

2010

21C 프론티어 사업, 10년을 말하다

21st-Century Frontier R&D; Traces of a decade

2010 21C 프론티어 사업, 10년을 말하다

2010

21st-Century Frontier R&D;
Traces of a decade





21st-Century Frontier R&D; Traces of a decade

Contents

I. 종합

21C 새 희망 프로젝트

- 16** 01 21C 프론티어 사업의 태동
- 24** 02 21C 프론티어 사업의 발자취
- 36** 03 16개 사업단 투자 현황
- 42** 04 16개 사업단 성과 현황

II. 사업단

10년의 결실 -2010년 종료 4개 사업단 성과

- 64** 01 연구성과 기여도 분석
- 99** 02 경제적·사회적 성과 분석

인간유전체 연구의 초석을 다지다 - 인간유전체기능연구사업단

- 118** 01 사업단 10년사
- 139** 02 게놈에서 신약까지
- 142** 03 10년의 열정이 결실을 맺다
- 176** 04 남기고 싶은 이야기
- 178** 부록

나노전자소자 분야의 새 역사를 쓰다 - 테라급나노소자개발사업단

- 192** 01 사업단 10년사
- 212** 02 인공지능의 꿈을 실현시킬 나노전자소자 기술
- 216** 03 10년의 열정이 결실을 맺다
- 250** 04 남기고 싶은 이야기
- 256** 부록

자생식물 연구활용의 초석을 다지다 - 자생식물이용기술개발사업단

- 270** 01 사업단 10년사
- 294** 02 자생식물자원 활용 고부가가치 산업 창출
- 298** 03 10년의 열정이 결실을 맺다
- 332** 04 남기고 싶은 이야기
- 341** 부록

녹색기술의 새 지도를 그리다 - 자원재활용기술개발사업단

- 358** 01 사업단 10년사
- 380** 02 폐기물 제로화를 꿈꾸다
- 389** 03 10년의 열정이 결실을 맺다
- 424** 04 남기고 싶은 이야기
- 428** 부록

III. 함께하는 미래

또다른 시작을 위해

- 440** 01 21C 프론티어사업 후속지원방안
- 442** 02 분야별 세부 추진방안

미래를 위한 제언

- 452** 01 인간유전체기능연구사업단
- 454** 02 테라급나노소자개발사업단
- 456** 03 자생식물이용기술개발사업단
- 459** 04 자원재활용기술개발사업단



2010

21st-Century Frontier R&D;
Traces of a decade



I. 종합

제 1장 21C 새 희망 프로젝트

- 01 21C 프론티어 사업의 태동 · 16
- 02 21C 프론티어 사업의 발자취 · 24
- 03 16개 사업단 투자현황 · 36
- 04 16개 사업단 성과현황 · 42



History Highlight



- 2000**
 01 인간유전체기능연구사업단 현판식
 02 테라급나노소재개발사업단 개소식
 03 자생식물이용기술개발사업단 현판식
 04 자원재활용기술개발사업단 현판식
- 2001**
 05 10월 작물유전체기능연구사업단 현판식
 06 11월 수자원의지속적확보기술개발사업단 개소식
 07 11월 차세대초전도응용기술개발사업단 현판식
 08 생체기능조절물질개발사업단 현판식
- 2002**
 09 6월 나노메카트로닉스기술개발사업단 단장 임명장 수여식
 10 12월 프로테오믹스이용기술개발사업단, 나노소재기술개발사업단 현판식
- 2003**
 11 4월 프로테오믹스이용기술개발사업단 유명희 단장 KBS 제라디오 "21세기 신국부론" 방송 출연
 12 4월 수자원의지속적확보기술개발사업단 청계천 복원 기술지원 워크숍
 13 7월 미생물유전체활용기술개발사업단 현판식
- 2004**
 14 3월 고효율수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업단 현판식
 15 4월 뇌기능활용및뇌질환치료기술개발사업단 개소식
 16 9월 세포응용연구사업단 줄기세포국제심포지엄
- 2005**
 17 11월 제1회 미래성장동력 연구성과전시회
 18 8월 수자원의지속적확보기술개발사업단 제3회 수자원정책 포럼 주제: 지속가능한 수자원 관리
- 2006**
 19 12월 나노소재기술개발사업단 '미국 브룩헤븐국립연구소와 양해각서' 체결
 20 6월 Proteomics Platform 개발 국제 화상회의 (프레드 허츠스암연구소(미국) 외 30명)
 21 6월 미생물유전체활용기술개발사업단 노무현 전대통령 방문
- 2007**
 22 10월 작물유전체기능연구사업단 독일 CropDesign/BASF Plant Science와 국제공동연구사업 협정서 체결
 23 4월 나노메카트로닉스기술개발사업단장 과학기술진흥유공 포상
 24 11월 고효율수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업단 한·슬로베니아 수소저장 MOU체결
- 2008**
 25 11월 나노메카트로닉스기술개발사업단 21세기 프론티어사업 특집 YTN 방송
 26 11월 뇌기능활용및뇌질환치료기술개발사업단 한·영 국제 신경과학 심포지엄
 27 12월 프론티어연구성과대전 기술이전 조인식
- 2009**
 28 6월 작물유전체기능연구사업단 모내기행사 (2009. 06. 03~04. 경북대 농장)
 29 11월 16개 프론티어사업단 사무국 홍보협의회 회의
- 2010**
 30 프론티어 종료사업단성과보고대회 - 프론티어 10년을 말한다
 31 프론티어 종료사업단성과보고대회 - 기술이전 조인식
 32 프론티어 종료사업단성과보고대회 - 감사장 수여

“ 국가연구개발 활동은 미래에 대한 투자이며, 미래를 현실로 실현시키는 상상력의 소산입니다.”



인류 역사를 돌아켜보면 미래는 준비하는 이들에게 장밋빛 전망과 행복한 내일을 약속해왔습니다. 국가연구개발 활동은 미래에 대한 투자이며, 미래를 현실로 실현시키는 상상력의 소산입니다. 지금 우리의 세상은 지난 시기 인류가 꿈꾸던 세상이며, 우리의 내일은 오늘 우리가 무엇을 원하는가에 따라 달라질 것입니다.

바야흐로 21세기는 지식기반의 경제활동이 주류를 이루는 지식경제의 시대, 혁신주도형 성장의 시대입니다. 20세기 말 IMF 외환위기 발생, 고유가 시대 도래 등으로 과거의 투입주도형 성장전략에서 벗어나 차세대 성장 동력 육성, 과학기술 중심의 혁신주도형 성장 전략으로의 전환이 요청되었습니다.

이러한 시대적 요청 사항을 반영하여 정부는 새로운 시대를 바라보며 『21세기 프론티어 연구개발 사업』을 지난 1999년 말부터 시작하여 오늘에 이르기까지 10년의 세월 동안 꾸준히 지원해오고 있습니다.

지난 40여 년의 국가 연구개발 과정에서 정부 주도의 대형 장기 연구 개발 프로그램은 경제사회적으로 많은 공헌을 해왔습니다.

21세기 프론티어 연구개발 사업은 특정연구개발사업과 G7 프로젝트 사업을 잇는 대표적인 대형 장기 연구개발 프로그램으로서, 2010년 전략 기술 분야에서 선진국 수준의 경쟁력을 확보하여, 선진경제를 실현하고 선진국 수준의 삶의 질을 구현하고자 출범되었습니다.

우리나라 과학기술의 새 역사를 창조한 21세기 프론티어 연구개발사업 중 올해 들어 출범한지 10년이 흐른 4개 사업단이 대단원의 막을 내리게 되었습니다. 21세기 프론티어 사업은 수천 명의 연구원이 참여하고, BT, NT, ET 분야 등 다양한 영역에서 괄목할 만한 성과를 일구어낸 대한민국의 대표적 R&D 프로그램으로 자리 잡았습니다.

그 결과 사업단 출범 전 세계 중상위권 수준의 연구역량이 최근에는 세계 Top 수준의 역량으로 도약하였습니다. 2009년까지 16개 사업단의 국내 SCI 논문은 977건, 국제 SCI 논문은 7,679건으로 총 SCI논문 8,656건에 이르고, 국내 특허 등록 2,536건, 국제 특허 등록 452건으로 총 특허 등록은 3,028건에 이르는 것으로 나타났습니다.

이 중 올해 종료되는 4개 사업단의 국내 SCI 논문은 403건, 국제 SCI논문 2,177건으로 총 SCI 논문이 2,580건에 이르고, 국내 특허 등록 1,003건, 국제 특허 등록 289건 총 특허등록 1,292건에 이르는 것으로 나타났습니다.

이는 4개 사업단이 해당 분야에서 지난 10년간 한국의 SCI 논문 실적을 사업단 출범 전에 비해 12배에서 30배까지 증가시키는 핵심적 기여를 한 것이고, 연구비 1억 원 당 SCI 논문 수도 국가 평균 0.1편에 비해 3.3배에서 10배 높은 수준입니다. 특허의 경우 사업단 출범 전에 비해 7배에서 44배 증가시키는 데 기여하였고, 세계 관련 분야 특허의 3%~10%를 확보하고 있는 것으로 분석되었습니다.

한편, 4개 사업단의 경제사회적 성과분석결과, 기술이전의 경제효과는 향후 10년간 총 23조 4,537억 원에 이르고, 예상 기술이전의 경제 효과는 총 3조 8,475억 원에 이르는 것으로 나타났습니다. 경제효과를 종합하면 4개 사업단의 총 연구개발투자 대비 56배의 직접 경제효과를 창출한 것으로 나타났습니다. G7 연구개발 프로젝트가 대형 연구개발 프로그램의 초석을 다진 것이라면, 21세기 프론티어 사업은 범부처적으로 각종 연구개발 프로그램에 사업단 체제를 정착 및 확산시키고, R&D 혁신 및 선진화의 기반을 제공하였다고 평가할 수 있습니다.

인간유전체기능연구사업단, 자원재활용기술개발사업단, 테라급 나노소자개발사업단, 자생식물이용기술개발사업단의 사업단장, 과제 책임연구원, 참여연구원 그리고 사무국 관계자 여러분 그동안의 노고에 대해 과학기술계를 대표하여 경의를 표합니다.

그리고 그동안의 투자와 결과에 대해 이렇게 정리하여 '21세기 프론티어사업 10년을 말하다 2010년편'을 백서로 발간하게 되어 뜻깊게 생각합니다. 국민 여러분께 프론티어 사업단의 성과를 자신 있게 보고 드릴 수 있게 되어 가슴 뿌듯하게 생각합니다.

정부는 이제 글로벌 프론티어 사업으로 새로운 미래를 준비할 예정입니다. 본 백서가 지난 10년의 역사를 기록한 발자취로서, 그리고 앞으로의 10년을 조망하는 이정표로서 활용되기를 기대합니다. 끝으로 백서 발간에 참여해주신 관계자 여러분의 노고에 감사드립니다.

“ 지나온 10년이 선진국과 경쟁하기 위한 사업단과 연구자의 노력의 과정이었다면, 앞으로의 10년은 우리가 세계정상의 위치에서 세계를 선도하는 시기가 될 것으로 기대합니다.”



20세기를 지나 천년의 시대가 새로 시작하는 21세기로 진입한 지 벌써 10년이 되었습니다. 그 세월 동안 한 시대의 과학기술 역사의 한 페이지를 장식한 「21세기 프론티어 연구개발사업」도 그만큼의 세월이 흘렀습니다.

99년 인간유전체기능연구사업단을 시작으로 교과부 16개 사업단이 출범한 지 10년만인 올해 인간유전체기능연구사업단, 테라급나노소자기술개발사업단, 자생식물이용기술개발사업단, 자원재활용기술개발사업단이 지난 3월 최종 종료하였습니다.

이 시점에서 지난 10년의 연구기간 동안 불철주야 연구실과 연구 현장에서 숱한 나날을 보내온 연구자분들의 땀과 열정의 결과물을 함께 확인하고 그 의미를 되새기고자 「21세기 프론티어사업, 10년을 말하다」라는 백서를 발간하게 된 것을 뜻 깊게 생각합니다 .

10년의 세월 동안 강산이 변하고, 환경이 변했습니다만, 정부는 처음 연구 목표에 대한 기대와 희망으로 변함없이 지원과 성원을 해주었으며, 사업단 연구자들은 안정적인 지원과 격려로 중단 없는 진전을 보여주었습니다.

수많은 논문과 특허를 창출하여 과학적 성과 창출을 이루었음은 물론이고, 기술이전 및 사업화를 통해 기술로 수입과 경제 사회적 기여를 통해 국가 경제에 이바지하였습니다.

또한, 사업 수행의 과정에서 ‘달고 싶고 되고 싶은 과학자’와 ‘최고과학기술인’을 배출하였으며, 수많은 창의적연구진흥사업 단장과 국가지정연구실 책임자들을 양성해냈습니다.

최근 3년간의 교육과학기술부 연구개발사업 성과를 분석해보면, 프론티어 사업의 미국 등록 특허 실적이 해마다 증가하고 있고, 교과부 전체 미국 등록 특허 비중의 1/3을 차지하고 있습니다. 이는 여타 R&D 단위 사업보다 월등히 높은 것입니다. 또한, 교과부 원천기술개발사업중 기술계약 체결실적, 계약 금액, 기술료 징수액등의 대부분을 프론티어 사업이 차지하고 있습니다.

정부 대형 연구개발사업은 성격상 장기간, 대규모, 집합적으로 수행되어 기술의 변화발전, 산·학·연 연계, 지식재산권 강화 등 제도의 변화, 인력양성 및 국내외 네트워크 축적 등이 이루어지게 됩니다.

이는 논문, 특허, 기술이전 및 기술료 수입 등 직접적 효과에 머무르지 않고, 간접적·파급효과로서 과학기술적 성과가 경제·사회적 파급효과로 연계되는 것입니다.

그러하기에 사업단 종료 후에도 이러한 프론티어 사업단의 연구성과의 결실을 확보하기 위해서는, 연구성과 활용 확산을 위한 노력이 필요하고, 성과의 추적 조사 및 관리가 요구됩니다. 향후 프론티어 연구성과 활용·확산 및 추적 관리를 위해서 프론티어연구성과지원센터의 역할이 강화되어야겠습니다.

지나온 10년이 선진국과 경쟁하기 위한 사업단과 연구자의 노력의 과정이었다면, 앞으로의 10년은 우리가 세계 정상의 위치에서 세계를 선도하는 시기가 될 것으로 기대합니다.

기초·원천 기술 분야에서 세계 정상의 실력과 기반을 닦아온 사업단과 연구자 여러분의 그간 노고에 진심으로 경의를 표하며, 앞으로도 더 많은 진전과 행운을 기대해마지 않습니다.

01 21C 프론티어 사업의 태동

1. 사업 추진배경

1990년대 들어와서 국가의 성장 모형은 요소 투입형에서 혁신 주도형 성장방식으로 전환되었다. IMF 외환금융위기, 고유가 시대 도래 등으로 과거 성장전략의 효용성이 감소되었고, 차세대 성장동력산업 육성 등을 통한 국민소득 2만 달러 달성이라는 국민적 기대가 요구되어졌으며, 21세기 지식 기반경제 도래로 투입주도형 경제발전전략을 지양하고 과학기술 중심의 혁신주도형 성장전략으로의 전환이 필요했던 것이다.

한편, 21세기 도래가 직면함에 따라 사회·문화·경제적인 측면에서 다양한 전망과 기대, 예측이 활발했다. 새로운 세기에서의 지속 성장, 국가 경쟁력 확보, 삶의 질 향상 등이 중요한 화두로 부각되었고, 선진국들의 기술보호주의와 국제적인 블록화 현상 심화에 따라 현 주력사업의 뒤를 이을 전략기술 개발·육성의 필요성이 대두되었다. 이와 함께 불확실한 미래의 무한 경쟁사회에 우리 경제의 버팀목이 될 신산업 발굴·육성을 위한 새로운 성장동력 발굴이 시급히 요구되었다.

1992년부터 시작된 최초의 국가장기대형 연구개발사업인 선도기술개발사업이 마무리되는 시점에서 그동안 국가연구개발사업을 통해 확보한 기술 기반을 최대한 활용하여 21세기 개방화 시대에 경쟁할 수 있는 우리만의 강점 기술을 전략적, 선택적으로 집중 개발할 새로운 국가연구개발사업프로그램 추진의 필요성이 제기되었다. 아울러, 주력산업의 경쟁력 유지 및 고부가가치 도모와 미래 신산업을 창출할 수 있는 세계 일류 기술을 발굴·지원할 국가연구개발사업의 추진이 요구되었고, 1999년 4월 국정개혁보고회의 시 프론티어사업의 추진 방향이 보고되면서 본격적인 사업기획을 실시하게 되었다.

이러한 필요성에 의해 추진된 『21세기 프론티어 연구개발사업』은 '2010년까지 전략 기술분야에서 선진권 진입을 위하여 국가 경쟁력을 획기적으로 향상시켜 선진 경제를 실현하고 선진국 수준의 삶의 질을 구현, 특히 기술혁신의 성과를 사회기반 전 분야로 확산 하는 것을 사업 목표로 설정하였다.

『21세기 프론티어 추진기획위원회』주관으로 1999년 3월부터 11월까지 기술동향조사, 설문조사 및 21세기 환경분석 및 시장예측 등을 통하여 최종적으로 13개 분야 총 35개의 후보사업을 도출하였으며, 이 후보사업 중 2개 사업을 시범사업으로 지정하여 1999년 12월에 본 사업을 착수하게 되었다.

21세기 과학기술은 고도화·지능화·융합화, 복합화하면서 급속한 속도로 발전하고 신산업 창출의 원동력으로 작용할 것이라는 전망에서 1)기존기술에 대한 애로·요소 기술의 혁신적 방법을 통한 고도화분야, 2)인간의 지능 및 감성을 반영할 수 있는 기술 등 지능화분야, 3)과거에는 독립적인 기술이라고 여겨지던 기술들이 타 기술과 융합되어 새로운 기술로 탄생하는 융합화분야, 4)우세한 개별 기술들이 네트워크화하여 시스템 기술로 통합되는 기술의 복합화에 의한 신제품이 등장할 것으로 기대되는 복합화분야 등 4개의 핵심분야가 향후 중요한 핵심 연구개발분야로 예측되었다.

본 사업은 기획 시, KDI 주관으로 삼성, LG, 현대 등 민간연구소가 참여하여, 21세기 Global 환경 분석 및 시장 예측을 실시하였으며, 21세기 글로벌 환경은 세계경제의 통합, 다국적 기업의 글로벌 R&D 네트워크 등이 중요한 이슈로 분석되었다. 일본 경제신문사의 조사에 의한 200개 신기술의 국내 생산에 대한 전망은 삼성, LG, 현대 등 민간경제연구소의 분석을 따랐고, KDI의 장기산업 구조전망을 종합하여 작성하였다. 그 결과 21세기 신기술의 시장규모 예측은 66개 기술이 대상이었으며, 이 중에 2015년에 국내생산이 100억 원을 상회하는 신기술 상품은 58개 정도이며 이중 1조 원 이상 12개, 5천억 원 이상 ~ 1조원 미만인 8개, 1천억 원 이상 ~ 5천억 원 미만인 16개로 예측되었다.

전략적 정책기획으로서의 연구개발 기획을 추진하였으며, 전략기획의 구성요소로서의 목적, 목표, 성과측정, 비전의 개념과 구성요소, 행동계획과 성과의 측정 등 전략적 기획의 일반적 절차와 기술지형 변화를 반영한 연동기획을 추진하였다. 아울러, 국가차원에서 연구개발이 요구되는 우선순위분야의 과학기술에 대한 일정한 지향성과 목표를 설정하고, 연구개발을 전략적으로 집결하여 추진하는 사업으로 큰 방향을 설정하였다. 전략적으로 연구개발을 추진하는 목표지향적 사업으로 추진하고자 한 배경에는 이전 국가 대형 연구개발사업인 G7 사업이 사업추진 시 기술범위를 제품개발과 기반기술로 한정함으로써 국내의 시장에서 새롭게 출현되는 고부가가치 기술의 수용에 한계가 있었음을 극복하고자 한 것이다. 프론티어 연구사업 목표는 21세기 환경예측, 세계시장의 기술수요 조사, 추진기획위원회를 통하여 보다 다듬어지고, 사업 지향적으로 설정되었다고 볼 수 있다.

프론티어 연구개발사업의 기획 시 나타난 주요 특징으로는 1)연구개발 공급자 Group만의 기획이 아닌 미래환경 전문가와 민간경제연구소의 시장분석과 참여 하에 기획, 2)기술동향조사를 통한 Top-down 기획을 보완하기 위한 설문조사 병행, 3)제품개발과 기반기술로만 구성된 G7 사업과 달리 미래 신기술을 추가하여 미래 예측에 대한 불확실성을 보완, 4)21세기 환경시나리오와 세계시장분석, 설문조사를 통한 유망기술을 추진기획위원회에서 검증하여 결정한 것 등을 꼽을 수 있다.

2. 사업 철학

21세기 프론티어연구개발사업의 주요 사업철학은 크게 1)기술혁신 주체간의 연계, 산·학·연 협동 연구 강화와 분산되어 있는 연구기관들을 사업단 중심으로 연계 등 연구주체의 유기적 연계를 통한 투자효율성을 제고, 2)세부과제 선정 및 연구팀 구성의 독자성 부여와 R&D, 시험·평가, 지적재산권 관리 등 전주기적 관리에서 사업단장 책임운영제를 도입, 책임과 자율성을 부여하여 종합적인 운영·관리를 통한 장기대형사업 경영특성을 반영, 3)기술변화에 대응한 단계목표 조정과 세계수준 기

술개발체계 확보를 위한 개방적 운영 등 연구과제의 효율적 운영, 기술동향분석 및 해외협력 강화 등 세 분야로 표현된다. 특히 연구성과가 우수하고 기업가적 마인드를 갖고 있는 전문가를 사업단장으로 선정, 사업기간 동안 프론티어사업 운영관리에만 전담토록하였으며, 사업단장에게 세부과제 구성, 연구팀 편성, 연구비 배정 등에 관한 권한을 부여한 한편, 단계별 평가결과에 따라 연구성과가 미흡한 사업단장은 평가에 상응하는 책임 및 조치를 강구토록 한 사업단장 중심 책임운영체와 목표지향적인 사업관리 방식은 이전 사업에서는 유래를 보기 힘든 획기적인 방식이었다.

프론티어사업의 차별화된 특성은 민간자율적으로 철저한 사전기획을 실시하고, 2010년대를 겨냥한 장기 연구개발사업으로서, 1)선진화된 연구관리기법이 적용되고 우리 과학기술의 연구문화 선진화를 주도할 수 있는 사업, 2)새천년의 개방화시대에 국가경쟁력을 높여 삶의 질을 높이고 국민적 자신감을 고양하기 위해 계획·추진하는 과학기술분야의 주도적 국가연구개발사업, 3)투자위주에서 혁신주도로 이행하는 21세기 지식기반경제에서 우리만의 강점기술을 전략적·선택적으로 집중개발하는 기술개발사업, 4)기 구축된 연구기반을 활용하여 기존 주력산업을 고부가가치화 할 수 있는 기술개발 사업, 5)Global Standard를 철저히 고려하여 사업을 추진하였다는데 기존 사업과의 차별성이 있다고 볼 수 있다.

〈이전〉	〈21C 프론티어사업〉
환경적응적 국가연구개발사업	환경창조적 국가연구개발사업
공급자(Seeds)위주의 국가연구개발사업	수요자(Needs) 중심의 국가연구개발사업
차별적 국가연구개발사업	상호연계성, 연속성, Network형 국가연구개발사업
비중복적 국가연구개발사업	다중지원 경쟁방식 국가연구개발사업
위기한계형 국가연구개발사업	위기극복, 관리창조형 국가연구개발사업
단독기술개발형 국가연구개발사업	기술융합형 or 복합형 국가연구개발사업

〈출처〉 21세기 프론티어 연구개발사업을 위한 사전기획연구



한편, 21세기 프론티어 연구개발사업 시각상징물의 의미를 살펴보면, 정삼각형과 전자의 원형운동은 과학기술을 상징하고, 삶의 질 향상은 사람의 눈 형태로 표현, 태양의 밝은 빛과 같이 프론티어 연구개발사업이 국가경쟁력 제고에 기여함을 나타내고 있다.

3. 사업목표 및 내용

21세기 프론티어 연구개발사업은 출범 당시 '2010년까지 전략기술 분야에서 선진권에 진입'을 목표로, 국가 경쟁력을 획기적으로 향상시켜 선진경제를 실현하고 선진국 수준의 삶의 질 구현과 특히, 기술혁신의 성과를 사회기반 전 분야로 확산함을 세부 목표로 설정하였다. 이를 구체화할 사업단을 선정하기 위한 선정요건으로는, 1)10년 내외의 기간에 시제품을 생산하여 국가 경쟁력 제고에 크게 기여할 수 있는 기술, 2)지구적 차원에서 인류의 삶의 질을 향상시키는데 크게 기여할 수 있는 기술, 3)국내외의 연구개발 경험과 역량을 충분히 활용할 수 있고 기업가형 연구책임자를 확보할 수 있는 기술로 제한하였다.

본 사업의 사업목적은 앞서 말한 바와 같이 선진국과 경쟁이 가능한 전략기술을 선택·집중 개발하여 2010년대 초반까지 전략기술분야에서 세계정상급 기술력을 확보하기 위해 바이오, 나노, 에너지·환경 등 기술분야별 강점기술에 대하여 선택과 집중 전략을 적용, 세계 정상급 기술력을 확보하고 고부가가치 신산업 창출 기반을 마련하는데 있다.

참고적으로, 21세기 프론티어 연구개발사업 사전기획연구보고서에서는 사업유형을 제품기술개발, 기반기술개발, 미래신기술개발 등 크게 3개 분야로 분류하여 제시하였다. 제품기술개발은 2010~2015년경 세계시장에서 국제경쟁력 확보가 가능한 주력제품의 핵심기술을 확보하는 기술개발로서 기술개발 목표의 구체성 및 실현가능성, 국제경쟁 가능성이 있는 세계일류 제품화 기술, 2010~2015년경 세계시장의 수요정도 등이 고려되었고, 기반기술개발은 21세기 초 우리 국민의 삶의 질을 선진국 수준으로 개선하고 국가의 지속발전을 가능케 할 기반 기술개발로서 미래 삶의 질 향상의 기여도가 큰 기술, 정부 차원에서 지원의 필요성 등이 중점적으로 검토되었으며, 미래신기술개발은 21세기 신산업 창출의 바탕이 되는 기초기술 및 표준화 등을 선도할 수 있는 신기술로서 미래 산업화의 활용 및 확보 가능성, 신산업을 창출할 수 있는 새로운 아이디어 등이 주요 지표로 검토되었다.

주요사업내용으로는, 1)사업기간은 1999년에서 2013년 까지 총 10년으로 연차적으로 사업을 착수하며, 단위사업별로 사업착수 시점부터 10년 이내로 설정하였으며, 2)지원규모는 사업별 특성에 따라 사업단별로 연간 80~100억 원, 총 1,000억 원 내외에서 지원규모를 산정하였다. 사업의 단계구조는 총 3단계 10년으로 1단계 3년, 2단계 3년, 3단계 4년으로 구성하였다.

21세기 프론티어사업 22개 사업단의 연구목표는 아래 표와 같다. 2004년 구)과학기술부 집행기능 조정에 따라 지능형마이크로시스템, 차세대소재성형기술, 차세대정보디스플레이, 스마트무인기, 인간기능 생활지원지능로봇개발 등 5개 사업단이 구)산업자원부에, 유비쿼터스 컴퓨팅사업단이 구)정보통신부에 이관되는 등 총 6개 사업단이 이관되었다.

선정	사업단명	단장 *	연구목표	비고
'99년 (2개)	지능형 마이크로시스템 개발	KIST/박종오 (KIST/김태송)	• 마이크로시스템 기반 생의학분야 신기술·제품 개발 -캡슐형 내시경 개발, 마이크로 진단시스템 개발	구)산자부 이관
	인간유전체 기능연구	생명(연)/유항숙 (생명(연)/임동수)	인간유전체의 기능분석 및 활용을 통하여 위암·간암 등의 진단기술 개발 및 치료용 타겟 유전자와 치료 후보물질 도출	
'00년 (3개)	테라급 나노소재개발	삼성중기원/이조원	초고속·초고집적·초저소비 전력 나노소자와 요소기술 개발	
	자생식물 이용기술개발	생명(연)/정혁	자생식물에 첨단 생명공학을 접목하여 고부가가치 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발	
	자원재활용기술개발	지질(연)/이강인	자원순환형 사회구축을 위해 폐기물로부터 경제성 있는 원료물질과 에너지로의 자원화·재활용 기술 개발	
	생체기능조절물질개발	화학(연)/유성은	생명공학기술을 활용한 독창적 신약 후보물질 발굴	
	작물유전체 기능연구	서울대/최양도	안정적인 식량공급 기반 마련과 농산업의 국제경쟁력 확보를 위해 작물형질전환용 새로운 유용유전자 500종 이상 발굴하고 신기능 신품종 작물 10종 이상 개발	
'01년 (5개)	차세대 초전도 응용기술개발	전기(연)/류강식	초전도선을 이용하여 기존 전력기기 대비 크기 및 손실을 50% 이상 절감할 수 있는 초전도전력기기 개발	
	수자원의 지속적 확보기술개발	건기(연)/김승	물순환 체계의 규명과 수자원의 지속적 확보를 위한 수자원 통합관리 핵심기반기술, 시스템 기술 개발	
	차세대소재성형기술개발	기계(연)/한유동 (기계(연)/김학민)	• 세계 일류 부품·소재 신공정 기술 20건 이상 개발 • 실용화로 경제 효과 2조 원 이상 달성	구)산자부 이관

선정	사업단명	단장 *	연구목표	비고
	미생물유전체활용 기술개발	생명(연)/오태광	미생물유전체 기능 규명 및 고부가가치 미생물자원의 발굴 활용을 위한 핵심기반기술 확립	
	세포응용연구	서울대/문신용 (연세대/김동욱)	인간 전분화능줄기세포주 확립 및 줄기세포 분화 연구를 통하여 난치병 치료를 위한 원천기술 확보, 난치성 질환에 대한 새로운 세포치료 원천기술 확보	
	프로테오믹스이용 기술개발	KIST/유명희 (KIST/양은경)	첨단 프로테오믹스 연구를 통한 호발성 질환 대상 20개 이상의 치료제 표적, 진단표지 단백질의 발굴 및 이와 관련된 신기술의 개발	
'02년 (8개)	나노메카트로닉스 기술개발	기계(연)/이상록	나노제품을 친환경적으로 대량생산할 수 있는 나노공정·장비 핵심원천기술개발	
	나노소재기술개발	KIST/서상희	세계 수준의 핵심원천기술 확보 및 실용화 기술개발 : 나노소재 선진 강국 실현	
	이산화탄소 저장 및 처리 기술개발	예기(연)/박상도	혁신적 에너지 이용효율 향상 및 CO ₂ 처리기술 개발을 통한 기후변화 대응기술 확보	
	스마트 무인기술개발	항우(연)/임철호 (항우(연)/김재우)	충돌감지·회피 등 스마트 기술을 보유한 수직이착륙, 고속 비행 무인항공기 통신, 관제, 지상지원장비 등 차세대 무인 항공 시스템 개발	구)산자부 이관
	차세대 정보 디스플레이	화학(연)/박희동	• 디스플레이 기술경쟁력 1위 달성을 위한 고화질, 고정세, 초경량, 초박형, 저전력, 다기능의 미래형 정보 디스플레이 개발	구)산자부 이관
'03년 (4개)	뇌기능 활용 및 뇌질환 치료기술개발	서울대/김경진	뇌유전체 기능 연구, 뇌기능 향진 및 뇌질환 치료 핵심 기술 연구로 뇌과학분야 선진국 수준의 핵심원천기술 확보	
	고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술	예기(연)/김종원	자연에너지를 활용한 물분해 수소제조기술과 수소에너지 시스템에 활용할 수 있는 고효율 수소저장·이용시스템 개발 및 기술평가	
	유비쿼터스컴퓨팅 기반기술개발	아주대/조위덕	서비스 구현에 필요한 개방형 유비쿼터스 서비스 플랫폼(USPI)과 지능공간 기초원천 기술 선행 개발	구)정통부 이관
	인간기능생활지원지능로봇	KIST/김문상	스스로 성장하는 로봇 지능의 실현을 위한 10개 이상의 세계적 경쟁력을 갖는 핵심 원천기술 개발	구)산자부 이관

* ()는 변경된 사업단장임

사업단에서는 각 단계별로 목표 설정하여 사업을 추진하였으며, 교과부 소관 16개 프론티어사업단의 단계별 연구 목표는 아래 표와 같다.

선정	사업단명	단계별 목표
'99년 (1개)	인간유전체기능연구	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 인간유전체분석 핵심기반기술 구축 및 인간유전자원의 확보 2단계: 신규 질병관련 유전자의 정밀 기능분석 및 응용기술 개발 3단계: 위암·간암 등의 진단 및 치료 원천기술 개발
	테라급나노소자개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: Tera급 SEM 및 CNT, 30nm급 CMOS, RT- based 단위 소자설계 및 제작 등 2단계: Tera급 Nano-Flash, Nano-CMOS, SET, CNT 소자 및 RT- based 초고속 IC의 Integration 요소기술 개발 등 3단계: 1 Tera급 IC TEG 개발 등
'00년 (3개)	자생식물이용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 식물추출물은행 구축 등 핵심 기반 기술 구축 2단계: 천연신약소재 후보물질 개발 등 3단계: 국내산 천연물신약 및 해외기술이전 등
	자원재활용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 자원화 재활용을 위한 기반 조성 2단계: 재활용 실증 기술 확립 3단계: 재활용률 70% 제고를 위한 기술 표준화
	생체기능조절물질개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 선도물질 24개, 후보물질 6개, 라이선싱 2건 2단계: 선도물질 36개, 후보물질 18개, 라이선싱 4건 3단계: 선도물질 48개, 후보물질 22개, 라이선싱 7건
	작물유전체기능연구	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 유용유전자 대량탐색 기술개발, 새로운 형질전환기술 개발, 분자유전자지도 작성 및 마커 이용 선발기술 개발 2단계: 유용유전자 기능 대량발굴(5,000종), 형질전환체 육성(30품종), Marker Assisted Selection (MAS) 기술 실용화 3단계: 유용유전자 기능검증(500종), 새로운 형질전환체 성능개선 및 안전성 검증, 형질전환 작물 품종화 (10품종)
'01년 (4개)	차세대 초전도 응용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 시험기 및 핵심요소기술개발 2단계: 모델기 및 시스템화 핵심기술개발 3단계: 실증기 및 실용화 기반기술개발
	수자원의 지속적 확보기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 수자원 확보를 위한 요소·기반기술개발 2단계: 수자원의 안정적 확보기반 구축을 위한 요소·기반기술의 실용화 및 시스템화 3단계: 수자원 확보의 적응성 증진을 위한 시스템 통합 및 상용화

선정	사업단명	단계별 목표
	미생물유전체활용 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 미생물(특수 : 10,000주 이상, 신규유용 100종 이상) 확보, 미생물 유래소재 및 공정 10건 이상 개발 2단계: 미생물(특수 : 10,000주 이상, 신규유용 150종 이상) 확보, 미생물 유래 소재 및 공정 16건 이상 개발 3단계: 미생물(특수 : 10,000주 이상, 신규유용 500종 이상) 확보, 미생물 유래 최첨단 소재 및 공정 19건 이상 개발
	세포응용연구	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 기반기술개발 (인간 전분화능 줄기세포주 확립 및 세포주은행 운영 등) 2단계: 핵심기술개발 (신경계, 심혈관계 질환 등의 세포치료기술 개발 등) 3단계: 줄기세포 치료가능 핵심원천기술 확보 (역분화 등 줄기세포 미래원천기술개발 등)
	프로테오믹스 이용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 프로테오믹스 분석 인프라 확립과 프로테오믹스 분석 기술 확보 2단계: 질환의 표지·표적단백질 발굴 및 기능규명과 관련 바이오마커 발굴 3단계: 질환 바이오마커 임상검증 및 진단기술개발, 구조기반 표적검증 및 선도물질 발굴
'02년 (6개)	나노메카트로닉스 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 나노메카트로닉스 기반기술 및 인프라 구축 2단계: 나노메카트로닉스 응용기술개발 3단계: 초일류 원천기술개발
	나노소재기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 나노소재 핵심원천기술개발 2단계: 나노소재 공정안정화 기술개발 3단계: 세계수준의 핵심원천기술 및 실용화 기술개발
	이산화탄소 저감 및 처리기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: CO₂ 저감 및 처리 관련 핵심 원천기술 확보 2단계: 확보된 핵심원천기술 실증 3단계: 시스템 실증 및 상용화 기술개발
	뇌기능 활용 및 뇌질환 치료기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 뇌특이 유전자 20종, 뇌연구 핵심기반기술 2종, 뇌질환 치료 후보물질 2종 발굴 2단계: 뇌특이 유전자 30종, 뇌연구 핵심기반기술 3종, 뇌질환 치료 후보물질 3종 발굴 3단계: 뇌특이 유전자 50종, 뇌연구 핵심기반기술 4종, 뇌질환 치료 후보물질 5종 발굴
'03년 (2개)	고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술	<ul style="list-style-type: none"> 1단계: 핵심기반기술 확보 2단계: 실증을 위한 기술 확보 3단계: 상용화 기반기술 확보

02 21C 프론티어 사업의 발자취

1. 21C 프론티어사업단 설립 경과

가. 추진기획위원회

21C 프론티어연구개발사업에 대한 총괄기획을 위해 산·학·연 전문가로 「21세기 프론티어연구개발사업 추진기획위원회」를 구성하여 운영하였다. 동 위원회는 산(5인)·학(6인)·연(5인) 전문가, 당연직 위원(2인), 위원장 및 간사(2인) 등 총 21인으로 구성되었으며, 구성원칙은 산·학·연 전공 등 균형 배분, 여성위원 20%(4인) 포함 및 G7 사업과의 연계와 차별화를 위해 G7 기획자문위원 중 2인을 당연직 위원으로 위촉하였다. 운영방식은 위원장 주재 전체 위원 협의체 방식으로 운영하였으며, 3월초순부터 매주 1회 정례회의 개최하고, 실무지원은 KISTEP내에 설치된 사무국에서 전담하였다. 주요업무 추진은 업무별 책임자가 중심이 되어 진행되었으며, 1999년 3월부터 10월 28일까지 총 21회의 추진위원회가 개최되었다.

동 위원회의 주요 활동내역을 살펴보면

- 추진기획위원회 활동('99. 3. 5~10. 28) : 21회 회의 개최(2회 Workshop 포함)
- 기본방향 정립('99. 3~6) : 사업목표 및 추진전략 논의, 기술동향조사, 과제도출을 위한 설문조사 등을 통해 사업추진 기본방향 수립
- 21세기 유망산업·기술·시장 예측조사('99. 4~6) : 주관 KDI(삼성·LG·현대 등 민간경제연구소 참여), 21세기 초의 국내외 환경변화에 따른 시나리오 작성 및 유망신산업·신기술 시장에 대한 예측조사 실시
- 유망 후보과제 도출('99. 6) : 산·학·연을 대상으로 한 설문조사에서 제안된 과제를 토대로 1차 후보사업 15개 도출 및 시범적으로 착수할 2개 과제 선정
- 추진현황 보고('99. 7) : 국과위 연구개발전문위원회('99. 7. 3) 및 운영위원회('99. 7. 7)에 프론티어연구개발사업 추진현황 및 향후계획 보고
- 의견수렴 및 추가과제 제안('99. 7~8) : 관계부처, 출연연구소, 국가과학기술위원회 전문위원회, 운영위원회 위원, 사회 소비자 환경단체 및 산업체 협회 등 28개 기관에서 76개 후보사업 추가 제안
- 후보사업 도출을 위한 소위원회 구성 및 운영 : 관계부처 협의를 통해 후보사업 도출을 위한 기술 분야별 소위원회를 구성('99. 8)하여 관계기관에서 제시한 의견 및 추가제안사업 등을 검토, 추진 기획위원회 위원(18명) 및 관계부처에서 추천한 전문가(15명)로 3개 소위원회를 구성하였으며, 소위원회는 총 16회 개최

- 후보사업 pool 도출('99. 11) : 1차 후보사업 및 추가제안사업을 검토하여 후보사업 pool을 33개로 확대, 설문조사를 실시

유망후보사업 도출을 위한 평가 시 적용한 주요 기준은 정부추진의 당위성, 2000~2009년 기간 중 5년 이상 10년 미만으로 추진 필요성, 수요 및 파급효과의 예측/예상자료 유무, 산·학·연이 참여할 Big project 여부, 국내 가용연구기반(실질적 Manpower 등) 구축 여부, 선진국 정부주도 추진 여부, 선진국과 경쟁에서의 가능성, 타 부처, 타 사업과의 중복 여부 등이 있다. 21세기 프론티어연구개발사업에서 후보과제를 도출하기 위한 모형을 도식화 하면 아래와 같다.



이러한 절차를 거쳐 정보통신, 메카트로닉스, 기계/항공, 소재/공정, 화학/화공, 생명과학, 보건/의료, 환경, 수자원, 에너지/자원, 원자력, 사회간접, 기초원천기술분야 등 총 13개 분야의 35개 후보사업 과제를 도출하였다.



〈35개 후보사업과제도출〉

구분	사업과제
정보통신(7개 사업)	고속 정보통신용 부품 및 소자 차세대 무선 전송 차세대 휴대정보 단말 사이버 스페이스 네트워킹 차세대 인터넷 활용 성층권 통신·무선응용 시스템 나노 기능소자(테라급 나노소자)
메카트로닉스(1개 사업)	지능형 마이크로시스템
기계·항공(4개 사업)	Innovative 통합 제품 설계 지능형 고속 정밀 가공기계 연료전지 자동차 정보수집 및 통신형 초소형 비행체
소재 공정(2개 사업)	차세대 시너지 소재 차세대 소재성형
화학·화공(2개 사업)	생체기능 조절 물질 분자소재공학
생명과학(3개 사업)	계능기능분석을 이용한 신유전자(인간유전체 기능연구) 국내 자생식물 다양성의 산업적 이용(자생식물의 산업적 이용) 식량작물의 분자육종
보건·의료(2개 사업)	실버공학 차세대 첨단 의료
환경(3개 사업)	폐기물 자원화·재활용(산업폐기물 재활용) 오염환경 복원 및 정화 온실가스 분리·회수·저장 및 이용
수자원(1개 사업)	수자원 지속적 확보
에너지·자원(2개 사업)	차세대 청정 발전 미래 GRID 에너지
원자력(1개 사업)	양성자 기반공학
사회간접(5개 사업)	Mobility 향상을 위한 교통시스템 대륙횡단 철도시스템 통합 재해예방 및 관리체계·기술 환경친화형 신공간창조 기반 차세대 부유식 해상 물류기지 및 지능형 운송체계
기초 원천	차세대 초전도 응용 레이저 응용 첨단 계측
13개 분야	35개 사업 과제

※() : 세부 기획 후 수정된 과제명

나. 사업단 선정 경과

1999년 추진기획위원회에서 주관하여 설문조사와 의견수렴 등을 통해 총 35개의 유망후보사업을 도출하였다. 1999년 2개의 사업을 시범적으로 추진, 2000년 3개 사업, 2001년 5개 사업, 2002년 8개 사업, 2003년 4개 사업 등 총 22개 사업이 연차적으로 추진되었으며, 2004년 10월 국가연구개발사업 기능조정에 따라 (구)산업자원부 이관 5개 사업, (구)정보통신부 이관 1개 사업 등 총 6개 사업이 이관되었으며, 2010년 현재 6개 사업단은 지식경제부에서 추진하고 있다.

- 후보사업 도출(1999년)

- 추진기획위원회를 통한 기본방향 정립('99.3~6)
- 21세기 유망산업·기술·시장 예측조사('99.4~6)
- 후보사업 pool 도출('99.6~11) : 산·학·연을 대상으로 한 설문조사에서 제안된 과제를 토대로 관계부처, 출연연구소, 사회·소비자단체 및 산업체 협회 등 광범위한 의견을 수렴하여 유망 후보사업 35개 도출

- 1999년 시범사업 추진(2개 사업 : 인간유전체 기능연구, 지능형 마이크로시스템('04년 이관))

- 「21세기 프론티어 연구개발사업 시범사업 추진계획」 확정('99.7)
- 사업단장 공모·접수·선정 평가('99.8~10)
- 사업단장 최종 선정 및 사업 착수('99.11~12)

- 2000년 사업 추진(3개 사업 : 테라급나노소자, 자생식물, 자원 재활용)

- 사업단장 공모·접수·선정 평가('99.12~'00.4)
- 사업단별 세부기획 및 세부과제 연구책임자 선정('00.4~6)

- 2001년 사업 추진(5개 사업 : 작물유전체, 차세대 초전도응용, 수자원의 지속적 확보, 생체기능조절 물질, 차세대 소재성형('04년 이관))

- 11개 후보사업을 선정하여 세부기획 및 타당성 조사 실시('00.6~7)
- 타당성 조사결과를 바탕으로 2001년 5개 사업 선정('00.8)

- 2002년 사업 추진(8개 사업 : 미생물 유전체, 세포응용연구, 프로테오믹스, 나노메카트로닉스, 나노소재, 이산화탄소 저감 및 처리, 스마트무인기('04년 이관), 차세대 정보디스플레이('04년 이관))

- Bottom-up과 Top-down 방식을 적용하고 KDI 시장동향조사 등을 거쳐 기획한 1차 후보사업 36개 중 10개 사업 기 선정('99~'00.11)
- 설문조사를 실시하여 35개 기관과 산·학·연 전문가로부터 801개 과제 제안 접수('00.12~'01.1)
- TFT를 구성, 32개 유망사업으로 압축('01.2~3)

- 총 58개 사업(기존26+설문32)을 대상으로 9개 기술분야별 소(위)에서 36개로 압축('01.4~6)

- 국과(위) 연구개발전문(위)와 운영(위)에 '02년도 추진방향 보고('01.7)
- 관련전문가(협회) 참여와 과기부 연석회의 등을 통해 사업추진 타당성 분석 및 사업별 세부기획(안) 마련('01.7~11)
- 종합검토를 통해 14개 사업으로 압축('01.11.27)
- 정부·민간 합동간담회, 나노·바이오 좌담회를 거쳐 8개 사업 선정('01.12~'02.1)
- 2003년 사업 추진(4개 사업 : 뇌기능활용 및 뇌질환치료, 수소에너지, 생활지원지능로봇('04년 이관), 유비쿼터스 컴퓨팅(04년 이관))
- 신규 프론티어 사업단장 모집 공고 및 접수('03.6.~7)
- 신규 프론티어 사업단장 최종 확정('03.7.30)
- 2004년 10월 과기부 기능조정에 따라 6개 사업 구)산업자원부, 구)정보통신부 이관
- 산자부 이관 사업 : 지능형마이크로시스템, 차세대소재성형기술, 스마트무인기, 차세대정보디스플레이, 인간기능생활지원지능로봇개발
- 정통부 이관 사업 : 유비쿼터스 컴퓨팅
- 2007년 연구성과 지원센터 설치(1개 센터)
- 연구성과의 체계적인 조사·분석·관리와 연구성과의 활용·확산 추진
- 센터장 임명 및 센터 설치('07.11.12)

2. 사업추진 체계

가. 연구사업의 기획·관리·주체와 연구사업 수행체계

시행계획 수립 및 연구기획 특정연구개발사업 심의위원회에서 당해년도 연구개발사업 추진 기본방향, 투자계획 등을 포함하는 시행계획을 수립하였으며, 동 시행계획에 따라 연구개발 목표, 연구내용, 추진방법 수립 등에 관한 세부 연구기획 및 과제 도출하였다. 정부, 관계부처 정부투자기관, 민간 등이 합동하여 소요 연구비를 확보하였으며, 사업별 추진위원회를 설치하여 중요 추진사항에 대해 심의·자문하는 역할을 수행토록 하였다.

사업관리 및 운영체제 사업관리 및 운영체제에서 큰 특징은 사업단장 책임운영제 적용을 들 수 있다. 사업단장은 연구성과가 우수하고 기업가적 마인드를 갖고 있는 전문가를 기본 자격으로 하여 연구기획·연구개발·시험평가·생산·품질보증·지적재산권 관리 등 사업의 전주기적 경영관리 업무를 총괄하는 역할을 부여하였다. 사업단장은 사업기간 동안 프론티어연구사업의 운영·관리에만

전념토록하였으며, 사업단장에게 세부과제 구성, 연구팀 편성, 연구비 배정 등에 관한 권한을 부여하고, 단계별 평가결과에 따라 연구성과가 미흡한 사업단장은 평가에 상응하는 책임 및 조치를 강구하는 등 사업단장에게 많은 권한과 책임을 요구하였다.

세부과제 선정과정 등의 객관성과 투명성 확보와 사업단 운영의 투명성을 확보하기 위해 사업단 자체의 평가위원회와 외부 전문가로 구성된 전담평가단을 운영토록 하였으며, 사업단장에게 연구개발비 운용상의 독자성을 확고하게 보장하되, 연구비카드 사용 등을 통해 집행의 투명성을 강화하였다.

사업단의 구성 및 운영 사업단의 본부 조직(project managing office)을 10년 이내의 사업기간 동안 한시적으로 독립 법인화(다만, 정부출연연구기관은 기관 내 독립운영 형태도 가능)하는 등 사업단 본부 조직의 독립·운영을 보장하였고, 사업관리의 전문성 강화를 위해 사업단 본부 조직에 사업 및 회계관리, 성과 및 특허관리, 마케팅 등을 전담하는 전문인력을 3~4인 채용하여 사업관리에 전담토록 하였다. 한편 사업단은 사업단장과 운영관리 전문인력으로 구성된 사무국(본부조직)과, 각 세부과제의 주관연구기관 및 참여연구인력(산·학·연)으로 구성하였다.

효율적인 사업관리 체제 구축 사업단 목표달성을 위한 효율적인 사업관리체제 구축을 위해 1)착수시점부터 사업별로 측정 가능한 목표, 성과지표 등을 가시적이고 구체적으로 제시하고, 연구목표 대비 달성도 위주로 연구실적을 평가하여 연구효율을 제고하는 등 목표관리제에 의한 철저한 목표관리로 연구성과 극대화, 2)목표와 운영체제를 여건의 변화에 신속적으로 적응시키는 신속적 운영관리(adaptive management) 체제 도입 3)다년도 협약을 체결하여 연구의 안정성 강화, 4)개발된 기술을 활용한 연구원 창업을 촉진하기 위한 체제 구축 및 특허·법률업무 전담 전문가 지원시스템 구축 등 연구결과의 실용화를 위한 조치 확대, 5)해외의 우수과학자를 초빙하여 연구책임자로 위촉하는 등 연구팀 구성을 국제화, 6)사업단별 홈페이지를 구축하여 연구 진행상황과 결과물 등을 공개하고, 사이버 공간을 이용한 진도관리를 실시하는 등 민간의 선진화된 연구관리기법을 도입, 7)사업종료 후 일괄 평가하는 방법을 지양하고 실시간 평가를 통하여 보완대책을 즉시 환류시키는 평가시스템 구축, 성과달성에 대한 정량적 평가가 이루어질 수 있도록 사전에 산출물 측정을 위한 명확한 평가기준과 절차 수립 등 선진화된 연구개발프로그램의 평가기법을 도입하였다.

전담평가단 구성·운영 21세기 프론티어연구개발사업의 사업단별로 사업 초기에 설정된 목표와 추진전략 등 사업내용에 정통한 전문가에 의한 책임평가와 자문을 수행토록하는 등 사업착수 시점부터 전담평가단을 통한 전주기적 평가를 실시하여 평가의 연속성과 전문성을 제고토록 하였다.

전담평가단은 당해 사업의 기획, 진도관리, 단계평가 등 사업 착수부터 종료시점까지 상시 모니터링과 책임평가 실시와 함께 프론티어 추진위원회에 상정할 안건의 전문적 검토 및 사전심의를 실시토록 하였다.

전담평가단 운영체계를 그림으로 나타내면 아래와 같다.



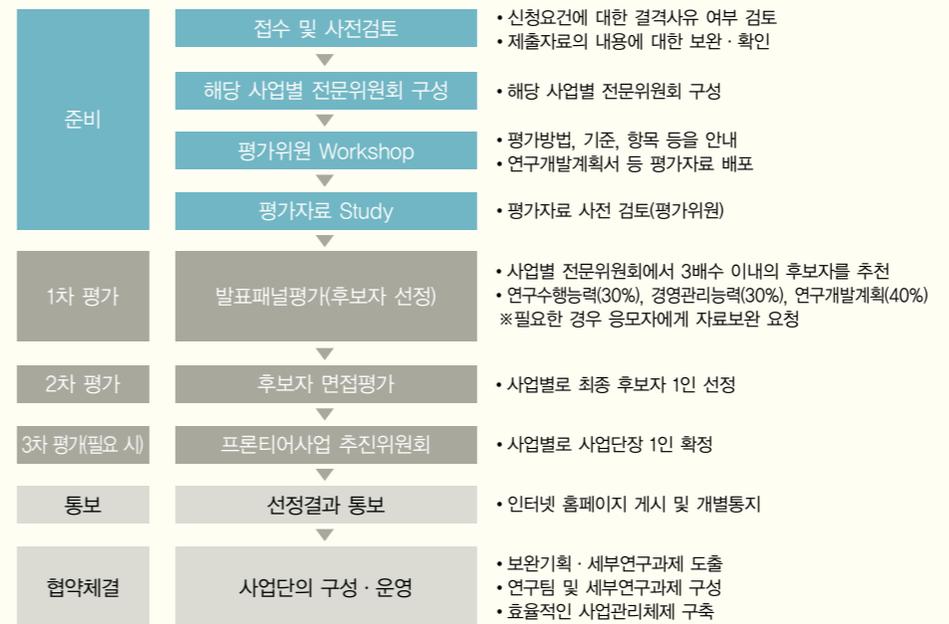
〈전담평가단 역할〉

사업추진 흐름	전담평가단 역할	평가자료
사업단장 선정		
연구기획 보완	<ul style="list-style-type: none"> 세부과제 도출에 대한 자문 세부목표 및 milestone 검토 · 자문 	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발계획서 세부과제 RFP
세부과제 책임자 선정평가	<ul style="list-style-type: none"> 선정에 따른 세부과제 운영방안 자문 (외국인 과학자 유치 · 활용계획, 인력양성계획, 과제 간 유기적인 연계체계 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 세부과제별 연구계획서 사업단 추진계획
진도관리 (중간탈락, 신규과제 선정)	<ul style="list-style-type: none"> 상시 모니터링 실시 <ul style="list-style-type: none"> 세부단계별 연구진척도 점검 기술변화에 대한 환류 자문 운영관리현황 점검 및 자문 사업단의 연차별 진도관리 결과를 보고 받아 차기년도 운영방안 자문 	<ul style="list-style-type: none"> on-line 자료 진도관리보고서 성과보고서
단계평가	<ul style="list-style-type: none"> 단계평가 실시(전담평가단 + 외부전문가) 	

〈전담평가단과 사업단 자체평가단의 역할 비교〉

구분	자체평가단 · 운영위원회	전담평가단
구성 · 운영	<ul style="list-style-type: none"> 사업단장 과제 선정평가 과제별 성과관리 사업운영에 관해 단장 자문 	<ul style="list-style-type: none"> 한국연구재단, 외부전문가 상시 모니터링 단계 · 최종평가 사업 전반에 대한 외부자문
역할		
평가대상	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트(세부과제) 	<ul style="list-style-type: none"> 프로그램(사업단 전체운영 · 성과)
평가결과	<ul style="list-style-type: none"> 진도관리 자체사업 운영방향에 반영 (과제별 중간 탈락, 연구비 조정 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 단계평가 및 최종평가에 반영 사업단의 향후 운영방안 자문

사업단장 선정 프론티어사업은 사업단장에게 많은 권한과 책임을 부여하여 사업의 목표달성은 사업단장의 능력이 중요한 비중을 차지한다고 볼 수 있다. 사업단장 선정은 1차 평가에서 발표패널평가를 통해 분야별 전문위원회에서 3배수 이내의 사업단장 후보자를 추천, 2차 평가에서 후보자 면접, 선정평가위원회(필요 시) 등을 통해 사업단장을 최종 선정하는 절차를 거쳤으며, 후보자 면접에는 교과부 관계관 및 민간 전문가 등이 참여하였다.



1차 평가 시 사업단장의 평가기준은 1)연구개발능력, 연구성과의 탁월성 등 연구수행능력(30%), 2)경영관리능력, 기업가적 가치관, 지도력 등 경영관리능력(30%), 3)연구개발 목표와 범위, 연구개발 추진 전략, 연구결과의 활용전략 등 연구개발계획(40%)을 지표로 평가하였다. 한편 응모자는 연구실적(대표적 연구성과, 국내외 논문·특허·수상 실적), 연구성과 활용실적(기술료, 기업화·실용화 실적, 신기술인증 등) 및 기획·관리실적(연구사업 기획 및 관리실적, 학회·국제활동 등) 등 연구능력 및 경영관리능력 평가자료와 세부연구기획의 결과물, 독립운영방안 등 연구개발계획서를 제출토록 하였다.

사업단장 선정평가 지표

구분	평가항목	평가지표	평가자료
연구수행능력 (30)	연구실적 (15)	<ul style="list-style-type: none"> 학문적 연구능력의 탁월성 해당분야 연구성과의 우수성 및 사업과의 연계성 세계적 수준의 연구성과를 창출할 가능성 정도 	<ul style="list-style-type: none"> 주요 연구성과(outcome) 논문 및 특허의 질적·양적 실적 최근 5년 이내 연구과제 수행실적 <ul style="list-style-type: none"> - 역할구분(연구책임자, 연구원 등) 과학기술관련 수상 실적 <ul style="list-style-type: none"> - 논문상, 과학상, 공학상, 장영실상 등
	연구성과 활용실적 (15)	<ul style="list-style-type: none"> 기업화·실용화 실적 기업화·실용화 능력 정도 연구성과 활용실적의 가치 및 파급효과 	<ul style="list-style-type: none"> 기술료 수입(건수, 금액) 기업화·실용화 실적 <ul style="list-style-type: none"> - 기업화·실용화 건수, 금액 등 - 공정개선, 사업화 실적 등 우수 신기술 인정제도 수여 실적
경영관리능력 (30)	기획·관리능력 (15)	<ul style="list-style-type: none"> 연구사업 기획 경험 및 능력 정도 연구사업 관리 경험 및 능력 정도 	<ul style="list-style-type: none"> 최근 5년 이내 연구사업 기획실적 <ul style="list-style-type: none"> - 사업 추진 및 성공여부, 역할 등 기술 ※연구협약체결에 의한 수탁사업만 인정 최근 5년 이내 국가연구사업관리 실적 <ul style="list-style-type: none"> ※2개 이상의 하부과제로 구성된 연구 사업에 한정
	지도력 (15)	<ul style="list-style-type: none"> 기업가적 가치관 보유 정도 과학기술분야에서 국내외 인지도 및 활동범위, 집중도 등 	<ul style="list-style-type: none"> 프론티어 연구개발사업 수행에 관한 비전 기술 지도적인 학술활동 수행실적 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 학회 편집위원(editor, referee) 활동 등 최근 5년 이내 국가 과학기술관련 주요 위원회 참여실적(위원장, 위원 등 역할구분) 국제기구 및 국제회의의 활동 등

※ 모든 실적은 국내·외 및 정부·민간 포함

구분	평가항목	평가지표
연구개발 목표와 범위 (20)	관련기술 및 시장의 동향 조사·분석 (5)	<ul style="list-style-type: none"> • 관련기술 및 시장동향 조사·분석의 충실도 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 기술 및 시장의 동향 및 환경분석 - 우리나라의 기술개발 현황과 기술능력, 국내외 기술수준 비교 - 기술체계 분석 등
	연구개발 목표 및 연구내용 (15)	<ul style="list-style-type: none"> • 최종목표 및 단계별 목표의 타당성·명확성 • 연구과제 구성의 적절성 • 과제별 우선 순위의 타당성 • 연구내용의 프론티어사업 성격과의 부합성 • 산·학·연 전문가의 의견 수렴정도
추진전략 및 활용전략 (20)	연구수행 방법 및 추진전략 (15)	<ul style="list-style-type: none"> • 추진전략 및 추진체계의 적합성(독립운영 방안 포함) • 관련기술 확보방안의 타당성(자체개발, 기술도입, 국제공동연구, 위탁연구 등) • 단계별 기술개발 일정의 구체성 • 목표 달성 여부를 판단할 수 있는 구체적 기준 제시여부
	연구자원 활용계획 및 연구결과 활용방안 (5)	<ul style="list-style-type: none"> • 제시된 연구비 규모의 적정성 • 필요 연구인력 확보방안의 타당성 • 팀 간의 연계 및 협력연구 추진의 합리성 • 연구기자재 확보 및 활용계획의 적정성 • 연구결과 실용화 방안의 타당성·구체성 • 산업계 수요와의 연계성
합계		(100)

나. 연구사업의 선정, 진도관리, 단계평가

과제 공고 및 연구책임자 선정 사업단별 수행과제는 사업단장 책임 하에 RFP 내용 공고 및 과제 설명회를 개최하고, 연구 제안서에 대한 사전검토, 전문가평가 등 산·학·연 전문가로 구성된 평가위원회 평가를 통해 과제책임자를 선정하였다.

프론티어사업의 진도관리 및 결과평가는 매년 교과부에서 수립한 프론티어사업단 평가계획에 근거하여 추진되었다.

진도관리 연 1회 연구진행 실적 및 향후계획에 대한 점검인 진도관리는 기 구성된 평가위원 Pool에서 진도관리위원을 선정하여 연구진행 사항과 실적 점검을 통해 세부과제의 연구목표 달성을 위한 자문역할을 하였다.

단계(결과)평가 평가의 전문성·객관성·공정성 확보를 위해 3단계로 구분하여 평가를 실시하였다. 1단계 자체평가는 사업단별 「전담평가단」주관으로 자체평가를 실시하며, 2단계 전문평가는 사업단별 「단계평가위원회」를 구성·운영하여 평가를 실시하되, 연구개발성과와 사업관리·경영부문의 평가를 구분하여 실시하였다. 3단계 종합평가는 「종합평가위원회」를 구성하고, 평가를 실시하여, 사업의 계속추진 필요성, 사업단 간 우선 순위, 사업단장 평가 등을 수행하였으며 평가결과를 프론티어추진위원회에 보고 및 교과부에서 최종확정하였다.

21세기 프론티어연구개발사업 추진 기획위원회 위원 명단

구분	성명	소속 및 직위(당시)	전공
위원장	강광남	과학기술정책연구원 원장	전자공학
산업계 (5명)	민경집	LG 종합기술원 전략지원팀 부장	화학공학
	이상훈	한국통신 통신망연구소 소장	전자통신
	강형자	(주)인터넷 씨큐리티 사장	영문학
	송지오	삼성자동차 연구소 소장	기계공학
	우유철	현대우주항공연구소 선행기술개발팀장	항공기계
학계 (6명)	전승준	고려대학교 화학과 교수	물리화학
	서종수	연세대학교 기계전자공학부 교수	디지털 통신
	이관행	광주과기원 기전공학과 교수	산업공학
	박영미	인천대학교 생물학과 교수	생명공학
	김남균	전북대학교 생체공학과 교수	의공학
	최덕균	한양대학교 무기재료공학과 교수	전기재료
연구기관 (5명)	이홍금	한국해양연구소 책임연구원	미생물학
	이호성	표준과학연구원 책임연구원	물리학
	한화진	한국환경정책평가연구원 연구위원	대기화학
	권오경	교통개발연구원 연구위원	교통물류시스템
	노형민	한국과학기술연구원 책임연구원	생산시스템
당연직 (2명)	최기련	G7 기획자문위원장, 아주대학교 교수	경제학
	한민구	G7 기획자문위원, 서울대학교 교수	전자공학
간사 (2명)	강주명	한국과학기술평가원 전문위원	석유공학
	박종용	과학기술부 연구개발기획과장	경영학
계	21명		

21세기 프론티어연구개발사업 추진 위원회 위원 명단

구분	성명	소속 및 직위 (현재)	전공
위원장	김유승	한국과학기술연구원 책임연구원	유기화학
산업계 (5명)	한문희	(주)프로테오젠 대표이사	생리화학
	유무희	동아팜텍 CSO	유기화학
	송세안	삼성전자종합기술원 연구위원	실험물리학
	박성욱	하이닉스연구소 소장	메모리기술
	박순화	(주)신일 대표이사	화학
학계 (8명)	강성군	한양대학교 부총장	금속학
	황주호	경희대학교 교수	핵공학
	김두식	연세대학교 교수	생화학
	최기련	아주대학교 교수	에너지경제학
	국 양	서울대학교 교수	물리학
	조은희	조선대학교 교수	미생물학
	임선희	동아대학교 교수	생리학
	한송희	목포해양대학교 조교수	비선형광학
연구기관 (7명)	임기철	STEPI 부원장	촉매공학
	최헌중	생산기술연구원 선임연구부장	생산공학
	류경렬	포항산업과학연구원 상임고문	금속공학
	김진숙	한국한의학연구원 수석연구원	천연물화학
	임교빈	바이오신약장기사업단 단장	화학공학
	박선희	한국전자통신연구원 그룹장	정보처리
	한미영	한국과학창의재단 창의리소스센터 차장	생화학
간사 (2명)	박항식	교육과학기술부 기초연구정책관	
	문길주	한국연구재단 국책연구본부장	환경(대기)
계	23명		

03 16개 사업단 투자현황

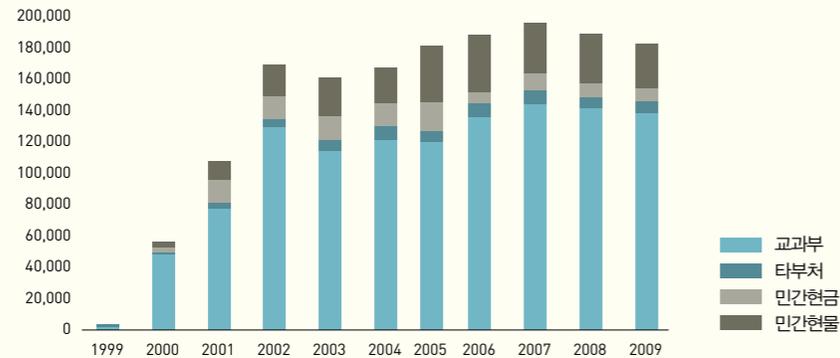
1. 사업비 투자 현황

가. 연도별 투자

프론티어연구개발사업의 2009년까지 누적 연구개발투자는 정부연구비 1조 2,450억 원(교과부 1조 1,798억 원/타부처 661억 원), 민간연구비 3,306억 원(현금 1,178억 원/현물 2,128억 원)으로 총 1조 5,757억 원이 투입된 것으로 나타났다.

연도별 연구개발비 현황 (단위:백만 원)

연도	정부		민간		합계
	교과부	타부처	현금	현물	
1999	3,000	-	-	-	3,000
2000	45,000	1,000	4,921	4,435	55,356
2001	77,500	2,000	11,257	12,332	103,089
2002	127,392	7,000	14,876	20,908	170,176
2003	118,859	8,000	12,758	20,440	160,057
2004	123,731	7,250	13,261	25,020	169,262
2005	129,850	8,000	15,676	25,867	179,393
2006	137,543	8,400	11,859	24,184	181,986
2007	142,477	8,400	11,827	26,548	189,253
2008	137,675	8,000	11,055	26,639	183,369
2009	135,930	8,020	10,356	26,404	180,710
합계	1,178,957	66,070	117,846	212,778	1,575,651

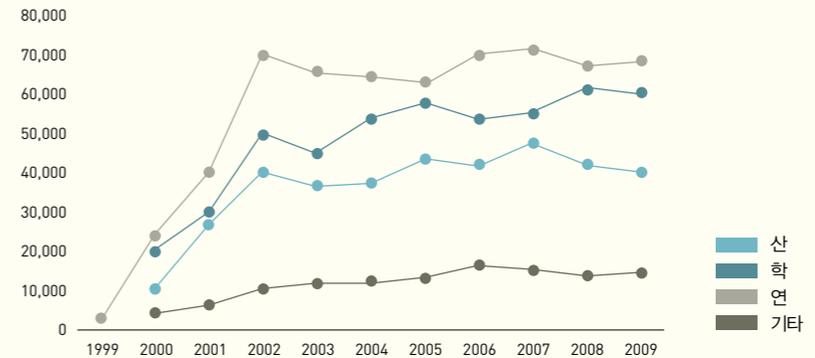


나. 연구수행주체별(산·학·연) 투자

연구수행주체별 정부투자비 현황 중 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 정부출연연구소 부문으로 6,089억 원이 투자되어 전체 프론티어사업 연구비의 39%를 차지하고 있으며, 학계(대학)는 4,895억 원으로 31%, 산업계(기업)는 3,695억 원으로 23%를 차지하고 있는 것으로 나타나 산학연 주체간 비교적 고른 분포를 보이고 있다. 이는 프론티어사업이 산·학·연 협동연구 강화와 분산되어 있는 연구기관들을 사업단 중심으로 연계 등 연구주체의 유기적 연계를 통한 사업 추진이 이루어졌음을 알 수 있다.

연구수행주체별 연구비 현황 (단위:백만 원)

연도	연구수행 주체별								총합계
	산		학		연		기타		
	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	
1999					3,000	100			3,000
2000	10,303	18.6	18,317	33.1	22,597	40.8	4,139	7.5	55,356
2001	27,342	26.5	29,793	28.9	39,723	38.5	6,230	6.0	103,089
2002	39,767	23.4	49,701	29.2	70,552	41.5	10,156	6.0	170,176
2003	36,665	22.9	46,134	28.8	66,387	41.5	10,871	6.8	160,057
2004	37,767	22.3	54,629	32.3	65,686	38.8	11,181	6.6	169,262
2005	44,740	24.9	57,293	31.9	65,645	36.6	11,714	6.5	179,393
2006	42,614	23.4	55,747	30.6	69,447	38.2	14,178	7.8	181,986
2007	48,229	25.5	56,860	30.0	71,011	37.5	13,152	6.9	189,253
2008	42,401	23.1	60,963	33.2	67,031	37.0	12,974	6.7	183,369
2009	39,621	21.9	60,051	33.2	67,753	37.5	13,286	7.4	180,710
합계	369,450	23.4	489,489	31.1	608,831	38.7	107,880	6.8	1,575,651



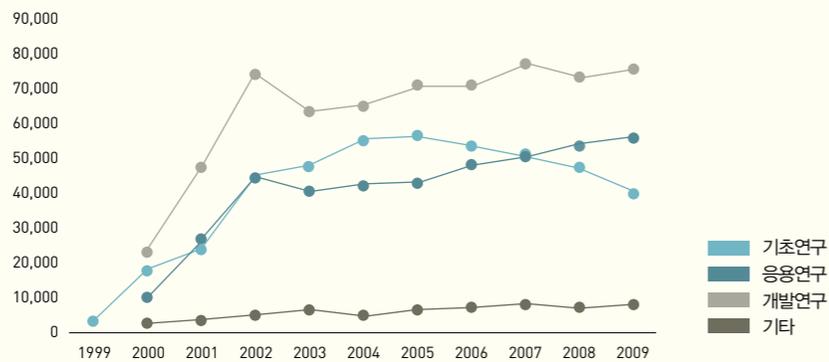
다. 연구개발단계별(기초·응용·개발) 투자

연구단계별 투자현황을 세부적으로 살펴보면, 기초연구 27.9%, 응용연구 26%, 개발연구 40.4%가 투자된 것으로 나타났다. 특이한 점은 연구 진행 단계가 심화될 수록 기초연구 비중이 줄어들고, 응용연구나 개발연구의 비중이 늘어나는 추세를 보이고 있으며, 각 단계 최종년도에도 응용연구나 개발연구의 비중이 높음을 알 수 있다.

연구개발단계별 연구비 현황

(단위:백만 원)

연도	기초연구		응용연구		개발연구		기타		전체합계
	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	
1999	3,000	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,000
2000	18,784	33.93	10,047	18.15	23,041	41.62	3,484	6.29	55,356
2001	23,840	23.13	25,782	25.01	47,267	45.85	6,200	6.01	103,089
2002	43,693	25.68	43,617	25.63	74,675	43.88	8,191	4.81	170,176
2003	46,905	29.31	40,754	25.46	63,012	39.37	9,387	5.86	160,057
2004	54,869	32.42	41,595	24.57	63,802	37.69	8,997	5.32	169,262
2005	56,736	31.63	42,389	23.63	70,633	39.37	9,635	5.37	179,393
2006	53,099	29.18	48,533	26.67	70,302	38.63	10,052	5.52	181,986
2007	50,368	26.61	49,975	26.41	77,801	41.11	11,109	5.87	189,253
2008	48,040	26.20	52,319	28.53	71,967	39.25	11,043	6.02	183,369
2009	40,554	22.44	54,388	30.10	74,228	41.08	11,540	6.39	180,710
합계	439,888	27.92	409,398	25.98	636,727	40.41	89,638	5.69	1,575,651



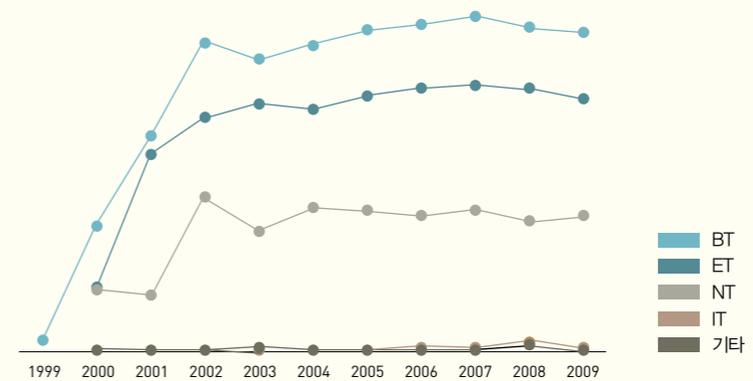
라. 기술분야별(6T) 투자

21C 프론티어사업의 기술분야별 투자 현황을 살펴보면 생명공학기술(BT)이 705,227백 만원으로 전체 연구비 대비 44.8%, 환경기술(ET)이 546,884백만 원으로 34.7%, 나노기술(NT)이 311,336백만 원으로 19.8%로 BT,ET,NT등 3개 기술분야의 투자가 99%수준으로 나타났다.

기술분야별(6T) 연구비 현황

(단위:백만 원)

연도	BT		ET		NT		IT		기타		전체 합계
	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	연구비	비율(%)	
1999	3,000	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,000
2000	27,660	50.0	12,856	23.2	14,340	25.9	0.0	0.0	500	0.9	55,356
2001	46,747	45.3	42,087	40.8	13,755	13.3	0.0	0.0	500	0.5	103,089
2002	75,572	44.4	54,135	32.3	38,620	22.7	159	0.1	690	0.4	170,176
2003	72,284	45.2	57,057	35.6	28,803	18.0	125	0.1	1,788	1.1	160,057
2004	75,931	44.9	56,375	33.3	36,426	21.5	0.0	0.0	530	0.3	169,262
2005	79,980	44.6	62,376	34.8	36,623	20.4	250	0.1	165	0.1	179,393
2006	80,743	44.4	64,533	35.5	35,608	19.6	982	0.5	120	0.1	181,986
2007	82,774	43.7	67,747	35.8	37,346	19.7	1,372	0.7	44	0.0	189,253
2008	80,338	43.8	65,708	35.8	34,288	18.7	1,735	0.9	1,300	0.7	183,369
2009	80,229	44.4	63,010	34.9	34,228	19.9	1,664	0.9	280	0.2	180,710
합계	705,227	44.8	546,884	34.7	311,336	19.8	6,287	0.4	5,917	0.4	1,575,651



2. 투입인력 현황

가. 성별 투입인력 현황

21C 프론티어사업의 총 참여인력현황은 80,478명이며 남성이 58,717명으로 전체 73%이었고, 여성이 21,761명으로 27% 이었다.

2000년을 시점으로 사업단의 생성에 따라 참여인력은 지속적으로 증가하여 2003년에 남성 7,573명, 여성 2,530명으로 총 10,103명으로 정점을 보였으며, 사업이 최종단계에 진입함에 따라 조금씩 줄어드는 추세를 보이고 있다.

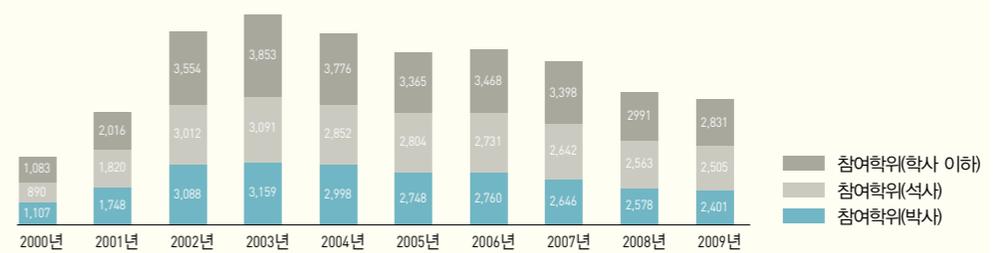
연도	남		여		합계
	남자	비율(%)	여자	비율(%)	
2000	2,218	72.0	862	28.0	3,080
2001	4,258	76.3	1,326	23.7	5,584
2002	7,293	75.5	2,361	24.5	9,654
2003	7,573	75.0	2,530	25.0	10,103
2004	7,084	73.6	2,542	26.4	9,626
2005	6,412	71.9	2,505	28.1	8,917
2006	6,549	73.1	2,410	26.9	8,959
2007	6,200	71.4	2,486	28.6	8,686
2008	5,741	70.6	2,391	29.4	8,132
2009	5,389	69.7	2,348	30.3	7,737
총합계	58,717	73.0	21,761	27.0	80,478



나. 학위별 투입인력 현황

2009년까지 투입된 참여인력의 학위별 분포를 살펴보면, 박사급이 25,233명으로 31.4%를 차지하고 있으며, 석사급이 24,910으로 31%, 학사급 이하는 30,335명으로 37.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 전체적으로는 학위별 30%이상으로 고른 분포를 보였으며, 2000년부터 2009년까지의 연도별 평균 투입인력은 박사 2,523명, 석사 2,491명, 학사 이하는 3,034명이었다.

연도	참여학위						총합계
	박사	비율	석사	비율	학사이하	비율	
2000	1,107	35.9	890	28.9	1,083	35.2	3,080
2001	1,748	31.3	1,820	32.6	2,016	36.1	5,584
2002	3,088	32.0	3,012	31.2	3,554	36.8	9,654
2003	3,159	31.3	3,091	30.6	3,853	38.1	10,103
2004	2,998	31.1	2,852	29.6	3,776	39.2	9,626
2005	2,748	30.8	2,804	31.4	3,365	37.7	8,917
2006	2,760	30.8	2,731	30.5	3,468	38.7	8,959
2007	2,646	30.5	2,642	30.4	3,398	39.1	8,686
2008	2,578	31.7	2,563	31.5	2,991	36.8	8,132
2009	2,401	31.0	2,505	32.4	2,831	36.6	7,737
총합계	25,233	31.4	24,910	31.0	30,335	37.7	80,478



04 16개사업단 성과현황

1. 성과 종합

2009년까지 21C 프론티어사업의 주요성과 중 특허 출원은 국내 4,517건, 국외 2,110건으로 총 6,627건이며, 특허 등록은 국내 2,536건, 국외 492건으로 총 3,028건, 국내 SCI논문 977건, 국외 SCI논문 7,679건 등 총 SCI 논문은 8,656건으로 나타났다.

프론티어사업 연도별 전체 성과현황

(단위:건 명)

지역	연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	총합계
국내	출원	82	169	236	434	588	565	613	634	568	628	4,517
	등록	-	13	35	81	165	399	636	546	414	247	2,536
국외	출원	14	54	99	139	239	316	278	282	334	355	2,110
	등록	3	3	8	21	43	75	87	75	79	98	492
국내	SCI	14	58	42	52	107	101	103	185	159	156	977
	비SCI	21	103	253	389	492	521	351	330	300	260	3,020
국외	SCI	33	128	292	503	1,002	1,062	1,040	1,207	1,207	1,205	7,679
	비SCI	3	8	33	18	31	25	61	81	36	41	337
학술 발표	국내	326	817	1,598	2,138	2,624	2,591	2,204	2,592	2,229	2,137	19,256
	국외	138	339	600	1,012	1,482	1,487	1,674	1,896	1,733	1,746	12,107
기술 확산	기술지도	-	-	1	1	9	20	39	40	39	41	190
	기술이전	-	1	16	45	81	58	68	73	51	34	427
	기술평가	-	7	5	-	-	-	26	21	18	54	131
사업화	완료	-	-	-	7	12	19	34	28	14	22	136
	추진 중	-	-	-	33	11	11	43	22	17	18	155
학위 배출	박사	31	45	126	139	164	200	127	194	186	213	1,425
	석사	66	98	217	375	435	476	394	472	389	442	3,364
	학사	11	11	81	95	123	142	54	83	42	48	690
국제MOU	-	4	3	6	18	10	24	7	5	10	87	
국제공동연구	7	22	37	40	47	54	64	62	54	65	452	
국제사업참여	-	-	2	3	6	6	6	5	11	9	48	

※ 사업단별 자료를 취합하여 작성(2009. 12월 말 기준)

2. 지표별 성과

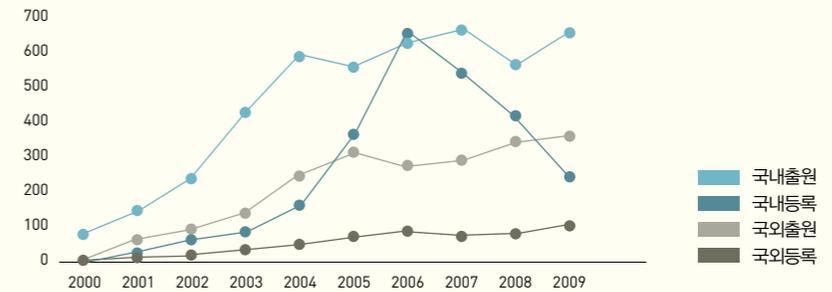
가. 특허 현황

2009년까지 프론티어 사업의 국내특허 출원 건수는 2005년 565건, 2006년 613건, 2007년 634건 등 총 4,517건이며, 연도별 평균 출원건수는 452건으로 나타났다. 등록 건수는 2005년 399건, 2006년 636건, 2007년 546건 등 총 2,536건이며, 연도별 평균 등록건수는 254건으로 나타났다. 국내 총 특허 출원 및 등록은 7,053건이었다. 또한 국외특허 출원 건수는 2005년 316건, 2006년 278건, 2007년 282건 등 총 2,110건이며, 연도별 평균 출원건수는 211건으로 나타났다. 국외특허 등록 건수는 2005년 75건, 2006년 87건, 2007년 75건 등 총 492건이며, 연도별 평균 49건으로 나타났다. 총 국외 특허 출원 및 등록은 2,602건으로 나타났다.

특허실적 현황

(단위:건)

연도	00년	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계
국내 출원	82	169	236	434	588	565	613	634	568	628	4,517
국내 등록	-	13	35	81	165	399	636	546	414	247	2,536
국외 출원	14	54	99	139	239	316	278	282	334	355	2,110
국외 등록	3	3	8	21	43	75	87	75	79	98	492



나. 논문 현황 및 학술발표 현황

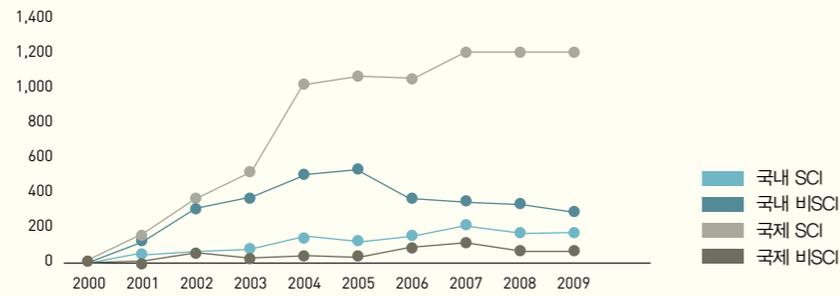
프론티어사업의 논문 게재실적은 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 국내 SCI논문은 2005년 101건, 2006년 103건, 2007년 185건으로 총 977건, 연도별 평균 97건이며 국외 SCI논문은 2005년 1,062건, 2006년 1,040건 07년 1,207건으로 총 7,679건, 연도별 평균 768건으로 총 8,656건 등 2000년부터 2009년까지의 총 논문게재실적은 12,013건 이었다.

학술발표 실적은 국내 총 19,256건으로 연도별 평균 1,927건, 국외 총 12,017건으로 연도별 평균 1,202건으로 나타났다.

논문게재실적 현황

(단위:건)

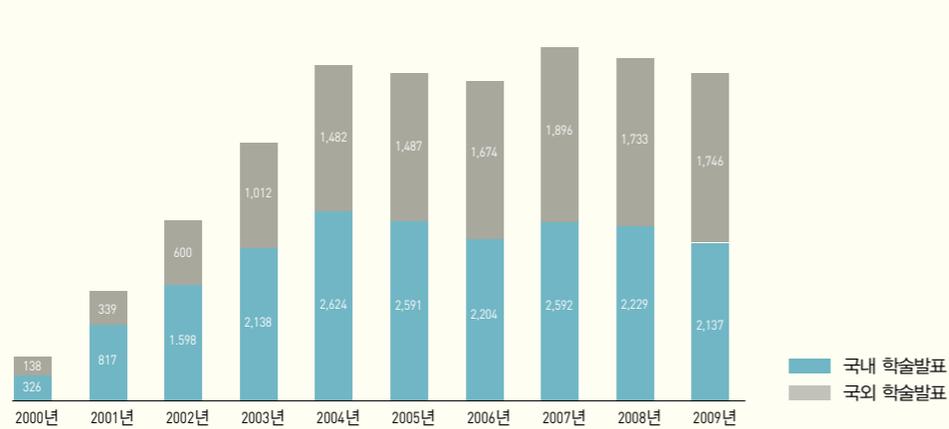
년도	00년	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계	
국내	SCI	14	58	42	52	107	101	103	185	159	156	977
	비SCI	21	103	253	389	492	521	351	330	300	260	3,020
국외	SCI	33	128	292	503	1,002	1,062	1,040	1,207	1,207	1,205	7,679
	비SCI	3	8	33	18	31	25	61	81	36	41	337



학술발표실적 현황

(단위:건)

년도	00년	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계
국내	326	817	1,598	2,138	2,624	2,591	2,204	2,592	2,229	2,137	19,256
	138	339	600	1,012	1,482	1,487	1,674	1,896	1,733	1,746	12,107



다. 기술확산 및 사업화 현황

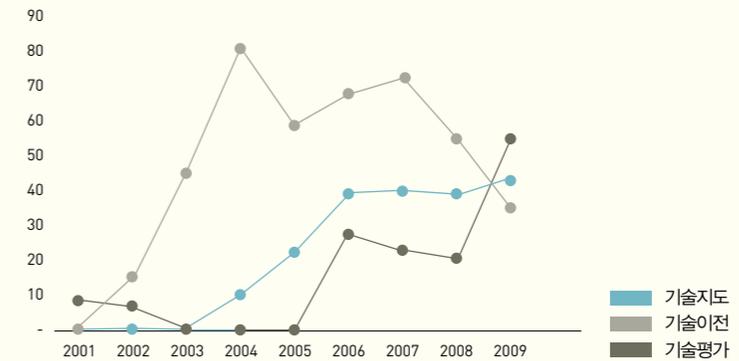
기술지도(연구원 파견 등을 통해 산업현장의 애로 사항을 해소해 주는 것 등)는 2000년도 사업을 시점으로 2002년부터 발생하여 2009년까지 총 190건, 연도별 평균 24건이며 기술이전(국가연구개발사업을 통해서 확보한 기술을 기업체에 이전하는 것 등)은 427건으로 2001년에서 2009년까지 연도별 평균 47건, 기술평가(기술자체의 우수성 평가 뿐 아니라 기술의 시장성 등 다양한 평가를 포함) 131건으로 연도별 평균 15건 이었다. 사업화실적은 2003년부터 발생하여 2009년까지 사업화 완료는 총 136건, 연도별 평균 19건이었고 추진중인 사업화는 155건으로 평균 18.7건으로 나타났다.

현재도 기술확산 및 사업화가 진행중에 있으며, 통상 성과창출 이후 기술이전·사업화까지는 수년의 시간이 필요하므로, 이에 대해서는 지속적인 노력이 필요하다. 또한 프론티어 성과지원센터에서는 종론된 사업단의 기술 중 기술이전된 기술과 기술이전 가능성이 높은 기술에 대해 추적조사 및 관리를 진행할 예정이다.

기술이전 실적 현황

(단위:건)

년도	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계	
기술확산	기술지도	-	1	1	9	20	39	40	39	41	190
	기술이전	1	16	45	81	58	68	73	51	34	427
	기술평가	7	5	-	-	-	26	21	18	54	131



사업화실적 현황

(단위:건)

년도	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계
사업화 완료	7	12	19	34	28	14	22	136
사업화 추진중	33	11	11	43	22	17	18	155



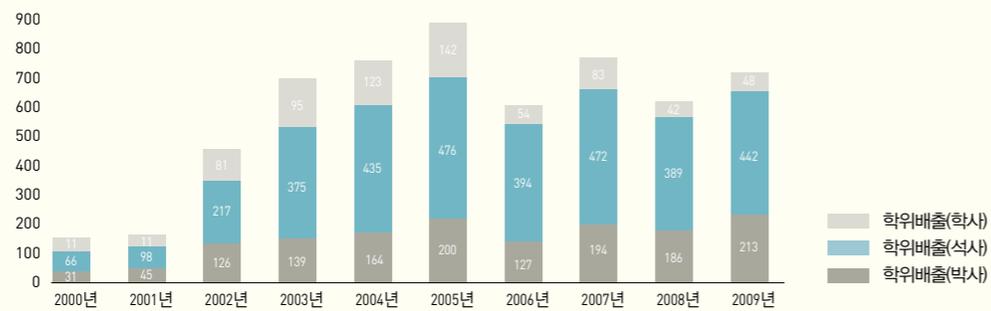
라. 인력양성 현황

학위배출 등 인력 양성 실적은 박사 1,425명으로 연도별 평균 143명, 석사 3,364명으로 연도별 평균 336명, 학사 690명으로 연도별 평균 69명 등, 총 5,479명으로 2000년부터 2009년까지 매년 약 548명이 프론티어사업을 통해 배출되었다.

인력양성실적 현황

(단위:건)

년도	00년	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계
학위배출 박사	31	45	126	139	164	200	127	194	186	213	1,425
학위배출 석사	66	98	217	375	435	476	394	472	389	442	3,364
학위배출 학사	11	11	81	95	123	142	54	83	42	48	690
합계	108	154	424	609	722	818	575	749	617	703	5,479



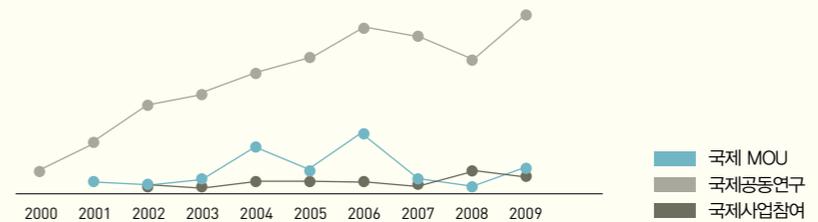
마. 국제협력 현황

국제협력 실적으로는 국제 MOU 총 87건으로 이 중 2006년 24건, 2004년 18건으로 높게 나타났고, 국제공동연구 수행은 총 452건으로 이 중 2009년 65건, 2006년 64건, 2007년 62건의 순위로 나타났으며, 국제사업 참여는 총 48건으로 2008년이 11건으로 가장 높게 나타났다.

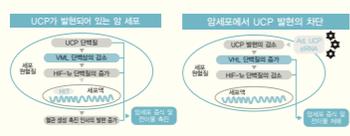
국제협력 현황

(단위:건)

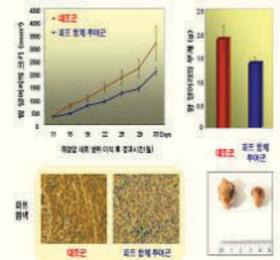
년도	00년	01년	02년	03년	04년	05년	06년	07년	08년	09년	총합계
국제MOU	-	4	3	6	18	10	24	7	5	10	87
국제공동연구	7	22	37	40	47	54	64	62	54	65	452
국제사업참여	-	-	2	3	6	6	6	5	11	9	48



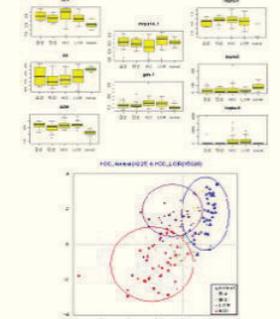
2. 대표적 연구 성과



- 한국생명공학연구원/정초록 (인간유전체기능연구사업단)
- 암 증식·전이 촉진 E2-EPF UCP 유전자 기능 발견 및 제어기술 개발
 - UCP 유전자의 발암성 규명 및 UCP 효소활성 저해 항암 유효물질 도출; 암 표적치료제 개발가능성 제시
 - ※ Nature Medicine 게재(2006.7); 국내특허등록(등록번호 877824); 미국, 일본, EU 국제특허출원



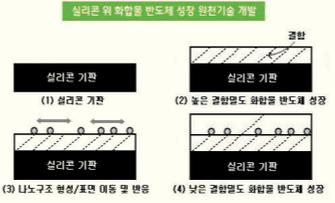
- 한국생명공학연구원/고상석 (인간유전체기능연구사업단)
- 암 치료용 파프(PAUF) 항체 기술 이전
 - 파프 유전자의 암 세포 증식 및 전이 촉진 기능 규명 및 파프를 표적으로 한 췌장암 치료용 항체를 개발하여 (주)렉스바이오에 기술 이전
 - ※ 국내특허출원 제10-2008-0093106('08.9.23); Oncogene 게재 (2010.1.7)



- 전북대/김대곤, 가톨릭대/윤승규, 생명연/송은영 (인간유전체기능연구사업단)
- 간암진단용 바이오마커 기술이전
 - 혈액내의 단백질 발현 양을 정량분석 하는 다지표 분석으로 정상인과 간암, 간경변 진단에 사용되는 간암 특이 유전자 및 단백질 마커를 (주)바이오인프라에 기술 이전
 - ※ 국내특허출원 제10-2009-0075199('09.08.14); Clinical Cancr Res 게재(2008.2.15)



- 삼성전자/이충만 (테라급나노소자개발사업단)
- 세계최초 40나노 32기가 낸드플래시 메모리의 CTF(Charge Trap Flash) 핵심기초기술 개발 (삼성전자 2006.9.11일 발표)
 - 향후 10년 간 16조 9천억원의 경제효과 기대(STEPI, 2008.12)
 - ※ 2006년 최고 과학기술 뉴스(한국과학기술단체총연합회, 2006.12)
 - ※ 지난 40년간 한국을 바꾼 것은 최고의 과학기술 업적 (매일경제, 2007.4)



- 한양대/오재응 (테라급나노소자개발사업단)
- '실리콘 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발'
 - '자기정렬 결함감소(Self-Aligned Dislocation Annihilation)' 라는 원천기술을 통해, 실리콘 기판 위에 다양한 화합물 반도체를 성장시키는 기술개발에 성공
 - ※ 세계적인 나노기술 학회지인 Nanotechnology誌 게재 (2009.6.3)



- 성균관대/염근영 (테라급나노소자개발사업단)
- 세계최초 '중성빔 원자층 식각장비를 이용한 차세대 실리콘 나노소자 공정 기술' 성공
 - 수 년 안에 생산라인에 적용 될 경우 연간 최소 4,000억 원 이상의 수입 대체 효과와 수출 등 경제적 파급효과 기대
 - ※ '국제반도체기술로드맵(ITRS) 2007' 에서 향후 2013년 경에 나노소자 공정을 위한 새로운 식각 기술로 소개



- (주)동아제약/손미원 (자생식물이용기술개발사업단)
- 기능성 소화불량증 치료 천연신약 개발
 - 복합기전 (D2 antagonist, 5-HT4 agonist, 5-HT1 agonist)을 갖는 위장운동 촉진 천연물 신약(DA-9701) 개발
 - ※ 기술이전(2009.12) 총 기술료 13.6억 원



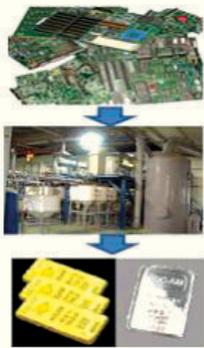
- (주)유니젠/김동선 (자생식물이용기술개발사업단)
- 관절기능 개선 기능성 식품의약 개발
 - 항염 및 연골파괴억제 효과가 있는 천연 신소재를 초고속, 고효율 분획기술(HTP)과 탐색기술(HTS)을 이용하여 만성적으로 진행되는 관절질환에 장기간 사용해도 부작용이 없는 안전성 높은 소재를 천연물로부터 개발하여 상용화함
 - ※ 대한민국특허등록(10-054304)/국내외 매출 1,380억 원



- 경희대/김호철 (자생식물이용기술개발사업단)
- 뇌신경세포 보호 식품의약 조성물 및 제품 개발
 - 신경세포 보호활성이 있는 복합생약제 추출물을 포함하는 퇴행성 뇌질환의 예방 및 조성물의 개발 및 이의 상품화
- ※기술이전(2004.02) / 국내의 매출 41억 원



- 수원대학교/최우진 (자원재활용기술개발사업단)
- 혼합페플라스틱 재질별 자동분리시스템 완성
 - 과천시와 플라스틱 선별장치 시범화 사업 추진(2천톤/년)
 - KT, Nep 인증, IR52 선정 및 조달청 우수제품지정
 - 밀양 등 7개 지자체 보급 및 해외 기술수출 성공
- ※450만톤 페플라스틱 재활용에 따른 700만톤 이산화탄소 저감



- 한국지질자원연구원/이재천 (자원재활용기술개발사업단)
- 도시광석으로부터 유기금속 회수 상용화
 - 환경친화/저에너지형 금속회수 원천기술 확보 및 2010년 시범화 사업을 위한 기술 최적화 완성
 - WEEE, ELV, RoHS 등 대외 환경규제의 변화·강화에 따른 대응기술
- ※최근 3년(2006년~2008년) 상용화 실적 : 320억



- 경기대학교/김유택 (자원재활용기술개발사업단)
- 폐분진을 이용한 예코소재 상용화 기술 확립
 - 유해 폐분진으로부터 예코벽돌, 경량골재 제조
 - 경량 인공골재 제조 상용화 설비 준공(100m3/일)
 - 두산산업개발과 공급계약 및 전량납품
- ※남부발전 100억 원 투자 MOU 체결 및 상용화 추진



- 사업단/최양도 (작물유전체기능연구사업단)
- 수확량이 획기적으로 증가한 형질전환 벼 육성
 - 15건의 국제특허 출원 및 독일 BASF Plant Science에 기술이전



- 명지대/김주곤 (작물유전체기능연구사업단)
- 트레할로스 (trehalose) 생합성 유전자를 벼에 이식하여 가뭄·저온·고염 상태에서도 잘 자라는 벼 개발
 - 인도 종자회사(Mahyco)에 기술이전 (2007년, 75만달러 정액기술료)
 - 2002년 미국한림원회보(PNAS) 및 2003년 미국 식물생리학회지 (Plant Physiol)에 논문 게재 및 국제특허출원
 - 혹독한 환경에 강한 '수퍼벼' 개발로 BBC, CNN, CBS, TIME, New York Times등에 소개



- (주)농우바이오/한지학 (작물유전체기능연구사업단)
- 국내 대표 종자산업체 주도로 육종 원종에서 바이러스 병 저항성 유전 자변형 고추 육성
 - 인체 및 환경위해성 평가 완료, 품종출원 준비 중



- 오상수/한국전기연구원 (차세대초전도응용기술개발사업단)
- 세계 최고 수준의 초전도선 제조기술 개발
 - 미국, 일본 보다 1/2 이하로 저렴하고, 두배 이상 빠른 세계최고 수준의 초전도선 제조기술로 다양한 초전도응용기기로 산업적 파급효과가 매우 큰 핵심소재 기술 확보
 - ※참여기업 (주)서남에서 연구용 초전도선 판매
 - 2009. 12. 15 두산중공업에 619백만 원에 납품계약
 - ※관련 핵심특허 9건 확보



- 현옥배/한전전력연구원 (차세대초전도응용기술개발사업단)
- 세계 최대 용량의 22.9kV, 3,000A 초전도한류기 개발
 - 정상전류 수신패의 고장전류를 수초 이내로 정상전류로 제한하여 정전사태를 방지할 수 있는 차세대 전력기기로 국가 전력품질 향상을 위한 핵심기술
 - ※세계 최대 용량의 초전도한류기 개발 (2010. 4. 7 조선일보 외 12개 매체 언론보도)
 - ※관련 핵심특허 7건 확보



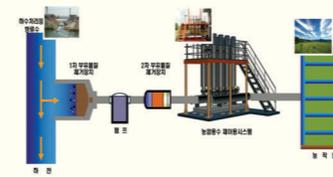
- 조전욱/한국전기연구원 (차세대초전도응용기술개발사업단)
- 세계최고, 154kV, 1GVA 초전도케이블 제작기술개발
 - 345kV 이상의 기존 케이블을 154kV로 저전압화하여 동일 용량의 전기에너지를 흘릴 수 있는 차세대 전력기기로 국가 녹색전력망 구축의 핵심기술
 - ※세계 최고 전압의 초전도케이블 단말 개발 성공 (2010. 4. 13 YTN뉴스 외 24개 매체 언론보도)
 - ※관련 핵심특허 12건 확보 및 국내규격 제정 (2009-0503)



- 한국수자원공사/고익환 박사 (수자원의지속적확보기술개발사업단)
- 웹을 바탕으로 하는 실시간 하천운영시스템 개발
 - 유역 물관리 운영시스템의 효과 입증, 댐 연계운영 모의 결과 평균 저수량 실적 대비 7-17% 증가(금강/낙동강)로 용수공급 안정성 확보 가능
 - ※아시아개발은행 프로젝트 600만불 수주(인도네시아 Citarum 강 West Tarum Canal(WTC) 유역 수질 관리 시스템 구축), 해외 시범적용을 통한 기술의 국제적 검증



- (주)데이터피씨에스/이중국 (수자원의 지속적확보기술개발사업단)
- 하천유량 측정용 원격조정 보트(R2V2) 개발
 - 세계 최 소형 원격조정 음파유속계(ADCP)보트로 하천의 수심, 수질 및 유속(유량)을 실시간으로 관측 모니터링 할 수 있음.
 - 기존 기술보유국인 미국제품에 비하여 경량, 원격조정, 신뢰도 높은 측정값, 동급 최고속도(2.5m/s) 등의 장점을 가지고 있어 수입제품을 대체가능하고, 선진국에도 수출 추진 중임.
 - ※영국 환경청 인증 획득 완료('08.10) 및 수출('09.3), 관련기술 4건 기술이전

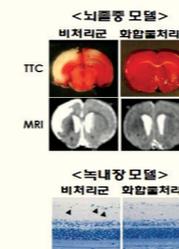


- 서울대학교/박승우 교수 (수자원의 지속적확보기술개발사업단)
- 하수처리수 농업용수 재이용기술의 발농사 관개 적용
 - 하수처리수를 발농사 관개용수로 재이용하기 위한 시스템 개발 및 기술이전
 - ※제주시 판포하수처리장 등 9개 하수처리장(수원병점, 충북청원, 전남장성, 전남강진, 제주판포, 제주월정/태흥, 경남김해, 경남창원, 경북 상주)에 적용



- 한국화학연구원/안진희 (생체기능조절물질개발사업단)
- 새로운 당뇨병치료제(DPP-IV 저해제)개발
 - 2012년 약 350억 달러로 예측되는 세계 당뇨병 치료제 시장 진출
 - ※부총리겸 과학기술부장관-대덕특구 기술사업화 연구원부분 대상 수상 (2007년 12월 14일), 교과부 [2008 우수 연구성과 50선] 선정

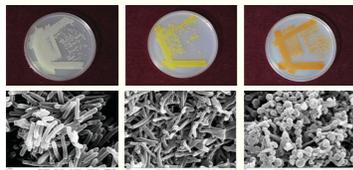
동물질환모델에서의 보호효과 확인



- 충남대/김은희 (생체기능조절물질개발사업단)
- 허혈성질환의 신규타겟 FAF1 발굴 및 검증
 - 글로벌신약으로의 성공적인 개발시, 연간 매출 약 5000억 원 이상의 경제적 파급효과 및 수입대체 효과 기대가능
 - ※2008, 2009 프론티어 통합컨퍼런스-우수연구성과 발표 (2008.12.11, 2009.11.03)

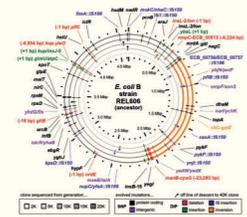


- 한국화학연구원/배명애 (생체기능조절물질개발사업단)
- TAZ 단백질을 타겟으로 한 First in class의 신기능성 골다공증 치료 제후보물질개발
 - 골다공증 치료제 시장 규모는 약 14조 원으로 향후 신약으로써 개발 성공한다면 그 경제적 가치는 엄청 날것으로 기대됨
 - ※매일경제 2009. 9. 9 일 발표



독도 한국 (Dokdonella koreensis) 독도 동해 (Dokdonia doonghaensis) 동해 독도 (Donghaeana dokdonensis)

- 생명(연)/윤정훈 (미생물유전체활용기술개발사업단)
- 미생물 박테리아 종 다양성 확보 3년 연속('05~'07) 세계 1위 달성 및 독도로부터 신규 박테리아 4개 속 35개 종 발견
 - 100건/년 이상 발견 세계 최초의 국가(2006년에는 2위인 일본의 격차를 약 2배차) 및 개별 연구자 비교에서는 04년~ 07년 4년 연속 1위를 차지
 - '독도'의 Nature지 인용으로 세계적인 통용 확인 및 신규 미생물 「동해 독도」 유전체 분석 완료
 - ※미생물다양성 확보로 '유전체 보물지도' 제작 기초 마련



2천~2만 세대 사이 진화 변이주의 돌연변이 지도

- 생명(연)/김지현(미생물유전체활용기술개발사업단)
- 세계 최고의 진화연구 수행
 - 4만 세대 동안 실험실에서 진화된 생명체의 유전체 염기서열을 비교 분석하여 생명체 진화과정을 추적하였을 뿐 아니라 환경 적응도와의 상관관계를 규명하여 진화 연구의 새로운 전기 마련
 - ※네이처(Nature) 기초논문 발표(국내 3번째) 2009.10



사업단 성과 관련 적용
중국 공장 '05년 6월 (4천톤급) 브라질 공장 '07년 9월 (15만톤급)

- CJ제일제당(주)/최종수 (미생물유전체활용기술개발사업단)
- 동물사료용 라이신 생산효율의 획기적 증가(47.6%) : 기여매출액 : 1,190억 원
 - 라이신 생산수율 47.6% 향상(08년)으로 05년 이후 1,190억 원의 기여매출 (환율 1,200원 산정 시) 달성 및 추가 저비용/고효율/고생산성 연구 진행 중
 - ※세계일류제품 생산균인 코리네박테리움 국내 연구 인프라 마련

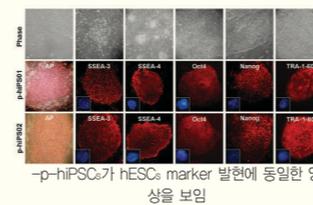


중배엽줄기세포 이동
유리된 세포를 이용한 연골, 뼈 골수 재생 및 손상 치유

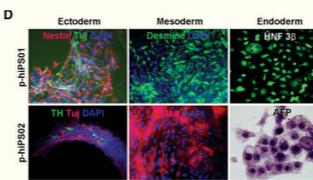


손상치유 촉진효과

- 경희대학교/손영숙 (세포응용기술개발사업단)
- 성과내용 및 의의 : 골수 중배엽 줄기세포의 가동화 촉진인자로서 substance-P의 새로운 역할 규명 및 상처치유 효과 입증
 - substance-P는 조직손상이 유발되면 손상 정도에 비례하여 손상 부위와 혈중에 높은 수준으로 유도
 - 혈중으로 투여한 substance-P는 골수 내 중배엽 줄기세포 표면에 부착하고, 이를 혈중으로 유리시킴을 규명
 - substance-P에 의해 혈중으로 유리된 중배엽 줄기세포는 다양한 중배엽 세포치료제로 활용할 수 있고, 이식시키면 손상부위로 이동하여 손상된 조직을 치유시킴을 확인
 - ※「Nature Medicine 2009; 15(4):425-434 (IF=26.38),
 - ※「국내특허등록6/19/2006, 유럽특허 등록2/25/2009」

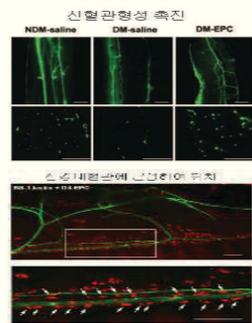


-p-hiPSCs가 hESC marker 발현에 동일한 양상을 보임

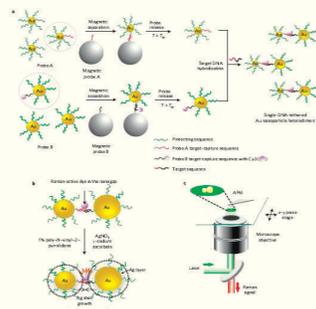


-p-hiPSCs characterization

- 차의과학대/김광수 (세포응용기술개발사업단)
- chromosomal integrations 나 mutations의 가능성 없이 단백질 도입으로 역분화 줄기세포(hiPSC)를 제조하므로 hiPSC가 임상치료를 위한 translational application에 이용될 가능성을 제시함
 - 본 연구는 4개의 역분화인자 (Oct4, Sox2, Klf4, c-Myc)를 단백질로 만들고 cell-penetrating peptide를 이용하여 human fibroblasts에 전달함으로써 protein-induced human iPSCs (p-hiPSCs)를 제작하는데 성공
 - p-hiPSCs는 hESC와 형태학적으로나 세포분열, pluripotency markers의 발현양상 등이 유사하였음
 - 본 연구는 Nature가 2009년 Research Highlights의 하나로 선정
 - ※Cell Stem Cell 2009; 4(6):472-476 (IF=16.826)



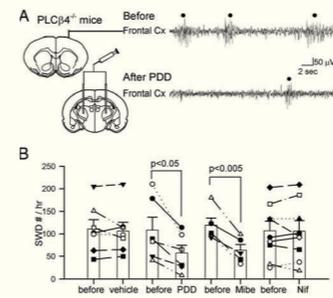
- 에모리대학교/윤영섭 (세포응용기술개발사업단)
 - 당뇨병성 신경증에서 골수 유래 혈관내피 전구세포의 신혈관형성 촉진
 - 당뇨병 쥐에 주입된 골수 유래 혈관내피세포는 신경전도속도와 신경내 혈류 및 혈관 밀도를 정상 수준으로 회복시키고, 혈관내피전구세포가 주입된 신경에서 신혈관형성 인자와 신경보호 인자가 증가됨을 규명
 - 혈관내피전구세포는 당뇨병성 신경증의 세포치료제로 사용될 수 있고, 말초신경에서 신혈관형성의 직접적인 증가와 관련 있음을 밝힘
- ※「Circulation 2009; 119:699-708 (IF=14,595)」



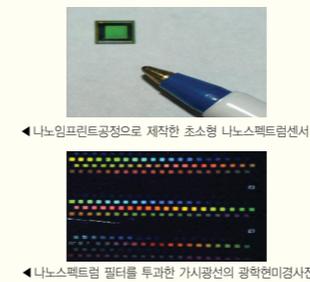
- 서울대학교/남좌민 (프로테오믹스이용기술개발사업단)
 - 전염성 질병(에이즈와 인플루엔자, 간염 등) 확진기간 단축
 - 기존 나노입자 합성 및 라만 검지법에 새로운 방향을 제시하고 체외 진단을 위한 분자진단프로브, 단일세포의 선택적 나노이미징, 초고감도 나노바이오 광센서, 유전자 염기서열 분석 등에 광범위하게 사용 가능이 가능하며, 이 검지법은 현재 널리 사용되고 있는 가장 강력한 DNA 검지법인 중합효소연쇄반응(PCR) 이상의 수준으로 질병을 빠르고 정확하게 스크리닝 및 진단 가능
- ※Nature Materials(I.F. 23.13)誌 게재 ('09. 12. 14)



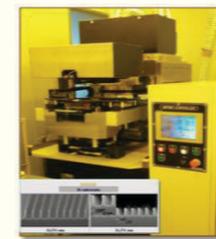
- 서울대학교/목인희 (프로테오믹스이용기술개발사업단)
 - 다국적 제약사 '로슈'에 치매후보물질 기술이전
 - 교과부 21세기 프론티어연구개발사업인 '프로테오믹스이용기술개발사업단' 지원을 받은 목인희 서울의대 교수팀은 신약 후보물질을 효율적으로 스크리닝하는 방법을 2008년에 (주)디지털바이오텍으로 기술이전했다. 이어 2009년 5월 교과부의 '퇴행성 뇌질환 신약 후보물질 개발사업' 알츠하이머 치료제 연구기관으로 선정된 (주)디지털바이오텍은 이지우 서울대 약대 교수팀과 함께 치매치료제 신약 후보물질(DBT-066, RAGE수용체 억제제)을 도출했다.
- ※조선일보 등 게재 ('10. 1. 20)



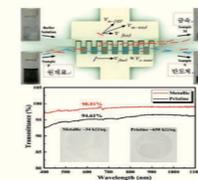
- KIST/신희섭 (프로테오믹스이용기술개발사업단)
 - 무의식 조절(압상스 간질)의 생성 기전 개발
 - 비정상적인 무의식 상태와 함께 특징적인 뇌파인 SWD (spike and wave discharge)를 동반하는 것으로 알려진 압상스 간질에 PLCβ4 유전자 결손 생쥐를 새로운 동물 모델로 제안, 기존의 압상스 모델 생쥐에 비해 운동 기능이나 다른 부작용 등이 더 적은 것으로 기대되며 또한 발화 패턴을 조절하는 PLCβ4와 PKC경로 연구를 통해 압상스 간질의 치료법 및 약물 개발의 새로운 표적 물질을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.
- ※PNAS, USA (IF 9,38) 게재 날짜 BRIC 등 게재('09. 12.)



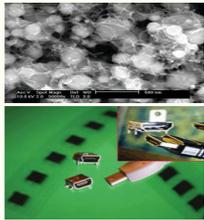
- 한국기계연구원/정준호(나노메카트로닉스기술개발사업단)
 - 차세대 이미지센서용 나노임프린트공정기술 해외기술이전-모바일기기
 - 주, 야간용 동시 사용 가능한 자동차 및 보안장치용 이미지센서 및 이상 부위를 손쉽게 발견할 수 있는 내시경 개발 가능
 - 향후 5년내 1조 원 규모 신규시장 창출 기대
- ※3개 주요 TV 방송사(KBS, TJB, YTN), 13개 신문사(2010년3월16일)



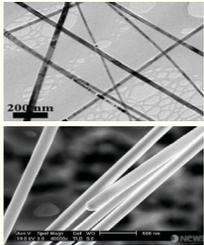
- 한국기계연구원/이재중(나노메카트로닉스기술개발사업단)
 - '6인치급 하이브리드 다층 나노임프린트 장비' 핵심원천 기술 개발
 - Sub-30nm 패터닝이 가능한 하이브리드방식 나노임프린트 장비의 상용화로 기능성 나노소자의 대량생산 기반 확보
 - 다층 나노임프린트장비 원천기술 개발 및 특허
- ※국가연구개발 우수성과 100선 (교육과학기술부, 2009.12)
※대한민국 대표우수성과 60선 (한국연구재단, 2009.9)



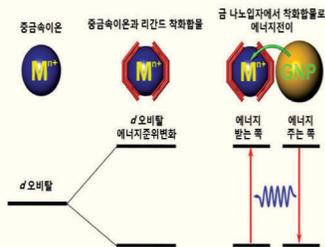
- 한국기계연구원/한창수(나노메카트로닉스기술개발사업단)
- 세계최초 연속, 대량분리가 가능한 탄소나노튜브 분리 원천기술 개발 (2008.12.11일 발표)
 - ※(주)탐엔지니어링에 기술이전 (정액기술료 1억, 경상 기술료 5%)
 - ※세계적인 나노기술 학회지인 Nano Letters 논문 게재 (2008.12)



- KAIST/홍순형 (나노소재기술개발사업단)
- 탄소나노튜브 나노복합재료 분자수준 합성공정 세계 최초 개발
 - 고강도, 디스플레이, 전자파 차폐 소재 등 광범위한 응용 가능
 - ※ 「Advanced Material」誌 게재('05. 7월)
 - ※ 교과부 선정 국가연구개발 우수성과 100선(05년) 및 한국연구재단 선정 대표적 우수성과 50선 선정(06년)
 - ※ (주)바이오니아에 기술이전('06. 3월) 및 상용화(07년)



- KAIST/김봉수 교수 (나노소재기술개발사업단)
- 강자성 코발트실리콘 나노선 및 단결정 은 나노선 합성법 최초 개발
 - 차세대 자성 반도체, 질병진단센서, 바이오센서 등 광범위한 응용 기대
 - ※ 「Nano Letter」誌 게재('07. 4) 및 「Journal of American Chemical Society」誌 게재('07. 7)
 - ※ 한국연구재단 선정 대표적 우수성과 50선(08년)
 - ※ 교과부 연구개발사업 우수연구성과 선정(08년)
 - ※ 교과부 보도자료('07. 4월)



- UC Berkeley/Luke Lee 교수, 서강대/강태욱 교수 (나노소재기술개발사업단)
- 세포 내 화학물질 정보를 영상화 전송하는 '나노인공위성기술' 개발
 - 금 나노입자 주변에 입자의 산란 진동수와 유사한 흡수 진동수를 갖는 화학물질이 존재하면 입자에서 주변 화학 물질로 에너지이동이 일어나는 것을 최초로 발견, 생물학적 현상규명, 질병진단, 신약 개발 등 다양한 분야에 응용 기대
 - ※ 「Nature Nanotechnology」誌 게재('09. 9월)
 - ※ 교과부 보도자료('09. 9월)



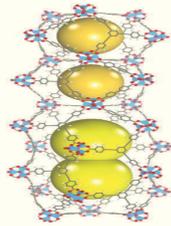
- 한국화학연구원/박용기, SK에너지/박덕수 (이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단)
- 세계 최초 촉매이용 중질나프타 분해 공정 개발을 통해 석유화학 분야 세계 기술선도
 - KBR사(美)와 BCA체결('07)후 공동 상용화 추진 중(ACOTM Process)
 - SK 울산컴플렉스 내 데모플랜트 건설(350억 원 투입, '10. 8월 완공예정)
 - ※ 신기술 인증(0346호, '09) 및 Nexant사의 석유화학분야 기술보고서인 PERP Report에 소개('09)



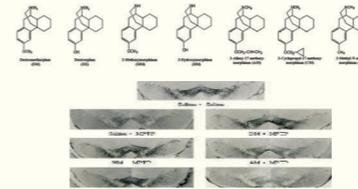
- 한양대/이영무(이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단)
- 기존 대비 500배 성능 향상된 기체 분리막 원천 소재 개발
 - Air Product사와 300억 규모의 기술실시계약 체결 후 공동 상용화 추진 중
 - ※ 세계적인 학술지인 Science誌에 게재('07. 10)
 - ※ 국가녹색기술대상 국무총리상 수상('10.2)



- 한국에너지기술연구원/이창근, 전력연/류청걸 (이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단)
- 세계 최초, 최고 성능의 건식흡수제 이용 CO2 포집공정 개발
 - 남부발전 하동화력발전소에 0.5MW급 파일럿 플랜트 준공('10. 3) 후 테스트 진행 중
 - ※ 지식경제부사업으로 연계하여 10MW, 500MW 실증 계획 (R&D 사업의 부처 연계 모범 사례)



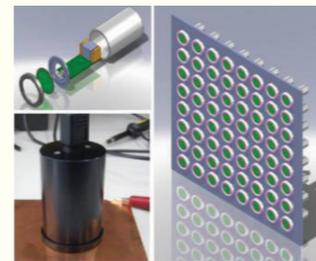
- 송실대/김지현(고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단)
 - 세계 최대 표면적의 수소저장물질 개발
 - 유기분자와 금속 이온을 결합시켜 세계에서 가장 큰 표면적을 가지며 15wt%(77K, 80bar)의 가역적 수소 저장능을 갖는 MOF 신물질 개발에 성공
- ※Science誌 게재 (2010.7.23)



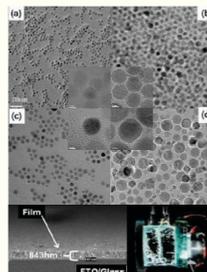
- 강원대/김형춘(뇌기능 활용 및 뇌질환치료기술개발사업단)
 - 파킨슨병 치료 약물(GCC1290K) 개발
 - 항파킨슨 및 약물중독 억제약물로서 기능이 탁월한 물질을 (주)녹십자에 기술이전하여 까다로운 미국 FDA로부터 승인 신청 한달여만에 'GCC1290K'의 신약 임상시험 진입승인을 받아 글로벌 신약 상용화 가능성을 세계적으로 인정받음
- ※국내특허 획득(2007년), 미 FDA 신약 임상시험 진입승인



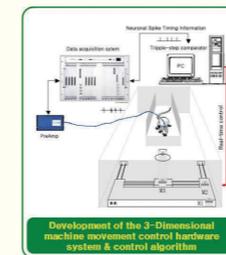
- KIER/김미선(고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단)
 - 혐기발효 수소생산 효율 증대(2 mol H₂/mol 포도당 이상) 및 혐기연속 발효공정 개발(15 l H₂/l /day)
 - 국내 최초 파일럿 규모 혐기연속 발효 공정 운전, 유기성폐기물 기질로 이용 시 수소생산과 더불어 환경부하 저감
- ※최근 5년간 30여편 관련 SCI 논문게재, IEA Annex 21 한국대표, 2009 국가연구개발 우수성과 100선



- (주)락싸/최정미(뇌기능 활용 및 뇌질환치료기술개발사업단)
 - 뇌-기계 접속기술 : 전기적 비접촉 전위센서 개발
 - 비접촉 전위센서 기반 뇌전위 측정장치는 기존 전기적 접촉방식의 전극부착 번거로움을 획기적으로 개선한 세계적인 선도기술이 될 전망으로 연구팀은 핵심요소기술인 비접촉 전위센서를 개발함으로써 원격탐사, 현미경, 혼합물측정 등 다양한 산업분야로의 응용 가능성을 제시함
- ※국내특허 출원(2009년 「비접촉 전위센서회로」 등 4건)



- 포항공대/이재성(고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발사업단)
 - 태양광 감응 수소제조시스템용 핵심 광전극 소재 개발 및 이를 이용한 고효율 PEC 수소제조 시스템 개발
 - 태양광전환효율 (STH efficiency): 3%이상 달성, 전극의 대면적화 기술개발
- ※관련기술로 다수의 세계적 학술논문지에 게재 (미국응용물리학회지(APL) 2008.10, International J. Hydrogen Energy 2009.03 이외 다수)



- 한림대/신형철(뇌기능 활용 및 뇌질환치료기술개발사업단)
 - 신경신호기반 제어장치 및 제어방법 개발
 - 단일 신경 집단의 정보 암호화(encoding) 뇌-기계 접속기술 개발
 - 반려동물의 다양한 뇌부위의 단일신경신호 활용, 의지적 실시간 2차원운동의 기계 및 로봇조절 기술 개발
- ※국내특허 획득(제어장치 및 제어방법 2007년, 신경신호에 의해 구동되는 게임장치 2008년)



2010

21st-Century Frontier R&D;
Traces of a decade



II. 사업단

10년의 결실 - 2010년 종료 4개 사업단 성과

- 01 연구성과 기여도 분석 · 64
- 02 경제적·사회적 성과 분석 · 99

사업단

- 01 인간유전체 연구의 초석을 다지다 - 인간유전체기능연구사업단 · 112
- 02 나노전자소자 분야의 새 역사를 쓰다 - 테라급나노소자개발사업단 · 186
- 03 자생식물 연구활용의 초석을 다지다 - 자생식물이용기술개발사업단 · 264
- 04 녹색기술의 새 지도를 그리다 - 자원재활용기술개발사업단 · 352



10년의 결실 - 2010년 종료 4개 사업단 성과

01 연구성과 기여도 분석

1. 분석 개요

분석 목적 2010년 종료된 4개 사업단에서 10년간 추진한 사업의 체계적이고 종합적인 정리와 분석을 통해, 사업화 성공가능성 등을 높이기 위한 과학기술적 성과를 도출함으로써 성과의 활용방안을 모색하고 연구사업의 국가적 기여도를 추정하기 위해 사업단별 연구성과의 기여도 분석을 실시하였다.

분석 내용 과학기술적 성과의 규모와 추이 및 국내 관련분야 R&D에 미친 영향력을 분석하였다. 학술적 성과의 경우, 논문발표건수(SCI)에 대한 동향 분석을 통해 과학적 지식의 생산규모 또는 과학기술활동의 규모 등 '과학기술력' 이나 '과학기술의 경쟁력' 을 파악하였고, 사업단 및 논문생산 국가 별 논문의 평균인용 정도를 측정함으로써 과학지식의 영향력을 분석하였다. 아울러 기술적 성과의 경우, 특히 동향 분석을 통해 과학기술연구결과가 향후 사업화되어 부가가치 창출로 연결될 수 있도록 하기 위한 기반을 얼마나 구축하고 있는지를 파악하였고, 국가 별 점유율과 관련 기업수의 변화를 측정하여 해당 분야에 대한 사업화 관심도와 가능성 정도를 분석하였다.

분석 방법 종료사업별 과거 10년간 창출된 과학·기술적 산출물(논문과 특허)을 조사·수집하여 공통의 구조화된 형식으로 정리·분석하였으며, 학술적 성과와 기술적 성과로 나누어 사업단이 수행한 연구결과와 국내 수준 및 영향력을 분석하였다.

이를 위해 사업단의 각 연구분야에 대해 사업 개시 전후 SCI 논문 및 특허 동향 추이를 검토하고 분석하였으며, 사업단의 연구성과가 국가 및 세계 전체의 당해분야 과학지식 창출에 미치는 영향에 대해 사업단, 국가 및 세계수준 등으로 나누어 계량적으로 분석하였다.

논문 정보 수집 대상 데이터베이스는 SCI WoS(Web of Science)이며, 분석기간은 1990년 1월부터 2010년 7월까지로 하였다.

특허 정보 수집 대상 데이터베이스는 DWPI(Derwent World Patent Index)이며, 분석기간은 1990년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지 하였다.⁵⁾

분석의 한계 특허의 경우 2009년과 2010년 출원된 사업단별 특허도 매우 많으나, 이들 특허는 아직 공개되거나 등록되지 않아 정보로 표출되지 않은 상태이기 때문에 분석에서 제외되었다. 따라서 향후 추적조사 및 분석할 경우 본 분석결과는 최소한의 성과라고 유추할 수 있다.

5) 특허의 경우 2009년 이후 출원된 특허 성과가 많은데, 이들 특허는 아직 공개(출원 후 1년 6개월 후)되거나 등록되지 않아 정보로 표출되지 않은 상태이기 때문에 분석에서는 제외됨. 따라서 엄밀히 말하면, 특허에 있어서는 이러한 한계로 인해 사업단 10년의 성과라기 보다는 8년간의 성과를 의미한다.

2. 학술적/기술적 성과분석 및 기여도 분석

가. 사업단 성과분석 총괄

(1) 논문성과

4개 사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 SCI 논문 게재실적을 사업 전과 비해 12~30배까지 증가시키는데 52~72%정도 기여하였고, 연구비 1억 당 SCI 논문 수는 국가 전체 평균 0.10편(2008년 기준)보다 3.3 ~ 10.4배 높은 수준인 것으로 분석되었다.

	내용	인간유전체	테라급나노	자생식물	자원재활용
	WoS검색된논문*	467	853	553	298
	사업단논문건수	507	938	808	327
	연구비(정부출연금,억 원)	982	904	973	978
	한국논문건수-과거	62	47	63	27
	한국논문건수-최근	855	1412	774	567
배수	한국증가배수	14	30	12	21
	세계논문건수-과거	1,592	1,327	3,399	1,589
	세계논문건수-최근	6,522	6,606	5,034	5,478
(비교)	세계증가배수	4	5	2	3
비율	국내기여도-사업단	54.60%	60.40%	77.30%	51.70%
비율	해외기여도-사업단	7.20%	12.90%	11.90%	5.30%
비율	해외기여도-한국	13.10%	21.40%	15.40%	10.40%
	점유율-과거	3.60%	3.50%	1.90%	1.70%
	점유율-최근	10.30%	21.40%	15.40%	10.60%
순위	점유율증가	3	6	8	6
	국내상관계수	0.872	0.873	0.892	0.949
	해외상관계수	0.968	0.965	0.710	0.952
건수	1억 원당	0.52	1.0	0.83	0.33
배수	국내R&D평균대비(0.1)	5.6	10.4	8.3	3.3
회수	사업단 CPP	14.6	7.67	11.4	4.94
	한국평균 CPP(같은시기)	13.7	7.1	10.8	5.57
	한국평균 CPP	6.5	6.5	6.5	6.5
배수	사업단 배수(한국대비)	2.2	1.2	1.7	0.8
	세계분야전체평균CPP	16.4	11	12.1	5.84
1대비	한국 CPP/FCSm	0.84	0.65	0.89	0.95
1대비	사업단 CPP/FCSm	0.89	0.70	0.94	0.85

* Web of Science의 논문 데이터베이스에 검색된 논문수

(2) 특허성과

4개 사업단의 관련분야 특허를 분석한 결과, 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 특허 건수(특허 패밀리 중복 제외)를 사업단 출범 전에 비해 7~44배 증가시키는데 기여하였고, 사업단 자체 실적만으로도 세계 관련분야 특허의 3~10%를 확보하고 있다. 연구비 1억 원당 등록특허 건수는 0.16~0.72편으로 국가 전체 평균 0.18편(2008년 기준)보다 최고 4.1배 높은 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 교과부의 7대 주요 연구개발 사업 평균의 경우 0.11편, 기초원천부문 연구개발사업의 경우 0.12편(2008년 기준)인 점을 감안하면, 이러한 성과는 매우 높은 수준인 것으로 평가된다.

