

기술융합 촉진을 위한 혁신정책의 방향

이공래

과학기술정책연구원

요약

기술융합은 연구자간 사회적 상호작용의 결과 일어나는 일종의 기술혁신 현상인데, 융합 과정에서 수명주기가 존재한다. 기술능력을 가진 개인이나 조직의 학습 → 기술의 통합 및 혁신 → 안정화 과정을 거치는 융합 수명주기를 갖는다.

조직학습(집단학습)은 기술융합의 주요한 성공요인으로 작용한다. 이 때문에 기술융합의 성공을 위해서는 프로젝트 리더의 리더십이 중요하다. 기술융합 프로젝트 리더는 개별 연구자나 연구그룹이 보유하는 인지맵(cognitive map)을 통합하는 노력이 필요하다. 이를 위해서는 조직 및 개인의 네트워크 구축과 학습역량 강화가 중요하다.

정부는 기술융합 촉진을 위해서 학회, 협회 등 중심연계조직을 육성해야 한다. 그리고 프로젝트 리더의 리더십 함양 프로그램을 운영해야 한다. 장기적인 관점에서는 학제간 벽을 뛰어 넘는 대학원 교육의 혁신이 필요하다. 공공부문은 창의적이고 개방적인 연구환경을 조성해야 하겠다.

1. 들어가면서

기술융합은 요소기술들이 순차적으로 결합하여 새로운 기능을 생성하는 일련의 결합 과정이다(Kodama, 1991, 1995). 따라서 기능을 많이 갖는 제품일수록 다양한 기술요소를 포함할 가능성이 높으며, 그렇지 않은 제품은 적은 수

의 기술요소를 채용할 가능성이 높다. 기술융합은 기술의 복잡도가 높아지는 것을 의미함과 동시에 다양한 기능을 갖는 제품이 출현한다는 것을 의미한다. 현대의 많은 혁신 제품들이 바로 이런 현상을 나타내고 있다는 점에서 기술융합은 현대 기술혁신을 설명하는 또 하나의 이론적인 틀이 된다.

기술융합은 다른 제품의 혁신과정과 마찬가지로 수명주기를 갖는다.

기술융합의 수명주기는 여러 분야의 전문 기술지식을 가진 연구원들 간에 사회화 과정을 거친다. 한 연구원이 다른 분야의 전문지식을 충분히 학습하고 소화한 후 새로운 아이디어를 창출하게 되는 혁신단계로 이행한 후 연구원 상호간의 대화나 사회화가 진부해져서 학습의욕과 흥미가 감소되는 안정화 단계로 이행함으로써 한 주기를 마친다.

기술융합을 이해하는 데는 기술혁신의 일반이론과 마찬가지로 시스템 개념의 적용이 필요하다. 기술융합에 의한 혁신은 서로 다른 인지지도로 갖는 개인이 집단적 조우와 집단적 학습을 통하여 집단 인지지도로 갖는 조직 내부의 시스템 특성과 대학, 산업체, 공공연구기관, 정부 등 다양한 조직이 상호작용을 하면서 기술융합을 추구하는 생태계 시스템을 필요로 한다(Roco and Bainbridge, 2002). 기술융합을 실현하기 위한 생태계 시스템은 개인의 다양성과 자율성이 존중되고, 개인 연구자가 스스로 조직하고 책임 있는 행위를 구현할 수 있는 환경을 갖추어야 한다. 아울러 새로운 지식의 습득, 소화, 해석, 적용 등 지식활동을 위하여 부단하게 노력하는 전문가들의 자세가 필수적이다.

기술융합의 특성에 대한 이론적 설명은 많은 실증분석이 뒤따라야 하겠지만 중요한 정책시사점을 제공한다. 조직 차

원에서뿐만 아니라 지역 등 다양한 차원에서 기술융합의 생태계를 조성하기 위한 혁신정책의 추진이 필요한데, 이 글은 이에 대한 몇 가지 제안을 하고자 한다.

II. 네트워크 구축을 통한 학습역량 강화

기술융합을 촉진하기 위해서 산-학-연 협력과 함께 네트워크가 강조된다. 네트워크가 강조되는 이유는 혁신주체들의 지식 소화역량(absorptive capacity)과 밀접하게 연관되기 때문이다. 네트워크는 혁신 주체들의 소화역량을 동시적으로 강화하여 혁신역량을 강화시킨다. 또 사회적 자본을 창출하여 보완적 자산을 상호 의존과 전문가들 간 지식융합을 가능하게 한다. 혁신주체들 사이에 축적된 사회적 자본은 거래비용의 극소화뿐만 아니라 시설 장비 등 물적 자본이나 지식, 인력 등 보완적 자산과 능력에 대한 상호 의존을 가능하게 하여 지식융합에 의한 기술혁신을 촉진한다.

