

M103EB000005-
03E0200-00510

에너지 환경 기술개발 중장기 전략 수립 연구

Mid/Long Term Strategic R&D Plan of Energy
and Environment Technologies

연 구 기 관

한국에너지기술연구원

과 학 기 술 부

제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 환경 기술개발 중장기 전략수립 연구” 과제 의 보고서로 제출합니다.

2004 . .

주관연구기관명 : 한국에너지기술연구원

주관연구책임자 : 윤 형 기

연 구 원 : 문 승 현

” : 정 현

” : 이 상 남

” : 이 동 원

” : 김 종 남

보고서 초록

과제관리번호		해당단계 연구기간	2003.4.30 -2003.12.31	단계 구분	(1) / (1)
연구사업명	중 사 업 명	특정연구개발사업			
	세부사업명	연구기획사업			
연구과제명	중 과 제 명				
	세부(단위)과제명	에너지 환경 기술개발 중장기 전략 수립 연구			
연구책임자	윤 형 기	해당단계 참여연구원수	총 : 11 명 내부 : 6(5) 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 천원 기업: 천원 계: 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국에너지기술연구원 시스템연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)					보고서 면수
<p>에너지·환경 분야의 중장기 추진 핵심기술 분야의 선정을 위하여 ① 국내외 산업의 현황과 전망, ② 국제적 기술 추세, ③ 국제적인 환경 규제, ④ 미래 산업의 기술 예측, ⑤ 기존 계획의 분석을 수행하였다. 본 연구사업에서는 21세기 프론티어 연구개발사업이나 청정생산 기술개발사업과 같이 대규모 중장기 프로그램으로 진행중인 사업과의 중복성을 피하면서 상호 보완적인 관계가 될 수 있도록 선정하였다.</p> <p>에너지분야의 핵심추진기술은 ① 에너지 절감 효과가 크고, 산업에 파급되는 효과가 큰 기술, ② 국제적으로는 중점 추진되나 국내에서는 기술개발이 미흡한 기술, ③ 부존에너지 활용 기술, ④ 향후 거대한 시장이 형성되는 기술 등을 기준하여 8대 기술을 선정하여 세부 기획하였다. 8대 기술은 1MW SFES 개발, 신 탄화수소 에너지 기술개발, 바이오매스 신에너지 자원화 기술개발, 미래형 GEN Building 기술개발, 하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발, 차세대 박막 태양전지 기술개발, 해상 풍력발전시스템 개발, 조력·조류 발전 기술개발 이다.</p> <p>환경분야의 핵심추진기술은 제1세대 기술(환경오염물 저감 기술)에서 제 2, 3세대 기술(청정생산기술 및 환경복원 기술)까지를 포함하면서 emerging technology 기준하여 4대 기술을 선정하여 세부 기획하였다. 4대기술은 입자상 오염물질 저감 기술개발, 유해물질 제어 고도수처리 기술개발, Zero Emission Research Park, 토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가 기술이다.</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	에너지, 환경, 연구기획, 국가기술지도, 환경기술			
	영 어	ENERGY, ENVIRONMENT, R&D PLAN, NTRM, ET			

요 약 문

I. 제 목

에너지 환경 기술개발 중장기 전략 수립 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

에너지 환경 기술개발 계획 및 국내외 최신 연구동향을 중점 분석하여, 우리나라의 에너지 환경 분야에 필요한 중장기적인 전략을 수립을 목적으로 한다. 특히 현재 수립된 국내의 에너지환경 관련 기술 개발 계획들은 "무엇을 할 것인가"에 초점이 맞추어져 있고 이러한 기술의 개발을 위한 방법론이 구체적으로 제시되어 있지 않으므로 "어떻게 할 것인가"라는 방법론에 대한 중장기적인 전략을 제시하고자 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 에너지 환경 기술개발 중장기 추진전략 수립
- 우리나라 중추 산업으로 발전할 ET분야 신 기술 도출
- 상기 신기술분야의 추진전략 수립(소요예산 및 부처별 역할분담 포함)
- NTRM 기술개발 우선 순위 도출 및 효율적 추진 방안 수립

IV. 연구개발결과

핵심기술 분야의 선정을 위하여 ① 국내외 산업의 현황과 전망, ② 국제적 기술 추세, ③ 국제적인 환경 규제, ④ 미래 산업의 기술 예측,

⑤ 기존 계획의 분석을 수행하였다. 본 연구사업에서는 21세기 프론티어 연구개발사업이나 청정생산기술개발사업과 같이 대규모 중장기 프로그램으로 진행중인 사업과의 중복성을 피하면서 상호 보완적인 관계가 될 수 있도록 선정하였다.

에너지분야의 핵심추진기술은 ① 에너지 절감 효과가 크고, 산업에 파급되는 효과가 큰 기술, ② 국제적으로는 중점 추진되나 국내에서는 기술개발이 미흡한 기술, ③ 국가 에너지 안보를 확보하는 부존에너지 활용 기술, ④ 향후 거대한 시장이 형성되는 기술 등을 기준하여 아래와 같이 도출하였다.

- 고 신뢰성 전력시스템 분야(1MW SFES 개발)
- 신에너지/자원 분야(신 탄화수소 에너지 기술개발)
- 바이오에너지 분야(바이오매스 신에너지 자원화 기술개발)
- 건물에너지 분야(미래형 GEN Building 기술개발)
- 에너지소재 분야(하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발)
- 태양에너지 분야(차세대 박막 태양전지 기술개발)
- 풍력에너지 분야(해상 풍력발전시스템 개발)
- 해양에너지 분야(조력·조류 발전 기술개발)

환경분야의 핵심추진기술은 제 1세대 기술(환경오염물 저감 기술)에서 제 2, 3세대 기술(청정생산기술 및 환경복원 기술)까지를 포함하면서 emerging technology요소를 구비하고 있는 기술들을 아래와 같이 도출하였다.

- 대기오염 저감 분야(입자상 오염물질 저감 기술개발)
- 수질오염 저감 분야(유해물질 제어 고도 수처리 기술개발)
- 폐기물 처리 기술 분야(Zero Emission Research Park)
- 환경복원 기술 분야(토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가기술)

V. 연구개발결과의 활용계획

국가기술지도(NTRM)에서 수립된 에너지·환경분야의 기술개발을 효율적으로 추진하기 위한 기획보고서로 활용하는 것이 바람직할 것이다.

S U M M A R Y

I. TITLE

Mid/Long Term Strategic R&D Plan of Energy and Environment Technologies

II. OBJECTIVES AND NECESSITY OF STUDY

Based on the detailed analysis of the state of the art of energy and environment technologies, it is necessary to draw the mid/long term strategic R&D plan of them. This study suggests not what to do but how to do.

III. CONTENTS AND SCOPE OF STUDY

A mid/long term strategic R&D plan of energy and environment technologies will be drawn.

IV. RESULTS OF STUDY

New 11 emerging technologies are strategically suggested with the detailed action plan.

V. APPLICATIONS OF STUDY

It is recommended to use this study as the preliminary result for effective action plan of energy and environment technologies drawn on NTRM.

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 범위 및 내용	4
제 3 절 중점 추진 분야의 선정 기준	6
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	7
제 1 절 에너지기술 분야	7
1. 국내·외 에너지 현황 및 전망	7
2. 국내·외 에너지관련 기술 개발 동향	10
제 2 절 환경기술분야	18
1. 국내·외 환경관련 산업의 현황과 전망	18
2. 국내·외 환경관련 기술 개발 동향	21
3. 국제 환경협약에 따른 국내 기술개발분야	27
4. 미래 환경산업 및 기술 예측	29
5. 국내 환경 관련 기술개발 계획	32
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	36
1 MW SFES 개발	39
새로운 유형의 탄화수소 에너지 개발	71
바이오매스 신에너지 자원화 기술 개발	103
미래형 GEN Building 기술 개발	117
하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발	141
차세대 박막 태양전지 기술 개발	169

해상 풍력발전시스템 개발	193
조류·조력 발전 기술개발	215
입자상 오염물질 저감기술 개발	237
유해물질 제어 고도 수처리 기술 개발	267
Zero Emission Research Park 개발	293
토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가 기술	319

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구의 배경 및 목적

1990년대부터 에너지·환경 분야에서는 지구온난화와 오존층파괴를 비롯하여 폐기물 문제, 생물다양성문제, 해양오염문제 등 에너지와 환경이 복합적으로 연계되면서 여러 국제협약이 발효되었고 이에 따라 지구환경보전이라는 명제로 새로운 환경, 에너지 기술 개발의 필요성이 대두되었다. 환경기술은 국가의 독자적인 선택이 아니라 국제적으로 부과된 의무사항을 지키기 위하여 필수적으로 갖추어야 할 기술로 부각되었고 에너지 분야에서 환경에 대한 고려는 필수적인 사항이 되었다.

1990년대 후반부터 “지속가능한 발전”이 가장 우선시 되어야 할 사회발전모델로 제시되었고, 1997년 교토의정서와 2001년의 도하개발 의정서는 환경과 무역이 연계되는 계기가 되었다. 경제적인 관점에서 보면, 무역에서 환경 및 지구온난화의 문제는 필수적으로 연계되는 항목이 되었다. 이에 따라, 에너지 소비량에서 세계 10위를 차지하고, 사용에너지의 97%를 수입에 의존하고 있는 우리나라의 산업구조와 에너지 소비구조는 더욱 경쟁적이고 효율적으로 개선되어야 하며 에너지기술과 환경기술이 이를 뒷받침해야 할 필요성이 증대되고 있다.

2001년 과학기술기본법이 제정되고, 이에 따라 제9차 국가과학기술위원회에서 “과학기술기본계획”이 확정됨에 따라 향후 5년(2002~2006)간 과학기술에 대한 국가차원의 정책 방향이 제시되었다. 기술선진국과의 격차를 좁히기 위하여 선택과 집중의 원칙 하에 미래 유망 신기술 분야로 6T(IT, BT, NT, ST, ET, CT)기술 분야가 선정되었고 환경(ET)기술 분야에서 중점적으로 개발되어야 할 기술로 환경기반기술 및 에너지기술이 있다.

미국을 비롯한 선진국에서도 기초 및 응용기술 연구개발단계에서는 국가 주도로 연구개발 프로그램(미국 : DOE, EPA 등, 일본 : NEDO, 유럽 : EU 과학연구개발총국)을 수행하고 있다. 1990년대의 국가별 에너지 기술개발 환경을 살펴보면, 미국은 제반 에너지 기술 분야에서 에너지성(DOE)을 중심으로 전세계의 선도적 역할을 꾸준히 추구하고 있다. 일본에서는 지구온난화를 비롯한 지구환경문제와 에너지문제가 불가분의 관계를 가지므로 에너지 제약과 환경제약의 균형을 맞추는 종합적 관점에서 기술개발정책을 검토하기 시작하였고, 1993년에는 기존의 Sun shine project와 Moon light project를 에너지와 환경

기술을 유기적으로 연계시키는 종합적 기술개발 프로그램인 New sunshine project로 통합하여 추진하고 있다. 21세기를 맞이하여 인류가 직면한 과제에 대응하고 새로운 산업을 창출할 수 있는 기술혁신을 위하여 Millennium project를 총리실 주관 하에 추진하고 있다. 유럽에서는 EU 회원국의 에너지 기술 개발을 활성화하기 위하여 R&D사업인 JOULE-THERMIE 프로그램, 에너지절약을 위한 SAVE프로그램, 그리고 대체에너지의 개발 및 보급을 위한 ALTERNER프로그램과 에너지효율 향상과 재생 가능한 에너지 개발을 위하여 Intelligent Energy for Europe프로그램을 추진하고 있다.

환경기술은 오염물질을 효율적으로 처리하기 위한 제1세대 환경기술(후처리 기술)에서 오염물의 발생을 최소화하는 제 2세대 환경기술(청정생산기술)을 거쳐 환경/생태와 경제가 상생하는 제3세대 환경기술(통합적 환경관리기술)로 패러다임이 전환되고 있다. 미국은 1993년도에 이미 국가환경기술전략(Environmental Technology Initiative)을 수립하여 추진하고 있으며 일본은 차세대 3대 유망산업의 하나로 환경(ET)기술을 선정하여 집중 육성하고 있다. 유럽에서는 미국, 일본 등에 공동 대응하기 위하여 청정기술, 신 제조공정 기술, 재활용기술 등의 기술 개발을 위한 EUREKA, ACE, NETT프로그램을 실시하고 있다.

이상과 같이 에너지, 환경 분야의 연구개발은 각 나라에서 자국의 사정에 맞는 Technology Road Map과 장·단기 기술개발 전략을 수립하여 장기적이고 체계적인 연구개발 추진체계 하에서 이루어지고 있으며, 우리나라도 국가의 전체적인 연구개발 관점에서 “국가기술지도”를 구성하였고, 환경기술의 측면에서 “차세대핵심환경기술개발사업10개년”, 에너지기술의 관점에서 “에너지기술개발10개년” 등의 계획이 수립되어 있다. 하지만 상기의 계획들이 개별적으로 그리고 분산되어 추진되고 있어 중복투자와 비효율적인 연구개발의 우려가 있다.

본 연구에서는 이러한 기존의 계획들을 총체적으로 점검하고 세계적인 최신 연구동향을 중점 분석하여, 향후 10년간 우리나라의 에너지, 환경 분야에 필요한 중장기적인 전략을 수립하고자 하였다. 특히 각 나라의 기술수준과 여건이 상이하므로 상호 비교, 분석과 Bench-marking을 통하여 우리나라의 여건에 맞으며 국제적으로 선도할 수 있는 중점 기술 분야를 도출하고, 한정된 재원의 효율적 활용을 위해 각 기술의 시급성, 성공가능성, 파급효과, 투입규모 등을 종합적으로 고려한 우선순위를 바탕으로 개발 계획을 수립하였다. 더욱이, 현재 수립된 국내의 에너지, 환경 관련 기술 개발 계획들은 "무엇을 할 것인가"에 초점이 맞추어져 있고 세부적인 방법론이 구체적으로 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 "어떻게 할 것인가"라는 방법론에 대한 중장기적인 전략을 보완하고 제시하였다.

한편으로 현재 우리나라의 산업을 이끌고 있는 반도체 산업과 자동차 산업에 대한 세계 각국의 견제와 경쟁이 심화됨에 따라 뒤를 이어 우리나라 산업을 견인할 수 있는 신산업 분야를 개발할 필요가 있다. 신산업 분야로 각광받고 있는 6T 기술 중에서 에너지 분야는 모든 기술 분야의 바탕이 될 뿐 만 아니라 국가의 생존을 위한 필수 불가결한 요소이다. 또한 갈수록 세계화되어가고 있는 추세 속에서 지구보존을 위한 환경문제는 공통관심사로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 10년 후 에너지와 환경 분야는 매우 유망한 산업으로 떠오를 것이 분명하며 이러한 분야에서 신기술 분야를 도출하고 체계적인 연구 전략을 수립하는 것은 미래의 국가 산업 경쟁력 제고에 반드시 필요한 요소라 할 것이다.

부처별, 목적별 다양한 기획 존재

- 과학기술부 : 국가기술지도
- 환경부 : 차세대 핵심환경기술개발10개년종합계획
- 산업자원부 : 에너지기술개발10개년계획
- 차세대 성장동력



중복성 배제, 명확한 역할 확립, 구체적 Action Plan 수립 필요

제 2 절 연구의 범위 및 내용

에너지, 환경 분야 모두 국가기술지도에 제시된 기술군을 중심으로 하여 각 분야별로 중점 핵심추진기술을 선정하고, 각 기술의 세부적인 Action Plan 작성을 주요 연구내용으로 하였으며 향후 10년을 대상 기간으로 하였다.

국내의 기술과 관련 산업의 동향 및 전망, 현재 추진중인 기술개발 사업과의 중복성/차별성, 파급효과, 시급성을 고려하여 핵심기술 분야를 선정하였다.

차세대핵심환경기술개발사업10개년(2001~2010)종합계획, 에너지기술개발10개년계획, 국가기술지도 등 기존의 기획사업을 통하여 수립된 기술개발 계획과 이러한 계획의 수립을 위하여 실시한 설문조사 및 국내외 자료조사 내용을 참고하였다.

산업 및 기술 개발 동향 분석에서는 과학기술정책연구소에서 조사한 “한국의 미래기술”, “일본, 미국, 유럽 연구개발 프론티어” “일본과학기술청이 예측한 “2025년의 과학기술”, 산업자원부에서 조사한 “2010년의 산업기술예측과 장기발전전략” 과학기술부, 산업자원부, 정보통신부가 공동으로 추진중인 “차세대성장동력”을 참고로 하였다.

지난 5년간 국내에서 기 수행중인 대형 사업(연간 연구비 50억 원 이상)과 향후 진행될 사업(5년 이상, 연간 50억 원 이상)에 대하여 중복성을 고려하여 핵심기술 선정에서 가급적 제외하였다.

선정된 핵심 기술은 연간 연구비 50억 원 이상 10년의 연구기간에 대하여 계획을 수립하였다.

전체적인 내용을 에너지 분야와 환경 분야로 대별하여 각각의 분야에 대한 별도의 세부기술을 선정한 후 각 세부 기술에 대하여 세부 기획을 진행하였다. 각 세부 분야간에 공통되는 부분의 조정과 누락되는 분야에 대한 검토를 위하여 공동기획회의를 수시로 개최하였다.

추진 경과는 다음과 같다.

- 2003년 4월 30일 : 사업 시작
- 2003년 6월 15일 : 전문가 선정 (국가과학기술지도 분야별 팀장을 중심)
- 2003년 9월 24일-11월 26일 : 에너지와 환경 분야 각각 3차 기획회의
- 2003년 12월 16일 : 공청회(관련 분야 전문가를 중심으로 의견 수렴)
- 2003년 12월 31일 : 최종보고서 작성

에너지, 환경 분야의 추진 계획 실시

사업 시작(4.30) / 에너지, 환경분야 전문가 선정(6.15)



에너지 5개 분야, 환경 4개 분야 선정

산업과 기술의 현황, 추이분석, 진행중인 사업과 차별화



세부 중점 추진 분야 계획 수립

9. 24 - 12. 26 분야별 3차 기획 회의, 전문가 의견 수렴



최종보고서 제출

제 3 절 중점 추진 분야의 선정 기준

- 중점 추진 분야를 선정하기 위한 선정 기준으로 최근 5년간 일정 규모(연간 50억 원) 이상의 사업으로 추진한 적이 없거나 향후 5년간 대규모 사업 추진 계획에 기 책정되어 있지 않은 중점 기술을 대상으로 함.
- 국내에 존재하는 에너지 자원의 이용을 가능하게 하여 에너지 안보를 확보할 수 있는 분야를 우선으로 함.
- 국내외 관련 기술의 동향 분석에서 에너지 절감효과가 크고 다른 에너지 분야에 파급되는 효과가 큰 기술 분야를 우선적으로 선정함.
- 국내외 관련 기술의 동향 분석에서 파급효과가 크고 시급성이 요구되는 기술 분야를 우선적으로 선정함.
- 국제적인 환경규제 추세에 따른 기준의 달성을 위하여 반드시 갖추어야 할 핵심 요소기술 확보에 필요한 기술 분야.
- 미국, 일본, 유럽 등 환경 기술 선진국의 기술 개발 동향을 분석하여 국제적인 기술 수준에 동참하기 위해 필요한 기술 분야.
- 기존에 수립된 기획 결과와 현재 진행 중인 기획 사업 등을 전체적으로 고려하여 중복성을 최대한 피하면서 상호 보완적인 역할이 확보될 수 있는 분야 선정.



제 2 장 국내외 기술개발 현황

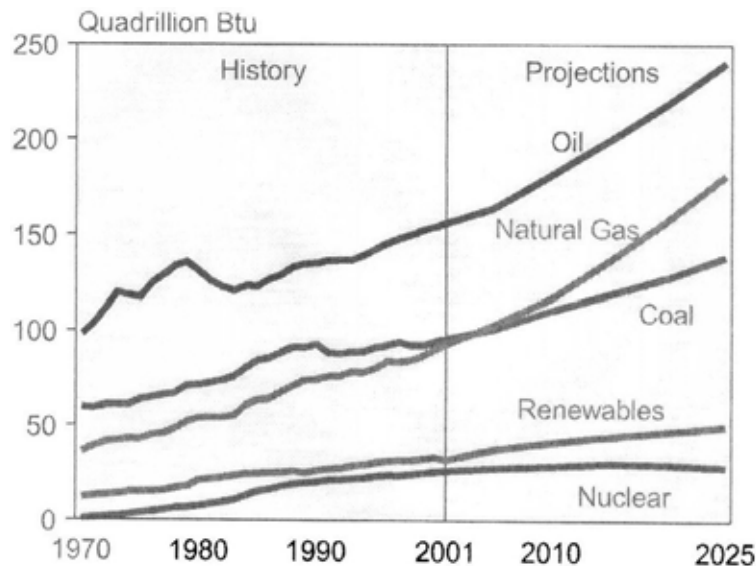
제 1 절 에너지기술 분야

1. 국내외 에너지 현황 및 전망

가. 세계 에너지 동향

전세계적인 1차에너지 소비는 2000년 9,090 백만TOE (398.9x1000조 Btu)에서 2025년 14,600 백만TOE로 60% 증가가 예상되고 연 평균 에너지소비 성장률이 전세계적으로는 1.9%이며 그중 선진국은 1.3%, 개발도상국은 2.8%이다(미국 DOE 예측).

각 에너지원별 전망을 보면, 천연가스의 증가폭이 연평균 2.8%로 가장 높고, 그 다음이 신재생에너지(1.9%/년), 석유(1.8%/년), 석탄(1.6%/년) 그리고 원자력(0.3%/년)의 순이다. ([그림 1] 참조).



[그림 1] 미국 DOE의 EIA가 전망한 전세계의 에너지원별 수요 전망.

에너지소비 전망에서 중요한 변수로는 경제성장률, 정치적인 사건(이라크 전쟁, 베네수엘라의 Chavez 정권의 안정성 등)에 의한 유가 변동 및 기후변화협약 의무사항 준수 등이 있다.

지구온난화에 80% 이상의 요인이 되는 이산화탄소의 배출량은 2000년 6,417 백만톤 소톤에서 2025년 10,361 백만톤소톤으로 61% 증가가 예상되고 연평균 발생량 증가율이 전세계적으로는 1.9%이며 그중 선진국은 1.3%, 개발도상국은 2.7%로 전망하고 있다(미국 DOE 예측).

지구온난화 방지를 위한 기후변화협약의 준수와 에너지관련 공해물질에 대한 배출규제는 에너지 소비량, 증가율 및 에너지원별 조성에 큰 영향을 미칠 것이다. Kyoto Protocol에 의하면 Annex I 국가는 1990년도의 온실가스 발생량을 기준으로 최소한 5%를 감량시키는 작업을 2008년에서 2012년 사이에 수행해야 한다. Annex I 국가들 중 미국과 호주는 불참을 선언하였으나, 이산화탄소 저감을 위한 기술개발 노력은 경주하고 있다.

Annex I 각국이 추진하는 온실가스 저감 정책의 많은 부분이 새로운 에너지기술의 개발에 관한 것들이고, 그 예들은 아래와 같다.

미국: 자동차, 트럭 등에서 배출되는 CO2 저감 기술

핀란드: 석탄발전소 대체 기술

영국: 전력공급에 신재생에너지 의무 공급량 명시에 의한 기술개발

덴마크 등: 탄소세 도입에 의한 에너지 신기술 개발

캐나다: 정부보조금 지급으로 건물에너지절약기술개발

EU: 한국과 일본의 자동차회사에 연비향상을 요구하여 기술개발

2002년 남아공 요하네스버그에서 열린 지속가능한 성장을 위한 세계정상회담에서 각국의 정상들은 에너지 관련된 기금의 출연을 다음과 같이 약속한 바 있다.

EU: Partnership initiative on Energy에 7억불

독일: 신재생에너지 보급 확대에 5억유로

영국: 아프리카에 연간 10억 파운드 지원

미국: Energy partnership project에 4천3백만불

일본: 5년간 환경관련 해외인력 5천명 교육훈련

E7 전력회사: 개도국과 지속가능한 에너지관련 기술 프로젝트를 수행

나. 국내 에너지 동향

국내 1차에너지 소비는 2000년 180 백만TOE에서 2020년 308 백만TOE로 71% 증가하여 전세계 평균보다 높게 예상되고 연 평균 에너지소비 성장률이 2010년까지는 3.2%/년, 2020년까지는 3.2%/년으로 예측된다.

각 에너지원별 전망을 보면, 수력 및 원자력의 증가폭이 연평균 4.6%로 가장 높고, 그 다음이 천연가스(3.8%/년), 석유(3.1%/년), 석탄(2.3%/년)의 순이다. (<표 1> 참조).

<표 1> 에너지원별 국내 1차에너지 수요 전망 (단위 : 백만TOE, %)

	1995	2000	2010	2020	연평균 증가율(%)		
					1996-2000	2001-2010	2011-2020
- 석 유	94.0 (62.5)	110.2 (61.2)	149.7 (60.6)	181.5 (59.0)	3.3	3.1	1.9
- LNG	9.2 (6.1)	12.4 (6.9)	18.0 (7.3)	23.6 (7.7)	6.0	3.8	2.8
- 석 탄	28.1 (18.7)	33.8 (18.8)	42.5 (17.2)	51.3 (16.7)	3.8	2.3	1.9
· 유연탄	25.1 (16.7)	30.2 (16.8)	37.6 (15.2)	44.8 (14.6)	3.7	2.2	1.8
· 무연탄	3.0 (2.0)	3.6 (2.0)	5.0 (2.0)	6.5 (2.1)	3.8	3.4	2.7
- 수 력	1.4 (0.9)	1.7 (1.0)	2.7 (1.1)	3.8 (1.2)	4.6	4.6	3.4
- 원자력	16.8 (11.1)	20.9 (11.6)	32.6 (13.2)	45.5 (14.8)	4.6	4.6	3.4
합 계	150.4 (100.0)	180.1 (100.0)	247.0 (100.0)	307.8 (100.0)	3.7	3.2	2.2

국내의 이산화탄소의 배출량은 2000년 116 백만톤에서 2025년 206 백만톤으로 78% 증가가 예상되고 연 평균 발생량증가율이 전세계 평균인 1.9%보다 높은 2.2%/년이다(미국 DOE 예측). 따라서 우리나라도 기후변화협약으로부터 자유로울 수 없다. 현재 Kyoto Protocol 상의 Annex I 국가에 포함되어 있지 않아서 의무 조항은 없으나, 온실가스 발생량을 줄이는 국가적인 노력이 시급하다. 따라서 기후변화협약 대응 에너지 신기술 개발 필요성이 대두되고 있다.

우리나라는 에너지 수요의 97.3%를 수입하고 있으며, 자체 에너지원으로 폐기물을 포함한 신재생에너지 1.1%, 국내무연탄 0.9% 그리고 수력 0.7%이다(2001년).

국가 에너지 안보 확보차원으로 국내 부존 에너지자원의 발굴 및 활용의 확대가 요구되고 있다. 그동안 활용도가 높지 않은 국내 에너지 자원은 아래와 같다.

- 바이오매스: 국내 임목축적량이 연간 1200만톤, 에너지작물로 확대 가능
- 가스하이드레이트: 동해와 같은 심해에 존재하는 메탄 주성분의 고체연료인 가스하이드레이트는 국내 매장량은 확인되지 않았으나, 전세계적으로 석유와 천연가스 매장량의 25배로 추정됨
- coal bed methane: 국내 무연탄 15억톤에 포함된 메탄가스는 LNG환산 2600만톤으로 국내 LNG 연간 총 소비량의 2배임

2. 국내외 에너지관련 기술 개발 동향

가. 미국, 일본의 에너지 기술 개발 동향

미국의 에너지 관련 기술의 개발은 에너지성(Department of Energy; DOE)을 중심으로 진행되고 연간 3조4천억원의 연구개발자금이 투입된다(2001년). 에너지관련 기초과학을 포함한 cross-cutting 기술에 42.6%, 에너지절약기술에 20.7%, 화석에너지기술에 12.5%, 핵융합기술에 10.5%, 신재생에너지기술에 8.9%, 전력기술에 4.8% 그리고 원자력기술에 1.7% 배분된다.

에너지절약분야에서는 산업, 수송, 건물 및 전력 부문의 효율 향상을 목표로 한다. 산업부문에서는 철강, 금속, 화학, 정유 등 9개의 에너지 다소비산업군을 추출하여 각 산업군별로 고효율 기술을 개발하는 "Industries of the Future Program"을 운영하고 있다. 수송분야에서는 1 gallon의 휘발유로 80 마일의 주행이 가능한 승용차를 개발하는 PNGV program의 후속으로 미국의 수송연료를 자국산 에너지로 충당하는 FreedomCAR program과 21st Century Truck program을 추진하고 있다. 건물분야에서는 가전기기 효율 향상을 위한 인증제로 Energy Star program을 운영하고, 난방, 냉방, 조명, 벽, 창문 등의 연구개발 및 Zero Energy Buildings Program으로 zero energy homes (ZEH)의 건설을 추진하고 있다.

신재생에너지분야에는 풍력/수력, 태양에너지, 바이오매스, 지열 및 수소/연료전지 부문이 있다. 풍력부문에서는 Distributed Wind Technology program으로 100kW급 이하 소형터빈으로 10-15센트/kWh이하 가격의 전력을 생산하고 저속 바람을 효율적으로 이용하기 위한 Low Wind Speed Turbine Technology program으로 대형터빈을 개발하여 5센트/kWh이하로 전력생산이 가능한 기술을 개발하고 있다. Wind Powering America program으로 풍력 보급도 추진하고 있다. 태양에너지 기술 부문에서는 태양광발전(보급 프로그램으로 Million Solar Roofs), 태양집열기, 저온태양열 장치 개발을 수행하고 있다. 바이오매스에너지 분야에서는 Bioenergy Initiative를 수립하여 Biofuel, Biopower 및 Bioproducts의 3개 방향의 기술개발을 추진하고 있다. 수소/연료전지 부문에서는 수소사회의 구현을 앞당기기 위해 수소의 생산, 저장기술 개발 및 안전관련 법규 수립, 연료전지분야에서는 각종 연료전지의 상용화 개발이 진행중이다.

전력부문에서는 분산형 발전용도로 터빈, 마이크로터빈, 발전용 엔진의 개발과 에너지저장 등의 기술 개발이 진행되고 있다.

화석에너지 분야에서는 석탄관련 연구에 많은 연구비(68%)가 투입되고 있으며, 주로 청정석탄기술로 석탄사용시 공해물질 배출을 제로화하는 Vision 21 및 석탄에서 수소를 생산하는 Future GEN program이 운영되고 있다.

일본의 에너지 관련 기술의 개발은 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) 주관으로 태양에너지, 풍력, 화석연료, 바이오매스/폐기물 발전, 지열, 수소, 연료전지, 전지, 초전도전력송신, 에너지전환기술 및 보급프로그램의 11개 분야로 나뉘어 진행되고 있다. 산업기술 개발의 일환으로 에너지재료 기술의 개발도 같이 진행되고 있다.

태양에너지부문에서는 태양광발전과 관련하여 고성능 solar cell과 module 개발, 대량생산에 의한 보급의 확대, 저가화를 위한 신개념의 solar cell 및 생산 기술 등의 연구에 연간 550억원을 투입하고 있다(2001년).

풍력부문에서는 현재 1.4 GW의 시설이 완비되어 있다. 태풍에 견딜 수 있고 섬에 설치 가능한 풍력발전기의 개발에 연간 71억원을 투입하고 있다.

화석연료부문에서는 석탄직접액화실용화, 석탄가스화, 차세대석탄이용기술, DME제조 기술, 디젤 연소배가스 처리기술 등에 658억원을 투입하고 있다.

바이오매스/폐기물 발전부문에서는 폐기물연소발전 및 RPF(refuse paper and plastic fuel) 개발 등의 폐기물 분야에 88억원, 바이오매스의 초임계처리에 의한 메탄제조 및 고효율 바이오매스 전환기술 등의 바이오매스에너지 분야 연구개발에 연간 200억원을 투입하고 있다.

지열에너지부문에서는 survey, 탐사, 개발에 대한 보조금지급 및 발전기술 개발에 연간 657억원을 투입하고 있다.

수소부문에서는 "WE-NET Phase II Program"이라는 이름으로 신재생에너지 이용 수소제조, 수송 및 저장의 연구개발을 수행하고, 수소스테이션 및 차량에 수소 공급기술 등을 포함한 연구에 연간 270억원을 투입하고 있다.

연료전지부문에서는 연간 총 1053억원이 연구에 투입되었다. 이중 고분자연료전지(PEMFC) 개발에 71.5%, 용융탄산염연료전지(MCFC)에 21.9% 그리고 고체산화물연료전지(SOFC)에 6.6%로 자금이 배분되었다.

전지부문에서는 전력저장에 의한 피크부하 조절용으로 204억원을 투입하여 차세대 전지 및 시스템을 개발하고 있다.

초전도전력송신부문에서는 초전도 전력부품, 발전기, 전력저장 장치, 전력손실 방지장치 및 LNG 저온 이용기술 등의 개발에 936억원을 투입하고 있다.

에너지전환기술부문은 다수의 소규모 에너지관련 기술의 집합적인 연구개발프로그램으로 폐열이용기술, 천연가스차량, cogeneration 등에 620억원을 투입하고 있다.

에너지 보급부문에서는 태양광발전 시범사업(199억원), 풍력발전 시범사업(139억원), 폐기물발전 시범사업(95억원), 환경친화적 에너지커뮤니티 건설(284억원), 소수력발전 건설사업(328억원) 및 고효율 에너지 건물 보조사업(340억원) 등이 추진되고 있다.

나. 국내의 에너지 기술 개발 동향

국내의 에너지 관련 기술 개발은 산업자원부의 주도로 진행되었다. 1987년 대체에너지개발 촉진법에 의해 “대체에너지 기술개발 기본계획(‘88~2001)”을 수립하였고, 에너지이용합리화법 및 동법 시행령에 의해 “에너지절약 기술개발 5개년 계획(‘92~’96)” 및 “청정에너지 기술개발 기본계획(‘94~’98)”을 수립하여 기술 개발을 추진하였다. 1988년부터 1995년까지 연구개발 투자 현황은 <표 2>과 같다

<표 2> 에너지관련 연구투자 (1988-1995).

	투자액(억원)			과제수
	정부	민간	계	
절약	461.9	237.7	699.6	216
청정	67.6	15.5	83.1	35
대체	264.0	317.0	581.0	192
계	793.5	570.2	1,363.7	443

1997년에 에너지관련 기술(절약, 대체 및 청정) 개발을 통합하여 “국가 에너지 기본계획(1997-2006)”에 반영한다는 취지로 에너지기술개발10개년계획을 수립하여 국가과학기술위원회에 상정하고 확정하였다(근거: 에너지이용합리화법 제 37조 및 대체에너지개발촉진법 제 4조). 목표는 2006년 기준 최종에너지 10% 절감, 대체에너지로 2006년 기준 총에너지의 2% 공급 그리고 화석연료청정화 기술 확보였다. 기술개발 추진방향은 절약효과 및 환경 영향을 고려하여 총 66개 프로그램에서 21개 중점프로그램을 선정하여 집중 개발하는 것이었다.

에너지기술개발10개년계획(1997-2006)의 중점 추진분야는 아래와 같다.

- 에너지절약기술개발; 공업로, 소형열병합, 집단에너지, 미활용에너지, 분리기술, 건조기, 에너지변환축적, 보급형건물기술, 공조시스템, 조명시스템, 유도전동기, 전동력응용의 12개 중점프로그램
- 대체에너지기술개발; 태양열, 태양광발전, IGCC 및 연료전지의 4개 중점 프로그램
- 청정에너지기술개발; 석탄유동층연소, 석탄회 활용, 연소처리, 신축매개발, CO₂ 분리/회수의 5개 중점프로그램

실용화촉진기술개발; 에너지기술시범적용사업(ECDP) 확대운영
 하부구조확충사업; 국제협력, 정보화시스템구축, 인력/시설 확충

에너지기술개발10개년계획(1997-2006)에 의해 1997년부터 2002년까지 투자된 금액은 계획 대비 58%로 아래 <표 3>와 같다.

<표 3> 에너지기술개발10개년계획에 의한 정부지원금 (1997-2002).

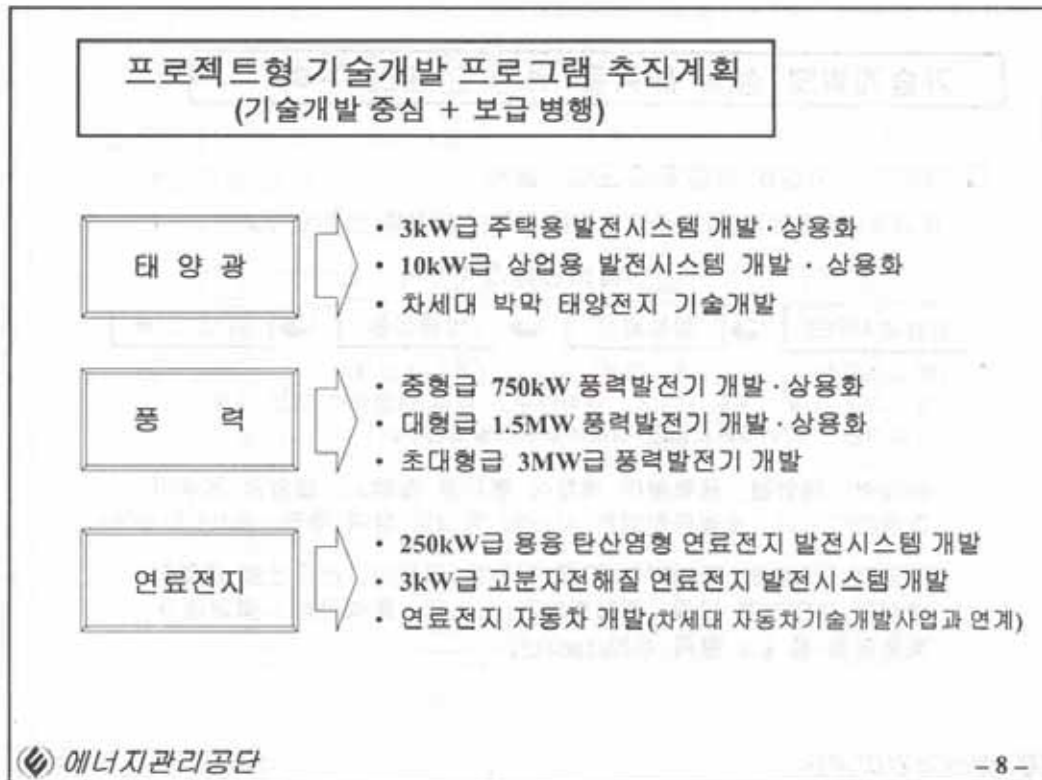
구 분	투자액(억원)
에너지절약	1,339
대체에너지	982
청정에너지	450
하부구조	66
계	2,837

에너지기술개발10개년계획의 성과를 검토한 결과, 현실적인 조정의 필요성이 발생되어 계획기간을 2003년~2012년으로 조정하였고, 목표를 2006년 에너지절약 10%에서 2012년 10%로 변경하였으며 기존 절약 및 청정분야의 17개 중점분야를 14개 분야로 재조정하였다. 대체에너지는 별도의 계획체계에 입각하여 추진하기로 하였다. 변경된 10개년계획의 기술개발사업별 추진 프로그램은 <표 4>와 같다.

대체에너지의 핵심분야는 프로젝트형 프로그램으로 추진하기로 방향을 변경하였고 태양광발전, 풍력, 수소/연료전지의 3개 분야이다. 태양열, 바이오매스에너지 등은 일반프로그램으로 분류하여 추진하고 있다([그림 2]).

<표 4> 변경된 10개년 계획의 기술개발사업별 추진 프로그램

사 업	중점/일반	분야	프로그램	비고
에너지절약 기술개발사업	중점	산업	정밀화학 반응 공정	신규
			공정자동화 및 지능화	신규
			에너지변환축적시스템	
			고효율건조시스템	
			초임계유체 공정	신규
			에너지소재	신규
		건물	소형열병합발전	
			보급형건물	
			조명시스템	
		전기	전동력 응용	
			초전도 응용기술	신규
			정책	DSM평가분석
		일반	산업	증발 및 증류 공정
	흡착분리 공정			
	막분리 공정			
	결정화 분리 공정			
	석유화학 반응 공정			
	정유산업 반응 공정			
	고효율 염색가공장치			
	고효율공업로			
	미활용에너지이용기술			
	에너지수송			
	건물		고효율공조시스템	
	수송		고효율저공해차량	
	전기		유도전동기	
			전력변환	
		고효율 전열		
에너지저장				
		MHD		
청정에너지 기술개발사업	중점	석탄	연소후처리기술	
		CO ₂	CO ₂ 분리이용기술	
	일반	석탄	차세대석탄청정	
		석유	석유청정기술	



[그림 2] 대체에너지 프로젝트형 기술개발 프로그램 추진계획.

과학기술부에서는 최근에 국가지정연구실 사업을 통하여 에너지관련 기초 핵심기술 개발을 추진하고 있고, 에너지관련 중점국가연구개발사업으로 온실가스저감기술개발사업(1999-2002) 및 고효율수소제조기술개발사업(2001-2003)을 수행한 바 있다. 이들 중점국가연구개발사업은 21세기 프론티어연구개발사업(이산화탄소 저감 및 처리기술, 고효율수소 에너지 제조 저장 이용기술개발 사업)으로 확대되어 집중 개발되고 있다.

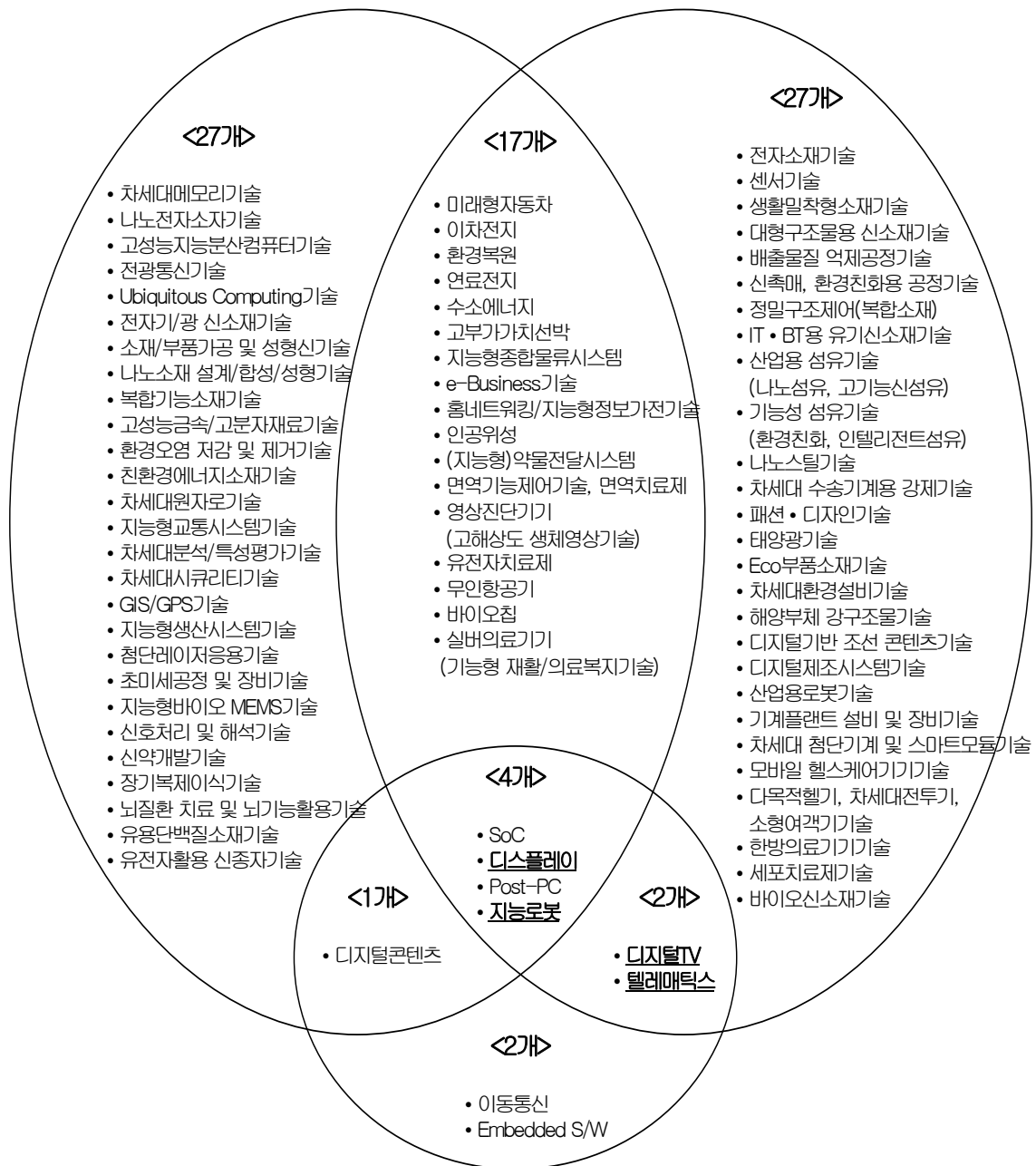
과학기술부에서는 2002년 범부처 차원에서 국가기술지도를 작성하였고 아래의 11개 에너지관련 핵심기술이 있다.

- 가) 연료전지
- 나) 수소에너지
- 다) 소형열병합발전
- 라) 에너지소재
- 마) 에너지절약형 반응 및 분리공정 기술
- 바) 미활용에너지 이용
- 사) 바이오에너지
- 아) 태양에너지
- 자) 2차전지

차) 풍력에너지

카) 고신뢰성전력시스템 기술

국민소득 2만불 시대를 열기 위해 과학기술부, 산업자원부, 정보통신부에서는 [그림 3]와 같이 80개의 핵심분야를 차세대성장동력 사업으로 선정하였고, 에너지와 직접 관련된 기술 분야로는 미래형 자동차, 이차전지, 연료전지 및 수소에너지의 4개 분야가 있다.



[그림 3] 과기·산자·정통부의 차세대성장동력 항목 (80개)

제 2 절 환경기술 분야

1. 국내외 환경관련 산업의 현황과 전망

가. 환경산업 현황

일반적으로 환경산업은 환경오염 실태를 측정하고 오염물질 배출을 방지하거나 낮추거나 줄여서 오염상태를 개선하는 오염물질의 사후처리와 관련된 산업 즉, 대기오염, 수질오염, 토양오염, 폐기물, 소음진동 등을 방지하거나 저감하는 시설 및 서비스의 개발, 생산, 판매, 설치, 운영 등을 포함하는 산업으로서 최근에는 폐자원을 재활용하는 산업을 포함하며 또한 자원 및 에너지의 소비와 오염물질의 배출을 최소화하는 청정기술 분야도 포함시키는 경향이다.

(1) 국내

한국의 환경상태 : 현재 우리나라가 안고 있는 환경문제를 요약하면 심각한 대기 오염, 담보적인 수질, 폐기물과 화학물질의 증가, 도시화 증가 및 녹지 면적 감소를 포함한 생태계 파괴 등을 들 수 있다.

- 대기오염도에서 단위면적당 대기오염물질 배출량이 다른 OECD국가들에 비하여 높다. 특히 질소산화물은 2~16배, 먼지는 4~21배 많은 상태임.

- 수질오염에서 호소의 경우 1등급으로 지정된 33개 호소 중 기준이 달성된 곳은 없으며, 표류수 상수원의 구간도 수질이 1급수를 유지하고 있는 구간이 절반에 이르지 못하고 있다.

- 1999년 기준으로 OECD에 의하면 국토의 단위 면적당 도시폐기물 발생량은 우리나라가 OECD국가 중 최고 수준이다(1,836kg/ha로서 미국의 9배, 프랑스의 3.5배).

- 우리나라의 인구증가율은 점점 둔화되는 추세이지만 도시화율은 90%까지 확대될 전망이다. 또한 녹지 및 산림 면적 감소, 유해화학물질 배출량 증가 등의 문제를 안고 있다.

2000년을 기준으로 할 때 우리나라의 환경시장 규모는 7조 9,690억 원으로 GDP의 1.54%를 차지하고 있어 선진국의 GDP 대비 비율 2.6%내외에 비하여 상대적으로 낮은 비율임. 따라서 우리나라의 환경시장은 지속적인 확대가 예상된다.

<표 5> 환경오염방지를 위한 지출로 본 국내 환경시장 규모

구분	1996	1997	1998	1999	2000
오염방지 지출(억 원)	72,391	84,206	72,461	80,231	79,690
전년대비 성장율(%)	14.8	16.3	△13.9	10.7	△0.9
GDP 대비 비율(%)	1.73	1.86	1.63	1.66	1.54

1992 ~ 1997년 기간 동안 연평균 15.3%의 빠른 속도로 시장 증가. 특히 자원 이용업 및 서비스업의 신장이 가속화되고 있음. 오염매체별로 시장규모를 살펴보면 수질 및 토양오염 방지, 폐기물, 대기오염 방지, 소음진동의 순서.

(2) 국외

세계의 환경시장 규모는 1999년 현재 약 4,950억 \$ 규모로서 분야별 규모로는 수질, 수처리, 수자원, 대기제어 분야의 순서이며 전체적으로는 꾸준한 성장세를 보이고 있음. 선진국의 경우 어느 정도 성숙 단계로서 성장률이 경제성장률 정도에 머무르고 있으나 중국 등 신흥 개도국들의 시장이 급속하게 성장하고 있음.

지역별 환경산업 시장을 살펴보면 미국, 서유럽의 비중이 줄어드는 반면 개발도상국들의 환경시장이 점차 확대되는 추세에 있다. 특히 동남아 시장은 연간 15 ~ 20%의 고도성장을 기록 중에 있음.

나. 환경산업 전망

(1) 국내

국내의 환경시장 규모는 2010년까지 연평균 12% 내외의 증가율을 보여 2005년에는 18조 7,970억 원, 2010년에는 31조 7,550억 원에 이를 것으로 전망되어 국내 전체 산업의 성장전망에 비하여 상대적으로 높을 것이 예상됨.

<표 6> 국내 환경산업의 시장규모 전망

	1999	2005	2010	연평균성장률(%)	
				1999~2005	2005~2010
환경서비스업	38,980	78,850	136,390	12.5	11.6
환경자원이용업	28,380	62,770	118,540	14.1	13.6
환경설비업	22,610	46,350	62,620	12.7	6.2
계	89,870	187,970	317,550	13.1	11.1

환경에너지자원분야 46.8%, 청정공정 및 기술 분야 36.6%, 환경컨설팅 및 엔지니어링 분야 15.5%, 폐기물 관리 설비 15% 성장 예상. 생태계 복원 및 보전, 환경 위해성 평가 및 관리체제 구축 등으로 토양 오염 및 지하수 복원 관리 분야, 환경 컨설팅 등의 산업 부문이 높은 성장 가능성을 가진 것으로 전망되며, 환경 모니터링 체제 구축을 위한 환경계측 및 모니터링 산업의 발전도 기대됨.

(2) 국외

미쓰비시종합연구소에서는 2020년 환경산업이 18.4조 원 규모로서 컴퓨터 산업의 시장규모와 비슷하고 바이오 시장보다 2배 이상 클 것으로 전망함. 중국의 경우는 대기 환경 WTO 가입(2001년) 및 북경 올림픽(2008년)에 대비한 환경규제 강화로 환경설비 시장이 급속도로 팽창할 것으로 전망됨. 선진국 환경시장의 약 70%는 환경서비스 산업이 차지하고, 환경설비 시장은 거의 포화상태로서 1% 내외의 연평균 성장률을 보일 것으로 전망됨.

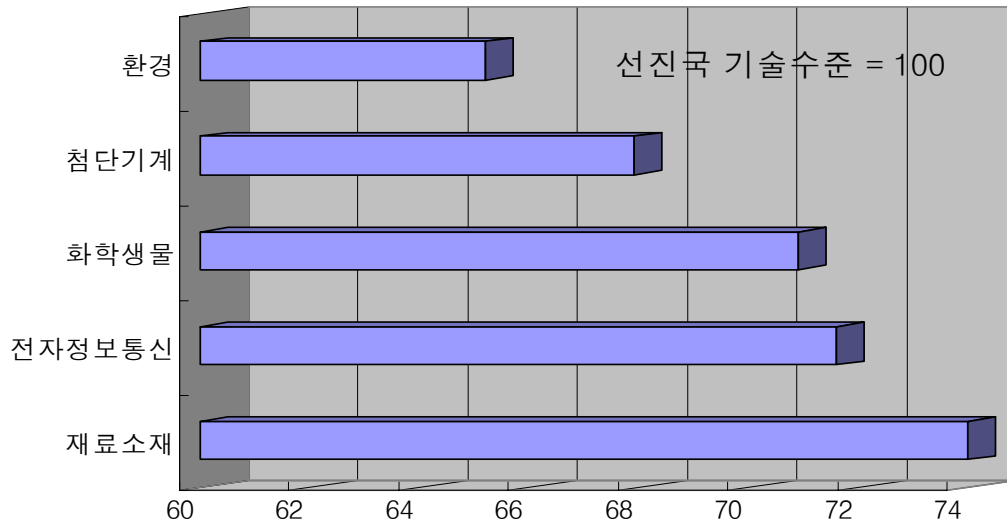
<표 7> 세계 환경 시장 전망

	1998	2002	2005	02-05 성장률(%)
북미(미국, 캐나다)	1,861	1,896	1,963	3.5
유럽	1,455	1,550	1,578	1.8
일본	879	910	916	0.6
아시아	199	275	337	22.5
남미	99	137	163	19.1
호주/뉴질랜드	79	91	99	9.3
동유럽/러시아	80	122	180	48.2
중동	58	75	95	26.0
아프리카	28	42	55	33.1
전세계	4,840	5,279	5,538	4.9

제 1세대 기술인 사후처리 기술인 신규 시장을 위하여 기존의 기술을 뛰어 넘을 수 있는 신기술의 개발이 필요하고 제 2,3 세대 기술인 청정기술과 복원 기술은 이제 형성되기 시작하는 시장으로서 선점할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 따라서 제 1세대 기술부터 제 3세대 기술의 개발이 동시에 진행되지만 핵심적이고 emerging technology를 선정하여야 함.

2. 국내외 환경관련 기술 개발 동향

리우회담, 도쿄의정서 등으로 이어지는 지구환경을 보호하려는 국제적인 움직임을 중시해보면 21세기에는 고도화된 환경기술을 확보하지 못하면 경제성장 자체가 불가능할 것으로 예측되고 있다. 우리나라의 환경관련 기술수준을 살펴보면 제 1세대 기술이라고 하는 사후처리 기술개발에서 선진국의 60% 정도 수준에 머물러 있고 제 2세대인 청정기술은 이제 기술개발을 시작하는 단계에 불과하며 제 3세대 기술인 환경복원 및 재생기술 등에 있어서는 이제 필요성을 인식하는 초기단계이다. 따라서 우리나라의 환경기술은 제 1세대 기술에서부터 제 3세대 기술까지 한꺼번에 연구개발, 실용화, 상용화가 진행되어야 할 상황이다.



[그림 4] 선진국 대비 국내 기술 수준 비교

각국 정부는 산업경쟁력 강화와 지속적인 성장에 기여할 수 있는 환경기술을 개발하기 위해 산업부문과의 연계를 강화하는 추세임.

- 환경기술이 지속적 성장과 산업경쟁력 제고, 고용창출에 기여하는 중요한 역할을 한다는 인식이 확산되고 있음.
- 최근 공공/민간 연계체제를 통해 개발하는 환경기술의 유형에는 여러 나라에서 특징적 현상이 나타나고 있음.
- 기술개발테마의 변화 : 사후처리기술(end of pipe technology) → 사전예방 기술 (청정기술)로 초점이 이동
- 에너지효율 및 생태 및 경제 문제가 환경기술개발 프로그램에 포함됨.
- 대부분의 국가가 무공해자동차기술, 생명공학, 자원재생, 환경친화적 제품(공정) 개발 등과 같은 몇몇 유망과제를 공통적으로 개발을 추진중임.

국가별로 개발기술내용은 유사하나 공공/민간 기술협력 프로그램 구조는 상당히 상이하게 전개됨

- 국가별 고유 국가혁신시스템(NIS) 적용과 특유의 역사적 발전과정을 반영.
- 따라서 각국 정부는 효과적 연계체제 구축을 위해 역사적, 국가적 맥락을 고려하고 있음
- 그럼에도 연계체제(Partnerships)야 말로 조직과 분야를 초월하는 능력으로 인하여 폭넓은 기술혁신을 달성할 수 있는 메커니즘임이 강조되어야 함.

가. 국내 환경관련 기술 개발 동향

국내에서는 1990년대에 들면서 본격적으로 환경기술 개발이 진행되었으며 <표 8>에서 보는 바와 같이 환경부, 과학기술부를 비롯하여 많은 부처에서 독자적인 기술개발을 진행하고 있다.

환경부에서는 환경관련 분야 전반에 걸쳐서 기술 개발 사업과 실용화 사업을 진행 중에 있으며 산업자원부에서는 사전오염예방기술 중에서 청정생산기술과 사후처리기술에서 대기오염물 저감 특히 에너지 이용과 관련된 질소산화물과 황산화물의 처리에 중점을 두고 연구를 진행하고 있다.

과학기술부에서는 국가지정연구실 사업을 통하여 기초 핵심기술의 개발에 심혈을 기울이고 있으며 중점국가연구개발사업에서 온실가스, 수자원활용공정, 자연재해(산불예방, 복원 등을 포함)에 관련된 내용을 연구하고 있다.

한편 국가적으로 반드시 수행하여야 하며, 선택과 집중을 통한 가시적 성과 도출이 필요한 분야는 21세기 프론티어연구개발사업(산업폐기물재활용기술, 수자원의 지속적 확보 기술, 이산화탄소 저감 및 처리기술)으로 집중 육성하고 있다.

국가기술지도에서 선정된 환경관련 9개 분야(① 대기오염물질저감 및 제거기술, ② 수질 및 수자원 관리 기술, ③ 폐기물저감 및 재활용기술, ④ 환경친화적인 소재·제품 및 공정기술, ⑤ 생태계, 오염토양, 지하수 복원기술, ⑥ 해양오염 평가 및 저감기술, ⑦ 위해성 관리를 통한 환경보전기술, ⑧ 자연재해 예측 및 저감기술, ⑨ 기상 조절기술)에서 ① ~ ③ 분야는 21세기 프론티어연구개발사업에서 일부 수행되고 있으며 ④ 분야는 산업자원부에서 주관하는 청정생산기술개발사업에서 중점적으로 다루어지고 있다. ⑤와 ⑦ 분야는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업”에서, ⑥ 분야는 해양수산부, ⑨ 분야는 기상청, ⑧ 분야는 과학기술부 중점사업 프로그램으로 일부가 수행중에 있다. 이와 같이 환경과 관련된 거의 전 분야에 걸쳐 이미 다루어지고 있는 실정이지만 선택과 집중을 통한 가시적 성과 도출에는 미흡한 부분이 많이 있다. 따라서 이러한 기존의 프로그램과 차별성을 가지면서 emerging technology 요소를 포함하는 시장성 있는 틈새 기술이 여전히 존재하는 실정이다.

<표 8> 부처별 환경 분야 연구개발 추진 현황

부처별 사업명		주요내용
환경부	G7 환경기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경공학기술, 공공기반기술, 경유차저공해기술 등 실용화 가능 분야 투자 ○ 1단계 기반기술 확보, 2단계 실용화기반 구축, 3단계 실용화 및 상품화 개발 단계로 1992~2001 기간 총 3,603억 원 투자(정부 : 민간 = 1,824억 원 : 1,806억 원)
	차세대핵심환경기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통합환경관리, 생태계보전, 복원, 사전오염예방, 지구환경 등 4개 단위 사업 22개 중점과제 ○ 2001년부터 10년 간 정부예산 약 1조 원 투자
과학기술부	21세기 프론티어연구개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산업폐기물재활용기술, 수자원 지속적 확보기술, 이산화탄소 저감 및 처리기술(각각 10년간 약 1000억 원 정부예산 투자)
	국가지정연구실사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 99년부터 국가지정연구실 40여 곳을 지정
	중점국가연구개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실가스저감기술개발, 수자원활용공정개발, 자연재해방재 기술개발을 5년 동안 지원
	과학재단목적기초연구사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경 분야에 매년 약 20억 원 지원 ○ 환경모니터링기술연구센터(광주과기원 99년 지정) 등 7개 환경관련 우수연구센터 지원 ○ 환경공학연구정보센터(포항공대) 등 4개 환경 센터 지원
산업자원부	에너지자원기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1998년부터 에너지자원기술개발사업으로 신에너지, 에너지 절약, 청정에너지사업 추진 중 ○ 청정에너지기술개발사업은 환경배출물을 줄이는 에너지기술 개발
	청정생산기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제조원가 및 환경부하 저감을 동시에 실현하는 기술개발 추진을 통하여 환경친화형 산업구조전환을 목적으로 추진 ○ 2001년 정부예산 345억 원 투자
	기타사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공통핵심기술개발, 신기술창업보육사업 등 자유공모형 실용화사업 추진 과정에서 환경기업체에 36억 원 투자(2000년)
해양수산부	해양수산기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양 및 연안 환경관련 기술 개발 추진
국무조정실	출연(연)기관고유사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ KIST 금수강산21 과제, 미래원천 등 35억 원(2000년) ○ 기계연 폐기물열분해용융시스템개발 21억 원(2000년)
농림부	농림기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경친화 농업기술 개발보급 목적으로 과제 지원
건설교통부	건설기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산학연공동연구사업으로 하천·하수 정화기술 실용화 등 6개 과제에 8억 원(2000년) 투자
기상청	기상연구소	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기상관련 연구개발 과제 추진 중
농촌진흥청	자체과제	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경친화 농업 관련 과제 추진 중
중소기업청	기술혁신자금	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중소기업 지원 차원에서 환경산업체의 기술개발 지원

환경부 2002년

나. 국외 기술 개발 동향

환경기술 패러다임이 오염물질을 효율적으로 처리하는 제 1세대 환경 기술 에서 환경/생태와 경제의 상생을 추구하는 통합적 환경관리를 목표로 하는 제 2, 3세대 환경 기술로 변화.

<표 9> 환경 기술 패러다임의 변화

구분	제1세대 환경기술	제 2세대 환경기술	제 3세대 환경기술
패러다임	효율적인 오염물질 처리 및 주요 오염원 관리	사전오염예방(오염물질 배출 최소화 및 재활용)	토털 환경친화사회 구축 수용체 중심 환경관리
환경인식	경제발전을 위해 오염물질 배출 불가피	원천적 환경오염물질 배출 최소화	환경과 생태 보존 자연과 공존
환경정책	오염물질 배출 규제	사전오염예방 환경구매자의 등장	지구환경 및 자연환경 보존
기술개발목 표	환경규제 대응(현안환경 문제 해결)	규제대응 및 자원절약 (환경경쟁력 강화)	수용체 중심의 통합환경관리
기술개발 주요특징	오염물질 사후처리 기술	청정생산 기술 환경친화제품	환경관리, 환경복원, 재생
주요기술 예시	배가스처리기술 오 폐수처리기술 정수기술	저공해생산공정기술 저공해원료 사용 전주기 평가기술	토양, 생태계, 지하수 복원기술 환경위해성 평가 기술
기술특성	엔지니어링기술	첨단 공학기술	융합기술, 기초과학기술
학문영역	환경, 화공, 기계, 전자	환경, 화공, 기계, 전자, 생명과학, 신소재	생명과학, 보건의료, 신소재, 나노테크, 정보전자 통신
기술수요	개발도상국, 산업화 및 도시화 진행국		선진국
환경효과	오염원 주변	오염원 주변	사회전체시스템, 지구규모

미국 EPA에서는 아래와 같은 10개의 전략목표를 만족시키는 ORD(Office of Research and Development)연구계획을 설정하고 우선순위를 부여하여 5 ~ 10년의 중장기 계획 프로그램으로 추진중임. ① 맑은 공기, ② 맑고 안전한 물, ③ 안전한 식품, ④ 안전한 공동체, ⑤ 폐기물의 관리 및 복원, ⑥ 지구적 위협의 감소, ⑦ 환경 정보, ⑧ 건전한 과학, 이해의 향상, 더 큰 혁신, ⑨ 효과적 관리로 설정

상기의 10개 전략 목표를 달성하기 위하여 아래와 같은 8개 우선순위 연구내용을 구성. ① 미세물질(대기분야), ② 식수, ③ 수질, ④ 지구변화, ⑤ 생태계의 평가 및 복원,

⑥ 인간의 건강 위해성 평가, ⑦ 내분비계 장애 화학물질, ⑧ 오염예방과 신기술

10개 전략 목표와 8개 연구내용은 다음과 같은 주요 환경기술 개발 프로그램을 통하여 수행되고 있다.

- ① Strategic Environmental R&D Program : 미 국방부(DOD), 에너지부(DOE), 환경청(EPA)이 공동으로 추진하는 프로그램으로서 오염처리, 자연보전, 사전오염예방 등의 분야를 지원.
- ② Superfund Innovative Technology Evaluation (SITE) Program : 환경오염 모니터링 및 측정, 환경오염처리 신기술의 개발 및 실증을 촉진하기 위한 프로그램.
- ③ Innovative and Alternative (I/A) Program : 기존의 공정을 대체하는 기술 도입과 혁신기술의 실용화를 지원. 이 프로그램으로 약 3,000여 지역의 폐수처리 문제를 효과적으로 해결.
- ④ Design for Environment (DfE) Program : 청정생산 공정 및 제품 설계를 지원하는 프로그램으로서 1995년부터 Green Chemistry Program과 연계하여 지원.

EU는 대기환경 변화과정 규명, 대기질 확보, 환경위해성 평가 및 방법론, 토양 및 폐기물, 물 및 모니터링의 5개 분야에 집중적인 투자. 5개 연구 분야에 지원되는 구체적인 연구 내용은

- ① 대기환경 변화과정 규명
 - 생물권과 대기의 상호작용
 - 기후변화에 대한 반응물질(오존, 에어로졸) 연구
 - 생물에 의한 배출물질의 순환체계 및 영향 관계
- ② 대기질 확보
 - 대기오염 배출원 규명 및 특성화
 - 대기질 개선
- ③ 환경위해성 평가 및 방법론
 - 환경 위해성 평가 방법론 개발
 - 위해성 평가 체계 구축 및 개선
- ④ 토양 및 폐기물
 - 토양오염 물질에 대한 영향 평가
 - 토양을 이용한 이산화탄소 안정화
- ⑤ 물 및 모니터링, 기타 재생에너지
 - 강과 해안의 오염 특성 및 영향을 규명하기 위한 관측 네트워크 구축
 - 분리막을 이용한 효율적인 하폐수 처리기술

일본은 1980년대부터 국가 전략적으로 환경기술개발에 집중적인 투자를 하고 있으며 이를 통하여 지구온난화 관련 기술, 그린화학 기술 등에 있어서 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있다. 최근 중점을 두고 있는 연구개발 프로그램은 혁신적 온난화 대책기술, 이산화탄소 고정화·유효 이용 프로그램, 폐기물 제로 사회를 향한 3R 프로그램, 화학물질 종합 평가관리 프로그램이다.

① 혁신적 온난화 대책기술 프로그램 : 이산화탄소의 배출억제에 기여할 수 있는 기술개발의 추진을 종합적, 효율적으로 가속화하고 도입, 보급하기 위한 프로그램으로 다음과 같은 분야의 연구가 중점적으로 진행되고 있다.

- 에너지 절감을 위한 혁신적 재료 기술
- 에너지 절감형 혁신적 생산공정 기술
- 혁신적 에너지 이용 시스템 기술

② 에너지환경 이산화탄소 고정화·유효 이용 프로그램 : 발전소, 공장 등에서 발생하는 이산화탄소를 효율적으로 회수, 격리하거나 유용한 물질로 전환하는 기술의 개발, 실용화.

- 이산화탄소의 격리저장 기술
- 이산화탄소의 유용물질 변환 기술

③ 폐기물 제로 사회를 향한 3R 프로그램 : 자동차, 가전제품 분야를 중심으로 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 기술의 고도화

- 자동차 리사이클 기술의 개발
- 3R 기반기술의 개발 : 단열재 등의 리사이클 공정 개발

④ 화학물질 종합 평가관리 프로그램 : 화학물질의 리스크를 종합적으로 평가하고 효율적으로 관리하는 시스템의 구축.

- 화학물질 종합 평가관리
- 화학물질 리스크 감축 기술 개발

3. 국제 환경협약에 따른 국내 기술개발분야

가. 국제환경협약 대응 국내 환경 기준

환경기술은 현재와 미래의 환경문제를 해결하는데 기여하여야 하므로 국내외 환경 문제 및 그 해결을 둘러싼 변화와 추세를 반영하여야 한다. 따라서 국제적 환경 이슈 및 쟁점을 정리하고 이와 연관된 국제적 협약을 살펴보는 것은 환경기술이 지향해야 할 방향을 모색하는데 필요하다. 지속가능한 발전을 위한 세계 정상회의(WSSD)에서의 환경 이슈는 아래와 같다.

- 월경성 환경문제
- 유해화학물질의 안전관리와 점진적 금지
- 지속가능한 발전을 위한 생산, 소비 패턴의 변화
- 생태계 복원
- 재생가능 에너지의 공급확대
- 매체 중심에서 수용체 중심의 환경관리 패러다임의 변화

<표 10> 국제 환경오염 저감 목표

협약 또는 명령	목표
⊙ UN의 기후변화에 대한 기본틀의 협약 교토 프로토콜	- 1990년을 기준으로 2008년부터 2012년 사이에 선진국은 5%의 온실가스 감축
⊙ 장거리 월경성 대기오염에 대한 UN-ECE 협약	- 1993년까지 SOx 배출의 30% 저감(기준년도 1980년) - 1987년 대비 NOx 배출의 안정화 - 일반적으로 1999년까지 VOC 배출의 30% 저감(기준년도 1984-1990년, 국가마다 다름)
⊙ EU국가 배출상한 명령 : (1990년 기준) 2010년까지 저감 목표를 설정함	- SO ₂ : 77% - NOx : 51% - 비메탄 VOC : 60% - 암모니아 : 18%
⊙ 북해보호에 대한 국제회의	- 부영양화 물질(50% 수준)과 36종의 위험성분(50-70%)의 총 유출과 배출의 저감
⊙ EU의 도시폐기물 발생량 안정화	- 2000년까지 일인당 300kg
⊙ 매립으로 이어지는 생분해 가능한 도시폐기물의 양을 저감하기 위한 EU의 명령	- 2006년까지 생분해가능한 도시폐기물 중량의 최대 75%만 매립(1995년 기준) - 2009년까지 최대 50% 2016년까지 최대 35%

나. 무역과 연계성이 높은 환경 기술

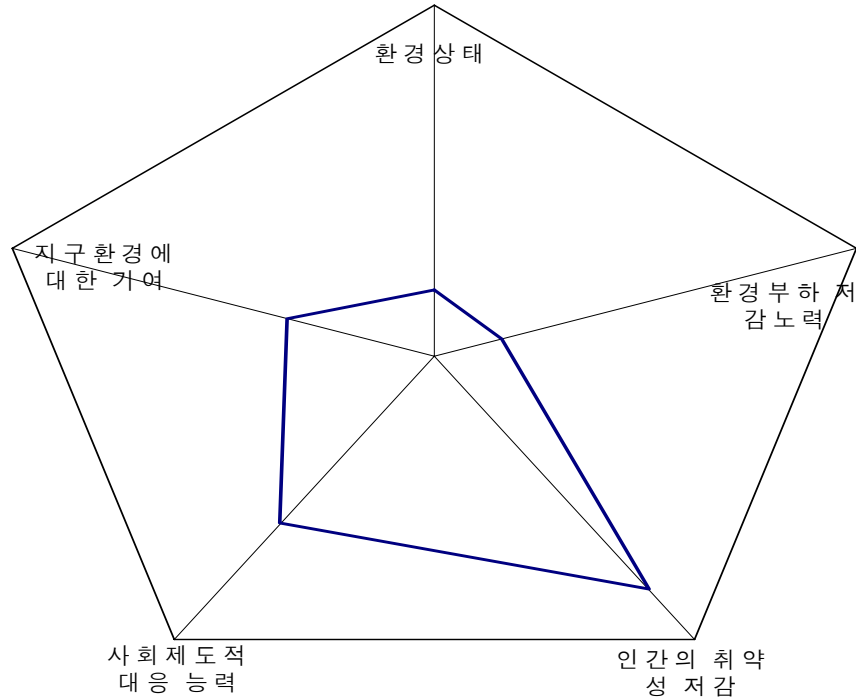
1980년대 이후 등장한 다수의 국제환경협약이 무역규제 규정을 포함하고 1994년 출범한 세계무역기구(WTO)에 포함된 다수의 통상협정들이 환경보호 목적을 위한 무역규제조치들을 예외 사항으로 인정. WTO 서비스협정(GATS) 소관의 서비스 시장에 대한 추가적 개방협상이 2000년 재개되어 환경서비스 중에서 핵심환경서비스는 ① 대기 및 기후 보호, ② 용수 및 오, 폐수, ③ 고형 폐기물 관리, ④ 토양과 물의 복구 및 정화, ⑤ 소음 및 진동 저감, ⑥ 생물다양성과 자연경관 보호, ⑦ 기타 환경 및 부가 서비스를 포함하는 것으로 분류되었음. 도하각료선언에서 상기 환경핵심 서비스 부문에 대한 시장양허계획을 제출토록 일정을 구체화함. 월경성 대기오염(황사) 및 사막화, 황해오염 등이 동북아 지역 현안 문제로 대두됨.

세계경제포럼에서는 2002년 환경지속성지수(Environmental Sustainability Index ; ESI)를 발표하였는데 우리나라는 142개 국 중에서 136위를 차지하고 있어 총체적 환경지속성에 깊은 우려를 주고 있다. 한국의 환경지속성 지수가 최하위인 것은 특히 5개의 핵심 분야 중에서 “환경상태”, “환경부하 저감노력” 측면에서 후진성을 보이고 있기 때문이다. 이 두 분야는 환경 문제의 직접적인 현황 및 미래를 반영하는 것으로 국민이 직접 느끼는 대기질, 수질, 물부족, 생물 다양성, 토양 및 폐기물 부하 등의 지표들로 구성되어 있다.

4. 미래 환경산업 및 기술 예측

가. 한국의 미래기술

15개 분야 1,100여 개 과제에 대하여 기술예측조사를 5년 단위로 2차에 걸쳐 실시하였다. 환경 분야에서 중요시되는 기술개발 영역으로 1994년에 실시된 1차 조사에서는 “지구온난화에 대응한 이산화탄소 배출감소 및 회수, 고정화와 산성비 영향에 대한 메커니즘 해명”, “대기관리 시스템 개발로 대기질 측정 및 감시망 구축”, “전국토의 수질 청정 상태 회복”, “폐기물에 의한 환경오염 저감 및 환경의 질 향상 추구”가 선정되었고 1999년에 실시된 2차 조사에서는 향후 2025년까지 주목되는 영역으로 “지구온난화와 기후협약에 대응하는 기술개발”과 “환경오염 방지 및 환경의 질 향상 추구”가 선정되었다. 중요도가 높은 10대 과제로는 지구환경, 수질영역, 환경보전과 안전영역, 폐기물, 대기영역과 관련한 과제가 도출되었다.



[그림 4] 환경 지속성 지수에 의한 우리나라의 프로파일.

<표 11> 기술예측 조사에서의 국내 10대 환경 과제(1999년)

과제명	중요도지수
오존층파괴나 지구온난화 문제가 없는 프레온, 할론 대체품 개발	86.2
Dioxin 배출문제가 해결된 대, 중, 소형 소각로 실용화	86.1
오염된 지하수 및 매립지를 복원하는 기술	83.6
세계의 이산화탄소 배출량이 1990년의 20%까지 감축	82.5
가정의 쓰레기가 50% 재활용	82.0
공정폐수의 50% 이상이 재활용되는 청정기술 실용화	80.8
악취와 대기오염물질을 정화시키는 촉매 개발	80.6
GIS를 이용한 환경오염원 D/B구축 및 종합관리시스템 개발	79.8
농촌오수와 축산폐수의 합병처리가 가능한 고효율 처리시설 실용화	79.4
유기 폐수에서 질소와 인을 동시에 제거하는 생물학적 처리기술 실용화	78.6

1998년 산업기술정책연구소에서 환경관련 분야 전문가 210명을 대상으로 Delphi 조사를 수행한 “2010년의 산업기술예측과 장기발전전략(I)”에서 우선적으로 추진되어야 할 과제를 다음과 같이 도출하였다.

- ① 배가스로 인한 대기오염을 해소할 수 있는 대체연료 이용 자동차
- ② 디젤엔진에서 배출되는 공해물질을 촉매로 처리하는 기술 실용화
- ③ 질소산화물 0.1-0.2 g/km의 배출규제에 대응하는 기술이 전 차종에 보급
- ④ 도시 및 산업 쓰레기로부터 자원 및 에너지를 회수하는 설비가 실용화
- ⑤ 폐플라스틱을 환경오염 없이 소재화하는 기술 실용화

나. 일본의 미래기술

일본과학기술청에서 1971년부터 5년 단위로 실시한 조사로서 6회째인 금번 조사에서는 14개 분야에 대하여 Delphi법으로 2회에 걸쳐 조사를 실시하여 “일본과학기술청의 기술예측조사 보고서 : 2025년의 과학기술”에 수록한 내용을 정리하면 아래와 같다.

<표 12> 일본 상위 10대 환경 과제

과제명	중요도지수
재활용, 재이용이 쉬운 LCA적 제품설계 개념 정착	91
질소산화물 배출을 획기적으로 줄인 차종의 실용화 보급	89
토양오염, 지반침하, 개발에 따른 자연환경파괴 등에 대해 사회적, 경제적 손실평가 방법이 확립되어, 방지하기 위한 규제시스템 보급	87
무공해 자동차(예 : 전기자동차)가 전 세계적으로 10% 이상 보급	86
환경세 도입과 이에 대한 대비기술	85
지구온난화가 농업생산에 미치는 영향이 전 지구적으로 조사, 규명	84
쓰레기 고형연료화(RDF)를 이용한 폐기물 발전 시스템의 보급	82
오존층을 파괴, 지구온난화를 유발하지 않는 프레온, 할론 대체물질 실용화	82
컴팩트한 배수처리시스템으로 난분해성, 유해물질의 고효율처리기술 보급	82
세계의 이산화탄소 배출량이 1990년의 20%로 감소되는 기술	81

5. 국내 환경 관련 기술개발 계획

과학기술부에서는 2002년 범부처 차원에서 국가기술지도를 작성하였고 제 11차 국가과학기술위원회에서 최종 완성하였다. 여기에 포함된 5대 국가과학기술발전 비전 중에서 “환경/에너지 프론티어 진흥”분야에 아래와 같이 9개의 환경관련 핵심기술이 포함되어 있다.

- 가) 대기오염물질저감 및 제거기술
- 나) 수질 및 수자원 관리 기술
- 다) 폐기물저감 및 재활용기술
- 라) 환경친화적인 소재·제품 및 공정기술
- 마) 생태계, 오염토양, 지하수 복원기술
- 바) 해양오염 평가 및 저감기술
- 사) 위해성 관리를 통한 환경보전기술
- 아) 자연재해 예측 및 저감기술
- 자) 기상 조절기술

2001년 1월 제정된 과학기술기본법에 따라 2001년 12월 제 9차 국가과학기술위원회에서는 “과학기술기본계획”을 수립하여 향후 5년(2002~2006)간의 국가 과학기술 발전 계획을 범부처적으로 종합하고 체계화하여 확정하였다. 이 계획에서는 선진국과의 기술 격차를 줄이기 위하여 6T 등 미래유망 신기술 분야를 도출하였고 환경 분야에서는 환경 기반 기술과 청정생산 기술 그리고 해양 기술로 구분하여 각 기술별 세부 핵심 기술을 도출하였다.

가) 환경기반

- 1) 대기오염물질 저감 및 제거 기술
- 2) 자연환경·오염토양·지하수의 정화·복원기술
- 3) 수질오염처리 및 재이용 기술
- 4) 폐기물 처리 및 활용 기술
- 5) 환경관리·정보 및 시스템 기술

나) 청정생산(산업자원부 청정생산기술개발사업에 해당함)

- 1) 청정원천공정기술
- 2) 환경친화형소재개발기술
- 3) 유해성원부재료 대체기술

4) 공정내 재자원화 기술

다) 해양기술

- 1) 해양환경관리기술
- 2) 연안생태계복원기술

환경부에서는 2001년에 종료된 G-7 환경기반기술개발사업의 후속 연구개발사업 및 새롭게 전개되는 환경기술수요에 전략적으로 대응하기 위하여 10개년의 종합계획으로서 차세대핵심환경기술개발사업 종합계획을 수립하였다. 계획의 내용은 10개 프로그램으로 구성되어 있으며 각 프로그램은 핵심 기술이 중점 추진영역으로 포함되어 있다.

<표 13> 차세대핵심환경기술개발사업

프로그램명	중점영역
1. 맑고 안전한 공기	① 미세먼지 오염 개선 ② 오존 및 스모그 오염 개선 ③ 특정유해물질(HAPs) 관리기술
2. 국제환경문제대응	① 동북아 환경 현안 문제 해결 ② 국제환경협약 대응
3. 친환경소재	① 환경친화적 용제 개발 ② 환경친화적 첨가제 개발 ③ 생분해성 계면활성제 개발 ④ 내분비교란물질 대체소재
4. 친환경공정기술	① Water Pinch 기술 ② 무배출공정기술 ③ 유해물질 제거 및 공정수 무배출 ④ 신공정 개발
5. 토양·지하수복원·관리기술개발	① 도시·산업지역 복원관리기술 ② 불량매립지 복원 기술 ③ 중금속 오염지역 복원관리 ④ 농경지 오염 복원 관리
6. 생태계 복원·관리 기술 개발	① 생태계 복원 기술 ② 생태계 관리 기술 ③ 생태계 이용기술
7. 만족도 높은 먹는 물	① 양질의 상수원 확보, 유지 ② 차세대 고효율 정수장 운영 선진화 ③ 상수관망 시스템 유지관리 선진화
8. 오·폐수 처리고도화	① 관망 시스템의 효율화, 과학화 ② 경쟁력 있는 하·폐수 처리·개선 기술 ③ 친환경적 방류수·수질관리 기술개발
9. 친환경 폐기물	① 폐기물의 감량 및 관리기술 개발 ② 폐기물의 자원화 ③ 환경친화적 폐기물의 처리 및 처분 기술
10. 위해성 평가·관리	① 위해성 평가 시스템 개발 ② 환경관리 기술 개발 ③ 환경보건 관리 체계 기반 구축 및 적용

산업자원부에서는 1996년 에너지절약, 대체에너지, 청정에너지 등 별도로 추진되던 에너지 기술을 통합, 체계적이고 종합적인 에너지 기술개발 계획으로 발전시켜 “국가에너지 기본계획(1997-2006)”에 반영토록 하는 에너지기술개발 10개년 계획을 수립하였고, 2003년에는 그동안의 여건 변화를 고려하여 수정, 보완하였다. 이 중에서 청정에너지 분야에서는 아래와 같은 핵심 기술을 선정하였다.

가) 연소중 탈질기술

- 연소공정 최적화기술
- 액체연료용 저 NO_x 버너
- 기체연료용 저 NO_x 버너

나) 연소후 탈질기술

- 암모니아계 SCR기술
- 비 암모니아계 SCR기술

다) 탈황 및 탈질 동시처리기술

- 보급형 탈황공정
- 차세대 탈황공정
- SDR(반건식)공정
- 탈황/탈질 동시처리공정

라) 집진기술

- 고 공극 나노필터 기술
- 극심조건 여과기술
- 고효율 hybrid 집진 장치
- 전기집진기 개선 기술

대내외 경제의 불확실성이 증대하고 후발국의 추격, 그리고 8년간 소득 1만불 대에 정체되어 있는 상황을 타파하기 위하여 우리나라에서 강점을 가지고 있고 부가가치가 큰 성장 동력을 발굴하기 위하여 과학기술부, 산업자원부, 정보통신부에서는 아래 그림과 같은 80개의 핵심 분야를 선정하였고 각 기술별로 주관부처와 협력부처를 정하여 연구개발에 매진할 체계를 갖추고 있다. 환경과 직접 관련된 기술 분야로는 환경오염저감 및 제거 기술, 친환경에너지소재기술, 환경복원, 배출물질억제공정기술, 신축매, 환경친화용 공정기술, 기능성섬유기술, 차세대환경설비기술 등이 있으며 기타 일부 환경 기술이 연관된 분야도 있다.

산업자원부에서는 1995년 “환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률”을 제정하고, 1999년에는 “국가청정생산지원센터”를 지정하여 청정생산 프로그램을 전담토록하고 있다. 청정생산기술개발사업은 환경친화적 산업구조 형성을 목적으로 생산 공정내에서 환경오염을 제거하기 위해 1995년에 착수된 사업으로 14개 과제 21.3억 원(민간 16.2억 원)이 지원된 것을 시발로 하여 1998년 174억 원(민간 100억 원)으로 증가하고 있다. 업종별로 지원된 상황을 살펴보면 전자/반도체, 정밀화학, 석유화학을 비롯한 전 산업에 골고루 분포되어 있다.

