

과학-기술-산업의 지식연계에 관한 탐색적 연구

Exploratory Study on the Linkage of Knowledge between Science, Technology and Industry

박 현 우* · 박 선 영**

1. 서 론

과학기술이 경제발전에 미치는 영향은 이미 많은 연구(Nelson and Winter, 1982; Freeman, 1994; Grupp, 1998)에서 제시되고 있고, 이러한 관계는 기술-경제 패러다임(techno-economic paradigm)으로 해석되고 있다. 그러나, 과학, 기술, 경제는 각각의 본연적 목적이 차별화되며, 그 활동 주체 역시 과학자, 기술자, 기업이라는 다른 형태로 구성되어 있어, 이들 간의 관계를 체계적으로 분석하기 위한 연결고리를 찾는 일은 어려운 것으로 인식되어 왔다.

그럼에도 불구하고, 이들 간에 상호의존적 관계를 밝혀냄으로써 향후 과학기술정책을 모색하려는 노력은 지속되었다(Van Vianen et al., 1990). 특히 과학과 기술의 연계관계가 점점 강화됨에 따라(Martin and Irvine, 1989), 이들 간의 관계가 어떤 형태(morphology)를 띠는지에 대해 연구가 본격적으로 이루어지게 되었다.

가장 대표적인 예가 선형모형(Kline and Rosenberg, 1986; Autio et al., 2004)이라고 할 수 있다. 이 모형은 과학이 기술을 푸쉬하는 형태로 묘사를 해왔으나, 현실을 정확히 반영하고 있지 못하다는 비판을 받아왔다(Narin, 1994; Narin et al., 1997). 그 이유는 첫째, 과학이 언제나 선행되고, 그에 이어 기술이 출현하는 것은 아니며(Mowery, 1983), 둘째 기술마다 과학에 대한 의존성이 다르다는 것이었다(Arundel et al., 1995).

이후 Kline and Rosenberg(1986)가 사슬 모형을 제안하였지만, 이 역시 정확한 현실 반영의 한계를 보여 타당성에 많은 의심을 받았다. 따라서 최근의 경향은 과학과 기술의 상호작용 모형을 보다 더 타당한 것으로 받아들이고 있다(Rosenberg, 1990).

상호작용 모형의 출현 이후, 과학, 기술, 산업간의 관계를 규명하려는 노력은 다각도에서 진행되었다. 몇몇 연구는 과학과 기술의 측면에서, 어떤 연구는 기술과 산업 측면에서, 또 다른 연구는 과학과 산업의 측면에서 관계를 밝히고자 하였다. 그러나, 하나의 과학(과학 지식 또는 과학연구 결과)이 하나의 기술, 산업에 연계되지 않고, 기술 또한 하나의 산업에 연계되지 않아, 이들 간의 관계를 전체적으로 조망할 수 있는 틀은 적절히 제시되고 있지 못한 상태이다. 더욱이 국가 수준에서 오랫동안 축적되고 분류된 과학, 기술, 산업관련 정보가 존재하지 않아, 거시적 측면의 '큰 그림'을 그리려는 노력이 부족할 수밖에 없었다.

따라서 본 연구는 문헌 데이터(bibliometric data)를 사용¹⁾하는 것을 전제로 각각 다른 체계에 의해 분류된 과학-기술-산업을 연계하여, 추후에 과학과 기술, 기술과 산업 등의 관계를 파악하고, 나아가 과학기술 지식흐름의 규명을 통해 기술혁신의 방향을 예측하는 데 참고할만한 틀을 제시하고자 한다. 과학 분야는 ISI사에 제공하는 Web of Science의 분류체계를 활용하였고, 기술 분야는 미국특허청의 분류체계를 활용하였으며, 산업은 우리나라의 표준산업분류표를 참고하여 전통산업과 신흥산업의 6개 카테고리를 구성하였다.

1) 문헌데이터의 유용성에 대해서는 Tijssen(1992)을 참고

* 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6051, hpark@kisti.re.kr

** 한국과학기술정보연구원 연구원, 02-3299-6024 sympark@kisti.re.kr

II. 과학, 기술, 산업의 지식생성

일찍이 Price(1965)는 “과학은 문서로 표현하려 하고(papyrocentric), 기술은 문서로 표현되기를 꺼려한다(papyrophobic)”라고 하였다. 이와 같은 문서에 대한 과학과 기술의 특성, 달리 말해 ‘과학자’와 ‘기술자’의 대조되는 특성은 이들의 활동을 촉진시키는 궁극적인 목적이 다르다는 데에서 기인한다. 즉, 과학자는 그가 속한 커뮤니티에서 명성(reputation)을 얻고 자신의 존재를 인식(recognition)시키는 것을 목적으로 하고 있다면, 기술자는 소유할 수 있는 기술이나 프로세스를 구성하고 디자인하는 데 목적을 두고 있다. 따라서 과학자는 논문이라는 매개체를 통해 자신의 지식을 전달하려는 경향이 강하고,²⁾ 기술자는 특허라는 제도를 통해 자신의 지식이 보호받기를 원한다(Meyer, 2002).

과학은 일반화와 재실험이 가능하며, 논문이라는 매개물을 통해 보여질 수 있는 반면, 기술은 연구, 개발, 테스트, 생산, 운영 과정에서 개발되어 특허로 출원되거나 기업 내에 비밀로 남겨진다. 따라서 과학적 실험과 기술의 개발을 이끄는 주체도 다를 수밖에 없는데, 일반적으로 공공기관인 대학 및 정부 연구소에서는 장기적인 목적을 가지고 과학에 투자를 많이 하고, 기업들은 비교적 단기적인 성과를 목표로 기술에 투자를 많이 한다. 이러한 이유 때문에 과학은 공공성을 가지는 반면, 기술은 사유성을 가지게 되는 것이다.

1. 과학

초기 과학적 연구는 대규모 국가 프로젝트에서 시작되어 왔으며, 현재에도 주로 대학과 정부 연구소 등에서 이루어지고 있다(Bozeman and Crow, 1991; Bozeman, 2000). 이처럼 과학적 연구가 대부분 대학과 정부 연구소를 중심으로 이루어지고 있으므로, 산출물인 논문이 기업보다는 대학과 정부 연구소를 중심으로 나오고 있다(Hicks, 1995).

그러나, 점차 공공부문의 연구에도 기업의 자본이 투입되면서(Crow and Bozeman, 1987; Behrens and Gray, 2001), 많은 대학과 기업들이 공동연구를 진행하고 있다(Mansfield and Lee, 1996; Cohen et al., 1998; Meyer-Krahmer and Schmoch, 1998). 이는 대학 연구의 기초성(basicity)을 감소시키고, 대신 특허 출원을 증가시키는 주요 요인이 되고 있다(Thursby and Thursby, 2000).

