



Convergence Research Review

융합연구리뷰

융합연구의 진화 과정에 대한 고찰:

학문 체계의 발전 양상과 주요국 정책 수립을 중심으로

—

자료포락분석과 맘퀴스트 생산성지수를 이용한

국가융합연구개발사업의 효율성 분석

목차

융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2015 August vol.1 no.5

03 편집자주

04 융합연구의 진화 과정에 대한 고찰:
학문 체계의 발전 양상과 주요국 정책 수립을 중심으로

26 자료포락분석과 임쿼스트 생산성지수를 이용한
국가융합연구개발사업의 효율성 분석

표지 이야기

융합연구의 효율성과 진화 과정을 전구와 톱니바퀴를 이용하여 상징적으로 표현한 그림

융합연구정책센터 KIST

Convergence Research Policy Center

발행일 2015년 8월 3일

발행인 하성도

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터
136-791 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
tel. 02-958-4984 | <http://crpc.kist.re.kr>

편집 (주)디자인플로림 tel. 051-202-9201



| 편집자주 |

21세기에 접어들면서 전세계 각국은 '융합'을 시대의 화두로 내 던지며, '융합' 분야에 있어서의 선도적인 위치를 확보하기 위한 치열한 경쟁을 벌여왔다. 하지만 학문체계의 발전 과정과 과학사적 관점에서 살펴보면 '융합'은 새로이 등장한 패러다임이 아니라 기존의 학문체계의 회귀 과정이라고 볼 수도 있다. 그런 측면에서 '융합'은 과학기술의 재맥락화 과정에서 찾은 하나의 방법이라고 할 수 있다. 이렇듯 융합연구의 탄생과 실행은 결코 학문 체계의 발전 양상과 떨어뜨려 생각할 수 없으며, 이를 구현하고자 하는 각국의 정책들 또한 시대의 흐름에 맞추어 변할 수 밖에 없다. 최근 융합과 관련하여 각국의 정책들은 문제 해결과 같은 목적 중심형 전략적 과학 지원 중심의 정책들로 변화해 가고 있다. 이는 과학기술이 아닌 인문·사회과학과의 융합을 통한 새로운 과학기술의 재맥락화 과정이라 보여진다.

이에 이번 호의 1부에서는 융합 패러다임이 등장하기까지의 과학사적 변화 과정을 살펴보고자 한다. 또한 융합 패러다임의 등장 이후 각국의 정책 수립 내용을 바탕으로 융합연구의 개념의 변화 및 발전과정에 대해 다뤄보고자 한다. 본 리뷰를 통해 융합 연구에 대하여 보다 거시적인 관점에서의 이해의 폭을 넓힘으로써, 향후 융합 연구를 계획·수행하는데 있어 도움이 되기를 기대해 본다.

올해 과학기술계 최대 화두는 <정부 R&D 혁신방안>이었다. <정부 R&D 혁신방안>은 한정된 자원을 가지고 수행하는 정부 R&D 사업의 효율성을 높이자는데 그 취지가 있다. 이는 우리나라뿐만이 아닌 전세계적인 추세이다. 금융위기 이후 각국의 정부는 물론 민간까지 R&D 효율성에 대한 고민을 끊임 없이 수행하였으며, 이를 반영하여 많은 전략, 정책들이 효율성 제고를 위해 수정되었다. 융합 R&D의 경우도 금융위기 이후 꾸준히 그 규모가 증가하여 왔으나, 또 그렇기 때문에 이러한 R&D 효율성 논의에서 더욱더 자유로울 수 없는 입장이다.

이에 이번 호의 2부에서는 일반 R&D에 비하여 성과가 좋다고 평가 받는 융합 R&D가 실제 R&D 효율성 측면에서도 좋은 결과를 보이는지 다양한 R&D 효율성 분석 방법을 적용하여 이를 분석해 보았다. 본 리뷰를 통해 현장 연구자들이 R&D 효율성에 대한 개념과 분석 방법을 인지하고 이에 대한 의견을 연구개발 정책과정에 적극 개진하길 기대해 본다.

◦ 융합연구의 진화 과정에 대한 고찰:
학문 체계의 발전 양상과 주요국 정책 수립을 중심으로



융합연구의 진화 과정에 대한 고찰: 학문 체계의 발전 양상과 주요국 정책 수립을 중심으로

▣ KIST 융합연구정책센터 연구원 류성한 (shryu@kist.re.kr)

1. 들어가면서: '융합 패러다임'의 등장

융합이 학문 체계의 새로운 패러다임을 만들어가고 있다. 토마스 쿤(Thomas S. Kuhn)의 정의¹⁾에 따라 패러다임을 '문제를 해결하는 방법'으로 본다면, 지금까지의 패러다임은 전문성을 지닌 각 학문 분야가 개별적으로 문제에 접근하는 방식이었다. 그러나 '해결해야 할 문제'의 크기와 복잡성이 빠르게 증가하면서 개별 단위의 접근으로는 문제의

실체조차 파악하기 어려운 '변칙사례(anomaly)'들이 등장하기 시작했다. 이러한 변화 속에서 일부 과학자들은 새로운 대안을 모색하기 시작했으며 서로 다른 학문 영역 간의 협력을 기반으로 하는 융합연구의 가능성을 발견하게 된다. 새로운 '과학혁명'의 시작이다.

1) 토마스 쿤은 자신의 저서 《과학혁명의 구조(The Structure of Scientific Revolutions, 1962)》에서 패러다임(Paradigm)을 특정 과학자 공동체의 구성원들이 공유하는 '규범이 되는 과학적 본보기'로 정의하였으며 이 패러다임의 틀 안에서 새로운 지식을 추구하는 것을 '정상과학(Normal Science)'이라 명명하였다.

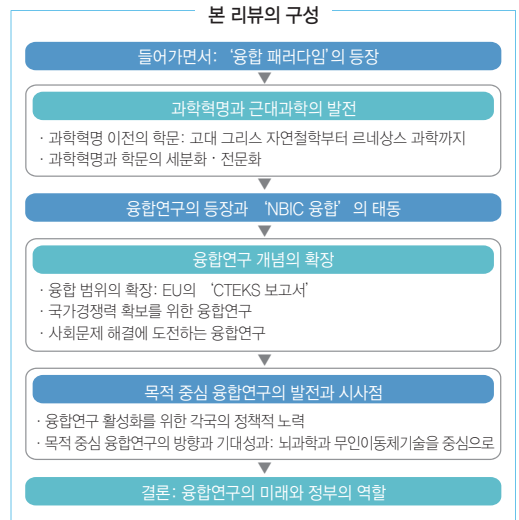
융합의 장(場)은 과학기술 분야에서만 특수하게 벌어지는 ‘찾잔 속 태풍’은 아니다. 과학기술이 풀어야 할 문제들이 인간과 사회에 대한 깊은 이해 없이는 불가능해졌기 때문이다. 사회과학과 인문학 그리고 예술 분야를 비롯한 타 학문과의 협력은 더 이상 선택이 아니다. 생명복제, 가상현실과 같은 첨단기술이 만들어내는 새로운 세계, 그리고 그 속에서 지금까지 인류가 경험해보지 못한 문제들이 등장하면서 모든 분야의 연구자들이 문제의식을 공유하기 시작했다. 이런 관점에서 지금의 융합은 한 창조적 개인의 천재성에 기인한 일회성 사건이나 일시적 유행이라기보다는 새로운 시대의 시작으로 보는 것이 옳다. 본격적인 ‘융합 패러다임’의 등장이다.

이같은 ‘패러다임의 전환(Paradigm shift)’은 16, 17 세기의 과학혁명 이후 최근까지 이어진 학문의 세분화·전문화에 대한 반작용이기도 하다. 학문의 세분화·전문화는 의도한대로 지식의 양을 넘치도록 증가시켰지만 이를 통한 가치 있는 지식의 진보는 21세기를 기점으로 한계 상황에 봉착했다. 다시 말해, 개별 학문 분야에서 상대적으로 저비용·소규모로 수행되던 연구를 통해서도 더 이상 의미 있는 지식을 창출하는 것이 어려워진 것이다. 따라서 아직 발견되지 않은 지적(知的) 영역을 탐험하기 위해서는 막대한 투자를 필요로 하게 되었는데 이를 한 개인이나 민간 부문에서 부담하는 것은 거의 불가능하다. 과학기술의 공공재적 특성을 고려한다면 더욱 그렇다. 융합연구를 위한 정부의 역할이 중요해지는 지점이다.

학문 체계는 그 속성상 유동적이며 한 시대의 학문 체계는 그 시대의 가치관을 반영한다. 연구자들이 그 시대의 필요에 따라 혹은 선견적(先見的) 본능에 따라 새로운 학문 분야를 만들어 가기 때문이다. 학문 체계의 변화 양상을 살펴보는 것이 융합연구의 진화 과정을 이해하는 데에 꼭 필요한 이유다. 이와 함께 정부는

학문 체계의 시대적 변화에 대응하고, 사안에 따라서는 이를 선제적으로 지원하기 위해 관련 정책들을 수립한다. 학문 체계의 발전과 정부의 정책 수립 사이에 활발한 상호작용이 존재함을 알 수 있는 부분이다. 이러한 바탕 위에, 본 리뷰는 융합연구의 진화 과정을 학문 체계의 발전 양상과 주요 국가의 정책 수립을 중심으로 분석하는 것을 그 목적으로 한다.

본 리뷰의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 과학혁명을 기점으로 그 전후의 학문 체계 변화를 살펴보았다. 3장에서는 융합연구의 태동기를 중심으로 학문 간 융합과 협력의 진화 과정을 분석하였고 이를 촉진하기 위한 각국 정부들의 정책 노력들을 정리하였다. 이어 4장, 5장에서는 융합연구 개념이 시대의 흐름에 따라 어떻게 발전했는지 점검하고 새롭게 등장한 목적 중심 융합연구의 전개 양상과 그 특징을 소개한다. 마지막 6장에서는 향후 융합연구의 진화 방향을 예측하고 이를 위한 정부의 역할에 대해 논의하고자 한다.



2) 공공재의 특징은 비경합성(한 주체가 소비해도 다른 주체의 몫이 줄어들지 않음)소비와 비배재성(생산비를 부담하지 않은 주체라도 소비에서 배제시킬 수 없음)으로 과학기술은 대표적인 공공재라 볼 수 있다. 시장 메커니즘 하에서 공공재는 과소 공급되는 경향이 있기 때문에 공공재의 공급을 위한 정부의 역할은 매우 중요하다.

2. 과학혁명과 근대과학의 발전

과학혁명 이전의 학문: 고대 그리스 자연철학부터 르네상스 과학까지³⁾

인류는 선사시대부터 도구를 개발하여 수렵과 채집, 그리고 농경에 활용하였지만 본격적인 과학 발전의 시발점은 이집트, 메소포타미아⁴⁾ 등 도시 문명의 형성으로 보는 것이 일반적이다. 이 시기의 과학기술은 필요에 의한 실용적 성격의 지식이 주류를 이루었는데 측량과 건축을 위한 수학, 농업을 위한 천문학, 질병 치료를 위한 초기 의학 등이 대표적이다.

합리적 학문의 모습으로 과학이 등장한 것은 기원전 6세기를 전후로 하는 고대 그리스 시대다. 고대 그리스가 합리적 과학의 근원지가 될 수 있었던 이유는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째, 알파벳⁵⁾의 유입을 통한 그리스어의 발전이다. 산문 구조가 발달했던 그리스어는 추상적 개념을 구상하기에 용이하였으며 이러한 언어의 발전은 구비적 성격이 강했던 신화 중심의 자연관을 합리적 과학으로 대체하는 데에 핵심요인으로 작용했다. 둘째, 고대 그리스 사회의 정치·경제적 안정성이다. 새로운 민주정치 시스템이 안정화되고 해상 무역과 식민지 개발을 통해 거대한 부가 축적되면서 사람들이 철학과 과학을 포함한 학문적 활동에 관심을 갖기 시작한 것이다. 고대 그리스 시대의 과학은 자연에 대한 합리적이고 체계적인 지식의 추구라는 관점에서 자연철학이라는 명칭이 더 적합하다. 최초의 자연철학자로 평가받는 탈레스⁶⁾는 만물의 근원이 물이며 지진은 물위에 떠있는 지구가 흔들릴 때 발생하는 것이라고 주장하는 등 자연 현상에 대한 합리적인 설명을 시도했다. 그리스의 자연철학자들은 엠페도클레스의 4원소론⁷⁾, 데모크리토스의 고대 원

자론⁸⁾ 등으로 합리적 사유를 확장해갔으며 이는 후대 과학연구의 기초가 되었다. 또한 이들 서로의 주장을 비판하고 방어하면서 더 나은 논리를 만들어가기 위해 적극적으로 노력하였는데 이러한 문화는 당시 학문과 지식의 수준을 끌어 올리는 데 중요한 역할을 했다. 이 점이 바로 그리스 자연철학의 진정한 과학적 의의다.

헬레니즘·로마 시대는 기하학, 천문학 등 일부 분야에서 학문적 진보⁹⁾를 이룩했으나 제도·법률이나 건설 등 사회 시스템 전 분야에 걸친 발전에 비하면 과학적 활동이 활발하지 않았던 시기로 볼 수 있다. 이후 천년 동안의 중세 시대에는 과학의 발전이 전무하다시피 했는데 이는 기독교가 국교화되면서 신학 외의 학문이 발전할 토양이 마련되지 못했기 때문이다. 실용적인 기술들이 부분적으로 개발되어 농업이나 수공업 분야 등에서 소폭의 진전이 있었으나 합리적 측면의 과학은 정체되거나 오히려 퇴보한 시기로 볼 수 있다.

과학 발전이 새로운 전기를 맞이하게 된 계기는 르네상스 운동의 시작이었다. 15, 16세기를 전후로 유럽에서 일어난 르네상스 운동은 고대 그리스 문화의 부흥은 물론 과학의 부흥을 가능케 했다. 1455년, 구텐베르크의 인쇄술이 발명되면서 지식이 빠르게 확산·보급될 수 있는 기반이 마련되었으며 이는 종교가 절대적 권위를 차지했던 중세시대의 비합리성을 극복하는 데에 중요한 역할을 하게 된다. 이후 그리스 시대의 합리성 회복과 함께 건축기술, 선박기술 등이 크게 발전하면서 유럽이 다시 문화와 과학의 중심지로 발돋움하게 된다. 재미있는 사실은 이 시대의 일반적인 학자들이 현재의 학문 체계에 따라 분류된 대부분의 학문에 걸쳐 상당한

3) 임경순 저, 《과학사의 이해》(2014)의 내용을 중심으로 정리하였다.

4) 이집트는 기원전 3000년경, 메소포타미아는 기원전 2000년경에 도시의 모습을 갖추었다.

5) 기원전 3000년경 이집트에서 처음으로 문자가 발명되었다. 음절문자가 나타난 것은 기원전 1,500년경이며 페니키아인에 의해 발명된 알파벳이 그리스에 유입된 것은 기원전 8세기경으로 알려져 있다.

6) 밀레투스 학파의 창시자로서 고대 그리스 철학의 시초로 알려져 있다. (BC 640~545)

7) 세상의 모든 물질은 물, 불, 공기, 흙의 4가지 요소로 구성되어 있다고 주장했다.

8) 온 세계는 아주 작고 무한히 많은 원자들로 이루어져 있으며 이 원자들은 오래전부터 존재해왔던 것으로 진공 속에서 계속 움직인다고 주장했다.

9) 수학자 아르키메데스나 천문학자 프톨레마이오스 등이 이 시대의 대표적인 과학자다.

지식수준을 지니고 있었다는 점이다. 최근에 대표적인 융합형 천재로 자주 언급되는 레오나르도 다 빈치의 경우, 조각과 건축은 물론 해부학, 기계학, 천문학 등의 다양한 분야에 능통했으며 과학기술과 인문예술의 결합을 통해 독보적인 연구 업적들을 남겼다. 과학기술과 사회과학, 인문학 등 학문 분야에 대한 구분 체계가 없었던 당시의 학문 개념은 현재의 융합연구가 추구하는 그것과 상당히 맞닿아 있음을 알 수 있다.

과학혁명과 학문의 세분화·전문화

이러한 르네상스 시기의 비옥한 토양 위에 인류를 근대시대로 이끌어 준 커다란 변화가 일어나기 시작했다. 바로 과학혁명이다¹⁰⁾. 1543년, 코페르니쿠스가 그의 저서 <천구의 회전에 관하여>를 통해 태양이 우주의 중심임을 주장하며 그 신호탄을 쏘아 올린 후 약 150년 간 진행된 과학혁명은 1687년, 뉴턴이 <자연철학의 수학적 원리>를 통해 지구가 운동하는 원인이 바로 '만유인력' 때문임을 밝히면서 마무리되었다. 천문학 분야에서 시작된 과학혁명은 지구의 운동에 대한 새로운 설명을 필요로 했고 뉴턴이 그 작업을 완성한 셈이다. 이 시기에는 과학적 방법론 뿐만 아니라 연구 수행 방식에도 큰 변화가 일어났다. 과거에는 개별적으로 연구를 수행했던 과학자들이 커뮤니티¹¹⁾를 형성하고 서로의 연구를 놓고 토론하면서 연구의 객관성 확보를 위한 노력을 기울이기 시작했다. 자연스레 연구의 결과물을 논문의 형태로 발표하는 것이 정착되었으며 이를 위한 전문학술지도 출현하게 된다. 곧 과학만을 연구하는 과학 종사자 집단이 출현하기 시작했으며 이들은 18세기를 거치면서 '과학자'라는 새로운 전문 직업으로 정착되었다. 또 학문의 각 영역들이 고유한 연구의 대상과 원리를 가지고 있다고 판단되었으며 이로 인해 학문의 구분이 생기기 시작했다. 우리가 주목할 만한 또 다른 변화는 새로운 교육제도의 등장이다. 전문가들을 양성

하기 위한 교육 시스템이 도입되기 시작한 것으로 이는 학문 체계의 변화에 따른 것이었다. 18세기를 시작으로 전문기술학교가 등장하였는데 이는 각 과학기술 분야의 발전에 결정적인 역할을 하게 된다. 과학의 전문화가 시작된 것이다.

19세기에 들어서는 영국에서의 증기기관 발명과 함께 제1차 산업혁명이 시작되었다. 특히 독일의 경우 대학을 중심으로 하는 과학기술 연구와 이를 산업으로 연계시키는 모델¹²⁾을 성공적으로 안착시키며 세계무대에서 그 위치를 확고히 하게 된다. 이후 물리학, 화학, 생물학, 지구과학 등의 제반 과학 분야들이 정착되면서 과학의 전문화와 세분화가 점차 가속화되기 시작했다. 물리학은 입자물리학, 고체물리학, 광학 등으로, 화학은 유기화학, 무기화학, 물리화학 등으로, 생물학은 생리학, 세포학, 유전학 등으로 세분화되어 발전하였다. 그리고 이 추세는 연구 중심 대학과 기업 연구소의 등장으로 더욱 강화된다.

한편 인류는 1, 2차 세계대전을 거치면서 대량살상무기의 개발 등 과학기술의 여러 부작용과 폐해를 경험하게 된다. 그러나 역설적으로 과학기술은 전쟁을 통해 또다시 놀라운 진보를 이룩한다. 각국은 전시에 끌어올린 과학기술 역량을 지속할 수 있도록 여러 가지 조치를 취하기 시작하였으며 그 중 대표적인 것이 1944년 미국 루즈벨트 대통령의 지시로 작성된 바네바 부시(Vannevar Bush)¹³⁾의 보고서 <과학, 그 머나먼 프론티어(Science: The Endless Frontier)>(1945)다. 이 보고서를 기반으로 미국의 국립과학재단(National Science Foundation, NSF)이 설립되었으며 이는 미국을 중심으로 하는 세계 과학기술 발전의 또 다른 초석이 되었다. 미국은 유대인을 비롯한 이민 과학자들의 유입과 정부의 전폭적인 투자, 그리고 산업계의 적극적인 연구개발을 통해 과학기술 혁신을 주도하는 세계 최고의 선진국으로 발돋움하게 된다.

10) 영국의 허버트 버터필드(Herbert Butterfield, 1900~1979)는 <근대 과학의 기원(1949)>에서 서구세계를 근대로 이행한 사건이 종교개혁이나 르네상스운동이 아닌 과학혁명이라고 보았다.

11) 최초로 등장한 과학 단체는 1601년 조직된 '린체이 아카데미(Accademia dei Lincei)'였다. 이탈리아의 체시 공작의 후원 아래 모두 32명의 과학자들로 구성되었던 이 아카데미는 갈릴레오도 참여하여 활동하였으나, 1630년 체시 공작이 사망하자 해체되었다. 1657년에는 피렌체에 메디치 가문의 후원을 받던 과학자들이 참여하던 실험 아카데미가 출현하였다. 이후 영국의 왕립학회(1660년)와 프랑스의 왕립과학아카데미(1666년)가 설립되었다.

12) 독일 기센대학의 J. 폰 리비히(1803~1873)가 이끌던 유기화학 연구소는 세계 최고의 연구 인력들을 끌어 모았으며 연구결과를 산업계로 연결하는 시연회 모델을 최초로 적용하여 독일제국의 급속한 발전을 이끌어냈다.

13) 바네바 부시는 전시 기구였던 과학연구개발국(OSRD)의 국장으로서 전후 정부의 과학기술정책과 국립과학재단 설립에 관한 내용을 보고서에 담았으며 안정적인 재정 지원과 함께 연구자의 자율성을 보장하는 과학기술정책을 주장하였다. 미국 과학기술정책 연구의 시초로 알려져 있다.

3. 융합연구의 등장과 'NBIC 융합'의 태동

2차 세계대전의 종전을 현대의 시작으로 본다면, 전후 시대의 과학기술이 바로 현대과학의 시작인 셈이다. 이를 기점으로 20세기 후반에 이르기까지 과학기술은 끊임없이 자기분열을 거듭했으며 새로운 지식을 생산해냈다. 그리고 어느 순간, 융합을 위한 새로운 변화가 움트기 시작했다.

미국의 화학자 윌러드 리비(Willard F. Libby)는 1946년 방사성탄소연대측정법¹⁴⁾을 개발한 공로로 1960년에 노벨상을 수상하게 된다. 리비의 연구는 지층의 연대 측정을 용이하고 정확하게 만들었다는 점을 인정받았는데, 흥미롭게도 그에게 가장 큰 신세를 진 것은 화학자들이 아니라 역사학자들과 지질학자들이었다. 어떠한 사물의 역사적 나이를 측정할 수 있게 해준 이 방법은 고고학과 인류학 연구를 발전시키는 기폭제가 되었는데, 화학연구가 타분야의 학문 발전을 이끌어낸 이 사례는 경계를 넘어선 융합연구의 가능성을 처음으로 보여주었다는 점에서 그 의미가 크다.

위의 사례처럼 학문 간 협력의 가능성이 본격적으로 등장하기 시작한 것은 서로 다른 분야라고 여겨졌던 학문들 사이에 개념적 또는 방법론적으로 공유할 수 있는 규칙이 존재한다는 사실이 발견되고서부터다. 1960년대를 전후로 등장한 생화학(Biochemistry), 생물정보학(Bioinformatics), 메카트로닉스(Mechatronics) 등이 대표적 사례들로 이들은 과학기술의 발전을 새로운 국면으로 이끌었다. 이러한 학문 체계의 진화는 이전까지 진행되었던 단순 세분화의 경향과반대로 '경계를 뛰어넘는' 융합을 통해 신학문을 창출하면서 세계 각국의 과학기술 정책에도 큰 변화를 몰고 왔다.

인지과학(Cognitive Science)의 출현은 융합연구의 서막을 알린 또 다른 신호다. 인지과학은 인간의 마음과 컴퓨터를 유사한 정보처리 원리가 구현된 동종 시스템으로 간주하는 개념적 틀로서 인간과 인간을 둘러싼 환경에 대한

새로운 관점을 제시하였다. 또 인간과 환경이 상호작용하며 빚어내는 각종 현상들을 정보처리의 관점에서 설명하고자 했는데 이는 소프트웨어를 중심으로 하는 정보기술(Information Technology, IT)의 출발점이 되었다. 이러한 배경에서 1980년대를 기점으로 이뤄진 정보기술 분야의 혁신은 본격적인 융합의 출발을 알렸다. 디지털 기술과 인터넷을 중심으로 컴퓨터, 통신, 방송 등을 하나로 연결한 융합제품과 서비스가 소개되기 시작한 것이다. 미국이 1991년에 계획한 '네트워크 및 정보기술 연구개발 프로그램(NITRD)'¹⁵⁾은 당시 학문 체계의 변화에 따른 과학기술 정책의 새로운 변화를 잘 보여준다. NITRD는 미국 연방정부 차원에서 진행된 최초의 IT기반 융합기술 개발 국책사업으로 앞서 제정된 'High Performance Computing Act'를 기초로 했으며 NSF, DARPA, NIH, DOE, NASA 등 주요 연방 기관이 주도적으로 참여했다.

