

연구개발비규모를 고려한 과학지식의 기술연계 특성 분석 : 미국 사례

Analysis of Characteristics of Linkage between Science and Technology
in U.S. Considering R&D Expenditure

심우중(Woo-Jung Shim)*

목 차

- | | |
|----------|-----------------|
| I. 연구배경 | IV. 연구방법 및 분석결과 |
| II. 선행연구 | V. 논의 및 결론 |
| III. 데이터 | |

국 문 요 약

미국에서 기초연구는 기술발전 또는 경제성장에 크게 기여한 것으로 여겨진다. 특히 기초과학의 상당 부분을 담당하는 대학은 과학지식 연구, 교육, 기술이전 등의 활동을 통해 경제성장에 실질적으로 기여하고 있는 것으로 평가받고 있다. 그러나 과학이 기술적 성과에 어떤 영향을 얼마나 끼치는가는 아직 명확하지 않으며, 여러 학자들은 과학과 기술의 상호작용은 생각보다 매우 복잡하다고 말한다.

이 연구는 이러한 맥락에서 과학지식과 기술의 상호작용(또는 과학기술연계) 특성을 분석하였다. 분석은 미국을 대상으로 하였다. 미국의 R&D지출 규모, 과학논문수, 특허에 인용된 과학논문 등을 활용하였다. 분석결과 미국특허는 대학의 과학논문을 가장 많이 인용하였다. 그러나 전체 과학논문을 고려한 상대적 인용 강도는 산업부문이 더 높았다. 즉, 과학과 기술의 연계는 대학에서 가장 많이 이루어 지지만 상대적인 크기를 고려하면 산업부문의 과학지식이 더 활발하게 기술로 이어지고 있다고 볼 수 있다. 한편 과학분야별 분석에서는 화학, 물리, 생물학 분야에서 과학기술연계가 가장 활발하게 이루어지고 있었다. 특히 컴퓨터과학, 농경학, 공학 분야는 최근 연계강도가 크게 증가하였다.

결과적으로 본 연구는 과학지식에 대한 정부지원정책 또는 연구개발평가 등에 도움을 줄 것으로 기대된다. 대학은 가장 많은 과학기술연계가 이루어지는 공간이며, 이 점에서 대학 기초과학에 대한 정부 지원은 여전히 중요하다. 산업부문 과학지식은 다른 연구주체보다 상대적으로 기술연계강도가 높았으며, 이는 산업부문의 과학지식생산 또한 장려할 필요가 있다는 것을 의미한다. 과학분야별로는 각 과학 분야의 R&D유형을 4가지로 분류하여 연구결과의 정책적 활용도를 높이고자 하였다.

핵심어 : 과학기술연계, 과학지식의 기술연계, 특허의 과학논문인용, R&D유형

※ 논문접수일: 2011.9.16, 1차수정일: 2012.1.28, 게재확정일: 2012.3.8

* 고려대학교 대학원 과학기술협동과정 박사과정, swjkorea@gmail.com, 010-2988-6120

ABSTRACT

Basic research have contributed to technological growth or economic growth in U.S. Specially recent studies say that universities also contribute to economic development through scientific activities like science research, education, technology transfers. But we can not assure whether scientific knowledge was connected to real technology or economic performance, and it is difficult to figure out the effect of scientific output. "What is the exact performance of scientific knowledge?" It is still obscure.

In this context, this paper analyzes characteristics of the linkage of science and technology. Data are U.S. R&D expenditure, scientific articles, citation of articles in U.S. patents by fields and sectors. As a result, university sector has the most weight of the linkage of science and technology. But, in relative connection rate analysis, industrial sector's is stronger than any other sectors. In the field analysis, linkage of science and technology is very strong in Chemistry, Physics, Biological sciences fields. And recently the linkage was increased in the fields of Computer science, Agricultural science, Engineering.

Finally, this paper supports funding policy or estimation policy of government to product of scientific knowledge. University sector is still important because it has the most weight of the linkage. Scientific knowledge of industrial sector is also important. The connection rate of industrial science is the strongest in all sectors. And this research classify the R&D type by science fields. Considering the differences of science fields is needed to product science knowledge effectively.

Key Words : linkage of science and technology, connection of science and technology, article reference in patents, classification of R&D

I. 연구배경

미국에서 기초연구(basic research)는 미국의 기술발전 또는 경제성장에 크게 기여한 것으로 평가받고 있다(Nelson, 1959). 특히 여러 연구자들은 기초과학의 많은 부분을 담당하고 있는 대학이 과학지식 연구, 교육, 기술이전 활동 등을 통해 기술적 성과에도 기여하고 있다고 평가한다(Feller, 1990; Rosenberg and Nelson, 1994; Feller et al., 2002; Goldstein and Renault, 2004). 이처럼 과학지식이 경제적 성과를 가져온다는 것이 밝혀지면서 Etzkowitz et al.(2000)은 산업기술의 원천으로서 대학의 역할을 강조하였고 대학과 산업, 정부 부문의 상호작용에 주목하였다.¹⁾ 그는 이러한 상호작용을 일컬어 대학-산업-정부의 “삼중나선(triple helix)”이라고 부르기도 하였다.

우리나라 또한 이와 같은 맥락에서 대학 과학지식의 산업적 확산을 강조하고 있으며 현재 다양한 대학 산학협력 정책이 시행되고 있다(배태섭, 2011; 한국연구재단, 2010). 2001년 개정된 「기술이전촉진법」은 민간부문의 기술이전 및 사업화를 촉진하기 위한 정부의 공적 지원을 허용하였다. 2003년 개정된 「산업교육진흥 및 산학협력촉진에 관한 법률」(산촉법)은 산학협력 촉진을 목적으로 대학 산학협력단 설치를 장려하였고, 이에 따라 2004년부터 대학 특허의 유지 및 관리, 기술이전 등을 전담하는 산학협력단이 설치되었다.²⁾ 또한 산촉법은 2008년 개정되면서 대학 기술지주회사 설립을 장려하고 대학이 자회사를 통해 직접적인 이윤추구를 가능토록 하였다.

과학지식에 대한 이러한 관심 이면에는 과학이 기술적 성과를 낳고, 더 나아가 상업적 성과를 창출할 것이라는 선형적 가정이 깔려있다. 그러나 과학지식이 기술에 실제로 기여하는지, 기여한다면 그것이 어떤 분야에서 어떻게 나타나는지는 아직 명확하지 않다(Niosi, 2006).³⁾ 따라서 현재 우리나라에서는 산학협력정책을 통해 대학 과학으로부터 기술적, 경제적 성과를 유도하고 있지만 과학과 기술의 관계에 대한 충분한 이해가 없다면 이러한 산학협력정책은 효과를 거두기 어려울 수 있다. 또한 현 정부의 과학기술기본계획에서 우리나라는 정부 지원

1) 과학지식의 상업적 성과에 관한 대표적 연구로 Mansfield(1991; 1998)가 있다. 그는 미국 7개 산업(정보처리, 전기, 화학, 도구, 의약, 금속, 석유)에 속한 주요 기업을 대상으로 제품개발에 대한 대학연구의 영향력, 상업화되기까지 걸리는 시간 등을 조사하였다. 연구결과, 제품의 약 11%, 공정의 약 9%가 대학의 도움을 받았고, 대학 연구결과가 상업화 되기까지 평균 7년의 시간이 걸렸다. 또한 Beise and Stahl(1999)은 독일 기업을 대상으로 Mansfield와 유사한 결과를 얻었다.

2) 2003년 법 개정 직후인 2003년에 10개, 2004년에 123개 대학이 산학협력단을 설치하였다(한국연구재단, 2010).

3) 최초의 근대적 산업화를 달성한 것으로 평가받는 영국 산업혁명(일반적으로 1750-1850년)에 대한 역사학자들의 분석은 과학지식이 기술로 연결되지 않을 수 있다는 것을 보여준다. 이들은 역사적 사례로부터 16-17세기 과학혁명의 과학적 업적이 산업혁명에 별다른 영향을 끼치지 못했다는 쪽으로 기울었다. 과학지식의 역할에 대한 이러한 회의적 연구결과는 과학과 기술의 발전이 서로 개별적일 수 있다는 것을 보여준다(김중현, 2006; p.127-130).

R&D의 기초연구예산 비중을 2008년 25.6%에서 2012년 35%까지 확대하기로 하였는데(국가과학기술위원회, 2008), 이러한 공적지원의 효과적 실행을 위해서도 과학과 기술의 상호작용(또는 과학기술연계)에 관한 이해가 필요하다.

과학기술연계에 관한 연구는 1980년대부터 활발하게 이루어졌으며, 이 시기부터 특허데이터를 활용한 계량연구가 시작되었다(Carpenter & Narin, 1983; Coward & Franklin, 1989). 대부분의 연구는 특허에 인용된 과학논문을 분석하여 이루어졌다(Narin et al. 1997; Verbeek et al. 2002). 여기서 과학논문은 과학을, 특허는 기술을 대리한다고 보고 특허에 인용된 과학논문이 과학기술연계를 보여준다고 보았다. 이러한 과학기술연계는 최근으로 올수록 더 강해지는 모습을 보였다. Narin et al.(1997)은 1987-88년, 1993-94년에 출원된 미국 특허에 인용된 과학논문수를 비교하여 최근 과학기술연계가 크게 증가하였다고 설명하였다.

한편 과학기술연계 강화를 지지하는 일부 연구자들은 과학지식이 기술로, 기술이 다시 경제성장으로 이어진다는 “선형적” 관점을 지지하는 것처럼 보인다. Narin et al.(1997)은 과학기술연계의 긍정적 측면을 강조하면서 당시 미국 대통령 클린턴의 발언을 인용한다.⁴⁾ 이는 최근 과학기술연계가 더욱 강해지고 있으므로 과학지식(또는 기초과학)의 진보에 더욱 초점을 맞춰야 한다는 것을 의미한다. 그러나 Verbeek et al.(2002)은 이러한 선형적 관점을 비판하면서 과학과 기술의 상호작용이 갖는 역동성과 복잡성을 강조한다. 그는 지식의 생산과 확산 구조가 구성요소 사이의 상호작용이 활발하게 이루어지는 내재화된 네트워크(network-embedded) 구조로 진화하고 있기 때문에 과학과 기술의 관계에 대한 더 깊은 이해가 필요하다고 주장한다. 그에 따르면 과학기술연계는 과학기술 분야 또는 연구수행 주체 등에 따라 서로 다르게 나타나며, 그것은 매우 복잡하다.

