

과학과 기술 연계의 특성과 기술혁신과 과학지식 기반의 측정

박현우* · 서상혁**

I. 서론

본 논문의 목적은 과학과 기술간 지식흐름 연계의 특성을 밝히고 기술혁신의 바탕이 되는 과학 지식의 기반을 양적으로 측정하기 위한 것이다. 이러한 연구목적에 추구함에 있어 특허의 과학논문 인용에 대한 해석의 기본 틀을 검토할 필요가 있다. 특허의 참고문헌 인용은 과학문헌에서 사용되는 학문적 인용과는 분명히 다르다. 계량서지학의 선구자들은 기본적으로 학문적 인용의 개념을 특허에 전용했으며, 대부분 인용연계의 선형적 해석을 채택함에 따라 특허의 과학논문 인용이 기술과 과학 간에 만드는 연결고리는 아직 충분히 이해되지 못하고 있다고 할 수 있다.

특히 본 논문에서는 특허 인용 데이터에 대한 다양한 해석 가능성을 검토한다. 특허 인용은 과학과 기술 간 지식의 상호교환을 나타내는 정보의 흐름으로 해석되어야 하는 것으로 이해되고 있다. 이와 관련하여 특허 인용이 어떤 종류의 과학-기술 간 상호작용을 측정하는가 하는 문제가 제기된다. 이에 관련한 보다 더 구체적인 문제는 특허 인용이 지식이전의 방향을 나타낼 수 있는지와 특허의 과학논문 인용이 과학의 직접적 적용을 나타내는지에 대한 것이다.

이러한 문제에 답하기 위해 본 논문에서는 특허 인용, 특히 과학 참고문헌이 발명 프로세스에 어떻게 관련되는지를 검토하고자 한다. 우선 과학과 기술이 서로 어떻게 관련되는지에 대한 일반적인 논의의 맥락에서 특허 인용분석을 논의한다. 계량서지학적 연구에서의 과학과 기술의 정의를 논의한 후 특허 인용 데이터의 다양한 해석을 소개한다. 그 하나는 혁신 프로세스의 선형적 이해에 기초하며, 다른 하나는 과학과 기술의 상호관계적 시각에 근거한다.

여기에서 인용연계가 기술의 과학의존성을 나타내는 직접적인 연결로 해석될 수 있는지에 대해 의문이 제기될 것이다. 이어서 특허에서 인용의 역할이 본 논문의 연구주제와 연결하여 논의된다. 특허 인용은 기술의 직접적 과학연계를 보여준다기보다는 과학과 기술 간의 다면적인 상호작용을 보여 준다. 또 다른 결론은 과학 연구논문의 인용회수가 많은 기술분야에서조차 특허 인용 데이터를 해석할 때 그 분석에 주의해야 하며, 한 방향으로의 선형적 연계관계가 존재한다고 자동적으로 가정하지 말아야 한다는 것이다.

따라서 과학의존성(science-dependency) 혹은 기술의 과학화(scientification)와 같은 용어는 과학과 기술 간의 교환 프로세스에 대한 상호작용적 성질을 무시하고 있기 때문에 그 의미를 오도할 가능성이 있다. 사례연구는 과학과 기술이 다양한 방식으로 서로 관계되며, 인용도가 높은 기술분야에서조차 기술은 과학적 성과의 단순한 수신자와 전달자 이상임을 보여준다. 따라서 특허 인용 데이터의 해석에 선형적 과학추동 모델(linear science-push model)을 사용하는 것은 적절하지 않다고 할 수 있다.

본 논문에서는 우선 과학과 기술 간의 상호작용이 기술혁신 능력에 어떻게 영향을 미치는지에 대하여 기존의 여러 연구동향을 살펴보고, 다음으로 과학과 기술 간의 연계관계를 분석하기 위한 수단으로서 특허의 논문인용 방법을 사용할 때 그 해석에 유의할 필요가 있으며, 특허내 인용의 역할도 다양할 수 있다는 점을 검토하고자 한다. 끝으로, 우리나라 기술혁신의 과학지식 기반을 미국특허청에 출원한 한국인 특허를 이용하여 분석하고 그 의미와 시사점을 제시하고자 한다.

* 한국과학기술정보연구원 책임연구원, e-mail: hpark@kisti.re.kr

** 호서대학교 교수, e-mail: suh8777@hoseo.edu

II. 과학-기술 상호작용과 기술혁신 능력

1. 과학연구와 기술의 상호작용

기존의 지식을 변경하거나 개선하는 급진적 신지식의 창조, 또는 다른 지식의 모방은 경제발전의 중심이 되어 왔다. 새로운 발견, 최신의 정보수집 방법, 또는 성공적인 문제해결 방식이 흔히 이러한 혁신의 핵심에 자리잡고 있다. 혁신적인 활동은 지식창조 과정과 창의성, 노하우, 인간의 지적 능력이나 경험과 같은 무형자산에 크게 의존하고 있다. 산업화시대 초기에 원자재가 중요한 자원이었듯이 오늘날에는 이러한 무형자산이 가장 귀중한 자원이 되었다. 심지어 산업화 시대에도 경제적 자산으로서 과학적 지식의 실용주의적 가치가 분명하게 인정되었다. 사실, 과학적 연구와 공학은 기술개발과 발명에 지대한 영향을 미치는데, 이는 여러 실증연구에 의해 입증된 사실이다 (Salter and Martin, 2001; Cohen et al., 2002). 연구개발(R&D)을 활발히 수행하는 개인들과 조직들 사이의 지식창조와 지식흐름의 효과성이 선진경제에서 매우 중요한 경쟁요인이 되어 왔다. 고급 R&D 인력, 특히 경제와 관련된 전략적 분야의 과학적 연구의 일선에서 활동하고 있는 사람들은 미래 번영의 주요 원천으로 간주되고 있다(박현우·박광서, 2010).

그러나 ‘하류’ 부문인 기술적 발명과 관련 기술혁신에 대한 ‘상류’ 부문인 R&D의 효과는 시간적으로 지체를 보이며, 간접적이고 부분적인 경향을 나타낸다(Adams, 1990). 더욱이, 비록 최근의 과학사회학 이론에 따르면 현대과학이 경제적 요구를 충족시키는 방향으로 구조적 변화의 신호를 보내는 방식으로 사회의 다른 분야들과 점점 더 연결되고 있는 경향을 보이고 있기는 하지만, 생산성 향상과 경제적 후생증대를 달성하도록 하는 데 직접적으로 기여하는 활동을 하는 일은 지식 생산 분야에서 활동하고 있고, 특히 기초연구를 수행하고 있는 공공 연구기관들의 주요 임무로 간주되고 있지는 않다.

한편, 과학활동을 수행하고, 새로운 파트너십을 모색하며, 책무성을 다하고, 더욱 다양해진 연구개발자금을 배분하는 새로운 방식들이 최근 들어 점진적으로 등장하게 되었다. 특히, 개별 연구자에 의한 연구보다는 연구팀을 강조하고, 단일의 학문분야보다는 학제적 연구를 중시하며, 사회적 요구나 경제적 관심에서 분리된 상아탑 연구보다는 산업과의 긴밀한 파트너 관계를 강조하는 새로운 형태의 과학활동을 나타내는 ‘모드 2’(Mode 2) 과학의 개념이 Gibbons et al.(1994)에 의해 소개되었다. 모드 2 모델에 따르면, 과학은 이론적 측면보다는 기술적 측면을 강조하는 방향으로 점진적으로 발전하고 있다. Etzkowitz and Leydesdorff(2000)가 제시한 삼중나선 이론(Triple Helix theory)이 같은 맥락에서 발전되고 있지만, 두 개의 나선을 형성하고 있는 대학 및 산업과 더불어 정부의 역할을 강조하고 있다.

2. 과학기술 지식의 창조와 활용

지식의 창조와 활용 과정은 복잡하고 역동적이며 비선형적이다. 이는 지식의 창조, 보급, 습득, 저장 및 흡수 등의 5단계의 과정으로 단순화하여 살펴볼 수 있다. 비록 이 과정의 중간 결과가 문서형태 또는 부호화(codified)된 형태로 구체화되지만, 전체 과정은 주로 암묵적(tacit) 지식 또는 코드화할 수 없는 지식을 생산하는 인간의 활동과 상호작용에 기반을 두고 있다. 아이디어, 결과 및 경험에 대한 효과적인 커뮤니케이션과 교환이 종종 긴밀한 개인적 접촉이나 전문적 네트워크를 통해 이루어진다. 따라서, R&D 과정이나 혁신과정 내에서의 지식의 스톡과 흐름은 최신 지식의 공급과 수요뿐만 아니라, 평생교육을 통해 지속적인 변화에 적응하기 위한 인식적 기술 및 능력에도 달려있다고 할 수 있다. 공공 연구기관과 R&D 집약적 기술기업은 모두 정보의 수집과 개인에게 체화된 암묵적 노하우, 전문지식 및 기술로의 전환이라고 하는 이러한 동태적인 과정을 통해 과학 및 기술 지식을 창출한다. 개별 연구자, 엔지니어 및 기술자가 이러한 학습 및 지식창조 과

정에서 주요 행위자가 되며, 이 과정을 통해 조직적 수준에서 결합될 수 있는 국지적 능력이 구현된다(Scott and Bruce, 1994; Mumford and Simonton, 1997).

