

과학기술 지식흐름 연계 네트워크 분석

박현우*

초 록

기술지식으로서의 특허가 과학지식으로서의 과학논문을 많이 인용하면 할수록 과학지식과 기술지식의 상호작용이 많다고 해석할 수 있고, 또한 인용까지의 평균시차가 짧으면 짧을수록 과학지식과 기술지식의 확산속도가 그만큼 빠른 것으로 해석할 수 있다. 과학논문과 특허를 대상으로 과학집약도가 높은 기술분야, 여러 학문분야를 가장 많이 인용하고 있는 기술분야, 그리고 여러 기술분야에서 가장 많이 인용되는 학문분야를 발견할 수 있다. 또한 하나의 특허가 다른 특허에 인용되는 관계를 통해 피인용특허의 기술분야와 인용특허의 산업분야에 대한 연계 매트릭스를 구성함으로써 기술지식이 파급연계되는 산업분야를 확인할 수 있다.

여기에서는 이러한 과학기술 지식의 연계관계를 규명함으로써 어떤 유형의 지식이 기술혁신에 있어 가장 기초가 되는지, 어떤 기술분야가 과학적 지식을 가장 역동적으로 활용하는지, 그리고 산업계의 요구와 가장 긴밀한 관계를 맺고 있는 학문분야는 어떤 분야인지를 분석하고자 한다.

주제어 : 지식흐름, 과학확산, 과학흡수, 기술확산, 기술흡수, 지식연계

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

I. 서론

기술혁신 과정에 포함된 과학, 기술, 산업 간의 관계는 매우 복잡하고, 시간에 따라 변하기 때문에 그 관계를 하나의 모델로 구성하는 일은 용이하지 않다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 시도는 과학과 기술, 기술과 산업, 더 나아가 과학-기술-산업 간에 어떠한 연계관계가 있는지를 파악하는데 출발점이 된다는 점은 부인할 수 없다고 할 수 있다.

그동안 과학과 기술, 또는 기술과 산업 간의 관계를 별도로 분석한 연구는 있었지만 과학-기술-산업을 전체적으로 조망한 연구는 거의 없었으며, 적절한 방법론이나 분석 모델도 제시되지 못하고 있기 때문에, 본 연구에서는 과학, 기술, 산업을 통합적으로 분석하기 위한 모델을 제시하고자 하였다. 기존지식의 흡수와 활용, 그리고 새로운 지식의 창출을 위한 지식의 제공 등 지식흐름의 관계를 분석하기 위해 인용분석을 적용하고, 지식흐름의 복합적 현상을 규명하기 위해 네트워크 분석을 수행하였다.

이 논문은 과학기술 지식흐름의 분석을 통해 기술혁신의 추세를 예측하기 위한 실증적 연구이다. 과학기술의 지식흐름을 분석하기 위해서는 먼저 과학, 기술, 산업의 지식 창출이 어떠한 특성을 가지고 있는지를 살펴볼 필요가 있다. 이러한 특성을 기초로 과학과 기술, 기술과 산업의 연계관계를 파악하고 실제 분석을 위한 연계체계를 구성하는 일이 필요하다.

본 논문에서는 과학기술 지식의 특성과 연계관계에 대한 기존의 연구들을 개관하였으며, 과학기술의 지식흐름을 포착하고 연계관계를 분석하기 위한 과학과 기술, 기술과 산업 간의 분류체계를 설정하고, 연계방법을 검토하였다. 이에 기초하여 실제 과학-기술-산업 간의 기술혁신 연계관계를 분석하기 위한 모델을 설정하였다. 이를 위해 기존에 이론적, 실증적인 측면에서 이루어진 다양한 분석모델에 대하여 학문분야별로 검토하였다. 마지막으로 앞에서 검토된 이론과 방법론을 이용하여 미국특허청에 등록된 한국인 특허, 이 특허에 인용된 과학논문, 그리고 이들 특허를 인용한 다른 미국특허에 대한 정보를 추출하여 분석에 적용할 수 있는 형태로 가공한 후, 실제 분석을 수행하였으며, 이에 따른 다양한 측면의 분석결과를 얻었다.

II. 이론적 배경

2.1 과학과 기술의 연계

과학과 기술은 각기 다른 목표를 추구하기는 하지만, 동시에 서로 밀접한 관계를 가지고 있다(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 단지 일부에만 해당할 뿐이라는 주장도 있다(Howells, 1996; Rosenberg, 1990). 실제로 과학과 기술의 연계정도는 기술 또는 산업별로 확연한 차이를 드러내는데, 예를 들어 제약과 바이오테크 산업은 기초과학 의존도가 매우 높은 반면(Carpenter and Narin, 1983; Malo and Geuna, 2000; Meyer, 2000), 플라스틱, 기계, 자동차 산업은 그렇지 않다(Arundel et al., 1995). 이를 Grupp and Schmoch(1992)는 기술의 과학 의존도라고 하였다.