이러한 맥락에서 이 연구는 연구주체별, 과학분야별 차이에 초점을 맞추어 과학기술연계 특성을 분석하였으며, 그 과정에서 연구개발비용을 고려하였다. 연구개발비를 표준화 지표로 활용하여 각 연구주체 및 과학분야의 상대적 비교를 수행하였다. 연구주체 또는 과학기술분야별 과학기술연계 특성이 다르다는 것은 기존연구에서 잘 밝혀진 바 있으나(Narin et al., 1997; Verbeek et al., 2002; 노경란·한상완, 2006; 박현우 등, 2011), 대부분의 연구는 총량을 비교했을 뿐 각 주체 또는 분야의 상대적 크기를 비교하지는 않았다. 분석자료는 미국 국립과학재단(National Science Foundation, NSF)의 Science and Engineering indicators 2010(이하 S&EI)을 활용하였다. S&EI는 연구개발비용, 논문성과, 특허가 인용한 과학기술논문수 등의 데이터를 연구주체별, 과학기술분야별로 제공한다. 한편 이 연구는 연구주체 측면에서 기존연구와 차이점이 있다. 기존연구에서 연구주체는 “특허(또는 기술) 보유자”이고, 따라서 기술 보

4) “과학적 진보는 더 풍성한 기술혁신을 가져온다. 그리고 기술혁신은 경제성장, 건강관리 및 많은 다른 분야의 개선으로 나타난다.”(Narin, 1997; p.317).

유자를 중심으로 과학기술연계를 분석하였다. 때문에 이들 분석은 어떤 주체의 과학지식이 기술로 연계되는지 살펴보기 어려웠다. 이 연구에서 활용한 데이터는 “과학논문(또는 과학지식) 보유자”를 연구주체로 하기 때문에 과학기술연계를 과학지식을 중심으로 분석하기 용이하다. 즉, 이 분석은 과학에 대한 지원이 어떠한 기술적 성과를 가져올지 보다 직접적으로 살펴볼 수 있다는 장점을 갖는다. 과학분야별 분석은 대학만을 분석대상으로 하였다. 대학은 과학기술연계의 가장 큰 부분을 담당하고 있는 것으로 알려져 있으며, 실제로 과학연구를 가장 활발하게 수행하는 연구주체이기 때문이다.⁵⁾

II. 선행연구

1. 과학기술연계 분석 방법

과학기술연계 분석에는 본질적인 어려움이 존재한다. 과학기술에 대한 투입(input), 결과(output), 영향(impact) 등에 해당하는 주요 지표는 모두 간접적으로 측정될 수밖에 없기 때문이다(OECD, 1994). 따라서 대부분의 양적 연구에서는 특허와 과학논문을 각각 기술과 과학을 표현하는 대리변수로 놓고, 과학과 기술의 상호작용을 분석한다. 이러한 분석은 분명한 한계를 갖지만, 그럼에도 불구하고 어느 정도 유의미한 분석은 가능하다는 것이 일반적인 견해이다(Smith, 1998; Verbeek et al., 2002).

Verbeek et al.(2002)은 과학기술연계 분석은 두 가지 방식으로 이루어질 수 있다고 설명한다. “간접적(indirect)” 접근과 “직접적(direct)” 접근이 그것이다. 간접적 접근은 과학자나 기술자, 또는 교육과정 등 주로 인적 측면을 가지고 과학기술연계를 이해하고자 한다. 과학지식이 어떠한 통로로 어떻게 기술로 연계되는지에 관한 질적 분석이 이에 해당한다. 반면 직접적 접근은 특허문헌의 서지정보(인용정보 등)와 같은 계량적 지표를 이용하여 과학과 기술의 상호작용을 분석한다. 특허인용분석은 가장 대표적인 직접적 접근방법이다. 특허데이터가 갖는 여러 가지 장점은 과학기술연계의 다양한 측면을 정량적으로 분석하는 것을 가능하게 한다.⁶⁾

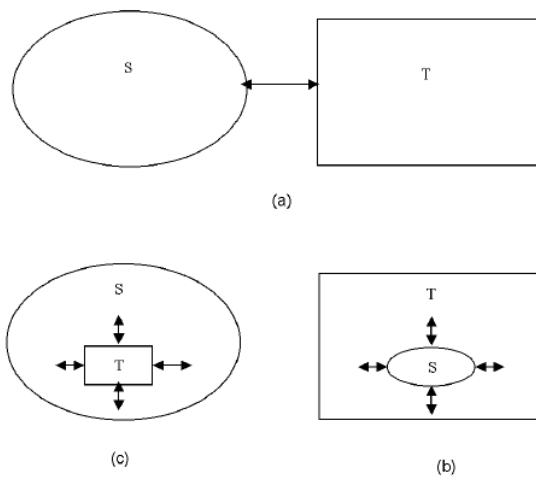
5) 미국 대학은 미국 전체 기초연구예산의 약 55%(약 520억 달러, 명목달러기준)를 차지하며 미국 과학기술분야 박사 학위 소지자의 약 45%가 대학에 소속되어 있다. 그리고 S&EI에서 과학분야별 데이터는 대학 부문에 한해 보다 상세하게 제공된다.

6) 특허인용분석은 과학과 기술의 상호작용을 분석하는 가장 일반적인 방법이다. 특허를 활용한 분석은 특허데이터가 기술 및 지식기반에 대한 장기간의 양적, 질적 분석이 가능한 데이터라는 점 등에서 장점을 갖는다. 그러나 특허는 반드시 상업화될 것이라는 보장이 없고 실제 연구개발활동의 일부분에 불과하다는 점 등에서 명백한 한계점 또한 존재한다(Meyer, 2002).

그러나 과학기술연계가 특허인용과 같은 직접적 방법이 아닌 다른 다양한 방법을 통해 이루어질 수 있다는 점에서 한계가 있다.

Meyer(2002)는 위와 같은 한계점을 인식하고 과학기술연계에 대한 세 가지 접근 방식을 제안한다. (그림 1)은 각각의 접근법을 요약적으로 표현하고 있다. 그림에서 S는 과학(Science) 또는 대학을, T는 기술(Technology) 또는 산업부문을 가리킨다. 첫 번째 접근(a)은 과학과 기술의 전반적인 연결에 대한 분석으로, 특허인용분석이 가장 대표적인 방법이다. 특허에 포함된 과학논문인용은 과학과 기술 사이의 지식흐름을 측정하는 가장 대표적인 방법이다. 특허인용분석을 통해 특허신청자와 특허심사자가 활용한 선행연구가 무엇인지 알 수 있고 인용된 연구의 속성을 알 수 있으며 인용된 과학논문의 저자가 누구인지 등을 알 수 있다(Smith, 1998). 그러나 특허인용분석은 인적 이동 또는 교류를 통한 지식(특히 암묵적 지식) 흐름을 따라갈 수 없다는 본질적 한계를 갖는다.

두 번째 접근(b)은 산업부문에서 과학이 어떤 상호작용을 하는지에 관한 분석이다. 특정 기업의 논문출판 활동을 살펴봄으로써 특정 기업의 과학기반이 어떠한지에 대한 통찰을 얻을 수 있다. 예를 들면 기업 논문의 공동저자 지도를 그리는 방법을 통해 대학-기업의 상호작용을 탐색할 수 있다. Godin(1995)은 기업 논문의 서지정보를 통해 산업계에서 중요한 과학 분야가 무엇인지, 유용한 과학수준(기초 또는 응용)이 무엇인지 등을 분석하였다. 이러한 방식의 연구는 산업계에서 출판되는 논문수가 적다는 점, 그리고 연구의 초점이 대개 대기업에만 맞춰진다는 점에서 한계를 갖는다.



(자료 : Meyer, 2002)

(그림 1) 과학기술연계에 대한 세 가지 접근 방식

마지막으로 세 번째 접근(c)은 과학활동에서 나타나는 기술적 양상에 관한 것이다. 대표적으로 대학 특허를 대상으로 한 연구가 이에 해당한다. 대학 특허는 대학의 기술이전 성과를 측정하는 지표로 종종 활용된다. 또한 특허정보분석은 설문조사나 사례연구보다 훨씬 포괄적인 분석을 가능하게 한다는 장점을 갖는다(Henderson et al., 1998). 그러나 상당수 특허는 상업적으로 이용되지 않으며 대학 과학지식이 산업으로 전달되는 경로는 특허 외에도 컨설팅, 논문, 컨퍼런스, 비공식적 커뮤니케이션 등 다양하다(Sampat, 2006).⁷⁾ 이 점에서 특허를 활용한 연구는 본질적인 한계를 갖는다.⁸⁾

결과적으로 Meyer는 위의 세 가지 접근을 고려하여 핀란드의 과학기술연계를 분석하였다. 그는 접근(b)와 (c)를 활용한 분석에서 접근(a), 즉 특허인용정보를 활용한 분석에서 나타난 것보다 훨씬 많은 연계가 대학과 산업부문 사이에 존재한다는 것을 밝혀냈다. 산업계 과학논문의 약 절반이 대학 연구자들과의 공동저작이었으며, 이는 특허인용분석에서 볼 수 있었던 것보다 대학과 산업의 연계가 강하다는 것을 의미한다. 또한 그의 연구는 특허인용분석에서는 과학기술연계가 거의 나타나지 않았던 기술분야에서도 상당히 많은 과학활동이 존재함을 보였다.

2. 과학기술연계 특성

과학과 기술의 상호작용은 1990년대 들어 크게 증가하였으며, 이러한 경향은 미국을 비롯한 세계 주요 국가에서 공통적으로 나타났다(Narine et al., 1997). (그림 2)는 그러한 경향을 잘 보여준다. Narin et al.(1997)은 최근 과학기술연계가 강화되고 있다는 다양한 각도에서 분석하였는데, 이들의 연구결과를 요약하면 아래와 같다.

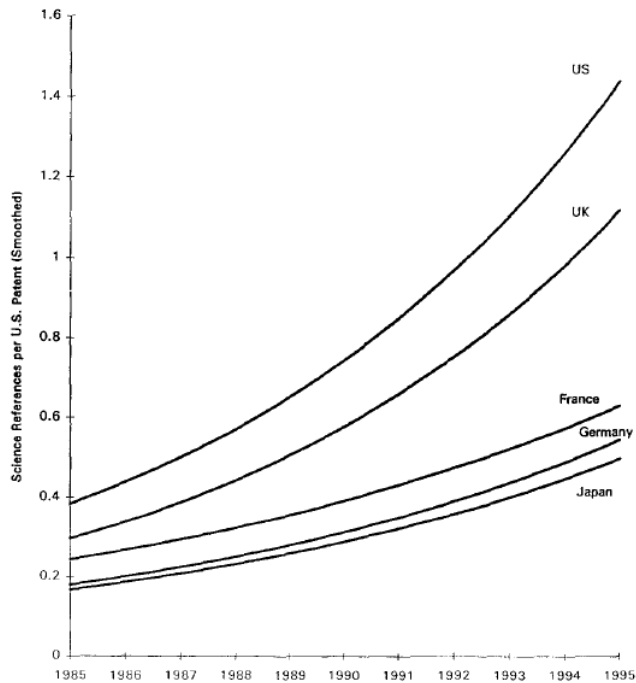
- 과학기술연계는 국가별로 묶인다. 예를 들면, 미국 발명자의 특허는 미국 저자의 과학논문을 훨씬 많이 인용한다.
- 과학기술연계는 서로 유사한 과학분야, 기술분야끼리 주로 이루어진다. 예를 들면, 제약 및 의약 분야 특허는 생명의학(biomedical) 분야의 과학논문을 주로 인용한다.