<표 14> 청정생산기술 개발사업 분류별 지원 현황

연 도	설계기술		생산공정		원부재료		재자원화		기타		합 계
	과제수	%	과제수	%	과제수	%	과제수	%	과제수	%	
1995	2	15	7	54	0	0	4	31	0	0	13
1996	3	17	2	11	1	6	5	28	7	39	18
1997	7	10	11	15	12	17	24	33	18	25	72
1998	6	9	13	20	8	12	6	9	33	50	66
1999	14	11	24	18	14	11	26	20	53	40	131
2000	8	13	16	25	13	21	13	21	13	21	63
2001	6	9	24	35	22	32	16	24	0	0	68
합계	46	11	97	23	70	16	94	22	124	29	431

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

에너지 환경 기술개발 중장기 전략 수립의 일환으로 중점적으로 추진되어야 할 핵심기술을 선정하기 위한 1단계 “핵심 기술 분야”의 선정을 하였다. 핵심기술 분야의 선정을 위하여 ① 국내외 산업의 현황과 전망, ② 국제적 기술 추세, ③ 국제적인 환경 규제, ④ 미래 산업의 기술 예측, ⑤ 기존 계획의 분석을 수행하였다.

에너지분야에서 중점적으로 추진되어야 할 핵심기술은 국가과학기술지도의 11개 에너지분야, 국내 부존 에너지 활용 차원의 신에너지/자원 분야, 국내에너지 사용량의 25%이상을 차지하는 건물에너지 분야, 대체에너지분야(태양에너지, 풍력, 조류·조력)에서 선정하였다. 핵심기술 분야의 선정은 ① 대규모 국책프로그램으로 기 진행중인 사업은 가급적 배제, ② 국가 에너지 안보를 확보하는 부존에너지 활용 기술, ③ 국제적으로는 중점 추진되나 국내에서는 기술개발이 미흡한 기술, ④ 에너지 절감 효과가 크고, 산업 전 분야에 파급되는 효과가 큰 기술, ⑤ 향후 거대한 국내외 시장이 형성이 예측되는 기술 등의 기준을 바탕으로 수행하였다. 아래와 같이 선정된 8개 분야에 대하여는 프론티어사업, 차세대성장동력사업, 에너지기술개발사업 등 기존의 국책사업계획과는 상호보완적이 되도록 세부기획을 하였다.

- 고 신뢰성 전력시스템 분야(1MW SFES 개발)
- 신에너지/자원 분야(신 탄화수소 에너지 기술개발)
- 바이오에너지 분야(바이오매스 신에너지 자원화 기술개발)
- 건물에너지 분야(미래형 GEN Building 기술개발)
- 에너지소재 분야(하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발)
- 태양에너지 분야(차세대 박막 태양전지 기술개발)
- 풍력에너지 분야(해상 풍력발전시스템 개발)
- 해양에너지 분야(조력·조류 발전 기술개발)

국가기술지도에서 선정된 환경관련 9개 분야(① 대기오염물질저감 및 제거기술, ② 수질 및 수자원 관리 기술, ③ 폐기물저감 및 재활용기술, ④ 환경친화적인 소재·제품 및 공정기술, ⑤ 생태계, 오염토양, 지하수 복원기술, ⑥ 해양오염 평가 및 저감기술, ⑦ 위해성 관리를 통한 환경보전기술, ⑧ 자연재해 예측 및 저감기술, ⑨ 기상 조절기술)에서 ① ~ ③ 분야는 21세기 프론티어연구개발사업에서 일부 수행되고 있으며 ④ 분야는 산업자원부에서 주관하는 청정생산기술개발사업에서 중점적으로 다루어지고 있다. ⑤와 ⑦ 분야는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업”에서, ⑥ 분야는 해양수산부, ⑨ 분야는 기상청, ⑧ 분야는 과학기술부 중점사업 프로그램으로 일부가 수행중에 있다. 이와 같

이 환경과 관련된 거의 전 분야에 걸쳐 이미 다루어지고 있는 실정이지만 선택과 집중을 통한 가시적 성과 도출에는 미흡한 부분이 많이 있다. 이러한 분석을 통하여 전통적인 제 1세대 기술(환경오염물 저감 기술)에서 제 2, 3세대 기술(청정생산기술 및 환경복원 기술)까지를 포함하면서 emerging technology요소를 구비하고 있는 기술들이 도출될 수 있는 분야를 선정하였다. 또한 기존의 21세기 프론티어 연구개발사업이나 청정생산기술개발사업과 같이 중장기 국책 프로그램으로 진행중인 사업과의 중복성을 피하면서 상호 보완적인 관계가 될 수 있도록 아래와 같은 4개 분야를 선정하여 세부 기획을 수행하였다.

- 대기오염 저감 분야(입자상 오염물질 저감 기술개발)
- 수질오염 저감 분야(유해물질 제어 고도 수처리 기술개발)
- 폐기물 처리 기술 분야(Zero Emission Research Park)
- 환경복원 기술 분야(토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가기술)

1 MW SFES 개발

1. 기술개요

가. 전력저장기술의 필요성

- (1) 산업경제의 발전 및 생활수준의 향상으로 전력수요가 급격히 증가함과 동시에 주야간의 부하격차가 점점 심화되고 있음.
- (2) 수요변동에 대응하여 중간부하용 또는 최대부하용 전원에는 중규모 화력 발전 및 가스터빈 발전이, 기저부하용 전원에는 원자력발전 및 대형화력발전이 각각 이용되어 전체적으로 적절한 수급균형을 이루며 운전되고 있음.
- (3) 현재 발전량의 약 50%(설비용량으로는 약 36%)를 점유하고 있는 원자력발전의 구성비율이 점점 증가추세를 보이고 있어 이대로 계속될 경우 머지않아 심야 경부하시에
 - ① 공급력이 수요를 상회하는 심야 잉여전력이 발생하며,
 - ② 심야에 주파수 조정용량의 부족 등 수급조정능력이 저하하는 현상 발생.
- (4) 이러한 문제점을 해결할 수 있는 것이 전력저장기술이며, 현재 실용화되어 있는 전력저장기술인 양수발전은 건설기간의 장기화, 입지조건의 제약, 인건비 상승에 따른 건설비 증가추세, 원거리배치에 따른 송전손실 및 송전설비의 추가, 중소규모시스템의 곤란 등 문제점이 있어 새로운 전력저장기술이 요구됨.
- (5) 새로운 전력저장기술에는
 - ① 전지전력저장,
 - ② 초전도전력저장,
 - ③ 압축공기저장,
 - ④ 플라이휠저장,
 - ⑤ 증기저장 등 많은 저장시스템들이 있으며 전력저장시스템의 종류와 특징을 알아본 후 가장 실용화에 가깝다고 여겨지는 전지전력저장시스템에 대한 적용분야, 적용효과 및 중요기술사항등에 대해서 요약해 보고자 한다.

나. 전력저장시스템의 분류 및 특징

(1) 에너지를 저장하는 형태는 방법에 따라

- ① 열에너지,
- ② 화학에너지,
- ③ 기계적 에너지 등으로 구분되며 구체적으로 개발되고 있는 기술로서는 열에너지저장은 축열, 화학에너지저장은 축전지, 전자기 에너지저장은 콘덴서나 초전도코일, 역학적 에너지저장에는 양수발전, 압축공기저장, 플라이휠저장 등이 있음.

(2) 잉여 전력을 저장하기 위한 에너지 저장장치를 성공적으로 실용화되기 위하여서는 다음 사항들이 고려되어야만 함.

- ① 축척에너지의 양,
- ② 기존의 송전 설비와의 호환성,
- ③ 저렴한 비용,
- ④ 전기에너지와의 변환효율,
- ⑤ 최대출력,
- ⑥ 축척에너지 밀도,
- ⑦ 환경오염 방지,
- ⑧ 높은 내구성 등이다.

표 1은 현재 실용 가능하거나 개발중에 있는 여러 가지 에너지 저장방법과 그들의 장단점을 요약하였음.

(3) 표 1에서 보는 바와 같이 다가올 21세기의 에너지 저장기술로서 가장 유력한 것이 초전도 플라이휠 에너지 저장(Superconducting Flywheel Energy Storage, SFES)과 초전도 마그네트 에너지 저장(Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES)기술임을 알 수 있음.

(4) 초전도 자석으로 구성된 폐쇄 회로에 전류를 공급하여 저장한 후 원하는 시기에 저장된 전력을 외부에 추출하여 사용하는 SMES는 표 1의 여러 에너지 저장기술과 비교할 때 전력계통상 다음과 같은 장점이 예상됨.

- ① 에너지 저장은 수천 MWh급까지 90% 효율이 예상되어 부하 관리면에서 탁월한 기능이 전망되며, 대용량 부하의 손실의 경우에도 그 역할을 담당함.
- ② 부하 추종 특성이 양호하여 경직성 발전소의 일정 출력 운전을 가능케 함으로써 전체 설비 운용의 효율을 향상시킴.
- ③ 계통의 과도현상에 대해서 SMES는 저주파 전력동요현상을 억제하고 주파수를 안정화시킬 수 있는 능력을 가짐.
- ④ SMES는 수요의 변동과 급격한 변화를 흡수함으로써 발전기가 가장 효율적인 점에서 운전하도록 하여 운전의 지속성을 증가시킴.

이러한 장점들을 나열할 수 있으나 실질적으로 SMES를 실용화하기 위한 연구개발 방향은 대규모 자석의 제작과 냉매를 액체헬륨을 사용함으로써 수반되어야 될 냉각기술과 비용 등을 고려하여 볼 때 경제성이 없어 대규모 에너지 저장 차원의 개발이 아니라, 소규모 SMES의 전력계통 안정화를 위한 연구를 추진하고 있는 실정임.

- (5) 표 1의 에너지 저장 기술 중 전기 발생 비용 절감, 에너지의 효율적 저장, 환경오염 최소화를 통한 새로운 발전소의 건설이나 비상 전력 공급을 위한 설비를 줄일 수 있는 고온초전도 플라이휠 에너지 저장 기술에 대하여 다음에 서술하도록 하겠다.

표 1. 에너지 저장기술의 비교

	초전도 플라이휠 에너지 저장(SFES)	축전지 (Batteries)	양수 발전 (Pumped Hydro)	압축공기 저장 (Compressed Air/Gas)	초전도 에너지 저장 (SMES)
효율	~ 90%	~ 70%	~ 70%	< 50%	~ 90%
용량	대	중	대	대	대
주기 수명	무제한	×100	×1000	×1000	무제한
충전 시간	수 분	수 시간	수 시간	수 시간	수 시간
부지 확보 가능성	매우 용이	용이	곤란	곤란	매우 곤란
저장 에너지 측정	매우 용이	곤란	매우 용이	매우 용이	매우 용이
건설 기간	수 주	수개월	수 년	수 년	수 년
환경적 효과	환경 친화	환경오염	환경 파괴	환경 파괴	환경파괴
사고 중대성	낮음	보통	높음	보통	높음
환경적 규제	없음	엄격	약간	약간	없음
요구되는 열	냉매 (액체 질소)	가열	없음	고온	냉매 (액체헬륨)
실용화 가능성	개발 중	실용화 단계	실용화 단계 (현 부지 확보의 한계)	실용화 단계 (현 부지 확보의 한계)	개발 중

다. 초전도 플라이휠 에너지 저장기술

(1) 고온초전도 플라이휠 에너지 저장 장치 구조 플라이휠시스템은 근본적으로 3개의 요소로 구성되어 있다.

- ① 회전체 지지를 위한 베어링,
- ② 에너지 저장을 위한 회전체 시스템,
- ③ 에너지 변환을 위한 모터/발전기 시스템이다.

이 3 구성 요소를 그림 1에 나타내었음. 이 외에도 진공시스템, 냉각시스템, 제어시스템 등이 구성되어 있음.

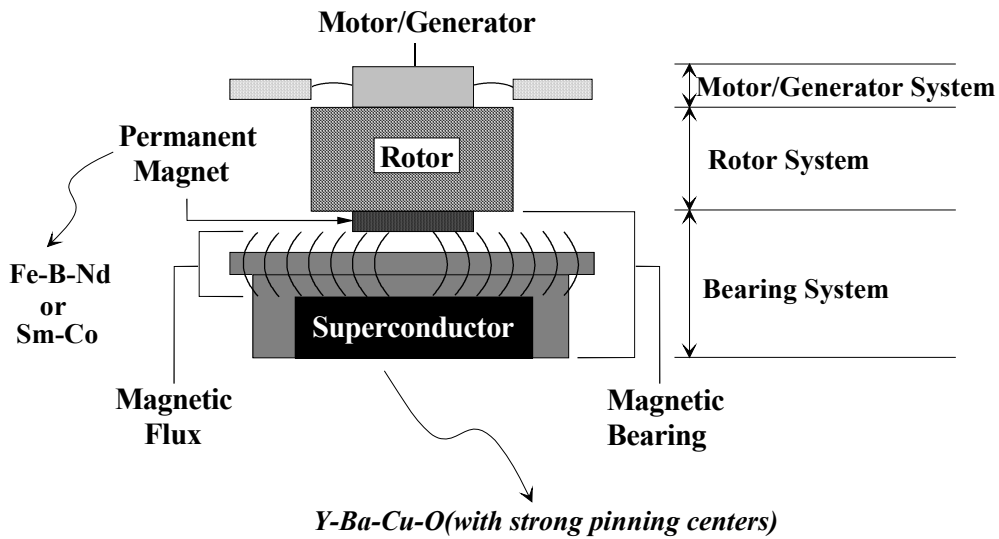


그림 1. 고온초전도 플라이휠 에너지저장장치 모식도

(2) 고온초전도 플라이휠 에너지 저장장치 특징

- ① 고온초전도 플라이휠 에너지 저장장치가 플라이휠 에너지 저장장치와 다른 점은 회전체를 떠받치기 위한 베어링에 고온초전도체를 이용하여 마찰에 의한 에너지 손실을 개량하였다는 것임.
- ② 현재 실용화되고 있는 영구자석의 반발력을 이용한 베어링은 외부 자장 하에서 자석, 즉 회전체의 안정화를 위하여 특수한 제어장치가 반드시 필요함.
- ③ 이 경우 베어링에 의한 마찰을 어느 정도 줄일 수 있으나, 결과적으로 자석 간의 마찰과 제어장치 등에 의한 에너지 효율 저하로 인해 시간당 최소한 1%, 즉 하루에 저장된 에너지의 약 25% 이상이 손실됨.
- ④ 반면에 고온초전도 베어링의 경우 저장된 에너지의 손실은 시간당 약 0.1%, 즉 하루에 약 2%에 지나지 않음.
- ⑤ 베어링시스템은 회전체를 부상시키는 영구자석 (permanent magnet)과 고온초전도체 (high temperature superconductor)로 구성되어 있으며 고효율 플라이휠 에너지 저장장치에서의 주성분은 저손실 초전도 베어링임.

(3) 실용 가능성

- ① 플라이휠 에너지 저장장치의 실용화가 한정적인 최대의 이유는 회전자에 기인하는 회전손실 때문이라 할 수 있음.
- ② 회전 중에 축이 자력에 의해 영향을 받는 관계로 베어링 구조, 제어방식, 코일, 과전류손, 히스테리시스손 등이 있어 베어링 부하 1 kg당 수 W 정도는 피할 수 없으며, 특히 고속 회전 때에는 과전류손이 증가함.
- ③ 초전도자기베어링은 그 성능이 아주 우수하여 실용 가능한 에너지 저장 기술로 재검토되고 있는 데, 그 이유는
 - 거의 무저항적인 베어링을 위한 고온초전도재료 개발
 - 고속의 플라이휠 회전체를 제작하기 위한 고강도 복합 재료 개발
 - 고효율 에너지 변환용 고성능 전력전자 기술 등을 들 수 있음.
- ④ 다음에 플라이휠에 에너지를 저장하려면 그 양과 관계되는 인자들과의 관계를 살펴보면, 플라이휠에 저장할 수 있는 총 운동에너지 용량은 다음 식에 의하여 정의될 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \text{-----} (1)$$

여기서 E는 저장되는 총 운동에너지 양이며 I는 관성모멘트이고, ω 는 각속도 (rad/s)임. 물체의 관성모멘트는 물체의 형태와 질량의 분포상태는 물론, 그 물체가 회전하고 있는 특정된 축에 의해서 달라지는데 여기서는 원통 축에 관하여만 고려하여 볼 때, $I = mr^2/2$ 이다. 그러므로 저장되는 총 운동에너지의 양을 다른 식으로 쓰면,

$$E = \frac{1}{4} m(r \cdot \omega)^2 \text{-----} (2)$$

여기서 m은 회전체의 질량 (kg), r은 반경 (m), ω 는 각속도 (rad/s)임.

- ⑤ 에너지 저장량은 회전체 무게에 직선적으로 비례하고, 회전속도와 회전체 직경에는 제곱에 비례함.
- ⑥ 회전체의 회전속도 한계는 회전체의 직경과는 관계없이 회전시의 응력과 재료의 강도에 의해 결정됨.
- ⑦ 현재 개발된 금속 합금이 상대적으로 낮은 강도와 높은 밀도 때문에 회전속도 한계가 수 백 m/sec에 불과한 반면, 최근에 섬유복합재료의 개발은 고강도, 저밀도로 1000 m/sec 이상의 회전속도가 가능하여 고온초전도 재료 개발과 더불어 실용화에 더욱 접근시켰음.

(4) 고온초전도 베어링 기술

- ① 고효율 플라이휠의 가장 중요한 부분이 무저항 초전도 베어링이며, 이는 고온초전도체와 이를 띄우기 위한 영구자석으로 되어 있음.
- ② 초전도체는 임계 온도 이하에서 고온초전도체에 영구자석이 가까이 가면, 핀 고정점에 의해 자속침투가 억제되고 그로 인하여 차폐전류 (screening current)가 생김으로써 반자성 성질이 나타나기 때문에 자기부상력이 생김.
- ③ 고온초전도체는 초전도 상태를 얻기 위하여 액체 질소의 냉매를 사용하여 냉각시키며, 사용되는 초전도재료의 성분은 현재 Y계 초전도체임.
- ④ 자기부상력을 높이기 위하여서는 효과적인 핀 고정점의 도입도 중요하지만, 큰 입자 및 결정체의 제작도 중요함. 큰 결정체를 제조하기 위한 여러 가지 제조 프로세싱 중 용융응고법이 가장 효과적인 방법으로 이용되고 있음.
- ⑤ 부상을 위한 영구자석은 디스크나 실린더 형태를 하고 있으며, 부상력은 자장의 제공에 비례함.
- ⑥ 부상력을 향상시키기 위하여서는
 - 초전도체의 자기부상력 향상 (핀고정점 도입)
 - 영구자석의 자력 증가
 - 두 자석 사이의 거리 단축 등을 고려해야 함.

(5) 플라이휠의 장점과 그 응용

- ① 응용범위가 광범위하며 목적에 따라 용량과 규모를 조절할 수 있음.
- ② 에너지 입출력의 양과 시간을 자유롭게 조절할 수 있음.
- ③ 에너지를 필요로 하는 장소에 자유롭게 설치할 수 있음.
- ④ 에너지 밀도가 상대적으로 높음.
- ⑤ 고온초전도 플라이휠 에너지 저장 장치는 전철의 전력저장, 컴퓨터에의 안정된 전류 공급, 대용량 설비 (핵융합 tokamak 등)에의 순간적 전력 공급 그리고 대규모의 잉여전력 저장 등에도 사용될 수 있음.

표 2. 고온초전도플라이휠의 사양

규격	1 kWh급	10 kWh급	1 MWh급
직경	1 m	2 m	4 m
높이	2 cm	5 cm	10 cm × 10
무게	120 kg	1.2 ton	100 ton
초전도체 갯수	40	400	30,000
회전체 회전수	7,200 rpm	3,600 rpm	1,800 rpm
축척 에너지량	1.2 kWh	12 kWh	1 MWh
에너지 밀도	10 Wh/kg	10 Wh/kg	10 Wh/kg

표 3. 플라이휠의 응용

에너지의 입출력 주기	유지 시간	응용 분야
비상시	장기간	디젤엔진의 비상 가동시 건물 등의 비상전원
각종 실험시	단기간	핵융합 실험 등의 순간적인 전력원
1 ~ 2 회/일	수시간 ~ 수십시간	양수발전 저장의 대체
수 ~ 수십 회/일	수분 ~ 수시간	전기로, 밀링 기계
수십 ~ 수백 회/일	수분 ~ 수십분	전기자동차
수십 ~ 수백 회/일	수십초 ~ 수분	전기자동차 또는 자동차의 전원
계속	단시간	엔진, 압축기

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향 및 전망

(1) 초전도 세계 시장

- ① 초전도 분야에서 국제적으로 가장 신뢰성이 있는 국제 초전도 산업 Summit(ISIS*)에서 1996년 조사한 바에 따르면 초전도 기술시장 예측분석 결과(그림 2 참조)에 따르면 1995년의 연간 17억\$ 정도의 세계 시장이 2020년에는 2,440억\$의 규모로 확대될 것이라고 전망하고 있음.

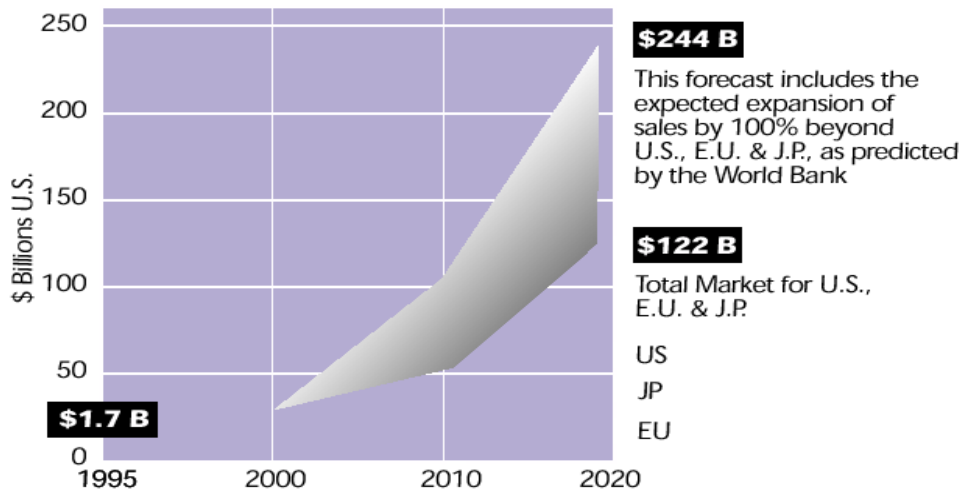


그림 2. 초전도 세계시장 예측 (ISIS-5, 1996년)

주) *의 ISIS는 미국·유럽·일본의 산업 Group[미국 : 초전도관련 미국 경쟁력 평의회(CASC), 유럽 : 초전도 이용을 위한 유럽기업연합(CONECTUS), 일본 : 국제초전도 산업기술 연구센터(ISTEC)]

표 4. 초전도 세계시장

[단위 : 십억 달러]

지역별 \ 년 도	1995년	2000년	2010년	2020년
미국(CSAC)	-	4.6	18	62
유럽(CONECTUS)	-	1	3	18
일본(ISTEC)	-	2	16	42
기 타	-	7.6	37	122
합 계	1.7*	15.2	74	244

주) *의 수치는 MRI 및 기타 마그네트 판매실적임.

- ② 앞에서 보는 바와 같이 세계의 초전도 시장규모는 2000년 152억 달러에서 2010년 760억 달러의 큰 시장을 형성할 것으로 예측하여 세계 각국은 정부의 주도하에 시장의 우위를 선점하기 위하여 노력을 경주하고 있음.

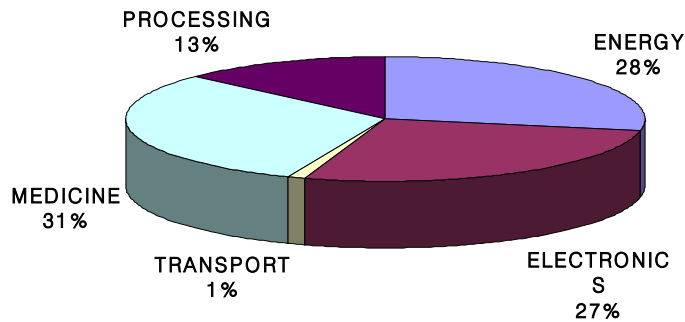


그림 3. 산업종류별 점유율

- ③ 2010년 세계초전도시장에서 각 분야에 따른 점유율을 분석하면 그림 3에서와 같이 전력응용분야가 MRI, NMR과 같은 의료분야 다음으로 크지만 ISIS-4에서 분석한 결과와 비교하면 약 12%이상의 증가를 보여 전자분야의 비율보다 높은 약 28%를 차지할 것으로 예상하고 있음.
- ④ 이러한 같은 예측결과는 3년 전의 결과이며, 회원국별로도 기기 개발에

대한 시장예측에 대한 견해차이가 있어 보다 추후 보다 엄밀한 예측분석이 필요하다.

(2) 초전도 국내 시장

- ① 국내 초전도시장은 세계적으로 가장 권위 있는 ISIS분석자료에서 제시한 2000, 2010, 2020년경의 일본 시장 규모와 비교하여 우리나라의 상대적 경제규모 및 에너지 소비량을 기준으로 1/5 정도로 예측.
- ② 국내의 초전도시장 중 2010년에 60%, 2020년에는 100%의 국산화를 목표로 하였을 경우, 발생하는 수입대체량과 전체 시장규모를 예측하여 그림 4에 나타냈음.

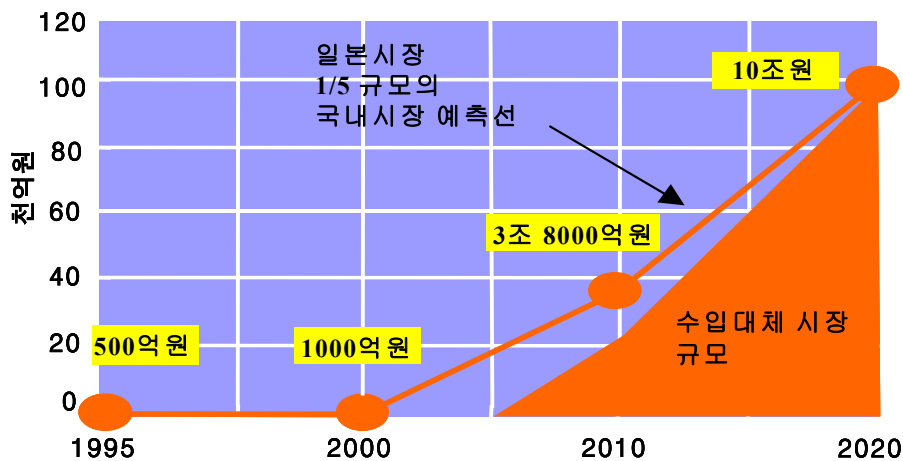


그림 4. 국내 초전도시장 예측

(3) 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 시장 분석

- ① 국내의 전력저장 도입가능량을 예측하고 계획된 발전용량을 기초 데이터로 이용하면 전력저장 도입 잠재량 및 시장규모를 예측할 수 있음.
- ② 전력저장의 도입가능량에 대한 정확한 자료를 공표한 국가는 없으나, 미국은 전체 발전용량의 3%를 계획하고 있고, 일본의 경우는 어느 분야에 최대한 도입될 수 있는 일정비율을 적용하여 시사한 바 있음.
- ③ 우리나라의 경우도 일본의 전력저장 도입 잠재량 및 시장규모 예측을 참고하여 시장분석을 하였음.
- ④ 대체에너지는 2010년에 총전원설비의 2%, 2015년에 2.5%를 점유한다

고 가정하였고 부하평준화 및 peak cut용 전력저장 예측은 2015년까지의 제5차 장기 전력 수급계획과 장기 수요관리 계획에 근거하여 계산되었음.

- ⑤ 2030년의 전력저장 시장은 2010년과 2015년 전력저장 시장 값을 linear fitting하여 얻었고 초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 도입 잠재량 및 시장규모는 전체 전력저장 도입 잠재량 및 시장규모에서 2010년에는 10%, 2015년에는 30%, 그리고 2030년에는 50%를 점유할 계획으로 계산되었음.

표 5. 한국의 전력저장 도입 잠재량 및 시장규모

		시산방법	잠재도입가능량 (만kW/만kWh)		시장규모(억원)			비고
			2010년	2015년	2010년	2015년	2030년	
부하 평준화	대규모	중간/첨두전원 설비의 5%	158	159	17,317	17,426	17,535	초전도플라 이휠 비용: 137,000원/ kWh
			1,264	1,272				
	중규모	배전용 설비의 5%	403	482	44,169	52,827	61,485	
			3,224	3,856				
	소규모	대형 냉방설비의 20%	404	444	44,278	48,662	53,046	
			3,232	3,552				
peak cut	수요관리 목표의 30%	168	223	18,413	24,441	30,469		
		1,344	1,784					
대체에너지 저장	대체에너지설 비의 50%	67.4	92.5	7,384	10,138	12,892		
		539	740					
총계			1,200	1,401	131,520	153,550	175,580	
			9,600	11,208				
초전도플라이휠 에너지저장 (2010년 전력저장의 10%, 2015년 30%, 2030년 50%점유)			120	420	13,152	46,032	78,912	
			960	3,360				

표 6. 연도별 냉방용 전력수요 추이 및 예측

구 분	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2010년	2015년
전체전력수요 (만kW)	2,988	3,228	3,585	3,300	3,730	6,737	7,402
냉방용전력수요 (만kW)	586	662	723	583	733	2,021	2,220
냉방용전력점유율 (%)	19.6	20.5	20.2	17.7	19.7	30 (예측)	30 (예측)

표 7. 연도별 배전설비 용량 추이 및 예측

구 분	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2010년	2015년
변압기 용량(MVA)	33,677	35,528	39,596	41,550	47,876	80,700	96,500

표 8. 한국전력의 장기 수요관리 목표

연도	2000	2005	2010	2015
공급능력	4,644	5,698	6,737	7,402
수요관리 전	4,018	5,475	6,632	7,494
수요관리 후	3,951	5,166	6,072	6,751
수요관리 목표	67	309	560	743
공급예비율(%)	16.0	16.9	17.6	16.2

※ 자료 : 제5차 장기전력 수급계획

표 9. 한국전력의 장기 전원 구성계획

연도	1999	2000	2005	2010	2015
중간/첨두설비	2,023	2,130	2,573	3,152	3,179
기저 발전설비	2,675	2,775	3,589	4,309	4,727
◎ 기저 발전설비(원자력, 석탄), 중간 첨두설비(LNG, 석유 등) ◎ 기저 발전설비의 점유비율이 점차 커짐 57.0%('99) ⇒ 59.8%(2015)					
※ 자료 : 제5차 장기전력 수급계획					

- ⑥ 소형 에너지 저장장치(수십 kWh급)는 병원, 호텔, 군시설, 그리고 산업체에서 현재 무정전 전원장치로 사용되고 있는 납축전지의 짧은 교체주기(3-4년) 및 잔류 가동능력(시간)의 불확실성과 환경문제 때문에 납축전지를 대체할 것이고 도서지방의 태양광발전과 연계하여 사용될 예정이다.
- ⑦ 중형(수백 kWh급)은 변전소나 변압기에 설치하여 송변전과 계통안정화에 기여하고 2010년에 5,271억원, 2015년에 6,304억원의 송변전 설비투자 절감효과를 가져올 것으로 예측됨.
- ⑧ 대형(수 MWh급)은 대도시나 발전소에 설치하여 부하관리에 이용함으로써 2010년에 2,066억원, 2015년에 2,079억원의 발전설비 투자비를 절감하고 2010년에 475억원, 2015년에 785억원의 송변전 설비투자비를 절감하며 화석연료 의존비율의 감소로 2010년에 555억원, 2015년에 615억원의 환경비용이 절감될 것으로 예상됨.
- ⑨ 표 5의 예측에 의하면 2010년에 플라이휠 에너지 저장장치의 시장규모는 1조 3천억원, 2015년 4조 6천억원, 그리고 2030년에 7조 9천억원 가량이 될 것임.

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내 연구개발 동향

- ① 국내에서도 고온초전도체를 베어링으로 사용한 플라이휠 에너지저장장치

에 대한 연구가 1990년 중반부터 진행되어 왔음.

- ② 한국원자력연구소는 수직축 초전도 베어링을 이용한 직경 30 cm, 13.5 kg 중량의 알루미늄 회전 디스크를 진공에서 무접촉 구동하는 소형 고온 초전도 플라이휠을 제작하여 진공 중에서 10,000 rpm의 회전속도를 기록하였음.
- ③ 한국기계연구원은 전자석을 베어링으로 이용한 15 Wh급 에너지 저장장치를 개발하였으며, 아주대학과 연세대학 기계공학과에서 각각 초전도베어링의 형상설계 및 진동특성과 stiffness 특성을 연구중임.
- ④ 한전 전력연구원은 세계 최고 수준의 초전도 베어링기술을 확보하여 세계 최초로 수평축 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 prototype(그림 5)을 제작하였으며, 현재 300 Wh급의 에너지 저장장치(그림 6)를 제작하여 28,000 rpm까지 회전 실험하였고 5 kWh급을 제작중임.



그림 5. 전력연구원이 개발한 7 Wh급 수평축 초전도 플라이휠 에너지저장장치

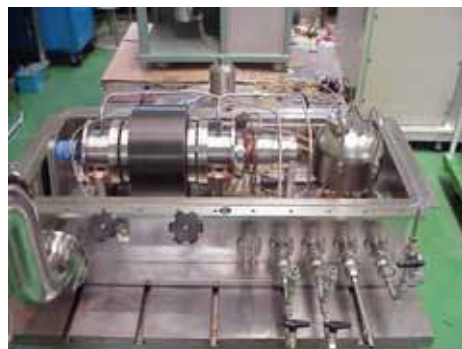


그림 6. 한전 전력연구원이 개발한 300Wh급 수평축 초전도플라이휠 에너지 저장장치.

(2) 국외 연구개발 동향

① 일본

일본 초전도 공학 연구소(ISTEC)에서는 고리형 영구자석을 부착한 직경 30 cm의 알루미늄 회전체를 33개의 $YBa_2Ca_3O_7$ (이하 YBCO) 초전도체위에서 약 1 cm 부상시킨 후 분당 3600 회의 속도로 회전시켜서 100 Wh의 전력을 저장하는데 성공하였고 이 결과로부터 직경 3 m, 중량 500 kg의 원반을 회전시키면 10 kWh의 전력을 안정되게 저장할 수 있을 것으로 계산하였음.

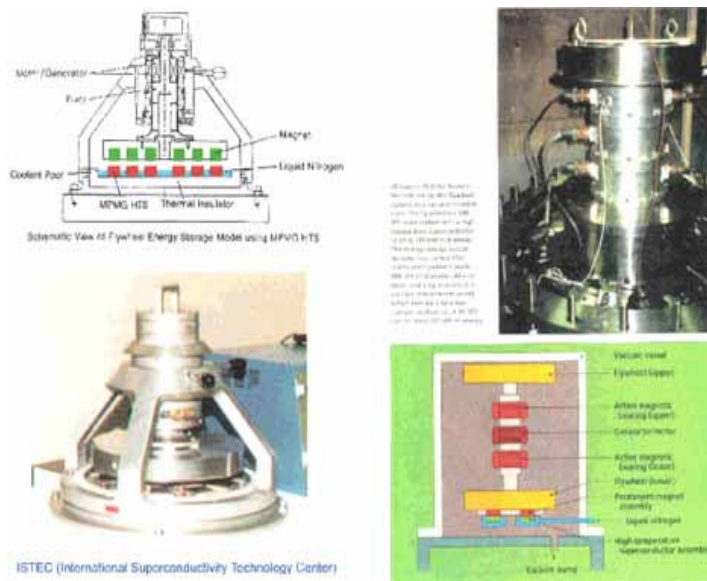


그림 15. 일본 ISTEK과 Shikoku 전력에서 개발중인 플라이휠 에너지 저장장치.

일본 Shikoku 전력회사와 Mitsubishi 전기에서는 직경 6.45 m, 무게 225 ton의 고합금 금속과 직경 6.7 m, 무게 103 톤의 탄소섬유강화 플라스틱을 이용하여 8 MWh의 저장능력을 가진 플라이휠을 설계 중에 있음.

② 미국

미국에서는 Commonwealth 전력과 Argonne 국립연구소가 공동으로 2~5 kWh의 전력 저장능력을 가진 초기단계의 플라이휠 에너지 저장장치를 초전도베어링을 사용하여 개발하였으며 (1995년), 1997부터는 1~5 MWh 용량의 에너지 저장장치를 개발중임. Texas 대학 초전도 연구팀에서는 플라이휠의 자기부상력과 안정성(stiffness)을 향상시키기 위해 2개의 초전도 베어링을 회전체의 상·하단부에 설치한 hybrid형의 초전도 베어링을 제작하였다. 현재 500 MJ 용량의 플라이휠 에너지 저장장치를 개발하는 연구가 진행중임.



그림 16. Argonne 과 commonwealth가 개발하고 있는 플라이휠 에너지 저장장치.

③ 유럽

독일 원자력연구소(KFK)에서는 용융공정으로 제조된 덩어리형 고온초전도체와 디스크형의 영구자석을 사용하여 초전도베어링을 제작하였고 회전실험을 한 결과, 1×10^{-5} mbar의 진공에서 1.6×10^{-9} 의 마찰계수를 얻었으며, 40 Hz의 회전수에서 시간당 0.36 %의 에너지 손실을 기록하였다. 또한, 중량 19 kg, 직경 30 cm의 회전체를 15,000 rpm으로 회전시켜 3.8 Wh의 전력을 저장하는데 성공하였고 이후 직경 20 cm, 무게 10 kg의 회전체를 50,000 rpm의 속도로 회전시켜 총 에너지 용량 300 Wh, 출력 10 kVA의 플라이휠을 제작하였음.

표 30. 고온초전도 플라이휠 에너지 저장장치 국외 개발 현황

국명	수행기관	제작규모	진행중인 규모	비 고
미국	Argonne Nat. Lab.	300Wh	1 ~ 5MWh	DOE & Commonwealth Res. Co. 지원
	Houston Univ.	14 kg, 6,000rpm		EPRI 지원
	Boeing	2kWh	10kWh	SPI project
일본	ISTEC	직경 30 cm, 3,600 rpm 100Wh	직경 3 m, 500 kg 10kWh	
	四國電力 & 미쓰비시전기	직경 40 cm, 37 kg, 30,000 rpm 500Wh	10kWh	松山발전소에서 장기운전 시험 최종목표:10MWh
	中部電力	직경 60 cm, 180 kg, 20,000 rpm 1.4kWh	1MWh	
독일	Karlsruhe	직경 20 cm, 10 kg, 50,000 rpm 300Wh	900Wh	최종목표 : 5MWh
이탈리아	CISE	16Wh 제작 중	60Wh 설계	

다. 국내외 관련 기술 수준 비교 및 목표 설정

표 31. 세부기술의 선진국 대비 기술수준 비교

세부기술	현재수준	목표수준
초전도 베어링 기술	선진국대비 90%	선진국대비 120%
복합재 플라이휠 기술	선진국대비 75%	선진국대비 100%
전동/발전 기술	선진국대비 80%	선진국대비 100%
펄스 초전도 마그네트	선진국대비 30%	선진국대비 100%
냉동기 부착형 Cryostat	선진국대비 50%	선진국대비 100%
고속 에너지변환 장치	선진국대비 70%	선진국대비 100%
운전 및 상용화기술	선진국대비 40%	선진국대비 100%

3. 사업의 목표

가. 최종목표 : 1 MWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치

나. 단계별 목표 :

- 1단계 (2005~2007) : 30 kWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 개발
- 2단계 (2008~2011) : 100 kWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 개발
- 3단계 (2012~2014) : 100 kWh급 모듈로 1 MWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 개발

다. 주요 핵심기술의 단계별 목표

	<제1단계>	<제2단계>	<제3단계>
- 벌크 초전도 마그네트 개발	: 0.5T		
- SFES용 초전도 베어링 기술	: 500 kg	1,000 kg	
- 에너지변환시스템 기술	: 30 kW	100 kW	500 kW
- SFES용 복합재 플라이휠 로터 기술	: 30 kWh급	100 kWh급	
- Flux creep 저감기술	: 확보		
- Nd계 초전도 단결정 제조공정 기술	: 단결정개발		
- 초고강도 초전도 마그네트 용기 기술		용기개발	
- SFES 안전성 확보 기술		확보	
- SFES용 냉각시스템 개발		최적화	
- 상용화급 SFES integration 기술개발		100 kWh급	1MWh급
- 초전도플라이휠 에너지 저장기술	: 30 kWh	100 kWh	1MWh

<내용 및 범위>

- o 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 설계 및 integration 기술 개발
 - 용도, 경제성, 규격 등을 고려한 최적의 설계 및 제작 기술 확보
- o 플라이휠용 초전도 마그네트 기술 개발
 - 포획자장 및 flux creep 연구를 통한 고하중 지지 기술(60-300 kg)
- o 에너지 변환시스템 및 지지부 기술 개발
 - 고효율 무접촉 전동/발전기 개발(10-130 kW)
- o 복합재 플라이휠 로터 및 안전성 확보 기술 개발
 - 고에너지 저장밀도를 위한 설계 및 제작 기술(5-100 kWh급)
- o Nd계 초전도 단결정 기술 개발
- o 초고강도 단열 초전도 마그네트 용기 기술 개발

4. 사업내용 및 추진 체계

가. 사업 내용 추진 체계 구성



나. 추진 체계 흐름도

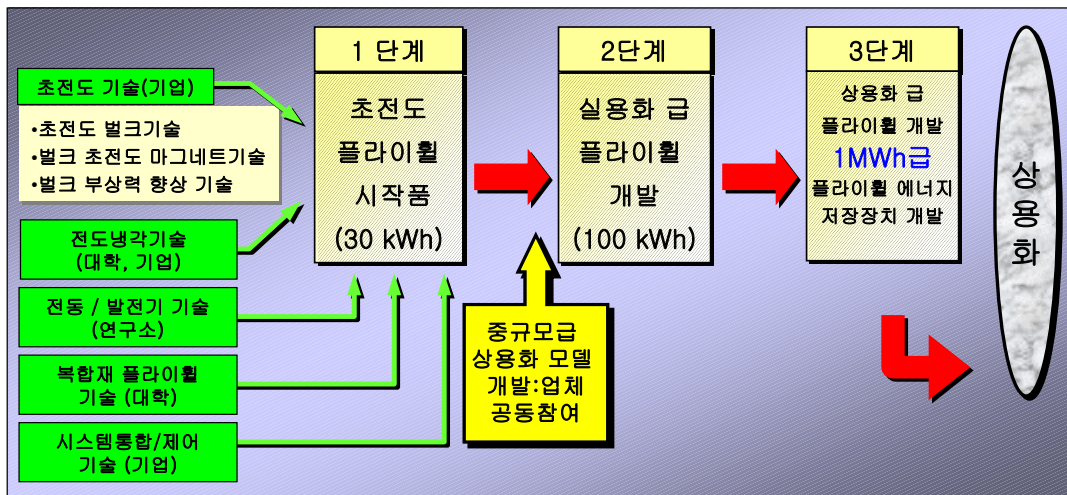


그림 17. 초전도 플라이휠 기술 개발 흐름도

5. 추진 전략

가. 그 동안 연구 사업과 인프라 사업(기술기반조성사업)등을 통하여 확보한 연구장비를 충분히 활용하여 연구기자자재 구입비용을 최소화하고 주로 시작품 제작을 통한 실질적인 연구 성과를 도출한다.

나. 선진국의 기술 동향자료를 인터넷, 논문, 특허, 기술정보지 활용 및 국제학회 참가 등을 통하여 다각적으로 수집 검토한다.

다. 해당 보유기술을 가진 연구기관 방문에 의한 정보수집 및 필요시 공동연구 추진

▶ 미국 아르곤국립연구소 (Argonne National Lab., ANL)

▶ 미국 보잉사

▶ IEA(국제에너지기구)의 초전도플라이휠에너지 저장기술 분야를 통한 미국, 일본, 이스라엘, 한국의 국제 컨소시엄 조직을 통한 공동 연구 및 정보교류

라. 1단계는 연구소, 대학위주의 기반기술을 개발하고 2단계는 업체 공동 참여 하에 실증 시험기를 제작하여 성능평가를 행하고 문제점을 분석하여 최적화 설계를 행한다. 3단계는 업체 주도의 상용화기술을 개발하고 상업용 실제품을 생산하여 실제 현장에 투입하여 신뢰성 검사를 수행한다.

6. 소요 예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요예산

(단위 : 억원)

대분류	세부 핵심 기술	소요예산
초전도 베어링 기술	초전도 단결정 제조 기술	50
	부상력 향상 기술	40
	손실 저감 기술	20
	최적 설계 기술	30
	소 계	140
전동/발전기 기술	자기장 해석 기술	20
	전동/발전기 설계/제작 기술	50
	손실 저감 기술	20
	소 계	90
복합재 휠 기술	복합재 휠 제조 기술	50
	허브 설계/제조 기술	50
	복합재 휠 파괴 분석 기술	30
	소 계	130
시스템 통합/제어 기술	플라이휠 에너지 저장장치 시스템 통합기술	100
	시스템 동특성 평가 기술	50
	시스템 안전 제어 기술	50
	시스템 실용화 기술	50
	소 계	250
총 계		610

나. 세부 핵심 기술별 소요 예산

대분류	계	연도별 소요예산(년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
초전도 베어링 기술	140	10	10	10	10	15	15	15	15	20	20
전동/발전기 기술	90	5	7	8	10	10	10	10	10	10	10
복합재 휠 기술	130	10	10	15	10	10	15	15	15	15	15
시스템 통합/제어 기술	250	20	20	30	20	20	20	30	30	30	30
계	610	35	47	63	50	55	60	70	70	75	75

7. 기대효과

가. 기술적 측면

- 고온초전도 플라이휠 시스템의 대용량화를 위한 기반기술 구축
- 고속, 고효율 전동발전기 및 전력변환회로 설계기술 확보
- 고속회전체 복합재료 플라이휠의 설계능력 보유
- 로터 제작기술의 축적
- Hybrid 자기베어링 설계기술 구축
- 냉각 시스템의 설계 기술 확보
- 진공 시스템의 설계기술 확보
- 고온초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 운전기술 확보
- 개발된 전동/발전 시스템은 플라이휠 에너지 저장장치뿐만 아니라, 전기자동차용 구동장치, 일반용 전원발전기, 회전 및 속도계용 발전기 등에 활용 가능.

나. 산업·경제적 측면

- 일본 신에너지 산업기술 총합연구기구는 상용화 규모인 10 MWh 급 전력저장장치를 제작하여 기존의 납축전지를 대체할 예정.
- 국내의 경우도 기존의 납축전지를 초전도 베어링을 사용한 플라이휠 에너지 저장장치로 대체하게 될 경우 영구자석, 초전도 베어링, 진공용기, 냉동기, 모터/발전기 등 수백억원대의 관련 산업이 창출될 전망.
- 전 세계적으로 고온초전도 플라이휠 에너지저장장치는 2010년 이후에 시장이 형성될 전망.
- 응용분야는 디젤엔진과 건물 비상전원, 핵융합 실험의 순간전력원, 양수발전의 대체, 전기자동차의 전원, 압축기 등 사용범위가 다양.
- 플라이휠 에너지저장장치와 경쟁하는 분야는 납축전지(효율70%), 양수발전(70%), Compressed air/gas (<50%), Combustion turbine (50%).
- 플라이휠 에너지 저장장치가 고효율 (90%), 무공해 환경친화적 장치인 것을 고려하면, 현재 이들이 차지하고 있거나 앞으로 점유 가능성이 있는 시장의 대부분은 고온초전도 플라이휠 에너지저장장치로 대체될 것으로 예상.

다. 정책적 측면

- 이 분야는 정부 주도 하에 전략적 지원이 이루어지는 분야이고 도입할 만큼 완성된 기술을 현재 보유하고 있는 나라도 없는 상태.
- 고온초전도 플라이휠 에너지 저장 기술은 첨단기술분야로부터, 국방, 우주산업 등의 국가 기간 사업과 밀접히 연관되어 개발되고 있으므로, 선진국이 투입한 막대한 개발비에 상당하는 기술료 수준을 지불하지 않고는 핵심기술 도입은 불가능할 것임.
- 기술도입은 원천적으로 불가능하고, 향후 적용분야가 크게 확대될 것으로 전망되는 고온초전도 플라이휠 에너지 저장 기술은 산업의 근간을 이루는 기초적인 성격이 짙기 때문에 정부차원에서 지원하는 것이 타당함.

라. 활용방안

저온 진공, 고중량 부양기술, 고속 회전체 안전 시스템, 고속 모터/발전기 및 입출력 기술, 계통연계 기술 등 파생되는 기술은 전력산업 전반에 유용하게 활용될 수 있는 것으로 적극적으로 홍보하고, 전력산업으로의 접목을 지속적으로 시도할 것임. 특히 고효율, 초고속 전동/발전 시스템은 플라이휠 에너지 저장장치뿐만 아니라 다음과 같은 여러 산업분야에서의 활용이 가능하다.

- ① 일반 산업분야 : 산업이 고도화, 첨단화됨에 따라 기어 없이 고속회전력이 요구되는 공작기계용 spindle 전동기, 진공 터보펌프, gas 압축기, 고속 연마기, 전동공구, gas turbine 발전기, 원심 분리기
- ② 교통 및 수송분야 : 수송분야는 전동기 자체가 수송중량으로 계산되기 때문에 가능한 적은 중량이 요구되는 고속전철 추진 전동기, 자기부상 추진시스템, 전기자동차, HV 승용차, 고속선박
- ③ 국방분야 : 고밀도 에너지가 필요한 전자포 발사장치용 보상발전기, 어뢰 추진장치, 미사일 위치 제어, 전기 추진 전차
- ④ 항공 산업분야 : 항공산업은 경량화가 최우선으로 요구되기 때문에 가스터빈 연료펌프, 가스 터빈의 Starter 및 Alternator, 공조기, 발전기, 비행선

8. 경제성 평가

가. 수요자관점

수요자관점에서 관심 있는 것은 에너지 저장장치를 사용하여 심야전력을 사용할 경우 이득이 있느냐 하는 것이다. 이득이 있기 위해선 피크 전기료와 심야 전기료 차이에 의한 연간 전기료 절감액이 최소한 용자받은 연간 투자비 할부금과 같아야한다.

$$\text{연간할부금} = \text{할부비} \times K[E_{\max}, P] \quad (1)$$

여기서 할부비는 할부금/투자비, K는 투자비, E_{max}는 에너지 저장용량, P는 출력용량이다.

연간 전기료 절감액은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{연간절감액} &= \sum_{n=1} P_{\text{peak}[n]} E_{\text{used}} - \sum_{n=1} P_{\text{off-peak}[n]} E_{\text{stored}} \\ &= 365 \text{일/년} \times (P_{\text{peak}} E_{\text{used}} - P_{\text{off-peak}} E_{\text{stored}}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 P_{peak} 는 전력사용량이 피크일 때의 전기료, $P_{\text{off-peak}}$ 는 심야전력 전기료, E_{stored} 는 저장된 전력량, 그리고 E_{used} 는 사용한 전력량을 나타낸다.

효율(efficiency)을 매일 사용하는 전력량과 저장하는 전력량의 비라고 정의하고, 에너지 저장장치가 경제성이 있기 위해서 연간 할부금과 연간 절감액이 같아야만 한다.

$$365 \text{일/년} \times (P_{\text{peak}} \cdot \text{eff} - P_{\text{off-peak}}) E_{\text{stored}} = \text{할부비} \times K[E_{\max}, P] \quad (3)$$

$$\frac{365 \text{ day} \cdot E_{\text{stored}}}{1 \text{ year} \times P \times \text{할부비}} \times (P_{\text{peak}} \cdot \text{eff} - P_{\text{off-peak}}) = K[E_{\max}, P]/P \quad (4)$$

한국전력에서 적용하는 일반용 전력의 전기요금은 피크부하 시에 159.1 원/kWh, 중간부하 시에 92.6 원/kWh, 그리고 경부하 시에 44.3 원/kWh이다. 에너지 저장장치의 효율이 90 %, 할부비가 0.2(회수기간 5년), 출력 55 kW에 8시간 방전할 수 있는 440 kWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 경우 경제성 있는 투자비는 약 180,492 원/kWh이다. 표 13와 표14에서 보는바와 같이 미국 오크리지 국립연구소에서 조사한 전자석 플라이휠 저장장치의 설치비는 130,800 원/kW이고 전자석 베어링을 초전도베어링으로 대체하였을 경우 제작비는 표 15에서 보는바와 같이 137,000원/kWh로서 수요자 관점에서 에너지 저장장치성의 경제성은 높다. 이외에도 플라이휠 에너지

저장장치에는 기본적으로 무정전 전원장치 기능과 power conditioner 기능이 있기 때문에 고가의 중요장비를 사용하는 업체의 경우 전기료 절감 이득 보다 무형의 더 큰 이득을 볼 수도 있다.

표 12. 침두부하 해소용 플라이휠 에너지 저장장치 경제성 평가

전기료 절감	할부비	0.2 (회수기간 5년)
	$Power(P)$	55 kW
	E_{stored}	440 kWh
	$P_{peak-eff} - P_{off-peak}$ (원)	$159.1 \times 0.9 - 44.3 = 98.9$
	$K[E_{max}, P]/E_{stored}$ (예상 최대 투자비)	180,492 원/kWh
플라이휠 에너지 저장	성능	240 kWh급, 30 kW출력, 8시간 방전
	efficiency	90 %
	예상제작비	137,000 원/kWh
평가	440 kWh급 초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 경우 경제성 있는 최대투자비는 약 180,492 원/kWh인데 반하여 실제 저장장치의 설치비는 약 137,000 원/kWh로서 경제성이 높다.	

표 13. 450kW 출력의 450kWh 유효저장(총 600kWh 저장용량)을 갖는 플라이휠 시스템의 비용(2004년 기준) (단위: \$)

Flywheel cost element	Estimated cost
Flywheel rotor (\$3/lb graphite composite)	28,000
Motor/Generator (\$4/kW)	1,800
Power Electronics (\$20/kW, Switched among 10 flywheels)	900
Magnetic Bearing & Electronics	2,000
Miscellaneous Structure	2,000
Assembly	2,000
Total	36,700
Approximate Energy Storage cost is \$82/kWh	
Approximate power cost is \$82/kW	

표 14. Flywheel plant cost elements and total (단위: \$)

Plant cost element	Estimated cost
20,000 MWh worth of 450kW/450kWh Flywheel units @\$82/kWh	1,640,000,000
Plant buildings (Estimated 10% of equipment cost)	164,000,000
Power switchgear (Estimated 5% of equipment cost)	82,000,000
Plant design (Estimated 10% of equipment cost)	164,000,000
Flywheel R&D program	50,000,000
Project management (Assumed to be 5% of equipment cost)	82,000,000
Total estimated plant cost	2,182,000,000
Approximate flywheel plane cost is \$109/kWh Approximate power cost is \$109/kW, (₩130,800/kW)	

표 15. 450kW 출력의 450kWh 유효저장(총 600kWh 저장용량)을 갖는 초전도 플라이휠 시스템의 추정 비용 (단위: \$)

Flywheel cost element	Estimated cost	
	\$	₩
Flywheel rotor (\$3/lb graphite composite)	28,000	33,600,000
Motor/Generator (\$4/kW)	1,800	2,160,000
Power Electronics (\$20/kW, Switched among 10 flywheels)	900	1,080,000
Superconductor Bearing	16,667	20,000,000
Miscellaneous Structure	2,000	2,400,000
Assembly	2,000	2,400,000
Total	51,400	61,680,000
Approximate Energy Storage cost is \$114/kWh, (₩137,000/kWh)		

나. 전력회사 관점 - 분산형 전력저장시스템의 도입효과

(1) 신규발전소 증설 억제 효과

- **첨두부하 억제 효과** : 부하단 근방에 설치된 전력저장시스템을 피크시간대에 전력공급원으로 이용하여 첨두부하 공급을 위한 신규발전소의 증설을 지연시켜, 설비투자비를 삭감시키는 효과가 기대됨.
- **경제성 평가**

첨두부하 증가를 해소하기 위한 비용은 신규 발전과 송전비용의 합으로 생각할 수 있다. 신규 발전비용은 투자비, 연료비, 그리고 운전·유지비의 합이고 신규 송전비용은 투자비와 운전·유지비의 합이다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{연간비용(신규화력발전)} = \text{투자회수비율} \times \text{총투자비(신규발전, 신규송전)} \\ + \text{연료비} \times 365\text{일} \times \text{전력발전량} \times 8\text{시간/일} + \text{운전유지비}$$

초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 연간비용은 다음과 같다

$$\text{연간비용(SFES)} = \text{할부비율} \times \text{총투자비(SFES)} + \text{운전유지비}$$

- 50만kW 화력발전소 기준

$$\text{투자비} = 864,000\text{원/kW} \times 500,000\text{kW} = 4,320\text{억원}$$

$$\text{연료비} = 57,700(\text{원/ton}) / (25,200\text{MJ/ton} \times 0.377) = 6.07\text{원/MJ} \\ = 26.6\text{원/kWh}$$

$$\text{연간비용} = 0.2 \times 4,320\text{억원} + 26.6(\text{원/kWh}) \times 365\text{일} \times 500,000\text{kW} \times \\ 8(\text{h/일}) + \text{운전유지비} \\ = 864\text{억원} + 388.4\text{억원} + \text{운전유지비} \\ = 1,252.4\text{억원} + \text{운전유지비}$$

- 400만kWh 초전도 플라이휠 에너지 저장장치 기준

$$\text{연간비용} = 0.2 \times 137,000\text{원/kWh} \times 4,000,000\text{kWh} + \text{운전유지비} \\ = 1,096\text{억원} + \text{운전유지비}$$

매일 피크부하 때 8시간 운전하는 50만kW 화력발전소를 건설하는 것보다 같은 피크부하 억제효과를 갖는 400만kWh 초전도 플라이휠 에너지 저장장치를 설치하는 것이 경제적임을 알 수 있다.

(2) 기존 전력설비 효율적 이용 효과

- 부하평준화 효과 : 부하단 근방에 전력저장시스템을 분산 설치함으로써, 하위계통(배전계통)의 부하평준화뿐만 아니라, 상위계통(발전계통)의 부하도 효율적으로 평준화시킴으로써, 운용비가 저렴한 발전기의 가동률을 상승시켜, 전력계통 전체의 운전비용을 삭감시키는 효과를 말함. 즉, 심야시간대에 운용비가 싼 원자력발전의 전력을 저장시켰다가, 주간의 피크부하시간대에 방출하여 비싼 화력발전기의 가동(운용)을 줄여서, 계통 전체의 운용비를 삭감시키는 효과가 기대됨.
- 전력계통설비 유효이용효과 : 부하단 근방에 설치된 전력저장시스템(분산형전원의 역할가능)을 피크시간대에 전력공급원으로 이용하면, 부하증가에 따른 송변전설비 및 배전설비의 신·증설공사를 어느 정도 지연시켜, 설비투자비를 삭감시키는 효과가 기대됨. 즉, 부하증가에 의하여 배전용 변전소 뿐만 아니라, 전원설비(양수발전소 대체) 및 송변전설비의 증강이 요구되는데, 이를 일정기간 지연시킴으로서 계통설비를 합리적으로 이용하게 하는 효과를 말함.
- 무정전전력공급 효과 : 부하단에 위치한 전력저장시스템을 평상시에는 경제적인 운용을 위해 부하평준화 기능으로 운전하되, 계통사고시나 작업정전 등의 긴급시에는 비상용발전기용으로 우선적으로 운전하여, 정전지역의 공급신뢰도를 향상시키는 효과를 말함.
- 경제성평가
부하평준화 효과는 축차근사수법 (부분문제의 최적화), 전원베스트믹스 (스크리닝법), 그리고 SFES의 최적운용 (경사법)을 사용하고, 전력계통설비 유효이용효과는 설비투자 경제성분석 (현재가치법)을 무정전전력공급 효과는 공급신뢰도평가 (기대정전손실법)을 사용하여 경제성을 평가하였다.

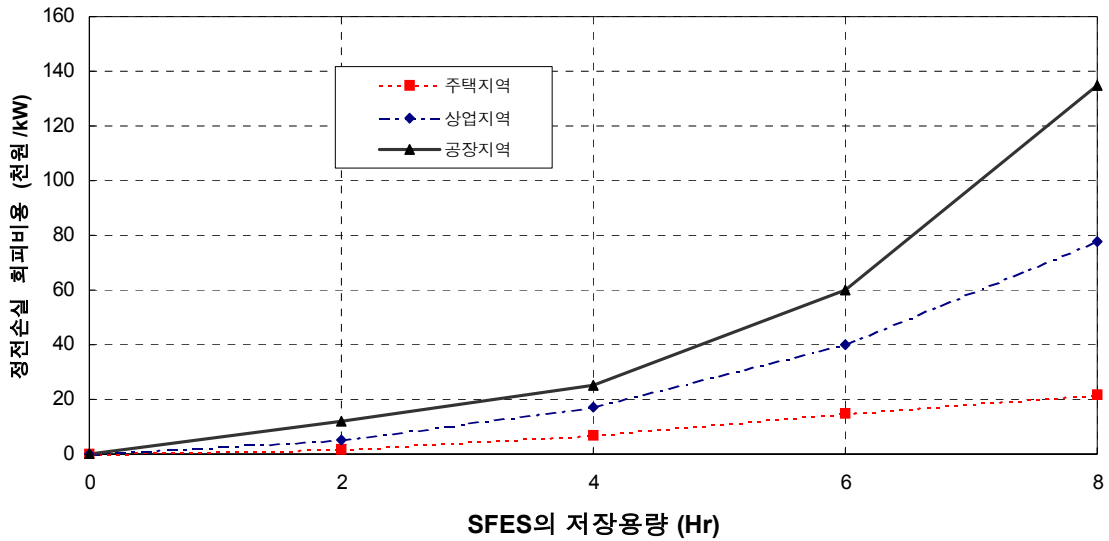


그림 10. 기대정전손실 효과

표 16. 기대효과의 정량적 산출결과

내역	기대효과(원/kW)	평가수법	비고(모델)
부하평준화 효과	422,200	전원베스트믹스, 경사법, 축차근사법	전력계통전체
전력계통설비 유효이용 효과	881,500	현재가치법	배전계통
무정전전력공급 효과	13,800	기대정전손실법	수용가
합계	1,317,500		

전력저장시스템을 수용가 근처에 분산배치함으로써 부하평준화 효과뿐만 아니라, 전력계통 전체설비의 합리적인 이용 및 무정전 전력공급에 대한 효과가 기대된다. 이들 효과를 정량적으로 평가하면, kW당 1,317,500원의 메리트가 기대된다. 즉, 초전도 플라이휠 에너지 저장장치의 장치비용이 kW당 상기의 값 이하가 되면 경제성이 있다는 결론에 도달한다. 미국 오크리지 국립연구소에서 조사한 저장장치의 설치비는 130,800 원/kW로서 경제적인 측면에서도 충분히 경합되는 기술로 생각되며, 가까운 장래에 실용화가 가능한 기술로 평가된다.

다. 경제성평가 결론

초전도 플라이휠 에너지 저장장치는 수요자와 전력회사 모두에게 경제성이 있는 장치로서 분석되었고 환경친화적이기 때문에 환경비용(CO₂ 저감비용) 절감까지 고려하면 경제성은 매우 큰 것으로 결론지을 수 있다.

9. 참고문헌

1. ERPI EM-4200, "Design and Cost of Standardized Lead-Acid Battery Systems for Utility Energy Management", August 1988.
2. 김응상 외, "전지전력저장장치의 배전시스템 연계시 영향 연구", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.122-125, 1996. 5월.
3. "전력저장전지시스템 기술 개발", 한전기술연구원 1991.6.
4. "전지전력저장시스템 구축 및 시뮬레이터 개발(I)", 과학기술처, 1989. 5월.
5. "1MW급 전력저장전지시스템 기술개발(I)", 통상산업부, 1995. 3월.
6. "제5차 장기전력 수급계획", 한국전력공사.
7. "초전도에너지환경기기 기술개발에 관한 산업분석", 산업자원부, 2000. 8월.
8. "AC Losses of Superconducting Power Machines and Flywheel energy Storage" IEA 고온초전도 프로그램 회의, 2000. 4월.
9. 石川, "고온초전도 플라이휠 개발현황과 장래 전망", 전기평론, 1997년 7월, 59-62.
10. 樋笠, 石川 등, "8 MWh급 고온초전도부상식 플라이휠 전력저장시스템의 개념설계 및 적용성의 검토", 전기학회논문지B, 113(7), 1993. 768-775.

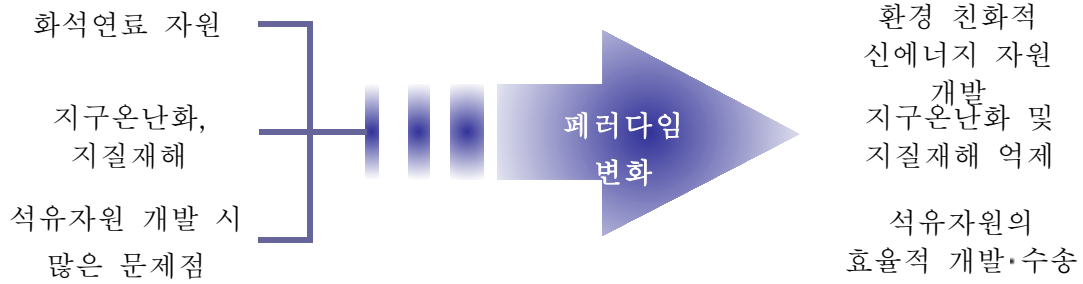
새로운 유형의 탄화수소 에너지 기술 개발

1. 기술개요

가. 기술 개발의 사회적 배경

(1) 미래환경친화적인 새로운 유형의 탄화수소 에너지자원 확보의 필요성

- ① 전세계 에너지 소비의 90%를 차지하는 화석연료 (fossil energy)를 대체할 획기적인 새로운 에너지원의 개발이 현재까지는 매우 미미
- ② 현재 확인된 석유와 천연가스의 매장량은 21세기 중반까지 밖에는 사용할수 없으며, 기후협약에 따라 석탄의 소비도 점차 감소될 전망
- ③ 새로운 유형의 탄화수소 에너지원인 가스 하이드레이트와 석탄층 가스는 현재 사용되고 있는 화석연료 중 연소 시 이산화탄소를 가장 적게 배출하는 환경 친화적인 메탄으로 주로 구성 (松本 外, 1994)
- ④ 가스 하이드레이트에 포함된 메탄의 매장량은 화석연료에 포함된 메탄 양의 2배 이상으로 막대하여, 미래에 화석연료를 대체할 에너지원으로 큰 잠재력을 보유 (그림 1)
- ⑤ 석탄 내에 부존되어 있는 메탄가스의 존재는 오래전부터 알려져 왔으며, 석탄층 메탄가스는 석탄생산 시 폭발 등 위험요소로 작용되어 이를 제거하기 위한 노력이 지속적으로 수행
- ⑥ 석탄층 메탄가스의 개발은 1980년대 후반 미국에 의해 탄질물의 분자층 (monomolecule layer)에 흡착되어 있는 메탄가스를 분리해 생산하는 기술이 개발됨에 따라 가능
- ⑦ 중휘발분 역청탄, 저휘발분 역청탄과 무연탄 등이 높은 메탄가스 함유 잠재력을 가지며, 탄화정도가 높을수록 많은 양의 메탄가스가 생성 (유연탄: 172 m³/ton, 무연탄: 224 m³/ton)
- ⑧ 우리나라에 부존된 석탄은 거의 대부분 (약 99%) 메탄가스 함유 잠재력이 크고 많은 양의 메탄가스를 생성시킬 수 있는 무연탄 (박석환, 1999)



- ⑨ 우리나라는 석유 소비량은 세계 6위로 연간 석유 수입액이 200억불에 달하며, 석유자원의 해외 수입의존도가 97%인 우리의 경우 새로운 유형의 탄화수소 에너지원의 확보는 에너지 안보 차원에서 국가의 운명을 결정짓는 요소

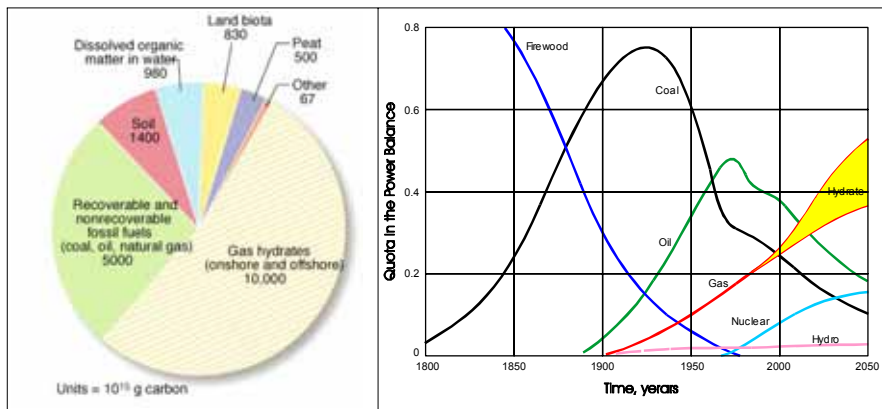


그림 1. 유기탄소의 분포 (왼쪽: USGS website) 및 세계 에너지 소비 (오른쪽: Makogon, 1997).

(2) 인접국가와의 대륙붕 한계획정에 대비 제반자료 확보의 필요성

- ① 동해 6-1광구 북쪽의 해역에 대한 일본과의 경계가 아직 설정되지 않은 상태이며, 대륙붕 한계획정에 대비 탄화수소를 포함한 자원의 부존지역 규명을 위한 제반 지질자료의 획득이 요구

(3) 재래형 천연가스 자원의 안전하고 경제적이며 효과적인 개발과 운송의 필요성

- ① 현재 정부 투자기관에서 추진 중인 시베리아 가스전을 개발하고 pipeline

을 통해 운송할 때 가스 하이드레이트의 형성에 의해 많은 문제점이 발생되며, 이를 해결하기 위해 막대한 비용이 소요

- ② 재래형 천연가스를 가스 하이드레이트로 전환하여 운송할 경우 LNG (liquified natural gas)로 만들어 운송하는 것에 비해 약 25% 저렴 (Borrenhaug and Gudmundsson, 1996)

(4) 온실가스에 의한 환경오염 및 지질재해의 방재에 대한 필요성

- ① 가스 하이드레이트는 온도·압력 변화에 쉽게 해리되며, 해리될 경우 해저 산사태, 해양 생태계 파괴, 대기오염 등 환경 파괴 및 오염을 야기
- ② 석탄에 흡착되어 있는 메탄가스가 지하수, 단층 또는 균열대를 따라 이동되어 대기로 방출될 경우 심각한 환경오염을 야기
- ③ 가스 하이드레이트 부존지역을 확인함으로써 환경오염과 지질재해의 가능 지역을 예측할 수 있고 효과적인 대책을 수립할 수 있음. 또한 이산화탄소를 이용한 석탄층 메탄가스의 개발은 에너지원의 확보와 함께 환경을 보호할 수 있다는 큰 장점을 지님

나. 기술의 개요

(1) 가스 하이드레이트

- ① 가스 하이드레이트는 저온·고압 조건하에서 안정적으로 존재하는 얼음과 유사한 고체상 결합체로 물이 주체 분자 (host molecule)가 되어 격자를 만들고 물격자 안에 비교적 작은 분자량을 갖는 천연가스 (주로 메탄)가 객체 분자 (guest molecule)로 결합되어 존재하는 클러스레이트 하이드레이트 (clathrate hydrate)의 일종 (그림 2)

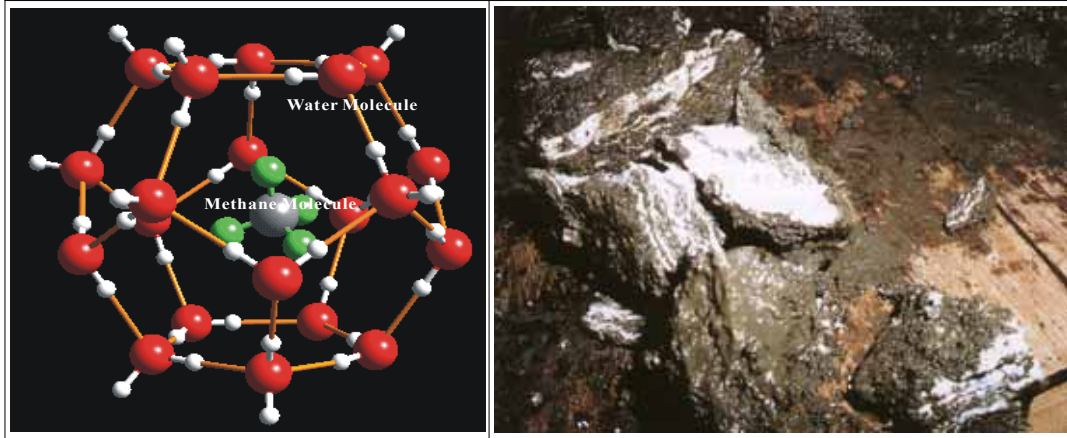


그림 2. 가스 하이드레이트 결정 구조 (왼쪽) 및 미국 Oregon 해역 퇴적층에서 회수된 가스 하이드레이트 시료 (Geo, 1997년 5월호).

- ② 가스 하이드레이트는 영구동토 지역과 심해저 퇴적층에 광범위하게 분포되어 있으며, 가스 하이드레이트에 포획된 탄소의 양은 약 10^4 Gt으로 재래형 석유, 천연가스 및 컨덴세이트에 포함된 탄소 양의 약 25배 이상으로 막대(Makogon, 1997; Kvenvolden and Lorenson, 2001)
- ③ 고체상태로 부존되어 있어 하위에 부존된 재래형 천연가스의 방출을 억제하는 seal 역할을 하는 가스 하이드레이트는 매우 특이한 음향학적 특성을 가지고 있으며, 가스 하이드레이트 탐사에 있어 가장 효과적으로 사용되고 있는 탄성과 탐사는 이 특성을 이용
- ④ 기존 재래형 석유와 천연가스와는 달리 가스 하이드레이트는 배사구조, 단층구조 등 지질학적 구조에 국한되어 부존되어 있지 않으며, 매장량 평가에 있어서도 매우 다양하고 복잡한 parameter들이 분석되어야 함
- ⑤ 고체상태의 가스 하이드레이트 생산은 해리를 전제로 하며, 안전하고 경제적이며 환경친화적인 생산을 위한 기술의 개발이 요구
- ⑥ 영구동토지역과 심해저에서 재래형 천연가스를 개발하고 pipeline을 통해 수송할 때 가스 하이드레이트 plug의 형성 때문에 많은 문제점이 발생하며, plug의 형성을 억제하고 방지하기 위한 화학물질의 사용에 연간 수억 US\$가 소요 (Cayias, 1994)
- ⑦ 온도·압력의 변화에 쉽게 해리되는 가스 하이드레이트는 지구환경의 오염과 변화 그리고 지질재해에 큰 영향을 미칠 수 있음. 그러나 가스 하이드레이트 기술은 이용 천연가스와 온실가스의 저장과 수송을 위한 기반 기

술로 활용될 수 있음

- ⑧ 가스 하이드레이트 기술은 탐사, 처리, 생산 및 이용 등 제반기술을 포함
- ⑨ 가스 하이드레이트 관련 많은 분야의 기술은 선진국에서도 연구 초기 단계

(2) 석탄층 메탄가스

- ① 석탄의 근원물질인 식물질이 열과 압력을 받는 탄화과정에서 메탄, 이산화탄소, 질소 등의 가스가 생성되며, 이들 중 메탄가스가 약 95%를 차지 (Kim, 1978)
- ② 석탄층 메탄가스는 석탄이 탄화되면서 석탄층 자체 내에서 생성되고 부존된 가스로 석탄의 가스화와는 전혀 다른 개념
- ③ 석탄층 내의 메탄가스 발생량은 석탄의 탄화정도가 높을수록 많아지며(유연탄: 172 m³/ton, 무연탄: 224 m³/ton), 석탄층의 가스 함유능력은 석유자원의 대표적 저류층인 사암층 보다 2배에서 3배 정도 큼 (Kuuskraa and Brandenburg 1989)
- ④ 석탄에 흡착된 메탄가스의 일부는 채탄 시 또는 지하에서 지질구조를 따라 외부로 방출되거나 지하수에 용해되기도 하나, 무연탄의 경우 대부분 (90% 정도)은 탄과 메탄의 분자력에 의해 탄에 흡착되어 부존
- ⑤ 석탄층 메탄가스 존재는 오래 전부터 이미 알고 있었으며, 이는 폭발위험 등 석탄생산에 위해 요소로 작용되어 이를 제거하기 위한 노력이 지속적으로 수행
- ⑥ 석탄층 메탄가스의 개발은 1980년대 후반 미국에 의해 탄질물의 분자층에 흡착되어 있는 메탄가스를 분리해 생산하는 기술의 개발에 따라 가능
- ⑦ 석탄층 메탄가스 생산은 다음과 같이 3단계의 과정을 거쳐서 이루어짐 (Rice, 1993):
 - 탄질물의 내부표면에 분자층상으로 흡착되어 있는 메탄의 탈착
 - 탈착된 메탄은 미세균열 (cleat)에 도착될 때까지 탄질물을 통해 확산
 - 확산된 메탄은 열극체계를 통해 가스정(井)으로 이동되어 생산
- ⑧ 석탄층 메탄가스의 생산은 최적지에 가스정을 설치하고 석탄층 내의 압력을 낮추어야 하는데 이 과정에서 초기에는 물이 가스와 함께 생산. 따라

서 생산된 물을 처리하기 위한 지형적 조건과 그 물의 양과 질에 대한 자료 또한 필요

- ⑨ 석탄층 메탄가스 회수율을 극대화하기 위해 탄층 내에 질소를 주입하면서 메탄을 생산하기도 하며, 최근에 이산화탄소를 석탄층에 주입함으로써 에너지원의 확보와 함께 온실가스를 격리시키는 연구가 활발히 수행 중 (그림 3)
- ⑩ 석탄층 메탄가스를 개발하는 기술은 미국, 캐나다 등 몇 개 선진국에서 독점적으로 보유

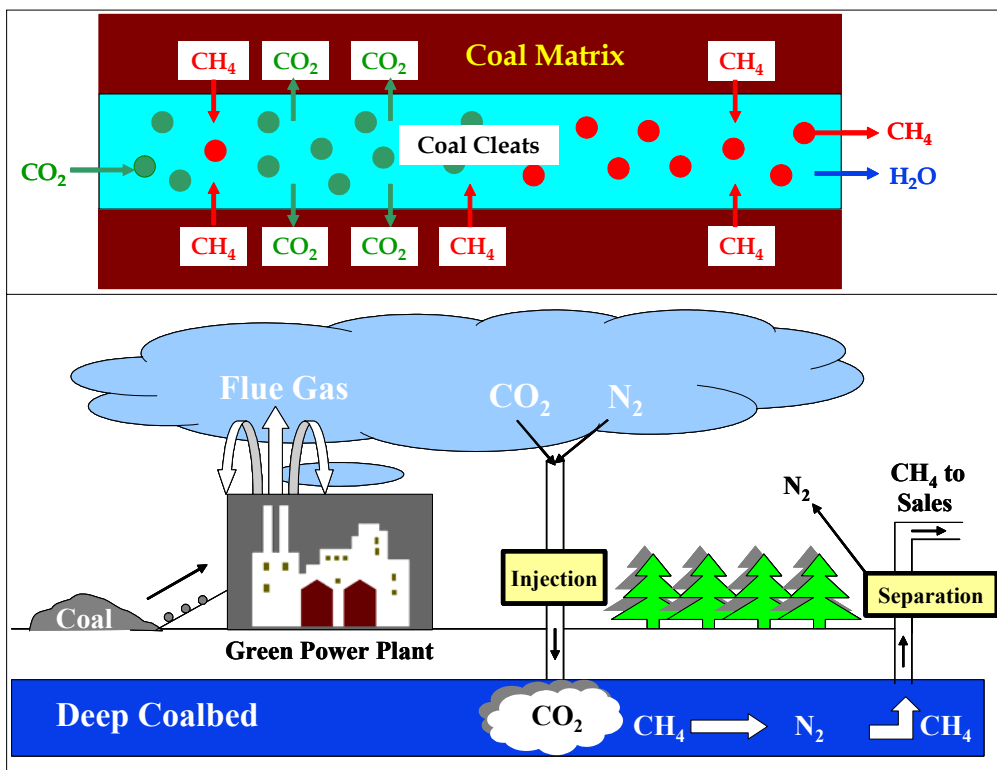


그림 3. 이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산 (Law, 2003).