조직적인 지식창조와 커뮤니케이션에 관한 노나카-다쿠치 모델(Nonaka and Takeuchi, 1995), 이른바 SECI 모델은 다음과 같은 4개의 개념을 소개함으로써 이러한 과정의 주요 측면들을 포착하고 있다. 첫째, 사회화(socialization)로서, 이는 암묵지가 암묵지로 전환되는 경우로서, 이는 경험이 훈련이나 대화를 통해 공유될 때 발생한다. 둘째, 표출화(externalization)로서, 이는 암묵지가 형식지로 전환되는 과정으로서, 개인이나 집단이 암묵지의 기초나 주요 요소들을 명료하게 표현할 수 있을 때 발생한다. 셋째, 연결화(combination)로서, 이는 형식지가 형식지로 전환되는 경우인데, 개인이나 집단이 명시적 정보의 개별요소들을 하나의 새로운 코드화된 지식으로 결합시키고 이를 통해 새로운 가치가 더해질 때 발생한다. 넷째, 내면화(internalization)로서, 이는 새로운 명시적 정보가 암묵지에서 형식지로의 전환과정을 통해 공유될 때 발생한다. 정보는 조직 구성원들 사이에서 흡수되고 이전되며, 새로운 과학지식과 기술지식이 기술적 발명과 하류의 기술혁신으로 이어질 때까지 지식은 발전된다.

이와 같은 개념적 틀은 전문적 네트워크 혹은 기술과학(techno-science) 공동체 내에서 조직범위 외부의 상호작용으로 확대될 수 있다(Rappa and Debackere, 1992). 노나카-다쿠치 모델에 따르면, '조직적 집합과 루틴'(Nelson and Winter, 1982)이 원래 비구조적인 데이터를 개별 연구자나 발명자에 의해 습득된 독특한 암묵지 혹은 형식지, 동일한 조직이나 네트워크의 구성원들 사이에서 공유되는 지식, 또는 더 폭넓은 공통체를 통해 보급된 지식으로 전환시키는 과정으로 이러한 과정을 간주할 수 있다. 점점 더 많은 R&D 인력이 이러한 정보의 전환 및 보급 과정에 관련되어짐에 따라 관련 R&D 활동과 지식생산 과정이 사회적 부가가치를 창조함에 있어서 더욱 생산적이고 효과적이 되고 있다. 이러한 모든 상호작용과 전환이 발생하는 커뮤니케이션 공간은 과학-기술 인터페이스라고 부를 수 있다. 분명히 이러한 인터페이스 내에서 커뮤니케이션 과정과 피드백 과정은 복잡하고 상호 관련되어 있으며 다방향적이다. 또한, 지식흐름의 대상(연구보고서 또는 기술매뉴얼)과 주체(연구자, 기술자, 발명자 등)는 다양하고 상호 관련되어 있으며, 커뮤니케이션 과정의 서로 다른 단계에서 다른 역할을 맡을 수도 있다. 이러한 과정의 결과로서, 예를 들어 R&D 활동의 마지막에 특허를 획득하여 잠재적인 상업적 가치를 갖는 기술적 산물의 형태를 취할 수 있다. 연구에 기반하여 창출된 기술지식이 전용될 수 없는 경우에는 주요 결과들이 과학 및 기술문헌에 공개될 수도 있다.

3. 과학기술 지식흐름과 혁신능력

과학-기술 인터페이스 분야의 새롭고 흥미로운 발전이 나노기술과 같이 상이한 지식과학 영역 및 기술분야의 교차점에서 출현하고 번성하고 있으며, 종종 R&D 전문지식의 통합과 조직, 분야 또는 국가의 경계를 넘는 연구자의 협력에 의해 촉진되고 있다. 후자의 경우, 공공·민간의 공저 과학간행물, 특히 산업계와 학계의 연구자에 의해 공동으로 저술되어 국제적인 과학·기술 저널들에 실린 연구논문들의 세계적 추세에 대한 최근의 통계분석에 따르면, 실제로 1990년대 중후반부터 협력연구가 현저하게 증가하였다. 이와 같은 경향은 산업관련 연구와 민간부문 파트너와의 공동 지식창출에 대한 학계의 관심증가를 반영한다.

오늘날 많은 국가들이 R&D 협력과 지식의 이전을 적극적으로 장려하고 있는데, 이는 특히 신제품 또는 신공정 지향적인 기술의 개발을 가져오거나, 심지어 새로운 R&D 기반의 기술기업의 창설을 이끌 '혁신역량'을 강화하는 것을 목표로 하는 것이다. 혁신역량을 결정하는 요인들로는 (1) 인적자원, 암묵지, 창의성, (2) 형식지, (3) R&D 투자와 설비, (4) 기업환경과 여건, (5) 지식재산권 법령과 규정 등이 있다. 이들 혁신역량의 주요 결정요소들은 기술잠재력과 혁신잠재력을 형성하는 R&D 과정에 기여하는 내적(지식관련) 요인과 외적(프레임워크) 요인으로 구분할 수 있으

며, 이들 요소는 서로 연관성을 가지고 있다. 혁신역량의 폭넓고도 다소 모호한 개념은 특정 기업, 산업, 지역 또는 국가의 기술적 리더십과 혁신 잠재력에 대한 중요한 통찰력을 제공해준다. 이들 각각의 결정요소들에 대한 이들 주체의 성과를 측정함으로써 경쟁상의 강점과 약점에 관한 귀중한 시사점을 얻을 수 있고, 새로운 기술의 잠재적 원천으로서 어떤 위치에 있는지를 알 수 있다. 기업의 혁신역량 향상은 R&D에 대한 더 많은 자원의 할당, 선도적 연구의 장려, 다른 기업들과의 협력연구 수행, 또는 연구 이외의 업무에 대한 아웃소싱 등에 달려 있다. 그리고 한편으로는 R&D 프로그램과 기술이전 메커니즘을 지원하고, 교육·훈련 시설을 개선함으로써 하부구조 여건을 향상시키고 인적능력을 강화하기 위한 공공부문의 정책들이 고안될 수 있다(한유진·박현우, 2007).

기술혁신 시스템 내에서 R&D에 기반한 혁신잠재력을 조성하고 유지하는데 있어서 암묵적인 인적자원뿐만 아니라 코드화된 지식 등 양자 모두의 역할과 기여도의 변화를 기록하고 감시하기 위한 진단지표들에 대한 양적 모델링과 개발을 위해 이러한 개념을 활용하는 것이 또한 도움이 된다. 이러한 시스템에서는 노드와 흐름이 모두 중요한데, 이는 그 시스템내의 행위자들 사이에 흡수 및 학습 능력과 결합된 지식의 확산 프로세스가 그 시스템의 분배력과 효과성을 결정하기 때문이다. 또한 이러한 시스템적 관점은 포괄적인 통계분석에 대한 시사점을 가지고 있는데, 이는 기술개발을 위해 과학에 기반한 지식의 생산과 그 지식의 활용이 R&D를 수행하는 행위자들의 위치, 즉 공공연구 부문 또는 민간부문에 관계없이 전체 시스템의 성과를 위해 중요하기 때문이다.

4. 과학과 기술 상호작용의 측정지표와 통계

세계화의 진전과 지식기반경제로의 발전으로 인해 국가혁신 시스템과 지역혁신 시스템의 성과를 측정하기 위한 비교표준을 확립하는 것이 매우 중요하게 되었다. 최근 들어 기술혁신 지표들을 폭넓게 사용되게 되었고, 국제적 비교가 가능한 기술혁신 통계가 통계기관이나 국제기구 등에 의해 널리 간행되고 있다. 유럽위원회의 유럽 혁신스코어보드는 R&D 지출, 특허 건수 및 과학·공학분야 졸업생 수 등을 포함하는 넓은 범위의 국가통계를 포함하고 있다(EC, 2003b). 그러나, 과학의 기술개발에 대한 기여에 관한 데이터는 전무한 실정이다. 동시에 과학-기술 상호작용의 경제·사회적 차원은 지역 및 국가 수준 모두에서 혁신관련 정책의 분석과 의사결정을 위해 그 어느 때보다 더 중요해졌다. 그 결과, 과학-기술 상호작용에 대한 증거에 기반한 평가와 통계에 대한 관심이 증가했다. 그러나 비교통계 데이터는 아직 미비한 실정이다. 그 이유 중 하나는 과학의 기술혁신에 대한 기여도를 측정하고 이를 위한 데이터베이스와 적절한 양적 지표를 만드는 일이 여전히 학자들 사이에 논란의 대상이 되고 있다는 것이다.

비록 어떤 과학·기술 지식이 실제로 기술의 진보를 추동하는지에 관한 과정의 주요 특성들을 파악하기 위해 이론화 및 실증연구가 지난 20여 년간 수행되어 왔음에도 불구하고, 혁신적인 제품과 프로세스에 대한 R&D의 영향은 양적인 측정과 통계라는 측면에서 이해하고 모델을 만들기 위한 과학적 조사에 있어서 가장 어려운 영역이다(Coombs and Hull, 1998; Hagedoorn et al., 2000; Salter and Martin, 2001; Cohen et al., 2002). 관리시스템, 조직구조 및 개인적 요인들의 중요성은 오래전부터 인식되어 왔지만, 지식의 생성, 이전 및 활용 프로세스를 가능하게 하고, 형성하며, 작동시키는데 있어서의 그 기여도는 여전히 복잡한 문제로 남아 있으며, 체계적인 대규모 비교분석이 이루어지지 못하고 있다.