2. 기술

기술개발은 초기의 목적이 호기심에 의한 발견에 있다기보다 신제품이나 공정의 개발을 목표로 한다. 따라서 과학에 비해서는 일반화의 범위가 좁고, 사유화 하려는 경향이 강하다. 기술개발의 주체는 대학이나 정부 연구소보다는 기업들이 중심을 이루며(Pavitt, 1998), 기술적 산물은 주로 특허로 표현된다(Meyer, 2002). 그러나, 중요한 기술의 경우에는 영업비밀로

2) 과학자가 과학활동을 할 때 필요한 것은 저널 공동체(학술전문지 공동체)로서, 저널 공동체란 전문지의 편집·투고·조사활동을 하는 커뮤니티를 말한다. 이러한 저널 공동체는 첫째, 과학자의 업적은 주로 전문지에 인쇄되어 ‘출판’(publish)됨으로써 평가되며, 둘째 과학자에 의해 생산된 지식은 신뢰할 수 있는 전문지에 ‘게재허락’(accept)됨으로써 옳다는 것이 보증되며, 셋째 과학자의 후진 양성은 우선 이런 종류의 전문지에 게재될 수 있는 논문을 작성하는 교육으로부터 시작된다. 넷째, 과학자의 다음 예산획득과 지위획득(연구예산, 연구인력, 연구환경 등 사회적 측면의 획득)은 주로 이 저널 공동체에 게재된 논문의 편수가 기록된 업적 리스트를 바탕으로 이루어진다. 이러한 이유들로 해서 과학자의 활동을 기술할 때 저널 공동체에 주목하여 ‘학술논문’을 분석대상으로 사용한다.

감춰져, 과학보다 훨씬 더 사유성과 암묵성이 강한 지식이 되기도 한다.

그렇지만, 기업이 기술만을 개발하는 것은 아니며, 과학적 지식이 바탕이 되는 기술 지식이 필요한 경우에는 과학적 연구에 투자를 하여 그 성과물로 상당수의 논문을 내기도 한다(Hicks, 1995; Hicks et al., 1996; Godin, 1995, 1996; Tussen et al., 1996).

3. 산 업

산업은 기술혁신이 실현되는 장으로서, 산업활동의 주체는 당연히 기업이다. 산업활동은 기술을 활용하여 제품을 생산하고 이를 판매함으로써 수익을 창출하는 과정을 거친다. 산업 지식은 이러한 산업활동의 과정에서 다양한 형태로 창출된다. 즉, 생산 활동과 관련된 지식, 마케팅 활동과 관련된 지식, 재무실적과 관련된 지식 등 일일이 열거하기 어려울 정도로 다양한 지식이 여러 가지 형태로 발생한다. 그럼에도 불구하고 이러한 지식의 축적은 대부분 체계적으로 이루어지지 않는다는 것이 특징이다.

따라서, 산업지식을 담고 있는 산업정보는 체계적으로 축적된 자료(data set)가 매우 부족할 뿐만 아니라, 데이터베이스의 성격이 과학계량학적 분석을 적용하기에 매우 부적합하다. 즉, 산업정보 데이터베이스는 논문이나 기술, 특히 데이터베이스와 달리, 저자, 국가 정보가 전혀 의미가 없으며, 정보의 누적성 또한 큰 의미를 갖지 못한다.³⁾ 또한 산업정보 분석은 다양한 사회현상과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 시스템화된 양적 방법론을 적용하기란 매우 어렵다.

III. 과학, 기술, 산업의 연계 관계

1. 과학과 기술의 연계

과학과 기술은 각기 다른 목표를 추구하기는 하지만, 동시에 서로 밀접한 관계를 가진다(Gibbons and Johnston, 1974; Narin and Noma, 1985; Jaffe, 1989; Brooks, 1994; Mansfield, 1995; Van Raan, 1998). 그러나, 과학이 기술개발 전체에 영향을 미치지 못하는 못하며, 이는 일부일 뿐이다(Howells, 1996; Rosenberg, 1990). 이러한 현상은 기술/산업별로 확인한 차이를 드러내는데, 예를 들어 제약과 바이오테크 산업은 기초과학 의존도가 매우 높지만(Carpenter and Narin, 1983; Malo and Geuna, 2000; Meyer, 2000), 플라스틱, 기계, 자동차 산업은 그렇지 않다(Arundel et al., 1995). 이를 Grupp and Schmoch(1992a; 1992b)는 기술의 과학 의존도라고 하였다.

Brooks(1994)는 과학과 기술이 서로 어떻게 의존하고 있는지를 여섯 가지로 잘 요약하고 있다. 첫째, 과학은 직접적인 기술개발에 도움이 되며, 둘째 과학은 기술적 디자인의 타당성에 대한 평가의 기초가 된다. 셋째, 과학적 연구 방법, 실험실 기법, 분석 방법들이 매개적인 요소로 산업에 사용되고, 넷째 새로운 인적 자원의 능력이 융합되어 개발의 원천이 된다. 다섯째, 더 넓은 사회적 영향 측면에서 기술을 평가할 수 있게 하며, 여섯째 응용연구, 개발, 기술의 개량을 위한 지식 기반이 될 수 있다.

3) 산업지식과는 대조적으로 과학기술 관련 지식은 일반적으로 논문, 책, 보고서 등이 포함된 명시화된 형식지의 형태로 발표되며, 상당 부분이 데이터베이스로 저장되어 있고, 분야정보는 물론, 저자 및 국가 정보가 큰 의미가 있다.

또한 Brooks(1994)에 따르면, 과학만이 기술에 영향을 미치는 것이 아니라 기술 또한 과학에 크게 두 측면에서 영향을 준다고 한다. 첫째, 과학적 의문에 대한 기반이 되어 과학적 의제를 창출하고, 둘째 독창적이고 어려운 과학적 문제를 효율적으로 대답하기 위해 필요한 기법과 테크닉의 소스가 된다.

과학과 기술의 관계에 대한 초기 정성적 연구는 Price(1965)가 대표적이며, 그 이후 많은 정량적인 연구가 시도되었다. 과학과 기술 간의 의존도를 알아보기 위해서 Pavitt(1998)은 대학과 기업이 공저한 논문에서 대학을 과학지식의 공급자로 보고, 기업을 기술지식의 공급자로 간주하여 과학-기술의 연계관계를 찾고자 하였다. 또한 특허에서 문헌 인용정보를 대상으로 과학과 기술의 관계를 규명하려고 한 연구들도 있다(Schmoch, 1993; Narin et al., 1997; Meyer, 2000; Verbeek et al., 2002).

그러나, 이러한 연계에 대한 연구는 특정 기술이나 산업을 대상으로 하여 제한된 연구가 대부분이었다. 그 이유는 과학과 기술의 관계에 복잡성이 존재하기 때문이다. Williams(1986)는 최소한 세 가지 측면에서 이러한 복잡성이 있다고 지적하였다. 첫째, 기초과학으로부터 지식의 직접적 흐름이 산업이나 과학 분야별로 다르기 때문에 일반화하기가 어렵다는 것이다. 예를 들어, 생물학과 화학/제약 산업은 밀접한 관계에 있고, 전자 산업도 어느 정도 관련이 있지만, 기계와 자동차 산업은 관계가 미약하다. 둘째, 기초연구가 기술에 미치는 영향의 본질은 전기, 합성 물질, 반도체와 같이 파급효과가 큰 새로운 기술을 창출하는 것으로부터 루틴한 화학 분석에까지 다양하다는 것이다(Rosenberg, 1985). 셋째, 과학적 지식은 과학자와 기술자의 직접적 접촉이 아니더라도 기술, 방법, 기구를 통해 체화되어 전해지기 때문에 추적하기가 어렵다는 것이다(Gibbons and Johnston, 1974; Pavitt, 1987). 따라서 Freeman(1982)은 이러한 복잡한 수렴현상을 이해하기 위해 운영법(modus operandi)을 파악해야 한다고 주장하였다.

