

과학기술 지식흐름과 기술혁신의 연계분석모델 탐색

박현우(한국과학기술정보연구원)

1. 서론

과학기술은 기술혁신이라는 복합적 과정을 통해 경제발전에 기여하고, 궁극적으로 인간의 삶을 풍요롭게 만들어주는 원천이 되고 있다. 과학기술이 경제발전에 미치는 영향에 대해서는 이미 많은 연구에서 제시되고 있고, 이러한 관계는 기술-경제 패러다임으로 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 쉽지 않은 것으로 인식되어 왔다. 그럼에도 불구하고, 이들 간에 상호존적 관계를 밝혀냄으로써 향후 과학기술정책을 모색하려는 노력은 지속되었다. 특히 과학과 기술의 연계관계가 점점 강화됨에 따라, 이들 간의 관계가 어떤 형태를 띠는지에 대해 연구가 본격적으로 이루어지게 되었다.

본 고에서는 과학기술 지식흐름과 기술혁신이 어떠한 관계에 있는지를 우선 조직, 기업, 산업, 국가 등 분석 수준별로 개관하고, 다음으로 과학지식, 기술지식 등 지식유형별로 고찰하고자 한다. 그리고 이러한 관계에 기초하여 과학과 기술, 산업을 통합적으로 연계 분석할 수 있는 모델을 탐색하기 위해 다양한 학문영역에서 이루어진 여러 가지 논의를 기술경제학, 기술경영학, 과학기술정책학, 과학기술사회학 등 주요 관련분야별로 범주화하여 그 유형과 특징을 검토하고자 한다. 끝으로, 이러한 탐색적 연구에 기초하여 결론 및 시사점을 제시하고 향후 연구를 위한 몇 가지 제안을 하고자 한다.

2. 과학기술 지식흐름과 기술혁신의 관계

지식은 기본적으로 창출되는 경제사회 주체 내에서뿐만 아니라 다른 주체로 파급된다. 이러한 지식의 특성으로 인해 각 주체들은 관련된 지식을 보유하고 있지 않더라도 외부로부터 필요한 지식을 조달하여 활용할 수 있다. 또한 주체간의 상호작용은 이미 만들어진 지식의 활용을 촉진하고, 새로운 지식을 만드는 근간이 되므로 주체간 지식의 흐름이 활발할수록 기술혁신이 더 잘 일어나게 된다. 이와 관련하여 많은 연구자들이 지식흐름과 기술혁신과의 관계에 대한 개념적, 이론적, 실증적 연구결과를 제시해왔다. 그러나 이러한 연구들은 각각의 분야에서 모두 산발적으로 존재하고 있어 지식흐름과 기술혁신의 관계에 대해 전체적으로 조망할 수 있는 틀이 부족한 실정이다. 따라서 지식흐름과 기술혁신의 관계에 관한 기존 연구를 분석의 수준과 지식의 특성이라는 두 가지 측면에서 고찰하고자 한다.

2-1. 지식흐름과 기술혁신의 관계: 분석 수준별

1) 조직 수준

지식흐름은 조직 내에서 기술 및 제품 개발을 할 때 꼭 필요한 메커니즘으로 자리 잡아왔다. 신제품 개발과정에서 조직 구성원들은 서로 가진 지식을 공유하고, 보다 나은 지식을 창출하기 위해 의사소통(communication)을 하게 되고, 이 과정에서 지식흐름이 발생하게 되기 때문이다. 이렇게 조직 내에서 공유된 목표(shared goal)를 가지고 의사소통하며, 이 가운데 지식이 흐르는 하나의 단위를 “사회 네트워크”(social network)라고 부른다. 그리고, 이 네트워크 안에 지식이 축적되는 방법에 따라 혁신이 이루어진다.

사회 네트워크 이론에서는 기업이 아닌 사회 시스템과 그 안의 네트워크 형성이 혁신의 잠재성을 높이는 수단이라고 인식한다. 이러한 사회 시스템은 특히 국경을 넘나들기도 하는 급진적 혁신을 창출하는데 효과적이며(Kaufmann and Todtling, 2001), 다음과 같은 여러 가지 긍정적 효과를 창출한다. 첫째, 혁신과정에 관계하는 주체의 다양성을 증가시킨다. 둘째, 혁신과정에 참여하는 중복 없는 지식을 전달한다(Burt, 1992).¹⁾ 셋째, 기존의 지식을 진부화시키는 새로운 지식이 형성될 때 루틴(routine)에 의한 방해 를 받지 않도록 한다.

그러나, “사회 네트워크”는 조직 내에서만 존재하는 것이 아니다. 조직은 새로운 지

1) 폐쇄된 사회 네트워크에서는 지식이 중복되기 쉬우며, 급진적인 혁신에 대한 잠재성도 줄어든다 (Nohria and Eccles, 1992).

식 창출을 위해 사용될 기존의 지식을 습득하기 위해 외부의 원천을 많이 활용하기 때문이다. 새로운 기술이 외부에서 들어올 때 이 기술의 잠재적 이익을 먼저 인지한 개인이 조직 내에서 구성원들에게 기술의 중요성을 설득시키고, 이 기술을 활용할 만한 스킬 및 지식기반 형성을 위해 체계적으로 준비하는 과정을 수반한다. 이러한 과정에서 하나의 조직은 다른 조직과 연결관계를 맺게 되는 것이다. 이때 개인은 외부 네트워크를 통해 새로운 기술(지식)에 접근하게 되고, 이 과정에서 개인은 경계연결의 역할(boundary spanning role)을 하게 된다.

2) 기업 수준

조직 내외부에서 신기술 창출을 위한 지식흐름이 발생하듯이 기업간에도 지식의 흐름이 발생하며, 이는 기업들의 혁신활동을 결정한다(Jaffe, 1986; Levin and Reiss, 1988). 초기 연구들은 서로 다른 기업의 인력 간에 비공식적인 접촉이 발생해 정보가 교환되는 현상에 주목하였다(Rogers, 1982; Von Hippel, 1987; Schrader, 1991). 이러한 비공식적인 접촉은 경쟁기업간에도 발생하는데(Von Hippel, 1987), 다른 회사에서 일하는 동료나 비공식적으로 만나 서로 기술적인 조언을 해 주는 것이 그 예이다. 때로는 소비자들이 기업에게 필요한 정보를 제공해 주면서 발생하는 지식의 흐름이 기술혁신의 원천이 되기도 한다(Lissoni, 2001). 마지막으로 발명자를 고용하는 것도 기업간 지식흐름을 촉진시키는데 중요한 매커니즘이다(Song et al., 2003).²⁾

기업간의 지식흐름은 때로 국경을 초월한다. 세계가 점차 서로 연결되면서, 개발도상국의 기업들도 점차 연구개발에서 글로벌 파트너쉽을 찾게 되고, 과학 및 기술 분야에서 핵심역량을 확대하고 시장점유를 위해 중요한 기술분야를 개척하기 위해 협력하기 때문이다. 다국적기업으로부터 국내기업으로의 이러한 지식확산은 개발도상국에서 기술진보를 위한 중요한 원천이며, 동종 산업일 경우 그 효과가 더 크다.

3) 산업 수준

지식흐름과 기술혁신의 관계는 산업 수준에서도 살펴볼 수 있다. 우선 Terleckj (1980), Scherer(1982) Griliches(1992), Nadiri(1993) 등이 계량경제학적 모형으로 산업

2) 이러한 방법은 하이테크 산업에서 많이 발생하는데, Almeida and Kogut(1998)와 Rosenkopf and Almeida(2003)는 반도체 산업에서 특허를 출원하는 과학자들이 기업간에 이동함으로써 지식의 이용에 영향을 주며 지역 노동 네트워크를 형성하는 것을 관찰하였다.

수준에서 지식이 흐르고 파급효과(spillover effect)를 유발한다는 점을 보여주었다. Hu and Tseng(2006)은 화학산업이 국가혁신체제 내에서 지식흐름을 유발하며 중요한 역할을 하고 있음을 보여주었다. 화학산업은 반도체, TFT-LCD, 제약 등의 산업에 필수적인 지식을 공급해 줌으로써 전체 경제 시스템에 대해 기술의 원천으로서의 역할뿐만 아니라 매우 넓은 범위에 걸쳐 지식을 확산시키고 있었다.³⁾

산업이 경제적 최종산물을 기준으로 나눈 것이라면 혁신활동에 관여하는 집합으로 경계를 나누면 섹터(sector)를 고려해 볼 수 있다. 섹터 간에도 지식흐름이 발생하며, 지식파급은 섹터 간에 균형 있는 지식의 흐름을 유발하기도 한다. 이는 섹터간에 파급 연계뿐만 아니라 기술기회(technological opportunities)가 다르기 때문이다. 먼저 Leoncini et al.(1996)은 사회 네트워크 분석(SNA) 방법을 도입해 산업 간에 R&D 활동을 통해 창출된 지식이 어떻게 흘러가는가를 기술적(descriptive)으로 보여주었다. 이후 Leoncini and Montessoro(2000), Chang and Shih(2005) 등도 R&D 활동에 초점을 맞추어 지식흐름이 어떻게 전개되는지를 보여주었다.