많은 실증연구를 통해 과학·기술지식이 창출되고 광범위한 사용자들에게 확산되도록 하는, 다수의 서로 얽혀 있는 프로세스와 메커니즘을 발견하는데 성공했다(OECD, 2002). <표 1>은 공공연구 부문과 기업 R&D 간의 지식교환과 상호작용을 촉진시키는 주요 지식이전 메커니즘들을 보여주고 있다. 여기에는 국제적 통계를 위한 정보원으로서의 잠재력을 나타내는 유형이 제시되어 있다. 각 메커니즘은 그것이 나타내고 있는 R&D 관련 지식의 기본 형태, 국가간 비교를 위한 측정가능성의 개략적 평가 및 국제비교 통계에 대한 이용가능성이라는 측면에서 그 특성이 기술되어

있다. 비록 일부 메카니즘과 관련된 지식흐름이 비교표준 프레임워크 내에서 측정하는 것이 원래 어렵지만, 다른 일부의 것들은 통계적 적용을 위한 체계적 정량화가 가능하다. 그러나 현 시점에서는 특허와 연구논문만이 서로 다른 국가, 지식영역 및 기관부문에 걸친 대규모의 체계적이고 심층적인 국제비교를 가능하게 해주는 상당히 표준화된 양적 정보를 포함하고 있다. 특허와 연구논문은 지식흐름의 대상 및 주체 모두에 관한 풍부하고 다양한 관련 정보를 포함하고 있다.

<표 1> 과학기술 지식의 이전·교환 메커니즘의 분류

메커니즘	지식 형태	측정 가능성	데이터 이용가능성
비공식적 접촉, 네트워크	암묵지	×	×
기술설비의 공유	암묵지	△	×
공식적 접촉, 네트워크	암묵지	△	△
교육과 훈련	암묵지/형식지	△	△
계약연구, 자문	암묵지/형식지	○	△
공공/민간 R&D 협력	암묵지/형식지	○	○
인력자원과 이동성	암묵지	○	○
스핀오프/창업	암묵지	◎	○
특허(인용)	형식지	◎	◎
연구논문(인용)	형식지	◎	◎

주: ◎ - 측정가능성 우수 / 국제적으로 표준화된 통계, ○ - 측정가능성 양호 / 약간의 국제적 통계, △ - 측정가능성 제한적 / 국내에 한정된 측정 또는 통계

자료: Tijssen, (2004), 701.

III. 특허인용의 해석과 과학지식 측정

1. 특허인용의 다양한 해석

1) 특허인용과 과학-기술의 정의

특허의 표제면에 인용된 과학논문이 발명의 과학의존도를 나타내는지에 대한 문제가 계량정보학적 연구에서 광범위하게 논의된다. Rabeharisoa(1992)는 이 주제를 다룬 연구결과가 다양함을 지적하고 있다. 논의들은 과학과 기술의 관계를 확인하고 설명하는 문제에 초점을 두고 있다. 과학과 기술의 관계를 설명하기 위해 인용 연구는 보통 특허에 인용된 비특허문헌(Non-Patent Reference: NPR)을 통해 연계관계를 설정한다. 이는 특허가 기술을 대표하고 과학논문과 인용은 과학을 대표하는 것으로 간주됨을 의미한다.

전통적으로 기업들은 연구결과를 논문으로 발표하기보다는 특허를 더 많이 내는데 반해 대학 연구자들은 특허를 내기보다 논문을 더 많이 발표한다. Pavitt(1998a)에 따르면 기업이 총 특허의 80%를 차지하였으며, 나머지 20%의 대부분은 작은 회사 소유주인 개인에게 부여되었다. 연구논문의 경우 히스(1995)는 학계 연구자들이 산업계 연구자들보다 더 많이 발표한다는 사실을 발견했다. 학계가 대부분의 과학논문을 발표하고 산업계가 대부분의 특허를 차지하고 있는 상황에서 학계를 과학에, 그리고 산업계를 기술에 관련시키는 경향은 당연하다고 할 수 있다. 이것은 과학과 기술이 조직적으로 정의된다는 인상을 줄 수 있다. 이런 패턴으로 인해 인용 연구가 과학과 기술의 정의에 준조직적 정의를 채택한다고 말할 수도 있다.

2) 선형적 시각과 이분적 시각

여기에서는 특허 인용의 의미 측면에서 선형적 모델(linear model)과 이분적 모델(two-branched

model)을 논의한다. 사실 기존 문헌들은 특허 인용연계에 대한 해석에 분명한 해답을 제공하지 못하고 있다고 할 수 있다. 오랜 동안 특허인용 분석자들은 선형적 방식으로 인용 연계관계를 해석한 것으로 보인다. 그들은 오해를 불러올 ‘과학의존도’와 같은 용어를 사용했다(Carpenter and Narin, 1983). 또한 그들은 특허에 인용된 과학논문의 수를 산업적 측면에서는 아니라고 하더라도, 기술적 의미에서 기초연구의 유용성의 지표로 간주한 것으로 보인다.

Meyer-Krahmer and Schmoch(1997)은 ‘양방향’ 상호작용 모델이 특히 과학기반 기술분야에서 산업계와 대학이 어떻게 연결되는지에 대해 보다 현실적인 설명을 제공하므로 더 적절하다고 주장한다. 사실 과학과 기술은 별개이며 독자적 영역이지만 서로 밀접하게 상호작용하는 실체이다. 이와 관련하여 Price(1965)와 Toynbee(1963)는 과학과 기술을 댄싱 파트너로 규정하기도 하였다.

이러한 아이디어는 Rip(1986)이 제시한 혁신의 이분적 모델에 나타난다. 그 출발점은 ‘경험적 혹은 반경험적(empirical or semi-empirical) 발견’이다. 두 가지 다른 종류의 활동이 그곳에서 갈라져 나온다. 즉, (1) 기술개발, 시험적 프로세스와 피드백으로 이해되는 개발활동(exploitation)과 (2) 이해를 증진시키려는 목적의 탐구활동(exploration)이다. 후자는 과학적 연구를 통해 이루어지고 실현과정으로 이해할 수 있다. 즉, 탐구활동으로부터 도출된 통찰은 개발활동을 돕거나 개선하기 위해 요구될 수도 있으며, 원형의 변형이라고 부를 수 있는 활동이다.

과학과 기술 간의 선형적 분석과 이분적 접근방법의 차이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 기초연구, 혹은 과학은 수많은 과학논문을 생산하며, 기술은 특허로서 구체화된다. 선형적 분석에서는 특허에 인용되는 과학논문 수의 증가가 한편으로 과학 분야 간의 관계를 강화하고, 다른 한편으로 기술 분야 간의 관계를 또한 강화한다. 이분적 접근방법에서는 선형적 분석에서의 과학과 기술 간의 단순화된 해석을 과학논문과 특허 간의 보다 복잡한 시각을 제시한다. 이러한 시각은 과학과 기술 간의 상호적인 교환을 주장하는 Rip의 모델과 부합한다.

특허 인용에 대한 이와 같은 상이한 시각은 특정의 특허와 이들 특허가 인용하고 있는 과학논문 간의 직접적이고, 과학추동적인 연결을 보여주는 것이 가능한지에 대한 의문을 제기한다. 특허 인용과 학술문헌의 인용은 서로 다른 두 개의 상이한 과정이라고 할 수 있다. 그 한 가지 이유는 저작자란 인용자 중의 하나일 뿐이며 반드시 가장 중요한 인용자라고 볼 수만은 없기 때문이다. 심사관은 특허 인용 프로세스에 지대한 영향을 준다. 이들은 인용되는 문서의 선택에 개입하는 조정자로서의 기능을 갖는다. 발명 프로세스에 국외자인 제3자가 참고문헌을 선택한다면 인용 연계 관계 해석에 대한 당면 문제는 특허 인용이 어느 정도까지 특허화된 발명에 대한 기초연구의 실제적인 기여를 반영하는가 하는 것이다. 특정 과학논문과 특정 특허 간의 직접적인 연계를 도출하는 것이 과연 가능한가 하는 것이다.

결국 특허와 인용된 논문 간의 직접적인 관계가 간혹 목격될 수 있지만 많은 경우에 과학과 기술 간에는 고도로 조정된 관계(highly mediated relationship)가 존재할 뿐일 수 있다는 문제가 제기된다. 개별 특허에 대하여 보다 엄밀한 검토를 수행할 경우 이 문제에 대한 적절한 판단이 가능하게 될 것이다. 특히 특허 표제면에 왜 연구논문이 인용되는지에 대한 이유는 분석자가 특허 인용을 과학과 기술 간의 직접적이고 인과적 연계로 해석할 수 있는지를 밝혀줄 것이다.

2. 특허내 인용의 역할

본 절에서는 특허 인용연계의 성질을 검토하고자 한다. 인용 연구는 대부분 심사관이 선택하는 특허 표제면 상의 참고문헌에 의존한다. 이들자료는 계량서지학자들이 대규모 데이터베이스에서 접근할 수 있는 유일한 종류이다(Schmoch, 1993). Narin et al.(1997)도 역시 특허 표제면의 참고문헌이 특허에서 가장 중요하다고 보기 때문에 특허 본문 내의 참고문헌에 대한 해석은 생략하고 있다. 이들 인용은 심사관이 특허의 신규성을 평가하는데 사용하므로 매우 중요하다.¹⁾ 특허에서의

1) Narin et al.(1997)은 표제면과 본문 내 참고문헌 간의 매우 높은 유사성을 가정한다. 이 가정은 참고한 과학문헌의 대략 절반 가량이 표제면에 나타난다는 Narin and Olivastro(1988)의 연구에 근거하고 있다.