	내용	인간유전체	테라급나노	자생식물	자원재활용
	DWPI과거-한국	12	40	90	89
	DWPI최근-한국	330	1748	1509	590
배수	DWPI증가배수-한국	28	44	17	7
	DWPI과거-세계	2,507	1,462	3,760	2,186
	DWPI최근-세계	7,998	9,151	8,782	2,856
	DWPI증가-세계	3	6	2	1
배수	세계대비한국증가배수	9	7	7	5
비율	국내기여도-사업단	67.90%	46.30%	28.40%	49.30%
비율	해외기여도-한국	4.10%	19.10%	17.20%	20.70%
	한국의세계특허비중	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%
	특허활동도(AI)	0.6	2.9	2.6	3.2
	국내상관	0.960	0.930	0.724	0.916
	해외상관	0.374	0.975	0.896	0.747
	점유율-과거	0.50%	3.00%	2.40%	4.10%
	점유율-최근	5.00%	19.10%	17.00%	21.00%
배수	점유율증가	10	6	7	5
	1억 원당출원	0.39	1.41	0.56	0.33
건수	1억 원당등록	0.16	0.72	0.23	0.17
배수	국내R&D평균대비(0.177)	0.9	4.1	1.3	1.0
배수	교과부주요R&D대비(0.11)	1.5	6.5	2.1	1.5
	출원건수	353	1270	647	431
	등록건수	145	653	264	236
	DWPI건수(패밀리중복제거)	224	810	429	291
	기업수과거	1	3	5	4
	기업수최근	9	21	47	23
배수	기업수증가배수	9.0	7.0	9.4	5.8
	기업비중과거	0.5	0.8	0.4	0.4
	기업비중최근	0.2	0.2	0.4	0.4
배수	기업비중증가배수	0.4	0.3	1.0	1.0
	출원인수과거	2	4	14	10
	출원인수최근	41	97	131	60
배수	출원인수증가배수	20.5	24.3	9.4	6.0
	기업수증가가 출원인수 증가 보다 더높은가	낮음	낮음	비슷	비슷

나. 4개 사업단별 학술적/기술적 성과분석 및 기여도 분석

(1) 인간유전체기능연구사업단

● 연구성과분석 요약

SCI 논문성과 분석 요약

- 우리나라 SCI논문의 세계에서의 양적 규모 확대; 인간유전체 기능연구사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 SCI 논문 게재실적이 사업전에 비해 14배 증가하여 관련 분야 세계 증가속도 4배를 현격히 상회하는 수준이다.
- 사업단 SCI논문의 세계 관련분야 영향력 확대; 인간유전체 기능연구사업단의 사업수행기간 동안 발표된 SCI 논문의 평균 인용회수가 14.6회로, 한국의 평균 인용회수 6.5회에 비해 2배 정도 높아, 논문의 영향력이 높아졌다.

특허성과 분석 요약

- 특허의 출원인수 증가율 20배, 기업수 증가율 9배; 연구성과의 사업화 잠재력이라 할 수 있는 기업의 참여가 평균 9개사로 적기는 하지만, 사업수행 이전에 비해 9배나 증가하여 향후 발전 가능성을 높였다.
- 해당분야에 있어서 한국 특허의 비중을 10배로 확대; 인간유전체 기능연구사업단의 사업이전 한국의 세계에서의 비중은 0.5%로 미미하였으나, 사업 후 그 10배인 5%로 확대되는데, 사업단의 기여가 68% 정도로 매우 높았다.

사업단의 주요 연구활동 분야 맵핑

대상 사업단의 SCI 논문 발표성과를 대상으로 저자 키워드를 추출한 후 연관관계를 분석하여 맵핑하면 사업단 주요 분야의 연구지형을 파악할 수 있다. <그림 2-1>에서와 같이 인간유전체 분야는 크게 면역 화학, p53 apoptosis, cDNA, 위암, 유전 발현 분야 등이 활발하게 연구가 진행되었음을 확인할 수 있다.



〈그림 2-1〉 인간유전체기능연구사업단 연구성과 논문 대상 키워드맵

● 연구성과별 세부분석

SCI 논문 성과

과학지식 창출규모 (논문 건수): 인간유전체 관련 연구 분야에서 사업단 수행 기간(2000~2010년)과 사업단 이전 10년 간(1990~1999년)의 논문 성과를 비교(〈표 1-1〉)하면, 한국 국적 저자의 논문 수는 62건에서 855건으로 13.8배 증가한 것으로 나타나고 있다. 동일 기간에 세계 전체 논문 수가 1,592건에서 6,522건으로 4.1배 증가한 것에 비해 한국은 그 증가율이 세 배 이상 높았다.

〈표 1-1〉 인간유전체사업단 사업수행시기 전후의 논문 건수/비중 비교

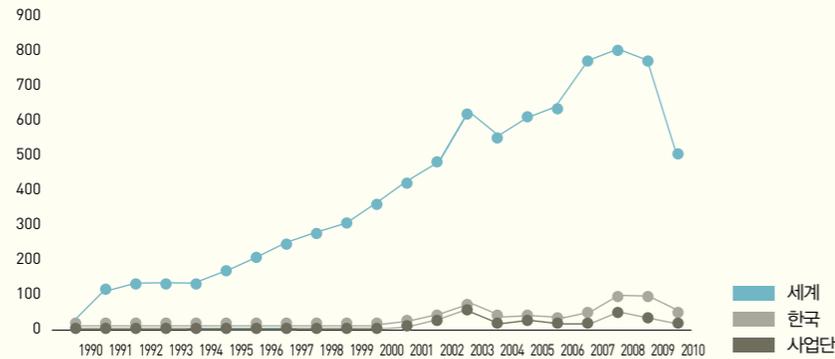
구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	사업단	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전 10년	1990	4	1	25.0%	사업 수행 기간 10년	2000	365	30	8.2%	1	0.3%	3.3%
	1991	104	0	0.0%		2001	420	44	10.5%	16	3.8%	36.4%
	1992	124	0	0.0%		2002	482	72	14.9%	43	8.9%	59.7%
	1993	126	1	0.8%		2003	622	97	15.6%	85	13.7%	87.6%
	1994	120	2	1.7%		2004	553	75	13.6%	39	7.1%	52.0%
	1995	159	4	2.5%		2005	614	74	12.1%	44	7.2%	59.5%
	1996	190	9	4.7%		2006	633	64	10.1%	40	6.3%	62.5%
	1997	213	11	5.2%		2007	755	88	11.7%	47	6.2%	53.4%
	1998	264	13	4.9%		2008	812	125	15.4%	67	8.3%	53.6%
	1999	288	21	7.3%		2009	773	124	16.0%	61	7.9%	49.2%
소계	1,592	62	3.9%	2010	493	62	12.6%	24	4.9%	38.7%		
				소계	6,522	855	13.1%	467	7.2%	54.6%		

사업단 사업수행 이전과 이후 기간에 국가별 논문 발표 순위를 비교(〈표 1-2〉)하면 이전 기간 한국의 순위는 7위(비중 3.6%)였으나, 사업단출범 이후 순위는 4위(비중 10.3%)로 크게 상승하여 해당 연구 분야에서 한국의 위상이 크게 높아졌음을 확인할 수 있다. 중국이 9위에서 3위로 급속히 상승한 데 이어 한국 또한 10% 이상의 비중을 갖는 4위권에 진입하게 된 것으로 나타나고 있다. (지식창출 기여도) 위와 같이 인간유전체 연구 분야에서 한국의 연구 활동과 지식창출 규모가 증대 한 데에는 대상 사업단의 연구 활동이 한국의 연구 활동을 적극 주도(한국 전체 논문에서 사업단의 성과 논문이 차지하는 비중이 평균 54.6%에 달하였고, 전 세계 수준에서도 평균 7.2%의 높은 비중을 차지했기 때문인 것으로 판단된다. 해당 연구 분야에서 한국의 비중은 같은 2008년도에는 15.4%로서 세계 전체 평균의 약 6.4배를 기록하고, 사업단 수행기간 10년간의 경우는 약 4배인 13.1%를 기록하여, 해당 연구 분야에서 한국의 평균 대비 연구 활성화 정도가 상당히 높았음을 확인할 수 있다.

〈표 1-2〉 인간유전체사업단 사업수행시기 전후의 국가별 순위/비중 비교

순위	1990년 ~1999년			2000년~2010년 7월		
	국가	건수	비중	국가	건수	비중
1	미국	452	26.0%	미국	1,670	25.6%
2	일본	443	25.5%	일본	1,453	22.3%
3	영국	96	5.5%	중국	1,199	18.4%
4	프랑스	85	4.9%	한국	855	13.1%
5	독일	84	4.8%	독일	493	7.6%
6	이탈리아	82	4.7%	영국	295	4.5%
7	한국	62	3.6%	이탈리아	278	4.3%
8	대만	57	3.3%	프랑스	274	4.2%
9	중국	52	3.0%	대만	257	3.9%
10	캐나다	45	2.6%	네덜란드	140	2.1%
소계	-	1,458	83.8%	-	6,914	106.0%
전체 건수	-	1,592	100.0%	-	6,592	100.0%

연도별 과학지식 창출 증감 추이; 대상 사업단 연구수행 기간(2000~2010년)에 발표한 논문건수 추이는 국내의 논문건수 증가 추이와 상당히 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.872, p<0.01)를 갖고 있어 앞서 기술하였듯이 대상 사업단이 해당 연구분야를 주도하였다고 판단할 수 있다. 또한 해외 논문 건수 증감 추이와 국내 논문 건수 증가 추이도 매우 강한 상관관계(Pearson Correlation 0.968, p<0.01)를 보여, 국내 관련 연구가 세계 연구 활동 추세에 적극 부응하고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 2-2〉 연도별 SCI 논문 증감 추이

연구비 대비 성과: 연구비(정부출연금 982억 원, 507건) 1억 원당 SCI급 학술지 게재 논문 건수는 0.52건으로서, 2008년 국가전체 R&D 사업의 0.10건에 비해 5.6배 높은 수준으로 나타났다.

논문성과의 영향력: 대상 사업단에서 발표한 SCI 논문 440건의 논문 1편 당 평균 피인용수(CPP)는 14.6(2010년 7월 기준)으로서, 같은 시기 한국 논문의 평균 피인용수 13.7보다 높은 수준이다. 또한, 이는 한국 논문 평균 CPP 6.5의 두 배를 상회하는 수치이다. 한편 분석 대상 연구 집단의 영향력을 측정하는 간접척도로 널리 활용되고 있는 평균피인용수는 해당 관련 연구 분야의 평균피인용수(FCSm), 즉 세계적 수준과 대비하여 비교하는 것이 의미가 있다. 〈표 1-3〉을 참조하면 FCSm은 16.4로 대상 사업단의 CPP는 세계 평균수준(기준 = 1) 대비 0.89(한국 전체는 0.84)수준이다. 논문 생산 10위 국가들의 CPP를 비교하면 일본, 한국, 중국, 대만과 같은 아시아권 국가가 상대적으로 CPP가 낮음을 알 수 있다. 이를 감안할 때 본 사업단의 CPP는 영향력 수준이 상당히 양호한 수준인 것으로 평가할 수 있다.



〈표 1-3〉 논문 생산 10위 국가의 평균 피인용수

논문순위	2000년 ~ 2010년 7월			
	국가	건수	CPP	전체평균대비
1	미국	1,670	23.1	1.41
2	일본	1,453	17.6	1.07
3	중국	1,199	10.6	0.65
4	한국	855	13.7	0.84
5	독일	493	21.9	1.34
6	영국	295	22.1	1.35
7	이탈리아	278	17.2	1.05
8	프랑스	274	20.5	1.25
9	대만	257	12.8	0.78
10	네덜란드	140	25.2	1.54
	세계	-	16.4	1.00

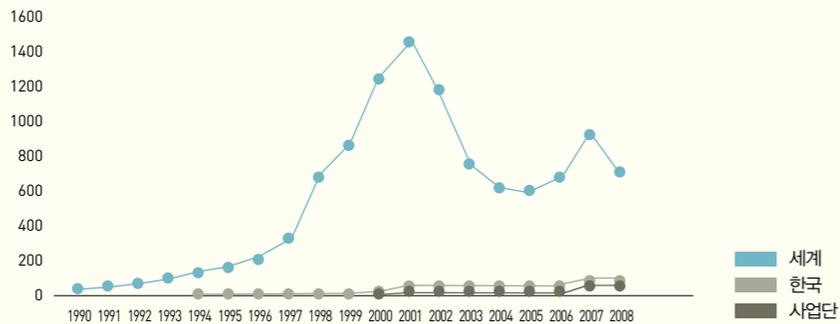
특허 성과

연도별 특허동향 (특허 건수) : 분석대상 사업단 성과분석 대상기간은 2000년 7월 1일부터 2008년 12월 31일까지로 하였다. 검색 결과 해당분야에서 세계특허는 10,505건, 한국특허(우선권주장국)는 380건으로 나타나고 있으며, 사업단 특허는 224건으로 나타났다. 〈표 1-4〉는 해당 연구 분야에서 세계 40개국을 대상으로 한국인 출원 특허 건수를 보여주고 있다. 이에 따르면 사업단의 사업 수행이전 10년간(1990~1999년)은 12건에 불과하였으나, 사업수행시기(2000~2010년)동안에는 330건으로 나타남으로써, 특허 창출 규모가 약 28배 증가한 것으로 나타나고 있다. 동일 기간 세계 특허는 각각 2,507건과 7,998건으로 약 3배 증가한 것에 비하면 한국의 특허 창출 규모의 증가 속도는 동 사업기간 동안 세계 평균보다 9배나 높았던 것을 알 수 있다.

〈표 1-4〉 사업수행 전후 10년간 특허 산출실적 및 한국/세계 기여비중

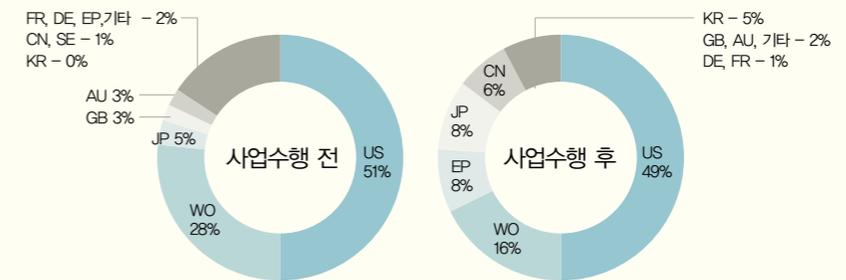
구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	사업단	한국비중 (세계대비)	사업단비중	
											세계대비	국내대비
사업 수행전	1990	34		0.0%	사업 수행후	2000	1,223	11	1	0.9%	0.1%	9.1%
	1991	45		0.0%		2001	1,432	28	16	2.0%	1.1%	57.1%
	1992	59		0.0%		2002	1,191	28	25	2.4%	2.1%	89.3%
	1993	88		0.0%		2003	767	30	26	3.9%	3.4%	86.7%
	1994	123	1	0.8%		2004	588	25	14	4.3%	2.4%	56.0%
	1995	148	1	0.7%		2005	579	24	20	4.1%	3.5%	83.3%
	1996	183	3	1.6%		2006	641	41	27	6.4%	4.2%	65.9%
	1997	314	1	0.3%		2007	907	74	50	8.2%	5.5%	67.6%
	1998	674	3	0.4%		2008	670	69	45	10.3%	6.7%	65.2%
	1999	839	3	0.4%		소계	7,998	330	224	4.1%	2.8%	67.9%
소계	2,507	12	0.5%									

(연도별 증감추이) 사업단 연구수행 기간에 창출된 특허건수 추이는 국내의 증가 추이와 매우 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.960, p<0.01)를 갖고 있어 해당분야의 특허 출원을 주도하였다고 평가할 수 있다. 그러나 세계 특허 증가 추이와 비교하면 국내보다 낮은 상관관계(Pearson Correlation 0.374, p<0.01)를 보여, 사업단이 해당 관련 연구 분야의 세계적 특허 출원 추세와는 별도로 다른 특화된 영역인 위암·간암 등 한국인 다발성 암질환 연구에 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수 있다.



〈그림 1-3〉 연도별 인간유전체 관련 특허 동향

특허 점유율 (기여도, 영향력) 인간유전체 관련 연구 분야에 대한 국내 전체 특허 건수 중에서 사업단이 창출한 특허 비중은 〈표 1-4〉에서 볼 수 있는 바와 같이 67.9%로 나타나고 있다. 대상 사업단이 국내 관련분야 특허의 약 70% 가까이 확보하고 있다고 할 수 있으며, 전 세계 관련분야 특허 중에서 사업단의 비중이 2.8% 수준이었다. 이로 인해 해당분야에 있어서 한국의 전체 점유율이 과거 0.5%(12위)에서 5%(6위)로 10배 정도 증가하게 되었다.



〈그림 1-4〉 사업수행 전후 국가별 해당 분야 특허 점유율 변화

특허 활동 한국인 출원 특허의 비중은 6.5%정도인데, 인간유전체기능연구 관련 분야에서의 한국의 비중은 사업단의 많은 기여로 인해 연구사업 수행 이전시기보다 10배 증가하였지만, 여전히 5%수준으로서 아직 해당분야에 대한 국내에서의 특허 출원 활동이 세계 평균에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

연구비 대비 특허성과 연구비 1억 원당 특허출원 건수 0.39건으로 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 특허출원건수가 0.277건임을 감안하면 상대적으로 높은 수준인 것으로 나타났다.

〈표 1-5〉 연구비 대비 사업단 특허 성과

구분	국가전체 R&D 사업	교과부 주요 R&D 사업	인간유전체사업단
연구비 1억 원당 특허등록 건수	0.177	0.11	0.16
연구비 1억 원당 특허출원 건수	0.368	0.277	0.39

국내의 특허출원을 분석한 결과, 연구비 1억 원당 특허등록 건수는 평균 0.16건으로 나타났는데, 이는 2008년 국가전체 0.177건에 비하면 상대적으로 낮고, 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 0.11건에 비하면 상대적으로 매우 높은 수준인데, 등록의 경우 아직 심사 중인 특허가 다수 있는 것을 감안하면 낮은 수준으로는 볼 수 없다.

국내 해당분야 관련 기업의 변화 국내에서 참여기업 수의 변화를 측정하여 사업단의 연구성과를 기업에서의 사업화로 연결시키기 위한 기반이 형성되는지에 대한 분석을 수행한 바에 따르면, <표 2-6>에서 보는 바와 같이 국내의 경우 기업수가 그리 많지는 않지만, 사업개시 이전 평균 1개사에서 사업개시 이후 9개사로 9배 증가한 것으로 나타나고 있다. 이는 대상 사업단의 연구개발을 통해 국내 관련 기업의 관심도가 높아지고 파급 효과도 매우 커서 사업화를 통한 부가가치 창출 가능성을 높이는데 기여했다고 판단할 수 있다. 그러나 전체 평균 출원인수 증가가 2개에서 41개로 약 20배 증가한 것에 비해서는 상대적으로 낮기 때문에 아직 적극적인 기업의 참여와 사업화를 기대하기는 어렵다고 할 수 있다.

<표 1-6> 사업 개시 전후 관련 분야 출원인/기업수 변화

사업 전	연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
	출원인수		0	0	0	0	1	2	5	2	2	5
기업수		0	0	0	0	0	1	3	2	1	5	1
사업 후	연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	평균
	출원인수	33	66	44	41	31	35	30	45	48	-	41
기업수		7	10	10	9	8	4	8	14	13	-	9



(2) 테라급나노소자개발사업단

● 연구성과분석 요약

SCI 논문성과 분석 요약

우리나라 SCI논문의 세계에서의 양적 비중 확대: 테라급나노소자개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 SCI 논문 게재실적을 사업 전에 비해 30배(세계 21% 차지) 증가시키는데 60%정도 기여하였고, 사업단 자체 실적만으로도 세계 약 12.9%를 차지하고 있다.

연구비 1억 당 SCI실적이 국가전체의 10.4배 수준 테라급나노소자개발사업단의 연구비 1억 당 SCI 논문 수는 1.04편으로서, 국가 전체 평균 0.10편(2008년 기준)보다 10.4배 높은 수준인 것으로 분석되었다. 이는 같은 수치는 교과부 내에서 지원한 7대 주요 연구개발 사업 평균인 0.84편 보다 높은 수준이다.

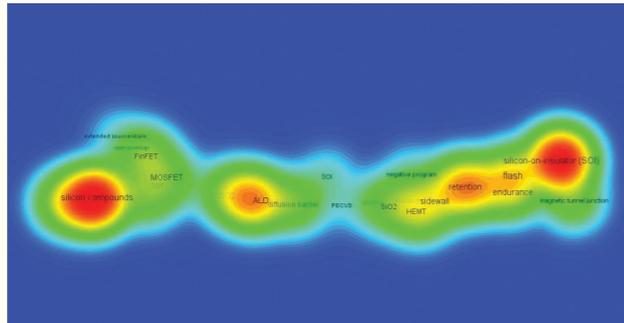
특허성과 분석 요약

특허의 양적성장에 크게 기여: 연구개발 기술 사업화의 시발점이라 할 수 있는 관련분야 특허를 분석한 결과, 테라급나노소자개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 특허 건수(특허 패밀리 중복 제외)를 사업 전에 비해 44배 증가시키는데 절반 이상 기여하였고, 사업단 자체 실적만으로도 세계 관련분야 특허의 9%를 확보하고 있다.

연구비 1억 당 특허등록 실적이 국가전체의 4.1배 수준: 테라급나노소자개발사업단의 연구비 1억 원당 등록특허 건수는 0.72편으로 국가 전체 평균 0.18편(2008년 기준) 보다 4.1배 높은 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 교과부의 7대 주요 연구개발 사업 평균의 경우 0.11편, 기초원천부문 연구개발사업의 경우 0.12편(2008년 기준)인 점을 감안하면, 이러한 성과는 매우 높은 수준인 것으로 평가된다.

사업단의 주요 연구활동 분야 맵핑

대상 사업단의 사업수행기간(2000년~2010년)에 대상 사업단의 SCI 논문에서 논문제목 및 저자 키워드에서 기술용어를 추출하고 연관관계를 분석하여 맵핑하면 대상 사업단의 주요 분야의 연구지형을 파악할 수 있다. <그림 2-1>에서와 같이 테라급나노소자 분야는 크게 실리콘 화합물, MOSFET(SOI), 나노구조 재료, 자성 터널링 분야 등에 대한 연구가 활발하게 진행되었음을 확인할 수 있었다.



〈그림 2-1〉 테라급나노소자개발사업단의 주요 연구분야맵핑

● 연구성과별 세부분석

SCI 논문 성과

과학지식 창출규모 (논문 건수) : 테라급나노소자 관련 연구분야에서 사업단 수행 기간(2000~2010년)과 수행 이전 10년간(1990~1999년)의 논문성과를 비교(〈표 2-1〉), 한국 국적 저자의 논문수는 47건에서 1,412건으로 약 30배 증가한 것으로 나타나고 있다. 동일 기간에 세계 전체 논문 수가 1,327건에서 6,606건으로 5배 증가한 것에 비하면 한국은 그 증가율이 6배 이상 높은 것으로 나타났다.

〈표 2-1〉 테라급나노소자개발사업단 사업수행시기 전후의 논문 건수/비중 비교

구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	사업단비중		
										사업단	세계	한국
사업 수행 전 10년	1990	4	0	0.0%	사업 수행 기간 10년	2000	440	26	9.3%	8	2.9%	30.8%
	1991	105	5	4.8%		2001	485	60	17.1%	40	11.4%	66.7%
	1992	105	2	1.9%		2002	586	138	31.4%	102	23.2%	73.9%
	1993	103	1	1.0%		2003	699	99	20.4%	57	11.8%	57.6%
	1994	119	0	0.0%		2004	858	136	23.2%	98	16.7%	72.1%
	1995	112	2	1.8%		2005	718	174	24.9%	117	16.7%	67.2%
	1996	151	6	4.0%		2006	576	182	21.2%	104	12.1%	57.1%
	1997	166	6	3.6%		2007	1040	145	20.2%	101	14.1%	69.7%
	1998	220	15	6.8%		2008	575	143	24.8%	103	17.9%	72.0%
	1999	242	10	4.1%		2009	279	231	22.2%	99	9.5%	42.9%
소계	1,327	47	3.5%	2010	350	78	13.6%	24	4.2%	30.8%		
				소계	6,606	1,412	21.4%	853	12.9%	60.4%		

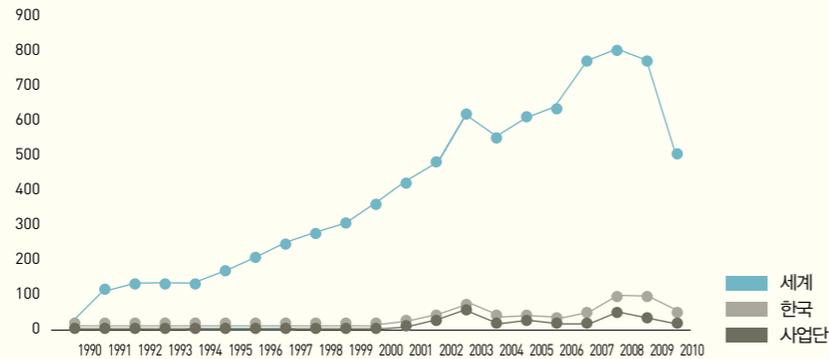
(지식창출 기여도) 사업단 사업수행 이전과 이후 기간의 국가별 논문 발표 순위를 비교(〈표 2-2〉)하면 이전 기간 한국의 순위는 6위(비중 3.5%)수준이었으며, 사업수행 이후 이 순위는 2위(비중 21.4%)로 4단계 급상승하여 사업단 연구수행 기간 중에 해당 연구 분야에 있어서 한국이 주도적 역할을 수행하게 되었음을 확인할 수 있다. 이와 같이 테라급나노소자 연구 분야에서 한국의 연구 활동과 지식창출 규모가 증대한 데에는 대상 사업단의 연구 활동이 한국의 연구 활동을 적극 주도(한국 전체 논문에서 사업단의 성과 논문이 차지하는 비중이 평균 60.4%에 달하였고, 전 세계 수준에서도 평균 12.9%의 매우 높은 비중을 차지)했기 때문으로 판단된다. 교육과학기술부 「SIC DB분석연구(2009)에 따르면 2008년 창출된 전세계 SCI 논문건수는 총 1,158,247건인데, 이 가운데 한국은 35,569건으로 2.42% 비중을 차지하고 있으며, 건수 순위로는 12위이다.⁶⁾ 이와 관련하여 해당 연구 분야에서 한국의 비중은 2008년도에는 24.8%를 기록함으로써 한국 전체평균에 비해 약 10.2배, 사업단 수행기간 10년간은 21.4%를 기록함으로써 약 8.8배 수준인 것으로 나타나고 있다. 이를 통해 알 수 있는 바와 같이 해당 연구 분야는 한국의 전체 연구 분야 평균 대비 연구 활성 정도가 매우 높음을 확인할 수 있다.

〈표 2-2〉 테라급나노소자개발 사업단 사업수행시기 전후의 국가별 순위/비중 비교

순위	1990년 ~ 1999년			2000년~2010년 7월		
	국가	건수	비중	국가	건수	비중
1	미국	314	23.7%	미국	1,684	25.5%
2	일본	228	17.2%	한국	1,412	21.4%
3	영국	68	5.1%	일본	1,223	18.5%
4	독일	58	4.4%	중국	535	8.1%
5	프랑스	49	3.7%	독일	452	8.1%
6	한국	47	3.5%	프랑스	391	6.8%
7	러시아	25	1.9%	대만	333	5.9%
8	캐나다	24	1.8%	영국	272	5.0%
9	대만	22	1.7%	싱가폴	142	4.1%
10	중국	17	1.3%	이탈리아	135	2.1%
소계		852	64.2%		6,579	99.6%
전체 건수	-	1,327	100.0%	-	6,606	100.0%

연도별 과학지식 창출 증감 추이 대상 사업단 연구수행 기간(2000~2010년)에 발표한 논문건수 추이는 국내의 논문건수 증가 추이와 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.873, p<0.01)를 갖고 그 비중도 높아 대상 사업단이 해당 연구 분야를 주도하였다고 판단할 수 있다. 또한 해외 논문 건수 증감 추이와 국내 논문 건수 증가 추이도 더욱 강한 상관관계(Pearson Correlation 0.965, p<0.01)를 보여, 국내 관련 연구 활동과 세계 연구 활동의 추세에 부합하고 있음을 확인할 수 있다.

6) 2008년도 SCI 전체 DB를 분석하면, 전체 연구 분야에서 창출된 전 세계 논문 수에서 한국이 차지하는 비중은 2.42%수준인 것으로 나타나고 있다.



〈그림 2-2〉 연도별 SCI 논문 증감 추이

연구비 대비 논문성과 연구비(정부출연금 904억 원, 938건) 1억당 SCI급 학술지 게재 논문 건수는 1.04건으로서, 2008년 국가전체 R&D사업 평균 0.10건에 비해 10배 이상의 높은 수준으로 나타나고 있으며, 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 0.84건에 비해서도 상당히 높은 수준임을 알 수 있다.

논문성과의 영향력 테라급나노소재개발 사업단에서 발표한 SCI논문의 논문 1편 당 평균 피인용수(CPP)는 7.67(2010년 7월 기준)로서, 같은 시기 한국 논문의 평균 피인용수 7.1보다 높은 수준을 유지하고 있다.⁷⁾ 또한, 이는 한국 전체 SCI 논문 평균 CPP 값인 6.5를 상회하는 수치이다. 분석 대상 연구 집단의 영향력을 측정하는 간접적으로 널리 활용되고 있는 평균피인용수는 해당 관련 연구 분야의 평균피인용수(FCSm), 즉 세계적 수준과 대비하여 비교하는 것이 의미가 있다. 〈표 2-3〉을 참조하면 FCSm은 11.0으로 대상 사업단의 CPP는 세계 평균수준(기준 = 1) 대비 0.70(한국 전체는 0.65)수준이다. 논문 생산 10위 국가들의 CPP를 비교하면 중국, 대만, 싱가포르, 이탈리아가 한국의 영향력 수준보다 낮은 값을 나타내고 있고, 대체로 아시아권 국가들의 상대적으로 낮은 CPP 경향성을 보이고 있다. 이를 감안하면 본 사업단 논문성과의 영향력은 기대수준보다 높게 나타나고 있다고 판단할 수 있다.

〈표 2-3〉 논문 생산 10위 국가의 평균 피인용수

논문순위	2000년 ~ 2010년 7월			
	국가	건수	CPP	전체평균대비
1	미국	1,684	17.2	1.56
2	한국	1,412	7.1	0.65
3	일본	1,223	11.1	1.01
4	중국	535	6.7	0.61
5	독일	452	15.1	1.37
6	프랑스	391	10.8	0.98
7	대만	333	4.5	0.41
8	영국	272	10.7	0.97
9	싱가폴	142	5.8	0.53
10	이탈리아	135	7.1	0.65
	세 계	6,606	11.0	1.00

특허 성과

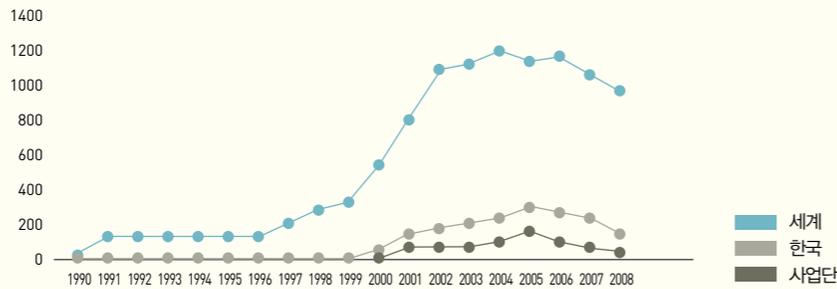
연도별 특허 동향 (특허 건수): 분석 대상 사업단의 성과 분석대상기간은 2000년 7월 1일부터 2008년 12월 31일까지로 하였다. 검색 결과 해당분야에서 세계특허는 10,613건, 한국특허(우선권 주장국)는 1,788건이었으며, 사업단특허는 810건으로 나타났다. 〈표 2-4〉는 해당 연구 분야에서 세계 40개국을 대상으로 한 한국인 출원 특허건수를 보여주고 있다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 사업단의 사업 수행이전 10년간(1990~1999년)은 40건이었으며, 사업수행시기(2000~2010년) 동안은 1,748건으로 나타남으로써, 특허 창출 규모가 약 44배 증가하였다. 동일 구간별 세계 특허는 각각 1,462건과 9,151건으로 약 6배 증가한 것에 비하면 한국의 특허창출 규모의 증가속도는 동 사업기간동안 세계 평균보다 약 7배나 빠른 것으로 나타나고 있다.

7) 지난 29년간(1981~2009) 한국에서 발표한 351,753편의 CPP는 6.5이며, 1993년과 2000년도에 가장 높은 11.9회로 최고치를 기록 ('SCI 등재 저널에 출판된 한국 논문의 피인용 현황', KIST i-CON 동향정보)

〈표 2-4〉 사업수행 전후 10년간 특허 산출실적 및 한국/세계 기여비중

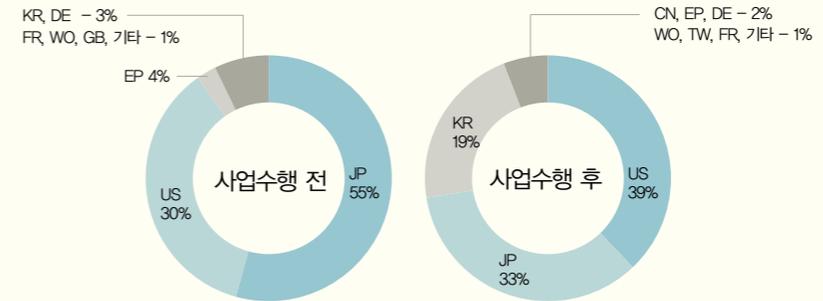
구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	사업단	한국비중 (세계대비)	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전	1990	23	0	0.0%	사업 수행후	2000	536	75	23	14.0%	4.3%	30.7%
	1991	106	2	1.9%		2001	803	138	76	17.2%	9.5%	55.1%
	1992	106	2	1.9%		2002	1,102	164	85	14.9%	7.7%	51.8%
	1993	101	0	0.0%		2003	1,123	217	89	19.3%	7.9%	41.0%
	1994	105	1	1.0%		2004	1,219	238	103	19.5%	8.4%	43.3%
	1995	115	2	1.7%		2005	1,151	284	151	24.7%	13.1%	53.2%
	1996	131	4	3.1%		2006	1,183	247	103	20.9%	8.7%	41.7%
	1997	192	5	2.6%		2007	1,057	231	99	21.9%	9.4%	42.9%
	1998	272	3	1.1%		2008	977	154	81	15.8%	8.3%	52.6%
	1999	311	21	6.8%		소계	9,151	1,748	810	19.1%	8.9%	46.3%
소계	1,462	40	2.7%									

(연도별 증감추이) 사업단 연구수행 기간에 창출된 특허건수 추이는 국내의 증가 추이와 매우 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.930, p<0.01)를 갖고 국내에서의 비중도 높아 해당 분야의 특허출원을 주도하였다고 평가할 수 있다. 또한 세계 특허 건수 증가 추이와 비교하면 국내보다 더 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.975, p<0.01)를 보여, 사업단이 해당 관련 연구 분야의 세계적 특허출원 추세에 많은 영향을 주고받음을 확인할 수 있다.



〈그림 2-3〉 연도별 테라급나노소자 관련 특허 동향

특허 점유율 (기여도, 점유율, 영향력) 테라급나노소자 관련 연구 분야에 대한 국내 전체 특허건수 중에서 사업단이 창출한 특허 비중은 46.3%로서, 대상 사업단이 국내 관련분야 특허의 약 절반을 점유하고 있으며, 전 세계 관련분야 특허 중에서 사업단의 비중이 8.9%로 매우 높았다. 이로 인해 해당 분야에 있어서 한국의 점유율이 과거 3%(차이가 큰 4위)에서 19.1%(3위)로 약 6배 이상 증가하게 되었음을 알 수 있다.



〈그림 2-4〉 사업수행 전후 국가별 해당 분야 특허 점유율 변화

특허 활동 한국인 출원 특허의 비중은 6.5%정도⁸⁾인데, 테라급나노소자 관련 분야에서의 한국의 비중은 19.1%로서 해당분야에 대한 한국의 특허출원 활동이 세계 평균에 비해 3배 정도 활발함을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 대상 사업단이 절반 정도의 기여도로 영향을 미친 것에 기인한다고 할 수 있다.

연구비 대비 성과 연구비 1억 원당 특허출원 건수 1.41건으로서 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 특허출원건수가 0.277건임을 감안하면 매우 높은 수준인 것으로 나타났다.

〈표 2-5〉 연구비 대비 사업단 특허 성과

구분	국가전체 R&D 사업	교과부 주요 R&D 사업	테라급나노소자개발사업단
연구비 1억 원당 특허등록 건수	0.177	0.11	0.72
연구비 1억 원당 특허출원 건수	0.368	0.277	1.41

8) 2110년 3월, DWPI 수록 건수를 기준으로 하여 세계 전체 특허건수 1,890만건에 대해 한국인 출원 특허 건수는 123만건으로 한국의 특허비중은 6.5%이다.

한편, 연구비 1억 원당 특허등록 건수는 평균 0.72건으로 나타나고 있는데, 이는 2008년 국가전체 R&D 사업이 0.177건, 교과부 주요 연구개발사업이 0.11건이었던 것에 비하면 상대적으로 매우 높은 수준이다.

국내 해당분야 관련 기업의 변화 국내에서 참여기업 수의 변화를 측정하여 사업단의 연구 성과를 기업에서의 사업화로 연결시키기 위한 기반이 형성되는지에 대한 분석을 위한 것으로, 대상 사업단의 출범 전 평균 3개사이던 것이 사업개시 후 21개사로 약 7배 증가하였다. 이는 대상 사업단의 연구개발을 통해 국내 관련 기업으로의 관심도가 높아지고 파급 효과도 매우 커서 사업화를 통한 부가가치 창출 가능성을 높이는데 많이 기여한 것으로 판단할 수 있다. 그러나 전체 평균 출원인수 증가가 4개에서 97개로 약 25배 증가한 것에 비해서는 상대적으로 낮기 때문에 아직 적극적인 기업의 참여를 기대하기는 어렵다고 할 수 있다.

〈표 2-6〉 사업 개시 전후 관련 분야 출원인 수 변화

사업 전	연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
	출원인수	0	5	2	0	2	2	5	6	4	20	4
기업수		4	1	0	2	0	5	6	2	8	3	
사업 후	연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	평균
	출원인수	56	98	111	104	103	121	106	93	84	-	97
기업수	13	19	21	23	17	24	26	27	23	-	21	



(3) 자생식물이용기술개발사업단

● 연구성과분석 요약

SCI 논문성과 분석 요약

우리나라 SCI논문의 세계에서의 양적 규모 확대 ; 자생식물이용기술개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 SCI 논문 게재실적이 사업전에 비해 12배 증가하여 관련 분야 세계 증가속도 4배를 현격히 상회하는 수준이다.

사업단의 국내 SCI실적 비중이 73% 수준 : 자생식물이용기술개발사업단의 SCI 논문 게재실적은 양적 규모가 확대됨에 따라 국내에서의 비중도 3/4에 가깝도록 매우 높은 수준이다.

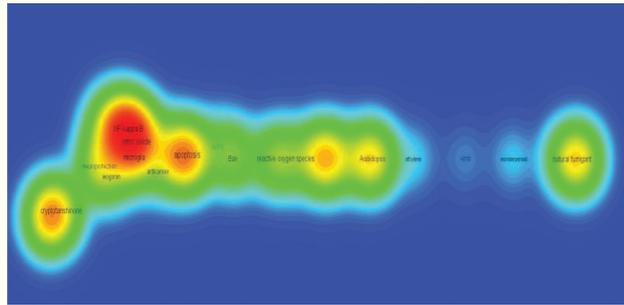
특허성과 분석 요약

특허의 양적성장에 크게 기여 ; 자생식물이용기술개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 특허 건수(특허 패밀리 중복 제외)를 사업전에 비해 17배 증가시키는데 기여하였고, 관련분야 세계 증가율 2배를 훨씬 상회하는 수준이다.

특허의 출원인수 증가율 및 기업수 증가율 9배 ; 연구성과의 사업화 잠재력이라 할 수 있는 기업의 참여가 평균 47개사로 늘어났는데, 이는 사업수행 이전에 비해 9배나 증가한 것으로 사업화 발전 가능성을 높였다.

사업단의 주요 연구활동 분야 맵핑

대상 사업단의 SCI 논문 성과를 대상으로 하여 저자 키워드를 추출한 후 연관관계를 분석하여 맵핑 하면 사업단 주요 분야의 연구지형을 파악할 수 있다. 〈그림 3-1〉에서와 같이 자생식물 분야는 크게 NF-kappa B, apoptosis, cryptotanshinone, natural fumigant 분야 등이 활발하게 연구가 진행되었음을 확인할 수 있다.



〈그림 3-1〉 자생식물이용기술개발사업단 연구성과 논문 대상 키워드맵

● 연구성과별 세부분석

SCI 논문 성과

과학지식 창출규모 (논문 건수) : 자생식물 이용기술개발 관련 연구 분야에서 사업단 수행 기간 (2000~2010년)과 수행 이전 11년 간(1990~1999년)을 비교하면(〈표 3-1〉), 한국 국적 저자의 논문 발표 수는 63건에서 774건으로 약 12배 증가한 것으로 나타나고 있다. 동일 기간에서 세계 전체 논문 발표 수가 3,399건에서 5,034건으로 약 1.5배 정도 증가한 것에 비하면 한국은 그 증가율이 약 8배 이상으로 매우 높게 나타났다.

〈표 3-1〉 자생식물이용기술개발사업단 사업수행시기 전후의 논문 건수/비중 비교

구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	사업단	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전 11년	1990	14	0	0.0%	사업 수행 기간 10년	2001	444	31	7.0%	22	5.0%	71.0%
	1991	222	1	0.5%		2002	523	60	11.5%	42	8.0%	70.0%
	1992	279	0	0.0%		2003	559	92	16.5%	62	11.1%	67.4%
	1993	270	2	0.7%		2004	158	60	38.0%	58	40.5%	99.7%
	1994	299	3	1.0%		2005	553	118	21.3%	83	15.0%	70.3%
	1995	324	7	2.2%		2006	657	110	16.7%	99	15.1%	90.0%
	1996	384	5	1.3%		2007	506	79	15.6%	67	13.2%	84.8%
	1997	360	8	2.2%		2008	445	90	20.2%	83	18.7%	92.2%
	1998	390	12	3.1%		2009	783	92	11.7%	58	7.4%	63.0%
	1999	389	15	3.9%		2010	406	42	10.3%	18	4.4%	42.9%
	2000	468	10	2.1%		소계	5,034	774	15.4%	598	11.9%	77.3%
소계	3,399	63	1.9%									

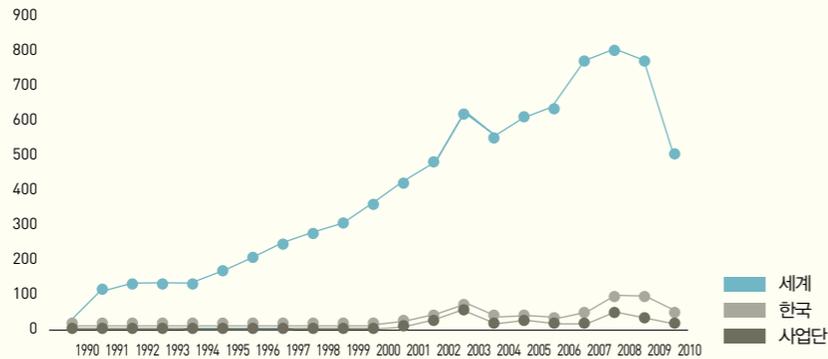
사업단 사업수행 이전과 이후 기간에 국가별 논문 발표 순위를 비교(〈표 3-2〉 참조)할 경우 이전 기간 한국의 국가별 순위는 15위(비중 1.9%)에 불과하였으나, 사업수행 이후 순위는 2위(비중 15.4%)로 매우 높은 상승을 나타냈다. 자생식물 이용기술개발 관련 분야에서 한국 연구 활동의 비중이 매우 높게 된 데에는 대상 사업단이 매우 중요한 역할을 수행해 왔기 때문인 것으로 판단할 수 있다. (지식창출 기여도) 위와 같이 자생식물 이용기술개발 연구 분야에서 한국의 연구 활동과 지식창출 규모가 증대한 데에는 대상 사업단의 연구 활동이 한국의 연구 활동을 적극 주도(한국 전체 논문에서 사업단의 성과 논문이 차지하는 비중이 평균 77.3%에 달하였고, 전 세계 수준에서도 평균 11.9%의 매우 높은 비중을 차지)했기 때문인 것으로 판단된다.

한편 2008년도 SCI 전체 DB를 분석하면, 모든 연구 분야에서 창출된 전 세계 논문 수에서 한국이 차지하는 비중은 2.42%인 것으로 나타나는데, 해당 연구 분야에서 한국의 비중은 같은 2008년도에 18.7%로서 한국 전체평균의 약 7.7배를 나타내었으며, 사업단 수행기간 10년 평균은 11.9%로서 약 4.9배를 기록함으로써 해당 연구 분야는 한국의 전체 연구 분야 평균 대비 연구 활성화 정도가 상당히 높음을 확인할 수 있다.

〈표 3-2〉 자생식물 이용기술개발사업단 사업수행시기 전후의 국가별 순위/비중 비교

순위	1990년 ~1999년			2000년~2010년 7월		
	국가	건수	비중	국가	건수	비중
1	미국	720	21.2%	미국	837	16.6%
2	일본	371	10.9%	한국	774	15.4%
3	독일	352	10.4%	일본	525	10.4%
4	영국	283	8.3%	중국	494	9.8%
5	프랑스	223	6.6%	독일	368	7.3%
6	캐나다	115	3.4%	인도	277	5.5%
7	스페인	89	2.6%	영국	247	4.9%
8	호주	84	2.5%	프랑스	241	4.8%
9	네덜란드	83	2.4%	캐나다	167	3.3%
10	벨기에	81	2.4%	스페인	160	3.2%
15	한국	63	1.9%			
소개(10위내)	-	2401	70.6%		4,090	81.2%
전체건수	-	3399	100.0%	-	5,034	100.0%

연도별 과학지식 창출 증감 추이 ; 대상 사업단 연구수행 기간(2001~2010년)에 발표한 논문건수 추이는 국내의 논문건수 증가 추이와 상당히 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.892, p<0.01)를 갖고 있어 대상 사업단이 해당 연구 분야를 주도하였다고 판단할 수 있다. 반면 해외 논문 건수 증감 추이와 국내 논문 건수 증가 추이도 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.710, p<0.01)를 보여, 국내 관련 연구 활동과 세계 연구 활동의 흐름이 동조되어 있었음을 확인할 수 있다.



〈그림 3-2〉 연도별 SCI 논문 증감 추이

연구비 대비 논문성과 연구비(정부출연금 973억원, 808건) 1억 원당 SCI급 학술지 게재 논문 건수는 0.83건이며, 2008년 국가전체 R&D사업 평균 0.10건에 비해 8배 높고, 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 0.84건보다는 낮은 수준임을 알 수 있다.

논문성과의 영향력 대상 사업단에서 발표한 SCI논문 543건의 논문 1편 당 평균 피인용수(CPP)는 11.4(2010년 7월 기준)로 같은 시기 한국 논문의 평균 피인용수 10.8보다 높은 수준으로 나타나고 있다. 이는 모든 연구 분야 한국 전체 논문 평균 CPP 값인 6.5의 1.7배 정도 수준이다. 분석 대상 연구 집단의 영향력을 측정하는 간접적으로 널리 활용되고 있는 평균피인용수는 해당 관련 연구 분야의 평균피인용수(FCSm), 즉 세계적 수준과 대비하여 비교하는 것이 의미가 있다. 〈표 3-3〉을 참조하면 FCSm은 16.4로 대상 사업단의 CPP는 세계 평균수준(기준 = 1) 대비 0.94 (한국 전체는 0.89)로 나타나고 있다. 논문 생산 10위 국가들의 CPP를 비교하면 일본, 한국, 중국, 인도와 같은 아시아권 국가가 CPP가 세계수준 대비 낮게(1.0 이하) 나타나고 있다. 이러한 점을 감안하면, 세계 수준에 거의 근접한 본 사업단의 CPP/FCSm 수치는 매우 우수한 수치라고 판단된다.

〈표 3-3〉 논문 생산 10위 국가의 평균 피인용수

논문순위	2000년 ~ 2010년 7월			
	국가	건수	CPP	전체평균대비
1	미국	837	17.8	1.47
2	한국	774	10.8	0.89
3	일본	525	10.9	0.90
4	중국	494	6.7	0.55
5	독일	368	16.7	1.38
6	인도	277	6.8	0.56
7	영국	247	18.7	1.55
8	프랑스	241	16.3	1.35
9	캐나다	167	13.3	1.10
10	스페인	160	12.3	1.02
	세 계	5,034	12.1	1.00

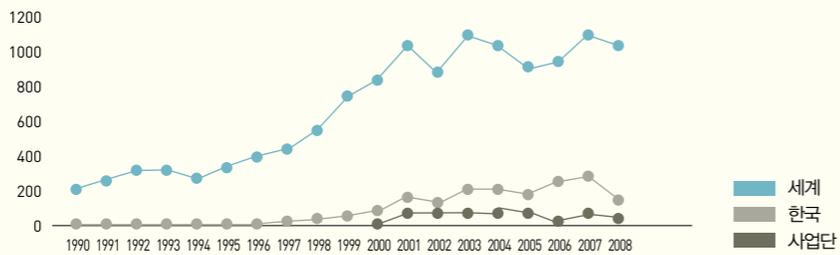
특허 성과

연도별 특허동향(특허 건수) 분석 ; 대상 사업단 성과분석 대상기간은 2000년 7월 1일부터 2008년 12월 31일로 하였다. 검색 결과 해당분야에서 세계특허는 12,542건, 한국특허(우선권주장국)는 1,599건이었으며, 사업단특허는 429건으로 나타났다. 〈표 3-4〉은 해당 연구 분야에서 세계 40개국을 대상으로 한 한국인 출원 특허 건수를 보여주고 있다. 이에 따르면 사업단의 사업수행 이전 10년간(1990~1999년)에는 90건이었으나, 사업수행시기(2000~2010년) 동안 1,509건으로 특허 창출 규모가 약 17배 증가하였다. 동일 기간별 세계 특허는 각각 3,760건과 8,782건으로 약 2배 증가한 것에 비하면 한국의 특허 창출 규모의 증가속도는 동 사업기간 동안 세계 평균보다 약 9배나 빨랐던 것으로 알 수 있다.

〈표 3-4〉 사업수행 전후 10년간 특허 산출실적 및 한국/세계 기여비중

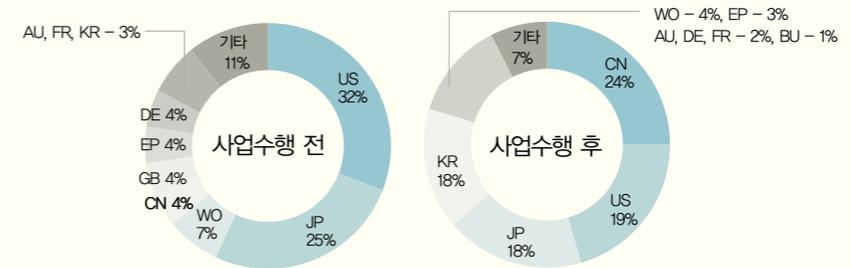
구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	사업단	한국비중 (세계대비)	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전	1990	201		0.0%	사업 수행후	2000	818	53	1	6.5%	0.1%	1.9%
	1991	237	3	1.3%		2001	1019	126	53	12.4%	5.2%	42.1%
	1992	282	6	2.1%		2002	875	116	46	13.3%	5.3%	39.7%
	1993	286	2	0.7%		2003	1075	200	68	18.6%	6.3%	34.0%
	1994	253	3	1.2%		2004	1025	201	68	19.6%	6.6%	33.8%
	1995	350	10	2.9%		2005	911	182	61	20.0%	6.7%	33.5%
	1996	401	10	2.5%		2006	931	224	42	24.1%	4.5%	18.8%
	1997	429	12	2.8%		2007	1097	248	61	22.6%	5.6%	24.6%
	1998	581	16	2.8%		2008	1031	159	29	15.4%	2.8%	18.2%
	1999	740	28	3.8%		소계	8,782	1,509	429	17.2%	4.9%	28.4%
소계	3,760	90	2.4%									

(연도별 증감추이) 사업단 연구수행 기간에 창출된 특허건수 추이는 국내의 증가 추이와 다소 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.724, p<0.01)를 갖고 있어 해당 특허 분야의 추세에 부합된다고 평가할 수 있다. 더욱이 세계 특허 건수 증가추이와 비교하면 국내보다 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.896, p<0.01)를 보여, 사업단이 해당 관련 연구 분야의 세계적 특허 추세와 다소 보조를 맞추면서 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 3-3〉 연도별 자생식물 관련 특허 동향

특허 점유율 (기여도, 영향력) 자생식물이용 관련 연구 분야에 대한 국내 전체 특허 건수 중에서 사업단이 창출한 특허 비중은 28.4%로, 대상 사업단이 국내 관련분야 특허의 약 1/3 정도를 점유하고 있으며, 전 세계 관련분야 특허 중에서 사업단의 비중이 4.9%로 높은 수준이었다. 이로 인해 해당분야에 있어서 한국의 점유율이 과거 2.4%(10위)에서 17%(4위)로 7배 증가하면서 6단계 상승하였다.



〈그림 3-4〉 사업수행 전후 국가별 해당 분야 특허 점유율 변화

특허 활동 한국인 출원 특허의 비중은 6.5%정도인데, 자생식물관련 분야에서의 한국의 비중은 17%로 해당분야에 대한 한국의 특허 출원 활동이 세계 평균에 비해 3배 정도 활발함을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 대상 사업단이 절반 정도의 기여도로 영향을 미친 것에 기인한다고 할 수 있다.

연구비 대비 특허성과 당해분야에서 연구비 1억 원당 특허출원 건수 0.56건으로 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 특허출원건수가 0.277건임을 감안하면 상대적으로 높은 수준인 것으로 나타났다.

〈표 3-5〉 연구비 대비 사업단 특허 성과

구분	국가전체 R&D 사업	교과부 주요 R&D 사업	자생식물이용기술개발사업단
연구비 1억원당 특허등록 건수	0.177	0.11	0.23
연구비 1억원당 특허출원 건수	0.368	0.277	0.56

한편, 당해분야에서 연구비 1억 원당 특허등록 건수는 평균 0.23건으로 나타났는데, 이는 2008년 국가전체 0.177건과 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 0.11건에 비해 상대적으로 높은 수준으로 분석된다.

국내 해당분야 관련 기업의 변화 국내에서 참여기업 수의 변화를 측정하여 사업단의 연구 성과를 기업에서의 사업화로 연결시키기 위한 기반이 형성되는지에 대한 분석을 수행한 바에 따르면, <표 3-6>에서 볼 수 있는 바와 같이 사업개시 이전 평균 5개사에서 사업개시 이후 47개사로 약 9배 증가하였다. 이는 대상 사업단의 연구개발을 통해 국내 관련 기업으로의 관심도가 높아지고 파급 효과도 매우 커서 사업화를 통한 부가가치 창출 가능성을 높이는데 기여했다고 판단할 수 있다. 또한, 전체 평균 출원인수 증가가 14개에서 131개로 약 9배 증가한 것과 비슷하여 보통 수준의 기업의 참여와 사업화가 기대된다.

<표 3-6> 사업개시 전후 관련 분야 출원인수 /기업수 변화

사업 전	연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
	출원인수	0	3	6	8	3	14	23	16	35	29	14
기업수	0	1	2	1	1	9	10	7	10	13	5	
사업 후	연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	평균
	출원인수	75	146	106	156	130	139	150	157	117	-	131
기업수	15	40	33	59	59	49	51	64	52	-	47	



(4) 자원재활용기술개발사업단

● 연구성과분석 요약

SCI 논문성과 분석 요약

우리나라 SCI논문의 세계에서의 양적 규모 확대; 자원재활용기술개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 SCI 논문 게재실적이 사업 전에 비해 21배 증가하여 관련 분야 세계 증가속도 3배를 현격히 상회하는 수준이다.

사업단 SCI논문의 세계 관련분야 영향력 확대; 자원재활용기술개발사업단의 사업수행기간 동안 발표된 SCI 논문의 평균 인용횟수가 4.94회로 관련분야 전체평균 5.84의 0.85수준으로 세계 수준인 1에 가까워 졌다.

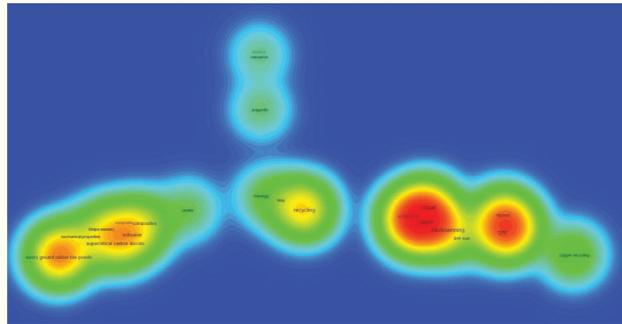
특허성과 분석 요약

특허의 양적성장에 크게 기여; 자원재활용기술개발사업단의 사업수행기간 동안 관련분야에 대한 한국의 특허 건수(특허 패밀리 중복 제외)는 사업 전에 비해 7배 증가시키는데 절반 이상 기여하였고, 특히 사업단 자체 실적만으로도 세계 관련분야 특허의 10% 이상을 확보하고 있다.

특허의 출원인수 증가율 및 기업수 증가율 9배; 연구 성과의 사업화 잠재력이라 할 수 있는 기업의 참여가 평균 23개사로 늘어났으며, 이는 사업수행 이전에 비해 6배나 증가한 것으로 사업화 발전 가능성을 높였다.

사업단의 주요 연구활동 분야 맵핑

대상 사업단의 SCI 논문성과를 대상으로 저자 키워드를 추출한 후 연관관계를 분석하여 맵핑하면 사업단 주요 분야의 연구지형을 파악할 수 있다. <그림 4-1>에서 볼 수 있는 바와 같이 자원재활용 분야는 크게 cobalt/copper electrowinning, nickel, zink recycling, rubber tire 분야 등이 활발하게 연구가 진행되었음을 확인할 수 있다.



〈그림 4-1〉 자원재활용기술개발사업단의 연구성과에 대한 키워드 맵핑

● 연구성과별 세부분석

SCI 논문 성과

과학지식 창출규모(논문 건수): 자원재활용기술개발 관련 연구 분야에서 사업단 수행 이후 기간(2000~2010년)과 수행 이전 10년간(1990~1999년)을 비교하면(〈표 4-1〉), 한국 국적 저자의 논문 수는 총 27건에서 총 567건으로 약 21배나 증가하였다. 동일 기간에서 세계 전체 논문 수가 1,589건에서 5,478건으로 약 3.4배 정도 증가한 것에 비해 한국은 그 증가율이 약 6배 이상 높게 나타났다.

〈표 4-1〉 자원재활용기술개발사업단 사업수행시기 전후의 논문 건수/비중 비교

구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	사업단	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전 10년	1990	15	0	0.0%	사업 수행 기간 10년	2000	272	13	4.8%	5	1.8%	38.5%
	1991	105	0	0.0%		2001	360	26	7.2%	14	3.9%	53.8%
	1992	122	0	0.0%		2002	358	40	11.2%	18	5.0%	45.0%
	1993	127	0	0.0%		2003	430	53	12.3%	34	7.9%	64.2%
	1994	141	2	1.4%		2004	443	58	13.1%	33	7.4%	56.9%
	1995	174	1	0.6%		2005	502	44	8.8%	25	5.0%	56.8%
	1996	207	4	1.9%		2006	579	61	10.5%	31	5.4%	50.8%
	1997	202	4	2.0%		2007	645	60	9.3%	29	4.5%	48.3%
	1998	244	7	2.9%		2008	750	97	12.9%	51	6.8%	52.6%
	1999	252	9	3.6%		2009	927	84	9.1%	47	5.1%	56.0%
	소계	1,589	27	1.7%		2010	484	44	9.1%	11	2.3%	25.0%
				소계	5,478	567	10.4%	293	5.3%	51.7%		

사업단 사업수행 이전과 이후 기간에 국가별 논문 발표 순위를 비교하여 〈표 4-2〉에 나타내었다. 사업단 이전 기간 한국의 국가별 순위는 10위, 전 세계 대비 비중은 1.7%이었으나, 사업단 이후 기간에는 순위 3위와 비중 10.6%로 매우 높은 상승을 나타내는 것으로 분석되었다. 자원재활용 기술 개발 관련 분야에서 한국 연구 활동의 비중이 이처럼 높아진 데에는 대상 사업단이 매우 중요한 역할을 수행한 데 기인한 것으로 보인다.

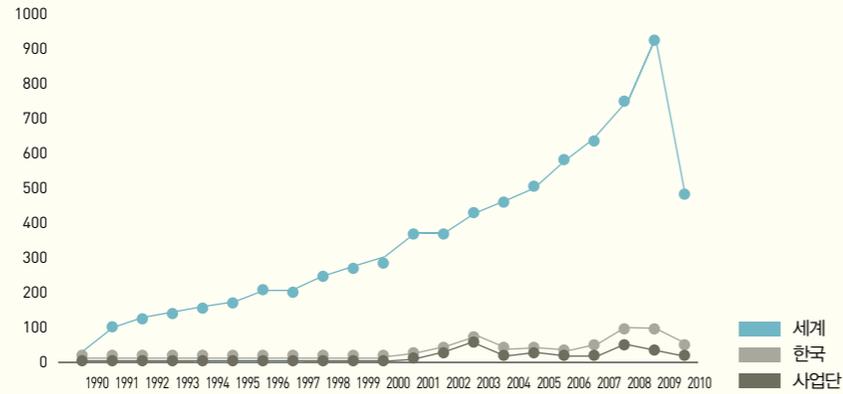
(지식창출 기여도) 위와 같이 자원재활용 연구 분야에서 한국의 연구 활동과 지식창출 규모가 증대한 데에는 대상 사업단의 연구 활동이 한국의 연구 활동을 적극 주도(한국 전체 논문에서 사업단의 성과 논문이 차지하는 비중이 평균 51.7%에 달하였고, 전 세계 수준에서도 평균 5.3%의 높은 비중을 차지)했기 때문인 것으로 판단된다. 한편 2008년도 SCI 전체 DB를 분석하면, 모든 연구 분야에서 창출된 전 세계 논문 수에서 한국이 차지하는 비중은 2.42%인 것으로 나타나는데, 해당 연구 분야에서 한국의 비중은 같은 2008년도의 경우 한국전체 평균의 약 5.3배인 12.9%, 사업단 수행기간 10년간은 약 4.3배인 10.4%를 기록함으로써, 해당 연구 분야는 한국의 전체 연구 분야 평균 대비 연구 활성화 정도가 상당히 높음을 확인할 수 있다.

〈표 4-2〉 자원재활용기술개발 사업단 사업수행시기 전후의 국가별 순위/비중 비교

순위	1990년 ~1999년			2000년~2010년 7월		
	국가	건수	비중	국가	건수	비중
1	미국	244	15.4%	중국	608	11.1%
2	일본	99	6.2%	미국	584	10.7%
3	독일	85	5.3%	한국	580	10.6%
4	영국	70	4.4%	일본	453	8.3%
5	캐나다	55	3.5%	인도	422	7.7%
6	인도	52	3.3%	스페인	286	5.2%
7	스페인	48	3.0%	영국	286	5.2%
8	프랑스	45	2.8%	터키	224	4.1%
9	이탈리아	33	2.1%	대만	217	4.0%
10	한국	27	1.7%	캐나다	214	3.9%
소개(10위내)	-	758	47.7%	-	3,874	70.7%
전체 건수	-	1,589	100.0%	-	5,478	100.0%

연도별 과학지식 창출 증감 추이 대상 사업단 연구수행 기간(2001~2010년)에 발표한 논문건수 추이는 국내의 논문건수 증가 추이와 상당히 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.949, p<0.01)를 갖고 있어 대상 사업단의 연구 활동이 국내 관련 분야의 연구 활동을 주도하였다고 판단할 수 있다. 또한 해외논문 건수 증감 추이와 국내논문 건수 증가 추이도 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.952,

p<0.01)를 보여, 국내 관련 연구 활동이 세계 연구 활동의 추세에 잘 대응하였고, 여기에는 동 사업단의 역할이 중요했다고 판단된다. 다만, <그림 4-2>에 잘 드러나 있듯이 2000년대 중반이후 관련 연구의 증가추세가 더욱 커지고 있는데, 한국은 오히려 감소세로 돌아서 이에 대한 지원이 필요하다고 판단된다.



<그림 4-2> 연도별 SCI 논문 증감 추이

연구비 대비 논문성과 연구비(정부출연금 978억원, 327건) 1억 원당 SCI급 학술지 게재 논문 건수는 0.33건이며, 2008년 국가전체 R&D사업 평균 0.10건에 비해 3배 정도 높은 수준임을 알 수 있다. 논문성과의 영향력 대상 사업단에서 발표한 SCI논문 298건의 논문 1편 당 평균 피인용수(CPP)는 4.94(2010년 7월 기준)로서 같은 시기 한국 논문의 평균 피인용수 5.57건 보다는 낮은 수준으로 나타나고 있다. 동 분야는 모든 연구 분야 한국 전체 논문 평균 CPP 값인 6.5보다도 낮아 피인용도가 전반적으로 높지 않은 경향성을 갖고 있는 것으로 판단된다. 분석 대상 연구 집단의 영향력을 측정하는 간접적으로 널리 활용되고 있는 평균피인용수는 해당 관련 연구 분야의 평균피인용수(FCSm), 즉 세계적 수준과 대비하여 비교하는 것이 의미가 있다. <표 4-3>을 참조하면 FCSm은 5.84로 대상 사업단의 CPP는 세계 평균수준(기준 = 1) 대비 0.85 (한국 전체는 0.95)이다. 논문 생산 10위 국가들의 CPP를 비교하면 미국, 일본, 스페인, 영국 4개국을 제외하고 나머지 국가들이 모두 CPP가 세계수준 대비 낮게(1.0 이하) 나타난다. 대상 사업단의 CPP 값 4.94는 일본, 중국, 터키보다 높게 나타나므로 양호한 값으로 판단된다.

<표 4-3> 논문 생산 10위 국가의 평균 피인용수

논문순위	2000년 ~ 2010년 7월			
	국가	건수	CPP	전체평균대비
1	중국	608	4.88	0.84
2	미국	584	8.39	1.44
3	한국	580	5.57	0.95
4	일본	453	4.57	0.78
5	인도	422	7.36	1.26
6	스페인	286	6.46	1.11
7	영국	286	7.95	1.36
8	터키	224	4.61	0.79
9	대만	217	5.41	0.93
10	캐나다	214	5.49	0.94
	세 계	5,019	5.84	1.00

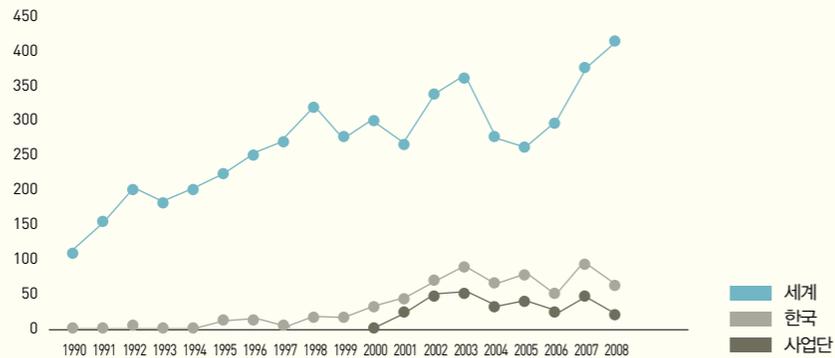
특허 성과

연도별 특허동향(특허 건수): 분석 대상 사업단 성과 분석대상기간은 2000년 7월 1일부터 2008년 12월 31일로 하였다. 검색 결과 해당분야에서 세계특허는 5,042건, 한국특허(우선권주장국)는 679건이었으며, 사업단특허는 291건으로 나타났다. <표 4-4>는 해당 연구 분야에서 세계 40개국을 대상으로 한 한국인 출원 특허 건수를 보여주고 있다. 여기서 볼 수 있듯이 사업단의 사업 수행 이전 10년간(1990~1999년)의 특허는 89건에 불과하였으나, 사업수행시기(2000~2010년)동안에는 590건을 기록함으로써 특허창출 규모가 약 7배 증가하였다. 동일 기간별 세계 특허는 각각 2,186건과 2,856건으로 비슷하게 증가한 것에 비하면 한국의 특허 창출 규모의 증가속도는 동 사업기간 동안 세계 평균보다 7배나 빠름을 알 수 있다.

〈표 4-4〉 사업수행 전후 10년간 특허 산출실적 및 한국/세계 기여비중

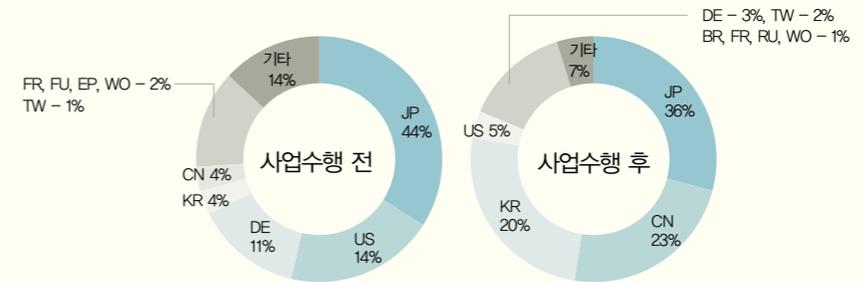
구분	연도	세계	한국	한국비중 (세계대비)	구분	연도	세계	한국	사업단	한국비중 (세계대비)	사업단비중	
											세계	한국
사업 수행전	1990	108	2	1.9%	사업 수행후	2000	300	35	6	11.7%	2.0%	17.1%
	1991	154	3	1.9%		2001	263	43	24	16.3%	9.1%	55.8%
	1992	202	7	3.5%		2002	329	73	48	22.2%	14.6%	65.8%
	1993	179	3	1.7%		2003	355	88	49	24.8%	13.8%	55.7%
	1994	204	2	1.0%		2004	277	64	33	23.1%	11.9%	51.6%
	1995	223	13	5.8%		2005	260	79	36	30.4%	13.8%	45.6%
	1996	249	14	5.6%		2006	292	52	23	17.8%	7.9%	44.2%
	1997	270	9	3.3%		2007	367	94	48	25.6%	13.1%	51.1%
	1998	318	16	5.0%		2008	413	62	24	15.0%	5.8%	38.7%
	1999	279	20	7.2%		소계	2,856	590	291	20.7%	10.2%	49.3%

(연도별 증감추이) 사업단 연구수행 기간에 창출된 특허건수 추이는 국내의 증가 추이와 매우 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.916, p<0.01)를 갖고 있어 해당 연구 분야를 주도하였다고 평가할 수 있다. 더욱이 세계특허 건수 증가 추이와 비교하면 국내보다 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.747, p<0.01)를 보여, 사업단이 해당 관련 연구 분야의 세계적 특허 추세와 다소 보조를 맞추면서 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 4-3〉 연도별 자원재활용 관련 특허 동향

특허 점유율 (기여도, 영향력) 자원재활용 관련 연구 분야에 대한 국내 전체 특허 건수 중에서 사업단이 창출한 특허 비중은 49.3%로 나타남으로써, 대상 사업단이 국내 관련분야 특허의 절반 정도를 확보하고 있다고 할 수 있으며, 전 세계 관련분야 특허 중에서 사업단의 비중이 10.2%로 높은 수준을 나타냈다. 이로 인해 해당분야에 있어서 한국의 점유율이 과거 4.1%(4위)에서 21%(3위)로 약 5배 증가하면서 1단계 상승한 것으로 나타나고 있다.



〈그림 4-4〉 사업수행 전후 국가별 해당 분야 특허 점유율 변화

특허 활동 한국인 출원 특허의 비중은 6.5%정도인데, 자원재활용관련 분야에서의 한국의 비중은 21%로 해당분야에 대한 한국의 특허 출원 활동이 세계 평균에 비해 4배 정도 활발함을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 대상 사업단이 절반 정도의 기여도로 영향을 미친 것에 기인한다고 할 수 있다.

연구비 대비 성과 연구비 1억 원당 특허출원 건수 0.33건으로 2008년 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 특허출원건수가 0.277건임을 감안하면 상대적으로 높은 수준인 것으로 나타났다.

〈표 4-5〉 연구비 대비 사업단 특허 성과(종합)

구분	국가전체 R&D 사업	교과부 주요 R&D 사업	자원재활용기술개발사업단
연구비 1억원당 특허등록 건수	0.177	0.11	0.17
연구비 1억원당 특허출원 건수	0.368	0.277	0.33

02 경제적 · 사회적 성과 분석

연구비 1억 원당 특허등록 건수는 평균 0.17건으로 나타났는데, 이는 2008년 국가전체 0.177건보다는 다소 낮고, 교과부 주요 연구개발사업 연구비 1억 원당 0.11건에 비해 상대적으로 높은 수준이었다.

국내 해당분야 관련 기업의 변화 국내에서 참여기업 수의 변화를 측정하여 사업단의 연구 성과를 기업에서의 사업화로 연결시키기 위한 기반이 형성되는지에 대한 분석을 수행한 바에 따르면 <표 4-6>에서 볼 수 있는 바와 같이, 대상 사업단의 사업개시 이전 평균 4개사에서 사업개시 이후 23개사로 약 6배가 증가한 것으로 나타나고 있다. 이는 대상 사업단의 연구개발을 통해 국내 관련 기업으로의 관심도가 높아지고 파급 효과도 매우 커서 사업화를 통한 부가가치 창출 가능성을 높이는데 기여했다고 판단할 수 있다. 또한, 전체 평균 출원인수 증가가 10개에서 60개로 약 6배 증가한 것과 유사하기 때문에 기업의 참여와 사업화가 보통 수준 정도로 기대된다.

<표 4-6> 사업 개시 전후 관련 분야 출원인/기업수 변화

사업 전	연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
	출원인수		3	3	8	5	2	11	11	11	17	25
기업수		1	1	2	3	1	6	4	9	9	6	4

사업 후	연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	평균
	출원인수		39	61	66	68	47	73	43	80	60	-
기업수		9	19	20	26	16	30	19	38	26	-	23



1. 분석 개요

가. 성과분석 구조

프론티어연구개발사업 성과분석은 투입(input), 중간결과(output), 최종성과(outcome)로 구분하여 이루어져야한다. 특히 성과를 경제적 성과와 기타 경제사회적 성과로 구분하고, 경제효과를 다시 직접경제효과와 간접경제효과로 구분한다. 프론티어연구개발사업 성과분석의 구조는 아래 그림과 같다.



* 기술이전 계약이 체결되어 기술료 또는 로열티 수입이 있는 기술들의 경제효과
 ** 기술이전이 논의 중이거나 기술이전 가능성이 매우 높은 기술들의 경제효과
 *** 직접 경제효과와 매출증대효과를 활용한 순부가가치 증대효과는 별도로 산출

나. 투입과 성과

(1) 연구개발투자

분석 대상 4개 프론티어연구개발사업단의 2010년까지 누적 연구개발투자는 정부와 민간을 포함하여 4,943억 원이다.

사업단별 투자계획 및 실적

(단위: 백만 원, %)

사업단	사업기간	총투자계획			실적	
		정부	민간	소계	2010년 까지	실적/계획
1.인간유전체기능연구	1999/12/1~2010/3/31	98,629	18,245	122,874	109,352	89.0
2.테라급나노소재개발	2000/7/1~2010/3/31	90,566	48,523	139,089	138,165	99.3
3.자생식물이용기술개발	2000/9/17~2010/3/31	100,000	17,356	117,356	114,686	97.7
4.자원재활용기술개발	2000/7/1~2010/3/31	100,000	34,200	134,200	132,100	98.4
합계		1,275,195	118,324	513,519	494,303	96.1

(2) 연구개발 인력

4개 프론티어연구개발사업의 사업기간 투입 연구인력은 총 23,784명이고, 이 중 박사급 인력이 총 7,796명으로 매년 약 780명, 석사급 인력이 총 7,145명으로 매년 약 715명, 기타 8,843명으로 매년 약 884명이 투입되었다.

사업단별 연구개발 인력 투입 현황

(단위: 명)

사업단	사업기간	인력			합계
		박사	석사	기타	
1.인간유전체기능연구	1999/12/1~2010/3/31	1,855	1,814	2,046	5,715
2.테라급나노소재개발	2000/7/1~2010/3/31	1,213	1,627	1,582	4,422
3.자생식물이용기술개발	2000/9/17~2010/3/31	2,804	2,398	3,027	8,229
4.자원재활용기술개발	2000/7/1~2010/3/31	1,924	1,306	2,188	5,418
합계		7,796	7,145	8,843	23,784

(3) 논문

논문 성과를 살펴보면, 국내외를 포함하여 총 3,559건의 논문이 발표되었다. 이 중 해외논문이 2,278건으로 64%의 비중을 차지하였고 SCI 논문도 국내외를 포함하여 2,580건으로 72.5%인 것으로 나타났다.

사업단별 논문

(단위: 건수)

사업단	국내			해외			총계
	SCI	기타	소계	SCI	기타	소계	
1.인간유전체기능연구	51	82	133	456	21	477	610
2.테라급나노소재개발	109	70	179	829	21	850	1,029
3.자생식물이용기술개발	196	308	504	612	26	638	1,142
4.자원재활용기술개발	47	418	465	280	33	313	778
합계	403	878	1,281	2,177	101	2,278	3,559

(4) 특허

사업단별 특허의 출원 및 등록건수는 총 4,108건이고, 해외에서 출원하거나 등록된 특허 수는 1,271건으로 전체의 30.9%를 차지하고 있다. 특히 테라급나노소재개발사업단이 국내외를 포함하여 1,923건의 특허를 출원 또는 등록한 것으로 나타났다.

사업단별 특허 출원 및 등록 현황

(단위: 건수)

사업단	국내			해외			총계
	출원	등록	소계	출원	등록	소계	
1.인간유전체기능연구	250	119	369	103	26	129	498
2.테라급나노소재개발	694	435	1,129	576	218	794	1,923
3.자생식물이용기술개발	528	226	754	234	32	266	1,020
4.자원재활용기술개발	362	223	585	69	13	82	667
합계	1,834	1,003	2,837	982	289	1,271	4,108

(5) 기술 인프라

여기에서 '기술 인프라'라 함은 단지 사업단 자체의 연구개발 수행 목적으로 구축된 설비와 장비, DB 구축실적을 제외하고, 타 연구기관이나 기업 등에 인프라 서비스를 제공하고 있는 것을 의미한다.

사업단별 주요 기술인프라 구축 내용

사업단	주요 기술인프라 구축내용
인간유전체기능연구	- 21C 인간유전자은행 2003년 개설 - In Cell Analyzer 1000 2005년 구축 - 인간유전체 함유 cDNA chip 제작 보급 - 유전체 정보처리시스템 구축 - 위암/간암 유전자 발현 DB 구축 등 9건의 독자 개발 DB 및 분석도구 개발
자생식물이용기술개발	- 식물추출물 은행 구축 - 유전자 DB 및 정보처리기술 시스템 구축 - 종자은행 구축
자원재활용기술개발	- 자원재활용 연구개발정보 DB 구축

2. 경제적 · 사회적 성과분석 결과

가. 경제적 성과

경제적 성과 분석에서는 경제적 성과와 순부가가치 증대효과측정, 간접경제효과를 추정한다. 먼저, 경제적 성과는 기술기여도와 기술수명주기 그리고 제품화되어 출시되기까지의 시간격차(time lag)를 고려한 기대현재가치(EV)로 측정¹⁾한다.

경제적 성과 = $\sum EV [1/(1+r)^t]$ r: 할인율, t: 기술수명주기

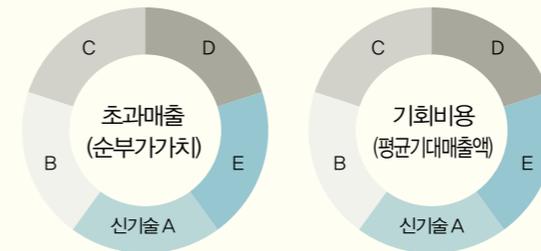
1) 기술의 성격에 따라 실용화(제품화)에 3~10년이 소요되고 기술의 수명은 10년, 할인율은 10%로 가정하였음

경제적 성과는 제품혁신의 경우 국내외와 해외를 포함하여 제품이 출시되는 시점부터 제품수명까지의 기대 매출액(실적 포함)으로 매출증대효과를 산출하였고, 공정혁신의 경우 기대 비용절감액을 산출하여 비용절감효과를 산출하였다. 순부가가치 증대효과 추정²⁾은 영업이익과 피고용자보수, 감가상각, 간접세를 합한 값에서 보조금을 제외한 것이다.

부가가치 = 영업이익 + 피고용자 보수 + 감가상각 + 간접세 - 보조금

기회비용을 감안한 신기술의 순부가가치 측정은 신기술에 의한 매출액에서 기회비용을 제외한 부분으로 정의될 수 있다. 해당 제품의 매출액을 S_1 , 기회비용을 S_2 , 기업의 평균 이윤률을 π_0 , 그리고 해당 제품의 이윤률을 π_1 이라 한다면 순부가가치 V 는 아래 식으로 나타난다.

$$V = S_1 - S_2 = S \frac{\pi_1 - \pi_0}{1 - \pi_0}$$



순부가가치 증대효과 추정은 산출된 경제적 성과 중 비용절감액을 제외하고 국내외의 기대 매출증대효과에 근거하여 이루어졌다.

간접 경제효과 추정은 한국은행에서 발표하는 산업연관표에 근거하여 각 이전기술들의 해당 산업군의 생산유발계수 및 고용유발계수 값을 적용한다.

- 생산유발효과 = 최종수요 × 생산유발계수
- 고용유발효과 = 연관산업 매출증대효과 × 고용유발계수

2) 이재역(2006), 국방연구개발투자 경제효과 분석, 국방과학연구소

(1) 직접 경제효과

직접경제효과와 하나로 기술파급률이 있다. 기술파급률은 각 사업단의 총 연구개발투자액 대비 이전 기술의 연구개발비 비중으로 산출한다. 기술파급률은 기술의 성격에 따라 기술파급률이 다양하게 나타나는데, 기초기술 분야일수록 파급률이 낮고 응용·개발 분야일수록 파급률이 높다. 따라서 기술 파급률을 기준으로 각 사업단의 성과를 비교할 수는 없다. 이는 각 사업단의 기술분야 속성을 무시한 채 비교하는 것은 의미가 없다는 것이다. 결국, 기초·기반 기술적 성격이 많은 사업단의 경우 기술 파급률이 낮을 수밖에 없으며 이들 대부분 사업단의 경우 기술이전과 별개로 기술인프라 구축을 통해 국내 기업이나 연구기관들에 서비스를 제공하는 성과목표를 가지고 있다.

이전기술의 경제효과³⁾는 향후 10년간 총 23조 4,537억 원인 것으로 나타났다. 이 중 매출증대효과는 23조 1,944억 원, 비용절감효과는 2,593억 원이며, 이전기술의 경제효과 중 22.8조원은 테라급 나노소자개발사업단이 개발한 'Tb급 비휘발성메모리' 등에 의한 것이다.

사업단별 이전기술의 경제효과 분포

(단위: 백만 원, 건수, %)

사업단	기술 이전 건수	기술파급률			이전기술의 경제효과		
		총연구비 (A)	이전RD비용 (B)	이전/총연구비 (B/A)	매출증대	비용절감	합계
1.인간유전체기능연구	10	109,352	24,395	22.3%	22,061	0	22,061
2.테라급나노소자개발	15	138,165	921,35	66.7%	22,716,774	53,276	22,770,050
3.자생식물이용기술개발	43	114,686	30,564	26.7%	249,329	48,163	297,492
4.자원재활용기술개발	105	132,100	103,786	78.6%	206,277	157,905	364,182
합계	171	463,356	248,247	53.6%	23,194,441	259,344	23,453,785

※ 이전기술 중 경제효과 예측이 불가능한 경우 분석결과에 포함하지 않았음

이전예상기술의 경제효과⁴⁾는 향후 10년간 총 3조 8,475억 원인 것으로 나타났고, 이 중 매출증대효과는 3조 6,168억 원, 비용절감효과는 2,307억 원이다.

3) 공식적인 기술이전계약을 체결한 기술에 대한 경제효과

4) 기술이전계약이 추진 중이거나 향후 사업단 종료 시점에서 기술이전이 이루어질 가능성이 높은 기술을 의미

사업단별 이전예상기술의 경제효과 분포

(단위: 백만 원, 건수, %)

사업단	이전예상 기술건수	이전예상기술의 경제효과		
		매출증대	비용절감	합계
1.인간유전체기능연구	8	303,381		303,381
2.테라급나노소자개발	15	1,895,837	177,271	2,073,108
3.자생식물이용기술개발	6	1,369,772		1,369,772
4.자원재활용기술개발	8	47,821	53,468	101,289
합계	37	3,616,811	230,739	3,847,550

※ 이전예상기술 중 경제효과 예측이 불가능한 경우 분석결과에 포함하지 않았음

또한 사업단별 기술인프라 구축에 따른 경제효과는 3,994억 원인 것으로 나타났다.

사업단별 기술인프라의 경제효과 분포

(단위: 백만 원)

사업단	비용절감 (수입대체 포함)	매출증대	소계	비고
1.인간유전체기능연구	24,903	-	24,903	
2.테라급나노소자개발	-	-	-	
3.자생식물이용기술개발	374,549	-	374,549	
4.자원재활용기술개발	-	-	-	
합계	399,452	-	399,452	

(2) 순부가가치 증대효과

기회비용을 감안한 순부가가치 증대효과는 R&D 투자를 동일한 산업에 했을 때 평균적으로 얻을 수 있는 부가가치효과를 차감한 추가적 순부가가치 증가액을 의미한다. 이전기술과 이전예상기술의 매출증대효과를 활용하여 산출한 4개 사업단의 총부가가치 증대액은 3조 8,780억 원에 이르는 것으로

나타났다. 이 중 이전기술의 순부가가치 증대액은 2조 4,974억원, 이전예상기술의 순부가가치 증대액은 1조 3,806억원이다.

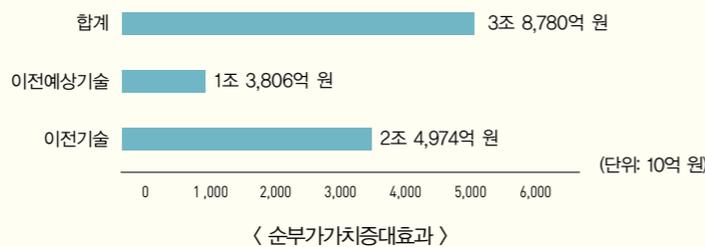
사업단별 순부가가치 증대효과 분포

(단위: 백만 원)

사업단	이전기술	이전예상기술	합계
1.인간유전체기능연구	10,376	31,816	42,192
2.테라급나노소자개발	2,400,949	200,618	2,601,567
3.자생식물이용기술개발	54,602	1,140,853	1,195,455
4.자원재활용기술개발	31,466	7,295	38,761
합계	2,497,393	1,380,582	3,877,975

(3) 경제효과 종합

경제효과는 2010년까지의 총연구개발투자 대비 약 56.0배의 직접경제효과를 창출하였다. 이전기술의 경우 연구개발투자 대비 약 47.5배의 직접경제효과를 창출하였고, 이전예상기술의 경우 연구개발투자 대비 약 7.8배의 직접경제효과를 창출하였다.



나. 간접경제효과

이전기술과 이전예상기술의 매출증대액과 한국은행에서 2007년 발표한 '2003년 산업연관표'에 나타난 각 기술의 해당 산업군 생산유발계수를 활용하여 4개 사업단의 생산유발효과를 산출하였다. 그 결과 이전기술의 생산유발액은 69조 1,930억 원, 이전예상기술의 생산유발액은 10조 6,504억 원인 것으로 나타났다.

사업단별 생산유발효과 분포

(단위: 백만 원)

사업단	이전기술 생산유발액	이전예상기술 생산유발액	합계
1.인간유전체기능연구	62,066	853,528	915,594
2.테라급나노소자개발	67,928,761	5,669,028	73,597,789
3.자생식물이용기술개발	652,991	3,986,676	4,639,667
4.자원재활용기술개발	549,223	141,145	690,368
합계	69,193,041	10,650,377	79,843,418

또한 이전기술과 이전예상기술의 매출증대액과 한국은행에서 2007년 발표한 '2003년 산업연관표'에 나타난 각 기술의 해당 산업군 고용유발계수를 활용하여 4개 사업단의 고용유발효과를 산출하였다. 그 결과 이전기술의 고용유발효과는 372,592명, 이전예상기술의 고용유발효과는 59,836명인 것으로 나타났다.

사업단별 고용유발효과 분포

(단위: 명)

사업단	이전기술 고용유발인원	이전예상기술 고용유발인원	합계
1.인간유전체기능연구	427	5,877	6,304
2.테라급나노소자개발	360,904	30,119	391,023
3.자생식물이용기술개발	7,137	23,088	30,225
4.자원재활용기술개발	4,124	752	4,876
합계	372,592	59,836	432,428

(1) 인력양성 효과

4개 사업단의 인력양성 실적은 2,432명, 취업자수는 1,088명인 것으로 나타났고, 인력양성 중 박사가 653명, 석사가 1,714명, 기타가 65명이었다.

사업단별 인력양성 효과 분포

(단위: 명)

사업단	인력양성				취업자
	박사	석사	기타	소계	
1.인간유전체기능연구	239	488		727	260
2.테라급나노소자개발	168	410		578	385
3.자생식물이용기술개발	219	608		827	273
4.자원재활용기술개발	27	208	65	300	170
합계	653	1,714	65	2,432	1,088

프론티어연구개발사업단에 연구책임자 또는 연구원으로 참여하였다가 창의적연구진흥사업(‘창의’), 국가지정연구혁신사업(‘NRL’) 등 타 주요 국가연구개발사업의 단장이나 연구책임자가 된 즉, 프론티어연구개발사업의 참여 경험을 바탕으로 타 주요 국가연구개발사업의 책임자로 파급된 경우를 조사한 결과가 아래 <표>와 같다.

사업단별 연구책임자 파급 현황

(단위: 명)

사업단	창의	NRL	기타	계
인간유전체기능연구	4	5	6	15
자생식물이용기술개발		5	15	20
합계	4	10	21	35

※ 기타는 국제핵심연구센터(NCRC), 우수연구센터(SRC), 지식경제부의 전략기술개발사업단 등을 의미

(2) 기술경쟁력 강화 효과

인간유전체연구사업을 통해 선진국 주도의 유전체분석기술을 국내에 정착시켰고 확보된 유전체 분석기술을 이용하여 암 진단 및 치료기술개발에 유용한 바이오마커 및 타겟유전자들을 도출함으로써 선진국과의 기술격차를 10~20% 수준으로 좁혔으며, 테라급나노소자개발을 통해 차세대 낸드플래시메모리 등 제품개발을 성공함으로써 막대한 경제적 부가가치 창출에 기여, 자생식물이용기술개발을 통해 한국식물추출물은행 등 관련 인프라를 구축함으로써 천연물 연구의 정확성, 효율성, 경제성을 실현하는 한편, 산업적 부가가치 창출과 국가적 자산 확보에 기여하였다. 또한 자원재활용 관련 기술은 세계 최고 기술보유국 대비 약 20~60% 수준에서 현재 80~100% 수준으로 향상되었으며, 기술격차도 5~10년에서 1~3년으로 축소하였다.

사업단별 기술경쟁력 강화 효과 개요

사업단	기술경쟁력 강화 및 핵심기술 개발 내용
1.인간유전체기능연구	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 유전체 연구에 대한 기반이 없는 상황에서 유전체 수준의 기능연구에 필요한 인간 유전자은행 개설, DNA칩 제작 분석기술, 바이오인포매틱스 등 기반기술 확립에 기여 - 위암 원인균 헬리코박터 파이로리 한국인 균주 2종에 대한 유전체 구조 완성 - 14,000종의 cDNA가 탑재된 14K KUGI chip 및 25,000종의 cDNA가 탑재된 25K DNA chip을 제작하여 공급 - 유전체 정보에 대한 상호참조 가능한 시스템을 구축하여 생물정보학의 국내 조기 정착에 기여 - ZFP91의 E3 ubiquitin ligase 활성을 세계 최초로 발견 - 당초 선진국 대비 핵심기술 수준이 20~40%에서 현재 80~100% 수준까지 향상
2.테라급나노소자개발	<ul style="list-style-type: none"> - 선진국 대비 당초 50%에서 현재 100% 수준 - 세계 최초 40나노 32기가 낸드플래시 CTF 핵심기술 개발 - 세계 최초 테라급 반도체 단전자 소자 (SET) NAND/NOR 및 XOR 로직회로 개발 - 세계 최고속 15nm HEMT 소자 개발 - 세계 최초 원자이미지를 이용한 전자빔 리소그래피 원천기술 개발 - 세계 최초 화합물 반도체 전자소자에 중성빔 원자층 식각기술 적용 - 세계 최초 탄소나노튜브 상온합성 기술 개발 - 세계 최고속 원자힘 현미경(AFM) 리소그래피 시스템 개발 - 세계 최초 조립식 PCB 기반의 고속 광연결 시스템 개발
3.자생식물이용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - 식물추출물 은행 관련 당초 선진국 대비 30~80%에서 현재 90~100% 수준 - 천연물 신약 및 기능성 식품 관련 당초 50~60%에서 현재 95~100% 수준 - 식물유전자 DB 방문자수 13만명, 식물종자분양 90건 및 표본 2만점 확보
4.자원재활용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - 고분자 원료화를 위한 가스자원화기술, 화학원료화기술, 바이오디젤 생산기술 개발 - 유기물 자원화를 위한 재질별 선별기술, 열경화성 수지 재활용기술 개발 - 유기금속 회수를 위한 유용금속 회수기술, 폐전자자원화기술, 차량해체 및 ASR 처리 기술, 실리콘슬러지 재활용기술, 폐혼산분리회수기술, 폐촉매자원화기술 개발 - 무기물 자원화를 위한 폐분진 에코소재화기술, 토건 재료화기술, 기능성 세라믹 제조 기술 개발

(3) 국제 네트워크 구축 효과

미국의 하버드대, MIT, NIH와 일본의 동경대, RIKEN 그리고 유럽의 유명 대학 및 연구기관들과 다수의 국제공동연구 및 MOU를 체결하는 등 다양한 국제 R&D 네트워크를 구축하였다.

사업단별 국제 네트워크 구축 내용 개요

사업단	주요 국제 네트워크 구축 내용
1.인간유전체기능연구	- 미국 NIH, 일본 RIKEN, 호주 Macquairie 등과 연수, 기술교류와 협력 등 추진 - 미국 NIH와 존스홉킨스대학, 텍사스대 MD Anderson center, 영국 노벨의학상 수상자 Paul Nurse 등과 공동연구 추진
2.테라급나노소재개발	- 미국 코넬대, 러시아 ISP, 스위스 IRGC, 일본 홋카이도대 등과 국제공동연구 추진
3.자생식물이용기술개발	- 생물자원의 다양성 확보를 위해 세계 4대 권역 및 주변국과의 국제공동연구 추진
4.자원재활용기술개발	- 미국 미시간대, 일본의 동경대 및 해외기업들과 34건의 국제공동연구 추진

(4) 환경 등 사회적 효과

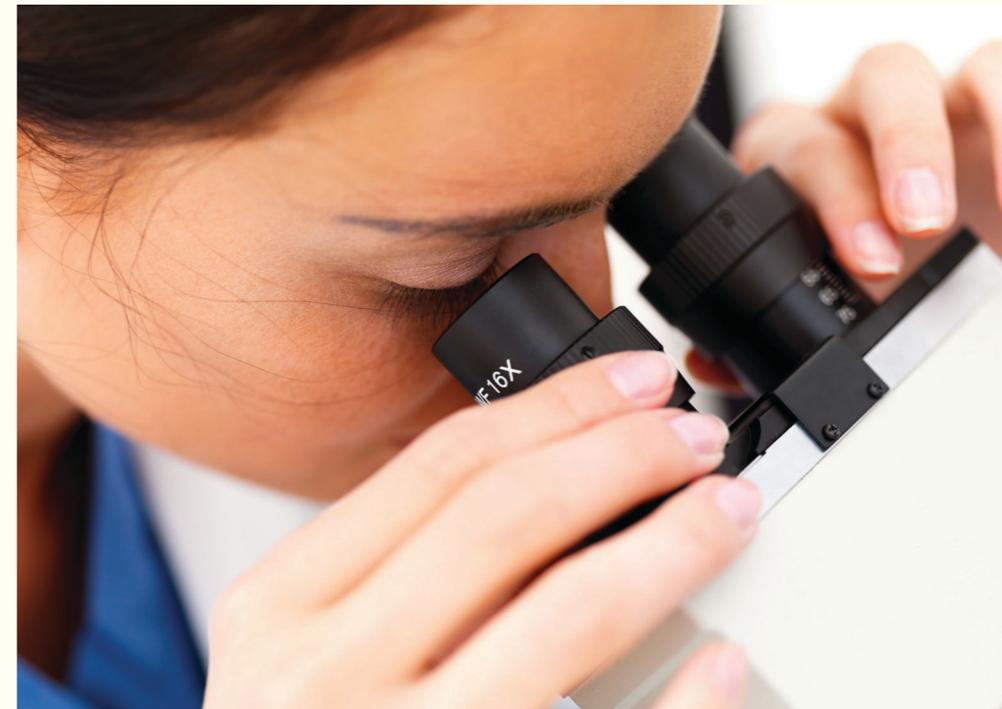
이산화탄소 저감기술개발을 통해 815만TC의 저감효과를 창출하였으며, 자원재활용을 통해 자원순환형 사회구축에도 기여하였다.

사업단별 주요 환경 등 사회적 효과

사업단	주요 기술인프라 구축내용
자원재활용기술개발	- ERP제도, 재활용제품인증제도, 재활용특화단지 등에 부합하는 기반기술 개발 - NIMBY 등과 같은 국민의 부정적 인식 개선 및 재활용이 용이한 제품설계인 DfE 개념 반영 - 가연성 폐기물 등 16종의 폐기물 재활용을 통해 연간 904만톤의 이산화탄소 저감하였으며 이를 탄소배출권 거래금액 환산 시 추가적 경제효과는 2,093억 원에 이룸 (CO ₂ 1톤당 거래금액 15.21유로 기준)

(5) 연구개발 체제 개선 성과(PM의 양성 효과)

대형연구개발사업 운영을 통해 사업단장 책임 하의 집중적 연구관리 등의 연구기획관리시스템 선진화와 CEO형 연구책임자와 연구관리 전문가의 양성 및 R&D 효율성 제고에도 기여하였다. 특히 장기대형연구개발사업을 총괄적으로 경영한 사업단장들이 각 사업의 추진 과정에서 국가대형연구개발사업의 기획 및 관리를 전문적으로 수행할 수 있는 역량을 확충하여 선진국의 PM(Program Manager)들에 뒤지지 않는 리더십과 각 분야의 비전 및 전문가 풀을 형성하게 되었다. 이는 향후 국가대형연구개발사업을 수행할 수 있는 전문 PM이 국내에 상당수 존재함을 의미한다.



01

The Center for Functional Analysis of Human Genome

인간유전체기능연구사업단

한눈으로 보는 인간유전체기능연구사업단의 10년 · 116

01 사업단 10년사

1. 설립배경 · 118 2. 사업추진체계 · 122 3. 사업추진현황 · 126 4. 사업관리 및 성과관리 · 131

02 게놈에서 신약까지(Genome to Drug)

1. 사업목표 · 139 2. 연구분야 및 개발 내용 · 140

03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론 · 142 2. 대표적 성공사례 · 147 3. 정량적 연구성과 · 154 4. 기타 연구성과 · 169

04 남기고 싶은 이야기

1. 10년을 정리하며(회고 / Q&A) · 176 2. 에피소드 · 177

[부록]

1. 인간유전체기능연구사업단 세부과제 현황 · 178 2. 국내외 수상 현황 · 183



2000.10 인간유전체기능연구사업단 현판식 개최



2000.10 유전자은행 개설



2001.11 한국, 미국, 브라질 암 유전체 국제공동 심포지움 개최



2006.7 우수연구성과 보도



2009.8 2009년 대한민국 과학축전 참가



2009.11 연구성과 기술이전 조인식

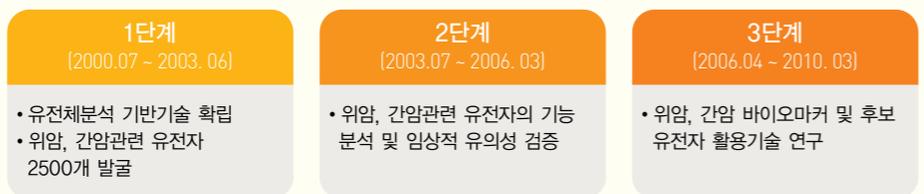
History

인간유전체기능연구사업단

- 1999. 11 인간유전체기능연구사업단 단장 유향숙 박사
- 1999. 12 교육과학기술부와 사업단과의 시범사업 총괄협약 체결
- 2000. 07 교육과학기술부와 1단계 총괄협약체결
- 2000. 10 사업단 현판식(SK(주) R&D센터내)
- 2003. 06 SK(주) R&D센터에서 한국생명공학연구원으로 재 이전
- 2003. 07 교육과학기술부와 2단계 총괄 협약체결
- 2006. 03 2단계 단계평가(교과부→사업단)
- 2006. 08 인간유전체기능연구사업단 단장 임동수 박사
- 교육과학기술부와 3단계 총괄 협약체결
- 2010. 04 사업단 최종평가(교과부→사업단)

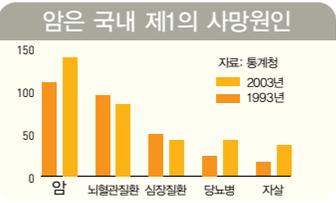
한눈으로 보는 인간유전체기능연구사업단의 10년

인간유전체의 기능분석 및 활용을 통한 위암, 간암 등의 진단 및 치료원천기술개발



Human Genome Project

- 1990년 Human Genome Project 출범 30억 달러 투입
- 2002년(미) 발클린턴, (영)토니블레어 인간게놈 초안 발표
- 2003년 인간게놈 완전해독 결과 발표

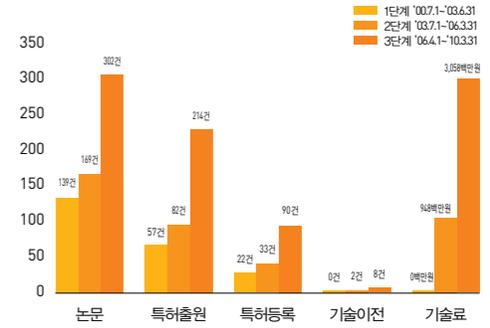


암 치료제 시장 현황

세계 항암제 시장 규모
 -2006년 27조원, 2013년 90조원
 -고령화 사회 암환자 증가
 -유효한 위암, 간암 치료제 부재

연구성과 및 목표 대비 달성도

- 암 세포의 증식 및 전이를 조절하는 E2-EPF-UCP 유전자 기능을 세계 최초로 규명
- 인간 유전자확보(3만 8천여종)와 유전자 은행 설립
- 암 치료용 파프(PAUF) 항체 기술 이전



1단계 기술향상도*

핵심기술	최고보유국/한국	기술수준향상도	
		2000.7(1년차)	2003.6(3년차)
• 질병유전자 초고속 발굴 기반기술군	미국, 한국	(20%) (100%)	(60%) (100%)
• 질병단백질 대량발굴 기반기술군	유럽연합, 한국	(35%) (100%)	(65%) (100%)
• 세포기구/유전자기능 및 기능네트워크 분석 기술군	미국, 한국	(55%) (100%)	(70%) (100%)
• 형질전환동물/유전자기능 분석기술군	미국, 한국	(50%) (100%)	(76%) (100%)
• 신약개발 및 개발 기술군	미국, 한국	(36%) (100%)	(57%) (100%)
• 생물정보학 기반기술군	미국, 한국	(30%) (100%)	(50%) (100%)

2단계 기술향상도*

핵심기술	최고보유국/한국	기술수준향상도	
		2003.8(1년차)	2006.3(3년차)
• DNA chip 제조 및 분석 기술	미국, 한국	(10%) (100%)	(90%) (100%)
• 임상검증 기술(실시간 발현량 측정, tissue array)	미국, 한국	(20%) (100%)	(80%) (100%)
• 게놈구조 분석기술(염기서열, SNP)	미국, 한국	(10%) (100%)	(90%) (100%)
• 유전자소재 구축기술	미국, 한국	(20%) (100%)	(80%) (100%)
• 레이저 조직 미세절단 기술	미국, 한국	(0%) (100%)	(90%) (100%)
• 혈액내 암 표지자 탐색기술	미국, 한국	(20%) (100%)	(60%) (100%)

3단계 기술향상도*

핵심기술	최고보유국/한국	기술수준향상도	
		2006.9(1년차)	2010.3(4년차)
• 암 표적 단백질의 초고속 검증 기술	미국, 한국	(30%) (100%)	(95%) (100%)
• 단백질 이용 간암 체외진단 기술	독일, 미국, 일본, 한국	(55%) (100%)	(85%) (100%)
• 혈액중 methyl-DNA 마커이용 암 진단 기술	독일, 미국, 한국	(35%) (100%)	(91%) (100%)
• 암 치료 타겟 검증기술	미국, 한국	(70%) (100%)	(90%) (100%)
• PAUF 항체신약 개발 기술	한국, 미국, 한국	(100%) (100%)	(100%) (100%)
• 인간유전자 초고속 기능 분석 기술	한국, 한국	(100%) (100%)	(100%) (100%)

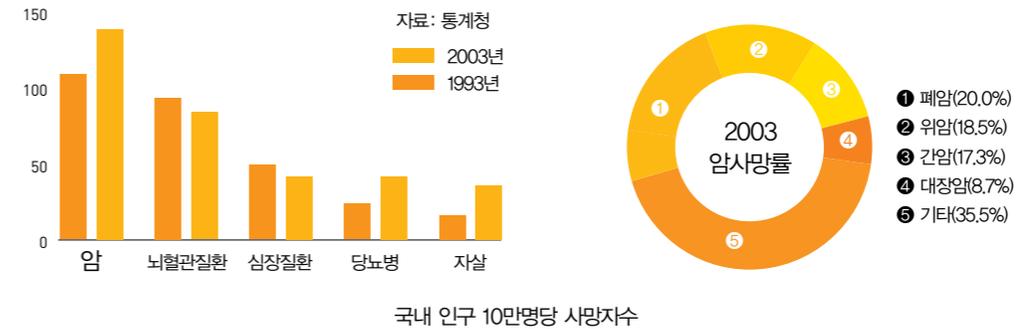
* <출처>인간유전체기능연구사업단 최종평가결과보고서 236~239 page

01 사업단 10년사

1. 설립 배경

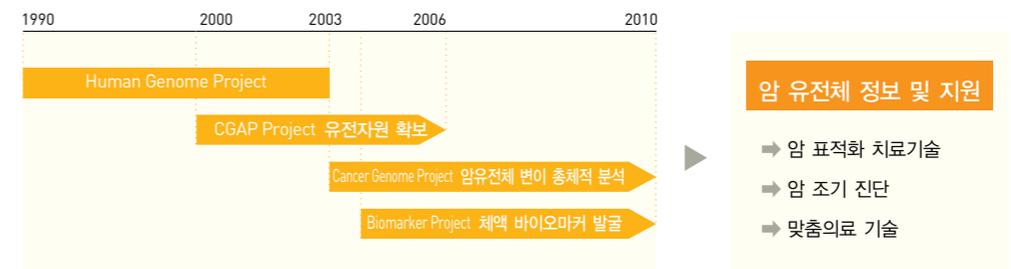
가. 위암·간암 유전체기능 연구 주제 설정의 배경

인간유전체염기서열정보의 완전해독(2003)에 따라 유전체 정보에 근거한 생명과학 및 의료분야 연구가 활성화되고 있다. 사람들 간에 염기서열의 차이와 질병발생과의 상관성을 알아내는 GWAS (genome-wide association study)를 통하여 현재까지 약 200종 이상의 질병 혹은 인체표현형관련 유전인자들이 밝혀지고 있다. 이러한 상관성의 기능적 인과관계를 실험적으로 입증하는 것(기능유전체학; functional genomics)이 중요한데 여기에는 고난도의 기술들이 요구된다. 유전체 수준에서 질병관련 유전자들의 발굴과 기능 연구를 통한 질병 발생 기전의 이해는 질병의 예방 및 치료법 개발을 위해 필수불가결하다. 염기서열분석기술의 비약적인 발달로 한사람의 유전체분석 비용이 2007년도에는 1000억 원/4년이면 되었고, 2008년도에는 15억 원/4.5개월이 소요되었는데 2014년 경에는 백만 원이면 충분할 것으로 예측하고 있다(Nature 456, 23-25, 2008). 본 사업출범 시(1999) 한국인들의 유전체정보를 획득하고 이들을 상호·비교하여 질병의 근원이 되는 유전인자를 찾아내고 이들을 제어하는 기술을 개발하는 목표를 설정하지 않았는데 그 이유는 본 사업 출범 당시 한 사람의 유전체를 해독(염기서열을 결정)하는데 2,800명 이상의 연구자가 13년간 참여하였으며 2.7조원이라는 막대한 연구비가 사용되었는데 본 사업에 10년간 투자되는 연구비가 약 1,000억 원(100억 원/년) 수준이었기 때문이다. 세계보건기구(WHO)는 고령화 사회가 도래함에 따라 세 사람 중에 한사람은 악성 혹은 양성 종양을 갖게 될 것으로 예측하고 있다. 국내에서 암은 제 1의 사망원인이고, 2003년 국내전체질병사망자(34만6천명) 중 26%에 상당하는 6만4천명이 암으로 사망하였는데 이는 인구 10만 명당 132명에 상당한다. 2003년 국내 암 사망자 중 50% 이상이 폐암, 위암, 간암 때문이었던 것으로 밝혀졌다. 2004년에 신규로 등록된 국내 10대 암환자 11만8천 명 중 신규 위암, 간암환자는 3만3475명이었고, 국내에서 매년 2만 명 이상이 위암, 간암으로 사망하고 있다. 미국 및 유럽선진국에서는 위암, 간암 환자가 폐암을 포함하는 기타 암종(癌種)에 비해 상대적으로 많지 않아 위암, 간암은 집중적인 연구가 수행되지 않고 있는 암종이다. 또한 인간유전체의 변이와 암 발생, 진행과는 기타 질환에 비해 유의한 상관성이 높다. 이러한 국가사회적 수요를 반영하여 본 연구사업단은 기술 선진국주도로 개발된 유전체분석 핵심기술 (염기서열 분석기술, 유전체수준 유전자 발현분석기술, 단백질 분석기술, 생물정보학기술 등의 오믹스분석 핵심기반기술)들을 국내에 조기에 정착시키고, 선진국과 경쟁할 수 있는 난치성 질환의 진단 및 치료기술 개발을 위한 표적 질환으로 위암, 간암을 본 사업단의 연구주제로 설정하였다.



나. 기술적 측면

생명체의 유전체 정보 및 자원을 근간으로 하는 생명공학기술(BT)은 21세기 미래 산업을 선도해나갈 핵심과학기술이다. 생명공학기술은 두뇌 집약적 산업의 창출이 가능하다는 점에서 우리나라에 가장 적합한 기술이다. 과학기술선진국을 중심으로 한 국제 콘소시엄 연구를 통한 Human Genome Project가 완료되어 2003년 4월, 인간유전체 염기서열이 거의 완벽하게 해독되었다(그림 1). 이로써 3만 여개에 달하는 인간 유전자의 기능을 규명하는 기능유전체연구의 시대가 열리게 되었다.



〈그림 1〉인간유전체기능연구 흐름도

2000년부터 Cancer Genome Anatomy Project (CGAP)가 시작되어 대규모 암 유전체 정보 및 자원이 축적되고 있다(그림 1). 2005년경에는 암 환자의 유전체의 변이를 총체적으로 분석하는 사업(Cancer Genome Project)이 미국을 중심으로 진행되었다. 암을 조기에 진단함으로써 암에 의한 사망률을 낮추기 위한 바이오마커 사업이 기술선진국에서 시발되었다. 이러한 대규모 유전체사업들에서 획득되는 암 유전체 정보 및 자원은 암을 조기에 진단하고, 암 세포만을 선택적으로 공격하는 암 표적화 치료기술의 개발에 활용될 것이다. 이러한 기술의 개발은 암 환자 개개인에 적합한 맞춤형 의료 기술시대가 도래할 것을 예고하고 있다(그림 1). 개인 유전체시대에는 맞춤형 치료가 보건의료의 새로운 패러다임으로써 향후 주요 질병 치료의 보편적인 패턴으로 자리매김할 것으로 전망된다. 실제로 미국 Massachusetts General Hospital (MGH) 및 미국 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (MSKCC)에서 개인별 맞춤형 암 치료법을 환자에게 적용하기 시작하였고(Nature Mar 12, 2009), 이러한 'personalized cancer therapy'는 한국을 포함 전 세계적으로 확산될 것으로 예상된다. 다양한 암 유발 인자를 표적으로 하는 암 표적치료제가 개발되어야만 개인별 암 치료법이 일상화될 것이다. 향후 개인 유전체 시대에 대비하여 위암·간암 유전체기능 연구를 통한 암 진단에 유용한 진단·예후 판정용 바이오마커, 암 표적 치료제 개발에 유용한 타겟 유전자, 암 표적 치료물질 도출 등에 관한 연구는 중요하다.

본 사업을 통해 구축된 유전체기능분석기술은 다른 암 및 심혈관 질환, 비만, 치매, 당뇨병, 노화 등 각종 난치성 질환의 조기진단 및 치료신약 개발에 쉽게 적용함으로써 이들 질환에 대한 분자수준에서 발병기전의 이해뿐만 아니라 치료를 위한 과학기술의 발전에 획기적으로 기여하게 되었다. 또한 발굴된 유전자소재와 나노소재, 그리고 IT 기술 등이 유비쿼터스 기술과 접목되면 21세기 신의료기술인 U-Health Care 시스템 구축을 한층 더 가속화시킬 수 있을 것이다. 21세기는 정보화 시대로서 본 사업에서 도출되는 생물정보학 연구 결과를 기반으로 데이터베이스로의 통합화 및 정보 서비스 체제의 확립이 가능하며 동시에 생명공학 및 의학과 관련한 생물정보학 분야의 각종 분석용 S/W 개발 원천기술을 확보하여 국가 경쟁력을 강화할 수 있다. 또한 관련 자료를 바탕으로 벤처기업을 유도하여 연구소 및 대학, 기업체간의 상호 기술교류가 가능해 질 것이다. 조기진단의 기술 발전에 따라 발병가능성을 미리 파악하게 됨으로써 당사자의 의욕저하 또는 취업시 차별의 척도로 이용되는 등의 사회, 윤리적 부작용에 대비하여 유전자 정보의 남용을 효율적으로 방지할 수 있는 기술의 개발은 향후 21세기 생명공학기술의 발전을 저해할 수 있는 장벽을 제거하는 중요기술이다.

다. 사회·경제적 측면

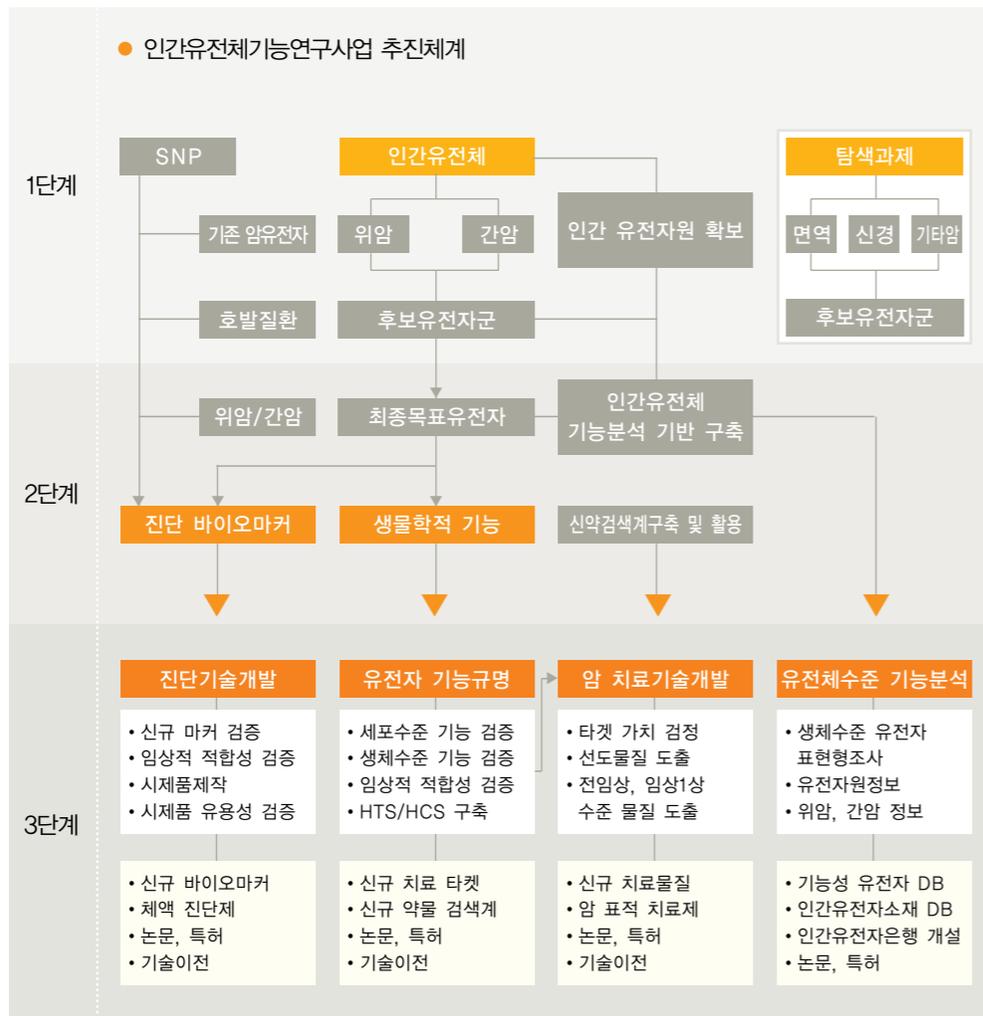
본 연구사업을 통하여 확립되는 주요기술들은 향후 위암 및 간암의 예방-관리를 위한 국가정책 수립과 관련 사업을 성공적으로 실행시킬 수 있는 확고한 기반 구축을 가능하게 할 뿐만 아니라 국내에서 발병하는 다양한 난치성 질환에 대한 예방·관리 등의 정책수립에 중요하게 반영될 것이다. 우리나라에서 특히 40대 이상의 남성을 중심으로 발병 위험도가 높은 위암 및 간암은 매년 3만 여명에서 신규로 발생하는 것으로 추산되며, 이로 인한 귀중한 인명의 피해 및 암의 진단, 치료 등에 소요되는 경제적 및 사회적 손실이 지대하다. 따라서 본 사업의 연구결과는 막대한 경제적 손실을 최소화하는데 크게 기여할 것이다. 본 사업을 통하여 획득되는 중요한 자산은 유전자 정보와 함께 유전자 자원이라 할 수 있다. 본 사업을 통해 인간 및 모델동물인 생쥐 유전체로부터 국제적 수준의 완전장(full-length) 유전자들을 확보한 바 있으며 이들 유전자원들로부터 단백질 및 항체를 생산하여 기능연구 및 신약개발에 활용되게 함으로써 향후 활용 여하에 따라 경제적인 수입대체 효과를 크게 올릴 수 있을 뿐만 아니라 산업적 활용 가치가 매우 높다고 할 수 있다. 연구 사업을 통해 창출되는 각종 조기진단 지표들은 IT 및 NT 등의 기술과 접목되어 초고속, 초정밀, 고감도, 저비용의 진단기술 및 기기의 독자적인 개발을 가능케 하여 관련 산업 분야의 발전에 기여할 뿐만 아니라 해외 시장을 점유함으로써 경제적인 부의 창출에 크게 기여할 것이다.

전세계 암 진단제 시장은 2004년 4조 원인데 2009년 7.4조 원에 달할 것으로 예상하고 있다(The World Market for Cancer Diagnostics, Kalorama Informantion, 2006). 위암의 경우 진단제는 없으며, 간암의 경우 알파페토탄백질(AFP)이 유일하나 최대 감도는 64%에 불과하다. 실용화 잠재력이 큰 위암, 간암진단 바이오마커의 개발은 경제·산업적으로 타당하다.

국내 항암제 시장은 2002년 1,450억 원인데 60-70%는 수입항암제로서 국부 유출이 심각한 상황이다. 위암, 간암 치료제가 개발될 경우 수입대체 효과 및 국부의 창출 효과를 유도할 수 있다. 인구의 고령화는 선진국에서 이미 시작되었고, 한국도 고령화 사회로의 진입을 목전에 두고 있다. 년 평균 11% 수준으로 증가하는 국내 암 환자 수(2008년 국민건강보험공단 자료)는 인구의 고령화와 더불어 엄청나게 증가할 것으로 예상된다. 2013년경에 세계 항암제 시장은 90조 원에 달할 것으로 예측되고 있고(Cutting Edge Information 2009), 이중 암 표적 치료제 시장은 2014년 경 약 14조 원으로 예측하고 있다(Data Monitor 2005). 위암, 간암의 효과적인 암 표적 치료제, 특히 간암 표적 치료제는 아직 없다. 최근에 미국 FDA 승인을 받은 multiple tyrosine kinase 저해제인 Sorafenib는 간암 환자의 평균 생존기간을 단지 3개월 연장시킬 뿐이다. 그러므로 효능이 탁월하고 부작용이 적은 암 표적 치료제는 단일 품목으로 연간 10억불(1조 원)의 매출을 기대할 수 있기 때문에 국부를 창출할 수 있는 연구 분야이다.

2. 사업추진체계

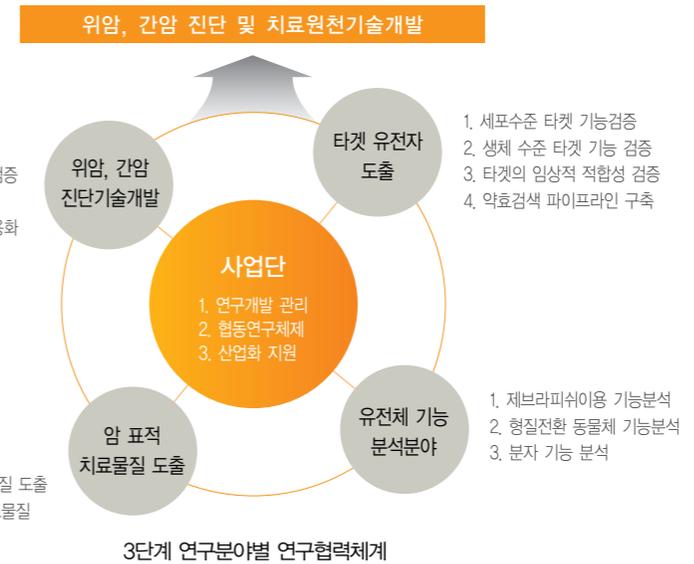
가. 사업추진 개요



- 사업의 효율적 성과 창출을 위한 전략
 연구자들의 지적 호기심에 근거한 연구 주제보다는 연구 주제의 원천적인 지식(originality) 창출 가능성 및 사업화 가능성(applicability)을 우선적으로 고려하였고, 최종 목표가 동일한 연구과제들의 콘소시엄을 구성하여 국내 산·학·연 우수 기술과 전문성을 갖춘 연구 집단의 통합적 구성과 역할 분담을 통해 최상의 시너지 창출 및 협력연구를 강화하여 실용화 가능성을 제고하였다. 연구수행 결과물의 실용화로의 직접적인 연계성은 낮으나 연구 주제의 학문적 가치 및 그 가치의 파급 효과도 고려하였고, 생명과학분야에서 원천성이 있는 연구결과가 도출되고 이 결과에 근거한 사업화/실용화에는 장기간이 소요된다는 특성을 고려하여 단기적인 측면보다는 장기적인 측면에서 기대되는 output을 중시하였다. 본 사업의 투자 대비 효율성을 제고하기 위하여 1, 2단계에서 획득된 위암, 간암 유전자원을 3단계에서 적극적으로 활용함과 동시에 과제 제안을 통하여 원천성 혹은 활용성이 기대되는 연구주제를 선별하여 지원하였으며, 현 시점에서 나타나는 결과보다는 미래에 국제적인 경쟁력을 갖출 수 있는 인재중심으로 연구주제를 지원하며, 선택하여 집중할 수 있는 주제가 나타날 때까지 인내심을 발휘하였다.
- 단계별 추진전략
 사업의 최종 목표를 달성하기 위하여 제 1단계에서는 유전체 핵심기반기술 및 인간 유전자 소재 확보로 유전체연구의 국제적 경쟁력 확보와 국내 유전체기능연구에 필요한 유전자원의 확보로 국내 연구력을 향상시키고, 제 2단계에서는 제 1단계에서 발굴된 신규 목표후보유전자의 기능규명으로 위암, 간암의 조기진단 마커와 암 표적 치료제 개발을 위한 타겟으로 활용될 수 있는 분자표적을 집중적으로 도출하고, 제3단계에서는 2단계에서 도출된 위암, 간암 진단용 바이오마커 및 암 치료용 타겟에 대한 심화 연구를 통해서 바이오마커와 타겟 유전자의 가치를 제고하고, 도출된 바이오마커와 타겟 유전자를 활용하는 응용성을 확대하여 기술이전 등의 실용화를 기본적으로 추구하였다.
- 단계별 연구추진에 전 단계 평가내용을 반영
 사업의 제 1단계에서는 위암·간암 유전체기능연구를 주 연구대상으로 하였고 기타 한국인 호발성 질환을 2차적인 대상 질환으로써 추진하였으나, 제 1단계 자체평가 및 사업단 평가결과를 반영하여 향후에는 위암·간암 유전체기능연구에 집중하기로 추진방향을 조정하였다. 따라서 제 2단계 사업에서는 위암·간암의 진단기법, 암 유전자 기능검증, 암치료제 등 3개의 연구 분야와 이를 뒷받침할 공통기반 기술 분야를 설정하였다. 3개의 연구 분야는 공개경쟁으로 선발된 우수 연구책임자의 단위과제를 중심으로 사업단 주도하에 기능적, 목표 지향적으로 연계된 중과제를 편성하여 추진하고, 공통기반 기술 분야는 책임자를 사업단이 지정하여 추진하였고, 본 사업의 3단계에서는 적정수준의 연구비가 확보되는 경우 연구 사업의 효율성은 연구 책임자와 참여 연구원의 질적인 수준에 의존적이므로 사업단 유치기관에 지나친 연구비 지원을 절제하여 유치기관 대비

외부기관의 연구비 사용 비율을 3:7로 함을 원칙(2단계 평가결과 반영)으로 하였고, 사업의 핵심 연구내용인 위암, 간암 유전체 기능 연구를 지속적으로 추진하였다.

● 사업추진주체 간 역할분담 및 협력체계



● 단계별 추진 연구내용의 조정

본 사업의 제 1단계에서는 위암·간암을 주 연구대상으로 하였고 기타 한국인 호발성 질환을 2차적인 대상 질환으로써 추진하였으나, 제 1단계 자체평가 및 사업단 평가결과를 반영하여 2단계에서는 위암·간암에 집중하기로 추진방향을 조정하였다. 3단계 사업에서는

- (1) 위암·간암의 진단기술개발,
- (2) 암유전자 기능검증을 통한 분자 표적 도출,
- (3) 암 표적치료기술개발,
- (4) 유전체기능 분석기술 분야를 설정하였다.

각각의 연구 분야는 공개경쟁으로 선발된 우수 연구책임자의 단위과제를 중심으로 사업단 주도하에 기능적, 목표 지향적으로 연계된 과제를 편성하여 추진하였다.

프로테오믹스관련 사업단의 출범으로 2, 3단계에서는 위암, 간암 프로테오믹스에만 집중하였고, 세포용융사업단, 뇌기능관련 사업단의 출범으로 1단계에서 탐색과제로 수행되었던 신경관련 연구 및 세포치료기술개발관련 연구수행을 2, 3단계에서 제한하였다.