4) 국가 수준

국가 수준에서는 Coe and Helpman(1995)의 연구가 시초라고 할 수 있다. 이는 OECD 국가들의 무역대상국의 수입비율을 사용하여 외국의 연구개발 스톡을 계산하고, 국내 총요소생산성과 외국 연구개발 스톡에 강한 상관성이 있음을 보였다.

이후, Engelbrecht(1997), Hanel(2000), Funk(2001) 등이 국가간의 지식흐름을 외국의 R&D 스톡 비율을 이용해 측정하였다.

마지막으로 Hu and Jaffe(2003)는 특허 인용관계를 이용하여 한국과 대만의 미국과 일본에 대한 지식흐름을 측정하고 해석하였다. 그러나 조직, 기업, 산업 수준과 비교해 볼 때, 특허 인용관계를 이용한 국가간 분석은 데이터의 양이 방대하여 아직까지 연구가 많지는 않다.

2-2 지식흐름과 기술혁신의 관계: 지식 유형별

기술혁신에 직접적으로 관련된 과학지식과 기술지식은 각각 과학논문(scientific

3) 투입-산출에 기초한 화학산업과 다른 산업 간의 상호의존성은 지식의 축적과 확산을 위해 매우 중요한 것으로 나타났다. 후방산업은 화학물 생산기업에 의해 실시되는 연구개발의 방향성을 결정한다. 반대로 화학산업에서의 프로세스 혁신은 전방산업의 연구개발에 대한 인센티브를 제공할 뿐만 아니라 새로운 지식이 후방산업으로 흘러갈 때의 효율성에도 영향을 미친다.

article)과 특허(patents)로 표현된다. 물론 모든 과학지식이 논문으로, 기술지식이 특허로 표현되는 것은 아니다. 그러나, 과학은 기본적으로 공개성(openness)을 전제로 하고, 연구자들로 하여금 자신이 속한 커뮤니티에서 인정을 받도록 하기 위해 논문이라는 매개체를 사용하고 있으므로 논문은 과학을 잘 반영한다고 볼 수 있다. 또한 공공성을 전제로 하기 때문에 대학 커뮤니티에 의해 주로 과학적 발견이 이루어진다. 반면, 기술은 본질적으로 비밀성(secretcy)을 전제로 제품을 만드는 데 이용되기 때문에 추적하기가 어렵다. 그러나, 산업기술이 계속 비밀로 남게 되면 국가 수준에서 발명과 혁신이 저해되므로 많은 국가들은 특허 시스템을 도입하고 있고 있으며, 따라서 특허는 기술을 잘 나타내는 매개체라고 할 수 있다. 그리고, 기본적으로 사유성을 특징으로 하기 때문에 기업에 의해 주로 기술의 개발이 이루어진다.

1) 과학지식의 흐름과 기술혁신

과학은 기본적으로 넓은 범위의 응용에 대한 잠재성에 기초해 기초적인 문제를 풀려고 시도한다(Henderson et al., 1998; Mowery and Ziedonis, 2002). 또한 최초로 발견한 사람이 모든 것을 차지한다는 생각 때문에 “탐구”의 과정을 중요하게 생각한다(Merton, 1957; Dasgupta and David, 1994).

과학에서는 지식을 사유적인 이익으로 쌓아두기보다는 “공개성”에 대한 원칙으로 발견자들이 다른 사람들에게 전파할 것을 요구한다. 따라서 과학은 문제해결 과정에 대한 영향력에 관계없이, 발견에 수반되는 지식을 확산시킴으로써 가치를 인정받는다. 이를 위해 과학자들은 오래전부터 자신의 연구결과를 논문화하여 공개하는 제도를 정착시킴으로써 과학적 지식의 확산과정을 본질적으로 바꾸어 놓았다.

첫째, 연구자들은 자신의 암묵적 지식을 형식화(codify)하며, 사회 네트워크를 통해 확산과정을 자유롭게 함으로써 정보의 흐름을 촉진시켰다. 이러한 제도가 없었다면, 연구자와 연구자 사이의 지식흐름은 직접적인 상호작용을 통해서만 가능했을 것이다(Rogers, 1995). 이러한 형식화에서 과학의 기관적 특징이 중요한 역할을 한다. 과학의 커뮤니티는 복잡한 정보를 형식화하기 위한 독특한 언어나 문법을 공유하며, 암묵적으로 공유하는 지식기반을 갖기 때문이다. 저널뿐만 아니라, 과학 커뮤니티는 컨퍼런스, 학회, 학과 등을 만들어 조직내 커뮤니케이션을 활성화한다.

둘째, 논문공개를 통해 확산된 지식은 발명자들이 탐구의 방향을 설정하는데 기존 지식을 기초로 활용함으로써 기술혁신을 유발한다(Rosenberg, 1990; Grupp, 1996). 기존 지식의 활용은 “인용”이라는 제도로 이루어지며, 처음 발견한 사람의 아이디어를

보호함은 물론 새로운 아이디어가 어떻게 도출되었는지를 알 수 있도록 한다.

마지막으로, 논문 공개는 중복노력을 방지하여 연구개발의 효율성을 향상시켰다(Nelson, 1959; Arrow, 1962; Dasgupta and David, 1994).

이렇게 논문의 공개라는 지식의 형식화를 통해 이후 관련된 정보를 알아내는 데 들이는 비용을 줄이고, 검색기술에 대한 응용의 여지를 만들면서 기술혁신을 도모하고, 연구개발의 효율성을 향상시킨 것이다.

2) 기술지식의 흐름과 기술혁신

과학과 달리 기술은 시행착오를 거쳐 문제해결을 하며, 보다 직접적인 형태의 산물을 원한다(Nelson, 1982; Fleming and Sorenson, 2004). 그리고, 최종산물인 “제품”에 이르는 기술은 영업비밀(trade secret)로 남겨지거나 특허로 보호받는다. 특허는 기술혁신을 촉진하기 위해서 발명자에게 독점적인 권리를 주는 것이므로, 기업은 자신의 발명에 대해 전유성(appropriability)을 최대한 보장받고 싶어한다. 따라서 이러한 전유성이 기술 파급효과의 정도를 결정하게 되는데, 일반적으로 전유성의 정도가 클수록 산업으로의 파급효과가 낮아지고, 전유성의 정도가 낮을수록 산업으로의 파급의 양이 많아진다(Spence, 1984).

특허화된 지식도 논문의 경우와 마찬가지로 인용에 의해 흐름이 발생하며, 잠재적으로 지식흐름 및 파급에 대한 광범위한 정보를 제공한다. 특히 특허인용은 한 시점에서 지식파급의 양뿐만 아니라 시간에 따라 지식파급의 양이 어떻게 바뀌었는지를 보여준다(Verspagen and De Loo, 1999). 모든 미국특허 출원자는 특허를 출원할 때 이전의 발명에 대한 인용을 포함해야 한다. 이전 발명자에 대한 발명을 명시함으로써 인용은 특허정보에 의해 보호되는 혁신의 범위를 규정한다. 학술 연구자들이 그들의 아이디어나 결과물을 다른 사람에게 공포하여 그가 속한 커뮤니티 안에서 명성을 얻는 것은 물론 표절을 방지할 수 있듯이, 특허 출원자들도 이전의 발명을 명시하는 것이다.

인용은 지식재산권의 범위를 보여줌으로써 발명자들이 이를 정확하게 사용하도록 하는 법적 효력도 가지고 있다. 인용을 정확히 해야 하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫째, 과학논문에서 친구의 논문을 인용하는 것은 비용이 들지 않지만, 관계없는 특허를 인용하게 되면 관련 있는 발명을 범위에서 제외시키게 되어 결과적으로 권리범위를 좁게 만든다(Jaffe et al., 1993). 둘째, 적당한 인용을 제외하게 되면 특허침해 소송에 말리거나 미국 특허청에 의해 제재조치를 받을 수 있다.

Schmookler(1966)는 처음으로 특허를 이용하여 지식의 흐름을 보였으며, 이후

Scherer(1982)에 의해 이것이 더욱 발전되었다. Jaffe et al.(1993)도 미국에서의 지식과급이 어느 정도까지 지리적으로 지역화(localized) 되어 있는가를 측정하기 위해 특허인용을 사용하였으며, 번리사나 특허 심사관에 의해 추가된 인용은 지식과급과는 관계가 없다는 것을 보였다. 이렇게 선행특허를 인용하는 과정은 이전에 있었던 기술에 대한 정보를 큰 비용 없이 검색함으로써 기술혁신을 촉진시킨다.