과학논문 인용의 역할에 대한 자세한 조사는 Narin 등의 계량정보학자들의 연구결과와 특정의 특허 인용이 갖는 기능을 보다 더 잘 이해하기 위해 필요하다. Narin 등은 미국 특허의 표제면에 있는 이른바 비특허문헌(NPRs)을 이용한다. NPRs은 다양한 비특허문서, 즉 과학연구논문, 기술논문, 학술대회 발표자료, 교과서, 특허공보 자료, 초록 서비스 자료 등을 포함한다. 그러나 모든 특허가 비특허문헌을 인용하는 것은 아니며, 오히려 일부 특허가 비특허문헌을 인용한다고 할 수 있다. 예를 들어 노르웨이의 지식기반에 대한 연구를 수행한 Iverson(1998)에 따르면, 노르웨이에서 출원한 미국 특허 중 NPRs를 포함하는 경우는 30%에 불과하다. 이것은 특허청에 축적되어 있는 선행기술 조사의 참고문헌이 압도적으로 특허문헌이라는 사실에 기인한다. 독일 특허청의 선행기술 조사내용에서도 비특허문헌은 단지 10%에 불과하다. 결과적으로 심사관의 공식적인 조사는 특허문헌이 주를 이루고 있다고 할 수 있다.

1) 법적 문서로서의 특허

특허는 법적 문서이다. 따라서 특허에서의 문헌인용의 역할은 학술논문에서의 인용과는 다르다. Campbell and Nieves(1979)는 특정의 법적 역할로 인해 특허에서의 문헌인용은 학술지 논문에서의 인용보다 훨씬 더 신중하게 선택되는 경향이 있다고 주장한다.

그럼에도 심사관이 수행하는 인용의 질은 비판을 받고 있다. 특허내 인용이 학술지 논문에서의 참고문헌보다 관련성이 적을 가능성이 낮을 것이라는 사실에도 불구하고 Collins and Wyatt(1988)는 여전히 일부 문제가 있음을 지적하고 있다. 즉, 심사관들은 특정의 좁은 분야만을 이해하며 폭넓은 문헌에는 상대적으로 익숙치 않다. 따라서 그들은 학술지 문헌들을 일차적인 형태 대신에 이차적 형식(즉, 초록 형식)으로 사용한다.

심사관의 이러한 인용방식²⁾과 이에 따라 발생하는 표제면 상의 NPRs에 대한 불규칙한 성질은 일부 과학계량학자들로 하여금 이들 논문이 각각의 특허에 제시되어 있는 기술의 과학적 기반을 보여준다는 가정에 의문을 갖게 만들었다(Van Vianen et al., 1990). 그러나 Narin et al.(1997)은 과거 수년간에 걸친 NPRs의 극적인 증가를 주목하고 있다. 80년대 중반에 이미 Narin and Noma(1985)는 80년대 초기에 심사관들이 특허의 표제면에 점점 더 많은 수의 참고문헌을 기술하여 왔으며, 특허출원인들이 특허에 관련된 모든 참고문헌에 대해 당해 특허 심사관에게 세심하게 알려줄 것을 요구해 왔음을 지적하였다.

또 다른 인용연구에 대한 비판은 인용의 다양한 형태와 빈도와 관련되어 있다. Schmoch(1993)의 조사에 의하면 심사관 인용의 8%만이 발명자로부터 연유한다고 한다.³⁾ 따라서 비특허문헌을 인용하는 배후의 동기를 상세히 검토해야 할 필요가 있다.

2) 비특허문헌의 배후동기

인터뷰 조사를 통해 선행기술 조사 보고서에 비특허 참고문헌을 포함하는 이유들을 파악할 수 있다(Grupp, 1992; Schmoch, 1993). <표 2>는 비특허문헌을 포함하는 다양한 동기들이 제시하고 있으며, 이들 동기가 과학연계에 대한 판단을 하는 데 어느 정도로 사용가능한를 평가한다.

Grupp and Schmoch(1992)은 특정 기술분야의 과학에 대한 의존성을 나타내기 위한 인용연구를 위해 여러 동기들이 어느 정도까지 관련되는지에 대한 질문을 던지고 있다. <표 2>에서 동기 6은

2) Collins and Wyatt(1988)는 또한 심사관들이 그들이 인용하는 문서를 실제로 읽지 않은 경우가 많았다는 서지학적 오류가 우연히도 반복되고 있다는 사실을 관찰함으로써 이러한 결론을 내리고 있다. 심사관들이 일련의 동일한 인용문헌들을 몇몇 다른 특허들에 사용했음을 발견함에 따라 관련성에 근거하기보다는 기계적으로 인용하는 경향이 일부 존재한다는 사실도 파악했으며, 일부 인용은 직접적인 관련성보다는 심사관이 부지런히 탐색했음을 보여주기 위해 포함되었다고 추정하고 있다. 또한 국가적인 맹목적 애국주의도 심사관과 특허출원인의 인용행태에서 존재함을 관찰했다.

3) 인용의 형태에 대한 Schmoch의 조사결과는 특허문헌의 인용만에 관계된다. 비특허문헌에는 다양한 형태의 문헌이 포함되지만 관련 데이터베이스의 한계로 인해 동일한 방식으로 NPRs를 자동으로 분석할 수 없다(Schmoch, 1993).

분명히 과학과 상관없다. 동기 5도 초록 형태로만 존재하는 특허를 참고하는 것이므로 관련이 없다. 동기 4는 특허화 될 만큼 중요한 것으로 보이지 않은 경우에 해당한다. 다만 이 경우 경쟁기업 등이 동일 주제에 대해 특허출원을 하지 못하게 해야 한다. 회사내의 사보나 공보 등에 발표된 자료는 특허와 유사하다. 이 경우 각 인용은 특허 참고문헌과 성격이 거의 유사하다. 동기 2와 3은, 꼭 그렇지는 않지만, 과학집약적 분야에 관련될 수 있으며 동기 1은 ‘과학연계’의 전통적 상황을 반영한다. 그러나 여기에서도 Grupp and Schmoch은 그 해석에 있어서 다음과 같이 주의를 요하고 있다. 즉, 모든 간행물이 기초연구의 참고문헌으로 동등하지 않다는 점에 주의해야 한다. 간행물은 과학단체가 발행했을 때만 ‘과학적’으로 간주된다. 기술단체에 의한 간행물은 다른 말로 하면 응용연구의 분야를 반영한다.

그러나 기술잡지도 기초연구 결과를 포함할 수 있다. 여러 동기의 중요성에 대한 정량적 데이터의 부족을 감안하면 과학-기술 연계의 지표로서 비특허문헌 인용자료를 사용할 때 그 해석을 신중히 해야 한다고 할 수 있다.

<표 2> 비 특허 문헌을 인용하는 동기

동기	과학연계
1. 선행기술은 아직 특허로 등록되지 않았다. 따라서 심사관은 특허출원의 기술적 진보 사항을 과학문헌에 연관시킨다.	○
2. 특허로 등록될 수 없는 연구결과의 인용(예, 공식, 가설, 발견 등)	△
3. 특정 기술분야에서 급속한 발전으로 인해 비특허 문헌만이 존재.	△
4. 자기회사가 발간하는 잡지 혹은 공보에 발표된 발명	X
5. 특허 초록 서비스의 인용(일본어 또한 화학분야 특허용)	X
6. 발명성이 부족하여 관련특허가 없는 단순 사실의 인용	X

자료: Grupp and Schmoch (1992), 73-128; Schmoch (1993), 193-211.

3) 연구문제

여기에서는 사례연구를 수행할 경우에 분석해야 할 문제들을 살펴본다. 앞에서 소개된 모든 비판이 Francis Narin과 그의 동료 연구자의 최근 연구에 영향을 주는 것은 아니다. 그들의 연구가 미국 특허의 표제면에 인용되어 나열되어 있는 비특허 참고문헌의 분석에 기초하고 있긴 하지만 그들은 참고문헌의 전부를 사용하지 않는다. Narin et al.(1997)은 NPR 데이터를 몇 단계로 표준화했다.4) 이 과정에서 과학 연관성이 없고 앞의 과학문헌 인용동기에 따른 관련성이 없는 인용문헌이 제거되었다.

그러나 특허에서 과학 연구논문의 인용이 만드는 연계는 고도로 조정된 성격을 가지고 있다. 저작자들은 선행기술이나 클레임 관계라는 측면에서 ‘과학연계’(science link)라는 용어를 사용한다. 그러나 이 방식의 지지자가 기술의 ‘과학의존’(science dependence) 혹은 ‘과학기반’(science base)과 같은 용어를 사용하면 그들의 독자는 이 조정된 관계에 대해 지나치게 단순화된 개념을 가질 수 있게 된다. Narin et al.(1997)은 공공부문의 과학을 고도의 기술과 경제성장의 기반이 되는 ‘추진력’으로 보고 있다. 그들은 특허 인용분석이 그 추진력의 방향에 대한 정량적 증거를 제공한다고 주장한다. 그러나 개별 발명을 보고 그런 관계를 설정할 수 있을 것인가, 그리고 과학은 기술을 추동하는가에 대한 의문이 제기된다.

