

내분비계 장애물질(환경호르몬)
규제 대응 종합기술개발 전략 연구

연구기관
한국화학연구소

과 학 기 술 부

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “내분비계 장애물질(환경호르몬) 규제 대응 종합기술개발 전략 연구” 기획과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999년 4월 30일

주관연구기관명 : 한국화학연구소

총괄연구책임자 : 김 응 화

연 구 원 : 김희영, 심영기, 공영대,

이재홍, 김 균, 이미경

위탁연구기관명 : 한국과학기술연구원

위탁연구책임자 : 황경엽, 이윤우

연 구 원 : 강윤환, 김재덕, 류재천,

이강봉, 최대기, 한호규

요 약 문

I. 개 요

- 연구과제명 : 내분비계 장애물질(환경호르몬) 규제 대응 종합기술 개발전략 연구
- 주관연구기관 : 한국화학연구소
- 연구책임자 : 김 용 화
- 연구기간 : 8개월(1998. 9. ~ 1999. 4.)
- 소요연구비 : 50,000천원

II. 연구개발의 목적 및 필요성

대부분의 환경오염물질은 그 영향이 밝혀지면 사회적인 문제를 야기하게 되고 원인에 대한 책임추궁, 배상문제, 사후 법적 규제 및 관리 등 제반 정책적인 사안과 직결되어 있다. 내분비계 장애물질도 예외는 아니어서 다양한 종류의 화학물질을 사용함으로써 인하여 야기될 수 있는 인체 및 생태계 영향이 1980년대 후반에 이르러 연구되어지고 밝혀지고 있는 상황이다. 내분비계 장애물질은 인체 및 생태계 생물에 생식능력의 저하, 발암성 증대, 차세대 행동 특성장애, 면역기능의 저하 등 악영향을 초래하게 되는 것으로 알려지고 있다. 이러한 영향들을 인류생존과 직결되는 문제로서 국가 및 국제적인 환경보전 정책에 있어서 간과될 수 없는 부분이다. 국내의 법적·정책적 규제 및 관리만으로는 현재 사용되고 있는 내분비계 장애물질 문제를 근원적으로 해결하기 어려움으로 이를 생산하고 판매하는 산업의 차원에서 그 영향을 극소화하는 방향의 노력이 필요하고 이를 뒷받침 할 수 있는 연구개발이 필수적이라 할 수 있다.

환경오염물질로 인한 사회문제 제기과 정부의 정책적 관리 및 법적 규제가 강화되면 관련사업 및 경제발전에 미치는 영향은 무시할 수 없게 된다. 이의 구체적인 예로서는 1991년 폐놀의 낙동강 오염사고로 인한 두산기업의 피해는 막대한 것이었으며 이로 인하여 대구, 부산지역의 산업발전에 미치는 영향 또한 간과하기 힘들

것이다. 최근 국내에서 제기되었던 식품용기에 내재한 내분비계 장애물질의 위해성에 관한 논란은 그 진위를 떠나서 관련 산업체에 미치는 영향은 그 판매량으로 볼 때 1998년 7월 현재 20%이상이라고 추정되고 있으며 차후 더욱 악화될 것으로 내다보고 있다. 이러한 맥락에서 유럽에서는 내분비계 장애물질로 확인된 물질이나 의심시 되는 물질들의 사용금지를 위한 법적 제재가 2000년을 전후하여 이루어질 전망이다. 따라서 이에 대응하는 대체물질의 개발이나 대체공정의 개발을 통하여 내분비계 장애물질에 대한 근본적인 해결책을 제시하는 연구개발 노력은 산업·경제적 측면에서 볼 때 시의 적절한 것이라 본다. 내분비계 장애물질로 인한 경제적 파급효과를 최소화하기 위하여 취하여야지는 연구개발 노력은 기술적으로는 국내 기술로 창의적인 신물질 개발이라는 10여년 간의 노력을 새로운 분야에 응용하는 기회가 되고 이는 화학 및 관련산업에 미치는 파급효과도 기대해 볼 수 있을 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 기획과제는 1998년 5월 이후 국내에서 제기된 환경호르몬(이하 내분비계 장애물질) 문제와 연관하여 국내외에서 조성되고 있는 강력한 법적 행정적 규제에 의한 국내 산업계에의 영향을 최소화하기 위한 기술적 대응전략을 입안코자 1998년 9월 1일부터 1999년 4월 30일까지 수행되었다.

산업계의 대응전략은 본래 개별 기업자체의 비밀에 속하는 영역이므로 국가적인 전략을 세우기 위한 조사라고 하더라도 산업체의 전폭적인 협조를 얻는데는 한계가 있을 수밖에 없다. 따라서 본 조사사업에서는 주로 internet, 설문지, 기술서적, 자문회의, 현장방문, 공개토론회 등의 방법을 통하여 간접적인 방법으로 수행되었다.

국내외 규제현황을 조사, 분석한 바 선진국에서는 내분비계 장애물질로 의심시 되는 대부분이 농약관련 규제법, 수질·대기·폐기물 규제법에 따라 관리가 되고 있으나 프탈레이트류등 소수의 화학물질들은 내분비계 장애 영향을 고려한 규제 및 관리가 미흡한 상황이다. 이러한 인식위에 행정적인 권고에 의하여 사용량을 줄이려는 시도가 진행되고 있으나 무엇보다도 의심물질의 인체 및 생태계에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 규제에 있어서는 미국에서 「내분비계 장애물질 스크리닝 및 테스트링 자문위원회」(EDSTAC)의 최종

보고서가 의회에 제출되는 2000년 8월을 시작으로 구체화 될 전망이다. 유럽에서는 내분비계 장애의심물질 1종에 대하여 이미 사용금지 조치가 내려져 있고, 일본은 미국과 유사하게 9개 성청이 협력하여 관련 연구를 수행하고 있다.

이러한 실질적인 정부의 법적, 행정적 규제관리 움직임에도 불구하고 국내외 소비자 및 환경운동 단체에서는 예방적 차원에서 「과학적인 인과관계가 밝혀지기 전에」 행정적인 조치가 취해져야 한다고 주장함으로써 이들에 의하여 산업체는 간접적인 영향을 받을 전망이다.

한편, 선진국의 화학산업계는 미국, 유럽, 일본이 공동으로 위해성 평가 관련 연구를 수행하고 있고 대체물질 개발 등에 관한 공식적인 발표는 없으나 이에 대한 대비책은 개별 기업에서 수립되어 진행되고 있는 것으로 판단된다.

IV. 연구개발결과

이상과 같은 세계적인 추이에 대응하여 국내 산업 각 부문에서 대비하여야 할 연구개발 내용은 본 기획과제의 조사 및 집필위원들에 의하여 플라스틱 부분(첨가제 포함)이 14 과제, 산업 및 환경오염 물질 분야가 27 과제, 농/의약/중금속 부분이 9 과제, 위해성평가 부분이 11과제가 제안되었으나, 우선순위 상위 3과제를 각 부분별로 요약하면 다음 표와 같다.

분야	과제 내용
플라스틱	1. Recycle & 저농도화 기술 2. PVC 대체기술 개발 3. 비 PS계/BPA계 소재 개발
플라스틱 첨가제	1. PVC 대응상품 개발 2. Phthalate계 가소제 대응물질 개발 3. Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술
산업 및 환경오염 물질	1. EDC 식물을 이용한 정화기술 개발 2. 초임계수산화에 의한 오염 TBT 저감공정 개발 3. NPE의 대체물질로 Linear alcohol ethoxylates(LAEs) 개발
농, 의약	1. EDC 유해 살충제의 대체후보물질 탐색 연구 2. 농약의 화학적 구조-EDC 상관성(SEDR) 개발 연구
중금속	1. 폐광산의 복원기술 개발 2. 중금속을 함유하지 않는 전착도료의 개발 3. 대기 중 수은 및 납의 제거기술 개발
위해성 평가	1. 산업현장 적용 가능한 독성 스크리닝 방법 개발 2. 극미량 분석법 개발 3. 관련 정보체제 구축 및 산업계 확산

이상의 제안에도 불구하고 설문조사, 현장조사, 자문회의와 공개토론 시에 집중 논의된 바를 감안하면 다음과 같은 결론을 낼 수가 있다.

가. 1~2년 후에 재론이 예상되는 내분비계 장애물질 문제에 대응한 국내 산업계의 최근 입장은 두가지로 대별할 수 있다.

첫째는, 규제가 올 때까지 소극적으로 기다려 보자는 입장이다. 이 문제는 기업의 이익과 직결되기 때문에 정부가 앞장서서 연구를 주도하여 국민의 잠재된 인식에 자극을 주지 않도록, 산업계는 국가가 내분비계 장애물질 관련 대응전략에 신중을 기하기를 바라고 있다.

둘째는, 선진국에서 이 문제가 재론될 때는 산업적으로 대응하는 것이 이미 늦게 되므로 정부가 주도적으로 속히 대응책(대체물질 개발 등)을 모색하여야 한다는 것이다.

나. 산업계가 내분비계 장애물질 문제에 대응하는데 있어서 가장 큰 애로사항으로 지적된 것은

- 위해성 자료를 포함한 관련정보의 부족
- 정부의 적극적 대책 부족
- 산업계 입장을 고려한 사회의 인식 및 정책부족 등이다.

다. 본 기획과제에서 제안된 각 분야의 산업기술은 원안대로 대체로 동의하되, 위해성평가에 관련된 기술은 다음 4가지가 산업체에서 시급히 요구되는 과제로 확정되었다.

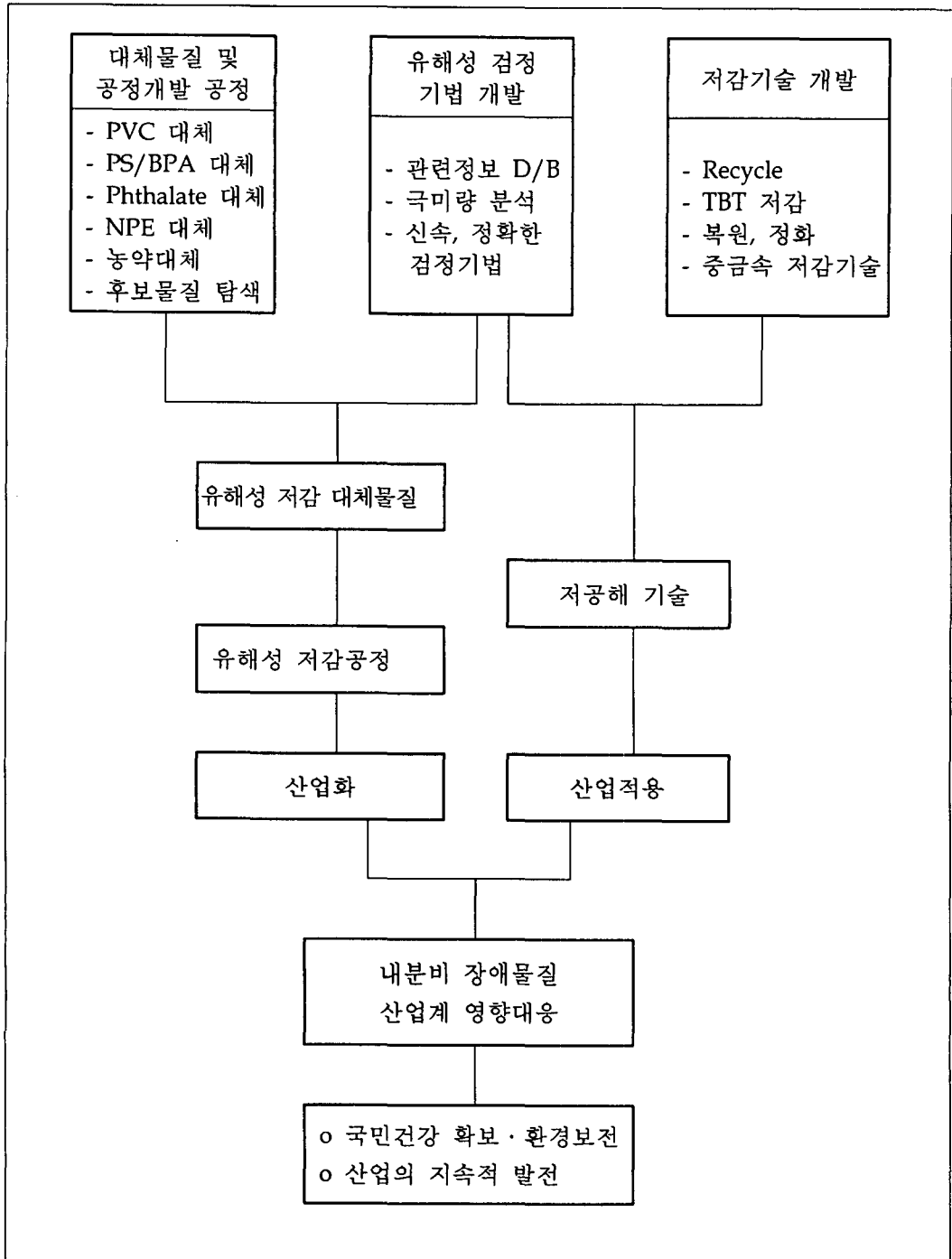
이를 우선순위별로 나열하면 다음과 같다.

- 내분비계 장애물질 관련정보의 평가 및 DB 구축
- 산업현장 적용 가능한 분석법 개발
- 신속, 정확한 독성 스크리닝 방법 개발
- 국가적 내분비계 장애물질 스크리닝센터의 지정 육성

라. 본 기획과제에서 제안된 연구과제들은 각 부문별로 산업체 및 정부의 대응전략으로 연구 개발시에 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

마. 이상을 종합하여 전체를 총괄할 수 있는 범 국가적인 산업계 대응 연구체계를 구상하여 본다면 다음과 같은 체계도가 될 것이다.

< 범 국가적 산업계 대응연구 체계도 >



목 차

요약문	i
제 1장 기획연구사업 추진개요	1
1. 추진 배경	1
2. 추진 일정	2
3. 목적과 범위 및 추진방법	3
제 2장 연구방법	5
1. 연구방법의 체계도 및 기획방향	5
2. 연구방법	7
제 3장 기술현황 분석	11
1. 배경과 전망	11
2. 국내외 관련법 현황조사 분석	34
3. 플라스틱 분야	45
4. 플라스틱 첨가제 분야	58
5. 산업 및 환경오염 물질 분야	79
6. 농약 및 의약품 분야	155
7. 중금속 물질 분야	192
8. 위해성평가 분야	209

제 4장	분야별 연구과제 도출 -----	262
	1. 플라스틱 분야 -----	262
	2. 플라스틱 첨가제 분야 -----	276
	3. 산업 및 환경오염 물질 분야 -----	291
	4. 농약 및 의약품 분야 -----	326
	5. 중금속 물질 분야 -----	340
	6. 위해성평가 분야 -----	350
제 5장	연구조사결과 -----	377
	1. 설문지 -----	377
	2. 자문회의 요약 -----	389
	3. 현장조사 기록 -----	394
	4. Workshop 프로그램 요약 -----	398
제 6장	종합과제 도출 -----	404
제 7장	참고문헌 -----	410
부록	I 초청연사 강연원고 -----	436
	II Workshop 각 분과별 토의내용 -----	451

제 1 장 기획연구사업 추진개요

1. 추진배경

1998년은 국내적으로 가히 '환경호르몬'의 해였다고 할 수 있다. 환경문제는 1990년대 국내 사회 전반에서 그 중요성에 대한 인식이 고조되고 있던 중에 1998년 4월부터 신문지상을 통하여 제기되기 시작한 내분비계 장애물질(환경호르몬) 문제는 연말까지 10대 주요 중앙 종합 일간지에 558건의 기사를 만들어 내었고, 이를 일간 지당으로 보면 평균 56건의 기사가 일반 대중에게 보도된 것이다. 이러한 보도건수는 1주일에 2회 정도의 빈도로 국민의 관심을 자극하였고 정자 감소와 연계된 내분비계 장애물질은 국민 대다수의 불안감을 조장하기에 충분한 것이었다. 이러한 보도는 문제제기의 차원을 넘어서게 되어 7월부터 관련 제품의 판매감소로 연결되어 IMF 시대의 국내 산업 및 경제에도 무시할 수 없는 영향을 주게 되었다.

이러한 상황에 대응하기 위하여 1998년 5월 28일 환경부, 보건복지부, 농림부는 내분비계 장애물질 대책 협의회를 신설하고 장기적인 대책을 구상하기 시작하였다. 그러나 위의 세 부처의 주요 관심은 현행 국내 사용 내분비계 장애물질의 규제, 관리 방안에 있었고 당면한 산업계의 애로사항에 대한 기술적 해결 방안에 대해서는 다소 소홀한 상황이었다. 따라서 과학기술부에서는 내분비계 장애물질로 인하여 야기된 사회적 문제로 인하여 직, 간접적인 피해를 받는 산업계의 문제점을 파악하고 과학기술적인 전략을 마련하기 위하여 본 기획과제를 제안한 바 있다. 이에 본 기획팀을 구성하게 되었고 1998. 9. 1.부터 1999. 4. 30. 까지 8개월간의 작업을 수행하여 그 결과를 보고하는 바이다.

2. 추진일정

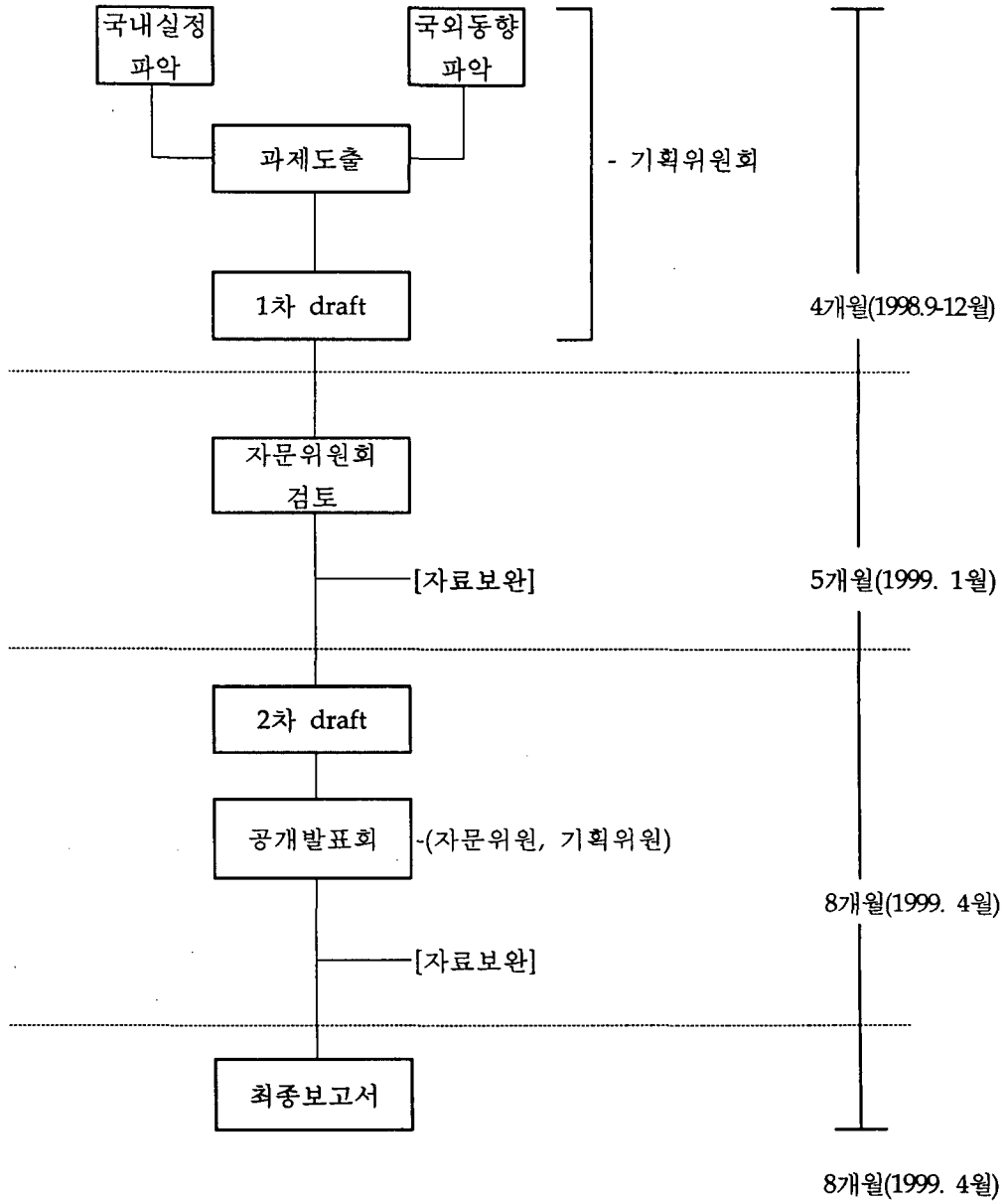


그림 1-1. 연구추진일정

그림에서 보인 바와 같이 국내 실정과 국외 실정 파악을 위한 자료 수집 및 과제 도출 기간은 약 4개월로 잡았다. 그리고 제 1차 자문위원회(1998. 12. 10.)에서 의견을 종합한 뒤 보완작업을 거쳤다. 약 1개월의 보완작업을 거친 후에 제 2차 자문회의 (1999. 1. 21.)를 개최하였다. 제 2차 자문회의에서의 의견 종합 후 보완작업을 거쳤다. 이 보완작업에는 국내 관련 산업체를 방문하여 실상을 파악하는 과정이 포함되어 있다. 이 작업을 거친 뒤 Workshop 형태의 공개발표 및 토론회(1999. 4. 2.)를 거쳐 보고서에 대한 검토를 완료한 뒤 1999년 4월 30일 최종보고서를 제출하였다.

3. 목적과 범위 및 추진방법

1) 최종목표

환경호르몬(내분비계 장애물질)의 국내외 규제현황과 대체물질 및 대체공정개발 현황과 저감기술을 조사, 분석하므로써 국내 관련 산업의 대응 연구개발 전략을 수립한다.

2) 기획연구의 범위

구 분	연구목표	연구내용 및 범위
'98. 9. 1. ~'99. 4. 30. (8개월)	· 내분비계 장애물질 규제에 대한 국내 산업의 대응 연구개 발전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 규제현황 조사·분석 -선진국의 관련 규제법규 현황 및 전망 파악 ○ 대체물질 개발전략 도출 -5개이상 국외 대체물질개발현황 조사 -대체물질 개발과제 도출 ○ 대체공정 개발전략 도출 -3개이상 국외 대체공정개발현황 조사·검토 -대체공정 개발과제 도출 ○ 종합적인 저감기술 개발전략 도출 -선진국의 저감대책 현황조사 -저감기술 연구개발 전략 제시 -주요 내분비계 장애물질 경로추적 및 분석 평가 ○ 의심되는 장애물질의 잠정적인 위해성평가

3) 기획연구의 추진방법

모든 자료수집은 우선 선진국에서의 내분비계 장애물질관련 법적 규제현황과 전

망에 대한 정보를 입수하는데 집중되어야 한다. 그 구체적인 방법으로는,

- 1) 인터넷을 통한 보편적인 정보의 수집
- 2) Fax 및 서신을 통한 관련자료 원본의 입수
- 3) 최종적으로 방문에 의한 확인 및 보완자료 입수의 순으로 진행하였다.

대체물질 및 대체공정개발 현황에 관해서는

- 1) 과학기술문헌, 특히 현황조사를 통한 정보의 수집
- 2) 다국적 기업의 개발현황 뉴스 입수
- 3) 규제기관 방문 및 다국적 기업의 안전성관련 기관 방문을 통한 간접적 정보파악.

저감기술에 관해서는

- 1) 인터넷을 통한 기술정보의 수집
- 2) 방문을 통한 기술정보의 수집 및 전문가 면담
- 3) 연구논문, 보고서, 과학기술서적, 특히 등을 통한 정보의 수집
- 4) 분야별로 KIST 전문가 활용
- 5) 국내외 환경호르몬 관련 회의를 통한 직접적 정보파악

자료수집을 위해서는 각 분야별 연구원이 중심이 되지만 학계, 산업계, 환경관련 민간단체의 전문인으로 구성된 자문단의 조언을 추가하는 방식에 의하여 보완하였다.

제 2 장 연구방법

1. 연구방법의 체계도 및 기획방향

1) 연구방법의 체계도

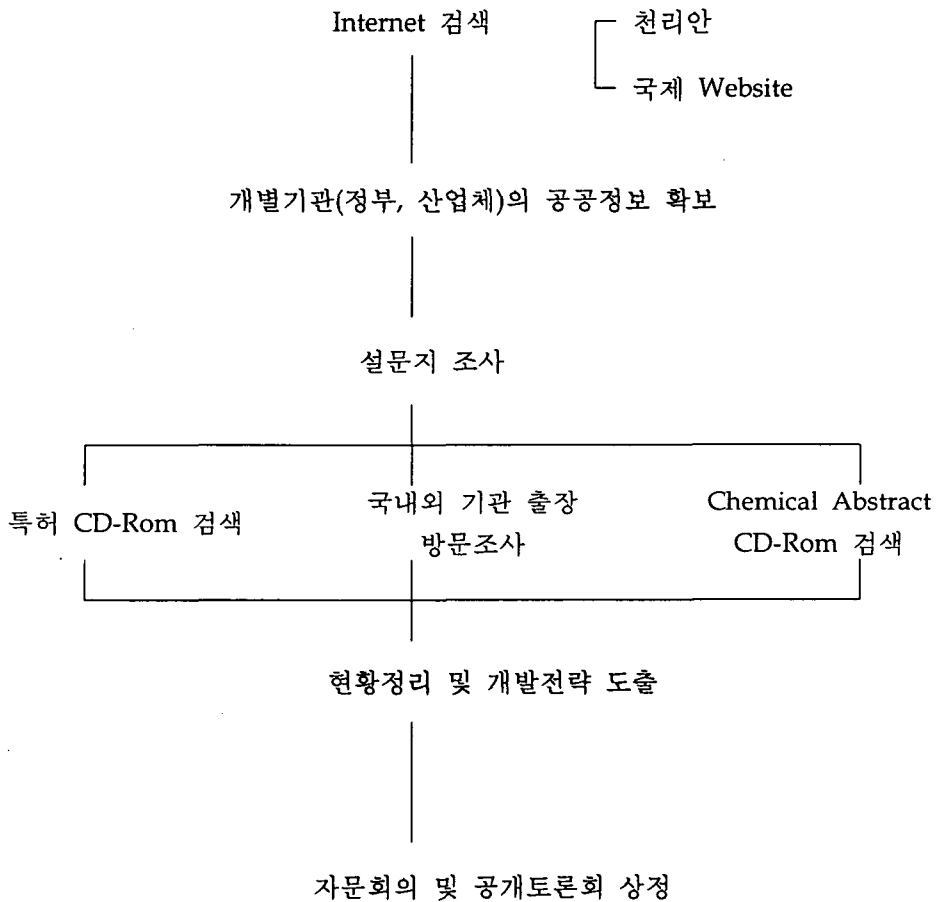


그림 2-1. 연구방법의 체계도

2) 본 연구기획의 제한점 및 조사방향 설정

<제한점> 기업의 문제대응 전략은 문헌으로 공표되어질 확률이 극히 제한적이어서 전통적인 문헌조사로는 결과를 얻기가 거의 힘들 것이다.

<기업의 대응형태>

(회피형) 소극적인 대응방법은 문제 화학물질에 관해서만 기존의 손실을 최소화하는 방향으로 기존 제품으로 대체한다. 이때에는 표면적으로는 연구개발 노력이 불필요하고 설비등의 초기 투자를 감수해야 한다. 이 경우에는 별로 새로운 것이 없으므로 외부로 공표되지 않을 가능성이 크다. (예 : 플라스틱을 종이나 유리로 바꿈)

(개발형) 보다 적극적인 대응방법은 문제의 원인을 분석하고 대응책을 다각도로 분석하여 경제적이고 보다 영구적인 방법을 강구하게 된다. 이때는 기업 비밀로서 당분간 자료를 얻기가 힘들다(예, 환경호르몬이 포함안된 신제품의 개발).

<조사방향>

1. 해당 산업계에 영향을 미치게 되는 법적·행정적 조치의 현상을 파악하거나
2. 소비자·환경단체의 요구사항을 집중분석하므로써, 기업의 대응방향을 간접적으로 파악한 후 학술적 문헌 조사로 확인

2. 연구방법

1) Internet Search

본 조사에서 사용한 주요 Website는 다음과 같았다.

Government

- 1) <http://www.nihs.go.jp/hse/environ/endocrin.html>
- 2) <http://www.epa.gov/opptintr/opptendo/usuk.html>
- 3) <http://www.environment-agency.gov.uk/cgi-bin>
- 4) <http://www.OECD.org/ehs>
- 5) <http://www.DOE.ca/envhome.html>

Industry

- 1) <http://www.ciit.org/default.html>
- 2) <http://www.links2go.com>

NGO

- 1) <http://www.greenpeace.org/~uk/science/hdc/index.html>
- 2) <http://www.wwfcanada.org/hormone-disruptors/>
- 3) <http://www.ed.ac.uk/~amw/oestrogenic.html>
- 4) <http://www.endocrine.org>

2) 설문지

본 기획에서는 위 1항 기획의 방향에서 언급된 바대로 국내외 산업에서 진행중인 개발제품에 대한 정보를 얻기는 어려울 것으로 가정하고, 주로 국내외 업체의 내분비계 장애물질 문제 인식정도, 피해정도, 개략적인 대응전략, 애로점, 국가가 지원해야 할 분야의 의견을 수렴하는 선에서 설문지를 작성하고 배포하였다(설문지 원문 및 결과 요약은 Chpt. 5-1 참조).

배포된 국내기업 총 148 업체, 국외 총 58 업체중 설문지에 응답해준 업체는 국내 26개, 국외 5개 업체로 각각 18%와 9%의 응답율을 보였다.

3) 문헌조사

주로 Chemical Abstract CD-Rom과 US Patent CD-Rom 검색을 통하여 대체물질에 대한 정보를 수집하였다.

4) 국내외 출장정보

▶ 국내

신문지상에서 대체상품을 개발하였다고 보도된 (주)코맥스, (주)코오롱, (주)새한, (주)해피랜드를 방문하여 개발 경위와 애로점, 그리고 관, 산, 학, 연이 협동하여야 할 분야에 대하여 논의하였다.

▶ 국외

계획되었던 국외출장 대신 Beveridge & Diamond, P.C. 사의 변호사인 Mr. Terry F. Quill을 공개토론회(workshop)에 초청하여 "Overview of U.S. Industry Concerns and U.S. and Global Activities"라는 논제의 강연을 들었다. 또한 해외 전문가(Mr. K. Ohzeki, Product Steward, Asia-Pacific Epoxy products and Intermediates, Dow chemical Japan Ltd.)와의 면담을 통해 1) Bisphenol A의 일반 독성 및 번식독성의 결과, 2) 일본 정부 및 산업체의 관련 연구동향, 3) 일본 산업체의 국제적 협력 동향에 관한 자문을 얻었다.

5) 자문회의

본 과제가 진행되면서 두차례의 자문회의가 있었다. 제 1차 회의는 중간보고서를 종료한 시점에서 중간 점검을 하기 위한 모임이었고, 제 2차 회의는 최종보고서의 초안을 마련한 시점과 공개토론회인 workshop을 개최하기 전 자료에 대한 검토

를 하기 위한 것이었다. 각 회의에서 거론된 주요 토론사항을 요약하면 다음과 같다.

▶ 제 1차 자문회의(1998. 12. 11.)

참석자 : 최성수(국립환경연구원), 정종구(동부한농), 김정곤(애경유화)

정낙철(고려대학교), 김희경(서울시립대)

토론 내용 :

- ① 본 과제가 산업체의 애로사항을 해결한다고 하나 자료의 집적, 공개(공개 토론회) 등을 통한 관련활동 그 자체가 산업체에는 불리하게 작용될 우려가 있으므로 본 과제는 산업체만을 위하기보다는 산업체와 관련된 국가 전체의 이익을 고려해야 한다.
- ② 산업체는 연구개발보다는 기존 상품의 대체 내지는 소극적인, 수비적인 자세를 취하고 있는 상황이다. 따라서 본 과제가 산업체의 뜻을 제대로 파악해야 한다.
- ③ 산업체에서 시급히 요구되는 사항은 문제가 예상되는 물질의 위해성을 신속히 알려주는 것이다.
- ④ 환경부가 10년의 종합적인 장기대책 수립을 하고 있지만은 본 과제의 영역을 과기부 및 산자부에서 수행하는 것이 적절하다.

▶ 제 2차 자문회의(1999. 1. 21.)

참석자 : 최 성수(국립환경연구원), 정 종구(동부한농), 이 상균(LG 기술원)

정 낙철(고려대학교), 최 주섭(한국발포스티렌 재활용협회)

마 용운(환경운동연합)

토론 내용 :

- ① 과제는 기업의 부가가치를 높일 수 있는 방향으로 유도
- ② 우선순위 선정시 개발(상품화)의 용이성도 검토
- ③ 체계적 정보구축 및 관련정보 공유/추정물질에 대한 위해성 평가 및 관리 는 관이나 정부관련 기관에서 맡아 주는 것이 좋을 듯. ⇒위해성 여부 관련된 과학적 연구 data, 그 근거 확보 및 관련정보 공유 시급)
- ④ 대체기술면은 그 경제성이나 활용성, 용이성등이 밀바탕이 되어야 하기

때문에 연구 우선순위의 주가 되기는 힘들 듯. 그러나 대체물질 개발이 꼭 필요한 물질에 대해서는 국가의 적극적인 지원 필요(저감기술 개발도 같은 선상에서 판단)

- ⑤ 대체기술면은 그 경제성이나 활용성, 용이성등이 밑바탕이 되어야 하기 때문에 연구 우선순위의 주가 되기는 힘들 듯.
- ⑥ 환경부 EDC 연구위원회가 하고 있는 기존의 활동과 중복되지 않도록 기안
- ⑦ EDSTAC에서 연구하는 결과를 가지고 우리나라에 적용 가능한 부분이 있고 적용 불가능한 부분이 있기 때문에, 그 틈새를 찾는 노력과 선별된 과제 도출이 필요
- ⑧ 환경부 선정 67종 EDC 추정물질 중에 급·만성 독성시험에서 독성이 규정된 물질에 우선순위
- ⑨ Dioxin 류의 분석, 미량분석법 개발등을 통한 총체적인(수질/대기/토양, 식품노출, 잔류량, 생태계/인체 노출량 연구) 노출가능성에 관한 연구 필요
- ⑩ 대체기술쪽은 언급이 많이 되었으나 법적·행정적 조치와 산업체 대응책 제안은 부족.

6) Workshop

1999년 4월 2일 서울교육문화회관에서 72명의 해당 분야 국내외 전문가와 업체 실무자들이 참석하여 공개발표와 토론회 형식으로 진행되었다. 오전에는 프로젝트개요에 관한 presentation 과 초청연사 강연이 있었으며, 오후에는 각 참석자들이 본인의 참여희망 분과별로 4분과(플라스틱 분야, 산업 및 환경오염물질 분야, 농약·의약·중금속 분야, 위해성평가 분야)로 나뉘어 각 분과별 연구발표와 토의 시간을 거친후, 종합토의 시간에 분과토의시 거론되었던 주요 토의내용을 발표하고 종합함으로써 이 연구과제의 우선순위와 연구개발 전략을 확정하였다(Chpt. 6-5 참조).

제 3 장 기술현황분석

1. 배경과 전망

20세기초 급속히 발달한 화학산업은 비료, 농약 및 의약품 등을 생산하므로써 인류를 기아와 질병으로부터 해방시켰으며 나일론을 시작으로 합성된 고분자화합물들은 생활을 편리하고 윤택하게 만들었으나, 이에 따른 반대 급부로써 환경오염을 야기시켰고 이로 인하여 생태계가 파괴됨과 더불어 인류의 생존을 위협하고 있다. 1962년 Rachel Carson이 지은 'Silent Spring'에서 농약과 합성화학물질이 생태계에 문제를 야기 시킨다는 지적 이후 환경오염 문제가 대두되었고, 1996년 Theo Colborn이 'Our Stolen Future'라는 책을 출판한 후 내분비계 장애물질에 대한 문제가 사회 문제화되어 세계 각국이 이에 대한 대책마련에 들어갔다.

십년 전까지만 하여도 사용하지 않던 단어 중에서 최근에 자주 사용되는 단어로써 환경 외인성 에스트로젠 (Environmental xenoestrogens), 식물성 에스트로젠 (Phytoestrogens), 환경에스트로젠 (Environmental estrogens), 환경호르몬, 외인성 내분비교란 화학물질, 내분비교란물질(Endocrine disrupting chemicals ; EDCs)등이 있는데, 이들은 동일한 의미를 갖고 있으며 상황에 따라 달리 불리어지고 있으나 미국에서는 'Endocrine Disruptors', 일본에서는 '외인성내분비 교란화학물질', 그리고 우리나라 환경부에서는 1998년 5월에 '내분비계 장애물질'이라고 명명하였다.

에스트로젠 (estrogen)이란 사람 혹은 그 밖의 다른 동물들의 난소(female ovaries)와 정소 (male testes)에서 일차적으로 생성되는 스테로이드 호르몬(steroid hormone)이다. 이들은 성장(growth), 발육(development), 행동(behavior; puberty)등에 영향을 주며 생식 주기(reproductive cycles; menstruation, pregnancy)를 조절하고 다른 신체 부위(뼈, 피부, 혈관, 뇌 등)에도 영향을 미친다. 에스트라디올 (estradiol)은 에스트로젠 호르몬 중 가장 다량으로 존재하며 효과가 크고, 그 밖에 에스트론(estrone), 에스트리올(estriol)의 세 가지 주요 에스트로젠과 그의 유도체들이 있다.

이러한 에스트로젠의 작용은 1917년 Stockard와 Papanicolaou에 의해, 그리고 1922년 Long과 Evans에 의해 처음으로 발표되기 시작하였다. 그 후 Allen과 Doisy

는 생체 시료에서 에스트론을 분리하였으며 또한 에스트로젠 활성(estrogenic activity)을 알아낼 수 있는 방법을 발표하였다. 그 이후 이 방법 혹은 이와 유사한 방법들이 에스트로젠 활성을 지니고 있는 천연 (natural)과 합성 (synthetic) 화합물들을 검출, 확인하고 특성화하는 표준 방법으로 이용되어 왔다.

에스트로젠은 1922년의 Dictionary of Science and Technology에 의하면 일반적으로 “여성의 성적인 성장(sexual development)과 생식기능(reproductive function)을 조절, 유지시켜주는 일련의 스테로이드 호르몬”으로 정의된다. 같은 맥락에서 Hertz 등의 현대 과학자들은 에스트로젠을 다음과 같은 작용에 의해 조직의 성장을 자극하는 물질로 정의하고 있다. 즉,

- 여성의 성 기관 (sex organs; breasts, uterus)에서 세포 증식 촉진 (promoting cell proliferation DNA 합성 및 세포 분열)
- 사춘기에 여성의 유방이나 남성의 근육 등에서 일어나는 비대 (hypertrophy) 촉진 혹은 세포의 크기 증가
- 특수 단백질 합성 유도 등이다.

실험실적인 시험에서 위와 같은 반응을 나타내는 모든 천연 스테로이드(natural steroids), 식물에서 기인하는 화합물(plant compounds) 또는 합성 화학 물질 (synthetic chemicals)들을 에스트로젠성 (estrogenic) 이라고 말하며 이들로 인해 야기될 수 있는 생체에서의 영향들이 산업화에 따른 화학물질들의 다량 사용으로 인해 자연생태계 및 나아가 인류의 보건 등에 미치는 영향들을 논리적이고 합리적인 접근방식에 따라 모든 방면의 전문가들이 힘을 합쳐 해결의 노력을 기울여야 되리라 사료된다.

1) 용어의 정의

환경 에스트로젠 (environmental estrogen)이란 내분비계 장애물질 (endocrine disruptor), 즉 내분비계 (endocrine system)의 호르몬 그리고 세포 수용체 (cellular receptor)의 전달 기관 (communication system)에 영향을 미칠 수 있는 합성 화학물질 (synthetic chemicals)과 천연 식물성 화합물 (natural plant compounds)들을 일컫는다. 대부분의 이러한 물질들은 야생 동물이나 실험실 동물의 발육, 생식 및 그 밖의 건강 문제와 관련이 있음이 알려져 왔고 또한 몇몇 전문가들은 같은 방법으로 사람에게도 영향을 미칠 수 있음을 주장하고 있다.

내분비계 장애물질들은 다음과 같은 몇 가지 방법에 의해 생체내에서 호르몬의 기능을 변화시키는 것으로 알려져 있다 :

- 호르몬 수용체와 결합하거나 세포의 신호 전달 과정 (cell signaling pathway)에 영향을 미치므로써 성 스테로이드 호르몬인 에스트로젠 혹은 안드로젠 (androgen; the male sex hormone)과 유사하거나 부분적으로 유사한 작용을 하는 것으로 이와 같이 에스트로젠처럼 작용하는 물질들을 환경 에스트로젠 (environmental estrogen)이라 한다.
- 호르몬 수용체에 대한 결합이나 세포 신호 전달 과정을 막거나 (block), 방해하거나 (prevent) 또는 변경 (alter) 시키며, 이러한 작용을 하는 화학 물질들을 다른 말로는 anti-estrogen 혹은 anti-androgen 이라 한다.
- 천연 호르몬의 생성 및 분해과정을 변경 (alter) 시킨다.
- 호르몬 수용체의 생성 및 기능을 모식화 (modify) 한다.

이러한 환경 호르몬은 내분비계 장애물질 중에서 가장 많이 연구되고 있는 물질 중의 하나이다. Phytoestrogen과 같이 에스트로젠성 반응(estrogenic response)을 보이는 천연 화합물들이 많은 종류의 식물과 곰팡이류(fungi)에 존재하고 있으며, 또한 에스트로젠과 유사한 행동을 하는 많은 합성 화학 물질들이 특수한 목적으로 상업적으로 생산되거나 부산물로서 생성되고 있다.

인간은 일생을 통해 음식, 공기, 물, 토양 그리고 모유 등으로부터 이 물질들에 노출되며, 또한 어머니의 자궁 내에서 발육하는 동안에도 노출될 수 있다. 그러나 비록 그 농도는 작으나 지속적으로 환경 에스트로젠에 노출됨으로서 인간의 건강 위험도(human health risk)에 미치는 영향에 대해서는 아직 많은 부분이 알려지지 않았으며 논란의 대상이 되고 있다.

내분비계 장애물질이란 용어에 대한 정의로서는 야생동물이나 인간의 내분비계 또는 호르몬계의 정상적인 기능을 변화시키는 외인성 물질을 말하며 1997년 1월 미국 Washington D.C.에서 개최된 국제 내분비계 장애물질에 대한 Smithsonian workshop에서는 다음과 같이 정의하였다. 즉 “몸에서 항상성 (homeostasis)을 유지하고 생식이나 발생 과정의 조절에 필수적인 내인성 호르몬 (natural hormones)의 생성, 방출, 이동, 대사, 결합, 작용 또는 배출을 방해하는 외인성 물질” (“Exogenous agents that interfere with the synthesis, secretion, transport, binding, action, or elimination of natural hormones in the body which are responsible for

the maintenance or homeostasis, reproduction, development or behavior") 이라고 하였다.

또한 1996년 12월 영국 Weybridge에 열린 EU/WHO/OECD Workshop에서 채택한 정의는 “내분비계 장애물질은 내분비계 기능을 변화시켜 정상적인 개체나 그의 자손에게 건강 장애를 유발하는 외인성 물질” (“An endocrine disrupting chemical (EDC) is an exogenous substance that causes adverse health effects in an intact organism, or its progeny, consequent to changes in endocrine function”) 이라고 하였다.

미국 환경청의 자문위원회 (EDSTAC)에서 1998년 6월 발표한 보고서 초안에서 정의한 내분비계 장애물질은 “과학적 원리, 자료, 유력한 증거, 예방 원리에 근거하여 - 개체나 그 후손, 개체의 집단 또는 아집단 수준에서 - 내분비계의 기능을 변화시키거나 건강 장애를 유발하는 외인성 화학물질 또는 혼합물” (An exogenous chemical substance or mixture that alters the function(s) of the endocrine system and causes adverse effects - at the level of the organism, its progeny, and populations or subpopulations of organism - based on scientific principles, data, weight-of-evidence, and precautionary principle) 이라고 하였다.

2) EDC 문제의 역사

내분비계(Endocrine system)란 동물에 있어서 호르몬을 분비하여 몸의 기능을 조절하는 선(Glands)으로 뇌하수체(Pituitary glands), 갑상선(Thyroid gland), 부갑상선(Parathyroid gland), 흉선(Thymus gland), 췌장(Pancreas), 부신(Adrenal glands), 난소(Ovaries)와 고환(Testes)이 있다.

이러한 내분비계에서 생산되는 화학적 신호인 호르몬은 구조상 단백질 호르몬(Protein Hormon)과 스테로이드 호르몬 (Steriod Hormon)으로 구분할 수 있다. 첫 번째의 단백질 호르몬은 분자량이 크고 단백질로 구성되어 있으며 전하를 띄고 있어서 세포막을 통과 할 수 없으므로 세포막에 있는 외부 수용체(receptor)와 작용하는 호르몬이고, 두 번째의 스테로이드 호르몬은 분자량이 적고 지방에 잘 녹는 성질이 있어 세포막을 통과 할 수 있으므로 외부 수용체가 필요 없이 직접 세포 내부 수용체에 작용하는 호르몬이다. 일부 스테로이드 호르몬을 성호르몬(Sex steroids)이라고도 부르는데 이는 기능상 남성과 여성을 특정 지우는 성적 분화(Sexual

differentiation)를 통제하며 또한 발생 초기 과정(the early embryonic development)에서 성을 결정하는데 중요한 역할을 하고 있기 때문이다.

그런데 내분비계 장애물질(Endocrine disrupting chemicals)은 구조상 스테로이드 호르몬과 비슷하며 스테로이드 호르몬 중 에스트로젠(Estrogens)이라고 불리는 여성 호르몬의 구조와 유사하여 작용 기전등에서 이들 여성 호르몬의 작용에 장애를 일으키기 때문에 환경성 에스트로젠(Environmental estrogens)이라고도 불리고 있다.

내분비계 장애물질은 독성이 높거나 특별한 화학 물질이라기 보다는 농약, 플라스틱, 세정제나 일상 생활에서 흔히 접할 수 있는 생활용품에 들어 있는 합성 화학 물질로써, 이러한 합성 화학물질이 생물에 유해한 에스트로제닉(estrogenic) 효과를 나타낸다는 것은 Table 1에서 알 수 있듯이 약 50년 전부터 예측되었다. 실제로 DDT(Dichlorodiphenyltrichloroethane), Methoxychlor와 Kepone(Chlordecone) 같은 유기염소계 농약은 내분비계를 혼란시키는 물질로 분류되고 있으며, 살충제로 쓰였던 DDT는 과거 인체에 직접 뿌리기도 하였으나 미국에서 1972년에 농작물에 사용 금지가 되었고 국내에서도 1972년에 사용이 금지되었다. 그 후로 자연계에 잔류하는 DDT의 농도는 계속 감소되고 있지만, 아직도 자연계나 일부 농산물에서 검출되고 있다. 이러한 내분비계 장애물질이 많은 화제의 초점이 되고 있는 이유는 세대를 이어서 사람에게 심각한 영향을 가져 올 위험이 높기 때문이다.

특히 환경 잔류성이 높은 유기염소화합물이 정밀 조사 대상이 되고 있는데, 이는 야생동물의 역학 조사에서 관련 유해 물질로 예측되었기 때문이다. 예로써 미국과 캐나다 국경 지역에 있는 오대호 연안은 DDT나 PCBs 같은 유기염소 화합물에 오염되어 있는 지역인데, 이 지역에 사는 물고기를 먹는 새들중 birth defect나 비정상적인 sexual behavior를 보여주는 경우가 있으며 또한 새의 부리가 삐뚤어져 태어난 경우도 보고되었다. 또한 1980년에 플로리다주의 아포카 호수(Lake Apopka)에 Kelthane이라는 살충제를 다량 버렸는데 이 호수에 사는 악어에서 호르몬 레벨이 변하고 변형된 생식기관이 발견되었음이 보고되고 있다. 이 Kelthane은 Dicofol이라는 살충제가 주성분이고 DDT가 inert 성분으로 포함되어 있는 농약이다. 이외에도 Kepone(chlordecone)에 오염된 바닷물에서 회수된 굴 (Oysters) 껍질이 이상이 발견되었고, 도시 하수도 부근에 사는 수놈 물고기에서 암놈만이 생산하는 Vitellogenin이라는 단백질이 생산됨을 보고하고 있다.

이러한 자연계의 야생동물로부터 오는 내분비계 장애물질의 Message를 심각하게 생각하는 이유는 이러한 증후가 여성에서의 유방암은 물론 남성에서의 내분비 장애를 초래하고 동물에서 비정상적인 발생(Developmental abnormalities) 등이 서로 연관되어 있다고 생각되기 때문이다.

최근들어 플라스틱들도 에스트로제닉 효과가 있는 내분비계 장애물질로 분류되고 있는데, 이는 일부 실험실에서 우연히 밝혀진 사실로써 내분비계에 영향을 주는 것은 확실하나 인체에 대한 영향은 좀 더 연구하여야 할 대상중 하나이다. 1970년대 후반 스탠포드 대학의 Feldman과 Krishnan은 효모균이 에스트로젠을 생성하는 것을 발견하고 이를 증명하려고 노력하였다. 왜냐하면 단세포 생물은 호르몬을 사용할 필요가 없기 때문이다. 십여년 간의 연구결과 1990년에 이들이 얻은 결론은 효모균은 에스트로젠을 합성하지 않는다는 것이었다. 실험에서 발견된 에스트로제닉 효과가 있는 화합물은 효모균 배양시 사용한 플라스틱 용기에서 스며 나온 것이며, 그 화합물은 Bisphenol A라는 물질로써 플라스틱 용기의 재질인 Polycarbonate의 분해산물이다. Bisphenol A의 인체에 대한 에스트로제닉 효과는 플라스틱 공장에 근무하는 남성 근로자들에서 가슴이 커지는 것으로 보아 증명되나 그 외의 효과는 증명되지 않았다.

이와 비슷한 예가 Nonylphenol로써 플라스틱을 유연하게 만들어 주는데 사용되는 물질이다. 이는 1992년 Tuft대의 Soto와 Sonnenschein이 breast cancer cell 배양시 플라스틱 용기로부터 용출되는 Nonylphenol이 암세포의 배양에 영향을 주는 것을 알았다. 이와 관련된 내분비계 장애 물질들은 폴리스타이렌 포장기, 튜브, 일부 세척제나 가정용품에서 발견되고 있으나, 인체에 대한 영향은 계속 연구중이다.

내분비계 장애물질은 성질상 자연계에 존재하면서 에스트로제닉 효과가 있는 식물성 에스트로젠(Phytoestrogens)과 합성 환경성 에스트로젠(Environmental estrogens)로 구분할 수 있다. 이중 식물성 에스트로젠은 마늘, 밀, 당근, 사과나 커피 같은 음식에 존재하며 많이 섭취하면 생식기 장애(reproductive problem)를 초래하지만, 이들은 체내에 잔류하지 않고 쉽게 배설되기 때문에 커다란 문제를 일으키지는 않는다고 보고되고 있다. 그러나 합성 환경성 에스트로젠은 인위적인 에스트로젠 성질을 갖고 있는 화합물로써 다음과 같은 성질이 있어 생체에 치명적인 역할을 할 수 있다.

첫째 생체내에서 잘 대사되지 않고, 둘째 자연 환경상태에서 분해되지 않고 오

랫동안 잔류하며, 셋째 이들은 지방성이어서 체내에 축적되며 임신시나 젖을 먹일 때 자손에게 다시 분배되기도 하며, 넷째 합성 환경성 에스트로젠의 축적은 먹이사슬과 관련되어 있어, 먹이사슬에서 최상위치에 있는 사람에게서는 생선이나, 우유, 달걀 등 음식물에 의한 섭취가 문제가 된다.

이러한 성질을 갖고 있는 내분비계 장애물질은 Estrogens나 Androgens를 흉내 내거나 해당 수용체에 에스트로젠의 결합을 방해함으로써 영향을 주고 있는데, 이러한 장애를 일으키는 가능한 작용기전을 아래와 같이 4가지로 분류할 수 있다.

첫째 호르몬이 수용체에 결합하는 것을 막거나, 방해하거나, 변화시킨다.

둘째 내인성 호르몬 (natural hormones)의 생성이나 분해를 변화시킨다.

셋째 필요한 수용체의 생성 또는 기능을 방해한다.

넷째 새롭거나, 약한 또는 강한 호르몬 반응을 일으켜 부정확한 신호를 생체에 전달하는 등의 작용기전에 따라 장애를 일으키고 있다.

이러한 내분비계 장애물질의 작용기전에 따라 발생하는 여러 가지 영향 중 큰 문제가 되는 것은 발생기 과정에서 성 결정(Fetal sex determination)에 영향을 주고, 앞에서 예를 든바와 같이 야생동물에 여러 가지 문제를 야기할 뿐만 아니라 인간에게도 커다란 영향을 주리라 예상되고 있기 때문이다. 그래서 세계 야생동물기금 (World Wildlife Fund)과 세계 각국이 이에 대한 대책을 강구하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

표 3-1. 내분비계 장애물질 관련 중요 사건

년 도	중 요 사 건
1923	생체추출물에서 에스트로젠 효과 확인
1950	DDT 의 에스트로젠 효과 발견
1962	Silent Spring 출판-농약과 합성화학물질에 의한 야생동물의 건강장애 논의 시작
1968	DDT의 포유동물과 조류에서의 에스트로젠 효과 발견
1971	DES를 임신시 복용하여 태어난 딸에서 질암 발생 보고
1972	DDT의 농업용 사용 금지
1976	DES가 인간의 생식장애와 연관됨을 보고
1977	PCBs의 제조 및 사용 금지
1977	도시소각로에서 Dioxin 생성 확인
1994	다이옥신의 발암성보다 생식발생 장애 유발 효과 관심
1996	Our Stolen Future 출판 - 내분비계 장애물질의 사람과 야생생물에 미치는 영향에 대한 가능성 지적

(1) 국내현황

환경부 주도하에 1998년 5월 29일 내분비계 장애물질 대책회의를 개최하여 '대책 협의회'와 그 산하에 '전문연구협의회'를 구성 운영하기로 하였으며, Endocrine disruptor에 대한 용어를 "내분비계 장애물질"로 하기로 결정하고 내분비계 장애물질은 세계야생생물기금 (WWF)에서 선정한 67종을 추정물질로 선정하여 국내 사용 및 규제 실태를 조사하기로 하였다.

조사결과 세계야생생물 기금 (WWF)에서 선정한 67종 중 16종은 국내에서 사용 실적이 없는 물질이고, 국내에서 제조되거나 수입사례가 있는 물질이 51종이고 이중 42종은 유해화학물질관리법, 농약관리법, 산업안전보건법에 의하여 규제하고 있는 물질이며 비스페놀 A, 노닐페놀류, 및 플라스틱 관련 산업용 화학물질 9종은 현

재 규제되고 있지 않은 물질이다. 규제되고 있지 않은 9종의 물질 중 환경잔류성이 높고 유해성이 있다고 보고된 4종 (펜타-노닐페놀류; 비스페놀 A, 디에틸헥실프탈레이트, 디부틸벤질프탈레이트)은 환경부에서 관찰 물질로 지정하여 제조, 수입 및 용도를 신고하도록 하여 관리하고 있다.

(2) 국외현황

< 미국 >

1995년 4월 미국 환경청은 내분비계 장애물질이 인간이나 생태계에 미치는 영향 및 위해성 평가를 위한 Workshop을 개최하고 이에 대한 연구의 필요성을 확인하였다. 이에 따라 미국의회는 1996년 8월 식품품질보호법(Food Quality Protection Act)과 음용수 안전법(Safety Drinking Water Act)를 통과시키면서 환경청(Environmental Protection Agency; EPA)에 내분비계 장애물질의 스크리닝 방법과 테스트 방법을 1998년 8월까지 개발하여 보고하고, 개발된 방법에 따라 1999년 8월까지 실제 실험을 실시하여, 2000년 8월까지 평가 결과를 보고하도록 조치하였다. 이에 따라 환경청 (EPA)는 연방정부 차원에서 과학계, 정치계, 기업계, 민간단체등을 대표하는 39인의 내분비계 장애물질 검색 및 시험자문 위원회(EDSTAC; Endocrine Disruptor Screening and Testing Advisory Committee)를 1996년 10월 16일에 구성하여 운영하고 있으며, EDSTAC는 4개의 실무팀으로 나누어 작업하고 있다. 4개의 실무팀은 The Principles Work Group, the Priority Setting Work Group(PSWG), the Screening and Testing Work Group(STWG), the Communications and Outreach Work Group(COWG)으로 구성되어 자문하고 있으며, 1998년 4월 작성한 자문위원회(EDSTAC)의 보고서 초안에 자문위원회의 결정사항 및 권고사항을 주 내용으로 기록되어 있고, 기본개념 및 이론(Conceptual framework and principles), 우선 순위결정(Priority setting), 검색 및 시험(Screening and testing), 정보제공 및 홍보(Communications and outreach), 이행(Implementation) 등의 토의 사항이 포함되어 있다.

연구에 참여하는 정부기관으로는 환경청(EPA) 외에 국가독성프로그램(NTP), 국립환경보건과학연구소(NIEHS), 질병연구소(CDC), 국립환경보건센터(NCEH)등이 있으며 이들은 1996년부터 \$40 million에 달하는 연구비를 투자하여 연구하고 있다.

< 유럽 >

유럽 각국은 1995년부터 1996년 사이에 내분비계 장애물질에 대한 보고서를 자체적으로 작성하였고, 전 유럽 프로그램으로 EC/WHO, Euro/OECD/EEA 합동 Workshop을 1996년 12월 영국 Weybridge에서 "The Impact of Endocrine Disrupters on Human Health and wildlife"라는 주제로 개최하여, 내분비계 장애물질과 추정 내분비계 장애물질의 정의와 실험방법에 대한 기본원칙 및 연구방향에 대하여 토론하였다. 계속해서 이와 관련된 회의로써 OECD/SETAC 합동 Workshop이 1997년 4월 네델란드 Veldhoven에서 "Endocrine Modulators and Wildlife Assessment and Testing"이라는 주제로 열렸고, 1997년 10월에는 SETAC-Europe open seminar가 벨기에 Brussels에서 열렸다. 그리고 1998년 3월 OECD 주최로 22개국에서 46명의 전문가들이 모여 OECD 내분비계 장애물질의 시험 및 위해성 평가를 위한 시험법 지침에 관한 각국 조정관 회의 및 위해성 평가 자문단 회의를 개최하여 서로간 정보교환과 시험지침법에 대한 사항을 논의하였다.

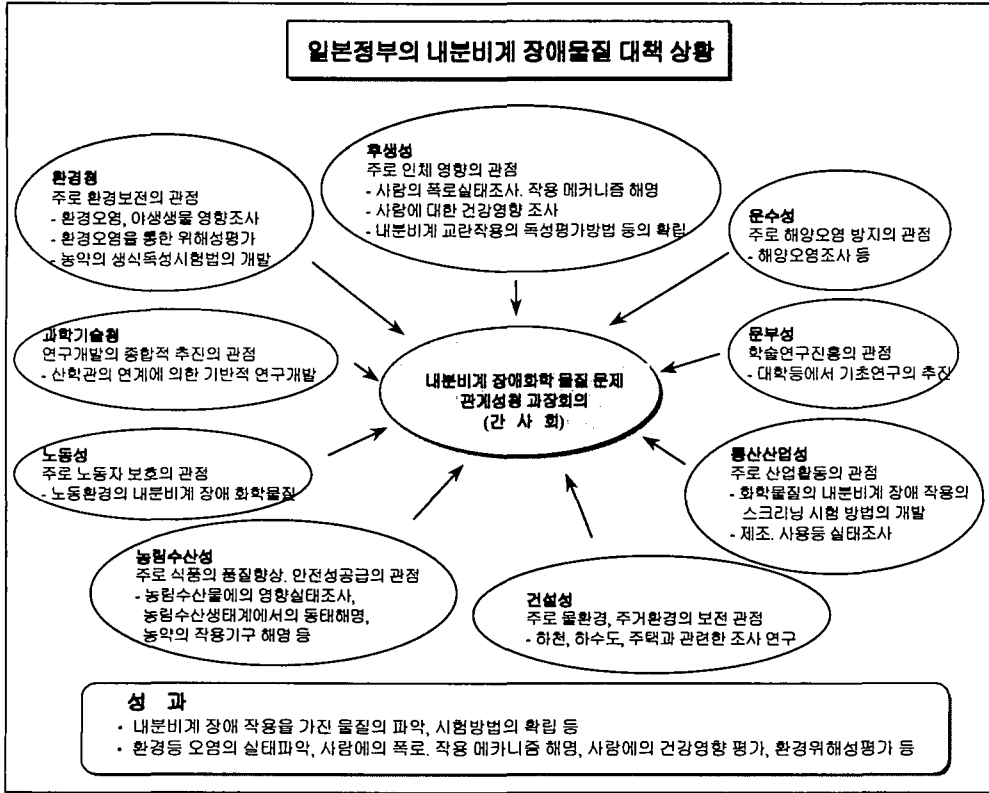
< 일본 >

내분비계 장애물질 문제해결을 위한 일본의 대책상황은 다음과 같다.

정부에서는 후생성이 1996년 연구반을 설치하여 인체 건강영향의 관점에서 검토를 계속하였다. 통산성에서는 산업활동의 관점에서, 환경청에서는 환경보전의 관점에서 검토를 개시하였다. 1997년에는 후생성, 환경청, 통산성, 농림수산성, 노동성이 연락회를 설치하였고, 1998년에는 9개 관계성 및 청이 「내분비계란 화학물질 문제 관계성청 과장회의」를 설치하여 활동하고 있다(그림 3-1).

이 회의는 관계성청 간의 유기적 연계 하에서 조사연구를 추진함과 동시에 행정 시책에 반영하기 위한 정보교환 및 각종 프로그램을 추진하고 있으며, 1998년 보정 예산에 126억원을 계상하여 사업추진이 본격화되었다.

산업계에서는 개개의 화학물질과 회사의 제품의 안전성에 대하여 정보의 수집을 시작하고 독자적인 용출시험 및 독성시험을 행하는 등의 검토를 진행하고 있다. 정부와 산업계의 연계는 일본화학협회를 중심으로 task force인 위원회가 가동되고 있다(그림 3-2).

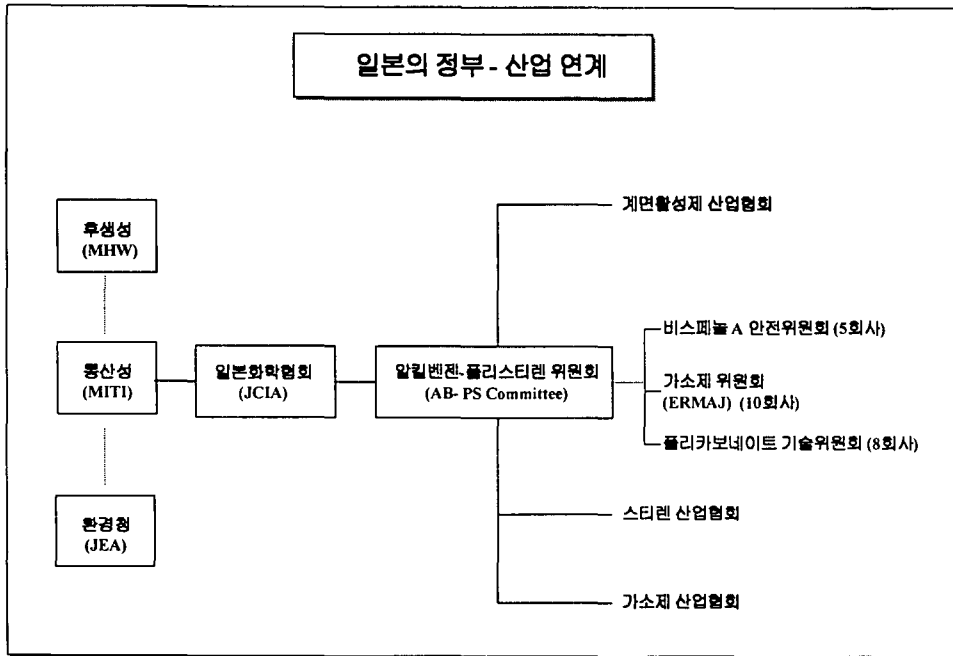


<내분비계 장애물질에 관한 종합적 대책의 추진>

- o. 건강, 생태계의 영향의 미연방지 대책 (환경, 후생, 노동, 농수, 통산, 건설, 운수)
- o. 식품, 용기포장, 가정용품등의 안전확보 대책 (후생, 문부)
- o. 환경에의 배출억제 (환경)
- o. 노동환경의 안전확보 (노동)
- o. 농약의 안전확보, 적정사용지도 (농수)
- o. 업계의 기술지도, 대체품 개발등 (통산, 농수)
- o. 하천, 하수도, 주택에의 대책 (건설)

그림 3-1. 일본 정부의 내분비계 장애물질 대책상황

그림 3-2. 일본의 정부-산업 연계



< 자료 : 일본 다국적 기업 >

소비자 단체에 있어서는 식품용기 등으로부터의 용출시험과 소비자의 인식에 대한 조사를 행하는 등 독자적인 프로그램을 진행중이다.

학계에서는 민,관,산,학의 협력을 위한 공개 심포지움이 개최되는 등 문제해결에 노력하고 있다. 예를 들면 1998년 6월 일본 식품화학학회가 주최한 「내분비계교란 화학물질과 관련된 생활과 식품의 안전에 관한 국제 심포지움」이 열렸고, 여기에는 OECD, WHO, 미국 EPA의 담당자를 초빙하여 연구자, 소비자, 생산자, 행정 담당자의 입장에서 국내외 조사연구, 국제협조, 행정대응, 소비자의 관점과 문제의식 등에 대하여 심도 있는 논의가 있었다.

< 국제기구 >

1998년 3월 10~11일 경제개발협력기구(OECD) 주관으로 22개국에서 총 46명의 각국대표 및 전문가가 모여 “제 1회 OECD 내분비계 장애물질 시험 및 위해성 평가의 시험법 지침에 관한 각국 조정관 회의 및 위해성 평가 고문단 합동회의”를 열

어 시험법에 관한 합의 사항을 도출하였고, 계속해서 1998년 3월 16일 - 18일에는 국제연합 빌딩에서 국제화학물질안전계획(IPCS)와 경제개발협력기구(OECD)가 주최하고 국제연합 미주보건기구(PAHO) 후원으로 'IPCS/OECD 내분비계 장애물질에 관한 합동회의'를 개최하여 내분비계 장애물질에 관한 실태와 연구상황을 토의하고 2년내에 WHO 출판물을 간행하기로 하였다.

< 내분비계 장애물질 목록 >

1996년 12월 영국 Weybridge에서 개최한 EU/WHO/OECD Workshop에서 내분비계 장애물질 대상은 “생체에서 내분비계 장애를 유도하리라고 예상되는 성질을 갖고 있는 물질”이라고 정의하였다. 일반적으로 내분비계 장애 물질의 물리 화학적 특성은 내인성호르몬과 달리 쉽게 분해되지 않고 안정하여 환경이나 생체내에서 지속적으로 수년간씩 남으며, 인체등 생물체의 지방 및 조직에 농축되는 성질이 있는 것으로 알려져 있다.

구체적인 분류를 보면 세계야생 생물기금(WWF)에서는 총 67종(농약-41종, 산업용 화학물질-17종, 부산물 또는 대사산물-9종)이며, 미국 EPA는 69종을 등재하였고, 미국 Illinois EPA에서는 총 73종(알려진 물질 19종, 가능성 있는 물질 - 28종, 의심되는 물질 26종)이고, OECD는 27개 부류를 그리고 일본 환경청은 WWF와 동일한 67종을 등재하였으며, 일본 국립의약품 식품위생연구소에서는 총 142종(가소제-9종, 플라스틱에 존재하는 물질-17종, 산업장 및 환경오염물질-21종, 농약류-75종, 중금속-3종, 합성 에스트로젠-8종, 식품 및 식품첨가물-3종, 식물성 에스트로젠-6종)으로 분류하고 있다. 우리나라에서는 WWF의 67종과 일본 국립의약품 식품위생연구소의 140종을 모두 선정하여 사용하고 있다. 미국 Illinois EPA 목록은 분류를 좀 더 자세히 세분하여 Known, Probable, Suspect Category로 나누어 1997년 6월에 DCBI NIHS에 보고하였는데, Known category는 동물과 일부 사람에서 내분비계 장애가 입증된 물질이고 Probable category는 생물과 bio-assay에서 내분비계 장애 작용이 우세하다고 입증된 물질이고, Suspect category는 생물에서는 증거가 부족하고 bio-assay에서만 입증된 물질을 분류하였다.

아래의 표는 WWF 67종(표 3-2), Illinois EPA 73종(표 3-3), 일본 국립의약품식품 위생연구소의 142종(표 3-4) 목록이다.

**List of Known & Suspected Hormone
Disruptors**

Pollutants with Widespread Distribution Reported to have
Reproductive and Endocrine-Disrupting Effects

Persistent Organohalogens

Dioxins and furans	Octachlorostyrene
PCBs	Hexachlorobenzene
PBBs	Pentachlorophenol

Pesticides

2,4,5-T	DBCP	h-epoxide	nitrofen
2,4-D	DDT	kelthane	oxychlorthane
alachlor	DDT	kepone	permethrin
aldicarb	metabolites	malathion	synthetic
amitrole	dicofol	mancozeb	pyrethroids
atrazine	dieldrin	maneb	toxaphene
benomyl	endosulfan	methomyl	transnonachlor
beta-HCH	esfenvalerate	methoxychlor	tributyltin oxide
carbaryl	ethylparathion	metiram	trifluralin
chlordane	fenvalerate	metribuzin	vinclozolin
cypermethrin	lindane	mirex	zineb
	heptachlor		ziram

Penta- to Nonyl-Phenols

Bisphenol A

Phthalates

Di-ethylhexyl phthalate (DEHP)	Di-hexyl phthalate (DHP)
Butyl benzyl phthalate (BBP)	Di-propyl phthalate (DprP)
Di-n-butyl phthalate (DBP)	Dicyclohexyl phthalate (DCHP)
Di-n-pentyl phthalate (DPP)	Diethyl phthalate (DEP)

Styrene dimers and trimers

Benzo(a)pyrene

Heavy Metals

Cadmium
Lead
Mercury

Æ 3-3. ILLINOIS EPA ENDOCRINE DISRUPTORS

Preliminary List of Chemicals Effects in Animals and Humans (*) or In Vitro (+)

Known	Probable	Suspect
Atrazine	Alachlor	Aldicarb
Chlordanes	Aldrin	Butyl Benzyl Phthalate
Chlordecone(Kepone)(*)	Amitrole(Aminotriazole)	tert-Butylhydroxyanisole(+)
DDD	Benomyl	p-sec-Butylphenol (+)
DDE	Bisphenol A(+)	p-tert-Butylphenol (+)
DDT	Cadmium (*)	Carbaryl
1,2-Dibromo-3	2,4-D	Cypermethrin
Chloropropane (*)	Di(2-Ethylhexyl)Phthalate	2,4-Dichloropheno (+)
Dicofol (Kelthane)	Endrin	Dicyclohexyl Phthalate
Dieldrin	Heptachlor	Di(2-Ethylhexyl)Adipate(+)
Diethylstilbestrol (DES)(*)	Hepatchlor Epoxide	Di-n-butyl Pthalate (+)
Dioxins (2,3,7,8-)	Hexachlorobenzene	Di-n-hexyl Phthalate
Endosulfans	p-Hexachlorocyclohexane	Di-n-pentyl Phthalate
Furans (2,3,7,8-)	Lead (*)	Di-n-propyl Phthalate
Lindane	Mancozeb	Esfenvalerate
Methoxychlor	Maneb	Fenvalerate
p-Nonylphenol	Mercury (*)	Malathion
PCBS	Methyl Parathion	Methomyl
Toxaphene	Metiram	Metribuzin
Tributyl Tin	Mirex	Nitrofen
	p-Octylphenol	Octachlorostyrene
	Parathion	PAHS
	Pentachloro phenol	p-iso-Pentylphenol (+)
	Polybrominated Biphenyls (PBBs)	p-tert-Pentylphenol (+)
	Styrene (*, +) Update	Permethrin
	2,4,5-T	Ziram
	Trifluralin	
	Vinclozolin	
	Zineb	

표 3-4. 일본후생성 분류 내분비계장애 물질목록 142종

Plasticizer	
butylbenzyl phthalate (BBP) di-nbutyl phthalate(DBP) dicyclohexyl phthalate (DCHP) diethyl phthalate (DEP) di(2-ethylhexyl) phthalate(DEHP)	diethylhexyl adipate(DEHA) dihexyl phthalate (DHP) di-n-pentyl phthalate(DPP) dipropyl phthalate(DprP)
Chemical Substances in Plastics	
alkylphenol ethoxylates nonylphenol ethoxylates octylphenol ethoxylates bisphenol A alkylphenol 2-octylphenol 4-nonylphenol 4-octylphenol p-octylphenol, octylphenol	4-propylphenol 4-sec-butylphenol 4-n-butylphenol 2-t-butylphenol 3-t-butylphenol 4-t-pentylphenol 4-t-octylphenol styrene dimers and trimers
Chemical Substances in Industry and Environmental Pollutnas	
alkyphenol ethoxylates PCBs/aloclor benzophenone benzo(a)prylene 6-bromonaphtol-2 chlorobenzenes chlorphenate dibromoacetic acid 2,4-dichloropehnl 4,4'-dihydroxybiphenyl 4-dodecylphenol hexadhlorobenzene tributyltin compound	para-nitrotoluene nonylphenol octachlorstyrene tributyltin compound para-nitrotoluene nonylphenol octachlorostyrene PBB pentachlorophenol TCDF, PCDF, furan TCDD, PCDD, dioxin tributyltin oxide

표 3-4. (계속)

Pesticides	
alachlor (제초제)	hexaconazole (살균제)
aldicarb (살선충제)	beta-hexachlorocyclohexane (살충제)
aldrin (살충제)	ioxynil (제초제)
amitrole (제초제)	iprodione (살균제)
atrazine (제초제)	lindane (살충제)
azadirachtin (살충제)	linuron (제초제)
benomyl (살균제)	malathion (살충제)
carbendazim (살균제)	methomyl (살충제)
carbaryl (살충제)	methoxychlor (살충제)
chlordane (살충제)	methyl parathion (살충제)
chlodecone (살충제)	metribuzin (제초제)
chlorpropham (제초제)	mirex (살충제)
clofentezine (살용애제)	molinate (제초제)
cyanazine (제초제)	nitrofen (제초제)
cypermethrin (살충제)	oryzalin (제초제)
2,4-D (제초제)	oxychlordane (살충제)
DDE (살충제)	oxydemeton-methyl (살충제)
DDD (살충제)	parathion(ethyl phrathion) (살충제)
DDT (살충제)	pendimethalin (제초제)
1,2-dibromo-3-chloropropane (살선충제)	pentachloronitrobenzene(PCNB) (살균제)
dichlorvos (살충제)	pentachlorophenol (살균제)
dicofol(kelthane) (살용애제)	permethrin (살충제)
dieldrin (살충제)	phenylphenol (살균제)
diflubenzuron (살충제)	procymidone (살균제)
endosulfan (살충제)	pronamide (제초제)
endrin (살충제)	pyrimidine carbionol family (살충제)
esfenvalerate (살충제)	simazine (제초제)
ethylene dibromide (살충제)	toxaphene, camphechlor (살충제)
ethylenebisdithiocarbamate (mancozeb, maneb, metiram, zineb)	hexachlorobenzene (살균제)
ethylene thiourea(ETU) (살균제)	trans-nonachlor (살충제)
fenoxycarb (살충제)	tributyltin compound (살균제)
fenvalerate (살충제)	trifluralin (제초제)
fluazifop-butyl (제초제)	vinclozolin(dicarboximides) (살균제)
heptachlor (살충제)	ziram (살균제)
heptachlor epoxide (살충제)	

표 3-4. (계속)

Heavy Metals:	
cadmium lead	mercury
Synthetic Estrogen	
centchroman estradiol ethynylestradiol DES(diethylstilbestrol)	hexestrol 2-hydroxyestradiol tamoxifen raloxifene
Foodstuff and Food Additives	
BHA (butylated hydroxyanisole) equol	enterolactone
Hormon-mimicking Substances Naturally Present in Plants	
Phytoestrogens coumestrol formonoetin	daidzein biochanin A genistein

3) EDC 문제와 산업

(1) 용도와 사용량

내분비계 장애물질로 알려진 물질들의 산업계 또는 실생활에서의 용도는 매우 다양한 형태로 쓰여지고 있다. 또한 사용량도 물질의 용도에 따라 다양하게 나타나고 있다. 주요 내분비계장애물질들의 용도와 규제내용 및 사용량을 도표화하여 다음과 같이 정리하였다(표 3-5).

(2) 경제적 파급효과

내분비계 장애물질 대부분이 화학물질인 관계로 이들을 취급 또는 생산, 소비하는 산업계에 미치는 영향은 곧바로 경제적 파급효과로 나타날 수 있다.

국내에서 '환경호르몬' 문제가 본격적으로 거론되기 시작한 것은 1998년 4월말~5월초였고, 그 여파가 관련산업에 미쳐 경제적인 파급효과로서 신문지상에 보도되기 시작한 것은 1개월 후인 6월초로서 강남의 한 백화점의 예를 들어 컵라면이 10% 캔맥주가 20% 매출 감소를 기록하고 있다. 이어 조선일보가 7월 9일에, 환경산업신문이 7월 29일에 관련된 산업용품의 판매에 미치는 영향을 보도한 바 있다(표 3-6).

또한 본 기획과제의 일환으로 수행된 설문조사 결과, 설문에 응해준 국내 화학제품생산업체 23개 회사 중에서 농약, 의약품종은 영향이 없는 것으로 나타났고 플라스틱 및 기타 산업용 화학물질 생산업체는 10~20% 정도의 매출감소가 환경호르몬 영향인 것으로 나타났다(표 3-7).

비록 소수이기는 하나 5개 다국적 기업이 응답한 설문조사에서는 플라스틱 제품과 농약이 약 10% 이하의 매출에 영향이 있음을 알 수 있다(표 3-8).

표 3-5. 우리나라의 내분비계 장애 추정물질 목록 및 사용실태

우리나라의 내분비계장애 추정물질 목록 및 사용실태 - 1						
※ 농약 (41종), 산업용화학물질 (17종), 부생성물 또는 대사물 (9종)						
	물 질	용 도	규 제 내 용	제 조 (톤)	수 입 (톤)	사 용 (톤)
1	다이옥신	소각시설 부산물	폐기물			
2	퓨란					
3	폴리염화비페닐류(PCBs)	변압기 절연류	유해(금지 '96), 폐기물, 수집, 산안(특정)			
4	폴리브롬화비페닐류(PBBs)	방염제	hexa-, octa-; 신규, deca-; 기존			
5	tybutyltin oxide	선저도료	유해 (제한)	232	7	239
6	펜타클로로페놀(PCP)	방부제, 제초제, 살균제	유해(금지 '91), 산업(특정), 농약(금지)			
7	2,4,5-디클로르페녹시초산 (2,4,5-T)	제초제	유해(유독물), 농약(금지)			
8	2,4-디클로르페녹시초산 (2,4-D)	제초제	유해(유독물), 농약(등록)		3	3
9	알라클로르	제초제	농약(등록)	392		392
10	알디캡	살충제	유해(금지'91), 농약(금지)			
11	베노밀	살균제	농약(등록)	37	138	175
12	(bata-HCH)	살충제	유해(금지 '91)			
13	carbaryl	살충제	유해(유독물), 농약(등록)		39	39
14	클로르단	살충제	유해(제한), 농약(금지 '69)			
15	cypermethrin	살충제	유해(유독물), 농약(등록)	304		304
16	DBCP	살충제	유해(금지 '91)			
17	DDT	살충제	유해(금지 '91), 농약(금지 '71)			
19	디엘드린	살충제	유해(제한), 농약(금지'70)	593		
20	엔도수판	살충제	유해(제한), 농약(등재)			593
21	esfenvalerate	살충제	농약(등재)			
22	ethylparathion	살충제	유해(제한), 농약(등재)	135		135
23	fenvalerate	살충제	유해(유독물), 농약(등재)		23	23
24	lindane	살충제	유해(금지 '91), 농약(금지 '79)			23
25	heptachlor	살충제	유해(제한), 농약(금지 '79)			
26	kelthane (22.디코플)	살충제	유해(유독물), 농약(등재)		15	15
27	malathion	살충제	유해(유독물), 농약(등재)		2	2
28	mancozeb	살균제	농약(등재)		1,946	1,946
29	maneb	살균제	농약(금지 '89)			
30	methomyl	제초제	유해(유독물), 농약(등재)	56	144	200
31	metribuzin	제초제	농약(등재)			

표 3-5. (계속)

우리나라의 내분비계장애 추정물질 목록 및 사용실태 - II						
※ 농약 (41종), 산업용화학물질 (17종), 부생성을 또는 대사물 (9종)						
	물 질	용 도	규 제 내 용	제 조 (톤)	수 입 (톤)	사 용 (톤)
32	nitrofen	제초제	유해(유독물), 농약(금지 '81)			
33	toxaphene	살충제	유해(금지 '91), 농약(금지 '82)			
34	trifluralin	제초제	유해(제한), 농약(등재)			
35	vinclozolin	살균제	농약(등재)		2	2
36	zineb	살균제	농약(금지 '90)			
37	ziram	살균제	유해(유독물)			
38	Octachlorostyrene	유기염소계화합물 의 부생성물				
39	DDT metabolites	DDT의 대사물				
40	heptachlor epoxide	heptachlor 대사물				
41	oxychlorthane	클로르단 대사물				
42	hexachlorobenzene (HCB)	살균제, 유기합성원료	제조, 수입사례 없는 물질			
43	아미트룰	제초제, 분산염료, 수지경화제	농약(제조, 수입사례 없는 물질)			
44	아트라진	제초제	제조, 수입사례 없는 물질			
45	kepone	살충제	제조, 수입사례 없는 물질			
46	synthetic pyrethroids	살충제	제조, 수입사례 없는 물질			
47	methoxychlor	살충제	제조, 수입사례 없는 물질			
48	mirex	살충제	제조, 수입사례 없는 물질			
49	permethrin	살충제	농약(제조, 수입사례 없는 물질)			
50	trans-nonachlor	살충제	제조, 수입사례 없는 물질			
51	Penta-to-Nonyl-Phenols	계면활성제 원료	nonyl-		5,728	4,972
			octyl-			35
			tert-octyl			6
52	Bisphenol A	합성수지원료		28,885	33,479	61287
53	di-ethylhexylphthalate (DEHP)	플라스틱가소제		171617		92986
54	di-hexylphthalate (DHP)	플라스틱가소제				
55	butylbenzylphthalate (BBP)	플라스틱가소제			1,749	1,832
56	di-propylphthalate (DprP)	플라스틱가소제				
57	di-n-butylphthalate (DBP)	플라스틱가소제		2,300	91	4,495
58	dicyclohexylphthalate (DCHP)	플라스틱가소제			1	1
59	di-n-pentylphthalate (DPP)	플라스틱가소제				
60	di-ethylphthalate (DEP)	플라스틱가소제				
61	styrene dimers	스티렌수지의 미반응물	Polystyrene	2,941	490	18879
62	styrene trimers					
63	benzo(a)pyrene	비의도적생성물				
64	2,4-dichlorophenol	원료중간체				
65	Diethylhexyladipate	플라스틱가소제		3,724		1,372
66	Venxophenone	의약품합성원료, 보착제				
67	N-butylbenzene	합성중간체, 액정제조용				

표 3-6. 신문지상에 보도된 관련 산업용품의 판매에 미치는 영향

신문사	일자	영향내용
환경산업신문	1998. 6. 10.	백화점 컵라면 판매량 10% 감소 백화점 캔맥주 판매량 20% 감소
조선일보	1998. 7. 9.	컵라면 판매(2천 5백억원) 20% 격감(500억원)
환경산업신문	1998. 7. 29.	김스클럽 플라스틱제품 매출액 30% 감소 미도파백화점 플라스틱제품 매출액 20~30% 감소 미도파백화점 유리제품 매출액 10~20% 증가 현대백화점 플라스틱제품 매출액 3~5% 감소 현대백화점 유리제품 매출액 39% 증가

표 3-7. 설문조사에 나타난 환경호르몬 문제의 산업 및 경제적 파급효과(국내)

업종	응답 회사수	영향받은 회사	매출감소율
의약	4	0	
농약	8	0	
플라스틱 물질 또는 첨가물질	8	1	10~20%
도료	1	0	
기타	3	1	10~20%
계	24	2	

표 3-8. 설문조사에 나타난 환경호르몬 문제의 산업 및 경제적 파급효과(외국기업)

업종	응답 회사수	영향받은 회사	매출 감소율	영향국가
플라스틱(세제)	2	2	10%이하	한국, 일본 미국, 유럽
세제+의약품 생활용품	1	0	-	
세제	1	0	-	
플라스틱+농약	1	1	10%이하	일본
계	5	3		

이로 볼 때 환경호르몬 문제로 인하여 산업·경제적으로 영향을 받은 것으로 비단 1998년에 문제를 삼았던 일본과 한국뿐만 아니라 1996년 전후로 사회적인 문제가 제기되었던 구미제국에도 다소의 영향이 있는 것으로 간주할 수 있다. 이는 아직 구체적인 법적인 조치가 취해지고 있지 않은 상황에서도 산업적으로는 팔목할만한 영향을 이미 감수하고 있음을 보여주는 좋은 예이다.

이와 같은 경제적 파급효과를 고려하여, 내분비계 장애물질로 현재 알려진 물질들 이외에도 많은 수의 화학물질들이 내분비계 장애를 유발할 수 있는 가능성이 내재되어 있으므로 앞으로 화학물질의 취급, 생산 등 모든 면에서 주의 깊은 관찰과 많은 연구가 이루어져야 하리라 사료된다. 특히 국가간 수출입에 관련된 제품들 속에서의 내분비계 장애물질들의 존재여부가 하나의 또 다른 무역장벽으로 대두될 가능성도 배제할 수 없는 상황이므로, 내분비계 장애물질을 최대한 줄이려는 노력과 병행하여, 이들의 대체물질 개발, 대체공정, 저감기술 등에도 산업계와의 연계 차원에서 시급한 연구가 병행되어야 하리라 본다. 무슨 일이 일어난 후 그것을 인지하면 늦을 수밖에 없듯이, 합리적이고 논리적인 해결의 접근방법으로 현재의 최선의 방법인 과학기술력을 이용하여 “내분비계 물질이 들어있다”는 단순한 “있다” “없다”의 차원에서 한 차원 성숙한 접근 방법으로서 산업계 및 경제적 파급효과를 최소화하는 슬기로움이 필요하리라 사료된다.

2. 국내외 관련법 현황조사 분석

1) 국내에서의 EDC 문제의 전개 - 주요 신문기사를 중심으로 -

<* 본 자료는 천리안 정보검색을 통하여 수집된 것이므로 실제 보도일자와는 1~2일의 차이가 있을 수도 있음>

(1) 1998년 이전

1994년 1월 14일 한국일보가 해외토픽으로 강물고기 성전환 현상이 인체건강에 무해하다는 보도를 하였고, 7월 6일 조선일보는 남성정자 감소 설이 사실이 아니라는 보도로서 1994년 해외에서 일어나고 있는 환경호르몬 문제에 대한 방어적인 자세를 취하였다.

1995년 2월 3일 한국일보는 환경오명에 의하여 남성정자수가 감소한다는 New England Medical Journal의 사실을 보도하였다. 9월 11일에는 한국, 중앙, 한겨레, 동아, 조선 등 주요 일간지가 LG 전자 노동자의 유기용제 집단 중독으로 생리 중단, 정자감소, 골수이상 등의 병징을 보고한 바 있다.

1996년 3월 15일 한겨레신문은 영사 시사주간지 타임(1998. 3. 18.)을 인용하여 세계 남성들 정자생산 감소제를 보고하고 British Medical Journal(1996. 2.)에 나타난 영국, 프랑스, 덴마크의 연구결과를 언급하였다.

1996년 6월 3일 한국일보는 1995년 9월의 유기용제 사고의 동물실험 결과로서 세정 액솔벤트 5200(2-브로모프로페인)이 무월경과 정자 감소증을 유발한다는 사실을 보고하였다.

1996년 9월 11일 중앙일보는 정자감소 현상을 2차에 걸쳐 특집으로 다루어 미국 플로리다주 아포프카 호수의 악어의 성기 왜소증이 살충제와 연관이 있다는 사실과 프랑스의 르피가로지 1996. 9. 9.자를 인용하여 정자감소 현상을 보고한 바 있다.

9월 13일 조선일보는 영국과학주간지 뉴사언티스트(1996. 9. 12.)를 인용하여 공장 폐수로 인하여 물고기 성전환이 유발된다는 사실과 스코틀랜드 환경보호청(SEPA)가 이 원인물질을 대체하기 위하여 업계와 진행중이라는 사실을 보도하였다.

1997년 1월 14일 중앙일보는 British Medical Journal(1997. 1.)을 인용하여 남성정자 감소 추세가 심각함을 보도하였다. 1월 12일 경향신문은 정자감소 문제에 유

엔이 1997. 1. 23. 전문가 70명을 초청하여 긴급회의를 소집한다는 보도를 하였다.

(2) 1998년

1998년 2월 28일 문화일보가 특파원칼럼에서 일본 국내 잉어의 정소에 이상이 있다는 요코하마 시립대학 교수의 보고가 아사히 신문 NHK 방송 등에 보도되었다 (1998. 2. 26.)는 상황을 보도하였다.

4월 9일 중앙일보는 도쿄리포트라는 칼럼에서 일본 '환경호르몬' 비상이라는 제목으로 동경 수산대 교수의 보고사항인 바닷고기의 암컷화 현상과 테이쿄 대학의 정자이상 발표를 동시에 언급하였다. 이어 4월 10일에 중앙일보는 일본 정부가 환경호르몬 실태주사에 나섰다는 보도를 하였다. 같은 날 조선일보는 일본이 종합적인 환경호르몬 연구를 위해 7~8억엔을 투입할 것을 보도하였다. 4월 19일 중앙일보는 정자수 감소등 환경호르몬 관련 4건의 기사를 실었다. 4월 25일부터 27일까지 국내 거의 모든 종합일간지에 일본 국립의약품위생연구소와 4월 25일 발표한 시험결과 1회용 식기-컵라면 용기 환경호르몬 함유 사실이 보도되었다.

4월 30일에는 문화일보와 세계일보가 일본 정부의 규제대책 개시에 대한 보도가 있었다.

1998년 5월 4일에는 조선, 경향, 동아가 우리나라 환경부가 환경호르몬 조사 활동 시작을 보도하였다. 5월 8~9일에는 각 일간지에서 일본의 식품업체가 환경호르몬 문제로 판매격감 및 대책이 고심하고 있다는 보도를 하였다. 5월 12일 조선일보가 일본이 환경호르몬 조사에 착수하였다는 보도와 한국일보가 OECD가 환경호르몬 대책에 착수하였다는 보도가 있었다.

5월 19일 중앙, 조선, 한국일보는 국내 식약청이 환경호르몬 연구착수를 보도하였다. 5월 24일에는 한국일보, 한겨레신문이 국가적 대책마련을 촉구하였다. 5월 29일에는 동아, 국민, 경향, 세계일보가 정부차원의 대책협의회 출범과 규제 방안 마련을 보도하였다.

5월 29일 매일경제는 코오롱이 무해한 플라스틱을 개발하였다고 보도하였다. 5월 31일에는 조선일보는 해양연구소의 연구결과를 보도하면서 선박페인트가 양식업에 미치는 영향을 환경호르몬과 관련지었다.

5월 5일 동아, 조선일보는 일본 공중위생원조사결과로서 담배연기에 환경호르몬인 다이옥신 화합물이 검출되었음을 보도하였다.

6월 6일 조선일보, 한국일보, 문화일보는 환경호르몬이 먹이사슬을 거쳐 최고 2천 5백만배 증가된다는 보도를 하였다. 한겨레신문, 한국일보, 대한매일신문은 일본에서 컵라면 용기에서 환경호르몬 의혹물질 2종 검출을 보도하였다. 6월 7일 대한매일 신문은 강남 한 백화점의 예를 들어 컵라면 10%, 캔맥주 20% 매출이 감소하였음을 보도하였다. 6월 9일에는 조선일보 및 한국일보는 환경부가 환경호르몬 단속을 시작한다는 보도에 이어 4종에 대해 규제강화, 9종에 대해 수입규제 등을 대한매일, 경향, 한겨레, 국민, 세계일보가 보도하였다. 6월 10일에는 주요일간지가 일제히 수입콩에서 농약 DDT, BHC가 다량 검출되었다고 보도하였다. 6월 19일에는 조선, 동아, 한국, 한겨레, 문화일보등이 식약청의 시험결과로 컵라면 용기에서 환경호르몬 물질이 검출되지 않는다고 보도하였다. 한겨레 신문과 한국일보는 일본이 환경호르몬에 의한 고환 축소 연구를 보도하였다.

6월 19일 문화일보는 환경단체 반발로 컵라면 용기 환경호르몬 검출 재시험을 보도하였다. 6월 20~24일 문화, 동아, 대한매일 신문 등은 양성을 가진 북극곰을 해외보도를 인용하여 게재하였다.

6월 30일에는 모든 신문이 식약청의 비스페놀 A 국내 사용 실태조사 착수와 국내 사용 쪼병, 커피캔, 컵라면에서 환경호르몬 검출 사실을 일제히 보도하였다.

7월 1일에는 거의 모든 일간지가 사실을 통하여 정부의 환경호르몬이 행정에 대한 비판을 가하였다. 7월 2~5일에는 환경호르몬 추출실험방법에 대한 논란이 계속되었다. 7월 5일에는 대다수 일간지는 일본인 정자수가 환경호르몬 영향을 30년간 12% 감소하였음을 일제히 보도하였다.

7월 7일에는 대부분 일간지가 시판 컵라면 용기에서 환경호르몬이 미량 검출되었다는 보도가 있었고 7월 8일 조선일보는 환경호르몬 시비 이후에 라면 매출이 급감(최고 20%)했음을 보고하고 한국일보, 문화일보, 한국경제, 서울경제신문 등은 환경호르몬 문제의 한·일 공동연구를 보도하였다. 국민일보는 컵라면의 전자레인지 조리금지를 촉구하였다. 이후에 여러 일간지는 이와 유사한 1회용 라면 조리수칙을 보도하였다.

7월 14일 동아일보, 조선일보, 중앙일보, 내외경제신문, 식약청이 컵라면 전자레인지 조리금지표시를 하도록 지시한 내용을 보도하였다, 중앙일보 및 문화일보는 환경부가 식품용기 환경호르몬 함유실태를 조사하겠다는 보도를 하였다.

7월 16일에는 동아, 대한매일, 한국일보는 한·미 환경호르몬 공동연구추진은 보

도하였다. 7월 20일에는 대한매일, 국민, 한국, 문화일보등이 컵라면이 안 팔리고 환경호르몬 충격 후 유리제품이 인가라는 것을 보도하였다. 7월 21일 매일경제 신문은 편의점들이 컵라면 대체상품개발에 나섰다라고 보도하였다.

7월 30~31일에는 대부분의 일간지가 소비자보호원의 젓병등 유아용품 및 농산물 등의 300종에서 환경호르몬이 검출되었다는 보도를 일제히 하였다. 이에 따른 환경호르몬 규제 강화를 촉구하였다.

8월 3일에는 한국, 한겨레, 경향, 문화, 서울경제신문 등이 식약청 환경호르몬 연구계획을 보도하였다.

8월 5일에는 경향신문과 서울경제신문이 라면 업체가 컵라면 대체용기개발에 고심하고 있다는 내용을 보도하였고 매일경제, 한국경제, 서울경제신문 등은 플라스틱 없는 주방용품의 특별판매를 보도하였다.

8월 6~24일까지는 전통무공해용품이 인기 있다는 내용이 간간이 소개되었다.

8월 25일에는 조선, 한국, 중앙, 한겨레, 서울경제, 한국경제신문 등이 대체상품 개발 경쟁을 보도하였다.

9월 1일에는 한겨레와 서울경제신문등에서 환경호르몬을 피하기 위한 소비자의 7가지 생활수칙이 소개되었다.

9월 11일에는 국민, 동아, 중앙, 한겨레, 문화, 대한매일신문 등이 보유에서도 다이옥신이 다량 검출되었다고 보도하였다.

9월 14일 매일경제신문은 (주)농심이 라면상자에 2000만원 복권 판매전략을 소개하였다.

9월 16일에는 대부분의 일간지에서 녹차로 환경호르몬 피해를 예방하자는 보도가 있었다.

9월 23일에는 대부분 일간지가 연안어패류에서 다이옥신이 검출되었다는 보도를 하였다.

9월 25일에는 조선, 동아, 한국, 서울경제, 국민, 한겨레 신문 등이 한국남성정자수가 일정하다는 보도를 하였고 한국, 경향, 서울경제신문 등은 어패류 다이옥신 검출 등으로 백화점이 타격을 받는다는 보도를 하였다.

9월 29일에는 중앙일보와 경향신문이 수도권 상수원 물고기 26%가 기형화된 것으로 보도하였다. 9월 30일 서울경제신문은 코오롱 유리대체 투명플라스틱 소재가 상품화에 성공하였음을 보도하였다.

10월 3일에는 조선, 한국, 중앙, 한겨레신문이 한·일 환경호르몬 공동연구가 김대통령 방일시에 합의되었음을 보도하였다.

10월 13일에는 대부분의 일간지가 한·일간에 물고기 환경호르몬 오염실태 공동조사실시를 보도하였다.

10월 16일에는 한국일보와 중앙일보가 유리젯병이 잇따라 출시되고 있음을 보도하였다.

10월 19일에는 매일경제신문이 국감자료로서 자연산 어패류에 환경호르몬이 26배 검출됨을 보도하였다.

10월 20일에는 대개의 일간지가 국감자료를 인용하여 환경호르몬 9개 물질이 국내에 사용되고 있음을 보도하였다.

10월 26일에는 내외경제신문이 환경호르몬 18만톤이 규제 없이 사용되고 있다고 보도하였다.

11월 2일 한국경제신문은 뉴본산업이 환경호르몬에 안전한 유리젯병을 개발했음을 보도하였다. 11월 9일 매일경제신문은 (주)해피랜드가 환경호르몬 검출안되는 우유병 개발을 보도하였다.

11월 16일 한국경제신문은 (주)해피랜드가 PES 우유병을 선보였음을 보도하였다.

11월 19일 한국, 경향, 문화, 한겨레 신문들은 컵라면 용기가 환경호르몬으로 부터 안전하다는 주장을 제기하였음. 같은 날 서울경제신문은 (주)우리컴테크가 새 컵라면 용기를 개발하였다고 보도하였다.

11월 21일에는 조선, 한국, 중앙, 세계일보 등이 국내 수의과학연구원이 환경호르몬 검색기법을 첫 개발하였다고 보도하였고 동시에 일본에서 70년부터 남아 출생률이 감소하였다는 보도에서 환경호르몬이 관련 있음을 주목하여야 한다고 주장하였다.

11월 26일에는 중앙, 대한매일, 세계일보 등이 수입산 토마토 주스에서 환경호르몬이 검출되었다고 보도하였다.

12월 1~2일 대개의 일간지가 일본 출산여성 모유에 다이옥신이 허용치의 8배 함유하는 것으로 보도하였다.

12월 1일 내외경제신문은 코맥스산업이 환경호르몬 없는 젯병개발 보도.

12월 2일 서울경제신문은 (주)새한이 포장용 성형재료 A-PET의 대폭 증산을 보도하였고 한국경제신문은 (주)미끄레아가 강화유리젯병의 시판을 보도하였다.

12월 5일 한국일보는 일본에서 컵라면 용출 스티렌이 동물에 이상행동을 일으켰음을 보도하였고, 12월 7일에는 일본 하천의 94%에서 환경호르몬이 검출되었음을 보도하였다. 이어 12월 8일에는 중앙, 경향, 한국일보 등이 환경호르몬(비스페놀A)의 저농도 뇌손상 가능성을 보도하였다.

12월 9일에는 한국일보와 동아일보가 일본 요미우리신문보도를 인용하여 디젤엔진 배기가스가 남성호르몬 작용을 방해하는 환경호르몬 물질임을 보도하였다.

12월 10일에는 중앙, 문화, 한국경제신문은 유통 대추 캔음료에서 환경호르몬이 대량 검출되었다는 사실을 보고하였다. 12월 12일 한국일보는 캔음료에서 환경호르몬(비스페놀A)이 녹아 나와 “일본열도가 발칵”이라는 특파원 기사를 게재하였다.

12월 16일 한국일보는 1998년 청소년이 꼽은 최대환경뉴스는 환경호르몬이라고 보도하였다. 12월 18일에는 식약청이 통조림 등 식품용기 내에 납땜 및 인쇄금지 조치를 취함에 대하여 보도하였다.

이상을 정리하여 보면, 1998년은 중앙종합일간지 및 4대 경제지에 환경호르몬에 관련된 기사만 총 724건을 기록하였다. 이는 각 신문사당 50건을 보도한 것이 되며, 주로 보도되기 시작한 시기는 5월 이후이므로 약 8개월간에 평균 50건을 보도한 것이 되고, 1개월에는 약 6.3회가 보도되므로서 1개 신문을 구독하는 일반 국민이 매주 1~2회 환경호르몬 기사에 접하였고 불안이나 혼란을 겪었음을 알 수 있다.

2) 국외 관련법 현황조사 분석

(1) 국외 예비활동

내분비계 장애물질에 대한 법적·행정적 조치가 취해지기 이전에 구미제국에서는 이미 상당한 예비활동이 1995년 이래로 진행되어 왔다. 즉 EU, OECD, 미국 및 영국등에서 워크숍을 통한 관련분야의 문제점을 정리하는 한편, 연구비의 특별배정 등 조직적인 접근이 시도되어 왔다. 그리고 이에 동조하여 산업체에서도 이와 유사한 노력을 기울여 왔다. 이를 요약하면 다음과 같다(표 3-9).

EDSTAC는 1998년 8월까지 권고안을 완성하고 1999년 8월까지 그 권고안을 시행하며 그 결과를 2000년 8월까지 의회에 보고하도록 하고 있다. 따라서 EDSTAC이 최종결론을 내기까지는 기존 개별법에 의하여 규제되는 것과는 별다른 조치가 취해지지 않을 것으로 예상된다. 그러나 SDWA의 운용현황을 참고하면 관심대상 화학물질을 가늠해 볼 수 있을 것이다.

【 음용수 안전법안(Safe Drinking Water Act : SDWA) 】

1996년에 개정 발효된 동법안에서 미국 EPA는 1998년 2월까지 음용수 오염 후보물질 리스트(Drinking Water Contaminant candidate List : CCL)를 제출하고 매 5년마다 이 리스트를 개정하여야만 한다. 이를 위하여 EPA는 1997. 10. 6. 후보리스트(안)을 공표(62FR 193)하였고, 1998. 3. 2.에는 후보물질리스트 최종안(63FR 193)을 확정 발표한 바 있다. 이 후보물질리스트가 본 기획과제와 깊은 관계가 있는 것은 이 리스트에 포함되는 화학물질의 경우 음용수 및 환경 모니터링, 폐수·음용수 처리 등 기술적인 주목을 받을 뿐만 아니라 산업계로서 상당한 저감노력을 기울여야 하므로서 경제적 부담을 안게 되기 때문이다.

그러나 본 후보물질리스트(안)에서 내분비계 장애물질 관련 화학물질로는 Amitrole, Benomyl, Dicofof(Kelthane), Esfenvalerate, Ethylparathion, Fenvalerate, Kepone, Mancozeb, Methiram, Mirex, Nitrofen, Oxychlordane, Parathion, Permethrin, Synthetic pyrethroids, Transnonaol, Tributyltin oxide, Vinclozolin, Zineb, Ziram, Octachlorostyrene, PBBs, Penta-to noyl-phenols 등이 고려의 선상에 올랐으나, 아직 인과 관계가 불명확하여 활발히 연구중이고 내분비계 장애물질 스크리닝·테스팅 자문위원회(EDSTAC)에서 권고안을 마련할 것이므로 이를 기다려 후보물질리스트에 포함 여부를 결정하기로 하였다. 1998년 발표된 최종후보물질리스트에는 연구가 종료되지 않은 상황에서 내분비계장애물질 가능성만으로 리스트에 포함시킬 수 없다는 논거로 내분비계 장애물질을 포함시키지 않았다. 물론 내분비계 장애물질로 의심받고 있는 물질이 다른 이유로 포함된 경우는 있다.

② 유 령

1992년 OSPAR(Oslo and Paris Convention) 파리회의에서 nonylphenol 및 유도체들의 산업적 이용을 2000년까지 제안하고 환경유입을 축소하자는 결의를 한 바 있다.

③ 영 국

내분비계 장애물질들에 대한 Environmental Quality Standard(EQS)를 재조정하고 신설할 예정이다. 영국에서 잠정적인 우선순위 물질로 발표한 목록을 보면 다음과 같다.

유기염소계 농약	DDT, Drins, Lindane
산업용 및 화합물 환경오염물	PCB, Dioxin, Furans
기타농약	Atrazine, Dichlorvos, Endosulfan, Simazine, Tributyltin, Trifluralin Demeton-s-methyl, Dimethoate, Linuron, Permethrin, Diazinon, Chlorfenvinphos
알킬페놀류	Nonylphenol, Nonylphenol ethoxylate, Octylphenol, Octylphenol ethoxylate
스테로이드류	Ethinyl oestradiol, 17- β oestradiol oesterone
기 타	Bisphenol-A, Phthalates

④ 일 본

일본에서는 환경청에 1997년 3월 「외인성 내분비 교란 화학물질 문제에 관한 연구반」이 전문가들로 결성되어 7월에 중간보고를 발표하였다. 이 보고에는 내분비교란작용이 의심시되는 물질(군) 약 70종을 거론하고 있다.

o. 환경보전에 관한 법령상의 규제상황

70종의 의심물질 중에서 약 40종 이상이 농약의 유효성분이지만 DDT, 2,4,5-T, aldrin, dieldrin, endrin, chlordane 등 환경잔류성과 맹독성이 있는 농약을 1970년대에 이미 생산, 사용 금지하였고, 현재 「농약취체법」상에 등록이 되어 있지 않은 상태이다. 또 toxaphene, milex등의 수종농약은 일본내 사용실적이 없다.

한편, PCB외에 DDT, HCB, chlordane 등은 「화심법」에 의거 제 1종 특정화학물질로 지정하여 시험·연구목적등의 특별한 경우외에는 제조, 사용, 수입이 원칙적으로 금지되어 있다. 유기주석화합물인 TPT, TBT는 1990년 같은 법에 의해 제 1종 및 제 2종 특정 화학물질에 지정된 이래 선저도료, 어망 방오제와 같은 개방계

에서의 사용이 대폭 감소하였다. Dioxin 류 및 Furan류는 일괄하여 다이옥신류로 하여 「대기오염방지법」 및 「폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률」에 있어 쓰레기소각시설등의 주요 발생원이 규제대상이 되어있다.

플라스틱 원료인 Bisphenol A, 플라스틱의 가소제등에 사용되는 Phthalate의 일부물질, 계면활성제의 nonylphenol ethoxylate(분해에 의해 nonylphenol 생성)등은 그 생산량이 연간 수만톤으로부터 10만톤으로 다른 물질들에 비해 다량인 것으로 나타났다. 그러나 Bisphenol A는 식품위생법에서 식품용기로부터 용출기준이 정해져 있다. 내분비 교란물질로 의심시 되는 중금속인 Cd, Pb, Hg는 「수질오염방지법」, 「폐기물법」 등에 의해 규제대상이 되어있는 외에 Cd와 Pb는 「대기오염방지법」의 규제대상물질이다.

o. 환경오염 상황의 모니터링

환경청은 1974년부터 「화학물질 환경오염 실태조사」를 실시하고 있고, 그 결과를 공표하였다. 본 조사는 대기, 수질, 저니토, 생물등에서 우선순위에 의한 화학물질들의 오염여부를 모니터링하고 있다. 그 결과에 의하면 PCB는 사용금지후 20년이 지났으나 저니토 및 생물에서 계속 검출되고 있고, DDT는 수중에서는 검출되지 않으나 저니토에는 계속 검출되며, 프탈레이트류 5종은 수질 및 저니토에서 많은 시료에서 검출되고 있다.

⑤ 독 일

1986년 Nonylphenol Ethoxylates의 소비자용품 사용을 제한한 바 있고 산업용에서 사용제한을 검토중이다.

⑥ 스위스 · 이태리

Nonylphenol ethoxylates의 사용을 금지한 바 있다.

⑦ 덴마크

2000년 전까지 alkylphenol의 금지를 제안하고 있다.

⑧ 스웨덴

Phthalate 사용금지를 검토중이다.

(3) 국외 행정적 대책

엄격한 법적규제가 시행되기 이전에 예방적인 차원의 행정적인 조치가 이미 영국에서 시행되고 있다. 즉, 1998. 1.22. 내분비계 장애물질의 환경유입 최소화를 권

장하고 있고, 이를 위하여 대체물질 개발, 유해가능성 물질의 사용금지등을 제시하고 있다. 특히 국가하천 관리청에서는 섬유업계에서 세제로 다량 사용하는 alkylphenol ethoxylate의 사용을 금지하고 대체물질 사용하기를 권장하여 이에 업계가 적극 호응하고 있는 상황이다.

(4) 소비자·환경단체의 요구사항

내분비계 장애물질과 관련하여 WWF Canada는 다음과 같은 요구사항을 관철하고자 한다.

① 정부에 대하여

- 예방차원의 대책이 가장 중요하고, 이를 위해서는 과학적으로 명확한 원인-결과가 밝혀질 때까지 기다려서는 안된다.
- 정부보조 연구의 우선순위를 내분비계 장애물질에 두어야 한다.
- 내분비계 장애물질에 대한 라벨부착과 추적이 가능한 모든 방법을 강구해야 한다.
- 화학농약의 과감한 저감대책을 세워야 한다.
- 화학물질의 생산에서는 청정기술의 채택을 요구하거나 장려해야 한다.

② 산업체에 대해서

- 생산 및 방류하는 물질에 대한 내분비계 장애여부의 스크리닝 및 재시험을 해야 한다.
- 소비자에게 관련상품의 위해도 정보를 제공해야 한다.
- 청정생산과 오염예방 대책을 시행해야 한다.

3. 플라스틱 분야

1) 분야의 개황

우리가 흔히 플라스틱이라 부르는 물질은 분자크기가 매우 큰 화합물(이하 학술적으로 정확히 표현하기 위하여 “고분자”로 표시)로서 수 많은 원자가 화학적으로 결합된 구조를 갖고 있으며 고분자는 현재 플라스틱, 고무, 섬유, 페인트, 접착제, 필름 등 우리 생활에서 없어서는 안 될 필수 소재로 자리잡고 있다. 우리 주위에 있는 식물, 동물, 인체등이 모두 고분자로 이루어져 있기 때문에 천연, 생체 고분자의 역사는 매우 길지만 고분자가 인공적으로 최초로 만들어진 것은 1840년대로서 약 150년의 짧은 역사를 갖고 있고 본격적으로 실생활에 이용되기 시작된 것은 1930년대에 분자량이 수만 이상 되는 나일론을 제조할 수 있는 기술이 본격적으로 개발된 이후로 약 70년의 역사를 갖고 있다. 이와같이 고분자의 개발 역사가 매우 짧음에도 불구하고 급격한 수요증가를 이룩하여 1985년에는 고분자의 사용량이 철의 사용량을 넘어섰으며 이때부터 우리는 우리자신도 모르는 사이에 석기, 청동기, 철기 시대를 지나 고분자의 시대에 살고 있는 실정이 되었다.

국내의 고분자 산업은 1970년대 초 울산석유화학단지가 가동되기 시작한 후 비약적인 발전을 거듭하여 1998년도 생산 능력이 약 800만톤으로 세계 5위권을 유지할 정도로 양적인 성장을 이룩하였으나 국내 수요는 330만톤 정도에 머무르고 있기 때문에 해외의 여건 변화에 크게 의존하고 있다. 특히 IMF 사태 이후에는 국내 수요 침체 및 주요 수출기반이었던 동남아로의 수출이 크게 줄어 큰 어려움에 처해 있다 (표 3-10).

고분자는 우리생활과 밀접한 관계를 맺고 생활을 편리하게 해주고 있으나 동시에 몇가지 문제점을 야기하고 있다. 그 대표적인 것이 환경오염문제로 고분자는 대부분 일회용품으로 사용되거나 내구성이 짧은 용도로 사용되지만 사용 후 분해가 잘 되지 않는 특성을 갖고 있기 때문에 폐기시 환경문제를 일으키고 있다. 대표적인 것이 스티로폴 포장재, 쇼핑용 비닐백 등이 있다.