3) 과학기술간 지식흐름과 기술혁신

과거 전통적인 기술혁신이론에서는 과학적 발견이 기술개발을 유발한다고 인식되어 왔다. 또한 대학은 과학적 발견에 대한 책임을 지고, 기업들은 공개된 과학을 활용하여 기술을 개발한다고 보았다. 그러나, 최근 대학도 기술을 개발하고, 기업도 과학적 발견에 투자하기 시작하면서, 과학과 기술이 서로 상호작용하며 발전한다고 인식되고 있다. 또한 이 과정에서 발생하는 상호과급 효과가 혁신에 대한 긍정적인 외부효과를 창출한다(Freeman, 1992; Mansfield, 1995).

대학이 기술을 개발하게 되는 이유는 기업에서 연구비를 지원받아 기술적 성과물을 내야 하거나 과학적 결과물을 스스로 상업화시켜 실험실 창업 등을 하기 때문이다. 그리고 기업이 과학적 발견에 투자하는 이유는 “탐구”의 과정에서 기술개발을 위한 새로운 아이디어를 얻을 수 있기 때문이다. 결국 대학이 기술을 개발하려는 동기가 유발되고, 기업이 과학에 투자하려는 환경이 조성되면서, 과학과 기술 사이에 지식흐름이 발생하는 것이다. 이러한 지식흐름을 추적할 수 있는 서지정보는 논문과 특허 명세서이다. 먼저 과학적 발견이 기술적 문제해결 원리에 이용되는 것은 특허 명세서에 과학논문 인용(non-patent references)으로 나타나고 있다.

또한, 기술적 성과가 과학논문에 인용되는 것은 과학논문의 인용부분에 특허인용으로 보여주도록 한다. 그러나, 이는 실제로는 적용되지 않는 경우가 많다. 따라서 과학과 기술 사이에 발생하는 지식흐름은 대학의 스피노프 기업, 특허 라이선싱, 기업과의 연구개발 협력 등을 살펴봄으로써 알 수 있다.

3. 과학-기술-산업 연계 모델

3-1. 기술경제학에서 제시하는 모델

2007년 한국과학기술학회 전기 학술대회

기술경제학에서는 과학-기술-산업의 연계에 대해 대부분의 모델이 특정한 주체가 생산한 과학 또는 기술이 산업의 혁신에 영향을 미친다는 모형으로 설명하고 있다.

첫째, Gibbons and Johnston(1974), Jaffe(1989), Mansfield and Lee(1996), Beise and Stahl(1999), Malo and Guena(2000), Autio et al.(2004) 등에 의하면, <그림 1.a>과 같이 과학은 대학에 의해 생산되고, 이것이 산업혁신에 영향을 미친다는 입장을 제시하고 있다.

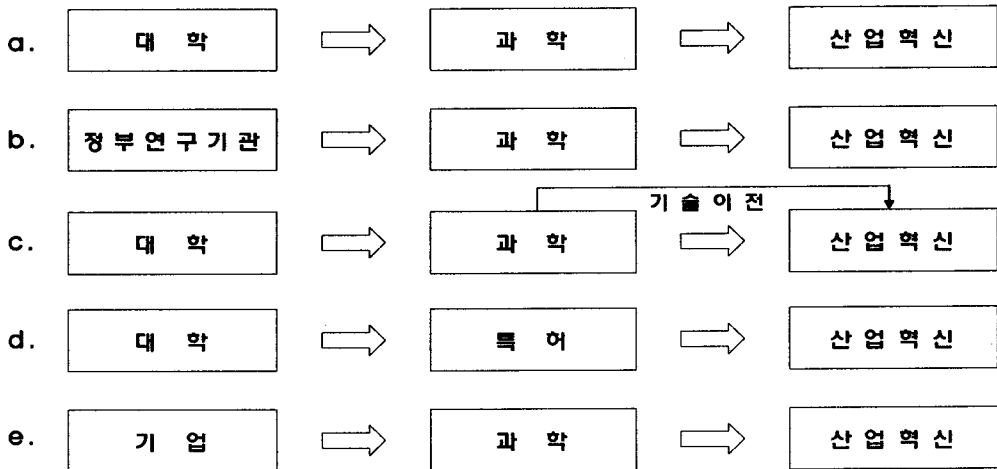
둘째, Feller et al.(2002)에 따르면, <그림 1.b>로 나타낼 수 있는 바와 같이 과학은 정부연구기관에 의해 생산되고, 이것이 산업혁신에 영향을 미친다고 주장하고 있다.

셋째, Bozeman and Crow(1991), Bozeman(2000), Llor(2007) 등의 경우, <그림 1.c>과 같이 과학은 대학에 의해 생산되고, 이것이 기술이전을 통해 기업에 전달되어 산업 혁신에 영향을 미친다고 보고 있다.

넷째, Geuna and Nesta(2006)에 의하면, <그림 1.d>에 제시된 바와 같이 대학에 의해서 생산되는 특허가 산업 혁신의 바탕이 된다고 주장하고 있다.

다섯째, Rosenberg(1990), Mansfield(1995), Godin(1996), Hicks et al.(1996) 등의 경우 <그림 1.e>에서와 같이 기업에 의해 생산되는 과학이 산업혁신의 바탕이 된다는 점을 제시하고 있다.

<그림 1> 과학-기술-산업 연계의 기술경제학 모델

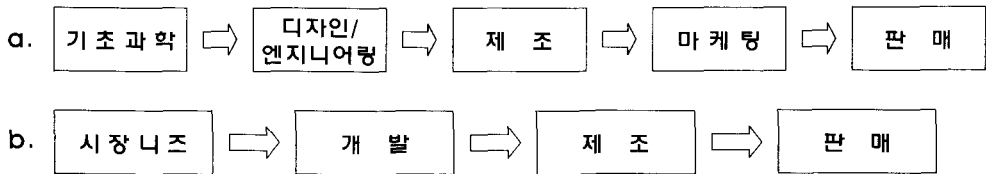


3-2 기술경영학에서 제시하는 모델

기술경영학 분야에서는 기술혁신이 일어나는 과정을 기업의 가치사슬과 연계시켜 모델링하고 있다.

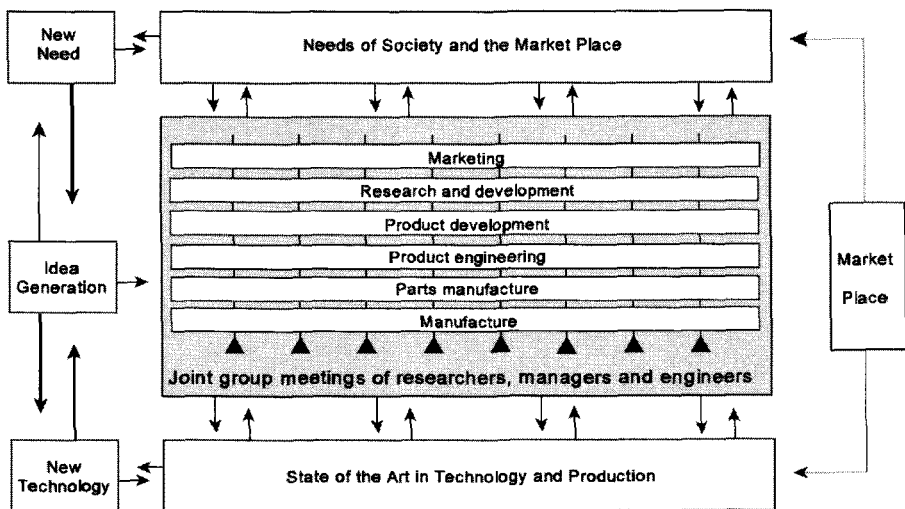
먼저, Rothwell(1994)의 대표적인 연구라고 할 수 있다. Rothwell에 따르면, 기술혁신이 이루어지는 과정을 1950년대~1960년대 초반, 1960년대~1970년대 초반, 그리고 1970년대 중반~1980년대 초반 등으로 나누어 설명하고 있다. 우선, 1950년대부터 1960년대 초반까지에 대해서는 <그림 2a>의 기술주도형 선형모델(Technology Push Linear Model)을 제시하고 있으며, 1960년대에서 1970년대 초반 시기에 대해서는 <그림 2.b>의 시장주도형 선형모델(Demand Pull Linear Model)을 제시하고 있다.