이후 생명공학(Bio Technology, BT) 분야에서는 생물학, 물리학, 화학, 정보학, 윤리학 등의 협력을 바탕으로 유전자 연구가 진일보하며 융합연구의 또 다른 기틀을 마련하였다. 영국의 국책연구소인 MRC분자생물학 연구소¹⁶⁾는 DNA 이중나선 구조 해석¹⁷⁾, DNA 서열 해석¹⁸⁾ 등 유전체학과 생물정보학을 기반으로 하는 여러 핵심연구들을 수행하였다. 또 이것이 시발점이 되어 미국을 중심으로 영국, 일본, 독일, 프랑스의 연구자들이 참여하고 셀레라 게놈믹스(Celera Genomics)라는 민간 법인이 후원한 인간게놈 프로젝트(Human Genome Project)가 수행되었으며 2000년 6월 인간게놈의 초기지도도를 발표하게 된다.

그리고 1990년대 말, 화학, 물리, 재료공학 등이 융합된 새로운 기술이자 미래 융합연구의 기반이 되는 나노기술(Nano Technology, NT)이 등장하면서 융합연구로의 전환이 가속화된다. 미국에서 2001년에 시작된 국가나노기술전략(NNI)¹⁹⁾은 대표적인 나노기술 중심의 융합연구 국책사업으로 연방정부에서 수행하는 나노기술 연구개발을

14) 탄소화합물 중 탄소의 극히 일부에 포함된 방사성 동위 원소인 '탄소-14'의 조성을 측정하여 어떤 대상이 만들어진 연대를 추정하는 방사능 연대 측정의 한 방법이다.

15) Networking and Information Technology Research Development Program, 1998년 'Next Generation Internet Research Act' 와 2007년 'America COMPETES Act' 등을 통해 지속적으로 발전하고 있으며 2012년부터 진행되고 있는 National Big Data R&D Initiative에도 백악관의 과학기술정책실(OSTP, Office of Science and Technology Policy)과 함께 주도적으로 참여하고 있다.

16) Medical Research Council Laboratory of Molecular Biology

17) 제임스 왓슨(James D. Watson)과 프랜시스 크릭(Francis Crick)의 업적으로 1962년 노벨상 수상

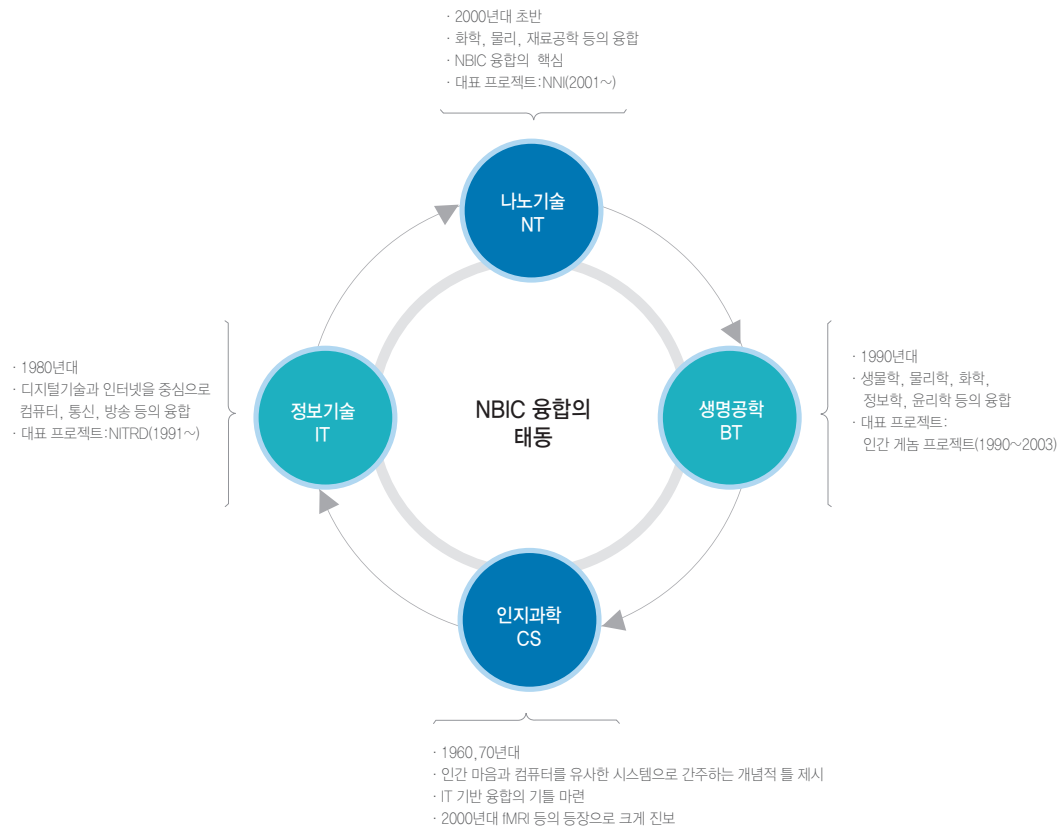
18) 프레더릭 생어(Frederick Sanger)의 업적으로 1980년 두 번째 노벨상 수상, 최초의 단백질 서열 해석법으로 1958년 첫 번째 노벨상을 수상함

19) National Nanotechnology Initiative, 2003년 '21세기 나노기술개발법안' 이 제정되었으며 2009년 '나노기술수정법안' 이 발표된 바 있다. NNI 전략계획은 2004년, 2007년, 2011년, 그리고 2014년, 총 4번에 걸쳐 수립되었으며, 2013년 기준 총 27개의 정부 부처 및 기관들이 참여하고 있다.

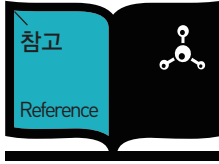
총괄하고 있다. 이와 비슷한 시기에 일본은 '제2기 과학기술기본계획(2001~2005)'을 통해 IT, BT, NT, ET (Environment Technology)를 4대 전략 분야로 선정하였으며 융합을 기존 기술의 한계를 극복하기 위한 가장 중요한 수단으로 제시하였다.

이처럼 초기에는 NT, BT, IT 등의 기반 분야를 중심으로 개별적으로 수행되던 융합연구는 나노기술에서 다루는 나노 단위의 물질을 생명공학 분야의 연구에 적용하거나 거대하고 복잡한 유전자 정보를 다루는

데에 정보기술을 사용할 수 있다는 인식이 등장하면서 그 영역이 급속도로 팽창한다. 여기에 인지과학 분야가 fMRI와 같은 새로운 기기의 출현에 힘입어 크게 성장하며 2000년대 초반 미국을 중심으로 하는 NBIC 융합기술 패러다임이 등장한다. 'NBIC 보고서'는 2002년 미국 국립과학재단(NSF)이 과학기술계의 주요 연구자들과 산업계 리더 및 과학기술 정책 연구자 등의 전문가들에게 의뢰하여 작성한 보고서로 미국의 융합연구 정책이 IT에서 NT로 그 축을 옮기는 데에 핵심적인 역할을 한다.²⁰⁾ (참고)



20) 이 보고서는 이후 '21세기 나노기술개발법안'과 'NNI 전략' 수립 등에 큰 영향을 준 것으로 판단된다.



(미국의 'NBIC 보고서' 요약)

1. 융합기술(Converging Technology)의 등장

- (융합기술) 최신 NBIC 기술 분야 간 결합을 통해 시너지 창출
 - Nano Technology(NT): 나노과학 및 나노기술
 - Bio Technology(BT): 유전공학을 포함한 생명공학 및 생명 의료 기술
 - Information Technology(IT): 첨단컴퓨터기술 및 통신기술 등
 - Cognitive Science(CS): 인지신경과학을 포함한 인지과학
- NT, BT, IT, CS 간 결합으로 과학과 사회 발전 기대
- 융합기술의 진보로 인간 능력 및 조직 생산성 증대
 - ⇒ 개인·사회·인류 전체를 위한 새로운 기회 등장

2. 시의적절하고 광범위한 기회로서의 융합기술

- 다양한 기술의 융합은 나노 단위 소재의 개발 및 소재 간 결합에 기초
- 기술 간 영역에서 발생하는 변혁적 진보가 NBIC 기술 개발을 위한 핵심적 수단
- NBIC 기술 분야의 체계적 방법론 발전으로 자연, 사회, 과학에 대한 이해도 증대
- 첨단기술 간 결합을 통한 인간기능 향상 기대
- 기대효과 ⇒ 인간기능 향상과 사회문제 해결에 크게 공헌

3. 본 보고서의 핵심 이슈

- 통합과학(Unifying Science) 및 융합기술의 시사점
- 現 과학기술의 진화 방향 및 새로운 연구개발 비전 제시
- 인류에게 큰 혜택을 줄 수 있는 연구 아이디어 도출
- 인간기능 향상 및 사회발전을 위한 국가혁신전략
- 향후 10~20년의 발전을 위한 연구 및 교육의 우선순위 설정

4. 융합기술 발전을 위한 전략 방향

- 융합기술 발전은 기존 정부·산업·교육계 활동으로는 불가능
 - ⇒ 새로운 핵심 조직과 사회적 기능이 필수적
 - 새로운 목표 설정, 기존 패러다임을 뒤집는 혁신적 개념, 분야 간 경계를 뛰어넘는 新비전 필요
- 융합을 촉진하기 위한 활동 필요
 - 인간기능 향상을 위한 연구개발 강화
 - 나노스케일 기반의 기술 융합 및 과학기술 간 영역 발굴
 - 융합기술 발전에 따른 사회적 변화 모니터링 등
- 핵심가치를 지속 추구하고 개인·조직에 폭넓은 대안 제공
 - 인권 보호, 안전 추구, 도덕적 책임 등의 핵심가치 유지
- 전 분야·수준의 교육 및 연구 역량 강화에 융합기술 활용

5. 보고서의 주요 내용

- 융합기술의 전반적인 영향력
 - 융합기술이 경제 및 사회에 미칠 잠재적·변혁적 영향력
 - 인간기능 향상을 위한 융합기술의 필요성
 - NBIC 기술 간 시너지 효과
 - ⇒ 향후 과학기술계의 성장 동력
- 인간의 인지 및 커뮤니케이션 능력 확장
 - 인간의 인지와 연관된 능력 강화 ⇒ 창의력, 개인 생산성 증대
 - 투자 실패 시, 경제·국가안보·개인건강 등에 악영향 초래
 - 인간의 인지능력 향상, 인간-로봇 간 원활한 커뮤니케이션 등을 위한 연구 영역 제안
- 인류 건강 및 신체 능력 개선
 - 인류 건강과 신체 능력 향상을 위한 융합기술 개발 및 고도화 제안

● 조직 및 사회의 성과 향상

- 물리적 거리, 언어 차이, 지식 차이 등에 의한 소통 장벽 제거
- 범세계적 협력 증대를 위한 창조성 증진 및 인공지능학 발전 필요성

● 국가 안보 강화

- 복잡한 국제적 갈등에 신속히 대처하고 국방력을 강화하기 위한 융합기술 연구 영역 제안

● 과학과 교육의 통합

- 과학 교육과정 전반에 대한 혁신적 개혁 필요
- 융합기술을 접목한 새로운 과학교육시스템 구축
- 다양한 과학 분야를 심층적으로 이해하고 통합할 수 있는 인력 양성

6. 융합기술 발전을 위한 제언

● 필수적인 선행 요소

- 미시적 · 개인적 · 조직적 · 사회적 수준의 융합기술 연구 개발 준비
- 융합기술(NBIC)의 기본개념 통합 및 조사 연구
- 융합기술의 영향력 연구
 - ⇒ 체계적 방법론 및 이론적 분석틀 필요
- 과학의 근간에 대한 이해와 시스템적 사고를 바탕으로 학문 간 경계 연결

● 진보적 지식과 연구개발 방식이 초래할 영향을 이해

- 인간 행위의 성격: 단순 반복적 ⇒ 창조적 · 혁신적
- 기술 개발의 목적: 기계 발전에 초점 ⇒ 인간 발전에 초점

● 개별 연구자의 역할

- 특정 기술 영역 및 인접 기술 영역의 전문성 습득
- 他분야 연구자들과의 협동연구 추진
- 혁신적 융합기술 개발 프로젝트에 따른 위험 감수

● 교육계의 역할

- 융합기술 관점에서 교과 과정 및 조직 개혁 ⇒ 교육 및 연구 구조 재구성
- 연구와 교육의 연계, 이론 및 현장 경험 통합 교육

- 학부 초기에 나노과학, 생물학, 정보학, 인지과학의 기본 개념 교육

- 거시적 관점과 상호작용에 초점을 맞춘 융합기술 연구

● 기업의 역할

- 타 기관 및 조직들과의 파트너십 구축으로 융합연구의 결과 활용
- 새로운 원리, 재료, 장치 및 시스템을 위한 생산 설비 투자
- 관련 분야의 인력 개발 강화

● 정부의 역할

- 他 구성원들의 공익적 노력 부족
 - ⇒ 정부의 공익적 역할 중요
- 장기적 목표 및 우선순위 설정, 필요 분야와 인적자원 개발
- NBIC 융합 인프라를 구축하고 연구 기관 간 협력 지원
- 순수과학 연구와 융합연구 동시 지원
 - ⇒ 융합의 가속화 추진
- 융합기술의 윤리적 · 법적 · 도덕적 · 경제적 · 환경적 영향에 대한 연구
- 융합기술 발전에 잠재된 부정적 영향에 대한 지속적인 모니터링
- 미래 융합기술 발전 및 응용 시나리오 예측 방법 개발
- 융합기술 확산을 위한 재정지원

● 전문 학회의 역할

- 전문기관들 간의 정기적인 컨퍼런스 및 파트너십 형성
- 학제 간 연구를 방해하는 장벽 제거
- 기업과 사회에 NBIC 개념 전파

● 기타 구성원의 역할

- 잠재적 수요자 그룹: 적극적 의견 개진 필요
- 민간 연구재단: 해당 분야 융합기술 투자
- 언론: 융합기술에 대한 적극적인 취재와 질 높은 보도



4. 융합연구 개념의 확장

융합 범위의 확장: EU의 'CTEKS 보고서'

NT를 중심으로 그 영향력을 확대하던 융합연구는 새로운 전기를 맞이하게 된다. 2004년 EU의 'CTEKS 보고서'²¹⁾에서 포괄적 의미의 새로운 융합연구 개념을 제시한 것이다. 리스본 전략²²⁾의 중요 아젠다 실현을 위한 융합기술의 역할을 강조한 이 보고서에서 유럽식 융합기술의 개념인 'CTEKS(Converging Technologies for the European Knowledge Society)'가 제안되었다. 이는 앞서 'NBIC 보고서'에서 논의되었던 NT, BT, IT 외에도 사회과학, 인문학 및 기타 기반 기술과 지식 체계를 포함한 넓은 범위('Widening the Circles of Convergence')의 융합기술 개념을 의미한다. 이는 그간 유럽에 축적되어 있던 고대 그리스와 르네상스 시대의 유산으로 전체 학문 체계를 아우르는 융합연구 개념의 확장을 이끌어냈다는 데에 그 의의가 있다.

21) Converging Technologies: Shaping the Future of European Society, 1)노인, 교육, 범죄, 환경파괴 등 사회문제 해결, 2)개발·지속가능 개발 등을 통한 역동적이며 미래지향적인 지식기반 유럽경제로의 도약, 3)국제위기 관리·저개발국 지원 등을 통한 국제경제에서의 EU 역할 확대를 주요 목표로 설정했다.

22) 유럽연합(EU)이 2010년까지 미국을 추월하겠다는 것을 주요내용으로 하여 2000년 리스본 정상회담에서 채택한 발전 전략. 세계에서 가장 역동적이고 경쟁력 있는 지식기반 경제권(the most competitive and dynamic knowledge-based economy)을 만드는 것을 목표로 설정하였다. 2004년 11월 중간평가인 Wim Kok 보고서에서는 리스본전략을 평가하고 새로운 수정안을 제시하였으며 이에 따라 2005년 3월 브뤼셀에서 '신리스본전략 (Renewed Lisbon Strategy)'이 채택되었다.



(EU의 'CTEKS 보고서') 요약

1. 작성 배경 및 절차

- 리스본 전략(Lisbon Agenda)의 성공적 실행을 위한 융합 기술의 잠재적 활용 방안 모색
 - 융합기술 육성을 통해 과학 · 기술 연구 활성화, 경제적 우위 확보, 사회적 · 국민적 욕구 충족 가능
- 2003년 12월, 보고서 작성을 위한 전문가 그룹 "Foresighting the New Technology Wave" 발족
 - EU 내 다양한 국적 및 분야의 전문가 25명 임명
 - 총 4회의 워크숍 결과물과 4개 소그룹의 분야별 보고서를 정리
 - (역할) ① 융합기술 적용 가능 분야 및 활용 방안 모색, ② EU의 환경 및 정책 목표에 부합하는 융합기술 개념 도출
 - ⇒ "유럽 지식사회 건설을 위한 융합기술 (CTEKS: Converging Technologies for the European Knowledge Society)" 개념 제안

2. 융합기술의 등장 배경

- 공통의 목표 달성을 위해 서로의 가능성을 열어주는 기반 기술 또는 지식체계(NT, BT, IT, 사회과학, 인문학 등)의 발전
 - NT는 하드웨어 차원의 공학적 문제 해결을 위한 공통의 틀을 제공
 - BT는 생체 내 화학적, 물리적 처리 과정과 알고리즘을 규명
 - IT는 다양한 컴퓨팅 기법을 통해 물리 · 사회 현상을 정보 및 모형으로 구현
 - NT, BT, IT는 인지과학, 환경과학, 시스템 이론 등을 포함하는 다른 기술들의 활용 폭을 넓힘

- 사회과학과 인문학은 기존 이론(예: 게임이론)과 지식의 적용을 통해 기술과 과학의 가능성을 다양한 방식으로 확장

3. 융합기술의 특성

- 내포성(Embeddedness)
 - 인간행동을 위한 가상적 기술 인프라를 구축 ⇒ 일, 여가, 건강관리, 통신 등에 녹아들어 인간행동의 배경을 구성
 - ※ IT분야의 소형화, NT분야의 분자 공학, BT분야의 유전자 표적화
 - 융합기술이 고도화될수록 해당 기술의 존재감이 없어짐
 - 실제 환경의 재화 및 기술 개발 대신 가상 환경 내의 생산을 추구
- 다양한 적용범위(Unlimited reach)
 - 다양한 분야의 난제들을 해결 ⇒ 정신, 사회적 교류, 의사소통, 심리 상태 등에 적용 가능
 - ※ NT는 모든 것을 분자 차원에서 조작, IT는 모든 것을 정보로 변환
- 心身의 공학化(Engineering the mind and the body)
 - 정신과 신체는 융합기술의 주요 대상으로 두 가지 접근 방향이 존재
 - 心身 공학(engineering of the mind and of the body): 융합기술을 통한 인간의 능력 향상
 - 心身을 위한 공학(engineering for the mind and for the body): 개인 및 조직 차원에서의 인지처리 과정을 변화
- 특수성(Specificity)
 - 다양한 학문, 기반기술, 지식체계 간의 융합을 통해 특정 문제 해결
 - ※ NT · BT 융합을 통해 분자, 세포, 유전자 차원의 신체 상태를 파악할 수 있는 기술, 유전자 특성에 맞는 약물을 표적까지 전달하는 기술 등



4. 융합기술 활용 분야

- 의료 · 보건
 - 노동집약적 진단에 따른 부담 완화 ⇒ 예산 절감 및 보건 제도의 효율성 향상
 - 의료·보건 분야의 융합기술 개발을 위한 새로운 일자리 창출
 - 환자의 뇌와 연결된 지능형 인공기관, 개인 건강을 관리할 수 있는 셀프 모니터링 제품 등 개발 가능
 - NT · BT · IT 융합을 통한 초소형 센서칩(lab-on-a-chip) 기술 개발로 각종 질병의 조기 진단 가능
- 교육
 - 융합기술을 활용한 평생 교육 시스템 구축
 - 육아 및 자녀 교육에 관한 통합 정보를 제공하는 지식 서비스 개발
- 정보통신
 - 사회적 · 개인적 욕구를 충족시키는 정보 인프라 구축
 - 환경 모니터링 센서를 통한 오염물질, 알레르기 유발물질 식별
 - 개인 데이터 기반의 맞춤형 진단으로 건강 관리 가능
* 음식 정보, 소비 성향, 개인 건강상태, 다이어트 계획, 의학 정보 등
- 환경
 - 환경문제 해결 및 경제적 이익 창출을 위해 사회과학자, 나노 공학자, 공정 공학자 등의 협업 필요
 - 지속가능한 생산성 증대를 위해 천연자원의 효율적 사용법 개발
 - 대기 오염 및 소음 감소 ⇒ 건강 위해 요인 제거
 - 교통 정체 완화를 통한 개인적 · 경제적 손실 감소
- 에너지
 - 에너지 생성, 전달, 저장, 사용의 효율성 혁신을 위한 신기술 개발
 - 수송이 용이하며 시장성 있는 신재생 에너지 개발
 - 지역 기반 신재생 에너지 생성을 통한 에너지 수요 충족

5. 융합기술의 잠재적 위험성

- 융합기술은 동전의 양면처럼 위험성을 함께 내재
- 내포성
 - 기존 사회 및 문화의 기능을 대체하는 새로운 가상 환경 조성 ⇒ 기존의 사회적 가치들을 변모시킴
* 컴퓨터 게임, 인터넷 서핑, 채팅 중독자들의 현실 감각 및 책임감 저하
 - 개인과 집단 내 극적인 의식 변화 발생
- 다양한 적용범위
 - 에너지 소모와 폐기물 발생을 줄이는 제조법 개발, 오염 정화 및 환경 모니터링 기술 발달
⇒ 생태학적 문제가 통제 가능하다는 인식 확산에 따라 자연 보존 노력 감소
 - 모든 문제에 대해 이상적인 기술적 해결법을 제시할 수 있다는 극단적 자기만족의 위험성 존재
- 心身の 공학化
 - 인공 신체기관 등 융합기술을 통해 인간의 한계 극복 추구
⇒ 인간의 가치에 대한 법률적, 철학적 문제 제기
 - 기술의 적용 범위가 편리성 및 안전성 추구를 넘어 의사 결정 수준으로 확대 ⇒ 기존의 도덕적, 윤리적 가치 퇴색 및 규범 붕괴
 - 융합기술 발전을 통한 인간 心身の 변화에 대처하기 위해서는 국가 차원의 논의가 필요
- 특수성
 - 가상 환경 하에서 활용되는 기술의 경우, 실질적 손해자 파악이 어려움
⇒ 기술적 통제권에 대한 문제 발생
 - 융합기술의 불안정 요인들은 기술의 실행과 확산과 함께 퍼짐
* 경제적 효율 증가로 인한 대규모 실직 사태, 기술 기반 문화와 전통적 문화 간 갈등, 빈부격차의 심화 등 사회적 불안 야기

6. 유럽 지식사회 건설을 위한 융합기술 (CTEKS)

• 공동 목표 달성을 위한 융합기술

- 의제설정(Agenda-setting)이 핵심적 요소이므로 사회적·정책적 이슈에 대한 심사숙고 필요
- '인간능력 향상' 과 '군사적 우위 선점' 을 위한 융합기술 등은 자주 언급되는 주제이나 본 논의에서는 의제설정 과정 자체에 집중

• CTEKS의 방향성

- 하향적 의제설정 과정을 지양하고 창의적 기술 개발 과정과의 통합을 지향
 - 당면한 문제해결을 위해 다양한 과학기술을 통합하는 융합연구 프로그램 수행 필요
- ※ 자연어 처리, 비만 치료, 지능형 주거를 위한 융합기술 등
- WiCC 이니셔티브를 통해 인문·사회 포함 다양한 분야의 이해관계자들과 긴밀한 협업 진행

※ WiCC ("Widening the Circles of Convergence")

사회·경제적으로 적절한 연구의제를 도출하고 이를 실행하기 위한 프로그램

연구의제 도출 및 연구 수행과정에 연구자 이외에 대중의 참여를 허용

⇒ · 투명성 보장 및 데이터베이스 구축 등 기반 확보 역할

· 융합연구 활성화를 위한 기술 노하우 확산 및 보상 체계 마련

· 유럽 내 융합연구 지원을 위한 일관성 있는 체계 마련

- 융합연구를 위한 의제설정을 통해 투자자와 소비자의 신뢰 강화
- 융합연구 커뮤니티의 창의적 연구 수행 및 시너지 창출 지원
- 미래 전망 제시를 통해 융합연구에 사회적 창의성 배가

7. CTEKS 실현을 위한 권고사항

• 총 4개 부문 16개의 권고사항 제시

• CTEKS 비전 및 전략 수립

- ① WiCC 이니셔티브 실행 및 융합연구 커뮤니티 조성
- ② FP6(6th Framework Programme)에 융합기술을 통합
- ③ 융합연구 기반 마련을 위해 EU 회원국들의 융합기술 개발 장려
- ④ EU 회원국들의 융합연구센터 유치 경쟁 활성화

• 융합의 역동성을 기반으로 하는 새로운 연구 주제 발굴

- ⑤ 융합연구 정책 수립 및 프로그램 기획 시 학문간 융합 강화
- ⑥ 유럽위원회와 EU 회원국의 인지과학 연구 확대
- ⑦ 융합연구 수행 시 인문·사회과학의 중요성 강조

• 연구 수행 및 지원 환경 조성

- ⑧ 글로벌 융합연구 수행을 평가·감독할 수 있는 컨트론타워 마련
- ⑨ EuroSpecs 시행을 통해 융합기술 개발을 위한 국제 규범 제정
- ⑩ 과학기술 개발과 사회 연구의 통합을 추진

• 윤리적·사회적 의식 강화

- ⑪ 유럽 내 융합기술 개발에서 군사적 접근 배제
- ⑫ 유럽위원회 산하 유럽윤리그룹(European Group on Ethics)에서 제시한 윤리적 검토 규정에 융합기술 포함
- ⑬ 융합연구 수행 시 투명한 의사결정 과정 확보
- ⑭ 융합기술 지적재산권에 대한 국제적 논의 진행
- ⑮ EU 회원국 내 융합기술 및 CTEKS에 대한 국가적 논의 활성화
- ⑯ 학문 간 시너지 창출과 인문사회·자연과학 간 교류를 활성화하기 위해 중·고등교육 과정에 융합연구 모듈 포함



국가경쟁력 확보를 위한 융합연구

EU의 'CTEKS 보고서'를 기점으로 융합연구의 개념은 큰 전환을 맞이하게 된다. 인문·사회 분야와의 경계 허물기를 통해 국가경쟁력 확보를 위한 융합연구의 역할이 새롭게 대두된 것이다. 미국의 선도기업 CEO들과 학계 리더들을 중심으로 구성된 비영리기구인 경쟁력 위원회(Council on Competitiveness) 산하 국가혁신본부(National Innovation Initiative)에서 펴낸 정책보고서 <Innovate America>(2005)는 국가혁신을 통한 경제성장을 강조하였는데, 투자 영역에서 '선도적이며 다학제적인 연구의 활성화'를 중요 의제로 제시했다. 또 후속 보고서 <Five for the Future>(2007)에서는 IT, NT, BT를 기반으로 하는 과학기술의 혁신 선도 필요성을 역설했다.