나. 미래형 탄화수소 자원 개발의 핵심 기술 개요

(1) 가스 하이드레이트

- ① 가스 하이드레이트 탐사 기술
- ② 가스 하이드레이트 매장량 및 경제성 평가 기술

- ③ 가스 하이드레이트 특성 규명 기술
- ④ 가스 하이드레이트 처리 및 시추 기술
- ⑤ 가스 하이드레이트 생산 기술
- ⑥ 안전 및 해저면 안정성 평가 기술
- ⑦ 가스 하이드레이트 이용 기술

(2) 석탄층 메탄가스

- ① 석탄층 내의 메탄가스 함유량 및 방출량 측정 기술
- ② 석탄층 메탄가스 흡착, 탈착 등온선도 (isotherm-map) 작성 기술
- ③ 석탄층 메탄가스 근원암 및 저류암 특성 규명 기술
- ④ 함탄층 내 지하수 부존상태 및 특성 평가 기술
- ⑤ 석탄층 메탄가스 경제성 평가 기술
- ⑥ 석탄층 메탄가스 생산 기술

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향 및 전망

(1) 국내 산업 동향 및 전망

(가) 가스 하이드레이트

- ① 2002년 말 기준 석유와 천연가스는 우리나라 1차 에너지 소비의 60.2%를 차지하고 있으며, 이들의 약 98%를 수입에 의존
- ② 국내 대륙붕 6-1광구에서 확인된 천연가스의 가채 매장량은 약 7.1 BCM으로 금년 말부터 생산될 예정
- ③ 우리나라 해역에서 가스 하이드레이트가 부존될 수 있는 조건이 충족되는 동해에서 2000년 전까지 가스 하이드레이트 탐사실적은 극히 미미한 실정이었음. 우리 관할해역에서 가스 하이드레이트 생성 잠재력 및 부존

- 유망지역 규명을 위한 광역 기초탐사가 2000년부터 한국지질자원연구원에 의해 수행 중에 있으며, 그동안 연구결과 탐사해역에서 가스 하이드레이트 부존을 시사하는 탄성과 이상이 확인 (류병재 외, 1999a, 1999b, 2002; 장성형 외, 1999; 정부홍 외, 2000, 2001, 2002; 박근필 외, 2003; Ryu, 2001; Cheong et al., 2003)
- ④ 가스 하이드레이트 처리와 생산에 필요한 물성, 상평형 등에 대한 기초 연구는 국내에서도 현재 수행 중
 - ⑤ 천연가스의 경제적인 저장과 수송을 위한 가스 하이드레이트 제조 및 pipeline plugging 방지에 대한 연구가 2000년부터 진행 중
 - ⑥ 1995년부터 우리 해역에서 가스 하이드레이트 부존 확인을 위한 정밀 탐사가 수행될 예정 (한 예로 2차원 탄성과 탐사 만의 규모는 연간 40억원 이상에 달할 것으로 예상)
 - ⑦ 시추공과 pipeline에서 가스 하이드레이트 plug를 제거하는데 드는 비용은 방지하는 비용의 약 30 - 50배로 막대하며 (Makogon, 1997), pipeline 내에서 가스 하이드레이트 plug의 형성을 억제하고 방지하기 위한 inhibitor 사용에 연간 약 3억불 이상이 소요 (Cayias, 1994). 현재 추진 중인 동해 및 시베리아 가스전의 개발이 착수될 경우 시추공과 pipeline에서 가스 하이드레이트 plug의 형성을 억제하고 제거하기 위한 비용의 규모는 막대할 것으로 예상
 - ⑧ 우리나라 관할해역에서 가스 하이드레이트 부존 규명은 환경친화적인 에너지원의 안정적 확보뿐만 아니라 일본과의 대륙붕 한계획정에 대비 매우 중요한 국가적 과제
 - ⑨ 해저 광케이블의 포설, 잠수함 작전 수행을 위해서도 가스 하이드레이트 부존지역의 규명은 필수적이며, 온실가스의 심해 격리 (ocean sequestration), 휘발성 유기화합물의 처리에 가스 하이드레이트 기술의 활용도 증가
 - ⑩ 가스 하이드레이트 부존지역 규명을 위한 탐사자료 취득기술은 어느 정도 자립화. 그러나 가스 하이드레이트가 부존될 수 있는 조건을 가진 동해의 퇴적층에서 BSR (Bottom Simulating Reflector)을 찾아내는 작업은 다른 나라의 퇴적층과 비교 매우 어려움. 따라서 우리나라 해저 퇴적층에 적합한 탐사자료 처리 및 해석 관련 핵심기술의 개발이 절실

- ⑪ 가스 하이드레이트의 처리, 생산 및 활용기술의 수준은 극히 초기 연구단계

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 국내 무연탄은 1950년대 이후 민수용 연탄원료로 이용되어 왔으며, 그동안 매장량 평가, 채탄법, 연탄제조, 발열량 측정 연구 등 석탄층 메탄가스 자원조사 연구와는 관계가 없는 연구가 수행
- ② 국내 석탄은 탄화정도가 높기 때문에 많은 양의 메탄가스를 생성할 수 있으며, 메탄가스 함유 가능성도 큼
- ③ 국내 대부분의 대형 탄광 (강원탄광, 경동탄광, 함태탄광, 도계탄광, 어룡탄광, 장성탄광 등)은 갱내 메탄가스 누출이 빈번하여 갑종탄광으로 분류되어 갱내 가스제거를 의무화했음. 이는 국내 부존된 무연탄이 메탄가스를 함유하고 있다는 증거. 그러나 탄광에서 메탄가스에 의한 사고를 방지하기 위한 갱내 통기에 관한 연구만이 주로 수행
- ④ Eddy (1982)의 탄종과 심도에 따른 최대 메탄가스 함유량 곡선을 이용하여 국내 부존된 15억 톤의 석탄에 포함된 메탄가스의 최대 생산 가능 매장량은 1.3 TCF로 추정. 이는 LNG환산 2600만 톤에 해당되며 2000년도 국내 LNG소비량 1370만 톤의 약 2배이며, 값으로는 약 68억 US\$에 달함. 이 계산은 국내 석탄 매장량을 이용한 것인데 실제로는 KS규정 이하의 탄층 (소위 상탄층, 하탄층군) 에서도 메탄가스의 부존이 기대되므로 대상 매장량은 15억 톤 이상이 될 것으로 추정
- ⑤ 2001년도에 과학기술부의 기획연구과제 (연구비: 2억)로 “석탄층 메탄가스 자원개발 타당성 예비조사 연구” 를 한국지질자원연구원에서 1년간 수행
 - 연구결과는 당초에 요구한 시험시추비 23억을 삭감하여 지하심부의 in-situ 상태의 가스함유량, 투수율, 심부압력, 지하수면 상태 등 필수 자료를 확보하지 못하고 석탄지질자료 정리, 해석과 갱내노두탄의 가스함유량만을 측정
 - 측정된 석탄층 메탄가스 함량은 $1.53 \text{ m}^3/\text{ton}$ 으로 가스함유 징후만 강하게 보여주며 실제로 개발가능성을 판단하기 위한 자료로는 이

용하지 못함 (정태진 외, 2001)

- ⑥ 국내의 석탄자원에 대한 분포와 매장량은 이미 조사가 완료. 따라서 석탄층 메탄가스에 대한 효과적인 연구수행을 위한 토대는 마련되어 있는 상태
- ⑦ 그러나 석탄층 메탄가스 자원의 탐사, 평가 및 개발을 위한 우리의 기술 수준은 극히 초기 연구단계

(2) 국외 산업 동향 및 전망

(가) 가스 하이드레이트

- ① 재래형 석유와 천연가스는 전 세계 에너지 소비의 약 63%를 차지하고 있으며 (BP, 2002), 약 25%를 차지하는 석탄의 경우 환경보호 정책에 따라 점차 수요가 감소될 전망
- ② 현재 확인된 재래형 석유와 천연가스 매장량에는 한계 (석유 RP=40.3; 천연가스 RP=61.9)가 있으나 (BP, 2002), 이를 대체할 획기적인 에너지원의 개발은 극히 미흡한 상태
- ③ 가스 하이드레이트에 포함된 메탄의 양은 10^4 Gt으로 석유, 천연가스 및 컨덴세이트 (condensate)에 포함된 메탄 양의 25배 이상으로 막대 (Makogon, 1997)
- ④ 미국과 일본은 자국에 부존된 가스 하이드레이트 매장량 평가를 완료하고 2010년대 상업생산을 위해 현재 국가차원의 R&D를 수행 중에 있으며 (DOE and JNOC websites), 탐사, 처리 및 생산 등 거의 모든 분야에서 기술력 우위 확보
- ⑤ 가스 하이드레이트의 경제적인 개발뿐만 아니라 환경 친화적인 개발을 위해 지반 안정성 평가기법이 도입되어 활발한 연구가 수행 중
- ⑥ Pipeline 내에서 가스 하이드레이트 plug의 형성을 억제하고 방지하기 위한 inhibitor 사용에 연간 약 3억불 이상이 소요 (Cayias, 1994). 따라서 보다 경제적인 inhibitor 개발을 위한 연구를 매우 적극적으로 수행 중
- ⑦ 영국과 노르웨이의 경우 천연가스의 경제적인 수송과 저장을 위해 가스

하이드레이트 기술을 도입하고 실용화를 위한 연구를 수행 중

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 전 세계의 석탄의 추정 매장량은 25×10^{12} ton 이며, 이에 따른 석탄층 메탄가스의 매장량은 6500 TCF 내외로 추정 (표 1)
- ② 세계의 주요 석탄자원 보유국은 표 1에 제시한 12개국을 들 수 있으며, 이들이 세계 석탄자원의 91.6%를 보유
- ③ 미국, 독일, 중국은 현재 석탄층 메탄자원을 생산하고 있는 국가이며 영국, 캐나다, 중국, 호주가 이들 뒤를 따라 생산을 서두르고 있음. 또한 주요 석탄 보유국인 인도는 석탄층 메탄가스 자원 탐사를 수행 중
- ④ 미국은 석탄층 메탄가스 자원의 탐사 및 이용 기술개발의 선도 역할을 했으며 현재도 독보적인 생산량과 개발기술을 보유
 - 1982년에 미국의 가스연구소 (GSI)가 석탄층 메탄가스에 대한 연구를 시작
 - 1990년대 초에는 경제성이 입증되지 않아 정부에서 보조금을 지급하고 세금면제 혜택을 주었으며 (1982년-1990년 사이의 인센티브는 대략 0.66 US\$/MCF - 0.95 US\$/MCF) 경제성이 인정된 뒤에는 본격적인 투자가 이루어 짐

표 1. 세계 석탄 및 석탄층 메탄가스 매장량 (Kuuskraa 1992; BP, 2003).

국가	석탄 매장량 (10 ⁹ ton)		석탄층 메탄가스 (10 ¹² ft ³)
	추정	확정	
러시아	6500	157.0	600 - 4000
중국	4000	114.5	490 - 1240
미국	3790	245.0	400
캐나다	7000	6.6	200 - 2700
호주	1700	82.1	300 - 500
독일	320	66.0	100
영국	190	1.5	60
카자흐스탄	170	34.0	40
폴란드	160	22.2	100
인도	160	84.4	30
남아프리카	150	49.5	30
우크라이나	140	34.2	60
전 세계 총계	24460	984.5	2320 - 9260

주) 석탄 매장량은 2002년 말 기준 확정 매장량 (BP, 2003)

- 1994년 미국 전체 가정용 가스 소비의 5%에 달하는 858 BCF의 메탄 가스를 6600개 가스정에서 생산. 1999년에는 자국 가스 생산량의 7%에 해당하는 1.25 TCF를, 2001년에는 자국 가스 생산량의 7.9%인 1.6 TCF를 생산하여 7년 동안에 약 2배로 석탄층 메탄가스의 생산량을 증가시킬 정도로 급속히 발전
- Sanjuan Basin과 Warrior Basin에서 전체 석탄층 메탄가스 생산량의 90%이상이 생산되고 있으며, 현재는 동부의 Appalachian Basin, Uinta Basin, Powder River Basin, Raton Basin 등에서 개발을 증가
- 13개의 대형탄전에 총 400 TCF의 석탄층 메탄가스가 부존되어 있는 것으로 추정되며, 이는 자국에 부존된 재래형 천연가스 확정 매장량 (187 TCF)의 약 2배 (Dan Yee et al., 1999)
- ⑤ 중국의 경우 석탄층 메탄가스 자원의 매장량은 약 490 TCF - 1240 TCF
 - 1996년에 석탄층메탄자원을 총괄하는 중련매층기유한책임공사를 설립하여 외국회사 (Texaco, Arco, Phillips, Lowell)등과 합작으로 석탄층 메탄가스를 시험생산 하거나 소규모 상업생산 중
 - 2000년도에는 Qinshui 탄전에서(무연탄) 242 TCF의 석탄층 메탄가

스 자원을 확인. 이는 미국의 Sanjuan 탄전에 부존된 석탄층 메탄가스 매장량의 3배에 달하는 많은 양

- 2002년 3월 중국 국외 무역 및 경제협력부 (Minsitry of Foreign Trade & Economic Cooperation: MOFTEC)과 캐나다 국제 개발청 (Canadian International Development Agency: CIDA)가 1천만 CA\$를 공동으로 투자 이산화탄소를 이용한 석탄층 메탄가스 생산 (ECBM/CO₂ Sequestration Project)에 대한 3.5년 프로젝트를 착수

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

(가) 가스 하이드레이트

주관 부처	사업명	사업목표	기간	연구비 (억원)	비고
산자부	가스 하이드레이트 탐사 및 개발 사업 (I단계)	동해 퇴적층에서 가스 하이드레이트 생성 잠재력 및 부존 유망지역 규명과 탐사, 개발 및 이용을 위한 기반기술 확보	00~04 (5년)	30.23	현재 우리나라 관할 해역에서의 광역 기초탐사 실적은 약 80%, 기초 기반기술 연구 정도
산자부	가스 하이드레이트 탐사 및 개발 사업 (II단계)	동해 퇴적층에서 가스 하이드레이트 부존지역 규명과 탐사, 개발 및 이용을 위한 핵심기술 개발	05~15 (10년)	미확정	현재 토양오염의 위험성 평가와 관련된 연구실적은 전체의 5% 미만
KNOC	국내 대륙붕 6-1광구 가스 하이드레이트 기초탐사	국내 대륙붕 6-1광구의 가스 하이드레이트 부존 유망지역 규명	02~04 (3년)	13	
KNOC	국내 대륙붕 6-1광구 가스 하이드레이트 탐사	국내 대륙붕 6-1광구의 가스 하이드레이트 부존지역 규명	04~08 (5년)	미확정	
해수부	Hydro-Carbon Accumulation in the Okhostsk Sea	오츠크해의 조구조와 천연 가스 하이드레이트 부존, 유형 및 매장량에 대한 연구	03~05 (3년)	1	해양연구원이 다국적 연구 콘소시움에 참여

(2) 외국에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

(가) 가스 하이드레이트

국가	사업명	사업목표	국내기술수준과의 비교분석
미국	National Methane Hydrate R&D Project	가스 하이드레이트의 안전하고 경제적인 생산	자국내 부존된 천연가스 하이드레이트에 포함된 가스의 총매장량(9066 TCM) 평가 완료, 현재 상업생산을 위한 핵심기술 개발 중
일본	METI National Methane Hydrate Project	가스 하이드레이트의 안전하고 경제적인 개발	자국내 부존된 천연가스 하이드레이트에 포함된 가스의 총매장량(7.4 TCM) 평가 완료, 2000년 시험시추에 이어 현재 상업생산을 위한 핵심기술 개발 중
인도	National Gas Hydrate Programme	인도 자국해역에서의 가스 하이드레이트 탐사 및 개발	자국에 부존된 천연가스 하이드레이트에 포함된 가스의 추정 매장량(prognosticated gas resources: 1893 TCM) 평가 완료, 2004년 시추 예정
노르웨이	Storage and Transport of Natural Gas as Frozen Hydrate	천연가스를 가스 하이드레이트로 전환경제적인 저장 및 수송 기술의 개발	북해의 Tommeliten Gamma Field에서 Edda Platform까지 12 km의 실험용 pipeline을 건설하고 연구수행, 현재 수송·저장에 대한 연구를 진일보시키기 위해 산·학·연이 공동연구 수행
영국	Gas Hydrate Process in Transportation	천연가스를 가스 하이드레이트로 전환경제적인 수송 기술의 개발	1997년 세계 최대의 pilot plant를 건설하여 운영 중에 있으며, 현재 commercial plant를 구축 중에 있고 2005년 초 완료할 예정
미국·일본·캐나다·인도·독일	Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program	가스 하이드레이트 시험생산 및 생산에 필요한 핵심기술 개발	천연가스 하이드레이트의 상업생산에 대비한 핵심기술의 현장 적용 및 시험
러시아·벨기에·독일·일본·한국	Hydro-Carbon Accumulation in the Okhostsk Sea	오츠크해의 조구조와 가스 하이드레이트 부존, 유형 및 매장량에 대한 연구	1990년대 말에 수행된 KOMAX 프로젝트를 통해 가스 하이드레이트 부존 확인

(나) 석탄층 메탄가스

국가	사업명	사업목표	국내기술수준과의 비교분석
캐나다	ECBM Project in Alberta	이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산증대 및 온실가스의 격리	Single well CO ₂ micro-pilot 및 single well flue gas micro-pilots 완성 및 test (1997년 착수)
캐나다·중국	ECBM/CO ₂ Sequestration Project	이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산증대 및 온실가스의 격리	2003년 5월부터 CO ₂ 주입에 의한 석탄층 메탄가스 생산 (2002년 3월 착수)
미국	CONSOL Project	북부 West Virginia의 Pittsburg 및 Upper Freeport Coal Seam에서의 이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산증대 및 온실가스 격리	계획 중
일본	JCOAL Project	호카이도의 Ishikari Coal Basin에서의 이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산증대 및 온실가스 격리	계획 중
폴란드·네델란드	RECOPOL Project	폴란드의 Silesian Coal Basin에서의 이산화탄소 주입에 의한 석탄층 메탄가스의 생산증대 및 온실가스 격리	계획 중

다. 국내외 관련 기술수준 비교 및 핵심 기술 도출

(1) 기술 수준 비교

① 가스 하이드레이트

기술 분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
가스 하이드레이트탐사 기술	지질·지화학 탐사 기술	중	상
	2차원 탄성파 탐사자료 취득기술	중	상
	3차원 탄성파 탐사자료 취득 기술	하	상
	탄성파 탐사자료 특수 전산처리 기술	중	상
	전기탐사 기술	하	중
	정밀 해저지형 탐사 기술	중	상
	지열류량 측정 기술	하	상
	물리검층 기술	하	상
가스 하이드레이트 특성규명 기술	열역학적 특성 규명 기술	중	상
	동력학적 특성 규명 기술	중	중
	음향학적·물리적 특성 규명 기술	하	상
가스하이드레이트 매장량, 경제성, 안정성 평가기술	저류층 평가 기술	하	중
	매장량 평가 기술	하	중
	경제성 평가 기술	하	중
	지반 안정성 및 환경영향 평가 기술	하	중
가스하이드레이트 제조, 처리기술	수송·저장을 위한 제조 기술	하	중
	Plug 형성 억제 기술	하	중
	Plug 제거 기술	중	중
가스하이드레이트 생산기술	시추 기술	하	중
	열주입에 의한 생산 기술	하	중
	Inhibitor 주입에 의한 생산 기술	하	중
	감압법에 의한 생산 기술	하	중
	복합적 방법을 이용한 생산 기술	하	하

② 석탄층 메탄가스

기술 분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
석탄층 메탄가스 탐사 기술	석탄층 층서, 퇴적 규명 기술	상	상
	석탄층 발달 상대 규명 기술	상	상
	탄전 지질구조 규명 기술	상	상
석탄층 메탄가스 근원암, 저류암 특성규명 기술	근원암 특성 규명 기술	중	상
	저류암 특성 규명 기술	하	상
	흡착 및 탈착 등온선도 작성 기술	중	상
	함탄층 내 지하수 특성 규명 기술	하	상
석탄층 메탄가스 매장량, 경제성, 환경영향 평가기술	메탄가스 함유량 평가 기술	중	상
	메탄가스 방출량 평가 기술	중	상
	경제성 평가 기술	하	중
	환경영향 평가 기술	하	중
석탄층 메탄가스 시추, 생산기술	질소 주입에 의한 생산 기술	하	상
	이산화탄소 주입에 의한 생산 기술	하	상
	시추 기술	상	상
	생산된 지하수 처리 기술	중	상
	이산화탄소 격리 기술	하	중
	현장 적용기술	하	중

(2) 기술 개발의 문제점

(가) 가스 하이드레이트 기술

- ① 가스 하이드레이트 기술은 선진국에서도 연구단계에 있음
- ② 현시점에서 가스 하이드레이트 연구로부터 민간부분에 즉각적인 이익이 없기 때문에 정부 차원의 R&D가 행해질 수 있는 유일한 방법
- ③ 가스 하이드레이트 탐사기술은 많은 경우 탐사를 수행하면서 획득됨. 그러나 탐사를 수행하는데 많은 비용이 소요
- ④ 가스 하이드레이트 탐사, 처리, 생산 및 이용기술의 개발을 위한 전문인력이 매우 부족한 상태
- ⑤ 가스 하이드레이트가 부존될 수 있는 조건을 가진 동해 퇴적층에 대한 기초자료가 매우 부족한 상태

(나) 석탄층 메탄가스 기술

- ① 석탄층 메탄가스의 개발기술은 선진 몇개국에서 독점
- ② 특히 이산화탄소를 주입함으로써 온실가스를 격리시키고 석탄층 메탄가스의 회수를 증진시키는 기술은 선진국에서도 현재 연구단계
- ③ 국내 석탄층 메탄가스에 대한 에너지원 측면에서의 연구가 거의 전무한 상태이며, 이 연구를 수행할 전문인력 또한 부족한 상태
- ④ 현시점에서 석탄층 메탄가스 연구로부터 민간부분에 즉각적인 이익이 없기 때문에 정부 차원의 R&D가 행해질 수 있는 유일한 방법
- ⑤ 삼척탄전 지역의 경우 관광특구로 지정되어 석탄층 메탄가스를 개발할 때 환경친화적 개발이 요구하며, 이를 위해 관계 부처 및 지방자치 단체와의 긴밀한 협력이 요구
- ⑥ 석탄층 메탄가스 자원의 개발권과 현행 탄광 개발권과의 관계 정립이 요구되며, 석탄층 메탄가스 분야를 광업법에 첨가 필요

라. 사업추진의 필요성

- (1) 재래형 석유자원 고갈에 대비 새로운 유형의 청정 에너지원의 확보
- (2) 현재 추진 중인 동해 및 시베리아 가스 개발사업의 효과적인 추진
- (3) 개발된 기술을 이용 국내·외 새로운 유형의 환경 친화적 가스자원 탐사 및 개발 사업에 효과적인 참여
- (4) 재래형 천연가스의 경제적인 수송과 저장
- (5) 온실가스의 경제적인 처리와 저장에 활용
- (6) 인접국가와의 대륙붕 한계획정에 대비 제반자료 확보의 필요
- (7) 새로운 유형 가스의 해리와 방출에 의한 환경오염, 생태계 파괴

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

- (1) 우리나라 관할해역에서 가스 하이드레이트 부존지역 규명 및 매장량 평가
- (2) 가스 하이드레이트, 탐사, 처리, 생산 및 이용을 위한 핵심기술의 개발
- (3) 국내 무연탄층에 함유된 메탄가스 자원 확보 기술 개발
- (4) 국내 무연탄층의 메탄가스 근원암 및 저류암으로서의 특성규명
- (5) 시험시추를 통한 메탄가스 잠재력 평가
- (6) 국내 무연탄층에 함유된 메탄가스 자원개발

나. 단계별 목표

(1) 1 단계

(가) 가스 하이드레이트

- ① 광역 기초탐사를 통해 우리나라 관할해역에서 가스 하이드레이트 생성 잠재력 및 부존 유망지역 규명
- ② 가스 하이드레이트 탐사, 처리, 개발 및 이용을 위한 기반기술의 확보
- ③ 가스 하이드레이트 물성 및 열역학적 특성 규명

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 삼척탄전 석탄층 메탄가스의 특성 및 잠재성 평가
- ② 삼척탄전 석탄층 메탄가스의 매장량 평가
- ③ 삼척탄전 석탄층 메탄가스 부존 유망지역 선정 및 시험시추
- ④ 삼척탄전 폐광지역의 석탄광 메탄가스 평가를 위한 갱내시험

(2) 2 단계

(가) 가스 하이드레이트

- ① 1단계 광역 기초탐사 결과를 토대로 우리나라 관할해역에서 가스 하이드레이트 부존지역 규명
- ② 가스 하이드레이트 탐사, 처리, 개발 및 이용을 위한 핵심기술의 확보
- ③ 가스 하이드레이트 매장량 평가 기술의 개발

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 삼척탄전 석탄층 메탄가스의 시험생산 및 생산성·경제성 평가
- ② 삼척탄전 석탄광 메탄가스의 경제성 분석
- ③ 삼척탄전 석탄층 메탄가스와 석탄광 메탄가스의 복합개발 추진여부결정

(3) 3 단계

(가) 가스 하이드레이트

- ① 우리나라 관할해역에서 확인된 가스 하이드레이트 부존지역에 대한 매장량·경제성 평가 및 시추위치 선정
- ② 가스하이드레이트처리, 시추, 생산 및 이용을 위한 핵심기술의 개발
- ④ 해저면 안정성 및 환경영향 평가
- ⑤ 가스 하이드레이트 개발을 위한 시추

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 충남탄전 석탄층 및 석탄광 메탄가스의 특성 및 잠재성 평가
- ② 충남탄전 석탄층 및 석탄광 메탄가스의 시험생산, 매장량 및 경제성 평가
- ③ 충남탄전 석탄층 메탄가스와 석탄광 메탄가스의 복합개발 추진여부 결정

(4) 4 단계

(가) 가스 하이드레이트

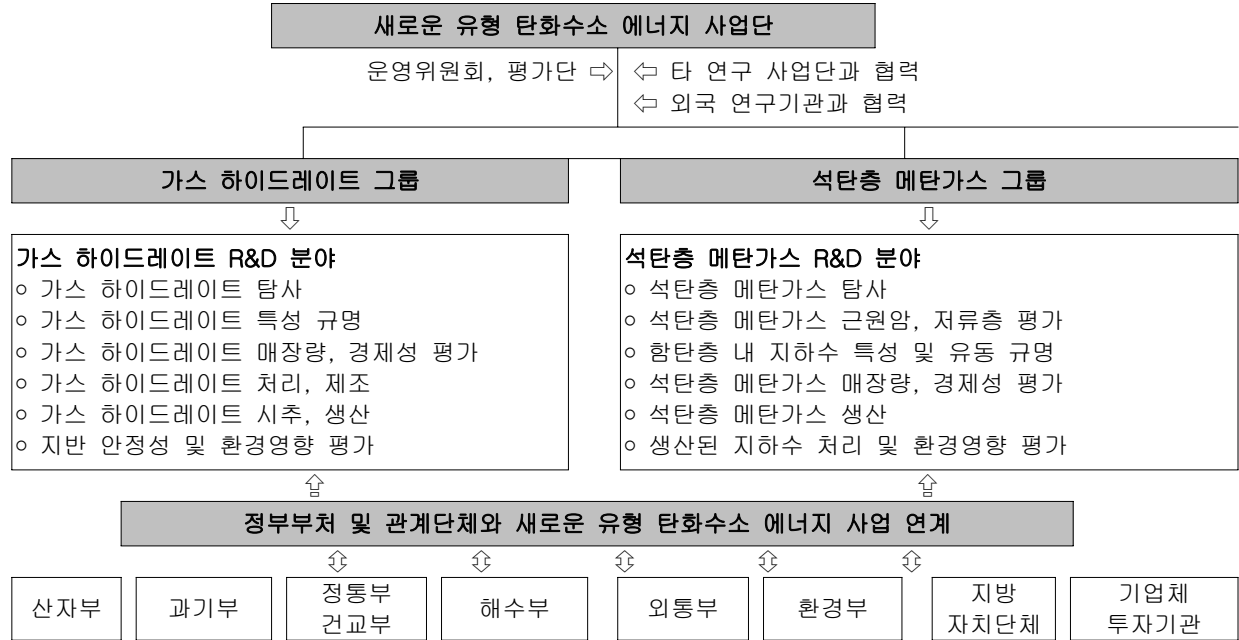
- ① 우리나라 관할해역에서 가스 하이드레이트의 상업적 생산

(나) 석탄층 메탄가스

- ① 기타 탄전의 석탄층 및 석탄광 메탄가스의 특성 및 잠재성 평가
- ② 기타 탄전의 석탄층 및 석탄광 메탄가스의 시험생산, 매장량 및 경제성 평가
- ③ 기타 탄전의 석탄층 메탄가스와 석탄광 메탄가스의 복합개발 추진여부 결정

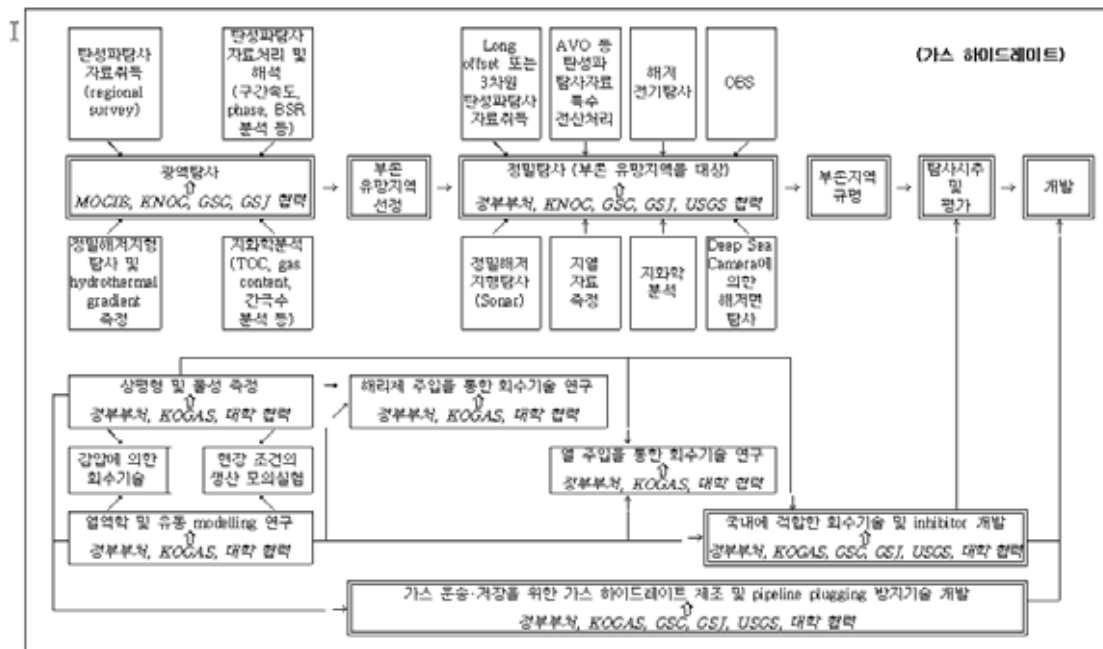
4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업 추진 체계 구성

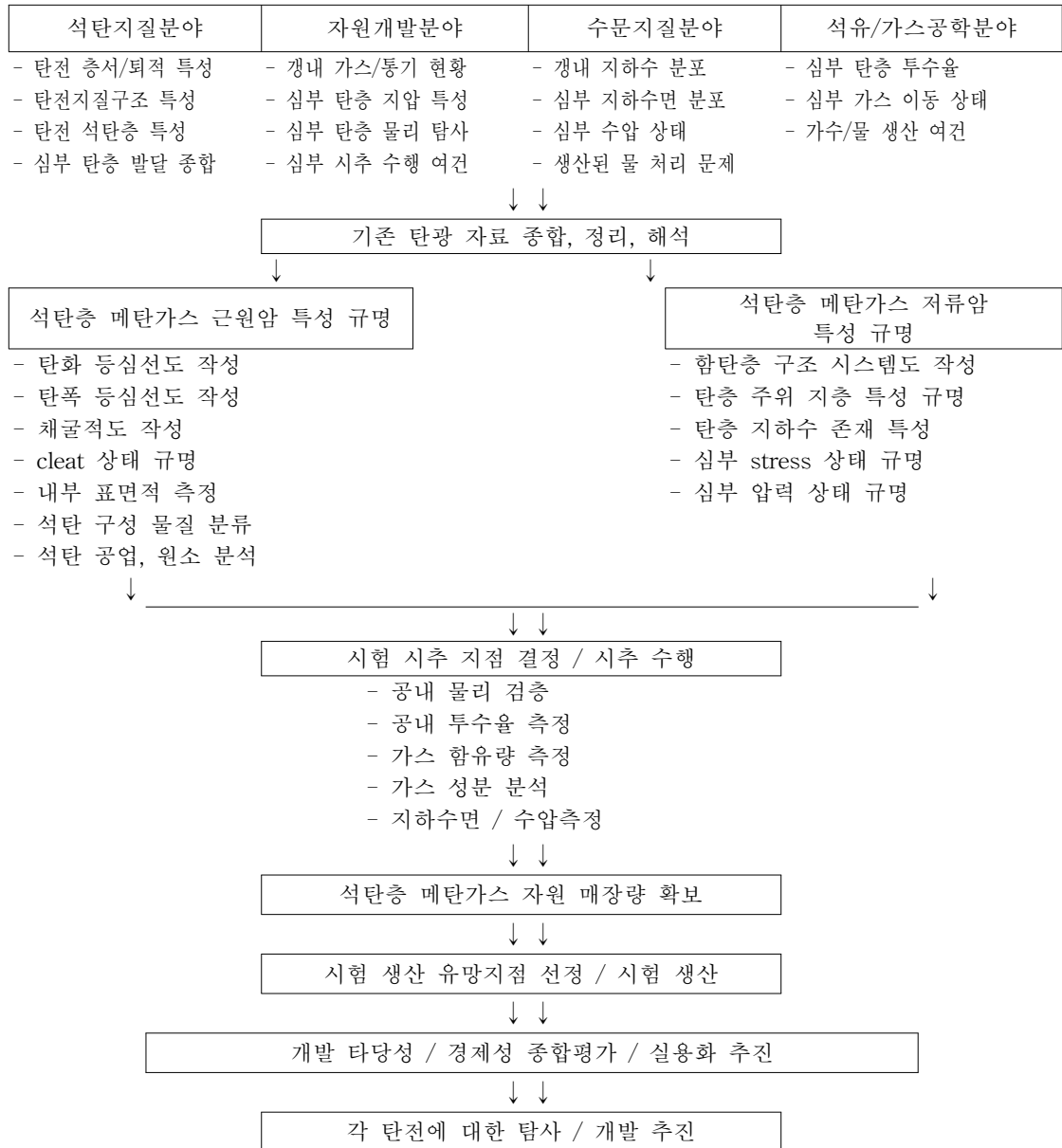


나. 세부 사업 추진 체계

(1) 가스 하이드레이트



(2) 석탄층 메탄가스



5. 소요 예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요 예산

(1) 가스 하이드레이트

대분류	세부 핵심기술 내용	소요예산 (억원)
가스 하이드레이트 탐사	<ul style="list-style-type: none"> 탄성파, 지질·지화학, 전기 및 해저지형 탐사자료 취득, 처리 및 해석 기술 지열류량 측정 및 분석 기술 물리검층 자료 취득 및 분석 기술 	190
가스 하이드레이트 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> 열역학적, 동력학적, 음향학적, 물리적 특성 규명 기술 	100
가스 하이드레이트 평가	<ul style="list-style-type: none"> 저류층, 매장량, 경제성 평가 기술 지반 안정성 및 환경영향 평가 기술 	115
가스 하이드레이트 제조, 처리	<ul style="list-style-type: none"> 수송과 저장용 제조 기술 시추공과 pipeline에서의 plug 형성억제 및 제거 기술 	160
가스 하이드레이트 시추, 생산	<ul style="list-style-type: none"> 시추 기술 열주입 및 inhibitor 주입에 의한 생산 기술 감압법에 의한 생산 기술 복합적 방법을 이용한 생산 기술 	710

(2) 석탄층 메탄가스

대분류	세부 핵심기술 내용	소요예산 (억원)
석탄층 메탄가스 탐사	<ul style="list-style-type: none"> 석탄층 층서, 퇴적 및 발달상태 규명 기술 탄전 지질구조 규명 기술 	50
석탄층 메탄가스 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> 석탄층 메탄가스 근원암, 저류암 특성 규명 기술 석탄층 메탄가스 흡착 및 탈착 등온선도 작성 기술 함탄층 내 지하수 특성 규명 기술 	135
석탄층 메탄가스 평가	<ul style="list-style-type: none"> 석탄층 메탄가스 함유량, 방출량, 경제성 평가 기술 환경영향 평가 기술 	120
석탄층 메탄가스 시추, 생산	<ul style="list-style-type: none"> 시추 기술 질소 주입에 의한 생산 기술 이산화탄소 주입에 의한 생산 기술 생산된 지하수 처리 기술 이산화탄소 격리 기술 현장 적용 기술 	235

나. 연도별 소요 예산

(1) 가스 하이드레이트

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
가스 하이드레이트 탐사	190	20	20	20	20	30		50		30	
가스 하이드레이트 특성 규명	100	5	5	5	5	10	20	20	10	10	10
가스 하이드레이트 평가	115	5	5	5	5	10	20	20	15	15	15
가스 하이드레이트 제조, 처리	160	10	10	10	10	30	10	10	10	10	50
가스 하이드레이트 시추, 생산	710	10	10	10	10	10	200	20	20	20	400
총계	1275	50	50	50	50	100	250	150	55	105	575

(2) 석탄층 메탄가스

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
석탄층 메탄가스 탐사	50	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
석탄층 메탄가스 특성 규명	135	20	20	156	15	10	15	15	10	10	5
석탄층 메탄가스 평가	120	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10
석탄층 메탄가스 시추, 생산	235	30	50	15	15	15	30	40	20	10	10
총계	540	70	90	50	50	40	60	70	45	35	30

6. 기대 효과

- 국내 해역에서 가스 하이드레이트 부존 가능성 규명을 통하여 석유자원의 고갈에 대비 안정적이고 경제적인 청정 에너지원 확보를 위한 기반 구축
- 가스 하이드레이트 탐사, 처리, 개발 및 이용을 위한 기반기술의 확보와 신기술의 개발로 기술 선진국으로의 조기 진입
- 한계 유전·가스전 (심해 및 극지)에 대한 탐사기술의 확보
- 현재 정부투자기관에서 추진 중인 동해-1 가스전과 시베리아 가스전개발사업에 기술을 제공함으로써 효율적인 전략 기대
- 북방지역 및 심해에서 재래형 천연가스를 개발할 경우 가스 하이드레이트로 인해 발생하는 인명 및 경제적 손실 그리고 환경파괴를 미연에 방지
- 가스 하이드레이트 관련기술의 확보로 용역비 절감 및 수입대체 효과 기대

- 천연가스의 경제적인 저장과 수송 그리고 온난화 가스의 처리와 저장을 위한 기반기술의 확보 기틀 마련
- 석탄합리화 사업 실시이후 사실상 사장화 되어있는 석탄자원의 활용
- 채탄에 따른 위험성, 고비용성 절감, 저탄에 따른 문제점 절감
- 거의 전량 수입에 의존하는 에너지원의 수입대체 가능
- 국가의 에너지 기본정책의 효율적 수립

7. 부처별 역할 분담

과 학 기 술 부	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가스 하이드레이트 탐사, 처리, 개발 및 이용을 위해 기반이 되는 하이드레이트 특성, 생성·해리에 대한 기초연구 : laboratory study and computer modeling ▪ 가스 하이드레이트 탐사 및 개발에 필요한 장비 및 기술의 개발을 위한 연구 : special seismic processing techniques, hydrate microdrill, X-ray linear scanner, pressure core barrel 등 ▪ 가스 하이드레이트의 안전하고 환경친화적 개발을 위한 해저면 안정성에 대한 연구 및 환경영향 평가 연구 ▪ 가스 하이드레이트 기술을 온난화가스의 심해 격리를 위한 기반기술로 활용 ▪ 석탄층 메탄가스 자원의 탐사, 개발 및 이용에 필요한 요소 핵심기술의 개발에 소요되는 R&D 비용 지원
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가스 하이드레이트 부존지역 규명 및 매장량 평가를 위한 field study와 이와 관련된 핵심기술의 개발 ▪ 가스 하이드레이트 처리, 시추 및 회수기술의 개발 ▪ 가스 하이드레이트 기술을 이용한 천연가스의 수송·저장을 위한 용화 기술 개발 ▪ 천연가스를 가스 하이드레이트로 전환해 수송할 수 있는 수송선 개발을 위한 연구 ▪ 석탄층 메탄가스 자원에 대한 탐사, 개발 및 생산에 직접적으로 투자되는 사업비 지원 ▪ 국가 에너지 정책 수립에 기초자료로 활용
정보통신부 건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해저 광케이블 및 구조물 건설에 필요한 기초자료 활용
외교통상부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 일본과의 대륙붕 한계확정에 대비 기본자료로 활용
해양수산부 환경부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가스 하이드레이트가 환경 및 생태계에 미치는 영향 연구 ▪ 환경오염 및 지질재해 예측을 위한 기본자료로 활용 ▪ 대기오염 방지와 온실가스 격리 연구에 소요되는 R&D비용 지원

8. 기타

가. 정부 사업과의 연계

- (1) 일본과의 대륙붕 한계획정에 대비 해당 정부 부처에 가스 하이드레이트 연구와 관련 동해에서 획득된 자료의 제공과 협상 지원팀 구성이 필요
- (2) 현재 정부투자기관에서 추진 중인 동해 및 시베리아 가스전 개발 사업과 해저 광케이블의 안전한 포설을 위해 해당 정부 부처 및 투자기관의 관련 사업과 연계가 필요
- (4) 가스 하이드레이트 및 석탄층 메탄가스 자원의 탐사, 개발을 위한 경제성 확인까지 정부의 지원 필요, 경제성 확인 후에는 에너지 관련 민간기업 참여 유도

나. 국제 사회 활동과의 연계

- (1) ODP (Ocean Drilling Programme) 및 IODP (Integrated Ocean Drilling Programme)에 참여 가스 하이드레이트 관련 핵심기술과 연구 결과의 공유체제 구축이 필요
- (2) Mallik Project 등과 같이 가스 하이드레이트의 상업생산에 대비한 핵심 기술 개발을 위한 다국가 project에 참여 효과적인 기술개발 체제 구축이 필요

다. 사업 추진 체제 지원

- (1) 새로운 유형의 탄화수소 에너지원의 확보와 함께 탐사, 개발 및 활용기술의 개발을 위해서는 기초과학분야에서 응용, 공학 분야까지 다학제적성격을 지니며 관·산·학·연이 긴밀한 협조체제하에서 사업을 수행해야하기 때문에 체계적인 사업의 추진과 개발된 기술과 자료를 상호 공유하고 활용

할 수 있게 조정할 수 있는 대형사업단 추진이 필요

9. 참고문헌

1. 류병재 외, 1999a, 한국석유지질학회지, 7, 1-6.
2. 류병재 외, 1999b, 21세기 신에너지자원 가스 하이드레이트 연구, 한국자원연구소 기관고유사업 연구보고서 (KR-99(B)-09), 179p.
3. 장성형 외, 1999, 물리탐사, 2 (4) 184-190.
4. 정부홍 외, 2000, 가스 하이드레이트 탐사를 위한 특성화 탐사차료처리 기법, 한국자원공학회 춘계 학술발표회 논문집, 160-162.
5. 정부홍 외, 2001, 가스 하이드레이트 탐사를 위한 특성화 탐사차료처리 기법, 한국자원공학회 춘계 공동학술 발표회 논문집, 95-99.
6. 정부홍 외, 2002, 동해 가스 하이드레이트 탐사를 위한 탄성과 자료 전산처리, 한국자원공학회 추계 학술발표회 논문집, xxx
7. 류병재 외, 2002, 가스 하이드레이트 탐사 및 개발 연구, 한국지질자원연구원 연구보고서 (KR-02(C)-08), 353p.
8. 박근필 외, 2003, 울릉분지의 가스 하이드레이트 탐사, 한국자원공학회 춘계 학술발표회 논문집, 211-214.
9. 박석환, 1999, 국내 무연탄층에 함유된 메탄자원의 잠재력과 그 이용 가능성, 자원환경지질학회지 32, 113-121
10. 정태진 외, 2001, 석탄층 메탄가스 개발 타당성 예비조사 연구, 한국지질자원연구원 연구부고서 (KR-02-(T)-01), 162p.
11. 松本良, 奥田義久, 青木豊, 1994, 메타소하이드레이트 21世紀の巨大天然가스資源. 日經サイエンス社, 東京, 253p.
12. Borrenhaug, A. and Gudmundsson, J.S., 1996, Gas transportation in hydrate form, Proceedings of EUROGAS 96, June 3-5, Trondheim, 35-41.
13. BP, 2003, Statistical review of world energy.
14. Cheong, B.H., et al., 2003, A study on seismic processing and interpretation using seismic data acquired in the Ulleung Basin, East Sea, Proceedings of 1st International Workshop on

- Continental Margin Tectonic and Gas Hydrate, Beijing, November 16-18.
15. Eddy, G.E. et al., 1982, Relationship of methane content of coal, rank and depth, SPE/DOE 10800, 117-122.
 16. Kim, A.G., 1978, Methane drainage from coalbeds; Research and utilization in methane gas from coalbeds development, production and utilization; MERC/SP-78/1. 13-17
 17. Kuuskraa, V.A. and Brandenburg, C.F., 1989, Coalbed methane sparks a new energy industry, Oil and Gas Journal. 87, 49-53.
 18. Kuuskraa, V.A. et al., 1992, Hunt for quality basins goes abroad, Oil and Gas Journal, 90, 49-54.
 19. Kvenvolden, K.A. and Lorenson, T.D., 2001, The Global Occurrence of Natural Gas Hydrates, In: Natural Gas Hydrates, Occurrence, Distribution, and Detection, 3-18.
 20. Law, David H.-S., 2003, Deep coalbed methane: A fossil fuel resources with potential of zero greenhouse gas emissions, unpublished presentation material for KIGAM.
 21. Makogon, Y.F., 1997, Hydrate of Hydrocarbons, PennWell Books, Tulsa, Oklahoma, 482p.
 22. Rice D.D. et al., 1993, Coalbed gas-An undeveloped resource, In: The future of energy gases, USGS professional paper 1570.
 23. Ryu, B.J., 2001, Gas hydrate potential in Ulleung Basin, East Sea, Proceedings of 3rd Korea-Japan Science and Technology Forum, Seoul, May 19-23, 355-361.

바이오매스 신에너지 자원화 기술 개발

1. 기술개요

가. 기술 개발의 사회적 배경

(1) 화석연료 및 화학원료 자원의 고갈

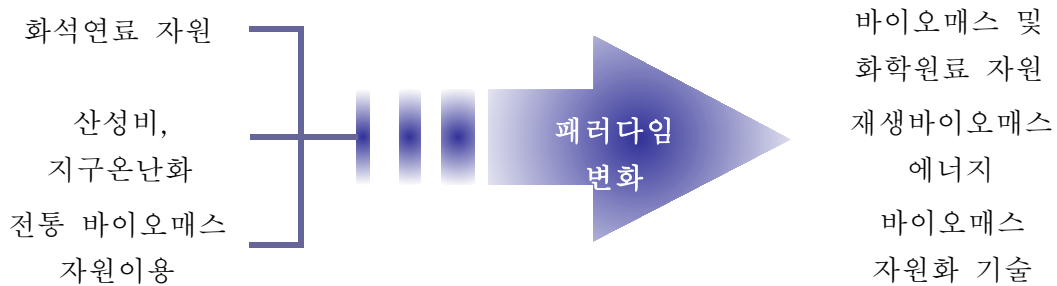
- ① 석유(1조 bbl, 47년), 천연가스(141조 m³, 65년), 석탄(1조 톤, 204년)
- ② 바이오매스 자원 (연간 생산량 2,000억톤, 연간 사용가채량 60억톤)
- ③ 바이오매스 에너지 (사용가능 에너지 9×10^{10} GJ, 총 소비의 30%)

(2) 화석연료 과다 사용에 따른 지속가능 성장원동력의 저해

(3) 화석연료 과다 사용에 따른 산성비, 지구온난화 등 환경 문제의 대두

(4) 신재생 에너지원이면서 동시에 화학원료로써 바이오매스의 재조명

(5) 전통적 바이오매스 자원이용에서 바이오에너지 기술로의 패러다임 변화



나. 바이오매스 신에너지 자원화 핵심 기술 개요

(1) 에너지 작물 육종 및 재배 기술

(식물 유전학 기술, Salix, Miscanthus 및 Switch Grass 등 속성 작물)

(2) 바이오매스 연료 가공 및 전처리 취급 기술

(수확, 파쇄, 운반, 건조, 취급, 저장 기술 등)

(3) 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시뮬레이션

(Co-combustion 실험, NO_x 저감연료 단계화, 배연축매, 회재 이용기술 등)

(4) 바이오매스의 첨단 연소 기술 개발

(저 NO_x, 저타르, 저분진, 저회재 연소기술)

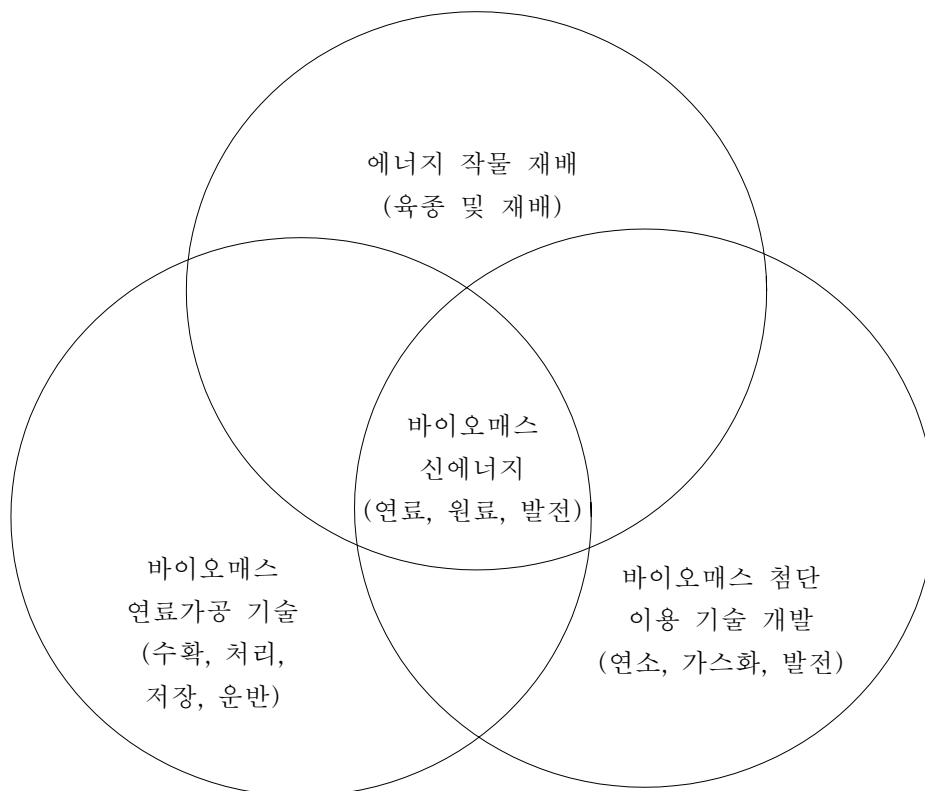
(5) 첨단 중소형 열병합 발전 (CHP) 기술 개발

(중소 규모 지역 냉난방용)

(6) 대형 바이오매스 혼소 발전 애로 해소 기술 개발

(7) 바이오매스 액화, 가스화 기술 개발

(열분해(pyrolysis), 직접액화, 저·고온 가스화 기술)



2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향 및 전망

(1) 국내 바이오매스 에너지 이용 동향 및 전망

(가) 바이오매스 에너지 자원 시장

- ① 1974년 1,400만톤/년 신탄(빨감) 시장형성
- ② 1998년 임산물 연간 약 142만 m³/년 생산 타 용도 공급 (버섯재배, 재재, 비계용 등)
- ③ 1998년 현재 간벌재 연간 약 70 만톤 산림내 방치
- ④ 1990년 1,185만톤/년의 농부산물은 75% 퇴비 등으로 재활용, 25%폐기
- ⑤ 1995년 21만톤/년의 신탄(빨감)이 자가 사용 되었으나 시장가치가 없었으며 그 이후는 자가 사용량 통계조차 없는 실정

(나) 바이오매스 에너지 자원 시장 향후 전망

- ① 1998년 연간 임목 축적량 1,200만톤/년
- ② 2003년 현재 폐목재 등은 폐기물 소각로 등에서 에너지 생산에 투입되고 있으며 향후 간벌재, 폐목재 등을 중심으로 지역난방, 바이오매스 혼소, 가스화 발전 등에 활용될 가능성이 큼.

(2) 국외 바이오매스 에너지 이용 동향 및 전망

(가) 세계 지역별 동향 (<표 1. 참조>

- ① 바이오매스 신에너지는 전세계 에너지 공급의 약 1.4%를 공급
- ② 전통적 바이오매스(빨감)는 10.6%를 공급하며 바이오매스 신에너지로 차츰 전환

- ③ 바이오매스 에너지(신 + 전통, 12%)는 태양열, 풍력, 소수력, 지열, 파력 및 해양에너지 등 전체 신재생에너지(5.8%) 보다 많은 양을 공급
- ④ 우리나라가 속하는 아시아 지역은 바이오매스의 자원량이 많아 이용 기술 개발에 따라 상대적으로 개발 여건이 좋음.

〈 표 1 〉 세계 에너지 공급 동향과 바이오매스 에너지

(단위 : PJ)

지역	biomass 신에너지	전통적 biomass	기타* 신재생에너지	화석연료	총에너지 소비	biomass 신에너지 비율(%)
북미주	454	908	3,320	46,838	51,519	0.9
남미주	1,099	2,986	1,982	7,715	13,781	8.0
서유럽	239	478	2,603	31,599	34,919	0.7
동부 중부 유럽, 러시아	239	717	1,433	39,147	41,535	0.6
중동 및 아프리카	119	3,869	382	9,554	13,925	0.9
아시아 태평양	549	8,383	1,887	33,200	44,019	1.2
남아시아	191	4,872	525	5,064	10,653	1.8
세계	2,890	22,213	12,133	173,116	210,352	1.4
%	1.4	10.6	5.8	82.3	100	

* 기타 신재생에너지 는 태양열, 풍력, 소수력, 지열, 파력 및 해양에너지를 포함

(나) 국가별 동향

- ① EU : 1995년 현재 총에너지 소비의 3%(1,900PJ/a)를 담당하는 바이오매스 에너지(전통, 신에너지 포함)를 2010년 5,700 PJ/a로 확대 공급 총에너지 소비의 6% 이상을 공급할 예정
- ② 호주 : 현재 바이오매스 사용량 미미 하나 석탄 화력발전소 혼소기술 개발 활발히 진행중
- ③ 오스트리아 : 100 PJ/a(총에너지 공급의 10%) 바이오매스 에너지공급
- ④ 덴마크 : 33 PJ/a (총에너지의 4%) 바이오에너지로 공급
- ⑤ 핀란드 : 250 PJ/a (총에너지의 20%) 바이오에너지로 공급

- ⑥ 뉴질랜드 : 29 PJ/a (총에너지의 6.3%) 바이오에너지로 공급
- ⑦ 노르웨이 : 45 PJ/a(총에너지의 5%, 주거용 에너지의 15-20%) 바이오 에너지로 공급
- ⑧ 독일 : 100PJ/a (총에너지 수요의 0.8%) 바이오에너지 공급
- ⑨ 스웨덴 : 349 PJ/a (총에너지 수요의 17%) 바이오에너지 공급, 이 중 202 PJ은 제지, 목재 관련 산업, 77 PJ/a는 지역난방, 43 PJ/a는 펄프, 16 PJ/a는 발전에 쓰임.
- ⑩ 스위스 : 44P/a (총에너지 수요의 5.1%) 바이오에너지 공급
- ⑪ 미국 : 2,557 PJ/a (총에너지 수요의 3.2%) 바이오에너지 공급, 이중 대부분은 열병합 발전용 (1,595 PJ/a) 및 주거 난방용도 (597 PJ/a).

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

주관 부처	사업명	과제명 (사업 목표)	기간	연구비 (억원)	비고
산자부	대체에너지 기술개발사업	주간별 목재의 에너지 회수를 위한 가스화 공정 개발	2002-2005 (2년)	4	단위 과제 사업으로 선행연구임
민간	수탁	바이오매스를 활용한 지역난방 시스템 도입 연구	2003-2004 (1년)	0.7	바이오매스의 지역난방 도입 타당성 조사 연구

(2) 외국에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

국가	사업/계획명	사업목표	사업기간	비고
호주	Co-firing of Biomass-Coal Blends	바이오매스 - 석탄 혼소기술	장기과제	CSIRO, CRC for Black Coal Utilization 등 참가 혼소 석탄화력 성능향상
독일	Biofuels Program	바이오 연료 보급 확대	1999-	환경세 0.02 Euro/liter
미국	Biomass Power Program	바이오매스 혼소 및 열병합 발전	1998-2028	DOE 와 민간의 협력, Biorefinery Program 병행
오스트리아	RPS (Renewable Portfolio Standard)	신재생 발전 확대	1999-2005	바이오매스 위주 신재생에너지 전력 3% 강제 공급

다. 국내외 관련 기술수준 비교 및 핵심 기술 도출

(1) 바이오매스 신에너지 자원화 기술 비교

기술 분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
바이오매스 자원	에너지 작물 육종 및 재배 기술	하	중
바이오매스 전처리	바이오매스 연료가공 및 전처리 취급기술	하	상
바이오매스 신에너지 기술	바이오매스 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시뮬레이션	하	상
	바이오매스의 첨단 연소 기술 개발	중	중
	중소형 열병합발전(CHP) 기술 개발	하	상
	바이오매스 혼소 발전 애로기술 개발	하	중
	바이오매스 액화, 가스화 기술 개발	하	중

(2) 핵심 기술 도출

(가) 에너지 작물 육종 및 재배 기술

(식물유전학 기술, Salix, Miscantus 및 Switch Grass 등 속성작물)

(나) 바이오매스 연료 가공 및 전처리 취급 기술

(수확, 파쇄, 운반, 건조, 취급, 저장 기술 등)

(다) 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시뮬레이션

(Co-combustion 실험, NO_x 저감 연료 단계화, 배연촉매, 회재이용 기술 등)

(라) 바이오매스의 첨단 연소 기술 개발

(저 NO_x, 저타르, 저분진, 저회재 연소 기술)

(마) 첨단 중소형 열병합 발전 (CHP) 기술 개발

(중소 규모 지역 냉난방용 표준 모델 개발)

(바) 대형 바이오매스 혼소 발전 애로해소 기술개발

(분체취급 기술, 회재융착(fouling 등) 및 연소애로(blending) 기술 등)

(사) 바이오매스 액화, 가스화 기술 개발

(열분해(pyrolysis), 직접액화, 저·고온 가스화 기술)

라. 사업추진의 필요성

(1) 화석연료 및 화학원료 자원의 고갈에 대처한 바이오매스 자원의 개발

(2) 환경 문제의 해결과 지속가능 성장원동력의 확보

(3) 전통적 바이오매스 자원이용에서 바이오매스 신에너지 이용으로

(혼소 발전, 바이오매스 가스, 바이오연료의 자원 확보 및 이용 기술 개발)

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

※ 폐기 및 방치 바이오매스 자원의 신에너지 자원화

(1) 기술개발 보급 개시 10년 후 바이오에너지 총에너지 소비의 3% 공급
(바이오에너지 공급 600만 toe/년 = 250 PJ/a)

(2) 바이오매스-석탄 혼소발전 기술의 표준화

(3) 바이오매스 CHP 기술에 의한 지역난방 기술의 상용화

(4) 바이오매스 액화, 가스화 기술 개발에 의한 바이오연료 및 전력 공급

나. 단계별 목표

(1) 1 단계

기술 분류	단계별 목표 내용
바이오매스 자원	에너지 작물 육종 기술 개발 (Salix, Miscanthus)
바이오매스 전처리	바이오매스 수확 및 수거운반, 파쇄 기술 개발
바이오매스 신에너지기술	바이오매스 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시뮬레이션 (연소-열화학)
	바이오매스의 첨단 연소 기술 개발

(2) 2 단계

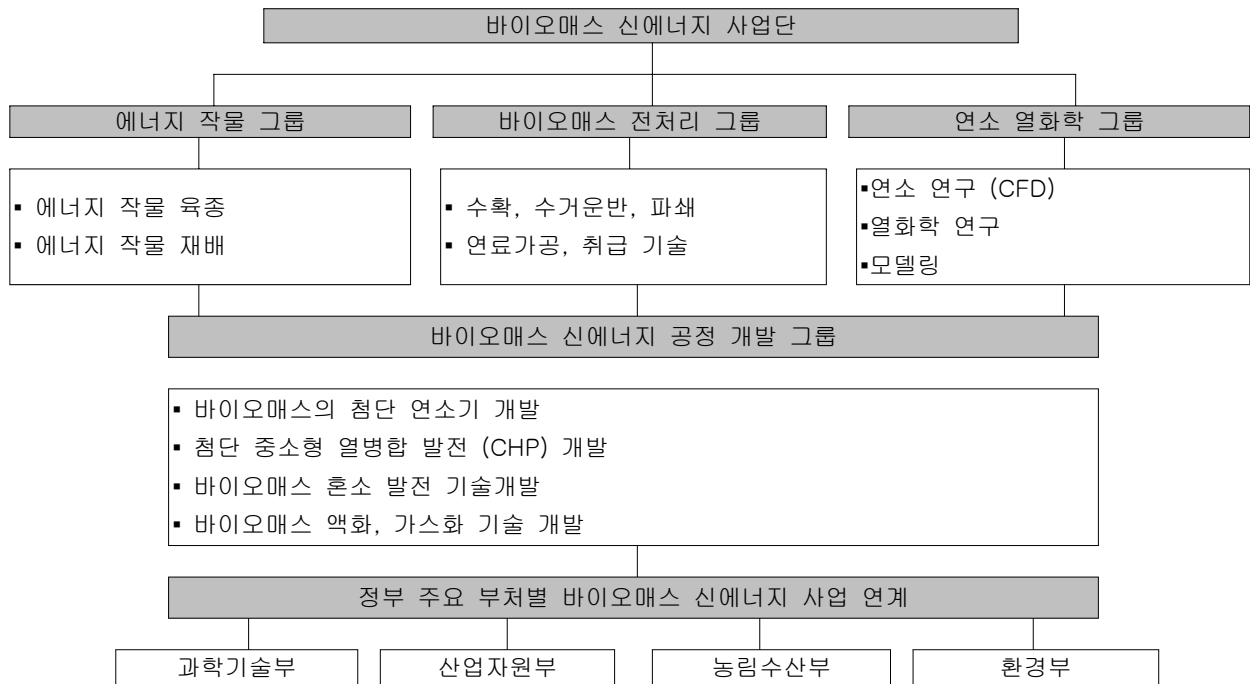
기술 분류	단계별 목표 내용
바이오매스 자원	에너지 작물 재배 기술개발 (포장 실험)
바이오매스 전처리	바이오매스 연료가공 및 취급기술 개발
바이오매스 신에너지기술	중소형 열병합발전(CHP) 기술 개발
	바이오매스 혼소 발전 애로기술 개발
	바이오매스 액화, 가스화 기술 개발

(3) 3 단계

기술 분류	단계별 목표 내용
바이오매스 자원	에너지 작물 재배 시범 보급 연구
바이오매스 전처리	바이오매스 연료가공 및 전처리 취급 설비 상용화
바이오매스 신에너지기술	중소형 열병합발전(CHP) 플랜트 상용화 설계 시공
	바이오매스 혼소 발전 상용화 모니터링 연구
	바이오매스 액화, 가스화 공정 실증 연구

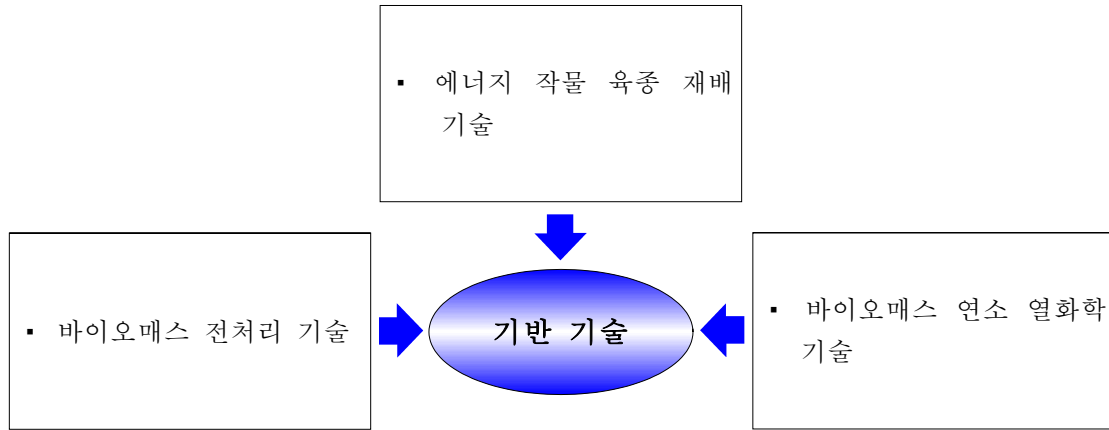
4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업 추진 체계 구성

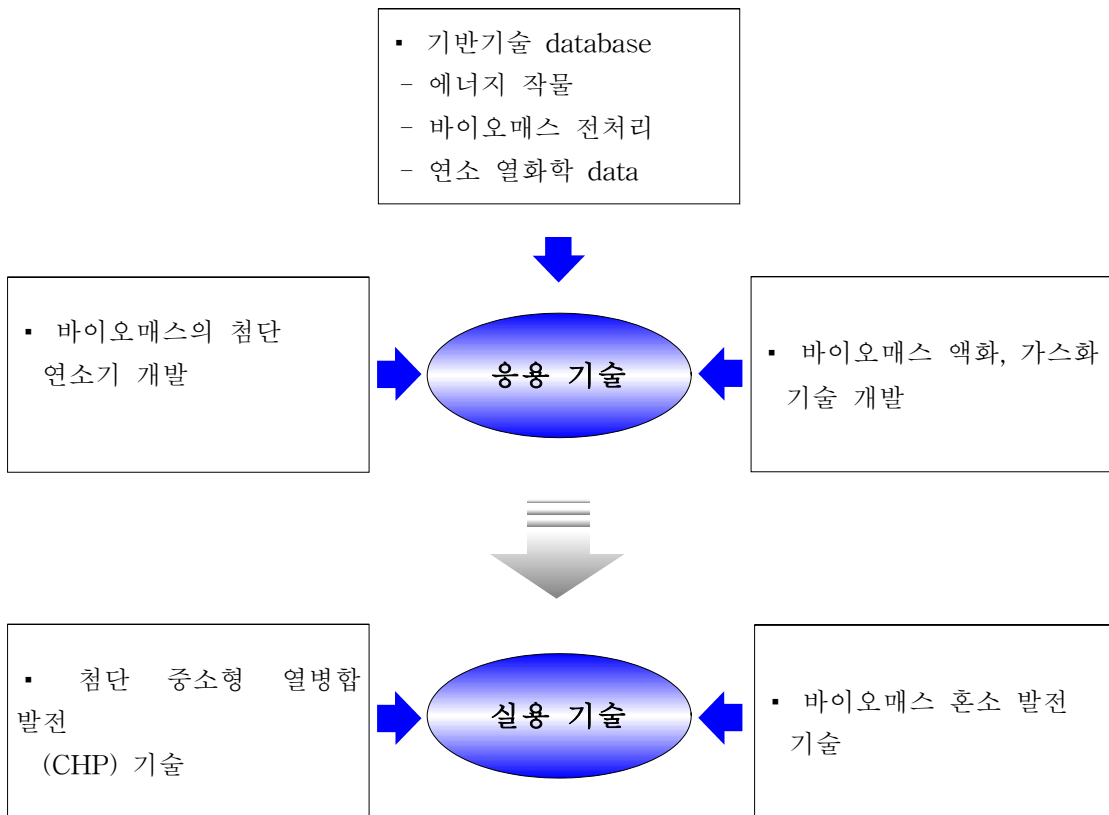


나. 세부 사업 추진 체계

(1) 바이오매스 신에너지 기반기술



(2) 바이오매스 신에너지 공정 기술



5. 소요 예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요 예산

대분류	세부 핵심기술 내용	소요예산 (억원)
바이오매스 자원	에너지 작물 육종 및 재배 기술	170
바이오매스 전처리	바이오매스 연료가공 및 전처리 취급기술	100
바이오매스 신에너지 기술	바이오매스 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시 뮬레이션	100
	바이오매스의 첨단 연소 기술 개발	30
	중소형 열병합발전(CHP) 기술 개발	70
	바이오매스 혼소 발전 애로기술 개발	50
	바이오매스 액화, 가스화 기술 개발	110

나. 연도별 소요 예산

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
에너지 작물	170	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20
전처리	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
연소-열화학	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
첨단 연소	30	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-
열병합 발전	70	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10
혼소발전	50	-	-	-	10	10	10	5	5	5	5
액화-가스화	110	10	10	10	20	20	20	5	5	5	5
총 계	630	50	50	50	80	80	80	60	60	60	60

6. 기대 효과

가. 바이오매스 신에너지 자원 확보 및 에너지 공급

- (1) 기술 개발 보급 개시 10년 후 바이오에너지 총에너지 소비의 5% 공급
(바이오에너지 공급 600만 toe/년 = 250 PJ/a)
- (2) 에너지 해외 의존도 5% 감소

나. 기술적 파급효과

- (1) 바이오매스-석탄 혼소발전 기술의 표준화
- (2) 바이오매스 CHP 기술에 의한 지역난방 기술의 상용화
- (3) 바이오매스 액화, 가스화 기술 개발에 의한 바이오 연료 및 전력 공급

나. 경제적 파급 효과

- (1) 석유 수입 감소 : 25억 \$/년 (석유 30\$/bbl 기준)
- (2) 바이오매스-석탄 복합 화력 발전소 플랜트 수출 및 세계 시장 독점
(개발도상국 석탄 화력 발전 설비 시장은 현재 한국의 차세대 산업 시장이 되고 있음) 연간 200 MW 석탄화력 발전소 (3억\$/기) 10개 수출 기준 30 억불 시장

7. 부처별 역할 분담

과 학 기 술 부	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기반 기술 개발 총괄 <ul style="list-style-type: none"> (가) 에너지 작물 육종 및 재배 기술 (나) 바이오매스 연료 가공 및 전처리 취급 기술 (다) 연소, 화학 공정의 CFD 분석, 모델링 및 시뮬레이션
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공정 기술 개발 분야 총괄 <ul style="list-style-type: none"> (가) 바이오매스의 첨단 연소 기술 개발 (나) 첨단 중소형 열병합 발전 (CHP) 기술 개발 (다) 대형 바이오매스 혼소 발전 애로해소 기술개발 (라) 바이오매스 액화, 가스화 기술 개발
농림수산부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오매스 자원 개발 분야 실시 <ul style="list-style-type: none"> (가) 에너지 작물 육종 및 재배 시험 (나) 바이오매스 연료가공 및 전처리 기자재 설비 개발
환경부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오매스 자원 활용의 환경영향 분석 및 보급 정책 <ul style="list-style-type: none"> (가) 바이오매스의 첨단 연소 기술의 영향 평가 (나) 첨단 중소형 열병합 발전 (CHP) 영향 평가 (다) 대형 바이오매스 혼소 발전 영향 평가 (라) 바이오매스 액화, 가스화 기술의 환경성 평가 분석

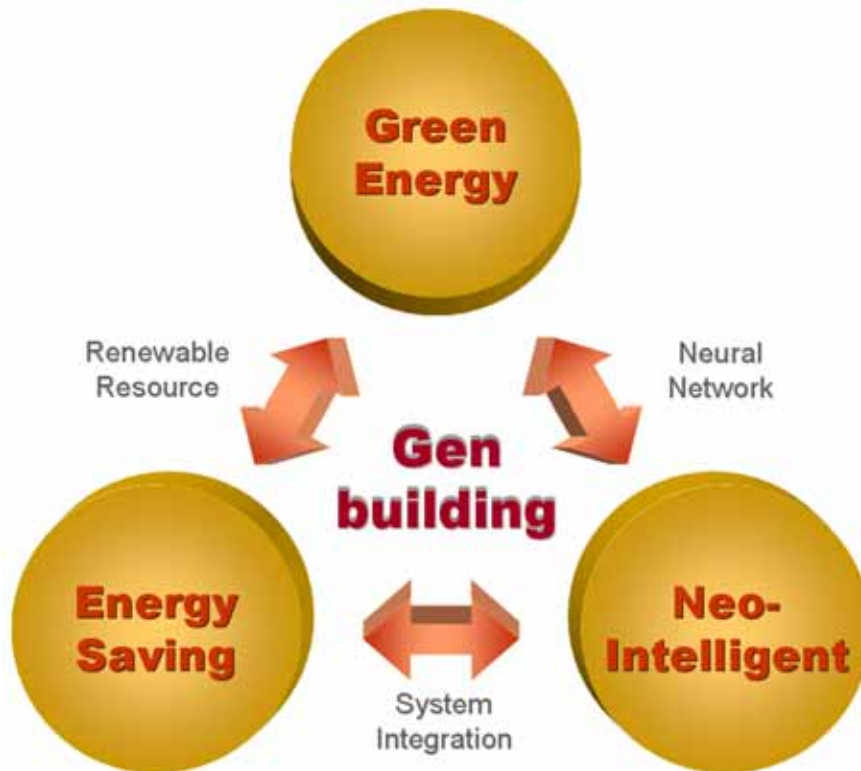
8. 참고문헌

1. Yukawa Hideaki ed., Technological Trends in Energy Generation from Biomass, 2001, CMC Press, Japan.
2. 박순철, 바이오매스 에너지 활용 기술 개발 기획 연구 외, 2000, 한국에너지기술연구소 기획 보고서, KIER-A06501
3. Sjaak van Loo and Jaap Koppejan ed., Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, 2002, Twente University Press, The Netherlands
4. Boufeldja Benabdallah et al. ed., Guide Biomasse-Energie, 1994, Editions ACADEMIA, Belgique

미래형 GEN Building 기술 개발

1. 기술개요

가. 용어의 정의



GEN Building 이란?

- G : Green Energy Building (친환경)
- E : Energy Saving Building (에너지 절약형)
- N : Neo-intelligent Building (신 지능형)

“GEN Building”이란 친환경적인 신재생에너지를 활용하고 에너지 저감기술이 포함된 신 지능형 제어시스템으로 운영되는 건물을 일컫는다.

나. 기술개발의 사회적 배경



(1) 경제적 배경

- ① 한국의 에너지 소비상황에 대한 인식 재고
 - 에너지 소비량 세계 10위, 석유소비량 세계 6위
- ② GDP의 8.2%를 에너지 수입에 사용 (337억불/2001년 기준)
- ③ 국내에너지 소비량 중 건물부문이 차지하는 비율은 약 25%이며 계속적인 증가 추세

<표 1> 부문별 에너지소비량 [단위 : 백만 TOE (%)]

		1995	2000	2010	2020
산업부문		62.9(51.6)	73.8(51.3)	92.7(48.5)	111.6(48.2)
수송부문		27.1(22.3)	33.2(23.1)	50.2(26.2)	58.8(25.4)
건물 부문	가정부문	21.9(18.0)	25.0(17.4)	31.1(16.3)	37.5(16.2)
	상업공공기타	9.9(8.1)	11.9(8.3)	17.3(9.1)	23.4(10.1)
합계		121.9	144.0	191.0	231.3

- ④ 건물로부터 배출되는 온실가스는 전체 온실가스 배출량의 35%를 차지하

여 환경과괴에 지대한 영향을 미침

- ⑤ 한국전력 등 공기업 분할 및 민영화로 예상되는 전력가격과 공급의 안전성 문제

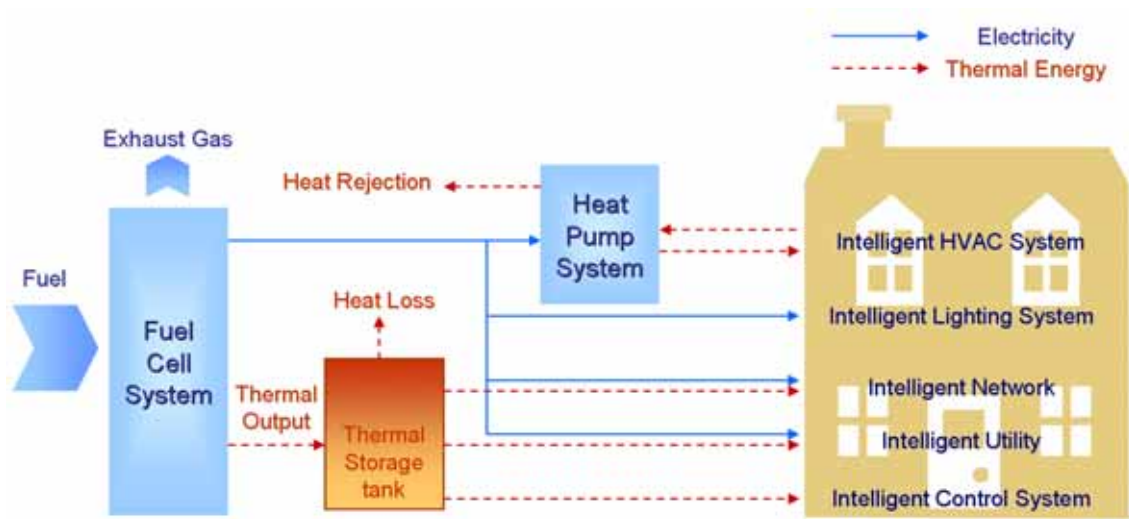
(2) 사회적 패러다임의 변화

- ① 국가 에너지 공급원의 새로운 발상에 대한 필요성 증대
 - 화석연료 자원 고갈
 - 고유가 시대, 자원의 무기화, 에너지 공급의 불안정성 증대
 - 신재생에너지 공급의 가시화 및 대기수요 증가
- ② 정보기술의 대중화로 공간의 쾌적성, 효율성, 지원성이 높은 인터넷, 디지털시대 대응형 첨단건물 기술 필요
- ③ 주거환경의 친환경화, 복합화, 다양화 추구
- ④ 21세기 지식정보사회로의 패러다임 변화에 따른 인터넷 이용 인구, 재택근무자, 노인 및 단독가구 증가

(3) 기술적인 대응 방향

- ① 미래형 주거용 건물에서 통합된 신 지능형 에너지 절약기술 및 제어관리 기술 개발
 - On-line 기법을 활용한 건물의 최적제어 방안 도출
 - 최적제어 프로그램으로 시스템 simulation 프로그램 최적화
 - 지능형 고장진단 및 복구 알고리즘 구축
- ② 건물의 on-line 시스템을 기반으로 구축된 홈 네트워크 관리기법과 에너지원과의 통합된 시스템 구축
- ③ 신재생에너지의 적극적 활용에 의한 환경 친화형 기술 확보
- ④ 다양화된 신재생에너지와 건물의 관리 및 제어시스템과의 적용기술 개발
- ⑤ 표준화된 주거용 연료전지 시스템 및 열펌프 시스템 개발
- ⑥ 기존 시스템의 에너지소비량 감소 제어방법 개발

다. 핵심기술 개요



(1) 적용기술개발

- (가) 건물의 에너지원으로 연료전지 응용/관리 기술
- (나) 부하대응형 폐열이용 히트펌프 기술
- (다) 축열 및 수송 시스템 소형화 기술
- (라) 지능형 건물기술
- (마) 최적화 설계 및 관리기술

(2) 세부기술

- (가) 건물에너지원으로 연료전지 응용/관리 기술
 - ① 기 개발된 3 kW급 고분자 전해질 연료전지 적용기술
 - ② 연료전지의 부하대응 및 운전기술
 - ③ 연료전지 운영 시 발생하는 폐열 적용 기술

(나) 부하 대응형 히트펌프기술

- ① 국내 주택에 이용 가능한 CO₂ 적용 히트펌프 설계 및 제작 기술
- ② 부하대응 운전기술
- ③ 소형화 기술

(다) 축열 및 수송시스템 소형화 기술

- ① 상변화 물질에 의한 축열조 소형화 기술
- ② 수송 매체 개발에 의한 고효율화 기술
- ③ 제어 및 관리 기술

(라) 신 지능형 건물제어 기술 및 통합관리 기술

- ① 신 지능형 외피기술
- ② 신 지능형 설비기술
- ③ 건물제어 기술 및 통합관리 기술
- ④ 건물 시스템의 on-line화 기술

(마) 최적화 설계 및 관리기술

- ① 최적화 시뮬레이션기술
- ② 최적화 제어기술
- ③ 고장진단 기술
- ④ 최적 설계 및 관리기술

2. 국내의 기술개발현황 및 기술수준 비교

가. 국내외 산업동향 및 전망

1) 국내 산업동향 및 전망

- ① 국내 연료전지를 통한 발전장치 잠재시장 규모는 1999년 기준으로 약 19만 7천 가구이며 40평 이상소유자의 약 73%가 가정용 발전장치의 잠재시장 규모이지만 실제 개발된 연료전지의 응용 및 관리기술의 개발이 지원되지 않아서 실제적인 보급이 이루어지지 못하고 있음
- ② 국내 열펌프는 겨울철에 3.0 이상의 COP를 가지는 확실한 기술이 제시되지 않아 보급이 확대되지 못하고 있지만 최근 폐열, 지열 등의 대체 열원에 의한 히트펌프의 보급이 이루어지고 있고 CO₂를 이용한 히트펌프의 개발도 기대되고 있음. 향후 연료전지의 폐열 등에 의한 히트펌프 시스템이 개발된다면 연료전지와 기술보급이 확대될 것으로 기대됨
- ③ 국내 지능형 건물 시장은 5조원 이상의 시장을 형성하고 있지만 이들의 대부분은 가전제품 등에 제한적으로 이루어지고 있다. 그러나 향후 환경친화적인 기술과 복합적으로 시장이 형성된다면 파급효과는 1조 이상으로 막대할 것으로 예상됨

2) 국외 산업동향 및 전망

- ① 미국의 경우 1997년에 Dept of Commerce Housing에 의하여 조사한 바에 의하면 연료전지의 가격이 높더라도 가정용으로 선택할 가능 수요는 500,000가구로 추정되고 있으며 유럽은 109 million 가정 중 35%가 채택할 것이라 예측됨
- ② 일본의 경우 2002년 2월 고이즈미 총리는 연료전지가 수소경제를 이끌 핵심으로 보고 3년내 가정용 전원으로의 실용화 천명함. 1993년부터 수소 저장, 제조, 이용에 대한 국제 프로젝트인 WE-NET(World Energy Network) 추진중임. 또한 2003년부터 수소 안전이용 등을 목표로 5개년 계획 수립함

- ③ 미국, 일본, 유럽 등에서 지열, 하수열 등 폐열을 이용하여 히트펌프를 활용한 사례들도 많이 있지만 연료전지의 폐열을 이용한 사례는 별로 없음. IEA의 ANNEX 프로그램에 의하면 CO₂와 같은 천연냉매를 이용하여 냉동공조 시스템 개발과 주거용 및 상업용 적용을 시도함
- ④ 최근 미국, 유럽을 중심으로 스마트 하우스, 사이버 하우스, TRN 하우스 등 첨단 주택을 대상으로 홈 네트워크의 적용이 이루어져 왔지만 이들의 대부분은 홈 오토메이션, 엔터테인먼트, 헬스 케어 등의 분야에 적용되고 있음

나. 국내외 연구개발 동향

1) 국내에서 현재 진행/계획 중인 관련 프로그램/사업

가) 국내의 히트펌프 개발 동향

- ① 1980년대 말부터 관련기업에서 히트펌프에 대한 연구하여 최근에는 암모니아/물을 작동 매체로 사용하고, GAX (Generator Absorber Heat Exchange) 사이클을 적용한 가스구동 공냉형 흡수식 열펌프의 개발을 목표로 산학연 협동(KITECH, KIST, 서강대, 한국해양대, LG전자, 삼성전자, 센츄리, 린나이코리아) 컨소시엄을 구성, 개발업무를 분장하여 연구를 수행함(1995-1998)
- ② 난방, 운수보다는 냉방위주의 연구가 많으며 최근 외기를 열원으로 하는 소형 냉방위주 냉온풍기 개발 보급됨
- ④ 최근 축열식 심야전기 온수기에 관심을 가지며 2002년부터 LiBr/H₂O를 적용한 가정용 가스흡수식 냉온수 유닛이 개발
- ⑤ 흡수식열펌프의 고효율화를 위한 3중효용 흡수식 사이클에 대한 관심 고조

나) 국내의 연료전지의 개발동향

- ① 1990년대 초반 포항공대, 서울대 등 학교에서 기초연구 시작
- ② 1996년 한국가스공사 - 1 kW급 Stack 개발
- ③ 1999년 KIST - kW급 시스템 개발
- ④ 2000년 KIER - 10 kW급 가정용 연료전지 시스템 개발
- ⑤ 2001년 (주) 세티 - 가정용 연료전지 시스템 상용화 벤처

회사명	회사소개 및 사업영역	개발현황
삼성종합 기술원	소형 PEMFC 직접메탄올연료전지	자체개발, 촉매전극, 멤브레인 연구 개발 2001년 상반기 노트북용 휴대용 PEMFC 개발
현대 자동차	연료전지 자동차 미국 IFC사와 제휴	미국 캘리포니아 FC 파트너십 참여 2001.3 수소연료전지차 공개
LG화학	연료전지용 멤브레인 직접메탄올연료전지	소재부품 분야 핵심사업 선정 100 W급 직접메탄올연료전지 개발 중
LG전자	휴대용 PEMFC 직접메탄올연료전지	100 W급 직접메탄올연료전지 개발 중 휴대용 PC 제품화 계획
Fuel Cell Power	2001.3 설립	막전극 계면형상 개선된 MEA의 특허출원 자체 MEA, 분리판 적용한 스택 개발 계획
와우텍	2000.3 설립	휴대용 직접메탄올연료전지 개발
(주)세티	2000.11 설립 미국 DAC와 G정유의 합작 벤처회사	2001.3 가정용 연료전지 3 kW급 시스템개발 2-3년내 가정용 연료전지 상용화 계획

(다) 국내의 지능형 건물 동향

- ① 유비쿼터스 사업 과기부 프론티어 사업으로 추진
- ② 산자부는 지능형홈 산업을 차세대 10대유망산업으로 추진계획
- ③ 대부분의 기술은 건물, 에너지, 환경분야의 기술을 제외한 정보통신분야로 추진중임

(2) 국외에서 현재 진행/계획 중인 관련 프로그램/사업

(가) 국외의 히트펌프 개발 동향

- ① 흡수식 냉동기는 현재 LiBr/H₂O(흡수제/냉매)를 사용하고 있으나 이중효율방식의 직렬 또는 병렬흐름 방식으로, 성능향상은 그 한계점에 도달한 것으로 보고 친환경적인 천연냉매에 대한 관심 증대됨
- ② 미국의 히트펌프 개발 동향
 - 에너지성(Department of Energy)의 Advanced Cycle Program을 통하여 암모니아를 이용하는 GAX 열펌프의 시제품을 1985년에 시범 제작함으로써 실용화 개발에 착수함. 개발목표는 주택의 냉난방용 가스구동 공냉형 시스템의 개발로 냉방 성적계수 0.7과 난방성적계수 1.6으로 설정함
 - 최근에는 앞서의 연구개발을 기초로 하여 2단계로 미국 가스연구소(Gas Research Institute)와 에너지성(Department of Energy)이 보다 효과적인 개발연구 정책의 일환으로 National GAX Program을 만들어 투자를 일원화하여 향상된 사이클 및 기기의 연구개발에 박차를 가하고 있음
 - 2단계 개발목표는 GAX 사이클을 적용하여 1단계와 같은 조건에서 냉방성적계수 1.0, 난방성적계수 1.9를 목표로 하고 있음. 따라서 수년 내로 실용화된 GAX 제품의 생산이 시작될 것으로 예측됨
- ③ 일본의 히트펌프 개발 동향
 - 시스템 성능 향상을 위하여 METI(Ministry of Economy Trade and Industry)로부터 연구비를 지원받아 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)가 주관하고 일본가스공사와 Kawasaki, Hitachi, Daikin, Yazaki의 4개 업체가 연구개발에 참여하여 3중효율 시스템을 개발중에 있음
 - LiBr/H₂O가 갖는 특성상 소형화 및 공냉화에 따르는 여러 제한요소로 인하여, 공랭화가 가능한 흡수제/냉매로서 H₂O/NH₃에 관한 관심이 집중되고 있음
- ④ 노르웨이의 SINTEF Energy Research에서는 작동매체를 CO₂로 하는 50 kW 급의 히트펌프 온수기를 만들었으며 이는 CO₂ gas cooler에

의해 물을 60~80 °C로 가열하거나 축열탱크에 저장하는 기술임

(나) 국외의 연료전지의 개발동향

- ① 2003년 자료에 의하면 미국은 자동차 연료전지 기술인 Freedom CAR and Fuel Initiative, 연료전지 복합발전 기술인 21C 청정발전기술, \$400/kW 급의 연료전지 개발계획인 SECA program, 수소경제로의 전환을 주도하는 International Partnership Hydrogen program 등 다양한 연료전지 개발 및 상용화 프로그램이 가동 중
- ② 일본의 경우 New sunshine, Millenium 프로젝트로 분산전원, 주택용 및 자동차용 연료전지 개발에 주력