Narin et al.(1997)은 그들의 데이터가 오직 부호화된 지식내의 연계관계를 측정한다고 지적한다. 혁신과 기술변화 분야의 일부 학자들(Howells, 1996; David, 1993; Pavitt, 1987; Rosenberg, 1990;

4) 데이터는 우선 과학문헌, 초록, 서적과 같이 여러 형태로 분류된다. 그들은 430,226건의 NPRs 중 약 242,000건을 “과학 저널 논문, 과학 학술대회와 기타 과학 간행물의 인용”으로 정의되는 과학문헌으로 파악했다(Narin et al., 1997). 그리고 SCI 저널에 게재된 논문의 인용을 포함한 과학문헌의 다른 하부분류를 만들었다. 이후 175,000건의 SCI 과학문헌은 추가적 표준화 과정을 거쳤으며, 마지막으로 나머지 NPRs에 대한 저자의 주소가 공공 재정지원기관과 연결되었다.

Arora, 1991)은 기술지식에서 암묵적 요소의 중요성을 강조해 왔으며, 과학논문에 포함된 정보는 당해기술을 실행하기에 충분치 않은 경우가 많다는 점을 강조해 왔다. 이는 과학과 기술 간에는 다양한 형태의 연계가 존재함을 의미한다. 실제 상황에서 과학과 기술 간에 다방면에 걸친 상호교환적 프로세스를 기대할 수 있다. 만일 지식교환에 대한 다양하고 쌍방향적인 사례들이 존재한다면 NPR 인용 데이터로부터 지식흐름의 방향에 대해 어떤 결론을 도출할지 숙고해야 한다.

IV. 우리나라 기술혁신의 과학기반 특성분석

1. 데이터의 수집 및 특성

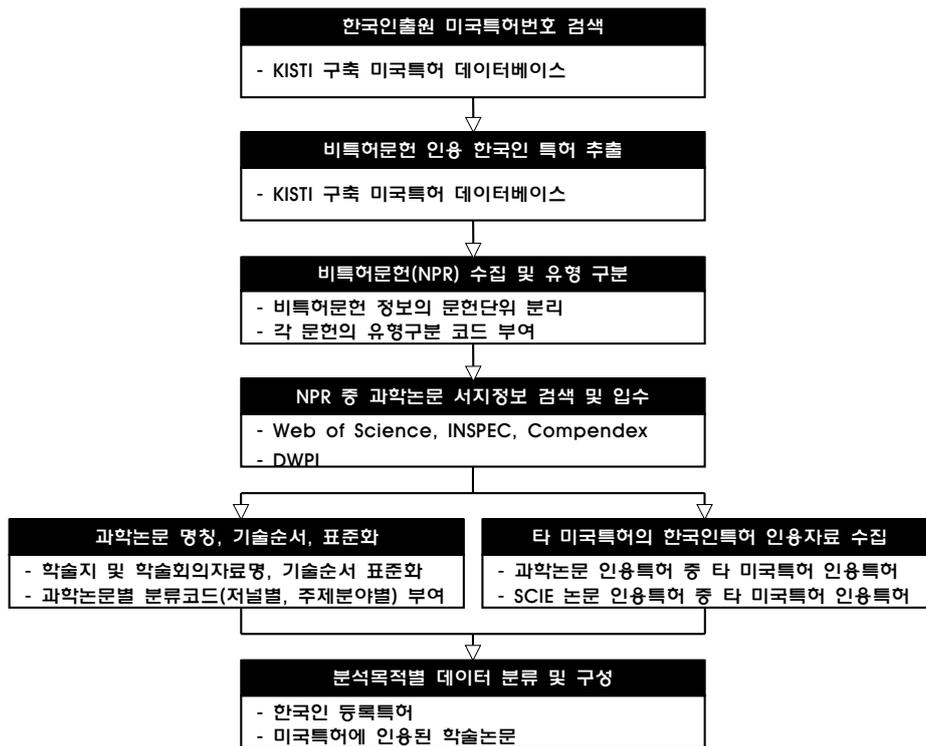
1) 데이터 수집방법

본 연구에서는 한국인이 출원한 미국특허에 인용된 과학논문을 이용하여 한국의 기술혁신과 관련된 과학적 지식기반을 규명하고자 한다. 이를 위해 1990년부터 2009년까지 총 20년간 미국 특허청(USPTO)에 등록된 한국인 특허를 대상으로 하였다. 이 데이터를 기반으로 우선, 출원기관 또는 발명자의 국적이 한국으로 지정된 미국특허 전체를 수집하였다. 그리고 미국특허로 등록된 이들 한국인 특허에서 비특허문헌(non-patent references: NPR)을 인용하고 있는 특허를 별도로 추출하였다. 이를 이용하여 당해특허 표제면(title page)에 수록되어 있는 비특허문헌을 수집하였다.

본 연구에서는 과학논문과 특허간의 지식흐름을 측정하기 위해 특허에 인용된 과학논문을 이용한다. 미국특허의 표제면에는 미국특허나 다른 나라의 특허를 포함한 선행특허에 대한 인용정보와 비특허문헌에 대한 인용정보가 수록되어 있다. 한국인이 USPTO에 출원한 미국 등록특허의 표제면에 수록되어 있는 NPR에는 학술지, 학술회의자료, 단행본, 기타 매뉴얼이나 규격 등과 같이 다양한 정보가 포함되어 있다. 본 연구에서는 이들 비특허문헌 중 학술지와 학술회의자료에 수록된 과학논문을 별도로 추출하여 필요한 지식흐름 규명을 위한 과학지식 데이터로 사용한다.

고려대상 데이터를 연구목적에 맞게 분석에 사용할 수 있도록 하기 위해 전체 NPR 중 연구에 필요한 과학논문이 수록되어 있는 학술지와 학술회의자료 이외의 단행본, 매뉴얼, 규격이나 카탈로그 등을 제거하였다. 과학논문은 과학커뮤니티 내에서 과학적 발견을 전달하기 위한 가장 기본적인 수단으로 사용되며 과학활동을 대표하므로 NPR 중 과학논문을 식별하는 것이 과학논문과 특허 간의 상호작용을 파악하는 데 가장 중요한 일이다. 따라서 과학지식과 기술혁신 간의 상호작용을 분석하기 위해 특허에 인용된 과학논문의 서지정보를 입수하여 이 서지정보에 대한 표준화 작업을 수행하였다. 이상과 같이 1990년부터 2009년까지 미국특허청에 등록된 특허를 대상집단으로 하여 분석에 적용할 수 있는 형태로 데이터를 처리하여 표준화하는 과정은 매우 여러 단계에 걸쳐 이루어졌으며, 이를 요약해서 나타내면 <그림 1>과 같다.

미국특허 표제면에는 과학논문에 대한 서지정보가 제시되어 있으나, 많은 경우 서지사항이 규칙적으로 기술되어 있지 않기 때문에 프로그램을 통해 자동으로 표준화하기 위한 작업을 수행할 수 없다(박현우 외, 2008). 또한 이들 과학논문의 서지정보가 불완전할 뿐만 아니라 부정확하기 때문에 다른 서지 데이터베이스로부터 과학논문에 대한 정확한 서지정보를 별도로 입수하는 노력을 기울여야 했다. 따라서 특허 표제면의 과학논문에 포함된 키워드들을 검색어로 사용하여 다양한 색인초록 데이터베이스를 검색하였다. 이를 통해 저자명, 발행년도, 논문제목명, 학술지명 또는 학술회의자료명, 권·호수, 수록 쪽수, ISSN 등을 입수하고, 학술지명과 학술회의자료명을 일관성있게 통일시켰다. 이러한 과정을 통해 1990년 이후의 특허에 인용된 과학논문의 서지정보에 대한 검증과정과 수정을 거친 후 특허에 인용된 과학논문을 얻게 되었다.



<그림 1> 특허 및 과학논문 서지정보 추출 및 표준화 과정

2) 데이터의 특성

미국특허청에 등록된 한국인 특허 중 비특허문헌을 인용하고 있는 특허는 20,950건(당해기간 전체 한국인 등록특허 71,555건의 약 29.3%)이었으며, 이들 특허에 인용된 비특허문헌은 총 86,409건이었다. 그리고 이들 중 학술지 또는 학술회의자료에 수록된 과학논문을 인용한 특허는 12,201건이었으며, 이들 특허에 인용된 과학논문은 총 39,975건이었다. 이상의 데이터는 과학논문과 특허와의 연계관계를 통해 과학으로부터 기술혁신으로의 지식흐름을 분석하기 위한 기초자료로 이용된다. 이러한 여러 가지 형태의 분석대상 데이터를 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 분석대상 데이터의 유형요약

데이터 유형	건 수	비 고
A. 미국특허청 등록특허	2,747,146	- 1990-2009년간 전체 미국특허
B. 한국인 등록특허	71,555	- 1990-2009년간 한국인 등록 미국특허 - A의 2.6%
C. 비특허문헌(NPR) 인용 한국인특허	20,950	- B의 29.3%
E. 인용된 비특허문헌	86,409	- C의 1건당 평균 4.12건
D. 과학논문 인용 한국인특허	12,201	- B의 17.1% - C의 58.2%
F. 인용된 과학논문	39,975	- D의 1건당 3.28건 - E의 46.3%

이상의 자료에 대하여 기술분야(OST/INPI/ISI 6대 기술분류 기준)와 기술혁신 주체(기업, 대학, 연구소 등 특허출원인 유형)에 따라 과학논문을 인용한 한국인 특허를 보면 <표 4>와 같다. 이 표에서 볼 수 있듯이 기술분야별로는 전체기간 중 미국특허청에 등록된 한국인 특허 가운데 전기전자 분야의 특허가 7,256건으로 절반 이상(59.5%)을 차지하고 있으며, 기술혁신 주체별로는 기업이

8,667건으로 압도적인 비율(71.0%)을 차지하고 있다. 대학의 경우 1990년대에는 미국특허 등록이 거의 없었으며, 2000년대 들어 다소 증가한 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 기술혁신 활동에 있어서 기업과 대학의 역할이 다름을 보여주는 당연한 결과라고 볼 수 있다. 또한 이는 기업과의 공동연구를 수행하고 특허권을 기업에 이전하는 경우가 많기 때문이기도 할 것으로 보인다 (Park and Kang, 2009).