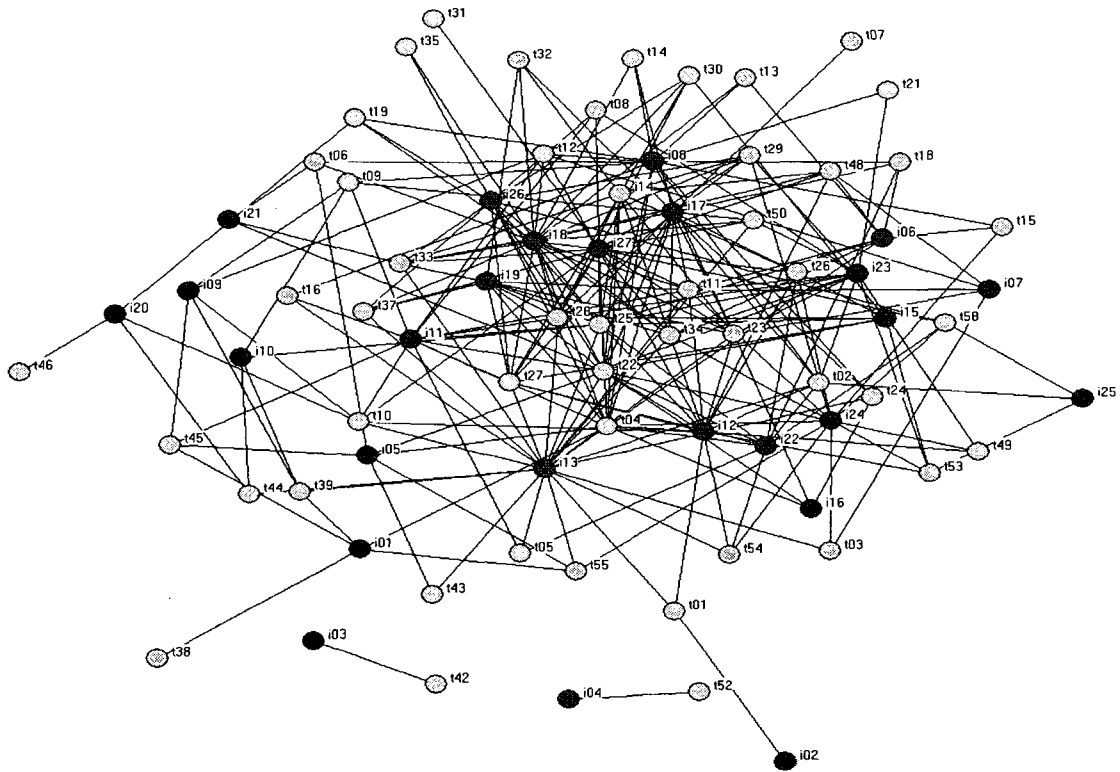
2. 기술과 산업의 연계

기술은 산업발전과 밀접한 관련이 있다(Narin, 1994; Narin et al., 1995; Tijssen, 2001). 그러나, 무형의 기술이라는 것을 측정하여, 산업과의 연계관계를 파악하는 일은 어려운 일이다. 따라서 많은 연구가 특허를 기술의 대용지표로 삼아 진행되어 왔다. 기술과 산업의 연관관계를 살펴보기 위해 가장 먼저 진행되어야 할 필요가 있는 것은 특허의 분류와 산업의 분류를 일치시키는 일이다.

YTC(Yale Technology Concordance)는 그 첫 시도이며, 그 이후 OECD에서 OTC(OECD Technology Concordance)를 발표하였다(Johnson, 2002). OTC는 기본적으로 1972년부터 1995년까지 캐나다 지적재산권 관리국(Canadian Intellectual Property Office)에 등록된 특허에 근거하여, 국제 특허 분류(International Patent Classification)를 제조 부분(Sector of Manufacture: IOM)과 이용 부문(Sector of Use: SOU)을 매칭시킨 결과였다. 그러나, 하나의 기술이 반드시 하나의 산업에 매칭이 되지 않기 때문에 이 역시도 확률로 계산되는 복잡한 형태를 띄게 되었다.

Choi et al.(2004)은 한국의 과학기술 분류와 미국 특허분류를 일대일로 매칭 시키고, 이를 다시 한국표준산업 분류와 연계하였다. 58개의 기술과 27개의 산업의 관계를 특허 인용정보를 이용하여 <그림 1>과 같은 네트워크를 작성하였다. Choi et al.(2004)의 연구는 OTC에 비해서 상당히 간략화를 하여 현실의 왜곡이 있을 수 있다는 단점이 있지만, 간편하게 이용할 수 있다는 장점이 있다.

<그림 1> 한국의 기술간, 산업간, 기술-산업간 연관관계



3. 과학-기술-산업 연계

앞에서 언급했듯이 현재까지 과학-기술-산업을 전체적으로 연결해 놓은 틀은 제시되지 않고 있으며, 언제나 논란의 소지가 있다. 그러나, 기초과학이 산업의 산출에 직·간접적으로 영향을 미친다는 것은 많은 연구(Rosenberg and Nelson, 1994; Beise and Stahl, 1999; Etzkowitz and Leydesdorff, 2000; Feller et al., 2002)에서 드러나 있으므로, 과학이 궁극적으로 산업과 어떤 관계를 가지고 있는지를 살펴보는 것은 반드시 필요한 일이라고 할 수 있다.

특히 Narin et al.(1997)은 미국의 경쟁력이 강한 기초과학의 기반으로부터 나온다고 지적하기도 하였다. 따라서 과학-기술-산업의 분류적 틀을 한꺼번에 묶어서 관찰하는 것은 과학기술 정책 및 산업정책을 개발하는데 꼭 필요한 작업이라고 할 수 있다.

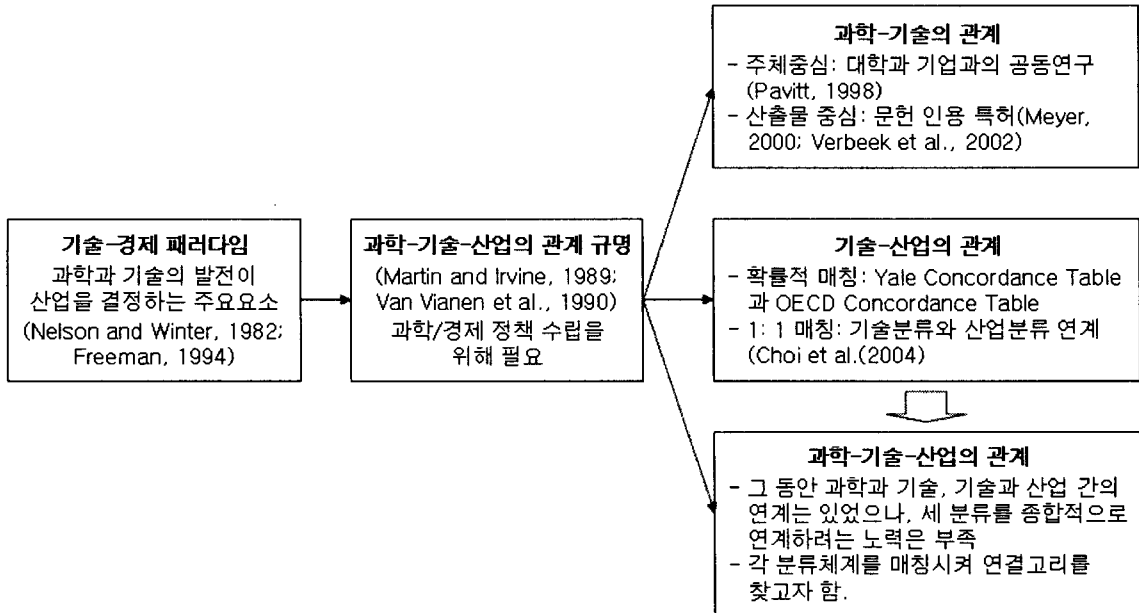
IV. 과학, 기술, 산업의 분류연계

과학, 기술, 산업의 관계는 매우 복잡하고, 시간에 따라 변하기 때문에 세 차원을 묶어 하나의 모델을 만드는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다(Gibbons et al., 1994; Sirilli, 1998). 그러나, 각각의 분류기준에 의해서 나누어진 과학, 기술, 산업을 연계하는 것은 과학과 기술, 기술과 산업, 더 나아가 과학-기술-산업에 어떠한 관계가 있는지를 파악하는데 출발점이 된다는 점은 부인할 수 없다고 할 수 있다.