사회적 자본과 보완적 자산의 상호 의존은 네트워크 구성원들로 하여금 연구개발과 시장의 불확실성에 따른 위험의 분산 혹은 공유를 가능하게 한다 (Iansiti, 1998). 네트워크를 통해 형성된 사회적 자본은 인터넷을 통해 기술적으로 보다 많은 정보에 접근하는 것과는 다른 차원의 편익을 제공한다. 네트워크는 또한 기술지식을 해석하고 적용하는데 필요한 상호작용 메커니즘을 제공한다. 그러나 네트워크 자체가 다분야 기술융합을 위한 연구개발과 기술혁신능력 형성을 보장해 주는 것은 아니므로 기업이 새로운 기술지식을 습득, 소화, 해석, 적용하기 위해 부단한 노력을 기울이는 것이 전제되어야 한다.

III. 프로젝트 리더의 혁신경영능력 강화

성공적인 기술융합과 기술혁신을 위해서는 기업의 CEO를 포함, 유능한 프로젝트 리더들이 필요하다. 성공사례로 여겨지는 실리콘벨리에서의 기술융합에 의한 기술혁신은 프레드 터만 (Fred Terman)이라는 지도자가 있었고, 프랑스

소피아 앙티폴리스에서의 혁신은 피에르 라피트 (Pierre Lafitte) 박사가 있었기 때문에 가능했다고 한다. 라피트는 산업기반이 전무한 불모지 프랑스 남부 지중해 연안지역을 프랑스에서 가장 성장률이 높은 혁신클러스터를 구축하는데 성공했다(이공래, 2004).

기업의 CEO, 유능한 벤처창업자, 신뢰받는 연구책임자, 경험 많은 교수 등 다양한 분야의 리더의 존재는 다분야 기술융합을 성공적으로 추진하기 위해서 필요한 조건이다. 특히, 유능한 프로젝트 리더는 저절로 탄생하는 것이 아니라 장기적인 인력관리 및 양성 정책이 추진되고 그런 인력이 성장할 수 있는 토양이 마련될 때에 출현한다. 기업과 연구기관에 유능한 인력이 들어가고 이들이 연구를 창의적으로 수행할 때 비로소 기술융합에 의한 기술혁신이 꽃을 피우게 될 것이다.

프로젝트의 창의적 혁신경영과 리더쉽이 중요함에도 불구하고 우리나라는 이것을 체계적으로 연구하고 교육하는 정책적 조치가 부족하다. 공공연구기관에 1만명 이상의 연구개발 인력이 근무하고 있고, 이들을 이끌고 나가는 책임연구원급 프로젝트 리더가 상당수에 이르고 있으나 이들에 대한 교육 프로그램이 부족하다. 또한 이공계 대학에도 많은 숫자의 교수진이 연구 프로젝트를 수행하고 있으나 이들에게 연구개발 리더쉽을 함양하고 기술융합을 효과적으로 실천할 수 있는 경영능력을 함양할 수 있는 교육 프로그램은 존재하지 않다.

따라서 공공연구기관이나 대학에 근무하고 있는 프로젝트 리더들에게 리더쉽을 교육하고 기술융합에 관련되는 프로젝트를 수행할 때 필요한 혁신경영능력을 강화하는 교육 프로그램의 개발과 교육이 시급하다. 혁신경영능력의 부족은 특히 공공부분에서 심각하게 나타나고 있으므로 관련 연구기관이나 대학에 관련 프로그램을 추진하도록 지원해야 하겠다.

IV. 창의적이고 개방적인 연구 환경의 조성

우리나라는 기초연구 환경부터 경직돼 있다고 종종 언급된다. 외국의 한 교수는 “한국은 연구도 하기 전에 연구를

말긴 기관이 결과를 요구한다. 너무 형식에 억매이지 말고, 규제를 단순화해야 한다.”고 주장한 바 있다. 아직도 자율적인 연구 분위기가 부족하며 독창적인 연구를 위해서는 더 많은 자율이 필요하다고 한다.

따라서 창의적 사고와 자율적인 연구 분위기 조성을 위해서 정책적 노력을 기울여야 하겠다. 그리고 다양성을 강조하는 공공연구기관 육성정책이 추진되어야 한다. 연구기관의 연구목적과 연구 특성에 부합하는 경영방식과 시스템이 도입되는 분위기를 조성하기 위하여 상급기관이나 감독기관이 획일적인 기준이나 경영지침을 하달하는 방식의 경영은 자제되어야 한다. 동시에 연구기관 경영진이 스스로 기술융합에 적합한 혁신경영기법을 개발하도록 장려하고 성공사례를 발굴하여 전파하는 노력이 필요하다.