<그림 2> 기술혁신의 선형모델

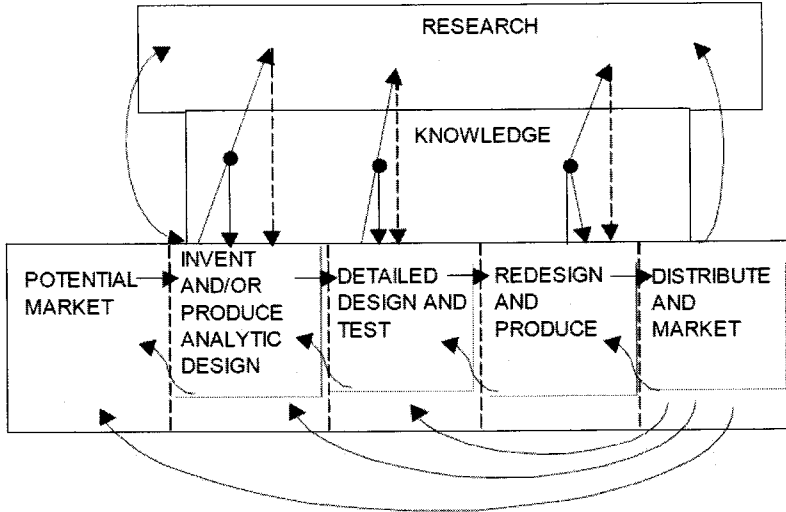


그리고 1970년대 중반부터 1980년대 초반의 경우 <그림 3>과 같이 상호작용 또는 커플링 모델(Interactive or Coupling Model)을 제시하고 있다.

<그림 3> 상호작용 또는 커플링 모델

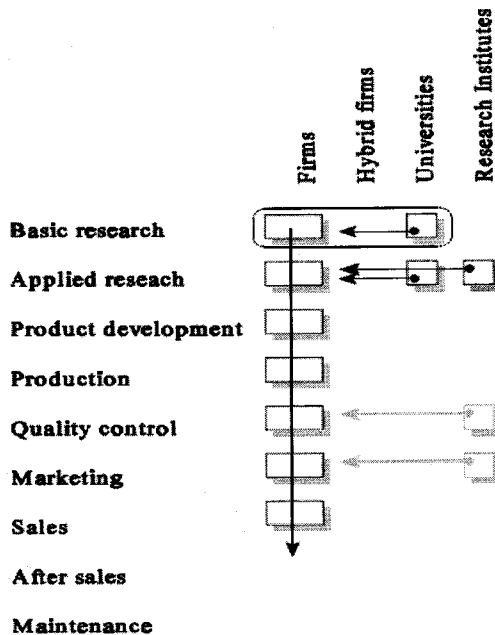


<그림 4> 체인링크 모델



다음으로, Kline and Rosenberg(1986)가 제시하고 있는 체인링크 모델(Chain-Linked Model)은 <그림 4>에서와 같이 기업의 가치사슬 상에서 연구(research)가 지식(knowledge)으로 변환되어 각 단계별로 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다.

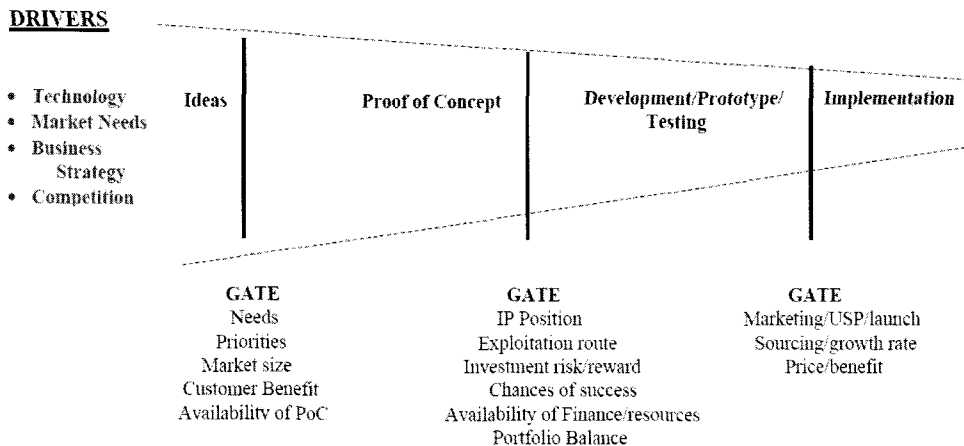
<그림 5> 아이디어와 혁신의 사슬 모델



셋째, Ballard et al.(1989)의 경우, <그림 5>에서 보는 바와 같이 아이디어-혁신 사슬(Idea-Innovation Chain)은 횡축에 혁신을 주도하는 기관들을 나열하고 종축에 이 기관들의 기본적인 활동을 나열하여 그 관계를 보여주고 있다. 이 모형에 따르면 결국 연구(research)를 제품화하여 상용화시키는 것은 기업의 역할이라고 보고 있다.

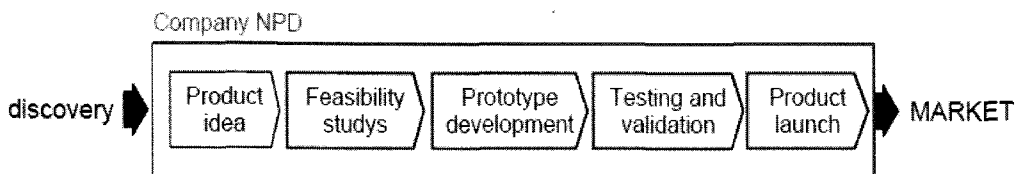
넷째, Von Hippel(1998)이 제시하고 있는 파이프라인/깔때기 모델(Pipeline/Funnel Model)은 <그림 6>에서와 같이 기술(technology) 등에 근거한 수많은 아이디어가 파이프라인(혹은 깔때기)을 따라가며 결국 걸러져 실현되는 과정을 보여주고 있다.

<그림 6> 파이프라인(깔때기) 모델



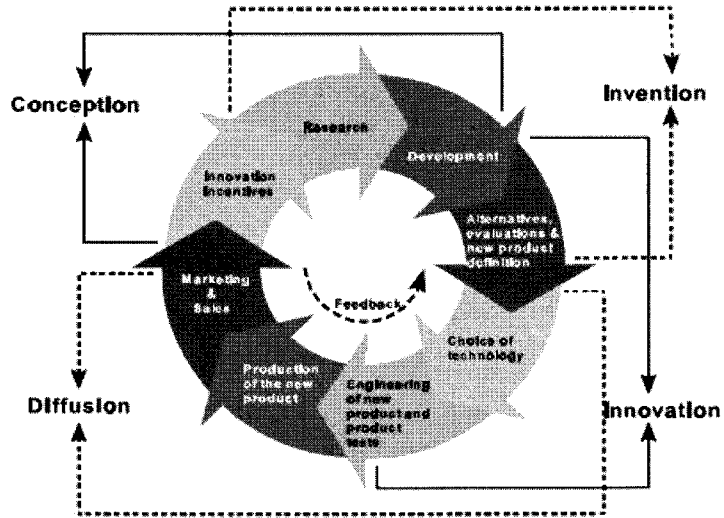
다섯째, Cooper(2001)가 제시하고 있는 신제품 개발 모델(New Product Development Model)은 <그림 7>에서 보는 바와 같이 특별히 과학이나 기술의 투입(input)에 대한 특별한 구분 없이 어떤 형태든 발견(discovery)에서 나온 아이디어가 시장에까지 이르는 과정을 모델링 하고 있다.

<그림 7> 신제품 개발 모델

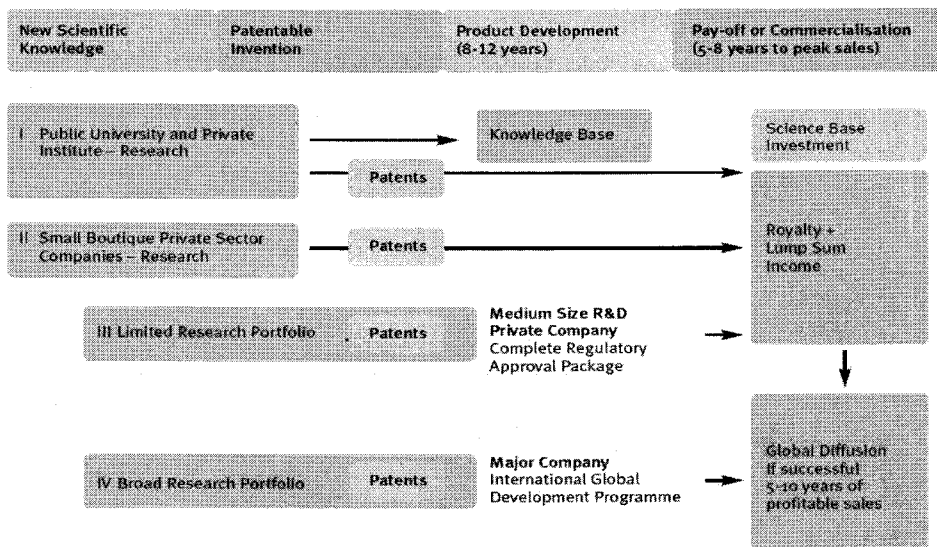


여섯째, Sarmenta-Coelho(2000)의 순환모델(Circular Model)에서는 <그림 8>과 같이 과학(research)과 기술(technology)이 기업의 여러 가지 기능에 영향을 미치고 이것이 순환하면서 혁신을 일으킨다고 설명하고 있다. 그리고, 순환을 하는 가운데 몇몇 과정은 다시 발명(invention), 혁신(innovation), 확산(diffusion), 개념화(conception)로 묶일 수 있다.