7) Cohen et al.(2002)은 기업 R&D 관리자를 대상으로 대학으로부터 도움을 받는 경로에 관한 설문조사를 실시하였다. 대부분의 산업에서 R&D 관리자들이 가장 중요하게 여긴 경로는 논문, 컨퍼런스, 비공식적 정보교환으로 나타났으며 특허와 라이선스는 상대적으로 낮은 순위에 위치하였다. 그러나 특허와 라이선스는 제약 산업에서는 상당히 중요한 경로로 나타났다.

8) 이 밖에도 특허와 같은 문헌정보는 현실에서 발생하는 다양한 연계 양상을 반영하기 어렵다. 일례로 Landry et al.(1996)은 특허 등의 문헌정보가 산학협력의 장애물에 관한 다양한 정보를 주지 못한다는 점을 지적하였다. 그는 특허/라이선싱 의견불일치, 제한적 정보공개, 대학과 기업의 제도적 또는 문화적 차이, 협력에 필요한 시간 및 비용 등을 언급한다.

- 과학기술연계는 1987-88년보다 1993-94년에 크게 증가하였다. 6년 동안 총 미국특허수는 약 30% 증가한 반면 인용된 과학논문수는 2배 이상으로, 인용횟수는 3배 이상으로 증가하였다.
- 유명 대학 및 실험실의 과학논문 인용 비중이 매우 높았다.
- 특허에 인용된 과학논문 다수는 미국 정부기관 등의 공적 지원을 받았다.

Narin et al.(1997)은 이 중 특히 공공과학(public science)이 과학기술연계 강화에 핵심적 역할을 했다고 주장한다. 미국특허에 인용된 과학논문 중 약 73%(미국 43.9%, 외국 29.4%)가 공공부문(또는 공공기관의 지원을 받은 저자)의 과학논문이었으며, 이로부터 미국 산업의 과학기반은 대부분 공공부문에 있다는 것을 알 수 있다.



(자료 : Narin et al., 1997)

(그림 2) 과학기술연계의 강화

Verbeek et al.(2002)의 연구는 특허인용분석을 활용하여 위와 마찬가지로 최근 과학기술연계가 강화되고 있다는 것 보여주었다. 그는 1980-1996년 기간 동안 출원된 미국특허 중 등

록된 특허를 분석하여 해당 기간 동안 비특허인용(NPR, Non Patent Reference)이 크게 증가하였음을 보여주었다. 비특허인용의 대부분이 과학논문이라는 점에서 그는 비특허인용이 과학과 기술의 연계를 보여준다고 보았다. 1992-96년 기간의 모든 특허 중 35%가 비특허인용을 포함하고 있었고, 7%는 비특허인용을 6개 이상 포함하였다. 한편 Verbeek et al.(2002)은 특허 특허의 기술분야(IPC subclass 기준)에 초점을 맞추어 최근 비특허인용이 크게 증가하였지만 이러한 급증은 일부 분야(소위 과학기반 기술)에 한정된다는 것을 밝혔다. 모든 기술분야 중 7%에 해당하는 31개 분야에 속하는 특허가 전체 특허의 약 40%, 전체 비특허인용 횟수의 약 80%를 차지하였다. 즉, 7% 분야에 속하는 특허의 과학기술연계는 다른 분야보다 평균 2배 정도 더 높았다. 한편 과학분야(ISI-science domain 기준)를 기준으로 살펴보면 전체 분야 중 약 18%에 해당하는 33개 분야가 특허에 인용된 과학논문의 80% 이상을 차지하였다. 이러한 결과는 일부 기술 또는 과학분야에서 과학기술연계가 훨씬 활발하게 일어난다는 것을 의미한다.⁹⁾

한편 최근 국내 연구를 살펴보면 노경란·한상완(2006)은 1990-2006년 기간 동안 등록된 한국인 미국특허의 특허인용정보와 인용된 과학논문을 수집하여 과학기술연계 분석을 수행하였다. 이들은 Verbeek et al.(2002)의 연구방법을 참고하여 과학확산지수와 과학흡수지수를 계산하여 기술분야와 과학분야 사이의 연계를 살펴보았다.¹⁰⁾ 분석결과는 Verbeek et al.(2002)과 유사하였으나, 국내 산업 특성을 반영하여 과학분야에서는 전기전자공학과 응용물리학, 기술분야에서는 반도체 분야의 과학기술연계가 가장 높게 나타났다. 기술분야 중 의약품 분야는 과학논문 인용수는 반도체 분야보다 약간 낮았지만 가장 다양한 과학분야를 인용하는 것으로 나타났다.¹¹⁾ 그리고 특허의 출원년과 과학논문의 발행년 사이의 시차를 계산한 결과 반도체(4.8년), 광기술(6.2년)은 비교적 짧았고 의약품(7.9년), 바이오기술(8.2년)은 상대적으로 길었다.

박현우·손종구·유연우(2011)는 유사하게 1990-2006년 기간 등록된 한국인의 미국특허 중 표제면(title page)에 학술지 또는 학술회의자료에 수록된 과학논문을 포함하고 있는 특허를 활용하여 과학기술연계 특성을 분석하였다.¹²⁾ 이들은 이 데이터를 활용하여 기술분야별, 주제

9) 과학기술연계가 활발한 기술분야 : 약리학, 생명공학, 유기 정밀 화학, 반도체, 정보통신기술, 디지털신호처리 등.

과학기술연계가 활발한 과학분야 : 생물화학 & 분자생물학, 약학, 다학제적 분야, 면역학, 화학, 생물리학, 전기전자공학, 응용물리학 등

10) 과학확산지수(science diffusion indicator)는 피인용된 과학논문이 속한 과학분야와 인용을 통해 연계된 기술분야의 수로 계산된다. 과학확산지수가 높은 과학분야는 더 많은 기술분야와 연계된다는 것을 의미한다.

과학흡수지수(science absorption indicator)는 특정 기술분야에 인용된 과학논문의 과학분야 수로 계산된다. 과학흡수지수가 높은 기술분야는 더 많은 과학분야와 연계된다는 것을 의미한다.

11) 또한 이들은 과학분야와 기술분야를 활용하여 유사한 과학기반을 갖는 기술군끼리 묶었다. 과학논문에 대한 인용빈도가 높은 기술분야는 크게 전기전자 기술군과 생화학 기술군으로 구분되는데, 생화학 기술군은 과학흡수지수가 높고 주로 기초과학과 관련된다. 반면 전기전자 기술군은 과학확산지수가 높은 과학분야와 연계되고 주로 응용과학과 관련된다.

12) 한국인의 미국등록특허 중 16.8%가 평균 2.97건의 과학논문을 인용하고 있었고, 과학논문을 인용한 특허 중

별로 과학과 기술의 연계 강도와 인용시차를 계산하였다.¹³⁾ 결과를 요약하면 과학기술연계강도는 화학, 의약품, 바이오 기술분야가 5.06으로 가장 높게 나타났다. 반면 소비재는 1.84, 전기전자는 1.99로 매우 낮게 나타났다. 주체별로는 대학이 다른 주체보다 뚜렷하게 강하게 나타났다. 대학의 연계강도는 7.59로 가장 높았고, 기업은 2.89, 연구소는 2.67로 상대적으로 낮았다. 특징적인 것은 기업의 연계강도가 1990년대(1.89)보다 2000년대(3.28)에 크게 증가하였다는 점이다. 인용시차는 화학, 의약품, 바이오 기술분야가 8.75년으로 가장 길게 나타났다. 소비재는 4.97, 전기전자는 5.68로 비교적 짧은 것으로 나타났다. 주체별로는 대학의 인용시차가 7.54년으로 가장 길었다. 기업은 6.98년, 연구소는 6.95년으로 나타났다.

III. 데이터

분석에 활용된 S&EI 데이터는 미국국립과학재단(NSF) 홈페이지에서 찾을 수 있다.¹⁴⁾ S&EI는 미국의 연구주체별, 과학분야별 R&D비용 및 성과 데이터를 제공한다. 이 중 1990-2008년 기간의 R&D비용, 1995-2008년 기간의 과학논문수, 1998-2008년 기간 동안 미국특허의 인용논문수를 분석에 활용하였다. 연구주체는 연방정부, 주/지방정부, 산업부문, 대학, 비영리부문 등으로 구분되는데, 이 중 R&D규모 및 성과가 상대적으로 큰 연방정부, 산업부문, 대학, 비영리부문을 분석대상으로 하였다. 과학분야별 분석은 연구주체 중 대학만을 대상으로 하였고 S&EI에서 과학분야는 다음 12개 분야로 구분된다.¹⁵⁾ 컴퓨터과학(Computer sciences), 환경과학(Environmental sciences 또는 Geosciences), 농경과학(Agricultural sciences), 생물학(Biological sciences), 의학(Medical sciences), 수학(Mathematics), 천문학(Astronomy), 화학(Chemistry), 물리학(Physics), 공학(Engineering), 심리학(psychology), 사회과학(social sciences). 이 중 비과학 영역인 심리학과 사회과학 분야를 제외한 10개 과학분야를 분석대상으로 하였다. 공학은 과학분야에 속하지 않지만 비교분석을 위해서 분석대상에 포함하였다.

56.5%가 전기전자 기술분야에 속했다. 기술혁신 주체별로는 기업 특허가 73.6%를 차지했다. 대학의 경우 1990년대에는 특허가 거의 없었다.

13) 연계강도는 과학기술연계지수(전체 특허에 인용된 과학논문의 수/전체 등록특허의 수)로 측정하였고, 연계시차는 특허의 출원시점과 인용된 과학논문이 발행년도 간 차이로 측정하였다.