다음으로는 내면적 질서가 존재하는 연구기관을 육성하는데 힘을 기울여야 한다. 연구조직 내부에서 상호 존경하고 오랜 연구경륜을 쌓은 연구자의 의견을 존중하는 분위기를 조성하기 위해서 세심한 노력을 기울여야 한다. 내면적인 질서란 형식적인 규정이나 조직 위계에 의해서 질서가 형성되는 것이 아니라 과학적 지식, 업적, 경륜 등 지식인 사회가 오랜 역사를 통해서 만들어 낸 문화적인 바탕 위에서 중요한 의사가 결정되고 자원이 배분되며 연구결과가 평가되는 것이다.

셋째는 개방적인 연구 분위기가 필요하다. 개방적인 연구 분위기 하에서 기술지식이 상호 공유되고 전파될 수 있으며 창의성이 발현될 수 있다. 연구조직이나 연구자가 폐쇄적이면 타 조직 또는 타 연구자의 지식을 흡수하기 보다는 배척하기 마련이고, 타 연구조직이나 연구자도 협력을 기피할 것이다. 개방적인 연구 분위기는 기관 차원뿐만 아니라 팀이나 개인 차원에서 모두 필요하다. 개방적 사고와 개방적 토론 그리고 협력을 위하여 교육 프로그램을 마련하고, 추진하는 대책과 함께 정부도 정책의 기획 및 추진 과정에서 개방적 분위기를 조성하는 것을 유념하여야 하겠다.

마지막으로 연구팀 중심의 기술혁신 경영이 중요하다. 기술융합은 한 연구원이 연구원들 간에 사회화 과정을 거쳐 다른 분야의 전문지식을 충분히 학습하고 소화한 후 새로운 아이디어를 창출하게 되는 혁신단계로 이행한 다음 사회화가 진부해지고, 학습의욕과 흥미가 감소되는 안정화 단계로 이행함으로써 기술융합이 한 주기를 마친다.

이 주장에 따르면 기술융합은 팀 단위의 연구조직에서 중요한 역할을 하게 되며, 우수한 연구팀의 구성과 운영이 그 성공여부를 좌우한다고 할 수 있다. 따라서 우수한 연구팀이 형성되고 이들에게서 창의적인 연구결과가 나올 수 있도록 연구조직을 경영한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 훌륭한 연구개발 성과를 얻기 위해서는 연구기관이나 연구자 개인에게 중점을 두는 것보다 연구팀에 중점을 두는 새로운 발상이 필요하다 하겠다.

V. 학제간 벽을 뛰어 넘는 대학원 교육의 혁신

대학은 새로운 시대를 이끌어 갈 돌파구를 개척하고, 학생들에게는 무한한 기회 제공의 통로이다. 대학은 또한 학제간 거리를 좁혀서 다양한 방법으로 학생들이 창의적인 연구를 추구할 수 있도록 환경을 조성해야 한다. 우리나라 대학은 2004년 현재 정부 연구개발투자의 22.1%를 흡수할 정도로 중요한 연구개발 활동을 수행하고 있으며, 지역 발전에 다양한 방법으로 기여하고 있다. 기술융합에서는 대학이 다른 혁신주체보다 뛰어나게 좋은, 이상적인 환경을 가지고 있다.

그러나 우리나라에서 대학은 대표적으로 보수적인 조직으로 인식되고 있다. 대학의 젊은 과학자들이 연구과제를 제안하면 갖가지 규제와 절차를 내세워 창의적인 연구를 방해하고 있다는 지적도 있다. 더구나 학문과 학문 사이에 생기는 틈에서 뛰어난 연구 성과물들이 나올 가능성이 높은데, 우리나라 대학은 학제 간 높은 벽이 존재하고 이것이 경직성을 유발시키고 있다고 지적한다.

일부 학자들은 다분야 기술융합이 세계적인 추세이며 이를 달성하기 위해서는 한 우물만 파는 사고방식에 획기적인 변화가 필요하다고 언급한다. 최근 미국 MIT대학 게시판에 다음과 같은 문구가 내걸려 있었다고 한다. “아이디어는 있는데 연구자금이 없는 학생을 위해 연구지원금을 보조합니다. 자신의 아이디어를 적은 제안서를 교수실로 보내기 바랍니다.” 마침 연구 자금이 없어 애를 태우던 몇 명의 학생들은 “바이오와 공학을 결합한 새로운 시도를 하겠다.” 다

며 연구계획과 효과에 대한 제안서를 제출했고, 이들은 마침내 연구 지원을 받았다고 한다.