한편 분야별로 한국인 특허에 인용된 과학논문 현황을 요약하면 <표 5>와 같다. 이 경우에도 앞서와 같이 전체기간 중 USPTO 한국인 특허에 인용된 과학논문 가운데 전기전자 분야에 인용된 논문이 15,915건으로 높은 비중(39.9%)을 차지하고 있으며, 기술혁신 주체별로는 기업이 출원한 특허에 인용된 과학논문이 26,697건으로 월등히 높은 비중(66.8%)을 차지하고 있다. 여기에서도 대학이 출원한 특허의 경우는 그 비중이 매우 낮게 나타나고 있다.

<표 4> 과학논문을 인용한 USPTO 한국인 특허

분 야	1990년대					2000년대					전체기간				
	기업	대학	연구소	개인	계	기업	대학	연구소	개인	계	기업	대학	연구소	개인	계
전기전자기술	1,024	6	187	15	1,232	4,582	132	1,238	72	6,024	5,606	138	1,425	87	7,256
도구 및 장치	145	0	65	6	216	1026	65	392	37	1,520	1,171	65	457	43	1,736
화학, 의약품, 바이오기술	252	6	180	25	463	1089	186	381	124	1,780	1,341	192	561	149	2,243
공정기술	73	0	70	6	149	355	52	162	38	607	428	52	232	44	756
기계공학, 기계류	26	0	11	0	37	71	8	51	8	138	97	8	62	8	175
소비재, 토목공학	6	0	0	0	6	18	6	4	1	29	24	6	4	1	35
합 계	1,526	12	513	52	2,103	7,141	449	2,228	280	10,098	8,667	461	2,741	332	12,201

<표 5> USPTO 한국인 특허에 인용된 과학논문

분 야	1990년대					2000년대					전체기간				
	기업	대학	연구소	개인	계	기업	대학	연구소	개인	계	기업	대학	연구소	개인	계
전기전자기술	1,603	10	378	37	2,028	10,277	1,017	2,411	182	11,110	11,880	1,027	2,789	219	15,915
도구 및 장치	252	0	167	9	428	4,089	510	938	133	5,670	4,341	510	1,105	142	6,098
화학, 의약품, 바이오기술	850	81	655	58	1,644	7,481	2,417	1,889	749	12,536	8,331	2,498	2,544	807	14,180
공정기술	135	0	175	9	319	1,632	424	526	127	2,709	1,767	424	705	136	3,032
기계공학, 기계류	40	0	33	0	73	301	28	101	57	487	341	28	134	57	560
소비재, 토목공학	6	0	0	0	6	31	102	10	2	145	37	102	10	2	151
합 계	2,886	91	1,408	113	4,498	23,811	4,498	5,875	1,250	32,657	26,697	4,589	7,287	1,363	39,936

2. 우리나라 기술혁신의 과학지식기반의 특성

1) 기술혁신 분야별 과학지식 연계특성

(1) 과학-기술 연계강도

많은 연구와 실례사례에서 입증되고 있듯이 과학과 기술은 강하게 연결되어 있다. 의약품, 화학, 컴퓨터통신과 같은 첨단 성장분야는 다른 분야에 비해 더욱 강한 결합구조를 가지고 있다. 또한 서구에서 산업성장을 선도하는 영역들이 매우 과학집약적인 성향을 보이고 있다. 특허에 인용된 과학논문은 기술의 과학집약도(science intensity) 또는 과학의존도(science dependence)를 측정하는데 가장 일반적으로 사용된다. 특허에 과학논문이 인용된 빈도는 과학과 기술 간의 상관관계 강도를 나타낸다(Karki, 1997; Narin and Olivastro, 1998).

기술의 과학관련도는 우선 ‘과학연계지수’(Science Linkage: SL)를 통해 측정된다. 과학연계지수는 국가, 기술분야, 기업 등에 대한 특허 1건당 인용된 평균 과학논문의 수이다. 과학연계지수는 국가나 기업의 첨단기술수준 또는 과학집중도를 나타내는 척도이다. 과학연계지수가 높다는 것은 기술이 과학적 발전에 기초하여 개발되고 있음을 나타낸다(Narin and Olivastro, 1992).

$$\text{과학연계지수} = \frac{\text{전체 특허에 인용된 과학논문의 수}}{\text{전체 등록특허의 수}}$$

우리나라 기술혁신이 분야별로 과학지식과 연계된 정도가 어떠한지에 대하여 과학연계지수(Science Linkage)를 산출하여 살펴보면 <표 6>과 같다. 이에 따르면, 전체 분야의 경우 0.56으로 나타나고 있다. 기술분야별로는 화학·의약품·바이오기술이 전체기간 중 4.32로 타 분야에 비해 압도적으로 높게 나타나고 있으며, 그 다음으로 공정기술과 도구 및 장치 분야가 0.73과 0.43으로 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이에 반해 기계공학, 기계류(0.11)와 소비재 기술(0.05)은 가장 낮게 나타나고 있다.5) 이러한 결과는 우리나라의 기술혁신에 있어서 화학, 의약품, 바이오 분야가 과학지식과의 연계관계가 가장 큰 기술분야이며, 당해분야 기술이 기초연구와 밀접한 관계가 있는 과학기반 기술분야임을 보여주는 것이다. 또한 기술혁신의 과학지식 연계성에 대하여 1990년대와 2000년대를 비교해보면 1990년대의 경우 0.31이었는데 비해 2000년대에는 0.62로 두 배 정도 높아졌음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 6개 기술분야 모두에서 유사하게 나타나고 있다. 이는 우리나라 기술혁신이 2000년대에 들어 과거에 비해 더욱 과학지식 기반형으로 이루어지게 되었음을 추정할 수 있게 하는 결과이다.

<표 6> 기술혁신 분야별 과학지식 연계강도: 과학연계지수

기술분야	1990년대	2000년대	전체기간
전기전자	0.24	0.42	0.38
도구 및 장치	0.24	0.71	0.63
화학, 의약품, 바이오	1.80	5.28	4.32
공정기술	0.30	0.87	0.73
기계공학, 기계류	0.05	0.13	0.11
소비재	0.01	0.07	0.05
전 체	0.31	0.62	0.56

그런데 전체 특허 중 비특허문헌을 인용하고 있는 특허의 수가 차지하는 비율이 낮고 비특허문헌 중에서 과학논문을 인용하고 있는 특허가 매우 편중되어 있을 경우 과학연계지수는 그 해석상 오류를 불러일으킬 수 있다. 또한 특정 기술분야가 지니고 있는 과학논문에 대한 절대적 인용수치가 전반적인 과학과 기술간의 상호작용 강도를 판단하기에는 충분하지 않기 때문에 과학연계지수를 수정한 ‘과학상호작용지수’(Science Interaction Intensity)가 제안되었다(Schmoch, 1993; Verbeek et al., 2002b). 과학상호작용지수는 적어도 한 건 이상의 과학논문을 인용하고 있는 특허를 대상으로, 이 특허에 인용된 과학논문의 수를 이들 특허의 수로 나눔으로써 산출된다. 따라서 과학연계지수와 과학상호작용지수는 상호보완적으로 사용될 수 있다.

$$\text{과학상호작용지수} = \frac{\text{특허에 인용된 과학논문의 수}}{\text{과학논문을 인용한 특허의 수}}$$

5) 특허분석을 통한 과학과 기술의 연관관계는 특허에 인용된 논문의 특성분석을 통해 이루어지며, 특허가 인용한 학술 논문수로 표시되는 과학연계지수(SL)는 특허와 과학논문의 관계정도를 나타내는 지표로 사용된다. 미국특허청(USPTO)에 특허를 등록한 주요 기업을 대상으로 1998-2002년 기간 중 업종별 과학연계지수를 분석한 자료에 따르면, 항공 0.47, 자동차 0.12, 생명공학/의약 19.32, 화학 1.86, 컴퓨터 1.38, 전자 0.53, 반도체 1.88, 통신 1.15 등으로 나타나고 있다(MIT, *The TR Patent Scoreboard*, 2004).