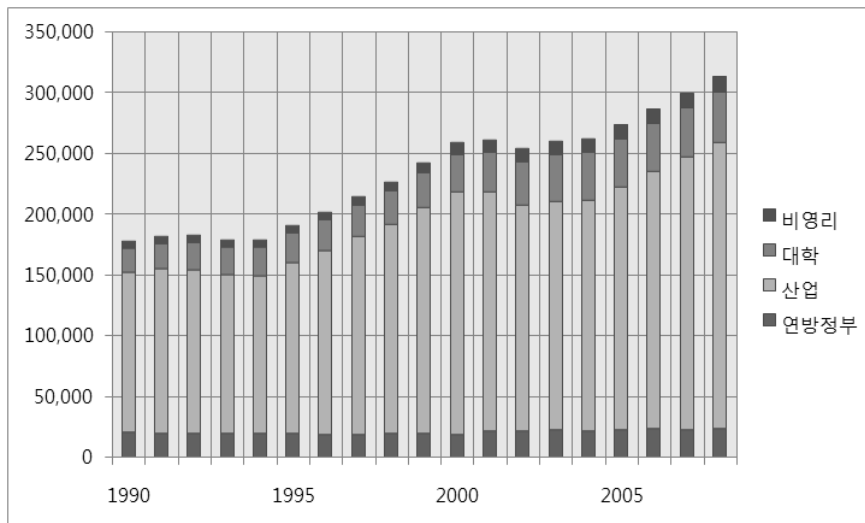
14) <http://www.nsf.gov/statistics>

15) S&EI에서는 대학(university and college), 고등교육기관(higher education), 학술기관(academic institution) 용어를 혼용해서 사용하고 있는데, 여기서는 이들 용어를 모두 “대학”으로 통일하여 사용하였다.

1. 연구개발비용

미국의 과학기술 연구개발(R&D)비용은 1990년 약 1,860억 달러 규모에서 2000년 2,670억 달러, 2008년 3,250억 달러 수준으로 꾸준히 증가하였다. (그림 3)은 연방정부, 산업부문, 대학, 비영리 기구의 연구개발비용 변화를 보여준다. 산업부문의 R&D규모가 2008년 기준 약 76%(2,360억 달러)를 차지하고 있고, 뒤이어 대학이 약 13%(418억 달러), 연방정부가 약 8%(221억 달러), 비영리기구가 약 4%(127억 달러)를 차지하고 있다.

미국 대학은 특히 기초연구(basic research)분야에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 대학은 연구개발비용을 기준으로 전체 기초연구의 절반 이상을 차지하고 있으며, 대학에서 수행하는 R&D의 대부분은 기초연구와 응용연구에 해당한다. 2008년 대학 R&D의 76%는 기초연구에, 21%는 응용연구에 투입되었다. 한편 이 연구에서는 과학지식이 분야별로 어떻게 기술과 연계 되는지 살펴보기 위해 대학의 과학분야별 데이터에 초점을 맞추었다. 대학의 과학분야별 R&D규모는 <표 1>에서 볼 수 있듯이 의학분야가 약 141억 달러(33%)로 가장 큰 규모를 차지한다. 이어서 생물학분야가 약 80억 달러(19%), 공학분야가 65억 달러(15%) 순이다.



(자료 : NSF, 2010)

(그림 3) 연구주체별 R&D규모 변화(FY2000 constant¹⁶⁾)(백만 달러)

16) R&D 규모는 인플레이션 부분을 제거한 2000년 기준 실질 달러 가치(FY2000 constant \$)를 이용하였다.

〈표 1〉 대학 과학분야별 R&D규모(FY 2000 constant)

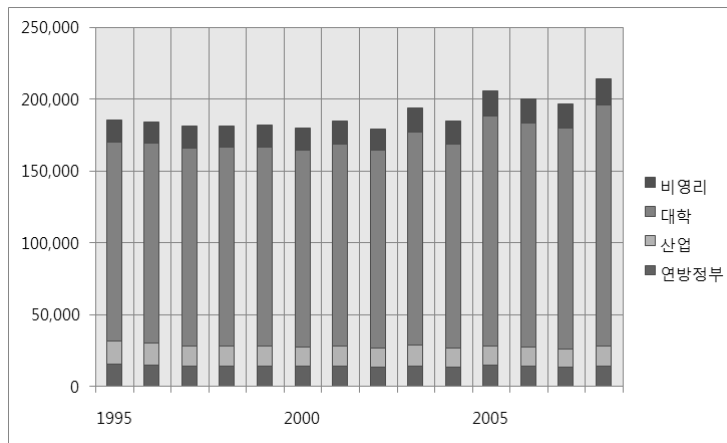
(백만 달러)

분야 연도	천문학	화학	물리학	환경과학	수학	컴퓨터과학	농경학	생물학	의학	공학
1995	330	837	1,073	1,556	302	740	1,968	4,162	6,586	3,814
2000	386	961	1,207	1,765	341	876	2,177	5,619	8,986	4,554
2005	403	1,217	1,417	2,267	439	1,248	2,358	7,847	13,201	5,986
2008	438	1,212	1,309	2,285	507	1,198	2,443	7,971	14,092	6,492

자료 : NSF, 2010.

2. 과학논문

S&EI에서 논문성과는 Thomson Reuters사의 SCI(Science Citation Index)와 SSCI(Social SCI) 저널에 속하는 논문만을 측정된 결과이다. 측정되는 SCI, SSCI 저널은 S&EI 2004 까지는 고정된 저널 집단으로부터 데이터를 추출하였으나, 그 이후로는 매년 업데이트되는 SCI, SSCI 저널을 반영하여 보다 정확하게 성과를 측정하였다.¹⁷⁾ 미국 SCI, SSCI 논문수는 1995년에서 2007년 사이 연평균 2.5% 증가하여 2008년 221,913건이 되었다. 연구주체별로는 대학이 167,846건(76%)으로 전체의 약 3분의 2를 게재하였고, 이어서 비영리기구가 약 8%, 연방정부가 약 6%, 산업부문이 약 6%를 게재하였다(그림 4).



(자료 : NSF, 2010)

(그림 4) 연구주체별 과학논문게재수

17) S&EI의 논문 성과 측정에 관한 보다 자세한 설명은 NSF(2010; p.5-30)을 참고하라.

한편 과학분야별로 살펴보면 <표 2>와 같다. 의학분야의 논문이 43,979건(31%)으로 가장 많이 게재되었고, 이어서 생물학분야가 40,315건(28%), 물리학분야가 15,894건(11%), 화학분야가 12,839건(9%) 순이다.

<표 2> 대학 과학분야별 SCI, SSCI 논문게재수

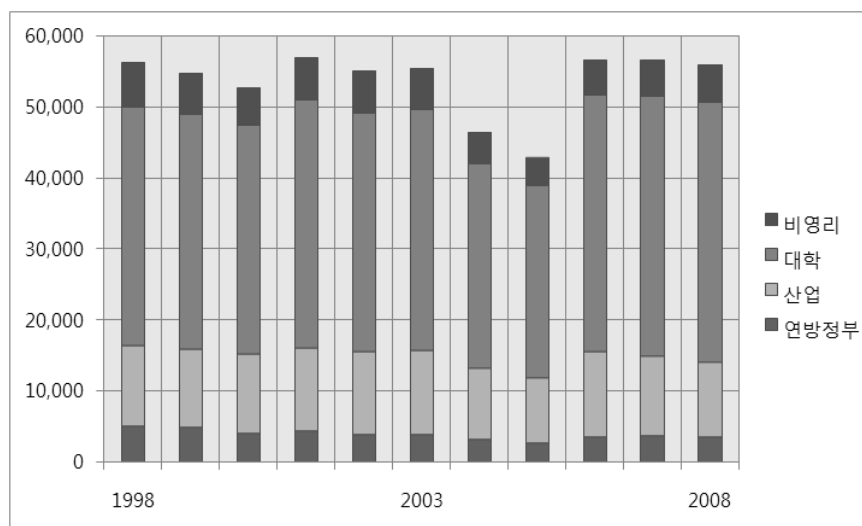
연도\분야	천문학	화학	물리학	환경과학	수학	컴퓨터 과학	농경학	생물학	의학	공학
1995	1,613	10,732	13,622	6,397	2,951	1,398	2,599	38,694	36,546	7,858
2000	1,602	10,997	12,103	6,586	3,450	1,475	2,638	37,185	36,261	7,420
2005	1,854	13,133	15,427	7,764	3,675	1,912	2,594	41,463	42,342	10,119
2008	1,955	12,839	15,894	8,692	4,230	1,886	2,757	40,315	43,979	11,130

자료 : NSF, 2010.

3. 특허에 인용된 과학논문

S&EI는 특허에 인용된 과학논문 데이터를 제공하며, 이를 통해 특정 주체의 과학논문이 얼마나 인용되었는지 알 수 있다. 여기서 과학논문은 SCI, SSCI 저널에 속하는 미국 과학논문만을 포함하고, 인용은 특허출원년도에서 5년의 시간차를 두고 그 이전 6년 기간 동안 게재된 논문을 대상으로 한다.¹⁸⁾ 예를 들면, 2003년 인용 데이터는 2003년에 출원된 미국 특허가 인용한 1993-1998년 기간에 발행된 논문수를 의미한다. 이 지표는 과학지식이 기술지식으로 연계된 정도를 나타내는 것으로 볼 수 있는데, 이러한 연계는 1980년대 말에서 1990년대 초 크게 증가하였다(Narin et al., 1997). 반면 최근 10년 동안은 총 인용 횟수가 약 5-6만 수준을 유지하고 있어, 인용 횟수를 근거로 한다면 과학기술연계강도는 큰 변화없이 안정적인 수준을 유지하고 있다고 볼 수 있다.

18) 한편 NSF(2010; p.5-50) note 54는 특허의 인용논문 횟수 데이터에 관해 특허 기반 데이터는 다음과 같은 이유에서 해석에 유의할 필요가 있다고 말한다. 특허 데이터의 연간 변화량은 USPTO의 특허처리 시간(소위 특허지연율(patent pendency rate))에 따라 변화할 수 있고, 산업 및 기업들은 특허를 위한 서로 다른 전략을 가지고 있기 때문에 연간 데이터가 정확하지 않을 수 있다. 또한 S&EI에서 특허의 과학논문에 대한 인용은 성공적 출원 특허의 표지(cover page)에 기재된 인용으로 제한되는데, 이러한 인용은 특허 심사관에 의해 입력될 수 있고 출원특허의 본문(body)에서 출원자가 인용한 내용을 반영하지 못할 수 있다.



(자료 : NSF, 2010)

(그림 5) 연구주체별 과학논문의 미국특허 피인용 횟수

(그림 5)는 각 주체의 과학논문이 특허에 얼마나 인용되는지 보여준다. 2008년 출원된 미국 특허의 과학논문인용 중 약 64%(36,609번)가 대학 과학논문이었다. 뒤이어 약 18%(10,579번)는 산업부문 논문이었고 약 9%는 비영리기구, 약 6%는 연방정부 논문이었다. 1998-2008년 기간 동안 특허의 과학논문 인용은 별로 증가하지 않았지만, 대학의 과학논문에 대한 인용 비중이 증가하는 것을 볼 수 있다. 미국특허의 대학 과학논문에 대한 인용 비중은 2002년 약 61%에서 2008년 약 66%로 증가하였다. 이러한 증가는 미국 특허 정책의 변화(Bayh-Dole Act), 특허법 해석의 변화(1980년대 생명공학, 소프트웨어 분야의 특허 인정), 대학의 연구역량 강화(과학논문 비중 증가)에 기인한 것으로 보인다. 또한 대학 특허활동이 활발해진 것도 대학에서 과학과 기술의 상호작용이 더욱 활발하게 이루어진 계기가 된 것으로 보인다.¹⁹⁾

한편 특허의 논문인용수를 과학분야별로 살펴보면 논문수와 마찬가지로 생물학과 의학이 각각 2008년 기준 17,300번(47%), 8,122번(22%)으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이어서 화학이 3,933번(11%), 물리학이 3,532번(10%)로 그 뒤를 잇는다.