미국 MIT처럼 대학원 학생이 자율적으로 연구팀을 구성하고 프로젝트를 수주해서 실제로 수행하는 연구학습이 필요하다. 대학원 학생들이 연구팀을 구성할 경우 같은 과나 같은 지도교수 밑에 있는 학생들끼리 구성하는 연구팀이 아니라 다른 과 혹은 다른 지도교수 밑에서 학습하는 학생들 간에 기술융합 연구팀을 구성하여 연구 프로젝트를 수행할 수 있는 교육제도의 혁신이 필요하다. 대학원 학생이 이렇게 프로젝트를 수행하기 위해서는 필수 이수과목을 일본(34개 과목)이나 유럽(1-2개 과목)처럼 대폭 감소해야 하고 대학원의 운영도 마치 연구기관처럼 운영하는 조직혁신이 필요하다.

다학제적 연구풍토를 조성하기 위한 대학원의 조직혁신과 함께 창조성을 함양하기 위한 대학원 교육제도의 혁신도 필요하다. 대학원 학생의 창조성을 함양하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있겠지만 가장 중요한 것은 학생들이 호기심을 갖는 연구주제를 스스로 찾고 또 직접 연구를 수행하여 지도교수 및 관련 전문가들로부터 평가를 받는 제도 도입이 필요하다. 선진국에서는 과학기술 지식의 창조적인 돌파(breakthrough)가 대학원 학생의 논문에서 자주 발견된다고 한다.

이 제도와 관련하여 프랑스 정부가 시행하고 있는 대학원 박사과정 학생 연구 지원제도를 참고할 필요가 있다. 프랑스의 ANRT는 중소기업으로부터 애로기술 연구과제를 받아 프랑스 전국의 이공계 대학 대학원 박사과정 학생들에게 제시하고 학생들이 호기심을 갖고 연구하고자 하는 과제를 선택하게 한다고 한다. 해당 기업과 대학원 박사과정 학생 간의 중계가 성사되면 해당기업은 학생의 연구비를 지원하고 정부는 학생의 학비 및 생활비를 3년 동안 지원한다(이공래·황정태, 2004). 연구가 종료되면 기업 관계자, 관련 전문가가 참여하여 학생의 논문발표를 듣고 평가한다. 우수한 논문 및 연구결과를 창출한 학생은 해당 기업에 특채되는 경우도 있다. 물론, 연구결과가 기대하는 수준에 못 미치거나 실패하였다 하더라도 교육적인 차원에서 용인된다.

VI. 기초과학과 공학의 융합

앞으로 우리 경제를 성장시킬 수 있는 엔진은 기초과학과 공학의 융합을 통해서 발굴될 것으로 기대된다. 기초과학과 공학이 명확하게 분리되거나 독립적으로 존재하는 것은 아니다. 이들은 서로 얽혀 있어서 실제로는 어느 것이 기초과학이며 어느 것이 공학인가를 구분하기가 어렵다. 이들은 오랫동안 상호작용을 통하여 발전해 왔기 때문에 상호 의존적이다. 기초과학은 공학의 바탕 위에서 발전해왔고 공학은 기초과학의 바탕 위에서 발전할 수 있었다. 이 때문에 기초과학이나 공학을 독립적으로 사용하기보다는 이들을 포괄하는 의미를 갖는 '과학기술'이라는 용어가 보편적으로 사용되고 있다.

기초과학과 공학이 상호 밀접하게 연관되어 있음은 여러 경우에서 찾아 볼 수 있다. 형광등, 전화, 녹음기, 라디오 등 전기기기의 발명은 19세기에 발전된 많은 과학적 원리와 법칙에서 비롯된 것이었다. 예를 들어 1831년 패라데이의 전자기유도 법칙의 발견, 1887년 헤르쯔에 의한 라디오 파장의 발견, 1895년 마르코니의 무선통신 등 이론 및 실험물리학의 발전이 이들 전기기기의 출현을 가능케 하였다(Rosenberg, 1982, 1963).