우리나라 기술혁신이 분야별로 과학지식과 연계된 정도가 어떠한지에 대하여 ‘과학상호작용지수’(Science Interaction Intensity)를 산출하여 살펴보면 <표 7>과 같다. 이에 따르면, 화학·의약품·바이오기술이 전체기간 중 6.32로 가장 높게 나타나고 있으며, 그 다음으로 소비재, 토목공학 분야와 공정기술 분야가 4.31과 4.01로 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이에 반해 전기전자(2.19)는 상대적으로 가장 낮게 나타나고 있다. 이러한 결과는 우리나라의 기술혁신에 있어서 화학, 의약품, 바이오 분야가 과학지식과의 상호작용이 가장 큰 기술분야이며, 당해분야 기술이 기초연구와 밀접한 관계가 있는 과학기반 기술분야임을 보여주는 것이다. 또한 기술혁신의 과학지식 연계성에 대하여 1990년대와 2000년대를 비교해보면 1990년대의 경우 2.14에 비해 2000년대에는 3.23으로 크게 높아졌음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 6개 기술분야 모두에서 유사하게 나타나고 있다.

<표 7> 기술혁신 분야별 과학지식 연계강도: 과학상호작용 지수

기술분야	1990년대	2000년대	전체기간
전기전자	1.65	2.34	2.19
도구 및 장치	1.98	3.73	3.51
화학, 의약품, 바이오	3.55	7.04	6.32
공정기술	2.14	4.46	4.01
기계공학, 기계류	1.97	3.53	3.20
소비재, 토목공학	1.00	5.00	4.31
전 체	2.14	3.23	3.27

(2) 과학-기술 연계속도

기술혁신이 기반을 둔 과학지식 기반의 최신성도 기술분야에 따라 다를 수 있을 것이다. 이는 특허에 인용된 과학지식의 발생시기를 분석함으로써 규명할 수 있다. 이를 위해 미국특허청에 등록된 한국인 특허의 출원시점과 인용된 과학논문의 발표시점 간의 시차를 계산하였다. <표 8>에 따르면, 화학·의약품·바이오 기술이 12.18년으로 가장 길게 나타나고 있으며, 전기전자와 소비재 기술은 가장 짧게 나타나고 있다. 즉, 전기전자 분야의 경우 평균적으로 보다 최근에 발표된 논문을 인용하고 있어서 다른 분야에 비해 최신의 과학지식을 기술혁신에 활용하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 이러한 시차는 전체 기술분야에 있어서 1990년대에 비해 2000년대의 경우 대부분 길어진 것으로 나타나고 있다. 특히 화학·의약품·바이오 기술의 경우 9.96년에서 12.22년으로 그 정도가 가장 큰 것으로 나타나고 있다. 한편 소비재·토목공학 분야의 경우 그 기간이 15.33년에서 7.67년으로 오히려 짧아진 것으로 나타나고 있다.

<표 8> 기술혁신의 과학지식 연계속도: 혁신분야별

기술분야	1990년대	2000년대	전체기간
전기전자	7.82	9.07	8.91
도구 및 장치	9.10	9.35	9.34
화학, 의약품, 바이오	7.96	12.22	12.18
공정기술	10.24	10.75	10.69
기계공학, 기계류	9.15	9.98	9.87
소비재, 토목공학	15.33	7.67	7.97
전 체	8.16	10.36	10.08

2) 기술혁신 주체별 과학지식 연계특성

(1) 과학-기술 연계강도

기술혁신이 발생하는 분야에 따라 과학지식 연계특성이 차이가 남과 동시에 기술혁신 주체별로 특허활동의 패턴은 다른 것으로 나타나고 있다. 기존의 해외 연구결과에 따르면 대학이 출원한 특허는 기업이 출원한 특허보다 과학논문을 더 많이 인용하는 경향이 있는 것으로 나타나고 있다.

먼저, 한국인 특허를 대상으로 기술혁신 주체별 과학연계지수 측면에서 분석한 결과는 <표 9>와 같다. 여기에서 볼 수 있는 바와 같이 한국의 기술혁신에 있어서도 이러한 경향은 명확하게 나타나고 있다. 대학의 경우 5.74로서 기업이 0.45, 그리고 연구소가 1.94인데 비해 월등히 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 대학 발명자의 경우 타 부문의 발명자에 비해 과학논문을 활발하게 인용한다는 것을 의미하며, 경우에 따라서는 발명자이면서 동시에 과학논문의 저자일 가능성도 충분히 존재할 것으로 추정된다. 한편 시기별로는 과학지식 연계정도가 1990년대(0.31)에 비해 2000년대(0.62)에 두 배 높게 나타나고 있다.

<표 9> 기술혁신 주체별 과학지식 연계강도: 과학연계지수

기술혁신 주체	1990년대	2000년대	전체기간
기 업	0.23	0.51	0.45
대 학	0.85	6.50	5.74
연 구 소	1.49	2.09	1.94
개 인	0.11	9.56	0.42
전 체	0.31	0.62	0.56

다음으로, 한국인 특허를 대상으로 기술혁신 주체별 과학상호작용지수 측면에서 분석한 결과는 <표 10>과 같다. 여기에서 볼 수 있는 바와 같이 한국의 기술혁신에 있어서도 이러한 경향은 명확하게 나타나고 있다. 대학의 경우 9.95로서 기업이 3.08, 그리고 연구소가 2.66인데 비해 월등히 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 대학 발명자의 경우 타 부문의 발명자에 비해 과학논문을 활발하게 인용한다는 것을 의미하며, 경우에 따라서는 발명자이면서 동시에 과학논문의 저자일 가능성도 충분히 존재할 것으로 추정된다. 한편 시기별로는 과학지식 연계정도가 1990년대(2.14)에 비해 2000년대(3.23)에 높게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 주로 기업의 발명자가 1990년대(1.89)에 비해 2000년대(3.33)에 과학논문 인용정도가 현저하게 높아진 데 기인하고 있다. 이처럼 기업의 특허출원에서 과학논문 인용이 늘어난 것은 기업의 기초연구에 대한 투자가 점차 증대되어 왔고, 대학과의 공동연구도 지속적으로 강화되기 때문인 것으로 짐작된다.

<표 10> 기술혁신 주체별 과학지식 연계강도: 과학상호작용지수

기술혁신 주체	1990년대	2000년대	전체기간
기 업	1.89	3.33	3.08
대 학	7.58	10.02	9.95
연 구 소	2.74	2.64	2.66
개 인	2.17	4.46	4.11
전 체	2.14	3.23	3.27

(2) 과학기술 연계속도

기술혁신이 기반을 둔 과학지식 기반의 최신성은 기술혁신 주체에 따라서도 다를 수 있을 것이다. 이는 특허에 인용된 과학지식의 발생시기를 분석함으로써 규명할 수 있다. 이에 따르면, <표

11>에서와 같이 개인이 가장 길고, 다음으로 대학, 기업, 연구소 순으로 가장 길게 나타나고 있다. 그리고 이러한 시차는 전체분야에 있어서 1990년대에 비해 2000년대의 경우 대체로 길어진 것으로 나타나고 있다.

<표 11> 기술혁신 주제별 과학지식 연계속도

기술혁신 주제	1990년대	2000년대	전체기간
기업	9.45	10.45	10.34
대학	8.67	10.68	10.64
연구소	9.99	9.55	9.63
개인	10.41	11.09	11.03
계	9.63	10.35	10.27

V. 결론 및 시사점

과학과 기술 간의 지식흐름 패턴을 분석하기 위해 특허의 인용분석 방법이 사용되고 있지만, 총량수준의 타당성 있는 인용통계라는 측면에서는 아직 초보적인 수준에 있는 것도 사실이다. 설명력이나 분석력의 강점과 한계, 그리고 신뢰할만한 국가간 비교통계를 위한 잠재성은 아직 충분히 확인되지 않은 상태라고 할 수 있다. 이와 동시에 인용분석 결과에 대한 해석에도 주의가 필요하다는 점을 살펴보았다.

본고에서는 우리나라 기술혁신의 과학지식과의 연계특성을 미국특허청에 등록된 한국인 특허를 이용하여 기술혁신 분야와 주제별로 분석하였다. 먼저, 기술혁신 분야별로 보면, 과학연계지수와 과학상호작용지수에서 화학·의약품·바이오기술이 분석대상 기간 중 각각 4.32와 6.32로서 주요 기술분야 가운데 가장 높게 나타나고 있으며, 전기전자와 기계 분야는 모두 낮게 나타나고 있다. 또한 두 가지 지표로 측정된 과학지식 연계강도는 1990년대에 비해 2000년대에 모두 높아진 것으로 나타나 우리나라 기술혁신이 더욱 과학지식 기반형으로 발전하게 된 것으로 판단할 수 있게 해준다. 그리고 이러한 분야별 기술혁신이 얼마나 최신의 과학지식에 기반을 두고 있는지를 한국인 특허가 출원된 시점과 인용된 과학논문의 발표시점 간의 시차를 계산하여 분석하였는데, 이에 따르면 화학·의약품·바이오기술은 12.18년으로 가장 길게 나타나고 전기전자는 8.91년으로 상대적으로 짧게 나타나고 있으며, 이러한 시차는 1990년대에 비해 2000년대에 전반적으로 길어진 것으로 나타나고 있다. 다음으로, 기술혁신을 수행하는 주체에 따라 과학지식 연계성을 분석한 결과 대학의 경우가 기업이나 연구소보다 과학논문을 더 많이 인용하는 경향이 있는 것으로 나타나고 있다. 구체적으로 대학의 경우 과학상호작용지수가 9.95로서 기업이 3.08, 그리고 연구소가 2.66인데 비해 월등히 높은 것으로 분석되고 있다.