이상에서 살펴본 과학-기술-산업 연계의 필요성과 방법은 <그림 4>와 같이 나타낼 수

있으며, 본 장에서는 특히 과학과 기술, 기술과 산업 간의 연계를 위한 방법론에 대해 보다 구체적으로 검토하기로 한다.

<그림 2> 과학-기술-산업 연계의 필요성과 방법



1. 과학, 기술, 산업 분류의 기준

과학과 기술, 기술과 산업의 연계관계를 분석하기 위해서는 데이터의 처리를 위한 분류 체계의 검토가 선행되어야 한다. <그림 5>는 과학, 기술, 산업에 있어 대표적인 국제 분류체계와 국내 분류체계를 보여주고 있다.

먼저, 국제 분류체계를 살펴보면, 과학의 분류에서는 ISI사의 분류가 대표적이다. ISI사는 현재 가장 많은 과학저널 및 논문에 대한 정보를 보유하고 있으며, 과학논문 인용색인 (Science Citation Index)을 만들어, 높은 질의 과학 논문들을 하나의 데이터베이스로 제공하고 있다.

<그림 3> 과학, 기술, 산업의 대표적 분류체계

과학 분류	기술 분류	산업 분류
<p><국제분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · 민간기구 : ISI 과학분야 분류 <p><국내분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · 과학기술부: 국가과학기술 표준분류체계 	<p><국제분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · 경제관련기구: OECD, EC, UNESCO의 기술분류 · 특허관련기구: WIPO (IPC), USPTO(USPTO Classification) <p><국내분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · 과학기술부: 국가과학기술 표준분류체계 	<p><국제분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · UN 통계국: ISIC Rev 3.1 (2002. 3) <p><국내분류></p> <ul style="list-style-type: none"> · 통계청: 한국표준산업분류 · 한국은행: 산업연관표분류

기술의 분류는 OECD, EC, UNESCO 등의 경제/문화 국제기구를 중심으로 한 분류체계가 있고, 특허분류 체계가 있다. 특허분류 체계는 다시 국제특허분류와 미국특허분류로 나뉘어진다. 대부분의 나라들이 국제특허분류를 따르고 있지만, 미국이 특징적으로 독자적인 분류체계를 만들어 활용하고 있다.

산업은 UN에서 분류한 국제표준산업분류가 대표적이며, 대부분의 나라는 이 분류를 토대로 각국의 사정에 맞추어 재분류 하고 있다.

한편, 국내 분류체계를 간략히 살펴보면, 과학과 기술이 국가과학기술표준분류체계에 근거하여 분류되고 있으며, 산업은 한국표준산업분류나 산업연관표의 분류체계를 따르고 있다.

2. 과학, 기술, 산업 분류의 연계

1) 분류체계의 1대 1 연계

여기에서는 과거 우리나라 산업의 경제발전을 이끌어 왔던 화학, 기계, 자동차 산업 등 3개의 전통산업과 IT, BT, NT로 대표되는 3개 신흥산업에 과학과 기술의 기존 분류표를 연계시키고자 한다.

연계의 기본은 SCI의 저널 단위, 미국 특허 클래스(US patent class)이다. SCI는 각 과학 분야별로 5,000개에 이르는 저널을 보유하고 있다. 저널은 다시 171개의 세부 카테고리로 나누어지고, ISI 웹사이트에서는 이 세부 카테고리에 대한 설명이 주어진다. 미국 특허청은 400여개 이상의 클래스와 그 하위 클래스로 특허를 분류하고 있으며, 미국특허청 웹사이트에서 클래스에 대한 설명이 주어진다. 따라서 본 고에서는 ISI의 171개의 세부 카테고리, 미국 특허청 3자리 클래스를 활용하여 6개의 산업과 매칭시키는 작업을 수행하였다. 그 결과 <표 1>과 같은 연계표를 얻을 수 있다.

연계방법은 Choi et al.(2004)의 연구에서 사용된 방법을 택하였다. 즉, ISI사의 세부 카테고리에서 주어지는 설명과, 미국 특허청 클래스에서 주어지는 설명을 토대로 일대일 연계를 하는 것이다. 이처럼 일대일 연계를 하는 데 있어서 중요한 한계점이 크게 두 가지가 존재한다. 첫째, 6개의 산업을 중심으로 이에 매칭되는 과학과 기술 분류만을 선택하였기 때문에 과학 분야와 기술분야의 모든 카테고리가 할당되지 않았다. 둘째, 과학과 기술이 융합되면서 경계가 모호한 분야들이 생겨났는데, 이들도 포함시키기 어려운 경우는 제외되었다.

이렇게 부분적으로 생략된 과학과 기술분야의 존재가 분류의 정확성에 대하여 많은 논란을 야기할 수 있다. 그러나, ISI사에서 제공한 세부 과학분야에 대한 설명과 미국특허청의 분류에 대한 설명을 충분히 검토한 후 작성되었으므로 다른 연구들과 부분적인 차이는 존재하더라도 전체적인 흐름에는 큰 영향이 없을 것으로 보인다.

2) 기술호환체계를 통한 확률적 연계

분류체계 간의 연계를 위한 OTC는 특허의 산업별 분류를 위해 캐나다의 특허청에서 개발된 변환 데이터를 시초로 하여 발전되어 왔다(Johnson, 2002). 캐나다 특허청에서는 1972년부터 1995년까지 출원된 30만건 이상의 특허에 대해서 각 기술의 IPC 분류코드를 해당 기술이 개발된 산업(IOM)과 그 기술이 활용되는 산업(SOU)으로 분류하였다.

예일대학에서는 이를 차용하여 IPC 분류코드가 특정 IOM-SOU 조합으로 분류될 확률을 계산하여, IPC 분류에 따른 특허자료를 연관된 IOM-SPU 행렬로 변환하는 공정, 즉 YTC를 최종 완성하였다. IPC 코드 일부에 대해 계산된 확률의 예는 <표 2>와 같다.