(다) 국외의 지능형 건물 동향

- ① 미국, 프랑스, 영국, 핀란드, 독일 등 선진국 10여개국이 IEA(International Energy Agency)의 ANNEX25, 34, 40을 중심으로 연구를 수행하여 연구결과를 공유하면서 개발을 추진하고 있음
 - 사용자 interface 구성
 - 최적화 제어(optimum control) 기술
 - 고장진단처리(FDD) 시스템의 검증 및 평가 기술
 - 센서의 이상 검증
 - 제어시스템의 고장감지 및 처리
- ② 국외의 주요연구기관
 - 미국(NIST; National Institute of Standard and Technology)
 - 프랑스 (CSTB; Centre Scientifique Technique Du Batiment)
 - 영국 (Univ. of Oxford)
 - 핀란드 (VTT; Technical research Centre of Finland)

다. 국내외 관련 기술수준 비교

(1) 기술수준 비교

기술분류	기술내용	국내수준	국외수준
연료전지 응용/관리기술	기개발된 연료전지 적용기술	하	중
	부하대응 및 운전기술	하	중
	폐열 이용 기술	하	중
부하대응형 히트펌프 기술	하이브리드 히트펌프 설계 기술	중	상
	부하대응 운전 및 제어기술	중	상
	소형화 기술	하	중
축열 및 수송 기술	상변화 축열조 기술	중	상
	고효율화 기술	중	상
	제어 및 관리기술	중	중
지능형 건물기술	지능형 외피기술	하	상
	지능형 설비기술	중	상
	지능형 조명기술	중	상
	통합기술	중	상
	설계 및 관리기술	중	상

(2) 기술개발의 문제점

(가) 건물에너지원으로 연료전지 응용/기술관리

- ① 기개발된 연료전지의 실증화 연구미흡에 따른 신뢰성 부족
- ② 초기 설치비용의 증가
- ③ 히트펌프등과의 하이브리드 시스템 연구부족

(나) 부하 대응형 히트펌프 기술

- ① 폐열원 이용 시스템의 성능향상기술 부족
- ② 복합 시스템 설계 및 운전기술 부족
- ③ 소형화 기술 부족

(다) 축열 및 수송 기술

- ① 상변화 물질의 신뢰성 부족
- ② 수송 매체 재료 기술 부족

(라) 지능형 건물 기술

- ① 지능형의 알고리즘 부족
- ② 홈 네트워크와 통합기술 부족
- ③ 시스템 실증 사례 부족

(마) 시스템 최적화 설계 및 관리기술

- ① 시스템 통합 및 운용 기술 부족
- ② 시스템 통합 설계 기술 부족

라. 사업추진의 필요성

(1) 원천기술 확보

(가) 건물의 에너지원 다양화 기술 확보

- ① 분산발전을 현실화시킴으로서 대형 발전소 건설시 야기되는 문제점 해결
- ② 기존의 발전방식과 비교하여 효율이 현저히 높으며 폐열회수에 의한 급탕 및 온수 소요 에너지 절감

(나) 연료전지와 히트펌프의 응용 기술 확보

- ① 연료전지 상용화를 촉진하여 시스템 국산화 추진
- ② 히트펌프의 열원으로서 폐열 이용시 보급 확대

(다) 건물의 지능화 제어기술 확보

- ① 미래형 지능화된 건물의 보급촉진
- ② 에너지 절감 가능한 지능형 건물의 원천기술 확보

(2) 국가 에너지 운용의 효율화

(가) 국가 에너지 이용의 효율화

- ① 기존의 발전방식에 비해 획기적으로 높은 에너지 효율 (발전효율 40%, 열효율 40%) 달성
- ② 국가 전체 에너지의 30% 달하는 건물 소요 에너지 50%이상 절감 가능

(나) 차세대 에너지원의 운용에 대한 원천기술 확보

- ① 복합 시스템의 설계기술과 성능향상을 위한 원천기술 확보
- ② 초기 기능성, 계통연계성, 내구성, 신뢰성 등 검증을 통한 국산화 기술 확보

(다) 미래 건물 기술 확보

- ① 국가 신산업 동력의 한 축인 지능형 홈 산업에 필요한 환경 에너지 기술 확보
- ② 첨단건물에 필요한 융합기술의 응용기술 확보

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

- (1) 연료전지 및 히트펌프에 의한 미래 첨단 주거건물 모델 확립
- (2) 미래 환경친화적인 첨단 건물의 원천 기술 확보

나. 단계별 목표

(1) 1단계

1 단 계	연료전지 응용/관리기술	<ul style="list-style-type: none"> - 단독주택용 3~5 kW 연료전지 시스템화 설계기술 개발 - 부하대응 운전기술 개발 - 폐열이용 시스템화 기술 개발
	부하 대응형 히트펌프기술	<ul style="list-style-type: none"> - 단독주택용 폐열원 이용 히트펌프 시스템 기술개발 - 시스템 최적화 운전/제어 기술개발
	축열 및 수송기술	<ul style="list-style-type: none"> - 상변화 축열조 기술 개발 - 축열 고효율화 기술 개발 - 제어 및 운전 기술 개발
	지능형 건물 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지능형 외피 설계 기술 개발 - 지능형 설비 시스템화 기술 개발 - 통합 설계 및 관리기술 개발

(2) 2단계

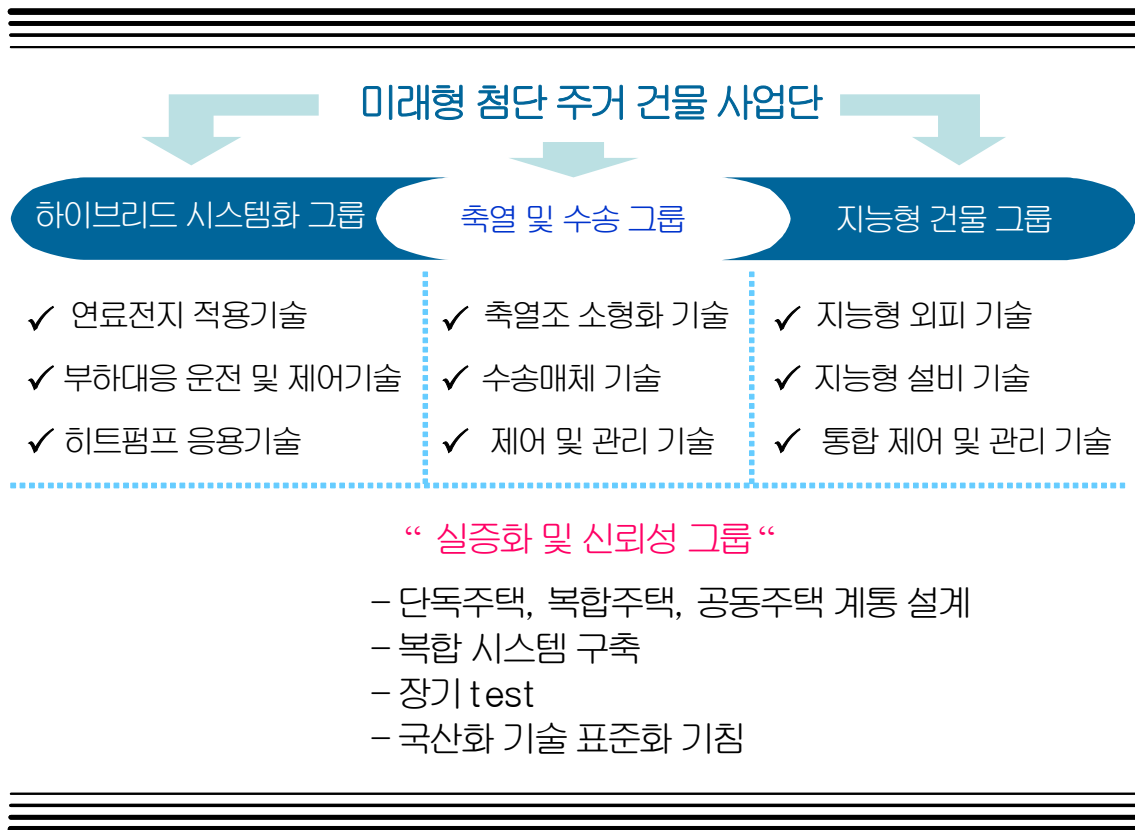
2 단 계	연료전지 응용/관리기술	<ul style="list-style-type: none"> - 복합주택용 30 kW 연료전지 시스템화 설계 기술개발 - 부하대응 운전 기술 개발 - 폐열 이용 시스템화 기술 개발
	부하 대응형 히트펌프 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 복합주택용 폐열원 이용 히트펌프 시스템기술개발 - 시스템 최적화 및 운전제어 기술 개발
	지능형 건물 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 지능형 조명 기술 개발 - 홈 네트워크 통합기술 개발 - 무선원격 관리 기술 개발

(3) 3단계

3 단 계	연료전지 응용/관리기술	<ul style="list-style-type: none"> - 공동주택용 300 kW 연료전지 시스템화 설계 기술 개발 - 부하대응 운전기술 개발
	부하 대응형 히트펌프 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 공동주택용 폐열 이용 히트펌프 시스템 기술개발 - 시스템 최적화 및 운전제어 기술 개발
	지능형 건물 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 공동주택 지능형 관리 시스템 기술 개발 - 시스템 최적화 기술 개발

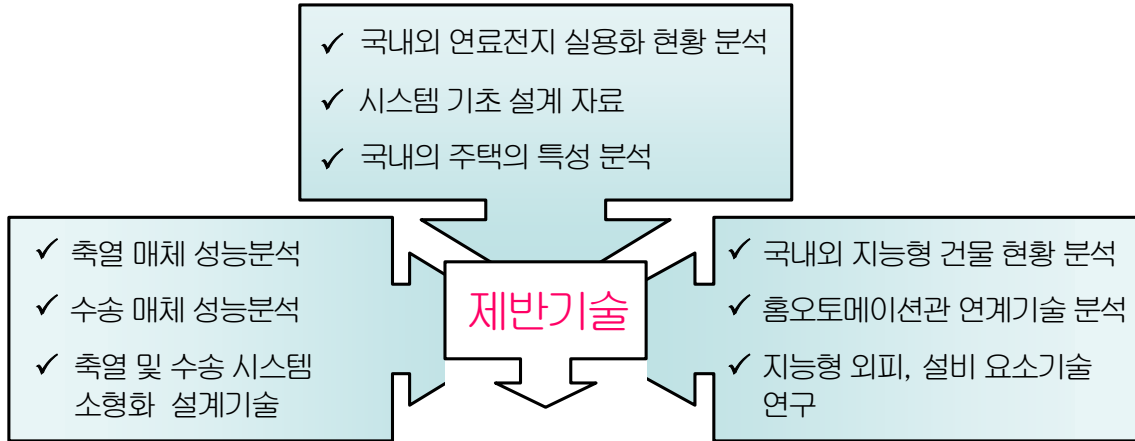
4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업추진 체계 구성

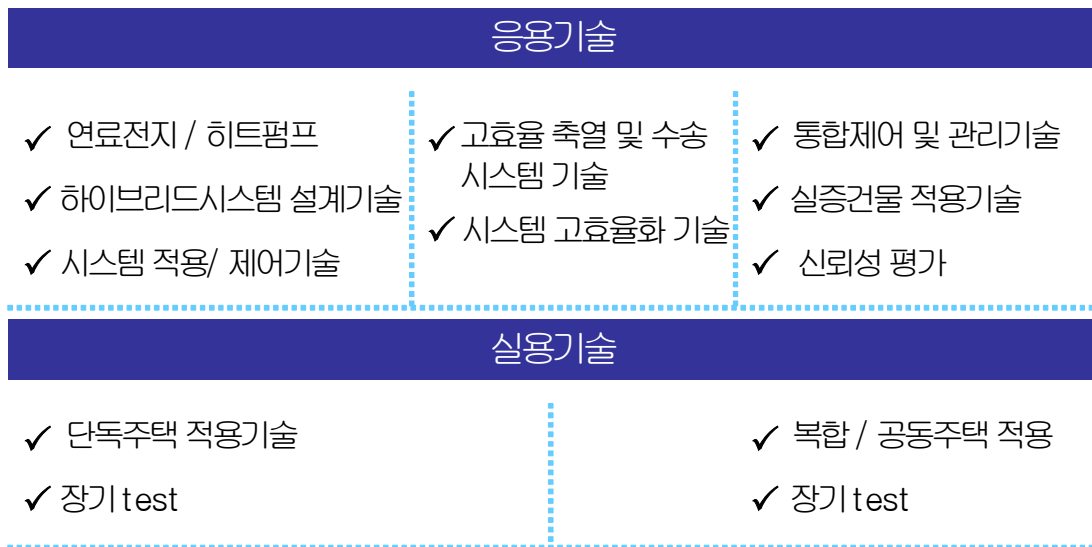


나. 세부사업 추진 체계

(1) 기반 기술



(2) 응용 및 실용화 기술



5. 소요예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요예산

(단위 : 억원)

대분류	세부 핵심 기술	소요예산
연료전지 응용/관리 기술	단독주택용(5 kW)연료전지 시스템 구축기술	15
	복합주택용(30 kW)연료전지 시스템 구축기술	30
	공동주택용(300 kW)연료전지 시스템 구축기술	30
	소 계	75
부하대응형 히트펌프 기술	(주택, 복합주택, 공동주택용) 하이브리드 히트펌프 설계 기술	30
	(주택, 복합주택, 공동주택용) 하이브리드 히트펌프 제작 기술	40
	(주택, 복합주택, 공동주택용) 하이브리드 히트펌프 제어 및 관리기술	40
	소 계	110
축열 및 수송기술	상변화 축열조 기술	30
	수송시스템 고효율화 기술	40
	소 계	70
지능형 건물기술	지능형 외피기술	30
	지능형 설비기술	40
	지능형 조명기술	30
	통합관리기술	30
	소 계	130
실용화 및 평가기술	단독주택용 실증 시스템	50
	복합주택용 실증 시스템	70
	공동주택용 실증 시스템	160
	소 계	280
총 계		665

나. 연도별 소요예산

대분류	계	연도별 소요예산(년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
연료전지 응용/ 관리기술	155	10	10	10	15	15	15	20	20	20	20
부하대응형 히트펌프 기술	120	10	10	10	10	10	10	15	15	15	15
축열 및 수송기술	155	10	10	10	15	15	15	20	20	20	20
지능형 건물기술	235	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

6. 기대효과

- ▶ 발전효율의 향상으로 에너지절약 및 에너지원 다양화
- ▶ 무공해 에너지 공급
- ▶ 미래지능형 건물 산업 촉진
- ▶ 신에너지기술의 보급촉진
- ▶ 수입에너지 감소
- ▶ 무공해 고효율 전원공급

7. 부처별 역할 분담

<p>과학기술부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 첨단건물과 관련된 미래기술은 전자공학, 화학공학, 건축공학, 기계공학 등 다학제적 성격을 지니므로 총괄적 사업단 구성 및 추진역할이 필요함 · 연료전지 응용/관리 분야는 과기부의 타 사업단과의 연계적 연구가 필요함 · 본 연구는 최종개발이 해당부처별로 기술의 적용시 활용의 효과를 극대화 할 수 있음
<p>산업자원부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 차세대 동력산업의 지능형 총산업과의 연계시 보급활성화 · 연료전지/히트펌프기술 등 요소기술의 실용화 및 보급 확대
<p>정보통신부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 지능형 네트워크 산업과 연계시 보급활성화 · 디지털 가전, 센서 등 첨단기술의 보급 확대기반 구축
<p>건설교통부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 미래형 건물에 적용을 위한 기반구축 · 친환경 주거환경으로 개선

하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발

1. 기술개요

가. 기술 개발의 사회적 배경

(1) 신에너지·환경산업의 기술 경쟁력 강화

(가) 고효율 에너지 기기의 확보

- ① 석유자원의 고갈 및 고유가, 기후변화협약 발효에 따른 국제적인 새 질서의 도래, 그리고 중국·인도 등 거대 개도국의 에너지수요 폭발 등 근본적이고 막대한 영향을 미치는 새로운 도전 직면
- ② 선진 각국들은 고기능, 고성능 에너지 소재를 통한 신에너지·환경산업의 독자적 기술기반을 구축하여 차세대 시장 선점
- ③ 시스템 기술의 고효율화를 위해서는 cross-cutting 기술이며 핵심 원천 기술인 소재기술 개발 없이는 불가능 인식 확대

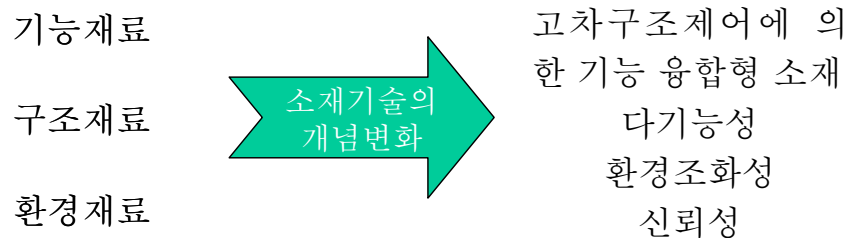
(나) 미래 에너지·환경문제의 해결을 위한 지식집약형 에너지소재 개발

- ① 최근 10년간 연평균 10%에 달하는 에너지 소비증가율로 인하여 연간 약 200억불의 에너지 수입 비용 초래로 인한 에너지 수입의존도 심화
- ② 향후 에너지·환경문제의 해결을 위해서는 고효율 환경친화적 에너지 기술 개발과 실용화보급에 노력
- ③ 고효율 에너지 시스템 및 기기의 사용을 위해서는 핵심소재인 에너지재료의 고성능 및 고기능화가 필요

(2) 기능 융합형 에너지소재의 개발

- (가) 지구의 환경문제가 중요한 이슈로 등장함에 따라, 에너지와 자원을 대량으로 소비하는 종래의 기술로부터 탈피하여 적은 자원으로 높은 에너지효율을 발휘하는 기술이나 환경에 부담이 적은 기술의 개발이 중요

- (나) 환경문제, 에너지/자원 고갈 문제 등의 지구규모의 문제를 해결하고 더 나아가 풍요로운 생활환경을 지속하기 위해서는 정보통신기술 (IT), 나노기술 (NT), 에너지/환경기술 (ET), 바이오기술 (BT) 등을 뒷받침하는 소재기술, 특히 새로운 기능재료의 개발이 필수 불가결
- (다) 한편, 단순한 기능만을 나타내는 종래의 재료로는 상기의 문제해결에 한계가 있으며 정밀하고 복잡한 기능을 발휘할 수 있는 기능 융합형 소재기술이 강하게 요구되고 있는 실정



(3) 고기능 유체투과를 통한 에너지 효율 및 기능성 향상

- (가) 산업혁명이후 인류의 풍요로운 삶을 위한 과대한 에너지 사용은 에너지 효율 향상을 통한 에너지 절약의 필요성을 요구하게 되었음.
- (나) 현재 합성가스 생산시 에너지 소모가 많아 에너지의 절약의 필요성이 강화되고 있고, 석유 정제 과정에 있어서 대량의 유효가스가 배출되고 있지만, 경제적인 문제로부터 유효한 분리 회수 기술이 존재되지 않기 때문에 그대로 버려지고 있는 실정임.
- (다) 화석연료를 이용한 수소제조는 경우 현재 수소제조공정과 수소분리공정이 나뉘어져 있기 때문에 시스템 전체의 효율이 낮고 소형화에 많은 제약이 있어 멤브레인의 개발이 필요.
- (라) 고체전해질을 이용할 경우, 별도의 가열원이 필요 없이 직접 전기를 생산할 수 있기 때문에 구조가 간단하며, 보수유지가 필요 없고 소형 경량화

나. 핵심 기술 개요

(1) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술

(가) 고성능 세라믹 멤브레인 제조기술

- ① 분리물질에 따라 멤브레인의 미세구조를 임의로 제어할 수 있는 공정 기술 확립
- ② 멤브레인 구조 다층화 공정 기술 (다공질/다공질, 다공질/치밀질)
- ③ 고강도 멤브레인 필터 제조기술 및 기계적/열적 특성 평가 기술
- ④ 고차구조제어에 의한 멤브레인 반응기 소재의 미세구조 제어기술

(나) 세라믹 촉매 반응기 제조기술

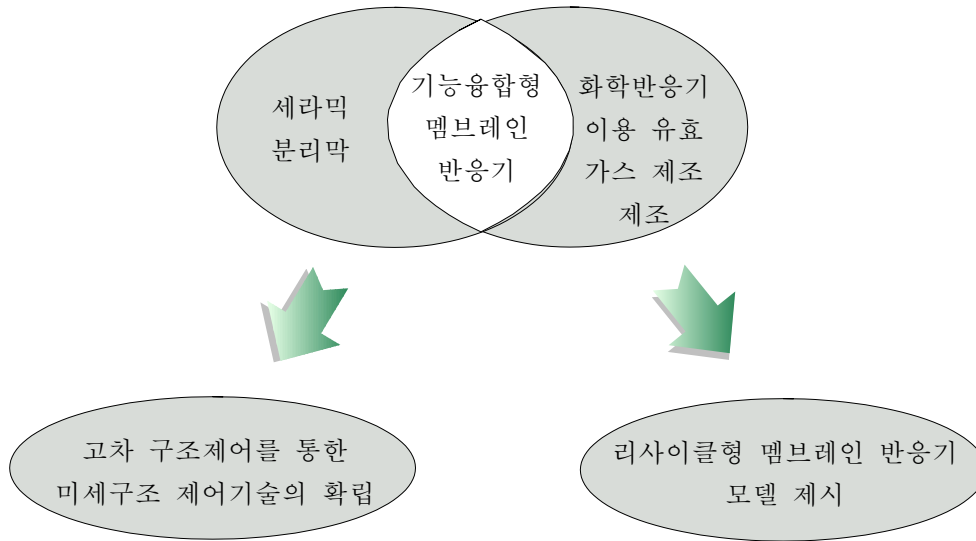
- ① 세라믹 나노촉매 분체 합성 기술
- ② 촉매의 나노복합화 기술 및 나노구조 제어 및 평가 기술

(다) 세라믹 멤브레인과 촉매 반응기의 융합에 의한 새로운 형태의 리사이클형 멤브레인 반응기 모델 제시

- ① 미반응 탄화수소 원료 및 생성물/부산물을 회수하여 멤브레인 반응기의 원료에 재투입하는 리사이클형 모델의 제시
- ② 반응생성물의 모니터링을 통한 최적의 반응기 설계가 가능
- ③ 복원 사후 지속적 모니터링 기법 표준화

(라) 개별 기능성 멤브레인의 집적화 및 시스템화 기술

- ① 고온 봉합, 씰링 및 집적화 기술
- ② 고효율 반응기 설계 및 시스템 제작 기술



[그림 1] 기능융합형 멤브레인을 이용한 유효가스의 분리 개념

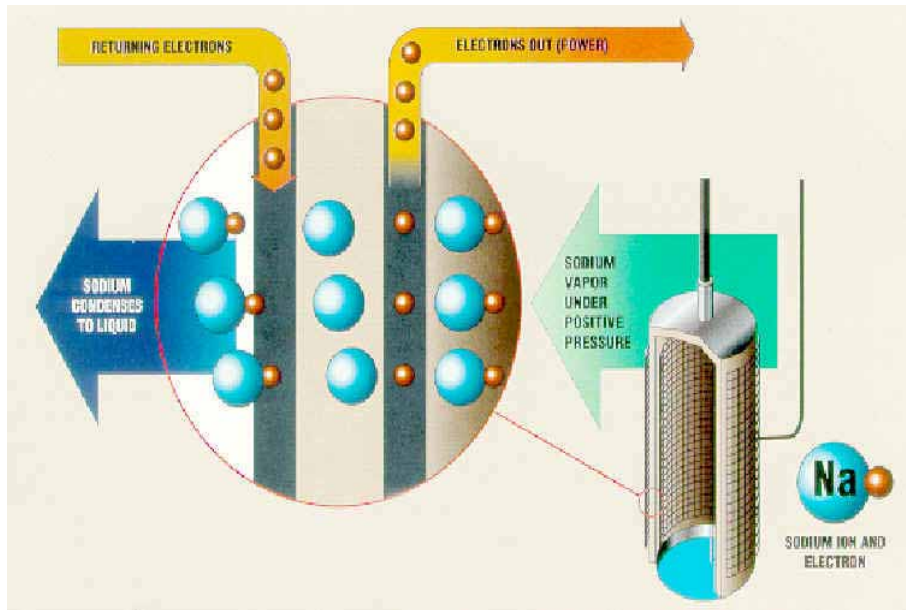
(2) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

(가) 고출력 고체 전해질 및 전극 제조기술

- ① 고출력 소재 조성 및 조합기술
- ② 매크로/마이크로/나노 영역에서의 미세구조 제어기술 확립
- ③ 나노 분말 합성 기술
- ④ 고강도 멤브레인 제조기술 및 기계적/열적 특성 평가 기술

(나) 고성능 열전발전 셀 제조 및 설계 기술

- ① 고출력 셀 설계 및 제작 기술
- ② 고온 봉합 및 씰링 기술
- ③ 단위셀 및 모듈의 집전 효율 향상 기술



[그림 2] 열전발전용 멤브레인 소재의 분리 개념

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향 및 전망

(1) 국내 산업 동향 및 전망

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술 관련 산업동향

- ① 멤브레인 필터에 비하여 분리와 화학 반응기를 하이브리드화한 멤브레인 반응기 분야에 대한 산업화는 미흡한 현실
- ② 청정연료인 수소를 연료로 하는 수소 자동차 등이 개발되고 있으므로, 이러한 장치에 사용할 수 있는 멤브레인 반응기에 대한 관심과 수요가 증가하는 추세이며 상품화 가능성은 매우 높음
- ③ 에너지절약형 멤브레인 반응기는 기존의 Fixed bed 반응기를 대체할 수 있는 차세대 반응기로서 개념이 정착되고 있음
- ④ 1998년부터 한국에너지기술연구원에서 합성가스 생산용 에너지 절약형

분리막 반응기에 관한 기초연구를 수행하였으나 실용화를 위해서는 내구성을 증진시켜야 하는 고성능화가 필요.

- ⑤ 국내 멤브레인 필터 산업을 바탕으로 향후 멤브레인 반응기로의 발전 가능성뿐만 아니라 기술적인 잠재력이 뛰어남

(나) 열전발전용 멤브레인 소재 관련 산업동향

- ① 1995년도 이후 한국에너지기술연구원에서 고체전해질 및 전극 소재를 비롯한 시스템의 핵심요소기술에 대한 기초적인 연구 이외에는 전혀 실적이 없음.
- ② 2003년도 현재 한국의 (주)티이 솔루션에서 암텍 제품기술 및 판매에 대한 기술협정을 체결하고 이에 대한 기술개발을 계획하고 있어 장차 응용기술이 주목되고 있음.

(2) 국외 산업 동향 및 전망

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술 관련 산업동향

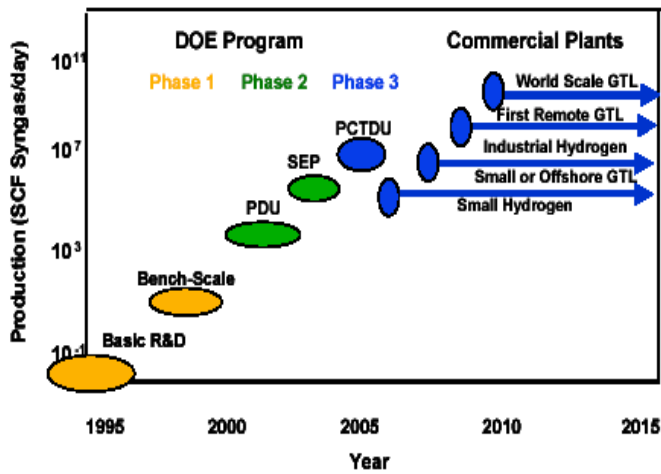
- ① 고온 유체투과 기능재료 개발기술은 에너지, 환경관련 최신기술이므로 기술도입이 불가하여 일본, 미국, 유럽 등의 모든 과제가 NRL과 유사한 정부주도 과제임. (예, 일본의 NEDO, 미국의 DOE 등의 과제) 현재 미국과 일본을 중심으로 석유화학산업, 발전소 등과 같이 화석연료를 사용하는 산업분야에서 수요가 증가되고 있음.
- ② 미국에서는 DOE 주도로 다양한 용도와 형태의 멤브레인 반응기를 개발하고 있으며, 세라믹 멤브레인 이용한 고순도 기체 제조 장치는 미국이 주도적으로 개발 하고 있음
- ③ MRT Technology사에서는 멤브레인 반응기를 이용하여 메탄가스로부터 99.99%의 수소를 생산할 수 있는 반응공정을 상업화하였음.
- ④ 1997년 후반부터 BP, Prax air, Amoco, Statoil, SASOL 등이 국제적인 컨소시엄을 구성하여 천연가스로부터 합성가스를 제조하고 나아가 액체연료까지 얻을 수 있는 무기 분리막의 개발을 위한 연구를 수행

중에 있음.

- ⑤ 천연 가스의 주성분인 메탄을 합성 가스 또는 C₂-형태 등의 탄화수소로의 전환하는 공정은 천연 가스의 운반을 용이하게 하며 고부가 가치의 생성물은 얻을 수 있는 공정으로 화학산업 및 에너지 산업에서 매우 중요한 공정이라는 인식이 확대
- ⑥ 다양한 형태의 화학반응을 하나의 반응기 안에서 수행함과 동시에 여러 가지 종류의 가스 (예를 들면 수소, 산소, 이산화탄소, 일산화탄소 등)에 대한 선택성을 부여함으로써 멤브레인 반응기의 부가가치가 더욱 향상되리라 고는 새로운 개념이 도입되고 있는 상황

(나) 열전발전용 멤브레인 소재 관련 산업동향

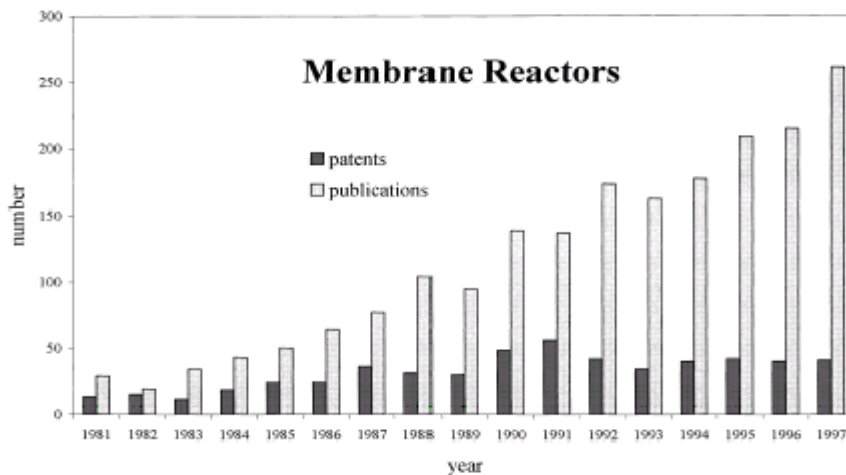
- ① Sandia 연구소를 비롯하여 Oak Ridge 연구소, ANL 및 미 공군 연구소 등이 기술개발에 적극 참여하고 있으며 ERIM, JPL, Lewis 연구소, Creare 등에서 소재기술을 포함한 요소기술개발을 추진하고 있음.
- ② 현재 튜브형 단위셀을 판매하고 있는 Ceramatec, Ford, GE, Marcoussis, CSP 등에서는 BASE 셀 및 모듈 생산기술에 대한 연구를 수행하고 있고 Westinghouse, Ford, GE, ORION 등에서는 우주용 AMTEC 발전성능개발에 관한 연구를 수행하고 있음.
- ③ Caltech, Utah, Stanford, UCLA, UMR, Wisconsin 등과 같은 대학에서는 AMTEC에 관련된 부문별 기초연구를 이들 기관과 산학연의 공동연구 형태로 이루어지고 있다. 본격적인 연구는 1985년도에 들어서면서 NASA에서 우주용 전원공급장치의 경량화를 위한 기술개발의 일환으로 AMTEC에 대한 연구가 추진되면서 심도 있는 기술개발이 시작되었음.



PDU; process development unit
 SEP; sub-scale engineering prototype
 PCTDU; Pre-commercial technology demonstration unit
 GTL; gas-to-liquid

[그림 3] 미국 DOE 프로그램에서 진행중인 세라믹 멤브레인 반응기를 이용한 수소 및 syngas 제조장치 개발 로드맵

J. Caro et al. | Microporous and Mesoporous Materials 38 (2000) 3-24



[그림 4] 고온유체투과재료인 분리막 반응기에 대한 논문특허 증가현황.

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술

<표 1> 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용 국내 연구개발 동향

주관 부처	사업명	사업목표	기간	연구비 (억원)	비고
한국에너지 기술연구원	LNG 직접 부분산화 및 평형 억제에 의한 고효율 합성가스 제조시스템 개발	120 Nm ³ /d, 합성가스 농도 90%이상, 운전온도 600℃ 이하	2002-2 005	2.25	21세기 프론티어 연구 개발 사업
한국화학 연구원	막 반응기를 이용한 메탄 activation 기술개발	막 반응기 전환율 95%이상, 촉매수명 장시간유지 및 촉매 재생기술 확보	2002-2 005	1	21세기 프론티어 연구 개발 사업
경기대	합성가스 제조용 촉매반응 및 가스 분리막 특성 연구	합성가스 제조촉매의 반응특성 및 분석	2002-2 005	1.2	21세기 프론티어 연구 개발 사업

(나) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

주관 부처	사업명	사업목표	기간	연구비(억원)			비고
				정부	민간	계	
	없음						

(2) 외국에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술 관련 산업동향

- ① 미국에서는 DOE 주도로 다양한 용도와 형태의 분리막 반응기를 개발하고 있으며, 세라믹 멤브레인 이용한 고순도 기체 제조 장치는 미국이 주

도적으로 개발 하고 있음.

- ② 미국에서의 분리막 반응기 연구는 1990년대 들어서 크게 활성화되었으며 Air Products and Chemical, BP-Amoco, Praxair 등의 기업과 Argonne National Laboratory 등의 국책 연구소 그리고 University of Cincinnati, Worcester Polytechnic Institute 등의 학교에서 주도적인 역할을 해왔음.

〈표 2〉 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용 국외 연구개발 동향

국가	사업명	사업목표	국내기술수준과의 비교분석
미국	DOE Hydrogen 프로그램	세라믹 멤브레인 반응기를 이용한 고효율 수소제조장치 개발	멤브레인 반응기에 대한 검토와 연구개발에 있어 선도적인 연구를 수행 중
	DOE Vision21 Energy Plan	세라믹 멤브레인 반응기를 이용한 전기, 합성가스, 수소 및 기타 유용한 화합물의 경제적, 효율적 생산시스템 개발	
일본	일본 NEDO-혁신적 온난화대책기술 프로그램-	고효율 고온 수소 분리막 제조	분리막과 촉매반응기를 융합화한 시스템 구축

(나) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

〈표 3〉 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 이용 국외 연구개발 동향

국가	사업(프로그램)명	사업목표	기간	연구비 (억원)	국내기술수준과의 비교분석
미국	*우주전원기술개발(NASA 주관)				없음
	1. Pluto-Express ; JPL 주관	1 kW	1996 ~ 2006	320	
	2. ARPS; Lockheed Martin 주관, AMPS 기술개발중	140 W	2003 ~ 2008	150	

다. 국내외 관련 기술수준 비교 및 핵심 기술 도출

(1) 세라믹 멤브레인 반응기 제조 및 평가기술 비교

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술

〈표 4〉 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 수준 및 핵심기술

기술 분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
고기능 멤브레인 제조기술	다공성 세라믹 미세구조 제어(기공율, 기공크기, 기공 배향성) 및 제조기술	하	상
	멤브레인 코팅기술 (고상법, 액상법, 기상법)	중	상
	다층구조 멤브레인 제조기술 및 복합화기술	하	중
	고강도 멤브레인 제조기술 및 기계적/열적 특성 평가 기술	중	상
멤브레인 반응기 제조기술	세라믹 촉매입자 제조기술	하	중
	세라믹 지지체 멤브레인/촉매입자 복합화 기술	하	중
	씰링 및 봉합기술	하	상
	멤브레인 반응기 설계 및 모듈화 기술	하	중
가스 투과성 및 촉매반응 평가기술	멤브레인을 통한 각종 가스 종에 대한 고용/확산 특성 평가 기술	하	상
	촉매 및 멤브레인 반응기의 가스선택성 제어 기술	중	상
	탄화수소의 개질반응에 대한 촉매반응기구 분석	하	중
기능성 멤브레인의 집적화 기술	멤브레인의 집적화 기술	하	상
	고효율 시스템 설계 및 제작 기술	하	중

(나) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

<표 5> 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 수준 및 핵심기술

기술 분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
고출력 멤브레인 제조기술	β " -알루미나 고체전해질 소재 합성 및 제조 기술	중	상
	고강도 β " -알루미나 세라믹 제조기술	하	중
	BASE 구조설계 및 제조기술(원통형, 평판형, 박막형)	하	중
고온전극 제작기술	다공성 전극(양극/음극) 제조기술	하	상
	다공성 전극 미세구조 제어기술	하	중
	고밀도 전극 제작 및 성능평가	중	상
BASE Cell 제조기술	세라믹-금속간 접합 및 실링 기술	하	상
	금속 유체 순환기술(wick, 점도)	하	상
	집전 기술(current collector)	하	중

(2) 핵심 기술 도출

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인 반응기 이용기술

① 세라믹 멤브레인 제조 기술

㉠ 선택적 기체 투과성 무기물 합성 기술

- 각종 가스 (수소, 산소, 탄화수소, 일산화탄소 등) 종에 대하여 뛰어난 선택성을 갖는 세라믹 소재의 개발 및 가수 선택성에 관한 정성적 정량적 평가 기술

- 화석자원, 특히 탄화수소계 천연 가스의 촉매반응 (탄화수소의 수증기 개질반응 및 부분산화반응)에 대한 뛰어난 활성을 나타내는 세라믹 멤브레인 소재의 개발 기술

㉡ 선택적 기체 투과성 무기 멤브레인 제조기술

- 세라믹 멤브레인 소재의 성형 기술

- 다층구조, 하이브리드 구조를 갖는 멤브레인 제조 기술
- 다공성 세라믹의 미세구조 (기공율, 기공크기, 기공 분포, 기공 배향성) 제어 기술
- 고강도 멤브레인 제조 기술 및 기계적/열적 특성 평가 기술
- ② 고성능 세라믹 멤브레인 반응기 설계 및 공정 기술 개발
 - ㉠ 멤브레인 반응기 설계 및 최적화 기술
 - 멤브레인 반응기 효율에 미치는 반응가스의 유체역학적 분석 기술
 - 반응기 가동조건과 효율과의 상관관계 분석 기술 및 최적화 공정을 위한 모델 제시
 - 멤브레인 반응기의 장기 안정성에 대한 기계적, 촉매 화학적 내구성 평가 기술
- ③ 수소 및 합성기체 제조용 멤브레인 반응기 개발
 - ㉠ 수소 제조용 소형 멤브레인 반응기 설계 기술
 - 멤브레인 필터와 촉매반응기 하이브리드화 기술
 - 수소 선택성 세라믹 멤브레인의 박막화 및 다층화 기술
 - 미반응 가스에 대한 리사이클 모델 설계 기술
 - ㉡ 합성가스 제조용 멤브레인 반응기 개발
 - 산소투과 세라믹 멤브레인 제조 기술
 - 고온 밀봉제 제조 기술
 - 세라믹 멤브레인 소재의 고온 안정화 및 계면 반응 평가 기술
- ④ 가스 투과성 및 촉매반응 평가 기술
 - ㉠ 수소, 산소, 일산화탄소에 대한 가스 투과성 및 탄화수소계 성분에 대한 촉매 특성
 - 세라믹 촉매소재와 선택성과의 상관관계 규명
 - 지지체 멤브레인 및 가스 투과 멤브레인의 미세구조 제어 기술
 - 촉매반응에 있어서의 carbon coking 영향에 대한 분석 및 carbon coking 절감기술 개발
 - ㉡ 화학/촉매 반응 평가 모델 개발
 - 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 촉매 화학 반응 기구 해석/평가 기술
 - 세라믹 촉매 표면의 해석 기술 및 표면 개질 기술 개발

(나) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

① 고출력 BASE 멤브레인 제조기술

- ㉠ H, Na, Li과 같은 알칼리 금속에 대한 전기전도도가 우수하고 높은 온도에서 내구성이 우수한 β 또는 β'' -알루미나 세라믹 멤브레인 개발
- ㉡ 높은 출력밀도(1.0-1.2 Watt/cm²)를 갖는 원통형, 평판형을 비롯하여 적층을 할 수 있는 박막형, 후막형 멤브레인 소재에 대한 구조 및 형상설계 기술연구

㉢ 고강도 멤브레인 제조 및 특성 평가기술

② 고온 멤브레인용 전극 제조기술

- ㉠ 알칼리 금속 유체에 대한 전기전도성이 우수하면서 장시간 동작을 해도 열화현상이 없는 다공성 세라믹 전극 소재 및 제조기술
- ㉡ 다공성 전극물질의 미세구조 제어 및 특성 평가 기술

③ BASE Cell 제작기술

- ㉠ 세라믹-금속간 접합 및 실링 기술
- ㉡ 금속 유체 순환기술(wick, 점도)
- ㉢ 집전 기술(current collector) 순환기술

(3) 기술 개발의 문제점

(가) 반응촉진성 고분리능 멤브레인을 이용한 유효가스의 분리 및 이용기술

① 세라믹 멤브레인 제조 기술

- ㉠ 경박/단소화를 위한 초박막형태의 멤브레인 설계가 요구 \Rightarrow 시스템의 신뢰성 저하
- ㉡ 촉매재료의 선택의 폭이 협소한 실정. 특히 수소 투과 멤브레인의 경우 Pd, Ag와 같은 귀금속이 일반적으로 사용되고 있는 바, 비용 면에서 경쟁력 저하가 우려됨
- ㉢ 촉매활성의 최대화를 위해서는 다양한 형태의 복합화 (세라믹/세라믹, 세라믹/금속, 세라믹/유리) 공정이 필요 \Rightarrow 각 구성성분간 화학적 또는 기계적 친화성 문제

- ② 세라믹 멤브레인 반응기 설계 및 공정 기술 개발
 - ㉠ 현재 멤브레인 반응기는 원통형의 세라믹 멤브레인 지지체의 한쪽 면에 박막형 수소 투과 멤브레인이 코팅된 구조
 - ㉡ 상기 멤브레인 구조로 인하여 촉매소재는 원통형 멤브레인 내부에 존재
 - ⇒ 물질이동, 열전달이 방해되어 반응기의 효율이 감소
 - ㉢ 현재 연구가 진행중인 수소 투과 멤브레인 소재는 수소 투과성이 낮기 때문에 scale-up이 어려움
 - ㉣ 가스 투과성 향상을 위한 멤브레인의 초박막화는 가스 선택성의 신뢰성이 저하되는 문제점을 내포
- ③ 가스 투과성 및 촉매반응 평가기술
 - ㉠ 연료가스의 부분산화 반응시 촉매표면에서의 carbon coking에 의한 촉매활성의 저하문제
 - ㉡ 연료/공기 혼합가스 사용으로 인한 안전문제
 - ㉢ 고온 밀봉제가 필요한 경우 밀봉제와 세라믹 멤브레인 반응기와의 열팽창계수 차로 인한 열응력의 발생 ⇒ 시스템의 내구성 및 장기 안정성 문제

(나) 고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술

- ① 고효율 BASE 멤브레인 제조 기술
 - ㉠ 이온 전도율이 높은 소재의 합성을 위하여 세심한 제조장치 및 기술을 필요로 함.
 - ㉡ 수분이 없는 상태에서의 멤브레인 제조 및 다공성 전극의 코팅이 어려우며, 이 때 열팽창 등의 차이에 의한 장기 안정성 확보가 중요한 문제임.
- ② 고효율 집전 및 봉합기술
 - ㉠ 셀 제작시 가장 중요한 기밀 유지를 위해서는 봉합을 완전히 하는 것이 필요하며, 이를 위한 봉합재료의 합성 및 세라믹과 금속, 세라믹과 세라믹의 접합 재료의 선정 및 접합이 매우 까다로움.
 - ㉡ 고효율의 셀을 제작하기 위해서는 전자들을 효율적으로 집전할 수 있는 방법의 선정 및 이의 전극과의 접착이 중요함.

라. 사업추진의 필요성

(1) 에너지 절약 및 지구환경 문제

- ① 기존의 에너지 다소비 공정에서 고온 유체투과 멤브레인의 효율적 적용으로 신뢰성 및 경제성이 우수한 에너지 환경용 소재/시스템 개발에 따른 에너지 절약 및 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 저감
- ② 분리막을 이용한 분리, 개질, 및 정제 공정을 통한 에너지 효율 증대 및 대체에너지원의 개발 필요성
- ③ 산업 공정에서 발생하는 고온의 유체를 특별한 냉각과정 없이 유해가스를 분리하는 경제적인 시스템인 분리막 재료 등을 사용하여 고온의 배기가스 또는 연료가스에 포함된 환경 유해성분을 제거하여 환경오염 요인을 최소화
- ④ 기존의 촉매 반응기를 대체할 수 있는 새로운 고효율 반응기가 요구
- ⑤ 2001년도 산업부문의 에너지 소비량은 국내 에너지 총 소비량의 43%로서 그 중 절반 이상이 각종 폐열의 형태로 버려지고 있어 열전발전 기술로 폐열량의 약 20%(금액환산 약 5조원)이상 회수 가능

(2) 에너지/환경 산업의 기술 경쟁력 확보

- ① 보다 효율적인 고온 유체투과 기능재료의 개발과 실용화로 에너지/환경 관련분야, 반도체 산업, 연료전지, 화학공정 분야 등에서의 기술 경쟁력 확보
- ② 장치비의 대폭절감에 의한 시장성 향상 및 산업 경쟁력 확보

(3) 산업의 고도화 및 부가가치 향상

- ① 천연 가스의 주성분인 메탄으로부터 순수한 수소를 합성/분리하거나 합성 가스 또는 C₂-형태 등의 탄화수소로의 전환하는 공정은 천연 가스의 운반을 용이하게 하며 고부가 가치의 생성물은 얻을 수 있는 공정으로 화학 산업 및 에너지 산업에서 매우 중요한 공정임.

- ② 메탄 전환 공정은 막대한 초기 투자비가 요구될 뿐만 아니라 대량의 에너지 소비로 인한 높은 운전비용이 소모되는 공정임
- ③ AMTEC(Alkali Metal Thermal to Electric Converter)으로서 기존의 발전방식과는 달리 터빈이나 보일러와 같은 설비가 필요 없이 열교환되는 전열면 자체가 전기를 생산할 수 있는 발전 셀로 구성되기 때문에 열과 접촉되는 부위에서 직접 전기를 생산할 수가 있는 미래형 발전 기술임.

(4) 실용화를 위한 고기능 고성능 세라믹 소재 개발 필요

- ① 에너지를 많이 소모하는 고온의 경우나 부식성 환경의 경우에 있어 고분자 등의 소재를 사용할 수 없어 세라믹 소재를 이용한 멤브레인의 개발은 필수적 임.
- ② 고온의 유체를 효율적으로 투과하기 위해서 다양한 스케일의 미세구조 및 형상 제어특성이 요구됨.
- ③ 동시에 실용화를 위해서는 고온 파괴강도, 고온 파괴인성, 내마모 특성이 우수하여야 하며, 각종 오염물질로부터 내산화성이 우수하고 고온에서 장시간 사용에 따른 열화가 일어나지 않고 장기적인 기계적 신뢰성이 높아야 장시간 안정적인 운전이 가능함.
- ④ 소재 및 시스템의 설계를 바탕으로 각 응용분야별로 최적의 재료를 선택하고 유체투과성과 저 유체투과 저항성, 고 내구성이라는 상충되는 특성을 충족시키기 위해서는 지식집약형 첨단 고기능 세라믹 소재기술의 개발이 필요함.

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

고효율 분리성능과 저 유체투과 저항성 및 고 내구성을 동시에 갖는 고품능 고온 유체투과 멤브레인 소재 및 모듈 개발

(1) 물리적, 화학적 안정성을 갖는 고성능, 고효율 유효가스 분리 및 제조용 고온 막분리 시스템 개발

(2) AMTEC 단위 셀 및 10 kW급 모듈 제조

나. 단계별 목표

(1) 1 단계

세라믹 멤브레인 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 친환경적 세라믹 성형 기술 개발 - 다공성 세라믹 멤브레인의 미세구조 제어 기술 확립 (기공율, 기공크기, 기공배향 제어)
멤브레인 반응기 제조 기술 및 반응기 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 멤브레인 반응기 설계 모델 제시 - 멤브레인 소재의 탐색 및 미세구조 제어를 통한 가스 선택성 및 투과성 향상 기술 개발
가스 투과성 및 촉매반응 평가 기술 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 반응조건에 따른 각종 촉매화학 반응 기구 분석 기술 개발 - 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 촉매화학 및 전기 화학 반응 분석 기술
고출력 BASE 멤브레인 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 높은 전기전도도를 갖는 멤브레인 조성 선정 - 최적 출력을 위해 요구되는 적층구조를 고려한 멤브레인 성형기술 개발
고온 멤브레인을 위한 전극 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 멤브레인과 화학적 적합성이 우수한 전극 조성의 개발 - 고효율 전극의 구조에 따른 특성 고찰
BASE Cell 제작기술	<ul style="list-style-type: none"> - 세라믹-금속간 접합기술 개발 - Cell 구성을 위한 밀봉기술 개발

(2) 2 단계

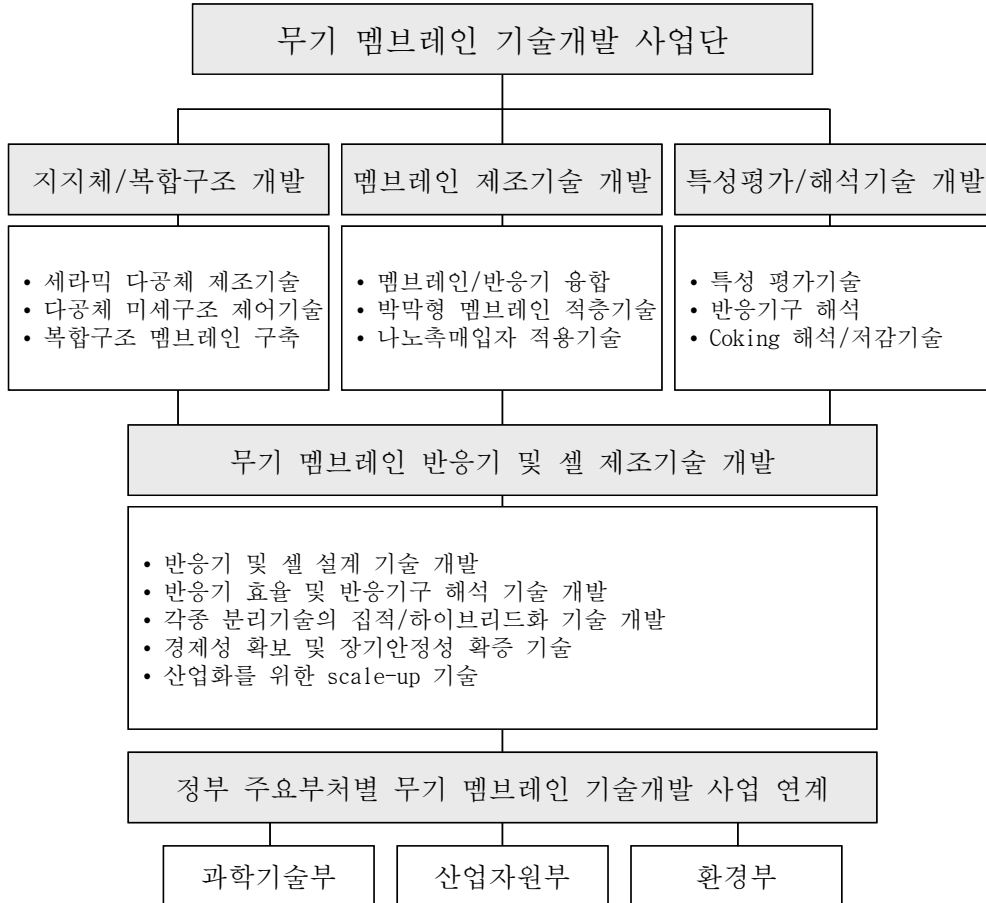
세라믹 멤브레인 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 세라믹/세라믹, 세라믹/금속, 금속/세라믹 등 복합 구조 멤브레인 제조 기술 - 나노 촉매입자 합성 기술
멤브레인 반응기 제조 기술 및 반응기 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - 박막형 세라믹 및 금속 멤브레인 코팅 기술 - 다공질/치밀질 Bilayer의 동시소성 기술 - 다공성/다공성, 다공성/치밀성 다층구조 멤브레인 반응기 제조 연구
가스투과성 및 촉매반응평가 기술 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 멤브레인 미세구조와 가스 투과성과의 상관관계 평가 - 반응조건 (반응가스 압력, 생성가스 압력 등)에 따른 멤브레인 특성 평가
고출력 BASE 멤브레인 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 최적 멤브레인 조성의 선정 - 기공구조가 제어된 전극 소재의 조성 및 전극층 도입기술의 최적화 - 최고 출력밀도를 갖는 구조 및 박막, 후막형 형상설계 연구
BASE Cell 제작 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 금속 유체 순환기술 개발 - 고성능 집전기술 (current collector) 개발
열전특성 및 발전시스템 설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 열전특성 평가 및 분석 기술 개발 - 발전시스템 설계 모델 제시

(3) 3 단계

세라믹 멤브레인 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 세라믹 멤브레인 지지체의 제조, 소결 조건의 최적화 - 멤브레인 지지체의 역학적/열적 특성 평가 및 평가 기술 표준화 - 평판형 및 원통형 멤브레인 반응기의 특성 비교
멤브레인 반응기 제조 기술 및 반응기 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> - Start-up 특성 향상 - 장기 운전 특성 향상 및 내구성 시험 - 멤브레인 반응기의 용도 (수소, 합성기체, C₂ 화합물 제조 등)에 적합한 최적의 반응기 설계 기술 개발 - 프로토타입 반응기 제작
가스 투과성 및 촉매반응 평가 기술 확립	<ul style="list-style-type: none"> - 메탄의 수증기 개질 반응 평가 - 촉매 조성, 미세구조의 최적화를 통한 가스 선택성 향상 - 다양한 형태의 탄화수소 가스에 대한 특성 평가 및 촉매반응 기구의 분석 기술 제안
고출력 BASE 멤브레인 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 멤브레인의 기계적 특성의 증진 - 구조, 화학적으로 장기간 안정한 멤브레인 개발
열전특성 및 발전시스템 설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 열전특성의 평가 시스템 최적화 - 발전시스템의 개발

4. 사업의 내용 및 추진체계

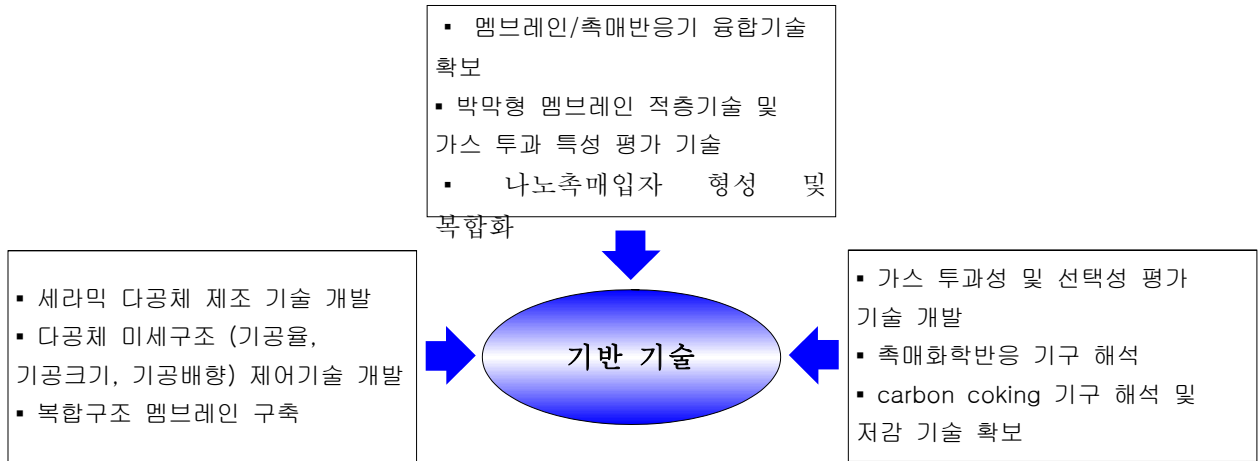
가. 사업 추진 체계 구성



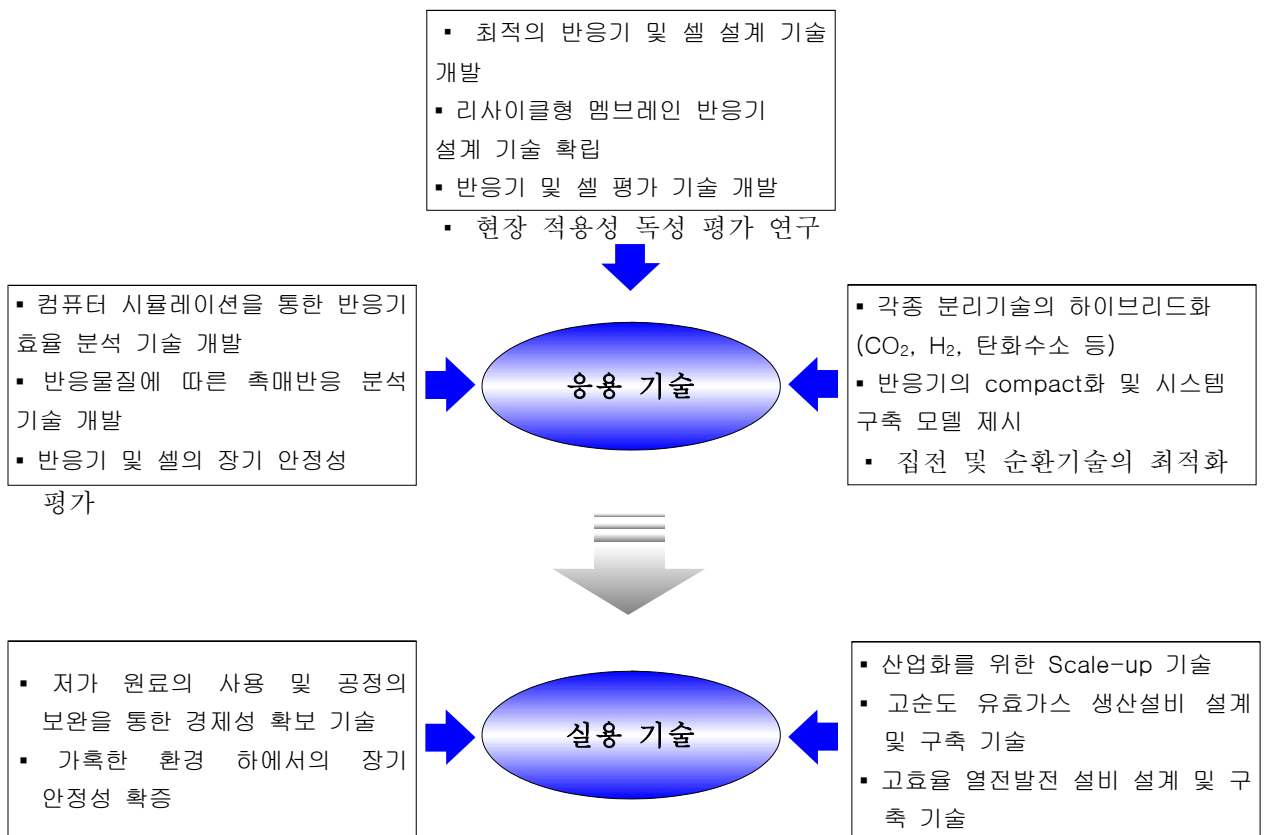
- ◇ 과학기술부, KISTEP의 요구 및 에너지산업의 변화를 반영한 고기능 하이브리드 멤브레인 제조 및 응용 사업의 기획 및 사업단 구성
- ◇ 연구단 중심으로 에너지소재의 우선순위 및 에너지산업의 변화에 따른 중점 핵심소재의 요소기술 개발 및 공통기반기술 실시
- ◇ 개발된 부품 및 소재를 관련 산업에 제공하여 현장적용 실시
- ◇ 현장적용 후 문제점 분석, 보완 후 실용화 실시

나. 세부 사업 추진 체계

(1) 고기능 하이브리드 멤브레인 원천 기반 기술 개발



(2) 프로토타입 멤브레인 반응기 및 셀 제조 기술



5. 소요 예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요 예산

〈표 6〉 세부 핵심기술별 소요 예산

대분류	세부 핵심 기술 내용	소요 예산 (억원)
반응촉진성 고분리능 멤브레인을 이용한 유효가스의 분리 및 이용 기술	고기능 세라믹 멤브레인 제조기술	40
	멤브레인 구조 다층화 공정 기술	30
	세라믹 촉매 반응기 제조기술	40
	촉매의 나노구조제어 및 복합화 기술	40
	융합 리사이클형 멤브레인 반응기 모델	40
	멤브레인의 집적화 및 시스템화 기술	30
	고효율 반응기 설계 및 제작 기술	30
	소 계	250
고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술	고출력 고체 전해질 제조기술	60
	고기능 전극 제조기술	60
	고성능 열전발전 셀 설계 및 제조기술	65
	고온봉합 및 집전 기술	30
	소 계	215
총 계		465

나. 연도별 소요 예산

〈표 7〉 연도별 소요 예산

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
반응촉진성 고분리능 멤브레인을 이용한 유효가스의 분리 및 이용기술	250	15	15	20	20	20	25	25	30	40	40
고기능 고성능 열전발전용 멤브레인 소재 및 응용기술	215	10	10	15	15	15	20	20	30	40	40
총 계	465	25	25	35	35	35	45	45	60	80	80

6. 기대 효과

가. 기술적 파급효과

- (1) 다양한 응용분야별 시너지형 분리막 미세구조 및 표면특성 개질기술 개발
- (2) 나노기공 소재의 새로운 제조/응용/실용화에 대한 독자적 기반기술 확립
- (3) 고온 분리막의 제조/응용/실용화 기반기술 구축
- (4) 석유화학 공정의 배가스 중 유효기체의 분리회수 및 재활용기술 확보

나. 경제, 산업적 파급효과

- (1) 고기능성 첨단 분리막 소재의 국산화 및 수입대체 효과
- (2) 분리막 소재 응용기술 개발 및 적용에 따른 신기술/신상품 창출 효과
 - 유체투과 소재의 응용분야 중 석유 및 화학분야 등에 사용되는 기체분리막 분야는 현재 6000만달러 수준으로 많지 않으나 연평균 성장률이 16.5%로 다른 분야보다 성장 잠재력이 높은 것이 특징임.
 - 고온 분리막 재료는 이산화탄소를 포함한 온실가스의 감축 방안이 요구되고 산소, 수소, 질소 등 유효기체의 효율적인 분리활용이 요구되는 세계적인 추세에 있어서 본 연구에서 개발하고자 하는 무기 분리막을 이용한 막분리 공정은 여타 공정에 비해 매우 효율적이고 경제적인 공정으로서 유효기체 분리 회수 이외의 분야에서도 상당한 잠재력을 갖고 있음.
- (3) 수소 청정에너지 및 이산화탄소의 분리회수를 통한 에너지 자원절약의 극대화
 - 수소를 기반으로 하는 자동차 개발에 자동차업계가 10억불 이상 투자 예정
 - 기존의 심냉법, PSA법 등 기존의 기체분리법에 비해 장치비가 적게 들

고, 에너지 절약효과가 30% 이상 될 것이므로, 신뢰성이 확보된다면 시장점유가능성은 매우 높음.

- 선진국의 경우도, 최근 연구소와 회사 중심으로 개발이 완료되는 단계이므로, 개발결과에 따라 선진국으로의 역수출이 기대됨.

다. 사회적 파급효과

(1) 국내 합성가스 제조 관련 기술 분야에의 해외의존 탈피

(2) 에너지 산업분야 기술의 국산화를 통한 국가기술의 자립도 향상

7. 부처별 역할 분담

과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cross-cutting 기술이며, 핵심원천기술인 소재 기술의 특성상 총괄적 사업단 구성 및 추진 역할이 중요함. ▪ 기초 과학 분야의 기술 개발에 과기부의 중장기적 지원이 중요. ▪ 요소기술을 통해 축적된 기술성과 자료의 통합적 관리를 위한 주관 부처의 역할이 중요
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 에너지절약 및 발전기술 등을 통한 응용 및 제품기술 개발 유도 ▪ 기업참여 유도로 제품화 기술
환경부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대핵심환경기술개발사업을 통한 유해성 기체분리 기술 실용화 ▪ 유해성 기체 평가를 통한 실용화 우선순위 결정
중소기업청	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유망 중소기업에 기술이전을 위한 창구 역할 ▪ 창업지원을 통한 기술 확산

8. 참고 문헌

1. Vision 21 Program Plan-Vision 21 Clean Energy Plants for the 21st Century, DOE, 2001
2. 일본 산업정책 분석 : 재료분야, 일본 통산성, 2001

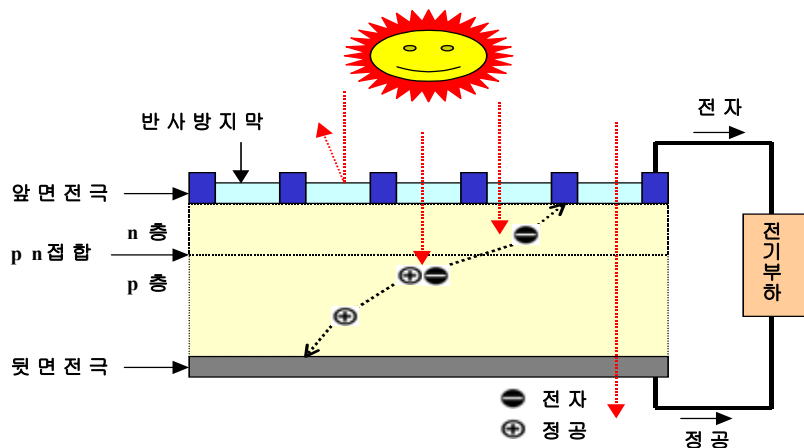
3. NSF Workshop Report-Fundamental Research Needs in Ceramics, 1999
4. P. J. Gellings, H. J. M. Bouwmeester, "The CRC Handbook of Solid State Electrochemistry" , (1997) CRC Press, Inc.
5. M. C. Steil, J. Fouletier, M. Kleitz, P. Labrune, J. Eur. Ceram. Soc., Vol.19 (1999) pp. 815-818.
6. H. L. Tuller, Solid State Ionics, Vol.131 (2000) pp.143-157.
7. V. V. Kharton, F. M. B. Marques, Current Opinion in Solid State and Materials Science Vol.6 (2002) pp.261-269.
8. Y. Teraoka, T. Fukuda, N. Miura, N. Yamaoze, J. Ceram. Soc. Jpn. Int. Ed., Vol.97 (1989) pp.523.
9. Roger M. Williams, Margie L. Homer, James Kulleck, liana Lara, Adam K. Kisor, Roger H. Cortez, Virgil B. Shields, Margaret A. Ryan, Proceedings of the Space Technology and Applications International Forum - Part 2 , 1408-1411, 2000
10. Kotaro Tanaka, Proceedings of the 2000 35th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference - Volume 2 , 925-930 , 2000
11. I. Yasuda, Y. Matsuzaki, T. Yamakawa, T. Koyama, Solid State Ionics, Vol.135 (2000) pp. 381-388.
12. C. Y. Tsai, A. G. Dixon, W. R. Moser, Y. H. Ma, AIChE J., Vol.43 (1997) pp.2741.

차세대 박막 태양전지 기술 개발

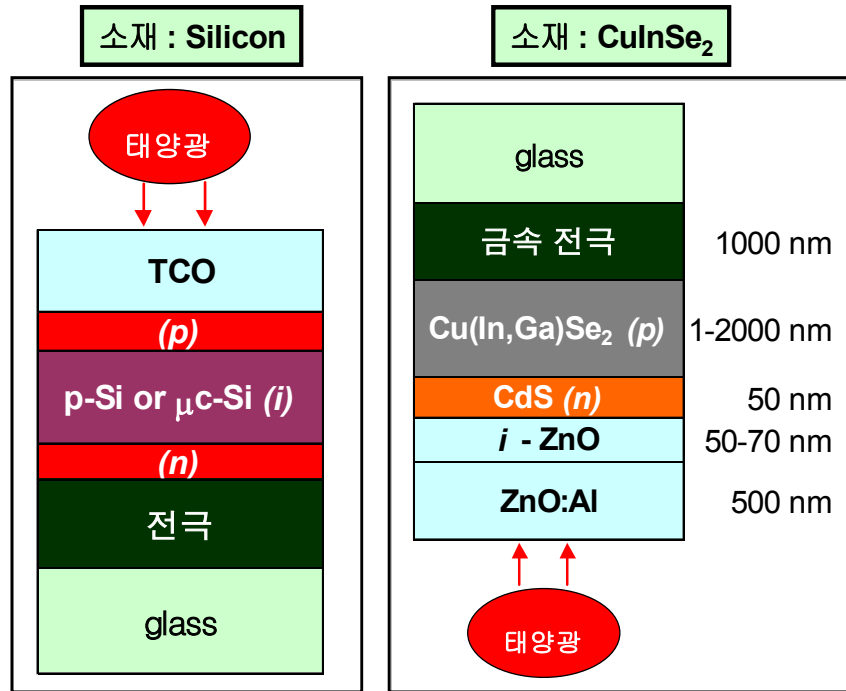
1. 기술개요

가. 용어의 정의

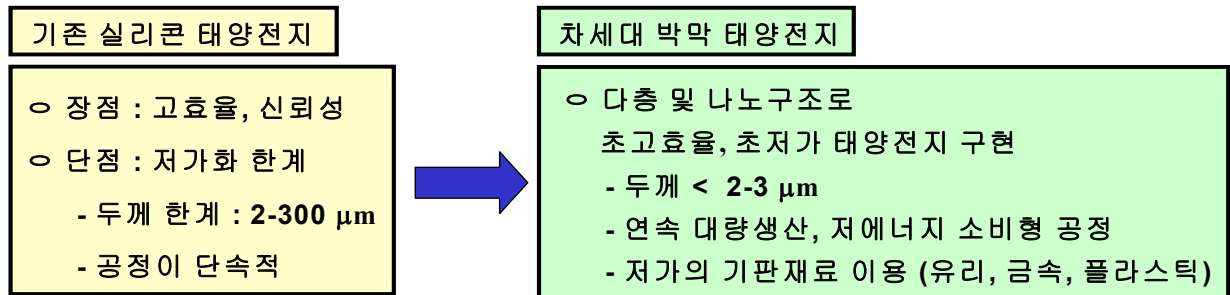
- 태양전지(Solar Cells 또는 Photovoltaic Cells)는 태양광을 직접 전기로 변환시키는 태양광발전의 핵심소자로 현재 태양전지는 대부분이 반도체 실리콘웨이퍼를 소재로 한 것이다. <그림 1>과 같이 실리콘의 pn접합으로 만든 태양전지에 반도체의 금지대폭(E_g : Band-gap Energy)보다 큰 에너지를 가진 태양광이 입사되면 전자-정공 쌍이 생성되는데, 이들 전자-정공이 pn 접합부에 형성된 전기장에 의해 전자는 n층으로, 정공은 p층으로 모이게 됨에 따라 pn간에 기전력(광기전력 : Photovoltage)이 발생하게 된다. 이 때 양단의 전극에 부하를 연결하면 전류가 흐르게 되는 것이 태양전지의 동작원리이다.
- 현재의 실리콘웨이퍼를 소재로 한 태양전지는 두께 수백 μm 의 실리콘 웨이퍼를 이용하므로 원재료, 에너지 소요, 생산기술 측면에서 저가화에 한계가 있음. 박막 태양전지는 두께 수 μm (기존 웨이퍼 태양전지 두께의 1/100에 해당)의 실리콘, 산화물, 화합물, 유기 무기 복합 소재를 이용한 것으로 다층 및 나노구조로 초고효율, 초저가 태양전지의 구현이 가능함



[그림 1] 현재의 실리콘 태양전지 구조

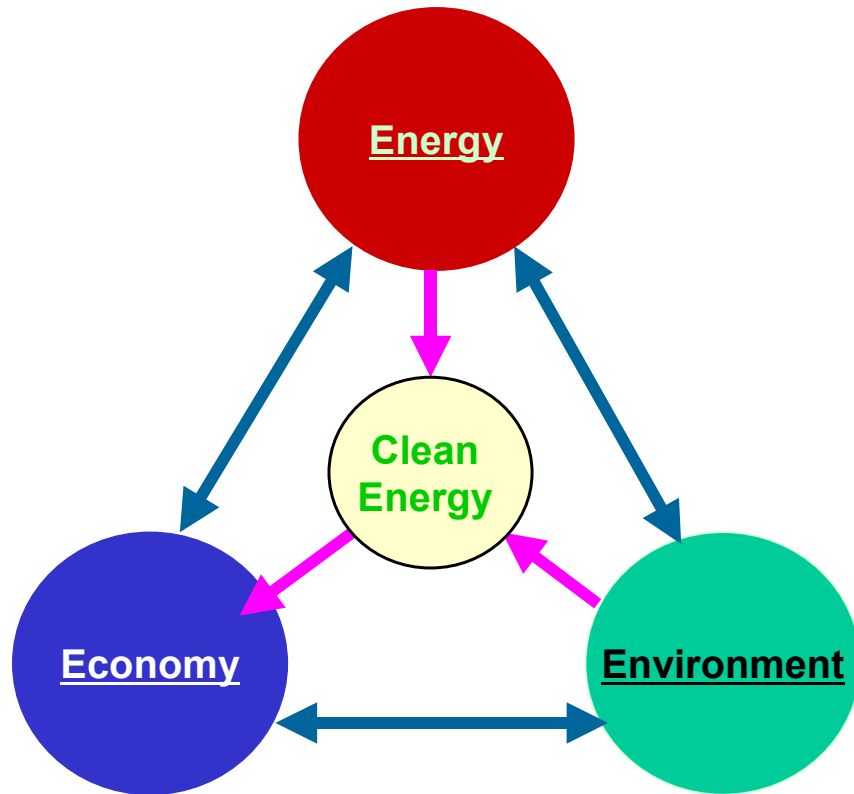


[그림 2] 실리콘과 CuInSe₂ 소재 차세대 박막 태양전지 구조



[그림 3] 기존 실리콘 태양전지와 차세대 박막 태양전지의 비교

나. 기술개발의 사회적 배경



[그림 4] The 3E-Trilemma

(1) 경제적 배경

- ① 경제규모 대비 한국의 에너지 소비 과다
 - 에너지 소비량 세계 10위, 석유소비량 세계 6위
- ② GDP의 8.2%를 에너지 수입에 사용 (337억불/2001년 기준)
- ③ 경제성장을 위해서는 에너지 공급원 확대 불가피

(2) 사회적 패러다임의 변화

- ① 기존 화석에너지 사용 증가로 인한 대기오염 등 환경문제에 관한 인식의 제고와 함께 국민들의 쾌적한 삶에 요구 증대
- ② 기후변화협약 등 국제적 환경규제에 대한 능동적인 대처 방안 확보 시급
- ③ 경제성장(Economy Growth), 환경보존(Environment Protection),

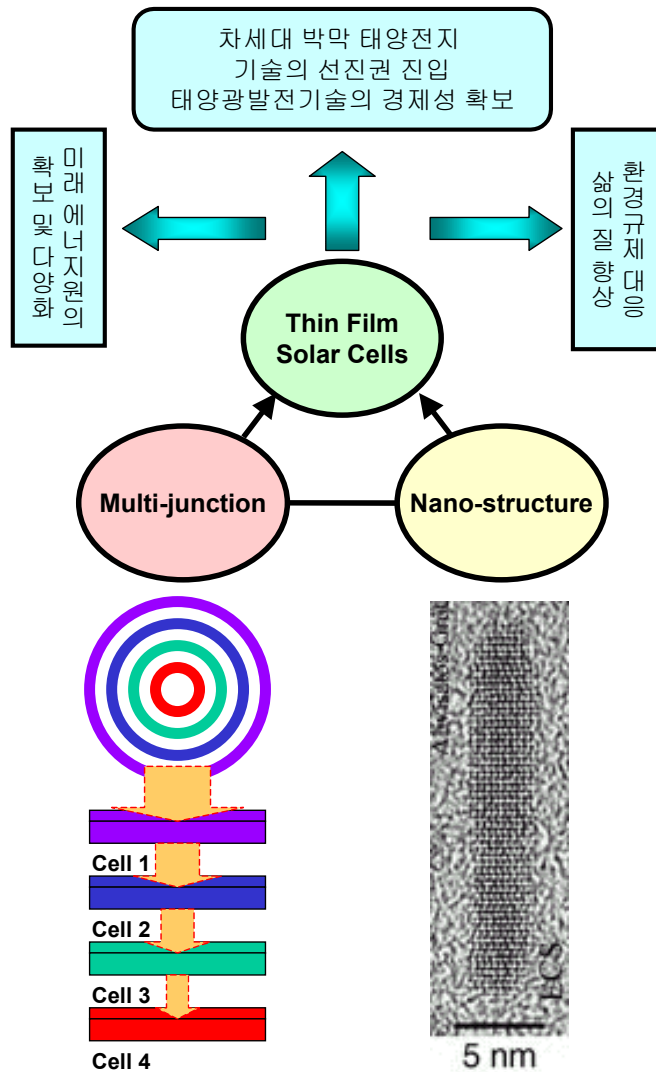
에너지수급안정(Energy Security)의 3E 조화형 사회 구축 절실 요망

- ④ 지속가능한 개발 측면에서 태양에너지를 필두로 한 환경친화적인 신·재생 에너지의 대량 보급에 대한 관심도 급증 전망

(3) 기술적인 대응 방향

- ① 현재 태양광발전기술의 경제성을 획기적으로 향상시켜 기존의 발전방식과 경쟁하기 위해서는 핵심소자인 태양전지의 저가 고효율화가 필수적이거나 현재 사용되고 있는 웨이퍼 방식의 결정질실리콘은 어느 정도 경제성 향상이 가능하나 궁극적으로는 한계에 봉착 예측
- ② 그러기 위해서는 태양전지 제조공정이 간단하고, 제조에 소요되는 원재료 및 에너지의 사용을 최소화하고, 안전성이 뛰어나고, 자원이 풍부하여 재료를 쉽게 조달할 수 있고, 또한 재료 자체가 환경에 미치는 영향이 없어야 하는 등의 조건이 만족되어야 하는데, 박막 기술을 결합한 나노구조 태양전지가 궁극적인 해결책으로 부각
- ③ 태양전지의 제조단가를 획기적으로 낮출 수 있는 차세대 박막 태양전지용 소재 개발 : 실리콘, 화합물반도체, 염료감응형, 유기고분자 등
- ④ Nano-dot, rod, wire, MQW 등의 나노구조화를 통해 태양전지의 효율을 극대화 할 수 있는 소재 및 소자의 설계, 제조 기술개발
- ⑤ 제조단가를 최저화 및 대량생산에 적합한 단위박막 적층, 공정 단순화, 일관화, 모듈화 등과 관련된 공정기술 개발 필요

다. 핵심기술 개요



(1) 적용기술개발

- (가) 차세대 박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술개발
- (나) 저가 고효율화를 위한 나노구조화, 박막 태양전지 설계 제조기술 개발
- (다) 박막 태양전지 제조공정 개발
- (라) 나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술 개발

(2) 세부기술

- (가) 차세대 박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술개발
 - ① 실리콘 및 실리콘 합금

- ② CIS, CdTe, GaAs, InP I-III-VI₂, II-VI, III-V 화합물반도체
 - ③ 염료감응 태양전지용 산화물(TiO₂, ZnO 등), 염료
 - ④ 유무기 복합 소재 : Polymer, CNT, C-60 등
- (나) 저가 고효율화를 위한 나노구조화, 박막태양전지 설계 제조기술 개발
- ① 소재의 나노구조화 (self assembly 등) : Dot, Rod, Wire, MQW
 - ② 단일접합, 다중접합
 - ③ 저가, 고효율화 기술
- (다) 박막 태양전지 제조공정 개발
- ① 단위박막 적층 대면적화 : 기판, 금속전극, 광흡수층, 접합, 투명전극
 - ② 모듈화, 공정 단순화, 수율 향상
- (라) 나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술 개발
- ① 나노 소재 전기, 광학, 구조, 화학적 특성 분석 평가
 - ② 박막 태양전지 소자 및 모듈 효율, 신뢰성

2. 국내의 기술개발현황 및 기술수준 비교

가. 국내의 산업동향 및 전망

1) 국내 산업동향 및 전망

- ① 2003년 11월 현재 국내에는 2개의 업체(네스코솔라, 포톤반도체에너지)가 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지를 생산 또는 생산 준비 중에 있다. 네스코솔라는 연산 1 MW 규모의 단결정실리콘 태양전지 설비를 갖고 있고, 포톤반도체는 현재 연산 5 MW 규모의 단결정 및 다결정실리콘 태양전지 라인을 구축 중에 있음
- ② 이들 회사는 역사가 1-2년에 불과한 소규모 회사인데, 2002년도 생산량은 0.3 MW로 이는 전 세계 태양전지 생산량 560 MW의 0.1%에도 미치지 못하는 규모임
- ③ 국내에서 생산되는 태양전지나 또는 외국으로부터 수입한 태양전지로부터 모듈을 제조하는 회사로 S-에너지, LG산전, 솔라테크, 해성솔라, 아틀란

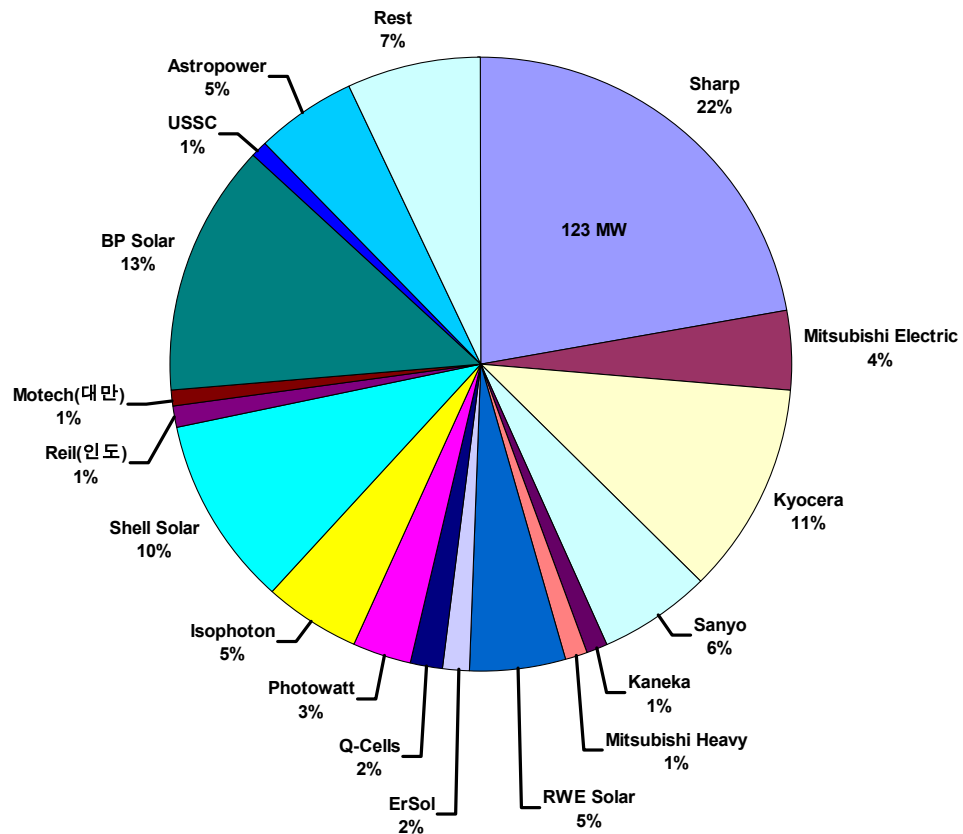
- 티스솔라 등이 있는데, 2002년 총 설비는 2 MW, 생산량은 0.78 MW임
- ④ 위와 같이 국내 태양전지 산업은 아직 초보 수준에 머무르고 있는데, 이는 태양전지의 가격 경쟁력이 매우 낮은 것이 주 요인이지만, 일반적으로 선진국의 시장이 정부 주도로 형성되는 것에 비해 국내의 경우 아직 보급 확대를 위한 지원책 등이 미비하기 때문임
 - ⑤ 국내의 경우 단기적으로는 기존 주택과 건물의 지붕과 벽체 및 유희지에 설치하는 계통연계형 태양광발전 시장 잠재량이 약 19 GW 정도가 될 것으로 예상되는데, 물론 태양전지가 경제성을 갖게 되면 그 시장은 폭발적으로 증가할 것이다. 참고로 2002년 12월 현재 국내의 발전설비용량은 약 53.8 GW이고, 발전량은 306,474 GWh이다. 2003년 정부에서는 2012년까지 3 kW 용량의 주택용 태양광발전시스템 100,000호, 공공건물 40,000동, 산업용 30,000동에 합계 1,300 MW를 보급한다는 계획을 수립한 바 있음

2) 국외 산업동향 및 전망

- ① 세계 태양전지 시장은 최근 연평균 30-35% 급성장하고 있음. 지금까지 설치된 태양전지 누계는 약 1,800 MW에 달하고, 2002년도 전 세계 태양전지 생산량 560 MW는 금액환산 약 35억\$임
- ② 2010년까지 전망은 연간 성장률(15-25%)에 따라 연간 시장 1-2.3 GW로 예측 (Bank Sarasin Report 2000, P. Maycock). 2020년 시장은 약 150억\$로 예상. 본 제안의 저가 고효율의 차세대 박막 태양전지 기술이 경제성을 확보할 경우 그 시장은 전체 전력시장으로 확대될 것임
- ③ 한편 지상용의 발전시장 외에 현재 인공위성용 태양전지 시장이 연간 약 4억\$이나, 향후 성층권 통신용 위성 개발과 함께 2010년 경우 그 시장은 100억\$ 이상으로 확대될 것으로 전망됨
- ④ 2002도 전 세계 태양전지 시장 점유율에서 일본이 약 47%, 유럽이 25%, 미국이 약 19%, 기타 9%임. 10대 업체가 전체 생산량의 약 85%를 점유, 특히 1위인 일본의 Sharp는 전 세계 시장 23% 점유, 그 밖에 일본은 Kyocera, Sanyo, Mitsubishi Heavy Industry 등 3개회사가

역시 10위권에 있음

- ⑤ 다국적 기업인 BP Solar, Shell Solar 가 2위와 4위이고, 순수 미국계 회사로는 AstroPower 가 유일함
- ⑥ 2004/5년 까지 각 회사의 전체 태양전지 생산설비는 1,425 MW로 추계
- ⑦ 미국, 일본, 유럽은 에너지 공급원의 다양화와 함께 환경규제에 대한 대응차원에서 2030년까지 총 140 GW를 달성한다는 장기적인 보급 목표를 수립추진 중임



[그림 5] 2002년도 전 세계 태양전지 생산 현황

나. 국내외 연구개발 동향

1) 국내의 태양전지 기술개발 동향

- ① 국내에서 태양전지 기술개발은 산업자원부 주도로 1987년 12월에 제정된 「대체에너지 기술개발 촉진법」을 근거로 1988년부터 대체에너지 기술개발 기본계획의 수립과 함께 체계적인 추진에 착수
- ② 태양전지 분야에서는 외국에서 이미 상업화되어 있는 기존 결정질 실리콘(단결정실리콘과 다결정실리콘) 태양전지의 국산화 및 성능 개선에 주력하고 있음.
- ③ 현재 산업자원부 주도로 3kW급 주택용 태양광발전시스템 개발('01-04)에 단기적인 역량을 집중하고 있는데, 결정질실리콘의 효율을 12%→15% 향상시키는 것을 개발목표로 하고 있다. 그리고 박막 태양전지에 대한 연구는 2004년부터 추진을 목표로 검토단계에 있다.
- ④ 차세대 박막(두께 수 μm) 태양전지와 관련하여 일부 출연연구기관과 대학에서 소규모 기초연구 추진 또는 완료. 비정질실리콘(a-Si)과 a-Si 태양전지용 산화물 투명전도막(TCO), CuInSe_2 와 CdTe 다결정 화합물반도체 태양전지, a-Si/다결정 박막 실리콘(p-Si), GaAs, 염료(Dye) 태양전지 등이 그 대상인데, a-Si 태양전지는 KAIST, (주) SK, CdTe는 KAIST, CuInSe_2 는 한국에너지기술연구원에서, 그리고 Dye 태양전지 효율은 한국화학연구원과 한국전자통신연구원에서 최고 효율을 얻은 바 있음
- ⑤ 2002년 12월부터 나노핵심기반기술개발사업의 일환으로 실리콘, 염료감응형, CIS, InP 등을 소재로 한 나노 태양전지 연구에 착수한 바 있으나 투자비 및 역량결집 미흡

(2) 국외의 태양전지 기술개발 동향

(가) 국외의 히트펌프 개발 동향

- ① 국외에서는 기존 웨이퍼 형태의 결정질실리콘 태양전지의 대안으로 실리

콘, CIS, CdTe 등을 소재로 한 박막(두께 수 μm) 태양전지를 연구개발 중에 있고, 나아가서 최근에는 염료감응형 태양전지, 유무기 복합 태양전지 등의 나노구조 태양전지개발에 미국, 일본, 유럽 등이 국가주도의 기술개발사업을 병행 추진하고 있음.