일본은 2004년 단기간 실용화가 가능한 기술 중심의 개발 전략인 '신산업창조전략(Focus21)'을 수립, 연료전지, 정보가전, 로봇, 콘텐츠, 건강복지, 환경에너지와 비즈니스

지원 서비스 등의 융합연구 분야를 7대 전략산업으로 선정하였다. 또 이 전략의 원활한 수행을 위해 2005년부터 '기술전략맵(Strategic Technology Map)'을 도출하기 시작했다. '제3기 과학기술기본계획(2006-2010)'은 쌍방향 지식 흐름의 원활화, 타 분야와의 융합, 가치 창조와의 효과적 연결 구축을 주요 목표로 수립하고 대학, 공공기관, 산업계, 정부가 제휴하여 쌍방향(연구↔시장)으로 순환하는 '이노베이션 슈퍼하이웨이' 개념을 제시하였다.

EU의 'FP7'²³⁾은 'Building the European Research Area of Knowledge for Growth'란 부제로 新리스본 전략의 목표²⁴⁾를 달성하는데 초점을 두고 수립되었으며, 특히 회원국 간 협력사업에 60% 이상을 집중 투자하도록 계획되었다. 이 중에서 'Future Emerging Technologies (FET) 사업'은 FP7을 통해 진행된 대표적인 융합연구 사업으로, Open, Proactive, Flagship의 3개 부문으로 분류된 미래유망기술의 장기적인 연구개발 활동을 지원하였다. FET-Open은 상향식 방식으로 주제와 기함에 제한이

없는 연구주제를, FET-Proactive는 하향식 방식으로 기술적 난제 해결을 위한 ICT 기반의 연구주제를, 마지막으로 FET-Flagship은 유럽의 경쟁력 강화를 위한 장기적, 전략적 연구주제를 대상으로 진행되었다.

우리나라의 경우, 2008년 (舊)교육과학기술부를 중심으로 수립한 ‘국가융합기술 발전 기본계획(2009~2013)’을 국가경쟁력 강화를 위한 융합연구 정책의 시초로 볼 수 있다. 창조적 원천융합기술 확보를 통한 산업 고도화와 신성장동력 창출을 주요 목표로 설정, 융합연구 활성화를 위한 기반을 마련하였다. 2012년에는 ‘산업융합촉진법’에 근거하여 산업융합²⁵⁾을 촉진하고 이를 위한 기반 조성을 목표로 하는 ‘산업융합발전 기본계획(2013~2018)’이 수립되었다.

사회문제 해결에 도전하는 융합연구

융합연구 개념 확장의 또 다른 축은 점점 더 대형화되고 복잡해지는 사회문제 해결을 위한 융합연구의 역할강화다. 미국은 2013년 사회적 문제 해결과 이를 통한 인류 진보를 추구하는 (제2차 NBIC 보고서)²⁶⁾를 작성하였다. 이 보고서는 융합연구의 목표를 광범위한 사회적 부가 가치의 향상으로 확장하였으며, 융합기술을 에너지, 환경 등 모든 사회적 요소들을 포괄하는 광의의 개념으로 발전시켰다.

EU는, 핵심 R&D 프로그램인 ‘Horizon2020 (2014~2020)’²⁷⁾의 3대 전략 분야 중 하나로 ‘유럽의 사회문제 해결을 위한 전주기 지원’을 제시했는데²⁸⁾, 특별히 중소기업 참여의 중요성을 강조하였다.

일본은 ‘제4기 과학기술기본계획(2011~2015)’ 수립을 통해 지진 등의 자연재해 대책 방안을 위한 융합기술에 투자하고 있으며 2013년 수립한 ‘과학기술혁신종합전략’ (2013)에서는 2030년까지 실현해야 할 미래 사회의 모습으로 국민이 풍요롭고 안전·안심할 수 있는 사회, 세계와 공생하고 인류의 진보에 공헌하는 사회를 제시하였다. 또 일본이 국제적 경쟁력을 가지고 있으면서 세계적으로 기여할 수 있는 전략 분야로 에너지, 건강&장수, 지역자원과 동일본 조기부흥 등을 선정하였다.

우리나라는 2014년 신산업 창출과 사회문제해결을 통한 창조경제 실현을 목적으로 ‘창조경제 실현을 위한 융합기술발전전략(2014~2018)’을 수립하였다. EU의 ‘Horizon2020’과 마찬가지로 미래유망 원천융합기술 육성, 융합기술 사업화 등 기존의 국가경쟁력 확보를 위한 융합연구의 기초를 유지하되 ‘사회문제 해결을 위한 융합기술 개발’이라는 새로운 전략 방향을 수립하여 융합연구의 역할을 확장하고자 하였다. 특별히 건강, 환경, 안전, 복지 등을 위협하는 사회문제 해결기술 개발과 사회적 약자, 개도국 문제 해결을 위한 적정기술 개발, 온실가스, 황사, 미세먼지 등 글로벌 이슈에 대응하기 위한 국제 공동연구 강화 등을 주요 세부 전략으로 선정하였다.

23) 7th Framework Programme(FP7, 2007 - 2013)은 1984년부터 추진해온 EU의 핵심 R&D 재정 지원 프로그램인 Framework Programme의 7기 사업으로 27개 EU 회원국, 9개 회원 후보국 및 준회원국 등 36개국이 참여하여 국가 간 공동기획, 민-관 파트너십 사업을 추진했다.

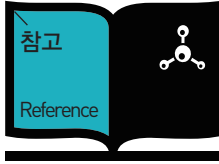
24) 투자와 고용하기 좋은 환경 조성, 성장을 위한 지식과 혁신, 양질의 고용 창출 등

25) 산업 간, 기술과 산업 간, 그리고 기술 간의 창의적 융합을 통해 기존 산업을 혁신하거나 새로운 가치가 있는 산업을 창출하는 활동을 의미한다.

26) Convergence of Knowledge, Technology, and Society (CKTS)

27) Horizon2020은 제8기 Framework Programme(FP8)으로 EU의 중장기 발전전략인 Europe2020의 목표 달성을 위한 방향으로 구성되었다.

28) 나머지 2개의 전략 분야는 유럽의 과학 인재 육성과 인프라 구축을 추진하는 우수과학 분야, 핵심유망 기술 분야에서 산업 경쟁력 달성하기 위한 산업적 리더십 분야다.



(미국의 '제2차 NBIC 보고서') 요약

1. 융합의 발전 단계

- 1단계: 나노기술의 등장(90년대 후반)
 - 나노스케일 구조에 대한 이해를 기반으로 기존 학문·기술 간 물질·소재 단위 융합
- 2단계: NBIC 융합기술 확산(2000년대)
 - 원자, DNA, 비트, 시냅스 등의 기초 구성요소를 기반으로 신기술 간 수직적·수평적 융합
- 3단계: CKTS* 개념 도입(2010년 이후)
 - 사회적 가치 확립과 문제 해결을 위해 인간·기계·사회·자연의 역량 융합, 새로운 경쟁력(기술, 산업, 제품 등) 창출

* Convergence of Knowledge, Technology and Society

[CKTS 개념의 진화 과정]

시기	단계	특징
2001-2010	반응적 융합	파트너들 간의 특별 협력이나 기존 분야의 개별 목표 달성을 위한 우연적 융합
2011-2020	주도적 융합	의사결정 과정을 통해 수행하는 보다 원칙적이고 포괄적인 융합
2020 이후	시스템적 융합	높은 수준의 목적을 가진 전체적인 융합

2. 융합의 작동 원리

- 역동적이고 순환적인 수렴-발산 프로세스로 구성
 - 인간 뇌 및 신체 체계의 유기적 기능과 유사
 - “창조 ⇒ 혁신 ⇒ 생산” 구조 확립 및 개선을 위한 방법론적 역할
 - 새로운 아이디어 중심의 지식·기술·조직·산업의 진화 과정과 동일
 - 창조성과 혁신성의 수준은 수렴-발산 프로세스의 순환 속도가 결정

- 수렴(Convergence)의 과정
 - ① 기술 현황 분석 ⇒ ② 창의적 연결고리 발견 ⇒ ③ 기술 통합
- 발산(Divergence)의 과정
 - ① (혁신)수렴의 결과물로 새로운 시스템 구성 ⇒ ② 혁신의 적용 ⇒ ③ 새로운 발견 ⇒ ④ 다양한 형태의 산출물

3. CKTS의 핵심 개념

- 가치를 창출하는 의사결정과 지식활용
 - 수렴-발산 프로세스 기반의 과학기술 진보
- 통합적·체계적·하향적(연역적) 접근
 - 인간 활동의 순지구적 진보 체계 및 지식·기술·사회시스템 간의 계층적 상호연결 구조
- 범분야를 아우르는 언어 체계 구축
 - 통합이론, 벤치마킹, 다학제적 기술, 인포매틱스, 지식맵 등
- 목표 지향적(vision-inspired) 기초연구 지향
 - 목표를 발굴하고 이를 달성하기 위한 전략적 연구 분야 선정
- 선제적·고무적·일관적인 공공 부문 및 산업계의 지원

4. CKTS의 구성 요소

- “NBIC” 기술(“NBIC” foundational tools)
 - 원자, DNA, 비트, 시냅스 등의 기본 단위 및 기초 기술
- 인간 활동(Human-scale activities)
 - 개인 간, 인간과 기계 간, 인간과 환경 간의 상호작용
- 지구·환경 시스템(Earth-scale environmental systems)
 - 환경·생태계, 정보통신 시스템, 글로벌 경제 등
- 융합방법론(Convergence method for Societal-scale

activities)

- 개인 및 그룹 간 연결 활동 및 시스템, 협동적 조직·절차 등

5. 권고 사항(Action Opportunities)

① 융합연구센터 설립(Centers)

- National Convergence Centers and Networks: CKTS 개념의 구체화 및 실현을 위한 연구·교육 담당
- CKTS 실현을 촉진 또는 저해하는 요소들을 발굴하기 위한 이론, 모형, 방법론 등을 수립
- 횡적(학문·기술 분야별), 종적(연령대별, 수준별) 통합을 위한 교육 네트워크 구축

② 기술 플랫폼(Technology Platforms)

- 지식, 기술, 사회 플랫폼의 융합을 통한 국가R&D의 우선 순위 배정 및 성과 향상 기대
- (Products) 고부가가치 제품 생산에 초점을 맞춘 제조 기술 연구
- (Sensors) 유비쿼터스 모바일 감지(Sensing) 기술을 통해 실시간 데이터 수집 및 관리 가능
- (Cognitive Society) 사회적 차원의 인지기술 발전을 통해 의사결정, 공공복지 등을 개선
- (Brain-Mapping Activities) 뇌활동 재구성을 통한 뇌신경 프로세스 이해, 뇌기능의 기본 단위를 뉴런에서 시냅스로 전환
- (Cognitive Computing) 인간의 뇌처럼 별도의 프로그래밍 없이 불확실하고 변화하는 환경에 적응하는 새로운 컴퓨터 패러다임 제시
- (Sustainable Water, Energy, and Materials Nexus) 폐수, 바닷물 등을 활용하여 담수·에너지 생성
- (Sustainable Urban Community) 경제적·탄력적 주택 정책, 고효율에너지·물 인프라, 효율적 농산물 생산과 배송 서비스, 에너지 절감을 위한 교통 시스템, 건강관리 인프라 등

③ 융합연구 프로그램 기획(Programs)

- 융합 생태계의 성과 향상을 위한 방법론 제고

- 인간 뇌를 시작으로 지구환경 시스템을 아우르는 DB 통합
- 창의력 증진 및 융합연구 프로세스 혁신을 위한 법·제도 환경 조성
- 새로운 융합기술의 등장에 따른 효과적인 위험 관리
- 융합과학을 이해하고 소통하기 위한 새로운 패러다임 개발

④ 조직 체계의 변화(Organizations)

- 조직과 사업 구조의 변화는 융합을 위한 필수 전제조건
- 성공적 융합을 위한 조직 변화의 지향점
 - 융합을 통한 개인, 커뮤니티, 사회 차원의 인간 능력 향상을 모니터링
 - 수렴·발산 순환 구조에 대한 이해를 바탕으로 의사 결정 능력 향상
 - 데이터베이스 및 교육 제공 등 시민과학 성장을 위한 지원 확대

⑤ 정부의 코디네이션(Government Coordination)

- 정부, 지방자치단체, 민간 부문, 시민사회 등 여러 부문 간 융합연구의 기회를 발굴하고 촉진·조정하는 역할 필요
- 국가융합연구 비전, 장기 계획 및 투자 정책 수립, 조직 구성, 평가 체계 구축
- 창의력 증진 및 융합연구 프로세스 혁신을 위한 법·제도 환경 조성
- 공공복지 및 환경·사회 부문의 융합연구는 정부의 역할이 매우 중요
- (Wellness) 육체적·정신적·사회적 건강 보장, 사후 대응에서 사전 예방으로 의료 모델 변화, 고령화 사회를 대비하는 기술
- (Earth) 지속가능 지구 시스템 구축 및 모니터링, 통합 조정 시스템을 위한 국제적 협력 필요
- (Convergence in Society) 융합 사회를 위한 윤리적·법적·공공적 논의 필요, 공공의 의사결정 참여 보장 및 중립 원칙 고수 중요

5. 목적 중심 융합연구의 발전과 시사점

융합연구 활성화를 위한 각국의 정책적 노력

앞서 소개한 내용 외에도 각국 정부들은 융합연구 활성화를 위해 여러 정책적 노력을 기울이고 있다. 미국의 융합연구정책은 국가적 차원의 문제 해결을 위해 관련 부처들이 조직적으로 협력하는 모델을 지향한다. 특히 오바마 정부는 ‘All Hands on Deck’이라는 비전을 제시하며 공통의 문제 해결을 위한 범부처 및 민간 부문의 협력을 강조하고 있다. 미국의 뇌과학R&D 정책사업인 ‘브레인 이니셔티브(Brain Initiative)’²⁹⁾ 사례를 보면 이를 잘 확인할 수 있다. 국립과학재단(NSF)은 뇌의 거대정보를 해석하는 빅데이터 연구를 진행하는 등 생물학, 물리학, 공학, 컴퓨터 등에서 이니셔티브 추진에 중요한 역할을 담당하고 있으며 국립보건원(NIH)은 2009년부터 진행하던 NIH Blue Program의 이전 성과와 연계해 추가연구를 진행하고 있다. 이 외에도 Allen Institute for Brain Science(연간 6천만 달러), Howard Hughes Medical Institute(연간 3천만 달러), Salk Institute for Biological Studies(연간 2,800만 달러) 등의 민간 연구기관들도 적극적으로 참여, 융합연구 생태계 조성 차원에서 중요한 역할을 해내고 있다.

정책-사업 일체형이자 범분야 협력 체계가 훌륭하게 작동하는 미국과는 달리 다양한 역량과 특성을 지닌 회원국들로 구성된 EU는 큰 밑그림으로써 정책 방향을 설정하고 이에 따라 세부 연구사업들을 기획하는 방법을 취하고 있다. 유럽위원회 연구국(European Commission Directorate for Research)에서 담당하는 범(汎) 유럽 차원의 ‘EU 사업’의 경우, EU 정책 목표에 대한 기여도, 연구 역량 등을 고려해 우선투자 분야를 선정하고 있다. R&D 집행에 필요한 예산, 인력을 할당받은 범

인체로 유럽위원회 산하 조직인 JU(Joint Undertaking)는 우선투자 분야를 중심으로 해당 연구자들에게 다양한 형태의 지원을 제공한다. JU는 이외에도 유럽 기술플랫폼(European Technology Platforms, ETP)³⁰⁾과 공동기술프로그램(Joint Technology Initiative, JTI)³¹⁾의 활동을 감독하는 역할을 맡고 있다.

일본의 ‘과학기술연계시책군’ 사업은 융합연구를 위한 부처·정책 간 네트워크의 중요성을 보여준다. 일본의 정부 조직은 중앙부처가 국가기관부터 지방의 자치단체까지 관할별로 지배하는 수직적인 조직 체계로서 부처(부서) 간 협력 연구를 수행하기에 많은 어려움이 따른다. ‘과학기술연계시책군’ 사업은 이러한 문제점 해결을 위해 각 부처가 시행하는 정책 중 타 부처의 정책과 관련성이 높은 정책에 횡적인 추진 체계를 접목하기 위해 시작되었다. 하나의 정책 목표를 실현하기 위해 각 부처의 정책과 사업을 제휴하도록 한 것이다. 이를 위해 종합과학기술회의의³²⁾ 조정 리더십을 강화, 통합적 관점에서 목표를 공유하고 부처 간의 명확한 역할 분담 및 성과의 상호 공유·활용을 추진하고 있다. 또 관계 부처의 담당자, 연구개발 전문가 등이 포함된 워킹그룹(Working group)을 조직하고 전체 워킹그룹을 지원하기 위한 전담 기구를 설치하였다. 특히 주목할 것은 종합과학기술회의가 주도적으로 국가적으로 중요한 테마를 선정, 각 테마마다 코디네이터를 배정하여 부처 간의 불필요한 중복을 제거하고 연계와 협력을 이끌어내도록 한 점이다. 2005년 8개의 연구 주제로 시작한 ‘과학기술연계시책군’ 사업은 2007년 14개 주제³³⁾로 확대 운영되고 있다.

우리나라는 정부출연 연구기관들의 융합연구를 촉진하기 위해 시작된 융합연구단 사례를 눈여겨볼 만하다.

29) 미국의 R&D 사업은 정책과 특별히 구분하지 않고 국가적 차원의 문제들을 관련 부처들이 함께 해결하는 정책-사업 일체형이다. 미국에서는 흔히 정책을 이니셔티브(Initiative)라는 단어를 사용해 정책이 곧 사업이 되는 ‘정책-사업 일체형’ 융합연구 체계를 구현하고 있다. 미국의 이니셔티브(Initiative)는 우리나라 정부에서 발표하는 ‘계획’, ‘전략’과 맥을 같이하나, 세세한 사항을 배제하고 큰 방향성만 제시한다는 점에서 차이가 있다.

30) 전략연구아젠다(Strategic Research Agenda, SRA)를 기획하고 융합연구를 통해 축적된 지식이 신산업 창출에 기여할 수 있도록 다양한 활동 지원하고 있다.

31) JTI는 FP7의 기술개발파트로 ETP에서 기획한 SRA를 위한 범유럽 공공&민간 R&D파트너십 구축을 지원한다.

32) 일본 정부의 과학기술정책을 입안하고 주도하는 중추적 역할을 담당하는 조직으로서 총리를 포함, 내각관방장관, 과학기술정책담당장관, 총무장관 등 총 14명의 의원으로 구성

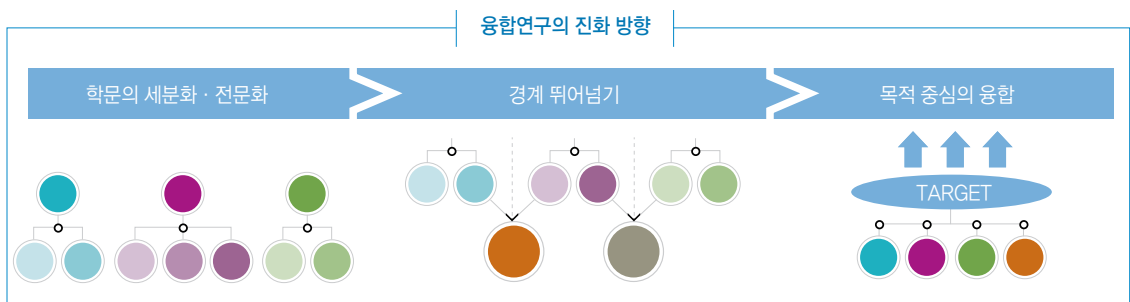
33) 포스트게놈, 신종 및 재발 전염병 대책, 유비쿼터스 네트워크, 차세대 로봇, 바이오매스, 수소연료전지, 나노-바이오기술, 지역과학클러스터 등

융합연구단은 출연(연) 간 개방형 협력시스템 구축을 위한 첫 시도로서 물리적으로 또 조직적으로 떨어져있던 연구자들이 소속에 관계없이 과제에 따라 한 공간에 모여 연구를 수행하고, 연구가 모두 끝나면 원 소속기관으로 복귀하는 형태의 일몰형 연구조직이다. 그 동안 출연(연) 시스템의 큰 문제점으로 지적되었던 연구칸막이와 비효율적 경쟁 체제를 벗어나고 민간 부문에서 감당하기 어려운 국가적 사회문제 해결을 위해 효율적으로 연구개발을 추진하는 것이 그 목적이다. 이를 위해 국가과학기술연구회 산하에 융합연구본부를 설립하여 융합연구 전략 수립 및 융합연구단 관리 및 평가를 수행하도록 했다. 그리고 자문기구로서 융합연구위원회를 구성하여 융합연구단 사업에 대한 컨트롤타워 기능을 맡는 것은 물론 연구기관 간 융합연구 중장기 방향 및 전략을 수립하고 융합연구 주제 발굴 및 평가, 관리와 관련하여 제도 개선에 참여하도록 하였다. 또 출연(연) 간 융합연구 촉진을 위한 상시적 협업체제로서 융합클러스터를 구성하여 새롭게 떠오르는 연구주제 및 현안에 대해 재빠르게 대응할 수 있는 시스템을 마련하고자 하였다. 각 융합클러스터는 여러 출연(연)이 공동으로 추진하는 주제나 사회적 니즈가 큰 분야를 발굴하여 해당 분야 연구자들의 협의체로 구성하는 것을 원칙으로 하며 향후 주제를 발전시켜 융합연구단으로 전환시킬 수 있도록 했다. 2014년 말, '사물인터넷 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템' 융합연구단³⁴⁾, '에너지 및 화학원료 확보를 위한 대형 융합플랜트 기술 개발' 융합연구단³⁵⁾ 등 2개의 융합연구단이 출범하였으며 2017년까지 총 20개의 융합연구단(연구단별 연간 최대 100억원 규모)이 출범될 예정이다.