한국인 HapMap사업(교육과학기술부) 및 질환유전체 센터(보건복지부)에서 한국인 질환관련 SNP 대규모 발굴 프로젝트 신설로 3단계에서 SNP관련 연구는 수행하지 않았다.

3. 사업추진현황

가. 연구비 현황

(단위 : 백만 원)

구분	1단계	2단계	3단계				계		
			2006년	2007년	2008년	2009년			
정부	교육과학기술부	계획	42,000	26,629	6,000	7,500	8,100	8,000	98,229
	실적	42,000	26,629	6,000	7,500	8,100	8,000	98,229	
민간	투자액	계획	3,959	3,282	1,154	1,250	955	523	11,123
	실적	3,959	3,282	1,154	1,250	955	523	11,123	
총계	계획	45,959	29,911	7,154	8,750	9,055	8,523	109,352	
	실적	45,959	29,911	7,154	8,750	9,055	8,523	109,352	

※연구비 규모는 교육과학기술부와 총괄협약서 기준으로 작성

● 단계별 수행 연구과제 선정 후 연구비 분배

- 연구비의 배분은 전체적인 정부연구비 규모를 감안하여 선정된 각 분야별 세부과제의 평가결과 및 신청 연구비, 연구목적, 연구필요성 등을 고려하여 적정하게 배분함을 원칙으로 하였다. 그리고 연차평가(진도관리)시의 연구비의 분배에서는
 - 1, 2단계 때는 연차평가에서 아주 우수 혹은 S등급을 받은 세부과제의 경우 사업단에서 기존 협약 금액을 상향조정하여 지원하였으며, 그 외의 과제들은 전년도 연구비 수준을 유지 하였고, 일부 연구 실적이 미흡한 주관 및 공동연구과제의 경우 연구비를 하향 조정하였다. 일부 과제의 경우에는 연차평가 결과에 따라 2천만 원 내지 많게는 2억 원까지 감액 지급하였다.
 - 3단계 : 과제선정당시 분배된 연구비를 기준으로 연차평가결과와 연동하여 연구비를 분배하였다. S 혹은 A등급을 받은 과제, 우수한 연구결과를 도출한 과제(우수논문 발표 혹은 기술이전)들은 가용한 정부연구비 범위 내에서 상향조정하여 지원하고 상대적으로 하위등급을 받은 과제들은 전년도 연구비 수준을 유지하였다.

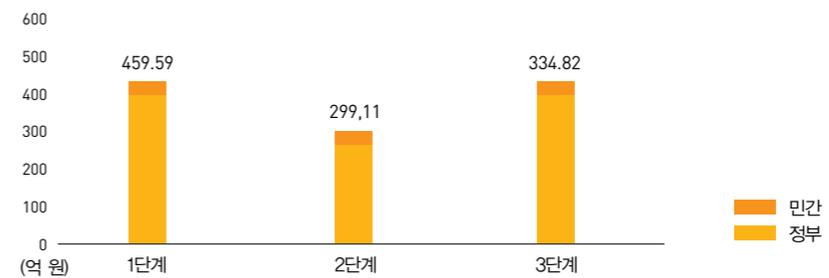
● 사업단 유치기관 대비 외부기관 연구비의 분배

사업단 유치기관(한국생명공학연구원)에서의 과다한 연구비의 사용을 절제하라는 2단계 평가시의 지적사항을 반영하여 3단계에서는 유치기관 대비 외부기관 연구비의 분배를 '3 : 7' 로 함을 원칙으로 하였다.

● 재원별 연구비 현황

(단위 : 억 원)

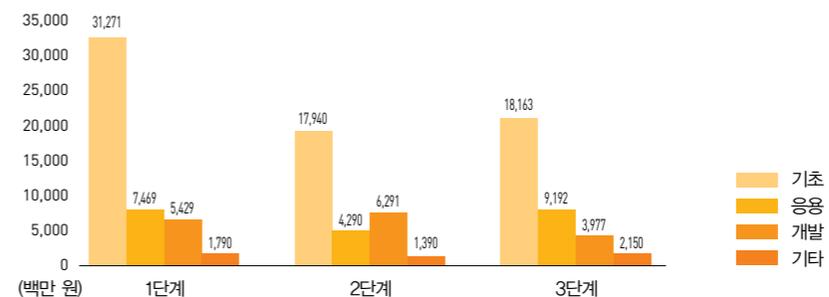
구분	1단계	2단계	3단계	계
정부	420.00	266.29	296.00	982.29
민간	39.59 (8.6%)	32.82 (11%)	38.82 (12%)	111.23
합계	459.59	299.11	334.82	1,093.52



● 단계별 연구비 현황

(단위 : 백만 원)

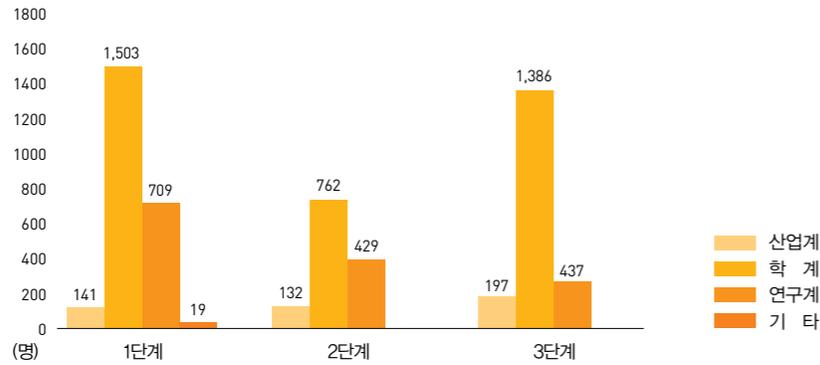
구분	1단계	2단계	3단계	계
기초	31,271(68)	17,940(60)	18,163(54)	67,374(62)
응용	7,469(16)	4,290(14)	9,192(27)	20,951(19)
개발	5,429(12)	6,291(21)	3,977(12)	15,697(14)
기타	1,790(4)	1,390(5)	2,150(7)	5,330(5)
합계	45,959(100%)	29,911(100%)	33,482(100%)	109,352(100%)



● 연구주체별 참여연구원 현황

(단위: 명)

구분	1단계	2단계	3단계	계
산업계	141 (6)	132 (10)	197 (10)	470
학계	1,503 (63)	762 (58)	1,386 (69)	3,651
연구계	709 (30)	429 (32)	437 (22)	1,575
기타	19 (1)	0	0	19
합계	2,372 (100%)	1,323 (100%)	2,020 (100%)	5,715



나. 참여기관 현황

(단위: 개)

구분	산	학	연	합계	
1단계	주관/협동	5	21	4	30
	위탁(국내/국외)	0	15(14/1)	2(1/1)	17
	참여기업	0	8	2	10
	합계	5	44	8	57
2단계	주관/협동	4	11	2	17
	위탁(국내/국외)	1	10(10/0)	1(1/0)	12
	참여기업	0	1	2	3
	합계	5	22	5	32
3단계	주관/협동	3	15	2	20
	위탁(국내/국외)	2	10(9/1)	1(1/0)	13
	참여기업	0	4	2	6
	합계	5	29	5	39

※1, 2단계의 경우 3차년도 기준, 3단계의 경우 3차년도 기준으로 작성

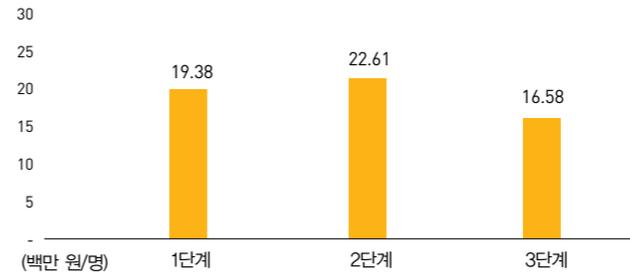
다. 참여 연구인력 현황

(1) 연구팀 구성

● 1인당 연구비 규모

(단위: 백만 원/명)

구분	1단계	2단계	3단계	계
참여연구원	2,372	1,323	2,020	5,715
연구비	45,959	29,911	33,482	109,352
1인당 연구비	19.38	22.61	16.58	19.13

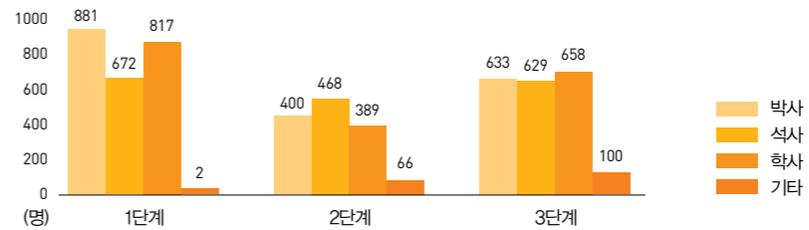


(2) 적정규모의 인력 투입여부

● 학위별 연구원 현황

(단위: 명)

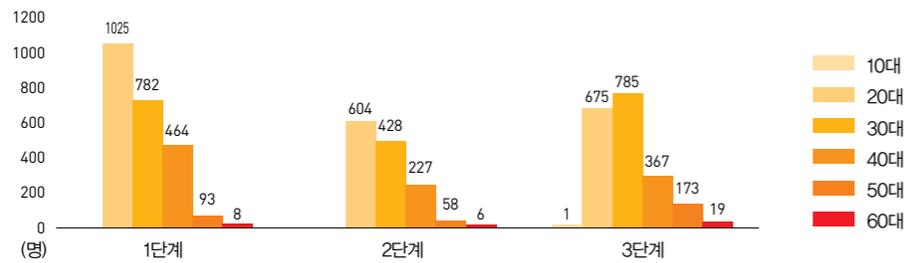
구분	1단계	2단계	3단계	합계
박사	881	400	633	1,914 (33.5)
석사	672	468	629	1,769 (31)
학사	817	389	658	1,864 (32.6)
기타	2	66	100	168 (2.9)
합계	2,372	1,323	2,020	5,715 (100%)



(3) 연령별 참여연구원 현황

(단위: 명)

구분	10대	20대	30대	40대	50대	60대	계
1단계	0(0)	1,025(43)	782(33)	464(20)	93(4)	8(0.3)	2,372(100%)
2단계	0(0)	604(46)	428(32)	227(17)	58(4)	6(0.5)	1,323(100%)
3단계	2006	0	143	210	100	42	501
	2007	1	163	201	97	42	511
	2008	0	195	200	90	43	531
	2009	0	174	174	80	46	477
계	1(0.05)	675(33)	785(39)	367(18)	173(9)	19(1)	2,020(100%)
계	1	2,304	1,995	1,058	324	33	5,715



4. 사업관리 및 성과관리

가. 사업추진 기본 철학

본 연구 사업을 통하여 탁월한 연구 성과를 낼 수 있는 기초·원천기술 분야와 실용화 가능성이 높으며 high-risk/high-return이 가능하여 국부의 창출이 가능한 기술 분야를 선별하고 집중적으로 지원하여 국가 경제사회적 수요를 충족시킬 수 있는 성과가 도출될 수 있도록 추진하였다.

나. 국내외 기술 환경 변화에 따른 목표 관리

본 사업은 10년간 수행되는 장기 사업이므로 본사업의 최종 목표와 직간접적으로 연관된 국내외 연구 동향을 파악하여 단계별 목표에 반영하였다. 1단계에서는 미국 인간유전체연구소와 제휴하여 1만종의 cDNA 포함 인간유전자원을 확보하였다. 2003년 인간게놈 염기서열해독 완료로 기능유전체연구가 활성화 되었고, 사업단이 설정한 최초 목표와 부합되어 2~3단계에서는 유전체기능연구에 집중할 수 있었다. 생체조절물질개발사업단(2001년), 프로테오믹스 사업단(2002년), 세포응용사업단(2002년), 뇌기능활용사업단(2003년)이 각각 출범하여 본 사업단에서는 세포치료관련 연구수행 과제와 뇌기능 관련 연구과제 수행을 제한하였고, 생체조절물질사업단 및 프로테오믹스 사업단 단장을 본 사업단 운영위원으로 위촉하여 자문 및 협력을 모색하였다. 또한 SNP분야와 관련하여 보건복지부 질환별 유전체사업이 출범하여 SNP분야 연구수행을 제한 하였고, 보다 더 위암·간암연구에 집중하였다. 외부적인 환경변화로선진국 주도의 암유전체 연구가 활성화(CGAP: Cancer Genome Ananomy Program, TCGA 2007, The Cancer Genome Atlas, 2008 ICGC, International Cancer Genome Consortium)되었고, 미국 MGH 및 MSKCC에서 암 치료 시에 환자별 맞춤형 치료 시행(Nat 458, 131-132, 2009)되었다. 그리고, 염기서열분석기술(NGS) 개발 경쟁이 치열(미국 The 1000 Genomes Project, 2008)해지고 있다. 이러한 부분에서는 비용과 활용성 측면에서 의미가 크지 않은 한국인 유전체염기서열분석보다는 향후 개인 유전체특성에 근거하여 암 환자 치료법 선정 시 필요한 진단 예후 판정 인자 발굴 및 치료기술 개발에 집중하였다. 또한 국내 암에 의한 사망률이 1위이고, 위암, 간암, 폐암에 의한 사망률이 50% 이상이며, 암관련 의료비용 급증('08 통계청, 국민 건강보험공단 자료) 국내 상황에서 암 조기 진단기술개발이 의료비용 절감 및 생존율 향상에 중요하므로 위암·간암 체액 진단기술 개발분야를 강화하였다.

다. 사업목표관리 기본 방안

세부연구과제 선정 평가시 주요 평가 항목으로는 1)사업단 최종목표와의 부합성, 도전성, 사업성 2) 독창성 및 국제경쟁력 3)구체적 key milestone 4)경쟁자의 연구동향 파악 등에 초점을 맞추었으며, 연차 및 단계 평가에서는 1)우수논문 게재 2) 특허 출원 및 등록건수 3)기술이전 건수 및 규모 4)기업화 매출액 5)인력양성 실적 6)기타 연구수행의 우수성을 입증자료등을 주요 항목으로 점검하였으며, 연구비 집행과 연구성과 활용·확산 및 사업화에서는 관련 규정 및 절차에 의한 투명한 연구비 집행을 유도하였고, 기술이전 및 사업화를 위한 네트워크를 강화하였으며, 연구성과 확산을 위해 전문컨설팅 및 해외특허출원경비 등을 지원하였다.

라. 연구 수행 과제선정 및 선정 후 목표 관리

신규연구과제의 선정 및 진도관리 평가를 위해 본 사업단에서는 해당분야 7인이상의 국내외 전문가를 엄선, 위촉하여 평가위원회를 구성하였고, 사업단장은 평가위원회에 과제 선정 및 평가의 취지, 방법 및 평가 등급에 대한 판단기준을 사전에 주지시켜 원활한 평가가 이루어질 수 있도록 도모하였다. 평가위원회는 신규과제 선정시 제안된 연구 주제의 원천성, 실현가능성, 사업성, 연구 책임자의 우수성, 사업단 목표와의 부합성 등을 고려하였고, 진도관리 및 단계평가때에는 계획한 연구가 적절하게 진행되는지를 추진일정을 근거로 파악하며, 연구 성과 내용(논문, 특허, 기술이전 등)을 점검하고 사업단장에게 평가의견 및 방향성을 제시하였다. 특히 진도관리(연차평가)시에는 연구책임자의 발표 내용을 근거로 하여 연구 성과 및 차기년도 연구 계획을 점검하고 평가의견을 제시하여 연구의 효율성을 높이고 유도하였다. 그리고 연구책임자들이 함께 모여 연구 결과를 발표하고 논의하며, 연구 소재 및 정보를 교환할 수 있는 워크숍을 개최하였고, 사업단 목표관리의 일환으로 분기별로 논문, 특허, 기술이전 등의 연구 성과를 파악하여 성과누리On시스템에 등재하고, 연차별, 단계별 목표를 관리하였다. 우수한 연구 성과가 기대되는 과제에 연구비를 추가 지원하여 목표 달성도를 제고하였고, 국제 특허 지원경비, 연구성과 확산 및 기술이전 활성화를 위해 프론티어연구성과지원센터와 연계하여 적극 지원하였으며, 연구현장을 직접 방문하여 연구수행 상태 점검 및 현장의 애로 사항 등을 청취하였다.

마. 진도관리를 통한 목표 관리

신규과제 선정 평가 후 사업의 목표 달성 및 효율적인 세부과제 관리를 위해 매년 진도관리 연차평가를 실시하였다. 연구책임자가 제출한 연차실적보고서를 근거로 하여 연차평가를 실시한 후 당초 목표대비 미진한 수행이라고 판단되는 경우 최하위 10%는 중도 탈락시킬 수 있으며, 최하위 10%의 과제에 대하여는 차기년도의 과제연구비 조정에 상대적인 불이익을 가할 수 있다는 원칙을 설정하고 연구책임자들에게 주지시켰다. 그리고 연구성과를 정량적으로 제시하게 하고 제시된 milestone을 근거로 진도를 관리하였으며, 정성적 평가에서는 논문, 특허, 기술이전 등과 같은 가시적인 연구성과가 있더라도 세계적인 수준의 연구 결과 원천성 및 사업성이 담보될 수 있는 연구 아이디어 및 data의 확보 여부를 근거로 관리하였다. 과제 책임자 및 분야별 전문가 리더들이 사업단장과 함께 Project Review를 수행하며, 이를 바탕으로 연구의 문제점 해결 방안 및 계속진행 여부를 결정하였고, 연구비 배분시 S등급 혹은 A등급을 받은 과제 혹은 기술이전이 기대되는 과제는 연구비를 상향 조정하였고, 진도관리 결과 하위 10%에 해당하는 과제는 연구비를 전년도 수준에서 동결하였다.

(1) 연구과제 진도관리

- 관련
 - 공동관리규정 시행 규칙 제11조연구개발결과의 보고
 - 교육과학기술부소관 연구개발사업 처리규정
 - 21C 프론티어윤영지침 제4장 연구개발사업관리
- 목적
 - 2000년 시작한 인간유전체기능연구사업 1, 2, 3단계 세부과제에 대한 각 연차별 진도관리를 통하여 연구수행상의 보완사항과 차년도 연구지원 여부 및 지원연구비 규모 등을 결정하고, 1, 2, 3단계 최종평가를 실시하여 연구목표 달성도, 연구실적 및 연구 성과를 최종 점검하였다.
- 평가대상 과제

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
1단계 과제수	28개	41개	47개	-	116개
2단계 과제수	24개	25개	31개	-	80개
3단계 과제수	31개	31개	30개	29개	121개

※ ELSI과제는 서면평가 함

● 평가체계

연차실적계획서 제출	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 연구내용, 연구방법, 연구결과 및 성과 • 연구결과에 대한 증빙자료 등 • 차기년도 연구개발 계획
연구책임자 발표	<ul style="list-style-type: none"> • 세부 연구책임자별 발표일정 확인
평가점수 및 평가의견서 작성	<ul style="list-style-type: none"> • 세부과제별 의견서 작성 • 평가위원 의견 취합 • 차기년도 연구비 배분 계획(안) 작성
운영위원회	<ul style="list-style-type: none"> • 당해연도 수행 연구결과 보고 • 연구내용 보완 및 수정 • 차기년도 연구방향 점검 및 수정
교육과학기술부	<ul style="list-style-type: none"> • 연차평가 결과 보고 • 세부과제별 차기연도 예산 보고
연구수행	<ul style="list-style-type: none"> • 수정 연차실적계획서 제출연구(내용 및 예산) • 차기년도 연구 착수

● 평가일정

구분	일시	장소	평가방법	비고	
1단계	1차년도	2001. 6. 19~20	SK주대대기술원 교육실	발표·패널평가	
	2차년도	2002. 5. 29~31	SK주대대기술원 교육실	발표·패널평가	
	3차년도	2003. 4. 15~16	SK주 대대기술원 1층 회의실	발표·패널평가	역학 및 ELSI과제
2단계	1차년도	2003. 4. 18~20	SK주 대대기술원 1층 회의실	발표·패널평가	일반과제
	1차년도	2004. 2. 2~19	주관연구기관 현장방문 세부연구책임자 연구기관	현장·방문평가	
	2차년도	2005. 2. 21~23	한국생명공학연구원 세미나실 및 대회의장	발표·패널평가	
3단계	3차년도	2006. 1. 10~11	한국생명공학연구원 본관동 대회의장	발표·패널평가	
	1차년도	2007. 3. 14~15	한국생명공학연구원 본관동 대회의장	발표·패널평가	
	2차년도	2008. 2. 20~21	한국생명공학연구원 나눔관 대회의실	발표·패널평가	
	3차년도	2008. 3. 19	고려대 등 3개 기관	현장·방문평가	
4차년도	3차년도	2009. 2. 11~12	한국생명공학연구원 본관동 대회의장	발표·패널평가	
	4차년도	2010. 3. 17~18	한국생명공학연구원 본관동 대회의장	발표·패널평가	

바. 연구성과 제고를 위한 사업관리

(1) 3단계 연구비 추가지원

(가) 추가지원 사유 및 연구비 규모

● 추가지원 사유

- '09년도 1개 연구과제의 협약해약에 근거하여 발생한 연구비와 인간유전체기능연구사업단의 운영비 일부를 절약하여 연구비로 사용하였다.

● 추가지원 연구비 : 1억 5천만 원

연구과제명	연구기관/책임자	추가지원 연구비 (천 원)	비고
당단백질과 당지질 말단 당쇄변화에 기초한 간암 바이오마커의 발굴을 통한 임상적용 연구	성균관대 김철호	120,000	-
인간유전체기능연구사업단 '09 운영비	생명(연)/ 임동수	30,000	운영비의 일부를 연구비로 사용
합 계		150,000	

(나) 추가지원 관련 규정 사항

- 인간유전체기능연구사업 3단계 4차년도 총괄협약
- 인간유전체기능연구사업단 운영위원회 규정 제3조(심의 의결사항)

(다) 추가연구비 지원 과제 선정 절차

연구비 추가지원 신청 공지	<ul style="list-style-type: none"> • 인간유전체기능연구사업단 주관, 협동책임자
성과 검토	<ul style="list-style-type: none"> • 신청요건에 대한 기준 검토 • 제출자료 내용에 대한 확인 및 보완
대상과제 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 사업단 운영위원회 상정 • 세부과제별 추가 연구비 확정
교육과학기술부 보고	<ul style="list-style-type: none"> • 추가지원 선정 대상과제 및 예산편성 변경(안)
추가지원 대상과제 통보	<ul style="list-style-type: none"> • 협약변경 및 추가지원에 따른 연구계획서 수정
협약 체결	<ul style="list-style-type: none"> • 과제 계획서 접수(최종 수정본) • 세부과제 협약(사업단 ↔ 주관연구기관)

02 게놈에서 신약까지(Genome to Drug)

1. 사업목표

가. 최종 목표

인간유전체의 기능분석 및 활용을 통하여 위암·간암 등의 진단기술 개발 및 치료용 타겟 유전자와 치료 후보물질 도출

나. 단계별 목표

본 연구사업은 시범연구사업(1999.12~2000.6) 및 3단계(2001.7~2010.3)로 구성된다. 1단계(2000.7~2003.6)목표는 인간유전체분석 핵심기반기술 구축 및 인간유전자원의 확보이고 세부 목표로는

- 1) 위암·간암 관련 유전자 및 단백질의 초고속 발굴
- 2) 후보 유전자들의 초고속 기능 분석을 위한 기술 확립
- 3) 바이오인포매틱스 활용 시스템 확립이었다. 2단계(2003.7~2006.3)목표는 신규 질병관련 유전자의 정밀 기능분석 및 응용기술 개발이고 세부 목표로는

- 1) 위암·간암 후보유전자들의 기능 분석,
- 2) 위암·간암의 형질전환 동물 모델의 개발,
- 3) 진단 및 치료기술 개발을 위한 후보목표유전자들의 응용과 확인이었다.

3단계(2006.9~2010.3) 연구기간은 4년이었으며 단계 목표는 위암·간암 등의 진단 및 치료 원천기술 개발이며

- 1) 위암·간암의 바이오마커를 이용한 진단·예후 판정 기술개발
- 2) 발굴된 후보 목표 유전자들의 심화 기능분석을 통한 타겟 유전자들의 검증 및 활용
- 3) 암 치료용 후보 물질 도출
- 4) 유전체 수준에서 체브라피쉬 모델을 이용한 목표유전자들의 표현형 분석 등을 세부 목표로 하였다.

● 지원 대상 과제

구분	연구기관(책임자)	기술명
'08 2차	KRIBB(김용성)	후성유전체 탐색기술을 이용한 위암 관련 신규 유전자의 동정 및 이를 이용한 위암 진단기술
	KRIBB(고상석)	항-피에이에프유(PAUF)항체
'09 1차	한국원자력의학원 (이기호)	간암 재발예측용 예후지표와 이를 활용한 재발 진단 기술

(나) 해외특허출원경비 지원

- 목적
 - 21세기 프론티어연구개발사업 성과의 해외특허출원비용 지원으로 국제출원을 촉진하여 고부가가치 원천특허기술의 권리 보호 강화
- 지원내용 및 규모
 - 연구성과(기술)별 2천만 원 이내의 해외특허출원경비 (PCT출원 포함)
 - 국내/국외 대리인 수수료, 해외 출원국의 관납료, 지정국 번역료 등
- 선정 과제(7건) 현황

구분	연구책임자(연구기관)	특허의 명칭	지원금액(원)
'08년 2차	고상석 (KRIBB)	PAUF 특이적인 인간 단일클론항체, 이를 포함하는 암 치료용 조성물 및 이를 이용하는 암의 치료방법	9,668,000
	김대곤 (전북대)	간세포암 진단용 조성물, 이를 포함하는 간세포암 진단 키트 및 간세포암 진단방법	18,068,530
	송은영 (KRIBB)	간암진단용 PPIA마커, 항체 및 이들을 이용한 간암치료용 화합물의 스크리닝 방법	11,141,066
'09년 1차	유영도 (고려대)	활성산소조절 유전자를 이용한 TNF-알파 유도 질병의 치료제 및 예방제의	4,737,000
	이현숙 (서울대)	DNP63A 유전자 및 이를 이용한 항암제 스크리닝 방법	15,140,552
'09년 2차	성영철 (포항공대)	TM7SF3를 유효성분으로 함유하는 간암 진단용 조성물, 및 항 TM7SF3항체를 유효성분으로 함유하는 간암 진단 키트, 및 간암 예방	2,820,000
	염영일 (KRIBB)	TTP 프로모터 내 특정 단일 CpG 부위의 후생유전학적 지표를 이용한 암 발병/예후 진단 및 이의 조절을 통한 암 치료기술	진행 중
합계			61,575,148

2. 연구분야 및 개발 내용

가. 1단계 연구개발 내용

1단계 연구는 5분야로 나누어 연구사업을 수행하였고, 1분야는 위암·간암 관련 유전자 및 단백질의 초고속 발굴 분야로

- (1) Tissue bank 구축(위암조직 1,500례, 간암조직 200례 및 이의임상 데이터베이스)
- (2) cDNA chip 이용 발굴 유전자 각 1,000종 발굴
- (3) RDA/SAGE 이용 발굴 유전자 각 300종 발굴
- (4) Display proteomics 이용 위암·간암 단백질 각 130종 발굴
- (5) Protein chip 기술확립 및 위암·간암 단백질 각 30종 발굴
- (6) H. pylori 유전체 염기서열 완전 해독 및 발암관련 후보유전자 5종 확보 등이다.

2분야는 한국인 특이 SNP발굴 분야로

- (1) 한국인 SNP 5,000개 발굴 및 지도작성
- (2) 위암·간암 cSNP 130개 발굴
- (3) 한국인 호발질환 cSNP 110개 발굴 등이다.

3분야는 위암·간암 관련 유전체 기능 연구기술 확립분야로

- (1) 위암·간암 관련 기능성 유전자 140종 검증
- (2) 위암·간암 모델동물 7종 이상 개발
- (3) 조건적 형질전환동물 4종 개발
- (4) Chemical genomics에 의한 target 유전자 10종 및 신약개발 표적단백질 2종 발굴
- (5) Structural genomics에 의한 신규단백질 구조규명(25종) 및 기능규명(2종)
- (6) 단백질 상호작용 분석에 의한 위암·간암후보유전자 20개 발굴
- (7) 하등생물 유전체를 이용한 위암·간암 유전자 기능규명 10종
- (8) 선충(C. elegans)유전체를 이용한 위암·간암 유전자의 기능연구
- (9) 효모(S. pombe 등)유전체를 이용한 위암·간암 유전자의 기능연구 등이다.

4분야는 한국인 호발성질환 관련 유전체 연구기술 확립분야로

- (1) 한국인 호발성 질환유전자 100종 발굴
- (2) 유전정보 보호/남용/교육지침 시안 확립 등이다.

마지막으로 공통기반기술 분야에서는 유전체연구 기반기술 구축 및 활용 시스템 개발 및 ELSI연구를 수행하였고

- (1) 한국인 EST 300,000개의 염기서열 분석
- (2) 한국인 UniGene 40,000개 확보 및 전장 cDNA 4,000개 발굴
- (3) 한국인 cDNA chip (2K/5K/10K) 3,000개 제작 및 보급
- (4) EST, UniGene, SNP 및 DNA chip 분석의 데이터베이스 및 활용시스템 구축
- (5) 완벽한 시료 450개의 Proteome 분석 지원체제 구축 등이 연구개발 내용이다.

나. 2단계 연구개발 내용

2단계 연구는 1~3분야 및 공통기반 분야로 구성되며, 1분야는 위암·간암 후보유전자의 임상적 검증을 통한 진단 기술 개발 분야로 위암·간암 관련 후보유전자 및 SNP를 활용하여 환자군의 임상적 검증을 통한 진단 및 예후, 치료 효과를 판단하는 진단기술 개발이고 2분야는 In vitro 및 in vivo 시스템을 이용한 기능 검증을 통해 치료용 타겟 도출분야로 위암·간암 관련 후보유전자의 세포내 및 생체내 기능을 규명하고 암과의 관련성을 검증하여 새로운 암 치료제 개발을 위한 타겟 도출이고 3분야는 위암·간암 치료제 개발분야로 위암·간암 후보유전자를 대상으로 암 치료제 개발을 위한 신약 후보물질, 치료용 항체, 유전자치료제, 치료용 단백질 등을 개발하고 공통기반기술분야에서는 기능유전체 연구 기반기술 활용 시스템 개발 및 지원을 통하여 위암·간암 후보 유전자의 기능연구 지원을 위한 소재 및 정보 분석 시스템의 구축과 인간유전체의 건전한 활용에 관한 사회적 이해 및 합의를 통한 제도화 연구 확산이 주요 연구개발 내용이다.

다. 3단계 연구개발 내용

3단계 연구는 1~4분야로 구성되며 1분야는 유전체 기반 위암·간암 진단기술 개발 및 실용화분야로 연구내용은 바이오마커 (DNA, RNA, 단백질)들을 이용한 위암·간암 진단 및 예후 판정기술 개발등이고, 2분야는 유전체 기반 위암·간암 등의 치료용 타겟 기능 연구 분야로 위암·간암세포 발생 및 진행에 결정적인 역할을 하는 유전자의 기능 규명 및 임상적 유의성 검증을 통한 혁신 암 치료제 개발에 유용한 타겟 유전자 도출 및 활용 체계 구축하며 3분야는 유전체 기반 위암·간암 치료기술 개발 분야로 검증된 타겟 혹은 신규 타겟의 기능을 제어할 수 있는 항암 유효 물질의 도출 및 최적화 연구이며 마지막으로 4분야는 유전체 기능 분석 및 ELSI분야로

- (1) 제브라피쉬 모델 동물을 이용하여 1,2단계에서 발굴된 위암·간암 후보 유전자의 표현형을 생체 내에서 대규모, 저비용, 초고속으로 분석
- (2) 인간 유전체연구의 사회적 신뢰 구축 등이 주요 연구개발 내용이다.

03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론

가. 최종목표대비 연구목표달성도에 대한 자체평가 및 분석

제 1단계에서 유전체적 접근 방법을 통하여 인간유전자원 및 위암·간암관련 후보유전자 군을 대량으로 확보하고, 제 2단계에서 확보된 후보 유전자군을 기능적·임상적 측면에서 검증하여 진단 및 치료 기술개발에 유용한 위암·간암 표적유전자들을 질적으로 선별하고, 제 3단계에서 선별된 진단용 바이오마커와 치료용 타겟 유전자들의 심화 분석을 통하여 타겟으로서의 가치를 검증하였고, 이들을 활용한 진단 및 치료 원천기술을 개발하였다.

본 사업을 통하여 위암·간암의 분자적 원인 및 기전을 이해하는 데 필요한 기술적 기반과 인체기능의 총체적 탐구를 위한 기능유전체연구의 새로운 패러다임이 구축되어 국내 생명과학 및 관련 산업분야의 기술적 응용잠재력을 크게 향상시켰다. 또한, 사업단은 급격히 변화하는 국내외 유전체 관련 기술 동향을 신속히 파악하여 적절히 대처하였으며, 홍보와 인적·물적 교류를 통하여 성과가 국내 학계, 연구계 및 산업계에 효과적으로 파급될 수 있도록 하였다. 다만, 본 사업단이 21세기 프런티어 사업단 중 최초로 출범하였고, 출범 당시 사업연구비 규모가 국내 최대이었기 때문에 많은 연구자들의 관심이 집중될 수밖에 없어 단계별로 연계가 되지 않는 연구 주제(신경, 면역 등)들이 부분적으로 있었다. 그러나 이러한 연구 주제들이 최종 목표달성에는 크게 영향을 주지 않은 것으로 판단된다. 질환 유전체 연구를 수행하는 경우 유전자의 산물이 단백질이므로 유전체와 단백질체는 함께 연구를 수행하는 것이 바람직한데 본 사업단에서 1단계에서 시도하였던 단백질 연구가 다음 단계로 연결되지 않았다. 향후에는 보다 면밀한 기획을 통해 연구주제가 단계별로 연결될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 전체적으로 본 사업단은 질적, 양적으로 국제수준에 필적할 만한 (학술지 IF 및 피인용도 분석자료, 특허출원등록 및 기술이전 실적에 근거) 위암, 간암 등의 진단 및 치료원천기술과 인간유전자원을 확보함으로써 당초 계획한 본 사업의 최종목표를 100% 달성하였다. 최초의 인간유전체해독 연구 이후 환자 개인의 유전체형에 따라 질병을 진단하고 치료하는 맞춤치료 시대가 현실로 다가오고 있다. 맞춤치료는 환자의 유전적 성향을 비롯해 질병의 마커 단백질을 진단 및 치료에 사용하여 질병의 조기진단을 가능하게 하고, 환자에게 적합한 약물과 그 약물의 투여량 결정을 용이하게 하여 약물의 부작용을 최소화하고 치료 효과를 증대시킨다. 맞춤치료는 보건의료의 새로운 패러다임으로써 향후 질병 치료의 보편적인 패턴으로 자리매김할 것으로 전망된다. 따라서 바이오산업의 경쟁력을 확보하고 이로부터 고부가가치 산업을 창출하기 위해서는 맞춤치료 관련 원천기술을 창출할 수 있는 인간유전체 소재 및 정보를 생산하고 이를 실험적으로 입증하는 것이 중요한데, 본 사업단에서 지난 10년간 도출한 연구 성과들은 여기에 부합하여 한국의 미래 바이오산업을 포함하는 제약 산업의 발전에 초석이 될 것이라 확신한다.

나. 단계별 주요 연구실적

‘인간유전체 분석 핵심기반기술 및 유전자원의 확보’가 1단계(2000. 7 ~ 2003.6)연구 목표이며, 세부 연구 실적으로 첫째 인간유전체분석 기반기술을 구축하였는데 세부내용으로

- (1)3만 8천종의 인간유전자 클론 등 인간유전자원 확보
- (2)cDNA chip 제작 및 공급
- (3)생물정보처리시스템 구축하였고

둘째 위암·간암 유전자 및 단백질의 초고속 발굴하였는데 세부달성 내용은

- (1)위암·간암환자 조직·검체 확보 및 관련 임상자료 포함 대규모 조직은행 구축
- (2)환자 조직이용 유전체, 전사체 및 프로테옴 분석을 통한 위암·간암관련 유전자군 2,500여종 발굴
- (3)위암원인균 헬리코박터의 한국인 균주 2종의 유전체염기서열을 완전해독 하였다.

셋째 위암·간암 관련 유전체 기능연구에서는

- (1)항암면역회피, 암억제, 암전이유발 등 기능성 암유전자 200여종 발굴
- (2)후보 암유전자의 기능검증 기술구축 및 위암·간암 모델동물을 개발하였다.

넷째 한국인 호발성질환 유전체 연구 결과로는

- (1)파킨슨씨병 관련 단백질군 및 신경계 질환유전자 15종 확인하였고,
- (2)뇌졸중 관련 후보유전자 100종 이상 발굴하였다.

다섯째 한국인 특이SNP발굴 결과에서는

- (1)위암·간암 특이 SNP 61종 발굴하였고
- (2)질환관련 후보 SNP 41종을 발굴하였다. 1단계에서는 논문이 139건 이 발표되었으며, 논문 1건당 IF값은 4.5이며 특허출원은 57건 특허등록은 22건의 실적을 거두었다. 상기 연구결과를 종합하면 1단계 당초계획을 100% 달성했다.

2단계(2003.8-2006.3) 신규질병 관련 유전자의 정밀 기능 분석 및 응용기술개발을 목표로 3년간 연구를 수행하였고 그 결과는 다음과 같다.

첫째 위암·간암 후보유전자의 임상적 검증을 통한 진단 기술 개발분야에서는 암 및 간암의 조직 및 혈액으로부터 진단 및 예후판정용 표지자 200여종 발굴 및 모형 DNA칩을 개발하였고

둘째 In vitro 및 in vivo 기능검증을 통한 치료용 타겟 도출분야에서는 세포내 기능검증을 통한 위암 및 간암 치료에 타겟을 도출하였고 생체내 기능검증을 위한 위암 및 간암 유전자의 생쥐모델을 제작하고 그 기능을 규명하였으며, 분열효모유전체의 변이체 4000종을 제작하고 기술 이전을 2005년에 완

료하였다.

셋째 위암·간암 치료제 개발분야에서는 신약개발을 위한 발암 단백질 STK6, OPN, PLK1의 활성 저해제 발굴하였고, STK6 활성 저해선도물질을 2006년 기술이전 완료하였다. 분열효모 변이체 검색계 이용하여 NCI chemical library에서 45종의 화합물 확보 후 유효물질 3종 도출하였고, 위암 치료용 신규 LGFL313에 대한 항체를 생산하였고, VHL 표적 암유전자 UCP의 항암 유전자치료제 도출하였다.

넷째, 기능유전체 연구 기반기술 활용 시스템 개발 및 지원분야에서는 인간유전자 3만6천건 분양 및 170여종 항체를 생산하였고, 인간 및 모델동물의 고밀도 cDNA chip, 진단용 chip 등 총 5,500장을 생산하였으며 연구 지원하였다. 2단계 발표 논문 건수는 169건이며 논문 1건당 IF값은 4.5이며 특허등록 및 출원은 각각 82건, 33건이며 2건의 기술을 이전하였다. 2단계 당초계획대비 100% 목표 달성하였다.

3단계(2006.9-2010.3)는 총4년간 연구사업을 수행하였으며 인간유전체 기능분석 및 활용을 통한 위암 간암 등의 진단기술 개발 및 치료용 타겟 유전자와 치료 후보물질 도출이 3단계 목표이다.

연구성과는 크게 4가지의 범주로 분류되며 첫째 진단기술개발 분야에서는

- (1)비침윤적 위암 진단기술개발을 위한 신규 위암 메틸화 유전자의 임상적 유의성 및 암 관련성 규명, 혈장 DNA의 측정치 기준으로 민감도(0.746), 특이도(0.644) 수준에서 위암 판정 가능성을 제시
- (2)간암환자 재발예측 예후지표 유전자 20종 발굴
- (3)간암검체의 array-CGH분석을 통해 32종의 간암특이 RAR 함유 진단칩 시작품 설계 완료
- (4)유전자 반복서열과 질병 발생간의 연관성 조사기법 확립(질병과 유전체구조의 상관관계 규명, DNA typing 또는 가족관계 확인에 사용가능)
- (5)위암·간암 표준화된 조직배열 칩 제작 기술 확립 및 바이오마커의 암 관련성 검증(기술이전 및 상용화)
- (6)위암 체액진단 마커 (Mac2-BP, MIC-1 CEACAM6, KLK6, CKS2, CST1)발굴 및 검증(Mac2-BP 바이오마커 기술이전완료)
- (7)간암 체액 진단을 위한 cytostratin B 포함 10종 이상의 간암 특이적인 마커 발굴 및 3건의 기술이전 완료
- (8)간암마커에 대한 항체 확보, ELISA/Luminex법을 이용한 혈청 마커들의 혈청 정량분석방법 확립, 진단 알고리즘 개발
- (9)단백질의 당질성 변화를 추적하여 간암 등 암을 진단할 수 있는 바이오마커 발굴 및 검증(기술이전 추진 중)을 하였다.

둘째 기능연구를 통한 타겟 가치 검증분야에서는

- (1)혈관생성 (HIF-VEGF)경로 조절 유전자 5종 (E2-EPF UCP, ZFP91, RhoGDI2, HAUL, Ard1)의

타겟 가치 검증

- (2)세포 증식 및 사멸경로 조절 유전자 8종 (HRMT, Rani, A20-ASK1, PAUF, APIP, CAGE, Romo1, AK2)의 타겟 가치 검증
- (3)암억제 경로 조절 유전자 5종(Enigma, PTTG1, RASSF1A, microR34a, PNUITS, BubR1)의 타겟 가치 검증
- (4)타겟 유전자들의 형질전환 생쥐 제작 및 발암성 확인 (E2-EPF UCP, HRMT, Rani, APIP, Mst1)
- (5)E3 ubiquitin ligase 효소활성이 있으며, 암 발생·진행·전이·항암제 내성유발에 관여하는 UCP, ZFP91, Rani, A20-ASK1 유전자 4종은 암 표적치료제 개발을 위한 분자표적으로서의 가능성을 발견하였다.

셋째 치료 기술개발 분야에서는

- (1)Tubulin을 표적하는 위암 치료제 JAC-106 해외 전임상 완료, 임상진입 준비
 - (2)암 치료용 파프(PAUF) 완전 인간 항체 제작, 항암 효과 검증 (기술이전완료)
 - (3)RhoB, Cdk, PKCK2, UCP를 표적으로 하는 전임상 후보물질 혹은 유효/선도 물질을 도출하였다.
- 넷째 인간유전체 기능분석 및 ELSI연구 분야에서는
- (1)21세기 프런티어 인간유전자 은행 유료 분양개시(2006.8)
 - (2)제브라피쉬 모델에서 위암, 간암후보 유전자 포함 인간유전자 2,700종의 표현형규명, 7종의 유전자 (Mib1, Crif-1, #9, #462 ottogi, #498, #1004 angel, #1017) 기능 및 임상적 유의성 분석, 위암, 간암유전자 기능정보 통합 홈페이지 구축
 - (3)학술지「ELSI연구」게재 우수 논문 30여 편이 수록된 영문 단행본 ELSI Research in Korea: Selections from Journal of ELSI Studies 출간, 한국의 ELSI 연구 성과를 홍보하였다. 3단계에서는 총 302건의 논문이 게재되었고 논문1건당 IF값은 4.5이며 특허출원 214건, 특허등록 90건, 기술이전 8건 등의 연구성과를 도출하였다.



다. 최종목표대비 단계별 주요성과의 달성기여도

본 사업단에서는 ‘인간유전체 기능분석 및 활용을 통한 위암·간암 등의 진단기술개발 및 치료용 타겟 유전자와 치료 후보 물질 도출’의 최종 목표를 달성하기위해 연구를 진행하여왔고, 단계별 주요성과의 최종목표 달성기여도는 다음과 같다.

1단계에서 대규모 인간유전자원 확보, DNA chip 제작 및 응용기술 구축, 효율적인 생물정보처리시스템 구축 등 기능유전체 연구에 필수적인 유전체 핵심기술들을 확립하였고, 대표적 성과는 5,000여건에 달하는 위암·간암환자의 조직·검체와 이에 대한 임상자료들이 포함된 조직은행이 1단계에 구축되어 임상적으로 유용한 진단 표지자(biomarker) 및 치료용 타겟 유전자의 가치를 점검하는데 2, 3단계에 적절하게 활용되었으며, 암 환자 조직을 이용한 유전체, 전사체 및 프로테옴 분석에 의해 위암·간암 관련 1차 후보유전자군 총 4,000여종이 1단계에서 발굴되어 2, 3단계에서 이들 중 유용한 진단 표지자(biomarker) 및 치료용 타겟 유전자의 기능 및 가치가 효과적으로 검증되었으며, 암세포 증식 억제, 암 전이, 항암면역 회피 등과 관련된 기능성 암유전자 200여종이 발굴되어 이들의 기능을 조사함으로써 후보 암유전자의 기능검증에 필요한 핵심기술체계 및 위암·간암모델 동물이 개발되었으므로 본 사업단 출범 당시 기능유전체 연구 분야에서 선진국과의 격차가 3-5년이었는데 이 격차를 1-2년 내지 대등한 수준으로 만들었다. 상기 주요성과 외에 부가적인 성과로써 1단계에 발굴된 유전자원 및 정보의 국제교류를 통해 선진 외국의 유전체관련 기술, 유전자원, 정보 등을 입수하여 국내 유전체 연구기반의 질적, 양적 능력을 크게 확충시켰으며 국내 유전체연구의 해외 홍보 효과도 동시에 거두었으므로 1단계 연구결과의 최종 목표대비 달성기여도는 30%이다. 2단계에서는 1단계로부터 초고속으로 발굴된 유전자들을 중심으로 대단위 임상시료에서의 임상검증을 통해 진단 및 재발 예후 예측 판정을 위한 200여종의 표지자가 선정되었으며, 세포 및 생체모델에서의 기능검증을 통해 위암, 간암 혁신 신약 개발에 유용한 타겟 유전자를 도출하는 성과를 거두었으며, STK6, PLK1, LBF313, E2-EPF UCP, RhoB, OPN 등과 같은 치료용 타겟에 대한 저해제(저분자 화합물, 항체 또는 유전자치료제)가 도출되었는데, STK6 저해 선도물질은 기술이 이전되었다. 또한, 인간 유전자들의 기능 규명 및 약물 작용점 탐색에 활용이 가능한 분열 효모의 변이체 4000 종을 세계 최초로 제작하고 효모 변이체를 기업으로 이전하여 상용화에 성공하였다. 이상과 같이 2단계의 성과는 본 사업의 최종 목표(인간유전체 기능분석 및 활용을 통한 위암·간암 등의 진단 및 치료원천기술의 개발)를 달성하는데 30%의 수준으로 기여하였다. 3단계 진단 기술연구 분야에서는 암 조직배열 칩 제작기술의 상용화에 성공하였고('07-'09 수출액 \$434,207, 국내매출액 587백만 원), 향후 수출 및 매출이 지속적으로 발생할 것이 기대되고, 혈액을 이용한 위암 진단제는 아직 없는데 Mac2-BP를 포함하는 위암 혈액 진단용 마커가 도출되어 기술이 이전되었고, 간암 혈액 진단용 바이오마커가 도출되어 기술이전이 3건 발생하였고, 5

개의 간암 마커를 동시에 이용하면 정상과 간암을 100% 식별하고 간경화와 간암을 81% 정확도로 구분할 수 있는 기술이 개발되었으며, 임상검증이 완료된 재발진단용 핵산 바이오마커 예후인자는 20종이며, 이들 중 17종은 새로 확보된 인자로서 기술적 가치가 있어 향후 상용화 잠재력이 있다.

타겟 기능연구 분야에서는 HIF-VEGF 경로를 상위에서 조절하는 E2-EPF UCP 유전자의 기능을 밝혀 Nature Medicine지에 게재하고, UCP 형질전환생쥐모델에서 간암 발생을 확인하여 암 표적 치료제 개발용 분자표적임을 입증하였으며, Mdm2의 안정성을 증가시켜 p53의 암억제 기능을 약화시키는 Enigma의 기능을 최초로 밝혀 국내외 특허를 출원하였으며, 암 발생 및 진행과정 관련성이 매우 높고 효소 활성이 있는 치료용 신규 타겟 ZFP91, Rani, A20-ASK1들이 새롭게 도출되었고, Ras-Raf-Erk 경로를 조절하는 HRMT의 기능을 규명하고 HRMT 형질전환생쥐모델에서 간암 발생을 확인하였고, AK2 유자의 암 억제기능을 규명하여 Nat Cell Biol지에 게재하였다. 치료 물질연구 분야에서는 위암치료물질 JAC-106의 전임상이 해외에서 완료되어 해외 임상 1상 진입을 준비 중이고, 1종 이상의 PAUF에 대한 완전인간항체가 제작되고 항암활성이 검증되어 기술이전이 완성되었고, RhoB 및 Cdk를 표적으로 하는 전임상 수준물질이 도출되었으며, PKCK2를 저해하는 선도물질 1종 이상, UCP효소 활성을 저해하는 유효물질 1종 이상이 도출되었다.

유전체 기능분석 분야에서는 제브라피쉬 모델에서 위암, 간암 후보 유전자를 포함한 2700종의 인간유전자의 표현형이 분석되었고, 효모 변이체들의 특성 규명결과가 Nature Biotech('10)에 게재승인 받았으며, 학술지「ELSI연구」를 출판하여 ELSI 국내 연구기반을 강화하였고, 우수 논문이 수록된 영문 단행본 'ELSI Research in Korea: Selections from Jeournal of ELSI Studies'를 발간하였다. 상기한 3단계의 성과는 본 사업의 최종 목표를 달성하는데 >40%의 수준으로 기여하였다.

2. 대표적 성공사례

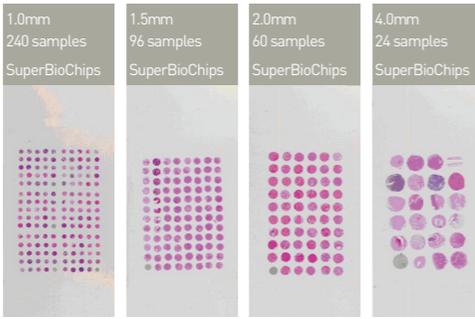
가. 대표적 연구 성과

번호	대표적 연구성과명	연구기관(책임자)
1	암 조직배열 칩(tissue array chip) 제작기술의 실용화(위암의 표지자 개발)	서울대(김우호)
2	새로운 암 세포 죽음 조절 유전자 AK2 발견	서울대(정용근)
3	암 세포 증식·전이 조절 유전자 E2-EPF UCP 발견	생명연(임동수)
4	부작용이 적은 새로운 체장암 치료용 항체 개발	생명연(고상석)
5	새로운 암 유발인자를 표적으로 하는 간암치료기술 개발	생명연(정초록)
6	21세기 프론티어 인간유전자은행 개설	생명연(김남순)

01 | 암 조직배열 칩(tissue array chip) 제작기술의 실용화 (위암의 표지자 개발)

- 기업으로 기술이전 완료(2007. 3. 30)
- 매출실적(국외 : \$ 434,207US, 국내 : 587백만 원)

암 예측 표지자는 항암제 치료에 대한 효과를 미리 예측할 수 있는 유전자로서, 치료 방침을 수립하는데 결정적인 도움을 준다. 항암제는 대부분 독성이 강한 약제이기 때문에 정상세포의 생존에 큰 영향을 준다. 종양세포에 대해 감수성이 큰 약제를 선택하면 투여 농도를 낮출 수 있고 정상세포에 미치는 손상을 최소화 될 수 있지만, 종양세포에 대해 감수성이 낮다면 고농도 투여에 의해 정상세포가 크게 손상 받는다. 더구나 위암은 다양성이 현저하여 치료 시에는 단일 약제가 아닌 여러 가지 약제가 복합적으로 사용되기 때문에 항암제에 대한 암세포의 감수성을 예측하는 작업은 아직 이론적 수준에 머물러져 있다. 또한 동일한 병기의 위암 환자라도 예후가 달라 어떤 암환자는 재발이 없이 수십 년을 살아가는 반면, 어떤 환자는 몇 달 내에 재발하여 사망하게 된다. 이는 이제까지의 전통적 병기가 환자의 예후를 정확하게 나타내지 못하기 때문이다. 따라서 항암제의 감수성과 환자의 예후를 정확하게 예측하는 새로운 지표가 절실히 요구되는 실정이다. 위암의 예후나 항암제 감수성을 예측하는 표지자의 개발을 목표로, 600명의 위암환자 조직을 대상으로 56개의 유전자에 대해 발현을 조사했으며, 5년간 환자를 추적하여 그 결과를 분석하였다. 이러한 대규모의 연구를 수행하기 위해 우리는 위암 조직을 체계적으로 고집적화한 조직 배열(tissue array) 슬라이드 기법을 개발하였다. 이와 같은 분석 결과 예후 추정에는 27개의 단백질 발현 정보가 타당하고, 환자의 예후 추정치는 정확도 73.1%, 특이도 94.7%의 정확한 예측이 가능함을 확인하였다. 이 방법은 특히 초기 단계의 위암에서 예후를 예측하는 효용성이 증명되었는데, 특정 조합군(cluster 1)에 해당하는 환자는 수술 후 5년간 사망이나 재발이 거의 없었다. 만약 재발이 없는 환자군을 정확하게 가려낸다면 이러한 환자는 항암제를 사용할 필요가 없기 때문에 수술 후 항암치료 적용 여부를 판단하는데 큰 도움을 줄 것으로 예상된다. 본 연구결과를 토대로 임상적으로 표준화된 암 조직을 확보하고 이를 이용한 암 조직배열 칩을 제작하여 2007년부터 국내 및 해외로 판매하고 있다. 이는 대규모 인체 암 조직을 대상으로 표적분자 발현 분석을 짧은 시간과 적은 비용으로 스크리닝 할 수 있고, 부작용이 적어 효과가 탁월한 분자표적 항암제 개발 과정에 필수적 기술이다. 앞으로 이 유전자 지표를 활용하여 암의 재발 여부를 좀 더 정확하게 예측할 수 있을 것으로 기대하고 있다.



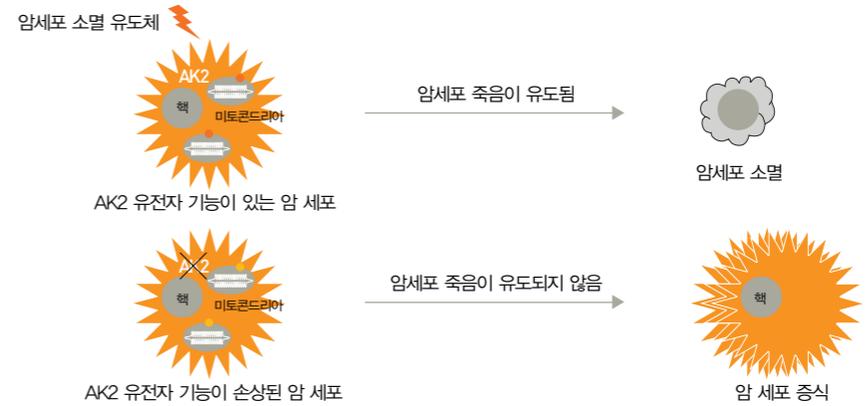
02 | 새로운 암 세포 죽음 조절 유전자 AK2 발견

- AK2 유전자의 기능 회복을 통한 간암 치료법 개발 가능
- Nat Cell Biol, 2007

'세포 죽음'은 최근에 밝혀진 세포의 자살 유도 현상으로, 암 세포와 같은 비정상적인 세포를 찾아 제거하는 기능을 한다. 따라서 세포죽음 기능이 저하되면, 암 세포와 같은 비 정상적인 세포들이 체내에서 제거되지 않고 증식해서 암을 유발하게 된다. 특히, '미토콘드리아'라는 세포 내 소기관은 내부 단백질들을 세포질로 쏟아내어 세포죽음을 유도하는 중요한 기능을 수행 하는데, 이번에 우리는 이 미토콘드리아에서 존재하는 AK2(아데닐레이트키나제2)단백질이 세포질로 나와 새로운 세포죽음 신호 전달경로를 만들어 내는 것을 발견하였다.

암 세포 죽음을 유도하여 암 세포를 제거하는 과정에 미토콘드리아에 존재하는 AK2가 어떻게 관여하는 것일까? 우리는 AK2 유전자의 기능이 저해되거나 발현이 감소되었을 때, 세포죽음이 제대로 일어나지 않는 것을 발견하고 이 경우 암 세포가 증식할 가능성을 제안하였고, 많은 종류의 인간 간암 세포주에서 AK2 유전자에 의한 세포죽음 신호 전달 체계가 손상되어있음을 발견하였다. 즉, 암세포와 같은 비정상적인 세포가 발생할 경우 AK2 유전자 기능이 활성화되어 암 세포의 죽음이 효과적으로 유도 되는 경우에는 암 세포가 소멸되는 반면, AK2 유전자 기능이 결핍되어 암 세포의 죽음이 유도되지 않는 경우에는 암 세포가 증식하게 됨을 확인하였다.

AK2 유전자 기능이 손상된 경우 항암제에 의하여 환자의 간암세포가 체내에서 제거되지 못할 가능성도 밝혔는데, AK2 유전자 기능이 손상된 간암 세포 주에 AK2 유전자 기능을 복구하였을 때, 간암 세포가 항암제에 의해 효과적으로 죽는 것을 발견하였다. 이러한 발견은 후속 연구를 통하여 AK2 유전자에 의한 세포죽음을 활성화시키는 조절인자(약물, 유전자 등)를 발굴하여 암 세포 죽음을 유도하게 되면 초기 암 발생을 억제할 수 있고, 이미 진행된 암을 항암제를 사용하여 효율적으로 치료하는데 활용할 수 있다.



03 | 암 세포 증식·전이 조절 유전자 E2-EPF UCP 발견

- 간암, 대장암, 유방암 등 암 치료의 새로운 길
- Nat Med 12, 806-816, 2006

정상세포가 변이되어 암세포가 되는 데에는 많은 유전자들이 관여한다. 특히 암이 진행될수록 암 억제 유전자들의 기능은 없어지고 암 세포의 증식에 관여하는 발암성 유전자들의 활성이 증가하게 된다. 그 중 암 억제 유전자로 알려져 있는 VHL 유전자는 세포 안에서 혈관세포 성장인자(VEGF)의 발현을 증가시키는 HIF-1알파를 제거하는 기능을 하는데, 이 VHL 유전자의 기능이 소실되면 혈관종, 신장암 등이 발생한다. 따라서 VHL의 기능이 저하되면 HIF-1알파 단백질이 안정화되고, 혈관세포 성장인자의 발현이 증가하여 신생혈관이 만들어지는데 이는 암 세포가 산소와 영양분을 원활히 공급받아 증식 및 전이가 될 가능성이 높아짐을 의미한다. 우리는 이번에 UCP 유전자가 암 세포 안에서 이 VHL 암 억제 유전자의 기능을 제거하는 기능이 있음을 세계 최초로 밝혔는데, 암 세포 안에 UCP가 많아지면 VHL이 적어지고, 이로 인해 HIF-1알파가 많아지게 되면 혈관생성인자(VEGF)가 많이 만들어지게 되어 결국 UCP가 'UCP-VHL-HIF-VEGF' 경로를 통해 암 세포의 증식 및 전이를 조절할 것으로 보고 있다. 만약에 UCP가 VHL의 기능을 막아 HIF-1알파를 안정화시켜 암 세포 증식 및 전이에 관여한다면 사람의 원발성 및 전이암 세포에서 UCP와 HIF-1알파가 함께 존재 할 수 있을까? 이를 알아보기 위해서 사람의 원발성 간암, 대장암, 유방암, 전이 대장암 및 전이 담도암 조직을 UCP, HIF-1알파 특이적인 항체를 이용하여 면역형광기법으로 염색하였을 때 UCP와 HIF-1알파가 원발성 및 전이 암 조직에 함께 발현되는 것을 알 수 있었다. 그렇다면 UCP의 발현을 차단할 경우 암 세포의 증식 및 전이가 억제될 수 있을까? 이를 알아 보기위하여 UCP의 발현을 특이적으로 차단할 수 있는 작은 간섭 RNA(small interfering RNA)를 제작하여 실험한 결과 암 세포에서 UCP의 발현을 차단할 때 암 세포의 증식과 전이가 감소되는 것을 관찰할 수 있었다. 암세포의 발생은 정상적으로 활동하여야 할 많은 유전자들이 변하고, 유전자들의 발현이 높아지거나 낮아지며, 장기간에 걸쳐 여러 가지 다양한 경로를 통해서 복합적으로 발생한다. 이런 이유로 암은 후천적 유전병이라 할 수 있다. 암 환자마다 변하는 유전자들이 다를 수 있고, 또한 암 발생 경로도 다양하다. 암의 발생 원인이 다양하고 복잡하므로 이를 치료하는 방법 또한 다양하여야 할 것이다. 따라서 미래에는 각각의 암 발생 경로에 근거한 환자에 적합한 치료법(personalized medicine)이 개발되어 적용될 것이다. 후속 연구를 통하여 UCP의 기능을 제어하는 기술이 개발될 경우 암 치료에 획기적인 역할을 하게 될 것이다.

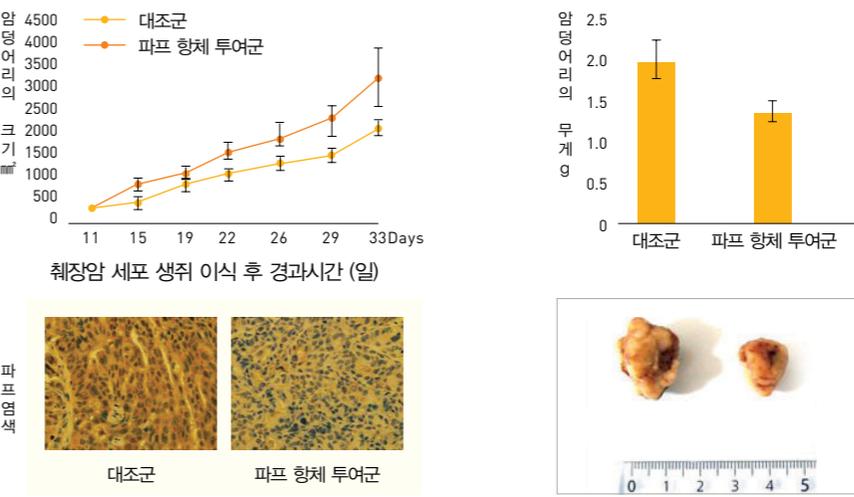


04 | 부작용이 적은 새로운 췌장암 치료용 항체 개발

- 'PAUF 유전자 및 항체에 관한 기술'을 (주)렉스바이오에 이전
- Oncogene 29(1), 2010. PCT출원/KR2009/000609

췌장암은 사망률이 매우 높은 치명적인 암으로 알려져 있으며 5년 생존율이 4%에 불과하다. 이는 췌장암의 초기 진단이 어렵고 전이율이 높으며, 기존의 화학요법이나 방사선요법에 저항성을 나타내어 효과적인 치료제가 없기 때문이다. 따라서 췌장암에 대한 새로운 치료제 개발이 더욱 요구되고 있는 실정이다. 최근 암 치료제 개발의 패러다임은 정상세포에는 손상을 주지 않고 암 세포만을 선별적으로 공격하여 제거하는 표적치료법(targeted therapy)이다. 이에 가장 부합하는 치료법은 항체를 이용하는 방법인데, 이러한 항체는 타겟에 대한 특이성(specificity)이 높아 종래의 화학치료법 보다 부작용이 적고 효과적이다. 우리는 대다수 췌장암 환자에서 파프(PAUF) 단백질이 증가되어있음을 발견하였다. 또한 파프 단백질이 췌장암 세포의 증식과 전이 능력을 증가시키는 성장 인자임을 밝히고, 파프 단백질에만 선택적으로 결합하는 완전인간 단일클론 항체를 개발하여 생쥐를 대상으로 항암 효과 측정 실험을 하였다. 그 결과, 이 항체가 췌장암 세포의 증식 및 이동 능력을 억제하고, 암 세포를 추적하여 파프 단백질의 기능을 억제하는 것은 물론 면역 반응을 일으킴으로써 암 세포를 효과적으로 제거하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다.

췌장암의 초기 진단이 불가능한 현재 상황에서 파프 항체는 췌장암 진단법의 개발에 활용될 수 있고 이것이 갖는 의미는 매우 크다. 특히 췌장암 세포의 증식과 전이 능력을 증가시키는 파프 단백질의 활성을 억제함으로써 암 치료에 활용할 수 있는 항체, 항체 절편 및 항체 유도체를 개발할 수 있다. 또한 후속 연구를 통하여 파프 항체가 췌장암을 치료하기 위한 항암제로 실용화될 수 있을 것이고, 나아가 암 표적 치료제로 상용화될 경우 막대한 경제적 이윤 창출을 기대할 수 있다.



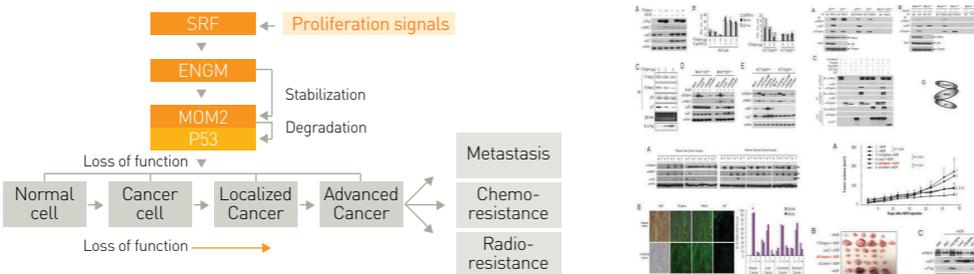
05 | 새로운 암 유발인자를 표적으로 하는 간암치료기술 개발

- 암 표적 치료제 개발에 유용한 분자 표적으로 활용 가능
- Nat Med 12, 809-816, 2006. Hepatology 43, 1042-1052, 2006.

인간유전체 기능연구 사업을 통하여 한국인 호발암인 간암, 위암의 유전체 연구가 진행되었으며 많은 유전자가 발굴되었다. 이러한 유전자는 개인의 맞춤형 치료에 있어 진단제 및 부작용이 적은 혁신적 항암치료제 개발을 위하여 활용되고 있다. 본 과제에서는 간암에서 과발현되어 있는 PTTG1, Enigma, E2-EPF UCP 3종의 유전자 기능분석 (target identification and validation)을 통하여 항암제 개발에 중요한 지식을 도출함과 동시에 E2-EPF UCP 유전자의 기능을 선택적으로 저해하는 유효 물질을 도출하고자 하였다. 첫째, PTTG1은 항종양 인자 p53과 결합하여 기능을 저해하는 분자로 알려져 있었으나, 간암에서 그 기능을 본 연구팀에서 처음 밝혀 Hepatology에 게재하였다. PTTG1의 발현을 억제하는 siRNA가 간암에 효과적인 것을 확인하였다. 둘째, Enigma는 암에서 그 기능이 분명하지 않은 분자였다. 본 연구를 통하여 Enigma가 종양인자인 Mdm2를 안정화시켜 항종양인자인 p53의 분해를 촉진한다는 새로운 사실을 발견하였다. Enigma는 Mdm2와 결합하고 효소활성을 조절하여 p53의 유비퀴틴화를 촉진시켰다. Enigma의 발현을 억제하여 항암효과를 나타내는 생물학적 치료제를 도출하였다. 관련 연구 결과를 근거로 국내의 특허를 출원하였으며 논문은 revision 중에 있다. 셋째, E2EPF UCP가 항 종양인자 pVHL을 분해하여 HIF-1 α 의 안정화를 유도하는 발암 유전자(oncogene)임을 처음으로 밝혀 Nature Medicine 지에 발표하였다. E2-EPF UCP의 발현이 높아지면 종양의 성장과 전이가 촉진되는 것을 확인하였다. 간암을 포함하는 많은 암에서 E2-EPF UCP의 발현이 높았으며, 형질전환 동물모델에서도 E2-EPF UCP에 의하여 간암이 발생하는 것을 확인하였다. 그러므로 E2-EPF UCP는 항암제 개발의 분자 표적이 될 수 있을 것으로 사료되었다. 이에 E2-EPF UCP 활성을 저해하는 화합물을 검색하여 세포수준 및 생쥐종양모델에서 선택적으로 저해하는 화합물을 발견하였다. Enigma가 Mdm2-p53 경로를 조절하여 암 진행을 촉진시키고 항암제 내성을 유발하는 작동원리에 근거하여 Enigma는 암 표적 치료제 개발에 유용한 분자 표적으로 활용될 수 있다. 또한 E2-EPF UCP 활성을 저해하는 화합물의 최적화과정을 거쳐 전임상후보물질을 도출한 다음, 전임상, 임상시험을 통과한다면 세계적인 수준의 암 표적 치료제로 개발될 수 있는 가능성이 있다.

Enigma의 암세포에서 기능을 처음 밝힘

JCI under review
PDLIM7 Enigma negatively regulates p53 through Mdm2 and promotes tumor cell survival in mice



06 | 21세기 프론티어 인간유전자은행 개설

- 국내 인간유전체 연구 활성화
- 총 39,809건 유전자 클론 분양 및 약 174억원의 수입 대체 효과 유발

인간 유전자는 질병의 진단제, 치료제 및 신약 개발을 위한 원천소재이다. 2000년 당시 국내에서 유전체 연구를 수행하기 위해서는 외국으로부터 인간 유전자를 고가로 수입해야하는 실정이었다. 우리는 국내 독자적인 인간 유전자의 확보가 필수적이라 판단하고 인체조직으로부터 전장유전자 1만종을 포함한 인간유전자 3만 3천종을 발굴하였다. 이 성과는 미국과의 국제 협력을 이끌어 내었고, 이를 통하여 우리는 미국 측에 미 국립암연구소(NCI)에 없는 유전자 740종을 제공하고, 미국 측은 미 국립암연구소 및 국립정신건강연구소로부터 인간 전장유전자 1만 4천종, 생쥐 전장유전자 8천종의 총 2만 2천종에 이르는 유전자를 우리에게 이전하였다.

우리가 발굴하고 확보한 3만 3천종 인간유전자 중 1만종은 전장유전자로서 기능성 단백질을 만들 수 있는 완전한 유전자 구조를 지니고 있어 유전자 기능연구의 핵심소재로 활용될 수 있다. 그리고 이 3만 3천종 유전자 중에는 기능이 불명확한 유전자가 약 3,746종 포함되어 있어 이들 신규 유전자에 대한 기능을 규명하면 지적재산권을 확보할 수 있다. 또한 인간유전자의 생체 내 기능을 규명하기 위해서는 생쥐 등의 실험동물들의 생체 시스템을 이용하게 되므로 생쥐 등의 유전자 필요성도 크게 증가한다. 이러한 이유로 우리는 국내외에서 확보된 총 11만 여종에 이르는 인간 및 실험동물 유전자를 기반으로 한 21세기 인간유전자은행을 설치하고 보유 유전자를 국내 연구자들에게 유전자를 실비로 분양하여 국내 유전체연구를 활성화시키고 있다.

인간유전자은행을 개설하여 국내외 연구자들에게 인간 및 실험동물 유전자를 실비로 공급함으로써 연구자들은 유전자를 연구에 활용하여 연구 속도를 가속화 시키고 있다. 또한 인간유전자은행이 확보한 유전자원에 기인하여 수입대체 효과가 발생하고 있을 뿐만 아니라, 유전체기능연구의 저변 확대를 통해 국내 유전체학 및 생명공학산업분야의 획기적인 발전에 기여하고 있다.

본 사업을 통하여 확보된 인간유전체 소재를 자본으로 하여 개설된 21세기 인간유전자은행을 통하여 2010년 2월 현재 약 40,000개의 유전자원이 분양되었고, 2006년 8월 유료분양을 시작한 후 년 약 9천만 원 규모의 매출액이 발생하고 있다.



3. 정량적 연구성과

가. 단계별 정량적 연구 성과

단계	논문게재 (건)			학술회의 (건)			특허출원 (건)			특허등록 (건)			기술료 징수(백만 원)				기업화	매출 (백만 원)	
	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	기 징수		징수예정			완료	예정
													건수	금액	건수	금액			
1단계	33	106	139	407	190	597	43	14	57	18	4	22	-	-	-	-	-	-	-
2단계	38	131	169	264	90	354	54	28	82	32	1	33	2	158.1	2	789.9	1	31	-
3단계	50	154	204	186	167	353	106	43	149	51	17	68	5	323	4	2,435	1	1,108	-
10년차	12	86	98	89	44	133	47	18	65	18	4	22	3	40	3	260	-	-	-
총계	133	477	610	946	491	1,437	250	103	353	119	26	145	10	521.1	9	3,484.9	2	1,139	-

나. 성과 지표별 단계별 실적

성과 지표	실적				지표별 가중치	비고 (설정근거)
	1단계	2단계	3단계	10년차		
SCI급 학술지 게재 논문 건수	113	125	178	91	0.15	필수 핵심 기술성 평가지표(세계 최고 수준의 기술경쟁력 및 원천기술 확보)
학술지 Impact factor (평균 IF/논문 1건)	506.3 (4.5)	563.7 (4.5)	750.9 (4.2)	457.3 (5.0)	0.15	"
특허출원 건수 (국내/국외)	57 (43/14)	82 (54/28)	149 (106/43)	65 (47/18)	0.05	"
특허등록 건수 (국내/국외)	22 (18/4)	33 (32/1)	68 (51/17)	22 (18/4)	0.10	"
기술 공개 및 기술 이전 건수	0	2	5	3	0.10	필수 핵심 사업성 평가지표 (실용화 기반 제공)
기술료 수입액 (백만 원)	0	948	2,758	300	0.07	핵심 사업성 평가지표 (실용화 기반 제공)
지역별/성별/학위별 인력양성 배출실적	44	122	417	144	0.03	일반 평가지표
합 계					0.65	

※ 최종평가의 경우 별도의 목표치 제출 없이 전체실적을 1, 2, 3단계 및 10년차 실적을 기재

● 성과 지표 및 가중치 설정의 배경

연구개발 성과는 논문(paper), 특허(patent), 기술이전(product) 등으로 가시화된다. 이중 비교적 객관적으로 연구 성과의 질적 우수성을 알아 볼 수 있는 평가 지표는 논문이 게재된 국제 학술지의 Impact factor (IF)와 경상실시료를 포함하는 기술이전 규모일 수 있다. 논문게재 학술지의 IF가 연구 성과의 우수성을 알아 볼 수 있는 유일한 평가지표가 아님에는 분명하나 그럼에도 국제적 기준에서 연구 성과의 질을 가늠해 볼 수 있는 유일한 지표일 수 있다. 이는 IF가 높은 학술지 일수록 일반적으로 논문을 게재하기가 어렵다는 데에 기인한다. 논문의 피인용도도 연구 성과의 질적 우수성을 측정하는 데에 한 지표가 될 수는 있다. 논문의 피인용 횟수는 시간이 지날수록 증가되는 경향을 보인다는 점이 논문의 질적 가치를 가늠하는 데에 단점이 될 수 있다. 그러므로 논문이 게재된 학술지의 IF와 피인용 횟수를 함께 고려하게 하면 연구 성과의 질적 우수성을 비교적 객관적으로 가늠할 수 있을 것으로 사료된다. 특히는 객관적인 기준을 세워 질적 우수성을 평가하기가 매우 어려우며, 기술이전이 발생하거나 상용화로 연결되기 전까지는 의미가 없는 것처럼 보이고, 특히 국내 특허는 양산되고 있으므로 질적인 면을 국제적인 수준에서 측정하기가 어렵다. 다만 국외 특허가 등록되었을 경우나 국내외적으로 출원된 특허의 내용이 논문으로 학술지에 게재되었을 경우 게재된 학술지의 IF를 통하여 간접적으로 특허의 질적 우수성을 가늠해 볼 수 있다. 결국 연구 성과의 질적 우수성은 게재된 학술지의 IF와 피인용 횟수로 가늠하는 것이 완벽하지는 않지만 객관적일 수 있다. 본 사업단은 상기한 이유 및 교육과학기술부 평가지침에 근거하여 총 7개의 성과달성도를 측정하는 성과 지표를 설정하였는데 6개의 핵심 지표 및 1개의 일반지표로 구성되어 있다[(3)성과 지표별 단계별 실적 참조]. 6개의 핵심 지표 중 5개는 필수 지표(SCI급 학술지 게재 논문건수, 학술지 Impact factor, 특허출원 건수, 특허등록 건수, 기술 공개 및 기술이전 건수)로서 세계 최고 수준의 기술경쟁력 및 원천기술의 확보와 산업적 활용성을 대변하는 성과 지표들이다. 일반지표로서 '지역별/성별/학위별 인력양성 배출실적'을 설정하였는데 이는 본 사업단 참여 연구자들이 대부분 대학 및 출연(연) 등의 공공연구기관에서 연구를 수행하고 있고 석박사급 인력이 참여하고 있기 때문이다. 교육과학기술부 평가지침에 근거하여 필수 지표의 가중치를 핵심, 일반지표보다 높게 설정하였고, BT분야는 원천기술성은 높으나 사업성은 다소 낮은 특성 때문에 기술성관련 지표의 가중치를 상대적으로 높게 설정하였다. 기술성 지표에서 특허출원보다는 특허 등록이 어렵기 때문에 특허 출원보다 등록에 가중치를 높게 설정하였다. 사업성 지표들인 '기술이전 건수' 및 '기술료 수입액'은 동시에 발생하는 지표이므로 이 2개 지표의 합을 가중치(0.17)를 다른 어느 지표보다 높게 설정하였다.

다. 연구 성과의 정량적, 정성적 분석

본 사업은 1단계 3년, 2단계 3년, 3단계 4년간 10년 동안 수행되었다. 연구 성과는 일반적으로 연구기간에 비례하므로 3단계를 3년으로 하고, 10년차를 별도로 구분하여 연구개발 성과를 분석하였다. 논문, 특허, 기술이전 건수를 기준으로 단계별로 정량적 연구 성과를 분석하고 논문의 질적 우수성을 분석하기 위해 논문 한 건당 평균 IF와 2001년부터 2008년까지 논문의 피인용도를 조사하였다. 또한, 연구 효율성(연구비 대비 output)을 알아보기 위해서 단계별 투입연구비 대비 논문 및 IF, 특허건수를 단계별로 산출하여 성과를 비교분석하였다.

학술회의 발표건수는 성과 분석에서 제외하였다. 그 이유는 BT분야의 학술대회에서 구두 혹은 포스터로 발표하는 경우 SCI급 학술지와 달리 'Peer Review'가 전혀 되지 않고 있고, 연구자들이 동일한 연구결과물로 국내외 학술대회에 중복으로 발표하는 경우가 있기 때문이다.

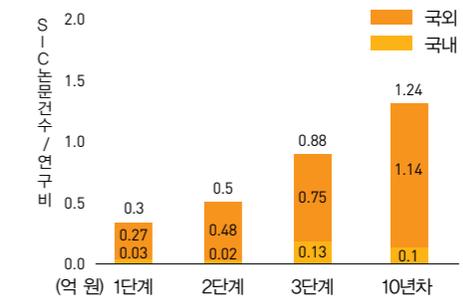
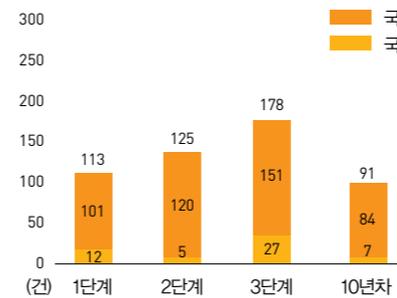
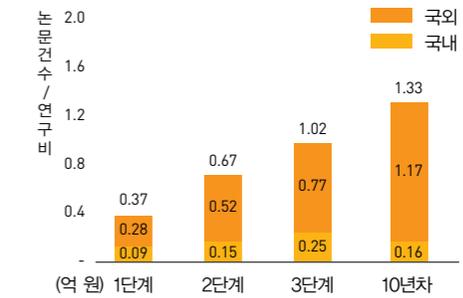
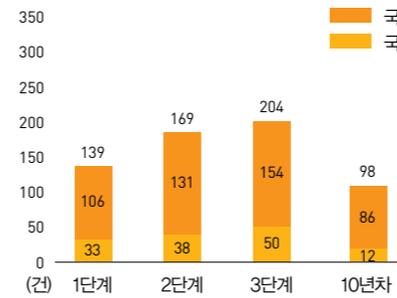
(1) 사업단 발표 논문의 양적, 질적 분석

● SCI급 학술지 게재 건수 및 연구효율성 분석 (평가 지표 1)

10년간의 사업기간동안 국내외 논문 총 610편이 발표되었다(표 1). 1단계 139건, 2단계 169건, 3단계 204건의 논문이 산출되어 단계가 진행될수록 20%이상씩 증가하고 있는 것으로 나타났다. 10년차 포함 3단계 4년 동안에는 302편의 논문이 발표되어 1단계 대비 2배 이상으로 증가하였다(그림 1). 총 발표 논문 610건중 SCI급 학술지에 게재된 논문건수는 507건으로 83%에 상당한데(표 1), 이는 인간유전체 기능분석 분야가 국제적인 수준에 근접하고 있음을 암시한다. 1단계 113건, 2단계 125건, 3단계 269건의 SCI급 논문이 발표되어 SCI급 수준의 논문건수도 단계별로 뚜렷하게 증가하는 양상을 나타내었다(그림 3). 특히 10년차를 포함하는 3단계에서 SCI급 논문건수가 1, 2단계 대비 2배 이상으로 증가되었다. 투입연구비 대비 논문 건수는 연구비가 얼마나 효율적으로 사용되었는지를 알아볼 수 있는 하나의 지표가 될 수 있다. 연구비 1억 원당 1단계 0.37건(SCI급 논문 0.3건), 2단계 0.67건(SCI급 논문 0.5건), 3단계 1.01건(SCI급 논문 0.89건), 10년차 1.33건(SCI급 논문1.24건)의 논문이 발표되어 연구생산성이 꾸준히 향상되고 있음을 알 수 있다(표 1, 그림 2, 그림 4). 3단계에서는 SCI급 논문 1편을 발표하는데 연구비 약 1억 원 정도가 사용된 것으로 보아 연구가 매우 효과적으로 진행된 것으로 보인다. 결론적으로 단계별 논문 발표건수, 연구비 1억 원당 논문발표건수 분석 결과들은 첫째 1단계에서는 인간유전체분석기술을 국내에 정착시키기 위해 기반구축에 집중적으로 투자되었다는 것을 반영하며, 둘째 1단계에 구축된 기반기술을 근거로 사업이 후반기에 진입함에 따라 양적, 질적으로 우수한 논문이 산출되었다는 것을 의미한다. 특히 10년차에 연구 효율성이 가장 높았다는 것은 BT분야에서 의미가 있는 연구 성과가 도출되기 위해서는 상당한 기간이 소요된다는 것을 뜻한다고 할 수 있다.

표1. 단계별 SCI급 논문 발표건수 및 연구비 1억 원당 논문건수

성과항목	단계 지표	1단계		2단계		3단계		10년차		계	
		건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)
국내논문		33	0.09	38	0.15	50	0.25	12	0.16	133	0.15
국외 논문		106	0.28	131	0.52	154	0.77	86	1.17	477	0.53
총 논문		139	0.37	169	0.67	204	1.02	98	1.33	610	0.68
SCI국내논문		12	0.03	5	0.02	27	0.13	7	0.10	51	0.06
SCI국외논문		101	0.27	120	0.48	151	0.75	84	1.14	456	0.51
총 SCI 논문		113	0.3	125	0.50	178	0.88	91	1.24	507	0.56
투입연구비(억 원)		375		252		201		74		902	



(2)학술지 Impact factor 및 연구 효율성 분석 (평가 지표 2)

사업단 지원으로 발생한 논문들의 IF를 모두 합치면 1단계 506, 2단계 564, 3단계 751로 꾸준히 증가하였고(표 2, 그림 5) 10년차에는 총 IF가 457에 달하였는데, 이는 단계별 SCI급 논문 발표건수와 비례하였다. 논문 한 건당 평균 IF는 1단계 4.5, 2단계 4.5, 3단계 4.2, 10년차 5.0이고, 전체 사업단 논문 1건당 평균 IF는 4.5로서 본 사업단은 질적으로 우수한 논문을 양산하였다(표 2, 그림 6). 투입 연구비 1억 원당 IF는 1단계 1.4, 2단계 2.2, 3단계 3.7, 10년차 6.2로서 연구 효율성이 3단계에 급격히 증가하였다. IF 10 이상의 난이도가 높은 학술지에 게재된 논문은 1단계에 6건, 2단계에 7건, 3단계에 17건 모두 30건이 발생하였는데 이 중 26건이 국내 연구기관(제 1저자와 책임저자의 소속이 모두 한국인 경우를 기준)에서 주도적으로 수행되었다. 또한 순수기초의 의미보다는 임상적 응용성이 있으면서 의약학적 활용성이 큰 논문들이 게재되는 Nature Medicine 학술지에 2편, Nature Biotechnology에 1편이 게재되었고 Hepatology 및 Gastroenterology 와 같은 위암·간암을 포함하는 위장관 분야 전문학술지에 14편이 게재되었다는 사실은 본 사업을 통하여 국제적인 경쟁력을 갖춘 위암, 간암의 진단 및 치료연구 분야의 원천기술이 확보되었음을 의미한다. 결론적으로 'SCI급 학술지 게재 건수 및 연구효율성 분석' 에서와 마찬가지로 논문 IF를 근거로 한 연구 효율성 분석 결과는 첫째 1단계에서는 인간유전체분석기술을 국내에 정착시키기 위해 기반구축에 집중적으로 투자되었다는 것을 반영하고 있으며, 둘째 1단계에 구축된 기반기술을 근거로 사업이 후반기에 진입함에 따라 양적, 질적으로 우수한 논문이 양산되었다는 것을 의미한다. 특히 10년차에 연구 효율성이 가장 높았다는 것은 BT분야에서의 질적으로 우수한 결과를 도출하는 데에는 장시간이 소요되고 있음을 암시해주고 있다.

표 2. 인간유전체 논문 1건당 평균 IF 및 투입 연구비 1억 원당 IF

	1단계	2단계	3단계	10년차	전체
SCI논문	113(6*)	125(7*)	178(8*)	91(9*)	507(30*)
IF합계	506	564	751	457	2278
IF평균/논문1건	4.5	4.5	4.2	5.0	4.5
투입연구비(억 원)	375	252	201	74	902
IF/1억 원	1.4	2.2	3.7	6.2	2.5

*IF10 이상의 학술지에 게재 혹은 게재 확정된 논문 건수

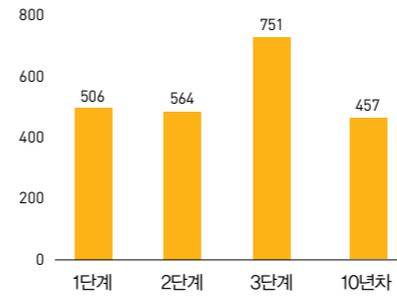


그림 5. SCI논문 전체 IF

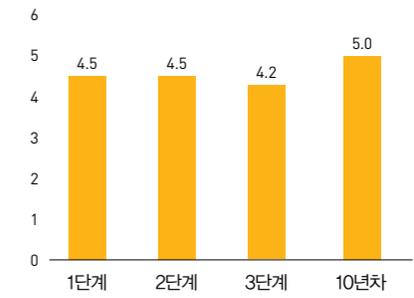


그림 6. 논문1건당 IF

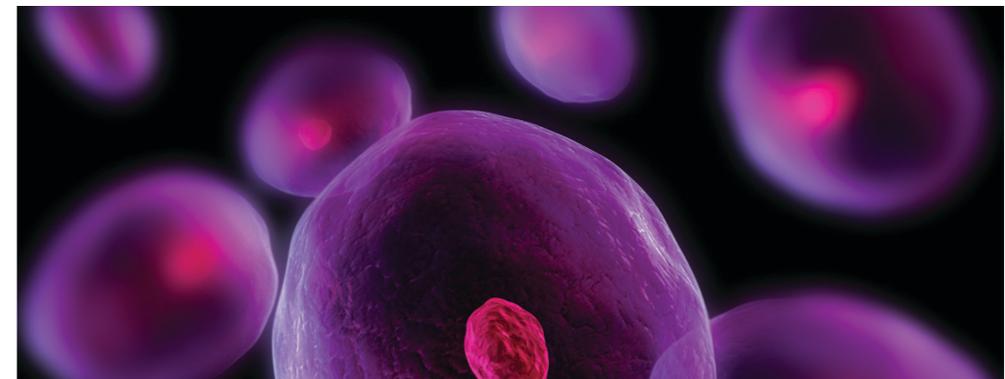


표 3. IF10 이상 논문 30건 리스트

단계	연구책임자 (연구기관)	논문명	저자			학술지명	'08 IF
			제1저자	교신저자	공동저자		
1단계 (6건)	김대곤 (전북대학교)	Activation of caspase-8 during N-(4-hydroxyphenyl)retinamide-induced apoptosis in Fas-defective hepatoma cells	유경란	김대곤	신명남, 박래길, 이성욱	Hepatology 2001	11.355
	안광석 (고려대학교)	The truncated cytoplasmic tail of HLA-G serves a quality-control function in post-ER compartments	박보연	안광석	이성욱, 김윤경	Immunity 2001	20.579
	이기호 (한국원자력연구원)	Loss of p16lnk4a with retention of p19Arf predisposes mice to tumorigenesis	Sharpless NE	DePinho RA	이기호 외 6인	Nature 2001	31.434
	백웅기 (연세대학교)	Proteomic analysis and molecular characterization of tissue ferritin light chain in hepatocellular carcinoma	박강식	백웅기	김호균, 김남균, 최상윤, 성제경	Hepatology 2002	11.355
	조윤제 (포항공과대학교)	Structural basis for the recognition of the E2F transactivation domain by the retinoblastoma tumor suppressor	이창욱	조윤제	장정호, 이현숙	Gene Dev 2002	13.623
	김대곤 (전북대학교)	Transcriptional regulation of the human transferrin gene by GADD153 in hepatoma cells	유경란	김대곤	Ming-Jie Liu, Xue-Ji Han, 이지원	Hepatology 2003	11.355
2단계 (7건)	김대곤 (전북대학교)	Over-expression of the ribosomal protein L36a gene is associated with cellular proliferation in hepatocellular carcinoma	김중현	김대곤	유경란, 김인희, 조백환, 김찬영	Hepatology 2004	11.355
	안광석 (고려대학교)	Human cytomegalovirus inhibits tapasin-dependent peptide loading and optimization of the MHC class I peptide cargo for immune evasion	박보연	안광석	김영근, 신진욱, 이선래, 조광민, KlausFruh, 이성욱	Immunity 2004	20.579
	임대식 (KAIST)	The tumour suppressor RASSF1A regulates mitosis by inhibiting the APC-Cdc20 complex	송민섭	임대식	송수정, 정진숙, 이주현, 홍현경, 최내윤, 김진국, 김호중, 김진우, 최의주, 이호, Nagi-G Ayad, Kirschner MW	Nat Cell Biol 2004	17.774
	김종원 (성균관대학교)	Novel interleukin 1β polymorphism increased the risk of gastric Cancer in a Korean pcpulation	이경아	김종원	기창석, 김해진, 손광민, 강원기, 이종철, 송성영, 손대성	Gastroen-terology 2004	12.591
	류왕식 (연세대학교)	Hepatitis B virus X protein is essential for the activation of Wnt/B.-Catenin signaling in hepatoma cells	차만영	류왕식	김창영, 박영민	Hepatology 2004	11.355
	최인표 (KRIBB)	VDUP1 is required for the development of natural killer cells	이기병	최인표, 유대열	송규상 외 12인	Immunity 2005	20.579
	이정용 (한양대학교)	Molecular changes from dysplastic nodule to hepatocellular carcinoma through gene expression profiling	남석우	이정용	박직영, 이석형, 박원상, 유남진	Hepatology 2005	11.355

3단계 (17건)	이주석(Texas 대학 MD Anderson Cancer Center)	A novel prognostic subtype of human hepatocellular carcinoma derived from hepatic progenitor cells	이주석	Thorgeirsson SS	허정훈 외 11인	Nat Med 2006	27.553
	정초록 (KRIBB)	Adenovirus-mediated transfer of siRNA against PTTG1 inhibits liver cancer cell growth in vitro and in vivo	정초록	임동수	유진상, 장예진, 김상수, 추인선, 염영일, 최종영	Hepatology 2006	11.355
	정초록 (KRIBB)	E2-EPF UCP targets pVHL for degradation and associates with tumor growth and metastasis	정초록	임동수	황경선, 유진상, 조원경, 김진만, 김우호	Nat Med 2006	27.553
	이한웅 (연세대학교)	Cdkn1a deletion improves stem cell function and lifespan of mice with dysfunctional telomeres without accelerating cancer formation	Choudhury AR	Rudolph KL	이한웅 외 16인	Nat Genet 2007	30.259
	유대열 (KRIBB)	Hepatitis B virus X protein induces hepatic steatosis via transcriptional activation of SREBP1 and PPARγ	김국환	정재훈	신해준, 김경진, 최한미, 이상훈, 문형배, 김형희, 양용석	Gastroenterology 2007	12.591
	김철희 (충남대학교)	RB loss abrogates cell cycle control and genome integrity to promote liver tumorigenesis	Mayhew CN	Knudsen ES	이주석 외 12인	Gastroenterology 2007	12.591
	정용근 (서울대학교)	AK2 activates a novel apoptotic pathway through formation of a complex with FADD and caspase-10	이호준	정용근	표종욱 외 11인	Nat Cell Biol 2007	17.774
	정구홍 (서울대학교)	Epigenetic changes induced by reactive oxygen species in hepatocellular carcinoma: methylation of the E-cadherin promoter	임승외	정구홍	구진모, 김민숙, 김현수, 박영년, 박철근, 조재원, 박민영	Gastroenterology 2008	12.591
	공영윤 (서울대학교)	Notch signaling promotes the generation of EphrinB1-positive intestinal epithelial cells	구본경, 임형수	공영윤	장희진 외 6인	Gastroenterology 2009	12.591
	이현숙 (서울대학교)	Cabin1 restrains p53 activity on chromatin	장현철	윤홍덕	최수연, 조은정	Nat Struct Mol Biol 2009	10.987
	김대곤 (전북대학교)	ANXA8 downregulation by EGF/FOXO4 signaling is involved in the cell scattering and tumor metastasis of cholangiocarcinoma	이미진	김대곤	유경란, 유희정, 김중현, 윤병, 최양규	Gastroenterology 2009	12.591
	권영근 (연세대학교)	IL-33 induces angiogenesis and vascular permeability through ST2/TRAF6-mediated endothelial NO production	최연숙	권영근	최현정, 김민정, 맹영선, 박홍렬, 김지혜, 김영명	Blood 2009	10.432
	염영일 (KRIBB)	Functional switching of TGFβ1 signaling in liver cancer via epigenetic modulation of a single CpG site in TTP promoter.	BH Sohn	염영일	박경찬 외 11인	Gastroenterology 2009	12.591
	오구택 (이화여자대학교)	Roles of arrest-defective protein 1225 and hypoxia-inducible factor-1α in tumor growth and metastasis	이미니	오구택, 김규원	이시내 외 14인	J. Natl Cancer Inst 2010	14.933
	임대식 (KAIST)	MST1 limits the kinase activity of Aurora B to promote stable kinetochore-microtubule attachment	오현정	임대식	김미주, 송수정, 김택훈, 이동준, 권승해, 최의주	Current Biology 2010	10.777
	원미선 (KRIBB)	Analysis of a genome-wide set of gene deletions in the fission yeast Schizosaccharomyces pombe	김동욱, 원미선, Nurse P, 유향숙	허광래	정경숙 외	Nature Biotech 2010	22.297
	임선희 (동아대학교)	Expression signature of E2F1 and its associated genes predicts superficial-to-invasive progression of bladder tumors	이주석, 임선희	추인선	이상엽, 박은성, 김상배, 김선규, 김용준, 김원재	J Clin Oncol 2010	17.157

(4)사업단 발표 논문의 피인용도 분석

2001년부터 2008년까지 전 세계 상위 10개국에서 발표한 BT분야 논문들의 한 편당 평균 피인용 횟수는 8년간(2001-2008) 65.8회였다(표 4, 2009년 교과부 생명공학백서 177쪽 참조). 동일한 기간 동안 한국에서 발표한 BT분야 논문 한 편당 8년간 평균 피인용 횟수는 45.2회였다(표 4, 그림 7). 인간유전체기능연구사업단에서 8년간 발표한 논문들의 논문 한 편당 8년간 평균 피인용 횟수는 159.9 회이었다. 이 결과는 한국의 전체적인 BT분야 논문 수준은 전 세계상위 10개국의 약 70%수준인 반면에 인간유전체사업관련 논문은 전 세계 수준보다 약 2.4배 정도 우세함을 보여주고 있다. 결론적으로 사업단 지원으로 발생한 논문들의 평균 IF 및 많은 피인용 횟수에 근거하여 위암·간암유전체 연구분야에서 세계적 수준에 근접한 원천기술이 본 사업을 통하여 확보된 것으로 판단된다.

표 4. 사업단 논문의 피인용도

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	계
BT분야 한국논문	10	10	8	7	5	3	1.9	0.3	45.2
BT분야 세계논문	15	14	12	10	7	5	2.4	0.4	65.8
사업단 논문*	47	26	21	26	16	13	7.6	3.3	159.9

* 사업단 논문의 피인용 횟수 검색을 위해 SCOPUS DB를 사용함
* 한국, 세계논문 상위 10개국 피인용도 출처 : 2009 생명공학백서 177쪽, 교육과학기술부

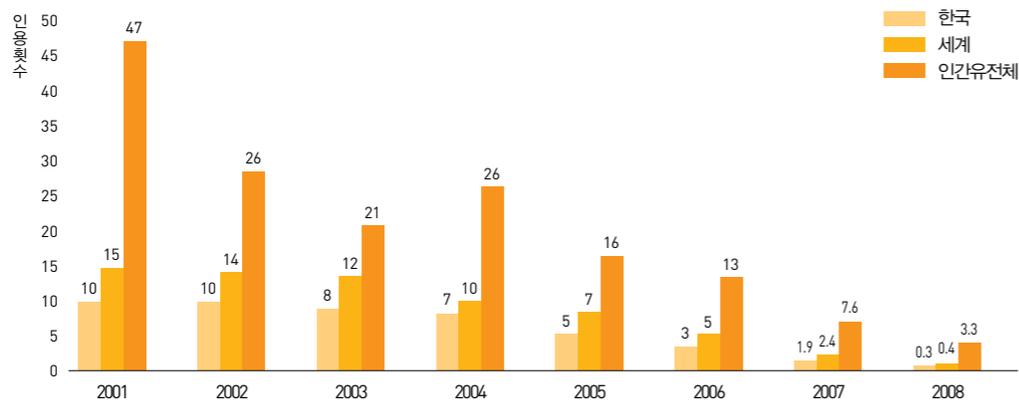


그림 7. 사업단 논문의 피인용 횟수

(5)사업단 특허 출원 및 등록 성과 분석 (평가 지표 3 및 4)

본 사업에서 발생한 국외특허출원은 1단계 14건, 2단계 28건, 3단계 43건, 10년차 18건 이었고, 국내의 특허등록은 1단계 22건, 2단계 33건, 3단계 68건, 10년차 22건으로 단계가 진행될수록 국내외 특허출원 및 등록건수가 증가하였다(표 5, 그림 8, 그림 9). 연구비 1억 원당 특허 출원건수는 1단계 0.15, 2단계 0.32, 3단계 0.74, 10년차 0.88건이었고, 연구비 1억 원당 특허등록건수는 1단계 0.06, 2단계 0.13, 3단계 0.34, 10년차 0.3으로 단계가 진행될수록 연구생산성이 증가하였다(표 5, 그림 10, 그림 11). 결론적으로 단계별 특허 출원 및 등록 건수 및 효율성 분석에서도 논문 건수 및 IF 분석에서와 동일하게 1단계에 구축된 기반기술을 근거로 사업이 후반기에 진입함에 따라 특허 출원 및 등록이 증가하고 있음을 보여주고 있다.

표 5. 사업단 특허건수 및 연구비 1억 원당 특허건수 (연구 효율성)

성과항목	단계 지표	1단계		2단계		3단계		10년차		계	
		건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)	건수	건수/ 연구비 (억 원)
국내 특허출원		43	0.11	54	0.21	106	0.53	47	0.64	250	0.28
국외 특허출원		14	0.04	28	0.11	43	0.21	18	0.24	103	0.11
총 특허출원		57	0.15	82	0.32	149	0.74	65	0.88	353	0.39
국내 특허등록		18	0.05	32	0.13	51	0.25	18	0.24	119	0.13
국외 특허등록		4	0.01	1	0.004	17	0.08	4	0.05	26	0.03
총 특허등록		22	0.06	33	0.13	68	0.34	22	0.3	145	0.16
연구비(억 원)		375		252		201		74		902	

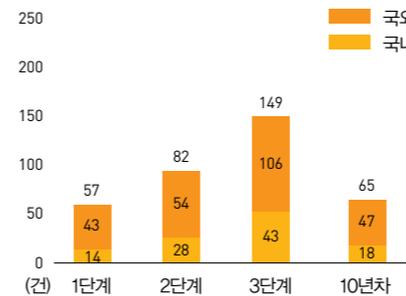


그림 8. 국내외 특허출원건수



그림 9. 국내외 특허등록건수

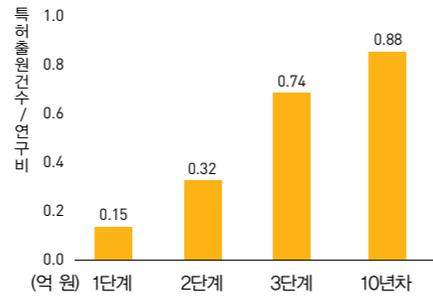


그림 10. 연구비 1억 원당 특허출원건수

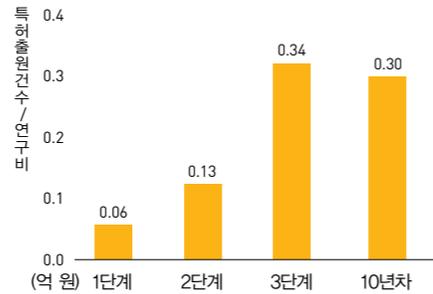


그림 11. 연구비 1억 원당 특허등록건수

(6) 연구 성과의 기술이전 건수 및 기술료 수입액 (평가 지표 5 및 6)

표 6. 기술이전 내역 및 건수

단계	연구책임자 (연구기관)	과제명	기술실시 계약명	기술료(백만원)			
				기 징수액	징수 예정액	합계	경상 기술료
2단계 (2건)	원미선(KRIBB)	모델세포 S. pombe의 systematic deletion mutant를 이용한 위암/간암 관련 유전자의 기능검증 및 약물 표적 발굴	유전자 적중 분열효모를 이용한 초고속 하이컨텐트 신약 표적 스크리닝	126.6	506.4	633	1.2%
	이태규 (㈜크리스탈 지노믹스)	위암 및 간암 치료제 선도물질 발굴	Aurora Kinase를 표적으로 하는 위암, 간암 치료제 개발	31.5	283.5	315	2%
3단계 (8건)	유재훈(KIST)	Chemical genomics을 이용한 유전체 기능연구	페닐익산 이합체 및 그의 약학적 허용성, 그 제조방법 및 치매치료를 위한 그의 용도	35	75	110	3%
	김우호 (서울대학교)	위암·간암 표적단백의 초고속 검증 및 표준화 조직배열 칩의 상업화	위암, 간암 표준화조직배열 칩	48	-	48	2.5%
	이희규(KRIBB)	단백질 바이오마커를 이용한 위암 진단기술 개발	위암의 단백질 바이오마커를 이용한 진단기술 개발	100	500	600	5%
	고상석(KRIBB)	신규표적을 활용한 암 치료용 완전인간항체 개발	피에이유에프(PAUF) 특이적인 인간 단일클론항체	40	960	1,000	없음
	고상석(KRIBB)	위암·간암 타겟 유전자에 대한 치료용 완전간항체 개발	췌장암과 관련된 LBFL313 유전자	100	900	1,000	없음
	송은영(KRIBB)	간암관련 단백질 바이오마커 분석시스템 개발	간암 관련 단백질 바이오마커 및 측정용 Kit	10	90	100	2.5%
	김대곤 (전북대학교)	간암 조기 진단 및 예후 관련 신규 단백질 바이오마커 발굴과 임상적 검증	간암진단용 마커와 이를 이용한 간암진단 키트에 관한기술	20	80	100	2.5%
	윤승규 (가톨릭대학교)	간암 특이발현 유전자들을 이용한 새로운 진단 바이오마커의 개발과 임상적 유효성 검증을 통한 조기진단 실용화 기술 개발	간암 관련 단백질 바이오마커	10	90	100	2.5%
합 계				521.1	3,484.9	4,006	

본 사업에서 발생한 연구 성과의 산업체로의 기술이전은 총 10건이 발생하여 40.06억 원의 기술 이 전료가 발생하였는데 1건당 평균 4억 원이다(표 6). 기술이전은 2단계에 2건, 3단계에 8건이 발생하였는데 이는 사업이 진행될수록 기술의 성숙도가 높아짐에 기인하는 것으로 보인다. 기술이전 10건 중 ‘암의 조직배열 칩 제작기술’ 및 ‘분열효모 변이체 활용기술’ 2건은 상용화되어 매출액이 발생하

고 있다. 이들 모두 전임상, 임상 시험을 거쳐 인간에게 적용되는 제품기술이 아니고, 암의 진단 및 치료용 표지자를 초고속으로 찾고 검증하는 기술과 유전자 기능분석 혹은 약물 작용점 연구에 활용이 가능한 효모 변이체들로서 R&D에 필요한 연구용 소재들이다. 이는 R&D용 소재 영역관련 기술들은 단시간에 상업화가 가능하다는 것을 보여주는 사례이다. 또한 인간에게 적용되는 진단제 혹은 치료제는 유효성 및 안전성이 요구되기 때문에 상업화에 장기간이 소요된다는 것을 의미한다. 사람에게 적용되는 향후 사업화가 가능한 연구 성과들은 표 7에 정리하였다. 이들 중 '종양마커로서 단백질 양과 질, 당질변화 차이 측정기술'은 (주)케미존과 기술이전 협의가 구체적으로 진행 중이다. 또한 해외전임상이 성공적으로 종료된 '위암, 대장암 치료제 JAC-106' 역시 해외기술이전이 추진 중이다.

표 7. 향후 예상되는 사업화 내역

이전 기술명	국내매출(백만원)		수출(백만원)		기술 기여도 (%)	실현 확률 (%)	매출 발생 시기
	향후 예상 년 매출액	산출 근거*	향후 예상 년 매출액	산출 근거			
간암조기진단키트	1,000	현재 간암 진단 시장 (200억)의 5%	-	-	30	80	사업 종료후
간암관련 단백질 바이오마커 분석법 및 측정용 KIT	300	국내 예상 매출액 31억의 10%('02 MELIS 시장 조사 보고서)	1,000	전체 예상시장의 0.5% (Worldwide Marker for invitro cancer diagnostics)	70	70	"
종양마커로서 단백질 양과 질, 당질변화 차이 측정기술	300	기존마커의 대체 (정밀도 증가)	1,000	기존마커의 대체 (정밀도 증가)	100	80	"
간암재발 진단 마커 및 진단 KIT	4,000	환자 2만명 중 20%, 1인당 1백만 원	36,000	환자 60만명 중 20%, 1200억의 30%	100	70	"
고형암 치료제	15,000	2008년 항암제 시장의 5%	50,000	기술수출 예상치	80	70	"
항암 PAUF 항체	40,000	환자 2천명, 1인당 연간 치료액 2천만 원	1조원	환자 5만명, 1인당 연간 치료액 2천만원	100	20	"
E2-EPF UCP 표적 암 치료제	40,000	환자 2천명, 1인당 연간 치료액 2천만 원	1조원	환자 5만명, 1인당 연간 치료액 2천만원	100	10	"

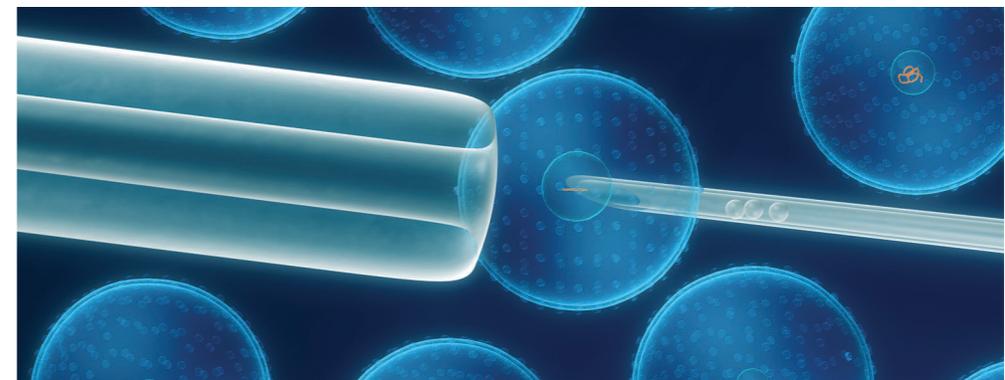
인체에 적용하는 제품은 제품의 유효성, 안전성을 검증하는 단계(전임상, 임상)를 거쳐야하며 이에 장기간이 소요됨은 주지의 사실이다. 2단계에서 보다 3단계에서 기술이전 건수 및 규모가 증가하였다는 사실에 근거하여 향후 후속연구를 통하여 많은 임상적으로 활용될 수 있는 사업단 연구 성과(진단제 및 치료제)들이 산업화될 것으로 전망된다.

(7) 지역별 학위별 인력양성 배출실적 (평가 지표 7)

지난 10년간 석사 488명 박사 239명이 양성되는 데에 본 사업이 직접적으로 기여하였다. 이는 향후 개인의 유전체적 특성에 근거한 맞춤 치료시대에 대비하여 본 사업이 유전체 연구인력 양성에 결정적으로 기여하였다는 것을 의미한다. 3단계 기준으로 석·박사 연구 인력 양성은 서울, 대전, 강원도, 경상남도, 경상북도, 전라북도, 전라남도 순으로 일어났는데 주로 서울, 대전에 집중되어 있는 것으로 나타났다(1, 2단계에서는 지역별 학위별 참여연구인원이 파악이 되지 않았음). 이는 본 사업단 유치기관의 소재지가 대전이고 우리나라 전체인구의 50% 이상이 서울지역에서 거주하기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 본 사업을 통하여 전국에 걸쳐 유전체관련 석·박사 연구 인력이 양성된 것은 고무적인 것으로 볼 수 있다. 지난 10년간 5715명의 연구 인력이 본 사업에 참여하였는데 이중 박사급이 1914명, 석사급이 1769명으로 전체 참여 연구인력의 33% 및 31%를 차지하였다(석·박사급인력이 전체 64%). 이는 본 연구 사업의 연구 성과가 질적인 측면에서 우수하다는 것을 간접적으로 반영하고 있다.

연도별 학위별 석·박사 인력 배출 실적

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	합계
석사	16	20	35	29	29	74	100	99	86	488
박사	5	3	4	8	17	35	53	56	58	239
합계	21	23	39	37	46	109	153	155	144	727



(8) 대표적 연구 성과

분야	주관기관	연구책임자	대표성과명
유전체 기반 암 진단기술	가톨릭대학교	정연준	간암 예후 예측용 Whole-genome DNA array-CGH
	한국원자력의학원	이기호	간암 환자의 예후를 알려주는 유전자 칩 개발
	한국생명공학연구원	송은영	간암 관련 복합바이오마커를 이용한 간암진단 기술 개발
	(주)바이오인프라	박필제	여러 개의 단백질 마커를 이용한 간암 진단 기술 개발
	한국생명공학연구원	고정현	당단백질의 양 및 질(당질변화)에 근거한 고감도의 종양 마커 개발
	전북대학교	김대곤	간세포암의 혈청학적 마커 '시스타틴B'
	한국생명공학연구원	김용성	후성 유전체 탐색기술을 이용한 위암 관련 신규 유전자의 동정 및 이를 이용한 위암 진단 기술
	한국생명공학연구원	이희구	단백질 바이오마커를 이용한 위암 진단 기술
	서울대학교	김우호	암 조직배열 칩(tissue array chip) 제작기술의 실용화
	서울대학교	정용근	새로운 암 세포 죽음 조절 유전자 AK2 발견
유전체 기반맞춤 치료기술	한국생명공학연구원	임동수	암 세포 증식·전이 조절 유전자 E2-EPF UCP 발견
	KAIST	임대식	암 억제 유전자(RASSF1A)의 기능 및 세포분열 기전 규명
	이화여자대학교	오구택	mARIDIA ²²⁵ 유전자의 암 성장 및 전이 억제 역할 규명
	한국생명공학연구원	고상석	부작용이 적은 새로운 헤징암 치료용 항체 개발
	한국생명공학연구원	정초록	새로운 암 유발인자를 표적으로 하는 간암치료기술 개발
	(주)제일약품	김명화	위암 및 대장암 치료제 JAC-106F의 개발
	한국생명공학연구원	김남순	21세기 프론티어 인간유전자은행 개설
인간 유전체 기반기술	충남대학교	김철희	제브라피쉬를 이용한 암 관련 유전자의 초고속 기능분석
	동아대학교	임선희	핵산 바이오마커를 이용한 DNA typing 과 질병 진단 기술 개발

4. 기타연구성과

가. 고급인력양성

- 인간유전체기능연구사업단에 참여한 연구자 가운데 창의연구사업 선정된 연구책임자가 5명이고, National Research Laboratory(NRL)에는 10명이 선정되어 본 사업이 생명과학분야 고급 인력 양성에 기여하였다.

구분	과제명	연구책임자 (소속)	과제수행 기간	창의/NRL 선정연도
1단계	cDNA array 를 이용한 위암 관련 유전자의 발굴과 발암기전 연구	이인철 (울산대)	'00.7.1-'03.6.30	NRL 2004.9
	조건적 동물형질전환기술 확립 및 신규유전자의 생체내 기능	이한웅 (연세대)	'01.2.1-'03.6.30	NRL 2003.6
	Structural genomics를 이용한 암관련 유전체의 분자 기능 연구	조윤제 (포항공대)	'01.2.1-'03.6.30	창의사업 2004.7
	H.pylori단백질의 Structural genomics연구	서세원 (서울대)	'00.7.1-'03.6.30	NRL 2003.7
	위암 및 간암의 형질전환 모델동물 개발 및 기능 분석	배석철 (충북대)	'00.7.1-'03.6.30	창의사업 2003
2단계	siRNA 및 생쥐모델을 이용한 후부유전자 기능 검증	임대식 (KAIST)	'03.8.1-'06.3.31	NRL 2005.4
	간암 후부유전자의 혈관 신생 기능 규명 및 치료용 타겟 검증	김규원 (서울대)	'03.8.1-'05.3.31	NRL 2003.9 창의사업 2004.6
	위암/간암 타겟 단백질에 대한 신약 선도물질 개발	서세원 (서울대)	'03.8.1-'06.3.31	NRL2005.7
	위암 및 간암 후부유전자의 세포성 면역 회피 조절 기능 연구	안광석 (서울대)	'03.8.1-'06.3.31	창의사업2006.6
	전사인자형 종양억제유전자 네트워크 분석을 통한 암생성 연구	이현숙 (서울대)	'06.9.1-'10.3.31	NRL2008.6
3단계	마우스 모델을 이용한 위암·간암등의 혁신 신약 타겟 유전자의 분자기전 규명	오구택 (이화여대)	'06.9.1-'10.3.31	NRL2007.6
	위·간암 치료용 타겟유전자 Aurora kinases와 암 억제 유전자 RASSF1A의 상호 작용 기전 규명	임대식 (KAIST)	'06.9.1-'10.3.31	NRL 2006.4 창의사업 2010.4
	종양억제인자 네트워크 조절에 의한 암생성과 전이 조절 연구	권영근 (연세대)	'06.9.1-'10.3.31	NRL2007.7

나. 국제협력

- 국제 협력 연구 활성화 : 미국, 일본, 영국 등과 유전자 및 유전정보교환 등의 기술 교류를 통하여 유전체 분석기술의 선진화를 도모하였고, 세계적인 MD Anderson 암 연구센터(미국 텍사스 대)와 간암관련 협력 연구를 수행하였다.

(1) 해외 공동연구 현황

단계	분야/연구자	협력기관	주요내용
1단계	간암 특이발현 유전자Glypian-3의 기능연구	● 기관명 : 존스홉킨스 대학교(미국)-연구 책임자 : 신현승	· Glypian-3 대한 항체 제작 · Glypian-3의 발현 연구 · Humanized antibody 제작
	생물정보학 분야 (Bioinformatic)	● 미국립보건원 NCBI/ David Lipman ● 일본 유전학연구소 (DDBJ)	생물정보학 관련 핵심프로그램 제공 및 연구원의 중장기 연수-훈련 지원
	유전자소재 분야	● 미국립보건원 NHGRI의 MGC /Mike Brownstein	Mammalian Gene Collection Project와 본 사업단에서 발굴한 Full-length cDNA와의 상호교환을 통한 암 관련 유전자들의 기능연구에 대한 공동연구 추진
	유전자발현 분석 분야 (DNA chip 기술)	● 미국 워싱턴대학/ Barry Brownstein, NHGRI의 Mike rownstein	cDNA chip 관련 기술 및 해석 프로그램 개발에 관해 협력 약속
	프로테오믹스 분야 (DNA chip 기술)	● 호주 Macquarie 대학 프로테오믹스팀	전 세계에서 가장 앞선 기술력을 상호 교류
	RIKEN/Wada박사	세계 최대규모인 20대의 900MHz의 NMR 연구시스템에 국내 연구진 연수교육	
	유전체구조해석	RIKEN-GSC/ Sakaki 교수	유전체분석기술 및 해석 프로그램 활용기술 지원
	특허 유전자 제조기술	일본 동경의대/ Sugano 박사	유전자 제조기술관련 특허 이전에 관해 합의
	간암환자의 간조직에 대한 프로테오믹스를 통한 진단용 단백질의 발굴	- 기관명 : APAF (호Austrialian Proteome Analysis Facility) (호주) 연구책임자 : Dr. Brad Walsh	2DE상에서 분리 불가능한 단백질을 분석하는 기법을 연구 : Samole preparation기술, Buffer조성, 2DE분석기술, MALDI-MS 조건 등 - 이를 통해 핵심기술개발의 기회부여, 인력양성, 개발실적의 세계적인 마케팅 및 선진기술 획득

1단계	한국,미국,브라질간 공동 암 심포지엄을 개최	Robert Strausburg (미국 NIH/NHGRI /Cancer Genome Office, NHGRI/NIH)	2002년 11월 공동연구추진을 위한 심포지엄 개최와 향후 지속적인 협력체제 구축
	효모(S.pombe 등) 유전체를 이용한 위암·간암 유전자의 기능연구	Paul Nurse(영국 Imperial Cancer Research Fund/2001 노벨 의학상 수상자)	분열효모 유전자의 Deletion Mutant를 이용한 암 관련 유전자의 기능분석에 관한 공동연구 및 인력교류
2단계	GEMS 기술을 이용한 신규 위암·간암 치료제 발굴	- 기관명: PTC Therapeutics(미국) - 대표이사 : Stuart W. Peltz	사업단에서 발굴한 유전자를 GEMS 기술을 이용하여 우선순위 정한 후, 우선순위 유전자를 대상으로 HTS를 실시하고, HTS 결과를 토대로 신약개발후보물질이 될 수 있도록 화합물 구조를 최적화
	당단백질과 당지질발단 당쇄변화에 기초한 간암 바이오마커의 발굴을 통한 임상적용연구	프랑스 워싱턴대학	국제공동연구구축 및 프랑스 박사과정 학생의 연구실 래방 및 연구예정 (10.1~12.23) 당쇄병리생리학과와 국제공동연구 구축; 연구책임자 연구실 래방 및 공동연구 (10.6~12)
3단계	*비교기능유전체학을 이용한 간암 관련 후보유전자 발굴	기관명: 미국 텍사스 대 MD Anderson Cancer Center. 연구 책임자:이주석	제브라피쉬를 이용한 위암/간암 관련 유전자의 초고속 기능분석 (in vivo genome-wide functional screening)
	JAC-106 이용 고품암 치료제 개발연구	(주)한국 바이오네트워크 대표이사 : 정재준	해외 CRO 및 consultant와의 기술 수출을 위한 협력관계 구축

(2) 글로벌 제약회사인 화이자(Pfizer)와 협력연구

암 치료 혁신 신약을 조기에 개발하기 위하여 신약개발경험과 관련 'know-how'가 풍부한 세계 1위 제약기업인 화이자와 협력 연구를 추진한 바 있다.

과제명	유전체수준의 연구기법을 통해 발굴된 새로운 간암 관련 유전자를 이용한 간암치료제 개발 (Validation of liver cancer targets identified by a genome-wide functional screening and development of an anticancer drug screening system)			
연구기관/국가	Pfizer/미국	연구책임자	영역일	
연구기간	2007.7.1~2008.6.30	연구비 (US : \$)	1차	-
			2차	273,350
참여기업	-		3차	-
			4차	-
협력내용	프론티어사업에서 발굴된 간암 치료 후보유전자에 대한 저분자신약 타겟으로써의 가능성 조사			
연구성과	1종의 유전자에 대해 간암 치료용 저분자신약 타겟으로써의 가능성을 확인			

다. 연구시설 구축

- 인간유전체기능 분석 기반구축을 위해 독자적으로 개발한 DB 및 분석도구는 아래 표에 제시되어 있으며 21세기 유전자은행 및 세포수준에서 유전자의 세포내 표현형을 고속으로 분석할 수 있는 cell-based assay 체계를 구축하였다.

(1)유전체기능 분석용 DB 및 분석도구

순번	내용	URL	활용여부
1	EST cluster database and querying system	http://kugi.kribb.re.kr	사용 중
2	A server for the normalization of microarray data sets	http://chips.kribb.re.kr	사용 중
3	Utilities for cross-referencing sequence database accessions	http://bfx.kribb.re.kr	사용 중
4	ELSI Korea	http://elsi.kaist.ac.kr	사용 중
5	EST database and browsing system	http://mendel.kribb.re.kr (intranet only)	
6	Databases of epidemiological, clinical, pathological information	http://bfx.kribb.re.kr/ dma.html	
7	Databases of microarray experiments	http://bfx.kribb.re.kr/ dma.html	
8	Genome browsers of human and mouse clones	http://venus.kribb.re.kr	
9	A secure server for information exchange among project teams	https://mars.kribb.re.kr/ Frontier (password protected)	

(2)유전자 은행 및 연구시설

순번	시설명	구축내용	활용여부
1	21C 인간유전자 은행 (2003 개설)	<ul style="list-style-type: none"> ● 국내 연구진에 의해 독자적으로 인간유전자 3만8천종 발굴 ● 국제협력에 의해 미국 NCI 등으로부터 인간전장유전자 1만종 및 생쥐 등의 실험동물 유전자 7만종 확보 ● 인간유전자은행을 개설, 국내 연구자에게 공급함으로써 수입대체 효과 및 생명공학연구에 기여하고 있음 	사용 중
2	In Cell Analyzer 1000 (2005 구축)	자동화된 세포 이미지 분석 장비인 In Cell Analyzer 1000을 이용하여 유전자들의 표현형 분석 시스템을 구축하여, 위암·간암관련 후보 유전자의 세포내 기능 이해 및 생화학적 경로 추적에 활용하고 있음	사용 중

사업단 구축 DB 및 연구시설



http://kugi.kribb.re.kr



http://chips.kribb.re.kr



http://bfx.kribb.re.kr



http://elsi.kaist.ac.kr



In Cell Analyzer 1000



21C 인간유전자 은행

5.연구성과의 홍보(총 110건)

● 보도자료(27건)

암(癌)세포 증식·전이 조절 유전자 발견
-간암, 대장암, 유방암 등의 치료제 개발 길 열어

 보도자료 보도 시간 06. 7. 5(월) 08:00~09:00 보도처/담당자 과 명 권영신 (031) 438-0606 사무국 이경희 (031) 438-0607

암(癌)세포 증식·전이 조절 유전자 발견
-간암, 대장암, 유방암 등의 치료제 개발 길 열어 -

- 사람 세포에서 **아우비퀴린 유비퀴틴계**인 Ubiquitin carrier protein이 암 증식 및 전이를 촉진한다는 것을 최초로 규명하고, 이를 생리 중앙 모델에서 입증하는데 성공
- 향후 이 단백질을 타겟으로 분자 표적 암 치료제를 개발할 수 있을 것으로 기대
- 2008년 7월 5일자 '네이처 메디신(Nature Medicine)' 인터넷판에 논문 게재

□ 과학기술부가 21세기 프론티어연구개발사업으로 지원하는 인간유전체기능연구사업단에 참여하고 있는 한국생명공학연구원 임동수 박사 연구팀이 '아우비퀴린 유비퀴틴계'에 '단백질(E3-Ubiquitin carrier protein, 이하 UCP)'이 암세포의 증식 및 전이를 촉진한다는 것을 처음으로 규명하고 이를 생리 중앙 모델에서 입증하는데 성공하였다.

□ 연구팀은 면역항암기법과 생리 중앙 모델을 이용해 간암 발생과 관련된 UCP가 VHL 압 억제 단백질의 분해를 유도하여 암 초기 주변에 혈관을 만들어 암 세포 증식에 필수적인 산소와 영양분의 공급을 용이하게 함으로써 암이 형성 된다는 원리를

● 기획기사(70건)

대장암 원인 유전자 발견
- 매일경제 06.11.22



대장암 원인 유전자 발견

가톨릭의대 정연준 교수팀
국내 한 의과대학 연구진이 대장암 발생에 관여하는 원인 유전자를 발견했다.
가톨릭의대 이성필학교실 정연준 교수 연구팀은 21일 '대장암 지놈을 분석하는 염색체 전달범을 개발해 대장암 발생을 억제하는 유전자를 발견했다'면서 '암의 예후와 예측, 조기 진단을 할 수 있는 길을 열었다'고 밝혔다. 연구팀은 이 연구로 6개월 안에 개발할 수 있을 것"이라고 전망했다.
정연준 교수(사진)는 "현재는 암을 발견해 1기, 2기 등 발견 단계만 알 수 있으나 대장암 원인 유전자를 발견함에 따라 암이 어떻게 발견될 것인지 그리고 개발할 것인지에 대한 예측이 가능해졌다"면서 "암기적으로는 표적치료제 개발이 가속될 것"이라고 예상했다. 연구팀은 대장암 환자 59명의 암

조직에 대한 전체 지놈을 분석해 대장암 발생과 예측, 진단방문 등 40여 종의 염색체 변화와 53종의 유전자 발현을 비교해 대장암 염색체 변이 지도를 만들었다. 연구팀은 이 연구로 대장암 환자 59명 중 65%에서 캄타1(CAMTA1)이라는 유전자의 발현이 저하되어 있는 것을 확인한 것이다.
캄타1은 갑상선과 결합해 유기세포의 세밀한 분해를 도와주는 역할을 하는 것으로 알려진 유전자로 지금까지는 신경계 암에서 암억제 유전자로서의 가능성이 제시되었으나 대장암의 암 억제와 관련된 증거는 처음으로 밝혀졌다. **원경식** 기자

● 기고(10건)

[사이언스 에세이] 다시 노벨상을 생각한다.
- 09.10.18 한국일보



사이언스 에세이

이현숙
서울대 생명과학부 교수

올해 노벨상 수상자들이 발표되었다. 과학자로서 연구하는 분이나 아닌 사람, 연구고 있는 대학이나 연구소가 수상자로 선정되면 들뜨는 마음을 어쩔 수 없다. 그러나 우리 언론은 늘 '왜 우리는 못 받느냐'고 아파댄다. 노벨상 수상자도 스포츠 선수처럼 키를 수 있는 것으로 오해하는 듯해 유감이다.
올해 노벨 생리학·의학상은 진핵생물 염색체의 집단 텔로미어의 구조와 텔로미어 복제효소를 발견한 세 명의 과학자에게 돌아갔다. 화학상은 RNA에서 단백질 합성을 하는 데 필수적인 리보솜의 구조를 밝힌 세 명이 수상하게 됐다. 짧게 설명하기 힘든 두 연구 모두 생노벨상에 대한 근거는 없다. 연구성과가 발표된 지 20년이 넘는다. 그동안 많은 과학자들이 성과를 확인하고 발전시켰고 질병을 이해하는 데 크게 공헌했다는 것이 확실해지면서 노벨상 수상은 몇 년 전부터 예견되었다.
돈과 사람이 미국에 몰리면서 노벨상을 타는 횟수가 증가하였다. 하지만 우리가 미국에 무조건적인 존경을 표하는 것에 비하면 영국과 유럽 쪽의 수상자가 훨씬 많은 것이 주목할 필요가 있다. 왜 그렇까. 연구비 시스템, 연구 문화의 차이가 중요한 원인이다.