<표 1> 과학-기술-산업 연계표

Science (ISI category)	Technology (US patent class)	Industry
Chemistry, Analytical; Chemistry, Applied; Chemistry, Inorganic & Nuclear; Chemistry, Multidisciplinary; Chemistry, Physical; Electrochemistry; Engineering, Chemistry; Engineering, Petroleum; Materials Science, Coatings & Films; Materials Science, Composites; Polymers Science	23, 44, 48, 55, 71, 95, 96, 102, 106, 134, 137, 149, 152, 184, 201, 203, 204, 205, 208, 239, 250, 264, 376, 383, 401, 416, 422, 423, 427, 429, 430, 436, 494, 501, 502, 504, 507, 508, 510, 512, 516, 518, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 530, 534, 536, 540, 544, 546, 548, 549, 552, 554, 556, 558, 560, 562, 564, 568, 570, 585	Chemical
Engineering, Manufacturing; Engineering, Mechanical; Mechanics	7, 42, 56, 62, 74, 86, 89, 100, 110, 124, 126, 132, 156, 159, 166, 169, 171, 172, 177, 187, 193, 194, 196, 198, 202, 210, 223, 224, 236, 251, 261, 266, 269, 271, 291, 294, 373, 384, 402, 406, 409, 411, 412, 417, 431, 453, 454, 474, 475, 476, 482, 483, 492	Machinery
Transportation Science & Technology	91, 104, 105, 114, 157, 180, 185, 188, 192, 213, 238, 246, 278, 280, 293, 295, 296, 298, 301, 303, 305, 410, 415, 418, 440, 441, 464, 477	Transportation
Automation & Control Systems; Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Cybernetics; Computer Science, Hardware & Architecture; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications; Computer Science, Software Engineering; Computer Science, Theory & Methods; Engineering, Electrical & Electronic; Imaging Science & Photographic Technology; Telecommunications	60, 116, 123, 136, 174, 178, 181, 191, 200, 218, 219, 235, 257, 279, 290, 307, 310, 313, 314, 315, 318, 320, 322, 323, 326, 327, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 340, 341, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 349, 358, 360, 361, 362, 363, 365, 366, 367, 369, 370, 372, 375, 377, 379, 380, 381, 382, 385, 386, 388, 392, 395, 400, 438, 439, 445, 455, 505, 700, 701, 702, 704, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714	IT
Biochemical Research Methods; Biochemistry & Molecular Biology; Biology; Biophysics; Biotechnology & Applied Microbiology; Chemistry, Medicinal; Chemistry, Organic; Cell Biology; Critical Care Medicine; Developmental Biology; Emergency Medicine; Engineering, Biomedical; Evolutionary Biology; Genetics & Heredity; Integrative & Complementary Medicine; Marine & Freshwater Biology; Materials Science, Biomaterials; Medical Informatics; Medicine, General & Internal; Medicine, Research & Experimental; Microbiology; Pharmacology & Pharmacy; Reproductive Biology	351, 424, 433, 435, 514, 623, 800	BT
Instruments & Instrumentation; Materials Science, Characterization & Testing; Microscopy; Mycology; Nanoscience & Nanotechnology; Neuroimaging; Optics; Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging; Spectroscopy; Surgery	73, 128, 324, 352, 353, 355, 356, 359, 374, 396, 600, 601, 602, 604, 606, 607	NT

<표 2> 국제 특허분류의 IOM-SOU 분류확률

IPC	IOM ¹⁾	SOU ¹⁾	YTC 확률 ²⁾
A01B	239	3241	1.686341E-03
A01B	1599	3111	1.686341E-03
A01B	1631	3799	1.686341E-03
A01B	3023	4210	1.686341E-03
A01B	3063	151	1.686341E-03
A01B	3063	221	3.372681E-03
A01B	3111	139	5.733558E-02
A01B	3111	141	2.529511E-02
.			
.			
.			
A01F	3111	139	1.790281E-02
A01F	3111	141	1.534527E-02
A01F	3111	171	2.557545E-03
A01F	3111	210	1.278772E-02
.			
.			
.			
A01K	3931	321	1.076716E-02
A01K	3931	330	5.38358E-03
A01K	3931	339	2.69179E-03
A01K	3931	3931	5.38358E-03
.			
.			
.			

주: 1) IOM과 SOU의 분류코드는 캐나다 표준산업분류(SIC) 기준

2) IOM-SOU 조합은 약 70,000개의 확률값을 포함하고 있음.

자료: K. N. Daniel Johnson (2002), *The OECD Technology Concordance (OTC): Patents by Industry of Manufacture and Sector of Use*, STI Working Papers 2002/5, Paris: OECD, p.14.

그러나 이는 캐나다의 산업분류를 기준으로 작성되어 있으므로, 이를 국제산업분류 (ISIC)에 맞게 변환할 필요가 있는데, 이러한 작업의 결과가 OTC이다. 즉, 캐나다 특허청이 수행한 원래의 IOM과 SOU는 '표준산업분류체계'(1980 SIC-E version)라고 하는 캐나다의 산업분류 표준을 사용하였다. 그러나 경제부문은 국제적으로 상이한 체계, 즉 국제표준산업분류체계(ISIC, Revision 3)를 사용하여 정의되어 있다. 따라서 OTC는 IPC를 SIC로, 그리고 SIC를 ISIC로 변환하는 두 과정을 거쳐 완성된 것이다.

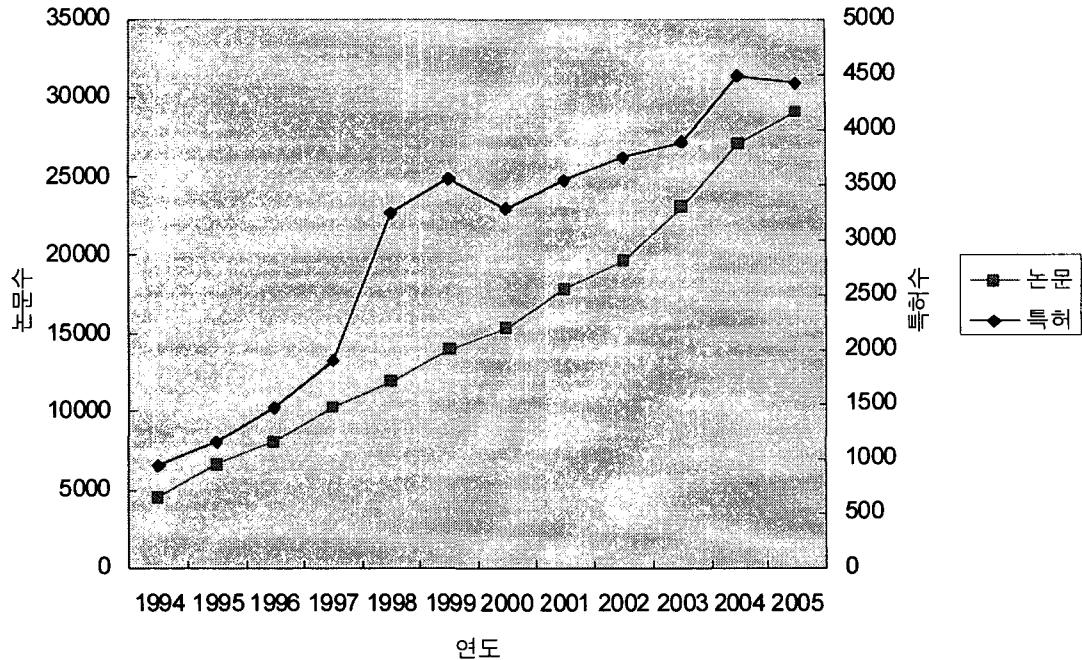
V. 결과의 해석과 향후 연구

본고에서는 과학-기술-산업의 연계라는 측면에서 ISI의 Web of Science에서 제공하는 과학분야의 분류와 미국 특허청의 분류를 활용하여, 한국의 6가지 산업에 과학과 기술의 분류를 연계시키는 것을 목적으로 하였다.

<그림 4>에서 볼 수 있듯이 한국이 제출한 논문과 특허가 전체적으로 증가추세에 있음을 감안할 때, 과학적 지식과 기술적 지식의 대표적인 지표라고 할 수 있는 논문과 특허 지

식의 활용도를 높이는 일은 산업의 발전을 이끄는 데 있어 중요한 요소라고 할 수 있다. 따라서 위에서 시도한 연계표의 작성이 각 산업별로 과학-기술-산업간의 연계관계에 대한 연구를 하는 데 의미있게 활용될 수 있을 것이다.