목적 중심 융합연구의 방향과 기대성과: 뇌과학과 무인이동체기술을 중심으로

융합연구 활성화를 위한 각 나라들의 정책적 노력을 살펴보면 융합연구의 중요한 방향성을 확인할 수 있다. 바로 목적 중심의 융합연구다. 초기의 융합연구가 단순 협력이나 단일 분야의 한계에 따른 이종 분야의 개념과 방법론을 차용하는 부분적 활용에 그쳤다면 이 새로운 차원의 융합연구는 공동의 목표 달성을 위해 범분야의 지식이 총출동하는 것이다.

목적 중심의 융합연구는 몇 가지 공통점을 보인다. 첫째, 다양한 분야별 주체, 또는 이해당사자들 간의 '파격적인' 협력이다. 미국의 이니셔티브, 일본의 과학기술연계시책군 사업, 한국의 융합연구단 사례에서 볼 수 있듯이 기존의 조직 구조나 운영 체계를 뛰어넘고 경계를 무너뜨림으로써 새로운 기회의 발판을 마련하는 것이다. 이는 단일 기관에서, 또는 단순 협력 체계로 다루기에는 연구의 주제가 크고 복잡하기 때문이다. 둘째, 연구주제의 선정과 연구수행 방식이 '혼합적으로' 진행된다는 점이다. 오피니언 리더들을 통해 해결이 시급한 사회 문제나 국가적 과제들을 중심으로 연구주제의 큰 범위가 하향식(Top-down)으로 설정되면 연구자들이 구체적인 연구문제를 제시하고 그 문제의 해답을 찾아가는 상향식(Bottom-up) 방법론을 활용하는 형식이다. 예를 들어, '고령화 사회 대비' 라는 큰 의제가 제시되면 연구자들이 대표적인 노인성 뇌질환인 알츠하이머병을 세부적인 연구 주제로 설정하고 이를 통해 발생하는 사회적 비용을 감소시키기



34) 사물인터넷(IoT)을 활용한 수집 분석 예측으로 싱크홀 등 지하매설물 붕괴사고를 사전 예방하기 위한 기술을 개발하며 한국전자통신연구원(주관기관), 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국지질자원연구원 등 4개 출연(연)과 SK텔레콤, 한세지반엔지니어링 등 11개 기업이 참여한다.

35) 핵심 기초 화학원료를 경제적·친환경적으로 생산할 수 있는 대단위 패키지 공정을 상용화해 화학산업 경쟁력을 높일 계획으로 한국화학연구원(주관기관), 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원, 한국기계연구원 등 4개 출연(연)과 한화케미칼, SK가스, LG화학 등 화학기업컨소시엄이 함께 참여한다.

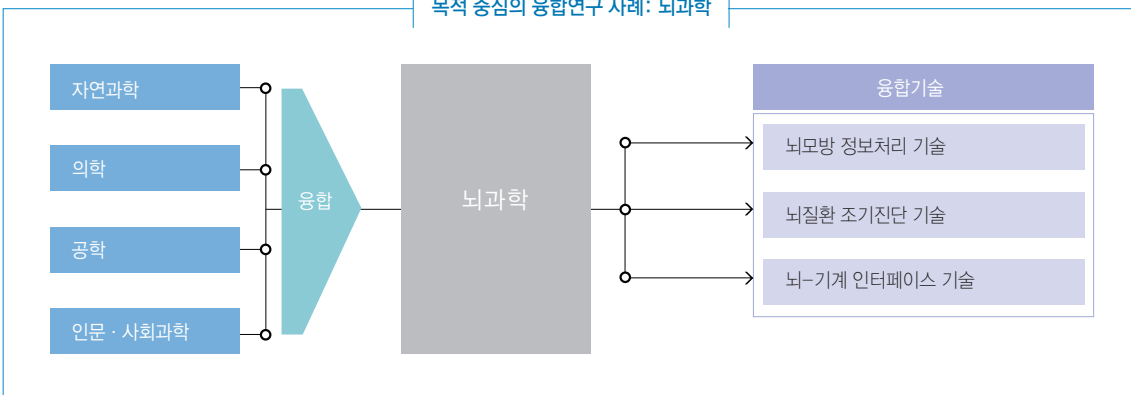
위한 방안으로 혁신적인 초기 진단법을 개발하는 방식이다. 마지막 특징은 연구의 결과물 또는 중간 산출물을 통해 ‘새롭고 거대한’ 학문 분야 또는 시장이 창출된다는 점이다. 융합연구 이전의 학문 발전 추세가 세분화에 따른 전문화였고 초기의 융합연구가 세분화된 분야들 중 일부가 경계를 가로질러 이중 결합하면서 새로운 소분야가 발생하는 양상이었다면 앞으로는 중형을 가로지르는 융합을 통해 그 활용도가 무궁무진한 새로운 장(場)이 펼쳐질 것이다. 이는 학문의 모습으로 발현될 수도 있고 산업을 기반으로 발전할 수도 있으나 궁극적으로는 학문과 산업이 연계되어 동시에 성장하는 형태로 진화할 것이다.

뇌과학³⁶⁾을 대표적인 사례로 볼 수 있다. 2013년, 미국의 오바마 대통령은 “뇌의 신비를 풀자”는 선언과 함께 뇌과학 연구에 대한 의지를 밝혔고 첫해 예산으로 1억 달러를 지원, 세계의 이목을 집중 시켰다. 앞서 언급한 ‘브레인 이니셔티브’가 그 결과물이다. 뇌과학은 뇌질환을 통해 발생하는 사회경제적 비용의 절감, 뇌의 정보처리 구조 이해를 통한 공학적 가치 창출 등 의학적, 공학적, 사회적으로 큰 의의를 지니고 있으며 여러 측면에서 국가 및 사회적 현안 이슈 해결에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다. 대표적 뇌과학 활용 기술인 뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain-Computer Interface)는 인간의 두뇌와 컴퓨터를 직접 연결해 뇌파를 통해 컴퓨터를 제어하는 인터페이스 기술이다. 신경공학을 중심으로 인지과학, 의공학, 전기·전자, 정보통신 기술 분야에서 주로 의료적인 목적 달성을 위해 협력을 추진하고 있으며 향후 의료 부문은 물론 교육, 헬스케어, 마케팅, 차세대 인터페이스 분야 등에

도 활용 가능할 것으로 예상된다. 뇌과학을 통한 인간에 대한 이해 증대는 사회 전 분야의 발달에 긍정적 영향을 미칠 것이며 궁극적으로는 이를 통해 사회혁신과 경제성장을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

최근 드론의 유행으로 새롭게 주목받고 있는 무인이동체 기술은 산업적 측면에서 큰 잠재성을 지니고 있는 융합연구 분야다. 특히, 우리나라에서는 지난 5월 국가과학기술자문회의를 통해 미래창조과학부, 산업통상자원부, 국토교통부 등 9개 관계부처가 참여하는 무인이동체산업 발전전략³⁷⁾을 발표했다. 자율주행자동차, 무인기, 수중 무인체 등의 무인이동체는 기존 제품에 지능화 기술, 네트워크 운용 기술, 소프트웨어 기술 등 다양한 기술을 융합한 결과물로서 인간의 생명을 위협하는 재난·재해 상황이나 인간의 발길이 닿을 수 없는 미지의 영역 개척 등 향후 여러 분야에서 활용가능성이 높을 것으로 기대된다. 이러한 무인이동체기술 개발을 위해서는 앞서 언급한 여러 혁신적 요소기술들의 개발은 물론 기술 간 융합을 위한 통합·조정 역량, 그리고 산업 육성을 위한 정책적 지원과 인프라 구축이 필수적으로 요청된다. 이를 위해서 정부는 무인이동체 산업 육성을 위한 범정부 컨트롤타워인 ‘무인이동체 발전 협의회’ 신설을 추진 중이며 이 협의회를 중심으로 통합로드맵 수립, 법제도 정비, 인프라 확충 등 산업 전반에 대한 정책·사업을 추진해 나갈 계획임을 밝혔다. 앞으로는 뇌과학과 무인이동체기술처럼 목적 중심의 융합연구 사례들이 크게 증가할 것으로 기대되며 이를 조정, 지원하기 위한 정부의 역량과 노력이 그 어느 때보다 중요해 질 것이다.

목적 중심의 융합연구 사례: 뇌과학



36) 뇌과학은 뇌의 정보처리 구조와 핵심원리 이해를 통해 인간의 수행 능력을 강화하고 궁극적으로 개인과 사회의 효율성을 증진시키는 것을 목적으로 한다.

37) 미래 신시장 창출과 산업 경쟁력 강화를 위한 무인이동체 관련 기술개발 및 산업성장 전략을 담고 있다.

6. 결론: 융합연구의 미래와 정부의 역할

본 리뷰는 융합연구의 형성과 발전 과정을 학문의 진화 과정과 과학기술 선도국들의 융합연구 정책·사업 수행의 관점에서 분석하였다. 인류 최초로 자연을 탐구의 대상으로 설정하고 이성적 진리를 탐구했던 고대 그리스 시대의 자연철학을 시작으로 ‘통합적’ 관점을 고수하던 학문의 세계는 르네상스 시대를 거쳐 과학혁명을 맞이하면서 세분화와 전문화라는 새로운 변화를 맞이하였다. 이후 산업혁명과 1, 2차 세계대전을 거치며 엄청난 지식을 창출해 낸 인류는 인지과학과 정보기술, 생명과학, 나노기술 등 첨단기술의 발달을 통해 새로운 학문 진화의 양상을 마주하게 된다. 융합연구의 등장이다.

역사를 통해 과학기술 발전에 국가의 미래가 달려있음을 학습한 과학기술 선도국들은 융합연구의 잠재력을 앞서 파악하고 국가적 역량을 이에 투입하기 시작했다. 그리고 분야 간 경계를 뛰어넘는 초기의 융합연구에 이어 등장한 목적 중심의 융합연구는 새로운 비전을 제시했다. 뇌과학, 무인자동차기술과 같이 하나의 목적을 위해 범분야가 융합하고 그 성과를 통해 새롭고 거대한 장(場)을 여는 것이다. 그리고 앞으로 이 추세는 더욱 강화되리라 예측된다.

융합연구의 첨단화·대형화는 이미 거스를 수 없는 대세가 되었다. 세분화된 학문 체계에서도 연구가 심화되고 전문화될수록 더 많은 투자가 필요하며 의미 있는 과학적 실험을 위해서는 막대한 자금이 필요하다. 여러 분야의 첨단기술을 한데 모아야 하는 융합연구라면 그 비용 부담은 더 커지게 된다. 이 지점에서 정부의 역할은 무엇일까? 정부는 안정적인 재정지원

을 기반으로 새로운 판을 짜고 또 그 판에 필요한 여러 주체들을 한데 모으는 역할을 해야 한다. 연구의 범위를 설정해주되, 그 판에서는 연구자들이 마음대로 뛰어놀고 창의적 실험을 할 수 있는 기회를 제공해 줘야 한다. 전후 미국의 과학기술 발전을 위해 바네바 부시가 주장했던 과학자의 자율성 보장, 그리고 하르나크 원칙³⁸⁾의 실현이다. 물론 대리인으로서의 과학자의 도덕적 해이를 방지하기 위해서는 목표의 분명한 설정과 표현, 공유가 필요하며 이와 더불어 적절한 인센티브를 제공하는 것이 필요할 것이다.

주류(主流)의 성장에 비할 바는 아니겠지만 융합연구의 또 다른 진화 방향에도 주목해야 한다. 바로 르네상스 시대 전인(全人)의 재현이다. 아직 밝혀지지 않은 과학적 지식을 발견하기 위해서 천문학적 비용이 필요하다는 것은 앞서 계속 주장한 바지만, 오랜 시간 동안 누적된 전문화된 지식의 양과 질도 새로운 혁신을 위해서는 전혀 부족함이 없다. 특히 정보통신기술의 끊임없는 혁신과 공유정신의 확산은 지식에 접근할 수 있는 개인의 권리를 그 어느 때보다 강력하게 보장하고 있다. 개인이 쏟아올린 소형 인공위성 사례³⁹⁾나 벤처기업에서 개발한 소형드론 사례⁴⁰⁾에서 볼 수 있듯이 널리 퍼져있는 지식의 조각들을 반짝이는 아이디어로 융합한다면 소규모의 투자비용으로도 큰 가치를 창출해낼 수 있다. 물론 이렇게 창조적 역량을 지니고 있는 사람들은 소수에 불과하겠지만 원하는 모두에게 기회의 장이 마련되어야 한다는 점에는 의심의 여지가 없다. 여기에서 다시 정부의 역할이 필요하다. 정부는 모든 국민이 원하는 지식에 자유롭게 접근할 수 있는 기반을 마련해야 하며 과학기술 이외에

38) 정부는 예산을 지원하되 간섭하지 않고, 연구수행에 필요한 모든 권한은 연구자가 가지게 한다는 원칙을 의미한다.

39) 2013년 4월, 미디어아티스트 송준호는 2008년부터 만 5년간 자력으로 개인 인공위성을 개발하여 발사하는 데에 성공한다. 그는 제작 및 발사 전 과정을 인터넷 홈페이지를 통해 무료로 공유했다. (출처: 오마이뉴스, 2013.5.10.)

40) 프랑스 벤처 기업 '스쿼드론 시스템(Squadron System)' 이 개발한 '헥스플러스(HEXO+)'는 6개의 회전 날개를 갖춰며 고프로(GoPro)의 비디오 카메라를 탑재했다. 스마트폰으로도 조정이 가능하다. '닉시 랩(Nixie Labs)'에서는 '헥스플러스(HEXO+)' 보다 훨씬 더 작은 초소형 드론 '닉시(Nixie)'을 선보였다. 셀카 드론이라고도 하는데 손목에 차고 다닐 수 있는 최초의 웨어러블형 드론이다. (출처: The Science Times, 2015.7.15.)



시장 메커니즘 하에서 소외 받을 수밖에 없는 학문 분야들의 발전을 주도적으로 이끌어야 한다. 융합연구 시대의 ‘경계 허물기’는 다른 관점에서 바라보면 시장 경쟁력이 약한 학문 분야의 사장(死藏)을 의미하기 때문이다. 대표적으로 인문학의 경우, 대중적인 관심도는 점점 더 증가하는 추세이나 학문적 성취를 위한 투자와 지원은 턱없이 부족한 상태이다. 인문학의 학문적 진보와 함께 융합연구의 완성도를 끌어올리기 위한 정부의 노력이 필요한 시점이다⁴¹⁾.

영국의 철학자이자 고전경험론의 창시자로서 근대 과학의 기틀을 마련한 프랜시스 베이컨(Francis Bacon)은 과학에 대한 새로운 분류체계를 정립하고 이를 통한 사회 진보를 추구하기 위해 <학문의 진보>를 저술했다. 여기에서 그는 국왕에게 바치는 헌사를 통해 국가의 진보를 위한 지식의 역할과 학문의 진보를 위한 국가의 역할에 대해 역설하며 국가가 학문의 진보를 위해 명심해야 할 세 가지 대원칙을 제시한다. 노력을 증대시키기 위한 충분한 보상, 잘못을 방지하기 위한 건전한 방법(지도), 그리고 인간의 약점을 보완하기 위한 협력적인 노력이 바로 그것이다. 융합연구의 진보를 위한 정부의 역할도 이와 크게 다르지 않을 것이다. 인류와 사회의 진보를 위한 융합연구의 발전을 기대하며 본 리뷰를 마무리한다.

41) 미래부는 인문·예술과 과학기술과의 융합을 통한 문제해결을 중심으로 하는 ‘(가칭)STEAM연구사업’을 기획 중으로 2015년 시범사업을 시행할 계획이다.

참고문헌

1. 박기범, 황정태(2007), 융합 연구의 형성과 발전 과정의 고찰을 통한 국내 연구 현황 분석(조사연구2007-04), 과학기술정책연구원.
2. 박범순, 김소영(2015), 과학기술정책: 이론과 쟁점, 한울아카데미.
3. 성지은(2009), 일본 과학기술연계시책군 사업의 동향 (과학기술정책 2009년 여름호 p.49-53), 과학기술정책연구원.
4. 성지은, 박인용(2013), 저성장에 대응하는 주요국의 혁신정책 변화 분석 (STEPI Issues & Policy), 과학기술정책연구원.
5. 송위진 외(2013), 사회문제 해결형 연구개발사업 발전방안 연구(정책연구 2013-11), 과학기술정책연구원.
6. 엄용의 외(2010), 우리나라 융합연구 패러다임의 정립에 관한 정책연구 (연구보고서 68), 한국과학기술한림원.
7. 이광호 외(2012), 「융합산업 공급가치사슬 구조변화 및 대응전략」, 과학기술정책연구원.
8. 이광호 외(2013), 융합연구사업의 실태조사와 연구개발 특성 분석(정책연구 2013-09), 과학기술정책연구원.
9. 이정모(2010), 미래융합과학기술과 인지과학의 연결, Future Horizon (2010 Spring), p.6-7.
10. 이정모, 장병탁(2012), 인지과학과 인지시스템, 정보과학회지 (2012년 12월) p.9-18.
11. 임경순(2014), 과학사의 이해, 다산출판사.
12. 최현철 외(2012), 융합연구 활성화를 위한 신규과제 발굴, 전문가 DB구축 및 과제평가 시스템 수립을 위한 기획연구, 한국연구재단.
13. 프랜시스 베이컨 (2002), 학문의 진보(원제: The Advancement of Learning Of the Proficiency and Advancement of Learning, Divine and Human), 아카넷.
14. Bush, Vannevar (1945). Science: The Endless Frontier.
15. Guston, David H. (1996), Principal-Agent Theory and the Structure of Science Policy. Science and Public Policy, vol. 23, pp.229-240.
16. Kuhn, Thomas S. (1962, 2012), The Structure of Scientific Revolutions, University of Chicago Press.
17. Nordmann, Alfred(2004), Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies, European Commission.
18. Roco, M. C., & Bainbridge, W. S.(2002), Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science, Arlington, Virginia: NSF/DOC.
19. Roco, M. C., Bainbridge, W. S., Tonn, B., & Whitesides, G.(2013), Converging knowledge, technology and society: beyond convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies, Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.

자료포락분석과 맘퀴스트 생산성지수를 이용한

국가융합연구개발사업의 효율성 분석

• 융합연구정책센터 소아영 (saysaid@kist.re.kr), 유제원 (cacamian@gmail.com), 서덕록 (dukrok@kist.re.kr)

1. 서론

지식기반사회에서 과학기술을 통한 기술진보는 국가경쟁력 창출의 원천이 되어왔다(홍사균, 2000). 이에 세계 각국은 과학기술에 기반한 성장잠재력 및 국가경쟁력 확보를 위해 정부연구개발 투자를 확대하여 왔다. 실제로 2000년대 초반부터 미국, EU, 일본 등 선진국은 국가경쟁력 확보를 위해 융합R&D분야의 전략적 육성정책 수립과 투자를 가속화하고 있다. 특히 기후변화, 고령화, 에너지, 도시화 등 글로벌 난제들이 대두되면서, 이를 해결할 수 있는 융합기술에 대한 중요성이 부각되었다. 이는 융합기술이 기술학문 분야 간 상승적 결합을 통해 새로운 가치를 창출하고, 기존 기술로는 한계에 부딪혔던 문제들을 해결하는 열쇠가 되기 때문이다.

우리나라도 1980년대 이후 특정연구개발사업, G7사업, 21세기 프론티어사업 등 대형국책사업을 중심으로 국가연구개발사업을 확대하여 경제발전을 위한 핵심기술의 기반을 다지고 글로벌 기술경쟁력을 제고하고자 하였다. 2000년대에 들어서는 새로운 성장동력 확보와 사회문제 해결을 위한 새로운 패러다임인 '융합'을 중심으로 한 다양한 연구개발 사업을 추진하였다. 2000년대 중반까지는 정부 각 부처별로 융합R&D사업을 개별적 기획·지원하여, 부처별 특성에 따라 융합기술에 대한 상이한 해석

과 정의에 따른 사업이 추진되었다. 부처별로 개별사업이 진행됨에 따라 이를 보다 계획적으로 추진할 필요성과 융합의 명확한 정의에 대한 요구가 커짐에 따라 2007년 '국가융합기술기본방침'을 시작으로 2008년 '제1차 국가융합기술발전 기본계획(2009~2013)(이하 제1차 기본계획)'을 수립하였다. 이어 2014년에는 이의 후속계획으로 '창조경제 실현을 위한 융합기술발전전략(2014~2018)(이하 제2차 발전전략)'을 수립하였다. 이 기간 중 융합R&D사업에 대한 외형적인 투자는 2008년 1조 4,300억원에서 2015년 3조 2,572억원으로 크게 늘어나 전체 정부R&D 사업의 17.3%를 차지할 정도로 양적으로 크게 성장하였다.

또한, 정부는 제1차 기본계획 수립 이후에 매년 시행계획을 수립하여 융합R&D사업에 대한 전년도 투자성적을 점검하고 당해연도 융합R&D분야에 대한 투자계획과 주요 목표를 발표하여 왔다. 하지만, 시행계획에서의 성과점검은 부처별로 R&D사업단위의 자료를 취합한 단순통계와 추진 전략별 투자현황 및 성과현황에 그쳐 융합R&D의 특성에 따른 분석이 이루어지고 있지 않다. 해마다 정부는 국가R&D사업에 대한 특정평가 및 상위평가, 전체 연구과제에 대한 조사분석과 성과분석을 수행하여 해당

1) Converging Technologies for Improving Human Performance(미국, 2002), Convergence of Knowledge, Technology, and Society(미국, 2012), Converging Technologies-Shaping the Future of European Societies(유럽, 2004), 인간생활기술전략(일본, 2010)



사업과 R&D 전체 과제에 대한 종합적인 정보를 제공하고 있다. 그러나 융합R&D사업에 대한 체계적인 현황과 영향요인에 분석은 자세히 다루고 있지 않다.²⁾

올해 4월에 발표된 2015년도 융합기술 발전전략 시행계획에 따르면 융합기술 R&D의 전반적인 성과는 정부 R&D에 비하여 높은 것으로 평가되고 있다(표1 참조). 하지만 다양한 목적과 특성을 가진 사업들이 다수 포함되어 있는 정부 전체 사업과 특정 기술개발 중심의 융합R&D 사업을 단순 비교하여, 융합R&D사업이 성과가 우수하다고 하거나 효과적인 사업이라고 단정하기는 어렵다.

표 1. 2014년도 융합기술R&D 주요 성과

구분	논문		국내특허		국외특허		기술계약		사업화		
	SCI (건)	非SCI (건)	출원 (건)	등록 (건)	출원 (건)	등록 (건)	기술이전 (건)	기술료 (억원)	창업 (건)	상품화 (건)	사업화 매출액 (억원)
융합 기술 R&D (2014)	9,299	5,427	6,662	4,229	1,469	644	375	660	996	8,196	37,403
	14,726		10,891		2,113						
정부 R&D (2013)*	27,062	38,848	23,766	14,151	4,357	1,279	5,284	2,431	401	4,043	-
	65,900		37,917		5,627						
성과비중 (%)	34.4	14.0	28.0	29.9	33.7	50.7	7.1	26.7	40.3	49.3	-
	22.3		28.7		37.6						

* 2014년도 정부R&D 성과분석보고서는 2015년도 하반기 발간 예정으로 2013년도 자료를 사용하여 비교
(자료 : 2015년도 융합기술발전전략 시행계획(안), 국가과학기술심의회, 2015)

제1차 기본계획과 제2차 발전전략에 따른 연도별 시행계획은 융합R&D사업 전체의 투입과 산출을 비교한 결과이기 때문에 기본계획 대상사업 내에서 사업 유형이나 특징에 따른 시사점을 도출할 수 없다. 따라서 융합R&D사업 간 효율성을 분석하고, 효율성 높은 사업의 유형과 특성 분석을 통해 효율성 격차를 일으키는 요인들을 파악한다면, 융합R&D사업 전반의 효율성 제고를 위한 시사점 도출이 가능하다.