표 3-10. 국내의 범용 플라스틱 수급현황

(단위 : 1,000ton)

수지		1996	1997	1998	수지		1996	1997	1998
LDPE	생산능력	1,428	1,538	1,678	ABS	생산능력	689	-	-
	생 산	1,208	1,352	1,486		생 산	528.1	566.5	605.2
	수 입	38	35	25		수 입	9.8	12.6	5.6
	수 출	527	604	820		수 출	285.6	332.9	424.6
	국내수요	718	784	691		국내수요	252.3	246.2	186
HDPE	생산능력	1,503	1,583	1,583	PVC	생산능력	1,045	1,055	1,255
	생 산	1,358	1,539	1,522		생 산	1,024	1,080	1,106
	수 입	6	7	5		수 입	72	36	15
	수 출	640	868	945		수 출	229	255	411
	국내수요	725	677	582		국내수요	867	861	710
PP	생산능력	2,045	2,435	2,435	합 계	생산능력	7,748	-	-
	생 산	1,763	2,064	2,129		생 산	6,791	7,541	7,787
	수 입	16	17	8		수 입	162	120	62
	수 출	934	1,160	1,304		수 출	3,010	3,791	4,528
	국내수요	846	921	833		국내수요	3,944	3,965	3,321
PS	생산능력	1,036.0	-	-					
	생 산	909.0	939.7	938.9					
	수 입	20.4	13.1	3.7					
	수 출	394.4	476.6	623.4					
	국내수요	535.9	476	319					

[출처:동아시아 석유화학공업회의자료]

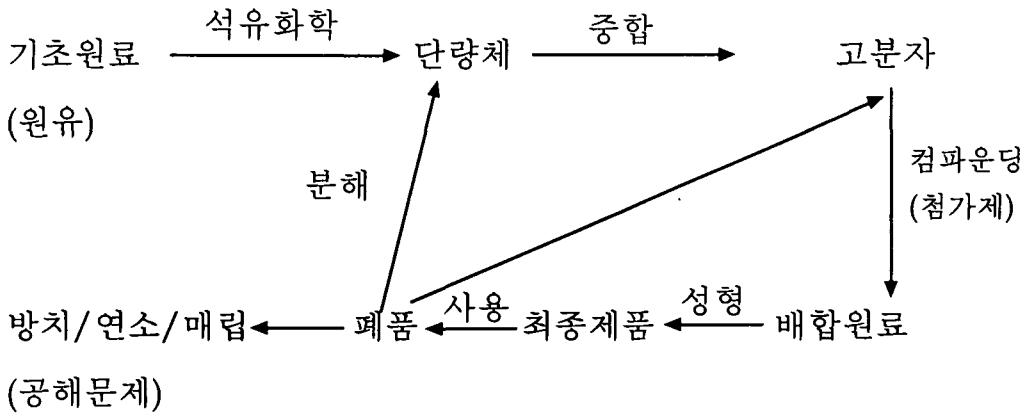


그림 3-3. 고분자 제품의 Cycle

고분자는 그림 3-3에 나타난 바와 같이 원료인 단량체를 중합하여 제조되며 여기에 기능을 부여하기 위해 여러 가지 첨가제를 혼합한 후 성형하여 일상생활에 필요한 제품으로 사용된다. 현재까지 주로 문제가 되었던 것은 사용 후 폐기시 분해가 잘 안되기 때문에 환경부담을 주는 것이며, 따라서 이를 해결하기 위해 폐품을 다시 녹여 재사용하거나(Recycle) 열이나 촉매를 사용하여 원료로 분해하여 다시 중합 또는 연료로 사용하는 방법이 주로 연구되어오고 있다.

환경오염 이외에도 생활 수준이 높아짐에 따라 사람들이 건강에 대하여 관심이 높아지고 있으며 건강에 직접적인 영향을 미치는 수질오염, 대기오염, 오존층 파괴 등을 야기하는 화학물질의 규제가 강화되고 있다. 또한 최근에는 몇가지 화학물질들이 동물들의 호르몬, 특히 생식호르몬에 영향을 줘 기형을 만들거나 번식능력을 떨어뜨릴 수 있다는 사실, 즉 소위 “내분비 장애물질”(일본에서는 “환경호르몬” 또는 “내분비교란물질”, 서구에서는 “Endocrine Disrupting Chemicals (EDC)”, 이하 “EDC”로 표기)의 영향에 대한 기사가 센세이션을 일으킬 정도로 매스컴에 자주 오르내리고 있다. 이와같은 이유는 컵라면 및 패스트푸드용기, 젓병, 음료수캔 등 식품포장재로 사용되는 플라스틱으로부터 EDC 물질이 용출되어 인체에 해를 끼칠 수 있는 가능성이 있기 때문으로 소비자, 환경단체, 매스컴의 주목을 크게 끌고 있다.

특히 국내 매스콤에서 EDC 문제를 자주 취급하는 것은 일본 매스콤의 영향이 큰 것으로 보이며 서구나 미국에서는 이 문제를 종합적인 연구결과에 근거하여 이성적으로 접근하는데 비하여 한국이나 일본에서는 일부의 연구 결과만을 인용하여 이 문제가 너무 과대하게 부각되어 관련업체에 큰 타격을 준다는 반론도 적지 않은 실정이다. 그럼에도 불구하고 국내 소비자들이 매스콤의 영향을 크게 받아 EDC 문제에 대하여 많은 의구심을 갖고 있으나 아직까지 플라스틱 분야에서 EDC 문제에 대처하기 위한 연구가 부족한 실정으로 플라스틱업계의 이성적이고 체계적인 연구노력이 시급한 실정이다.

(2) EDC 의심물질 현황조사

EDC와 관련하여 의심받고 있는 물질로는 다이옥신, PCB등 몇가지 화합물을 제외하고는 아직까지 인체에 대한 정확한 영향이 알려진 것은 없기 때문에 여기서는 "EDC 의심물질"이란 표현을 쓰고자 한다. 플라스틱 산업과 관련된 EDC 의심물질의 현황을 알아보기 위하여 국내외적으로 널리 Tm이고 있는 자료인 세계야수기금(World Wildlife Fund, WWF) Canada(표 3-2), 일본 환경청(표 3-4)이 공표한 물질군에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 물질 등이 있음을 알 수 있었다.

- ① 폴리카보네이트 (PC), 에폭시 수지의 원료인 bisphenol A (BPA)
- ② 스티렌 수지의 올리고머 : styrene dimer (SD), styrene trimer (ST)
- ③ 분해시 dioxin 등을 배출하는 것으로 의심받고 있는 플라스틱 : PVC, PVD 등 염소원자를 포함하고 있는 플라스틱
- ④ 분해시 dioxin 등을 배출하는 것으로 의심받고 있는 플라스틱 첨가제 : 할로젠계 난연제 등
- ⑤ 플라스틱을 유연하게 해주는 가소제류 : DOP, DBP 등
- ⑥ 선박에 바다생물이 달라붙는 것을 방지하는 방오도료에 사용되는 주석 화물류 : tributyl tin(TBT), triphenyl tin(TPT)등
- ⑦ 고분자의 가공안정성을 부여하는 첨가제 : cadmium, lead 등 중금속이 주로 언급되고 있음을 알수 있었으며 여기서는 이중에서 (1), (2), (3), (4)항을 위주로 EDC관련 플라스틱산업의 현황 및 대처방안을 언급하고자 하며 다른항

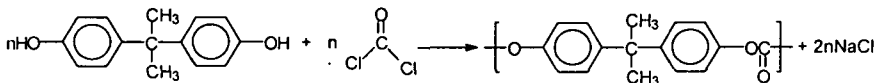
목에 대하여는 플라스틱첨가제 분야, 산업 및 환경오염물질 분야, 중금속 물질 분야에서 다루고 있다.

가. 대체소재 분야

(가) Bisphenol A (BPA)

BPA는 페놀과 아세톤에서 제조되며 상온에서 흰색 고체로서 융점 155-160℃ 이고 물에는 녹지 않으나 알콜, 아세톤에는 용해하는 물질이다. BPA는 에폭시, 폴리 카보네이트(PC) 수지의 기본 원료로 사용되며 EDC로 문제가 되는 것은 이들이 음료수 캔의 내부 코팅제 (에폭시 수지), 플라스틱제 젓병 및 대형 생수통 (PC 수지) 등의 소재로 사용되기 때문이다.

PC는 공업적으로 BPA와 포스젠으로부터 염소계 유기용매와 물을 반응 매체로 사용하여 제조된다 (아래식 참조). 따라서 공정상 환경 부담이 큰 물질이나 투명하면서도 100℃ 이상에서 사용 가능하고 방탄유리로 사용될 정도로 잘 깨지지 않기 때문에 용도가 다양하고 사용량이 매우 많다(표 3-11). 최근에는 수요가 폭발적으로 늘어나 범용 엔지니어링 플라스틱 중에서도 가장 사용량이 많은 대표적인 엔지니어링 플라스틱 소재가 되었다(표 3-12).



PC는 국내에서 삼양화성 만이 유일하게 생산하고 있으나 최근에 LG화학이 미국 Dow Chem.사와 합작으로 LG다우폴리카보네이트(주)를 설립하여 금년 상반기 중 전남 여천석유화학단지에서 세계 최대규모인 연산 13만톤 규모의 폴리카보네이트 생산공장 건설에 착수, 오는 2001년부터 상업생산에 들어갈 예정이다.

PC는 투명하고 충격이 강하면서도 100℃의 끓는 물에서도 안정하기 때문에 아기 젓병, 18L이상의 대형 생수통, 학교급식 식판 등의 식품관련 소재로 이용되고 있으며 이때 제품 중에 잔류하는 BPA가 용출되어 음식물과 함께 인체에 흡수되기 때문에 문제가 되고 있다. 그러나 아직까지 BPA가 EDC의 역할을 할 수 있는 최저농도나 내분비 장애 매커니즘에 대하여는 정확히 알려져 있지 않다.

BPA의 국내수요는 년 60,000 톤 정도이고 현재 금호Shell이 30,000톤/년 생산능력을 갖고 있으며 앞으로 2,000년까지 100,000톤/년으로 증설할 예정으로 있다.

표 3-11. PC의 주요 용도

분 야	주 요 용 도
전기·전자	전자·통신부품 : 코넵타, TV부품 가전제품 : 헤어드라이어, 에어컨 조 명 : 렌즈 오디오 : CD, LD등
기 계	정밀기계 : 카메라, 시계 비행기 : 창 자동차 : 범퍼, 헤드램프커버 기계 : 전동공구, 임페라 OA : 복사기등
의료·보완	의 료 : 인공장기, 약품용기, 안경 보 안 : 헬멧, 보안경등
잡 화	가정용품 : 식판, 대형생수통, 젓병 기 타 : 완구등
필름·쉬트	쉬 트 : 창유리, 펜스 필 림 : 식품포장재등

표 3-12. 국내 EP 생산실적(1996)

(단위 : 톤)

E.P.	회 사	생 산
POM	KEP	15,000 (30,000)
	LG화학	12,000 (13,000)
	Du Pont	5,700 (수입)
	계	32,700
PA	효성 T&C	9,000
	Kolon	9,000
	Lasco	4,000
	Du Pont	3,200 (수입)
	고합 Enpla	2,500
	기타	1,300
	계	29,000
MPPO	GEPK	6,000 (수입)
	효성 BASF	5,000*
	한화종합화학	1,000*
	계	12,000
PBT	LG화학	4,500* (4,000)
	Kolon	2,500*
	삼양화성	1,500* (3,000)
	효성 T&C	1,000*
	고합 Akzo	1,000*
	제일합섬	1,800*
	SKI	1,200* (3,000)
	계	13,500
PC	삼양화성	10,000 (20,000)**
	GEPK	30,000 (수입)
	계	40,000

() : 생산능력

* : Compound 제품

** : 삼양화성에서 생산되는 PC의 50%는 계약에 의해 일본 (Mitsubishi Chem)에 수출

BPA를 원천적으로 사용하지 않으면서도 젖병, 대형 생수통 등의 소재로 사용될 있는 PC 대체 물질의 개발 현황을 살펴보면 다음과 같다.

(주)새한이 개발 생산하고 있는 A-PET란 소재는 최근 사회문제가 되고 있는 EDC 문제를 해결할 수 있는 상품포장용 대체상품으로 식품·화장품 등 각종 용기 외포장, 집합포장재 등으로 사용할 수 있다. 이 제품은 특히 작업 및 소각때 유해가스 발생과 재활용 측면에서 여러 문제점을 가지고 있는 기존 PVC제품의 단점을 개선한데다 인쇄선명성, 내열·투명·내후성 및 보관 안정성이 우수한 것이 특징이다.

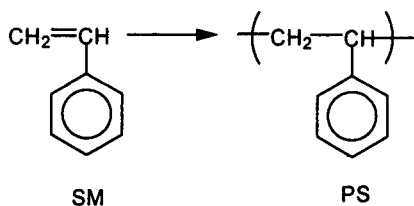
(주)코로이 개발하고 있는 PEN계 엔지니어링 플라스틱은 열을 가해도 BPA가 발생되지 않는 플라스틱 신소재로서 식품용기·칫솔·식판 등 수많은 종류의 제품에 적용할 수 있다고 알려져 있다 이 제품은 아기 젖병에 적용하여 기존의 PC 젖병을 대체해 나갈 예정으로 있다.

BPA의 또 다른 용도인 캔용기의 내부도료로 사용되고 있는 에폭시수지에서 발생하는 BPA문제를 개선하기 위한 동향을 살펴보면 다음과 같다.

지난 1990년부터 라미네이트캔을 생산해 온 일본 도요세이칸 등이 EDC 문제를 기회 삼아 시장확대를 겨냥한 전면전에 나서자 지난 1995년 이전부터 도입을 검토해 온 국내 관련업체도 포철을 중심으로 본격적인 추진 작업을 벌이고 있다. 업체가 도입을 서두르고 있는 라미네이트캔은 스틸강판 안쪽에 PET나 PP같은 플라스틱 필름을 입힌 수지피복캔으로 맥주, 차, 커피 등 내용물에 상관없이 기존의 2피스, 3피스캔 모두를 대체할 수 있으며 BPA는 물론 철분용출, 녹발생 등을 1백% 해결할 수 있는 위생적인 용기로 알려져 있다. 일본의 경우 도요세이칸이 지난 1990년 첫선을 보인 이래 1996년엔 40억관, 97년엔 약 60억관 규모로 총 수요의 15%를 차지했는데 이번 EDC 문제를 계기로 제관사들이 라미네이트캔 확대에 적극 나설 것을 표명함에 따라 그 사용량이 대폭 확대될 전망이다. 그러나 국내 제관업체의 라미네이트캔 도입은 단시간 내에 해결되기 어려울 것으로 예상되고 있다. 현재 동양석판에서 파일롯 라인을 이용한 개발작업을 진행하고 있으나 스틸강판에 플라스틱을 라미네이트 한 후 스테레치드로우 성형 공정에서 무리 없이 견딜 수 있도록 하는 기술 및 소재개발이 시급한 실정이다. 게다가 소재가 개발된다 하더라도 제관사들의 현재 생산라인으로는 생산이 불가능해 신규투자가 불가피한 상황이어서 상용화 되려면 상당한 기간이 소요될 것이란 관측이다. 뿐만 아니라 일본의 8분의 1 수준을 밑도는 내수 캔시장 규모나 초기단계의 고가격 구조는 현재의 캔가격과 경

쟁이 어렵기 때문에 소재가격을 최대한 떨어뜨릴 수 있는 기술개발이 라미네이트캔 도입 여부의 관건이 되고 있다.

(나) 스티렌 Dimer(SD), Trimer(ST)



SD 및 ST는 스티렌 단량체(SM)를 중합하여 스티렌 수지(PS)를 제조하는 도중에서 고분자량에 도달하지 못한 중간 물질로서 분자량이 PS가 수만 이상인데 반하여 208 (SD), 312(ST) g/mole 정도로 매우 작아 쉽게 용해되므로 PS 수지 중에 포함되어 있다가 컵라면 등과 같이 고온 사용시 용출되어 인체에 흡수된다고 알려져 있다. 그러나 현재까지 ① SD 및 ST가 EDC로서의 영향과 ② 컵라면 용기로 사용시 용출 여부에 대해서는 논란이 그치지 않고 있다. 즉 기존의 컵라면 용기 업체 및 PS 수지 업체 쪽에서는 PS로 된 컵라면 용기가 무해하다는 입장을 견지하고 있는 반면에 PS수지 이외의 업체나 학계, 환경 단체쪽에서는 아직도 많은 의구심을 갖고 이 문제를 대처하고 있다.

아래에 PS 수지의 현황 및 대체소재 개발 현황에 대하여 정리하였다.

표 3-10에 나타난 바와 같이 PS의 국내 생산 능력은 약 100만톤/년 정도이고 국내 수요는 약 30만톤을 약간 상회하고 있다(1998년 기준). 세계의 수요현황을 살펴보면 1997년 기준으로 약 1100만톤 정도로 알려져 있으며 포장재(일반 및 식품 포함), 단열재등으로 년 약 3%의 수요 신장을 보이고 있다(표 3-13). 국내에서는 LG화학, 금호케미칼, 동부한농화학,제일모직, 한국바스프 등이 생산하고 있다.

표 3-13. 세계의 PS (EPS포함) 용도별 수요량

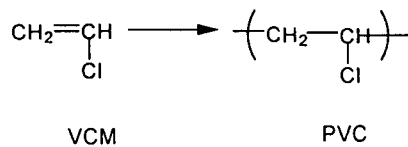
(단위 : 1,000ton)

항 목	1987	1997	2001	년성장율 (%)	
				97/87	02/97
포장·서비스용품	3,427	4,596	5,320	3.0	3.0
소 비 재	2,110	3,208	3,830	4.3	3.6
단 열 재	935	1,313	1,560	3.5	3.5
기 타	1,310	1,918	2,340	3.9	4.1
합 계	7,782	11,035	13,050	3.6	3.4

폴리스티렌소재를 사용한 컵라면 소재를 대체하기 위하여 ① 종이, ② 대체프라 스틱등이 활발히 연구되고 있으며 다음과 같은 사례가 알려져 있다.

우리캠테크(주)는 폴리프로필렌소재와 천연식품소재를 첨가해 고온진공성형과정을 통해 무독성의 컵라면 용기를 개발하였으며 기존 PS 소재의 컵라면 용기가 SD 및 ST를 배출할 수 있는 가능성이 있는 반면에 이 용기는 99%의 폴리프로필렌 소재와 1%의 천연식품첨가제를 혼합하여 제조되었기 때문에 SD 및 ST가 검출되지 않는 장점을 갖고 있다. 우리캠테크(주)는 이 재질을 사용하여 화장품용기·전자레인지용 그릇·랩·완구소재 등의 제품을 생산하고 있다.

(다) PVC



PVC는 가격이 저렴하면서도 내약품성, 내후성, 난연성, 전기절연성 등이 우수하기 때문에 표 3-10에 나타난 바와 같이 국내 수요가 년 71만톤 정도로 매우 많은 양이 일상생활에서 사용되고 있으나 최근에는 폐기물 처리가 까다롭고 환경 부담이 큰 물질로 알려져 이를 대체하려는 연구가 매우 활발히 일어나고 있다.

PVC는 딱딱한 물질로서 약 60℃ 까지 사용이 가능하며 여기에 유연하게 만들어

주는 가소제를 과량 혼합하면 고무처럼 부드러워져 호스, 유연 포장용기, 랩필름, 장판 등 용도가 매우 다양해진다. 가소제가 포함되지 않은 PVC를 경질 PVC, 가소제를 과량 포함한 PVC를 연질 PVC라 한다.

PVC가 EDC의 주요 원인으로 거론되고 있는 것은 PVC를 유연하게 만들기 위하여 사용되는 가소제가 EDC 의심물질로 알려져 있으며 PVC 자체도 열분해시 Dioxin이 발생되는 것으로 의심받기 때문이다. 유럽에서는 Green peace를 중심으로 PVC 사용 금지 운동을 벌이고 있으며 PVC 업체 쪽에서는 PVC가 인체에 유해하지 않다는 연구 결과를 자주 발표하여 이를 반박하고 있다.

PVC의 분해시에 Dioxin이 발생된다고 추정되는 메카니즘은 그림 3-4와 같으며 분해시 발생하는 염소합유 물질이 Dioxin으로 변한다는 가설이 발표되어 있다. PVC의 대체연구에서는 ① 가소제의 대체, ② PVC 자체의 대체 연구가 활발하며 가소제 대체는 플라스틱 첨가제 장에서 다루고 여기서는 PVC 자체의 대체 연구를 소개하고자 한다. PVC의 내약품성, 유연성, 가공성 등의 장점을 갖고 있기 때문에 이들 장점을 갖고 있는 재료를 개발하고 있다. 한 예로 중의제약이 개발하고 있는 비(非) PVC 수액제(제품명 테크플렉스) 제품은 가소제가 전혀 검출되지 않는 관계로 최근 일본의 후생성으로부터 의약품 허가승인(JP)을 획득한 바 있다.

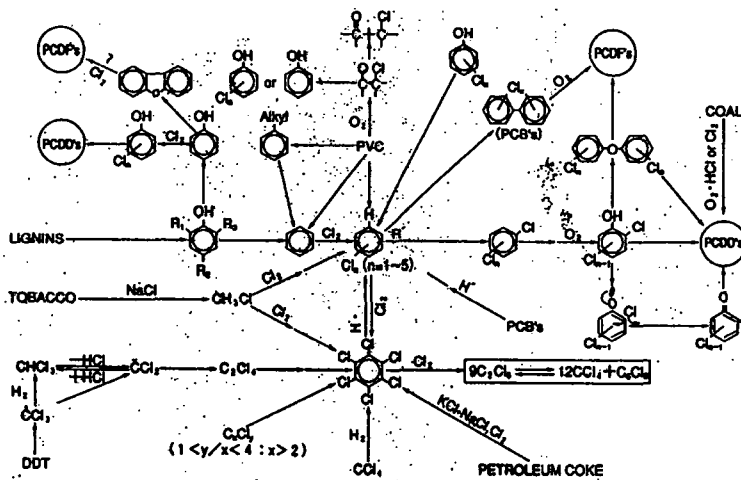


그림 3-4. 연소과정에서의 Dioxin류 생성 경로 추정 예

(라) 비할로젠 난연플라스틱

플라스틱의 난연성은 건축/토목, 자동차, 전기/전자 산업 등에서 매우 중요한 기술분야이다. 현재 주로 사용되고 있는 난연화 기술은 브롬, 염소 등을 함유하고 있는 유기난연제를 플라스틱에 컴파운딩하여 사용하거나 화학적으로 반응시키는 것이 가장 보편적이다. 그러나 최근 문제가 되고 있는 것은 이들 난연제들이 포함된 플라스틱을 연소시 브롬 또는 염소가스, HBr 또는 HCl의 산, Br 또는 Cl을 포함하고 있는 여러 가지 화합물과 이들로부터 생성된다고 추정되는 다이옥신에 관한 것이다. 특히 할로겐계 난연제가 포함된 플라스틱으로 제조된 제품들을 규제하려는 시도가 유럽을 중심으로 일어나기 때문에 이러한 규제를 피하기 위해서는 할로겐계 난연제를 포함하지 않는 비할로젠 난연 플라스틱의 개발이 매우 중요하며 한국화학연구소, 동부한농화학, 코오롱, 제일모직 등에서 비할로겐계 난연제, 예를 들면 인계 화합물, 무기물 등을 이용한 난연플라스틱, 난연섬유를 개발하고 있다.

2) EDC 저감기술 분야

합성수지 중 존재하는 특정 미반응 원료물질 또는 oligomer들이 EDC 물질로 밝혀졌거나, 의심되고 있음은 주지의 사실이다. 합성수지에 특수한 기능성의 발현을 목적으로 인위적으로 더해지는 첨가제와 달리, 이들은 중합후 필연적으로 존재하게 되며 통상의 분리정제 과정에서 제거되지 못한 미량 물질들이다. 식품 용기로 광범위하게 사용되고 있는 polystyrene [PS] 중의 styrene oligomer류와, polycarbonate[PC], epoxy resin[EPR] 중의 BPA가 이러한 범주에 속하는 알려진 대표적인 물질들이다. 이들 합성수지를 이용한 최종 제품이 인체와 직접, 간접적으로 접촉하는 빈도가 많고 위의 위해성 물질들이 인체에 전달될 가능성이 매우 크므로, 그 사용 안정성에 대한 사회적인 관심이 고조되고 있다. 위의 잔류 물질들은 수지의 중합 과정중 미반응이 되었거나 또는 가공시 분해가 일어나 제품내에 잔류하게 된다. 중합된 수지로부터 위와 같은 미량의 EDC 의심물질들을 허용 농도 한계 이하로 제거하거나 나오지 않게 표면을 처리하는 기술이 개발되고 있다.

초임계 유체는 물질전달 특성, 즉 확산 특성과 추출 특성이 탁월할 뿐만 아니라, 거시 상태 공정 변수의 조절만으로 쉽게 가용화/불용화 과정을 제어할 수 있으며

사용 매질을 회수하여 재사용할 수 있다. 초임계 유체 자체도 사용하는 기본 매질과 첨가되는 entrainer의 다양한 선택에 의하여, 다양한 물성의 제거 대상 물질들에 대하여 폭넓은 운전 범위에서 분리 제거의 선택성을 발현시킬 수 있다.

합성수지중 잔존하는 미반응 잔류물과 oligomer들의 초임계 추출에 관한 선행 연구는 PMMA, PS 등의 일부 사례에 국한하여 진행되었으며, 초보적인 초임계 유체 추출 연구 설비에 의한 기초 실험 결과에 불과하다. 내분비계 장애 물질의 고도 제거를 목적으로 하는 화학공학적 접근방법에 의한 초임계 유체의 적용 공정 연구개발 사례는 거의 무시할 만하다고 볼 수 있다. 그러나, 현재와 같은 상기 분야에 대한 사회적, 기술적, 보건 환경적 관심 집중에 의하여, 동기술은 매우 빠른 속도로 연구 개발이 가속화될 것으로 예측된다.

초임계 유체를 이용하는 분리 기술에 관한 국내의 연구 개발은 의약품 등의 생리활성 물질 또는 고기능성 물질군의 추출 기술에 대한 검토가 주된 것으로서, 대부분 외국에서 일괄적으로 도입된 고압 장비를 이용하여, 초보적인 수준에서 적용 실험이 수행되었다. 타 분야의 초임계 유체 공정 기술로서, 결정화 공정, 염색 공정, 반응 공정, 소재 가공 공정, 폐수 처리 공정에 대한 기술 개발이 광범위하게 수행되고 있으며, 초임계수 산화 공정 기술은 pilot 규모의 시험을 완료하여 현장 적용을 진행하고 있다. 정밀화학 중간체 합성 분야에서도 furfural을 초임계 유체와 고체산 촉매를 병용하여 고수율로 합성, 정제하는 에너지 절약형 공정 기술원리가 국내에서 개발된 바 있다. 합성수지 중 잔류하는 환경 호르몬 물질의 제거에 대한 연구개발 사례는 거의 없으나, 최근 한국화학연구소에서 기초연구를 수행하여 기술적 가능성을 확인하였으며, 기술 구성요소를 도출하고 실험적 검증을 통하여 특허 출원을 추진하고 있다.

초임계 유체 공정 기술의 개발과 실용화에 대한 장애 요인으로 화학 산업 현장 종사자들의 고압 공정에 대한 거부감 또는 편견을 들 수 있으며, 국내의 고압 설비 설계 제작 능력의 한계와 관련 부품의 높은 해외 의존성이 문제시될 수 있다. 현장 종사자들의 심리적 장애 요인들은 초임계 유체 공정 기술의 보급, 이해와 보편화에 따라 점차 극복될 수 있으며, 기술적인 제약조건들도 관련 엔지니어링/제작 가능 업체의 출현과 기술 축적에 따라 수년 내에 선발 기술 개발 국가와 경쟁 가능한 위치에 도달할 것으로 기대된다.

4. 플라스틱 첨가제 분야

1) 분야의 개황

플라스틱 제품에 관련된 EDC 논란은 제품을 구성하는 고분자 자체보다는 첨가되거나 제품에 잔존하는 위해성 화학 성분들이 문제이다. 플라스틱 첨가제란 플라스틱 (합성수지)의 최종 제품 성능 및 물성이나 제품 가공을 용이하게 하는 화학물질로 플라스틱의 취약성을 보완하고 특성을 살려주는 보조물질이라 할 수 있다. 세계적으로 연간 100억\$ 이상의 시장을 갖고있는 플라스틱 첨가제에는 가소제, 열안정제, 산화방지제, 자외선안정제, 난연제, 대전방지제, 활제, 충격보강제 등이 있다. 따라서 이러한 첨가제들은 플라스틱 제품을 만들 때 제품의 기능 및 용도에 따라 첨가되는 필수적인 화학물질이라 할 수 있다. 기능에 따라 첨가제를 분류하자면 (i) 화학적 성질 개선제 [산화방지제, 자외선 안정제, 난연제]; (ii) 물리 및 전기적 성질 개선제 [가소제, 충격보강제, 대전방지제]; (iii) 가공성 개선제 [가소제, 열안정제, 활제]로 나눌 수 있는데 최근에는 보조재료라는 원래의 의미에서 더 나아가 최종 제품의 성능에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 특수 기능 정밀 소재로 인식되기도 한다. 그래서, 원하는 여러 가지 기능들을 동시에 만족시키기 위해 첨가제 성분들은 단독으로보다는 여러 가지 성분들이 함께 사용되는 경우가 많다. 이로 인해, 플라스틱 신제품 개발시 첨가제의 선택 및 활용이 더욱 더 까다로워지고 있으며, 플라스틱 소재의 고기능화 추세에 첨가제의 역할이 아주 중요한 것이다.

가소제는 합성수지에 유연성을 부여하거나 가공성을 높이기 위한 첨가제이다. 일반적으로 대부분의 고분자들은 가소제를 조금만 첨가하더라도, 뚜렷한 가소 효과를 얻을 수 있다. 그러나, PVC 경우에는 물질 자체가 다량의 가소제 첨가를 수용할 수 있으며, 첨가량이 증가할수록 딱딱한 성질로부터 부드러운 성질로 점차 변해간다. 가소제는 주로 PVC 제품 제조에 사용되고 있지만 여타 범용성 및 엔지니어링 플라스틱에도 사용범위가 더욱 넓어지고 있고, 신제품 개발에 있어서도 가소제의 응용 기술이 중요한 위치를 차지한다. 또한, 난연제는 연소하기 쉬운 성질을 가지고 있는 대부분의 플라스틱을 물리, 화학적으로 개선하여 잘 타지 못하도록 첨가하는 물질이다. 플라스틱 제품의 응용범위가 확대되면서, 화재 발생 시 안전을 고려한 난연제의 활용이 확대되어 왔다. 따라서, 최근 세계적으로 플라스틱을 비롯해 고무,

섬유, 제지 등에 대한 연소성 규제가 강화되고 있다. 이와 같은 플라스틱 첨가제 가운데, 가소제로 많이 쓰이는 phthalate계 물질이 EDC 의심물질로 논란이 대두되고, 난연제 가운데 많이 쓰이는 할로젠계 유기 난연제는 플라스틱 폐기물 연소시 dioxin 유출 가능성이 있는 것으로 지목받은 바 있어 본 연구에서는 이 두 가지 계통의 물질들을 중점적으로 다루도록 한다.

(1) Phthalate계 가소제

1930년대 이후 phthalate계 가소제(plasticizer)들이 많은 플라스틱에 사용되어 오고 있는데, 플라스틱 가소제 가운데 EDC 문제로 현재까지 의심받는 11가지 물질들은 di-ethylhexyl adipate (DEHA)를 제외하고는 모두 phthalate계이다. 이 물질들을 열거하면 표 3-14와 같은데, 이중 9가지는 일본 후생성이 분류한 EDC 142종에 포함된 가소제 성분과 같다.⁴¹ 대표적인 예로는, phthalate계 가소제중 약 1/4정도 차지하는 di-ethylhexyl phthalate (DEHP; dioctyl phthalate (DOP))이다. DIOP를 제외한 12가지 물질들은 미국 NPT에 의해 분류되어 있다.

Phthalate계 가소제들은 비교적 저렴한 가격과 가소성 때문에 전세계 가소제 시장의 약 86%정도를 점하고 있다. 이 중에서 DEHP와 DIOP (둘 모두 합쳐 DOP로 보통 표기함)가 phthalate 가소제 수요의 반 이상을 차지할 정도로 많이 쓰인다. Phthalate 가소제들은 열가소성 cellulose ester 사출물, PS, PMMA나 염화비닐 공중합체에도 사용되지만 90%가 PVC 제품에 사용된다. PVC에는 많은 양의 가소제가 사용되는데, 이는 전체 첨가제 양의 73%를 차지하고 있고, 금액 면에서도 첨가제 비용의 54%를 차지한다. 또, 문제가 되어 온 PVC 장난감 (PVC 수요의 약 5% 정도 밖에 안됨)에는 무게의 10~40%를 차지할 정도로 phthalate 가소제를 많이 사용한다. 주요 phthalate물질 별 용도는 표 3-15와 같이 요약될 수 있다.

표 3-14. EDC 의심 phthalate계 가소제

화학물질명	약어	CAS 번호	기타
butyl benzyl phthalate	BBP	85-68-7	일본 후생성이 분류한 EDC 142종에 포함
di-n-butyl phthalate	DBP	84-74-2	
dicyclohexyl phthalate	DCHP	84-61-7	
di-ethyl phthalate	DEP	84-66-2	
di-2-ethylhexyl phthalate	DEHP(DOP)	117-81-7	
di-ethylhexyl adipate	DEHA(DOA)	103-23-1	
di-hexyl-phthalate	DHP/DHXP	84-75-3	
di-n-pentyl phthalate	DPP/DIPP	131-18-0	
di-n-propyl phthalate	DprP	131-16-8	
di-methyl phthalate	DMP	131-11-3	독성이 보고된 바 있는 물질
di-iso-nonyl phthalate	DINP	28553-12-0	
mono-ethylhexyl phthalate	MEHP	4376-20-9	
di-iso-octyl phthalate	DIOP	27554-26-3	

한편, 표 3-15에 요약된 바와 같이 phthalate물질들은 플라스틱 제조용 가소제 용도 이외에 페인트, 잉크 및 감광 도료, 접착제, 화장품, 살충제 등 다양한 화학제품의 구성 성분 또는 첨가제로도 사용되어 인간생활에 많이 노출될 수 있는 화학물질이다. Greenpeace의 주장에 따르면, 남극의 퇴적물이나 대서양 및 태평양 상공의 대기에서도 phthalate가 검출될 정도로 전세계적인 오염물질로 부각되고 있다.

표 3-15. 주요 phthalate 물질들의 용도

물질	용도
DEHP (DOP) (di-ethyl hexyl)	- 우의류, 신발(장화)류, 실내장식품, 방수장갑, 식탁보, 샤워 커튼, 바닥재, 장난감, 의료용 백, 수술용 장갑, 식품용기 커버용 금속 foil의 heat-seal coating, Al foil 내벽막; - 약 95%가 PVC제품용 가소제 - 가소제이외: capacitor유전체용 PCB대체제, 페인트, 잉크, 살충제 - EDC "suspected"
BBP (butyl benzyl)	- 바닥 타일용 PVC 제품 - 셀룰로스 플라스틱, PVA, PU, polysulfide 제조용 가소제 - 포장용 재생 셀룰로스필름, 합성피혁; 방수제, 살충제, 향수 제조용 분산제/담체, 접착제 - EDC "strongly suspected"
DBP (di-n-butyl)	- PVC, nitrocellulose PVA, 합성고무등 제품의 가소제, 식품포장재 (Autian, 1973) - 카펫뒤붙임, 페인트, 잉크, 풀, 벌레약, hair spray, 메니큐어 - EDC "strongly suspected"
DEP (di-ethyl)	- cellulose acetate film, 투명창 - 칫솔, 장난감, 자동차내장재, 접착제 등의 성형품
DEHA	- di-ethyl hexyl adipate; 대부분 플라스틱 가소제 - C ₂₂ H ₄₂ O ₄ (Bz-Ring없음: DOA라고도 함)
기타	- (+)DINP (di-iso-nonyl); DBP (dicyclohexyl); DCHP(di-cyclohexyl); DHP (di-hexyl); DPP (di-pentyl); DprP (di-propyl)등 - 이 중 장난감에 사용된 DINP 유해성이 주로 논란

미국 EPA의 보고에 따르면, 대표적 phthalate인 DEHP는 상온에서 무색의 유성 액체로 플라스틱(주로 PVC)폐기물의 소각, 매립 등에 의해 환경에 배출된다. '87년부터 '93년 사이에 미국에서 물과 토양에 배출된 DEHP양은 23만톤 규모로 95%는 토양에 배출된 것으로 판단되는데, 지역에 따라 차이가 크다. 이와 같이 토양에 배출된 DEHP는 증발하거나 지하수에 녹아 들어가지 않고 토양이나 퇴적물에 흡수된다. 흡수된 DEHP가 산소분위기 조건에서 생분해될 수 있는지를 밝히는 자료는 제한적이다. 반면, 물에 배출된 DEHP는 비교적 빨리 생분해되는데(반감기: 2~3주) 퇴적물에 선별적으로 흡수되는 것도 많으며 증발하거나 수화되는 양은 많지 않다. 대

기중에 방출된 DEHP는 먼 거리까지 운반될 수 있고 비에 의해 제거되기도 한다. DEHP는 물 속 생물체 내에 농축되는 경향이 있으나, 사람 몸 속으로는 작업환경, 공기, 음료수, 식품 (생체내 농축이 심한 생선 등), PVC로 포장된 식품, 의료용 PVC백 및 튜브 등을 통해 전달될 수 있다고 EPA 자료는 설명하고 있다. 한편, 물에 대한 용해도는 0.285 mg/L(@ 24 °C)로 미량이 녹으며 Bioconcentration factor(BCF)의 log값은 어류의 경우 2~4로 높은 편이다. 일본 환경청의 '외인성 내분비교란 화학물질에 관한 연구반 중간보고서'의 보고에 따르면 수질, 물밀, 어류 및 기타 샘플에서 표 3-16과 같이 DEHP가 검출된 사례보고가 있다.

표 3-16. DEHP 검출 사례 내용

조사년도	수질 ($\mu\text{g/l}$)	물밀 (mg/kg-dry)	어류 (mg/kg)	기타
	검출농도범위 / (검출빈도) / [검출한계]			
1974	0.08~15 (178/375) [0.01~2]	0.003~17 (224/370) [0.003~0.2]	0.01~19 (92/332) [0.02~0.1]	빗물: 0.06ppb~0.18ppm (69/111) [0.06ppb~2ppb] 플랑크톤: 6.3ppm [0.05]
1975	0.02~1.1 (5.8/115) [0.01~3]			
1982	0.1~0.8 (29/45) [0.04~0.15]	0.009~3.5 (45/45) [0.001~0.007]		
1985				대기: 38~790/m ² (59/62), [5~50]
1995 ※			0.1※※ (4/110)	

※ 생물 모니터링만 실시

※※ 조개류에서만 검출; 어류·조류에서는 불검출

이러한 보고에 따르면, 지역과 주변 여건에 따라 DEHP를 포함하는 phthalate가 우리 주변 환경에 검출될 가능성이 충분히 높은 것을 보여 준다. 다만, 특정 지역의 샘플에서는 시간에 무관하게 검출되지 않을 가능성도 배제할 수는 없다.

(2) 첨가제 물질들의 독성

가. Phthalate 물질

Phthalate계 물질들이 환경에 존재하는 인조화학물질 중 가장 잘 검출되는 물질 중의 하나이며, 정자에 영향을 미칠 수 있음은 '80년대에 이미 보고된 바 있다. Phthalate들은 지방에 잘 녹아 버터, 마가린, 치즈 등의 유제품에 농축될 뿐만 아니라, 체 지방에 누적될 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 몇몇 phthalate-특히 DEHP-는 정소(고환)에 독성 물질인데, 이 독성에는 정소에 아연 결핍을 초래하거나 정소 생식 세포를 죽이거나 분열시키는 등 문제를 일으킨다는 보고가 있다. 1995년 영국 Institute for Environment and Health의 보고에 따르면, 작업장에서 phthalate에 고농도로 노출되면 유산이나 임신 관련 합병증이 유발될 수 있음을 지적하고 있다.

인간의 유방암 세포 배양 테스트 결과 BBP가 에스트로젠 호르몬 성질을 지닌다는 보고 외에도, BBP 및 DBP 모두 비단송어의 에스트로젠 수용체와 결합하여 전사 활성성을 띄는 EDC 가능성이 밝혀지기도 했다. BBP와 DBP 모두 에스트로젠 수용체 작용물질로 이 교란 작용은 이미 존재하는 에스트로젠에 뒤섞여 작용하며 누적되기도 한다. 수컷 쥐가 발정기 또는 어릴 때 미량의 BBP에 노출되면 정자 생산 수가 감소하며 정소가 작아진다. 이들의 주장은 자궁 내에서 저농도의 estrogen에 노출됨으로써 후일 그 생물이 성장했을 때 정자수가 감소될 수 있다는 것이 밝혀진 바, 사람들이 이러한 화합물에 그 정도 노출되면 정자수가 감소될 수 있다는 것을 시사할 수 있는 근거가 확보되었다는 것이다. 인체 실험은 불가능하다고 주장하면서, 그들은 생물실험에서 노출시킨 정도로 사람들이 phthalate물질을 포함한 EDC에 노출된다면 유사한 영향을 받을 수 있다는 가능성이 있다고 강조하였다. 이와 같은 논문의 상세한 검토가 이루어지는 동안 갑갑해진 언론사들이 "정자수 감소는 화학물질이 원인"이라고 보도하면서 여기에 phthalate 물질도 포함시켜버렸다.

뒤이어 착수해야될 과제는 인체노출의 현황 분석인데, 인간의 phthalate에 대한

노출은 가공이나 포장 시 식품에 흡수되어 체내로 전달되는 경로가 대부분이다. '90년대 초에 특정 phthalate가 고환에 독성을 유발할 수 있다는 것이 일부 자료로 밝혀지고 있는 동안, 영국의 농수산식품부(MAFF)가 10여년간에 걸쳐서 조사, 분석하여 1995년 발표한 phthalate물질의 인체노출 현황은 다음과 같다.

- (i) 치즈 및 과자류 식품의 phthalate 함유량: 수십 ppmw (mg/Kg) 수준
유제품 최대 114 ppmw
- (ii) 포장용 종이나 보드 (케이크, 사탕, 우지 등)에서의 검출 사례 보고

검사 대상 식품	최대 검출 농도 (mg/Kg)	기 타
o 고기국물용 과립	DBP 62	
o 채소 버그 믹스	10	1995년 영국 농수산식품부
o 식물성 기름	8.4	(MAFF) 식품 검색정보
o 초코 케이크	5.8	Sheet No. 60:
o 소세지	4.4	"Phthalates in paper and
o 쿠키류	DEHP 25	board packaging"
o 식물성 기름	11	

(iii) 15개 분유에서도 phthalate 검출 (최대 검출치: phthalate류 총 10.2 mg/Kg; BBP 0.25 mg/Kg). 분유 제조회사들의 권장량에 기준한다면 신생아들이 하루 평균 몸무게 Kg당 0.13 mg, 6개월 뒤에는 0.10 mg의 phthalate를 섭취하는 셈이 된다. 이 가운데 가장 오염이 심한 경우 에스트로겐 성질의 BBP 및 DBP만 하더라도 매일 몸무게 Kg당 0.023 mg씩 섭취하는 것으로 계산된다. 이 양은 생쥐의 정자수 감소를 초래하는 BBP 투여량의 1/4 수준인데, 인간에게 안전한 수준이 동물에 해를 미치는 수준의 최소 1/100 이하가 되어야 한다는 점을 고려할 때 놀라운 사실이다. 다만, 동물 독성치를 인간 독성치로 변환함에 있어 존재하는 불확실성을 고려하더라도 심각한 수준임이 분명하다.

(iv) 지방질 식품 (육류, 생선, 계란, 우유, 유제품 등)에 대해 1993년 실시한 검사

에서도 모든 샘플에서 phthalate가 검출되었는데, 이 결과에 따르면, 성인 1인당 매일 phthalate 섭취량이 0.8 mg (0.013 mg/몸무게 Kg/일)에 이른다는 결론이 나온다. 이 단위 몸무게당 수치에 대해서도 신생아 경우보다는 낮지만 에스트로젠 작용에 관해 불확실한 현재 독성 데이터 수준으로 볼 때 계속 주시해야 될 항목이다.

영국 농무성 및 관련 연구팀의 연구과정에서 가장 염려스러운 사실도 보고되었는데 '다른 수많은 estrogen 화합물과 마찬가지로 phthalate는 지질(지방) 친화적이어서 유출위험도는 낙농제품과 고지방식품이 훨씬 높고, 인간이 식품을 통해 흡수하는 농도가 설치류를 대상으로 시행된 실험에서 유지한 농도보다 별로 낮지 않는데에 유의해야 한다'는 점이다. Phthalate 물질들은 위와 같이 체내뿐만 아니라 자연 환경으로도 방출되어 도처에 침투하여 먹이사슬을 파고드는 문제가 지적되었는데 지하수, 강물, 음료수 등에서도 흔히 발견된다는 사실이 보고되기도 했다. 그럼에도 불구하고, 이와 같은 연구 결과를 보고한 당사자들은 phthalate물질들이 인체내에서 어떠한 변화를 겪는지, 장벽에서의 흡수상태는 어떤지, 혈액을 통한 전달이 일어나는지, 분해되어 어떠한 물질이 되는지, 배설 상태는 어떤지 등에 관해 아직 밝혀진 바 없기 때문에, 당장 우유와 같이 필수불가결한 식품의 섭취를 중단해야 한다는 지나친 기우에는 적극 반대하며 언론 및 소비자들의 과민반응에 신중한 자세를 견지하고 있다.

유럽에서는 PVC 장난감에 대해 심각한 반응을 나타내었다. 1997년 덴마크 환경청의 보고로는 PVC 이빨 물리개 (teething ring)로부터 EU에서 식품에 대해 정한 허용치를 40배 가까이 되는 phthalate가 용출된 것으로 발견하고, 그 것을 빠는 모든 유아들의 5~50%가 허용량을 초과하여 그 물질들을 섭취하는 것으로 발표하였다. 물론 그러한 실험 결과에 대한 상세한 검사 방법과 그 결과의 재현성에 관해서는 분명치 못하다. 그 이후 EC에서는 각국에서 규제치를 설정하라고 권고함에 따라, 스웨덴, 덴마크, 오스트리아 등에서는 PVC장난감에 phthalate 가소제를 사용하지 못하도록 규제하였다.

Phthalate물질들이 EDC 가능성이 있다는 제반 연구 보고에 대해 산업계에서의 반박도 격렬하며 나름대로 논리 및 과학적 연구결과를 동원하고 있다. 먼저, 전세계적으로 PVC 및 가소제 생산업체 및 협회들은 phthalate가 물에 녹지 않으며 쉽게

분해되는 물질임을 강조한다. 또한, 자연 환경에서의 phthalate 측정 농도가 검출한계 이하 범위인 분석자료들을 토대로 환경에서의 농축 가능성 및 사례보고에 정면으로 반박한다. 또한, EDC 가능성을 보고한 상기 연구들이 지나친 농도의 phthalate를 생물에 투여하여 실험한 것임을 강조하고, 일반 농도의 phthalate를 투여한 독성실험에서 EDC 문제가 없음을 보여주는 사례들을 동원하여 phthalate물질들이 EDC 가능성이 전혀 없음을 부각시키고 있다.

결론적으로 말해서 phthalate물질들이 EDC로 규명되지 않았음을 먼저 분명히 인식해야할 필요가 있다. 또, EDC 가능성에 관한 문제는 과학자의 연구영역일 뿐 대중의 관심사가 되기에 아직 이른다. EDC 여부의 판정에는 복잡한 실험과 많은 단계의 screening을 거쳐야 함을 전제할 때, 현재까지의 독성 보고들은 모두 1단계 결과로 판단하는 것이 타당하다.

나. 할로젠계 난연제의 독성

할로젠(주로 브롬)계 난연제의 생쥐를 대상으로 한 실험 결과 polybrominated diphenylether(PBDE)이 뇌 손상을 일으키는 것으로 보고되었다. 또, '98년 8월 Stockholm에서 개최된 회의에서 발표된 내용에 따르면, 브롬계 난연제가 인간과 동물 체내에 축적되는 것으로 보고된 바 있다. 만약 이러한 연구 결과가 사실이라면 난연제들도 지금은 사용이 금지된 PCB들과 같이 심각한 문제를 가져올 가능성도 있다. Phthalate 경우와 마찬가지로 브롬계 난연제의 EDC 가능성에 관해서도 지금부터 본격적인 연구가 시작되어야 될 상황이라 할 수 있다.

(3) 관련 규제 및 산업 피해

가. 선진국 사례 조사

100억\$/년 이상의 플라스틱 첨가제 세계 시장은 향후 5년간 플라스틱산업 성장 추세를 따를 것으로 보인다. 그러나, 이러한 걸모습과는 달리, 첨가제 시장은 가격 및 수익 면에서 심각한 어려움에 봉착했다. 2001년까지 PVC성장률은 연간 3.5~4%로 기대되는데, 그나마 이는 건축 자재 및 파이프 수요 증가가 주 요인이다. PE 및 PS 성장률은 다소 낮으며, PP 및 몇몇 엔지니어링 플라스틱은 약간 높다. 그러나, 생산업체들에 따르면 첨가제 중 가소제 시장 전망은 어둡다라고 할 수 있다. 이러한 상황에 금년에 본격화된 phthalate류 화학물질의 EDC 파동은 해당 가소제 제조

및 사용 업체들에게 심각한 타격을 벌써 주고 있다.

미국 EPA에서는 EDC에 대한 본격 조사의 일환으로 이미 미국 OSI제약사(뉴욕주)와 제휴, 플라스틱 제품이나 제조제에 사용되고 있는 75종의 화합물을 예를 들어 호르몬 역할이 어느 정도 교란되는지 측정하고 있다. 이 회사는 동물의 세포를 사용해 화학물질의 역할을 하는 유전자 차원에서 조사할 수 있는 자동 분석장치(년간 700만 종류의 화학물질 분석이 가능하다 함)을 보유하고 있는데, 이를 EDC 분석에 활용한다는 방침이다. 특히, EPA는 성호르몬, 갑상선호르몬에의 영향을 먼저 조사하고 있다. 한편, EPA는 도시지역 주민들에게 심각한 피해를 줄 수 있는 독성 공해 물질을 규제하기 위해 '99년 6월 Integrated Urban Air Toxics Strategy를 확정할 예정이다. 그 초안에 따르면 33개 중점 규제대상물질에 DEHP가 포함되어 있다. 미국에서는 EDC의심 phthalate에 따른 소비자의 피해에 대해 제조업체로부터 보상을 받을 수 있다는 법률회사들의 부추김도 있는데, 의료용 PVC 제품에 사용된 DEHP 피해에 대한 제조업체에 소송가능성의 선전이 좋은 예이다. 미국에서 phthalate 물질에 관해 가장 관심이 집중된 것은 '98년 말이다. ABC방송의 20/20 프로그램에서 'PVC 장난감속의 화학물질로부터 어린이들은 안전한가?'라는 내용으로 EDC문제를 미국인들이 가장 관심을 갖는 어린이 건강 문제로 연계시켰다. 연이어서, 장난감 구매가 가장 활발한 연말 시즌을 앞두고 New York Times에 Greenpeace가 전면광고를 실어 phthalate ester들을 함유하는 PVC 장난감들로부터 어린이를 보호하자는 캠페인을 확산시켰다. 이에 편승한 소비자들의 성화에 못이겨 미국 소비자상품안전위원회(the Consumer Product Safety Commission)에서는 PVC 장난감에 사용되는 DINP의 유해성 여부를 발표하면서 실험 결과 위험성은 없다고 밝히면서도, DINP 함유 PVC 장난감을 어린이들로부터 멀리하도록 권장하는 어정쩡한 태도를 취했다. 미국 화학생산자협회(CMA)를 주축으로 하는 업계의 대응은 오히려 능동적이라 할 수 있다. CMA의 Phthalate Esters Panel, 비닐협회는 Greenpeace의 주장을 조목조목 반박하면서 phthalate 가소제의 무해성을 펼쳐 나가고 있다. 업계의 논리에 따르면, 지난 40여년간 아무 문제없이 사용되어온 이 물질들은 건강 및 안전문제에 관해 가장 많이 연구되고 잘 파악되고 있는 물질로서, 평상시 노출되는 정도로는 인간이나 야생동물에 해가 되지 않는다는 것이다. 또, 1995년 보고된 EDC관련 테스트 결과는 phthalate를 실험동물에 비정상적으로 과다 투입함으로써 생긴 것이고 WHO에서도 phthalate 때문에 쥐에서는 간종양이 발생할 수 있으나 인간에게서는

발생하지 않음을 확인한 사실을 강조하고 있다. CMA는 보다 더 능동적으로 이 문제를 대처하기 위해, '99년 이후 long-term health effects research program을 위해 12억\$의 막대한 예산을 조달하기로 결정하고, 향후 3년간 67백만\$을 투입하여 high production volume 화학물질들의 유해성 테스트와 EDC 스크리닝을 지원하기로 하였다. 이와 같은 사회적 논란 속에 phthalate EDC 관련 산업이 당장 피해를 입을 수준의 법적인 규제는 아직 발생하고 있지 않다. 이는 phthalate가 EDC 의심물질로 거론되기는 하지만, 자세한 유해성 내용이나 인과관계가 제대로 밝혀져 있지 않고 있다는 점이 환경단체의 노력에도 불구하고 언론에서 비중 있게 다루지 않는 원인으로 판단된다. 더욱이, FDA는 발암성의 DEHP(DOP)나 DEHA에 대해서는 식품과 접촉하는 PVC 포장재에 사용하는 것조차도 금지하지 않고 있는데 이는 포장재 내부 성분 자체보다 식품-포장재 간 위험성 여부에 초점을 두기 때문이다.

Canada에서는 건강청장관의 경고로 phthalate함유 PVC 장난감제품이 판매대에서 실제로 밀려나고 있다. 이러한 조치가 취해진 것은 Health Canada의 안전성평가와, the National Environmental Trust (NET) 및 Greenpeace의 DINP 가소제에 관한 보고서가 공개됨에 따른 것이다. 물론 CMA등에서 반론이 제기되었지만, Health Canada에서는 고농도 DINP에 노출된 설치류의 실험결과 간과 신장의 손상이 발견된 점을 강조하였다. 이에 대해, DINP 제조업체인 Aristech Chemical에서는 설치류 세포는 DINP에 극히 민감한 반응을 보여 심하면 암으로 발전할 수도 있지만, 인간 체세포에서는 그러한 반응이 나타나지 않음을 이유로 해서 반박했다. 이유야 어떠하건, Health Canada는 6개월 이내에 DINP 사용을 대체하도록 업체에 지시하는 한편, DINP를 함유하지 않는 장난감 및 용품 list를 작성함으로써, 해당 업계는 피해를 당할 수 밖에 없는 처지가 되어 버렸다.

유럽에서는 EDC의 아동 건강 위협에 대처해 아동을 대상으로 한 PVC제 어린이 용품을 기피하는 움직임이 급속도로 확산되고 있다. PVC 배경에 관한 greenpeace를 중심의 시민 운동으로 PVC 관련 업계의 피해는 이미 시작되어, '97년부터 장난감 판매대에서 PVC 제품은 사라지기 시작하였다. 이로 인해 '97년 4월에는 유럽비닐협회(EVC) 및 Solvay사가 15백만\$ 피해에 대하여 greenpeace Italy를 제소하는 사태가 발생하기에 이르렀다. 금년 여름 European Commission(EC)가 EU국가별로 이 문제에 대한 적절한 risk 평가 후 각자 규제책을 정하라는 권유에 따라 오스트리아가 제일 먼저 규제 조치를 발표했고, 덴마크에 이어 9월에는 스웨덴에서도 PVC 장

난감에 포함된 농도에 관계없이 phthalate계 가소제를 무조건 못 쓰도록 하는 규제 계획을 발표했다. 물론 업체들은 이러한 규제에 반발하여 EC에 제소하고 있지만 별 다른 결정이 없는 한 내년 여름부터 시행될 전망이다. Spain, Italy, Greece 등의 유럽국가는 물론 Argentina에서도 PVC 장난감은 규제를 받게 될 전망이다.

반면, 그 동안 phthalate에 관해 유럽을 뒤흔던 정치적인 난리를 해소할 것으로 기대를 모았던 금년 9월 발표 네델란드 국립건강환경연구소(RIVM)의 과학적인 평가 결과에 따르면 다음과 같다. 3개의 PVC 장난감에 제일 많이 쓰이는 DINP만을 대상으로 가소제 성분의 이동속도를 측정한 결과 1.4~2.4 ($\mu\text{g}/\text{분}$)으로 나타났다. 연구 참여 그룹에서는 유아들의 장난감 사용 형태 분석을 거쳐 노출 및 risk 평가를 수행했는데, PVC 장난감을 통한 DINP 흡수 가능량이 허용 판단치인 0.1 mg/Kg (몸무게)/day의 14% 이하인 것으로 드러났다. 이 발표에 대해, 기업-환경단체 양쪽은 이 결과를 서로 달리 해석하는 바람에 이 문제에 뚜렷한 결론을 내리지 못했다. RIVM의 연구 목표는 phthalate가 침으로 이동되는 실제 속도를 측정하고 향후 재현성 있게 사용될 수 있는 측정법을 개발하는 것이었다. 해당 가소제, PVC 및 어린이 용품 제조업체 측에서는 phthalate가 유연성 PVC 제품에 사용될 수 있음을 추가로 입증하는 것이며 특정 이동치 이하 범위에서는 phthalate가 안전하게 사용될 수 있음을 변호하는 것이라고 주장했다. 그리고 이 업계에서는 입에 넣을 수 있는 3세 이하 어린이용 용품을 그 이동치 이하가 되게 제조할 것이라고 발표했다. 반면, greenpeace에서는 제안된 측정법이 PVC 장난감에 함유된 DINP 이외의 phthalate가 침으로 이동할 수 있음을 고려하지 않는다고 반박하고 나섰다. 입장이 난처해진 화란정부는 더 자세한 연구가 필요하다라는 반응을 보였으나, 소비자 단체에서는 유아들에 대한 safety margin이 너무 적게 고려되어 그러한 제품의 안정성에 의심을 증폭시켰으므로 판매 금지시켜야 한다고 주장했다.

브롬계 난연제에 관해서도 유럽, 특히, 스웨덴이 적극적으로 관심을 보이고 있다. 스웨덴 환경청장관은 미국 및 일본 환경청에 생체 축적 가능성이 있는 브롬계 난연제에 관한 깊은 관심을 촉구하면서, PCB 문제의 재현 가능성을 미리 방지하기 위해 국제적인 공조체제 구축을 강조했다. 한편, EU program에 따라 검증된 바 있는 5가지 브롬계 난연제에 대한 위해성 평가가 마무리된 것으로 보도된 바 있다.

'98년 7월 일본에서도 PVC 완구의 판매 보류 움직임이 나타나기 시작했다. 19개 일본 시민 단체는 PVC제 어린이 용품의 폐기 요구 운동과 과학적 근거가 전혀

없다는 염화비닐공업협회의 주장이 팽팽히 대립했다. 이러한 공방 속에 일부 신용 생활협동조합측은 소비자들의 불안감과 제품판매 감소를 우려하여 PVC로 만든 유아용품, PVC 장난감과 식품용 랩 등은 팔지 않기로 자진 결의한 바 있다.

전체적으로 볼 때, 선진국에서조차도 phthalate 성분이 플라스틱 제품을 통해 인체내에 이동될 수 있는 양을 측정함에 있어 환경 및 소비자 단체나 정부가 인정하는 공인된 방법이 없어 정부의 규제와 관련 업체의 제소가 반복되고 있는 실정이다. 그러나, 과학적인 뒷받침이나 독성 평가 방법 여부에 관계없이, 시민단체의 거센 여론 형성에 PVC 장난감 생산업체나 도매업자들이 연이어 굴복하고 있고 포장재나 장난감에 "PVC-free"라는 표시가 점차 늘어나고 있다. 한편, 대기업 스스로가 제품 목록에서 phthalate 가소제 함유 플라스틱 제품을 삭제하고 있다. 예를 들자면, 세계 최대의 장난감 메이커인 Mattel은 유아용품에 phthalate가소제를 중지하겠다고 이미 발표했고, 최근에는 미국의 NIKE도 소비자들의 걱정을 고려하여 신발류에 PVC 사용을 배제해 나가며 의류에도 확대해 나가겠다고 이미 발표했다. 비록 지금은 식품 포장재, 용기 및 장난감 등의 최종제품이 피해를 보고있지만 건축용이나 산업용 PVC 제품들도 EDC 문제에 있어 자유롭지는 못할 것이다.

나. 국내 사례 조사

한편, 가소제 국내 생산능력도 '96년 기준 51만톤 (7억불) 규모나 된다. 국내에서 생산되고 있는 가소제는 상용성이 우수한 1차가소제인 DOP, DINP를 비롯해 제한된 상용성을 가지고 낮은 농도에서 사용되는 2차가소제인 DIDP, DBP, DOA, TOTM 등인데 DOP는 현재 가격이나 물성 면에서 우수하기 때문에 가장 널리 쓰이는 가소제로 전체 가소제의 약 80%를 차지하고 있다. DOP의 용도로는 농업용/포장용 필름, 시트, 인조가죽, 전선, PVC 카렌다링 등이다. 국내 생산중인 2차 가소제인 특수 가소제(DOA, TOTM, DIDP) 수요는 18,000 MT/년 (약 280억원 규모)에 이른다. 그러나, 최근 수요 침체와 공급 과잉으로 DOP를 비롯한 phthalate계 범용가소제 시장은 아주 나쁜 상황이다. 특히, '96년에 생산능력 확장에도 불구하고 PVC 판매가 원활하지 못해 수요가 정체상태를 보여 내수 시장이 아주 악화된 상태이다.

게다가, phthalate계 가소제 대부분이 EDC 의심 물질로 거론되고 있어 이에 따른 여파가 2000년대부터는 가시화 될 가능성이 크다. 그러나, 식품용기, 포장재나 장난감등 인체에 직접 노출, 접촉되는 PVC 제품에 집중된 EDC 문제가 여타 제품

에까지 확대될 가능성도 있다. 금년 9월 21일 소비자보호원에서 개최된 ‘플라스틱과 내분비 교란물질’에서 “플라스틱 제품의 생산에서 폐기단계까지 이들 물질의 총괄 관리가 필요하며”, “거론된 EDC 물질들이 생활환경에 어느 정도 노출되어 있는지 모니터링하는 것이 가장 시급하다”는 주장들이 제기되기 시작했다. 최근 TIME지에서 EDC 위해성을 보도한 바 있는 의료용 PVC백에 대해 식품의약품안전청(식약청)은 EDC 연구에 착수했다. 이어 식약청은 ‘99년도 EDC 평가사업 연구과제에 식품 및 용기중의 phthalate류에 관한 모니터링 과제와 고분자재료 의료기기의 EDC 모니터링 과제를 포함시켰다. 한편, 고분자재료 의료기기 EDC 연구와 관련, 수액백 등에 사용되는 PVC백을 제조하는 박스터사의 유럽환경담당자가 ‘99년 3월 식약청을 방문하여 PVC수액백은 지난 50여년간 수많은 환자에게 사용되어 안정성은 이미 입증되었다는 연구결과를 전달했다. 그에 따르면, DEHP는 유럽약전에서조차도 의료용품의 안정화제로 권장되는 물질이며 40여년 이상 사용되어 이미 안전성이 확인되었으며 특히 임상적으로도 부작용이 없다는 연구보고가 많이 있다고 강조했다 한다.

이와 같이 EDC 해당 가소제 제조업체의 예상되는 피해 가능성외에도 플라스틱 최종 제품 제조 업체의 피해 가능성도 배제할 수 없다. 단일 품목별 시장 규모는 크지 않지만 PVC 용기, 포장재, 장난감 등 phthalate계 가소제를 사용하는 제품들은 그 동안 선진국의 예를 볼 때, 향후 정부의 규제를 받을 가능성이 높다. 그러나, 이러한 규제보다 더욱 업체에 피해를 입히는 것은 환경단체나 시민단체들의 여론 압력이다. 예를 들어 소비자문제를 연구하는 시민의 모임에서 제시한 EDC 탈출 7가지 요령에는 “플라스틱 제품 사용을 줄이자”, “플라스틱 용기를 전자렌지에서 사용하지 말자” 등이 포함되어 있다. 이러한 내용들은 소비자들에게 큰 영향을 미치는 것들인데 EDC 문제와 관련하여 ‘플라스틱’이라는 단어가 계속 등장하여, 소비자들에게 “플라스틱 = EDC” 라는 선입견을 갖게 할 위험성이 아주 크며, 이러한 시민운동에 따른 소비자들의 반향이 해당 업체에 가장 큰 위협이 될 수 있다. 또한, ‘환경 호르몬’을 다룬 서적³²에서조차 phthalate 문제의 대책으로 플라스틱 제품의 구입 및 사용의 억제를 권장하고 있어 소비자들의 불안감과 산업계의 피해를 증대시키고 있는 실정이다. 여기서 더 나아가 phthalate의 규제가 시급하다라고 강조하는 성급한 경우도 있다.

2) 대응물질 및 대응기술 개발

(1) 선진국의 대응물질 개발 현황

Phthalate계 EDC와 관련된 대응 방안은 크게 두 가지로 대별된다고 볼 수 있는데, 용도별 PVC 대응 제품 개발이나 phthalate계 가소제 대응물질을 개발하는 방법이 적용 가능하다.

가. 용도별 대응제품 개발

보통, 비닐이라고 칭하는 PVC와 PVDC(polyvinylidene chloride)를 구분하여 사용할 수도 있다. PVC는 pipe/fitting/hose, 창틀, 전선피복재, 수술장갑, 의료용 튜브 및 백, 필름 랩, 물 및 식용유 병, PC용 disk 자켓, 식탁보, 욕탕 커튼 등 다양하게 쓰이지만 pipe 등 건축용 자재로 제일 많이 이용된다. PVDC는 flexible film 형태로 식품 및 의료용 포장재나 다층포장재 코팅용으로 대부분 쓰이며 수분/공기 차단 역할이 아주 뛰어나다. 그러나 사용되는 가소제가 서로 유사하므로 EDC 문제를 다룸에 있어 PVC로 통칭하여 사용할 수 있다. PVC는 1997년 미국에서만 635만 톤 사용되어 두 번째로 많이 쓰이는 플라스틱이다. PVDC는 1991년 전세계적으로 연간 82,000톤 팔려나갔다. PVC 무게의 약 50%이상을 가소제가 차지한다는 점을 기준하면, 사용되는 가소제 양은 대단히 많다. 플라스틱 포장재로는 LDPE, HDPE가 60%이상 쓰이지만, PVC도 4.6% (1997년 기준 180,000톤 사용) 쓰인다. PVC 포장재용도는 식품 28%, 의료용 31%, 기타 41%이다.

여러 가지 문제점에도 불구하고, PVC가 끈질기게 사용되는 이유로는 물성에 비해 우선 값이 싸다는 점과 투명한 외관성, 산소 및 수분 투과성, 구멍이 잘 나지 않고, 밀착성도 좋다는 점을 들 수 있다. 그러나 '80년대 후반 기준, 그 이후 PVC포장재 사용은 40% 나 줄어든 셈인데 가장 큰 이유는 환경문제에 기인한다. 이 중에는 발암성 물질 함유 (monomer 및 첨가제성분들), 재생 PET 오염, 소각처리에 따른 산성비, dioxin과의 연관성 문제 이외에 EDC 문제가 추가되었다.

PVC 대응제품 개발을 위해서는 먼저 PVC제품의 장점/특성을 보다 유의할 필요가 있다. 예를 들자면, 내구성이 좋아 refill제품 용기로 적합하여 결국 폐기물을 줄인다는 점; 성형용 mold값이 싸다(PET용기용 mold가 60~75,000\$에 비해 PVC 용 mold는 20,000\$수준); PET가 PVC 단가보다 35%가량 비싸다; PVC 투명 용기 내부

가 PET보다 훨씬 잘 보인다; PVC는 산소/수분 투과율이 아주 좋다 (PVDC는 정반대) 등이다.

이러한 장점으로 해서 그 동안 사용되어온 PVC제품 중 용기, 포장재, 장난감 등을 중심으로 다른 플라스틱 물질이 교체되어 사용되기 시작하였다. 용기는 주로 PET로, 닭고기 포장재로는 EVA, 신선육 용으로는 수분투과성이 뛰어난 nitrocellulose-coated 셀로판 필름, 가정용 랩으로는 PE film 등으로 이미 교체되었거나 교체 유망한 것으로 집약된다. 이는 EDC 문제가 본격 대두하기 전부터 plastic recycling 및 첨가제의 유해성 문제로 인해 크게 진전되고 있는 방법이다. EDC 문제와 관련해서는 타 플라스틱으로 교체함으로써 PVC 제조에서와 같이 phthalate계 가소제를 사용하지 않고도 원하는 제품을 만들 수 있게 하는 것이 대응제품 개발의 기본 핵심이다. 이와 관련하여 미국의 Dow Plastics는 유연성 PVC를 교체할 수 있는 ethylene-styrene copolymer를 개발했다고 최근 발표했다. 상표명을 Index라 칭한 이 물질은 새로운 메탈로센 촉매를 이용하여 25~85%의 넓은 범위로 styrene monomer를 ethylene과 공중합시킨 것으로 '99년 9월에 년 2만톤 규모로 상업생산을 시작하고, 2001년에 18만톤/년 공장을 증설할 예정이다. 더욱이, 이 고분자는 PVC와 같이 가소제를 쓰지 않으므로 40%정도의 무게만큼의 잇점을 지닌다. Styrene monomer 및 dimer의 EDC 가능성이 거론되는 상황에서 styrene으로 이루어진 copolymer의 경우 그러한 monomer 및 dimer의 용출 가능성을 배제할 수 없지만 PVC를 대신할 수 있는 경제적인 수지의 개발 여지가 많다는 점에서는 의미가 있다.

기타 Phthalate-free 화학제품 개발도 최근에 활발한 편이다.

< Phthalate-free 의료용 소재 >

의료용 소재 (flexible tube, bag등)로 많이 사용되는 PVC 재료로부터 phthalate 가소제 유출에 따른 EDC 문제 가능성으로 대응 소재의 개발연구(예: Massachusetts 대 McCarthy교수팀-Pfzer/Bard/Boston Sci.간의 협동연구)를 통해 가격 경쟁력이 있으며 EDC, dioxin 등 환경문제를 해소할 수 있는 대응 소재 (polyolefin류, 폴리에스터, bio-material등의 후보물질 또는 non-phthalate 가소제를 쓰는 PVC등)개발이 진행 중이다. 한편, non-phthalate PVC compound로 만든 tubing류 (예: Plastron Co., Unichem Products사), diaphragm, gasket등의 의료용기자재 부품 (예:

Colorite Polymers사), 의료용 유체전달시스템 (MedTech Products사의 non-phthalate pumping set)과 같이 이미 시판이 시작된 예도 많다.

<Phthalate-free 감광도료>

에멀전형태의 광기능고분자(phthopolymer)는 인쇄용 스크린, 영사막 등의 도포막 형성 재료로 사용되는데 최근의 신제품(예: Chromaline사 Magna/Cure UDC-3, Reflex FilmTM) 등은 phthalate를 첨가하지 않는 제품을 개발, 판매중인 것이 좋은 예이다.

나. Phthalate계 가소제 대응물질 개발

(i) phthalate 가소제 대응물질 개발

가소제로 사용되는 물질을 화학적으로 분류하자면 다음과 같다.

표 3-17. 가소제의 화학적 분류

가소제 group	점유율(%)*
Phthalates	61
Trimellitates	1
Phosphates	6
Aliphatic dicarboxylic acid ester	
Adipates	3
Sebacates	1
Polyesters (Polymeric plasticizer)	2
Fatty acid esters (oleates, stearates등)	2
Fatty acid esters, epoxidized	5
여타 cyclic plasticizer	13
여타 acyclic plasticizer	6

(*) 점유율은 1987년 US International Trade Commission 자료이므로 국가별, 연도별 차이가 있을 가능성이 높음

<비phthalate 가소제의 응용>

PVC로 이루어지는 플라스틱 제품을 그대로 제조하되, EDC 위험성이 있는

phthalate 가소제만을 교체하고자 하는 경우 첫 번째 접근 방법으로 비phthalate계 가소제의 사용을 검토할 수 있다. 모든 가소제마다, 제각기 PVC의 다양한 물성 각각에 영향을 줄 수 있지만, 제품 용도에 맞게 선정해야하며 1차 및 2차 가소제나 보조제와 함께 쓰는 방법을 고려해야한다. 이러한 노력의 결과로 Phthalate-free 또는 non-DEHP PVC compound 개발(예: 미국 Synergistics Ind.) 사례가 속속 등장하고 있는데 대응 가소제 성분 및 혼합 조성 등 자세한 기술적 내용은 알려져 있지 않다.

PVC등의 비닐류 제조용 phthalate가소제 대응제품으로 시판되는 non-phthalate 가소제의 일례로 Velsicol사의 Benzoflex^(R)는 무수프탈산 대신 벤조산을 원료로 하여 만든 에스테르 제품을 들 수 있다. 이 물질은 FDA조건도 만족할 정도로 독성이 적어 식품용 포장재에 사용되어도 무방한 것으로 드러나 이 회사는 '98년 Chemical Education's Products Stewardship을 수상한 바도 있다. 이와 같이 PVC교체 대신 사용되는 가소제를 non-phthalate 에스테르계 물질로 교체하여 EDC 및 독성문제를 해결하려는 노력은 앞으로도 계속 확대될 전망이다.

그러나, 선진국에서의 이러한 노력에도 불구하고, 많이 사용되어온 phthalate 가소제만큼 값싼 non-phthalate계 가소제는 아직 등장하지 못하고 있는 상황이다. 그러나, 향후, non-phthalate물질의 화학적 변환이나 부첨가제 등의 개발이 이루어지면 대응물질의 응용이 보다 촉진될 수 있다. 여기서, 경제성이 무엇보다 중요한 요소이므로, 비싼 ester계 물질들을 보다 저렴하게 대량생산할 수 있는 공정기술의 개발도 부수적으로 개발되어 비phthalate계 가소제를 플라스틱 제품에 사용할 수 있는 범위를 확대시켜야 할 것이다.

<biochemical 가소제의 이용>

상기 표에 예시된 가소제 종류이외에 biochemical 가소제의 이용도 고려될 수 있다. 그 예로는 팜유, 피마자유와 같은 다양한 원료로부터 유도된 acrylic ester나 epoxidized vegetable oil같은 물질이나 펄프 제조 시에 생기는 수지성 혼합물인 툴유 (tall oil) 등이 포함된다. 현재에도 PVC 가소제로 epoxidized soybean oil이 사용되고는 있는데, 너무 많이 쓰면 PVC제품이 brittle해지는 문제가 있다. 따라서, 미국 soybean협회 (ASA)에서는 이러한 기술적인 애로점 타개에 향후 기술개발의 목표를 두고 있다. 경제성 면에서 보면 \$0.78/lb인 이 oil이 \$0.52/lb인 DOP가소제

보다는 40%정도 비싸지만, DOP같이 PVC에서 추출되지도 않고 EPA section 313 Toxic Release Inventory나 대기오염위험물질(Hazardous Air Pollutant)에도 들어있지 않으므로 충분히 응용 가능성이 있게 보인다. 앞으로, 응용기술의 진전과 이러한 우수성이 합쳐지면, 현재 45,000 MT/yr 시장이 600,000 MT/yr 수준으로 급증할 것으로 기대된다.

다. Phthalate 첨가제 대응 물질 및 제품 개발

플라스틱 가소제 이외에 phthalate물질들은 페인트, 잉크, 접착제 첨가제 또는 구성성분으로 사용되는데 이러한 화학제품 가운데에서도 대응제품 개발이 자주 소개되고 있다. 예를 들어 일본 화장품회사인 Shiseido Co.와 Kose사에서는 EDC 문제가 본격화되자 손톱용 화장품에 phthalate를 사용하지 않는 non-phthalate성분을 사용하는 대응상품 개발 계획을 발표한 바 있다. 이와 같이 phthalate를 원료 성분으로 사용하는 화학제품들의 대응 상품 또는 phthalate 교체제의 등장이 속속 이루어질 전망이다.

라. PVC 표면 가소제 누출 방지 기술

PVC표면을 적절히 처리함으로써 문제가 되는 phthalate 가소제 분자가 제품 표면 밖으로 유출되지 않도록 하는 방안도 다양하게 모색되어오고 있다. 물리적, 화학적 코팅, 표면 개질, 가소제와 PVC고분자간 결합력 증대 등 여러 가지 요소 기술들이 적용 가능한데, 아직까지 경제적이면서 손쉽게 처리할 수 있는 방법은 부각되고 있지는 않다. 그러나 최종제품 제조업체가 적용할 수 있는 이러한 기술이 개발되어 소비자들의 걱정을 배제하는 것이 PVC원료나 가소제 업계 입장으로도 바람직한 방법이 될 수 있기 때문에 관심이 집중되는 분야 중 하나이다.

마. Non-halogen계 난연제 개발 및 활용

할로젠계(특히 브롬계) 난연제는 독일을 비롯한 유럽지역에서부터 환경문제 이슈로 부각되어왔다. 현재는 소각시 dioxin 발생에 대한 가설의 검정은 여러나라에서 확실하지 않은 것으로 인식되고는 있으나 브롬 자체의 독성이나 사출 및 성형시 가스발생 등의 문제로 대신할만한 물질 개발을 위한 연구가 업체별로 활발히 진행 중이다. 그러나 아직까지는 브롬계 난연제를 대체할 만한 성격의 난연제가 개발되지

않아 국내에서는 지속적인 연구와는 별도로 브롬계 난연제의 수요가 해마다 늘고 있다. 이는 난연성 규제가 정립된 미국, 일본, 유럽 지역에 수출시장을 확보하기 위해 TV, VTR, PC 등 전자기기 외장재를 비롯해 가구, 섬유 등에 적용범위가 점차 다양해지고 있기 때문인 것으로 나타났다.

브롬계 난연제 시장에 환경문제가 이와 같이 부각되자, 미국의 Albermarle사는 DBDPO 대체품으로 독성이 낮은 브롬계 DBDPE인 Saytex 8010을 개발했으며, GLC에서도 신제품을 소개한 바 있다. 그러나, 이는 가격면에서 기존의 DBDPO보다 아직까지는 비싼 단점이 있고 역시 브롬계이기 때문에 일본 등에서 수요가 많이 늘어난 것에 비해 국내 수요는 아직 미미한 수준이다. 따라서, 브롬이 포함되지 않는 값싼 난연제가 개발된다면 국내외 시장에 큰 충격을 주면서 시장을 주도할 가능성이 높으며, 이러한 non-halogen 난연제를 플라스틱 제품 제조에 활용하기 위한 기술의 개발도 필요한 시점이다.

(2) 국내 대응물질 개발 현황 및 기술적 애로 사항

가. 국내 현황

국내에서는 EDC 문제로 인해 아직까지 비phthalate 가소제의 응용이나 biochemical 가소제의 이용에 대해서 구체적인 계획을 갖고 있는 업체가 없다. 또, 비phthalate물질의 화학적 변환이나 부첨가제 등의 개발에 대한 검토 수준 이상의 실질적인 대응물질 개발 연구는 아직 가시화 되지 않고 있다.

다만, 가소제 제조 업체별로 EDC 관련 기술 자료, 선진국 업체 및 협회 (플라스틱협회 또는 가소제협회 등)의 대응 전략 정보, 국내외 시민운동 단체의 운동 현황, 언론 동향 파악에 주력하고 있는 편이다. 일부 업체에서는 그동안 확보된 독성 및 기술적 데이터를 기준으로 하여 현재 사용중인 가소제를 사용한 플라스틱 제품이 내분비계 장애를 일으킬 수준이 아님을 발표, 홍보하는 등의 적극적인 자세를 보이는 경우도 있다.

PVC 대응 플라스틱 제품의 사용이나 개발에 있어서는 선진국에 크게 뒤지지 않는 편이다. 가정용 PVC 랩은 PE film 등으로 이미 상당 부분 교체되었고 plastic recycling 및 첨가제의 유해성 문제로 인해 PVC용기도 PE, PP, PET 등으로 많이 교체되었다. 그러나, PVC 제품의 교체는 새로운 기술 개발보다 원료 수지 단가 및 mold 비용 등 경제성 문제가 아직까지는 교체 여부의 핵심 요인이다.

나. 기술적 애로 사항

Phthalate 대응물질이나 PVC 대응 플라스틱 사용에 있어 가장 큰 걸림들은 경제성이다. 앞서서도 언급했듯이 phthalate계 가소제를 대응할 만한 값싼 가소제가 아직은 이용가능하지 않다는 점이 가장 큰 장애요인이다. 한편, PVC 필름이나 용기를 아직도 사용하는 이유는 투명성 및 산소/수분 침투성에 관련된 물리적 특성도 있지만 PET 등의 교체품에 비해 PVC가 가격 면에서 유리하다는 점이다. 이러한 요인들은 플라스틱 제품 생산업체 규모가 작을수록, 최종제품 시장경쟁이 치열할수록 원자재 단가가 경제성에 중요한 역할을 하기 때문에 PVC 교체의 필요성에도 불구하고 기술 개발 착수의 걸림돌이 되고 있다.

더욱이, 국내 플라스틱 가공업계 현장에서는 DOP등의 phthalate계 가소제에 대한 선호도가 너무 높아 대응 가소제의 사용을 심각히 고려하지 않고 경제성이 있는 대응 가소제의 등장에 대해서도 회의적인 의견이 지배적이다. 또한, 가소제의 대응은 formulation 변동 및 가공조건의 변화 등 부수적인 문제들도 발생할 가능성이 높기 때문에 첨가제의 교체에 부정적일 수밖에 없다.

종합적으로 판단해보면, 선진국의 예를 볼 때 기술적 해결방안을 마련할 수 있는 가능성은 충분히 높다고 할 수 있지만, 관련 업계의 부정적인 입장 견지가 기술 개발의 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 그럼에도 불구하고, 플라스틱 가공 업계에서 긍정적인 입장을 갖출 수준으로 경제성을 갖춘 대응 기술의 개발이 없이는 관련 업계가 입게될 피해를 극복할 방안은 없는 것이다.

5. 산업 및 환경오염물질 분야

1) 유기염소계 분야

(1) 분야의 개황

염소는 자연계에서 무기물로만 존재하나 다른 유기 또는 무기화합물과 반응하여 약 11,000종의 화합물이 개발되어 사용 중에 있으며 이 염소화합물의 시장규모가 모든 화학물질 시장의 2/3를 점하고 있을 정도로 인류의 생활과 밀접한 관계에 있다. 특히 유기염소계 화합물은 가격이 싸고, 열적 화학적 안정성이 있어 기능성 물질의 제조가 용이하다. 반면에 대부분 급성, 만성적 환경독성을 지니고 있어 가네미유증사건, Seveso사건, 오존층파괴 등의 커다란 사건을 비롯하여 수많은 환경위해 문제가 발생하여 Green Peace와 같은 환경운동가들은 지구상에서 인공적으로 염소화합물을 제조하지 말 것을 주창하고 있다.

염소가 자연적으로 또는 인공적으로 지구상에서 존재하는 대략적인 cycle을 그림 3-5에 나타내었다. 염소는 소금물의 전기분해를 통하여 제조되며 전세계적으로 연간 약 4,000만톤이 생산되고 있다. 이 염소는 유기물질과의 화학반응에 의해 수많은 유기염화물로 변환되어 TCE, PCE와 같은 용매, CFC와 같은 냉매나 세정제 등으로 사용되고 나아가 이 유기염화물은 플라스틱과 같은 고분자의 제조원료나 첨가제로 활용된다. 이 유기염화물이나 염화고분자 물질은 인류생활과 밀접한 관계를 맺으면서 오랫동안 사용되어 왔지만 이들이 생산, 사용 또는 폐기되는 과정에서 인체에 유해한 물질로 변환되어 대기, 하천, 바다, 토양 등의 환경에 광범위하게 확산되어 왔다.

그러므로 학계에서는 염소화합물의 환경영향에 대하여 지속적인 관심을 가지고 추적하고 있으며, 염소화 물질이 가지고 있는 일반적인 환경위해성을 감안하면 앞으로 많은 유기염소계 물질들이 내분비계 장애물질(EDC) 또는 최소한 CFC와 같이 국제적인 규제대상이 될 것이다. 표 3-18은 현재 EDC로 지정된 유기염소계 물질들을 나타낸 것이다.

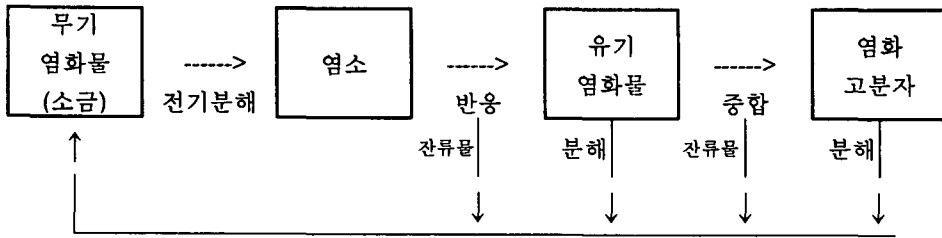


그림 3-5. 지구상 염소원소의 순환

이들의 구성을 보면 PCB, PCP, Dioxin과 같이 산업용 또는 공정부산물(표 3-18의 C로 표시)과 그 나머지는 살충제, 살균제, 제초제, 진균제 등 농약들이다. 따라서 본 절에서는 PCB, PCP, Dioxin만 다루고 농약류는 별도의 항목에서 취급하였다.

가. PCB

PCB(Polychlorinated Biphenyl)는 그림 3-6에서와 같이 벤젠링의 수소원자가 염소로 하나 이상 치환된 페닐기 두 개가 서로 결합한 물질을 총칭하는 말로 폴리클로로페닐, 폴리염화비페닐, 염소화비페닐이라고도 불린다. PCB는 치환된 염소의 수와 위치에 따라 계산상 209종의 이성체가 존재할 수 있으나 실제 시판되고 있던 것은 약100여종을 약간 상회하고 있다.

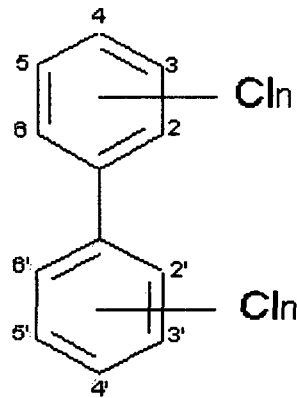


그림 3-6. PCB

이 PCB는 1881년 독일의 Schmidt와 Schultz가 최초로 합성하였으며 1921년 미국의 Swan사(나중에 Monsanto사에 합병됨)가 공업화하여 Arochlor라는 상품명으로 시판하기 시작하였으며 후에 수십개의 회사에서 다른 상품명으로 판매하였다. PCB는 독특한 명명법으로 구분하는데, 예를 들어 Arochlor-1254에서 Arochlor는 Monsanto사

표 3-18. 유기염소계 EDC

내분비계 장애물질	유래	지정기관		
		EPA	WWF	일본후생성
Dioxin	C	○	○	○
PCB	C	○	○	○
PCP	C	○	○	○
Hexachlorobenzene	F		○	○
2,4-Dichlorophenol	C		○	○
Octachlorostyrene	C		○	○
Chlordane	I	○	○	○
Oxychlordane	I	○	○	○
1,2-Dibromo-3-chloropropane	N		○	○
Vinchlozolin	I	○	○	○
Heptachlor	I	○	○	○
Trans-nonachlo	I	○	○	○
Alachlor	H	○	○	○
Dieldrin	I	○	○	○
Difocol	I		○	○

C : Industrial Organic Chemical

I : Insecticide

F : Fungicide

N : Nematocide

H : Herbicide

의 상품명, 처음 두자리 숫자 12는 PCB, 나중 두자리 숫자 54는 염소함량을 나타낸다.

PCB의 물성을 보면 30℃에서 비중이 1.44이고 끓는점이 603~648 K, 어는점이 233~253 K, 물에 녹는 용해도가 $10\text{-}10^{-2} \mu\text{g/ml}$, 20℃에서의 증기압이 0.1 Pa 이하이고 옥탄올과 물에의 분배계수가 5.58~6.57 이다. 이 PCB는 표 3-19에 나타낸 것과 같이 불연성이고 안전성, 절연성, 전기적 특성 등이 우수하기 때문에 변압기 및 콘덴서의 절연유, 윤활유, 플라스틱 가소제, 도료첨가제 등 다양한 용도에서 사용되었다(표 3-20).

지금까지 생산된 PCB양은 미국이 43만톤, 프랑스가 20만톤, 독일이 12만톤, 영국과 일본이 6만톤 등 전세계적으로 120만톤이 생산된 것으로 추정되고 있으며 일본에서는 1972년, 미국에서는 1977년부터 생산이 중단되었다.

1966년 스웨덴의 Jenssen이 생체내에 PCB가 축적된다는 것을 처음 발표한 이래 우수한 물성으로 장기간 사용되어 오던 PCB가 인체에 해로운 오염을 일으키는 것이 알려지게 되어 지구적 규모의 오염문제로 검토되기 시작하였고 이 보고를 시작으로 대기, 물, 해양, 하천, 토양, 하천/호수퇴적물 등의 자연환경은 물론 과일과 같

표 3-19. PCB의 특성

1. 불연성이면서도 가열이나 냉각시 물성이 변하지 않는다.
2. 절연성과 전기적 특성이 우수하다.
3. 화학적으로 안정하고 산, 알칼리 등과 잘 반응하지 않는다.
4. 물에는 잘 용해하지 않지만 유기용매에는 잘 용해한다.
5. 점착성이 우수하다.

표 3-20. PCB의 용도

용도	분야
절연유 (변압기, 콘덴서)	건물, 병원, 철도차량, 선박 등의 변압기 형광등, 수은등 등의 안정기 냉난방기기의 콘덴서 전기저장용 콘덴서
열매체	화학공업, 식품공업, 합성수지 등의 가열 및 냉각 중앙난방 열매체
윤활유	고온용 윤활유, 유압 Oil, 진공펌프 Oil, 절삭유 등
가소제	전선의 피복, 절연테이프의 절연제 합성수지 난연제 접착제, 왁스 등의 가소제
도료	난연성, 내식성, 내약품성, 내수성 도료 Noncarbon Paper, 인쇄잉크 등
기타	석유첨가제, 농약의 지효성 향상, 종이의 코팅 등

은 식물이나 조류, 어패류, 인체 등 동물에 이르기까지 광범위하게 PCB의 오염상태가 밝혀졌다.

PCB는 이 물질의 제조공장 및 사용하는 공장의 폐수와 대기를 통해 방출되거나 폐기, 소각, 처리장 및 보관장소에서의 누출(보관용기의 파손, 지진 등의 자연재해 등), 불법투기 등에 의해 환경에 방출된다. 또한 불완전한 소각처리의 경우에는 Dioxin중 가장 강한 2,3,7,8-TCDD로 많이 전환되는 것으로 알려졌다.

PCB는 높은 화학적 안정성과 유지성분에 대한 높은 용해성으로 매우 장기간 환경에 잔류하며, 지용성이기 때문에 물 속의 플랑크톤과 같은 미생물에 의해 섭취된 후 먹이사슬에 의해 생체축적이 이루어진다.

PCB의 생체독성을 표 3-21에 나타내었다. PCB의 생체흡수율은 일반적으로 매우 높으며 지용성인 관계로 모유에도 많이 함유된다. 당연히 이 모유를 매개로 태아에게 나쁜 영향을 미치며 어머니에 축적된 PCB의 약 절반정도가 모유로 배출되는 것으로 조사된 바 있다. 다만 1972년 이후 일본에서 PCB의 생산이 금지된 이후 모유 중의 PCB 농도가 감소하는 추세를 나타내어 생산이 금지된 이후 모유함유량은 지

속적으로 감소되어 온 것으로 추정된다.

몇 종류의 PCB 독성등가를 다이옥신과 비교하여 표 3-22에 나타내었다. 최근 PCB의 독성은 독성발현 mechanism의 하나인 Ah수용체(Ah Receptor)가 관여하는 것으로 보고되었다. PCB는 생체내에서 Ah수용체와 결합하여 여러 유전자의 발현, 효소발현, 호르몬의 농도 등에 영향을 미쳐 암, 돌연변이, 면역이상, 발육이상 등을 일으켜 결과적으로 내분비계를 교란하여 극미량으로도 인체에 악영향을 미친다.

우리나라에서 PCB는 지난 1984년부터 수입이 금지됐지만 그 동안 사용된 PCB가 토양이나 지하수, 하천, 바다 등을 오염시키고 있다. 즉 낙동강 하류연안과 가덕도주변의 철새도래지에 대한 조사에서 사상 - 신평 - 장림공단 하류 퇴적토에서는 PCB가 30~8,500 ppb가 검출됐으며 가덕도일대에서 잡힌 어류에 잔류한 PCB 최고 농도는 송어 688.1 ppb, 전어 91.6 ppb, 도다리 78.6 ppb, 까치복 43.35 ppb 등으로 나타났다. 또한 1998년 9월 오염되지 않은 담치를 진해만 바다에서 열흘동안 키운 후 PCB 함량을 측정한 결과 진해시 쓰레기 매립장 앞에서는 3.42 ng/g, 속천항 3.2 ng/g, 대죽도는 3.36 ng/g 등으로 모든 지역에서 3ng/g 이상이 검출되었다. 따라서 열흘동안의 오염도를 조사한 수치가 이 정도로 높으므로 이미 남해안의 바다 밑 빨충과 패류는 더욱 심각하게 오염돼 있음을 알 수 있다.

우리나라에서 PCB를 처리할 수 있는 곳은 경기도 화성군에 소재하고 있는 화성사업소가 유일하나 현재는 가동하지 않고 있다. 우리나라에서 PCB 함유물질을 많이 사용하는 곳은 한전, 미군 등이며 보관되어 있는 PCB 함유 폐기물 양은 1995년 기준으로 화성사업소 21톤, 한전에서 38톤이며 1998년까지 167톤이 추가로 발생할 예정이다. 참고로 현재 PCB함유 폐기물은 영국 리켄사에 보내져 처리하고 있다.

표 3-21. PCB의 독성

종류	독성
급성독성	Rat LD ₅₀ : 1300 - 11300 mg/kg (PCB종류에 따라 다름) Mouse LD ₅₀ : 1300 - 11300 mg/kg
피부 및 점막	LOAEL : 0.08 mg/kg/day(Ar.1254) LOAEL : 2 mg/kg/day
간	Rat 및 Mouse의 간세포의 지방 변성 간의 장애를 시사하는 혈청 생화학치가 변화됨
돌연변이성	Ames시험결과 Ar.1221은 양성, Ar.1254는 음성
인체독성	<ul style="list-style-type: none"> · 피부에 검은색의 색소가 침착됨(어머니에 발생하면 신생아도 발생) · 여드름 속의 지방성분에 염소 함유 · 모유중에도 많이 함유됨 · 눈과 구강점막 이상이 발견됨 · 황달, 황색간위축, 부종, 복통 · 권태감, 식욕이 없는 등의 초기증상 외에 말초신경계의 이상도 발견됨 · 월경이상과 같은 호르몬 이상 · 기관지염, 면역력 저하 (소수에게서 발견)

표 3-22. PCB와 다이옥신의 TEF

동족체	독성등가환산계수(TEF)
2,3,7,8-TCDD	1.0
2,3,4,7,8-TCDF	0.5
3,3',4,4'-cPCB(Non-Ortho PCB)	0.0005
3,3',4,4',5-cPCB(Non-Ortho PCB)	0.05
3,3',4,4',5,5"-cPCB(Non-Ortho PCB)	0.01

나. Dioxin

다이옥신이라 알려져 있는 화학물질은 수소원자가 염소로 치환되어 있는 두개의 벤젠고리가 산소를 매개로 서로 연결되어 있는 화합물을 말하며 가운데 고리에 산소원자가 2개인 다이옥신계 화합물(Polychlorinated Dibenzo Dioxin, PCDD)과 산소원자가 하나인 퓨란계 화합물(Polychlorinated Dibenzo Furan, PCDF)을 모두 통칭하는 것이다. 다이옥신은 염소의 위치에 따라 PCDD는 75개, PCDF는 135개의 이성체가 존재하며 다이옥신의 농도는 독성이 가장 강한 것으로 알려진 2,3,7,8-TCDD의 독성을 1로 보고 다른 이성체에 대해서는 이와 상대적인 독성동가인자(Toxic Equivalency Factor, TEF)를 이용한 독성동가 값(Toxic Equivalent, TEQ)으로 나타낸다.

다이옥신의 독성에 관해서는 여러 나라에서 많은 동물실험 등을 통해 다이옥신이 급성독성 뿐만 아니라 만성독성, 면역독성, 생식계 독성, 발암성 등이 나타나는 것으로 알려졌다.

이에 따라 외국에서는 1970년 이후로 다이옥신을 가장 중요한 환경물질의 하나로 취급하여 인간에 대한 위해성 평가, 배출 오염원 측정 및 분석방법, 저감대책, 환경에의 농도 및 인체내의 영향 정도를 예측하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 우리나라에서 다이옥신 문제가 제기된 것은 1987년 목동 자원회수시설에서 도시 쓰레기를 소각하기 시작하면서부터이며 특히 정부에서 1990년에 쓰레기 처리 정책을 매립에서 소각 위주로 전환하면서 소각장에서의 오염문제 중 다이옥신에 대한 관심이 급증하였다.

(가) 발생원과 저감기술 개요

다이옥신은 모든 연소공정에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 그 밖에도 염소화학공정에서 반응부산물로 생성되기도 하며 염소를 이용한 표백이나 살균과정에서 유기물과 화합하여 발생할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 표 3-23은 다이옥신의 발생원을 나타낸 것이다.

표 3-23. 다이옥신의 발생원

	생성원	주요 세부항목
1차 오염원	화합물제조	클로로페놀 관련물질의 제조(제초, 곰팡이 방지, 살충제 용도) (예) 2,4,5-TCPD, 헥사클로로펜, NIP, X-52 등
	폐기물 소각	도시폐기물, 산업폐기물, 의료폐기물, 오니의 소각에 의한 연돌 배출물, 비산재
	펄프,종이 제조	염소화합물에 의한 표백처리
	자동차	가솔린 첨가제(사에틸납), 포착제(2-Chloro, 2-Bromo Ethane)
	기타	화산, 화재, 번개 및 산불
2차오염원	식품섭취, 음용수 섭취, 피부접촉, 토양, 하수오니, 퇴비 및 퇴적물 등	

이 표에 나타난 바와 같이 다이옥신의 발생원은 다양하나 우리나라에서 다이옥신과 관련되어 초미의 관심대상이 되고 있는 것은 쓰레기 소각로이다. 이는 쓰레기 소각장이 들어섬으로 인하여 발생할 수 있는 교통량 증가와 그에 따른 소음발생, 또한 소위 혐오시설이라고 불리워지는 쓰레기 소각로가 인근에 설치되므로 인하여 우려되는 주거지의 가치하락도 주요한 원인일 것이나, 그 동안 거의 대부분 매립에 의하여 쓰레기가 처리되었던 만큼(표 3-24), 쓰고 버리면 폐기물은 가시영역에서 영원히 벗어나 주었고 매립지에서 우리의 환경과 관련하여 무슨 일이 벌어지고 있는지 알 바 없었던 과거의 무지에서 아직 깨어나지 못한 상태에서 과거의 노천소각으로 각인되어 있는 쓰레기 소각에 대한 이미지와 함께 청산카리 보다 1만배 강한 독성을 가졌다는 다이옥신 문제가 쓰레기 소각로에 의해서만 발생하는 것으로 잘못 인식되고 있는 데에 원인이 있을 것이다. 그러나 다이옥신은 일반가정에서 예부터 해오던 난방을 위하여 장작을 때던 기름 또는 청정연료라는 가스를 연소하던 간에 발생하는 것이고 보면 오히려 예를 들어 소각열을 이용한 지역난방을 통하여 전체적으로 발생하는 다이옥신의 양은 줄일 수 있는 것이다. 또한 데워진 공기는 자연적으로 상승하므로 소각가스에 함유된 분진 등 상대적으로 무거운 물질을 고도로 제거한다면 소각로가 설치된 인근지역은 오히려 타지역 보다 발생하는 연기에 대한

피해를 덜 받을 수 있다. 더구나 우리나라의 굴뚝 높이는 선진국이 충분하다고 설정한 80미터의 약 2배에 해당하는 150미터로 설정하고 있는 만큼 그 영향은 더욱 더 미미할 것으로 생각된다. 그 보다는 우리나라의 국토가 협소하여 신규 매립지를 확보하는 것이 이미 전국적으로 큰 현안문제가 되어 있을 뿐더러, 인구의 약 절반이 살고 있는 수도권에서 김포 매립지가 종료된다면 현재와 같은 방법으로는 더 이상 쓰레기를 처리할 방도가 묘연한 만큼 매립지의 수명연장을 위하여도 쓰레기의 소각은 앞으로 더 적극적으로 추진되어야 할 것이며, 또한 현재와 같이 안정화되지 않은 쓰레기가 매립지에 묻힘으로 인하여 조성된 반응성 매립지는 많이 알려진 침출수문제 외에 훨씬 광역적인 유해가스문제를 야기할 수 있으며 이로써 우리 눈에 보이지 않는 먼발치에서부터 우리의 생활권을 향하여 옥죄어 오고 있는 거대한 오염원을 방지하기 위하여도 정부에서 계획하고 있는 바와 같이 소각은 적극적으로 추진되어야 할 것이며, 동일한 이유에서 이미 선진국들에서는 쓰레기 처리를 위하여 소각을 적극적인 방법으로 편입하고 있다(표 3-25 참조).

그러나 다이옥신을 저감하기 위한 노력은 적극적으로 추진되어야 할 것이므로 이를 위하여 재차 발생원 별 발생현황과 그 양상을 보면(표 3-26~3-31);

- 우리나라에서는 이에 대한 측정이 아직 광범위하게 이루어지지 않고 있으나 설치된 소각로의 대부분이 배출기준치인 $0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3$ 보다 높게 나타나고 있어(표 3-26 참조) 다이옥신문제가 소각로의 배기가스에 국한하여 집중되고 있고, 미국의 자료(표 3-27 참조)와 일본자료(표 3-28)도 이와 유사한 형태이나 일본의 경우는 그동안 기존하는 약 1900개의 소각로를 다이옥신 처리설비 없이 운전한 결과로 추정된다.

표 3-24. 생활폐기물 발생량 및 처리현황

	1991	1992	1993	1994	1995
발생량(1000톤/일)	92.2	75.1	62.9	58.1	47.8
증가율(%)	9.8	18.6	16.2	7.7	17.8
재활용(%)	7.4	7.9	11.5	15.4	23.7
소각(%)	1.6	1.5	2.4	3.5	4
매립(%)	91	90.6	86.1	81.1	72.3

표 3-25. 각국의 폐기물 소각현황(1990/1991)

Country	Amount of waste incinerated (1000 t/y)	Percentage of waste(%)		No. of MWI
		Incinerated	Incinerated with energy recovery	
Japan	37,582	73	20-30	1,841
Canada	1,100	4	4	13
USA	28,900	16	15	152
Austria	300	18	18	2
Denmark	1,500	70	70	48
France	6,350	40	13	260
FRG	9,300	23	22	49
Italy	2,000	10	4	54
Netherlands	2,805	46	36	11
Norway	440	23	13	50
Sweden	1,550	55	55	22
Switzerland	2,300	80	60	48
UK	2,780	10	3	33

표 3-26. 다이옥신 배출량

소각로	Ton/Day	실측농도 (TEQ-ng/Nm ³)	예상배출량 (TEQ-g/year)
해운대	200	0.75	0.225
상계	800	0.17	0.204
다대	200	0.32	0.096
목동	400	0.06	0.036
성남	100	4.02	0.603
중동	200	23.12	6.937
창원	200	1.04	0.312
일산	300	2.86	1.287
성서	200	20.24	6.702
평촌	200	0.99	0.296
의정부	50	8.68	0.651
계	3050	-	16.719

표 3-27. 오염원별 다이옥신 배출량 (1994, 미국EPA)

오염원	배출량(g-TEQ/year)	비율(%)
의료용 폐기물 소각로	5,100	52
도시 폐기물 소각로	3,000	31
시멘트 가마	350	4
나무연소	360	4
석탄연소	300	3
구리제련 및 정제 관련	230	2
기타	460	4

표 3-28. 오염원별 다이옥신 배출량(일본)

Source	Emission(g-TEQ/year)
MSW incineration	3100-7400
Incineration of organic chloride waste & waste oil	460
Clinical waste incineration	80-240
Sewage sludge incineration	5
Paper mill sludge incineration	2
Paper mill black liquor boiler	3
Wood & wastewood incineration	0.2
Metal works	250
Cigarette smoke	16
Paper & paperboard	40
Motor vehicles	0.07
Lubrication oil	20

- 독일자료(표 3-29, 표 3-30 참조)에 의하면 소각가스 이외에도 고철재생공정과 염화물 취급공정 등 산업공정에 대한 비중도 높은 것으로 나타나고 있다. 특히 산업공정의 경우 기체뿐 아니라 따라 토양도 심각하게 오염될 수 있음을 나타내고 있어 소각가스에서의 다이옥신 저감방안과 함께 산업공정과 특정 관련산업 부지 및 슬러지에서의 저감방안에도 비중을 두어야 할 것으로 나타나고 있으며, 다이옥신의 분포양상을 나타낸 미국 EPA 자료(표 3-31)도 이를 뒷받침하고 있다.

표 3-29. 독일의 발생원별 다이옥신 발생량(자료출처 : 독일 연방환경부 자료, Umweltpolitik, Stellenwert der Hausmüllverbrennung in der Abfallentsorgung)

발생원	발생량	
	kgTEQ/년	kgTEQ/20년
소각로	0.4	8
소각로잔류물	3.7	74
병원폐기물소각	0.002	0.03
특정폐기물소각	0.001	0.02
자동차 배기가스	0.05	1
펄프, 종이표백	?	?
고철재생	3.5	70
기타 열공정	7	140
PCP 제작 및 사용	1.3	26
PCB 사용		90

표 3-30. 토양의 다이옥신 함량(독일자료)(자료출처 : 독일 연방환경부 자료, Umweltpolitik, Stellenwert der Hausmüllverbrennung in der Abfall entsorgung)

대상 장소	다이옥신 함량[ngTEQ/kg]
기초부하량	1
소각로인근	최대 23
폐전선 소각장 인근	최대 29,000
고철용해공장	최대 7,930
병원폐기물 소각로	최대 34
도로변	최대 261
하수슬러지 시비장소	최대 6,500
제지공장 슬러지	최대 1,000
쓰레기 퇴비(한가지 경우)	50

표 3-31. 다이옥신 존재위치(1994년, 미국 EPA)

	방출량 (g-TEQ/year)	비율(%)	범위	
			최저치	최고치
공기중	9,300	80	3,300	26,000
물속	110	1	74	150
토양/쓰레기 매립	2,100	18	1,000	4,500
생산품	150	1	110	220
계	11,660	100		

(나) 다이옥신의 발생경로와 저감기술 개요

다이옥신의 발생경로는 아직까지 완전히 밝혀지지는 않았다. 그러나 그림 3-7에 나타난 바와 같이 유기물과 염소가 연소과정에서 염화벤젠 또는 염화페놀로 생성된 후 각각 이량화와 축합반응 및 라디칼 반응과 에테르화를 통하여 최종적으로 탈염산반응을 통하여 생성되는 것으로 추정하고 있다.

소각 시 다이옥신의 발생은 분진이나 금속입자에 의하여 더 가속화되는 것으로 알려져 있으며 특히 다이옥신이 분해되어도 그 구성물과 금속입자, 분진 등 촉매 역할을 하는 물질이 존재하면 150~450℃사이의 비교적 넓은 온도범위에서 재합성(de novo synthesis)하는 것으로 알려져 있다(그림 3-8 참조). 집진을 위하여 사용되는 전기집진기는 사용온도가 다이옥신의 재합성이 매우 용이한 약 350℃ 정도에서 운전된다. 그러므로 전기집진기 이후 검출되는 다이옥신의 농도는 매우 높으며 이로 인하여 전기집진기를 "다이옥신 발생기(Dioxin Generator)"라 칭하기도 한다.

이와 같은 이유에서 선진국에서는 전기집진기를 대부분 Bag Filter로 교체하고 있으며 이때 백필터내에 여과층 및 반응층이 형성되도록 활성탄 또는 활성코크스 입자가 석회가루에 섞인 혼합물(Sobalite)을 연도에 투입하여 사용하고 있다. 그러나 전기집진기에 비하여 백필터를 사용할 경우 더 많은 가동비가 소요되며 기존하는 전기집진기를 교체하는데에는 많은 경비가 소요되는 현실적인 문제가 있으므로 최근에는 Sobalite 투입장비를 전기집진기에 전착하므로써 전기집진기에서 재합성되는 다이옥신의 양을 대폭 줄이는 방법이 시도되고 있다.

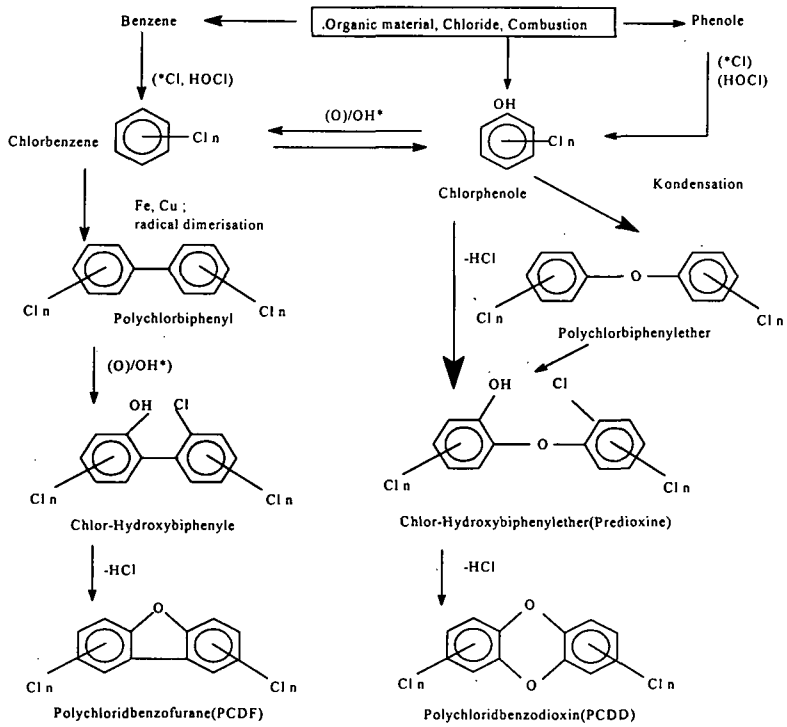


그림 3-7. Possible Formation routes for Dioxins/Furans

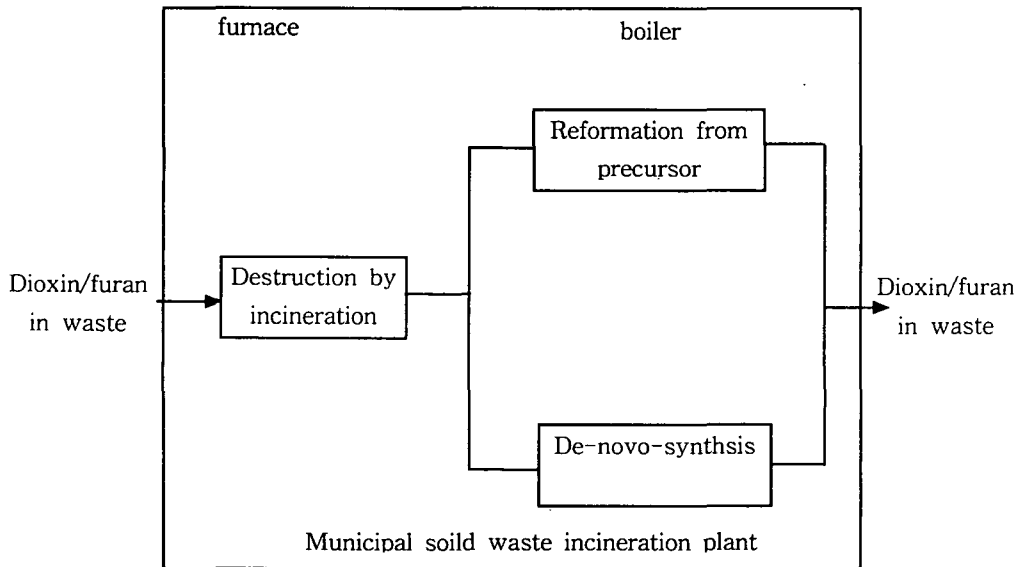


그림 3-8. Dioxine/furan destruction and formation in a waste incineration plant

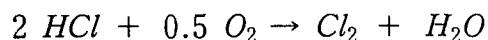
활성탄이나 활성코크스가 충전된 여과탑을 사용하면 다이옥신 뿐 아니라 중금속도 제거가 가능하므로 수은 등 중금속문제를 함께 처리하기 위한 방법으로 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 활성탄의 경우는 가격이 비싼 단점과 함께 Hot Spot 발생에 따른 안전문제도 함께 해결되어야 할 과제이며 활성코크스는 활성탄에 비하여 가격이 저렴하며 반응성이 낮아 안전면에서는 우세하나 그 자체 이유로 인하여 장치가 커져야 하는 단점을 보완하는 것이 과제로 남아 있다.

한편 분진이 다이옥신의 생성을 촉진하는 것으로 나타난만큼, 연소가스의 온도가 다이옥신의 재합성온도(450℃)를 도달하기 이전에 분진을 제거하되 분진으로 인한 막힘현상으로 부터 재생이 용이한 고온필터가 개발된다면 다이옥신의 저감과 함께 세척공정과 DeNOx공정 등 후속공정을 단순화 시키는 부수적인 효과도 기대할 수 있다. Thermo Select 공법에서와 같이 고온의 소각가스를 다이옥신이 재합성될 수 있는 하한온도인 150℃ 이하로 급냉시키는 방법도 시도되고 있으나 이 방법은 부수적인 에너지 자원으로 사용되는 소각열이 소실되는 단점이 있어 에너지 이용방안이 별도로 없는 경우에 고려될 수 있을 것이다.

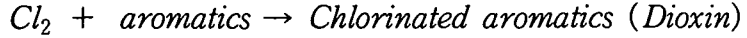
상기와 같이 다이옥신을 물리적인 방법으로 제거하거나 다이옥신의 형성조건을 벗어나려는 노력이외에 다이옥신을 화학적으로 파괴하는 방법으로는 DeNOx공정에 사용되는 SCR촉매를 산화촉매로 이용하는 방법과 과산화수소를 이용한 산화방법이 사용되고 있으며, 최근에는 상온의 낮은 온도에서 문제물질을 플라즈마 상태로 여기시킨 후 촉매분해 시키는 저온플라즈마 공법이 VOC 처리에 매우 효과적으로 적용되고 있어 다이옥신 처리에 대한 적용가능성을 제시하고 있다.

다이옥신의 발생 후 처리코자 하는 상기의 이차적 대책에 대응하여 연소과정에서 다이옥신의 발생을 저감시키고자 하는 일차적 대책이 다각도로 시도되고 있다.

다이옥신의 발생과정에서 결정적인 역할을 하는 것은 - 예를 들어 연소공정의 경우 - 연소가스 중에 함유되어 있는 염소의 농도이다. 염소는 염산가스로부터 다음의 반응식(Deacon Process)에 의하여



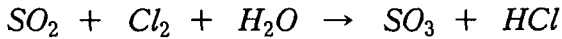
발생된 후 다음의 반응에 의하여 ;



다이옥신을 형성하는 것으로 추정되고 있다.

이 때 평형상수에 영향을 미치는 주요한 인자는 염소와 수증기농도 및 염산과 산소농도의 물질계와 조업변수인 온도이나(그림 3-9) 온도가 낮아질수록 급격히 상승하므로 연소과정에서 높은 온도가 고르게 유지되도록 소각로를 설계하는 것은 연소가스에 다이옥신의 농도를 저감시키기 위한 매우 중요한 방안 중의 하나이다.