● 인터뷰(2건)

국제적 수준 '유전자 은행' 성과 임동수 사업단장 인터뷰
- 09.6.14 한겨레



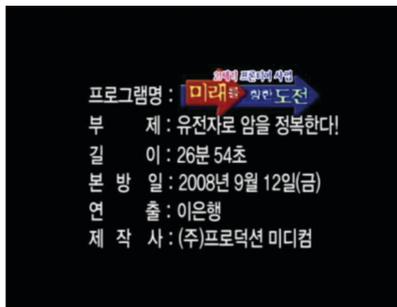
국제적 수준 '유전자 은행' 성과

임동수 인간유전체기능연구사업단장 인터뷰

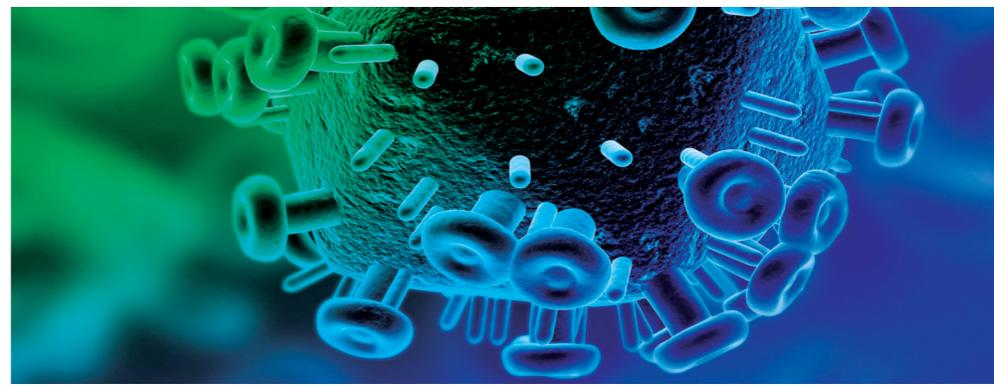
1990년 미국을 중심으로 시작된 인간유전체사업(Human Genome Project)은 지난 2006년에 완료됐다. 25종의 염색체를 구성하고 있는 약 30억개의 염기서열 순서와 약 3만개의 유전자의 염색체 위치를 알게 되, 마침내 "인간유전체지도"를 완성한 것이다. 이제 유전체(genome) 수준에서 유전자들의 기능을 밝힘으로써 생로병사의 근본적인 이해뿐 아니라 각종 난치성 질병의 진단 예방 치료도 가능해졌다.
우리나라는 이런 시대 흐름을 따라잡고자 1999년 21세기 프론티어연구개발사업 가운데 가장 먼저 인간유전체기능 연구사업단(이하 인간유전체사업단)을 출범시켰다. 인간유전체사업단은 미국 등 기존선진국 주도로 개발된 유전체 분석 기술을 국내에 조기 정착시키고, 선진국과 경쟁할 수 있는 수준의 질환의 진단 치료 기술을 개발하기 위해 위임과 간담을 표적 질환으로 선정했다. 지난 9월 임동수(57세) 인간유전체사업단장 취임으로 임박했다.
왜 위임과 간담에 주목했나?
"많은 다른 질병에 비해 인간유전체 변이와 밀접한 관련이 있다. 또 2003년 국내 전체 질병사망자 34만6000명 가운데 26%(9만4000명)가 암으로 사망했는데, 위임과 간담을 포함 다음으로 높은 비중이 큰 사망원인이었다. 수많은 미국과 같은 선진국에 환자가 많아 관련 연구가 많이 진행될 것"이라며 "한국형 질환이라 볼 수 있는 위임과 간담의 유전체 기능 연구에 집중하게 됐다."

● 방송(1건)

프론티어 연구개발 특집 '인류의 적, 암을 극복한다'
- 08.9.12 YTN



프로그램명: **미래와 희망 도전**
부제: **유전자로 암을 정복한다!**
길이: 26분 54초
본방일: 2008년 9월 12일(금)
출처: 이은행
제작사: (주)프로덕션 미디컴



04 남기고 싶은 이야기

1. 10년을 정리하며(회고/Q&A)

사업을 이끌면서 가장 보람을 느꼈 때는?

심리학자들에 따르면 출생 순간부터 부모의 기대를 한 몸에 받고 자란 첫째는 책임감이 강하고 리더가 될 자질이 많다고 한다. 동생에게 부모의 사랑을 빼앗긴 아픔을 겪었기 때문에 상대방의 반응에 민감하다. 또 온순하고 예의 바른 반면 소심하고 우유부단한 성격으로 발전하기도 한다. 이에 비해 둘째는 가족의 관심이 형에게 쏠릴 때 심리적인 소외감을 느낀다. 어려서부터 늘 형과 경쟁하는 둘째는 야망과 성취욕, 독립심이 강한 아이로 성장한다. 또 주변에 친구들이 많아 경쟁을 즐기고 문제의 양면을 보는 능력도 갖추게 된다. 16개의 교육과학기술부 프런티어 사업단중 제일 먼저 출범한 인간유전체기능사업단은 부모의 기대가 아주 큰 첫째아이와 같은 경우인 것처럼 생각된다. 전문연구자가 사업단장이 되어 연구사업을 책임지고 운영하는 체계는 세계적으로 유례가 없었기 때문에 따라 하기 보다는 항상 먼저 매를 맞는 심정으로 사업단을 운영하여야 할 경우가 많았던 것처럼 보인다. 1단계 3년 그리고 단계 평가, 2단계 3년 그리고 단계 평가, 3단계 4년 드디어 사업단 최종 평가, 이렇게 도합 10년을 무사히(?) 마무리할 수 있게 된 것을 만족스럽게 생각한다.

사업을 이끌면서 가장 어려웠던 점은?

한국의 생명과학은 정부의 지속적인 지원과 관심속에서 꾸준히 발전하고 있는 것처럼 보인다. 생명과학분야에서 발견된 지식 또는 원리가 실생활에 적용되는 데에는 10년 이상의 장기간이 필요하다. 연구 결과를 실용화하는 데에 시간이 오래 걸리고, 위험성은 높기는 하지만 성공하면 소위 대박이 나오는 분야이기도 하다. 생명과학의 특성상 사업단 연구 성과로부터 진정한 의미의 기술이전이 실용화되기 위해서는 10년의 연구 기간은 너무 짧은 것처럼 보인다. 이런 측면에서 사업출범당시 보다 현실적인 목표 설정을 할 수 없었던 것이 못내 아쉽다.



2. 에피소드

'생명이란 친해지기' 소책자 발간-동아대 임선희 교수



본 연구사업 세부과제 책임자인 동아대학교 임선희 교수가 '생명이란 친해지기'란 제목으로 소책자 2009년 8월 발간하였다. 초·중·고등학생 및 일반 시민을 대상으로 만들어진 이 책자는 한양대학교 신인철 교수의 그림 설명까지 더해져 다소 딱딱하고 어려울 수 있는 생명과학분야의 과거와 현재 정보들을 알기 쉽고 친근한 설명으로 서술하고 있다.

최근의 인간 유전체 연구는 질병의 예방과 치료, 신약 개발과 밀접하게 연관돼 있다. 특히 암에서 기존의 분자생물학을 기초로 암에 관련된 유전자 개개의 기능과 특징을 연구하는 유전자 중심 연구보다 암 발생 메커니즘의 복잡성을 연구하는 유전체 중심 연구가 각광받고 있다. 암 유전체 연구를 통해 새로운 진단법과 신약개발

이 가능할 것으로 보고 있다. 이는 암 조직에서 더 많이 또는 더 적게 만들어지는 전사체나 단백질을 확인해 암 진단 마커와 신약 타겟을 발굴할 수 있기 때문이다.

본 발간물을 통해 일반대중들에 대한 생명공학연구에 대한 이해증진과 이 분야에 관심있는 청소년들에게 아주 유익한 자료라고 확신한다.

'하늘위의 허준'-전북대 김대곤 교수(M.D)

본 사업 출범 2년차인 2001년 사업단에서는 유전체 연구의 국제공동연구 강화를 목적으로 11월 13~15일까지 미국 메릴랜드 락빌시 더블트리호텔 컨벤션홀에서 한국·미국·브라질 유전체연구 국제공동 심포지움을 개최하였다. 이에, 우리 사업단에서는 사업단장이하 각 분야별 연구책임자 및 사무국인력등 총 8명이 심포지움 참석차 출국을 하였다. 울산대학교 이인철 교수님과 전북대 김대곤 교수는 마침 같은 비행기를 타게 되어 긴 여정을 함께 하였는데, 이륙후 5시간 뒤 비행기 승객 중 응급환자가 생겼다. 즉각 스튜어디스는 승객 중 의사를 찾았고 도움을 달라는 기내 방송을 하였다. 김대곤 교수(M.D)가 나서서 응급환자의 진료를 도왔다. 김 교수의 도움이 있어 비행기가 회항하지 않고 무사히 예정대로 미국에 착륙하였으며 착륙 후 대기하고 있던 의료진이 응급환자를 이송하여 소중한 생명을 살렸다. 그때 당시 MBC드라마 '허준'이 한창 인기리에 중영된 직후여서 그 이름을 따 '하늘위의 허준'이라는 닉네임이 붙었다는 후문이다.

[부록]

1. 인간유전체기능연구사업단 세부과제 현황

가. 1단계 (2000. 7. 1 ~ 2003. 6. 31)

구분	과제명	연구기관(연구책임자)
위암·간암 유전자 및 단백질의 초고속 발굴	cDNA microarray를 이용한 간암 발암단계별 및 생물학적특성유전자 대량 발굴	전북대학교(김대곤)
	간암유전자 발굴 및 발현 양상 연구	KRIBB(염영일)
	RDA를 이용한 간암 특이 유전자의 대량, 고속 발굴	경북대학교(김문규)
	cDNA microarray를 이용한 위암 관련유전자 발굴과 발암기전 연구	울산대학교(이인철)
	SAGE방법을 이용한 위암·간암관련 유전자의 발굴	이화여자대학교(이동희)
	Helicobacter pylori의 유전체 분석	경상대학교(이광호)
	간암임상시료의 프로테오믹 분석에 의한 암관련 후보단백질 발굴	연세대학교(백용기)
	위암임상시료의 프로테오믹 분석에 의한 암 관련 후보단백질 발굴	경상대학교(이창원)
	당쇄구조 식별을 통한 위암 특이 단백질군의 발굴	KRIBB(고정현)
	단백질 칩을 이용한 위암원인군-숙주사이의 질병 특이 단백질군 발굴에 관한 연구	LG생명과학(서정근)
한국인 특이 SNP 발굴	위암·간암의 표적단백질 발굴을 위한 단백질칩 핵심기술 개발	KRIBB(박병철)
	한국인 특이 SNP 발굴	울산대학교(송규영)
	고속 SNP 분석	한국과학기술원(강창원)
	한국인 위암, 간암 관련 유전자 SNP 발굴	삼성서울병원(김종원)
	한국인 선천성·호발성 질환 관련 cSNP 발굴	서울대학교(서정선)
	SNP screening을 통한 만성 HBV 감염 특이 간암으로의 진행에 영향을 미치는 인체 유전적 소인에 대한 연구	서울대학교(이효석)
	자궁경부암 연관 HPV 유전체 및 SNP 분석	가톨릭대학교(박종섭)
	유전성 종양 원인 유전자에서 한국인 관련 cSNP 발굴 및 질환관련성 연구	서울대학교(박재갑)
	위암세포에 의한 면역회피(immune evasion)관련 기작연구	고려대학교(안광석)
	암세포의 증식 및 면역회피 기능을 근거로 한 위암·간암 관련유전자 발굴 및 분석	KRIBB(최인표)
위암·간암 관련 유전체 기능연구	암세포의 증식 및 면역회피 기능을 근거로 한 위암·간암 관련유전자 발굴 및 분석	서울대학교(이병재)
	바이러스성 간암관련 신규 유전자 발굴 및 기능 분석	KRIBB(임동수)
	위암 및 간암의 형질전환 모델동물 개발 및 기능 분석	KRIBB(유대열)
	Chemical genomics를 이용한 유전체 기능연구	한국과학기술연구원(유재훈)

구분	과제명	연구기관(연구책임자)
위암·간암 관련 유전체 기능연구	단백질간 상호작용을 이용한 위암 관련 유전자 발굴 및 기능연구	포항공과대학교(서판길)
	조건적 동물형질전환기술 확립 및 신규유전자의 생체내 기능	성균관대학교(이한웅)
	선충(C. elegans) 유전체를 이용한 위암·간암 유전자 기능연구	광주과학기술원(안주홍)
	모델세포 S. pombe의 systematic deletion mutant 제조에 의한 위암/간암 관련 유전자의 기능 분석	KRIBB(원미선)
	Structural genomics를 이용한 암관련 유전체의 분자 기능 연구	포항공과대학교(조윤제)
	H. pylori 단백질의 structural genomics 연구	서울대학교(서세원)
	홍분독성 후 유발되는 지연성 신경세포사멸 조절 유전자의 발굴 및 응용	인하대학교(이자경)
	게놈 안정성에 관여하는 항암유전자군의 대량발굴 및 기능연구를 통한 분자적 치료 목표물 발굴	고려대학교(임대식)
	혈관신생/암전이에 작용하는 신기능 단백질의 대량 탐색과 기능 연구	이화여자대학교(이공주)
	대규모 코호트 구축과 질병 관련 정보수집 및 추적관리를 위한 인간 유전체 역학 연구	한양대학교(최보울)
한국인 호발성 질환유전체 연구	만성알레르기성질환에서의 HRF 유전체와 단백질 연구 및 그 응용	이화여자대학교(이경림)
	스트레스에 대한 뇌신경계 조절 유전자의 대량 발굴 및 기능 유전체학적 연구	이화여자대학교(한명림)
	인간 유전체 연구의 ELSI 기반 구축 및 확산 프로젝트	한국과학기술원(윤정로)
	인간 유전정보와 정의의 물음	전북대학교(김상득)
	인간유전체기능연구와 활용에 관한 표상 연구	충남대학교(김교헌)
	유전자 기능확인을 위한 인위적 전사인자 제조법 개발 및 활용	(주)톨젠(김진수)
	유전자 기능의 신속한 분석을 위한 새로운 antisense knock-out system 개발	계명대학교(박종구)
	Th1 vs. Th2 면역반응 조절 유전자군의 탐색과 기능 연구	성균관대학교(이충은)
	Proteomics를 이용한 퇴행성신경계질환 관련 단백질의 대량발굴 및 기능의 분석: 파킨슨질환의 조기진단 및 치료제개발을 위한 molecular target의 발굴전략	연세대학교(오영준)
	백색광을 이용한 다기능 Protein Chip System 개발 및 응용	강원대학교(하권수)
Zebrafish mutant 구축을 통한 신경 질환 유전자의 대량 발굴 및 유전자 기능 분석	경북대학교(허태린)	
한국인 호발성 질환유전체 연구	폐암과 자궁암 관련 유전자군의 대량발굴과 이들 질환 유전자들의 기능 연구	가톨릭대학교(김인경)
	Drosophila를 이용한 인체 질환관련유전자의 기능과 발현조절기전 분석	부산대학교(유미애)



나. 2단계 (2003. 7. 1 ~ 2006. 3. 31)

구분	과제명	연구기관(연구책임자)
위암·간암 후보유전자의 임상적 검증을 통한 진단 기술 개발	간암관련 후보유전자 및 그 산물을 이용한 임상적 진단, 예후, 및 치료 지표 개발	전북대학교(김대곤)
	고집적 tissue array를 이용한 위암/간암 관련 유전자 발현의 임상적 검증	서울대학교(김우호)
	간암 후보유전자군의 임상적 검증을 통한 진단·예후 지표 및 환자 맞춤 치료법 개발	원자력의학원(이기호)
	위암관련 후보 유전자의 임상적 검증을 통한 진단·예후지표 및 활용기술 개발	인제대학교(김진복)
	위암 관련 SNP 및 유전자 발굴	한국과학기술원(강창원)
	유전역학 연구를 통한 간암 발생 및 위험 유전자 변이 발굴	서울대학교(이호석)
	간암 후보유전자의 혈관 신생 기능 규명 및 치료용 타겟 검증	서울대학교(김규원)
In vitro 및 in vivo 시스템을 이용한 기능 검증을 통해 치료용 타겟 도출	Epigenetic modification에 기인한 위암 발생 관련 후보 유전자의 세포내 기능 규명 및 치료용 타겟으로서의 타당성 검증	KRIBB(김용성)
	위암·간암 후보유전자로부터 세포사멸 조절 인자의 선발과 신규 죽음 도메인 규명	충남대학교(김은희)
	간암·위암 후보유전자의 세포성장 사멸기능 및 작용기전 연구	연세대학교(류양식)
	위암 및 간암 후보유전자의 세포성 면역회피 조절 기능 연구	서울대학교(안광석)
	암세포의 증식 및 면역기능을 근거로 한 위암관련 치료용 타겟 유전자 발굴	KRIBB(최인표)
	모델세포 S. pombe의 systematic deletion mutant를 이용한 위암·간암 관련 유전자의 기능검증 및 약물 표적 발굴	KRIBB(원미선)
	생쥐모델을 이용한 위암/간암 관련 유전자의 기능 분석 및 치료용 타겟 발굴	성균관대학교(이한웅)
	siRNA 및 생쥐 모델을 이용한 후보유전자 기능 검증	KAIST(임대식)
	위암·간암 관련 유전자의 knockout 생쥐모델 제작과 세포주기 및 성장에 대한 기능 분석	포항공대(공영운)
	Cell chip을 이용한 암유전체 기능 네트워크 고속분석 및 신약타겟 도출에의 응용	KRIBB(염영일)
위암·간암 치료제 개발	위암 및 간암 치료제 선도물질 발굴	크리스탈지노믹스(이태규)
	위암·간암 타겟 단백질에 대한 신약 선도물질 개발	서울대학교(서세원)
	위암·간암 타겟유전자에 대한 치료용 완전인간항체 개발	LGLS(고상석)
기능유전체 연구 기반기술 활용 시스템 개발 및 지원	간암관련 유전자들의 세포증식 및 사멸조절 기능분석을 통한 간암의 유전자 치료용 분자 표적 및 소재의 개발	KRIBB(임동수)
	인간 유전정보의 건전한 활용을 위한 ELSI 연구	KAIST(윤정로)
	시스페론융합에 의한 위암·간암 타겟단백질의 발현생산	연세대학교(성백린)
	기능유전체 연구 기반기술 활용 시스템 개발 및 지원	KRIBB(유항숙)

다. 3단계 (2006. 4. 1 ~ 2010. 3. 31)

구분	과제명	연구수행기관(연구책임자)
위암·간암 진단기술개발 및 실용화	위암·간암 표적단백의 초고속 검증 및 표준화 조직배열 칩의 상업화	서울대학교(김우호)
	위암의 핵산 바이오마커를 이용한 진단기술개발	KRIBB(김용성)
	간암 후보유전자군의 임상적 검증을 통한 진단/예후 지표 및 환자 맞춤 치료법 개발	한국원자력의학원(이기호)
	단백질 바이오마커를 이용한 위암 진단기술 개발	KRIBB(이희구)
	인간 점액유전자내에 존재하는 minisatellites polymorphisms에 의한 위암에 대한 감수성 확인 및 예측진단용 핵산 Biomarker 실용화	동아대학교(임선희)
	특이 당쇄에 근거한 간암 바이오마커의 발굴 및 검증 연구	KRIBB(고정현)
	SELDI-TOF 혈청 profile을 이용한 간암진단 키트 개발	(주)바이오인프라(박필제)
	Aurora kinases와 Plk1의 표적/결합 단백질 발굴과 기능연구를 통한 위암 및 간암세포의 분열 제어 기술 연구	성균관대학교(이창우)
	ZFP91의 발암유전자로서의 기능연구 및 항암제개발의 표적타당성 검증	KRIBB(이정준)
	간암의 표적화 치료제 개발을 위한 분자표적 개발 및 응용	KRIBB(염영일)
위암·간암 등의 혁신 신약 타겟 기능연구	Hepatitis virus 유전자형질전환마우스를 이용한 간암 타겟 발굴 및 임상적 유의성 검증	KRIBB(유대열)
	간암 신규 신약타겟 후보유전자의 기능, 분자기전 및 제어 연구	서울대학교(정용근)
	마우스 모델을 이용한 위암·간암 등의 세포사멸관련 혁신 신약 타겟 유전자의 분자기전 규명	연세대학교(이한웅)
	신규 세포죽음 조절 유전자의 발현 및 기능을 저해하는 항암신약 개발 연구	단국대학교(신득용)
	면역억제전사인자 Foxp3 활성화여를 통한 간암과 위암 치료제개발	광주과학기술원(임신혁)
	위암의 전이를 촉진시키는 RhoGDI2의 기능 연구	경상대학교(유지운)
	전사인자형 종양억제유전자 네트워크 분석을 통한 암생성 연구	서울대학교(이현숙)
	Targeted cancer therapy에 있어서 VRK3의 생체 내 역할 규명 및 암세포에서의 기능 규명	포항공과대학교(김경태)
	신규 단백질 Romo1 (Reactive Oxygen Species Modulator)의 발암관련 기능 규명을 통한 신약 타겟 시스템 개발	고려대학교(유영도)
	NIK 신호 전달 조절을 통한 HBV 유래 간암 방지 및 치료제 개발	서울대학교(정구홍)
기능유전체 연구 기반기술 활용 시스템 개발 및 지원	세포사멸 조절 단백질기능을 이용한 종양세포 타겟발굴 및 항암제 내성극복 기술 개발	충남대학교(허강민)
	신규 암/정소 항원 CAGE 유전자의 기능 규명 및 항암백신 개발	강원대학교(정두일)



구분	과제명	연구수행기관(연구책임자)
위암·간암 등의 분자 표적 치료 후보물질 개발	전임상 후보물질 JAC-106을 이용한 위암 등 고형암치료제의 개발연구	(주)제일약품(김명화)
	항암물질의 대량 생산 공정 개발과 제형화 및 작용기전 연구	(주)서울제약(류병환)
	Xylocyline과 그 유도체들의 간암에 대한 항암 활성 탐색 및 전임상 최적화 연구	서울대학교(이승기)
	IMG-EK 단백질질을 이용한 위암·간암 치료제 개발	(주)이매진(한정민)
	위암 및 간암세포 감작을 위한 PKCK2 억제제 개발	연세대학교(김건홍)
	새로운 암 유발인자를 표적으로하는 간암치료기술개발	KRIBB(정초록)
	신규표적을 활용한 암 치료용 완전인간항체 개발	KRIBB(고상석)
유전체 기능 초고속 분석	제브라피쉬를 이용한 위암·간암 관련 유전자의 초고속 기능분석	충남대학교(김철희)
	인간유전체연구에 대한 사회적 신뢰 구축 연구	KAIST(윤정로)

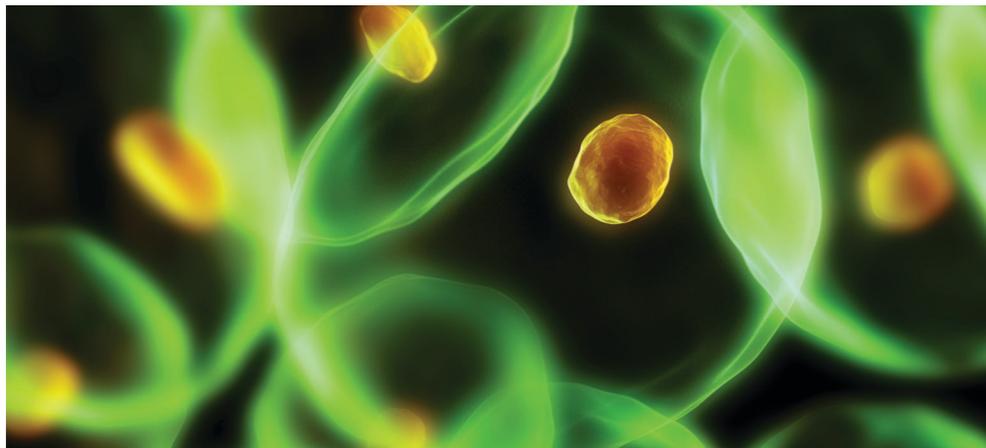


2. 국내외 수상 현황

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
유향숙	KRIBB	Citation Classic Awards	-	2000-11
유향숙	KRIBB	KRIBB 기관우수상 우수논문 최다발표	KRIBB	2000-5
유향숙	KRIBB	이달의 과학자상	과학기술부	2002-2
오구택	KRIBB	우수연구원 포상	KRIBB	2001
김우호	서울대학교	보령암학술상	보령제약, 한국암연구재단	2002-03-12
임대식	KAIST	과학기술인상	대전광역시	2004-08-27
임대식	KAIST	학술상	KAIST	2005-02-16
임동수	KRIBB	2006년 KRIBB 대상	한국생명공학연구원	2007-02-01
김경태	포항공과대학교	경북과학기술대상 연구개발상	경상북도	2007-04-17
오구택	이화여자대학교	기초과학연구사업 우수평가자	한국연구재단	2008
유대열	KRIBB	Merck & KRIBB 우수상	KRIBB	2008-02-01
김시영	서울대학교	Outstanding Poster Award	3rd Symposium International Nutrition, Oxygene Biology and Medicine	2009-04-10
김용성	KRIBB	UST우수강의상	UST	2009-06-23
박경아	충남대학교	우수포스터상	세포생물학회	2009-08-21
이한웅	연세대학교	박병규 김병수 암연구상	연세대학교 암연구소	2009-09-11
김용성	KRIBB	2009년대표우수연구성과	한국연구재단	2009-09-22
김우호	서울대학교	교육과학기술부장관 표창	교육과학기술부	2009-11-02
박진현	인간유전체기능 연구사업단	프론티어협회의장상	프론티어사업단협회	2009-11-02
권영근	연세대학교	한국연구재단 우수연구성과 60선	한국연구재단	2009-11-04
원민호	충남대학교	우수포스터상	대한약리학회	2009-11-06
김우호	서울대학교	제4회 김진복암연구상	대한암연구재단	2009-11-27
전주희	충남대학교	우수포스터상	충남대학교 기초의과학연구소	2009-11-30
원민호	충남대학교	우수발표상	충남대학교 기초의과학연구소	2009-11-30
권영근	연세대학교	국가연구개발 우수성과 100선	교육과학기술부	2009-12-04
김시영	서울대학교	Young Investigator Award	NAPA 2009	2009-12-15
박현정	서울대학교	Young Investigator Award	NAPA 2009	2009-12-15
김성기	동아대학교	제5회 부산미래과학자상 이학부분 최우수	부산과학기술협의회	2009-12-17
권영근	연세대학교	우수업적교수상	연세대학교	2009-12-22

[인간유전체기능연구사업단 운영위원회]

구분	성명	소속 및 직위
위촉직	조 중 명	크리스탈지노믹스 대표이사
	이 봉 용	(주)SK케미칼생명과학연구소 소장
	안 성 환	(주)지노믹트리 대표이사
	방 영 주	서울대학교 의과대학 교수
	유 욱 준	한국과학기술원 교수
	김 도 한	광주과학기술원 교수
	유 명 희	프로테오믹스이용기술개발사업단 단장
	유 성 은	생체기능조절물질개발사업단 단장
	이 진 수	국립암센터 원장
당연직	박 향 식	교육과학기술부 기초연구정책관
	송 지 용	프론티어연구성과지원센터 센터장
	임 동 수	인간유전체기능연구사업단 단장



01 >>

The Center for Functional Analysis of Human Genome

02

The National Program for Tera-level Nanodevices

테라급나노소자개발사업단

한눈으로 보는 테라급나노소자개발사업단의 10년 · 190

01 사업단 10년사

1. 설립 배경 · 192 2. 사업추진체계 · 193 3. 사업추진현황 · 197 4. 사업관리 및 성과관리 · 198

02 인공지능의 꿈을 실현시킬 나노전자소자 기술

1. 사업목표 · 212 2. 연구분야 및 개발 내용 · 214

03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론 · 216 2. 대표적 성공사례 · 218 3. 정량적 연구성과 · 226 4. 정성적 연구성과 · 235
5. 대국민 홍보 · 244

04 남기고 싶은 이야기 (회고, Q&A)

1. 사업단 회고(회고 / Q&A) · 250 2. 에피소드 · 254

[부록]

1. 테라급나노소자개발사업 세부과제 현황 · 256 2. 국내외 수상 현황 · 258



2000.09

테라급나노소자개발사업단 개소식



2000.09

테라급나노소자개발사업단 현판식



2006.09

세계최초 40나노 32기가 낸드 플래시 핵심기초기술 개발



2007.11

중성범 식각 소스 제작기술 이전계약 체결



2010.03.26

해단 워크샵 실시



2010.05.28

청산 이사회 개최

History

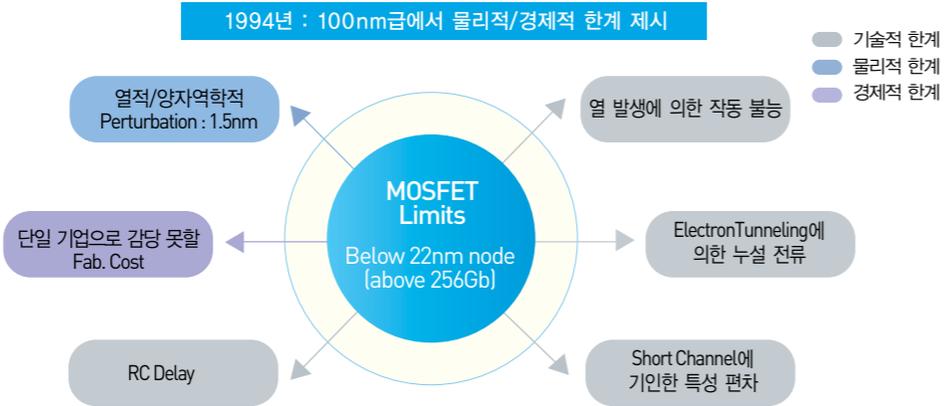
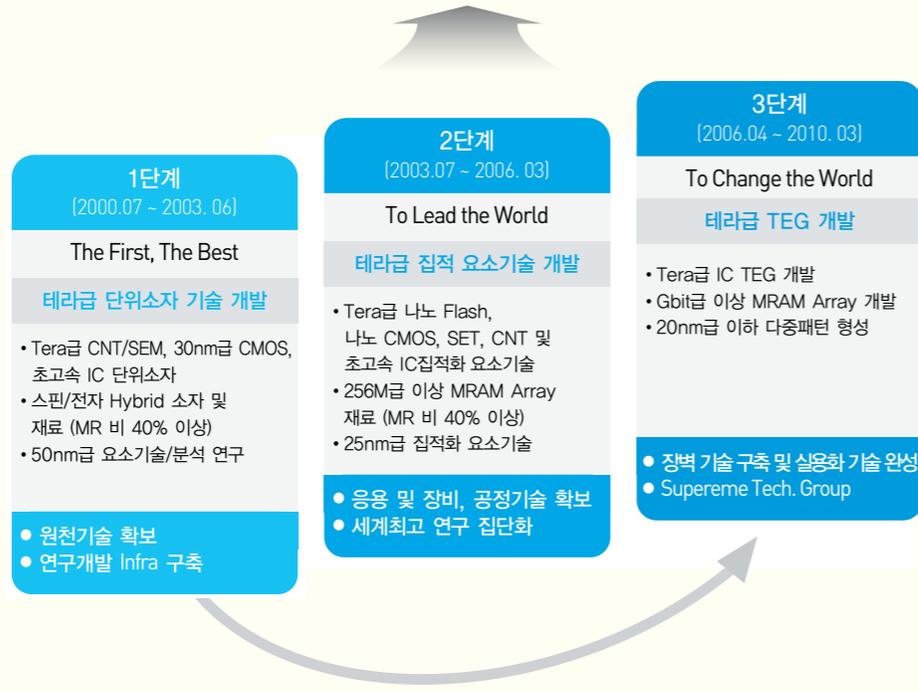
테라급나노소자개발사업

- 2000. 07 과학기술부(현 교육과학기술부)와 제1단계 연구개발사업 협약체결
1단계 사업 착수 (2000.7~2003.6)
- 2000. 08 창립이사회 개최
- 2000. 09 재단법인 설립, 개소식 및 현판식 개최
- 2003. 06 1단계 종합평가 실시
- 2003. 07 과학기술부와 2단계 총괄협약 체결
2단계 사업 착수 (2003.7~2006.3)
- 2006. 04 사업단 2단계 종합평가 실시
- 2006. 06 과학기술부와 3단계 총괄협약 체결
3단계 사업 착수 (2006.4~2010.3)
- 2010. 03 사업종료 및 2010년 종료사업단 성과보고대회 참여
해단워크샵 개최
- 2010. 04 사업단 최종평가
- 2010. 05 청산 이사회 개최

한눈으로 보는 테라급나노소자개발사업단의 10년

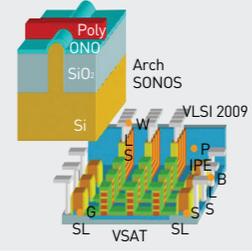
Tera(10¹²)급 나노소자 TEG (Test Element Group)개발

- 메모리 용량 : (2000년) 1Giga(10⁹)bit에서 1Tera(10¹²)bit
- IC Switching 속도 : (2000년) 200Giga Hz에서 1Tera Hz



최종목표 대비 성과 달성도

- 메모리 용량 : CTF**
- 20nm 확보 (125~256Gb)
 - 현재 3bit/cell ▶ 향후 4bit/cell로 1Tera급 달성
 - 128Gb VSAT 확보
 - 향후 메모리 집적도 Tera급 이상 확장 가능



- IC Switching 속도 : 초고속 Nano HEMT**
- 200GHz급에서 현재 615GHz급 확보

대표적인 연구성과

- 세계최초 40나노 32기가 낸드플래시 핵심기반 기술 개발
 - 2010년 종료사업 중 대표적인 성과로 선정
 - 삼성전자로 기술이전 (기술료 : 103억원)
 - 상용화 이후 10년간 17조원의 경제효과 (STEPI, 2008.12)
 - 2014년 낸드플래시 메모리 세계시장의 60% 점유 시약 18조원의 경제효과 (ITRS2009, Forecast 2004~2014)



정량적 연구성과 (목표 대비 실적)



세계최고 기술 대비 사업단 기술 수준

기술명	2010년 최고기술 보유국	사업단 기술 수준	
		2000년	2010년
사업단 총괄*	한국, 미국, 일본	48.7	96.7
차세대 비휘발성 메모리	한국	68	100
SET 로직/메모리	한국, 일본	54	100
화합물 반도체	한국, 미국	54	98
탄소나노튜브 전자소자	미국	3	88
STT-RAM	미국, 일본	20	90
AFM Litho. 레지스트 및 탐침	한국, 미국	73	98
중성빔 (원자층) 식각	한국	73	100
원자층 증착(ALD)	한국	78	100
AIPEL	한국	0	100
광연결 시스템	한국, 미국	64	93

세계최고 기술수준을 100으로 가정
*10개 과제의 평균치

01 사업단 10년사

1. 설립 배경

가. 기술적 측면

기존의 마이크로 레벨의 제어기술로는 21세기에 새롭게 전개되는 전자, 통신, 소재, 에너지, 군사, 의학분야 등의 고성능화를 기대할 수 없어 이를 위한 원자·분자 수준의 제어가 가능한 나노기술이 세계적으로 주목받고 있었다. 나노기술은 전 분야에 걸쳐 연구 응용되고 있지만 특히 반도체 분야에서 제일 먼저 실용화가 이루어 질 것으로 예상되었다.

소자 소형화의 한계는 모든 물질의 구성요소인 원자의 크기로 약 0.1나노미터(nm) 정도가 된다. 그러므로 사업착수 시점에서 양산 중이던 40nm급 반도체보다 약 400배정도 더 작아질 수 있는 여지가 있으므로 소자 소형화 기술이 진보할 수 있는 가능성은 충분하였다. 사업착수 시점에서 16Giga bit 이상 고집적화와 기존 기술의 재료, 공정, 물리적 한계를 극복할 기술로 나노전자소자 기술이 필수적이었다.

나. 경제적·산업적 측면

미래의 정보기기는 더욱 소형화·휴대화 될 것이며, 인공지능을 지닌 전자제품이 범용화 될 것이다. 이러한 시장니즈 만족을 위해서는 Tera급 정보처리 기술력이 필요한 데, 이는 반도체 칩이 초고집적화, 초고속화 및 초저소비전력화 되어야 하고, 각 제품에 요구되는 반도체 칩의 정보처리 능력은 현재 수준에 비해 1,000배 이상의 성능향상이 필요하게 될 것으로 판단하였다.

- Single Chip LSI 현재 수백 MIPS(million instructions per second) 수준
→ 수백 GIPS(giga instructions per second) 이상
- PDA 데이터 전송율 : 현재 10~50 MIPS/W → 2010년 100 GIPS/W 필요
- 자기학습 로봇의 데이터 전송율 : 최소 30 GIPS 필요
- 1만자 정도의 실시간 인식/외국어 자동번역 : 100 GIPS 성능
- HDTV급 실시간 영상인식 : 1000 GIPS 성능 필요

저소비전력 소자 개발의 또 다른 경제적·산업적 필요성은 PC의 보편화로 발생하게 될 전력난 해결에 있다. 1999년에 컴퓨터와 인터넷 분야에서 사용한 전력량은 전세계 발전량의 약 8%를 사용했고, 2009년에는 약 50%까지 사용할 것으로 전망되고 있었다. (H. Sasaki, Chairman of Board, NEC

Corp.) 따라서 초절전 전자 소자 구현을 위한 특단의 해결책이 등장하지 않는 한 에너지소비 문제가 사회적 이슈가 될 것임을 확신하였다.

다. 사회적 측면

2010년 이후에는 '인식 및 추론뿐만이 아닌 감성까지 교환할 수 있는 생각하는 Ubiquitous 컴퓨터, 실시간 자동 외국어 통역기기, 포켓용 초미니 수퍼컴퓨터, 3D 가상 현실 등이 등장할 것이라고 예상하였다. 그리고 이 시스템들은 초고속 통신망과 결합되어 지구촌을 하나의 전자촌으로 통합하여 사회전반에 걸쳐 엄청난 변화를 초래할 것이라고 보았다. 또한 2010년 이후의 국가경쟁력 확보로 21세기 초일류 국가로 발돋움하기 위해서는 나노기술의 세계적 경쟁력 확보가 반드시 필요하다고 판단하였다.

21세기 사회 특징	국가 경쟁력 확보의 핵심 요소
정문화 사회	컴퓨터, 통신, 소프트웨어 등이 복합된 정보 통신 기술 (테라비트 수준의 디지털 정보를 초고속으로 제어, 저장, 검색, 전송하는 기술 필요)
지식경제 사회	
디지털 네트워크 사회	

2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

사업추진의 기본방향은 2010년경 경쟁력을 갖출 분야를 우선적으로 선정하고 집중하는 것이었다. 이를 위해 1단계에서 세계최초 및 최고기술을 개발하고, 2단계에서는 경쟁력이 확보된 기술들을 기반으로 집적화 요소기술들을 개발하고자 하였다. 2단계에서 개발된 일부 결과물들은 단위 부품으로 제품화를 추진하여 벤처를 창업하고, 3단계에서는 집적화 공정 기술을 개발하여 세계최초로 Tera bit급 IC TEG(Test Element Group)을 구현하도록 하는 것이었다. 이를 계기로 2010년 이후 우리나라가 테라급나노소자 분야의 기술 패권을 장악하는 것이 본 사업이 갖는 비전이다.

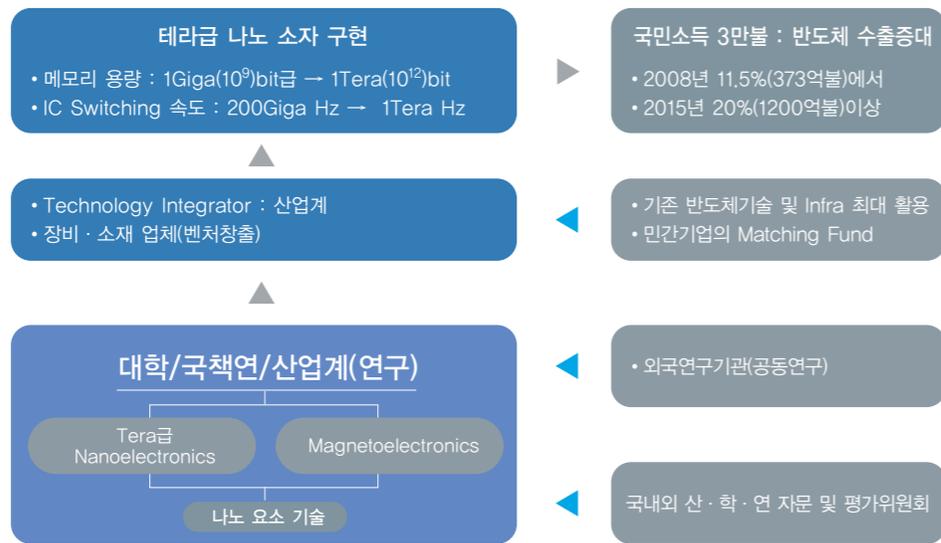


그림 1. 사업추진체계

나. 사업추진전략

(1) 단계별 경영방침 수립

최종목표 달성을 위해 연구개발 시나리오와 단계별 전개 방안이 필요하다는 판단 아래 단계별 경영 방침을 수립하였다.

1단계에는 'The first, The best' 라는 경영목표를 설정하여 3년 만에 세계최고의 경쟁력을 확보하였다. 2단계에는 사업단이 나노소재 분야에서 세계를 'lead' 하도록 경영목표를 'To lead the world' 로 수립하고, 연구비(정부출연금) 1억원당 논문(SCI) 및 특허 각 1건 달성, 참여 연구원 중 적어도 10명 이상의 세계 Top Class 전문가 양성을 목표로 사업을 추진하였다. 3단계 경영목표는 'To change the world' 로 수립하고 핵심역량 강화, 스피트 관리, 사업성과 극대화, 수요자 중심의 R&D 및 합리적인 목표관리로 운영하였다.

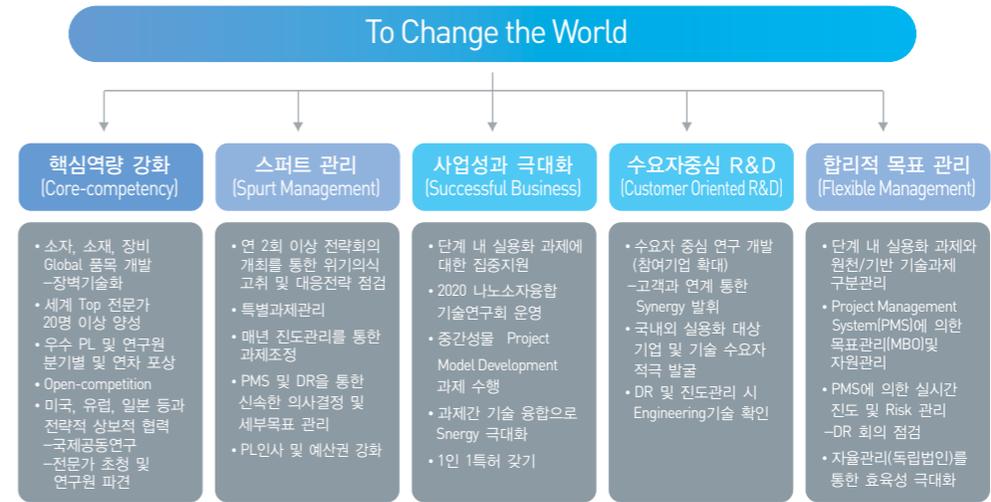


그림 2. 3단계 추진방침

(2) 개방형 산학연 협력 추진

사업단은 개별적으로 이루어지던 팀 내의 연구체계를 탈피하고 새로운 산 · 학 · 연 협동체계의 기본 틀을 구축하기 위해 DR(Design Review)이라는 제도를 도입하였으며, 이를 계기로 연구 참여자들 간에 상호 견제 및 조정이 가능하도록 하였다. 특히 사업단장의 권한 일부를 과제 책임자들에게 위임함으로써 과제책임자가 예산조정 및 과제조정이 가능토록 하여 협동연구의 틀을 마련하였다. 따라서 팀 내는 물론 팀 간의 협동연구를 강화하고 이를 평가에 반영하여 전 과제에 시너지를 발휘하도록 하였다. 특히 BMD 및 PMD (Business/Project Model Development) 과제를 수행하여 성과물의 사업화를 촉진하고 지원하였으며, 3단계부터는 이를 보다 확대하고 개발기술들을 관련 기업에 신속히 이전 또는 벤처기업 창업을 유도하도록 하고 이를 과제평가 항목에 높은 비중으로 반영하였다.

(3) 수요자 중심의 기술 개발 체제 수립

개발된 기술이 빛을 보기 위해서는 수요가 발생하여 가치를 창출해야 할 것이다. 개발된 기술의 수요자는 기업으로, 다수의 기업을 참여시켜 수요자 중심의 기술개발을 이루도록 하였다. 1단계에는 27개, 2단계에는 34개, 3단계에는 51개 기업이 참여하였다. 3단계 4차년도에는 주관기관인 3개의 기업과제에 정부출연금 112.9억 원(기업부담금 112.9억 원)이 투입되었으며, 협동 과제로는 4개 기업과

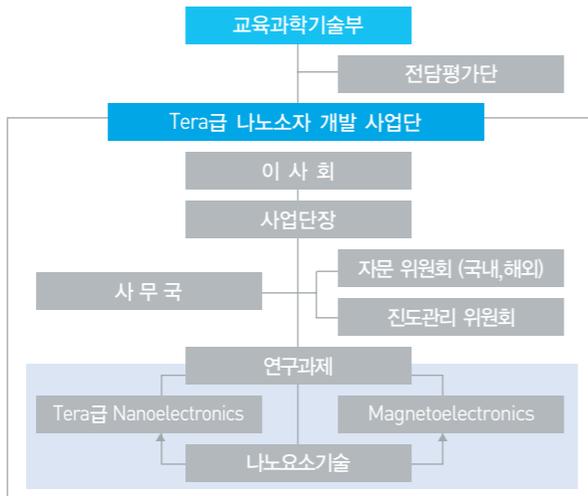
제에 정부출연금 34.3억원(기업부담금 54.8억원)이 투입되었다. 펀드만 부담하는 단순 참여기업은 7개로 24.2억원의 기업자금을 기술 개발에 지원하였다. 매 분기마다 1회 이상 주관, 협동, 위탁, 참여 기업 모두가 참여하는 Design Review 회의를 실시하여 기술의 실수요자인 참여기업의 요구사항을 반영하는 연구개발을 수행하도록 하였다.

(4) 사이버 과제목표관리

기존 국가 연구개발 과제의 한계인 민간대비 낮은 연구생산성, 목표관리체계의 부재 등의 문제를 극복하고자 자체적으로 과제목표관리시스템을 구축하고, 연구개발사업을 체계적으로 관리하고 성과의 확산 촉진 및 과제간 유기적 협력을 위해 본 시스템을 활용하여 적극적인 진도관리 및 나노기술정보와 사용자의 이용 편의성 및 효율성을 제공하고자 시스템의 H/W, S/W, 콘텐츠의 지속적인 유지 및 보수를 실시하였다.

시스템의 특징으로는 첫째, 마일스톤 관리 및 DR(Design Review) 운영 업무를 시스템 상에서 관리하였으며 둘째, 각 마일스톤을 달성하기 위한 세부 활동들이 업무 분할 구조로 되어 있어 구체적인 연구 활동 들을 알 수 있도록 구성되었다. 셋째, 연구 활동에 필요한 나노 기술정보를 제공하고 다양한 검색방법 및 향상된 검색 속도의 검색엔진을 도입하여 기술정보 및 특허출원정보 등의 원활한 정보지원 체계를 구축하였다.

다. 운영관리 체계



3. 사업추진현황

가. 연구비 현황

표 1. 연구비 현황 (2000. 7~2010. 3)

(단위 : 백만 원)

구분	1단계	2단계	3단계				계	
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
정부	계획	25,566	8,000	9,000	9,000	8,800	90,366	
	실적	30,000	25,566	8,000	9,000	9,000	8,800	90,366
민간	계획	15,068	13,537	4,700	5,100	5,000	4,394	47,799
	실적	13,537	15,068	4,700	5,100	5,000	4,394	47,799
총계	계획	40,634	43,537	12,700	14,100	14,000	13,194	138,165
	실적	43,537	40,634	12,700	14,100	14,000	13,194	138,165

※ 연구비 규모는 교육과학기술부와 총괄협약서 기준으로 작성

1단계에는 정부출연금 300억 원, 민간 투자액 135억 3천 7백만 원이며, 2단계에는 정부출연금 255억 6천 6백만 원, 민간투자액 150억 6천 8백만 원으로 2단계 사업기간이 1단계보다 3개월이 짧았으나, 단계가 진행되면서 민간기관의 과제참여 및 투자를 유도한 결과 민간투자액은 증가하였다.

나. 참여기관 현황

표 2. 참여기관 현황 (2000. 7~2010. 3)

(단위 : 개)

구분	산	학	연	합 계	
1 단계	주관	3	15	5	23
	협동	2	21	4	27
	위탁(국내/국외)	11(1/0)	11(9/2)	4(2/2)	16(12/4)
	참여기업	5	-	-	5
합계	11(15%)	47(67%)	13(18%)	71(100%)	
2 단계	주관	4	7	1	12
	협동	3	14	3	20
	위탁(국내/국외)	-	20(16/4)	2(0/2)	22(16/6)
	참여기업	4	-	-	4
합계	11(19%)	41(71%)	6(10%)	58(100%)	
3 단계	주관	3	7	0	10
	협동	4	8	2	14
	위탁(국내/국외)	-	18(14/4)	2(1/1)	20(15/5)
	참여기업	7	-	-	7
합계	14(27%)	33(65%)	4(8%)	51(100%)	

※ 1, 2단계의 경우 3차년도 기준, 3단계의 경우 4차년도 기준으로 작성

사업 초기에는 원천 및 응용기술 개발의 필요성에 따라 학교 및 연구소의 비중이 상대적으로 높았던 반면에 3단계에 들어와서는 기술개발에 따른 경제적 성과 창출을 용이하게 하기 위하여 산업체의 비중을 증가시켜왔다.

다. 참여 연구인력 현황

● 학력별 연구인력

표 3. 학력별 연구인력 현황 (2000. 7~2010. 3)

(단위 : 명/%)

구분	1단계	2단계	3단계				소계	계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
박사급	446(32%)	373(26%)	113	91	92	97	393(25%)	1,212(27%)
석사급	482(34%)	573(39%)	129	139	151	154	573(36%)	1,628(37%)
학사급	470(34%)	507(35%)	143	152	164	146	605(39%)	1,582(36%)
계	1,398	1,453	385	382	407	397	1,571	4,422

※ 연구 단계가 지날수록 선택과 집중에 의해 과제수가 감소함에 따라 박사급 참여인력이 전체적으로 감소하였다.

● 기관별 연구인력

표 4. 기관별 연구인력 현황 (2000. 7~2010. 3)

(단위 : 명/%)

구분	1단계	2단계	3단계				소계	계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
산업계	191(14%)	389(27%)	107	102	122	121	452(29%)	1,032(23%)
학 계	948(68%)	947(65%)	235	252	264	257	1,008(64%)	2,903(66%)
연구계	259(18%)	117(8%)	43	28	21	19	111(7%)	487(11%)
계	1,398	1,453	385	382	407	397	1,571	4,422

※ 사업화 경영전략에 따라 단계가 지날수록 산업계 인력이 증가하였다.

4. 사업관리 및 성과관리

가. 사업관리 전략

원칙적으로 각 과제는 Open-competition을 통해 세계적인 경쟁력을 갖춘 팀을 선발하였다. 목적 중심의 강력한 팀을 구성하고 팀장에게 권한을 대폭 위임하여 강력한 리더십을 발휘하도록 하고, 권

한 위임에 따른 책임은 매년 진도관리와 단계평가를 통해 검증하였다. 또 선진기술 변화추이를 모니터링하고 갭(Gap) 분석을 통해 과제 목표가 기술 변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 Moving Target 개념을 도입한다.

각 과제별로 기술로드맵, 세계수준과의 갭 분석을 통한 정량화된 목표와 마일스톤(Milestone)을 설정하게 하고 기술 Tree를 작성하여 새로운 아이디어를 창출하게 한다. 또, 과제별 SWOT분석을 통해 문제점을 도출시키고, 이를 극복하기 위해 Outsourcing을 하도록 조치했다.

전 단계에 걸쳐 원천특허 확보를 추진하고, 특허교육과 과제목표관리시스템(PMS)에서 특허 작성요령 등과 같은 On/Off-line 교육을 강화한다. 특히 원천특허 창출자는 과제 평가 시 가점을 부여하도록 하였다.

전체 목표관리와 위기관리를 위해 PMS 시스템을 통해 온라인 및 실시간으로 목표를 관리하여 실적 관리가 아닌 진도관리를 하였다. 또한 PMS 상의 월별 Progress Report와 Data를 분석하여 사전에 문제점을 파악함은 물론 온라인상의 맹점을 보완하기 위해 과제별로 현장에서 분기별 1회 이상 DR을 실시하여 현장 애로사항을 파악하고 문제를 해결하였다.

우수기술 발굴 시 기술 이전을 관련 기업에 신속히 진행하도록 해당 국가기관과 유기적인 관계를 설정하도록 하고, 획기적인 연구결과에 대해서는 국내 일간지 및 해외 우수 저널에 적극 홍보하여 참여 연구원의 사기 앙양 및 정부정책에 대한 국민의 신뢰를 받을 수 있도록 하였다.

나. 사업비 배분

(1) 매년 성과에 따른 가감점을 적용하여 연구비 배분

매년 진도관리를 실시하여 특허, 논문 및 홍보 등의 성과를 결과에 반영하여 연구비 배분 시 적용하였다. 또한 TND관리자상, DR(Design Review) 회의 횟수 등 사업단 운영방침에 따라 가감점을 부여하였으며 평가 등급에 따라 각 과제의 연구비를 증액, 동결 또는 감액하여 지급하였다. 단계에 따라 기업참여 과제유무, 연구비 미집행 반납액, 연구비 정산 결과 등을 반영하였다.

(2) 과제별 특성에 따른 배분

과제별 특성에 따라 다음의 4가지 항목으로 분류하여 지원을 차별화하였다.

- 세계 최고 수준 과제로서 실용화 가능성과 파급효과가 큰 과제
- 실용화를 위해 기업의 지속적인 관심과 참여가 필요한 과제
- 세계 최고 수준 또는 세계 최초 과제로서 집중이 필요한 과제
- 국가적 필요성에 따른 재추진 과제

다. 사업비 집행

(1) 이월비에 대한 차기년도 지원방법

다년도 협약에 따른 단계 내 연차별 이월은 가능하나, 예산의 이월을 최소화하고 불가피할 경우에만 이월을 승인하였다. 재료비 및 시설비에 대해서는 연구종료 2개월 전에 입고되지 않을 경우 당해년도 연구 성과에 기여하지 않은 것으로 간주하여 불인정 대상(교육과학기술부 산하 연구개발사업 처리규정, 사업단 내부지침)으로 처리하였다.

사업 종료 시점인 3단계 4차년도에는 시설비 및 연구기자재 구매와 관련 연구종료 6개월 전에 구매 완료되도록 지도하여 해당 장비가 실질적으로 연구 성과에 기여하도록 하였다.

연구비 이월 금액이 과도하게 많이 발생된 과제는 매월 연구비 집행실적 및 사용계획을 보고하도록 하여 연구비 집행이 적정하게 이루어지도록 지도하였다.

매년 당해연도 연구기간 종료 후 미집행 잔액에 대하여 연구비 카드시스템을 통해 과제별 연구비 이월신청을 접수받고 사업단에서 승인을 하였으며, 이월이 승인된 예산은 차기년도 예산에 합산하여 운영하고 규정대로 예산을 집행하였다. 또 매년 1회 이상 실시하는 '집행예산 중간점검 및 연구비 관련 규정 및 지침 교육' 시 예산이월에 대한 업무 Process도 포함하여 교육을 실시하였다.

(2) 사업단장 출신기관에 대한 지원내역/사유

당 사업단은 독립된 재단법인으로써 프론티어사업 운영관리 지침과 사업단 운영지침에 의거하여 자율적으로 운영을 하였다. 독립법인으로 관련 법률에 준하여 운영을 실시하였으며 (공익법인의 설립 및 운영에 관한법률, 민법, 세무 법률, 이사회 및 사업단 정관 등) 사업단장 출신기관(삼성)에 대한 정부 예산 지원은 3단계(06년~09년) 기간 동안 3개 과제 112.9억원으로 3단계 전체 정부연구비 348.0억원 중 32.4%의 비중을 차지하고 있다.

라. 연구비 정산관리

매년 주관·협동·위탁과제 전체를 대상으로 정밀정산을 실시하고 진도관리 결과가 우수하거나 과제 수행이 잘 이루어지고 있는 과제는 정밀정산 대상에서 제외하였으나, 사업종료 시점인 3단계 3차년도 부터는 모든 과제에 대하여 정밀정산을 실시하였다.

예외적으로 전년도 불인정과제, 신규참여과제, 기업체 수행과제, 종료과제 및 문제가 예상되는 과제의 경우 진도관리 결과와 관계없이 매년도 정밀정산을 실시하였다.

마. 독립법인으로 효율적 예산 운영

(1) 투명한 연구비 집행

연구비의 투명한 집행을 위해 연구비 집행기준에 대한 교육을 실시하였다. 정밀정산을 실시한 결과 드러난 문제점, 연구비카드시스템 데이터 입력 오류 및 부적정내용 등을 중간 점검 시 과제 담당자에게 교육하였다.

연구비집행의 분산을 유도하고자 과제별 집행을 조사를 통해 연구기간 말에 집중적인 집행을 통제하고 차기이월을 최소화하여 당초 계획대로 집행을 유도함으로써 기회 손실을 방지하였다.

사업단 운영비와 주관과제에 대하여 매년 공인회계감사기관(삼일회계법인)으로부터 회계감사를 실시하고, 연구비 집행에 대한 결과를 매 정기이사회와 감사에게 보고하였다.

또 연구비 관리계좌인 모계좌와 운영자금 2천만원 이하의 운영계좌인 자계좌로 구분하고 일정금액(1억원/일) 이상 인출 시 거래은행으로부터 자동 통보로 금융사고를 사전에 예방하였다.

(2) 정부출연금에 대한 운영효율 극대화

당 사업단의 이자 발생액 등 잉여예산에 대해 별도 이사회 승인을 거쳐 과제화를 추진하여 집행함으로써 정부출연금을 최대한 활용하였다.

※ 잉여예산 : 연간 자금계획 수립과 분기별 수요를 파악하여 하반기 집행대상 자금으로 예금이자 확보(정기예금, MMDA가입), 법인세환급, 불인정액 환수액, 미집행 반납액, 사업단 불용 자산 매각대금 등

(3) 매년 예산 중간점검 및 연구비 집행규정·지침 교육 실시

매년 1회 이상 연구과제(기관) 현장을 방문하여 연구비 중간점검을 통하여 연구비 부적정 집행을 사전에 예방하였으며, 연구비에 대한 국가규정 및 지침, 당 사업단 내부지침 등의 내용을 지속적으로 교육하였다.

바. 성과관리 전략

사업성과 극대화를 위해 기업이 주관연구기관으로 참여하도록 하고 가능한 많은 기업이 협동과제 및 참여기업 형태로 과제에 참여하도록 하여 실수요자 중심의 연구개발이 이루어지도록 하였다. 다음으로 실용화를 위해 국내외 실용화 대상 기업 및 기술수요자를 적극 발굴하고 주관 및 협동기관에서 개

발된 기술을 활용해 참여기업에서 실용화할 수 있도록 추진하였다. 또 체계적인 연구개발이 가능하도록 각 과제별로 실용화를 전제로 한 기술로드맵, SWOT 분석 및 세계 수준과의 Gap 분석, 기술 Tree 작성을 통하여 사업과 기술의 목표를 정하도록 하였다.

원천특허 창출자에게는 진도관리 시 가점을 부여하여 원천기술 확보에도 주력하였다.

(1) 비즈니스/프로젝트 모델 개발(BMD/PMD, Business/Proect Model Development) 과제 수행 성과를 극대화하기 위한 일련의 활동과 기술 사업화를 위해 사무국 총괄과제로써 2단계(2003. 7)부터 BMD 과제(3단계부터 PMD로 개칭)를 수행하였다. PMD과제는 본 과제 수행 중 파생된 기술을 연구원 창업 형태로 창업하거나 기술을 판매하는 경우 이에 대한 사업준비 절차, 사업계획서 작성, 기술가치 평가 자문 등을 통해 직·간접적으로 기술사업 및 기술판매를 지원한다. 지원 대상은 사업단 연구개발에 참여 중인 주관, 협동 및 위탁 연구과제 참여자 전원에 해당한다.

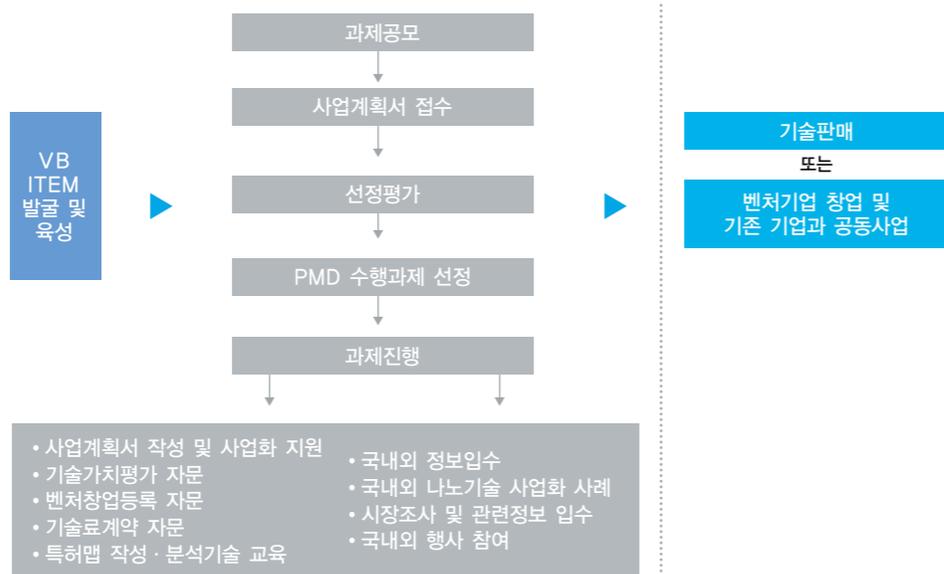


그림 3. PMD 과제 개요도

PMD 과제를 수행하며 발생한 기술이전 및 판매 성과는 총 8건으로 그 중 6건은 계약 체결이 완료되었으며 2건은 현재 기술이전 준비 중에 있다.

표 5. PMD 과제의 기술이전 및 판매성과

기술명(연구책임자, 소속)	납부 기관명 (계약일자)	계약 조건
중성빔을 이용한 나노식각 기술의 사업화 구상 및 기반 구축 (염근영, 성균관대)	주성엔지니어링 (2008. 9. 1)	선금금(총5억원, 연 1억원씩) + 경상기술료(총 매출액의 0.45%) + 계약금(5천만원)
	뉴파워프라즈마 (2007. 11. 15)	선금금(4억원) + 경상기술료 (총매출액의 3%)
고속 AFM 리소그래피 전용 패턴 제조 펄스 제너레이터 및 고해상성 레지스트 기술판매 기반 구축 (이해원, 한양대)	SNTEK (2005. 12. 5)	선금금(1천만원) + 경상기술료 (장비 판매 시 5~10%)
	효성기술원 (2010. 2)	기술이전 MOU 체결 (다중탐침 리소그래피 기술)
	다우케미컬 (2010. 1)	공동연구개발을 위한 NDA 체결 (전자빔 리소그래피용 레지스트 기술)
단전자 반도체 나노소자 기술을 이용한 비즈니스 모델 개발 (최중범, 충북대)	나노포커스 (2003)	선금금(400만원) + 경상기술료 (매출액의 3%)
		기술이전 준비 중 (테크란: DNA 센서 및 이미지 센서 시장 심층분석 실시)
공명 터널링 다이오드 기반 회로 설계기술 이전기반 구축 (양경훈, KAIST)		기술이전 준비 중 (테크란: 기술 및 지적재산권 가치평가 실시)

벤처 창업은 총 4건이며, 이 중 2건은 이미 벤처기업 설립이 완료되었고 나머지 2건은 설립을 위한 사전작업이 진행 중에 있다.

표 6. PMD 과제의 벤처창업 성과

기술명(연구책임자, 소속)	업체명	진행 사항
Growth of Low-Defect III-V on Si Substrate (오재응, 한양대)	(주) IV Works	예비벤처기업 확인신청
초고속 나노 HEMT 소자 및 집적회로 기술 개발 (서광석, 서울대)	(주) RF Ever	예비벤처기업 확인신청 및 기술보증기금 기술평가센터의 실사 대기 중
고품위 단결정 Silicon-on-Sapphire (SOS) Wafer 생산기술과 응용소자 개발 (조훈영, 동국대)	(주) Nano IF	2009년 1월 벤처기업 설립 완료
Tera급 광연결 기술개발 (이용택, 광주과학기술원)	(주) 와이텔 포토닉스	2003년 10월 10일 벤처기업 설립 완료*
Nano CMOS의 Device engineering 및 신뢰성 확보 (이희덕, 충남대)	(주) 스마트 솔루션	2010년 1월 7일 벤처기업 설립 완료*

※ 2단계 3차년도까지 연구개발 수행

(2) 과제목표관리시스템을 통한 체계적인 과제관리

기업의 연구개발관리기법을 도입하여 목표 및 위기관리와 체계적인 성과관리를 위해 사업단은 과제 목표관리시스템을 자체 개발하였다. 사업착수 시기에는 국가연구개발과제의 경우 낮은 연구생산성, 과제성공률 대비 낮은 실용화 비율, 사업화로의 연계체제 미흡, 목표관리체계의 부재, 연구관리 정보 시스템 미구축 등과 같은 문제점이 존재하였다.

사업단은 이러한 문제점을 해결하고 연구개발자의 자율성과 기획력, 실천력을 제고하여 과제의 성공률과 자원의 전략적 관리를 도모할 수 있는 웹 기반의 과제관리시스템을 개발·도입하여 철저한 목표관리(Management by Object)와 일정관리(Milestone Management)를 실시하였다.

온라인 상에서 실시간으로 과제를 관리하며, 마일스톤(milestone)을 달성하기 위한 세부 활동(activity)들이 업무 분할 구조(Work Breakdown Structure)로 되어 있어 구체적인 연구활동을 알 수 있다. 특히 월별 Progress Report와 Data를 분석하여 사전에 문제점을 파악하였다.

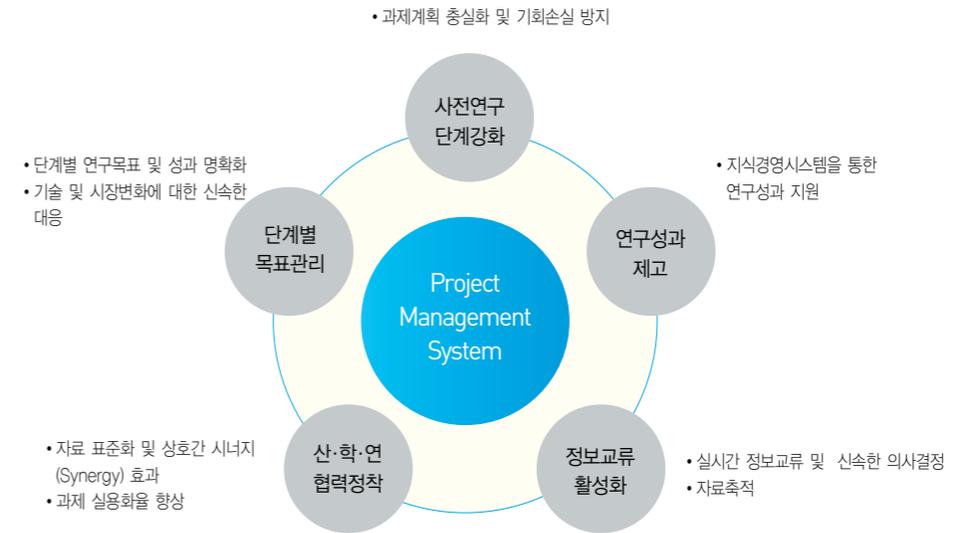


그림 4. 과제목표관리시스템 도입효과

(3) DR(Design Review) 회의 운영

과제목표관리시스템의 온라인상의 맹점을 보완하기 위해 과제별로 매 분기마다(연 4회 이상) 연구현장에서 DR회의를 통해 온라인과 오프라인의 실적을 Cross-Checking하고, 연구팀의 애로사항을 파악하고 세부목표를 관리하였다.

DR은 연구개발 기획단계에서 설정한 세부 마일스톤의 종료시점에서 각 팀별 과제책임자 및 연구원들이 참여한 가운데 설정한 마일스톤을 적절히 달성했는지에 대한 객관적인 Review 회의로, DR을 통해 향후 발생할 수 있는 문제점을 사전적으로 발굴하여 대응함으로써 시행착오를 최소화하고 차기 단계로의 진행여부, 연구개발 방향의 변경 등을 검토·요청하고 있다.

(4) 기술가치평가 실시 (총 13건)

표 7. 기술가치평가 실시 결과

기술명 (소속, 책임자)	평가액	수행기관
Tera bit급 Si 기반 비휘발성 메모리개발 (삼성전자, 이충만)	· 6조 8400억원/년 *	삼성전자
SET Logic 소자기술 (총복대, 최종범)	· 2240억원 (2020년 예상 로열티)	총복대, (주)테크란
나노기반의 III-V 집적회로 및 모듈기술 (서울대, 서광석)	· 소득접근법 : 261억 800만원 · 실물옵션법 : 421억 927만원	(주)인포클루
이종접합을 이용한 고효율 태양전지기술 (한양대, 오재응)	· 소득접근법 : 189억 400만원 · 실물옵션법 : 373억 456만원	(주)인포클루
RTD 기반 집적회로 제작기술 (KAIST, 양경훈)	· 소득접근법 : 763 억원 · 실물옵션법 : 899 억원	(주)인포클루
카본나노튜브 전자소자 기술개발 (삼성중공업, 이은홍)	· 소득접근법 : 3,650억원 · 실물옵션법 : 3,890억원	(주)인포클루
MRAM 단위소자 MTJ 제작기술 (삼성중공업, 서순애)	· 소득접근법 : 3,507억원 · 실물옵션법 : 6,905억원	(주)인포클루
원자힘 현미경 및 전자선빔 리소그래피용 고감도 레지스트(한양대, 이해원)	· 수익접근법 : 40억 7500만원	(주)테크란
AFM 실시간 검출 기술 (두산메카텍, 한승진)	· 소득접근법 : 342억원 · 실물옵션법 : 580억원	(주)인포클루
나노소자용 식각장비 제작 및 공정개발 (성균관대, 염근영)	· 840억원 (참여기업의 10년간 매출액의 2% 로열티)	성균관대, (주)테크란
DC 바이어스를 이용한 단원자층 증착 기술 (한양대, 전형탁)	· 소득접근법 : 26억원	한양대학교
원자 이미지를 이용한 양자점 형성기술 (서울대, 김기범)	· 소득접근법 : 471억원 · 실물옵션법: 495억원	(주)인포클루
광 PCB기반 광연결 기술 (KAIST, 박효훈)	· 소득접근법: 3,860억원 · 실물옵션법: 4,550억원	(주)인포클루
합계	· 최소 : 8조 4589억 8700만원 · 최대 : 8조 9659억 8883만원	

* 1) 2014 낸드 플래시 전체시장 중 60% 차지 시 18조원/년 시장형성 예상 (출처 : ITRS 2009, Forecast 2004-2014)

2) 2009년 삼성전자는 전체 낸드 플래시 시장의 38.1%(2009 Nand Revenue by Vendor)를 차지. 그러므로 2014년 18조원 중 38% 점유 시 예상매출액이 연 6조 8,400억원임. (출처 : Web-Feet Research)

(5) 포상제도 제정 및 시행

궁극적인 성과 증진을 위해 우수 과제책임자와 참여연구원 및 실무담당자 대상의 포상제도를 제정하여 시행하였다.

TND 관리자상

과제목표관리시스템을 통해 진도관리 차원에서 실시하고 있는 DR, Monthly Highlight 관리, Activity 관리, 예산 관리(사용율), 연구성과를 타 과제에 비해 성실히 이행하여 우수한 성과를 이뤄낸 과제를 포상함으로써 과제수행자의 과업수행능력 향상 및 동기부여를 유도코자 운영하고자 2004년 1월 제정된 후 매 분기별로 시행하였다.

TND 우수연구원상

과제책임자를 제외한 주관, 협동 및 위탁과제의 참여연구원을 대상으로 논문, 특허 및 홍보 등 연구성과가 뛰어나고 사업단에 기여한 바가 크거나, 네이처(Nature) 및 사이언스(Science) 등 Impact Factor가 큰 학술지에 게재한 실적 등을 기준으로 우수연구원을 선정하였다. 2004년 10월 제정한 이후 매 분기별/연간 우수연구원을 선정하였다.

관리혁신자상

과제책임자 및 연구원을 제외한 행정업무 담당자들의 노고를 치하하고 참여의식을 고취시키고자 2005년에 제정하였다. 선정기준은 과제책임자의 추천으로 이루어지며, 사업단에 기여한 자를 대상으로 매년 1인을 선정하였다.

해단워크샵 포상제도 확대

사업종료를 앞두고 전체 과제책임자와 참여연구원 및 행정업무 담당자들의 노고를 치하하고 연구업적을 격려하고자 포상제도를 확대하였다. 2000년 사업착수 시부터 2010년 3월 사업종료까지 전체 사업기간의 연구성과, 홍보실적, 기술이전 및 TND관리자상 수상 실적 등을 반영하여 과제책임자 대상의 최우수 및 우수관리자상과 홍보상을 시상하였다.

표 8. TND사업 우수연구원 선정결과

(선정대상 기간 : 2000. 7~2010. 3)

시상구분	세부내용	수상자	과제책임자
최우수연구원상	대상	삼성전자 채수두 박사	삼성전자 이충만
	금상	삼성중기원 장 만 박사 삼성전자 이창근 박사	광주과기원 황현상 충북대 최종범
	은상	서울대 김현미 박사 KAIST 최선규 박사 성균관대 유우중 박사과정	서울대 김기범 KAIST 양경훈 성균관대 이영희
	동상	성균관대 박병재 박사과정 삼성중기원 김언정 박사 삼성전자 한정희 박사 동부하이텍 이민형 박사 광주과기원 정승재 박사과정	성균관대 염근영 삼성중기원 이은홍 삼성전자 이충만 동부하이텍 이한춘 광주과기원 황현상
논문부문	최우수논문상	Georgia Tech. 이민백 박사	서울대 홍승훈
	우수논문상	성균관대 유우중 박사과정	성균관대 이영희
	최다논문상	단국대 정권범 교수	연세대 조만호
특허부문	최다출원상	성균관대 박병재 박사과정	성균관대 염근영
	최다등록상	삼성전자 채수두 박사	삼성전자 이충만
관리혁신자상	연구 이외 행정업무 (과제관리시스템, 연구비관리 등)	삼성중기원 주윤진 연구원 KAIST 김선옥 박사과정	삼성중기원 서순애 KAIST 이택동
공로상	7년 이상 참여자	삼성전자 채수두 박사 삼성전자 한정희 박사 KAIST 최선규 박사 삼성중기원 김광석 박사 한양대 한철수 박사과정 서울대 김현미 박사 삼성전자 박상덕 박사	삼성전자 이충만 삼성전자 이충만 KAIST 양경훈 삼성중기원 서순애 한양대 이해원 서울대 김기범 성균관대 염근영
총 25명			

(6) 중간발표회의 공개화를 통한 기술경쟁

매년 사업 중반에는 연구과제의 추진방향과 연구팀 간의 협력현황을 파악하여 연구성과를 제고하고 자 당해년도 연구과제 내용과 성과 등을 모든 참여연구원과 사업단 관계자 및 일반인들에게 공개하는 형식의 기술경쟁 발표를 진행하였다. 사업단 과제책임자들의 발표와 함께 매년 관련분야의 세계적인 저명인사들을 초청하였으며, 2007년에는 세계적인 학술지인 Nature Nanotechnology의 편집장인 Peter Rodgers를 초청하여 논문제출 핵심요령 등을 들을 수 있었다. 2005년과 2009년에는 기술경쟁을 위해 10개 과제에서 동일분야의 세계 최고의 연구자와 긴장감 넘치는 1:1 공개 기술포럼을 개최하였다.

(7) 국내외 전략 워크샵 실시

국내외에서 실시하고 있는 다양한 워크샵은 전략도출, 현장 문제해결, 신속한 의사결정, 팀워크 및 동기유발 등 뚜렷하고 다양한 목적 하에 개최되었다.

연간 2회 실시되는 전략워크샵은 과제책임자들이 세계 유명 학회장에 참석하도록 하여 위기의식 고취 및 대응전략을 점검하고, 선진기술을 벤치마킹한 결과를 토대로 현장에서 목표를 Up-grade할 수 있도록 하였다.

매년 사업 착수시점에서 과제책임자를 비롯한 전 연구원들은 한 해 사업에 대한 목표 및 전략을 공유하고 과제 간 그리고 전체 연구원들 간의 팀워크를 위해 워크샵을 실시하였다. 참여연구원 워크샵에서는 연구현장을 벗어나 업무나 직위여하를 막론하고 자유롭게 거침없는 분위기에서 실무적 문제해결 및 즉각적 의사결정을 내릴 수 있도록 하는 타운미팅(Town Meeting) 제도를 도입하여 '열린토론'과 '열린조직'을 실현하였다.

(8) 2020 나노소재 융합기술 연구회 운영

테라급 나노소재와 연계된 나노융합 기술 분야의 2010년 이후부터 2020년까지 연구 개발 방향을 설정하고 후속 연구개발에 대한 전략을 수립하고자 '2020 나노소재 융합기술 연구회'를 운영하였다. 나노소재 분야 세계 석학들을 초청하여 세미나 및 심포지움을 개최하여 미국, 일본, 유럽 등 나노소재 분야 기술 경쟁국들의 연구개발 동향을 파악하고 관련 정보를 입수하면서 2010년 이후부터 2020년까지 나노소재 분야 연구개발에 대한 방향을 설정하고 장기적인 대응전략을 수립하였다.

(9) 'Imagination Breakthrough for 2020 Nanotechnology' 프로그램 운영

국가적인 차원에서 2020년 이후를 대비하기 위한 나노 분야의 연구개발 방향에 대해 논의하고자 미

국 GE社를 벤치마킹하여 사업단 자체적으로 'Imagination Breakthrough for 2020 Nanotechnology' 라는 연구개발 과제도출 틀을 만들었다. 이는 2020년 이후 우리 기술의 응용분야 및 미래상을 그려보고 이를 위해 추진해야 할 기술로드맵을 구상하기 위한 반복적인 사고혁신 프로그램으로, 연구팀마다 2020년 이후의 기술로 나아가기 위한 아이디어들을 도출해내고, 참여연구원 워크샵과 경쟁력강화 워크샵 등에서 발표하여 지속적이고 반복적으로 운영하였다.

사. 선정평가

특정연구개발사업 평가지침을 기준으로 중분야별 전문 평가위원회를 구성하여 평가를 실시하였다. 소과제 단위로 평가하는 것을 원칙으로 하고, 산·학·연 균등기회를 부여하나 Matching Fund를 기여한 기업이 주관할 경우 우선권을 부여하였다.

전문평가기관의 평가위원 Pool 및 과제 신청자가 추천한 전문가 및 부적격자를 고려하여 중과제 분야별로 12인 이내의 평가위원을 선정한 가운데 전체적인 사업계획 관점에서 평가결과를 검토 및 조정하여 소과제 책임자를 최종 선정하였다.

아. 진도관리

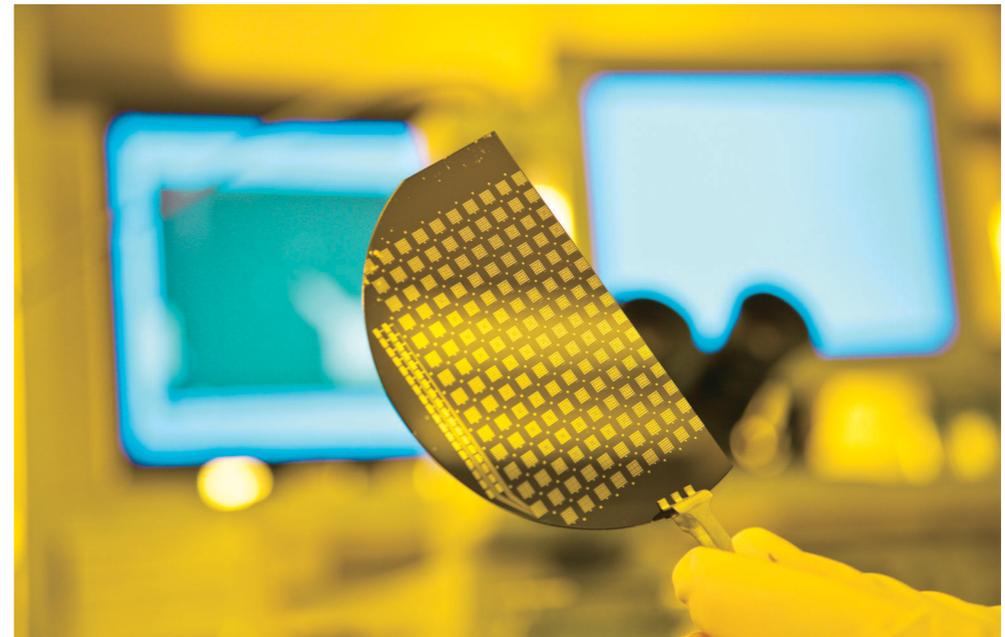
특정연구개발사업 평가지침 하에 공정하고 명확한 선정 및 평가지침을 수립하여 매년 진도관리를 실시하였다.

진도관리는 기 구성된 평가위원 Pool에서 진도관리위원을 선정하여 기술적인 자문 및 타당성, 실용화 가능성, 경쟁력과 Global Outsourcing에 대한 자문을 받는다. 특히 평가의 공정성을 위해 진도관리 및 단계평가 시 3인 이상으로 구성된 해외 자문위원회의 의견을 적극 수용하였다.

진도관리의 기본 방향은 첫째, 연구 성과의 질적, 양적 우수성을 검증하여 본 사업의 최종목표 구현하고 둘째, 프론티어 사업의 취지인 기술의 독창성, 우수성 및 사업화 가능성을 지향한다. 마지막으로 진도관리의 전문성과 공정성을 제고하기 위하여 평가위원회의 사전검토 및 패널발표를 실시하고 온정주의 및 편향된 의견 배제를 위해 최상 및 최하점수를 제외하여 평가를 실시한다. 진도관리위원은 기 구성된 평가위원 Pool에서 선정하여 기술적인 자문 및 타당성, 실용화 가능성, 경쟁력과 Global Outsourcing에 대한 자문을 받는다. 특히 평가의 공정성을 위해 진도관리 및 단계평가 시 Mihail Roco 박사(미국 NSF), David Ferry 교수(미국 아리조나 주립대학교) 및 전명식 교수(카네기멜론대학교) 등 3인 이상으로 구성된 해외 자문위원회의 활용하여 세계기술 수준과의 객관적 비교 및 향후 기술개발 방향에 대해 자문을 받았다.

진도관리 후 분야별 위원장들의 종합조정회의를 통해 진도관리 결과를 최종 확정하였다. 또한 연구수행 기관들의 연구개발 성과 및 과제 간 진행사항을 심층 관리하기 위해 필요시 협동과 위탁과제까지 진도관리 실시하였다.

평가는 실용화 과제와 원천기술 확보과제로 나누어 실용화 가능성 부분과 원천기술 확보 부분의 가중치를 달리하여 평가하였다. 평가 항목으로는 연구목표달성도, 세계 최고의 경쟁력, 실용화 가능성, 원천기술 확보, 연구 성과물, 연구 성과가치, 차년도 연구계획 등이 있다.



02 인공지능의 꿈을 실현시킬 나노전자소자 기술

1. 사업 목표

가. 최종 목표

- Tera(10^{12})급 나노소자 TEG(Test Element Group) 개발
 - 메모리 용량 : (2000년) 1Giga(10^9) bit에서 1Tera(10^{12}) bit
 - IC Switching 속도 : (2000년) 200Giga Hz에서 1Tera Hz

	2000년 초	현재	TND 목표
Tech. Node	100nm 이상	32nm급	20nm급 이하
Memory Density	512Mb 이상	16~32Gb	1 Tb급
Band-width	Giga급 이하	Giga급	Tera급
Si-boosting	無	High-k	III-V, CNT, SET, High-k, ALET

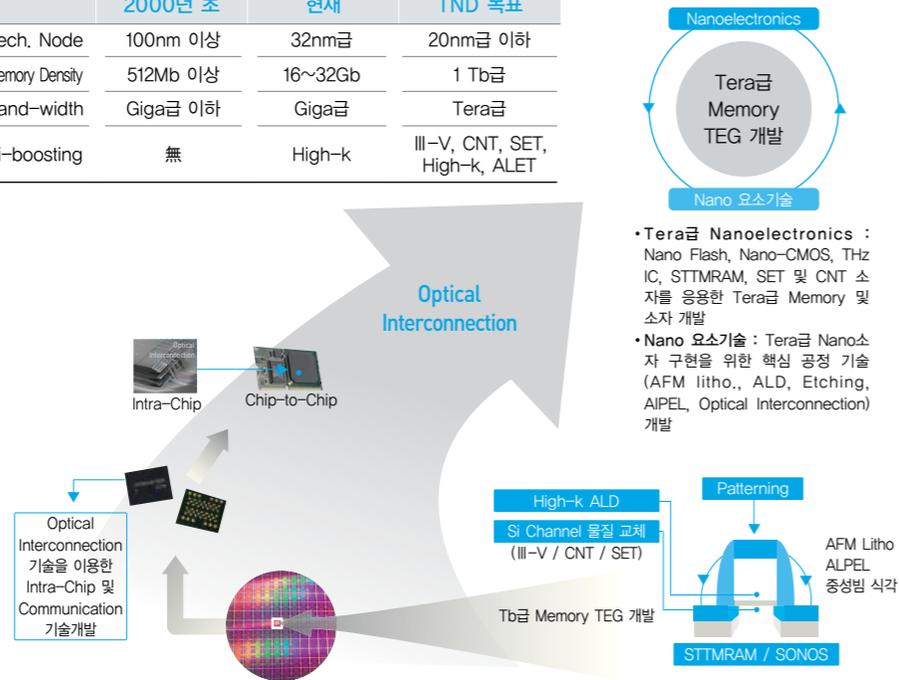


그림 5. 사업목표 및 연구개발 내용 - Portfolio 전략에 의한 과제 구성

사업단의 최종목표는 향후 5~10년 내에 겪을 반도체 소자들의 기술적·제조상의 한계를 극복하고, 초고속·초고집적·초저소비전력 테라급 집적회로로 성능시험소자를 개발하여 테라급 나노소자를 통한 인식 및 추론가능 컴퓨팅 시스템을 구현하는 것이다.

나. 단계별 목표



2. 연구분야 및 개발 내용

가. 단계별 연구분야 및 내용

구분	분야	연구개발 내용
1단계 (2000.7~2003.6)	Tera급 Nanoelectronics	<ul style="list-style-type: none"> ● Tera급 단전자메모리(SEM), 50nm급 CMOS, RT-based 단위소자설계 및 제작
	Spintronics	<ul style="list-style-type: none"> ● Spin/electron을 조합한 Hybrid 소자제작 및 재료연구 (MR Ratio 40%이상)
	분자 전자 소자	<ul style="list-style-type: none"> ● Tera급 가능 단위소자 제작(25°C Transistor)
	나노 요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 50nm급 요소기술개발 및 Nano-분석 기초 연구
2단계 (2003.7~2006.3)	Feasibility Study	<ul style="list-style-type: none"> ● 클러스터 이온을 이용한 나노소자용 Shallow Junction 형성 Implantation 기술, 극자외선 노광 요소기술, 상변화 메모리 소자설계용 요소기술 개발 ● Tbps급 수동 소자를 위한 유전체 박막의 초고주파 특성 연구 및 고유전율 산화물 초격자의 제조 및 물성 연구
	Tera급 Nanoelectronics	<ul style="list-style-type: none"> ● Tera bit급 Si 기반 비휘발성 메모리 개발 ● Nano CMOS 개발 ● SET Logic 소자 개발 ● Tera bps급 집적회로 개발 ● Tera bit급 탄소나노튜브 전자소자 개발
3단계 (2006.4~2010.3)	Resistive-RAM	<ul style="list-style-type: none"> ● 256 Mbit급 MRAM Array 개발 ● 초고집적 상변화 메모리 개발
	나노 요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 고속 AFM Litho. 이용 패턴제작 및 정밀제어 기술개발 ● 나노 식각장비 및 공정 개발 ● 단원자층 증착 기술 개발 ● 원자 이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발 ● Tera급 광연결 기술 개발
3단계 (2006.4~2010.3)	Tera급 Nanoelectronics	<ul style="list-style-type: none"> ● Tera bit급 Si 기반 비휘발성 메모리 개발 ● SET Logic 소자 개발 ● Tera bps급 집적회로 개발 ● Tera bit급 탄소나노튜브 전자소자 개발
	Magneto-electronics	<ul style="list-style-type: none"> ● 초고집적 자기소자 개발
3단계 (2006.4~2010.3)	나노 요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 고속 AFM 리소그래피 시스템 개발 ● 나노소자용 식각장비 및 공정 개발 ● 단원자층 증착기술 개발 ● 원자 이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발 ● 테라급 광연결 Platform 및 시스템 응용기술개발

나. 기술개발 로드맵



03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론

가. 연구성과 종합의견

사업단의 대표성과인 세계최초 40나노 32기가 낸드플래시 핵심기반기술은 삼성전자에 103억원의 기술료를 징수하고 이전했다. 이 기술은 상용화 이후 10년간 17조원의 경제효과(STEPI, 2008.12)가 기대되어 2010년 종료사업단 중 대표성과로 꼽혔다. 또 세계 반도체 업계의 지난 20년간의 꿈의 기술인 실리콘 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발에 성공하였다.

이밖에도 중성빔 식각 및 중성빔 원자층 식각기술 개발 성과는 ITRS 2007에서 향후 추진해야할 식각기술로 언급하여 우리가 개발한 기술이 세계기술을 선도하게 되었다.

이렇듯 사업단에서 개발한 연구성과는 세계최초이자 세계최고 기술로, 이미 세계를 리드하는 기술을 보유하고, 선진국(최고 기술보유국) 대비 사업단의 기술수준을 100% 달성하는 등 나노전자소자 분야의 기술경쟁력을 강화하였다.

논문 실적의 경우, 정부출연금(903.66억원) 1억원당 SCI 논문 1건 이상, 총 904건을 목표로 총 938건이 게재되어 1억원당 1.04건 및 목표 대비 34건이 초과달성하였다. 특허출원의 경우 정부출연금 1억원당 1건 이상, 총 904건의 목표로 설정한 가운데 총 1,279건이 출원되어 1억원당 1.41건 및 375건 초과달성하였다. 특허등록의 경우, 정부출연금 1억원당 0.5건 이상인 452건의 등록 및 출원 건수의 50%(635건) 이상을 목표로 하였다. 총 653건의 특허가 등록되어, 1억원당 0.72건의 성과를 거두었다.

2006년부터 2008년(3년간) 동안 사업단의 미국특허 등록수는 68건으로 정부출연금(3년간 260억원) 억당 0.262건을 보이고 있다. 국가전체 연구개발사업의 경우 연구비(93조 1,452억원) 억당 미국특허등록수는 0.021건, 교과부 주요 R&D 사업(4조 1,325억원) 억당 미국특허등록수는 0.0083건으로 본 사업과는 상당한 차이를 보였다.

사업단은 총 15건의 기술이전에 성공하고 총 282.46억원의 기술료를 징수하게 됨에 따라 정부출연금(903.66억원)의 20%로 설정한 181억원의 목표 기술료 징수액을 101.46억원(11.26%) 초과 달성하였다.

나. 사업운영에 관한 종합의견

(1) 사업관리

프론티어사업은 10년 이상의 장기적인 개발기간이 필요한 '고위험·고수익'의 특성을 갖고 있다. 따

라서 단기적 수익창출은 어렵지만 일단 성공하게 되면 막대한 부를 창출할 수 있기에, 테라급나노소자개발사업단은 프론티어사업의 취지에 따라 장기적 안목을 갖고 단계별 경영전략 수립, 철저한 사전기획과 기술환경변화에 따른 신속한 대응력을 갖고 철저한 현장중심적 사업관리를 추진하였다.

단계별로 과감하고 도전적인 경영목표를 내걸고, 참여연구원 모두와 워크숍을 통해 경영방침을 공유하였다. 세계 최초 및 최고 기술을 확보하기 위해 선진기술의 변화추이를 상시 모니터링하고 SWOT 분석과 기술격차분석을 통해 과제목표가 기술변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 무빙 타겟(Moving Target) 개념을 도입하였다.

사업초기부터 목표 및 위기관리를 위해 프론티어사업단 중 최초로 과제목표관리시스템(PMS)을 자체 개발하여 온라인 상에서 실시간으로 과제를 관리하고 실시간으로 진척상황, 연구팀들의 동향 및 문제점 등을 실시간으로 한눈에 파악할 수 있어 조기 대책 수립이 가능한 조기경고시스템으로도 활용하였다.

사업단은 연구의 자율성과 독립성을 최대한 보장하기 위한 법인화된 기관으로, 이 점을 적극 활용하여 절차는 간소화하되 합리적이고 투명한 인력 및 예산관리를 이루어냈다.

(2) 경영성과

단계별 경영목표 수립전략에 따라 1단계 경영목표로 'The First, The Best'라는 가치를 내걸고 R&D를 수행한 결과, 'The Best(세계 최고)' 7개 과제, 'The First(세계 최초)' 11개 과제, 국내 최초 및 최고 기술을 10개 과제에서 달성하였다.

이를 바탕으로 2단계 경영목표를 나노소자 분야에서 세계를 이끌기 위해 'To lead the world'로 세웠다. 경영목표를 달성하기 위해 연구 역량강화, 기술 환경변화 대응력 강화, Global Partnership 강화, 국제 학회활동 강화, 체계적인 목표관리 등을 추진하였다. 그 결과, 세계 최고 및 최초 기술 6개, 세계 최고 기술 4개, 세계 최초 기술 6개를 확보하였다.

국내 기술의 불모지였던 화합물 반도체 초고속 소자 및 Data Bank를 나노기술특화센터에 이전하여 국가적인 기술 인프라를 구축하였다. 만약 사업단이 기술 환경변화를 예측하지 못해 투자를 하지 않았다면 해외로부터 기술이전을 받는 데 막대한 예산이 투입되었을 것이며, 자체적으로 기술을 확보하는데 적어도 5년 이상 걸렸으리라 생각된다. 또한 국내 MMIC 부품이 국산화되면 5년간 약 100억원 이상의 경제적 이득을 거둘 것으로 기대된다.

광배선 기술도 마찬가지로 사업초기 우리나라에 없는 기술을 2010년 이후 필요할 것이라는 기술 예측에 따라 추진한 결과 국가적 기술 인프라를 구축하였다.

2단계부터는 연구성과의 실용화 및 사업화를 적극적으로 추진하기 위해 '비즈니스 모델 개발(BMD,

01 | 세계 최초 40나노 32기가 낸드플래시 CTF(Charge Trap Flash) 핵심 기반기술 개발

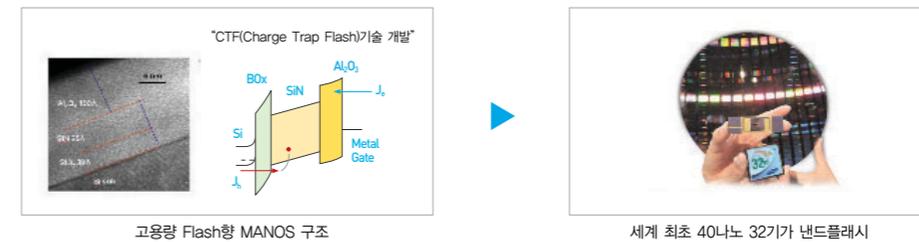
- 낸드플래시 고집적화의 난제 해결
- 삼성전자에 103.45억원의 기술료 징수
- 2014년 낸드플래시 메모리 세계시장 60% 점유 시 약 18조원의 경제효과 예상

2006년 9월, 삼성전자는 세계 최초로 40나노 32기가 낸드플래시를 개발했다. 이 성과는 낸드플래시 메모리의 고집적화의 난제를 해결한, 사업단에서 개발한 'MANOS(Metal/Al₂O₃/SiN/SiO₂/Si)' 라는 신구조 개발을 통해 가능했다. 사업단의 신 구조 적용을 통한 CTF(Charge Trap Flash) 기술은 낸드 플래시의 스케일링(scaling) 장벽을 뛰어넘을 수 있는 대안기술로서 차세대 초고집적 플래시 메모리 개발이 기대되고 있다.

이 연구성과는 '2006년 최고 과학기술 뉴스' (한국과학기술단체총연합회, 2006년 12월), 'CTO가 뽑은 2006년 산업기술계 최대 이슈' (한국산업기술진흥협회, 2006년 12월), '지난 40년간 한국을 바꿔놓은 최고의 과학기술 업적' (매일경제, 2007년 4월), '2007 과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선' (2007년 12월) 등 다수의 우수 연구성과로 선정되었다.

이 연구결과는 2010년 이후 낸드플래시 메모리 세계시장 20% 점유 시 향후 10년간 약 16.9조원의 경제효과를 불러올 것으로 예상되며 (과학기술정책연구원(STEPI), 2008년 12월), 2014년 낸드플래시 메모리 세계시장 60% 점유 시 약 18조원의 경제효과가 예상되고 있다(ITRS 2009, Forecast 2004~2014). 또한 이 기술은 삼성전자와 기술실시 협약을 체결하여 103.45억원의 기술료를 징수하게 되었다.

본 연구과제는 사업착수부터 5년간 삼성종합기술원에서 추진해오다 기술의 실용화 가능성이 인정되면서 2005년 6월, 58건의 특허와 인력을 포함한 과제 전체가 삼성전자로 이관되었다.



고용량 Flash형 MANOS 구조

세계 최초 40나노 32기가 낸드플래시

3단계부터 프로젝트 모델 개발로 개칭' 과제와 '실용화추진위원회'를 운영하였다. 실용화 기술을 대상으로 기술이전 수요조사와 13건의 기술가치평가 등을 실시하고, 5건의 벤처창업과 282,46백만원의 기술료 수입을 올렸다.

세계적인 연구성과로 세계를 리드하는 연구집단으로 인정받으며 국내외 유명학회에서 총 288건(국내:95건, 국외:193건)의 초청강연을 하였다.

우수 연구결과에 대해서는 국내외 매체에 적극 홍보하여 참여연구원의 사기진작 및 정부의 과학기술 투자에 대한 국민의 신뢰를 받을 수 있도록 적극적인 홍보를 실시한 결과 48건의 기자간담회 및 보도자료 배포를 통한 연구성과 홍보 외 165건의 기타 홍보활동을 실시하였다.

10년간 총 578명(석사 410명, 박사 168명)의 연구인력을 양성하였고, 3단계만 해도 국제 공동연구 22건 및 국제 협력 132건을 수행하였고, 3천만원 이상 장비 98건에 대해 과제목표관리시스템(PMS) 및 한국기초과학지원연구원 연구장비 보유망에 등록하여 공동 활용을 도모하였다.

대외적으로 NANO TECH 컨퍼런스 등 18회의 전시회 및 심포지움을 주최 및 참여하며 나노기술 확산을 위한 노력을 아끼지 않았다. 자체 제작한 나노기술 홍보만화책은 26,300여권이 배포되어 일반인 대상의 나노기술 확산에도 큰 역할을 하였다.

2. 대표적 성공사례

번호	대표적 연구성과명	연구기관(책임자)
1	세계 최초 40나노 32기가 낸드플래시 CTF (Charge Trap Flash) 핵심 기반기술 개발	삼성전자(이종만)
2	실리콘 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발	한양대학교(오재응)
3	세계 최초 중성빔 원자층 무손상 식각기술 개발	성균관대학교(염근영)
4	세계 최초 단전자 소자(SET) NAND/NOR 및 XOR 로직 회로 개발 및 상온동작 Si-SET 개발 및 상온동작 5-bit MV Literal logic gate 제작	충북대학교(최중범)
5	세계 최초 원자 이미지를 이용한 전자빔 리소그래피 원천기술(AIPEL) 개발	서울대학교(김기범)
6	양자효과 응용 신개념 집적회로 세계 최초 개발	KAIST(양경훈)
7	탄소나노튜브 트랜지스터의 양극성을 이용한 논리회로 개발	성균관대학교(이영희)

02 | 실리콘 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발

- '자기정렬 결함감소(Self-Aligned Dislocation Annihilation)' 원천기술 개발
- 세계 반도체 업계의 지난 20년간의 꿈 실현
- 세계적인 나노기술 학회지인 Nanotechnology에 게재 (2009년 6월 3일)

2010년 6월, 지난 20년간 세계 반도체 업계의 꿈이었던 '실리콘 기판 위에 화합물 반도체를 성장시켜 반도체의 성능을 획기적으로 성장시킬 수 있는 원천기술'이 한양대 오재웅 교수팀에 의해 개발되었다. 연구팀은 '자기정렬 결함감소(Self-Aligned Dislocation Annihilation)'라는 자체 개발한 원천기술을 통해 기술개발에 성공하였다.

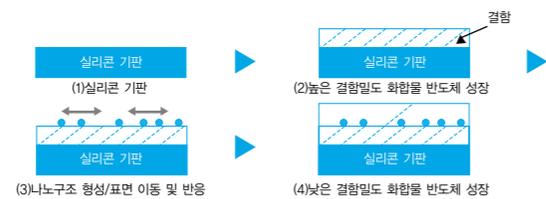
현재 반도체 시장의 주류는 실리콘 반도체로서, 반도체 시장의 90%이상을 차지하고 있다. 하지만 실리콘 반도체는 발광 효율이 매우 낮고, 낮은 전자의 속도로 인해 초고속 동작의 한계를 갖고 있다.

이에 비해, 화합물 반도체는 구성 원소에 따라 다양한 파장의 빛을 방출하여 LD(Laser Diode), LED(Light Emitting Diode) 등 광(光)소자나 조명용 소자로 사용되며, 실리콘에 비해 전자의 속도가 수 배~수십 배 이상 빨라 높은 주파수에서 우수한 동작 특성을 요구하는 통신장비 부품으로 일부 사용된다. 그러나 실리콘 웨이퍼에 비해 5배 이상 비싸다는 단점이 있다.

이를 위한 해결책으로 값싼 실리콘 기판에 화합물 반도체를 성장시켜 우수한 광학 특성과 초고속 동작이 가능한 반도체 소자를 만들고자 하였다. 그러나 실리콘과 화합물 반도체처럼 서로 다른 반도체 간 성장은 구성 반도체의 원자 배열과 물질의 특성이 서로 달라 결함 밀도가 높고, 이로 인한 소자의 특성 저하가 실용화의 큰 걸림돌이 되었다.

연구팀은 자체적으로 개발한 기술을 적용하여 실리콘 기판에 다양한 화합물 반도체를 성장시켰으며, 물질에 따라 기존 기술보다 1/100 이하의 결함 밀도를 갖는 고품질 반도체를 성장시키는 데에 성공했다.

이 기술은 나노 양자점이 결함 주변으로 몰리는 표면이동 현상을 이용하여, 이중 반도체 간 성장 시 발생하는 결함 밀도를 획기적으로 감소시키는 원천기술로 공정이 단순하면서도 원하는 위치에만 선택적으로 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한 저손상 III-V 물질을 실리콘 기판 위에 성공적으로 성장시킬 경우 'Beyond CMOS' 소자 기술의 개발 외에도 Photonic device 를 집적화하는 다양한 응용 영역이 개발될 것으로 기대된다.



자기정렬 결함감소 기술

03 | 세계 최초 중성빔 원자층 무손상 식각기술 개발

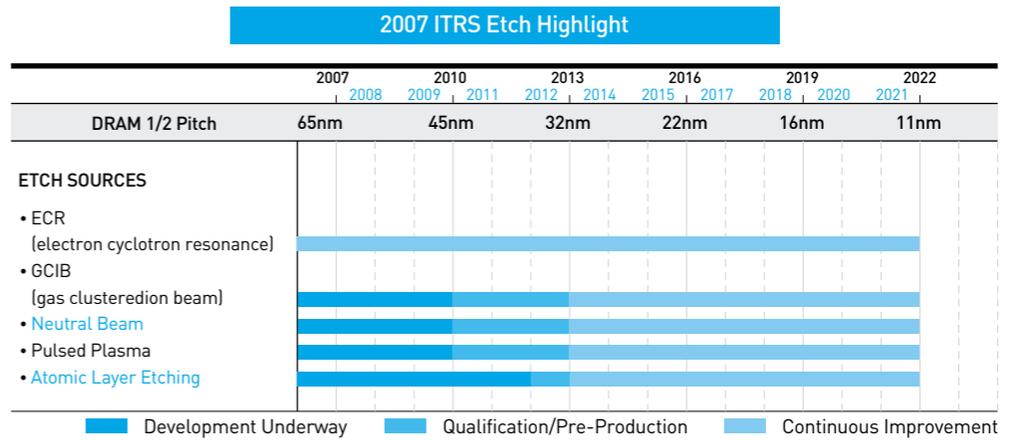
- 2007년판 국제반도체기술로드맵(ITRS)에 향후 추진해야 할 차세대 식각기술로 등재
- 2007년 세계 최초 화합물 반도체(HEMTs) 소자 공정에 적용, 소자 특성 향상
- 2009년 美 SEMATECH과 실리콘 반도체에 세계 최초로 적용에 성공

나노미터 스케일의 반도체가 정상적으로 작동하기 위해서는 전기적인 손상이 없어야 하며 물리적인 손상도 손쉽게 제거할 수 있는 단일원자층(monolayer) 수준의 손상 정도만이 허용되고, 원자층 수준의 식각 깊이가 조절이 필수적일 것으로 예측되는 가운데 성균관대 염근영 교수팀은 세계 최초로 무손상 중성빔 원자층 식각기술을 개발했다.

염 교수팀이 개발한 '중성빔 식각기술 및 원자층 식각기술'은 50nm 이하의 나노소자 공정의 문제점을 해결할 수 있는 기술로, ITRS 2007은 향후 추진해야 할 차세대 식각기술로 등재되었다. 이는 우리가 개발한 기술이 세계의 선도기술이 된 일찍이 유례가 없는 사건이다.

이밖에도 연구팀은 2007년 10월 중성빔 원자층 식각기술을 세계최초로 화합물 반도체인 HEMTs 소자 공정에 적용한 결과 소자의 특성이 획기적으로 향상됨을 확인하였다. 이 결과는 '2008 교육과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선' 및 '2008 국가연구개발사업 우수연구성과 100선(2008.10)'에도 선정되었다.

또, 미국 SEMATECH과 공동연구를 통해 세계 최초로 '중성빔 원자층 식각장비를 이용한 차세대 금속 산화막반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET)의 게이트 저손상 식각 기술'을 세계 최초로 개발하였다. 본 기술이 상용화될 경우 2010년 이후 6조원 규모의 반도체 식각 및 증착장비 세계시장에서 연간 4천억원 이상의 매출이 기대되는 가운데, 연구팀은 2건의 관련 원천기술을 국내기업에 기술이전 하였다.



2007 ITRS에서 발표한 향후 추진해야 할 식각기술 -중성빔(Neutral Beam) 및 원자층 식각(Atomic Layer Etching)

04 | 세계최초 단전자 소자 낸드/노어 및 XOR 로직 회로 개발 및 상온동작 Si-SET 개발

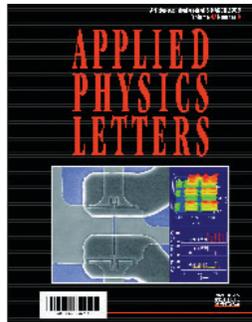
- 미국응용학회 발행 - 응용물리학회지 'APL' 2008년 3월 표지논문 게재
- '네이처 나노테크놀로지' 에 주목할 만한 연구성과로 선정(2008년 3월 22일)

향후 실리콘 반도체를 대체할 하나의 방안으로 대두되고 있는 단전자 트랜지스터(SET)는 전자 한 개를 제어하여 신호를 전달하는 기술로 수십 마이크로와트(μW) 수준의 초저소비 전력과 다중 비트급 메모리 및 로직 회로 구현이 가능하다. 현재 반도체의 고집적 기술에서 최대 난제는 소비전력과 발열문제로 앞으로 반도체의 고집적화가 이뤄지려면 이 2가지 문제를 꼭 풀어야 한다. SET는 전자 1개로 작동하기 때문에 현재 기술로는 불가능한 이 2가지 문제를 해결할 수 있다.

충북대 최중범 교수팀은 단전자 트랜지스터의 낸드(NAND) 및 노어(NOR) 로직회로 온칩 나노집적 공정 기술을 개발하여 반도체의 집적도를 크게 향상시키면서도 소비전력을 수십 배 이상 획기적으로 줄일 수 있게 되었다. 이 기술은 노트북 및 휴대전화 등 모바일기기의 소비전력을 현재보다 수십 분의 1로 줄일 수 있는 획기적인 기술로, 미국응용학회에서 발행하는 응용물리학회지 APL(Applied Physics Letters)의 2008년 3월 표지논문으로 게재되었으며, 세계적으로 저명한 나노기술 분야 학술지인 네이처 나노테크놀로지(Nature Nanotechnology)에 주목할 만한 연구성과로 선정되었다(2008년 3월 22일).

또한, 세계 최초로 5-bit 상온동작 Si-SET 개발 및 상온동작 5-bit MV Literal logic gate를 제작하였다. 이를 통해 세계 최정상급의 SET 특성을 확보하였다.(5-bit 상온동작 Si-SET : 5bit, >4CBO, RC >2THz, Vds>100mV, T>300K, CMOS-compatible, 상온동작 5-bit MV Literal logic gate : swing voltage as high as 1V).

SET의 개발 시에는 PC, 노트북 및 모바일 기기의 CPU 및 메모리 집적도는 수십 배 향상시키며 동시에 소비전력을 기존의 칩보다 10~100배 감소시켜 모든 IT 및 통신기기의 초절전 에너지 절약 효과로 CO₂ 배출을 기존에 비해 10~100배 정도 대폭 감소시켜 녹색 IT 구현의 핵심대안으로 기대된다.



APL 표지논문

05 | 세계 최초 원자 이미지를 이용한 전자빔 리소그래피 원천기술(AIPEL) 개발

- 기존 전자빔 리소그래피 비해 33배 이상의 생산성 향상
- 연구팀에서 직접 명명한 세계 유일무이한 기술이자 장비
- 'Advanced Material' 게재 및 '중요연구 중 중요연구(Advanced in Advance)' 선정 (2007년 12월)

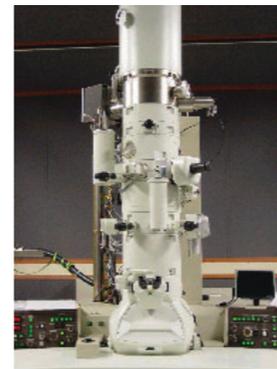
AIPEL (Atomic Image Projection Electron-beam Lithography)로 명명된 이 전자빔 리소그래피 기술은 고분해능 투과전자현미경을 이용하여 옹스트롬 (\AA , 10분의 1나노미터) 크기의 원자 이미지를 수십 배에서 수백 배의 영역에서 확대하여 수 나노미터(nm)에서 수십 나노미터 크기의 패턴을 기관위에 형성하는 원천기술이다. 이 기술은 세계 최초의 기술이자 세계에서 단 하나 뿐인 장비로 서울대 김기범 교수팀에서 직접 명명하고 개발한 기술이다.

연구팀은 이 기술을 이용하여 20 나노미터급의 양자점 및 양자선을 대면적 기관에 형성 할 수 있는 핵심기술 개발에 성공하였으며, 저명한 재료학회지인 'Advanced Material' 에 게재됨과 동시에 '중요연구 중 중요연구(Advanced in Advance)' 로 선정되었다(2007년 12월).

연구팀은 Top-down 방식으로는 구현이 어렵다고 생각되었던 10nm 이하 크기의 양자점 및 양자선을 균일하게 조절하여 형성시킬 수 있는 방법을 제시함에 따라 향후 다양한 패턴과 재료의 양자점 및 양자선 형성이 가능하여 새로운 소자들의 구현 및 그 응용 물성의 측정을 가능하게 할 것이다.

또한, 투과전자 현미경에서 얻어지는 원자이미지를 이용하여 사진을 찍듯이 패턴을 형성하기 때문에 기존 전자빔 리소그래피 비해 33배 이상의 생산성 향상이 기대된다.

이 연구가 시작된 10년 전에는 우리나라가 자체 보유한 전자빔 리소그래피 장비기술은 전무한 상태로, 양자점·선 제작기술도 확실하지 않았다. 이러한 상황에서 '볼 수 있는 것은 만들 수 있다'는 믿음과 미래기술로 자리매김할 확신이 있었기에, 오랜 기간이 걸리는 연구임에도 불구하고 10년이 채 되지 않아 기술개발의 성과를 이루어낼 수 있었다.



AIPEL

06 | 양자효과 응용 신개념 집적회로 세계 최초 개발

- 나노기술분야 세계적 학술논문지인 IEEE 나노테크놀로지(10. 5), IEEE NANO 2010 국제학술대회(10. 8), IEEE IPRM 2010 국제학술대회(10. 6)에서 발표
- 국내특허 등록 5건, 미국특허 등록 3건 확보

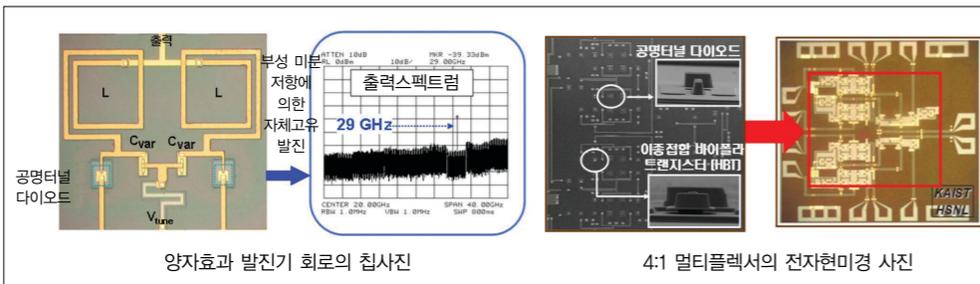
현재 Si CMOS 기술은 소자 크기가 나노미터로 작아져 회로의 고밀도화에 따른 소자 불균일 및 고발열 등의 문제가 심각하게 대두되어 Beyond CMOS로 대표되는 신개념의 나노소자 및 집적회로 연구가 필수적이다.

KAIST 양정훈 교수팀은 양자효과 기반의 공명터널 다이오드 (RTD : Resonant Tunneling Diode)를 이용한 저전력 아날로그/디지털 집적회로의 핵심부품으로 세계최고 성능의 아날로그·디지털 통신용 집적회로의 핵심부품인 초고주파 발진기 회로와 4대1 멀티플렉서 회로 개발에 성공하였다.

양정훈 교수팀의 초고주파 발진기 회로는 최신 Si CMOS 기반 집적회로에 비하여 소비전력을 1/170 (0.6%)로 줄일 수 있고, 4대1 멀티플렉서 집적회로의 경우는 최신 Si CMOS 회로에 비하여 소자수는 1/3, 전력소모는 2/3 이하로 줄일 수 있어 혁신적인 성능향상 및 에너지 절약이 가능하게 되었다.

또 상온 및 고온에서도 안정적인 동작특성을 나타냄으로써 실용성도 겸비하였을 뿐만 아니라 기존의 화합물 반도체 소자 기반 집적회로 공정설비를 그대로 적용할 수 있기 때문에 수 년 내 상용화 양산 체제에 들어갈 수 있을 것으로 예상된다.

양자효과 초고주파 발진기 회로는 약 12조원 규모의 바이오센서 시장 (13년 경) 및 2조3000억원에 달하는 유비쿼터스 헬스케어 등의 시장 (15년 경) 에서 초저전력용 핵심 부품으로 활용될 수 있고, 4대1 멀티플렉서는 초고속 광통신 시스템에 적용되는 기존 CMOS 기반 멀티플렉서를 즉각적으로 대체할 수 있어 약 60조원의 광송수신 모듈 시장 (15년 경) 을 이끌어 갈 핵심기술로 자리매김할 것으로 전망된다.



07 | 탄소나노튜브 트랜지스터의 양극성을 이용한 논리회로 개발

- 개념적인 발상의 전환으로 탄소나노튜브의 양극성을 단점이 아닌 장점으로 응용
- 나노분야의 저명학술지인 Nano Letters 2009년 4월호에 게재
- Nature에서 아시아·태평양 지역의 최고의 재료과학 연구결과만을 발표하는 Asia Materials에 리서치 하이라이트로 소개

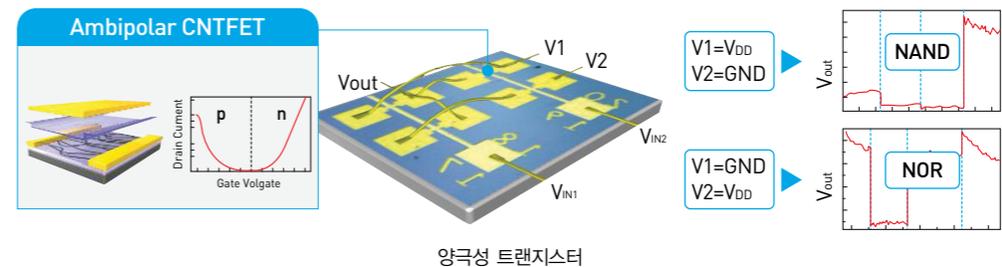
단일층 탄소나노튜브는 실리콘 다음세대를 이어갈 전자소자 재료 중 하나로, 탄소나노튜브를 트랜지스터에 응용하는 경우 고집적 테라비트메모리 및 초고속 컴퓨터의 제작이 가능할 것으로 전망되어 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

실리콘 트랜지스터는 전류를 흐르게 하는 매체가 전자 혹은 홀(hole)이 되는 단극성 특성을 갖고 있지만, 탄소나노튜브는 하나의 트랜지스터 안에서 전류를 흐르게 하는 매체가 전자가 되기도 하고 홀이 되기도 하는 양극성 특성을 갖고 있다.

지금까지 탄소나노튜브 트랜지스터를 실리콘 트랜지스터와 같이 작동시키기 위해 화학적으로 불순물을 주입하여 양극성을 단극성으로 바꾸는 등 많은 노력이 이루어져 왔으나, 불순물의 제어가 쉽지 않고 공기 중에서 불안정하여 신뢰성이 떨어지는 단점이 있었다.

성균관대 이영희 교수팀은 탄소나노튜브의 양극성을 단극성으로 바꾸지 않고도, 특성 그대로를 장점으로 활용할 수 있음을 세계 최초로 증명하고, 이를 이용하여 여러 기능의 논리회로를 구현할 수 있는 기술을 개발하였다. 이를 위해 탄소나노튜브로 만든 논리회로에 단순히 양(+)과 음(-)의 공급전압만을 바꿔주면 전류의 흐름이 바뀌어 논리회로의 기본회로인 NAND 및 NOR 기능이 모두 구현됨을 확인하였고, 신뢰성 또한 향상시킬 수 있었다.

이 방법을 적용하면 기존 실리콘의 NAND 및 NOR 논리회로 구현에 필요했던 8개의 트랜지스터를 4개만으로 구현할 수 있기 때문에 집적도가 두 배로 향상되며, 작업 방법이 매우 간단하여 실제 공정에서도 적용이 용이할 것으로 예측된다. 또한 이를 이용하면 전자소자의 집적도를 획기적으로 증가시킬 수 있어 핸드폰 등 무선통신용 초절전 나노 집적회로 제작에 응용이 가능할 것이라고 밝혔다. 그동안 탄소나노튜브의 트랜지스터 응용은 미국의 IBM 등 선진국이 주도하였으나 이번 연구성과를 통해 원천특허를 확보할 수 있게 되어 차세대 탄소나노튜브 반도체 분야에서 선진국과 대등한 기술 경쟁을 할 수 있게 되었다.



3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

표 9. 정량적 연구성과 현황 (2000. 7 ~ 2010. 3)

(단위 : 건수, 백만 원)

연도	논문게재			학술발표			특허출원			특허등록			기술료 수입			
	국내 (SCI)	국외 (SCI)	계 (총칭)	국내 (초청)	국외 (초청)	계 (초청)	국내	국외	계	국내	국외	계	기징수		징수예정	
													건수	금액	건수	금액
1단계	77 (46)	198 (192)	275 (238)	322 (30)	332 (56)	654 (86)	162	120	282	12	6	18	-	-	-	-
2단계	54 (31)	307 (300)	361 (331)	259 (37)	399 (75)	658 (112)	245	231	476	121	75	196	4	119	-	-
3단계	48 (32)	345 (337)	393 (369)	241 (28)	567 (62)	810 (90)	287	225	512	302	137	439	6	10,846	5	17,281
합계	179 (109)	850 (829)	1,029 (938)	822 (95)	1,300 (193)	2,122 (288)	694	576	1,270	435	218	653	10	10,965	5	17,281

나. 성과 지표별 성과분석

(1) 논문

사업단은 정부출연금(903.66억 원) 1억 원당 SCI 논문 1건 이상을 목표로, 10년간 총 904건의 목표를 설정한 가운데, 10년간 총 938건이 게재되었다. 이로써, 904건의 목표 대비 34건을 초과달성하였으며, 1억 원당 1.04건의 성과를 거두었다.

논문 게재 수를 참여과제수와 참여연구원 비율에 따라 분석해보면, 참여과제(173개) 1개 과제당 5.42건의 논문을 발표하였고, 참여연구원(4,422명) 1인당 0.21건의 논문을 발표한 것을 볼 수 있다.



그림 6. SCI논문 건수 및 분석

● 순위보정 IF

논문이 게재된 학술지의 게재년도 IF를 고려한 순위보정 IF는 0.7 이상을 목표로 설정하였다. 그 결과 사업단의 순위보정 IF 값이 0.73으로 나타나 목표를 초과달성했음을 보여주었다.

순위보정 IF를 단계별로 분석한 결과, 단계가 지날수록 그 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 해당 연구분야 내 높은 순위의 학술지에 논문 게재가 증가하였으며 이는 논문의 질적 우수성이 향상되었음을 의미한다. 2008년도 국가전체 '순위보정 IF' 값은 0.60, 교과부 주요 R&D 사업은 0.68로 사업단에서 발표한 논문의 질적 수준이 우위한 것을 알 수 있다. (출처: 2009 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석 보고서 p.70)

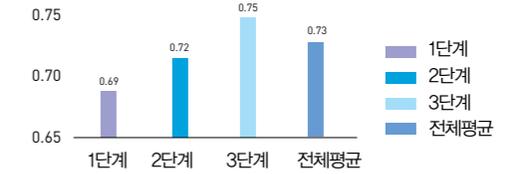


그림 7. 순위보정 IF

● 해당 저널 백분율 값

전체 평균 백분율 값이 29.91로 상위 30% 이내의 해당 학술지분야에 논문 게재되었음을 알 수 있다.

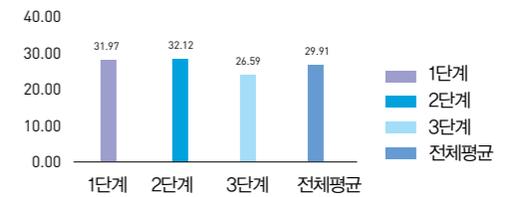


그림 8. 해당저널 백분율 값

● 표준화 값

사업단의 논문 표준화 값은 1.19로 해당학술지 분야의 IF평균보다 높은 학술지에 논문이 게재되었음을 의미하며 이는 게재된 학술지들의 질적 우수성을 의미한다. 2008년도 국가전체 '분야대비영향력지수(표준화값)' 값은 0.95, 교과부 주요 R&D 사업은 1.11로 나타났다. (출처: 2009 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석 보고서 p.70)

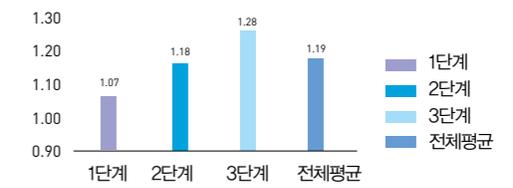


그림 9. 표준화 값

● 게재된 SCI 학술지 평균 인용을 대비 사업단에서 발표한 논문의 인용도 비교

사업단에서 발표한 논문이 게재된 SCI 학술지들의 게재년도 평균 Impact Factor와 해당 사업성과로 제출된 논문들의 평균 인용도를 비교하여 논문의 질적인 수준을 평가하였다. 게재된 SCI 학술지 평균 인용을 대비 논문 인용도가 '1' 이상인 경우 성과로 제출된 논문이 해당연구분야의 IF 평균값보

다 타 논문에 다수 인용되어 게재 논문의 질적 우수성을 의미하므로 사업단은 '1' 이상을 목표로 설정하였다.

사업단의 결과값은 3.78로, 제출된 논문들의 인용도가 타 SCI급 논문들의 평균인용도보다 상대적으로 높다는 것을 의미하므로 논문의 질적 우수성을 입증하였다.

(2) 지적재산권 출원 및 등록

특허출원의 경우 정부출연금 1억원당 1건 이상의 출원을 목표로 10년간 총 904건의 목표를 설정한 가운데, 10년간 국내출원 694건, 해외출원 576건으로 총 1,279건이 출원되어 904건의 목표를 375건 초과달성하여 1억원당 1.41건의 성과를 거두었다.

특허출원의 경우, 참여과제수와 참여연구원 비율에 따라 분석해보면, 총 참여과제수 173개로 10년간 과제당 7.34개를, 4,422명의 참여연구원 1인당 0.29건의 특허출원 결과를 볼 수 있다.

2008년 교육과학기술부 주요연구개발사업의 총 특허출원실적(국내 및 해외 포함)은 4,305건으로 연구비 1억원당 0.277건의 출원 건수를 나타내고 있다. (출처:2009 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석 보고서 P.43, P.58)



그림 10. 특허출원 건수 및 분석

특허등록의 경우, 정부출연금 1억원당 0.5건 이상인 452건의 등록 및 출원 건수의 50%이상을 목표로 설정한 가운데, 총 653건이 등록되어 1억원당 0.72건 및 51.4%의 성과를 나타냈다.



그림 11. 특허등록 건수 및 분석

2008년도 국가전체와 교육과학기술부 주요 R&D사업의 연구비 1억원당 국내특허 등록 수는 각각 0.177, 0.11인 반면 본 사업의 경우 정부출연금 1억원당 국내특허 등록 수는 0.48로 상당한 성과를 나타내었다. (출처:2009 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석 보고서 p.23)

또한, 출원과 마찬가지로 참여과제 수와 참여연구원 수의 비율로 특허등록 결과를 살펴보면, 참여과제 당 3.77건과 참여연구원 1인당 0.15건의 특허등록률을 볼 수 있다.

표 10. 출원특허의 등록 현황

구분	국내출원	해외출원	계	국내등록	해외등록	계	국내등록률	해외등록률	총등록률
1단계	162	120	282	132	74	206	81.5	61.7	73.0
2단계	245	231	476	196	107	303	80.0	46.3	63.7
3단계	287	225	512	107	37	144	37.3	16.4	28.1
총합	694	576	1270	435	218	653	62.7	37.8	51.4

사업단은 2002년부터 2009년까지 미국에 등록된 국내 주요 기업과 대학 및 연구소의 특허등록률을 비교하여 분석해보았다.

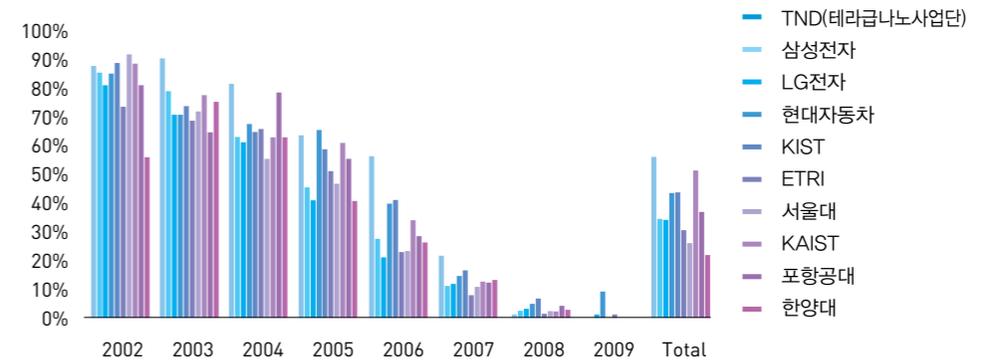


그림 12. 기관별 미국 특허 등록률

그 결과 사업단의 등록률이 55.8%로 가장 높았고 KAIST, KIST(=현대자동차) 순으로 나타났다. 본 사업의 경우 2006년부터 2008년(3년간) 동안 미국특허 등록수는 68건으로 정부출연금(3년간 260억원) 억당 0.262건을 보이고 있다. 국가전체 경우 연구비(93조 1,452억원) 억당 미국특허등록수는 0.021건, 교과부 주요 R&D 사업(4조 1,325억원) 억당 미국특허등록수는 0.0083건으로 본 사업과는 상당한 차이를 보였다. (출처:2009 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석 보고서 P.101)

표 11. 기관별 미국특허 출원, 등록, 등록율 현황

(단위 : 건, %)

출원인	구분	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
테라급 나노 사업단	출원	24	20	31	48	46	27	16	28	240
	등록	21	18	25	30	26	6	0	0	126
	등록률	87.5%	90.0%	80.6%	62.5%	56.5%	22.2%	0.0%	0.0%	55.8%
삼성전자	출원	2,358	3,716	5,283	6,637	8,549	8,482	6,251	1,317	42,593
	등록	2,003	2,916	3,323	2,917	2,295	916	151	5	14,526
	등록률	84.9%	78.5%	62.9%	44.0%	26.8%	10.8%	2.4%	0.4%	34.1%
LG전자	출원	835	1,125	1,519	1,872	1,809	1,542	1,609	587	10,898
	등록	675	793	925	745	358	176	49	6	3,727
	등록률	80.8%	70.5%	60.9%	39.8%	19.8%	11.4%	3.0%	1.0%	34.2%
현대 자동차	출원	195	221	172	206	214	245	367	22	1,642
	등록	164	156	115	134	86	36	15	2	708
	등록률	84.1%	70.6%	66.9%	65.0%	40.2%	14.7%	4.1%	9.1%	43.1%
KIST	출원	49	49	76	50	80	78	77	24	483
	등록	43	36	49	29	33	13	5	0	208
	등록률	87.8%	73.5%	64.5%	58.0%	41.3%	16.7%	6.5%	0.0%	43.1%
ETRI	출원	269	353	368	444	588	640	841	104	3,607
	등록	196	240	241	219	125	48	9	1	1,079
	등록률	72.9%	68.0%	65.5%	49.3%	21.3%	7.5%	1.1%	1.0%	29.9%
서울대	출원	11	31	48	62	87	102	96	18	455
	등록	10	22	26	28	20	10	1	0	117
	등록률	90.9%	71.0%	54.2%	45.2%	23.0%	9.8%	1.0%	0.0%	25.7%
KAIST	출원	143	97	120	75	84	143	48	13	723
	등록	126	74	75	45	29	18	0	0	367
	등록률	88.1%	76.3%	62.5%	60.0%	34.5%	12.6%	0.0%	0.0%	50.8%
포항공대	출원	26	39	36	44	62	51	57	22	337
	등록	21	25	28	24	18	6	2	0	124
	등록률	80.8%	64.1%	77.8%	54.5%	29.0%	11.8%	3.5%	0.0%	36.8%
한양대	출원	9	8	8	10	26	30	41	10	142
	등록	5	6	5	4	7	4	1	0	32
	등록률	55.6%	75.0%	62.5%	40.0%	26.9%	13.3%	2.4%	0.0%	22.5%

(자료제공 : 인포클루)

(3) 학술지 게재

국내외 학술회의를 통해 발표된 논문은 총 2,122건으로 단계가 지날수록 학술회의의 발표 건수가 증가함을 보였다. 전체 발표 논문 중 초청발표 건수가 288건(연간 평균 28.8건)에 달해 연구성과의 질적 우수성을 입증하였다.