19) 미국 대학의 등록특허수는 1988년 804건에서 1999년 3,698건으로 크게 증가하였으며, 대학 특허 및 라이선스의 총 로열티 수입(gross royalty)은 1991년 약 1.3억 달러에서 2007년 약 21억 달러 규모로 크게 증가하였다(NSF, 2010).

〈표 3〉 대학 과학논문이 미국특허에 인용된 횟수(과학분야별)

분야 연도	천문학	화학	물리학	환경과학	수학	컴퓨터 과학	농경학	생물학	의학	공학
1998	0	2,342	1,119	85	13	471	189	21,752	6,672	936
2003	0	3,756	2,342	143	26	336	227	18,731	7,060	1,366
2008	0	3,933	3,532	118	28	826	207	17,300	8,122	2,460

자료 : NSF, 2010.

IV. 연구방법 및 분석결과

이 장에서는 미국의 연구주체별, 대학 과학분야별 과학기술연계 특성을 분석하였다. 과학논문은 과학지식을 대리하는 것으로 보았고 특허에 인용된 과학논문은 과학기술연계(또는 상호작용)를 나타내는 것으로 보았다. 그리고 각 연구주체 또는 과학분야의 과학논문수와 인용수를 표준화하기 위한 수단으로 연구개발비용을 사용하였다. 일반적으로 연구개발비는 과학적, 기술적 성과의 선행 변수로 여겨지기 때문이다.²⁰⁾ 서로 다른 연구주체 또는 과학분야는 연구개발비의 차이가 매우 크기 때문에 이들을 비교분석하기 위해서는 연구개발비규모를 활용하는 것이 유용하다고 판단하였다.

분석절차는 먼저 과학논문수와 특허의 논문인용수 데이터를 활용하여 연구주체별, 과학분야별 논문비중-인용비중 지도(map)를 그렸다. 이러한 지도를 그린 이유는 논문게재수가 많을수록 특허에 인용된 논문수 또한 많아질 수 있기 때문에 논문수와 인용수를 같이 살펴보기 위해서다. 이어서 과학논문 비중과 인용 비중을 각 연구주체 또는 과학분야의 연구개발비규모로 나눈 후, 같은 방법으로 다시 한 번 지도를 그려 앞서 얻어진 지도와 비교하였다.

또한 분석에 있어 연구개발비지출과 과학논문, 특허인용 사이의 시차(time lag)를 고려하였다. 이들 사이의 정확한 시차를 반영하는 것은 사실상 불가능하지만 연구개발비지출과 과학지식생산, 기술연계 사이에 일정한 시차가 존재하는 것은 분명하기 때문이다. 시차는 관련 선행 연구를 토대로 연구개발비지출과 논문 사이에는 2년, 논문과 특허인용 사이에는 7년의 시차가 존재하는 것으로 가정하였다.²¹⁾ Adams and Griliches(1996)는 연구개발비지출과 논문 성과

20) 연구개발비(R&D규모)는 연구개발 및 기술혁신 성과 대한 대표적 선행 지표이다. 연구개발비는 논문성과(논문게재수 등), 기술성과(특허등록수 등) 밀접한 양의 상관관계를 갖는다(Adams and Griliches, 1996; 1998; Coupé, 2003).

21) R&D에 대한 투입과 성과에 사이의 시차를 연도 수준으로 정확히 정의하기는 어렵다. Crespi & Geuna(2008)에 따르면 R&D투입 이후 6년까지 논문성과가 나타난다. 또한 학문분야별로 시차가 다를 것이다. 결과적으로 정확한

사이에 평균 2년의 시차가 존재한다고 가정하여 유의미한 결과를 얻은 바 있다. 또한 Crespi & Geuna(2008)는 고등교육기관에 대한 연구개발비지출은 약 2년이 지난 뒤부터 논문 성과로 나타난다고 분석하였다. 특허가 과학논문을 인용하는 인용시차에 관해 노경란·한상완(2006)은 기술분야에 따라 4.8-8.2년의 시차가 존재한다고 분석하였고, 박현우 등(2011)은 평균 7.05년의 시차가 존재한다고 분석하였다. 또한 S&EI에서 특허의 과학논문인용 데이터는 특허출원년의 5-10년(평균 7.5년) 전에 발행된 과학논문 인용수를 집계한 것이기 때문에 7년이라는 시차는 이 점에서도 적절하다. 결과적으로 분석에는 1993-1999년의 연구개발비규모, 1995-2001년의 과학논문수, 2002-2008년의 특허의 논문인용수가 사용되었다.

1. 연구주체별 분석

먼저 각 연구주체의 과학지식이 기술로 얼마나 연계되는지 비교하기 위해 연구주체별 과학논문 비중(각 주체의 논문수/전체 논문수)과 미국특허에 인용된 연구주체별 과학논문 비중(각 주체에 대한 인용수/전체 인용수)을 계산하였다(〈표 4〉). 이 장에서 모든 표의 기준연도는 과학논문발행년이다.

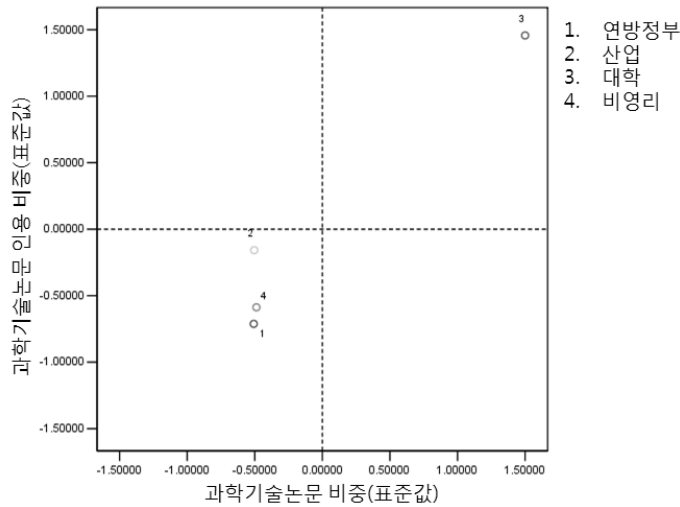
〈표 4〉 연구주체별 과학논문 및 인용 비중

구분	과학논문 비중(%)				인용된 과학논문 비중(%)			
	연방정부	산업	대학	비영리	연방정부	산업	대학	비영리
1995	8.24	8.51	74.97	8.28	6.79	21.33	61.14	10.73
1996	8.01	8.11	75.63	8.25	6.76	21.32	61.64	10.28
1997	7.79	7.80	76.09	8.31	6.30	21.87	62.47	9.36
1998	7.70	7.73	76.28	8.29	5.90	21.34	63.71	9.04
1999	7.56	7.80	76.19	8.45	5.90	21.19	64.11	8.81
2000	7.54	7.64	76.13	8.69	6.19	19.95	64.71	9.15
2001	7.48	7.56	76.25	8.71	5.97	18.97	65.64	9.42

〈표 4〉에서 볼 수 있듯이 과학논문 비중은 대학이 약 75%로 대부분을 차지하고 있고 연방정부, 산업부문, 비영리부문이 각각 약 8%씩을 차지한다. 대학은 인용된 과학논문 비중에서도 가장 큰 부분을 차지한다. 특허의 과학논문 인용 중 60% 이상이 대학 논문을 대상으로 하였

시차를 적용하는 것은 불가능하기 때문에 시차를 어떻게 놓느냐에 따라 일부 연구결과가 달라질 가능성이 없진 않다. 그러나 이 연구에 사용된 연구주체별, 과학분야별 데이터는 시간에 관계없이 거의 유사한 수준의 상대적 크기를 보이기 때문에 시차로 인한 연구결과 오류가능성은 비교적 낮다고 볼 수 있다.

다. 이어서 산업부문에 대한 인용 비중이 약 20%를 차지한다. 산업부문은 과학논문 비중은 약 8%에 불과하지만 인용 비중은 약 20%로 나타나 산업부문의 경우 인용 비중이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다.



(그림 6) 연구주체별 과학기술연계

〈표 4〉의 과학논문 비중 평균을 X축으로, 과학논문 인용 비중 평균을 Y축으로 하면 (그림 6)과 같은 지도를 그릴 수 있다. 그림에서 X, Y축의 값은 각 연구주체의 값을 전체 평균과 표준편차를 이용하여 구한 표준값이다.²²⁾ (그림 6)을 살펴보면 〈표 4〉에서도 확인한 것처럼 대학은 논문과 인용 모두에서 다른 주체보다 상대적으로 매우 큰 값을 갖는다. 이는 과학지식 생산, 과학기술연계 모든 측면에서 대학의 기여가 가장 크다는 것을 의미한다. 산업부문은 논문 비중은 연방정부, 비영리부문과 비슷한 수준이지만 인용 비중은 상대적으로 크게 나타났다. 특히 산업부문은 과학논문 비중은 작지만 과학논문 인용 비중은 상대적으로 크게 나타나 산업부문 과학논문의 편당 인용수(즉, 과학지식생산 대비 과학기술연계강도)가 다른 연구주체보다 크다는 것을 알 수 있다.²³⁾

연구개발비규모(R&D규모)를 고려하여 위와 동일한 분석과정을 다시 한 번 거쳤다. 〈표 4〉의 과학논문 비중과 과학논문 인용 비중을 각 주체의 R&D규모 비중(각 주체의 R&D규모/전

22) 표준값 = $\frac{\text{변량} - \text{평균}}{\text{표준편차}}$

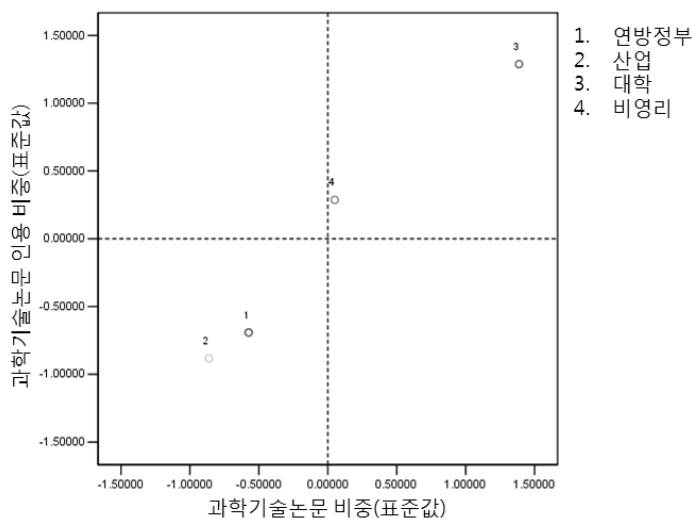
23) 주체별로 (과학기술논문 인용 비중)/(과학기술논문 비중)을 계산하면 산업부문(2.51), 비영리부문(1.08), 대학(0.86), 연방정부(0.80) 순이다.