② 일본 : METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) 주도, NEDO (New Energy Development Organization) 주관의 New Sunshine 프로그램에 이어 현재는 Advanced PV Generation Program (APVG)으로 산학연 공동 추진, 2001년부터 박막 실리콘, CIGS, GaAs 태양전지에 집중, 2002년 정부 연구 예산 59 백만 \$. 태양전지 종류별 목표는 아래와 같음.

- 고품질의 결정질실리콘 박막 태양전지 개발 :

2005년 목표 : 제조가격 < 100엔/W 이하 (연산 100 MW 기준)
모듈 효율 > 12% (면적 3,600 cm^2)

- a-Si/ μ -Si 하이브리드 박막 태양전지 개발 :

2005년 목표 : 제조가격 < 100엔/W 이하 (연산 100 MW 기준)
모듈 효율 > 12% (면적 3,600 cm^2)

- 고품질 CIS 박막 태양전지 모듈 개발

2005년 목표 : (roll to roll 방식)
제조가격 < 100엔/W이하 (연산 100 MW 기준)
모듈 효율 > 13% (면적 3,600 cm^2)

- CIS 박막 태양전지 모듈 고속 제조 기술개발

2005년 목표 : 제조가격 < 100엔/W 이하 (연산 100 MW 기준)
모듈 효율 > 13% (면적 3,600 cm^2)

- III-V 화합물을 이용한 초고효율 태양전지 모듈 개발

2005년 목표 : 태양전지 효율 > 40% (집광형 태양전지)
제조가격 < 100엔/W (연산 100 MW 기준)

최근에는 차세대 태양전지 개발을 목표로 한 "Innovative Next Generation PV" 프로젝트 추진 중인데, 그 개요는 아래와 같음.

- 다결정실리콘 기판위에 에피택시 Si를 Si/SiGe 이종접합 태양전지

- 2003년 목표 : 다결정실리콘 태양전지 대비 효율 50% 향상
 - β -FeSi₂ 태양전지 연구
 - 2003년 목표 : 태양전지 효율 8%
 - 유기 박막 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 태양전지 효율 5%
 - Carbon-based 박막 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 태양전지 효율 8%
 - 고효율 Chalcogenide 박막 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 태양전지 효율 18%
 - 나노구조 Si 박막 태양전지(a-Si, 다결정 Si)
 - 내용 : 광열화 현상없는 나노구조 Si 개발 및 고효율 태양전지제조
 - 2003년 목표 : 태양전지 효율 12% (안정화 후)
 - Spherical micro Silicon 태양전지 연구
 - 2003년 목표 : 생산 속도 : 300 spheres/sec
(품질 : 단결정실리콘에 대응)
 - Light-trapping 실리콘 박막 태양전지 연구
 - 2003년 목표 : 기존 TCO 보다 20% 향상
 - 염료감응형 태양전지 연구
 - 2003년 목표 : 효율 7% (면적 : 100 cm², 500시간 연속발전)
 - Wide bandgap SiC을 이용한 박막 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 효율 9% (단일접합)
 - 이온겔을 이용한 고효율 염료감응형 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 효율 10%, 열 안정성 : 85°C x 1,000시간
 - CAT(Catalytic-CVD공정 이용한 저가, 고속 태양전지 제조기술연구)
 - 2003년 목표 : 효율 13%
 - 전기도금 CuInS₂ 박막 태양전지 연구
 - 2003년 목표 : 효율 13%
 - Lateral 결정화에 의한 박막 실리콘 태양전지 연구
 - 2004년 목표 : 효율 11%
- ③ 미국 : DOE (Department of Energy) 주도로 국가 차원의 National Photovoltaic Program (5년 주기) 지속 추진 중, 최근에

는 차세대를 겨냥한 "Photovoltaic Beyond the Horizon" 사업으로 다양한 소재 및 공정을 광범위하게 연구 (2002년 정부 연구개발 예산 35 백만 \$), 프로그램의 최종목표는 대면적 모듈 효율 15%, 모듈제조 가격 \$50/m², 단가 \$0.33/W.

- 박막 태양전지는 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 산학연 공동 연구개발 주도 (National Centre for Photovoltaics), 자체 연구개발 추진 및 산학연에 관련 시설 및 서비스 제공.
- Si 박막 태양전지 분야에서는 AstroPower, I-III-VI₂ 화합물 박막 태양전지 분야에서는 Siemens Solar, Global Solar, Energy Photovoltaics 등의 회사가 정부 지원 하에 공동 연구개발 추진
- 국가 주도 박막 태양전지 연구개발에 적극적으로 참가하고 있는 대학은 Delaware, Florida 대학교, Georgia Institute Technology 등임.

	1995년	2000년	2005년	2020~2030
모듈효율 (%)	7~17	8~18	10~20	15~25
설치단가 (\$/Wp)	7~15	5~12	4~8	1~1.5
수명 (years)	10~20	>20	>25	>30
누적보급량 (MWp)	175	500	1,000~1,500	>50,000

[그림 6] 미국의 태양광 연구개발과 시장활성화 로드맵

- ④ 유럽은 유럽연합 주도의 Framework 프로그램(예전에는 JOULE 프로그램)으로 다양한 소재 및 태양전지 장기 연구개발 추진 중, 독일 등 회원국은 이와 별도로 별도의 독자적인 연구개발 프로그램 추진 (독일 2002년 정부 연구예산 22 백만 \$)
- 연구기관으로 스위스 Neuchatel 대학의 IMT그룹, 독일 Julich의 Institute of Photovoltaics 등이 다양한 CVD 공정을 이용한 실리콘 이중접합에 대해 연구를 추진 중에 있음.
 - I-III-VI₂ 화합물 박막 태양전지의 연구개발에는 현재 기업을 포함한 많은 기관들이 연구개발에 참여하고 있음. 대표적인 것으로는 우선 기업으로 독일의 Siemens Solar GmbH, ZSW, Phototronics

Solartechnik GmbH, Leybold Systems GmbH, 스웨덴의 Nordic Solar Energy AB, 핀란드의 Microchemistry Ltd. 오스트리아의 Isovolta AG 등이다. 대학 및 연구기관으로는 독일의 University Stuttgart, Hahn-Meitner-Institut Berlin, 스웨덴의 Uppsala University, 스위스의 Thin Film Physics Group, 프랑스의 CNRS-LECA 등임. 특히 독일의 Wurth Solar에서는 120 cm x 60 cm 크기의 모듈 시제품을 생산 중에 있고, Hahn-Meitner-Institut Berlin에서는 다양한 재료를 활용한 다중접합 태양전지를 연구 중에 있음.

다. 국내외 관련 기술수준 비교

(1) 기술수준 비교

기술분류	기술내용	국내수준	국외수준
박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	실리콘 및 실리콘 합금	중	상
	I-III-VI ₂ , II-VI, III-V 화합물반도체	중	상
	염료감응 태양전지, 유무기 복합 소재	중	상
나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	나노구조화	하	중
	다중접합화	하	중
	저가 고효율화	하	중
박막 태양전지 제조공정 기술	단위박막 대면적화	중	상
	단위박막 적층 모듈화	중	상
	공정 저가, 고수율화	하	중
나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	소재, 특성 평가	중	상
	태양전지 소자, 모듈 평가	하	상

(2) 기술개발의 문제점

(가) 박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술개발

- ① 높은 태양전지 변환효율을 가지는 소재의 개발 미흡
- ② 실리콘, 무기화합물, 유기화합물 등 새로운 소재에 관한 연구개발 미흡

(나) 저가 고효율화를 위한 나노구조화, 박막태양전지 설계 제조기술 개발

- ① 나노기술의 접목은 연구실적이 일천하고 최근에서야 관심 집중
- ② 다중접합에 대한 기술축적 매우 미흡

(다) 박막 태양전지 제조공정 개발

- ① 실험실의 결과 up-scaling
- ② 대면적 박막 태양전지 양산공정에 필요한 대규모 장치개발

(라) 나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술 개발

- ① 타 분야와 기술 공유 가능
- ② 소자, 모듈에 대한 평가는 상대적으로 문제점 크지 않음

라. 사업추진의 필요성

- ① 태양광발전기술은 태양전지를 이용하여 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시키는(광기전력 효과, Photovoltaic Effect) 환경친화형 신발전기술로 21세기 에너지 산업 주도 전망
- ② 현재 태양광발전기술의 경제성을 획기적으로 향상시켜 기존의 발전방식과 경쟁하기 위해서는 핵심소자인 태양전지의 저가 고효율화가 필수적이나 현재 사용되고 있는 웨이퍼 방식의 결정질실리콘은 한계에 봉착
- ③ 그러기 위해서는 태양전지 제조공정이 간단하고, 제조에 소요되는 원재

료 및 에너지의 사용을 최소화하고, 안전성이 뛰어나고, 자원이 풍부하여 재료를 쉽게 조달할 수 있고, 또한 재료 자체가 환경에 미치는 영향이 없어야 하는 등의 조건이 만족되어야 함

- ④ 박막 기술을 결합한 나노구조 태양전지가 궁극적인 해결책으로 부각
- ⑤ 동 분야는 아직 선진국에서도 상용화가 이루어지지 않아 국내에서 적절한 투자 및 전략을 가지고 기술 개발하는 경우 기술 선진권 진입 가능하고 향후 시장 확대 시 선도 역할 기대
- ⑥ 본 연구개발은 특히 반도체, 디스플레이 기술과 매우 유사하여 산업화 시 인력 확보 및 시설 공동 활용 측면에서 매우 유리

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

- (1) 저가 고효율 차세대 박막 태양전지 분야에서 선진국과 기술 경쟁력 확보
- (2) 차세대 박막 태양전지 실용화개발 기반 구축
- (3) 대면적 박막태양전지 모듈 소재별 변환효율 목표
 - 실리콘 박막 : 12% - CIS계 : 15%
 - 염료감응형 : 12% - 유기고분자 : 4%

나. 단계별 목표

(1) 1단계

1 단 계	박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 실리콘 및 실리콘 합금 개발 - I-III-VI₂, II-VI, III-V 화합물반도체 개발 - 염료감응 태양전지, 유무기 복합 소재 개발
	나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 박막 및 소자의 나노화 기술 개발 - 다중접합화 기술개발 - 고효율화 설계 기술개발
	나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 소재, 나노구조 측정 분석 설비 구축 및 기술개발 - 태양전지 성능측정, 특성분석 설비 구축 및 기술개발

(2) 2단계

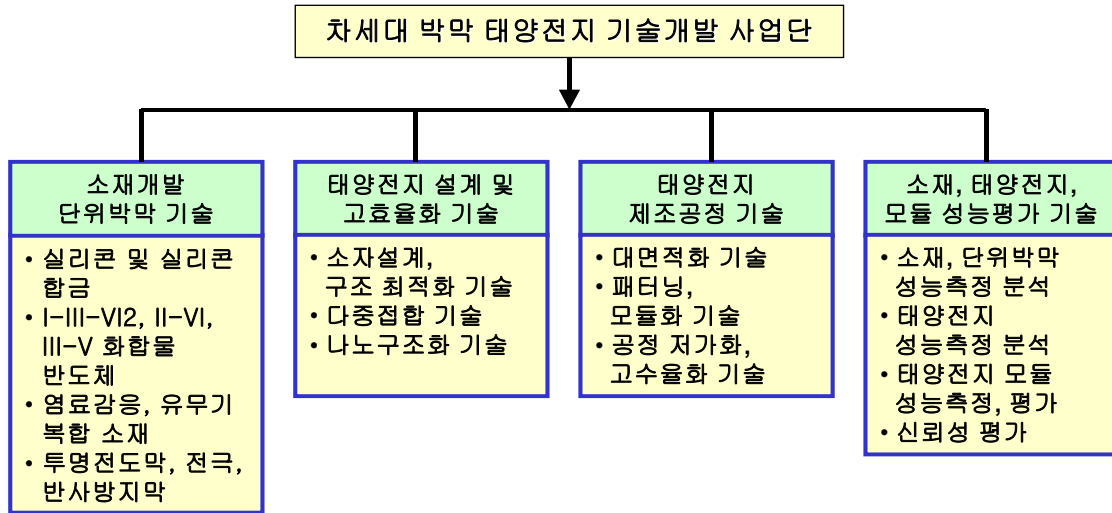
2 단 계	박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 실리콘 및 실리콘 합금 개발 - I-III-VI₂, II-VI, III-V 화합물반도체 개발 - 염료감응 태양전지, 유무기 복합 소재 개발
	나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 박막 및 소자의 나노화 기술 개발 - 다중접합화 기술개발 - 고효율화 설계 기술개발
	박막 태양전지 제조공정 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 대면적 단위 박막 제조기술 개발 - 대면적 장치 개발 - 태양전지 모듈화 기술개발
	나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 태양전지 모듈 성능측정 기술개발

(3) 3단계

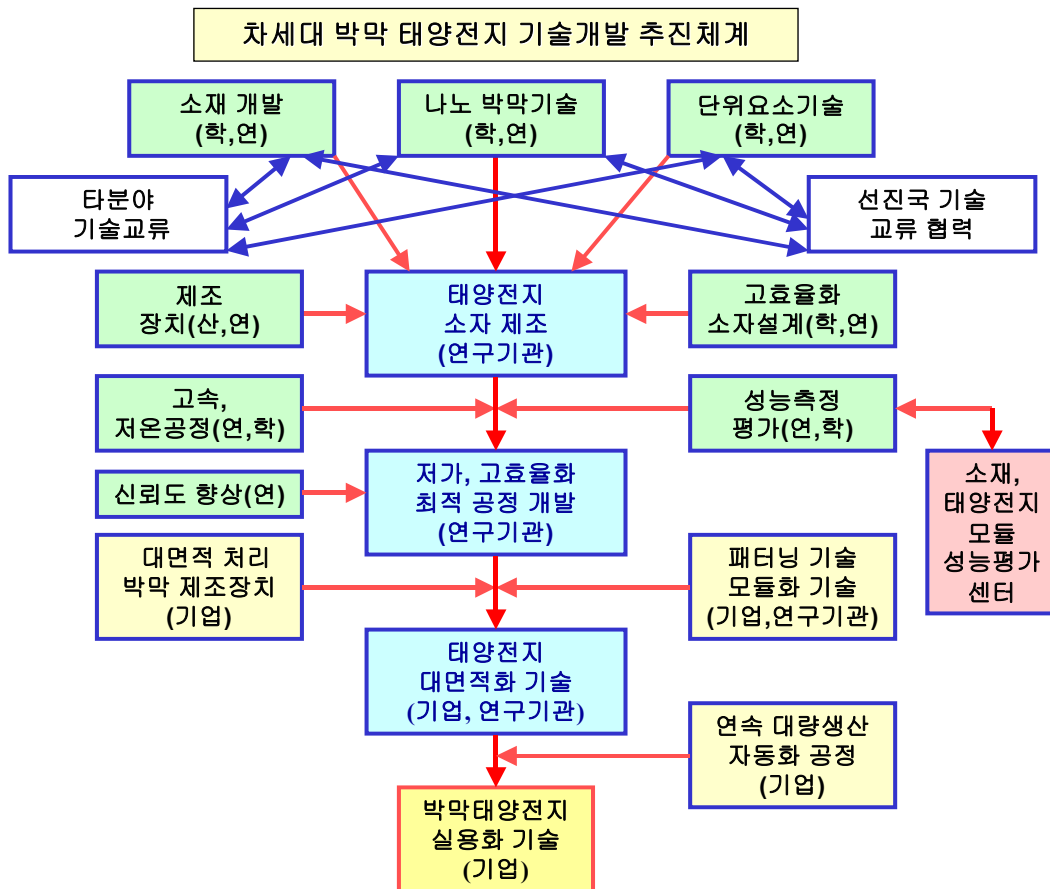
3 단 계	박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 실리콘 및 실리콘 합금 개발 - I-III-VI₂, II-VI, III-V 화합물반도체 개발 - 염료감응 태양전지, 유무기 복합 소재 개발
	나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> - 다중접합 · 나노구조화 기술개발 - 저가 · 고효율화 기술개발
	박막 태양전지 제조공정 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 대면적 모듈 제조공정 기술개발 - 공정의 저가화 · 고수율화 기술개발
	나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 태양전지 모듈 신뢰성, 장기 성능평가 기술개발

4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업추진 체계 구성



나. 세부사업 추진 체계



5. 소요예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요예산

(단위 : 억원)

대분류	세부 핵심 기술	소요예산
박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	실리콘 및 실리콘 합금 개발	100
	I-III-VI ₂ , II-VI, III-V 화합물반도체 개발	100
	염료감응 태양전지, 유기 복합 소재	30
	투명전도막, 금속전극, 반사방지막	40
	소 계	270
나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	박막 및 소자의 나노화 기술	40
	다중접합화 기술	60
	저가 · 고효율화 기술	60
	소 계	160
박막 태양전지 제조공정 기술	대면적 단위 박막 제조기술	150
	태양전지 모듈화 기술	100
	공정의 저가화 · 고수율화 기술	40
	소 계	370
나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	소재, 나노구조 성능측정, 분석 기술	30
	태양전지 성능측정, 분석 기술	30
	태양전지 모듈 성능측정, 평가기술	20
	소 계	80
총 계		880

나. 연도별 소요예산

대분류	계	연도별 소요예산(년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
박막 태양전지용 소재 개발, 박막화 기술	270	30	50	50	20	20	20	20	20	20	20
나노구조화 박막태양전지 설계 및 제조기술	160	20	20	20	20	15	15	15	15	10	10
박막 태양전지 제조공정 기술	370			50	70	80	50	30	30	30	30
나노 소재 및 박막 태양전지 소자, 모듈 분석 평가 기술	80	10	10	15	20	5	4	4	4	4	4

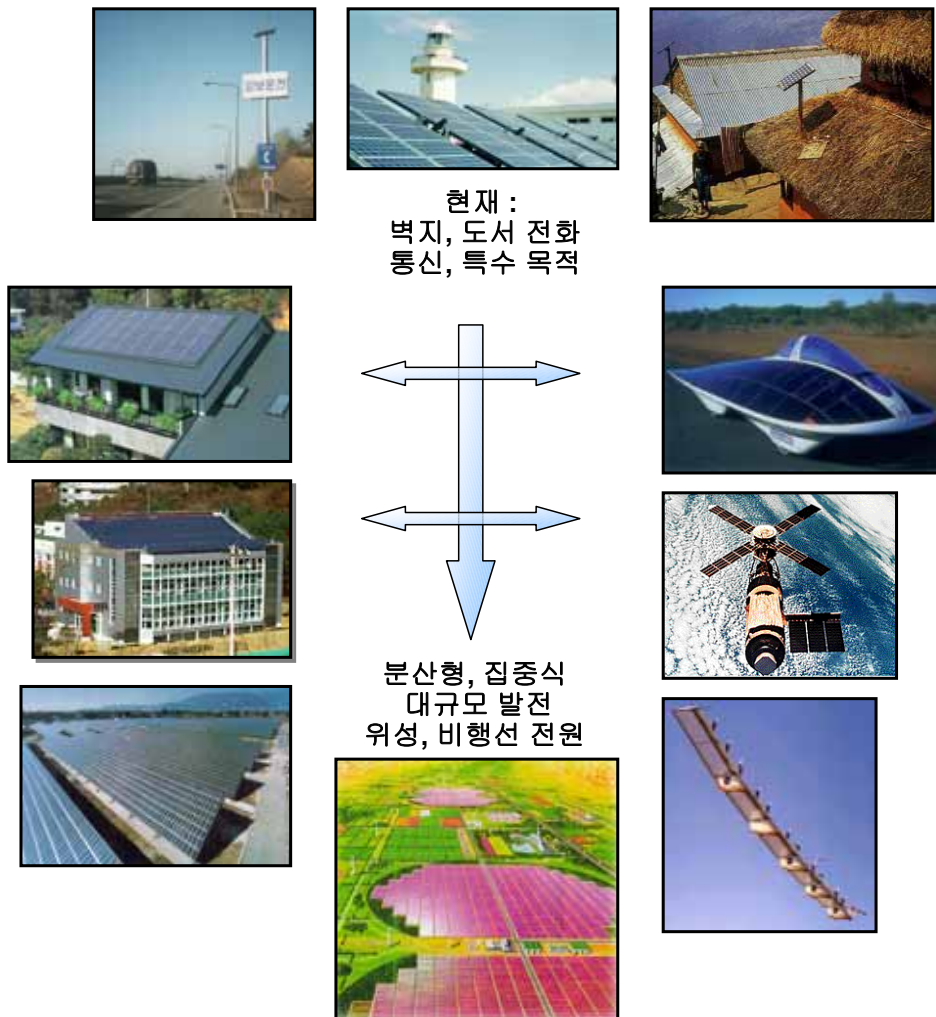
6. 기대효과

- ▶ 국내 태양광발전의 대량보급에 따른 새로운 에너지공급원 확보
 - 기존 주택, 건물에 설치 잠재량 : 16 GW
 - 연간 발전량 : 14,100 GWh (태양광발전효율 10% 감안)
(2002년 국내 발전설비 용량 54 GW, 발전량은 약 306,474 GWh)
- ▶ 기후변화협약 등 국제 환경규제 능동 대처
 - 화석에너지 소비 이산화탄소 배출량 : 100.8 백만톤(1995년)
 - 1인당 배출량 : 약 2.23 톤
 - 위 잠재 발전량에 따른 이산화탄소 절감량 : 12.8 백만톤
 - 각 주택에 3 kW의 태양광발전 설치시 이산화탄소 연간 2.39 톤 절감
- ▶ 분산형 전원공급으로 침투부하 절감, 송배전 시설 절약
- ▶ 무공해, 모소음, 무보수 전원 공급에 의한 국민복지 향상
- ▶ 새로운 에너지 시장 창출 및 수출산업으로 육성
 - 2002년도 세계 시장 약 35억 \$,
 - 최근 성장률 연간 30%

- 2020년 전세계 시장이 약 150억\$로 확대 전망
- 기존의 발전방식과 경쟁이 가능한 박막 태양전지가 상용화되면 전력시장전체가 그 대상이 될 것임

▶ 아래와 같은 태양광발전기술의 핵심소자로 활용

- 주택, 건물 분산형 발전
- 유희지, 사막 지역 대규모 집중식 발전
- 오지, 낙도 전화사업, 통신, 등대 전원공급
- 자동차, 선박 등 레저용
- 초고효율 태양전지로 비행선, 우주선 전원공급용



태양전지의 현재 및 미래 활용 분야

7. 부처별 역할 분담

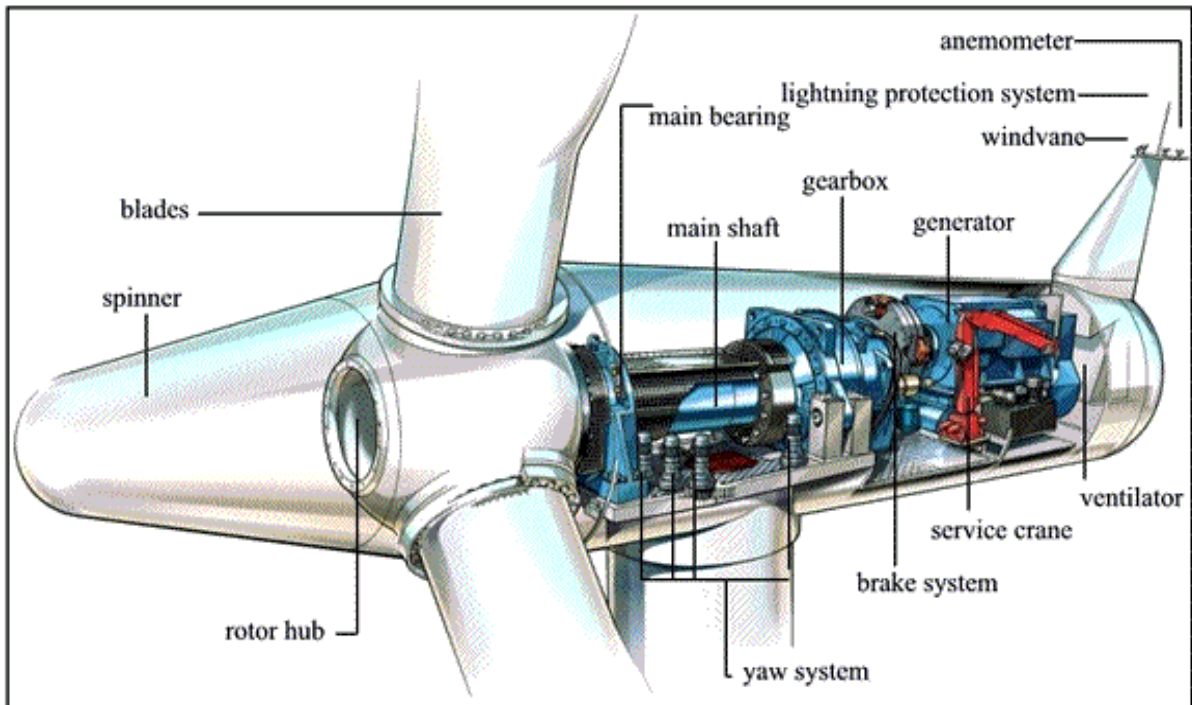
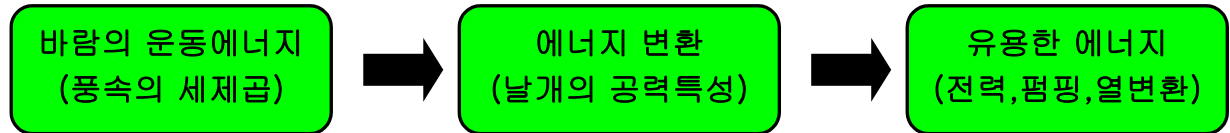
<p>과학기술부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 본 기술과 같이 실용화 개발까지에 장기 연구개발을 필요로 하는 분야는 과학기술부 주도로 추진하는 것이 바람직함. · 초기 단계에서는 출연연구기관을 중심으로 대학교 연구팀을 망라한 연구개발추진체계를 구축하는 것이 바람직함. 선진국도 동 분야에 대한 연구개발 실적이 많지 않으므로 국내 기술개발의 추진 실적에 따라 양자 및 다자간의 국제협력 적극 추진. · 본 기술은 물리, 화학, 재료, 화학공학, 전기전자공학, 기계공학 등 다학제적 성격을 지니므로 총괄 사업단 구성 및 추진역할이 필요함
<p>산업자원부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 산업자원부는 단기적 성과를 겨냥한 상업화연구를 중심으로 추진 (예: 기존 결정질실리콘 태양전지의 양산기술 개발)

해상 풍력발전시스템 개발

1. 기술개요

가. 풍력발전시스템이란?

바람의 운동에너지를 날개를 이용해 회전력으로 바꾸고 이 회전력으로 발전기를 구동함으로써 전력을 얻음.



(1) 육상풍력발전 시스템

- 콘크리트 토목 기초를 지하에 매설하고 그 기초위에 풍력발전기를 설치 (750kW 용량인 경우 약 10m x 10m 정도의 면적이 필요함)
- 부지주변의 주거환경 및 생태계에 지장이 없어야 하고 전력선, 도로 등의 인프라 구축이 필요하여 부지 확보에 어려움이 있음.
- 우리나라는 협소한 국토, 높은 인구밀도로 육상 풍력 보급은 제한적임.

(2) 해상풍력발전 시스템

- 해상에서는 부지 확보나 주거환경에 문제가 없으며 풍속도 육지보다 빠르고 균일하여 같은 크기의 풍력발전기로도 2배에 가까운 에너지를 얻을 수도 있으며 수명이 길어지는 장점이 있음.
- 우리나라는 삼면이 바다로서 넓은 해역을 가지고 있어서 해상 풍력 에너지 활용 포텐셜이 매우 큼.
- 반면 해상기초나 해저 전력선 등으로 초기 설치비가 높아지는 단점도 있음.

(3) 육상풍력과 해상풍력발전시스템 비교

구분	장점	단점	비고
육상풍력 발전	<ul style="list-style-type: none"> • 설치단가 저렴 • 시공이 용이 • 운영/보수 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 부지확보가 어려움 • 주민, NGO 등의 민원 소지가 많음 • 돌풍에 의해 기기 수명 단축 	<ul style="list-style-type: none"> • 부지 포화로 보급이 제한적 • 거주 및 생태 환경문제 (소음, 그림자, 시각 및 전파장애) • 지형으로 인해 난류 증가
해상풍력 발전	<ul style="list-style-type: none"> • 고품질의 풍력자원 • 초대형부지 확보 가능 • 풍력발전 시스템의 대형화 가능 • 민원의 소지가 거의 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 시공비 고가 • 악천후 등으로 인하여 운영/보수의 어려움 • 고급 원거리 제어 기술 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 발전량 증대, 기기 수명 장기화 • 해상토목기초, 해저전력선, 방식 처리 필요 • 풍력 발전 단지나 시스템은 대형화 될수록 경제적

(4) 해상풍력발전 시스템 통합설계

- 해상풍력 단지는 초대형화 할 수록 경제성이 향상되므로 단지 자체로서 생산 업체로서 수익성을 가질 수 있는 critical mass가 기 확보
- 해역의 특성은 풍속, 파도, 해류, 조수차, 낙뢰, 이안 거리 등의 특성이 지역에 따라 다르므로 풍력 발전시스템이 일정한 모델을 가질 필요가 없음.
- 따라서 지역 특성에 적합하게 최적화하여 설치하는 것이 가장 경제적이고

차후 운영 측면에서도 효과적이므로 이러한 기법을 통합 설계(Integrated design)이라 명명.

나. 기술개발의 경제, 사회적 배경

(1) 경제적 배경

- ① 우리나라의 소비 에너지의 97%를 수입에 의존
- ② 세계기후변화 협약(교토 의정서, 1997)에 대응하여 온실가스 저감을 위한 청정 신, 재생에너지 확보가 필요
- ③ 탄소세(Carbon Tax) 협정에 의하면 석탄발전 1.6cECU/kWh, 가스발전은 0.8cECU/kWh, 원자력 발전에 대해서는 0.7cECU/kWh)임에 비해 풍력발전의 경우에는 건설시에만 약간의 탄소세 부과(표.1. 참조)

표.1. 발전원별 CO₂ 배출량

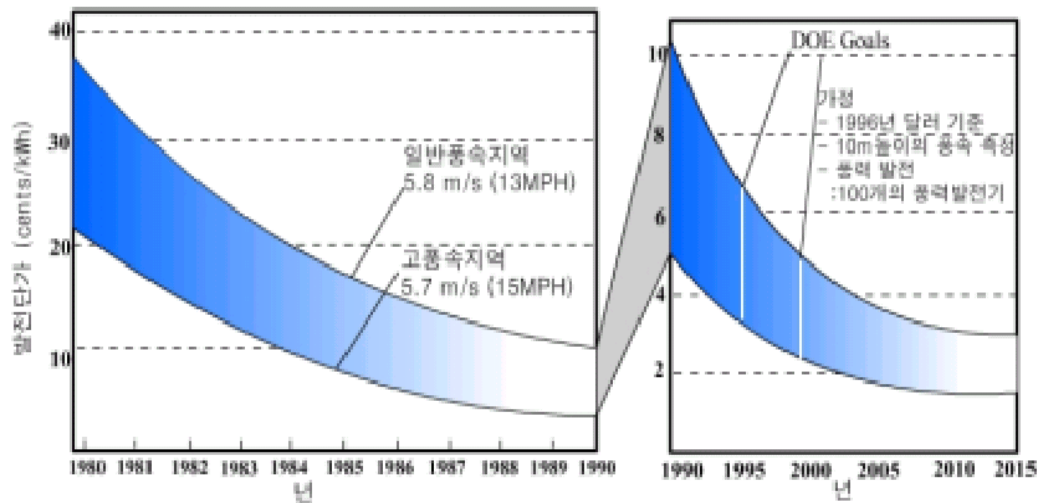
발전기술	CO ₂ 방출량 (Tonnes/GWh)			
	연료추출	건설	운영	총계
화력발전 (coal)	1	1	962	964
상압유동층 연소 (AFBC)	1	1	961	963
가스화 복합발전 (IGCC)	1	1	748	751
화력발전 (oil)	-	-	726	726
화력발전 (gas)	-	-	484	484
해양온도차 발전 (OTEC)	N/A	4	300	304
지열발전	<1	1	56	57
소수력 발전	N/A	10	N/A	10
원자력 발전	~2	1	5	8
풍력발전	N/A	7	N/A	7
광전지	N/A	5	N/A	5
대수력 발전	N/A	4	N/A	4
태양열 발전	N/A	3	N/A	3
목재발전	-1509	3	1346	-160

- ④ 현재 해외 수입에 의존하고 있는 풍력발전시스템으로는 설치, 운영 단가가 유럽의 2배(중량물 운반비, 고가의 부품교체 비용 및 보수 기술 부족 등)에 가까우므로 발전단가가 높고 기술 종속으로 인해 경제적 희생 감수 불가피.
- ⑤ 국내 부존 풍력 자원의 극대화를 위해서는 풍력발전시스템 및 부품의 국산화가 반드시 필요함.

(2) 사회적 패러다임의 변화

- ① 신재생 에너지 도입을 위한 국가 에너지 공급원의 포트폴리오 재구성
 - 신재생에너지 개발 및 보급 촉진법(2003.10 개정)에서 차액 보전제도 시행
 - 2011년 까지 신재생 에너지 5% 보급 목표
- ② 풍력발전 기술의 급격한 발전으로 발전 시장에서 실용성에 근접(표.2)

표.2. 풍력발전 단가 변화 추이



(3) 기술적인 대응 방향

- ① 기본 설계 기술 자체 확보
 - 개념 설계
 - 날개 보호를 위한 최적 작동 범위
 - 시장 침투 가능성을 확보를 위한 Cost analysis
- ② 상세 설계 기술 해외 도입
- ③ 현장 성능평가 및 실증 시험을 통한 경험 축적
- ④ 고 효율, 고 신뢰도 부품 개발
- ⑤ 전력 품질 확보를 위한 전력 제어기술 확보
- ⑥ 대 용량 풍력발전 시스템 연계를 위한 계통 연계 및 운영기술 확보

다. 핵심기술 개요

<표 3> 풍력발전시스템의 핵심 기술

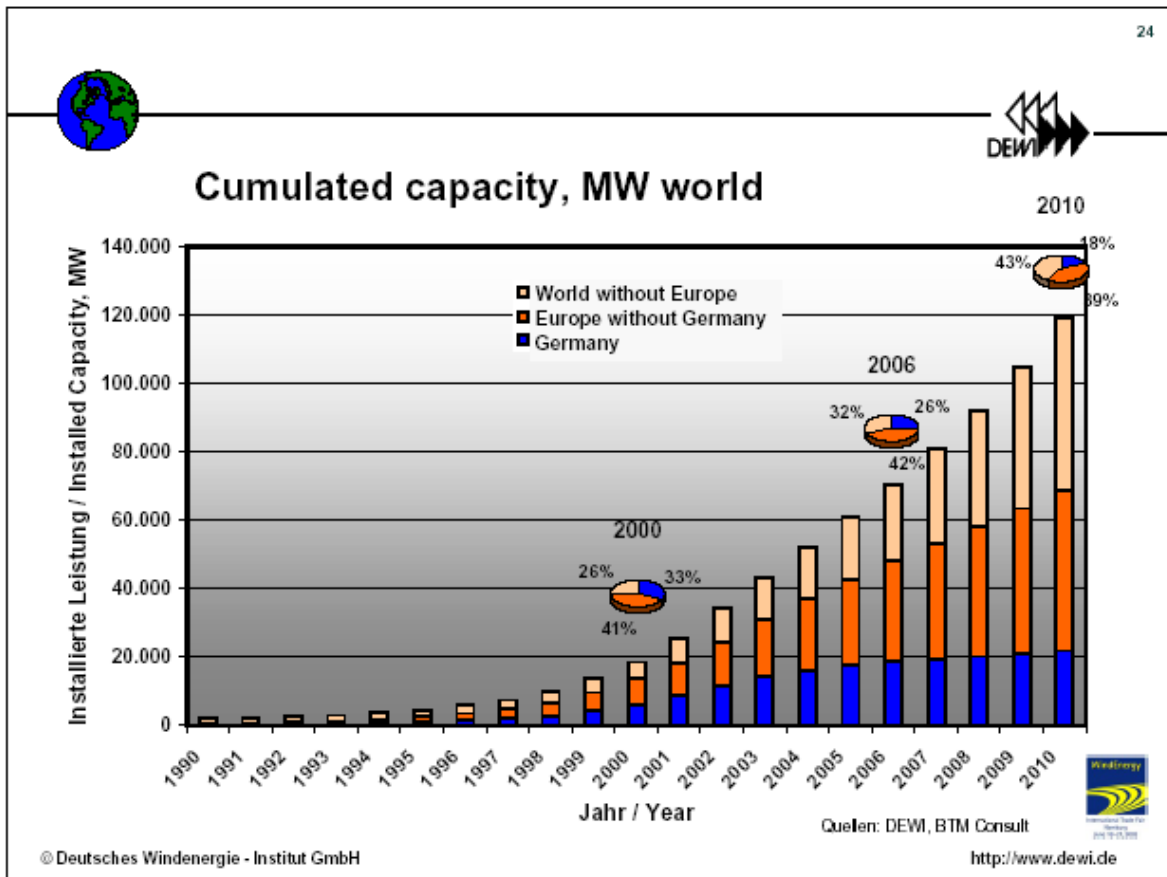
기술영역	최첨단 동향	기술발전 전망
블레이드 기술	길이 40m 내외 대형 개발 완료 30년의 피로수명 유지	길이 50m 내외로 대형화전망 35년 이상의 피로수명 연장
축 구동계 기술	2,500kW용량 축 구동계 실용화	3,000kW 이상의 동력전달 전망
증속기 기술	2~3단으로서 95%이상의 전달효율을 지닌 2,500kW급 증속기 실용화	1단으로 3,000kW급 증속기 개발 전망
발전기 기술	2,500kW 권선형 유도기기 실용화 1,800kW Ring발전기 실용화	초대형 권선형 유도기기 전망 초대형 영구자석발전기 개발 전망
전력 연계장치 기술	2,500kW급 권선형 유도발전기기 전력 연 계기술 실용화 1,800kW급 연계형 전력변환기 실용화	전력연계장치의 대용량화 (3,000kW급)
요잉/타워/토목기초 기술	고신뢰도의 요잉시스템 실용화 90~100m 내외의 스틸, 콘크리트등의 타 워 개발	고신뢰도의 요잉시스템 상용화 100m 이상의 장대 타워 개발 전망
안전장치 기술	수백bar 수준의 유압장치 실용화(fail safe) 전기구동에 의한 안전장치 실용화(full feathering)	유압이나 전기구동 안전장치의 대 용량화 전망
시스템 조합 기술	2,500kW용량의 시스템 실용화	3,000kW급의 시스템 조합
시스템 해석기술	ADAMS/WT, Bladed등 다양한 해석tool 실용화(수만 FOD 수준)	수십만~수백만FOD를 갖는 해석 tool 실용화전망
시스템 감시 및 진단	회전기계류 진동의 차수분석, Spectrum 분 석, Harmonic 해석, Trend의 통계적 분석 S/W 개발 및 실용화	회전기계류의 수명예측 및 유지관 리 최적화 다수 풍력발전기의 통합화 기술 수요충족
설계평가	설계/평가 도구(software)의 비약적 발전 국가적 지원에 의한 평가 시험 연구 결과의 설계 반영에 따른 제작비용 저감화 추세	불확실성 해소에 따른 신뢰성 및 운전률 향상 설계평가 규격 관련 안전계수의 최적화 노력 지속 전망

2. 국내의 기술개발현황 및 기술수준 비교

가. 국내외 산업동향 및 전망

1) 선진 외국의 동향 및 전망

(가) 2000년 1.9만 MW인 세계의 풍력발전용량 (2000년 국내 전력설비용량 2 MW)은 2005년 3배인 6만 MW, 2010년에는 6배인 14만 MW로 예측됨



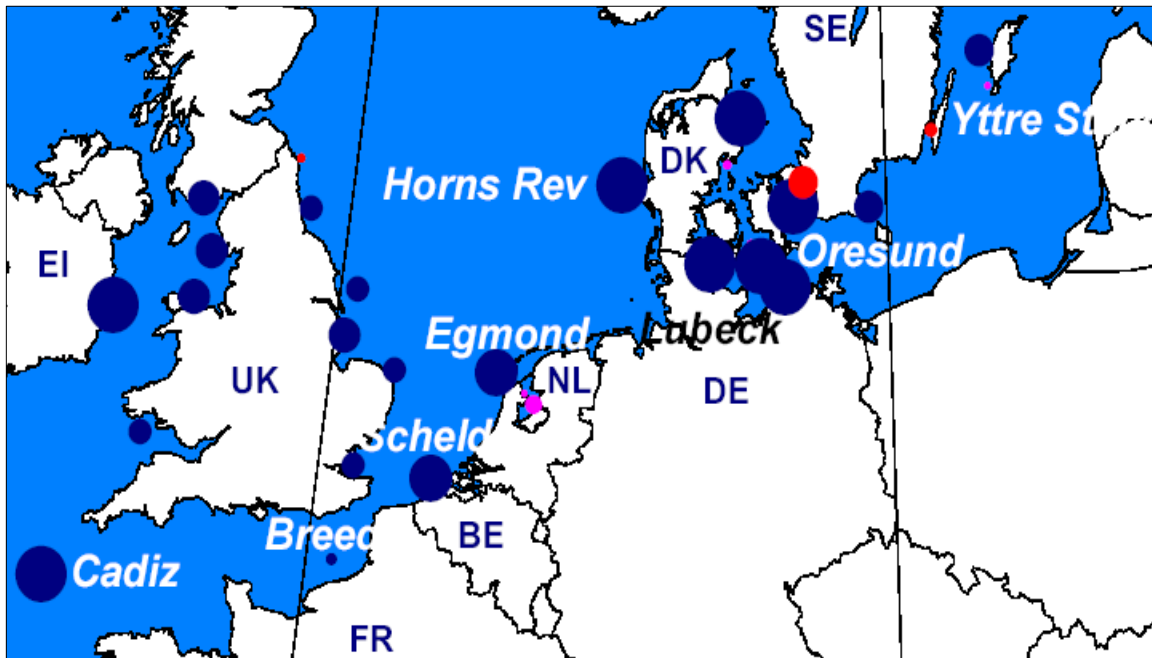
[세계의 풍력발전시스템 보급전망]

(나) 해상풍력발전은 1991년 덴마크 Vindeby에 건설한 해상풍력발전단지 이후 독일, 영국, 네델란드 등의 서북부 유럽국가가 국가차원의 정책 프로젝트

해상풍력발전을 추진하고 있음 (전세계적으로 10여 곳의 해상풍력단지가 운영중에 있으며 총 설비용량은 250 MW로 제주도 발전용량의 50%)

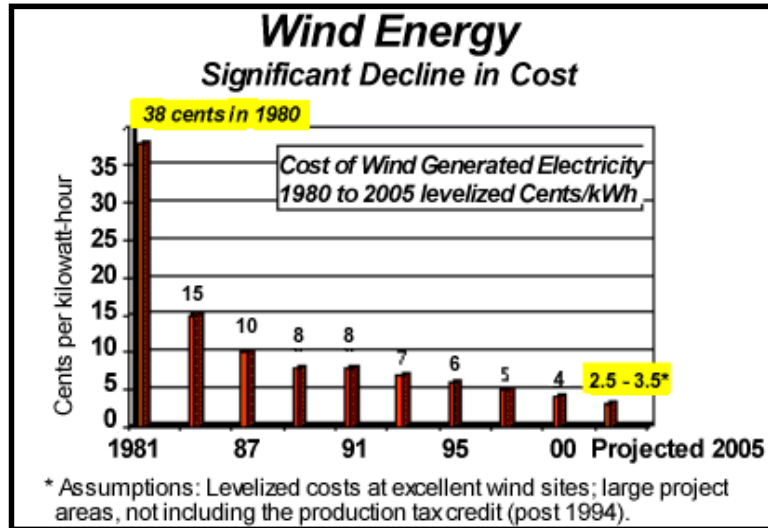
(다) 해외의 대표적인 해상풍력단지 현황

해상풍력단지 위치	국가	계통연 계연도	용량 [MW]	풍차 기수	풍차 형식
Vindeby	Denmark	1991	4.95	11	Bonus 450kW
Lely (Ijsselmeer)	Holland	1994	2.00	4	NedWind 500kW
Tunø Knob	Denmark	1995	5.00	10	Vestas 500kW
Dronten (Ijsselmeer)	Holland	1996	11.40	19	Nordtank 600kW
Gotland (Bockstigen)	Sweden	1997	2.50	5	Wind World 500kW
Blyth Offshore	UK	2000	3.80	2	Vestas 2MW
Middelgrunden, Copenhagen	Denmark	2001	40.00	20	Bonus 2MW
Uttgrunden, Kalmar Sound	Sweden	2001	10.50	7	Enron 1.5MW
Yttre Stengrund	Sweden	2001	10.00	5	NEG Micon NM72
Horns Rev	Denmark	2002	160.00	80	Vestas 2MW
Total			250.15	163	

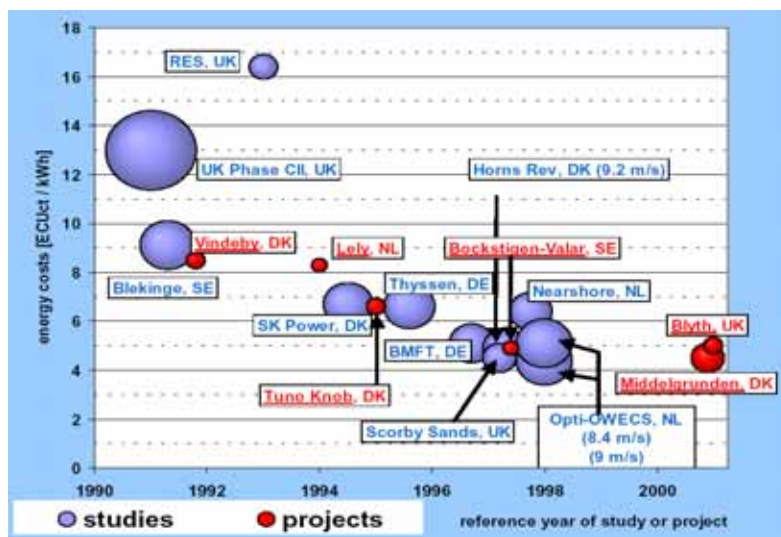


현재 운영 혹은 추진 중인 해상풍력발전 단지

- (라) 해상풍력발전단지의 발전단가는 2000년 영국 Blyth 풍력단지에 MW급 풍력발전시스템이 설치되면서 육상풍력발전단지와 비슷하게 되었음 (4~5 ECUct/kWh)



[육상풍력발전단가 추이]



[해상풍력발전단가 추이]

- (마) 해상풍력발전단지의 건설단가 (1500-2000 €/kW)는 규모가 대형화되면서 최근의 육상풍력발전단지의 건설단가 대비 50%정도 높지만 영국에서는 2010까지 6가구 중 1가구가 해상풍력 발전 전력 사용 계획

(바) 구미 각국 제작사의 해상풍력발전시스템 개발 현황

제작사 및 타입	로터지름 (m)	용량 (MW)	출력제어방법	비고 (현재상태)
Bonus xx (DK)	n/a.	±3 - 3.5	n/a.	Prototype 2003
DeWind Dxx (UK/GE)	n/a.	3.5 - 5	DD, VS, Pitch	n/a.
Enercon E112 (GE)	112	4.5	DD, VS, Pitch	Prototype 2002
GE 3.2s (US)	104	3.2	GD, VS, Pitch	n.a.
GE 3.6 Offshore (US)	100	3.6	GD, VS, Pitch	Prototype 2002
NEG Micon NM 92/2750 (DK)	92	2.75	GD, VS, Pitch	Prototype 2002
NEG Micon NM xx/xxxx (DK)	> 100	±4	GD, VS, Pitch	Prototype 2003
NM (DOWEC) 6MW (DK/NL)	129	6.0	GD, VS, Pitch	Pre-feasibility study
Nordex Nxx (GE)	115 - 120	5.0	GD, VS, Pitch	Prototype 2004/5
Pfleiderer Multibrid (GE)	125	5.0	HD, VS, Pitch	Prototype 2003
REpower 5M (GE)	125	5.0	GD, VS, Pitch	Prototype 2004
Vestas V90 (DK)	90	3.0	GD, VS, Pitch	Prototype 2002
Vestas Vxx (DK)	n.a.	5.0	n/a.	n/a.
WinWind WW 2.6.94 (SF)	94	2.6	HD, VS, Pitch	n/a.
WinWind WW 3.90 (SF)	90	3.0	HD, VS, Pitch	Prototype 2003
W.L.P 5MW (GE)	n/a.	5.0	n/a.	Prototype 2003/4

출처 : Windstate Newsletter[4]; Supplier, 2/2003

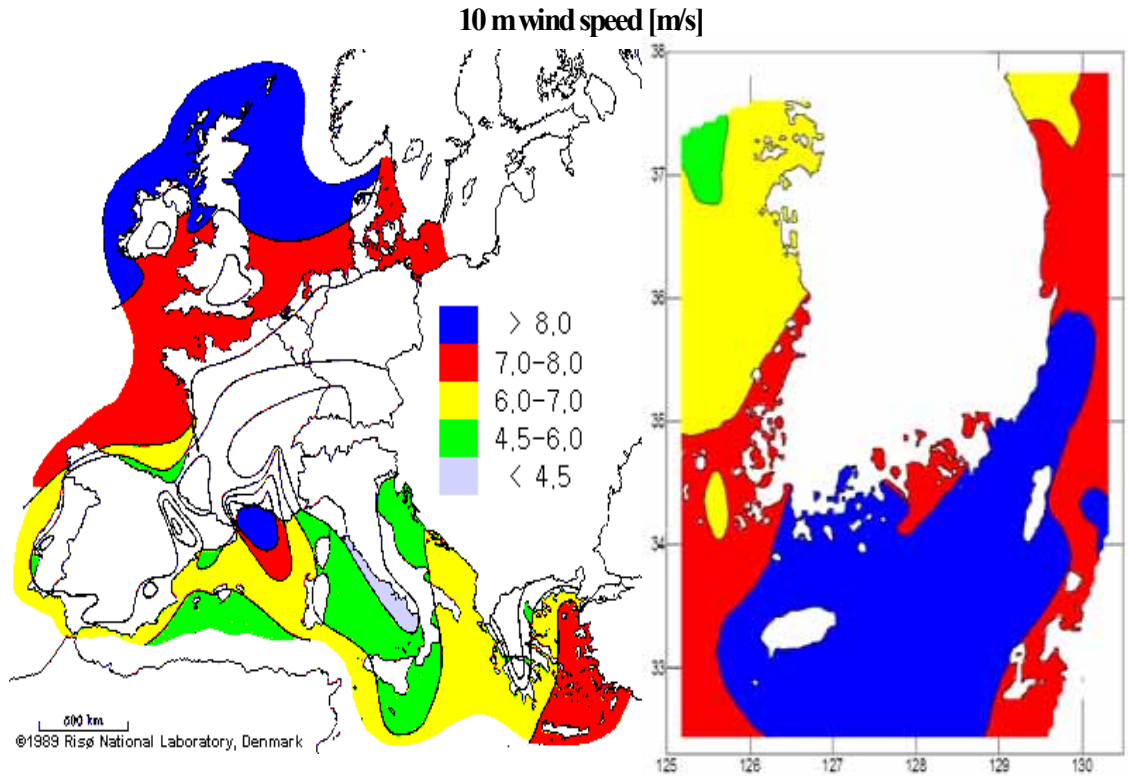
주: AS(Active Stall); CS(Constant or fixed speed); DD(Direct Drive); GD(Gear Drive); HD(Hybrid Drive); VS(Variable Speed)

2) 국내 동향 및 전망

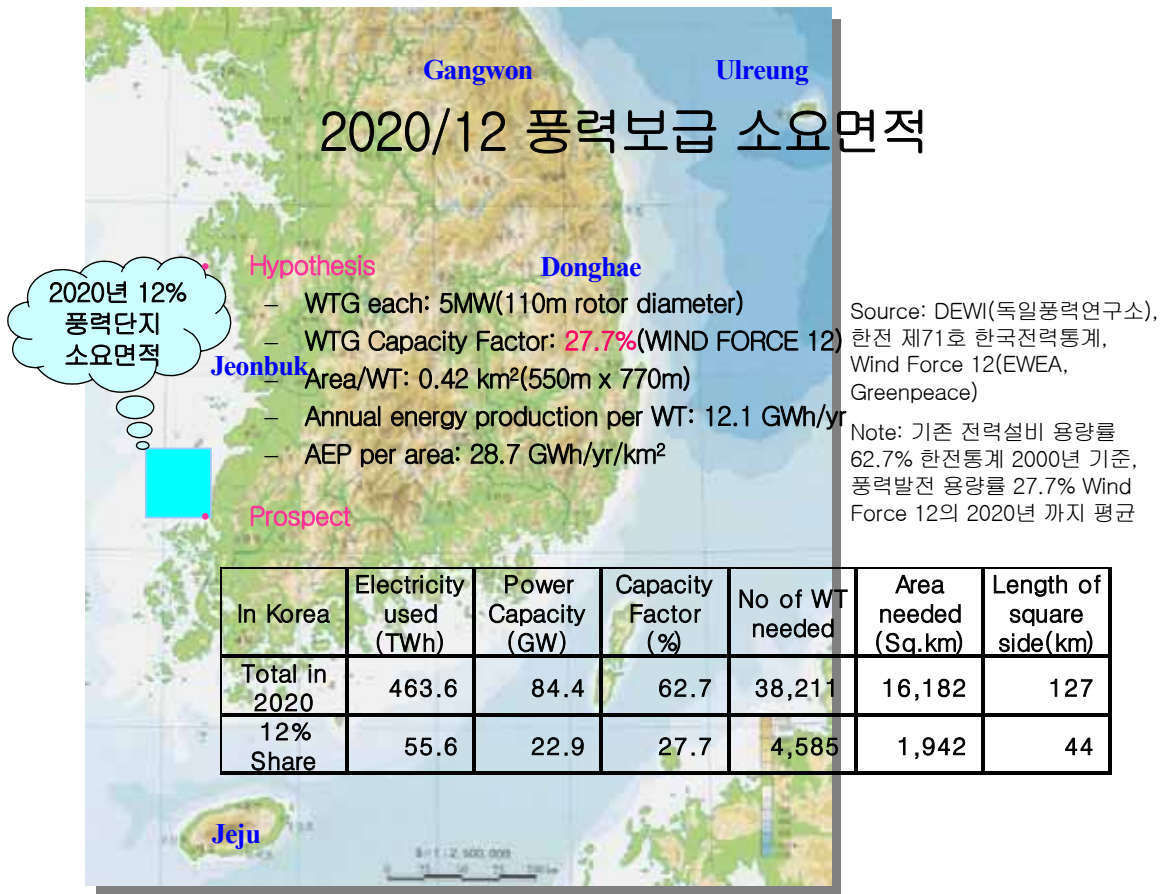
(가) 국내에서는 한국에너지기술연구원이 수행한 해상풍력시범사업 기획연구가 유일한 연구임.(2002.7 - 2003.3 . 공공기술연구회)

(나) 국내 해상 풍력자원

① 우리나라의 해상풍력 자원은 육상보다 풍부하고 균일하며, 특히 남서해 및 남동해를 중심으로 한 남해안의 풍력자원이 우수함. 이러한 풍력자원은 현재 대형 해상풍력발전단지가 건설 또는 계획되고 있는 북유럽의 풍력자원과 대등한 수준임.



- ② 한반도의 서남쪽과 제주도 동쪽지역은 수심이 얕아서 경제적인 초대형 해상 풍력발전단지가 가능한 지역임
- ③ 해상풍력발전단지 건설은 해상구조물 기술과의 접합이 필수적이거나 우리나라의 해상구조물 기술은 세계 선두 그룹에 속해 있으므로 이러한 장점을 살리면 경제성 있는 초대형 해상풍력발전단지 건설이 가능함.
- ④ 2020년의 국내 전력수요는 2000년 전력수요의 4배인 463 TWh가 될 것으로 예상되고 있음. 44km²의 해상 풍력 발전 단지를 건설하는 경우 전체 전력의 12%를 담당 가능함



2020년 전력수요량의 12%를 대체할 수 있는 풍력단지 소요면적

다. 국내외 관련 기술수준 비교

(1) 기술수준 비교

선진국 대비 국내 기술개발 수준

(비교 기준 : 선진국 100%)

기술 내용		기술 수준 (%)	전문 인력 보유정도 (%)	인프라구축 정도 (%)	비 고
보급기반 구 축	자원조사 및 분석	70	70	80	
	자원 예측 기술	60	60	70	
	단지설계 및 경제성 분석	70	70	70	
풍력 발전시스템	소형풍력기기 요소설계 및 해석	70	70	70	
	소형풍력기기 조합기술	80	80	80	
	소형풍력기기 안전성 및 신뢰성 확보기술	70	70	70	
	블레이드 기술	60	70	60	
	축 구동계 기술	70	80	80	
	증속기 기술	70	70	70	
	발전기 기술	80	80	70	
	전력연계장치 기술	70	80	70	
	요잉/타워 기술	60	70	70	
	안전장치 기술	60	60	60	
	시스템 조합 기술	60	70	60	
	시스템 해석 기술	50	60	60	
	시스템 감시/진단 기술	80	80	80	
	설계 평가	50	40	50	
	요소 시험	70	70	60	
	성능 시험	60	60	50	
인 증	50	50	50		
해상 풍력	해상 풍력발전기	40	50	50	
	해상 토목 기초	70	80	60	
	전력선 연계	70	80	80	
	감시, 운영 및 유지	80	80	80	
응용성 확대	전기시스템 운용 및 적용 기술	70	80	80	
	계통연계, 전기품질 및 보호협조 기술	80	80	80	
	소용량 전력저장제어기술	60	60	60	
	타전원 연계 기술	70	70	80	
	Micro Grid 연계 기술	70	70	60	
	IT 기반 연계 기술	60	70	60	

(2) 기술개발의 문제점

(가) 해상 풍력발전시스템 해석 및 설계

- ① 풍력발전시스템의 동적 거동 해석 기술 부족
- ② 최적화 설계 기술 부족
- ③ 풍력발전기 진동 및 피로 부하 해석 기술 부족

(나) 부품 설계 및 제작 기술

- ① 날개 구조 설계 및 제작 기술 부족
- ② 현재 대형 기어 박스 국내 제작 불가
- ③ 제어기 신뢰성 부족
- ④ 더블 패드(Double fed) 발전기 제작 및 제어 경험 부족
- ⑤ 피치 제어 mechanism 신뢰성 향상
- ⑥ 요잉 패드 제작 기술 부족

(다) 해상 토목 기초

- ① 해상풍력발전시스템 동 하중 관련 경험 부족
- ② 중력식 토목 기초 경험 부족

(라) 지지탑 기술

- ① 설계기술 부족
- ② Breaking wave 대처 기술 부족
- ③ 해상 시공 경험 부족

라. 사업추진의 필요성

(1) 국내 부존 해상 풍력자원 활성화

- ① 미국 NREL에서 수행한 중국 남동부 지역에 대한 잠재 풍력자원의 평가 결과에 기초하여 유사한 가정과 조건(풍력자원 양호면적 비율: 23.3%, 평균 용량률: 25.2%)으로 남한 주변 해상을 포함하여 재평가한 결과, 우리나라 풍력발전 잠재량은 해상 포함 연간 1,069 TWh(267백만 toe).
- ② 일반적으로 전력계통망 전력수요의 20%를 가용 풍력자원의 한계로 설정하면 우리나라 해상 풍력발전 가용 자원은 15백만 TOE, 풍력발전에서 전력계통망 연계가 아닌 별도의 저장 체계(예: 수소 시스템)가 고려된다면 이와 같은 한계는 더욱 확대.

국내 잠재 및 가용 풍력자원

지 역	잠재 풍력자원	가용 풍력자원
기존 평가	660 TWh(165백만 toe)	33 TWh(8백만 toe)
해상 포함 신규 평가	1,069 TWh(267백만 toe)	93 TWh(23백만 toe)

(한국에너지기술연구원, 2003.10, 김은일)

- ③ 국내 풍력발전으로 우리나라 전력의 5%를 담당할 경우 연간 3,200억원의 수입대체 효과가 있음. (해상 풍력발전시스템 용량률 30%, 화력발전 효율 30%, 북해 유전 원유 기준, 20 US\$/배럴)

(나) 국내 풍력산업 육성

- ① 풍력발전 기술의 기술 종속시 초기 설치 원가가 약 1.5배이며 유지, 보수 시에도 고가의 부품 비용, 수리 지연 등으로 인해 상당한 경제적 희생을 감수하여야 함.
- ② 우리나라 과학기술계와 기업들에는 풍력발전시스템 생산에 필요한 충분한 기술 잠재력이 있으므로 풍력발전시스템을 국산화하고 나아가 수출 산업으로 육성

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

- (1) 국내 대형 해상풍력발전단지 건설 타당성 조사
- (2) 통합 설계에 의한 해상풍력발전 시스템 설계 및 제작

나. 단계별 목표

(1) 제 1단계

1 단 계	해상풍력자원 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 인공위성 측정자료 활용하여 해상 풍력자원 지도 정밀화 - 해변의 기상 측정탑으로부터 예측 - Mesoscale 기상모델에 의한 예측
	해양 특성 정밀 조사	<ul style="list-style-type: none"> - 해상 기상탑을 설치, 운영 - 풍력자원, 파랑, 낙뢰량 등 정밀 측정 - 해양 지질 조사
	입지조건, 전력계통 연계 여건 조사	<ul style="list-style-type: none"> - 항로, 해상 국립공원 및 양식장 여부 - 법적 인허가 여건 조사 및 개정 추진 - 전력 계통연계 설계
	해상풍력발전시스템 설계기술 습득	<ul style="list-style-type: none"> - 개념설계 - 기본설계 - 상세설계

(2) 제 2단계

2 단 계	설계 시스템 인증 및 감리 추진	<ul style="list-style-type: none"> - 독일 혹은 덴마크 인증 획득 - 풍력발전시스템, 해상토목기초, 지지탑 인증 - 감리 추진
	해상풍력발전시스템 시제품 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 날개 도입 - 시제품 제작 및 조립
	해상풍력발전시스템 설치 및 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> - 해상 시공 - 제어 및 감시 시스템 조율 - 출력, 하중, 전력 성능평가

(3) 3단계

3 단 계	날개 국산화	<ul style="list-style-type: none"> - 날개 공력 설계 및 구조 설계 - 구조 시험 - 제작 기술 습득 및 제작 인증 획득
	운영기술 확립 및 신뢰성 실증	<ul style="list-style-type: none"> - 운영, 보수 기술 습득 - 신뢰성 실증 및 보완
	기술 이전 및 보급	<ul style="list-style-type: none"> - 대량 생산 및 기업화 - 초 대형 해상풍력발전단지 조성 및 보급

4. 사업의 내용 및 추진체계



5. 소요예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요예산

(단위 : 억원)

대분류	세부 핵심 기술	소요예산
풍력 및 해양 특성 평가	해상 풍력자원지도 작성	10
	해상 기상탑 설계, 제작 및 운영	70
	파랑, 해류 등 조사 및 분석	10
	해양 지질 정밀 조사 및 분석	20
	해양 생물 환경 평가	20
	소 계	130
풍력발전 시스템 설계 및 제작	5 MW급 해상 풍력발전 시스템 개념, 상세 설계 및 인증	30
	해상 풍력발전 시스템 제작 및 시공	150
	풍력발전시스템 날개 공력 및 구조 설계	20
	풍력발전시스템 날개 제작	20
	풍력발전시스템 운영, 수정 및 보완	60
	소 계	280
성능평가	풍력 발전시스템 성능 측정 및 평가	80
	풍력발전시스템 날개 성능시험	60
	소 계	140
총 계		550

나. 연도별 소요예산

대분류	계	연도별 소요예산(년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
풍력 및 해양 특성 평가	130	20	10	15	20	25	25	15	10	10	10
해상풍력발전시스템 설계, 제작, 시공	280	30	40	50	20	30	20	30	40	20	20
성능평가 및 수정, 보완	140	10	10	10	10	20	20	30	10	10	10
합계	550	60	60	75	50	75	65	75	60	40	40

6. 기대효과

- 2000년도 국내 전력수요의 10%를 해상풍력으로 대체할 경우 설치 후 50년 동안 매년 6,400억원의 수입대체 효과가 있으며 연간 약 350 만톤의 CO₂ 배출량을 저감
- 일례로 우수한 해상 풍력발전 에너지 자원을 보유하고 있는 제주도의 경우에는 평균발전단가(162.3원/kWh)보다 현격히 저렴한 해상풍력발전 (80-90 원/kWh)으로 현재의 발전용량 (500MW)의 50%를 대체 가능
- 5 MW급 해상풍력발전설비의 자체 설계기술 확보로 해외 경쟁력을 보유한 新풍력산업을 창출
- 중소기업체 및 관련 타 연구기관에 해상풍력발전 설비를 개방함으로써 중소기업체와의 산학연 공동기술개발 효과 증가

7. 부처별 역할 분담

과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> · 해상풍력발전시스템은 기계공학, 항공공학, 대기과학, 전력전자공학, 제어 및 통신공학, 재료공학, 해양학, 해양 생물, 토목 공학 등 다양한 분야의 연구가 필요하므로 총괄적 사업단 구성 및 추진역할이 필요함 · 향후 세계적 동향은 수소 및 연료전지 분야와 연계하여 풍력발전의 간헐성을 보완하여 안정적인 에너지화가 예상되고 있음..
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> · 해상 풍력 발전 보급 활성화 · 전력계통 정비 및 효율적 운영 · 발전 인허가 법령 정비 및 개정
해양수산부	<ul style="list-style-type: none"> · 우리나라의 풍부한 해양 에너지 자원 활용 극대화 · 인허가 법령 정비 · 해양 생물 환경 영향 평가 기준
환경부	<ul style="list-style-type: none"> · 해상 풍력발전 단지 조성을 위한 전자파, 소음 환경평가 기준 구축
건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> · 해상 풍력발전 단지 건설 인허가 법령 정비

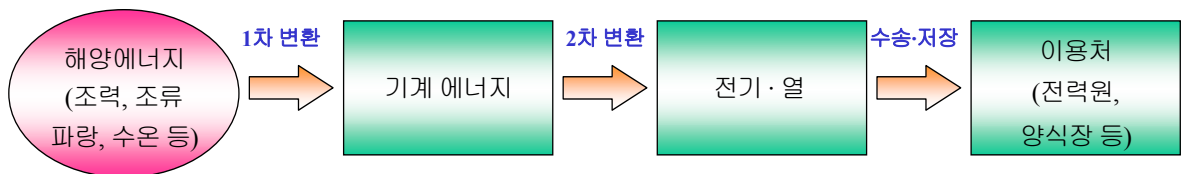
조류조력 발전 기술개발

1. 기술개요

가. 개념 및 특성

- 조력·조류에너지는 해양의 조석현상에 의해 조석 간만차 또는 해수의 흐름 형태로 해양에 부존하는 에너지 자원
- 조력, 조류에너지는 국내 부존량이 풍부하고, 관련기술 축적도가 높기 때문에 경제성 측면에서 전력의 생산과 이용에 대한 개발가치가 큼
- 동일 지점에서 해상 풍력과 병행개발 등 두 종류의 해양에너지원을 복합적으로 이용하는 복합 전력 시스템 개발 가능

< 해양에너지 시스템 구성도 >



□ 조력·조류에너지의 특성

- 에너지 밀도가 낮기 때문에 현재 사용되고 있는 기존의 에너지원에 비해 상대적으로 큰 규모의 에너지 추출장치가 필요
- 해양에너지로부터 전력을 생산할 경우 출력 변동에 따른 기존전력 계통과의 효율적인 연계 문제 존재
- 실용화함에 있어서 경제성면에서 개발비용의 저렴화와 이용면에서 안정성과 신뢰성 확보 선결 과제

나. 시장전망

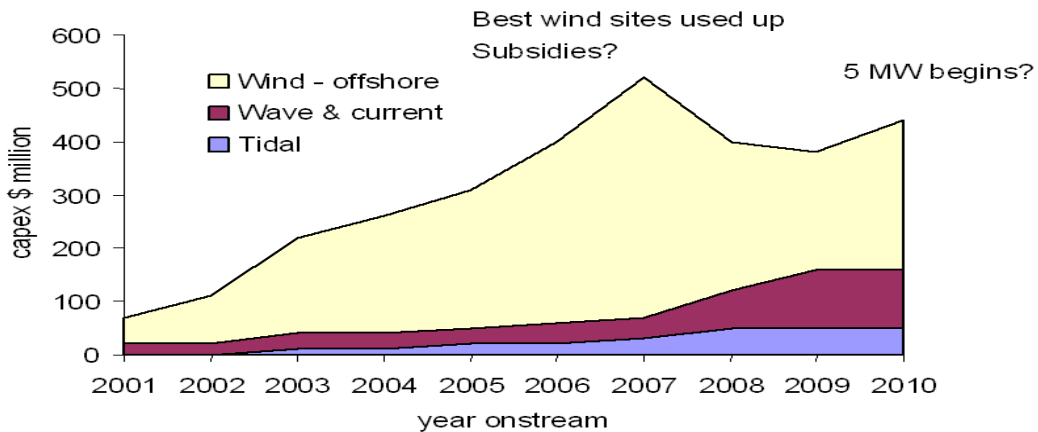
□ 대상시장 및 응용분야

○ 대상시장 : 대체에너지 전력생산 부분

○ 응용분야 : 해양에너지 구조물 설계 및 시공, 내진 설계 기술, 지속 가능한 국토확장 및 활용기술, 고효율 터빈설계기술, 고효율 발전기 설계기술, 대용량 전력변환장치 설계 기술, 해양Energy Farm 운영기술 등

□ 해양에너지원인 조류 및 조력의 시장전망이 2007년 이후 급격히 신장될 것으로 추정

< 세계 해양에너지 시장 전망 >



□ 조력, 조류에너지 추정 발전단가는 평균 8 ¢/kWh 수준임

< 에너지원별 추정 발전단가 >

(단위: ¢/kWh)

구분	Oil	조력·조류	파력	풍력	태양	지열	바이오	소수력
최저	3.0	7.0	3.0	2.5	20.0	7.0	2.9	5.0
최고	5.0	10.0	12.0	10.0	40.0	9.0	8.0	10.0
평균	4.0	8.0	9.0	5.0	26.0	8.0	6.0	7.0

2. 국내의 기술개발현황 및 기술수준 비교

가. 국외 기술개발 현황

- ◆ 선진국은 조력·조류발전 시설 설치에 따른 해수유동 등 해양물리 특성 변화와 이에따른 생태계 영향 등을 감안, 개발에 따르는 부작용을 최소화하는 최적 개발방안 연구
- ◆ 청정에너지인 해양에너지의 실용화를 위해 고효율화, 저비용화 집중 추진
- ◆ 실용화를 위해 효율적으로 현장에 적용할 수 있도록 시스템 개발에 중점
- ◆ 동일 지점에서 두 종류의 에너지를 복합적으로 이용하는 복합전력 시스템 개발

□ 후보지의 해양특성 평가 및 예측 기술개발

- 해양 특성을 관측분석·평가하는 기술 및 변화 예측을 위한 다양한 수치모형 개발
- 해양 환경의 해석 및 예측을 통해 최적 후보지 선정

□ 조력·조류발전 시스템기술 개발

○ 조력 발전

- 프랑스 La Rance에서 240 MW급 상용 규모 조력 발전소 운영 중
- 카나다는 Annapolis에서 20 MW급 시험 조력발전소 운영 중
- 중국은 Jiangxia 등 9개소에서 소규모 시험 조력발전소 운영 중이며 낙청만과 Xiamen 조력발전 기본계획 수립
- 러시아는 Kislaya guba 시험 조력발전소(400 kW급) 운영 중
- 영국은 Severn 및 Mersy 조력발전소 건설 기본 계획 수립

○ 조류 발전

- 미국은 2000년부터 Maine주에서 Helical turbine을 이용한 시험 조류발전
- 브라질 아마존 강 유역 시험 조류발전 장치 설치 가동

- 영국은 N. Devon에서 프로펠러 형 MC turbine을 이용한 시험 조류발전 장치 실 해역 가동 중
- 놀웨이는 Kvalsundet shore terminal에서 조류발전 실험 중

□ 해양구조물 설계 및 시공기술

- 조력발전 기반구조물은 대수심 해양구조물로 설치방법에 따라 Floating caisson 식과 Cofferdam 식으로 구분되며 해상조건 및 지반조건에 따라 시공성, 안전성 및 경제성 제고를 위한 기술 개발이 진행 중
- 조류발전 기반구조물은 수차설치 및 연결형태에 따라 부유식과 착저식이 있고 유럽의 경우 착저식 위주, 미국의 경우 착저식과 부유식 두가지 모두에 대해 기술 개발 중

나. 국내 기술개발 현황

- 해양에너지의 기술개발은 대체에너지개발·보급 촉진법에 따라 ‘88년부터 기본계획을 수립하여 기술개발 수행
 - 해양에너지 기술개발 투자실적(‘88 ~ 2,002)
 - 기술개발 투자비 : 1,315백만원(정부: 1,165백만원, 민간: 150백만원)
 - 1,998년이후 해양수산부에서 해양에너지 실용화기술개발 장기 계획을 수립, 2003 현재까지 조력·조류부분에 약 6,300백만원 투자
- 요소 기술개발 현황
 - 해양특성 평가를 위해 다양한 현장조사, 자료분석, 수치모델, 및 수리모형 실험기술 개발 진행
 - 첨단 IT기술과 다양한 센서를 이용하여 차세대 종합해양특성 조사
 - 조력·조류에너지 개발을 위한 기초조사를 통하여 시화호, 가로림만 및 울돌목 해역의 조력, 조류력 에너지 분포를 해석하고 변동특성을 분석 중이며, 현재 조력·조류력에 대한 핵심 요소기술의 실용화 연구 수행 중(해양수산부 R&D사업)

- 10kW급 조류발전 실험장치를 설계, 전남 울돌목에 설치하여 실험역 실험 실시 중

- 국내 조력·조류에너지 성장 잠재력과 시장규모 예측
 - 해양수산부의 해양에너지개발 장기 목표에 의하면 2010년까지는 해양에너지 이용 발전용량 870MW, 2030년까지 2,640MW 개발 목표

< 해양에너지개발 장기목표 >

(단위 : MW)

구 분	1단계 (2000 ~ 2010)	2단계 (2011 ~ 2020)	3단계 (2021 ~ 2030)
조력에너지	720	1,320	2,040
조류에너지	100	200	400
기타(파력 및 온도차)	50	100	200
누 계	870	1,620	2,640

※근거 : 해양수산부 해양한국(Ocean Korea) 21, 2000

- 국내 해양에너지 보급현황
 - 현재 전라남도 해남 울돌목에 실험용 조류발전 시설을 설치하여 시험 가동 중에 있으며, 울돌목에 1000kW 급 Pilot plant 건설 및 시화호에 25만 kW급 조력발전소 건설 추진중

다. 해양에너지 관련 산업현황

- 관련 산업현황 및 추이
 - 시화호 조력발전소 건설사업 추진을 계기로, 대형 건설업체를 중심으로 적용 시공법, 공사관리방안, 발전소 설치장비 적용성 검토
 - 조력발전의 경우 현재 진행 중인 25MW 급 시화호 조력발전소 건설·가동을 통한 관련기술 확보로 향후 서해안 조력발전 사업 확대
 - 조류발전의 경우 2006년 1MW 급 시험발전소 설치·운영을 통해 관련 핵심

기술을 확보하고, 2010년 울돌목 90MW 급 상용 조류발전소 건설을 시작으로 중소규모 조류발전 산업화 추진 등 자체 역량 확충 및 경험 축적

□ 핵심기술에 대한 국제 경쟁력 분석

- 조력·조류에너지 이용을 위한 핵심기술 중 에너지 집적, 추출 및 변환 기술과 발전시스템에 대한 기술이 선진국 대비 20 ~ 35%로 부진

< 핵심기술의 국제 경쟁력 분석 >

핵심 기술 내용	수준(선진국 대비%)
- 후보지 해양 특성평가 및 예측기술	65%
- 에너지 집적, 추출, 변환기술	35%
- 발전시스템 기술	20%
- 해양구조물 설계 및 시공기술	80%
- 발전기 및 전력변환 기술	60%
- 환경 영향분석 및 피해저감 기술	50%

라. 현황분석 및 당면과제

□ 추진현황

- 국내 조력·조류에너지 이용기술은 초보단계로 국내기술이 특히 취약한 에너지 집적, 추출, 변환기술과 발전시스템 기술의 개발이 요구됨

□ 당면과제

- 2006년도 울돌목 1MW급 시험 조류발전소 건설을 위하여 핵심요소기술에 대한 집중개발 필요(해양수산부에서 중점 추진)
 - 국제 경쟁력 확보를 위하여 국내외 핵심기술 분야가 참여하는 컨소시엄 구성, 조기에 발전시스템 국산화 개발
- 조력·조류발전 기반구축을 위한 지원시책 필요
 - 범부처적 기술개발 지원 및 발전사업 지원체제 필요
 - 상용발전소 민자 유치에 위한 인센티브제도 도입
 - 조력·조류 발전에 대한 차액보전 제도 시행

3. 사업의 목표

가. 기본방향 및 목표

기 본 목 표

- ◆ 조력·조류발전 산업화 기반 구축을 위한 집중 기술개발
- ◆ 2012년까지 81만kW, 연간발전량 1,726GWh에 해당하는 조력 및 조류 등 해양에너지 보급

① 기술개발 강화

○ 실용화 핵심기술 집중개발

- 조력발전소 : 시화호 240MW, 가로림만 480MW
- 조류발전소 : 울돌목 90MW
- 복합 발전시스템 기술개발, 실용화

② 실용화 기반 조성

○ 기술개발 및 실용화 연계추진

- 후보지 해양 특성평가 및 예측기술
- 발전시스템 개발·도입

③ 보급 활성화

○ 경제성 확보 및 시장기반 조성

- 대체에너지발전 차액보전 보조금 지원
- 상용발전소 민자유치를 위한 인센티브제공
- 해양 기간시설을 활용하는 기술개발과 정책적 지원

④ 국제협력 강화

○ 기술교류 등 국제협력 강화

- 미국, 유럽, 중국 등의 핵심기술 보유기관과의 국제공동연구 수행

나. 실천 방안

- 해양에너지의 실용화를 위하여 기술개발 강화

기술개발 및 상용화 목표

- 울돌목 조류발전소 : 1MW급 ('06), 90MW('10)
- 시화호 조력발전소 : 240MW급('08)
- 가로림만 조력발전소 : 480MW급('11)

- 기술개발 확산체계 확립

- 해양에너지개발 및 이용의 기반 구조물로서 해양(연안, 항만)기간시설을 활용하는 기술개발과 정책적 지원 필요
- 대체에너지발전 차액보전에 해양에너지 부문포함(풍력발전수준)
- 해양에너지 이용 발전설비의 막대한 자금소요를 감안하여 상용발전소 건설 시 민자유치를 위한 적극적인 유인책 필요
- 해양에너지 이용 시범마을 조성

〈 연차별 조력·조류에너지 보급계획 〉

(단위 : MW)

구 분	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
시화호	-	-	240	240	240	240	240
가로림만	-	-	-	-	-	480	480
울돌목	1	1	1	1	91	91	91
계	1	1	241	241	331	811	811
발전량 (GWh/년)	3	3	573	573	843	1,726	1,726
대체에너지 (천toe/년)	0.8	0.8	143	143	211	432	432

다. 기술개발 추진계획

개발 목표

- ◆ 해양특성변화 분석·예측 및 환경영향 평가기술
 - 정밀도 85% 이상 구현
- ◆ 영구자석형 저속 대용량 동기발전기 설계 기술
 - 출력 3MW이상, 효율 95%이상
- ◆ 고효율 터빈 설계 기술
 - 효율 40%이상
- ◆ 복합발전 시스템 설계 기술
 - 분산 제어형, 계통 연계형