표 12. 학술회의의 발표 논문 건수

구분	학술대회 참가 실적				합계		
	국내		국외		초청	참가	계
	초청	참가	초청	참가			
1단계	30	292	56	276	86	568	654
2단계	37	222	75	324	112	546	658
3단계	28	213	62	507	90	720	810
합계	95	727	193	1,107	288	1,834	2,122

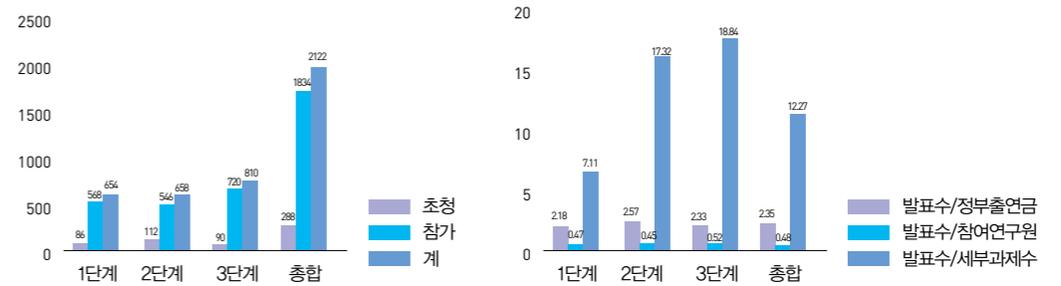


그림 13. 학술회의의 논문 발표 건수 및 분석

(4) 실용화 실적

21세기 프론티어 연구개발사업의 취지에 따라 실용화로의 연계 또한 활발히 이루어졌다. 단계별 목표와 경영방침에 따라 전략적인 사업추진 결과 3단계에 접어들며 막대한 실용화 실적을 거두었다. 나노소자 및 공정 연구분야는 초기결과가 바로 실용화로 이어지기가 어려운 분야이고 1단계에는 원천기술 개발에 집중함에 따라 초기 실용화 실적은 저조하였으나, 2단계에 집적화 기술개발 전략을 수립하면서 4건의 기술이전 및 1.19억원의 기술료를 징수하였다. 3단계에는 11건의 기술이전으로 108.46억원을 징수하고 향후 172.81억원의 기술료를 징수하게 된다.

이로써, 테라급나노소자개발사업단은 총 15건의 기술이전에 성공하고 총 282.46억원의 기술료를 징

수하게 됨에 따라 정부출연금(903.66억원)의 20%로 설정한 181억원의 목표 기술료 징수액을 101.46억원(11.26%) 초과 달성하였다.

기업 참여과제의 경우, 참여기업의 직접 실시를 통해 막대한 기술료를 징수하게 되어, 사업초기부터 추진한 수요자 중심의 연구팀 구성 전략이 성공했음을 재확인 시켜주었다.

표 13. 기술이전 실적 (단위: 백만 원)

구분	1단계 (’00. 7~’03. 6)	2단계 (’03. 7~’06. 3)	3단계 (’06. 4~’10. 3)	계
기술이전건수	-	4	11	15
기술료 계약액	기징수액	-	119	10,965
	징수예정	-	-	17,281
합계		119	28,127	28,246

표 14. 기술이전 내용

과제명	기술명	기술이전 기업	계약기간	징수금액
Tera bit급 Si기반 비휘발성 메모리 개발	실리콘 기반의 테라비트급 비휘발성 메모리 개발	삼성전자 (직접실시)	2010년 5월	10,345백만 원
초고집적 자기 소자 개발	STT MRAM 비휘발성 메모리 개발	삼성종합기술원 (직접실시)	2013년 6월 ~ 2017년 6월	7,120백만 원
Tera bit급 탄소나노튜브 전자소자 개발	탄소나노튜브 전자소자 개발	삼성종합기술원 (직접실시)	2013년 6월 ~ 2017년 6월	5,189백만 원
고속 AFM Litho. 시스템 개발	AFM 리소그래피 전용 정밀 제어 시스템 개발	두산메카텍 (직접실시)	2010년 7월~ 2014년 7월	1,300백만 원
단원자층 증착 기술 개발	PELAD법을 이용한 TaN 구리확산 방지막 개발	동부하이텍 (직접실시)	2011년 4월~ 2015년 4월	2,597.7백만 원
테라급 광연결 Platform 및 시스템 응용기술 개발	테라급 광연결 시스템 응용 기술개발 광피씨비 송수신 모듈 및 광연결 블록 연결구조	LG이노텍 (직접실시) 이오에스 (기술이전)	2010년 4월 특허기간 존속일까지	150백만 원 선급기술료 87.4백만원 경상기술료 매출액의 2%

Tera bps급 집적회로 개발	갈륨나이트라이드 기반의 제조방법	우리LST (기술이전)	2008년 2월~ 2024년 4월	선급기술료 14.3백만원
나노 식각장비 및 공정 개발	중성빔을 이용한 식각 및 산화막 표면처리용 소스	뉴파워프라즈마 (기술이전)	2007년 11월 15일로부터 10년	선급기술료 4억원 경상기술료 총매출액의 3%
	중성빔을 이용한 국내외 Gapfill을 포함한 표면세정 및 표면처리	주성엔지니어링 (기술이전)	2008년 9월 1일 ~ 계약특허의 특허만료일까지	선급기술료 5억원 (계약금 5천만원 선지급), 경상기술료 총매출액의 최대 0.45%
나노공정을 위한 새로운 플라즈마원 개발	나노소자용 식각장비 제작 및 공정개발	에스엔텍 (기술이전)	2005년 5월 16일 ~ 생산개시일로부터 5년	선급기술료 10백만원 경상기술료 매출액의 5%
	전자빔 플라즈마 소스 제작 및 공정기술	플라즈마트	2006년 2월 ~ 생산개시일로부터 5년	선급기술료 5백만원 경상기술료 매출액의 2%
Tera bps급 집적회로 개발	GaAs 화합물 반도체 RF소자 Design Cell Library	나노소자특화랩센터	2005년 12월 ~ 2015년 12월	선급기술료 100백만원
나노튜브 탐침제작기술	나노튜브 탐침제작기술	나노포커스	2003년 ~ 2013년	선급기술료 4백만원 경상기술료 매출액의 3%
MRAM용 MR소자/소재 및 단위공정 개발	MRAM용 MR소자/소재 및 단위공정 개발	하이닉스반도체 (직접실시)	2010년 5월	425백만원

※ 기타

- DC-Bias를 이용한 Remote Plasma ALD 장비 개발 (한양대, 전형탁)
 - (주) IPS와 기술이전을 위한 MOU를 체결 (2010. 3. 31)
- 고속 AFM Litho. 시스템 개발 (한양대, 이해원)
 - 효성기술원과 기술이전을 위한 MOU 체결 (2010. 2)
 - 다우케미컬(Rohm & Haas)와 공동연구개발을 위한 NDA 체결 (2010. 1)

(5) 인력양성

표 15. 석박사 연구인력 양성

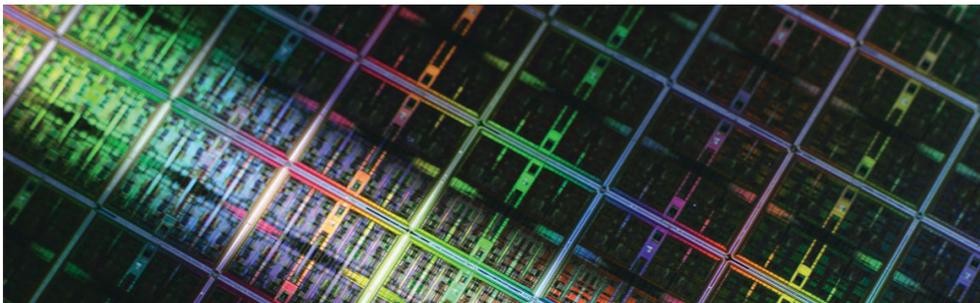
구분	석사	박사	계
1단계	79	63	142
2단계	180	42	222
3단계	151	63	214
합계	410	168	578

(6) 국제 공동연구 및 국제협력

해외 동향을 파악하고 연구개발의 시너지 효과를 극대화하기 위해 미국 코넬대(Cornell University), 미국 SEMATECH 등 세계 최고 수준의 해외 연구기관과 55건의 공동연구 및 국제협력(3단계 132건)이 이루어졌다.

● 3단계(2006. 4~2010. 3) 국제 협력 (총 132건)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
해외자문	3	2	4	2	11
해외학회 참석	21	25	18	11	75
해외연수 및 파견	4	7	5	1	17
해외전문가 초청	4	5	5	5	19
국제회의 (W/S)	0	1	4	4	9
평가 (의뢰)	0	0	0	1	1
계	32	40	36	24	132



4. 정성적 연구성과

가. 단계별 연구성과

(1) 1단계

분야	연구성과
Tera급 Nano-electronics	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 최초 테라급(30nm) SONOS 메모리 소자 제작 · 세계 최초 신구조 50nm급 Single Gate 및 40nm급 Double Gate CMOS 소자 구현 · 세계 최고 성능 SET 로직회로 온칩 개발 · 고전자 이동도 InGaAs 트랜지스터 제작
Spintronics	<ul style="list-style-type: none"> · 0.32μm² 자기터널링접합(MTJ) 제작 및 특성 확보 (MR ratio>40%) · 세계 최소형(접합면적:0.02μm²) MTJ 제작
분자전자소자	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 최초 고집적 가능 수직구조 탄소나노튜브(CNT) 소자작동(30° K) 구현 및 비휘발성 메모리 동작 구현
나노요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 최초 무손상 식각공정 중성빔 소스 설계 및 개발 · AFM Lithography 구현 - 극미세 가공 속도 100배 향상 (세계 최고속) · AIPEL(Atomic Image Projection Electron-beam Lithography) - 양자점·선 형성 Lihto, 장비 개발

(2) 2단계

분야	연구성과
Tera급 Nano-electronics	<ul style="list-style-type: none"> · NAND Flash의 초고집적 한계를 극복할 MANOS 구조 확보 · 나노소자 반도체의 산화막(1.5nm 이하) 분석방법 개발 (세계 최초) · 5nm급 나노 패터닝 및 77° K 동작 실리콘 기반 SET 개발 · 25nm InGaAs Nano HEMT(fT =511GHz) 개발 · 나노 화합물반도체 및 MMIC 제작 기술 이전 (나노소자특화랩센터) · 탄소나노튜브 상온 합성 기술 개발(세계 최초) · 반도체성 탄소나노튜브 대량 선별법 개발(세계 최고)
Resistive-RAM	<ul style="list-style-type: none"> · MRAM 고집적화를 위한 신소재 개발
나노요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 최고로 정밀한 원자힘 현미경 탄소나노튜브 탐침 개발 · 중성빔을 이용한 원자층 식각기술 개발(세계 최초) · 테라급 나노소자에 적용 가능한 원거리 플라즈마 원자층 증착기술 개발(세계 최초) · 원자 이미지를 이용하여 20nm 수준 양자점·선 형성 공정 기술 개발 · 조립식 광PCB 기반 고속 광연결 시스템 개발(세계 최초)

(3) 3단계

분야	연구성과
Tera급 Nano-electronics	<ul style="list-style-type: none"> · NAND Flash의 고집적 한계를 극복할 수 있는 32기가 40나노 NAND Flash의 핵심기반기술 개발 (세계 최초) · 상온동작 SET/FET Hybrid Circuit을 이용한 NAND 및 NOR 논리회로 개발 (세계 최초) · 실리콘 기판 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발 · 양자효과 소자를 이용한 세계 최소 전력 초고주파 발진기 및 4:1 MUX 개발 (세계 최초) · 초고속 Nano HEMT($f_T=610\text{GHz}$) 개발 · 탄소나노튜브 상온 합성 기술개발(세계 최초) · 탄소나노튜브 트랜지스터의 Ambipolarity를 이용한 논리소자 개발(세계 최초)
Magneto-electronics	<ul style="list-style-type: none"> · STT용 자기터널접합(MTJ) 개발 및 sub-100nm급 MRAM Array Integration Process 개발
나노요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 고속(2cm/s : 기존 10배) AFM 리소그래피 전용 시스템 개발 (세계 최고) · 美 SEMATECH과 공동으로 '중성빔 원자층 식각 장비'를 이용한 차세대 실리콘 나노소자 공정 기술 개발 (세계 최초) - 'ITRS 2007'에 향후 추진해야 할 식각기술로 중성빔 (원자층) 식각기술 등재 · 테라급 나노소자에 적용 가능한 원거리 플라즈마 원자층 증착기술 개발 (세계 최초) · 세계유일의 원자 이미지를 이용한 전자빔 리소그래피 원천기술(AIPEL) 개발 · 자동정렬 조립식 광 PCB 기반 고속 광연결 시스템 개발 (세계 최초)

나. 연구개발성과의 질적 우수성

(1) Tera bit급 실리콘 기반 비휘발성 메모리 개발

● 세계최초 40나노 32기가 낸드플래시 CTF 핵심 기반기술

신 구조(Metal Gate) 적용을 통한 CTF 기술개발로 2006년 9월 세계 최초 40나노 32기가 낸드플래시 개발(삼성전자)에 성공하였다. 이 연구결과는 '2006년 최고 과학기술 뉴스 (한국과학기술총연합회, 2006. 12)', 'CTO가 뽑은 2006년 산업기술계 최대 이슈 (산기협, 2006. 12)', '지난 40년간 한국을 바꿔놓은 최고의 과학기술 업적 (매일경제, 2007. 4)', '2007 교육과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선(2007. 12)'에 선정되었으며, 21세기프론티어연구개발사업의 대표성과로도 꼽혀 기술의 우수성이 입증되었다. 이 기술은 삼성전자와 기술실시 협약을 체결하고 103.45억원의 기술료를 받고 이전하였다.

● 원뿔형 신 구조 NOR 플래시 메모리용 원천기술 개발

정보처리 속도가 10배 이상 빠르고, 고집적화로 32Gb이상 대용량 메모리 저장에 가능한 독창적인 '원뿔 구조'의 NOR 플래시 메모리소자를 개발하였으며, 이 연구결과는 IEEE Electron Device Letters(2009년 12월호)에 게재되었고, 매일경제 외 총 17개 주요일간지에 보도되었다(2010.1.21).

(2) SET Logic 개발

● 세계 최초 테라급 반도체 단전자 소자 (SET) NAND/NOR 및 XOR 로직 회로 개발

전자 한 개로 논리신호를 처리하는 변환 가능한 다중치 단전자회로 기술을 세계 최초로 개발하였다. 이 기술은 노트북 및 휴대전화 등 모바일기기의 소비전력을 현재보다 수십분의 1로 줄일 수 있는 획기적인 기술로 미국응용물리학회지 Applied Physics Letters 2008년 3월호 표지논문으로 게재되었으며 Nature Nanotechnology (2008년 3월 22일)에 주목할 만한 연구로 선정되었다. 또 조선일보 외 총 9개 주요일간지에 보도되었다(2008. 3. 24).

● 세계 최초 5-bit 상온동작 Si-SET 개발 및 상온동작 5-bit MV Literal logic gate 제작

세계 최초로 5bit 상온동작 Si-SET을 개발하여 $>4\text{CBO}$, $\text{RC} >2\text{THz}$, $\text{Vds} >100\text{mV}$, $\text{T} >300\text{K}$, CMOS-compatible 등 세계 최정상급의 SET 특성을 확보하게 되었다. 또한 상온동작 5-bit MV Literal logic gate를 제작하는데 성공하여 swing voltage as high as 1V 특성을 확보하게 되었다.

(3) Tera bps급 집적회로 개발

● 세계 최고속 15nm HEMT 소자 개발

나노 HEMT 소자의 게이트 길이를 15nm까지 줄이고 트랜지스터의 동작속도를 결정짓는 전류이득 차단주파수(f_T)를 610GHz까지 끌어올려 전계효과 트랜지스터(FET) 중에서 세계에서 가장 빠른 속도를 갖는 갈륨비소계 나노트랜지스터(metamorphic HEMT:mHEMT)를 개발하였다(2007년 12월). 이 연구결과는 2007 IEDM(International Electron Devices Meeting) 발표되었으며, YTN사이언스TV 외 24개 신문에 보도되었다.

● 실리콘 위 화합물 반도체 성장 원천기술 개발

'자기정렬 결함감소(Self-Aligned Dislocation Annihilation)'라는 원천기술을 통해 반도체 업계에서 지난 20년간 꿈꿔 온 '실리콘 기판 위에 화합물 반도체를 성장시켜 반도체의 성능을 획기적으로 성장시킬 수 있는 원천기술'을 개발하였다. 이 연구결과는 세계적인 나노기술 학회지인 Nanotechnology (2009. 6. 3) 게재되었으며, YTN 및 해외사이트(TMCNet.com) 등 17개 주요일간지에 보도되었다.

● 세계 최초 양자효과 소자(공명터널 다이오드(RTD))를 이용한 신개념 집적회로인 초고주파 발진기 및 4:1 멀티플렉서 개발

개발된 초고주파 발진기 회로는 최신 Si CMOS 기반 집적회로에 비해 소비전력이 1/170 (0.6%)로 감소되었으며, 4대 1 멀티플렉서 집적회로의 경우 소자 수는 1/3, 전력소모는 2/3 이하로 줄여 혁신적인 성능향상 및 에너지 절약이 가능하게 되었다. 이 연구결과는 IEEE Nanotechnology('10.5), IEEE NANO 2010 국제학술대회('10.8), IEEE IPRM 2010 국제학술대회('10.6)에서 발표되었으며, 매일경제 외 16개 주요일간지에 보도되었다(2010.3.24).

(4) Tera bit급 탄소나노튜브 전자소자 개발

● 고성능 탄소나노튜브 트랜지스터 회로 대량생산 기술 세계 최초 개발

기존 반도체 시설을 이용하는 이 기술은 반도체 기관의 특정 위치에 '비흡착성 분자막'을 입힌 뒤 탄소 나노튜브와 나노선이 포함된 용액을 뿌리면 탄소 나노튜브와 나노선이 깨끗한 기관 표면에만 자동적으로 결합되는 원리를 이용하여 고성능 탄소나노튜브 트랜지스터 회로를 대량생산하는 기술을 개발하였다.

연구결과는 세계적 과학 잡지인 Nature가 발간하는 Nature Nanotechnology 창간호(2006년 10월)에 게재되었으며, 한국경제 외 8개 주요일간지에 보도되었다.

● 안정한 n-형 탄소나노튜브 트랜지스터 개발

바이올로젠(Viologen) 분자를 이용하여 공기 중에서도 수개월동안 안정하게 작동하는 n-형 탄소나노튜브 트랜지스터를 세계 최초로 개발하였다. 이 연구결과는 미국 화학회 저명학술지인 JACS(Journal of American Chemical Society) 2009년 1월호에 게재되었으며, 매일경제 외 6개 일간지에 게재되었다.

● 탄소나노튜브 트랜지스터의 양극성을 이용한 논리회로 개발

세계 최초로 '탄소나노튜브 트랜지스터의 양극성을 이용하여 여러 기능의 논리회로를 구현할 수 있는 기술'을 개발하였다. 그동안 단점으로만 여겨온 탄소나노튜브 트랜지스터의 양극성을 장점으로 응용하는 발상의 전환을 통해 세계 최초의 성과를 거둘 수 있었다. 연구결과는 Nano Letters 2009년 4월호에 게재되었으며, Nature에서 아시아·태평양 지역의 최고의 재료과학 연구결과만을 발표하는 Asia Materials에 6월 15일자 리서치 하이라이트에도 소개되었다. 또 전자신문 외 9개 일간지에도 보도되었다(2009. 6. 24).

(5) 초고집적 자기소자 개발

● 새로운 공정의 신개념 자기 센서 개발

산화마그네슘(MgO)위에 코발트(Co)나 철(Fe)이 1nm 두께 아래로 증착될 때 나노 입자로 쉽게 존재할 수 있는 성질과 최근에 많이 연구되고 있는 MgO 자기 터널 접합을 활용해 새로운 개념의 자기센서를 개발하였으며, 조선일보 외 3개 일간지에 보도되었다(2006.11.16).

이밖에도 $50 \times 100 \text{nm}^2$ MTJ cell 제작 공정을 확보하였으며, $\text{TMR} > 100\%$, $\text{RA} = 20 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$, $\text{Jc} = 2 \text{MA/cm}^2$ 수준의 STT-MRAM Cell 특성을 확보하였다. 또 CoFe-Tb 다층박막 구조에서 Intrinsic pinning site가 적은 구조에서의 자구벽 거동 특성을 확인하였고, 300°C 이상 (360°C)의 온도에서 수직자기이방성의 열적 안정성을 확보하였다.

(6) 고속 AFM Litho. 시스템 개발

● 고속 AFM 리소그래피 시스템 개발 및 응용 기술개발

기존 AFM 시스템 리소그래피 속도보다 10배 이상 빠른 다기능성 통합 시스템 및 Real-time AFM 이미징 시스템을 개발하였다. 이 연구결과는 2008 ISPM(International Scanning Probe microscopy) 학회에 발표되었다.

또한 고감도 AFM 및 E-beam 리소그래피용 고분자 레지스트를 개발하고 Lithography 기능이 특화된 통합 시스템 시제품을 제작하였으며, RT-AFM monitoring 기능과 SPR 접목되어 원천성 특허를 출원하였다.

(7) 나노 식각장비 및 공정 개발

● 세계 최초 증성빔 원자층 식각기술을 이용한 저손상 화합물 반도체 전자소자 구현

증성빔 원자층 식각장치를 이용하여 세계최초로 HEMTs 소자공정에 적용함으로써 소자의 특성이 획기적으로 향상되었음을 확인하였다. 이 기술이 상용화 될 경우 2010년 이후 6조 규모의 식각 및 증착장비 세계시장에서 연간 4천억 이상의 매출이 예상된다. 증성빔(원자층) 식각기술은 2007 ITRS에 차세대 식각기술로 등재되어 우리 기술이 세계를 선도하게 된 사례이다. 본 연구결과는 '2008 교육과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선' 및 '2008 국가연구개발사업 우수연구성과 100선'에 선정되었다(2008. 10). 연구팀은 (주)뉴파워프라즈마와 (주)주성엔지니어링에 증성빔 식각기술 관련 기술이전 계약을 체결하였다.

● 美 SEMATECH과 '증성빔 원자층 식각장비를 이용한 차세대 실리콘 나노소자 공정 기술' 세계 최초 성공

'증성빔 원자층 식각장비를 이용한 차세대 금속 산화막반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET)의 게이트 저손상 식각 기술'을 세계 최초로 개발하였다. 연구결과는 2009 IEDM에서 발표되었으며, 해외사이트 cnbc.com(2009. 11. 30)을 비롯한 해외 15개 인터넷 매체에 소개되었으며 국내에서는 전자신문(2009. 12. 10) 외 7개 일간지에 보도되었다.

(8) 단원자층 증착 기술개발

● 45nm 이하 반도체용 구리배선 확산방지막 개발

45nm 이하 반도체 소자의 확산 방지막으로 가장 유력한 TaN(탄탈륨나이트라이드) 박막 개발에 플라즈마를 이용한 원자층 증착법(Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition, PEALD)을 적용하여, 선진기술보다 월등히 우수한 소자의 신뢰성을 확보하였다. 연구결과는 SSDM 2008에서 발표되었으며, 전자신문(2008. 12. 10) 외 6개 일간지에 보도되었다.

- 세계 최초 DC-Bias를 이용한 Remote Plasma ALD 장비 제작 및 기술 확보하여 (주)IPS와 기술이전 MOU를 체결하였다(2010. 3. 31).

(9) 원자 이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발

- 세계 최초 원자 이미지를 이용한 전자빔 리소그래피 원천기술 개발
AIPeL로 명명된 전자빔 리소그래피 기술은 고분해능 투과전자현미경을 이용하여 옹스트롬(Å) 크기의 원자 이미지를 수십 배에서 수백 배의 영역에서 확대하여 수 나노미터에서 수십 나노미터 크기의 패턴을 기판위에 형성하는 기술로 연구팀이 직접 명명한 기술이자 세계 유일무이한 장비이다. 본 기술을 이용하여 20나노미터급의 양자점 및 양자선을 대면적 기판에 형성 할 수 있는 핵심기술 개발에 성공하였다. 연구결과는 Advanced Material에 게재되면서, 중요연구 중 중요연구로 선정되었다(2007. 12). 또 KBS, MBC-TV 외 15개 일간지에 보도되었다(2008. 3. 6).

(10) 테라급 광연결 Platform 및 시스템 응용기술 개발

- 양방향 transceiver IC 설계 및 제작
10 Gbps 0.13 μm Si-CMOS SerDes + TRx + 양방향 switching 기능을 통한 신호처리 방식 개발 및 통합 신호처리 IC의 설계에 성공하였다. 통합 신호 처리 IC는 세계 최초로 제한한 것으로 소비 전력을 90 mW/ch로 절감하여 초소형 모듈 제작을 가능케 하였다.
- Single-memory-chip 용 optical platform 설계 및 제작 기술
초소형 TRx 모듈 구조, 일체형 광PCB 구조를 적용한 FPGA microprocessor -to-microprocessor (SDRAM memory linked) 광연결 platform을 설계 및 제작하였다. 또한 광PCB 기반 조립식 패키징 방법으로 microprocessor 광연결을 최초로 시연하였으며, 현재 전세계 고객을 대상으로 광PCB 제품을 프로모션 중에 있으며 제품 조기출하 요청을 받은 상태다.

다. 연구개발성과의 파급 효과

본 사업에서 개발하고자 한 초고속, 초고집적 및 초저소비전력 소자들은 2010년 이후 전자산업의 궁극적인 목표인 지능·프로그래밍이 가능한, 유연성이 있는, 실시간으로 구동시키는 컴퓨팅 시스템들인 포켓용 슈퍼컴퓨터, 3-D 가상실현, 자동 동시 외국어통역 및 인식 및 추론 가능 로봇에 응용될 것이다.

2008년 12월 STEPI에서 발표한 21세기 프론티어연구개발사업의 경제효과 분석자료에 의하면, 전체 프론티어사업의 경제효과 30조원 가운데 본 사업단의 경제효과가 22조원에 달한다고 했다. 이 가운데 17조원이 40나노 32기가 낸드플래시 기핵심기술 개발 성과로 기대되고 있어 2020년 1조 달러의 반도체 시장과 2015년 1조 4천5백억 달러로 예상되는 나노소자 시장에서 막대한 부를 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

(1) Tera bit급 실리콘 기반 비휘발성 메모리 개발

CTF기술은 비휘발성 메모리(NAND Flash)의 스케일링(scaling) 장벽을 뛰어넘을 수 있는 대안기술로서 차세대 초고집적 Flash Memory 개발이 가능할 것으로 기대된다. 또한 2014년 낸드플래시 메모리 세계시장 60% 점유 시 약 18조원의 경제효과 예상(ITRS2009, Forecase 2004~2014)된다.

(2) SET Logic 개발

단전자 소자 개발 시 PC, 노트북 및 모바일 기기의 CPU 및 메모리 집적도는 수 십배 향상시키며 동시에 소비전력을 기존의 칩보다 10~100배 감소시켜 모든 IT 및 통신기기의 초절전 에너지 절약 효과로 CO₂ 배출을 기존에 비해 10~100배 정도 대폭 감소시켜 녹색 IT 구현의 핵심대안으로 기대된다.

(3) Tera bps급 집적회로 개발

실제 산업에 적용 가능한 60GHz, 77GHz에서의 MMIC를 제작함으로써 WLAN, Car Radar Module에 적용 가능하여 수입에 의존하지 않고 자체 부품 생산이 가능할 것이다. 밀리미터파 시장이 갈수록 커지고 있는 만큼 국내 자체 부품을 개발할 경우, 수입대체 효과가 클 것으로 기대된다.

Low defect III-V 물질을 실리콘 기판 위에 성장할 경우 'Beyond CMOS' 소자 기술의 개발 외에도 photonic device를 집적화하는 다양한 응용 영역이 개발될 것으로 기대된다.

RTD를 이용한 통신시스템용 초고속 IC는 차세대 초고속 통신 시스템 용의 다양한 디지털 및 아날로그 집적회로 개발에 응용이 가능하며, 기존의 HBT, HEMT 등 화합물 반도체 소자 기반 초고속 집적회로의 공정설비를 그대로 이용할 수 있기 때문에 대량생산이 가능하여 향후 차세대 나노·양자 소자 시장을 선도할 수 있는 기술로 기대된다.

(4) Tera bit급 탄소나노튜브 전자소자 개발

실리콘 이후 대안으로 가장 유력시 되는 기술로서 탄소나노튜브 소재, 소자 및 공정 등의 다양하고 세계적인 기반 기술을 확보함으로써 2015년 이후 CMOS 대안 기술로 자리매김할 수 있을 것이다. 탄소나노튜브 분산 및 분리 기술은 관련 업체에서 사업성을 검토 중이며 산업화 시 2010년 19억불이 예상되는 시장(Carbon Nanotubes, 2007, 10)을 주도할 것으로 기대된다.

(5) 초고집적 자기소자 개발

Spin torque 현상과 나노 사이즈의 자성물질의 특성을 이해함으로써, 스핀트로닉스 디바이스의 현실화를 위한 기반기술을 확보하였으며, 전자의 전하 대신 스핀을 사용할 경우 전력소모저감 및 고속의 새로운 전자소자를 구현할 수 있을 것으로 기대된다. MRAM은 고속·고집적 비휘발성 메모리로 이동통신기기로 사용되는 SRAM과 NOR Flash를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

(6) 고속 AFM Litho. 시스템 개발

고속 리소그래피 시스템을 통해 고속(2cm/sec)에서 리소그래피 공정을 실현하였고, 실시간 초고속 및 대면적 관측 AFM 모듈을 개발하여 바이오 응용 시장에 파급효과가 클 것으로 예상된다. AFM 리소그래피 기술은 패터닝 속도, 재현성 및 정확도가 개선된 시스템 개발과 더불어 고해상도와 고감도를 가진 레지스트 적용을 통해 연구소단위의 연구실에서부터 산업체에 이르기까지 리소그래피 설비비용을 절감시키고 환경적 제약성을 적게 받는 차세대 나노구조 형성 기술로 각광을 받을 수 있을 것이다.

(7) 나노 식각장비 및 공정 개발

50nm 이하의 나노소자 공정의 문제점을 해결할 수 있는 기술로 ITRS 2007에 등재되는 등 차세대 식각기술로 향후 반도체 공정 분야의 경쟁력 우위 및 기술 장벽을 구축할 수 있을 것으로 기대된다. 이미 2건의 관련 원천기술을 이전하였으며 2010년 이후 6조 규모의 반도체 식각 및 증착장비 세계시장에서 연간 4천억 이상의 매출을 기대할 수 있다.

(8) 단원자층 증착 기술 개발

CMOS의 초고집적화에 가장 어려운 점인 Gate Dielectric 문제를 해결할 수 있는 기술로서 나노 CMOS나 CNT소자 뿐만 아니라 OLED 및 MRAM 등의 소자 제작 공정에서 필요로 하는 박막 증착 공정기술을 제공하게 될 것이다.

PEALD(Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition) 기술은 45nm 이하 반도체 소자의 TaN 확산 방지막 개발에 적용되어 국산화가 가능하게 됨으로써 양산시 300억원 이상의 투자비용을 절감할 수 있게 되었으며, 확산방지막 공정 분야에서도 선진업체를 능가하는 공정능력을 확보하게 된다.

(9) 원자 이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발

Top-down 방식으로는 구현이 어렵다고 생각되었던 10nm 이하 크기의 양자점 및 양자선을 균일하게 조절하여 형성시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 따라서 다양한 패턴과 재료의 양자점 및 양자선 형성이 가능하여 새로운 소자들의 구현 및 그 응용 물성의 측정을 가능하게 할 것이다. 투과전자 현미경에서 얻어지는 원자이미지를 이용하여 사진을 찍듯이 패턴을 형성하기 때문에 기존 전자빔 리소그래피 비해 33배 이상의 생산성 향상이 기대된다.

(10) 테라급 광연결 Platform 및 시스템 응용 기술개발

CPU의 처리속도가 수십 MHz에서 수 GHz로 50배 가까이 빨라졌지만, CPU 주위의 데이터 입출력 시 전기 배선에서 발생하는 병목현상 때문에 사용자는 컴퓨터의 속도가 그만큼 빨라지는 것을 느끼지 못하고 있다. 이 과제의 연구성과를 통해 이와 같은 지연현상을 없애 부팅 속도를 향상시키고 대용량 정보 전달을 가능케 하여 IT 분야에 혁신을 이룰 수 있을 것으로 기대된다. 광PCB 기반의 광연결 Platform 및 시스템 개발로 향후 chip-to-chip 광연결 기술을 이용하는 광PCB 및 광연결 컴퓨터 시스템 분야에 파급효과가 클 것으로 전망된다.

5. 대국민 홍보

21세기프론티어연구개발사업은 국가의 장기적이고도 막대한 예산이 투입되는 국가사업으로 국민, 정부, 언론 등 다양한 수요층으로부터의 이해와 신뢰, 지지 확보가 매우 중요하다. 사업단은 사업단의 위상 제고와 사업 및 성과에 대한 적극적인 홍보활동을 추진함으로써 국민적 이해와 지변 확대 등의 환경 조성을 위해 노력하였다. 또한 나노기술에 대한 홍보활동은 지식전달과 이해증진을 목적으로 과학대중화에 선도적 역할을 하였다.

가. 연구성과 홍보 (기자간담회 및 보도자료)

사업단은 철저한 계획수립과 실적점검을 통해 세계최고 및 최초 등의 뛰어난 연구성과 발생 시, 사업부처인 교육과학기술부의 홍보절차에 따라 10년간 총 48건의 연구성과를 TV방송 및 신문 매체를 통해 국민들에게 알렸다. 1단계에는 16건, 2단계에는 11건, 3단계에는 21건으로 평균 연간 4.8건의 언론홍보가 이루어졌다.



KAIST 양경훈 교수, '세계최초 양자효과 소자를 이용한 초고속 통신용 IC 개발' 성과로 교육과학기술부 기자실에서 기자회견 실시 (2008년 6월 25일)

나. 사업관련 언론홍보 (총 92건)

연구성과 외에도 사업 운영성과와 각종 대내외 행사를 개최하면서 이를 알리고 많은 참여를 독려하기 위한 홍보가 TV방송과 신문 등을 통해 총 92건이 이루어졌다.

보도자료 (15건)	기교문 (13건)
<p>「나노소재개발사업단, '연구과제관리 시스템 도입 (매일경제 2001.7.31)」</p> <p>나노소재개발사업단, '연구과제관리 시스템' 도입 *매일경제 2001.7.31 보도 *담당자: 2001.7.31 보도</p> <p>과학기술부 프론티어사업단 중 하나인 테라급나노소재개발사업단(단장 이호형)이 민간 경영기법을 도입하는 전략의 하나로 3억여 원을 투자해 '연구과제관리시스템'을 개발 도입했다고 최근 밝혔다.</p> <p>사업단 운영총 사무국장은 "이 시스템은 국가연구개발사업에 대한 관리를 실시간으로 수행해 인력분담에서 연구과제의 진척사항을 주시도 확인할 수 있으며, 물론 다양한 기술정보를 자유롭게 교환할 수 있도록 한다"고 설명했다.</p> <p>나노소재개발사업단은 과제관리시스템을 통해 과제관리상황, 전문정보시스템, 예산관리, 기술정보 및 커뮤니케이션 등의 기능을 제공받게 된다.</p> <p>순 국장은 "과제관리시스템이 연구개발사업의 효율적인 운영에 많은 도움을 줄 것으로 기대한다"며, "사업단내 모든 연구과제에 이를 적용할 계획"이라고 밝혔다.</p>	<p>「'고위험 고수익' R&D, 이렇게 하면 성공한다」 - 한국과학기술단체총연합회 저널 '과학과 기술' 2009년 3월호</p> <p>'고위험 고수익' R&D, 이렇게 하면 성공한다! - 테라급나노소재개발사업단 애상경례회 및 보도 자료</p> <p>10월 10일, 테라급나노소재개발사업단(단장 이호형)은 '고위험 고수익 R&D, 이렇게 하면 성공한다!'라는 주제로 '한국과학기술단체총연합회 저널'에 '과학과 기술' 2009년 3월호에 '고위험 고수익 R&D, 이렇게 하면 성공한다!'라는 제목의 기사를 게재했다. 이호형 단장은 "고위험 고수익 R&D는 높은 위험을 감수하여 높은 수익을 창출하는 R&D 전략이다. 테라급나노소재개발사업단은 이러한 R&D 전략을 통해 세계최고 및 최초의 연구성과를 창출할 것으로 기대한다"고 밝혔다.</p>

인터뷰 (25건)	TV 및 라디오 (6건)
-----------	---------------

「나노석학 3인 '나노를 말한다」이조원 단장, 네이처 나노테크놀로지 편집장 피터로저스 박사, 벨기에 아이멕(IMEC) 부사장 로버트 머튼스 박사
 - 한겨레 2007년 10월 25일



「특집 21세기 프론티어사업 방송 '세상을 바꿀 작지만 큰 힘, 테라급 나노소재 개발」
 - 사이언스 TV 2008년 9월 19일



기획기사 (33건)

「한국나노테크기행」 '키퍼슨이 말하는 나노테크 국가전략의 전모' 테라급나노소재 개발사업단장 이조원, - 일본 NanoTech Weekly 제1181호(p.16~17) 2004년 10월 25일



다. 과제관련 언론홍보 (총 27건)

기획기사 (13건)

「미래 내다보는 '창의적 연구'의 대표주자, 서울대 김기범 교수」
- 사이언스타임즈 2005년 9월 14일



기고문 (3건)

「조정일 탄소나노튜브 원자힘 현미경 탐침 개발」
(한국표준과학연구원 안상정 박사)
- 한국과학기술단체총연합회 '과학과 기술' 2006년 2월호



인터뷰 (6건)

「실리콘 한계 넘어 '반도체 혁명' 꿈꾸다」
(한양대학교 오재응 교수)
- 한겨레 2009년 8월 24일



TV 및 라디오 (5건)

「21세기를 여는 한국의 과학자」
제15편 충북대 최중범 교수」
- 연합뉴스TV 2007년 1월 22일



라. 국내외 행사 개최 및 참여

(1) '해외석학 초청 강연 및 열린 보고회' 개최
매년 세계적 기술흐름의 중심을 이끌고 있는 해외석학의 초청강연과 사업단의 최신 연구성과 및 기술전략을 일반인들에게 공개하는 행사를 마련하고 있다.
2007년에는 세계적인 학술지인 Nature Nanotechnology의 편집장인 Peter Rodgers를 초청하였고, 2005년과 2009년에는 기술경쟁을 위해 10개 과제에서 동일분야의 세계 최고의 연구자와 긴장감 넘치는 1:1 공개 기술포럼을 개최하였다.



(2) '2010 International Winter School: Beyond Moore's Law' 개최
사업단은 한국, 미국, 대만의 젊은 과학자를 대상으로 나노전자소재 분야의 차세대 리더를 전략적으로 육성하고자 3개국 공동(미공군과학재단(AFOSR),



대만 Academia Sinica)으로 2월 1일부터 5일까지 제주도 스위트 호텔에서 'Beyond Moore's Law' 라는 주제로 제2회 Nanoelectronics Winter School(나노전자 소재 집중교육)을 개최하였다. 78명의 대학원생 및 박사학위 취득 후 5년 이내의 젊은 과학자를 선발한 가운데 미국 버클리대학의 Eli Yablonovitch 교수와 독일 아헨공대(Aachen Univ.)의 Rainer Waser 교수를 비롯한 10명의 나노전자소재 분야를 선도하고 있는 국내외 전문가들이 20회의 강연을 하였다.

(3) '전국 중·고교 과학교사 초청 나노기술 세미나' 개최
전국 중·고교 과학교사를 대상으로 나노기술에 대한 중요성을 고취시키고 이를 통해 국가나노기술 인력 양성에 기여하고자 본 세미나를 개최하였다. 2002년 2월 한국과학기술회관, 2004년 9월 부산, 2005년 1월 경기도 및 영남 지역에서 총 456명의 과학교사가 참석하였다.



(4) '금요일에 과학터치' 참여
'금요일에 과학터치'에 참여하여 21세기 핵심기술인 나노기술 및 사업단의 연구내용을 일반인들에게 알렸다. 2007년 7월부터 시작되어, 2007년 7월(총 4회, 부산), 2008년 9월 5일(대구), 2009년 1월 16일(부산), 5월 22일(대전), 9월 11일(대구), 2010년 1월(부산, 3회) 등 총 11회의 나노기술 관련 강연을 실시하였다.



(5) 기타



'프론티어 연구성과 대전' 참가 (5회)
2005년 11월,
2006년 9월,
2007년 10월,
2008년 12월,
2009년 11월



'대한민국 과학축전' 참가 (3회)
2003년 8월,
2007년 8월,
2009년 8월



'NANO KOREA' 참가 (7회)
2003년~2009년 8월



'NanoTech Japan' 참가 (5회)
2005년~2009년 2월

마. 기타

(1) 나노기술 교육용 영상물 및 만화책 제작

2002년 나노·바이오해를 기념하기 위해 나노기술관련 영상물(CD/VHS) '10억분의 1미터가 만들어가는 풍요로운 미래-작지만 거대한 힘, 나노'와 만화책 '보이지 않는 세계가 여는 미래-나노테크놀로지'를 제작하여 초·중·고등학교, 일반인, 정부부처 및 유관기관 등에 배포하였다. 2008년 12월에는 2002년에 제작된 나노기술 홍보만화에 최신 기술동향을 반영한 개정증보판을 발간하여 영상물은 총 7,000여개를 배포하였고 만화책은 초판 10,500권과 개정증보판 18,000권 중 총 26,530권을 배포하였다.



(좌-우) 만화책 초판, 개정판, 영상(CD)

(2) 온라인 뉴스레터 발간

사업단 소식과 나노기술 관련 최신정보를 통합한 온라인 형태의 뉴스레터를 격주 발간하였다. 2004년 1월 3일자 창간호를 시작으로 2010년 7월 16일자 현재 총 156호가 발간되어 이메일을 통해 교육과학기술부 및 관련 기관, 기자단, 사업단 관계자 및 일반인 등 800여명에게 발송하였다.



▲ 창간호

▲100호(2008.3.3)

▲156호(최신호, 2010.7.16)

04 남기고 싶은 이야기

1. 사업단 회고 (회고/Q&A)

사업단장으로서 사업을 이끌면서 가장 보람을 느낀 때는?

내 판단이 옳다고 느낄 때다. 멀리 내다보고 판단한 게 나중에 '아 내가 옳았구나' 하고 확인이 될 때가 있다. 차세대 낸드플래시 메모리의 핵심기술인 CTF(Charge Trap Flash)가 그랬다.

CTF는 사업단에서 추진한 과제 중 가장 성공한 사례다. 우리 사업단이 거둔 경제효과 22조원 가운데 CTF가 16조 9,000억원을 벌어들일 것으로 기대되고 있다. CTF는 사실 내가 1995년 삼성에 있을 때 벌여놓은 일이었다. 이를 연구하기 전 나는 미래의 소자가 뭐가 될 것인가를 알아보았다. 그래서 과거 자료들을 마구 뒤졌는데 여기에서 얻어낸 결론이 CTF였다. 미래 소자로서 가장 가능성이 있다고 본 것이다.

하지만 당시까지 전 세계적으로 여기에 주목하는 이가 별로 없었다. 하지만 난 내 판단을 믿고 이 연구를 시작했다. 단장이 된 후 이 연구를 삼성에 그대로 놔두고 연구팀도 꾸린 거다.

내 판단이 옳았다는 걸 확인해준 두 번째 일은 초고속 화합물 반도체 소자 쪽이었다. 2단계 초기였다. 당시에는 이 분야 연구가 죽어가고 있었다. 그래도 이 연구를 사업에 포함시켜야겠다는 생각이 들었다. 우리나라에서 하면 세계 최초, 세계 최고를 이뤄낼 수 있다는 판단도 섰다.

그런데 자문을 하러 온 외국 전문가조차 고개를 저으며 하지 말라고 했다. 우리나라에 이에 대한 산업이 없고, 미국 주도의 국방용으로 활용된다며 반대가 많았다. 실리콘 때문에 화합물 반도체가 살아남을 수 없을 거라는 얘기도 들었다.

그래서 고민에 빠졌다. 다른 사람들의 의견을 따라야 하나, 이 사람들이 이 분야에 대가들인데 무시해도 되나 싶었다. 하지만 아무래도 그건 아닌 것 같았다. 내 결론은 하자는 쪽이었다. 프론티어사업의 단장으로서 나의 결단력으로 밀어붙였다.

그런데 얼마 안 있어 상황이 확 바뀌었다. 인텔이 2015년 계획에 화합물 반도체 영역을 잡아놓은 것이었다. 사업단장이 기술적 판단력을 가지고 일을 추진하는 게 정말 중요하다는 걸 보여주는 사례였다.

사업을 이끌면서 가장 어려웠던 점은?

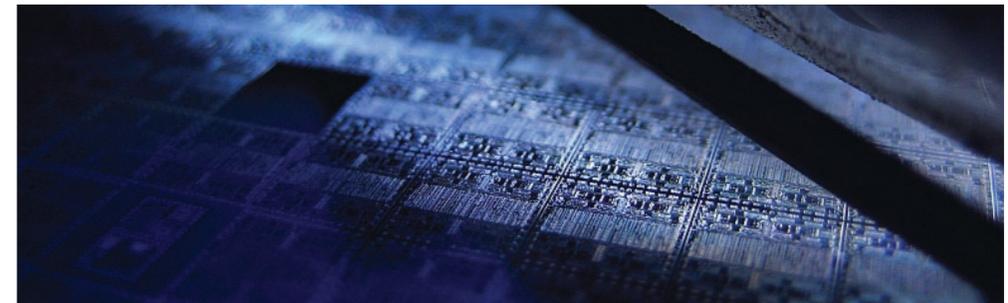
프론티어사업은 10년짜리 장기프로젝트다. 그래서 사업단은 처음부터 10년 후 대박을 터트릴 것을 목표로 삼았다. 그러다보니 연구 성과가 나오지 않아 중간평가를 받을 때마다 고전을 면치 못했다. 2003년 1단계 평가 때 5개 사업단 가운데 4등을 했다. 간신히 꼴찌를 면했다.

2006년 2단계 평가 후에는 연구지원비가 10억 이상 깎이기도 했다. 돈 못 번다고 자른다는 말까지 들었다. 실제로 대형 국가연구프로젝트에 대한 관리가 강화되면서 사업단장이 교체되는 사업단도 있어 혹시라도 우리 사업단이 포함될까 노심초사였다. 그러다 2005~2007년쯤 돼서야 연구성과가 터지기 시작했다.

2단계 사업까지 처음 6년 동안 연구 성과가 나오지 않았다고 해서 목표를 낮춘 적은 한 번도 없었다. 비록 목표를 수정하는 경우가 있긴 했어도 세계 최초, 세계 최고의 원칙은 지금까지 지켜왔다.

사실 테라급나노소자개발사업단이란 명칭 자체부터가 고위험을 감수한 것이었다. 처음에 사업을 꾸릴 때 당시 과학기술부 최석식 국장이 '테라' 라는 말을 사업단 명칭에 꼭 넣자고 했다. 우리나라에서 제일 먼저 테라라는 말을 쓴 것이다. 그러니 이 명칭 때문에 스트레스가 정말 컸다. 사업단장은 실패한 사기꾼이 되거나 혹은 국가적인 영웅이 되거나 둘 중 하나였다.

하지만 사업 9년차에는 우리 사업단에서 개발한 기술의 파급 효과가 약 22조원이라는 평가를 최근 받으며, 9년간의 연구 성과에 대한 경제적 파급효과 평가에서 교육과학기술부 산하 16개 프론티어사업단 중 1등을 했다. 또 사업단은 10년 사업의 최종평가에서 최고의 평가를 받으며 2010년 종료사업의 최고성과로 우리가 개발한 성과가 꼽히는 등 장기추진전략의 성공 사례를 만들어보였다.



10년동안 많은 위기에서도 어떻게 소신 있게 사업을 이끌어왔나? 예를 들어 준다면?

세계 최초, 세계 최고의 원칙을 이루기 위해 1단계부터 착수한 과제가 있다. ‘중성빔 식각기술 개발’ 프로젝트가 바로 그거다.

큰 호수에 돌을 던져도 아무 일이 일어나지 않는다. 하지만 컵에 돌을 던지면 와장창 깨진다. 반도체가 마이크로에서 더 작은 나노 스케일로 넘어가면 이런 상황이 일어난다. 이 문제를 해결하기 위해 나는 무손상 중성빔 식각기술 개발 프로젝트가 필요하다고 보았다.

당시 이 프로젝트는 세계적으로 거의 이뤄지지 않았다. 당시 연구과제 선정평가자들이 이 프로젝트가 성공할지에 대해 반신반의했었다. 하지만 단장이 가진 권한을 이용해 이 프로젝트를 추진시켰다. 나중에 이 프로젝트는 우리가 먼저 시작해 전 세계적으로 붐을 일으켰다.

또 다른 예는 양자점 형성 기술 연구의 경우다. 이 연구를 시작한 10년 전에는 국가 전체적으로 전자빔 리소그래피 장비기술이 전무하고 기반기술이 전혀 없는 상태였다. 이 연구책임자는 몇 달을 고민하다 날 찾아왔다. 자신의 아이디어를 갖고 왔다. 연구책임자는 기존의 접근 방법은 되지 않으니, 이를 포기하고 대신 자신의 아이디어를 해보자고 했다. 그러나 여전히 일부 평가위원은 10년 이내에 기술개발 성공이 어려울 것이라고 하였다.

난 그 연구책임자의 아이디어가 타당성이 있다고 보았다. 그래서 연구를 허락했다. 그런데 2001년부터 시작한 이 연구가 2005년까지 단 한편의 논문도 안 나왔다. 주변에서 “당신, 사기 당했어” 라는 말도 들었다. 그래도 그냥 믿고 기다렸다.

하지만 연구팀의 ‘볼 수 있는 건 만들 수 있다’는 믿음과 원자 이미지를 이용하여 양자점과 양자선을 형성할 수 있을 것이란 창의적인 아이디어, 또 사업단의 ‘될 수 있는 기술’ 이라는 확신을 갖고 적극적인 지원과 믿고 맡긴 결과 10년도 채 되지 않아 이 과제는 기술개발의 성공을 안겨다 주었다.

유일한 기업인 출신 사업단장으로서 겪었던 어려움

이조원 단장은 이단이었다. 기존 체계에 맞지 않는 기업출신이 단장이 되었으니까. 이 점이 처음엔 불리하게 작용했다. 보통 대학이나 연구소 출신이면 소속기관으로부터 정보를 얻거나 여러 지원을 받을 수 있다. 하지만 난 이런 걸 전혀 기대할 수 없었다. 단장으로서 중립의 이미지가 중요했기 때문

에 단장으로 선출되고 바로 삼성을 떠났고, KIST에 사무국을 마련하였다.

하지만 장기적으로 이단아인 게 유리했다. 다른 사람보다 학연, 지연, 혈연에 있어 자유로웠기 때문이다. 덕분에 사업단을 꾸릴 때 누가 이 분야에서 최고인지만 따졌다. 처음부터 나는 세계 최초, 세계 최고의 원칙을 세웠다. 이런 원칙을 바탕으로 사업단을 구성해보니 ‘아! 이 사람들과는 할 수 있겠다’ 싶은 생각이 들었다.

리더로서의 기술마인드

‘세계에서 1등 가는 사람과 1등 가는 기술을 해야한다!’ 이것이 바로 이조원 사업단장의 기술마인드이자 원칙이다. 도산 안창호 선생이 주장한 ‘무실역행(務實力行)’을 본받아 사업단에서 세계최고의 권위자를 배출하여 나노소재 분야의 기술리더를 양성하고 연구그룹을 만들고자 하였다.

또한, 이조원 단장은 기술리더의 모습을 넘어 자신이 고등학생 때 읽었던 소설 ‘로드 짐(Lord Jim)’의 주인공을 예로 들어 사회적 책임감 역시 강조하였다. ‘주인공이 배를 탔다가 난파되자 승객들이 탄 배를 포기한다. 그러나 천신만고 끝에 배가 안전하게 어느 섬에 도착한 것을 알게 되고 자신의 비겁함을 회개하며 억압받는 원주민들의 편에 서서 유럽인 악당들과 싸우다 스스로 목숨을 내놓는다.’ 과학자의 연구업적은 사회 안에서 조화를 이루며 최선을 다할 때 빛나게 되는 것이다.

2. 에피소드

세계 유일무이한 기술과 장비를 만들어 준 원천 아이디어가 현실화되다!

“교수님, 나노 소자들이 원하던 대로 짝 배열됐어요.”

2003년 9월, 서울 시내를 운전 중이던 서울대 김기범(재료공학부) 교수의 휴대전화 벨이 울렸다. 핸드프리로 받아 보니 다급한 목소리가 터졌다. 나노(nano:10억분의 1m)분야 신기술 개발을 위해 일본에 보낸 대학원생의 전화였다.

“교수님, 나노 소자(양자점)들이 우리가 원하던 대로 짝 배열됐어요. 망망대해처럼 끝 간 데 없이 늘어섰어요.”

김 교수는 차를 길가에 세웠다. 떨리는 가슴을 진정시키려 심호흡을 했다. 나노 소자를 마음대로 늘어서게 할 수 있다니. 그건 바로 지금의 반도체 메모리보다 수천 배 용량이 큰 나노 메모리를 대량 생산할 길이 보인다는 뜻이었다. 혹시 이렇게 하면 나노 소자를 지금의 반도체 소자 찍어내듯 양산할 수 있지 않을까 생각했던 것이 맞아떨어진 것이었다. 세상 그 누구도 생각하지 못했던 아이디어였다. 꿈이 현실이 되는 순간이었다.

김 교수의 아이디어는 1998년으로 거슬러 올라간다. 당시는 전 세계적으로 나노 과학이 태동하던 무렵이었다. 크기가 머리카락 굵기의 1만분의 1 수준인 나노 물질로 전자 회로를 만들면 지금의 반도체로는 상상도 못하던 새로운 세계가 열리겠기에 모두가 나노를 외치던 때였다. 그러나 나노 연구는 시작하자마자 한계에 부딪혔다. 당시의 기술로는 아주 간단한 나노 회로를 만드는 데도 몇 시간이 걸렸다.

그런 가운데 김 교수는 생각했다. ‘나노 크기를 볼 수 있는 특수한 전자현미경이 있다. 볼 수 있다면 나노 크기 회로를 찍어낼 수도 있지 않을까’ 그런 발상의 전환이었다. 김 교수의 생각은 인쇄기가 한 페이지의 그림을 척척 찍어내듯 나노 회로를 찍어내겠다는 것이었다. 어렵게 정부 지원을 받아 학생들을 일본 전자현미경업체인 제올에 보내 전자현미경 기술을 배우고, 개조를 함께 하게 했다. 그 첫 열매가 2003년 9월 맺어진 것이었다.

연구팀은 우리나라라 보유한 전자빔 리소그래피 장비기술이 전문한 사업착수 시점에서 사업이 채 끝나기 전에 세계 유일무이한 원천기술 및 장비이자 연구팀에서 직접 명명한 ‘AIPEL(Atomic Image Projection E-beam Lithography)’를 개발하는 성과를 보여주었다.

우연한 발견이 20년간의 꿈을 이룬다!

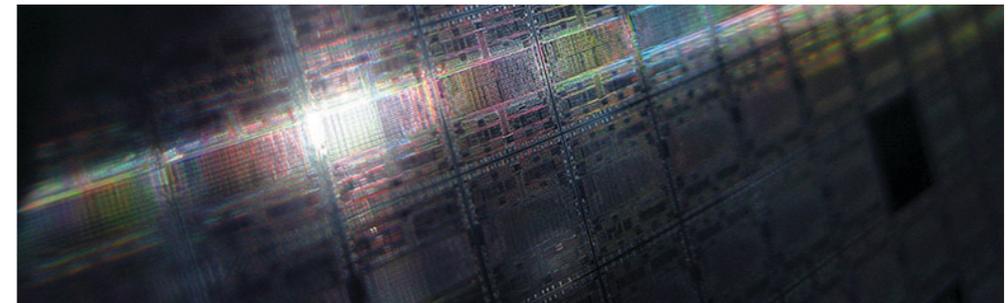
반도체 시장의 90%를 차지하는 게 실리콘 반도체다. 화합물 반도체가 좋은 점을 갖고 있어도 실리콘이 워낙 싸다보니 화합물 반도체가 기를 펴지 못하고 있다. 그래서 모토로라를 비롯한 세계 반도체 업계에서는 지난 20년간 실리콘 기반 위에 화합물 반도체를 성장시켜 반도체의 성능을 획기적으로 향상시킬 기술 확보 경쟁을 벌여왔다. 하지만 그 일을 해낸 건 우리 사업단이었다.

실리콘 위에 화합물 반도체를 성장시키면 이 둘의 원자 배열과 물질 특성이 달라 결합이 많이 발생하는 게 큰 걸림돌이었다. 세계적으로도 어떻게 하면 이 결합을 덜어볼까 하는 게 추세였고, 연구책임자인 한양대 오재웅 교수도 그런 방향으로 연구를 진행해왔다. 하지만 쉽지 않았다. 이종 반도체 간의 결합은 자연현상을 역행하는 것과 마찬가지로 때문이다.

그러던 어느 날 제자 한 명이 우연히 반도체 결합에 ‘나노 양자점’이 모여드는 현상을 발견했다. 오 교수는 이 발견을 발전시켜 실리콘 기반 위 화합물 반도체의 결합을 기존보다 무려 100분의 1 이하로 낮춘 고품질 반도체를 개발하는데 성공했다. 어느 누구도 따라오지 못한 세계 최고를 이룬 것이다.

하지만 사업단이 시작될 때만해도 오 교수의 연구주제는 성공 가능성이 거의 없다는 평가를 받았다. 반대가 무척 심했다. 사업단은 대부분의 반대에도 불구하고 이 연구주제를 선정되도록 했고, 이후 반도체 산업의 선도자인 인텔이 2004년 국제 반도체 기술 관련 로드맵에서 2020년 차세대 반도체로 탄소나노튜브, 실리콘 나노와이어와 함께 화합물 반도체를 지목하면서 큰 관심을 끌게 되었다.

사업단의 기술예측과 함께 기술적 발견이 정확하게 맞아 떨어진 결과, 우리는 지난 20년간의 세계 반도체 업계의 꿈을 이루게 된 것이다.



[부록]

1. 테라급나노소자개발사업 세부과제 현황

가. 1단계 (2000.7~2003.6)

구분	과제명	연구수행기관(연구책임자)
Tera급 nano -electronics	Tera bit급 Si based SEM 개발	삼성종합기술원(김정우)
	Nano CMOS개발	경북대학교(이종호)
	SET Logic 및 응용소자 개발	충북대학교(최중범)
Spintronics	Tera bps급 집적회로 개발	서울대학교(서광석)
	MRAM Integration Process 개발	삼성종합기술원(김태완)
	MR 소자/소재 단위공정 개발	KIST(신경호)
	Spin Injection 소자 및 소자 개발	충남대학교(김도진)
분자전자소자	Spin Injection 소자 및 소자 개발	KIST(김광윤)
	Tera bit급 탄소나노튜브 메모리 소자 개발	삼성종합기술원(최원봉)
나노요소기술	자기조립체 및 각인 (imprint)기술	한양대학교(이해원)
	식각장비 요소기술, 공정 개발	성균관대학교(염근영)
	단원자층 증착기술개발	한양대학교(전형탁)
	양자점 형성기술개발	서울대학교(김기범)
	양자점 형성기술개발	난징대학교(Chen)
	CD Metrology 개발	표준연구소(박병천)
	Atomic Layer Etching을 이용한 Nano-SIMS 개발	표준연구소(문대원)
	방사광 TXRF를 이용한 불순물 측정	포항공과대학교(구양모)
	방사광 광전자 분광 회절에 의한 나노구조의 내부구조, 조성 분석기법 개발	연세대학교(염한웅)
	FE-TEM을 이용한 나노영역의 성분 및 구조 분석	포항공과대학교(박찬경)
Feasibility Study	Tera급 광연결 기술 개발	광주과학기술원(이용탁)
	클러스터이온을 이용한 나노소자 shallow junction용 implantation 기술개발	KIST(최원국)
	Tbps급 수동소자를 위한 유전체 박막의 초고주파 특성 연구	서울대학교(박병우)
	극자외선 노광 요소기술개발	한양대학교(안진호)
	고유전율 산화물 초격자의 제조 및 물성 연구	성균관대학교(이재찬)
총괄과제	상변화메모리 소자설계용 요소기술 개발	KIST(정병기)
	과제(목표)관리 System 구축	테라급나노소자 개발사업단(이조원)

* 작성기준 : 사업단과 직접 협약과제

나. 2단계 (2003.7~2006.3)

구분	과제명	연구수행기관(연구책임자)
Tera급 nano -electronics	Tera급 Si기반 비휘발성 메모리 개발	삼성전자(김정우)
	Nano CMOS 개발	매그나칩반도체(황성보)
	SET Logic 소자 개발	충북대학교(최중범)
	Tera bps급 집적 회로 개발	서울대학교(서광석)
Resistive- RAM	테라비트급 탄소나노튜브 전자소자 개발	삼성종합기술원(박완준)
	256 Mbit급 MRAM array 개발	삼성종합기술원(김태완)
나노요소기술	고속 AFM Litho, 이온 패터닝 및 공정 기술개발	한양대학교(이해원)
	나노소자용 식각장비 및 공정 개발	성균관대학교(염근영)
	단원자층 증착 기술개발	한양대학교(전형탁)
	원자 이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발	서울대학교(김기범)
총괄과제	Tera급 광연결 기술개발	광주과학기술원(이용탁)
	사업화 모델 개발(BMD)	테라급나노소자 개발사업단(이조원)
	과제(목표)관리시스템 유지·보수	

다. 3단계 (2006.4~2010.3)

구분	과제명	연구수행기관(연구책임자)
Tera급 nano -electronics	Tera bit급 Si기반 비휘발성 메모리 개발	삼성전자(이충만)
	SET Logic 소자 개발	충북대학교(최중범)
	테라 bps급 집적 회로 개발	서울대학교(서광석)
	테라비트급 탄소나노튜브 전자소자 개발	삼성종합기술원 (이은홍)
Magneto- electronics	초 고집적 자기 소자 개발	삼성종합기술원 (서순애)
	고속 AFM 리소그래피 시스템 개발	한양대학교(이해원)
나노요소기술	나노소자용 식각장비 제작 및 공정개발	성균관대학교(염근영)
	단원자층 증착 기술 개발	한양대학교(전형탁)
	원자이미지를 이용한 양자점 형성 기술개발	서울대학교(김기범)
	테라급 광연결 platform 및 시스템 응용 기술개발	KAIST(박효훈)
총괄과제	프로젝트 모델 개발(PMD)	테라급나노소자 개발사업단(이조원)
	나노전자소자 집중교육(2010 International Winter School:Beyond Moore's Law)	

2. 국내외 수상 현황

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
이조원	테라급나노소자 개발사업단	한양대 올해의 동문상 특별상	한양대 동문회	2001. 12
염근영	성균관대학교	감사패	삼성전자	2002
손권중	테라급나노소자 개발사업단	과학기술부장관상	과학기술부	2002. 4. 20
전상훈	광주과학기술원	최우수 신진 연구자상 (Young Researcher Award) 수상	2002 SSDM	2002. 9
김대현	서울대학교	삼성 휴먼테크 논문상 금상	삼성전자	2003
전형택	한양대학교	과학기술 우수논문상	한국과학기술단체총연합회	2003
이조원	테라급나노소자 개발사업단	David McFarland Award, Penn State University	Penn State University	2003. 4
송용주	KAIST	제9회 한국 반도체 학술회 우수논문상	한국반도체학술회	2003. 2. 27
염근영	성균관대학교	공로상	경기도	2003. 6
이조원	테라급나노소자 개발사업단	맑고 싶고 되고 싶은 과학기술인 선정	한국과학문화재단	2004. 4
염근영	성균관대학교	교육과학기술부 장관상 나노연구 혁신부분 금상	NANO KOREA 2004	2004. 8
이영희	성균관대학교	성균관대학교 '2004 Fellowship 교수' 선정	성균관대	2004. 9
조만호	한국표준과학 연구원	'9월의 KRISS (표준과학 연구원)인상' 수상	한국표준과학연구원	2004.9
안동호	서울대학교	Poster Award 수상	2004 MRS Fall Meeting	2004. 11. 29 ~12. 3
염근영	성균관대학교	성균학술상	성균관대	2004. 12
김성경	한양대학교	한양대 최우수논문상	한양대학교	2005
박효훈	KAIST	PCB산업인상 '공로상' 수상	한국전자회로산업협회	2005. 3

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
이영희	성균관대학교	한국물리학회상 학술상 수상	한국물리학회	2005. 4. 21
염근영	성균관대학교	성균관대학교 '2005 Fellowship 교수' 선정	성균관대학교	2005. 8
이해원	한양대학교	공로상 수상	NANO KOREA 2005	2005. 8. 24
정용식	KAIST	'Marubun Foundation Grant' 수상	2005 SSDM	2005. 9. 14
이종호	경북대학교	'산업발전 공로상 KETI 원장상' 수상	2005년 한국반도체· 디스플레이산업대전	2005. 9. 28
이효성	서울대학교	제1회 동경대-서울대-칭화대 학생 워크샵- 'Best Paper Award' 수상	제1회 동경대·서울대· 칭화대 학생 워크샵	2005. 11. 10 ~11
김성경	한양대학교	IUPAC Poster Prize	IUPAC	2006
최중범	충북대학교	충북대 '2005년도 우수 연구교원상'	충북대	2006. 2
이조원	테라급나노소자 개발사업단	과학기술훈장 도약장	과학기술부	2006. 4. 21
조병기	광주과학기술원	국무총리 표창 수상	과학기술부	2006. 4. 21
이영희	성균관대학교	2006 맑고 싶고 되고 싶은 과학기술인 선정	과학기술부, 한국과학문화재단	2006. 8. 24
박완준	삼성종합기술원	NANO KOREA 2006 - 조직위원장상 수상	NANO KOREA 2006	2006. 8. 30
김영근	고려대학교	'2006년 대표적 연구성과 50선' 선정	한국과학재단	2006. 9
장영만	광주과기원	'Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology' 선정	American Institute of Science	2006. 10
최원봉	FIU	'2006 MRS Medalists' 선정	2006 MRS Fall Meeting	2006. 11. 29
안상정	한국표준과학 연구원	'03~'05 국가연구개발 우수연구성과 100선 선정	과학기술부	2006. 11
송생섭	서울대학교	삼성전기 Inside edge 논문대상 금상	삼성전기	2007

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
권기진 정미혜	한양대학교	China Nano 2007 우수포스터 수상	China Nano 2007	2007. 6. 4~6
이영희	성균관대학교	성균관대학교 '2007 Fellowship 교수' 선정	성균관대	2007. 8
이영희	성균관대학교	2007년도 가을학술논문발표회 우수발표상	한국물리학회	2007. 10. 18
박경아	성균관대학교	제3회 한국탄소학회 승림상	한국탄소학회	2007. 11. 22
이조원	테라급나노소재 개발사업단	자랑스러운 군산중·고인상	군산중·고등학교	2007. 12. 19
염근영	성균관대학교	감사장-공학분야	한국학술진흥재단	2007. 12
김정우	삼성전자	2006년도 교육과학기술부 연구개발 사업 우수연구성과 100선 선정	한국연구재단	2007. 12
이재성	고려대학교	2007 IEDM '2006 George E. Smith Award'	2007 IEDM	2007. 12
염근영	성균관대학교	교육과학기술부 장관상 (NANO KOREA2007)	NANO KOREA 2007	2007. 8
최중범	충북대학교	충북대 '2007년도 우수 연구교원상'	충북대	2008. 2
박병재	성균관대학교	표창장	성균관대학교	2008. 3. 4
이영희	성균관대학교	대통령 표창상	행정안전부	2008. 5. 15
염근영	성균관대학교	Invited Presentation Award	The Korean Institute of Surface Engineering	2008. 6. 18
염근영	성균관대학교	Distinguished Service Award - Gold Prize	The Korean Institute of Surface Engineering	2008. 6. 18
염근영	성균관대학교	훌륭한 공대 교수상-교육부분	성균관대	2008. 6. 24
염근영	성균관대학교	훌륭한 공대 교수상-연구부분	성균관대	2008. 6. 24
염근영	성균관대학교	성원 에드워드 학술상	한국진공학회	2008. 8. 21
양경훈	KAIST	교육과학기술부 장관상 기술혁신상	NANO KOREA 2008	2008. 8. 27

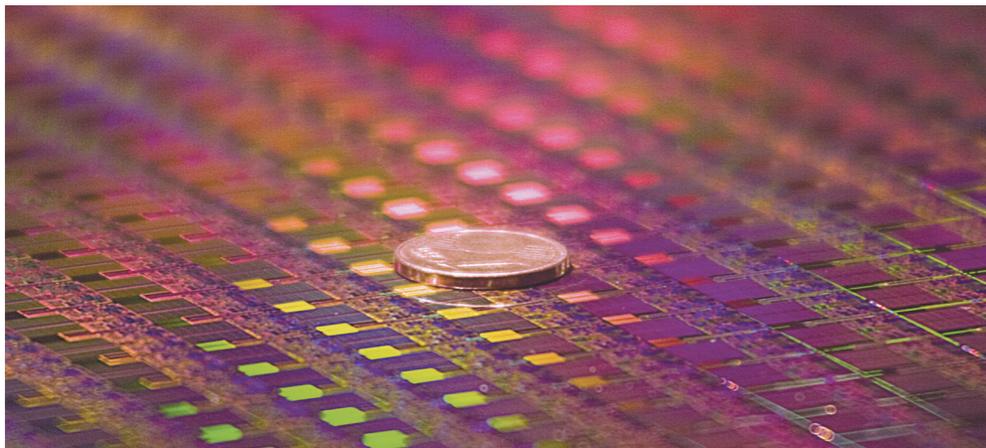
수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
염근영	성균관대학교	2008 교육과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선 선정	교육과학기술부	2008. 9
염근영	성균관대학교	2008 교육과학기술부 연구개발사업 우수연구성과 50선 선정	교육과학기술부	2008. 9
염근영	성균관대학교	국가연구개발 우수연구성과 100선 선정	한국연구재단	2008. 12
김기범	서울대학교	국가연구개발 우수연구성과 100선 선정	한국연구재단	2008. 12
전형탁	한양대학교	한양대 최우수연구 교수상	한양대	2009
최원봉	FIU	MRS Fellow 2009 선정	미국재료학회(MRS)	2009
장만	광주과학기술원	INFOS 최우수논문상	INFOS 국제학술대회	2009. 7. 1
황현상	광주과학기술원	교육과학기술부 장관상	NANO KOREA 2009	2009. 8. 26
염근영	성균관대학교	공로상	나노코리아	2009. 8. 26
염근영	성균관대학교	신앙 공학 학술상	신앙문화재단	2009. 10. 21
이조원	테라급나노소재 개발사업단	한국재료학회 기술상	한국재료학회	2009. 11
김기범	서울대학교	'2009년 교육과학기술부 대표우수 연구성과 60선' 선정	교육과학기술부 한국연구재단	2009. 11
이희자	테라급나노소재 개발사업단	한국연구재단 이사장 공로상	한국연구재단	2009. 11. 2
소강표	성균관대학교	International Green Energy Nanocarbon Conference 2009 우수포스터상	한국탄소학회	2009. 11. 5
최중범	충북대학교	충북대 '2009년도 최우수 연구교원상'	충북대	2010. 2
이시영	성균관대학교	포스터세션 'Gold Poster Award' 수상	2010 International Winter School(제2회 나노 전자소재 집중교육)	2010. 2. 5
허정환	고려대학교	포스터세션 'Most Popular Poster Award' 수상	2010 International Winter School(제2회 나노 전자소재 집중교육)	2010. 2. 5
최선규	KAIST	제16회 반도체학술대회 우수논문상	한국반도체 학술대회	2010. 2. 26

[테라급나노소자 운영위 명단]

구분	성명	소속 및 직위
위촉직	손 욱	서울대학교 융합과학기술대학원 초빙교수
	이 귀 로	나노종합팹센터 소장
	정 해 수	시놉시스코리아 사장
	이 준 근	한국과학기술연구원 책임연구원
	위 당 문	한국과학기술원 교수
	김 윤 호	한국과학기술연구원 책임연구원
	이 인 원	광주과학기술원 고등광기술연구소 소장
당연직	박 향 식	교육과학기술부 기초연구정책관
	송 지 용	프론티어연구성과지원센터 센터장
	이 조 원	테라급나노소자개발사업단 단장
감사	박윤주(감사)	前 과학기술부 연구개발국 우주항공기술과

02

The National Program for Tera-level Nanodevices



03

Plant Diversity Research Center

자생식물이용기술개발사업단

한눈으로 보는 자생식물이용기술 개발사업단의 10년 · 268

01 사업단 10년사

- 1. 사업 설립 배경 · 270 2. 사업추진체계 · 273 3. 사업추진현황 · 275 4. 사업관리 및 성과관리 · 279

02 자생식물자원 활용 고부가가치 산업 창출

- 1. 사업단 목표 · 294 2. 연구분야 및 개발 내용 · 295

03 10년의 열정이 결실을 맺다

- 1. 총론 · 298 2. 대표적 성공사례 · 301 3. 정량적 연구 성과 · 312 4. 정성적 성과 · 323
- 5. 연구개발성과의 파급 효과 · 324 6. 연구성과의 홍보 · 328

04 남기고 싶은 이야기

- 1. 사업단 회고 (회고/Q&A) · 332 2. 에피소드 · 335

[부록]

- 1. 자생식물이용기술개발사업 세부과제 현황 · 341 2. 국내외 수상 현황 · 347





2000. 10

자생식물이용기술개발사업단 현판식 개최



2001. 11

자생식물사업단 신축 사옥
준공식



2001. 5

자생식물사업 3개 기반사업¹⁾ 구축 완료



2004. 5

새로운 알레르기 치료용 천연
신물질 개발 및 기술이전



2009. 11

천연을 위장질환 치료제(DA-9701) 개발
및 기술이전



2010. 3

세부과제 최종평가 실시

History

자생식물이용기술개발사업

- 2000. 04 자생식물이용기술개발 사업단장 선정
- 2000. 10 사업단 현판 제막식
- 2001. 03 자생식물사업 3대 공통기반사업(인프라) 구축
(식물추출물은행, 식물유전자 D/B 및 처리시스템, 종자은행)
- 2001. 11 자생식물사업동 준공식(한국생명공학연구원 내)
- 2003. 05 프론티어 1단계 단계평가 실시
- 2003. 07 교육과학기술부와 2단계 총괄 협약체결
- 2006. 03 2단계 단계평가(교과부→사업단)
- 2006. 04 교육과학기술부와 3단계 총괄 협약체결
- 2007. 04 임상시험지원과제 공고 및 임상시험 지원 실시
- 2010. 04 사업단 최종평가 실시(교과부→사업단)

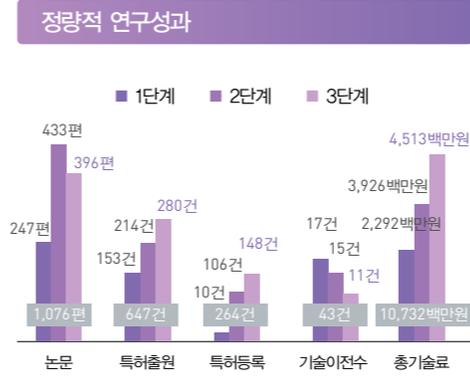
1) 3개 인프라 사업 : 식물추출물은행, 야생화 및 멸종위기식물 종자은행, 식물유전자 DB 및 유전정보 처리시스템

한눈으로 보는 자생식물이용기술 개발사업단의 10년

사업 추진배경, 단계별/최종 목표



연구성과 및 기술향상



주요 연구성과

- 기능성 소화불량증 치료 천연신약 개발
 - 복합기전(D2 antagonist, 5-HT4 agonist, 5-HT1 agonist)을 갖는 위장운동 촉진 천연물 신약(DA-9701) 개발
 - ※ 기술이전(2009.12) 총 기술료 13.6억원
- 관절기능 개선 기능성 식품의약 개발
 - 항염 및 연골파괴억제 효과가 있는 천연 신소재 개발 및 상용화
 - ※ 대한민국특허등록(10-054304)/국내외 매출 1,380억원
- 꽃피는 시기와 저온 스트레스 신호전달 네트워크 규명
 - 농업적으로 중요한 형질 중 저온 저항성과 개화시기를 동시에 조절하는 유전자를 세계 최초로 규명함
 - ※ Nature Genetics誌(2004.01.25 게재)

기술개발 수준 향상

구분	2010년 최고기술 보유국 (100%)	자생식물사업단 기술 수준 (%)	
		2000년	2010년
유용물질 탐색 및 분리정제 기술	미국, 일본	70	95
생리활성 검정 기술	미국, 일본, 유럽	65	95
생리활성 물질 화학구조결정 기술	미국	80	85
생리활성 물질 안전성, 임상, 전임상 시험 기술	미국	80	85
유용물질 대량생산 기술	미국, 독일, 일본	60	85
유용유전자 분리 조작기술	미국	70	85
유용유전자 탐색 및 발현분석 기술	미국	70	90
식물 형질전환 기술	미국, 한국	70	100
품종개발 및 대량 번식 기술	일본, 미국, 유럽	30	75

※ 해당년도 최고기술 보유국 수준을 100%로 기준함

01 사업단 10년사

1. 사업 설립 배경

가. 기술적 측면

생물다양성의 온전한 보존과 이의 적절한 활용은 21세기 우리 국가민족의 건전한 생존 뿐만 아니라 더 나아가 전 지구적 생존이 걸려있는 중요한 관심사이다. 오늘날 생물다양성의 분포와 크기는 자연적인 종의 형성, 이동, 멸종 및 최근의 인간에 의한 인위적 영향까지 포함하여 무려 35억 년 이상에 걸쳐 서서히 진화된 하나의 거대하고도 복잡한 산물이다. 이러한 생물다양성은 지구상에 자연적으로 형성된 생물학적 자본이어서 모든 국가와 인류에게 중요한 사용기회를 부여하여 결과적으로 인간의 삶에 필수적인 물질과 유·무형의 서비스를 공급하며 인간사회를 변화하는 욕구와 환경에 적응할 수 있도록 해준다. 이러한 생물다양성 중 특히 본 사업단에서 집중적으로 연구하고자하는 식물다양성은 우리가 일상생활 주변에서 가장 흔히 접하는 생물인 동시에 또 우리가 가장 빈번하고 요긴하게 여러 용도로 사용하고 있는 생물자원이기 때문에 그 중요성은 더욱더 크다고 볼 수 있다. 우리나라의 기후, 지리적 위치는 남쪽의 열대지방과 북쪽의 한대지방이 만나는 교차점에 위치하고 있는 전형적인 온대지역으로서 사계절 기온변화가 매우 극심하여 이 지역에 서식하는 식물들도 매우 다양하고 특이한 성질을 띠고 있으며 이러한 이유로 인하여 우리나라의 식물다양성은 그 활용가치의 잠재성 때문에 전 세계적으로 많은 전문가들이 관심을 기울이고 있었지만 급속한 경제개발과 건전 생태계 보존에 관한 국민들의 낮은 인식도 등의 이유로 그동안 우리 고유의 소중한 자생식물들이 이미 상당수 소실 또는 멸종위기에 처하고 있으며 이러한 현상은 서둘러 특단의 대책을 세우지 않는다면 더욱더 심화 될 것이 분명하였다. 장차 우리에게 어떠한 경제적 또는 비경제적 가치를 가져다줄지 모르는 소중한 자생식물자원을 비록 때늦은 감은 있지만 제대로 파악해서 지키고 보존하는 일은 무엇보다도 우선적으로 해야 할 시급한 과제였다.

미국, 일본 그리고 유럽의 네덜란드 같은 나라는 오래 전부터 한국에 자생하고 있는 식물들의 산업적 활용가치를 깊이 인식하고 미처 우리가 이러한 문제에 눈을 뜨기 전에 벌써 수많은 우리 고유의 식물자원을 수집이라는 명목으로 해외로 반출하였으며 반출해나간 식물을 육종소재로 사용해 우수재배 품종을 육성하고 이를 오히려 우리가 역수입하는 경우마저 생겼을 정도로 심각한 상황에 이르고 있다. 따라서 지금이라도 국내에서 자생하고 있는 식물 자원들을 면밀히 재파악하고 이미 조사되어서 전국 각지에 흩어져있는 자료들은 활용 가능한 형태로 재정리한 후 전 국가적으로 통일된 형식의 Database를 시급히 구축하는 한편 향후 지속적으로 이를 보강하는 작업을 최우선적으로 시행해야 할 필요가 있었다.

국내에서도 한때 동의학 연구과제가 범국가적으로 출범했었으나 소기의 목표를 달성하지 못하고 중단된 바 있다. 사업 출범당시 국내에 축적된 기반기술 및 정보와 미국 의회의 지원하에 NIH 주관으로 진행 중인 대체의학 연구 방향을 참고하여 전통약물의 현대적 해석을 통한 연구로 새로운 부가가치 창출이 가능하였으며, 특히 전통약재의 범주에서 벗어나 있는 국내 토착 자생식물의 경우에는 보다 적극적인 성분 연구, 약리효능 연구가 뒷받침 된다면 부가가치 창출 가능성은 한층 더 높아질 것이 확실하였다. 한편, 선진 다국적 기업들은 식물자원을 이용한 nutraceutical 및 대체약물에 대한 여러 이점, 즉 투자 자본의 빠른 회수(quick financial returns)로 재투자가 용이하다는 점, FDA 및 여러 기관의 규제가 크지 않은 점, 신약을 개발하는데 들어가는 엄청난 비용 및 시간 때문에 이 분야에 대한 투자를 집중하고 있었기 때문에 사업출범은 시의적절 하었다고 볼 수 있다.

나. 경제·산업적 측면

앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 식물종들은 매우 특이한 지리·기후적 조건에서 서식하고 있기 때문에 각 식물종들이 가지고 있는 유전자도 매우 다양하고 특이적인 것이라는 것은 명백하다. 따라서 이러한 특성을 살려서 이들을 육종소재로 잘 활용만 한다면 세계적으로 진출할 수 있는 훌륭한 화훼품종이나 관상 수목을 개발해 내어 큰 부가가치를 창출할 수 있을 뿐만 아니라 특히 우리나라에서는 예로부터 산야에 자생하고 있는 수많은 종류의 야생식물자원을 약재로 사용해온 경험이 있으며 이와 관련한 한방적 임상실험 Data는 세계 어느 나라와 비교해도 뒤지지 않을 만큼 충분히 확보되어 있었다. 따라서 이러한 기본적인 요건을 바탕으로 하여 현재 급속한 발전을 거듭하고 있는 생명공학 기술과 접목시킬 경우 다른 나라에서 미처 생각지도 못할 획기적인 재배품종과 천연물신약, 식품의약 또는 신기능성 식품을 단기간 내 개발해 낼 수 있는 가능성이 매우 높았다. 자생식물자원의 무한한 잠재가치를 뒤늦게 알아차린 세계 각국들은 자국 내 자생 식물자원을 보호 또는 자원 무기화하는 추세에 있으며 생물다양성 협약에 의해서 식물자원의 무분별한 유출 및 활용을 전 세계적으로 통제하고 있는 추세로 나아가고 있었다.

화학 합성물질과 비교하여 부작용이 거의 없는 것으로 인식되고 있는 식물을 소재로 한 각종 기능성 식품 및 식품의약(Nutraceuticals) 시장은 국내·외를 막론하고 천문학적 규모로 성장하고 있었으며 특히 서구에서 선풍적인 인기를 끌고 있었다. 따라서 이 분야에서 역사적으로 오랜 임상경험을 소유하고 있는 우리나라는 세계적으로 독창적 이고 경쟁력 있는 식품의약 등을 개발하여 엄청난 경제적 가치를 획득할 수 있는 가능성이 매우 높았다. 미국을 비롯한 선진국에서 전환기를 맞고 있는 대체약물

(alternative medicines) 개발 연구는 기존의 약물이 해결하지 못하는 난치성 질환의 치료에 있어서 그 유효성이 인정될 뿐만 아니라 역사적·지역적 배경에 차이는 있지만 민간에서 오랫동안 사용되어 오면서 계승·발전되어 온 현실성을 인정하여 이들의 정확한 임상적 효과를 NIH를 중심으로 한 국가기관이 검증하였다. 즉 전통약물의 안전성과 유효성을 처방약에 적용되는 표준방법으로 확보하려는 것이며 유효성뿐만 아니라 약리기전까지도 증명하려는 노력이 결집되고 있었다.

국내에서도 식품의약(Nutraceutical)이라는 식품의 고유 기능에 노인성 퇴행성질환의 예방이나 발병을 유예·지연시킬 목적으로 의약학적 신기능을 부여한 식품들(Nutritionally or medicinally enhanced foods)이 일반대중에 널리 보급되고 있었으며, 국내 기능성 식품의약 시장의 전체 시장규모는 의약품 시장규모와 버금갈 정도에 이르고 있었다. 이는 전통약물에 근거한 대체약물 요법에 대한 선진국 소비자들의 인식이 호전되면서 형성되고 있는 세계적인 추세였다. 이러한 전통약물 및 식품의약 소재의 대부분은 전통의약에 기본을 두고 있으며 이들의 원료가 되는 약용식물은 생물다양성 협약 체결 후 새로운 품종개발과 식물 이용에 대한 로열티가 인정되고 있어 모든 나라가 자원보호를 강화해 나가고 있었다. 우리도 국내 토착 자생식물의 자원화 및 유용성 개발이 가져올 21세기 미래 산업으로서의 상업적 가치를 인식하여 국내 자원으로부터 세계적인 부가가치 창출을 위한 국가 전략적 연구 개발사업이 필요하였으며 시급하였다.

다. 사회·문화적 측면

이러한 관점에서 볼 때 21세기 프론티어 사업의 일환으로 '자생식물이용기술개발' 과제를 추진하게 된 것은 비록 다소 늦은 감은 있지만 매우 시의적절 하였으며 국내 관련 연구자들은 본 과제에 투입되는 연구비를 최대한 효율적으로 사용하여 소중한 자생식물 자원을 잘 보호하는 한편, 최대한 활용하여 21세기 국가 생물산업 경쟁력을 획기적으로 제고할 절호의 기회였다. 국내 자생식물을 대상으로 하여 본 사업이 성공적으로 수행될 경우 식물 이외의 동물, 미생물, 해양생물의 범국가적 보존 및 활용 기술개발에 큰 파급효과를 미쳐서 국가 생물산업의 튼튼한 기반이 조성될 것이 확실하였다.

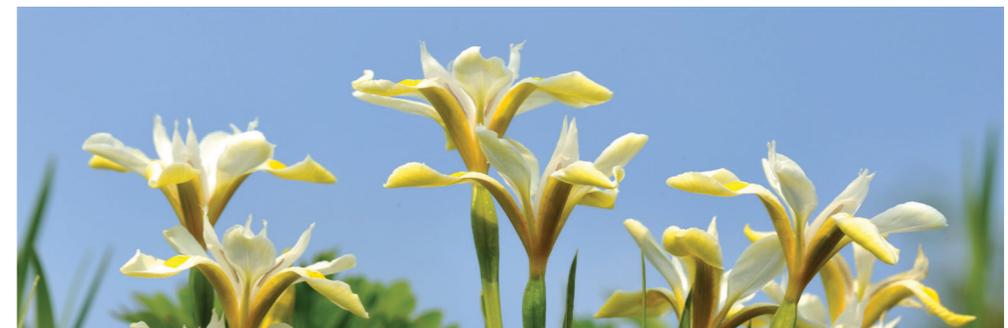
자생식물의 보호와 이를 통한 건전 생태계 유지 그리고 이러한 건전 생태계 내에서 누릴 수 있는 국민의 정신문화 사회적 복지증진 효과는 단순히 금액으로만 환산될 수 없는 중요한 무형의 가치를 창출한다. 자생식물을 테마로 한 생태공원, 관광사업은 전 세계적인 붐을 타고 활성화되고 있어 이를 통한 경제적 가치 창출효과도 막대할 것으로 예상되었다. 아름답고 다양한 종류의 많은 자생화와 관상수목이 많이 자생하고 있는 우리나라의 특성을 살려 이들로부터 전 세계를 상대로 상품화 할 수 있는 우수 재배 품종을 발굴 육성해낼 경우 이로 인한 경제적 가치 창출효과 또한 막대할 것으로 예상되었다.

국내 자생식물 다양성은 우리나라의 가장 중요한 생물학적 자산으로 현재 세계 각국은 생물다양성 협약으로 자국 내 생물자원을 보호하는 추세이며 대외 유출방지를 하고 있어 우리나라에서도 우리의 자생식물을 수집, 보존, 활용대책 마련이 시급한 실정이었다. 우리의 자생식물은 세계적으로 특이할 뿐만 아니라 그 활용 가치 무한하다. 약 4,000여종의 다양한 자생식물이 우리나라에 분포하고 있으며(국내 고유종 : 400여 종), 우리 조상들은 오래 전부터 자생식물을 의·식·주 및 의약품의 중요 공급원으로 사용해 온 역사적 경험이 풍부하다. 국내 및 구미 선진국에서 천연식물을 재료로 만든 식품의약(Nutraceuticals) 및 건강보조식품 시장이 급증하고 있었으므로 우리의 오랜 경험과 다양한 자생식물자원에 첨단 생명공학 기술을 접목시켜 세계시장에 진출할 수 있는 고부가가치 생명공학 제품을 창출할 수 있는 기술과 소재를 개발할 필요가 절실하였다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진 개요

자생식물을 최대한 활용하여 천연물 신약, 기능성 식품의약, 신식품 등 고부가가치 제품을 개발하고 식물성분 생합성 관련 유용유전자를 발굴·활용하기 위해 기술 및 분야별로 3개의 사업 분야(대과제)로 분리하고, 각 분야별로 세부과제의 최종목표 달성을 위해 반드시 필요한 지원 사업인 각각의 공통기반사업을 운영함으로써 사업의 최종목표를 체계적이고 효율적으로 달성하고 나아가 식물다양성 자원으로부터 신규 유용물질을 탐색하고 이를 바탕으로 천연물 신약, 유용 유전자 발굴 및 우수 화합물 신식품을 개발하기 위한 일련의 과정을 체계적으로 구축하여 우수한 연구성과를 도출하였다.





나. 핵심관련 기술

분야	핵심관련 기술
자생식물 유래 천연의약품, 소재 및 신기능성 식품의약 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유용물질 탐색 기술 • 생리활성 물질의 화학 구조 결정 기술 • 물질 분리 정제 기술 • 전임상 및 임상 실험 기술 • 생리 활성물질의 안전성 검증 기술 • 세포 대량배양에 의한 유용물질 대량 생산 기술
유용유전자 발굴 및 고부가가치 형질전환 약용식물 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유전자 분리, 조작 기술 • 유전자 재조합 기술 • 유전자 발현 조절 기술 • 형질전환 식물체 선발 기술 • 형질전환 식물체 포장 시험 및 실용화
야생화 및 수목의 수집, 분류, 보존 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> • 자생식물 수집, 분류 기술(형태적, 분자생물학적) • 자생식물 현지외 보존 기술(조직배양, 세포주) • 통합 DB 구축 및 Data 가공 기술 • 교배, 육종 선발 기술 • 대량 번식 기술

3. 사업추진현황

가. 연구비 현황

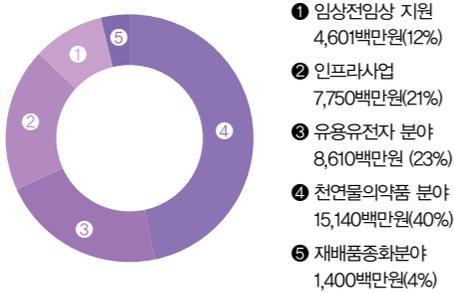
〈단위 : 백만 원〉

구분	1단계	2단계	3단계				계		
			1년차	2년차	3년차	4년차			
정부	교육과학기술부	계획	30,000	30,000	10,000	10,000	10,000	10,000	100,000
		실적	30,000	26,566	10,000	10,500	10,200	10,000	97,266
민간	투자액	계획	6,000	6,000	2,000	2,000	2,000	2,000	20,000
		실적	4,775	4,252	2,073	2,053	2,183	2,084	17,420
총계		계획	36,000	36,000	12,000	12,000	12,000	12,000	120,000
		실적	34,775	30,818	12,073	12,553	12,383	12,084	114,686

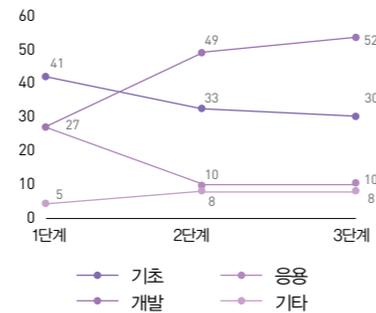
※ 연구비 계획은 교육과학기술부와 총괄협약서 기준으로 작성 / 3단계 현황을 위주로 작성함

사업단의 최종 목표 달성을 위해 3개의 중점 연구분야와 각 중점 연구분야의 효율적 연구지원을 위한 인프라 사업, 그리고 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발(실용사업화)을 촉진하기 위한 임상 및 전임상 시험 연구비 지원 사업을 두어 효율적이고 체계적이며 목표 지향적으로 과제를 구성하고 연구비를 지원하였다. 특히 3단계 사업기간에는 연구개발 성과의 실용사업화를 촉진하기 위하여 천연물 신약 개발에 있어 병목구간인 임상 및 전임상 시험 단계를 해소하고자 매 연차별 10억 원 가량의 정부지분 연구비를 예비비 형식으로 배정하여 두었다가 수시로 임상 연구비를 지원하는 『임상 및 전임상 시험 연구비 수시 지원 시스템』을 가동하여 연구 결과의 조기 실용사업화를 이루기 위해 적극적으로 유도하였다.

자생식물 사업단의 주력 연구목표인 천연물 신약 및 기능성 식품의약을 개발하기 위해 총 연구비의 53%(천연물 신약 분야 및 임상 전임상 지원 분야)를 투입하는 과정에서 전략적이고 집중적으로 연구비를 배분하였으며 이를 통해 양적으로나 질적으로 탁월한 연구성과를 도출하였다. 또한, 전략적 목적에 부응하고 사업이 계속적으로 진행되면서 초기의 불확실성을 축소시키고 수요자 Need 위주로 하였으며 전통적으로 알려진 Novel한 식물 혹은 물질에 주안점을 두었으며 이를 바탕으로 성공적 Target에 대한 최선의 기술을 적용하는 것에도 주안점을 두었다.

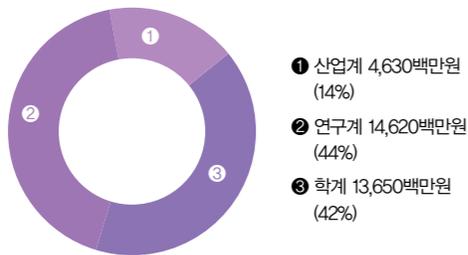


분야별 정부지분 지원 현황



과제 유형별 연구비 지원 현황

1단계에서는 기초연구에 집중적 투자를, 2, 3단계에서는 사업단의 최종 목표인 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발 달성을 위하여 개발 연구에 연구비를 집중하였으며, 원천기술 확보를 위한 기초 연구도 항상 25% 이상을 유지하여 가장 이상적인 연구비 배분이 이루어졌다. 당 사업단의 연구주체별 연구비 배분 현황을 보면 산업계 14%, 학계 42%, 연구계 44%로 연구비가 지원되고 있다. 산업체의 경우 민간 대응 투자지분의 이유로 정부지분 연구비가 다른 연구 주체보다 적게 배정되고 있는 것으로 나타나고, 연구계의 경우 현재 정부 R&D 체계상 내부인건비(PBS) 및 간접비의 비율이 다른 연구 주체보다 많은 이유로 다음과 같은 연구비 분포를 보이고 있다.



분야별 정부지분 지원 현황

(단위 : 백만 원)

구분	과제수	정부지분	%
산업계	6	4,630	14
학계	17	13,650	42
연구계	10	14,620	44
합계	33	32,900	100

나. 참여기관 현황

(단위 : 개)

구분	산	학	연	합계	
1단계	주관/협동/공동	13	52	21	86
	위탁(국내/국외)	4	13	1	18
	참여기업	27	0	0	27
합계	44	65	22	131	
2단계	주관/협동	9	46	20	75
	위탁(국내/국외)	2	17	1	20
	참여기업	26	0	0	26
합계	37	63	21	121	
3단계	주관/협동	13	28	14	55
	위탁(국내/국외)	2	9	1	12
	참여기업	22	0	0	22
합계	37	37	15	89	

(1) 연구팀의 구성

사업단의 각 세부과제는 다학제간 연구팀 구성으로 산·학·연 간의 유기적 협력 체계를 유지토록 하였고 공통기반 사업의 적절한 활용을 통한 연구 효율성 제고하였으며 기본적으로 기초 성격의 과제는 대학 단독 또는 학·연 협동연구 형태로 구성되는 것을 기본으로 하였으며 응용·개발 성격의 과제는 참여기업이 참여하도록 권장하여 연구개발 성과가 도출되는 시점에 즉시 실용상업화가 이루어 질 수 있도록 연구팀을 구성하였다. 특히 사업단의 주력 연구분야인 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발 분야는 기존의 식물채집, 추출물 분리, 정제까지의 연구팀을 사업단의 인프라 사업(식물추출물은행)이 그 역할을 대신 전담함으로써 세부과제에서는 구조 분석팀과 생리활성 검색팀과 약리작용 메커니즘 규명팀 2개 세부연구팀 만으로 구성하도록 하여 최소한의 인력과 연구비로 최대의 효과를 도출하도록 효율적으로 연구팀을 구성하였다.

연구심화를 위한 공동연구팀 단위의 구성 : 모든 과제는 연구목표를 극대화 할 수 있도록 산·학·연

중심의 공동연구팀이 구성되는 것을 원칙으로 하였고, 기초연구의 과제의 경우 대학 단독 또는 학·연 협동연구 형태로 구성되는 것을 원칙으로 하고 응용·개발성격의 과제는 산·학·연 중심으로 구성토록 하되 산업체가 역지로 참여한다고 판단되는 과제는 원천 배제함으로써 형식적 참여가 아닌 실질적 참여를 유도하였다.

다. 참여 연구인력 현황

사업 기간 동안 참여연구 인력의 분포는 박사급 33%, 석사급 31%, 학사급 32%, 기타 4%로 직급별로 비슷한 분포로 이루어졌고, 남녀 성별 비율도 남성이 59%, 여성이 41%의 분포로 남녀 성비의 구성이 비교적 고르게 분포하고 있으며 1인당 연구비의 규모도 약 1억 9천만원에 이르고 있어 연구비 대비 적정 규모의 인력을 투입하였다.

● 학력별 연구인력

〈단위 : man/year〉

구분	1단계			2단계			3단계			계		
	남성	여성	계									
박사급	838	206	1,044	670	199	869	699	192	891	2,207	597	2,804
석사급	418	377	795	394	380	774	430	399	829	1,242	1,156	2,398
학사급	441	560	1,001	329	525	854	395	464	859	1,165	1,549	2,714
기타	25	15	40	54	98	152	58	63	121	137	176	313
계	1,722	1,158	2,880	1,447	1,202	2,649	1,582	1,118	2,700	4,751	3,478	8,229

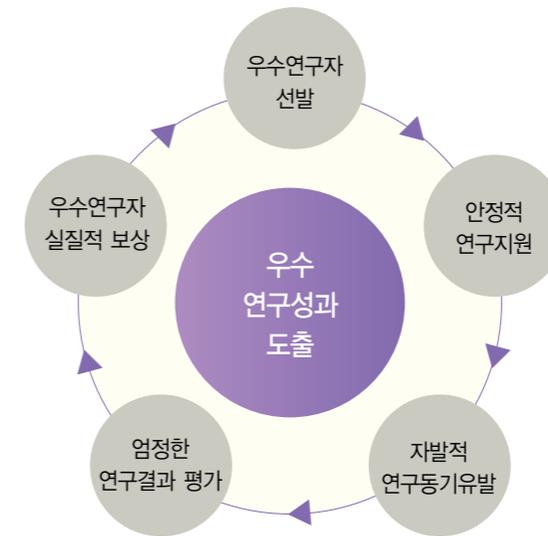
● 소속별 연구인력

〈단위 : man/year〉

구분	1단계			2단계			3단계			계		
	남성	여성	계									
산업계	276	193	469	296	120	416	539	244	783	1,111	557	1,668
학계	919	617	1,536	785	777	1,562	686	605	1,291	2,390	1,999	4,389
연구계	527	348	875	366	305	671	357	269	626	1,250	922	2,172
계	1,722	1,158	2,880	1,447	1,202	2,649	1,582	1,118	2,700	4,751	3,478	8,229

4. 사업관리 및 성과관리

가. 사업추진 철학



사업 추진 철학 5대 원칙

자생식물이용기술개발사업단은 교육과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업 선두 주자 중 하나의 사업단으로 출범하여 당초 사업단의 주력 목표인 천연신약 소재 및 기능성 식품의약품 제품을 창출을 위해 끊임없이 노력해 왔으며 신의성실, 솔선수범, 실사구시의 연구철학을 가진 우수 연구책임자를 최대한 발굴하여 안정적인 연구지원과 평가결과의 공개 등 자발적인 연구 동기를 유발하였고, 연구 결과에 대한 엄정한 평가를 통해 연구 성과의 옥석을 가려내어 우수한 연구 성과를 도출한 연구자에 대해서 실질적인 보상(차기단계 과제 우선 진입, 연구비 차별적 증액 보장 등)을 하는 등 연구과제에 대한 효율적인 연구 지원으로 연구의 생산성을 최대한 제고시키는 것을 기본 방침으로 하였다.

(1) 사업추진 5대 원칙

첫째, 우수 연구책임자 선발이 중요하였다. 연구사업의 성패는 우수 연구책임자 선발에 전적으로 달려있다 해도 과언이 아니다. 따라서 자타가 공인하는 객관적인 실력을 가진 우수 연구책임자를 선발하기 위해서 해당 분야 최고 전문가들로 구성된 세부과제 선정 평가위원회를 객관적이고 공정하게 운영함으로써 우수 연구책임자들이 최대한 많이 선발될 수 있도록 하였다. 둘째, 안정적인 연구지원을 하였다. 사업단의 고유기능을 철저히 분석하고 연구능력 위주의 과제가 선정되도록 하였고 중점 연구 분야의 심화를 위해 선정된 과제에 한정하여 특별한 사유(연구비 유용, 불성실 연구 수행 등)가 없는 한 단계 기간 동안인 3~4년간의 연구비를 지속 투입함으로써 불안정한 예산구조를 해소하고 연구자가 안정된 가운데 연구에 전념할 수 있도록 지원하여 최대한의 성과창출을 유도하는 체제로 사업을 추진하였다. 셋째, 자발적 연구 동기유발이 되도록 사업을 운영하였다. 주기적인 연구 현장 방문과 공개 발표평가 등과 같은 열린 경영 및 개방형 연구문화를 지향함으로써 연구책임자가 현장에서의 bench-work 하는 솔선수범을 촉발시키고 우수성과, 업적평가 등을 실시하여 우수 연구자에 대해 연구비 증액지원, 다음 단계의 과제 우선 진입 등 다양한 보상시스템을 구축·운영하였다. 넷째, 엄정하게 연구결과를 평가하였다. 사업단에서는 평가의 접근을 과학기술적 성과와 경제적 기여도의 측정을 기본 모토로 하고 있으며 공정성과 객관적인 평가를 위해 관련 분야 전문가로 구성된 평가위원이 과제 선정뿐만 아니라 연구의 전 과정을 계속적으로 모니터링 하도록 유도하고 최종평가에 이르게까지 하는 책임평가 제도를 확립하였으며, 1차적인 기초평가와 기술의 우수성, 독창성, 신규성 등 2차적 기술 산업적 가치까지 고려한 전방위적 평가체제로 운영하였다. 또한 이러한 평가결과는 다시 연구현장에 피드백(feedback)될 수 있도록 연구정책 및 기획 제안에도 적극적으로 활용하였다. 다섯째, 우수 연구자에 대해서 실질적인 보상을 하였다. 연구의 특성상 기초기반, 응용연구, 실용상업화로 대별되어 단계별로 중점개발 과제를 발굴·수행토록 하고 우수업적 및 성과를 창출한 연구자에 대해서는 지속적인 연구수행을 위해 다음 단계의 진입을 최우선적으로 고려하고 연구개발비의 차별적 대우, 다각적인 홍보 대행 등 실질적인 보상 제도를 시행하였다. 또한 필요하다면 우수 연구자에 대한 인센티브도 제공하는 Positive한 우수 연구성과 유인책과 실질적인 보상 제도를 확실히 시행하였다.

(2) 참여 연구자의 3가지 기본 덕목 요구

첫째, 신의성실을 강조하였다. 연구자에게 윤리성과 도덕성을 특별히 강조하였다. 논문 허위조작 사태와 일부 연구자의 연구비 유용은 과학계는 물론 심지어는 일반 사회까지도 엄청난 마이너스 파급

효과를 미친다. 이것은 우리 사업단에서 연구를 수행하며 훌륭한 연구결과 이전에 철칙으로 내세운 “신의성실”을 무너뜨렸기 때문이다. 그 동안 우리 과학계에서 극소수이기는 하지만 인간적 기본소양을 갖추지 못한 함량 미달의 과학자들이 저질러온 불미스러운 사태 때문에 절대 다수의 성실하고 선량한 과학자들이 입어온 피해는 이루 말로 다 표현할 수 없을 정도로 막대하였다. 따라서 이러한 문제를 유발시킬 가능성이 있는 연구자가 단 한 명이라도 본 사업단에 참여할 경우 본 사업단 뿐만 아니라 프론티어사업, 더 나아가 우리나라 과학기술계 전체에 막대한 타격을 입힐 수 있으므로 이를 원천적으로 막고자 하였다. 그리고 소중한 국민세금을 연구비로 사용하는 연구자들이 항상 신의성실한 자세로 연구에 임하며, 특히 연구비를 규정에 맞게 사용하고 그에 상응하는 결과를 내려고 하는 기본적인 자세를 갖추어야 한다는 뜻을 신의성실이라는 단어에 담고자 하였다. 우리 사업단에서는 이미 사업 초기부터 훌륭한 연구결과 이전에 연구자에게 윤리성과 도덕성을 강조하였고 인간적인 면을 최우선으로 강조하였다.

둘째, 솔선수범이다. 연구책임자가 직접 중요한 실험을 수행할 것을 주문하였다. 연구책임자가 해당 연구과제의 가장 핵심적이고 중요한 부분의 실험을 본인이 직접 수행하면서 연구팀을 이끌어 가야 연구과정에서 부딪칠 수 있는 각종 난관을 돌파할 실질적인 능력이 생긴다는 것을 사업단장인 본인이 그동안의 연구경험에서 피부로 절실히 느꼈기 때문이었다. 선진 외국의 연구자들은 은퇴할 때까지 본인이 직접 bench work를 수행하는 것을 당연하게 여기는 반면 우리나라의 연구자는 조금만 나이가 들면 bench work를 하지 않고 말과 이론으로만 연구하려는 경향이 있는데 이는 실질적인 연구 경쟁력을 떨어뜨리는 가장 중요한 요인 중 하나라고 생각하였다. 이에 사업단 세부과제의 연구실 인력 구성(연구책임자와 소수의 연구원으로 구성됨)과 현장점검(분기, 수시 등)을 통해 살펴본 결과, 연구책임자 본인의 실험 수행이 잘 이루어졌다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 실사구시적 학문철학을 강조하였다. 가능한 한 실생활에 응용 가능한 연구 수행 주문하였다. 설령 기초과학적 성격의 연구 과제라 할지라도 이 연구결과가 궁극적으로 누구에게 어떻게 활용될 수 있고 해당분야 학문과 산업발전에 얼마나 도움을 줄 수 있겠는가를 늘 염두에 두고 평소에 연구를 수행해야 한다는 뜻이었으며 응용·개발 성격의 과제는 원래 목표가 실용상업화이므로 실사구시 연구철학을 가지는 것은 당연한 것이라 할 수 있다. 기초과학적 성격의 연구과제 또한 연구 결과물인 논문을 다른 연구자들이 인용하는 척도(발표 논문의 피인용 지수)를 실사구시적 연구로 보았다. 또한 평가의 지표 또한 산업체 기술이전과 피인용 지수가 높은 논문에 큰 가중치를 부여하여 연구책임자가 평가를 잘 받기 위해서라도 실용상업화가 되도록 하였다. 단순히 논문 편수만 늘리기 위한 연구, 아무도 읽지 않고 인용해 줄만한 가치가 없는 논문을 생산하기 위해 일하는 연구자가 없도록 이를 사전에 방지하자는 의도였다.



나. 사업관리 기본 전략

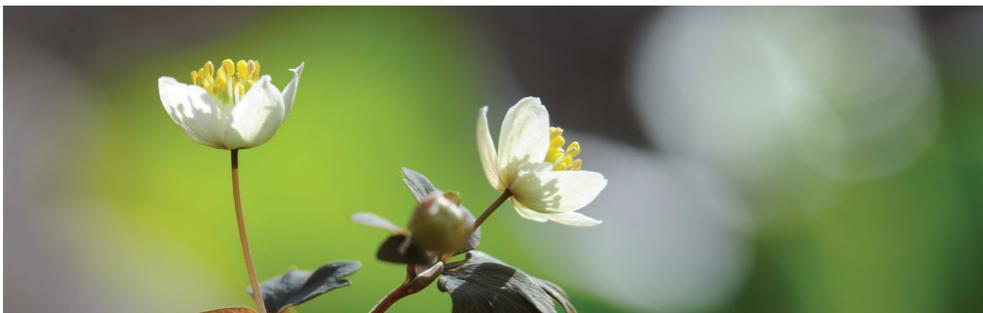
전 주기적 기획관리 시스템 운영 : 연구사업의 효율적인 추진과 효과적인 성과 창출을 유도하기 위해 기초기반, 응용, 실용화의 분야별 핵심적 과제를 선정하고 분야별 책임간사를 활용하여 연구수행 진도관리 등 모니터링을 통한 전 주기적 기획관리 시스템으로 운영하였다.

책임평가제도 확립 : 사업방향을 설정하고 전략분야 중심의 과제를 구성하여 일관성 및 엄정한 평가를 위하여 평가위원은 과제선정 단계에서 연차평가, 단계평가에 이르기까지 교체 없이 계속적으로 추적평가를 하는 책임평가제를 실시하는 전문적인 과제관리 체제로 구축하였다.

공개경쟁을 유도한 투명성 확보 : 연구책임자의 자율적인 연구 활동을 최대한 보장하고 중간평가, 연차평가의 발표 평가 시에는 타 연구자의 발표도 반드시 듣도록 함으로써 연구자 상호간 연구진척에 대한 선의경쟁 의식을 고취시키고 평가 결과에 공정성을 확보하여 객관적 투명성을 확보하는 체제로 운영하였다.

수요자 중심의 질적 성과물 유도 : 산·학·연의 전략적 공동연구를 유도하고 수요자(기술이전 기업) 중심(Need)에 의한 1과제 1성과의 책임의식을 부여함으로써 성과위주의 기술개발을 촉진하는 한편 상호간, 전문가들 간의 연구진행 및 결과를 상호 교류하는 2차적 검증을 토대로 질적으로 향상된 성과물 기대하였다.

기술마케팅을 통한 실용화 촉진 : 수요자(기술이전 기업)의 요구에 따라 질적으로 우수한 연구성과물을 도출하고 이 성과물이 최종 수요자(일반 국민)에게 제품화되어 활용됨으로써 국민의 세금으로 연구된 연구결과가 다시 국민에게 되돌아 갈 수 있도록 하였다. 연구결과에 대한 국내·외 기술이전 수요조사(1회 실시, 1회 예정), 기술이전 설명회, 특허 신탁 등의 기술마케팅을 통하여 제품화 될 수 있도록 사업단 역량을 집중하였다.

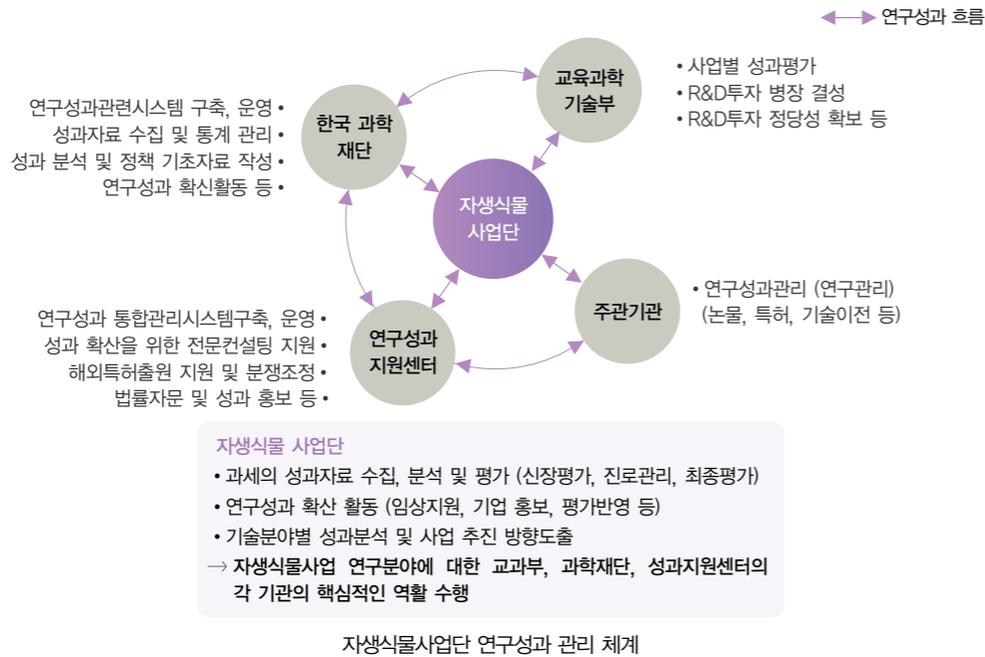


다. 독창적 사업 및 연구관리 방식 도입

기존 연구관리 방식	독창적 연구관리 방식
<ul style="list-style-type: none"> 중간평가 결과 통보제도 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 중간평가 결과 통보 제도 시행 책임자 간 상대적 위치 파악으로 건전한 연구 동기 유발 촉진
<ul style="list-style-type: none"> 본인과제만 발표 후 퇴장 	<ul style="list-style-type: none"> 공개발표 시행 평가 결과에 대해 스스로 수용 전반적인 연구진척도 파악
<ul style="list-style-type: none"> 우수연구자에 대한 실질적 보상 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 우수 연구자에 대한 실질적 우대 차기단계에서 과제우선진입 연구비 차별적 증액 보장
<ul style="list-style-type: none"> 단년도 협약 - 1년 단위 협약원칙 	<ul style="list-style-type: none"> 다년도 협약(3·3·4년) 시행 [국가연구개발사업 중 최초 적용]
<ul style="list-style-type: none"> 잔액 발생 시 전액 반납 	<ul style="list-style-type: none"> 연구비 잔액 차년도 이월 사용 [국가연구개발사업 중 최초 적용]
<ul style="list-style-type: none"> 기술이전 계약 후 기술료 납부가 제대로 이행되지 않음 평가를 잘 받기위한 형식적인 기술이전 계약의 팽배 	<ul style="list-style-type: none"> 주관기관에서 기술이전 계약 체결 동시에 기술료의 20%를 선급실시료로 징수하게 함 형식적인 기술이전 계약 탈피 기술이전에 대한 연구책임자 보상 현실화 기술료 수입 증대 효과 [사업단과 주관기관과의 협약에 명문화 시킴]

라. 연구개발 성과 관리

국가연구개발사업의 가시적 성과확산을 위하여 현장점검, 수시보고 체제, 인센티브 부여 등 적극적으로 연구개발 성과관리에 충실을 기하였으며 자체평가, 중간평가를 통해 효율적인 성과중심의 시스템으로 운영하였다. 연구개발성과에 대해 사업단의 전문인력이 1차 분석을 실시하고, 성과분석 전문 기관에 의뢰를 통한 2차 분석 및 관리 방안 도출로 연구개발 성과에 대한 개별적인 성과관리 가능하였다.



모니터링 시스템을 도입하여 상시적 성과 관리를 수행하였다. 매 분기별(또는 수시 및 정기 현장방문)로 연구성과 및 연구진행사항을 점검하여 각 연구과제의 계획 대비 연구진척사항을 확인하였으며 목표달성의 완성도를 높이기 위해 연구수행에 대한 성과(논문, 특허, 기술이전 등)를 수시로 접수받아 상시적으로 성과를 관리하였다.

세부과제 및 주요 특허의 기술사업성 평가²⁾하였다. 자생식물 사업 연구과제 수행으로 도출된 특허 및 사업단 세부과제의 기술사업성 평가를 통해 사업화 전략을 도출함으로써 국내·외 산업체로 기술이전을 촉진하는 등 연구성과의 실용 상업화 촉진 및 세부과제의 현 상태를 객관적으로 평가하고자 국내 최고의 기술사업성 평가기관이며 공인 기관인 한국기술거래소에 위탁 연구를 의뢰하여 객관적이고 공정하게 기술 사업성을 평가하였다. 세부과제 또는 특정기술(특허)의 기술성, 권리성, 시장성, 사업성 등을 평가하고, 이를 종합적으로 분석하여 과제 또는 기술의 성공 가능성을 등급으로 평가하고 종합의견을 제시하는 형태로 진행하였다. 세부과제 33개의 기술사업성 평가 결과 한국기술거래소 평가 등급에 따라 A등급 16개 과제, B등급 17개 과제로 아주 우수한 기술사업성 평가 결과를 도출하였다.

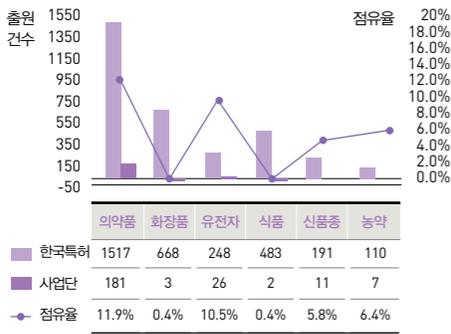
세부과제별 기술사업성 평가 등급 및 의미

평가 등급 ³⁾	점수 분포	등급 의미	과제 수
S 등급	80점 이상	즉시 산업화 가능	-
A 등급	70점~80점	기술 우수, 우선적 기술이전 추진 요망	16
B 등급	60점~70점	기술(특허) 유지 필요, 기술이전 다소 시일 소요	17
C 등급	50점~60점	기술 보완 시급	-
D 등급	50점 이하	기술가치 적으며 기술이전 불투명	-
합계			33개

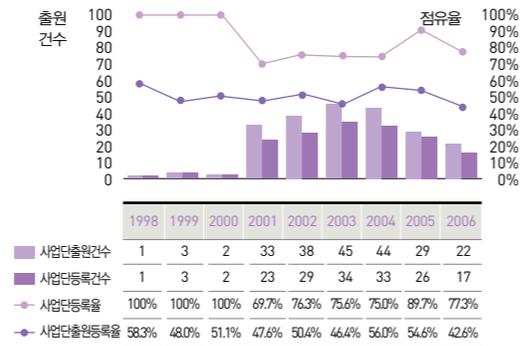
※ 한국기술거래소 『자생식물사업 기술사업성 평가 보고서』, 2009. 3

특허를 전략적으로 분석하였다. 자생식물 사업의 기술분야에 대해 전 세계의 기술동향 및 우리나라의 기술수준(사업단 특허 수준)을 파악함으로써 연구책임자에게 객관적이고 표준화된 특허정보를 제공하였고 개발비용의 절감과 공백기술 파악을 통해 원천기술의 조기 확보 및 기술사업화 전략을 도출하고자 국내 최고의 특허 분석 기관이며 그 결과에 대한 높은 공신력을 가지고 있는 한국특허정보원에 위탁하여 특허를 전략적으로 분석하였다. 한국특허정보원은 특허 관리 현황 분석 및 특허의 질적 평가를 위해 등록률 분석, 청구항수 분석, 기술집중도 분석 및 특허활동 지수, 인용도 지수, 영향력 지수, 기술력 지수 시장확보 지수 등 여러 가지 간접 지표를 통해 사업단의 특허 및 관련 기술 분야의 국내·외 특허를 분석하였다. 분석 결과 사업단의 특허는 한국 특허 전체 중 의약품 분야에서 11.9%, 유용유전자 활용 분야에서 10.5%의 높은 점유율을 나타내고 있으며 사업단 특허의 평균 등록률은 76.6%로 한국특허 전체의 평균 등록률인 49.4%와 비교하여 매우 높은 수치를 나타내었다.

2) 3단계 특허를 대상으로 기술사업성 평가를 실시 함
 3) 한국기술거래소에서 약 4,000개의 과제 및 기술에 대한 기술사업성 평가를 실시할 경우 S등급은 1개, A등급 600개(15%), B등급 1,200개(30%), C등급 1,600개(40%), D등급 600개(15%)의 분포를 보임



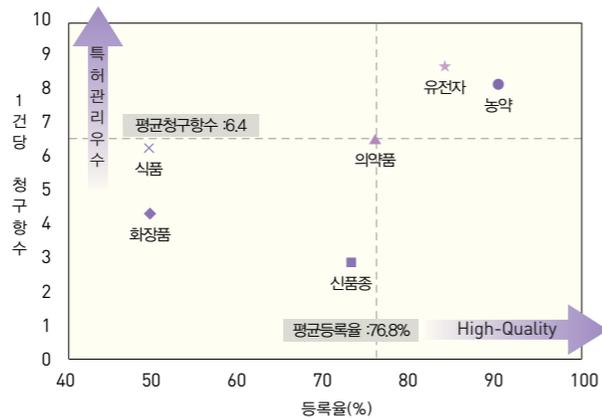
한국특허 중 사업단 특허 점유



한국특허 및 사업단 특허 등록률

※ 분석구간: 한국특허 '77~2006(출원년도), 사업단특허 '98~2006(출원년도)
 ※ 한국특허정보원 『자생식물사업 특허 전략 분석』, 2009. 2

또한, 사업단 특허 1건당 청구항수는 6.4항으로 특허 관리 뿐만 아니라 특허의 질도 우수한 것으로 나타났다.



사업단 특허의 청구항수 및 등록률

마. 기술마케팅 실시

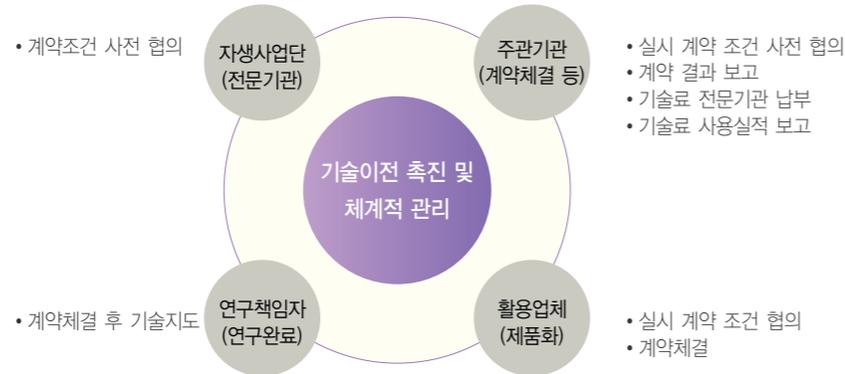
현재까지 자생식물이용기술개발사업으로 개발된 연구성과의 객관적 평가·진단으로 우수한 기술을 선별하고, 선별된 기술을 BT관련 대·중소 기업을 대상으로 하여 특허신탁, 기술이전 수요조사, 기술이전 설명회 등 기술마케팅을 실시함으로써 우수한 기술이 사업 종료로 사장되는 것을 방지하고 또한 연구성과의 기술사업화를 촉진하고자 하였다. 국내 기술마케팅의 경우 기술마케팅 국가 공인 기관인 한국산업기술진흥원의 『국가기술사업화종합정보망(www.ntb.or.kr)』을 통한 기술마케팅을 실시하였다. 국외 기술마케팅의 경우 프론티어성과지원센터와 KOTRA의 지원을 받아 기술마케팅을 실시하였다. 우수 기술의 선별은 3단계 중간 평가에 실시한 기술사업성 평가(기술거래소 평가) 및 특허분석(한국특허정보원 분석) 자료를 토대로 우수 기술을 선별하며 연구책임자의 별도 요청이 있을 경우에도 기술마케팅 대상 기술로 선별하였다. 또한 「기술이전 수요조사」를 통해 기업으로부터 수요가 있는 기술을 대상으로 「기술이전 설명회」를 개최하였다. 특히 특허신탁은 원소유자(주관기관)의 동의하에 주관기관별로 특허신탁을 실시하되 사업단과 한국산업기술진흥원이 협력하여 일괄적인 특허신탁이 되도록 유도(기관 대 기관 MOU 체결을 통한 효율적 특허신탁 유도)하였다.

국내·외 기술이전 수요조사 현황

기술명	연구기관 (연구책임자)	희망거래 유형
오보비탈 또는 오보비탈을 포함하는 항암제	한국생명(연)(권병목)	실시권 허여
에너지 부스팅 소재 "UG0712" 개발	유니젠(연)(김동선)	실시권 허여 기술거래
신경세포 보호활성을 갖는 올레산 함유 조성물 및 이의용도	경희대학교(김호철)	기술 매매
만성호흡기질환(천식, 만성기관지염)용 천연치료제	한국생명(연)(이형규)	기술 매매
손바닥선인장(Opuntia ficus-indica var. saboten) 열매의 종자 추출물 및 이로부터 분리된 화합물을 함유하는 간 보호용 조성물	한국과학기술(연)(진창배)	실시권 허여
손바닥선인장(Opuntia ficus-indica var. saboten)으로부터 항산화성 뇌신경보호용 식품의약 개발	한국과학기술(연)(진창배)	실시권 허여
TG1022F를 이용한 비만억제 기능성식품 개발	(주)티지바이오텍(허태린)	기술 매매
Development of nutraceuticals from wheat and barley to prevent senile diseases	대구가톨릭대(이종원)	시제품 보유
Development of functional food for obesity using TG1022F	(주)티지바이오텍(허태린)	임상시험 단계

바. 기술료 관리

사업단에서는 연구개발의 결과를 실용상업화 하고 산업계에 활용하기 위하여 기술이전 범위, 절차, 기술료 등을 사업단에서 적극적으로 관리하였다. 각 주관연구기관의 기술실시 계약체결 절차, 기술료 산정, 관련 규정 이해 등 연구현장 불편사항을 Q&A 방식으로 지도·관리하였으며, 반드시 기술이전을 실시하기 전 사업단과 기술 실시 계약에 대한 협의를 거치도록 하여 기술 실시 계약서 상의 독소조항이나 연구책임자에게 피해가 가는 일이 없도록 사전 조치하였다. 주관기관의 기술료 수입액은 연구개발 재투자, 기술 확산에 기여한 참여 연구원에 대한 보상금의 사용 등 기술료 집행의 적정성 여부를 관리하여 투명한 기술료 사용을 유도하였다.



기술이전 촉진 및 기술료의 체계적 관리

사. 세부과제 선정평가 관리

세부과제의 선정평가 시 분야별 전문 평가위원회를 구성하여 공정하고 객관적인 평가를 유도하였고, 세부 과제 단위로 평가하였다. 또한 사업단의 기획의도(RFP) 적합성 및 세부과제의 독창성을 고려하였다.