체 R&D규모)으로 나누어 값을 표준화하였다. 결과적으로 <표 5>에서는 R&D규모가 상대적으로 큰 연구주체의 값은 상대적으로 작아지고, 작은 주체의 값은 커졌다.

<표 5> R&D규모를 고려한 연구주체별 과학논문 및 인용 수준

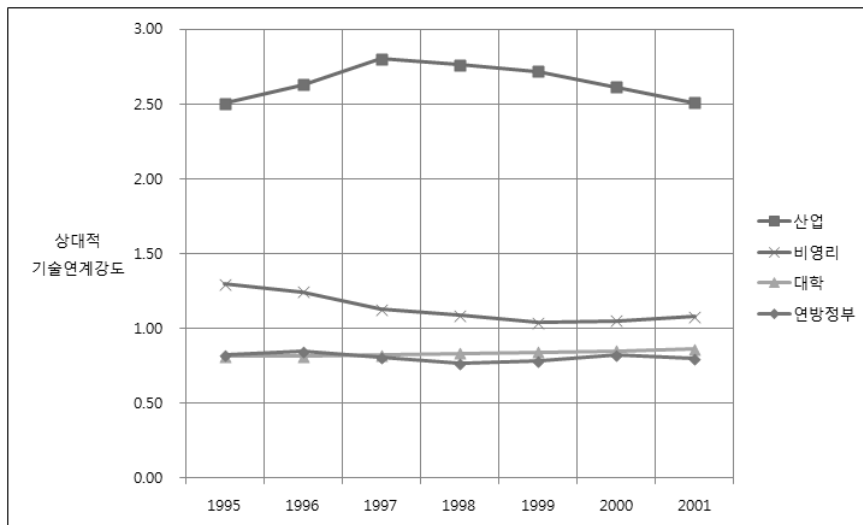
구분	과학논문(표준화)				인용된 과학논문(표준화)			
	연방정부	산업	대학	비영리	연방정부	산업	대학	비영리
1995	0.79	0.12	5.77	2.48	0.65	0.29	4.71	3.21
1996	0.79	0.11	5.63	2.37	0.67	0.29	4.59	2.96
1997	0.81	0.11	5.89	2.50	0.65	0.30	4.84	2.81
1998	0.88	0.10	6.08	2.52	0.67	0.28	5.07	2.75
1999	0.92	0.10	6.24	2.60	0.71	0.28	5.25	2.71
2000	0.95	0.10	6.34	2.60	0.78	0.26	5.39	2.74
2001	0.99	0.10	6.39	2.53	0.79	0.25	5.50	2.74

<표 5>에서 각 연구주체의 평균값을 구하여 위의 (그림 6)과 동일한 방법으로 지도를 그렸다. (그림 7)에서 볼 수 있는 것처럼 R&D규모를 고려했을 경우, 비영리부문이 3사분면에서 1사분면으로 이동한다. 대학에 비해서는 여전히 작은 값이지만, 비영리부문은 산업 또는 연방정부보다는 R&D투입 대비 성과가 높았다. 한편 산업부문은 R&D규모가 전체 R&D의 약 76%를 차지할 정도로 크기 때문에 R&D규모를 고려하자 값이 매우 작아졌다.



(그림 7) R&D규모를 고려한 연구주체별 과학기술연계

마지막으로 연구주체별 과학기술연계강도 추이를 살펴보기 위해 연도를 X축으로, 각 주체의 (과학논문 인용 비중)/(과학논문 비중)을 Y축으로 하는 그래프를 그렸다(그림 7). 그래프의 Y축은 각 주체의 과학논문이 평균적으로 얼마나 많이 특허에 인용되었는지 나타내며 이는 과학지식생산량에 대한 상대적 기술연계강도를 나타낸다고 볼 수 있다. 즉, Y축의 값이 크다는 것은 해당 연구주체의 과학지식이 기술로 더 많이 연결되었다는 것을 의미한다. (그림 8)에서 볼 수 있듯이, 산업부문의 Y값은 다른 연구주체보다 2배 이상 크게 나타나 산업부문의 과학기술연계강도가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 반면 연방정부와 대학은 상대적으로 낮은 수준의 과학기술연계강도를 보였다.



(그림 8) 연구주체별 상대적 기술연계강도 추이

2. 과학분야별 분석

앞서 살펴보았던 것처럼 대학 과학지식은 과학기술연계의 가장 큰 비중을 차지한다. 또한 미국에서 대학은 연구개발비를 기준으로 하면 기초연구의 절반 이상을 차지하고 있다. 이러한 점을 고려하여 여기서는 대학R&D에 초점을 맞추어 과학지식의 각 분야별 과학기술연계 특성을 분석하였다.

분석방법은 앞 절과 동일하다. 먼저 과학분야별 과학논문 비중(각 분야의 논문수/대학의 총 논문수)과 특허의 과학논문 인용 비중(각 분야에 대한 인용수/대학 과학논문에 대한 총 인용

수)을 구하였다. <표 6>은 과학분야별 논문 비중을 보여준다. 생물학과 의학은 각각 약 30%를 차지하고 있어, 이들 분야에서 가장 많은 논문이 발행된다는 것을 알 수 있다. <표 7>은 과학분야별 논문 인용 비중을 보여준다. 생물학은 전체 인용의 약 50%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 이어서 의학이 약 20%를 차지하였다.

<표 6> 대학 과학논문 비중(과학분야별)(%)

구분	천문	화학	물리	환경	수학	컴퓨터	농경	생물	의학	공학
1995	1.32	8.77	11.13	5.23	2.41	1.14	2.12	31.61	29.86	6.42
1996	1.40	9.08	10.96	5.43	2.49	1.16	2.02	31.72	29.63	6.12
1997	1.38	8.90	10.77	5.14	2.36	1.13	2.18	31.28	30.78	6.08
1998	1.04	9.03	10.54	5.40	2.66	1.13	2.10	31.47	30.48	6.17
1999	1.50	8.96	10.53	5.41	2.70	1.15	1.69	31.07	30.54	6.46
2000	1.34	9.19	10.11	5.50	2.88	1.23	2.20	31.06	30.29	6.20
2001	1.42	8.84	10.03	5.46	2.76	1.21	1.84	31.49	30.29	6.68

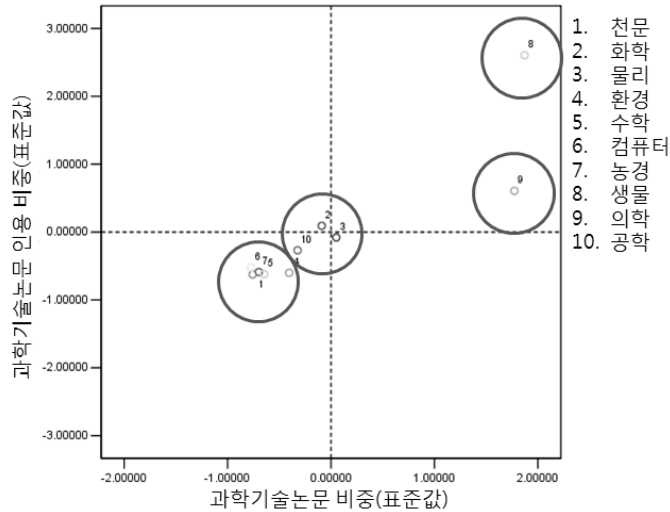
<표 7> 대학 과학논문 인용 비중(과학분야별)(%)

구분	천문	화학	물리	환경	수학	컴퓨터	농경	생물	의학	공학
2002	0.01	10.09	5.01	0.37	0.09	1.20	0.73	58.94	19.76	3.80
2003	0.00	11.05	6.89	0.42	0.08	0.99	0.67	55.11	20.77	4.02
2004	0.00	12.33	8.63	0.55	0.06	1.34	0.52	50.98	20.05	5.53
2005	0.00	12.56	10.92	0.43	0.12	1.78	0.39	49.58	17.70	6.52
2006	0.01	12.62	10.43	0.43	0.08	2.28	0.44	49.83	17.20	6.68
2007	0.01	10.88	9.51	0.22	0.09	1.93	0.75	49.80	20.21	6.62
2008	0.00	10.77	9.67	0.32	0.08	2.26	0.57	47.36	22.24	6.74

<표 6>과 <표 7>의 평균값으로 앞 절의 (그림 7)과 같은 방법으로 지도를 그렸다(그림 9). 과학논문 비중을 X축으로, 과학논문 인용 비중을 Y축으로 하였고, 모든 값은 전체 평균과 표준편차를 이용하여 표준값으로 변환하였다. 그리고 각 과학분야 값 사이의 거리를 계산하여 10개 과학분야를 4개 집단으로 묶었다.²⁴⁾ (그림 9)에서 볼 수 있듯이 생물학에서는 가장 많은 과학지식이 생산되고, 과학지식과 기술의 연계 또한 가장 많이 이루어졌다. 의학은 과학지식 생산량에 비해 과학기술연계는 상대적으로 적게 이루어지는 분야로 나타났다. 화학, 물리학, 공학은 서로 같은 집단으로 묶였고, 이들 분야에서 과학지식생산과 과학기술연계는 중간 수준

24) 거리계산 및 분류를 위해 SPSS의 군집분석 기능을 활용하였다.

만큼 이루어진다. 그리고 천문학, 환경과학, 수학, 컴퓨터과학, 농경학이 같은 집단으로 묶이는데, 이들은 과학지식생산과 연계가 모두 가장 낮은 수준에 해당한다.



(그림 9) 과학분야별 과학기술연계

이어서 <표 6>과 <표 7>의 값을 각 과학분야의 R&D규모로 나누었다. 과학분야별로 R&D 규모가 상이하기 때문에 이를 통해 과학지식생산 및 과학기술연계 성과를 제한적인 수준에서나마 표준화할 수 있을 것으로 보았다. <표 8>에서 볼 수 있듯이, <표 6>에서 생물학과 의학이 매우 큰 비중을 차지하였던 것과는 달리 R&D규모를 고려하면 화학, 물리학, 수학 분야의 과학지식생산량이 상대적으로 더 높게 나타난다. 그리고 과학분야별 인용은 화학, 물리, 생물학 분야에서 가장 많이 이루어지는 것으로 나타났다(<표 9>).