<그림 8> 순환 모델(Circular Model)



<그림 9> 혁신 네트워크와 R&D의 관계

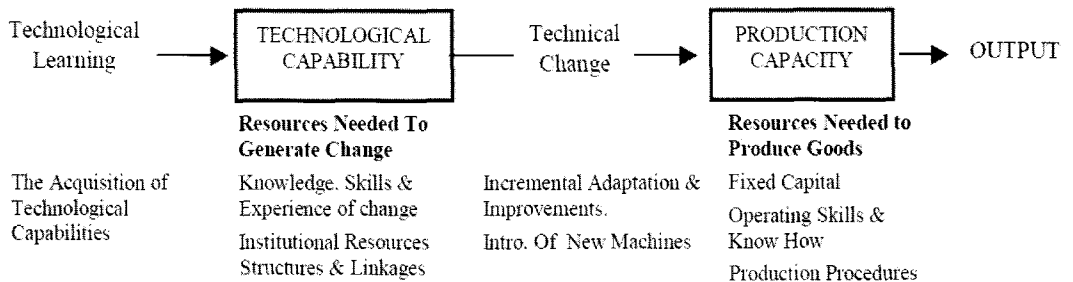


일곱째, Attridge(2006)은 제약산업을 대상으로 혁신 네트워크와 R&D의 관계(R&D Relationship in Innovation Network)를 <그림 9>와 같이 도시하고 있다. 제약산업은 특성상 대학의 기초연구가 매우 중요시되며, 이러한 것들이 특허의 형태로 표현되며, 이익이 제품 상용화를 이끄는 바탕이 된다고 주장하고 있다.

3.3. 과학기술정책학에서 제시하는 모델

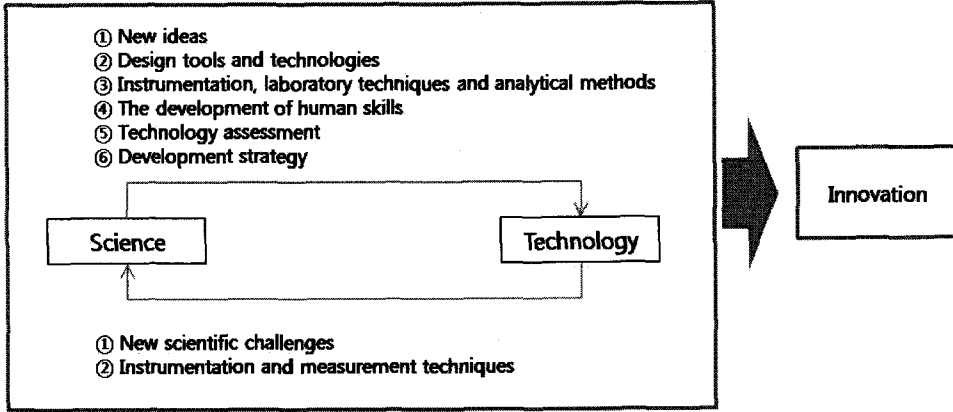
과학기술정책학 분야에서의 연구에서는 과학과 기술의 연계를 잘 보여주고 있기는 하지만 산업의 혁신과 연계하는 경우는 Bell and Pavitt(1993)을 제외하고는 이와 관련된 연구는 많지 않은 상태라고 할 수 있다.

<그림 10> 기술적 역량과 생산역량



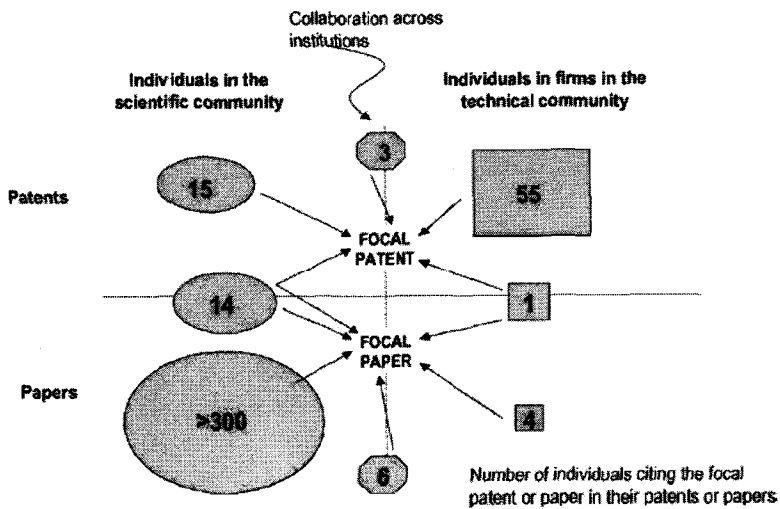
우선, Bell and Pavitt(1993)에 있어서, <그림 10>으로 설명되는 바와 같이 기술적 학습(technological learning)에 의해 쌓이는 기술적 역량(technological capability)은 결국 기존 기술의 기술을 더 개선시키는 인자로 작용하여 생산역량(production capability)을 향상시킨다고 하고 있다.

<그림 11> 과학기술과 혁신연계



둘째, Brooks(1994)는 <그림 11>과 같이 “과학”은 새로운 아이디어, 디자인 도구와 기술, 실험방법, 인적자원, 평가방법, 개발전략 등을 “기술”에 공급하여 기술개발을 촉진시키고, “기술”은 새로운 과학적 도전, 실험방법 등에 대한 아이디어를 “과학”에 공급해 과학적 발견에 대한 자극을 공급한다고 주장하고 있다. 그리고 이러한 상호작용은 결국 산업의 혁신에 영향을 미친다는 점을 제시하고 있다.

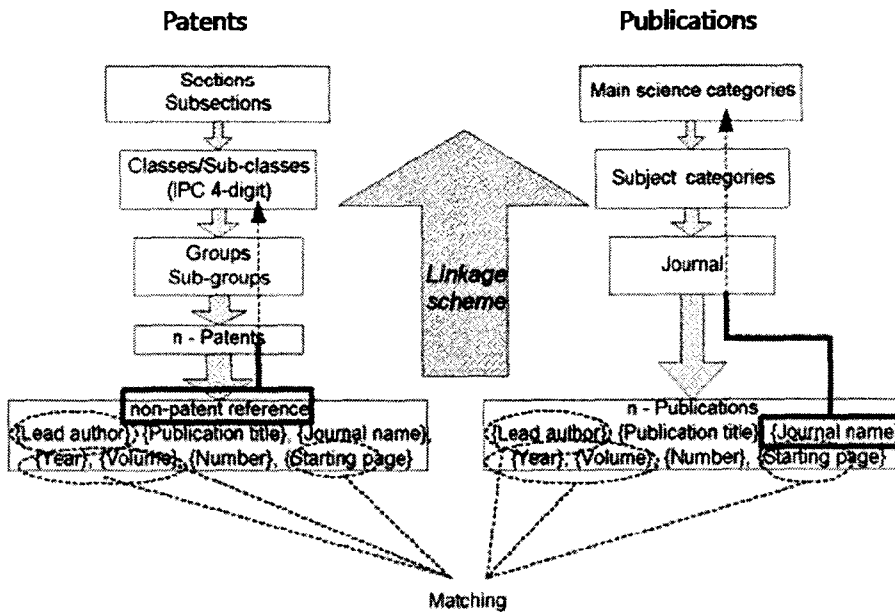
<그림 12> 과학적 커뮤니티와 기술적 커뮤니티 - 논문과 특허



셋째, Murray(2002)에 따르면, <그림 12>에 도시되어 있는 바와 같이 과학은 논문(paper)으로 표현되며, 기술은 특허(patent)로 표현된다. 또한, 논문은 같은 과학적 커뮤니티(scientific community)에 있는 동료들, 특허는 같은 기술적 커뮤니티(technical community)에 있는 기술개발자들에 의해 인용된다. 그리고, 이러한 인용 빈도가 높은 논문과 특허가 핵심논문(focal paper), 또는 핵심특허(focal patent)가 되고, 핵심 논문과 핵심특허는 상호진화(co-evolution)의 관계를 가지고 있음을 밝히고 있다.