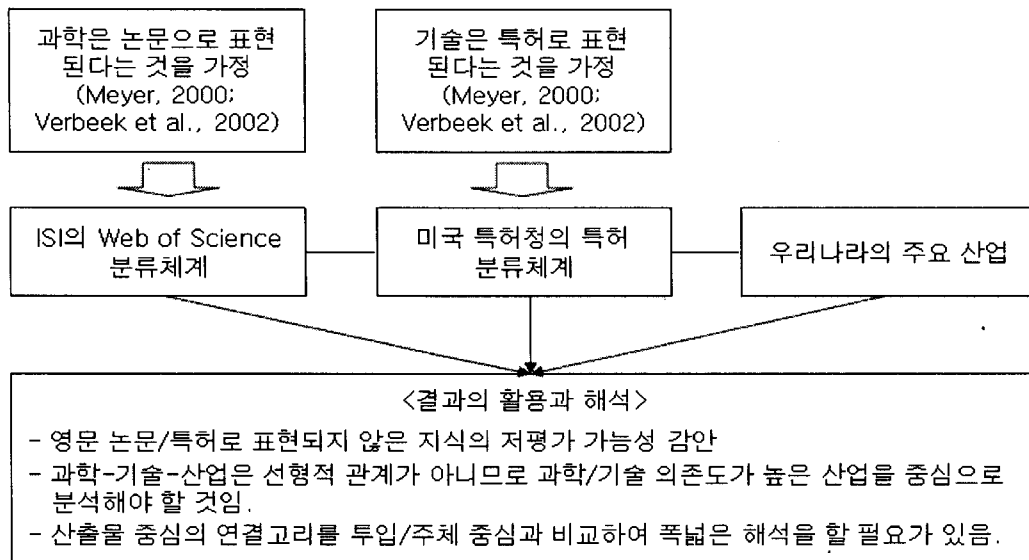
<그림 4> Web of Science에 등록된 논문과 미국특허청에 등록된 특허건수(한국의 경우)



그러나 여전히 몇 가지 해결해야 할 문제점을 가지고 있다. 첫째, 논문과 특허에서 모두 영문으로 작성된 과학과 기술만이 고려되었다는 점이다. Tussen et al.(2000)이 지적했듯이 영문논문으로 표현된 과학적 지식이 아니더라도 한국의 경제발전에 영향을 준 과학적 산물과 기술적 산물이 많을 것으로 생각될 수 있다. 또한 OECD(2003)에서도 지적이 되었듯이, 기업들은 다른 나라보다도 자국에 특허를 출원하는 경향이 강하기 때문에 미국 특허를 이용하면 우리나라 시장을 중심으로 기술혁신을 수행한 기업들의 기술개발 노력이 과소평가 될 우려가 있다. 그런데 아쉽게도 우리나라는 별도로 과학논문을 수집하여 대규모의 자료를 이용한 연구를 할 수 있는 데이터베이스를 갖추고 있지 않고, 특허청에서도 검색서비스와 제한적인 정보만을 제공할 뿐, 그 동안 축적되어 온 정보를 집합적으로 이용하는 것이 불가능하다. 추후 이러한 대규모 데이터베이스에 접근을 할 수 있으면, 더 광범위하고 의미있는 연구가 진행될 수 있을 것이다.

둘째, 과학-기술-산업의 연계관계를 구축하는 데만 초점을 맞추어 과학이 기술에 미치는 영향이 어느 정도인지, 또 기술이 산업에 미치는 영향이 어느 정도인지를 파악하지 못했다. Lach(1995)와 Park and Park(2005)은 한국의 경우는 아니지만, 특허로 표현된 기술이 산업의 생산성에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 밝힌 바 있다. 따라서 한국의 경우에도 이러한 관계가 성립하는지 연구해 볼 필요가 있다. 하지만, 위에서도 언급이 되었던 것처럼 과학은 기술의 특성과 산업의 특성에 따라 크게 영향을 미치기도 하고, 거의 영향을 미치지 않기도 하므로, 이를 선형적으로 분석하는 것은 현실을 왜곡할 우려가 있다. 따라서 과학-기술, 과학-산업의 관계 분석에서는 영향력이 높은 기술과 산업(예: 바이오테크 산업)만을 대상으로 지식 흐름과 이전을 살펴보는 것이 필요할 것이다.

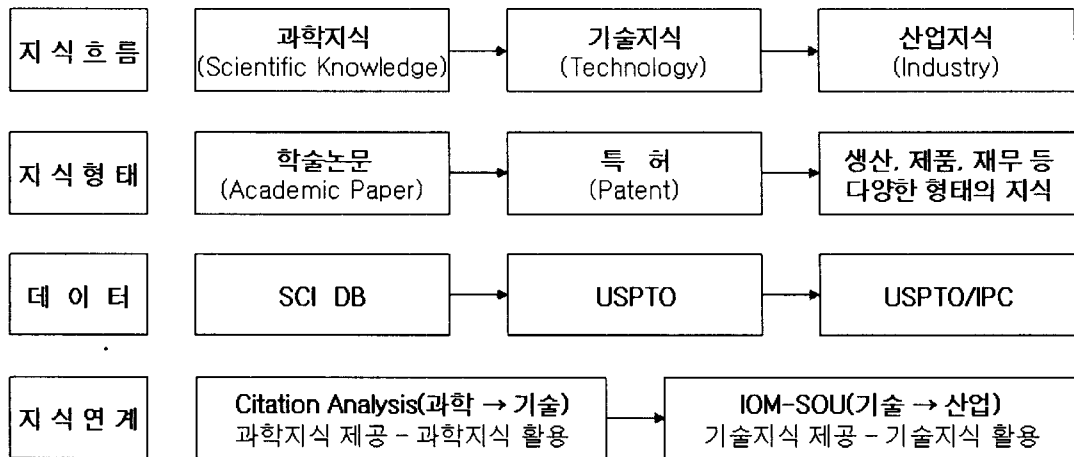
<그림 5> 과학-기술-산업 연계의 근거와 추후 활용



셋째, 연결고리의 문제는 여전히 해결되지 않는 문제로 남을 것이다. 어떤 연구는 주체 중심으로 과학과 기술을 나누기도 하고(Pavitt, 1998), 어떤 연구는 산출물을 중심으로 과학과 기술을 구분하기도 한다(Meyer, 2000; Verbeek et al., 2002). 즉, Pavitt(1998)의 연구에서는 과학의 주체인 대학은 과학지식만을 산출하고, 기술의 주체인 기업은 기술지식만을 생산한다는 것을 전제로 하고 있다. 반면 Meyer(2000)와 Verbeek et al.(2002)의 연구에서는 과학적 산출물은 모두 논문으로 표현되고, 기술적 산출물은 모두 특허로 표현된다는 것을 가정하고 있다. 그러나, 실제로 대학이 과학적 연구만을 수행하고, 기업이 기술만을 연구하는 것이 아니므로 Pavitt(1998)의 접근법은 다소 무리가 따른다. 오히려 Meyer(2002)와 Verbeek et al.(2002)의 접근법에서와 마찬가지로 특허가 인용한 문헌정보와의 관계를 살펴보는 것이 과학과 기술의 흐름을 관찰하는 데 적합할 것이다. 그러나, 과학논문이 나오고, 특허가 그 논문을 인용하기까지는 일정한 시간이 소요되기 때문에 Meyer(2002)와 Verbeek et al.(2002)의 연구도 과학이 기술에 동시에 미치는 영향을 살펴보는 데는 제약이 있다. 따라서 과학과 기술 활동을 수행하는 데 소요되는 투입과 산출을 정확히 관찰하여 반영해야 하는데, 과학과 기술에 대한 투자가 다양한 기관에서 이루어지는 만큼 그 투입과 산출을 추적하기란 사실 매우 어렵다. 하나의 대안으로는 현재 우리나라 과학기술부에서 제공하는 ‘과학기술연구활동조사보고’에 제시되고 있는 기초과학에 대한 연구개발 인력과 비용을 활용하는 것이다. 그러나 이 또한 산업별로 제공되고 있지 않아 투입의 양을 알아내기가 어렵다. 따라서 이것이 산업별로 제공된다고 하면 이를 투입으로 보고, 논문과 특허를 산출로 하여 과학-기술-산업의 관계를 더욱 상세하게 분석해 볼 수 있을 것이다.