경험적으로 연소대상물의 유황함량이 높으면 다이옥신의 발생량이 상대적으로 매우 낮은 것으로 나타나고 있다. 그림 3-10은 이러한 경향을 나타낸 것이다. 즉, 생활쓰레기에 함유된 물질 중 유황에 대한 염소의 함량이 석탄에 비하여 높은 만큼 연소가스에 함유된 다이옥신의 농도도 이와 유사한 형태로 나타나고 있으며 이는 Deacon Process에서 발생한 염소가 다음의 반응식에서와 같이 ;



아황산가스와 결합하므로 인하여 방향족화합물과 결합되는 것이 사전에 차단하기 때문인 것으로 추정되고 있다. 표 3-32는 이를 뒷받침하는 자료로서 하수슬러지에는 황성분이 많이 함유되어 있어 별도의 다이옥신 처리설비가 없던 시점(약 92년 이전)에서도 소각가스가 매우 낮은 다이옥신 배출량을 나타내고 있는 것이다.

그러므로 소각과 관련하여 다이옥신저감을 위한 일차적대책으로는 전기한 바와 같이 양호한 연소조건(3T's)이 유지되도록 하는 소각로의 설계기술과 슬러지 또는 석탄과 같이 유황성분이 다량 함유된 물질과 병합소각하는 방법이 있을 것이며 그 외에도 염소화합물이 함유된 물질(예: PVC 폐기물 등)이 연소과정에 투입되지 않도록 사전에 분리하는 방법도 생각할 수 있으나 후자의 경우는 기술공학적 측면에서의 접근보다는 국민계몽차원에서 시도되어야 할 과제이다.

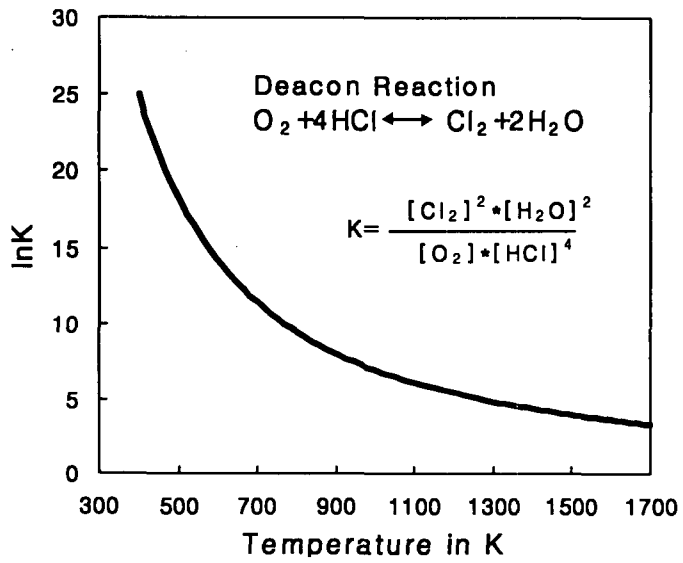


그림 3-9. Chlorine-HCl Equilibrium

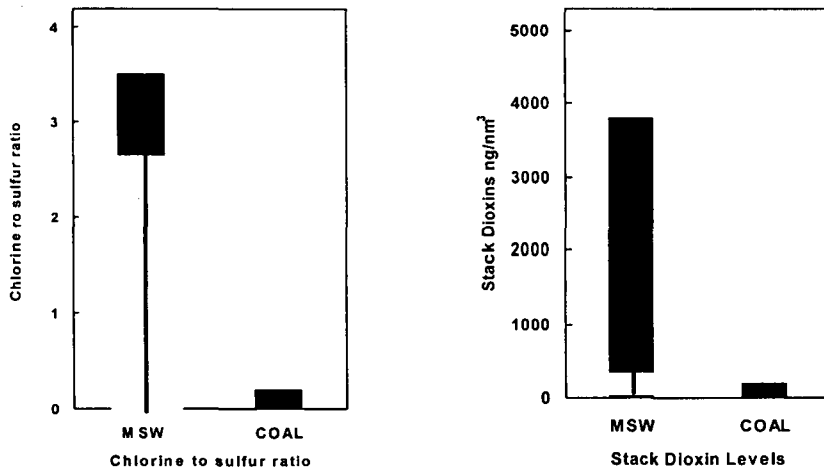


그림 3-10. Chlorine to Sulfur Ratio

표 3-32. 독일 Bavaria지방 하수슬러지 소각로의 다이옥신 배출농도(자료출처: Heidelore Fiedler, "PCDD/PCDF and Incineration in Europe" 다이옥신 위해성 및 각국의 정책, 포항공대 환경공학부 국제세미나, 1997 10. 15.)

도시명	측정기간	농도[ngTEQ/m ³]
Geiselbulach	1990 3.	0.20
	1990 7.	0.003 ~ 0.020
Ingolstadt	1991 6. ~ 1994 6.	0.001 ~ 0.014
Kempton	1990 3. ~ 1995 3.	0.002 ~ 0.12
Marktoberdorf	1990 10.	0.06 ~ 0.15
Rosenheim	1990 10. ~ 1993 8.	0.019 ~ 0.64
Zimdorf	1991 12. ~ 1994 9.	0.001 ~ 0.008

액상 또는 고상 폐기물에 함유되어 있는 다이옥신의 제거는 고온소각방법 외에 아직까지 실용화된 뚜렷한 방법이 나타나고 있지 않으나 일반적으로 PCB 또는 PCP와 같은 유기염소계 화합물의 처리방법을 이용한 응용범위 확대차원에서 시도될 수 있다. 또한 토양에 함유된 다이옥신의 경우는 최근 독일을 위시하여 미국에서도 많은 관심을 받고 있는 식물을 이용한 정화방법(Phytoremediation)이 가장 합목적으로 연구될 수 있는 과제로 부상되고 있다.

다. Chlorophenol계

우리나라에서 2,4-dichlorophenol(DCP), pentachlorophenol(PCP) 등의 환경위해성 문제는 주로 생산현장에서 작업자의 고농도 단기간 접촉에 의한 직업병, 즉 급성적인 독성에 의한 인명피해에 국한되어 취급되었을 뿐 외부노출에 의한 장기적 독성작용이나 피해경로에 대한 구체적인 연구나 조사가 이루어진 바가 없다. 또한 이들의 발생현황과 이동경로에 대한 세부적이고 체계적인 자료도 마련되어 있지 않아 대책마련을 위한 기본여건 조차 되어있지 않은 실정이다. 최근들어 크미량의 체내섭취로도 치명적인 내분비 장애를 유발시킬 수 있는 물질로 알려지면서 선진국

에서는 위 화학물질들의 생산과 사용에 대한 규제가 점차 강화되어가고 있으며 특히 우리나라에서도 공업화학분야에서 중요한 첨가물로 이용되는 이들 화학물질들은 이미 대기, 수질, 토양 등 여러 경로를 통해서 생태계에 광범위하게 노출되고 있어 이들 물질의 대체물질 및 저감기술 개발 등의 적극적인 대처방안이 필요한 실정이다.

PCP는 한때 제초제로서 가장 널리 사용되었던 물질가운데 하나였으며 공업적인 용도로는 주로 목재의 방부제로서 널리 사용되어 왔다. PCP는 현재 해충으로부터 나무를 보호하기 위한 방부제로서만 제한적으로 사용되고 있으며 특히 전신주에 사용되어지는 양이 전체의 50%이상을 차지하고 있는 것으로 조사된 바 있다.

순수한 PCP는 무색의 결정이며 상온에서와는 달리 열을 가하면 매우 독특한 냄새를 띄는 화학적 특징을 가지고 있다. 문제가 되고 있는 유해폐기물 발생원에서 생성되는 PCP는 진한 갈색을 띄며 소각에 의해 쉽게 분해되지는 않으나 약간의 증발이 일어나기도 한다. PCP는 두가지 형태가 있는데 하나는 PCP이고 나머지 형태는 PCP의 나트륨염(Sodium salt)이다.

순수한 PCP가 물에 거의 녹지 않는 것에 반하여 나트륨염 형태로 존재하는 PCP는 쉽게 물에 녹는 성질을 가지고 있어 수계를 통한 오염확산 가능성이 큰 물질로 알려져 있다. 잘 알려진 바와 같이 PCP는 자연적으로는 생성되지 않는 물질이기 때문에 자연환경에 노출된 PCP는 유해폐기물이나 목재를 취급하는 오염원에서 대기나 토양, 수질환경의 경로를 통해 유출됐음을 알 수 있다.

PCP는 이를 함유하고 있는 방부제로 처리된 목재를 접함으로써 직접적으로 작업장에 노출되어 작업자에 급성적인 독성을 나타낼 뿐만 아니라 실내외의 대기, 식수를 통해 미량의 PCP가 장기간 축적되어 만성적인 독성을 나타내기도 한다. 이중 대부분 호흡이나 피부접촉에 의한 경우가 가장 많으며 오염된 음식을 섭취함으로써 PCP에 노출되는 경우는 매우 적은 것으로 알려져 있다. 평균적으로 음식에 의한 오염 농도는 대략 $0.1\sim 6\ \mu\text{g}/\text{day}$ ($0.05\sim 0.31\ \text{ppb}$) 정도이다. 식수에 의한 간접오염 역시 약 $0.02\ \mu\text{g}/\text{day}$ ($0.01\ \text{ppb}$)로 매우 낮다. 현재까지 실내외의 공기매개체를 통한 오염정도에 대한 자료는 많지 않은 편이나 평균적으로 호흡에 의한 오염농도는 약 $6\ \mu\text{g}/\text{day}$ ($0.3\ \text{ppb}$)인 것으로 알려져 있다. PCP는 중금속과는 달리 체내에 농축되지는 않으며 배설물에 의해 쉽게 배출된다.

고농도의 PCP에 노출된 작업장 인부들이나 생활주변에서의 잘못된 사용으로 인

한 노출은 인체의 간, 신장, 피부, 혈액, 폐 그리고 신경계통에 매우 치명적이다. 또한 저농도에서도 장기간 노출되면 위와 같은 상태에 이르게 된다. 고농도 PCP에 대한 동물실험에서 짧은 기간동안에도 대부분의 장기가 파괴되었으며 간, 신장, 신경계는 적은 농도에서도 장기간 노출되면 커다란 손실을 일으키는 것으로 나타났다. PCP의 독성은 위에서 살펴본 바와 같이 매우 치명적이나 노출경로나 한계독성 농도와 허용노출기간 등에 대한 정보는 거의 알려진 바가 없는 실정이다.

DCP(2,4-Dichlorophenol)는 순수한 페놀은 무색 또는 옅은 적색의 결정 또는 결정성 덩어리로 특이한 냄새가 있으며 에탄올 또는 에테르에 매우 잘 녹고 물에도 녹는다. 빛 또는 공기에 노출되면 적색을 거쳐 암적색으로 되며 응고점은 약 40℃이다. 주로 방부제나 소독제, 또는 의약품, 농약, 합성섬유, 합성수지, 폭약, 염료 등의 각종 제품의 제조원료로서 이용되고 있다.

페놀의 오염원으로는 페놀이나 크레졸을 원료로 사용하는 화학공장, 석탄가스 공장 등의 배수에 함유되어 있으며 아스팔트 포장도로에 흐르는 빗물로부터도 유입될 수 있다. 페놀은 순수한 상태보다는 정수처리과정과 같이 염소와 반응하며 주로 2-클로로페놀, 4-클로로페놀, 2,4-디클로로페놀, 2,4,6-트리클로로페놀 등과 같은 클로로페놀 화합물이 생성되며 이때 페놀보다 냄새는 10~10,000배, 맛은 10~1,000배 강해진다.

우리나라에서는 음용수의 수질기준에서 페놀을 규제하고 있는데 그 이유는 독성보다는 염소와 반응하여 생성되는 클로로페놀의 악취 때문에 기준을 설정한 것이며 기준치도 클로로페놀의 악취감지 농도와 수질 검사방법에서의 최소 검출한계를 고려하여 0.005 mg/L로 설정한 것이다. 각국의 페놀에 대한 먹는물 수질기준을 살펴보면 우리나라는 0.005 mg/L, 일본 0.005 mg/L, 영국 0.0005 mg/L, 프랑스 0.0005 mg/L, 독일 0.0005 mg/L이다. WHO(세계 보건기구)에서는 페놀에 대한 기준은 없고, 건강영향을 고려하여 2,4,6-트리클로로페놀에 대해서만 0.2mg/L의 기준을 설정하고 있다.

2,4-디클로로페놀의 독성은 복통과 구토를 수반하는 소화기계 염증과 혈압강하, 경련, 간장 및 신장장해를 일으키며 경구투여시 수일 내에 모두 배설된다. 피부침투시 간장과 신장등에 축적되어 중독증상이 나타난다. 2,4-디클로로페놀의 LD₅₀은 580 mg/kg이다.

2,4-디클로로페놀은 첨가된 화학물질의 제조와 사용중에 유출되며 정수처리공정에

서의 염소처리과정과 종이표백과정에서도 생성될 수 있다. 또한 소각과정이나 토양에 함유된 여러 가지 살충제의 대사과정에서도 생성되기도 한다.

(2) 대체물질 개발

가. PCB

지금까지 PCB의 용도 중 가장 사용량이 많았던 변압기 절연유의 대체물질을 개발하려는 노력이 이루어져 왔다. 변압기 절연유로 필요한 특성으로 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

- ① 내열성 : 발화점 > 400℃, 인화점 > 250℃
- ② 높은 비열 : > 1.5 kJ/kgK
- ③ 낮은 팽창계수 : > 10⁻³ 1/K
- ④ 낮은 증기압 : < 1 Pascal at 20℃
- ⑤ 낮은 생태독성

(가) Poly Olefin

Poly Olefin을 기유로 한 절연유이다. 미국특허 5,250,750에서는 1-octene이나 1-decene dimer에 저온 물성을 향상시키는 7-methyl pentadecene, 9-methyl nonadecene, 9-methyl heptadecene dimer를 첨가하여 제조하였고, 미국특허 4,734,824와 4,621,302에서는 Poly Olefin에 방향족 화합물을 첨가한 절연유이다. 또한 미국특허 4,238,343과 4,211,665에서는 탄소수가 30-60개인 Alkyl Aromatic화합물을 개발하였다.

(나) Poly Ester (미국특허 4,812,262, 1989)

지방산, Polyol Ester에 ortho 위치에 알킬기가 없는 페놀수지 성분과 에폭시수지 성분을 첨가한 절연유로 발화점이 300℃이상의 고온 발화유이다.

(다) Silicon Oil

Silicon을 base로 한 절연유로 발화가능성이 매우 낮지만 가격이 높은 단점이 있다.

나. Chlorophenol계

인류는 각종 질병 매개곤충과 농업 및 산림해충 그리고 원예해충을 방제하기 위해 많은 PCP, 2,3-DCP 등을 포함한 유기합성 살충제와 화학물질을 장기간 사용하여 왔다. 그러나 이러한 유기합성 살충제와 화학물질의 오랜 사용에 따른 생태계 파괴 및 인축에 대한 독성으로 피해가 심각한 것은 주지의 사실이다.

또한 이러한 화학물질들은 위에서 언급한 바와 같이 여러 가지 경로를 통해 환경 중에 방출되어 자연을 오염시키며, 자연에서 분해가 아주 느리게 진행되거나, 전혀 되지 않으므로 난분해성 물질로 분류되고 있다. 현재 많은 나라에서는 이들 대부분의 물질들을 발암 또는 독성물질로 설정하고 그 사용을 극히 제한하고 있다.

현재 이러한 물질들이 함유된 살충제와 제초제는 거의 사용되지 않고 있으며 자연계의 미생물을 이용한 생물농약의 개발이 진행중이다. 생물농약은 독성이 적고 선택성이 높으며 저항성 유발이 적어서 환경 및 독성에서 유기농약에 비해 강점이 있는 반면, 약효가 낮고 약효 발현속도가 느리며 약제의 안정성 및 지속성이 약점으로 지적되어, 경제성 및 실효성이 문제시 되어왔다. 그러나 환경 및 독성문제의 부각으로 이러한 생물농약의 개발이 다시 활발히 진행되고 있다.

외국의 경우 생물학적 방제에 대한 체계적인 연구가 진행되면서 세균을 이용한 미생물 살충제인 Bt제 및 길항곰팡이를 원제로 한 항진균 제제, 해충방제를 위한 천적 virus등 이미 여러 가지 종류가 제품으로 사용되고 있다.

(3) 대체공정개발

가. PCB

(가) 냉각

변압기를 가동 중에 발생하는 열을 제거하여 온도상승을 방지하여 절연유의 수명을 연장하고 화재위험을 낮추는 방법이다. 미국 Electro Power Research Institute(미국 특허 5,838,881, 1995)에서는 퍼지 인공지능 시스템을 도입하여 변압기 내의 온도를 효과적으로 조절하는 방법을 개발하였다. 또한 미국특허 4,346,361에서는 냉각duct의 배열을 변경하여 냉각효율을 높였다.

(나) 가스감지

절연유가 열화될 때 발생하는 가스를 감지하여 변압기의 수명을 예측하는 방법으로 가스농도를 측정하기 위하여 기체크로마토그래피법(미국특허 5,659,126, 1997

년)과 용해가스감지기법(미국특허 5,258,310, 4,763,514, 4,587,834, 4,310,487) 등이 있다.

(다) 절연유 열화감지

변압기 절연유 자체의 열화를 측정하여 절연유의 수명을 예측하는 방법으로 변압기 가동할 때 발생하는 Free Carbon과 비전도성 입자의 양을 측정하는 다공성 세라믹감지기를 사용하는 방법(미국특허 5,508,624, 1996)과 Partial Discharge양을 측정하는 방법(미국특허 5,506,511, 1996) 등이 있다.

(라) 내폭발 구조

절연유를 포함하는 구조를 가능하면 폭발하지 않도록 제작하는 방법이다. 미국특허 5,391,835(1995)에서는 세라믹 절연재질에 알루미늄 Head 구조를 갖는 방법을 고안해 냈다.

나. Chlorophenol계

무공해 생물농약의 개발과정은 미생물 제제의 배양 및 배양된 미생물과 방제효과를 가진 독소의 적절한 전달체계를 필요로 한다. 이를 위해 유전공학에서는 수년간의 연구 끝에 고정화 기술에 의한 신규전달체계를 개발하였다. 이 기술은 고정화 기술에 고분자 천연담체를 이용함으로써 생태계나 인축에 전혀 해가 없는 무공해 제품이다.

또한 토양에 존재하는 곤충제어 미생물의 일종인 Bacillus thuringiensis를 이용한 살충제 개발도 활발하게 진행되고 있다. BT제어에 쓰이는 균주는 자연계에서 순수 분리된 것뿐만 아니라 유전공학 기법 등을 통해 재조합된 것도 이용되고 있는데 이런 제제의 단점중의 하나는 개발비용이 많이 드는 것이다. 그 대안으로 일부 학자들은 배지성분을 값싼 물질로 대체하고 제제 효율의 경제성을 극대화하려는 기술을 개발하고 있다.

(4) 저감기술

가. PCB

(가) 소각처리

지금까지 PCB처리를 위해 널리 사용되고 있는 처리방식으로 신설된 소각로는 1150℃에서 분무된 PCB의 체류시간 2초, 과잉산소 3%로 시험운전하여 99.9999%

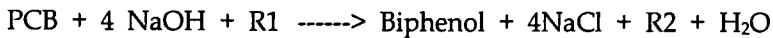
(6-nine)의 PCB가 분해되어야만 허가를 받을 수 있다. 일본에서는 鐘淵化學工業(株)와 高砂事業所의 처리시스템이 있다. 이 시스템들은 1400℃에서 소각하며 8-nine의 분해율을 달성하였다.

문제점으로는 고온에서 연소되므로 소각로의 유지관리가 어렵고 미분해PCB가 재에 함유되어 있는 것과 인근 주민을 설득시키기 어려운 점등이다. 또한 처리온도가 낮으면 PCB보다 독성이 강한 c-PCB나 다이옥신류가 발생할 위험성이 있다.

(나) 알칼리 촉매화학분해법(BCD법)

이 알칼리 촉매화학분해법(Base Catalyzed Decomposition)법은 1989년 미국의 EPA에서 개발한 방법으로 이미 미국, 스페인 등지에서 PCB, PCP (Pentachlorophenol), BHC(Benzene Hexachloride)가 오염된 토양의 정화기술로서 실용화되고 있다.

BCD법은 알칼리와 촉매의 존재 하에 환원분위기에서 300-350℃로 가열하여 PCB의 염소를 수소로 치환하는 처리법이다.



R1 : 수소제공물질 $CH_3CH_2(CH_2)_nCH_3$

R2 : R1에서 일부수소가 분리된 물질 $CH_2=CH(CH_2)_nCH_3$

이 처리법은 비교적 작은 장치로 처리할 수 있으며 미국에서 지금까지의 처리 실적은 다음과 같다.

- 1991-1992 미국 뉴욕주, 약30,000 m³의 PCB함유토양 처리 (PCB함유량 100-600 mg/kg)
- 1992년 미국 일리노이주 PCB오염토양 처리
- 1994년 미국 노스캐롤라이나주 PCP오염토양 처리
- 1992년부터 미국 해군 팜의 PCB오염토양 처리

일본에서는 荏原製作所가 실증시험을 완료하였다. 이 기술은 오염토양과 탄산수 소나트륨을 혼합해 가열, 화학반응에 의해 독성의 근원이 되는 염소 원자를 제거하

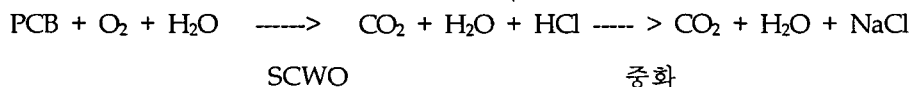
고 이 과정에서 처리되지 않은 PCB는 기화시켜 분리하는 방법이다.

이 처리장치는 세로 약 3 m, 가로 약 7 m, 높이 약 3 m 크기로 오염 지역에 가지고 들어가 처리하며 시간당 500 kg의 오염 토양을 처리할 수 있다고 한다. 실제로 오염 지역에서 시험해 본 결과, 처리 전에 토양 1 kg당 4.2 g 있었던 PCB의 99.99%를 무해화하는 것을 확인했다. 처리는 2가지 방법을 조합시켰다. 우선 오염토양을 반응조로 옮겨 탄산수소나트륨을 첨가해 약 300~350℃로 가열한다. 이 과정에서 토양 중의 PCB가 무해물질로 된다. 그 과정에서도 미반응의 PCB는 일단 기화시켜, 별도 용기에 액체로 만들어 회수한다. 그 다음 수산화나트륨 알칼리재와 탄소계 촉매, 중유 등의 탄화수소를 첨가해 약 300~350℃로 가열해 유해한 염소를 제거하는 방식이다.

이와 같은 처리 방법은 미국 환경 보호국(EPA)이 연구하고 있었던 알칼리 촉매 분해법을 도입했다. PCB에 의한 토양 오염은, PCB만을 효과적으로 회수하는 방법이 없어 원래의 깨끗한 상태로 되돌리는 것은 매우 곤란하다.

(다) 초임계수 산화법 (SCWO, Supercritical Water Oxidation)

초임계수는 물의 임계점(374℃, 221 bar)이상의 조건에 있는 물을 나타내며 기체와 액체의 중간물성을 갖고 있으며 많은 유기물질을 용해시키거나 분해하는 특성을 지니고 있다. 이 성질을 이용하여 PCB 뿐만 아니라 다이옥신까지 분해할 수 있다.



초임계수는 유기물을 산화시켜 분해하는 능력 이외에도 가수분해하는 능력이 있어 각종 고분자를 모노머로 분해하는 것이 가능하여 PET, Poly Carbonate, Poly Urathane 등을 회수할 수 있다. 앞으로 화학제품이나 화공약품 분해 및 합성 사용되는 촉매와 유기용매를 필요로 하지 않는 환경부하가 적은 기술로서 화학혁명을 일으킬 분야로 평가받고 있다.

(라) 화학추출분해법 (DMI/NaOH법)

NaOH, KOH 등 알칼리와 DMI, SF 등 비 proton계 극성용매의 존재하에 20

0°C, 상압에서 반응시켜 PCB의 염소를 NaCl과 KCl로 제거하며 ppm 또는 %단위까지 분해할 수 있다.

(마) t-BuOK법

PCB의 염소와 반응이 잘 이루어지고 유지성분에 잘 용해되는 유기금속화합물 (Potassium tertiary-Butyloxiide)을 PCB와 가열하여 반응시키는 것에 의해 PCB의 염소를 KCl로 제거하여 무해화하는 기술로 초기 PCB 농도가 200 mg/kg이하가 함유된 유지를 처리할 수 있다.

(바) 촉매수소화 탈염소화법 (개량된 t-BuOK법)

PCB를 파라핀계 용제에 희석하여 Pd/Carbon 촉매 하에 수소가스와 접촉시켜 수소화 탈염소화 반응을 시키는 방법으로 초기 PCB 농도가 15% 이하일 때 적용할 수 있다.

(사) Bioremediation

Bioremediation은 미생물이 갖고 있는 화학물질의 분해능력과 축적능력을 이용하는 기술로 독성화학물질 및 유해폐기물의 축적으로 야기된 환경오염물질을 감소시키거나 제거하므로 미생물이용기술로 정의된다. Bioremediation은 환경중의 분해균에 산소와 영양분을 제공하여 활성화시키는 방법과 분해능이 우수한 균주를 선별하여 투입하는 방법이 있지만 PCB를 처리하기에는 분해균의 능력이 불충분하므로 이것을 강화시킬 필요가 있으며 최근에는 유전자 조작을 통해 이 능력을 향상시킨 균주의 개발이 추진되고 있다.

(아) 진공가열분해법

이 방법은 변압기에서 PCB를 제거하는 기술로 감압하는 것에 의해 변압기의 절연유와 PCB의 끓는점을 낮추는 것에 의해 저온에서 증발제거한다.

(자) 금속나트륨법

금속나트륨의 초미립자 분산체를 PCB와 반응시켜 탈염소화하는 방법으로 캐나다에서 실용화하였다.

(차) Phytoremediation

식물의 흡수 및 분해성을 이용하여 PCB를 제거하는 방법이다. 주로 이용되는 식물로는 해바라기, 미나리 등이 있으며 이 기술은 물에 서식하고 있는 식물(land plants)과 이들의 뿌리 그리고 뿌리에 수없이 붙어 있는 잔뿌리(hairs)들은 물과 미네랄(mineral)을 흡수할 수 있는, 수천 제곱미터의 표면적(surface)을 가지고 있다. 이들이 흡수할 수 있는 물질로는 물과 미네랄 외에 일부 식물들이 자신만의 단백질을 합성하는데 없어서는 안될 중금속(heavy metals)들도 포함되어 있다고 한다. 새롭게 떠오르는 기술(emerging technology)로 주목을 받고 있는 뿌리 여과(rhizofiltration)는 성장하는 식물이, 수경재배 될 경우 보이는 특성을 이용한 것으로 PCB 뿐 만 아니라 다른 유기오염물도 정화할 수 있다.

(카) 폭약분해법

이 기술은 폭약이 폭발시 발생하는 고열, 초고압의 분위기를 응용한 것으로 유기염소화합물을 99.9999% 이상 분해할 수 있다. 또한 과산화칼륨을 폭발시 같이 넣어 염소를 염화칼륨으로 변환시킬 수 있다. 이 기술의 특징은 PCB를 함유한 축전기를 있는 그대로 처리할 수 있다.

나. Dioxin 분야

선진 외국과 마찬가지로 우리나라도 폐기물 소각시설에 대해서 배출가스중 다이옥신의 독성등가 값(TEQ)을 0.1 ng-TEQ/m³ 이하로 규제하고 있다. 이러한 엄격한 규제기준을 맞추기 위해서는 폐기물의 연소단계에서부터 다이옥신을 억제해야 할 뿐만 아니라 생성된 물질은 대기 중으로 배출되기 전에 제어해야만 한다.

(가) 연소중 제어방법

폐기물의 소각시 폐기물의 조성, 로내 온도, 연소공기의 분배 및 공급량 등은 연소효율은 물론이고 다이옥신 생성에도 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 연소중 제어방법이란 다이옥신 배출량을 최소화하기 위해 소각로의 조업조건을 최적화하는 기술이다.

① 공급되는 폐기물의 균질화

소각로 내로 공급되는 폐기물의 조성이나 공급량이 변하게 되면 연소공기의 양

도 변해야하며 이에 따라서 로내온도 및 온도분포가 영향을 받게되어 배가스의 조성도 변하게 된다. 따라서 균질의 폐기물을 일정하게 공급할 수 있도록 소각로를 설계, 운전함으로써 연소온도, CO, 산소 그리고 유기물의 변동을 피할 수 있게 하여야 한다.

이를 위해 수거된 폐기물을 소각로에 투입하기 전에 잘 혼합하여 폐기물의 조성을 균일하게 만들어 준다. 또한 캔류, 전선, 건전지 등은 소각로 내에서 유해한 중금속을 배출할 뿐 아니라 다이옥신 생성의 촉매효과를 나타내므로 미리 분리해주는 것도 필요하다.

② 적절한 조업온도 및 체류시간

연소온도는 소각로 내에서 다이옥신의 생성과 파괴에 중요한 인자이다. 따라서 소각로 운전을 완전혼합 상태에서 다이옥신 류가 분해되는 온도인 980℃ 정도와 최소한 2초 이상의 체류시간을 갖도록 해 준다.

③ 연소공기 및 혼합

연소로 내에 공기가 과량 공급되면 연소구역에서의 온도가 낮아지고 공기량이 부족하면 저산소 혹은 열분해 상태가 된다. 따라서 적정량의 연소공기를 효과적으로 분배하여 공급해야만 한다. 또한 혼합이 불량하면 국부적으로 유기물질이 불완전 연소되기 때문에 완전연소를 위해서는 연료와 공기가 잘 혼합되어야 한다.

④ 비산입자 유출의 최소화

폐기물 소각로에서 유출되는 비산입자는 금속 및 유기오염물의 배출에 영향을 미친다. 그리고 비산재의 배출량은 연소 공기량에 의해 영향을 받을 뿐 아니라 소각로의 설계 및 운전조건에 따라서도 변할 수 있다.

⑤ 후류온도 제어

후연소 과정에서의 다이옥신의 생성량은 가스온도와 체류시간에 따라 영향을 받아 300℃ 부근에서 최대이고 250℃ 이하와 400℃ 이상에서는 감소된다. 따라서 다이옥신류의 생성이 많이 일어나는 온도영역에서는 배가스의 체류시간을 최소화해 준다.

(나) 후처리 제어기술

다이옥신의 후처리 제어기술로는 기체상태로 배출되는 다이옥신을 처리하는 방법과 비산재나 액상에 존재하는 다이옥신을 처리하는 방법으로 나눌 수 있다.

① 기체상태의 다이옥신 처리방법

o. Back Filter에 의한 처리법

Back Filter는 집진기의 일종으로 다이옥신 류가 재합성 될 위험이 적은 저온영역(150-200℃)에서 운전하는 것으로 이전의 소각시설에 주로 사용되었던 전기집진기를 대체하면서 최근에 새로 설치되는 소각시설에 주류를 이루고 있다. 또한 기존의 소각시설에서도 전기집진기를 Back Filter로 교환하는 사례가 늘고 있다. Back Filter에 의한 다이옥신 류의 제거성능은 어느 정도는 있으나 최소 규제치인 0.1 ng-TEQ/m³을 보증하기 위해서는 별도의 다이옥신 제거기술을 조합할 필요가 있다.

o. 활성탄 흡착법

입상활성탄을 이용하여 배출가스중의 다이옥신 류를 흡착 제거하는 것이다. 방법으로는 활성탄을 순환시키는 이동상 방식과 순환시키지 않는 고정층 방식이 있는데 보통 처리가스 양이 많으면 이동상을 적으면 고정층을 적용한다.

o. SCR 금속촉매법

촉매를 이용한 다이옥신의 분해방법은 다이옥신을 함유한 가스와 공기를 촉매층으로 통과시켜 다이옥신을 산화분해시키는 것이다.

사용되는 촉매로는 금속산화물(V₂O₅, TiO₂), 귀금속(Pt, Pd)이 사용되고 있으며 분해효율을 높이기 위해 Pt, Pd등을 TiO₂나 SiO₂ 등에 담지시켜 사용하기도 한다. 귀금속 촉매는 비록 고가이기는 하나 금속산화물 등이 염소에 의해 쉽게 피독이 되는 것에 비해 피독이 잘 일어나지 않기 때문에 많이 연구되고 있다.

Hiraoka 등은 Pt를 TiO₂에 담지시킨 Honeycomb 모양의 촉매를 사용해서 PCDD의 분해실험을 한 결과 300-450℃에서 PCDD가 85-95% 이상 분해되었다. Hagenmaier 등은 탈질촉매가 PCDD/PCDF의 분해에도 효과가 있음을 착안해 TiO₂, Fe₂O₃ 및 제올라이트형 금속산화물을 이용해 유기염소화합물 분해실험을 수행해 250℃ 이상에서 90% 이상의 높은 분해율을 나타냈으며 또한 SO₂의 산화속도가 PCDD/PCDF 분해율과 밀접한 상관관계가 있어 SO₂의 산화정도로 PCDD/PCDF의 분해율을 예측할 수 있음을 알았다.

② 액상 및 고체상에 존재하는 다이옥신 처리방법

o. 소각법

소각과정에서 배출되는 비산재에는 다이옥신이 농축되어 존재할 가능성이 많다. 또한 다이옥신을 제거하기 위해 집진기 이전에 분말활성탄을 주입하여 다이옥신을 흡착 제거한 후 포집된 활성탄에는 역시 다이옥신이 상당량 흡착되어 있다. 이와 같이 비산재나 활성탄에 흡착되어 있는 다이옥신을 제거하기 위한 소각시설로는 스토카, 로타리킬른, 유동층 방식이 있다.

Kahr 등은 Pilot 규모의 로타리킬른을 이용하여 600℃에서 200kg/hr의 비산재를 소각했는데 다이옥신류의 총량과 독성등가값에서 모두 99.5% 이상의 분해효율을 얻었으며, bag filter와 활성탄 흡착장치를 조합한 처리시스템을 이용하여 소각후 배가스 중의 다이옥신 농도를 0.1 ng-TEQ/m³ 이하로 할 수 있다고 보고하였다.

이 이외에 용융 연소법이 있는데 이는 용융염을 이용하여 유기염소화합물을 분해하는 것이다. 황산나트륨을 10% 함유한 탄산나트륨이나 탄산칼륨을 사용하며 800-1000℃로 유지되는 로안에 용융염과 유기염소화합물을 투입하면 화합물중의 탄소와 수소가 산화되어 이산화탄소와 수증기가 되고 염소는 나트륨과 반응하여 염화나트륨이 된다. 용융 연소법의 실험결과 유기염소화합물이 99% 이상 분해되는 것으로 보고되고 있다.

o. 화학적 분해법

화학적 분해방법에는 금속나트륨을 이용하는 방법과 알카리성 폴리에틸렌글리콜을 이용하는 탈염소화 방법이 있다.

금속나트륨을 이용하는 방법은 다이옥신을 함유한 폐유중에 금속나트륨을 미립자 상태로 분산시켜 다이옥신 등의 분자중에서 염소원자를 염화나트륨으로 제거하는 것이다. Bilger 등은 이와 같은 방법을 이용하여 20-250 ppm의 다이옥신 류가 처리된 후에는 0.5 ppb 미만이 되었다고 보고하였다. 이 방법은 금속나트륨만 있으면 가능한 기술이고 부생성물이 없다는 장점을 갖고 있으나 금속나트륨을 사용하기 때문에 기름속에서 분해가 일어나야 하며 그 대상도 폐유에 한정된다는 단점이 있다.

탈염소화공정은 폴리에틸렌글리콜에 산소 존재하에서 알카리 금속이나 알카리 금속 수산화물을 용해시켜 alkali metal glycolate를 형성시킨 후 이에 유기염소화합

물을 반응시켜 탈염소화하는 것이다. 미국 EPA와 다른 연구기관에 의해 다양한 염소화 지방족 화합물과 PCB와 같은 염소화 방향족 화합물까지 효율적으로 탈염소화시킨다고 평가된 이 공정은 특히 높은 반응온도가 필요치 않으며 수분 함유에 관계없이 탈염소화 반응이 진행되는 장점이 있다.

o. 초임계수산화법

이 공정은 초임계 상태의 유체가 갖고있는 특성을 이용해서 유기설 폐기물을 분해하는 것이다. 물은 374℃, 218 atm에 이르면 초임계 영역에 도달하고 이 이상의 온도와 압력에서는 매우 독특한 물성을 갖는 용매로 거동하는 특징이 있다. 즉 상온의 물에서는 잘 녹지 않는 비극성 유기물들이 초임계 상태의 물에서는 매우 잘 섞일 뿐 아니라, 상온과 상압에서는 제한적인 용해도만 갖고 있는 산소, 질소 등과 같은 기체들도 초임계 영역에서는 무한대의 용해도를 나타낸다.

이와 같이 유기물과 산화에 필요한 산소의 용해도가 무한하여 산화반응이 단일 상에서 일어나므로 반응속도가 매우 빠르며 용존산소의 양이 풍부해 완전산화가 가능하다. 또한 반응이 발열반응으로 진행되므로 반응열을 효율적으로 회수하여 사용할 수도 있다.

이 공정에 의해 수행된 실험결과를 보면 절연유에 포함된 PCB와 MEK 등의 제거효율이 99.99% 이상이였으며 또한 2,3,7,8-TCDD로 오염된 액상 폐기물도 제거율이 99.99999%로 나타났다.

o. 생물학적 분해법

일반적으로 다이옥신을 비롯한 유기염소화합물은 생물학적으로 난분해성이며 토양중의 유기물이나 물속의 부유입자 등에 강하게 흡착하는 특성이 있어 미생물에 의한 분해는 더욱 어렵다.

Portier 등은 pseudomonas균의 현탁 배양조를 이용하여 HpCDD, OCDD의 분해특성을 조사하였는데 7일 경과후 각각 15-32%, 25-45%가 분해되었다고 보고하였다. Parson 등은 Alcaligenes 균주 JBI가 다이옥신류 2,3 종의 염소화합물을 분해했으나 TCDD는 분해하지 못했다고 보고하였다.

이와 같이 다이옥신 류의 미생물분해는 가능하나 그 속도가 느려 실용화를 위해서는 앞으로 분해능력이 높은 미생물의 탐색이 필요하다.

다. Chlorophenol계

유해 폐기물 중 2,4-dichlorophenol, pentachlorophenol 등의 난분해성 유기화합물 처리를 위한 몇가지 저감기술들을 살펴보면 다음과 같다.

(가) 금속 분말에 의한 화학적 처리방법

유기용매 및 세정 폐수로 많이 사용되는 유기 염소계 화합물(Chlorinated compounds)과 제조제, 살충제 및 화약 등으로 사용되는 니트로기를 포함한 방향족 화합물(Nitroaromatic compounds)은 이들 물질에 결합되어 있는 치환기, 즉 Cl이나 NO₂ 등의 작용에 의해 독성 및 폭발성을 나타내는데 금속 분말에 의한 화학적 처리방법은 금속의 corrosion을 통한 환원작용에 의해 이와같은 치환기를 제거 또는 대체하므로써 유해 물질의 독성을 무해화시키는 기술이다.

특히 본 처리기술은 투입된 금속분말과 오염물질의 화학적 환원반응에 의하여 유기 염소계 화합물들의 효율적인 탈염소화와 니트로기가 결합된 방향족 화합물을 아민계 화합물로 변환시켜 물질의 유해성 저감과 생분해도의 증가를 통하여 최종적으로 완전 분해가 이루어질 수 있도록 유도하는데 매우 효과적인 기술로 알려져 앞으로 적용범위 및 사용잠재성이 높은 기술로 주목받고 있다[15,16,17,18].

일반적으로 사용되고 있는 분말형태의 금속물질로는 아연, 주석, 니켈, 팔라듐, 철 등이 있으며 이 중 경제성과 반응성, 그리고 환경측면에서 위해성이 적은 철 금속이 가장 주목을 받고 여러 환경분야에 폭 넓게 적용되고 있다. Reactive wall등을 이용한 in-situ 처리공정뿐만 아니라 오염된 지하수의 above-ground 처리 등 ex-situ 처리에도 폭 넓게 적용이 가능한 본 정화기술의 장점으로는 낮은 처리비용과 상온, 상압의 완만한 반응조건, 그리고 비교적 용이한 운전기술과 이차적 환경오염의 가능성이 적다는 것을 들 수 있다.

현재 미국을 중심으로 유럽 일부국가에서 주도적으로 연구개발되고 있는 본 기술은 현장적용 규모로까지 확대 발전되고 있으며, 시간이 경과하면서 활성도가 떨어진 금속분말의 재생기술과 더 높은 반응성을 나타낼 수 있는 복합 금속분말 제조 기술등에 관한 추가적인 연구가 향후 이 분야의 높은 잠재성을 가진 주요 핵심 과제로 내다보고 있다.

(나) Phytoremediation

식물을 이용한 환경복원기술(phytoremediation)은 최근에 부상하고 있는 자연정화법 가운데 하나로 난분해성 물질, 즉 할로젠 유기화합물이나 니트로계 유기화합물등으로 오염된 토양이나 지하수의 복원에 효과적인 경제적 기술로 알려져 활발히 연구,적용되고 있으며 이와관련된 전문업체도 점차 증가하고 있다. 이 기술은 1990년대부터 미국, 독일, 네덜란드 등 환경기술선진국에서 오염된 토양복구, 오염지하수, 침출수, 오·폐수 등의 수질정화와 대기정화 등의 환경복원을 위해 광범위하게 적용되고 있으며 기존의 장치위주의 물리·화학·생물학적 처리방법을 점차적으로 대체하고 있는 환경친화적 혁신기술(Innovative technology)로 부각되고 있다. 이미 선진국에서는 처리가능한 오염원의 종류와 이들 각각에 대해 정화능이 있는 식물을 선별, 그 효율을 극대화하는 방안 및 현장적용 가능성 등에 관해 많은 연구가 이루어진 상태이며 특히 이 기술은 처리비용이 엄청나고 처리과정이 복잡한 오염토양 및 지하수 정화에 활발히 적용되고 있으며 현재 이와 관련된 좋은 처리결과들이 상당히 문서로 보고되고 있다.

식물체를 이용한 할로젠 유기화합물과 니트로계 유기화합물의 제거는 ① 용존 상태에서 침전 또는 식물체의 조직이나 주변토양 matrix에 흡착, 안정화하는 과정(phytostabilization)과 ② 식물에서 분비되는 분해효소와 식물뿌리주변에서 서식하는 많은 수의 토양미생물의 활발한 분해활동에 의하여 오염물질을 분해하는 과정(phytodegradation)에 의해 이루어진다(그림 3-11).

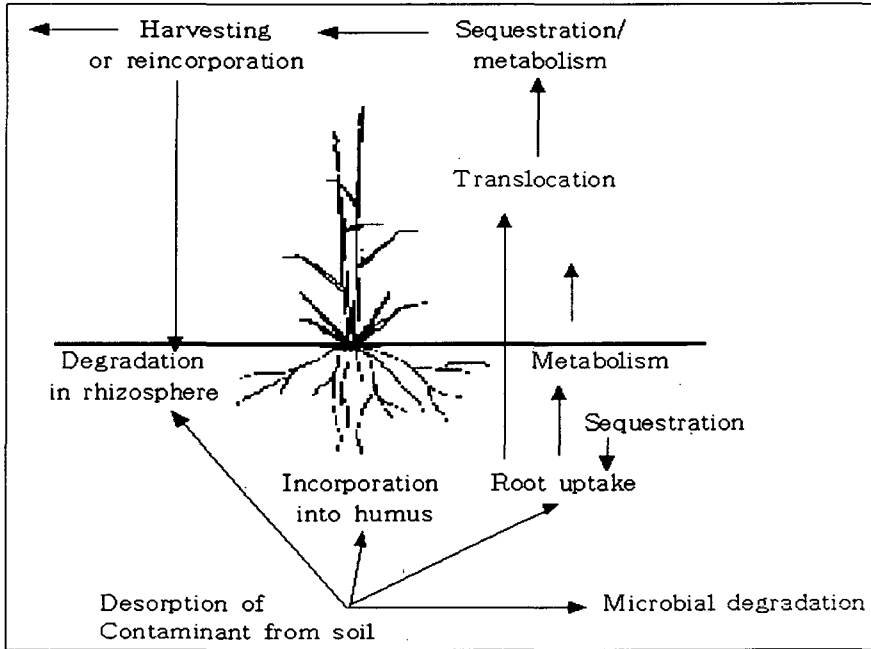


그림 3-11. Phytoremediation of contaminant organics in contaminated soils

니트로계 유기화합물 중 폭발성이 강하고 유독한 탄약폐기물(2,4,6-trinitrotoluene, TNT)의 경우, 식물이 분비하는 효소, nitroreductase와 laccase에 의해 분해되어 식물구조내 리그닌의 일부가 되는 것으로 보고되고 있으며, 할로젠 유기화합물의 경우는 dehalogenase의 촉매작용에 의해 염소이온, 이산화탄소, 그리고 물로 환원되어 제거되는 것으로 보고되고 있다. 처리 가능한 난분해성 오염원의 종류와 효과를 보인 식물종들은 표 3-33과 같다.

표 3-33. phytoremediation에 의해 제거되는 난분해성 오염물질과 식물의 종류

분해가능한 난분해성 오염물	처리효과를 보인 식물	내 용
할로젠 유기화합물 (TCE, PCB, PCP, Dichlorophenol)	차축조식물, 서양가새풀, 잡종포플라 등	식물이 Dehalogenase를 분비하여 무독성물질과 물, 이산화탄소로 전환
니트로계 유기화합물 (DNT, TNT, RDX)	차축조식물, 남조류, 좁개구리밥, 앵무새털풀, 잡종포플라, 칩류 등	식물이 Nitroreductase, Laccase를 분비하여 분해
페놀류 (2,4-Dichlorophenoxy acetic acid)	서양고추냉이, 콩과식물, 사탕수수 등	식물이 내는 Peroxidase 및 식물 뿌리 근처에서 서식하는 2,4-D-degrading microorganism에 의해 분해

(다) APEG(Alkaline metal hydroxide with polyethylene glycol)

Polyethylene glycol과 alkaline metal hydroxide를 이용하여 제조된 APEG 시약은 할로젠 유기화합물과 반응하여 물에 녹는 글리콜 에테르나 하이드록실 화합물, 알칼리 금속 염화물등을 형성시켜 유해한 물질을 무해한 물질로 전환시킨다. 현재 알려진 몇가지 개발된 공정들은 특허문제로 인하여 세부적인 사항이 비공개 되어 있어 자세한 내용은 많이 알려져 있지 않다.

그림 3-12는 염소계 유기 화합물로 오염된 토양을 alkaline metal hydroxide와 polyethylene glycol을 이용하여 화학적 방법에 의해 처리하는 공정의 한 예를 보여 주고 있다.

먼저 오염 토양은 체로 걸러 큰 입경범위의 토양을 제거하여 균일화한 후 시약과 오염물이 고르게 접촉할 수 있도록 교반이 충분한 반응기에 주입한다. 이때 수분은 반응에서 방해적 요소로 작용하기 때문에 반응에 주입되는 토양은 일차적으로 건조에 의한 탈수과정을 거치며 이 후 전처리된 오염토양을 100~180℃로 가열된 반응기에 시약과 함께 투입하여 반응을 진행시킨다. 반응시간은 약 1~5 시간정도 소요되며 오염물 형태, 양, 농도에 따라 달라질 수 있다. 처리된 물질은 반응기에서 분리기로 유입되어 미반응 시약을 분리하고, 반응 동안에 반응기로부터 증발된 물

은 응축, 처리한다.

반응과정 중 발생하는 휘발성 유기물질은 활성탄 여과장치를 설치하여 흡착 처리하며 최종처리된 토양은 물로 세척하여 잔류시약을 제거하고 산의 첨가로 중화시킨다. 처리된 토양은 비료와 함께 다시 객토에 사용되기도 한다. 이외에도 APEG 공정은 토양, 슬러지, 침전물 등에 포함된 유해성 유기화합물의 처리에 적용이 가능하다.

본 공정은 다른 공정과 연계하여 효과적으로 응용 개발이 가능하며 앞으로 잠재성이 높은 무해화 기술 가운데 하나로 알려져 있다.

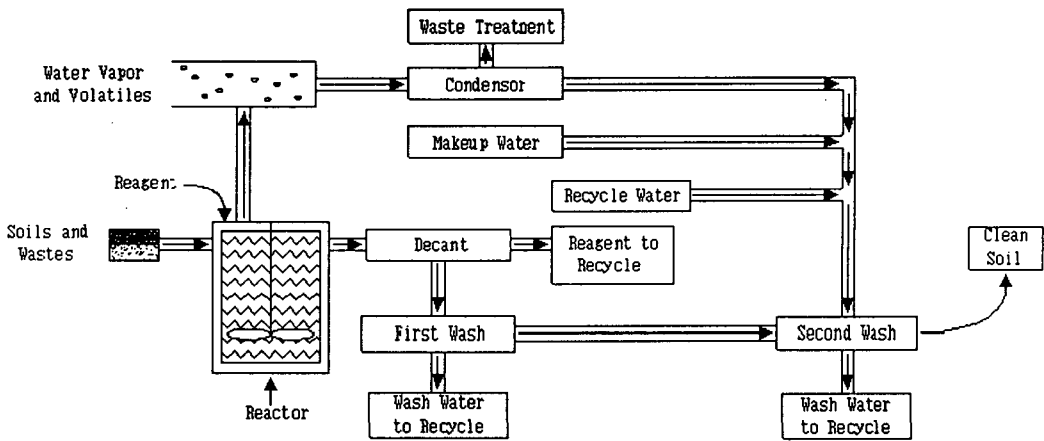


그림 3-12. Schematic diagram of a typical glycol dehalogenation treatment facility.

(라) 화학적 산화방법

처리하고자 하는 할로겐 화합물이나 니트로계 화합물의 농도가 비교적 높은 경우에 화학적 고도산화처리법이 주로 이용되고 있다. 현재 사용되고 있는 화학적 산화제로는 hydrogen peroxide, potassium permanganate, oxygen, ozone 등이 있으며, 이들 산화제의 표준 산화 potential(25℃)의 값을 표 3-34에 나타내었다.

표 3-34. 여러 가지 산화제의 표준산화 potential(25℃)

산화제	산화 potential(volts)	상대 산화 potential
Fluorine(F ₂)	3.06	2.25
Hydroxyl radical(OH)	2.80	2.05
Atomic oxygen(O)	2.42	1.78
Ozone(O ₃)	2.07	1.52
Hydrogen peroxide(H ₂ O ₂)	1.77	1.30
Perhydroxyl radical(HO ₂)	1.70	1.25
Hypochlorous acid(HOCl)	1.49	1.10
Chlorine(Cl ₂)	1.36	1.00

① 습식 산화법(wet oxidation)

할로젠 유기화합물이나 니트로계 유해 화합물의 효과적인 처리를 위한 습식산화반응은 수용액상태에서 용존산소를 이용하여 오염물을 산화분해시키는 방법으로 특히 고온, 고압조건에서 높은 반응속도를 얻을 수 있어 고농도의 유해성 유기화합물의 빠른 제거에 효과적인 기술로 알려져 있다.

일반적으로 공정은 반응온도 150~300℃, 반응압력 10~70기압에서 운전되며 압축공기나 산소를 이용하여 가열장치와 완전 밀봉이 이루어진 내압성 있는 반응기에서 유기오염물의 산화제거반응을 진행시킨다. 그리고 폐가스처리와 저분자의 잔류유기물의 제거를 위하여 후처리 공정으로 활성탄 흡착과 생물학적 반응기를 연계하여 사용하기도 한다.

경제성면에서는 오염농도가 COD기준으로 10,000 ppm 이상일 때 효과적인 것으로 보고되고 있으며 공정 체류시간은 유해 유기물질의 처리도, 농도에 따라 다르며 bench scale test를 통해 결정한다. 반응 속도를 높여 공정 체류 시간을 짧게 하고 반응온도를 낮추기 위해서 반응기에 촉매를 첨가하여 사용하기도 한다.

② 초임계 산화법(SuperCritical Water Oxidation, SCWO)

초임계 산화법(SCWO)은 습식 산화법과 유사하지만 물의 임계점(374℃, 218기압)이상의 온도와 압력에서 운전되는 것이 다르다. 물은 초임계 조건에서 수소 결합이 사라지는데 이 때문에 열전달 특성이 향상되며 밀도가 감소하여 산소 용해도의 증가가 이루어진다. 또한 초임계수의 특성상 무기 물질의 용해도는 낮은 반면, 유기 물질은 초임계 물과 완전 혼합이 이루어져 반응의 속도가 크게 향상된다.

일반적인 초임계 산화법은 그림 3-13에서 보여주듯이 다음과 같은 순서로 진행된다. 먼저 폐수와 산화제(공기, 산소, H₂O₂)가 반응기에 혼합되어 고온 고압에서 반응이 진행되며 이때 반응기내에서 산화과정 중 생성된 무기염은 용액으로부터 침전된다. 산화 반응 결과 발생된 산화열은 반응기 온도 유지에 도움이 된다. 또한 유출물을 열교환기를 통하여 배출시켜 유입 물질의 온도를 높이는데 이용될 수 있어 에너지면에서 경제성을 높일 수 있다. 냉각 후 유출물은 액상과 기상으로 분리되는데 기상중에는 CO₂와 N₂ 그리고 미량의 미반응 산화제 등이 포함될 수 있으며 발생가스는 turbine을 통과하여 배기됨으로써 에너지를 효과적으로 회수할 수도 있다. 반응 침전물의 경우, 고액 분리기를 이용하여 분리해 낸다.

반응기의 소재로는 고온 고압에 견딜 수 있는 티타늄, 스테인레스, Hastelloy C-276 등이 보편적으로 많이 쓰인다. 초임계 산화 반응기의 예가 그림 3-14에 나타나 있는데 일반적인 공정 체류시간은 1~20분이며 이때 유기 물질의 제거율은 99.9% 이상을 유지하는 것으로 보고되고 있다.

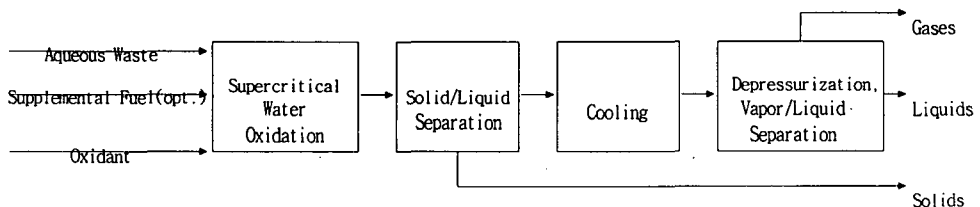


그림 3-13. Schematic of supercritical water oxidation process.

처리 예로는 210 cm³ 규모의 연속식 반응기를 사용한 bench scale test에서 dinitrotoluene을 포함한 유해 유기물질을 120 cm³/min의 주입속도로 처리한 결과 99%이상의 높은 제거율을 보여주었다. 처리 대상물질에 따라 처리 후에 dioxin과 같은 유독성 부산물의 생성이 발생할 수 있으므로 배출가스처리를 위한 후처리 공정을 필요로 한다. 초임계 산화법은 유기물질의 농도가 3~40%의 범위일 때 효과적인 것으로 보고 있으며 특히 약 10%정도가 가장 적절한 처리농도인 것으로 알려져 있다. 그림 3-14에 초임계 산화반응기의 한 예를 나타내었다.

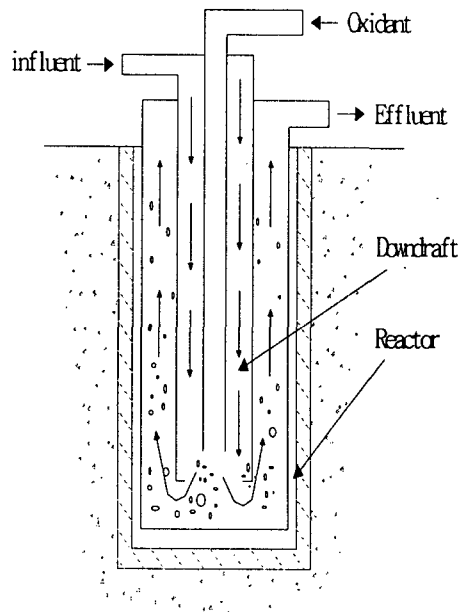


그림 3-14. Subsurface supercritical water oxidation reactor

③ Ozone and Advanced Oxidation Processes(AOPs)

상수의 맛, 색도 제거 등에 널리 사용되어 온 오존(O₃)은 강력한 산화력을 가지고 있어 여러 유해화학물의 신속한 처리에도 매우 효과적인 산화제로 알려져 있다. 반응에 참여하는 경로는 여러 중간반응을 거치면서 자유 라디칼을 발생시켜 오염물의 산화반응을 촉진시키는 것으로 알려져 있다. 수용액중의 오존은 물과 반응하여 H₂O₂, HO₂ 등의 반응 초기물질을 발생시키는데 이들 물질들은 직,간접적으로 오염

물질의 분해에 참여하는 것으로 보고되고 있다. 그림 3-15에 hydroxyl 라디칼을 생성시키는 오존과 H_2O_2 의 반응을 요약하였다. 그 밖에 AOPs로서 오존과 UV를 함께 사용하거나 오존과 H_2O_2 를 동시에 이용하는 응용기술들이 많이 연구되고 있다[24].

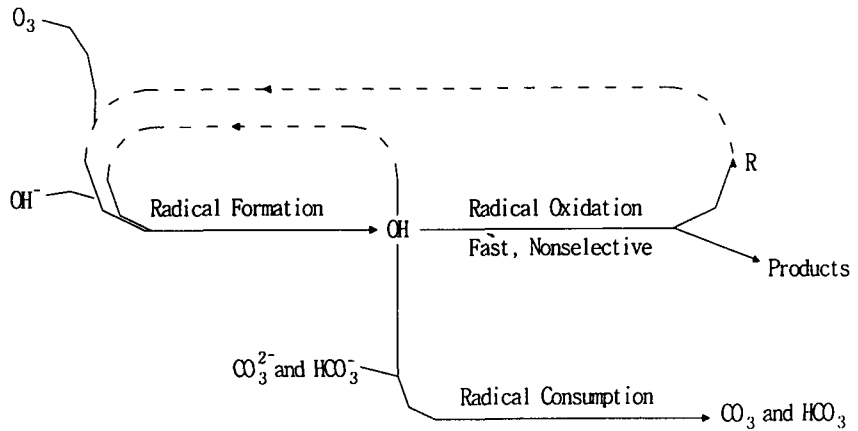


그림 3-15. Pathways of reaction of ozone

그림 3-16은 오존을 단독으로 처리하였을 경우와 UV와 오존을 함께 사용하여 처리하였을 경우에 여러 염소계 유기화합물의 산화속도 비교결과를 나타낸 것인데 UV를 함께 조사할 때 산화속도의 상승 효과가 있는 것을 보여주고 있다. UV의 파장범위는 보통 220 nm을 사용한다.

그밖에 다른 산화공정으로는 Fe^{2+} 와 H_2O_2 을 이용하는 Fenton 산화공정 등이 있다.

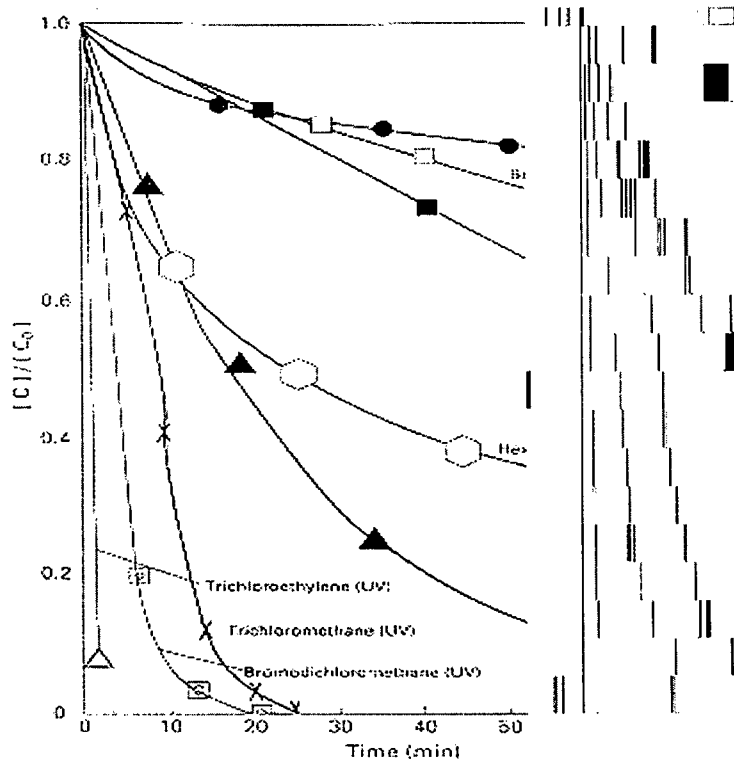


그림 3-16. Destruction of chlorinated organics
 (At pH 6-7, ozone dose rate = 1.0-1.4 mg/L min, UV frequency is 254nm from a low-pressure mercury lamp, with a flux of 0.42 W/L.)

2) Tributyltin(TBT) 분야

(1) 분야의 개황

가. Tributyltin의 물성[USEPA, IRIS, Tributyltin Oxide, 1997]

IUPAC Name	Bis-[Tri-n-butyltin]-oxide
Primary Synonym	Tri-n-butyltin oxide (TBTO) Bis(Tributyltin) Oxide Hexabutyl-Distannoxane
CAS number	56-35-9
Molecular Formula	$C_{24}H_{54}OSn_2$
Structural Formula	$(CH_3CH_2CH_2CH_2)_3Sn-O-Sn(CH_2CH_2CH_2CH_3)_3$
Molecular Weight	596.07g
Boiling Point	220-230 °C
Melting Point	<45 °C
Density	1.17 g/cc (20 °C)
Vapor Pressure	1×10^{-3} kPa \times m ³ mol (20 °C)
Henry's Constant	2×10^{-5} kPa \times m ³ mol (20 °C)
Conversion Factor	1 ppb = 26.6 μ g/m ³

나. TBT의 용도

- ① 병원 바닥 또는 스포츠 도장의 바닥 살균제
- ② 달팽이같은 연체동물 퇴치제 (TBTO 또는 TBT fluoride)
- ③ 나무, 면 직물류, 종이, 착색제의 살균 보전제
- ④ 방오제 페인트 - tributyltin (methacrylic-CO-methylmethacrylate) ester (OMP-2), bis(tributyltin) oxide, tributyltin fluoride, tributyltin methacrylate, tributyltin phosphate and tributyltin naphthenate (선박용, 어망방부제)
- ⑤ 목재 보호제
- ⑥ commercial toilet bowl cleaners
- ⑦ disinfectant carpet cleaners
- ⑧ 에어컨 시스템의 냉각탑에서 fouling을 야기시키는 박테리아나 진균류, 조

류 등의 살균제

⑨ 녹방지제

⑩ 모기유충 퇴치제

다. TBT의 독성

유기 주석 화합물의 독성은 화합물내의 유기그룹(organic group)의 개수가 3개인 triorganotin일 때 독성이 크며 그 중에서도 tributyltin(TBT)이 가장 독성이 강하다고 알려져 있다. TBT의 일반적인 독성은 미국 EPA보고서(Robert Benson, USEPA, Toxicological Review Tributyltin Oxide, 1997)에 잘 정리되어 있다. 환경호르몬의 측면에서 본 TBT의 생태계 교란현상은 1980년대초 프랑스에서 참굴(*Crassostrea gigas*)의 기형출현과 생산량의 감소를 통해 처음 알려지기 시작하였다. 프랑스에서는 아카송만에서 연 1만5천톤의 굴생산이 감소하는 원인을 분석하고 추적하여 인근 해안에 위치한 요트 정박지 및 조선소에서 유입되는 TBT가 주범일 것이라는 추론을 하였다. 이에 프랑스 정부는 1982년부터 25m이하의 선박에서는 TBT를 사용할 수 없도록 하였으며 그 결과 아카송만의 TBT농도가 감소하였고 굴 생산량도 이전의 수준으로 회복되었다. 그 후로 많은 독성 연구가 진행되어 TBT가 굴의 성장억제와 폐각기형을 일으키고, 홍합의 성장속도 감소 및 홍합 유생을 죽인다는 결과가 나왔다. 한편 TBT의 오염에 따라서 복족류의 암컷에 수컷의 생식기관인 페니스(penis)가 생겨나는 현상인 임포섹스를 일으키는 것이 1969년 영국의 Plymouth에서식하는 dogwelk(*Nucella lapillus*) 처음 발견되었다. TBT가 굴의 유생에 미치는 영향은 매우 커서 해수 중의 농도가 0.05 ppb만 되어도 먹이 섭취에 이상이 생겨 10일 후면 치사가 일어나고 1 ppb에서는 변형된 유생이 형성되면서 8일 내에 모두 치사하는 것으로 알려져 있다(표 3-35).

표 3-35. 굴(*Crassostrea gigas*)의 유생에 미치는 TBT 영향

해수중의 TBT 농도(ppb)	영향
	수정억제.
	세포분열 억제.
100	부분적인 세포분열 억제(40%).
50	담륜자(trochophore)를 형성하지 않음.
25	기형 담륜자 형성. 벨리저(veliger)형성 안함. 변형된 피면자 유생 형성.
10	6일안에 모두 치사.
3 - 5	변형된 유생형성. 8일안에 모두 치사.
1	먹이섭취에 이상(접촉후 4~8일 이내)이 생기고 현저한 성장 저하.
0.5	4일째부터 먹이섭취에 현저한 이상이 생기고 성장이 매우 느림.
0.2	현저한 치사가 일어나서 12일째에 모두 치사.
0.1	6일째부터 먹이섭취에 현저한 이상이 생기고 6일째까지 성장이 매우
0.05	느림. 12일 후에도 몇 마리가 살아남음.
0.02	먹이 섭취에 이상이 생기고 10일째부터 현저한 치사가 일어 남.
	성장이 느림.
	치사하는 게 거의 없고 성장이 좋음. TBT의 영향이 거의 없음.

라. TBT의 사용량현황

현대 화학공업의 개발이 본격화되기 전에는 배의 바닥에 석회를 칠하였고 나중에는 비소를 사용하여왔으나 최근에서야 금속화합물을 사용하여 효과적인 방오제를 이용하게 되었다. 현재 Fouling에 의한 선박산업에의 피해는 유체역학적 drag를 극복하는 데 필요한 연료 소비 증가로 약 년 3억 달러로 추정되고 있다[Rohm and Haar company report, 1996]. 국내에서는 년 239톤의 TBT 화합물을 사용하고 있으며 이 중 232톤의 Di-n-butyltin oxide(DBTO:C₈H₁₈OSn), Di-n-octyltin oxide(DOTO:C₁₆H₃₄OSn), Bis (tris-n-butyltin oxide)(TBTO:C₂₄H₅₄OSn₂)이 S사 등에서 제조하고, 7톤을 수입하고 있다[대한화학회. 한국화학제품, 생산업체총람, 1994]. TBTO의 세계적인 생산회사로는 일본의 Yoshitomi Pharmaceutical industries Ltd (Osaka), Nitto Kasei Co., Ltd. (Osaka), Nippon Shokubai Kagaku Kogyo Co.,

Ltd.(Tokyo), Kyodo Chemical Ltd. (Tokyo), Koriyama Kasei, K.K. (Tokyo) 등에서 생산하고 있다. 미국에서는 Akzo Chemicals Inc., M&T Chemicals Inc., 프랑스의 Polytitan S.A., 독일의 Schering A.G., 영국의 Akzo Chemicals Inc., 이탈리아의 Commer-Preparati Polivalenti S.p.A., 네덜란드의 M&T Chemicals B.V., 그리고 스위스의 Acima A.G. 등이 있다[CIS Data services Inc., Directory of World Chemical producers, 1992/3 ed].

마. TBT에 의한 피해현황

프랑스 국립해양연구소(IFREMER)는 프랑스 아카송만에서 1977년부터 굴 채묘(종자생산)가 급감하고 굴껍데기 속에 구멍이 생기는 이상 현상이 나타났고, 1978년부터는 다른 해역에서도 같은 현상이 나타나자 원인을 파악하기 위해 진상조사에 착수했다. TBT에 의한 피해가 있기 전에는 이곳은 18세기 때부터 굴양식을 해온 프랑스 제1의 굴 양식지였다. 조사결과 플랑크톤 상태인 굴의 유생들이 바닷가에서 멀리 떨어진 바다에서 떠 온 깨끗한 해수에서는 아무 이상 없이 정상적으로 성장했지만, 아카송만에서 떠 온 해수에서는 단 며칠 안에 대부분 죽어버렸다. 이 연구는 3년간 계속되었고 결국 TBT가 원인물질이라는 점이 최종 확인되는 동안 아카송만의 굴 양식장의 굴은 대부분 죽어서 1억4천7백만 달러의 피해를 냈다.

노르웨이의 State Pollution Control Agency에서는 노르웨이의 해안의 41지역에서 채취한 쇠기둥 조개류 등에서 임포섹스의 양태를 조사하여 TBT의 오염상황을 확인한 바가 있다.

미국의 캘리포니아 해변에서 해달이 죽은 것이 TBT와 다른 butyltin 화합물에 의한 면역저하로 인한 감염이라는 사실이 밝혀졌다. 미국 미시간대 연구자들은 죽은 해달에서 근육 조직에서 butyltin 화합물의 농도가 크게 증가한 것으로 보아 다른 외상이나 모르는 원인에 의하여 죽는 것 보다는 TBT와 다른 butyltin 화합물에 의하여 죽은 것으로 결론을 내리고 있다. 해달은 TBT가 많이 축적된 가라비, 홍합, 게, 성게 등을 먹고 중독이 된 것이다. 최근에는 고래와 같은 바다 포유동물이나, 바다 달팽이, 팔태충과 같은 복족동물, 연체동물 등에도 나쁜 영향이 관찰되고 있다. 이밖에 캘리포니아의 Monterey 만같이 길이가 25 m이상의 대형선박이 드나드는 곳에서는 아직도 계속 TBT의 오염이 계속되고 있다. 왜냐하면 길이가 25m 이상의 대형선박은 법적으로 TBT 함유 페인트를 사용할 수 있기 때문이다. 결과적으로

이곳에서는 일본에서 발견된 지느러미 없는 돌고래 또는 주먹코 돌고래 같은 것이 발견되고 있다. 한국해양연구소는 1992년부터 남해안 굴 채묘가 극히 부진한 것이 프랑스 아카송만처럼 TBT와 관련성에 의심하고 1994년부터 남해안의 진해만부터 광양만까지의 TBT 오염을 조사하였다. 거제도 옥포만 일대에서 조사활동을 벌였던 한국해양 연구소 조사팀은 7개 지점에서 채집한 참굴 모두에서 임포섹스(imposex) 현상이 발견했다. 임포섹스란 암컷 몸체에 수컷의 성기가 생기면서 암컷이 수컷화하는 현상으로 암컷의 불임을 유발하기 때문에 급격한 개체 감소를 초래할 수 있는 생태파괴 현상이다. 이러한 현상은 TBT(Tributyltin)가 직접적인 원인으로 파악되고 있다. TBT는 선박, 해양구조물, 어망 등에 굴, 파래 등이 달라붙지 않게 하는 방오제 성분으로 선박용 페인트에 첨가되는 화학물질이다. 옥포에는 선박용 페인트를 다량 소비하는 대우 옥포조선소가 있으며 조선소 도크에 가까울수록 TBT 농도가 높게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 도크 부근에서 채집된 굴에서는 최고 1190 ppb의 TBT가 검출됐으며 이는 참굴의 수정이 억제되는 것으로 알려진 기준농도(1백 ppb)를 10배 이상 초과한 수치였다. 진해만, 통영시, 고성군 일대에도 20개 측정지점 모두 1백 ppb를 훨씬 초과한 것으로 나타났다. 따라서 최근에 굴, 피조개 생산이 극히 부진한 것이 TBT 오염과 밀접한 관련이 있다고 보고되고 있다[강성현, 서울대학교 박사학위논문, 1995]. 참고로 우리나라의 굴 생산량 통계를 보면 1987년 2만9천 톤에서 1994년 1만7천톤, 피조개도 1987년 5만8천톤에서 1994년 1천4백톤으로 계속하여 감소하고 있다. 특히 피조개는 지난해 종자생산 실적이 없어 멸종 위기에 처해 있다(그림 3-17). 남해안 양식어민들은 이 때문에 금년 중에 3천만개의 일본산 굴 종패와 3억개의 중국산 피조개 종패를 수입해와 바다에 뿌릴 계획이다. 환경운동단체 그린피스(Greenpeace)가 인도에서 새로 펴낸 보고서에 따르면 인도 Gujarat주 북서쪽에 있는 Alang이 세계에서 가장 큰 선박 해체장이 되었다. 최근에는 전세계적으로 매년 약 700대씩 배가 해체되고 인도가 선박 해체의 70%를 담당하고 있다고 한다. 수백 명의 인부들이 주로 수 작업으로 거대한 배를 해체하고 있으며 이 과정에서 배의 바닥에 칠해있던 TBT가 벗겨져 나와 해양을 오염시키고 있다고 한다. 지금 당장 해체 작업을 그만두더라도 TBT가 해양 침전물에 높은 농도로 축적되어 있는 탓에 먹이 사슬에 향후 100년간 계속 남아 있을 것이라고 추정하고 있다. 또한 최근에는 미국 켄터키 머레이 주립대학교(Murray State Univ.)의 Margaret M. Whalen 교수의 연구팀이 butyltin으로 알려진 화학오염물질군이 핵심

적인 인체 면역세포의 기능을 방해한다는 사실을 처음으로 발견했다. 이들은 또한 평범한 사람들의 혈액에서 생물학적으로 우려할 만한 양의 부틸틴이 발견되었다고 말했다. 부틸틴 화합물은 단일, 이중 또는 삼중 형태의 구조로 발견된다. 이 물질들은 박테리아나 조류, 따개비류와 같은 원치 않는 유기체의 서식 또는 성장을 막는 데 사용되고 있다. 예컨대 TBT는 나무의 부패방지처리, 어류양식용 그물 처리, 선창의 처리, 선박용 페인트 등에 널리 쓰인다. 특히 선박 처리용으로서 TBT는 약 십 년 전부터 선체의 길이가 25m의 이하의 소형 보트에서의 사용은 금지되어 왔으나 대형 선박에는 여전히 사용되고 있다. TBT는 연안에서 얻어지는 어류나 굴과 같은 seafood들에서 검출되어 사회적인 주목을 받아왔다. 최근 다양한 연구팀들의 조사 결과는 미국 내의 수자원에 함유된 TBT 농도는 꾸준히 줄어들고 있으며 몇몇 연구 결과 바다식품들도 인체의 건강을 해할 만큼의 TBT는 함유하고 있지 않은 것으로 보고되고 있었다. 그러나 미국 켄터키주의 Murray 주립대학의 화학과 교수인 Margaret M. Whalen은 부틸틴들이 인체 고유의 식균세포(natural killer cell; NK 세포)의 정상적인 기능을 방해한다는 사실을 실험실 차원에서 발견했다. 이들 NK세포들은 혈액 내에서 종양 세포나 바이러스에 감염된 세포들을 파괴하는 작용을 한다. 그러나 이 NK 세포들을 실험실에서 환경 내에 존재하는 농도 정도의 TBT에 노출시켰더니 종양 세포 파괴능력이 사라졌다. 모노부틸틴과 디부틸틴 또한 TBT에 비해 약간은 덜하나 NK 세포의 파괴능력을 감퇴시켜 유해한 것으로 판정되었다. 모노- 또는 디부틸틴은 기저귀 커버, 위생용 냅킨, 샤워실 커튼, 장갑, 셀로판 랩, 접시 닦이용 스폰지, 와인, 과일 주스 등 다양한 가정용품들에 사용되고 있다. 인체는 부틸틴을 상당히 효율적으로 분해할 수 있어 24~48 시간 내에 없애 버릴 수 있다. 그러나 실험용 쥐를 사용한 연구들은 부틸틴이 면역체계의 혼란을 포함한 다양한 독성 효과를 보인다는 것을 보여주었다. 성인 지원자들로부터 채취한 혈액 세포들을 사용한 연구 결과는 부틸틴이 인체의 면역체계에 혼란을 가져온다는 것을 세계 최초로 증명한 것이다. BOMMANNA LOGANATHAN로가나단과 월튼은 또한 특별히 부틸틴에 노출된 적이 없다는 8명을 대상으로 혈액 내 부틸틴 농도를 조사했다. 그 결과 몇 명의 혈액 내에서 실험실 차원에서 NK 세포의 활성을 없앨 정도의 농도에 버금가는 부틸틴이 발견되었다. 연구팀은 그러나 이들 화합물들이 어떻게 인체의 건강에 영향을 미치는지는 아직도 확실히 밝혀지지 않고 있다고 말했다.

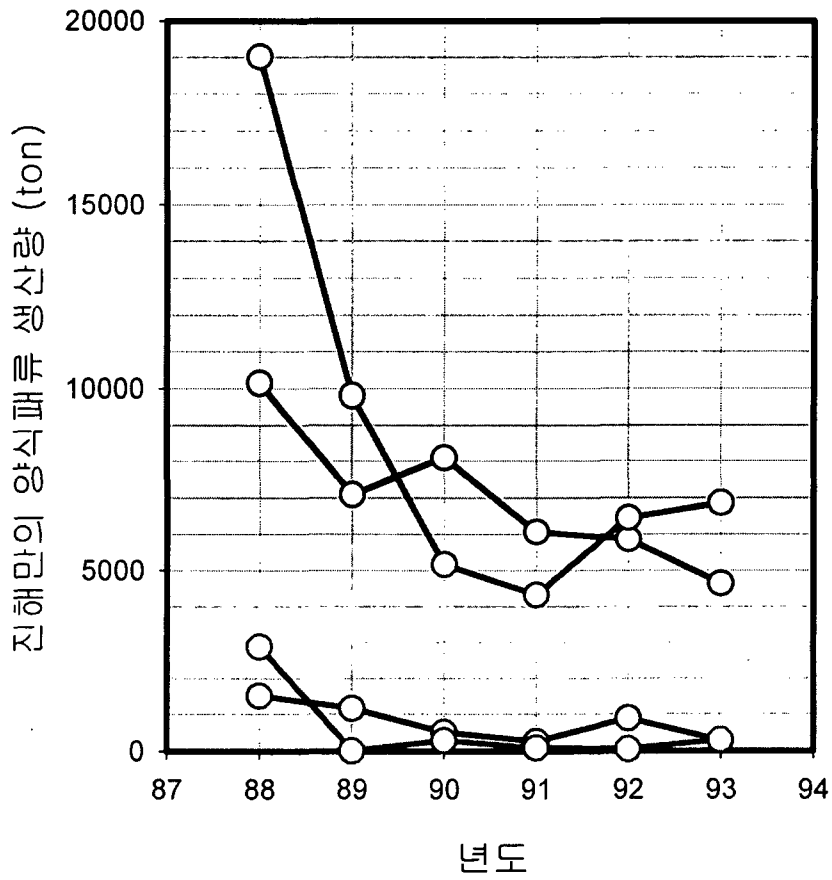


그림 3-17. 우리나라의 양식패류의 생산량 통계 (1988년부터 1993년까지)

바. 각국의 대응 현황

미국에서는 United States Code, TITLE 33-NAVIGATION AND NAVIGABLE WATERS, CHAPTER 37 - ORGANOTIN ANTIFOULING PAINT CONTROL에서 유기주석이 함유된 방오제 페인트의 사용금지과 유기주석 페인트나 유기주석이 첨가된 페인트의 제조금지, 방오제 대체물질의 연구, 위법한 경우의 처벌에 관한 규정을 고시하였다. 1989년에 모든 주에서 길이가 25 m 이하인 배에 TBT의 사용을 금지시켰다. 단 ① 길이가 25 m 이하의 배의 알루미늄선체 또는, ② 배 밖에 설치된 모터 또는 낮은 구동장치를 단 길이가 25 m 이하인 배는 예외로 하였다. 한편 EPA에서 허용한 것을 제외한 TBT를 함유한 페인트의 제조하거나 판매하거나 줄 수도 받을 수도 없도록 하였으며 배에 칠할 수 없도록 하였다. EPA에서는 TBT의 배출속도가 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 이하인 유기주석 페인트를 qualified antifouling paint containing organotin으로 정하여 검정하는 제도를 도입하였다.

1996년에는 미국 캘리포니아 EPA에서는 Alameda, Contra Costa, Marin, Napa, San Francisco, San Mateo, Santa Clara, Solano, 그리고 Sonoma county에서 가동되는 커다란 에어컨 시스템의 냉각탑에서 fouling을 야기시키는 박테리아나 진균류, 조류 등을 살균하는 TBT가 함유된 살충제의 사용과 판매를 금지시켰다(Code C63-95). TBT 화합물은 매우 낮은 농도에서도 바다 생태계를 해치기 때문에 1992년에 이미 공장 폐수에서의 배출농도를 0.005 ppb로 정하였었다.

미국의 EPA에서는 페인트에서 organotin화합물의 사용을 규제하고 있다. 예로서 FIFRA(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act), 7, U.S.C. 136 et seq.,에서는 1994년 11월 30일로 ELF Atochem North America, Inc.에서 TBTF(Tributyltin fluoride)가 함유된 제품의 생산, 판매, 분배 및 재고의 사용을 금지하고 있다. OSHA(The Occupational Safety and Health Administration)에서는 공기 중에 organotin 화합물은 최대농도 $0.1\text{ mg}/\text{m}^3$, tin또는 inorganic 화합물은 최대농도 $2.0\text{ mg}/\text{m}^3$ 로 규정하고, FDA(The Food and Drug Administration)에서는 coating이나 plastic food packaging분야에서 일부 organotin 화합물을 규제하고 있다.

캐나다의 환경청은 the Pest Control Products Act하에서 방오제 페인트의 사용을 1989년부터 규제하고 있다. 그러나 이러한 규제를 한 1989년 제조업자나 판매업자로부터 TBT 페인트를 리콜하지 않아 한 동안은 TBT 농도가 증가하였었다.

WWF(세계야생생물연합)과 선박업체, 페인트업체, 정부 및 학계가 참여하여 조

직한 독일의 한 프로그램을 예로 들면 새로이 개발된 생물에 무해한 페인트가 예비 실험결과 만족스러운 결과를 나타냈다. 이에 2001년까지는 TBT를 사용하는 페인트를 대체할 수 있는 여러 대체품들이 개발 완료될 수 있을 것이며 따라서 기존의 페인트를 규제하는 것이 현실적으로 가능할 것으로 예측된다.

일본에서는 TBTO의 생산업자의 규제와 조사를 진행하여 왔으며(Class I, the remaining 13 substances: Class IITB in 1990, Harmful Substance Containing Household Products Control Law), 이미 대부분의 선박에 TBT의 사용을 금지하였다.

우리나라 굴 종자가 아카송만과 같은 태평양 굴인데다 태평양 굴이 유럽 굴보다 TBT 오염에 훨씬 민감하다는 점에서 의심을 품었던 것. 결국 우려는 사실로 확인됐다. 문제를 그냥 방치해 둘 수 없다고 판단한 연구소측은 지난해 6월 환경부, 수산청, 국립수산진흥원, 도료업계 관계자들을 초빙, 「TBT 오염현황 및 대책에 관한 세미나」를 열었다.

국제적으로는 1990년 UN 산하의 IMO(The International Maritime Organization)에서는 유기주석이 환경유해물질이라는 것을 인식하고 MEPC에 해결 방법을 찾도록 하여왔다. UN의 IMO는 해양오염을 방지하기 위하여 “The Marine Environment Protection Agency(MEPA)”을 후원하고 있다. MEPA는 1996년 7월 선박의 방오제 페인트의 감축을 위한 Correspondence Group을 결성하여 네덜란드가 주도국으로 선정되었다. 1998년 3월30일부터 4월3일까지 열린 MEPC 41 meeting에서 Marine Environment Protection Committee (MEPC)는 TBT와 같이 독성이 강한 방오제 페인트의 사용을 금지하기로 결정하였다. 1998년 11월에 국제해상기구(International Maritime Organisation)는 2003년까지 오염 방지 페인트에 살생물제로서 사용되고 있는 유기 주석을 금지하고 선상에서는 2008년까지 유기주석을 금지하기로 천명했다. 위원회에서는 1999년에 열릴 21차 회의에서 회원국에게 대체물질을 사용할 것을 종용하는 의결문 초안을 작성하였다.

표 3-36. 외국의 TBT 사용규제 현황

국명	년도	규제현황
프랑스	1982	선체길이 25m 이하의 선박에 사용금지. 0.4% 이상의 TBT가 함유된 페인트 사용금지. 단, 알루미늄 선체의 선박은 제외.
영국	1986	총주석의 농도가 7.5%이상인 공중합체 페인트와 2.5% 이상인 기존 페인트의 도매 및 공급중지.
	1987	총주석의 농도를 7.5%에서 5.5%로 낮춤
캐나다	1987	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지. 선체길이 25m 이상의 선박에 주석용출량 1일 4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이하.
아일랜드	1987	선박과 수중구조물에 TBT 사용 금지
미국	1988	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지. 선체길이 25m 이상의 선박에 주석용출량 1일 4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이하.
노르웨이	1989	선체길이 25m 이하의 선박과 그물에 TBT 사용금지
일본	1990	선체길이 25m 이하의 선박에 TBTO[bis(tributyltin)oxide] 사용 및 생산, 수입 금지. 기타 TPT(triphenyltin, 7개 물질)의 사용, 생산, 수입시 정부에 보고.
덴마크	1991	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용 금지
호주	1991	일부 주에서 선체 길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용 금지.
스위스	1991	담수에서 TBT 사용 전면 금지.
독일	1991	담수에서 TBT 사용 전면 금지

(2) 대체물질 개발

가. 대체화합물

미국의 Rohm and Haas 사에서는 TBTO 페인트의 대체물질을 개발하였다. 약 140개의 3-isothiazolone 계열 중에서 상업화하기 위한 최종 선정 제품은 4,5-dichloro-2-n-octyl- 4-isothiazolin-3-one으로 상품명은 Sea-Nine antifoulant이다. 이 제품은 Maximum allowable environmental concentration이 0.63ppb로서 TBTO의 0.002 ppb보다 훨씬 작다[USP 5229701].

미국의 Olin사에서는 soft fouling organism에 효과적인 algaecide와 hard fouling organisms에 효과적인 cuprous oxide를 사용하는 방법을 개발하여 1991년 최초로 일본에서 사용되었으며 유럽에서도 널리 사용중이며, 최근에는 중국에 공장을 건설할 예정이다. 이러한 제품의 상품명으로는 zinc OMADINE® fungicide-algaecide 등이 있다. zinc pyrithione는 soft fouling plants and organisms를 억제하는데 세계적으로 그 효능이 입증되고 있다. zinc OMADINE® biocide를 cuprous oxide 또는 copper thiocyanate와 함께 사용하면 hard fouling과 soft fouling을 모두 해결할 수 있다. 1996년 Olin은 OMADINE® fungicide-algaecide 이라고 불리우는 copper pyrithione을 내놓았는데 이것은 gelling resistant antifoulant이다. Zinc OMADINE® biocide는 피부에 자극적이지 않으면서 algaecidal activity가 우수하고 물에 매우 적게 용해하기 때문에 아주 오래 지속되는 방오제로 알려져 있다. Olin에서는 zinc OMADINE® biocide와 cuprous oxide를 혼합한 일련의 방오제 페인터를 조제하여 Miami Marine Research and Testing Laboratory에서 fouling 시험을하여 미국 해군의 antifouling paint formulation(MIL-P-15931, Formula 121, vinyl resin, rosin, and cuprous oxide, 340g/L max.) 보다 성능이 우수하다는 것을 성공적으로 보였다. Zinc OMADINE® biocide는 1997년 미국 EPA에 등재되어 있으며 Copper OMADINE® (copper pyrithione, sp.gr=1.96, mp=282℃)은 미국 EPA에 등재되어 있지 않으며 미국에서는 판매하고 있지 않다.

미국의 American Marine Coatings 회사에서는 미국의 EPA의 승인(1991)을 받은 방오제 페인트를 판매하고 있다. 이 제품은 Southern California Air Quality Management District의 승인을 받은 제품으로 구리가 60% 이상 함유된 에폭시화합

물이다.

독일에서는 WWF, 9개의 선주회사, 7개의 도크회사, 9개의 페인트 제조업자, 환경부, 2개의 연구기관에서 TBT 함유 페인트의 대체물질(alternative biocide free paints)의 연구를 수행하여 유기주석이나 살균제가 함유되지 않은 페인트가 방오제 역할을 하는 것을 발견하였다. 2001년까지 일련의 TBT함유 페인트를 대체할 페인트가 개발될 것이 기대되어 IMO (The International Maritime Organization)에서 제안한 TBT 함유 페인트의 사용금지의 실행이 앞당겨 질 전망이다. 이 연구에는 자가 청소형, 살균제가 오염방지 페인트, 침적 방지, 비 독성, 비 고착성 코팅, 특수 청소를 할 수 있도록 고안된 굳은 코팅 등 기존의 생태학적 대체법이 적용되었으며, 다른 방법으로는 전기화학적 방법, 살균제가 함유된 자가 세척용 방오제 페인트의 연구가 수행되고 있다.

일본에서는 호르몬 교란 물질의 유출 없이 선박을 보호할 수 있는 새로운 선체 코팅 기술을 개발했다. 교토 대학교, Nara Advanced Institute of Science and Technology 그리고 Nippon Paint Company의 공동연구팀이 선체의 페인트에 단단하게 부착하여 용출되지 않는 repellent를 개발했다[<http://www.nipponpaint.co.jp>]. 공동연구팀은 우선 친수성 유기화합물인 올리고-옥시에틸렌(oligo-oxyethylene; 저분자량 폴리에틸렌옥사이드)을 일반적인 페인트 고분자의 측쇄(side-chain)에 부착하고, 유칼립투스(eucalyptus) 나무에서 발견되는 repelling agent를 올리고-옥시에틸렌 화합물의 말단에 부착했다. 페인트가 발라진 배가 물에 잠기면 친수성 올리고머인 옥시에틸렌은 물을 향해 노출되고 물 쪽으로 배열하여 protective barrier를 형성하게 된다. 이 때 repelling agent는 공유결합을 통해 올리고머에 부착되어 있으므로 물 속으로 용출될 염려 없이 방오제 역할을 하게 된다. 이 새로운 페인트를 선체에 칠한 지 1개월 후에 조사한 결과 선체에 군생하는 해조류의 75%, 미생물의 50%를 감소시킬 수 있었다.

국내에서도 많은 페인트회사에서 선박용 페인트로서 TIN-FREE 방오페인트를 새로이 개발중이거나 기존 TIN-FREE 상품을 사용하고 있다.

나. 해양 천연물 (Marine natural products)

환경적으로 유해한 물질을 환경에 덜 위험한 물질로 대체하는 것은 관심을 끄는 제안이다. 아래의 가능성들이 존재한다.

- ▷ 무해한 물질로서 치명적이거나 유해한 영향을 끼치지 않고 유기체들이 붙어있는 것을 막는 것
- ▷ 주변에 사는 유기체들에게 해를 끼치지 않고 배를 오염시키는 유기체들에만 작용하는 물질
- ▷ 매우 빠르게 분해하는 대체물질(분해된 물질들은 비오염 물질이다.)

오염방지기술에서 천연물의 사용은 최근에 매우 관심있는 분야이다. 천연 오염 방지 물질들에서의 연구를 지지하는 주장들은

- ▷ 해양 유기체들(미생물, 조류, 산호, 해면동물)은 배의 선체와 같은 문제를 겪는데, 오랜 시간 진화를 통해 이러한 해양 유기체들은 방어 구조를 발전시켰다.
- ▷ 천연 물질들은 환경에 덜 위협적이다. 왜냐하면 그것들은 더 빠르게 분해하고 유기체들의 접근을 막음으로써 오염방지를 일으킨다. 천연 화합물들은 유기체들을 죽이지 않고 오염을 막는다. 실제적으로 실험실에서 실험을 통하여 오염방지 메카니즘이 비오염적이라는 사실이 밝혀지고 있다.

상당수의 천연 화합물이 TBT와 같은 성능을 가진 것으로 보고되고 있으며, 그 예로는 lactones, carotenoids, terpenes, indoles, steroids, fatty acids와 furanes 등이 있다.

다. Non-stick coatings

Silicon polymers에 기초를 둔 non-stick coatings는 아주 낮은 표면 에너지를 갖는다. 물질의 자유 표면 에너지는 유기체가 그 물체에 붙어 있을 수 있는 지 아닌지를 결정짓는다. silicon polymer는 fouling과 coating사이의 접착력이 약해져서 fouling이 쉽게 제거할 수 있거나 5~10 knots 정도의 속력으로 배가 항해하는 동안 유기체가 배에 붙어 있기 어렵게 하여 결국 떨어진다. 이 방오 장치는 이미 시장에 출시되어 10년 이상 사용되어 훌륭한 제품으로 여겨졌다. 그러나 종종 불충분한 오염방지 성질들을 보여주는 경우도 있었으며 그 경우에도 오염은 쉽게 제거되어졌다. 또한 코팅의 약함과 그들의 응용의 어려움 등이 보고되었다. 가장 좋은 결과가 polysiloxanes(silicon elastomers)로 얻어졌다. 비록 오염방지 효과가 분명하게 개선

될지라도, 주요한 장애물들 -높은 가격(고전적인 antifouling 페인트보다 5~100배 정도 높음), 어려운 응용(특별한 기구가 필요함), 상처 부근에 fouling이 빨리 일어나는 약점, 항해가 불충분하다면 오염을 제거해야하는 필요성과 나쁜 점착력- 을 극복하여야 한다. 또 고려되어야 할 다른 한가지는 빠른 생물 분해성이 있는 silicon products를 사용하여야 이 들이 떨어져 나갔을 때 2차 오염을 최소화시킬 수 있다. 이러한 종류의 제품에 대한 실제적인 적용은 cooling water systems에서 이루어졌다. Kansai Paint에 의해 제조된 "Biox"는 적어도 70개의 일본 발전소에서 사용되어지고, Chugoku에 의해 제조된 "Bioclean"은 적어도 53개의 일본 발전소와 35개의 캐나다와 미국 발전소에서 사용된다. 최근 미국, 오스트레일리아, 프랑스에서 배에 대한 시도로 이를 적정성이 판명되었다. 그러나 앞에서 언급된 장애물들 때문에 상업화하는데는 적어도 몇 년은 걸릴 것이다.

다. Periodic removal of fouling

주기적인 세척은 배 바닥에 오염층이 두꺼워지거나 오염의 강도가 아직은 약할 때 행해진다. 눈에 띄는 방법은 배가 항구를 떠나기 전에 오염을 제거하는 것이다. 항해하는 동안 어떤 오염 유기체들은 배에 붙지 않을 것이고 오염에 의한 연료 소비에서의 증가는 최소화될 것이다.

현재 실제 세척은 다이버가 직접 솔을 사용함으로써 행해진다. 고압의 물 분출은 덜 효과적이고, 도크에서의 세척은 너무 비싸고 시간이 많이 든다. 이론적으로 존재하는 다른 선택들 즉 수중 로봇, 원격 조종 청소, 자외선, 초음파 진동, 레이저, 세척배 등은 여전히 실용성이 떨어진다. Pamper, Scamp와 BrusK-Kart와 같은 회전하는 솔을 가지고 잠수부가 부두에서 배가 떠있는 동안 세척을 한다. 배를 세척하는 능력은 $900\text{m}^2/\text{h}$ 부터 $2000\text{m}^2/\text{h}$ 이상으로 다양하다. Fouling이 너무 무겁지 않을 때는 짐을 싣거나 내릴 때 행해진다. 이런 경우에 cleaning은 시간의 손실이 없다. 짧은 시간 동안 항구에 남아있는 딱 짜여진 스케줄로 항해하는 커다란 container 배는 충분히 청소할 시간이 없다. 이러한 경우는 한 항구에서 선체의 한 부분을 청소하고 다음 항구에서 나머지 부분을 청소하면 된다. 1970년대에 미국에서의 연구는 배 밑바닥 오염방지 페인트 systems의 기계적인 수중 청소는 연료 소비에서의 감소와 함께 높은 수준의 배 성능을 유지할 수 있다는 것을 보여주었다.

(3) 저감기술

지금까지 조사한 바에 의하면 아직까지 공개된 문헌에 나타난 TBT의 저감기술은 없었다. 그러나 일반적인 환경오염의 처리방법을 적용하여 이미 환경에 오염되어 있는 TBT를 처리하여 저감할 수 있는 방법으로 다음 두가지 공법을 소개한다.

가. 초임계수산화에 의한 오염 TBT 저감공정개발

임계점 부근에서의 높은 반응활성을 이용한 기술 중 현재 가장 널리 연구되는 것이 초임계 수(水) 중에서의 산화반응이다. 이 반응 계는 폐수 중 난분해성 유기화합물을 산화시켜 분해하는 기술로 새로운 폐수처리기술의 하나로 개발되고 있다. 이 기술은 폐수를 증발시키지 않고 산소와 유기화합물의 용해성을 증가시켜 균일상 내에서 반응시킨다. 이 반응의 온도는 350-450℃, 압력은 150-350 bar에서 주로 이루어지며 phenol의 경우 산소의 존재 시 급격하게 분해되어 단순히 열분해에 의한 것보다는 산화에 의한 분해가 훨씬 큼을 보여주었다. 초임계 수 산화반응 공정은 고온, 고압 및 높은 부식성 등으로 적절한 재료의 선정 및 석출된 염의 적절한 제거여부가 기술개발의 과제가 되고 있다.

나. Phytoremediation에 의한 정화법 개발

TBT를 섭취하여 이를 분해하거나 환경에서 고립시키는 식물을 오염지역에 재배하여 TBT오염을 저감하는 방법으로 TBT에 강한 식물과 이를 흡수 분해할 수 있는 작물을 개발하는 것이 주요연구과제이다.

3) Alkylphenol Ethoxylate(APE)분야

(1) 분야의 개황

가. 서론

1980년대 후반 영국 각지에서 암수 구분의 어려운 물질이 발견되었다. 그 원인을 조사해 본 결과 합성세제와 유화제의 성분인 비이온성 계면활성제의 분해물인 알킬페놀이 다량 검출되었다. 그 후 무지개 송어를 키우는 수조에 이 알킬페놀을 투여한 결과, 수컷의 정소발달이 방해받는 사실을 실험적으로 밝혔으며, 암컷의 간에서만 만들어지는 난황단백질(Vitellogenin)을 수컷이 생산하는 것을 발견하였다. 이렇게 alkylphenol ethoxylate는 에스트로젠의 성질을 보이며 호르몬과 유사한 작용을 함으로써 수컷을 암컷화 시키고 여성의 유방암과 자궁암 발달을 촉진시키는 물질임이 밝혀졌다. 이에 WWF(세계생태보전기금)는 alkylphenol ethoxylate를 내분비계장애물질로 분류하였고, 일본 의약품식품위생연구소에서도 현재 연간 약 40,000톤이나 사용되고 있는 산업용화학물질 및 환경오염물질로 분류하였으며, 우리나라에서도 현재 연간 약 6,000톤 사용되고 있는 alkylphenol ethoxylate를 WWF의 분류를 근거로 내분비계장애추정물질로 지정하였다.

나. Alkylphenol Ethoxylate의 용도

1940년대에 처음 만들어진 alkylphenol ethoxylate의 용도는 다음과 같다.

- 가정용, 산업용 세정제나 소독제로 쓰이는데 지금은 가정에서는 거의 쓰고 있지 않다(미국 예외).
- 향수나 화장품 원료의 계면활성제/분산제에 쓰인다,
- 천연섬유와 합성섬유의 직물 공장과 염료 공장에서 기름을 빼고 세척하며, 섬유를 부드럽게 하는데 쓰이고, 모직의 탄화(carbonization), 방수 처리등의 공정에 쓰이며 캐나다에서는 직물공장의 80%는 하수처리 공정으로 처리되고 20%정도는 직접 물로 씻어 처리한다.
- 펄프, 제지 공장, 종이 재활용 시설에서의 계면활성제로 쓰인다.
- 정유, 원유 생산소와 정제소에서 세정제로 쓰이는데, NPEs의 상당한 양이 지표수로 그대로 방출되고 정유 과정 중 땅으로 스며든다.
- 살충제와 제초제의 분산제와 독성 강화제로 쓰인다. NPEs는 물에 잘 녹는

성질 때문에 농약의 20-25%를 차지하며 널리 사용중이다. 그리고 채소의 표면에서 토양과 지표수로 직접 씻겨 나갈 것이다.

- 자동차 공장, 스틸 공장, 전기분해판, 금속 주조에서 유화제, 윤활유, 습윤제로 쓰이며 여기서 사용된 NPES와 NP등은 거의 하수 처리 시설에서 방출된다.
- 피혁공장에서 세정제와 원래 가죽에 있는 기름을 제거하는데 사용하며, 유화제로 쓰이고 있다.
- 살정자제로도 사용된다.

한편 Alkyl phenol류는 주로 플라스틱공장에서 PVC, PVA, Styrene/Acrylonitrile (SAN)과 합성 고무 제조시 산화방지제나 안정제, 항안정제 그리고 변색 방지제로 쓰이고 있다.

이런 물질은 일상 생활에서 오염된 물을 마실 때, 샴푸, 화장품, 살정자제, 가정용·산업용 세정제가 피부를 통해 흡수되거나 농약 살포시 흡입하거나 섭취시에, Alkylphenol을 함유한 하수폐기물이 퍼져있는 곳으로부터의 오염된 음식을 먹었을 때, 그리고 하수슬러지가 퍼져있는 목초지의 풀을 먹는 젖소에서 나오는 오염된 우유를 마실 때 노출될 수 있다.

표 3-37에는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 Nonylphenol Ethoxylate와 Octylphenol Ethoxylate의 Ethylene Oxide의 부가 몰수에 따른 용도를 나타내었다. 그림 3-18에는 면 가공공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처와 그림 3-19에는 Wool 가공공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처를, 그리고 3-20에는 Polyester 공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처를 나타내었다.

표 3-37. Nonylphenol Ethoxylate와 Octylphenol Ethoxylate의 Ethylene Oxide의
 부가 몰수에 따른 용도

	EO 몰수	용 도
Nonylphenol Ethoxylate	2	소포제, 이형제
	3	유화제, 습윤제, 분산제
	4	유화제, 습윤제, 분산제
	5	전착제
	6	유화제
	7	금속탈지제, 유화제
	8	WOOL정련제, 액체세정제
	9	염색조제, 세정제
	10	세정제, 습윤제, 전착제
	12	유화제
	15	침투제, 분산제, 유화제
	20	염료분산제, 고결방지제
	30	유화제
	40	유화중합용 유화제
	50	안정제, 현수제
Octylphenol Ethoxylate	3	유화제, 분산제
	5	유화제, 분산제
	7	유화제, 분산제
	9	습윤, 침투, 분산, 전착제
	30	유화제, 분산제
	40	유화제, 분산제
	70	유화제, 분산제

원면을 가공 처리하는 섬유공정에서 염색이나 날염하기 직전의 정련공정 또는 표백공정에서 Nonylphenol Ethoxylate가 사용되며 이를 Linear Alcohol Ethoxylate, EO-PO block copolymer, 기타 특수 nonionic surfactant 등으로 대체하고 기존의 성능을 개선하는 연구가 진행되어야 함.

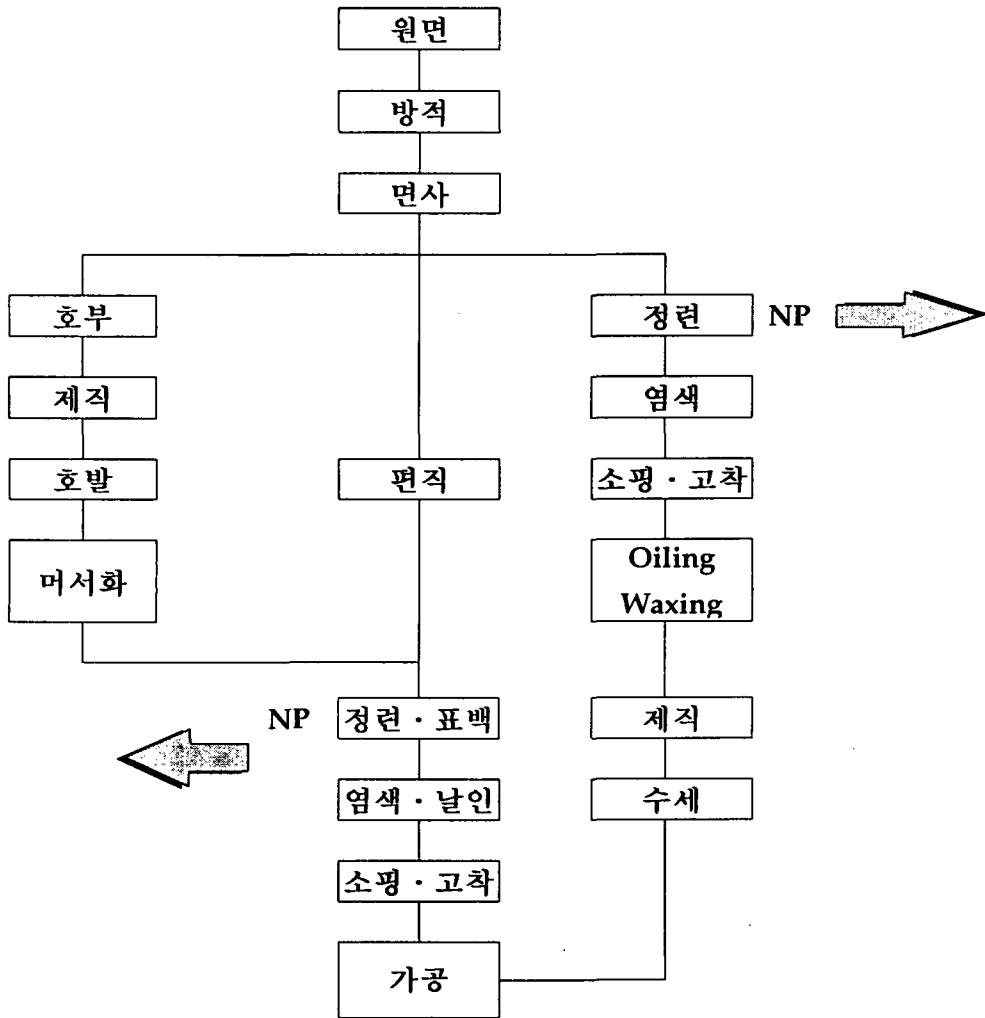


그림 3-18. 면 가공공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처

원모를 가공 처리하는 섬유공정에서 방모,소모공정에서 Nonylphenol Ethoxylate가 사용되며 이를 Linear Alcohol Ethoxylate, 또는 EO-PO block copolymer, 기타 특수 nonionic surfactant 등으로 대체하고 기존의 성능을 개선하는 연구가 진행되어야 함.

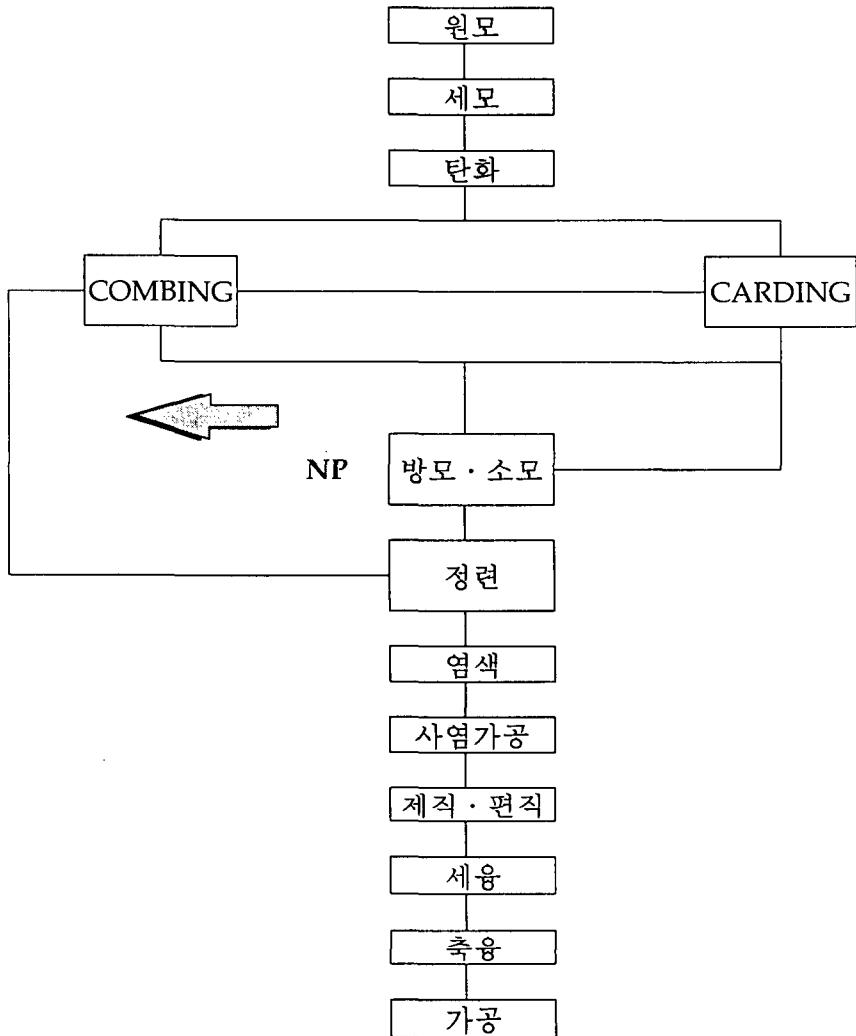


그림 3-19. Wool 가공공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처

Polyester를 가공 처리하는 섬유공정에서 염색이나 날염하기 직전의 정련공정 또는 표백공정에서 Nonylphenol Ethoxylate가 사용되며 이를 Linear Alcohol Ethoxylate, EO-PO block copolymer, 기타 특수 nonionic surfactant 등으로 대체하고 기존의 성능을 개선하는 연구가 진행되어야 함.

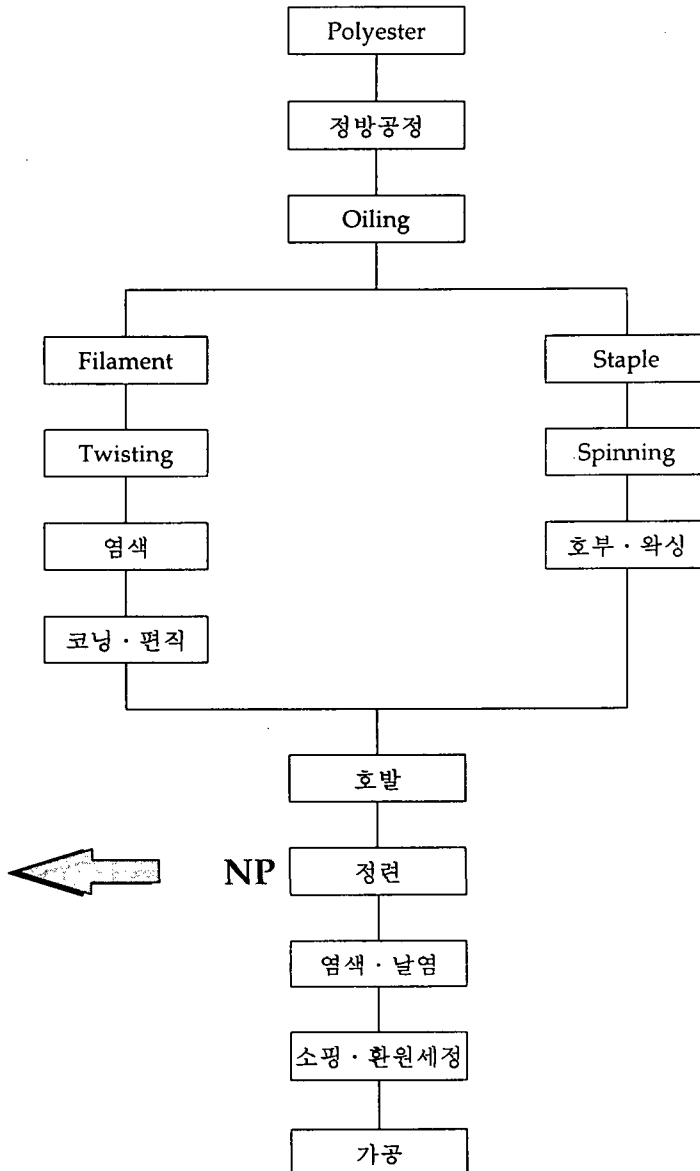
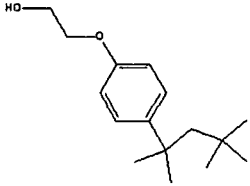
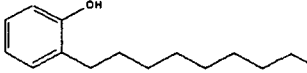
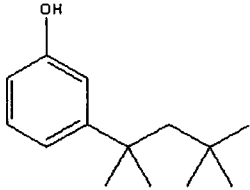
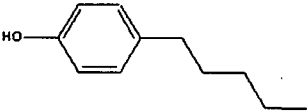
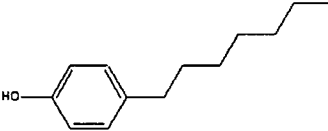
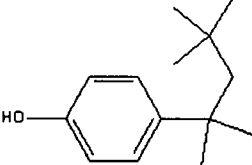
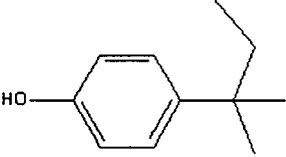
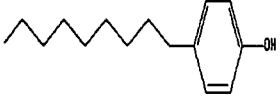


그림 3-20. Polyester 공정에서 Alkylphenol Ethoxylate의 사용처

다. APE(alkylphenol ethoxylate)와 AP(alkylphenol)의 종류

Alkylphenol은 Alkylphenol ethoxylate의 분해로 생기는 물질이며 이들을 도시하면 다음과 같다(표 3-38).

표 3-38. APE와 AP의 종류

Alkyl phenol ethoxylate			
octylphenol ethoxylate (9002-93-1)			
Alkylphenol			
Nonylphenol [25154-52-3]		Octylphenol (27193-28-8)	
4-pentylphenol (14938-35-3)		4-t-pentyl phenol (80-46-6)	
4-tert-octylphenol (140-66-9)		4-octylphenol[18 06-26-4]	
4-Nonylphenol (104-40-5)			

다음은 alkylphenol ethoxylate의 분해 경로이다.