또한 시행계획에서의 성과의 경우 기여율을 고려하지 않고, 해당연도 과제 성과건수의 합산결과를 공표하는 한계가 있어 각 소관부처 사업단위의 성과는 실제보다 부풀려져 산정되기 쉽다. 이 때문에 연구개발 과제 단위에서 기여율까지 고려한 성과분석을 통해 융합R&D사업의 현황을 제대로 살펴볼 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 제1차 기본계획의 목표와 전략을 달성하고자 시행된 5년간의 융합R&D사업 내 전체 연구과제의 현황 및 성과를 자료포락분석과 맵키스트 생산성 지수를 이용하여 도출하고, 연구수행 주체, 연구개발 단계, 기술분류에 따른 효율성을 분석하고자 한다. 또한 융합R&D사업 단위의 효율성을 측정하고, 사업간 격차를 발생시킨 원인에 대하여 분석한 뒤 이를 바탕으로 융합R&D사업의 효율성 제고 방안을 모색하고자 한다.

2. 효율성 분석 방법과 모형

공공과 민간부문을 막론하고 조직 또는 사업의 운영과 성과관리에 있어 효율성은 중요한 기준의 하나로 인식되어 왔다(황석원 외, 2009). R&D 효율성은 일반적인 의미의 효율성과 마찬가지로 투입대비 산출의 비율로 정의할 수 있다. 이 원리를 바탕으로 R&D사업의 효율성을 측정하고, 효율성에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 최근 5년간 절대규모의 성장이 이루어진 융합R&D사업의 경우에도 투입대비 산출의 비율을 근거로 효율성에 대한 다양한 분석이 가능하다. 본 장에서는 융합R&D사업의 효율성을 분석하기 위하여 사용한 분석방법론과 선행연구를 고찰하고, 효율성 분석을 위한 모형을 기술한다.

2) 2014년도에 발간된 국가 융합기술R&D 조사분석 및 성과분석은 2012년도 기준 미래창조과학부 연구개발과제 중에서 12차 전문가 평가를 통해 융합연구로 분류된 2,133개 과제만을 대상으로 실시

01 분석방법론

자료포락분석

자료포락분석(Data Envelopment Analysis, 이하 DEA)은 의사결정단위(Decision Making Unit, 이하 DMU)의 상대적인 효율성을 측정해 주는 비모수적인 방법으로 다수 투입물 및 다수 산출물 형태의 생산조직 내 DMU에 대한 효율성을 측정하는 접근 방법이다. Charnes et al.(1978)가 Farrell의 상대적 효율성 개념을 도입하여 주로 비영리 조직의 효율성 정도를 측정하기 위하여 개발한 수리적 계획법으로, 병원, 교육기관, 은행, 정부투자기관 등 비영리조직의 효율성을 측정하여 조직 및 프로그램의 효율성을 평가하고 개선방향을 도출하는데 활용되고 있다.

특히, R&D사업처럼 다수의 투입·산출과 관련된 활동으로 상대적 중요도를 정의하기 어려운 경우에 임의적인 가중치를 배제하고, DMU간 상대적 효율성 측정이 가능하다. 또한 DEA는 개선해야 할 요소들과 개선의 가능성, 벤치마킹 대상을 제시할 수 있다는 장점을 가지고 있어, DMU의 효율성(성과) 개선을 위한 의사결정에 활용할 수 있다.

한편, DEA는 포함된 투입과 산출요소들의 배합이나 형태가 평가대상 간에 너무 상이할 때에는 모두가 효율적으로 과대평가될 가능성이 높고, 포함되는 변인의 수가 너무 많거나 DMU가 적을수록 높게 산출되어 판별력이 저하될 가능성이 높다. 또한 DMU간의 상대적 효율성 평가이기 때문에 선정되는 변수와 평가대상에 따라 그 결과가 크게 차이날 수 있다. 더욱이 DEA를 통해 산출된 비효율성은 오차의 개념이 정확하지 않아 DMU의 비효율성을 평가하는데 조심스러운 접근이 필요하다(김재홍, 김태일, 2001).

토빗회귀분석

DEA는 비교대상 내에서의 상대적인 효율성과 벤치마크를 통한 개선방향을 제시할 수 있지만, 독립적인 요인들이 효율성의 향상에 어느 정도 양(또는 음)의 효과를 주는지에 대해서는 측정이 불가하다. 이에 따라 DEA로 구한 효율성지수를 종속변수로, 효율성에 영향을 주는 요인들을 독립변수로 회귀분석을 실시하여, 효율성 향상을 위한 요인과 효과를 분석할 수 있다.

DEA의 결과는 효율적인 경우 1의 값을 가지며, 비효율적인 DMU의 경우 0을 갖게 되는 제한된 범위의 분포를 갖는다. 따라서 그 분포는 항상 일정한 방향으로 한계값을 갖는 분포가 되어 일반적인 회귀모형에서 가정하고 있는 정규분포와 달라 결과적으로 회귀계수가 불일치 추정치를 갖게 되어 통상적인 회귀모형으로 추정할 경우 잘못된 실증결과를 도출할 수 있다. 따라서, 효율성 값이 1 이상일 경우 1로 제한되는 중도절단 토빗모형(Censored Tobit)을 활용하는 것이 바람직하다. 그러나 토빗 회귀분석시에는 회귀계수 추정치(Coefficient Estimate)의 유의성을 가지고 연구결과를 해석, 추론을 해야 하는 한계를 지니기 때문에 외부영향 요인에 대한 변수 선정과 해석에 주의가 필요하다.

맘퀴스트 생산성 지수

맘퀴스트 생산성 지수(Malmquist Productivity Index, 이하 MPI)는 다른 시점간의 생산성 변화 정도를 비교하기 위한 모형이다. Malmquist(1953)에 의해 제안된 후 Caves et al.(1982)에 의해서 정의되어 생산성 변화 측정에 활용되고 있으며, Fare et al.(1994)이 DEA 모형을 이용한 MPI 측정방법을 개발하여 생산성 변화를 측정하는데 활용하였다(김윤희, 하현구, 2010). DEA가 DMU들의 상대적인 효율성을 측정할 수 있는 분석방법이라면, MPI는 다른 시점간의 생산성 변화 정도를 파악할 수 있도록 하는 모형이다.



다른 생산성 지수(Tornqvist, Fisher 지수 등)에 비해 MPI는 몇 가지 장점을 갖는데, 생산성 변화의 요인을 기업의 자체적 효율성의 변화와 산업 전반적인 효율성 프론티어의 변동으로 분리하여 파악할 수 있다. 또한 MPI는 다른 생산성 지수와 달리 가격에 대한 정보를 필요로 하지 않기 때문에 가격 정보의 부재 및 왜곡에서 발생하는 문제를 최소화할 수 있다. MPI 모형은 DEA모형과 마찬가지로 다수의 투입 및 산출요소를 그대로 이용하며 비용 최소화 또는 수익 극대화 등 미리 규정된 최적화 기준을 요구하지 않는다.

MPI는 특정 생산함수를 가정하지 않고 거리함수에 기초하여 투입요소들에 대한 산출물의 지수로 정의된다. 즉, DEA와 동일한 개념으로 일정 수준의 산출량을 생산하는데 소요되는 투입량을 최소화하는 거리함수를 추정하는 방식이며, 이는 성장회계추정법³⁾과 달리 투입요소들에 대한 비용 비중이나 소득 분배율에 대한 자료를 필요로 하지 않는다.

MPI로 추정된 생산성 지수는 기술적 효율성 지수, 기술진보(기술변화지수) 등으로 세분화할 수 있다. 기술적 효율성 변화지수⁴⁾(Technical Efficiency Change Index, 이하 TECI)는 두 시점의 기술적 효율성 변화를 평가하는 척도이며, 규모에 대한 수익증가(Variable Returns to Scale, 이하 VRS)를 가정할 경우 TECI는 다시 순수효율성 변화지수(Pure Efficiency Change Index, 이하 PECE)와 규모효율성 변화지수(Scale Efficiency Change Index, 이하 SECI)로 구분된다. PECE는 VRS에서 효율성의 상대적 변화를 의미하고, SECI는 두 시점간의 규모의 효율성을 나타낸다. 기술변화지수(Technical Change Index, 이하 TCI)는 두 기간 사이의 생산기술변화, 즉 효율적인 경계로의 이동이 생산성 변화에 어떻게 기여하는가를 평가하는 척도이다. TCI는 혁신 잠재력을 반영하는 것이며, 신제품 및 생산

공정혁신, 새로운 경영기법, 외부충격 등 생산가능곡선을 이동시키는 요인으로부터 영향을 받는다. TECI는 t기와 t+1기의 특정 분석대상 관측치가 이전 시점에 비해 생산변경선(frontier line)으로부터 더 멀어졌는지 혹은 더 가까워졌는지를 표현하는 값이며, 만약 더 가까워졌으면 관측대상이 추격효과를 나타낸다(이정동 오동현, 2010). 반면, 생산변경선이 전체적으로 상승하면 동일한 수준의 투입량으로 보다 많은 양을 산출할 수 있음을 나타낸다. 이는 기술진보를 의미하고, 그 반대의 경우는 기술퇴보로 판단 가능하다. TCI는 생산변경선의 변화폭을 의미하는데, 생산변경선의 변화는 조직 또는 지역 단위의 관리운영에 있어 기본 틀이 바뀌는 획기적인 변화나 신기술의 도입 등으로 기술혁신이 일어나는 것을 반영하게 된다.

이렇게 생산성을 세부지표로 분해하면 생산성 향상과 관련한 보다 구체적인 정책적 시사점을 도출할 수 있다. 예를 들어, 기술진보의 둔화로 생산성이 악화되고 있는 경우라면 생산변경을 상향 이동시킬 수 있는 기술혁신을 유도하는 정책이 필요할 것이고, 기술적 비효율성이 높아 잠재적인 생산기술을 충분히 활용하지 못하고 있는 경우라면 신기술의 도입과 더불어 기술을 파급시키고 활용을 개선시킬 수 있는 정책을 통하여 생산성을 제고시킬 수 있다.

02 R&D사업 효율성 분석에 대한 선행연구

융합R&D사업의 효율성 분석 모형 설계를 위해 비교적 최근에 발표된 R&D사업 효율성 분석에 대한 선행연구를 대상으로 문헌조사를 실시하였다. 분석결과 기존 문헌은 분석방법, 분석대상, 투입 및 산출요소에서 다양한 양상이 나타났다.

3) 성장회계추정법은 관찰된 산출량이 최적산출량이라는 전제 하에 생산량을 분석하고 생산요소들의 성장에 대한 기여를 분석에 관심을 둔, 그러나 생산활동이 매 시점마다 효율적으로 이루어지지 않는다는 점을 고려하면 관찰된 산출량이 최적산출량을 보장할 수 없다는 문제점이 있음
4) (T+1)기의 기술적 효율성을 T기의 기술적 효율성으로 나눈 값으로 DMU의 투입-산출 조합이 프론티어에 가까워졌는지(TECI < 1), 멀어졌는지(TECI > 1)를 나타냄

표 2. R&D사업 효율성 분석에 대한 선행연구

논문	분석방법	분석대상	투입요소	산출요소
Wang(2007)	확률변경분석	국가	투자비, 인력	특허, 논문
황석원 외 (2009a)	DEA, 회귀분석	부품소재산업 내 기업	투자비	지적재산권관련, 재무관련
Hsu and Hsue(2009)	DEA, 토빗 모형 이용한 3단계 접근법	과제	R&D인력 정부보조금 정부보조금비율 수행기간	특허 논문
Lee, Park, Choi(2009)	DEA	사업	투자비, 연구인력	국내외특허 국내외논문 석박사학생수
황석원 외 (2009b)	DEA	사업	투자비, 연구인력	국내외특허 국내외논문 석박사학생수

Wang(2007)은 확률변경분석과 토빗회귀분석을 이용한 3단계 접근법을 시도하였으며, 환경요인으로 정부의 R&D 지출대비 R&D예산 책정비율, PC집약도, 국가의 경제자유도 등을 선택하였다. 여기서 PC집약도와 국가의 경제자유도는 효율성을 증가시킨다고 주장하였다.

사업 또는 과제 수준에서 R&D 효율성을 분석한 문헌들도 다수 존재하며 이들은 다각도에서 다양한 시사점들도 출하고 있다. 황석원 외(2009a)는 지식경제부의 부품·소재산업 경쟁력 향상사업에 대한 성과분석을 통하여, 정부의 R&D지원이 기업의 양적 성장에는 확실한 효과를 나타내지만, 기업 효율성에는 영향을 미치지 않음을 밝혔다. Hsu and Hsue(2009)는 DEA와 토빗회귀분석을 이용한 3단계 접근법으로 대만의 정부지원 R&D과제의 효율성을 분석하였다. 그 결과, 대만의 정부지원 R&D과제를 수행하는 기업 중 규모가 작은 기업일수록 효율적임을 밝혔고, 외부요인의 효과를 고려하지 않은 효율성이 외부요인을 고려한 효율성에 비해 낮음을 확인하였다.

Lee(2009)는 DEA와 비모수 분석을 통해 6개의 정부 R&D사업의 효율성을 비교 하였다. 그 결과, 6개의 사업 중 공학분야의 산학협력 및 국제교류지원 사업의 효율성이 매우 높고, 기초과학 연구자 지원사업의 효율성이 낮다고 주장하였다. 황석원 외(2009b)는 DEA와 토빗회귀분석을 이용한 3단계 접근법으로 사업수준에서 다양한 측면으로 효율성 분석을 시도하였다. 외부환경의 영향력

을 통제하였을 경우, 개발연구에 속하는 사업유형들이 응용연구에 속한 사업유형들보다 더 효율적인 것으로 나타났다. 이들은 또한 연구소의 효율성이 낮고, 성숙기 사업들의 경제적 효율성이 높으며, 민간 부문의 비중이 높을 수록 연구개발 효율성이 높다는 결론을 주장하였다.

03 분석의 범위 및 모형설계

정부의 중장기 R&D 기본계획 및 시행계획 수립은 정부 R&D사업 추진을 통해 연구개발 자원을 배분하고 전략에 맞는 성과를 극대화하기 위해 추진된다. 여기서 정부 R&D사업이란 정부가 국가차원에서 연구개발이 요구되는 분야의 과학기술문제를 해결하기 위해 특정 성과 목표를 설정하고, R&D자원을 전략적으로 집결하여 추진하는 사업을 말한다. 세부적으로 살펴보면, R&D프로그램이란 일반적으로 계획을 집행하기 위해 마련되는 구체적인 정책수단으로 계획을 구체화하기 위한 사업을 가리키며, 또한 세부사업으로 구성된 동일목적에 지향하는 구성물로서 구체적인 운영계획과 집행수단을 가진다(2003, 조현대 외).

이 개념을 융합연구사업에 적용시켜 보면 융합연구사업은 해당 정책수단인 ‘국가융합기술발전 기본방침’이나 제1차 기본계획을 구체화하기 위한 수단이며, 융합연구사업 내의 연구과제는 융합사업의 특정 목적을 달성하기 위한 구성물이라고 정의할 수 있다. 결국 융합정책 수립은 곧 융합사업의 기획 및 편성을 좌우하고, 융합사업의 특성이 연구과제 추진방향과 성과창출에도 직접적으로 연결된다. 따라서 사업단위는 물론 과제단위의 분석을 통해서 융합R&D사업의 효율성을 측정하는 것은 융합 R&D사업의 특성에 따른 효율성을 비교하고, 향후 융합 R&D사업을 보다 효과적으로 추진하기 위한 방안을 제시하는데 의의가 있다.

선행연구 검토 결과, 융합연구사업과 연구과제들의 연구개발 효율성은 분석된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는



정책으로써 제 1차 기본계획, 정책수립의 수단으로써 시행계획 대상사업, 그리고 융합사업 목적 달성의 수단으로써 연구과제 전체를 분석의 범위로 설정하고 연구를 수행하였다. 앞서 언급한 바와 같이 매년 시행계획을 통해서 융합R&D사업의 연구투자규모 및 성과현황이 발표되고 있지만, 여기에서는 논문, 특허 등 연구개발의 성과에 대하여 기여율이 반영되고 있지 않아 과다 추정될 여지가 있다. 따라서 본 연구의 분석에서는 기여율⁵⁾을 고려한 과제단위 성과의 합산을 통해 성과의 중복반영 문제를 해소하고 사업의 실질적인 산출결과를 바탕으로 융합R&D사업의 효율성을 분석하였다.

DEA모형에서 DMU수와 투입·산출요소의 수는 효율성 변별력에 중요한 영향력을 미친다. DMU의 수가 투입요소와 산출요소 수에 비해 지나치게 작을 경우 대부분의 DMU가 프론티어에 위치하여 효율성이 1로 측정된다는 문제점이 있다. Banker et al.(1984)는 DEA모형의 판별력과 관련하여 평가대상인 DMU가 투입요소 수와 산출요소 수의 합보다 3배 이상 커야 변별력이 있다고 검증한 바 있다. 본 연구에서 사용한 두 가지 분석모형은 DEA 판별력과 관련된 DMU 개수 기준에 부합하도록 설계되었다.

3. 융합R&D과제의 현황과 효율성 분석

본 연구에서는 국가과학기술지식정보서비스(National Science and Technology Information Service, 이하 NTIS)에서 추출한 정부 전체 융합R&D과제정보와 성과정보 자료를 활용하여 5년 동안 시행된 1차 기본계획 상의 연구과제 현황을 분석하고, DEA를 이용하여 과제의 특성에 따른 효율성 차이를 분석하였다.

01 융합R&D과제 현황

융합R&D과제별 현황 분석은 제1차 기본계획에 대한 5년간의 시행계획 기준 융합R&D사업 94개의 세부 과제를 대상으로 실시하였다. 부처 이관, 사업 편입 등으로 사업명이 변경된 과제에 대하여서는 NTIS에서 제공하는 사업이력을 통해 사업내역을 확인했다. 총 94개의 사업 중 사업의 변경, 통합 등으로 인하여 NTIS에서 확인 불가능한 17개 사업을 제외한 77개 사업을 기준으로 개별 연구과제 정보와 이의 성과 데이터를 수집하여 분석하였다.

융합R&D 투자 현황

제1차 기본계획 아래 추진된 5개년도 총 융합R&D 과제 연구비는 11조 311억원으로 나타났으며, 평균 2조 2,062 억원이 융합R&D사업에 투자되었다. 융합R&D사업의 5개년도 과제수는 총 36,058개로 연 평균 7,211개의 과제가 수행되었다. 과제당 평균 연구비는 3억 592만원으로 같은 기간 추진된 전체 정부R&D사업의 과제당 평균 연구비 3억 3367만원⁶⁾ 보다 작은 것으로 나타났다. 연도별 추이를 살펴보면 융합R&D의 투자액은 지속적으로 증가해오다 2013년 감소한 것으로 나타났다. 이는 사업명 변경 등으로 NTIS 내에서 확인하지 못한 17개 사업과 이공 분야의 신규과제 지원을 하지 않는 대학중점연구소 사업 등이 반영된 결과다.

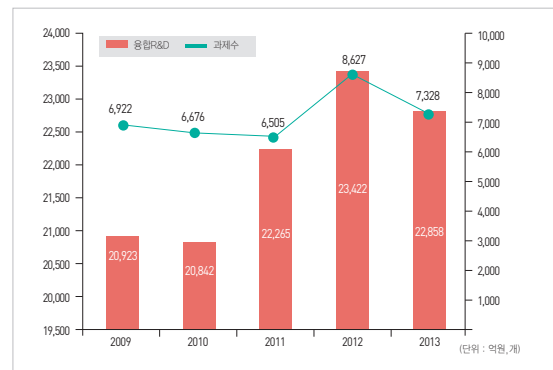


그림 1. 융합R&D 투자와 과제 개수 변화 추이

5) 융합R&D 과제 A, B, C를 수행하는 연구책임자가 한편의 논문 성과를 각각의 과제 수행 성과로 제출할 경우 시행계획 내 사업단위에서 각 사업의 성과로 측정될 가능성이 높음
6) 미래창조과학부(2014), 2013년도 국가연구개발사업 조사분석 결과(안)

융합 R&D 성과 현황

제1차 기본계획 아래 추진된 5개년도 융합R&D사업의 기여율을 고려한 성과를 살펴보면 SCI급 논문이 38,842건, 비SCI급 논문이 37,755건이었다. 국내 특허는 출원 28,232건, 등록 12,009건의 성과를 냈다. 해외 특허 성과는 출원이 4,792건, 등록이 1,300건으로 나타났다. 기술계약 성과를 살펴보면 기술이전 건수는 4,534건이며, 이로 인한 총 기술료 수입은 1,575억원이었다.

5개년도의 연평균 성과를 살펴보면 SCI급 논문이 7,768건, 비SCI급 논문이 7,551건이었다. 국내 특허의 경우 특허출원이 5,646건, 특허등록이 2,401건을 기록했다. 해외 특허는 출원 958건, 등록 259건의 성과를 냈다. 기술계약 성과를 살펴보면 기술이전 건수는 907건이며, 이로 인한 기술료 수입은 연평균 315억원에 달하는 것으로 나타났다.⁷⁾

표 3. 융합R&D 성과 현황

구분	2009	2010	2011	2012	2013	연평균
SCI	7,518	7,109	8,700	8,154	7,361	7,768
비SCI	6,845	7,810	7,919	10,242	4,939	7,551
국내특허출원	5,231	5,810	6,522	6,268	4,401	5,646
국내특허등록	2,452	2,608	2,880	2,058	2,011	2,401
해외특허출원	571	805	1,103	1,210	1,103	958
해외특허등록	242	227	293	281	257	260
기술이전	1,744	1,334	663	486	308	907
기술료	710	464	194	110	94	314

(단위 : 건, 억원)

02 융합R&D과제의 효율성 분석

융합R&D사업의 효율성을 평가하기 위해 1차적으로 5년 동안의 융합R&D과제를 대상으로 효율성을 측정할 후 연구개발특성별로 그룹화하여 효율성 값을 도출하였다.

분석데이터 구성

R&D활동을 위한 주요 투입요소로 R&D과제에 투자된 비용, 인력, 시간을 고려할 수 있다. 본 연구에서는 제1차 기본계획 기간인 2009년부터 2013년까지 융합R&D 과제단위와 사업단위에 대한 분석을 시행했기 때문에 연구시간은 투입요소에서 제외하였다. 산출요소로는 정부 R&D 주요 성과 중 검증시스템이 갖추어져 신뢰성이 있는 논문⁸⁾, 특허⁹⁾, 기술료¹⁰⁾ 등을 활용하였다.

DEA에서 이상치는 평가대상 그룹에 속한 DMU의 효율성을 낮춰 모형의 변별력을 떨어뜨리기 때문에 분석에서 제외하였다. 이상치는 총 투자액에 대한 산출데이터의 비율이 $\pm 3\sigma$ 밖에 있을 경우로 정하였다(황석원, 2009). 또한 본 연구에서 설정된 투입변수 외의 다른 형태의 투입으로 인해 산출물이 발생하여 투입요소가 0으로 나타난 경우와 조사·분석 자료상의 결측치일 경우 등을 분석에서 제외하였다. 그리하여 5개년 간 총 17,244개 과제에 대한 효율성 값을 측정하였다. 융합R&D과제 전체의 기술통계표는 다음과 같다.

표 4. 융합R&D과제 투입·산출요소 기술통계표(2009-2013, n=17,244)

구분항목(단위)	평균	중간값	표준편차	최대값	최소값
투입요소	연구비(백만원)	305.90	175.00	402.09	3664.00
	인력(명)	13.03	9.00	14.06	87.00
산출요소	SCI(개)	1.67	0.98	2.64	21.78
	특허	1.84	1.00	3.16	24.16
	기술료(백만원)	5.07	0.00	28.76	717.50

융합R&D과제의 효율성 평가를 위한 DEA모형으로 CRS(Constant Return to Scal, 이하 CRS)와 VRS(Variable Return to Scal, 이하 VRS)를 가정한 투입지향 BCC모형(Banker, Charnes and Cooper 연구모형)을 사용하였으며, 비교를 위해 CRS 가정의 효율성도 측정하였다. 효율성 측정을 위한 소프트웨어로는 R Statistics의 nonparaeff 패키지를 이용하였다.