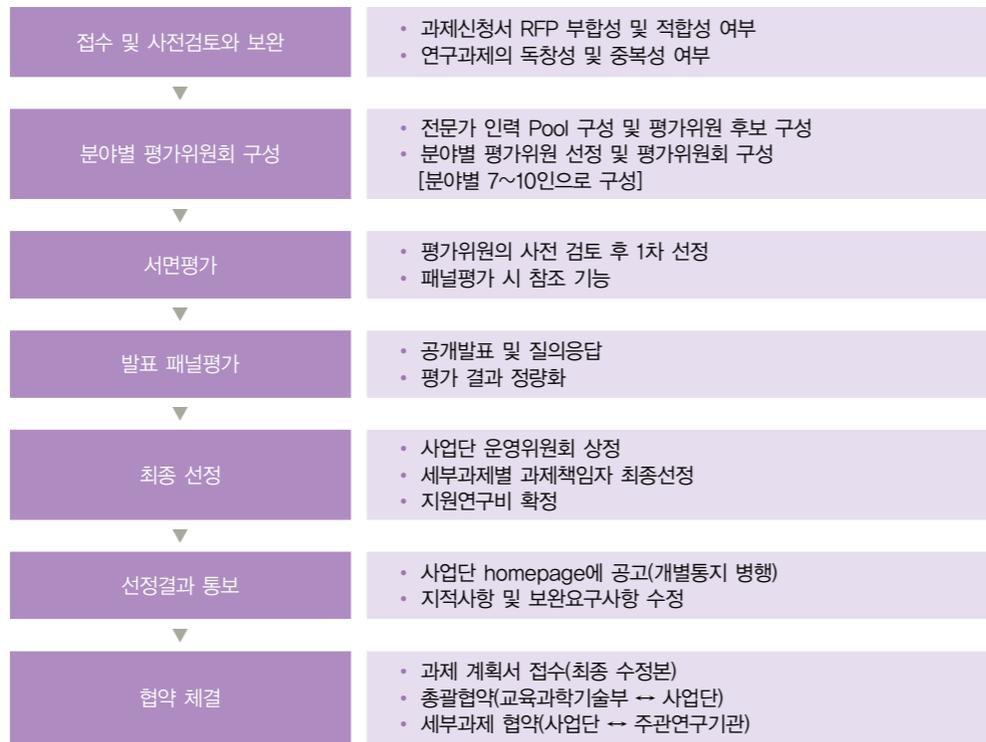
(2) 사업계획 수립 및 선정평가 절차

● 사업계획 수립 절차

3단계 기획연구 추진	<ul style="list-style-type: none"> 외부 전문가 자문 등으로 공동 기획 수행
3단계 사업계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 기술현황 분석(특허맵 중심) 1단계, 2단계 성과 분석(논문, 특허 등) 3단계 목표 설정
정책연구 중간 점검	<ul style="list-style-type: none"> 사업단 실무·운영위원회 3회 개최 <ul style="list-style-type: none"> 정책연구 중간 점검 3단계 사업계획(안) 수립 기술분야별 RFP 작성
운영위원회 상정	<ul style="list-style-type: none"> 3단계 사업계획 심의 의결
사업설명회 및 공청회 개최	<ul style="list-style-type: none"> 3단계 사업계획 설명 및 의견 수렴
3단계 사업 공고	<ul style="list-style-type: none"> 3단계 사업계획(RFP) 및 선정평가 계획 공고



● 선정평가 절차

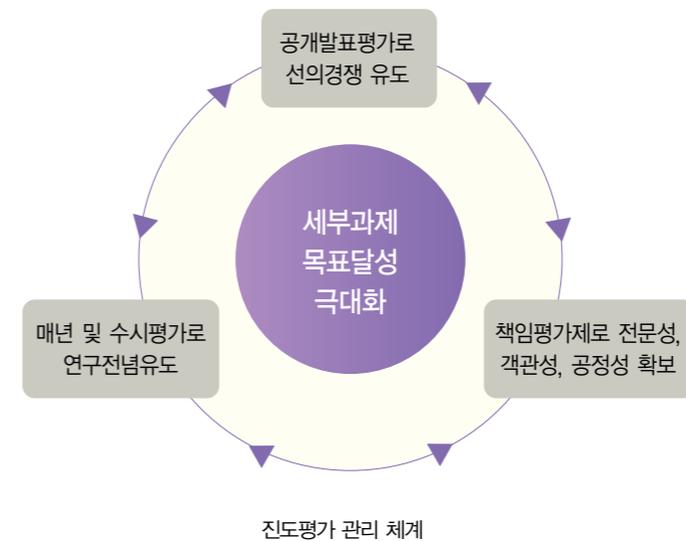


아. 세부과제 진도 관리

우수 연구 성과의 발굴 및 목표 달성을 위해 매 연차별 및 수시로 연구진행 사항과 실적 점검을 통해 세부과제의 연구목표 달성을 독려하였고, 세부과제 상호 간 유기적인 협력 체제 및 자율경쟁 체제를 통해 자발적인 연구 환경을 조성하였으며, 세부과제 평가위원의 전 주기에 걸친 모니터링 평가를 통해 진도평가 시 평가자(사업단 또는 평가위원) 및 피평가자(연구책임자)간 애로사항을 상호 공유함으로써 효율적 연구 목표 달성을 이루고자 하였다. 또한 자발적인 노력을 이끌어낼 수 있는 합리적인 연구진도 관리를 위하여 연차 및 중간 연구결과 발표는 공개발표 방식으로 하고 평가결과는 매번 통보하여 상호간 상대적 위치(상, 중, 하)를 확인하도록 조치하였고 3년 단위의 다년도 협약 체결로

사용 잔액 연구비의 이월사용 허용하였으며, 평가위원의 교체 없이 전담 배치함으로써 평가의 전문성, 객관성, 공정성 극대화하였다. 중점과제 및 공통기반 과제는 총괄과제와 함께 세부과제별로 평가하였고, 자유공모과제는 세부과제 단위로 평가 실시하되 평가점수에 따라 등급별로 일정비율을 배분하는 상대평가를 원칙으로 하였다.

연구현장 실사는 연간 최소한 1회 이상 실시하는 것을 원칙으로 하였으며, 현장실사 시에는 연구책임자의 성실성, 관련 실험장비 유무, 주관연구기관의 연구지원 의지, 연구비 관리시스템, 연구팀의 실질적인 구성, 실험실 분위기 등을 집중적으로 파악하였다. 평가결과의 Feedback System을 통해 평가 결과는 반드시 차년도 연구사업에 반영될 수 있도록 평가결과 뿐만 아니라 평가의견을 연구책임자에게 통보하며 차년도 연차실적·계획서 접수 시에 평가결과 반영 여부를 수정보완대비표로 제출토록 하였다. 단계 평가의 경우 특급저널 논문발표, 기술이전 등의 우수 연구결과 창출과제는 우수성과 과제로 선정(상위 10% 내외)하여 3단계 진입 시 최우선 선정과제로 가능케 하고 평가결과 하위 30% 내외(연차별 중도 탈락과제 포함)에 해당하는 과제는 탈락되도록 하였다. 단, 탈락과제 중 특별한 사유(연구비의 부정 사용 등)가 없는 과제에 대해서는 성신탈락으로 분류하고 불성실 탈락과제에 대해서는 현장실사 후 제재 등 후속조치를 시행하였다.



중간평가와 연차평가는 반드시 공개 발표평가를 하고, 이때 기존방식(자기과제 발표 후 퇴장하는 방식)과는 달리 모든 연구과제 책임자들은 반드시 첫 발표부터 마지막 발표 때까지 참석하여 다른 연구자들의 연구진척도를 확인케 함으로써 본인의 연구과제가 상대적으로 어느 정도 위치(상·중·하)에 있는지를 스스로 느끼게 하였다. 그리고 매년 공개발표 평가를 마친 후 각 연구책임자들에게 상·중·하로 매겨진 연구결과 등급을 개별 통보하여 연구진척이 부진한 중·하 그룹에 속하는 연구자들의 분발을 촉발시키는 체제로 운영하였다. 이러한 체제는 결과적으로 전반적인 연구사업의 평균적 연구성과를 높이게 되는 결정적 계기가 되었으며, 공정성, 객관성에 관한 평가 결과에 대해서도 전체적으로 수긍하는 제도적 역할을 하였다.

선정평가에서 단계평가에 이르는 연구과정을 직접적으로 관리하는 파트너십 관리체제로 운영되고 해당분야에서 전문성이 높은 평가 위원을 선발하여 연구과정의 모니터링부터 결과에 이르기까지 계속적으로 추적 평가하는 책임평가제를 실시하는 전문적인 진도 관리 체계로 구축·운영하였으며, 평가위원은 선정부터 단계평가에 계속 참여함으로써 개별과제의 연구진척 과정을 소상히 파악하게 되고 문제점을 알고 있기 때문에 과제 책임자들이 평가에 소홀함이 없도록 원천적으로 차단하는 효율적인 기능으로 관리하였고, 또한 연구현장을 연간 최소한 1회 이상 실시간 방문 평가도 병행하여 시행하고 연구책임자의 성실성, 관련 실험장비 유무, 연구 관리시스템 등을 집중적으로 파악해 이를 연차평가에서도 반영시키는 제도 시행하였다.

자. 연구비 정산 관리

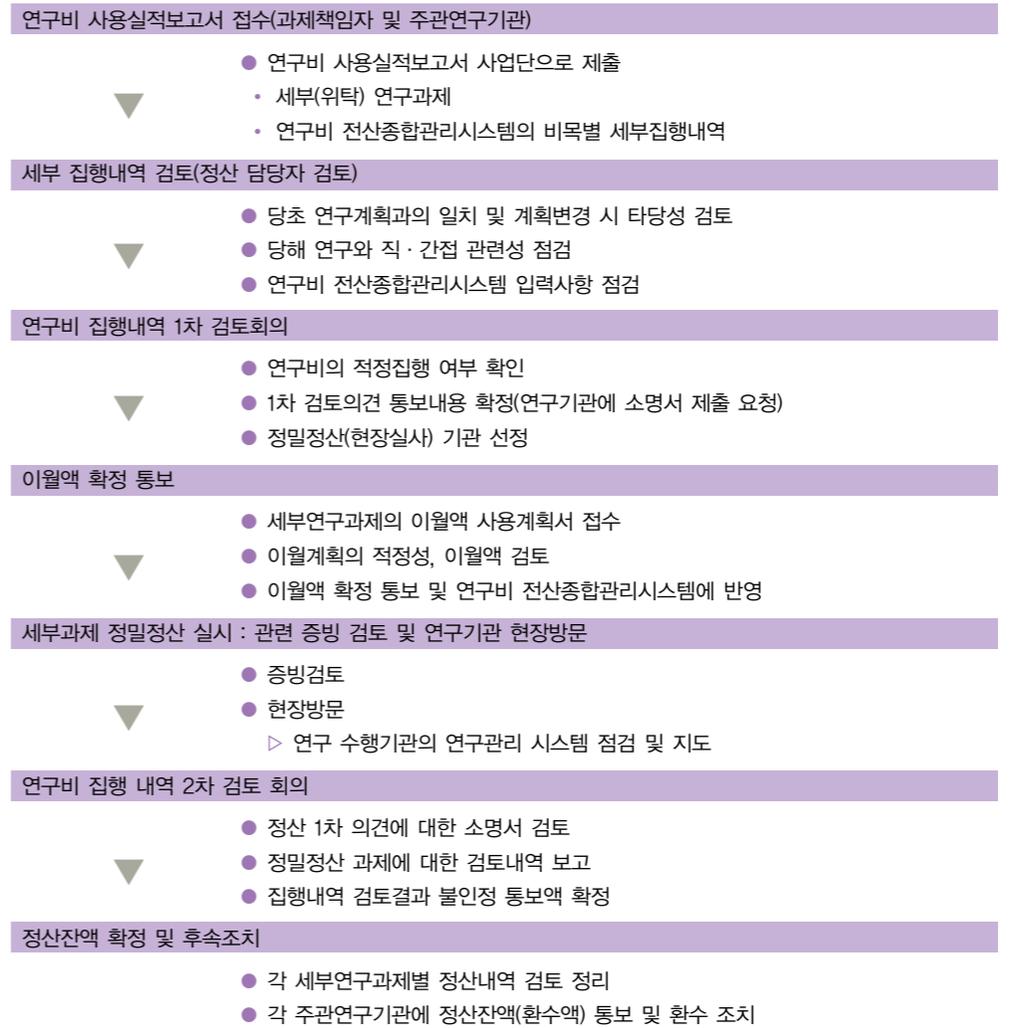
사전 지도 관리 원칙으로 집행과정에서 문제점을 원천적으로 차단하였다. 관련 규정의 정산처리 지침에 의한 엄정한 정산 실시하였고, 연구비 전산 종합 관리시스템에 의한 실시간 정산 실시 및 연구책임자의 행정 부담 최소화 및 실무담당자를 대상으로 시스템 교육 실시하였다. 또한 연구비 정산 후 불인정된 연구비는 교과부의 승인 하에 연구의 고유목적 연구비로 재투자 하였다.

주요 정산사항으로는 ①연구비 집행의 목적 적합성 여부(연구목적 및 내용과의 관련성, 연구계획 변경 집행 등) ②비목별 연구개발비 집행에 대한 적정성 여부(연구기간 외 집행, 변경내용의 승인여부, 초과증액, 신설집행, 용도 외 집행, 증빙서류 미비 등) ③반납 및 이월사용계획에 대한 적정성 여부(발생이자의 산출, 이월사용계획 등)를 주로 점검하였다.

연구비 사용실적 1차 검토 후 필요 시 증빙서류를 요청·확인하였고, 연구비 사용실적 검토 및 정산잔액, 기간 중 발생이자를 확인하였으며 연구비 집행 시 연구비카드의 사용 후, 연구비전산종합관리

시스템에 세부집행내역 입력현황 파악하였고 연구비 정산잔액 및 미사용 이자액 환수 조치하였으며 이월액사용계획서 접수, 검토후 이월액 확정 통보 및 시스템 반영하였다.

(5) 정산절차



02 자생식물자원 활용 고부가가치 산업 창출

1. 사업단 목표

가. 최종 목표

- 자생식물을 최대한 활용하여 천연물 신약, 신기능성 식품의약, 신품종 등 고부가가치 제품 개발
- 식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용
- 국내 자생식물 자원의 효율적 관리체계 구축



가. 단계별 목표

구분	단계별 목표
1단계 (2000~2002)	<ul style="list-style-type: none"> • 식물 유래 신기능성 식품의약 후보 탐색 • 식물추출물은행 구축 • 식물 유용유전자 발굴, D/B구축 및 유전정보처리 기술개발 • 한반도 자생식물 속 식물지 완성 • 야생화 및 수목 신품종 후보 탐색
2단계 (2003~2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 천연신약 소재 및 신기능성 식품의약 시제품 개발 • 신기능 유전자 특허 출원 및 형질전환 식물 개발 • 야생화 및 수목의 신품종 후보 개발 • 공통기반 사업의 지속적 수행 및 보강
3단계 (2006~2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 천연신약 후보물질 특허출원 및 기술 이전 • 식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용 • 자생식물을 활용한 신기능성 식품의약의 산업화 • 신품종 야생화 및 관상수목의 산업화 • 공통기반 사업 구축 완료 및 공공 서비스

2. 연구분야 및 개발 내용

가. 주요 연구개발 내용

구분	개발내용
천연신약 소재 및 식품의약개발	<ul style="list-style-type: none"> • 고부가가치 천연신약 소재 개발 • 난치성 질환 치료·예방용 식품의약 개발 • 자생식물 유래 신기능성 유용물질 대량 생산기술 개발
유용유전자 발굴·활용	<ul style="list-style-type: none"> • 유용 2차 대사물질 생합성 관련 유전자 발굴 • 식물 발달 및 신호전달 관련 유용유전자 발굴 • 가축 및 인체질병 백신용 형질전환식물 개발
자생식물 보존·활용	<ul style="list-style-type: none"> • 야생화, 관상수목의 재배 품종화
공통기반	<ul style="list-style-type: none"> • 식물추출물은행 구축 • 식물유전자 D/B 및 유전정보 처리시스템 구축 • 야생화 및 멸종위기식물 종자은행 구축

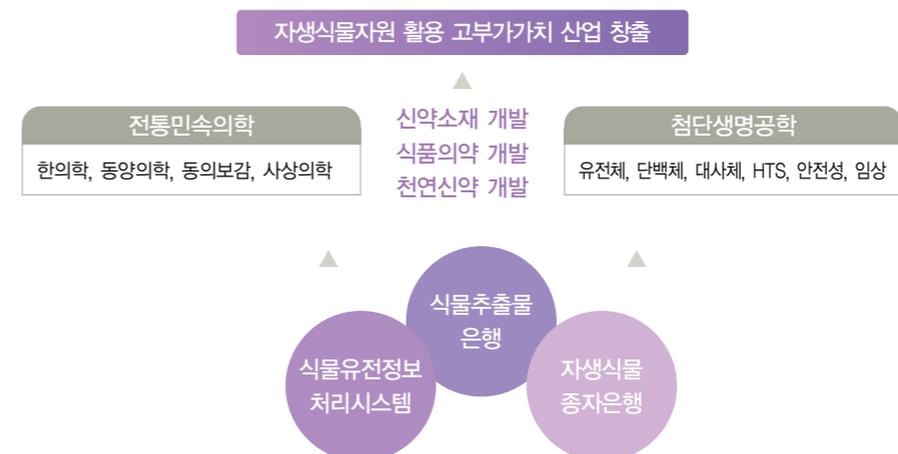
나. 기술개발 로드맵

분야	내용	1단계(00~03)	2단계(03~06)	3단계(06~10)	성과
자생식물 보존·활용	기술 흐름도	기준표본 확보 → 분포 생태조사 → 확충표본 확보 → 분류동정 → 활용			첨단 분류기술 확보
	자생식품 수집 및 첨단분류	식물분포생태조사	형태분류기술개발	첨단분류기술개발	첨단 식물분류 기술 확보
	야생화, 관상수목의 재배 품종화	수집	선발	품종개발	25종 자생식물 상업화 (연 200억 원 가치)
식품의약 천연신소재 개발	기술 흐름도	식물 추출물제조 → In vitro 활성 검색 → 생체 효능 검증 → 안전성 및 임상실험 → 제품개발			신규활성 탐색체계
	천연신약 소재 및 식품의약 개발	천연신약 소재 및 식품의약 후보 탐색	천연신약 소재 및 식품의약 후보 발굴(10종 이상 특허)	천연신약 소재 및 식품의약 산업화 연구(30여 종)	천연신약 소재 및 식품의약 산업화 (연 7,000억 원 가치)
유용 유전자 발굴·활용	기술 흐름도	유전자 발굴 → 유전자 발현 분석기술 → 생물정보처리 및 유전자 선발 → 식물체 형질전환 → 형질전환체 포장 시험 및 상업화			고부가가치 형질전환 식물체
	유용물질생합성 유전자발굴	기능성 유전자 발굴 (40종 이상)	유전자 기능 분석 (40종 이상)	형질전환 식물 개발 및 산업화(10종)	유용형질전환식물 및 유전자 산업화 (연 1,500억 원 가치)
	백신용 형질전환 식물체 개발	동물 및 인체백신용 형질전환 식물체(각 2종)	동물백신 임상(2종) 인체백신 임상(2종)	동물백신 상업화(2종) 인체백신 상업화(2종)	식용백신 4종 상업화 (연 200억 원 가치)
공통기관	한반도 종합 식물지 발간	한반도 속 식물지 완성(중검색표)			한반도 속 식물지 (연 100억 원 가치)
	종자은행 구축	100종 희귀식물 종자은행	300종 희귀식물 종자은행	500종 희귀식물 종자은행	자원식물보존 (연 200억 원 가치)
	한국식물 추출물 은행 구축	식물추출물 은행 (1,000종)	식물추출물 은행 (2,000종)	식물추출물 은행 (총 3,000종)	식물추출물 제공 (연 700억 원 가치)
	유전자 D/B 및 정보처리기술	20,000종 EST 보유 및 유전정보 분석기술	40,000종 EST 보유 및 유전정보 분석기술	60,000종 EST 보유 및 유전정보 분석기술	유전정보기술 서비스 (연 100억 원 가치)

다. 핵심관련 기술

연구분야	핵심관련기술
식물유래 천연신약소재 및 기능성 식품의약 개발 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 유용물질 탐색 기술 · 생리활성물질의 화학 구조 결정 기술 · 물질 분리 정제 기술 · 전임상 및 임상 실험 기술 · 생리 활성물질의 안정성 검증 기술 · 세포 대량배양에 의한 유용물질 대량 생산 기술
식물성분 생합성 관련 유전자 발굴 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> · 유전자 분리·조작 기술 · 유전자 재조합 기술 · 유전자 발현 조절 기술 · 형질전환 식물체 선발 기술 · 형질전환 식물체 포장 시험 및 실용화
식물 수집·보존 및 재배 품종화 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 자생식물 수집·분류기술 (형태적, 분자생물학적) · 자생식물 현지 외 보존 기술 (조직배양, 세포주) · 통합 D/B 구축 및 Data 가공 기술 · 교배, 육종, 선발 기술 · 대량 번식 기술

라. 사업기반 및 기술관계도



03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론

가. 주요 연구실적에 관한 종합의견

천연신약 소재 및 신기능성 식품의약 개발 분야에서는 만성·난치성 질환에 효과가 탁월한 천연물질을 많이 도출하였고, 이러한 유용 후보물질이 실질적인 상품 개발로 현재에도 이어지고 있다. 그 대표적인 예로 자생식물로부터 기능성 소화불량에 탁월한 물질을 개발하여 현재 임상 2상 연구가 완료되어 임상 3상 연구를 진행 중에 있으며, 임상 3상 연구가 종료되는 2010년 하반기에는 자생사업으로 개발한 천연물 신약이 개발 완료되어 출시될 예정이며 또한 신장염 예방에 탁월한 천연물 신약도 현재 임상 2상 연구가 진행 중으로 국내의 대기업뿐만 아니라 중소 벤처 기업에서 천연물 신약으로 개발하기 위한 임상 및 전임상 시험 지원(총 25건 지원, 임상 8건 및 전임상 3건 진행 중) 시험을 실시하고 있는 중이다.

만성간염의 치명적인 병징인 간 섬유화를 치료하는 물질이 발굴되어 천연물 신약으로 개발되고 있고(전임상), 간 기능 개선물질도 개발 중에 있다. 그 외에도 만성 관절염에 효과가 좋은 사포닌 성분, 알레르기 염증질환에 좋은 천연 추출물, 뇌졸중이나 심근경색 시 세포의 생존율을 높임으로써 후유증 감소와 병후 회복에 효과가 우수한 후보물질, 고지혈증, 비만 등에 유효한 지질대사 저해활성물질, 항암활성물질, 부정맥에 효능이 있는 활성물질, 신경보호 기능성식품 개발, 뇌질환용 후보물질, 뇌신경 보호 물질, 간세포 보호 우수 천연물 신약 후보물질, 혈관신생억제 활성물질 및 암전이 억제물질, 신경안정에 효과 있는 천연물, 운동능력 향상에 유효한 물질, 성장호르몬 유발 물질, 저장물 해충 및 식물병원균에 유효한 물질(정유, 식물체, 화합물), 미백 활성이 탁월한 물질, 혈액순환, 관전기능, 뇌기능 등에 효과가 좋은 식품의약, 천연살균제 등 상당히 많은 천연물질들이 후보물질로 선발되었고 이러한 유망 후보물질들에 대한 전임상 또는 임상시험을 진행 중에 있어 제품으로 개발되기 위한 막바지 단계에 와 있다. 3단계 현재 7개 제품은 시판되어 2,011억 원의 매출액을 올리고 있고, 11건의 기술이전으로 45억 원의 총 기술료를 성과를 달성하였다.

식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용 분야에서는 3단계 연구기간 동안 논문 성과를 주요 세부과제 평가 지표로 삼고 있는 식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용 연구 분야는 SCI IF 값 평균도 5.392점으로 국가 R&D 사업 전체의 IF값 평균에 2.32배가 넘는 우수한 논문을 도출했을 뿐만 아니라 학문분야별 편차를 감안하여 개선된 『표준화 순위보정영향력지수』⁴⁾ 또한 국가 R&D 사업 전체의 1.3배가 높은 77.28점으로 국가 R&D 사업 중 최상위에 속한 우수 논문을 발표 하으며, 2008년도 국내 R&D 과학기술표준분야 중 표준화순위보정지수가 가장 높은 분야는 물리학 77.9점,

화학 77.03점이며 BT분야는 생명과학 66.51점, 보건의료 61.14점, 농림수산 62.9점인 것과 대비하여 보면 자생식물 사업단의 유용유전자 발굴 및 활용 연구 분야의 논문에 대한 수월성은 국가연구개발사업의 선두에 있음을 알 수 있을 뿐만 아니라, 세계 상위 22%의 저널에 논문을 발표하고 있음을 알 수 있었다. 또한 2007년도 대학 및 정부출연연구기관의 표준화 순위보정영향력 지수를 살펴보면 대학 중 선두에 있는 포항공대(72.9점), KAIST(70.5점), 출연(연)중 천문연구원(79.8점), 표준연(69.8점)의 순위에서 보듯 과학기술분야에서 뿐만 아니라 자생식물 사업단의 유용유전자 발굴 및 활용 분야의 논문은 국내 최상위 우수 연구 논문을 발표하였음을 알 수 있었다. 이와 같이 이 분야에서 세계 유수의 저널(표준화 순위보정영향력지수 80점 이상 59편, SCI IF값 5점 이상 40편)에 논문을 게재하는 성과를 도출함으로써 우리나라의 식물학분야의 세계적 위상을 높이는데 크게 기여하였다.

야생화 및 수목의 재배 품종화 분야에서는 연구기간 동안 국내 식물 유전자원의 확보와 현지 외 보존을 통하여 식물유전자원을 보존하고 우수 품종의 선발과 육종기술을 통하여 야생화 및 수목의 재배 품종화를 수행하였다. 그 결과 무병종우 둥근마 대량생산 체계를 확립하였고(주산지 3개 지역 조성, 연간 200만 개 중우 생산시스템 확립), 이를 통해 3억 원의 매출을 올리며, 야생화, 수목, 신품종 등 우수 화훼자원 품종등록 10건, 특허출원 6건, 특허등록 1건 도출하는 우수한 연구성과를 도출하였다.

공동연구기관사업 연구 성과로는 식물추출물은행 구축 사업에서 국내 자생식물 목록 보완은 대한식물도감(이창복)을 기준으로 하여 1,689분류군(국내 자생식물의 42%)에 5,000여 시료 식물에 대한 학명과 국명을 정리·확보하였고, 215개 기관에 29만여점의 시료를 분양하였고, 수집식물의 동정과 확증표본을 제작하여 연구자들의 자생식물 추출물 활용도에 기여한 바가 크다고 할 수 있으며, 자체 연구결과로서 논문 12편(SCI 10편)과 특허 11건(출원 7건, 등록 4건)을 출원하는 등 매우 활발한 활용성을 보여주고 있으며 이는 국내 천연물 관련 연구의 질적·양적 수준을 한 단계 끌어올리는 우수한 성과이다. 자생식물 유전자 DB구축 운용 및 생물정보학 기술 개발 사업에서는 생물학적인 분석을 통한 abiotic / biotic stress 특이 유전자의 프로모터와 기능연구 지원을 위한 데이터베이스 구축 지원, 자생식물기능유전자 발현 DB구축을 위한 개발 지원, 고추를 비롯한 가지과 식물의 기능유전체 연구를 위한 데이터 수집 및 재분석, 자생식물 comparative genomes 등 수요자 요구에 따른 생물정보 분석 지원, 자생식물 유전자 기능 DB 구축 및 update를 통한 서비스, 자생식물유전체 데이터베이스 논문출판 및 생물정보학을 통하여 기능이 예측된 유전자의 실험적 기능규명 등의 연구를 수행하였으며 이를 통하여 식물 조직특이성 유전자 발굴 novel GPCR 분류용 프로그램을 기술이전(총 기술료 10억)하였고, 데이터베이스를 공개하여 총 42만건 이상의 사용자 접속이 이루어져 데이터의

4) 『표준화 순위보정영향력지수』는 학문분야별 편차를 보이는 SCI Impact factor(SCI IF) 활용의 한계점을 개선하기 위해 분야별로 SCI IF를 보정한 지표로써, 100에 가까울수록 동일 분야내에서 SCI Impact Factor Ranking이 높음을 의미함.(한국연구재단, 2009년 교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석보고서, 2009, 12)

활용도를 높였다. 이러한 우수한 성과는 앞으로도 생물정보학적 기술개발 및 대규모 계놈 프로젝트에 적극적으로 활용될 것으로 예상된다. 야생화 및 멸종위기식물 종자은행 사업에서는 한반도에 분포하는 멸종위기 및 희귀식물, 특수환경 서식식물, 특산식물 및 유용식물 자원의 종자를 수집하여 현지의 보존기관인 종자은행을 구축하는 것을 목표로 1,884점의 국내 자생식물 및 해외식물종자 568점을 수집하였으며, 확보된 종자는 확증표본을 제작하고 정확한 분류 및 동정과 종자의 특성연구(발아율 검정 2,356점, 해부학적 특성조사 197점, 염색체 DB 구축 187점, 비파괴 활성검사 695점)를 통해 종자특성에 관한 정보를 축적하여 관련 학문 연구에 활용할 수 있도록 하였다. 또한 홈페이지를 통하여 관련 연구자들에게 종자를 분양(59건 5,285점)하여 다양한 분야의 연구에 활용하게 관련 학문 자생식물 염색체 수, 핵형 분석을 실시하여 '한국자생식물자료집 2007', '한국특산식물염색체 2008'을 발간하였고, 종자특성연구를 실시하여 '한국약용식물종자 및 실생 형태' 출간하였으며 한국특산 식물의 종자형태에 대한 정보자료를 담은 '한국특산식물종자' 도보를 처음으로 국내에 발표하였고, 마지막으로 그동안 수집해 온 한반도 자생식물의 종자를 총망라한 '한국 자생식물 종자'를 발간함으로써 다양한 식물분야에서의 활용과 국가 생물다양성 및 보전에 유용한 자료로 활용될 수 있는 기초를 다지는 등 우수한 연구성과를 도출하였다.

나. 사업단 운영 전반에 관한 종합의견

사전 예방 원칙 하의 엄정한 연구비 집행 관리를 통해 국민의 혈세인 귀중한 연구비가 단 한 푼이라도 헛되게 쓰이지 않도록 하였으며, 보다 더 우수한 연구 성과 창출을 위한 연구사업 관리 부분에서는 사업의 성과에 대한 목표를 명확히 설정하고 연차 및 단계별로 그 목표 달성도를 면밀히 관리·점검하였고, 핵심기반기술 확립, 기반기술 활용, 제품 개발 등 기초기술에서 실용상업화까지 연구가 효율적으로 진행될 수 있도록 하였다. 특히 당 사업단의 주력 목표인 천연물 신약 및 기능성 식품의약의 효율적 개발을 위해 병목현상에 해당하는 임상 및 전임상 단계를 신속·유연하게 해소할 수 있는 임상 및 전임상 시험 지원 시스템을 구축·운영함으로써 사업의 효율성을 극대화 하고자 하였다. 또한 연구사업으로 도출된 연구성과의 객관적 평가·진단으로 우수한 기술을 선별하고, 선별된 기술을 BT관련 대·중소 기업을 대상으로 하여 다양한 기술마케팅(특허신탁, 기술이전 수요조사, 기술이전 설명회 등)을 실시함으로써 우수한 기술이 사업 종료로 사장되는 것을 방지하였다. 연구사업 수행 및 연구 성과 제고를 위해 연구정보의 수집, 정보교류 확대를 지원하기 위해 해외기술조사, 학술행사, Workshop 개최 등 다양한 기술정보 활동을 수행하였다.

자생식물사업의 주력 연구목표 분야인 천연물 신약 개발 및 기능성 식품의약 분야에 경영 역량을 집중

하였다. 특히 연구책임자가 현장에서 bench work를 직접 수행하도록 유도하고 엄정한 평가관리를 통하여 최종목표 대비 분야별 평균 115%에 달하는 성과를 거두었다. 이러한 결과로 논문 1,076건, 특허출원·등록 911건, 기술실시 계약 43건 및 이에 따른 기술료 수입이 107억원에 달하는 우수한 성과를 올렸으며 7개 제품이 시판되어 2,011억원에 달하는 매출액을 달성하였고 총 258건에 이르는 사업 및 성과관련의 전략적 홍보실적을 달성하였다.

2. 대표적 성공사례

가. 대표적 연구 성과

번호	대표적 연구성과명	연구기관 (책임자)
1	기능성 치료 천연물 신약 개발 완료 직전 단계(임상 3상)	(주)동아제약(손미원)
2	신장염 치료 천연물 신약 개발 완료 직전 단계(임상 2상)	(주)동화약품(임문정)
3	아토피성 피부염 치료 물질 개발 및 기술이전	(주)편제노믹스(진미림)
4	혈관성 치매 치료 천연물 신약 후보 HP012의 개발 및 기술이전	경희대학교(김호철)
5	지구력 및 운동능력 증강 소재 UG0712의 개발 및 상품화	(주)유니젠(연)(김동선)
6	꽃피는 시기와 저온 스트레스 신호전달 네트워크 규명	전남대학교(김정묵)
7	빛에 의한 종자 발아 조절기작을 규명	한국과학기술원(최길주)
8	식물추출물은행 구축 및 활용	한국생명(연)(이형규)
9	자생식물 유전자 DB구축 운용 및 생물정보학 기술 개발	서울대학교(최도일)
10	야생화 및 멸종위기식물 종자은행 사업	한국생명(연)(이중규)

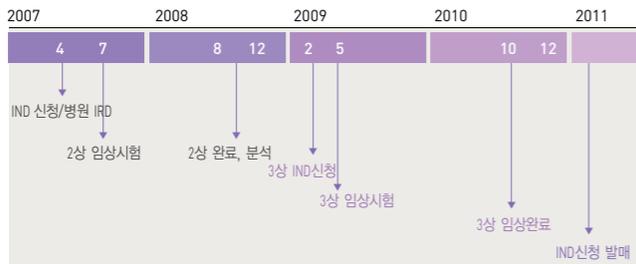
01 | 기능성 소화불량증 치료 천연물 신약 개발 완료 직전 단계

- 신약 개발을 위한 전임상 및 임상 2상 시험 완료
- 기업으로 기술이전 완료(총 기술료 1,360백만 원, 경상실시로 순매출액 2%)

천연물 위장질환치료제의 개발은 전체국민의 30~40%가 소화기계 질환을 경험하는 국내 시장의 요구에 부응하는 것으로 국내 위장운동촉진제 시장은 1천 4백억 원 이상의 규모다. 기능성 위장질환은 조직 병리적 및 생화학적 기질적 병변이 아닌, 기능적 여러 가지 증상(위산분비 과다, 위장관 운동 이상, 내장의 과민성, 정신적 불균형 등)이 포함된 복합적인 질환으로서 한 가지 약제의 처방은 효과적이지 못하여 복합기전을 갖는 위장운동촉진제의 개발이 필요하다. DA-9701은 현행치료제와는 차별화되는 복합 기전을 갖는 천연물 유래 신약으로서, 부작용이 없으면서 위배출 개선은 물론 위순응 개선과 내장과민반응에 의한 내장통을 억제하는 우수한 약제가 될 것으로 예측되고 있다.

본 전임상 및 2상 임상 연구결과로부터, DA-9701은 천연물 유래 multi-mechanism을 갖는 신약으로서 부작용이 없으며, 하부기능성 위장질환에 탁월한 위장관운동촉진제로 시판되는 약제보다 유효성 및 안전성에서 모두 우수한 약제가 될 것으로 예측되며, 천연물 의약품개발 연구의 확장에 기여할 것으로 예측된다. 전임상 연구로서, 원료생약의 규격화, 추출공정 표준화, 원료 안정성을 확보하였다. 약효연구로서 위배출능·위배출지연·위장관운동지연 및 개위순응모델에서 평가를 완료하여 효력을 입증하였으며, 기전연구로서 5-HT4 agonist, Dopamine 2 antagonist, 5-HT1a, b affinity를 규명하였다. 안전성연구로서, 랫트 단회 및 4주, 26주 반복독성 시험을 완료하였고, 개 2주 회복시험 및 13주 반복독성시험을 진행하였고 유전독성과 일반약리시험을 진행하여 DA-9701의 안전성을 입증하였다. 제제화 연구는 천연물 의약품으로는 향과 맛을 개선시킨 정제로서 중량을 개선하여 상업성을 부가하였고 이러한 제제의 안정성 평가를 통하여 안정성을 확인하였다.

또한 위를 비롯한 소장과 대장의 운동활성(motor activity)이 우수하고 과민반응(visceral hypersensitivity)에 대한 억제효과가 탁월하여, 과민성대장증후군(Irritable bowel syndrome, IBS) 질환에 대한 적응증 확장연구를 진행하고 있다. 현재 자생식물이용기술개발사업단의 지원으로 임상 3상 시험 중이며, 향후 3상 임상시험을 2010년 상반기에 완료하고 2011년 상용화를 목표로 추진 중에 있다.



DA-9701 임상시험 추진 계획

02 | 신장염 치료 천연물 신약 개발 완료 직전 단계

- 신약 개발을 위한 전임상 및 임상 2상 시험 완료
- 2010년 말 임상 3상 시험 돌입 예정

다양한 신장 질환을 평가할 수 있는 동물 모델 약효 평가 시스템을 구축하고, 문헌조사와 평가 시스템을 통하여 신장 질환에 유효한 4종의 활성 천연물복합물(DW-1008M)을 선정하였다. 이후 DW-1008M의 동물 모델 약효 및 세포모델 활성을 수행하던 중 4종의 생약 추출물 중 약효 평가를 통해 2종의 생약을 선택하여 최적의 처방 조합인 DW-1029M을 제조하였다. DW1029M 추출물의 투여용량 별, 신장 질환 동물 모델별 (급성, 아급성, 당뇨병성 동물 모델)약효평가 및 동물 안전성 평가 (단회, 유전, 6개월 반복 독성평가시험, GLP 시험기관)을 통해 임상 투여 용량을 결정하였고, 또한 세포 모델 활성 평가에서 다양한 신장질환의 원인인 인간 사구체 및 세뇨관 세포를 이용한 연구를 통해 DW1029M이 TGFβ1 유도 fibronetin 증가를 억제 및 AGE(최종당산화물)의 형성을 억제함을 통해 DW1029M이 신장질환에 유효함을 확인하였다. 각 구성 생약에서 분리한 단리 물질을 다양한 활성연구 (TGFβ1 유도 fibronetin형성, ALK5 억제관련 활성, AGE formation 억제 등)를 통해 활성 물질을 분리하였으며, 활성 물질 분리 연구를 계속 진행 중이다. 이런 전임상 연구 외에 원료생약, 원료 의약품 및 제제의 표준화·규격화 연구를 통해 의약품의 생산 공정 validation 연구 및 제제화 된 의약품의 안정성 연구(가속 6개월 시험, 장기보존 24개월 시험)을 통해 2008년 11월에 식약청 임상 2상 승인을 얻어 임상 2상 시험 중에 있으며 2010년 8월에 완료할 예정이다.

현재 신장염 치료약물은 ACE저해제 등 극히 일부만 사용되고 있으나, 만족할 만한 치료 효과를 얻지 못하고 있는 실정으로, 선진국 등 국내·외 연구진들에 의해 신장염 치료제 개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있으나 이 질환의 원인이나 이의 진행성 요인 및 치료예측 인자에 대한 연구 결과는 단편적이거나 제한된 형태의 신장염에 대한 연구로 일반화 하기는 어려움이 있다.

본 연구진은 신부전증의 질환에 다양한 질환 평가 모델을 구축하여, 안전하고 유효성이 높은 천연물 복합신약을 광범위한 신장질환에 적용할 수 있는 의약품으로 개발함으로써 향후 수요가 폭증할 것으로 예측되는 시장을 선점하고 국내에서 생산하고 해외에 기술을 이전함으로써 외화획득에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.



임상시험용 시제품(천연물 신약 신장염치료제 임상용 샘플)

03 | 아토피성 피부염 치료 물질 개발 및 기술이전

- 아토피성 피부염에 효과있는 물질 개발
- 미국 다국적 제약회사(Efficas. Inc社)로 210만 불 기술이전 완료

현재 사용 중인 아토피 피부염 치료제들은 대부분이 외용제로 증상 완화제들이다. 또한 심각한 전신 질환의 경우 사용되는 치료제는 스테로이드제와 면역조절제로서 독성이 심각하며, 특히 소아나 유아의 경우 사용할만 한 마땅한 치료제가 없는 실정이다. 아토피 피부염의 유병율은 증가하는데 장기적으로 사용할 적절한 약물이 없기 때문에 독성이 적고 전신적인 작용이 가능한 경구투여제로서의 새로운 신약의 개발이 절실하다.

본 연구에서는 한의학적 관점에서 알러지 질환을 해석하고 이를 통하여 다양한 자생식물을 조사한 후, 그 중에서 선정된 야생 과일로부터 항알러지 효능이 우수한 물질인 PG102를 추출하였다. PG102를 세포배양 시스템에서 조사한 결과, IgE 및 Th2 사이토카인 생산을 효과적으로 억제하는 사실이 발견되었다. 또한 다양한 동물 모델에서도 이러한 효능을 확인하였다.

결론적으로 PG102는 식용 가능한 야생 과일로부터 분리된 매우 안전한 천연물질로써 알러지의 근본 원인인 Th2의 과다 반응은 억제하는 반면 Th1의 활성을 높여 주어 면역체계의 균형을 유도하고 또한 알러지 반응을 매개하는 병적요소인 IgE를 효과적으로 감소시킴으로써 근본적인 치료 가능성을 제시하고 있다.

현재 기술이전 계약으로 (주)팬제노믹스가 다국적 제약회사인 미국의 Efficas. Inc社로부터 받게 되는 기술료는 210만 불이며, 경상실시료는 매출액 대비 12.5%로 미국시장의 규모를 감안할 때 향후 (주)팬제노믹스에서 10년 간 받게 될 로열티는 최소 5천만 불에서 최대 1억 불로 예상된다.

임상시험이 끝나고 FDA의 승인을 얻은 후 제품화되어 출시될 경우, 면역조절에 의한 약물인 일본 후지사와(Fujisawa)제약의 프로토피과 다국적 제약회사인 노바티스(Novartis)사의 엘리델의 2004년도 국내 수입, 판매실적인 약 30억 원의 대체효과가 있을 뿐만 아니라, 세계시장으로 진출할 경우 미국의 2005년 한해 매출액이 50억 불인 점을 감안하여 5%만 시장을 점유할 경우에도 최소 2억 5천만 불의 대체효과가 기대된다.



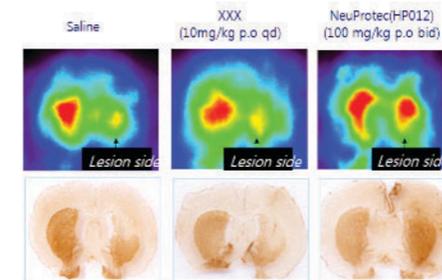
해외기술실시 계약 완료

04 | 혈관성 치매 치료 천연물 신약 후보 HP012의 개발 및 기술이전

- 독성, 안전성 및 안정성 등 전임상 연구 완료
- 기업으로 기술이전 완료(총 기술료 12억 4천만 원)

HP012는 감염성질환이나 정신질환에 사용되어 온 한약재 1종의 추출물로서, 천연물신약 후보물질이다. 본 연구에서는 동의보감의 치매, 중풍 분야에 치료되는 한약재 200여 가지 한약재 중, 신경보호효과를 검색하던 중 HP012가 혈관성치매 모델인 흰쥐 사혈관폐쇄(4-VO; 4-vessel occlusion)모델에서 1.0 mg/kg이라는 작은 용량에서 해마의 신경세포 손상을 70% 이상 억제하는 것을 확인하였다. 함유성분들보다 HP012를 신경보호 효능이 높아 천연물 신약으로 개발하고자 하였고, 이 모델 이외에도 흰쥐 해마손상에서 water maze 공간인지기능활성화, 흰쥐 국소 뇌허혈 모델에서 세포손상 억제 효과, 6-OHDA 파킨슨 모델에서 신경보호효과, 3-NP 헌팅톤병 모델에서 신경보호 효과 등 in vivo 모델과 in vitro 산소포도당결핍모델에서 신경세포 보호효과 등 본 연구팀이 효능을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 기시법, 약동학, 독성, 안전성 및 안정성 등 전임상 연구를 완료하고 현재 임상시험을 계획중에 있으며 2007년 국내 제약회사와 기술이전을 완료하였다. HP012는 감염성질환이나 정신질환에 사용되어 온 한약재 1종의 추출물로서 혈관성 치매치료 천연물신약 후보물질이다. 본 연구에서는 동의보감 치매, 중풍 분야에 치료되는 한약재 200여 가지 한약재 중 신경세포 보호효과를 검색하던 중 HP012가 혈관성치매 모델로 알려진 흰쥐 전뇌허혈 모델에서 신경세포 사멸을 70%이상 높은 정도로 억제하였다는 점과 이미 사람에게서 사용되어 부작용이 거의 없다는 것이 오랜 임상경험에서 확인되었다는 점에서 독창성이 있다.

과학적 방법으로 천연물 치매 치료제 HP012의 효능을 입증하고 작용기전을 규명함으로써 국내 천연물 인프라 구축 및 국가 기술력 강화에 기여할 것이며, HP012는 임상 2, 3상을 완료하는 시점인 2011년에 제품화되면 현재 신경보호 천연물 신약이 없는 상황에서 20%점유 시 이듬해인 2012년 매출 100 억원을 예상하고 있다. 타 천연물신약 시장 및 미래시장 예측을 근거로 이후부터 매년 300억 원의 매출이 예상된다. 치매 신경 보호제는 아직 세계적으로 효과적인 약물이 개발되어 있지 않은 실정이므로 신약의 수출을 통하여 국가의 부를 증대시키고 국내 제약산업 발전에 기여할 수 있다. 2010년 세계 시장규모 1조 원 시장에서 5%의 점유율을 가질 경우 500억 원 이상의 수출을 가져올 수 있다.



PET study with HP012

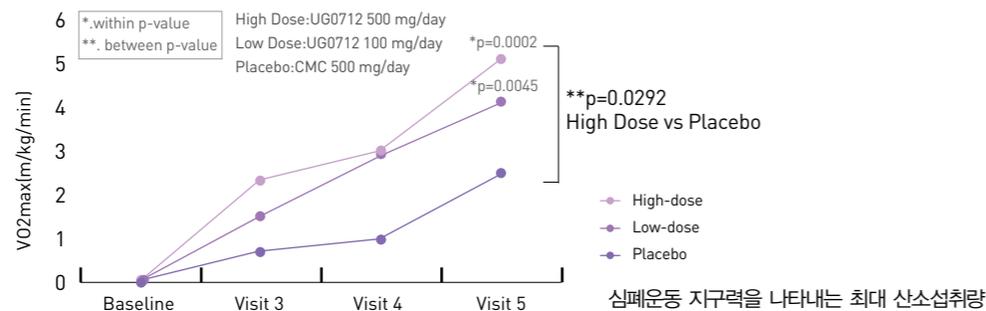
05 | 지구력 및 운동능력 증강 소재 UG0712의 개발 및 상품화

- 운동능력 개선 및 근 비율 증가 임상 확인
- 에너지부스팅 시장에서 글로벌 기술마케팅 가능

UG0712는 표준화된 진세노사이드 추출물로서 프로토파낙시다이올계 미량 진세노사이드 Rg3 유도체의 함량을 10% 이상으로 표준화한 특허 소재이다. UG0712는 임상시험에서 유산소(심폐지구력) 운동능력 지표인 총산소섭취량(VO_{2max}) 및 무산소성 역치(anaerobic threshold)가 UG0712 500mg/day를 투여한 군에서 위약 투여군에 대비 유의하게 증가되었으며($p=0.0292$), GLP기관에서 수행한 실험 및 인체 적용 시험에서 UG0712가 매우 안전한 물질임을 확인하였다. 동물비교효력실험 결과 시중에 판매되고 있는 최고급 인삼추출물(진세노사이드 8% 함유) 대비 유의한 운동능력 개선효능을 Treadmill test 및 Swimming test에서 확인하였으며, 혈액 및 근육내의 피로물질이 감소하고 항산화 관련 마커의 증가가 관찰되었다. 또한 유산소 에너지를 주로 사용하는 제1형 골격근의 비율이 증가되는 것으로 나타나 임상시험의 결과를 뒷받침하였다. 현재까지 뚜렷한 효능이 과학적으로 검증된 에너지부스팅 관련 의약품 또는 식품의약품이 거의 없는 상황에서 임상연구 결과와 더불어 심도 있는 기전연구 결과를 확보함으로써 공격적인 글로벌 기술 마케팅이 가능할 것으로 기대하고 있다.

현재 에너지부스팅 관련 기능성 제품의 부재로 국내 시장 점유가 수월할 것으로 예상되며, 미국 및 해외 시장 또한 크게 다르지 않으므로 시장 선점 전망은 매우 밝다. 이에 따른 매출액은 유니젠 국내 건강기능식품 원료소재 초도 매출액 기준 2010년 국내매출 3억 원으로 예상하고 있으며, 미국 dietary supplement 시장(NBJ 2006년도 자료a,b)을 통한 유니젠 원료소재 초도 매출액 기준 2010년 수출 5억 원을 예상하고 있다.

2013년에는 해외 굴지의 Bayer, GNC, Schiff사와 같은 big customer에 공급을 개시함으로써 연간 50억~80억 원의 매출을 달성할 수 있을 것으로 예상하고 있으며, 국내에서는 현재 과열 현상을 보이는 홍삼 관련 시장을 점차 대체해 나갈 수 있을 것으로 기대하고 있다. 2018년에는 sports beverage의 기능성 소재로의 공급이 가능할 것으로 여겨지며, 이 경우 매출은 급격한 상승세를 나타낼 것으로 기대하고 있으며, 이 경우 연간 최소 500억 원 수준의 매출은 달성할 수 있을 것으로 예상하고 있다.



06 | 꽃피는 시기와 저온 스트레스 신호전달 네트워크 규명

- 꽃피는 시기와 저온 스트레스 신호전달 네트워크를 규명하여 Nature Genetics誌에 논문을 발표하였다.

애기장대(아라비도시스) 식물체에 분자유전학적 방법을 적용하여 'ACG1/FVE(신호전달 유전자)' 라는 유전자가 저온 및 동결 저항성과 개화시기를 동시에 조절한다는 사실을 최초로 규명하였으며, 아울러 온도가 떨어지면 춘화(春花)처리 경로와 다른 경로를 통하여 개화시기를 늦춤으로써 생존율을 증가시킨다는 사실을 밝혔다. 특히, 작물에 있어서 저온과 같은 환경 스트레스에 대한 저항성을 증대시키는 한편 개화시기도 동시에 조절 가능한 유전자의 기능을 세계 최초로 규명함으로써, 궁극적으로 작물의 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 과학적 기반을 제시하여 Nature Genetics에 논문을 게재하였다.

본 연구수행을 위하여 1~4°C 정도의 저온에서 유전자를 활성화시키게 하는 DNA 단편조각에 GUS라고 하는 청색반응 유전자를 붙여 식물체에 주입하여 형질전환체를 제작하였다. 본 형질전환체는 주변 온도가 저온으로 떨어지거나 수분이 부족한 건조조건에서 청색반응을 특이적으로 일으킨다. 이러한 형질전환체의 종자에 돌연변이제제인 EMS (ethylmethane sulfonate)를 처리하여 돌연변이를 유발하여 자가수분을 통하여 다량의 돌연변이 식물체를 제작하였다.

제작된 돌연변이 식물체를 정상적인 온도 조건 등에서도 발색반응을 일으키는 돌연변이 식물체를 분리하여 그 특성을 조사한 결과 성장억제, 왜소성 등을 관찰할 수 있었으며 일부의 경우 개화시기가 늦어지는 것을 관찰할 수 있었고, 개화시기와 저온반응이 동시에 변이된 돌연변이 식물체를 조사 분석하여 'ACG1/FVE' 라는 유전자가 주요 저온 신호전달 과정인 'CBF/DREB' 경로에서 저온 및 동결 저항성을 조절하며, 동시에 FLC라는 개화억제 유전자의 활동을 조절하여 꽃 피는 시기를 조절한다는 것을 규명하였다. 즉, 낮은 온도에서 ACG1/FVE의 단백질의 작동이 억제되고 이에 따라 저온저항성을 부여하는 유전자의 활동을 촉진시키는 CBF/DREB 유전자가 활동하게 되어 저온저항성이 유발되며, 아울러 일정시간 동안 지속적으로 온도가 떨어지면 FLC라는 개화억제 유전자의 활동이 활발해지면서 하루 개화촉진 유전자인 SOC1이라는 유전자의 활동이 억제되고 이에 따라 개화시기가 늦추어진다는 사실을 밝혀냈다.



대조구 식물

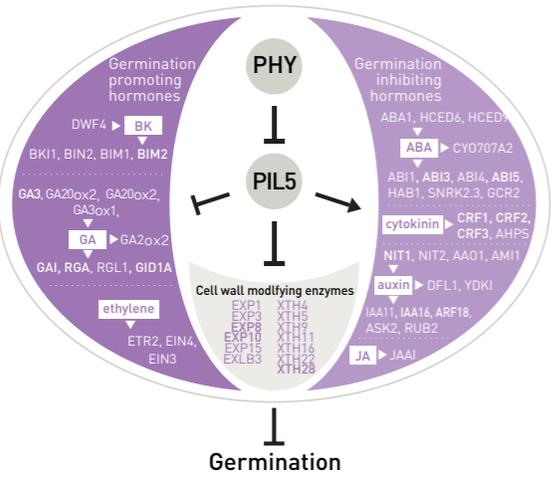
07 | 빛에 의한 종자 발아 조절기작 규명

- PIL5라는 전사조절 유전자가 빛이 없을 때 종자 발아를 억제하는 핵심 유전자라는 것을 규명하여 Annual Review of Plant Biology誌에 논문 발표

돌연변이체 분리 및 분자생물학적 분석을 통해, PIL5라는 전사조절 유전자가 빛이 없을 때 종자 발아를 억제하는 핵심 유전자라는 것을 규명하였다. 이는 빛에 의한 종자 발아 기작을 분자수준에서 밝혀냄으로써 앞으로 식물 생명 공학적 종자발아 제어기술을 개발 가능하게 하여 마크로젠 신진과학자상 수상을 수상하고 Annual Review of Plant Biology 논문에 게재하였다. Annual Review of Plant Biology誌는 톰슨사에서 발표하는 과학분류(Category) 중 Plant Science 분야에 속하며 이 분야에서 최고로 영향력(1위)이 있는 논문(표준화 순위보정영향력지수 : 100)으로 SCI IF값이 20.768점이다.

안토사이아닌 생합성 유전자들이 PIF3의 하위 유전자라는 것을 규명하였고, GA 생합성 관련 유전자들 중에서 GA3ox1, GA3ox2, GA2ox2 유전자가 PIL5의 하위 유전자라는 것을 규명하였고, PIL5 단백질이 지베렐린 신호전달 유전자인 GAI 및 RGA1 유전자 프로모터에 직접 결합해 발현을 조절함으로써 발아를 조절한다는 사실과, GA 뿐만 아니라, ABA 생합성 유전자들의 발현도 조절한다는 것을 규명하였다.

마이크로어레이 및 ChIP-Chip을 통해, PIL5가 166개 유전자의 promoter에 결합해 그들의 발현을 조절하여, 발아를 조절한다는 것을 규명하였고, 166개 하위 유전자 중의 하나인 SOMNUS 유전자의 기능도 규명하였다. 상하위 유전자 탐색을 위해, 고전적인 분자유전학적 방법 및 마이크로어레이 분석법, 그리고 ChIP-Chip 방법을 사용하였으며 이런 직간접적 연구 결과를 바탕으로 지난 3년간 Plant Cell에 2편, Plant Journal에 3편, 그리고 관련 연구를 종합한 리뷰논문을 Annual Review of Plant Biology에 게재 하였다. 그리고 Plant Cell 및 PNAS에 논문을 제출하여 간단한 리뷰요구를 받았고,



현재 수정된 논문을 제출한 상태이다. 연구 결과는 학문적으로 식물 광신호전달 과정에서 PIF3 및 PIL5가 어떤 유전자들을 통해서 다양한 식물 생장 및 반응을 조절하는지를 규명하는데 일조를 하였으며 특히 빛에 의한 발아 유도 과정에서 PIL5가 식물 호르몬인 GA 및 ABA 생합성 및 신호전달 과정을 조절해서 발아 과정을 조절한다는 것을 규명하였고, PIL5의 in vivo target 유전자를 166개를 규명하였다.

PIL5 coordinates hormone signalings

08 | 식물추출물은행 구축 및 활용

- 자생식물 자원의 체계적 보호·관리 및 학문적·산업적 활용 가능
- 자생식물 활용 생명공학 연구 기반 구축

국내 자생식물 목록 보완은 대한식물도감(이창복)을 기준으로 하여 1,689분류군(국내 자생식물의 42%)에 5,000여 시료 식물에 대한 학명과 국명을 정리·확보하였고, 215개 기관에 29만여 점의 시료를 분양하였고, 수집식물의 동정과 확정표본을 제작하여 연구자들의 자생식물 추출물 활용도에 기여한 바가 크다고 할 수 있다.

전문가에 의해서 정확하게 동정된 국내 자생식물 자원을 체계적으로 보호·관리하고 학문적·산업적으로 활용하기 위한 자생식물의 표준 추출물은행을 구축하였다.

식물추출물은행은 국내식물시료의 수집, 추출물 제조 및 관리, 해외유용약용식물 수집, 추출물 제조 및 관리, 수집시료의 확정표본 확보 및 관리, 식물추출물시료의 분양 및 연구지원, 해외시료 활성(세포독성) 검색, 국내외 협력연구를 통한 천연물분야 연구 활성화, 천연물성분은행 구축과 천연물 성분분획 및 분석을 실시하였다.

이런 식물추출물은행은 △국내 자생식물에 대한 현황 파악이 가능하여 자생식물 연구에 큰 역할을 담당 △자생식물의 정확한 분류학적 동정으로 표준화된 연구 시료 확보가 가능 △표준화된 식물추출물을 확보함으로써 연구의 신뢰도 제고 △연구의 재현성 유지와 활성성분의 시간 및 장소에 따른 변화 파악이 가능 △천연물 및 자생식물에서 유래된 유효성분의 추적을 통한 신약개발의 선도물질 탐색에 활용 △정확하고 체계적인 시료에 대한 약효검색으로 신약개발의 효율증대 △유용성이 밝혀진 자생식물 및 그 활성성분을 식품산업 등 산업적 활용으로 부가가치 증대 △관련 분야의 연구의 활성화로 주변 산업군의 시장 확대가 가능토록 하였다.

기원식물의 정확한 감정	연구의 신뢰성과 정통성 제고
계절성 극복	자생식물의 추출물 항시 확보
연구의 효율화	반복적인 연구 과정의 단축
희귀 또는 멸종위기 식물자원의 보호	최소량의 시료
식물자원의 부가가치 창출	신약개발, 식품산업, 천연신소재
보유자원의 DB화	보유식물자원의 정보DB구축 및 활용



식물추출물은행 필요성 및 배경



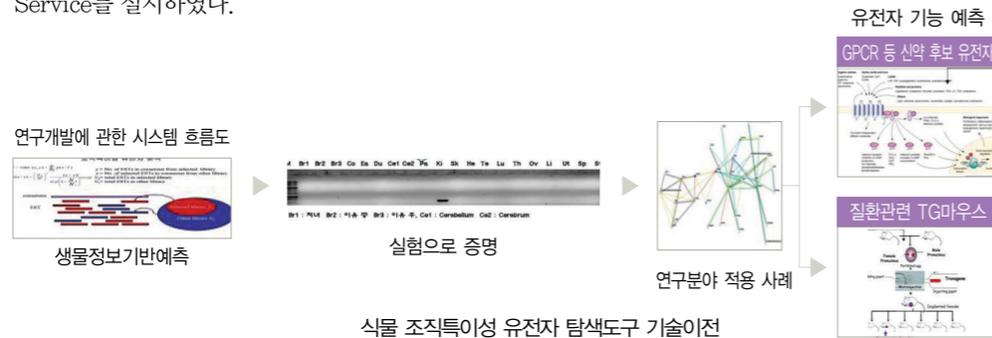
09 | 자생식물 유전자 DB구축 운용 및 생물정보학 기술개발

- 대규모 자생식물 유전정보처리 및 생물정보학 기술개발
- 특정 조직에서 나타나는 유전자 및 신약후보 탐색 도구 기술이전

생물학적인 분석을 통한 abiotic / biotic stress 특이 유전자의 프로모터와 기능연구 지원을 위한 데이터베이스 구축 지원, 자생식물기능유전자 발현 DB구축을 위한 개발 지원, 고추를 비롯한 가지과 식물의 기능유전체 연구를 위한 데이터 수집 및 재분석, 자생식물 comparative genomes 등 수요자 요구에 따른 생물정보 분석 지원, 자생식물 유전자 기능 DB 구축 및 update를 통한 서비스, 자생식물유전체 데이터베이스 논문출판 및 생물정보학을 통하여 기능이 예측된 유전자의 실험적 기능규명 등의 연구를 수행하였으며 데이터 베이스를 공개하여 총 42만건 이상의 사용자 접속이 이루어져 데이터의 활용도를 높였다. 앞으로도 생물정보학적 기술개발 및 대규모 계놈 프로젝트에 활용될 예정이다.

국내 연구진에 의해 확보된 유전자는 벼, 배추를 비롯하여 각각 수천에서 수만 건의 데이터를 확보하고 있으나 데이터의 대량생산에 대해 지원할 수 있는 분석시스템이 부재하고 계속 선진국에 의존하고 있는 실정이다. 대규모 EST발굴과 뒤따르는 유전자Chip 연구는 양산된 데이터 처리를 위한 전문적인 전산프로그램의 제작과 computation의 지원을 필요로 하고 있다. 본 사업단의 과제를 통하여 연간 최소 수천에서 수만 건의 EST가 발굴될 예정이며 이를 위한 분석시스템 확립이 절실히 필요하였다.

자생식물 유전자 DB은행에서는 NCBI dbEST의 데이터증가를 반영하여 데이터베이스 업데이트 및 재분석 후 웹서비스 제공하고 자생식물 comparative genomes 등 수요자 요구에 따른 생물 정보분석 지원하였으며 해외공개용 데이터를 근거로 고추를 비롯한 자생식물 유전체 DB업데이트 하여 ΔPlant Gene Index 구축 9종 140만 건 EST ΔHerbal Medicine Microarray DB 구축 73 data set 공개 중 ΔPepper Microarray DB 구축 98 data set ΔTomato Genome Sequencing Progress DB 18 Mb 서열 수록 ΔSolanaceae Gene Indices (6 species, 약 40만 건 EST 수록) ΔPlant(A.th) Alternative-Splicing Variants DB ΔMedicinal Plant Gene Indices (8 species) ΔPlant (A.thaliana, tomato) Promoter Database ΔApplication Service Site, Inter Pro Scan 등 5건 구축 및 서비스 ΔChili Pepper EST DB, 약 12만 건의 독자발굴 EST /Gene index and Blast Service를 실시하였다.



10 | 야생화 및 멸종위기식물 종자은행 사업

- 자생식물 종자 보전 및 해부학적 연구

한반도에 분포하는 멸종위기 및 희귀식물, 특수환경 서식식물, 특산식물 및 유용식물 자원의 종자를 수집하여 현지의 보존기관인 종자은행을 구축하는 것을 목표로 1,884점의 국내 자생식물 및 해외식물 종자 568점을 수집하였으며, 확보된 종자는 확증표본을 제작하고 정확한 분류 및 동정과 종자의 특성 연구(발아율검정, 해부학적 특성조사, 비파괴 활성 검사, 형태학적 연구)를 통하여 종자특성에 관한 정보를 축적하여 관련 학문 연구에 활용할 수 있도록 하였다. 또한 홈페이지를 통하여 관련 연구자들에게 종자를 분양(59건, 5,285점 분양)하여 다양한 분야의 연구에 활용하게 하였다. 자생식물 염색체 수, 핵형 분석을 실시하여 “한국자생식물자료집 2007”, “한국특산식물염색체 2008”을 발간하였고 종자 특성연구를 실시하여 “한국약용식물종자 및 실생 형태” 출간하였으며 한국특산 식물의 종자형태에 대한 정보자료를 담은 “한국특산식물종자” 도보와 그동안 수집해 온 한반도 자생식물의 종자를 총망라한 “한국 자생식물 종자”를 발간함으로써, 다양한 식물분야에의 활용과 국가 생물다양성 및 보전에 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

식물자원의 지속적 이용을 위해 가장 중요한 문제는 식물의 영속적인 보존 및 보전에 있으며, 이를 위해 현지보존은 물론 현지의 보존을 병행시켜 나아가야 할 것이다. 이러한 현지의 보존 중 식물유전자원을 보존하는데 있어서 가장 간편하고 쉬우며 경제적인 방법이 종자은행을 구축하는 것이다. 또한 종자은행의 구축은 서식지에서 식물종이 멸종되는 것을 방지할 수 있는 가장 확실한 방법이고 복원생물학에서 가장 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 본 종자은행의 종자는 한반도 멸종위기 및 희귀식물이 다량 포함되어 있으므로 이들 유전자원의 현지의 보존 기능을 수행할 것이며 다양한 식물 관련 연구분야(생태복원, 식물 육종, 식물 분자생물학)에 분양되어 관련 분야의 학문발전에 크게 기여할 것이다. 또한 멸종 위기 및 희귀식물의 경우 유용성이 입증 되었다 할지라도 재료의 한계로 말미암아 연구 자체가 불가능하였던 것을 대량증식을 통한 연구가 가능하게 될 것이고, 확보된 외국 식물종자의 경우 새로운 유전자원의 국내 도입의 의의뿐만 아니라 연구를 통한 고부가가치의 창출도 가능할 것이다. 또한 교육기관에 분양되어 학생들이 우리 식물의 중요성을 인식케 하고 기타 식물관련 교육 및 정서 함양에 크게 기여할 것이다.



한국자생식물 종자 도감 발간

3. 정량적 연구 성과

가. 정량적 연구성과 현황

〈단위 : 건 수, 백만 원〉

연도	논문게재			학술발표			특허출원			특허등록			기술료 수입			
	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	기징수		징수예정	
													건수	금액	건수	금액
1단계	84	163	247	529	117	646	140	13	153	6	4	10	17	522	17	1,770
2단계	139	294	433	445	124	569	158	56	214	98	8	106	15	1,124	15	2,803
3단계	119	277	396	590	184	774	176	104	280	127	21	148	11	1,432	11	3,081
합계	342	734	1,076	1,564	425	1,989	474	173	647	231	33	264	43	3,078	43	7,654

나. 결과(성과) 지표별 단계별 실적

〈단위 : 건 수, 점, 백만 원〉

성과지표	가중치 (0.7)	성과				합계
		1단계	2단계	3단계 (3년)	10년차	
1. 기술이전 건수	0.1	17	15	7	4	43
2. 기술료 수입액	0.1	2,292	3,927	3,108	1,405	10,732
3. 학술지 Impact Factor(합계)	0.09	360.828	782.583	711.665	228.586	2,083.662
4. SCI급 학술지 게재 논문수	0.09	123	258	226	79	686
5. 국내외 특허등록건수	0.08	10	106	115	33	264
6. 국내외 특허출원건수	0.1	153	214	224	56	647
7. 신제품 매출액	0.09	0	57,644	109,456	33,961	201,061
8. 임상 및 전임상 시험 지원수	0.05	0	0	13	12	25

※ IF값 및 SCI급 논문수는 SCIE 논문 포함

연구결과(성과)의 객관성·공정성 제고하기 위하여 2010년 프론티어 연구개발사업 최종평가 지침에 따라 각 연구분야별 세계 최고 수준의 기술경쟁력과 원천기술 확보 및 실용화 기반 등을 반영할 수 있는 성과지표를 선정하였다. 교육과학기술부에서 필수지표로 제시한 5개 모두와 핵심지표 중 2개, 그리고 기타 성과지표에 일반지표 1개로 총 8개의 성과지표로 구성하여 모든 분야에서 사업단의 목표 성과를 초과 달성하였을 뿐만 아니라 세계 최고 수준의 연구성과를 도출하였음을 증명하였다. 본 성과지표의 설정은 연구개발 성과의 양적인 면 뿐만 아니라 질적인 면까지 고려된 최상의 성과지표 설정하였다.

다. 연구성과별 세부 내용

(1) 기술이전에 따른 연구결과의 실용상업화

〈단위 : 천 원〉

기술명	실시기업	기술료 총액	기징수액	미징수액	경상기술료
인삼으로부터 추출한 신규 폴리아세티린계 화합물, 그의 추출방법 및 이를 함유하는 비만 치료제 기술	(주)싸이제닉	400,000	100,000	300,000	순매출액의 3%
단삼추출물을 함유하는 간 섬유화 억제 조성물 관련 기술	(주)스펠라	225,000	45,000	180,000	없음
성장촉진 추출물 및 이를 함유하는 약학적 제제 기술	(주)파진바이오	45,000	9,000	36,000	총매출액의 4%
상심자(오디) 등 자생식물을 이용한 운동능력향상과 피로회복을 위한 음료, 건강기능식품 및 의약품 개발	(주)STC나라	27,000	5,400	21,600	순매출액의 1%
식물배양세포에서 인간 락토페린을 대량 생산하는 방법	(주)마이크로프랜츠	180,000	5,000	175,000	총매출액의 2%
도라지추출물 활용기술/생리활성기능 소재	(주)장생도라지	55,000	55,000	-	없음
마찰린 에이 함유 피부미백용 조성물에 대한 기술	(주)LG생활건강 (주)키맥스	180,000	36,000	144,000	총매출액의 1%
HTP 및 HTS 기술을 활용한 신기능성 천연물 소재 개발	(주)유니젠	225,000	81,000	144,000	총매출액의 1%

기술명	실시기업	기술료 총액	기징수액	미징수액	경상기술료
참싸리로부터 분리한 멜라닌 생합성 저해 활성을 가지는 화합물 및 이를 포함한 피부미백제 기술	(주)RNA	100,000	20,000	80,000	총매출액의 2%
국내자생오갈피, 섬오갈피 다당체 함유 분획의 간기능 보호활성과 가시오갈피 다당체 분획의 간기능 보호활성에 관한 기술	(주)수신물산	181,400	37,000	144,400	총매출액의 2%
연수유래 캄페놀 및 그 유도체를 유효성분으로 하는 효소 보호제 및 항노화제 기술	샘타코바이오 코리아	81,000	16,200	64,800	총매출액의 3%
아실코에이: 콜레스테롤 아실트란스퍼라제의 저해활성을 갖는 화합물 또는 그 염을 유효성분으로 하는 살충제에 관한 기술	(주)유레카진	64,500	15,000	49,500	총매출액의 2%
수리취 추출물을 유효성분으로 함유하는 항 류마티스 효과를 가지는 조성물에 관한 기술	(주)한국파마	180,000	36,000	144,000	총매출액의 1%
성장호르몬 분비촉진용 생약 추출물 및 관련 기술	대웅화학	108,000	21,600	86,400	순매출액의 3%
유효 Prosapogenin함유 생약의 관절염에 대한 기술	(주)한국천연물 신약	72,000	14,400	57,600	순매출액의 1.5%
천연살비제 개발기술 (진드기, 물질동정, 제형화)	(주)내츄로바이오텍	60,000	3,600	56,400	없음
돼지 설사병과 연관된 기술 및 설사병 방제를 위하여 개발된 식물경구 백신용 작물	(주)단바이오텍	108,000	22,000	86,000	순매출액의 5%
색소 및 향 추출 관련 기술	(주)엔지켐	72,000	14,400	57,600	총매출액의 2%
자생식물을 이용한 환경친화형 천연농약	(주)비아이지	126,000	5,000	121,000	없음
락토페린을 함유하는 배양배체 및 이를 이용한 클로렐라의 배양방법	(주)클로랜드	20,250	10,530	9,720	없음

기술명	실시기업	기술료 총액	기징수액	미징수액	경상기술료
식물추출물(PG102)을 기반으로 하는 알러지성 질환 예방 및 치료제	(주)동아제약 주식회사	200,000	155,000	45,000	순매출액의 5%
조직배양기술을 이용한 동근마의 씨마 생산	(주)동양물산기업	270,000	54,000	216,000	없음
국내에서 자생하는 야생과일의 추출물로부터 알레르기치료용 천연신물질(PG102) 개발	에피카스社 (Efficas, Inc.)	2,521,000	698,400	1,822,600	매출액의 12.5%
신경세포 보호활성이 있는 복합생약제 추출물을 포함하는 퇴행성 뇌질환의 예방 및 치료용 조성물	(주)뉴메드	78,750	15,750	63,000	총매출액의 2%
성장촉진 추출물 및 이를 함유하는 약학적 제제 기술	(주)파진바이오	30,000	-	30,000	없음
클로렐라 바이러스 유래 신규 프로모터 및 그 용도개발 기술	(주)클로랜드	24,300	4,860	19,440	매출액의 3%
자생식물추출물로부터 세포생존을 개선시키는 허혈성질환 예방 및 식품의약품의 개발기술	(주)하이폭시	59,400	11,880	47,520	매출액의 1%
삼백초 및 가족나무 추출물의 항알러지 및 항 천식 작용제 개발 기술	(주)한국파마	153,000	30,600	122,400	순매출액의 4%
피퍼롱구미닌 화합물을 함유하는 미백용 화장료 조성물 개발 기술	(주)키맥스	76,500	15,300	61,200	없음
피부미백 조성물을 이용한 향장품 개발 기술	(주)아이디알	81,000	16,200	64,800	총매출의 3%
단항에서 암증식 억제물질 추출 기술 개발	(주)베타앤베터	61,200	12,240	48,960	순매출액의 1%
HTP를 이용하여 개발된 기능성 천연신소재의 이용	(주)유니젠	153,000	79,560	73,440	순매출액의 1%
고지혈증 치료물질 개발	(주)동화약품	650,000	100,000	550,000	총매출액의 3%
자생식물 유래 피부 미백용 약학적 조성물	(주)이큐스팜	55,000	15,000	40,000	총매출액의 3%
울금 추출물을 이용한 환경친화형 천연 식물보호제 기술	(주)유니테크	153,000	32,000	121,000	총매출액의 2%

기술명	실시기업	기술료 총액	기징수액	미징수액	경상기술료
소리장애를 이용한 환경친화형 천연살균제	(주)대유	126,000	36,000	90,000	총매출액의 1.5%
식물, 동물 조직특이성 유전자 발굴 및 novel GPCR 분류용 프로그램	(주)에스씨앤티 (주)위더스텍	1,000,000	500,000	500,000	총매출액의 20%
신경보호작용을 갖는 황금추출물 및 이를 함유하는 약학적 제제	(주)뉴메드	124,000	124,000	-	없음
항알레르기 식품 또는 건강기능식품 개발 기술	(주)SBI Biotech	1,000,000	331,791	668,209	매출액의 12%
신규 천연물 위장운동촉진제(DA-9701) 개발기술	(주)동아제약	1,360,000	272,000	1,088,000	순매출액의 2%
참싸리 추출물의 미백 및 항산화 활성	(주)엑티브온	15,000	15,000	-	총매출의 50%
자생식물 유래 죽상경화증 치료 식품 의약 소재개발 기술	(주)건보	15,000	3,000	12,000	총매출의 2%
해조류 유래 향장품 소재개발 기술	(주)라이브켄	14,850	2,970	11,880	
합계	43건	10,731,150	3,077,681	7,653,469	

(2) 제품화에 따른 매출액 발생

자생식물 사업단은 현재까지 기능성 식품의약 제품 7건(현재 시판 중)을 개발하여 총 2,011억 원의 매출액을 올리는 등 천연물 신약 및 기능성 식품의약 분야에 있어 선도적인 역할로 국내 천연물 관련 산업 시장을 이끌었다. 이것은 자생식물 사업의 연구개발 성과가 학문적인 성과에서 그치지 않고 연구개발 결과의 최종 실용상업화 단계인 제품개발까지 연결되어 매출액이 발생된다는 것을 단적으로 보여주는 예로써 현재 수행 중이거나 수행 예정에 있는 25건의 임상 및 전임상 시험 연구가 종료될 경우 매출총액은 기하급수적으로 늘어날 것이다.

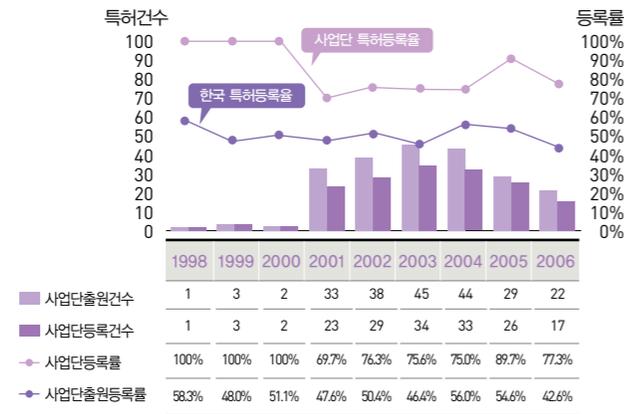


(단위 : 천원)

연구기관 (책임자)	제품명	효능 (기능)	제조사	판매	국가
동양물산 (박주현)	천하장사 등근마	중우 및 제품	(주)동양물산기업	한국	327,000
경희대 (김호철)	뇌보	인지기능 개선	뉴메드	한국, 미국	4,143,000
	키커	성장촉진	뉴메드	한국, 중국	5,000,000
화학(연) (김영섭)	장생도라지 엑기스로얄	뇌인지 기능개선	(주)장생도라지	일본	3,586,056
유니젠 (김동선)	리제니케어-K	관절염 개선	유니베라	한국, 미국	77,241,869
	알로맥프로	혈액순환 개선	유니베라	한국, 미국, 일본	60,763,000
한국생명(연) (이정준)	수신오가피	간기능 개선	수신물산	한국	50,000,000
합계	7개 제품				201,060,925

(3) 질적 수준이 탁월한 특허성과 도출

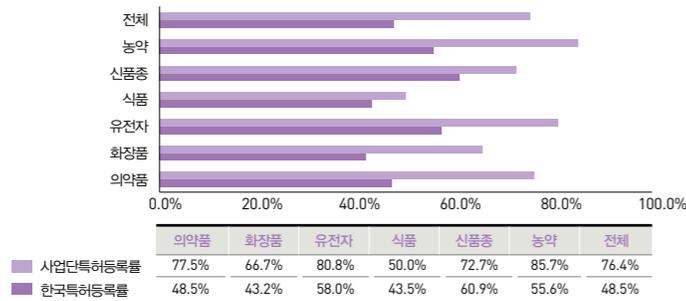
현재까지 총 264건의 특허 등록과 647건의 특허 출원(3단계 : 148건 등록, 280건 출원)은 양적으로도 우수한 연구 성과일 뿐만 아니라 다음과 같이 질적인 면에서도 탁월한 연구 성과를 도출하였다. 현재 특허의 질적 우수성을 나타내는 간접 지표가 1억당 특허 출원수, 1억당 특허 등록수 또는 수적 증가 같은 단순한 지표가 아닌 당 사업단에서 분석하는 등록률 분석, 청구항수 분석, 기술집중도 분석, 영향력 지수, 인용도 지수, 시장확보 지수 등과 같은 최신 지표로 바뀌어 가고 있다. 특허 등록률 분석을 해보면 현재까지 사업단 국내 특허의 평균 등록률은 76.6%로서, 이는 자생식물 이용 기술 분야에서 우리나라 특허 전체의 평균 등록률이 49.4%인 것과 비교하여 볼 때, 탁월하게 높은 수치를 보였다. 등록률은 출원된 특허건수 중에서 등록이 된 특허건수가 차지하는 비율을 나타내는 것으로서, 자생식물 이용기술에서 사업단 특허의 질적 수준이 국내 여타 R&D 사업의 특허보다 월등하게 높은 것으로 분석되었다.



사업단 특허와 한국 특허와의 등록률 비교

※ 분석구간: 한국특허 '77~2006(출원년도), 사업단특허 '98~2006(출원년도)
 ※ 한국특허정보원 『자생식물사업 특허 전략 분석』, 2009. 2

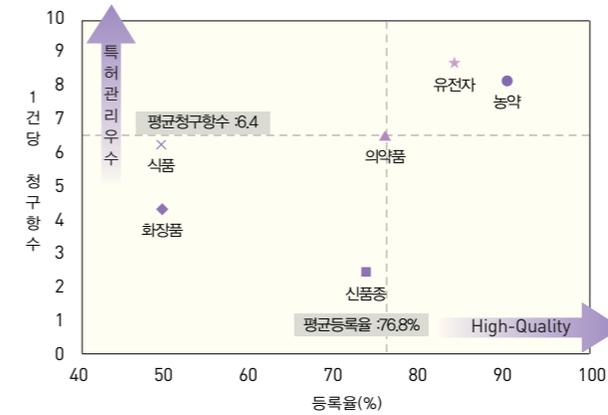
또한, 자생식물 이용 관련 기술별로 나누어 분석한 결과, 역시 모든 기술 분야에서 한국특허 전체의 평균 등록률 보다 자생식물 사업단 특허의 평균 등록률이 우수한 것으로 나타났으며, 특히 천연물 신약, 천연농약, 유용유전자 분석 및 활용 분야에서의 등록률이 한국특허 전체 평균 등록률 보다 20% 이상 높은 것으로 나타나 자생식물 사업단의 특허의 우수성을 입증하였다



기술 분류별 사업단 특허와 한국 특허와의 등록률 비교

※ 분석구간: 한국특허 '77~2006(출원년도), 사업단특허 '98~2006(출원년도)
 ※ 한국특허정보원 『자생식물사업 특허 전략 분석』, 2009. 2

특허의 청구항수 분석도 실시하였다. 특허 1건당 청구항수⁵⁾는 하나의 특허출원에 포함된 「발명」의 수를 의미하며, 해당 특허의 발명의 폭과 권리범위를 측정할 수 있는 지표이다. 자생식물이용기술 분야에서 사업단 특허의 특허 1건당 청구항수는 6.4항으로 분석되었고, 각 기술별로는 유전자(8.0), 농약(7.7), 의약품(6.4) 분야의 청구항수가 전체의 평균 청구항수 이상인 것으로 나타났다. 따라서 청구항수와 등록률로 본 사업단 특허는 천연물 신약, 천연농약, 유용유전자 분석 및 활용 분야의 질적 수준 및 특허관리가 아주 우수한 것으로 나타났다.



사업단 특허의 청구항수 및 등록률

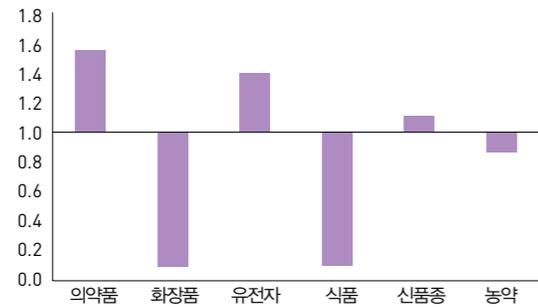
※ 분석구간: 한국특허 '77~2006(출원년도), 사업단특허 '98~2006(출원년도)
 ※ 한국특허정보원 『자생식물사업 특허 전략 분석』, 2009. 2

특허의 기술집중도 분석을 특허활동지수(Activity Index : AI)⁶⁾를 통해 자생식물이용기술 분야에서 사업단 특허의 기술분류별 특허활동 집중도를 살펴본 결과, 천연물 신약과 유용유전자 분석 및 활용 분야에 상대적으로 집중하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 사업단의 연구역량이 주력 연구 분야인 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발 분야에 집중되고 있음을 보여주었다. 식품분야에서 사업단의 기술집중도가 낮은 이유는 국내 식품 전체에 대한 특허의 수가 사업단에서 도출한 기능성 식품의약 특허수에 비해 상대적으로 월등히 많기 때문이었다.

5) 청구항수가 많다는 것은 보다 많은 발명, 즉 넓은 기술적 범위를 확보하고 있다고 할 수 있고, 한편으로는 여러 가지 유사한 발명을 하나에 정리하여 출원을 하는 것이므로 이는 특허의 관리체제 구축이 점차 간단하면서도 안정화되고 있다는 것을 의미함. (한국특허정보원의 청구항수에 대한 정의)

6) - 특허활동지수(Activity Index) : (특정기술 분야의 특정출원인 특허건수/특정기술 분야의 특허건수)/(특정출원인의 전체 특허건수/전체 특허건수)
 - 특정 출원인이 전체 특허건수를 대상으로 특정 기술분야에서 차지하는 비율을 나타내는 지수로서 AI 값이 10이상이면 특허집중도가 높다는 것이며, 반대로 10이하이면 특허집중도가 낮다는 것을 의미함





사업단 특허의 기술집중도 분석

※ 분석구간: 한국특허 '77~2006(출원년도), 사업단특허 '98~2006(출원년도)
 ※ 한국특허정보원 『자생식물사업 특허 전략 분석』, 2009. 2

이상과 같이 사업전체 특허에 대한 질적 우수성을 확인했으며 개별특허에 대한 질적 우수성을 나타내는 분석지표인 인용도지수, 영향력지수, 기술력지수, 시장확보력지수, 과학적 연계성 등 여러 가지 특허 분석을 실시하였다.

(4) 유용유전자 활용 연구 분야의 수월성 있는 논문 성과 도출

자생식물이용기술개발사업의 제 2의 주력 분야는 식물학 분야의 원천기술 개발 분야로 식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용 연구 분야로, 이 분야는 사업의 최종 목표 중의 하나인 『수월성 있는 논문 발표』로써 세부과제의 평가가 이루어지며 이 때문에 우수 연구논문들이 다수 출판되었다.

SCI논문의 국가 R&D사업과 자생사업의 비교

〈단위: 편, 점〉

구분	SCI 논문수	IF 평균값	표준화순위보정영향력지수
2008년 국가 전체	34,168	2.32	59.60
사업 전체	282	3.334	62.92
자생사업논문성과			
유용유전자 연구 분야	106	5.392	77.28

※ 한국연구재단 『교육과학기술부 주요 연구개발사업 성과분석보고서』, 2009. 12
 ※ SCIE 논문 및 신규 논문으로 통승사 비등재 논문 제외
 ※ 3단계 연구기간 논문을 대상으로 분석

위 표에서 보는 바와 같이 최근 국가연구개발사업에서 논문의 질적 수준을 나타내는 간접 지표는 『SCI Impact factor 값』에서 『표준화 순위보정영향력지수』⁷⁾로 바뀌었다. 자생식물 사업단의 논문 성과를 주요 세부과제 평가 지표로 삼고 있는 식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용 연구 분야는 SCI IF값 평균도 5.391점으로 국가 R&D 사업 전체의 IF값 평균에 2.32배가 넘는 우수한 논문을 도출했을 뿐만 아니라 학문분야별 편차를 감안하여 개선된 표준화 순위보정영향력 지수 또한 국가 R&D 사업 전체의 1.3배가 높은 77.28점으로 국가 R&D 사업 중 최상위에 속하는 탁월하게 우수한 논문을 발표하였다.

2008년도 국내 R&D 과학기술표준분야 중 표준화순위보정지수가 가장 높은 분야는 물리학 77.9점, 화학 77.0점이며 BT분야는 생명과학 66.5점, 보건의로 62.9점, 농림수산 61.1점으로 자생식물 사업단의 『식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용(77.28점)』 연구 분야의 논문에 대한 수월성은 국가연구개발사업의 선두에 있으며, 세계 상위 22%의 저널에 논문을 게재하는 것으로 보아 해당분야 연구를 선도하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 대학 및 정부출연연구기관의 표준화 순위보정영향력 지수를 살펴보면 과학기술분야에서 뿐만 아니라 자생식물사업단의 『식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용(77.28점)』 논문은 국내 최상위의 연구 논문임을 알 수 있었다.

대학 및 정부출연연구기관 표준화 순위보정지수 상위 기관

순위	대학				정부출연연구기관			
	기관명	논문수 (건)	Impact Factor	표준화 순위 보정지수	기관명	논문수 (건)	Impact Factor	표준화 순위 보정지수
	자생사업(3대분야)	106	5.392	77.28	천문연구원	72	5.04	79.8
1	포항공과대학교	651	3.03	72.9	자생사업(3대 분야)	106	5.392	77.28
2	한국과학기술원	552	2.80	70.5	표준과학연구원	179	2.02	69.8
3	연세대학교	666	3.23	70.3	과학기술연구원	408	2.43	68.7
4	광주과학기술원	209	2.57	69.0	화학연구원	142	2.59	68.4
5	이화여자대학교	200	3.29	68.7	핵융합연구소	40	1.75	67.0
6	한양대학교	427	2.46	68.7	기초과학지원연구원	121	2.67	66.6
7	서울대학교	1,414	2.88	68.3	기계연구원	131	1.92	66.3

※ 교육과학기술부 보도자료 『최근 국가연구개발사업 성과 대폭 향상』, 2009. 2. 11
 ※ 3단계 연구기간 논문을 대상으로 분석

이와 같이 세계 유수의 저널(순위보정영향력지수 80점 이상 59편 또는 SCI IF값 5점 이상 40편)에 논문을 게재하는 성과를 도출함으로써 우리나라의 식물학분야의 세계적 위상을 높이는데 크게 기여하였다.

(5) 세부과제 및 주요 특허의 기술사업성 평가 결과 : 우수

자생식물 사업 연구과제 수행으로 도출된 특허 및 사업단 세부과제의 기술사업성 평가를 통해 사업화 전략을 도출함으로써 국내·외 산업체로 기술이전을 촉진하는 등 연구성과의 실용 상업화 촉진 및 세부과제의 현 상태를 객관적으로 평가하고자 국내 최고의 기술사업성 평가기관이며 공인 기관인 한국기술거래소에 위탁 연구를 의뢰하여 객관적이고 공정한 제 3자의 시각으로 기술사업성을 평가하였다. 세부과제 또는 특정기술(특허)의 기술성, 권리성, 시장성, 사업성 등을 평가하고, 이를 종합적으로 분석하여 과제 또는 기술의 성공 가능성을 등급으로 평가하고 종합의견을 제시하는 형태로 진행되었다. 세부과제 33개의 기술사업성 평가 결과 한국기술거래소 평가 등급에 따라 A등급 16개 과제, B등급 17개 과제로 아주 우수한 기술사업성 평가 결과를 도출하였다.

세부과제별 기술사업성 평가 등급 및 의미

평가 등급 ⁸⁾	점수 분포	등급 의미	과제수
S 등급	80점 이상	즉시 산업화 가능	-
A 등급	70점 ~ 80점	기술 뛰어남, 우선적 기술이전 추진 요망	16
B 등급	60점 ~ 70점	기술(특허) 유지 필요, 기술이전 다소 시일 소요	17
C 등급	50점 ~ 60점	기술 보완 시급	-
D 등급	50점 이하	기술가치 적으며 기술이전 불투명	-
합계			33개

※ 한국기술거래소 『자생식물사업 기술사업성 평가 보고서』, 2009. 3
 ※ 3단계 연구기간 논문을 대상으로 분석

7) 『표준화 순위보정영향력지수』는 학문분야별로 편차를 보이는 SCI Impact factor(SCI IF) 활용의 한계점을 개선하기 위해 분야별로 SCI IF를 보정한 지표로서, 100에 가까울수록 동일 분야내에서 SCI Impact Factor Ranking이 높음을 의미하며 100에서 지수를 뺀 수치가 해당분야 논문 발표 상위 분야임

ex) 톡스社 분류별 SCI IF 순위 $\rightarrow mIF = \frac{N-Rj+1}{N} \rightarrow mmiF = 100 \times \frac{(N \times mIF - 1)}{N-1}$
 (N: 해당분야내 저널수, Rj: 분야내 SCI IF 순위)

8) 한국기술거래소에서 약 4,000개의 과제 및 기술에 대한 기술사업성 평가를 실시할 경우 S등급은 1개, A등급 600개(15%), B등급 1,200개(30%), C등급 1,600개(40%), D등급 600개(15%)의 분포를 보임

4. 정성적 성과

가. 연구개발성과의 질적 우수성

(1) 국내 천연물 신약 개발에 있어 모범적 사례 제시

오늘날 사용되고 있는 약물의 60%가량은 천연물에서 유래하거나 천연물 파생 화합물이 있다. 천연물에 대한 관심은 1990년 미국의 대체의학 열풍에서부터 시작해 1994년 식이보조제보건교육법(DSHEA)을 통해 생약이 식품보조제로 분류되면서 자연스럽게 천연물의 제품으로 전이되기 시작하였다. 2000년 미국식품의약국(FDA)의 'Botanical Drugs Guidance' 발표는 이런 추세에 전환점 역할을 하여 기존 천연물의 인체대상 효과와 구조적인 안전성이 2상 임상 기준에 적합하다면 1상 임상 없이 3상 임상으로 진행할 수 있도록 하였다. 이는 신물질을 개발하지 않아도 기존 천연물 사용의 효능에 대한 증명만 있다면 신약으로 등록되는 소요기간이 짧아지고 가능성이 높아진다는 것으로 이는 곧 세계적인 천연물신약개발의 움직임으로 발전했고 한의학, 인도의 전통요법 등에 대한 효과와 안전성이 서서히 입증되면서 그 열기는 현재까지 지속적으로 상승하고 있다.

우리나라는 서양에 비해 풍부한 천연물 신약 연구 인프라를 기반으로 비교적 짧은 연구기간 동안 연구성과를 창출했으며 천연물 신약 연구는 전통적으로 천연물을 다뤄온 중국이나 일본의 전통의학에 비해 상대적으로 기술이 축적되어 있다고 평가받고 있다. 하지만 타 개발도상국에 비해 전통식과 유전자원이 풍부하지 않으며 선진국의 천연물 신약 연구기간에 비해 짧다는 것이 단점이다. 이러한 관점에서 볼 때, 본 사업단에서 이룬 성과는 매우 시기적절하고 우수한 성과라고 할 수 있다. 지금까지의 성과를 보면 특히 만성 난치성 질환에 효과가 좋은 천연물질을 많이 찾아냈으며, 그것들이 상품으로 개발되고 있음을 보여주고 있다. 그 대표적인 예로 자생식물로부터 기능성 소화불량에 탁월한 물질을 개발하여 현재 임상 3상 연구를 진행 중에 있으며 임상 3상 연구가 종료되는 2010년 하반기에는 자생사업으로 개발한 천연물 신약이 개발 완료되어 출시될 예정이며 또한 신장염 예방에 탁월한 천연물 신약도 현재 임상 2상 연구가 진행 중으로 국내의 대기업 뿐만 아니라 중소 벤처 기업에서 천연물 신약 및 기능성 식품의약으로 개발하기 위해 지난 3단계 4년간 임상 및 전임상 25건의 시험을 실시하였다. 만성간염의 치명적인 병상인 간 섬유화를 치료하는 물질이 발굴되어 천연물신약으로 개발되고 있고, 간 기능 개선물질도 개발 중에 있다.

그 외에도 만성 관절염에 효과가 좋은 사포닌 성분, 알레르기 염증질환에 좋은 천연 추출물, 뇌졸중이나 심근경색 시 세포의 생존율을 높임으로써 후유증 감소와 병후 회복에 효과가 우수한 후보물질,

고지혈증, 비만 등에 유효한 지질대사 저해활성물질, 항암활성물질, 부정맥에 효능 있는 활성물질, 신정보호 기능성식품 개발, 뇌질환용 후보물질, 뇌신경 보호 물질이 개발되고 있고, 간세포 보호 우수 천연물 신약 후보물질, 혈관신생억제 활성물질 및 압전이 억제물질, 신경안정에 효과 있는 천연물, 운동능력 향상에 유효한 물질, 성장호르몬 유발 물질, 저장물 해충 및 식물병원균에 유효한 물질(정유, 식물체, 화합물), 미백 활성이 탁월한 물질, 혈액순환, 관전기능, 뇌기능 등에 효과가 좋은 식품의약, 천연살균제 등 상당히 많은 천연물질들이 후보물질로 선발되었고 현재 이러한 후보물질에 대한 전임상 또는 임상시험을 진행 중에 있어(현재 7개 제품은 시판되고 있어 2,011억 원의 매출액을 올리고 있음) 제품으로 개발되기 위한 막바지 단계에 와 있다. 또한 자생식물사업단에서는 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 병목현상을 나타내는 임상 및 전임상 연구 단계에 대해 『임상 및 전임상 시험 연구비 수시 지원 시스템』을 도입하여 병목현상을 제거함으로써 보다 효율적이고 체계적인 고부가가치 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 모범 방안을 제시하였다. 이를 통해 도출된 위의 성과들은 거의 대부분이 세계적으로 처음 연구되고 있는 것들이어서 개발 후 시장선점 효과가 좋을 것으로 판단되며 앞으로 임상시험을 거치게 된다면 국내 시장은 물론이고 국외 시장으로도 진출하여 고부가가치를 창출할 수 있을 것이다.

5. 연구개발성과의 파급 효과

가. 과학기술적 파급 효과

천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 필요한 핵심요소 기술, 즉 물질분리 정제 기술, 화합물 구조 분석 기술, 분자최적화 기술, 생리활성 검색기술, 약리효능 검정기술, 임상시험 기술 등이 향상되고 연구개발 과정을 통해서 많은 'know-how'가 축적되게 됨으로써 세계적인 신약개발 국가로 발돋움 하는데 중추적인 역할을 할 것이다. 특히 식물자원이 풍부한 중국, 페루, 네팔, 브라질, 러시아 등 세계 각국의 다양하면서도 중요한 식물자원을 확보하여 국내의 연구자들이 연구에 적극 활용함으로써 생물 산업을 활성화시키고, 이 과정을 통하여 중요한 핵심 인프라가 구축되므로 선진국 수준의 기술을 확보하게 될 것이다. 또한, 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 국가연구개발사업의 표준이 되는 『임상 및 전임상 시험 수시 지원시스템』개발로 우리나라 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 항상 병목구간이었던 임상(전임상) 시험 부분을 해소함으로써 효율적이고 체계적인

R&D 수행 방법을 확립하였을 뿐만 아니라 나아가 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 더욱 더 빠른 연구개발의 실용상업화를 이룰 수 있게 되었다.

자생식물이용기술개발사업 3대 분야인 『식물성분 생합성 관련 유용유전자 발굴 및 활용』분야는 3단계 과제수행 결과 다수의 세계 최고 수준의 논문이 결과물로 창출되었다. 이러한 우수 연구성과의 창출은 당장은 식물학 분야에서의 국가 경쟁력을 높이는 효과가 있으며, 향후 우수성과의 지적재산권 화가 이루어지고 또한, 새로운 원천기술개발로 이어질 것으로 예측되어 궁극적으로는 전 세계의 국가/기업들이 추구하고 있는 '유전자 활용 신종자 개발'의 원천기술이 될 것으로 판단되며, 그 결과물들은 향후 우리나라의 식물생명공학 분야에 응용 잠재력으로써 커다란 영향을 미칠 것이다. 지속적인 자생식물의 확보와 유망식물의 발굴을 통하여 지피용 식물, 화훼용 식물, 방향성 식물 및 염료로 이용 가능한 다양한 신품종의 개발이 가능하며 대량생산 방법의 개발로 인한 후속 산업화 방안을 마련하여 고부가가치를 창출하고 자생식물 및 해외식물 종자의 확보를 통한 유전자원의 확보 및 이를 통한 관련 연구의 활성화를 통하여 학문의 발전에 기여하고 축적된 종자정보를 이용하여 유용식물 자원의 대량증식 및 희귀 및 멸종위기 식물의 보존 및 복원을 통하여 자생식물자원의 복원 및 보존에 기여할 수 있을 것이다.

나. 산업적 파급 효과

우리나라의 식물 종들은 매우 특이한 지리·기후적 조건에서 서식하고 있기 때문에 각 식물 종들이 가지고 있는 유전자도 매우 다양하고 특이적인 것이라는 것은 명백하다. 따라서 이러한 특성을 살려서 이들을 육종소재로 잘 활용만 한다면 세계적으로 진출할 수 있는 훌륭한 화훼품종이나 관상 수목을 개발해 내어 큰 부가가치를 창출할 수 있을 뿐만 아니라, 특히 우리나라에서는 예로부터 산야에 자생하고 있는 수많은 종류의 야생식물 자원을 약재로 사용해온 경험이 있으며 이와 관련한 한방적 임상실험 Data는 세계 어느 나라와 비교해도 뒤지지 않을 만큼 충분히 확보되어 있다. 이러한 기본적인 요건을 바탕으로 하여 현재 급속한 발전을 거듭하고 있는 생명공학기술과 접목시킬 경우 다른 나라에서 미처 생각지도 못할 획기적인 재배품종과 천연물 신약, 기능성 식품의약 또는 신기능성 식품을 단기간 내 개발해 낼 수 있는 가능성이 매우 높다.

전 세계적으로 조류독감이 확산되면서 중국의 자생식물 '스타아니스'를 활용한 로슈사의 '타미플루'라는 세계적으로 유명한 조류독감 치료제와 Block Buster급 기존 천연물 신약인 탁솔, 아스피린은 물론이고 국내에서 개발된 조인스정과 스티렌도 연간 수백억 원에 이르는 매출액을 올리고 있다.

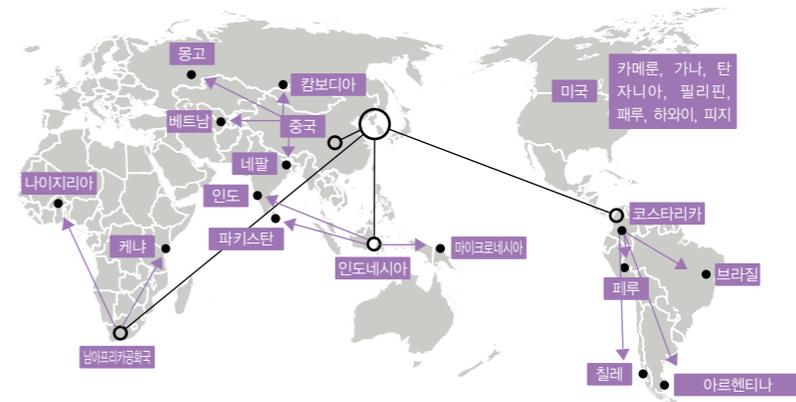
IHI는 2006년도 천연물 의약시장은 3,700억 불로 추정할 정도로 천연물 신약의 시장은 해가 갈수록 기하급수적으로 증가되고 있다. 자생식물 사업단에서는 이러한 천연신약의 소재나 신기능성 식품의 약의 개발을 사업단의 주된 목표로 설정하여 관련된 산업체로 기술이전을 43건 실시하여 총 10,732 백만원에 이르는 기술료 수입을 올렸을 뿐만 아니라, 기능성 식품의약 제품 7건을 판매하여 총 2,011 억원의 매출액을 올리고 있다. 또한 3단계 기간 동안에 25건의 임상 및 전임상 시험을 수행하였다.(임상시험 8건, 전임상 시험 3건은 진행 중) 이것은 자생식물과 관련한 한방적 임상시험의 경험을 충분히 살린 결과로써 수십억 원에서 수백억 원에 이르는 고부가가치의 천연물 신약이나 기능성 식품의약을 매우 단기간 내에 개발해 낼 수 있다는 가능성을 보여주는 분명한 사례이다. 특히나 기술이전으로 산업화를 달성하기 위해서는 기초나 응용연구가 뒷받침되어야 한다는 것은 당연한 사실일 것이다. 기초분야의 세계 최고 저널에 출판된 논문의 경우, 연구결과의 원천성은 이미 증명된 셈이며, 향후 응용 기술개발로 이어져 지적재산권을 획득하면 국내·외의 신중자 산업에 커다란 응용잠재력으로 작용할 것이다. 자생식물사업단에서는 이렇게 기초나 응용 분야인 『식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용』분야에서 기술에 원천성이 있는 우수한 연구결과를 도출하였다. 특히 SCI 논문의 표준화 순위보정영향력지수가 77.28점이고 SCI IF값 평균이 5.392점으로 국내에서 발표된 논문의 평균보다 탁월한 연구 결과를 보이고 있으며 나아가 이 분야에서 전 세계적으로 어깨를 나란히 할 수 있는 영향력을 지니게 되었다.

다. 연구개발의 부수적 효과

(1) 국제협력 연구 네트워크 구축

다년간의 사업수행을 통해 차세대 국가핵심전략 사업인 BT산업에 있어 필수원자재가 다양한 식물소재(자원) 확보에 있음을 알고 이를 위하여 사업단의 국제협력 네트워크를 통해 범세계적 생물자원 공동 활용 및 다양한 해외 유용생물소재를 이용을 위해 해외식물 추출물은행을 한국식물추출물 은행에 구축했고 국내 산·학·연 연구자에게 공급함으로써 기능성 물질 탐색, 천연신약, 식품의약 및 기타 산업용 천연소재 개발을 지원하기 위한 기반을 구축하였다. 이를 통해 세계 수준의 생물소재은행, 추출물은행과 생물산업 기반 인프라 구축을 통하여 국내 BT 산업의 활성화 기술기반 확충하고, 세계수준의 국가 생물소재기반을 구축하여 천연물 활용을 통한 천연물신약, 기능성식품 개발을 통해 고부가가치의 국부창출 및 세계적 주도권 확보가 가능할 것이다. 선진국 뿐만 아니라 개발도상국까지도 자국의 생물자원 유출을 방지하고 타국의 생물자원을 확보하기 위한 경쟁에 돌입한 현재를 감안할 때

자생식물 사업단의 국제협력 네트워크를 통해 해외생물소재 확보 사업이 도출된 것은 성공적인 부수적 연구성과이다.



국제협력 네트워크 현황

자생식물 사업단의 부수적 산물인 해외생물소재의 네트워크 구축은 2010년 현재 다음과 같이 9개국의 협력기관과 해외식물소재의 수집 및 공동 활용 연구에 대해 MOU를 맺은 상태로 기능성 물질 탐색, 천연신약, 식품의약 및 기타 산업용 천연소재 개발을 지원하기 위한 국제협력 네트워크 기반을 구축하였다.

상대국	협력기관
중국	Yunnan Academy of Agricultural Sciences(YAAS)
베트남	Institute of Ecology and Biological Resources(IEBR)
라오스	Traditional Medicine Research Center(TMRC)
캄보디아	Karisel Investment Company Ltd.(KIC)
코스타리카	Instituto Nacional de Biodiversidad(INBio)
칠레, 아르헨티나	Han Kang Ltd.
인도네시아	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi(BPPT)
마이크로네시아	한국해양연구원 마이크로네시아 해외센터
미국	Botanical Liaisons LLC(BL)

(참고) 해외생물소재 확보 사업 개요 및 현황

● 사업 목표

- 차세대 국가핵심전략 사업인 BT산업의 필수원자재인 생물소재의 범지구적 확보를 위하여 세계 4대 권역에 해외생물소재 공동연구센터 구축하고 이를 중심으로 한 주변국가들로부터 다양한 생물소재를 수집, 확보하였다.
- 국내에 생물소재 중심허브의 구축 운영을 통해 보다 다양한 연구용 생물소재를 산·학·연 연구자에게 상시 공급함으로써 천연물산업분야 연구 개발 사업을 활성화시킬 수 있다.

- 사업기간 : 2006. 8 ~ 2016. 7
- 연구기관(책임자) : 한국생명공학연구원(정혁)
- 사업비 투자 현황

(단위 : 백만 원)

년도	2006년	2007년	2008년	2009년	합계
사업비	3,500	2,700	2,300	2,300	10,800

6. 연구성과의 홍보

가. 사업 홍보 체계

(1) 홍보 원칙

자생식물 연구사업의 일반 대중화 실현 : 이해하기 힘든 과학자 중심에서 일반인 중심으로의 홍보 전환하여 읽기 쉽고 읽고 싶은 콘텐츠 생산으로 일반 대중 및 사업 관련 연구자에게 사업단의 다양한 성과를 친근하게 접근하였다. 또한 관련 과학자들은 물론 과학을 잘 모르는 일반인들까지 홍보 대상으로 확대시켜 국민의 세금으로 진행되는 연구 타당성을 널리 알렸다.

자생식물의 중요성을 파급력 있게 홍보 : 자생식물을 활용한 질병치료 등에 대한 식물의 중요성 이해 및 대중적 국민 과학 마인드 보급하였고 점증되는 국가 기초과학 기술의 중요성도 전략적으로 동시에 홍보하였다.

사업단의 대·내외 인지도 및 중요성 인식 확산 : 산과 들에서 흔히 볼 수 있는 자생식물 자원의 소중함을 대중과 함께 공유하고 자생식물 이용가치에 대한 중요성 인식을 제고하였고, 과학기술의 활동을

통해 인류의 삶이 향상시키는 대안임을 일반 대중에 대한 이해 증진하였다.

(2) 홍보 전략

자생식물 이용에 대한 국민적 이해도를 증진시키고 그동안 자생식물을 활용하여 만들어진 연구성과에 대해 지속적인 활용과 국가 차원에서의 부가적인 창출을 위해 지속적으로 홍보를 강화하였다. 주무부처인 교육과학기술부 및 관련 타 부처의 출입기자를 대상으로 연구사업에 대한 성과 홍보하였고, 소속기관이었던 생명(연)내의 관련부서를 활용하여 핵심기술 및 기술인프라 사업 등을 계속적으로 홍보 확산될 수 있도록 협력을 강화하였다.

(3) 전문 홍보업체(언론사) 위탁 홍보 대행

국내 유일 인터넷 과학뉴스 전문사이트인 '대덕넷'을 사업단 주관 언론 홍보 대행사로 위탁하여 체계적이고 효율적인 사업 홍보 실시하였다.

주요 홍보 내용으로는 자생식물이용기술개발사업단 연구성과 보도, 자생식물 연구관련 특정이슈 기획 및 보도, 연구동향, 연구실 탐방 보도자료 작성 및 보도, 과학자 중심의 연구개발 뒷 이야기 보도 자료 작성, 자생식물 사진 활용 동영상 제작 및 홍보, 자생식물 이야기 등 지속적인 자생식물 뉴스레터 홍보, 사업 관련 국내외 기사 등 자료 클리핑 E-mail 보고, 보도 내용의 대덕넷 사이트 및 헬로디디 e-clips 게시, 계약기간 중 기술이전 과제성과 등 사업단 요청 시 취재 및 보도 등이 있다.



120여회 발간된 자생식물이용기술개발사업 News Clipping

(4) 사업단 자체 사이버 뉴스레터 발간

인쇄물이 아닌 Cyber상에서의 News Letter 발간으로 인쇄, 우편발송 등에 소요되는 시간과 비용을 절감하였다. 형식에 치우치지 않고 연구자들이 자발적으로 참여하여 사업단의 소식을 공유하는 의사소통의 장으로 활용하였고 반기별로 발간하여 연구책임자, 평가위원, 운영위원, 사업관련자 및 메일링 서비스 신청자 등에게 e-mail을 통하여 제공하였다. 주요 콘텐츠는 사업단소식, 공통기반사업 실적, 연구원 동정 & 소식, 연구동향, 국내 특산식물 소개, 연구팀 탐방으로 구성하였으며 사업기간 동안 18호까지의 Cyber 뉴스레터 발간 및 메일링 서비스를 완료하였다.



18회 발간된 Cyber News Letter

(5) 교육과학기술부 기자 간담회 개최 (17건)

자생식물 표준추출물 국가 서비스 개시(교육과학기술부 홍보관실 / 2001. 03. 20) 등 17건의 주무부처 기자 간담회를 실시하였다.



기능성 소화불량증 천연물 신약 기술이전 조인식

(6) 사업단 및 세부과제 언론 홍보 현황 (258건)

토종식물, 머잖아 '황금식물' 된다. (2000. 7. 19 / 국민일보 등) 258건을 주요 언론에 홍보하였다.



토종식물 머잖아 황금식물 된다 / 국민일보 등 / 2000. 7. 19

04 남기고 싶은 이야기

1. 사업단 회고 (회고/Q&A)

사업 수행 중에 보람된 점은?

자생식물이용기술개발사업을 수행하면서 보람찼던 점은 수도 없이 많으나 그중 첫째가 국가대형사업의 근간을 마련했다는 점이다. 21세기 프론티어연구개발사업은 교육과학기술부에서 해당 분야의 최고 연구자이며 조직을 관리하고 이끌어 갈 수 있는 행정과 연구관리 지식까지 겸비한 연구자(사업단장)에게 연간 정부 지원 100억 원이라는, 그 당시로서는 모험에 가까운 연구비를 투자하여 10년간 연구를 할 수 있는 기반을 만들어 주었던 사업이다. 과감한 연구비 투자만큼 정부(교육과학기술부)와 관련 분야 연구자 및 사업단장에게는 커다란 기회이자 반대로 엄청난 부담감일 수밖에 없었다. 그러한 이유에서 사업 선정 당시의 이러한 혁신적인 연구관리 시스템을 뒷받침할 만한 법령, 법규가 제대로 정비되지 않았을 뿐만 아니라 연구비 관리 시스템 또한 자리를 잡지 못했던 상황이었다. 더구나 사업 초기 한국과학기술기획평가원에서는 모든 국가연구개발사업의 연구비를 카드로 사용하고자 하는 일명 연구비카드제시스템(연구비전산종합관리시스템)이 한창 진행 중이어서 사업단에 적잖은 행정 부담이 되기도 하였다. 하지만 한두 해가 지나면서 법령, 법규, 시행규칙 등이 완비되어 나갔고 연구비 관리 시스템 또한 자리를 잡아 나가면서 사업단의 모든 역량을 오로지 연구성과(목표) 달성에 집중할 수 있게 되었다. 이처럼 프론티어연구개발사업의 초기 멤버인 4개 사업단(인간유전체사업, 자원재활용사업, 테라급나노소재사업, 자생식물사업)의 노력이 없었다면 현재의 완성도 높은 연구개발 시스템은 없었을 것이다. 이렇게 자생식물사업을 수행하면서 프론티어연구개발사업뿐만 아니라 대형 국책사업의 근간을 마련했다는 점은 참으로 뿌듯하지 않을 수 없다.

둘째, 국내 식물생명공학의 기틀을 마련하여 한 단계 더 업그레이드 시켰다는 점이다. 불모지나 다름 없던 국내의 식물을 기반으로 한 생명공학 분야에 자생식물이용기술개발사업이라는 대규모 정부지원과 탁월한 연구책임자의 헌신적인 연구노력으로 국내의 식물 기반 생명공학 기술을 여타 선진국에 버금가는 수준으로 이끌어 올렸다는 점이다. 자생식물의 전통의학 지식과 식물 생명공학 기술을 접목하여 많은 천연신약 및 기능성 식품의약을 개발하였을 뿐만 아니라, 연 평균 110여 건에 달하는 식물생명공학 관련 국내외 우수 논문 출판과 또한 연간 100여 건에 달하는 국내외 특허 출원 및 등록, 43건에 달하는 기술이전과 110억 원에 달하는 기술로 수입, 총 2,000억 원에 달하는 제품화에 따른 매출액 발생은 이를 입증하는 증거로 충분할 것이다. 이런 양적인 성과뿐만 아니라 76.6%에 달하는 특허 등록률(국내 특허 등록률 49.4%), 특허 1건 당 6.4항에 달하는 청구항수, 국가 R&D사업의 2.32배가 넘는 우수한 SCI 논문의 IF값 평균(유용유전자 분야), 1.3배가 넘는 SCI 논문의 표준화 순위보정영향력

지수(국내 선두), 세부과제와 주요 특허에 대한 기술사업성 평가 결과 A, B 등급 판정 등은 양적인 연구 성과뿐만 아니라 질적인 면에서 세계 여러 나라 또는 해당분야 선진국과 견주어도 손색이 없는 연구 성과임이 증명되었다.

셋째, 식물 생명공학 분야에 수많은 파급효과를 유발하였다. 앞서 언급한 바 있지만 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 필요한 핵심요소 기술, 즉 물질분리 정제 기술, 화합물 구조분석 기술, 분자 최적화 기술, 생리활성 검색기술, 약리효능 검정기술, 임상시험 기술 등이 향상되고 연구개발 과정을 통해서 많은 'know-how'가 축적되게 됨으로써 세계적인 신약개발 국가로 발돋움하는데 중추적인 역할을 하였다. 특히 식물자원이 풍부한 중국, 페루, 네팔, 브라질, 러시아 등 세계 각국의 다양하면서도 중요한 식물자원을 확보하여 국내의 연구자들이 연구에 적극 활용함으로써 생물 산업을 활성화시키고, 이 과정을 통하여 중요한 핵심 인프라가 구축되므로 선진국 수준의 기술을 확보하였으며 또한, 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 국가연구개발사업의 표준이 되는 『임상 및 전임상 시험 수시 지원시스템』개발로 우리나라 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 항상 병목구간이었던 임상(전임상) 시험 부분을 해소함으로써 효율적이고 체계적인 R&D 수행 방법을 확립하였을 뿐만 아니라 나아가 천연물 신약 및 기능성 식품의약 개발에 있어 더욱 더 빠른 연구개발의 실용상업화를 이룰 수 있었다.

넷째, 다년간의 사업수행을 통해 차세대 국가핵심전략 사업인 BT산업에 있어 필수원자재가 다양한 식물소재(자원) 확보에 있음을 알고 이를 위하여 사업단의 국제협력 네트워크를 통해 범세계적 생물 자원 공동 활용 및 다양한 해외 유용생물소재를 이용을 위해 해외식물 추출물은행을 한국식물추출물은행에 구축했고 국내 산·학·연 연구자에게 공급함으로써 기능성 물질 탐색, 천연신약, 식품의약 및 기타 산업용 천연소재 개발을 지원하기 위한 기반을 구축했다는 점이다. 이를 통해 세계 수준의 생물소재은행, 추출물은행과 생물 산업 기반 인프라 구축을 통하여 국내 BT 산업의 활성화 기술기반을 확충하고, 세계수준의 국가 생물소재기반을 구축하여 천연물 활용을 통한 천연물신약, 기능성 식품 개발을 통해 고부가가치의 국부창출 및 세계적 주도권 확보가 가능할 것이다. 또한 선진국뿐만 아니라 개발도상국까지도 자국의 생물자원 유출을 방지하고 타국의 생물자원을 확보하기 위한 전쟁에 돌입한 현재를 감안할 때, 자생식물 사업단의 국제협력 네트워크를 통해 해외생물소재 확보 사업이 도출된 것은 성공적인 부수적 연구성과임에 틀림 없다.

사업 수행 중에 어려웠던 점은? (선정, 진행, 평가)

우수한 연구책임자 또는 연구 과제를 선정한다는 것은 정말로 어려운 일이 아닐 수 없다. 연구사업의



성패는 우수한 연구책임자의 선발에 전적으로 달려있다 해도 과언이 아니다. 따라서 자타가 공인하는 객관적인 실력을 가진 우수 연구책임자를 선발하기 위해서 해당 분야 최고 전문가들로 구성된 세부과제 선정 평가위원회를 객관적이고 공정하게 운영함으로써 우수 연구책임자들이 최대한 많이 선발될 수 있도록 하였다. 프론티어사업 이전의 연구과제 선정 시스템에서 문제가 되는 점이며 현재 타 사업의 과제 선정에서도 일부 문제가 되는 점은 바로 전문성이 결여된 평가위원이다. 피 평가자와의 관계가 있다면 그 분야의 최고 전문가라 하더라도 평가위원 풀에서 제외되는 현상이 종종 있었다. 또한 정부 부처나 감사를 담당하는 기관에서도 조차 피 평가자와 평가자와의 관계를 항상 확인하는 절차를 거치고 있는 실정이다. 자생식물이용기술개발사업단에서는 이러한 사항을 배제하였다. 물론 피 평가자와 평가자와 관련이 있을 때에는 해당 과제의 평가에서만 평가를 제외하였고 다른 과제는 평가할 수 있도록 하였다. 이를 통해 과제 선정평가시 전문성을 평가위원 선정의 최고 지침으로 삼아 해당 분야에서 가장 우수한 과제 및 연구책임자를 선정할 수 있었다. 물론 초창기 이러한 점이 늘 관계 부처나 감사기관의 지적 사항이었으나 사업단에서는 이를 끝까지 관찰시켜 감사관까지 설득시키기까지 하며 평가위원의 전문성을 확보하였다.

우수한 연구과제(연구책임자)를 선발되면 특별한 사유(연구비 유용, 불성실 연구 수행 등)가 없는 한 단계 기간인 3~4년간의 연구비를 지속 투입함으로써 불안정한 예산구조를 해소하고 연구자가 안정된 가운데 연구에 전념할 수 있도록 지원하여 최대한의 성과창출을 유도하는 체제로 사업을 추진하였다. 기존의 단년도 협약을 통하여 연구 종료시점에 흔히 말하는 ‘연말 멀쩡한 보도블럭 새로 깔기’와 같은 연구비 오남용이 이루어 지지 않도록 하였다. 연구책임자는 연구비를 최대한 아껴 쓰고 남은 연구비를 다시 연구에 재투자하여 연구에는 반드시 필요하나 그동안 연구비 부담으로 구입할 수 없었던 실험기자재를 구입함으로써 연구비의 오·남용을 막을 수 있는 계기를 국가연구개발사업 중 최초로 시도하여 적용하였던 것이다. 사업 선정 당시 일부 국방연구비의 경우 다년도 협약이 이루어지고 있었으나 그 역시도 연구계약만 다년도로 유지했을 뿐 연구비에 대해서는 단년도 협약처럼 매년 정산하여 남은 연구비는 반납하는 시스템이었다. 자생식물사업단에서는 이를 국가연구개발사업에서는 최초로 연구비를 다년도로 사용할 수 있는 계기를 만들었으며 그 이후 많은 국가연구개발사업이 실질적인 다년도 협약이 이루어지는 연구비의 바른 사용 정착에 대한 하나의 도미노 현상을 만들어 냈다.

연구가 진행되는 동안에는 연구책임자 스스로 자발적인 연구 동기유발이 되도록 사업을 운영하였다. 주기적인 연구 현장 방문과 공개 발표평가 등과 같은 열린 경영 및 개방형 연구문화를 지향함으로써 연구책임자가 현장에서의 bench-work을 하는 솔선수범을 촉발시키고 우수성과, 업적평가 등을 실시하여 우수 연구자에 대해 연구비 증액지원, 다음 단계의 과제 우선 진입 등 다양한 보상시스템을

구축 운영하였다. 자생식물사업의 실무운영위원회(사업단장, 각 대과제별 간사 3인, 사무국장, 운영관리과장)가 주축이 되어 연구현장을 직접 방문하여 연구 기자재 구비 여부 확인, 최신 연구 방법 지도, 연구비 사용에 관한 지도 및 관리 등 사업국의 사무실이 아닌 실제 현장에서 모든 연구와 관련된 내용이 전달될 수 있도록 전국 방방곡곡을 누비며 현장방문을 실시하였다. 하지만 현장 방문을 제외하고는 연구책임자에게 연구만 할 수 있는 환경을 마련하기 위하여 연구자에게 일체의 행정적, 시간적 부담이 되는 행위(워크샵, 인원동원, 각종 행정 서류 작성 등)는 사업단의 부담으로 떠안아 연구자는 연구에만 전념할 수 있는 연구환경 조성을 사업단 행정의 최대 모토로 삼았다.

엄정하게 연구결과를 평가하였다. 사업단에서는 평가의 접근을 과학기술적 성과와 경제적 기여도의 측정을 기본 모토로 하고 있으며 공정성과 객관적인 평가를 위해 관련 분야 전문가로 구성된 평가위원이 과제 선정뿐만 아니라 연구의 전 과정을 계속적으로 모니터링 하도록 유도하고 최종평가에 이르게까지 하는 책임평가 제도를 확립하였으며, 1차적인 기초평가와 기술의 우수성, 독창성, 신규성 등 2차적 기술 산업적 가치까지 고려한 전방위적 평가체제로 운영하였다. 또한 이러한 평가결과는 다시 연구현장에 피드백(feedback)될 수 있도록 연구정책 및 기획 제안에도 적극적으로 활용하였다. 이런 평가를 통하여 우수 연구자에 대해서 실질적인 보상을 하였다. 연구의 특성상 기초기반, 응용연구, 실용상업화로 대별되어 단계별로 중점개발 과제를 발굴, 수행토록 하고 우수업적 및 성과를 창출한 연구자에 대해서는 지속적인 연구수행을 위해 다음 단계의 진입을 최우선적으로 고려하고 연구개발비의 차별적 대우, 다각적인 홍보 대행 등 실질적인 보상 제도를 시행하였다. 또한 필요하다면 우수 연구자에 대한 인센티브도 제공하는 Positive한 우수 연구성과 유인책과 실질적인 보상 제도를 확실히 시행하였다.

2. 에피소드

“고객은 하늘이다” 교육과학기술부 ‘고객센터’ 오픈

정혁 자생식물이용기술개발사업단장이 제안, 고객 편의 증진에 ‘기어

- 교육과학기술부가 위치한 과천 정부청사 건물 6층에 다른 부처에서 볼 수 없는 아주 특별한 곳이 생겨 화제다. 일류 호텔 라운지를 연상케 하는 편안한 소파, 깔끔한 탁자와 의자는 피로에 지친 고객에게 편안한 안식처가 마련됐다. 또 소파 주변에는 인터넷이 연결된 컴퓨터와 전화를 마련해 고객

의 편의를 돕고 있다. 이곳이 바로 교육과학기술부가 16일 과천 정부종합청사에서는 처음으로 오픈한 ‘고객쉼터’. 이 쉼터는 교육과학기술부를 자주 방문하는 정형 자생식물이용기술개발사업단장(21C 교육과학기술부 프론티어사업단)이 제안한 지 일주일 만에 전격 설치됐다. 이 쉼터는 고객의 목소리에 귀 기울이고 고객에게 불편을 주는 사항은 신속히 개선해 고객에게 감동을 주겠다는 취지에서 마련됐다. 방문자가 쉽게 찾을 수 있도록 쉼터를 장·차관실이 있는 6층 엘리베이터 우측에 잘 보이도록 배치했다. 간행물들과 홍보물이 비치된 가판대가 설치돼 있고 시원한 음료와 다과도 마련됐다. 정 사업단장은 “과천청사에는 안내동이 있지만 청사 출입절차를 처리하는 역할을 하고 있을 뿐 부처를 방문하는 고객과 직원과의 만남의 공간으로서는 한계가 있어 고객쉼터 설치를 제안했다”고 말했다. 그는 또 “업무 담당자를 만나기 위해 사무실을 찾아가면 다른 직원에게 업무방해를 줄 수도 있고 담당자가 자리에 없을 땐 목적 없이 배회하거나 안면있는 다른 직원을 찾아 해매곤 했다”며 “이제 고객쉼터에서 원하는 직원과 편하게 만날 수 있게 됐다”고 만족감을 표시했다. 한편 이날 개소식에는 오명 부총리 겸 과기부장관을 비롯해 정형 사업단장, 과학기술혁신본부장 등 교육과학기술부 관계자들이 참석했다.



〈대덕넷 최윤석 기자〉 wind@hellodd.com / 2005년 05월 16일

“범죄자 오인, 간첩 혐의까지”, ‘자생식물 연구’ 사연

이종석 서울여대 교수, “자생식물 상품화 시급”

● “진짜로 간첩인줄 알았습다.” 지금으로부터 30여 년 전, 이종석 서울여자대학교 환경생명과학부 교수를 5년간 간첩 혐의로 조사하던 형사가 사건을 종결하며 해 준 얘기다. 당시 이 교수는 제주도

한라(寒蘭)에 대한 박사논문을 위해 1년 동안 한라산의 기후와 환경 변화를 조사하던 중이었다. 그때만 해도 이에 대한 기초조사가 되어 있지 않아 그는 직접 100미터 고도마다 습도계·광도계·온도계를 설치해놓고 일주일에 2~3번씩 등반해 숫자를 기록하는 일을 진행했다. 이를 수상히 여긴 양봉업자가 그를 접선을 하러 다니는 간첩인줄 알고 신고를 하는 바람에 그의 신원조회는 물론이고 전라북도 김제의 고향집까지 5년간 철저히 감시를 당했다. 이뿐만이 아니다. 한 번은 바닷가를 돌아다니며 자생식물을 관찰하는 이 교수에게 동네 이장이 차를 대접한 적이 있는데 알고 보니 구석구석을 뒤지는 그를 범죄자로 오인, 미리 경찰서에 신고를 해두고 그를 잡아두기 위해서였다. 대학시절부터 40여년을 자생식물을 연구한 이 교수에게 경찰서에서 조사 받는 일은 양손에 꼽기도 힘들만큼 자주 일어났다. “어태 그런 삶을 살아오면서 자생식물을 연구했습니다. 지금은 말하면서 웃곤 하지만 당시에는 분위기가 간첩활동에 민감할 때라 속으로 얼마나 무서웠는지 몰라요.” 중학교 때 일찌감치 식물 연구를 필생의 업으로 정하고 이에 매달린 이 교수. 지금은 자생식물이용기술사업을 통해 한국 자생 화훼류를 개발해 상품화하는 프로젝트를 진행하고 있다. 한국 자생식물자원의 종류와 분포를 줄줄이 꿰고 있는 그이기에 가능한 과제다. 그는 “꽃 장사하는 과를 간다고 비웃는 사람들도 있었지만 다시 태어나도 또 식물연구를 할 것”이라며 “평생을 통해 확보한 식물자원을 상업화하는데 주력할 예정”이라고 강조했다.