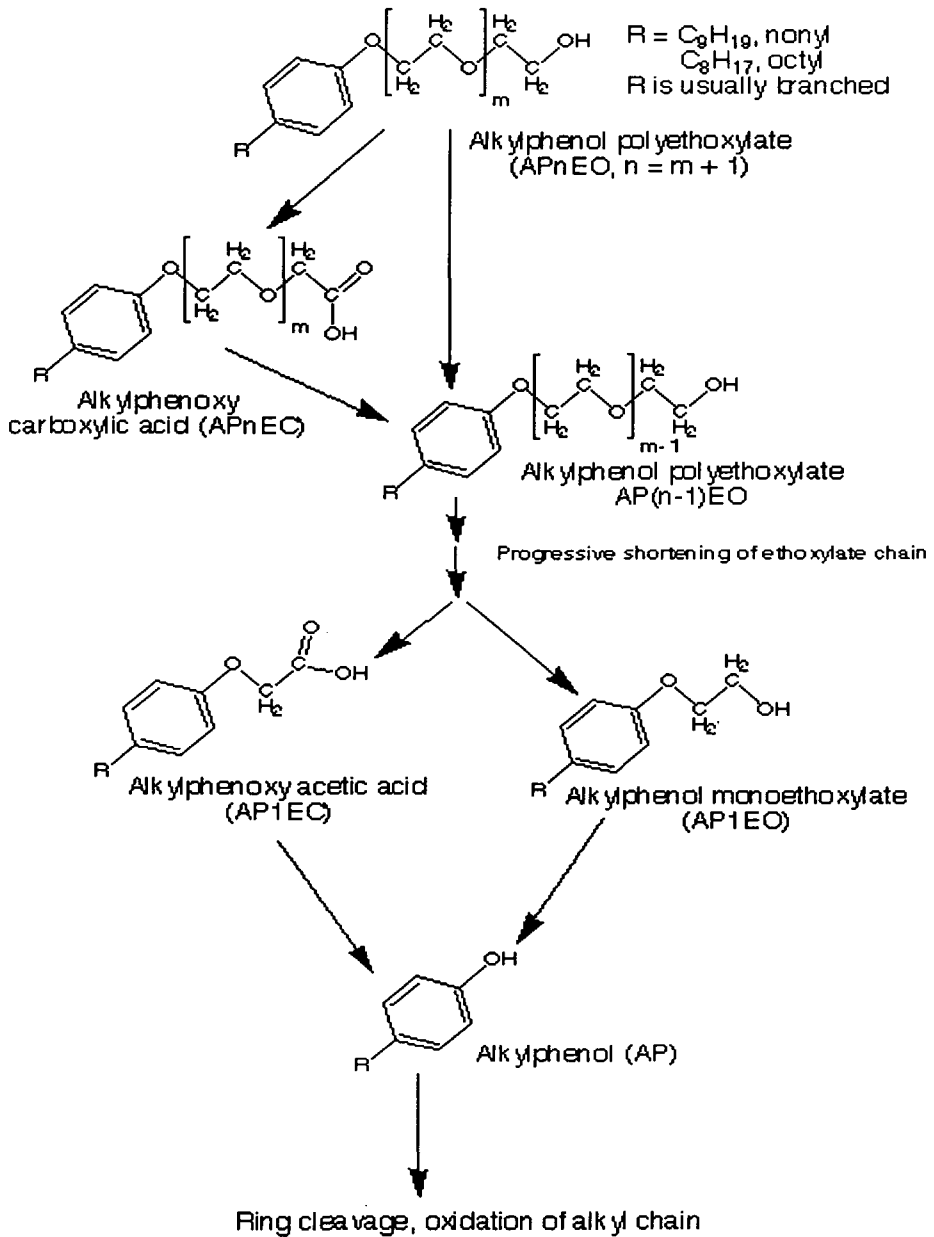


그림 3-21. Alkylphenol ethoxylate의 분해 경로

라. APE의 특성과 환경오염

APEs의 화학구성은 계면활성제의 성질을 갖게하는 소수성과 친수성의 부분들로 구성되어있다. 이 양친매성 때문에 공기와 물, 기름과 물, 물과 고체, 기름과 광물 사이의 잘 섞여지지않는 형태에서 APEs가 그 접촉면에 있을수 있다. 이런 독특한 특성들이 세척, 소독, 유화과정에서 아주 중요한 역할을 하므로 공업용, 가정용, 농업용으로 쓰이고 있다.

그리고 APEs와 NPEs는 일반환경에서 지극히 안정적이어서 부분적으로만 생분해되고 거의 분해되지 않는다. 이들의 신진대사물은 이보다 더 생분해되지 않고, 미생물 분해를 방해하며 종종 환경에 그대로 남아있기도 한다. 폐수 처리시 생활에서 계면활성제로 많이 쓰이는 물질들이 분해가 거의 되지 않고 그대로 거품으로 남아 수질오염을 심각하게 하고 있고 더 나아가 토양, 지하수에까지도 영향을 크게 미친다.

또한 NP와 다른 NPEs 대사물의 더 짧은 ethoxylated chain을 가진 친지방성(lipophilic)성질 때문에 화합물들이 지방.생체조직에 축적되려는 경향을 갖게 된다. 즉 NP, NP monoethoxylate(NP1E)와 NP2E의 대사물이 물,퇴적물, 음식들로부터 바로 생체 내에 축적되어 농도가 높아졌을 시 호르몬 유사작용을 하여 호르몬의 정상적 기능을 방해하고 몸의 기능에 이상을 유발하게 된다.

특히 Nonylphenol은 1930년대에 에스트로젠 호르몬을 모방한다는 것이 밝혀졌고 1991년에 nonylphenol의 유방암에 미치는 효과가 발표됨으로써 건강에 관한 관심을 불러일으켰다(Soto et al., 1991).

여러 연구들은 유방암세포의 성장이 보통 에스트로젠이 생성되는 농도보다 1000~10000배 더 높은 농도의 alkylphenol(nonylphenol)에 의해 증가됨을 보였다. 에스트로젠 효과는 octylphenol 0.1 μ M과 nonylphenol 1 μ M의 세포조직농도에서 나타난다.

네덜란드 와게닝겐 농대 한스 코멘 교수등은 과학전문지 <nature>지에 논문을 기고했는데, 그들은 성분화가 덜 이뤄진 어린 잉어를 4-pentylphenol에 노출시킨 결과 수컷에서 난관이 생기고 고환발달과 정자생산이 위축된다는 사실을 확인했다고 밝혔다. 연구팀은 생후 50일 된 잉어 치어를 페놀화합물이 하수처리장 농도인 0.1~1ppm 들어있는 물속에서 90일동안 기르면서 생식기관의 성장을 관찰했다. 그 결과 40일이 지났을 때부터 잉어 생식선의 생식세포수가 줄기 시작했으며, 60일이

지난 뒤 거의 모든 수컷 잉어에 난관이 생겼다. 난관이 생긴 수컷에서는 고환의 발달이 극히 부진했으며 정자생산도 미약했다. 앞서 영국의 과학자들은 어린 수컷 쥐를 에스트로젠과 비슷한 행동을 하는 4-octaphenol과 butylbenzyl phthalate 등 2종의 화학물질에 노출시켰더니 성숙한 개체가 됐을 때 고환이 정상보다 작고 정자생산이 줄어들었다는 연구결과를 발표한 바 있다.

영국에서는 주변 공장들로부터 약 28종류의 폐수가 처리 배출되는 지점에서 송어를 약 3주간 노출시킨 결과 수컷이 혈액중에서 정상 수컷보다 최고 10만배 이상의 난황단백질이 검출된 경우가 있었다.

대부분의 영국 강에서의 농도는 독성기준 이하이지만 이것 또한 안심하기엔 불충분하다. 독성 실험은 이런 독성기준으로 에스트로젠 효과를 잘 감지하지 못한다는 결론이 나오곤 한다.

마. 독성

Alkylphenol은 Alkylphenol ethoxylate의 분해로 생기는 물질로 급성 독성 물질이다. 비이온 계면활성제는 수중생물체에 특히 독하다. NPEs의 독성은 ethoxylate chain의 길이가 짧아질수록, 소수성 chain의 길이가 길어질수록 증가한다. 그러므로 모체(parent) 계면활성제의 독성은 NP, NP1E, NP2E의 분해 생성물보다 항상 적다.

물고기와 물벼룩 등의 여러 생물체에 대한 독성실험에서 보면 alkylphenol의 분해 경로가 일반적으로 보통의 화합물보다 수십배 더 큰 독성임을 보여준다.

바. 오염 사례 및 현황

영국 섬유, 전자제품 공장들이 방류하는 노닐페놀 등의 화합물질로 인해 수컷 물고기가 암컷화되는 것이 발견되었다. 스코틀랜드 환경보호청(SEPA) 연구원들은 스코틀랜드 중남부의 11개의 강이 수컷물고기를 암컷으로 만들 수 있는 노닐페놀을 허용치의 10배 이상 함유하는 것으로 믿고 있다. 이런 alkylphenol류에 노출된 수컷 물고기는 대개 암컷에만 있는 난황단백질을 생산하기 시작한다. 96년에 나온 보고서에는 양털공장이 있는 북부 잉글랜드와 에어강에서 최고치의 alkylphenols이 발견되었음을 지적했다.

최근의 영국 정부 보고서[CES, 1993]에 따르면, 영국 환경에서 nonylphenol

표 3-39. Alkylphenol의 독성

Species	Test	Value (mg/l)	Reference
Salveinus fontinalis (Salmonid fish)	96 hr LC50	0.145	Wahlberget et al.1990
Salmo gairdneri (Salmonid fish)	96 hr LC50	0.230	Wahlberget et al., 1990.
Salmo salar (Atlantic salmon)	96 hr LC50	0.13-0.19	McLeese et al., 1981
Fathead minnow	96 hr LC50	0.135	Holcombe et al., 1984
Gadus morrhua (Cod)	96 hr LC50	3.0	Argese et al., 1994
Nitcora spinipes (small crustacean)	96 hr LC50	0.118	Wahlberget et al.1990
Crangon septemspinosa (Shrimp)	96 hr LC50	0.3	Mcleese et al., 1981
Mytilus edulis (Common mussel)	96 hr LC50 850 hr LC50	3.0 0.14	Granmo et al., 1989
Daphnia magna	48 hr EC50	0.18	Comber et al., 1993
Selenastrum capricornutum (Green alga)	96 hr EC50	0.41	Argese et al., 1994

ethoxylate 오염의 source로서 Wilton, Teeside의 ICI plant를 지적하였다. 이 공장에서 제조되는 세정제는 두 개의 40ton규모의 반응기에서 만들어지는데 이 반응기에서 씻겨져나간 물은 평균 생산품의 0.5g/l를 함유하고, Tees강에 처리되지 않은 채로 강어귀로부터 5Km 정도 방류된다. 이때 필요에 따라서 눈에 보이는 거품이 만들어지는 것을 피하기 위해 거품방지제가 가해진다. 이런 방출은 현재는 적절한 공정제어와 조절 장치의 사용으로 다소 줄어들고 있다.

영국 요크셔지방의 Aire 강의 분석결과에 의하면 아주 지독하게 오염되어 있는 것을 알수 있었다. 그 중 Bingley에 가까운 지역을 조사한 결과 Nonylphenol 180 $\mu\text{g/l}$ 와 NP2EO 25 $\mu\text{g/l}$ 가 있었고[Blackburn and Wladoc, 1995], NP(>3)EO 310 $\mu\text{g/l}$ 가 있었다[Yorkshire NRA, personal communication]. 이들을 같이 합하면 분명히 있을 AP1EO, AP3EO이나 APnEOfm를 제외하고도 515 $\mu\text{g/l}$ 가 된다. 이는 영국의 안전 기준치인 1 $\mu\text{g/l}$ (Warhurst et al., 1995)의 500배나 된다. 이 외의 영국강을 조사한 결과 많은 곳이 AP에 의해 오염되었음이 증명되었다. 최근에 덴마크도 NP와 NPE에 대한 수질 기준을 1 $\mu\text{g/l}$ 로 정했다[ENDS, 1996c].

스코틀랜드는 처리된 하수의 테스트에서 alkylphenoxy carboxylic acids를 제외하고도 alkylphenol 화합물이 1500 $\mu\text{g/l}$ 나 측정되었다[SEPA, 1996].

영국의 경우, 음용수의 30%가 하수처리 방출수가 들어가는 낮은 지역의 강으로부터 끌어들이고 있는데 음용수 중 alkylphenol 화합물 기준에 대한 공인되거나 유용한 자료가 없는 실정이다. 미국의 경우, 음용수의 alkylphenol 화합물의 총 농도가 거의 1 $\mu\text{g/l}$ 임이 밝혀졌다.

이와 같은 여러 가지 정황에도 불구하고 영국을 비롯한 다른 많은 나라들에서도 아직 alkylphenol에 대한 완전한 분석이 되어지지 않고 있으며, 이로 인하여 영국강의 완전한 분석은 아직까지 (1998년 12월까지)도 이루어지지 않고 있는 상태이다. 그러나 공업지역을 통과해 흘러가는 많은 영국 강과 비슷한 조건의 스위스 Glatt 강에서는 많은 종류의 alkylphenol compounds 수십 $\mu\text{g/l}$ 의 농도가 포함되어 있는 것이 발견되었다.

일본에서도 1996년에서 1997년에 걸쳐 도쿄의 다마강에서 수십 ppt가, 쓰미다강에서는 수백 ppt 농도로 알킬페놀이 검출되었으며, 이와 동시에 수컷 잉어의 비율이 현저히 낮아진 것이 발견되었고, 전국 130개 지점을 조사한 결과 생물의 생식기능에 이상을 가져오는 것으로 알려진 노닐페놀과 비스페놀A 등의 11개 물질이 조

사지점의 94%인 122개 지점에서 검출되었다. 특히 지하수는 농지 시가지 등 토지가 용별로 8곳을 나누어 측정했는데, 노닐페놀이 7개 지점에서 0.1~ 0.34 $\mu\text{g}/\text{l}$ 가 검출되어 심각한 상태임을 증명하였다.

우리 나라에서는 alkylphenol에 대한 기준치는 아직 정해지지 않았지만, 지난 94년 울산환경운동연합은 울산 시내 15개 가정의 지하수를 채취하여 시민환경연구소에 의뢰한 결과 2곳에서 합성 계면활성제 기준치 0.5PPM를 초과하는 것이 조사되었다. 또 1997년 창원시 하천을 조사한 결과, 안민천에서 계면활성제가 수질환경 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다.

사. 사용 규제 및 산업 피해

NPEs의 급성 독성과 에스트로젠의 특성에 대한 우려가 높아지고, 인간과 야생에 대한 노출의 큰 잠재성 때문에 유럽의 여러 나라들은 몇몇의 응용분야에서 NPEs의 사용을 금지하거나 줄이기 위한 위원회를 만들었다. 1994년 스웨덴에서는 유럽 여러 나라에 설문조사를 한 결과 1993년에 약 4000톤의 NPEs가 스웨덴, 영국, 네덜란드, 노르웨이에서 사용되었다는 결과가 나왔고 그로 인해 많은 유럽나라들이 많은 공정 과정에서 그 사용을 금지하거나 줄이는데 착수했다. 그리고 스위스와 이탈리아에서도 NPEs가 금지되고 있고, 1986년 이후로 독일에서도 소비재에서 대체 물질이 요구되어왔으며 지금은 산업분야에서도 언급되고 또 토론되는 상황이다. 1992년 North East Atlantic 과 UK를 포함하는 Paris 협의회에서는 2000년까지는 nonylphenol의 사용을 금지하는데 동의했다.

이렇듯 APEs에 대한 관심과 규제는 에스트로젠 효과가 화제가 되기 전부터 분해가 되지 않는다는 이유로 규제가 이루어져 왔고, 1977년 이미 가정용 세정제로서의 APEs는 금지되었었다.

캐나다에서 NPEs는 Canadian Environmental Protection Act's(CEPA)에서 Second Priority Substance List(PSL2)로 지정되어, 환경과 인간 건강, 그리고 인간 건강과 관계되는 여러 가지 환경에 끼치는 영향에 기초한 독성이 평가되어질 것이다. 현재 캐나다에서는 직물, 펄프·제지 분야의 산업에서 nonylphenol이 가장 많이 쓰여지고 있다.

유럽에서는 이미 APEs에 대한 규제는 시작되었거나 진행중인 상황이지만, 미국의 경우는 이와 다르다. Chemical & Engineering News(January 23, 1995, p30-53)

에 따르면 이 원료의 세정제는 가정용품으로 여전히 사용되고 있으며, 그들의 쓰임은 늘어나고 있다. 사실 APEs의 주용도 중의 하나는 액상 의류 세척제인데, 이는 미국이나 유럽 양쪽 다 그 사용범위가 늘어나고 있다. 그러나 유럽의 생산품은 더 비싸고, 안전한 alcohol ethoxylate를 함유함으로써 오염을 줄이기 위해 노력하고 있다.

1999년 한국과 일본은 양국 공단인근 하천 물고기에 대한 환경호르몬 중 알킬페놀, 프탈레이트, 비스페놀A의 오염실태를 공동 조사한다. 양국은 우선 공단지역의 수생생물, 조류, 양서류, 파충류의 생식기 이상여부와 수질, 토양, 대기의 환경호르몬 오염정도를 조사하여 각국의 청정지역과 비교하기로 하였다. 또한 경제협력개발기구(OECD)가 제안할 환경호르몬 시험 방법에 대한 공동연구를 실시하고 99년에는 한국에서 2,000년에는 일본에서 공동세미나를 갖기로 했다.

현재 우리 나라에서는 아직 이런 원료의 제조 사례는 없고 1년에 약 5,928톤을 수입하고 있으며 이중 nonylphenol 이 4,972톤, octylphenol이 35톤, tert-octylphenol이 6톤 가량을 여러 산업분야에서 사용하여 이로 만든 중간 제품이나 완제품을 수출하고 있는 실정이다. 이는 유럽의 여러 나라의 경우에 비교하여 결코 적은 양이 아님. (스위스, 2,900톤, 이탈리아 21,300톤, 네덜란드 4,700톤, 노르웨이 963톤, 덴마크 2,593톤, 스웨덴 1,648톤, 핀란드 124톤).

표 3-40에는 각국의 APE의 규제 Milestone을 표시하였다.

표 3-40. 각국의 APE의 규제 Milestone

- 1930년대에 최초로 에스트로젠 호르몬을 모방한다는 것이 밝혀짐
- 1980년대 후반 영국 각지에서 암수 구분이 없는 송어 발견
- 1986년 독일 NPEs의 소비자용품 사용을 제한, 산업용에서 사용제한 검토 중
- 1991년 nonylphenol의 유방암에 미치는 효과가 발표됨
- 1992년 OSPAR 파리회의:
 - 세척제로서 NPEs를 가정에서는 1995년에 산업적 이용은 2000년까지 제한
- 스위스, 이탈리아 NPEs 금지
- 노르웨이 가정용 세척제로서 NP는 1995년, 산업용은 2000년까지 삭감
- 덴마크는 모든 용도의 alkylphenol을 2000년까지 삭감
- 영국은 가정용은 1997년 삭감, 섬유업계는 1996년, 세제업계는 1997년에 삭감
- 스웨덴은 1990년-2000년 사이에 nonylphenol ethoxylate를 자발적으로 90%삭감
- 캐나다에서는 Canadian Environmental Protection Act's(CEPA)에서 Second Priority Substance List(PSL2)로 지정되어, 환경과 인간 건강, 그리고 인간 건강과 관계되는 여러 가지 환경에 끼치는 영향에 기초한 독성이 평가되고 있음.
- 우리나라 환경부 관촬 물질로 지정 (제조, 수입 및 용도를 신고)
- 미국 : 세정제로의 가정용품 여전히 사용 증가

(2) 대체물질 개발

현재 우리 나라에서는 합성 계면활성제가 환경 오염에 심각한 요인이 되고 있다는 보고들에 의해서 농축, 천연 계면활성제를 개발하는 움직임이 활발해졌다. 그러나 '농축', '천연'등 새로운 합성세제가 경쟁적으로 등장하였지만, 일반합성세제와 비교 실험한 결과 선전과 달리 수질오염 개선에 별효과가 없는 것으로 나타났다.

따라서 옥수수, 감자 등의 주성분인 포도당과 팜, 야자를 원료로 한 천연 지방 알콜로만 구성되어있어 피부자극 및 어류에 대한 독성이 기존 계면활성제에 비해 현저히 낮은 청정 화학원료 알킬폴리클루시드(APG)를 개발하여 샴푸, 주방세제 등의 원료로 사용할 수 있도록 하는 연구가 요구된다.

그리고 가정용 세정제나 금속 가공과정에서 쓰이는 Nonylphenol ethoxylates는 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)로 대체될수 있으나 그 효능과 가격면에서 경쟁력이 있도록 하는 연구가 요구된다[<http://www.wwfcanada.org/>]

우리 나라에서는 피부세정용으로 천연고분자 Polymer KU를 제조하였다. 이는 천연 셀룰로오스를 사용한 양이온 셀룰로오스 유도체로 샴푸, 바다 비누, 바다 로션 등의 첨가제로 사용될 수 있다.

또한 당류계 즉 glycoside계 계면활성제는 환경 친화성이 좋고 피부 및 인체 자극성이 낮고, 유화, 세정, 분산, 기포발생 등 여러 측면에서 장점이 많은 원료이다. 아직은 국내에서 개발을 못하고 있으며 부분적으로 개발에 착수하거나 개발을 시도 중이다. 이는 전자 인쇄, 자기녹음, 생물공학, 미세 전자공학, 바이러스 연구 등 여러 가지 분야에 응용할 수 있다. 또한 하천수의 오염에서의 주요한 원인인 주방용 합성세제 및 화장용품 등에 있어서도 이 계면활성제가 가지는 여러 가지 기본적인 계면활성 능력을 이용하면 분산효율이 뛰어나고 적은 양으로 생태계에 영향을 최소화할 수 있는 분산제로서 이용이 가능할 것이다.

현재 염색 가공업계에서 사용하고 있는 조제는 폐수처리 시 COD 및 BOD의 저하에 상당히 어려운 점이 있어 실질적 환경오염의 주 요인으로 지적되고 있어, 화학성분이 아닌 천연물질로 대체한 무공해 다기능의 계면활성제의 개발이 되어야 한다. 또한 통상산업부는 환경친화적이고 고부가가치를 창출하는 기술집약적 산업인 생물산업에 첨단기술과 아이디어를 가진 중소기업과 벤처기업에 대한 기술관련 시설과 창업관련 정보와 절차를 지원하는 생물산업 공동연구지원센터를 수도권, 중부

권, 영동권, 영남권, 영남권, 호남권 등 전국 5대 지역별로 1군데씩 설치할 방침이다. 생물산업은 생분해성 고분자, 계면활성제 등을 개발하는 생물화학 분야에서부터 환경정화용 미생물제와 대기탈황제를 생산하는 생물환경분야, 동물백신, 미생물농약 등을 개발하는 생물농업분야, 저칼로리형 대체감미료, 식품효소 등을 개발하는 바이오식품 분야 등을 포함하고 있는 산업으로 전세계적으로 첨단기술산업 중 초고속 성장이 전망되는 유망산업으로 부상하고 있다.

(3) 저감공정

일반적으로 alkylphenol류는 하수처리장에서 처리가 되는데, 부분적으로만 분해되고 하수 처리된 alkylphenol류는 주로 강과 바다에 들어간다. 최근 modelling 연구에 의하면 영국 NPEs산물의 83%가 환경으로 방출되고 그중 37%가 수질환경에 들어가는 것으로 조사되었다.(CES, 1993)

APEs가 하수처리장이나 강에서 분해될 때 알킬페놀 화합물은 alkylphenol, alkylphenoxy carboxylic acids 그리고 ethoxygroup을 덜 가진 EPEs의 세가지 주된 그룹이 만들어진다.

스위스의 광범위한 연구들은 이런 화합물이 강과 침전층, 지하수에도 계속 남아 있는 것을 보여왔다 [e.g. Ahel et al., 1994a, b, 1996].

어떠한 강의 오염을 평가 할 때는 이 모든 그룹을 다 고려하여야 할 것이다. 그렇지 않으면 오염물의 일부분만이 측정되어지는 결과를 가져오고 예를 들어 불행하게도 영국 강에서 모든 기준측정은 alkylphenoxy-carboxylic acid를 무시되어 왔다. Alkylphenoxy-carboxylic acid를 포함한 다른 carboxyl화된 대사물의 범위가 명확해졌으며 하수 방출수의 분석으로 이런 화합물이 총 alkylphenol 대사물의 63%에 달한다는 것으로 밝혀졌다[Di. Corcia et.al., 1998]. 아직 이에 관한 완전한 처리방법은 없고 외국의 경우, 완전한 APEs와 NPEs의 분해경로는 아직 확실하지 않지만 하수처리장에서 이런 계면활성제를 제거하는 4가지 가능한 경로를 생각할 수 있다.

- 1차 폐수에서 대사되지 않거나 부분적으로 대사되는 화합물로서의 제거
- 2차 폐수에서 대사되지 않거나 부분적으로 대사되는 화합물로서의 제거
- 2차처리 방출수중 대사 되지 않거나 부분적으로 대사되는 화합물로서의 제거
- 물이나 carbon dioxide와 용해성 질산염 같이 세균호흡에 의한 완전 대사물로서의 방출

6. 농약 및 의약품 분야

1) 분야의 개황

(1) 정 의

내분비계 장애물질(Endocrine Disrupting Chemical 또는 Endocrine Disruptors; 일명 환경호르몬)의 국내·외의 농·의약 산업분야에 대한 파급효과를 분석하여, 국내의 농·의약 산업의 내분비계 장애물질에 대한 대응방향을 모색하기 위한 국내 산·학·연의 체계적인 연구 및 기술개발 방향을 확립.

(2) 농·의약 분야에서의 문제점

내분비계 장애물질로 분류되는 합성화학물질을 환경호르몬이라고 일컫는 것은 지구 환경과 인류의 건강을 위협할 뿐만 아니라, 그 섭취과정이 본인의 의사와는 무관하게 이루어지고 있기 때문이다. 본 Chapter에서는 환경호르몬에 대한 일반적인 기술은 이미 개괄적인 서론에서 언급했기 때문에 생략하고, 농·의약 산업분야에서의 내분비계 장애물질에 대한 문제점 현황 및 앞으로의 대응방향에 대하여 기술하고자 한다.

다음 표 3-41에 나타낸 바와 같이 일본 후생성에서 분류한 내분비계 장애물질로 추정되는 화학물질 140여종 중 약 63%가 농·의약 관련 화학물질이며, 특히 합성농약은 그중 약 57%를 차지하고 있기 때문에 농·의약 분야에 대한 내분비계 장애물질의 산업적 파급효과는 막대할 것으로 추정하고 있다. 농·의약의 사용은 인류의 생활복지 향상을 위하여 절대적으로 필요하나, 최근 대두되어진 환경호르몬 등의 지구 환경 파괴 문제로 인하여 그 사용을 WHO 등에서 점점 엄격히 규제해 가는 추세에 있다.

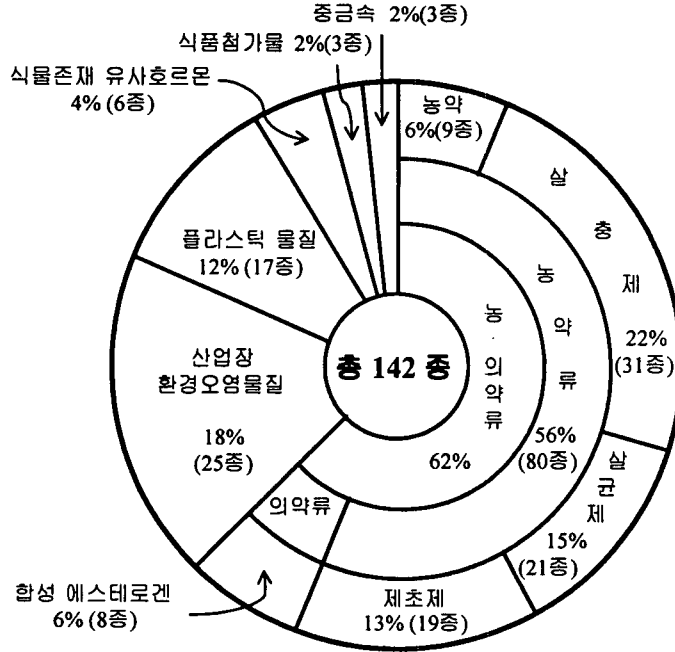


표 3-41. 일본 후생성 분류 내분비계 장애물질

상기 표 3-41에 나타난 바와 같이 농약류가 추정 내분비계 장애물질중 과반수를 넘고, 의약류는 그 비율이 6% 정도만이 차지하고 있다. 특히 의약의 경우는 그 비율이 미미할 뿐만 아니라 환자본인 및 의료진의 의지로 그 사용을 중지할 수 있기 때문에 피해를 최소한으로 줄일 수 있다.

그러나 농약사용의 경우는 작물을 섭취하는 사람의 의지와는 무관하게 이루어지며, 자연환경에 노출되는 약량 및 시간의 장기화로 그 피해가 크다. 특히 잔류 독성이 큰 합성농약의 경우는 먹이사슬과 관련이 있기 때문에 생태계 보존에 큰 영향을 미치고, 먹이사슬의 마지막 단계인 인간에게 가장 큰 영향을 미친다. 뿐만 아니라, 이러한 잔류독성이 큰 합성물질은 사람이 섭취하는 농·수산물에 존재하여 무의식중에 축적되게 되므로써, 인류의 세대교체에도 많은 영향을 미치게 된다. 그래서 농·의약 관련 분야의 내분비계 장애물질에 대한 영향 및 대응방향 수립은 농약 산업분야에 그 초점을 맞추어 기술하고자 한다.

▶ 농·의약분야에서의 내분비계 장애물질의 문제점 현황

- 1950년대 후반, 임신부의 유산방지제인 diethyl stilbestrol(DES) 같은 합성 호르몬(총 8종)을 복용한 임신부의 자녀는 정상적인 생식기능을 가질 확률이 낮다는 것이 보고.
- 1967년, 레이첼 카슨의 저서 “The Silent Spring” 에서 살충제인 dichloro-diphenyl trichloroethane(DDT)의 위험성을 경고.
- 1996년, 영국의 Weybridge에서 열린 EU/WHO/OECD에서 내분비계 장애물질에 대한 정의를 채택하여, “내분비계 장애물질은 내분비계 기능을 변화시켜 정상적인 개체나 그의 자손에게 건강장애를 유발하는 외인성 물질”로 규정.
- 1996년, 일본의 나카하라 이데오미의 저서 “환경호르몬의 공포”에서 일반적인 관심을 불러일으킴.
- 1997년 1월, 미국 워싱턴에서 개최된 국제 내분비계 장애물질에 대한 Smithsonian Workshop에서 “몸에 항상성(homeostasis)을 유지하고 생식이나 발생과정의 조절에 필수적인 내인성 호르몬(natural hormones)의 생성, 방출, 이동, 대사, 결합, 작용 또는 배출을 방해하는 외인성 물질”로 규정.
- 세계 야생 생물 보호기금(World Wildlife Foundation : WWF)에서 내분비계 장애물질로 추정되는 화학물질을 67종 규정.
- 미국 일리노이주 환경보호청(Illinois EPA)에서 74종의 환경호르몬 추정 화학물질 규정.
- 일본 국립의약품 식품 위생 연구소에서 140여종의 환경호르몬 추정 화학물질로 규정하였으며, 이중 의약품인 합성 에스테로젠 8종 과 농약 및 농약류 80종을 내분비계 장애물질 목록으로 선정.
- 1997년 환경부에서 내분비계 장애물질에대한 세부규제 및 사용현황을 발표.
- 국내에서도 1998년 한해 120여건의 신문지상 보도가 있었음.

상기에 언급한 바와 같이 현재까지는 선진국에서 주로 내분비계 장애물질에 대한 규제 방향에 대해서 연구가 추진되어 왔으나, 이에 대한 작용기구 연구가 추진된 후, 이들을 대체 할 수 있는 대체물질이나 대체 공정이 개발된다면, 기술선진국들은 내분비계 장애물질로 인한 지구 생태계 환경 파괴 및 인류 종족 보전 저해를

이유로 대체물질 및 대체공정 사용의 압력을 행사할 것이며, 이는 기술종속의 심화를 가져오는 악순환의 고리를 형성하게 될 것이다.

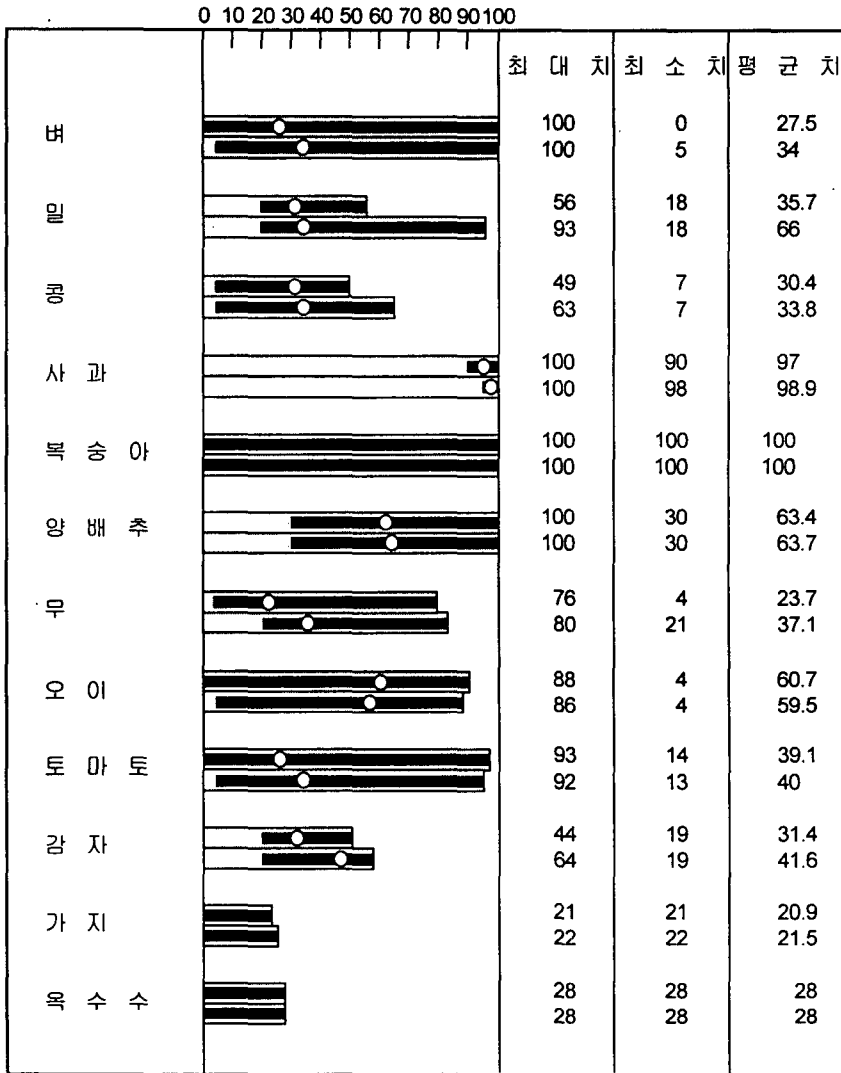
따라서, 선진국들의 내분비계 장애물질의 규제 동향 및 대응 기술 개발 연구방향을 정확히 분석하여 국내 농·의약 분야의 환경호르몬에 대한 하나의 대처방향을 제시하는 것이 본 Chapter를 기술하는 목적이다.

(3) 대응연구의 필요성 및 중요성

- ▶ 지난 87년 한·미 통상 협정에 따라 도입된 물질특허 제도는 과거 국내 농·의약 회사들이 원제를 무단으로 복제하여 복제품을 생산 시판하던 것을 고액의 로열티를 지불하지 않고는 불가능하게 하였다. 국내 농·의약 시장 규모는 농약이 세계 8위, 의약시장이 세계 10위 정도임에도 불구하고 국산화율은 물량으로 약 50%정도이며 그것도 거의 복제품을 생산 시판한 것이다. 그런데, 기술선진국들이 내분비계 장애물질을 이용하여 새로운 기술보호 장벽을 설치한다면 보다 큰 기술 격차를 야기시키기 때문에, 환경호르몬에 대한 시급한 대응책이 절대 필요하다고 사료됨.
- ▶ 지구 환경 및 인류 종족 보전을 위한 시대적 요청
 - 현대농업은 인력집약 농업에서 기술집약 농업으로 변하고 있다. 기술 집약 농업은 1인당 정작면적이 넓기 때문에 단위면적당 생산량의 감소를 초래할 수 있으며 이를 극복하기 위하여 농업기술의 개발 및 농약사용은 필수불가결하다고 할 수 있다. 특히, 국내 농업 인구의 급격한 감소는 단위면적당 농약사용을 증가시킬 것으로 사료된다. 따라서 현재 국내에서 사용되는 다수의 농약이 내분비계 장애물질로 추정되는 바 이에 대한 대응방향 및 대체농약 개발이 절실히 필요함.
 - 현대의 농업기술의 하나인 유기농법 및 무농약 재배법 등으로 환경호르몬에 대한 대응책을 제시하기도 하나, 이는 소극적인 대응책이라고 할 수 있다. 현재 지구상에서는 1년에 10억이상의 인구가 기아에 허덕이고 있을 뿐만 아니라, 무농약 재배로 인한 수확량의 감소는 다음 표 3-42에 나타낸 바와 같이, 작물에 따라서는 그 수확률이 0%에 가깝다. 특히, 표 3-43에 나타낸 바와 같이 사과, 복숭아등의 과일류와 배추등의 채소류는 무농약 재배가 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다. 뿐만아니라 표 3-43은 수확량 감소로 인한

농작물 가격의 증가율은 일정하지 않다는 것을 나타내는데, 특히 주식 농작물인 밀, 벼 등은 그 가격 상승폭이 급격하다. 그 중에서도 콩의 경우는 작물의 감소가 37%임에도 불구하고 가격의 변동은 2.5배로 폭등하며, 벼의 경우는 작물감소율이 57%인데 가격의 상승폭은 83%로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 식량으로 인한 세계 전쟁을 유발 할 수 있을 것으로 추론되기 때문에 농약의 사용은 필수불가결하다고 볼 수 있다. 따라서 환경독성 및 내분비계 장애를 주지않는 신농약의 개발이 앞으로의 농약개발의 방향이 될 것으로 사료된다.

표 3-42. 농약을 사용하지 않고 재배했을 때 병충해 감수



주) Knuntson & Associate 사 조사보고서 자료

표 3-43. 미국에서의 농약사용중지로 인한 수확량 감소 및 가격 변동

	작 물	수량감소율 (%)	가격에의 영향
조 사 1	옥수수	32	가격 38% 상승
	콩	37	가격 2배, 수출량반감
	밀	24	가격 6% 상승
	면화	39	가격 34% 상승
	땅콩	78	가격 2.5배, 수출불능
	벼	57	가격 83% 상승
	보리	29	가격 23% 상승
조 사 2	옥수수	25	가격상승, 수출량반감
	콩	27	가격상승
	밀	20	가격상승, 수출감소
	면화	72	가격상승, 수출불능
	땅콩		
	벼	68	가격상승, 수출곤란
	보리		

주) GRC Economics 사 조사보고서 참조

▶ **신농·의약 연구 개발전략에 있어서의 시대적 변화**

- WHO에서 농약사용 규제기준을 강화해 왔으며, 특히 내분비계 장애물질의 출현으로 그 규제가 더욱 강화될 것으로 사료되는 바, 농·의약의 개발 방향을 점검하여 장기적인 대책 수립이 필요.
- 현재까지의 신농·의약의 개발방향은 첫째 고효성, 둘째 저독성에 중점을 두었으나, 앞으로는 저독성 및 내분비계 장애를 일으키지 않는 농·의약의 개발 방향을 설정하게 될 것으로 사료됨.
- 내분비계 장애물질의 규제방법이 설정된다면 앞으로 농약 개발 분야에서도 그동안 문제가 되었던 고비용 생산 농약의 사용회피를 줄일 수 있을 것이며, 이는 기술선진국이 값비싼 농약을 생산하여 후진국에 사용압력을 행사할 것으로 사료되기 때문에 이에 대한 대응방향이 필요.

- 의약분야에서도 합성 에스테로겐의 사용금지 등 장기 복용이 필요한 약들에 대한 내분비계 장애물질의 새로운 규제가 설정될 것으로 사료됨.

▶ **내분비계 장애물질에 대한 대응책 확립의 중요성**

내분비계 장애물질의 선진국의 규제방향에 대한 농·의약 분야에서 올바른 대응책과 대체물질 및 기술 개발 방향이 설정되면 다음과 같은 측면에서 국가 사회에 기여할 것으로 판단되며, 그 중요성이 매우 크다고 사료됨.

<보건복지사회 구현측면>

- 21세기의 첨단 산업화 사회에서는 인구의 노령화, 새로운 질병의 발생, 환경 공해의 증가 등으로 저항성 및 내성균의 발현으로 인해 새로운 고활성, 저독성의 신농·의약의 개발을 필요로 함.
- 따라서 고활성 저독성의 신물질이며, 내분비계 장애를 일으키지 않는 대체 농·의약의 개발의 인류의 기아문제 해결뿐만 아니라, 인류의 종족 보전에도 기여할 것으로 사료됨.
- 즉, 농·의약의 내분비계 장애물질에 대한 효율적인 대응방향 설정은 인류의 보건복지 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료됨.

<산업, 경제적인 측면>

- 내분비계 장애물질에 대한 농·의약 산업 분야에서의 효율적인 대응방향 설정은 선진국의 대체물질 및 기술사용 압력을 효율적으로 극복하여, 국내 농·의약 산업분야의 자생력을 증강시킬 것으로 예상.
- 특히, 현재 국내에서 사용중인 농약의 완제품은 1,000 여종에 이르며, 그중 약 60 여계통은 내분비계 장애물질로 추정 분류되고 있으며 완제품의 가지 수로는 수백종에 이를것으로 추정된다. 내분비계 장애물질로 추정 분류된 농약중 일부는 그 매출액이 수십억원 이상이며 전체적으로는 농약산업이 약 6,000 억원, 의약산업이 약 3 조원 이상으로 세계 10 위권내의 막대한 시장을 가지고 있기 때문에 환경호르몬에 대한 효율적 대비책은 국내시장 보호는 물론 해외시장 진출도 가능할 것으로 사료됨.

<기술적인 측면>

- 내분비계 장애물질에 대한 농·의약 분야에서의 대체물질 및 대체기술 개발은 독성, 작용기구, 분석기술 발전과 더불어 수행해야 하기 때문에 화학(유기, 무기, 고분자, 광화학, 분석화학 등), 생화학(생화학, 분자생물학, 분자화학 등), 회화학, 의학, 독성학 등의 복합적 학문의 동반발전이 예상된다.
- 상기에 언급한 바와 같이 환경호르몬 대응책 연구는 학문의 복합적 성격이 강하고, 기초연구에서 기술개발까지의 폭넓은 공조가 필요한 연구개발 주기가 긴 미래 원천 기반 기술이다. 따라서, 국가 연구 정책차원에서 추진해야 할 연구 사업으로 사료됨.

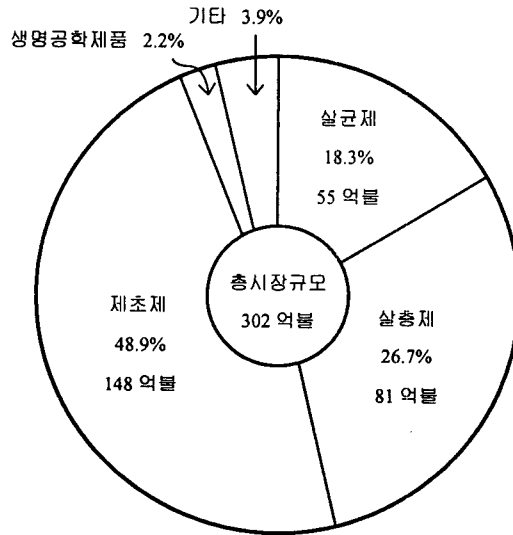
(4) 관련규제 및 산업파장

▶ 선진국 사례 조사 및 산업동향

- 농·의약이 내분비계 장애물질로 의심된 초기의 사례는 1950년대 유산방지제인 diethylstilbestol(DES) 같은 합성호르몬이 보고된 이래, 1967년 DDT의 위험성을 경고한 것이다.
- 1998년도에 미 환경보호국 (EPA)은 화학 및 제약회사와 제휴해 1만 5천종의 화학물질을 분석을 실시할 계획을 수립하였으며, 특히 OSI 제약사와 제휴하여 플라스틱 제품뿐만 아니라 제초제등 합성농약에 대해서도 조사를 하고 있다.
- 일본, 영국 등의 선진국 환경청에서 환경호르몬 의심물질을 140여종 선정하였으며, 그중 80여종이 농약 및 농약류, 8종이 의약품으로 사용되는 합성스테로젠으로 알려졌다.
- 세계 농약시장 규모는 년 302억불(표 3-44 참조), 세계 질환치료제 시장 2,000억불로써 막대한 경제적 잠재력을 지니고 있다. 내분비계 장애물질로 추정되는 의약품의 경우는 대개가 합성스테로젠 계통의 호르몬 제제로써 총 8 종이며, 그 시장규모도 전체 의약품시장의 1% 미만이다. 또한 합성호르몬은 주로 유산방지제로 사용되어왔기 때문에, 내분비계 장애물질로 규정되면 의사 및 환자의 의지에 의해 사용을 중지할 수 있을 것으로 사료되며 그 영향은 농약사용에 비해 적을 것으로 추정된다. 특히, 농약의 경우는 본인의 의지와는 무관하게 이루어지고, 피해 범위가 넓고 피해 대상도 식물, 동물,

인간에게 일차적 영향도 주지만, 먹이사슬에 의해 최종적으로 인간이 섭취하여 피해를 받기 때문에 본 장에서는 주로 농약산업에 대해서 사례조사 및 영향을 분석 기술하고자 한다.

표 3-44. 세계 농약시장 구성비



* Wood Mackenzie 사 98년 보고서 참조

세계농약 시장은 WHO 등의 농약사용 규제 강화에도 불구하고 2002년에는 1997년에 비해 약 3% 정도 증가할 것으로 추정되며, 농약시장은 환경호르몬 등의 영향으로 저독성 농약 사용이 증가를 나타낼 것으로 사료된다.

표 3-45에 나타난 바와 같이 내분비계 장애물질로 추정되는 농약 매출액이 세계 농약 시장의 약 30% 이상을 차지할 것으로 되며, 이에 대한 선진국들의 대응책이 추진될 것으로 사료된다.

표 3-45의 제초제 중 아미노산 유도체의 제초제는 그 사용량이 급격히 증가할 것으로 추정되는데 2002년에는 전체 농약시장의 매출액 1위를 기록할 것으로 보고하고 있다. 이는 약효의 우월성 뿐만 아니라 환경독성이 낮아 사용량의 증가를 예측하고 있다.

표 3-45에서 볼 수 있듯이 대개의 내분비계 장애물질로 추정 농약들의 사용량 감소는 예측되고 있다. 특히 살충제인 유기염소계 농약의 감소는 1992년

에 4.7억불이던 것이 2002년에는 1.3억불로 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

- 실제로 선진국에서 carbamate 계열 살충제인 carbofuran의 성장한 연어에 대한 조사, 및 DDT 등의 잔류농약에 대한 역학조사 등이 실시되어 환경호르몬 추정 농약의 생태계 영향에 관한 많은 결과들이 도출되어지고 있다.
- 즉, 선진국에서는 현재 환경호르몬에 대한 직접적인 대체물질 개발에 관심을 가지기 시작하였으며, 특히, 농약의 반복사용으로 생긴 내성문제와 더불어 환경호르몬에 대응하기 위한 신농약의 개발 속도를 높일 것으로 사료된다.

▶ 국내 사례 조사 및 산업동향

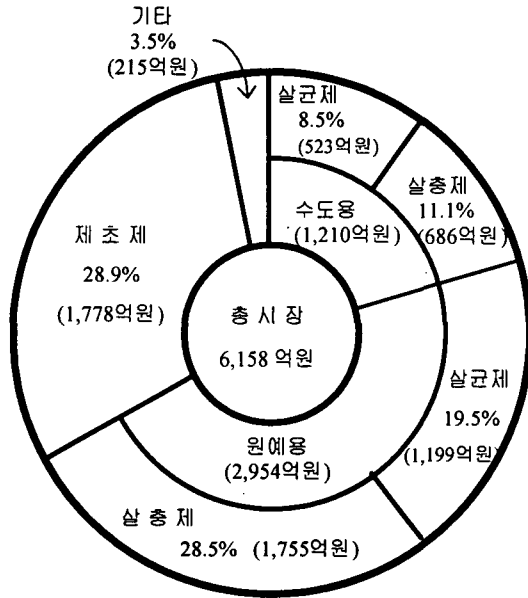
- 국내에 환경호르몬에 대한 관심은 1998년도에 집중적인 보도의 영향으로 관련 산업분야에서 일시적인 매출액 감소가 나타났다.
- 그러나, 농·의약 산업은 일반적인 소비자와는 구매동기가 다르기 때문에 관련산업의 매출 영향은 거의 없었다.
- 또한, 국내 농·의약 회사에서는 환경호르몬에 대한 관심은 있으나, 대체물질 개발 연구 등은 전부하다고 볼 수 있다.
- 국내 농약 시장 규모는 약 6,150억원 (표 3-46 참조), 의약시장 규모는 약 3조원 정도로 추정하고 있다. 이중 내분비계 장애물질 추정 의약품이 합성호르몬의 경우는 그 매출액이 1% 미만으로 극히 미비하기 때문에 본 장에서는 농약산업의 환경호르몬 문제점에 대해서 집중적으로 기술하고자 한다.

표 3-45. 주요 농약군의 세계농약 시장 구성비 및 향후 시장 예측
(1992/1997/2002년)

Product Group	내분비계 장애물질 추정 유무	1992년 Market Value in 1997 Dollars	1997년 Market Value	% p.a. growth 1992/1997	2002년 Market Value in 1997 Dollars	% p.a. growth 1997/2002
Triazines	●	1645	1265	-5.1	900	-6.6
Amides	●	1221	1100	-2.1	920	-3.5
Carbamates	●	796	625	-4.7	480	-5.1
Ureas		807	635	-4.7	450	-6.7
Toluidines		669	710	1.2	540	-5.3
Hormones		552	475	-3.0	330	-7.0
Diazines	●	616	500	-4.1	360	-6.4
Diphenyl Ethers		541	410	-5.4	300	-6.1
Sulfonylureas		929	1595	11.4	1460	-1.8
Imidazolinones		717	995	6.8	890	-2.2
Bipyridyls		552	745	6.2	805	1.6
Amino Acid Derivatives		1221	2700	17.2	4530	10.9
Aryloxyphenoxypropionates		478	795	10.7	700	-2.5
Cyclohexanediones		228	300	5.6	250	-3.6
Pyridines		287	425	8.2	385	-2.0
Benzonitriles		265	205	-5.0	165	-4.2
Others		621	1280	15.6	1670	5.5
HERBICIDES		12144	14760	4.0	15135	0.5
Organophosphates	●	3057	3070	0.1	2600	-3.3
Pyrethroids	●	1444	1530	1.2	1400	-1.8
Carbamates	●	1603	1350	-3.4	1100	-4.0
Organochlorines	●	478	230	-13.6	130	-10.8
Benzoyl Ureas		159	250	9.4	240	-0.8
Others		1115	1640	8.0	2100	5.1
INSECTICIDES		7855	8070	0.5	7570	-1.3
Benzimidazoles		403	345	-3.1	255	-5.9
Triazoles	●	955	1320	6.7	1460	2.0
Substituted Anilides		658	610	-1.5	630	0.6
Organophosphorous	●	212	185	-2.7	160	-2.9
Morpholines		308	265	-3.0	245	-1.6
Strobilurins		0	205	n.a.	300	7.9
Other Systemics		743	865	3.1	1060	4.1
Dithiocarbamates	●	732	620	-3.3	560	-2.0
Inorganics		531	420	-4.6	325	-5.0
Other Non-Systemics		658	680	0.7	590	-2.8
FUNGICIDES		5202	5515	1.2	5585	0.3
Nematicides/Fumigants	●	616	485	-4.7	425	-2.6
PGR's		934	700	-5.6	620	-2.4
OTHER AGROCHEMICALS		1550	1185	-5.2	1045	-2.5
Herbicide tolerant crops		0	435	n.a.	2200	38.3
Insect resistant crops		0	230	n.a.	1370	42.9
Stacked gene crops		0	5	n.a.	2140	236.0
BIOTECHNOLOGY CROPS		0	670	n.a.	5710	53.5
TOTAL		26751	30200	2.5	35045	3.0

Source : WM estimates n.a. - not applicable * Wood Mackenzie 1998년 보고서 참조

표 3-46. 국내 농약 시장 구성비 (1996년)



* 1997년 한국농약년보 참조

국내 농약 매출액 6,158억원 중, 내분비계 장애물질 추정 농약의 매출액은 약 40% 정도인 2,500억원 정도 이상일 것으로 추정된다. 표 3-46에 제시한 바와 같이 국내 농약시장의 50%정도가 살충제 시장이며, 살충제가 내분비계 장애물질 추정 농약 70여종 중 거의 과반수를 차지하고 있기 때문이다 (표 3-47)

다음 표 3-47은 내분비계 장애물질 추정물질로 규정된 농약 및 농약류의 list, 구조식, 독성 및 97년 매출액을 기재하였으며, 이를 토대로 국내 농약 산업에의 영향을 추론할 수 있다. 표 3-47에는 제초제 18종, 살균제 18종, 살충제 30종 및 농약류인 프탈레이트계 9종을 물질군, 화합물명, 구조식 및 CAS 번호, 용도, 규제내용, 년생산량 및 수입량 순으로 기재하였다.

표 3-47. 내분비계 장애물질 추정 농약류에 대한 국내 세부규제 및 사용현황(1997년)

<제조제 : 18 종>

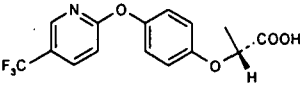
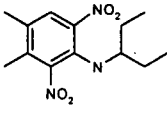
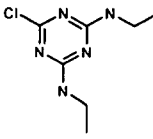
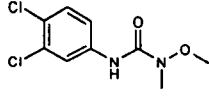
물질종류 (원제명)	주요 성분 화학명	주요 성분 화학 구조식 및 CAS-RN.	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
fluazifop- butyl	(R)-2-[4-(5- trifluoromethyl- 2-pyridyloxy) phenoxy] propionic acid	 69806-50-4	제조제	농약 등재	2,721 ~ 4,096 (rat)		3.4
pendime- thalin	N-(1- ethylpropyl)- 2,6-dinitro- 3,4-xylidine	 4087-42-1	제조제	농약 등재	1,050 ~ 1,250 (albino rat)		4.6
pronamide		23950-58-5	제조제	농약 등재			
simazine	6-chloro- N ² ,N ⁴ -diethyl- 1,3,5-triazine- 2,4-diamine	 122-34-9	제조제	농약 등재	>5,000 (rat)		
linuron	3-(3,4- dichlorophenyl)- 1-methoxy- 1-methylurea	 330-55-2	제조제	농약 등재	4,000 (rat)		8.4

표 3-47. (계속)

<제초제 : 18 종>

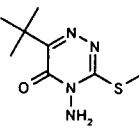
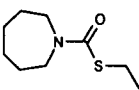
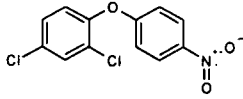
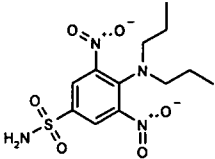
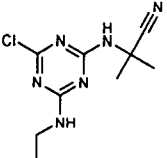
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
metribuzin	4-amino-6-tert-butyl-3-methylthio-1,2,4-triazin-5(4H)-one	 21087-64-9	제초제	농약 등재	2,200 ~ 2,345 (rat)		
molinate	S-ethyl azepane-1-carbothioate	 2212-67-1	제초제	농약 등재	369 ~ 450 (rat)		834
nitrofen	2,4-dichlorophenyl-4-nitrophenyl ether	 1836-75-5	제초제	농약 사용 금지	638 ~ 888 (rat)		
oryzalin	3,5-dinitro-N ⁴ ,N ⁴ -dipropylsulphanilamide	 19044-88-3	제초제	농약 등재	>10,000		
cyanazine	2-chloro-4-(1-cyano-1-methyl ethylamino)-6-ethylamino-1,3,5-triazine		제초제		288 (rat)		

표 3-47. (계속)

<제조제 : 18 종>

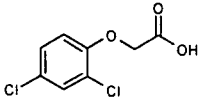
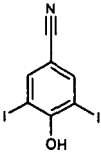
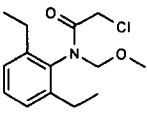
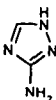
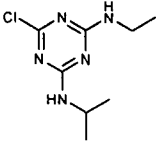
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
2,4-D	(2,4-dichloro- phenoxy)acetic acid	 94-75-7	제조제	농약 등재	375 (rat)		3.0
ioxynil	4-hydroxy-3,5- di-iodophenyl cyanide	 1687-83-4	제조제		110 (rat)		
alachlor (Lasso)	2-chloro-2',6'- diethyl-N- (methoxy- methyl) acetanilide	 15972-60-8	제조제	농약 등재	930	392	
amitrole	3-amino-1H- 1,2,4-triazole	 61-82-5	제조제 분산염 료		1,100 ~ 24,600		
atrazine, amino- triazole	2-chloro-4- ethylamino-6- isopropylamino- 1,3,5-triazine	 1912-24-9	제조제	농약 등재	1,869 ~ 3,080		

표 3-47. (계속)

<제조제 : 18 중>

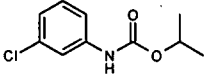
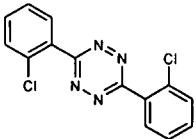
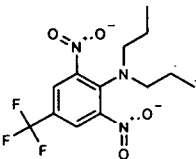
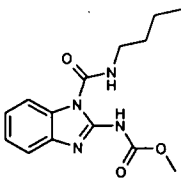
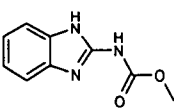
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
chlorpro- pham	isopropyl-3- chlorophenyl carbamate	 74115-24-5	제조제	농약 등재	5,000 ~ 7,000	2.0	
clofentezine	3,6-bis(2- chlorophenyl)- 1,2,4,5-tetrazine	 74115-24-5	제조제	농약 등재	3,200		
trifluralin	<i>α, α, α</i> - trifluoro-2,6- dinitro-N,N- dipropyl- <i>p</i> - toluidine		제조제	농약 등재	>10,000 (rat)		
benomyl	methyl 1-(butyl- carbamoyl) benzimidazol- 2-ylcarbamate	 17804-35-2	살균제	농약 등재	>10,000 (rat)	39	145.2
carbendazi m	methyl benzimidazol- 2-ylcarbamate	 10605-21-7	살균제	농약 등재	>15,000 (rat)		

표 3-47. (계속)

<살균제 : 18 종>

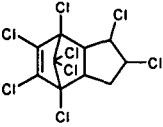

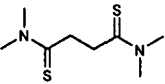

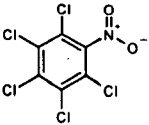
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
chlordane	1,2,4,5,6,7,8,8-octachloro-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-4,7-methanoindene	 57-74-9	살균제	농약 사용 금지	457 ~ 590 (rat)		
ethylene dibromide	1,2-dibromoethane	 106-93-4	살균제	농약 사용 금지	146 (rat)		
ethylen-bisdithio-carbamate	ethylene bis disthiocarbamate		살균제				
ethylen-thiourea (ETU)	ethylene thio urea	 96-45-7	살균제	농약 등재			
pentachloro nitrobenzen e (PCNB)	pentachloronitro benzene	 82-68-8	살균제	농약 사용 금지			

표 3-47. (계속)

<살균제 : 18 종>

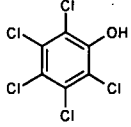
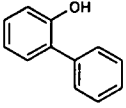
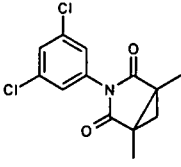
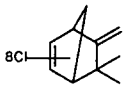
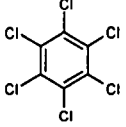
물질종류 (원제명)	주요 성분 화학명	주요 성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	연간 수입량 (톤)
pentachloro phenol	pentachloro phenol	 87-86-5	살균제	농약 사용 금지			
phenyl phenol	2-phenyl phenol	 90-43-7	살균제	농약 사용 금지	2,480 (rat)		
procy- midone	N-(3',5'- dichlorophenyl) 1,2-dimethyl- cyclopropane- 1,2- dicarboximide	 32809-16-8	살균제	농약 등재	6,800 (rat)		
camphechor	3,3-dimethyl- 2-methylene norbornane octachloride		살균제	농약 사용 금지	90 (rat)		
hexachloro- benzene	hexachloro- benzene	 118-74-1	살균제	농약 사용 금지	10,000 (rat)		

표 3-47. (계속)

<제초제 : 18 종>

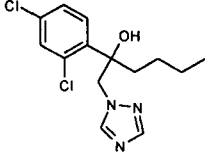
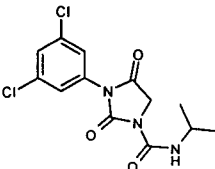
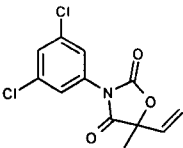
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
tributyl tin compound	tributyl tin compound	$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2]_3\text{Sn}-\text{R}$	살균제	농약 사용 금지			
hexaconazole	(RS)-2-(2,4-dichlorophenyl)-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)hexan-2-ol	 79983-71-4	살균제	농약 등재	2,189 ~ 6,071 (rat)		10.0
β -hexachlorocyclohexane		319-85-7	살균제				
iprodione	3-(3,5-dichlorophenyl)-N-isopropyl-2,4-dioxoimidazolidine-1-carboxamide	 36734-19-7	살균제	농약 등재	3,500 (rat)		31.5
vinclozoline (dicarboximides)	3-(3,5-dichlorophenyl)-5-methyl-5-vinyloxazolidine-2,4-dione	 50471-44-8	살균제	농약 등재	10,000 (rat)		2.0

표 3-47. (계속)

<살균제 : 18 종>

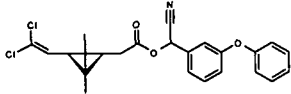
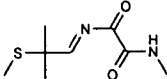
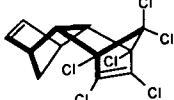
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
ziram	dimethyl dithio carbamate	$[(CH_3)_2NCSS-]_2Zn$ 137-30-4	살균제	농약 사용 금지	1,400 (rat)		
cyper- methrin	(RS)- α -cyano- 3-phenoxy- benzyl-(RS)- cis-trans-3- (2,2-dichloro- vinyl)-1,1- = dimethylcyclo- propane- carboxylate	 52315-07-8	살충제	농약 등재	251 ~ 4,123 (rat)	304	
aldicarb	2-methyl-2- (methylthio) propionaldehyde o-methylcarbam oyloxime	 116-06-3	살선충 제	농약 사용 금지	0.93 (rat)		
aldrin	(1R,4S,4aS,5S, 8R,8aR)-1,2,3,4, 10,10-hexa- chloro-1,4,4a,5,8, 8a-hexahydro- =1,4:5,8-dimetha nonaphthalene	 309-00-2	살충제 살균제	농약 사용 금지	38 ~ 67 (rat)		
azadirachtin		1141-17-6	살충제 살선충 제	농약 사용 금지			

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

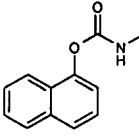
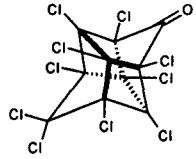
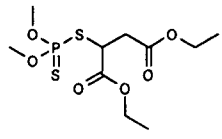
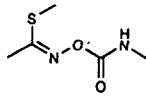
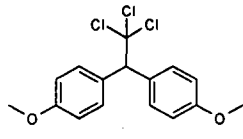
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
cabaryl	1-naphthyl methyl- carbamate	 63-35-2	살균제 살충제		850mg (rat)		
chlodecon	1,2,4,5,6,7,8,8,9, 10-decachloro- pentacyclo [5,3,0 ^{2,6} ,0 ^{4,10} ,0 ^{5,9}] decan-3-one	 143-50-0	살충제	농약 사용 금지	114 ~ 140(mg) (rat)		
malathion	diethyl (dimethoxy- phosphinothioyl- thio)succinate	 121-75-5	살충제 살균제	농약 등재	2,800mg (rat)		2.0
methomyl	S-methyl N-(methyl- carbamoyloxy) thioacetimidate	 16752-77-5	살충제	농약 등재	17 ~ 24mg (rat)	56	144
methoxy- chlor	1,1,1-trichloro- 2,2-bis(4- methoxyphenyl) ethane	 72-43-5	살충제 살균제		6,000mg (rat)		

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

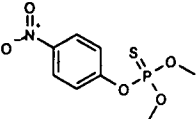
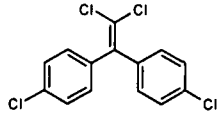
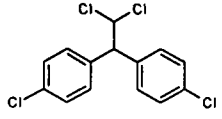
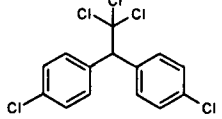
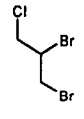
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	연간 수입량 (백만원)
methyl parathion	o,o-dimethyl-o-4- nitrophenyl phosphorothioat e	 298-00-0	살충제		14mg (rat)		
DDE	1,1-dichloro- 2,2-bis(4-chlorop henyl)ethylene	 72-55-9	살충제	농약 사용 금지			
DDD	1,1-dichloro- 2,2-bis(4-chlorop henyl)ethane	 72-54-8	살충제	농약 사용 금지			
DDT	1,1,1-trichloro- 2,2-bis(4-chlorop henyl)ethane	 50-29-3	살충제	농약 사용 금지	113 ~ 118mg (rat)		
1,2-dibromo -3-chloro- propane	1,2-dibromo-3- chloropropane	 96-12-8	살선충 제	농약 사용 금지	173 ~ 257mg (rat)		

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

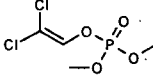
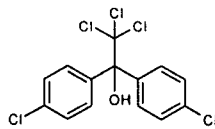
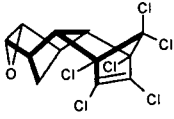
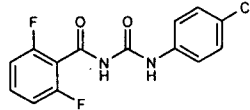
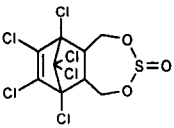
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
dichlorovos	2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate	 62-73-7	살충제 살균제		56 ~ 108mg (rat)		
dicofol (kelthane)	2,2,2-dichloro- 1,1-bis(4-chlorophenyl)ethanol	 115-32-2	살충제 살균제	농약 등재	668 ~ 842mg (rat)		15.0
dieldrin	(1R,4S,4aS,5R, 6R,7S,8S,8aR)- 1,2,3,4,10,10- hexachloro- 1,4,4a,5,6,7,8,8a- octahydro-6,7- epoxy-1,4:5,8- dimethano naphthalene	 60-57-1	살충제 살균제	농약 사용 금지	37 ~ 87mg (rat)		
diflubenzuron	1-(4-chlorophenyl)-3-(2,6-difluorobenzoyl)urea	 35367-38-5	살충제	농약 등재	4,640 (rat)		
endosulfan	(1,4,5,6,7,7- hexachloro- 8,9,10-trinorborn- 5-ylidene-2,3- ylenebismethylene)sulphite	 115-29-7	살충제	농약 등재	80 ~ 110mg (rat)	593	

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

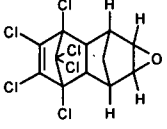
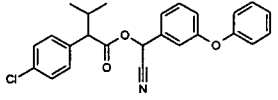
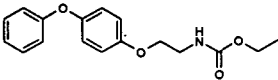
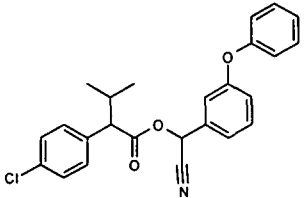
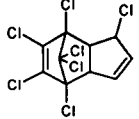
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
endrine	(1R,4S,4aS,5S,6S,7R,8R,8aR)-1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-6,7-epoxy-1,4:5,8-dimethanophthalene	 72-20-8	살충제	농약 사용 금지	7.5 ~ 17.5mg (rat)		
esfenvaler- ate		 66230-04-4	살충제 (sumit mo)	농약 등재			2.8
fenoxycarb	ethyl 2-(4-phenoxy- phenoxy) ethylcarbamate	 79127-80-3	살충제	농약 등재	10,000m g (rat)		1.0
fenvalerate	(RS)- α -cyano-3- phenoxy- benzyl (RS)-2-(4- chlorophenyl)- 3-methyl butyrate	 51630-58-1	살충제	농약 등재	451mg (rat)		23
heptachlor	1,4,5,6,7,8,8- heptachloro- 3a,4,7,7a-tetra- hydro-4,7- methanoindene	 76-44-8	살충제	농약 사용 금지	147 ~ 220mg (rat)		

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

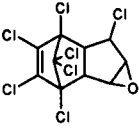
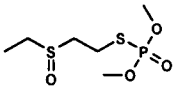
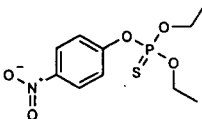
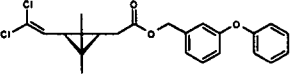
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	연간 수입량 (톤)
heptachlor epoxide	1,4,5,6,7,8,8- heptachloro- 2,3,3a,4,7,7a- hexahydro-4,7-m ethanoindene	 1024-57-3	살충제	농약 사용 금지			
oxychlor- dane		27304-13-8	살충제 살균제				
oxydemeton -methyl	S-2-ethyl sulphinyl ethyl o,o-dimethyl phosphorothioat e	 301-12-2	살충제		65 ~ 80mg (rat)		
parathion (ethyl phrathion)	o,o-diethyl o-4-nitrophenyl phosphorothioat e	 56-38-2	살충제	농약 등재	3.6 ~ 13mg	135	
permethrin	3-phenoxy- benzyl(1RS,3RS:1 RS,3SR)-3- (2,2-dichlorovinyl)-2,2- = dimethylcyclo- propane carboxylate	 52624-53-1	살충제	농약 등재	430 ~ 4,000mg (rat)		

표 3-47. (계속)

<살충제 : 30 종>

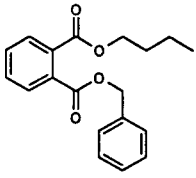
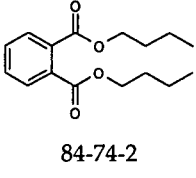
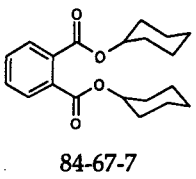
물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	연간 수입량 (톤)
pyrimidine carbionol family			살충제				
trans-nonac hlor		39765-80-5	살충제				
butylbenzyl phthalate (BBP)	butylbenzyl phthalate	 85-68-7	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			1,749
di-n-butylph thalate (DBP)	di-n-butyl phthalate	 84-74-2	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			923, 001
di-cyclohexy l phthalate (DCHP)	di-cyclohexyl phthalate	 84-67-7	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			1.0

표 3-47. (계속)

<농약류 프탈레이트계 : 9 종>

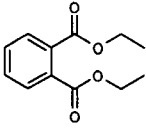
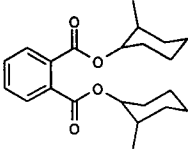
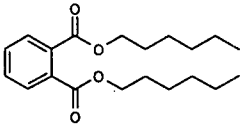
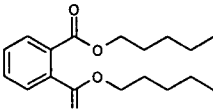
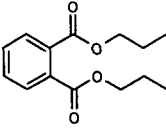
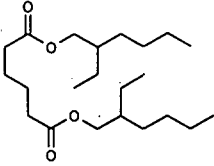
물질종류 (원제명)	주요 성분 화학명	주요 성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 연간 생산량 (톤)	연간 수입량 (톤)
di-(2-ethyl)phthalate (DEP)	di-ethyl phthalate	 84-66-2	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			
di-(2-ethyl hexyl) phthalate (DEHP)	di-(2-ethyl hexyl) phthalate	 117-81-7	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지		171, 617	
dihexyl phthalate (DHP)	dihexyl phthalate	 84-75-3	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			
di-n-pentyl phthalate (DPP)	di-n-pentyl phthalate	 131-18-0	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			
dipropyl phthalate (DprP)	dipropyl phthalate	 131-16-8	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			

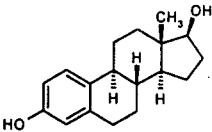
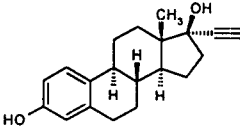
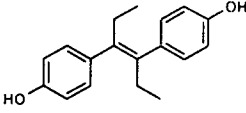
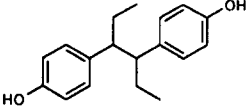
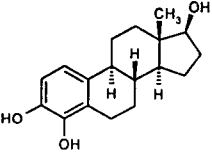
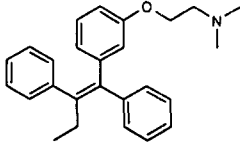
표 3-47. (계속)

<농약류 프탈레이트계 : 9 종>

물질종류 (원제명)	주요성분 화학명	주요성분 화학 구조식 및 CAS-RN	용 도	규제 내용	독성 LD ₅₀ (mg/kg)	국내 년간 생산량 (톤)	년간 수입량 (톤)
diethyl hexyl adipate (DEHA)	diethylhexyl adipate	 130-23-1	플라스 틱 가소제	농약 사용 금지			

- ▶ 다음 표 3-48은 의약으로 사용되는 합성 에스테로겐의 list이다. 1996년 우리나라 1백대 완제 의약품 생산실력에 따르면 합성 에스테로겐은 포함되어 있지 않으며, 앞에서도 언급 했던 것 처럼, 의약 복용으로 파생되는 내분비계 장애물질 영향은 국내 의약 산업에 미치는 효과는 크지 않다.
- ▶ 그러나, 선진국에서 보다 본격적으로 모든 의약에 대하여 내분비계 장애물질의 영향평가가 종결되면 매출액이 큰 의약품은 큰 파장을 일으킬 것으로 예상된다.

표 3-48. 환경호르몬 추정 합성 에스테로겐

물질명	화학구조식 및 CAS-RN	비고
centchroman	31477-60-8	
estradiol		the most potent of the major estrogens
ethynylestradiol	 57-63-6	estrogenic activity
diethylstilbestol(DES)	 56-53-1	nonsteroidal estrogen active compound
hexestrol	 84-16-2	nonsteroidal
2-hydroxy estradiol	 362-05-0	
tamoxifen	 10540-29-1	estrogen antegonist
raloxifene	84449-90-1	

2) 대체물질 개발

(1) 선진국의 대체물질 개발현황

농·의약 분야에서 내분비계 장애물질에 대한 대체물질 개발은 국외 선진국에서도 적극적으로 진행되고 있지는 않다고 본다. 그러나 1967년 DDT의 위험성이 알려진 후, WHO에서도 중금속 포함 농약인 싸이헥사틴, 유기염소계 등 환경잔류독성이 강한 많은 농약에 대해서 사용을 금지하고 있으며, 최근에 내분비계 장애물질 추정 농약에 대한 작용기작연구 등 이에 대한 대응책 연구에 본격적인 관심을 집중하고 있다.

▶ 다음 표 3-49에 나타낸 바와 같이 환경 독성 및 내성이 큰 농약의 사용은 급격히 감소한다는 것을 알 수 있다. 제초제 분야에서 환경호르몬 추정 농약인 트리아진계 및 카바메이트계 농약의 매출액은 1997년 현재도 12 억불 이상이다. 그러나 그 사용량이 1992년 부터 계속 감소해 온다는 것을 알 수 있으며, 2002년에는 10억불 이하로 줄어들 것으로 예상하고 있다. 특히 살충제 분야의 내분비계 장애물질 추정 농약인 유기염소계는 그 사용량이 급격하게 줄어든다는 것을 알 수 있다. 이는 선진국에서 환경호르몬에 대한 많은 관심을 갖고 농약의 사용 방향 및 신·농약 개발 방향을 새로이 설정하고 있다는 것을 알 수 있다.

표 3-49. 국외에서 생산중인 농약중 내분비계 장애물질 추정 농약의 생산현황

(백만\$)

생 산 농 약 군		1992년 매출액	1997년 매출액	증가율(%) 1992/1997	2002년 예상매출액	증가율(%) 1997/2002
제초제	Triazines	1645	1265	-5.1	900	-6.6
	Carbamates	796	625	-4.7	480	-5.1
살충제	Organophosphate	3057	3070	0.1	2600	-3.3
	Pyrethroides	1444	1530	1.2	1400	-1.8
	Carbamate	1603	1350	-3.4	1100	-4.0
	Organochlorines	478	230	-13.6	130	-10.8
살균제	Organophosphorous	212	185	-2.7	160	-2.9
	Dithiocarbamate	732	620	-3.3	560	-2.0

주) Wood Mackenzie 1998년 보고서 참조

- 상기 표 3-49에 나타낸 바와 같이 해외 기술선진국에서 현재 사용중인 농약 중 매출액이 크면서도 환경호르몬 추정물질로 선정된 제초제의 트리아진계, 살충제의 유기인계, 피레스로이드 및 살균제의 유기인계, 치오카바메이트계 열의 대체물질 개발이 앞으로 활발히 진행될 것으로 사료되며, 특히 선진국에서 환경독성이 낮은 green 농약이 개발된다면 그들은 환경호르몬 방지를 이유로 사용압력을 증가시킬 것으로 사료된다.

(2) 국내에서의 대체물질 개발현황

▶ 국내 대체물질 개발현황

- 국내에서는 내분비계 장애물질에 대한 국내 농·의약 산업분야에서의 대체물질 개발은 전무하다고 할 수 있다. 앞의 설문조사 자료에서도 알 수 있듯이 국내 산업분야에서는 대체물질 및 공정 개발은 엄두도 못내고 다만 규제방향에 대해서 관심을 갖는 정도에 그치고 있다.
- 특히, 국내 농약 시장은 환경호르몬의 문제가 가장 큰 살충제 시장이 거의 50%에 이른다(표 3-46). 유기인계, 피레스로이드계 등의 사용량의 증가추세가 계속 되는 것을 볼때 이 분야에 대한 시급한 대책이 필요하다고 사료됨.
- 이는 선진국의 시장 동향과는 차이가 크다는 것은 환경독성 및 내분비계 장애물질에 대한 국내 농·의약 산업의 대응방향이 전무하다는 것으로 사료됨.

3) 기술적 애로사항 및 대체물질 연구 개발 방향

(1) 기술적 애로사항

- 전반적으로 현 상황에서는 국내의 경우, 환경호르몬에 대한 인식, 규제방향, 및 대응방향이 수립 되지않은 상태이다. 비록, 지난 10년간 신농·의약 개발에 대한 기술적 Know-How가 축적되었지만 선진국과의 기술력 경쟁차원에서는 절대적 열세임.
- 특히, 환경호르몬에 대한 농·의약분야에서의 대체물질을 개발하기 위해서

는 복합적 학문의 동반발전이 필요하다. 즉, 화학(유기, 무기, 고분자, 광화학, 분석화학 등), 화학공학, 생화학, 의학, 독성학 등의 기초학문에서 응용 기술개발까지 폭넓은 학문 연계가 필요하다.

- 우리나라의 의약 및 농약 개발 관련 기업체의 총 연구개발비 규모는 영세성을 벗어나지 못하고 있다. 따라서, 환경호르몬 대책 연구에 필요한 복합적 학문적 성격이 강하고 연구개발 주기가 긴 미래 원천 기반 기술 개발에 추자할 여력이 부족할 것으로 사료됨.

* 의약부분/총 매출액의 3.3% ; 5 천만불

* 농약부분/총 매출액의 2% ; 4 백만불

(2) 대체물질 연구개발 방향

- ▶ 첫째, 사회적 파급효과가 큰 농약분야에 대한 대책이 시급하고, 특히 우리나라는 살충제가 전체 농약시장의 50%를 차지하고 있기 때문에 사용규제 및 대체물질 개발에 많은 관심을 가져야 할 것으로 사료됨.

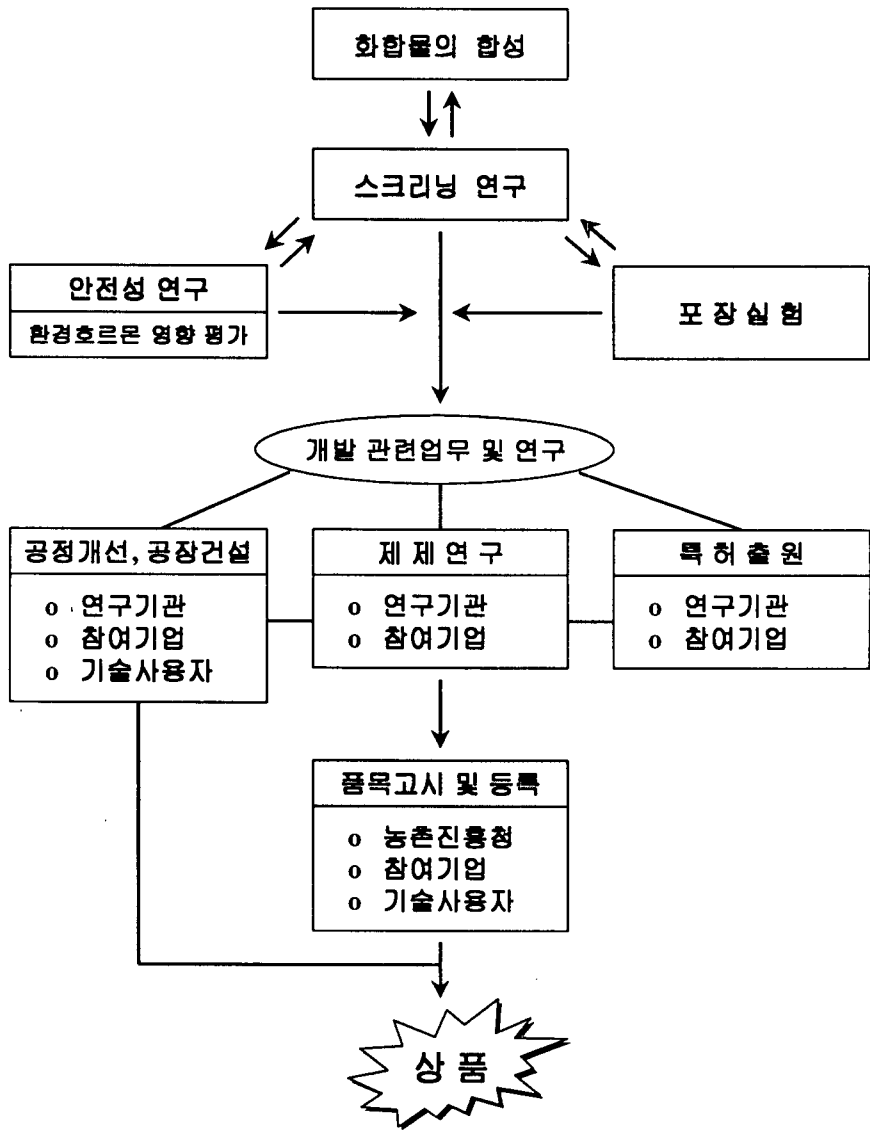
- 특히, 살충제 중에서도 피레스로이드 계통(cypermethrin, fenvalerate, esfenvalerate 등)의 사용량이 년 500톤에 가깝고, 그외에도 카바메이트 생산량이 크기 때문에 이에 대한 대체물질 개발이 필요하다고 사료됨.

- 제초제 분야에서도 내분비계 장애물질 추정 물질중 물리네이트계 및 알라클로 등도 그 사용량이 수백톤에 이르며, 살균제 분야에서도 이미다졸 카바메이트계인 베노밀의 수입 및 생산량이 200 여톤에 이르는 것을 고려할 때 대체물질의 연구가 시급히 필요하다고 사료됨.

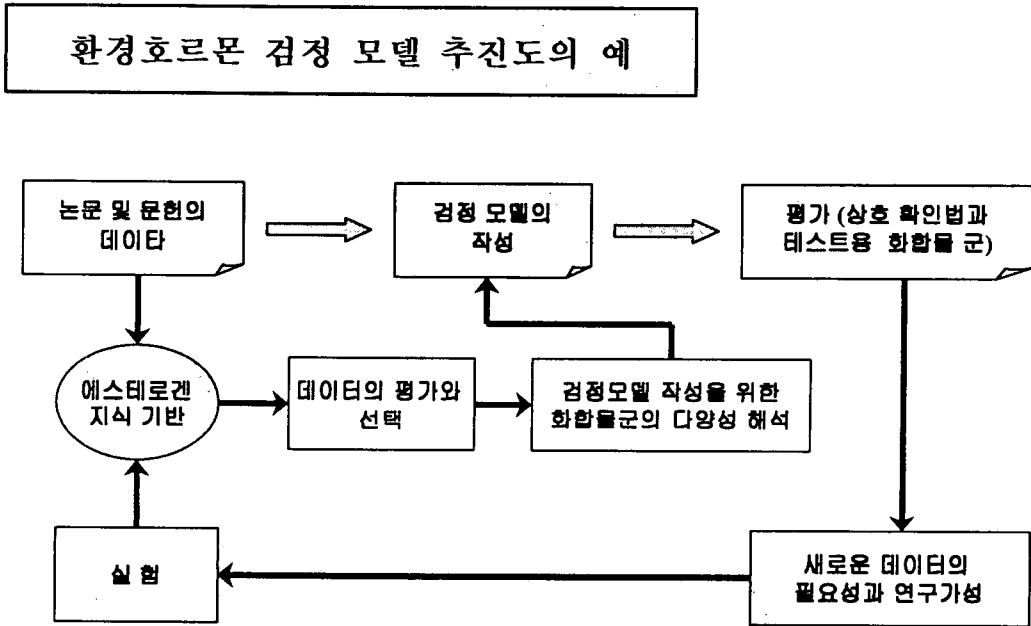
- ▶ 둘째, 신농약 개발의 다양성이 필요하다. 합성화합물의 신농약 개발연구는 물론, 생물학적 농약 개발연구, 농약 제제 변화의 연구 및 저항성 작물 연구 등의 넓은 의미의 작물 보호 물질을 개발 추진해야 할 것으로 사료됨.

- ▶ 셋째, 신농약 개발의 추진체계의 변화가 있어야 한다. 이제까지 신농약 개발은 합성과 약효 검정이 우선으로, 독성은 허가기준을 초과하면 되는 것으로 추진되었으나, 독성기준에 “환경호르몬의 영향평가”를 필수 독성검사로 수행하여야 하고, 특히, 포장시험전에 “환경호르몬 영향평가”를 추진해야 할 것으로 사료됨.

신농약 추진 체계의 변화 필요성



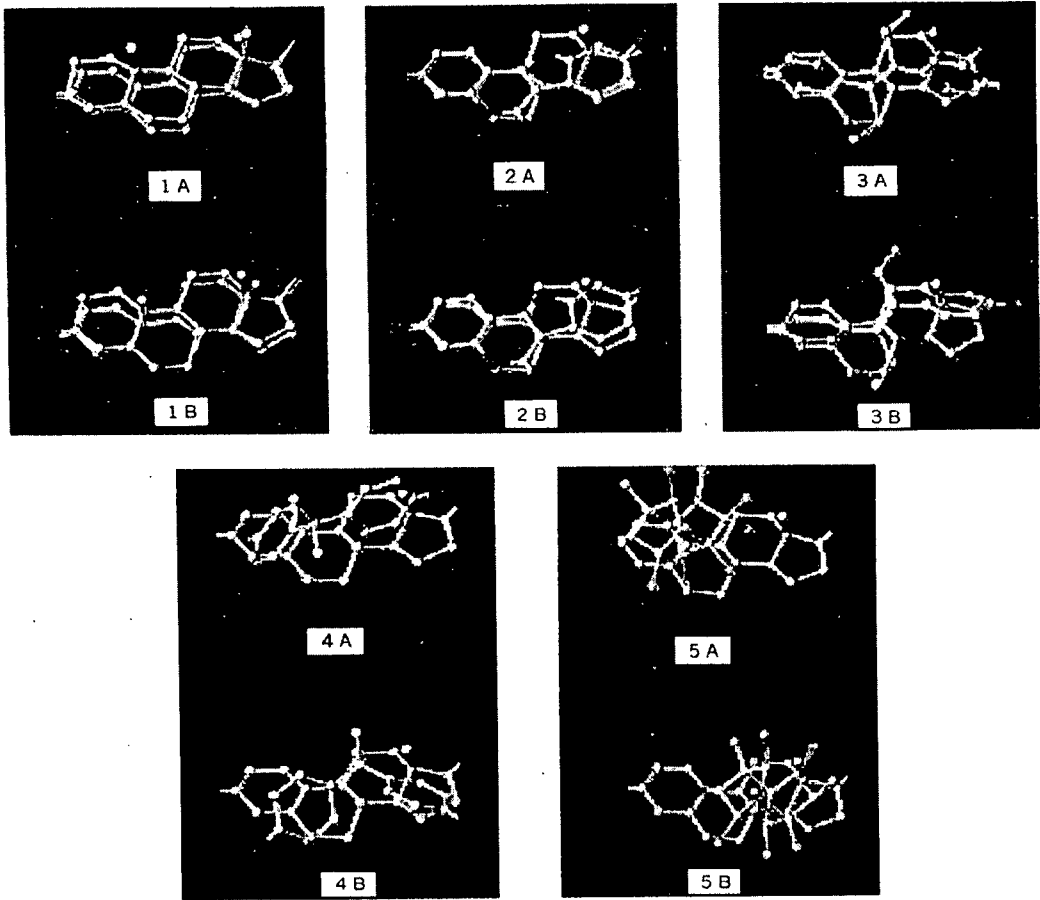
- ▶ 넷째, 3차원 정량적 구조활성 관계의 연구를 활성화하여 의·농약 스크리닝 단계에서도 “환경호르몬 스크리닝”도 동시에 평가 할 수 있는 체계를 도입하여, 많은 신의·농약 유도체들의 환경호르몬 평가 실험의 priority를 정하는 체계를 구축하여야 한다.



- ▶ 다섯째, 농민에게 농약사용의 올바른 지침교육을 강화하는 것이 중요하다. 대부분의 농약이 수확되기 일정기간 전에 사용해야 하는 규정이 있음에도 불구하고 이를 준수하지 않음으로써, 소비자는 무의식중에 내분비계 장애물질을 섭취하고 마는 것이다. 따라서, 저농약 사용과 올바른 농약 사용의 지침의 준수가 농약사용에서 유발되는 환경호르몬에 대한 가장 효율적이고 빠른 대응책의 하나라고 사료됨.
- ▶ 여섯째, 본 연구는 현재의 기업능력으로는 수행하기에 부담이 큰 미래 원천 기반 기술적 성격이 강하기 때문에 국가적인 차원에서 관심을 갖고 연구 지원하는 것이 필요하다고 사료됨.
 - 본 연구는 21세기 지구환경 보존 및 인류종족 보전에 큰 목표를 두고,

선진외국에서 대체물질 및 대응책을 구축하여 대체물질 사용의 압력을 행사할 경우, 기술속국으로 전락할 수 있을 것으로 사료되는 바, 이에 대한 국가적인 장기 대책이 필요할 것으로 사료됨.

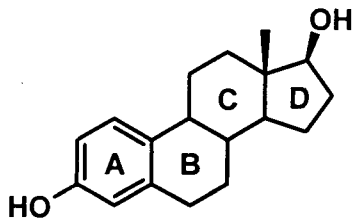
3차원 구조 활성 상관 관계로부터
환경호르몬 예측 가능연구의 예



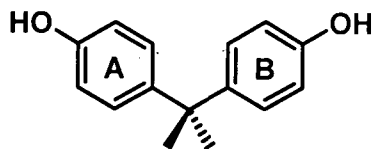
(1) Androstadiol, (2) Cumestrol, (3) Hexastrol, (4) Bis-phenol-A, (5) Gepon

▶ 메뉴얼 A와 SEAL (Steric and Electrostatic ALignment)에 의한 중첩도 측정에 의한 에스테로젠 작용 환경호르몬 유발 분자

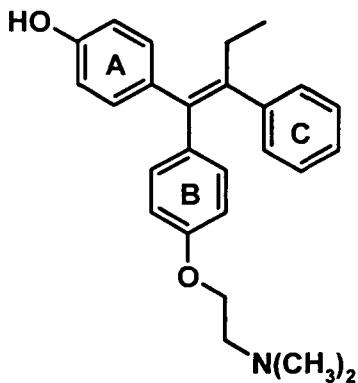
3차원 구조 활성 상관관계로부터
환경호르몬의 예측 가능 연구의 예



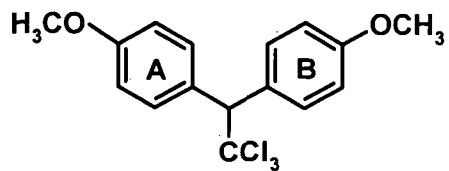
17β-Estradiol



Bisphenol-A



4-Hydroxy tamoxifen



Methoxycrole

7. 중금속 물질 분야

1) 분야의 개황

(1) 서론

카드뮴 (Cadmium), 납 (Lead), 수은 (Mercury) 등의 중금속은 저농도가 존재하여도 생태계에 큰 영향을 미칠 수 있는 물질로서 세계생태보전기금 (WWF, World Wildlife Fund) 분류 내분비계 장애물질 목록 67종 및 일본 후생성 분류 142종 등에 포함되어 있다. 따라서 이러한 내분비계 장애를 일으킬 가능성이 있는 중금속들에 관한 특성 및 영향을 파악하고 이에 대한 처리기술을 검토하여 중금속 물질의 개발과제를 도출하는 데 그 목적이 있다.

(2) 중금속 물질의 특성

가. 카드뮴

카드뮴은 원자량 112.41, 비중 8.65 (25℃), 융점 321℃, 비점 765℃ 이고 백색을 띠며 물에 용해되지 않는다. 상온, 공기 중에서 산화피막으로 보호되고, 내부는 침해받지 않으나 용이하게 산화카드뮴이 된다. 할로젠과 산에 반응하기 쉽고 알칼리와의 반응하기 어려우며 화합물 중에는 Cd^{2+} 로 존재한다. 카드뮴은 아연광의 제련시 증기 중이나 황산아연을 정제할 때 sludge로써 얻어진다. 지각 중의 카드뮴 농도는 평균 0.15 ppm 정도이나 토양 중에는 0.5 ppm 정도 존재한다. 물 속에서의 존재량은 비오염수인 경우 1 ppb 미만이다.

오염을 일으키는 주요 발생원으로는 제련공정, 카드뮴 화합물 제조공정(산화카드뮴, 질산카드뮴 등), 화합물 사용공정(안료, 염화비닐 안정제, 고급납땜 등) 등이 있다. 세계의 카드뮴 생산량은 1979년 1,500~2,000 만톤에 달하였고 미국, 일본, 서독, 러시아에서 세계 생산량의 2/3를 생산하였다. 주요 카드뮴 화합물은 다음과 같다(표 3-50).

표 3-50. 주요 카드뮴 화합물

화합물	화학식	주용도	비고
산화카드뮴	CdO	각종 카드뮴화합물원료, 형광체, 반도체, 축전지용 전극촉매	LC ₅₀ (Rat) 500~15,000 mg/m ³
질산카드뮴	Cd(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	도자기착색료, 전지, 사진용 유제, 카드뮴염 제조	
염화카드뮴	CdCl ₂ · 5/2H ₂ O	사진, 염화비닐안정제, 안료의 원료, 촉매, 진공관	LC ₅₀ (Rat) 경구 880 mg/kg
황산카드뮴	CdSO ₄ · 8/3H ₂ O	카드뮴전지의 전극, 형광체, 분석시약	
스테아린산카드뮴	Cd(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂	카드뮴 석검	
황화카드뮴	CdS	플라스틱 안료, 그림도구, 착색료, 형광체	

나. 납

납은 원자량 207.2, 비중 11.34 (20℃), 융점 327.4℃, 비점 1,740℃ 이며 질산과 열진한 황산에 가용된다. 창백색의 부드러운 금속으로 절삭면은 광택이 있다. 공기중에서는 신속히 산화막을 생성하며 연색이 된다. 가열하면 산화되며 이산화납(황색), 삼산화납(등색)을 거쳐, 사산화납(적색)이 된다. 화합물은 1, 2, 3, 4 가가 있으며, 4 가보다 2 가가 안정하다. 할로겐 원소와는 잘 반응하지만 묽은 산에는 녹기 어렵다. 납광석을 용광로에서 용련해서 조연을 만들고, 이 조연을 전해정제해서 전기연을 제조하는 습식법과 용융해서 만드는 건식법이 있다.

자연계에서 주로 아연광의 화합물과 황산연광(PbSO₄), 백연광(PbCO₃), 황연광(PbCl₂ · 3Pb₃(AsO₄)₂), 흑연광(PbCl₂ · 3Pb₃(PO₄)₂) 등의 광물로서 존재한다. 지각의 납 농도는 평균 13 ppm 정도이며, 우리나라 농토양 중 비오염지역의 자연함유량은 전국평균 17.3 ppm (전량)이며, 가용성 납의 자연함유량 전국평균은 5.38 ppm 이다 (1988). 전 세계적으로 자연적 납의 함유량은 1~10μg/L 이며, 가정급수 중 납의 농도는 정상적으로 흔히 10~20μg/L 이하로 존재한다. 농촌지역의 대기중에는 평균 0.1μg(Pb)/m³ 정도 존재하며 도시에서는 0.5~2μg/m³ 존재하는 것으로 알려져 있다. 오염을 일으키는 주요 발생원으로는 제련공정, 납제품 제조공정 (연관, 연판, 연선 등), 화합물 제조공정 (안료, 도료, 농약, 수지안정제, 산화납 등), 압축전지 제조공정 등이 있다. 주요 납 화합물은 다음과 같다(표 3-51).

표 3-51. 주요 납 화합물

화합물	화학식	주용도
일산화납	PbO	납유리, 연유, 금속접착제, 착색제, 축전지, 의약, 회반죽, 고무가황촉진제
이산화납	PbO ₂	납전지 전극판, 산화제, 안료원료
사산화삼납	Pb ₃ O ₄	안료, 납전지극판, 의약, 도료, 유약, 연유리, 성냥
염화납	PbCl ₂	크롬산납안료, 분석시약, 유기합성시약
황화납	PbS	유약, 반도체, 금속납제조
질산납	Pb(NO ₃) ₂	성냥, 폭약, 방부제, 날염, 매염제, 안료, 연화합물의 원료
염기성탄산납	(PbCO ₃) ₂ · Pb(OH) ₂	유약, 페인트용안료, 의약, 염안정제, 시멘트용
황산납	PbSO ₄	유약, 촉매, 페인트용안료, 고무배합제, 염안정제, 전지
초산납	(CH ₃ COO)Pb ₂ · 3H ₂ O	촉매, 염색, 방수, 니스, 납염의 원료, 시약
크롬산납	PbCrO ₄	안료, 도료, 잉크, 시약
티오시안산납	Pb(SCN) ₂	염색, 안전성냥
납산칼륨	Ca ₂ PbO ₄	산화제, 불꽃놀이, 성냥, 유리, 축전지 제조

다. 수은

수은은 원자량 200.59, 비중 13.534 (25°C), 융점 -38.87°C, 비점 356.72°C, 은백색을 띠고, 물, 묽은 염산, 묽은 황산 등에는 녹기 어려우며 진한 질산에는 녹는다. 상온에서 액체인 유일한 금속원소이다. 아세틸렌과 암모니아와의 반응으로 폭발성 화합물을 만들며 또한 습기가 많은 공기중에서는 표면에 산화제일수은 (Hg₂O) 의 피막을 만든다. 금, 은, 아연, 주석, 카드뮴, 납, 비소와 용이하게 아말감을 만든다. 염소와는 상온에서 격렬히 반응하여 연화제2수은이 된다. 가열하면 격렬히 증발한다. 증기압은 20°C 에서 0.0012mmHg (공기중포화량 132mg/m³) 이다.

지각 중에 평균 0.08ppm 정도 존재한다. 토양 중의 수은 농도는 10~150 ppb 정도이며, 대기 중의 수은 농도는 0.01~0.02µg/m³ 정도이다. 일반적으로 도시의

대기 중에 많이 존재한다. 담수에는 평균 0.03 ppb(0.01~0.1)며 해수에는 평균 0.1ppb(0.005~5.0) 정도 존재하는 것으로 보고되었다. 환경적 주요 오염원은 지하에서 자연 배출되는 것으로 그 양은 25,000~125,000톤/년 정도이다. 세계 수은 생산량은 1973년 1만톤 정도였으며 매년 증가율이 2% 정도이다. 순수한 수은을 사용하는 온도계, 기압계, 혈압계 등의 측정기기를 만드는 공장에서 수은이 유출될 가능성이 있다. 화합물의 형태로 쓰이는 수은은 염화수은 형태가 많은데 이들은 전극, 농약, 안료, 건전지, 촉매제, 염료로 쓰인다. 특히 가장 사용량이 많은 소다 공업에서는 1톤 제조시 200~250 g의 수은이 유실된다고 알려져 있다. 유실된 수은의 절반가량은 배수된다. 그 외에도 석탄, 목탄, 석유, 천연가스 등의 연료에 수은이 포함되어 있으므로 이들이 연소될 때 수은이 대기 중으로 방출된다. 또 다른 금속 광석 중에 포함되어 있는 경우도 많아 금속정련 과정에서도 상당량의 수은이 환경 중으로 방출된다. 주요 수은 화합물은 다음과 같다(표 3-52).

표 3-52. 주요 수은 화합물

화합물	화학식	주 용 도	비 고
염화제일수은	Hg ₂ Cl ₂	전극, 농약, 안료	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³
염화제이수은	HgCl ₂	건전지, 촉매, 염료, 살균제, 방부제, 탄닌피혁, 전극, 약품	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³ 강독성 LD50(Rat) 경구 37mg/kg
질산제이수은	Hg(NO ₃) ₂	농약, 펄트제조	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³
황산제일수은	Hg ₂ SO ₄	축전지, 각종전지	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³
황화수은	HgS	플라스틱 착색제, 착색지, 안료	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³
녀산제이수은	Hg(ONC) ₂	기폭제	노출한계 : Hg 0.05mg/m ³

(3) 독성 영향

가. 카드뮴

(가) 노출 한계 : $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 금속카드뮴 분진 및 염

성인의 전체 축적량은 40mg 정도이며 장기별 평균 카드뮴 농도는 신장 70ppm , 간장 5ppm 이다. 소화기에서의 흡수는 $5\sim 10\%$ 로서 흡입된 카드뮴 및 그 화합물의 폐 흡수율은 $20\sim 40\%$ 이다.

(나) 영향

카드뮴은 호흡기 장애를 주로 일으킨다. 장시간 노출시에는 냄새를 맡지 못하며 치아의 카드뮴 황색환이 생긴다. 피부로 흡수되는 양은 무시할 만하나 일단 카드뮴이 흡수되면 신장이나 간장에 장기간 축적되게 된다.

급성독성은 주로 분진에 의한 흡입에 의하여 발생된다. 일반적으로 증상으로 발전되기 전 몇시간 동안 잠복기간을 거치게 되며 뒤이어 여러증상이 따르게 된다. 초기에는 약간의 호흡곤란 증세가 나타나며 몇 시간 후에는 기침, 흉부이상, 식은땀과 오한이 동반된다. 24 시간 후에는 여러 폐질환들이 나타나게 되는데 호흡곤란, 흉부압박 등과 식욕부진, 쇠약, 구토증, 떨림, 미열 내지 고열이 난다. 중증의 경우 심폐기능부진을 일으켜 사망에 이른다. 경증의 경우 간질성 폐부종에서 증식성 간질성폐렴에 이르나 서서히 회복되고 폐기능 저하를 수반하는 폐선유증이 후유증으로 수년간 계속되는 경우가 있다.

만성독성의 경우 산화카드뮴 분진, 황화카드뮴, 스테아린산카드뮴 등이 대표적이다. $0.1 \sim 1\text{mg}(\text{Cd})/\text{m}^3$ 정도의 증기에 수 년간 폭로되면 폐기종, 신장해, 단백뇨 등의 만성 중독증상이 생긴다. 자각증상은 후각의 상실, 물 상태의 콧물, 기침, 피로, 체중 감소 등이다. 기타 만성으로는 치아의 카드뮴 황색환, 저색소성빈혈, 신장결석, 요도결석, 골염대사이상, 고혈압을 일으키는 경우도 있다.

(다) 주요 노출경로

- 먹는물 : 정상적인 음용수 중 카드뮴은 1ppb 이하로 존재한다. 음용수로 인체 내에 노출되는 양은 일반적으로 성인이 평균 음용수 $2\text{L}/\text{day}$ 소비할 때 $1\sim 10\mu\text{g}(\text{Cd})/\text{day}$ 로 평가되었다.

- 음식물 : 대부분의 음식물은 0.1mg(Cd)/kg(습량) 이하 존재한다고 조사되었다. 음식물을 통해 인체에 섭취되는 카드뮴의 양은 15~60 μ g/day 로 평가되었다.
- 대기 : 일반적으로 대기 중의 카드뮴 농도는 낮다. 평균농도는 0.001~0.5 μ g /m³ 이다. 공기를 통해 성인 1인이 0.05 μ g/day 섭취한다. 도시가 농촌보다 30배 높다. 담배 1가치당 1~2 μ g의 카드뮴이 존재하며 담배 1갑을 흡연하면 2~4 μ g(Cd)을 흡입하게 된다.

나. 납

(가) 노출 한계 : 0.05mg(Pb)/m³ 무기화합물의 분진

(나) 영향

급성독성 : 피부, 점막을 자극하지 않고 폐에의 자극작용도 없다. 흡입 및 경구섭취에 의한 급성 납중독은 구토, 위경련 등의 증상이 있다.

(치사량)

- 납분
복강 - Rat LD : > 1,000mg/kg (입경 325mesh)
- 염화염
경구 - Guinea pig LD₀ : 2,000mg/kg
- 산납
복강 - Rat LD₅₀ : 130mg/kg
- 산화납(II)
복강 - Rat LD₅₀ : 450mg/kg
- 사에틸납
복강 - Rat LD₅₀ : 15mg/kg
- 초산납
복강 - Rat LD₀ (최저치사농도) : 270mg/kg
- 유산납

- 경구 - Guinea pig LD_{50} : 1,000mg/kg
- 비산납
 - 경구 - Rat LD_{50} : 100mg/kg
- 불화납(II)
 - 경구 - Guinea pig LD_{50} : 4,000mg/kg
- 유화납
 - 복강 - Rat LD_{50} : 1,600mg/kg
- 유산납
 - 복강 - Guinea pig LD_{50} : 300mg/kg

만성독성은 빈혈, 권태감, 체중감소 등을 들 수 있다. 빈혈의 경우 납에 의한 적혈구 수명의 단축과 헤모글로빈 합성의 저해에 의한 것이다. 위장장애는 빈혈 다음으로 많은 징후로서 식욕부진, 변비, 산통발작 등의 증상을 보인다. 말초신경계 및 운동기 장애증상으로 손가락 증상이 많으며 기타 관절통, 근육통, 손가락 떨림 등이 나타난다. 중추신경계 증상은 두통, 어지러움, 불면, 초조감 등이 많다. 납은 대동맥에도 축적되는데 납 폭로 작업자에게 동맥경화율이 더 높다고 한다. 또 시력장애, 청력장애, 월경장애 등의 증상도 보고되어 있다.

(다) 주요 노출경로

- 먹는물 : 정상적인 가정급수의 납농도는 10~20 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하이다.
 성인 1일 음용수 소비량이 2L 일 때 물에 의한 납의 1일 섭취량은 10~20 μg 내지 1mg 이상이다.
- 음식물 : 납은 식품 중에 폭넓게 존재한다. 통조림 식품에 주로 많이 존재하며, 토양이 오염되면 농작물에도 높은 농도로 존재할 수 있다.
 식품에 의한 1일 섭취는 납의 노출량은 100 μg 이하, 500 μg 이상인 경우도 있으며 세계적으로 성인에 대한 평균 1일 섭취량이 약 200 μg 으로 평가됨.
- 대기 : 농촌지역에서는 대기 중 평균 0.1 $\mu\text{g}(\text{Pb})/\text{m}^3$ 이며, 도시에서는 일반적으로 0.5~2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 존재하며, 산업지역에서는 평균 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 오염된 경우도 있다. 산업장의 작업환경 대기 중 납의 오염도는

일반 환경보다 매우 높으며 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 경우도 드물지 않다.

다. 수은

(가) 무기수은

급성독성은 주로 고농도의 수은증기를 흡입하였을 때 일어나며 주 증상은 화학성 폐렴의 증상이나 설사, 신장의 기능 장애 등이 올 수 있다.

- 흡입 - 토끼 LCL_0 : $29\text{mg}/\text{m}^3$, 30hr
- 흡입 - 토끼 TC (독성농도) : $4\text{mg}/\text{m}^3$, 6hr/day 또는 4day/week

만성독성 초기에는 흥분, 기분의 변화와 같은 과민증상이 나타나고 이어서 손가락의 떨림이 나타난다. 다음으로 글씨를 쓰거나 음식을 먹거나 걸어다니는 것과 협동운동에 심한 장애가 나타난다. 수은을 취급하는 공장에 장기간 근무한 근로자에게는 수정체 앞면이 적갈색이나 황색으로 착색된다.

(나) 메틸수은

메틸수은에 의한 급성독성은 간과 신장에 손상을 입힌다. 단기간에 대량 폭로 되었을 경우는 정신이상과 유사한 증상이 나타나며 피부나 점막에 다량 접촉했을 때에는 염증이 생긴다. 만성독성시 간과 신장뿐만 아니라 중추신경계에도 손상을 입힌다. 폭로 후 2 개월 정도의 시간이 흐른 후 증상이 나타난다. 소뇌와 대뇌피질 세포에 위축이 일어난다. 초기증상으로는 입술, 혀, 언어장애, 보행장애, 삼키는 데 장애가 일어나며 그 후 난청이나 시야가 좁아지는 등의 증상이 나타난다. 여기서 더욱 진행하여 정신적인 이상을 보이는 경우도 있다. 또한 메틸수은 중독의 특징은 산모가 건강하여도 산모를 통해 아기에게 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 지능 발달장애, 언어장애, 운동기능장애, 뇌성소아마비와 같은 증상을 보인다.

(다) 주요 노출경로

- 먹는물 : 오염되지 않은 지역의 담수 중 수은 농도는 $0.2\mu\text{g}/\text{L}$ 이하이다. 음용수 섭취에 의한 수은의 체내 섭취량은 정상적으로 $0.1\mu\text{g}/\text{일}$ 을 초과하지 않는다.

- **음식물** : 비직업적 노출진단에서 수은의 인체 내 주요 노출원은 식품이다. 식품 중 메틸수은의 대부분은 어류와 어류 공산품 섭취로 체내에 들어온다. 식품을 통한 수은의 평균 1일 섭취량은 10~20 μg 범위로 평가되고 있다.
- **대기** : 금속수은이나 유기수은화합물들은 상대적으로 증기압이 높기 때문에 휘발성으로 대기중에 방출된다. 오염지역을 제외한 대기환경의 수은 농도는 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 알려져 있다. 대기환경 중 농도를 0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 가정할 때 금속수은 증기를 통한 1일 평균 흡수량은 약 1 $\mu\text{g}/\text{일}$ 정도로 평가된다.
- **산업장** : 광공업, 염소화알칼리 제조산업, 과학기자재 산업의 경우 작업장 대기 중 수은의 농도가 5 mg/m^3 정도로 높은 수준임이 보고된 바 있다. 각국의 작업장 폭로허용한계로는 0.05 mg/m^3 가 권고되고 있다. 권고되는 수은 평균섭취량은 500 μg 이하이다.

(4) 사례 조사

가. 국외

일본 도야마현 진쓰강 유역에 거주하는 주민들은 1910년 경부터 팔, 늑골, 골반, 대퇴골 등에 골절 현상이 나타나기 시작하였으며, 기침만 해도 골절이 될 정도로 뼈가 약해지고 뼈의 위축으로 키가 줄어들어 심한 사람은 20cm 이상 작아지는 현상이 나타났다. 특히 강 근처에 사는 농부나 그 가족에게서 많이 나타났으며, 노동을 많이 하거나 20년 이상 이 곳에 거주한 사람, 출산 경험이 있는 사람일 경우 그 정도가 더욱 심하였다. 이 병에 걸린 사람들이 심한 통증을 호소한다 하여 일본말로 “아프다 아프다” 라는 의미의 “이타이 이타이” 병이라 불리게 되었다. 2차 세계 대전이 끝난 직후 이 병의 원인 규명이 처음 시도되긴 했으나 비타민 C가 부족하여 나타나는 증상인 것으로 잘못 결론지어졌다. 1955년 10월에는 원인불명의 괴질로 학회에 보고된 바 있다. 1968년 5월 일본 후생성에 의해 이 병의 원인은 진쓰강 상류에 자리한 미쓰이 금속광업이 아연의 제련과정에서 배출되는 폐광석인 것으로 밝혀졌다. 폐광석에 들어있던 카드뮴이 진쓰강을 오염시키고 강물이 유역 논과 밭의 농업용수로 주민들의 식수로 사용됨으로써 카드뮴이 사람 몸으로 들어간 것이다.

중국의 장강 하류 21개 구간의 수질조사 결과 12개 구간의 물에서 수은이 검출되었는데 높은 값에서는 표준치의 40배에 달하는 경우도 있었다. 송화강 수계에는 매일 860만톤의 폐수가 유입되고 있어 길림시에서 하류 300km 구간에서는 수은에 의한 오염이 심각해 어류는 거의 찾아볼 수 없는 상태이다. 송화강 유역의 일부에서는 어민의 머리 모발속 수은 함유량이 평균 20mg/kg 에 달하고 있는 것으로 알려져 있다 < 첨단환경기술 96. 11. >.

수은에 의한 최대 피해로 1956년 일본에서 발생한 미나마타병이 있다. 농약에 사용된 수은 화합물에 의한 집단 중독 사례로 과테말라, 이라크, 파키스탄 등은 수은 화합물이 첨가된 농약으로 인하여 수백 명이 중독되었다. 1972년 이라크에서는 수은계 농약에 오염된 밀로 만든 빵을 먹고 수천 명이 중독되었고, 200여 명이 사망하였다.

12세 이하 인도 어린이 중 50% 이상이 납에 중독된 것으로 조사되었다고 AP 통신이 8일 보도했다. 이는 최근 2년 간 뉴델리, 뭄바이, 캘커타 등 7개 인도 대도시 시민 2만 2천 명을 대상으로 한 국제아동보호단체(조지 재단)의 조사에서 밝혀졌다. 12세 이하 아동 중 뭄바이에서 62%, 뉴델리에서 54%가 혈중 납 농도가 허용기준치 (0.1ℓ 당 10 μ g) 를 넘은 것으로 조사되었다. 납 중독의 주요 원인은 자동차 연료, 식료품 깡통, 페인트, 주방용품, 식수 체계의 납 오염 때문이며, 특히 아동의 경우 납중독으로 인해 평생 뇌 손상을 유발할 수 있다고 전했다<조선일보 99. 2. 10 >.