Brooks(1994)는 과학과 기술이 서로 어떻게 연계되고 있는지를 여섯 가지로 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, 과학은 더 넓은 사회적 영향 측면에서 기술을 평가할 수 있게 하며, 여섯째 응용연구, 개발, 기술의 개량을 위한 지식 기반이 될 수 있다.

과학과 기술의 관계에 대한 초기 정성적 연구는 Price(1965)가 대표적이며, 그 이후 많은 정량적인 연구가 시도되었다. 과학과 기술 간의 의존도를 알아보기 위해서 Pavitt(1998a)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 한 제한된 연구가 대부분이었다. 그 이유는 과학과 기술의 관계에 복잡성이 존재하기 때문이다. Williams(1986)는 최소한 세 가지 측면에서 이러한 복잡성이 있다고 하였다. 첫째, 기초과학으로부터의 지식의 직접적 흐름이 산업이나 과학 분야별로 달라서 일반화하기가 어렵다는 것이다. 예를 들어, 생물학과 화학-제약 산업은 밀접한 관계에 있고, 전자 산업도 어느 정도 관련이 있지만, 기계나 자동차 산업과는 관계가 미약하다. 둘째, 기초연구가 기술에 미치는 영향의 본질은 전기, 합성물질, 반도체와 같이 파급효과가 큰 새로운 기술을 창출하는 것으로부터 루틴한 화학분석에 이르기까지 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)¹⁾을 파악해야 한다고 주장하였다.

2.2 기술과 산업의 연계

기술은 산업발전과 밀접한 관련이 있지만(Narin, 1994; Narin et al., 1995; Tijssen, 2001), 무형의 기술이라는 것을 측정하여 산업과의 연계관계를 파악하는 일은 쉬운 일이 아니다. 따라서 많은 연구가 특허를 기술의 대용지표로 삼아 진행되어 왔다.

여기에서는 특허와 같은 체계화된 정보를 이용하여 기술과 산업의 분류를 설정하고, 이를 토대로 하는 연계구조(linkage structure)를 규명하는 작업이 필요하다. 이는 보다 실질적인 기술활용 측면에서 특정 기술과 산업의 연계구조를 규명하는 것이다. 그러나 대부분의 기존연구는 기술과 산업의 연계를 직접적으로 규명하기보다는 기술의 파급효과(spillover)에 대한 분석을 통해 기술이나 산업 간의 연계를 총괄적으로 도출하거나, 파급효과를 연구개발 생산성과 연결짓는 데 초점을 두고 있다.

연구개발 및 특정 산업기술에 대한 투자와 기술혁신의 관계를 다룬 중요한 초기 저작은 맨스필드(Mansfield, 1961; 1963)의 연구이다. 12개 기술혁신이 4개 산업의 주요 기업에 미치는 영향을 평가한 이 연구들은 기술확산 및 채택의 개념적인 틀과 방법론의 기초를 확립하였다. 이후의 주요 연구들로는 Nasbeth and Roy(1974), Davies(1979), Stoneman(1983) 등이 있는데, 특히 Davies(1979)는 가장 정형화된 기술채택-확산의 모형을 제시하고 있다는 면에서 가치가 있다. 또한 레온티에프(W. Leontief)의 투입-산출 분석을 통해 연구개발 및 기술의 흐름을 측정하려는 시도와 실무적 연구는 Schmookler(1966) 이래로 활발하게 진행되고 있으며, OECD에서는 가입국들의 투입-산출표를 작성하여 활용하기도 한다. 그 이후의 연구들은 특허관계를 활용한 지식흐름 측정 및 파급효과 분석(Verspagen and Loo, 1999)이나, 기술의 파급효

1) Modus Operandi(약자로 MO)는 라틴어로서, "mode of operation", 즉 작동방식, 혹은 처리방식으로 번역된다. 때로는 경찰에서 범인의 특징적 패턴, 범죄의 스타일을 지칭하는 말로도 쓰인다. 영어권에서는 조금 다른 의미로 사용하는 것이 일반적이는데, 누군가의 작업 습관이나 태도, 혹은 작동하거나 기능하는 방식을 뜻한다. 경우에 따라 기업운영방식의 의미로도 사용된다.

과와 연구개발 생산성과의 관계 규명으로 범위를 확장해 가고 있다(Nadiri, 1993; Scherer, 1982).

1980년대 중반부터는 미시경제적 평형모델과 진화론적 확산모형에 기반한 2세대 연구가 시작되었다. 그러나 기술과 산업 간의 관계를 실질적으로 규명한 연구는 활발히 진행되지 못하였다. 다만, 실질적인 투자의사결정과 밀접한 연관관계를 지닌 산업 및 기술분류에 대한 연구가 실무와 맞물려 이루어지고 있다. 특정기술에 대한 투자의사결정은 투자기술이 확산과 채택에 의해 산업생산성에 기여하는 정도를 측정하거나 기술의 상호보완성 또는 유사성에 의해 묶인 기술군의 범위와 구성을 기준으로 내려지게 된다. 전자에 대한 연구는 과거부터 활발하게 진행되었지만, 기술의 보완성 내지 유사성을 규명하는 연구는 다양하게 실행되지 못하였다.