단계별 추진계획

1단계('06)
기술자립 및
산업화 구축

- 핵심기술개발 컨소시엄 구성
- 산업화를 위한 인프라 구축
- 울돌목에 1MW급 시험조류발전소 건설

2단계('06~08)
기술고도화

- 산업화 기술 개발
- 시화호 조력발전(250MW) 설계·건설 기술
- 상용규모 조류발전소 설계기술
- 복합 발전시스템 기술개발

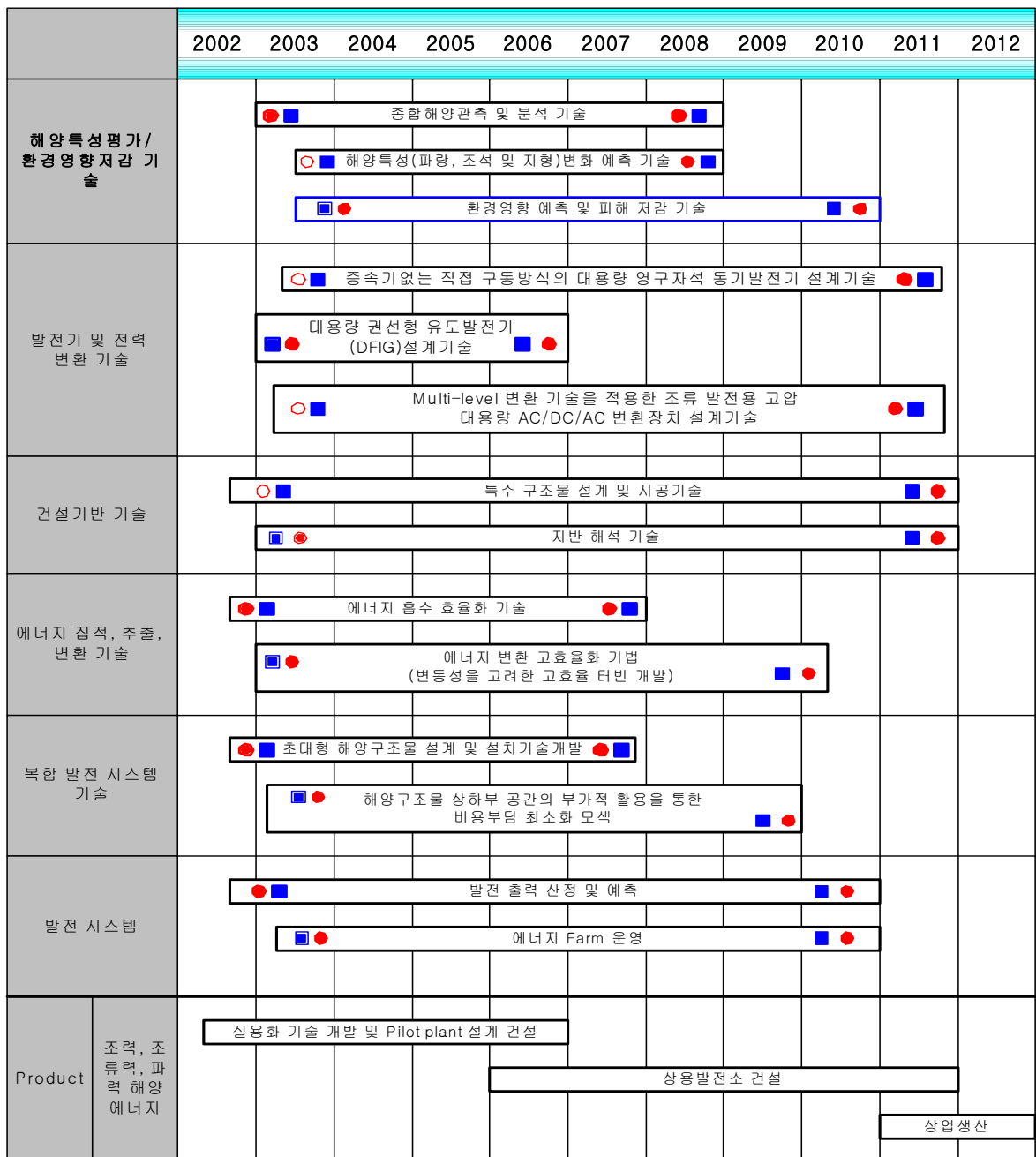
3단계('09~'12)
고부가가치
산업화

- 해양에너지기술 선진수준으로 진입
- 상용 규모 조력 및 조류발전소 가동
- 복합 발전시스템 상용화 추진

□ 기술개발 추진전략

- 시화호, 울돌목, 가로림만 해양에너지 개발계획과 연계하여 요소기술을 중점 개발

< 청정 해양에너지 개발 Road Map >



기술적 Priority ■ 고 → 저 □

실현 Probability ● 고 → 저 ○

Research

Development

Standard

Outsourcing

4. 사업의 내용 및 추진체계

실용화기술 중점개발

과제 1 후보지 해양특성 평가 및 예측기술

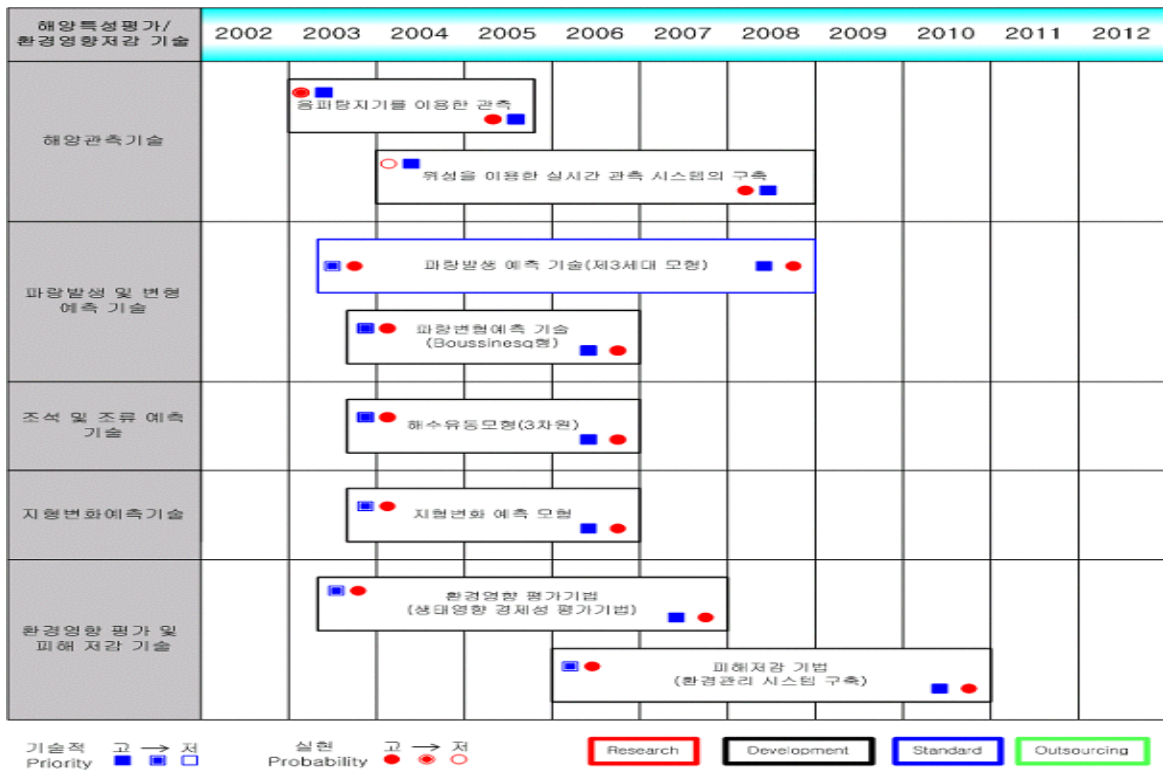
□ 기본계획

- 후보지 해양특성 및 환경영향 평가에 필요한 다양한 기술 개발

□ 추진내용

- 해양관측 및 파랑, 조력, 조류 예측기술 개발
- 정밀도 85%이상의 수치모형 개발
- 해양오염 예측기법 개발 및 피해저감 기법 개발 등

□ 해양특성 평가 및 환경영향 저감기술 개발 Road Map



과제 2

발전기 및 전력변환 기술

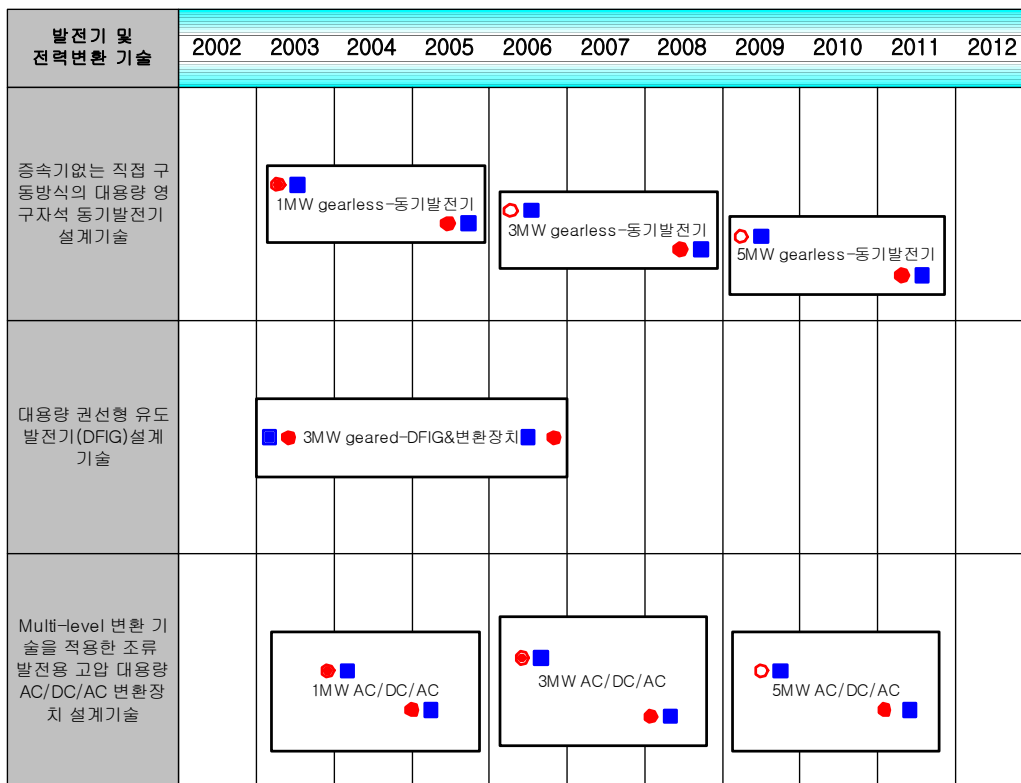
□ 기본계획

- 고효율 터빈 설계 기술 개발
- 영구자석형 저속 대용량 동기발전기 설계 기술 개발
- 해양에너지 개발용 대용량 전력변환장치 설계 기술 개발

□ 추진내용

- 효율 40%이상의 터빈 설계 기술 개발
- 출력 3MW이상, 효율 40%이상의 동기발전기 및 전력변환장치 설계 기술 개발

□ 발전기 및 전력변환 기술개발·실용화 Road Map



기술적 Priority 고 → 저
 ■ ■ □

실현 Probability 고 → 저
 ● ● ○

Research

Development

Standard

Outsourcing

과제 3

건설기반 기술 개발

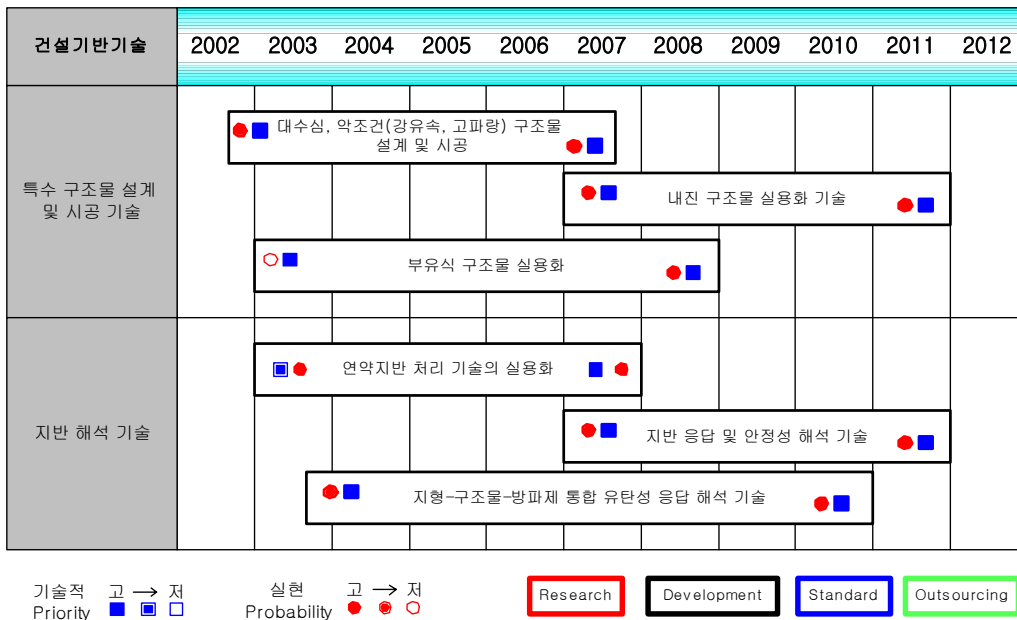
□ 기본계획

- 특수 구조물 설계 및 시공 기술
- 지반 해석 기술

□ 추진내용

- 해양조건(대수심, 유속, 파랑, 지진, 해상부유물 등)을 고려한 설계기술
- 부유식, 고정식 해양구조물 설계 및 시공기술
- 수심변화를 고려한 연약지반 처리기술
- 해양공사 가설구조물 설계 및 시공기술
- 열악한 해양조건에 대비한 구조물 방호기술
- 수문의 최적단면 설계 및 시공기술
- 해양구조물 유지관리, 보수/보강기술(내식, 방식, 침식 등)

□ 건설 기술개발·실용화 Road Map



과제 4 **에너지 집적, 추출, 변환 기술 개발**

□ **기본계획**

- 해양에너지 특성별 집적·흡수 구조 최적화 기술 정립

□ **추진내용**

- 발전 터빈 효율 5% 향상 기술
- 분산성 에너지의 집적화 기법 개발
- 에너지 특성에 적합한 흡수구조물(장치) 설계 및 제작기술
- 변화시스템의 고효율화 기술

□ **에너지 집적, 추출, 변환 기술개발·실용화 Road Map**

에너지 집적, 추출, 변환 기술	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
에너지 흡수 효율화 기술											
에너지 변환 고효율화 기술											

에너지 흡수 효율화 기법 (환경에 맞는 변환장치 설계)
에너지 변환 고효율화 기법 (변동성을 고려한 고효율 터빈 개발)

기술적 Priority 고 → 저 ■ ■ □

실현 Probability 고 → 저 ● ● ○

Research

Development

Standard

Outsourcing

과제 5 **복합발전 시스템 기술 개발**

□ **기본계획**

- 연안형, 외해형 해양에너지 복합시스템 설계 기술 정립
- 복합발전 시스템 분석 및 평가 기술 정립

□ **추진내용**

- 조류/조력⇔풍력 발전 기술
- 조류/조력⇔태양광 발전 기술
- 조류/조력⇔엔진 발전 기술
- 전력품질(무효전력, 정상상태전압, 고조파, 빛 깜박임) 향상 기술
- 초대형 기반구조물 설계 및 설치기술
- 통합시스템 설계 및 계통연계 기술

□ **복합발전 시스템 기술개발·실용화 Road Map**

복합발전 시스템	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
기반구조물의 대형화	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> ● ■ 초대형 해양구조물 설계 및 설치기술개발 ● ■ </div>										
경제성 향상 기법	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> ■ ● 해양구조물 상하부 공간의 부가적 활용을 통한 비용부담 최소화 모색 ■ ● </div>										

기술적 Priority 고 → 저 ■ □ □

실현 Probability 고 → 저 ● ● ○

Research

Development

Standard

Outsourcing

과제 6

발전 시스템 기술 개발

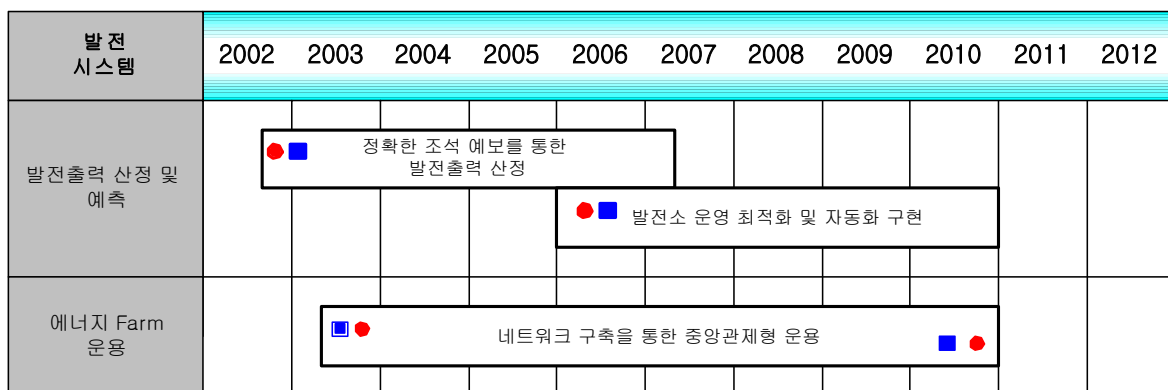
□ 기본계획

- 발전 출력 산정 및 예측기술 정밀도 95% 구현
- 발전소 운영 최적화 및 자동화 기술 실용화
- 발전 시스템 최적화 기술 실용화

□ 추진내용

- 발전출력 산정 및 예측 기술 개발 확보
- 발전소 운영 최적화 및 예보운영 기술 개발
- 발전소 운영 자동화 기술 개발
- 시범 단지 조성을 통한 유형별 발전 특성 분석기술 확보
- 전체 조류/조력/파력 farm의 유효전력과 무효전력을 관리하는 중앙관제 시스템(supervisory system) 개발 기술
- DAS(Data Acquisition System) 개발기술
- Network 구축 기술
- 단위 기기(발전기/전력 변환장치 /증속기/터빈) 진단 기술

□ 발전 시스템 기술개발·실용화 Road Map



기술적 Priority 고 → 저 ■ □

실현 Probability 고 → 저 ● ○

Research

Development

Standard

Outsourcing

5. 소요예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요예산

(단위 : 억원)

대분류	세부 핵심 기술	소요 예산
후보지 해양특성 평가 및 예측기술	해양관측기술	27
	과량발생 및 변형 예측기술	30
	조석 및 조류 예측 기술	12
	지형 변화 예측기술	20
	환경영향 평가 및 피해 저감기술	50
	소계	139
발전기 및 전력변환 기술	증속기 없는 직접구동방식의 대용량 영구자석 동기발전기 설계기술	33
	대용량 권선형 유도 발전기(DFIG) 설계기술	20
	Multi-level 변환 기술을 적용한 조류 발전용 고압 대용량 AC/DC/AC 변환장치 설계기술	39
	소계	92
건설기반 기술 개발	특수 구조물 설계 및 시공기술	45
	지반 해석 기술	72
	소계	117
에너지 집적, 추축, 변환 기술개발	에너지 흡수 효율화 기술	30
	에너지 변환 고효율화 기술	40
	소계	70
복합발전 시스템 기술 개발	기반구조물의 대형화	30
	경제성 향상 기법	28
	소계	58
발전 시스템 기술 개발	발전출력 산정 및 예측	30
	에너지 Farm 운용	40
	소계	70
총 계		546

나. 연도별 소요예산

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
후보지 해양특성 평가 및 예측기술	134		23	26	26	22	16	11	5	5		
발전기 및 전력변환 기술	93		13	13	13	14	8	8	8	8	8	
건설기반 기술 개발	141	5	17	17	17	17	24	15	11	11	7	
에너지 집적, 추축, 변환 기술개발	70	5	10	10	10	10	10	5	5	5		
복합발전 시스템 기술 개발	58	5	9	9	9	9	9	4	4			
발전 시스템 기술 개발	95	5	10	10	10	15	15	10	10	10		

6. 기대효과

□ 보급목표

- ◆ 해양에너지를 개발하여 2011년까지 발전용량 811MW 보급
보급목표 '08 '11
 241MW 811MW
- ◆ 해양에너지이용 발전기술을 선진국 수준으로 진입
- ◆ 선진국대비 기술수준 향상 : 80%('02)→90%('08)→100%('12)

□ 산업 경쟁력 측면

- 해양에너지 자원이용 발전기술의 국제 경쟁력 확보
 - 조력, 조류 및 파력 이용 발전기술 개발·실용화
 - 해양에너지와 풍력 등을 활용하는 복합 발전시스템 개발
- 해양에너지 이용 발전산업을 육성하여 국내도입 및 해외수출
- 관련산업분야의 파급효과 기대

□ 대체에너지 공급 및 환경개선 효과

- 대체에너지 공급량
 - 청정에너지로 대체 : 143천toe/년('08) → 1,726천toe/년(' 11)
- 환경개선으로 기후변화협약 등 능동적 대응
 - CO₂ 저감효과
 - SO_x, NO_x 등 공해요인 발생저감

7. 부처별 역할 분담

<p>과학기술부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 발전장치 및 전력변환 부분은 풍력, 소수력 등 타 대체 에너지 분야 기술 개발 시 공유 가능한 기술 분야로 과기부는 이와 같은 핵심 범용 기술 개발을 주도함으로써 기술력의 집중화와 개발 효율성을 극대화할 필요가 있음 · 복합 발전시스템 기술분야는 해수에너지와 바람에너지를 동시에 이용하는 기술로 과기부와 해수부가 연계하여 기술개발을 추진하는 것이 바람직함
<p>해양수산부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 해수부는 현재 해양에너지 실용화 기술 개발사업을 수행중이며 조력·조류 발전은 사업의 핵심 추진 분야임 · 해양특성 평가/환경영향 저감기술 및 건설 기반기술 등은 해수부 주도하에 건교부, 환경부, 지자체 등과의 협력 추진 필요 · 조력·조류발전을 포함한 해양에너지 실용화를 위한 기술개발 사업은 해수부의 총괄하에 관련부처와의 협력 필요
<p>산업자원부</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 해양에너지 보급 확대를 위한 정책지원 및 관련기술 개발 지원 필요 · 조력·조류발전 차액 보전 등 민간투자 촉진방안 마련 · 해양에너지를 국가 신·재생에너지 개발의 중점 추진 분야로 선정

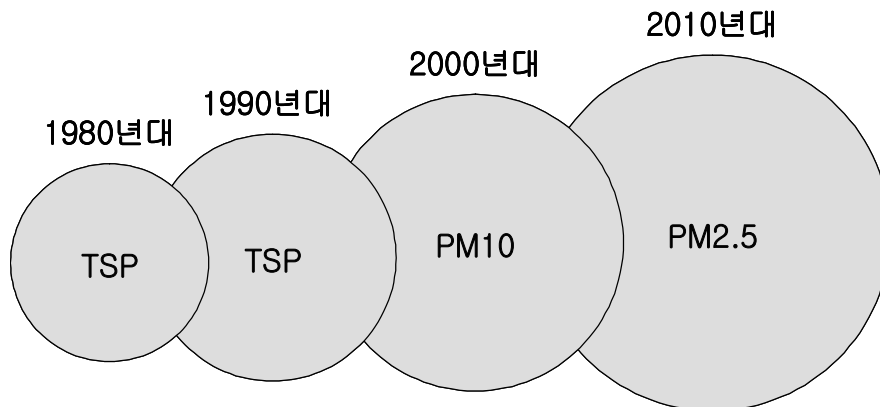
입자상 오염물질 저감기술개발

1. 기술개요

가. 기술개발의 사회적 배경

(1) 입자상 물질 배출허용기준

- ① 대기오염물질은 크게 SO_x, NO_x, 입자상 물질로 구분되어 있으나 SO_x, NO_x는 이미 상용화 수준에 도달하고 있으나 입자상 물질은 계속 규제가 강화되어 현재는 PM₁₀에서부터 향후 10년후에는 PM_{2.5}, 그리고 그 이후에는 PM_{1.0}까지 규제가 될 전망이다

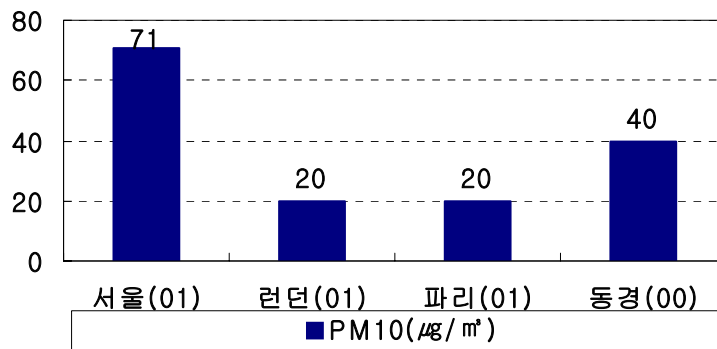


입자상 물질 배출허용 기준 변화 추이

- ② 특히 ultra fine particle로 분류되는 극미세입자상 물질에는 인체유해성이 큰 중금속이 농축되어 있어 향후 이에 대한 배출허용기준은 크게 강화될 전망이다
- ③ 입자상 물질의 현행 배출기준은 시설에 따라 약간의 차이가 있지만 평균 100mg/m³이나 2005년 이후에는 평균 50mg/m³로 강화될 전망이며 특히 입자상 물질에 포함되어 있는 카드뮴, 납, 니켈, 구리 등은 현행 10mg/m³에서 1mg/m³로 강화될 예정이다.
- ④ 입자상 물질에 의한 건강피해가 확산되면서 대기환경 개선을 요구하는 국민의 욕구 증가로 지속적인 환경규제 강화가 예상되고, 이에 따른 입자상 물질 저감기술의 수요가 크게 증가할 것으로 예상되므로 입자상 물질 저

감기술의 개발을 통한 신기술 창출이 환경개선의 대안으로 대두

- ⑤ 고효율 저비용의 입자상 물질 저감기술 개발을 토대로 국내의 환경개선은 물론 환경기술 수출국으로의 위상이 크게 높아질 것으로 기대
- ⑥ 미세먼연(PM)이 국내 대도시 공해오염의 주요 원인으로 대두되고 있으며 서울의 경우 선진국에 비해 1.7~3.5배, 그리고 OECD 국가중 최고 수준을 나타내고 있음



서울과 선진국 대도시의 PM 비교

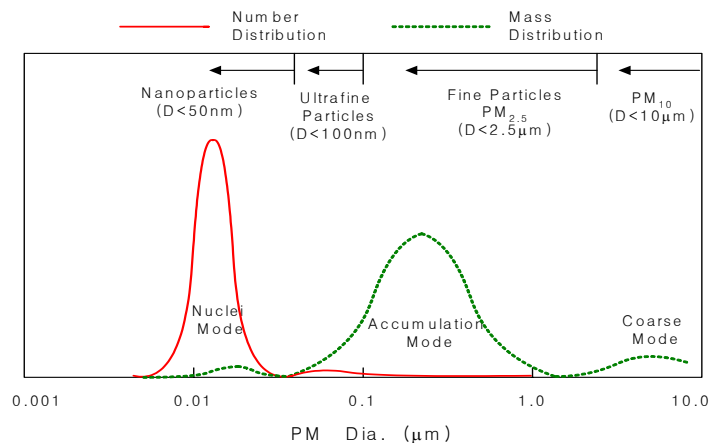
(2) 입자상 물질의 유해성

(가) 산업체 배출 입자상 물질

- ① 입자상 물질은 스모그 현상의 원인물질로써 심폐질환으로 인한 수명단축과 가시도의 감소원인으로 작용하여 건강에 직간접적인 피해를 주고 있어 오존저감과 함께 대기질 관리의 주요대상이 되고 있음
- ② 난방용 보일러, 기타공장, 발전소의 석탄 연소시 발생하는 입자상 물질과 SO₂가 지표면에 축적되어 발생하는 스모그는 1952년 런던스모그 사건으로 유명하며 이때 4000명 이상의 인명피해가 발생하였음
- ③ 영국 대기오염위원회 조사결과 및 미국 역학자료들을 분석한 자료에 의하면 입자상 물질이 대기중에 10 µg/m³ 증가할 때마다 총사망률의 사망 위험도가 약 1% 증가한다고 보고하고 있음
- ④ 입자상 물질의 가장 큰 배출원은 연료연소과정, 제철 제강과정, 폐기물 소각과정, 합금과정, 비철금속 정제과정 등 산업체임

(나) 자동차 배출 입자상 물질

- ① 1998년 CARB에서는 PM을 Toxic Air Contaminant로 지정하고 암의 원인이 될 수 있다고 발표
- ② 특히 시정장애를 동반하는 서울스모그의 원인인 PM은 경유자동차에서 대부분 발생함
- ③ 배출가스 성분별 사회적 피해비용을 보면 PM의 비중이 타 성분에 비해 수백배 이상 높음.
- ④ PM_{2.5} 이상의 굵은 PM은 코나 호흡관 등의 호흡계통의 상부에 흡착되나, nanoparticle 과 같은 미세한 PM은 폐나 기관지 등과 같은 깊숙한 호흡기 계통에 흡착되고 세포막까지 침투하는 것으로 확인되고 있음.



경유자동차 PM 분포상태

- Accumulation Mode : 30-500nm(100-200nm 집중) - 현재 PM 측정방식
- Coarse Mode : 1 μm 이상 - 전체중량의 5-20%
- 연소과정 보다는 배기관, 샘플과정에서 발생
- Nuclei Mode : 3-30nm(10-20nm 집중) - 전체중량의 10% 이내이나 수량은 90% 이상
- 인체유해도 큼
- **중량규제 ⇒ 수량규제**

(다)작업장 및 실내의 입자상 물질

- ① 최근까지 실내 미세먼지 공기청정에 대한 정책진행과 많은 노력에도 불구하고 실내환경오염에 따른 건강위해요인은 완전히 규명되지 않은 상태인 반면에 국민들의 환경에 대한 인식은 날로 증가하고 있으며, 이에 따라 국민생활환경에 대한 삶의 질 향상 욕구가 증가하고 있음
- ② 한편, 국내에서 수행된 기존의 실내환경에 관한 대부분의 연구들은 단편적이며 환경오염 발생원에 대한 추적 및 규명을 토대로 수행되었을 뿐 직접적인 인체영향의 대상이 되는 호흡기 모델 예측 등의 구체적인 연구는 미비한 실정임
- ③ 실내오염은 거주자들이 시간을 실내에서 소요한다는 점에서 상당히 심각한 건강유해성 문제를 야기 시킬 수 있으며, 일반적으로 실내대기오염원의 노출은 산업현장 등에서의 그것과는 달리 매우 낮은 농도에서 발생된다. 실제적으로 미세 먼지에 의한 사람의 노출의 약 80%는 실내에서 발생이 된다는 충격적인 자료에서 입증하듯이 실내 미세먼지에 대한 연구는 필수적이고 시급한 문제임

나. 입자상 물질 저감 핵심기술개요

(1)배가스 고도 정제기술

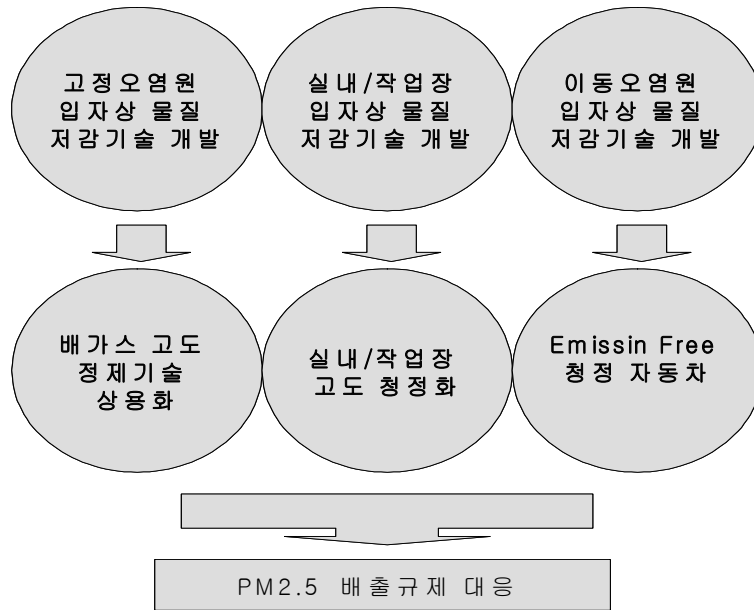
- ① 규제강화 (PM_{2.5}, PM_{1.0}) 대비 고정오염원으로부터의 제거기술
- ② 고정오염원 미세먼지 제거기술 성능향상
- ③ 저비용, 고효율 나노촉매 개발
- ④ 유해가스 및 미세분진 동시제거용 나노필터 소재개발
- ⑤ 다른 오염물질과의 동시제거기술을 위한 hybrid system 기술
(Multi-pollutant 제거를 위한 hybrid system)

(2) 무오염배출 경유자동차 기술

- ① 극미세매연 기준설정에 대비한 측정 및 특성분석
- ② PM 및 극미세매연(nanopart) 측정기술
- ③ PM 특성분석기술
- ④ PM 저감기술
- ⑤ DPF 핵심요소기술
 - ㉠ 매연과 PM 포집(trapping)을 위한 필터기술
 - ㉡ 포집된 매연을 태우는 재생(regeneration)기술
 - ㉢ 재생온도를 낮추고 재생속도를 향상시키는 촉매 및 첨가제기술
 - ㉣ 재생성능 향상을 위한 전기히터나 버너등의 보조재생기술재생시 필터가 과열되어 파손되지 않도록 하는 DPF 시스템 제어기술

(3) 작업장/실내공간 청정화 기술

- ① 작업공간 및 주거공간별 실내 미세먼지 발생원 및 측정기술
- ② 미세 고체입자상 및 미스트상의 먼지 정량화
- ③ 미세먼지의 인체 호흡기 부착 모델 및 예측 기술
- ④ 적용별 최적 공기청정장치 기술
- ⑤ 에너지 회수/절약형 공기청정 및 환기기술
- ⑥ 공기청정 및 환기장치 미세먼지 제어특성 성능평가 기술



입자상 물질 핵심 요소기술

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향

(1) 국내산업동향

(가) 국내산업동향

- ① 먼지 오염도는 1990년 이후 계속 감소하여 2000년 현재 연간 환경기준치를 모두 만족하고 있으나, 미세먼지의 농도는 전체적으로 환경기준치($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 근접하고 있어 미세먼지 저감이 매우 중요한 과제로 등장함 [출처: 환경부, 환경백서]
- ② 국내에서는 아황산가스, 이산화질소, 먼지, 오존, 일산화탄소, 납 등 6개 오염물질에 대하여 대기환경기준이 설정되어 있고, 2001년에는 아황산가스 및 납 농도기준을 강화하고 총부유먼지(TSP)를 삭제하는 대신 미세먼지의 기준을 강화하였음
- ③ 미세먼지, SO_x , NO_x , CO, VOC 등 대기오염물질로 인한 사회적 비용

이 1999년 기준 연간 최저 32조원에서 최고 60조원에 달하는 것으로 조사됨

- ④ 미세먼지 및 특정유해물질(HAPs)에 의한 2차 오염이 증가하고 있으며 인체 유해성이 증가(선진국은 이미 PM_{2.5} 규제 및 유해성 평가를 통해 규제기준을 강화하고 있음)
- ⑤ 2002년 7월부터 “수도권 대기질 개선 특별대책(시안)”을 마련하여 2012년까지 수도권 지역의 대기오염을 획기적으로 개선하기 위하여 대기환경 관리체계 혁신, 제작차의 저공해화, 자동차 운행단계에서의 오염물질 배출저감, 소각로 등의 오염원에 대한 배출 관리 강화 등의 정책을 시행 중임
- ⑥ 2004년부터 시행되는 다중이용시설의 실내공기질 관리법에 따라 기존의 냉난방 공기조화 산업으로부터 실내 공기청정 및 환기장치 산업이 활성화 되고 있음
- ⑦ 실내공기청정 시스템은 최근 국내의 주상복합빌딩, 아파트 등에서 수요가 증가하고 있으며, 국내의 내수시장의 규모는 1,500억원을 초과한다고 알려져 있으며 현재 외국으로부터 수입에 의존하고 있는 실정임

(나) 국내 산업시장

- ① 한국은행 환경오염방지지출 추계 결과에 따르면, '95년 이후 국내 환경시장은 매년 15%이상의 성장을 기록
- ② IMF 외환위기 이후 경제활동 위축에 따라 기업들의 환경오염 방지에 대한 투자지출이 크게 줄어들어 '98년중 환경오염방지지출 총규모는 전년도 대비 13.7% 감소

환경오염방지지출 추계 결과로 본 국내 환경시장 규모

구 분	1996	1999	2005	2010
오염방지지출 (억원)	72,391	78,343	171,600	344,400
전년도대비 성장률(%)	14.8	7.8	-	-
대 GDP 비율(%)	1.73	1.62	-	-

(2) 국외산업동향

(가) 국외 산업동향

- ① 향후로도 현재와 같이 대도시 인구집중현상이 심화되고, 고도의 경제성장이 계속될 것으로 예상되기 때문에 미세먼지에 의한 대기오염 피해가 확산될 것으로 우려됨

세계 주요도시의 대기오염물질별 오염도 비교

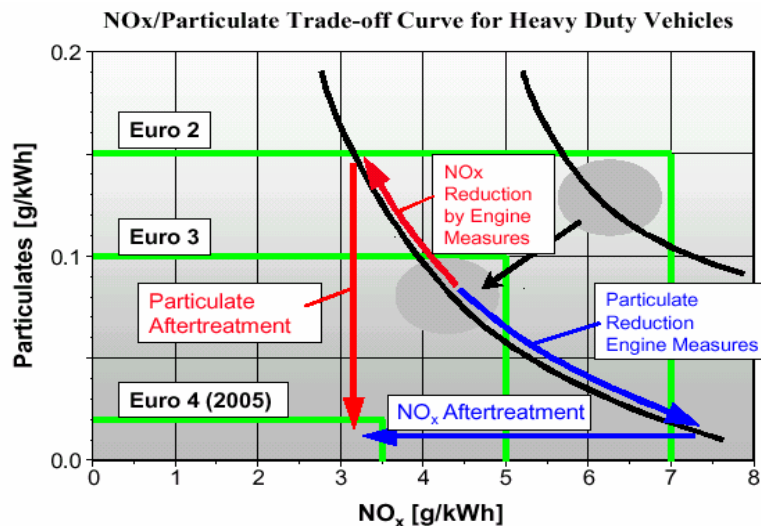
구분	서울('00)	뉴욕('97)	런던('96)	동경('96)	파리('95)	환경기준
아황산가스(ppm)	0.006	0.006	0.011	0.007	0.005	0.02
미세먼지($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65	28	14	48	25	70
이산화질소(ppm)	0.035	0.030	0.033	0.037	0.027	0.05

- ② 미국, 유럽 및 일본 등의 선진국에서는 공조기기 설치시 이러한 공기청정 및 환기장치의 설치가 의무화되어 있어 제어 시스템은 이미 상용화되어 공조 산업에서 광범위하게 적용하고 있음
- ㉠ 미국: Z-DUCT
 - ㉡ 유럽: HEATEX(스웨덴), PEMCO, ENERPAK(핀란드), HELIOS(독일)
 - ㉢ 일본: DAIKIN, TEPAL, NATIONAL, MITSUBISHI
- ③ 자동차로 인해 발생하는 미세먼지(DPM)의 저감을 위해 배기 후처리기술이 적용될 수 있는 환경을 만들어 주기위하여 미국의 환경청(EPA)에서는 2006년까지 ULSD 공급을 의무화 하였고, 2007년부터는 첨단 후처리 기술을 적용하지 않고서는 PM 및 NO_x 규제를 만족시킬 수 없도록 규제를 강화

EU 경유 중량자동차 배출규제 동향(g/kWh)

규 제	적용시기 및 범주	NOX	PM
Euro-II	1998.10	7.0	0.15
Euro-III	2000.10	5.0	0.10
Euro-IV	2005.10	3.5	0.02
Euro-V	2008.10	2.0	0.02

④ 자동차로 인해 발생되는 미세먼지(DPM)의 저감을 위해 배기 후처리기술이 적용될 수 있는 환경을 만들어 주기위하여 미국의 환경청(EPA)에서는 2006년까지 ULSD 공급을 의무화 하였고, 2007년부터는 첨단 후처리 기술을 적용하지 않고서는 PM 및 NO_x 규제를 만족시킬 수 없도록 규제를 강화



디젤차량의 NO_x · PM 규제동향과 대응방안

(나) 국외 산업시장

- ① 2015년까지 세계 33대 거대도시 중 27개가 아시아에 분포할 것으로 예상되는 만큼 이러한 대도시의 대기질 악화 문제 해결을 위해 선진기술, 정책 도입 및 환경설비 유치 등의 환경시장이 급성장 할 것으로 예상됨. (APMA: Air Pollution in the Megacities of Asia)
- ② 아시아의 산업화가 가속됨에 따라 고정오염원에 의한 배출 및 이들의 장거리 이동 문제도 동북아 및 동남아 지역의 대기오염 문제를 야기하게 되어

이에 대한 기술적 지원이 필요

- ③ 개도국의 경우 SO_x 및 PM10이 주요 오염물질이며 이 분야에서는 국내 보유기술도 수준급이므로 적극적인 상용화 추진 및 수출 전략으로 환경시장 개척이 가능
- ④ 지역별 환경산업시장을 비교해 보면 미국, 서유럽이 차지하는 비중은 줄어든 반면, 개발도상국들의 환경시장이 점점 확대되고 있으며, 특히 동남아 시장은 연간 15~20%씩의 성장을 2005년까지 계속할 것으로 전망

지역별 환경산업시장

구 분	1996	2000	2005	성장률(%)
전세계(억\$)	4,530	5,430	6,610	4
일본(억\$)	771	817	1,141	4
아시아(억\$)	189	364	908	17

- ⑤ 미국이 세계환경시장의 40%를 점유하고 있으며 일본, 독일 등 소수의 선진국가들이 분점하고 있는 상태
- ⑥ GDP에 대한 환경산업규모를 주요국가별로 비교하여 볼 때, 미국은 2.78%, 일본은 2.65%로서 우리나라의 2배가 훨씬 넘어, 우리나라의 환경산업규모가 선진국에 비해 크게 뒤쳐져 있음('94년 기준)

국내외 환경산업 시장규모(억불)

지역	연도	1999	2005	2010	연평균 증가율	
					1999-2005	2005-2010
·세 계		4,950	6,942	8,850	5.8 %	5.0%
북미		1,930	2,490	2,870	4.3 %	2.9 %
서유럽		1,490	1,920	2,210	4.3 %	2.9 %
일본		760	980	1,120	4.3 %	2.7 %
아시아		280	780	1,560	18.6 %	14.9 %
남미		110	220	350	12.2 %	9.7 %
기타		380	550	740	6.4 %	6.1 %
·국 내		60	143	287	10~15%	

- ⑦ 중국의 경우, 대기 환경 WTO 가입(2001) 및 북경올림픽(2008) 대비한 환경규제강화 등으로 환경설비 시장이 최근 5년간 100조원이 소요될 것으로 예상하고 있으며, 이중에서 배연탈황설비 시장만 18,750MW(약

10조원)에 이를 것으로 추정

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내 연구개발동향 및 전망

- ① 대기오염물질 배출량을 지역배출허용총량 범위 내로 유지하기 위하여 발전소 등 대형 배출시설에서 배출되는 질소산화물, 황산화물 및 먼지 배출량을 2000년 대비 70 % 삭감
- ② 이동오염원의 배출 원천 저감 및 배출기준 강화

* 국내에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

주관부처	사업명	사업목표	기간	연구비(억원)			비고
				정부	민간	계	
환경부	차세대핵심환경 기술개발사업	2010년 환경기술수준을 세계 5위권 진입	2001-2010	700/년	300/년	1000/년	중점전략기술 개발로 “맑고 안전한 공기 프로그램”을 선정하여 수행
환경부	대도시 대기질 관리방안 조사 연구	광화학 대기오염 및 미세먼지의 생성과정 규명과 저감대책 수립	2001-2005	7	3	10	한국대기환경 학회에서 수행
과학기술부	환경모니터링신 기술 연구센터	대기환경, 물환경, 토양/지하수 환경 모니터링 기술개발, 환경 위해성 감시기술 및 시스템 개발	1999-2007	10	5	15	한국과학재단 ERC, 광주과학기술원
환경부	차세대핵심 환경기술개발사업	산업용 및 발전용 하이브리드 집진기술	2001-2003	15	5	20	한국에너지 기술연구원
과기부	나노프론티어사업	제어장치의 핵심부품 및 복합기능 소재기술	2002-2004	15	5	20	한국에너지 기술연구원
환경부	차세대 핵심환경	실내오염관리	'01.8-'05.5	3	-	3	대학
환경부	차세대 핵심환경	나노먼지제어 및 환기	'02.6-'05.5	3	1	4	기업
환경부	차세대 핵심환경	광촉매 공기청정	'01.8-'04.7	5	1.5	6.5	대학
환경부	차세대 핵심환경	플라즈마공기청정	'01.8-'04.5	3	1	4	기업
환경부	경유차후처리장치 평가	국내보급가능성 분석	2001.12-2003.11	10	-	10	G7환경사업
과기부	경유자동차 매연 및 입자상물질저감 기술	DPF 및 NOx 저감 시스템 설계 및 평가기술개발	2002.6-2007.6	3/년	1/년	4/년	NRL 사업
환경부	경유자동차 후처리관련기술 상용화 연구	DPF 보급을 위한 상용화 개발	2004.-	35	15	50	차세대환경사업(계획)

(2) 국외 연구개발동향 및 전망

① 미국의 기술개발 동향

- ㉠ 미세먼지 및 HAPs의 인체 유해성 평가를 바탕으로 강화된 규제에 대응하는 기술개발
- ㉡ Hybrid 엔진 개발 (수소전기, 연료전기 엔진 15년 후 상용화 목표)
- ㉢ 실내공기오염문제 등 미세먼지에 의한 유해성 평가 연구 강화 (PM2.5 규제 이미 시행 중)

② 유럽의 기술개발 동향

- ㉠ 유해가스처리기술 (배연탈황기술, 선택적촉매환원법(SCR)에 의한 탈질 기술 등), 집진기술(전기집진기, 여과집진기등), 최근 수요가 많이 늘어나고 있는 휘발성유기화합물의 열처리, 흡착에 의한 다이옥신 제거기술 등에 집중
- ㉡ 지속가능한 에너지 시스템 구축을 위한 대체 차량연료 개발: 청정 도시 운송을 위한 대체연료의 통합연구 중점 (2020년 기존 가솔린/디젤 등 차량연료 20% 대체 목표)
- ㉢ 유해화학물질 관련 연구로 환경샘플저장 프로그램을 통한 오염물질 샘플링, 분석 및 생물분포 특성 등의 모니터링과 함께 새로운 분석방법의 개선 및 통일 등 유해화학물질 측정 및 관리를 위한 기초작업 수행중

③ 일본의 기술개발 동향

- ㉠ 필터, 촉매 등을 이용한 복합대기오염방지 및 소각설비 개발에 집중
- ㉡ 연료전기 개발 및 실용화에도 정부가 규제 완화 등을 통해 정책적 차원에서 지원

▶ 세계 연구개발 정책기조

- ㉠ 미국의 경우, 2002년 PM 2.5의 미세먼지에 대한 새로운 환경기준 (년간 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)을 법제화하고 이에 대한 강력한 규제를 실시 중
- ㉡ 이에 따라 미세먼지 관련 측정 및 유해성 평가, 저감기술개발 등 기술분야별로 활발한 연구개발이 진행 중에 있음
- ㉢ 미국 캘리포니아 주는 주내 1000만대의 자동차를 대상으로 매년 1\$의 세금을 걷어 저공해자동차 기술개발 등을 위한 청정기술개발

(Clean Technology Development) 프로그램을 추진

㉞ 선진국의 미세먼지 중점 연구 분야는 배출원 규명을 위한 inventory 및 배출계수 개발, 미세먼지(PM 2.5 등)측정기술 개발, 미세먼지에 의한 건강위해성 평가, 미세먼지 저감을 위한 hybrid system 개발, 저공해 및 무공해 자동차 기술개발 등으로 다양한 연구 분야에 집중 투자함.

④ 중점 연구 분야

㉠ 중력집진기·관성력 집진기는 장치의 수명연장을 위한 재료개발

㉡ 여과집진기는 내열성 폴리아미드계섬유, 사불화에틸렌(테프론), 금속섬유, 관세라믹필터 등 여과재 개발

㉢ 전기집진기는 집진판 및 방전구 신모형 개발, 최적 주파수 시스템 및 최적전장시스템 개발, 습식전기집진기 실용화 기술 개발에 집중

㉣ 두 가지 이상의 기술을 복합한 하이브리드 집진기술 개발

㉤ 전기자동차, 천연가스자동차등 청정 대체연료를 사용하는 차량개발에 주력

㉥ 우리나라의 경우 전기자동차는 개발되었으나, 축전지 사용시간 연장을 위한 기술개발이 미진하며 CNG 차량은 개발중

㉦ 디젤자동차의 NO_x, PM 저감과 연비향상 기술개발 주력

㉧ 내구성이 강한 촉매장치, 디젤용 전자 연료분사장치 등의 자동차 배출가스 제어기술 개발

㉨ 우리나라의 경우 삼원촉매장치의 촉매코팅은 이루어지고 있으나, Ceramic Substray 자체는 전량 수입

* 외국에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

국가	사업(프로그램)명	사업목표	기간	연구비(억원)	국내기술수준과의 비교분석
미국 EPA	The Particulate-Matter Research Program	미국의 미세먼지(PM) 대기질 기준(NAAQS)과 관련된 과학적 자료 획득	1998-2010	\$ 455.2 million	10개의 연구주제를 선정하여 미세먼지 관련 문제를 총체적으로 다룸
중국	환경산업발전 10·5계획	환경법규 강화, 환경산업체계 구축, 환경보호시장 운영시스템 구축, 환경산업의 요구에 맞게 경제산업 구조를 조정	2001-2006	\$8 million	-10개의 중점개발 분야를 선정하여 기술개발을 추진 -대기오염관리(집진, 자동차 배기가스)와 모니터링이 중점개발 분야로 포함됨
미국	EERC	산업용 및 발전용 하이브리드 집진기술	1998 - 2005	\$40 million	-실증단계에 있으며 multi-pollutant control system 개발중 미세먼지 제어용 핵심부품기술 -나노입자제어용 나노필터기술은 개발단계 -먼지입자 및 악취 동시제거기술은 현재 상용화 단계
독일	-	제어장치의 핵심부품 및 복합기능 소재기술	1998 - 2010	\$150 million	-촉매기능부여기술은 실증단계 -Integrated 기능부여기술 개발단계
미국	AHAM	담배연기, 일반 분진 및 화분(pollen)에 대한 성능시험을 통하여 각각에 대한 적용성을 나타내는 CADR(Clean Air Delivery Rate)을 제시	1999 - 2004	\$20 million	최근에는 PM2.5에 대한 관심이 고조되면서 최근에 들어서야 실내환경 중 PM2.5의 특성을 분석한 결과가 발표되기 시작
일본	공기청정협회	기준과 PM 종류에 따른 집진 및 청정화 성능에 대한 데이터베이스를 확보	1999 - 2006	\$100 million	국내에서 진행되고 있는 미세먼지에 대한 연구는 주로 실외 미세먼지에 대한 것이 주종을 이루고 있으며, 실내 미세먼지에 대한 연구는 실내미세먼지의 분포특성을 파악하는 연구에 국한되어 수행되어지고 있는 실정으로 실내미세먼지에 대한 연구는 초보단계
유럽	John Matthey의 CRT	DPF 기술개발은 유럽과 미국에서 활발하며 현재는 2세대 기술이 대형운행차(주로 버스)에 retrofit로 적용되고 있으며, 3세대기술은 프랑스 Peugeot사의 경유승용차에 2000년부터 적용 시작. (현재 50만대 운행)	1990 - 2010	\$1,500 million	90년대 초부터 1세대 DPF 기술개발을 시작 현재도 장치개발 지속적으로 진행
프랑스	Peugeot 사의 DPF 시스템				

다. 기술수준 비교 및 개발이 필요한 핵심기술 도출

대분류	중분류	기술 내용	국내수준	국외수준
배가스 고도정제기술	입자상 물질 저감공정	규제강화 (PM _{2.5} , PM _{1.0}) 대비 고정오염원으로부터의 제거기술	중	상
		고정오염원 미세먼지 제거기술 성능향상	중	상
	소재개발	저비용, 고효율 나노촉매 개발	중	중
		유해가스 및 미세분진 동시제거용 나노필터 소재 개발	중	중
융합기술	다른 오염물질과의 동시제거기술을 위한 hybrid system 기술	하	상	
무오염배출 경유 자동차 기술	측정기술	극미세매연 기준설정에 대비한 측정 및 특성분석	중	상
		PM 및 극미세매연(nanopart 측정기술	중	상
		PM 특성분석기술	중	상
	저감공정	PM 저감기술	중	상
DPF 핵심요소기술		중	상	
작업장/ 실내공간 청정화 기술	측정 및 저감장치	작업공간 및 주거공간별 실내 미세먼지 발생원 및 측정기술	중	상
		미세 고체입자상 및 미스트상의 먼지 정량화	중	상
		미세먼지의 인체 호흡기 부착 모델 및 예측 기술	중	중
		적용별 최적 공기청정장치 기술	중	상
		에너지 회수/절약형 공기청정 및 환기기술	중	상
		공기청정 및 환기장치 미세먼지 제어특성 성능평가 기술	중	상

(1) 배가스 고도 정제기술

(가) 입자상 물질 제거공정

- ① PM_{2.5} 규제강화 대비 기술
- ② 고정오염원 미세먼지 제거기술 성능향상

(나) 입자상 물질 제거용 소재개발 기술

- ① 저비용, 고효율 나노촉매 개발
- ② 유해가스 및 미세분진 동시제거용 나노필터 소재개발

(다) Multi-pollutants 대상 hybrid 장치기술

- ① 다른 오염물질과의 동시제거기술을 위한 hybrid system 기술
(Multi-pollutant 제거를 위한 hybrid system)

(2) 무오염배출 경유자동차 기술

(가) 자동차 배출 입자상 물질 측정 및 평가 기술

- ① 극미세매연 기준설정에 대비한 측정 및 특성분석
- ② PM 및 극미세매연(nanopart) 측정기술
- ③ PM 특성분석기술

(나) 자동차 배출 입자상 물질 제거기술

- ① PM 저감기술
- ② DPF 핵심요소기술
 - ㉠ 매연과 PM 포집(trapping)을 위한 필터기술
 - ㉡ 포집된 매연을 태우는 재생(regeneration)기술
 - ㉢ 재생온도를 낮추고 재생속도를 향상시키는 촉매 및 첨가제기술
 - ㉣ 재생성능 향상을 위한 전기히터나 버너등의 보조재생기술
 - ㉤ 재생시 필터가 과열되어 파손되지 않도록 하는 DPF 시스템 제어기술

(3) 작업장/실내공간 청정화 기술

(가) 실내오염물질 측정기술

- ① 작업공간 및 주거공간별 실내 미세먼지 발생원 및 측정기술
- ② 미세 고체입자상 및 미스트상의 먼지 정량화
- ③ 미세먼지의 인체 호흡기 부착 모델 및 예측 기술

(나) 실내오염물질 저감장치 개발 기술

- ① 적용별 최적 공기청정장치 기술
- ② 에너지 회수/절약형 공기청정 및 환기기술
- ③ 공기청정 및 환기장치 미세먼지 제어특성 성능평가 기술

라. 사업 추진의 필요성

(1) 청정한 대기환경 유지

- ① 정부의 “수도권 대기질 개선 특별대책”에 부합되는 사업으로 미세먼지에 의한 시정장애는 일반인의 대기오염 체감지표에 해당되므로, 수도권 지역의 대기오염을 획기적으로 개선하기 위해 반드시 필요
- ② 대기오염 현상은 미세먼지와 불가분의 관계에 있고, 인체의 건강에 미치는 영향을 고려하여 대기환경 연구가 미세먼지로 집중되고 있는 추세이며, 미국에서는 국가 주도로 미세먼지 연구를 집중적으로 수행
- ③ 미세먼지는 환경뿐만 아니라 정보통신, 전자, 정밀기계, 소재, 의약품, 식품, 우주 등 다양한 산업 분야에 관련되는 연구대상임
- ④ 향후 10년간 산업공정에서 유해가스상물질 및 미세분진의 배출량 50% 이상 증가할 것으로 예상
- ⑤ 규제기준을 강화, 산업공정별로 연계한 효율적인 hybrid형 고도처리기술 개발을 미흡
- ⑥ 미래의 신에너지환경에 대응한 상용화 적용기술 개발 시급
- ⑦ 경제성 및 신뢰성이 확보된 단위공정의 개발을 확보한 후, 이를 통한 융합형 시스템의 개발이 필요함
- ⑧ 유해가스 동시처리가 가능한 마이크로 채널 촉매가공기술 및 필터의 기능성 부여기술개발, 기능성 필터소재 개발 및 복합형 시스템기술 개발과 연계된 융합기술개발 필요

(2) 경유자동차에 의한 대기오염방지

- ① 대도시 대기오염 개선에 가장 중요하게 기여, 향후 경유자동차 기술경쟁력 향상에도 핵심적인 역할

- ② 핵심요소 기술들의 확립 없이 시스템 개발 경쟁력을 기대하기는 어려움.
- ③ 직접 적용, 보급함으로서 단기적이고 정책적인 사업의 성과를 얻기가 용이함.
- ④ 장기적이고 체계적인 국가지원 사업으로 연구개발을 지원함으로써 국가 과학기술 경쟁력을 향상 시키고, DPF 시스템 개발을 위한 인프라구축이 바람직함.

(3)작업장/실내공간 청정화 기술

- ① 실내공기오염 및 지하생활공간의 공기 오염문제를 체계적으로 오염도 조사 및 실내공기오염 발생원의 규명을 위한 근본대책의 수립이 필요함
- ② 국내의 미세먼지용 공기정화장치 또는 환기장치는 메이커별 전기집진이나 여과집진 또는 플라즈마 방식 등의 다양한 공기정화 장치 기술이 개발, 적용되고 있으나, 대기분진과 담배연기, 그리고 인체에서 발생하는 미스트 및 고체상의 여러 가지 형상의 물질들의 제거성능이 다르므로, 이에 대한 효과의 검증과 데이터베이스의 확립이 필수적임
- ③ 고도의 자연과학 및 엔지니어링 핵심기술의 개발을 위해 기존의 연구사업 등과 연계한 기전을 규명하고 장치의 기본 설계 기술을 개발할 필요

3. 사업의 목표

가. 최종목표

- ① 미세먼지 배출량을 2000년 대비 60% 이상 저감을 위한 기술개발
- ② PM_{2.5}, PM_{1.0} 배출규제에 대응
- ③ 고정오염원 미세먼지 배출저감 및 유해가스 동시처리를 위한 hybrid 시스템 개발
- ④ 미세먼지(PM_{2.5}) 제거용 필터 소재 개발
- ⑤ 경유자동차의 미세먼지 저감기술 확립
- ⑥ 작업공간 및 주거공간 미세먼지 저감용 공기청정 및 환기 요소 및 종합 시스템 기술 개발

나. 단계별 목표

(1) 배가스 고도정제기술

1단계	입자상 물질 저감공정	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 집진설비 성능 향상 (PM_{2.5} 대비기술) • 고온 배출가스 중 미세먼지 측정/모니터링 기술 • 실시간 기준성 미세먼지 측정기 : PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁
	소재개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고기능성 필터제조 기반 기술확보 • 촉매필터 기술 기반확보 • NOx, 다이옥신 등 유해무기성 가스상물질 제거 기반기술 확보
	융합기술	<ul style="list-style-type: none"> • 하이브리드 집진시스템 기본설계 기술 • VOC 등 유해유기성 가스상물질 동시 제거 기반 기술 확보
2단계	입자상 물질 저감공정	<ul style="list-style-type: none"> • 극미세먼지 제거기술 기반기술 확보 (PM_{1.0} 대비기술) • 입자상 물질 실시간 모니터링 기술
	소재개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유해가스 동시처리용 촉매필터 개발 • 기능성 필터기술 개발 • NOx, 다이옥신 등 유해무기성 가스상물질 제거 기술개발
	융합기술	<ul style="list-style-type: none"> • 하이브리드 집진시스템 운전특성 도출 • Multi-pollutants 대상 하이브리드 시스템 최적 조합기술 • VOC 등 유해유기성 가스상물질 동시 제거 기술개발
3단계	입자상 물질 저감공정	<ul style="list-style-type: none"> • 극미세먼지 제거기술 상용화
	소재개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유해가스 및 미세분진 동시제거용 복합기능성 필터 상용화 공정기술 개발 및 산업화
	융합기술	<ul style="list-style-type: none"> • 하이브리드 집진시스템 상용화 개발

(2) 무오염배출 경유자동차 기술

1단계	측정기술	<ul style="list-style-type: none"> 극미세매연 발생 기구규명 PM 및 극미세매연(nanoparticle) 측정기법 확립 측정장치 종류에 따른 데이터 차이 분석
	저감공정	<ul style="list-style-type: none"> 중소형차량용 복합(Passive + Active)방식 매연여과장치 개발 Pellet 필터와 전기히터를 사용하는 중간단계방식 DPF 기술 개발
2단계	측정기술	<ul style="list-style-type: none"> 극미세매연 발생 기구규명 PM 및 극미세매연(nanoparticle) 측정기법 확립 Gas to Particle 영향 인자 조사 희석터널 및 샘플링기술 개발
	저감공정	<ul style="list-style-type: none"> 중소형차량용 복합(Passive + Active)방식 매연여과장치 상용화 개발 첨가제 + 전기히터방식 DPF 기술개발
3단계	측정기술	<ul style="list-style-type: none"> 극미세매연 발생 기구규명 PM 및 극미세매연(nanoparticle) 측정기법 확립 DPF 이후의 nanoparticle 거동연구 측정장치 종류에 따른 데이터 차이 분석 Nanoparticle 측정 표준화 인자검토
	저감공정	<ul style="list-style-type: none"> 중소형차량용 복합(Passive + Active)방식 매연여과장치 상용화 개발 엔진제어, 전기히터, 버너 조합 DPF 기술개발

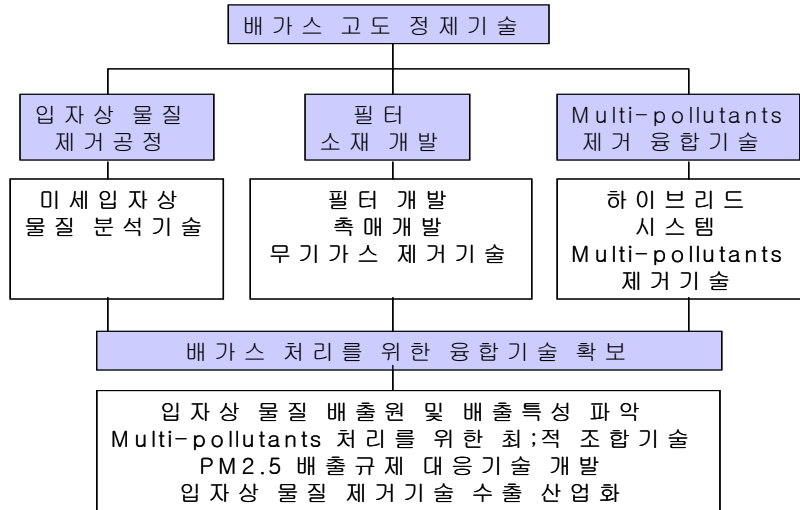
(3) 작업장/실내공간 청정화 기술

1단계	저감장치	<ul style="list-style-type: none"> 실내 미세먼지 저감용 고효율 공기청정 및 환기 요소기술 개발 국내외 시스템의 특성 및 장단점 비교 분석 하전부, 집진부 구성 및 배열 설계 및 모델 제작 열교환부 형상, 구조에 대한 전열 및 집진특성 실험 여과 및 열교환 소재개발 컴팩트화 요소 개발 실험 미스트 포집,회수 장치 개발
2단계	저감장치	<ul style="list-style-type: none"> 작업장 및 거주공간 적용별 실내 미세먼지 종합제어 시스템 개발 온습도 조건별 전열 및 공기청정 효율, 성능 시험 작업장, 거주공간 적용별 최적설계 요소 기술 도출
3단계	저감장치	<ul style="list-style-type: none"> 작업장 및 거주공간 적용별 실내 미세먼지 종합제어 시스템 상용화 개발 대상별 에너지 절약화 Scale Up 실기 적용 기술 개발 실기공정 연속적용 및 평가

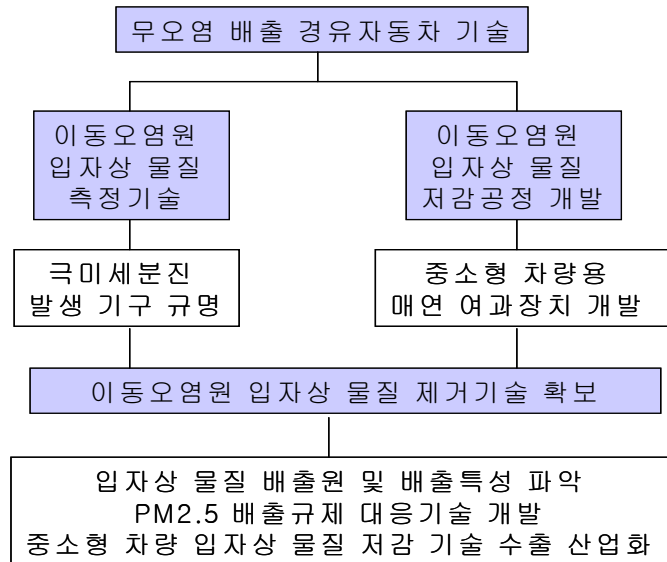
4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업의 추진체계

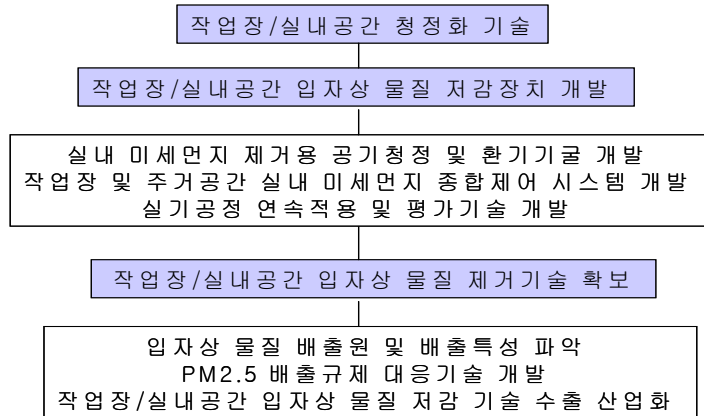
(1) 배가스 고도정제기술



(2) 무오염배출 경유자동차 기술

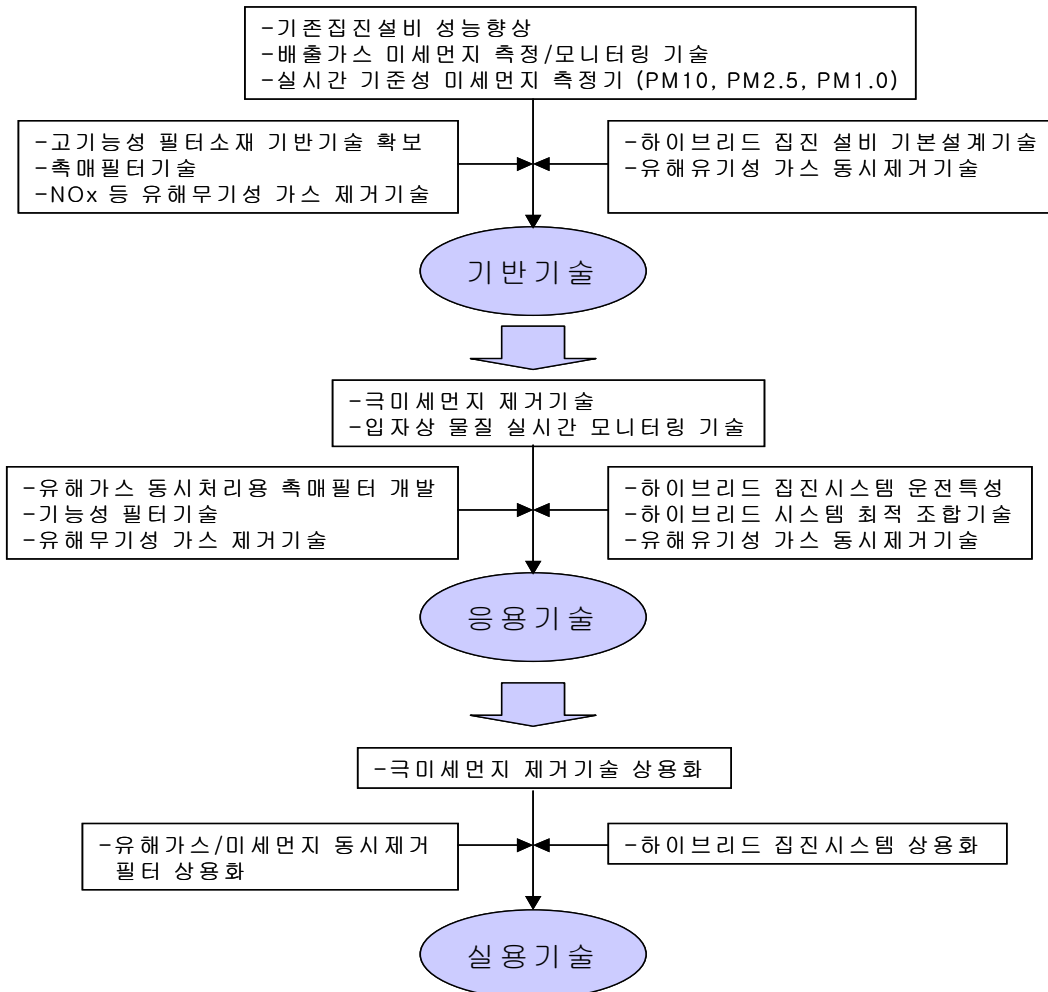


(3) 작업장/실내공간 청정화 기술

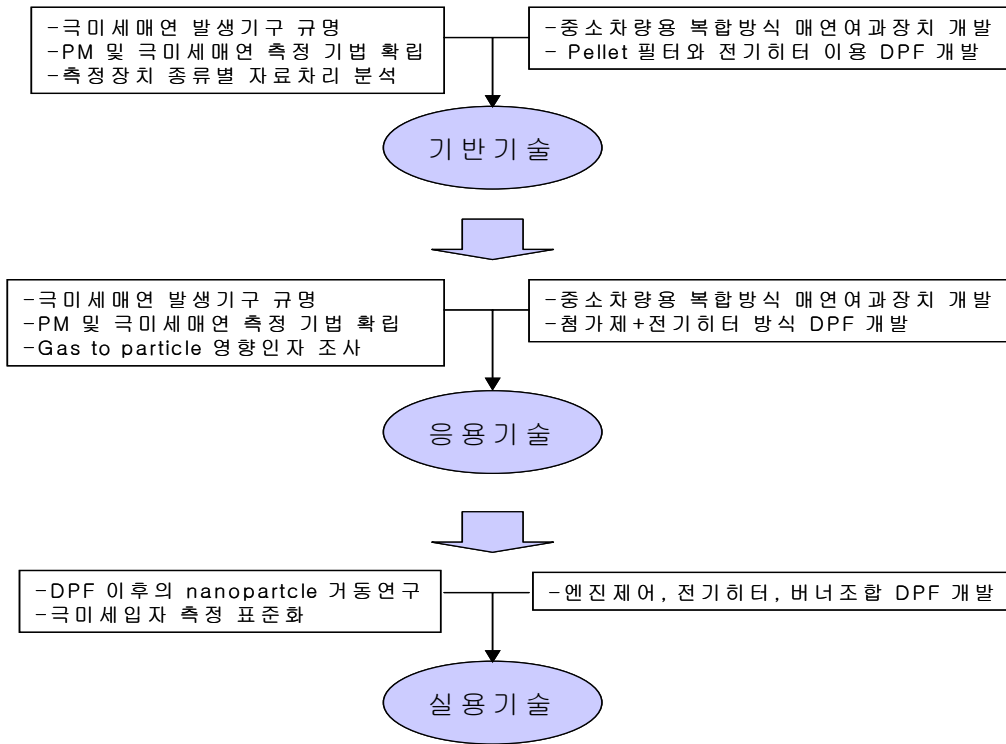


나. 세부사업 추진체계

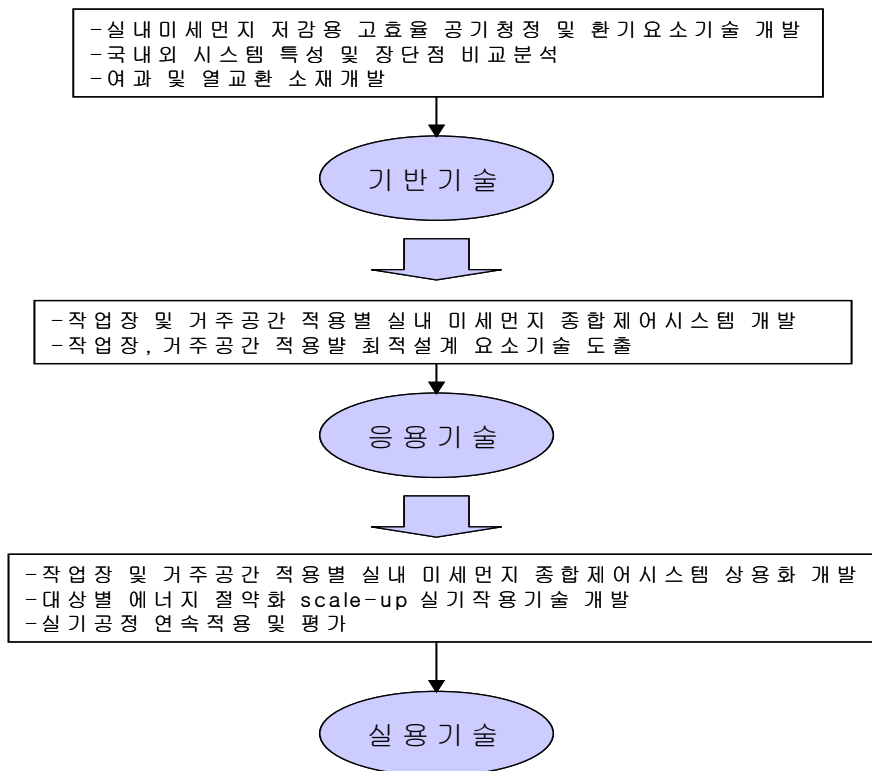
(1) 배가스 고도정제기술



(2) 무오염배출 경유자동차 기술



(3) 작업장/실내공간 청정화 기술



5. 소요예산/재원 규모

가. 핵심요소기술별 소요예산

대분류	중분류	기술 내용	소요예산 (억원)	
배가스 고도 정제기술	입자상 물질 저감공정	고온 배출가스 중 입자상 물질 측정/모니터링 기술	20	
		고정오염원 입자상 물질 배출특성 평가지표 표준화	10	
		고정오염원 미세먼지 제거기술 성능향상	25	
		규제강화 (PM _{2.5} , PM _{1.0}) 대비 고정오염원으로부터의 입자상 물질 제거기술	45	
		소 계	100	
	소재개발	저비용, 고효율 나노촉매 개발	30	
		유해가스 및 미세분진 동시제거용 나노필터 소재개발	40	
		고내구성 미세다공질 표면막 연속공정 기술 개발	30	
		소 계	100	
	융합기술	Multi-pollutants 동시제거기술을 위한 hybrid system 기술	175	
		복합기능 부여기술 개발	100	
		소 계	275	
	총 계			475
	무오염 배출 경유 자동차 기술	측정기술	극미세매연 기준설정예 대비한 측정 및 특성분석	20
			입자상 물질 및 극미세매연(nanoparticle) 측정기술	20
입자상 물질 특성분석기술			20	
소 계			60	
저감공정		입자상 물질 저감기술	50	
		종류별 DPF 핵심요소기술	75	
		DPF 상용화 기술 개발	140	
		소 계	265	
총 계			325	
작업장/ 실내공간 청정화 기술	저감장치	실내 입자상 물질 저감용 공기청정 및 환기요소기술 개발	50	
		여과 및 열교환 소재개발	40	
		작업장 및 거주공간 적용별 실내 입자상 물질 종합제어시스템 개발	100	
		작업장 및 거주공간 적용별 최적설계 요소기술 개발	65	
		소 계	255	
총 계			255	

나. 연도별 소요예산

대분류	중분류	계	연도별 소요예산 (년차, 억원)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
배가스 고도정제 기술	제거공정	100	5	7	8	10	10	10	10	10	15	15
	소재개발	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	융합기술	255	20	20	20	20	25	30	30	30	30	30
	소 계	475	35	37	38	30	35	40	50	50	55	55
무오염 배출 경유자동차 기술	측정기술	60	5	5	5	5	5	5	7	7	8	8
	저감공정	265	10	15	15	20	30	30	30	35	40	40
	소 계	325	15	15	20	25	35	35	37	42	48	48
작업장/ 실내공간 청정화 기술	측정 및 저감공정	255	20	20	20	25	25	25	30	30	30	30
	소 계	255	20	20	20	25	25	25	30	30	30	30
총 계		1,055	85	85	85	100	100	100	125	125	125	125

6. 기대효과

(1) 배가스 고도 정제기술

- ① 하이브리드 집진장치 및 필터 소재 개발 등 고정오염원 미세먼지 제거기술
과 관련한 국산 기술 확보 및 수출 산업화
- ② 고정오염원 미세먼지 배출량 60% 이상 감소효과로 정온한 생활환경 구현

(2) 무오염 배출 경유자동차 기술

- ① DPF 국내시장 활성화에 의한 국내외 신규부품시장 창출 :
 - ㉠ 내수시장 Retrofit 8천억원/년, 제작차 5천억/년
 - ㉡ 수출 시장 5조원/년
- ② 경유자동차의 해외수출 기여 : 경유자동차(승용, RV)에 DPF 장착으로 환
경기술 경쟁력 확립과 수출 증가예상
- ③ 대기환경 개선 : 국내 대도시 공기오염(특히 시정장애를 동반하는 서울 스

모그 현상)의 획기적 개선

- ④ PM 및 nanoparticle 기준 및 측정방법 설정에 활용 : 국제 콘소시움 (PMP)에 참여
- ⑤ DPF 시스템 관련 주요 설계기준 제시
 - ㉠ 차량의 사양, 엔진의 종류, 운전여건(지역별)에 따른 DPF 장치의 설계 기준 제시

(3) 작업장/실내공간 청정화기술

- ① 작업장과 다중이용시설인 아파트, 학원 및 백화점 등에서의 오염 미세입자 PM 종류 및 특성에 따른 공기정화기의 적용효과를 정량화하고, 설치대상의 용적과 환기량 등에 따른 최적의 설치 및 관리기준을 설정하여, 궁극적으로 쾌적한 실내환경을 달성하는데 기여
- ② 이러한 정량효과 평가 및 설계기준 설정에 관한 연구결과들은 공기정화기에 대한 신뢰성 확보는 물론 실내오염에 대한 국민의식을 고취시켜 쾌적한 실내환경조성과 국민 건강 향상에 기여함은 물론, 국내 1,500억원/년 및 15% 이상의 성장률을 보이는 실내공기정화 산업의 활성화에 기여
- ③ 또한 이에 따른 국내 메이커들의 관련기술의 개발로 국내시장에서의 수입 대체는 물론 동남아, 중국 등의 개발도상국은 물론, 세계적인 시장을 보유하고 있는 일본, 미국 등의 해외시장으로의 수출 경쟁력을 강화시키는데 결정적인 기여를 할 수 있을 것으로 판단됨

7. 부처별 역할분담

과학기술부	
	<ul style="list-style-type: none"> • 경우 장기계획에 의한 핵심원천기술을 확보하여 관련 기술/제품을 환경 분야에 전파, 보급 • 미래 수요에 대비하여 다양한 배출특성을 파악하는데 필요한 기반기술 • 저감용 과학기술 핵심 요소 및 엔지니어링 장치설계 및 설치 기술 개발 • 시스템기술 개발을 위해 중요한 인프라기술인 핵심요소기술과 측정 및 분석
환경부	<ul style="list-style-type: none"> • 거시적이고 당면한 핵심환경문제 • 대기환경 규제대상 조건에 부합되어 측정망 등에 널리 사용되는 일반 측정장비 • 미세먼지 유해성 및 인체영향, 규제 기준치 및 정책 연구 • 미세먼지 오염 관련 시스템 개발과 보급사업
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> • 장치 표준화, 규격화 및 적용 기준 연구 • 미세먼지 오염 관련 시스템 개발과 보급사업

8. 기타

가. 사업의 성공 가능성

- ① 국내 대기환경 분야 전문인력 등 infra가 많이 구축되어 있음
- ② 기본연구가 충실하고 선진국 기술에 대한 benchmarking이 잘되어 있어 선택과 집중 가능하며 선진국 수준 조기 달성 가능

나. 지원필요사항

(1) 정부사업과 연계 필요

- ① 정부기관의 성격에 맞추어 요소기술의 개발(과기부)에서부터 에너지 절약 관련 환경기술(산자부), 실제 상용기술(환경부) 등 정부의 일관된 추진정책에 맞추어 산발적 연구개발이 아닌 집중적 개발 필요

- ② 각 지방 공단의 대기환경 문제 개선을 위하여 중앙정부의 지원을 바탕으로 지역자치단체, 지방 기관과의 연계 개발이 필요함

(2) 국제동등사업과의 연계

- ① 기술별 대상국가의 차별화 정책 필요
- ② 기술우위 분야(집진기술 등)는 개발도상국가와의 연계를 통해 수출 산업화를 추진하며 소재 및 촉매, hybrid system 등 기술습득이 필요한 분야는 국제공동 사업으로 추진

9. 참고문헌

1. 환경부, 환경백서 (2000)
2. 대기환경연보, 환경부 (2001)
3. 환경부, 한국환경연감 (1997)
4. 한국은행, 1999년중 환경오염방지지출 추계결과(2000.10)
5. Environmental Business Journal & SRI Consulting('96)
6. U.S. Climate Action Plan 2002 (2002. 5.)
7. 국가기술지도, 과학기술부 (2002)
8. 공공기술연구회, 에너지기술분야 미래첨단과학기술 기획조사 연구 (2003.8)
9. 과기부, 국제기술현력지도 (2003.6)
10. 환경부, 차세대 핵심환경기술개발 10개년 종합계획 수립 (2002. 7)
11. 특허청, 2001 신기술동향조사보고서, 대기오염방지기술 (2001.11)
12. 환경정의시민연대, 대기오염정책과 에너지정책 (2000.12)
13. KISTEP, 2000에너지환경기술 개발동향 (2000)
14. 환경부, 대기환경보전법 시행규칙 (2000. 10)

유해물질 제어 고도 수처리 기술 개발

1. 기술개요

가. 개요

국내 수질기준이 지속적으로 강화되면서 기존 수질 항목의 경우 농도기준이 강화되고 있고 또한 그림 1과 같이 새로운 수질항목, 주로 미량으로 존재 하지만 인체에 유해한 화학물질이 첨가되어 기존의 수처리 방법의 변화가 요구되고 있다.

따라서 본 사업에서는 이러한 유해화학물질에 대한 새로운 수질기준을 만족시키기 위해서는 음용수를 비롯하여 하수 및 폐수처리를 위한 기존 처리방식의 효율을 향상시키거나 새로운 수질항목의 기준을 만족시키기 위한 수처리 소재의 개발 및 수처리 소재와 하이브리드화된 생물학적 처리 공정 기술 개발을 포함한다.

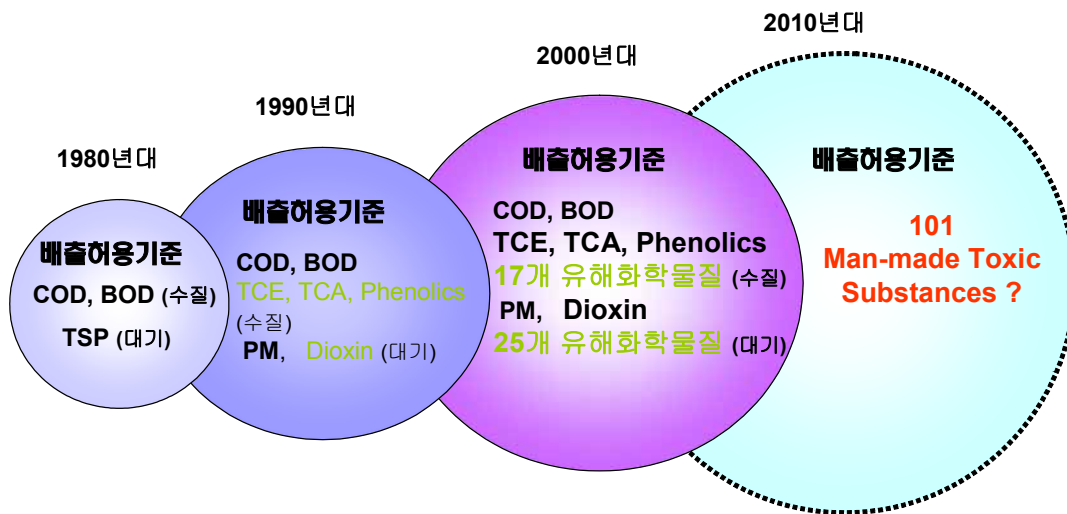


그림 1. 국내 환경기준 변화 추이

나. 핵심기술

(1) 유해물질 제어 수처리 소재

- 유해물질의 분리 또는 처리를 위하여 응집, 흡착 등 물리화학적인 분해/

제거 공정에 사용되는 환경친화적 응집제 및 흡착제 개발.