나. 국내

한강에 사는 붕어와 잉어가 납, 카드뮴, 수은 등 중금속에 오염된 것으로 조사되었다. 97년 12월 2일 서울시 보건환경연구원에 따르면 지난 반포, 암사, 행주유역 한강과 중량천에서 잡은 붕어와 잉어를 조사한 결과 행주역 부근 붕어의 아가미에서 kg 당 0.311 mg 의 납이 검출되었다. 카드뮴은 아가미, 간, 근육 등 각 부위에서 kg 당 0.022~0.028 mg, 수은은 0.011~0.097 mg 이 나왔다. 잉어의 경우는 부위별로 kg 당 납 0.060~0.0304 mg, 카드뮴 0.024~0.040 mg, 수은 0.009~0.038 mg 이 검출되었다. 또 반포, 암사, 중량천 등 한강의 지류에서 잡은 붕어와 잉어에서도 비슷한 수치의 중금속이 나왔다. 특히 중량천 붕어와 잉어의 아가미 부위에서 kg당 1.498~1.527 mg에 이르는 높은 수치의 납이 검출됐다. 그러나 현행 관련규정

에는 내수면 어류에 대한 중금속 오염기준이 없다. 다만 해양어류 식품규격기준에는 kg 당 납 2.0mg, 수은 0.5mg 등 두 가지에 한해 기준이 있을 뿐이다<동아일보 97. 12. 3 >

환경처에서 2년마다 실시하는 토양 중금속오염도 조사에서 수은과 카드뮴의 증가 현상이 지적되고 있다. 전국을 520개 지역 2,600개 지점으로 나누어 조사한 92년도 전국 토양 중금속오염 조사실태에 의하면 흙 1kg 당 카드뮴이 0.213mg, 수은은 1.118mg 으로 나타났다. 이러한 상태라면 토양에서 생산되는 곡물들을 섭취하는 우리 국민들은, 점차적으로 상당량의 중금속을 인체에 축적하게 될 것이다. 곡물의 수은 오염은 주로 토양 자체의 오염에 의한 것이다. 수은 오염을 일으키는 수은계는 금속 화합물계로 분해속도가 늦을 뿐 아니라 잔류성이 높다. 살균 효력이 탁월한 수은계 농약은 주로 토양 살균과 종자 소독에 사용된다. 과거에는 염화 제2수은이 사용되었으나 현재는 메틸, 에틸, 메톡시에틸 등의 알킬 수은계와 페닐 수은염이 농약 재료로 사용되어 벼, 야채, 과일 재배시 병충해 방재용으로 쓰이고 있다. 이 중에서 알킬 수은계와 페닐 수은계가 농약 재료로 사용되어 벼, 야채, 과일 재배시 병충해 방재용으로 쓰이고 있다. 이 중에서 알킬 수은계는 독성이 강해서 농약으로 사용되는 빈도가 감소하고 있으며, 이보다 독성이 낮은 페닐 수은계가 주로 사용된다. 그러나 수은계 농약을 살포하면 분해가 거의 되지 않을 뿐만 아니라 잔류성이 강해 토양에 그대로 남아 식물에 계속 흡수된다. 식물 자체 내에서도 분해가 잘 되지 않는 수은은 용해가 되지 않은 채 그대로 몸 속에 축적된다.

2) 대체물질 및 대체공정 개발

(1) 국외 현황

가. 폴리머 전지 개발

도쿄 농공대학에서는 0.1 mm 까지 얇게 할 수 있는 휴대 단말을 위한 차세대형 충전식 전지를 개발했다. 도전성과 유연성에 뛰어난 고분자를 전지 재료로 사용한 폴리머 전지는 충전 능력이나 충전 성능이 좋으며 충격에 강하다. 또한 수지 제품과 같이 대량으로 생산이 가능하기 때문에 제조 비용을 낮출 수가 있다. 폴리머 전지는 유기 유황 화합물의 정극과 리튬 금속의 부극 사이에 고분자 폴리머를 끼우

는 3층 구조를 하고 있다. 정극의 주요 소재인 도전성 폴리머, 폴리아닐린 등에 새로이 폴리 피롤을 혼합한다든지, 전극의 집전기판을 탄소재로부터 동으로 변경하는 등의 개량을 더해 종래 기술을 비약시켰다. 폴리머 전지의 중량당 충전 능력은 리튬 이온 전지의 1.5배, 니켈, 카드뮴 전지의 약 3배 이다. 전압은 3.2~3.5V 이며 충전 횟수는 200회 이상, 1시간 이내의 급속 충전도 가능하다. 기술 개량에 의하여 고전압 구동과 장시간 구동이 요구되어지는 휴대 전화나 노트북 퍼스컴의 주전원에 실용화 될 수 있는 길이 열렸다.

리튬 이온 전지는 충전식 전지로서는 성능이 뛰어나나 소형 경량화에는 한계가 있다. 또한 제조시 전극 재료의 가공에서 조립까지 복수의 공정이 필요하여 제조 비용이 높아진다. 이에 비하여 폴리머 전지는 탑재되는 휴대 단말의 형상이나 크기에 맞추어 가공할 수 있기 때문에 용도의 폭이 넓다. 전극 재료는 용해, 건조, 성형에 제조 공정을 간략화하여 대량 생산이 가능하다. 현재 주류인 충전식 전지의 가격이 1개 수백엔에서 1,000엔 이상 되는 것에 비하여 폴리머 전지는 1개 100엔 전후의 가격으로 억제 될 수 있을 것으로 시산하고 있다.

나. 자동차용 신 전착도료 개발

일본 페인트사는 세계 최초로 VOC 와 중금속을 전혀 함유하지 않은 환경대응형 자동차 차체용 전착도료를 개발했다고 발표했다. 전착도료는 물의 전기분해에 의한 pH 의 변화를 이용하여 도료수지를 응집시켜 도장 대상물에 부착시킴으로써 자동차 차체의 방청용으로 사용되며 언더코팅 도장으로 많이 이용된다. 최근 이 분야의 도료에서도 환경대응의식이 높아짐에 따라 블록제 (경화반응 과정에 들어가기까지의 사이에 수지와 경화제를 반응시키지 않게 하는 약제) 에 포함된 알코올과 도막 두께 조절제에 포함된 글리콜계 등의 용제, 방청력을 높이는 납과 촉매로써 사용되는 주석 등의 중금속의 삭감에 관한 연구가 수년 전부터 도료 각사에서 진행해 오고 있다.

일본 페인트사는 전기에너지로 에폭시 수지가 응집하는 과정에서 도막 경화를 촉진하는 관능기를 발생시키는 것에 성공했다. 경화제를 사용하지 않고 수지를 자기가교 시켜, VOC를 줄이는데 걸림돌이었던 블록제를 필요 없게 했다. 또한 지금까지의 도료에서는 차체에 도료를 부착한 후에도 대전상태에 있기 때문에 용제를 사용하여 막두께를 미묘하게 조절할 필요가 있었으나, 수화관능기를 도입하여 대전

을 억제한다. 도막조절용 용제도 생략되어 치밀한 박막을 간단히 부여할 수 있게 되었다. 저가이며 납이 필요가 없게 되었으며 균일한 조막이므로 엄격한 온도관리가 필요 없게 되었다.

다. TRIAX 2153 - (Monsanto Canada)

다양한 플라스틱 제품을 사용하는 곳에서는 - 특히 자동차 산업에서 - 대부분 카드뮴이 포함되어 있는 염료를 이용한다. 황색과 적색을 띤 카드뮴 염료는 색이 명료하고 높은 온도나 자외선에도 잘 견디는 잇점이 있으나 IARC (International Agency for Research on Cancer) 에서 카드뮴이 “인간에 암을 유발시킬 가능성이 있는 물질” 로 분류되었고 여러 연구들을 통하여 사람의 몸 속에 축적되어 유해한 영향을 끼치는 결과를 나타내게 되었다.

황색 사진 액자로도 사용가능한 TRIAX 2153 은 Monsanto 회사에서 개발한 것으로 polycarbonate 과 ABS 의 혼합물이며 카드뮴이 포함되어 있지 않고 1,000 시간 이상 자외선 노출 시험 (태양에 3년 노출된 것과 같은 시간) 을 거쳤다. 이러한 TRIAX 2153 을 사용함으로써 환경호르몬 물질인 카드뮴의 사용량을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

3) 저감 기술

(1) 국외 저감기술 개발현황

가. Electrokinetic techniques

Electrokinetic process는 기존에 오일 회수 산업과 토양으로부터 물을 제거하는데 사용되어 왔다. 이를 매립된 폐기물 및 오염원의 유출로 인하여 오염된 토양을 복원하는데 적용하였다. Electrokinetic process 는 지반내에 전극을 삽입하고 전류를 가하여 토체의 물리·화학적, 수리학적 변화를 유도하고 전도 현상을 유발하여 오염물질을 이동시켜 추출, 제거하는 방법이다. 따라서 투과율이 낮은 토양에 중금속, 방사성 핵종, 및 일부 유기 오염물 등이 오염되어 있을 때 적용될 수 있다.

나. 지올라이트를 이용한 처리

Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Co 등의 중금속이 혼합되어 있는 유출수를 처리하기

위하여 zeolites (clinoptilolite & chabazite 등) 를 사용한다. 이 때 흡착능은 clinoptilolite (Pb > Cd > Zn > Co > Cu > Ni > Cr) 과 chabazite (Pb > Cu > Cd > Zn > Cr > Co > Ni) 각각 다르다.

다. 이온교환

카드뮴으로 오염된 토양을 in situ 에서 처리하는 경우를 예로 들면 다음과 같다. 먼저 염산을 오염 토양에 침투시켜 카드뮴을 탈착시키고 투여를 위한 관정과 배수구를 설치한다. 카드뮴이 포함된 여과액을 현장의 수처리 장치까지 뽑아 올린다. 이온교환수지 (Rohm & Haas IMAC GT-73) 를 사용하여 여과액에서 카드뮴을 제거한다. 카드뮴이 제거된 산액을 다시 오염된 토양에 주입하여 사용한다.

라. 침전에 의한 처리 (lime 또는 dolomite 사용)

Lime 이나 dolomite 를 첨가하므로 lead hydroxide 또는 lead carbonate 가 발생하는데 용해성 납을 불용성 납으로 전환시켜 제거하는 것이다. 생성된 물질을 침전에 의하여 제거하며 이 때 응집 보조제를 경우에 따라 넣기도 한다. 또는 여과에 의하여도 제거 가능하다. 설치비나 운전비가 다른 중금속 (구리, 아연, 니켈 등) 을 처리 할 때와 유사하다.

마. 오존 처리

Alkyllead 화합물 제조시 발생하는 유출수 속에 납이 용해성 유기납의 형태로 5~5,000 ppm 존재하는데 이를 제거하기 위하여 유출수를 먼저 pH 8.0~9.5 로 맞추고 오존을 포함하는 가스를 직접 이 유출수에 접촉시키고 전환된 납 화합물을 침전시켜 유출수로부터 분리한다. 오존을 사용하면 물에 용해되어 있는 유기납 화합물을 불용성 물질로 전환시켜 제거하는 효과가 매우 크다. 이러한 처리 방법은 처리하고자 하는 기준 농도까지 (5ppm 이하 또는 0ppm 까지도 가능함) 물질의 양과 오존과의 접촉시간 등을 쉽게 조절하여 처리하여 호수나 강으로 유출수를 안전하게 방류할 수 있다.

바. 낮은 온도에서의 처리과정

수은을 포함하는 부산물 수소가스에서 고순도 수소를 회수하기 위하여 수은 가스

를 제거하는 방법으로 정상압력 조건에서 $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 낮추어 수은증기를 액화시켜 분리하는 것이다. 그러나 이 방법은 경제성이 떨어지며 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 이하 까지 순도를 낮추기가 어렵다.

사. 염소수에 의한 세척

수은 증기를 포함하는 가스를 염소가스가 녹아있는 물에 통과시켜 수은증기를 염화수은으로 전환시키는 방법이다. 그러나 잔류 염소가스를 제거시켜야 하며 처리 장치 및 방법이 매우 복잡하다. 또한 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 이하까지 제거하기가 어렵다.

아. 침전 (sodium borohydride 사용)

용존성 무기수은 화합물을 교반시키면서 sodium borohydride 를 요구되는 화학식량의 100~150% 첨가하여 침전시키는 방법이다. 만일 유기수은이 포함되어 있을 경우 먼저 chlorination을 하여 용존성 무기수은으로 전환시켜야 한다.

또는 황화아연 입자를 첨가시켜 황화수은으로 전환하여 침전시키는 방법이 있다. 미세 콜로이드 황화수은 입자는 황화아연에 흡착되어 비교적 쉽게 제거가 된다.

자. 수은을 먹는 식물

조지아 대학의 연구진들은 수은 화합물을 흡수하는 나무를 만들었다고 발표하였다. 이 튜립 나무 (*Liriodendron tulipifera*) 는 다른 식물들이 자라지 못할 정도로 수은이 오염되어 있는 토양에서 무성하게 잘 자란다. 이 나무는 수은 화합물들을 흡수할 뿐만이 아니라, 이를 분자 상태의 수은 증기로 바꾸어서, 숨쉴 때 공기 중으로 내뿜는다. 왜냐하면 이 식물들은 독성이 강한 수은 이온을 분자 상태의 수은으로 바꾸어 주는 세균의 유전자를 가지고 있기 때문이다. 오염 지역이 넓을 때 물리적인 방법을 사용하는 것보다 이와 같은 식물을 사용한 정화 방법을 사용함으로써 경제성을 높일 수 있으며, 식물의 뿌리로 인하여 토양의 침식 작용을 지킬 수 있는 장점이 있다.

실용화를 위하여 넘어야 할 어려움으로 먼저 독성 물질의 용해성이다. 식물의 뿌리는 오로지 물에 녹아 있는 물질들만을 흡수할 수 있으며 납을 포함한 대부분의 독성물질들은 물에 잘 용해되지 않는다. 또 다른 문제는 토양으로부터 수은을 흡수한 식물들은 또 다른 형태로 이를 공기 중으로 배출한다. 물론, 분자 상태로 있

는 수은 증기는 수은 이온보다는 독성이 매우 약하며 그 농도도 훨씬 희석되어 있는 상태이다. 마지막으로 유전자 조작 식물들이 다른 심각한 환경문제들을 일으키지 않고 오염물질을 정화하는 일을 성공적으로 수행할 수 있는가 하는 것이다. 따라서 이러한 여러 가지 문제점들에 대한 충분한 검토 및 연구가 필요하다고 사료된다.

(2) 국내 저감기술 개발현황

가. 폐수은전지의 고형화 기술

폐수은전지에서 수은을 회수하고 남은 소각잔재물과 폐수중의 수분을 증발시키고 남은 슬러지를 고형화하기 위한 재료로써 시멘트, 모래 및 첨가수가 사용된다. 일반적으로 가장 널리 사용되는 시멘트에는 포틀랜드 시멘트이다. 중금속 용출방지 재료는 주로 킬레이트시약이 사용되나 일반적으로 가격이 비싸고 킬레이트의 형성에 따른 적절한 반응조건을 조성해 주어야 하는 등 경제적 및 효율적인 면을 고려하여 주입해 주어야 한다.

고형화 방법은 일정비율의 시멘트, 모래 및 수은을 회수하고 남은 폐수은전지 폐기물을 모르타르 믹서에서 1 분 정도 혼합한 다음 일정 비율의 첨가수를 가하고 다시 5 분 정도 혼합하여 거푸집에 채운다. 그리고 온도 25 ℃ 및 습도 97 % 인 습기함에서 24 시간 성형시킨 후 거푸집을 떼어내고, 기온 및 습도를 각각 25 ℃ 및 97 % 이상으로 유지하여 13 일 동안 양생시킨다.

나. 중금속에 대한 흡착 기술

수용액 중의 중금속이온 (Fe^{3+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{6+} 등) 성분들의 제거를 위하여 석탄회 (fly ash) 의 활성탄 대응 가능성을 조사한 연구결과 Fe^{3+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} 은 석탄회와 활성탄 모두 90 ~ 100% 의 제거율에 도달하였으며, Zn^{2+} , Ni^{2+} 이온 성분들의 경우 석탄회와 활성탄 모두 20 ~ 50% 정도의 제거율을 Cr^{6+} 는 석탄회와 활성탄 모두 5% 미만의 흡착율을 보였다. 따라서 석탄회는 특정 중금속 이온성분 제거에 있어서 활성탄을 대응할 수 있는 흡착제인 것으로 판명되었다.

다. 게껍질을 이용한 납의 생물 흡착

중금속의 처리법으로는 침전법, 흡착법, 이온교환법, 역삼투압법, 전기분해법 등이 있지만 각각의 장단점 때문에 hydroxide 침전법을 가장 널리 사용하고 있다. 이 방법은 lime 이나 caustic soda 를 투입하여 중금속을 침전시키는 방법으로 가장 경제적이거나, 최소의 용해도를 가지는 최적의 pH 영역을 가지는 여러 가지 중금속이 존재할 때 처리가 곤란하며 중금속 입자들이 물 속으로 수화되어 잘 침강하지 않으며 슬러지 부피가 커져 매립시 2차 처리비가 많이 든다. 이러한 침전법을 대신할 새로운 공법으로 biomass 를 이용하여 중금속을 제거하는 "biosorption" 이 널리 이용되고 있는데, 이 중 흡착제로써 게껍질을 이용하여 납을 제거하는 기술이 있다. 게껍질은 주로 chitin 과 calcium carbonate 로 구성되어 있는데 이 중 chitin 은 수중의 중금속과 수소결합을 하기 때문에 좋은 흡착제로 알려져 왔다. carbonate 도 metal hydroxide 침전물보다 낮은 용해도를 가지며 metal carbonate 침전물을 형성하기 때문에 처리하지 않은 게껍질을 이용하면 더욱더 뛰어난 성능을 나타낼 것으로 사료되었다. 실험 결과 최소의 용해도를 나타내는 최적의 pH 가 게껍질을 넣지 않았을 때의 8.5~11.0 에 비하여 게껍질을 0.5g/L 넣은 경우 5.5~11.0 으로 넓어졌다. 이 때 수중의 납의 농도는 게껍질을 넣지 않았을 때에는 1ppm 이었으나 넣었을 때는 0.1ppm 이하로 훨씬 낮아졌다. 최대의 납 제거능의 경우에도 1300mg Pb/g crab shell 로 기존의 연구와 비교했을 때도 뛰어난 결과를 나타내었다. 반응속도를 알아본 결과 99% 이상의 반응이 30분 이내에 진행되었으며 이온강도 물질에 의하여 반응에 거의 영향을 주지 않았으므로 해수와 같은 염분이 많은 물에서도 쉽게 중금속을 제거할 수 있을 것으로 사료된다.

8. 위해성 평가분야

1) 분야의 개황

최근에 제기된 내분비계 장애물질 문제의 발단은 인류가 일상적으로 사용해 오던 화학물질이 인체나 생태계 생물의 정상적인 생리작용을 교란할 수 있다는 가설과 소수의 관찰결과에 있다. 그러나 관련 물질의 위해성에 관한 명확한 결론을 유도하는데는 과학적 증거자료가 부족한 것이 현실이다. 따라서 현재 내분비계 장애물질로 의심되는 물질을 포함한 기존의 모든 화학물질에 대한 검토가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

이러한 노력은 1997년 4월 10~13일에 네델란드의 Amsterdam에서 있었던 SETAC-Europe/OECD 전문가 회의에서 제기된 위해성 연구의 체계도(그림 3-22)에서 볼 수 있다. 그리고 1998년 8월 미국의 EDSTAC에서 보고한 연구의 체계도(그림 3-23 및 3-24)를 보더라도 이와 유사한 접근을 하고 있음을 알 수 있다.

위의 두 체계도는 해당 화학물질을 기존 화학물질의 자료유무에 따라 분류하고 스크리닝과 테스트의 과정을 거쳐 최종적인 위해성 평가에 의하여 관리함을 보여준다.

2) 선진국의 연구상황

(1) 미 국

1996년 미국에서 연방정부의 예산지원으로 수행된 내분비계 장애물질 관련연구는 표 3-53~3-55에 요약되어 있다.

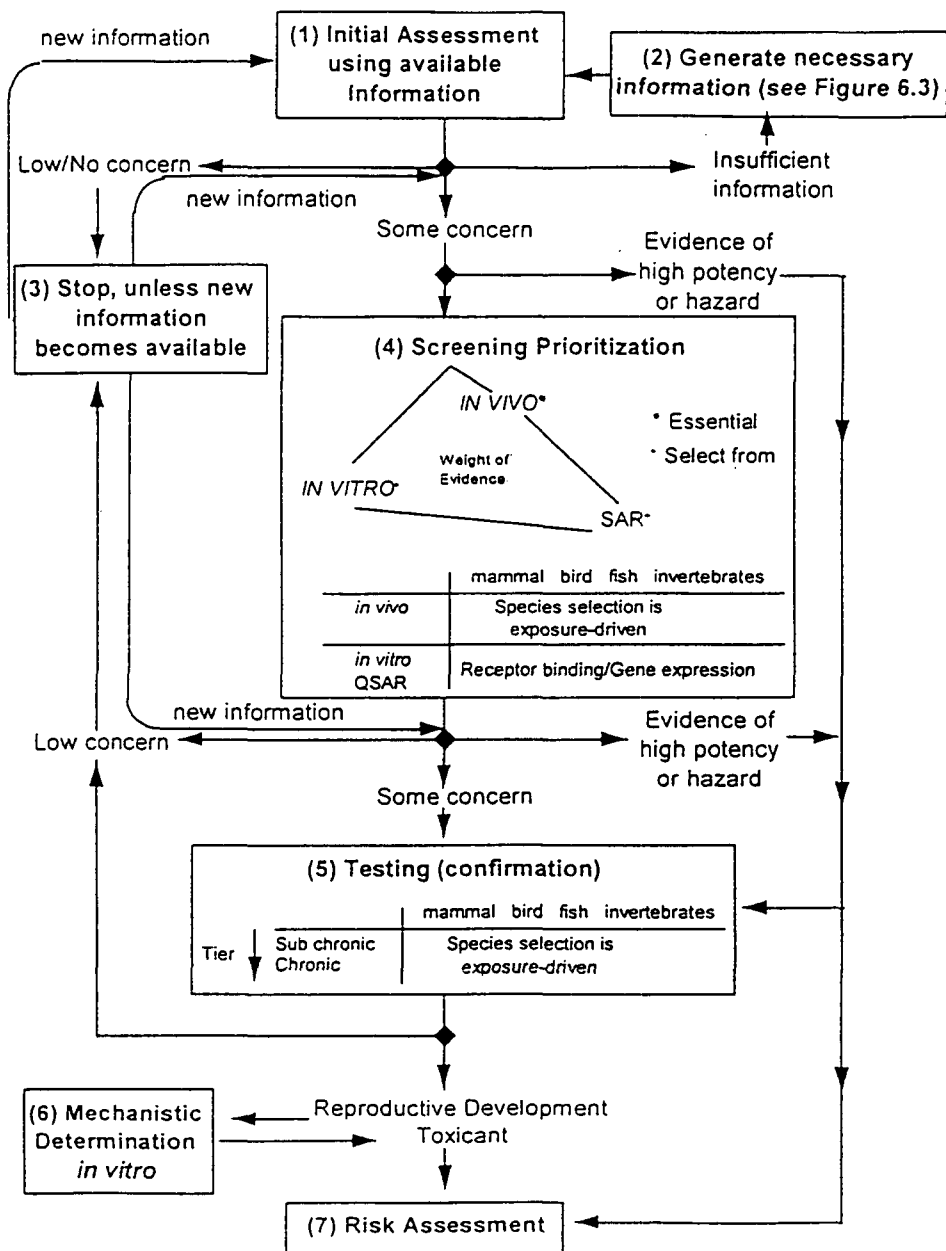


그림 3-22. SETAC-Europe/OECD 전문가 회의에서 제기된 위해성연구의 체계도

EDSTAC Conceptual Framework

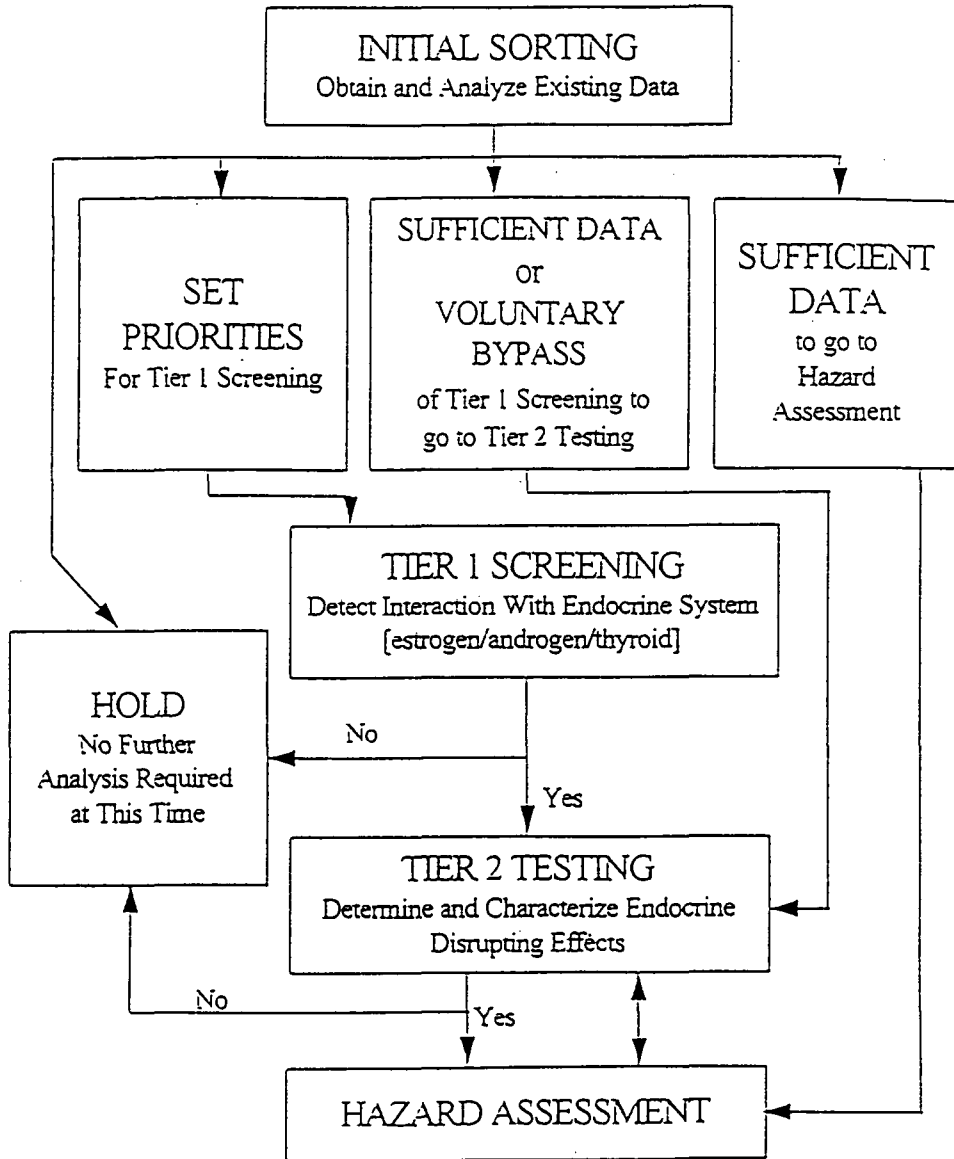


그림 3-23. 미국 EDSTAC에서 보고한 연구의 체계도(1998년 8월)

Detailed Depiction of EDSTAC Conceptual Framework

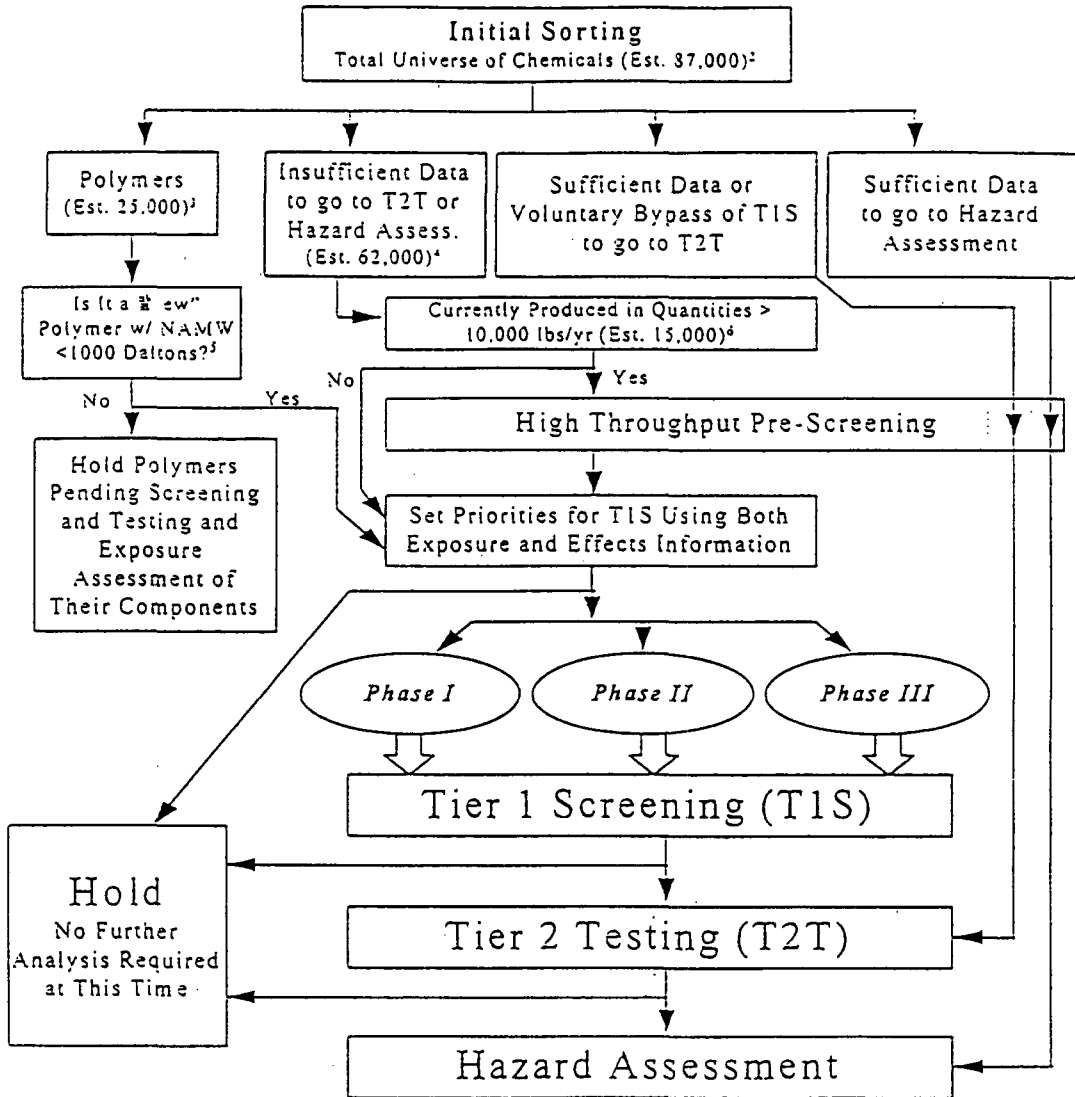


그림 3-24. 미국 EDSTAC에서 보고한 연구의 체계도(1998년 8월)

표 3-53. 내분비계 장애물질 연구과제 물질별 목록

물질	과제건수
PCB	109
TCDD/Dioxin	87
Estrogen	42
DDT/DDE	41
Phytoestrogen	25
유기염소계	18
경구피임약	11
계	333

(자료 : EDRI, 미환경청, 1997)

표 3-54. 내분비계 장애물질 연구과제 기관별 목록

	주 제			부 제		
	인 체	생태계	노출	인체	생태계	노출
NIEHS	85	2	5	0	3	6
NCI	48	0	11	4	0	5
EPA	28	16	7	0	4	7
NSF	26	21	0	0	0	0
NIH	28	0	1	1	0	8
ATSDR	15	0	6	0	0	5
FDA	11	1	7	0	2	4
DOD	17	0	2	0	0	4
DOI	0	16	1	0	0	4
WOAA	0	9	5	0	1	0
CDC	14	0	0	0	0	11
DOE	0	4	3	2	1	4
* USDA	0	0	5	0	0	0
SMITHONIA	0	1	0	0	0	1
계	273	70	53	7	11	59

(자료 : EDRI, US EPA 1997)

표 3-55. 내분비계 장애물질 연구과제 연구분야별 목록

	인체	생태계	노출	합계
기초연구	160	44	31	235
위해도 확인	72	16	36	124
노출 및 위해성 모델	55	13	20	88
생체지표	27	28	29	84
노출정량/동태	24	16	30	70
학제적 연구	14	9	15	38
혼합물	15	7	6	28
민감생물종	4	12	9	25
데이터베이스 개발	8	1	8	17
총 계	379	146	184	709

(자료 : EDRI, 미환경청, 1997)

위의 표를 보면 거의 모든 연구가 인체영향과 관련된 분야에 집중되고 있음을 알 수 있고 기초연구와 위해도 확인문제를 주로 다루고 있으며 대상화합물은 PCB 류 및 다이옥신류가 대부분을 차지하고 있다.

가. 미국산업계의 위해성평가 연구

내분비계 장애물질에 대한 연방정부를 통한 활발한 연구와 병행하여 미국화학산업계는 미국화학산업협회(CMA) 회원사가 공동으로 예산을 배정하여 주로 화학산업 독성연구소(CIIT)에 의뢰하여 현재 다음과 같은 연구가 진행되고 있다.

(가) 에스트로젠 수용체를 통한 영향연구

- 랫트에서의 비스페놀 A의 영향
- 비스페놀 A의 전·후 수유기 노출에 의한 음성랫트 번식기관 조직에의 영향
- 랫트의 번식기관에 있는 에스트로젠 수용체 연구
- 비스페놀 A의 전·후 수유기 강제투여에 의해 유도된 자성태자의 번식 독성
- 비스페놀 A의 전·후 수유기 강제투여에 의해 유도된 음성태자의 전립선 및 다른 성기관 이상연구
- 에스트로젠 수용체 및 안드로젠 수용체의 연관성
- DDT 혼합물
- Genistein(콩에 존재하는 이소플라본계 물질)의 예비 PBPK(생리작용에 근거한 약물동태) 모델의 개발
- 비스페놀 A의 농도-반응 상관성
- 에스트로젠 수용체- β 의 생물학적 및 독성학적 연구
- 천연 및 합성물질에 의해 유도되는 내분비계 교란 : 유사성, 차이점 및 상관성

(나) 안드로젠 수용체를 통한 영향연구

- p,p-DDE 아만성 식이투여에 의한 음성랫트 성 성숙영향
- 안드로젠 유사물질의 태자고환 및 성숙랫트에 미치는 영향

(다) 스테로이드 호르몬 수용체를 경유하지 않은 영향

- 디부틸프탈레이트의 랫트 in vivo 독성연구
- 랫트에 있어서 생물학적 모델에 근거한 프탈레이트에스터의 조직분포 :
인체변식 독성학적 위해성평가 방법 개발 및 적용
- 랫트에 있어서 디부틸프탈레이트의 자궁내 처리에 의한 번식기관의 유전자 발현에 있어서의 분자생물학적 변화
- 디부틸프탈레이트의 임신 후기 노출에 의한 고환질환의 병리발생학적 연구
- 임신랫트에 있어서 디부틸프탈레이트의 약물동태학적 연구

이상의 연구들을 종합하면 미국 화학산업계는 비스페놀 A와 디부틸프탈레이트 등 문제가 된 내분비계 장애물질의 독성기전을 밝혀 인체의 위해성 평가에 응용하기 위한 연구가 주류를 이루고 있음을 알 수 있다. 또한 특이할 만한 점으로는 합성물질과 천연물질의 내분비계 장애특성에 대해서도 비교 검토함으로써 문제 합성물질의 무해성을 입증하기 위한 연구에 노력하고 있음을 알 수 있다.

(2) 유럽

유럽의 경향을 보면, 표 3-56과 3-57에 나타난 바와 같이 인체 영향연구와 함께 생태영향연구도 적지 않게 연구되고 있으며, 대상화학물질도 PCB나 dioxin 류에 그치지 않고 내분비계 장애물질로 의심시되는 여러 종류의 화합물에 대하여도 연구가 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

표 3-56. 유럽에서의 분야별 연구상황

인체영향 연구	생태영향 연구	생체지표	노출평가	계
69	44	23	19	155

표 3-57. 유럽에서의 화학물질별 연구상황

PCB	6	Phytoestrogen	5
유기염소계	7	phthalate	3
Dioxin	6	농약	5
DBT	2	호르몬	6
PAH	2	TBT	6
Phenols	3	Bisphenol A	1
중금속	1	계	53

(3) 일본

일본은 1998년 보정예산에 126억엔을 관련 연구기금으로 계상하여 후생성을 비롯한 8개 성·청에서 다음과 같은 연구를(표 3-58) 진행하고 있다.

일본 정부의 연구상황을 보면 범부처적으로 관련연구가 수행되고 있음을 알 수 있고 일본 현실에 적합한 위해성 평가를 수행하기 위한 독성기전 및 노출가능성 연구가 주류를 이루고 있음을 알 수 있다.

3) 국내 위해성 관련 연구

환경부에서 범부처적으로 계획하고 있는 중·장기 연구계획은 표 3-59와 같다. 이를 부처별 분담내용으로 정리한 것은 표 3-60과 같다.

국내의 위해성 연구는 선진국의 연구내용과 다소 중복이 되고 있음을 알 수 있다.

표 3-58. 일본 정부의 관련 연구활동

부서	내용
환경청	환경오염 실태조사 (24물질, 호소, 하천) 야생동물의 병리조사 작용 메카니즘의 해명 시험방법의 검토
후생성	인체 영향에 관한 연구 : 수도수(32물질)/식품등 으로부터의 노출/번식, 체내동태 조사 작용 메카니즘의 연구 정자 측정조사
통산성	시험, 영향평가 방법의 개발 제조, 사용등의 실태조사(15물질)
노동성	사용실태 조사(67물질)
건설성	오염물질(9물질) 실태조사(하천, 하수방류수)
농수산성	분석방법의 연구 번식독성 조사
과학기술청	평가법 연구 메카니즘 연구 분해, 제거법 연구

표 3-59. 연구의 주요내용 및 추진흐름도

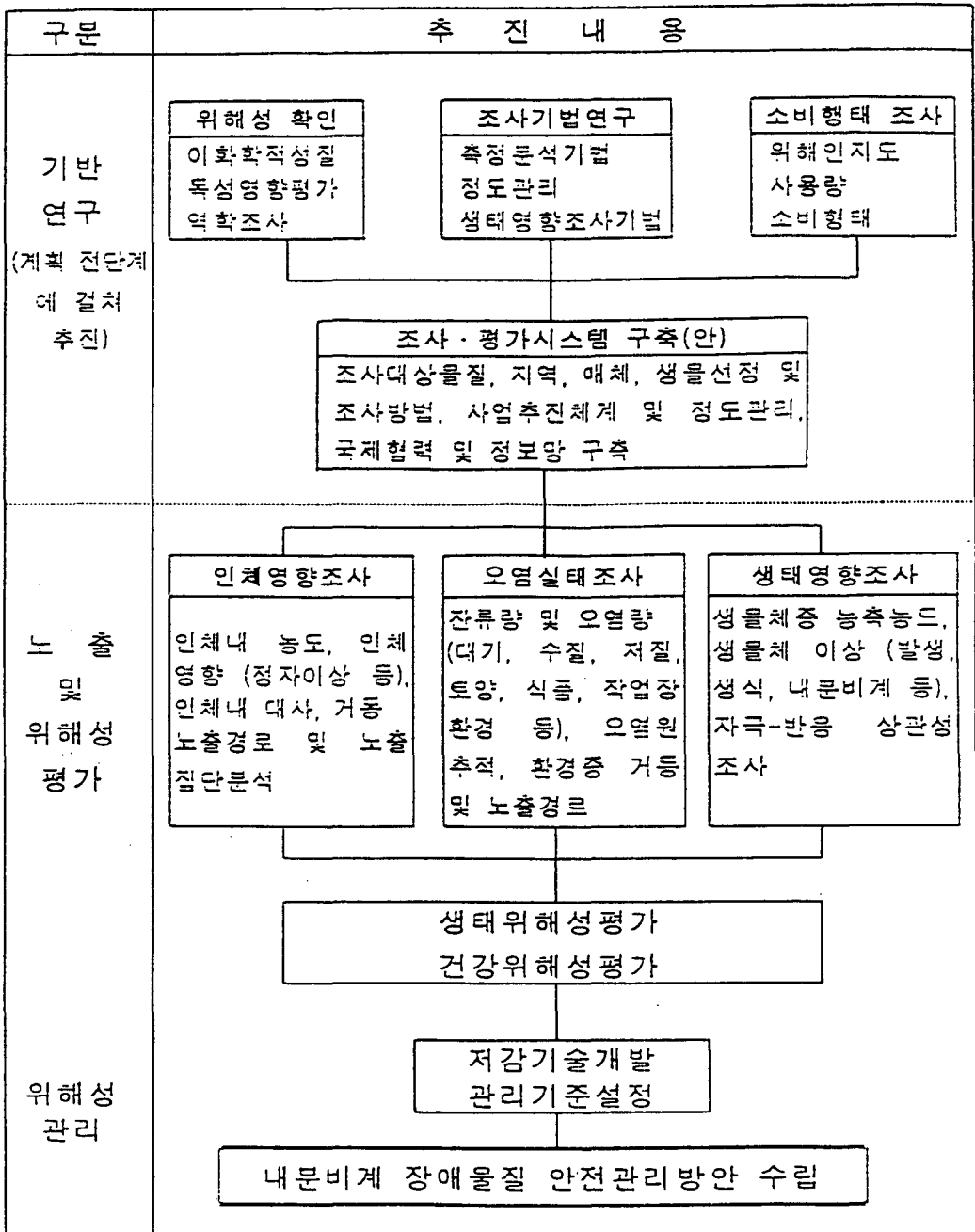


표 3-60. 부처별 연구업무 분담안(환경부)

구 분	환경부*	식약청	농진청	노동부	과기부*
오염실태조사	0	0	0		
환경증거등	0		0		
생태영향	0		0		
인체영향	0	0		0	
검색기법개발	0	0			0
생식발생독성	0	0			0
면역신경독성	0	0			0
발암성	0	0	0		0
독성기전	0	0			0
공정개선	0				0
대체물질	0				0
오염원관리	0				0
작업장관리				0	
소비행태	0	0			
구조활성	0				
국제협력	0	0		0	

4) 위해성 분야별 연구내용

(1) 노출평가 시험방법 (경로추적 및 분석)

1962년 Rachel Carson이 지은 「침묵의 봄(Silent Spring)」에서 농약과 합성화학물질이 생태계에 문제를 야기시켜 환경오염 문제가 issue화 되었고, 최근에 들어서는, 1996년 Theo Colborn이 지은 「도둑맞은 미래 (Our Stolen Future)」에서 일부 농약과 합성화학물질이 생태계와 인간의 내분비계에 작용하여 우리 자신들은 물론 후손들의 운명에 중대한 영향을 미칠수 있다는 가능성을 지적하여 사회적으로 문제화되면서 세계 각국이 이에 대한 대책 마련에 심혈을 기울이고 있다. 이와같이 농약과 같은 합성화학 물질이 생체내의 내분비계 기능을 변화시켜 정상적인 개체나 그 후손들의 건강 장애를 유발하기 때문에 최근에는 내분비계 장애물질 (Endocrine disruptors)이라고 부르고 있다.

즉 생태계에서 야생동물의 건강 장애를 발견하고 원인을 추적하여 본 결과, 합성 화학물질에의해 자연환경이 오염되었고 공통된 건강 장애로서 내분비계 이상이 알려지게 된 것이다. 내분비계 장애물질의 공통적인 건강 장애로는 야생동물에서 비정상적인 생식 영향 (Reproductive abnormalities), 여성에서의 유방암 증가추세 및 남성에서의 정자수 감소등이 나타나며, 이러한 현상은 내분비계 (Endocrine system)를 교란시키는 농약류나 합성화학물질에 기인된다고 추정하고 있다. 현재 내분비계 장애물질로는 세계 야생생물 보호기금 (WWF)에서 67종 (Persistent organohalogenes, Pesticides, Phenols, Phthalates, Heavy metals, Others), 미국 Illinois EPA에서 73종 (Known, Probable, Suspect로 구분), 일본후생성에서 142종 (Plasticizer, Plastic related substances, Industry and environmental pollutants, Pesticides, Heavy metals, Synthetic estrogens, Food additives, Phytoestrogens)으로 분류하고 있다. 이외에도 내분비계 장애를 일으킬 수 있는 화학물질이 많기 때문에 미국 EPA에서 구성한 EDSTAC (the Endocrine disruptor Screening and Testing Advisory Committee)은 87,000종의 화학물질을 검색한 후 내분비계 장애를 일으키는 물질에 대한 검색 결과를 2000년 8월에 미국 의회에 보고할 예정이다.

이에따라 내분비계 장애물질은 앞으로도 계속 밝혀질 것이고 현재 세계야생생물 보호기금에서 발표한 67종은 고사하고 미국 Illinois EPA에서 내분비계 장애를 일으킨다고 확신하여 “알려진 (known)”으로 구분된 물질만해도 19종으로 농약에서 중

금속까지 다양하다. 이 중에서 모든 매체-환경, 동물, 식물, 인간등-에서의 초미량까지 분석방법이 잘 정립되어 있는 것은 Dioxins, Furans, PCBs등을 들 수 있으나, 대부분은 일부 특정 매체에서의 분석법만이 정립되어 있다. 일반적으로 환경매체인 물, 토양등에서의 분석법은 미국 환경청(EPA)에서 발표한 분석법이 잘 정립된 방법이고, 식품에서의 분석법은 AOAC(Official Method of Association of Analytical Chemist)방법등이 있고, 인체시료에서의 분석법은 CDC (the Centers for Disease Control and Prevention)의 방법등이 있으며, 유럽에서는 각 나라마다 공정법이 일부 있으나 일반적으로 OECD에서 정한 방법이 공식적인 분석법으로 되어 있다.

물질에 따라 여러 분석법들이 있으나, 일부 새로이 개발되고 있는 분석방법을 살펴보면, 액체크로마토그래피 (Liquid chromatography) 장치에 Receptor affinity detector를 연결하여 Diethylstilbestrol 이나 Coumestrol 등의 Estrogenic 화합물을 분석할 수 있고, 이를 좀더 응용하여 nonylphenol 등도 분석할 수 있다.

예로써 Alkylphenol류를 하수물에서 분석하기 위해 Liquid-Liquid 추출후 GC/MS(Gas Chromatography/Mass Spectrometer)로 검색과 동시에 분석할 수 있는데, 약 25개의 alkylphenol 이성질체중 15개 정도는 쉽게 분석할 수 있으나 방해 물질에 주의하여야 한다. 특히 문제가 되고 있는 Nonylphenol은 폐수처리과정에서 계면활성제 (Surfactants)가 분해되어 발생하는 ethoxylate oligomers나 carboxylic acid 유도체의 oligomers등이 있기 때문에 주의를 요하고 있다. 이러한 GC/MS를 이용하여 Polycarbonate계 플라스틱에서 나오는 Bisphenol A, Estrone이나 Testosterone 같은 Steroids등도 하수물 (Sewage effluents)에서 분석할 수 있다. 그러나 문제점은 Steroids의 경우 하수물에는 10 ppt (parts per trillion)이하의 농도로 존재하기 때문에, 측정한계가 0.05-0.5 ppb (parts per billion)인 GC/MS로는 약간 문제가 있다. 그래서 HRMS (High Resolution Mass Spectrometry)를 이용하여 MID (Multi Ion Detection) 또는 SIM (Selected Ion Monitoring) 기술을 이용하면 감도면에서는 10-100 배 정도 높일 수 있는 좋은 분석방법이지만, 분석비용이 비싼 단점이 있다.

이러한 화학적 분석법외에 Bioassay로서, Antibody를 이용한 ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) 같은 Immunoassay나 Western blot 등이 있다. 이러한 Bioassay는 아주 감도가 좋고 빠르게 결과를 알수 있어서 좋은 방법이나, 문제는 양성반응을 일으킨 화학물질의 종류를 알수가 없어서 앞에서 설명한 Chemical

method에 의한 확인 작업이 필요한 단점이 있다.

내분비계 장애물질의 분석방법의 방향은 이런 물질이 실험실에서도 분석이 되겠지만, 주로 환경상태에 노출되어 있으므로 현장 (On-site)에서 분석할 수 있는 장비나 분석방법의 개발이 필요하며, 신속하면서, 감도가 좋고 분석가격이 싼 방법의 개발이 요구되고 있다.

가. 분석법 현황

(가) 농약류 (Agrochemicals)

농약류는 사회문제화 된 대표적인 내분비계 장애물질로써, 사람이 섭취하는 식품 및 농산물에 오염되어 식품, 물, 대기, 토양등의 환경에 잔류하여 동식물과 인간에게 많은 문제를 야기하고 있다.

농약은 분류에 따라, 일반적으로 살충제(Insecticides), 살균제(Fungicides), 제초제(Herbicides)로 나눌수 있다. 이들을 다시 사용목적, 특성, 기전, 성분등으로 분류할 수 있는데, 분석과 관련하여 주성분의 화학구조에 따른 분류를 살펴보면; 살충제는 pyrethroid계, 유기염소계, 유기인계의 향생물질계, 유황계 및 기타가 있다. 살균제는 금속살균계, 유황계, 유기비소계, 유기인계, 페놀 유도체등이 있다. 제초제는 phenoxy acid류나 triazine류등으로 분류할 수 있다.

많은 농약중 내분비계를 교란시키는 물질로 발표된 WWF와 일본후생성 List에 분류된 농약을 보면, 유기염소계 농약 23종, 유기질소계 20종 (di-, tri-, tetra-azine계 8종 포함), 유기인계 5종, carbamate계 13종 (thiocarbamate계 5종 포함), pyrethroids계 5종, 산성농약 2종 및 기타 9종으로 대략 75종으로 이루어져 있다. WWF list 67종중 43종이 농약이고, 일본후생성 목록 143종중 76종이 농약인데, 이 농약에는 synthetic pyrethroids, pyrimidine carbinol family, organotins 및 DDT metabolites들이 포함되어 있으며, toxaphene 또한 100개 이상의 isomer로 이루어져 있어서 이들을 공통적으로 모두 분석하기가 쉽지 않다. 이러한 예로서 미국 EPA의 음용수중의 농약 및 반휘발성 유기물질의 추출법 및 기기 분석법 (EPA Method 500 Series)을 표 3-61에 폐수 중의 농약 및 반휘발성 유기물질의 추출법 및 기기 분석법 (EPA Method 600 Series)을 표 3-62에 첨부하였다.

표 3-61. 음용수중의 농약 및 반휘발성 유기물질의 추출법 및 기기 분석법
(EPA Method 500 Series)

- 505 Analysis Of Organohalide Pesticides And Commerical Polychlorinated Biphenyl (PCB) Products in Water By Microextraction And Gas Chromatography
- 506 Determination Of Phthalate And Adipate Esters In Drinking Water By Liquid-Liquid Extraction Or Liquid-Solid Extraction And Gas Chromatography With Photoionization Detection
- 507 Determination Of Nitrogen-And Phosphorus-Containing Pesticides In Water by Gas Chromatography With A Nitrogen-Phosphours Detector
- 508 Determination Of Chlorinated Pesticides In Water By Gas Chromatography With An Electron Capture Detector
- 508.1 Determination Of Chlorinated Pesticides, Herbicides, And Organohalides In Water Using Liquid-Solid Extraction And Electron Capture Gas Chromatography
- 509 Determination Of Ethylene Thiourea (ETU) In Water Using Gas Chromatography With a Nitrogen-Phosphorous Detector
- 513 Determination Of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin In Drinking Water By Gas Chromatography With High Resolution Mass Spectrometry
- 515.1 Determination Of Chlorinated Acids In Water By Gas Chromatography With An Electron Capture Detector
- 515.2 Determination Of Chlorinated Acids In Water Using Liquid-Solid Extraction And Gas Chromatography With An Electron Capture Detector
- 525 Determination Of Organic Compounds In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And Capillary Column Gas Chromatography/ Mass Spectrometry
- 525.1 Determination Of Organic Compounds In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And Capillary Column Gas Chromatography/ Mass Spectrometry

표 3-61. (계속)

- 525.2 Determination Of Organic Compounds In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry
- 531.1 Measurement Of N-Methylcarbamoyloximes And N-Methylcarbamates In Water By Direct Aqueous Injection HPLC With Post Column Derivatization
- 547 Determination Of Glyphosate In Drinking Water By Direct-Aqueous-Injection HPLC, Post-Column Derivatization, And Fluorescence Detection
- 548 Determination Of Endothall In Drinking Water By Aqueous Derivatization, Liquid-Solid Extraction, And Gas Chromatography With Electron-Capture Detection
- 548.1 Determination Of Endothall In Drinking Water By Ion Exchange Extraction, Acidic Methanol, Methylation Gas Chromatography/Mass Spectrometry
- 549 Determination Of Diquat And Paraquat In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And HPLC With Ultraviolet Detection.
- 549.1 Determination Of Diquat And Paraquat In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And HPLC With Ultraviolet Detection.
- 550 Determination Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Drinking Water By Liquid-Liquid Extraction And HPLC With Coupled Ultraviolet And Fluorescence Detection
- 550.1 Determination Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Drinking Water By Liquid-Solid Extraction And HPLC Coupled Ultraviolet And Fluorescence Detection

표 3-62. 폐수 중의 농약 및 반휘발성 유기물질의 추출법 및 기기 분석법
(EPA Method 600 Series)

- 608 Organochlorine Pesticides And PCB's
- 608.1 The Determination Of Organochlorine Pesticides In Industrial And Municipal Water
- 608.2 Analysis Of Certain Organochlorine Pesticides In Wastewater By Gas Chromatography
- 614 The Determination Of Organophosphorous Pesticides In Industrial And Municipal Waters
- 614.1 Analysis Of Organophosphorous Pesticides In Wastewater By Gas Chromatography
- 615 The Determination Of Chlorinated Herbicides In Industrial And Municipal Wastewater
- 617 The Determination Of Organohalide Pesticides And PCB's In Industrial And Municipal Wastewater
- 619 The Determination Of Triazine Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 622 The Determination Of Organophosphorous Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 622.1 Thiophosphate Pesticides
- 627 The Determination Of Dinitroaniline Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 630 The Determination Of Dithiocarbamate Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 630.1 The Determination Of Dithiocarbamate Pesticides In Wastewater As Carbon Disulfide By Gas Chromatography
- 631 The Determination Of Benomyl And Carbendazim In Industrial And Municipal Wastewater
- 632 The Determination Of Carbamate And Urea Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 632.1 Analysis Of Carbamate And Amide Pesticides In Wastewater By Liquid Chromatography

표 3-62. (계속)

- 633 The Determination Of Organonitrogen Pesticides In Industrial And Municipal Wastewater
- 633.1 Neutral Nitrogen-Containing Pesticides
- 634 Determination Of Thiocarbamate Pesticides In Industrial And Municipal Wastewaters By Gas Chromatography
- 639 Determination Of Bendiocarb In Municipal And Industrial Wastewaters By Liquid Chromatography
- 643 Analysis Of Bentazon In Wastewater By Liquid Chromatography
- 644 Analysis Of Picloram In Wastewater By Liquid Chromatography
- 645 Analysis Of Certain Amine Pesticides And Lethane In Wastewater By Gas Chromatography
- 646 Analysis Of Dinitro Aromatic Pesticides In Wasterwater By Gas Chromatography
- 1625 Semivolatile Organic Compounds By Isotope Dilution GC/MS

(i) 농약 분석 방법

농약의 정성 및 정량분석에 사용되는 분석기기는 기체크로마토그래피(GC; Gas chromatography)와 고속 액체 크로마토그래피 (HPLC; High Performance Liquid Chromatography)가 주로 사용되며 검출기로는 GC에는 ECD(Electron Capture Detector), FID(Flame Ionization Detector), NPD (Nitrogen Phosphorous Detector), 및 MSD (Mass Selective Detector)등이 사용되며, HPLC는 UV (UV Detector), DAD (Diode Array Detector), FLD (Fluorescence Detector)등이 사용되고 있다. 중금속이 들어 있는 농약은 AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)나 ICP/AES(Inductively Coupled Plasma/Atomic Emission Spectrophotometer)등이 사용되고 있다.

Atrazine등의 Triazine계 농약 8종을 포함한 20종의 유기질소계 농약과 Malathion등 5종의 유기인계 농약은 GC/NPD를 이용하여 질소(N)와 인(P)을 감도가 높으면서도 선택적으로 분석할 수 있으며, 또한 GC/FID나 GC/MS에 의한 분석도 가능하다. 유기질소계 농약들도 HPLC/DAD에 의해 분석이 가능하다.

Aldicarb 등 8종의 carbamate계 농약은 열에 불안정하여 GC로 직접 분석하기 어려운 점이 있으나, 유도체화 과정을 거친 후 HPLC/FLD (Fluorescence Detector)를 사용하면 극미량까지 선택적으로 carbamate계 농약을 분석할 수 있으며, 경우에 따라서는 GC/MS로도 분석이 가능하다. Thiocarbamate계 농약들은 주로 중금속을 함유하고 있어 각각의 중금속들을 ICP/AES (Inductively Coupled Plasma/Atomic Emission Spectrometer)를 사용하여 선택적으로 분석할 수 있으며, Maneb과 mancozeb은 망간(Mn)을 포함하고 있고, zineb과 ziram은 아연 (Zn)을 함유하고 있어 이들 중금속을 측정하여 각 농약들을 정량분석할 수 있다.

2,4-D와 2,4,5-T 등 2종의 산성 농약은 HPLC/DAD로 직접 분석이 가능하나 이들 농약의 UV 흡광도를 고려할 때 환경중의 극미량의 농도를 검출하기는 어려우므로 methyl 유도체화 한 후 GC/ECD 혹은 GC/MS로 분석하면 극미량까지 분석할 수 있다.

Esfenvalerate 등 5종의 pyrethroids계 농약은 GC 혹은 LC에 의한 분석이 모두 가능하지만 GC/MS에 의한 분석방법이 가장 효과적일 것으로 기대된다.

1,2-Dibromo-3-chloropropane, ethylene dibromide (EDB), fluzifop-butyl 및 loxynil 등은 GC/ECD에 의한 분석방법이 가장 좋은 감도를 나타내고, pyrimidine carbonyl family는 GC/NPD에 의한 분석이 가장 감도가 좋다.

분석대상 농약들은 각각의 구조에 따라 GC/ECD, GC/NPD 등 선택성 있는 검출기를 사용할 때 가장 정확한 감도를 나타낸다. 특히 carbamate와 thiocarbamate는 각각 HPLC/FLD와 ICP/AES에 의한 분석으로 가장 좋은 분석결과를 얻을 수 있다. 그러나 이외의 다른 농약 분석에 있어 선택성이 큰 GC 검출기 사용은 여러 형태의 농약을 동시에 분석하는데 어려움이 있다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 GC/ECD와 GC/NPD를 병렬로 연결하여 동시에 사용하는 방법등이 있으며, GC/MS를 사용하면 대상물질에 대한 정성 및 정량분석을 동시에 할 수 있는 장점이 있다.

(ii) 전처리방법

추출방법은 분석대상 농약의 물리화학적 성질과 추출대상 시료 (matrix)에 따라 여러 가지 방법이 존재하므로 상황에 따라 가장 적합한 추출법과 그에 따른 적합한 정도관리 (Quality Control)를 수행하여야 한다.

① 수질시료 :

수질 시료중의 농약 추출법은 각 농약의 성질에 따라 적합한 방법을 선택하여야 한다. 대표적인 방법으로는 액체-액체 추출법 (LLE, Liquid-liquid Extraction Method)과 고체상 추출법 (SPE, Solid-Phase Extraction Method)이 있다.

액체-액체 추출법은 농약의 성질에 따라 pH를 조절해 주면서 추출할수 있으며, 다양한 추출 용매를 사용하여 추출 대상 농약에 가장 적합한 추출법을 선택할수 있다. 반면에 물과 섞이는 용매는 추출법에 사용할수 없고, 추출 용매의 사용량이 많이 소모되는 단점이 있다. 고체상 추출법은 비교적 비싼 cartridge를 사용하는 단점이 있으나 추출 용매의 선택 폭이 넓고 용매의 소비량이 적으며 추출 조작과 시간을 단축할 수 있는 장점등이 있어 최근에 많이 사용되는 추출법이다.

② 토양시료 :

토양 시료와 같은 고체로부터 농약을 추출하기 위하여 사용되는 가장 간단한 방법은 토양의 수분을 무수황산나트륨 (anhydrous sodium sulfate)등으로 수분을 제거한 후 적당한 용매로 shaking하면서 추출하는 방법이다. 그러나 추출이 안되는 경우 속실텐 (Soxhlet) 추출장치를 이용하는 방법이 많이 사용되어 왔으나 추출 시간이 너무 길고 추출 용매도 많이 소모되는 단점이 있다. 최근에는 초음파를 이용하여 고체에 흡착되어 있는 농약을 추출하는 초음파 추출법 (Sonication Extraction Method)이 많이 사용되고 있다. 초음파 추출법은 추출시간이 매우 짧고 추출 용매의 사용량도 적기 때문에 최근에 각광 받고 있는 추출법 중의 하나이다. 이 밖에도 토양을 물에 교반 시킨 후 물에 용출된 농약을 다시 유기 용매로 추출하는 방법도 많이 사용되고 있으며, 최근에는 자동용매 추출장치 (ASE; Accelerated Solvent Extraction)가 개발되어 사용되고 있다.

③ 식품시료 :

식품 중에 잔류하는 농약류를 정량분석하기 위해서는 시료 채취 (Sampling), 추출 (Extraction), 정제(Cleanup) 및 확인 (Determination)의 4단계를 거쳐야 한다.

시료채취는 농산물 혹은 동물 시료를 부분별로 분리한 후 균일하게 혼합하는 단계로서 이때 주의할 점은 휘발성 성분이 휘발되지 않게 해야하며, 분석시료의 대표성을 가질 수 있는 부분을 선택해야 한다. 추출과정은 유기 용매를 사용하여 시료

중 분석 대상 농약을 포함하고 있는 경우 acetonitrile이나 acetone을 추출용매로 하여 LLE 방법을 주로 사용한다. 그러나 육류시료를 실험할 경우에는 속실텯 추출장치를 주로 사용하여 실험한다. 또 최근에는 불활성 기체의 임계점 (critical point) 보다 높은 온도와 압력 상태에서 추출하는 초임계 추출장치 (SFE, Supercritical Fluid Extraction)를 사용하는 방법이 개발되어 식품 시료의 분석에 많이 사용되고 있다. 정제 과정은 농약과 방해물질 사이의 용매 또는 정제용 고체상에 대한 분배 (partition) 상수의 차이를 이용하거나, 분자의 크기 차이를 이용한 GPC (gel permeation chromatography)를 이용하여 정제하는 방법이 많이 사용되어 왔으나 이런 방법들은 많은 시간과 용매를 필요로 하고 시료의 손실이 많으며 분석 대상 물질의 물리 화학적 성질에 따라 회수율의 차이가 크기 때문에 이와같은 단점을 개선하기 위하여 여러 가지 다른 정제 방법이 개발되고 있다. SFE method는 추출, 정제 및 농축 과정을 동시에 수행할 수 있어 비교적 경제적이고 분석시간과 용매 사용량을 절감 할 수 있어 많이 사용되고 있다.

(나) 플라스틱 관련 물질

플라스틱 관련 내분비계 장애물질은 현대사회에서 사용되는 많은 플라스틱 용기, 합성세제, 윤활유등 우리의 생활과 밀접한 관계를 가지고 있어 사회적으로 많은 문제가 야기되고 있다.

이 범주에는 수지 (resin)을 만드는 과정에서 플라스틱 제품을 부드럽게 하거나 일정 형태로 만들기 위해서 사용되는 가소제(Plasticizers), 계면활성제(Surfactants)와 합성수지(Synthetic resins) 관련 물질로 분류할 수 있다.

가소제로는 Phthalates들이 사용되고 있는데, 1930년 이후 생산되고 있는 총 프탈레이트의 약 1/4이 Diethylhexylphthalate(DEHP)이며 내분비계 장애물질로 분류된 프탈레이트는 WWF는 8종, 일본후생성 분류는 9종으로 되어있고, 모든 플라스틱 제품, 포장용기, 비닐장판, 에멀전 페인트외에도 유아분유, 치즈, 마아가린등에서도 검출되고 있다. 이러한 가소제는 기체크로마토그래피(GC)나 고속액체 크로마토그래피(HPLC) 방법에 의하여 분석되고 있으며 GC는 검출기를 PID (Photo Ionization Detector)나 MS(Mass Spectrometer)를 사용하고 있다. 공정방법으로 미국 EPA Method 506은 GC/PID, EPA Method 525.2는 GC/MS 그리고 EPA Method 8061A는 GC/ECD를 이용하여 가소제를 분석할 수 있다.

계면활성제나 합성수지관련 내분비계 장애물질은 Alkylphenols, Alkylphenol ethoxylates, Bisphenol-A, Styrene dimer와 trimer등이 있고, 이들은 주로 합성세제, 샴푸, 살충제나 제초제의 surfactants, polycarbonate나 polystyrene의 분해산물로써 가정에서 유출되는 폐수나 합성수지로 만든 용기등에서 검출되고 있으며 하천수를 통하여 자연환경에 노출되어 먹이사슬의 영향으로 물고기나 새 또는 식품에서 검출되고 있다. 분석방법으로는 HPLC/UV, HPLC /Fluorescence, GC/MS등의 방법이 있다.

(다) 잔류성 유기할로젠 물질

잔류성 유기할로젠 물질은 WWF와 일본후생성 분류에서 약간 차이가 있으나, 다이옥신과 퓨란, PCBs, PBBs, Octachlorostyrene, Hexachlorobenzene, Pentachlorophenol 등이 공통적으로 분류되고 있다. 이들 물질의 공통적인 물성을 살펴보면, 이들 화학물질이 화학적으로 안정하고 친유성(lipophilic)이어서 자연상태에서 잘 분해되지 않고 순환하면서 먹이사슬에 의해 사람에게까지 노출될 가능성이 큰 화학물질이다. 다이옥신과 퓨란은 1960년대 월남전의 고엽제 사건이후 도시폐기물 소각 등으로 문제가 오래전부터 제기되었던 물질이고, PCBs도 이미 전압기의 절연체로써 사용이 금지된 물질이며, Pentachlorophenol의 경우도 철도 침목이나 군의 탄약상자의 보존제로써 많은 문제가 제기되었던 물질이다.

이들 물질의 분석법은 주로 기체 크로마토그래피 (GC)에 의한 방법이 대부분이며, 고속 액체 크로마토그래피(HPLC)에 의한 방법도 있으나, 자연계에 존재하는 농도가 낮아 주로 GC/ECD나 GC/MS에 의하여 분석하고 있다. 아마도 내분비계 장애물질중 다이옥신과 퓨란의 분석법이 가장 잘 확립되어 있어 자연환경의 모든 매체나 식품, 인체시료에서의 분석방법이 잘 정리되어 있다.

다이옥신과 퓨란의 분석법은 미국 EPA Method 8290, Method 1613, Method 23A등 여러 가지가 있는데 모두 HRGC/HRMS를 이용하여 분석하는 방법이다. 이외에도 GC/MS나 HPLC를 이용하여 분석하는 방법도 있다.

PCBs(Polychlorinated Biphenyls)의 분석법도 잘 정립되어 있는데, PCBs도 다이옥신과 마찬가지로 한물질이 아니고 총 210가지의 이성질체가 있어서 분석법에 따라 분석되는 PCBs 이성질체가 다르다.

미국 EPA Method 608은 GC/ECD를 이용하여 25가지 PCBs 이성질체를 분석하

고 있으며, EPA Method 680은 GC/MS를 이용하여 분석하고 있다.

(라) 중금속

내분비계 장애를 일으키는 중금속으로는 카드뮴, 납, 수은이 있으며 앞의 농약류의 분석방법과 동일하여 주로 AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)나 ICP/AES(Inductively Coupled Plasma/Atomic Emission Spectrophotometer)를 이용하여 분석하고 있다.

(마) 합성 에스트로젠과 식물성 에스트로젠

합성에스트로젠이나 식물성 에스트로젠 (Phytoestrogens)는 인체에 유용하다는 설과 해롭다는 이론이 모두 있는 물질로써, WWF List에는 없고 일본 후생성 목록에만 있는 내분비계 장애물질로써 에스트로제닉 수용체에 반응은 하나 환경잔류성 및 자연계에 축적성이 없는 물질이므로 분석 매체는 주로 식품이나 생체조직에서 분석이 대부분이다.

이들 물질들은 비교적 Polar한 물질이어서 HPLC 방법을 많이 사용하고 있으나, 높은 감도를 요구할 경우에서 GC/MS나 GC/MS-NCI (Negative Chemical Ionization) 방법을 이용하여 생체시료나 식품중에서 분석하고 있다. 여러종류의 다양한 물질이 이 범주에 속해 있어, 인체에서의 내분비계 장애물질의 분석자료 및 분석법은 미국 CDC의 문헌을 살펴보면 좋은 참고가 되리라 생각되며, 그외 미국 EPA 보고서 외에도 국제적인 협력체인 OECD(The Organization for Economic Cooperation and Development) 지침서나 WHO (The World Health Organization) 산하 IPCS (The International Programme on Chemical Safety) 보고서, UNEP (the United Nations Environment Program) 보고서등을 참조하면 되리라 사료된다.

(2) EDC 물질의 위해성 평가방법 조사

가. 환경 및 생태독성

(가) 배경 및 필요성

Carson이 “침묵의 봄”에서 화학물질이 생태계와 인류에 미치는 영향을 기술한

이후, 농약, 산업화학물질이 야생동물은 물론 인류의 멸종을 야기할 것이란 경고가 Colborn 등에 의해 계속 제시되고 있다. 인간이 만들어내는 화학물질은 대략 10만 종으로서 다이옥신이나 PCB같이 인체에 직접 해를 끼치는 환경독성물질도 있지만 실상 더욱 더 중요한 문제는 그간 비교적 안전하다고 여겨져 온 농약·세제·플라스틱의 원료들이 체내에 들어오면 호르몬과 유사한 작용을 한다는 사실이 밝혀진 점이다.

내분비계 장애물질의 정의는 생체내 호르몬의 생산, 분비, 이동, 대사, 결합작용 및 배설을 간섭하는 외인성 물질을 말하며 OECD는 내분비 기능에 변화를 일으켜 생체 또는 차세대의 건강에 위대한 영향을 나타내는 외인성 물질로 정의하고 있다. 이들은 주로 합성 화학물질로서, 수용체 결합과정에서 호르몬 모방작용(mimics), 차단작용(blocking), 촉발작용(trigger), 간접영향작용에 따라 대별되며, 특성은 쉽게 분해되지 않고, 안정하여, 환경에 지속적으로 존재하고, 또한 인체 등 생물체의 지방 및 조직에 농축되는 성질이 있다는 것이다. 추정물질의 분류는 세계야생생물보호기금(WWF)은 총 67종, 일본은 140 여종 등 여러 가지이나, 미국 Illinois EPA 분류는 ① 알려진 물질(Known)로서 DDT 등 19종 ② 가능성이 있는 물질(Probable)로서 카드뮴등 29종 ③ 의심되는 물질(Suspect)로서 BHA 등 26종, 총 74종으로 구분하고 있다.

이와 관련하여, 이미 1970년대부터 Diethylstilbesterol (DES)과 그 유사물질들이 에스트로젠 수용체를 경유하여 인간의 내분비계를 교란시켜, 생식기계 장애를 유발하고 생식이상, 기형유발 등 태아의 발생에 미치는 영향의 연구가 진행되어 왔다. 그동안 동물에 고농도로 노출한 실험결과를 이용하여 저농도 노출에 의한 건강피해를 예측할 수 있는가에 대한 논란이 제기되어 왔지만, 오염지역에서 이들 endocrine disruptors (EDs)에 노출된 야생생물의 생식장아가 꾸준히 발표되어 화학물질의 발암성 규제에 치중하던 미국 EPA마저 생식과 발생이상 장애에 관심을 갖기에 이르렀고, 1994년 미국 EPA 건강피해 연구팀은 내분비계 장애물질 문제가 지구온난화, 오존층 파괴와 함께 인류가 당면한 3대 환경문제로 보아야 할 것이라고 주장하고 있다.

이에 따라 세계각국은 그 대책 수립에 나서 정부연구 기관, 산업계, 학계, 소비자 단체, 환경보호단체들과 공동으로 대책마련에 부심하고 있으며, 선진국에서는 내분비계 장애물질에 대한 검색방법과 시험방법의 연구 및 연구방향 설정 등에 관해

자문기구등을 통해 빠른 시간내에 확정하도록 지시하면서 많은 예산과 연구비를 투입하고 있다.

환경 중 생태계에 미치는 영향으로서는 어류, 파충류, 조류, 포유류 등 야생동물에서 내분비계 장애물질에 의한 증상이 관찰되었다는 연구보고는 많으나 내분비 장애물질의 실제 노출량과 그 영향과의 상관성을 밝힌 보고는 극히 드문 실정이어서 대책 마련이 요구된다. 지금까지 알려진 환경 생태계의 야생동물에 미치는 내분비계 장애물질의 영향을 보면, 선박의 방오제인 트리부틸주석에 의해, 소라, 고등에서 암컷에 수컷 성기가 있고 불임이 되는 임포섹스 현상이 발견되었고, 미국 오대호의 연어, 송어등이 오염되고, 일본에서 알킬페놀에 의해 잉어의 수컷이 감소하여 성비이상(성비이상)이 일어났다. 80년대 말 영국의 일부 하천에서는 세제성분이 원인이 된 암수동체의 잉어가 대량 발견되었으며, 양식장에 알킬페놀을 투여한 결과 수컷의 정소발달 저해가 일어났고, 암컷의 간에서만 만들어지는 난황단백질(vitellogenin)이 수컷에서도 생성되는 것을 발견하였다.

파충류 및 양서류의 경우, 1980년 플로리다주의 아포프카 호수에서 디코폴 및 DDT 등에 의해 수컷악어의 생식기가 퇴화되어 개체수가 급격히 급감했으며, 거북이의 경우 PCBs 노출에 의해 알의 부화수가 감소되었고, 개구리에서도 발생중 다이옥신류, 중금속, 디벤조퓨란류에 노출되면, 부화율 감소 및 기형발생 등이 증가한다는 증거들이 계속 보고되고있다.

한편 조류에서는 DDT에 의해 난각의 석회화가 일어나지 않아 알이 부화되지 못하는 생식장애가 일어나고, 물고기를 먹이로 하는 조류의 경우는 오염물질이 농축된 물고기를 먹으므로, 상대적 오염은 환경오염의 2,500만배 농축된다고 한다. 특히 짝짓기 횟수의 감소, 이성에 대한 무관심, 동성간의 교배행위, 새끼수의 감소 및 면역기능의 저하등의 생식장애가 일어나, 이들 환경오염 호르몬의 생태계 동식물 체내에서의 농축은 고등 동물의 감소나 전멸같은 생존의 문제를 안고 있다고 해도 과언이 아니다.

포유류에 대한 영향으로는 발트해 연안 바다표범의 갑상선 기능저하와 생식선 스테로이드 호르몬 합성장애의 원인으로 PCBs를 의심하고 있다. 또한 플로리다 지역의 수컷 표범에서 여성호르몬의 이상과다로 발육 및 생식기 이상이 관찰되었으며 이는 사료의 DDE나 PCBs 오염에 의한 것으로 밝혀졌다. 야생동물에서 성기 기형, 암수 성비의 불균형, 짝짓기 횟수의 감소, 동성간의 교배행위, 새끼수의 감소 등의

관찰은 물론, 동물시험 결과 수컷의 정자수 감소, 고환암, 요도하열, 잠복고환의 증가 등 생식기의 구조 및 기능에 영향을 미치는 것으로 보고되어, 포유류에서 개체수 감소, 수컷 생식기관의 이상, 면역계 이상은 곧 인간에도 영향을 줄 수 있다는 점에서 많은 관심을 기울이고 있다.

사람에 미치는 영향은 지금까지 치료 목적으로 개발한 DES와 Thalidomide같은 내분비계 장애물질의 영향이 보고되고 있다. DES는 처음에 임신부의 유산을 방지하기 위해 투여하기 시작하였고, 살찌는 약으로도 사용되었다. 임신기간동안 DES를 복용한 여성들의 아이들 중, 아들은 고환발육이 잘되지 않았고, 여성생식기관을 갖고 있거나, 잠복고환의 발생, 그리고 부고환 및 고환에 암이 발생하였고, 비정상적인 정자가 만들어져 남성불임의 원인이 되었으며, 딸의 경우에는 성숙하면서 서서히 생식기 계통에 이상을 보였다. 보통 50세 이후에 많이 걸리는 악성 질종양이 10대 후반에서 20대 초반의 어린나이에 나타나고, 자궁의 기형으로 임신하지 못하는 사례까지 발견되었다.

이와 같이 환경호르몬의 오염은 광범위하게 진행되고 있으며 이들은 먹이사슬을 통하여 그 축적량이 기하급수적으로 늘면서 궁극적으로 인체에는 엄청나게 많은 양으로, 섭취, 축적이 되어, 차세대까지도 영향을 미칠 수 있는 것이다. 더욱이 인간에게는 유해를 미치지 않을 정도의 미미한 양이 존재한다 하더라도 먹이사슬을 통해 축적량이 엄청나게 생태학적으로 배가(Magnification)될 수 있다는 점에 많은 주의를 기울여야만 한다.

우리 나라에서 유해 화학물질과 남성기능의 관련성이 인식되기 시작한 것은 베트남전쟁에 참전하였던 고엽제 피해자들중 일부가 불임이나 성기능장애를 토로하기 시작하면서부터이다. 물론 현재까지 다이옥신이나 농약 등 일반적인 화학물질과 한국 남성의 정자기능 약화의 관련 여부에 대한 정확한 통계자료나 연구는 아직까지 빈약한 상태이다.

앞으로 내분비계장애물질 문제는 국가가 사회적 뿐아니라 경제적인 측면에서도 해결해야할 당면한 과제로서 중요성이 새삼 강조되는 중요 연구분야가 될 것이다.

(나) 연구방법

우리나라에서 많이 생산, 수입, 소비되고 있는 내분비 장애물질의 한국내 환경오

염의 현황, 오염원 및 오염부하량을 파악하고, 환경에서 야생생물에 미치는 영향을 밝히기 위해, 국내에 서식하는 야생동물, 어패류, 양서류, 파충류, 조류, 포유류, 인체등을 대상으로 생식기능 이상, 생식호르몬의 분비, 생식행동, 갑상선 기능, 발생시기형발생이상, 그리고 생식기능 이상 즉, 생식능력, 암수동체, 성전환등 피해영향 실태가 장기간 체계적으로 연구, 조사되어야 한다. 연구 방법론으로서는

- (i) 비 포유류 척추동물의 호르몬은 포유류와 다르므로, 생식호르몬{성선자극호르몬[Gonadotropins; Prolactin] 과 성스테로이드호르몬[Estrogens; Androgens]}, 갑상선호르몬[Thyroid hormones]의 측정과 이들 호르몬의 일중 [Circadian rhythm], 년중[Circannual rhythm], 생식 주기[Reproductive cycles] 등 생물학적 주기내 호르몬의 변동과 발생시기[유년기, 사춘기 성체기 노년기 등], 임신시기, 이상에 따른 호르몬의 변동상황 파악연구: 생체내의 극미량, 즉 최대 ppt 수준과 최소 ppb의 천배 내지 백만배 낮은농도의 호르몬 변동량을 측정 할 수 있는 측정법으로서, 방사면역측정법이나 비방사면역측정법의 이용 및 측정법의 개발, 정립
- (ii) 난황단백질(vitellogenin)의 생성에 미치는 영향
 - Vitellogenin mRNA에 대한 RT-PCR
 - Vitellogenin의 FISH (fluorescent *in situ* hybridization) assay
- (iii) 내분비계 장애물질에 의한 출생비율 및 성비, 성전환 비율의 측정
- (iv) 성숙된 수컷의 정소 변화, 정자수 검사 및 정자활성 검사
- (v) Estrogens의 측정법 개발,정립
 - 17 β -Estradiol
 - Estrone
 - Estriol
 - Estrogen glucuronides
 - 17 β -estradiol/11-ketotestosterone ratio등
- (vi) 동물의 Gonadotropins의 측정법 개발, 정립
 - Luteinizing Hormones
 - Follicle Stimulating Hormones등
- (vii) Androgens의 측정법 개발, 정립
 - Testosterone

- Dihydrotestosterone
 - Androstenedione
 - 11-oxo-testosterone
 - 11 β -hydroxy testosterone
 - Androgen glucuronides 등
- (viii) Thyroid hormones의 측정법 개발, 정립
- T3 assay
 - T4 assay
 - Thyroid Stimulating Hormone 등
- (ix) Prolactin의 측정법 개발, 정립
- Prolactin bioassay
 - Prolactin NIA
- (x) Aromatase mRNA 측정
- (xi) in vitro cell culture를 이용한 동물의 GTH bioassays
- LH bioassay
 - Rat interstitial cell or Leydig cell proliferation and testosterone production assay
 - Porcine Luteal cell progesterone assay
 - FSH bioassay
 - Sertoli cell ABP production assay
 - Granulosa cell aromatase assay
- (xii) Estrogen Receptor (ER)의 competitive binding assay
- (xiii) MAP kinase, tyrosine kinase에 의한 ER의 ligand-independent activation
- (xiv) AP-1의 activation에 미치는 영향
- cyclin, CDK, CKI의 발현에 미치는 영향

나. 생식·발생독성

(가) 배경 및 필요성

내분비계 장애물질(Endocrine disruptors, EDs)이 생태계에 미치는 영향이 알려지고 내인성 호르몬과 유사한 작용을 가지고 있어 생식·발생에 장애를 일으킬 뿐 아니라, 최근 증가하는 야생동물들의 불임, 생식·수태의 변화와 암·수 성비의 불균형의 원인으로 밝혀지고 있고 20대 남성의 정자수가 감소하였다고 보고되면서 앞으로 인류의 미래를 위협할 가능성 때문에 그 심각성은 매우 크다고 할 수 있다.

최근 일본 데이쿄(帝京)대 의학부 연구팀은 20대 남성 34명의 정액을 조사한 결과 정자의 운동성과 농도에서 WHO의 기준을 충족시키는 사람은 단지 1명에 불과하였다는 충격적인 보고서를 내놓았고, 과거 50여년간 남자들의 정자수가 급격히 감소되고 있다는 보고 또한 있다. 이와 같이 EDs는 생식능력의 이상 이외에도 DDT, PCB, kepone 그리고 일부 농약들이 체내에서 estrogen과 아주 유사한 작용을 하여 유방암이나 고환암 등의 발현을 촉진시킨다는 보고도 있다. 또한 1998년 4월 일본의 오비히로 축산대학에서 발표한 바에 의하면 쓰레기 소각장에 가까울수록 인근 지역 사람의 모유 및 젖소의 우유에서 다이옥신이 통상 20배 이상으로 다량 검출된다는 충격적인 보고를 하고 있다.

또한 미국 오대호 연안의 갈매기에서 DDT와 이 분해산물인 DDE가 모체에 축적되어 오염된 모체가 낳은 알에 이전되고, 이것이 수컷의 정상적인 성적발달을 저해함으로써 수컷을 암컷화하였고, 암컷화된 수컷에서는 수관관 등의 암컷 생식기관이 나타나고 다양한 생식기 이상이 관찰되었다. 실험적으로도 DDT, DDE 에 노출시킨 알로부터 부화된 수컷은 생식기 계통의 이상뿐만 아니라, 정상적인 짝짓기 행동을 보이지 않으므로써, 이러한 물질이 뇌, 신경계통에도 영향을 주는 것으로 생각된다.

이들 환경호르몬들은 성체에는 영향을 미치지 않는 낮은 농도에서도 태아나, 어린 개체에는 치명적인 영향을 미칠뿐 아니라, 태아나 2세의 발생과 생식에 문제를 일으킬 수 있다. 이러한 발생의 민감한 시기에 성호르몬과 유사한 작용을 하는 환경호르몬들은 성체에는 아무런 해도 끼치지 않는 저농도에서도 태아나 어린개체의 운명을 영원히 결정지을 수 있으므로, 반드시 실험동물에 저농도에 만성적으로 노출되었을 때 내분비계와 생식기에 미치는 독성시험이 필요하게 되었다.

생식·발생독성시험이란 포유류의 생식·발생에 미치는 영향을 규명하는 시험으로, 수태능 및 초기배 발생시험, 출생 전·후 발생 및 모체기능시험, 배·태자 발생 시험 등이 있다. 수태능 및 초기배 발생시험에서 암·수 동물에 대하여 교배전부터 교미, 착상까지 시험물질을 투여할 때 나타나는 독성 및 장애를 검사하고, 출생 전·후 발생 및 모체기능시험에서는 암컷에 착상부터 이유기까지 시험물질을 노출시켜 임신·수유기의 암컷, 수태산물 및 출생자의 발달에 미치는 영향을 검사하며, 배·태자 발생시험에서는 착상부터 경구개가 닫히는 시기까지 암컷에 시험물질을 노출시킬 때 임신동물 및 배·태자의 발생에 미치는 영향을 평가하는 안전성시험분야의 하나이다.

European Workshop on the Impact of Endocrine disruptor on Human Health and Wildlife (1996)에서 권고한 estrogenic 또는 antiestrogenic chemical에 노출시 변화될 수 있는 endpoint로서는 성의 발달, 성비, 생식선의 발달, 부속생식기관의 발달, 부속생식기관의 기능, 이차성징의 발현, 수태능, 생식력, 교배기간, 교배행동, 배란, 생식주기, 임신기간, 유산, 조산, 난산, 정자형성, 정자의 수 및 생산능력, LH 및 FSH levels, androgen 및 estrogen levels, 생식조직의 육안적 병리, 생식조직의 병리조직, 생식계의 이상, 착상전후의 소실, 신생자 사망등으로서 이들은 생식·발생독성시험시의 endpoint와 많은 부분이 중복되어 있어 endocrine disruptor 및 environmental xenoestrogen에 의한 영향을 검색, 연구하는데 있어서 생식·발생독성시험연구가 가장 중요한 연관성이 많은 분야로 사료된다. 또한 미국 환경보호청과 OECD에서 발표한 내분비계 장애물질 시험법에서도 생식·발생독성시험법을 이용하여 실험동물의 내분비계 및 생식능에 미치는 영향을 평가하도록 하고 있다. 따라서 내분비계 장애 추정물질들이 실험동물의 생식·발생과정에 미치는 영향과 그 작용기전의 규명은 내분비계 장애물질의 유해성을 규명하는데 매우 의미가 있다고 사료된다.

(나) 연구방법

실험동물 (설치류, 생쥐, 흰쥐등)을 모델로, 또는 적절한 야생 생체모델을 이용하여 저농도에서의 내분비계 장애물질이 초기발생과정 및 발생과정 변이성과 후세대의 수태능력 및 생식과정의 독성 여부를 규명한다.

(i) 생식발생독성의 검색

- 이세대 생식독성시험
- 대체 생식독성시험
- 일세대 생식독성시험

(ii) 수정, 초기배 발생 및 기관형성에 미치는 영향

- 수정능에 미치는 영향
- 배발생 및 착상에 미치는 영향
- 태반형성에 미치는 영향
- 기관형성에 미치는 영향

(iii) 수태능, 임신, 분만 및 포육에 미치는 영향

- 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향
- 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향
- 정자수, 운동성, 형태등
- 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향
- 임신기간, 조산, 유산, 난산에 미치는 영향
- 교미행동 및 포육행동에 미치는 영향

(iv) 후세대에 미치는 영향

- 체중, 성비, 성성숙에 미치는 영향
- 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향
- 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향
- 정자수, 운동성, 형태등에 미치는 영향
- 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향
- 생식관련 행동에 미치는 영향

다. 발암성(변이원성)

(가) 배경 및 필요성

내분비계 장애물질의 작용기전을 고려해볼 때 극미량, 장기간 노출에 따른 발암성의 위험성과 암발생에 필연적으로 수반되는 돌연변이 유발 및 Hormonal carcinogenesis의 가능성이 상존하기 때문에 생식, 발생 독성과 함께 인간에 가장 커다란 위협이 되고 있는 발암성연구는 필수적이다. 그러나 동물을 이용한 발암성 연구는 많은 비용과 시간이 요구되는 독성실험이므로, 발암성의 지표로서 널리 통용되고 있는 변이원성 및 관련 유전자들의 돌연변이와 gene marker의 가능성을 동시에 규명하여 발암성의 지표로 하는 것은 매우 중요하다고 사료된다.

(나) 연구방법

(i) Bacterial Reversion Assay (Ames Assay)

Salmonella typhimurium TA 98, 100, 1535, 1537 균주를 이용하여, histidine 요구성에 대한 돌연변이 유발유무를 확인하는 고전적인 방법

(ii) 염색체 이상시험(Chromosome aberration assay)

Chinese hamster lung 또는 ovary 세포를 이용하여, in vitro에서 화학물질로 인한 염색체손상여부를 파악하는 연구방법

(iii) 골수세포를 이용한 소핵시험(in vivo bone marrow micronucleus assay)

mouse의 골수에 화학물질로 인해 유발되는 세포분열시의 소핵(micronucleus) 형성을 지표로 하는 in vivo 시험법임

(iv) 단세포 전기영동법(Single cell gel electrophoresis)

화학물질로 인한 DNA 손상여부를 DNA를 추출하지 않고 그대로 세포 level에서 측정할 수 있는 신속 정확한 최신 기법으로서 1996년 Univ. of Washington의 Dr. Singh에 의해 개발되었고 Apoptosis도 관찰이 가능한 매우 유용한 tool이다.

(v) Mouse lymphoma thymidine kinase gene forward mutation assay

고전적인 방법인 Ames test의 point mutation과 in vitro염색체이상시험에서의 염색체의 damage를 동시에 colony size로 구분 및 측정이 가능한 연구기법으로 현재 과학선진국들이 주축이 되어 고전적인 방법을 대체하기 위해 International Harmonization 작업이 진행중이고 data 처리를 위한 Mutant

program이 상용화되어있는 최근연구기법임.

(vi) Supravital *in vivo* 소핵시험

기존의 고전적인 골수세포를 이용한 소핵시험의 여러 단점을 보완하고 혈액 한 방울로서 유전적인 손상을 측정할 수 있는 *in vivo* 실험법으로 최근 일본의 Hayashi group에서 artifact를 구별하기 위한 방법으로 DNA와 특이적으로 반응하는 acridine orange (AO) 형광염색법을 개발했다. 이 방법으로는 골수세포 대신에 말초혈액도 이용가능하여 망상적혈구 (reticulocyte)에 supravital staining을 실시하여 망상적혈구를 적색형광을 발하는 망상구조로 식별하고 동시에 황록색 형광을 발하는 소핵을 검출하는 방법이다. 이 방법은 말초혈액의 소량을 사용하기 때문에 동물을 죽이지 않고 경시적으로 채혈하여 소핵을 가진 망상적혈구 (micronucleated reticulocyte)를 관찰하는 방법으로서 매우 선택성이 높다. 편리성, 경제성 등이 뛰어난 연구기법으로서, 곧 OECD guideline에 채택하기 위해 각 국의 의견을 조율중에 있다.

(vii) Cytokinesis blocking *in vitro* 소핵시험

in vivo 소핵시험을 대체하기 위해 *in vitro*에서 cytochalasin B를 이용하여 세포분열을 blocking하여 소핵 발생 유무를 측정하는 유용한 tool이며 현재 국제적인 Harmonization이 급격히 이루어지고 있는 연구 기법이다.

(viii) Transgenic Mutagenesis system

*lac I*나 *lac Z* 유전자를 삽입하여 화학물질로 인한 DNA상에서의 손상을 측정하여 발암성을 예측할 수 있는 첨단 연구기법으로서, 앞으로 고비용, 장기간이 요하는 *in vivo* 발암성 시험을 대체하기 위해 과학선진국에서 많은 투자와 노력을 하고 있는 최신 연구 기법임. 나아가 극미량, 장기간 노출로 인한 유전자 손상을 DNA level에서 측정할 목적으로 Transgenic fish도 미국 NIEHS의 Dr. Burkhardt를 중심으로 급속히 추진중인 최첨단 연구 기법임.

(ix) 유전자 돌연변이 및 gene marker 연구

유전자 수준에서 내분비계 장애물질의 작용기작을 검증하는 연구를 수행하기 위해 gene marker를 개발하고 클로닝하여 발생과 생식과정에 미치는 기전 규명은 물론 관련유전자의 돌연변이 유발 및 발암성과의 상관관계를 규명한 다.

라. 면역, 신경독성

(가) 연구의 배경 및 필요성

“침묵의 봄” 과 “Our Stolen Future”에서 볼 수 있는 것처럼 화학물질이 생태계와 인류에 미치는 영향으로 인해 일부의 생물종들이 멸종할 것이라는 경고가 계속되고 있다. 실제로 많은 내분비계 장애물질이 환경 내에서 여러 호르몬의 작용을 모방하거나 억제하는 방식으로 야생생물의 생식능력 및 발생에 장애를 초래한다는 독성학적 증거들이 제시되면서 환경호르몬으로 불리는 여러 물질에 대한 대책 및 연구가 중요한 문제로 이미 부각되어 있는 상태이다. 내분비계 장애물질은 생체내에서 내분비계는 물론, 면역계, 신경계 등에 복합적인 기전으로 영향을 미친다.

특히 내분비계 장애물질은 인간을 포함하여 중 보존에 매우 중요한 생식기능과 관련된 성호르몬 대사를 교란 시키므로써 인류의 건강에 대하여 심각한 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 면역계에 장애를 일으켜 자가면역질환, 면역기능 저하로 인한 종양 발생을 증가 등 심각한 독성을 일으킬 수 있다.

대부분의 내분비계 장애물질은 가축, 야생동물, 실험동물인 rat, mouse, guinea pig 등에서 생체의 중요한 방어체계인 면역계에 대하여 다양한 독성을 나타낼 수 있다. 면역계는 여러 감염원으로부터 생체를 보호하는 생체의 중요 방어체계로써, 여러 가지의 세포들이 각각의 특성화된 기능을 조율하여 작용을 하고 있다. 가장 대표적 내분비계 장애물질인 dioxin과 PCB 등은 실험동물에서 항체생성능력, 면역세포인 T 및 B 세포의 mitogenesis, NK 세포 활성화, 흉선 등의 면역장기에서 T 및 B 세포수를 저하시킴이 보고된 바 있다.

또한, 신경계 역시 내분비계 장애물질에 노출시 행동, 학습 및 기억, 그리고 감각기능 등에 영향을 미친다는 보고가 많다. 특히 체내의 항상성 조절 및 정신신경활성과 행동에 대한 독성효과는 뇌내 신경전달물질의 생합성과 동태 변화뿐 아니라 신경세포에 대한 직접, 간접적 독성 유발등으로 자폐증, 주의력 결핍 및 학습능력과 지적능력의 저하와 같은 신경기능의 손상, 우울증, 불안감과 같은 정신질환의 증가 등과 관련하여 매우 중요하고 심각한 문제가 되고 있다. 실제로 대표적인 내분비계 장애물질의 하나인 TCDD와 PCB 등은 비교적 낮은 농도로 노출시에도 dopamine과 같은 신경전달물질 량의 변화와 신경세포내 calcium농도의 항상성을 방해함으로써 심각한 행동장애와 신경기능 손상을 유발하여 돌이킬 수 없는 뇌기능 장애를 초래한다. 또한 cadmium과 같은 중금속류의 축적도 뇌세포에 대한 산화적 DNA 손

상을 일으키는 등, 심각한 신경독성을 야기한다. 면역계 및 신경계의 작용은 각 면역세포 및 신경세포가 생산하는 cytokine 및 신경전달물질 그리고 각종 호르몬들에 의하여 기능이 조절된다고 알려져 있어 면역계와 신경계는 서로 의존적으로 상호작용하는 것으로 사료되며, 내분비 장애물질에 노출시 면역계와 신경계는 독립적으로 또는 상호 의존적으로 독성이 유발될 가능성이 큰 것으로 밝혀지고 있다. 따라서, 내분비 장애물질에 노출시 사람 및 야생동물에서 나타나는 신경계 및 면역계에 대한 독성 평가를 위한 연구가 필요하며, 이러한 연구는 생식계에 대한 독성평가 뿐만 아니라 내분비장애물질의 발암성평가 연구등과 연계되어 공동연구가 진행되어야 할 필요가 있다.

(나) 연구방법

(i) 면역독성연구: T-세포 의존형 및 비의존형 항체생성반응, 면역세포 표면항원 분석, 세포증식 유도물질에 의한 비장세포의 증식반응, 혼합백혈구 증식반응, phagocytosis, 각종 cytokine의 단백질 및 mRNA 수준의 발현, 세포 및 미생물 감염원에 대한 숙주 저항성 시험등.

o. 내분비계 장애물질이 체액성 면역능에 미치는 영향

- 항체생산능 측정
- 비장세포에 대한 B 세포의 유약화 반응 측정
- 비장에서 B 세포의 분포도 측정

o. 내분비계 장애물질이 세포매개성 면역능에 미치는 영향

- 비장세포에 대한 T 세포의 유약화 반응 측정
- 비장에서 T 세포의 분포도 측정
- 비장에서 helper T cell 및 supresser T cell의 분포도 측정

o. 내분비계 장애물질이 기타 면역능에 미치는 영향

- 체중 및 면역장기의 무게변화 측정
- 면역조절물질(lymphokine)의 변화 측정
- Cytokines 유전자 발현 검증
- 전사조절인자 활성화도 검증
- 재조합 DNA 합성 및 확인
- 플라스미드의 세포내도입

- Transfectants-간세포 혼합배양 확립
- 클로람페니콜 아세틸전이효소 (CAT) 정량
- 전사조절인자들의 결합 활성 측정
- 기타 면역세포 기능 측정

(ii) 신경독성연구: 미국 EPA의 발생신경독성시험 가이드라인인 OPPTS 870.6300의 각 항목들, 기타 학습 및 기억능력시험, 행동장애시험 등의 일반적인 신경약리 기능시험법과 fluorescent *in situ* hybridization, Immunohistochemistry, RNase protection assay, Northern blot analysis, RT-PCR, Differential display RT-PCR등 신경계 관련 세포의 배양을 이용한 세포 및 분자 수준의 신경독성 시험연구.

- o. *in vitro* 및 *in vivo*에서 신경세포사에 미치는 영향
 - 신경세포사 측정
 - 신경세포사의 기전 확인
 - 신경세포사에 대한 억제방안 검토
- o. *in vitro* 및 *in vivo*에서 신경전달물질의 생합성과 동태에 미치는 영향
 - 신경전달물질의 분석 및 그 대사체의 규명
 - 신경전달물질 합성과 유리양의 변화 측정
 - 신경전달물질 생합성효소활성의 변화 측정
 - 신경전달물질 생합성효소의 유전자 발현에 미치는 영향 검토
- o. *in vitro* 및 *in vivo*에서 신경전달물질 수용체에 미치는 영향
 - 신경독성효과와 관련된 수용체 확인
 - 확인된 수용체의 변화양상 검토
 - ion channel에 대한 영향
- o. 실험동물의 학습 및 인지능력에 미치는 영향

마. 독성 발현 기전

(가) 배경 및 필요성

환경 호르몬, 즉 내분비계 장애물질은 신체 내에서 유해한 작용을 하거나 내분비계 호르몬의 활동을 방해 또는 모방하기 때문에 최근 전세계적으로 많은 관심을

모으고 있다. 미국 의회에서 Safe Drinking Water Act 및 Food Quality Protection Act를 거쳐 미국 EPA에서 87,000 종에 달하는 화학물질 및 복합물질의 내분비계에 대한 영향을 평가하는 평가안을 작성, 보완 중에 있으며, 이러한 환경물질에 대한 위해성 여부에 대한 검증은 EPA의 주도하에 진행되는 연구사업 중 일부이다. 인간이 합성하여 만들어 내는 화학물질은 크게 DDT와 같이 호르몬에 대한 영향이 이미 알려져 있는 50 종의 화학물질 뿐만 아니라, 이제까지 안전하다고 여겨왔던 농약, 세제, 플라스틱의 원료로 쓰이는 화학물질들도 포함되며, 여성호르몬인 에스트로젠과 흡사한 작용을 하는 것으로 알려지고 있다. 호르몬은 생체에 유익하다고 알려져 왔으나 1960년대에 들어오면서 에스트로젠에 의해 자궁암, 전립선암 등 여러 가지 성인병을 유도할 수도 있다는 사실이 알려지기 시작했다. 이러한 환경 유해 물질들은 환경오염으로 인해 배출된 화학물질이 체내에 유입되어 마치 호르몬처럼 작용하기 때문에 환경 호르몬 또는 내분비 장애물질로 불린다. 내분비계 장애물질의 위험성은 먹이사슬을 통해 그 축적량이 기하급수적으로 증가되어 궁극적으로 인체에 엄청난 양이 축적될 수 있다는 데 있다. 최근 동물의 정자 수가 감소하고, 생식 기관이 변형되거나 모유에서 다이옥신이 다량 검출되는 등이 그 예라고 할 수 있다. 이러한 내분비계 장애물질의 문제는 국가나 사회적 문제가 될 뿐만 아니라 경제적 측면에서도 해결해야 할 당면 과제가 되었다. 우선 내분비계 장애물질을 검색, 선정하기 위해 일련의 평가과정이 이루어져야 할 것이다. 따라서 내분비계 장애물질이 환경에 미치는 독성 발현 기전을 연구하여, 이를 바탕으로 적절한 진단 시스템을 개발하며, 궁극적으로 내분비계 장애물질의 위해성 평가에 적용하고자 함에 그 목표를 두고 있다.

(나) 연구방법

- (i) 내분비계 장애물질 연구를 위한 Estrogen-positive 또는 negative cell line 모델 세포 설정 및 세포에 미치는 영향

Human breast cancer cell line은 estrogen receptor를 가지고 있어 기능적으로 estrogen에 반응하는 estrogen-positive cell과 그렇지 못한 estrogen-negative cell로 나눌 수 있고 estrogen의 역할을 연구하는데 좋은 모델이 된다. 현재까지 알려진 endocrine disruptor의 절반이상이 estrogen의 기능과 중복되는 기능을 보이거나 또는 이의 작용을 억제하는 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 따라서

estrogen의 정확한 기능을 연구하고 이러한 연구결과를 바탕으로 estrogen receptor를 통해 작용하리라 생각되는 estrogen과 구조적으로 유사한 endocrine disruptor가 estrogen receptor를 통해 어떠한 방식으로 작용하는 지를 살펴서 endocrine disruptor의 정확한 인체에 미치는 영향에 대해 조사한다.

(ii) 내분비계 장애물질이 작용하는 수용체 검색 및 Ligand/수용체간의 상호작용

Signal transduction간의 수평적 상호작용은 많은 연구가 진행되어 왔고 일부 경우 세포표면에 위치하는 수용체의 ligand 비의존적인 활성화를 통해서도 이루어진다고 보고되었다. Estrogen receptor의 경우 Src/Ras/Erk로 연결되는 signal transduction pathway를 활성화시킨다고 알려져 있다. Src의 경우 많은 receptor tyrosine kinase에 의해 활성화되며 지속적으로 활성화되었을 때 발암 단백질로 작용한다고 알려져 있다. 따라서 다양한 estrogen receptor에 작용하는 endocrine disruptor의 경우에서 이러한 Src 또는 Erk 더 나아가 receptor tyrosine kinase의 활성화 여부를 알아보는 것은 상당한 의미를 가지는 것이다.

(iii) 유전자 발현과정에서의 독성기전

Estrogen receptor와 estrogen과의 결합에 의한 특정 유전자의 발현과 이것이 세포형질에 미치는 영향은 많은 연구가 이루어져 왔다. 최근에 estrogen receptor는 단순히 transcription factor로 작용하는 것이 아니라 signal transduction pathway와 상호연관이 있다는 연구결과들이 보고되고 있다. Signal transduction pathway는 일반적으로 세포표면에 위치한 수용체의 활성화로부터 출발하여 다단계의 단백질의 인산화과정 또는 protease의 활성화를 통해 세포핵까지 그 신호가 전달되는 과정을 말한다. 많은 signal transduction pathway는 세포의 분열·분화를 조절하고 여기에 관계하는 많은 단백질이 발암단백질로 밝혀졌다. Estrogen receptor에 의한 직접적인 유전자의 활성화도 estrogen에 의해 유도되는 많은 현상을 설명할 수 있으나 estrogen receptor에 의한 signal transduction pathway의 활성화는 이제껏 설명되지 않거나 또는 근거가 희박한 많은 estrogen에 의한 효과를 설명할 수 있어, 수용체의 유전자를 Cloning하여, 또는 이미 알려진 수용체일 경우 타 기관과의 협조 하에 얻은

유전자에 Site-directed mutation을 실시하여 기능상 불완전한 돌연변이형 수용체를 확립한다. 또한 이러한 돌연변이형 수용체를 발현하는 돌연변이형 세포주를 확립한다.

(iv) Ligand/수용체로 매개되는 신호전달의 분자수준의 기전 규명

해당 수용체가 활성화되었을 경우 어떠한 신호전달 경로를 거치는지 알아보기 위해 MAP kinase, Tyrosine kinase assay 등을 시행한다. Tyrosine kinase activity는 세포에서 분리한 Tyrosine kinase와 Poly(L-Glu-L-Tyr)를 기질로 사용하여 측정한다. Reaction mixture를 kinase buffer와 혼합하고 시료를 처리한 후 반응시켜 filter paper위에서 반응을 중지하여 radioactivity를 측정한다. MAP kinase activity는 MAP kinase를 면역침전법을 통해 분리해낸 뒤 MAP kinase의 기질인 MBP를 이용하여 kinase buffer와 혼합한 후 SDS-PAGE를 이용하여 분리해낸 뒤 radioactivity를 측정한다. 이렇게 하여 신호전달과정을 규명하고 이에 관련되어 있다고 이미 알려진 다른 단백질들의 활성화 여부를 조사한다. 이는 cell lysate를 SDS-PAGE를 이용하여 분자량에 따라 분리한 후 nitrocellulose membrane에 단백질을 옮겨 관찰하고자 하는 단백질의 항체를 이용하여 탐지하는 Western Blotting기법을 이용한다. 또한 항체를 이용하여 원하고자 하는 단백질을 분리해 낼 수 있는 실험 기법인 면역침전법을 통해 관련 단백질간의 복합체 형성 유무에 대해서도 연구해 본다. 특정 신호전달 경로가 활성화되어 관련 단백질 간 복합체가 형성되어 어떠한 형태로 신호를 downstream으로 전달하는가에 대한 연구를 시행하며, 이 때 돌연변이형 수용체를 발현하는 세포주를 이용하여 어떠한 기능이 신호전달에 중요한지를 알아본다.

(v) 내분비계 장애물질이 생체 내 미치는 독성발현 기전

생체내 각 조직을 적출 하여 균질화 한 후 RNA 추출 kit를 이용하여 RNA를 추출한 후 해당 primer를 이용하여 total RNA로부터 Reverse transcription을 이용하여 cDNA를 생성한다. 이를 Template로 하여 PCR 수행한 후 결과는 전기영동을 통해 확인한다. 생체내 각 조직을 취하여 각각 mRNA를 측정하여 각각의 활성도를 측정한다. 또한, 분류된 내분비계 장애물질의 종류에 따라 각

생체내 조직이 반응하는 활성화 차이를 살펴 그 위험도에 대해 알아본다. 진단 시스템 구축을 위해 활성화 진단 시스템을 확립하여 Kit 등으로 간편하게 활성도를 측정할 수 있도록 시스템화한다.

(vi) Yeast를 사용한 potential endocrine disruptor 검색 및 작용기전

· Yeast를 사용한 expression과 reporter vector 제작

최근 산업화와 더불어 새롭게 합성되는 수많은 화합물은 정확히 내분비계에 미치는 영향에 대한 조사가 없이 널리 합성되고 사용되고 있다. 따라서 빠르게 endocrine disruptor로 작용할 수 있는 물질을 검색할 수 있는 system의 확립이 필요시되고 있다. Yeast에 발현시킬 estrogen receptor와 reporter system을 위한 expression vector와 reporter vector를 recombinant DNA technology를 이용하여 제작하고, 제작된 vector를 이용하여 yeast의 형질변환을 시킨다. Yeast를 이용한 endocrine disruptor로 작용할 수 있는 물질(potential endocrine disruptor)의 탐색은 빠른 시간 내에 비교적 간단한 방법으로 이것을 확인할 수 있으며, 단순히 endocrine receptor와의 결합만을 확인하는 것이 아니라 기능적으로 potential endocrine disruptor가 순방향으로 작용하는지 역방향으로 작용하는지의 여부도 확인할 수 있다.

· Yeast System을 이용한 예상물질 검색 및 작용기전

Yeast내에서 estrogen receptor와 estrogen responsive element를 가진 reporter system의 발현은 estrogen에 대한 반응을 yeast에서 유도할 수 있도록 하여준다. 이러한 시도는 여러차례 있었으나 이것을 이용한 estrogen receptor에 작용하리라 생각되는 endocrine disruptor의 검색법 개발은 아직 활발히 이루어지지 않고 있다. 적절한 reporter system의 사용은 정량적으로 endocrine disruptor의 위험성을 제시할 수 있으며 기존의 단순한 endocrine hormone receptor와 endocrine disruptor간의 binding assay에 비해 in vivo에서 그 역할을 살펴볼 수 있기에 좀더 효율적인 system이 될 수 있다. 기술적으로도 yeast two-hybrid 또는 one-hybrid system을 통해 yeast를 통한 유전자 또는 검색법은 많은 know-how가 적립되어 있어 선구적 실험에 따른 위험 부담을 줄일 수 있다.

(vii) 환경오염의 지표 마련 및 진단 시스템 구축

실제로 환경오염은 증가하고 있으므로 생태계의 모든 생물들은 내분비계 장애 물질에 노출되어 있다. 그러므로 이러한 내분비계 장애물질을 지표로 삼아 환경오염의 피해를 진단하는 시스템을 구축할 수 있다. 야생동물이나 어류 중 환경오염에 민감하게 영향을 받는 동물의 생체 내 조직세포를 이용하여 환경 위해성을 평가하는 진단 모델을 구축하게 된다면 효율적으로 환경 경보 시스템을 정립시킬 수 있을 것이다.

바. 환경 중 거동

(가) 배경 및 필요성

대부분의 환경호르몬 물질들은 난분해성으로서 자연상태에서의 반감기가 수십년에서 수백년에 이를 정도로 생분해 속도가 매우 느리다. 따라서 일단 자연환경으로 방출되면 개별 물질들의 물리화학적 특성에 의해 토양, 물, 대기, 생물체등 자연환경을 구성하고 있는 매체에 다양한 비율로 분포하게 되며 이중 해당물질에 친화적인 매체를 중심으로 축적되게 된다. 환경호르몬의 자연환경 중 거동연구는 크게 세가지로 구성되는데 첫째로 자연환경으로 방출된 해당물질의 매체별 또는 매체내에서의 이동경로 및 속도, 둘째로 매체간 평형 분배특성, 셋째로 매체별 생물학적 또는 화학적 분해속도에 대한 연구 등을 들 수 있다. 이러한 연구를 통해 이미 자연으로 방출된 다양한 환경호르몬의 상대적인 위험성을 평가하고 인간에 대한 주요 노출경로를 규명함으로써 노출을 최소화하기 위한 방안을 도출할 수 있다. 특히 이러한 거동연구를 구체적인 환경호르몬 물질의 누출원에 적용함으로써 누출로 인한 단기적인 위해범위 및 정도를 평가하는데 활용할 수 있다.

(나) 연구방법

- (i) 환경매체 중 이동특성규명: 주요 환경권역(수계권, 대기권, 토양권, 생물권)간 이동경로 및 특성파악, 환경매체내, 매체간 이동속도평가
- (ii) 환경매체간 평형분배특성 규명: 주요 환경매체간 선형분배모델에 근거한 분배상수 결정, 환경권역내 분배특성결정, 환경권역간 분배특성 결정 (fugacity 모델적용)
- (iii) 화학적, 생물학적 분해특성 규명: 매체별 화학적 분해특성 규명 및 자연상

태에서의 분해속도 결정, 매체별 생물학적 분해특성 규명 및 자연상태에서의 분해속도 결정, 분해부산물의 축적 여부 및 거동특성규명

- (iv) 환경내 환경호르몬 물질의 'fate' 예측기법개발: Fugacity 모델을 활용한 장기적 거시모델개발, 주요 환경호르몬 누출원 또는 누출시나리오에 대한 국지적 단기거동 모델개발, 주요노출경로를 중심으로 다양한 환경호르몬의 노출위험성 정량화 기법개발

사. 생체내 거동

(가) 배경 및 필요성

유해물질의 생체내 거동 연구(Toxicokinetic)는 내분비계 장애물질이 동물 또는 인체에 들어가서 어떻게 흡수되고 (Absorption), 흡수된 물질이 어떤 장기나 조직에 얼마나 분포되고 (Distribution), 어떠한 과정을 거쳐 대사되며 (Metabolism), 마지막으로 체외로 배설되는 (Elimination) 과정을 살펴보는 연구이다. 그래서 '생체내 거동 연구' 또는 'ADME 연구'라고 불리고 있다.

내분비계 장애물질의 toxicokinetic 연구를 위하여 우선적으로 물리화학적 성질과 구조, 활성 상관관계를 바탕으로 예비적인 자료를 축적한 다음, 투여경로 및 용량이 흡수, 분포, 대사 및 배설에 어떠한 영향을 미치는 지를 연구해야 한다. 그리고 특정한 내분비계 장애물질이 어떤 특정 장기나 기관에 주된 독성을 나타내 경우도 있을 것이며, 이런 경우 이 내분비 장애물질이 특정 장기에 우선적으로 잘 분포되거나 그 장기에서 생성되는 활성대사체의 량과 관련이 있는지 등도 중요한 연구의 대상이다. 또한 지용성이 높은 내분비계 장애물질은 체내에 머무르는 시간이 길고 반복적인 노출의 경우 축적의 양상을 나타내기 때문에 이것과 관련되어 만성적인 독성을 나타낼 수 있고, 특히 지방조직이 많은 경우는 그렇지 않는 경우에 비하여 내분비 장애물질의 체내동태에 커다란 영향을 미칠 수가 있으므로 고려되어야 할 요소중의 하나이다. 이러한 내분비 장애물질로 예로는 TCDD나 PCB 등을 들 수가 있다.