“누가 이 손을 교수 손으로 보겠습니까? 농사꾼 손이지요. 아침 7시에 출근할 때는 깔끔한데 오전 수업 전에 식물원 한번 돌고 나면 결국 땀과 흙으로 범벅이 되어서 강의실에 들어가게 됩니다.” 여기저기 트고 햇볕에 그을린 두 손이 점연쩍은 듯 이 교수는 이내 양손을 감춘다. 이 교수는 지난 8년 간 자생 화훼류, 그 중에서도 비비추·옥잠화속(屬) 식물들의 신종 개발에 주력해 왔다. 주말이면 전국의 산야를 돌아다니며 상품화가 가능한 자생식물을 찾아 다녔고, 주중에는 발견한 식물의 번식·재배 방법을 다양한 조건에서 실험했다. 개발단계에서 중요한 것은 아름답게 변이가 일어난 식물들을 발견해 상품이 가능한 만큼 대량증식을 시키는 것. 여기서 번식방법은 물론이고 가장 아름답게 나오는 햇빛·수분 조건까지 일일이 실험한다. 가끔은 방사선 처리 등을 통해 돌연변이를 유발하기도 한다. 이를 통해 개발한 하나의 신종종이 균일한 수준으로 증식, 300여 개 정도가 확보돼 상품화 단계에 돌입되기 위해서는 대개 3~4년이 걸린다. 이 때문에 이 교수가 꼽는 가장 어려운 것은 개발 중인 식물의 유지·관리. 그는 “모처럼 발견한 아름다운 종자를 가져다 났는데 잡초에 성장이 방해 받아서는 되겠냐”며 “특히 여름철에는 풀 메는 작업이 주업무가 될 때도 있다”고 말한다. 이렇게 해서 신종종으로 특허를 출원·등록한 것은 좀비비추 ‘은하’를 포함해 총 8종. 은하는 마치 잎의 무늬가 쏟아지는 별 무리가 같아 붙여진 이름. 이밖에 ‘꿈에 그리던 노랑색’을 재현한 ‘옐로우 드림(Yellow Dream)’ 등 작명도 모두 이 교수가 직접 했다. 이 교수는 “증식·상품화까지 많은 시간이 필요한 만큼



현재는 8종만 공개했지만 자원화 할 수 있는 식물들은 많이 모아 놓았다”며 “앞으로 지속적으로 선보일 수 있도록 산업화 저변을 만들었다”고 자부했다. 꽃으로서 상품화를 위해 중요한 것은 다량 번식, 대량 생산 여부와 꽃·잎의 아름다움, 환경 적응력, 해외수출 가능 여부 등이다. 이 중 연구자인 이 교수가 자신 없는 부분은 해외수출 가능 여부 등 시장 파악. 신제품 개발은 자신 있지만 돈으로 연결시키는 부분이 어렵다는 의미다. 이 때문에 이 교수는 자비를 들여서까지 전 세계 꽃시장을 찾는다. 가장 규모가 크고 흐름을 주도하는 네덜란드·덴마크 등은 매년 방문하며 중국·미국 등도 시간을 쪼개가며 간다. 주로 보는 것은 우리나라를 비롯해 동북아시아의 자생식물들이 어떻게 활용되고 있는가. 이 교수는 “네덜란드에 가보면 우리나라 식물들이 이미 많이 상품화 되어 있다”며 “해당화·금낭화·원추리는 물론이고 심지어는 논 가장자리에 피는 까치수영이라는 잡초가 꽃꽂이용으로 팔리고 있었다”고 설명한다. 이어 그는 “미국을 일주일 종단한 결과 동북아에만 자생하는 억새가 미국에서 조경용 소재로 쓰이고 원추리·비비추 종류 수백종이 개량돼 심어져 있는 걸 보고 이미 늦었다는 생각도 들었다”며 “땅채송화·기린초 등 건조지·척박지 조경용에 적합한 들나물과 자생식물의 쓰임도 해외에서 늘어나는 추세라 이에 대한 개발도 어서 이루어져야 한다”고 덧붙인다. 그는 마지막으로 “네덜란드는 본인들의 자생식물은 별로 없지만 품종화·상품화에 앞장 서 가장 큰 꽃시장을 형성했다”며 “우리도 10년 동안 모아놓은 재료들로 상업화에 앞장서 자생화훼식물 자원 분야에서 국제적 위상을 높일 수 있도록 하겠다”고 포부를 밝혔다.

〈대덕넷 정윤하 기자〉 yhjeong@hellodd.com / 2008년 03월 26일

벌레 씹어먹으며 전 세계 누벼... 1만종 식물정보 수집

‘더사이언스’가 만난 프론티어, 정혁 단장

● “아마존 강 유역에서 생으로 벌레를 씹어 먹은 적도 있어요. 콩고에선 자동차 사고로 죽을 뻔 한 적도 있고요. 전 세계를 떠돌아다니는 게 10년째입니다. 이렇게 모은 식물의 숫자가 1만 종이 넘었습니다. 무엇보다도 바꿀 수 없는 중요한 생물정보인 셈이죠.” 한국생명공학연구원의 정혁 책임연구원은 자신이 10년 간 이끌어온 21세기 프론티어 연구개발사업단의 연구성과를 이같이 표현했다. 그가 단장으로 있는 자생식물이용기술개발사업단은 올해로 정부 지원이 끝나는 프론티어사업단 중에서도 가장 우수한 평가를 자랑한다. 3년마다 진행되는 중·장기 평가 때는 1위를 놓쳐본 적이 없다. 정 단장은 10년 간의 성과를 정리해달라는 질문을 받아 “발로 뛰는 연구개발의 중요성”을 우선 강조했다.

특히 해외생물소재사업에 눈을 기울여나갈 필요가 있다고 강조했다. 국내에 존재하는 식물은 모두 합쳐서 3000여 종, 하지만 전 세계에 퍼져 있는 식물은 모두 30만 종이 넘는다. 이런 자원을 지속적으로 수집해 나가는 게 국가 생명공학역량 발전의 기틀이 된다는 주장이다.

한국만으론 좁아, 세계로 눈 돌려야... 20여개 국가와 공동연구, 해외 센터 4개 건립 : 자생식물사업단은 국내 식물정보를 모아 그 가치를 발굴해 내는 일을 한다. 적잖은 성과 역시 올렸다. 사업단이 지금까지 기업에 이전한 기술은 총 43건. 이를 통해 107억 3100만 원의 기술료 수익을 올렸다. 이런 기술 덕분에 파생된 매출 총액을 따지면 2000억 원이 훌쩍 넘는다. 내년이면 천연식물을 이용한 신약이 실제로 시장에 발매될 예정이어서 이런 액수는 한층 늘어날 전망이다. 1056건의 국내외 논문을 발표하는 등 활발한 연구개발 성과도 자랑한다. 국내외 특허 출원, 등록숫자도 920건에 달한다. 정 단장은 특히 자생식물사업단의 가장 큰 자량은 생명과학 분야의 인프라 구축을 꼽았다. 자신들만의 연구개발 성과가 아닌, 과학계 전체를 위한 연구재료를 확보했다는 점에서 무엇보다도 바꿀 수 없는 성과를 올렸다고 자평하고 있다. 정 단장이 만든 자생식물추출은행이 처음 출범한 것은 2007년 10월. 이제는 국내 식물 연구자들은 누구나 이용하는 중요 시설이 됐다. 얻어가는 식물이 정확히 어느 위치에서 채취됐는지 등 모든 정보를 제공하므로 과학자들은 성분 연구에만 전념하면 됐다. 이런 식물 시료를 연구용으로 얻어가는 사람도 점점 늘어나고 있다. 사업단이 시료 1점을 택배로 제공하고 받는 돈은 단돈 5000원. 이 돈으로 이미 15억 원의 매출을 올렸다. 국내 자생식물의 가치를 발굴하기 위해 세운 사업단이지만 이제는 전 세계 식물을 모두 수집하며 역량을 키워 나가고 있다. 사업이 종료되면 이런 인프라는 모두 정 단장이 속해 있는 한국생명공학연구원에 귀속돼 지속적으로 역량을 늘려 나갈 전망이다. 정 단장이 운영 중인 ‘식물추출은행’은 국내 식물 2000여 종, 해외 식물 1만여 종을 모으고 있다. 사업단은 아프리카를 비롯해 중국, 코스타리카 등에 현지 센터를 세우고 식물 다양성 확보를 위해 노력하고 있다. “한 번은 해외 식물정보를 채집하러 아프리카 아마존 강 유역으로 간 적이 있어요. 현지인들이 자신들이 먹는 음식을 대접하겠다고 정체를 알 수 없는, 꿈틀대는 벌레를 가져오는 거예요. 이들과 교류해야 현지 생물자원을 무사히 가져갈 수 있는 상황이니 호의를 거절하기 어렵더군요. 어쩔 수없이 그대로 받아먹었죠.” 이런 노력 끝에 얻어낸 성과 중 가장 자랑할 만한 것은 역시 천연물질을 이용한 신약 개발 사업. 실제로 2종류의 신약이 곧 시장에 나올 예정이다. 동아제약에 제공한 천연물질이 바탕이 돼 기존 성분과는 판이하게 다른 신개념 위장약이 내년 출시될 예정이다. 이 밖에 동화약품과 공동연구를 통해 신장염 치료제 등을 개발 중이다. 현재 임상 3상 단계에 와 있는 만큼 조만간 신제품 출시도 가능하리라 보고 있다. 이런 약이 상용화 되면 1000억 원 이상의 매출이 추가로 발생하게 된다.

프론티어 사업 10년의 성과는 자생적 연구문화 만든 것 : 정 단장은 프론티어사업의 성과를 “과학자

스스로 사업을 운영하며 자립적으로 연구개발 사업을 운영할 수 있는 국내 첫 사례가 이제야 결실을 본 것”이라고 소개했다. 지금까지 국가연구개발이라면 연구비를 집행한 정부기관의 관여가 반드시 있기 마련이다. 해마다 평가를 진행하고, 그 결과를 통해 다음 해 예산집행을 결정짓는 정부회계 운영의 특징 때문이다. 프론티어사업단도 초창기에는 해마다 연구개발 평가를 한다고 했다. 정 단장은 “이런 체제에서 과학자에게 단장을 맡기고, 연구비 역시 과학자 손으로 일괄 진행하는 체제를 도입해 10년을 장기 지원한 사례는 찾아보기 어려웠던 것”이라며 “프론티어 사업단이 지속적인 성과를 내자 지금은 농림부, 지경부 등 정부 각 부처에서도 동일한 연구개발 형태를 많이 채용하는 것 같다”고 말했다. 정 단장은 프론티어 사업이 종료되더라도 아직 할 일이 많다. 정 단장은 자신이 특기로 연구해 오던 씨 감자 개량 연구사업, 자생식물이용기술개발사업단과 별도 예산으로 추진되던 ‘해외 생물소재 사업’ 등을 계속해서 진행할 예정이다. 이미 20개 국가와 공동연구를 진행 중이다. 중남미, 코스타리카, 인도네시아, 중국 등에 해외 연구개발센터도 건립했고, 올해는 아프리카(콩고)로 진출할 계획이다. 전 세계에 퍼져 있는 식물자원은 30만여 종 이상. 이 중 10만 종 이상을 확보해 국가 자원으로 만드는 것이 정 단장의 목표다. 정 단장은 “자생식물사업단은 끝이 나지만 지금까지 모아온 수많은 인프라는 모두 국가 생명공학연구를 위해 쓰이게 된다”며 “앞으로도 천연식약 및 기능성 식품개발을 위해 계속 노력할 예정”이라고 말했다.

<동아사이언스 전승민 기자> enhanced@donga.com / 2010. 4. 28

[부록]

1. 자생식물이용기술개발사업 세부과제 현황⁹⁾

가. 1단계(2000. 9 ~ 2003. 6)

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
자생식물 수집·분류 및 재배 품종화	유망 자생화훼 및 관상수목의 개발과 상업화 연구	서울여자대학교(이종석)
	유전자 분석기술에 의한 첨단 식물분류기술 개발	서울대학교(서영배)
	국내의 수집종 마의 기내 대량증식체계 개발과 저비용, 고효율 무병 우량 중우 대량생산	동양물산기업(주)(남상일)
	한국 자생식물의 염색체 D/B 구축	충남대학교(방재욱)
	자생 왕포아풀(Poa pratensis L.)의 수집, 품종육성 및 상업화에 관한 연구	단국대학교(안병준)
	뇌신경조절물질로 중요한 자원식물인 Hypericum의 계통과 분류	영남대학교(박선주)
	야생화 및 멸종위기 식물의 종자은행 사업	동부한농화학(주)(조규원)
	한반도 종합식물지	서울대학교(박종욱)
	자생식물로부터 동맥경화질환용 식품의약 개발	한국생명공학연구원(김영국)
	국가 자생식물유래 한약재로부터의 신경보호효과 식의약품 개발에 관한 연구	경희대학교(김호철)
천연물 의약 및 기능성 식품의약 개발	향산화성 뇌신경보호용 식품의약 개발	한국과학기술연구원(진창배)
	한국 자생식물로부터 난치성 염증치료제 개발	영남대학교(장현욱)
	유효 Prosapogenin 함유 생약의 관절염에 대한 효과 및 그 기전	상지대학교(박희준)
	자생식물을 이용한 간경화질환용 식품의약 개발	원광대학교(손동환)
	암 질환용 식품의약 개발	한국생명공학연구원(권병목)
	식물자원을 이용한 비노기 질환 치료제 개발	(주)메드빌(홍은경)
	자생식물을 이용한 향장품(미백, 향, 색소)개발	영남대학교(이승호)
	자생식물을 이용한 환경 친화형 천연식물 보호제 개발	한국화학연구원(김진석)
	자생식물을 이용한 환경친화형 천연농약 개발	한국생명공학연구원(김성욱)
	배양세포 고발현 시스템을 이용한 인체락토페린 고품유 두릅나무과 약용 식물 배양세포 대량생산	한국생명공학연구원(이행순)
자생식물의 활성 물질 탐색을 위한 초고속, 고효율 차세대 HTS 기술 개발	(주)유니젠(우성식)	

9) 작성기준 : 사업단과 직접 협약 과제

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
	자생오갈피의 품종별 성분 및 효능 비교에 의한 식품의약 개발	한국생명공학연구원(이정준)
	자생식물로부터 성장호르몬 유발 활용 연구	한국한의학연구원(김정숙)
	항암제 개발을 위한 한국자생식물에서의 DNA strand-scission 활성 성분의 분리 연구	이화여자대학교(서은경)
	운동능력 향상과 스트레스 개선을 위한 식품 신소재 개발	(주)STC나라(황금희)
	선정된 국화와 식용 자생식물로부터 혈압조절 관련 기능성식품 소재 개발	충남대학교(송경빈)
	한국산 겨우살이를 이용한 항암, 면역기능증진, 성인병예방 및 치료에 유용한 선도물질의 탐색 및 개발	한동대학교(김종배)
	자생식물로부터 노화억제 식품의약 개발	부경대학교(최재수)
	국내 자생식물의 표준 추출물은행 구축	한국생명공학연구원(이형규)
	인삼의 구조, 기능 유전체 및 프로테오믹스 연구	(주)바이오피아(양덕춘)
	유용 2차 대사산물 생합성 유전자 대량 발굴 및 고부가가치형질전환 약용식품 개발 연구	서울대학교(김수연)
	유용유전자 확보에 의한 고부가가치 tropane alkaloid 생합성 약용식물의 개발	경상대학교(윤대진)
	형질전환 물을 이용한 가축 경구백신 기술 연구	전북대학교(장용석)
	식물의 성장조절과 신호전달 네트워크 연구를 통한 신기능성 식물체개발	연세대학교(김우택)
식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용	cDNA microarray를 사용한 고추열매의 후속과정에서 발생하는 유전자 발현 분석	경상대학교(홍종찬)
	개화유도 조절 유전자의 클로닝 및 응용	서울대학교(이일하)
	ABC 수송체 유전자군의 발굴 및 기능 분석	연세대학교(조면행)
	갯의 증금속 비독성화 유전자의 분리 및 환경정화용 형질전환 식물의 개발	세종대학교(황성빈)
	TMV 감염 유도 전사조절유전자를 이용한 복합내병성 작물개발	(주)농우바이오(한지하)
	식물 종자 지방산 대사에 관한 유전체 확보 및 비교분석 체계의 발달 중자를 이용한 EST	고려대학교(서미정)
	고구마 괴근의 비대 초기 발현 유전자군 발굴 및 분석	고려대학교(배정영)
	고추의 전 Genome 유전자 발굴을 위한 Gene Tagging System개발	경상대학교(이성호)
	자생식물 유전자 D/B구축 및 유전정보 처리기술개발	한국생명공학연구원(최도일)
	단위	자생식물공통 정보제공 및 2단계 연구방향설정을 위한 정책기획 연구

나. 2단계 (2003. 7 ~ 2006. 3)

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
자생식물 수집,분류 및 재배 품종화	상록지피용기린초신품종육성	건국대학교(한인송)
	자생왕포아풀(Poa pratensis L.)의 수집, 품종육성 및 상업화	단국대학교(안병준)
	자생붓꽃속 식물의 수집 및 품종 육성	대구카톨릭대학교(고재철)
	조경용 초본 지피식물 개발에 관한 연구	서울대학교(김기선)
	한국 자생식물의 화훼화와 Hosta속 식물의 신품종 개발	서울여자대학교(이종석)
	우리나라 자생식물 산딸나무, 개나리, 개느삼의 신품종 육성	성균관대학교(심경구)
	자생식물을 이용한 염료식품 개발 및 산업화	원광대학교(박윤점)
	조직배양기술을 이용한 마 무병종우의 산업적 대량생산과 마 추출물을 이용한 생리활성물질의 탐색	(주)동양물산기업연구소 (남상일)
	야생화 및 멸종위기식물 종자은행 사업	한국생명공학연구원(이중구)
	한반도 자생식물 활용을 위한 남·북 공동연구	한국생명공학연구원(정혁)
천연물 의약 및 기능성 식품의약 개발	자생 식물 유래 혈관염 치료 식품의약의 개발	원광대학교(이호섭)
	동맥경화 질환용 식품의약 개발	한국생명공학연구원(김영국)
	자생식물로부터 부정맥에 유용한 식품의약 개발	우석대학교(은재순)
	국가자생식물로부터 신경보호 식의약품 개발에 관한 연구	경희대학교(김초철)
	항산화성 뇌신경보호용 식품의약 개발	한국과학기술연구원(진창배)
	인지기능개선을 위한 식품의약의 최적화 및 산업화연구	한국화학연구원(유시용)
	사포닌을 함유하는 생약으로부터 관절염 치료제의 개발	상지대학교(박희준)
	한국자생식물로부터 만성질환 치료용 식의약품개발	영남대학교(장현욱)
	자생식물을 이용한 간경화질환용 식품의약 개발	원광대학교(손동환)
	식물유래 간보호 및 간섬유화 억제 식품의약품 개발	(주)생명의나무연구소(나천수)
단행에서 복제단백질 Mcm의 과발현 조절에 의한 암증식 억제 물질의 개발	동의대학교(김병우)	
발암 및 암전이 억제 식품의약 개발	아주대학교(이재호)	
자생식물로부터 혈관신생억제 및 암세포사멸유도를 통한 항암 활성 식품의약 개발	한국과학기술연구원(양현욱)	
감초 추출 성분의 암전이 억제 효능 구명 및 전임상 연구	전남대학교(정영도)	
국내 자생식물로부터 항전이 및 종양형성억제 식품의약 개발	조선대학교(우은란)	
암 질환용 식품의약 및 항암활성 물질 개발	한국생명공학연구원(권병목)	
신경안정(tranquillizing) 효과를 갖는 식품의약품의 개발	경희대학교(김선어)	



구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
천연물 의약 및 기능성 식품의약 개발	자생오가피를 이용한 성기능 장애 및 간질환용 식품의약 개발	한국생명공학연구원(이정준)
	항노화 효과가 있는 식품의약 개발	부경대학교(최재수)
	토종약초로부터 당뇨치료용 식품의약 개발	경희대학교(정성현)
	비만 관련 대사성 질환용 식품의약 개발	(주)티지바이오텍 연구소 (허태린)
	자생식물유래 성인형 당뇨 및 비만의 예방과 치료 식품의약소재 개발	한국생명공학연구원(오원근)
	부인성 질환 예방 및 치료제 개발을 위한 자궁경부암 바이러스 감염억제 물질의 이용	한국생명공학연구원(윤도영)
	운동능력 향상을 위한 식품의약 개발	국민대학교(김영균)
	자생식물로 성장호르몬 유발 활용연구(2)	한국한의학연구원(최환수)
	해조류 유래 신규 향장품 및 피부의약품 소재개발	서울대학교(신중헌)
	자생식물을 이용한 환경친화형 천연농약 개발	서울대학교(안용준)
	미백기능성 물질의 탐색, 생체효능연구 및 산업화	영남대학교(이승호)
	HTP를 이용한 효율적인 약용 및 기능성 천연신소재의 개발	(주)유니젠부설연구소(우성식)
	미백기능성 물질의 탐색, 생체효능연구 및 산업화	한국생명공학연구원(이중환)
	자생식물을 이용한 환경친화형 살균제 개발	한국화학연구원(김진철)
식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용	면역증진제 개발	경희대학교(김형민)
	새로운 스크리닝 방법을 이용하여 자생식물로부터 세포생존을 개선시키는 허혈성질환 치료 식품의약의 개발	대구카톨릭대학교(이종원)
	식물추출물은행 구축	한국생명공학연구원(이형규)
	인삼 이차대사의 기능 유전체 연구	유진텍(주)부설연구소(고석민)
	기능성 식물 스테롤의 대사공학	서울대학교(최성화)
	Phenylpropanoid 대사관련 유용유전자 대량발굴 및 신기능성 형질전환 식물개발	한국생명공학연구원(전재홍)
	동물질병 방어를 위한 형질전환 식물 개발	전북대학교(장용석)
	인체질병 백신용 형질전환식물 개발	한국생명공학연구원(김현순)
	세포사멸 신호전달 경로해석 및 유용유전자 발굴	경상대학교(윤대진)
	식물 칼슘신호전달 관련 유전자들의 기능 분석	경상대학교(정우식)
	개화조절 유전자의 클로닝 및 응용	서울대학교(이일하)
	식물의 생장·발달 조절유전자의 분리 및 기능분석	연세대학교(김우택)
	신호전달 조절유전자군의 발굴 및 기능네트워크 연구	명지대학교(배현숙)

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용	야생 토마토에서 유래된 Protein Kinase들을 이용한 인산화 단백질 네트워크 연구	고려대학교(김영진)
	세포막 신호전달 연구를 통한 식물기능 재설계	포항공과대학교(류병태)
	잎기관의 형태형성에 관한 분자발생유전학적 연구	동아대학교(김경태)
	RNA 결합단백질의 기능조사	명지대학교(최상봉)
	뿌리표피세포운명결정에 관여하는 여러 유전자들의 상호작용에 관한 연구	연세대학교(이명민)
	뿌리털 형태발생의 조절	충남대학교(조형택)
	사이토키닌 특이적인 식물 수명 조절유전자 발굴 및 기능 규명	포항공과대학교(황일두)
	PIF3 suppressor 분석을 통한 PIF3 genetic network 규명	한국과학기술원(최길주)
	Turnip crinkle virus 특이 저항성 유전자(HRT)의 병저항성 기작 연구	한국생명공학연구원(박정미)
	조류(algae) 바이러스로부터 미세조류 형질전환 벡터용 프로모토와 유용 유전자의 탐색	부경대학교(최태진)
유용단백질 생산 두릅나무과(인삼, 가시오갈피, 두릅) 약용식물 배양체의 대량생산 및 제품화 연구	(주)마이크로프랜츠부설연구소 (김재훈)	
자생식물 유전체 기능 연구를 위한 정보기지 구축 및 운용	한국생명공학연구원(최도일)	

다. 3단계 (2006. 4 ~ 2010. 3)

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
자생식물 수집·분류 및 재배 품종화	유망 자생화훼 및 관상수목의 개발과 상업화 연구	서울여자대학교(이종석)
	조경용 및 분화용 초본식물 개발과 상업화에 관한 연구	서울대학교(김기선)
	자생왕포아풀(Poa pratensis L.)의 수집, 품종육성 및 상업화	단국대학교(안병준)
	마 무병종우 대량생산 및 보급체계 확립과 동근마 유용성분을 이용한 제품화 연구	동양물산기업 중앙기술연구소 (박주현)
천연물 의약 및 기능성 식품의약 개발	야생화 및 멸종위기식물 종자은행 사업	한국생명공학연구원(이중구)
	HTP방법에 의해 도출된 천연신소재(천연물의약/식품의약)의 개발 및 상업화	(주)유니젠 생명과학연구소 (김동선)
	자생식물을 이용한 간경화질환용 식품의약 개발	원광대학교(손동환)
	국가 자생식물로부터 신경보호 식의약품 개발에 관한 연구	경희대학교(김호철)
	자생오갈피를 이용한 성기능개선, 간기능보호 식품의약 개발 연구	한국생명공학연구원(이정준)
	5-HT 수용체 타겟의 천연물 유래 기능성 위장질환치료제(DA-9701) 개발	(주)동아제약연구소(손미원)



구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
천연물 의약 및 기능성 식품의약 개발	자생식물유래 성인형 당뇨 및 비만의 예방과 치료 식품의약소재 개발	조선대학교(오원근)
	자생식물 유래 항장 미백물질의 기능 및 제품화 연구	건국대학교(이충환)
	복합 천연물 간염 치료제 개발	한국생명공학연구원(이영익)
	천연 미백기능성 물질의 개발 및 상업화	영남대학교(이승호)
	신장염 예방 및 치료를 위한 천연물 복합 신약 개발	(주)동화약품 중앙연구소 (임문정)
	자생식물(Chaenomeles sinensis)로부터 선천성 면역 활성 기능을 갖는 소재 개발 및 제품화	(주)바이로메드부설연구소 (김선희)
	TG1022를 이용한 비만 억제 기능성 식품개발	(주)티지바이오텍연구소 (허태린)
	암 질환용 식품의약 및 천연물 의약품 개발	한국생명공학연구원(권병욱)
	IH-901을 주성분으로 한 항당뇨 천연물신약 개발	경희대학교(정성현)
	인지기능개선 건강기능식품의 산업화 연구	한국화학연구원(김영섭)
식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용	항산화성 뇌신경보호용 식품의약 개발	한국과학기술연구원(진창배)
	고지혈증 개선 천연물의약 개발	한국생명공학연구원(김영국)
	해조류 유래 신규 항장품 및 피부의약품 소재 개발	서울대학교(신종헌)
	자생식물을 이용한 환경친화형 생화학살균제 개발	한국화학연구원(김진철)
	세포자살을 억제하는 자생식물 추출물로부터 노인성 질환용 식품의약의 개발	대구가톨릭대학교(이중원)
	약용식물소재의 미생물 대사에 의한 신규 유용물질 개발	경희대학교(양덕춘)
	자생 식물 유래 죽상경화증 치료 식품의약의 개발	원광대학교(이호섭)
	자생식물유래 천연 biocide 개발	서울대학교(안용준)
	자생식물 유래 성기능 개선 건강기능식품개발 및 천연물 신약 개발	(주)생명의나무(김진범)
	복제단백질 발현 조절 물질을 이용한 항암식품의약 개발	동의대학교(김병우)
식품추출물은행 구축	한국생명공학연구원(이형규)	
식물의 생장·발달 조절유전자의 분리 및 기능분석	연세대학교(김우택)	
신호전달 조절유전자군의 발굴 및 기능 네트워크 연구	연세대학교(배현숙)	
저온신호전달 구성성분 유전자 발굴 및 기능연구와 cross-talk 규명	전남대학교(김정목)	
파이토크롬에 의한 식물 광 신호전달 네트워크 연구	전남대학교(김정일)	
광신호전달 유전자 PIF3와 PIL5의 상하위 유전자 규명	한국과학기술원(최길주)	
식물세포사멸 신호전달 경로해석 및 유용유전자 발굴	경상대학교(윤대진)	
식물 칼슘 신호 전달 관련 유전자들의 기능분석	경상대학교(정우식)	

구분	과제명	주관연구기관 (연구책임자)
식물성분 생합성 관련 유용 유전자 발굴 및 활용	식물 생장 촉진 gulliver1, gulliver3, gulliver4 유전자 연구	서울대학교(최성화)
	Jumonji 유전자군의 기능규명	서울대학교(노유선)
	Brassinosteroids 생합성 관련 유전자의 탐색 및 활용을 위한 연구	중앙대학교(김성기)
	사이토키닌 신호 특이성을 결정하는 Modified Cytokinin Response (MCR)1, 2, 3과 CK1의 기능 규명	포항공과대학교(황일두)
	세포막 신호전달 연구를 통한 식물 복합내성 및 생육기능 재설계	한국생명공학연구원(유병태)
	노인성 치매질환의 예방 및 치료를 위한 백신용 형질전환 식물개발	한국생명공학연구원(김현순)
	Turnip Crinkle Virus 저항성 특이 세포 사멸 관련 기능 유전자 연구	한국생명공학연구원(박정미)
	Molecular farming을 위한 새로운 형질전환 vector의 개발	한국생명공학연구원(문제선)
자생식물 유전자 DB구축 운용 및 생물정보학 기술개발	서울대학교(최도일)	

2. 국내외 수상 현황

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
김우택	연세대학교	최우수학술논문상	한국식물학회	2000. 10. 17
유규근	자생사업단	국민장-홍조근정훈장	과학기술부	2001. 04
방재욱	충남대학교	한국약용작물학회장 선임	한국약용작물학회	2001. 05. 18
정 혁	자생사업단	과학기술 진보장(훈장)	과학기술부	2002. 04. 20
배현숙	한국생명공학 연구원	논문 발표 : FEBS Letters 2001년 5월 호에 cover story로 발표	FEBS Letters	2001. 05. 25
방재욱	충남대학교	제2회 아시아염색체학회 조직위원장 선임	아시아염색체학회	2001. 09. 26
오태광	한국생명공학 연구원	미생물유전체활용기술개발사업단장 선임	과학기술부	2002. 05. 19
조무제	경상대학교	제7대 경상대학교 총장	경상대학교	2003
이종석	서울여자대학교	원예학 학술공적상	한국원예학회	2003. 10. 31
이종석	서울여자대학교	농업과학기술상	한국원예학회	2003. 11. 12
김정숙	한국한의학 연구원	제6대 식품의약품안전청 청장	보건복지부	2004~ 2006. 01
이한철	자생사업단	과학기술부장관상	과학기술부	2004. 04. 20



수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
조형택	충남대학교	Physiologia Plantarum의 Editor 선임(3년간): 실험식물과학 분야의 국제 학술지	Scandinavian Society for Plant Physiology/Blackwell Publisher	2004. 06
김우택	연세대학교	최우수 poster상 수상	분자세포생물학회	2004. 10. 14
방재욱	충남대학교	충남대학교 산학협력단장 취임	충남대학교 산학협력단장	2005. 03. 23
김우택	연세대학교	2005년도 연세대학교 우수업적 교수 선정	연세대학교	2005. 05. 14
김우택	연세대학교	한국과학기술단체총연합회 주최 제 15회 과학기술우수논문상 선정	한국과학기술단체 총연합회	2005. 05. 19
배현숙	연세대학교	Plant Cell 논문 게재 : 한국을 빛낸 사람들 선정	포항공과대학교	2006. 05
김기선	서울대학교	2006 국제원예학회 사무총장 선임	국제원예학회	2006. 05
최성화	서울대학교	우수논문상	경희대학교(수원)	2007. 02
우성식	(주)유니젠	2006년 대표적 우수연구성과 50선	한국과학재단	2006. 09. 26
방재욱	충남대학교	2006 '일류기업&인물' 선정에서 '미래혁신산업 경영대상' 수상	헤럴드경제신문	2006. 12. 21
노성환	(주)장생도라지	경남요리경연대회 주류부분 최우수상	보건복지부	2007. 05
노성환	(주)장생도라지	기술혁신형 중소기업 산학기술대전 최우수상	중소기업청	2007. 05
김정일	전남대학교	학술진보상	한국광과학회	2007. 06
배현숙	연세대학교	2007년 대표적 우수연구성과 50선	한국과학재단	2007. 08
김기선	서울대학교	국제원예학대회 및 국제원예전시회 조직위원장	한국원예학회	2007. 08
배현숙	연세대학교	여성과학자상	한국식물학회	2007. 08
최성화	서울대학교	우수논문상	한국식물학회	2007. 08
배현숙	연세대학교	2007년 여성과학자상	한국식물학회	2007. 09
이종원	대구가톨릭대학교	한국영양학회 40주년기념 국제학술대회 포스터상	한국영양학회	2007. 11
양덕춘	경희대학교	포스터 발표상	한국약용작물학회	2007. 11
방재욱	충남대학교	전국대학 산학협력단장 협의회 부회장 선임	전국대학 산학협력 단장 협의회	2007. 12
노성환	(주)장생도라지	진주시 최고경영자상	진주시	2007. 12

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
이호섭	원광대학교	우수 포스터상	한국생약학회	2007. 12
이종석	서울여자대학교	30대 학회장 선임	한국원예학회	2007. 06. 02
이영익	한국생명공학연구원	제 1회 다국적기업 MERK-KRIBB상	한국생명공학연구원	2008. 02. 01
김병우	동의대학교	RIC센터 유치 (지식경제부 지역혁신센터)	지식경제부	2008. 12
김성욱	한국생명공학연구원	덕산학술상	(사)한국미생물 생명공학회	2008. 06. 27
최길주	한국과학기술원	한국분자세포생물학회 - '제5회 마크로젠 신진과학자상'	(주)마크로젠	2008. 10. 07
권병목	한국생명공학연구원	Cancer Research에 표지논문으로 발표된 논문이 Faculty of 1000에서 우수논문으로 선정	Cancer Reach	2009. 01. 01
김진철	한국화학연구원	우수 포스터상	한국식물병리학회	2009. 04. 24
김진철	한국화학연구원	2009년 젊은 식물병리학자상	한국식물병리학회	2009. 04. 24
김진철	한국화학연구원	우수 포스터상	한국식물병리학회	2009. 04. 24
김진철	한국화학연구원	우수 포스터상	대한약학회	2009. 05. 08
김우택	연세대학교	2009 연세학술상 (2009년도 연세대학교 최우수 연구상)	연세대학교	2009. 05. 09
손동환	원광대학교	교육업적상	원광대학교	2009. 05. 15
김기선	서울대학교	한국원예학회 화훼분과 부회장 선임	한국원예학회	2009. 06
배현숙	연세대학교	한국 로레알-유네스코 여성생명과학진흥상 수상	로레알-유네스코	2009. 06. 18
배현숙	연세대학교	한국식물학회 학술상 : 학술발전상 수상	한국식물학회	2009. 08. 21
윤대진	경상대학교	최우수 논문상	한국식물학회	2009. 08. 21
정우식	경상대학교	우수 포스터상	한국분자세포 생물학회	2009. 10. 15
김민우	자생사업단	프론티어협의회 회장상	프론티어협의회	2009. 11. 02
고기성	원광대학교	우수 포스터상	한국당과학회	2009. 11. 14
손미원	(주)동아제약 연구소	한국생약학회 학술상	한국생약학회	2009. 12. 02
신종현	서울대학교	남강학술상-최우수신진연구자	한국생약학회	2009. 12. 02
이형규	한국생명공학연구원	한국생약학회 회장 선임	한국생약학회	2009. 12. 03



[자생식물이용기술개발사업단 운영위원회]

구분	성명	소속 및 직위
위촉직	김원배	동아제약 연구소 사장
	이병훈	(주)유니베라 대표이사
	최양도	작물유전체기능연구사업단 단장
	박영인	고려대학교 교수
	한태룡	경희대학교 교수
	오우택	서울대학교 교수
	성낙술	금산국제인삼약초연구센터 센터장
	최용경	한국생명공학연구원 선임연구본부장
당연직	박항식	교육과학기술부 기초연구정책관
	송지용	프론티어연구성과지원센터 센터장
	정 희	자생식물이용기술개발사업단 단장



03

Plant Diversity Research Center

04

Resource Recycling R&D Center

자원재활용기술개발사업단

한눈으로 보는 자원재활용기술개발사업단의 10년 · 356

01 사업단 10년사

1. 설립배경 · 358 2. 사업추진체계 · 362 3. 사업추진현황 · 368 4. 사업 및 성과관리 · 371

02 폐기물 제로화를 꿈꾸다

1. 사업목표 · 380 2. 연구분야 및 개발내용 · 386

03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론 · 389 2. 대표적 성공사례 · 392 3. 정량적 연구성과 · 403 4. 정성적 연구성과 · 403
5. 기타 연구성과 · 406 6. 연구성과의 홍보 · 418

04 남기고 싶은 이야기

1. 사업단 회고 · 424 2. 에피소드 · 425

[부록]

1. 세부과제 현황 · 428 2. 국내외 수상 현황 · 433





2000. 10

현판식 개최



2002. 11

제3회 재활용 워크샵 개최



2004. 3

일본 산업기술종합연구소(AIST)
공동연구 MOU 체결



2005. 11

상설 재활용 홍보관 개관식



2009. 7

과천시 혼합폐플라스틱 종합 시범화 사업



2010. 4

영흥화력 인공경량골재설비 착공식

History

자원재활용기술개발사업단

- 2000. 04 사업단장 선정
- 2000. 07 1단계(2000.7~2003.6) 사업개시
- 2000. 10 현판식 개최
- 2001. 06 뉴스레터 'RECYCLE 21' 창간
- 2003. 07 2단계(2003.7~2006.3) 사업개시
- 2005. 03 사업단 명칭변경(산업폐기물재활용기술개발사업단 → 자원재활용기술개발사업단)
- 2005. 11 상설 재활용 홍보관 개관
- 2006. 04 3단계(2006.4~2010.3) 사업개시
- 2007. 11 국제재활용심포지엄(ISRR 2007) 개최
- 2010. 03 연구사업 종료



한눈으로 보는 자원재활용기술개발사업단의 10년

1. 추진배경

- 지속가능한 개발을 위한 자원순환형 사회구축 요구 증대
- 폐기물과 자원을 동일시함으로써 환경오염과 자원고갈을 동시 해결

환경·경제
상생 인프라

환경 신산업
(자원순환) 창출

- 국제 환경규제 강화와 무역과의 연계에 대응 산업경쟁력 확보
- 친환경적 재활용으로 청정사회를 건설하여 삶의 질 향상

2. 사업목표

자원순환형 사회구축을 위해 폐기물로부터 경제성 있는 원료물질과 에너지로의 자원화·재활용 기술개발

- 가연성 폐기물의 고부가 원료화 기술 및 대량처리기술 개발
- 무기계 폐기물 중 고가물질의 경제적 회수 및 자원화 기술 개발

1단계 (3년)
('00 - '03)

- 자원화 재활용을 위한 기반조성
- 재활용 요소기술 확립 및 회수기술 실용화 기반 구축

2단계 (3년)
('03 - '06)

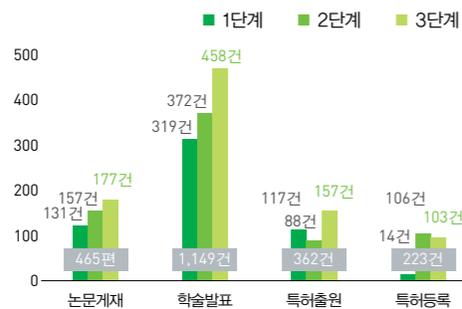
- 재활용 실증 기술 확립
- 공정기술 확보 및 폐기물 재활용 기술 실증

3단계 (4년)
('06 - '10)

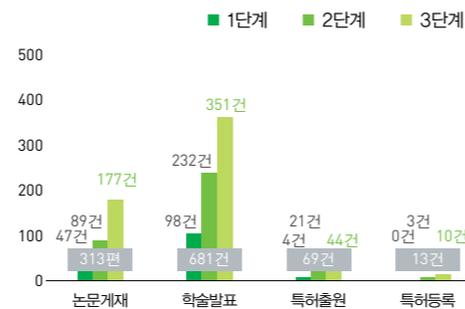
- 재활용률 70% 제고를 위한 기술표준화
- 기술의 표준화, 완성 및 고부가화 기술 보급

3. 연구성과

국내 연구성과



국외 연구성과



재활용제품 매출 발생



이산화탄소 저감



매출액
1,019억 원 발생

904만 CO₂톤/년 저감

4. 성과분석



5. 기술별 기술수준

기술명	최고보유국	기술수준 향상도	
		2000년(%)	2010년(%)
• 혼합 플라스틱 재질선별 기술	노르웨이, 독일, 미국	(20%)	(95%)
• 유기계 폐기물 원료화 기술	일본	(40%)	(85%)
• 친환경 습건식 제련 기술	호주, 일본	(40%)	(90%)
• 폐자동차 해체설비 기술	독일, 프랑스, 오스트리아	(20%)	(100%)
• 혼합폐산으로부터 고순도 인산 회수	일본	(30%)	(95%)
• 예코 소재화 기술	독일	(40%)	(90%)
• 탄산화를 통한 중금속 안정화 기술	독일, 네덜란드, 미국	(30%)	(100%)

<출처> 녹색성장과 자원순환기술, 한국공학한림원(2009)

01 사업단 10년사

1. 설립배경

폐기물은 발생량이 막대할 뿐만 아니라 그 종류와 특성이 광범위하고 다양하며 처리 및 활용방안도 다양하다. 또한 산업적으로 재활용 가치가 크고 환경적인 측면에서 당위성이 높은 폐기물을 대상으로 자원화 또는 재활용하여 환경보전과 자원확보를 동시에 만족시킬 수 있다. 따라서 국가적으로 시급히 해결해야 하는 당위성이 큰 재활용 사업을 추진함으로써 이 분야에서 선도적인 역할을 하며 과거 산발적으로 추진되던 연구개발을 경제성 있는 기술확립 추진체계로 개선하여 실용화하는 것이다.

21세기에서는 폐기물 자원화기술의 역할은 국가적으로 새로운 국부를 창출할 수 있는 기술이며, 사회적으로 환경을 보전하는 기술로써 지속가능한 발전의 핵심이 된다. 이와 같은 시점에서 21세기 프론티어 연구사업에서 폐기물을 자원화하는 기술개발 사업은 매우 시기 적절한 국가의 대형 주요 사업이었다. 자원순환 기술개발사업은 자원 부족 문제를 해결하고 나아가 해외 기술수출 및 고용창출의 효과도 기대할 수 있다.

가. 기술적 측면

21세기에는 전 지구적 차원에서 지속 가능한 폐기물 재활용 방안의 실천이 강화되며, 폐기물과 자원을 동일시하는 인식전환이 확산됨에 따라 환경문제와 자원문제를 동시에 해결할 수 있는 폐기물의 자원화 및 재활용 기술개발이 요구되었다.

재활용 산업은 산업적인 측면에서 전 세계적 무한경쟁에 대응하여 우리 산업계의 경쟁력을 지속적으로 확보할 수 있다. 천연자원의 고갈로 인한 원재료비의 상승, 산업활동에 수반되는 과도한 에너지 소비 및 오염물질 배출증가 등은 우리 산업의 경쟁력을 약화시키는 주된 원인으로 작용하고 있기 때문에 자원절약 및 환경비용 지출저감을 통한 산업경쟁력 강화를 위해 고도의 폐기물 자원화 기술개발이 필요하였다.

또한 기술개발의 순환주기도 단축되어 개발로부터 실용화까지의 격차가 급격히 단축되고 국가 경쟁력의 핵심이 되는 새로운 기술·경제 패러다임이 등장하고 있었다. 이러한 패러다임에 맞추어 폐기물을 자원화하는 zero-discharge 개념이 도입되고 있으며 획기적 순환자원 기술혁신이 미래 기술 발전을 선도할 것으로 예측되었다.

국내의 경우에도 각종 산업 및 생활폐기물의 양이 증대하면서 이의 처리방안에 대한 관심이 증대되고

있었으며, 이에 따라 활용 가능한 폐기물의 재활용에 대한 기술개발이 추진되어 어느 정도 연구기반을 구축하였다. 그러나 폐기물의 단순 처리개념보다는 전 과정 평가에 근거한 환경친화적·에너지 절약형 자원재활용 기술개발은 초보적 단계에 있었다. 따라서 폐기물을 활용하여 경제적으로 유용한 원료 물질 및 에너지로 자원화·재활용하는 원천기술의 개발 및 실용화를 시급히 추진하였다.

따라서 21세기 프론티어 연구개발사업으로 추진된 자원재활용기술개발사업은 산업적으로 재활용 가치가 크고 환경적인 측면에서 당위성이 높은 폐기물을 대상으로 자원화 또는 재활용하는 자원순환 원천기술개발을 목표로 하였으며, 환경보전과 자원확보로 기술수출과 고용창출의 효과를 기대할 수 있었다.

나. 경제·산업적 측면

금속은 산업 전반에 걸쳐 없어서는 안될 기초소재로써 중요한 위치를 점하고 있으며, 산업발달에 따라 그 수요량이 폭발적으로 증가하고 있었다. 이는 광물자원의 고갈로 금속자원의 수급 불균형을 예고하고 있으며, 산업의 지속적인 발달을 위한 금속자원의 안정적인 확보가 커다란 문제로 대두되었다. 국내의 경우 금속자원의 재활용, 즉, 제조공정에서 발생하는 산업폐기물 또는 사용 후 버려지는 생활 폐기물로부터 금속을 회수하여 자원화를 할 경우, 금속자체 가치만으로도 2,000억 원 이상이 된다. 더욱이 폐기물과 같은 2차 자원으로부터 금속을 회수할 경우, 천연광물자원을 처리하여 얻는데 소요되는 에너지를 50~97% 정도 절감할 수 있으며, 배출가스를 20~30% 정도 줄일 수 있는 것으로 평가되고 있다. 따라서 폐전지, 폐자동차, 제강분진, 폐정보통신기기, 폐가전제품, 폐촉매, 도금폐액 등과 같은 폐기물 대상 품목으로부터 유용금속의 자원화 기술을 개발하여 환경친화·저에너지화 공정 도입으로 경제성이 있는 사업으로 발전시키고자 하였다.

또한 고형 폐기물은 발생량은 많으나 단순처리 개념인 매립이나 노반재 등의 대체재로 사용되고 있었다. 그러나 환경규제의 강화와 이용 가능성이 높아짐에 따라 기존의 처리방법으로는 자원낭비 및 처리비용 등의 경제적인 손실을 유발한다. 따라서 발생량이 많은 석탄회, 슬래그, 슬러지, 폐석고 등에 대한 복합처리 개념을 이용하여 소재화를 추진하며 나아가 고부가가치화를 할 수 있는 정밀요업 제조기술로 발전시켜야 한다.

플라스틱, 고무, 합성섬유, 윤활유 등의 유기성 물질은 사용량이 많고, 소모품으로 사용 후 바로 폐기물로 배출되기 때문에 재활용하지 못하고 매립할 경우에는 환경 부하가 큰 물질들이다. 그러나 효과적으로 분류 또는 정제하면 물질로 회수하여 제품의 원료로 사용할 수 있을 뿐 아니라 연료로 사용할



수 있는 양질의 자원이다.

특히 폐플라스틱의 발생량은 연간 300만 톤을 넘고 있으며 증가율은 연간 12% 이상 증가추세를 보이고 있었으나, 폐플라스틱의 재활용은 적절한 처리 방법의 부재, 낮은 경제성 등으로 인해 재활용률이 16.6%로서 다른 폐기물에 비해 저조하였다. 소각의 경우 다이옥신과 같은 유해가스의 발생으로 환경오염의 원인이 되며, 매립하는 방법은 매립지의 부족으로 처리가 한계 상황에 이르고 있었다. 따라서 폐플라스틱을 유화, 연료화로 자원화하는 기술을 집중적으로 개발하여 환경오염을 방지할 뿐만 아니라 300만 톤 이상의 오일을 회수할 수 있는 경제적인 효과를 기대할 수 있었다.

다. 사회·문화적인 측면

90년대 들어서 환경문제는 국제적인 환경규제가 강화되고 환경을 이유로 무역과 산업활동에 대한 규제가 시작됨에 따라 산업계는 환경성을 고려한 생산방식으로의 전환을 요구받게 되었다. 1992년 리우선언에서 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSD)’의 원칙 하에서는 제품의 환경친화성이 가격·품질 등의 기존 요소와 더불어 경쟁력에 결정적인 요소로 작용하게 되었으며 이 지속가능한 산업전략의 일환으로써 자원재활용 촉진이 요구되었다.

21세기에는 기존의 기술, 가격 등 요소경쟁력에서 품질·환경·안전 등 전 사회적인 가치창조가 산업 경쟁력을 좌우할 것이며 우리 산업이 안고 있는 경쟁력 저하, 자원부족, 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 방안 중의 하나가 폐기물의 자원화 기술개발사업이다.

1990년대에 들어서면서 폐기물의 재활용 촉진을 위해 ‘폐기물 관리법(1986)’을 보완하기 위하여 ‘자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률(1992)’과 NIMBY 현상에 효과적으로 대응하기 위한 ‘폐기물 처리시설 설치촉진 및 그 주변지역 지원 등에 관한 법률(1995)’이 제정, 정비되었다. 그리고, 바젤협약에 가입하면서 협약의 이행을 위해 ‘폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리에 관한 법률(1994)’ 등 21세기에는 법제도의 강화가 예측되었다. 자원 재활용기술의 발전이 삶의 질 향상에 기여해야 하고 인간적 가치 추구에 부합하는 방향으로 전개되어야 한다는 사회적 욕구가 범세계적으로 증가하고 있으며 과학기술이 인간 및 환경과 조화를 이루는 방향으로 발전하여야 한다. 이러한 노력이 지구촌의 공동 문제에 범세계적으로 공동 대처하는 요구로 확대·심화되고 있는 실정이었다.



2. 사업추진체계

가. Matrix 구축



● 인프라 센터 역할

사업단은 사업별·기술별 milestone 제시, 관련 정보DB화, 수요기술의 보급, 실증 기술의 matrix화, 공통핵심·미래원천기술의 발굴 및 추진, 기술이전 지원시스템 등의 infra 자원을 참여연구자에게 제공하였다. 사업단이 각 과제로부터 접수한 주요 중간 결과 및 최종 결과들을 infra 자원화하여 참여 연구자에게 제공함으로써 기술축적을 촉진하는 동시에 결과의 원활한 활용에 의한 고급기술의 창출이 이루어질 수 있도록 하였다.

● 기술이전 지향

사업단에서 기술별·사업별 목표관리 시스템의 도입, 정확한 평가에 의해 성과를 관리하고 사업화가 확실한 방향으로 유도함과 동시에 개발된 연구성과를 기업화하도록 사업단에서 적극 지원하였다. 산업체의 기초 연구 참여를 확대하였고, 네트워크의 활용이 용이한 각 대학 연구기관 및 정부출연기관에서는 각 실험실별로 특성화된 핵심 기술의 기반 구축을 추진하는 한편, 재활용 연구개발의 전 과정과 해외 licensing의 경험을 확보하고 있는 산업계 연구기관이 이를 넘겨받아 기술이전을 신속하게 추진할 수 있도록 하였다. 재활용 D/B 구축 및 재활용 정책 등과 연계시켜 연구개발의 전 과정에 있어 참여 주체들의 기능을 복수 전문화하여 각 연구 단위별로 세계적 수준의 경쟁력을 확보할 수 있도록 유도하였다.

● 폐기물 대상과 개발기술의 matrix 구축

참여 연구 주체의 과거 연구 활동 분야와 성과 및 잠재력을 종합적으로 고려한 후 고유의 전문화된 기능을 부여하였고, 이것이 상호적으로 연결된 matrix구조의 운영 체제를 공고히 하였다. 특히, 폐기물의 종류와 기술이 다양한 폐기물 재활용 사업의 한계를 극복하기 위하여 대상물질과 개발기술의 종합화를 위한 matrix system을 도입하고 사업단을 중심으로 이를 유기적으로 활용하였다.

● 프로그램별 협동체계

산·학·연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야 설정하였고, 사업단을 중심으로 연구성과를 유기적으로 종합화하여 연구효율을 극대화 하였으며, 사업별·단계별 목표관리체계를 확보하였고, 연구성과를 100% 이용할 수 있도록 사업관리체계의 효율성을 높였다. 기술별 특성에 따른 기술획득 방식 및 전략을 최적화하고, 사업방식의 다양화 및 탄력적 운용을 지향하였으며, 단계별 목표

설정에 의한 기반기술·실증기술을 균형적으로 확보하였다. 연구성과를 산·학·연 모든 참여 주체들이 최대한 실시간 공유할 수 있도록 상호협력체제를 구축함으로써 자연스러운 인력 교류를 활성화하고 국제적 경제력을 갖춘 재활용 신산업의 창출에 기여하였다.

● 목표분야 구성 및 추진

‘집중’을 위한 사업단 주력 분야(기술실증)와 ‘다양성’을 위한 선행분야(공통핵심 미래원천기술)로 사업을 구성하였다. 사업단 주력분야는 산·학·연의 전문기술팀을 위주로 하는 PBS체제로 추진하고, ‘단계적 집중’ 원칙에 의하여 매 단계 종료시점에 세부과제 평가 후 다음 단계 목표달성에 합당한 전체 과제를 재구성함으로써 전문성과 성공가능성을 높였다. 또한 매년 선행분야의 결과를 평가하여 유망기술에 대해 사업단의 새로운 세부목표로 편입하여 개발기술의 기술이전 검증을 위한 기술시범화 사업을 적극적으로 유도하였다.

● 성과관리 방안

연구성과를 극대화하기 위해서는 사업단 내의 정보를 서로 공유하고 얻어진 정보로부터 최대의 경제적 효과를 얻기 위하여 지적소유권 확보와 이의 기술이전을 적극 추진하였다. 웹서버를 구축하여 연구자는 연구진척 상황과 필요한 협조체제를 네트워크 상에서 해결하였다. 사업단에서는 이를 총괄적으로 관리하고 데이터베이스화하여 진정한 의미의 사이버 성과관리시스템을 구축하였다.

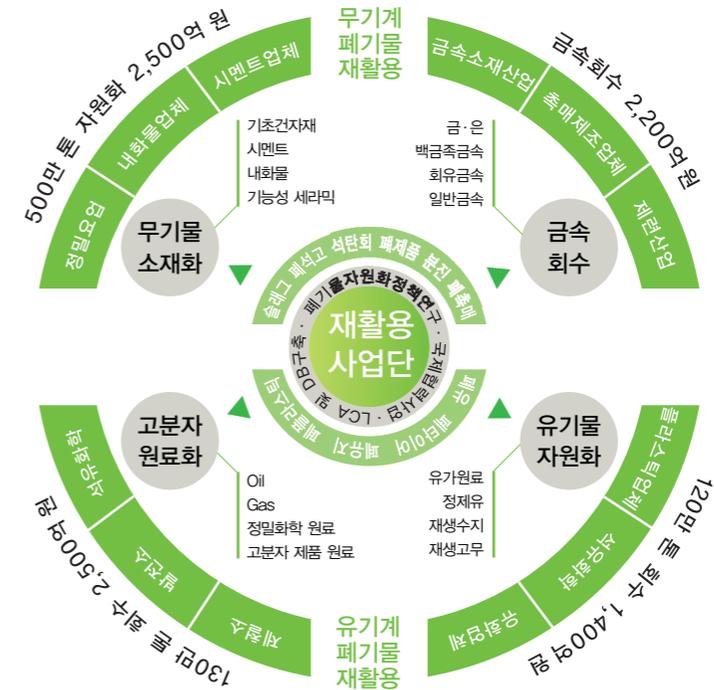
● 기술마케팅 및 홍보

산업체와 국민의 이해와 지지 없이는 재활용 사업의 발전을 기대할 수 없으므로, 결과물에 대한 홍보뿐만 아니라 폐기물의 자원화 및 재활용에 대한 인식을 넓히기 위한 홍보물을 발간, 배포하였다. 또한 웹서버를 통한 교육, 공개발표회, 워크숍, 전시회 참가를 통한 전문가 이외의 사람들에게도 자원순환기술의 중요성을 알릴 수 있는 기회를 가졌다.

● 사업종료 후 사업단 발전방향 및 형태

사업수행과정에서 도출되는 중간 및 최종 성과물들을 지적재산권화 하여 인프라 자원으로 확보, 공공 연구기관에 기탁, 관리하면서, 이를 산업계, 학계, 연구계 등에서 자유로이 활용할 수 있도록 함으로써 국가적 차원에서 폐기물 재활용 관련 기술축적의 핵심 매개체로서의 역할을 수행할 예정이다.

나. 폐기물 흐름분석 및 사업추진체계



국내 관련 연구인력 및 연구기반의 취약성을 극복하기 위하여 산재한 연구인력과 연구시설을 총동원하여 기술개발 및 보급 사업을 위한 유기적 산·학·연 협력 체계를 구축하였으며, ‘집중’과 ‘다양성’의 균형있는 포트폴리오 원칙 하에 ‘집중’을 위한 실용화 분야와 ‘다양성’을 위한 선행분야(미래원천 핵심기술)로 사업을 구성하였다.

또한 사업단을 중심으로 세부과제별 연구성과가 상호보완 및 종합연계로 조기 실용화될 수 있도록 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 참여기업과의 밀착 마케팅, 환경정책, 법률 지원 체계의 구축과 발생폐기물의 종류가 유기계와 무기계 등 다양하고 요구 기술이 광범위한 재활용 산업의 한계를 극복하기 위하여 대상물질과 개발기술의 종합화를 위한 matrix system을 구축하였으며, 특히, 문헌, 기술 및 시장동향 정보, 환경정책 및 통계 정보, 관련 법률 정보 등이 종합 정리된 재활용 D/B를 구축하여 연구 개발의 전 과정을 통해 참여 연구자들간의 원활한 정보 공유체계를 활성화하였다.

다. 사업관리체계

구분	내용
기획	<ul style="list-style-type: none"> 4개 분야(고분자 원료화, 유기물 자원화, 유기금속 회수, 무기물 자원화)로 나누어 각 기술 연구회에 의한 폐기물 흐름분석에 따라 과제도출 및 RFP작성 운영위원회를 통한 사업방향 설정 및 세부기획 검토 기술이전에 초점을 맞추어 연구성과를 단기와 중·장기로 구분하고, 자원화 기술의 투자 경제성을 기준으로 차별화하여 추진 연구성과의 극대화를 위해 각 연구 주체별 연구범위 및 내용을 명확히 구별하고, 상호 연계 및 보완되는 범위 내에서 위탁, 협동연구팀 구성 선진국과의 기술격차가 큰 핵심분야에 대해서는 기술의 조기확보를 위하여 국제위탁연구를 선별적으로 추진
선정평가	<ul style="list-style-type: none"> 사업목표 및 특성에 부합하는 과제 선정 초기 과제기획 시 우수과제 선정을 위한 각 분야별·과제별 경쟁력 유도 과제수행을 위한 전문인력 보유 현황, 주요 기기 및 이의 활용 등을 포함한 연구수행기관의 능력을 고려하여 선정 실용화를 목표로 하는 과제는 기업 참여 시 우선권 부여
현장 실사	<ul style="list-style-type: none"> 연 1회 각 연구과제별 계속지원 여부 및 지원 규모 결정을 위한 실태조사 연구목표 및 일정계획 대비 연구성과 확인 기술의 우위성 확보 방안 및 차년도 연구추진계획 점검 Pilot Plant 또는 실증 규모 실험에 대한 현장 검증 연구진행상황 점검 및 문제점에 대한 심도 있는 토의를 통해 해결 방안 도출 각 과제별 사업화 계획 검토 및 정부규제 등 문제점 협의
진도 관리	<ul style="list-style-type: none"> 연구성과의 우수성 및 목표 대비 달성도 등 평가를 통해 사업의 기본목표 구현 사업의 총괄적 기본 목표 범위 내에서 기술환경 변화에의 탄력적 대응 관련 전문가에 의한 공개평가로 평가의 전문성, 객관성, 공정성 제고 평가 결과에 따라 과제 탈락 또는 과제별 차년도 연구비 조정 실시
연차 평가	<ul style="list-style-type: none"> 연구성과의 우수성 및 목표 대비 달성도 등 평가를 통해 사업의 기본목표 구현 사업의 총괄적 기본 목표 범위 내에서 기술환경 변화에의 탄력적 대응 관련 전문가에 의한 공개평가로 평가의 전문성, 객관성, 공정성 제고 평가 결과에 따라 과제 탈락 또는 과제별 차년도 연구비 조정 실시
단계(최종) 평가	<ul style="list-style-type: none"> 최종목표 대비 연구추진 달성도 및 정성적, 정량적 연구성과 평가 연구개발 결과의 엄정한 평가를 통한 연구과제 관리체계 강화 관련 전문가의 공개평가에 의한 평가의 객관성, 전문성, 공정성 제고

구분	내용
성과관리	<ul style="list-style-type: none"> 철저한 진도관리를 위해 목표대비 실적을 월별로 점검 홈페이지상에 과제관리시스템을 구축하여 세부과제 책임자와 사업단의 긴밀한 Communication 체제 확립 성과의 조기 사업화를 위하여 참여기업과 밀착된 마케팅 및 정책 자문 지원 국내외 특허, 기술동향 분석을 통한 과제별 기술(특히)개발 전략 및 중복연구방지, 연구개발 방향 재설정을 위한 특허맵 작성 전문평가기관으로부터 폐기물 확보, 재활용 공정, 자원화 결과물 판매에 이르는 전 주기적 기술가치분석, 사업성 평가 실시
기타	<ul style="list-style-type: none"> 심포지엄 및 재활용워크샵 개최, 사업단 및 연구성과 언론홍보, 우수과제 연구성과 발표회 개최, 상설 재활용홍보관 설치, 전시회 참가, 뉴스레터 발간, 홍보영상물 제작, 대국민 성과 설명회, 리사이클링 백서 발간



3. 사업추진현황

가. 세부과제현황

구분	1단계	2단계	3단계
수행과제 수	36	31	18
중단과제 수	4	-	-
종료과제 수	32	31	18

나. 연구비

(단위 : 백만 원)

구분	1단계	2단계	3단계	계	
교육과학 기술부	계획	25,000	21,626	32,570	79,196
	실적	25,254	21,777	32,794	79,825
정부 환경부	계획	5,000	6,000	7,600	18,600
	실적	5,048	6,040	7,649	18,737
소계	계획	30,000	27,626	40,170	97,796
	실적	30,302	27,817	40,443	98,562
민간 투자액	계획	8,200	11,475	14,525	34,200
	실적	8,908	11,570	13,831	34,309
총 계	계획	38,200	39,101	54,695	131,996
	실적	39,210	39,387	54,274	132,871

※발생이자 및 불인정 환수액 재투자 766백만 원 포함

다. 참여기관

(단위 : 개)

구분	산	학	연	합 계	
1 단계	주관/협동	3/1	6/4	16/2	25/7
	공동	5	-	2	7
	위탁(국내/국외)	1/2	19/2	3/2	23/6
	참여기업	43	-	-	43
합계	52/3	25/6	21/4	98/13	
2 단계	주관/협동	3	8/3	16/1	27/4
	위탁(국내/국외)	3/2	23/6	3/5	29/13
	참여기업	43	-	-	43
합계	49/2	31/9	19/6	99/17	
3 단계	주관/협동	3	6	9	18
	위탁(국내/국외)	4/1	16/6	3/2	23/9
	참여기업	28	-	-	28
합계	35/1	22/6	12/2	69/9	

라. 참여연구인력

● 학력별

(단위: 명)

구분	1단계			2단계			3단계			계		
	남성	여성	계									
박사급	618	19	637	602	35	637	619	31	650	1,839	85	1,924
석사급	454	29	483	372	42	414	349	60	409	1,175	131	1,306
학사급	588	115	703	518	125	643	568	150	718	1,674	390	2,064
기 타	37	1	38	32	3	35	45	6	51	114	10	124
계	1,697	164	1,861	1,524	205	1,729	1,581	247	1,828	4,802	616	5,418

● 소속별

(단위: 명)

구분	1단계			2단계			3단계			계		
	남성	여성	계									
산업계	574	28	602	410	26	436	463	67	530	1,447	121	1,568
학 계	501	65	566	572	103	675	567	84	651	1,640	252	1,892
연구계	622	71	693	542	76	618	551	96	647	1,715	243	1,958
계	1,697	164	1,861	1,524	205	1,729	1,581	247	1,828	4,802	616	5,418



4. 사업 및 성과관리

가. 경영철학

21세기에는 정보통신, 생명공학과 함께 환경산업이 전세계를 이끌어 갈 것이며, 환경보전의 필요성은 우리 사회를 순환경제사회로의 변환을 촉구하고 있다. 전 지구적인 차원에서 인류 삶의 질 향상과 직결되는 환경문제는 폐기물 zero화 개념인 재활용 및 자원화로 해결하여야 할 것이다. 더욱이 폐기물이 자원과 동일시되는 상황에서 자원 고갈을 최소화하기 위하여 지속 가능한 기술개발로 폐기물을 처리하는 문제를 해결하지 못하고는 더 이상 국제사회에서 살아남기 힘들게 될 것이다. 뿐만 아니라 국제적 환경규범은 환경친화적인 청정재활용기술을 요구하고 있으며, 이는 환경산업의 발전으로 이어져 쾌적하며 부강한 환경산업국가로 도약할 수 있다.

폐기물은 도시광석으로 일컬어질 정도로 중요한 자원으로 변모하고 있으며, 산업의 발달에 따라 배출량도 급격히 증가하고 있다. 더욱이 1차 제련에 비해 에너지와 환경 부하를 각각 30~90%, 10~20% 정도 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 부가가치 향상에 의한 경제적인 효과도 매우 크며, 자원자급도가 25%에 지나지 않는 우리나라의 자원 자급도를 향상시키고 산업에 공헌할 수 있다. 특히 자원을 무기화하는 21세기에서 산업국가로 살아남기 위하여 매력적인 2차 자원인 폐기물을 자원화하고 산업원료자원의 안정적 공급원을 확보하여야 한다. 이와 같은 당위성 아래 기존의 연구개발 방식에서 탈피하여 재활용사업에 대한 연구가 산업화로 연계될 수 있도록 기술개발을 추진하여 재활용·자원화 사업과 관련 산업을 활성화시키고 국가 산업발전에 크게 이바지하고자 하였다.

정보화의 발달로 21세기에는 전 지구촌이 하나가 되어 환경산업도 경쟁체제에 돌입하게 되었는데, 경쟁력은 성공적인 연구개발로 사업화가 이루어질 때 갖추어진다. 따라서 폐기물 중에서 경제적인 가치가 있는 물질을 회수하여 부가가치를 창출하는 목표지향적인 재활용 연구사업을 추진하고, 파급효과가 큰 사업을 선택하여 연구 자원을 집중시켰다. 정확한 현황 분석과 기업적인 마인드를 통하여 필요한 기술개발에 투자함으로써 단기간 내에 기업화가 되도록 목표와 성과를 관리하여 사업을 추진하고자 하였다.

또한 지속가능한 발전과 자원순환형 사회구축을 위하여 환경보전과 경제 발전을 동시에 충족시키는 자원순환 기술개발에 매진하고, 환경친화적 재활용 기술의 전문가로서 기업적인 마인드를 접목시킨 책임경영방식의 성공적 연구개발 추진으로 재활용산업을 활성화 하였다. 또한 재활용 기술혁신 주체간의 연계와 산·학·연 연구를 강화하여 분산되어 있는 연구기관들을 사업단 중심의 시스템화를 통해 matrix화 하여 연구사업이 효율적으로 수행되도록 하였다.

마지막으로 지속적인 재활용 기술동향 분석 및 해외협력 강화로 재활용 기술변화에 대응한 단계목표 조정과 세계수준의 기술확보로 연구과제를 효율적으로 운영하였으며, 연구목표를 정량화하여 연구 실적의 객관적 평가를 통해 연구효율을 제고하였다. 또한 목표와 운영체제를 여건의 변화에 신속적으로 대응할 수 있는 운영관리체제를 도입하였고, 선진국과의 기술격차가 큰 핵심분야는 국제 공동 연구를 선별적으로 구성하여 기술의 조기확보를 추진하였다.

나. 사업관리

(1) 연구과제와 연구비 구성

● 연구과제 구성

환경개선 효과가 크고 경제적 회수가치가 큰 대상 폐기물을 선정하여 이를 과제 성격에 따라 4개 분야로 나누고, 이들을 지원하기 위한 국제협력강화 및 특허맵 작성, 사업성평가, D/B 구축사업, 정책 지원을 사업단의 공통기반과제로 추진하였다.

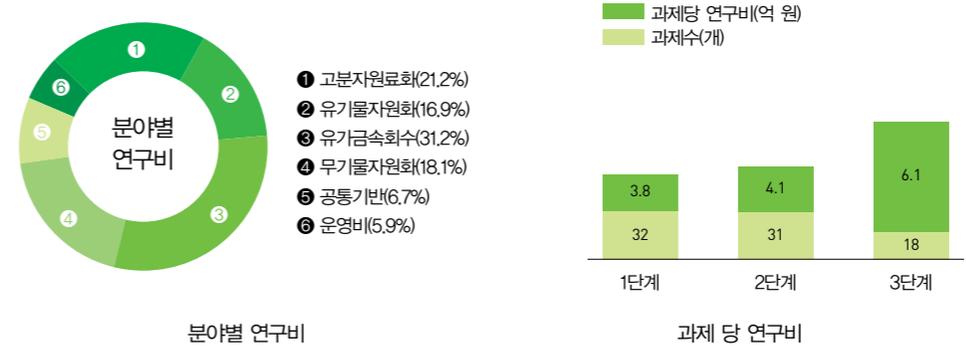
연구분야별 추진과제 수

구분	고분자 원료화	유기물 자원화	유가금속 회수	무기물 자원화	공통기반	계
1단계	7	8	9	5	3	32
2단계	6	9	8	5	3	31
3단계	5	3	6	3	1	18

● 연구비 배분의 기준

사업단 총괄 목표 내에서 4개 분야별 중요도를 고려하여 분야별 총 연구비를 반영하였으며, 선택과 집중의 원칙 하에 평가결과에 따라 연구개발비를 차별 배분하여 운영하였고, Lab Scale, Pilot Scale 등 연구개발 단계에 따라 직접 연구비가 최대로 투입되도록 비목간 연구비 배분을 유도하였다.

선진 기술 교류를 위한 국제협력 연구비 지원을 강화하였으며, 현장실사, 공개발표 등 다양한 평가시스템으로 연구성과를 정확하게 평가하고, 연차별 진도관리 평가등급에 따라 차년도 연구비를 차등 지원하여 연구성과가 우수한 연구사업에 대해 집중 지원을 하였다.



(2) 연구팀 구성과 네트워킹

국내외 재활용기술 동향의 면밀한 분석을 통하여 자원순환적 이용기술, IT·NT와의 융합기술, 환경 현안문제 해결기술을 중심으로 목표가 정량화된 로드맵을 작성하고 이를 토대로 기술개발의 우선 순위에 따라 연구팀을 구성하였으며, 연구목표가 동일하나 접근방식이 상이한 경우 경쟁력을 제고시키기 위해 협동과제로 묶어 상호 경쟁을 유도하였다.

또한 국제협력사업을 활성화하기 위하여 통합 관리를 통한 효율성 극대화 유도 및 연구원 파견, 실험실 확보 등 연구 효율화를 통해 선진정보 교류를 도모하였다.

연구팀은 산·학·연 연구개발 네트워킹을 원칙으로 하되 대형과제인 경우 연구인력의 클러스트화가 되어 있는 기관을 우선적으로 선정하였으며, 분야별 우수한 전문가를 보유한 기관을 주관연구기관으로 하고 기술실증 과제인 경우는 관련기업의 참여를 의무화 하였다.

국제협력 및 국제공동연구 현황

(단위: 백만 원, 개)

구분	1단계	2단계	3단계
연구비	745	1,200	1,433
과제 수	13	33	43
과제 당 연구비	57.3	36.4	33.3

※독일, 미국, 일본, 오스트리아, 베트남, 인도, 중국 등과 국제 협력 연구 추진

다. 사업단 운영

(1) 사무국 운영관리 체계

기업체의 적극적 참여를 유도하여 세부과제의 성과(지적재산권, 시제품, 보고서, 유형 발생품 등)를 활용한 조기 사업화를 지원하고, 사업단을 중심으로 연구성과를 유기적으로 종합화하여 연구효율을 극대화하였다.

홈페이지를 구축하여 사이버 공간을 이용한 기술수요조사, 진도관리, 성과관리 등 실시간 모니터링에 의한 선진화된 연구관리기법을 도입하고, 폐기물의 자원화 및 재활용에 대한 인식을 넓히기 위한 적극적 기술마케팅 및 홍보를 실시하였다.

또한 교육과학기술부와 환경부 공동부처사업으로 국가 폐기물 자원화 정책과의 연계를 강화하고, 목표지향적 운영으로 국가 Need에 기여하고, 사무국을 중심으로 산·학·연·관 협력체계를 형성하여 기술개발 및 확대보급 지원에 중점을 두었다.

사무국 운영 현황

구분	내용
운영규정	• 사업단 관련 모든 업무에 대해 연구원 규정과 별개로 사업단 자체 규정을 제정하고, 이에 따라 사업단장의 전결로 독립적, 자율적으로 운영
연구사업 수행 및 운영	• 일련의 과제관리 업무에 대해 사업단장 고유 권한으로 독립적 집행
사업단 운영비 집행·관리	• 예산 범위 내에서 사업단 운영비는 별도 계정을 설정하고 사업단장 책임 하에 독립적으로 운영하며, 연구비카드제를 준용하여 집행한 후, 교과부의 연구비관리시스템에 사용내역을 입력 • 예산비목은 프론티어사업 운영관리지침에 의거 편성
연구비 집행 및 정산	• 운영위원회의 심의를 받아 사업단장이 최종 확정된 각 과제별 연구비에 대해 단장 소속기관 회계과가 각 세부과제 주관연구기관으로 연구비 지급 • 소속기관과 별도의 전체 연구비 통장을 개설하여 자금 운용의 독립성을 유지하고, 본 사업을 통해 발생한 이자는 전액 본사업 연구비로 재투자 • 연구종료 후 3개월 이내에 각 주관연구기관으로부터 연구비 사용실적을 보고 받아 사업단에서 직접 전 과제 정밀정산 실시, 각 연구기관의 부적정 집행 금액에 대해 사업단에서 불인정 조치 후, 환수된 금액에 대해 교과부의 승인을 받아 전액 본 사업 연구비로 재투자

(2) 사업단 활동현황

위원회 현황

구분	위원회 구성	주요 기능
운영위원회	• 관련분야 산·학·연 전문가 중 사업단장이 위촉하는 10인의 위원으로 구성	• 사업단 기술개발사업에 관한 심의, 관리 기준의 제정 및 개정 • 선정평가 및 중간·최종평가 결과에 대한 종합심의 및 승인 등
평가위원회	• 한국연구재단의 평가위원 Pool 및 자원화 재활용 분야 전문가를 중심으로 전문가 pool을 구성하고, 무작위 추출하여 기술 분야별 평가위원 선정	• 세부과제에 대한 선정·중간·최종 평가
기술연구회	• 관련분야 산·학·연 전문가를 중심으로 사업단장의 위촉에 의해 기술분야별 기술 연구위원 구성	• 기술수요조사 및 기술예측 등 연구기획 • 사업단 각 기술분야별 신규세부과제 도출 및 기획 • 사업단 중장기 발전전략 및 추진 계획 자문

국제협력

구분	상세 내용	비고
공동연구	• 독일, 일본, 미국 등 7개국과 자원순환 원천 기술 확보를 위한 공동연구 추진 • 전자스크랩, 폐자동차 등 순환활용 미래원천 기술 공동 개발	2000. 5 ~ 2010. 3
현지 Lab. 운영	• 일본 산업기술종합연구소(AIST)에서 현지 Lab. 공동연구 및 연구원 파견 • 베트남 하노이기술대학교 공동연구센터 운영 및 기술협력 협정 체결	2004. 3. 23 ~ 현재 2005. 11. 11 ~ 현재
국제 MOU 체결	• 경상대학교와 중국 청도과학기술대학 Rubber Recycling Research의 기술 교류 MOU 체결	2007. 5. 21
국외환경기술참관	• 국외 환경정책, 기술 및 재활용 동향 조사 • 재활용 관련 산업체 및 정부부처, 연구소, 대학 방문 견학	• 독일·오스트리아(2001) 외 7회 참관

라. 연구개발성과 관리

(1) 과제관리의 전산화

각 과제책임자별 연구과제의 자기관리가 가능하도록 홈페이지상에 사이버 공간을 마련하여 철저한 목표 관리체계 구축 및 통합 관리하였으며, 연구목표대비 추진실적, 미진 부분에 대한 향후 대책, 주요 연구추진내용 및 목표대비 진척률, 논문·특허 등 계량적 실적에 대한 월단위 관리를 통해 연구의욕을 고취하였고, 각 연구그룹 간, 사업단과 연구자 간의 원활한 Communication을 통해 연구 효율성을 제고하였다. 또한 논문, 특허 등 연구성과의 실시간 On-line 관리 체계를 구축하여 지적 소유권 확보와 이의 산업화를 적극 추진하였으며, 연구과제에 대한 효율적인 사후관리를 통하여 그 추진성과를 공유함으로써 국가 연구개발예산의 투자효과 극대화를 위한 기반을 구축하였다.



세부과제별 커뮤니티



연구관리시스템

(2) 내부 워크숍 개최

각 세부과제별 연구계획 대비 추진실적과 향후 계획을 점검하고, 과제별 연구진행상황 발표 및 토의 후 과제책임자 간 상호 평가토록 하여 사업단 전체 목표 달성을 위한 세부과제의 역할과 기능을 상기 시키고, 과제책임자들 간의 기술 교류와 연구협력의 강화를 유도하였다. 또한 타 과제 추진 내용에 대한 상호 이해 및 평가결과 feedback을 통한 시너지를 창출하였으며, 연구자와 참여기업 간의 기술 동향 및 재활용 현장 상황에 대한 심도있는 토론을 통해 현장과 밀착된 연구로 상용화 성공 가능성을 제고하였다.



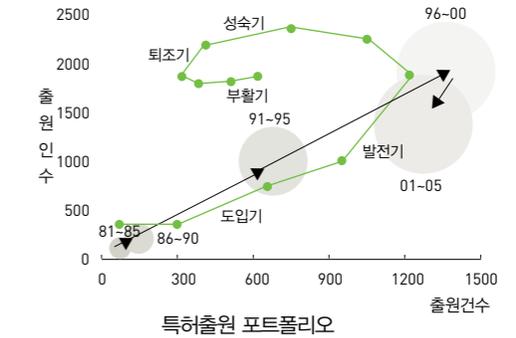
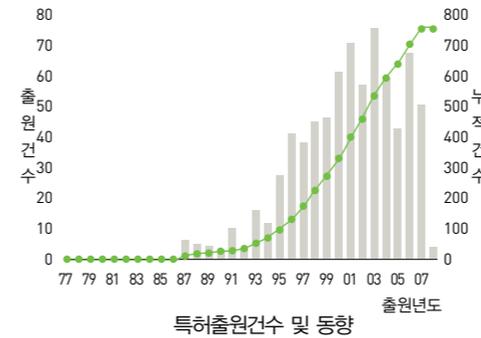
2002. 11. 5~6, 대천한화콘도



2004. 12. 9~10, 라비돌리조트

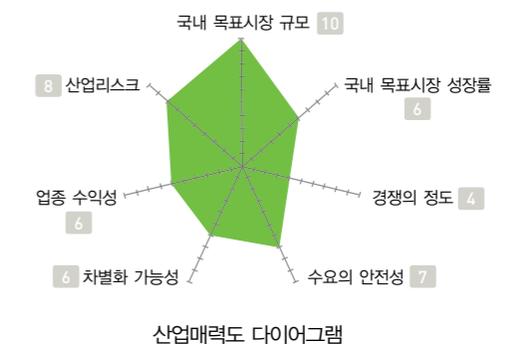
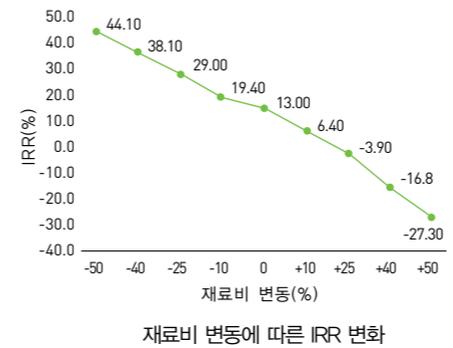
(3) 특허맵 작성

특허를 분석함으로써 재활용 기술의 연구동향 및 시장현황 등의 분석 정보를 제공하였고, 핵심특허 간의 연도별 발전사항 및 기존 기술의 단점과 해결방안을 제시하였으며, 권리에 대한 침해 방지와 특허 분쟁을 사전에 방지하였다. 폐전지로부터 유가금속회수 및 기능성소재 제조 기술개발 외 9개 과제에 대해 특허기술동향 파악 및 기술변화추이 분석을 통한 향후 대책 수립 및 권리를 강화하였다.



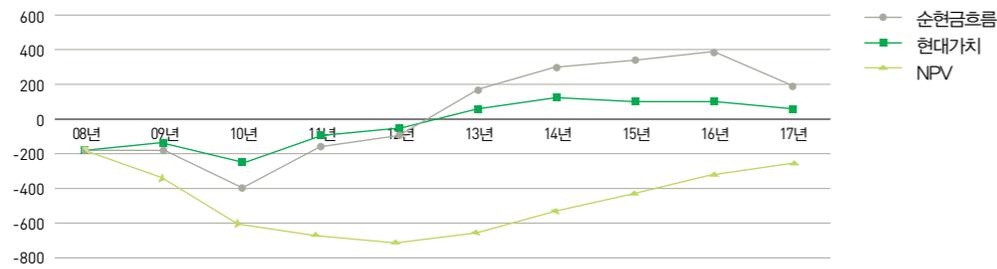
(4) 사업성평가

기술개발을 완료하고 성공적인 사업화 추진을 위해 중점적으로 관리해야 하는 경영 요소를 확인하였으며, 사업화 시 발생할 수 있는 위험 요소의 사전 관리 및 적극적 대응 방안 모색을 위해 고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화기술 개발 외 21개 과제에 대해 전문평가기관인 (주)KBN과 한국기술거래소에서 실시하였다. 또한 기술, 시장, 사업 분석을 통해 사업타당성 지표 및 사업 민감도 분석을 실시하였고, 산업 매력도, 시장경쟁력 분석을 통해 사업화 성공률을 제고하였다.



(5) 기술가치분석

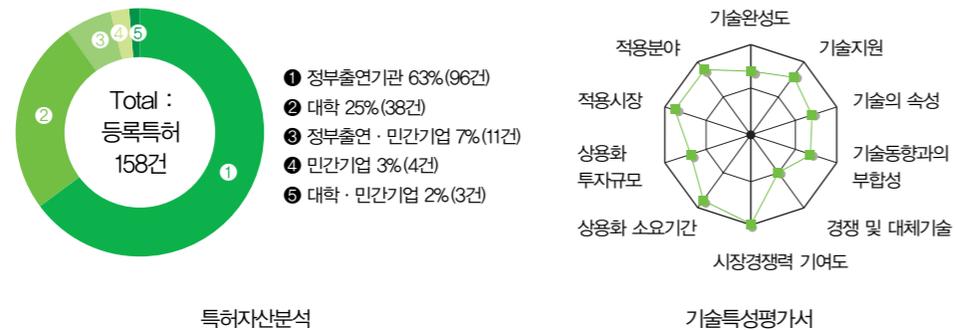
산업·시장 현황, 전망 분석 및 경제성 평가를 통한 참여기업의 매출을 추정하였으며, 특허분석을 통한 선행기술조사, 분석 및 기술성·시장성 분석을 통한 기술 위치 및 수요를 진단하였다. 또한 분석 기술의 경제성 향상을 위한 사업 마케팅 및 중장기 기술사업화 전략 등을 수립하였으며, 저급 폐폴리에스터로부터 화학원료 제조 기술 개발 외 13개 과제에 대해 전문분석기관인 기술보증기금과 웰처기술에서 실시하였다.



순현금흐름 및 NPV 추이

(6) 특허자산실사

사업단에서 보유중인 등록특허 중 158건에 대해 전문실사기관인 (주)테크란에서 특허자산의 실사를 통해 자산의 활용가능성 및 활용방안을 도출하였다. 연구개발 추진단계별·분야별 산출특허의 성과를 분석하고 보유특허기술자산의 사업화 가능성을 검토하였고, 기술이전 및 사업화 유망기술군의 발굴 및 기술이전, 사업화 유망기술군에 대한 SMK를 작성하였다.

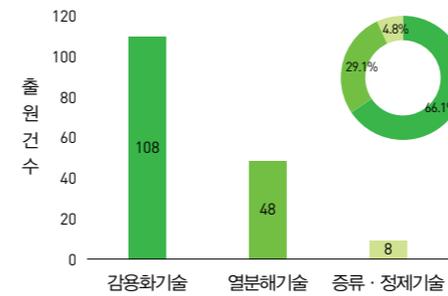


특허자산분석

기술특성평가서

(7) 특허전략전문가 유치

국내의 특허정보를 분석하여 연구방향 설정, 국내외 특허, 기술동향 분석을 통한 권리성 강화 및 공백특허를 도출하였고, 사업단 우수 연구성과의 확산, 환경선진국 진입을 위한 국가 기술경쟁력 확보를 위해 향후 특허보유계획 및 확보전략을 수립하고자 한국지식재산연구원의 특허전략전문가를 유치하였다. 또한 각 국가별 재활용품 형태를 고려한 해외특허출원을 제안하였고, 특허 마인드 제고를 위한 특허 교육을 실시하였다.



특허동향분석



특허교육



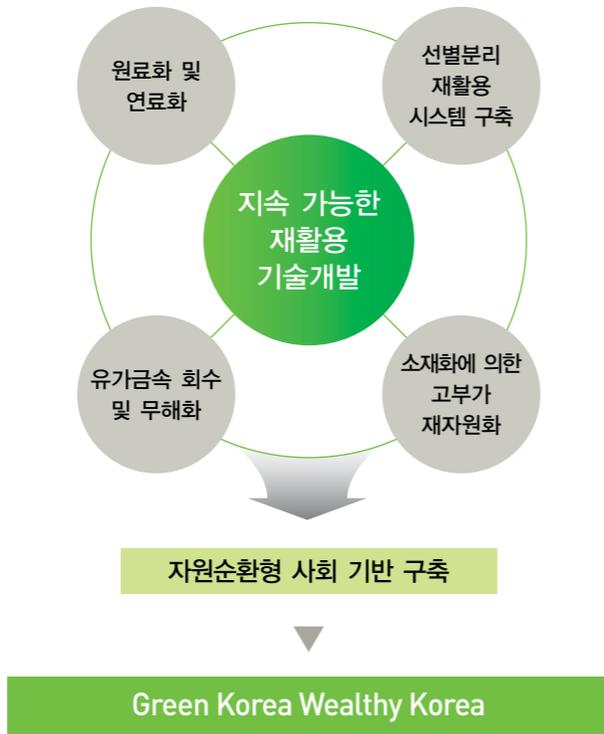
02 폐기물 제로화를 꿈꾸다

1. 사업목표

가. 최종목표

자원순환형 사회구축을 위해 폐기물로부터 경제성 있는 원료물질과 에너지로의 자원화·재활용 기술개발

환경보전과 자원확보를 위한 폐기물 재활용
(대상 폐기물 재활용률 20%에서 70%로 제고, 5,000억 원 이상의 자원 재생산)



구분	분야별 최종목표
고분자 원료화	<ul style="list-style-type: none"> 고분자 폐기물 열분해에 의한 연료화 플랜트 개발 가연성 폐기물의 가스화 플랜트 설계기술 확보 페플라스틱으로부터 모노머 회수 기술 확립
유기물 자원화	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 페플라스틱 분리·선별 시스템의 기술확립 혼합 페플라스틱의 복합재생 플랜트 실증 및 package 완성 유기계 폐기물의 종류별 재활용 시스템 구축
유가 금속 회수	<ul style="list-style-type: none"> 폐촉매 처리로 귀금속, 희유금속 생산 폐전지로부터 산업소재용 금속회수 기술 확립 표면처리 폐액으로부터 유기금속 회수 및 용수 재이용 기술 표준화 제강분진 처리 실증플랜트 건설 폐자동차 10만 대/년 처리규모의 유용금속 분리회수 시스템 표준화
무기물 자원화	<ul style="list-style-type: none"> 무기계 폐기물로부터 Eco 소재 제조 무기계 폐기물의 복합처리로 경제성 있는 대량처리 공정의 개발과 제품화 기술개발 무기계 폐기물로부터 기능성 세라믹 원료화



나. 단계별 연구목표

(1) 고분자 원료화 분야

1단계	2단계	3단계
<ul style="list-style-type: none"> 고분자 폐기물의 열분해 유화 공정 개발 - 전처리 기술개발 - 300톤/년 Plant 장기운전 및 공정 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 고분자 폐기물의 열분해 유화 공정 기술 획득 - 플랜트 건설 및 시운전 - 3,000톤/년 설계 Package화 	<ul style="list-style-type: none"> 고분자 폐기물의 열분해 유화 공정의 실증 플랜트 표준화 - 3,000톤/년 장치 운전
<ul style="list-style-type: none"> 가연성 폐기물로부터 합성가스 제조 공정의 기반기술 확보 - 전처리 및 공급기술 개발 - 가스화 장치 설계 기술 확보 - 1,500톤/년 규모의 Plant 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 가연성 폐기물로부터 합성가스 제조 Plant 건설 - 가연성 폐기물의 가스화 공정 엔지니어링 Package화 - 1,500톤/년 가스화 플랜트 시운전 	<ul style="list-style-type: none"> 가연성 폐기물로부터 합성가스제조 공정의 실증 Plant 운전 - 1,500톤/년 가스화 장치 장기운전 - 운전기술 획득 및 최적화
<ul style="list-style-type: none"> 고분자 폐기물의 원료화 요소기술 개발 - 페플라스틱의 화학적 분해, 플라스틱, 전자파 등에 의한 원료물질 회수 기술개발 - 폐유지의 바이오 디젤 제조 기술 개발 - 원료화 핵심기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> 실증 준비 단계 - 모노머화/원료화 기술 실증 - 기반 기술 확립 및 Process Development Unit 설계 제작 - 1~10톤/일 PDU 운전 및 기술 보완 - 공정 안정화 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> 실증 플랜트 - 3,000톤/년 규모의 페플라스틱 화학분해에 의한 모노머화 플랜트 - 1,000톤/년 바이오 디젤유 공정 플랜트

(2) 유기물 자원화 분야

1단계	2단계	3단계
<ul style="list-style-type: none"> 혼합 페플라스틱의 이물질 분리 및 재질별 선별시스템의 현장 적용 - 200톤/년 규모의 일괄 처리 플랜트의 설계, 건설 - 분광학적, 정전기적 선별기술 개발 (50kg/hr) 	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 페플라스틱 분리 및 선별 플랜트 설계 기술 확보 - 2,000톤/년 규모의 일괄 분류 플랜트 scale-up - 설계 package 완성 - 2,000톤/년 건식분류 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 페플라스틱 분리·선별기술의 실증 - 1,500톤/년 규모 이상의 재생 복합 플랜트 건설 및 운영 - 고품질 재생용 원료수지 확보
<ul style="list-style-type: none"> 페플라스틱, 페타이어를 활용한 복합 재생품 제조 기술 - 혼합 페플라스틱용 상용화제 및 보강제 활용기술개발 - 페타이어 고무분말 이용기술개발 (100톤/년) 	<ul style="list-style-type: none"> 페플라스틱, 페타이어를 활용한 복합재생품 제조 기술 - 100톤/년 혼합 페플라스틱 활용 플랜트 - 혼합 페플라스틱 압출·사출 일체형 장치 제조 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 페플라스틱 활용 실증 플랜트 설계 및 운전 - 1,000톤/년 규모의 혼합 페플라스틱 복합재생 complex 플랜트
<ul style="list-style-type: none"> 페플라스틱 재활용 요소기술 - PVC계, PU계 발포체 및 복합 페플라스틱 재활용 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> 미활용 폐유기를 재활용 기술개발 - 100톤/년 규모의 PVC, PU, 폐섬유류 재활용 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 폐유기물 재활용 기술의 package 완성



(3) 유가금속회수 분야

1단계	2단계	3단계
<ul style="list-style-type: none"> • 귀금속 회수를 위한 기술실증 <ul style="list-style-type: none"> - 백금족 폐촉매 700톤/년 - 폐PCB 분쇄물 2,000톤/년 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐촉매로부터 희유금속 회수를 위한 요소기술 및 공정 개발 • 폐OA기기의 재활용 처리기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐촉매로부터 금속회수 (8,000톤/년) • 폐전자기기 6,000톤/년 처리 규모의 유용금속회수 기술 실증
<ul style="list-style-type: none"> • 폐전자로부터 금속 소재화 <ul style="list-style-type: none"> - 2톤/월 폐산화은 전지 규모의 회수기술 실용화 - 페리튬이온전지 자원화 공정 시범화 (200톤/년) - 폐망간전지로부터 금속 회수 및 소재화 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐전자로부터 금속 소재화 <ul style="list-style-type: none"> - 페리튬이온전지로부터 금속회수 기술개발 (500톤/년) - 폐망간전지로부터 금속 회수 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐전자로부터 고부가 금속 소재화 <ul style="list-style-type: none"> - 연질망간 페라이트제조 실용화
<ul style="list-style-type: none"> • 표면처리 공정 폐액으로부터 유가 금속 회수 기술 개발 및 scale-up(30톤/일) 	<ul style="list-style-type: none"> • LCD 등 첨단제품 제조 공정 폐액 으로부터 유가금속 회수 및 용수 재이용(용수 이용률 80%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 30톤/일 규모의 LCD 공정 폐액로 부터 고품위 금속회수 기술 실증
<ul style="list-style-type: none"> • 금속회수 선행기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 제강분진 처리용 500톤/년 Pilot plant 설계 자료 확보 - 폐자동차 해체시스템 및 기계적 분리기술 확립 - 희유금속 함유 폐기물로부터 금속 회수 요소기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 규모 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 제강분진 처리용 5만 톤/년 플랜트 기본설계자료 확보 - 폐자동차 해체 및 기계적 분리기술 실증(3,000대/년) - 3톤/년 희유금속 스크랩 처리 공정 완성 및 티타늄 재활용 기술 확립 	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 표준화 <ul style="list-style-type: none"> - 폐자동차로부터 유가금속의 분리 기술의 표준화로 10만 대/년 처리 기술 확보

(4) 무기물 자원화 분야

1단계	2단계	3단계
<ul style="list-style-type: none"> • 폐분진을 이용한 에코소재 제조 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 벽돌 및 보도블럭 6만 장/일 생산 - 인공골재 제조 기술 확립 (1,000톤/년) 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐분진 이용 에코소재 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 30,000톤/년 인공골재 제조 실증 플랜트 운전 - 고기능성 제품 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐분진 이용 에코소재 제조 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고기능성 고부가가치 제품 총 15,000톤/년 생산
<ul style="list-style-type: none"> • 철강슬러지, 소각재, 폐석회 등의 소재화 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 30,000톤/년 규모의 범용 시멘트화 기술 확립 - 전처리 시스템 시범화 	<ul style="list-style-type: none"> • 철강슬러지, 소각재, 폐석회 등의 소재화 기술 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 토건재료/특수시멘트 실증 플랜트 (12,000톤/년) 건설 - 고기능성 환경제품 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 제철슬러지, 소각재 등을 이용한 고기능성 세라믹 제품제조 기술 상용화 및 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 총 10,000톤/년 생산
<ul style="list-style-type: none"> • 무기계 폐기물을 이용한 고기능성 세라믹 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 알루미늄 드로스 및 폐석고 자원화 기술개발 - 무기계 폐기물 세라믹 제조 핵심 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 무기계 폐기물을 이용한 고기능성 세라믹 제조 기술실증 <ul style="list-style-type: none"> - 3,000톤/년 규모 세라믹 기초원료 제조 시범화 - 5,000톤/년 규모 건축 및 토목용 기초원료 제조 시범화 - 복합처리 자원화: 1,000톤/년 pilot plant 	<ul style="list-style-type: none"> • 무기계 폐기물 대량처리 기술확보 <ul style="list-style-type: none"> - 50,000톤/년 이상 처리하여 고부가 제품화



2. 연구분야 및 개발내용

● 고분자 원료화 사업

현대 산업사회에서 각종 제품생산에 필요한 원료 중 플라스틱이 차지하는 비중은 막중하며, 인구 및 산업활동 증가에 따른 플라스틱의 생산, 소비량은 지속적인 증가 추세에 있다. 플라스틱은 1회용 소비 제품에서부터 내구성 산업용 재료에 이르기까지 그 용도가 매우 다양하나 궁극적으로 폐기물의 형태로 버려지고 있다. 폐플라스틱의 구성은 5대 범용수지인 PE, PP, PS, PVC, PET 등이 약 90% 이상이며 이중 PE, PP, PS가 약 70% 이상, 나머지는 PET, PVC, ABS 등이다.

'97년 국내 플라스틱 총 생산량은 808만 톤이며, 이중 444만 톤이 국내에서 사용되고, 이에 따라 연간 폐플라스틱의 발생량은 301만 톤에 달한다. 이 중에서 50만 톤이 회수·재활용되고 있으나, 재활용률은 16.6%로서 다른 폐기물에 비해 극히 낮으며, 폐플라스틱의 증가율은 연간 12%이상 증가추세를 보이거나, 재활용은 적절한 처리 방법의 부재, 낮은 경제성 등으로 인해 재활용이 어려운 실정이다. 소각의 경우 다이옥신과 같은 유해가스의 발생으로 환경 오염의 원인이 되며, 매립하는 방법은 매립지의 부족으로 처리가 한계 상황에 이르고 있다. 따라서 폐플라스틱을 유화, 연료화로 자원화하는 기술을 집중적으로 개발하여 환경오염을 방지하고 자원화를 이루고자 하였다.

● 유기물 자원화 사업

플라스틱, 고무, 합성섬유, 윤활유 등의 유기성 물질은 사용량이 많고, 소모품으로 사용 후 바로 폐기물로 배출되기 때문에 재활용하지 못하고 매립할 경우에는 환경에 미치는 부하가 큰 물질들이다. 그러나 효과적으로 분류 또는 정제하면 물질로 회수하여 제품의 원료로 사용할 수 있을 뿐 아니라 연료로 사용할 수 있는 양질의 자원이다.

유기성 폐기물을 재활용하는 데에 가장 큰 걸림은 이물질의 제거를 포함한 각 재질별 분리이다. 여기에는 다른 재료와의 분리뿐만 아니라 같은 재료에서도 플라스틱과 같이 재질에 따른 분리를 포함한다. 같은 재질로 된 경우에는 물질로 재활용하는 데 큰 어려움이 없다. 또 하나의 문제점은 복합된 재료를 이용하여 새로운 재료와 같이 제품을 만들어내는 기술이 부족하다는 데 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 첫째로 물질 재활용을 위한 분류 시스템 개발, 그리고 둘째로 복합재활용 기술개발이다.

유기성 폐기물에 속하는 플라스틱, 고무, 합성섬유, 폐유 등에 대하여 발생량 및 재활용 현황을 비교 분석한 결과 폐기물의 발생량이 폐플라스틱, 폐고무, 폐유, 폐합성섬유 순으로 많았으며, 재활용률과 기술도 플라스틱이 가장 낮기 때문에 전체적인 연구방향을 플라스틱 중심으로 하고 나머지 유기성 자원의

재활용은 현안 문제를 중심으로 해결해 나가는 것이 필요하였다.

● 금속회수 연구 사업

금속은 산업전반에 걸쳐 없어서는 안될 기초소재로서 중요한 위치를 점하고 있으며, 산업발달에 따라 그 수요량이 폭발적으로 증가하고 있다. 이는 광물자원의 고갈로 이어져 현재 가채년수가 100년 미만인 금속자원이 10여 종에 이르고 있으며, 이중에는 5대 범용금속인 동, 아연, 납 등이 포함되어 있다. 이에 세계 각국은 금속자원의 수급 불균형을 예고하고 있으며, 산업의 지속적인 발달을 위한 금속자원의 안정적인 확보가 커다란 문제로 대두되었다.

산업국가들은 이미 산업원료소재로 필수적인 금속자원의 안정적인 확보에 심혈을 기울이고 있다. 금속자원의 재활용, 즉, 제조공정에서 발생하는 산업폐기물 또는 사용 후 버려지는 생활폐기물로부터 금속을 회수하여 자원화를 할 경우, 금속자체 가치만으로도 2,000억 원 이상이 된다. 더욱이 폐기물과 같은 2차 자원으로부터 금속을 회수할 경우, 천연광물자원을 처리하여 얻는데 소요되는 에너지를 30~90% 정도 절감할 수 있으며, 배출가스를 20% 이상 줄일 수 있는 것으로 평가되고 있다. 따라서 폐기물은 매력적인 2차 자원으로서, 이로부터 금속의 자원화는 환경친화·저에너지화가 요구되는 21세기에 부합되는 산업이라 아니 할 수 없다.

폐전지, 폐자동차, 제강분진, 폐정보통신기기, 폐가전제품, 폐촉매, 도금폐액 등과 같은 폐기물 대상 품목으로부터 유용금속의 자원화 기술을 개발함으로써 이들 폐기물의 부가가치를 높여 경제성이 있는 사업으로 발전시키고자 하였다.

● 무기물 자원화 사업

폐기물의 종류는 매우 광범위하고 특성이 다양하다. 그 중에서 유해물질을 포함하는 지정폐기물 중에서 성상이 비교적 일정하고 수거가 용이한 고상 폐기물은 재활용 가능성이 높으나, 실용화된 폐기물의 처리·자원화 기술은 많지 않으며, 그 원인으로는 경제성을 갖는 기술이 확립되어 있지 않기 때문이다. 고상폐기물의 처리는 매립·소각·재활용 중의 한 가지 방법에 의해 처리되며, 국내의 경우 거의 1:1:1의 비율로 폐기물이 처리되고 있다. 이는 구미 선진국과 비교해도 크게 차이가 나지 않는다. 그러나, 실제로 매립이나 소각 등의 방법으로는 궁극적으로 '폐기물 zero화'가 불가능하다는 한계가 있으며, 결과적으로 환경오염은 물론 자원낭비 및 처리비용 등의 경제적인 손실을 유발한다. 따라서 국내외적으로 폐기물의 자원화 기술에 대한 요구가 절실하다. 이 사업 분야에서는 무기계 고상 폐기물 중에서 발생량이 많은 석탄회, 슬래그, 슬러지, 광미, 폐석고의 자원화와 향후에 발생량이 많아질 것으로 예상되는 소각재 및 일반 무기계 폐기물의 자원화 사업을 추진하였다.



03 10년의 열정이 결실을 맺다

1. 총론

가. 연구개발성과 부문

21세기 환경기술을 선도하는 리사이클링 산업에서 우리만의 강점기술을 개발하여 2010년까지 세계 일류 수준의 친환경적 청정기술로 발전시키고자 환경보전과 자원확보를 위한 폐기물의 자원화를 최종목표로, 1단계(2000. 7~2003. 6)에는 자원화 재활용을 위한 기반을 조성하였고, 2단계(2003. 7~2006. 3)에는 재활용 실증기술을 확립하였으며, 3단계(2006. 4~2010. 3)에는 실증된 기술의 표준화를 통해 상용화를 추진하였다.

국내외 기술동향의 면밀한 분석을 통하여 환경적 현안문제 해결을 위한 기술, 자원순환형 사회구축의 기반이 되는 미래 재활용기술, BT·NT·IT와의 융합기술을 중심으로 목표가 정량화된 기술로드맵을 작성하고, 이를 근거로 주요핵심기술 개발이 요구되는 우선순위에 따라 환경개선 효과가 크고 경제적 회수 가치가 큰 유기계와 무기계 폐기물을 선정하였다. 이에 대해 유기계인 페플라스틱·폐유지·페타이어를 대상으로 2개 분과(고분자원료화, 유기물자원화), 무기계인 폐PC·폐촉매·폐전지·도금폐수·폐산·폐자동차·폐분진·철강슬러지·소각재를 대상으로 2개 분과(유가금속회수, 무기물자원화), 그리고 정책 및 과제지원을 위한 공통기반과제로 구성하였으며, 과제특성에 맞는 연구추진계획을 수립하고 사업을 추진하여 우수한 성과를 확보하였다.

사업단은 산·학·연 연구 네트워크 구축 및 국내외 재활용기술 동향의 면밀한 분석을 통하여 환경현안문제 해결기술, 자원순환적 이용기술, IT·NT와의 융합기술을 중심으로 성공적인 기술개발을 이루었으며, 지난 10년의 연구개발 결과 국내외 논문 778편, 국내외 특허 667건 등 국내 재활용 활성화 위한 원천기술을 확립하였으며, 총 204억, 105건의 산업체 기술이전 성과를 통하여 국내 재활용 산업의 활성화에 기여하였다. 개발된 재활용 기술이 실용화되면 연평균 5~13% 성장을 보이는 5조 원 규모의 국내 재활용 산업을 활성화시키고, 부가가치를 창출하며, 고용을 촉진할 수 있다. 또한, 페플라스틱, 폐전기전자기기의 재활용률을 70% 이상으로 제고하여 유한한 자원을 효율적으로 이용할 수 있을 뿐만 아니라 자원의 해외 의존도가 75% 이상(광물자원 수입액 9조 원)인 국내의 현실에서 생산활동에 필요한 자원을 안정적으로 확보할 수 있다. 또한, 환경기술의 완성은 국가 환경정책 방향과 밀접한 관계를 갖고 있으므로 개발된 기술의 성공적 현장 적용을 위해 품목별 재활용 촉진 정책 제시와 폐기물의 전과정 영향평가에 의해 적정처리 방안 선정을 목적으로 공통기반연구를 수행하였으며, 모든 연구개발성과 및 재활용기술 관련정보를 D/B화하여 재활용 인프라를 구축하였다.

기술로드맵



나. 사업관리 및 경영성과 부문

사업단장이 독립적으로 모든 권한과 책임을 갖고 사업목표 달성이 최우선인 프론티어사업의 기본철학에 충실하기 위해 국내외 모든 역량의 집중 결집화에 최선을 다하였다. 특히, 본 사업은 교육과학기술부 연구개발정책의 큰 틀 내에서 기술수요부처인 환경부와 협의, 조정 등 긴밀한 협조체제를 이루어 차별화된 독창적 선진 기술과 함께 환경개선 효과가 큰 기술개발을 사업목표에 반영하였으며, 생산자책임재활용제도, 분리배출표시제, 자원순환특화단지 등 정부의 환경정책 결정에도 일익을 담당하였다.

중복성이 검증된 범위 내에서 세부기획을 거쳐 우선순위에 따라 과제를 선정하였으며, 사업단의 최종목표 충족 가능성을 연구책임자 선정의 최우선 지표로 삼았다. 평가의 전문성을 갖도록 과제의 선정부터 최종평가까지 책임평가제를 적용하였으며, 객관적이고 공정한 평가를 위해 평가위원 선정부터 평가지표 설정 등 모든 절차에 선진평가기법을 도입하였다. 특히, 평가위원들의 평가의견을 연구책임자에게 Feedback하여 이후 연구에 반영, 연구의 내실화를 기하였다. 평가절차, 평가결과 확정 등 모든 주요 안건에 대해 사업단 운영위원회의 심의를 거쳐 시행하였으며, 중장기 계획수립과 여건 변화에 따른 차기 과제기획은 별도의 기술연구회를 구성 운용하였다. 연구의 지속성 및 효율성 증대를 위해 모든 과제에 대하여 다년간협약을 체결하였으며, 연구비의 효율적 집행을 유도하였고, 연구비 정산 시 불인정되지 않도록 철저한 사전교육과 현장점검을 실시하였다.

사업단 운영의 핵심인 연구과제의 성공적 수행을 위해 다각적 관리시스템을 구축하였다. 첫째, 연구목표대비 추진실적, 미진부분에 대한 향후대책, 주요 연구성과를 월 단위로 홈페이지 상에 연구자가 직접 입력, 자기관리가 가능하도록 사이버 공간을 마련하였다. 둘째, 과제참여자들 간의 기술교류 및 협력 강화와 타 과제 추진 내용에 대한 상호 이해 및 조연을 통한 시너지 창출을 위해 내부 워크숍을 연 1회 개최하였다. 셋째, 연 1회 연구현장 방문 실사를 통해 연구진행상황 점검 및 문제점에 대한 심도있는 토의를 거쳐 해결방안을 마련하였다. 넷째, 실용화가 목표인 과제는 초기부터 기업의 참여를 의무화하여 효율적 기술개발 및 조기 상용화를 추진하였으며, 50% 이상 과제 진행 시 전문평가기관으로부터 폐기물 확보, 재활용 공정, 제품판매에 이르는 전 주기적 사업성 평가를 받아 그 결과를 근거로 연구 방향 및 상용화 추진 계획을 보완하였다.

또한 해외선진기술을 흡수하기 위해 일본, 독일, 미국 등 재활용 관련 선진 연구기관에 위탁연구를 추진하였다. 특히 일본 및 베트남에 현지 실험실을 구축하고 연구원의 장기 체류를 통해 효과적 선진 기술 습득과 해외기술수출 거점 확보 수단으로 활용하였다.

제시된 전체 목표 범위 내에서 지속적 모니터링을 통한 연구여건의 변화에 탄력적으로 대응하였으며, 재활용 기술의 연구동향 및 시장현황 분석을 통한 사업단 연구계획 조정을 위한 특허맵 작성 및 특허자산 활용가능성 제고를 위한 특허자산실사, 사업단 특허의 권리성 강화 및 공백특허 도출을 위한 특허전략전문가를 유치하여 사업단 성과의 효율적 활용을 제고하였다.

사업단의 연구성과에 대해 각종 미디어를 통한 홍보활동을 강화하여 총 352건의 언론홍보실적이 있었으며, 분기별로 사업단 Newsletter를 발간하여 유관기관에 배포하고 그 내용을 홈페이지상 webzine으로 구현하였다. 국제심포지움을 개최하여 사업홍보 및 국내기술의 검증과 해외기술의 동향 분석을 실시하고, 외국 전문가를 초청하여 재활용 활성화를 위한 인프라구축, 환경선진국의 재활용기술개발 현황에 대한 자문을 얻어 사업관리에 적용하였다. 사업단 기술의 마케팅 및 검증을 위해 연구성과발표회, 환경전시회 및 국제 심포지움을 개최, 참여하여 사업단에서 개발되고 있는 재활용 기술 및 제품을 전시·발표하였다.

2. 대표적 성공사례

번호	대표적 연구성과명	연구기관(책임자)
1	혼합 폐플라스틱 종합 자동선별분리 기술개발	수원대학교 (최우진)
2	폐플라스틱 열분해 유화공정 기술개발	한국에너지기술연구원 (신대현)
3	가연성 폐기물로부터 에너지 자원 추출 기술개발	한국에너지기술연구원 (김재호)
4	페타이어 이용 고무플라스틱 복합소재 제조 기술개발	경상대학교 (김진국)
5	폐전기전자기기의 토탈 리사이클링 기술개발	한국지질자원연구원 (이재천)
6	폐전지로부터 유기금속회수 및 소재화 기술개발	한국지질자원연구원 (손정수)
7	지능형 폐자동차 해체시스템 기술개발	(주)오토에코 (원종수)
8	IT산업 공정폐액으로부터 유용자원 회수 기술개발	포항산업과학연구원 (박성국)
9	폐분진 이용 에코소재 상용화 기술개발	경기대학교 (김유택)
10	생활폐기물 소각 바닥재 토건재료화 기술개발	한국지질자원연구원 (안지환)

01 | 혼합 폐플라스틱 종합 자동선별분리 기술개발

- 혼합 폐플라스틱 종합 자동선별분리 시스템 운영
- 독일 기술 대비 설비투자비 50%, 공정운전비 30% 이상 절감 가능
- 폐플라스틱 1kg 재활용 시 약 1.56kg의 이산화탄소 저감 효과

현재 쓰레기 중 가장 골치 아픈 것 중의 하나가 플라스틱이다. 우선 배출량이 많고 분해가 잘 되지 않아 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 소각할 경우 공기 오염은 물론 유해물질인 다이옥신을 발생시킨다. 물론 플라스틱을 재질별로 분리하면, 플라스틱 재생제품, 오일, 석유화학 원료, 청정가스 등으로 다양하게 재활용할 수 있으나 최근까지 혼합폐플라스틱의 분리를 수작업에 의존하다보니 많은 노동력과 넓은 부지가 필요하고, 분별효율도 매우 낮았다.

최근에는 노동력을 전혀 투입하지 않고 근적외선(Near Infrared)을 이용하여 감지 후 종류별로 분리하거나 또는 서로 다른 플라스틱이 마찰전기를 띠도록 한 후 전기장을 통해 플라스틱을 종류별로 선별하는 자동분리 선별장치가 개발되었다. 근적외선에 의한 분리는 컨베이어 벨트 위로 이송되는 다양한 플라스틱을 근적외선을 이용하여 반사광의 파장분석으로 플라스틱 종류를 식별한 후 컴퓨터로 제어하여 분리 배출하는 방법이다. 또한, 마찰하전형 정전분리는 플라스틱의 종류에 따라 마찰을 시키면 상대적인 하전량에 따라 각기 다른 전하를 가지게 되고 높은 전기장에서 반대극 쪽으로 끌리게 되어 분리된다.

현재 근적외선 자동분리 선별장치의 우수성을 인정받아 밀양, 용인, 김해, 파주, 양주 등 지자체와 일본에 해외기술 수출의 쾌거를 이루었다. 또한, 마찰하전선별, 풍력비중선별 신기술을 개발, 접목시켜 세계 최초로 혼합 폐플라스틱 종합 자동분리 선별시스템을 과천시에 설치, 시범화 사업을 성공적으로 완료하였다.

국내 발생 폐플라스틱을 분리선별에 의해 재활용시 4,000억 원/년 이상의 경제적 효과가 예상되며, 700만 톤의 이산화탄소 저감으로 소나무 14억 그루를 심은 효과를 얻을 수 있다.



02 | 폐플라스틱 열분해 유화공정 기술개발

- 열분해 유화 실증플랜트(3,000톤/년) 건설 및 상용 설계기술 확보
- 자동화 연속식 열분해 기술로 고분자 폐기물의 재활용 확대 및 수입에너지 대체
- The 2005 World Expo(Aichi, Japan) Global 100 Eco-Tech Awards 수상

생활계 및 사업장에서 발생하는 폐플라스틱을 대량원료로 하는 3,000톤/년 규모의 연속식 열분해 유화 실증플랜트를 건설하고, 대규모 상용 플랜트의 설계 기술을 확립하였다.

2002년도 국내의 폐플라스틱 발생량은 약 365만 톤으로 집계되고 있다. 이 중 약 25%만이 재활용되고 있으며, 나머지 대부분은 매립과 소각에 의해 처리되고 있어 합리적인 재활용 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 석유로부터 생산되는 플라스틱을 석유자원으로 순환시키는 유화기술개발은 폐플라스틱 재활용의 근원적인 해결책이 될 수 있다. 그러나 국내의 경우 중국 또는 유럽, 일본 등으로부터 검증되지 않은 저급기술들이 도입되어 10여 기의 소규모의 플랜트가 건설된 바 있으나 국내 실정에 부적합하여 정상적으로 가동되지 못하고 있다.

이번에 개발된 열분해 유화 공정은 원료 용융에 의한 PVC 염소성분 제거, Fired Heater형 고효율 열분해 반응(PFR) 시스템, 고온 고점도용 펌프 및 레벨 제어시스템에 의한 연속식 자동화 공정이다.

또한, 감압증류에 의한 제품 정제 및 주 반응기의 열분해 온도를 420~430℃ 범위로 하여 부산물(가스)의 공정 연료화에 의한 자체 에너지 소비율 15% 이하인 첨단 공정으로서 75% 이상을 연료유로 얻을 수 있다. 특히, 왁스가 없는 고순도 경유 대체 연료 생산 및 페수·페가스·잔류물 등 2차 환경오염이 최소화된 무촉매 연속 공정으로 규모에 따른 설비의 대형화가 가능하여 보다 높은 경제성을 확보할 수 있다.

연간 발생하는 폐플라스틱 중 유화가능한 EPR 대상 유기폐기물 130만 톤을 개발된 열분해 유화 공정을 통하여 연료화하면 75%의 수율을 기준으로 할 때 약 100만 TOE의 에너지 자원이 있고, 약 5,000억 원의 원유수입 대체 효과가 발생할 것으로 기대된다.



03 | 가연성 폐기물로부터 에너지 자원 추출 기술개발

- 가연성 폐기물로부터 2,300Kcal/Nm³의 가스 자원 생산 기술 확보
- 1,500톤/년 Pilot Plant 장기 운영을 통한 상용화 기술 확립
- 생성가스의 고부가가치(가스엔진 등) 이용 및 전환기술(수소) 확보

자원 고갈에 의한 고유가는 자원 안보시대로 전환되었으며, 이에 따라 폐기물도 새로운 자원의 개념으로 자원 추출 기술이 요구되고 있다. 폐기물로부터 자원 추출 방법 중 열적 처리 방법은 신속하고 대규모로 이용 가능한 기술이다. 현재 국내에서 발생하는 가연성 폐기물의 자원량은 약 840만 톤/년으로, 이들은 소각하여 소각열을 이용하거나, 고형연료로 만들어 대용량의 열설비의 보조열원으로 사용되고 있어, 에너지 자원 추출 개념보다는 처리개념으로 이용되고 있다. 따라서 이들로부터 효율적으로 에너지 자원을 추출하는 공정 개발은 매우 시급하다.

본 기술은 가연성 폐기물로부터 에너지 자원인 합성가스(CO+H₂)를 추출하는 공정 개발 및 합성가스의 이용 기술로 나뉜다. 본 기술의 개발을 위해 (주)서울암면 천안 공장에 5톤/일 규모의 pilot plant를 설치하였으며, 장기 운영을 통한 공정의 안정성 실험 및 생성된 합성가스의 고급화 실험 등이 수행되었으며, 생성된 합성가스의 연소 실험을 통해 합성가스의 가스자원으로의 이용 기술도 개발하였다. 개발된 공정은 5일 이상 연속운전을 통해 공정의 안정성이 확보되었으며, 발생된 가스의 조성은 CO : 30~32%, CO₂ : 18~28%, H₂ : 36~50%, CH₄ : 2~3%로 냉가스효율은 약 75%였으며, 생성가스의 발열량은 2,300~2,600kcal/Nm³으로 나타났는데, 이것을 토대로 하여 국내 가연성 폐기물 발생량의 10%만을 자원화할 경우 1.38×10⁹Nm³의 합성가스의 생산이 가능하며, 이것으로 전력 생산할 경우 생산원가는 23원/kWh로 평균 전력 판매단가가 약 60원/kWh이므로 경제성이 충분하며, 이것을 원유로 환산할 경우 30만 TOE(ton of oil equivalent), 7,000만 불의 수입 대체 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 합성가스의 용도는 공업로 연료 대체 및 메탄올 등과 같은 기초화학물 합성에 이용 가능하며, 다양한 원료(석탄, 석유폐기물, 일반폐기물, biomass), 다양한 생성물(공업로 연료, 수소, 전기, chemicals)로 적용이 가능하다. 동시에 저공해, 고효율 처리가 가능하다. 또한 고효율 복합기능 부여로 청정 에너지 생산과 폐기물의 안정적인 감량화 처리라는 두 분야에 적용 가능한 원천 기술로 활용할 수 있다.



04 | 페타이어 이용 고무플라스틱 복합소재 제조 기술개발

- 페타이어 재활용 기술에 고부가 가치성 첨단소재 제조 기술 확립
- 폐기물 재활용 고무플라스틱 복합소재(TPV) 양산화 공정(천 톤/년) 세계 최초 개발
- 고무플라스틱 제조를 통한 수입대체(225억 원/년) 및 폐기물을 이용한 제품경쟁력 제고

‘페타이어를 이용한 고무플라스틱 복합소재 기술개발’이란 목표를 달성하기 위하여 페타이어 분말 이용 이축압출기 내에서 열가소성탄성체(TPV) 제조를 위한 핵심기술을 확보하였다.

기존 TPV는 고무적 성질을 나타내게 하는 원재료가 폐고무(waste rubber)가 아닌 순수 고무(virgin rubber)이기 때문에 기존의 고무와 동등의 고무적 성질을 가질 수 있다. 그러나 TPV를 제조함에 있어 고무적 성질을 나타내게 하는 원재료를 순수 고무(virgin rubber)가 아닌 폐고무(waste rubber)로 대체하면 열가소성 수지와 반응성이 현저히 떨어져 기존 고무제품으로 사용할 수 있는 물성을 갖지 못하는 문제점이 있다. 폐고무를 재활용하기 위한 현재의 기술들은 경제성 부분에 많은 문제점이 있어 기존의 단순이용 방법을 아직까지 선호하고 있는 실정이다. 하지만, 폐고무분말을 이용한 열가소성 탄성체 제조는 경제성뿐만 아니라 2차적인 오염문제를 유발하지 않고 폐기물의 재자원화할 수 있다는 면에서 상당히 이슈로 떠오르고 있다.

본 연구에서는 두 가지의 물질을 단순 섞음이 아니라 반응을 통해 고기능성 고무플라스틱을 제조하고자 하였다. 첫째로 실험을 통하여 플라스틱수지로 PP를 선정하였으며 반응을 시키기 위하여 PP-g-MA를 선정하였다. 둘째, 페타이어 분말을 활성화 시키기 위하여 개질시키는 기술로써 페타이어 분말표면에 UV 조사를 통하여 allylamine기를 grafting시키는 연구를 하였다. 셋째, 압출기 내에서 dynamic reaction을 일으키기 위해 충분한 체류시간을 갖는 적정 스크류조합이 필수적이다. 마지막으로 페타이어분말과 PP수지와와의 반응성을 높여 기계적 물성을 높여 주기 위한 방법으로 상용화제 SEBS-g-MA

를 선정하였다. 이를 통하여 1,000톤/년 실증플랜트를 설치, 운전하여 본 기술의 실증을 완료하고, 참여기업으로 기술 이전하여 현재 상용화를 추진하고 있다.

EPR 시행에 따라 환경적 처리 효과가 있으며, 본 기술 적용 시 연간 225억 원의 부가가치 매출 창출을 기대할 수 있다.



05 | 폐전기전자기기의 토탈 리사이클링 기술개발

- 폐전기전자기기 속 유가금속 순환자원화 시스템(3백 톤/년) 개발
- 전해침출법과 바이오침출법 등 친환경 미래원천기술 확보
- 국제환경규제(WEEE/RoHS)의 효율적 대응을 통한 국내 전자산업의 수출 경쟁력 확보

21세기는 자원전쟁 시대, 아무리 뛰어난 기술도 이를 만들 자원이 없으면 무용지물이다. 2009년 4월을 기준으로 현재 국내에는 석탄광산 5개, 금속광산 6개, 비금속광산 450개가 있지만 생산량은 극히 소량으로 광석의 대부분은 수입에 의존하고 있다. 우리나라가 해외에서 수입하는 광물자원은 연간 약 10조 원에 달하고 있으며, 천연자원이 부족한 우리나라의 안정적 자원확보를 위해 자연광산이 아닌 폐전자제품 속 유가금속을 회수하는 기술개발에 주목하고 있다. 무심코 버리는 전자제품 속에는 금과 은, 구리와 같은 값비싼 금속이 포함되어 있다. 국내에서 잠자고 있는 폐컴퓨터와 폐휴대폰만 재활용해도 금 3,900kg, 은 22톤, 팔라듐 1,800kg, 구리 2,500톤을 추출할 수 있으며, 이를 금액으로 환산하면 2,100억 원에 이른다. 하지만, 2005년 국내에서 발생한 TV·냉장고·세탁기와 같은 폐전자제품은 약 860만 대로 29.2만 톤에 이르고 휴대폰은 연간 1천만 대 이상이 버려지고 있지만 재활용되는 것은 296만 대에 불과하다.

예전에는 컴퓨터와 휴대전화 등 전자제품의 인쇄회로기판을 재활용하기 위해 제련소의 용광로에서 녹이는 방법을 사용하였다. 그러나, 개발된 기술은 해체, 파·분쇄, 선별 등 일련의 물리적 처리 공정을 통한 유용금속의 효율적 농축으로 회수율이 95% 이상 획기적으로 향상되었으며, 팔라듐, 로듐 등 금보다 고가의 귀금속들도 동시에 농축 회수가 가능해졌다. 또한, 폐전기전자제품으로부터 유가금속을 회수하기 위해 습식·건식제련뿐만 아니라 전기화학적 성질을 이용하는 전해침출법과 미생물을 이용하는 바이오 침출법을 개발하여 2010년 시범화 공장에 적용할 계획이다.

EPR 시행에 따라 본격적 수거가 이루어지고 있는 국내 폐PC 100만 대에 본 기술 적용 시 연간 250억 원의 부가가치 창출이 기대되며, 연간 800만 대 이상 발생이 예상되는 폐휴대폰에 적용 시 약 300억 원의 귀금속 회수로 전자제품 제조 원료로 재투입할 수 있는 자원의 순환적 이용이 가능한 기술이다. 따라서, 자원빈국인 우리나라에 산업원료소재의 안정적인 확보가 가능하며, 연 120만 톤의 이산화탄소 저감의 부가적인 효과도 얻을 수 있다.



06 | 폐전지로부터 유가금속회수 및 소재화 기술개발

- 코발트 재활용률 90% 이상, 망간 및 아연 재활용률 80% 이상의 폐수 저감형 폐전지 재활용 기술 완성
- 500톤/년 Pilot Plant 설치 및 운전으로 상용화 기술 확립

정보기술의 발달로 건전지, 충전지의 용도가 늘어나면서 수명이 다해 버려지는 폐건전지의 양도 늘고 있다. 폐전지는 연간 약 10억 개 이상 발생하고 있으며 2003년부터는 과거 예치금부과대상이던 산화은전지가 생산자책임재활용제도의 대상에 포함되었으며, 2005년에는 리튬이온전지가 추가로 포함되었다. 2007년부터는 망간전지 및 알카리망간전지 등의 모든 폐전지를 EPR 대상에 포함되므로 폐전지 재활용 기술개발은 필수적이다. 따라서, 그냥 버려지면 환경을 오염시키게 되는 폐건전지를 안전하게 분해해 코발트, 망간, 아연 등 금속들을 회수해 자원화하는 기술을 개발하였다.

혼합폐전지를 형상적 선별공정 후 파·분쇄과정, 자력선별과정 및 공기분급을 겸비한 와전류 선별기를 개발하여 아연을 95% 이상 회수하였다. 이들을 분리한 후 농축 과정으로 얻어진 산물을 습식공정을 통하여 공침법을 이용한 망간-아연 페라이트 제조(망간,알카리 망간전지) 그리고, 산을 이용한 코발트산화물 및 미립코발트 복합 산화물 제조 기술(리튬 2차전지)을 확립하였다. 물리적 처리 및 화학적 처리 공정을 통하여 코발트 재활용률 90% 이상, 망간 및 아연 재활용률 80% 이상의 폐수저감형 재활용 기술로써 폐전지 단일품목의 재활용이 아닌 납축전지를 제외한 1차, 2차전지 전체를 대상으로 하고 있어 국내에서 발생하는 폐전지의 종합적인 재활용이 가능하게 되었다.

본 연구의 기술의 상용화가 완료되면 리튬전지로부터 코발트를 자원화하면 초경합금, 촉매 등으로 사용되는 코발트를 연간 30~60톤 수입 대체할 수 있고, 망간전지 및 알카리망간전지를 연간 만 톤을 재활용할 경우 망간 1,700톤 및 아연 2,000톤을 회수가 가능하여 수입에 의존하고 있는 전지용



전해이산화망간과 연질페라이트용 고순도 망간산화물을 제조할 수 있는 원료를 폐망간전지로부터 제공받을 수 있어 국내 건전지 산업 및 페라이트 제조 산업의 경쟁력을 높일 수 있어 국내는 물론 외국에도 기술이전이 가능한 유망한 분야로 각광받고 있다. 또한, 현재 전량 수입되고 있는 망간과 국내 자급도가 2.7%인 아연의 수입대체효과를 얻을 수 있으며, 부가적으로 22만톤 CO₂ 절감 효과를 가질 수 있다.

07 | 지능형 폐자동차 해체시스템 기술개발

- 해체 공정 전산화 S/W 개발 및 폐차 해체 플랜트(6천 대/년) 시범 운영
- EU 폐차 재활용 법규에 대한 대응 전략 기술개발
- 해체 시범 플랜트 표준화(만 대/년), 사업화 성공(운영 5건, 계약완료 7건)

최근 들어 자동차 재활용은 세계적으로 중요한 테마로 떠오르고 있다. EU는 1997년도에 제의된 폐자동차 재활용 법규에 따라 2006년도부터 85%, 2016년도부터 95% 재활용을 의무화하고 있으며, 이의 미이행시 EU로의 자동차 수출이 금지될 예정이다. 국내의 경우 2006년 1월 환경부에서는 전기·전자제품과 자동차의 설계, 생산, 재활용 등 전 과정의 환경성이 강화된다고 보고하였으며, 전자제품이나 자동차에 유해물질 사용을 제한하고 자동차의 사후 재활용 규정을 신설한 ‘전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률안’을 입법 예고했다. 이러한 국내의 폐자동차 관련 법규의 강화에 대응하여 국내 최초로 전산 관리체계가 적용된 지능형 폐자동차 해체시스템 개발을 완료하여 10,000대/년 규모의 시범화 사업 라인을 구축하였다.

개발된 폐자동차 해체시스템의 특징은 각 폐차장별로 다품종 소량을 처리해야 하는 국내 폐자동차 산업 실정에 적합한 아일랜드형(Island Type)으로써, 고유 전산체계로 관리되는 지능형 시스템으로 처리용량 대비 인건비의 대폭 절감이 가능하고, 액상류(연료, 엔진오일, 부동액 등)의 진공흡입, 해체 각도의 조절 등에 의해 안전한 부품추출과 해체효율이 높으며, 2차원 바코드에 의한 체계적 부품관리에 의해 약 3배 이상의 고부가 창출이 가능하다. 또한, 해체 후 파쇄공정에서 필연적으로 발생하나 재활용에 많은 비용이 소요되는 분쇄잔류물(Automobile Shredder Dust, ASR) 발생량이 원천적 감소되는 효율적 해체시스템이다.