넷째, Noyons et al.(1993), Verbeek et al.(2002) 등의 경우에는 <그림 13>에 나타나는 바와 같이 Murray(2002)와 마찬가지로 과학은 논문으로 표현되고, 기술은 특허로 표현된다고 보고 있다. 그리고, 논문과 특허는 특허가 인용한 “특허 아닌 문헌(non-patent references)”에 의해 연결된다고 주장하고 있다.

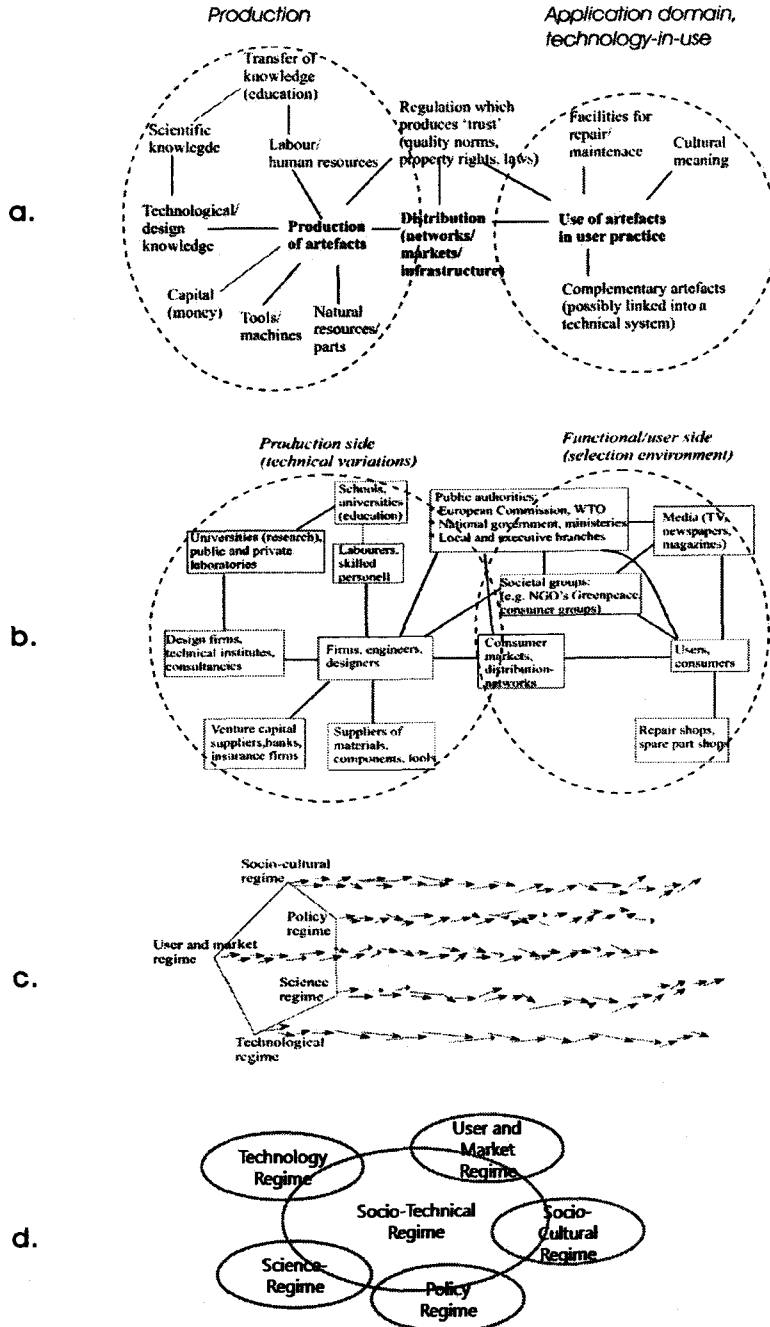
<그림 13> 과학(논문)과 기술(특허)의 연계(비특허문헌 인용)



3.4. 과학기술사회학에서 제시하는 모델

과학-기술-산업의 연계에 대하여 과학기술사회학의 경우에는 과학과 기술이 산업의 발전에 영향을 주는 모델이 대부분 생산과 사용의 측면에 의해 분석되고 있으며, 사회-기술 시스템(socio-technical system)이라는 가장 포괄적인 개념을 도입하고 있다.

<그림 14> 과학기술과 산업발전의 사회-기술시스템



첫째, Geels(2004)에 따르면, 과학적 지식(scientific knowledge)과 기술적 지식(technological knowledge)은 사회-기술 시스템을 이루는 기본적인 요소가 되며, 이들은 그 특성에 따라 각각 다른 체제(regime)를 형성한다고 말하고 있다.

여기에서 우선, 사회-기술시스템을 구성하는 요소는 <그림 14.a>와 같이 생산(production) 측면에서는 과학적 지식 및 기술적 지식 이외에도 노동(labour), 자본(capital), 자원(resources), 교육(education) 등이 있으며, 이 모든 것들이 투입되어 제품(artefacts)을 만들어 내게 된다. 이는 다시 사용(use)될 때, 시설(facilities), 문화적 의미(cultural meaning), 보완제품(complementary artefacts) 등의 영향을 받게 된다. 그리고, 생산과 사용 측면을 연계하는 것은 유통(distribution) 등 각종 네트워크이다.

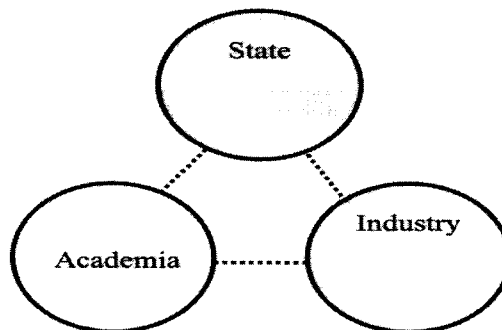
다음으로, 사회-기술시스템을 구성하는 기관의 경우, <그림 14.b>와 같이 생산 측면에서는 대학, 공공 및 사설 실험실, 학교, 디자인 회사, 기술 회사, 벤처 캐피탈 회사, 금융기관 등이 존재하며, 사용 측면에서는 일반 소비자, 사회단체, 미디어, 공공기관 등이 존재한다.

그리고, <그림 14.c>에서 볼 수 있는 바와 같이 각 요소(기관)별로 그 특성에 따라 각각 다른 체제를 형성하게 된다.

마지막으로, <그림 14.d>에 제시되어 있는 것처럼, 각 요소(기관)별로 형성된 체제가 전체 사회-기술 체제를 이루는 근간이 된다.

둘째, Etzkowitz and Leydesdorff(2000)가 제시하고 있는 <그림 15>의 삼중나선 모델(Triple-helix Model)의 경우, 대학, 정부, 기업이 각각의 역할을 하며 상호작용하는 과정에서 국가의 혁신능력 및 경쟁력이 높아진다고 보고 있다.

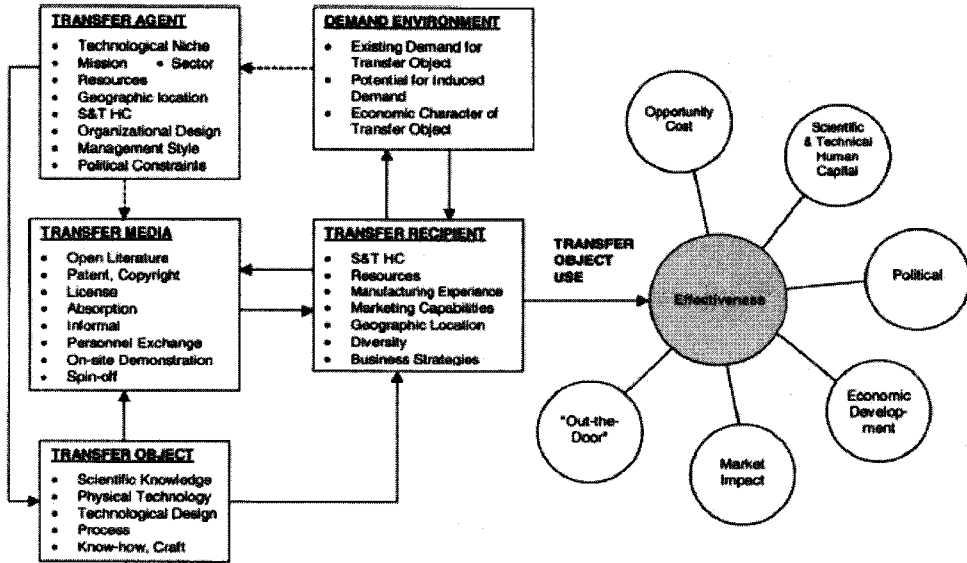
<그림 15> 삼중나선 모델



셋째, Bozeman(2000)에 따르면, <그림 16>에서와 같이 과학과 기술이 산업에 이용

되기 위해서는 기본적으로 이전(transfer)라는 과정을 거치게 되며, 이는 이전대상 (transfer recipient), 수요환경(demand environment)에 영향을 받아 결국 사용 측면에 있어 효과성(effectiveness)을 발휘하게 된다고 보고 있다.