지용성이 큰 내분비계 장애물질은 배설이 일어나기 위하여서는 수용성이 높은 물질로 대사 되어야만 한다. 이는 체내에 존재하고 있는 각종 대사효소에 의하여 지배를 받게 된다. 또한 어떤 대사체는 parent 자체보다도 활성이 큰 활성대사체가 됨으로 parent 그 자체보다도 potent 한 독성을 가질 수가 있다. 이와 함께 다른 독

성화합물이나 질병 상태등과의 상호 작용에 의하여 상승적인 독성 작용을 나타내기도 한다. 유사한 화학적 구조를 지니고 있는 내분비계 장애물질의 상호작용도 궁극적으로 체내동태와 독성연구를 통하여 규명되어야 할 부분으로 남아있어 이와 같은 여러 가지 요소를 고려하여 체내동태를 위한 연구를 수행해야 한다.

생체내 거동 연구는 인체에서의 안전성이나 독성과 밀접한 관계가 있어서 1980년대 이후 Malathion이나 DDT 등의 농약이나 다이옥신, PAHs, PCBs등의 환경오염물질에 대하여도 연구가 활발히 진행되고 있다. 내분비계 장애물질의 공통적인 Physico-chemical property를 살펴보면, 이들 내분비계 장애물질은 환경중에서 안정한 화학물질이어서 환경 잔류성이 높고 또한 지방성 (Lipophilicity)이 높아 자연 환경이나 생체내에서 많이 축적되는 성질이 있어서, 동물이나 인체에서 생체내 거동에 대한 연구는 독성 규명뿐만 아니라 인체에 안전성이나 위해도 평가등에도 필수적인 중요한 연구이다.

(나) 연구방법

(i) 물리화학적인 성질 및 구조-활성 상관관계 연구

- 물리화학적인 성질 비교연구 (solubility, W/O partition coefficient 및 pKa)
- 구조-활성 상관관계 연구 : 기존에 알려진 구조에 대한 정보를 바탕으로 이와 유사한 구조를 지니고 있는 내분비 장애물질의 활성을 비교 예측하여 평가한다.

(ii) 투여경로 (경구, 정맥내 투여) 및 용량에 따른 흡수 연구

- 생체시료에서 초정밀 분석법연구
- 생체 이용률 (흡수분율)에 관한 연구

(iii) 투여경로 및 시간에 따른 분포연구

- 각 장기에서 분포의 정도 평가
- 단백질(혈장)과 결합률 측정

(iv) 혈장, 뇨, 담즙에서 대사체의 분석연구

- 대사체의 분석법 확립
- 대사경로 추적연구 (phase I 과 phase II 대사체 연구)
- 대사체 관련 주 효소 연구 및 효소분석연구

- 투여경로에 따른 대사체 연구
- 종차이에 따른 대사체 연구
- (v) 뇨, 변 및 담즙으로 배설연구
 - 배설된 누적량 및 clearance 평가
 - 투여경로 및 용량에 따른 배설연구

(2) EDCs의 극미량 분석법 개발, 분석법 표준화 사업 및 감지장치개발

가. 분야의 개황

그 동안 인간들의 다양한 필요에 의해 개발되고 사용되어지는 수많은 화학물질들 중 그들의 일부가 인간 및 야생 동물의 생체내에서 호르몬계의 정상적인 작용을 방해하고 있다는 사실이 속속 밝혀지고 있다. 이러한 수많은 합성된 화학 물질들은 여러 가지 경로를 통하여 우리의 환경속으로 방출되어지고 있다. 그들이 비록 아주 극미량의 저농도에서도 유독성을 보일 수 있지만 생체 내에 축적되어질 가능성도 충분히 있는 것이다. 이러한 화학물질들 중 EDCs(Endocrine Disrupting Chemicals or Endocrine Disruptors)라고 불리워지는 이러한 물질들은 생체내의 호르몬계의 흐름을 간섭 또는 방해함으로써 야생동물과 인간뿐만 아니라 나아가서 전 사회와 인류의 안전에 엄청난 재난을 가져올 수 있는 잠재력을 가지고 있는 물질들이라고 해도 과언이 아니다.

이러한 화학물질들이 호르몬계에 영향을 미치는 방법에는 여러 가지 방식이 있는데, 예를 들면 그들이 수용체에 결합할 수도 있고, 또는 호르몬의 역할을 방해하거나 유사하게 행동할 수도 있으며 호르몬의 생체내 합성이나 metabolism에 영향을 줄 수도 있다.

EDCs의 독성 잠재력은 그들의 구조만으로는 해석하기 어려운 문제들이 있는데 이는 그들이 각각의 EDCs 단독으로의 효과보다는 알려지지 않은 화학물질들의 혼합물로서 생겨날 수 있기 때문이다.

가소제, 플라스틱용 화학물질, 산업용 화학물질, 농약, 중금속, 합성 및 자연 호르몬 그리고 음식물 첨가제 등 수많은 EDCs들은 주로 세계 2차대전 이후에 대량으로 환경에 방출되기 시작하였다. 이러한 EDCs가 인간에게 미치는 영향은 아주 초기의 태아상태에서 노출되었다 할지라도 성장한 후에 지속적으로 건강의 위협에 놓

이게 되며, 부모가 이러한 EDCs에 노출되었다고 할지라도 2세에게까지 영향을 미칠 수 있는 세대간의 영향이 지속되어진다. 불행스럽게도 인간에게서의 EDCs의 효과는 노출 후에도 오랜기간 동안 나타나지 않기 때문에 호르몬의 활성을 가지고 있는 화학물질들의 안전한 사용을 계획하고 그 결과를 예측하는 것은 쉽지 않은 문제이다.

지금까지 EDCs로 분류되어지고 있는 모든 화학물질들은 모두 우리인간들에게서 여러 가지 경로를 통하여 쉽게 노출되어지는 물질들이다. 현재까지 여러 문헌에 나타난 결과를 종합해보면 내분비 장애작용이 있는 것으로 알려지거나 추정되는 화학물질의 종류는 약 140 여종에 이르는데 이를 대별해보면 다음과 같다.

- 농약류 : 75 종
- 플라스틱관련 화학물질 : 가소제 9종을 포함한 25 종
- 산업 및 환경오염관련 화학물질 : 20 종
- 합성 호르몬 및 식물호르몬 물질 : 15 종
- 중금속 및 그 화합물 : 3 종
- 식품 첨가제 : 3 종

이러한 EDCs로 분류된 화학물질들은 여러 가지 경로를 통하여 동물이나 우리 인간의 몸에 축적되어지게 된다. 예를 들어 농약류는 인간들이 섭취하는 모든 채소, 과일, 곡물류, 제조 식품 그리고 심지어는 마른 생선류에도 잔류농약이 검출되어지고 있으며, 플라스틱관련 화학물질은 플라스틱제품의 유연성을 제공하거나 플라스틱 제품의 가공을 쉽게 하기 위해 첨가되어지는 프탈레이트류의 가소제, 플라스틱의 합성에 사용되는 각종의 페놀류, 스티렌 이중체 및 삼중체 등이 각종의 생활관련제품 및 유아용 제품 등에서 검출되어지고 있다. 또한, 합성 호르몬 및 각종 식물에 잔류하고 있는 호르몬 물질 그리고 중금속과 식품 첨가제 등이 있다. 이러한 무분별한 화학제품의 사용은 주변의 수질, 토양 그리고 대기 중으로 확산되어 동물 및 인간의 몸속에 축적 되게 된다.

결과적으로 잠재적인 EDCs로서 보고되었거나 환경으로 방출되어지는 수많은 합성 유기 화합물에 관한 유해성 및 분석 평가가 절대적으로 필요해지게 된다. 이러한 관점에서 몇년 전에 EU에서는 132종의 target 화학 물질들의 blacklist를 정하고 수질환경에 방출되어지는 위험물질로 분류하여 유해성 및 분석연구를 수행하고 있다. 그들의 일부는 Dioxin, Bisphenol A, PBBs, PCBs, Pentachlorophenol, Penta-to

nonylphenol, Phthalates 그리고, Styrene등이 있다. 이러한 다양한 물질들의 EDCs 들을 monitoring하는 전략들을 선진국들에서는 이미 수립하고 있는 실정이다. 미국의 환경청(EPA)은 EDCs와 관련된 규제안을 준비하고 있고, 미국에서 1996년에 Food Quality Protection Act는 미 환경청에 모든 농약류의 위해성 평가 및 잔류농약을 분석하도록 요구하고 있으며 EDCs에 대한 농약의 효과를 축적하는 효력을 가진 물질들도 시험분석 및 위해성을 평가하도록 요구하고 있는 실정이다. 한편, 1996년에 Safe Drinking Water Act Ammendment는 미 환경청에 합성 호르몬 및 식물 호르몬에 의해 생성된 EDCs의 물질들을 규제하고 확인하는 작업을 개발하도록 요구하고 있다. 이와 같이 광범위하게 노출되어 있는 EDCs 관련 화학물질의 위해성 평가 및 노출 조사를 위해서는 이들에 대한 정확한 물질 확인 및 정밀한 분석이 우선되어야 함이 필수적이다. 특히, 모든 채소, 과일류, 곡물류, 가공식품, 주스류에 잔류하는 농약 및 우리의 실생활에 광범위하게 사용되어지는 플라스틱류(부엌 용품류, 음용수 용기, 유아용 장난감, 유아용 젖병 등)와 음용수 및 주스류의 캔류, 가공식품의 포장용지 등 이루 헤아릴 수 없이 많은 EDCs의 노출 경로가 존재한다. 이러한 다양한 종류의 matrix에 따라서, 시료의 채취 및 처리 방법, 용출 시험 방법 그리고 EDCs 물질확인 방법, EDCs 분석의 detection limit을 향상시키기 위한 시료 처리 방법 개발과 최적화된 장비의 선택이 무엇보다도 중요하다.

그 동안 이러한 EDCs 물질을 규명하고 분석하기 위해 가장 일반적으로 사용되어 지는 분석 방법은 CH_2Cl_2 liquid-liquid extraction 혹은 solid phase extraction 방식을 이용하여 electron impact ionization의 GC/MS를 이용한 방식이다. 그러나, 극성을 띠고 있는 분자나 분자량이 큰 분자들은 LC/MS를 이용하여 분석을 수행하여야 왔다.

한편, GC 및 LC에 기초를 둔 EDCs의 분석적 접근은 시간과 비용이 많이 들고, 복잡한 matrix에서 다양한 EDCs에 대한 감도가 부족하다는 단점이 있었다. 따라서, 지난 몇 해 전부터 환경 시료 중에서 target EDCs 물질들을 모니터링 할 수 있는 새롭고도 간단하며 저가의 고감도 detector를 개발하는데 많은 노력을 해왔다. 이러한 센서는 효소에 기반을 둔 바이오 센서로써 생물학적 인지반응을 기초로 한 센서이다. 이러한 유형의 센서들은 EDCs로 분류된 페놀류 화합물에 폭넓게 사용되어지고 있다. 이러한 센서들은 유기 용매에서의 사용이 어려우며, 아직 작동중의 불안정성이 문제점으로 지적되고 있다. 또다른 생물학적 센서는 최근에 PCBs의 분석을

위해 제안된 것이 있다. 이 센서는 α -naphthol의 감지를 위해 최적화된 전기화학적 방법으로 측정하는 것으로 실제의 환경시료 중에서 적용되도록 연구 개발 중이다. 따라서, 국내에서도 오염현장에서 즉각 EDCs의 존재 여부를 확인할 수 있는 간편하고도 편리한 센서장비를 개발하는 것이 필요하고도 절실한 실정이다.

나. EDCs의 분석 평가방법 조사

(가) 국외 분석 평가 방법

미국, 유럽 및 일본 등의 선진국에서는 EDCs에 대한 대책을 수립하기 위해 90년대 중반부터 평가대상물질에 대한 우선순위를 정하고 이들에 대한 스크리닝 작업을 실시하고 이에 대한 내분비 교란작용을 시험하며, 이들의 위해성을 평가하는 프로그램을 수행하고 있는 실정이다. 또한, 이러한 프로그램은 대상물질에 대해 이미 연구되어진 독성 데이터 및 자국내 사용규제 현황과 노출 상황 자료를 바탕으로 분석 평가 사업을 진행하고 있다. 특히, 미국의 환경청(EPA)은 인간이 '인공적으로 만든 화학제품이 인간 및 야생동물의 호르몬계를 간섭하고 있다는 사실이 인지되면서 상당한 연구비를 투자하여, 이러한 화학제품들이 어떻게 인간과 야생동물의 건강에 어떤 악영향을 미치는가를 조사하고 있다. 특히 EDCs물질의 분석 평가방법을 위해 몇가지의 전제 조건을 제시한바 있다. 첫째는 규제나 분석 대상 EDCs 물질이 규명될 필요가 있는 것인가? 둘째는 EDCs들이 어떤 농도에서 나쁜 영향을 미치는가? 셋째는 분석 평가를 위한 표준물질이 분석 장비의 calibration을 위해서 반드시 필수적이며, 이러한 EDCs 분석용 표준물질은 정량 및 정성 분석을 위해서 꼭 필요하다는 것이다. 이러한 인식에 근거하여, EDCs 물질들의 규제농도를 설정하는 작업을 진행중이다.

(나) 국내 분석 평가 방법

국내에서는 '유해 화학물질 관리법'에 근거하여 ① 신규화학물질에 대한 유해성 심사, ② 화학물질의 목적 작성 및 유통실태조사, ③ 유해성 자료에 대한 데이터 베이스 구축을 통해 화학물질을 관리하고 있다. 이외에도 수질·대기·폐기물, 농약, 작업장 유해물질, 고압가스 및 위험물 등이 정부 각 부처의 소관법률에 따라 규제·관리되고 있는 실정이다.

EDCs 물질과 관련하여서는 환경부내에 '내분비계 장애물질 대책협의회' 및 '전문 연구 협의회'를 구성하여 운영하고 있으며, 이 협의회를 통해 EDCs와 관련한 종합적인 정부대책을 수립추진하고 연구결과에 대한 규제 조처 등을 강구하고 있다. 또한, 보건복지부 산하의 식품 의약품 안전청에서는 식품 및 의약품과 관련하여, EDCs 물질의 독성시험 등을 실시하고 있는 실정이다. 하지만 아직도 플라스틱의 가소제 및 비스페놀 A 등의 화학물질들은 유해화학물질 규제 대상에도 빠져있는 실정이다. 또한, 식품을 포함한 음용수, 가공음료, 가공식품 등에 잔류하고 있는 유해화학물질의 잔류허용기준은 내분비 교란에 관한 연구 및 위해성 평가에 대한 고려 없이 제정되어진바 허용기준의 재설정이 아주 중요한 문제로 나타나고 있다. 또한, 산업체와 관련하여, 수출입 제품에 대해서도 EDCs 물질에 대한 잔류농도 및 위해성에 관한 규제가 있을 것에 대비하여서도, 이들에 대한 위해성평가, 체계적인 규제 및 극미량 분석법 연구 및 표준화된 분석법의 마련이 시급한 실정이다.

한편, GC 및 LC에 기초를 둔 EDCs의 분석적 접근은 시간과 비용이 많이 들고, 복잡한 matrix에서 다양한 EDCs에 대한 감도가 부족하다는 단점이 있으므로 환경 시료 중에서 target EDCs 물질들을 모니터링할 수 있는 새롭고도 간단하며 저가의 고감도 detector를 개발하고자 하는 노력도 앞으로 적극적으로 추진되어야 할 것으로 믿는다.

(다) 국내의 EDCs 분석 평가 사례 조사

한국 소비자 보호원은 1998년 7월 중순 총 6백 22종의 농수산물·식품·생활용품을 대상으로 환경 호르몬의 존재 여부를 분석 평가한 결과 3백종에서 유기주석 화합물(TBT)등 14종의 환경 호르몬이 검출되었다고 보고 한바 있으며, 특히 농산물에서는 농약 성분인 헥사 클로로벤젠을 포함 6종의 환경 호르몬 성분이 검출되었고, 통조림 등 캔 용기 제품 유아용 젖병과 먹는 샘물 용기에서는 bisphenolol A가 검출되었으며, 또한 말랑말랑한 재질의 플라스틱 완구에서는 가소제인 DEHP, DEHA가 용출되었다는 것을 보고한바 있다. 한국 해양 연구소에서는 연안 양식장에서 양식되고 있는 홍합과 굴에서 TBT가 검출된다는 것을 보고한 바 있다. 보통 TBT는 선박에 굴·해파리 등 부착생물이 달라붙는 것을 막기 위해 페인트와 섞어 칠하는 것으로 해양 생태계를 교란시키는 환경 호르몬으로 알려져 있다.

경남대학교는 유기 염소계 농약 성분이 동남아 국가에서 수입되는 콩에서 검출된 것을 발표한바 있으며, 소비자 보호원과 식품 의약품 안전청은 컵라면 용기에서 스티렌 다이머와 스티렌 트라이머의 용출 여부 및 분석 평가문제로 논란을 일으킨 전례가 있다. 또한 최근에는 경남대 민병욱 교수팀이 국내 시판중인 대추 음료에서 유기염소계 농약인 DDT가 ppb 단위로 검출된 사실을 발표한바 있으며, 최근에는 연세대 예방의약 교실에서는 산모의 모유 중에서 다이옥신이 검출된 사실을 발표한바 있다.

위의 예에서 보는바와 같이 환경 호르몬에 대한 분석은 간헐적으로 연구기관에 따라서 발표되고 있으며, 그 결과 또한 분석 대상물질에서의 용출법 및 분석법 등이 체계적으로 적용되지 않음으로 해서 분석 기관에 따라 그 측정 결과가 엄청난 차이를 보이고 있다. 따라서, matrix에 따라서 EDCs의 용출시험법 및 분석법 등의 통일된 기준안을 마련하고 그 기준에 따라서 위해성 평가 및 용출 기준안이 마련되어야 할 것이다. 따라서, EDCs물질들에 대한 국내에서의 분석법 및 표준화 사업이 시급한 형편이다.

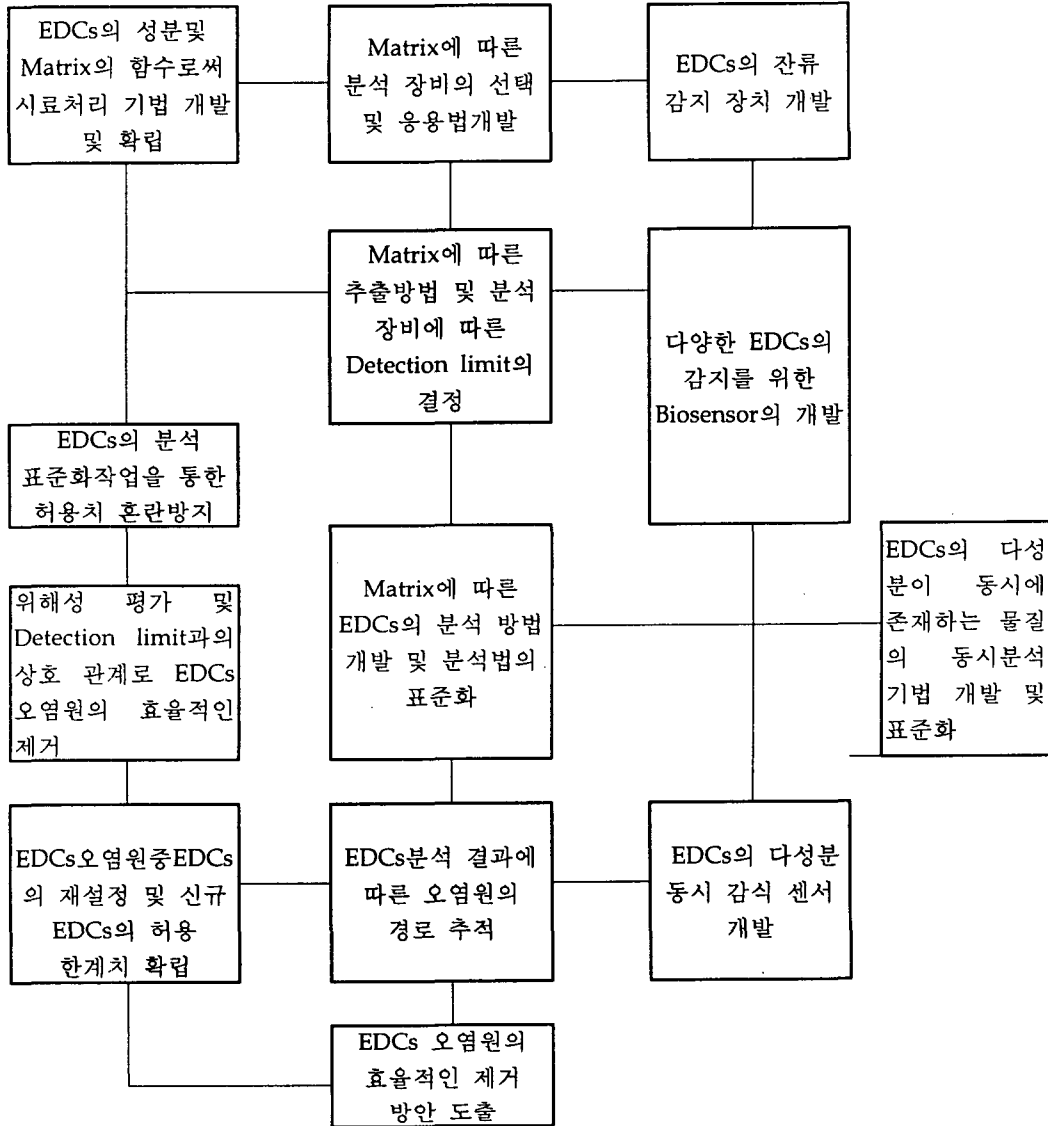
(라) 국내 EDCs물질의 분석 평가방법 계획

구 분	주요 내용
제 1 단계(1999-2001) EDCs의 분석 표준화연구	<ul style="list-style-type: none"> · 국내환경 중 EDCs의 노출제품에 대한 현황조사 · EDCs노출 제품에 대한 유통 경로 조사 · Matrix에 따라 물질들 중 시료채취 방법의 표준화 연구 · Matrix에 따라 물질들 중 시료처리 방법의 표준화 연구 · 국내에서 유통되어지는 채소류, 과일류, 곡류, 가공식품, 주스류 등의 식품 및 식품 용기, 캔류 및 유아용 장난감 젓병류등에서 <ul style="list-style-type: none"> · 용매에 따른 EDCs의 용출 시험 분석 · 분석 장비에 따른 EDCs의 검출 한계 시험 분석 · EDCs 검출 한계증진 분석법 개발
제 2 단계(2002-2004) 극미량 EDCs의 분석법 연구	<ul style="list-style-type: none"> · Matrix에 따라 물질들중 시료채취 및 시료 처리 방법의 표준화 연구 · 국내에서 유통되어지는 채소류, 과일류, 곡류, 가공식품, 주스류 등의 식품 및 식품 용기, 캔류 및 유아용 장난감 젓병류 등에서 용매에 따른 EDCs의 용출 시험 분석 · 분석 장비에 따른 EDCs의 검출 한계 시험 분석 · EDCs 검출 한계 증진 분석법 개발 · 분석시료 중 여러개의 EDCs가 상존하는 경우의 동시분석 기법 연구
제 3 단계(2005-2007) EDCs의 분석표준화 및 통합관리 연구	<ul style="list-style-type: none"> · Biosensor를 이용한 EDCs의 빠르고 간편한 감지 장치 개발 · 표준 분석법에 근거한 EDCs 허용 기준안 제정 · EDCs에 따른 새로운 센서의 개발 · 허용 기준에 따르는 물질 규제 방안

(마) 분석 평가를 통한 활용 분야

- EDCs에 대한 분석법의 표준화로 분석시간 감소 및 분석비용감소
- 분석법의 확립으로 EDCs에 대한 노출 저감 기술개발 촉진
- 식품중 EDCs 잔류 허용기준의 강화로 국민 건강 증진
- 간단하고 편리한 EDCs의 hand-carrying 측정장치 개발로 현장에서의 즉시 분석 가능
- 산업 폐기물에 대한 잔류 EDCs의 분석 강화로 유해물질 관리 강화
- 쓰레기 소각장에서 발생하는 EDCs의 분석 표준화 및 분석법 강화로 분석 기관에 따라 차이를 보임으로써 생겨 나는 민원의 해소.

(바) EDCs의 분석 평가 방법 조사



제 4 장 분야별 연구과제 도출

1. 플라스틱 분야

1) 연구개발과제 도출

본 기획과제에서는 날로 심각해져 가고 있는 플라스틱 관련 EDC 의심물질 또는 발생물질 현황과 국내의 관련업계의 문제점을 조사, 분석하여 단기, 중장기로 수행할 수 있는 과제를 도출하였다. 즉 그림 4-1에 나타난 바와 같이 위해성 규명, 저감 기술, 대체소재개발 분야로 나누어 도출하였다.

(1) 위해성 분야

플라스틱 분야의 EDC 의심물질들은 대부분이 위해성이 정확히 규명되지 않은 상태로서 위해성에 대한 논란이 심화되어 소비자들에게 의구심을 주고 생산업체에게는 판매에 큰 타격을 주고 있기 때문에 이를 판단할 수 있는 자료를 확보할 필요성이 큼. 이 분야는 국내의 관련기관은 물론 국제적인 연구가 필요하며 위해성 분과에서 취급하는 것이 바람직함.

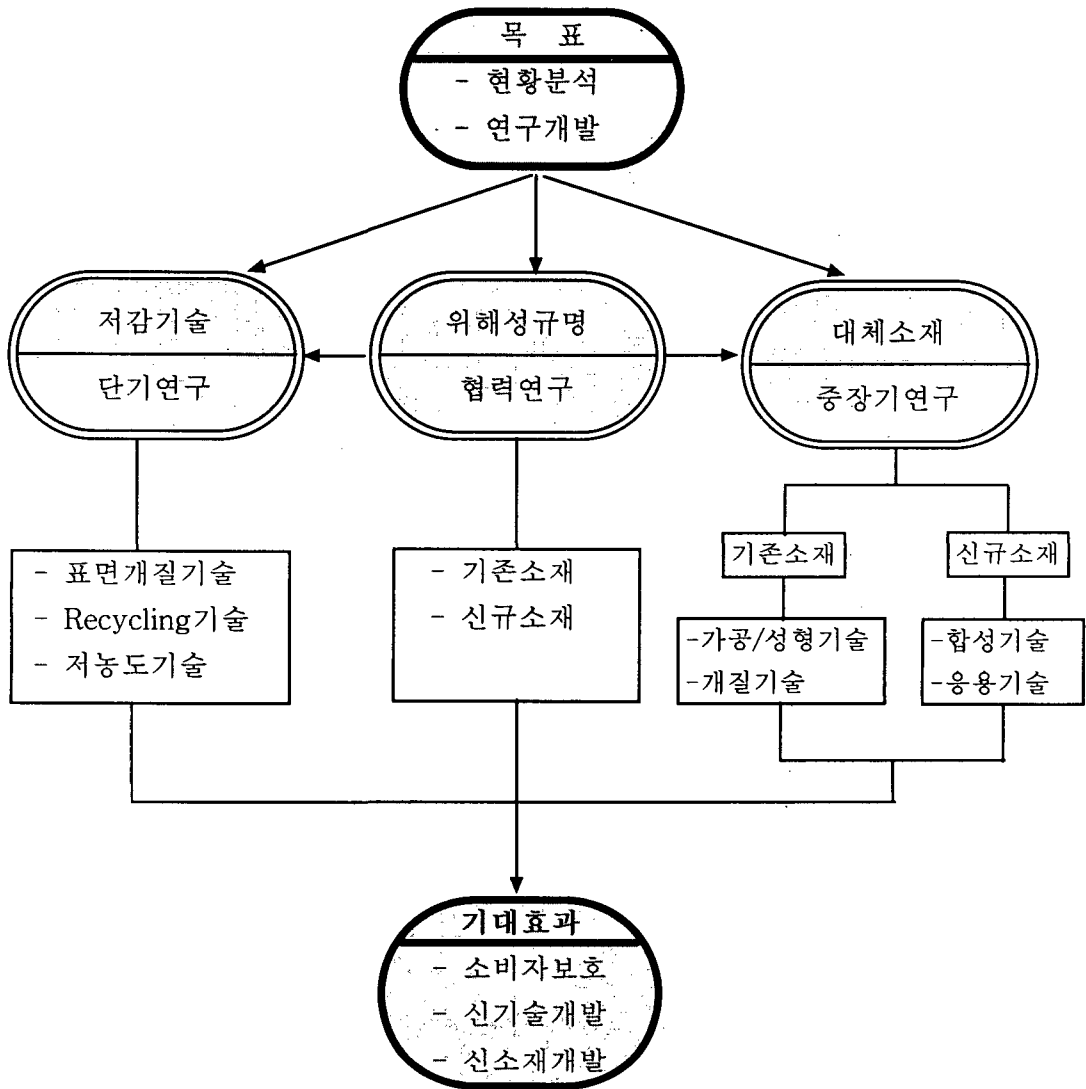
(2) 저감 기술분야

기존 사용되고 있는 플라스틱 소재에서 EDC의심물질의 배출량을 저감시킬 수 있는 기술로 비교적 단기간에 개발이 가능한 표면개질기술, Recycling기술, 저농도화기술 등이 있음.

(3) 대체소재 분야

EDC의심 물질을 배출 또는 발생시킬 가능성이 있는 플라스틱을 대체가능한 소재를 개발하는 기술로서 비교적 중장기간 동안 많은 투자비가 필요로 하는 분야임. 대체소재로는 기존에 개발되어 있는 소재를 식품포장재로 활용하기 위한 가공/성형기술, 개질기술과 신규소재를 개발하기 위한 합성, 응용기술등이 있음.

그림 4-1. 연구과제 도출분야



2) 대체물질

(1) Bisphenol A 대체 물질

BPA는 제조공정이 간단하면서도 플라스틱으로 제조시 반응성이 높고 제조된 플라스틱의 물성이 우수하여 에폭시, PC등의 주원료로 사용하고 있다. 그러나 BPA로 만들어진 플라스틱이 음료수 캔, 젓병, 대형 생수통 등 식품의 컨테이너로 사용시 미중합 또는 성형시 분해되어 포장재에 잔류하는 BPA가 용출될 수 있는 가능성 때문에 이를 대체하고자 하는 연구 개발이 필요하며 다음과 같은 과제들이 도출되었다.

가. PC 대체

PC가 갖고 있는 장점들인 고내열성, 투명성, 내충격성등을 갖고 있는 신소재

- 고내열 고투명 폴리에스터 수지
- 고내열 고투명 나일론 수지
- 고내열 고투명 폴리프로필렌 수지

나. 에폭시 수지 대체

에폭시가 갖고 있는 스틸캔 보호성을 갖고 있는 소재

- 라미네이트 캔용 접착 수지
- 비 BPA계 에폭시 수지

(2) 스티렌 수지 대체 물질

- 스티렌 Dimer, Trimer를 원천적으로 포함하지 않는 식품 포장용 소재
- 스티렌 수지(발포스티렌 수지 포함)로 된 식품포장 용기(컵라면, 도시락 용기 등)를 대체할 수 있는 경량성, 가공성, 내열성을 갖는 비 스티렌계 식품 포장용 수지 개발

가. 폴리에스터 발포체

나. 생체 친화 안정제가 포함된 폴리올레핀 수지(예: 비타민E 함유 PP 컴파운드)

다. 폴리올레핀 발포체

(3) PVC 대체 물질

내약품성, 가공성, 유연성등을 갖는 비PVC계 신소재 개발

가. 올레핀계 열가소성 고무

나. 특수 올레핀 수지

(4) 비할로젠계 난연 고분자

브롬, 염소등 할로젠화합물을 포함하지 않는 난연플라스틱 및 섬유개발

가. 비할로젠 난연플라스틱

나. 비할로젠 난연섬유

(5) 비 Ti계 방오도료

Ti를 포함하지 않는 선박용 방오도료

(6) 천연고분자 식품포장재

화학물질을 없는 천연소재, 예를 들면 셀룰로즈, 전분등을 이용한 식품포장재

3) 저감기술

(1) 표면처리기술

EDC 의심물질인 BPA, 스티렌다이머/트리머를 포함하고 있는 PC, epoxy, PS 재질의 식품용기로부터 EDC의심물질의 용출양이 적도록 표면을 처리하는 기술

가. PC 표면처리기술

나. Epoxy 코팅 표면 처리기술

다. PS 수지 표면처리 기술

(2) Recycle 기술

연소시 Dioxin 생성 물질이 발새하는 것으로 의심 받는 물질을 사용 후 연소시키지 않고 재사용하는 기술

가. PVC 수지 Recycle 기술

나. 할로젠계 난연 플라스틱의 Recycle 기술

(3) 저농도화 기술

EDC 의심 물질이 적게 생성되게 또는 적게 함유되게 하는 기술

가. 신규중합기술

나. 신가공기술

다. 초임계 추출기술

라. Dioxin 저감화 기술

4) 위해성 평가분야

- EDC 의심물질들의 정확한 위해성 여부 평가
- BPA, SD/ST, PVC, 난연플라스틱, 신규 대체소재등의 유통현황, 오염현황, 환경영향, 인체영향, 평가방법등을 연구

3) 연구개발 후보과제 순위선정

도출된 연구개발과제들에 대한 개발의 중요성, 국가과제로서의 필요성, 개발성공 가능성, Workshop에서 토의된 의견을 참조로 하여 우선 순위를 결정

(1) Workshop 개최

EDC 관련 관계자들의 의견을 수렴하기 위해 1999. 4. 2에 서울 교육문화회관에서 “내분비계 장애물질 규제 대응 종합기술 개발전략”에 대한 Workshop을 개최하였으며 플라스틱 관련 분과에서는 다음과 같은 의견들이 토의되었음.

- 주제 발표자

이 재 홍 (한국화학연구소 책임연구원) ; 플라스틱 물질 분야
김 회 영 (한국화학연구소 책임연구원) ; 플라스틱첨가제 분야

- 종합토론

최주섭 (한국발포스티렌 재활용협회 상무), 이 경우 박사 (LG화학)를 비롯한 30여명이 참석, 주제발표 내용을 기초로 하여 플라스틱업계의 대처방안에 대하여 활발한 토론이 있었음. 토의내용을 정리하면 다음과 같음.

가. BPA, SD/ST 물질들은 EDC의심물질로 알려져 있으나 아직 이들이 EDC물질이란 확실한 증거가 없으며 EDC물질로 역할을 하지않는다는 보고도 다수 발표되고 있음. 따라서 이들 물질의 위해성에 대한 연구가 필요하며 대체물질을 개발하는 것은 소비자들에게 이들이 위해성이 있다는 불안을 줄 수 있으므로 대체물질을 개발할 필요성이 적음.

나. PVC는 열분해시 Dioxin을 발생할 수 있다는 가설은 확실하지 않음. 특히 도시형 소각로에서 문제가 되고 있는 Dioxin 발생은 음식물에서 나오는 염분에 주로 기인함. 따라서 PVC가 Dioxin 발생물질이라는 내용은 검토 바람.

다. 발표내용 중 우유병, 생수통, 장난감 등이 EDC의심 물질을 포함한 플라스틱으로 제조되었다는 것은 소비자들에게 오해를 불러 일으킬 수 있으므로 젓병, 대형생수통, 가소제함유 PVC제 장난감으로 정확히 표현하기 바람.

- 라. EDC 관련 물질들이 아직 까지 위해성을 갖고 있다고 확정되지 않고 단순히 후보 물질이므로 “EDC의심물질”로 용어를 통일하는 것이 바람직함.
- 마. EDC의심물질 들은 인체에 흡수 후 축적되어 장구한 세월이 지난 후에 그 위해성이 나타날 수 있으므로 대체소재를 개발할 필요성이 매우 큼.
- 바. 대체소재 개발 시에도 대체소재가 환경부담 또는 인체에 위해성이 있는지에 대한 정확한 사전 평가가 실시되어야 함. 한 예로 Life Cycle Assessment (LCA, 전과정 평가) 같은 방법을 사용하는 것도 바람직함
- 사. 발표내용 중 연구의 우선 순위는 위해성평가, 저감기술개발, 대체소재개발 순으로 하는 것이 바람직함. 가능하다면 소비자들의 오해를 줄이고 업체의 피해를 최소화하기 위해 대체소재개발 과제를 저감기술과제에 포함시키거나 “청정기술개발” 등으로 바꾸는 것이 바람직함.
- 아. 대체소재개발 과제에 폴리에스터, 나일론등 다른 소재도 포함시키는 것이 바람직함.
- 자. 공신력 있는 국가기관에서 EDC의심 물질의 위해성을 시급하고 정확하게 규명하기 바람.

(2) 순위선정 결과

분야	중요도	필요성	가능성	의견수렴(토의)	결과(순위)
저감기술	8	9	9	7	33 (2)
대체소재	9	7	8	5	29 (3)
위해성평가	10	10	7	10	37 (1)

* 10점 만점

(3) 개발후보 과제 우선순위 결과

분 야		내 용	순위	기 간	연구비
저감기술	표면처리기술	- PC 표면처리 기술 - Epoxy 코팅 표면처리기술 - PS수지 표면처리기술	3	6	15
	Recycle기술	- PVC Recycle기술 - 할로젠계 난연수지 Recycle 기술	1	6	12
	저농도화기술	- 신규 가공기술 - 신규 중합기술 - 초임계 추출기술 (BPA, SD/ST등 추출기술) - Dioxin 저감화기술	1	6	30
청정소재	비 BPA계 소재	- 고투명 고내열수지 (나일론, 폴리에스터, PP등) - 비 BPA계 캔 코팅제	3	5	20
	비 PS계 소재	- 올레핀 발포체 - 종이	3	3	6
	비 Tin계 도료	- 비 Tin계 방오도료등	3	2	4
	비 할로젠 난연 고분자	- 비할로젠계 난연제 - 비할로젠 난연 플라스틱	1	5	15
	PVC 대체	- 열가소성 폴리올레핀 고무등	2	2	5
	천연 고분자 식품 포장재	- 천연고분자 가공기술	2	5	10
위해성조사	BPA 위해성조사	- 유통현황			
	SD/ST 위해성조사	- 오염현황			
	PVC위해성 조사	- 환경영향 - 인체영향			
	신규소재 위해성 조사	- 평가방법 등			

4) 연구개발 추진 방법

- 관련 산업 협회(또는 조합)를 협력 기관으로 참여시켜 다자간 산-연 협동 연구 과제로 추진함.
- 시제품에 대한 소비자 적용시험 수행과 공인기관의 분석검증을 병행함.
- 출연연구소가 주도하여 소대체물질 개발 및 공통의 공정 기술원리를 도출하고, 개별기술기술로 tuning하여 최종 적용 기술의 연구 개발을 완료함.
- 기본기술원리를 정립하고, bench 시험과 pilot 시험을 거치는 스케일-업 연구개발을 수행함.
- 실규모의 1/20 규모 이하로 실증을 위한 다목적 pilot plant를 출연연구소에 설치하여 운전함.
- 엔지니어링사와 최종 협력하여 기술 package를 완성함.
- 협력 기관에 대한 기술 보급 및 사후 관리를 실시함.

5) 기대효과

플라스틱 분야의 EDC의심물질에 대한 위해성평가, 저감기술개발, 대체소재 개발을 성공적으로 수행시 기대효과는 다음과 같다

- 가. 소비자의 불안감을 해소시킬 수 있다.
- 나. 식품, 용기생산, 원료생산등 EDC 관련업체의 피해를 최소화 할 수 있다.
- 다. 플라스틱가공, 표면처리등에 대한 신기술을 개발하여 기업의 기술 수준을 향상시킬 수 있다.
- 라. 기업의 신소재를 창출 할 수 있는 능력을 제고시킬 수 있다.
- 마. 외국의 규제에 대한 사전 대처로 수출경쟁력을 향상시킬 수 있다.

6) 도출과제(안)

(1) 중과제명	BPA 미합유 플라스틱 개발													
(2) 소과제명	고내열 고투명 나일론 수지 개발													
(3) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 고내열, 고투명, 고내충격성 식품포장재용 나일론 공중합수지 개발 													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> · 기존의 고투명수지인 PC는 BPA를 원료로 사용하여 제조됨 · PC를 대체하여 식품용기 (우유병등)로 사용 가능한 신규소재 개발 필요 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 고내열성, 고투명성, 고내충격성 플라스틱 설계 · 중합법 개발 · 중합공정 개발 · 응용분야 탐색 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 설계기술 · 중합기술 · 공정기술 · 응용기술 													
(6) 국내외 현황	<p><u>선진국</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · BPA를 원료로 사용하지 않는 고내열 식품포장용 수지 개발 <p><u>국내</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 폴리에스터계 공중합 수지개발 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td>2년</td> <td>4억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	4억	- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	2년	5억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	4억												
- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	2년	5억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 플라스틱 신소재 창출 · 수입대체 및 상품수출 · 새로운 벤처형 기업 창출 · 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 													

(1) 중과제명	BPA 미함유 플라스틱 개발										
(2) 소과제명	비 BPA계 에폭시 수지 개발										
(3) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 비 BPA계 원료를 이용한 음료수 캔 내부 코팅제 개발 										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> · 기존의 음료수 스틸캔은 에폭시 수지를 내부 코팅제로 사용하므로 EDC 의심물질 BPA용출 가능성이 높음 · 따라서 BPA를 사용하지 않는 비 BPA계 에폭시 수지 개발이 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 에폭시 수지의 분자구조설계 · 중합 및 경화기술개발 · 접착특성 분석 · 실용화 기술개발 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 분자설계기술 · 중합기술 · 접착력향상 · 응용기술 										
(6) 국내외 현황	<p><u>선진국</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 라미네이트 캔 기술개발 · 라미네이트 캔은 설비 투자비가 과다 <p><u>국내</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 외국기술 습득단계 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td>2년</td> <td>4억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	4억	- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	4억									
- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 신규 고성능코팅 수지개발 · 수입대체 및 상품수출 · 새로운 벤처형 기업 창출 · 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 · 인체에 무해한 식품용기 개발 										

(1) 중과제명	PVC대체 플라스틱 개발										
(2) 소과제명	올레핀계 열가소성 고무										
(3) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 내약품성, 가공성, 유연성등이 우수하여 기존의 연질 PVC를 대체 가능한 폴리올레핀계 열가소고무 및 응용기술 개발 										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> · PVC는 가소제인 Phtlalte류가 환경호르몬으로 알려져 있음. · PVC는 사용후 분해시 Dioxin배출 가능성이 있기 때문에 PVC를 대체 가능한 신 플라스틱 개발필요 · 가소제를 사용하지 않는 PVC 대체용 신규 플라스틱 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 올레핀계 열가소성 고무인 PVC대체 가능성 탐색 · 열가소성 고무 제조기술 · 응용기술 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 유해성조사 · 컴파운드기술 · 응용기술 										
(6) 국내외 현황	<p><u>선진국</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 유럽의 Green Peace등이 PVC사용금지 요구 · PVC 대체소재 개발연구 진행 <p><u>국내</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · PVC의 recycling 기술개발 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (제조기술)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td>2년</td> <td>6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (제조기술)	2년	5억	- 2단계 (실용화 단계)	2년	6억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계 (제조기술)	2년	5억									
- 2단계 (실용화 단계)	2년	6억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 신규 플라스틱 소재개발 · 수입대체 및 상품수출 · 새로운 벤처형 기업 창출 · 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 										

(1) 중과제명	EDC 저농도화 기술										
(2) 소과제명	초임계법에 의한 플라스틱중의 저분자량 물질 제거 공정 기술 개발										
(3) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 합성 수지 중의 미량 잔류 단량체 또는 oligomer 형태의 내분비계 장애 물질의 후처리 제거를 위한 초임계 유체 적용 실용화 공정 기술 개발 										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> · 식품포장재로 사용중인 PC, 에폭시 수지의 미반응 잔류원료인 BPA가 용출되어 환경호르몬 문제를 야기 하기 때문에 이를 저감시킬 있는 기술 개발 필요 · 컵라면 용기로 사용 중인 PSP 수지로부터 환경 호르몬 의심 물질인 스티렌 Dimer/Trimer 가 용출되어 사회적 문제가 되므로 이를 줄일 수 있는 기술 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 최적 용매 조합 연구 · 접촉 추출제거 연속식 단위공정 기술원리의 도출과 검증 · 공정 변수의 영향 분석 및 최적 제거 조건 설정 연구 · 연속 공정화 제어 논리 연구 · 스케일-업 기술 연구 · 공정 기술 package 완성 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 용매선정 기술 · 추출기술 · 공정기술 · 응용기술 										
(6) 국내외 현황	<p><u>선진국</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 초임계 추출 응용기술 개발 중 <p><u>국내</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 초임계 기초기술 연구중 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td>2년</td> <td>5억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	5억	- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	5억									
- 2단계 (실용화 단계)	2년	5억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 합성수지중의 환경 호르몬 물질 제거가 가능한 초임계 유체 공정 기술의 완성과 확보 · 완구, 식품 용기, 의료 용품 등의 인체 적용 최종 제품 생산자에게 안전한 합성수지를 공급 · 합성 수지 제품에 대한 소비자들의 사회적 연대 거부감의 해소와 불식 · 관련 초임계 유체 공정 분야에서의 원천 기술의 확보와 기술 판매 추진 가능 · 차별화된 고품질 합성수지 제품의 생산 수출과 외화 가득 										

(1) 중과제명	스티렌 수지 대체 플라스틱 개발										
(2) 소과제명	식품포장용 폴리올레핀 발포체 개발										
(3) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · 기존의 PSP 수지로 된 식품포장용기는 스티렌다이머/트리머 용출가능성이 있기 때문에 이를 대체 가능한 PP계 발포체 기술개발 										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> · PS수지 식품포장재의 환경호르몬 문제해결 필요 · PS수지와 유사하며 환경호르몬 문제가 없는 신소재 개발 필요 · 식품포장용 폴리올레핀 (PP) 발포체 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · PP발포체의 식품포장용기 가능성 탐색 · 인체에 무해한 PP발포체 컴파운드 연구 · 발포연구 · 성형가공연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · 인체유해성 조사 · 컴파운드 기술 · 발포기술 · 응용기술 										
(6) 국내외 현황	<p><u>선진국</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · PS의 환경호르몬 때문에 PS에서 올레핀 소재로 대체 · PP/Talc제 식품용기 개발 <p><u>국내</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · PS에서 종이로 대체연구 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td>2년</td> <td>3억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td>2년</td> <td>4억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	3억	- 2단계 (실용화 단계)	2년	4억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	3억									
- 2단계 (실용화 단계)	2년	4억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> · 신규 식품포장용 소재개발 · 수입대체 및 상품수출 · 새로운 벤처형 기업 창출 · 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 										

2. 플라스틱 첨가제(가소제) 분야

1) 연구의 배경 및 필요성

- (1) 12가지 phthalate물질이 EDC 의심물질로 보고되어 파문
 - o 일본 후생성 지정 9가지 phthalate 포함
 - o 플라스틱(PVC) 가소제 및 정밀화학제품 첨가제로 사용

- (2) 실생활에 사용되는 제품에 사용되어 민감한 반응
 - o Phthalate가소제는 PVC등에 10~40 wt%에 첨가
 - o 고분자-phthalate가소제 간 결합력이 없어 문제
 - o 유아용품, 식품포장, 의료용품 등의 PVC 제품으로부터 유출 가능

- (3) 측정 농도, 평가 방법 및 기준치 등 위해성 자료 미흡
 - o 자료해석 및 위해성 여부에 관해 업계-시민단체간 공방이 치열
 - o 소비자 여론이 정부기관에 압력 → 정책 결정에 큰 영향

- (4) 업계 피해 발생, 확대 전망
 - o 보다 정확한 위해성 자료: 향후 많은 시간 소요
 - o Phthalate 첨가제 사용 업체: 기술적 내용 공개 회피
 - o 위해성 자료 자체의 신뢰도에는 한계
 - o 관련 제품 판매상: 위해성 여부에 불문 판매 철회

- (5) 연관 업체들의 대응전략 수립 불가피
 - o 독자적, 협회 차원의 대외 홍보활동만으로는 한계
 - o phthalate 사용을 배제할 수 있는 대응 가소제 및 제품 개발
 - o phthalate 누출이나 오염을 저감시킬 수 있는 방법
 - o halogen계 난연제 사용을 대신할 수 있는 플라스틱상품 개발 및 제조
 - o PVC 대응제품, 정밀화학 신상품 개발의 기회로도 활용 필요
 - o 위해성 평가기술의 진보나 결과에 무관하게 대책 마련 필요

2) 연구목표

- (1) non-phthalate 가소제 및 phthalate-free 제품 개발
- (2) non-halogen 난연제 및 응용기술 개발
- (3) 기존 PVC 제품에서 phthalate 유출을 최소화하는 대응공정 개발

3) 연구과제 도출

(1) 도출기준

- 필요성: 위해성 여부에 관계되어 환경규제, 무역규제 또는 소비자운동 등으로 산업적 피해가 예상되어 기술적 해결 필요성이 높은 과제
- 중요성: EDC 문제 해결뿐만 아니라 과학기술적으로도 중요한 영향을 미칠 수 있는 과제
- 적합성: 특정 기업이나 집단의 이익에서 벗어나 국가적 차원의 기술개발과제로 수행하는 것이 적합한 과제
- 차별성: 과기부, 산자부, 환경부등 기존 여타 국가연구개발 사업의 일환으로 수행되는 연구과제와 차별성이 있는 과제
- 가능성: 연구과제로 수행되어 연구목표를 달성할 수 있는 가능성이 높은 과제

(2) 도출과제

연구 분야	내용
◆ Phthalate계 가소제 대응물질 개발	기존 Phthalate계 가소제 문제 해소를 위한 경쟁력을 갖출 수 있는 대응 가소제 물질 개발 (예: internal plasticizer, polymeric plasticizer 등)
◆ Self-Plasticizing PVC 개발	PVC chain에 유연성을 부가시켜 가소제와 같이 표면 누출 문제를 해결 (예: polybutyl acrylate side-chain을 갖는 PVC graft copolymer)
◆ PVC 대응원료 개발	PVC 대응과 동시에 phthalate 가소제 문제를 근원적으로 해결할 수 있는 범용성 대응 고분자 원료 개발 (예: single-site metallocene 촉매 개발을 통한 ethylene-styrene copolymer 제조/ styrene 함량 > 25%)
◆ PVC 대응상품 개발	Phthalate 가소제의 위해성 논란이 되는 PVC 제품의 대체상품 (중간원료 및 최종 제품 포함)을 개발하여 상용화 (예: 의료용품, 장난감 등의 유아용품 등)
◆ Phthalate-free 정밀 화학제품 개발	Phthalate 첨가제 사용을 배제하는 정밀화학 제품들의 개발 (예: Phthalate-free 매니큐어, Phthalate-free 감광소재)
◆ 가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면 처리 기술	PVC 제품의 표면 처리를 통해 첨가제의 누출을 방지시킬 수 있는 저비용 기술 개발 및 실용화 (예: PVC 제품표면의 선택적 가교화 등)
◆ Non-Phthalate계 가소제 물질 Blending 기술	기존 Phthalate계 가소제 대신 고분자형 compatibilizer를 활용하기 위한 blending 기술 (예: polybutyl acrylate와 같은 polymeric compatibilizer 혼합 기술 등)
◆ Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술	기존 Halogen계 난연제 대신 Non-Halogen계 난연제를 활용하기 위한 blending 및 가공 기술 (예: halogen-free 난연제 혼합 기술, 물성평가기술, 등)
◆ 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술	Phthalate계 가소제가 첨가되는 플라스틱 가공 공정에서 대량 유출되는 가소제의 처리 및 회수 공정의 개발 및 실용화

(3) 연구별 단계별 목표

세 부 기 술	단계별 목표		
	1단계 (3년)	2단계 (3년)	3단계 (3년)
◆ Self-Plasticizing PVC 개발	○ 대응물질 확정 ○ 제조방법 확정	○ 제조기술 최적화	○ scale-up 연구 ○ 시제품 생산
◆ PVC 대응원료 개발	○ 촉매 개발 ○ 경제성 검토	○ engineering 기본data 확보	○ basic package 완성
◆ Phthalate계 가소제 대응물질 개발	○ 대응물질 확정 ○ 경제성 검토	○ 제조 및 적용 기술개발 ○ 시제품 생산	N/A
◆ PVC 대응상품 개발	○ 대응물질 확정 ○ 경제성 검토	○ 제조기술 최적화 ○ 시제품 생산	N/A
◆ Phthalate-free 정밀 화학제품 개발	○ 대응물질 확정 ○ 경제성 검토	○ 제조기술 최적화 ○ 시제품 생산	N/A
◆ 가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면처리 기술	○ 처리기술 개발 ○ 촉매 개발 ○ 물성 평가	○ 제조기술 최적화 ○ 처리 system 실용화	N/A
◆ Non-Phthalate계 가소제 물질 Blending 기술	○ formulation 선정	○ 기술 최적화	N/A
◆ Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술	○ 혼합기술개발 ○ 물성평가	○ 시제품 제조 ○ 경제성 검토	N/A
◆ 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술	○ 개선방법 확립 ○ 회수/제거 시스템 개발	○ 실용화 연구 ○ 경제성 검토	N/A

(4) 우선순위 (예)

연구 분야	평가항목 (항목별 5점 만점 기준)						우선 순위
	필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
◆ Phthalate계 가소제 대응물질 개발	5	5	5	4	4	23	2
◆ Self-Plasticizing PVC 개발	5	4	2	3	2	16	9
◆ PVC 대응원료 개발	5	4	3	5	2	19	6
◆ PVC 대응상품 개발	5	5	5	4	5	24	1
◆ Phthalate-free 정밀 화학제품 개발	4	3	3	3	5	18	7
◆ 가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면 처리 기술	5	4	3	4	4	20	5
◆ Non-Phthalate계 가소제 물질 Blending 기술	5	4	4	4	4	21	4
◆ Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술	5	5	4	4	4	22	3
◆ 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술	5	2	2	2	4	17	8

(5) 소요 예산 및 개발 우선 순위

연구 분야	소요기간 (년)	소요예산 (억원) (정부/기업)	우선순위
◆ Phthalate계 가소제 대응물질 개발	6	14 (16/9)	2
◆ Self-Plasticizing PVC 개발	9	25 (16/9)	9
◆ PVC 대응원료 개발	9	35 (20/15)	6
◆ PVC 대응상품 개발	6	12 (6/6)	1
◆ Phthalate-free 정밀 화학제품 개발	6	12 (6/6)	7
◆ 가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면 처리 기술	6	12 (8/4)	5
◆ Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술	6	12 (8/4)	3
◆ Non-Phthalate계 가소제 물질 Blending 기술	6	12 (6/6)	4
◆ 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술	6	11 (5/6)	8

4) 도출과제(안)

과제-1: Phthalate계 가소제 대응물질 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	Phthalate계 가소제 대응물질 개발										
(3) 연구개발 목표	기존 Phthalate계 가소제의 성능과 가격 면에서 경쟁력을 갖출 수 있는 대응 가소제 개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ PVC 첨가제양 중 73% (금액면에서도 54%) 차지 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 가소제가 내분비계교란 가능성 논란 ○ 시민단체압력이나 법적규제 가능성 배제 못해 PVC원료, 제품 및 가소제업체 타격 가능 ○ 기존 phthalate계 가소제를 대응할 수 있는 기능과 가격경쟁력을 갖춘 대응 물질 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응물질의 합성기술 개발 - 대응가소제 제조 공정기술 연구 - compounding 기술 연구 - 대응 가소제 사용 제품 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 반응공정기술 ○ 촉매기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ phthalate이외의 대체 가소제 개발은 오래 전부터 연구되어오고 있으나 가격 경쟁력이 문제가 되었음 ○ 미국에서는 EDC 문제 해결 방안으로 phthalate-free PVC 소재가 최근 개발되어 의료용 소재 제조에 사용됨 ○ 국내 현장에서의 DOP (DEHP) 선호도가 지나쳐 대응 가소제 사용에 회의적 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (제조 및 적용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">8억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (제조 및 적용기술개발단계)	3년	8억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억									
- 2단계 (제조 및 적용기술개발단계)	3년	8억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관련 업계에 기술적 해결 방안 제공 ○ EDC문제 해결 PVC 응용 제품 개발과 연계 가능 ○ Phthalate 교체를 통한 환경 보호 ○ 플라스틱 가공 업체 작업환경 개선 및 작업자 건강 보장 										

과제-2: Self-Plasticizing PVC 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술													
(2) 소과제명	Self-Plasticizing PVC 개발													
(3) 연구개발 목표	PVC chain에 유연성을 부가시켜 가소제 사용을 배제													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ PVC 첨가제양 중 73% (금액면에서도 54%) 차지 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 가소제가 내분비계교란 가능성 논란 ○ 시민단체압력이나 법적규제 가능성 배제 못해 PVC원료 업계 타격 가능 ○ 가소제 사용을 근본적으로 배제하기 위해 PVC 고분자 chain을 변형시켜 수지 자체가 유연성을 갖는도 Self-plasticizing 물질 개발 필요 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응물질의 합성기술 개발 - 변형된 PVC 제조 공정기술 연구 - compounding 기술 연구 - 대응 물질 사용 제품 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고분자합성기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC 제조기술은 성숙기에 진입, 시장상황에 따라 PVC 가격변동 폭이 큼 ○ 미국에서는 가소제 사용을 근원적으로 배제하기 위해 polybutyl acrylate side-chain을 갖는 PVC graft copolymer 개발 중에 있음 ○ 값 싼 PVC 대비 가격경쟁력이 관건임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (제조기술최적화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">8억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (실용화연구단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">11억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (제조기술최적화 단계)	3년	8억	- 3단계 (실용화연구단계)	3년	11억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (제조기술최적화 단계)	3년	8억												
- 3단계 (실용화연구단계)	3년	11억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가소제 사용에 따른 EDC문제 가능성을 근본적으로 해결 ○ 물성 특성에 부합되는 새로운 응용 제품 개발과 연계 가능 ○ Phthalate 교체를 통한 환경 보호 ○ 플라스틱 가공 업체 작업환경 개선 및 작업자 건강 보장 													

과제-3: PVC 대응 원료 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술													
(2) 소과제명	PVC 대응 원료 개발													
(3) 연구개발 목표	PVC 물성의 장점을 지니면서 phthalate 가소제 사용을 근원적으로 배제하는 범용성 non-PVC 고분자 원료 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ PVC 첨가제양 중 73% (금액면에서도 54%) 차지 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 가소제가 내분비계교란 가능성 논란 ○ 시민단체압력이나 법적규제 가능성 배제 못해 PVC원료 업계 타격 가능 ○ 가소제 사용을 근본적으로 배제하기 위해 PVC 고분자 chain을 변형시켜 수지 자체가 유연성을 갖는도 Self-plasticizing 물질 개발 필요 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응물질의 합성기술 개발 - non-PVC 대응 물질 제조 공정기술 연구 - compounding 기술 연구 - 대응 물질 사용 제품 평가 <p>핵심 기술</p> <p>○ 고분자합성기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술</p>													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국에 Dow에서는 single-site metallocene 촉매 개발을 통한 ethylene-styrene copolymer제조(styrene 함량 > 25%)에 돌입 ('99년) ○ 이와 같이 범용성 수지 원료를 조합한 non-PVC 물질의 개발이 활발해질 전망 ○ 값 싼 PVC 대비 가격경쟁력이 관건임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계"(제조기술최적화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">9억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (실용화연구단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">20억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계"(제조기술최적화 단계)	3년	9억	- 3단계 (실용화연구단계)	3년	20억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계"(제조기술최적화 단계)	3년	9억												
- 3단계 (실용화연구단계)	3년	20억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가소제 사용에 따른 EDC문제 가능성을 근본적으로 해결 ○ 물성 특성에 부합되는 새로운 응용 제품 개발과 연계 가능 ○ 폐PVC 처리시 논란이 되는 dioxin문제 해소 													

과제-4: PVC 제품의 대응상품 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	PVC 제품의 대응상품 개발										
(3) 연구개발 목표	Phthalate 가소제의 위해성 논란이 되는 PVC 제품의 대응상품 (중간원료 및 최종 제품 포함)을 개발하여 상용화										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 가소제가 내분비계교란 가능성 논란 ○ Phthalate가소제 함유 기존 PVC 제품의 신기능성 대응상품 개발 필요 ○ EDC문제를 역이용하여 신상품 개발과 연계하여 사업화 기회 활용 ○ 시장 규모가 큰 제품으로서 경제적 파급효과 및 수출 가능 상품 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응 대상 기존 PVC 제품 평가 - 대응 상품의 용도에 부합하는 대응 소재 도입 연구 - 실용화 연구 및 경제성 검토 - 대응제품 물성 및 사양 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 재료기술 ○ 신소재 응용 기술 ○ 상품화기술 ○ 물성시험기술 										
(6) 국내외 현황	<p>선진국</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 가소제 위해성 논란에 따라 PVC 장난감, 유아용품, 의료용품등 사용규제 가시화 ○ 해당업체에서 자율적으로 제품생산 중단 사례 증가 ○ PVC-free 또는 phthalate-free 제품(예: 용기류, 식품포장재)들 판매 추세 ○ 목재, 유리등의 재래식 소재를 이용한 유아용 용품의 개발 및 판매 급증 <p>국내</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 목재, 유리 등을 이용한 재래상품 판매에 EDC 문제를 선전에 활용 ○ 사장규모가 큰 PVC 제품의 신기능성 대응제품 개발은 아직 없음 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">7억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억	- 2단계 (실용화 개발단계)	3년	7억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억									
- 2단계 (실용화 개발단계)	3년	7억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신기능성 신상품 개발 및 문제 PVC 상품 교체 ○ 수입대체 및 상품수출 ○ 새로운 벤처형 기업 창출 ○ 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 										

과제-5: Phthalate-free 정밀화학제품 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	Phthalate-free 정밀화학제품 개발										
(3) 연구개발 목표	Phthalate 첨가제 사용을 배제하는 정밀화학 제품들의 개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ Phthalate계 물질은 의,농약, 접착제, 도료, 잉크 등의 첨가제로도 사용됨 ○ 가소제의 약 5%는 정밀화학제품 첨가제용으로 사용됨 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 phthalate가 EDC 문제로 논란의 소지가 있음 ○ 기존 phthalate계 첨가제 대신 사용될 수 있는 물질을 이용한 정밀화학제품의 개발이 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - non-phthalate첨가제 선정 - 선정된 첨가제를 이용한 정밀화학제품 제조방법 연구 - 새로운 제품의 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 정밀화학제품 제조기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ phthalate계 물질들은 정밀화학 제품의 첨가제로 많이 사용되어오고 있음 ○ 선진국에서는 EDC 문제 해결 방안으로 Phthalate-free 매니큐어, Phthalate-free 감광소재 등이 최근 개발되어 사용됨 ○ 국내에서는 non-phthalate 정밀화학 상품의 개발에는 아직 무관심 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(신제품 개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (신제품 실용화연구)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">7억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(신제품 개발단계)	3년	5억	- 2단계 (신제품 실용화연구)	3년	7억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(신제품 개발단계)	3년	5억									
- 2단계 (신제품 실용화연구)	3년	7억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관련 업계에 신상품 개발 방안 제공 ○ 신상품 개발을 통한 국제경쟁력 강화 ○ EDC문제 확대 가능성에 미리 대비 ○ Phthalate 교체를 통한 환경 보호 										

과제-6: 가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면처리 기술

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	가소제 누출 방지를 위한 PVC 제품 표면처리 기술										
(3) 연구개발 목표	PVC 제품의 표면 처리를 통해 첨가제의 누출을 방지시킬 수 있는 기술 개발 및 실용화										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 가소제가 내분비계교란 가능성 논란 ○ 시민단체압력이나 법적규제 가능성 배제 못해 PVC원료, 제품 및 가소제업체 타격 가능 ○ 손쉬운 기술적 대책방안 중 하나는 제품표면으로 가소제의 누출을 막는 것 ○ 경제적으로 적용 가능한 PVC제품 표면의 처리기술 확립 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소 기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - PVC표면 코팅/반응을 통한 보호막 형성 연구 - 가소제 추출 저감 효과 분석 - 표면처리 최적 공정 기술 개발 - 미반응물 회수 및 재사용 방법 연구 <p>핵심 기술</p> <p>○ 표면처리/코팅기술 ○ 촉매/반응공정기술 ○ 회수 및 재사용기술 ○ 분석기술</p>										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: PVC용 phthalate계 가소제가 위해성이 없음을 밝히는 데에 주력 (유아용 용품, 용기류 등을 중심으로 PVC 대응 상품 개발) ○ 시민단체: 최소한 유아용 PVC 제품의 판매 금지 촉구 ○ 선진국: EU국가들을 중심으로 PVC재 장난감, 의료용품 판매 금지 예정 ○ 기존 PVC제품 독성 평가결과에 대해 상반된 해석으로 치열한 홍보전 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: PVC 표면처리를 통한 가소제 누출을 방지하는 방법 연구중 - 국내: 기술적 대안을 아직 마련하지 못한 상태 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화기술개발 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">7억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억	- 2단계 (실용화기술개발 단계)	3년	7억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억									
- 2단계 (실용화기술개발 단계)	3년	7억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가소제 누출 방지를 통해 phthalate 가소제 위해성 문제 해소 ○ 가소제 사용이 많은 PVC계 생활용품 업계 보호 ○ 국내 PVC 원료 및 가소제 산업의 피해 방지 										

과제-7: Non-Phthalate계 가소제 물질 blending 기술 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	Non-Phthalate계 가소제 물질 blending 기술 개발										
(3) 연구개발 목표	기존 Phthalate계 가소제 대신 non-phthalate계 가소제를 활용하기 위한 blending 기술개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ PVC 첨가제양 중 73% (금액면에서도 54%) 차지 ○ 사용도중 제품으로부터 유출되는 phthalate가 내분비계교란 가능성 논란 ○ 시민단체압력이나 법적규제 가능성 배제 못해 PVC원료, 제품 및 가소제업체 타격 가능 ○ 기존 phthalate계 가소제를 대응할 수 있는 기능과 가격경쟁력을 갖춘 대응 물질 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응물질의 합성기술 개발 - 대응가소제 제조 공정기술 연구 - compounding 기술 연구 - 대응 가소제 사용 제품 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고분자가공기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ phthalate이외의 대체 가소제 개발은 오래 전부터 연구되어오고 있으나 가격 경쟁력이 문제가 되었음 ○ 선진국에서는 이미 polybutyl acrylate와 같은 polymeric plasticizer등과 같은 non-phthalate가소제를 사용하고 있음 ○ 국내 현장에서의 DOP (DEHP) 선호도가 지나쳐 대응 가소제 사용에 회의적 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (실용화기술개발단계)	3년	6억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용기술개발단계)	3년	6억									
- 2단계 (실용화기술개발단계)	3년	6억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관련 업계에 기술적 해결 방안 제공 ○ EDC문제 해결 PVC 응용 제품 개발과 연계 가능 ○ Phthalate 교체를 통한 환경 보호 ○ 플라스틱 가공 업체 작업환경 개선 및 작업자 건강 보장 										

과제-8: Non-halogen계 난연제 물질 활용기술 개발

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	Non-halogen계 난연제 물질 활용기술 개발										
(3) 연구개발 목표	기존 halogen계 난연제 대신 non-halogen계 난연제를 플라스틱 제품의 제조에 활용하기 위한 기술개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플라스틱 제품이 잘 타지 않게 첨가하는 난연제로 할로젠(주로 브롬)계 물질을 많이 사용하고 있다. ○ 국내에서 연간 2만톤 가량 사용되는 브롬계 난연제는 폐기물 연소시 EDC물질인 dioxin 발생 가능성이 논란이 되어왔고, 브롬 자체의 독성이나 사출 및 성형시 가스발생등의 문제로 대체제 개발이 활발히 진행중이다. ○ EDC 문제의 대두로 브롬계 난연제의 대응물질이 상업적으로 사용될 수 밖에 없는 추세 ○ 기존 난연제를 대신할 수 있는 non-halogen난연제의 활용을 위해서는 상업적 활용에 필요한 기술이 확립되어야 한다. 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대응물질의 특성 연구 - 대응 난연제 혼합 및 가공기술 연구 - compounding 기술 연구 - 대응 난연제 사용 제품 평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고분자가공기술 ○ compounding기술 ○ 물성시험기술 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ non-halogen 난연제의 개발은 국내외적으로 활발히 진행되고 있으나 기존 브롬계 난연제를 대체할만한 물질은 아직 활용되지 못하는 실정이다. ○ 기존 브롬계 난연제를 대체할 만한 물성 및 경제성을 지닌 대응물질의 활용은 불가피하여 이를 활용하기 위한 기술도 개발 중 ○ 국내 현장에서의 브롬계 난연제의 선호도가 지나쳐 문제 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (실용화기술개발단계)	3년	6억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용기술개발단계)	3년	6억									
- 2단계 (실용화기술개발단계)	3년	6억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관련 업계에 기술적 해결 방안 제공 ○ EDC문제 해결 플라스틱 제품 개발과 연계 가능 ○ 독성이 있는 브롬의 교체를 통한 환경 보호 ○ 플라스틱 가공 업체 작업환경 개선 및 작업자 건강 보장 										

과제-9: 가소제 첨가 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술

(1) 중과제명	플라스틱 첨가제 EDC 대응 기술										
(2) 소과제명	가소제 첨가 플라스틱 가공공장 조업환경 개선 기술										
(3) 연구개발 목표	Phthalate계 가소제가 첨가되는 플라스틱 가공 공정에서 유출되는 가소제의 처리 및 회수 공정의 개발 및 실용화										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PVC제품 은 용도에 따라 10~50%이상의 phthalate 가소제 함유 ○ 고온의 플라스틱 가공(칼렌더링 등)과정에 첨가된 가소제 일부분 유출 불가피 ○ 작업장 내,외에 유출된 가소제에 인명(작업자포함) 피해 위험성 상존 ○ 특히, 지속적, 고농도로 가소제에 노출될 수 있어 EDC 피해가 가장 클 가능성 ○ 해결 방안으로, 경제적으로 적용 가능한 폐가스 종합 처리 시스템 개발 필요 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - PVC 가공 공정 폐가스로부터 가소제의 분리방법 연구 - 재사용 또는 처리 기술 방법 연구 - 폐가스로부터 가소제 분리 제거기술 연구 - 최적 분리, 재사용/처리 공정 기술 확립 <p>핵심 기술</p> <p>○ 분리기술 ○ 촉매기술 ○ 반응공정기술 ○ 재사용기술 ○ 분석기술</p>										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: PVC 등 플라스틱 가공(특히 칼렌더링)공장 내부 문제로 대외 공개 회피 폐가스 처리의 심각성 및 중요성 인식, 많은 시설 투자를 하고 있으나 보다 효과적인 처리 시스템 개발 필요성 인정 ○ 특히, 국내 업계에서는 값싼 PVC제품 및 phthalate계 가소제 사용 선호로 인해 가공업체 작업환경이 작업자 및 인근 주민 건강에 피해를 미칠 가능성이 높음 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 철저한 안전수칙에 의거한 폐가스(에 함유된 가소제) 처리 - 국내: 폐가스의 기본적 처리에 치중, 보다 효과적 처리기술을 도입하지 못함 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화연구 및 응용확대)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억	- 2단계 (실용화연구 및 응용확대)	3년	6억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	5억									
- 2단계 (실용화연구 및 응용확대)	3년	6억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플라스틱 가공 공정 작업자 보호 및 작업환경 개선 ○ 플라스틱 가공 공장외부로의 phthalate가소제 누출 방지 ○ PVC 제품 원료, 제품 및 가소제 업계의 피해 저감 										

3. 산업 및 환경오염물질 분야

1) EDC 저감기술의 정의

EDC 저감기술이란 산업공정에서 의도적으로 원료 또는 공정보조물질로 사용되는 EDC가 제품에 함유되거나 노출되는 것을 줄이거나 제품의 생산, 유통, 소비 및 폐기물 처리 등 모든 경제활동 과정 후에 환경으로 유출된 EDC를 제거하는 기술을 의미한다.

EDC 저감기술을 좀 더 구체적으로 분류하면 첫째, 공정에 원료 또는 공정보조물질로 사용되는 EDC를 EDC가 없는 무해한 물질로 대체하여 소기의 목적을 달성하는 “EDC 대체물질 개발기술”, 둘째, EDC대신 물리화학적 기능이 단순한 물질을 사용하면서 부족한 기능을 고효율 장치 등으로 대체하는 “EDC 대체공정 개발기술”, 셋째 제품내 또는 생산과정이나 소비과정 후에 잔류하는 EDC를 제거하는 “EDC 처리기술” 로 나누어 질 수 있다.

2) 대상 EDC의 선정

산업 및 환경오염 분야에서 EDC로 확정된 물질중 다음과 같은 기준에 의해 기술개발도출과제의 대상 EDC로 PCB, PCP, Dioxin 등의 유기염소계 물질, 노닐페놀, TBT 등을 선정하였다

- ① 법적규제 또는 규제 예상물질
- ② 사회적 영향성이 큰 물질
- ③ 국내산업에 미치는 경제적 영향이 큰 물질
- ④ 처리기술보다는 대체물질 또는 대체공정 개발기술이 가능한 물질
- ⑤ 외국의 사례에서 중요성이 인정된 물질

3) 연구과제 도출기준

- ① 필요성 : 위해성 여부에 관계되어 환경규제, 무역규제 또는 소비자운동 등으로 산업적 피해가 예상되어 기술적 해결 필요성이 높은 과제
- ② 중요성 : EDC 문제 해결뿐만 아니라 과학 기술적으로도 중요한 영향을 미칠 수 있는 과제

③ 적합성 : 특정 기업이나 집단의 이익에서 벗어나 국가적 차원의 기술개발과제로 수행하는 것이 적합한 과제

④ 차별성 : 산자부, 환경부, 보건복지부 등 기존 여타 국가연구개발 사업의 일환으로 수행되는 연구과제와 차별성이 있는 과제

⑤ 가능성 : 연구과제로 수행되어 국내 연구진에 의해 연구목표를 달성할 수 있는 가능성이 높은 과제

4) 도출과제

PCB, Dioxin, PCP 등의 유기염소계 물질, 노닐페놀, TBT 등의 저감기술에 관해 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서의 기술개발현황을 조사한 결과와 우리나라에서의 기술개발환경, 경제성, 사회적 파급효과 등을 감안하여 도출한 과제는 다음과 같다.

(1) 유기염소계 분야

가. PCB 대체물질 및 대체공정 개발

- ① Poly Olefin계 절연유 개발
- ② Poly Ester계 절연유 개발
- ③ 글리콜계 절연유 개발
- ④ 변압기 냉각 및 온도제어 시스템 개발
- ⑤ 변압기 절연유 용해가스 감지기술 개발
- ⑥ 변압기 수명 예측기술 개발
- ⑦ 변압기 폭발 방지기술 개발

나. 처리기술 개발

- ① 유해성 물질의 안정화기술 개발
- ② 유해성 물질의 고정화기술 개발
- ③ 고효율 촉매 수화공정 개발
- ④ EDC의 고온 플라즈마 처리공정 개발
- ⑤ EDC의 APEG 처리공정 개발
- ⑥ EDC의 초임계수 산화공정 개발

⑦ EDC의 식물을 이용한 정화기술 개발(Phytoremediation)

⑧ 금속분말을 이용한 EDC의 환원기술 개발

다. Dioxin 저감기술

① 대체표백 및 살균공정 개발

② Deacon Process 이용기술 개발

③ 재합성 방지기술 개발

④ 흡착/반응물질 첨가공법 개발

⑤ 촉매 반응공법 개발

라. 염소계 EDC 연구과제 우선순위

성격	과제명	평가항목 (항목별 5점만점)						우선 순위
		필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
대체 물질	Poly Olefin계 절연유 개발	4	3	4	3	4	18	
대체 물질	Poly Ester계 절연유 개발	4	5	2	5	4	20	8
대체 물질	글리콜계 절연유 개발	4	4	4	3	3	18	
대체 공정	변압기 냉각 및 온도제어 시스템 개발	4	4	4	3	5	20	8
대체 공정	변압기 절연유 용해가스 감지기술 개발	4	4	3	4	4	19	
처리 기술	유해물질의 안정화/고정화 기술	4	5	5	4	5	23	3
처리 기술	고효율 촉매 수화공정 개발	4	5	4	3	4	20	8
처리 기술	EDC의 고온 플라즈마 처리공정 개발	5	5	3	3	4	20	8
처리 기술	EDC의 APEG 처리공정 개발	5	5	3	4	5	22	4
처리 기술	EDC의 초임계수 산화공정 개발	5	5	5	4	5	24	1
처리 기술	EDC의 식물을 이용한 정화기술 개발	5	5	4	5	5	24	1
처리 기술	금속분말을 이용한 EDC의 환원기술 개발	4	5	5	5	3	22	4
저감 기술	대체표백 및 살균공정 개발	5	4	4	3	5	21	6
저감 기술	Deacon Process 이용기술 개발	5	4	3	4	3	19	
저감 기술	재합성 방지기술 개발	5	3	3	4	4	19	
저감 기술	흡착/반응물질 첨가공법 개발	5	3	5	3	5	21	6
저감 기술	촉매반응공법 개발	5	5	4	3	2	19	
기타	염소계 EDC의 극미량 분석법 개발	5	4	3	3	5	20	8

○ 유기염소계 EDC의 플라즈마 처리공정 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술		
(2) 소과제명	유기염소계 EDC의 플라즈마 처리공정 개발		
(3) 연구개발 목표	플라즈마에 의한 고효율 유기염소계 EDC 분해공정 개발 및 기본설계 완성		
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, 다이옥신 등 유기염소계 EDC는 독성이 높아 초고효율로 분해해야함 ○ 플라즈마 기술에 의한 EDC 물질의 고효율분해 가능 ○ PCB, 다이옥신 등의 처리비용은 상당히 고가이므로 경제성 높음 ○ 유기염소계 EDC 뿐 만 아니라 난분해성 유해물질의 분해에도 활용 가능 		
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과산화수소, 산소 또는 기타 산화제 선정 연구 - EDC 종류에 따른 원료주입비 및 양, 산화온도, 압력 등 최적산화조건 확립연구 - 에너지절약형 플라즈마 발생기 제조연구 - 반응기 등 공정의 Scale-up 및 연속운전 연구 - 플라즈마 산화공정의 개발 및 Pilot Plant의 설계 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플라즈마 발생장치 설계기술, ○ 산화반응기술 ○ 반응공정 연속제어기술 		
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 국내에 있는 PCB함유 절연유는 외국에 의뢰하여 처리하고 있음 ○ 소각시 발생하는 다이옥신은 흡수, 흡착처리하고 있으나 규제치 이상 배출할 때도 있음 ○ 시민이나 환경단체에서는 고효율로 다이옥신 분해처리하여 배출기준 준수 요구 ○ 선진국 : 미국, 일본 등지에서는 상용 플라즈마 산화시설 가동 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상업화 단계임 - 국내 : 실험실 규모로 연구개발중임 		
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계 (실험실규모 연구단계)	3년	20 억원
	- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)	3년	30 억원
	- 3단계 (상용화 단계)	3년	60 억원
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC물질의 고효율 분해기술 개발 ○ 국내기술 사용에 의한 수입대체효과 ○ 쾌적한 생활환경보호에 기여 		

마. 도출과제의 주요내용

○ 유기염소계 EDC의 초임계수 산화공정 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술		
(2) 소과제명	유기염소계 EDC의 초임계수 산화공정 개발		
(3) 연구개발 목표	초임계수에 의한 고효율(99.9999%) 유기염소계 EDC 분해공정 개발 및 기본설계 완성		
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, 다이옥신 등 유기염소계 EDC는 독성이 높아 고효율로 분해해야함 ○ 초임계수를 용매로 사용하면 높은 산화분위기를 형성하여 99.9999%이상으로 분해 가능 ○ PCB, 다이옥신 등의 처리비용은 상당히 고가이므로 국내기술로 분해하면 경제성 높음 ○ 유기염소계 EDC 뿐 만 아니라 난분해성 유해물질의 분해에도 활용 가능 		
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과산화수소, 산소 또는 기타 산화제 선정 연구 - EDC 종류에 따른 원료주입비 및 양, 산화온도, 압력 등 최적산화조건 확립연구 - 내식성 반응기 및 감압기 재질 선정기술 - 반응기 연속운전 연구 - 초임계 산화공정의 개발 및 Pilot Plant의 설계 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 산화반응기술 ○ 내식재료 선정기술 ○ 반응공정 연속제어기술 		
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 국내에 있는 PCB함유 절연유는 외국에 의뢰하여 처리하고 있음 ○ 소각시 발생하는 다이옥신은 흡수, 흡착처리하고 있으나 규제치 이상 배출할 때도 있음 ○ 시민이나 환경단체에서는 고효율로 다이옥신 분해처리하여 배출기준 준수 요구 ○ 선진국 : 미국, 일본 등지에서는 Pilot 규모로 초임계수 산화시설 가동 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : Pilot Plant가동후 상업화 단계임 - 국내 : 실험실 규모로 연구개발중임 		
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계 (실험실규모 연구단계)	3년	20 억원
	- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)	3년	30 억원
	- 3단계 (상용화 단계)	3년	100 억원
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC물질의 고효율 분해기술 개발 ○ 기타 유독성 물질의 안전처리 기술 확보 ○ 유독물처리 핵심기술 확보로 수입대체 및 기술 수출 활성화 		

○ 유기염소계 EDC의 촉매 수화공정 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술		
(2) 소과제명	유기염소계 EDC의 촉매 수화공정 개발		
(3) 연구개발 목표	촉매 수화공정 개발에 의한 유기염소계 EDC 분해공정 개발 및 기본설계 완성		
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, PCP 등 유기염소계 EDC는 독성이 높아 고효율로 분해해야함 ○ 촉매 수화공정은 저에너지소비형 EDC 분해기술임 ○ PCB, PCP 등의 처리에 경제적인 기술임 ○ 유기염소계 EDC 뿐 만 아니라 난분해성 유해물질의 분해에도 활용 가능 		
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 촉매 및 환원제 선정 연구 - EDC 종류에 따른 원료주입비 및 양, 환원온도, 압력 등 최적분해조건 확립연구 - 내식성 반응기 재질 선정기술 - 반응기 연속운전 연구 - 촉매수화공정의 개발 및 Pilot Plant의 설계 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 환원반응기술 ○ 내식재료 선정기술 ○ 반응공정 연속제어기술 		
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 국내에 있는 PCB함유 절연유는 외국에 의뢰하여 처리하고 있음 ○ 소각시 발생하는 다이옥신은 흡수, 흡착처리하고 있으나 규제치 이상 배출할 때도 있음 ○ 시민이나 환경단체에서는 고효율로 EDC를 분해처리하여 배출기준 준수 요구 ○ 선진국 : 미국에서는 1992년부터 촉매수화공정 운전중임 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상용화 단계임 - 국내 : 실험실 규모로 연구개발중임 		
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계 (실험실규모 연구단계)	3년	10 억원
	- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)	3년	15 억원
	- 3단계 (상용화 단계)	3년	40 억원
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC물질의 고효율 분해기술 개발 ○ 국내기술 사용에 의한 수입대체효과 ○ 쾌적한 생활환경보호에 기여 		

○ 유기염소계 EDC의 극미량 분석법 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술													
(2) 소과제명	유기염소계 EDC의 신속분석법 개발													
(3) 연구개발 목표	유기염소계 EDC의 극미량(ppb level) 신속 분석기법 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, 다이옥신 등 유기염소계 EDC는 독이 높아 배출허용기준이 낮음 ○ 다이옥신의 분석은 장기간을 소요하며 매우 고가임. ○ 연구개발 및 환경관리를 위하여 저가의 신속분석법 개발이 필수적임. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - PCB 분석연구 - 다이옥신 분석연구 - PCP 분석연구 - 재현성 확립연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 분석기법 선정연구 ○ 정량분석 기법 ○ 재현성 확립기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내에서 이루어지고 있는 EDC분석 결과는 아직 신뢰성이 낮은 단계임 ○ 환경단체에서는 신뢰성 높은 분석기법 요구 ○ 선진국 : 신속분석법에 대해 점진적으로 개선하고 있음(다이옥신 분석 6시간) ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 점진적 개선 중 - 국내 : 기술개발 초기단계임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (기초연구)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">20 억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (응용연구)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">20 억원</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (현장적용)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">10 억원</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (기초연구)	3년	20 억원	- 2단계 (응용연구)	3년	20 억원	- 3단계 (현장적용)	2년	10 억원
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (기초연구)	3년	20 억원												
- 2단계 (응용연구)	3년	20 억원												
- 3단계 (현장적용)	2년	10 억원												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 분석기술의 도약 ○ 과학적 환경관리에 기여 ○ 측정기술의 대외 신인도 제고 및 기술수출 기반확립 													

○ Polyester계 변압기 절연유 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술	
(2) 소과제명	Polyester계 변압기 절연유 개발	
(3) 연구개발 목표	Polyester계 혼합물에 의한 비폭발성 변압기 절연유 개발	
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변압기 절연유로 사용되는 PCB의 대체물질 개발 필요 ○ Poly Ester계 절연유는 발화온도가 고온인 절연유임 ○ 다른 고온 열매체 개발에도 활용 가능 	
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 발화온도가 높은 고분자 Blend 선정연구 - 고분자 첨가제 연구 - 발화 및 폭발시험연구 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고분자 Blending기술 	
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 광유계 절연유는 개발, Polyester계는 초기개발단계임 ○ 선진국 : 미국에서는 개발완료하여 시판중임 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상업화 - 국내 : 개발 초기단계임 	
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간 소요예산
	- 1단계 (Blending 연구단계)	3년 6억원
	- 2단계	
	- 3단계	
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변압기 절연유 개발 및 상용화 ○ 국내제품의 사용에 의한 수입대체효과 ○ 쾌적한 생활환경보호에 기여 	

○ 변압기 냉각 및 온도제어 시스템 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술													
(2) 소과제명	변압기 냉각 및 온도제어 시스템 개발													
(3) 연구개발 목표	자동지능제어 시스템에 의한 변압기 냉각장치 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비PCB계 절연유를 사용한 변압기의 화재나 폭발방지 필요 ○ 국내 독자기술 개발로 관련산업의 발전에 기여 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 온도의 화재 또는 폭발을 예측하는 감지sensor 개발 - 효율적으로 냉각할 수 있는 변압기 구조 설계연구 - 신뢰성있는 인공지능 제어시스템 개발 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고감도 sensing기술 ○ 변압기 설계기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 국내에서는 아직 변압기 수명연장을 위한 인공지능 제어시스템 개발사례 없음 ○ 선진국 : 미국에서는 상용화되었음 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상업화 단계임 - 국내 : 인공지능 제어시스템 개발사례 없음 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (연구단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">9억원</td> </tr> <tr> <td>- 3단계</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (연구단계)	3년	6억원	- 2단계 (실용화단계)	3년	9억원	- 3단계		
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (연구단계)	3년	6억원												
- 2단계 (실용화단계)	3년	9억원												
- 3단계														
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB를 사용하지 않는 변압기의 인공지능 냉각시스템 개발 ○ 국내기술 사용에 의한 수입대체효과 ○ 쾌적하고 안전한 생활환경보호에 기여 													

○ EDC의 APEG 처리공정 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술										
(2) 소과제명	EDC의 APEG 처리공정 개발										
(3) 연구개발 목표	저온 탈염소화 공정을 이용한 염소계 EDC 처리기술 개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, Dioxine 등 염소계 EDC의 처리가 시급한 실정임. ○ 쓰레기 소각처리가 증가하고 있으며 특히 소각장이 인구밀집지역 가까이 있어 Dioxine 등의 EDC 처리가 필요함. ○ 일본에서는 PCB처리를 탈염소화공정을 지정 고시하였음. 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 활성시약(알카리금속과 PEG) 제조방법 - 활성시약과 EDC의 반응조건 및 효율향상 - PEG 회수 및 재사용 연구 - 반응기 재질 및 안전운전 방법 연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <p>○ 반응온도 제어기술 ○ PEG 회수기술 ○ 반응물 투입기술 ○ 미량 정량/정성 분석기술</p>										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내: - KIST에서 PCB 처리를 위한 APEG 공정에 대한 기초연구를 수행. - 타 기관에서는 연구경험이 없음. ○ 외국: - 미국에서 상용장치를 이용해 PCB와 Dioxine 처리를 수행하였음 - 처리효율을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있음. ○ 기술 수준 - 국외: 상용장치를 운전중에 있으며 효율 향상을 위해 계속 연구중임. - 국내: KIST에서 기초연구를 수행한 정도임. 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">9 억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">12 억원</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	9 억원	- 2단계 (실용화 단계)	3 년	12 억원
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	9 억원									
- 2단계 (실용화 단계)	3 년	12 억원									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC 처리를 위한 저온 무해화 기술 확보 ○ 염소계 EDC로 인한 환경문제 해결 										

○ 금속분말을 이용한 EDC 산화기술 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술										
(2) 소과제명	금속분말을 이용한 EDC 산화기술 개발										
(3) 연구개발 목표	반응성 금속분말을 이용한 염소계 EDC 처리기술 개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매우 온화한 조건에서 EDC처리가 가능하여 경제성이 높음. ○ PCB, Dioxine 등 염소계 EDC의 처리가 시급한 실정임. ○ 미세 금속분말을 이용한 지하수 및 유독물질 처리기술에 대한 연구가 선진국에서 연구가 활발히 진행되고 있음. 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미세입자의 금속분말 제조기술 - 반응조건 및 반응기 제어기술 - 반응금속 분말의 회수.재활용 기술 - 반응효율 향상을 위한 담체개발 <p>핵심 기술</p> <p>○ 금속분말 크기 제어기술 ○ 반응기 제어기술 ○ 금속분말 재활용기술 ○</p>										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내: - KIST에서 금속분말을 이용한 염소계유기물질 처리에 대한 기초연구를 수행. ○ 외국: - 금속철분말을 이용한 지하수 정화에 응용 <ul style="list-style-type: none"> - Fenton's Reagent를 이용한 유독화학물질 산화연구 수행. ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 상용장치를 운전중에 있으며 효율 향상을 위해 계속 연구중임. - 국내: KIST에서 기초연구를 수행한 정도임. 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">30 억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">30 억원</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	30 억원	- 2단계 (실용화 단계)	3 년	30 억원
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	30 억원									
- 2단계 (실용화 단계)	3 년	30 억원									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC 처리를 위한 금속분말 활용기술 확보 ○ 염소계 EDC로 인한 환경문제 해결 ○ 질산염 등 환경오염 문제물질의 경제적 처리기술 확립 										

◦ EDC의 식물을 이용한 정화기술 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술													
(2) 소과제명	EDC의 식물을 이용한 정화기술 개발													
(3) 연구개발 목표	식물의 식생활동을 이용한 토양 및 슬러지 중의 EDC 처리기술 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 토양 및 저니, 슬러지의 오염으로 저경비형 광역처리 기술의 필요성이 대두되고 있음. ◦ 식물을 이용한 처리기술은 경제성과 함께 부가적인 조경효과와 2차 오염문제가 없어 유독물질이 미량 함유되어 있는 대량/광역처리에 적합함. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - EDC 분해 및 식생능력이 있는 수종 개발 - 장기간의 처리효율 실험 - 미량 유해물질 분석기술 - 토양 처리 후 식물의 적정 처리기술 <p><u>핵심 기술</u></p> <p>◦ 적정 수종 개발 ◦ 식생방법 ◦ 미량 정량/정성 분석기술</p>													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 국내: - KIST에서 Phytoremediation에 대한 기초연구를 수행. <ul style="list-style-type: none"> - 임업연구소에서 포플러 이용 중금속 처리토양 정화시도 ◦ 외국: - 오염물질별 적정 식물 선정기술이 많이 확보되어 있으며 유류, 중금속 및 유독 물질 오염토양 처리를 위한 기술실용화 단계 진입 <ul style="list-style-type: none"> - 각광 받는 미래기술로 수종개발 및 처리방법에 대한 많은 연구를 수행중임. ◦ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 다양한 수종 개발로 오염토양 정화를 수행하고 있음. - 국내: KIST에서 기초연구 수행결과 토양 및 슬러지 처리에 가능성 확인. 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">4 년</td> <td style="text-align: center;">10 억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">4 년</td> <td style="text-align: center;">12 억원</td> </tr> <tr> <td>- 3단계(보급화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">10 억원</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	4 년	10 억원	- 2단계 (실용화 단계)	4 년	12 억원	- 3단계(보급화 단계)	3 년	10 억원
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용기술개발단계)	4 년	10 억원												
- 2단계 (실용화 단계)	4 년	12 억원												
- 3단계(보급화 단계)	3 년	10 억원												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 식물을 이용한 자연정화법 기술 확보 ◦ 다양한 종류로 오염된 오염토양 정화 가능 ◦ 저렴한 경비로 대단위 오염지역 정화 													

○ 활성탄 흡착법을 이용한 다이옥신 처리기술 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감기술										
(2) 소과제명	활성탄 흡착법을 이용한 다이옥신 처리기술 개발										
(3) 연구개발 목표	고정층 및 이동층 흡착법을 이용한 배가스 중의 다이옥신 처리기술 개발										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배가스 중의 다이옥신은 기상뿐만 아니라 미세입자상에도 흡착되어 배출됨. ○ 다이옥신 흡착 처리 후 발생하는 폐흡착제의 처리문제 대두 ○ 다이옥신 뿐 아니라 수은도 함께 처리할 수 있는 다목적 기술임. 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 착화점이 높은 고온 활성탄 흡착제의 개발 - 고정층 및 이동층 흡착처리 방법 및 흡착제 재생연구 - 흡착제 재생을 위한 열분해 조건 연구 - 반응기 재질 및 안전운전 방법 연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <p>○ 고온 흡착제 제조기술 ○ 흡착제 재생기술 ○ 다이옥신 분해기술</p>										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내: - 국내에서는 아직 이와 유사한 연구개발 사례가 없음. ○ 외국: - 일본에서는 활성코크스를 이용한 다이옥신 흡착제거 및 열분해에 의한 다이옥신 분해와 흡착제 재생장치 상용실험 중임. <ul style="list-style-type: none"> - 처리량에 따른 흡착탑 형식 및 설계기술 개발이 진행중임. ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 상용장치를 운전중에 있으며 효율 향상을 위해 계속 연구중임. - 국내: 국내에서는 아직 연구경험이 없음. 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">20억원</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3 년</td> <td style="text-align: center;">30억원</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	20억원	- 2단계 (실용화 단계)	3 년	30억원
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(응용기술개발단계)	3 년	20억원									
- 2단계 (실용화 단계)	3 년	30억원									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 새로운 다이옥신의 흡착처리기술 확보 ○ 고성능 흡착제 개발, 다이옥신의 열분해 및 흡착탑 재생기술 확보 										

○ EDC의 안정화/고정화 기술

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술		
(2) 소과제명	EDC의 안정화/고정화 기술		
(3) 연구개발 목표	다이옥신, PCB 등 유기염소계 EDC의 불용화 및 고정화 기술		
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCB, 다이옥신 등 유기염소계 EDC는 독성이 높아 신뢰성 있는 방법으로 안정화 및 고정화 해야함 ○ 분해처리에 비해 훨씬 경제적인 ○ 개발된 고품형제는 다른 유해물질의 고정화에도 활용 가능 		
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 무기 고품형제 Blending 연구 - 유기 고품형제 Blending 연구 - 복합형 고품형제 Blending 연구 - EDC용출시험 및 안정화 향상연구 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 고품형제 Blending기술 		
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 연구개발 사례 없음 ○ 선진국 : 미국, 일본에서는 일부 상용화와 함께 지속적 개발 중 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상업화 단계임 - 국내 : 초기 연구개발 단계임 		
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계 (유무기고형제 기초연구)	3년	12 억원
	- 2단계 (유무기고형제 기초/응용연구)	3년	24 억원
	- 3단계 (복합고형제 실용화)	3년	30 억원
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 염소계 EDC물질의 불용화/고정화 기술 개발 ○ 지정폐기물 처리에 대한 국민의 의혹분식 ○ 국내기술 사용에 의한 수입대체효과 및 기술수출 		

○ 새로운 표백제 및 살균공정 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질 저감 기술													
(2) 소과제명	새로운 표백제 및 살균공정 개발													
(3) 연구개발 목표	새로운 비염소계 표백제 및 비염소계 살균공정 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 염소계 물질이 사용되는 펄프 표백 및 상수도 살균공정을 원천적으로 비염소계 물질을 사용하여 PCB, 다이옥신 등의 발생을 원천적으로 방지 ○ 국내 독자기술의 개발로 관련산업의 발전에 기여할 필요가 있음 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과산화수소, 산소 등 표백제 Blending 연구 - 최적 표백제 표백공정 연구 - 최적 살균조건 확립 - 연속적 살균시험 및 신뢰성 확립연구 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최적 표백제 Blending 기술 ○ 최적 살균조건 확립기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ Green peace와 같은 환경단체에서는 지구상에서 염소계 물질의 사용금지를 제창중임 ○ 선진국 : 미국, 유럽, 일본 등지에서 대체표백제 및 살균공정을 개발하여 경제성을 높이는 연구를 수행중임 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 : 상업화 단계임 - 국내 : 초기 연구개발 단계임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (실험실규모 연구단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">15억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">20억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (상용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">30억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (실험실규모 연구단계)	3년	15억	- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)	3년	20억	- 3단계 (상용화 단계)	3년	30억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (실험실규모 연구단계)	3년	15억												
- 2단계 (Pilot Plant규모 단계)	3년	20억												
- 3단계 (상용화 단계)	3년	30억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비염소계 표백제 및 살균공정 개발 ○ 국내기술 사용에 의한 수입대체효과 ○ 쾌적한 생활환경보호에 기여 													

(2) TBT분야

가. 도출과제

대과제	중과제	세부과제명
내분비 계장애 물질	산업 및 환경 오염 물질	천연물질형 TBT 대체도료개발
		계면활성제를 이용한 TBT 대체도료 개발
		zinc계 대체도료개발
		용출율을 조절할 수 있는 TBT페인트
		Non-stick coating법 개발
		오염물의 물리적 제거법 개발
		토양으로부터 butyltin을 초임계유체 추출 공정개발
		TBT의 극미량 분석법 개발 및 수질모니터링법 개발
		천연물질형 대체방오법 개발
Phytoremediation에 의한 정화법 개발		

나. 우선순위

성격	과제명	평가항목 (항목별 5점 만점 기준)						우선 순위
		필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
대체 물질	천연물질함유 TBT 대체도료 개발	5	5	4	4	4	22	2
	계면활성제를 이용한 TBT 대체도료 개발	5	5	3	4	3	20	4
	zinc계 대체도료개발	2	3	3	4	5	18	6
	용출율을 조절할 수 있는 TBT페인트	4	4	3	3	5	19	5
대체 공정	Non-stick coating법 개발	5	5	2	5	2	17	8
	천연물질형 대체방오법 개발	5	5	4	4	3	21	3
	오염물의 주기적 제거법 개발	4	3	3	4	3	17	8
저감 공정	초임계수산화에 의한 오염 TBT 저감공정개발	5	5	5	4	5	24	1
	Phytoremediation에 의한 정화법 개발	3	3	4	2	3	15	10
기타	TBT의 극미량 분석법 및 모니터링 법개발	5	4	3	1	5	18	6

다. 도출과제의 주요내용

o 초임계수산화에 의한 오염 TBT 저감공정개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	초임계수산화에 의한 오염TBT의 저감공정개발													
(3) 연구개발 목표	TBT의 무해화를 위한 초임계수산화공정개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> o 초임계수산화공정은 최첨단 오염유기물 분해방법으로 이를 적극 개발할 필요가 있음. o 원천적으로 이차 오염을 줄일 수 있는 방법임. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용(다음 항목 중 경제적인 것을 개발)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초임계수산화에 의한 TBT산화 기초연구 - TBT산화 메카니즘 및 kinetics연구 - 초임계수산화장치개발 (오염방지 및 부식문제 해결) - Pilot Plant 건설 및 scale-up 기술자료 확보 - 상용화공장의 기본설계완성 및 상세설계완성 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> o 초임계수산화 장치개발 및 기본설계기법 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> o 기술 수준 - 국외: SCWO의 상용화가 이루어짐. - 국내: Pilot Plant가 가동중임. 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> o 유기오염물질에의 SCWO법의 확산 o 첨단 처리법의 기술수출 													

○ 천연물질 함유 TBT 대체도료 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	천연물질함유 TBT 대체도료 개발													
(3) 연구개발 목표	천연물질이 함유된 방오도료의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선진국은 TBT에 대한 규제를 하여 천연물질이 함유된 제품이 개발되고 있음. ○ 환경을 보호하는 데에 천연물질을 이용하려는 경향이 증가함. ○ 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Furan 화합물이 함유된 천연물질의 탐구 및 선정 (예: 2-furyl-methylketone) - 방오도료의 제조 - Field Test - Bench Scale <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 천연물질의 배합/ 방출조절 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국은 많은 나라가 이미 기술개발완료 미국의 Rohm & Haar사에서 개발 - 국내: 일부 연구개발 또는 조사연구가 진행중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (기초기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">1억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (기초기술개발단계)	1년	1억	- 2단계 (응용기술개발단계)	2년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (기초기술개발단계)	1년	1억												
- 2단계 (응용기술개발단계)	2년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ TBT 방오도료의 대체도료개발로 업계 보호 및 수입대체 ○ 해양오염방지로 청정해역유지 및 수산물생산 증대 													

○ 천연물질형 대체 방오법 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	천연물질을 이용한 방오법의 개발													
(3) 연구개발 목표	천연물질을 이용한 방오법의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> - 최근환경오염에 대응하는 연구개발은 천연의 원리에서 찾으려고 함. - 새로운 대체물질의 환경친화적 검증이 문제가 되는 경우가 많음. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용(아래 기능 중 하나 중 택일)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 무해한 물질로서 유해한 영향을 끼치지 않고 유기체가 붙는 것을 막는 것 - 주변 유기체들에게 해를 끼치지 않고 배를 오염시키는 유기체들에만 작용하는 물질 - 매우 빠르게 분해하는 대체물질(분해된 물질들은 비오염 물질이다.) <p><u>핵심 기술</u></p> <p>○ 천연물질과 자연의 원리의 탐구 및 이의 이용 개발</p>													
(6) 국내외 현황	<p>○ 기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국에서도 초보적이지만 매우 관심이 집중되고 있음: - 국내: 조사연구가 진행중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	3년	6억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	3년	6억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다른 천연물질 이용법에 적용확대대체 ○ 오염의 원천방지로 국토청정에 적극대처 													

○ 계면활성제를 이용한 TBT대체도료 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	계면활성제를 이용한 TBT대체도료 개발													
(3) 연구개발 목표	방오성분이 있는 친수성 oligo-oxyethylene가 결합된 페인트													
(4) 연구개발의 중요성	<p>○ 시민단체압력, 법적규제 가능성 증가</p> <p>○ 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상</p>													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 페인트 측쇄에 계면활성제를 이용한 페인트 개발 - 방오제로서 eucalyptus나무에서 발견되는 구충효과가 있는 물질 개발 - 구충제를 계면활성제 말단에 부착 기술 개발 (공유결합) - 페인트의 Field test <p>핵심 기술</p> <p>○ 고분자-계면활성제-구충제 결합형 화합물 개발</p>													
(6) 국내외 현황	<p>○ 기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 교토대학교, 일본페인트, 나라첨단과학기술연구소에서 공동으로 최초로 개발 - 국내: 조사연구가 진행 중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">4억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	2년	4억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	2년	4억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<p>○ TBT 방오도료의 대체화로 업계 보호 및 수입대체</p> <p>○ 해양오염방지로 청정해역유지 및 수산물생산 증대</p> <p>○ 첨단방오도료의 해외수출</p>													

○ 용출율을 조절할 수 있는 TBT페인트개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	용출율을 조절할 수 있는 TBT페인트개발													
(3) 연구개발 목표	TBT의 배출속도가 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 이하인 유기주석 페인트개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국 EPA에서 TBT의 배출속도가 $4\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ 이하인 유기주석 페인트를 qualified antifouling paint containing organotin으로 정하여 검정하는 제도를 도입 ○ 미국의 항구에 출입하는 선박에 규제 등으로 산업적 피해가 예상 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Controlled release 고분자개발 - TBT의 함침/코팅기술개발 - 페인트의 Field test <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Controlled release 기술 이용 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 일본 등 선진국에서 응용기술 개발 - 국내: 기초기술 연구가 진행 중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (기초기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">4억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">4억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (기초기술개발단계)	2년	4억	- 2단계 (응용기술개발단계)	2년	4억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (기초기술개발단계)	2년	4억												
- 2단계 (응용기술개발단계)	2년	4억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ Controlled release 고분자기술 확대 ○ 청정환경유지로 국민보건 향상 ○ 첨단방오도료의 해외수출 													

o Zinc계 대체도료개발

(1) 종과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	구리계 TBT 대체 페인트개발													
(3) 연구개발 목표	구리화합물이 함유된 방오페인트의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<p>o TBT함유방오페인트의 규제로 zinc pyrithione함유 방오페인트의 응용확대</p>													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - algacidal activity가 우수한 zinc 화합물 함유 방오도료 개발 - 효력의 지속력 증가연구 - 페인트의 Field test <p>핵심 기술</p> <p>o zinc 화합물의 개발</p>													
(6) 국내외 현황	<p>o 기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국외: zinc계 biocide와 cuprous oxide 또는 copper thiocyanate와 함께 사용하여 hard fouling과 soft fouling을 모두 해결하고 있음. - 국내: 기초기술 연구가 진행 중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (기초기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (응용기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (기초기술개발단계)	1년	2억	- 2단계 (응용기술개발단계)	1년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (기초기술개발단계)	1년	2억												
- 2단계 (응용기술개발단계)	1년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> o 단기간에 TBT대체 방오제의 개발로 국내산업보호 o 청정환경유지로 국민보건 향상 o 첨단방오도료의 해외수출 													

○ TBT의 극미량 분석법 및 모니터링법개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질										
(2) 소과제명	TBT의 극미량 분석법 및 모니터링 연구										
(3) 연구개발 목표	TBT의 신속하고 정확한 정량분석 개발 및 모니터링 연구										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극미량을 다루는 EDC 문제에서는 분석법이 매우 중요함 ○ 오염원 별로 모두 적용되는 분석법을 체계적으로 분석할 필요가 있음 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 극미량 TBT의 분석법의 개발 (0.01 ppb 수준) - 오염지역의 모니터링 연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 극미량분석 기기 및 분석법 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 극미량 분석법에 대한 연구가 활발히 진행 중 - 국내: 기초기술 연구가 진행 중 										
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (분석법의 개발)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (모니터링 연구)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">4억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (분석법의 개발)	2년	2억	- 2단계 (모니터링 연구)	2년	4억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계 (분석법의 개발)	2년	2억									
- 2단계 (모니터링 연구)	2년	4억									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경호르몬의 분석법의 확립 ○ 분석분야의 첨단기술도입 ○ 새로운 개념의 분석법 도입에 확대 										

o Non-stick coating법 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	Non-stick coating법 개발													
(3) 연구개발 목표	polysiloxanes(silicon elastomers)를 이용한 코팅법의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<p>o 극미량을 다루는 EDC 문제에서는 분석법이 매우 중요함</p> <p>o 오염원 별로 모두 적용되는 분석법을 체계적으로 분석할 필요가 있음</p>													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silicon polymers에 기초를 둔 non-stick coating 개발 - 5~10 knots 정도의 속력에서 유기체가 배에서 떨어지게 함. - 코팅력 강화연구 - 빠른 생분해성이 요구됨 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> o polysiloxanes(silicon elastomers)의 코팅법 및 생분해성 													
(6) 국내외 현황	<p>o 기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국에서는 응용연구가 완료 - 국내: 기초기술 연구가 진행 중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<p>o 첨단 코팅법으로의 기술이전</p> <p>o 생분해성 고분자 개발</p> <p>o 표면에너지의 이용기술에의 적용</p>													

○ 오염물의 물리적 제거법 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	오염물의 물리적 제거법 개발													
(3) 연구개발 목표	물리적인 방법을 이용한 선저 오염물의 주기적 제거 방법의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제적인 선저 오염물의 주기적 제거법은 방오펜인트 적용기술과 경쟁할 수 있음 ○ 원천적으로 환경에 오염을 줄일 수 있는 방법임. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용(다음 항목 중 경제적인 것을 개발)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고압의 물 분출법 - 수중 로봇 - 원격 조종 청소 - 자외선 조사법 - 초음파 진동 - 레이저 조사법 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 물리적 방법 및 경제성 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 1970년대에 미국에서의 연구는 배 밑바닥 오염방지 페인트systems의 기계적인 수중 청소는 연료소비감소와 배 성능을 유지할 수 있다는 것을 보여줌 - 국내: 소형 선박에서 일부 시도 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물리적인 방법으로 화학적인 방법을 대체할 수 있는 가능성 확대 ○ 첨단 물리적 기법의 확산 													

○ Phytoremediation에 의한 정화법 개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질													
(2) 소과제명	Phytoremediation에 의한 TBT오염지역 정화법 개발													
(3) 연구개발 목표	Phytoremediation에 의한 TBT오염지역 정화법 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ Phytoremediation에 의한 오염지역의 정화법의 재인식 ○ 경제성이 매우 뛰어나 ○ 환경친화적 방법임. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용(다음 항목 중 경제적인 것을 개발)</p> <ul style="list-style-type: none"> - TBT에 적용할 수 있는 식물의 발굴 - TBT를 분해할 수 있는 식물의 개발 - Field test로 적용성 검토 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ TBT적용 Phytoremediation system 개발 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 미국에서는 가장 빠른 성장을 하고 있는 환경오염물 저감기술로 정부 차원의 연구개발 지원이 확대되고 있음. - 국내: 연구개발이 기초단계임. 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다른 오염물질에의 Phytoremediation 기술 전파 ○ 오염원의 자연치유로 국토 청정화 													

(3) Alkylphenol Ethoxylates분야

가. 도출과제

내분비 계장애 물질	산업 및 환경 오염 물질	NPE의 대체물질로서 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)개발
		면 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		Wool 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		PAN 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		Polyester 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		나이론 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		피혁 공업용 침투조제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		제지공업용 펄트세정제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		농약용으로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		침윤제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		염료분산제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		유화제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		고분자 중합의 유화제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구
		초임계수산화반응에 의한 APE의 분해

나. 우선순위

성격	과제명	평가항목 (항목별 5점 만점 기준)						우선 순위
		필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
대체 물질	NPE의 대체물질로서 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)개발	5	5	5	5	5	25	1
대체 공정	면 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	4	4	5	23	3
	Wool 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	4	4	5	23	3
	PAN 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	4	4	5	23	3
	Polyester 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	4	4	5	23	3
	나이론 가공 공정에서의 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	4	4	5	23	3
	피혁 공업용 침투조제로 사용되는 NP 대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	3	4	5	22	8
	제지공업용 펄트세정제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	5	3	4	5	22	8
	농약용으로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	3	3	2	5	18	10
	침윤제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	3	3	2	4	17	14
	염료분산제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	3	3	3	4	18	10
	유화제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구	5	3	3	2	3	18	10
고분자 중합의 유화제로 사용되는 NP 대체물질 및 이용 성능개선연구	5	3	3	2	3	18	10	
저감 공정	초임계수산화반응에 의한 APE의 분해	5	5	4	5	5	24	2

다. 도출과제의 주요내용

o NPE의 대체물질로서 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)개발연구

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질분야													
(2) 소과제명	NPE의 대체물질로서 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)개발연구													
(3) 연구개발 목표	NPE의 대체물질로서 Linear alcohol ethoxylates(LAEs)개발연구													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> o 선진국은 Alkylphenol Ethoxylates를 이미 삭감했거나 하는 중에 있음 o 시민단체압력, 법적규제 그리고 국제 무역규제 가능성 증가 o 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - LAE의 합성 및 합성촉매개발 - 최적 합성조건 확립 - 분리공정의 최적화 - Pilot Plant의 설계 및 운전자료확보 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> o 유기합성 / 공정개발 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> o 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국은 많은 나라가 이미 상업화 완료 - 국내: 기초연구 수행중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> o LAE 계면활성제 개발로 응용범위 확대 o 국내 계면활성제 산업의 피해 방지 													

○ 초임계수산화반응에 의한 APE의 분해 공정개발

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질분야													
(2) 소과제명	초임계수산화반응에 의한 APE의 분해 공정개발													
(3) 연구개발 목표	초임계수산화반응에 의한 APE의 분해 공정개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초임계수산화공정은 최첨단 오염유기물 분해방법으로 이를 적극 개발할 필요가 있음. ○ 원천적으로 이차 오염을 줄일 수 있는 방법임. 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 초임계수산화에 의한 APE산화반응 기초연구 - APE 산화 메카니즘 및 kinetics연구 - 초임계수산화장치개발 (오염방지 및 부식문제 해결) - Pilot Plant 건설 및 scale-up 기술자료 확보 - 상용화공장의 기본설계완성 및 상세설계완성 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 초임계수산화 장치개발 및 기본설계기법 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: SCWO의 상용화가 이루어짐. - 국내: Pilot Plant가 가동중임. 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	3년	6억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	3년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기오염물질에의 SCWO법의 확산 ○ 첨단 처리법의 기술수출 													

○ 섬유 가공 공정에서의 Nonylphenol ethoxylate 대체물질 및 이의 성능개선연구

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질분야													
(2) 소과제명	섬유가공 공정에서의 Nonylphenol ethoxylate 대체물질 및 이의 성능개선연구													
(3) 연구개발 목표	섬유가공 공정에서의 NP 대체물질 및 대체공정개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선진국은 Alkylphenol Ethoxylates를 이미 삭감했거나 하는 중에 있음 ○ 시민단체압력, 법적규제 그리고 국제 무역규제 가능성 증가 ○ 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 면, wool, polyester, PAN, 나이론 가공공정에서의 대체공정 - Nonylphenol Ethoxylate 대체화합물 발굴 - 가공공정에 적용 연구 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Degreasing, Scouring, Desizing, Wool Carbonization, Softening, Oiling, Spin-Treating, Waterproofing, and Anti-Static agent으로의 적용연구 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국은 많은 나라가 이미 기술개발완료 - 국내: 조사 연구중 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ AP계 계면활성제를 대체하여 섬유업계 보호 ○ 국내 AP 원료 및 계면활성제 산업의 피해 방지 													

○ 피혁 공업용 침투조제로 사용되는 NP 대체물질 및 이용 성능개선연구

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질분야													
(2) 소과제명	피혁 공업용 침투조제로 사용되는 NP 대체물질 및 이용 성능개선연구													
(3) 연구개발 목표	피혁 공업용 침투조제로 사용되는 NP 대체물질 및 이용 성능개선연구													
(4) 연구개발의 중요성	<p>○ 선진국은 Alkylphenol Ethoxylates를 이미 삭감했거나 하는 중에 있음</p> <p>○ 시민단체압력, 법적규제 그리고 국제 무역규제 가능성 증가</p> <p>○ 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상</p>													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적절한 계면활성제 연구 - Nonylphenol Ehoxylate 대체화합물 발굴 - 피혁 가공공정에 적용 연구 <p>핵심 기술</p> <p>○ Cleaning, Degreasing, Emulsifier로서의 적용연구</p>													
(6) 국내외 현황	<p>○ 기술 수준</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국은 많은 나라가 이미 기술개발완료 - 국내: 문헌조사 및 기초연구단계 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<p>○ AP계 계면활성제를 대체하여 피혁업계 보호</p> <p>○ 국내 AP원료 및 계면활성제산업의 피해 방지</p>													

○ 제지공업용 펄트세정제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구

(1) 중과제명	산업 및 환경오염물질분야													
(2) 소과제명	제지공업용 펄트세정제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구													
(3) 연구개발 목표	제지공업용 펄트세정제로 사용되는 NP대체물질 및 이용 성능개선연구													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선진국은 Alkylphenol Ethoxylates를 이미 삭감했거나 하는 중에 있음 ○ 시민단체압력, 법적규제 그리고 국제 무역규제 가능성 증가 ○ 위해성 여부에 관계되어 무역규제 등으로 산업적 피해가 예상 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적절한 계면활성제 연구(예: Linear Alcohol ethoxylates (LAEs)) - Nonylphenol Ehoxylate 대체화합물 발굴 - 제지공업용 펄트세정제에의 적용 연구 - 종이의 재생시 잉크제거제로의 적용연구 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 펄트세정제 / 칩투제 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 선진국은 많은 나라가 이미 기술개발완료 - 국내: 기초연구단계 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계 (응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계 (응용가능기술개발단계)	1년	2억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	1년	2억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ AP계 계면활성제를 대체하여 제지업계 보호 ○ 국내 AP원료 및 계면활성제 산업의 피해 방지 													

4. 농약 및 의약품 분야

1) 대체 기술, 물질 개발 분야 및 과제 도출

(1) 기본 방향 및 기준

▶ 다음 기준에 의하여 후보과제를 선발하였음.