19세기 후반에 있었던 화학의 급속한 발전도 예로 들 수 있다. 1860년대 케쿨레에 의한 벤젠의 분자구조 해석은 염료와 약품을 비롯한 수천 가지의 방향족 화합물을 탄생케 하는 계기가 되었다. 1856년 퍼킨이 아닐린으로부터 염료를 추출하는 방법을 창안하면서부터 수많은 신 물질이 퍼킨의 방법론을 응용하여 발명되었다. 과학적 지식의 생성과 발전이 공학적 지식의 탄생에 영향을 준 것처럼 공학지식의 생성과 발전도 역시 기초과학의 발전에 많은 영향을 미쳤다. 항공기나 기계설비의 경우 종종 공학이 먼저 생성되고 난 후에 이들의 원리를 해석하려는 기초과학 연구가 시도되었고 관련 이론이 발전하였다.

기초과학과 공학이 상호작용을 거듭하면서 서로 영향을 받는 현상은 과학적 발명이나 발견이 새로운 기술의 출현을 촉진하고 이에 따른 기술의 성과가 과학연구를 가속화시키는 일련의 인과관계를 의미한다. 예를 들어 고온 초전도체의 과학적 발견은 첨단 의료기기, 생체 계측 및 물성(物性)

연구에 응용됨으로써 이 분야 공학의 발전을 유발하였고, 이 공학지식은 다시 생체 메커니즘을 해명하는 기초과학의 발전에 기여를 하였다. 생체 메커니즘에 관한 과학적 지식은 신경컴퓨터의 혁신에 응용됨으로써 이 분야의 기초과학 지식과 공학적 지식이 끊임없이 융합을 거듭하고 있다.

21세기 기술융합의 시대에도 과거와 같이 기초과학과 공학의 융합이 중요한 결과를 가져올 것으로 예상된다(OECD, 1993). 이제는 특정 분야의 기초과학과 공학의 융합이 아니라 다분야 기초과학 지식과 공학지식이 융합할 것이므로 이것을 실현하는데 최상의 생태계를 조성하는 것이 필요하다. 캘리포니아대학교의 로렌스연구소가 오래 전부터 주창해 온 “팀 과학 연구(team science research)” 제도를 우리나라 대학과 공공연구기관이 받아들여 기초과학과 공학의 융합이 원활하게 일어날 수 있는 환경을 조성하여야 하겠다.

VII. 글을 맺으면서

이상에서 기술융합을 촉진하기 위한 정책 방향을 몇 가지 제시했다. 이들 제안은 관련 정책이 기획, 선택되고 실효적으로 추진되며 그 효과가 나타나기 위해서는 장기간을 필요로 한다. 더구나 자율성이나 개방적 연구 생태계 조성, 학제적 교육시스템 구축 등은 조직과 사회의 문화와 관련을 갖게 되므로 사회 전반적인 세심한 노력이 필요로 한다. 이른바 사회자본의 축적이 필요한데, 이는 어느 한 분야 범주의 문제가 아니라 전 분야 공통의 문제가 된다.

이런 정책 추진은 비가시적이고, 정성적인 특성을 갖게 되므로 지금까지 가시적이고 정량적인 효과를 추구해 온 다양한 전문가 층의 성숙된, 진지한 학습노력이 필요하다. 우리 사회가 이런 문화를 형성하게 되다면 진정한 의미의 지식기반사회를 이룩하게 되는 것이며, 이것이 결국 지식기반경제의 건설을 가능케 함과 동시에 우리 모두가 소망하는 국부 창출과 소득증가를 실현할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 이공래 (2004), “혁신클러스터에서의 다분야 기술융합”, 「과학기술정책」, 제14권 제5호, 44-54, 과학기술정책연구원.
- [2] 이공래·황정태 (2004), 「다분야 기술융합의 혁신시스템 특성 분석」, STEPI 정책연구 2005-17, 서울: 과학기술정책연구원.
- [3] Iansiti, M. (1998), *Technology Integration*, Boston: Harvard Business School Press.
- [4] Kodama, F. (1991), *Analyzing Japanese High Technologies: The Techno Paradigm Shift*, London: Pinter Publishers.
- [5] Kodama, F. (1995), *Emerging Patterns of Innovation: Sources of Japan's Technological Edge*, Boston: Harvard Business School Press.
- [6] OECD (1993), *Technology Fusion: A Path to Innovation, The Case of Optoelectronics*, Paris: OECD.
- [7] Roco, M. C. and Bainbridge, W. S. (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, Arlington, Virginia: NSF.
- [8] Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box -Technology and Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Rosenberg, N. (1963), “Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910”, *Journal of Economic History*, Vol. 23, No. 4, pp. 414-446.

약 력



1994년 영국 Sussex대학교 대학원 과학기술정책학 박사
 1993년 ~ 현재 과학기술정책연구원 혁신정책연구센터
 선임연구위원
 관심분야: 선도산업의 기술혁신, 대학의 연구활동과 산학협력

이 공 래