개발된 저가의 해체시스템이 보급되면 폐차장 작업효율 및 환경 개선, 중고부품 유통 활성화, 영세 폐차업의 고부가가치화 구조개선이 가능하다. 또한, 효율적으로 수거·관리되는 중고부품을 수출용 중고자동차 부품으로 우선 공급할 경우, 중고차 A/S 개선 및 한국차량에 대한 이미지 상승과 더불어 신차 수출효과로 이어지게 될 것으로 예상되고 있다. 이러한 폐자동차 해체기술은 IT(정보기술)와 ET(환경기술)가 접목된 한국형 고유 해체기술에 의해 EU의 폐자동차 규제 목표인 재활용률 95% 달성을 위한 인프라 구축에 크게 기여할 예정이다.



08 | IT산업 공정폐액으로부터 유용자원 회수 기술개발

- 용매추출, 이온교환, 진공증발, 확산투석 기술에 의한 공업용 인산 및 LCD급 고순도 인산 회수(99% 이상 회수, 불순물 1ppm 이하)
- 60톤/월 Pilot Plant 설치 및 운전으로 상용화 기술 확립

최근 생산량이 급증하고 있는 전기전자제품의 제조공정폐액을 자원화하기 위하여 재활용 LCD 및 반도체 제조공정에서 발생하는 질산, 초산, 인산, 금속불순물 등을 함유하는 혼합폐산으로부터 불순물 1ppm 이하의 고순도 인산 및 불순물 수십 ppm 이하의 공업용 인산을 효율적으로 분리·회수하는 핵심기술을 확보하였다.

2005년 12월 폐액은 89천 톤/년에 달하고 현재 100천 톤/년을 상회할 것으로 예상된다. 이러한 혼합폐산은 현재 국내에서 중화법, 역삼투법, 증발법 등 고전적인 방법으로 비효율적 처리를 하고 있으나 완전한 재활용이 이루어지지 않고 있어 고가의 자원이 유실되고 있으며 처리기술상의 문제로 2차 폐수의 발생이 많고 환경적으로 유해하다.

따라서 본 연구에서는 용매추출법 및 진공증발법으로 산을 분리·회수함에 있어 처리 효율성과 회수율을 획기적으로 향상시킨 공정개발로 산회수율 99%를 확보하고 확산투석법 및 이온교환법으로 불순물인 금속성분을 1ppm 이하로 분리, 정제할 수 있는 기술을 개발하였다. 상용화 기술의 확보를 위하여 60톤/월 Pilot 장치를 설계 제작하였으며 이를 이용한 실증화 연구를 통하여 대용량 연속처리 기술 및 관련된 요소기술들을 개발함으로써 상용화의 기틀을 확립하였으며 여기에서도 산회수율 99%, 불순물 1ppm 이하로 매우 양호한 결과를 얻었다. 현재 참여기업으로 기술이전하여 6,000톤/년의 상용화 시설을 구축하였다. 또한, LCD 공정폐액 이외에도 ITO 에칭폐액, Cr 에칭폐액, TMAH 현상폐액, MLB 제조폐액 등에 대하여도 일본의 간사이대학교 공동연구를 통하여 실용화단계까지 기술을 개발하였다.



이러한 개발 공정에 의하면 철강 및 비철 제련, 표면처리, 금속가공업계의 도금폐액, 산세폐액, 식각폐액 등의 폐산을 재활용할 수 있는 효과뿐만 아니라, 2차 폐수의 발생량을 90% 이상 줄일 수 있다. 또한, 경제적인 측면에서도 처리비용이 매우 낮아 기대이익은 346억 원에 달하는 것으로 나타났다. 그리고 고부가화하기 위하여 인산염 화학제품을 제조하게 될 경우에는 기대이익은 거의 2배가 될 것으로 예상된다.

09 | 폐분진 이용 에코소재 상용화 기술개발

- 에코경량골재 시제품 Pilot(100m³/일) 및 시장성 반영한 2차 시제품 제작
- (주)두산산업개발과 인공경량골재 전량 공급 MOU 체결
- 남동발전 170억 투자유치 성공 및 남부발전 사업화 MOU 체결

무기계 산업 폐분진은 석탄회, 철강 더스트, 석분 등을 포함 국내에서 연간 7천만 톤 가량 배출되며, 그 발생량이 매년 증가하고 있는 실정이다. 그러나 이들의 안전한 재활용은 선진국에 비하여 미미한 실정이며 특히 일부 지정폐기물의 경우 부적절한 매립으로 국토를 심각하게 오염시키고 있다. 또한, 2003년 6월까지 한시적으로 매립이 허용되었던 유기성오니의 직매립이 금지되었고, 조만간 우리나라도 런던협약에 의해 해양투기가 금지되면 발생하는 막대한 양의 하수오니에 대한 적절한 자원화 방안이 절실한 실정이다.

개발된 에코인공경량골재는 각종 폐기물 및 폐분진을 40%(중량비) 이상 원료로 사용하여 제조되며 자원화 대상 폐기물은 하수오니 슬러지, 제강분진, 냉연·열연 슬러지, 석분오니 등이며, 이들을 적절히 조합하여 에코소재화 하였다. 일부 선진국에서도 인공경량골재의 제조기술을 보유하고 있지만, 폐기물을 이용해서 제조하는 경량골재 제조기술, 특히 여러가지 폐기물을 복합적으로 조합하여 사용하는 예는 찾아보기 힘든 독자적 기술이다. 또한, 에코인공경량골재는 안전성과 경제성을 모두 갖추었다. 장기 공용성 평가결과 중금속이 전혀 검출되지 않는 것으로 확인되었고, 생산된 인공경량골재로 콘크리트를 제조하여 1년간 양생한 후 용출 시험한 결과에서도 폐기물 관리법 시행규칙의 기준치를 훨씬 밑도는 것을 확인하여 매우 안전한 골재로 판명되었다. 이 기술의 장점으로는 폐기물을 원료로 사용함으로써 원료비가 대폭 절감되고, 기존의 인공골재 제조온도보다 소성온도를 100℃ 이상 낮출 수 있어 공정연료비를 20% 이상 절감하였으며, 현 폐기물 처리비까지 원가에 반영할 경우, 수입골재의 약 1/3~1/8 수준으로 판매가 가능하다.

국내 소요량의 30%를 본 기술에 의해 생산 시 연간 400억 원의 경제적 이익이 예상되며, 폐기물 발생업체의 폐기물 처리시설에 대한 투자비 감소, 처리비용의 절감, 에코제품의 활성화로 환경 도시 구축에 걸맞는 기술로 평가 되어진다. 또한 남동발전 영흥화력 내에 연산 20만m³ 규모의 인공경량골재 제조설비를 설치, 석탄회 재활용 인공경량골재사업을 공동 추진하고 있으며, 남부발전과도 사업화 MOU를 체결하였다.



10 | 생활폐기물 소각 바닥재 토건재료화 기술개발

- 소각재 재활용 '복합처리 실험동' 처리플랜트(3천 톤/년) 구축 완료(민자유치 총 15억 원)
- 소각재 재활용 공동 시범화 사업(대전시, 100억) 및 수도권매립지와 실증화 사업(70억) 추진

현재 국내에서는 생활계 폐기물 소각장에서 대량 발생하는 바닥재(전체 소각재의 80~90%)에는 철·비철 금속류, 유리류, 도자기류, 슬래그 등 유가자원이 상당량 포함되어 있음에도 불구하고 대부분 매립되고 있는 실정이다. 또한 바닥재에 포함된 중금속, 염소성분 등에 의해 매립장 주변 토양, 수질의 2차 오염 폐해가 유발될 수 있으므로, 매립 최소화 및 2차 오염 방지, 폐기물 자원화를 위해 생활폐기물 소각장 바닥재의 안정화 처리 및 소재화 기술, 제품 활용기술 등 관련 재활용 기술의 시급한 개발 보급이 요구되고 있다.

선진국에서는 생활폐기물 소각재로 모래 같은 천연골재를 대체하고 있으나, 우리나라는 생활문화로 인해 소각바닥재 속에 염소(Cl) 함량이 높아 수질을 오염시키고, 철근을 부식시켜 재활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 소각장의 부산물 성분을 조사하여 독자적 분류시스템에 따라 처리 가능한 실증플랜트(3천 톤/년)가 개발되었다. 이 기술은 중금속 성분을 안정화 시키고, 수세공정을 통해 염소를 제거하여 토건재료로 활용할 수 있으며, 또한 수세공정 없이 염소를 그대로 이용한 특수시멘트 클링커 합성하는 기술도 개발하였다. 생활폐기물 소각 바닥재의 안정화 기술 및 보통 포틀랜드 시멘트의 원료화 기술, 토건재료로서의 활용 기술, 특수시멘트의 개발과 이를 이용한 다양한 용도의 제품 개발과 더불어 나아가 고부가가치를 창출할 수 있는 환경재료로서의 영역까지 확대해 가고 있으며, 각종 산업 및 지자체 폐기물과의 복합처리기술을 개발하여 재활용할 수 있게 된 것이다. 특히 온실가스의 주범인 이산화탄소를 포집하여 안정화 시킬 수 있는 기술도 개발되었다.



생활폐기물 소각 바닥재 등 5천만 톤 이상의 무기성 폐기물 재활용 원천기술 및 상용기술의 확보로 온실 가스 저감 효과 및 CDM 사업을 통한 146백만 원/년의 경제적 효과가 예상된다. 현재 대전시와 소각재 활용 공동 시범화 사업 추진 중에 있으며, 수도권매립지 내에 실증화 사업을 수행하고 있다.

3. 정량적 연구성과

(단위: 건수, 백만 원)

구분	논문게재			학술발표			특허출원			특허등록			기술료			
	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	국내	국외	계	계약		징수	
													건수	금액	건수	금액
1단계	131	47	178	319	98	417	117	4	121	14	0	14	35	5,569	26	1,116
2단계	157	89	246	372	232	604	88	21	109	106	3	109	41	7,228	32	1,282
3단계	177	177	354	458	351	809	157	44	201	103	10	113	29	7,637	20	716
합계	465	313	778	1,149	681	1,830	362	69	431	223	13	236	105	20,434	78	3,114

4. 정성적 연구성과

'재활용율 70% 제고를 위한 기술 표준화'를 위해 원천기술 확보, 실증플랜트 건설 및 장기운전을 통한 체계적인 재활용 기술 완성으로 상용화 가능성을 제고하였고, 기후변화대응 등 지속가능발전 사회구현을 위한 폐자원 등의 재이용, 재자원화 할 수 있는 자원순환 녹색기술을 개발하였다.

산·학·연 재활용 전문연구인력의 유기적 체계 구축을 통한 연구활동 및 연구협력을 극대화하였으며, 미국, 독일, 일본, 중국, 베트남, 인도 등과의 국제공동연구 진행과 일본 AIST 현지 Lab. 및 베트남 하노이 기술대학교 공동연구실험실 운영으로 국제협력을 활성화 하였다.

논문·특허맵 분석, 기술가치평가, 기술자산분석, 특허전문가 활용 등 재활용기술 실용화를 위한 세부 과제 정보와 인프라를 지원하였으며, 기술완성 시 대상 폐기물 자원화를 통한 이산화탄소 저감으로 녹색성장을 주도하였다.

분야/기술별 주요 정성적 성과를 요약하면 다음과 같다.

분야	기술	주요 정성적 성과
고분자 원료화	화학원료화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 저급 페플리에스터의 화학 원료화 국내 고유기술 확보 폐자원 재활용에 의한 환경문제 해결 및 석유화학 기초물질 수입대체 효과(300억 원/년)
	바이오텔 생산기술	<ul style="list-style-type: none"> 산업폐유지로부터 바이오텔 생산기술 확보 및 바이오텔의 차량연료 적합성 평가 완료 바이오텔 생산 원료 수입 대체 효과(500억 원/년)
유기물 자원화	재질별 선별 기술	<ul style="list-style-type: none"> 페플라스틱 선별·재활용 기술의 package 완성으로 국내 보급 및 기술 수출에 기여 페플라스틱의 에너지원 전환으로 수입대체 효과(15만톤의 유연탄 대체)
	열경화성 수지 재활용	<ul style="list-style-type: none"> 초임계 유체 공정 재활용 기술 확립으로 연간 약 55만톤 이상의 폐열경화성수지 복합체의 재이용 및 자원활용성 제고 범용 고분자 재료 가공 기술 분야의 확대 발전
유기금속 회수	유용금속 회수기술	<ul style="list-style-type: none"> 폐전기·전자기로부터 유용물질의 순환활용에 의한 자원확보 및 환경오염 방지 기술 확보 확보된 유기금속 추출 및 정제기술의 타분야 확대 응용 국제환경규제(WEEE/RoHS)의 효율적 대응을 통한 국내 전자산업의 수출 경쟁력 확보
	폐전자 자원화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 단순 매립되는 폐전자로부터 전략광물 회수기술 확립 및 제조산업 원료의 국산화 폐전자로부터 코발트 자원화로 30~60톤/년 수입 대체
	차량 해체 및 ASR 처리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 재활용의 모니터링을 통한 폐기물 재활용 추적 및 환경물류 시스템 개발 폐차 재활용율 제고 및 EU의 재활용 목표(95%) 달성으로 무역장애 극복 및 수출 촉진 에어컨 냉매 회수 등 이산화탄소배출권 획득을 위한 CDM 사업화 기술
	폐혼산 분리 회수 기술	<ul style="list-style-type: none"> 산 분리기술 및 금속불순물 정제기술의 확립으로 각종 무기계 폐산의 재활용 공정 확대 적용 환경오염 방지 및 폐자원 활용 청정기술로 300억 원/년 이상의 기초원료 자원화
	폐촉매 자원화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 습식방법의 단점인 촉매의 배소 탈황공정을 개선한 고순도 V 합금 분리 건식 신공정 개발 유기자원 해외유출 방지 및 연간 약 500억 원 바나듐 정광 및 페로바나듐 수입 대체 효과

분야	기술	주요 정성적 성과
무기물 자원화	폐분진 에코소재화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 최초 인공경량세골재 제조기술 확립 및 발전소 저회 세골재화 자원화 확대 자원화를 통한 자연세골재(모래) 부족현상 해소 및 관련 분야 활성화
	토건재료화 기술	<ul style="list-style-type: none"> 중금속의 영향, 고용 특성 규명으로 중금속 미량성분 고정화 연구 활성화 유도 소각 바닥재 처리기술 개발로 도시 고형 폐기물의 환경 부하 감소



5. 기타 연구성과

가. 장비구축

구분	성과			
	1단계	2단계	3단계	합계
장비구축	27	29	28	84

대상폐기물	장비명	1단계	2단계	3단계
페플라스틱	경유대체 고급연료유 생산	 70톤/년	 360톤/년	 3천톤/년
	가연성 폐기물 가스화	-	 1톤/hr(연소시스템)	 1.5천톤/년
	페PS로부터 SM 회수	 20kg/일(열분해) 1kg/일(촉매제조)	 6톤/년	 3백톤/년
	경질 페PU 해중합	 100kg/회	 30톤/년	 천톤/년
	저급폴리에스터 재활용	 3천톤/년(올리고머)	 10kg/일	 3백톤/년
	혼합페플라스틱 용매분리	 1.2천톤/년	 2천톤/년(전사지)	 3천톤/년

대상폐기물	장비명	1단계	2단계	3단계
페플라스틱	근적외선 선별기	 50Kg/hr	 3천톤/년	-
	풍력·비중 대량처리	-	 0.5톤/hr	 3천톤/년
	마찰하전형 선별기	 50kg/hr	 300kg/hr	 2천톤/년
	재질별 종합자동분리	-	-	 2천톤/년
	무·유기 복합소재화	 열압착성형기	-	 70kg/hr(초임계)
	폐식용유 산업폐유지	 30kg/일(식용유)	 3톤/일(식용유)	 30톤/년(우지/돈지)
페타이어	페타이어 분말 및 TPV 제조	 150톤/년(분말화) 50kg/일(개질)	 100톤/년(TPV)	 1.5천톤/년

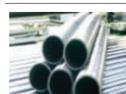
대상폐기물	장비명	1단계	2단계	3단계		
폐섬유	폐섬유 고부가제품화	-	 1.5톤/일	-		
폐전기전자 기기	폐전기전자기기 토탈리싸이클 시스템	 1톤/hr(분쇄시스템)	 300톤/년(습식)	 7kg/hr(건식)		
		 500L/회(귀금속회수)			1톤/일(전처리)	
	산화은전지 재활용	 24톤/년				
폐전지	망간전지 재활용	 500kg/일(전처리)	 500톤/년	 300톤/년(분무기)		
		 100kg/일(전기로)			300톤/년	백톤/년(전해채취)
					 50톤/년	 백톤/년(용매분리)

대상폐기물	장비명	1단계	2단계	3단계		
폐전지	리튬이차전지 재활용	-	 120톤/년(전처리)	 120톤/년(안정화)		
폐자동차	폐자동차 해체 시스템	-	 6천 대/년	 만 대/년		
반도체 공정슬러지	실리카 나노분말 제조 플랜트	-	 2kg/일	 12톤/년		
공정폐액	공정폐액 재활용	 20톤/월(에칭폐액)	 30톤/월(확산투석)	 2천 톤/월(진공증류)		
		 1톤/일(질산동폐액)			40톤/월(용매추출)	200톤/월(확산투석)
		 10톤/년(니켈폐수)			20kg/일(공정폐산)	6천 톤/년(유기용제)
	 250L/hr(크롬폐액)	 1톤/회(비료화)	-			

대상폐기물	장비명	1단계	2단계	3단계
전기·전자 산업 공정 폐액	공정폐액 재활용	 500L/회(공정폐산)	-	-
폐분진	폐분진을 이용한 에코소재화	 200톤/일(벽돌)	 100m³/일(경량골재)	 2m³/일(세골재)
철강슬러지 소각재	슬러지, 소각재의 토건재료화	 80kg/hr(철강슬러지)	 60L/회(소각재)	 3천톤/년(소각재)
용융슬래그로부터 제올라이트 제조		 0.2톤/일	 3톤/일	 1.5천톤/년
기타 폐기물	폐기물 (전기로분진, 티타늄 스크랩, 폐촉매, 슬러지 등) 재자원화	 천톤/년(페드로스)	 20Kw(티타늄)	 5m³/일(슬러지담체)
		 100L/회(ITO 타겟)	 400kg/회(폐촉매)	 200kg급(유도용해)
		-	 80톤/일(전기로분진)	-

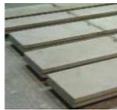
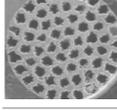
나. 시제품출시

구분	성과			
	1단계	2단계	3단계	합계
시제품출시	34	34	33	101

대상폐기물	1단계	2단계	3단계				
페플라스틱	 경화제	 DMT	 연료유	 재생PS	 가스화시스템	 재생SM	
	 바닥차음재	 방수슈트	 spandex	 지붕재폴리올	 고무칩바인더	 GF-폴리올	
	 접착여재	 상용화제	 폴리올	 폴리올레핀재생품	 미연인사	 TPA	
	 케이블 덕트	-	 배관용피팅	 근적외선 선별기	 풍력비중 선별기	 마찰하전 선별기	
	-	-	 배수관	 난연성판넬	 RPF	 종합선별기	
	폐식용유 폐유지	 폐식용유 바이오디젤	-	-	-	 폐유지 바이오디젤	-

대상폐기물	1단계		2단계		3단계	
페타이어						
	건류소각기	방음매트	브레이크페달	고무바퀴	보도블럭	라바콘
		-	-	-		
	-	-	-	-		
	-	-			-	-
	-	-			-	-
폐전자기기 폐전지						
	Ta 잉고트	Pa 박판	구리	페라이트	주석	인듐
				-		
	금	백금	코발트분말	-	아연판	CMD

대상폐기물	1단계		2단계		3단계	
폐전자기기 폐전지			-	-		
	은분말	철스크랩	-	-	황산망간아연	황산코발트
			-	-	-	-
	아연분말	Co(OH) ₂ 분말	-	-	-	-
			-	-	-	-
	아연괴	Fe-Mn 합금	-	-	-	-
공정폐액						
	구리박판	CuCl	CAN	공업용인산	LCD인산	유기용제
				-	-	-
	수처리 응집제	니켈염	액상비료	-	-	-
			-	-	-	-
	크롬산염	전파흡수제	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
	Mo 분말	-	-	-	-	-

대상폐기물	1단계		2단계		3단계	
폐자동차	-	-	-	-		-
폐분진		-				
	에코벽돌	-	에코경량골재	방음판	에코세골재	내화보드
철강슬러지 소각재		-				
	OPC 제품	-	특수시멘트	도로노반재	투수블록	대체골재
기타폐기물 (슬래그, 폐촉매 등)						
	내화벽돌	Bio Media	Ti 잉고트	Fe-V합금	Fe-Ni-Mo	V함유슬래그
						-
	제오플렉	인산수화물	담체	제올라이트	Fe제올라이트	-
-	-			-	-	
-	-	아연괴	항균여재	-	-	
-	-			-	-	
-	-	실리카분말	실리카복합체	-	-	

다. 시범화 사업

개발기술명	주요 내용	
혼합페플라스틱 재질별 자동분리시스템 완성	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합 페플라스틱 종합 시범화 사업 과천시 MOU 체결 및 플랜트 구축(2천톤/년), 운영 • 근적외선 선별기 KT, Nep 인증, IR52선정, 밀양 등 7개 지자체 보급 및 일본 기술수출 성공 	
생활폐기물 소각 바닥재의 특수 시멘트 제조 및 중금속 안정화	<ul style="list-style-type: none"> • 소각재 재활용 '복합처리 실험동' 처리플랜트(3천톤/년) 구축 완료(민자유치 총15억 원) • 소각재 재활용 공동 시범화 사업 추진(대전시, 100억) • 수도권매립지와 실증화 사업 추진(70억) 	
전산 관리체계가 접목된 폐자동차 해체 시범 플랜트 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 해체 공정 전산화 S/W 개발 및 폐차 해체 플랜트(6천대/년) 시범 운영 • EU 폐차 재활용 법규에 대한 대응 전략 기술 개발 • 해체 시범 플랜트 표준화(만대/년), 사업화 성공(운영 5건, 계약완료 7건) 	
폐분진을 이용한 에코소재화	<ul style="list-style-type: none"> • 유해 폐분진으로부터 에코벽돌, 경량골재 제조 • 경량 인공골재 제조 상용화 설비 준공(100m³/일) • 두산산업개발과 공급계약 및 전량납품 • 남동발전 170억 투자유치 성공 및 남부발전 사업화 MOU 체결 	

라. 매출발생 현황

기술명	상용화 내역	매출액(백만 원)
• 혼합페플라스틱 분리선별 기술	• 혼합페플라스틱 자동분리선별 시스템	20,250
• 폐분진을 이용한 에코소재의 상용화	• 유해 폐분진 → 에코벽돌 제조	21,000
	• 유해 폐분진 → 에코 경량골재 생산	150
• 유해 폐분진의 에코소재화	• 에코골재 시스템	16,000
• 폐주물사 · 하수슬러지를 이용한 세라믹 담체 제조기술	• 폐주물사 · 하수슬러지 → 세라믹담체	73
• 철강산업슬러지의 복합처리에 의한 실용화 기술	• 철강슬러지 → 시멘트 원료화	5,000
• 귀금속 회수 상용화 기술	• 폐컴퓨터 → 귀금속(금) 회수	32,000
• 페타이어 분말 재활용 기술	• 페타이어 → 발라스트매트 생산	135
• 폐전지로부터 유기금속 회수 및 소재화 기술	• 폐전지 → Co Sulfate, Ferrite	208
• 페플리에스터로부터 원료 물질 회수공정 개발	• 폴리에스터 공정슬러지 → DMT/EG 생산	105
• Mo 함유 고농도 질산 폐액 재활용 기술	• 질산폐액 → Mo 금속 회수	1,000
• 산업폐유로부터 바이오디젤 제품화	• 산업폐유지 → 바이오디젤	3,500
• 폐자동차 해체설비 및 전산시스템	• 폐자동차 해체시스템	1,713
• PU품 폐기물로부터 원료물질 회수	• 폐폴리우레탄 → 폴리올	727
합계		101,861

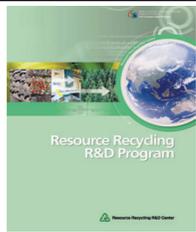
마. 환경 개선 효과(CO₂ 저감 효과)

대상폐기물	폐기물 사용량 (만 톤/년)	이산화탄소 저감 (CO ₂ 만 톤/년)	산출근거
가연성 폐기물	0.15	0.192	- 원유의 탄소배출계수 0.829톤 CO ₂ /TOE
EPS/ABS/SAN	13	24	- PS 1kg 소각 시 1.85kg CO ₂ 배출
폴리우레탄 스크랩	5	12	- PU 1kg 소각 시 2.4kg CO ₂ 배출
산업폐유지	12	23.4	- 10만 kL/년 바이오디젤은 9만kL/년의 경유 대체 - 경유 1kL 2.6톤 CO ₂ 배출
PET병	2.6	4.1	- 페플라스틱 1kg 재활용 시 약 1.56kg의 CO ₂ 저감
혼합 페플라스틱(종말품)	120	187.2	- 페플라스틱 1kg 재활용 시 약 1.56kg의 CO ₂ 저감
페타이어	9.5	5.7	- 페타이어 1kg 재활용 시 0.598kg의 CO ₂ 저감
LDPE계 발포체	2	5.6	- 페LDPE 1kg 재활용 시 2.8kg의 CO ₂ 저감
폐전기전자기기	30	30	- 고철 1kg 재활용 시 0.59kg 및 플라스틱 1kg은 1.83kg CO ₂ 저감
폐자동차	71만 대	105.7	- 휘발유 1kg당 1.2kg CO ₂ 발생 - 플라스틱 1kg 재활용 시 저감 가능한 CO ₂ = 1.3kg으로 산정 - 중고부품 적당 저감량 = 48kg - 중고부품 재활용량 = 15점/대
Si 슬러지	0.05	2.4	- Si 1톤 제조 시 CO ₂ 48톤 발생
폐인산	15	1.5	- 폐인산 1kg 당 0.1kg CO ₂ 저감
화력발전소 저회	15	0.15	- 경량골재 사용에 의한 CO ₂ 배출 감소량 - 경량골재 제조 시 사용되는 CO ₂ 배출량 = (4,648) - (3,177)
폐주물사 하수슬러지, 폐유	10	5	- 저온소결 : 240kcal/kg - 하수슬러지 : 209.1kcal/kg - 폐유 : 184.1 kcal/kg - 633.2kcal/kg×100,000톤/년÷860.42kcal/kWh×0.681kg-CO ₂ /kWh = 50,116톤-CO ₂ /년
생활폐기물 바닥재	70	11.27	- 생활폐기물 바닥재 CO ₂ 고용량 : 161kg/톤
페콘크리트	1,000	486.1	- 페콘크리트 CO ₂ 고용량 : 486.1kg/톤
합계		904.312	

6. 연구성과의 홍보

가. 대외홍보

- 사업단 소개 및 기술개발 현황 등의 폭넓은 홍보로 사업단 위상을 제고하고, 홍보전문기관의 아웃소싱을 통한 세부과제 연구 개발 성과의 홍보를 강화하였다.



- 사업단 국·영문 안내 브로셔
 - 사업 및 사업단 소개
- 과제 브로셔
 - 각 과제별 연구내용 소개



- 사업단 소식지 발간
 - 사업단 현황
 - 세부과제별 현황 및 성과 홍보
 - 재활용 관련 정책 및 기술 동향
 - 제1호~제30호 발간

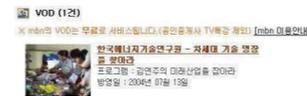


- 사업단 소개 리플릿
 - 사업단 및 우수기술 홍보
 - 대국민 홍보 자료
 - 2007, 2008 제작



- 사업단 홍보동영상 제작
 - 사업단 및 우수기술 홍보
 - YTN 공동 제작 및 방영
 - 2002, 2005, 2008, 2009 제작

- '페플라스틱 이제는 자원이다(사이언스 TV 2010. 4. 5)' 외 50회



매일경제TV, 2004년 7월 13일 방영

고분자 폐기물인 혼합 페플라스틱에서 경유를 추출하는 신공정 기술이 개발되었다. 이 기술은 공정을 단순화하고 페플라스틱의 용융과 원활한 이송을 위해 중질류를 공정시스템에서 재순환시킴으로써 공정가동의 안정성을 획기적으로 개선했을 뿐만 아니라 경유 추출공정 전체를 완전 자동화한 친환경적 기술이다.



폐플라스틱 자동 분리시스템 개발(MBC 뉴스데스크 2009. 7. 1)

재질별 분류의 어려움으로 대부분 매립·소각되던 혼합 페플라스틱을 자동으로 분리·선별해 본격적인 재활용의 길을 열어줄 '혼합 페플라스틱 중합 자동분리선별 시스템'이 개발되어 과천시에서 시범운영하게 되었다. 이번 과천시 시범사업을 통해 페플라스틱 자동분리시스템의 효과가 널리 알려져 다른 지자체에도 많이 적용될 것으로 예상된다.



폐플라스틱 이제는 자원이다(사이언스 TV 2010. 4. 5)

지난 세기까지의 경제성장 위주의 발전으로 인해 지구의 온난화, 환경호르몬 배출, 생태계의 이상현상 등으로 지구촌이 몸살을 앓고 있다. 여기에 유한한 자원이 고갈되어가는 위기마저 도래하고 있기 때문에 21세기에는 무엇보다도 지속가능한 발전이 강화되고 있으며 그 선두에 자원 재활용이 위치하고 있다.



- ‘전지서 황간, 망간, 아연 채취시스템 개발(조선일보 2009. 12. 8)’ 외 276회



일에 재활용연구소 설치(매일경제 2004. 4. 29)

사업단은 일본 산업기술종합연구소(AIST)와 공동으로 연구소(Lab)를 AIST 환경기술조화연구부내 내에 설치하기로 합의하였다. 연구가 본격화 되면 개발 기술의 지적소유권 공동 공유로 기술도입비용이 절감하고 국내 관련 기술의 검증, 기술교류 증대 등의 효과가 있을 것으로 밝혔다.



페플라스틱 자동분리 국내 첫 시설 상용화(동아일보 2006. 2. 15)

기술표준원은 (주)웨이오니아이엔티와 함께 적외선의 일종인 근적외선을 이용해 페플라스틱을 자동 분리하는 시설을 상용화 했다. 세계 최고 수준인 독일 시설에 비해 30% 이상 초기 투자비를 줄일 수 있으며, 기존 수작업에 비해 30% 이상 선별 효율을 높일 수 있다.



폐건전지 재활용 국내 기술개발(조선일보 2009. 12. 8)

폐건전지에서 오염물질을 제거하고 망간, 아연 같은 고부가가치의 금속을 회수할 수 있는 기술을 개발하였다. 이 기술을 이용해 1톤의 폐건전지에서 170kg의 망간과 200kg의 아연을 회수할 수 있고, 연간 3000톤의 폐건전지를 친환경적으로 재활용할 수 있는 공장을 준공하였다.

- ‘21세기 그린파워 – 리사이클링 사이언스(과학동아 2008. 3)’ 외 22회



풍요로운 삶을 위한 자원순환사회의 구축(기술과 미래 2005. 4)

재활용은 과거의 단순 처리 개념이 아닌, 자원의 순환적인 고리를 완성시킴으로써 환경보전과 자원확보라는 두 가지의 명제를 실현하는 미래의 기술로 등장하게 되었다. 뿐만 아니라 후손들에게도 건전한 지구환경을 물려줌으로써 진정으로 지속가능한 발전을 구현하는 것이다.



생각하는 벽돌, 재활용 곡선을 그리다(에코비전21, 2005. 11)

하수 슬러지 등 각종 폐기물을 재활용하여 인공경량골재를 만드는 기술이 개발되었다. 이 경량골재는 중금속이 전혀 검출되지 않는 것으로 확인되었고, 생산된 인공경량 골재로 콘크리트를 제조하여 1년간 양생한 후 용출 시험한 결과에서도 폐기물 관리법 시행규칙의 기준치를 훨씬 밑도는 것을 확인되었다.



고물 휴대전화 속 보물지도(과학동아 2008. 3)

휴대전화 인쇄회로기판에서 금, 은, 팔라듐, 구리 같은 금속을 회수하는 기술이 주목받고 있다. 2005년 기준으로 국내에서 처리가 곤란한 '장동판'은 약 792만 대로 여기서 귀금속을 회수하면 엄청난 자원을 절약할 수 있다.

나. 저술



- 재활용 관련 정책 및 기술 동향 분석, 향후 추진 방향 제시
- 폐기물의 종류별 발생 및 처리현황, 최신 기술개발 동향, 향후 전망 등을 분석하여 재활용기술 관련 지침 제시
- 2004년 리사이클링백서(자원재활용백서) 발간
- 2009년 리사이클링백서 발간

다. 재활용 홍보관 설치



- 사업단의 우수 연구성과에 대한 대국민 홍보와 각 기술 분야간 정보교류를 통한 R&D 생산성 제고
- 폐전자제품, 폐자동차, 폐플라스틱 등 재활용 관련 각 기술 분야별 우수 연구성과 전시
- 재활용 정보교류 및 지자체, 환경 관련 단체 교육과 홍보장으로 활용
- 개관일 : 2005년 11월 8일

라. 우수과제 연구성과 발표회



- 폐기물 자원화·재활용 기술 관련 우수성과 발표 및 현황과 문제점 점검을 통해 향후 정책수립 및 기술개발 방향 정립
- 혼합폐플라스틱 중합자동분리선별 시스템 외 9회
- 주요참석
교과부·환경부 유관 부서, 재활용 관련 공사 및 협회, 지방자치단체 폐기물·청소 행정 담당부서 등

마. 기술교류



- 심포지엄·세미나·학회 개최를 통한 국내외 재활용 정책과 기술동향 분석 및 사업단 연구성과 국제 홍보
- 국내외 기술교류 및 환경여건 변화에 따른 탄력적 대응 방안 마련
- 동아시아 자원리사이클링 국제 심포지엄 (2009. 11. 02 ~ 11. 06, 제주 라마다호텔)
- 사업단 주최 : ISRR 외 23회
- 사업단 후원 : 비철금속심포지엄 외 13회

바. 전시회 참가 및 대국민 강연



- 개발 기술의 홍보 극대화를 통한 재활용 제품 인식 제고 및 기술이전 촉진
- 국가연구개발사업의 우수 연구성과의 산업현장 접목, 국민의 과학적 마인드 함양 기회 제공
- 재활용 관련 대국민 인식 전환 및 전문가들의 인적 네트워크 형성
- 2009 대한민국 과학축전 등 22회 전시회 참가
- '금요일의 과학터치' 등 35회 대국민 강연

사. 자원재활용 연구개발정보



- 자원순환기술의 지속적 발전과 이의 효율적 활용에 위해 국내외 기술 및 기반 정보의 실시간 제공
- 사업단 연구성과 및 재활용 관련 R&D 정보 및 특허, 논문, 보고서, 학회 자료 등 약 57,668건 정보자료 DB 구축
- 연 4,300건 이용

04 남기고 싶은 이야기

1. 사업단 회고

사업단 데이터 관리는 어떻게?

사업단 업무를 하다보면 많은 기획, 보도, 보고자료 작성 등이 있지만 항상 보고자료 작성 시 사업단 관련 데이터(연구인력, 연구실적, 연구비 등)의 정확성에 대한 문제가 화두로 떠오르는 순간이 많았다. 더욱이 프론티어 사업단이 22개인 관계로 각 사업단만의 특성이 반영되어 사업단 통계자료의 정확성과 타당성을 부여하기는 더욱 쉽지 않았으며, 이러한 관련 데이터의 수집시기, 기간 등의 변수에 따라 각 기관에서 가지고 있는 통계치에 대한 차이로 대·내외적으로 신뢰성을 의심하는 경우가 많았다. 결국 2006년 10월 국감대비자료 작성을 위해 각 사업단 실무자들이 과학기술부 회의실에 앉아 성과 및 인력 데이터의 정리, 취합 방법을 통일하여 사무실로 전화 연락을 취하며 자료를 작성하였던 기억이 떠오른다.

더욱이 10년 동안 사업을 진행하다보면 과학기술 환경변화, 관련 규정 등의 변경 및 NTIS와의 연계, 조분평 자료의 DB 항목 변경 등으로 기존에 관리하던 데이터 항목의 수정이 불가피할 경우에는 10년 전 연구계획서를 다시 꺼내어 세부과제별, 참여인력별 개개인의 정보, 연구실적의 항목 등을 추가로 DB화 하여야 하는 작업은 지루하여, 힘든 일이라 할 수 있다. 다른 사업단 직원이 한숨을 쉬며 “그나마 자료가 있으면 낫지요. 없는 자료를 어떻게 수집해야 하는지” 라며 한숨짓는 모습을 생각하면 지금에서야 웃을 수 있지만 못내 마음을 쓸쓸하게 한다.

2000년 6월 30일 사업공고

모든 사업단이 그러하겠지만 사업공고를 하기 위해서는 많은 작업이 필요하다. 과제 기획부터 과제 선정, 협약 등 체계적으로 만반의 준비를 해야 하는 것이다. 더욱이 사업이 시작하는 초창기의 경우 많은 업무와 규정에 대한 낯설음, RFP 각각에 대한 확인 작업 등으로 하루 일과를 마치면 모두 녹초가 되기 십상이었다. 2000년 6월 30일, 모든 준비를 마치고 사업의 시작을 알리는 사업공고를 홈페이지에 게시하였다. 끊임없이 이어지는 전화 문의와 이상한 용어에 대한 질문에 제대로 답변을 못하면 어떻게 해야 하나 등등의 걱정거리에 쌓여 연구신청계획서를 접수하고, 주어진 체크리스트에 조목조목 체크를 해가면서 사전검토를 완료하였다. 이젠 평가위원회에서 과제선정만 하면 되겠구나 하는 생각이 드는 시점에 공문이 하나 접수되었다. 부처별(과학기술부, 산업자원부) 업무 조정 회의 결과에 대한 공문이였다. 폐기물 재활용 분야 연구개발 영역에 대하여 협의한 결과 ‘고형연료제조(RDF)’ 관련 과제는 2001년 대체에너지사업으로 이관시켜 추진하기로 합의했다는 내용이었다. RFP 작업부터 과제접수, 사전검토까지 마친 상황이라 조금만 더 일찍 알았더라면 하는 생각이 들었다. 하지만 이것보다 더 애타는 것은 그동안 쏟아 부은 노력의 결실을 우리가 거두지 못한다는 아쉬움이였다.

상대평가에 의한 과제탈락

특정연구개발사업 평가지침에 상대평가에 의한 하위 5% 과제에 대한 과제지원 중단에 대한 내용이 있다. 과제가 시작한지 1~2년에 불과한 과제에 연구계획서 내용대로 차질 없이 진행되는 과제임에도 불구하고 상대적으로 연구실적, 추진성도가 적다는 이유로 과제가 탈락되는 것이다. 중단된 과제에 대해 통보를 해야만 하는 과정은 매우 힘들고 난처한 일임에 틀림없다. 상황에 대해 설명하고 그 동안 적극적으로 사업에 참여하고 도와주신 것에 대해 감사드리며, 차년도 과제지원이 어렵다고 말해야 하는 것이다. 지금이야 단기적인 안목보다는 장기적인 지원에 대한 효과를 직접 경험해보았기 때문에 이런 문제가 발생하지 않지만 그 당시에는 평가위원의 평가결과에 따라 어쩔 수 없는 상황이었다. 지금에서야 그 탈락된 과제는 사업단 과제를 수행하여 얻은 결과를 바탕으로 우수한 연구성과를 창출하여 수많은 언론매체와 기술이전에 따른 놀라운 기술료 수입을 얻어서 다행이지만 뉴스, 신문 등의 홍보 내용에 자원재활용기술개발사업단 이름이 명시되지 않았을 때엔 무척 아쉬움이 남는다. 연구사업을 관리하다 보면 이런 경우가 비일비재하다. 단기간 평가가 안 좋다는 이유로 많은 과제가 탈락되거나 차년도 연구비가 삭감되는 경우가 있지만, 향후 가능성 있는 과제(HR 과제 등)에 대한 필요성 및 지속적인 지원의 결과가 원천기술을 연구하는 과제들에 대한 상용화로 이어지고, 각종 지방자치단체, 국내외 업계로 진출하는 모습을 보게 되면 커다란 보람을 느끼게 된다.

2. 에피소드

‘新 광부, 쓰레기장에서 쏜 캔다’ / 한국지질자원연구원 이재천 박사

이재천 한국지질자원연구원 박사는 광부다. 그가 광물을 캐내는 곳은 광산이 아닌 도시의 쓰레기장이다. 쓰레기로 버려지는 폐전자기기의 인쇄회로기판에는 금·은·팔라듐·구리·납·주석 등의 유가금속이 포함되어 있다. 이 박사는 버려진 폐인쇄회로기판(PCB)에서 유가금속의 추출, 다시 자원으로 활용하는 새로운 광(鑛)산업을 꿈꾸는 신(新) 광부다.

● “국산 분쇄기는 어디 없나요?”

“PCB를 분쇄하는 분쇄기를 찾는 데 어려움이 많았습니다. 일본과 같이 기계제조 산업이 발달한 국가에서는 기술 과정에 맞는 분쇄기를 만들 수 있지만 우리나라는 힘듭니다.”

이 박사팀은 기존의 분쇄기들을 가지고 PCB 기계적 전처리 과정에 맞는 분쇄기가 무엇인지 일일이

비교·대조하며 찾아야 했다. 특히 PCB는 가운데에 구리가 지나가고 플라스틱으로 둘러싸여 있어 적합한 분쇄기를 찾는데 꽤나 애를 먹었다는 설명이다.

“우리의 공정에 맞는 분쇄기를 찾는 과정에서 분쇄기가 고장이 나거나 분쇄기 날이 상했을 때, 무조건 제작 국가를 찾아야하니 경비가 참 많이 들었죠.” 이 박사는 당시의 고행을 생각하며 머리를 저었다. 그러나 아직도 이 박사의 마음에 드는 분쇄기는 없는 것 같았다. 연구팀은 일본서 주문제작한 분쇄기를 2, 3년간 사용하다가 현재는 독일 제품을 쓰고 있다고 한다. 해외 자원의 유입을 줄이고 부존 지상자원을 활용키 위한 자원재활용의 공정에서 또 다른 수입이 일어나는 것을 안타까워하는 마음이 그의 표정에서 역력히 들어났다.

● “PCB 재활용이 경쟁력 좌우한다”

“전자회로를 만드는 데에는 전이금속인 금이 반드시 필요합니다. 세계적인 전자기기 수출국이자 금 수입국인 한국이 PCB의 금을 재활용하지 않으면 산업 경쟁력이 떨어지게 되는 것은 당연한 수순입니다.”

우리나라와 같은 자원빈국이자 전자기기 대국인 일본도 지상자원의 활용에 심혈을 기울이고 있다. 국가 연구기관인 일본물질재료 연구소의 연구에 따르면 전자기기를 통해 일본 내에서 회수할 수 있는 금속의 양은 금 6800톤, 은 6만 톤, 액정화면(LCD) 제조에 쓰이는 인듐이 1700톤이나 된다. 전 세계 매장량의 16%~61%에 해당하는 양이고 금의 경우(16%) 세계 최대의 금 생산국인 남아프리카 공화국(14%)보다 많다.

“크기는 다른 기판에 비해 작지만 휴대폰의 성능이 고기능화 돼가면서 휴대폰의 인쇄회로기판에 가격이 비싼 귀금속이 사용되고 있다.”고 설명했다.

이 박사팀은 현재 폐전자기기 PCB에 관한 물리적 전처리기술과 귀금속 및 유기금속 회수를 위한 습식회수기술을 개발했다. 용광로를 이용 금속을 분리하는 건식제련에 비해 시간을 줄이고 금속 회수율을 늘렸다는 평가를 받고 있다.

‘플라스틱 재활용 전도사’ / 수원대학교 최우진 교수

하루가 멀다하고 원자재 값이 치솟고 있는 가운데 전세계를 선도하는 재활용기술개발에 박차를 가하고 있는 과학자가 있다. 플라스틱 재활용 기술 전문가인 최우진 수원대 교수. 최근 ‘언제까지나 살고 싶은 도시’를 모토로 다양한 자원재활용 정책을 추진하고 있는 과천시와 함께 재활용선별시스템 설치에 전력을 다하고 있다.

● 환경 연구 기반 마련한 최 교수

“최근에 환경분야에 관심이 쏠렸지만 이전엔 많이 힘들었죠. 연구비 따기 위해 프로포잘 작성에 어려움이 있었고 연구비를 따 후엔 그 분야의 사람이 없어 고생했습니다.” 라며 당시 상황을 회고했다. 현재 몸담고 있는 수원대는 교수 수만 10명이 넘을 정도로 환경공학과에 대해서는 규모가 큰 편이고 우리나라에서 가장 좋은 시설로 알려져 있는 환경청정연구센터도 최 교수가 그 기반을 마련한 것이다. “이전에는 환경분야에 대해 투자가 거의 없었는데 최근 환경관련 프로젝트가 많이 진행되고 있습니다. 쓰레기는 자꾸 늘어나고 기술은 없는 개발도상국에 환경관리기술을 접목시키기 위한 노력을 하고 있죠.”

최 교수는 환경자원공사, 한국국제협력단과 함께 향후 베트남에 재활용기술을 시범도입함으로써 환경기술의 중요성을 세계로 전파하는데 한몫 하고 있다.

● “자원의 양은 한계가 있다. 국민의식 개혁 시급”

“스웨덴의 경우 플라스틱의 95%가 회수된다고 해요. 슈퍼마켓마다 캔과 페트병을 수거하는 기계가 마련되어 있고 이를 수거한 후 다른 제품 구입 시 할인을 해주는 제도가 국가적으로 안정되게 운영되고 있죠.”

원자재 값이 치솟고 있는 요즘 우선 국민의 인식이 깨어 있는 것이 무엇보다 중요하며 재활용에 대한 인식의 중요성을 재차 강조했다.

“쓰레기가 아니라 자원이라는 생각, 버리는 쓰레기를 제대로 선별해야 하는 책임감을 국민들이 가질 수 있어야 합니다. 인식이 바뀌지 않는 한 재활용이 제대로 이루어 질 수 없습니다. 자원의 양은 한정되어 있어서 마냥 주어지는 것이 아니에요. 아끼지 않으면 재활용하기 위하여 더 많은 비용이 사용됩니다.”

여러 가지로 시도할 부분이 많지만 복합플라스틱 분리기술, 예를 들면 페트병에 비닐을 제거해주는 것과 같이 간단한 기술만이라도 국가에서 먼저 시도하길 바란다는 당부를 남겼다.



[부록]

1. 자원재활용기술개발사업 세부과제 현황¹⁾

가. 1단계(2000. 7 ~ 2003. 6)

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
고분자 원료화	고분자 폐기물로부터 고급연료류 생산공정 실용화	한국에너지기술연구원(신대현)
	가연성폐기물의 가스화에 의한 합성가스 제조 및 원료물질 회수	한국에너지기술연구원(김재호)
	PS계 혼합페플라스틱으로부터 고순도 SM회수	한국화학연구원(최명재)
	경질폴리우레탄 폼 폐기물을 이용한 에폭시 경화제 개발	전북대학교(이대수)
	화학촉매를 이용한 폐유지의 연료화공정 실용화	한국에너지기술연구원(이진석)
	스팀 플라즈마를 이용한 고분자폐기물 연료화	한밭대학교(김철규)
	수적폭발에 의한 고분자 폐기물 원료화 실용화 기술개발	(주)가이아(이규암)
유기물 자원화	폴리에스터 폐자원으로부터 원료 물질 회수공정 개발	충남대학교(한명완)
	혼합 페플라스틱 재질별 용매분리기술 실용화 기술개발	한국생산기술연구원(이영철)
	근적외선 분광법을 이용한 페플라스틱 건식선별 기술개발	기술표준원(최형기)
	마찰대전형 정전선별법을 이용한 페플라스틱의 재질별 선별 기술개발	한국지질자원연구원(전호석)
	폐 PVC의 재활용 기술 개발	한국화학연구원(이재홍)
	페타이어 분말 재활용 기술개발	경상대학교(김진국)
	특수상용화제를 이용한 혼합된 페플라스틱 재활용 기술개발	한국과학기술연구원(홍순만)
유기금속 회수	혼합페플라스틱의 상용화시스템 개발 및 응용연구	수원대학교(김정호)
	상용화제 이용 페플라스틱/전기로 Dust 복합소재 제조 기술개발	호서대학교(강영구)
	귀금속 회수 상용화 기술개발	한국지질자원연구원(이재천)
	폐전지로부터 유기금속 회수 및 소재화 기술개발	한국지질자원연구원(손정수)
	도금수세 폐수 및 폐액으로부터 전기분해법에 의한 유기금속회수	한국생산기술연구원(한성호)
	ED/DD를 이용한 도금 및 산세폐액의 유기금속 회수	포항산업과학연구원(전희동)
	이온교환에 의한 유기금속 회수 기술개발	공주대학교(이철호)
광촉매에 의한 유기금속 회수 기술개발	한국원자력연구소(김홍희)	

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
유기금속 회수	산화철 폐촉매를 이용한 도금폐수 적용기술개발	한국지질자원연구원(이효숙)
	생물학적방법을 이용한 유기금속 회수	한국과학기술원(이성택)
	폐자동차 재활용을 위한 해체시스템 및 자원화 기술개발	한국과학기술연구원(박면웅)
	고온용융법을 이용한 폐기물로부터 유기금속 회수	(주)자원리사이클링(연)(신형기)
	폐산내 몰리브덴 회수 기술개발	한양대학교(박종진)
	폐분진을 이용한 에코소재의 상용화	경기대학교(김유택)
	철강산업슬러지의 복합처리에 의한 실용화 기술개발	한국지질자원연구원(안지환)
무기물 자원화	알루미늄드ross의 세라믹원료화 처리기술개발	한국지질자원연구원(박형규)
	인산부산석고의 효율적 정제 및 자원화 기술 연구	한국지질자원연구원(배광현)
	소각재 용융슬래그를 이용한 제올라이트 제조법 개발 및 상용화	부경대학교(이제근)
	폐ITO target의 재활용 기술개발	(주)하주테크(박기운)
	조사, 분석 및 평가에 의한 산업폐기물 자원화 촉진을 위한 지원정책 방안연구	한국환경정책평가연구원(이희선)
	산업폐기물 재활용 정보 DB화 사업	한국지질자원연구원(정진기)
	페플라스틱의 자원화 촉진을 위한 LCA기법개발 및 적용방안 연구	수원대학교(최우진)

나. 2단계(2003. 7 ~ 2006. 3)

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
고분자 원료화	고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술개발	한국에너지기술연구원(신대현)
	가연성 폐기물의 부분산화에 의한 가스자원화 기술개발	한국에너지기술연구원(김재호)
	오염된 PS계 페플라스틱의 화학원료화 기술개발	한국화학연구원(최명재)
	폴리우레탄 폐기물로부터 폴리올 제조 및 폴리올시스템화 기술개발	전북대학교(이대수)
	폐유지로부터 화학촉매를 이용한 바이오디젤 제조 기술개발	한국에너지기술연구원(이진석)
	저급 폴리에스터 폐기물의 화학원료화 기술개발	충남대학교(한명완)

1) 작성기준 : 사업단과 직접 협약과제

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
유기물 자원화	용매분리기술을 이용한 폐포장재 재활용 기술개발	한국생산기술연구원(이영철)
	마찰하전형 정전선별에 의한 혼합 폐플라스틱 재질별 분리 기술개발	한국지질자원연구원(전호석)
	풍력/비중선별에 의한 혼합 폐플라스틱 재질별 분리 기술개발	수원대학교(최우진)
	근적외선 분광법을 이용한 폐플라스틱 분리선별 기술개발	기술표준원(최형기)
	페타이어를 이용한 고무플라스틱 복합소재 기술개발	경상대학교(김진국)
	반응압출에 의한 혼합 폐플라스틱의 재활용 기술개발	한국과학기술연구원(홍순만)
	폐플라스틱과 무기계 폐기물의 복합화에 의한 난연 및 악취 제거용 소재 개발	수원대학교(전병철)
	폐플라스틱과 Flyash 복합소재를 이용한 대형배관용 Fitting류 개발	호서대학교(정기창)
	폐합성섬유의 고무가 재활용 기술개발	한양대학교(김성훈)
	폐전기전자기기의 토탈 리사이클링 기술개발	한국지질자원연구원(이재천)
유기금속 회수	1차, 2차 폐전자로부터 유기금속회수 및 소재화 기술개발	한국지질자원연구원(손정수)
	폐자동차 재활용을 위한 해체시스템 및 자원화 기술개발	(주)이엔텍(정승현)
	반도체용 실리콘 절단 슬러지로부터 고순도 실리콘 화합물 및 실리카 나노분말 제조 기술개발	한국지질자원연구원(장희동)
	투석막·이온교환에 의한 전기전자제품 제조공정 폐액으로부터 유기물질 회수 기술개발	포항산업과학연구원(박성국)
	Mo 함유 고농도 질산 폐액의 재활용 기술개발	한양대학교(박종진)
	티타늄 스크랩으로부터 아크용해법에 의한 고무가 소재 제조 기술개발	한국지질자원연구원(최국선)
	산업 폐촉매로부터 고온 열환원법에 의한 유기금속 및 합금 제조 기술개발	아주대학교(서경원)
	유해 폐분진의 에코 소재화 기술개발	경기대학교(김유택)
	철강부산물 및 무기계 폐기물의 토건재료화 기술개발	한국지질자원연구원(안지환)
	무기계 폐기물을 이용한 기능성 흡착제 상용화 기술개발	한국지질자원연구원(장영남)
무기물 자원화	EAF Dust로부터 유기자원 회수 및 청정 Slag 제조 기술개발	고려아연(문남일)

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
무기물 자원화	알루미늄 페드로스를 활용한 다공성 세라믹 제조 기술개발	한양대학교(박재구)
	폐기물 재활용 정보 DB화 및 기술분석	(주)시온텍(강경석)
공통기반	폐기물 자원화 촉진을 위한 재활용 특화단지 조성방안 연구	한국환경정책평가연구원(이희선)
	폐기물 재활용 활성화를 위한 국제협력연구	한국지질자원연구원(신희영)

다. 3단계(2006. 4 ~ 2010. 3)

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
고분자 원료화	고분자 폐기물의 연속식 열분해 유화 기술개발	한국에너지기술연구원(신대현)
	가연성 폐기물 가스화기술 및 생성가스자원 이용기술개발	한국에너지기술연구원(김재호)
	오염된 페폴리스틸렌으로부터 화학원료 제조 기술개발	한국화학연구원(최명재)
	경질·연질 페폴리우레탄의 화학원료화 및 고무가 응용 기술개발	전북대학교(이대수)
	폐유지로부터 바이오디젤 생산 기술개발	한국에너지기술연구원(이진석)
	저급 페폴리에스터로부터 화학원료 제조 기술개발	충남대학교(한명완)
	복합필름류 포장재의 재질별 용매분리 기술개발	한국생산기술연구원(이영철)
	마찰하전형 정전선별에 의한 혼합 폐플라스틱 재질분리 기술개발	한국지질자원연구원(전호석)
	혼합폐플라스틱 종합 자동선별분리 기술개발	한국화학연구원(이재홍)
	페타이어를 이용한 고무플라스틱 복합소재 제조 기술개발	경상대학교(김진국)
유기물 자원화	초임계에 의한 폐열경화성수지 재활용 기술개발	한국과학기술연구원(홍순만)
	폐전기·전자기기의 토탈 리사이클링 기술개발	한국지질자원연구원(이재천)
	폐전자로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 기술개발	한국지질자원연구원(손정수)
	폐자동차 재활용을 위한 해체시스템 및 자원화 기술개발	(주)오토에코(원종수)
	반도체 공정슬러지의 자원화기술 및 고무가 응용 기술개발	한국지질자원연구원(장희동)
	IT산업 공정폐액으로부터 고순도 산 및 유기금속 회수 기술개발	포항산업과학연구원(박성국)
	IT산업 공정폐액으로부터 고순도 유기용제 회수 기술개발	(주)코렉스(이호경)

2. 국내외 수상 현황

분야	과제명	주관연구기관(연구책임자)
유가금속 회수	티타늄 스크랩으로부터 고순도 티타늄 제조 기술개발	한국지질자원연구원(최국선)
	산업 폐촉매로부터 연속 용융환원에 의한 비나뎀 회수 기술개발	한양대학교(박종진)
무기물 자원화	무기계 유해 폐기물로부터 고부가 예코소재 제조 기술개발	경기대학교(김유탉)
	무기성 폐기물의 복합처리에 의한 토건재료 제조 기술개발	한국지질자원연구원(안지환)
정책	무기계 폐기물로부터 고기능성 세라믹소재 제조 기술개발	한국지질자원연구원(장영남)
	국내외 기술협력·분석·정책연구에 의한 자원순환기술 지원	(주)이온텍(강경석)

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
조봉규	자원재활용기술개발사업단	환경부장관표창	환경부	2002. 5
이강인	자원재활용기술개발사업단	국민훈장 목련장	대통령	2003. 12
안지환	한국지질자원연구원	환경부장관상	환경부	2004. 6
장영남	한국지질자원연구원	이달의 과학기술인상	대전시	2004. 10
안지환	한국지질자원연구원	이달의 과학자상	교육과학기술부	2004. 11
신대현	한국에너지기술연구원	세계 100대 친환경 기술상	AICHI JAPAN	2005. 9
신대현	한국에너지기술연구원	2005년 대표적 우수연구성과 50선	교육과학기술부 한국연구재단	2005. 10
이재천	한국지질자원연구원	2005년 대표적 우수연구성과 50선	교육과학기술부 한국연구재단	2005. 10
이재천	한국지질자원연구원	학술상	한국지구시스템공학회	2005. 11
서강일	(주)이오니아이엔티	IR52 장영실상	한국산업기술진흥협회 매일경제신문사	2006. 4. 13
류재명 외 2명	수원대학교	우수논문 발표상	한국폐기물학회	2006. 7
이영철	한국생산기술연구원	2005년 대표적 우수연구성과 50선	교육과학기술부 한국연구재단	2006. 9. 26
장희동	한국지질자원연구원	The Best Poster Award	AsiaNano 2006 Conference	2006. 11
손정수	한국지질자원연구원	한국지구시스템공학회 표창	한국지구시스템공학회	2006. 11. 14
이강인	자원재활용기술개발사업단	주암상	한국자원리싸이클링학회	2006. 11. 17
홍순만	한국과학기술연구원	우수 포스터 발표상	한국초임계유체학회	2006. 11. 24
장영남	한국지질자원연구원	제16회 과학기술우수논문상	한국과학기술단체총연합회	2006. 11. 30
안지환	한국지질자원연구원	제6회 올해의 여성과학기술자상	한국연구재단 동아시아언스	2006. 12. 22
이승희	경기대학교	환경부장관표창	환경부	2006. 12. 29
손정수	한국지질자원연구원	환경부장관표창	환경부	2006. 12. 29
장희동	한국지질자원연구원	국가연구개발 우수 100선	교육과학기술부	2007. 1
민달기	가천의과학대	우수발표논문상	한국폐기물학회	2007. 5. 3

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
신선명	한국지질자원연구원	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2007. 5. 3
안지환	한국지질자원연구원	山崎상(우수논문상)	일본소재물성학회	2007. 6
박은규 외 3명	수원대학교	우수논문 발표상	한국폐기물학회	2007. 7
최우진	수원대학교	학술상	한국자원리사이클링학회	2007. 10
민달기	가천의과학대	제43회 인천시민의 날 표창장	인천광역시	2007. 10. 15
안지환	한국지질자원연구원	학술상	한국지구시스템공학회	2007. 11. 15
이성록 국장	자원재활용기술개발사업단	부총리상	교육과학기술부	2007. 11. 29
장희동	한국지질자원연구원	2007년 우수 연구성과 50선 선정	교육과학기술부	2007. 12. 28
박종진	한양대학교	최우수 교수 표창	한양대학교	2008. 4
이재천	한국지질자원연구원	제41회 과학의날 과학기술훈장 혁신장	교육과학기술부	2008. 4. 21
홍순만	한국과학기술연구원	우수 포스터 발표상	한국화학공학회	2008. 4. 24
홍순만	한국과학기술연구원	Best Presentation Award 수상	세계 초임계학회	2008. 6. 27
김익현	(주)MRC	환경경영대상 산업포장	지식경제부 환경부	2008. 6. 9
길대섭	한국지질자원연구원	The 3rd Prize of Poster Competition	Thin film and NanoMan 2008	2008. 7
박은규 외 2명	수원대학교	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2008. 7
이승희	경기대학교	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2008. 7. 18
안지환	한국지질자원연구원	여성세라미스트상	한국세라믹회	2008. 10
안지환	한국지질자원연구원	늘푸른에너지 기술공모전 장려상	한국에너지공학회	2008. 10
김유택	경기대학교	포스터상 수상	한국세라믹학회	2008. 10. 15
이윤우	서울대학교	초임계 업적 신양기술상 수상	BK21 사업단	2008. 10. 17
김진국	경상대학교	2008년 우수 연구성과 50선 선정	교육과학기술부	2008. 10. 2

수상자	소속기관	수상내용	수여기관	수상일자
박은규	수원대학교	우수논문 발표상	한국자원리사이클링학회	2008. 11
신선명	한국지질자원연구원	우수논문상	한국자원리사이클링학회	2008. 11. 13
이승희	경기대학교	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2008. 11. 14
장희동	한국지질자원연구원	우수논문상	KIGAM	2008. 12
김유택	경기대학교	금속·무기분야 최우수상 수상	제7회 자원순환 워크샵	2008. 12. 19
최우진	수원대학교	Marquis Who's Who in the World 등재	미국 Marquis Who's Who	2009. 1
안지환	한국지질자원연구원	최우수 연구자상	산업기술연구회	2009. 3. 16
안지환	한국지질자원연구원	환경문화상	환경공업신문사	2009. 4
이승희	경기대학교	학술상	한국폐기물학회	2009. 5. 14
이병택	순천향대학교	이달의 과학기술자상	교육과학기술부	2009. 5
박종진	한양대학교	기술이전 부문 최우수 교수 표창	한양대학교	2009. 6
박은규 외 3명	수원대학교	우수논문 발표상	한국폐기물학회	2009. 7
이승희	경기대학교	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2009. 7. 2
이승희	경기대학교	제19회 과학기술우수논문상	한국과학기술단체총연합회	2009. 7. 7
최우진	수원대학교	우수논문 발표상	일본 폐기물 자원순환학회	2009. 9
이승희	경기대학교	우수발표 논문상	한국폐기물학회	2009. 11. 12
손정수	한국지질자원연구원	교육과학기술부장관표창	교육과학기술부	2009. 11. 2
박영호	(주)세라그린	기술상	한국자원리사이클링학회	2009. 11. 4
이승희	경기대학교	2009년도 연구개발사업 대표우수연구성과	교육과학기술부	2009. 11. 4
서강일	(주)이오니아이엔티	지식경제부장관 표창장	지식경제부장관	2009. 11. 5
박영호	(주)세라그린	지식경제부장관 표창장	지식경제부장관	2009. 11. 5
김수경	한국지질자원연구원	환경부장관표창	환경부	2009. 12. 31
장한권	한국지질자원연구원	우수기술상	한국지질자원연구원	2009. 12. 31

[자원재활용기술개발사업단 운영위원회]

성명	소속 및 직위	소속 및 직위
위촉직	이혜경	(주)동호 해외사업부 전무이사
	최 룡	(주)NECT 대표이사
	배성열	한양대학교 경기테크노파크 원장
	이정학	서울대학교 응용화학부 교수
	박준우	상명대학교 경제학과 교수
	정헌생	건양대학교 화학과 교수
	한명근	한국생산기술연구원 책임연구원
	김광임	한국환경정책 평가연구원 센터장
당연직	박향식	교육과학기술부 기초연구정책관
	백규석	환경부 자원순환국장
	송지용	프론티어연구성과 지원센터 센터장
	이강인	자원재활용기술개발사업단 단장



04

Resource Recycling R&D Center

2010

21st-Century Frontier R&D;
Traces of a decade

Ⅲ. 함께하는 미래

01 또 다른 시작을 위해 · 440

02 미래를 위한 제언 · 452



제 1장 | 또 다른 시작을 위해

01 21세기 프론티어 연구개발사업 후속지원방안 수립

교육과학기술부 소관 16개 사업단 중 2007년도에 8개 사업단, 2008년도에 6개 사업단, 2009년도에 2개 사업단이 각각 3년의 1,2단계 연구를 종료하고 최종단계(3단계)에 진입하였고, 2010년 인간유전체기능연구사업단, 테라급나노소재개발사업단, 자생식물이용기술개발사업단, 자원재활용기술개발사업단 등 4개 사업단이 최종 종료로 시작으로 2013년까지 모든 사업단이 연차적으로 최종 종료될 예정이다.

프론티어사업단 연도별 종료사업단 현황

종료년도	사업단명	비고
2010년	- 인간유전체기능연구, 테라급나노소재개발, 자생식물이용기술개발, 자원재활용기술개발	4개 사업단
2011년	- 생체기능조절 물질개발, 작물유전체 기능연구, 차세대 초전도응용기술개발, 수자원의 지속적 확보기술개발	4개 사업단
2012년	- 미생물유전체활용기술개발, 세포응용연구, 포로테오믹스이용기술개발, 나노메카트로닉스기술개발, 나노소재기술개발, 이산화탄소저감 및 처리기술개발	6개 사업단
2013년	- 뇌기능활용 및 뇌질환치료기술개발, 고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술	2개 사업단
합계		16개 사업단

프론티어사업은 사업비 규모(100억 원 내외/년) 및 10년의 장기적인 지원으로 핵심과학기술분야에서 국내 연구수준을 끌어올렸을 뿐 아니라 각종 인프라 구축을 통해 귀중한 자산을 마련하는 등 획기적인 국책사업 모델로 상징된다. 이러한 위상과 더불어 1조 원 이상의 총 사업비가 투입된 프론티어사업의 연구성과 및 인적·물적 인프라를 국가 차원에서 공유·활용함으로써, 국가R&D투자 효율성 및 연구생산성 향상을 위한 대책 마련이 요구된다. 1~3년 이내 우수성과 창출이 기대되는 연구과제를 추가 지원함으로써, 성과의 사장(死藏)을 방지하고, 10년간 사업을 통해 축적된 줄기세포은행, 중자은행 등 인프라, 국제협력네트워크 및 인적자원 등 연구생산성 향상을 위한 중요한 유·무형의 자산의 실질적인 활용과 프론티어 사업단의 축적된 노하우 및 인력 등의 활용도를 제고하여 정부에서 역점 추진한 대형 국책사업의 성공적인 마무리를 위한 방안마련의 필요성이 제기되어, 교육과학기술부에서는 「21세기 프론티어 연구개발사업 후속지원방안」을 수립하였다. 후속지원방안 수립을 위해 정책연구를 추진(2009. 2~2009. 9/성균관대 최후곤 교수)하였고, 사업단의 다양한 의견청취와 정책연구 결과를 반영하여 후속지원 방안(안)을 2009년 11월에 마련하였으며, 지식경제부, 환경부,

국토해양부, 농림수산식품부 등 관계부처 및 실무자 회의(2009. 11. 25)를 통한 의견수렴을 거쳐, 2010년 3월 후속지원방안을 수립하였다.

후속지원 추진방향 프론티어사업 성과의 활용확산 극대화를 통한 국가 R&D생산성 제고를 목표로 하여 1)후속지원 업무 프로세스수립 2)인적·물적 자원의 효율적 공동활용체계마련 3)범부처 차원의 협력체계구축을 후속차원의 기본방향으로 설정하였다



중점 추진과제 후속지원방안의 실질적인 추진을 위해 1)우수·유망기술의 체계적 후속지원 2)인적·물적 인프라 활용도 제고 3)성과지원 인프라강화 4)법·제도 개선 등 4대 중점 추진과제를 설정하였고 세부 이행과제로서 1)국가 R&D 사업 범부처 협력체계 구성·운영 2)우수 연구 성과의 범부처 후속지원 추진 3)R&D장비·구축 인프라 관리 체계 마련 4)국제 R&D네트워크 맵(Map) 작성 5)연구관리인력 전문성 활용 6)수요자 중심의 성과누리 On 개편 7)성과지원센터 역량 제고 8)추적조사(평가) 실시 9)관련 법령 개정 등 9대 과제를 도출하였다.

02 분야별 세부 추진방안

중점과제 1 우수·유망 기술의 체계적 후속지원

세부과제 1 국가 R&D 사업 범부처 협력체계 구성·운영 21세기 프론티어후속지원에서 부처 간 R&D 연계사업 활성화와 조정을 위해 교과부·지경부·환경부·국토부·복지부·농식품부 등 6개 부처 국장급으로 「범부처 국장급 협의회」를 구성·운영하며, 1)우수·유망기술 후속지원 부처 및 사업 최종 조정·심의·확정 2)기타 인적·물적 인프라의 활용·확산에 관한 제반 사항 등 심의·확정 3)부처 간 공동지원사업 발굴 및 추진 등 21세기 프론티어 연구개발사업 후속지원 및 성과활용방안에 대한 의견수렴과 이해관계 조정이 본 협의회 주요기능이다. 본 협의회는 원칙적으로 年 1회 정기적으로 개최되며, 필요시 수시로 개최하도록 하였다.

세부과제 2 우수 연구 성과의 범부처 후속지원 추진 단기간 추가 지원 시 원천기술 확보나 사업화가 가능한 우수·유망기술의 사장을 막기 위한 범부처 후속지원을 실시토록 하였다. 유망기술이란 최종평가 결과가 우수한 과제 중 단기간 추가지원(3년 내)을 통해 핵심원천기술 확보, 기술이전·사업화가 가능한 기술을 의미하며, 우수기술이란 최종평가 결과가 우수한 과제 중 단기간 내(1년 내) 기술이전·사업화가 가능한 기술을 말한다.

우수·유망기술의 지원은 후보기술추천, 우수·유망기술 Pool구성, 후속지원 기술 내부 검토·선정, 지원 사업 확정, 지원 등 5단계로 구분되어 추진된다.

공동연계프로그램 업무절차도



각 사업단별로 지원희망 후보기술을 자율적으로 제출하면, 프론티어연구성과지원센터에서는 기술성평가 및 기술이전 컨설팅 등을 통해 분야별 '우수·유망기술Pool' 구성하고, 본 Pool을 교과부에서 각 부처에 발송하면 각 부처에서는 후속지원 기술을 검토 및 선정하게 된다. 참고적으로 2010년 교과부에서는 BT, ET분야 15억(미래기반 바이오), NT분야 9억(미래기반 나노)을 후속지원할 예정이다. 한편 부처별 지원 기간, 지원 규모 등은 부처별로 자율적으로 조정토록 하였으며, 후속지원된 과제에 대해서 교과부는 관계 부처 협조 하에 과제 종료 후 5년 간 추적조사를 실시할 예정이다.

부처별 후속지원 기준

기술	구분	지원기간	금 액	지원 부처
	목적			
유망기술	원천기술 확보 및 기술이전 (단기)	3년 이내	3억 내외	원칙적으로 교과부
	추가원천기술 확보 및 연계 사업화 (중기·부처 연계지원)	부처협의	부처협의	관련 부처·청 지원 및 교과부 공동 지원 (국토부·환경부·농식품부 등)
우수기술	단기간 내 실증화 및 사업화	지원부처 자율결정	지원부처 자율결정	지경부·국토부·환경부·농식품부 등

한편, 교과부와 농식품부는 교과부의 기초·원천 연구성과 및 인프라와 농식품부의 산업화 연구를 연계하여 국가 R&D 효율성 제고와 농식품 산업화 촉진을 위해 교과부-농식품부간 MOU를 체결 (2010. 6. 25) 하였다. MOU에서는 프론티어 사업을 통해 창출된 우수한 BT분야 연구성과를 농식품부에서 이어받아 실용화 및 산업화를 수행하며, 교과부 및 농식품부에서 구축한 생명 자원 인프라 등의 연계와 공유를 하기로 하였다. 교과부 BT분야 기초·원천 연구 성과 및 인프라를 연계한 구체적인 사업 발굴 및 기획을 통해 2010년 농림바이오기술산업화지원사업(R&BD) 총 예산 80억 원 중 신규로 20억 원 이내 규모로 추진하며, 조기에 성과를 낼 수 있는 1년 사업을 원칙으로 하되 필요시 2년 지원을 원칙으로 하였다.



(2010.6.25)

중점과제 2 인적·물적 인프라 활용도 제고

세부과제 3 R&D장비·구축 인프라 관리 체계 마련 2001년부터 프론티어 사업을 통해 약 126억 원 (총 96대)의 장비를 취득·구매 (NTIS 등록기준)한 것으로 조사되었다.

사업단이 취득·구매한 R&D 장비상세 목록 및 통계 작성하여 금액별, 장비사용 현황별로 구분하여 장비 관리 체계를 수립하고 NTIS상 등록 누락된 장비가 다수 존재할 수 있으므로 NTIS 등록을 적극 유도하고, 필요시 사업단 실태조사 실시할 예정이다. 1억 원 이상 장비는 '공동활용필수장비' 그룹으로 지정하고, 과제 종료 후 활용방안 제출을 의무화하고, 유휴(遊休)장비의 경우는 관계기관(대학, 사업체, 펍센터 등)에 장비수요조사를 실시하여 무상 대여 또는 이관을 유도할 예정이다.

프론티어사업 장비 구매 현황(예) '01~'09/건

취득금액별	3천만 원	3천~5천만 원	5천만 원~1억 원	1억이상
취득금액별	11	27	35	23
사용범위	기관내부	부서단독	외부공동	협의 후 결정
	41	45	3	7
활용분야별	검사/관측	시험/분석	시생산/연구	측정/기타
	2/1	6/17	3/55	8/4
소유기관	대학	국공립기관 / 특정연구기관	출연(연)	기업
	27	1 / 1	12	55
지역별	수도권(서울/경기/인천)	대전	충남 / 충북	경남
	67(23/43/1)	11	1/8	9

타 연구기관이나 기업 등에 인프라 서비스를 제공하고 있는 인간유전자은행, 줄기세포주은행, 한국 식물추출물은행 등 기술인프라는 총 34종, 651억 원 규모가 구축되어 운영 중인 것으로 파악되었다. 기술인프라가 BT분야 사업단에 있는 경우는 기탁등록보존기관 또는 국가생명자원정보센터(KOBIC)에서 해당 기술인프라를 이관 또는 기탁 받아 유지·보수 및 서비스를 수행하고, 프론티어 사업단이 생명(연)에 있는 경우에는 기탁등록보존기관으로 지정된 생명자원관리본부로 이관하여 지속적으로 관리할 예정이다.

생명(연) 내 사업단 국가기술인프라 요약

(백만 원 건)

사업단	인프라명	구축비	운영		기대효과(연평균)	
			연간 운영비	소요인력	서비스건수	수입
인간 유전체기능	인간유전자은행	4,000	200	3	1,252	90
	식물추출물은행	11,130	1,000	15	126	69
	자생식물 이용기술	5,660	300	5	방문자수 7천 명	-
미생물 유전체	야생화 및 멸종위기 식물 종자은행	3,520	450	10	10	-
	미생물소재은행	3,000	600	10	36,772	13
	미생물염기서열 해독 및 분석서비스	1,500	150	2	76,961	-
	단백질은행	1,500	200	4	150	-

또한, 프론티어 사업단이 생명(연) 외 타 기관에 있는 경우에는 원칙적으로 기탁등록보존기관에 기탁 또는 이관하여 관리토록 하고, 자체관리를 희망하는 기관 중 기탁등록보존기관 자격기준을 충족하는 경우에는 기탁등록보존기관으로 지정하여 관리하며, 자체적으로 자원유지가 어려우나 기존 기탁등록보존기관에서 수용 불가능한 자원은 객원큐레이터를 선임하거나 협력기관으로 지정하여 유지·관리할 예정이다.

생명(연) 외 국가기술인프라 요약

사업단	인프라명	구축비	운영		기대효과(연 평균)	
			연간 운영비	소요인력	서비스건수	수입
작물 유전체 기능 (서울대)	종자 및 DNA stock 등 유전체정보 DB	2,000	250	7	300건 접속 및 분양	-
	고추형질전환 관련 DB	2,000	300	10	-	-
	그 외 4개 인프라 ¹⁾	1,200	488	12	2,170	261
생체기능 조절물질개발 (화학연)	고효율 합성·정제·분석 기술 기반 구축 및 지원	2,681	300	4	3,000	25
	분자설계 연구	4,300	400	5	3,000	500
	Chem-Bioinformatics 및 신약개발 정보 DB 구축 지원	200	75	3	1,000	500
	한국화합물은행	800	86	5	20,040	-
세포응용 연구(연세대)	줄기세포주은행	10,700	1,300	25	34,467	-
	프로테옴 분리, 정제 기능 분석	1,470	60	10	300	-
프로테오믹스 이용기술개발 (KIST)	프로테옴 고분해능 질량 분석	1,900	228	7	300	-
	질량분석 데이터처리 인프라 및 DB운영	500	52	3	365	-
	질량분석데이터처리 S/W 개발	-	250	7	-	-
	MRM(Multiple Reaction Monitoring) 기반 프로테옴 정량 시스템	410	670	7	300	-
뇌기능활용 및 뇌질환 치료기술 (서울대)	뇌기능유전체은행 및 유전자 발현 DB	2,123	200	18	114	-
	뇌질환동물모델 DB 및 은행	276	50	4	14	13
	실험동물 행동분석 서비스	562	100	5	33	-
	천연물복합소재 은행 및 공급	400	100	8	305	-
	첨단뇌영상지원센터	885	300	12	21	-
	신경세포 이미징 및 동력학	425	300	22	15	-
프로테옴분석기술 DB	500	50	3	5	-	

1) 세계최대의 삽입변이체 집단 구축/ 벼 DNA chip 개발 및 유전자 발현연관분석/ 벼 형질전환 공장 체제 구축/ 국내 고유유전자 도입 인프라

세부과제 4] 국제R&D네트워크 맵(Map) 작성 프론티어사업은 그동안 하버드대, MIT(美), 동경대, RIKEN(日) 등 해외 유수의 연구 기관과 국제공동연구 및 MOU 체결(170건) 등 다양한 국제R&D네트워크 구축하였다. 구축된 네트워크의 활용을 위해 성과누리온 내 네트워크 참여 국내·외 전문가 인물정보, 연구내용, 성과(논문, 특허) 등 국제R&D네트워크 맵(Map)을 작성하여 연구자에게 정보를 제공할 예정이다.

사업단별 국제 네트워크 구축 내용

사업단	주요 국제 네트워크 구축 내용
세포응용연구	- 아·태 줄기세포 네트워크 설립 주도 - 세계 인간프로테옴기구 줄기세포 Initiative 공동의장국 - 줄기세포 한민족 네트워크 구축 - 스코틀랜드 재생의학연구소와 한국파스퇴르연구소와 MOU 체결
뇌기능활용 및 뇌질환치료기술개발	- 영국 뇌프론티어사업단 현지 협력센터(BRC-UK Corporation Center) 운영 - 영국 맨체스터대와 미국의 하버드대 및 시카고대와 협력협정체결 - 하버드대 등 미국, 영국과 4건의 국제공동연구 수행
프로테오믹스이용 기술개발	- 미국 FHCRC와 프로테오믹스 데이터관리시스템 구축 전략적 연대 - ICBC와 국제협력 공동체 구축과 HUPO 등 국제 프로테오믹스 관련 기구 활동 지원
인간유전체기능연구	- 미국 NIH, 일본 RIKEN 등과 연수, 기술교류와 협력 등 추진 - 미국 NIH, 영국 노벨의학상 수상자 Paul Nurse 등과 공동연구 3건 추진
수자원의 지속적 확보 기술개발	- UN UNESCO의 WWAPII 등과 12건의 국제공동연구 및 46건의 위탁연구 추진 - 국제적 연구자문, 인력유치 등 98건 - 국토해양부 홍수통제소 등 다양한 국내 기술수요처들에게 35건의 기술지원 제공
고효율수소제조저장 이용기술개발	- IEA Annex 15 옵서버국으로 참여하고 Asia BioHyLinks 공동의장으로 활동 - 인도 C-MET, 영국 Birmingham 수소사업단과 MOU 체결
작물유전체기능연구	- 독일 BASF Plant Science와 국제공동연구 추진 - SOL, 가지과 유전체 구조연구 국제 컨소시움 참여
차세대초전도응용 기술개발	- 미국 MIT, 일본 교토대 등과 15건의 국제공동연구 추진 - 미국 NHMFL 및 CAPS와 공동연구 협정 체결 - 2008년 IEC TC 90 초전도케이블 국제규격에 대한 의제발표로 표준화 기반 구축
테라급나노소재개발	- 미국 코넬대, 러시아 ISP, 스위스 IRGC, 일본 홋카이도대 등과 국제공동연구 추진
자생식물이용기술개발	- 생물자원의 다양성 확보를 위해 세계 4대 권역 및 주변국과의 국제공동연구 추진

사업단	주요 국제 네트워크 구축 내용
미생물유전체활용 기술개발	- 특수환경 미생물 확보를 위해 중국, 베트남, 일본, 몽골 등과 MOU 체결 - 유전체기능연구 및 활용기술개발을 위해 미국 벤티연구소, 프랑스 Genoscope 등 10개 기관과 국제공동연구 추진
생체기능조절물질개발	- 미국 NIH, Johns Hopkins 등과 국제공동연구 5건 추진
나노소재기술개발	- 미국 공군연구소, 버클리대, 일본 NIMS 등과 18건의 국제공동연구 추진 - 미국 BNL의 기능성나노소재연구센터 등 3개 기관과 MOU 체결
이산화탄소저감 및 처리기술개발	- 29개 해외연구팀과 국제협력을 하고 있으며 이 중 14개 기관은 미국과 일본의 해당분야 세계 최고 수준 연구기관임
나노메카트로닉스 기술개발	- 미국 버클리대, 일본 동경대, 독일 AMO 등과 6건의 국제공동연구 추진 - 미국 NSF, 독일 프라운호퍼연구소 등과 11건의 MOU 체결 - 국제표준화 추진(IEC TC 47/WG 4)
자원재활용기술개발	- 미국 미시간대, 일본의 동경대 및 해외기업들과 34건의 국제공동연구 추진

세부과제 5 연구관리인력의 전문성 활용 사업단 사무국은 10년간 프론티어사업의 과제선정·관리·평가 등 현장 업무를 통해 다양한 노하우와 경험을 보유하고 있다. 이러한 전문성을 활용하기 위해 사업단 형태로 추진되는 중·대형R&D사업의 사무국 구성을 위한 인력 채용 시 21C 프론티어사업단의 전문관리인력에 대해 가점을 부여토록하거나, 프론티어성과지원센터 인력 충원 시 21C 프론티어사업단 사무국 인력 채용을 권고할 예정이다.

프론티어사업 사무국 직원 현황(10년 3월 현재)

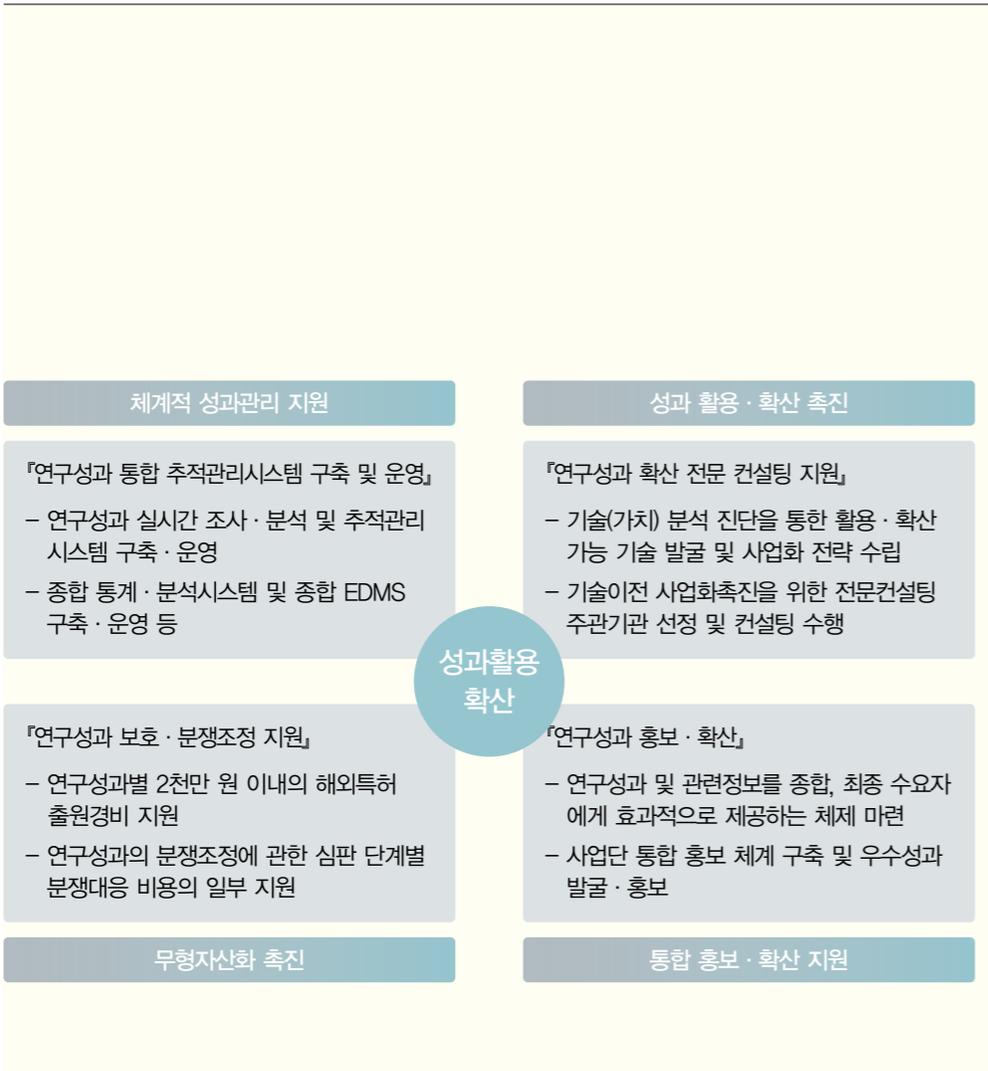
종료년도	사업단명	인원			
		국장	팀장	직원	계
2010	4개 사업단 (인간유전체, 테라급나노소재, 자생식물, 자원재활용)	4	5	8	17
2011	4개 사업단 (생체기능조절, 작물유전체, 차세대 초전도, 수자원)	4	5	7	16
2012	6개 사업단 (미생물유전체, 세포응용연구, 포로테오믹스, 나노메카트로닉스, 나노소재, 이산화탄소저감)	6	5	14	25
2013	2개 사업단 (보기능활용, 고효율 수소에너지)	2	2	6	10
합계	16개	16	17	35	68

중점과제 3 성과지원 인프라 강화

세부과제 6 수요자 중심의 성과누리On 개편 프론티어사업의 성과 및 추적관리 효율화, 기술이전·사업화, 성과활용 등을 촉진하기 위하여 연구성과 통합 추적관리시스템인 성과누리On을 구축(2008년 12월)하여 운영하고 있다. 성과누리On은 정보서비스 기능강화 및 성과등록시스템 기능개선을 위해, 1)추적관리시스템 세부기능 구현 등 추적조사시스템 기능 강화 2)통계분석 시스템 기능강화 등 단위시스템 기능개선 3)등록 과제 및 성과정보 데이터 정제 및 담당자 체계적 교육 지원 4)사용자 편의성 제고를 위한 시스템 환경 업그레이드를 지속적으로 추진하고 있다. 프론티어사업의 과제, 참여인력, 성과, 장비·기자재 등 5개 분야 정보를 연계하여 과제 정보 클릭 시, 과제에 참여한 인력·창출된 성과, 취득·구매한 장비 등을 한번에 조회 가능토록 권한별 종합 서비스를 강화할 예정이다.

세부과제 7 성과지원센터 역량 제고 프론티어사업 연구성과의 활용·확산과 체계적인 지원을 위해 프론티어연구성과지원센터를 2007. 11월에 설치하여, 1)연구성과 분석·활용시스템 운영 2)전문컨설팅 지원 3)연구성과 권리 강화 지원 4)연구성과 통합 홍보·활용제고 등의 업무를 수행하고 있다. 대규모 연구개발투자를 통해 발굴된 파급효과가 큰 기초·원천 연구성과의 잠재적 가치를 제고하기 위해서는 중·장기적 관점에서 기술적·사업적 활용도 제고 전략과 연속성있는 지속적 관리가 무엇보다 중요하다. 아울러, 최종단계 진입에 따라 증가하는 성과의 체계적 관리를 위해 성과지원센터의 전문인력 충원, 기능 강화, R&D 단계별 밀착지원을 통해 정부 R&D 사업의 효율성을 높이고 기술사업화를 활성화를 유도한다.

프론티어연구성과지원센터는 교과부 소관 프론티어사업 등 국가 대형 R&D의 성과 극대화를 통한 국민경제 발전에 기여를 목표로 통합추적관리시스템 운영, 기술이전 등 성과 활용·확산위해 1)통합 추적관리시스템 정보서비스 강화 및 종료사업단 지원 2)국내외 기술이전·거래협력 네트워크를 통한 기술이전 활성화 3)고객맞춤형 기술·시장정보분석 서비스 제공으로 연구개발 부가가치 향상 4)R&D 전 주기적 실용화사업 다각화로 성과확산 전담기관 기반 구축을 세부 목표로 하고 있다.



중점과제 4 | 관련 법·제도 개선

세부과제 8] 추적조사(평가) 실시 2010년부터 프론티어사업이 단계적으로 종료됨에 따라 그간 축적된 성과의 정확한 분석·평가를 위한 체계 구축이 필요하다. 체계적 추적조사(평가)를 통해 1)미활용 기술의 발굴 및 기술활용 애로요인 분석 2)기술료 징수 대상 파악 3)유사 국가연구개발 프로그램 운용을 위한 근거자료 4)대형 국가연구개발사업 투자 정당성 확보 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다. 2010년 종료사업단(4개)의 모든 과제(단, 연구기획평가·정책기획 과제, 연구개발결과 미흡과제, 기타 교과부 장관이 불필요하다고 인정되는 과제를 제외)를 대상으로 시범적으로 실시한 후, 단계적으로 확대해 나갈 예정이다. 이를 위해 교과부 사업 처리규정, 프론티어사업 운영지침 등에 추적 조사 개념·절차·시기 등을 반영하여 효율적 추적조사를 위한 법·제도를 정비하고, 필요시 사업협약서에 추적조사 관련 근거·내용을 명시하여 추진한다. 사업 성공의 관건인 과제책임자 및 연구관리기관의 적극적 참여를 위해 차기 관련 기술개발과제 참여 시 가점 부여, 신기술혁신선도자(가칭) 선정 및 표창 등 다양한 인센티브 부여하는 것과 같이 제도정착을 위한 인센티브 시스템 도입을 고려할

필요가 있다. 아울러, 사업단 등의 의견수렴을 거쳐 과제, 연구책임자, 성과(논문, 특허, 기술료, 기술이전 등) 등 수집 표준정보항목을 확정하고, 성과누리On 기능을 개선하여 추적조사 결과를 서비스할 예정이다.

세부과제 9] 관련 법령 개정 후속지원방안에서 추진코자하는 범부처 협력체계 구성, 후속연구지원 근거, 사업단 종료 후 연구개발정보의 체계적 관리 및 공동활용, 성과지원센터의 역할과 기능 등을 반영한 21세기 프론티어연구개발사업 운영관리지침을 개정(2010.4.12) 하였으며, 추적조사 근거 및 방법 등 효율적이고 체계적인 프론티어사업 후속지원을 위해 교과부 소관 훈령에 반영하는 등 관련 법령 개정을 지속적으로 추진토록 할 예정이다.

기대효과

국가적 R&D투자 효율성 제고 체계적이고 연속성있는 후속지원을 통해 범부처 차원에서 프론티어사업의 기초와 원천 연구성과를 상용화까지 연계 추진하여, 중복투자 및 연구성과 사장(死藏)을 방지하고, 프론티어사업으로 구축된 국제R&D네트워크, 연구관리전문 인력의 노하우 등을 지속적으로 활용 가능하리라 본다.

성과누리On 및 국가기술인프라를 통해 민간기업 등과 연구성과·자원 공유 중소기업을 비롯한 산·학·연 연구자는 고가 연구장비 및 유전자, 식물자원 등 각종 연구용 자원을 손쉽게 이용할 수 있으며, 성과누리On 등을 통해 프론티어사업의 논문, 특허 등 성과를 종합적으로 제공하여 후속연구, 기술이전 및 사업화 촉진이 기대된다.

제 2장 | 미래를 위한 제언

01 인간유전체 기능연구사업단



사업단장 임동수

인간유전체를 완전히 해독하고 유전체정보를 이용하여 생명현상의 인과관계를 규명하고 모든 질병의 원인을 모두 파악하게 된다면, 질병의 예방, 진단 및 치료기술의 개발에 대한 획기적인 전기가 마련될 수 있을 것이다. 이러한 가능성을 바탕으로 1990년, 미국 주도의 인간유전체연구사업(Human Genome Project)이 시작되어 2003년 세계 최초로 한 사람의 유전체가 거의 완전히 해독되었다. 그 이후 초고속, 저비용 유전체 분석기술이 비약적으로 발전하여 한국인을 포함한 수 명의 개인 유전체가 이미 해독되었으며, 개인 유전체정보에 근거한 맞춤형의료가 조만간에 도래할 것으로 전망하고 있다. 복잡한 생명현상의 원리를 규명하기 위한 기능유전체 연구가 수행되고 있으며, 고밀도 유전자 칩이 개발되어 인간의 물리적 특성(신장, 머리색, 눈색 등) 뿐만 아니라 암, 당뇨, 고혈압 등과 같은 질병관련 유전인자들이 빠른 속도로 밝혀지고 있다. 이러한 질병관련 유전인자 성과를 바탕으로 유전자 검사 사업화되고 있고, 암 환자에 맞는 치료법을 적용하기 위한 유전자 검사가 시도되고 있다. 이제 유전체는 기초연구의 범위를 벗어나 부분적으로 응용단계에 접어들고 있다.

이러한 유전체 연구분야의 세계적인 흐름에 발맞추어, 우리나라는 21세기 프론티어 인간유전체기능연구사업단을 구성하여 1999년 국내 최초로 유전체연구를 시작하였다. 프론티어 사업은 기존의 정부주도형 연구관리 체계에서 탈피하여, 연구역량과 경영능력을 갖춘 전문 연구자가 10년 간 연구 사업을 총괄하도록 하였다. 프론티어 연구사업단장은 연구기획, 연구과제 선정 및 관리, 기술이전 및 사업화에 이르는 R&D의 모든 과정을 관리하는데, 이는 전 세계적으로 유례가 없는 독특한 연구관리 체계이다. 본 프론티어 사업을 통하여 인간유전체기능사업단 출범 당시 유전체 연구의 불모지였던 한국에서 유전체 연구기반을 구축하게 되었다. 또한 위암·간암 등의 진단 및 치료원천기술과 인간 유전자원을 확보하였고, 국제수준에 필적할 만한 양질의 성과를 도출하여 당초 계획한 최종목표를 100% 달성하였다.

이러한 경험을 바탕으로 국가대형연구개발 사업 수행에 있어 몇 가지 제안을 하고자 한다. 첫째, 유전체연구는 논문, 특허 등의 성과 이외에 유전자원 및 정보 등의 인프라 구축 및 인력양성이 중요하다. 이를 인식한 주요 선진국은 인프라 구축 및 인력양성에 투자를 지속적으로 늘려왔으며 또한 모든 분야에 파급효과가 큰 원천기술개발에도 투자를 아끼지 않고 있다. 그 결과 미국, 영국을 비롯한 선진국은 유전체 연구분야에서 선도적인 위치를 차지하고 있다. 인간유전체사업의 결과로 발생된 유전자 정보 및 자원 등은 한국생명공학연구원 인체유래자원센터와 생명정보센터(KOBIC) 등과 연계하여 사업의 10년 결과물들에 대한 사업종료 후 관리 단계에 있다. 향후 본 연구사업을 통해서 축적된 연구 인력과 인프라가 범부처적인 협조 하에 적극적으로 공유·활용할 수 있는 방안이 마련되길 제안한다.

또한 사업 출범 시 인간유전체연구 분야의 국제적인 경쟁력 확충, 선진기술 및 인간유전체 소재 확보, 이들을 활용한 응용기술개발을 위해 장기 비전과 목표를 가지고 출발했지만 시간이 지나면서 정부나 주변에서 요구하는 것은 건수 위주의 단순성과물 창출과 성급한 사업화에 초점을 맞추는 경향이 있었음을 부인할 수 없다. 향후 장기간 수행되는 국가 대형연구개발사업에서는 인내심을 가질 필요가 있다.

둘째, 프론티어 연구개발사업처럼 장기, 대형 사업을 통해 우수한 연구성과를 도출하기 위해서는 사업의 안정성 확보를 통하여 연구자에게 지속적이고 안정적인 연구비 지원이 연구사업 성공의 최대 관건이다. 교육과학기술부에서도 연구개발의 이러한 특수성을 감안하여 본 사업을 기획하고 착수하였다. 그러나 2005년 보건복지부 보건의료기술개발사업, 국립암센터의 암정복사업 등 유관사업과 본사업의 연계·합병 추진에 관한 의견이 제시되었고, 2008년도 기획재정부 용역보고서에서는 본사업과 동 부처 및 타 부처 사업 간의 유전체 연구의 중복성을 제기하며 사업의 일원화 및 축소 등을 골자로 한 내용의 보고서가 발표되었다. 이는 연구수행에 있어 일관성·전문성 및 독립성 확보 등에 큰 걸림돌이 되었다. 사업의 중복성은 사실과 다르며 일부 기관에서의 편협한 시각과 단편적인 연구의 일부분만을 확대해석하는 결과를 보고하여 사업추진에 어려움이 있었다. 향후 국가대형연구사업을 기획함에 있어 타 부처와의 중복여부를 확인해야 할 필요가 있으며, 사업 수행 중 중복여부가 제기 되었을 때 대응논리를 면밀하게 준비하여 사업수행의 안정성을 굳건히 확보할 필요가 있다.

셋째, 사업의 일관된 추진이다. 본 연구사업이 기획되고, 착수, 종료되기까지 3번의 정권교체가 있었으며, 2008년 2월에는 교육인적자원부와 과학기술부가 통합되는 환경적 변화가 있었다. 그러나 그러한 환경적 변화와 상관없이 사업이 진행되고 무사히 종료될 수 있게 된 점은 높이 평가된다. 국가 연구개발사업을 추진함에 있어 정치논리나 단순한 주위 환경 및 상황의 변화에 기인한 연구의 중단, 축소, 통폐합 등은 연구사업 추진에 있어 심각하게 고려되어야 할 사안이라고 사료된다. 아울러, 하루 아침에 우수한 연구성과를 기대하기 보다는 장기간 꾸준한 지원과 독려로 연구자들이 좋은 연구성과를 창출해 낼 수 있는 분위기를 만들어주는 것도 중요하다.

끝으로, 본 연구사업을 통해 창출된 연구성과들은 IT 및 NT 등의 기술과 접목되어 초고속, 초정밀, 고감도, 저비용의 진단기술 및 기기의 독자적인 개발을 가능케하여 관련 산업 분야 발전에 크게 기여할 것이다. 또한 본 사업을 통해 도출된 혁신 신약개발용 표적 유전자들과 새로이 동정되고 있는 신도물질들은 국내 생명과학의 산업화에 매우 중요한 자산으로 제공될 것이며, 이로부터 개발되는 신약은 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 파급효과가 매우 클 것이다. 우리나라가 유전체 연구분야에서 국제적인 경쟁력을 갖추고 관련산업분야에서 새로운 시장을 선점하기 위해 본 연구사업 종료 후에도 유전체연구 분야에 많은 관심과 투자가 절실하다고 하겠다.

02 테라급 나노소자개발사업단



사업단장 이조원

21세기 프론티어연구개발사업은 정부 대형 장기연구개발사업의 새로운 모델을 제시한 사업으로, 정권 교체와 무관하게 추진된 점은 아주 잘한 일이다. 앞으로도 이 원칙이 지켜져야 함은 물론, 국가경쟁력 확보와 새로운 기술에의 도전을 위해 프론티어와 같은 장기대형연구개발사업이 계속 추진되어야 한다.

장기 사업은 단·중기 사업과는 달리 사업목표와 전략을 차별화시켜야 한다. 당장 오늘 내일의 결과를 기대하고 추진해서는 안되며, 목표가 정해지면 특별한 문제가 없는 한 본래의 취지와 철학대로 일관되게 지속되어야 한다.

또한, 혁신을 이루려면 연구원이 뿔뿔이 흩어져 있는 것보다는 같은 목표를 공유하며 함께 있는 게 유리하다. 융합의 시대인 만큼 다양한 사람들이 모여 프론티어사업과 같이 집단연구를 할 수 있는 시스템을 국가가 갖춰야 한다. 이를 통해 세계와 일본 일초를 다투는 '연구 전사'를 길러내야 한다.

나노기술은 인류의 지속적인 성장과 행복을 위해 확실한 해결책으로 부상하고 있으며, 선진국과 경쟁하고 기술후발국의 추격을 멀찌감치 떨어뜨리기 위해서는 나노에 집중 투자해야 한다.

릭스 리서치사는 2007년 12월 우리나라를 세계 4위의 나노기술 경쟁력 확보국으로 평가했다. 우리나라의 나노기술이 불과 10여 년만에 세계 4위권에 진입할 수 있었던 가장 큰 이유는 지난 10년 간 장기연구사업인 프론티어 사업을 중심으로 대규모의 다학제적 집단연구를 수행하도록 한 국가의 지원정책 결과다.

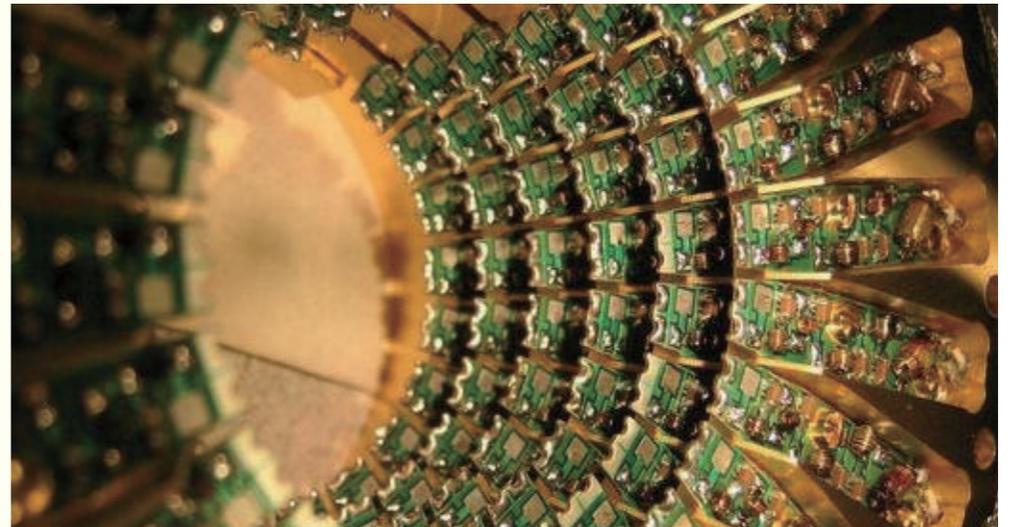
그러나 현재 미국, 일본 등이 국가 간, 대학 간 공동연구를 적극 추진해 경쟁력을 비약적으로 강화해가는 가운데 우리나라는 그동안 나노 연구를 이끌어 온 본 사업단이 2010년 3월로 종료되었고, 2012년에는 나노소재와 나노메카 사업단이 종료되면서 연구의 중심점을 상실하게 된다. 앞으로 10년은 나노기술이 능동소자에서 나노시스템으로 발전되는 기술의 변곡점에 접어들면서 승자와 패자가 결정되는 중차대한 시기로 나노기술의 중심점을 찾아야 한다.

또, 앞으로 10년이 지나면 인공지능산업이 세계를 주도하는 산업이 될 것이다. 큰 컴퓨터가 주머니 안으로 넣을 수 있을 만큼 작아지는, 그러면서 성능은 향상된 슈퍼 인텔리전트 사회가 올 것이다. 국가는 이를 위한 연구를 차세대 동력으로 삼아 적극적인 지원을 해야 한다. 인공지능 혁명을 이루기 위해서는 소프트웨어 개발도 중요하나, 하드웨어 즉 나노기술에 기반한 나노전자소자 개발이 절대적으로 선행되어야 한다. 또 한 번의 국가적 R&D 리더십을 통해 나노기술 육성전략 추진에 적극적으로 나서 미래를 대비해야 할 것이며, 정부가 제대로 방향을 잡고 나노기술에 지원하면 우리나라 산업과 경제발전이 일등공신이 될 게 자명하다.

사업단장으로서 가장 안타까운 일은 세계 최고 수준의 성과를 냈음에도, 기존의 평가기준에 따르다보니 제대로 인정을 받지 못한 경우다. 대표적인 사례가 나노전자소자 제작을 위한 무손상 식각기술을 개발한 일이었다. 국내 한 연구팀이 발표한 이 기술은 2007년도 판 반도체기술 국제 로드맵(ITRS)에서 '전 세

계가 추진해야 할 표준'으로 높게 평가받았다. 또 굴지의 외국연구소 연구팀이 접촉해 현재 공동으로 실용화에 박차를 가하고 있다. 하지만 국내 반응은 미지근했다.

국내의 평가 기준이 주로 '사이언스', '네이처' 같은 인지도 높은 국제저널에 얼마나 많은 논문을 내느냐에 맞춰진 탓이기 때문이다. 하지만 실용화의 관점에서 보면 이런 기준이 달라져야 한다. 비록 저널의 인지도가 일반 과학기술계에서 상대적으로 낮다 해도 관련 전문분야에서는 얼마든지 세계적인 수준으로 인식된다. 또한 논문 외에도 세계 최고의 전문가들이 모인 국제대회에서 인정받는 일도 평가 기준에 포함돼야 한다고 생각한다.



03 자생식물이용기술개발사업단



사업단장 정혁

프론티어 사업은 우리나라 과학기술연구개발 역사가 시작된 이래 최초로 전문연구자에 의해 10년이라는 장기간에 걸쳐 연구관리의 책임을 맡겨서 수행한 최초의 사업으로서 국내·외적으로 매우 독특하고 진일보된 연구개발사업의 새로운 전형으로 자리매김한 것으로 보인다.

어떠한 연구개발사업의 관리시스템도 완벽한 시스템은 없고 항상 더 효율적인 시스템을 찾기 위하여 부단하게 노력해야 하겠지만, 그래도 현존하는 시스템 중에서는 가장 효율적인 연구관리 시스템인 것만은 확실하다.

프론티어 사업단이 출범하기 이전의 우리나라 국가 연구관리 시스템은 여러 가지 측면에서 불합리한 문제점을 많이 가지고 있었다. 연구관리의 주체이자 책임자를 전문성이 없고 수시로 보직이동을 하는 관료로 임명하다보니 과제선정·수행·사후결과평가에 이르는 연구개발 전 주기에 걸쳐 수도 없는 문제점이 많이 있었다. 훌륭한 연구개발 결과를 창출하는 것은 어려운 것 같아도 어찌보면 아주 단순명료 하다고 보는데, 그것은 다름아닌 실력이 좋은 연구자가 참신한 아이디어로 구성된 연구내용으로 꾸준하고 성실하게 열심히 연구를 지속하는 것이다. 그러다보면 저절로 우수한 연구결과가 창출될 수밖에 없는 것이다. 이러한 측면에서 볼 때, 연구관리의 책임을 맡고 있는 책임자는 우수한 과제책임자와 과제 제안서를 잘 판별해 낼 수 있는 그 분야 전문가가 되는 것이 가장 이상적이라고 할 수 있겠다.

관리·경영 능력을 겸비한 전문연구자를 물색해서 과제 기획에서부터 선정 평가 및 사후 관리까지 전 과정에 걸쳐서 전권을 주고 믿고 맡기는 프론티어 사업의 형태는 앞서 열거한 연구관리의 중요한 모든 요소들을 대부분 충족시킬 수 있는 방식으로서 국가연구관리 사업의 발주자인 국민과 정부의 입장과, 또 직접 연구비를 받아서 연구를 수행하는 연구자의 입장 양측에서 볼 때 모두를 만족시킬 수 있는 이상적인 시스템으로 역할을 하었다고 생각한다.

이러한 긍정적인 결과에 근거하여, 최근에 모든 부처에서 시행하고 있는 연구개발 사업이 거의 대부분이 프론티어사업의 연구관리 방식을 벤치 마킹하여 수행되고 있는 것만 보아도 그 효율성을 짐작할 수 있을 것이다. 이러한 프론티어 사업의 장점은 비단 국내에서만 인정되고 있는 것이 아니라 해외에서도 상당히 호평을 받고 있어서 해외 출장 시 타국의 연구자들과 대화를 나누는 과정에서 엄청난 부러움과 칭찬을 받은 경우가 매우 많았다.

지난 십 년 간의 사업을 시행하는 과정에서 일부 도출된 단점을 보완하면서 더욱더 효율적인 시스템으로 발전시켜나갈 경우, 세계적으로 자랑할 수 있는 모범적인 국가연구개발사업의 전형을 만들어 나갈 수 있을 것이라고 확신하는 바이다.

본 자생식물사업단은 천연신약개발을 주된 목표로 삼은 연구개발 사업단으로서 신약개발 전 주기에 걸친 연구개발 사업을 수행하였다. 어느 연구개발 분야에서나 모두 실용상업화를 달성하기 위한 결정적인 구간이 있기 마련인데, 특히 신약 개발 사업에서는 이 구간이 바로 임상초기단계이며 대부분의 연구결과가 이 단계에 몰려서 더 이상 나아가지도, 포기하지도 못하고 갈 때까지 무조건 가보자는 방식으로 진행되고 있는 경우가 비일비재한 실정이다.

따라서 우리 사업단에서는 이러한 병목구간을 신속하고 유연하게 해소해 주기 위하여 연구비중의 일부를 아예 집행하지 않고 예비비 형태로 마련해서 유망후보물질을 도출한 연구결과에 대해서 상시적으로 전임상 및 임상시험 연구비를 지원하는 시스템을 제공하였다. 그리고 이 경우 임상연구에 소요되는 총 연구비의 절반은 반드시 궁극적으로 실용상업화의 주체가 될 연구 참여기업이 같이 부담하도록 함으로써, 연구결과와 상업성에 대한 평가를 사업단뿐만 아니라 사업체에서 더욱더 심층적으로 분석하도록 유도하였다.

그 결과 우리의 예상대로 연구자가 제 아무리 좋은 유망후보물질이라고 주장하더라도 사업체에서 동의하지 않으면 실용화의 의미가 없어지게 되기 때문에, 연구자는 나름대로 더 신중하게 자기 연구결과를 검토하게 되고 사업체는 사업체 나름대로 갖은 검증장치를 동원하여 과연 절반이라도 임상시험에 소요되는 비용에 대한 위험부담을 떠 안고 시도할 것인지에 대하여 심사숙고하는 효과를 보게 되었다.

따라서 본 임상지원시스템의 시행결과로 알곡과 쪽정이가 뒤섞여 판별이 어려운 병목구간에서 가장 효율적으로 알곡만 골라내어, 성공적인 실용상업화 단계로 연구를 진행시킬 수 있는 아주 이상적인 시스템이라는 것을 확실히 증명해 보였다.

신약개발을 효율적으로 하기 위한 정책적 제안으로서 본 사업단에서 실시한 바와 같은 임상연구비 지원시스템을 보건복지부에서 마련하여 연간 최소 5백억 원 정도만 마련하고 타 부처의 연구개발사업의 결과로 도출되는 수많은 유망후보물질을 적시에 잘 걸러주는 시스템을 도입할 것을 강력히 건의하는 바이다.

현재 이러한 국가적 시스템이 없기 때문에 모든 부처가 제대로 하지도 못하면서 신약개발연구의 전 주기에 걸친 연구를 다 하겠다는, 거짓말 아닌 거짓말을 하고 있는 과정에서 엄청난 연구비의 낭비와 연구자의 에너지 손실이 일어나고 있다. 신약개발에 있어서 부처별 역할분담에 관하여 현재 심도 깊게 논의되고 있는 것으로 알고 있지만 핵심은 바로 신약개발의 병목구간을 속 시원히 해소해 줄 수 있는 이러한 시스템을 보건복지부가 마련해서 시행하느냐 못하느냐에 달렸다는 것이 본 사업단장이 경험으로 취득한 결론이다.

다시 한번 더 강력히 제안하는 바이지만 우리나라가 신약개발 강국으로 진입하기 위해서는 임상연구

04 자원재활용기술개발사업단

지원시스템을 하루 빨리 갖추어야 할 것으로 생각된다.

그 동안 많이 개선되기는 했으나 아직도 상당수의 국가 연구개발 사업이 단년도 수행, 단년도 평가, 단년도 협약의 형태로 진행되고 있는 것이 현실이다. 이러한 현실은 연구개발의 속성을 너무나도 모르고 무시한 처사로서 하루 빨리 시정이 요구된다. 본 사업단에서는 사업개시 당초부터 3년도 다년도 협약을 체결하고 연구비도 해마다 정산하지 않고 직접비의 30% 이내에서 차년도에 이월해서 사용하도록 허용하여 줌으로써 연구자들로 하여금 평소에 연구비를 최대한 아껴 쓰도록 유도하고, 열심히 연구를 하는 한 최대한 3년 동안은 안심하고 자기가 하고 싶은 연구를 안정적으로 할 수 있도록 해줌으로써 자연스럽고 자발적인 연구 분위기 조성에 최대한 노력을 기울였다.

해마다 연구진척도에 대한 모니터링을 위한 평가는 진행하되 결정적인 진퇴가 걸린 연구결과 평가는 매 3년마다 엄밀하게 수행하여서 결과에 대한 확실한 책임을 물을 수 있도록 제도적으로 장치화 하였다. 다년도 협약을 할 경우 연구자들에게도 여러 가지로 유익한 점이 많지만, 연구관리자 측면에서도 쓸데없는 형식적 관리 요인이 엄청나게 줄어들게 되어 다른 중요한 일을 수행하는데 더욱더 집중할 수 있게 되어 업무의 효율성이 대폭 증대 되는 결과를 가져 오게 되었다.

따라서 지금이라도 정부가 수행하는 모든 연구개발사업은 특별한 경우를 제외하고는 다년도 협약을 체결하는 것을 원칙으로 할 것을 제안하는 바이다.



사업단장 이강인

녹색성장 기술/인프라 세계는 지금 한정된 자원을 두고 무역과 연계한 소리 없는 전쟁을 진행 중이다. 특히 세계에서 소비량이 가장 높은 석유자원은 약 50년의 세월이 흐르면 고갈될 것으로 전망되고, 새로운 광물자원의 매장지가 발견되지 않아 가채연수도 100년 내외로 다가오고 있는 실정이다. 이러한 상황들을 고려할 때 기존의 '요소투입' 위주의 경제성장은 저탄소·자원순환의 패러다임으로 전환돼야 할 상황에 놓였다. 이를 위해서는 자원순환기술의 고도화를 통한 자원의 비축과 순환체계의 구축으로 국가경쟁력 확보가 절실하다.

일반적으로 산업 구조를 자원순환기술로 전환하면 에너지와 환경오염 부하는 각각 30~90%, 10~20%씩 감소하고, 탄소거래 시장에서 국가경쟁력의 우위를 선점할 수 있게 된다. 또 기후변화에 대응한 폐기물의 자원화와 에너지화, 온실가스 저감, 자원의 순환적 이용 등으로 저탄소 녹색성장 사회로의 진입이 가속화될 수 있다. 특히 최근 심화되고 있는 지구 온난화 등의 환경문제로 인한 국제규제는 강제적으로 적용될 것이다. 이에 향후 온실가스 감축에 대한 국제적 공조·규제는 불가피하게 됐다. 이런 현실에서 환경과 경제의 선순환 구조를 통해 시너지를 극대화하고 신성장 동력으로 추진해야 하는 것은 선택이 아닌 필수 사항으로 인식된다. 이런 상황에서 자원순환 기술의 개발은 환경보전과 자원 확보를 동시에 해결할 수 있는 지속가능한 발전을 이룰 수 있고, 자원빈국인 국내 현황에서 자원 순환율을 제고시키고 국가경쟁력 강화를 위한 핵심 분야인 것이다. 또 국가적으로 추진하는 저탄소 녹색성장의 핵심이 되고 환경과 자원문제를 해결하는데 중추적인 역할을 하는 자원순환사회의 구축방안 마련이 시급한 상황이다. 그러기 위해서는 자원과 에너지의 효율적인 이용이 이뤄져야 하며 산업구조에서부터 국민의 생활 방식까지 변화가 요구된다.

변화의 결과는 자원순환율의 상승으로 이어진다. 자원순환율이란 경제에 투입된 물질과 자원의 총량 대비 폐자원의 재활용량 비율을 의미한다. 자원순환율은 천연자원 투입량보다 재활용량의 증가폭이 커야 올라간다. 본격적인 자원순환율의 증가를 위해서는 자원순환에 대한 인프라와 기술 관련 정책의 추진이 필요하다.

자원순환 인프라를 구축하기 위해서는 폐기물 물질흐름 분석, 법적 재활용 대상 확대 및 목표 재활용률 상향 조정, 폐기물의 관리 및 인프라의 기능 강화, 국제환경규제 동향에 대한 능동적인 대처, 범부처 성격의 통합센터 구축, 재활용업 지원 및 인재 양성 등이 선행돼야 한다. 먼저 유가자원의 순환활용을 위해서는 전략 재활용 대상에 대한 집중적인 관리체계가 필요하다. 여타산업의 경제적 규모를 확정하는데 있어 원료 확보가 중요하듯이 재활용 산업에서도 대상 폐기물의 양이나 상태에 대한 정보가 중요하다. 따라서, 물질의 생산·유통·폐기 등이 포함된 모든 과정이나 특정 부문의 투입량과

축적량, 재활용량을 알 수 있는 물질흐름분석이 선행되어야 한다.

또한, 폐기물 최소화 정책에 의해 재활용 가능한 폐기물 배출량도 감소하므로 재활용 대상을 2010년부터 점진적으로 확대하고, 제품별 재활용 기준 및 방법에 대한 규정을 보완해야 한다. 이는 자원순환 기술을 개발하는데 있어 매우 중요한 부분이다. 기존의 매립 중심의 관리방식에서 재활용과 소각 비중이 증가함에 따라 폐기물 처리와 소각시설 설치 지원체계를 구축해야 한다. 이에 대한 대책방안으로는 자원순환 특화단지과 생태산업단지 조성이 방안이 될 수 있다. 특히 자원순환특화단지는 재활용산업을 21세기 경쟁력 높은 유망산업으로 육성하기 위해 조성된 지역별 자원순환형 전문 공단이며, 현재 전주시 자원순환특화단지를 시범사업으로 추진하고 있다. 이 외에도 무역과 연계되는 국제환경규제 대응 관련 교육의 주기적 운영을 통한 능동적인 대처나 범부처 성격의 통합센터 구축, 재활용업 지원과 인재 양성 등도 꼭 필요한 사항들이다.

하지만 앞서 소개한 인프라 구축보다 시급한 것은 자원순환기술을 확보하는 것이다. 인프라를 아무리 잘 구축한다 해도 기술이 뒷받침 되지 않는다면 아무 소용이 없기 때문이다. 폐기물 처리와 재활용을 구분해 관련 요소기술의 개발과 실용화에 중점을 두고 기술을 발전시킨 과거와 달리 최근에는 화학적·열적 처리기술이 발달하면서 폐기물의 처리단계에서 중간처리 부산물을 직접 순환활용 하는 기술이 개발되고 있다. 지금까지는 널리 이용되고 있는 스톡카식 소각과 폐기물의 처리에 주안점을 두고 가연성 폐기물의 자체 발열량을 에너지로 회수하는 수준의 기술이 거의 대부분이었다. 최근에는 폐기물의 특성에 따라 기존의 처리개념의 기술에 재활용 기술을 접목시키는 시스템 엔지니어링이 강조되고 있는 만큼 향후의 재활용 기술은 처리와 연계된 종합기술로 발전돼야 진정한 녹색성장을 이룰 수 있을 것으로 예상된다. 또 기술주기가 단축되면서 폐자원량의 예측이 어려워진만큼 자원순환기술도 이에 따른 지속적인 성장이 이뤄져야 하며, 유해폐기물에 함유된 유용한 성분을 회수하여 재이용하고 동시에 유해폐기물을 무해화 할 수 있는 RoHS* 대응기술로 이어져 시장원리에 관계 없이 발전돼야 한다. 재활용 기술의 활성화와 국제 경쟁력 확보를 위해서 자원순환 연관기술의 핵심 소재·장치의 국산화도 필요하다. 폐기물의 순환활용 기술은 엔지니어링 시스템 기술로 종합기술의 성격을 갖고 있다. 그래서 다른 분야에서 이용되는 소재나 장치를 직접 이용할 수 없으며, 국내 수요도 한정돼 있어 대부분의 핵심소재와 장치를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이용단계의 확대와 유해성분을 고정하는 자원순환기술로의 전환도 시급하다. 특히 에너지 축적도가 높은 폐고분자 물질을 직접 열적처리로 에너지를 전량 회수하기보다는 에너지 이용 단계를 고려해 중간분자 물질을 생산하고 생산된 중간분자 물질이 폐기된 후 다음 단계에서 저분자 물질로 전환하는 재활용 이용단계의 확대와 재생제품의 2차 오염을 방지할 수 있는 자원순환기술이 정착돼야 한다. 다음 세대의 자원고갈에 대비해 폐기물의 자원이용 가능성에 대한 과학적 평가에 근거해 새로운 재활용 단계의 모델이 제

시돼야 하며, 재활용에 치중해 2차 오염을 발생시키지 않도록 LCA의 접목으로 전 주기적 영향평가 기술을 확립해야 한다.

결론적으로 진정한 저탄소 녹색성장은 폐기물처리 중심의 전통적 분리 및 회수기술에서 벗어나 저에너지(저탄소), 고효율화, 고순도화, 통합집적화, 유해물질 저감 및 무배출, 생산성 향상 등 지속가능한 자원활용의 극대화가 필요하다. 또한, 이를 위해 국가의 적극적인 지원과 함께 자원순환 통합 녹색기술 개발로 국내 자원순환률 제고와 연결돼야 할 것이다.

대형연구사업 21세기프론티어사업은 10년의 기술개발로 신산업을 창출하고 국가경쟁력을 제고할 수 있는 연구사업(주로 BT, NT, ET, IT 분야)을 선정하여 그 분야 전문가에 의한 새로운 연구관리시스템으로 2000년부터 시작되었다. 그 해 5개, 2001년 5개, 2002년 8개, 2003년 4개로 4년에 걸쳐 22개가 출범하였으며, 2004년 정부 체제 개편에 의해 16개는 교과부에 존속하고 6개는 지경부로 전담 부처가 바뀌어 진행되고 있다. 2010년에 5개 사업(교과부 4개, 지경부 1개)이 종료되고 향후 연차적으로 2013년에 모두 마치게 되는 프론티어사업은 「3+3+4」의 단계 중심, 다년간 협약에 의한 사업단 운영 체계로 추진되었다. 그 결과 대표적인 장기대형국책연구사업으로 평가를 받고 있으며, 이러한 사업의 추진 필요성과 효율성을 인정받아 올해부터 그 후속으로 4G(global, ground-breaking, group, green growth)의 사업철학을 담은 글로벌프론티어사업이 기초, 응용, 개발의 전반적인 스펙트럼이 아닌 기초원천에 집중하는 방향으로 추진될 예정이다.

우선 프론티어사업의 우수한 면을 살펴보면 선택과 집중에 의한 연구비 투입, 권한과 책임이 주어진 사업단 운영체제로 기존의 사업추진과 차별되는 연구개발의 효율성 향상을 들 수 있다. 10년 동안 신산업 창출이 가능한 원천기술 확보 및 기초, 응용, 개발의 전반에 걸친 연구개발을 통해 기존의 연구 방식으로는 이루기 어려웠던 괄목할 만한 성과가 얻었다. 또한, 국내·외에서 사업단별 300~600 명 정도의 전문가들이 10년 간 함께 프로젝트를 수행하면서 산재해 있던 국내 연구역량을 집결시켜 그 분야의 연구거점을 구축하였으며, 이 거점을 활용하여 변화하는 연구여건 변화에 탄력적으로 대응함으로써 사업목표의 성공적인 달성이 이루어졌다.

여러 가지 우수 연구성과에 비해 일부 투입 대비 성과가 미흡하다는 부정적인 면도 없지는 않다. 동일한 연구비를 많은 연구자들에게 나누어 주었으면 보다 많은 논문과 특허의 정량적 성과를 얻을 수 있다는 생각으로 집단연구나 장기대형국책사업에 대한 비판이 있는 것이다. 그러나, 이는 모든 연구개발의 기획, 관리, 성과분석에 일률적으로 동일한 잣대를 적용할 수 없다는 것에 대한 이해 부족인 것이다.

10년 사업기간을 통해 무엇보다 중요한 것은 사업성과에 대한 올바른 평가일 것이다. 평가에서 객관성,

전문성, 공정성을 어떻게 조화를 시키며 절대와 상대 평가를 어떠한 비율로 조절하여 이상적인 평가도구로 이용할 것인가는 대형연구개발사업 추진에 매우 중요하다. 따라서, 평가의 목적 및 사업 성격에 따라 다각적인 방향의 평가가 이루어져야 하므로 프론티어사업의 사업의 특성에 맞는 성과지표의 도출이 필요하다. 성과지표란 사업단의 임무, 전략목표, 성과목표의 달성여부를 측정하는 척도로서 지표에 의한 객관적이고 명확하게 성과의 달성수준을 측정할 수 없는 경우에는 성과관리의 목적을 달성할 수 없다. 이를 위해 사업의 목적을 어느 정도 달성하고 있는가를 직·간접적으로 판단할 수 있고, 프론티어사업의 특성을 고려한 객관적인 성과지표를 도출하여 향후 사업단 평가에 반영되어야 한다.

국가 R&D의 최종 수요는 삶의 질 향상으로 연결되므로 정책과제 연구성과에 대한 적극적인 대국민 홍보가 필요하며, 국민의 알권리를 충족시키는 이와 같은 일도 사업단과 연구자의 의무라 할 수 있다. 홍보의 중요성은 국가연구비의 규모가 13조를 넘어가면서 더욱 강조되고 있으며, 우수한 연구성과를 도출하고도 홍보가 되지 않아 국민의 혈세를 낭비했다는 소리를 듣는다면 연구사업 추진이 어려워지게 된다. 성과지원과 홍보를 강화하기 위해 2007년 프론티어연구성과지원센터가 설립되어 각 프론티어사업단의 연구성과 홍보 및 확산 그리고 종료 사업단에 대한 추적관리시스템 적용으로 성과의 확대 보급을 담당하고 있다. 이를 통해 10년 한시적인 사업단 형태의 정책과제 수행과 관련하여 사업종료 후 사업단별 축적된 성과가 사장되지 않도록 지속적인 성과관리 및 홍보가 이루어질 것이다.

장기대형정책사업에 대한 필요성이 충분히 검토되고, 이러한 방향으로 추진해야 할 명분과 효과에 대해 공감대가 형성되고 그 진행 과정이 투명하다면 사업단 형태의 장기사업이 집단연구의 성공사례로 자리매김을 할 수 있다. 이러한 프로세스를 거치지 못하고 사업이 출범하게 되면 장기대형사업의 부정적인 면이 두드러져 좋은 연구제도임에도 불구하고 추진이 어려울 수 있다. 따라서, 장기사업을 통한 특정 목표 달성을 위해서는 과제 중심으로의 추진이 아닌 전문성이 확보된 사업단 형태의 추진이 필요하며, 명확한 목표 설정 및 점검 등 충분한 열린 기획을 통해 이루어져야 할 것이다.

[편찬위원회]

위원장

윤 헌 주 (교육과학기술부 기초연구정책관)

위원

김 상 선 (국가교육과학기술자문회의 위원)

유 장 렬 (한국과학기술한림원 국제협력부장)

현 재 호 (테크노베이션파트너스 대표)

이 귀 로 (국가나노융합팩센터 소장)

현 병 환 (생명공학정책연구센터장)

김 종 원 ((프)고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술사업단장)

안 두 현 (과학기술정책연구원 미래연구팀장)

송 지 용 (프론티어연구성과지원센터장)

임 동 수 ((프)인간유전체기능연구사업단장)

이 조 원 ((프)테라급나노소자개발사업단장)

정 혁 ((프)자생식물이용기술개발사업단장)

이 강 인 ((프)자원재활용기술개발사업단장)

간 사

강 상 옥 (교육과학기술부 미래원천기술과장)

권 재 철 (프론티어연구성과지원센터 사무국장)

[편찬 TF팀]

도 우 동 (교육과학기술부 미래원천기술과 사무관)

박 진 현 ((프)인간유전체기능연구사업단)

이 희 자 ((프)테라급나노소자개발사업단)

김 민 우 ((프)자생식물이용기술개발사업단)

김 태 현 ((프)자원재활용기술개발사업단)

엄 장 환 (프론티어연구성과지원센터)

최 보 성 (프론티어연구성과지원센터)

본 백서는 2010년 종료사업단의 기록을 정리한 것이며, 향후 종료 예정 사업단에 대해서도 2013년까지 매년 백서를 발간할 예정으로 있습니다.