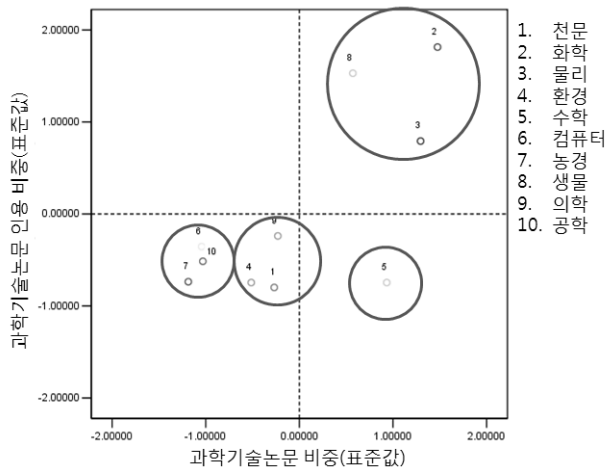
<표 8> R&D규모를 고려한 과학분야별 과학지식생산 수준

구분	천문	화학	물리	환경	수학	컴퓨터	농경	생물	의학	공학
1995	0.90	2.10	2.10	0.70	1.57	0.33	0.24	1.58	0.99	0.36
1996	0.98	2.23	2.14	0.73	1.65	0.34	0.23	1.60	0.98	0.34
1997	0.89	2.27	2.14	0.71	1.67	0.33	0.24	1.61	1.00	0.34
1998	0.77	2.30	2.18	0.74	1.88	0.33	0.22	1.65	0.98	0.34
1999	1.12	2.36	2.15	0.76	2.01	0.35	0.19	1.60	0.95	0.36
2000	1.02	2.42	2.16	0.78	2.14	0.38	0.25	1.56	0.93	0.35
2001	0.91	2.37	2.15	0.80	2.17	0.35	0.22	1.54	0.93	0.39

〈표 9〉 R&D규모를 고려한 과학분야별 과학기술연계 수준

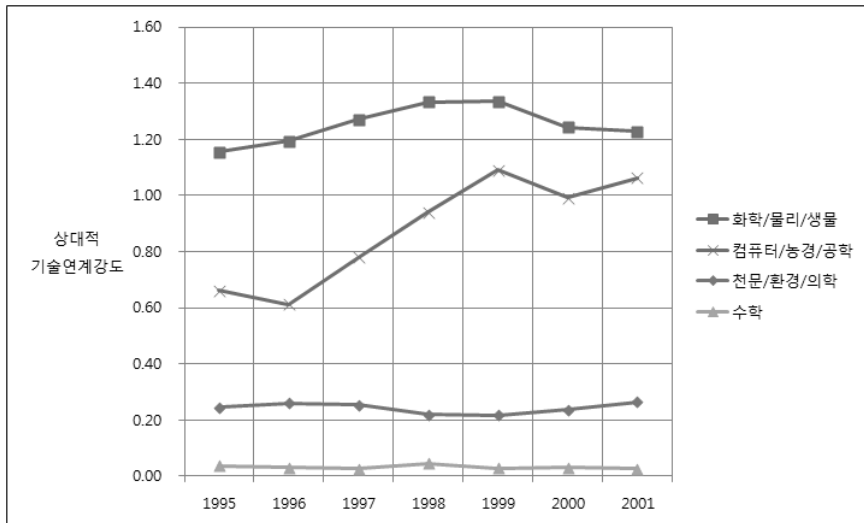
구분	천문	화학	물리	환경	수학	컴퓨터	농경	생물	의학	공학
1995	0.01	2.42	0.94	0.05	0.06	0.35	0.08	2.95	0.66	0.21
1996	0.00	2.72	1.34	0.06	0.05	0.29	0.08	2.77	0.69	0.22
1997	0.00	3.15	1.72	0.08	0.05	0.39	0.06	2.62	0.65	0.31
1998	0.00	3.20	2.26	0.06	0.08	0.53	0.04	2.59	0.57	0.36
1999	0.01	3.32	2.13	0.06	0.06	0.69	0.05	2.57	0.54	0.38
2000	0.00	2.86	2.03	0.03	0.06	0.60	0.09	2.51	0.62	0.38
2001	0.00	2.89	2.08	0.05	0.06	0.65	0.07	2.32	0.69	0.39

앞서와 마찬가지로 각 과학분야의 평균값을 활용하여 지도를 그리면 (그림 9)와 같다. 동일한 방법으로 10개 과학분야를 4개 집단으로 분류하였다. R&D규모를 고려하자 분포가 좀 더 다양하게 나타났다. 1사분면에는 화학, 물리, 생물학이 위치하며, 이들은 하나의 집단으로 묶였다. 4사분면에는 수학만 위치하고 있다. 3사분면에는 나머지 모든 분야가 위치하고 있는데 천문학, 환경과학, 의학이 하나의 집단으로 묶였고 컴퓨터과학, 농경과학, 공학이 또 다른 집단으로 묶였다. 결과적으로 R&D규모를 고려하면 화학, 물리학, 생물학 분야는 과학지식생산이 가장 많이 이루어지면서 과학기술연계 또한 가장 많이 이루어진다. 수학분야에서 과학지식은 상대적으로 많이 생산되지만 과학기술연계는 잘 이루어지지 않는다. 천문학, 환경과학, 의학 집단과 컴퓨터과학, 농경학, 공학 집단은 과학지식생산과 과학기술연계가 모두 낮은 편에 속하지만 컴퓨터과학, 농경학, 공학 집단에서는 상대적으로 많은 과학기술연계가 일어난다.



(그림 10) R&D규모를 고려한 과학분야별 과학기술연계

마지막으로 과학지식 대비 과학기술연계가 얼마나 많이 이루어지는지 확인하기 위해 논문 발행연도를 X축으로, 각 집단의 (과학논문 인용 비중)/(과학논문 비중)을 Y축으로 하는 그래프를 그렸다(그림 10). 집단은 (그림 9)에서 나뉜 것을 기준으로 하였으며, (그림 10)에서 각 집단의 과학지식생산량에 대한 상대적 기술연계강도는 뚜렷하게 구분된다. 화학, 물리학, 생물학 집단은 지속적으로 가장 높은 수준의 연계강도를 나타내고 있다. 컴퓨터, 농경과학, 공학 집단은 1996-1999년 연계강도가 크게 증가하여 화학, 물리학, 생물학 집단에 근접하였다. 상대적으로 연계강도가 낮은 나머지 두 개의 집단은 비슷한 수준을 유지하였다.



(그림 11) 과학분야별 상대적 기술연계강도 추이

V. 논의 및 결론

이 연구는 연구개발비규모를 고려하여 각 연구주체와 과학분야의 과학기술연계 특성을 분석하였다. 과학논문수는 과학지식생산량을, 특히에 과학논문이 인용된 횟수는 과학기술연계강도를 대리하는 변수로 보았고, 이에 따라 과학지식생산에 비해 인용 정도가 높았던 연구주체 또는 과학분야는 상대적으로 기술연계강도가 높은 것으로 볼 수 있었다. 연구주체별 분석에서 대학은 과학지식생산과 과학기술연계 모든 측면에서 가장 큰 비중을 차지한다. 그러나 각 연구주체의 과학논문수를 고려하면 산업부문의 과학지식이 더 쉽게 기술로 연결된다는 것을 알

수 있으며, 이러한 추세는 꾸준히 유지되었다(그림 8). Narin et al.(1997), 박현우 등(2011)은 특허에 인용된 과학논문의 총 수가 대학이 더 많다는 점을 들어 대학 과학지식의 과학기술연계를 강조하였지만, 이와 같은 분석결과는 산업부문의 과학지식이 기술연계 측면에서 높은 잠재력을 가질 수 있음을 암시한다. 다만 산업부문의 경우 (그림 7)에서 볼 수 있듯이 R&D규모를 고려했을 때 과학지식생산 및 과학기술연계 성과는 매우 낮게 나타났다. 이에 관해서는 산업부문의 기초연구비 비중, 연구인력 규모 등을 고려한 추가적인 분석이 필요할 것으로 보인다.

한편 대학을 대상으로 수행한 과학분야별 분석에서 각 과학분야는 R&D규모를 고려하면 (그림 10)과 같이 4개의 집단으로 구분된다. <표 10>은 이들 4개 집단을 각각 하나의 R&D유형으로 구분해 정리한 것이다. 각 과학분야는 과학지식생산 정도와 과학기술연계강도를 기준으로 “활발한 과학기술 R&D”, “과학중심 R&D”, “느린 과학기술 R&D”, “기술중심 R&D”로 구분할 수 있다. 각 유형의 명칭은 특성을 고려하여 임의로 정했다.

<표 10> 과학분야의 R&D유형 분류

	R&D유형	분야	특징
1	“활발한 과학기술 R&D”	화학, 물리학, 생물학	- 과학지식생산 높음 - 과학기술연계강도 높음
2	“과학중심 R&D”	수학	- 과학기술연계가 과학지식생산에 비해 상대적으로 낮음
3	“느린 과학기술 R&D”	천문학, 환경과학, 의학(예외) ²⁵⁾	- 과학지식생산 낮음 - 과학기술연계강도 낮음
4	“기술중심 R&D”	컴퓨터과학, 농경과학, 공학	- 과학기술연계가 과학지식생산에 비해 상대적으로 높음

화학, 물리학, 생물학 분야는 Meyer(2002), 노경란·한상완(2006)의 연구에서도 과학기술연계가 높은 분야로 나타났으며, 이 연구에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 4개 유형 중 흥미로운 것은 “기술중심 R&D”로 구분된 컴퓨터과학, 농경과학, 공학 분야이다. 이들 분야는 논문수에 비해 상대적으로 인용빈도가 높았으며, (그림 11)에서 볼 수 있듯이 최근 과학기술연계 강도가 빠르게 커졌다. 반면 수학은 논문수는 많지만 과학기술연계는 거의 없었다. “느린 과학기술 R&D” 유형은 집단에 속한 과학분야가 서로 이질적이라고 느껴지는데, 이는 의학이 포함되었기 때문이다. 의학 분야는 이전 연구에서 밝혀졌듯이 논문수와 인용수가 모두 높은 편이지만 R&D규모를 고려하면 의학 분야의 과학기술연계는 과학지식생산량에 비해 상대적으로

25) 의학 분야는 R&D규모를 고려했을 때 과학지식생산과 과학기술연계가 모두 비교적 낮게 나타났지만 천문학, 환경과학 분야에 비해서는 상대적으로 큰 값을 갖기 때문에 동일한 유형으로 분류하는 것은 적절하지 않을 수 있다.

로 적게 이루어졌다. 천문학과 환경과학 분야에서는 과학기술연계가 거의 이루어지지 않았기 때문에 의학과 같은 유형으로 분류하는 것은 무리가 있을 수 있다.