이상에서 살펴 본 같은 과학, 기술, 산업의 지식생성과 지식으로서의 과학, 기술, 산업의 특성, 그들 간의 연계관계 및 분류체계를 고려하여 과학-기술-산업 지식흐름의 연계구조를 분석하기 위한 기본적인 구조를 구상하면 <그림 6>과 같이 제안할 수 있다. 그림을 보면, 분석의 틀은 과학기술로부터 기술지식을 거쳐 산업으로 이어지는 지식흐름, 학술논문, 특허, 제품으로 구성되는 지식형태, SCI-DB, 미국특허 등 지식이 축적되는 데이터, 인용분석과 IOM-SOU 분석을 통해 수행되는 과학과 기술, 기술과 산업의 연계체계를 보여주고 있다.

<그림 6> 과학-기술-산업 지식흐름의 연계구조 분석의 틀



VI. 요약 및 결론

본고는 과학기술 지식흐름의 분석을 통해 기술혁신을 예측하기 위한 사전적 탐색연구이다. 과학기술의 지식흐름을 분석하기 위해서는 과학, 기술, 산업의 지식창출의 특성에 대한 규명이 우선적으로 필요하다고 할 수 있다. 이러한 특성을 기초로 과학과 기술, 기술과 산업의 연계관계를 파악하고 실제 분석을 위한 연계체계 구성이 이루어져야 한다.

본고에서는 과학기술 지식의 특성과 연계관계에 대한 기존의 이론적 연구들을 개관하였다. 그리고 실제 연계관계를 분석하기 위한 과학과 기술, 기술과 산업 간의 분류체계 연계를 위한 1차적인 방법을 검토하였다. 마지막으로 앞에서 검토된 이론과 방법론을 통한 향후 연구 방향을 제시하고, 과학-기술-산업 지식흐름의 연계구조 분석을 위한 개념적 틀을 제안하였다.

과학과 기술, 그리고 산업의 지식은 그 창출에 대한 특성이 크게 차이가 있다. 과학은 과학을 담당하는 사람들이 자신이 속한 집단에서 명성을 얻고 존재를 인식시키는 것을 목적으로 하기 때문에 과학지식은 문서로 표현되는 경향이 있는 반면, 기술은 과학에 비해 사유성과 암묵성이 강한 지식으로서 특허로 보호받기를 원하는 경향이 있다. 또한 산업지식은 산업활동 과정에서 다양한 형태로 발생하는데, 그나마 체계적인 축적이 이루어지지 못하다는 특징을 가지고 있다.

과학과 기술, 기술과 산업은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으면서도 과학과 기술, 산업에서 발생하는 지식의 특성이 매우 상이함으로 인해 그 연계관계를 명확히 하는 일이 쉽지 않은 것이 사실이다.

본고에서는 과학-기술-산업의 연계라는 측면에서 과학지식으로서의 논문을 SCI 저널의 논문분류, 그리고 기술지식으로서의 특허를 미국의 특허청 분류에 기초하여 서로 매칭시키기 위한 방법론을 모색하고자 하였다. 이러한 과학과 기술의 연계를 다시 산업분류와 1대 1 매칭 또는 확률적 매칭을 통해 연결함으로써 과학-기술-산업의 연계고리를 검토하였다.

물론 이러한 방식으로 지식을 연계하는 것은 여러 가지 문제를 내포하고 있는 것이 사실이다. 이 방식은 영문으로 작성된 지식만이 고려될 수밖에 없기 때문에 타 언어로 창출된 지식이 반영되지 못하며, 이는 당해 분야의 지식흐름을 제대로 평가하지 못할 가능성이 있다. 또한, 과학적 산출물은 모두 논문으로 표현되고, 기술적 산출물은 모두 특허로 표현된다는 암묵적 가정하에 과학과 기술을 산출물 중심으로 구분하여 연계관계를 분석하고 있다는 것이다.

이러한 분석의 한계는 관련지식을 축적하고 있는 데이터베이스의 확대와 폭넓은 접근을 위한 기술적 방법론의 개발을 통해 향후 더욱 의미있는 연구가 가능해질 것으로 기대한다. 과학이 기술에, 그리고 기술이 산업에 미치는 영향의 정도를 보다 다양한 측면에서 분석하는 것도 향후 연구에서 주어진 과제라고 할 수 있다.

또한, 과학과 기술, 산업의 연계관계에 대한 폭넓은 분석을 통해 과학과 기술에 대한 투입요소를 다양하게 측정하고 그 산출과의 인과관계를 보다 엄밀하게 파악할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 인과관계의 규명은 결국 기술혁신의 방향과 특성을 예측하는 데 핵심적인 근거를 제공해줄 것으로 기대된다.

< 참고 문헌 >

- Arundel, A., G. Van de Paal, and L. Soete (1995), "Innovation Strategies of Europe's Largest Industrial Firms: Results of the PACE Survey for Information Sources, Public Research, Protection of Innovations, and Government Programmes," *European Innovation Monitoring System Report*, No.23, Brussels: European Commission.
- Autio, E., A. P. Hameri, and O. Vuola (2004), "A Framework of Industrial Knowledge Spillovers in Big-science Centers," *Research Policy*, 33, 107-126.
- Beise, M., and H. Stahl (1999), "Public Research and Industrial Innovations in Germany," *Research Policy* 28 (4), pp.397-422.
- Behrens, T. R. and D. O. Gray (2001), "Unintended Consequences of Cooperative Research: Impact of Industry Sponsorship on Climate for Academic Freedom and Other Graduate Student Outcome," *Research Policy* 30, pp.179-199.
- Bozeman, B. (2000), "Technology Transfer and Public Policy: A Review of Research and Theory," *Research Policy* 29(4-5), pp.627-655.
- Bozeman, B. and M. Crow (1991), "Technology Transfer from US Government and University R&D Laboratories," *Technovation* 11(4), pp.231-246.
- Brooks, H. (1994), "The Relationship between Science and Technology," *Research Policy* 23, pp.477-486.
- Carpenter, M. P. and F. Narin (1983), "Validation Study: Patent Citation as Indicators of Science and Foreign Dependence," *World Patent Information* 5(3), pp.180-185.
- Choi, C., J. Shin, B. Yoon, W. Lee, and Y. Park (2004), "On the Linkage between Industries and Technologies: Patent Citation Analysis," IEEE International Engineering Management Conference, pp.576-580.
- Cohen, W. M., R. Florida, L. Randazzese, and J. Walsh (1998), "Industry and the Academy: Uneasy Partners in the Cause of Technological Advance. in R. Noll (ed), *Challenges to the Research University*, Washington DC: Brookings Institution Press, pp.171-199.
- Crow, M. and B. Bozeman (1987), "R&D Laboratory Classification and Public Policy: The Effects of Environmental Context on Laboratory Behaviour," *Research Policy* 16, pp.229-258.
- Etzkowitz, H. and L. Leydesdorff (2000), "The Dynamics of Innovation: From National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations," *Research Policy* 29(2), pp.109-123.
- Feller, I., C. P. Ailes, and J. D. Roessner (2002), "Impacts of Research Universities on Technological Innovation in Industry: Evidence from Engineering Research Centers," *Research Policy* 31(3), pp.457-474.
- Freeman, C. (1982), *The Economics of Industrial Organization*, Cambridge: MIT Press.
- Freeman, C. (1994), "The Economics of Technical Change," *Cambridge Journal of Economics* 18,