- 자문회의, 공청회 및 과제회의에서 집중적으로 토의된 분야
- 환경호르몬 영향으로 인하여 21세기 국내·외의 농·의약 산업에서 매출액 감소 영향이 클 것으로 예상되는 분야
- 환경호르몬 영향으로 인하여 새로운 대체물질의 국내 수입으로 기술 로열티의 급격한 증가가 예상되는 분야
- 21세기를 대비하는 첨단기술 연구분야로써 향후 신물질 연구에 필수 불가결한 기반 기술 연구분야
- 기초 기반 기술 연구분야로서 현시점에서는 산업체에서 참여하기는 어려우나, 기반기술 확립후에는 산업체에서 응용 가능한 분야
- 지난 10여년간 축적된 know-how를 본 대체 기술 및 물질 개발에 응용할 수 있는 분야로써 국가 과학 기술 정책의 연속성과 효율성을 가진 분야
- 학문의 복합적이고 다기술 응용분야의 동반 발전이 가능한 국가 과학 기술 발전의 기반이 될 수 있는 분야

(2) 도출 방법 및 절차

- 위 기준에 적합하다고 여겨지는 분야를 통계자료와 문헌을 통하여 분석 수집
- 현재, 추진되고 있는 과학 기술 연구 프로젝트와 중첩되지 않는 분야를 우선 선정

(3) 전략 기술/과제의 분야

가. 내분비계 장애물질에 대한 종합적 대응책

▶ 농·의약분야 공청회 토의에서 도출된 종합적 대응책

- EDC 유해성 data bank 확립연구
- EDC test system 구축
- Database 구축 연구
- SEDR (Structure Endocrine Distrupor Relationship) 연구 및 대체물질 개발연구
- EDC mechanism 반응 연구

나. 과제의 분야

- 기존 물질에 대한 정보의 database 화
- 신규 chemical (농·의약 포함)에 대한 EDC 여부 조사 system 구축
- 이차 생성물의 EDC 여부조사
- 식품, 농·의약의 EDC 여부조사
- 특히 농약에 대한 대체물질 개발연구

2) 연구 개발 계획

(1) 연구 개발 목표

가. 연구개발의 최종목표

내분비계 장애물질의 국내·외의 의·농약 산업분야에 대한 파급영향을 효과적으로 대처하기 위한 규제 대응책 및 대체물질 개발능력을 확보함으로써 21세기를 대비한 국가 기술 경쟁력을 향상

나. 연구개발 목표의 성격

- 내분비계 장애물질에 대한 규제 system 구축 및 대체물질 개발능력을 확보함으로써
- 화학물질에 대한 내분비계 장애물질의 규제 system 기술을 정착
- 내분비계 장애물질 유발 의·농약에 대한 대체물질 개발을 위한 경쟁력 향상

다. 단계별, 연차별 연구개발 목표 및 내용

본 연구의 연구내용, 범위, 기술적 난해도, 신의·농약 연구와의 접목 등을 고려하여 본 연구는 3단계 (1, 2단계 3년, 3단계 4년)으로 총 10년의 연구계획으로 추진한다

▶ 단계별 연구개발 목표 및 내용

단 계	개 발 목 표	연 구 내 용
1 단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농·의약 분야의 EDC 유해성 규제 체계 확립 및 대체물질 개발 방향 도출 	<ul style="list-style-type: none"> - 시판 농·의약의 EDC 유해성 data bank 확립 연구 - 화학적 구조-EDC 상관성 프로그램 (SEDR) 개발연구 - 시판 농·의약의 SEDR 연구에 의한 대체물질 개발 priority 도출법 연구 - 농·의약에 대한 EDC 작용 mechanism 연구 - 이차 생성물의 EDC 검출법 연구
2 단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계에서 개발된 기술의 규제 방법으로 활용 및 대체 후보물질(살충제) 도출 	<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 SEDR을 이용한 시판 농·의약 및 신농·의약품의 규제 방법으로 활용법 구축 - EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 SEDR 연구 및 이차생성물의 EDC 유해 여부 조사 연구 - EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 대체 후보물질(살충제) 도출 연구
3 단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대체물질 도출 및 상품화 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 도출된 후보물질의 SEDR 연구 및 활성화 최적 연구 - 도출된 후보물질의 이차 생성물의 EDC 유해 여부 조사 - 도출된 대체물질의 상품화 기반구축 연구

(2) 연구과제 선정의 당위성

EDC 문제 해결은 지구 환경 보존 및 인류 종족 보전을 위한 절대 필요한 연구 분야이며, 특히 농약은 그 피해 범위가 광범위하여 국내 관련 산업 및 환경 보전 차원에서 필수적인 것으로 사료된다.

- ▶ 최근 선진국에서 EDC에 대한 규제 방향에 대해서 연구가 추진되어 왔고, 이에 대한 작용기구 연구가 추진된 후, 이들을 대체할 수 있는 대체물질 개발 및 대체 공정이 개발된다면, 기술 선진국들은 내분비계 장애물질로 인한 지구 생태계 환경 파괴 및 인류 종족 보전 저해를 이유로 대체물질 및 대체공정 사용의 압력을 행사 할 것이다. 따라서 21세기를 대비하여 EDC 규제 방향 및 기술독점에 대한 선진국의 기술 종속으로부터 자립할 수 있는 기틀을 구축 할 수 있음.
- ▶ 본 연구를 수행하면 농·의약 산업에 대한 EDC 파급 영향을 효과적으로 대처 할 수 있을 뿐만 아니라, 화학, 고분자, 생리생화학, 분자생물학, 분자화학, 농학, 의학, 수의학, 독성학 등 복합적인 학문 및 기술 발전의 동반 효과가 큼.
- ▶ 본 기술은 1997년도 이후 집중적으로 대두되기 시작했으므로, 초기에 적극 대응한다면 선진국의 기술 장벽으로부터 벗어날 수 있는 기틀 구축이 용이
- ▶ 본 연구기술은 그 연구주기가 길고, 파급효과가 광범위하기 때문에 국가 정책적 차원에서 수행해야 한다고 사료됨.
- ▶ 본 연구분야는 환경부의 환경보전 정책과 과기부의 신물질 연구정책의 통합 연구 정책이기 때문에, 국가의 연구정책의 연속성 및 효율성을 극대화 할 수 있는 장점이 있음.

(3) 연구과제의 우선 순위 설정 원칙 및 우선 순위

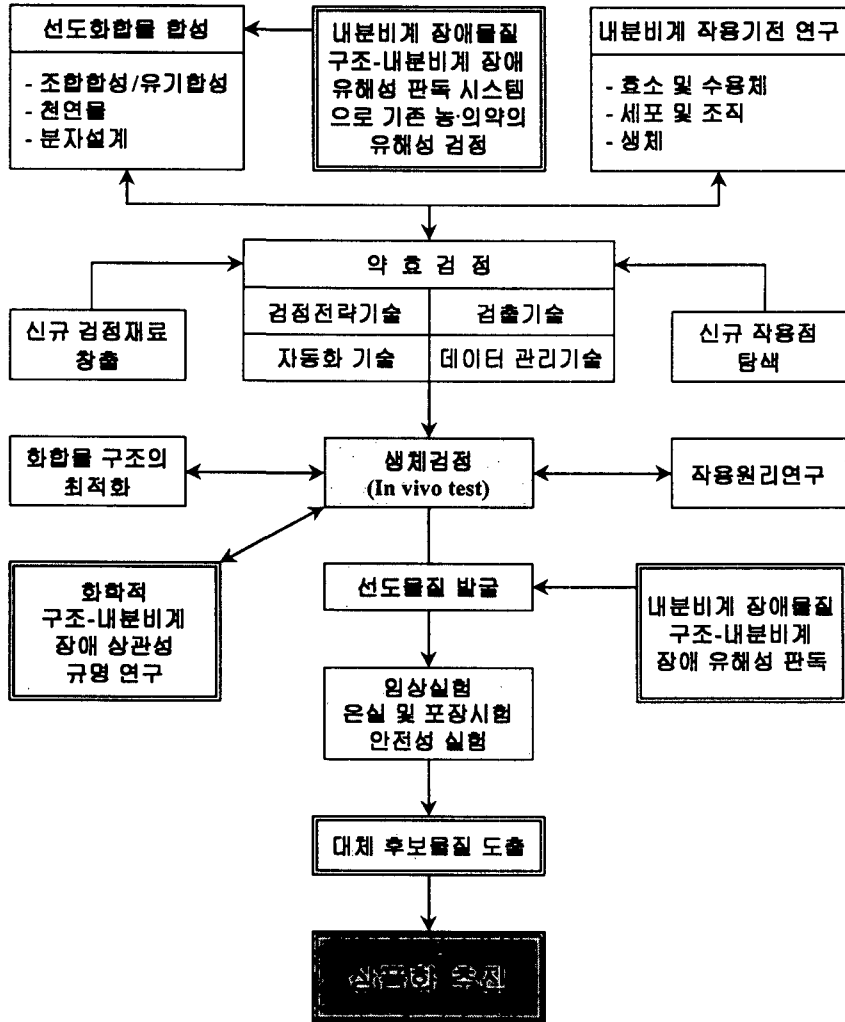
▶ 우선 순위 설정 원칙

- 국가의 미래 원천 기반기술로써 향후 산업분야에 응용 가능한 분야의 연구
- 21 세기를 대비할 수 있는 첨단 분야의 연구
- 응용 분야 연구개발시 경제적, 사회적 파급효과가 우수한 분야
- 타 연구기관 및 국가 연구 프로젝트로 중첩되지 않고 그 동안의 출연(연)의

know-how를 최대한 이용할 수 있는 분야

- 기초 기반 기술에서 응용연구 분야의 점이적 위치에서 복합적 학문의 동반 발전이 가능한 분야
- 과학 기술 파급 효과가 우수한 분야
- ▶ 우선 순위 (핵심 기술 연구진행 순서에 기준)
 - EDC의 농·의약 분야에서 기반기술이 되는 분야
 - 단계별 연구내용 및 범위의 기준에 적합한지의 여부
 - EDC 규제 대응 system 연구에 적합한지의 여부
 - EDC의 농·의약 산업의 대체물질로 적합한지의 여부

(4) 연구개발 추진 체계도



(5) 단계별 연구개발 추진 일정

개발 목표	연구 내용	1 단계 (3 년)	2 단계 (3 년)	3 단계 (4 년)
<p>○ 농·의약 분야의 EDC 유해성 규제 체계 확립 및 대체물질 개발 방향 도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 시판 농·의약의 EDC 유해성 data bank 확립 연구 - 화학적 구조-EDC 상관성 프로그램 (SEDR) 개발연구 - 시판 농·의약의 SEDR 연구에 의한 대체물질 개발 priority 도출법 연구 - 농·의약에 대한 EDC 작용 mechanism 연구 - 이차 생성물의 EDC 검출법 연구 	<p><-----></p> <p><-----></p> <p><-----></p> <p><-----></p> <p><-----></p>		
<p>○ 1단계에서 개발된 기술의 규제 방법으로 활용 및 대체 후보물질(살충제) 도출</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 SEDR을 이용한 시판 농·의약 및 신농·의약품의 규제 방법으로 활용법 구축 - EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 SEDR 연구 및 이차생성물의 EDC 유해 여부 조사 연구 - EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 대체 후보물질(살충제) 도출 연구 		<p><-----></p> <p><-----></p> <p><-----></p>	<p>-----></p> <p>-----></p>
<p>○ 대체물질 도출 및 상품화 기반 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 도출된 후보물질의 SEDR 연구 및 활성화 최적 연구 - 도출된 후보물질의 이차 생성물의 EDC 유해 여부 조사 - 도출된 대체물질의 상품화 기반구축 연구 			<p><-----></p> <p><-----></p> <p><-----></p>

(6) 연구 개발 전략

가. 추진전략

- ▶ 본 연구에서 정의된 각 핵심 요소는 세부과제 형태로 추진
- ▶ 특히 본 연구는 EDC 유해성 평가 연구팀과 농·의약의 대체물질 개발팀 및 스크리닝 연구팀과 밀접한 체제를 유지하여 추진
- ▶ 세부 과제간에 명실상부한 횡적, 종적 matrix를 구성하여 각 세부과제내의 효율성 및 연구전체의 효율을 극대화
- ▶ 본 연구를 통하여 자체의 know-how가 구축될 때까지 필요에 따라 국제 공동연구를 통하여 先기술을 신속히 도입

나. 연구개발 추진체계

본 연구에서 정의된 각 핵심요소에 대한 연구는 세부과제 형태로 추진한다. 연구책임자는 세부과제를 총괄하며 특히 세부과제간에 명실상부한 횡적 matrix를 구성하여 연구 전체의 효율을 극대화한다.

다. 연구 주체별 역할 분담

- ▶ 국가 출연(연)은 기업 선도적이며 공익적인, 위험부담이 크고 연구개발 주기가 긴 EDC 규제 시스템 기술 구축 및 대체물질 개발을 중점 연구
- ▶ 기업은 개발된 EDC 규제 시스템을 활용하고, 도출된 대체 후보 물질의 상업화에 중점 연구
- ▶ 대학은 농·의약의 EDC 작용기전 규명 연구 등의 기초연구와 연구인력 양성에 중점

라. 연구평가의 착안점 및 척도

- ▶ 상기에 기술한 각 핵심요소에 대한 연구목표 및 연구내용을 검토하여 연구의 질적, 양적 수준을 평가한다.
- ▶ 연구가 진행되는 동안 기술선진국의 기술동향을 수시로 파악하여 연구의 목표에 반영하고 연구의 진행의 경쟁력 유무를 판단하는데 사용한다.
- ▶ 평가의 척도는 현재 기술 수준국을 10으로 하고 현 국내수준을 0으로 하여

10-0 사이의 척도를 설정하여 연구결과를 평가한다.

▶ 평가체계

- 내부평가 : 참여연구원을 중심으로 3인 이상 6인 이내의 내부평가팀 구성
- 외부평가 : 산·학·연의 관련 전문가로 3인 이상 5인 이내의 외부평가팀 구성

▶ 평가시기

- 과제선정시 (매단계) 평가
- 과제종료시 (매단계) 평가

3) 기대성과 및 활용방안

(1) 기대성과

- ▶ 선진국의 EDC 규제 대응에 능동적으로 대처하고, 무분별하게 수입되는 화합물을 자체적으로 규제할 수 있는 기술 능력 개발 확보 가능.
- ▶ 국내 화학산업을 선진국의 기술보호 장벽으로부터 보호하여 물질/소재 산업의 경쟁력을 극대화.
- ▶ 여러 분야 (화학, 생물, 고분자, 농학, 의학)등의 학문적 발전 및 기술의 동반발전에 기대.
- ▶ EDC 규제체계 기술 확립 및 대체물질을 개발함으로써 선진외국의 기술종속으로부터 자립의 기반을 구축할 수 있음.
- ▶ 국내 시장 보호 및 세계 정밀화학 시장에 진출가능성 향상.
* 의약치료제 시장 2,000억불 (1994년), 농약시장 303억불 (1995년)

(2) 활용방안

- ▶ 본 규제 기술이 확립되면 국내 화학 산업의 수출을 위하여 필요한 선진국의 무역 장벽을 기술적으로 해소할 수 있는 대비책으로 활용이 기대됨.
- ▶ 본 연구에서 얻어진 생리 생화학적 제반 정보를 국민의 건강 복리 증진에 활용

이 가능함.

- ▶ 의·농약 등 공익적이고 복합적 학문 및 기술 발전에 활용이 기대됨.

(3) 정책건의

- ▶ 본 연구는 기업에서는 수행하기에는 부담이 큰 미래원천 기반기술이기 때문에 국가적인 차원에서 육성 지원하는 것이 필요함. 특히 우리 나라의 물질/소재 연구분야의 발전에 절대적으로 필요하다고 사료됨.
- ▶ 본 연구는 글로벌시대의 기술적 무역장벽을 해소할 수 있는 새로운 환경규제법으로 선진외국의 규제 시스템이 완전히 개발 확립되기 전에 우리도 적극 연구 추진하여 체계를 구축하면 21세기를 대비하여 물질/소재 분야에서 선진외국의 기술종속으로부터 자립할 수 있는 기틀을 구축할 수 있다고 사료됨.

4) 도출과제(안)

(1) 도출기준

- ▶ 필요성 : EDC 유해성 여부에 관계되어 환경규제, 무역규제 또는 소비자 운동 등으로 산업적 피해가 예상되어 기술적 해결 필요성이 높은 과제
- ▶ 중요성 : EDC 문제 해결뿐만 아니라 과학 기술적으로도 중요한 영향을 미치고 기초, 기반기술이 되는 분야
- ▶ 적합성 : 특정 기업이나 집단의 이익에서 벗어나 국가적 차원의 기술개발과제로 수행하는 것이 적합한 과제
- ▶ 차별성 : 과기부, 산자부, 환경부 등 기존 여타 국가연구개발 사업의 일환으로 수행되는 연구과제와 중첩되지 않고 차별성이 있는 과제
- ▶ 가능성 : 연구과제로 수행되어 연구목표를 달성할 수 있는 가능성이 높은 과제

(2) 우선순위

성 격	과 제 명	평가항목 (항목별 5점 만점 기준)						우 선 순 위
		필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
대체물질	EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 대체 후보물질 (살충제) 도출 연구	5	5	5	5	3	23	
	농약의 화학적 구조-EDC 상관성(SED _R) 개발연구	5	5	4	5	3	22	

(3) 도출과제 1

(1) 중 과 제 명	Non-EDC 농약의 핵심 선도물질 개발		
(2) 소 과 제 명	EDC 유해 살충제의 대체후보물질 탐색 연구		
(3) 연구개발목표	국내 대량 사용 EDC 유해 살충제를 대체할 수 있는 대체 후보물질의 탐색 기술 확립 및 상품화 기반 구축		
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ▷ EDC를 이용한 선진국의 새로운 기술보호장벽을 극복할 수 있는 기반기술 ▷ EDC를 이용한 기술 선진국의 로열티 지급 요청 증가를 방지 ▷ 국내 화학 산업의 자립 기반 구축 		
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소 기술	<p>연구내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 화학적 구조-활성 관계 (QSAR) 연구에 의한 선도물질 design ▷ 조합화학 (Combinatorial Chemistry)을 이용한 선도물질 합성 ▷ 도출된 핵심 선도물질의 최적화 및 EDC 여부 검정 <p>핵심기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 조합화학 기술 ▷ QSAR에 의한 선도물질 탐색 기술 		
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 국내 : 국내의 Non-EDC 농.의약 분야 연구는 현재 전무한 상태이나, 국내에서 EDC 추정 살충제 사용량을 년 700 억원 이상에 이르기 때문에 이에 대한 대체물질 개발이 시급한 상태이다. ▷ 국외 : 외국에서도 최근에 환경 잔류 독성이 작은 amino 산 유도체형 농약 개발 등에 많은 관심을 가지고 추진되고 있고, 앞으로 EDC 문제와 더불어 더욱 가속될 것으로 예상된다. 		
(7) 단계별 소요예산	단계	소요기간	소요예산(억원)
	1단계 (목표 선도물질 design 및 탐색)	3 년	9
	2단계 (도출 선도물질의 최적화)	3 년	9
	3단계 (상품화 기반 구축)	4 년	10
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 선진국의 EDC 규제 대응에 능동적으로 대처하고, 기술로열티의 지급을 감소시킴. ▷ 국내 화학 산업을 선진국의 기술보호 장벽으로부터 보호하여 물질/소재 산업분야의 경쟁력 강화 ▷ 국내 시장 보호 및 세계 정밀화학 시장에 진출 가능성 향상 		

(4) 도출과제 2

(1) 중 과 제 명	Non-EDC 농약의 핵심 선도물질 개발										
(2) 소 과 제 명	농약의 화학적 구조-EDC 상관성 (SEDR) 개발연구										
(3) 연구개발목표	농약의 화학적 구조-EDC 상관성을 연구 프로그램 개발 및 실용화										
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ▷ EDC를 이용한 선진국의 새로운 기술보호장벽을 극복할 수 있는 기반기술 ▷ 화학물 구조-EDC 상관성(SEDR) 연구체계를 확립하면 국내 화학물질 뿐만 아니라 수입화학 물질의 EDC 유무 추정이 가능 ▷ 실제 EDC 검정은 고비용, 장시간이 요구되는 실험이기 때문에 SEDR을 이용 효율적인 검정가능 										
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소 기술	<p>연구내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ EDC 유해 국내 대량 사용 농약의 원제 합성 및 중간체 합성을 통한 SEDR 연구 ▷ 농·의약의 EDC 특정 작용기전에 대한 SEDR 연구 <p>핵심기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 화합물 합성 ▷ 화학적 구조-활성 상관성 (QSAR) ▷ 화학적 구조-EDC 상관성 (SEDR) 										
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 국내 : 현재 국내에서는 화학적 구조-활성 상관성 (QSAR) 연구는 일부 응용 되고 있으나 화학적 구조-EDC 상관성 (SEDR) 연구는 전무 ▷ 국외 : 선진 외국에서도 SEDR 연구는 초기 단계에 있으나, 이에 대한 새로운 연구방법이 최근에 시도되고 있다. 										
(7) 단계별 소요예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">단계</th> <th style="width: 25%;">소요기간</th> <th style="width: 25%;">소요예산(억원)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1단계 (기초 기술 개발 단계)</td> <td>3 년</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>2단계 (개발 기술 응용 단계)</td> <td>3 년</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		단계	소요기간	소요예산(억원)	1단계 (기초 기술 개발 단계)	3 년	6	2단계 (개발 기술 응용 단계)	3 년	5
단계	소요기간	소요예산(억원)									
1단계 (기초 기술 개발 단계)	3 년	6									
2단계 (개발 기술 응용 단계)	3 년	5									
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 화학적 구조-EDC 상관성 (SEDR)을 확립하여 국내 화학물질의 EDC 유해 여부의 검정 실험의 기초 자료로 활용 ▷ 선진국의 EDC 규제 대응에 능동적으로 대처하고, 무분별하게 수입대는 화합물을 자체적으로 규제할 수 있는 기술능력 확보 ▷ 국내 화학 산업을 선진국의 기술 보호 장벽으로부터 보호하여 물질/소재 산업의 경쟁력을 극대화 										

5. 중금속 물질 분야

1) 도출기준

- ▶ 필요성 : 위해성 여부에 관계되어 환경규제, 무역규제 또는 소비자 운동 등으로 산업적 피해가 예상되어 기술적 해결 필요성이 높은 과제
- ▶ 중요성 : EDC 문제 해결 뿐만이 아닌 과학기술적으로도 중요한 영향을 미칠 수 있는 과제
- ▶ 적합성 : 특정 기업이나 집단의 이익에서 벗어나 국가적 차원의 기술개발 과제로 수행하는 것이 바람직한 과제
- ▶ 가능성 : 연구과제로 수행되어 연구목표를 달성할 수 있는 가능성이 높은 과제

2) 도출과제

대과제	중과제	세부과제명
내분비계 장애물질	중금속 물질분야	폐광산의 복원기술 개발 대기 중 수은 및 납의 제거기술 개발 중금속을 함유하지 않는 전착도료 개발 식물을 활용한 토양 정화법 개발 플라스틱 안료의 대체물질 개발 환경친화적인 고효율 전지의 제조기술 개발 염화비닐 안정제의 대체물질 개발

3) 우선순위

성격	과 제 명	평가항목 (5점만점기준)					우선 순위
		필 요 성	중 요 성	적 합 성	가 능 성	합 계	
대체 물질	중금속을 함유하지 않는 전착도료의 개발	5	4	4	5	18	2
	플라스틱 안료의 대체물질 개발	4	4	3	3	14	5
	환경친화적인 고효율 전지의 제조기술 개발	4	3	2	3	12	6
	염화비닐 안정제의 대체물질 개발	4	2	2	3	11	7
저감 기술	폐광산의 복원기술 개발	5	5	4	5	19	1
	대기 중 수은 및 납의 제거기술 개발	5	4	4	4	17	3
	식물을 활용한 토양 정화법 개발	4	4	4	4	16	4

4) 추진기간

주요 연구 내용	추진기간(년)								
	1단계		2단계				3단계		
	00	01	02	03	04	05	06	07	08
<ul style="list-style-type: none"> ■ 대체물질 개발 1. 후보물질 선정 및 대체물질의 합성 2. 대체물질 내분비계 독성 검사 3. 대체물질 생산공정 개발 									

주요 연구 내용	추진기간(년)					
	1단계			2단계		
	00	01	02	03	04	05
<ul style="list-style-type: none"> ■ 저감기술 개발 1. 저감기술 공정 개발 2. 저감기술 공정의 scale-up 연구 및 상용화 						
<ul style="list-style-type: none"> ■ 대체공정 개발 1. 기존공정의 대체공정 개발 2. 대체공정의 scale-up 연구 및 상용화 						

5) 도출과제

(1) 대체물질 개발

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야	
② <u>소과제명</u>	중금속을 함유하지 않는 전착도료의 개발	
③ <u>연구개발 목표</u>	- 중금속과 VOC를 함유하지 않는 환경대응형자동차 차체용 전착도료의 개발	
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 자동차 도료 작업자 및 작업 환경의 개선 요망 - 환경 대응형자동차의 필요 - 경제적이며 실용가능한 기술 개발의 필요 	
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 박막, 고방청 기술 개발 - 저가 및 도료의 사용량 감소 기술 개발 - 납과 주석을 사용하지 않는 기술 개발 및 실용화 	
⑥ <u>국내의 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 기술적 대안을 마련하지 않은 상태 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 중점적으로 진행중임 	
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	단 계	소요기간
	소요예산	
- 1단계(후보물질의 기술개발)	3년	6억
- 2단계(대체물질의 내분비계독성검사)	4년	8억
- 3단계(대체물질의 생산공정 개발)	3년	9억
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 새로운 대체물질을 이용하여 내분비계장애물질로 인한 환경오염을 봉쇄함으로써 인체 보호 - 생산공정을 개발하여 특허를 출원하고 이를 산업체에 이전하여 국내산업 육성 	

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야		
② <u>소과제명</u>	플라스틱 안료의 대체물질 개발		
③ <u>연구개발 목표</u>	- 플라스틱 제품의 안료로 쓰이는 황화카드뮴의 대체물질 개발		
④ <u>연구개발의 중요성</u>	- 카드뮴이 포함된 안료 제품의 환경호르몬 유해 가능성 - 플라스틱 제품의 급증으로 손쉽게 접하는 일상품이 되었음		
⑤ <u>연구개발 내용</u>	- 색이 명료하고, 높은 온도나 자외선에도 잘 견디는 대체물질의 개발 - 다양한 검토를 통한 실용화 및 상품화		
⑥ <u>국내외 현황</u>	- 국내 : 연구소 및 대학에서 기초적인 연구가 수행중임 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 매우 활발히 진행중임		
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계(후보물질의 기술개발)	3년	6억
	- 2단계(대체물질의 내분비계독성검사)	4년	9억
	- 3단계(대체물질의 생산공정 개발)	3년	9억
⑧ <u>기대효과</u>	- 플라스틱 안료사용 제품의 환경호르몬 저감 효과 - 상품화를 통한 수입대체 및 수출 효과		

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야													
② <u>소과제명</u>	환경 친화적인 고효율 전지의 제조기술 개발													
③ <u>연구개발 목표</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 환경친화적인 전지의 개발 - 효율 및 경제성을 고려한 제품 개발 													
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 카드뮴, 수은, 납 등의 성분이 포함된 전지의 대체 - 2차 전지의 대부분을 수입에 의존함에 의한 국산화의 필요성 및 기술자립도로 인한 국가 경쟁력 강화 													
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 구성요소의 제조 및 기술개발 - 단위전지의 개발 - 전지 기술의 상용화 													
⑥ <u>국내외 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 연구소 및 대학에서 기초적인 연구가 수행중임 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 매우 활발히 진행중임 													
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(후보물질의 기술개발)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">8억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계(대체물질의 내분비계 독성검사)</td> <td style="text-align: center;">4년</td> <td style="text-align: center;">9억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계(대체물질의 상용화)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">10억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(후보물질의 기술개발)	3년	8억	- 2단계(대체물질의 내분비계 독성검사)	4년	9억	- 3단계(대체물질의 상용화)	3년	10억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(후보물질의 기술개발)	3년	8억												
- 2단계(대체물질의 내분비계 독성검사)	4년	9억												
- 3단계(대체물질의 상용화)	3년	10억												
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 새로운 대체물질을 이용하여 내분비계장애물질인 카드뮴, 납, 수은 등의 사용을 방지 - 이동통신, 컴퓨터, 가전제품 등의 고성능 이차전지로 활용가능 													

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야		
② <u>소과제명</u>	염화비닐 안정제의 대체물질 개발		
③ <u>연구개발 목표</u>	- 카드뮴 및 납을 사용하는 PVC 안정제의 대체물질 개발		
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - PVC 의 탈납화 및 탈카드뮴화 기술 및 대체물질을 개발하여 제품으로부터 납 및 카드뮴의 용출가능성을 배제 - 대체물질을 이용한 신상품 개발 및 경제적 파급효과 		
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 대체물질의 특성 평가 - 대체물질의 제조공정 기술 연구 - 대체 염화비닐 안정제의 효율 평가 및 경제성 검토 		
⑥ <u>국내외 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 기술적 대안을 마련하지 않은 상태 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 중점적으로 진행중임 		
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계(후보물질의 선정 및 대체물질 합성)	3년	6억
	- 2단계(대체물질의 내분비계 독성검사)	4년	8억
	- 3단계(대체물질의 생산공정 개발)	3년	10억
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 대체물질의 생산공정을 개발하여 산업체에 기술 이전 - 다양한 상품 개발의 연계 가능성 		

(2) 저감기술 개발

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야		
② <u>소과제명</u>	폐광산의 복원기술 개발		
③ <u>연구개발 목표</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 휴·폐광산으로 부터의 중금속 (카드뮴, 납 등) 유출을 저감시키는 복원기술 개발 - 폐광산으로 오염된 지역을 정화하여 토양으로서의 원래의 기능을 회복시킴 		
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 폐광산으로 인한 인근 및 하류 농경지의 오염 가능성 - 지하수 및 하천수의 오염 가능성 - 생태계 및 최종적으로 인간의 생존을 위협할 수 있음 		
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 휴·폐광산 및 주변 지역의 특성 파악 - 광산 지역의 지반침하 방지 및 복구작업 - 탄광 지역 수질 개선사업 		
⑥ <u>국내외 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 연구소 및 대학에서 기초적인 연구가 수행중임 - 국외 : 연구소 및 학계에서 구체적인 연구가 활발히 진행중임 		
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계(특성파악 및 내분비계 독성검사)	3년	10억
	- 2단계(복원기술 개발)	3년	12억
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 폐광산 지역의 복원기술 모델 제시 - 생태계 보호 및 주민의 생존권 보호 		

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야										
② <u>소과제명</u>	대기 중 수은 및 납의 제거 기술 개발										
③ <u>연구개발 목표</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 광산, 산업장 등에서 발생하는 중금속 (수은, 납) 을 효과적으로 처리하기 위한 기술 개발 										
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 효과적으로 처리 가능한 장치 개발 - 작업자의 내분계장애 가능성을 줄임 										
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 작업장에 적합한 중금속 처리방법 선정 - 정련과정 및 폐가스로부터의 중금속의 분리 제거기술 - 처리공정 기술 확립 										
⑥ <u>국내외 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 연구소 및 대학에서 기초적인 연구가 수행중임 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 매우 활발히 진행중임 										
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(특성파악 및 내분비계 독성검사)</td> <td>3년</td> <td>9억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계(제거기술 개발)</td> <td>3년</td> <td>11억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(특성파악 및 내분비계 독성검사)	3년	9억	- 2단계(제거기술 개발)	3년	11억
단 계	소요기간	소요예산									
- 1단계(특성파악 및 내분비계 독성검사)	3년	9억									
- 2단계(제거기술 개발)	3년	11억									
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 미량 중금속 오염물질의 저감 및 제어 기술 개발로 국내 환경산업 육성 - 작업자 및 노출가능 인근 주민의 환경호르몬 영향 저감 										

① <u>중과제명</u>	중금속 물질 분야		
② <u>소과제명</u>	식물을 활용한 토양 정화법 개발		
③ <u>연구개발 목표</u>	- 식물을 이용한 중금속 (카드뮴, 납, 수은 등) 으로 오염된 토양의 정화		
④ <u>연구개발의 중요성</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 중금속으로 오염된 토양을 경제적으로 처리하기 위한 방법의 모색 - 환경호르몬 장애 가능성 물질의 저감으로 토양을 복원하여 인간 및 생태계에 터전을 제공함 		
⑤ <u>연구개발 내용</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 독성물질의 용해성에 관한 연구 - 실험실 규모에서의 식물에 의한 중금속 (카드뮴, 납, 수은 등) 제거 평가 - 실제 오염 토양의 제거기술 적용 		
⑥ <u>국내외 현황</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 기술적 대안을 마련하지 않은 상태 - 국외 : 연구소 및 학계에서 연구가 중점적으로 진행중임 		
⑦ <u>단계별 소요예산</u>	단 계	소요기간	소요예산
	- 1단계(특성파악 및 내분비계 독성검사)	3년	10억
	- 2단계(제거기술 개발)	3년	12억
⑧ <u>기대효과</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 경제성이 있으며 부산물의 발생이 거의 없음 - 식물의 뿌리로 침식작용을 억제하여 오염물질의 유실을 저감 		

6. 위해성 평가분야

< 분석평가기술 분야 >

1) 도출기준

- 필요성 : 위해성 여부에 관계되어 환경규제, 무역규제 또는 소비자운동 등으로 산업적 피해가 예상되어 기술적 해결 필요성이 높은 과제
- 중요성 : EDC 문제 해결뿐만 아니라 과학 기술적으로도 중요한 영향을 미칠 수 있는 과제
- 적합성 : 특정 기업이나 집단의 이익에서 벗어나 국가적 차원의 기술개발과제로 수행하는 것이 적합한 과제
- 차별성 : 과기부, 산자부, 환경부등 기존 여타 국가연구개발 사업의 일환으로 수행되는 연구과제와 차별성이 있는 과제
- 가능성 : 연구과제로 수행되어 연구목표를 달성할 수 있는 가능성이 높은 과제

2) 도출과제

대과제	중과제	세부과제명
내분비계 장애물질	분석평가 기술	식품용기류중 Bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석 평가
		수질, 토양, 저질중 EDCs의 국내 오염지도 작성 연구
		대기중 EDCs의 분석 평가
		간편한 EDCs 감지 센서의 개발

3) 우선순위

성격	과제명	평가항목 (항목별 5점 만점 기준)						우선 순위
		필요성	중요성	적합성	차별성	가능성	합계	
분석평가	식품용기류중 Bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석 평가	5	5	5	5	5	25	1
	수질, 토양, 저질중 EDCs의 국내 오염지도 작성 연구	5	5	5	4	5	24	2
	대기중 EDCs의 분석 평가	5	5	5	3	5	23	3
분석kit 개발	간편한 EDCs 감지 센서의 개발	5	5	4	5	4	23	3

○ 식품용기류중 Bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석 평가

(1) 중과제명	분석 평가 기술													
(2) 소과제명	식품용기류중 Bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석 평가													
(3) 연구개발 목표	식품저장, 포장 용기류 및 내용물에서 Bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석평가													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일회 음료용 캔류는 캔의 내부가 부식방지를 위해 Bisphenol A로 코팅이 되어있음. ○ 캔으로부터 많은 양의 Bisphenol A가 음료수로 전이가 되고 있을것으로 사료됨. ○ 식품 저장용 혹은 식수용 PVC 용기로부터 phthalate 가소제가 식품으로의 전이가능성. ○ 식품 포장용 film으로부터의 phthalate 가소제가 식품으로의 전이 가능성. ○ 유아용 용품으로부터, phthalate 가소제의 전이 가능성 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식품 캔류 및 내용물로부터 Bisphenol A의 용출 시험 분석 평가 - 유아용제품 및 식수용 용기류로부터 phthalate 가소제의 용출 시험 분석 평가 - 용기로부터 식품류로의 전이 분석 평가 - 식품 보관에 따른 분석평가 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 다양한 matrix로부터의 용출분석기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: 식품캔류의 coating제중 bisphenol A의 대체물질 개발 및 유아용 용품, 용기류 등을 중심으로 PVC 대체 상품 개발 ○ 시민단체: 최소한 유아용 PVC 제품의 판매 금지 촉구 ○ 선진국: EU국가들을 중심으로 PVC재 장난감, 의료용품 판매 금지 예정 ○ 기존 PVC제품 독성 평가결과에 대해 상반된 해석으로 치열한 홍보전 ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 내용물중 bisphenol A 및 phthalate계 가소제 분석방법에 대한 연구 진행중 - 국내: 식품용기 및 유아용 제품에서의 용출시험 분석 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(용출 시험분석 기법 개발)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">1억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (용기중 용출 분석평가)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (내용물중 분석 평가)</td> <td style="text-align: center;">1년</td> <td style="text-align: center;">2억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(용출 시험분석 기법 개발)	1년	1억	- 2단계 (용기중 용출 분석평가)	1년	2억	- 3단계 (내용물중 분석 평가)	1년	2억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(용출 시험분석 기법 개발)	1년	1억												
- 2단계 (용기중 용출 분석평가)	1년	2억												
- 3단계 (내용물중 분석 평가)	1년	2억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 및 음용수중 Bisphenol A 및 phthalate 가소제 용출 위해성 문제 해소 ○ Bisphenol A 및 가소제 사용이 많은 캔류 업계 및 PVC 계 생활용품 업계 보호 ○ 식품류중 위해성 분석 평가기술 향상 													

○ 수질, 토양, 저질층 EDCs의 국내 오염지도 작성 연구

(1) 중과제명	분석 평가 기술	
(2) 소과제명	수질, 토양, 저질층 EDCs의 국내 오염지도 작성 연구	
(3) 연구개발 목표	국내 각 지역의 수질, 토양 및 저질층에 광범위하게 분포하고 있는 EDCs의 오염정도를 측정 분석 평가하여 국내 오염지도를 작성함.	
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ EDCs의 분석 평가기술 개발 ○ 각 지역 지하수의 EDCs 분석을 통한 식수의 오염 가능성 배제 ○ 각 지역의 토양 및 저질의 EDCs 분석을 통한 농산물 오염 가능성 원천 배제 ○ EDCs의 Source를 규명함으로써 원천적인 오염원 제거 ○ 저농도의 EDC 피해가 큰물질에대한 집중적인 오염원 관리 	
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 극미량(sub-ppt)의 EDCs 분석 기법 개발 연구 - EDCs의 동시 분석 기법 개발 연구 - EDCs중 isomer가 존재하는 물질에 대한 분석기법 개발 연구 - 표본 추출을 통한 오염 지도 작성 기법 연구 - 오염원 추적 기법 연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <p>○ 시료 채취 기술 ○ 극미량 분석 기술 ○ isomer의 분리분석 기술 ○ 오염원 추적 기술</p>	
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계: ○ 기술 수준 <ul style="list-style-type: none"> - 국외: 환경청에서 지정한 EDCs에 대한 오염지도작성 연구 - 국내: 아직 시도되지 못하고 있음 	
(7) 단계별 소요 예산	단 계	소요기간 소요예산
	- 1단계(시료 채취 및 분석)	3년 10 억
	- 2단계(오염원 추적)	1년 1 억
	- 3단계(오염지도 작성)	1년 1 억
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ EDCs 분석 평가기술 향상 ○ 오염원 차단을 통한 국민 복지향상 ○ 오염지도 작성을 통한 EDCs에의 노출 최소화 	

○ 대기중 EDCs의 분석 평가

(1) 중과제명	분석 평가 기술								
(2) 소과제명	대기중 EDCs의 분석 평가								
(3) 연구개발 목표	대기중 존재하는 EDCs의 시료채취 기술 및 분석 평가기술 확보								
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기시료 채취기술의 확보 ○ 쓰레기 소각로에서 발생하는 dioxin의 극미량 분석 기술확보 ○ 공단등에서 자주 발생하는 악취 성분 규명기술 확보 ○ 농약 제조회사 주위의 대기중 EDCs분석 기술 확보 								
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구 내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 대기시료 채취 기술연구 - 대기시료중 EDCs 분석 기술 연구 - Dioxin 분석기술 연구 - 악취 성분에 대한 시료포집 및 분석기술 연구 <p><u>핵심 기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시료채취기술 ○대기시료중 극미량의 EDCs분석기술 ○다양한 종류의 Isomers분석기술 								
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 업계 ○ 시민단체: 소각로 Dioxin의 분석 결과가 국내기관마다 상이하여, 분석평가에의 불신요인 ○ 기술수준 <ul style="list-style-type: none"> -국외: 대기 시료 분석방법등이 잘 확립되어 있는 상태임. -국내: 대기 시료중 EDCs 분석평가의 기술적인 문제가 해결되지 못하고 있는 실정임. 								
(7) 단계별 소요 예산	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 단계(대기시료포집 및 EDCs 분석)</td> <td style="text-align: center;">3년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>			단 계	소요기간	소요예산	- 단계(대기시료포집 및 EDCs 분석)	3년	6억
단 계	소요기간	소요예산							
- 단계(대기시료포집 및 EDCs 분석)	3년	6억							
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소각로 배출 가스의 위해성문제 해소 ○ 대기중 EDCs오염원 추적을 통한 오염의 사전예방 ○ 국민의 건강 및 복지증진 								

o 간편한 EDCs센서의 개발

(1) 중과제명	분석 평가 기술													
(2) 소과제명	간편한 EDCs 센서의 개발													
(3) 연구개발 목표	현장에서 즉각적으로 EDCs의 존재여부를 확인할 수 있는 센서의 개발													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> o 기존의 분석장비(LC, GC 및 Mass 분광기)를 이용한 EDCs의 분석은 현장분석의 어려움. o 기존의 분석평가방법은 정밀성은 좋으나 과도한 시간과 비용이 요구됨 o 현장에서의 즉시 감식으로 피해감소 o 저가의 분석기기 개발 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p>연구 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바이오센서 개발 연구 - 전기화학적 센서 개발 연구 - EDCs에 따르는 선택성 연구 - 실용화 연구 및 경제성 검토 <p>핵심 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> o 센서 기술 o 센서 응용 기술 o 상품화기술 													
(6) 국내외 현황	<p>선진국</p> <ul style="list-style-type: none"> o 몇 년전부터 페놀류 EDCs에 적용할수 있는 바이오센서 개발 연구 o α-naphthol 감지를 위한 전기화학적 센서 개발 연구 o 센서의 선택성에 관한 연구 <p>국내</p> <ul style="list-style-type: none"> o 국내에서는 아직 시도되지진바 없음 o 센서 개발에관한 연구는 음주 사고예방을 위한 알콜센서 개발연구는 진행중에 있음 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 1단계(응용가능기술개발단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">5억</td> </tr> <tr> <td>- 2단계 (1차 실용화 단계)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> <tr> <td>- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)</td> <td style="text-align: center;">2년</td> <td style="text-align: center;">6억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	5억	- 2단계 (1차 실용화 단계)	2년	6억	- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	2년	6억
단 계	소요기간	소요예산												
- 1단계(응용가능기술개발단계)	2년	5억												
- 2단계 (1차 실용화 단계)	2년	6억												
- 3단계 (응용범위확대 및 경제성증대)	2년	6억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> o EDCs의 현장 감식가능 o 센서 개발로 인한 수입대체 및 상품수출 o 새로운 벤처형 기업 창출 o 다양한 관련 상품 개발로 연계 가능 													

< 환경 및 생태독성 연구 >

가. 연구개발 목표

본 연구에서는 먹이사슬에 따른 최종적인 인간의 섭취 및 쾌적한 자연 환경 생태속에서 함께 살아가야 하는 인간 본연의 삶을 고려하여, 환경생태계내 생물인 어류, 파충류, 조류 등에 대한 내분비계 장애물질의 영향 및 작용기전을 연구한다. 즉, 내분비계장애물질에 관한 환경생태계내 생물을 활용한 *in vivo* 실험을 고려하여 어류, 파충류, 조류 등을 이용한 위해성 평가지표에 적합한 동물모델을 개발하여, 종합적인 환경 위해성 평가에 적용하고, 인간과는 다른 생체 system을 갖고 있는 환경생태계내 생물에서의 작용기전 등을 규명하여, 인간에의 위해성에 관한 지표로서 활용하고자 한다.

나. 주요연구내용

연구주요내용	추진일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
1) 환경 생태계 생물 (어류, 파충류, 조류)의 생식호르몬 {성선자극호르몬[Gonadotropins; Prolactin] 과 성스테로이드호르몬[Estrogens; Androgens]}, 갑상선호르몬[Thyroid hormones]의 측정과 이들 호르몬의 일종 [Circadian rhythm], 년중[Circannual rhythm], 생식 주기[Reproductive cycles] 등 생물학적 주기내 호르몬의 변동과 발생시기[유년기, 사춘기 성체기 노년기 등], 임신시기, 이상에 따른 호르몬의 변동상황 파악연구										
2) 난황단백질(vitellogenin)의 생성에 미치는 영향 연구										
3) 내분비계 장애물질에 의한 출생비율 및 성비, 성전환 비율의 측정연구										
4) 성숙된 수컷의 정소 변화, 정자수 검사 및 정자활성 검사연구										
5) Estrogens의 측정법 개발,정립 연구										
6) 동물의 Gonadotropins의 측정법 개발, 정립연구										
7) Androgens의 측정법 개발, 정립연구										
8) Thyroid hormones의 측정법 개발, 정립연구										
9) Prolactin의 측정법 개발, 정립 연구										
10) Aromatase mRNA 측정										
11) in vitro cell culture를 이용한 동물의 GTH bioassays										
12) Estrogen Receptor (ER)의 competitive binding assay										
13) MAP kinase, tyrosine kinase에 의한 ER의 ligand-independent activation										
14) AP-1의 activation에 미치는 영향연구										
15) cyclin, CDK, CKI의 발현에 미치는 영향연구										

다. 활용방안

내분비계장애물질을 검색하기 위한 표준화된 시험방법에 대해 OECD를 비롯한 선진 각국이 시험법개발에 노력하고 있다. 환경 생물을 활용한, 본 연구결과를 기초로 하여 내분비계장애물질의 위해성을 정확하게 평가할 수 있는 표준화된 시험방법이 개발되면, 환경보존은 물론 환경속에 살고 있는 우리 인간의 삶의 질과 내분비계 장애물질 관련산업에도 좋은 영향을 줄 것으로 사료된다. 더불어, 환경 생물을 활용한 효율적인 생태 monitoring 시스템을 구축하여 내분비계 장애물질의 감시체계를 구축할 수 있고, 나아가 환경생물내에서의 작용기전을 규명하므로써, 더욱 효율적인 검색 및 경보시스템을 구축하여 자연환경 내에서의 편안한 삶의 질 확보와 국민 건강 복지에 크게 이바지할 수 있다.

< 생식 · 발생독성 연구 >

가. 연구개발 목표

우리나라에서 문제가 되고 있는 내분비계 장애물질의 실험동물에서의 생식 및 발생에 미치는 영향을 연차적으로 시험하여 내분비계 장애작용과 그 기전을 명확히 규명하고, 위해도평가를 위한 자료를 제공하며, 이를 통하여 국내에서 사용되고 있는 물질들에 대한 대처방안 수립에 필요한 기초자료를 공급하고자 한다. 또한 국제적으로 권고되고 있는 시험법을 정립함으로써 국제적으로 인정되는, 생식 및 발생 독성의 data로써 활용하고자 한다.

나. 주요 연구내용

연구주요내용	추진일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
1. 생식발생독성의 검색 연구 - 이세대 생식독성시험 - 대체 생식독성시험 - 일세대 생식독성시험										
2. 수정, 초기배 발생 및 기관형성에 미치는 영향 연구 - 수정능에 미치는 영향 - 배발생 및 착상에 미치는 영향 - 태반형성에 미치는 영향 - 기관형성에 미치는 영향										
3. 수태능, 임신, 분만 및 포육에 미치는 영향 연구 - 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향 - 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향 - 정자수, 운동성, 형태등 - 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향 - 임신기간, 조산, 유산, 난산에 미치는 영향 - 교미행동 및 포육행동에 미치는 영향										
4. 후세대에 미치는 영향연구 - 체중, 성비, 성성숙에 미치는 영향 - 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향 - 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향 - 정자수, 운동성, 형태등에 미치는 영향 - 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향 - 생식관련 행동에 미치는 영향										

다. 활용방안

- 내분비계 장애물질의 남성, 여성의 생식기능에 미치는 영향의 평가 및 기전 규명
- 내분비계 장애물질이 후세대에 미치는 영향 평가 및 기전규명
- 내분비계 장애물질의 위해도평가 및 관련 정책결정을 위한 기초자료 제공
- 국민 건강 보호와 생태계 보존에 기여

< 발암성(변이원성) 연구 >

가. 연구개발 목표

내분비계 장애물질의 작용기전을 고려해볼 때 극미량, 장기간 노출에 따른 발암성의 위험성과 암발생에 필연적으로 수반되는 돌연변이 유발 및 Hormonal carcinogenesis의 가능성이 상존하기 때문에 발암성연구는 필수적이다. 그러나 동물을 이용한 발암성연구는 많은 비용과 시간이 요구되는 독성실험이므로, 발암성의 지표로서 널리 통용되고 있는 변이원성 및 관련 유전자들의 돌연변이와 gene marker의 가능성을 동시에 규명하여 발암성의 지표 및 Hormonal carcinogenesis의 가능성을 연구하고자 한다.

나. 주요 연구내용

연구주요내용	추진일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
<ul style="list-style-type: none"> ● 내분비계 장애물질의 저용량 노출과 변이원성 상관관계 연구 										
<ul style="list-style-type: none"> ● <i>in vitro</i> 변이원성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - Single cell gel electrophoresis의 확립 및 활용 - thymidine kinase forward mutation 연구 - cytokinesis blocking assay 										
<ul style="list-style-type: none"> ● <i>in vivo</i> 변이원성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - supravital micronucleus assay 										
<ul style="list-style-type: none"> ● Hormonal carcinogenesis system 연구 <ul style="list-style-type: none"> - transgenic mutagenesis system 활용연구 										
<ul style="list-style-type: none"> ● Hormone effect 와 돌연변이 상관관계 연구 										
<ul style="list-style-type: none"> ● gene marker 연구 										

다. 활용방안

내분비계 장애물질로 인한 생식, 발생의 제문제는 물론 저농도로 장기간에 걸쳐 노출시 발생될 수 있는 돌연변이의 가능성과 돌연변이로 인한 발암성의 가능성 및 내분비계 장애물질의 Hormonal effect로 인한 Hormonal carcinogenesis 의 발생기전을 파악하여 내분비계 장애물질로 인한 발암의 가능성을 최소화 하여 자연 생태계 보호는 물론 인간의 건강 유지에도 활용하고자 한다.

< 면역 · 신경독성 연구 >

가. 연구개발 목표

내분비계 장애물질의 신경 및 면역계에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 면역 및 신경독성평가방법의 확립 및 확립된 방법을 이용한 각종 내분비장애물질의 면역 및 신경독성평가법을 확립하여 활용하며, 면역계와 신경계의 상호작용 연구 및 내분비 장애물질의 면역 및 신경독성 기전을 규명한다.

나. 주요 연구내용

연구주요내용	추진 일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
면역독성연구										
a. 내분비계 장애물질이 체액성 면역능에 미치는 영향										
- 항체생산능 측정										
- 비장세포에 대한 B 세포의 유약화 반응 측정										
- 비장에서 B 세포의 분포도 측정										
b. 내분비계 장애물질이 세포매개성 면역능에 미치는 영향										
- 비장세포에 대한 T 세포의 유약화 반응 측정										
- 비장에서 T 세포의 분포도 측정										
- 비장에서 helper T cell 및 suppresser T cell의 분포도 측정										
c. 내분비계 장애물질이 기타 면역능에 미치는 영향										
- 체중 및 면역장기의 무게변화 측정										
- 면역조절물질(lymphokine)의 변화 측정										
- Cytokines 유전자 발현 검증										
- 전사조절인자 활성도 검증										
- 재조합 DNA 합성 및 확인										
- 플라스미드의 세포내도입										
- Transfectants-간세포 혼합배양 확립										
- 클로람페니콜 아세틸전이효소 (CAT) 정량										
- 전사조절인자들의 결합 활성 측정										
- 기타 면역세포 기능 측정										

연구 주요 내용	추진 일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
신경독성연구										
a. <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i> 에서 신경세포사에 미치는 영향										
- 신경세포사 측정										
- 신경세포사의 기전 확인										
- 신경세포사에 대한 억제방안 검토										
b. <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i> 에서 신경전달물질의 생합성과 동태에 미치는 영향										
- 신경전달물질의 분석 및 그 대사체의 규명										
- 신경전달물질 합성과 유리양의 변화 측정										
- 신경전달물질 생합성효소활성의 변화 측정										
- 신경전달물질 생합성효소의 유전자 발현에 미치는 영향 검토										
c. <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i> 에서 신경전달물질 수용체에 미치는 영향										
- 신경독성효과와 관련된 수용체 확인										
- 확인된 수용체의 변화양상 검토										
- ion channel에 대한 영향										
d. 실험동물의 학습 및 인지능력에 미치는 영향										

다. 활용방안

내분비 장애물질에 의한 면역독성 및 신경독성 발현 여부에 적극 활용하여 내분비 장애물질에 의한 면역 및 신경독성 기전 규명에 활용하여 내분비계 장애물질로 인한 신경 및 면역계의 손상으로 인한 생태계 및 인간에의 영향을 규명한 다.

< 독성 발현 기전 연구 >

가. 연구개발 목표

내분비계 장애물질에 관한 신호전달 과정 중 세포단계에서의 분자적 활성화 기전에 대해 연구하여 종합적인 환경 위해성 평가에 적용하기 위하여, 본 연구에서는 확립된 세포주를 활용하여 Estrogenic effect를 가진 내분비계 장애물질들에 의한 신호전달 과정 중 분자수준에서의 작용기전에 대하여 연구하여 내분비계 장애물질들의 종합적인 인체 위해성 평가에 적용하고자 함에 그 목표를 둔다.

나. 주요 연구 과제

연구 주요 내용	추진 일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
<ul style="list-style-type: none"> • 내분비계 장애물질 연구를 위한 모델 세포 설정 <ul style="list-style-type: none"> ① 모델세포의 기존사용에 관한 자료 수집 및 분석 ② 모델세포의 사용가능성 파악 ③ 최종 모델세포 선정 										
<ul style="list-style-type: none"> • 내분비계 장애물질의 세포에 미치는 영향 연구 <ul style="list-style-type: none"> ① 미국 EPA 및 NPT 수준의 내분비계 장애물질의 독성 평가 시작 ② 내분비 장애물질로 인한 세포의 변화 관찰 										
<ul style="list-style-type: none"> • 내분비계 장애물질이 작용하는수용체 검색 <ul style="list-style-type: none"> ① receptor binding assay 확립 ② 해당 수용체의 특성 연구 										
<ul style="list-style-type: none"> • ligand/수용체간의 상호작용 연구 <ul style="list-style-type: none"> ① 해당 리간드와의 결합 형태 연구 ② 해당 수용체의 활성화 기전 모델 확립 										
<ul style="list-style-type: none"> • 유전자 발현과정에서의 독성기전 연구 <ul style="list-style-type: none"> ① 돌연변이형 수용체 확립 ② 돌연변이형 세포주 확립 										
<ul style="list-style-type: none"> • ligand/수용체로 매개되는 신호전달의 분자수준의 기전 규명 - I <ul style="list-style-type: none"> ① MAP kinase, tyrosine kinase assay ② 관련된 단백질의 활성화여부 측정 										

연구 주요 내용	추진 일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
<ul style="list-style-type: none"> • ligand/수용체로 매개되는 신호전달의 분자수준의 기전 규명 - II <ul style="list-style-type: none"> ① 면역침전법을 통한 복합체 형성 유무 연구 ② 복합체 형성과 신호전달의 관계 규명 										
<ul style="list-style-type: none"> • 내분비계 장애물질이 생체 내 미치는 독성발현 기전 연구 - I <ul style="list-style-type: none"> ① mRNA 발현 측정 ② 생체 내 조직에 따른 활성화 측정 										
<ul style="list-style-type: none"> • 내분비계 장애물질이 생체 내 미치는 독성발현 기전 연구 - II <ul style="list-style-type: none"> ① 활성화 측정 시스템 확립 ② 내분비 장애물질에 따른 생체내 조직의 활성화 측정 										
<ul style="list-style-type: none"> • 환경오염의 지표 마련 및 진단 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> ① 실제 환경 중 생체 내 조직세포에서 검색 ② 환경 위해성 평가진단 모델 구축 										

다. 활용방안

체내 또는 외부에 존재하는 많은 화학물질들은 주변 환경에 대해 물리적으로 또는 생물학적으로 어떠한 자극이 되어왔다. 이러한 자극에 대한 민감도는 어떠한 개체를 공격할 수도 있으며 일종의 Steroid와 유사한 화학물질은 신호전달 경로와 상호 작용하게 되어 특히 에스트로젠의 성격을 띠게된다. 최근의 조사에 의하면 많은 물질들이 에스트로젠의 활성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 그에 대한 조사가 활발히 이루어지고 있으나 아직 우리 나라에서는 미미한 실정이다. 따라서 외국의 연구 결과에만 의존하기보다는 우리 나라에서도 병리, 생태학적 조사 연구 및 생체 내 대사 기전연구, 독성학적 연구, 분석법 연구 등 그 연구 활동을 활발히 진행시켜야 한다고 사료된다. 이에 따라, 우선 세

포주를 사용한 생리학적 효과를 살펴보고 이를 동물 실험으로 확대해 나가야 할 것이며 동물마다의 차이까지도 확실히 조사해야 할 것이다. 또한 체내에서 Estrogen이 대사 됨에 따라 각각의 물질에 대한 독성은 또한 어떻게 나타나며 그 배출은 용이한지 등에 대하여서도 연구해야 할 것이다. 동물 실험의 결과를 통해 사람의 경우를 함부로 추측하는 우를 범해서는 아니되므로 사람의 주거환경이나 음식문화에 따른 외부 환경 요인을 고려한 역학 조사 또한 함께 이루어져야 할 것이다. 환경문제가 날로 심각해져 가는 요즘 인간의 건강과 복지 차원의 기본적 영위 방법으로서 이 연구는 시급히 진행시켜, 내분비계 장애물질로 인한 건강, 보건의 물론 산업계에 미칠 영향, 수출입에의 영향 등에 대한 대비 또한 철저한 준비를 하여야만 한다.

< 환경 중 거동 연구 >

가. 연구개발목표

주요 환경호르몬 물질들에 대한 자연상태에서의 거동 및 분해특성을 규명하고 이를 토대로 자연계내 분포 및 잔류성을 평가하기위한 예측기법을 개발, 응용한다.

나. 주요연구내용

연구주요내용	추진일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
* 환경매체 중 이동특성규명 - 주요 환경권역(수계권, 대기권, 토양권, 생물권)간 이동 경로 및 특성파악 - 환경매체내, 매체간 이동속도평가										
* 환경매체간 평형분배 특성 규명 - 주요 환경매체간 선형분배모델에 근거한 분배상수 결정 - 환경권역내 분배특성결정 - 환경권역간 분배특성 결정 (fugacity 모델적용)										
* 화학적, 생물학적 분해특성 규명 - 매체별 화학적 분해특성 규명 및 자연상태에서의 분해 속도 결정 - 매체별 생물학적 분해특성 규명 및 자연상태에서의 분해속도 결정 - 분해부산물의 축적 여부 및 거동특성규명 환경내 환경 호르몬 물질의 'fate' 예측기법개발 - Fugacity 모델을 활용한 장기적 거시모델 개발 - 주요 환경호르몬 누출원 또는 누출시나리오에 대한 국 지적 단기거동 모델개발 - 주요누출경로를 중심으로 다양한 환경호르몬의 누출위험성 정량화 기법개발										

다. 활용방안

- 인간에의 주요예상 누출경로 도출에 활용
- 인간에의 누출차단 및 최소화방안 결정에 활용
- 다양한 환경호르몬 물질들의 상대적 위해성 평가/비교에 활용
- 환경호르몬 물질들에 대한 누출량 계산 및 위해성 평가에 활용

< 생체내 거동 연구 >

가. 연구개발 목표

내분비계 장애물질과 대사체에 대한 생체내 거동을 연구하여 인체내에서의 내분비계 장애물질의 동태를 파악하고 새로운 내분비계 장애물질의 생체내 거동을 예측할 수 있는 기법을 확립함으로써 내분비계 장애를 최소화 할 수 있는 방안을 모색하는데 목표가 있다.

나. 주요 연구내용

연구 주요 내용	추진 일정									
	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
1) 물리화학적인 성질 및 구조-활성 상관관계 연구 · 물리화학적인 성질 비교연구 (solubility, W/O partition coefficient 및 pKa) · 구조-활성 상관관계 연구										
2) 투여경로 (경구, 정맥내 투여) 및 용량에 따른 흡수 연구 · 생체시료에서 초정밀 분석법연구 · 생체 이용율 (흡수분율)에 관한 연구										
3) 투여경로 및 시간에 따른 분포연구 · 각 장기에서 분포의 정도 평가 · 단백질(혈장)과 결합률 측정										
4) 혈장, 뇨, 담즙에서 대사체의 분석연구 · 대사체의 분석법 확립 · 대사경로 추적연구 (phase I 과 phaseII 대사체 연구) · 대사체 관련 주 효소 연구 및 효소분석연구 · 투여경로에 따른 대사체 연구 · 종차이에 따른 대사체 연구										
5) 뇨, 변 및 담즙으로 배설연구 · 배설된 누적량 및 clearance 평가 · 투여경로 및 용량에 따른 배설연구										

다. 활용방안

내분비계 장애물질로 인한 생체내에서의 거동의 변화를 경시적으로 파악하여 독성 발현과 kinetic behavior와의 상관성을 규명하여 실제적인 독성발현 기전을 파악하여 보건 향상을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

(1) 중과제명	위해성 평가분야												
(2) 소과제명	환경 및 생태 독성 연구												
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질에 관한 환경 생태계 내 생물을 활용한 <i>in vivo</i> 실험을 고려하여 어류, 파충류, 조류 등을 이용한 위해성 평가지표에 적합한 동물모델을 개발하여, 종합적인 환경 위해성 평가에 적용하고, 인간과는 다른 생체 system 을 갖고 있는 환경 생태계 내 생물에서의 작용기전 등을 규명하여, 인간에의 위해성에 관한 지표로서 활용하고자 한다.</p>												
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경생태계 생물을 활용하여 <i>in vivo</i> 및 <i>in vitro</i> system의 확립 필요성 ○ 환경생태계 생물을 이용한 위해성 평가의 동물모델 개발 필요성 ○ 환경생태계 생물에서의 작용기전 연구를 통한 인간에의 위해성 평가 ○ 인간의 삶과 직결된 자연환경 생태계의 보존 필요성 												
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 환경 생태계 생물 (어류, 파충류, 조류)의 생물학적 주기내 호르몬의 변동과 발생시기[유년기, 사춘기 성체기 노년기 등], 임신시기, 이상에 따른 호르몬의 변동상황 파악연구 ○ 난황단백질(vitellogenin)의 생성에 미치는 영향 연구 ○ 내분비계 장애물질에 의한 출생비율 및 성비, 성전환 비율의 측정연구 ○ 성숙된 수컷의 정소 변화, 정자수 검사 및 정자활성 검사연구 ○ Estrogens의 측정법 개발, 정립 연구 ○ 동물의 Gonadotropins의 측정법 개발, 정립연구 ○ Androgens의 측정법 개발, 정립연구 ○ Thyroid hormones의 측정법 개발, 정립연구 ○ Prolactin의 측정법 개발, 정립 연구 ○ Aromatase mRNA 측정 ○ <i>in vitro</i> cell culture를 이용한 동물의 GTH bioassays ○ Estrogen Receptor (ER)의 competitive binding assay <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 환경생태계 생물의 <i>in vivo</i> 및 <i>in vitro</i> system 확립 ○ 환경생태계 생물에서의 관련 호르몬 및 관련 유전자 측정법 												
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 몇몇 대학에서 기초연구 수준의 연구가 진행중임 ○ 국외 : 국가 차원의 범부처적인 연구 system 구축하여 실행중임 												
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초확립단계)</td> <td>3</td> <td>6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td>4</td> <td>8 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td>3</td> <td>6 억</td> </tr> </tbody> </table>	단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초확립단계)	3	6 억	○ 2 단계 (실행단계)	4	8 억	○ 3 단계 (응용단계)	3	6 억
단 계	소요기간	소요예산											
○ 1 단계 (기초확립단계)	3	6 억											
○ 2 단계 (실행단계)	4	8 억											
○ 3 단계 (응용단계)	3	6 억											
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계장애물질의 위해성을 정확하게 평가할 수 있는 표준화된 시험방법이 개발되면, 환경보존은 물론 환경속에 살고 있는 우리 인간의 삶의 질과 내분비계 장애물질 관련산업에도 좋은 영향을 줄 것으로 사료됨 ○ 환경생물을 활용한 효율적인 생태 monitoring 시스템을 구축하여 내분비계 장애물질의 감시체계를 구축 ○ 환경생물내에서의 작용기전을 규명하므로써, 더욱 효율적인 검색 및 경보시스템을 구축하여 자연환경 내에서의 편안한 삶의 질 확보와 국민 건강 복지증진 												

(1) 중과제명	위해성 평가분야			
(2) 소과제명	생식·발생연구			
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질의 실험동물에서의 생식 및 발생에 미치는 영향을 연차적으로 시험하여 내분비계 장애작용과 그 기전을 명확히 규명하고, 위해도 평가를 위한 자료를 제공하며, 이를 통하여 국내에서 사용되고 있는 물질들에 대한 대체방안 수립에 필요한 기초자료를 공급하고자 한다. 또한 국제적으로 권고되고 있는 시험법을 정립함으로써 국제적으로 인정되는, 생식 및 발생 독성의 data로써 활용</p>			
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실험동물에서의 생식·발생에 미치는 영향을 파악하기 위해서 평가 자료 제공 ○ 이를 통한 내분비계 장애물질 들에 대한 대체방안 수립의 기초자료 제공 ○ 국제적으로 인정받을 수 있는 생식·발생연구 protocol 작성 및 data 산출 			
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생식·발생독성의 검색 연구 - 이세대 생식독성시험 - 대체 생식독성시험 - 일세대 생식독성시험 ○ 수정, 초기배 발생 및 기관형성에 미치는 영향 연구 - 수정능에 미치는 영향 - 배발생 및 착상에 미치는 영향 - 태반형성에 미치는 영향 - 기관형성에 미치는 영향 ○ 수태능, 임신, 분만 및 포육에 미치는 영향 연구 - 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향 - 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향 - 정자수, 운동성, 형태등 - 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향 - 임신기간, 조산, 유산, 난산에 미치는 영향 - 교미행동 및 포육행동에 미치는 영향 ○ 후세대에 미치는 영향연구 - 체중, 성비, 성성숙에 미치는 영향 - 생식기관의 발달 및 기능에 미치는 영향 - 생식세포의 형성 및 기능에 미치는 영향 - 정자수, 운동성, 형태등에 미치는 영향 - 호르몬의 생성 및 조절에 미치는 영향 - 생식관련 행동에 미치는 영향 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생식·발생독성의 대체시험기술 ○ 생식·발생독성의 국제적인 인정 받을 수 있는 연구기술 확보 			
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 몇몇 연구 기관 및 대학에서 수행중이나, 기초적인 연구들 수행 ○ 국외 : 많은 연구기관 등에서 체계적인 system과 운영능력, 전문가 확보 등을 통해 충분한 연구가 진행중임 			
(7) 단계별 소요 예산	단	계	소요기간	소요예산
	○ 1 단계 (국제적 인증단계)		3	6 억
	○ 2 단계 (실행단계)		3	6 억
	○ 3 단계 (응용단계)		4	8 억
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계 장애물질의 남성, 여성의 생식기능에 미치는 영향의 평가 및 기전규명 ○ 내분비계 장애물질이 후세대에 미치는 영향 평가 및 기전규명 ○ 내분비계 장애물질의 위해도평가 및 관련 정책결정을 위한 기초자료 제공 ○ 국민 건강 보호와 생태계 보존에 기여 			

(1) 중과제명	위해성 평가분야													
(2) 소과제명	발암성(변이원성) 연구													
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질의 작용기전을 고려해볼 때 극미량, 장기간 노출에 따른 발암성의 위험성과 암발생에 필연적으로 수반되는 돌연변이 유발 및 Hormonal carcinogenesis의 가능성이 상존하기 때문에 발암성연구는 필수적이다. 그러므로 발암성의 지표로서 널리 통용되고 있는 변이원성 및 관련 유전자들의 돌연변이와 gene marker의 가능성을 동시에 규명하여 발암성의 지표 및 Hormonal carcinogenesis의 가능성을 연구하고자 한다.</p>													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극미량 노출에 대한 발암성의 지표로서의 변이원성 연구의 필요성 ○ 발암성과 관련된 유전자들의 돌연변이 연구 필요성 ○ 발암성과 관련된 유전자들의 gene marker 연구 ○ Hormonal carcinogenesis 연구의 필요성 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계 장애물질의 저용량 노출과 변이원성 상관관계 연구 ○ <i>in vitro</i> 변이원성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - Single cell gel electrophoresis의 확립 및 활용 - thymidine kinase forward mutation 연구 - cytokinesis blocking assay ○ <i>in vivo</i> 변이원성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - supravital micronucleus assay ○ Hormonal carcinogenesis system 연구 <ul style="list-style-type: none"> - transgenic mutagenesis system 활용연구 ○ Hormone effect 와 돌연변이 상관관계 연구 ○ gene marker 연구 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 세포를 활용한 돌연변이 탐지 기술 있는 연구기술 확보 ○ 유전자를 활용한 돌연변이 탐지 기술 ○ Transgenic mutagenesis system의 활용 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 몇몇 연구소 및 대학에서 기초적인 연구 수행중임 ○ 국외 : 여러 분야에서 세포 및 유전자를 활용할 첨단 기법들의 개발로 신속·정확한 독성탐지기법 분야가 매우 활발함 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초 확립단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">8 억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억	○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억	○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억
단 계	소요기간	소요예산												
○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억												
○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억												
○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억												
(8) 기대효과	<p>내분비계 장애물질로 인한 생식, 발생의 제문제는 물론 저농도로 장기간에 걸쳐 노출시 발생될 수 있는 돌연변이의 가능성과 돌연변이로 인한 발암성의 가능성 및 내분비계 장애물질의 Hormonal effect로 인한 Hormonal carcinogenesis의 발생기전을 파악하여 내분비계 장애물질로 인한 발암의 가능성을 최소화하여 자연 생태계 보호는 물론 인간의 건강 유지에도 활용하고자 한다.</p>													

(1) 중과제명	위해성 평가분야													
(2) 소과제명	면역 · 신경독성 연구													
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질의 신경 및 면역계에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 면역 및 신경독성평가방법의 확립 및 확립된 방법을 이용한 각종 내분비장애물질의 면역 및 신경독성평가법을 확립하여 활용하며, 면역계와 신경계의 상호작용 연구 및 내분비 장애물질의 면역 및 신경독성 기전을 규명한다.</p>													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계 장애물질로 인한 신경독성의 작용기전 규명을 통한 해결책 제시 ○ 내분비계 장애물질로 인한 면역의 작용기전 규명을 통한 해결책 제시 ○ 내분비계 장애물질로 인한 신경계와 면역계의 상호작용 연구 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계 장애물질이 체액성 면역능에 미치는 영향 ○ 내분비계 장애물질이 세포매개성 면역능에 미치는 영향 ○ <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i>에서 신경세포사에 미치는 영향 ○ <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i>에서 신경전달물질의 생합성과 동태에 미치는 영향 ○ <i>in vitro</i> 및 <i>in vivo</i>에서 신경전달물질 수용체에 미치는 영향 ○ 실험동물의 학습 및 인지능력에 미치는 영향 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 면역 조절능력 측정기법 확립 ○ 신경전달물질이 동태 측정 기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 몇몇 연구 기관 및 대학에서 기본적인 연구 수행중임 ○ 국외 : 여러 연구기관 등에서 매우 활발히 연구가 진행중임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초 확립단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">8 억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억	○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억	○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억
단 계	소요기간	소요예산												
○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억												
○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억												
○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억												
(8) 기대효과	<p>내분비 장애물질에 의한 면역독성 및 신경독성 발현 여부에 적극 활용하여 내분비 장애물질에 의한 면역 및 신경독성 기전 규명에 활용하여 내분비계 장애물질로 인한 신경 및 면역계의 손상으로 인한 생태계 및 인간에의 영향을 규명한다.</p>													

(1) 중과제명	위해성 평가분야													
(2) 소과제명	독성발현기전 연구													
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질에 관한 신호전달 과정 중 세포단계에서의 분자적 활성 기전에 대해 연구하여 종합적인 환경 위해성 평가에 적용하기 위하여, 본 연구에서는 확립된 세포주를 활용하여 Estrogenic effect를 가진 내분비계 장애물질들에 의한 신호전달 과정 중 분자수준에서의 작용기전에 대하여 연구하여 내분비계 장애물질들의 종합적인 인체 위해성 평가에 적용하고자 함에 그 목표를 둔다.</p>													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 독성발현의 기전을 규명하여 근본적인 독성 저감기술에 응용 ○ 독성발현의 신호전달과 관련된 분자 생물학적 연구의 중요성 ○ 독성발현기전을 이용한 종합적인 인체 위해성 평가에의 응용 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 내분비계 장애물질 연구를 위한 모델 세포 설정 ○ 내분비계 장애물질의 세포에 미치는 영향 연구 ○ 내분비계 장애물질이 작용하는수용체 검색 ○ ligand/수용체간의 상호작용 연구 ○ 유전자 발현과정에서의 독성기전 연구 ○ ligand/수용체로 매개되는 신호전달의 분자수준의 기전 규명 - I ○ ligand/수용체로 매개되는 신호전달의 분자수준의 기전 규명 - II ○ 내분비계 장애물질이 생체 내 미치는 독성발현 기전 연구 - I ○ 내분비계 장애물질이 생체 내 미치는 독성발현 기전 연구 - II ○ 환경오염의 지표 마련 및 진단 시스템 구축 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 모델세포 확립기술 ○ 유전자 발현과 신호전달과의 상관성 연구기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 연구소 및 대학에서 기초적인 연구 수행중임 ○ 국외 : 연구소 및 학계에서 매우 활발히 연구가 중점적으로 진행중임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초 확립단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">9 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">9 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">12 억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	9 억	○ 2 단계 (실행단계)	3	9 억	○ 3 단계 (응용단계)	4	12 억
단 계	소요기간	소요예산												
○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	9 억												
○ 2 단계 (실행단계)	3	9 억												
○ 3 단계 (응용단계)	4	12 억												
(8) 기대효과	<p>내분비계 장애물질로 인한 독성 발현의 근본적인 기전을 연구하고 규명하여, 저감기술 및 대체물질 개발 등에 활용하여, 근본적인 독성 예방 및 차단기술개발을 통해 궁극적인 국민보건 향상에 이바지 할 수 있다</p>													

(1) 중과제명	위해성 평가분야													
(2) 소과제명	환경 중 거동연구													
(3) 연구개발 목표	<p>주요 환경호르몬 물질들에 대한 자연상태에서의 거동 및 분해특성을 규명하고 이를 토대로 자연계내 분포 및 잔류성을 평가하기위한 예측기법을 개발, 응용한다.</p>													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경에서의 내분비계 장애물질의 거동을 파악하여 실질적인 환경오염원으로서의 내분비계 장애물질의 확산을 근본적으로 저지 할 수 있음 ○ 환경내에서의 거동에 따라, 자연 생태계나 인간의 삶에 어떤 영향이 미칠 수 있는가를 파악할 수 있음 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 환경매체 중 이동특성규명 ○ 환경매체간 평형분배 특성 규명 ○ 화학적, 생물학적 분해특성 규명 ○ 분해부산물의 축적 여부 및 거동특성규명 환경내 환경호르몬 물질의 'fate' 예측기법개발 ○ 주요 환경호르몬 누출원 또는 누출시나리오에 대한 국지적 단기거동 모델개발 ○ 주요노출경로를 중심으로 다양한 환경호르몬의 노출위험성 정량화 기법개발 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 환경매체에서의 이동 및 평형분배 특성 규명 ○ 환경매체중의 "fate" 예측기술 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 연구소와 대학에서 기초적인 연구 수행중임 ○ 국외 : 연구소와 대학에서 활발히 연구가 진행중이고 관련 시나리오 모델개발 등 매우 활발한 연구가 진행중임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1"> <thead> <tr> <th>단 계</th> <th>소요기간</th> <th>소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초 확립단계)</td> <td>3</td> <td>6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td>3</td> <td>6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td>4</td> <td>8 억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억	○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억	○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억
단 계	소요기간	소요예산												
○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억												
○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억												
○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억												
(8) 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간에의 주요예상 노출경로 도출에 활용 ○ 인간에의 노출차단 및 최소화방안 결정에 활용 ○ 다양한 환경호르몬 물질들의 상대적 위해성 평가/비교에 활용 ○ 환경호르몬 물질들에 대한 노출량 계산 및 위해성 평가에 활용 													

(1) 중과제명	위해성 평가분야													
(2) 소과제명	생체 내 거동연구													
(3) 연구개발 목표	<p>내분비계 장애물질과 대사체에 대한 생체내 거동을 연구하여 인체내에서의 내분비계 장애물질의 동태를 파악하고 새로운 내분비계 장애물질의 생체내 거동을 예측할 수 있는 기법을 확립함으로써 내분비계 장애를 최소화 할 수 있는 방안을 모색하는데 목표가 있다</p>													
(4) 연구개발의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인간을 포함한 살아있는 생체 내에서의 거동을 규명하여 독성 발현기전과의 상관성을 규명 ○ 생체 내 거동을 규명하므로써 내분비계 장애를 최소화 할 수 있는 방안 강구 													
(5) 연구개발 내용 및 핵심요소기술	<p><u>연구내용</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 물리화학적인 성질 및 구조-활성 상관관계 연구 ○ 투여경로 (경구, 정맥내 투여) 및 용량에 따른 흡수 연구 ○ 투여경로 및 시간에 따른 분포연구 ○ 혈장, 뇨, 담즙에서 대사체의 분석연구 ○ 뇨, 변 및 담즙으로 배설연구 <p><u>핵심기술</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Kinetic behavior 측정기술 ○ 대사체 규명기술연구 													
(6) 국내외 현황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 : 연구소 및 대학에서 어느 정도 연구가 진행중임 ○ 국외 : 연구소 및 대학에서 많은 연구가 활발히 진행중임 													
(7) 단계별 소요 예산	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">단 계</th> <th style="text-align: center;">소요기간</th> <th style="text-align: center;">소요예산</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○ 1 단계 (기초 확립단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 2 단계 (실행단계)</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">6 억</td> </tr> <tr> <td>○ 3 단계 (응용단계)</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">8 억</td> </tr> </tbody> </table>		단 계	소요기간	소요예산	○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억	○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억	○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억
단 계	소요기간	소요예산												
○ 1 단계 (기초 확립단계)	3	6 억												
○ 2 단계 (실행단계)	3	6 억												
○ 3 단계 (응용단계)	4	8 억												
(8) 기대효과	<p>내분비계 장애물질로 인한 생체내에서의 거동의 변화를 경시적으로 파악하여, 독성 발현과 kinetic behavior와의 상관성을 규명하여 실제적인 독성발현 기전을 파악하여 보건 향상을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.</p>													

제 5 장 연구조사 결과

산업계의 환경호르몬 관련 대응전략은 개인 기업자체의 비밀에 속하는 영역으로 문헌으로 공표되어질 확률이 적기 때문에, 본 조사사업에서는 주로 internet, 설문지, 기술서적, 자문회의, 현장방문, 공개토론회 등의 간접적인 방법을 통하여 수행되었다.

그러므로 이번 장에서는 설문지 조사, 자문회의 내용, 현장방문 조사, 공개토론회(workshop)의 내용과 결과를 간추려 보고자 한다.

1. 설문지

1) 설문지 본문 인용

최근 인체 및 생태계 생물에 생식능력의 저하·발암성 증대·차세대 행동 특성 장애·면역기능 장애 등의 악영향을 초래한다고 알려진 내분비계 장애물질이라는 환경오염물질이 일반에게 널리 알려지면서 사회적인 문제가 제기된 바 있습니다. 이러한 환경오염물질의 출현은 정부의 정책적 관리 및 법적규제의 강화를 초래함으로써 관련사업 및 경제발전에 막대한 영향을 미칠 수 있습니다. 따라서 이에 대응하는 대체물질이나 대체공정의 개발을 통하여 내분비계 장애물질에 대한 근본적인 해결책을 제시하는 연구개발 노력이 시급하다 하겠습니다. 이에 본 한국화학연구소에서는 과학기술부 기획과제의 일환으로 「내분비계 장애물질(EDC:환경호르몬) 규제대응 종합기술개발 전략연구」를 수행하고 있으며, 이를 통하여 내분비계 장애물질의 국내외 규제현황과 대체물질 및 대체공정개발현황과 저감기술을 조사·분석함으로써, 국내 관련산업의 대응 연구개발 전략을 수립하고자 합니다.

부디 귀중한 시간을 내시어 본 설문조사에 응해주시면 대단히 감사하겠습니다.

1. 자사의 주 생산 업종은 무엇입니까?

- | | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 플라스틱 물질 또는 첨가물질 | <input type="checkbox"/> 세제 | <input type="checkbox"/> 염료 |
| <input type="checkbox"/> 농약 | <input type="checkbox"/> 의약품 | <input type="checkbox"/> 도료 |
| | | <input type="checkbox"/> 기타() |

2. 내분비계 장애물질(이하 환경호르몬으로 칭함)과 관련된 사회문제로 인하여 자사에
경제적인 손실이 있었습니까? 네 아니오 대외비
(“네” 표시 하셨으면 다음 항목에 답변하여 주십시오.)
- 2-1. 손실에 따른 매출 감소액은(97년 매출액 대비)?
 10%이하 10 - 20% 20 - 30% 30 - 50% 50% 이상
- 2-2. 경제적 타격을 입은 자사의 상품 또는 화학물질은 무엇이었습니까?
- 2-3. 98년도의 일반적 경기침체로 인한 손실과의 구분방법은?
 97년 동기 대비
 환경호르몬의 타격을 받지않은 타제품/경쟁제품과의 매출 비교
 구분 불가 기타()
- 2-4. “2-2”에 답해주신 품목에 대한 현재의 매출추세는?
 하락세 상승세 동일수준 유지
- 2-5. 환경호르몬 문제로 인하여 자사가 경제적으로 영향을 받은 기간은?
 1개월 이내 1 - 3개월 3 - 6개월 6개월 이상
3. “2-2”에 답해주신 품목에 대한 자사의 대응, 대체전략은 무엇입니까? (모든 해당사항
에 우선순위대로 번호를 적어주십시오.)
- 기존 대체상품·기술·공정 구매/도입
 대체기술 개발(대체물질, 대체공정, 저감기술 개발 등)
 무해성 증명연구 또는 홍보 선진국 동일업종 사례 참조
 정부의 구체적 규제 및 정책이 확정된 후 대책마련 특별한 대책 없음
 기타 ()
- (“대체기술 개발”에 표시하셨으면, 다음 항목에 답해주십시오.)
- 3-1. 자사에서 주력하고 있는 대체기술 개발은 어떤 면입니까?
 대체물질 개발 대체공정 개발 저감기술 개발
 대외비 기타()
- 3-2. “3-1”에 답해주신 항목의 개발내용을 간략하게 요약하여 주십시오.

4. 연구전략 또는 대응전략 수립에 있어서 애로점은 무엇입니까?(해당사항을 모두 표시하여 주십시오.)

- 환경호르몬 관련 정보 불충분
- 정부의 연구지원 과정에서의 소극적 태도(설비, 참가에 따른 세제혜택등의 미비)
- 해당물질의 위해성평가에 따른 독성 및 노출자료 부족
- 자사의 환경호르몬 문제에 관한 인식부족
- 언론·소비자단체로 부터의 비논리적 요구사항 및 압력
- 기타()

5. 환경호르몬 문제로 야기된 산업체의 애로점을 타개하기 위하여 어떠한 국가적 연구·개발이 시급하다고 보십니까? (모든 해당사항에 우선순위대로 번호를 적어주십시오.)

- 환경호르몬과 관련한 체계적인 정보구축 및 관련정보 공유
- 대체물질의 개발
- 대체공정의 개발
- 저감기술의 개발
- 환경호르몬 추정물질에 대한 위해성평가 및 관리(독성과 노출량 분석)
- 외국 정부의 규제현황 또는 대체기술 개발 비교·분석
- 기타()

6. 향후 환경호르몬 문제가 관련 기업체에 가장 큰 영향을 미칠 것이라고 예상하는 시기는 언제입니까? 1년 이내 1-2년 2-3년
 3년 이후 더 이상의 큰 영향은 없을 것임

7. 환경호르몬 관련 정부출연금을 받을 수 있다면, 연구·개발하고자 하는 주제가 있으십니까? 네 아니오
만약 연구희망 주제가 있다면, 간략하게 내용을 써주십시오.

8. 환경호르몬에 관한 규제 및 관련정보는 주로 어디에서 얻으십니까?

- 인터넷 (site:)
- 외국의 관련협회 또는 회사
- 국내 강연회
- 관련 서적 또는 논문
- 기타 ()

작성자 성명 :
소속회사/부서:

일 자 :
연락번호 :

2) 환경호르몬 관련 설문조사 결산 및 결과요약 도표

o. 일반사항

1. 설문지 배포 : 국내 총 148개, 국외 총 58개 기업체
2. 설문지 응답 : 국내 총 26개(약 18%), 국외 총 5개(약 9%) 업체 응답
3. 참여 기업체 명단

국내

작성자 & 직위	소속회사	연락처
김 두희 차장	대한인터내셔널 페인트 중앙연구소	0343-466-3012(F)
전 용배	전진산업(주) 잔류독성 실험실	0335-339-2436(T)
최 하용	성보화학 기술개발부	02-753-2721(T)
양 경형	(주)경농 중앙연구소	0561-749-9741(T), 773-4288(F)
김 용환	노바티스아그로 코리아(주)	02-3985(T), 561-5965(F)
정 원기	한국카프로락탐(주) 연구개발과	052-270-9778(T)
김 정곤 부장	애경유화(주) 연구개발부	052-259-8552(T)
박 명환	(주)대웅제약 중앙연구소	0342-731-7553(T), 731-7554(F)
이 장원	? 영업개발팀	02-3473-3488(T)
박 규종	경보화학 중앙연구소	0418-545-0456(T), 546-8427(F)
신 명순	명문제약 품질관리부	0339-353-3519(T), 353-7111(F)
김 진영	한국다우코닝 기술연구소	0434-539-1601(T), 535-9653(F)
이 용욱	서한화학(주) 업무부	02-287-2978(T), 287-2989(F)
이 규일 실장	호남석유화학(주) 연구1실	042-879-1521(T), 879-1118(F)
이 덕희 팀장	용산화학(주) 안전환경팀	052-260-3992(T), 718-7330(F)
김 기원 과장	제일시바가이(주) 기술개발파트	0546-461-2095(T)
심 규송	SK 대덕기술원	042-866-7311(T), 866-7789(F)
박 세원	HD 석유화학 연구소	0455-661-1859(T), 681-3350(F)
심 기형	영보화학 연구소	042-820-9179(T), 822-4624(F)
최 연주	(주)녹십자 개발지원팀	02-584-0131(T), 582-6331(F)
임 성규 부장	금호몬산토(주) 연구소	0662-688-3947(T)
이 방식	(주)미성 이화학팀	0333-610-7792(T), 666-6961(F)
김 기영	FMC Korea 개발부	02-539-6413(T), 567-4662(F)
이 상균	LG화학 기술연구원 바이오백연구소	042-866-2478(T)
박 상경	한화종합화학 중앙연구소 연구기획팀	042-865-6473(T)
장 남일	범우화학공업(주) TQM 사무국	02-571-6327(T), 02-571-7458(F)

국외

성명	소속	연락처
Eun Namkung	Procter & Gamble Far East Inc.	81-78-845-6035
George Luckett	Shell Chemicals Ltd.	44-171-934-3174
Daniel Edwards	Amway	616-787-5625(F) 787-1541(T)
Dr. masatoshi matsuo	Sumitomo	81-45-963-3897(F)
Tony Tikuisis	NOVA Chemicals Co.	403-291-8475

4. 설문조사 결과 요약

(1) 주생산 업종 : 부록표 1. 참조

국내: 플라스틱 물질 및 첨가물질(7), 세제(0), 염료(0), 농약(6), 의약품(4),

도료(1), 기타(5), 도료 제외한 모든제품(1)

국외: 플라스틱 물질 & 세제(1), 세제, 의약품, & 기타(종이류)(1)

세제 & 기타(소비자 상품)(1), 플라스틱, 농약, & 의약품(1), 플라스틱(1)

(2) 내분비계 장애물질로 인한 회사의 경제적 손실

국내 : 네(2), 아니오(22)

국외 : 네(4), 아니오(1)

(2-1) 손실에 따른 매출감소액

국내 : 10-20%

국외 : less than 10%(3), no loss(1)

(2-2) 타격을 입은 상품

국내 : PVC, PS, Phtalate류, Phenol

국외 : BPA, Resins, Polystyrene/ Plastics, Pesticides/

Polyethylene and Polystyrene

(2-3) '98년도 일반적 경기침체로 인한 손실과의 구분방법

환경호르몬의 영향을 받지 않은 타제품/경쟁제품과의 매출비교(1),
구분불가(1)

국외 : 위의 질문내용 대신 다국적기업이라면, 어떤 나라에서 손실을 입었
는지 ⇒ Japan & Korea(2), North America & Europe (1)

(2-4) "2-2"의 품목에 대한 현재 매출추세

동일수준(4), 감소(1), 증가(1)

(2-5) 경제적으로 영향을 받은 기간

3-6개월(1), 6개월 이상(4), 무영향(1)

(3) 환경호르몬의 영향을 받은 제품에 대한 대응, 대체전략(무응답 국내 18개사)
: 우선순위별로 번호를 매겨달라는 요청엔 국내 1개, 국외 2개 업체만이 응답
하였는데, 그 우선순위는 국내의 경우 무해성증명→선진국사례참조→정부정
책 확정후 대책마련→대체기술의 개발 순. 외국의 경우는 무해성증명을 2
기업체가 1순위로, 기존 대체상품, 기술등 구매/도입을 1기업체가 2순위로
선정. 전체적인 순위는(부록표 2. 참조)

- ① 무해성 증명연구 또는 홍보: 국내 1, 국외 3
- ② 대체기술 개발: 국내 3, 국외 1
- ③ 정부의 구체적 규제 및 정책이 확정된 후 대책마련: 국내 3
- ④ 기존 대체상품·기술·공정 구매/도입: 국내 0, 국외 3
- ⑤ 선진국 동일업종 사례참조: 국내 2
- ⑥ 무대책: 0, 기타: 0

(3-1) 자사의 주력 대체기술 개발

대체물질 개발(국내 3, 외국 1), 대체공정 개발(국내 1), 저감기술 개발(국내
외 각 1), 대외비(1), 기타(1: 사업분야 변화)

(3-2) 기술개발 내용

- 확실히 환경호르몬이라고 규정지어진 화학물질이 없는 상태에서 확실한
대안을 세우기가 어려우므로, 의심가는 물질에 대한 대체물질 또는 대체
공정(물리적 공정포함) 선택 유도.
- 무공해성 Plastic 개발

(4) 연구 또는 대응전략 수립의 애로점(무응답 3) : 부록표 3. 참조

- ① 해당물질에 관한 독성 및 노출자료 부족(국내 14, 외국 3)
- ② 환경호르몬 관련 정보 불충분(국내 13, 국외 2)
- ③ 언론, 소비자단체로 부터의 비논리적 요구사항 및 압력(국내 6, 국외 1)
- ④ 정부의 연구지원 과정에서의 소극적, 불확실한 태도(국내 4, 국외 1) : 정부의 확고한 전략적 의지에 따라 기업의 방향이 설정됨.
- ⑤ 자사의 환경호르몬 문제에 관한 인식부족(국내 4) : 인식부족, 대처시기에 관한 확실성 부족

(5) 환경호르몬 문제로 인한 기업체 애로 타개 위한 국가적 연구방향: 우선순위 선정

· 답해주신 대다수의 업체가 우선순위를 정해 주셨는데, 계산결과(1순위 7점, 2순위 6점, 3순위 5점, 4순위 4점, 5순위 3점, 6순위 2점, 7순위 1점) 순위는 다음과 같다(부록표 4 참조)

- ① 환경호르몬 관련한 체계적인 정보구축 및 관련정보 공유(총 108점)
- ② 환경호르몬 추정물질에 대한 위해성평가 및 관리(총 85점)
- ③ 외국정부의 규제현황 또는 대체기술 개발 비교, 분석(총 75점)
- ④ 대체물질 개발(총 49점)
- ⑤ 대체공정 개발(총 47점)
- ⑥ 대체기술 개발(총 46점)
- ⑦ 기타(총 2점, 환경호르몬 규정을 위한 시험법 확립)

· 우선순위를 정해주지 않고 응답만 해주신 업체를 포함한 총응답 건수별 순위(부록표 4-1 참조)

- ① 환경호르몬 관련 정보구축 및 정보공유 & 외국정부 규제현황 참조(각 20개 업체)
- ② 위해성평가 및 관리(총 18개 업체)
- ③ 대체물질 개발(총 17개 업체)
- ④ 대체 공정 & 대체기술 개발(각 14개 업체)

· 국외응답자의 경우는 우선순위별과 총응답 건수별 순위가 동일(부록표 4-2 참조)

- ① 환경호르몬 관련 정보구축 & 위해성평가 및 관리(총 14점, 3개 업체 응답)
- ② 대체기술 개발(물질, 공정, 기술 포함. 2개 업체 응답)
- ③ 기타(support OECD testing initiative)

(6) 향후 환경호르몬 문제가 관련 기업체에 가장 큰 영향을 미칠것이라고 예상하는 시기(부록표 5 참조)

- ① 3년 이후(국내 9, 국외 0)
- ② 1-2년 (국내 5, 외국 4)
- ③ 2-3년(국내 5)
- ④ 더 이상의 큰 영향없을 것임(국내 4, 국외 1)

(7) 환경호르몬 관련 정부출연금이 주어진다면, 연구개발 희망주제 요약

- Development of testing methodologies
- Investigate long-term cause/effect study with EDC chemicals
- Establish risk assessment for EDCs in extremely low dose exposure
- Support existing industry sponsored programs(e.g. SPI)
- 환경호르몬으로 규정된 농약에 대한 위해성평가와 해결방안 모색
- Nitrosoamine Free 촉진제, 노방제 개발을 위한 연구: 상기 촉진제와 노방제는 고무배합에 사용되는 것으로써 타이어제조에 필수적인 원재료이나 최근 선진국에서 Nitrosoamine 발생물질에 대한 규제가 시작되었기 때문에 대체물질을 찾는 노력 시급
- PS 대체용기 개발 : PP 발포수지
- Low BPA Content Epoxy : Epoxy내 미반응 BPA를 최소화하는 기술
- In vivo 평가법(Uterotropic assay, Ovariectomized assay 법등)과 in vitro 평가법(E-screen, YES법 등) 확립, 환경호르몬 관련 각종 정보와 문헌 제공

(8) 환경호르몬 관련 주 정보원

국내 : ① 관련서적(13)

② 인터넷(www.nihs.go.jp/www.kfda.go.kr/ 환경부/ 푸른누리: 7)

③ 외국사(6), 강연회(6), 기타(신문, TV, 당사의 외국본사, 특별한 정보
원 없음)

국외 : ①강연회

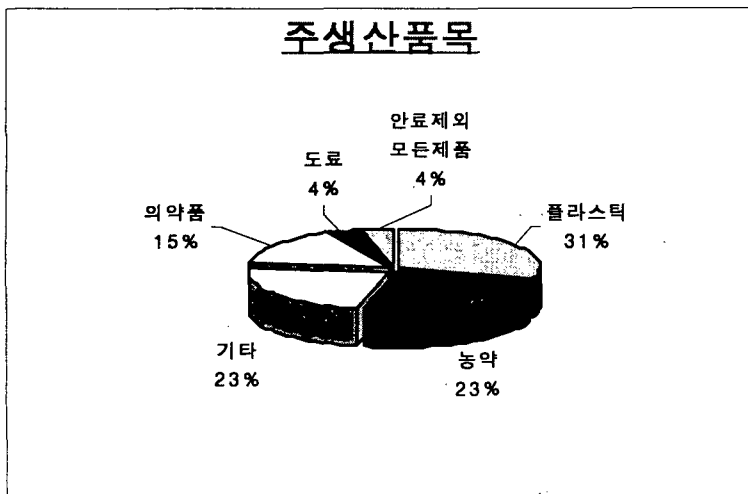
②정부기관(4), 관련서적(4)

③인터넷(2)

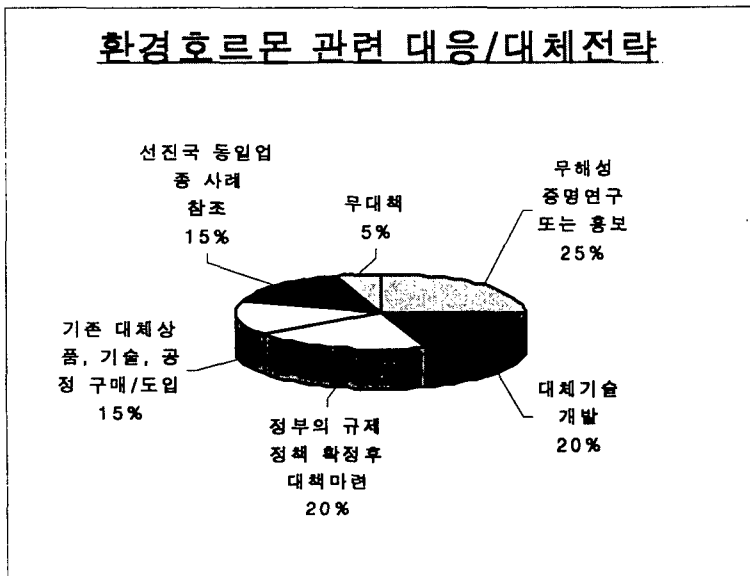
④기타(SETAC)

5. 설문조사 결과요약 부록표

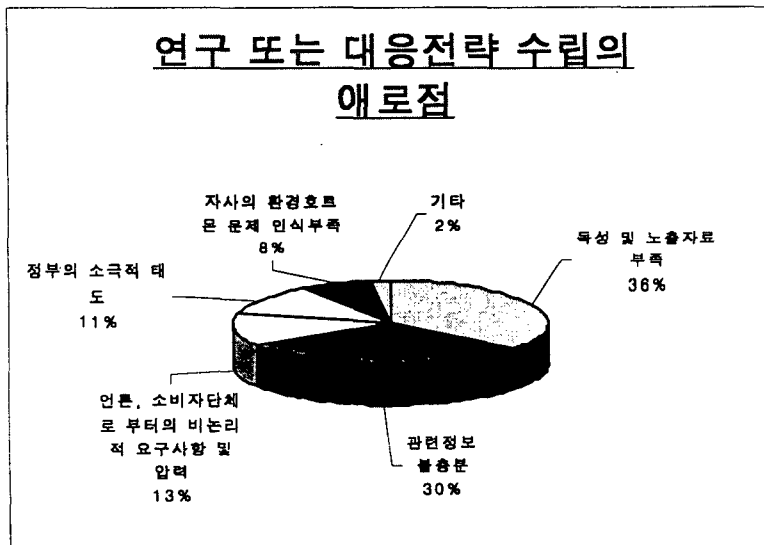
부록표 1.



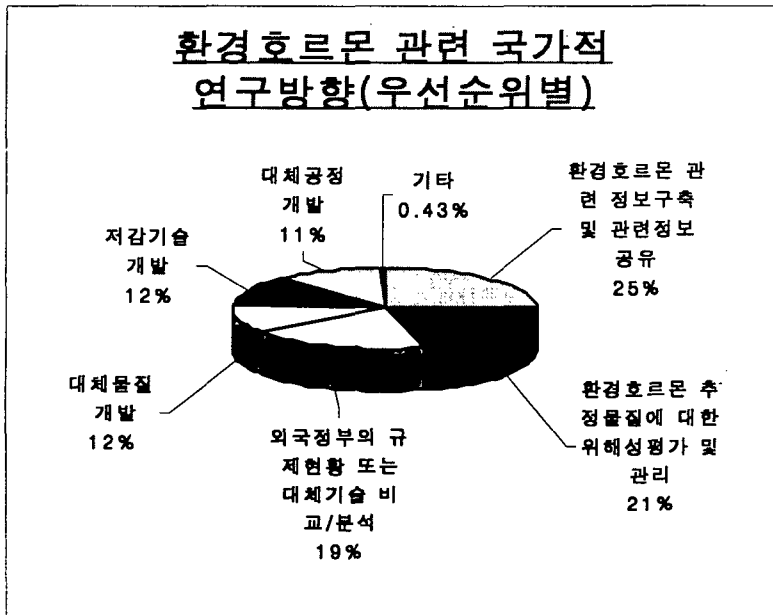
부록표 2.



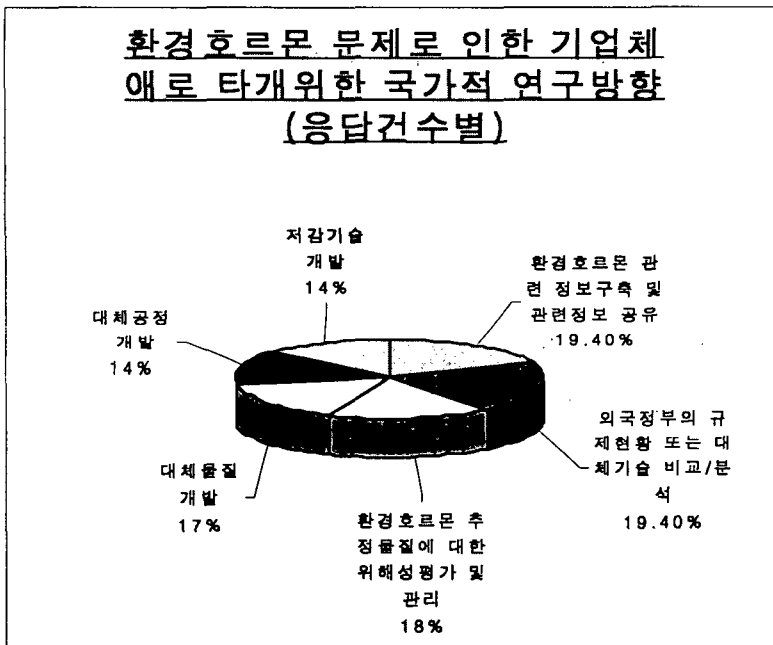
부록표 3.



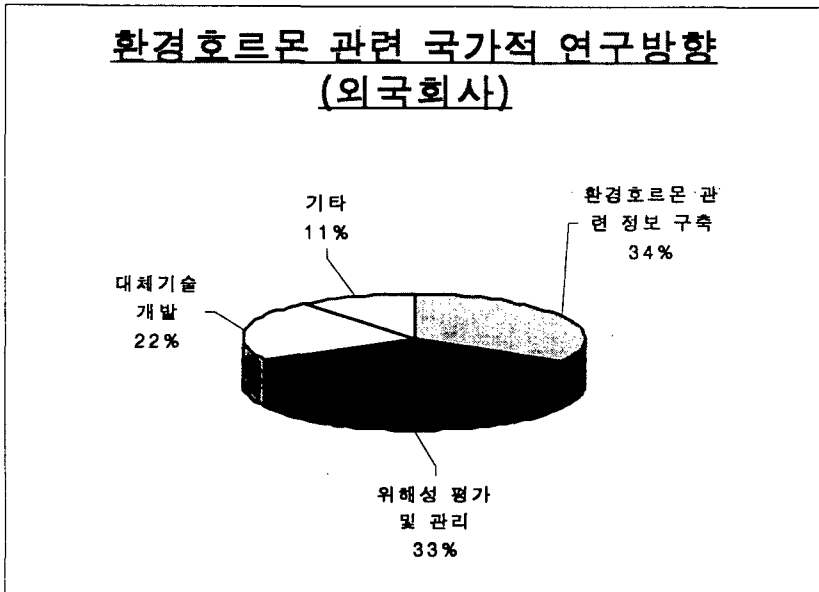
부록표 4.



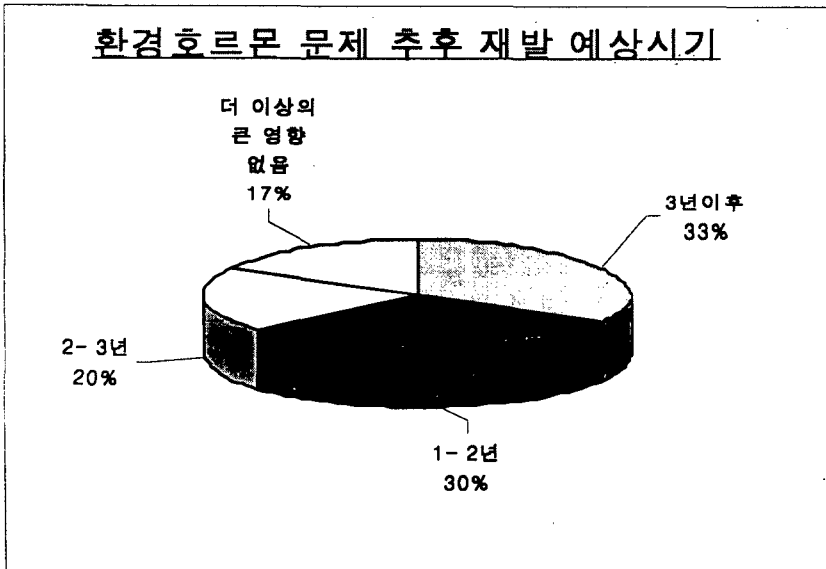
부록표 4-1.



부록표 4-2.



부록표 5.



2. 자문회의 요약

1) 1차 자문회의

일시 : 1998년 12월 11일(금) pm 2:00

장소 : 한국화학연구소

참석자 : 최성수(국립환경연구원), 정종구(동부한농), 김정곤(애경유화),
정낙철(고려대), 김희경(서울시립대),
김 용화, 김 균, 김 희영, 심 영기, 이 미경(이상 한국화학연구소)

토의 내용

- (1) 과제의 우선순위 결정에 대한 문제 검토 필요
- (2) 선진국에서 수행된 연구 결과를 도입하고 그에 따른 대응 전략을 수립하는 방안은 어떨지 검토 필요
- (3) 기업체에서 수행하기 어려운 위해성 평가나 독성시험은 국가기관에서 수행되어야 할 것임 - 독성연구를 위한 infra 구축 필요
- (4) 기획을 구체적으로 하여 그에 대한 규제 대응 방안을 연구하는 것이 좋을 것임.
- (5) 전반적인 모든 문제를 해결하려는 것보다는 구체적인 내용이 기획과제에서 도출되어야 할 것임.
- (6) 결과물이 산업체에 유용한 방안이 강구되어야 하고, 산업체의 규제 영향을 최소화 할 수 있는 대비책이 필요.
- (7) 기획과제의 대상이 업체를 위한 것인지 소비자를 위한 것인지 정확한 대상목표 - 궁극적으로는 국민을 위한 것
- (8) 화학물질이 문제가 되기전 위해성 평가가 이루어져야 함. 예를 들면 컵라면 용기가 문제가 될 경우 판매하는 업체에서는 내수 판매를 중단하고 수출이나 다른 방법을 검토. 업체에서는 대체기술이나 대체공정 개발보다는 방어적인 입장을 취하므로 각각의 시기에 맞는 대응 전략 연구 목표가 필요.
- (9) EDC 물질로 판명되기 전까지는 대응 유보적인 입장(업체)
- (10) 기획 또는 각 연구에서 얻어진 결과를 planning과 managing 할 수 있는 역할의 주체가 필요 - 중복적인 일이 진행되지 않도록.

* 과제의 방향 설정

- 위해성 평가나 독성시험 결과를 보고 연구방향 설정
- 우선적으로 시급한 것은 독성시험. 다음에 대체물질이나 대체공정이 필요

* 기업체의 요구사항

- 몇 개의 물질은 문제가 있음을 이미 파악 : 정확한 결과를 판정할 수 있는 독성시험 결과나 위해성 평가 결과 필요
- 전체적으로 문제가 있을 것으로 예상되는 EDC 물질의 pre-screening이 필요
- 기업체의 입장에서는 대체물질, 대체공정은 고려하지 않고 있는 상황

* 기업체의 기본 전략

- 환경호르몬이 아니라는 관점에서 대응전략 구상
- 기업체의 자료 유출은 불가능
- 환경호르몬 문제가 총체적인 문제로 떠오르는 것이 아니라 시기에 따라 문제가 되는 점을 단계적으로 해결하려는 전략 구사

* 대체물질이나 대체공정 개발 : 업체마다 대체물질 개발이나 공정개발이 필요한 곳도 있고, 단지 사용하는 업체도 있으므로 기업간의 관점의 차이가 큼

* 기획과제에 이은 후속과제의 도출이 planning과 managing이 잘 될 수 있도록 주역할을 할 수 있는 기관이 필요 - 지속적으로 follow-up 할 수 있는 기관이나 담당자 필요.

* 구체적인 기획과제의 item이 필요. 예를 들면 EDC 물질로 확정된 몇 개의 화학물질을 대상으로 구체적인 연구과제를 도출하는 방법은 어떤 것인지 검토 필요.

2) 2차 자문회의

일시 : 1999년 1월 21일 오후 2시

참석자 : 최성수(국립환경연구원), 정종구(동부한농), 정낙철(고려대),

마용운(환경운동연합), 이상균(LG화학), 정경택(과기부),

권승돈(과기부), 김재덕(KIST), 최주섭(한국 발포스티렌 재활용협회)

김용화, 심영기, 공영대, 최길영, 이재홍, 김균, 이미경(이상 화학연구소)

목적 : 국내에서 어떻게 환경호르몬관련 과제가 도출될 것인지 본 기획과제의 정확한 목적 제시

발표 및 토의사항

(1) 발표(김용화)

- 제 1차 자문회의 결과보고 : 기획과제의 우선순위는 산업체와 국가(국민)의 이익을 고려하여 정해져야 할 것이며, 대체물질/공정등의 개발보다는 특정물질에 대한 위해성 자료가 가장 시급
- 내분비계 장애물질, 환경호르몬 문제의 전개도, 국내/외 대책현황 등에 관한 전체적인 briefing

(2) KIST

- 수행분야 : 중금속(산업,환경오염물질)의 분석방법 및 위해성 평가
- 연구목표 물질 : 염화유기물질, 계면활성제, 농약, 유기금속제, 중금속 등
- 목표물질에 관한 기술연구 방향, 대체기술의 형태, 물질별 저감/대체기술 발표

(3) 농약 및 의약품 분야

- 일본 후생성 분류 EDC 물질중 농·의약품이 전체의 62%를 차지할 정도로 비중이 크나, 농약은 소비자에 의해 직접 선택되는 것이 아니기 때문에 심각한 피해가 우려 되면서도 선업체에 대한 타격미비
- 국외적으로도 새로운 물질에 대한 연구개발 보다는 저독성/무영향 제품의 사용이 증가하는 추세이므로 선진국 동향을 좀 더 파악해야 할 듯
- 연구개발 동향(국내) : 사회적 파급효과가 큰 물질에 대한 규제 및 대체물질 개발, 농민에 대한 올바른 사용지침 교육, 복합적인 분야와의 연계연구

(4) 플라스틱 분야

- 목표물질 : 고분자(플라스틱, 고무, 섬유, 도료, 접착제, 필름, 특수소재 등)
- 플라스틱에서의 EDC : 첨가제 (가소제- phthalate류, 난연제- 염소,브롬계 화합물), 미반응원료(styrene dimer, styrene trimer, BPA), PVC(플라스틱 분해시 발생)
- 개발방향 : 주로 대체물질 개발 또는 저감기술 개발쪽으로 이루어지고 있음.

(5) 위해성평가분야

- 2000년 8월 EDSTAC에서 위해성 자료 발표예정이며, 그 결과에 따른 행정적 조치가 예상되나 그 이전이라도 소비자 관련 단체의 요구로 각국 정부의 선조치가 있을 것으로 예상. 그러므로 2000년 8월 이전 조치예상에 근거한 시급연구와 그 이후 조치예상에 근거한 중·장기적 연구가 필요.