한편, 지식창출과 지식흐름 지표의 개발은 학계연구에서 비교적 중요한 위치를 차지하고 있고 정책적 관심과 재정지원을 끌어들이었지만, 과학관련 혁신역량에 관한 지표에는 관심이 아직 매우 낮다고 할 수 있다. 이는 혁신과정 초기에 인적요인이 주된 역할을 하고, 지속적인 경제발전을 위해 지적자본과 인적자본의 현재스톡이 매우 중요하다는 점에서 놀라운 사실이 아닐 수 없다. 다른 종류의 발명자들의 분포, 그들의 창의적 성과의 특성, 그리고 연구기관의 위치와 근무여건 등에 관한 통계는 혁신시스템 내에서 과학기반의 R&D 과정의 내부적 작동을 이해하고 정량화하는 것을 돕는 매우 귀중한 통찰력과 데이터를 제공할 수 있다. 이러한 원천을 포착하기 위해 특허기술을 생산하는 과학자와 발명자의 특성을 명시적으로 다루는 더 좋은 모델, 새로운 방법론과 측정수단이 필요하다. 사례연구와 국가적 조사는 특히 의학 및 생명과학의 산업관련 분야 내에서 과학-기술 인터페이스에서 활동하는 R&D 인력과 발명자의 역할에 대한 더 나은 프로세스의 이해에 기여할 수 있다.

특허인용 정보를 통한 지식흐름 측정과 발명자 정보를 기초로 한 지식흐름 측정 등 두 가지 유형의 특허기반 측정수단은 모두 산업혁신과 관련된 과학-기술 상호작용과 인적 창의성에 대한 유용한 대리변수가 된다. 그러나 두 경우 모두 혁신역량이라는 R&D 관련 측면에서 폭넓게 받아들여지는 지표로 사용하기 위한 가능성이 부족한 지표라고 할 수 있다. 진정한 혁신관련 통계의 발전을 위해서는 새로운 비교가능 데이터의 원천이 필요하며, 국제적으로 표준화된 데이터를 얻기 위한 데이터 수집 방법론도 필요하다. 또한, 적절한 이론과 개념모델을 이용해서 모든 데이터를 맥락에 맞게 평가할 수 있어야 한다. 비록 최근 이론과 정교화된 모델의 발전은 검증 가능한 사실적 증거를 제공하기 위한 이용 가능한 통계자료의 능력을 넘어서고 있지만, 과학-기술 연계에 대한 보다 체계적이고 경험적인 증거를 모으고, 믿을 수 있고 조화로운 통계를 생산하기 위한 새로운 지표를 개발하고 시험하기 위한 객관적 기반으로서 이들 자료를 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 박현우 · 박광서 (2007), “기술혁신의 과학지식 연계관계의 특징 및 측정 가능성,” 산경논총, 전주대학교 산업경영연구소, 30(1), pp.35-58.
- 박현우 · 이창환 · 여운동 (2008), “과학기술 지식흐름의 산업연계 파급경로 분석,” 기술혁신학회지, 제11권 제1호, 한국기술혁신학회, 91-117.
- 한유진 · 박현우 (2007), “기술혁신을 위한 특허와 논문지식 흐름의 역할,” 지식재산연구, 제2권 제2호, 한국지식재산연구원, 71-91.
- Arora, A. (1991), *The Transfer of Technological Know-how to Developing Countries: Technology Licensing, Tacit Knowledge, and the Acquisition of Technological Capability*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, Cited after David (1993).
- Adams, J. (1990), "Fundamental stocks of knowledge and productivity growth," *Journal of Political Economy*, 98, 673-702.
- Campbell, R. S. and A. L. Nieves (1979), *Technology Indicators Based on Patent Data: The Case of Catalytic Converters - Phase I Report: Design and Demonstration*, Batelle Pacific Northwest Laboratories.
- Carpenter, M. and F. Narin (1983), "Validation study: patent citations as indicators of science and foreign dependence," *World Patent Information*, 5, 180-185.
- Cohen, W., R. Nelson, and J. Walsh (2002), "Links and impacts: the influence of public research on industrial R&D," *Management Science*, 48, 1-23.
- Collins, P. and S. Wyatt (1988), "Citation in patents to the basic research literature," *Research Policy*, 17, 65-74.
- Coombs, R. and R. Hull (1998), "Knowledge management practices and path dependency in innovation," *Research Policy*, 27, 237-253.
- David, P. A. (1993), "Intellectual property institutions and the panda's thumb: patents, copyright, and trade secrets in economic theory and history," M. B. Wallerstein, et al. (eds.), *The Global Dimensions of Intellectual Property Rights in Science and Technology: A Conference, January 7-8, 1992*, Washington, DC: National Research Council/National Academy Press, 19-61.
- Etzowitz, 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, 109-123.
- 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.
- Grupp, H. and U. Schmoch (1992), "Perceptions of scientification of innovation as measured by referring between patents and papers," in H. Grupp (ed), *Dynamics of Science-based Innovation*, Berlin:

- Springer Verlag, 73-128.
- Hagedoorn, J., A. Link, and N. Vonortas (2000), "Research Partnerships," *Research Policy*, 29, 567-586.
- Hicks, D. (1995), "Published papers, tacit competencies and corporate management of the public/private character of knowledge," *Industrial and Corporate Change*, 4(2), 401-424.
- Howells, J. (1996), "Tacit knowledge, innovation and technology transfer," *Technology Analysis and Strategic Management*, 8(2), 91-106.
- Iverson, E. J. (1998), "Knowledge bases and interactions in the Norwegian system: a patent share and citation analysis," Discussion draft, dated 8 May 1998, for '*STEP Rapport/Report 1997*', Presented at the 3rd Nordic Workshop in Bibliometrics, Oslo, 3-4 August.
- Karki, M (1997). "Patent Citation Analysis: A Policy Analysis Tool," *World Patent Information*, 19(4), 269-272.
- Mumford, M. and D. Simonton (1997), "Creativity in the workplace: people problems and structures," *Journal of Creative Behavior*, 31, 1-6.
- Meyer-Kramer, F. and U. Schmoch (1997), *Chemistry, Information Technology, Biotechnology, and Production Technology: A Comparison of Linking Mechanisms in Four Fields*, Fraunhofer Institute of Systems and Innovation Research, Karlsruhe, Germany.
- MIT (2004), *The TR Patent Scoreboard*, Technology Review and CHI Research, Inc.
- Mumford, M. and D. Simonton (1997), "Creativity in the workplace: people problems and structures," *Journal of Creative Behavior*, 31, 1-6.
- Narin, F., K. S. Hamilton, and D. Olivastro (1997), "The Increasing Linkage between US Technology and Public Science," *Research Policy* 26(3), 317-330.
- Narin, F. and E. Noma (1985), "Is Technology Becoming Science?" *Scientometrics* 7, 369-381.
- Narin, F. and D. Olivastro (1998), "Linkage between patents and papers," *Scientometrics*, 41(1-2), 51-59.
- Nelson, R. and S. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge: Harvard University Press.
- Nonaka, I. and H. Takeuchi (1995), *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, New York: Oxford University Press.
- OECD (2002), *Benchmarking Industry-Science Relationships*, Paris: OECD.
- Park, Hyun Woo and Jay Kang (2009), "Patterns of scientific and technological knowledge flows based on scientific papers and patents," *Scientometrics*, 81(3), 811-820.
- Park, Hyun Woo and Jay Kang (2009), "The Flow of Scientific and Technological Knowledge to Korean Patents," The 8th International Business and Economy Conference, Udaipur, India.
- Pavitt, K. (1987), "The objectives of technology policy," *Science and Public Policy*, 14(4), 182-188.
- Pavitt, K. (1998), *Do Patents Reflect the Useful Research Output of Universities?* SPRU: Electronic Working Paper Series, No.6.
- Price, D. de Solla (1965), "Is technology historically independent of science? A study in statistical historiography," *Technology and Culture*, 6(4), 553-568.
- Rabeharisoa, V. (1992), "A special mediation between science and technology: when inventors publish scientific articles in fuel cells research," In H. Grupp (ed), *Dynamics of Science-based Innovation*, Berlin: Springer Verlag, 45-72.
- Rappa, M. and K. Debackere (1992), "Technological communities and the diffusion of knowledge," *R&D Management*, 22, 209-222.
- Rip, A. (1986), "Mobilizing resources through texts," M. Callon, J. Law, and A. Rip, *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, London: Macmillan, 84-99.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do companies do basic reserach (with their own money)?" *Research Policy*,

19, 165-174.

- Salter, A. and B. Martin (2001), "The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review," *Research Policy*, 30, 509-532.
- Schmoch, U. (1993), "Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators," *Scientometrics*, 26, 193-211.
- Scott, S. and R. Bruce (1994), "Determinants of innovative behavior: a path model of individual innovation in the workplace," *Academy of Management Journal*, 37, 580-607.
- Tijssen, R. J. W. (2004), "Measuring and Evaluating Science and Technology Connections," H. F. Moed, W. Glänzel, and U. Schmoch, eds., *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 695-715.
- 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, 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), 399-420.