- pp.463-514.
- Gibbons, M. and R. Johnston (1974), "The Roles of Science in Technological Innovations," *Research Policy* 3, pp.220-242.
- Gibbons, M., C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott, and M. Trow (1994), *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London: Sage Publication.
- Godin, B. (1996), "Research and the Practice of Publication in Industries," *Research Policy* 25, pp.587-606.
- Grupp, H. (1998), *Foundations of the Economics of Innovation*, Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar.
- Grupp, H. and U. Schmoch (1992a), "Perception of Scientification of Innovation as Measured by Referencing between Patents and Papers," in H. Grupp (ed), *Dynamics of Science-based Innovation*, Heidelberg: Springer Verlag, pp.73-128.
- Grupp, H. and U. Schmoch (1992b), "At the Crossroads in Laser Medicine and Poliamide Chemistry-patent Assessment of the Expansion of Knowledge," in H. Grupp (ed), *Dynamics of Science-based Innovation*, Heidelberg: Springer Verlag, pp.269-301.
- Hicks, D. (1995), "Published Papers, Tacit Competencies and Corporate Management of the Public/Private Character of Knowledge," *Industrial and Corporate Change* 4, pp.401-424.
- Hicks, D., P. Isard and B. Martin (1996), "A Morphology of Japanese and European Corporate Research Networks," *Research Policy* 25, pp.359-378.
- Howells, J. (1996), "Tacit Knowledge, Innovation and Technology Transfer," *Technology Analysis and Strategic Management* 8(2), pp.91-106.
- Jaffe, A. (1989), "Real Effects of Academic Research," *Academic Economic Review* 79, pp.957-970.
- Johnson, Daniel K. N. (2002), *The OECD Technology Concordance (OTC): Patents by Industry of Manufacture and Sector of Use*, STI Working Papers 2002/5, Paris: OECD.
- Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986), "An Overview of Innovation," in R. Landau and N. Rosenberg (eds), *The Positive Sum Game: Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington DC: National Academic Press.
- Lach, S. (1995), "Patents and Productivity Growth at the Industry Level: A First Look," *Economic Letter* 49, pp.101-108.
- Malo, S. and A. Geuna (2000), "Science-technology Linkages in an Emerging Research Platform: The Case of Combinatorial Chemistry and Biology," *Scientometrics* 47, pp.303-321.
- Mansfield, E. (1995), "Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics and Financing," *Review of Economics and Statistics* 77, pp.55-62.
- Mansfield, E. and J. L. Lee (1996), "The Modern University: Contributor to Industrial Innovation and Recipient of Industrial R&D Support," *Research Policy* 25, pp.217-221.
- Martin, B. and J. Irvine (1989), *Research Foresight: Priority Setting in Science*, London: Pinter.
- Meyer, M. (2000), "What is Special about Patent Citations? Difference between Scientific and Patent Citations," *Scientometrics* 49, pp.93-123.
- Meyer, M. (2002), "Tracing Knowledge Flows in Innovation Systems," *Scientometrics* 54(2), pp.193-212.
- Meyer-Krahmer, F. and U. Schmoch (1998), "Science-based Technologies University-Industry Interactions in Four Fields," *Research Policy* 27, pp.835-852.
- Mowery, D. (1983), "Economic Theory and Government Technology Policy," *Policy Sciences* 16, pp.27-43.
- Narin, F. (1994), "Patent Bibliometrics," *Scientometrics* 30(1), pp.147-155.

- Narin, F. and E. Noma (1985), "Is Technology Becoming Science?" *Scientometrics* 7(3-6), pp.369-381.
- Narin, F., K. S. Hamilton, and D. Olivastro (1995), "Linkage between Agency Supported Research and Patented Industrial Technology," *Research Evaluation* 5(3), pp.183-187.
- Narin, F., K. S. Hamilton, and D. Olivastro (1997), "The Increasing Linkage between US Technology and Public Science," *Research Policy* 26, pp.317-330.
- Nelson, R. R. and S. G. Winter (1982), *The Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge: Harvard University Press.
- OECD (2003), *Compendium of Patent Statistics*, Paris: OECD.
- Park, G. and Y. Park (2005), "On the Measurement of Patent Stock as Knowledge Indicators," *Technological Forecasting & Social Change* (in Press).
- Pavitt, K. (1987), "The Objective of Technology Policy," *Science and Public Policy* 14, pp.182-188.
- Pavitt, K. (1998), *Do Patents Reflect the Useful Research Output of Universities?* SPRU: Electronic Working Paper Series, No.6.
- Price, D. J. de Solla (1965), "Is Technology Historically Independent of Science? A Study in Statistical Historiography," *Technology and Culture* 6, pp.553-568.
- Rosenberg, N. (1985), "The Commercial Exploitation of Science by American Industry," in K. Clark, A. Hayes, and C. Lorenz (eds), *The Uneasy Alliance: Managing the Productivity-Technology Dilemma*, Boston: Harvard Business Press.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do Companies do Basic Research with their Own Money?," *Research Policy* 19, pp.165-174.
- Rosenberg, N. and R. R. Nelson (1994), "American Universities and Technical Advance in Industry," *Research Policy* 23(3), pp.323 - 348.
- Schmoch, U. (1993), "Tracing the Knowledge Transfer from Science to Technology as Reflected in Patent Indicators," *Scieintometrics* 26(1), pp.193-211.
- Shirilli, G. (1998), *Conceptualizing and Measuring Technological Innovation*, IDEA Report 1.
- Thursby, J. G. and M. C. Thursby (2000), *Who is Selling the Ivory Tower? Sources of Growth in University Licensing*, NBER Working Paper, No.7718.
- Tijssen, R. J. W. (1992), "A Quantitative Assessment of Interdisciplinary Structures in Science and Technology: Co-classification Analysis of Energy Research," *Research Policy* 21, pp.26-44.
- Tijssen, R. J. W. (2001), "Global and Domestic Utilization of Industrial Relevant Science: Patent Citation Analysis of Science-technology Interactions and Knowledge Flows," *Research Policy* 30, pp.35-54.
- Tussen, R. J. W., TH. H. Van Leeuwen, and J. C. Korevaar (1996), "Scientific Publication Activity in Industry in Netherlands," *Research Evaluation* 6, pp.1-15.
- Van Raan, A. F. J. (ed.) (1998), *Handbook of Quantitative Studies on Science and Technology*, Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- Van Vianen, B. G., H. F. Moed, and A. F. J. Van Raan (1990), "An Exploration of the Science Base of Recent Technology," *Research Policy* 19, pp.61-81.
- Verbeek, A., K. Debackere, M. Luwel, P. Andries, E. Zimmermann, and F. Deleus (2002), "Linking Science to Technology: Using Bibliographic References in Patents to Build Linkage Scheme," *Scientometrics* 54(3), pp.399-420.
- Williams, B. (1986), "The Direct and Indirect Role of Higher Education in Industrial Innovation: What Should We Expect?," *Minerva* 2-3, pp.145-171.