7) 본 연구에서 사용된 융합R&D사업과 과제의 연구수행주체, 연구개발단계 등에 대한 세부적인 통계는 부록에 별도로 기술함

8) SCI는 매년 Thomson Reuters사가 과학기술분야 학술잡지에 게재된 논문의 색인을 수록한 DB이며, 비SCI는 매년 발표되는 SCI 이외의 학술지에 게재된 논문을 의미함

9) 특허출원건수는 당해년도 출원서 접수 건수 집계결과이며, 특허등록건수는 등록 결정된 건 중 정해진 기한내 특허 등록료를 납입하여 등록원부가 생성된 건수를 의미함

10) 사업의 성과를 실시하는 권리를 획득하는 대가로 실시권자가 사업성과의 소유권자에게 지급하는 금액임



융합R&D과제의 효율성 분석

CRS 가정하에서의 기술효율성과 VRS 가정하에서의 기술효율성의 전체 분포를 <그림2>와 <그림3>에 나타내었다. VRS 가정하에서 효율적으로 운영되고 있는 과제는 1,865개로 전체분석대상 과제의 약 10.8%이다. <그림3>에서 살펴보는 바와 같이 전반적으로 효율성 값이 매우 낮은 경향을 보이는데, 효율성이 0.2미만 비율은 60.7%이며, 0.1미만 비율은 26.2%이다. 데이터 분석에 앞서 전체 융합R&D과제에서 $\pm 3\sigma$ 바깥의 이상치와 성과가 없는 과제를 제외했음에도 효율성 분포가 치우친 결과가 나온 것은 연구개발의 특성상 정량적인 성과가 우수한 과제와 그렇지 않은 과제간의 편차가 매우 커서 발생한 문제인 것으로 판단된다.

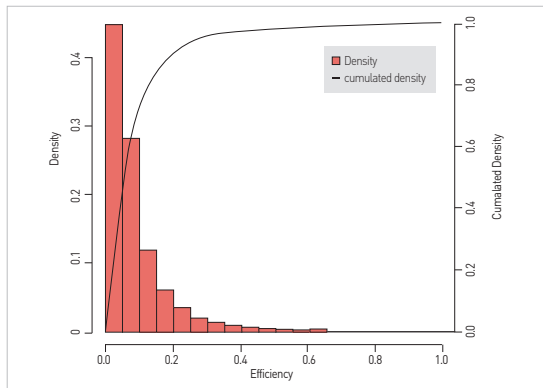


그림 2. CRS 가정하의 기술효율성

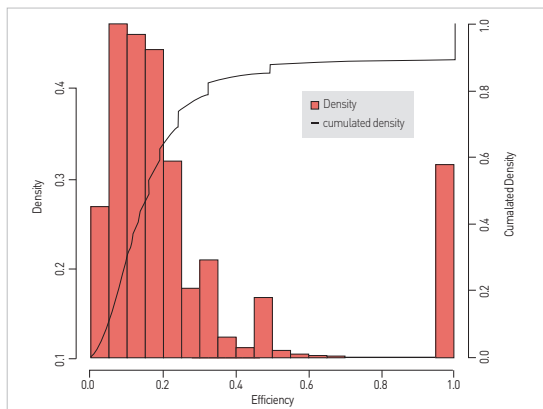


그림 3. VRS 가정하의 기술효율성

융합R&D과제 단위의 연도별 효율성을 측정된 결과 시간의 경과에 따라 효율성이 증대되는 경향을 나타냈다(그림4). CRS의 가정하에서의 기술효율성은 정체되어 있는 반면 VRS 가정하에의 효율성은 2009년 0.20에서 2013년 0.31로 연도별로 조금씩 상승하고 있음을 알 수 있다. 한편, 규모효율성은 2009년 0.36에서 2013년 0.26으로 낮아져 순수기술효율성은 대폭 개선되어가고 있다.

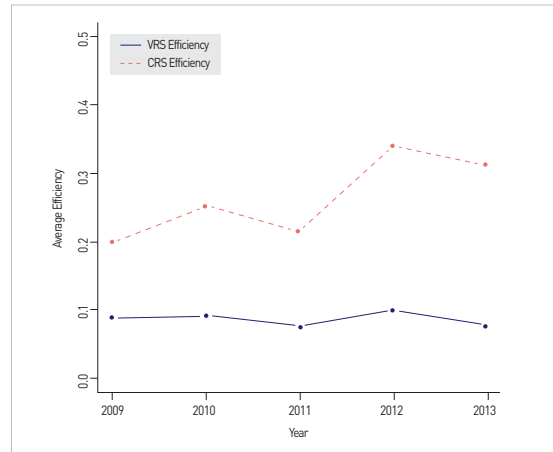


그림 4. 연도별 효율성 변화

R&D 특성에 따른 효율성을 분석하기 위해 연구개발단계별 기준을 기준으로 과제들을 그룹화하고 연구수행 주체, 기술수명주기, 연구개발성격, 6T, 과학기술표준분류상의 연구분야 개수¹¹⁾에 따라 효율성을 측정하였다. 먼저 연구단계별 결과에서는 기초연구의 효율성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 제1차 기본계획 중 기초·원천 융합기술의 개발강화 전략에 따른 결과로 판단된다. 그러나 효율성 측면에서 기초, 응용, 개발연구의 효율성 수치 차이는 크지 않다. 그 이유는 산출요소 전체의 현황에서

11) 국가 R&D과제의 각 세부과제는 매년 국가연구개발 조사분석의 절차에 따라 국가과학기술표준분류체계에 대해 최대 3개의 관련 분류(중분류 및 대분류) 정보가 가중치와 함께 작성되고 있음

찾을 수 있다. 융합R&D의 경우, 논문 성과는 정부 전체 R&D¹²⁾와 유사하게 기초연구단계에서 가장 높게 나타났지만, 특히 성과는 정부 전체 R&D와는 다르게 응용연구와 개발연구 단계에서 더 높고 오히려 기초연구단계에서 가장 낮게 나타났다. 그러므로 다수의 투입요소를 고려하여 단일 지표로 변환하는 효율성 분석결과에서는 기초, 응용, 개발 단계에 따른 효율성 차이가 작게 나타나게 된다.

연구단계별 그룹화를 통해 특성별 효율성을 비교한 결과, 기초, 응용, 개발 단계 모두에서 대학과 대기업이 상대적으로 높은 효율성을 나타냈다. 반면 출연연구소는 기초연구 효율성은 높은 편이나, 응용·개발단계에서는 다른 연구수행 주체에 비하여 효율성이 낮게 나타났다. 연구성격에 따라서는 아이디어 개발(0.244) 과제와 기타개발(0.246) 과제, 기술수명주기별로는 기타(0.437)와 성숙기(0.238) 단계 과제가 효율적인 것으로 나타났다.

과학기술표준분류에 따른 분야 수에 따라 효율성을 비교한 결과 단일분야 연구과제보다는 연구분야 수가 2개 이상인 경우의 효율성이 더 높은 것으로 나타났다. 연구단계별로는 응용단계에서 연구분야 수가 2개인 경우의 효율성이 높고, 개발단계에서 연구분야 수가 3개인 경우 효율성이 높았다.

정부R&D 전체에 대한 조사·분석 결과에서는, 주로 대학이나 연구소 등 공공부문에서 기초연구를 수행하고, 기업 등 민간부문에서 개발연구를 수행한 것으로 나타났다. 그러나 효율성 개념으로 접근한 결과, 융합 R&D의 경우 수행주체 중 대학과 대기업의 효율성이 높은 것으로 나타났다. 이는 정부 전체 R&D의 경우 다양한 목적과 특성을 가진 반면, 융합R&D는 특정 목적을 달성하기 위한 전략을 토대로 수립되었기 때문이다. 제1차 기본계

획의 주요전략인 융합신산업 창출과 기존 산업의 고도화를 위한 융합 신기술 개발 등이 점점 큰 비중을 차지하면서 관련 R&D에 대한 투자가 늘어났고 이에 따라 산출요소도 증가하였다. 게다가 융합연구 성과의 활용이 증시되면서 융합R&D과제에 대한 기술사업화 요구가 커졌고, 이에 따라 대학에서도 논문 뿐 아니라 특허와 기술이전 등의 산출요소가 증대되었다. 이러한 현상이 반영되어 대학과 대기업의 다수의 산출물에 대한 상대적 효율성이 가장 높게 나타났다. 출연연구소의 경우 투입규모는 대기업, 중소기업 보다 큰데 비하여 산출요소 중 논문을 제외한 특허와 기술료 성과 등이 상대적으로 낮아 효율성이 낮게 나타났다.

표 5. 연구단계별 효율성 측정결과

		기초	응용	개발	기타	전체
연구 수행 주체	국공립연구소	0.203	0.210	0.176	0.151	0.196
	출연연구소	0.222	0.185	0.194	0.309	0.205
	대학	0.307	0.260	0.234	0.268	0.288
	대기업	0.222	0.208	0.249	0.249	0.242
	중소·중견기업	0.205	0.255	0.223	0.147	0.222
연구 성격별	아이디어 개발	0.251	0.223	0.224	0.119	0.244
	시작품 개발	0.304	0.200	0.225	0.080	0.237
	제품 또는 공정개발	0.267	0.226	0.184	0.172	0.212
	기타개발	0.288	0.216	0.166	0.196	0.246
기술 수명 주기	도입기	0.256	0.210	0.173	0.114	0.235
	성장기	0.284	0.208	0.206	0.129	0.226
	성숙기	-	0.096	0.161	-	0.238
	쇠퇴기	-	0.096	0.161	-	0.150
	기타	0.443	0.464	0.426	0.327	0.437
6T 분야별	IT	0.283	0.256	0.254	0.142	0.261
	BT	0.286	0.233	0.225	0.165	0.260
	NT	0.279	0.235	0.226	0.185	0.262
	ST	0.342	0.185	0.186	-	0.299
	ET	0.268	0.212	0.183	0.343	0.223
	CT	0.239	0.162	0.159	0.173	0.174
	기타	0.462	0.377	0.219	0.424	0.357
연구 분야수	1개	0.285	0.238	0.217	0.227	0.247
	2개	0.307	0.267	0.239	0.215	0.291
	3개	0.307	0.247	0.270	0.207	0.290

12) 2013년 국가연구개발사업 성과분석 결과 주로 기초연구단계에서 논문과 특허성과가 높게 나타나고, 응용 및 개발연구에서 기술료 및 사업화 성과가 높게 나타나는 경향을 나타냄



03 융합R&D과제의 효율성 영향요인 분석

앞서 도출된 DEA에 의한 효율성 분석결과는 상대적 효율성에 대한 결정요인으로 투입과 산출 변수만을 고려하기 때문에 효율성에 영향을 미치는 외부 요인을 반영하지 못한다. 따라서 2차적으로 융합R&D과제의 특성에 따른 영향을 도출하기 위해 토빗회귀분석을 수행하였다. 종속변수는 융합R&D과제의 효율성지수를 사용하고 연구수행주체, 기술수명주기, 연구개발 성격, 관련분야 개수 등의 연구과제 특성을 독립변수로 설정하여 분석하였다.

효율성에 영향을 미치는 변수의 영향을 살펴보면 <표 6>과 같다. 연구단계별로는 응용연구가 기초연구보다 효율성 증대에 큰 영향을 나타냈다. 연구수행주체별로는 국공립연구소·정부연구소, 출연연구소, 중소·중견기업보다 대학이 효율성 증대에 더 큰 영향을 나타냈지만, 대기업의 경우는 그 반대를 나타냈다. 6T별로는 기타를 제외하고 IT가 BT, NT, ST, ET, CT보다 효율성에 더 큰 영향을 준 것으로 나타났다.

정부는 새로운 기술의 출현, 글로벌 기술동향 등을 반영하여 과학기술표준분류체계를 주기적¹³⁾으로 수정·보완해 오고 있다. 특히, '융합'이 과학기술분야의 핵심 현상으로 떠오르면서 융합R&D의 중요성에 대한 검증을 위해 융합연구분류체계를 제안했다.¹⁴⁾ 이 분류 기준으로 2009년부터 2013년까지 융합분야 세부과제의 투자비중은 매년 증가하였다. 제안한 분류기준에 의해 표준분류체계 관련 분야의 수가 효율성의 영향요인인지 분석한 결과, 단일분야의 과제가 복수분야 선택 과제보다 오히려 효율성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

융합R&D사업 내에서는 단일분야의 단일과제일 경우에도 실제로는 과제 간 협력연구나 공동연구를 통해 융합연구를 수행하는 경우가 많다. 물론 이 경우 학제간의

융합연구라고 정의 할 순 없으며, 낮은 수준의 융합연구로 분류된다. 즉, 제1차 기본계획이 수행된 5년간 단위 과제 내에서 전혀 다른 분야가 2개, 3개씩 융합된 경우보다는 낮은 수준의 융합연구가 이루어진 경우가 효율성이 높은 것으로 나타났다. 이는 학제간 영역의 융합연구가 가시적인 성과를 창출하고 효율성을 극대화하기까지는 장기적 관점의 접근이 필요하다는 것을 보여주는 결과이다.

표 6. 융합R&D 과제의 효율성 영향요인 분석결과

구분	Estimate	Std. Error
상수	0.643***	0.407
총 연구비	0.029***	0.002
연구인력수	-0.238***	0.001
연구개발단계(응용=1, 기초=0)	0.026***	0.003
연구개발단계(개발=1, 기초=0)	0.006	0.004
연구개발단계(기타=1, 기초=0)	-0.004	0.010
연구수행주체(국공립/정부=1 대학=0)	-0.055***	0.010
연구수행주체(출연연=1, 대학=0)	-0.046***	0.004
연구수행주체(중소·중견기업=1, 대학=0)	-0.096***	0.005
연구수행주체(대기업=1, 대학=0)	0.015*	0.009
기술수명주기(성장기=1, 도입기=0)	-0.001	0.003
기술수명주기(성숙기=1, 도입기=0)	0.008	0.008
기술수명주기(쇠퇴기=1, 도입기=0)	-0.064	0.063
기술수명주기(기타=1, 도입기=0)	0.050***	0.004
연구개발성격(아이디어 개발=1, 기타=0)	-0.026***	0.003
연구개발성격(시작품 개발=1, 기타=0)	-0.014***	0.004
연구개발성격(제품 또는 공정개발=1, 기타=0)	0.088	0.004
6T분류(BT=1, IT=0)	-0.030***	0.004
6T분류(NT=1, IT=0)	-0.029***	0.005
6T분류(ST=1, IT=0)	-0.016	0.015
6T분류(ET=1, IT=0)	-0.036***	0.005
6T분류(CT=1, IT=0)	-0.002	0.010
6T분류(기타=1, IT=0)	0.029***	0.005
표준분류체계 관련 분야수(2개=1, 1개=0)	-0.011**	0.003
표준분류체계 관련 분야수(3개=1, 1개=0)	-0.013***	0.003
log-likelihood	6173.116	

*** 1%, ** 5%, * 10% 수준에서 각각 유의함

13) 2002~2012에는 3년주기, 2012년 이후는 5년 주기로 수정·보완함

14) 국가연구개발사업의 세부과제별로 연구분야 분류에서 2개 이상의 분류영역을 동시에 포함하는 단일연구과제를 융합연구로 설정함

4. 융합R&D사업의 효율성분석

앞서 융합R&D사업 내 과제단위 효율성을 측정하고 결정요인을 살펴보았는데, 본 장에서는 융합R&D사업 단위를 DMU로 설정하여 사업간 효율성을 측정하고, 토빗 회귀분석을 통해 효율성 영향요인을 도출하였다.

01 분석대상과 데이터

융합R&D사업 대상군 범위의 설정

R&D사업의 성과는 R&D사업 내의 개별과제의 투입과 산출의 총합으로 측정할 수 있다. 제1차 기본계획 기간 동안 94개의 사업 내에서 36,058개의 융합연구과제가 수행되었다. 그러나 신규사업 추진, 내역사업으로의 이동, 종료사업 발생, 부처개편으로 인한 이관 등 기존 사업의 조정과 재편이 이루어지면서 국가연구개발정보서비스내의 데이터와 일치하는 사업수는 총 77개로 나타났다.¹⁵⁾

일부 R&D사업의 경우 몇개의 내역사업으로 구성되어 있다. 예를 들어, 첨단융합기술개발사업은 미래융합과 이오니아사업과 신기술융합형성장동력사업, 기반형융합연구사업, 첨단사이언스교육허브개발사업 등의 내역사업으로 구성되어 있다. 원래는 독립적으로 진행되던 사업이 대형R&D사업으로 통합된 사례이다. 이와 같이 내역사업으로 분류되어 있는 경우 예산상의 R&D사업 단위로 투입과 산출을 합산하여 하나의 R&D사업으로 분석하였다. 또한, 5개년 동안 시행은 되었으나 일정한

연구성과물(SCI 논문, 특허등록, 특허출원, 기술료 등)이 없는 사업의 경우 전술한 바와 같이 DMU의 측정과 관계없이 효율성이 0이고, 프론티어의 구성에 영향을 주지 않으므로 효율성 분석 대상에서 제외하였다. 이와 같이 산출물이 없는 사업을 제외하고 최상위 사업명을 기준으로 5개년동안 계속 추진된 사업을 정리하면 최종적으로 25개의 융합R&D사업이 분류된다.¹⁶⁾

시간 지연효과

R&D성과의 경우 투입요소와 산출요소 간에 발생하는 시차(time-lag)때문에 발생된 산출물이 어떤 투입물에 대한 성과인지 연관관계를 파악하기 어렵다. 성과 발생에 기인하는 투입을 사실상 분석에 모두 반영할 수 없기 때문에 정확한 효율성 측정에는 한계가 있다. 현실적으로 R&D 활동에 투입과 산출 간에 합리적으로 수용되는 시차효과 기간에 대한 명확한 근거 역시 존재하지 않는다(Wang, 2007).

다만, 시간 지연효과를 반영하기 위한 DEA모형으로 다기간투입(Multi-period input)¹⁷⁾모형이 있으며, 이에 대한 수정모형으로 다기간산출(Multi-period output)¹⁸⁾모형이 제안된 바 있다. 다기간 투입 모형은 특정 시기 산출을 기준으로 효율성을 구하는 방식이며, 다기간 산출 모형은 특정 시기의 투입물을 기준으로 효율성을 구하는 방식이다. 장연상(2012)에 따르면 이 두가지 시간 지연효과 반영 방식의 우열을 가리기는 어려우나, 일반적으로 투입된 자원에 대한 효율성에 관심이 크다는 관점에서

15) 시행계획 내 사업명 전체가 국가연구개발조사분석명과 일치된 사업명을 기준으로 작성된 것은 아니기 때문에 특정사업 내 일부 융합R&D과제만을 분리하여 포함시켰을 경우, 조사분석 사업명이 아닌 전략별 특징을 고려한 형태의 이름으로 기재됨 (ex 소규모 기초융합연구 지원 등)

16) 최상위 사업명 기준으로 내역사업을 통합한 결과로 전체 DMU 개수는 감소함

17) 복수의 기간동안 투입된 자원이 미래의 특정 기간의 산출에 기여하는 관점에서 효율성을 구하는 모형

18) 특정기간에 투입된 자원이 미래의 복수 기간 동안 산출에 기여한다는 관점에서 효율성을 구하는 모형



특정 단일 기간의 투입물에 대한 효율성을 구하는 다기간 산출 모형이 더 적절하다고 밝혔다.

본 연구에서는 단일기간의 투입물에 대한 효율성을 구하기 위해 다기간 산출모형을 적용하여, 단년도 투입에 대한 해당연도와 차년도 성과의 합을 산출물로 간주해서 총 4개의 다기간 산출 그룹을 바탕으로 분석을 시행하였다.

투입요소 및 산출요소

효율성 분석을 위한 투입요소와 산출요소 중 비교적 관리 및 통제가 가능한 투입요소¹⁹⁾는 연구비, 인력, 연구기간이다. 이 중 1차 기본계획 시행기간인 5년을 동일한 조건으로 가정하고, 연구비와 인력을 투입요소로 사용하였다. 그밖에 기여율을 고려한 SCI 건수, 국내외 특허등록, 국내외 특허출원, 기술료 등을 산출요소로 사용하였다.

표 7. 융합R&D사업 투입·산출요소 기술통계표(2009~2013, n=25)

구분항목(단위)		평균	표준편차	최대값	최소값
투입요소	연구비(억원)	695	669.85	2,796	44
	인력(명)	1,689	1970.53	14,926	17
산출요소	SCI(개)	232	378.88	1,778	0
	특허등록(개)	95	126.20	709	0
	특허출원(개)	221	251.80	1,034	0
	기술료(억원)	12	34.14	238	0

융합R&D사업의 효율성 평가를 위한 DEA모형으로 CRS와 VRS를 가정한 투입지향 BCC모형을 사용하였다. 효율성 측정을 위한 소프트웨어로는 ENPAS를 이용했다.

02 융합R&D사업의 효율성 분석

DEA CRS모형은 효율적인 DMU가 CRS 가정하에서 최적상태로 운영된다는 가정 하에 있다. 실제 현실에서 이 모형을 적용하기 어렵기 때문에 R&D사업들이 VRS에 놓여있다고 보는 것이 적합하다. 또한 투입지향 모형을 사용한 이유는 R&D사업의 특성상 실패할 가능성이 높고, 성과가 명확하지 않아 산출물을 조절하기가 어려워 상대적으로 투입에 대한 통제 가능성이 더 높기 때문이다.

<그림 5>, <그림 6>은 융합R&D사업을 DMU단위로 설정하여 투입지향 BCC분석을 수행한 결과이다. 여기서는 CRS 가정 사업별 기술 효율성과, VRS 가정하에서의 순수기술 효율성(Pure Technological Efficiency)²⁰⁾, 규모 효율성(Scale Efficiency)²¹⁾, 규모수익에 대한 측정결과를 보여준다. 기술 효율성은 순수기술 효율성과 규모 효율성으로 구분된다²²⁾. 이 개념을 이용하면 비효율성의 원인이 순수한 기술적 요인에 의한 것인지 투입-산출 규모의 효과에 의한 것인지 파악할 수 있다.

측정효율성 값이 1을 나타내면 해당 사업은 프론티어에 위치하는 것을 의미하고, 다른 사업에 비해 상대적으로 효율적이라고 할 수 있다. 분포도를 살펴보면 25개 DMU의 순수 기술 효율성이 프론티어 값으로 나타났고, 효율성이 매우 낮은 DMU(<0.2)는 15개로 나타났다. 3분위로 나누었을 때 효율성 하위분포 그룹(<0.4)보다는 상위 분포그룹(0.8~1)의 비율이 더 높은 것으로 나타났다.