<그림 16> 과학과 기술의 산업으로의 이전



4. 결론 및 향후 연구

본고에서는 과학기술 지식흐름과 기술혁신의 관계에 대한 다양한 논의를 리뷰하고 체계적으로 검토하며, 기술혁신을 규정하는 과학, 기술, 산업의 지식흐름을 인식하고 이들을 통합연계하여 분석을 시도하는 여러 모델들을 범주화하고자 하였다. 이러한 노력은 향후 기술혁신의 연구를 위한 중요한 시사점을 제시해주며, 지식흐름 분석을 통해 기술혁신 현상의 예측을 위한 실제적 적용을 가능케 하는 분석의 틀을 제시하는 기반이 된다.

지식흐름과 기술혁신의 관계를 고찰하기 위해 먼저 분석 수준별로 검토하였다. 조직 수준에서는 “사회 네트워크 이론”에 근거하여 조직 내외부에서 발생하는 지식흐름과 기술혁신의 관계를 보여주었다. 기업 수준에서는 기업들 간에 다양한 비공식·공식 경로를 통해 지식이 교환됨으로써 기술혁신을 촉진하고 있음을 보여주었다. 산업 수준

에서 역시 한 산업의 지식창출의 결과물이 그 산업뿐만 아니라 다른 산업으로 흘러들어 다른 산업에 지식기반을 제공해 주고 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 국가 수준에서도 지식의 흐름이 발생해 개발도상국들이 선진국들을 추격해 가는데 효과적인 수단이 되고 있음을 시사하였다. 다음으로 지식흐름과 기술혁신의 관계를 지식의 유형에 따라 살펴보았다. 기술혁신을 촉진하는 지식의 유형은 과학적 지식과 기술적 지식으로 볼 수 있는데, 이 두 유형의 지식은 과학자기술자의 직접 접촉 이외에 인용이라는 관계를 통해 개인과 조직 사이에 흘러감으로써 학문과 기술을 발달시키고 있음을 알 수 있었다. 또한 최근에는 과학적 지식과 기술적 지식 간의 흐름이 새로운 혁신을 유발하는 인자가 되고 있음도 드러났다.

다음으로, 본 연구에서는 “기술경제학”, “기술경영학”, “과학기술정책학”, “과학기술사회학” 분야에서 과학-기술-산업의 관계를 조명한 대표적인 연구들을 탐색하고, 정리하였다. 기술경제학 분야에서는 과학-기술-산업이라는 순차적인 접근보다는 과학이 산업 발전에 미치는 영향이라든가 특허로 표현된 기술이 산업발전에서 미치는 영향을 따로 분석하였다. 기술경영학 분야의 경우에는 과학과 기술을 나누기보다는 기업이 신제품을 생산하는 과정에 이들이 녹아있다고 보고 있다. 특히 기업을 분석의 단위로 다루는 만큼 과학에 대한 중요성은 그다지 크지 않다고 할 수 있다. 과학기술정책 분야에 있어서는 과학-기술의 관계에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 이것이 어떻게 산업과 연계되는지에 대한 연구는 부족한 상태라고 볼 수 있다. 과학기술사회학 분야의 경우 과학과 기술은 생산 측면에 존재하고 산업은 사용 측면에 존재하고 있다. 즉, 이미 생산된 과학과 기술은 여러 가지 사회적 영향을 받아 산업에서 선택적으로 사용된다고 보고 있다.

이상과 같은 과학, 기술, 산업의 연계에 대한 분야별 연구동향을 살펴보면 몇 가지 시사점을 얻을 수 있다. 첫째, 현재 과학-기술-산업의 관계를 설명하는 모형들이 각 학문분야별로 산재되어 있다. 물론 각 학문의 발전배경이 다르기 때문에 일관된 모델(모형)을 얻기는 어려울 것이나, 과학과 기술은 작게는 기업에게 이익을 가져다주고, 크게는 향후 각 국가의 경제발전을 이끌어 나가는 데도 중요한 요소이므로, 각 학문분야에서 중요하게 생각되는 요소들이 적절하게 반영된 통합모형(integrated model)을 만드는 것이 필요할 것이다. 둘째, 정보통신기술(Information Technology), 바이오기술(BioTechnology), 나노기술(Nano Technology), 인지과학기술(Cognitive Technology) 등 신기술(emerging technologies)이 출현하면서 모형이 어떻게 바뀌는지에 대해 탐색해보는 것이 필요할 것이다. 셋째, 앞에서 제시된 모형은 국가적 경계를 볼 때, 폐쇄시스템

(closed system)을 기반으로 하고 있다고 할 수 있다. 드러나, 최근 국제 공동연구도 활발히 전개되고 있고, 과학자 및 학생들의 교류도 늘어나고 있으므로, 국가간의 협력모델 개발도 필요할 것이다. 넷째, 전통적으로 연구개발에 있어서는 자금제공(funding)의 문제가 중요한 이슈로 언급되어 왔다. 그러나, 기존 모형에는 자금의 출처가 나와 있지 않다. 자금의 출처에 따라 과학과 기술의 생산 및 사용 메커니즘이 어떻게 바뀌는지에 대한 탐색도 필요할 것이다.

이러한 과제들은 과학기술의 성과를 축적해 놓은 구체적인 데이터의 분석을 통해 보다 명시적으로 설명될 수 있을 것이다. 과학지식이 축적된 논문 데이터베이스와 기술지식이 축적된 특허 데이터베이스 간의 지식흐름과 특허간의 기술지식 흐름의 분석은 이를 가능하게 해줄 것이다.

□ 참고문헌

- 박선영 · 박현우 · 조만형, “특허분석을 통한 기술혁신과 기업성과의 관계분석,” 기술혁신학회지, 제9권 제1호, 한국기술혁신학회, 2006. 6, pp.1-25.
- 박현우, “과학기술 지식흐름과 기술혁신 추세분석,” 지식경영학회지, 제7권 제2호, 한국지식경영학회, 2006.12, pp.29-50
- 박현우 · 유선희, “국내 혁신클러스터의 기술혁신 연계관계 연구,” 기술혁신학회지, 제10권 제1호, 한국기술혁신학회, 2007. 3, pp.98-120.
- 하홍준 · 박규호 · 정성창, 출원주체별 특허활동의 경제적 효과에 관한 연구, 한국지식재산연구원, 2004. 12.
- Almeida, P. and Kogut, B. (1999), "Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks", *Management Science*, 45(7), pp.905-917.
- Arrow, K. (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", in Nelson, R. R. (Ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton, NJ: Princeton University Press, pp.609-625
- Attridge, J. (2006), "Innovation Models and their Application to the Pharmaceuticals Sector", Tanaka Business School. London: Imperial College.
- Autio, E., Hameri, A. P. and Vuola, O. (2004), "A Framework of Industrial Knowledge Spillovers in Big-science Centers", *Research Policy* 33, pp.107-126.
- Ballard, S., James Jr., T., Adams, T., Devine, M., Malysa, L., and Meo, M. (1989), *Innovation through Technical and Scientific Information: Government and Industry Cooperation*, New York: Quorum.
- Beise, M. and Stahl, H. (1999), "Public Research and Industrial Innovations in Germany", *Research Policy* 28(4), pp.397-422.
- Bell, M. and Pavitt, K. (1993), "Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts between Developed and Developing Countries", *Industrial and Corporate Change* 2(2), pp.157-209.
- Bernal, J.D. (1939), *The Social Function of Science*, New York: MacMillan.
- Bozeman, B. and Crow, M. (1991), "Technology Transfer from US Government and University R&D Laboratories", *Technovation* 11(4), pp.231-246.
- Bozeman, B. (2000), "Technology Transfer and Public Policy: A Review of Research and Theory", *Research Policy* 29(4 - 5), pp.627-655.
- Brooks, H. (1994), "The Relationship between Science and Technology", *Research Policy* 23, pp.477-486.