- 미생물이 부착될 수 있는 면적을 극대화함으로써 유해물질 처리의 효율을 증대시킬 수 있으며 처리설비의 규모를 줄일 수 있는 고기능/고효율성 미생물 담체 개발.
- 생물에 대해 독성을 가지고 있으며 난분해성인 유해물질을 처리하기 위한 고급산화공정 (AOP)에 사용되는 내구성과 친환경성의 촉매제, 산화제, UV-오존 발생기, 전자선 발생기 등과 이의 성능 증대에 필요한 소재 개발.
- 침전지를 사용하지 않고 부유물질을 효과적으로 제거할 수 있으며 처리수질의 안정적 확보를 가능하게 하는 막 분리에 필요한 고기능성 막 재료 및 스페이서와 모듈 소재 개발
- 최근 기존 정수공정에서의 바이러스 처리여부가 이슈화 되면서 병원성 미생물 과 같은 생물학적 수질 항목의 도입이 예상되고 있으며 이를 해결하기 위한 기존 정수공정의 효율 향상을 위한 소재 개발.
- 처리된 하·폐수를 재이용 목적에 적합한 수질로 재처리하기 위하여 잔류하는 유기물질과 무기물질을 제거하기 위한 소재 개발.

(2) 유해물질 제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술

- 방류수에 대한 질소와 인에 대한 규제가 확대/강화되고 있고 특정 유해유기물질이 수질기준에 포함될 것으로 예상되면서 이들을 처리하기 위한 기존 생물학적 처리기술의 효율 향상 (Retrofit 기술) 및 이를 보완하기 위한 물리화학적 기술과 하이브리드화된 생물학적 처리기술 개발.
- 하·폐수처리과정에서 발생하는 슬러지를 최소화할 수 있도록 기존 처리공정을 보완하는 기술 및 발생된 슬러지를 처리시스템 내에서 재활용하여 시스템 외부로 배출하지 않는 슬러지 무배출형 처리기술 개발.

- 하·폐수의 처리시스템 및 먹는물 생산공정의 무인화 및 자동화를 통하여 처리효율 향상을 위한 실시간에 수질을 감시할 수 있는 센서 및 장치 개발.
- 국내 음용수원이 가지고 있는 미량 유기물질은 기존의 정수과정에서 제거되지 않을 뿐 아니라 정수과정에서 소독부산물을 생성하거나 냄새와 맛을 유발하기 때문에 이를 해결할 수 있는 생물학적 하이브리드 처리기술 개발.

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 개발하고자 하는 기술과 관련된 국내외 산업 동향(현황 및 전망)

- 세계환경개발위원회가 제안한 ‘지속가능한 발전’이라는 개념을 실천하기 위해 1992년 채택한 의제 21의 18장에 담수자원의 수질과 공급의 보호를 위한 수자원의 개발, 관리, 이용을 위한 통합적인 접근의 적용을 제안하여 전세계적으로 수자원의 보호 및 지속가능한 보전에 관심을 기울이기 시작함.
- 지속가능한 수자원 개발과 관리를 위하여 물이 순환형 자원인 것을 인식하고 물이 갖는 다면적인 기능이 손상하지 않도록 인간의 여러 가지 활동과 물순환계와의 조화를 고려하여 물질을 포함한 순환체계의 복원을 추구해야 함.
- 미국의 공병단은 지속가능한 수자원 관리 원칙으로서 경제적/환경적 관점에서 산업활동과 물시스템의 조화를 추진하고 있으며, 미국 환경청은 물사용의 효율성 증대를 위한 기술개발 등을 추진하고 있음.
- 국내의 경우, 2001년부터 ‘수자원장기종합계획’을 통해 ‘건전한 물활용과 안전하고 친근한 물환경 조성’을 비전으로 설정하여 정책을 추진중임.

(1) 유해물질 제어 수처리 소재 개발

- 미국, 일본, 서유럽과 같은 환경선진국에서는 모래여과 공정이 미량유기물질의 처리에 대응하지 못하는 것을 보완하기 위해 오존과 활성탄, 막 등을 이용한 새로운 정수기술의 개발과 보급에 역량을 기울이고 있고, 최근에는 이온교환수지를 이용하여 질산성 질소와 중금속등의 무기물질의 제거를 위해 연구가 진행 중임.
- 미국의 경우, 안전하고 깨끗한 먹는 물을 확보하기 위해 상수원의 적극적 관리를 위한 독성물질 예경보시스템 관련산업과 환경청의 주도하에 마시는 물의 안전성확보를 위한 대체소독기술과 정수장 진단 및 효율적 개선기술을 연구 중이며, 캘리포니아 로스엔젤레스시를 중심으로 오존과 고도산화기술, 여과와 활성탄 흡착, 막분리기술과 함께 배급수 관리와 관련된 산업이 활발하게 발전되고 있음.
- 또한 미국 플로리다의 경우, 지하수의 염소이온 농도가 증가 (20 → 100 mg/l) 하는 것에 대응하기 위해 지하수의 상수처리 시 TCE, PCE 등의 VOCs 제거 및 THMs 생성억제기술을 개발하고 있음.
- 미량 유기물질의 제거를 위해서는 활성탄 시설을 최적처리기술로 설정하고 현장에 적용하고 있으며, 1980년도 초부터 생물활성탄에 대한 관심을 보이기 시작하여 이에 대한 많은 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 Cryptosporidium, Giardia의 살균이 어려울 뿐 아니라 THM 발생의 문제를 가진 염소소독을 대체하기 위한 오존의 활용과 산화효율을 증대시키는 방법인 고도산화기술에 대한 연구가 이루어지고 있고 살균으로 인한 부산물질의제어를 위해 이들의 분석 및 처리기법에 대한 관심이 증대되고 있음.
- 일본에서는 수도자원으로 지정된 호소, 댐의 부영양화에 따른 맛, 냄새 유발물질, 유기염소화합물, 잔류농약 등의 발생으로 인해 수도원수의 수질악화가 더욱 심화되자 이에 대한 대처방안으로 1970년대부터 정수의 고도정

수처리에 대한 검토가 이루어졌으며 1992년 수도법을 개정하면서 수질기준의 대폭적인 수정으로 오염물질에 대한 규제를 강화하였고, 대부분 지자체에서 이의 대응을 위한 고도정수처리기술의 연구가 활발히 진행되고 있기 때문에 실용화 속도가 빠른특징을 나타내고 있고 특히, 인구 10만 이상의 정수장 178개소 중에서 63개소가 오존과 활성탄을 이용한 정수시설을 갖추고 있음.

- 또한 일본에서는 미량 유해화학물질에 의한 수질오염문제와 안전한 음료수에 대한 국민적 요구에 부응하기 위하여 21세기에 필요한 새로운 기능의 정수시설을 계획하고 있으며, 후생성, 건설교통성의 지원 하에 고효율 정수 기술개발을 위한 ACT21, MAC21, FLUSH 프로젝트 등이 수행되면서 보다 높은 오염물질 제거성능, 소형화, 신뢰성 향상, 에너지 절감 및 자원 절약, 사업비 절감 등과 같은 기술을 이용하는 정수산업이 발전하고 있음.
- 유럽에서는 오존을 약 100년전부터 수처리에 활용하고 있고, 고도산화기술에도 많은 관심을 보이고 있으며 오존처리시설은 1990년에 1,000여개소의 정수장에 도입되었고 미국의 경우도 1995년 106개소의 정수장에서 가동 중이며 계속 증가 추세에 있음.
- 영국은 런던의 상수원 확보 및 공급의 안정화를 위해 강변지하수 취수 및 도시하수 처리수 재충전 사업과 기전 저수지의 준설, 증대 및 신규저수지 개발, 그리고 취수 후 일정기간 산화지에 의한 자연정수를 시도하고 있음.
- 독일의 경우, 표준 정수공정이 아닌 완속여과기법, 강속여과기법 등의 철저한 자연처리법을 이용하고 있으며 살균 시 염소를 사용하지 않는 것이 특징임.
- 최근 정수처리에서 가장 많이 검토되고 있는 막여과 공정은 구미 각국에서 1960년대 해수의 담수화를 목적으로 도입된 이후 정수처리장에 최근 적용하고있는 추세이며 1980년대 이후 호주 등에서 상업적인 plant가 설치되어 운영 중이며 일본에서는 MAC21 계획 등을 통해 전략적인 연구를 추

진되었음.

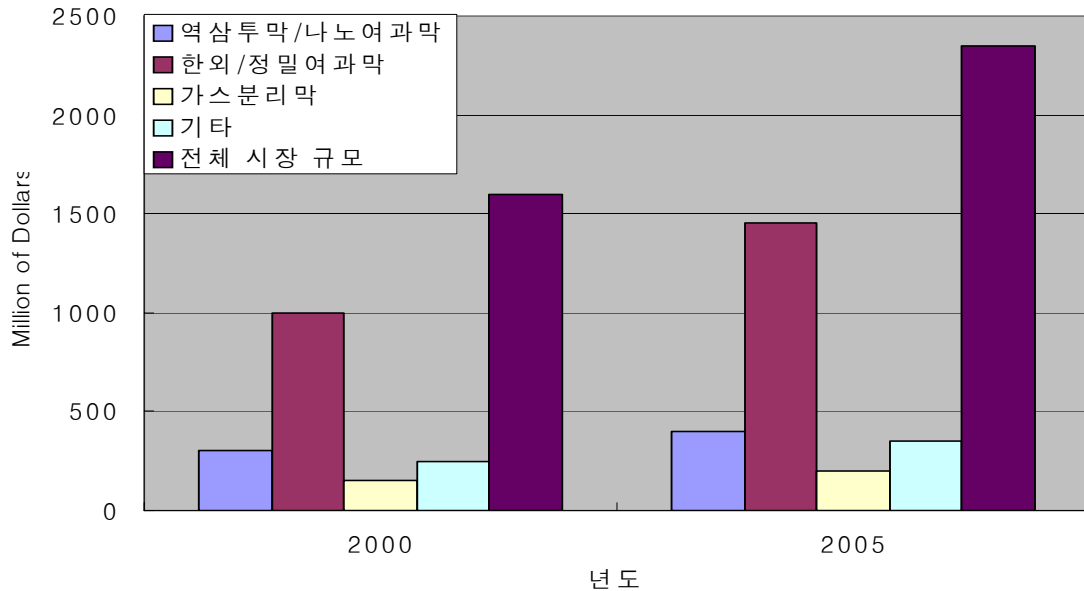


그림 3. 세계 막 분리 시장 규모

- 다국적 기업인 CH₂M Hill, 데그레몽, 비벤디 등 유수의 수처리관련 업체에서 자체 개발에 위한 정수 공법개발, 부품 및 장비개발이 이루어지고 있으며 오존과 활성탄, 막공정 등 고도정수처리기술의 전분야와 오존/AOP, UV에 의한 새로운 소독 장치의 개발 및 실용화가 이루어지고 있음.
- 먹는 물 관련 산업의 세계시장은 정수기술분야가 현재 15조원이고, 2010년 175조원으로 예상되며, 배·급수관망관리기술의 시장규모는 1996년 13조원이고 2006년에는 130조원으로 증가할 것으로 예상됨¹⁾.
- 국내에서 정수기술에 대한 연구가 시작된 시기는 1990년대 초반부터 몇몇 기관에서 제한적으로 수행되었고 본격적이며 포괄적으로 연구가 수행된 것은 1992년 후반부터 2001년까지의 정부 주도하에 수행된 ‘G7 환경공학 기술개발사업’의 일환으로 수행된 연구들이라 할 수 있음.
- 그러나 외국기술의 모방수준이 아닌 순수 우리기술에 의하여 경쟁력을 갖출수

있는 상태에서 비교우위를 점할 수 있는 정수공법, 정수관련 부품, 소재, 설비 및 유지관리를 위한 핵심기술의 개발에 역량을 집중하여야하나, 기술개발에 대한 실질적인 투자가 미흡한 실정임.

- 최근 유해물질의 상수원 유입으로 먹는 물에 대한 국민의 불신이 더욱 높아지고 있기 때문에 미량의 유, 무기 오염물질의 실태조사와 처리를 위한 기초연구도 필요한 실정임.
- 그동안 전반적인 정밀기기, 설비의 기술력 부족으로 수입의존도가 높았던 상수도관련 부품, 장비들이 최근 정수산업의 중요성이 부각되면서 기존정수공정의 개량과 고도정수공법에 필요한 부품 및 장비의 연구개발이 진행 중임.
- 국내의 먹는 물 관련 산업중 음용수분야는 현재 시장규모가 5,000억원, 2011년 예상되는 시장규모는 3조원으로 추정되며, 배·급수관망 관리기술의 시장규모는 현재 5,000억원이고, 2011년에는 약 2조원 정도로 예상된다.
- 1980년대 후반부터 센서 및 계측장비에 대한 국산화 및 기술개발이 이루어져 왔으나, 원천기술의 부재, 핵심 부품과 소재 그리고 가공산업의 낙후, 개발기업의 영세성 등으로 인해 큰 성장을 이루지 못하고 대부분 선진국 제품에 의존하고 있는 실정이다.
- 상수도관망의 효율적인 유지관리시스템은 사고 및 장애를 야기하는 노후관의 갱생 및 교체를 주요 목적으로 하며, 이를 위해 유지관리 정보시스템을 구축할 필요가 있고, 국내 상수도관망의 경우 계량기 검침시스템 등 상수도사업의 경영부분에 대한 정보시스템은 일부 도입되어 활용되고 있음.

(2) 유해물질제어 생물처리 하이브리드 고도처리 기술 개발

- 미국, 일본, 서유럽과 같은 환경선진국에서는 하수처리장의 경우, 처리수에 의한 부영양화 방지를 위해 질소, 인의 제거를 위한 고도처리기술이 실용화

되었으며, 생물공학적인 기법을 이용한 하·폐수처리기술, 폐수를 배출하지 않는 무방류시스템 개발에 대한 실용화 연구가 진행중임.

○ 미국에서는 하·폐수처리를 위해 오염물질을 원천적으로 감량하거나 회수하여 유해물질을 완전 처리하는 무배출 시스템을 추구하고 있음.

○ 최근에는 기존 기술에 전과정 평가기법을 도입하여 평가 후 환경친화적인 기술로 향상시키는 전략을 추진하고 있으며, 예를 들어 표준 활성 슬러지법에 전과정 평가기법을 도입하여 폭기 장치를 개선하는 사례가 보고 되고 있음.

표 1. 일본에서의 고도처리의 대상 및 처리방법

처리대상		관련 수질항목	처리방식	제거율 (%)			
영양염류	질소	NH ₄ ⁺ -N, NO ₂ ⁻ -N, NO ₃ ⁻ -N, T-N	순환식 소화탈질법	T-N (65~75)			
			소화 탈질법	T-N (75~90)			
			Step 유입식 다단 소화 탈질법	T-N (75~85)			
			고도처리 산화 처리법	T-N (85~90)			
	인	PO ₄ ³⁻ -P, T-P	혐기-무산소-호기법	T-N (65~75) T-P (75~85)			
			응집제 병용형 순환식 소화 탈질법	T-N (65~75) T-P (80~90)			
			응집제 병용형 소화 탈질법	T-N (75~90) T-P (80~90)			
			응집제 첨가 활성 오니법	T-P (80~90)			
			혐기-호기 활성 오니법	T-P (75~95)			
			결정 석출 탈인법	T-P (90)			
			흡착 탈인법	T-P (80~90)			
			유기물	부유성	SS	고속 여과법	-
						응집 침전법	-
						생물막 여과법	-
용해성	BOD, COD	막분리법		-			
		오존 산화법		-			
		접촉 산화법		-			
		활성탄 흡착법		-			

- 유럽에서는 생물학적 폐수처리기술로 막분리 생물반응기, 미생물 충전탑, 초심층 폭기법, UHDE Process 등의 개발, 물리화학적 폐수처리기술로 고도산화법, 전자선 조사법과 같은 산화 기술 등의 현장 적용을 통해서 소요 부지를 절감할 수 있는 방향으로 기술개발을 추진하고 있음.
- 일본의 경우, 자연 생태계를 이용한 처리기술개발에 중점을 두어 처리공정의 간소화와 경제성 확보에 중점을 두어 기술개발하고 있으며, 세계수준의 BT 기술을 이용하여 폐수 처리에 효과적인 새로운 미생물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음. 산업체 전반적으로 관련되는 기존 폐수처리공정을 업종 특성에 맞춰 활용 가능한 요소기술로 자립화할 수 있도록 유도하고 know-how성 요소기술 등을 자체적으로 개발하고 있음.
- 국내의 경우 90년대 중반부터 하수에서 질소와 인을 제거하기 위한 생물학적 고도처리기술 개발이 활발히 추진되어 현재 30개 이상의 기술들이 상용화되어 있음.
- 폐수의 고도처리의 경우 2차처리인 생물학적 처리수의 잔류 유기오염물질을 제거하기 위하여 오존, 과산화수소, UV, 전기화학적 산화, 초임계 유체를 이용한 산화 등을 이용하는 고도산화기술들에 대한 기술개발이 이루어져 왔으나 상용화 실적은 아직 미흡한 실정임.
- 삼성경제연구소 예측에 의하면 우리나라 환경산업을 환경서비스업, 환경자원 이용업, 환경설비업으로 나누었을 때, 1999년 현재 시장규모는 약 9조 원이고 연평균 13%씩 성장하여 2005년에는 약 19조원에 이를 것으로 예상됨¹⁾.
- 미국은 물재이용 분야에서 가장 큰 시장으로 90년에는 폐수 발생량의 2.6% 정도를 재이용하였으나 매년 빠르게 증가하고 있으며 2000년에는 약 1,800만m³/일을 재이용하고 있음.

- 미국 Florida 주의 경우 생활하수 발생량의 30%가 재이용되고 있는데, 38%는조경용수, 30%는 농업용수, 14%는 지하수 재충전, 6%는 산업용수로 재이용되고 있음. 향후 재이용수 생산 시스템의 경제성을 제고하기 위하여 수처리기술들에 대한 연구가 활발히 진행중임.
- EPA는 92년에 물재이용을 위한 처리방법 및 수질기준을 설정한 이후로 음용수를 제외하고 농업용수, 공업용수 등의 다양한 목적을 위한 물재이용 사업에 대규모 투자가 이루어져 왔으며 그 규모는 계속해서 증가하고 있음. 최근에는 음용수로 재이용하는 방안도 고려되고 있어서 관련 기술 개발에 투자가 예상되고 있음.
- 이스라엘은 연간 전체 용수 사용량의 30%에 해당하는 1억4천만 m^3 의 용수를 재이용하고 있으며 7.5%는 지하수 충전으로 사용하고 있음.
- 프랑스 파리에서는 발생하는 폐수를 처리하여 근교의 종경지에서 4,000만 m^3 /년의 물을 과일, 채소 등을 위한 농업용수로 활용하고 있음.

표 2. 국내 하수처리장의 고도처리공정 적용사례 (1999년 12월)

처리장명	고도처리공정	처리용량 (m^3 /일)
대구시 북부 하수처리장	P/L	57,000
대구시 달서천 하수처리장	4 Stage-BNR	400,000
대구시 신천 하수처리장	A ₂ O	680,000
부산시 강동 하수처리장	SBR	15,000
부산시 녹산 하수처리장	MLE	160,000
부산시 신호 하수처리장	A ₂ O+순산소	24,000
양평 용문 하수처리장	P/L	1,300
남양주 화도 하수처리장	DNR	10,000
충주시 수안보 하수처리장	RBC+모래여과	4,800
경주 하수처리장	AO	5,000
연양 하수처리장	DNR	60,000
오산 하수처리장	B3	57,000
성남 하수처리장	A ₂ O	40,000
굴포천 하수처리장	4 Stage-BNR	150,000
홍천 하수처리장	NAP	11,000
김해 진영 하수처리장	VLP	12,000
통영 하수처리장	ASA	34,000
경주 안강 하수처리장	PID	18,000

○ 현재 국내의 용수 재이용 시장규모는 매우 한정되어 있으나, 기존의 수자원 개발이 한계에 이르고, 향후 일정규모 이상의 시설에 대한 중수도 설치 의무화, 하수처리수의 재이용 추진을 통한 수자원의 확보 등과 같은 정부의 적극적인 용수 재이용 정책의 도입으로 시장은 크게 확대될 것으로 예측됨.

○ 현단계에서 용수 재이용과 관련된 시장규모의 정확한 파악은 한계가 있으나, 시설의 설치비만을 기준으로 시장의 규모를 산출하여 보면, 2000년 현재를 기준으로 영업/업무용 및 공업용 시설에 각각 39개소와 70개소가 도입되어 있으며, 총 용량은 약 60만m³ 규모에 이르고 있어, 설치비를 기준으로 한 국내 시장규모는 약 450억원대에 이르는 것으로 추산되며, 현 단계에서 정부의 중수시설 설치 의무화 정책에서 제시하고 있는 계획치를 기초로 한 시장의 확대만을 고려할 경우, 시설의 도입에 소요되는 비용을 기준으로 2011년 시장규모는 약 2,000억 원대에 이르며 시장가치로 환산하면 1조4천억원으로 예측됨¹⁾.

나. 국내외 연구개발 동향(현황 및 전망)

(1) 유해물질제어 고도처리 소재 개발

주관 부처	사업명	사업목표	기간	연구비(억원)			비고
				정부	민간	계	
환경부	차세대환경 기술개발사업	만족도 높은 먹는 물을 생산·공급하기 위한 고효율 정수기술, 상하수도관망 최적화 기술 등 개발	2001-2003			120	①
산자부	산업기반기술 개발 과제	제품을 생산하는 모든 과정에서 자원 효율성을 높이고 오염물 발생을 원천적으로 제거 또는 감소시키는 경제적이고 환경친화적인 생산기술의 개발 및 이전 확산 지원	기지원				②

① 2003년 해당 세부 과제

- 막분리공정에 의한 무인/자동화 고도정수처리시스템의 개발
- 단위조합형 고도정수처리 시스템 및 수처리 신소재 개발
- 정수공정효율향상을 위한 자동화 설비 및 제어 시스템 개발

- 국산 DAF PUMP를 이용한 패키지형 소규모 정수장치 개발
- ACF Filter를 이용한 간이 상수도용 고도 정수 시스템 개발
- 기능성 섬유사 여과방식을 이용한 고효율 정수 시스템 개발
- 초소형 고효율 UV 램프를 이용한 정수장 살균 장치 개발

② 해당 세부 과제

- 소규모 단위의 고도 정수처리용 오존 발생장치 개발(1998-2000)
- 지하수 및 지표수 생물학적 처리 설비 (1998-2001)

(2) 유해물질제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술

주관부처	사업명	사업목표	기간	연구비(억원)			비고
				정부	민간	계	
환경부	차세대환경 기술개발사업	하·폐수 고도처리 핵심요소기술 및 친 환경 방류수 처리·관리기술 개발	2001-2003			90	③
산자부	산업기반기술 개발 과제	제품을 생산하는 모든 과정에서 자원 효율성을 높이고 오염물 발생을 원천적으로 제거 또는 감소시키는 경제적이고 환경친화적인 생산기술의 개발 및 이전 확산 지원	기지원				④

③ 2003년 해당 세부 과제

- 소규모 하,폐수 고도처리를 위한 침지형 평막 제조 및 MBR 시스템 기술 개발
- 불특정 혼합폐수의 고도 정화를 위한 복합처리시스템 개발
- 농축액 연속 배출형 정밀여과장치 개발과 이를 적용한 하폐수 고도처리 기술 개발
- 난분해성 산업폐수 고도처리를 위한 생물막공법 이용 시스템 개발
- 하폐수 고도처리를 위한 End-free 형 분리막 모듈 및 시스템 개발
- 고도 산화여과에 의한 산업폐수(하폐수)의 중수처리 시스템 개발
- DOF을 이용한 하폐수 방류수 살균 및 고도처리 기술 개발

④ 해당 세부 과제

- Fed-batch 공정을 이용한 산업폐수 고도처리시스템 개발 (1995-1997)

- SBBR에 의한 질소, 인 산업폐수 고도처리기술 개발 (1996-1998)
- 무산소/호기공법을 이용한 피혁폐수 처리 시험설비 구축 (1997-2000)
- 전해법을 이용한 산업폐수 고도처리기술 개발 (1998-2000)
- RO전처리/폐수처리용 중공사형 분리막 및 시스템 개발 (1998-2000)
- 하폐수 고도처리를 위한 고성능 필터소재기술 개발 (2000-2002)
- 산업폐수처리장의 온라인모니터링 및 고도처리공정을 위한 시스템개발 (2000-2002)

(3) 국외 진행/계획중인 프로그램/사업 2, 3, 4)

국가	사업 (프로그램)명	사업목표	기간	연구비 (억원)	국내기술수준과의 비교분석
미국	Clean Water State Revolving Fund (CWSRF)	오폐수, 비점오염원, 강어귀나 유역의 수질오염 방지 및 관리	무제한	468,000	미국내 발생원별, 오염환경별 최적의 수질을 유지 및 복원하기 위해 정부차원의 처리 시설용자 및 연구비를 지원함으로써 체계적인 핵심기반기술 개발과 실용화 연구를 수행함으로써 국내기술수준과의 격차를 벌리고 있음 (국내 관련기술 수준: 60%).
미국	Drinking Water State Revolving Fund	기존 정수시설의 개선 및 유지기술 개발	1998-계속	537,600/년	안심하고 마실 수 있는 먹는물 공급을 위한 고도화 처리 설비 설치 및 기존 시설 개선 사업 진행중임 (국내 관련기술 수준: 50%).
일본	후생노동성 수환경 수탁 과제사업	발생원 및 적용현장별 고도처리 핵심기술 개발 및 설치 현황조사	2001 - 2004	44	- AOP을 이용한 고도화 원천기술 개발에 체계적인 지원이 이루어짐. - 국내의 경우 원천기술에 대한 장기간의 지원과제는 미미한 실정임 (국내 관련기술 수준: 50%).
일본	오염환경의 정화에 관한 연구	수질고도화 처리를 위한 오염원별 고도화 핵심기술개발	2001-2006	N/A	- 폐자원 및 수질중의 질소, 인을 회수 재활용하는데 필요한 핵심기술을 개발중임 (국내 관련기술 수준: 50%).
일본	에너지 절약형 폐수처리 기술개발	오존을 이용한 난분해성 폐수처리공정 개발	2001-2005	116	- 난분해성 유해물질 처리를 위한 고도화 핵심기술 개발 사업임 (국내 관련기술 수준: 60%).

다. 기술수준 비교 및 개발이 필요한 핵심기술 도출(기술수요분석)

선진국 대비 국내 기술개발 수준

핵심기술내용	기술수준 (%)	전문인력 보유정도 (%)	인프라 구축정도(%)
유해물질 제어 수처리 소재개발	70	70	70
유해물질제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술	60	50	60

라. 사업 추진의 필요성(당위성)

(1) 기술적 추진 필요성

- 국내에 현재 36000여종의 화학물질이 유통되고 있으며 매년 200여종의 신규 화학물질이 국내 시장에 진입하고 있어서 사용되고 있는 화학물질의 양은 매년 증가하고 있고 이들 유해화학물질에 의한 수자원 오염도 날로 증가하고 있다.

- 먹는 물 수질 기준을 2011년까지 WHO 권장기준인 121개 항목으로 확대할 예정이어서 미량 유기물질과 같은 예상되는 신규 수질기준에 대한 대책이 필요하다.

- 오폐수 부하량을 현재의 70%수준으로 삭감할 예정이며 2011년부터 폐수 배출업소의 폐수 재이용 전면실시 및 의무화 (2~3종 사업장까지 폐수 재이용 확대, 2006년대비 재이용율 20%로 재고)하고 2006년부터 전국 모든 지역에 가장 강한 폐수배출허용기준인 청정지역 기준을 적용할 예정임⁵⁾.

- 전국 BOD 발생부하량은 '95년 6,097톤/일에서 2002년 6,691톤/일로 지속적으로 증가하고 있으며 환경호르몬, 미량유해물질 등 인체에 보다 유해한 오염물질에 의한 수질오염 심화로 인하여 오염부하량 저감을 위한 수처리의 고도화가 필요.

국내 현재 36000여종의 화학물질이 유통되고 있으며, 매년 200여종의 신규 화학물질이 국내 시장에 진입하고 있음.



- 에틸 벤젠, 톨루엔 등 1순위물질 17개 항목의 유해물질 배출허용기준 검토
- 대기환경기준 - 현재 25종 특정대기유해물질 관리, 향후 대폭 강화 예정
- POPs 물질에 대한 스톡홀름 협약 이행 - 2004년 국회 비준, 의무조치 보고
 - 다이옥신, 퓨란, HCB, co-PCB, 알드린, DDT 등 총 12 종 및 신규 물질



**유해물질 제어
고도 수처리 기술 개발 필요**

(2) 사회적 필요성

- 환경오염에서 벗어나고자하는 국민의 욕구가 주5일제 근무확산과 함께 더욱 심화될 것으로 예상되며 이러한 환경의 질적 변화를 충족시킬 수 있는 수 환경 기반 조성이 시급함.
- 안심하고 마실 수 있는 물을 확보하는 것이 생존과 국제 경쟁력의 중요한 문제로 부각되고 있으나 복잡하고 다양한 환경오염원의 등장으로 새로운 기술개발없이 안전한 수환경을 유지하고 확보하는 것은 불가능함.
- 수환경 회복 및 유지/관리는 국민적 관심과 함께 기술적으로도 부가가치가 높은 핵심적인 역할을 차지하고 있어 첨단기술을 융합한 지속적인 연구개발이 이루어져야 하며 이를 통한 국제 기술경쟁에서도 우위를 차지할 수 있음.
- 세계환경산업의 제반여건을 감안할 때 향후 10~15년간 급속한 성장이 예상되고, 특히 아시아 지역은 시장 규모면에서 연간 17%대의 고속성장이 이루어질 것으로 예상되므로 정부는 환경분야를 국가전략산업으로 인식하여 환경산업의 육성이 필요하다.

표 3. 국내공단 배출수중의 유해물질 배출현황

대상물질	대상업체 수	원폐수		일본		미국	
		농도범위(mg/L)	평균농도(mg/L)	배출수 기준(mg/L)	식수기준(mg/L)	배출수 기준(mg/L)	식수기준(mg/L)
벤젠	18	0.006-45.080	5.983	0.100	0.010	0.136	0.005
1,1,1-트리클로로에탄	25	0.010-22.920	4.642	3.000	0.300	0.054	0.200
니트로벤젠	25	0.310-13.500	5.020	-	-	0.068	-
톨루엔	25	0.010-7.525	1.822	감시항목	0.600	0.080	1.000
아크릴로니트릴	25	0.010-7.730	1.210	-	-	0.242	-
클로로포름	25	0.004-0.173	0.057	감시항목	0.060	0.046	0.080
디클로로메탄	25	0.038-0.119	0.063	0.200	0.020	0.089	0.005
사염화탄소	25	0.005-0.150	0.054	0.020	0.002	0.038	0.005
1,1-디클로로에틸렌	25	0.013-0.044	0.200	0.200	0.020	0.025	0.007
1,2-디클로로에탄	25	0.030-0.420	0.23	0.040	0.004	0.211	0.005

(3) 과학기술부에서 추진 필요성

- 기술적 사회적 필요성에도 불구하고 수처리 고도화를 위한 국내의 기반기술은 미흡한 수준임. 환경부에서 추진해온 차세대환경기술개발사업에 수처리 고도화 관련 과제가 일부 추진되고 있으나 외국의 기술을 모방한 응용기술의 실용화에 목표를 집중함으로 미래 물환경 수요에 대비한 핵심원천기술 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다.
- 미래 수질기준에 대비한 수처리 고도화를 위해서는 다학제의 기술이 융합된 원천기술이 필요하므로 과기부와 같이 원천핵심기술과제를 선도하는 정부부처에서 미래의 환경수요에 대비하여 국내실정에 적합한 기술을 개발하기 위해서 단기적인 실용화 연구가 아닌 장기적 원천핵심기술개발의 추진이 필요함.

3. 사업의 목표

가. 최종목표

국내 유해화학물질의 생산과 유통이 매년 증가함에 따라 유해화학물질에 의한 수자원의 오염심화와 향후 예상되는 유해화학물질의 규제에 대비하여 오염원에서 유해화학물질의 제어 및 오염된 수자원에서 유해물질의 고도처리기술 개발

나. 단계별 목표

(1) 1단계 (2003 - 2005)

(가) 목표

- 예상되는 신규 수질항목인 미량 유해물질의 위해성 평가 기법 및 자료를 구축하고 미량 유해물질 제거를 위한 분리소재 및 기술 개발.
- BT(Biotechnology)를 이용한 하수처리장 진단 기법 및 효율 향상 기술 개발.
- 고농도 질소화합물 함유 산업폐수의 처리를 (T-N 60 mg/l 이하)위한 분리 또는 처리용 소재 개발
- 하폐수의 재이용 시 필요한 위해성 평가 기법 및 관련 신소재 개발

(나) Spin-off 기술 및 성과품

- 미량 유해물질 평가 기법
- 하수종말처리장 진단 기술
- 고농도 질소화합물 산화기술
- 하폐수의 재이용을 위한 수처리제

(2) 2단계 (2006 - 2008)

(가) 목표

- 미량 유기물질 제거를 위하여 고도처리를 기존정수공정에 연계한 하이브

리드 정수 공정 및 경제성 높은 분리막 공정 개발

- 하수처리과정에서 배출되는 슬러지를 최소화하거나 무배출형 하수처리 시스템 개발
- 난분해성 산업폐수의 경제적인 종합처리시스템 기술 및 특정유해물질 규제에 대비하여 산업폐수의 처리수에서 잔류 유기물 제거 기술 개발.
- 하·폐수종말처리장 방류수를 공업용수로 재이용하기 위한 공정 및 고도처리시스템 개발

(나) Spin-off 기술 및 성과품

- 분리막 이용 하이브리드 정수시스템
- 슬러지 무배출형 하수처리 시스템
- 산업폐수의 고도산화기술
- 하수종말처리수 이용 공업용수 생산기술

(3) 3단계 (2009 - 2012)

(가) 목표

- 미량 유해물질 처리를 위한 분리막 하이브리드 기술 및 분리막 시스템 실용화 기반 구축
- 2차오염물 무배출형 하폐수처리 시스템 개발
- 특정 유해화학물질 규제에 대비한 산업폐수처리 시스템 개발
- 재이용 목적별 처리시스템 개발

(나) Spin-off 기술 및 성과품

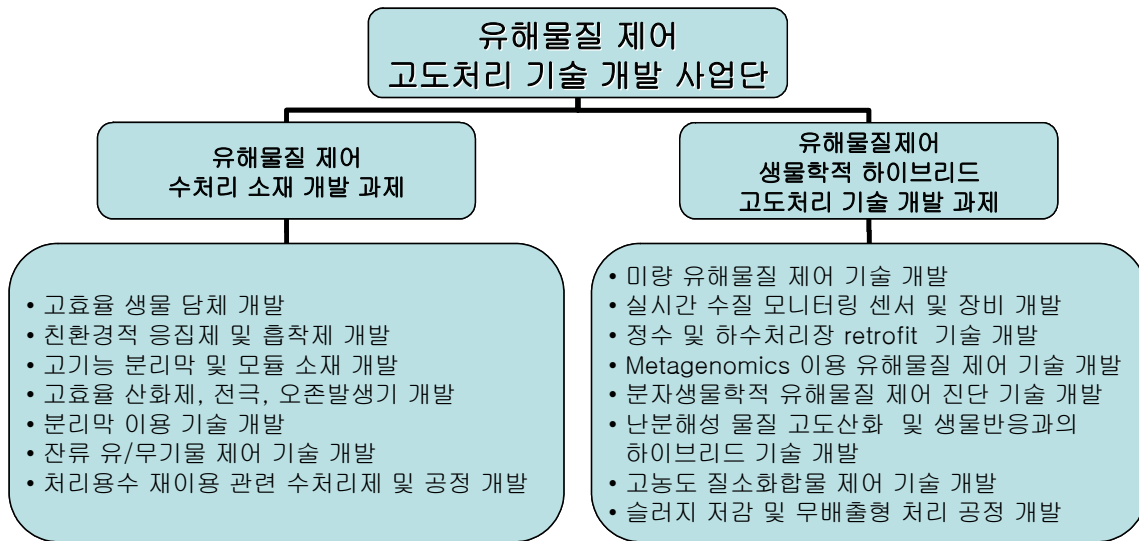
- 하이브리드 정수 시스템
- 슬러지 무배출형 하수처리 시스템
- 환경친화형 재이용 시스템

4. 사업의 내용 및 추진체계

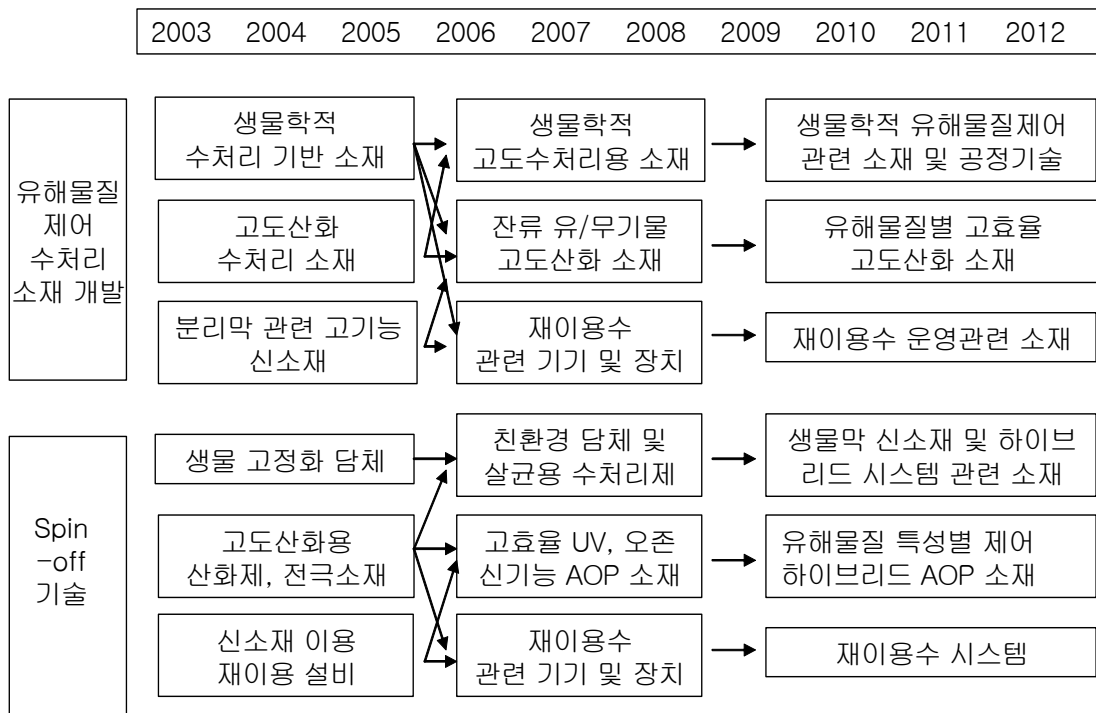
가. 사업내용

핵심기술내용	요소기술
<p>유해물질제어 수처리용 소재개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 정수 및 배수관련 다기능 소재 - 고기능 분리막 소재 및 모듈 - 친환경적 응집제 및 흡착제 - 고도처리용 친환경 생물담체 소재 - 고효율 UV, 산화제, 오존 발생기 - 분리막 이용 기술 - 잔류 유/무기물 제어용 수처리제 - 살균위한 수처리제 및 공정 기술 - 재이용수 운영 관련 소재
<p>유해물질제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 미량 유해물질 제어 기술 - 실시간 수질 모니터링 센서 및 장비 - 정수공정 효율 향상 및 제어 기술 - 하수처리장 진단 및 retrofit 기술 - 잔류 유기물 제어 고도산화기술 - 분자생물학적 수처리 진단 기술 - 유해물질 분해 미생물 군집 분석 및 이용 기술 - Metagenomics 이용 유해물질 제어 기술 - 난분해성 물질 고도산화 기술 - 고도산화/생물학적 하이브리드 수처리 기술 - 질소화합물 제어 기술 - 슬러지 분해 및 무배출형 처리 시스템

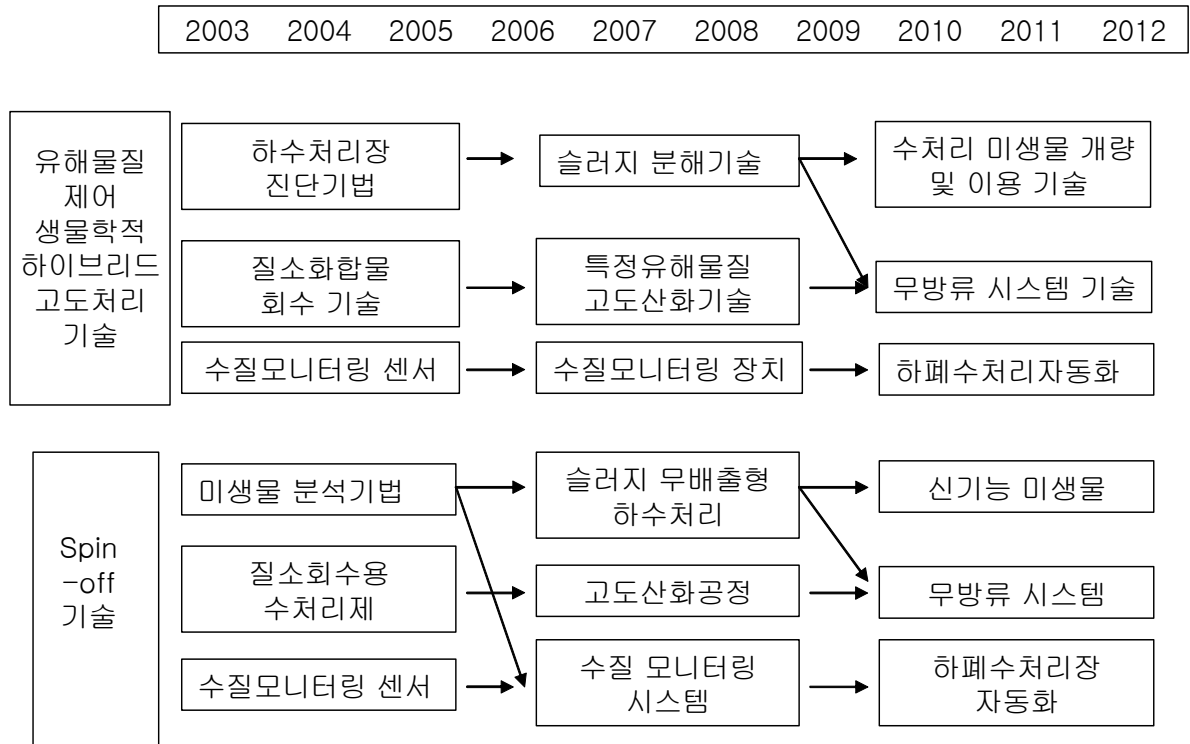
나. 추진체계



(1) 유해물질 제어 수처리 소재 개발



(2) 유해물질 제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술



5. 소요예산/자원 규모

핵심기술	계	연도별 예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
유해물질 제어 고도처리용 소재 개발	350	30	30	30	35	35	35	40	40	40	40
유해물질 제어 생물학적 하이브리드 고도처리 기술	405	30	30	30	40	40	40	50	50	50	50
총계	760	60	60	60	75	75	75	90	90	90	90

6. 기대효과

- 기존의 실용화 위주의 환경기술 개발의 paradigm을 변경하여 미래, 물, 환경 관련 수요에 대비한 자료 구축 및 대응 기술 개발
- 타분야의 첨단기술을 환경기술과 융합하여 새로운 환경기술을 도출하여 환경 문제 해결을 위한 대안 제시
- 먹는물 관련 세계 시장이 2010년에 175조원, 국내시장이 3조원으로 증가할 것으로 예상됨에 따라 관련 선진국에 의존해 왔던 핵심부품과 소재를 국산화시키면 수입대체효과가 클것으로 예상됨.
- 특정 유해화학물질에 대한 규제와 같은 미래 물환경 관련 수요에 대한 대응 방안을 마련함으로써 기업의 환경전략 수립이 가능해지고 기업경쟁력으로 연계될 것으로 기대.
- 2003년부터 방류수에서 질소농도에 대한 규제가 전국으로 확대되었지만 처리기술의 부재로 인해 농도기준을 상향조정하고 있으나 향후 기준 강화에 대한 대응책으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
- 국내 물부족 사태가 점차 심각해지고 수자원 개발이 한계에 이르면서 대체 수자원 확보가 국가적으로 중대한 이슈가 되고 있어서 용수의 재이용의 시장은 2011년에 약 2000억원이상으로 크게 확대될 것으로 예상되며 수처리 고도화는 핵심적인 역할을 할 것으로 기대된다.

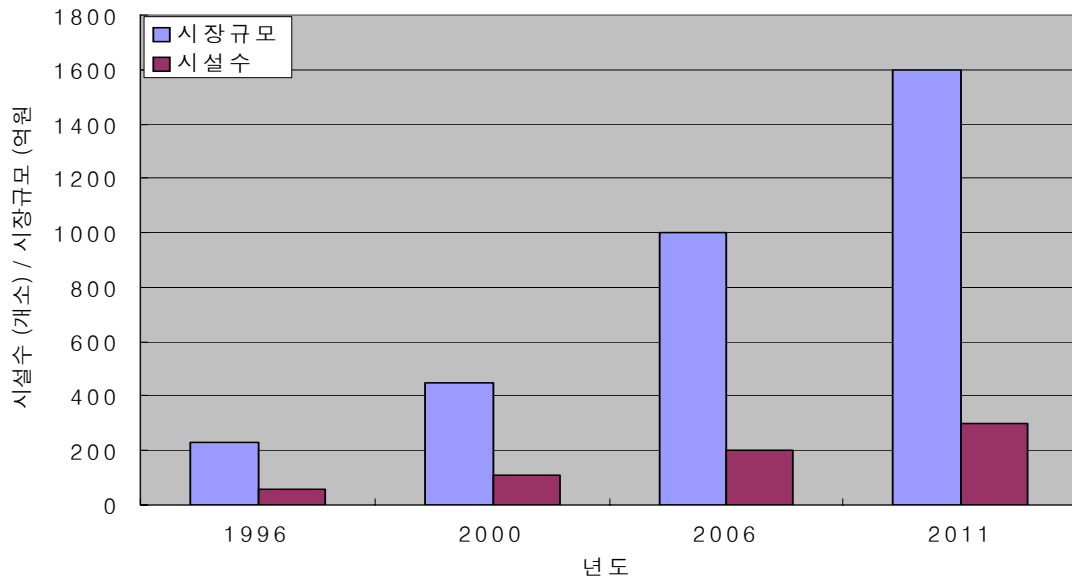


그림 4. 용수 재이용 시장 규모¹⁾

7. 부처별 역할 분담

과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> - 음용수 관련 예상되는 미래 수질항목 (유해물질) 및 관련자료 구축 - 미래 음용수 수질항목 대응 기술 개발 - 강화되는 규제농도에 적극적으로 대응할 수 있는 무방류 시스템 기반기술 개발 - 타분야 첨단기술과 융합된 차세대 하폐수처리기술 개발 - 음용수 목적 재이용에 따른 위해성 자료 구축 - 타분야 첨단기술과 융합된 기술 개발
환경부	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 음용수 수질항목 관련 정수공정의 효율 향상 - 기존 환경규제 대응 기술 개발 - 현장 문제 해결 위한 기술 개발 - 기존 처리방법의 효율 향상 및 자동화 - 음용수 이외 재이용 목적에 따른 기술 개발
산업 자원부	<ul style="list-style-type: none"> - 생산 공정에서 발생하는 오염물질의 회수 및 재이용 - 생산공정에서 발생하는 용수 재이용 기술 개발

8. 참고문헌

1. 과학기술부, 국가기술지도 (NTRM), 2002
2. U.S. EPA, <http://www.epa.gov/owmitnet/cwfinance/cwsrf/index.htm>, 2003
3. U.S. EPA, <http://www.epa.gov/safewater/dwsrf.html>, 2003
4. 일본 환경 조화형 기술 개발 사업단,
<http://www.nedo.go.jp/get/project02.html>, 2003.
5. 환경부, 차세대환경 기술지도, 2002

Zero Emission Research Park 개발

1. 기술개요

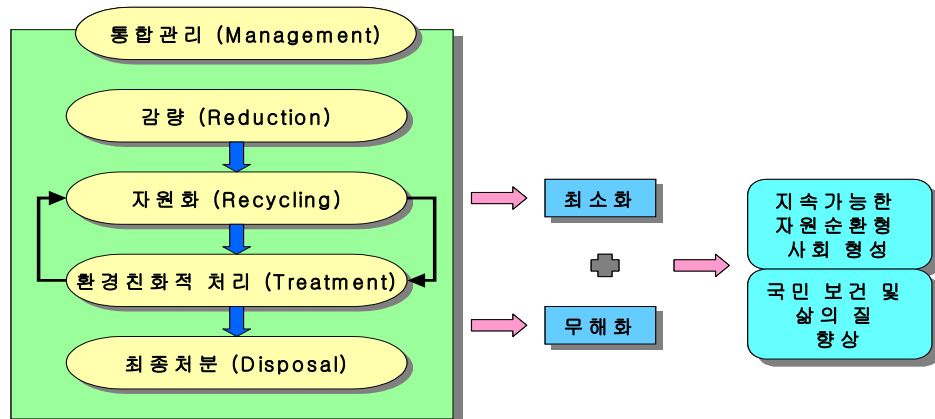
쾌적한 생활 환경 조성보다 나은 삶의 질 향상을 위한 자원순환형 사회를 구축하기 위하여 폐기물이 들어와서 더 이상 폐기물이나 공해 물질을 배출하지 않고 폐기물을 자원화하는 종합 단지의 조성이 필수불가결해지고 있다. 이러한 종합단지의 조성을 위하여는 사전에 모델을 만들어 검토하는 과정을 거쳐야 한다. 이에 Zero Emission을 위한 Model Park을 조성하면서 폐기물은 물론 대기, 수질과 관련된 연구개발을 종합적으로 수행하고 Pilot Plant로서 검토하는 Research Park을 개발하고자 한다.

가. 기술 개발의 사회적 배경

(1) 체계적인 폐기물 관리

(가) 생활 환경 및 사회적 요구의 변화

- ① 삶의 질 향상에 대한 요구가 계속 강화
- ② 이에 따라 환경규제가 강화
- ③ 전반적으로 지속가능한 사회 발전 모델이 등장
- ④ 정보통신, 생물산업 등 미래 산업에서의 환경오염 저감 필수
- ⑤ 생태계 유지 및 복원



<그림 1> 폐기물 환경 기술의 비전

(나) 폐기물 관리 정책의 변화

- ① 환경효율성 개념 도입과 체계적인 관리 기술로 폐기물의 원천적 발생을 최소화하고 폐기물에 의한 환경오염을 사전 예방함.
- ② 불가피하게 발생된 폐기물을 다시 사용 가능한 자원과 에너지로 전환하여 환경친화적인 재순환 시스템 형성의 근간을 마련함.
- ③ 경제적 효과와 환경적 효과를 극대화하는 방향의 통합처리공정의 개발적용

(2) 폐기물 환경 기술의 개발 및 검증

(가) Zero Emission 기술의 개발

- ① 폐기물을 원천적으로 봉쇄할 수 있는 폐기물 제로화 노력이 필요함
- ② 환경친화적 재순환 시스템을 본격적으로 가동하여 재활용율의 제고뿐만 아니라 2차오염물을 배출하지 않는 청정 자원화 공정개발 필요
- ③ 지속가능한 자연생태계 관리와 연계된 생태 환경도시 건설로 자연과 상생하는 기술 확립 필요

(나) Zero Emission 기술의 평가

- ① 개발된 기술을 국내 폐기물 처리에 적합한지의 여부를 확인
- ② 국내 개발 기술을 적용하여 검증할 수 있는 장을 제공
- ③ 지속가능한 자연생태계 관리와 연계된 생태 환경도시 건설의 표본을 마련

나. Zero Emission Research Park 핵심기술 개요

(1) 단지 구성 시스템 기술

(가) 에너지 시스템 구성 기술

- ①에너지 시스템 설계 기술
- ②에너지 시스템 고효율화 기술

(나) 자원 순환 구성 기술

- ①자원순환 시스템 설계 기술
- ②자원순환 시스템 고효율화 기술

(2) 폐기물 자원화 기술

(가) 생활폐기물 연료화/원료화 기술

- ① RDF 제조 시스템 고효율화 기술
- ② RDF 발전 시스템 기술
- ③ 생활폐기물 탄화 기술

(나) 음식폐기물 자원화 기술

- ① 음식폐기물 사료화 기술
- ② 음식폐기물 퇴비화 기술
- ③ 음식폐기물 탄화 기술

(다) 원료회수 기술

- ① 습식/ 건식 회수 기술
- ② 용융 분리 회수 기술
- ③ 생물/화학적 회수 기술
- ④ 복합 원료 회수 기술

(라) 폐기물 소재화/제품화 기술

- ① 고효율 분리 정제 기술
- ② 소재 및 제품화를 위한 가공 처리 기술
- ③ 환경성 평가 기술
- ④ 고기능성 소재 및 제품화 기술

(3) 폐기물 안정화 기술

(가) 폐기물 유해물질 안정화 기술

- ① 소각재 용융 유리화 기술
- ② 중금속 안정 고화 기술
- ③ 초임계유체 이용 기술

(나) 고정안정화물의 자원화 기술

- ① 건설자재로의 변환 기술

2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

가. 국내외 산업 동향 및 전망

(1) 국내 산업 동향 및 전망

- ① <표 1>과 같이 17개 업종에 대한 1998년 기준으로 12,402개의 산업체가 환경부에 등록관리되고 있으며 그 중 폐기물 관련 업체가 4,000여개 임

〈표 1〉 국내 환경산업체 현황

업종	업체수	업종	업체수
환경오염방지시설업	775	분뇨수집운반업	554
폐기물처리업(수집·운반)	1,688	분뇨정화조청소업	777
폐기물처리업(중간·최종)	233	분뇨처리, 오·축산폐수처리 시설 설계 시공업	1,448
폐기물재생처리업(허가신고)	2,035	정화조제조업	64
폐기물운반선업	16	유독물관련영업	3,866
폐수처리업		운행차검사대행업	628
환경영향평가대행업	113	자가측정대행업	133
환경영향조사대행업	24	측정기기정도검사대행업	4

- ② 소각 시설의 경우 중소형은 국내 기술에 의해, 대형 생활폐기물 소각 시설은 대부분 외국 기술을 도입하여 설치하여 왔으나 외국사로부터의 기술 도입 수 건설업체에 의한 설치가 주류를 이루어 기술 확보가 다소 미비한 실정임.
- ③ 폐기물 재활용 시설의 경우 외국 폐기물과의 성상 차이로 인하여 국내에 의 기술 도입이 원활하지 못하고 국내 기술의 개발에 의한 적용도 활발하지 못한 편임

(2) 국외 환경산업 동향 및 전망

- ① 〈표 2〉에 보인 바와 같이 1998년 기준으로 세계 50대 환경산업체 가운데 미국기업은 18개, 매출액 345억 달러로 36%를 점유하고 있으며 유럽이 프랑스를 비롯하여 5개 국가에서 23개 기업이 매출액 474억 달러, 일본이 8개 기업이 매출액 122억 달러를 기록함.

<표 2> 세계 50대 환경산업체 현황 (1998년)

국가별	기업수(개)	매출액(억 달러)	점유율(%)
미국	18	345	36
프랑스	3	236	25
일본	8	122	13
영국	7	113	12
독일	10	103	11
캐나다	1	12	1
스위스	1	11	1
덴마크	2	11	1
합계	50	953	100

- ② 미국의 환경 산업체들은 발달된 기술력과 시장 선점의 이점등으로 많은 대외 흑자를 기록하면서 수출 주도 산업으로 부각되며 집중 지원하고 있음
- ③ 캐나다는 여러 업체의 연합기업 형태로 수처리, 폐기물 처리 분야에 특히 강세를 보이고 있으며 고속 성장이 예상되고 있음.
- ④ 유럽은 폐기물 관리 분야, 수질, 대기, 토양정화의 순으로 시장 규모가 형성되어 있고 유해 폐기물 처리 분야의 중요성이 더욱 부각될 것으로 전망

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내 연구개발 동향

(가) 국내에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

주관부처	사업명	사업목표	기간	연구비(억원)			비고
				정부	민간	계	
과기부	산업폐기물 재활용기술 개발	산업폐기물 재활용 기술 개발	2000~2009	1,000	200	1,200	
환경부	차세대핵심 환경기술개발	환경규제달성 및 수출	2001~2010	1,500	700	2,200	관련분야 개략 산출
환경부	자원순환관리시스템구축 시범사업	수도권폐기물 자원순환시스템구축	2003~2005		500	500	수도권 매립지관리 공사 주관
산자부	대체에너지 기술개발 및 보급	폐기물에너지 이용기술 개발 및 보급	2003~2012	1,810	70	1,880	

(나) 국내의 세부 기술별 연구개발 현황

① RDF 제조 시스템 기술

- ㉠ 1980년대에 유럽의 대규모 RDF제조 플랜트가 도입되었으나 폐기물 조성의 차이로 정상가동에 실패함으로서 국내에서 RDF기술은 거의 10년 이상을 발전되지 못함.
- ㉡ 1996년부터 국가차원의 기술개발이 시작되었고 현재는 소수의 기업이 선진국 수준의 기술을 확보하고 있으나 전체적으로 수준은 낮은 편임
- ㉢ 최근에 폐플라스틱 고품연료(RPF)의 품질기준이 제정되었고 폐기물재 활용 차원에서 RDF제조시설에 대한 시설비 보조가 이루어진 사례가 있으므로 향후 RDF제조시설의 기술 발전은 더욱 가속화 될 것으로 예상됨
- ㉣ 고효율 선별 기술 및 신형 성형기술 등 성능향상을 위한 부분적 기술개발이 지속적으로 이루어지고 있음.

② RDF 화력발전 기술

- ㉠ 우수한 RDF발전시스템으로 알려진 순환유동층 방식의 RDF화력발전소는 없으며 외국에서 도입한 석탄용 순환유동층 화력발전소 9개소가 가동중에 있음.
- ㉡ RDF를 전용으로 하는 발전소는 염소화합물에 의한 과열증기부의 고온 부식에 관한 자료와 최적 연소 및 공해방지기술 등을 확보해야 하지만 현재까지 국내에서의 연구실적은 없음.
- ㉢ 2001년에 한국기계연구원에서 RDF화력발전에 관한 기획연구를 수행하여 의 RDF화력발전의 경제성 및 타당성에 관한 연구를 하였으며 환경 및 에너지 양측면에서 좋은 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났음.
- ㉣ 국내에서 RDF를 연료로 하는 화력발전소를 건설하면 15MW 규모로 48개가 필요하며 발전량은 725만MWh/년 정도로서 한국전력 발전량의 약 3%에 해당하고 1차에너지 기준으로는 166만TOE/년 정도로서 국내 1차에너지의 1.1%를 감당할 수 있는 것으로 나타났음.

③ 생활폐기물 탄화기술

- ㉠ MSW를 탄화하여 탄화물을 회수하는 기술의 국내 개발사례는 없으며 최근에 음식물을 탄화하는 기술에 관한 연구가 일부 진행되고 있음.

㉔ 또한 다이옥신을 저감하면서 MSW를 연소방법으로 감량화하는 열분해 용융 기술이 개발되고 있으며 이것은 건조를 하지 않고 수분을 함유한 상태로 열분해용융하는 기술임.

④ 물질 재활용 기술

㉕ 국내의 폐기물재활용 기술은 PET과 같이 상용화된 것도 있으나 대체로 저급의 재활용제품을 생산하는 수준임.

㉖ 산업폐기물재활용기술 개발을 위해서 과학기술부와 환경부가 공동으로 10년 계획의 프론티어사업을 추진하여 1단계 3년을 마치고 2단계를 시작하였음.

㉗ 프론티어사업은 유기계폐기물과 무기계폐기물로 구분하고 1)고분자원료화로서 열분해에 의한 고분자폐기물의 원료화(오일화, 가스화) 및 모노머(석유화학의 출발물질)화 기술을 개발하고, 2)유기물 자원화로서 혼합 폐플라스틱 등 유기계 폐기물의 선별분리, 대량 재활용 시스템 구축 및 상용화기술을 개발하며 3)유가금속회수로서 폐촉매, 전자스크랩, 폐전지, 도금폐액, 폐차 등 무기계 폐기물로부터 유가금속 회수 및 소재화 기술 실용화 기술개발과 4)폐분진, 제철 슬러지 등 무기계 폐기물의 대량처리 및 소재화에 의한 고부가 재자원화 기술을 개발하고 있음.

⑤ 음식폐기물 자원화

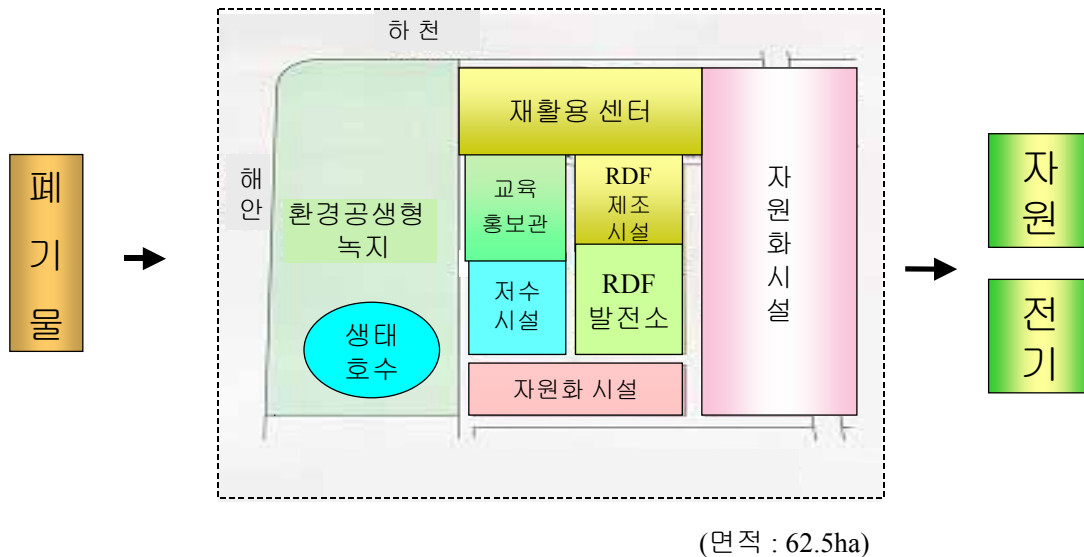
㉘ 국내의 음식폐기물 자원화는 외국의 경우와 비슷하게 사료화, 퇴비화 기술이 적용되고 있고 지렁이를 이용한 퇴비화기술 사례도 있음.

㉙ 그러나 염분이 많기 때문에 퇴비화 사용에 어려움이 있고 사료화는 품질유지가 가능해야 하므로 제한적으로 사용되고 있음.

(2) 외국의 연구개발 동향

(가) 외국에서 현재 진행/계획중인 관련 프로그램/사업

국가	사업명 (프로그램명)	사업목표	기간	연구비 (억원)	국내기술 수준과의 비교분석
일본	RDF 발전 기술 개발	0.6MW급 RDF연소 발전 시스템 개발	1994~ 2001	(1,000)	국내의 실험실 수준 연구에 비해 파일럿 연구 완료, 현재 상용화 중
일본	Eco-Town 사업	지자체에 10~20MW급 RDF발전소 및 자원화 시설 설치	2000~	(1,000/년)	현재 13개 지자체에 상용화 추진 중



〈그림 116〉 일본 오오무타시의 Eco-Town 배치도

(나) 외국의 세부 기술별 연구개발 현황

① RDF 제조 시스템 기술

- ㉞ 일본은 60여개의 RDF 플랜트가 가동중이며 생산된 RDF는 시멘트 소성로, 화력발전소, 산업용 보일러 등에서 다양하게 연료로 사용되고 있음. 특히, 최근에 중소도시에 많이 설치된 중소형 소각로의 공해문제를 해결하기 위하여 대형 RDF화력발전소 1기를 중심으로 인근의 중소지자체가 자체폐기물을 RDF로 만들어서 화력발전 연료로 사용하는 폐기

물 에너지 자원화의 광역화 체제가 도입됨으로서 RDF생산 플랜트 설비가 많이 증가하였음. 주로 성형한 RDF가 대부분이며 150톤/일 규모의 플랜트도 있다. RDF크기는 대부분이 직경 20mm 이하이며 공해를 저감하기 위하여 소석회를 소량 첨가하고 있음.

- ㉠ 미국은 RDF생산공장 옆에 RDF발전소를 함께 건설하여 생산된 RDF를 컨베이어로 바로 발전소로 이송하여 연료로 사용하는 경우가 많음. 따라서 원거리 이동이 필요없기 때문에 대부분 미성형(fluff) 형태의 RDF를 생산하고 있으며 수십개의 플랜트가 가동중이음.
- ㉡ 유럽도 독일, 스웨덴, 핀란드, 네델란드 등에 수십개의 RDF생산플랜트가 가동 중이며 미성형RDF와 성형RDF가 다양하게 생산되고 있음. 사용처는 석탄화력발전소의 석탄대체연료로서 10~20% 내외로 사용되며 시멘트 소성로, 제철소 등에서도 사용되고 있음. 네델란드의 ICOVA사는 암스테르담 인근의 사업장 일반폐기물을 직경 20 mm, 길이 50 mm 정도의 성형RDF로 만들어서 스웨덴에너지사의 유동층 보일러 연료로 보내고 있음. 유럽플라스틱협회(APME)는 폐플라스틱의 에너지재활용율을 높이기 위해서 시멘트소성로나 석탄화력발전소에서 RPF를 혼소하는 기술의 개발에 지원을 하여 좋은 성과를 거두고 있음.

② RDF 화력발전 기술

- ㉢ 일본은 RDF발전소를 중심으로 광역화된 폐기물 자원화 체계를 도입하여 소량의 폐기물에너지도 회수하고 있음. 중소형 소각로의 다이옥신 배출 문제를 해결하기 위하여 RDF제조시설을 설치하고 생산된 RDF는 RDF전용 화력발전소로 운반하여 연료로 사용함으로써 공해저감과 에너지회수를 하고 있음. 10~15MW 규모의 RDF전용 발전소 3기가 가동중이며 20MW 규모의 발전소가 건설중임. RDF발전소 한 곳을 중심으로 20여 중소지자체가 폐기물 에너지화 처리를 하고 있음. 큐우슈우 오오무타시 RDF발전소는 가와사키 중공업에서 개발한 내부순환유동층 발전 보일러가 가동 중이며 미에현은 Foster Wheeler사 외부순환유동층 발전보일러가 가동 중임.
- ㉣ 미국은 미성형상태의 RDF를 석탄보일러의 보조연료로 사용하는 곳이 많으며 traveling grate를 비롯한 다양한 연소기술이 이용됨. 미국의 생활폐기물 함수율이 25% 수준으로서 낮은 편이므로 건조를 하지 않

고 fluff 형태로 만든 RDF를 컨베이어로 화력발전소에 직접 이송하여 보일러로 투입함.

- ㉔ 유럽도 석탄화력발전소에서 RDF를 보조연료로 사용하는 경우가 많으며 독일 RWE Werne 발전소는 20 mm 이하의 fluff RDF를 현재 5% 정도 보조연료로 사용하고 있으며 16% 까지 비율을 올리기 위하여 자체의 RDF제조 시설을 건설하고 있음. 염소함유량은 1% 이내의 경우가 많으며 기후변화협약과 관련하여 대체에너지로서의 RDF 중요성이 강조되고 있음.

③ 생활폐기물 탄화기술

- ㉕ 일본 니이가타현 이토이가와 지역에 히타치제작소가 생활폐기물(MSW)를 탄화처리하는 70 ton/d 규모(35 x 2 계열)의 시설을 2002년 3월에 준공하였음.
 - ㉖ 탄화기술은 프랑스 THIDE Environment 사가 개발한 기술을 도입하였음. MSW를 분쇄, 건조, 탄화하여 탄화물을 회수하는 공정으로서 탄화물은 시멘트 원연료로 사용음.
 - ㉗ 탄화물의 발열량은 4,000~5,000 kcal/kg 정도이며 염소농도는 0.5% 이하임 탄화로에서 발생한 가스는 3,000kcal/Nm³ 정도의 열량을 좋은 가연성이므로 건조로와 탄화로의 열원으로 사용하여 유지비를 저감하며 탄화에 필요한 에너지는 자체의 가연성 가스로 거의 해결됨.
 - ㉘ 탄화로에서는 금속류가 산화하지 않으므로 그대로 회수해서 재활용이 가능하며 다이옥신 배출은 0.01 ng-TEQ/Nm³ 이하로 유지함. 건조로에서 수분을 10% 전후로 한 후 로타리킬른에서 500℃ 정도의 온도로 40분간 체류시키면서 간접가열 방식으로 탄화함. 열분해가스는 타르를 다량 함유하고 있으므로 고온연소시켜서 에너지로 변환함. 열분해잔사는 습식으로 탈염처리를 하여 식염류를 제거함.
 - ㉙ 건조는 직접건조 방식이며 배기는 탄화로 후단의 열분해가스버너의 연소공기가 되므로 산소농도가 보통의 공기와 동일함. 건조공기 온도는 300℃ 정도로 낮게 투입하고 출구온도는 100℃ 정도가 되게 조절함.
- ### ④ 물질 재활용 기술
- ㉚ 일본은 2007년까지 생활폐기물의 재활용비율을 2003년 현재의 16%

에서 21%로 높이기 위해서 폐기물처리시설의 정비계획을 수립하였음. 산업폐기물중에서도 공공적 관여가 불가피한 광역처리시설이나 PVC처리시설은 정비대상으로 하였음. 또한 1996년부터 ‘용기포장리싸이클 법’을 시행하여 폐기물의 재활용율을 높이고 있음. 페플라스틱의 재질별 분리기술, 병의 색상별 분리기술, 금속재질별 선별기술 등을 실용화하여 시설설치비 보조를 통해 지자체에 보급함으로써 재활용율을 높이고 있음.

- ㉠ 미국은 MRF(Material Recovery Facilities) 또는 RRF(Resource Recovery Facilities) 명칭으로 불리는 물질재활용시설이 다수 있으며 생활폐기물의 함수율이 낮으므로 일차로 trommel선별를 통해 자원을 회수하고 나머지 가연성폐기물은 RDF를 만드는 시스템이 많음.
- ㉡ 유럽도 미국과 비슷한 재활용시설이 많으며 분리수거통을 비롯해서 정밀 파쇄 및 분쇄기, 재질별 선별기, 압축기 등이 다양하게 개발되어 있음. 12개 유럽국가가 참여하고 있는 유럽폐기물처리연합(FEAD)은 포장폐기물, 폐자동차, 폐가전제품의 물질재활용과 잔류 가연성폐기물의 에너지재활용에 관한 여러 정책을 제시하고 있음.
- ⑤ 음식폐기물 자원화
 - ㉠ 일본은 음식폐기물을 건식 및 습식 사료화, 고속발효에 의한 퇴비화 및 혐기성소화에 의한 메탄가스를 생산하는 기술이 활용되고 있으며, 최근에 대형 혐기성소화시설을 활용하여 음식폐기물도 광역화하는 사례가 있음. 중소형 도시에서는 생활폐기물에서 음식폐기물을 분리하지 않고 RDF로 만들기도 함. 그 밖에 탄화에 의한 자원화 기술도 개발되고 있음.
 - ㉡ 유럽의 경우도 퇴비화 및 탄화 기술 등이 적용되고 있으며 향후 기후변화협약과 관련된 Biomass 중요성이 강조되고 있으므로 음식폐기물의 대체에너지화에 관련되는 기술개발이 증가할 것이 예상됨.

다. 국내외 관련 기술수준 비교 및 핵심 기술 도출

(1) 관련 핵심 기술수준 비교



〈그림 117〉 일본 전원개발(주)에서 개발한 0.6MW급 RDF화력 발전 파일럿시스템

핵심 기술 내용	국외	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
폐기물 연료화 기술	- RDF 제조시설 고효율화	- RDF 제조기술 상용화	80-90 %
	- 고효율 RDF 발전소 수기 건설	- 고효율 RDF 발전소 개발 초기 단계	50-55 %
폐기물 원료화 기술	- 고순도 분리 회수 기술 확보 및 활용	- 저순도 분리 회수 기술 상용화 - 고순도 분리 회수 기술 개발중	55-60 %
폐기물 제품화 기술	- 고효율 분리 정제 기술 상용화 - 제품화 고급 가공기술 확보	- 고효율 분리 정제 기술 개발중 - 제품화 가공기술 낙후, 개발 초기	45-50 %
폐기물 안정화 기술	- 고행화 유리화 기술 적극적 활용	- 고행화 유리화 기술 개발 : 일부 상용화	70-75%
	- 초임계수 이용 기술 상용화 초기	- 초임계수 이용 기술 기초연구	50-55%

(2) 핵심 기술 도출

(가) 폐기물 연료화 분야에서 개발되어야 할 핵심기술

- ① RDF 제조 기술
 - ㉠ 시스템 엔지니어링
 - 단위장치 설계기술
 - 공정간 물질 및 에너지 수지 설계기술
 - ㉡ 고효율 단위 공정기술
 - 건조 혼합물의 비중차 이용 고도 선별 기술
 - 고효율 성형기술
- ② RDF 화력발전 기술
 - ㉠ 순환유동층 보일러기술
 - 시스템 설계기술
 - 보일러 설계 및 제작 기술
 - 터빈 설계 및 제작 기술
 - 배가스 처리기술
 - 고온 부식 방지 기술
- ③ 폐기물 탄화 기술
 - ㉠ MSW 탄화 시스템 공정 구성 및 엔지니어링
 - 시스템 설계기술
 - 건조로 설계 및 제작 기술
 - 열분해로 설계 및 제작 기술
 - 탄화물 세정 탈염 및 탄화물 분리 기술
 - 배가스 처리기술
 - ㉡ 탄화물 고부가 가치화 기술
 - 토질 개량제화 기술
 - 수처리 및 대기처리 흡착제화 기술
 - 청정 고급연료화 기술

(나) 폐기물 원료화/재품화 분야에서 개발되어야 할 핵심기술

① 물질재활용 현황 조사사업

㉠ 폐기물 종류별 물질 및 에너지 수치 파악

- 생활계, 사업장계 ; 일반 폐기물중 생산자책임 재활용 대상품목
- 농업계 ; 바이오 매스, 필름류
- 수산업계 ; 폐선박, 폐어구류
- 기타 ; 해양폐기물, 매립지 복원 후 가연잔재물

㉡ 경제성 분석

- 재활용제품의 품질 평가
- LCA 평가
- 에너지 재활용과 연계한 경제성 확보방안

② 물질 재활용 기술

㉠ 혼합 폐플라스틱의 재질 분리 및 상용성 향상 기술

- 신속한 재질 판별기술
- 판별된 제품의 신속하고 정확한 분리기술
- 파쇄된 상태의 혼합 플라스틱에 대한 재질별 분리 기술
- 이종 재질의 화학적 결합특성 향상 기술
- 이종 재질의 물리적 결합특성 향상 기술

㉡ 정밀 파쇄 및 분쇄 기술

- PCB 등의 정밀 파분쇄에 의한 입도 균일한 기술
- 환경친화적인 저분진 발생 파분쇄 기술 - 수중 충격파 기술 등

㉢ 음식폐기물 자원화 기술

- 건식 및 습식 사료화 기술
- 저염 퇴비화 기술
- 고효율 발효기술
- 고품연료화 기술

(다) 폐기물 안정화 분야에서 개발되어야 할 핵심기술

① 소각재 안정화 기술

㉠ 바닥재 및 비산재 안정화 기술

- 소각재의 용융고화에 의한 중금속 고정 기술

- 시멘트화 등 물리화학적 고정 기술
- 고정화물의 자원화 기술

(3) 기술 개발의 문제점

(가) 폐기물 연료화

- ① RDF 제조 기술은 어느 정도 확보되어 있으나 고효율 성형기술과 건조 시 에너지 절감 기술, 고도 선별 기술 등의 장애가 있음.
- ② RDF 화력발전 기술은 유동층 보일러 기술로서 대형 보일러 설계 및 제작 기술과 고온 부식 방지 기술이 가장 큰 애로 기술임
- ③ 폐기물 탄화 기술에서는 열분해로 설계 및 제작 기술과 탄화물 세정 탈염 및 탄화물 분리 기술이 가장 중심 기술임

(나) 폐기물 원료화/제품화 분야

- ① 물질재활용 현황에 대한 신뢰성있는 데이터 확보 필요
- ② 경제성 확보 방안에 대한 대책 수립 필요
- ③ 혼합 폐플라스틱의 재질 분리 및 상용성 향상 기술 미비
- ④ 정밀 파쇄 및 분쇄 기술이 필수적
- ⑤ 음식폐기물 중의 소금 농도가 높음

(다) 폐기물 안정화 분야

- ① 소각재에 포함된 중금속 및 다이옥신 용출이 문제
- ② 제품의 용도 개발 확충이 필요

라. 사업추진의 필요성

(1) 사회적 필요성

- (가) 인구 증가 및 산업화에 따른 환경 오염 문제 심각
- (나) 폐기물 처리 시설을 혐오 시설로 간주하는 님비 현상 억제
- (다) 폐기물을 다시 자원화하여 사용하는 자원순환형 사회 구축 필요
- (라) 국민의 삶의 질 향상이 차후 사회 건설의 목표

(2) 기술적 필요성

- (가) Emission Zero를 지향하는 폐기물 처리 기술의 요구
- (나) 단순하고 개별적인 기술 개발에서 융합적이고 체계적인 기술개발 필요
- (다) 개발 기술의 실증이 가능한 복합 시설 건설 필요
- (라) 자원화 문제의 가장 근원을 차지하는 에너지 문제를 복합적으로 해결

(3) 과기부 중심 필요성

- (가) 과기부, 환경부, 산자부의 부처 공동 기술 개발 대상으로서 기술 중심
- (나) 추후 별도의 구체적 과제에 대하여 환경부,산자부의 과제 지원필요
- (다) NTRM에서 가장 중심되는 핵심기술들을 상용화 가능토록 동시 실현

3. 사업의 목표

가. 최종 목표

1MW급 RDF 화력발전소를 중심으로 폐기물 자원화 및 안정화를 통하여 Emission Zero를 실현하는 환경 에너지 분야의 연구 중심 단지 (Research Park)의 개발

나. 단계별 목표

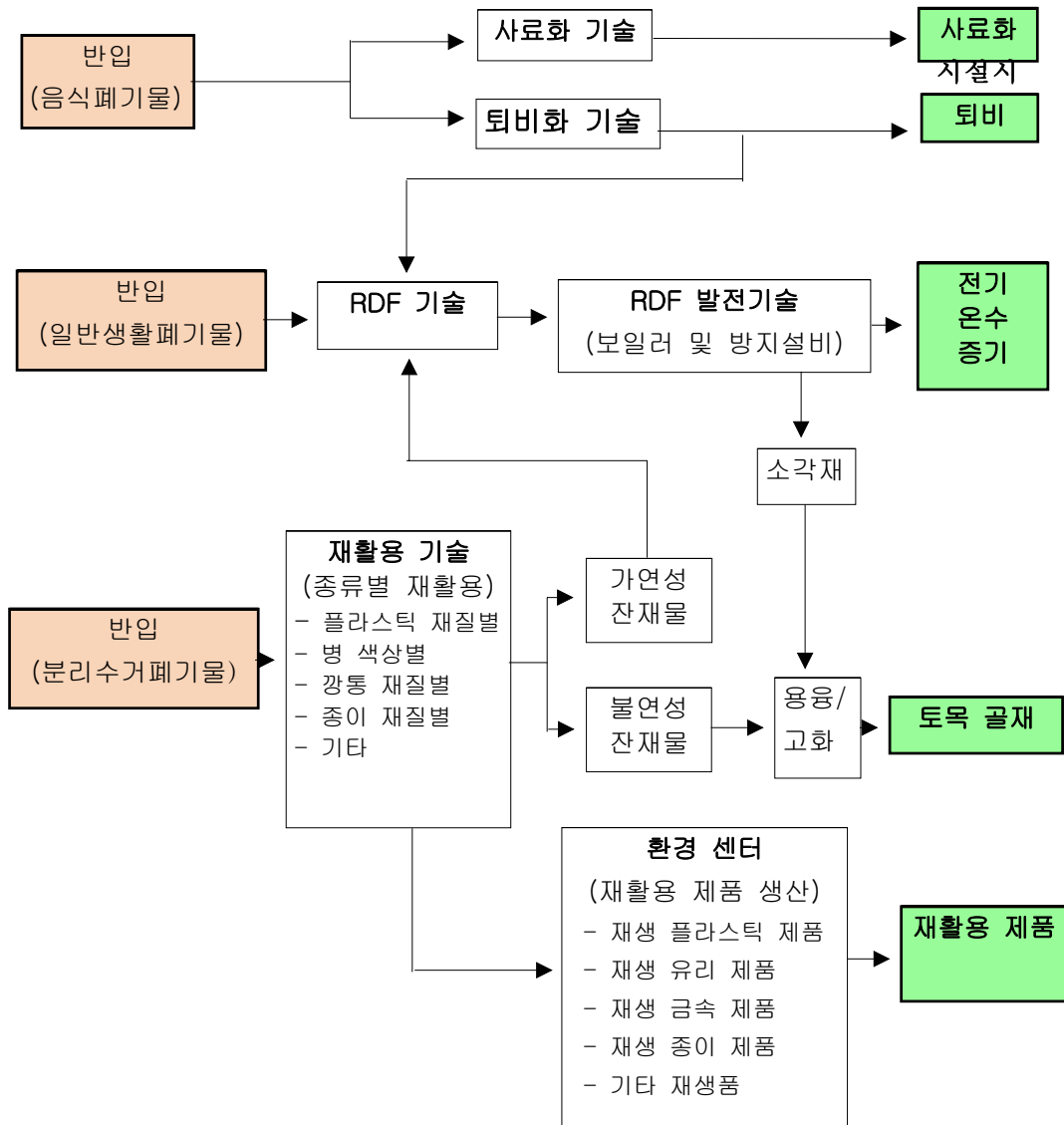
구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위	spin-off기술 및 성과품
1단계 (2004 ~ 2006)	Zero Emission Research Park (ZemirePark)의 구성 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • RDF 발전 기술 개발 • RDF 고속 제조 장치 개발 • 음식폐기물 자원화 신공정 개발 • 자동 선별 장치 개발 • 고효율 재이용 기술 개발 • 원료화 기술 개발 • 소재/제품화 기술 개발 • 유리화 기술 개발 • ZemirePark의 부지 조성 • ZemirePark의 환경/에너지 종합 계획 및 설계 	
2단계 (2007 ~ 2009)	Zero Emission Research Park (ZemirePark)의 조성	<ul style="list-style-type: none"> • 1MW급 RDF 발전 기술 개발 설치 • 3T/h급 RDF 고속 제조 장치 개발 설치 • 1T/h급 음식폐기물 자원화 신공정 개발설치 • 3T/h급 자동 선별 장치 개발 설치 • 2T/h급 고효율 재이용 기술 개발 설치 • 1T/h급 원료화 기술 개발 설치 • 1T/h급 소재/제품화 기술 개발 설치 • 0.5T/h급 유리화 기술 개발 설치 • ZemirePark의 건설 공사 및 운영 	
3단계 (2010 ~ 2013)	Zero Emission Research Park (ZemirePark)의 운영 및 핵심 기술의 상용화	<ul style="list-style-type: none"> • RDF 발전소 운전 기술 개발 • RDF 고속 제조 장치 고효율화 • 음식폐기물 자원화 신공정 고효율화 • 자동 선별 장치 고효율화 • 고효율 재이용 기술 고효율화 • 원료화 기술 고효율화 • 소재/제품화 기술 고효율화 • 유리화 기술 고효율화 • ZemirePark의 효율적 운영 기술 개발 	

4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업 추진 체계 구성



나. ZemirePark 의 기술 연계도



5. 소요 예산 지원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요 예산

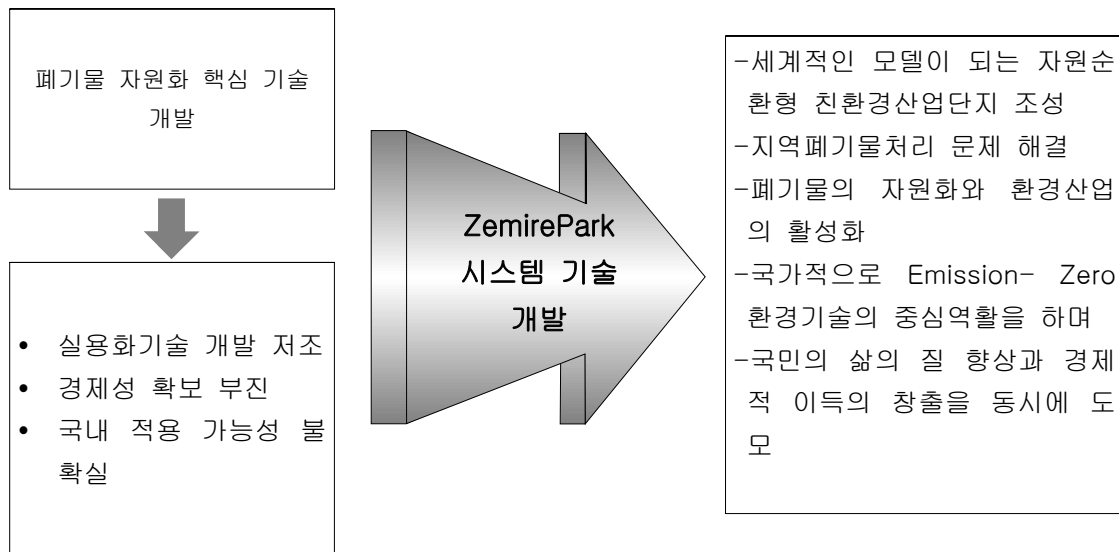
대분류	세부 핵심 기술 내용	소요 예산 (억원)
폐기물 연료화	RDF 제조 기술	120
	RDF 화력발전 기술	230
	폐기물 탄화 기술	50
	소 계	400
폐기물 소재· 제품화	혼합 폐플라스틱의 재질 분리 및 상용성 향상 기술	30
	정밀 파쇄 및 분쇄 기술	30
	음식폐기물 자원화 기술	60
	고순도 분리 회수 기술	30
	고순도 분리 정제 기술	30
	소 계	180
폐기물 안정화	용융 유리화 기술	50
	물리화학적 고정 기술	20
	고정화물의 자원화 기술	30
	소 계	100
Zemire Park 시스템	ZemirePark 환경/에너지 종합 계획 및 건설	100
	ZemirePark 핵심 기술의 선정 및 유치	20
	ZemirePark 핵심 기술 간 유기적인 운영 및 관리	80
	ZemirePark 의 대국민 홍보	20
	소 계	220
총 계		900

나. 연도별 소요 예산

대분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
폐기물 연료화	400	20	30	40	50	60	60	50	40	30	20
폐기물 소재·제품화	180	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20
폐기물 안정화	100	6	6	10	10	12	12	12	12	10	10
ZemirePark 시스템	220	10	50	50	30	20	20	10	10	10	10
총 계	900	46	96	120	110	112	112	92	82	70	60

6. 기대 효과

가. 폐기물 자원순환 검증 체제 구축



나. 경제적 파급 효과

- (1) 상용화 기술 확보로 선진 기술 수입 연 수백만불 절감 예상
- (2) 동남아, 중국 등 기술 수출 연 수천만불 이상 달성 예상

7. 부처별 역할 분담

과 학 기 술 부	
	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 폐기물환경 관련 기초 기반 핵심 기술개발의 주도적 역할 • 국내 폐기물환경 관련 기술개발의 종합적 연계 기능 역할 • 핵심 기술 개발을 통해 축적된 기술 성과 자료의 통합적 관리 • 산업폐기물 재활용 기술개발 사업단 개발 기술의 실증
환경부	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 관리 및 정책 시행 • 폐기물 관리 및 정책 연구 개발 수행 • 폐기물 관리 데이터 확보 유지 • 차세대핵심환경기술개발사업을 통해 단위 기술 개발 • 환경 관련 연구 개발 기술의 산업 적용 지원
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 관리 및 정책 시행 • 에너지 관리 및 정책 연구 개발 수행 • 에너지의 효율적 관리 데이터 확보 유지 • 에너지절약 및 대체에너지 기술개발사업을 통해 단위 기술 개발 • 에너지 관련 연구 개발 기술의 산업 적용 지원
건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> • ZemirePark 기술을 친환경 도시 건설에 적용

8. 기타

가. 정부 사업과의 연계

- (1) 현재 정부 및 자치단체의 범부처적 협력 필요
- (2) 상용화를 위한 실증 연구 지원
- (3) 필요시 관련 법규의 개정

(4) 재정 확보 및 계속적 지원

나. 기업과의 연계

(1) 연구개발 완료 기업에 실증 기회 제공

(2) 환경산업 활성화 체계 구축

9. 참고문헌

1. EC, 'Environmental 2010: Our future, Our choice', 2000.
2. 환경부 정책 시행 방향, 2002.
3. 대한상공회의소, '환경산업 육성 정책의 문제점과 개선방안 건의', 2002.
4. 박종식, 김태용 지음, 무한한 가능성, 환경산업, 삼성경제연구소, 2001.
5. Environmental Goods and Services, The Benefits of Further Global Trade Liberalization, 2001.
6. EC의 'Environment 2010: Our future, Our choice', 2000.
7. R. J. Ferderik and E. Magaret, 'Environmentally Compatible Application of Biotechnology: Using Living Organism to Minimize Harmful Human Impact on the Environment', Bio Science, Spring, 1994.
8. 지구환경 3월호, 2002.
9. Worldwatch Institute, 'State of the World 2002'.
10. 환경부 국가폐기물종합관리계획, 2001.
11. 환경부, 환경기술로드맵, 2002.
12. 과학기술부, 국가기술지도, 2003.