결론적으로 연구의 함의를 정리하면 과학기술연계 특성에 관한 위와 같은 분석결과는 특히 기초과학에 대한 정부의 공적지원(public funding) 정책, 연구개발성과평가 등에 도움을 줄 수 있다. 기존 연구결과와 마찬가지로 대학에서 이루어지는 과학기술연계 비중이 가장 높다는 점에서 기술적 성과를 위해 대학 기초연구를 지원하는 것은 여전히 중요하다(Narin et al., 1997). 그러나 이 연구의 분석결과를 통해 알 수 있는 것처럼 상대적 기술연계강도는 산업부문의 과학지식이 가장 높게 나타났다. 따라서 만약 기술적 성과 창출을 핵심 목표로 한다면 산업부문의 기초연구를 장려하는 것은 매우 중요하다. 그리고 과학분야별로 과학기술연계 특성이 상이하다는 점을 고려할 필요가 있다. <표 10>은 통계적으로 엄밀한 과정을 거치지 않는 않았지만 적어도 각 과학분야가 과학기술연계 특성에 따라 서로 다른 R&D유형으로 분류될 수 있다는 것은 분명하게 보여준다. 화학, 물리학, 생물학 분야는 동일한 수준의 R&D투자가 이루어지더라도 다른 분야에 비해 상대적으로 높은 과학기술연계가 발생한다. 또한 컴퓨터과학, 농경과학, 공학 분야는 과학지식생산은 적지만 과학기술연계는 상대적으로 활발하게 이루어진다. 반면 수학, 천문학, 환경과학, 의학은 상대적으로 과학기술연계강도가 낮았다. 의학의 경우 기존 연구에서 과학기술연계가 많이 이루어지는 것으로 소개되었지만, R&D규모를 고려하면 과학기술연계 수준은 상대적으로 낮은 편에 속한다. 결과적으로 과학지식생산을 위한 공적지원은 각 연구주체와 과학분야가 갖는 과학기술연계 특성을 고려해야 한다. 만약 과학기술연계를 통한 산학협력 성과를 목적으로 한다면 화학, 물리, 생물학 분야를 우선 고려할 수 있다. 반면 기술로의 연계보다는 순수기초과학 지원이 목적이라면 수학, 천문학, 환경과학을 우선 고려할 수 있다.

마지막으로 연구의 한계를 정리하였다. 첫째 이 연구는 미국 데이터를 활용하여 얻은 결과라는 점에서 우리나라 사례에 직접 적용하는 것은 어려울 수 있다. 따라서 우리나라 학술R&D에 대한 보다 정확한 정책방안을 도출하기 위해서는 향후 국내 데이터를 활용한 검토가 필요하다. 다만 아직 우리나라에서는 이 연구에서 활용하였던 “특허가 인용하고 있는 과학논문수”와 같은 지표를 쉽게 확보하기 어렵다. 둘째 이 연구는 매우 제한적인 변수만을 사용하였다는 점에서 한계를 갖는다. 과학기술연계는 “특허의 과학논문인용” 뿐만 아니라 매우 다양한 경로로 이루어진다(Cohen et al., 2002). 또한 표준화 변수로 R&D규모를 사용하였는데, R&D에 유의미한 영향력을 끼치는 것으로 알려진 그 밖의 변수(인력, 공동연구 등)를 고려할 필요가 있다. 그리고 Meyer(2002)의 연구와 같이 보다 다양한 접근방식을 활용할 필요가 있으며, R&D가 어떠한 목적으로 어떻게 이루어지는지에 관한 보다 미시적인 연구(사업 또는 과제 수

준)가 뒷받침되어야 한다. 특허인용정보와 같은 공식적 정보가 담아내지 못하는 과학기술연계 특성은 생각보다 많으며(Meyer, 2002), 이 연구는 각 연구주체와 과학분야의 질적 특성을 충분히 고려하지 못했다는 점에서 한계를 갖는다.²⁶⁾

참고문헌

(1) 단행본(각종 정부간행물 및 연구보고서 포함)

- 교육과학기술부·한국연구재단 (2010), 「2009 대학산학협력백서」.
- 국가과학기술위원회 (2008), 「선진일류국가를 향한 이명박정부의 과학기술기본계획」.
- 김종현 (2006), 「영국 산업혁명의 재조명」, 서울대학교출판부.
- 테렉 북, 김홍덕·박재흠·윤주영 역 (2005), 파우스트의 거래: 시장만능시대의 대학가치, 성균관대학교 출판부. [Bok, D. (2003), *Universities in the Marketplace*, Princeton University Press.]
- 셀던 크림스키, 김동광 역 (2010), 부정한 동맹: 대학 과학의 상업화는 과학의 공익성을 어떻게 파괴하는가, 서울: 궁리. [Krimsky, S. (2004), *Science in the Private Interest*, Rowman & Littlefield Pub Inc.]
- 제니퍼 워시번, 김주연 역 (2011), 대학 주식회사: 대학의 상업화에 대한 심층 탐사 르포, 서울: 후마니 타스. [Washburn, J. (2006), *University, Inc. : The Corporate Corruption of Higher Education*, Basic Books.]
- NSF (National Science Foundation, US) (2010), *Science and Engineering Indicators 2010*.
- OECD (1994), *The measurement of scientific and technological activities: Using patent data as science and technology indicators*, Paris.
- Smith, K. (ed) (1998), *Science, technology and innovation indicators: A guide for*

26) 예를 들면, 분석결과 생물학 분야의 과학기술연계는 다른 분야에 비해 가장 높게 나타났다. 그런데 이 결과는 생물학 분야에 투입된 연구비 중 다국적 제약회사의 펀딩 비중이 상대적으로 높은 것에서 기인한 것으로 볼 수도 있다. 이 경우, 과학지식생산은 애당초 기술연계를 목적으로 이루어진 것이기 때문에 해당 분야의 과학기술연계가 높게 나타난 것은 연구주체 또는 과학분야별 특성에서 기인한 것이 아니라 펀딩의 구조적 측면에서 기인한 것이 된다. 「부정한 동맹」(셀던 크림스키, 2010), 「대학 주식회사」(제니퍼 워시번, 2011), 「파우스트의 거래」(테렉 북, 2005)와 같은 저작은 미국 대학의 상업화에 관해 논의하고 있는데, 특히 생물학이나 의학, 제약과 같은 분야에서 그러한 경향이 더욱 강하게 나타나고 있다고 본다. 결과적으로 과학기술의 연구개발과정에서 나타나는 이러한 독특한 특성은 이 연구의 분석결과를 왜곡시켰을 가능성이 있다.

policy-makers, IDEA report 5.

(2) 학술 논문

- Adams, J., Z. Griliches (1996), "Measuring science: an exploration", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 12664-12670.
- Adams, J., Z. Griliches (1998), "Research productivity in a system of universities", *Annals of Economics and Statistics*, 49-50, 127-162.
- Beise, M. and H. Stahl (1999), "Public research and industrial innovations in Germany", *Research Policy*, 28, 397-422.
- Carpenter, M., F. Narin (1983), "Validation study: Patent citations as indicators of science and foreign dependence", *World Patent Information*, 5(3), 180-185.
- Cohen, W., R. Nelson, J. Walsh (2002), "Links and impacts: The influence of public research on industrial R&D", *Management Science*, 48, 1-23.
- Coupé, T. (2003), "Science is golden: academic R&D and university patents", *Journal of Technology Transfer*, 28, 31-46.
- Coward, H., J. Franklin (1989), "Identifying the science-technology interface: Matching patent data to a bibliometric model", *Science, Technology and Human Value*, 14, 50-77.
- Crespi, G., A. Geuna (2008), "An empirical study of scientific production: a cross country analysis, 1981-2002", *Research Policy*, 37, 565-579.
- Etzkowitz, H., A. Webster, C. Gebhardt, B. Terra (2000), "The future of the university and the university of the future: evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm", *Research Policy*, 29, 313-330.
- Feller, I. (1990), "Universities as engines of R&D-based economic growth: They think they can", *Research Policy*, 19, 335-348.
- Feller, I., C. Ailes, D. Roessner (2002), "Impacts of research universities on technological innovation in industry: evidence from engineering research centers", *Research Policy*, 31, 457-474.
- Godin, B. (1996), "Research and the practice of publication in industries", *Research Policy*, 25, 587-606.
- Goldstein, H., C. Renault (2004), "Contributions of universities to regional economic

- development: A quasi-experimental approach”, *Regional Studies*, 37(7), 733-746.
- Henderson, R., A. Jaffe, M. Trajtenberg (1998), “Universities as a source of commercial technology: A detailed analysis of university patenting, 1965-1988”, *The Review of Economics and Statistics*, 13, 119-127.
- Landry, R., N. Traore, B. Godin (1996), “An econometric analysis of the effect of collaboration on academic research productivity”, *Higher Education*, 32, 283-301.
- Mansfield, E. (1991), “Academic research and industrial innovation”, *Research Policy*, 20, 1-12.
- Mansfield, E. (1998), “Academic research and industrial innovation: an update of empirical findings”, *Research Policy*, 27, 835-851.
- Meyer, M. (2002), “Tracing knowledge flows in innovation systems”, *Scientometrics*, 54(2), 193-212.
- Narin, F., K. Hamilton, D. Olivastro (1997), “The increasing linkage between U.S. technology and public science”, *Research Policy*, 26, 317-330.
- Nelson, R. (1959), “The Simple Economics of Basic Scientific Research”, *Journal of Political Economy*, 67, 297-306.
- Niosi, J. (2006), “Introduction to the symposium: Universities as a source of commercial technology”, *Journal of Technology Transfer*, 31, 399-402.
- Rosenberg, N., R. Nelson (1994), “American universities and technical advance in industry”, *Research Policy*, 23, 323-348.
- Sampat, B. (2006), “Patenting and US academic research in the 20th century: The world before and after Bayh-Dole”, *Research Policy*, 35, 772-789.
- Verbeek, A., K. Debackere, M. Luwel, P. Andries, E. Zimmermann, F. Deleus (2002), “Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes”, *Scientometrics*, 54(3), 399-420.
- 노경란·한상완 (2006), “특허분석을 통한 과학기술자의 과학논문 인용행태에 관한 연구”, 「정보관리학회지」, 제23권 제3호, 223-239.
- 박현우·손종구·유연우 (2011), “우리나라 기술혁신에서의 과학-기술 지식연계 특성분석”, 「기술혁신학회지」, 제14권 제1호, 1-21.
- 배태섭 (2011), “대학의 특허 출원 증가와 국가의 역할”, 「과학기술학연구」, 제11권 제1호, 31-59.

(3) 온라인 자료

NSF (National Science Foundation, US) statistics, <http://www.nsf.gov/statistics/> (2010,5-6)

심우중

고려대학교 전기전자전파공학부를 졸업하고 고려대학교 대학원 과학기술학협동과정에서 “스마트그리드의 기술체제와 국가환경요인에 관한 연구”로 석사학위를 취득하였다. 현재 동 대학원 박사과정 재학 중이며 관심분야는 과학기술정책, 기술혁신정책, 국가R&D기획 및 관리, 지속가능한 성장 등이다.