- Burt, R. S. (1992), *Structural Holes: The Social Structure of Competition*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Chesbrough, H. (2003), *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
- Coe, D. T. and Helpman, E. (1995), "International R&D Spillovers", *European Economic Review*, 39, pp.859-887.
- Cooper, R. G. (2001), *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch*, 3rd ed., Perseus Books Group.
- Dasgupta, P. and David, P. (1994), "Towards a New Economics of Science", *Research Policy*, 23, pp.487-521.
- Engelbrecht, H. J. (1997), "International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation", *European Economic Review*, 41, pp.1479-1488.
- Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (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., Ailes, C. P. and Roessner, J. D. (2002), "Impacts of Research Universities on Technological Innovation in Industry: Evidence from Engineering Research Centers", *Research Policy*, 31(3), pp.457-474.
- Fleming, L. and Sorenson, O. (2004), "Science as a Map in Technological Search", *Strategic Management Journal*, 25, pp.909-928.
- Freeman, C. (1992), "Formal Scientific and Technical Institutions in the National Systems of Innovation", in B. Lundvall (Ed.), *National Systems of Innovation*, London: Pinter.
- Funk, M. (2001), "Trade and International R&D Spillovers among OECD Countries", *Southern Economic Journal*, 67, pp.725-736.
- Geels, F. (2004), "From Sectoral Systems of Innovation to Socio-technical System: Insight about Dynamics and Change from Sociology and Institutional Theory", *Research Policy* 33, pp.897-920.
- Geuna, A. and Nesta, L. J. J. (2006), "University Patenting and its Effects on Academic Research: The Emerging European Evidence", *Research Policy* 35(6), pp.790-807.
- Gibbons, M. and Johnston, R. (1974), "The Roles of Science in Technological Innovations", *Research Policy* 3, pp.220-242.
- Godin, B. (1996), "Research and the Practice of Publication in Industries", *Research*

- Policy* 25, pp.587-606.
- Griliches, Z. (1992), "The Search for R&D Spillovers", *Scandinavian Journal of Economics*, 94, Suppl., pp.29-47.
- Grupp, H. (1996), "Spillover Effects and the Science Base of Innovations Reconsidered: An Empirical Approach", *Journal of Evolutionary Economics*, 6, pp.175-197.
- Hanel, P. (2000), "R&D, Interindustry and International Technology Spillovers and the Total Factor Productivity Growth of Manufacturing Industries in Canada, 1974-1989", *Economic System Research*, 12, pp.345-361.
- Henderson, R., Jaffe, A. B. and Trajtenberg, M. (1998), "Universities as a Source of Commercial Technology: A Detailed Analysis of University Patenting, 1965-1988", *Review of Economics and Statistics*, 80, pp.119-127.
- Hicks, D. M., Isard, P. A., Martin, B. R. (1996), "A Morphology of Japanese and European Corporate Research Networks", *Research Policy* 25, pp.359-378.
- Hu, A. G. Z. and Jaffe, A. B. (2003), "Patent Citations and International Knowledge Flow: The Cases of Korea and Taiwan", *International Journal of Industrial Organization*, 21(6), pp.849-880.
- Hu, M. C. and Tseng, C. Y. (2006), "Technological Interdependence and Knowledge Diffusion in the Building of National Innovative Capacity: The Role of Taiwan's Chemical Industry", *Technological Forecasting and Social Change*, 74(3), pp.298-312.
- Jaffe, A. B. (1989), "Real Effects of Academic Research", *American Economic Review* 79(5), pp.957-970.
- Jaffe, A. B. (1986), "Technological Opportunity and Spillover of R&D: Evidence from Firms, Patents, Profits and Market Value", *American Economic Review*, 76(15), pp.984-1001.
- Jaffe, A., Trajtenberg, M. and Henderson, R. (1993), "Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations", *Quarterly Journal of Economics*, 108(3), pp.577-598.
- Kaufmann, A. and Todtling, F. (2001), "Science-Industry Interaction in the Process of Innovation: The Importance of Boundary-Crossing between Systems", *Research Policy*, 30(5), pp.791-804.
- Kline, S. J. and Rosenberg, N. (1986), "An Overview of Innovation", in Landau, R. and Rosenberg, N., *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington DC: National Academy Press, pp.275-304.

- Levin, R. C. and Reiss, P. C. (1988), "Cost-reducing and Demand-creating R&D with Spillovers", *Rand Journal of Economics*, 19, pp.538-556.
- Lissoni, F. (2001), "Knowledge Codification and the Geography of Innovation: The Case of Brescia Mechanical Cluster", *Research Policy*, 30, pp.1479-1500.
- Llor, A. (2007), "Delay from Patent Filing to Technology Transfer: A Statistical Study at a Major Public Research Organization", *Technovation*, In press.
- Lundvall, B. A., ed. (1992), *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London: Pinter.
- Malo, S. and Geuna, A. (2000), "Science-technology Linkages in an Emerging Research Platform: The Case of Combinatorial Chemistry and Biology", *Scientometrics* 47(2), pp.303-321.
- Mansfield, E. (1995), "Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics, and Financing", *Review of Economics and Statistics* 77(1), pp.55-65.
- Mansfield, E. and Lee, J. Y. (1996), "The Modern University: Contributor to Industrial Innovation and Recipient of Industrial R&D Support", *Research Policy* 25, 1047-1058.
- Merton, R. K. (1957), "Priorities in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science", *American Sociological Review*, 22, pp.635-659.
- Mowery, D. C. and Ziedonis, A. A. (2002), "Academic Patent Quality and Quantity Before and After the Bayh-Dole Act in the United States", *Research Policy*, 31, pp.339-418.
- Murray, F. (2002), "Innovation as Co-evolution of Scientific and Technological Networks: Exploring Tissue Engineering", *Research Policy* 31, pp.1389-1403.
- Nadiri, I. M. (1993), "Innovations and Technological Spillovers", NBER Working Paper 4423.
- Nelson, R. R. (1959), "The Simple Economics of Basic Scientific Research", *Journal of Political Economy*, 67, pp.297-306.
- Nelson, R. R. (1982), "The Role of Knowledge in R&D Efficiency", *Quarterly Journal of Economics*, 97, pp.453-470.
- Nelson, R. R. ed. (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford: Oxford University Press.
- Nohria, N. and Eccles, R. G. (1992), *Networks and Organizations*, Boston, MA: Harvard Business School Publishing.

- Noyons, E. C. M., Van Raan, A. F. J., Grupp, H. and Schmoch, U. (1993), "Exploring the Science and Technology Interface: Inventer-author Relations in Laser Medicine Research", *Research Policy* 23, pp.443-457.
- Rogers, E. M. (1982), "Information Exchange and Technological Innovation", in D. Sahal, ed., *The Transfer and Utilization of Technical Knowledge*, Lexington, MA: Lexington Books, pp.105-123.
- Rogers, E. (1995), *Diffusion of Innovations*, 4th ed., New York: Free Press.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do Firms do Basic Research (with their Own Money)?", *Research Policy*, 19, pp.165-174.
- Rosenkopf, L. and Almeida, P. (2003), "Overcoming Local Search through Alliances and Mobility", *Management Science*, 49, pp.751-766.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do Firms do Basic Research (with their own money)?", *Research Policy* 19, pp.165-274.
- Rothwell, R. (1994), "Towards the Fifth-generation Innovation Process", *International Marketing Review* 11(1), pp.7-31.
- Sarmenta-Coelho, M. (2000), "Innovation and Quality in the Service Sector: Application to SMEs", In P. Conceicao, D. Gibson, M. Heiter and S. Shariq (eds.), *Science, Technology and Innovation Policy: Opportunities and Challenges for the Knowledge Economy*, London: Quorum Books.
- Scherer, F. M. (1982), "Inter-industry Technology Flows and Productivity Measurement", *Review of Economics and Statistics*, 64, pp.627-634.
- Schmookler, J. (1966), *Inventions and Economic Growth*, Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Schrader, S. (1991), "Informal Technology Transfer between Firms: Co-operation through Information Trading", *Research Policy*, 20, pp.153-170.
- Scott, M. F. (1989), *A New View of Economic Growth*, Oxford: Oxford University Press.
- Song, J., Almeida, P. and Wu, G. (2003), "Learning-by-Hiring: When is Mobility More Likely to Facilitate Interfirm Knowledge Transfer?", *Management Science*, 49, pp.351-365.
- Spence, A. M. (1984), "Cost Reduction, Competition and Industry Performance", *Econometrica*, 52, pp.101-122.
- Terleckyj, N. W. (1980), "Direct and Indirect Effects of Industries Research and Development on the Productivity Growth of Industries", in W. Kendrick

- and B. Vaccara, eds., *New Development in Productivity Measurement*, New York: National Bureau of Economic Research.
- Tijssen, R. J. W., Buter, R. K. and Van Leeuwen, TH. N. (2000), "Technological Relevance of Science: An Assessment of Citation Linkages between Patents and Research Papers", *Scientometrics*, 47(2), pp.389-412.
- Verbeek, A., Debackere, K., Luwel, M., Andries, P., Zimmermann, E. and Deleus, F. (2002), "Linking Science and Technology: Using Bibliographic References in Patents to Build Linkage Schemes", *Scientometrics* 54(3), pp.399-420.
- Verspagen, B. and De Loo, I. (1999), "Technology Spillovers between Sectors and over Time", *Technological Forecasting and Social Change*, 60, pp.215-235.
- Von Hippel, E. (1987), "Cooperation between Rivals: Informal Know-how Trading", *Research Policy*, 16, pp.291-302.
- Von Hippel, E. (1998), *The Sources of Innovation*, Oxford University Press.