토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가 기술

1. 기술개요

가. 기술개발의 사회적 배경

(1) 과학적인 토양환경 관리

(가) 환경관리 패러다임의 변화

- ① 오염물질의 환경기준에 의한 획일적 관리에서 건강 위해성과 생태 위해성 평가를 통한 실제적이고 효율적인 관리 체제로 발전
- ② 사후 복원 개념에서 사전 예방 개념으로 환경 정책 방향 변화
- ③ 과학기술에 기초한 사회 통합적 토양환경관리를 위해 지속적이고 체계적인 모니터링 시스템 구축 필요



(나) 토양오염의 특성에 따른 접근 필요

- ① 토양오염은 지하수를 통한 수질오염과 대기로의 확산을 통한 대기오염 등 환경 다매체를 통한 위해성 증가의 특성을 지님
- ② 토양환경의 관리는 국가 자원의 관리 차원에서 접근 필요
- ③ 현재 토양오염의 기준이 “가” 및 “나” 지역으로 구분되어 있으나, 국토이용 계획에 따른 세분화가 필요
- ④ 오염의 특성에 따라 인체 및 생태계에 대한 위해도가 다를 수 있으며, 위해성 평가를 통한 오염평가 및 복원계획 수립 필요

⑤ 단순한 토양오염기준의 제시에서 오는 사회적 불신을 없애고 오염에 대한 합리적, 과학적인 근거를 제시할 기반기술 개발 필요

구분	제 1 세대 환경기술 R&D	제 2 세대 환경기술 R&D	제 3 세대 환경기술 R&D
패러다임	<ul style="list-style-type: none"> 효율적 오염물질처리 및 주요 오염원 관리 	<ul style="list-style-type: none"> 사전오염예방 (오염물질 배출 최소화 및 재활용) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경친화적 사회구축 수용체중심 환경관리
환경인식	<ul style="list-style-type: none"> 경제성 논리 	<ul style="list-style-type: none"> 원천적 환경오염물질 배출 최소화 	<ul style="list-style-type: none"> 사회 경제 통합적 관점에서 지속가능한 환경 유지
환경정책	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질 배출규제 	<ul style="list-style-type: none"> 사전오염예방 	<ul style="list-style-type: none"> 자원순환형 사회구축
기술개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> 환경규제 대응 (현안 환경문제 해결) 	<ul style="list-style-type: none"> 규제대응 및 자원절약 (환경경쟁력 강화) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경오염부하 해소 생태계 보전 및 복원
기술개발 주요 특징	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질 사후처리 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 청정 생산기술 환경친화제품 	<ul style="list-style-type: none"> 환경보전, 환경복원 및 재생
주요기술 예시	<ul style="list-style-type: none"> 유해가스 제거기술 집진기술 오폐수 처리기술 정수기술 	<ul style="list-style-type: none"> 저공해 생산공정기술 저공해 원료사용 	<ul style="list-style-type: none"> 토양, 지하수, 생태계 복원기술 환경모니터링 환경위해성평가 및 관리
기술 특성	<ul style="list-style-type: none"> 엔지니어링 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 첨단공학기술 	<ul style="list-style-type: none"> 과학기반 기술
파급효과	<ul style="list-style-type: none"> 오염원 주변 	<ul style="list-style-type: none"> 오염원 주변 	<ul style="list-style-type: none"> 사회전체 시스템

*환경기술의 패러다임 변화 (한국환경정책 평가연구원, 2002)

(다) 통합적 토양 환경관리 체제

- ① 체계적인 국가적 차원의 토양 환경관리의 필요성이 증대되면서 토양환경 모니터링 시스템 구축을 통한 토양환경에 대한 data base 형성 필요
- ② 오염토양의 판단, 복원 기술의 적용 및 복원토양의 평가를 위해서는 그 기본단계로서의 정확하고 신속한 오염진단을 위한 모니터링이 뒷받침되어야 함

- ③ 위해성 평가에 기초한 조기 실시간 모니터링 시스템을 구축하여 오염토양에 대한 막대한 환경복원 비용을 절감할 수 있음
- ④ 환경모니터링 및 환경 예보의 기능을 갖추어야 함

(2) 토양환경 관리의 효율성

(가) 토양오염 복원 기술 평가

- ① 토양오염의 복원은 막대한 비용이 투입되는 사업으로, 사업 추진에 대한 합리적인 계획 수립 요구
- ② 최근 10여 년간 수행된 국내 토양오염복원은 단순한 오염물질의 제거에 초점을 맞추고 있음
- ③ 토양오염 지역의 복원은 부지 및 오염의 특성에 따라 특화되지 못하고 일반적 복원기술이 적용되어 복원사업 및 토양환경 관리의 효율성이 떨어짐
- ④ 미국의 Superfund site 사례처럼 환경 위해성 평가를 통한 우선순위를 결정하고 단계별 복원 계획 수립이 필요
- ⑤ 복원에 대한 위해성 평가 및 지속적인 현장 복원공정 모니터링의 적용으로 복원 사업의 성공 여부를 합리적이고 과학적으로 평가
- ⑥ 위해성 평가 및 지속적인 복원공정 모니터링을 통한 복원 사후 지속적인 토양환경관리로 국토 이용 계획에 대한 Database 활용

(나) 환경 모니터링 기술의 요구

- ① 효율적 토양환경관리를 위해서는 오염토양 및 복원토양에 대한 위해성 평가를 고려한 지속적인 모니터링 기술이 요구
- ② 국내 오염토양에 대한 현장관측 기술의 부재
- ㉠ 국내의 수질 및 대기환경 분야의 연구, 개발과는 달리 상대적으로 토양환경 모니터링에 대한 인식 부족
- ㉡ 국내에서 현장에서 적용 가능한 모니터링 기술이 전무한 상태로 실험실 분석에 의존

- ③ 기존 토양환경보전법에 의한 토양오염측정망을 통한 오염평가의 문제점 보완
 - ㉠ 토양오염망의 측정은 오염원 중심이며 토양오염은 특성상 잠복기를 갖기에 지속적이면서도 탄력적인 측정이 요구
 - ㉡ 탄력적인 토양평가를 위해서는 현장 이동성을 구비한 신속한 모니터링 기술개발이 시급
- ④ 기존 토양오염 모니터링 기술의 한계
 - ㉠ 대표적 토양의 특성을 대변할 토양시료 채취 및 고가의 실험 장비를 이용한 기존 분석기법의 문제점
 - ㉡ 장시간, 고비용, 숙련된 기술의 필요
 - ㉢ 시료를 다루는 과정에서의 대상물질의 손실 및 변질우려로 인한 결과의 정확성 및 신뢰성 확보에 문제
- ⑤ 실시간 현장관측을 통한 토양오염평가의 평가 및 복원공정적용을 위한 신속한 feedback의 필요성에 부응하지 못함
- ⑥ 단순한 정량규제가 아닌 궁극적으로 인간에게 미칠 영향을 고려하기 위해선 화학적 평가는 물론 생물학적 모니터링 기술이 필요

나. 토양환경 위해성 평가 핵심 기술 개요

(1) 오염물질 분석 기술

(가) 오염물질에 대한 정성, 정량적 분석기술 표준화

- ① 오염물질의 존재 형태에 따른 정량적 분석 기술
- ② 오염물질의 거동에 대한 특성 분석 기술

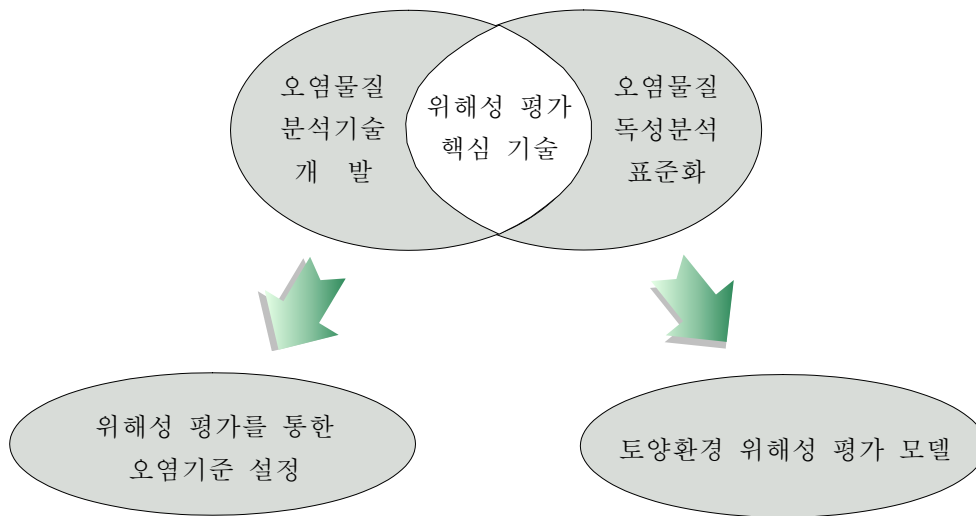
(나) 오염물질의 독성 평가 기술 표준화

- ① 발암-비발암성에 대한 독성 평가 기술
- ② 오염물질의 축적성 등 잔류 독성에 대한 평가 기술

(2) 위해성 평가를 통한 복원 모델 개발

(가) 대표지역에 대한 위해성 평가 모델 표준화

- ① 토양 및 지하수 환경 특성 조사
- ② 산업 활동에 따른 인간 활동 특성 조사
- ③ 발생 가능한 오염물질에 대한 장소 특이적 특성 평가



(나) 복원 사업의 위해성 평가 적용

- ① 복원 특성에 따른 위해성 평가 기법 표준화
- ② 복원 단계별 모니터링 기법 표준화
- ③ 복원 사후 지속적 모니터링 기법 표준화

다. 토양환경 현장 모니터링 핵심기술 개요

(1) 미래형 현장 모니터링 기술 개발

(가) 현장 오염물질 모니터링 기술 개발

- ① 광학적 모니터링 기술 개발
 - ㉠ 레이저 분광학을 이용한 현장용 Non-invasive 환경 센서의 개발
 - ㉡ 오염물질에 대한 광학적 모니터링의 선택성 및 민감성 확인
 - ㉢ 오염 토양의 특성에 의한 영향 보정기술 개발
 - ㉣ 정성분석을 통한 Screening Tool 역할과 동시에 정량분석결과를 제공할 수 있는 모니터링 기술개발
- ② 생물학적 모니터링 기술 개발
 - ㉠ 독성평가를 위한 생물체 선정연구
 - ㉡ 생물체 오염도에 대한 반응성연구
 - ㉢ In-situ 분석을 위한 시스템 개발
 - ㉣ 생물학적 모니터링 시스템의 표준화

(나) 현장 복원 공정 모니터링 기술 개발

- ① 복원공정을 통한 오염물질의 저감 및 토양내 존재상태에 대한 실시간 현장 모니터링 정보제공 기술개발
- ② 복원공정 및 복원완료 토양에 대한 과학적 평가 기술
- ③ 오염토양의 특성 및 복원 특성을 고려한 모니터링 기술

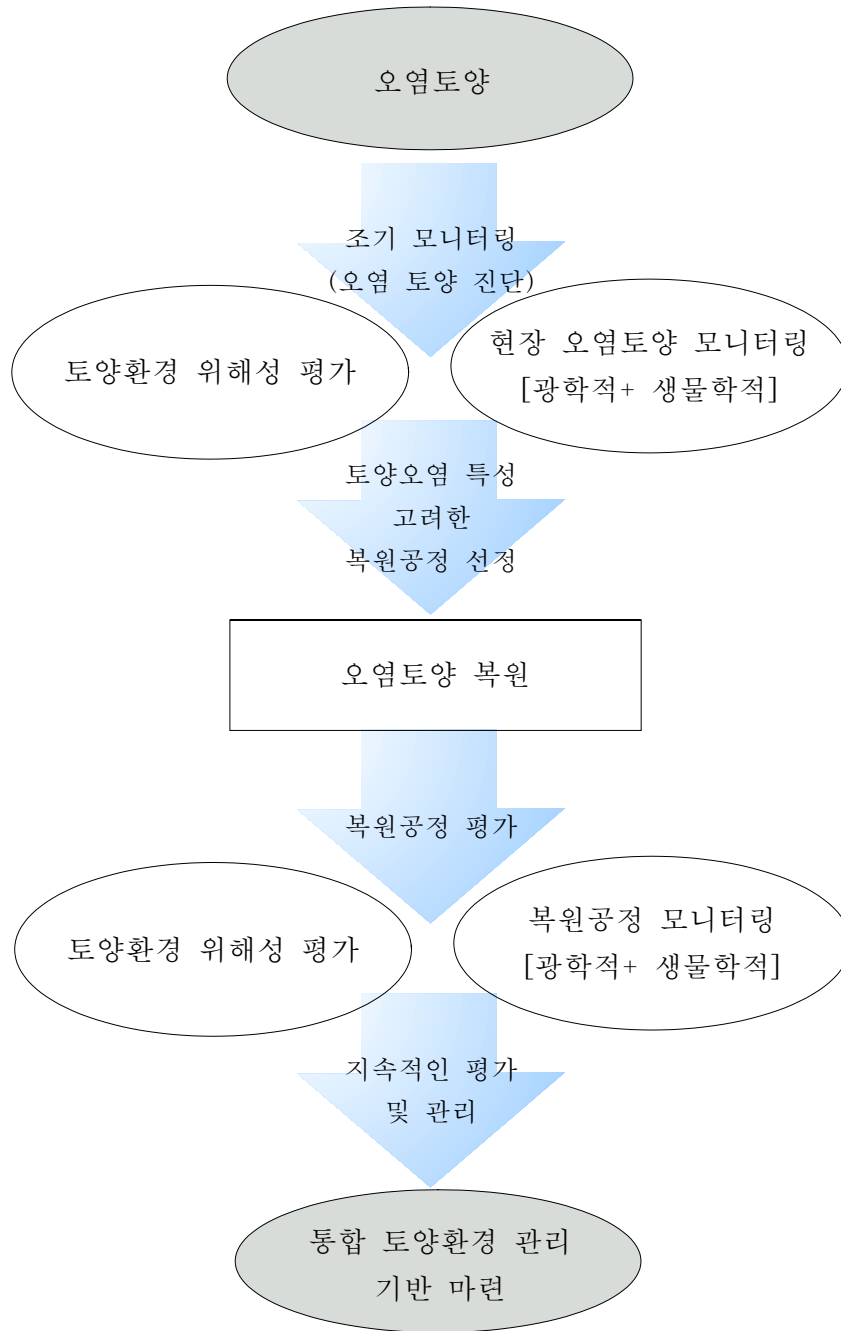
(2) 토양환경 통합관리 기반 마련

(가) 조기 모니터링 시스템구축

- ① 지속적인 토양 관리를 통한 환경예보 기능 수행

(나) 지속적 관리를 위한 토양환경의 D/B 제공

- ① 토양오염지역을 경제적이고 합리적인 우선순위에 따라 복원하기 위한 토양 질 측정 자료의 D/B 형성
- ② 복원 사후 지속적 토양 질을 파악할 수 있는 자료제공



2. 국내외 기술 개발 현황 및 기술 수준 비교

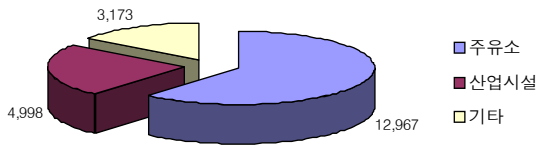
가. 국내외 산업 동향

(1) 국내 산업 동향

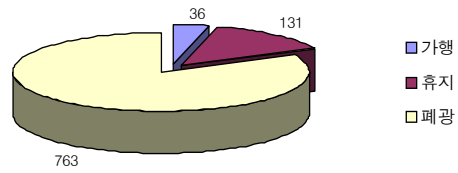
(가) 토양 관련 산업 시장

- ① 국내 약 2만여 개 특정토양오염유발시설로 분류된 사업장에 대한 지속적인 토양오염 관리 수행중
- ② 중금속 오염이 심각한 것으로 예상되는 휴, 폐광산에 대한 오염도 조사 수행중
- ③ 복원 기술에 대한 연구는 국내에서도 활발히 진행중
- ④ 1995년 이후 토양복원 시장의 증가
- ⑤ 국내 토양복원의 규모는 2조원 이상에 달할 것으로 예상
- ⑥ 경제적으로 처리가 가능한 In-situ 처리기술의 이용도 증가
- ⑦ 토양환경에 대한 사회적 관심이 증가하고 있으나, 과학적이고 합리적인 근거가 없는 단순한 오염기준의 적용과 복원 기준의 부재로 복원에 대한 사회적 불신 증가
- ⑧ 토양오염에 대한 과학적이고 합리적인 평가기준이 없어 복원 사업의 경제적 비효율 초래

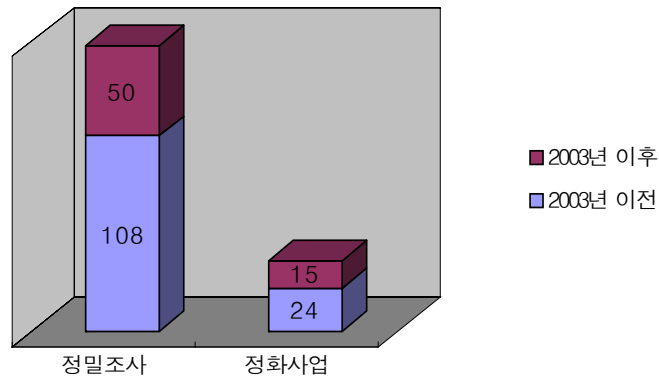
특정토양오염유발시설 신고업체수 (환경부, 2002)



금속광산 현황 (환경부, 2001)



폐광산 조사 및 방지사업 추진현황 (환경부, 2003)



- ⑨ 토양 및 오염형태의 특성에 따른 복원 계획의 수립과 지속적인 모니터링으로 사후 토양환경 관리에 대한 사회적 요구가 증가
- ⑩ 환경 위해성 평가 및 현장 토양환경모니터링 기술과 관련된 산업은 시작 단계이며, 기술력도 매우 낙후됨
- ⑪ 국내 환경에 적합한 오염의 위해성 평가 기법 개발을 통해 복원 기술 개발의 방향을 제시하여야 함

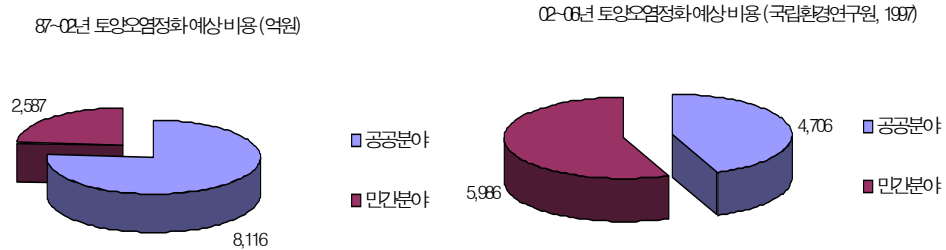
(나) 토양환경 관리

- ① 제한된 토양 측정망을 통해 전 국토의 토양환경을 관리하고 있으며, 표준화 되고 정량화 된 기준 자료의 확보 미흡
- ② 단순한 오염기준에 의한 복원 사업 수행으로 효율적인 복원계획 수립 불가능
- ③ 복원 사업에 대한 제도적 감시 체제 미흡으로 부지 및 오염의 특성에 따른 과학적인 계획 수립에 의한 복원이 이루어지지 않음

- ④ 과학적이고 합리적인 관리 체계의 미흡으로 토양환경 정책에 대한 사회적 불확실성 증가
- ⑤ 미국 Superfund site에 대한 복원 사업의 초기 경제적 효율성이 떨어진 사례를 답습하고 있음
- ⑥ 향후 토양오염 위해성 평가 기술의 표준화 및 현장 모니터링 기술의 신뢰성향상을 통한 효율적인 토양환경관리 필요
- ⑦ 이용 계획에 따른 환경 위해의 사전 예방을 통하여 국토 이용의 효율성을 높일 수 있음

(다) 토양환경 모니터링 산업 현황 및 전망

① 토양환경보전법을 통한 토양환경 모니터링 제도적 근거 마련



- ㉠ 오염원인자 책임으로 민간의 자발적인 토양오염조사를 적극 유인할 수 있는 관리 제도 마련
- ㉡ 고정측정망체계를 토양오염실태 조사체제로 개편
- ② 전문 인력등 토양환경 산업의 기반 취약
- ③ 해외 기술력을 습득하는 단계로 현장규모의 기술적용사례가 적고 일부 연구소에 의한 연구는 복원기술의 실험실 규모의 학술적 수준의 산발적 연구에 그치고 있음

(라) 국내 토양환경 모니터링의 문제점

- ① 토양오염물질 종류 한정 및 기준의 재검토 필요
- ㉠ 분석되고 있는 11종류는 외국(네덜란드 71종류, 영국 21종류, 미국

223 종류, 독일 31종류)에 비교해 그 수가 절대적으로 빈약

- ㉠ 토양오염을 판단하는 기준인 중금속류에 관한 토양오염대책기준과 토양오염 우려 기준에 대한 재검토가 필요
- ㉡ 토양오염기준 설정이 토지용도보다는 오염가능성을 기준으로 전국을 가, 나 지역으로 단순 구분 설정
- ㉢ 오염물질의 누출을 원천적으로 차단할 수 있는 제도적 장치 미흡
- ㉣ 복원공정 이후 오염토양관리의 문제점
 - ㉣ 가 단순한 오염기준에 의한 복원과 사후 제도적 인증체제가 미흡하여 과학적이고 지속적인 환경모니터링이 요구
- ㉤ 토양오염지역의 현황파악 미흡
 - ㉣ 가 측정망 운영 및 토양오염유발지역에 대한 단편적인 토양오염조사를 실시한바 있으나 국토 전반 오염지역의 체계적인 조사 미흡
- ㉥ 토양자료의 DB 구축이 미흡하여 체계적 분석과 활용이 곤란
- ㉦ 토양 질 측정 자료의 존재형태 및 내용, 정보의 구성요소간의 체계적인 연계, 정보의 질을 평가할 수 있는 이용 가능한 정보의 양에 대한 파악이 미흡
- ㉧ 생물학적 모니터링을 포함한 분석방법에 대한 정확성, 신뢰성(재현성)에 관한 QC 및 QA체계가 성립되지 않음

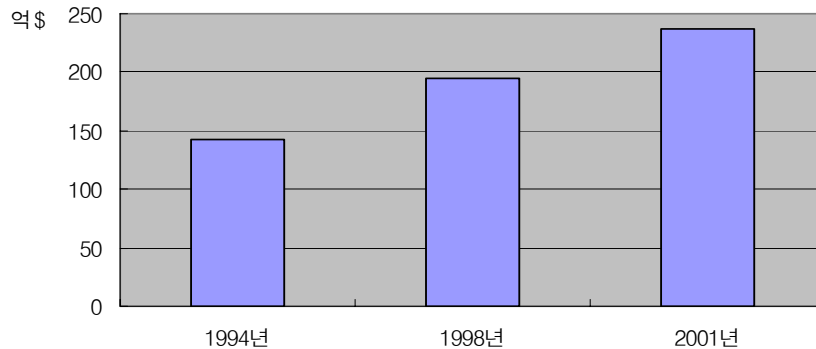
(2) 국외 산업동향

(가) 토양 관련 산업 시장

- ㉠ 세계 토양시장 규모는 1998년 현재 195억불에 이르는 것으로 추정
- ㉡ 시장의 신장률은 연간 약 5%를 상회할 것으로 예상
- ㉢ 미국 에너지성의 연구에 의하면 환경복원의 시장은 중국 등의 동남아시아 시장이 2010년 이후 급속한 성장을 하리라 예상(2010 13조, 2020년 30조 예상)
- ㉣ 전문기술인력 양성과 복원 기술 개발을 통한 기술력 우위 확보
- ㉤ 자본 투입 대비 복원 효율을 높이기 위한 위해성 평가 기법을 이용한 오염의 평가 및 복원 설계, 복원과정 평가 등의 기법이 도입됨

- ⑥ 과학적이고 합리적인 근거에 의한 오염물질의 선정과 오염기준 및 복원 기준의 설정으로 토양환경 관리에 대한 불확실성 제거
- ⑦ 선진화된 평가 기법을 토대로 토양복원 사업에 대한 기술집약적 해외 시장에 진입

세계 복원 시장 규모 (현대환경리포트)



(나) 토양환경 관리

- ① 90년대 이후 환경 위해성 평가에 기초한 오염토양의 관리
- ② 토양환경의 위해성 평가에 대한 일반적 절차 표준화 진행
- ③ 오염물질 종류 확대 및 위해성 평가 기술 개발에 중점
- ④ 사후 복원 개념에서 사전 예방개념으로 확대
- ⑤ 토양오염 복원에 대한 전과정 평가(LCA) 개념 도입 추진

나. 국내외 연구개발 동향

(1) 국내 기술 개발현황 및 전망

(가) 토양환경 모니터링 기술 개발현황 및 전망

- ① 국내 환경 분야 중 수질 및 대기에 비하여 토양 환경 분야 특히 모니터링 분야에 대한 연구는 미비한 상태
- ② 중요성에도 불구하고 현장 관측 가능한 모니터링기술 개발은 거의 전무

한 상태

- ③ 국내 연구소 및 대학을 중심으로 산발적으로 토양오염 및 복원공정에 대한 모니터링 연구가 이루어지고 있으나 실험실 규모의 적용으로 그치고 있음
- ④ 현재의 기술 수준으로는 현장오염측정기술은 복원기술에 비해 상대적으로 높게 수준으로 쳐주고 있으나 오염예측의 측면에서는 하위수준을 보이고 있음
- ⑤ 10년 내에 집중적인 투자를 하여 선진국수준의 복원기술 및 모니터링 기술을 갖게 된다면 아시아 시장진출에 유리한 조건을 확보

(2) 국외 기술 개발 현황 및 전망

(가) 토양환경 모니터링 기술 개발현황 및 전망

- ① 미국은 EPA의 Environmental Technology Verification (ETV)programme의 주도하에 Site Characterization and Monitoring Technologies의 신기술의 개발을 독려하고 있음
- ② 미국에서는 오염된 토양의 관리는 superfund법에 의한 국가적 오염정화 프로그램을 통해 체계적이고 집중적인 연구로 부지를 복원하며 복원 신기술 개발을 유도하여 상업화를 지원해 나가고 있음
- ③ SITE 프로그램을 통해 Superfund 부지에 신기술의 현장스케일의 적용 평가의 기회를 제공하여 복원사업과 연구프로그램의 효과적 연결로 연구 성과 극대화
- ④ 최근 추세는 현장에서 관측 가능하며 non-invasive 한 특성을 갖는 센서 개발을 바탕으로 한 모니터링 기술이 각광받고 있음
- ㉠ ETV Advanced Monitoring Systems Center의 주도하에서 Innovative Technology Category중 하나인 Laser Induced Fluorescence Sensor를 이용한 유류오염 모니터링기술이 개발 중
- ㉡ 현장이동성을 구비한 x-ray fluorescence analyzer, Gas chromatography 등이 개발되어 주목을 받고 있음
- ⑤ 독일의 경우 'DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT'의 지원

하에 연구소간의 연계를 통하여 현장 토양오염 측정을 위한 광학적 센서 개발 및 현장적용 평가를 실시하고 있음

*** 국내에서 현재 진행/계획 중인 관련 프로그램/사업**

주관부처	사업명	사업목표	기간	비고
과학기술부	환경모니터링 신기술 연구센터	환경오염 모니터링의 통합적 시스템 구축	1999 -2007	KOSEF의 지원 하에 주로 대기 및 수질 오염 모니터링 분야에 치중
환경부	차세대핵심환경 기술개발사업	환경기술 개발 및 환경산업 육성	01~10 (10년)	현재 토양오염의 위해성 평가와 관련된 연구실적은 전체의 5% 미만

*** 외국에서 현재 진행/계획 중인 관련 프로그램/사업**

국가	사업 (프로그램)명	사업목표	국내기술수준과의 비교분석
미국	SITE 프로그램	토지평가 및 모니터 링을 위한 신기술 적 용 및 평가	혁신적인 현장 관측 가능한 모니터링 기술의 자체 개발 및 현장평가를 완료 한 상태
미국	토양환경복원 프로그램	Superfund 지역을 위 한 위해성 평가 지침	위해성 평가에 대한 지침 마련
영국	DoE 연구프로그램 오염토지의 위해성 평가 및 관리에 대한 연구	효율적인 오염지역의 평가	오염토지 노출평가 모델 개발 완료

다. 기술수준 비교 및 개발이 필요한 핵심기술 도출

대분류	중분류	기술 내용	국내 수준	국외 수준
토양 환경 위해성 평가	오염물질 분석	정성, 정량적 분석기술	하	상
		토양오염물질의 존재 특성연구	중	상
		존재형태별 정량분석 기술	하	중
		오염물질의 거동 특성 분석	하	상
	독성 평가	독성시험 방법 표준화	하	중
		발암-비발암성 독성 시험 방법	하	중
		잔류 독성 평가 기술	하	중
		노출 정도에 따른 독성 평가 기술	하	중
	위해성 평가 모델	지역별 토양 및 지하수 특성 분석	하	상
		오염의 장소 특이적 특성 분석	하	중
		오염 특성에 따른 위해성 평가 기법	하	중
		복원에 대한 위해성 평가 모델 개발	하	중
토양환경 현장 모니터링 기술	광학적 모니터링 기술	대표지역에 대한 위해성 평가 모델 설정	하	중
		실시간 오염도 측정 가능한 모니터링 기술	하	상
		오염물질에 대한 광학적 모니터링 선택성 및 민감성 확인	하	상
		정량 및 정성분석 모니터링 기술	하	중
		토양의 특성을 고려한 모니터링 기술	하	중
	생물학적 모니터링 기술	독성 평가를 위한 생물체 검정 연구	중	상
		생물체의 오염도에 대한 반응성 연구	하	중
		in situ 분석을 위한 시스템 개발	하	중
		생물학적 모니터링 시스템의 표준화	하	하
	현장 복원공정 모니터링기술	오염물질의 정성 및 존재상태에 정보제공	하	상
		복원공정 수행평가의 공인검증체제로써의 모니터링 기술 개발	하	상
		복원토양 및 공정을 고려한 모니터링 기술	하	중
	통합적 토양환경 모니터링 시스템 구축	조기모니터링 시스템	하	중
		복원공정 적용의 우선순위 제공	하	중
		지속적 토양 질에 대한 자료 제공	하	상

(1) 토양환경 유해성 평가 핵심 기술 도출

(가) 유해성 확인 기술 (Hazard Identification)

- ① 오염물질의 평가에 대한 기술
 - ㉠ 토양환경에 대한 오염물질의 정성, 정량적 평가 기술
 - ㉡ 토양환경 내 오염물질의 존재 형태별 분석 기술
- ② 장소 특이적인 오염물질의 특성 평가 기술
 - ㉠ 오염물질의 토양 및 지하수 이동 특성 연구
 - ㉡ 토양환경 내 오염물질의 축적성 평가 기술

(나) 독성 평가 기술

- ① 질병 의학적 접근을 통한 오염물질의 독성 평가
 - ㉠ 발암-비발암성 오염물질의 구분에 따른 독성 평가 기술
 - ㉡ 오염종류 및 장소 특이적 오염물질 존재 형태에 따른 평가 기술
 - ㉢ 단기 및 장기 노출에 대한 독성 평가 기술
- ② 생태 위해성 접근을 통한 오염물질의 독성 평가
 - ㉠ 오염물질의 먹이사슬을 통한 전이에 대한 평가 기술
 - ㉡ 오염물질의 토양 및 연속적 환경내 축적성 평가 기술

(다) 노출 평가 (Exposure Assessment)

- ① 인체 노출 평가
 - ㉠ 사회구조의 특성에 따른 오염매질에의 노출에 대한 통계적 분석
 - ㉡ 한국인의 생활 습성에 따른 노출 분석
 - ㉢ 환경이용의 변화에 따른 노출도 변화 예측 기법
- ② 생태계 노출 평가
 - ㉠ 지역별 생태계 변화에 대한 통계 자료 Database
 - ㉡ 생태계 종별 환경오염물질에 대한 노출 경로 예측 기법

(라) 위해성 평가 모델 개발

- ① 오염지역 평가를 위한 위해성 평가 모델 개발
 - ㉠ 오염물질 및 오염지역의 특성에 따른 오염기준 설정 기법 개발
 - ㉡ 복원 우선순위 결정을 위한 위해성 평가 모델 개발
 - ㉢ 토양환경 변화에 대한 위해성 예측 모델 개발
- ② 복원 평가를 위한 위해성 평가 모델 개발
 - ㉠ 복원 설계를 위한 위해성 평가 모델 개발
 - ㉡ 위해성 평가에 기초한 복원 기준 설정 모델 개발
 - ㉢ 복원 과정 모니터링을 위한 위해성 평가 모델 개발

(2) 토양환경 현장 모니터링 기술 핵심기술 도출

(가) 광학적 모니터링 기술

- ① 레이저 분광학을 이용한 현장용 non-invasive 환경 센서의 개발
- ② 오염물질에 대한 광학적 모니터링의 선택성 및 민감성확인
- ③ 오염 토양의 특성에 의한 영향 보정기술 개발
- ④ 정성분석을 통한 screening tool 역할과 동시에 정량분석결과를 제공할 수 있는 모니터링 기술개발

(나) 생물학적 모니터링 기술

- ① 오염물질의 평가에 적합한 생물체 검정 연구
 - ㉠ 토양환경에 대한 오염물질의 독성 평가를 위한 표준 생물체 검정 기술
 - ㉡ 토양환경에 대한 오염물질의 독성 평가를 위한 새로운 생물 검정체의 개발 기술 (유전자 재조합체- transgenic plant, recombinant bacteria 등)
 - ㉢ 토양 오염물질에 대한 바이오시스템의 반응 메커니즘 연구
- ② 토양 오염 in situ 분석을 위한 생물학적 모니터링 시스템 개발
 - ㉠ 현장 운영에 적합한 시스템 개발 연구

- ㉔ 생물체 탐재를 위한 시스템 harmonized 방법 연구
- ㉕ 모니터링 시스템을 이용한 탐지 방법의 표준화 연구

(다) 현장 복원공정 모니터링 기술

- ① 복원공정을 통한 토양 내 오염물질의 거동 및 감소경향성을 파악하는 실시간 모니터링 기술
- ② 복원공정 수행평가의 기준을 제공할 공인검증체계로의 모니터링 기술 확립
- ③ 오염토양 및 복원공정의 특성을 고려한 모니터링 기술

(라) 통합적 토양환경 모니터링 시스템 구축

- ① 조기 모니터링 시스템을 구축하여 지속적인 환경 감시와 환경예보의 기능을 갖추어야 함
- ② 오염토양에 대한 신속한 의사결정을 통한 복원공정 적용의 연계
- ③ 복원공정 후 토양관리를 위한 토양 질에 대한 지속적 데이터 제공

라. 사업추진의 필요성

(1) 전략적 국가 기술 개발

(가) 과학기술기본 계획

- ① 국민 삶의 질에 근간인 환경 보전 기술개발 필요
- ② 환경기술(ET) 중 토양환경의 관리에 필요한 기초 기술
- ③ 토양 및 지하수 복원을 선도할 기초 산업분야로서 향후 관련 실용기술개발의 기본 방향 제시
- ④ 토양환경의 보전 및 환경친화적 복원을 위한 필수 기술

(2) 사전 오염 예방

(가) 체계적 환경관리

- ① 합리적이고 과학적인 환경오염 기준의 설정
- ② 위해성에 근거한 환경기준설정으로 실질적인 인간 및 생태계보호
- ③ 오염지역의 특수성을 반영한 정화기준 마련
- ④ 국토 이용 계획에 따른 환경기준 설정
- ⑤ 위해성에 따른 복구 우선순위 결정
- ⑥ 위해성 평가 및 현장 실시간 복원공정 모니터링을 통한 복원 사업에 대해 전과정 평가 개념 도입
- ⑦ 현장에서의 오염평가를 통한 신속한 처리를 위한 의사결정자료 제공필요
- ⑧ 조기모니터링 시스템 구축을 통한 통합 환경관리의 사전예방체제 마련

(나) 토양오염에 대한 불확실성 감소

- ① 위해성 평가를 통한 합리적이고 과학적인 오염기준 설정
- ② 표준화된 오염 평가 기법으로 오염물질에 대한 관리제도 개선

(3) 국가 자원의 보존

(가) 국토 이용의 효율화

- ① 오염된 토양에 대한 과학적인 평가를 통하여 새로운 환경기준 설정
- ② 토지의 이용 계획에 맞는 복원으로 토지 이용효율 극대화
- ③ 국가적 차원 토양환경모니터링 기술 확보를 통한 토양질 자료제공을 통한 토지 이용률에 대한 효율성 증대

(나) 인간 및 생태계 보존

- ① 건강 위해성 평가를 통한 인간의 건강 보호
- ② 환경오염에 의한 생태계 파괴를 방지하고 생태계의 복원 및 보존

(4) 경제적 효과

(가) 복원에 대한 경제적 효율화

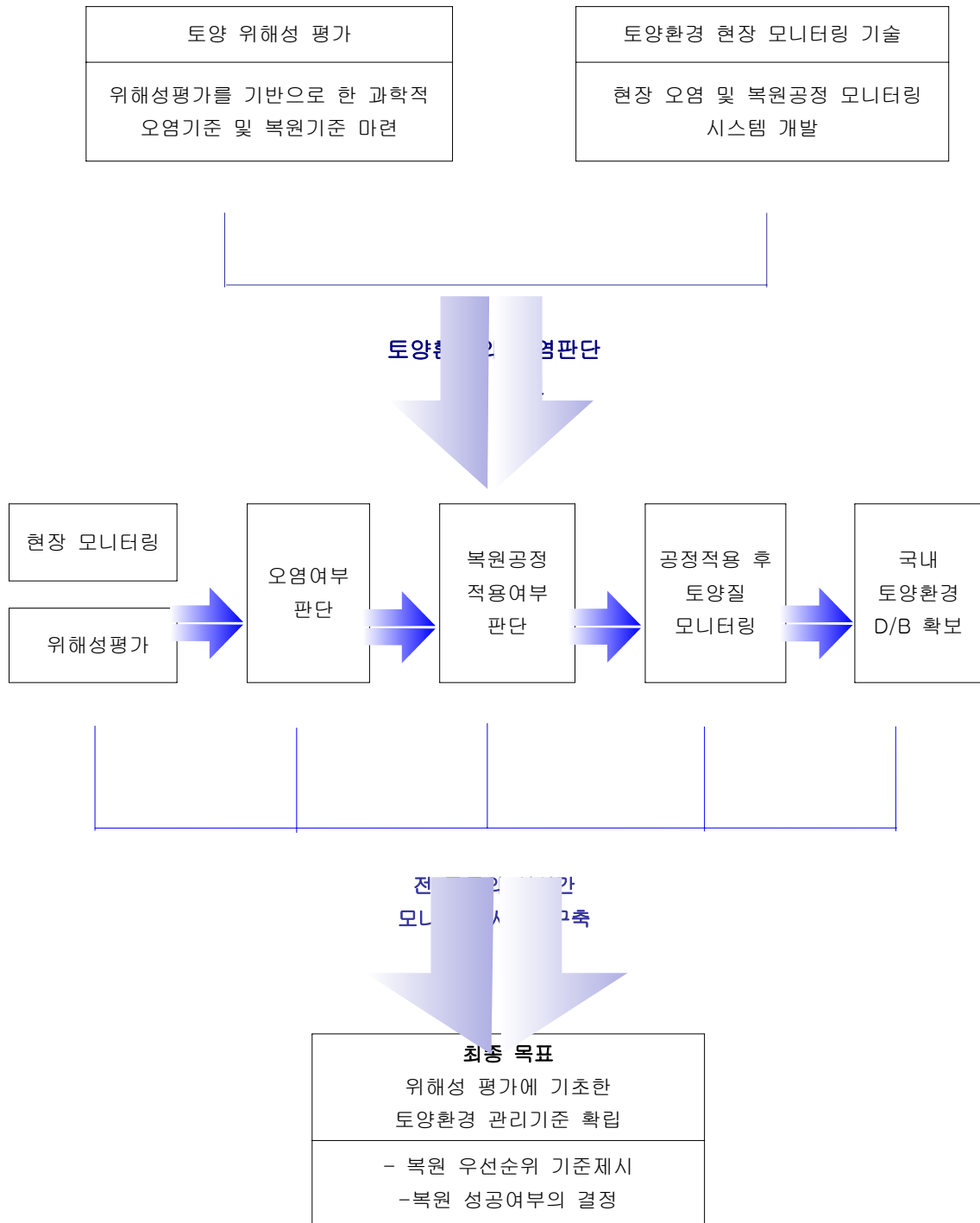
- ① 위해성 평가 및 ,현장 적용 실시간 복원공정 모니터링에 따른 복원 설계 및 평가로 비용대비 복원 효율 극대화
- ② 복원이후의 지속적인 토양환경관리를 위한 모니터링 필요
- ③ 위해성 평가에 근거한 오염 평가를 통한 복원비용 과다 지출 방지
- ④ 위해성 평가를 통한 자연 치유적 복원 기법 활용 가능

(나) 국내 실정에 맞는 오염평가기술 마련

- ① 기존 해외 기술 수입에 의존한 현장 적용 가능 모니터링 기술의 자체 개발 및 국내실정 반영
- ② 지형적 특이성이 유사한 아시아지역으로 독자개발 기술의 파급 영향을 고려시 경제적 이득 형성

3. 사업의 목표

가. 최종목표



나. 단계별 목표

(1) 토양환경 위해성 평가

1단계	유해성 확인 기술	<ul style="list-style-type: none"> 무기 및 유기 오염물질의 특성 분석 오염물질의 토양내 존재 특성 파악 환경오염 유발 가능 물질에 대한 Database 구축
	독성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 환경 오염물질에 대한 기초 자료 수집 발암-비발암성 오염물질 특성 연구
	위해성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 주요 지역별 토양 및 지하수 특성 분석 오염물질의 장소 특이적 특성 분석
2단계	유해성 확인 기술	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질의 정량적 분석 기술 개발 토양환경 내 오염물질의 축적성 평가 기술
	독성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 단기 및 장기 노출에 대한 독성 평가 기술 오염물질의 먹이사슬에 의한 이동 평가 기술
	노출 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 국내 생활 습성에 따른 노출 평가 기술 개발 지역 생태계 현황에 대한 자료 구축
	위해성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 복원 기술의 위해도 평가 특성 분석 오염물질의 토양 및 지하수 이동특성 연구
3단계	유해성 확인 기술	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질의 위해 단계별 분석 기술 표준화 오염물질의 장소 특이적 환경에서 유해정도 평가기술 표준화 오염토양 특성별 오염물질에 의한 유해성 평가 절차 표준화
	독성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질별 독성 평가 기술의 표준화 오염물질의 독성 평가 자료 Database 오염물질 장소 특이적 환경에서 독성 평가 기술 표준화
	노출 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 환경변화와 사회구조 변화에 따른 노출도 예측기술 개발 사회 구조의 특성에 따른 환경매체에의 노출 특성 자료 생태계 특성에 따른 환경에의 노출도 평가 기술개발
	위해성 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> 지역 특성별 대한 토양오염 위해성 평가 모델개발 위해성 평가 절차에 대한 표준화 오염물질 및 오염지역 특성에 따른 오염기준 설정 모델 개발 위해성 평가에 기초한 복원 설계 모델 개발 복원 과정 모니터링을 위한 위해성 평가 모델개발

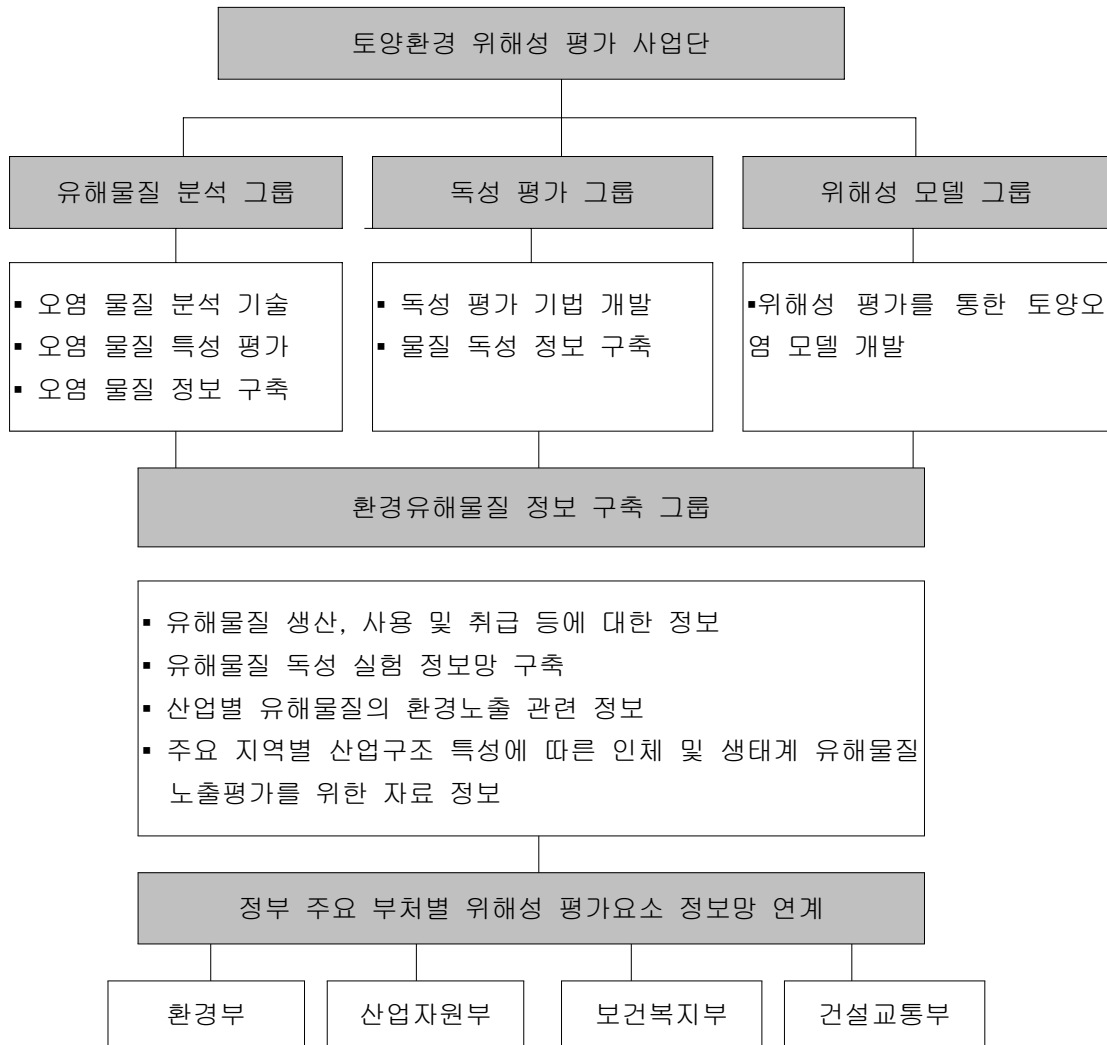
(2) 토양환경 현장 모니터링 기술

1단계	광학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질의 파괴를 최소화하기 위한 non-invasive 분광학 이용 환경 센서 개발 오염물질에 대한 광학적 모니터링의 선택성 및 민감성 확인
	생물학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 토양 오염물질의 특성 파악 오염물 특성에 따른 적절한 생물군 선정 토양 성상에 따른 시스템 프로토타입 연구
	복원공정 모니터링기술	<ul style="list-style-type: none"> 복원토양의 특성을 고려한 모니터링 기술 개발 복원 공정의 특성을 고려한 센서 및 시스템 개발
	토양환경 모니터링 시스템구축	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 토양환경에 대한 지속적인 오염토양 데이터 마련 제도적 장치를 통한 조기 모니터링 제도 확립 및 그에 대한 의사결정의 제도적 연계를 확립
2단계	광학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 환경 센서를 통한 오염물질의 선택적 정성적 해석을 위한 기술 개발 현장 토양의 특성 및 그 영향성을 고려한 모니터링 기술 개발
	생물학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 생물체를 이용한 오염물질에 대한 독성 평가능 연구 토양 오염 탐지 기능 향상을 위한 유전자 재조합체 개발 시스템의 in situ 평가 시스템 데이터 분석 표준화
	현장 복원공정 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 복원 토양내 오염물질의 존재형태 및 감소 정도 등 다양한 정보를 줄 수 있는 통합적 모니터링 기술로 개발 복원 공정/복원토양의 특성을 고려한 모니터링 기술 및 시스템 개발
	토양환경 모니터링 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 토양환경에 대한 지속적인 오염토양 데이터 마련 복원공정 사업 완료후 토양관리를 위한 지속적 모니터링 시스템개발
3단계	광학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 현장토양의 특성을 고려한 오염물질의 정량기술 개발 나노수준의 환경오염물질에 대한 정성, 정량기술 개발
	생물학적 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질의 독성 평가 자료 Database 시스템의 독성 평가 기술의 시제품 완성 및 표준화 시스템 독성 평가 자료 Database 오염물질 특성 및 장소 특이적 환경에서의 모니터링 기술 표준화
	현장 복원공정 모니터링 기술	<ul style="list-style-type: none"> 복원토양 및 공정의 조건 변동을 고려한 모니터링 기술 개발 및 그 결과를 공정에 재 반영할 수 있는 통합적 시스템 개발 복원 공정의 평가기준을 제시할 공인인증자료 역할을 위한 모니터링 기술 신뢰성 확보
	토양환경 모니터링 시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 토양환경에 대한 통합적 모니터링 시스템의 제도적 기반 마련

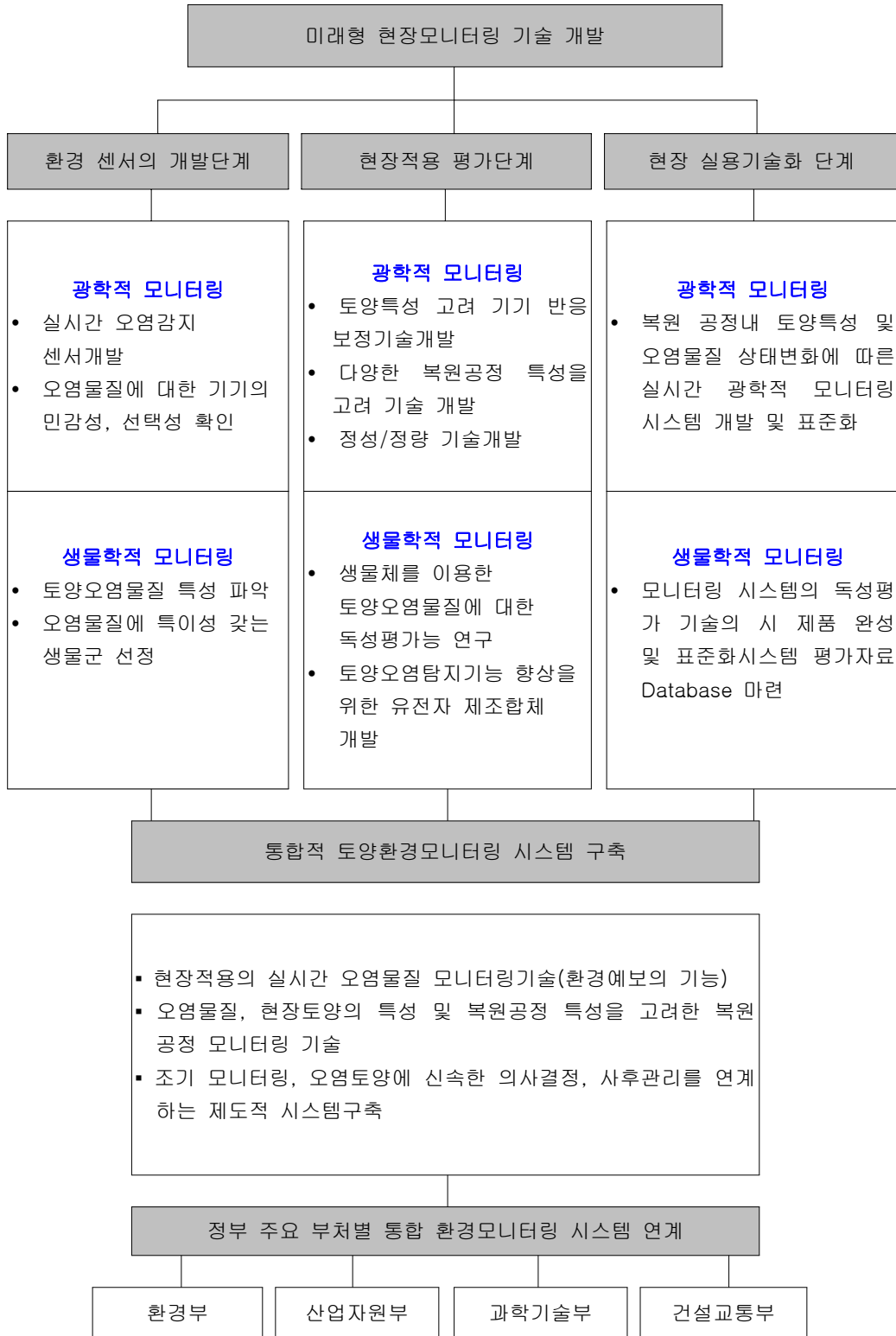
4. 사업의 내용 및 추진체계

가. 사업추진 체계

(1) 토양환경 위해성 평가



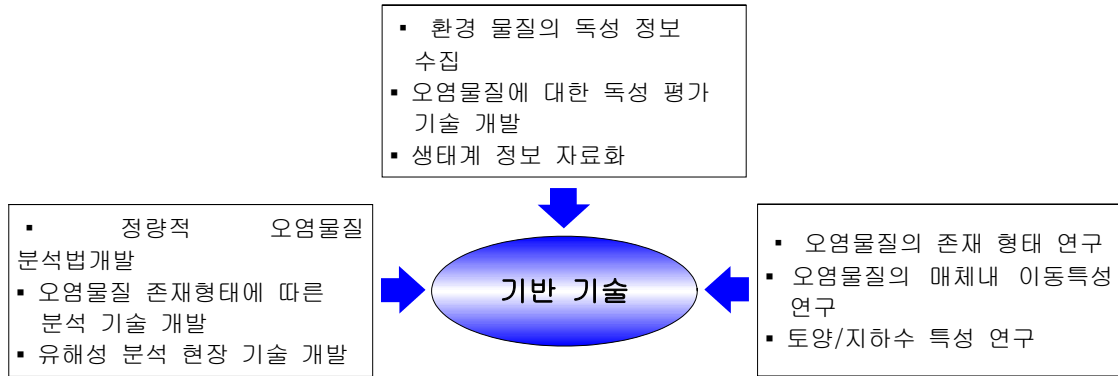
(2) 토양환경 현장 모니터링 기술



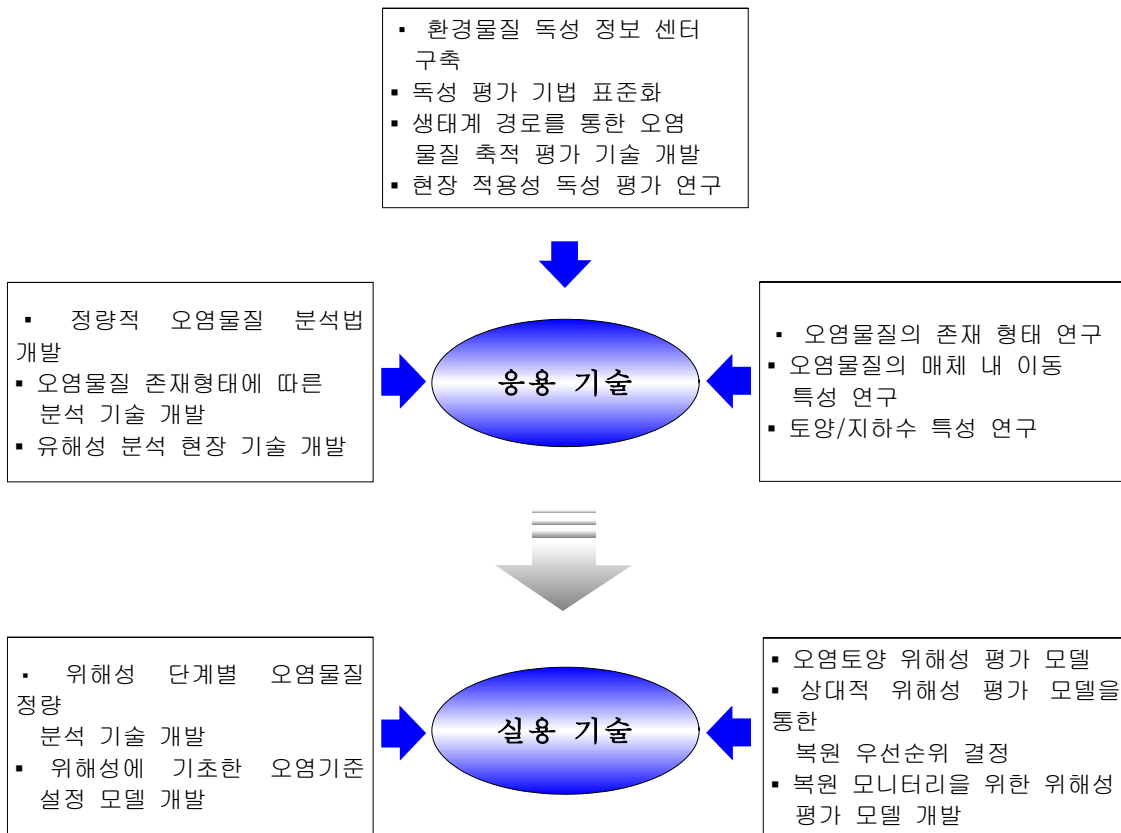
나. 세부사업 추진 체계

(1) 토양환경 위해성 평가

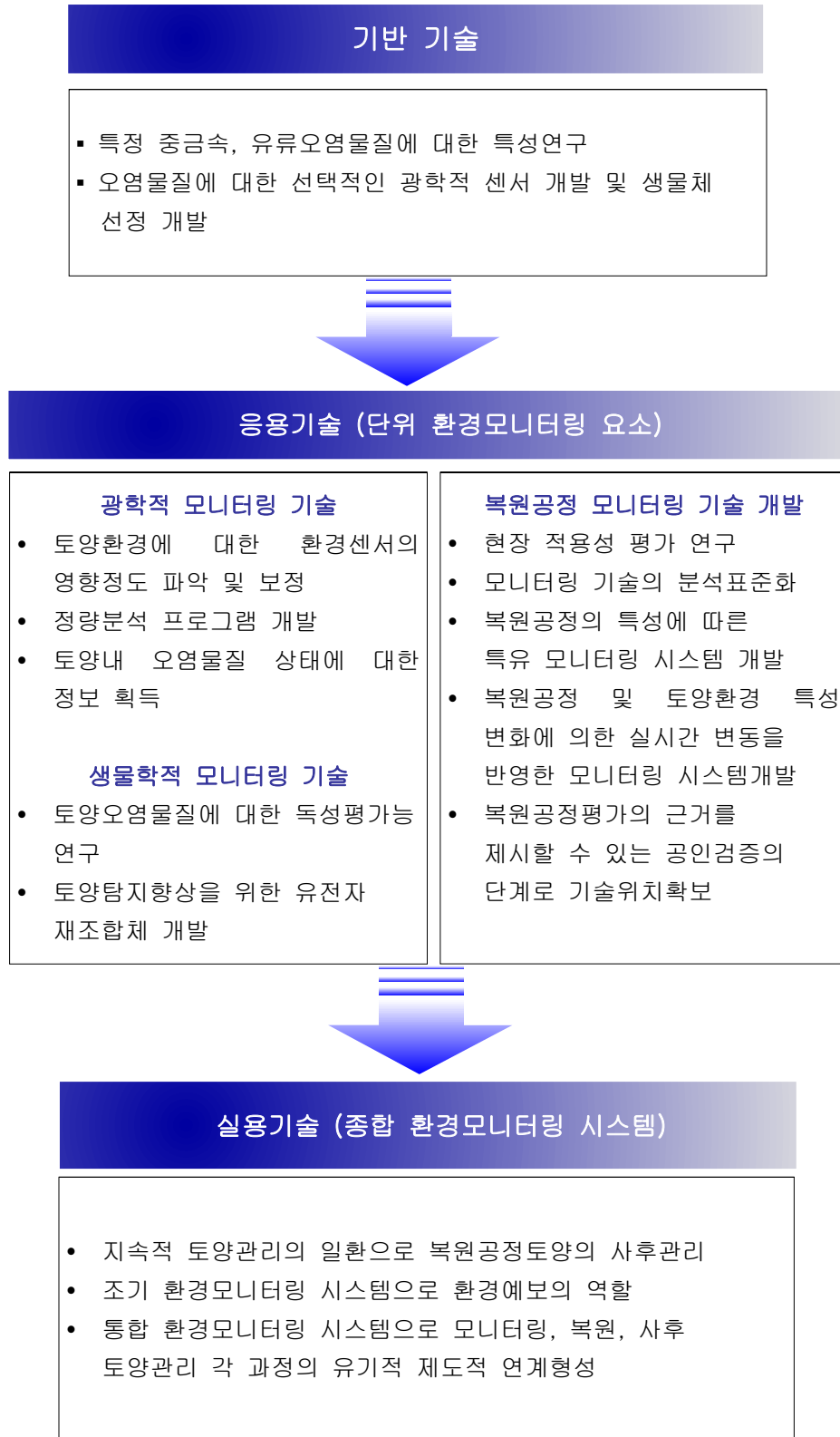
(가) 위해성 평가 기반기술마련



(나) 평가 기술 구체화 및 기술 실용화



(2) 토양환경 현장 모니터링 기술



5. 소요예산/자원 규모

가. 세부 핵심기술별 소요 예산

대분류	중분류	세부 핵심 기술 내용	소요예산 (억원)	
토양 환경 위해성평가	유해성 확인	토양오염물질의 정성, 정량적 평가 기술	20	
		토양오염물질의 위해도 단계별 분석 기술	30	
		토양오염물질의 거동특성 연구	50	
		소 계	100	
	독성 평가	발암-비발암 오염물질의 구분에 따른 독성 평가 기술	20	
		오염 종류 및 장소 특이적 오염물질의 존재 형태에 따른 독성 평가 기술	20	
		환경오염물질의 생태계 독성 평가 기술	20	
		오염물질 독성 평가 자료 정보화	20	
		현장 독성 평가 기술	20	
		노출경로에 따른 독성 평가 기술	20	
		오염물질의 생태계 이동에 대한 특성 분석 기술	20	
	소 계	140		
	노출 평가	사회적 특성에 따른 사회요소의 환경노출 평가 기술	20	
		사회 노출인자 중 위해성 평가 요소에 대한 정보화	20	
		생태계 변화에 따른 위해성 평가 요소 자료 정보화	20	
		생태계 요소 환경오염물질에 대한 노출경로 예측 기술	20	
		소 계	80	
	위해성 평가 모델	오염물질 및 오염지역의 특성별 위해성 평가를 통한 오염기준 설정 모델 개발	30	
		주요 토양오염에 대한 복원 우선순위 결정 모델 개발	25	
		위해성 평가에 기초한 복원기준 설정 및 복원 설계 모델 개발	35	
		복원 과정 모니터링을 위한 위해성 평가 모델 개발	35	
		토양환경 변화에 따른 위해성 예측 모델 개발	25	
		소 계	150	
	총 계			470

대분류		세부 핵심 기술 내용		소요예산 (억원)	
토양환경 현장 모니터링 기술	현장 오염물질 모니터링기 술	광학적 모니터링	오염물질에 대한 기기의 선택적 감응정도 파악	30	
			센서별 토양의 특성을 고려한 모니터링 기술	40	
			오염물질별 선택적 정성 및 정량분석 개발	30	
			오염물질에 대한 정성 및 존재상태에 대한 정보제공 모니터링 기술	30	
		생물학적 모니터링	토양오염 분석을 위한 생물체 선별 및 검정화 기술	40	
			효율적인 오염 분석을 위한 유전자 재조합체 개발 기 술	40	
			토양오염물질에 대한 반응 평가 분석 및 database 구축	30	
			생물체와 모니터링 시스템의 harmonized 기술 개발	30	
			소계	270	
			현장 적용평가 및 분석 표준화 시행	40	
	현장 복원공정 모니터링 기술	복원공정 수행평가의 공인검증체제로의 모니터링 기술 개발	40		
		토양 및 복원공정의 특성을 고려한 유동적 모니터링 시스템 개발	40		
		소계	120		
		통합적 토양환경모니터링 시스템 구축	조기모니터링 시스템 구축	40	
	체계적 토양관리의 데이터 제공 시스템 독성평가기술의 database 구축		30		
	통합시스템으로의 제도적 연계		40		
	소계		110		
	총계				500

나. 연도별 소요예산

대분류	중분류	계	연도별 소요예산 (년, 억원)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
토양 환경 위해 성 평가	유해성 평가	100	20	20	10	10	10	10	5	5	5	5
	독성평가	140	20	20	20	20	15	15	10	10	5	5
	노출평가	80	5	5	5	15	20	10	5	5	5	5
	위해성 평가모델	150	5	5	10	10	10	10	20	30	30	20
	총 계	480	50	50	45	55	55	45	40	50	45	35

토양환 경 현장 모니터 링 기술	현장 오염물질 모니터링	270	25	30	35	35	30	30	30	20	15	10
	현장 복원공정 모니터링	120	5	5	5	5	10	15	15	20	20	10
	토양환경 모니터링 시스템구축	110	5	5	5	5	10	10	20	20	15	15
	총 계	500	35	40	40	45	50	55	65	60	50	35
총계		980	85	90	85	100	105	100	105	110	95	70

6. 기대효과

가. 토양 환경 관리 체제 구축

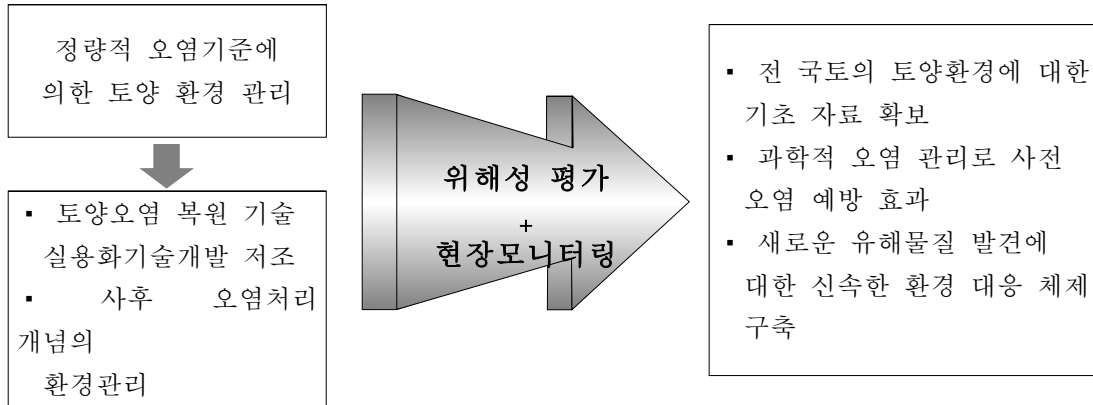
(1) 통합적 환경관리에 대한 기틀을 마련

(가) 전 국토의 토양환경에 대한 기초 자료 확보

(나) 실시간의 이동성을 가진 오염모니터링 시스템 구축을 통한 현장에서 오염사고에 대한 신속한 대응 가능

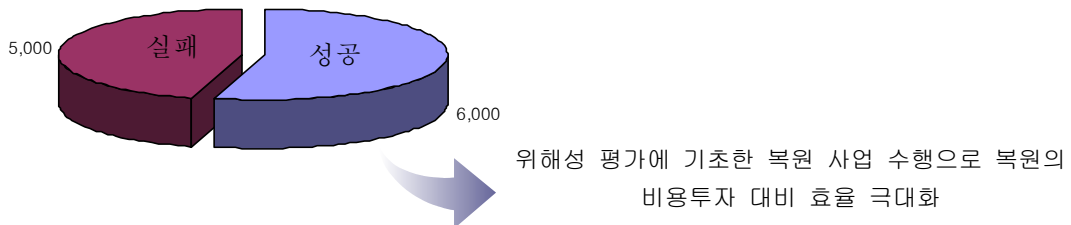
(다) 국내 실정에 맞는 모니터링 시스템구축을 통해 해외 신기술의 수입비용 및 국내 현장에서 적용 기간 등의 경제적 손실을 줄임

(라) 복원 공정과 오염토양평가에 합리적이고 경제적 계획으로 접근하여 경제적 이익 증대



나. 경제적 파급 효과

미국의 예를 통한 국내복원 효과예측 (억원)



(1) 선진국과의 격차는 환경 분야에서 대략 10-15년의 격차를 보이지만 향후 10년간의 집중투자가 뒷받침되어 통합적 환경모니터링의 시스템의 안에서 선진국 기술 습득을 바탕으로 국내실정에 맞는 기술을 독자적 개발한다면 선진국과의 격차를 줄이며 강한 경쟁력 확보 가능

(2) 향후 10년간 아시아 환경시장의 폭발적인 수요증대를 예상할 때 한국형 환경 기술을 개발해 나간다면 아시아 시장에서 주도적 위치를 확보할 수 있을 것임

7. 부처별 역할 분담

가. 토양환경 위해성 평가

과 학 기 술 부	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 위해성 평가와 관련된 기초 기반 기술은 의학, 생태학, 화학, 환경공학, 토양/지 질 학등 다학제적 특성을 지니므로, 총괄적 사업단 구성 및 추진 역할이 중요함 ▪ 위해성 평가는 기초 과학 분야의 기술 개발이 기본 전제가 됨 ▪ 위해성 평가를 위한 요소기술을 통해 축적된 기술성과 자료의 통합적 관리를 위한 주 관 부처의 역할이 중요 ▪ 개발된 기술을 통해 해당 부처별 기술 활용의 효과를 기대할 수 있음 	
환경부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대핵심환경기술개발사업을 통해 토양오염 특성별 복원 기술 실용화 ▪ 향후 토양환경보전법의 개정시 위해성 평가 개념의 도입 ▪ 토양오염물질의 선정 및 기준 설정 ▪ 주요 대상 지역에 대한 토양오염측정망 설계 ▪ 국가 주요 오염토양부지에 대해 위해성 평가를 통한 복원 우선순위 결정 ▪ 복원 과정에 대한 위해성 평가 실용화
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요 산업단지에 대한 토양환경관리 체계 마련 ▪ 위해성 평가를 통해 산단 지역 오염 예방 프로그램으로 활용
보건복지부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 질병 의학적 관점에서 접근 가능한 화학물질의 관리 방안 마련 ▪ 생태계 변화에 따른 인체 건강의 위해성 평가 모델로 확대 ▪ 새로운 질병에 대한 예방의학적 자료로 활용
건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위해성 평가를 고려한 국토이용계획 수립으로 국가 자원의 활용 증가 ▪ 지하수 자원의 효율적 이용 계획 수립

나. 토양환경 현장 모니터링 기술

과 학 기 술 부

- 지속가능한 토양환경의 관리를 위해서는 과학기술이 근간이 되는 체계적 추진 필요
- 환경모니터링 시스템구축의 근간은 오염물질, 오염토양 및 복원공정의 특성 파악 등의 과학적 접근이 필요
- 통합적인 환경모니터링시스템 구축의 환경기술은 국가전략기술인 동시에 정부 지원 가치가 큰 분야로 그 추진역할의 부서는 그 간 산발적으로 연구되어온 과학 기술 자료를 통합하여 관리할 수 있어야함

환경부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대핵심환경기술개발사업을 통해 환경오염모니터링 기술개발 ▪ 토양환경평가법의 진보적 발전을 위해서는 환경모니터링의 개념 근간으로 오염토양평가의 신속한 대응이 요구 ▪ 현장에서 측정 가능한 모니터링 기술을 토대로 토양오염평가 용이성을 인식시켜 오염원인자 자발적으로 오염조사에 참여 유도 ▪ 특별오염 유발지역 등으로 한정된 토양오염평가를 이동성을 구비 현장측정 모니터링 기술의 개발로 확대 개선 ▪ 유전자 재조합 생물체 사용에 대한 안정성 대책 마련 ▪ 생물학적 토양 오염 모니터링의 자료를 기반으로 전국적인 토양 오염 지도 작성 프로그램에 활용
산업자원부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요 산업단지에 대한 토양환경관리 체계 마련 ▪ 조기 환경모니터링 시스템 구축을 통해 산단 지역 오염 예보 기능 활용
건설교통부	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 통합적인 환경모니터링 시스템 구축을 통한 효율적인 국토이용 계획 수립 ▪ 복원공정 이후 지속적인 모니터링을 통해 효율적 토양관리

8. 기타

가. 사업의 성공 가능성

- (1) 최근 환경기술 관련 해외기술을 습득한 인력이 다수
- (2) 선진국 경험을 토대로 연구의 효율적 선택과 집중 가능
- (3) 집중적 연구투자로 기술 격차의 조기 극복이 가능

나. 지원 필요사항

(1) 정부 사업과의 연계필요

(가) 독자적 정부기관, 지방단체 주체 혹은 대학 등의 연구소의 산발적 연구가 아닌 중점적 추진력을 가진 정부기관을 중심으로 다양한 정부기관의 협력을 통한 국가적 차원의 오염토양에 대한 체계적인 모니터링, 복원, 사후관리정책이 이루어져야 함

- ① 행정망 전산화를 통한 지역별 사회구조 통계 정보망과 오염평가 자료의 연계 필요
- ㉠ 특정오염물질에 대한 생물학적/광학적 모니터링 자료 정보 구축
- ㉡ 특정오염지역에 대한 위해성 평가 자료 구축
- ② 현재 정부 및 자치단체에서 추진 중인 주요 시설에 대한 GIS 구축 사업 시 위해성 평가에 필요한 기본 요소에 대한 정보망 구축 필요

(2) 국제 사회 활동과의 연계

(가) OECD 대량생산화학물질 위해성 평가회의를 통한 화학물질에 대한 평가 방법의 표준화 사업과 연계 필요

(나) 환경오염에 대한 국제 협약 등에 대해 위해성 평가 개념 도입에 대비한 국가적인 위해성 평가 체제 구축

다. 사업 추진 체제 지원

(1) 토양오염에 대한 위해성 평가 기술은 기초과학분야에서 응용, 공학 분야까지 다학제적 성격을 지니므로 체계적인 사업의 추진 및 기술개발과 축적된 성과의 정보화를 위한 대형 사업단 추진 필요

9. 참고문헌

1. 환경부, 1993, 산업화된 국가들의 오염토양 관리정책
2. 한국환경기술개발원, 1995, 유해물질 환경위해성 평가의 국내 도입에 관한 연구 보고서
3. 한국환경정책 평가연구원, 1997 토양질 측정 자료의 관리체계 구축방안
4. 현대환경리포트, 1998, 환경복원기술의 현황 및 전망
5. 국립환경연구원, 1999, 21세기 토양환경관리를 위한 발전방향
6. 한국과학기술기획 평가원, 2001, 21세기 프론티어연구개발사업-오염 환경 복원 및 정화 기술 개발사업 타당성 조사 및 세부기획 보고서
7. EPA, 2001, Risk Assessment Guidance for Superfund Vol.1
8. 환경부, 2002, 토양환경보전 정책 방향
9. 환경정책평가연구원, 2002, 차세대 핵심환경기술 개발사업 10개년 종합계획 수립연구
10. 한국환경정책 평가연구원, 2002, 토양오염지역의 관리 및 복원방안
11. 환경부, 2002, 토양환경보전 중장기 정책방향 및 대책
12. 환경정책 평가연구원, 2002, 국가기술지도 2단계: 생태계 오염토양 지하수 복원기술 요약본
13. ASTM, 2002, ASTM E-1739-95, Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites.

14. 환경연구정보센터, 2003, 위해성 평가를 이용한 오염토양 복원 및 타당성
15. 환경부, 2003, 토양오염 위해성 평가방안 마련을 위한 연구용역 보고서
16. 첨단환경기술, 2003, 토양환경의 위해성 평가 현황
17. 환경부, 2003, 환경통계연감

세부 기술별 대표 집필자

<에너지분야>

- 1MW SFES 개발 성태현(한국전력연구원)
- 신 탄화수소 에너지 기술개발 류병재(한국지질자원연구원)
- 바이오매스 신에너지 자원화 기술 개발 박순철(한국에너지기술연구원)
- 미래형 GEN Building 기술 개발 조성환(한국에너지기술연구원)
- 하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발 이상국(한국에너지기술연구원)
- 차세대 박막 태양전지 기술 개발 윤경훈(한국에너지기술연구원)
- 해상 풍력발전시스템 개발 경남호(한국에너지기술연구원)
- 조류·조력 발전 기술개발 허 식(한국에너지기술연구원)

<환경분야>

- 입자상 오염물질 저감기술 개발 박영옥(한국에너지기술연구원)
- 유해물질 제어 고도 수처리 기술 개발 박대원(한국과학기술연구원)
- Zero Emission Research Park 개발 김석준(한국기계연구원)
- 토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가 기술 .. 김경웅(광주과학기술원)

서 지 정 보 양 식		1. 보고서번호 M103EB000005-03E0200-00510
2. 서명 : 에너지환경 기술개발 중장기 전략 수립연구		
3. 보고서 종류	4. 수행 부서명 에너지시스템 연구부	
5. 연구수행자(연구책임자 맨 앞에 기재) 윤형기, 문승현, 정현, 이상남, 김종남, 이동원		
6. 보고서 발행일 2003. 12. .	7. 페이지(서문, 본문) vii, 356	8. 참고사항 도표()개/그림()개/참고문헌()개
9. 위탁기관 과학기술부	10. 공개여부 공개 (0) 비공개 (까지)	
11. 초록 에너지 경 분야의 중장기 추진 핵심기술 분야의 선정을 위하여 ① 국내외 산업의 현황과 전망, ② 국제적 기술 추세, ③ 국제적인 환경 규제, ④ 미래 산업의 기술 예측, ⑤ 기존 계획의 분석을 수행하였다. 에너지분야의 핵심추진기술은 1MW SFES 개발, 신 탄화수소 에너지 기술개발, 바이오매스 신에너지 자원화 기술개발, 미래형 GEN Building 기술개발, 하이브리드형 세라믹 멤브레인 개발, 차세대 박막 태양전지 기술개발, 해상 풍력발전시스템 개발, 조력 조류 발전 기술개발 이다. 환경분야의 핵심추진기술은 입자상 오염물질 저감 기술개발, 유해물질 제어 고도 수처리 기술개발, Zero Emission Research Park, 토양환경 관리를 위한 환경 위해성 평가기술이다.		
12. 주제코드		
13. 키워드(10개 내외) 에너지, 환경, 연구기획, 국가기술지도, 환경기술		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET		1. REPORT NO. M103EB000005-03E0200-00510
2. TITLE : Mid/Long Term Strategic R&D Plan of Energy and Environment Technologies		
3. TYPE OF REPORT		4. PERFORMING LAB. Energy System Research Departmet
5. RESEARCHER H.K. YOON, S.H.MOON, H.JUNG, S.N. LEE, J.N.KIM, D.W. LEE		
6. REPORT DATE 2003. 12. .	7. TOTAL PAGES vii, 356	8. REFERENCE Tabs.(48) / Figs.(35) / Refs.(97)
9. SPONSORING ORGANIZATION MOST		10. CLASSIFIED OPEN (0) NOT OPEN ()
11. ABSTRACT Based on the detailed analysis of the state of the art of energy and environment technologies, it is necessary to draw the mid/long term strategic R&D plan of them. This study suggests not what to do but how to do. A mid/long term strategic R&D plan of energy and environment technologies is drawn. In this report, new 11 emerging technologies are strategically suggested with the detailed action plan.		
12. SUBJECT CATEGORY		
13. KEYWORD ENERGY, ENVIRONMENT, R&D PLAN, NTRM, ET		