19) Hsu and Hsueh(2009)는 정책결정자들이 효율성 제고를 하기 위해서 산출보다는 투입이 통제하기 쉬운 변수라고 주장함

20) 기술이 규모수익가변(VRS)이라고 가정할 때 개별 기업에 대한 규모 효율성은 CRS가정 DEA모형과 VRS가정 DEA모형으로부터 측정할 수 있음. CRS DEA모형으로부터 구한 기술 효율성을 규모 비효율성에 의한 것과 순수 기술적 비효율성에 의한 것으로 분해함으로써 얻을 수 있음. 예를들어 특정 기업에 대해서 CRS가정 기술 효율성(TE)과 VRS가정 기술 효율성 간에 차이가 발생한다면 해당기업에는 규모의 비효율성이 존재한다는 것을 의미함. 규모 비효율성은 CRS 가정 기술 효율성과 VRS가정 기술 효율성 차이로부터 구할 수 있음

21) 투입요소 비율을 일정하게 유지하면서 규모를 증가시킬 때 생산량이 어떻게 변화하는가를 설명하기 위한 개념

22) 기술 효율성(CRS 가정 TE)=순수기술 효율성(VRS 가정 PTE)×규모효율성(SE)

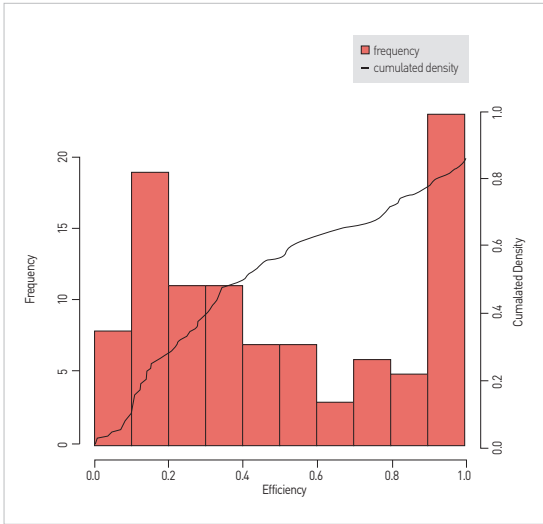


그림 5. CRS가정에서의 효율성 분포

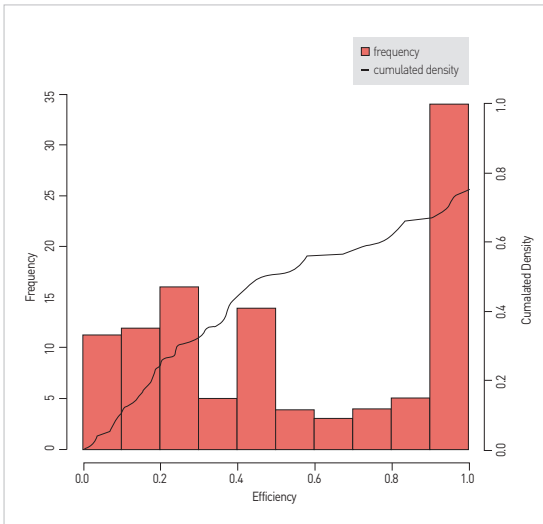


그림 6. VRS가정에서의 효율성 분포

분포도에서는 프론티어 값을 갖는 DMU 수를 파악하기에 용이하지만 비효율의 원인을 유추할 수 없다. DEA분석을 통해 측정된 DMU의 효율성 값을 가지고 대략적으로 상대적인 비효율의 원인을 유추할 수 있다.

〈표 8〉에서와 같이 CRS 가정 기술 효율성은 평균 0.359, VRS 가정에서의 기술 효율성 평균은 0.469이다. 또는 이 두 개의 효율성의 비율은 규모 효율성으로 정의할 수 있는데, 규모 효율성의 평균은 0.765로 측정되었다.

분석결과 사업수행기간 동안 기술효율성이 규모효율성보다 낮게 나타났으며, 이는 비효율의 원인이 적정규모에 미치지 못하거나 초과하여 발생하는 규모의 비효율성보다는 순수기술 비효율성이 더 큰 원인으로 작용했음을 나타낸다.

표 8. 연도별 효율성 평균

기간	CRS가정 기술효율성	VRS가정 기술효율성	SE 규모효율성
T1(09-10/09)	0.355	0.482	0.736
T2(10-11/10)	0.382	0.474	0.806
T3(11-12/11)	0.362	0.444	0.816
T4(12-13/12)	0.338	0.478	0.708
전체 평균	0.359	0.469	0.765

CCR모형(Charms, Cooper and Rhodes 연구모형)에서는 규모수익이 일정하다는 전제하에 규모가 아무리 작더라도 투입물과 산출물의 양을 일정비율로 축소해 효율적인 DMU의 비율척도와 같으면 효율적일 수 있다고 가정한다. 그러나 융합R&D사업의 경우 특성에 따라 규모가 커질수록 효율적 혹은 비효율적일 수 있으므로, CCR모형의 규모수익불변이라는 가정이 성립하지 않는 경우가 많다. 그러므로 효율성을 비교하는 대상 DMU간에 규모의 차이가 클수록 규모수익문제에 대한 고려가 필요하다.²³⁾

23) DMU의 비효율성이 자체의 비효율적인 운영에 기인하는 것인지, 혹은 DMU가 운영되고 있는 불합리한 상황에 기인하는 것인지 파악이 필요함



규모수익 상태에 대한 측정결과를 통해서 연구규모(scale)의 적정성 여부에 대한 판단 및 효율성 제고 방향을 도출할 수 있다. 아래에서는 융합연구사업이 규모수익체증(Increasing Return to Scale, 이하 IRS) 상태인지 규모수익체감(Decreasing Return to Scale, 이하 DRS) 상태에 있는지를 측정하고 융합R&D사업의 효율성 제고 방향을 도출하였다.²⁴⁾

<표 9>의 규모수익 분석결과를 통해 투입요소와 산출요소의 결합을 변경하여 기술 효율성을 제고해야 하는지 여부 또는 최적의 규모를 지향하는 규모 효율성을 제고할 필요가 있는지에 대한 판단이 가능하다. 측정결과 전체 DMU의 규모수익 현황 측정결과 DRS가 35%, CRS가 14%이며, 절반이상인 51%가 IRS의 상태에 있는 것으로 나타났다. 연도별로 비교했을 때 T4의 DRS상태가 24%, IRS상태는 60%로 그 차이가 벌어져 DMU의 규모수익 상태가 크게 변화되었음을 알 수 있다. 즉, 이 결과는 융합R&D사업의 운영규모를 확대하여 최적규모에서 운영될 수 있도록 해야 사업 전체의 효율성이 증가할 수 있음을 나타낸다.

표 9. 규모수익 현황

범위구분 (산출/투입)	규모수익		
	DRS	CRS	IRS
T1 (09-10/09)	10	4	11
T2 (10-11/10)	9	3	13
T3 (11-12/11)	10	3	12
T4 (12-13/12)	6	4	15
총계	35	14	51

<표 10>에서는 VRS가정 기술 효율성의 수치 범위를 기준으로 규모수익상태를 분석하였다. 그 결과 효율성이 매우 낮은(0~0.2) 경우 IRS상태가 매우 높게 나타났으며, 효율성 프론티어 값을 갖는 그룹은 CRS상태가 가장 많이 나타났다. 즉, 효율성이 낮은 융합R&D사업들은 주로 IRS상태에서 운영 중인 것으로 나타났다. 이

경우 효율성을 제고하기 위해서는 규모효율성이 100%가 되는 수준, 즉 규모수익불변변경(CRS frontier)과 규모수익가변변경(VRS frontier)이 일치되는 수준으로 중장기적으로 운영규모의 확대가 필요하다. 효율성이 높은 사업은 규모수익불변의 상태이거나, 오히려 규모수익이 체감하기 때문에 규모의 확대 보다는 운영의 효율화가 필요하다.

표 10. VRS가정 효율성 기준 규모수익

효율성 범위구분	규모수익		
	DRS	CRS	IRS
<0.2	2	-	13
<0.4	8	-	13
<0.6	5	-	13
<0.8	6	-	1
<1	5	-	8
1	9	14	3
총계	35	14	51

<표 11>는 4개년 동안 주로 DRS 상태로 운영되었던 사업과 IRS 상태로 운영되었던 사업으로 나누어 25개 사업의 규모수익상태를 도출한 결과이다. 3개년도 이상 동안 DRS 상태가 지속적으로 나타나는 사업은 총 8개이며, IRS 상태의 경우 총 10개로 나타났다. 사업수행기간 전반에 걸쳐 DRS상태로 운영된 사업은 운영상의 효율성 향상 방안 수립을 통한 효율성 제고가 필요하며, IRS 상태가 지속적으로 나타나는 사업은 규모의 확대를 통한 제고 방안 마련이 필요하다.

표 11. 규모수익 현황

규모수익 횟수	사업수(개)	해당 사업번호 구분
CRS 3개년	1	사업13
DRS 3개년	4	사업4 / 사업8 / 사업14 / 사업24
DRS 4개년	4	사업1 / 사업10 / 사업11 / 사업15
IRS 3개년	2	사업6 / 사업25
IRS 4개년	8	사업2 / 사업5 / 사업9 / 사업16 / 사업19 / 사업 21 / 사업22 / 사업23
기타	6	사업3 / 사업12 / 사업7 / 사업17 / 사업18 / 사업20

24) 모든 생산요소를 동시에 증가시킬 때 산출량이 이에 비례하여 동일하게 증가하는 경우를 규모에 대한 수익불변(CRS : Constant Return to Scale), 더 감소하는 경우를 규모에 대한 수익체감(DRS : Decreasing Return to Scale), 더 증가하는 경우를 규모에 대한 수익체증(IRS : Increasing Return to Scale)이라고 함.

기술 효율성을 높이기 위해서는 투입요소를 단기적으로 벤치마킹의 대상인 준거집단²⁵⁾에 해당하는 효율적 융합R&D사업의 투입규모 수준으로 줄여야 한다. 또한 규모효율성을 높이고자 할 경우 중장기적으로 투입 요소의 규모를 확대할 수 있다.

VRS 기술 효율성이 낮은 사업은 기술 효율성을 높이기 위한 투입요소 감소량보다 규모효율성을 높이기 위한 투입요소 증가량이 상대적으로 작다. 그러나 VRS 기술 효율성이 높을수록 기술 효율성을 높이기 위한 투입요소 감소량보다 규모효율성을 높이기 위한 투입요소 증가량이 상대적으로 커지게 된다. 따라서 본 연구에서 분석한 융합R&D사업 중에서 규모수익체증영역에서 운영되고 있는 비효율적인(<0.5) 사업은 단기적으로 효율적인 사업에 비해 과다하게 사용된 투입요소를 줄이는 동시에 중장기적으로 운영규모를 확대하는 방향을 모색해야 한다.

03 효율성 영향요인 분석

일반적으로 종속변수에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위해서는 회귀모형을 사용한다. 본 연구에서는 DEA를 통해 산출된 효율성 값을 종속변수로 하고, 사업의 효율성에 영향을 미칠 수 있는 외부요인으로써 사업의 특성을 독립변수로 설정하여 분석을 수행하였다. DEA를 이용하여 측정된 효율성은 0과 1사이의 값을 갖기 때문에 토빗회귀분석을 사용하였다.

R&D 사업의 특성

R&D사업의 특성은 연구자원을 조달하고 분배하는 방법과 관련된 것으로 연구자원 투입부터 연구과제의 선정방식, 연구주체를 연구단이나 연구자 개인으로 설정하는 것, 연구관리 조직, 연구사업 내부 과제들의 포트폴리오 등을 포괄하는 시스템을 의미한다.

R&D사업의 특성관 관련된 요소들은 일부 상호작용을 하고 있으며, 연구성과에도 영향을 미친다. 따라서 R&D사업의 연구성과에 영향을 주는 요소들 중에 어떤 것들이 주요 변수인지 도출할 필요가 있다. 외부요인들 중 사업 특성의 관점에서 주관부처, 과제 제안방식, 추진목적, 연구주체, 연구비 규모, 연구기간, 후속과제 추진여부, 다단계 추진방식 여부, 성과관리 및 평가 등을 고려할 수 있다. 이외에도 연구개발단계, 학문분야, 기술수명주기 등 연구과제의 특성 측면에서도 영향요인이 있을 수 있다.

융합R&D 사업의 효율성 영향요인 분석결과

융합R&D사업의 경우 융합기술을 통한 원천기술 확보, 신산업 창출, 기존산업의 고도화 등을 주요 전략목표²⁶⁾로 하는 만큼 연구자원의 투입과 연구과제의 선정방식, 운영방식 등에서 기존 R&D와 차별적인 특성으로 운영되는 사업이 다수 있을 것으로 가정하였다. 따라서 연구개발단계, 전략목표, 과제 제안방식이나 운영방식 등은 효율성에 대한 외부요인으로 가정하고 분석을 수행하였다.²⁷⁾ R&D사업의 외부 영향요인 중 사업 특성의 관점에서 융합R&D 사업의 효율성 영향요인을 도출하기 위해 수행한 토빗회귀분석 결과는 <표 12>와 같다.

25) DEA에 의한 평가결과는 상대적으로 비효율적인 DMU에 대해서 개선을 위한 참조집합 도출이 가능한. 이에 따라 비효율적 DMU는 투입, 산출과 관련된 비효율성의 정도를 참조집단에 비추어 비효율성 원인에 대한 벤치마킹이 가능함

26) 2013년 시행계획 기준으로 원천융합기술의 조기확보, 융합 신산업 발굴, 산업고도화에 각각 전체 투자금액의 30.3%, 41%, 17.2%가 투자됨

27) 후속과제 추진 여부, 다단계 추진방식 여부의 경우 전체 분석대상에 대한 정확한 정보를 집계할 수 없어 분석에서 제외함



연구개발단계는 사업의 목표와 전략 방향에 따라 크게 영향을 받는 요소로써, 융합R&D사업의 경우 기초·응용 단계인 경우보다 응용·개발 단계인 경우 28% 이상 효율성에 영향이 있는 것으로 나타났다. 과제 제안방식에서 상향식과 하향식 두가지 방식을 모두 취하는 혼합 방식 보다 상향식이 19.2% 효율성 증대에 영향을 준 것으로 나타났다. 전략별로는 산업고도화 전략에 따른 사업보다는 원천기술 확보나 신산업창출 등이 효율성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 12. 융합R&D 사업의 효율성 영향요인 분석결과

구분	Estimate	Std. Error
Intercept 1	2.001***	0.407
과제당 연구비	-0.123**	0.042
사업 내 과제 총 개수	-0.183***	0.029
연구개발단계(기초응용=1, 응용개발=0)	-0.281***	0.102
과제제안 방식(상향식=1, 혼합=0)	-0.192*	0.103
과제제안 방식(상향식=1, 하향식=0)	0.055	0.103
운영 방식(연구단=1, 개별=0)	-0.024	0.119
운영 방식(연구단=1, 혼합=0)	0.031	0.140
전략(산업고도화=1, 원천기술확보=0)	0.426***	0.098
전략(산업고도화=1, 신산업창출=0)	0.328***	0.111
전략(산업고도화=1, 전문인력강화=0)	0.496***	0.095
전략(산업고도화=1, 개방형 공동연구=0)	0.790***	0.239
연도 통제	YES	
log-likelihood	-27.7628	

**** 1%, *** 5%, ** 10% 수준에서 각각 유의함

전통적으로 대형연구개발사업은 국가가 필요로 하는 특정 기술 및 산업의 전략적 육성을 위한 하향식과제 선정 방식을 지향해 왔다. 그러나 창의적이고 도전적인 R&D 시스템 구축에 대한 목소리가 높아지면서 기존 RFP방식의 R&D를 변화하여 연구자가 스스로 연구과제를 제안하고, 이 중 적합한 것을 공모하는 상향식 과제선정 방식이 일부 추진되었다. 특히, 2000년대 후반 들어 융

합기술에 대한 관심이 고조되면서 융합을 통한 미래유망기술을 개발하고자 상향식 과제 선정방식이 융합 R&D사업에서도 시도되었다. 그러나 연구결과 하향식, 또는 상향식 여부는 사업의 효율성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 대신 하향식과 상향식이 혼합된 경우에는 오히려 상향식 보다 효율성에 대하여 음의 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 융합연구의 특성을 고려한다는 이유로 과제 선정 시 여러 가지 방식을 모두 적용하는 것보다는, 융합R&D사업의 목적과 전략에 적합한 성과를 증대하기 위해 과제 제안 방식을 효과적으로 적용할 수 있도록 세밀한 사업기획이 필요하다는 사실을 반증한다.



04 맘퀴스트 생산성 지수를 이용한 융합R&D사업의 동태적 생산성 분석

앞서 다기간 산출방식을 이용하여 투입 및 산출요소의 범위를 수립하고 DEA를 실시한 방법은 한 시점의 투입요소에 대한 1년의 지연효과를 반영한 결과이다. 즉, 특정연도에 기술적 효율성이 가장 높은 사업들에 의해 결정되는 최적상태(프론티어)로부터 각 사업의 투입-산출 조합이 어느 정도 떨어져 있는지만 알 수 있다. 이 방식은 각 사업에 대한 각 시점에 따른 효율성을 측정할 수 있으나 각 사업들의 효율성 변화 추이를 살펴보는 데 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하고 시계열에 따른 효율성을 측정하고자 DEA 맘퀴스트 생산성 지수를 통한 다계층적 측정방법을 사용하여 효율성을 분석하였다.

〈표 13〉은 제1차 기본계획 수행기간인 2009년부터 2013년까지 5년 동안의 생산성 변화정도를 측정하기 위해 MPI와 세부지수를 계산한 결과이다. MPI는 일정 수준의 산출량을 생산하기 위해 투입기준 거리합수를 사용하였다.

분석결과 전체적으로 연평균 10%의 생산성이 감소하였으며, 순수 효율성 변화지수(1.00)에 의한 영향보다는 규모의 효율(0.95)에 의한 영향으로 기술적 효율성(0.96)이 감소한 것으로 나타났다. 이중 총 7개(28%)에 해당하는 융합R&D사업에서는 생산성 향상이 나타났다. 특히, 연평균 170%의 생산성 증가를 나타낸 사업 7의 경우 기술적 효율성 변화에 의한 영향이 매우 크게 나타났으며, 이는 기술의 진보에 의한 생산성 향상이 두드러졌음을 보여준다. 세부적으로 살펴보면 사업 7의 기술의 진보효과는 순수 효율성 변화(1.17)에 의한 영향보다는 규모의 효율(1.62)에 의한 영향으로 이루어진 것으로 나타났다.

표 13. 맘퀴스트 생산성 지수를 이용한 사업별 생산성 분석(2009-2013)

사업구분	TECI	PECI	SECI	TCI	MPI
1	0.944	0.934	1.010	0.984	0.928
2	1.001	1.086	0.922	0.991	0.993
3	0.765	0.851	0.899	0.783	0.599
4	0.956	1.000	0.956	0.839	0.802
5	0.773	1.010	0.765	1.010	0.781
6	1.000	1.000	1.000	1.010	1.010
7	1.893	1.168	1.621	1.425	2.697
8	0.904	0.875	1.033	1.154	1.043
9	0.919	0.947	0.970	1.102	1.012
10	1.104	1.000	1.104	1.034	1.142
11	1.094	0.992	1.103	1.022	1.118
12	1.000	1.000	1.000	0.917	0.917
13	0.872	1.000	0.872	0.877	0.765
14	1.035	1.083	0.956	0.894	0.765
15	1.104	1.086	1.017	0.847	0.765
16	0.814	1.017	0.801	0.906	0.738
17	1.057	1.047	1.010	0.872	0.922
18	0.571	0.959	0.595	0.607	0.346
19	1.078	1.157	0.932	0.853	0.919
20	0.763	0.876	0.871	0.826	0.630
21	0.978	1.002	0.976	0.958	0.937
22	1.023	1.122	0.912	0.948	0.970
23	0.955	0.974	0.981	1.195	1.142
24	0.870	0.922	0.943	0.834	0.726
25	0.952	1.000	0.952	1.078	1.026
기하평균	0.956	1.001	0.955	0.946	0.904
표준편차	1.230	1.085	1.182	1.179	1.407

〈그림 7〉의 사업별 평균 생산성은 2011년도에 크게 증가했다가 2012년도에 크게 감소하였는데, 이는 TECI에 의한 영향보다는 TCI의 변화에 의한 것으로 나타났다. 즉, 생산변경선의 변화 폭에 의한 영향을 크게 받았음을 의미하며, 이는 사업의 관리와 운영상의 비효율 증대가 큰 원인으로 작용했음을 보여준다.

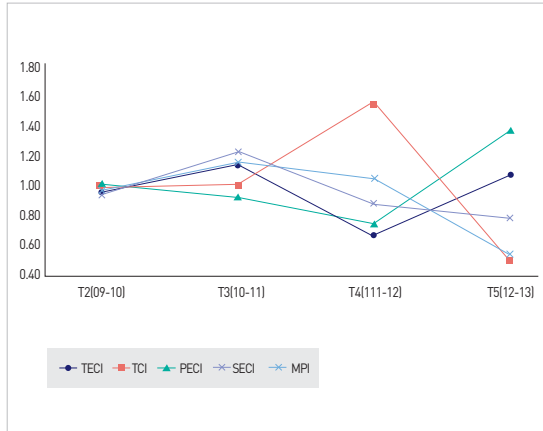


그림 7. 연도별 맘퀴스트 생산성 지수

V. 결론

지난 5~6년간 융합R&D사업에 대한 투자가 증대되었으며, ‘융합’ 키워드를 포함하지 않은 R&D사업이 없을 정도로 융합에 대한 관심이 크다. 그러나 융합R&D사업에 투자해야 한다는 목소리는 높은 반면, 융합R&D사업의 성과에 대하여 체계적인 분석은 이루어지지 않았다.

불확실성이 큰 R&D 사업²⁸⁾에 대하여 트렌드만을 반영하여 투자규모를 확대할 수 없으며, 이 때문에 효율성 제고에 대한 고려가 더욱 필요하다. 따라서 융합 R&D사업

에 대한 효율성 측정 및 분석을 통하여 향후 추진될 융합 R&D 사업의 효율성 제고 방안을 모색하고자 본 연구를 수행하였다.

1, 2장에서는 융합R&D 사업의 효율성에 대한 연구의 배경 및 필요성을 제시하고, 효율성 측정을 위한 DEA 분석 모형에 대한 방법론과 선행연구에 대해 정리하였다. 3장에서는 융합R&D사업 내 과제단위의 현황과 특성에 따른 효율성 및 효율성 영향요소들을 분석하였다. 분석결과 융합R&D 전체 과제는 연도별로 효율성이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 R&D활동의 특성상 시행착오(경험에 의한 학습)를 통해 성과를 개선할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

융합R&D 과제단위 특성별 효율성 분석결과 연구수행 주체 중 대학과 대기업의 효율성이 높은 것으로 나타났다. 융합R&D의 경우 R&D를 통한 경제성장이나 사회문제해결 등 활용측면을 중시하기 때문에 특히, 기술이전 성과 등을 매우 중요시 한다. 이러한 현상이 반영되어 대학도 논문 외에 특허, 기술료에 대한 산출을 강화하였기 때문에 상대적 효율성이 높게 측정되었다. 반면 출연연은 융합R&D사업에서 투자 비중이 매우 높는데다 투입요소 대비 산출요소 중 논문을 제외한 특허 및 기술료 성과 등이 상대적으로 낮아 효율성이 낮게 측정되었다. 융합R&D과제의 연구분야 수에 따른 효율성 영향요인 분석결과, 단일분류 영역만으로 수행된 경우의 효율성이 더 높은 것으로 나타났다. 5년 동안, 단위과제 내에서 전혀 다른 분야가 2개, 3개씩 융합된 경우보다는 단일분야의 과제 간 공동연구 또는 협력연구를 한 경우 효율성에 더 큰 영향을 나타냈다. 이는 학제간 융

28) R&D사업은 일반적 생산단위와 달리 조직활동에 따르는 불확실성이 매우 크며, 조직의 목표와 성과가 불분명하여 원인과 결과의 인과성을 찾기 어렵다(이장재, 1996)

합연구는 장기적 관점의 접근이 필요하다는 것을 시사한다.

과제 단위에서의 산출물 총합이 사업의 산출요소로 이어지기 때문에 효율성 측정에 있어 이 두 의사결정단위는 밀접하게 관련되어 있다. 그러나 R&D과제는 사업을 구성하는 하부구조이기 때문에 과제 단위 효율성 분석 결과로는 사업전체의 전략과 특성에 따른 효율성 제고 방안을 수립할 수 없다는 한계를 가진다. 따라서 4장에서는 융합R&D사업을 의사결정단위로 한 효율성 값을 횡단면적 방식과 동태적 방식으로 측정하였다. 측정결과를 토대로 효율성 감소요인을 파악하고, 효율성 값에 대한 외부 영향요인을 분석하였다. 나아가 이 분석결과를 바탕으로 향후 융합R&D사업의 효율성을 제고할 방안을 제시하였다.

시간지연효과를 고려하고, VRS를 가정한 투입지향 DEA BCC모형을 사용하여 5개년의 융합R&D사업의 효율성을 분석한 결과 25% DMU가 효율적인 것으로 나타났다. 분포도 상에서 하위 그룹(36%)보다는 상위 그룹(39%)의 비율이 더 높게 나타났다. 이중 효율성이 매우 낮은 사업의 경우 효율성 감소의 원인은 규모의 비효율성보다는 기술적 요인에 의한 순수기술 비효율성이 더 큰 원인으로 나타났다.

기술 효율성의 수치 범위를 기준으로 규모수익상태를 분석한 결과 효율성이 매우 낮은 그룹은 IRS상태가 높게 나타났으며 효율성이 높은 그룹은 CRS상태가 높게 나타났다. 따라서 효율성이 매우 낮은 사업의 경우 효율성 제고를 위해 중장기적으로 규모를 확대해 가거나 투입요소를 단기적으로 줄여나가는 방법이 필요하다. 효율성이 높은 사업은 규모수익불변의 상태이거나, 오히려 규모수

익이 제감하기 때문에 규모의 확대 보다는 운영의 효율화가 필요하다.