(6) Discussion Point

- 과기부 : 대체기술쪽은 언급이 많이 되었으나 법적·행정적 조치와 산업체 대응책 제안은 부족.
- 환경부 : 독성조사 방법론, 평가관리, 국제적인 연계성등을 포함한 내분비계 장애물질 10개년 중장기 연구를 수행중이며, 물질관리는 사전관리 개념을 도입.
- 이미 사용금지된 물질은 고려대상에서 제외하고 통계처리
- 과제는 기업의 부가가치를 높일 수 있는 방향으로 유도
- 우선순위 선정시 개발(상품화)의 용이성도 검토
- 플라스틱 개발에서와 같은 logic을 농·의약에도 적용 필요
- 체계적 정보구축 및 관련정보 공유/추정물질에 대한 위해성 평가 및 관리는 관이나 정부관련 기관에서 맡아 주는 것이 좋을 듯.
- 과학적 근거에 대한 홍보가 부족하므로, 이를 해결 할 수 있는 방안 필요
- 동부한농 : PS 수지에 관한 분석등을 통해 이 문제에 적극적인 대응을 하였으나, 회사에서는 직접적인 이윤추구와 관련이 없는 monitoring 또는 screening test 등을 수행하기 어려운 애로점이 있으므로 정부가 정보구축·위해성평가를 통해 기업체와 관련정보 공유 희망(위해성 여부 관련한 과학적 연구 data와 그 근거 확보 시급)

- 대체기술면은 그 경제성이나 활용성, 용이성등이 밑바탕이 되어야 하기 때문에 연구 우선순위의 주가 되기는 힘들 듯.
- 환경부 EDC 연구위원회가 하고 있는 기존의 활동과 중복되지 않도록 기안
- 발포스티렌 재활용 협회
 - a. EDSTAC에서 연구하는 결과를 가지고 우리나라에 적용 가능한 부분이 있고 적용 불가능한 부분이 있기 때문에, 그 틈새를 찾는 노력과 선별된 과제도출이 필요
 - b. 환경부 선정 67종 EDC 추정물질 중에 급·만성 독성시험에서 독성이 규정된 물질에 우선순위
 - c. dioxin 류의 분석, 미량분석법 개발등을 통한 총체적인(수질/대기/토양, 식품노출, 잔류량, 생태계/인체 노출량 연구) 노출가능성에 관한 연구 필요
 - d. 일본이나 OECD, 미국의 규제현황 시기(2005-2006년 추정)에 맞추어 국내 법적, 행정적 규제안 마련
 - e. 대체물질 개발은 자체적으로 업체에서 진행중이나, 외국에서 비공개적으로 검토하고 있는 물질에 대한 연구개발과 CFC와 같은 형태의 대체물질 검토가 필요.
 - f. 일본은 7-8개 정도의 부처에서 79억원의 예산으로 연구사업을 펼치고 있으므로 일본에서 수립된 환경호르몬 관련 연구과제 파악하는 것은?
 - g. 산업체 공동으로 연합하여 대응할 수 있는 방안 검토
- 예견되고 있는 추세에 대해서는 업계에서 적극적인 대응이 필요하며, 대응책은 과학적 증거가 약하더라도 safety 면을 고려하며 좀 더 원시안적인 관점을 가지고 수립
- 많은 정보를 얻을 수 있고 공유할 수 있는 정보의 장을 마련하는 것이 좋을 듯
- 대체물질 개발이 꼭 필요한 물질에 대해서는 국가의 적극적인 지원 필요 (저감 기술 개발도 같은 선상에서 판단)

(7) Workshop 준비 관련 토의

3. 현장조사 기록

1) EDC 규제대응 종합기술 개발전략 연구 현장조사 보고

(1) 현장조사 목적: 환경호르몬의 사회문제화 이후 적극적인 대응전략으로 이 문제를 극복한 성공사례 업체를 방문하여, 이들 업체의 대체물질·대체기술 개발내역과 관련 산업체의 애로점, 정부에의 기대사항 등을 파악하여 본 과제의 대응 연구개발 전략 수립에 현장의 목소리를 반영코자 기획됨

(2) 일정 및 방문 회사

일정	방문회사(담당자)	방문자
1999년 3월 11일(목)	(주)코멕스 (개발부 전동인 차장) 해피랜드 (구매과 마수준 주임)	김 용화, 이 미경
1999년 3월 17일(수)	(주)새한 (A-PET팀 강 성철) (주)코오롱 (신소재연구팀 김 경아 박사)	김 희영, 이 재홍

(3) 방문내용

가. (주)코멕스산업

- 회사 규모 : 일용직 포함 총 220명(사무직 120명)
- 주생산품 : 젓병포함 각종 생활용품
- 환경호르몬 관련 개발대상 품목 : 「코멕스 안심젓병·플러스」
- 안심젓병 개발내역
 - '98년 4월 이후 환경호르몬 문제가 사회화되면서 본격적인 연구시작
 - 신물질 개발이 아닌 대체물질(환경호르몬 추정물질인 스티렌다이머, 스티렌트리머, 비스페놀 A, DOP, 납, 중금속 등이 검출되지 않는)을 원재로 한 젓병 개발
 - 초기에는 강화유리제품을 만들었으나, 깨지기 쉽고 무거운 단점이 있어 다른 플라스틱 원료를 찾던 중 PP를 주성분으로 한 제품을 만들고 최종적으로 이의 단점을 보완한 안심젓병을 출시. 개발의 방법으로는 기존의 플라스틱 원료에서 문제된 환경호르몬 물질을 성분에서 제거한 후에 성형여부를 검토해

나감.

- 안심젓병 출시전에는 자회사인 클로바상사라는 곳에서 유아관련 상품을 생산했고 외제선호등의 이유로 매출액이 크지 못했으나(참조: 환경호르몬 문제화 이전 젓병 시장점유율= 65% 외제 수입품, 35% 기타 국내제품), 출시후에는 점유율 45%까지 올라갔다가 현재는 총 시장점유율 30%선(판매액 약 40 억원)을 유지.
- 젓병시장에서 점유율 50% 이상을 차지하던 NUK사는 대체상품 없이 계속 기존상품을 출시하면서 유럽쪽의 RAL 마크를 획득한 환경호르몬과 무관한 상품이라는 것을 주요골자로 마케팅을 하고는 있으나, 매출에는 큰 타격을 입고 있음.
- 안심젓병 마케팅 포인트 :
 - ① 국내최초 '안전마크' 획득 : 한국화학시험연구원 인증
 - ② 우수한 내열성, 내구성(전자레인지 안전)
 - ③ 투명성, 무장식

정부에의 기대

- 국민의 알 권리 보장
 - 문제화된 이슈의 대책수립에 정부가 기업보다 앞서가야 하지만 뒤서가는 경향이 많고 실질적인 지원이 전무
 - 사회적으로 정부대책에 대한 불신감 팽배: 설문조사 결과 소비자의 외제선호의식의 배경에는 기업기술 보다는 국가기관의 안전성에 대한 신뢰성이 부족하기 때문으로 나타났고, 정부의 신뢰성을 높일 수 있는 방안이 새로운 정책의 입안보다 선행되어야 할 듯. 정부의 독성·유해성에 대한 지도/감독의 부재는 소비자들의 국내시험기관의 인증에 관한 불신감으로 나타나고 이는 기업들로 하여금 외국기관(FDA등)의 인증을 받기 위한 막대한 비용부담을 초래 (참조: FDA 인증 증개소- 유니임팩스 02-501-5540, 검사료 200-300만원).
 - 신뢰성 있는 안전성 보증 관리체계의 확립과 유지가 가장 시급하다고 보며, 대책안에 대한 확실한 시행안이 필요.
- 추후 전략 & 환경호르몬 문제에 관한 인식
- 2000년 8월 EDSTAC의 안이 확정되더라도, 긍정적/부정적 결과에 상관없이 소비자나 산업체 입장로서는 더 큰 혼란을 초래할 것으로 보이고, 이 이슈

가 종결되는 시점은 약 2003년 정도가 되어야 할 것으로 예상.

- 회사전략은 추후 정부대책 수립후 마련.

나. (주)해피랜드

- 회사규모 : 본사 직원 약 200여명

주생산품 : 각종 유아용품, 의류

제품은 협력업체들에 의한 OEM 생산

- 관련상품 : PES(Polyethersulfone) 젖병

- 제품 개발내역

- 기존 우유병은 환경호르몬 추정물질인 Bisphenol A가 검출된 polycarbonate 을 주원료로 사용하였기 때문에, '98년 8월경부터 본격적인 대응 시작

- 초기에는 유리병을 사용하였으나 큰 단점 때문에 중단되고, 코오롱에서 개발한 NOPLA라는 원료를 사용하여 젖병개발에 들어갔으나 내열성이 좋지 못해 상품화로 연결되지 못했음.

- '99년 초 PES(polyethersulfone)를 원료로 한 젖병의 상품화에 성공하여 출시 시작.

- PES는 원래 서독에서 개발되어 항공기 내의 내장재등으로 사용되던 원료. 내열온도가 우수(기존 PC의 4배)한 반면, 비싼가격(PC 원자재 가격의 약 7배) 때문에 기존에는 고급 내장용 재료로만 사용되어 왔으나 해피랜드 측에서는 유통경로를 최소화하여 기존 상품보다 10-20% 상승된 가격으로 출시할 수 있었음.

- PES 젖병출시후 1개월간은 매출 100%정도의 신장세를 보였으나 지금은 판매 안정세에 들어섬. 기존 PC 소재 젖병은 50%정도 판매감소.

- 위해성 관련하여 한국화학시험연구소에서 원재료 승인을 받았음.

- 마케팅 포인트 :

- ① 미국 FDA가 승인한 PES 사용
- ② PES는 bisphenol A 미검출
- ③ 가볍고 내열성 우수

- 정부에의 기대사항

- 환경호르몬이 이슈화된 이후 국가 인증기관에서 조차도(생활용품검사소 등) 시험에 대한 준비/체계가 전혀 서있지 않아 정부의 지원 미비
- 사안의 법령화에 앞서 관련업체와의 충분한 의견검토(공청회 등)가 선행되어야 할 듯→ 대응책이 없는 갑작스런 규제나 정책은 산업계에 막대한 타격 초래
- 추후 회사전략
 - 유아용품에서 많이 사용하는 폴리염화비닐(딸랑이, 치발기 등), PVC, PC(젓병, 밥그릇, 딸랑이 등)를 타 재질로 대체하는 것이 개발전략
 - 폴리염화비닐은 실리콘/고무재질로 모두 대체하였고, 밥그릇용 PC 재질도 대체 노력중

다. (주)새한

- 주생산품 : 합섬, 엔지니어링 플라스틱
- 환경호르몬 관련제품 : A-PET
- 제품 개발내역
 - PVC의 Dioxin 문제를 해결하기 위하여 새한의 주력제품인 PET로부터 A-PET 개발
 - A-PET는 안성공장에서 생산중
 - 투명수지로 PVC 대체 박판으로 식품, 화장품 등 각종 용기 포장재로 사용가능
 - 인쇄 선명성, 내열·투명·내후성등이 우수
- 정부 기대사항 : 기술개발 자금 지원요망
- 회사 추후전략 : PVC 대체재로써 용도개발 예정

라. (주)코오롱

- 회사규모 : 매출액 1조 2천억원, 종업원 5,000여명
- 주 생산품 : 섬유, 엔지니어링 플라스틱
- 환경호르몬 관련제품 : PC대체 식품용기(젓병, bottle)
- 제품 개발내역
 - 엔지니어링 플라스틱을 1990년대 초부터 개발해 왔으며, 현재는 내열 PET 소

재인 “노플라”를 시판중

- 노플라는 투명하고 내충격성이 우수하며 내열성 또한 일반 PET 보다 높기 때문에 PC 대체재로 사용 가능함
- 최근에 PC로 만들어진 컵병이 EDC 문제가 제기되어 노플라 컵병을 개발하였음. 본 제품은 BPA를 포함하고 있지 않음
- . 정부 기대사항 : 외국의 규제계획을 파악하여 수출에 지장이 없도록 업계선도 바람
- . 회사 추후전략
 - 노플라는 응용분야 개척이 최대 관건임
 - PC 대체재로서 용도 개발예정

4. Workshop 프로그램 요약

1) 행사 일정

일시 : 1999년 4월 2일(금) 오전 10시 - 오후 5시

장소 : 서울교육문화회관 별관

주관 : 한국화학연구소, KIST

2) 행사 목적

1998년 9월 1일부터 시작된 이번 project의 지난 7개월 간의 조사·분석물들을 발표하고 토의함으로써 국내 관련 연구개발 전략을 확정할 수 있도록, 해당 분야 국내외 전문가와 실무자 분들을 모시고 진행하는 의견교환과 토론의 장으로 마련되었다.

3) 행사 결산 및 행사진행 일정

- 참석자 총 72명
 - 1 분과 : 플라스틱 및 플라스틱첨가제 분야 (29명)
 - 2 분과 : 산업 및 환경오염물질 분야 (8명)
 - 3 분과 : 농약, 의약, 중금속 분야 (16명)

4 분과 : 위해성평가 분야 (15명)

기 타 : 6

보다 자세한 행사일정과 참석자 명단은 아래의 표 5-1 과 표5-2 참조

초청 전문가인 Mr. Terry Quill(Attorney, Beveridge & Diamond, P.C.) 의
workshop 자료집 수록 원문은 첨부자료- 1 참조

각 분과별 토론내용 종합은 첨부자료- 2 참조

표 5-1. 행사일정

10:00 - 10:10	인사말
10:00 - 10:40	프로젝트 개요 Briefing 김 용화 박사(한국화학연구소)
10:40 - 11:40	Keynote Speaker Presentation Mr. Terry F. Quill (Attorney, Beveridge & Diamond, P.C.) 「Overview of Global Endocrine Disrupting Chemical Issues」
11:40 - 12:00	질의 · 응답
12:00 - 13:00	점 심 (1층 대식당)
13:00 - 15:30	분과발표 및 토의
13:00 - 14:00	분과발표 좌장 : 최 주섭 상무 (한국발포스티렌재활용협회)
	제 I 분과 (플라스틱 분야) 플라스틱물질 분야 이 재홍 박사(한국화학연구소) 플라스틱첨가제 분야 김 회영 박사(한국화학연구소)
	좌장: 신 호상 교수 (공주대) 제 II 분과 (산업 및 환경오염물질 분야) 황 경엽 박사 (KIST) 이 윤우 박사 (KIST)
	좌장: 정 낙철 교수 (고려대) 제 III 분과 (농약 · 의약 · 중금속 분야) 농약 및 의약품 분야 심 영기/공 영대 박사(한국화학연구소) 중금속물질 분야 강 윤환 박사(KIST)
	좌장: 최 성수 박사 (국립환경연구원) 제 IV 분과 (위해성평가 분야) 류 재천 박사(KIST) 김 용화 박사(한국화학연구소)
14:00 - 15:30	분과토의
15:30 - 16:00	휴 식
16:00 - 17:00	종합토의

표 5-2. 워크샵 참석자 명단

No	성 명	소 속 회 사	참여분과
1	김 회 영	KRICT	1
2	이 재 흥	KRICT	1
3	박 상 경	한화종합화학	1
4	최 주 섭	한국발포스티렌재활용협회	1
5	나 근 배	한국플라스틱재활용협회	1
6	전 동 인	코맥스산업	1
7	서 영 옥	삼양사	1
8	오 원 석	한국플라스틱재활용협회	1
9	심 기 형	영보화학연구소	1
10	마 수 준	해피랜드	1
11	석 용 찬	화남인더스트리	1
12	이 주 용	애경유화	1
13	김 경 아	코오롱중앙연구소	1
14	경 희 주	한화종합화학	1
15	정 영 립	강원대학교 환경학과	1
16	이 경 우	LG 화학	1
17	임 창 회	LG 화학	1
18	황 무 영	한국다우케미칼	1
19	강 진 구	금호몬산토	1
20	배 봉 식	호남석유화학	1
21	최 영 미	제일제당	1
22	송 해 인	플라스틱재활용협회	1
23	김 계 현	대림산업대덕연구소	1
24	이 병 철	(주) 새한	1
25	오 영 하	(주) 새한	1
26	한 순 영	국립독성연구소	1
27	이 동 호	삼양사	1
28	임 대 우	(주) 새한	1
29	박 귀 례	KFNA	1
30	황 경 엽	KIST	2
31	이 윤 우	KIST	2
32	신 호 상	공주대	2

No	성 명	소 속 회 사	참여분과
33	강 남 일	범우화학	2
34	홍 원 희	KAIST	2
35	마 용 운	환경운동연합	2
36	승 용 혁	금호 P&B	2
37	이 창 수	(주) 새한	2
38	권 철 응	KIST	3
39	심 영 기	KRICT	3
40	공 영 대	KIRCT	3
41	정 낙 철	고려대	3
42	김 영 권	동부한농화학	3
43	김 진	경농연구소	3
44	최 택 용	성보화학	3
45	강 태 원	종근당	3
46	김 현 휘	오뚜기	3
47	최 숙 영	금호몬산토	3
48	강 윤 환	KIST	3
49	박 인	LG 화학	3
50	이 제 봉	농업과학기술원	3
51	신 진 섭	농업과학기술원	3
52	이 창 규	(주) 경농	3
53	황 선 구	농약공업협회	3
54	최 성 수	국립환경연구원	4
55	이 홍 균	해피랜드	4
56	조 상 원	애경유화	4
57	조 대 철	LG 환경연구소	4
58	성 하 정	농업과학기술원	4
59	한 상 국	국립독성연구소	4
60	이 상 균	LG 화학	4
61	문 성 인	(주) 새한	4
62	유 영 숙	KIST	4
63	이 해 근	농업과학기술원	4
64	권 오 승	KIST	4
65	류 재 천	KIST	4

No	성 명	소 속 회 사	참여분과
66	김 용 화	KRICT	4
67	최 길 영	KRICT	○
68	정 문 구	KRICT	○
69	김 문 정	한국소비자보호원	○
70	김 균	KRICT	○
71	권 진 욱	KRICT	○
72	장 제 환	KIST	○

- * 비교 : 1분과 - 플라스틱 분야
2분과 - 산업 및 환경오염물질 분야
3분과 - 농약, 의약, 중금속 분야
4분과 - 위해성평가 분야

제 6 장 종합과제 도출

본 기획과제에서는 내분비계 장애물질 규제대응 산업기술 개발 전략을 수립하고자 하였다. 이를 위하여 각 분야별 집필자가 제안을 함과 동시에 기획위원과 자문위원의 검토, 설문지에 의한 산업체 의견, 현장방문에 의한 의견청취, 워크숍을 통한 종합의견 수렴등의 절차를 거쳤다.

이러한 과정에서 도출된 의견들을 요약하면 표 6-1 ~ 6-4에서와 같다.

표 6-1. 설문조사 요약

우선 순위	환경호르몬 대응/대체전략	대응전략 수립의 애로점	국가적 연구방향
1.	무해성 증명연구/홍보	독성 및 노출자료 부족	관련정보 구축/공유
2.	대체기술 개발	관련정보 불충분	위해성평가 및 관리
3.	정부의 규제책에 따라 추후 대책 마련	언론, NGO의 압력	외국사례 비교/분석
4.	기존 대체기술 구매/도입	정부의 미온적 태도	대체물질 개발
5.	선진국 사례 참조	환경호르몬 인식 부족	대체공정 개발
6.	무대책		대체기술 개발

표 6-2. 자문회의 요약

-
1. 위해성 평가나 독성시험을 위한 infra 구축의 필요성
 2. 화학물질의 사전관리 시스템 도입(pre-screening system)
 3. 대체물질/기술 개발보다는 위해성평가 선행
 4. 우선순위 선정시 개발의 용이성, 경제성, 활용성 고려
 5. 체계적 정보구축 및 관련정보 공유의 장 마련
 6. 대체기술 개발에 있어서 꼭 필요한 물질에 대해서는 국가의 적극적인 지원 필요
-

표 6-3. 현장조사 요약

-
1. 환경호르몬 관련 대책수립에 정부의 적극적인 태도 부재
 2. 신뢰성 있는 안전성 보증 관리체계의 확립과 유지
 3. 산업계의 애로점과 입장을 고려한 관련정책 입안
 4. 기술개발에 있어 정부의 적극적인 지원
 5. 선진국 규제계획의 신속한 파악
-

표 6-4. Workshop 종합토의 요약

-
1. 체계적 정보구축 및 관련정보 공유가 환경호르몬 연구 최우선 순위
 2. 위해성 평가를 위한 분석기술과 독성평가 기술 개발
 3. EDC screening center 설립추진
 4. EDC 의심물질에 대한 국내 상황조사 및 연구 우선순위 물질 선정
 5. EDC 의심물질에 대한 구체적인 규제안 마련
-

한편 집필위원들에 의하여 제기된 세부적인 산업기술은 플라스틱 부분(첨가제 포함)이 14 개, 산업 및 환경오염 물질 분야가 27개, 농/의약/중금속 부분이 9 개, 위해성평가 부분이 11개 등이었다.

각 부분별 우선순위 3위까지의 기술을 정리하면 표 6-5와 같다.

표 6-5. 각 분야별 우선순위 과제내용

분야	과제 내용
플라스틱	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recycle & 저농도화 기술 2. PVC 대체기술 개발 3. 비 PS계/BPA계 소재 개발
플라스틱 첨가제	<ol style="list-style-type: none"> 1. PVC 대응상품 개발 2. Phthalate계 가소제 대응물질 개발 3. Non-Halogen계 난연제 물질 활용기술
산업 및 환경오염 물질	<ol style="list-style-type: none"> 1. EDC 식물을 이용한 정화기술 개발 2. 초임계수산화에 의한 오염 TBT 저감공정 개발 3. NPE의 대체물질로 Linear alcohol ethoxylates (LAEs) 개발
농, 의약	<ol style="list-style-type: none"> 1. EDC 유해 살충제의 대체후보물질 탐색 연구 2. 농약의 화학적 구조-EDC 상관성(SEDR) 개발 연구
중금속	<ol style="list-style-type: none"> 1. 폐광산의 복원기술 개발 2. 중금속을 함유하지 않는 전착도료의 개발 3. 대기 중 수은 및 납의 제거기술 개발
위해성 평가	<ol style="list-style-type: none"> 1. 산업현장 적용 가능한 독성 스크리닝 방법 개발 2. 극미량 분석법 개발 3. 관련 정보체제 구축 및 산업계 확산

이상의 제안에도 불구하고 설문조사, 현장조사, 자문회의와 공개토론시에 집중 논의된 바를 감안하면 다음과 같은 결론을 낼 수가 있다.

가. 1-2년 후에 재론이 예상되는 내분비계 장애물질 문제에 대응한 국내 산업계의 최근 입장은 두가지로 대별할 수 있다.

첫째는, 규제가 올 때까지 소극적으로 기다려 보자는 입장이다. 이 문제는

기업의 이익과 직결되기 때문에 정부가 앞장서서 연구를 주도하여 국민의 잠재된 인식에 자극을 주지 않도록, 산업계는 국가가 내분비계 장애물질 관련 대응전략에 신중을 기하기를 바라고 있다.

둘째는, 선진국에서 이 문제가 재론될 때는 산업적으로 대응하는 것이 이미 늦게 되므로 정부가 주도적으로 속히 대응책(대체물질 개발 등)을 모색하여야 한다는 것이다.

나. 산업계가 내분비계 장애물질 문제에 대응하는데 있어서 가장 큰 애로사항으로 지적된 것은

- 위해성 자료를 포함한 관련정보의 부족
- 정부의 적극적 대책 부족
- 산업계 입장을 고려한 사회의 인식 및 정책부족 등이다.

다. 본 기획과제에서 제안된 각 분야의 산업기술은 원안대로 대체로 동의하되, 위해성평가에 관련된 기술은 다음 4가지가 산업체에서 시급히 요구되는 과제로 확정되었다.

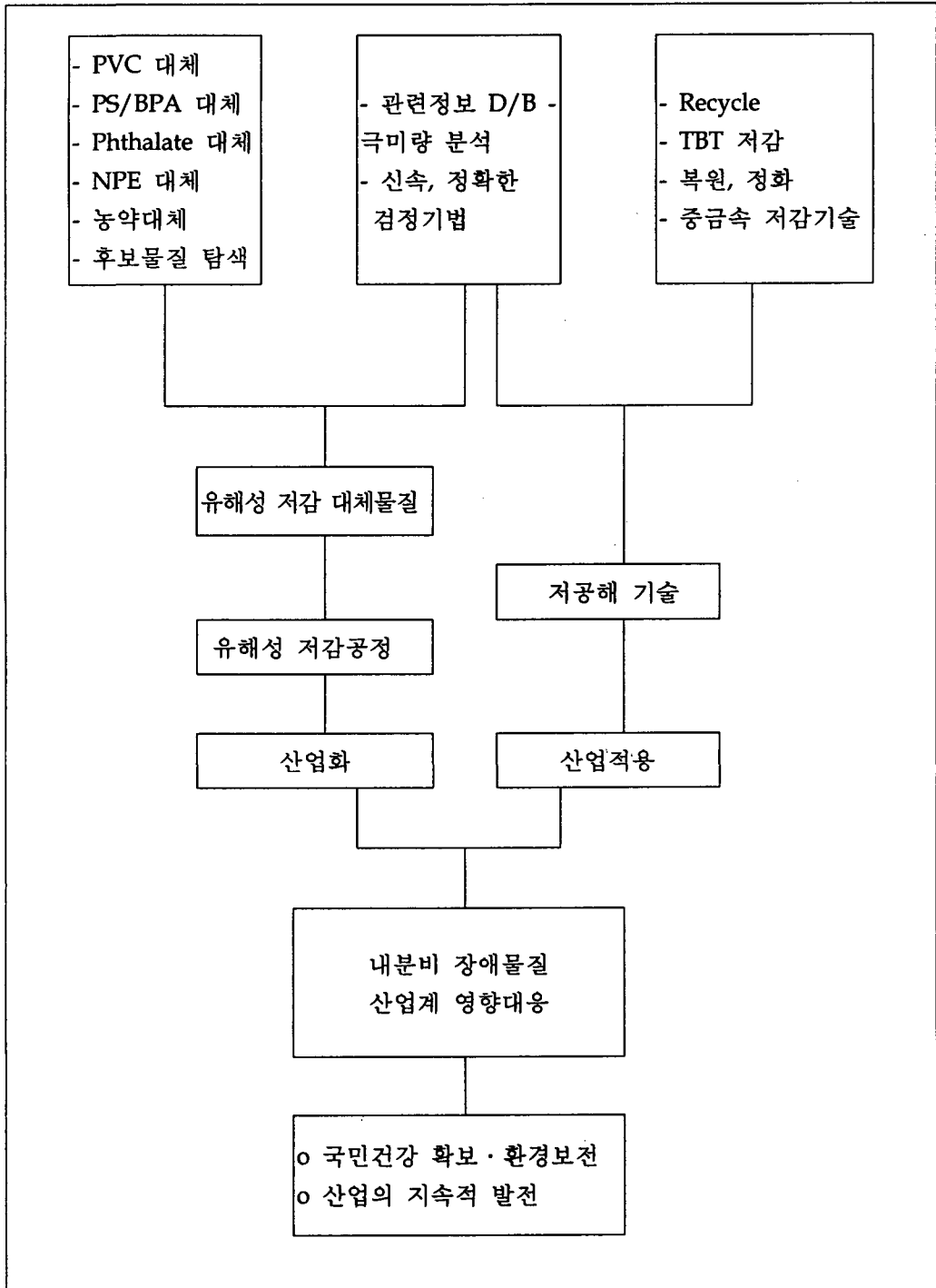
이를 우선순위별로 나열하면 다음과 같다.

- 내분비계 장애물질 관련정보의 평가 및 DB 구축
- 산업현장 적용 가능한 분석법 개발
- 신속, 정확한 독성 스크리닝 방법 개발
- 국가적 내분비계 장애물질 스크리닝센터의 지정 육성

라. 본 기획과제에서 제안된 연구과제들은 각 부문별로 산업체 및 정부의 대응전략으로 연구 개발시에 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

마. 이상을 종합하여 전체를 총괄할 수 있는 범 국가적인 산업계 대응 연구체계를 구상하여 본다면 다음과 같은 체계도(표 6-6)가 될 것이다.

표 6-6. 범 국가적 산업계 대응연구 체계도



제 7 장 참고 문헌

◆ 배경과 전망/국내외 관련법 현황

1. U.S. EPA. 1997. Special report on Environmental Endocrine Disruption: An Effects Assessment and Analysis. Office of Research and Development, EPA/630/R-96/012, Washington D.C.
2. European Workshop on the Impact of Endocrine Disrupters on Human Health and Wildlife. Report of Proceedings. December 2-4, 1996, Weybridge, UK, P128.
3. EPA : EDSTAC, Draft report, June 12, 1998.
4. Davis, D.L. and Bradlow, H.L., Can Environmental Estrogens Cause Breast Cancer?, *Sci. Amer.*, (1995) October, 166-172.
5. Fry, D.M., Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals, *Environ. Health Persp.*, (1995) 103 (Suppl. 7), 165-171.
6. Gilbertson, M., et al., Great Lakes embryo mortality, edema, and deformities syndrome in colonial fish-eating birds: similarity to chick-edema disease, *J. Toxicol. Environ. Health*, (1991) 33, 455-520.
7. Fox, G.A., Gilman, A.P., Peakall, D.B., Anderka, F.W., Behavioural Abnormalities on Nesting Lake Ontario Gulls, *J. Wildl. Manage.* (1978) 43(3), 477-483.
8. Guillette, L.J., Gross, T.S., Masson, G.R., Matter, J.M., Percival, H.F., and Woodward, A.R., Developmental abnormalities of the gonad and abnormal sex hormone concentrations in juvenile alligators from contaminated and control lakes in Florida, *Environ. Health Persp.*, (1994) 102, 680-688.
9. Environmental Oestrogens: Consequences for human health and wildlife. Assessment A1. MRC Institute for Environment and Health, University of Leicester (1995).
10. Palmer, B.D. and Palmer, S.K., Vitellogenin induction by xenobiotic estrogens in the red-eared turtle and african clawed frog, *Environ. Health Persp.*, (1995) 103 (Suppl 4), 19-25.
11. Colorn,, T., Environmental estrogens; Health implications for Humans and wildlife, *Environ. Health Persp.*, (1995) 103 (Suppl 7) 135-136.

12. Krishnan, A., et al., Bisphenol-A : An estrogenic substance is released from polycarbonate flasks during auto claving., *Endocrinology*, (1991) 132 (8), 2279-2286.
13. Soto, A.M., Justica, H., Wray, J. and Sonnenschein, C., *p*-Nonylphenol: A estrogenic xenobiotic released from 'Modified' polystyrene, *Environ. Health Persp.*, (1991) 92, 167-173.
14. Kartin, P.M., Horwitz, K.B., Ryan, D.S., McGuire, W.L., Phytoestrogen interaction with estrogen receptors in human breast cancer cells. *Endocrinology*, (1978) 103, 1860-1867.

◆ 플라스틱 분야

1. R. J. Young and P. A. Lovell, "Introduction To Polymers", 2nd ed., Chapman & Hall (1991)
2. 플라스틱스エ-ズ, 1998 (Dec.), 135
3. 한겨레신문, 1999. 2. 1
4. 한겨레신문, 1998. 12. 11
5. 한겨레신문, 1998. 10. 25
6. World Wildlife Fund, Canada, Internert 자료
7. A. Furuhashi, 플라스틱스, 49(11), 44 (1998)
8. 이구치다이센, "생식이변", 김영주 옮김, 한송 (1998)
9. D. Cadbury, "환경호르몬" 전득산 옮김, 전파과학사 (1998)
10. T. Colbron, D. Dumanoski, and J. P. Myers, "도둑맞는미래", 전복규 옮김, 사이언스북스 (1997)
11. 나카하라 히데오미, 후타키쇼헤이, "빼앗긴미래 : 환경호르몬의 공포", 손동현 옮김, 종문화사 (1998)
12. 류병호, "공포의 환경호르몬과 지구촌", 경성대학교 출판부 (1998)
13. 한국발포스티렌재활용협회 자료
14. 川本克也, 工業材料, 46(3), 23 (1998)

◆ 플라스틱 첨가제 분야

1. Autian, J., "Toxicity and health threats of phthalate esters: Review of the literature," *Environmental Health Perspectives*, **4**, 3-26 (1973); IARC butylbenzyl phthalate, *Monographs of the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, **29**, 193-202, International Agency for Research on Cancer, Lyon 1982.
2. Cadbury, D., "The Feminization of Nature," pp. 193-256, Penguin Books Ltd., 1997. (전득산 옮김, "환경호르몬," 전파과학사, 1998)
3. *Chemical & Engineering News*, **76** (38), Government, Sept. 21, 1998. EPA 33개 air toxic에 DEHP
4. *Chemical & Engineering News*, **76** (49), Business Insights, Sept. 21, 1998; U.S. Consumer Product Safety Commission, "The Risk of Chronic Toxicity Associated with Exposure to Diisononyl Phthalate (DINP) in Children's Products, Dec. 1998 (<http://www.cpsc.gov/phth/dinp.html>).
5. *Chemical Week*, pp. 16, Nov. 25, 1998.
6. *Chemical Week*, pp. 5, Feb. 3/10, 1999.
7. *Chemical Week*, pp. 73, Aug. 26/Sept. 2, 1998
8. ENDS Daily, Aug. 13, 1998.
9. ENDS Daily, Aug. 17, 1998.
10. ENDS Daily, Sept. 10, 1998.
11. ENDS Daily, Sept. 11, 1998.
12. Final Report, The Consumer Product Safety Commission, 1998.
13. Gaechter, R., and H. Mueller, *Plastics Additives Handbook* (4th Ed.), Hanser Publishers, 1993.
14. Jobling, S., T. Reynolds, R. White, M. Parker and J.P. Sumpter, "A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly oestrogenic," *Environmental Health Perspectives*, **103**, 582-587 (1995)
15. Keith, L. H., *Environmental Endocrine Disruptors-A Handbook of Property*

Data, John Wiley & Sons, Inc., 1997.

16. Lyons, G., Phthalates in the environment, A report for WWF, April 20, 1996.
17. MAFF, Survey of plasticizer levels in food contact materials and in foods, His Majesty's Stationery Office, 1987.
18. MAFF, food surveillance information sheet, No. 60, His Majesty's Stationery Office, May 1995.
19. MAFF, food surveillance information sheet, No. 82, His Majesty's Stationery Office, March 1996.
20. Murature, D.A., S.Y. Tang, G. Steinhardt and R.C. Dougherty, "Phthalate esters and semen quality parameters," *Biomed. Environ. Mass Spectrom.*, **13**, 473-477 (1987)
21. Nat'l Toxicology Program Report On Carcinogens, 8th Ed., "Reasonably Anticipated To Be Human Carcinogens" (1998)
22. Page, B.D. and G.M. Lacroix "Studies into the transfer and migration of phthalate esters from aluminium foil paper laminates to butter and margarine," *Food Additives and Contaminants*, **11**, 375-385 (1994)
23. Proposition 65 Advisory, New Bounty-Hunter Actions Directed at Plasticizer Chemical in Medical Devices, No. 97-I, Feb. 18, 1997
24. Sharman, M., W. Read, L. Castle and J. Gilbert, "Levels of di-2-ethylhexyl phthalate and total esters in milk, cream, butter and cheese," *Food Additives and Contaminants*, **11**, 375-385 (1994)
25. Sharpe, R.M., J.S. Fischer, M.M. Millar, S. Jobling and J.P. Sumpter, "Gestational exposure of rats to xenoestrogens results in reduced testicular site and sperm production," *Environmental Health Perspectives*, **103**, 2-9 (1995)
26. Sharpe, R.M., J.S. Fischer, M.M. Millar, S. Jobling and J.P. Sumpter, "Gestational lactational exposure of rats to xenoestrogens results in reduced testicular site and sperm production," *Environmental Health Perspectives*, **103**, 1136-1143 (1995)
27. Simons, R., *The Wiley Encyclopedia of Packaging* (2nd Ed.) pp. 553, 1997)
28. Soto, A.M., et al., "The E screen assay as a tool to identify estrogens: An update on oestrogenic environmental pollutants," *Environmental Health Perspectives*, **103**, 114-121 (1995)

29. *Sunday Times*, "Chemical link found to low sperm counts," Oct. 29, 1995.
30. U.S. EPA Technical Fact Sheet on DEHP, National Primary Drinking Water Regulations, Revised Jan. 27, 1998; 또는
http://www.turnertoys.com/PVC_DEHP_water1.htm
31. US National Toxicology Program, Report T 0035C: Final report on reproductive toxicity of di-n-butyl phthalate," NIEHS, North Carolina (1991); See also Report NTP TR 458.
32. 류병호, 공포의 환경 호르몬과 지구촌, 경성대학교 출판부, 1998.
33. 약업신문, 1999년 3월 11일자
34. 약업신문, 1999년 4월 8일자
35. 일간무역, 7월 29일자, 1998.
36. 中原英臣, 二木昇平 (번역: 손동헌), "빼앗긴 미래-환경호르몬의 공포", 종문화사, 1998.
37. 한국정밀화학총람, Chemical Information Service, 1998.
38. <http://easyweb.easynet.co.uk/~mwarhurst/phthalates.html>
39. <http://www.vinyltoys.com/docs/pl/quick-answers.html>
40. <http://www.ilsr.org/carbo/ps/factsh04.html>
41. <http://www.nihs.go.jp/envirom/edsubs/substancesnew.html>
42. <http://www.plastics.ca/ehs/cbc.htm>
43. <http://www.ecpi.org/plasticisers/index.html>
44. Chemical Report, pp. 31, 2월호, 1998.
45. ENDS Daily, Sept. 22, 1998.
46. ENDS Daily, Sept. 25, 1998.
47. *Chemical & Engineering News*, 76 (51), Dec. 21, 1998.

◆ 산업 및 환경오염 물질 분야

1. Ahel, M., Giger, W. and Koch, M., Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment-I. Occurrence and transformations in sewage treatment. *Water Res.* 28: 1131-1142, 1994a.
2. Ahel, M., Giger, W. and Schaffner, C., Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment-II. Occurrence and transformations in rivers. *Water Res.* 28: 1143-1152, 1994b.
3. Ahel, M., Schaffner, C., and Giger, W., Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment-III. Occurrence and elimination of their persistent metabolites during infiltration of river water to groundwater. *Water Res.* 30: 37-47, 1996.
4. Blackburn, M. A. and Waldock, M. J. Concentrations of alkylphenols in rivers and estuaries in England and Wales. *Water Res.* 29: 1623-1629, 1995.
5. CES Uses, Fate and Entry to the Environment of Nonylphenol Ethoxylates. Consultants in Environmental Sciences Ltd., Beckenham, Kent, 1993.
6. Soto, A. M.; Justicia, H., Wray, J. W. and Sonnenschein, C. p-Nonylphenol, an estrogenic xenobiotic released from modified polystyrene. *Environ. Health Persp.* 92: 167-173, 1991.

◆ 농약 및 의약품 분야

1. "Hormon Disrupting Chemicals"; Web site (<http://www.greenpeace.org.uk/>)
2. "Introduction to Hormone Disrupting Chemical" "Mechanisms of Hormone Disrupting Toxicity" "Organo Chroline Pesticides" "Male Reproductive Health Problems" "Phthalates" "The Hormonal, Immune and Nerrous System Complex Regulators of the Body" etc.; Web site (<http://easyweb.easynet.co.uk/~mwarhurst/cv.htm>).
3. "Statement from the Work Session on Environmental Endocrine-Disrupting Chemicals"; Web site (<http://www.pmac.net/eric.htm>).
4. "List of Known & Suspected Hormone Disruptors"; Web site (<http://www.wwfcanda.org/hormone-disruptors/list.htm>).
5. "Endocrine Disruptors Listed from Our Stolen Future and Other References";

Web site (<http://www.nihs.go.jp/hes/environ/edsus/substancesnew.html>).

6. "환경호르몬과 피해사례"; Web site (<http://my.netian.com/~jlim/endocrine~1.htm>).
7. Reference Volume of the Agrochemical Service Part I. 1998, Pub. by Wood Mackenzie.
8. Reference Volume of the Agrochemical Service Part II (Crop Pesticide Sectors). 1998, Pub. by Wood Mackenzie.
9. Reference Volume of the Agrochemical Service Part III. 1998, Pub. by Wood Mackenzie.
10. "다이옥신과 환경호르몬", 1998, Pub. by Japanese Chem. Soc., Pub. by Kendai Kagaku (Japan).
11. "다이옥신과 쓰레기소각", 1997, 7월호, Pub. by Kendai Kagaku (Japan).
12. "실험실내의 오염과 환경호르몬 측정의 어려움", 1999, 1월호, Pub. by Kendai Kagaku (Japan).
13. "화학구조로부터 에스테로젠 작용기전 상관 예측 연구", 1999, 2월호, Pub. by Kendai Kagaku (Japan).
14. "어류의 혈중 단백질로부터 환경호르몬 오염조사 방법", 1999, 5월호, Pub. by Kendai Kagaku (Japan).
15. "환경호르몬 : 내분비계 장애물질", 박종세, 김광섭, 박귀례, 김명수, 1998, 38, 16-26.
16. J. Toxicol. Environ. Health, Part A, 1998, 54, 21.
17. Fish Physiol. Biolchem., 1997, 17, 203.
18. J. Clean Technol., Environ. Toxicol., Occup. Med., 1998, 7, 147.
19. TrAc, Trends Anal. Chem., 1997, 16, 554.
20. Toxicol. Ind. Health, 1998, 14, 159.
21. J. Toxcol. Environ. Health, Part B, 1998, 1, 59.
22. Environ. Health Perspect. Suppl., 1997, 105, 615.
23. J. Toxicol. Environ. Health, 1997, 50, 415.

24. "한국농약년보" 1996, 1997, 1998, Pub. by 농약공업협회.
25. "The Pesticide Manual" 1987, Pub. by The British Crop Protection Council.
26. "Chemistry of Pesticides" 1983, Ed. by K.H. Büchel, Pub. by John Wiley & Sons.
27. "최신 농약 data book" 1983, Pub. by Soft Science Inc. (Japan)
28. "농약의 생유기화학과 분자설계" 1985, Pub. by Soft Science Inc. (Japan).
29. "신농약의 개발과 시장전망" 1988, Pub. by CMC (Japan).
30. "세계 농약 원제의 종합조사 I-III" 1990, Pub. by CMC (Japan).
31. "Synthesis and Chemistry of Agrochemicals II" 1991, Ed. by Don R. Baker, Pub. by Am. Chem. Soc.

◆ 중금속 물질 분야

1. Keith, Lawrence H., Environmental endocrine disruptors : a handbook of property data, John Wiley & Sons, Inc., (1997).
2. <http://www.nature.com/nature/science/>
3. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris/subst/>
4. <http://atsdr1.atsdr.cdc.gov:8080/>
5. Marshall Sittig, How to remove Pollutants and toxic Materials from Air and Water, Noyes data corporation, (1977).
6. <http://www.ec.gc.ca/pp/english/stories/mosantoe.html>
7. Sabera Kesraoui Ouki, Mark Kavannagh, Performance of natural Zeolites for the Treatment of mixed Metal - contaminated Effluents, Waste Management & Research (1997) 15, pp. 383 - 394.
8. L. Curkovic, S. Cerjan-stefanovic, T. Fllipan, Metal Ion Exchange by natural and modified Zeolites, Water Research (1997) Vol 31, No. 6, pp. 1379 - 1382.
9. EPA - 452/R - 97 - 003, Mercury Study Report to Congress, Vol I :

Executive Summary, (1997).

10. An Inter - Departmental Report, Cadmium in the Environmental and its Significance to man, London her majesty's stationery office, Pollution Paper (1980) No. 17.
11. J. M. Ratcliffe, Lead in Man and the Environment, John Wiley & Sons (1981).
12. Institut Fresenius GmbH Taunusstein - Neuhof W. Fresenius & W. Schneider, Waste Water Technology, Springe - Verlag (1989).

◆ 위해성평가분야

1. Ahel, M., Giger, W., and Koch, M., Behavior of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment-I. Occurrence and transformations in sewage treatment. *Water Research*, 28, 1131-1142 (1996).
2. Barrett, J., Phytoestrogens: Friends or foes?, *Environmental Health Perspectives*, 104, 478-482, (1996).
3. Biles, J.E., McNeal, T.P., Begley, T.H., and Hollifield, H.C., Determination of Bisphenol-A in Resuable Polycarbonate Food-Contact Plastics and Migration to Food-Simulating Liquids, *J. Agric. Food Chem.*, 45, 3541-3544, (1997).
4. Colborn, T., Dumanoski, D., and Myers, J.P., *Our Stolen Future*, Penguin Books, New York, (1996).
5. Endocrine disruptor panel completes work, *C & EN*, (1998) September 7, p26.
6. Erickson, B., Screening and testing for endocrine disruptors, *Anal. Chem.*, 70(15), 528A-532A (1998).
7. Illinois EPA. 1997. Illinois EPA Endocrine Disruptors Strategy, <http://www.nihs.go.jp/hse/envIRON/illiepatable.html>.
8. Lambert, C. and Larroque, M., Chromatographic Analysis of Water and Wine Samples for Phenolic Compounds Released from Food-Contact Epoxy Resins *J. Chromatogr. Sci.*, 35, 57-62 (1997).
9. MAFF 1996, Food surveillance information sheet number 82: Phthalates in food., UK Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
10. Marco, G.J., Hollingworth, R.M., and Durham, W., Silent Spring Revisited,

American Chemical Society, Washington, DC, (1987).

11. McDonald, K.L., Determination of tetra-and pentachlorophenol in wood by ion exchange and HPLC, *J. Chromatogr. Sci.*, 22(7), 293-295, (1984).
12. Needham, L., Patterson, D., Brock, J., Pirkle, J., Sampson, E., and Jackson, R., Endocrine disruptor Studies at the National Center for Environmental Health: Lab. Perspective. 17th International Symposium on Chlorinated Dioxins and Related Compounds, Vol 34, 391-395, (1997).
13. Rudel, R.A., Melly, S.J., Geno, P.W., Sun, G., and Brody, J.G., Identification of Alkylphenols and Other Estrogenic Phenolic Compounds in Wastewater, Septage, and Groundwater on Cape Cod, Massachusetts, *Environ. Sci. Technol.*, 32(7), 861-869, (1998).
14. Telliard, W.A., "Method 1613: Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furnas by Isotope Dilution HRGC/HRMS", USEPA 821-B-94-005, Washington DC., October, 1994.
15. Tondeur, Y., "Method 8290: Analytical Procedures and Quality Assurance for Multimedia Analysis of PCDDs and DFs by HRGC/HRMS", USEPA EMSL, Las Vegas, Nevada, June, 1987.
16. US EPA. 1997. Special report on Environmental Endocrine Disruption: An Effects Assessment and Analysis. Office of Research and Development, EPA/630/R-96/012, Washington D.C.
17. Vanderlaan, M., Stanker, L.H., Watkins, B.E., and Roberts, W., Immunoassays for Trace Chemical Analysis, American Chemical society, ACS Symposium Series 451, Washington, DC. (1991).
18. WHO, "Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls (2nd Ed.)", Environmental Health Criteria 140, WHO, Geneva, pp44-78, (1993).
19. Aguilar A, Borrell A : Abnormally High Polychlorinated Bisphenyl Levels in Striped Dolphins (*Stenella coeruleoalba*) Affected by the 1990-1992 Mediterranean Epizootic. *The Science of the Total Environment*. 154:237-247, 1994
20. Altucci L, Addeo R, Cicatiello L; 17 β -estradiol induces cyclin D1 gene transcription, p36D1-p34cdk4 complex activation and p105Rb phosphorylation during mitogenic stimulation of G1-arrested human breast cancer cells. *Oncogene* 12, 2315-2324, 1996
21. Arnold SF, Obourn JD, Jaffe H; Phosphorylation of the human estrogen receptor on tyrosine-537 *in vivo* and by Src family tyrosine kinases *in vitro*.

22. Ashby J, Houthoff E, Kennedy SJ, Stevens J, Bars R, Jekat FW, Campbell P, Miller JV, Carpanini FM, Randall GLP: The challenge posed by endocrine-disrupting chemicals. *Environ Health Perspect* 105, 164-169, 1997
23. Aulerich R, Ringer R, Iwamoto : Reproductive Failure and Mortality in Mink Fed on Great Lakes Fish. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement*. 19 :365-375, 1973
24. Baumann P, Harshbarger J : Frequencies of Liver Neoplasia in a Feral Fish Population and Associated Carcinogens. *Marine Environmental Research*. 17:324-327, 1985
25. Best, D.A. *et al*; Reproductive Impairment of Bald Eagles along the Great Lakes Shorelines of Michigan and Ohio, *IV World Conference on Birds of Prey and Owls*, Berlin, Germany, May 7, 1992
26. Broley C : The Plight of the American Bald Eagle. *Audubon Magazine*, 60: 162-163, 171, 1958
27. Brouwer, A., Rejinders, P., and Koeman, J.; PCB-contaminated Fish Induces Vitamin A and Thyroid Hormone Deficiency in the Common Seal, *Aquatic Toxicol.* 15, 99-105, 1989
28. Carlson, E. *et al*; Evidence for Decreasing Quality of Semen during Past 50 Years, *Brit.Medical J.*, 304, 609-613, 1992
29. Castonguay M, Hodson P, Couillard C, Eckersley M, Dutil J-D, Verreault G : Why Is Recruitment of the American Eel, *Anguilla rostrata*, Declining in the St. Lawrence River and Gulf?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 51:479-488, 1994
30. Colborn T, vom Saal F, Soto A : Developmental Effects of Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans. *Environmental Health Perspectives*. 101:378-384, 1993
31. Colburn, T., and Clement, C.; *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development: The Wildlife/Human Connection*, Princeton, N.J.; Princeton Scientific Publishing, 1992
32. Colburn, T., Dumanoski, D., and Myers, J.; *Our Stolen Future, Are We Threatening Our Fertility, Intelligence and Survival?-A Scientific Detective Story*, Dutton, 1996
33. Colburn, T., vom Saal, F., and Soto, A.M.; *Developmental Effects of*

Endocrine-Disrupting Chemicals in Wildlife and Humans, *Environm. Hlth. Perspect.*, 101(5), 1993

34. Cooper RL, Kavlock RJ: Endocrine disruptors and reproductive development: a weight-of-evidence overview. *J. Endocrinol* 152, 159-166, 1997
35. Cooper, R., and Kavlock, R.: Endocrine Disruptors and Reproductive Development; a Weight-of-Evidence Overview, *J.Endocrinol.*, 152(2), 159-166, 1997
36. Davis, D., and Bradlow, H.: Can Environmental Estrogens Cause Breast Cancer? *Scientific American*, October, 1995
37. Facemire, C., Gross, T., and Guillette, L.: Reproductive Impairment in the Florida Panther: Nature or Nurture?, *Environm. Hlth. Perspect.* 103(Suppl.4), 79-86, 1995
38. Folmar LC, et al. : Vitellogenin induction and reduced serum testosterone concentrations in male carp (*Cyprinus carpio*) captured near a major metropolitan sewage treatment plant. *Environ Health plant.* 104:1096-1101, 1996
39. Fox G : What Have Biomarkers Told Us About the Effects of Contaminants on the Health of Fish-Eating Birds in the Great Lakes? The Theory and a Literature Review. *Journal of Great Lakes Research.* 19:722-736, 1993
40. Fry D, Toone C, Speich S, Peard R : Sex Ratio Skew and Breeding Patterns of Gulls: Demographic and Toxicological Considerations. *Studies in Avian Biology.* 110:26-43, 1987
41. Fry D, Toone M : DDT-Induced Feminization of Gull Embryos. *Science.* 213: 922-924, 1981
42. Gilbertson M, Kubiak T, Ludwig J, and Fox G : Great Lakes Embryo Mortality, Edema, and Deformities Syndrom(GLEMEDS) in Colonial Fish-Eating birds : Similarity to Chick-Edema Dieses. *Journal of Toxicology and Environmental Health.* 33: 455-520, 1991
43. Guillette L, Gross T, Gross D, Rooney A, Percival H : Gonadal Steroidogenesis In Vitro from Juvenile Alligators Obtained from Contaminated or Control Lakes. *Environmental Health Perspective.* 103: 31-36, 1995
44. Hallett D, Sonstegard R : Coho salmon(*Oncorhynchus Kisutch*) and Herring Gulls(*Larus arentatus*) as Indicators of Organochlorine Contamination in Lake Ontario. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada.*

35:1401-1409, 1978

45. Hunt G, and Hunt M : Female-Female Pairing in Western Gulls(*Larus occidentalis*) in Southern California. *Science*. 196: 1466-1467, 1977
46. Hunt, G., and Hunt, M.W.: Female-Female Pairings in Western Gulls (*Larus occidentalis*) in Southern California, *Science*, 196, 1466-1467, 1977
47. Jennings, M., Percival, H., and Woodard, A.: Evaluation of Alligator Hatching and Egg Removal from Three Florida Lakes, *Proc. Ann. Confer. Southeast Associa. Fish & Wildlife Agencies*, 42, 283-294, 1988
48. Jobling S, Sumpter J : Detergent Components in Sewage Effluent are Weakly Oestrogenic to Fish: An In Vitro Sthdy Using Rainbow Trout(*Oncorhynchus mykiss*) Hepatocytes. *Aquatic Toxicology*. 27:361-372, 1993
49. Kannan K, Tanabe S, Borrell A, Aguiar A, Focardi S, Tatsukawa : Isomer-Specific Analysis and Toxic Evaluation of Polychlorinated Biphenyls in Striped Dolphins Affected by an Epizootic in the Western Mediterranean Sea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 25: 227-233, 1993
50. Kelce W, Stone C, Laws S, Gray L, Kemppainen J, Wilson E :Persistent DDT Metabolite p,p'-DDE is a Potent Androgen Receptor Antagonist. *Nature*. 375:581-585, 1995
51. Lyons, G.: Phthalates in the Environment, World Wildlife Fund, UK, 1995
52. Maccubbin A, Black P, Trzeciak L, Black J : Evidence for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Diet of Bottom-Feeding Fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 34:876-882, 1985
53. Martineau D, Béland P, Desjardins C, Lagacée A : Levels of Organochlorine Chemicals in Tissues of Beluga Whales(*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Québec, Canada *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 16:137-147, 1987
54. Mason C, Ford T, and Last N : Organochlorine Residues in British Otters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 36: 651-661, 1986
55. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food: Effects of Trace Organics on Fish, Phase II, Foundation for Water Research, UK, 1995
56. Ness D, Schantz S, Moshtaghian J, Hansen L : Effects of Prenatal Exposure to Specific PCB Congeners on Thyroid Hormone Concentrations and Thyroid Histology in the Rat. *Toxicology Letters*. 68:311-323, 1993

57. Palmlund I, Apfel R, Buitendijk S, Cabau A, Forsberg J : Effects of Diethylstilbestrol(DES) Medication During Pregnancy: Report From a Symposium at the 10th International Congress of ISPOG. *Journal of Psychosomatic Obstetrical Gynaecology*. 14:71-89, 1993
58. Peterson R, Moore R, Mably, Bjerke D, Goy R : "Male Reproductive System Ontogeny: Effects of Perinatal Exposure to 2,3,7,8-Tetrachloro-dibenzo-p-dioxin" in *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development : The Wildlife-Human Connection*, T.Colborn and C.Clement, eds., Princeton Scientific Publishing. 175-193, 1992
59. Swackhamer D, Hites R : Occurrence and Bioaccumulation of Organochlorine Compounds in Fishes from Siskiwit Lake, Isle Royals, Lake Superior *Environmental Science and Technology*. 22:543-548, 1988
60. US EPA: External Review Draft Dioxin Reassessment, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, EPA/600/BP-92/001, Washington, D.C., Volume 6, 1994
61. vom Saal F : Sexual Differentiation in Litter Bearing Mammals: Influence of Sex of Adjacent Fetuses in Utero. *Journal of Animal Science*. 67:1824-1840, 1989
62. vom Saal F, Quadagno D, Even M, Keisler L, Keisler D, Khan S : Paradoxical Effects of Maternal Stress on Fetal Steroids and Postnatal Reproductive Traits in Female Mice from Different Intrauterine Positions. *Biology of Reproduction*. 43:751-761, 1990
63. *Chemical and Engineering news*, Aug. 6, 1979, p. 14
64. Endocrine disruptor, Chapter 5, EDSTAC 2nd final draft report, Jul. 16, 1998.
65. European Workshop on the Impact of Endocrine disruptor on Human Health and Wildlife, *Report of proceedings*, 1996.
66. Hardin, B. D., Bond, G. P., Sikov, M. R., Andrews, F. D., Beliles, T. O. and Niemeier, R. W. Testing of selected workplace chemicals for teratogenic potential. *Scan. J. Work Environ. Health*, 7(suppl. 4): 66-75, 1981.
67. Herbert DC, Supakar PC and Roy AK. Male reproduction, pp. 3-21, *Reproductive Toxicology*, 2nd Eds, Raphael Witorsch, Raven Press, 1995
68. Knaak, J. and Sullivan, L., Metabolism of bisphenol A in the rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 8:175-184, 1966,
69. Male reproductive health and environmental chemicals with estrogenic

- effects, Ministry of Environmental and Energy, Denmark, Danish Environmental Protection Agency, Miljøprojekt nr. 290, 1995.
70. Morrissey, R. E., George, J. D., Price, C. J. Tyl, R. W., Mar, M. C. and Kimmetl, C. A. The developmental toxicity of bisphenol A in rats and mice. *Fundamental and applied toxicology*, **8**: 571-582, 1987.
 71. National Toxicology Program(NTP). *NTP Technical Report on the Carcinogenesis Bioassay of Bisphenol A(CAS No. 80-05-7) in F344 Rats and B6C3F1 Mice(Feed Study)*, Technical Report Series No. 215, U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, Research Triangle Park, North Carolina and Bethesda, Maryland, 1982
 72. OECD guideline for testing of chemicals, Revised draft guideline 416, September 1998.
 73. Principles and processes for evaluating endocrine disruption in wildlife. SETAC publication, Kendall R. et al., 1998.
 74. Rands, PL, white, RD, Carter, MW, Allen, SD and Bradshaw, WS, Indicators of developmental toxicity following prenatal administration of hormonally active compounds in the rat. I. Gestational length. *Teratology*, **25**(1): 37-43, 1982.
 75. Report of proceedings, European workshop on the impact of endocrine disruptors on human health and wildlife, Weybridge, UK, 2-4 December 1996.
 76. Santti, R., Makela, S., Strauss, L., Korkman, J., Kostian, ML, Phytoestrogens: potential endocrine disruptors in males. *Toxicol. Ind. Health*, **14**(1-2):223-237, 1998.
 77. Smith MK, Kimmel GL, Kochhar DM, Shepard TH, Spielberg SP and Willson JG. A selection of candidate compounds for in vitro teratogenesis test validation. *Teratog Carcinog Mutagen* **3**:461-480, 1984.
 78. Takayama S, Hirohashi M, Kato M and Shimoda H. Toxicity of quinolone antibacterial agents. *J Toxicol Environ Health* **45**:1-45, 1995.
 79. *The Physiology of Reproduction*, vol. 2, 2nd Eds., Ernst Knobil and Jimmy D. Neill, Raven Press, New York, 1993.
 80. Tyler CR, Jobling S, Sumpter JP. Endocrine Disruption in Wildlife: A critical review of the evidence, *Critical Rev. Toxicol.*, **28**: 319-361, 1998.
 81. Applegate, M. L., M. M. Moore, C. B. Broder, A. Burrell, G. Juhn, K. L.

- Kasweck, P. F. Lin, A. Wadhams, and J. C. Hozier, (1990) Molecular dissection of mutations at the heterozygous thymidine kinase locus in mouse lymphoma cells, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87, 51-55.
82. Ashby J.(1987) The efficient preparation of corn oil suspensions , *Mutat Res.*, 187, 45
 83. Carere, A., and G. Morpurgo (1981) Comparison of the mutagenic activity of pesticides *in vitro* in various short term assays, *Progr. Mutation Res.*, 2, 87 - 104.
 84. Carere, A., and G. Morpurgo, (1981) Comparison of the mutagenic activity of pesticides *in vitro* in various short term assays, *Progr. Mutation Res.*, 2, 87-104.
 85. Clements, J., (1990) Gene mutation assays in mammalian cells, In S. O'Hare and C. K. Atterwill (Ed.), *Methods in Molecular Biology*, Vol.43: *in vitro* Toxicity Testing Protocols, Humana Press Inc., Totowa, NJ., pp. 277-286.
 86. Clive, D. , W. Caspary, P. E. Kirkby, R. Krehl, M. Moore, J. Mayo, and T. J. Oberly, (1987) Guide for performing the mouse lymphoma assay for mammalian cell mutagenicity, *Mutation Res.*, 189, 145-156.
 87. Clive, D., W. G. Flamm, M. R. Machesco, and N. J. Bernheim (1972) A mutational assay system using the thymidine kinase locus in mouse lymphoma cells, *Mutation Res.*, 16, 77-87.
 88. Cole, J., W. J. Muriel, and B. A. Bridges, (1986) The mutagenicity of sodium fluoride to L5178Y(wild-type and TK+/- 3.7.2c) mouse lymphoma cells, *Mutagenesis*, 1, 157-167.
 89. Denise L.Wyborski (1995) Development of a rat cell line containing stably integrated copies of a lambda/*lac I* shuttle vector, *Mutation Res*, 334, 161-165.
 90. Dyaico, M.J., G.S. Provost, P.L. Kretz, S.L.Ransom, J.C. Moors and J.M.Short (1994) The use of shuttle vectors for mutation analysis in transgenic mice and rats, *Mutation Res.*, 307, 461-478.
 91. Exerson, G. L., M. F. Bryant, P. Kwanyuen and A. D. Kigerman (1995), Bleomycin sulfate-induced micronuclei in Human, rat, and mouse peripheral blood lymphocytes, *Environ. Mol. Mutagen.*, 25, 31-36
 92. Gorelick N. J., (1995) Genotoxicity of trans-anethole *in vitro*, *Mutation Res.*, 326:199-209
 93. Gregory J. Carr and Nancy J. Gorelick (1996) Mutational spectrum in

transgenic animal research: Data analysis and study design based upon the mutant or mutation frequency, *Environmental and Molecular Mutagenesis* 28, 405-413.

94. Hahn H., E. Eder, and C. Deininger (1991) Genotoxicity of 1,3-dichloro-2-propanol in the SOS chromotest and in the Ames test. Elucidation of the genotoxic mechanism, *Chem.-Biol. Interactions*, 80, 73-88.
95. Hayashi M., R. R. Tice, J. T. MacGregor, D. Anderson, D. H. Blakey, M. Kirsh-Volders, F. B. Oleson Jr, F. Pacchierotti, F. Romagna, H. Shimada, S. Sutou, and B. Vannier (1994) *in vivo* rodent erythrocyte micronucleus assay, *Mutation Res.*, 312, 293-304.
96. Hayashi M., S. Hashimoto, Y. Sakamoto, C. Hamada, T. Sofuni, and I. Yoshimura (1994) Statistical analysis of data in mutagenicity assays : rodent micronucleus assay, *Environ. Health perspect.* (102) supp. 1, 49-52
97. Hayashi M., S. Sutou, H. Shimada, S. sato, Y. Y. Sasaki and A. Wakata (1989), Difference between intraperitoneal and oral gavage application in the micronucleus test, *Mutat. Res.* 223, 329-344
98. Hayashi M., T. Morita, Y. Kodama, T. Sofuni, and M. Ishidate Jr. (1990) The micronucleus assay with mouse peripheral blood reticulocytes using acridine orange-coated slides, *Mutation Res.*, 245, 245-249.
99. Hayashi M. and T. sofuni (1994), The micronucleus assay wirth rodent peripheral blood and acridine orange supravital staining. In *Chromosomal alterations* (edited by G. Obe and A.T. Natarajan), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 203-213
100. Hayashi M., T. sofuni, and M. Ishidate Jr. (1983) An application of acridine orange fluorescent staining to the micronucleus test, *Mutation Res.*, 120, 241-247.
101. Heo, Moon Young and Jae-Chun Ryu (1996), The micronucleus formation in peripheral blood of mitomycin C-treated mice using supravital staining with acridine orange, *Environ. Mutagens & Carcinogens* ,16, 24-29
102. Iwakura K., H. Tamura, A. Matsumoto, S. Ajimi, A. Ogura, K. Kakimoto, T. Matsumoto and M. Hayashi (1992), The micronucleus assay with peripheral blood reticulocytes by acridine orange supravital staining with 1- β -D-arabinofuranosylcytosine, 278, 131-137
103. J. Surrallés, E. Carbonell, R. Marcos, F. Degrassi, A. Antoccia, C. Tanzarella (1992) A collaborative study on the improvement of the micronucleus test in cultured human lymphocytes, *Mutagenesis* 7, 407-410.

104. K.S. Tao, C. Urlando and J.A. Heddle (1993) Comparison of somatic mutation in a transgenic versus host locus, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* 90, 10681-10685.
105. Lovell, D. P., D. Anderson, R. Albanese, G.E. Amphlett, G. Clare, R. Ferguson, M. Richold, D. G. Papworth, and J. R. K. Savage(1989), Statistical analysis of in vivo cytogenetic assays. In *Statistical evaluation of mutagenicity test data* (edited by D.J. Kirkland), Cambridge university press,184-232
106. Lundberg K.S. ., P.L. Kretz., G.S. Provost and J.M. Short (1993) The use of selection in recovery of transgenic targets for mutation analysis, *Mutation Res.*, 301, 99-105.
107. M. Fenech, A.A. Morley (1985) Measurement of micronuclei in human lymphocytes, *Mutation Res.*, 147, 29-36.
108. MacGregor J. T., C. M. Wehr, and D. H. Gould (1980) Clastogen-induced micronuclei in peripheral blood erythrocytes: The basis of an improved micronucleus test. *Environ Mutagen*, 2, 509 - 514.
109. Marcello Lotti (1995) Mechanism of toxicity and risk assessment, Transgenic models for detection of mutation in tumors and normal tissues of rodents, *Toxicology letters* 82/83, 131-134.
110. Mavournin, K.H., D. H. Blakey M.C. Cimino, M.F.Salamone and J. A. Heddle(1990), The in vivo micronucleus assay in mammalian bone marrow and peripheral blood. A report the U.S. environmental protection agency gene-Tox program, *Mutat Res*, 239, 29-80
111. Mirsalis, J.C., G.S. Provost, C.D. Matthews, R. T. Hammer, J.E. Schindler, K.G. O'Loughlin, J.T. MacGregor and J.M. Short (1993) Induction of hepatocyte mutation in *lac I* transgenic mice, *Mutagenesis*, 8, 265-271.
112. Moore, M. M., D. Clive, J. C. Hozier, B. E. Howard, A. Gail Batson, N. T. Turner, and J. Sawyer, (1985) Analysis of TFR mutants of L5178Y/TK^{+/+} mouse lymphoma cells, *Mutation Res.* 151, 161-174.
113. N.J. Gorelick (1995) Overview of mutation assay in transgenic mice for routine testing, *Environmental and Molecular Mutagenesis* 25, 218-230
114. N.J. Gorelick, J.L. Andrews, Marie Gu, and B.W. Glickman (1995) Mutational spectra in *lac I* gene in skin from 7,12-Dimethylbenz[a]anthracene-treated and untreated transgenic mice, *Molecular carcinogenesis* 14, 53-62.
115. Pincu, M., D. Bass and A. Norman (1984) A improved micronuclear assay in lymphocytes, *Mutation Res.*, 139, 61-65

116. Provost, G.S., P.L.Krez, R.T. Hammer, C.D.Matthews, B.J.Rogers,K.S.Lundberg, M.J.Dycaico and J.M. Short (1993)Transgenic systems for *in vivo* mutation analysis. *Mutation Res.*, 288, 133-149
117. Ren, L., J. Yang and H. Zhang (1991) Use of the cytokinesis-block micronucleus method in mouse splenocytes, *Mutation Res.*, 262, 119-124
118. Robinson, W. D., M. H. L. Green, J. Cole, R. C. Garner, M. J. Healy, and D. Gatehouse, (1990) Statistical evaluation of bacterial/mammalian fluctuation tests, in *Statistical Evaluation of Mutagenicity Test Data* (Kirkland, D. J., ed.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 102-140.
119. Roel M. Schaper, Bryan N. Danforth and Barry W. Glickman (1986) Mechanism of spontaneous mutagenesis:An analysis of the spectrum of spontaneous mutation in the *E. coli lac I* gene, *J. Mol. Biol* 189, 273-284.
120. Schmid W. (1975) The micronucleus test, *Mutation Res.*, 31, 9-15.
121. Šilhánková L., F. Šmíd, M. Černa, J. Davídek and J. Velíšek (1982) Mutagenicity of glycerol chlorohydrines and of their esters with higher fatty acids present in protein hydrolysates, *Mutation Res.*, 103, 77-81.
122. Šilhánková L., F. Šmíd, M. Černa, J. Davídek and J. Velíšek (1982) Mutagenicity of glycerol chlorohydrines and of their esters with higher fatty acids present in protein hydrolysates, *Mutation Res.*, 103, 77-81.
123. Susan C.S., Linda J.P., James A. B., and Leslie reico (1994) Molecular analysis of *lac I*mutant from bone marrow of B6C3F1 transgenic mice following inhalation exposure to 1,3-butadiene, *Carcinogenesis* 15, 471-477.
124. Suzuki T., M. Hayashi, A. Hakura, A. O. Asita, Y. Kodama, M. Honma and T. Sofuni(1995), Combination effects of clastogens in the mouse peripheral blood micronucleus assay, *Mutagenesis* (10) 1, 31-36
125. Suzuki T., M. Hayashi, T. Sofuni, and B. C. Myhr (1993) The concomitant detection of gene mutation and micronucleus induction by mitomycin C *in vivo* using *lac Z* transgenic mice, *Mutation Res.*, 285, 219-224.
126. T.K. Lee, J. Johnson, A.L. Wiley, J.A. Means (1995) Assessment of two protocols for the human lymphocyte cytokinesis-blocked micronucleus assay, *Mutagenesis* 10, 375-377
127. The Collaborative Study Group for the Micronucleus Test (1992) Micronucleus test with mouse peripheral blood erythrocytes by acridine orange supravital staining: The summary report of the 5th collaborative study by CSGMT/JEMS.MMS, *Mutation Res.*, 278, 83-98.

128. Tinwell H. and J. Ashby (1989) Comparison of acridine orange and giemsa stains in several mouse bone marrow micronucleus assays - including a triple dose, *Mutagenesis*, (4) 6, 476-481
129. Toshio Sofuni, Takayoshi Suzuki and Makoto Hayarshi (1996) Initial consideration for use of transgenic mutation in a regulatory submission, *Environmental and Molecular Mutagenesis* 28,443-446.
130. Toyokuni, S., J. L. Sagripanti, V. M. Hitchins, (1995) Cytotoxic and mutagenic effects of ferric nitrilotriacetate on L5178Y mouse lymphoma cells, *Cancer Research*, 88, 157-162
131. Tsuda H., A. hagiwara, M. Shibata, M. Ohshima, and N. Ito (1982) Carcinogenic effect of carbazole in the liver of (C57BL/6N x C3H/HeN)F1 mice, *JNCI* 69, 1383-1389.
132. Ttsuo Nunoshiba and Bruce Demple (1993) Potent intracellular oxidative stress exerted by the carcinogen 4-Nitroquinoline N-Oxide, *Cancer Research* 53, 3250-3252.
133. Van Hummelen, P., and M. Kirsch-Volders (1990) An improved method for the in vitro micronuclear test using human lymphocytes, *Mutagenesis* 5, 203-204
134. Walter W. Piegorch, Barry H. Margolin et al (1995) Study design and sample sizes for a *lac I* transgenic mouse mutation assay, *Environmental and Molecular Mutagenesis* 25, 231-245.
135. William C.Summers, Peter M. Glazer and David Malkvich (1989) Lambda phage shuttle vectors for analysis of mutations in mammalian cells in culture and in transgenic mice, *Mutation Research* 220, 263-268.
136. Albrecht WN., Central nervous system toxicity of some common environmental residues in the mouse. *J.Toxicol.EnvIRON.Health.* 1987 : 21(4) : 405-21.
137. Bekesi JG, Holland JF, Anderson HA, Fischbein AS, Rom W, Wolff HS and Selikoff IJ (1973) Lymphocyte function of Michigan dairying farmers exposed to polybrominated biphenyls. *Science* 199: 1207-1209.
138. Calevro F., Beyersmann D. and Hartwig A., Effect of cadmium(II) on the extent of oxidative DNA damage in primary brain cell cultures from *Pleurodeles* larvae. *Toxicol.Lett.* 1998 : 94(3) : 217-25.
139. Carson R. *Silent Spring*, Houghton, 1962.

140. Colborn T, Dumanoski D, Myers JP. *Our Stolen Future*, The Spieler Agency, USA, 1996.
141. Colborn T, Vom Saal FS, Soto AM. Developmental effect of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environ Health Perspect*, 1993, 101:378-384.
142. Dearman RJ *et al.*, Influence of dibutyl phthalate on dermal sensitization to fluorescein isothiocyanate. *Fundam. Appl. Toxicol.*, 1996 : 33 : 24-30.
143. Dogra RK *et al.*, Immunomodulation due to coexposure to styrene and dioctyl phthalate in mice. *Immunopharmacol. Immunotoxicol.*, 1993 : 15 : 491-594.
144. Eriksson P., Developmental neurotoxicity of environmental agents in the neonate. *Neurotoxicology* 1997 : 18(3) : 719-26.
145. Evangelista de Duffard AM., Duffard R., Behavioral toxicology, risk assessment, and chlorinated hydrocarbons. *Environ. Health Perspect.* 1996 : 104 Suppl 2 : 353-60.
146. Fuchs BA and Sanders VM (1994) The role of brain-immune interactions in immunotoxicology. *Crit. Rev. Toxicol.* 24: 151-176.
147. Grehl H., Grahmann F., Claus D. and Neundorfer B., Histologic evidence for a toxic polyneuropathy due to exposure to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxine(TCDD) in rats. *Acta. Neurol. Scand.* 1993 : 88(5) : 354-7.
148. Hanneman WH., Legare ME., Tiffany-Castiglioni E., and Safe SH., The need for cellular, biochemical, and mechanistic studies. *Neurotoxicol. Teratol.* 1996 : 18(3) : 247-50.
149. Hansen LG, Jansen HT. Letter. *Science*, 1994, 266:526.
150. Holsapple MP, Munson AE, Munson JA and Bick PH (1983) Suppression of cell-mediated immunocompetence following subchronic exposure to diethylstilbesterol in female B6C3F1 mice. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 227: 130-138.
151. Jin T., Lu J. and Nordberg M., Toxicokinetics and biochemistry of cadmium with special emphasis on the role of metallothionein. *Neurotoxicology* 1988 : 19(4-5) : 529-35.
152. Kavlock RJ, Daston GP, DeRosa C, Fenner-Crisp P, Gray LE, Kaattari S, Lucier G, Luster M, Mac MJ, Maczka C, Miller R, Moore J, Rolland R, Scott G, Sheehan DM, Sinks T, and Tilson HA (1996) Research needs for the risk

- assessment of health and environmental effects of endocrine disruptors: a report of the U.S. EPA-sponsored workshop. *Env. Health Perspect.* 104 (Suppl. 4): 1-26.
153. Kelce WR, Monosson E, Gamcsik MP, Laws SC, Gray LE. Jr. Environmental hormone disruptors: evidence that vinclozolin developmental toxicity is mediated by anti androgenic metabolites. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1994, 126:276-285.
 154. Leung TK., Lim L. and Lai JC., Differential effects of metal ions on type A and type B monoamine oxidase activities in rat brain and liver mitochondria. *Metab.Brain Dis.* 1992 : 7(3) : 139-46.
 155. Luster MI, Munson AE, Thomas PT, Holsapple MP, Fenters JD, White KL Jr, Lauer LD, Germolec DR, Rosenthal GJ and Dean JH (1988) Development of a testing battery to assess chemical-induced immunotoxicity: National Toxicology Program's guidelines for immunotoxicity evaluation in mice. *Fund. Appl. Toxicol.* 10: 2-19.
 156. McLachlan J. Functional toxicology: a new approach to detect biologically active xenobiotics. *Environ Health Perspect*, 1995, 103:346-351
 157. Overman SR, Kostas J, Wilson LR, Shain W, Bruysh B (1987) Neurobehavioral and somatic effects of perinatal PCB exposure in rats. *Environ. Res.* 44: 56-70.
 158. Porterfield SP and Hendrich CE (1993) The role of thyroid hormones in prenatal and neonatal neurological development-current perspectives. *Endocr. Rev.* 14(1): 94-106.
 159. Raszyk J *et al.*, Effects of environmental pollutants on the porcine and bovine immun systems. *Vet. Med.*, 1997 : 42 : 313-317.
 160. Sanders VM (1996) Chapter 10. Neurotransmitters, neuropeptides, and immune function: implications for immunotoxicology. In: *Experimental immunotoxicology* (edited by Smialowicz RJ and Holsapple MP). pp 169-185. CRC Press, Boca Raton, Florida.
 161. Seawright AA., Directly toxic effects of plant chemicals which may occur in human and animal foods. *Nat.Toxins* 1995 :3(4) :227-32.
 162. Sharpe RM, Skakkebaek NF. Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract ? *Lancet*, 1993, 341:1392-1395.
 163. Smialowicz RJ, Riddle MM, Williams WC, Dilberto JJ (1994) Effects of

- 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) on humoral immunity and lymphocyte subpopulations: differences between mice and rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 124: 248-156.
164. Soderlund DM. and Bloomquist JR., Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annu.Rev.Entomol.* 1989 : 34 : 77-96.
165. Svensson BG. *et al.*, Parameters of immunological competence in subjects with high consumption of fish contaminated with persistent organochlorine compounds. *Int. Arch Occup. Environ. Health.*, 1994 : 65 : 351-358.
166. Tilson HA, Jacobsen JL and Rogan WJ (1991) Polychlorinated biphenyls and the developing nervous system: cross species comparison. *Neurotoxicol. Teratol.* 12: 239-248.
167. Tilson HA. and Kodavanti PR., Neurochemical effects of polychlorinated biphenyls: an overview and identification of research needs. *Neurotoxicology* 1997 : 18(3) : 727-43.
168. Tryphomas H. The impact of PCBs and dioxins on children's health : immunological considerations. *Can. J. Public Health.*, 1998 : 89 : S49-52, S54-57.
169. United States Environmental Protection Agency (1997) Special report on environmental endocrine disruption: an effects assessment and analysis. EPA/630/R-96/012.
170. Vos JG and Van Loveren H. markers for immunotoxic effects in rodents and man. *Toxicol. Lett.*, 1995 : 82-83 : 385-394.
171. Wams TJ. Diethylhexylphthalate as an environmental contaminant-a review. *Sci. Total Environ.*, 1987 : 66 : 1-16.
172. Wei H, Wei L, Frenkel K, Bowen R, Barnes S. Inhibition of tumor promoter-induced hydrogen peroxide formation in vitro and in vivo by genistein. *Nutr Cancer*, 1993, 20:11-12.
173. Wolff MS, Toniolo P. Response (letter). *J Natl Cancer Inst*, 1994, 86:1096-1096.
174. Young D *et al.*, GC/MS analysis of PCB congeners in blood of the harbor seal *Phoca vitulina* from San Francisco Bay. *Chemosphere.*, 1998 : 37 : 711-733.
175. Black, J. W., Leff, P., and Shankley, N. P., with an Appendix by Wook., J. (1985). An operational model of pharmacological agonism: the effect of

- E/[A] curve shape on agonist dissociation constant estimation. *Br. J. Pharmacol.* **84**, 561-571.
176. Cheek, A. O., Vonier, P. M., Overdorster, E., Burow, B. C., and Mclanchlan, J. A., Environmental Signaling: a biological context for endocrine disruption(1998) *Environ. Health Perspect* **106**(suppl. 1), 5-10
 177. Golden, R. J., Noller, K. L., Titus-Ernstoff, L., Kauffman, R. H., Mittendorf, R., Stillman, R, and Reese, E. A., Environmental endocrine modulators and human health: an assessment of the biological evidence(1998) *Crit. Rev. Toxicol.* **28**(2), 109-227
 178. Hileman, B., Endocrine Testing Scheme Proposed for Most Chemicals(1998), *C&EN* **9**, 7-8.
 179. Krieger, N., Wolff, M. S., Hiatt, R. A., Rivera, M., Vogelman, J., and Orentreich, N.(1994) Breast cancer and serum organochlorines: a prospective study among white, black, and Asian women. *J. Natl. Cancer Inst.* **86**, 589-599.
 180. Limbird, L. E., and Taylor, P., Endocrine Distributors Signal the Need for Research Models and Mechanisms to Inform Policy(1998), *Cell* **93**, 157-163.
 181. Paech, K., Webb, P., Kuiper, G. G., Nilsson, S., Gustafsson, J., Kushner, P. J., and Scanlan, T. S. (1997) Differential ligand activation of estrogen receptors ERalpha and ERbeta at AP1 sites. *Science* **277**, 1508-1510.
 182. Thomas, J. A., and Coby, H. D., Endocrine toxicology(2nd ed.); Steroid receptors(1997) Taylor and Francis Pub.
 183. Wolff, M. S., Toniolo, P. G., Lee, E. W., Rivera, M., and Dubin, N.(1993). Blood levels of organochlorine residues and risk of breast cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* **85**, 648-652.
 184. Biessmann, A. and Von Faber, H. : Effects of DDT and its metabolites on the adrenal gland of the Japanese quail. *Environ. Pollut.*, **25**: 99-104, 1981.
 185. Dary, C.C., Blancato, J.N., Castles, M., Reddy, V., Cannon, M., Saleh, M.A., and Cash, G.C., In Biomarkers of Human Exposure to Pesticides; Saleh, M.A., Blancato, J.N., and Nauman, C.H. Ed's. ; Dermal Absorption and Disposition of Formulations of Malathion in Sprague-Dawley Rats and Humans, ACS Symposium Series 542, Washington, DC, 1994, 231-263.
 186. Humphrey, M.J., and Smith, D.A. : Role of metabolism and pharmacokinetic studies in the discovery of new drugs-present and future perspectives.

Xenobiotica 22 : 743-755, 1992.

187. J Ongeneelen, F.J., Anzion, R.B.M., and Scheepers, P.J.J. : 1-Hydroxypyrene in urine as a biological indicator of exposure to PAHs in several work environments. *Ann. Occup. Hygien.* 32 : 35-43. 1988.
188. Sparling, J., Fung, D., and Safe, S. : Bromo-and chlorobiphenyl metabolism: GC/MS identification of urinary metabolites and the effects of structure on their rates of excretion. *Biomed. Mass Spectrom.*, 7: 13-20. 1980.
189. Van den Berg, M., deJongh, J., Poiger, H. and Olson, J.R. : The toxicokinetics and metabolism of PCDDs and PCDFs and their relevance for toxicity. *CRC Crit. Rev. Toxicol.*, 24(1) : 1-74. 1994.
190. <http://www.nihs.go.jp/hse/environ/edsubs/substancesnew.html>
191. <http://www.wwfcanada.org/hormone-disruptors/list.html>
192. <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1998/Suppl-1/11-56crisp/abstract.html>
193. <http://206.9.170.153/edrc/about.cfm>
194. <http://www.speclab.com/compound/price1.html>
195. <http://www.nihs.go.jp/hse/environ/edsubs/substancesnew.html>
196. <http://www.nihs.go.jp/hse/environ/edsubs/substancesnew.html>
197. <http://www.epa.gov/edrlupvx/inventory>
198. 식품 공전, 1995, 식품 공업 협회
199. A. I. Yaropolov, A. N. Kharybin, J. Emneus, G. Marko-Varga, L. Gorton *Anal. Chim. Acta* 308(1995) 137-144
200. M. Lutz, E. Burestedt, J. Emneus, L. Liden, S. Gobhadi, L. Gorton, G. Marko-Varga *Anal. Chem.* 305(1995) 8-17
201. I. E. Tothill, A. P. F. Turner *Trends Anal. Chem.* 15(1996) 178-187
202. A. A. Boyd-Boland, J. B. Pawliszyn *Anal. Chim. Acta* 346(1997) 49-59
203. A. Oubina, D. Puig, J. Gascon, D. Barcelo *Anal. Chim. Acta* 346(1997) 49-59
204. C. Sharma, S. Mohanty, S. Kumar, N. J. Rao *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 64(1996) 289

205. A. L. Wilkins, M. Singh-Thandi, A. G. Langdon Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57(1996) 437
206. E. Benfanati, G. Facchini, P. Pierucci, R. Fanelli Trends Anal. Chem. 15(1996) 437
207. L. D. Betowski, D. S. Kendall, C. M. Pace, J. R. Donnelly Environ. Sci. Technol. 30(1996) 305
208. L. P. Burkhard, E. D. Durhan, M. T. Lukasewycz Anal. Chem. 63(1991) 277
209. R. C. Hale, C. L. Smith Int. J. Environ. Anal. Chem. 64(1996) 21
210. J. J. Ellington, R. V. Thurston, J. Sukyte, K. Kvietkus Trends Anal. Chem. 15(1996) 215
211. L. D. Betowski, H. M. Webb, A. D. Sauter Biomed. Mass Spectrum 10(1983) 369
212. D. Barcelo, C. Porte, J. Cid, J. Albaiges Int. J. Environ. Anal. Chem. 38(1990) 199
213. M. del Olmo, A. Gonzalez-Casado, N. A. Navas, J. L. Vilchez Anal. Chim. Acta 346(1997) 87-92
214. M. Castillo, M. F. Alpendurada and D. Barcello J. Mass Spectrometry, 32(1997) 1100
215. K. A. Mountfort, J. Kelly, S. M. Jickells and L. Castle Food Additives and Contaminants, 14(1997), 737-740
216. C. Lambert, M. Larroque, J. Leburn and J. Gerard Food Additives and Contaminants, 14(1997), 199-208
217. J. E. Biles, T. P. McNeal and T. H. Begley J. Agric. Food Chem. 45(1997), 4697-4700
218. C. Lambert and M. Larroque J. Chromatographic Science, 35(1997), 57-62

Appendix-1

ENDOCRINE DISRUPTION
OVERVIEW OF U.S. INDUSTRY CONCERNS
AND
U.S. AND GLOBAL ACTIVITIES

Presented at the
Korean EDC Control Strategy Meeting

April 2, 1999

Terry F. Quill

BEVERIDGE & DIAMOND, P.C.
1350 I STREET, N.W.
WASHINGTON, D.C. 20005
(202) 789-6061
tquill@bdlaw.com

Sponsored by

The Korean Ministry of Science and Technology
The Korean Research Institute of Chemical Technology

The Korean Institute of Science and Technology

I. WHAT IS ENDOCRINE DISRUPTION

A. The Fundamentals of Endocrinology

1. The endocrine system consists of a set of glands and the hormones they produce that control and influence a variety of processes including:
 - development
 - growth
 - reproduction
 - metabolism
 - behavior

2. Hormones are chemicals that are formed in endocrine glands and carried by the blood to another organ or part of the body to produce a specific effect. Examples include:
 - estrogen
 - testosterone
 - adrenaline
 - insulin
 - thyroid hormone

3. Cells respond to hormone messages
 - cells have receptors that receive hormones
(elicit responses at low doses)
 - lock & key - the right "key" activates the receptor and the cells respond
 - molecules shaped like hormones can also bind to receptors

4. The endocrine system has a very complicated regulatory mechanism.
 - exposures to substances that can bind a receptor don't necessarily result in effects -- especially an adverse effect.
 - absorption and distribution
 - binding proteins
 - receptor binding affinities
 - agonists
 - antagonists (e.g., dioxin)
 - hormone metabolism/persistence
 - Central Nervous System component
 - hypothalamus
 - pituitary
 - feed back loops

e.g. - dietary "estrogens"

B. Endocrine Disruptors

1. Endocrine disruptors are chemicals that interfere with the normal functioning of the endocrine system.
2. Endocrine disruption implies an adverse health effect.
 - a. homeostasis (e.g., sugar)
 - b. non-adverse responses (e.g., sunlight)
 - c. protective response
3. Suggested endocrine disruptors include:
 - a. substances found in the normal diet
 - b. drugs, such as birth control pills
 - c. Synthetically produced chemicals
 - pesticides
 - by-products of industrial processes (dioxins and furans)
 - common industrial chemicals
 - phthalates (plasticizer in PVC)
 - styrenes
 - PCBs
 - bisphenol-A (in polycarbonate products)
 - alkyl phenols (used to prepare polyethoxylates in detergents)
 - d. metals
 - lead
 - cadmium
 - mercury

II. OBSERVATIONS THAT RAISED CONCERN

A. Humans

1. Diethylstilbestrol (DES) - Clear Cell Adenocarcinoma
2. Breast Cancer Incidence - Trend/Reported Correlation
3. Testicular Cancer - Trend

4. Decreased Sperm Count - Trend
 5. PCBs - Neurological and Behavioral Effects
- B. Wildlife
1. Egg Shell thinning and DDT
 2. Great Lakes birds and PCBs
 3. Alligators and Organochlorines (Guillette, *et al.*)
 4. Fish in U.K. Rivers
 5. Florida Panther (Guillette, *et al.*)
- C. Laboratory Tests
1. Yeast Cell System (McLachlan, Guillette, *et al.*)
- Synergy
 2. MCF-7 cells (E-screen)
- Bisphenol-A (A. Soto)
 3. Animal Studies
- Bisphenol-A and Mouse prostates (F. vom Saal)

III. SENSATIONAL HEADLINES CREATED THE ISSUE

- A. Initial reports of endocrine disruption were used effectively by environmental groups and some researchers to excite the press, alarm the public and persuade Congress to pass laws addressing potential endocrine disrupting chemicals.
- B. Sensational Headlines
1. Very little scientific evidence lead to sensational headlines such as:
"Silent Sperm"
"Gender Benders"
"Lesbian Birds"
and statements to the U.S. Congress such as:
"You are half the man your grandfather was"

2. Our Stolen Future
 - A highly promoted book written by Theo Colborn (World Wildlife Fund) with an introduction by Vice President Al Gore.
 - March 1996
 - Lacks scientific rigor and provides scant scientific support for its conclusion.
3. There has been a general failure to critically evaluate initial reports.
4. Withdrawal of and effective challenges to these reports go relatively unnoticed.
5. Sensational headlines in the press overtook the science.

IV. THE RESPONSE OF THE U.S. CONGRESS – The Estrogenic Substances Screening Program

A. The Political Environment.

B. The Food Quality Protection Act of 1996 ("FQPA").

1. H.R. 1627 (P.L. 104-170) August 3, 1996.

The FQPA requires the U.S. EPA to develop an estrogenic substances screening program.

2. Key FQPA Provisions.
 - a. EPA must develop a screening program within 2 years (August 1998) to determine whether substances may have estrogenic effects in humans.
 - b. EPA shall require testing of all "pesticide chemicals," which includes active and inert ingredients.
 - c. EPA may require the testing of other substances "that may have an effect that is cumulative to an effect of a pesticide chemical if the Administrator [EPA] determines that a substantial population may be exposed to such substance."
 - d. EPA shall require registrants, or manufacturers or importers to test

and to submit information regarding the testing.

- e. EPA must implement the screening program within 3 years (August 1999), after peer review.
- f. EPA is required to take appropriate action under existing statutory authority to ensure protection of public health if a substance is found as a result of the testing and evaluation under this screening program to have an endocrine effect on humans.

C. The Safe Drinking Water Act Amendments of 1996.

- 1. S. 1316 (P.L. 104-182), August 6, 1996.

Amendments to the U.S. Safe Drinking Water Act allows EPA to provide for testing of substances that "may be found in sources of drinking water."

V. IS THERE A PROBLEM?

The Question is : Are Current Environmental Exposures Posing an Unreasonable Risk to Human Health or the Environment?

A. What Are The Scientific Data?

- 1. Is there evidence of endocrine disruption in wildlife?
 - a. Effects in wildlife are unclear.
 - There may be some evidence.
 - Possible areas of high exposure to wildlife?
 - Exposures are decreasing. What are current exposures?
 - Reproductive problems are disappearing.
 - b. The Florida Panther
 - 25 samples vs 250 samples.
 - c. Lake Apopka
 - Best evidence of endocrine disruption in wildlife?
 - Lou Guillette
 - Alligator "penis" size and egg hatchability
 - d. Reports of Feminization of Male Fish in United Kingdom Rivers.
 - Degradation products of alkylphenol polyethoxylates (a

group of surfactants) are claimed to be estrogenic and were claimed to enter the rivers through sewage treatment works
· Resulted in denial of product registrations.
· The source of the estrogenic activity was hormones in human urine.

2. Is there evidence of endocrine disruption in humans?

a. Breast Cancer

- (1) Wolff et al., J. Natl Cancer Inst 1993; 85:648-52.
 - Claimed to demonstrate (based on 58 samples) an association between serum DDT and PCB levels and breast cancer.
- (2) Wolff's conclusions should have been questioned.
 - PCBs and DDT are only weakly estrogenic.
 - No association had previously been demonstrated for high DDT and PCB exposure.
 - Breast cancer incidence has increased while levels of organochlorines have decreased.
 - Diet contains high levels of anti-estrogenic and estrogenic compounds.
- (3) Hunter et al., N. Engl J Med 1997; 337:1253-8.

data on 236 women with breast cancer "do not support the hypothesis that exposure to DDT and PCBs increase the risk of breast cancer."

This is consistent with finding by

 - Krieger 1994
 - Jan't Veer 1997
 - Lopez-Carrillo 1997
 - Robbins 1997

b. Decreased Sperm Counts

- Carlsen et al. 1992 -- 50% decrease in sperm counts.
- Other Studies report no decline.
- Men exposed to DES in utero demonstrate no decrease in fertility.
- There are remarkable regional differences in sperm count.

c. Testicular Cancer

- There is an inconsistency between potential exposures and effect. In the U.S. testicular cancer appears to be a disease of upper class white males.
- d. Neurological dysfunction in children exposed to PCBs.
 - e. Diethylstilbestrol (DES) – therapeutic doses
 - 250-350 mg/kg total DES Exposure over 3 months (13-19 gm)
 - DES is 5 times more potent than Estradiol
 - This is equivalent to 150 yrs. of normal female estradiol response in just 3 months.
3. Is there evidence from laboratory studies?
- a. In vitro bioassays.
 - (1) Yeast Cell Bioassay
 - (2) E-screen
bisphenol-A
 - b. In vivo bioassays.
 - (1) Variety of effects reported -- mostly at high doses.
 - (2) vom Saal, 1997, claimed that bisphenol A exposures in fetal mice led to a significant increase prostate size.
 - 7 mice
 - low dose issue
 - suggested cause for prostate cancer
 - (3) Sharpe letter to Environmental Health Perspectives.
 - (4) SPI and others (e.g., John Ashby) have not been able to replicate vom Saal's work.
4. Synergy
- a. In 1996 researchers reported that a mixture of two weak environmental estrogens (pesticides) were 1600 times more potent than either chemical alone.

THIS RECEIVED MUCH ATTENTION

- The head of U.S. EPA's endocrine effort stated this is the "best case for synergy between chemicals at low doses that I have ever seen."
 - One of the authors admitted that the study was a "basis for public policy."
 - The study was released just when the U.S. Congress was considering including endocrine screening and testing provisions in the Food Quality Protection Act.
- b. Others were unable to reproduce these results. Raniamoorthy et al., *Science*, 275:405 (1997).
- c. McLachlan and co-workers (the original researchers) could not reproduce their own work. McLachlan withdrew the 1996 publication. *Science*, 277:459:460 (1997).
5. What do others say about the Science?
- a. "There is insufficient evidence of any adverse effect in humans at environmental levels."
 - EPA's Risk Assessment Forum. Special Report on Environmental Endocrine Disruption: An effects Assessment and Analysis. EPA/630/R-96/012 (Feb. 1997)
<http://www.epa.gov/ORD/WebPubs/endocrine/>
- b. "There is insufficient evidence to link chemical exposures to endocrine effects in humans."
 - European Environmental Agency (March 1997)
- c. The National Research Council of the U.S. National Academy of Science has been critically reviewing the scientific literature concerning endocrine disruption. The NRC report is expected in mid 1999 (?).

B. Is There a Current Threat to Wildlife Or Humans?

1. No clear evidence of endocrine disruption in humans exposed to environmental concentrations of naturally occurring or man-made chemical substances.
2. There may be some evidence of effects in wildlife.
 There may be a few areas of high exposure.

Exposures are decreasing.

C. Should We Be Concerned?

1. Endocrine Disruption is still a hypothesis.
2. Whether chemicals present at low levels in the environment may pose a human or wildlife health threat is a Fair Question.
 - The hypothesis must be tested.
 - Little is being done to test the hypothesis.
3. The scientific evidence at this time does not suggest that we should be overly concerned.

D. Some Ignore the Science and Use the Precautionary Principle.

1. Should We Ban All Chemicals Until They are Proven Not to Adversely Affect the Endocrine System?
2. The Precautionary Principle
 - a. Second International Conference on the Protection of the North Sea, London, 24-25 (1987)

" . . . [Reduction of PTBs] applies especially when there is reason to assume that certain damage or harmful effects on the living resources are likely to be caused by such substances, even when there is no scientific evidence to prove a causal link between emissions and effects . . . "
 - b. Principle 15, Rio Declaration on Environment and Development (1992).

" . . . the precautionary approach shall be widely applied by States according to their capabilities. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation.
3. When and how should the Precautionary Principle be applied?
 - a. There should be evidence of significant risk.

- b. Conservative assumptions in risk assessment may make it unnecessary to apply the Precautionary Principle.
 - This may make it possible to use the available science rather than simply discarding it.
 - c. Costs and benefits must be considered when applying the Precautionary Principle.
4. What are the Risks of Banning Chemicals?
- a. Pesticides and other chemicals are necessary for a sufficient and safe food supply. Pesticides can have a beneficial environmental effect.
 - b. Plastics are used in place of natural products such as wood, ivory, and baleen. They reduce some known risks posed by glass.
 - c. Chemicals have contributed to our standard of living (clothing, transportation, health care, food, entertainment) and increased average life span in the U.S. (from 35 years in the early 1900's to greater than 70 years today).
 - d. Could we create real risk as we chase hypothetical risks?

In the late 1980's, EPA focused attention on the perceived health risks of chemicals produced during the chlorination of drinking water. This resulted in actions by some local water authorities in Peru to reduce or discontinue chlorinating their water supplies. This action contributed to a cholera epidemic that began in 1991 and spread to 19 countries over five years. The epidemic resulted in over one million cases of cholera and nearly 12,000 deaths.

(See, Anderson, C. Cholera epidemic traced to risk miscalculation, *Nature* 354:258 28 Nov. 1991. Otterstetter, H., Craum, G., Disinfection in the Americas A Necessity. *AWWA Journal*, September 1997, p.8.

- e. How many lives have been saved by DDT?
 - Dr. Bruce Ames, estimates 500 million lives have been saved by DDT (U.S. Senate testimony, March 6, 1997.)
5. We shouldn't allow unacceptable risks, but we must not create new real

risks in an attempt to address hypothetical risks.

VI. U.S. EPA ACTIVITIES ON IMPLEMENTING THE EDSP LEGISLATION.

A. The Endocrine Disruptors Screening and Testing Advisory Committee (EDSTAC).

1. The EDSTAC is a chartered Federal Advisory Committee charged with helping EPA develop an endocrine screening program. Membership consists of representatives from industry, the environmental community universities, and government agencies.
2. The EDSTAC has determined that:
 - a. Ecological and wildlife effects should be considered, and
 - b. In addition to estrogenic effect, screening/testing should include anti-estrogenic, androgenic, anti-androgen, and thyroid hormone effects.
3. EDSTAC published a final report in August 1998.
www.epa.gov/opptintr/opptendo/finalrpt.htm

B. Structure of the EDSTAC Screening and Testing Program

1. Prioritization
 - a. 75,000 chemicals
 - b. Mixtures
 - c. High Throughput Prescreening (HTPS)
 - Validation
 - 15,000 chemicals.
2. Screening (T1S)
 - a. \$350K/chemical or mixture
 - b. High false positive rate
 - c. Validation
3. Testing
 - a. \$1.25M/chemical or mixture
 - b. Validation

C. Key EDSTAC Issues

1. Mixtures are Included
 - a. Cosmetics (botanicals), cleaners could receive high priority because of production volume and potential exposure
 - b. Demonstration Program - T1S
 - (1) Contaminants in human breast milk
 - (2) Phytoestrogens in soy-based infant formula
 - (3) Mixtures of chemicals most commonly found at hazardous waste sites.
 - (4) Pesticide/fertilizer mixtures
 - (5) Disinfection byproducts
 - (6) Gasoline
2. The low-dose issue
3. Validation of assays
4. Communication issues
 - The definition/description of endocrine disruptor, HTPS, T1S and T2T.
 - High false positive rates.

D. U.S. EPA Implementation of the Endocrine Disruptor Screening Program (EDSP)

1. On December 28, 1998, U.S. EPA published its EDSP Proposed Statement of Policy (63 Fed Reg 71,542).
www.epa.gov/fedrgstr/EPA-TOX/1998/December/Day-28/t34298.htm
2. U.S. EPA adopted most of the EDSTAC recommendations.
3. Public comments were due February 26, 1998.
4. EPA ^뮐 Science Advisory Board review took place March 30 - April 1, 1999.
5. Will EPA meet the deadline set by Congress?

E. The U.S. government has taken no special regulatory activity concerning

endocrine disruptors.

VII. CHEMICAL INDUSTRY CONCERNS

- A. Communicating the Results of Prescreening, Screening and Testing.
 - Industry objects to creation of lists.
- B. Product Deselection.
 - The timing issue.
- C. Validation.
- D. Low-dose Testing.
- E. Improper use of the Precautionary Principle

VIII. INTERNATIONAL EDC ACTIVITIES

- A. International Council of Chemical Associations (ICCA)
 - 1. Members in:
 - a. North America
 - (1) U.S. - The Chemical Manufacturers Association (CMA)
 - b. South America
 - c. Japan - Japan Chemical Industry Association (JCIA)
 - d. Australia
 - e. South Africa
 - f. Europe - European Chemical Industry Council (CEFIC)
 - 2. ICCA Endocrine Coordinating Group
 - 3. **www.icca-chem.org**
- B. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
 - 1. 29 countries, including Korea.
 - 2. Working to validate 3 EDC tests (uterotrophic, Hershberger, and OECD Test Guideline 407)
 - 3. Japan will use OECD tests.

4. Need to harmonize U.S. and OECD program.

5. **www.oecd.org/ehs/endocrine.htm**

C. Regulatory Activities

1. Bans on PVC/phthalates in children ^뽀 toys.

2. Polystyrene in Japan

D. Strategy for industry.

1. Actively work with Government agencies/ministries.

2. Coordinate internationally.

3. Harmonize EDC screens and tests.

4. Research to test the Endocrine Disruptor hypothesis.

5. Insist on validated screens and tests.

6. Proper communication of scientific evidence and testing results.

7. Object to the use of the Precautionary Principle as a method to ignore the science.

Appendix-2. 각 분과별 토의 내용

1) 제 1 분과(플라스틱 분야)

1. 발표 및 토의자

- 주제발표
 - . 플라스틱 분야 EDC 의심물질 (이 재홍 박사)
 - . 플라스틱 첨가제 분야 EDC 의심물질 (김 회영 박사)
- 좌장 및 서기
 - . 최 주섭 상무(한국발포스티렌재활용협회)
 - . 이 경우 소장 (주. LG화학 PVC 연구소)
- 토의자 : 총 28명(부록명단 참조)

2. 토의 결과 요약

- 유해성에 대한 과학적 규명이 미결된 상태이므로 “ ECD 의심물질”로 용어 통일필요
- ECD 의심물질별로 일부 오해되는 용어 등 사항은 시정되어야 함
- 유해성평가가 선행연구되어야 함
- 대체물질개발이란 단어는 기존물질에 대한 유해성을 인정하는 것이므로 업계에서는 수용할 수 없음.(일부 반대의견 제시)
- 연구사업은 저감 기술분야를 우선 실시하고 부득한 경우 대체물질 개발을 “청정기술개발”로 용어를 변경.
- 제시하는 대체물질과 기존물질과의 LCA 평가가 선행되어야 함.

3. 토의내용

- ▶ **국내의 산업계 현황 및 애로사항의 적정성**

① 이 경우 (LG 화학)

- Dioxin의 발생원은 PVC가 아닌 소각로이고, 소각로에 투입되는 염소원은 음식물, 공기중의 염소등이 포함되어 있다.
PVC는 도시형 쓰레기중의 1%정도이다.
- 프탈레이트계 가소제는 인체내에서는 대사로 되어 분해되는 물질이다. 특히 물에서도 20일 이내에 거의 분해되는 것으로 알려져 있으며 EDC의 의심을 받는 시험대상은 설치류로써 영장류와는 대사메카니즘이 다르다.
- EDC 의심물질로 대체활동이 공개적일 경우에 오히려 산업계에 큰 영향을 줄 수도 있으므로 이러한 모든 상황을 공정하게 판단하고 연구과제를 추진할 필요가 있다.

② 황 무영 (한국다우케미칼)

- BPA와 관련 이 물질에 아직 EDC로 의심이나 판명된 것은 아님.
- 공정한 기관에서는 좀 더 직관적인 연구과제와 언론의 rumor에 의한 영향을 검토할 필요가 있음.

③ 손 해인 (한국플라스틱재활용협회)

- 일회용품의 대체개발과 개발에 따른 예산연구 필요

④ 심 기형 (영보화학)

- EDC 물질로 판정된 이후에 개발을 시작하면 늦으므로 대체물질에 대한 개발이 시급
- Mr. Quill의 의견을 참조하여 과제선정에 더욱 신중할 필요가 있을 듯.
- 유해성에 대한 과학적 규명이 미결된 상태이므로 환경호르몬이라는 명칭을 EDC 의심물질로 수정할 필요성
- EDC 의심물질별로 일부 오해되는 용어 또는 품목(예: 우유병, PC 생수통 등)은 시정되어야 함.

▶ 연구주제에 대한 의견 및 도출된 연구주제의 적합성

① 전 동인 (코맥스 산업)

- EDC에 대한 명확한 규명과 기준설정의 필요성 : 유해성여부 규명, standardization
- 현실적인 문제 점검
- 국민의 언론에 대한 신뢰성 문제
- 정부의 활동(예산, 연구등)이 너무 늦으므로, 선도적인 자세가 필요함.
- 정부 data에 대한 신뢰성과 경쟁력을 키우기 위해선 연구와 위해성평가가 선행되어야 함.

② 나 근배 (한국플라스틱재활용협회)

- 저감기술/대체소재 개발등의 연구과제는 필요 없을 듯.

③ 석 용찬 (화남인더스트리)

- 과제에 대한 제안을 점검할 필요
- LCA(Life-cycle assessment) 평가의 필요성

④ 오 원석 (한국플라스틱재활용협회)

- 과제에 대한 방향제시가 필요함
- 위해성 규명이 선행 또는 병행되어 이루어져야 함.

⑤ 박 귀례 (KFDA)

- 업계의 대책을 도와주는 방향에 대한 논의
- 대체물질은 업계끼리 상반된 견해를 가질 수 있음:

⑥ 이 병철 (주. 새한)

- PET, Nylon 계 확장연구 요망

2) 제 2분과 : 산업 및 환경오염물질 분야

▶ 유기염소계 환경호르몬 저감 방안 (황정엽박사)

- 연구과제 우선순위를 정할 때 필요성, 중요성, 적합성, 차별성, 가능성의 점수화의 객관화가 어려우나 최대한 점수화하여 이를 우선순위 결정에 사용할 예정.
- PCB는 대체물질 개발보다는 공정개발로 중점 연구

▶ TBT와 Nonylphenol을 중심으로(이윤우박사)

3) 제 3 분과 (농약 · 의약 · 중금속 분야)

▶ 과제 도출

- (1) 위해성과 관련 농약, 의약분야에서 향후 연구추진방향과 대응책
- (2) 시험대상약제 연구비 문제, 시험물질 Test guideline의 harmonization
- (3) OECD와 US EPA의 타협방향 : 국내 산업에 미치는 파급효과 및 영향
- (4) 동부한농 : 기업체가 입는 타격과 농업생산량의 감소간의 갈등
현재로서는 심각성을 느끼지 않음
- (5) 기존 독성 평가 화합물에 대한 재독성시험에 의한 안전성 확보
low dose, long term exposure에 대한 문제
기존 독성시험 항목에 추가항목 설정 및 독성 시험농도의 조정

- (6) 의약 분야 : 의약 제형(formulation)시 additives에 대한 분류 및 재평가
- (7) 고무생산관련 : EDC가 아닌 환경규제물질의 독성문제가 오히려 심각, 생산 공정 중 suspected chemicals의 발생시 data 부재 (eg, N-nitrosoamine)
- (8) 경농 : 농약원제의 실제 합성은 외국기업이 주이므로 원제회사에서 우선적인 독성문제, 시험문제를 해결할 것이라 예상되므로 국내에서는 제형시 formulation additives에 대한 독성문제 연구
- (9) EDC's 대응 환경부의 중장기 연구 계획
- (10) 공인된 분석기관 설립 및 인력확보

▶ 산업적 파급효과

- (1) 중금속 : 대상 화합물이 명백하므로 연구가 용이할 것이라 추정
Toxicity test guideline의 개발이 필요한가 ?
- (2) EDC관련 연구를 지원시 무슨 연구를 할 것인가?
 - EDC 유해성의 database 구축
 - Test system 구축(독성, 분석연구기관)
 - QSAR를 통한 EDC's의 toxicity 연구 (QSTR: quantitative structure toxicity relationship)
 - EDC's의 환경내에서 독성발현 정도연구
 - 원제사에 대한 규제는 정부가
 - Endocrine Mimetic Reaction Research
 - Basic Research의 부재가 심각

대상	규제여부		EDC규제시 산업파급효과	종합적 대응책	구체적인 과제도출
	EDC규 제	기존 독성 규제			
중금속 농약 Specialty Chemicals (Fine chemicals)	시험중	중금속: 대기, 수질, 토양환경보존법 농약: 농약의 독 성과 잔류성 시험법 MSDS: Specialty Chemicals (Fine chemicals)	농약 - 기술중속 심화에 의한 로열티 지 금액의 증가 - 제품 개발 및 유 지 시험비의 증 가	1. EDC 유해성 Data Bank 확립연구 2. EDC test system 구축 3. SEDR 연구 및 대 체물질 개발연구 4. Database 구축연구 5. Endocrine mechanism 반응 research	- 폐광산 오염된 대기 중의 수은 과 납의 저장기술 개발 중금속을 함유하지 않는 전착도료의 개발 - 기존물질에 대한 Data 수집정리 - Specialty Chemicals (fine chemicals)과 신 규 Chemical의 EDC 여부조사 system - 이차생성물의 EDC 여 부조사 - 식품, 농약 EDC 여부 조사

4) 제 4분과 (위해성 평가 분야)

▶ 토의내용

- 현황분석 : 산업계의 애로사항에 대한 현재 연구진들이 해놓은 것은 타당하다고 볼 수 있고, 산업계를 위한 보완이 필요하다.
- 보완이 가능한가?
- 연구주제의 적합성 - EDC 정보구축을 할 때 산업계를 감안한 우선순위 설정과 정보구축이 필요하다.
- 정보의 평가 및 망구축의 필요성 : 산업계와 국민들 모두가 이해할 수 있고, NGO까지도 평가에 참여하여 정보구축을 해야한다.

(1) 설문지조사 실태조사는?

(2) 제안된 연구내용에 대한 우리 나라의 준비사항(현황분석)은?

- 우리 나라에 대한 연구가 이루어 지고 있지 않음

(3) 무해하다는 정보를 가지고 있는가?

- 내부의 대책협의회:기술적인 측면 부족, 정도가 아닌 방법으로 무마시키려함.
간접적인 자료를 가지고 있을뿐, 각자의 물질에 대한 자료를 가지고 있지 않다.

내부에 협의회가 있어도 탁상공론일 뿐이다.

(4) 관련 정보체제 구축 및 산업계 확산은?

- 정리된 정보를 정리하여 무조건 발표할 것이 아니고, 산업계에 파급될 것을 생각하며 보완을 해야 할것이다.

정보의 평가 및 망구축이 필요하다.

(5) 극미량 분석법 개발 - 현장적용 가능한 것

- 작업자에게 피폭되는 양과 환경에 노출되는 양(생산자와 소비자 측면 모두 포함)
- 노출경로별로 노출양 분석법과 간이적이 분석법이 필요

(6) 산업 현장 적용 가능 독성 스크리닝 방법 개발

- 수정이 필요하다. - 신속 정확한 독성 스크리닝 방법 개발(시험방법의 차별화/간이 독성 분석법?), 산업현장 적용 가능한 극미량 분석법 개발
=> EDC에 자유로운 분석을 할 수 있는 실험실이 필요하다(EDC에 자유로운 분석을 할 수 있는 실험실을 구축하는데 정부의 지원이 필요하다)- 4번째 순위(EDC 스크리닝 센터의 지원 개발)로 하여 주었으면 함.

(7) 소요예산

- 중장기적인 연구개발이 필요하다.
- 연구진에 의해 책정한 것이 적정하다.

(8) 기대효과

▶ 연구과제 및 우선순위

기획(안)	수정(안)
1. 관련 정보체제 구축 및 산업계 확산 2. 극미량 분석법 개발 3. 산업 현장 적용 가능 독성 스크리닝 방법 개발	1. 관련정보의 평가 및 D/B 구축 2. 산업현장 적용 가능한 분석법 개발 3. 신속, 정확한 독성 스크리닝 방법 개발 4. 국가적인 EDC 스크리닝센터의 지정 육성

5) 종합토의 내용

- (1) 1~4 분과 모두 체계적 정보구축 및 관련정보 공유를 산업체의 환경호르몬 관련 연구 우선순위에 둬 : 정확한 정보와 risk communication 의 필요성
- (2) EDC의 현황분석은 적절하나 연구과제는 광범위한 면이 있으며, 제안된 예산은 적절하다고 사료됨
- (3) 위해성 평가를 위해서는 궁극적으로 분석 data가 필요하므로 분석기술과 독성평가 기술이 개발되어야 함
- (4) EDC screening center 설립추진
- (5) 설문조사결과의 구체화 필요 (산업체의 EDC 관련 연구우선순위)
 - 체계적 정보구축이 우선순위에 들어 있는데 어떤 정보를 구축할 것인가에 대한 구체화
 - 대체물질/공정/저감기술 개발이 나온가 외국의 것을 도입하는 것이 나오는지? 정부가 기업을 위해 이 부분을 현실적으로 support 할 수 있을지?
 - 설문내용이 과기부, 환경부의 관점에서 설정된 것이 아닌가? 답) 환경부가 산업체를 대상으로 지원해야 할 내용에 주안을 둬
- (6) EDC 또는 의심물질에 대한 국내 상황조사는 되어 있는지?
어떤 물질에 우선순위를 둘 것인가? 답) Bisphenol-A
- (7) 환경연구원, 식약청에서 규제대상 chemical을 이미 선정해 두었는지? 그렇다면 어떤 근거로 규제대상 chemical을 선정했는지?
- (8) EDC를 어떻게 어떤 정도로(규제정도) 규제할 것인가에 대한 기준설정
- (9) 용어에 의해 받는 산업체의 타격이 크므로 용어대체가 필요:
 - 대체물질 → 환경친화적 물질
 - 대체공정 → 환경친화적 물질생산 공정