DEA분석을 통해 벤치마킹 대상인 준거집단을 도출할 수 있다. 각 사업마다 도출된 준거집단의 투입규모 수준만큼 해당 사업의 투입요소를 줄이는 방법으로 효율성을 제고할 수 있다. 그러나 사실상 R&D에서 확정된 투입요소를 단기적으로 줄이기 어렵기 때문에 중장기적으로 준거집단 수준으로 운영규모를 확대하거나 운영의 효율화 방안을 모색해야 한다.

효율성 측정 후 영향요인에 대한 분석을 위해 사업의 효율성에 영향을 미칠 수 있는 외부 요인을 독립변수로 설정하여 토빗분석을 수행하였다. 그 결과 융합R&D사업은 기초·응용단계보다 응용·개발단계가 효율성에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 과제 제안방식에서는 상향식과 하향식을 혼합한 방식 보다는 상향식이 효율성에 더 큰 영향을 준 것으로 나타났다. 이는 융합R&D사업의 목적과 전략에 적합한 성과를 증대하기 위해 과제 제안 방식을 효과적으로 적용할 수 있도록 세밀한 사업기획이 필요하다는 사실을 시사한다. 즉, 사업의 목표에 따라 추진체계를 다양화 필요가 있음을 나타낸다.

마지막으로 효율성 변화 추이를 살펴보기 위하여 DEA 맘퀴스트 생산성 지수를 이용하여 효율성 값을 측정하였다. 전체적으로는 연평균 10%의 생산성이 감소하였으나 총 28%에 해당하는 융합R&D사업에서는 생산성 향상이 나타났다. 사업별 평균 생산성은 TCI변화에 의해 2011년도에 크게 증가했다 2012년도 감소했으며, 이는 사업의 관리·운영상의 비효율 증대가 원인으로 작용한 결과이다.

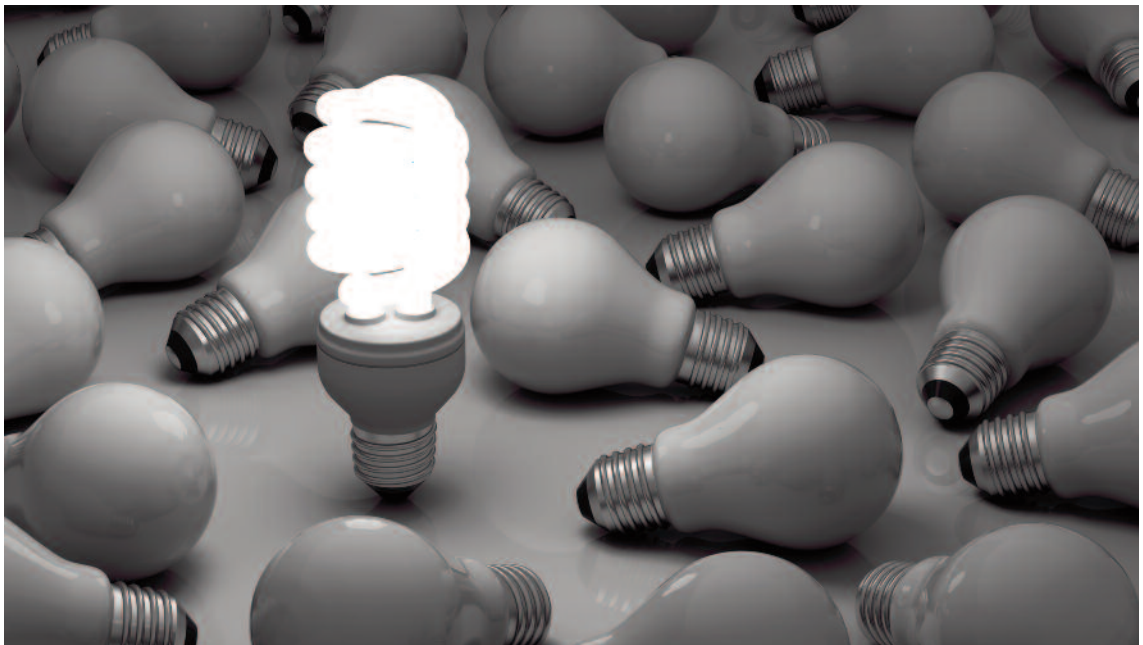


연구의 한계점

R&D 사업은 투자 후 성과창출까지 시차가 존재하고, 투입과 산출간 인과관계도 불분명하다. 게다가 투입지표와 산출지표의 제약으로 사업의 특성에 따른 효율성 측정에 어려움이 따른다.

따라서, 융합R&D사업의 특성에 따른 성과지표의 부재로 일반적인 R&D사업의 투입·산출지표에 따른 효율성을 측정했다는 한계를 지닌다. 향후 융합R&D 사업의 특정 목적과 전략을 반영한 성과지표를 도출하고, 신뢰할 만한 수준으로 집계할 수 있는 체계가 갖춰진다면 융합R&D사업에 대한 보다 정확한 효율성 측정이 가능하리라 본다.

융합R&D사업의 효율성(또는 비효율성)의 속성을 이해하는 것은 자원배분을 개선하기 위한 정책수립에 중요한 시사점을 줄 수 있다. 따라서 효율성 영향요인에 대한 고찰을 통해 향후 효율적 융합R&D사업을 추진할 수 있는 방안을 마련하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 융합R&D사업의 효율성에 대한 영향요인 분석 시, 외부요인으로 가정한 추진체계 정보가 부족하거나 명확하지 않아 다양한 관점에서 효율성 영향요인에 대해 분석할 수 없다는 한계를 지니고 있다.



[부록] 융합R&D사업의 성과분석

연구개발 단계

연구개발 단계별 융합R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 기초연구 단계에서 21,948건(56.5%)으로 가장 많았으며, 응용연구(29.4%), 개발연구(10.0%), 기타(4.1%) 순으로 나타났다.

특허 성과는 국내 특허출원등록 모두 응용연구(9,737건, 4,289건) 단계에서 가장 많은 성과를 냈다. 국내 특허출원 성과는 응용연구(34.5%), 개발연구(32.8%), 기초연구(27.1%), 기타(5.6%) 순으로 나타났다. 국내 특허등록 성과는 응용연구(35.7%), 개발연구(29.8%), 기초연구(28.4%), 기타(6.1%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 응용연구 단계에서 4,794건(36.1%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 기초연구(31.1%), 개발연구(28.7%), 기타(4.1%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 기초연구가 608건(36.9%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 응용연구(32.9%), 개발연구(24.4%), 기타(5.7%) 순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 개발연구가 2,791건(61.5%)으로 가장 많았으며, 응용연구(29.9%), 기타(4.6%), 기초연구(4.0%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 개발연구가 1,043억원(66.3%)으로 가장 많았으며, 응용연구(22.7%), 기초연구(5.6%), 기타(5.4%) 순으로 나타났다.

표 1. 연구개발 단계별 융합R&D 성과 총괄 현황(2009-2013)

구분	기초연구	응용연구	개발연구	기타
SCI	21,948	11,415	3,892	1,588
비SCI	12,526	12,848	10,192	2,189
국내특허출원	7,648	9,737	9,252	1,595
국내특허등록	3,414	4,289	3,580	727
해외특허출원	1,491	1,733	1,375	195
해외특허등록	608	542	402	94
기술이전	181	1,355	2,791	208
기술료	88	357	1,043	85

(단위 : 건, 억원)

연구수행 주체

연구수행 주체별 융합R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 대학이 34,726건(89.4%)으로 가장 많았으며, 출연연구소(7.4%), 중소기업(1.3%), 국공립연구소(1.0%), 기타(0.1%) 순으로 나타났다.

특허 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 대학이 14,834건(52.5%)으로 가장 많았으며, 출연연구소(26.2%), 중소기업(14.9%), 대기업(5.0%), 국공립연구소·기타(0.7%) 순으로 나타났다. 국내 특허등록 성과는 대학이 7,351건(61.2%)으로 가장 많았으며, 출연연구소(20.1%), 중소기업(14.4%), 대기업(3.3%), 국공립연구소(0.7%), 기타(0.4%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 대학이 2,327건(48.5%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 출연연구소(35.2%), 중소기업(9.7%), 대기업(5.5%), 기타(0.8%), 국공립연구소(0.2%), 정부부처(0.1%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 기초연구가 608건(36.9%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 응용연구(32.9%), 개발연구(24.4%), 기타(5.7%) 순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 중소기업이 2,236건(49.4%)으로 가장 많았으며, 대학(27.9%), 출연연구소(18.7%), 대기업(2.1%), 국공립연구소(1.9%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 중소기업이 732.9억원(46.5%)으로 가장 많았으며, 대기업(19.7%), 출연연구소(16.8%), 대학(16.8%), 국공립연구소(0.2%) 순으로 나타났다.

표 2. 연구수행 주체별 융합R&D 성과 총괄 현황(2009-2013)

구분	국공립 연구소	출연 연구소	대학	대기업	중소 기업	정부 부처	기타
SCI	387	2,864	34,726	312	518	0	38
비SCI	539	6,888	26,625	1,020	2,516	0	167
국내특허출원	191	7,397	14,834	1,416	4,194	1	199
국내특허등록	81	2,411	7,351	391	1,735	0	44
해외특허출원	9	1,687	2,327	264	465	6	37
해외특허등록	3	321	744	109	109	0	12
기술이전	88	847	1,260	93	2,236	0	0
기술료	2.4	265.3	264.8	310.1	732.9	0	0

(단위 : 건, 억원)

미래유망 신기술(6T) 분류

미래유망 신기술(6T)분류별 융합R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 BT분야가 16,966건(43.7%)으로 가장 많았으며, NT(21.3%), IT(12.2%), 기타(12.0%), ET(9.5%), ST(1.0%), CT(0.3%) 순으로 나타났다.

특히 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 IT분야가 11,326건(40.1%)으로 가장 많았으며, BT(25.3%), 기타(13.3%), NT(9.9%), ET(8.6%), CT(2.4%), ST(0.4%) 순으로 나타났다. 국내 특허등록 성과는 IT분야가 3,821건(31.8%)으로 가장 많았으며, BT(25.4%), 기타(18.6%), NT(12.4%), ET(9.8%), CT(1.7%), ST(0.2%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 IT분야가 1,743건(36.4%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, BT(31.7%), NT(12.6%), 기타(8.8%), ET(7.6%), CT(2.3%), ST(0.7%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 BT분야가 456건(35.0%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, IT(30.0%), 기타(15.1%), NT(13.9%), ET(9.5%), CT(0.6%), ST(0.2%) 순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 IT분야가 1,982건(43.7%)으로 가장 많았으며, 기타(23.3%), BT(16.2%), ET(9.5%), NT(3.6%), ST(0.6%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 IT분야가 589.5억원(37.4%)으로 가장 많았으며, BT(28.8%), 기타(15.7%), ET(8.5%), NT(6.0%), CT(3.4%), ST(0.2%) 순으로 나타났다.

표 3. 연구수행 주체별 융합R&D 성과 총괄 현황(2009-2013)

구분	IT	BT	NT	ST	ET	CT	기타
SCI	4,744	16,966	8,261	400	3,707	118	4,646
비SCI	15,603	9,004	3,302	597	3,001	1,203	5,045
국내특허출원	11,326	7,135	2,803	108	2,433	673	3,757
국내특허등록	3,821	3,054	1,485	28	1,181	200	2,238
해외특허출원	1,743	1,517	604	32	362	110	424
해외특허등록	390	456	181	3	66	8	197
기술이전	1,982	735	161	29	429	141	1,058
기술료	589.5	454.0	95.2	2.9	124.0	53.1	246.8

(단위: 건, 억원)

국가기술지도(NTRM) 분류

국가기술지도(NTRM) 분류별 융합R&D 성과를 살펴보면 건강한 생명사회 지향 분야가 13,016건(33.5%)으로 가장 많았으며, 기타(27.4%), 환경/에너지 프론티어 진흥(12.6%), 정보·지식·지능화사회(12.1%), 기반주력 산업가치창출(10.6%), 국가안전 및 위상제고(3.8%) 순으로 나타났다.

특히 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 정보·지식·지능화사회 분야가 10,011건(35.5%)으로 가장 많았으며, 기타(22.0%), 건강한 생명사회 지향(17.3%), 환경/에너지 프론티어 진흥(12.3%) 기반주력 산업가치창출(9.7%), 국가안전 및 위상제고(3.3%) 순으로 나타났다. 국내 특허등록 성과는 정보·지식·지능화사회 분야가 3,223건(26.8%)으로 가장 많았으며, 기타(28.7%), 건강한 생명사회 지향(17.3%), 환경/에너지 프론티어 진흥(12.4%), 기반주력 산업가치창출(11.9%), 국가안전 및 위상 제고(2.9%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 정보·지식·지능화사회 구현(35.1%) 분야가 가장 많은 성과를 냈으며, 건강한 생명사회 지향(24.3%), 기타(21.3%), 환경/에너지 프론티어 진흥(10.4%), 기반주력 산업가치창출(8.0%), 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 건강한 생명사회 지향 분야가 387건(29.8%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 기타(29.2%), 정보·지식·지능화사회 구현(24.5%), 기반주력 산업가치창출(9.2%), 환경/에너지 프론티어 진흥(5.5%), 국가안전 및 위상 제고(1.7%) 순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 정보·지식·지능화사회 구현 분야가 1,648건(36.3%)으로 가장 많았으며, 기타(29.0%), 기반주력 산업가치창출(10.9%), 환경/에너지 프론티어 진흥(9.8%), 거대한 생명사회 지향(8.5%), 국가안전 및 위상 제고(5.4%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 정보·지식·지능화사회 구현 분야가 548.3억원(34.8%)으로 가장 많았으며, 건강한 생명

사회 지향(24.1%), 기타(17.2%), 기반주력 산업가치 창출(11.1%), 환경/에너지 프론티어 진흥(9.5%), 국가안전 및 위상 제고(3.3%) 순으로 나타났다.

표 4. 국가기술지도(NTRM) 분류별 융합R&D 성과 총괄 현황 (2009-2013)

구분	정보지식 지능화 사회 구현	건강한 생명사회 지향	환경/에너지 프론티어 진흥	기반주력 산업가치 창출	국가안전 및 위상 제고	기타
SCI	4718	13016	4883	4105	1485	10633
비SCI	13612	5736	3998	4690	1394	8325
국내특허출원	10011	4886	3460	2752	923	6199
국내특허등록	3223	2076	1492	1428	345	3449
해외특허출원	1681	1163	497	383	51	1019
해외특허등록	318	387	72	120	22	379
기술이전	1648	387	445	493	246	1316
기술료	548.3	380.3	150.1	175.2	51.2	270.2

(단위 : 건, 억원)

기술수명 주기

기술수명 주기별 융합R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 도입기가 18,168건(46.8%)으로 가장 많았으며, 성장기(31.3%), 기타(17.5%), 성숙기(4.4%) 순으로 나타났다.

특허 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 성장기가 11,149건(39.5%)으로 가장 많았으며, 도입기(37.8%), 기타(19.4%), 성숙기(3.3%) 순으로 나타났다. 국내 특허 등록 성과는 성장기가 5,299건(39.5%)으로 가장 많았으며, 도입기(37.8%), 기타(16.6%), 성숙기(3.7%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 도입기가 1,877건(39.1%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 도입기(35.6%), 기타(22.9%), 성숙기(2.3%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 성장기가 541건(41.6%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 도입기(30.2%), 기타(22.9%), 성숙기(5.3%)순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 성장기가 3,515건(77.5%)으로 가장 많았으며, 도입기(13.6%), 기타(6.0%), 성숙기(2.8%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 성장기가 982.5억원(62.4%)으로 가장 많았으며, 도입기(21.1%), 기타(12.7%), 성숙기(3.8%) 순으로 나타났다.

표 5. 기술수명 주기별 융합R&D 성과 총괄 현황(2009-2013)

구분	도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기	기타
SCI	18,168	12,171	1,696	5	6,803
비SCI	14,173	14,250	2,330	44	6,958
국내특허출원	10,670	11,149	919	7	5,487
국내특허등록	4,265	5,299	448	5	1,992
해외특허출원	1,877	1,709	109	0	1,100
해외특허등록	392	541	69	0	297
기술이전	616	3,515	129	1	274
기술료	332.6	982.5	60.3	0.2	200.1

(단위 : 건, 억원)

연구개발 성격

미분류를 제외한 연구개발 성격별 융합R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 아이디어 개발이 12,993건(33.5%)으로 가장 많았으며, 기타개발(27.5%), 시작품 개발(10.1%), 제품 또는 공정개발(9.0%) 순으로 나타났다.

특허 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 기타개발 5,755건(20.4%)으로 가장 많았으며, 시작품개발(18.5%), 아이디어 개발(15.7%), 제품 또는 공정개발(11.0%) 순으로 나타났다. 국내 특허 등록 성과는 기타개발이 2,739건(22.8%)으로 가장 많았으며, 시작품개발(18.4%), 아이디어 개발(16.9%) 순으로 나타났다.

해외 특허출원 성과는 기타개발 1,064건(22.2%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 시작품개발(17.1%), 아이디어 개발(16.9%), 제품 또는 공정개발(8.9%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 기타개발이 349건(26.8%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 아이디어 개발(15.7%), 시작품 개발(11.6%), 제품 또는 공정개발(8.9%) 순을 기록했다.

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 시작품개발 1861건 (26.9%)으로 가장 많았으며, 기타개발(12.2%), 제품 또는 공정개발(6.6%), 아이디어 개발(3.3%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 시작품개발이 423.8억원(26.9%)으로 가장 많았으며, 제품 또는 공정개발(8.9%), 기타개발 (7.4%), 아이디어개발(4.5%)순으로 나타났다.

표 6. 기술수명 주기별 융합R&D 성과 총괄 현황(2009-2013)

구분	아이디어 개발	시작품 개발	제품 또는 공정개발	기타개발	미분류
SCI	12,993	3,912	3,500	10,686	7,750
비SCI	6,917	4,071	4,156	8,662	13,949
국내특허출원	4,431	5,233	3,113	5,755	9,699
국내특허등록	2,024	2,212	1,350	2,739	3,682
해외특허출원	808	819	427	1,064	1,674
해외특허등록	204	151	116	349	480
기술이전	148	1,861	299	554	1,673
기술료	7,021,323,916	42,384,846,640	14,051,741,747	11,729,430,335	82,370,637,320

(단위 : 건, 억원)

기술계약 성과 중 기술이전 건수는 1분야가 4,124건 (90.9%)으로 가장 많았으며, 3분야(4.9%), 2분야(4.2%) 순으로 나타났다. 기술료 수입은 시작품개발이 1438.0 억원(91.3%)으로 가장 많았으며, 3분야(5.4%), 2분야 (3.3%) 순으로 나타났다.

표 7. 과학기술표준분류 연구분야 투입수별 융합R&D 성과 총괄 현황 (2009-2013)

구분	1분야(단일분야)	2분야	3분야
SCI	20,448	6,947	11,446
비SCI	4,454	7,032	10,238
국내특허출원	20,175	3,125	4,931
국내특허등록	8,493	1,312	2,205
해외특허출원	3,434	576	785
해외특허등록	929	113	257
기술이전	4,124	190	221
기술료	143,803,847,832	5,182,918,098	8,571,214,028

(단위 : 건, 억원)

과학기술표준분류 연구분야 투입수

과학기술표준분류 상 과제당 연구 분야 투입수로 융합 R&D 성과를 살펴보면 SCI급 논문 성과는 1분야가 20,448건(52.6%)으로 가장 많았으며, 3분야(29.5), 2분야(17.9%) 순으로 나타났다.

특허 성과를 살펴보면, 국내 특허출원 성과는 1분야가 20,175건(71.5%)으로 가장 많았으며, 3분야(17.5%), 2 분야(11.1%) 순으로 나타났다. 국내 특허등록 성과는 1분야가 8,493건 (70.7%)으로 가장 많았으며, 3분야 (18.4%), 2분야(10.9%) 순으로 나타났다.

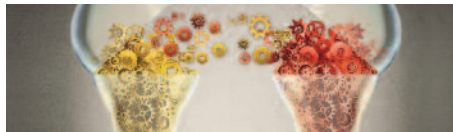
해외 특허출원 성과는 1분야가 3,434건(71.6%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 3분야(16.4%), 2분야(12.0%) 순으로 나타났다. 해외 특허등록 성과는 1분야가 929건 (71.5%)으로 가장 많은 성과를 냈으며, 3분야(19.8%), 2 분야(4.2%) 순을 기록했다.

참고문헌

1. 고용수 (2014), 국가연구개발사업 구조변화 과정 분석: 주요부처 사업을 중심으로, 한국과학기술기획평가원.
 2. 국가과학기술심의회 (2013), 2013년도 국가융합기술 발전 시행계획.
 3. 국가과학기술심의회 (2015), 2015년도 융합기술 발전전략 시행계획.
 4. 김재홍, 김태일 (2001), 공공부문의 효율성 평가와 측정, 집문당.
 5. 김윤희, 하현구 (2010), DEA-Malmquist Productivity Index를 이용한 국개공항의 생산성 변화 분석, 한국항공경영학회지, 제 8권 제 1호, pp.15-28.
 6. 박만희 (2008), 효율성과 생산성 분석, 한국학술정보(주).
 7. 미래창조과학부, 한국과학기술기획평가원 (2015), 2013년도 국가연구개발사업 조사분석 보고서.
 8. 미래창조과학부, 한국과학기술기획평가원 (2015), 2013년도 국가연구개발사업 성과분석 보고서.
 9. 융합연구정책센터 (2014), 국가 융합기술 R&D 조사분석 보고서.
 10. 융합연구정책센터 (2014), 국가 융합기술 R&D 성과분석 보고서.
 11. 이장재(2004), 중부연구개발 투자 효율화 방안 연구, 한국과학기술기획 평가원.
 12. 이정동, 오동현 (2010), 효율성 분석이론 : DEA 자료 포락 분석법, IB Book.
 13. 장연상 (2012), 시간지연 효과를 고려한 기간 통합 DEA 모형의 개발, 한국경영과학회지, 제37권 제 4호, pp.37-50.
 14. 조현대 (2003), 정부연구개발사업의 체계·구조분석 및 정책제언, 과학기술정책연구원.
 15. 홍사균, 배용호 (2000), 정부연구개발사업의 구조 및 추진체계 개선을 위한 조사연구, 과학기술정책연구원.
 16. 홍사균, 황정태, 유의선, 백훈 (2006), 정부연구개발사업의 추진구조와 성과의 상관관계 분석: 기초연구를 중심으로, 과학기술정책연구원.
 17. 황석원, 손상학, 장진규 (2009), 부품소재산업 경쟁력 향상사업의 성과분석 : 효율성 분석을 중심으로, 한국기술혁신학회 2009년 춘계학술대회, 399~415.
 18. 황석원, 안두현, 최승현, 권성훈, 천동필, 김아름, 박종혜 (2009), 국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안, 과학기술정책연구원.
 19. Banker, R. D. and Morey, R. C. (1986), "The Use of Categorical Variables in Data Envelopment Analysis", Management Science, Vol.32, No.12, pp.1613-1627.
-

참고문헌

20. Banker, R. D.(1984), "Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, Vol.17, No.1, pp.35-44.
21. Banker, R.D., A. Charnes, and Cooper.W.W(1984), "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management science*, Vol.30, No.9, pp.1078-1092.
22. Bernstein, J. I. and Mamuneas, T. P.(2006), "R&D Depreciation, Stocks, User Costs and Productivity Growth for US R&D Intensive Industries", *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol.17, pp.70-98.
23. Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E.(1978), "Measuring Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Vol.1, No.6, pp.429-444.
24. Hsu, F.M. and Hsueh, C.C.(2009), "Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects: A three-stage approach, *Evaluation and Program Planning*" 32, pp.178-186.
25. Lee, H., Park and Y. and Choi, H.(2009), "Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach", *European Journal of Operational Research* 196, pp. 847-855.
26. Wang, E.C.(2007), "R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach", *Journal of Policy Modeling* 29, pp.345-360.
27. Wang, E.C.and Huang, E.(2007), "Relative efficiency of R&D activities: A cross-country", *Research Policy* 36, pp.260-273.



THE EVOLUTION OF CONVERGENCE RESEARCH
—
NATIONAL R&D PROGRAM EFFICIENCY ANALYSIS