그러나 최근에는 기술-산업 클러스터 생성을 통해 이러한 연결고리를 탐색하고자 하였으며(Bergeron et al., 1998), 미국의 과학재단(NSF)에서 1974년에 미국특허분류(USPC)와 산업분류(ISIC)를 일치(concordance)시키려는 시도가 있는 후, 기술과 산업 간의 연계를 구체적으로 분석, 제안하기도 하였다(Hirabayshi, 2003). 이러한 노력은 캐나다의 특허청에 의해 미국 특허의 분류가 아닌 국제특허분류(IPC)와 산업분류를 일치시키는 데까지 확장되었다(Johnson, 2002).

2.3 과학·기술·산업 연계

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

특히 Narin et al.(1997)은 미국의 경쟁력이 강한 기초과학의 기반으로부터 나온다는 점을 지적하기도 하였다. 따라서 과학-기술-산업의 분류 틀을 한꺼번에 종합적으로 관찰하는 것은 과학기술 정책 및 산업정책을 개발하는 데 꼭 필요한 작업이라고 할 수 있다.

III. 데이터와 방법론

3.1 데이터의 수집

본 연구는 한국인이 출원한 미국특허에 인용된 과학논문을 이용하여 한국의 특허기술과 관련된 과학적 지식기반을 규명하고, 이 과학논문이 한국인 특허의 향후 인용에 어떤 영향을 미치는지를 밝힘으로써, 기술혁신의 핵심적 역할을 하는 특허를 중심으로 과학기술 지식흐름을 규명하고 기술혁신의 추세를 발견하기 위한 것이다. 이를 위해 한국인이 출원한 미국특허를 중심으로 한국인 출원 미국특허의 표제면에 인용된 과학논문, 그리고 미국특허 중 한국인 특허를 표제면에 인용하고 있는 미국특허 등 세 가지 대표적인 유형의 데이터를 수집하였다.

1990년 이전 한국인이 미국특허청에 출원하여 등록된 미국특허는 극히 소수에 불과하며, 이 시기에 등록된 한국인의 미국특허 중 과학논문을 인용하고 있는 특허는 거의 없었다. 이 연구를 위해 1990년부터 2006년까지 미국 특허청에 등록된 특허를 전체 대상 데이터 세트로 하였다. 이를 기반으로 1990년부터 2004년까지 출원기관 또는 발명자의 국적이 한국으로 지정된 미국특허 32,935건을 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 미국특허 DB로부터 추출하였다. 그리고 미국특허로 등록된 이들 한국인 특허에서 비특허문헌(NPL)을 인용하고 있는 특허번호를 추출하였다. 이를 이용하여 미국 특허청의 특허검색 사이트에서 각 특허에 대한 검색을 통해 비특허문헌을 수집하였다.

미국특허청에 등록된 한국인 특허 중 비특허문헌을 인용하고 있는 특허는 6,345건이었으며, 이들 특허에서 인용된 비특허문헌은 총 21,826건이었다. 그리고 이들 비특허문헌을 자료의 유형별로 구분하였다. 학술지 또는 학술회의자료에 수록된 과학논문을 인용한 특허는 4,275건이었으며, 이들 특허에 인용된 과학논문은 총 14,969건이었다. 또한 SCIE 논문을 인용한 특허는 2,791(과학논문을 인용한 한국인 등록특허 4,275건의 65.3%)이었으며, 이들 특허에 인용된 SCIE 논문은 총 9,205건이었다. 이상의 데이터는 과학논문과 특허와의 연계관계를 통해 과학지식의 기술지식으로의 흐름을 분석하기 위한 기초자료로 이용된다.

한편 특허로 등록된 한국의 기술이 다른 특허에 의해 인용(활용)됨으로써 산업분야로 파급이 이루어지는 데 있어서 과학논문이 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위해 미국특허 중 2006년말까지 한국인 특허를 인용하고 있는 미국특허를 KISTI가 구축한 미국특허 데이터베이스로부터 수집하였다. 1990년부터 2004년까지 미국특허청에 등록된

한국인 특허 가운데 과학논문을 인용한 특허 4,275건 중 약 75%에 달하는 3,188건이 등록 이후 2006년까지 미국특허 18,591건에 의해 총 22,596회 인용되었다. 또한 이들 미국특허에 인용된 한국인 특허 중 SCIE 과학논문을 인용한 특허는 총 1,969건이었으며, 인용된 횟수는 총 12,772회였다. 이와 같은 한국인 특허의 다른 미국특허로의 인용데이터는 기술지식의 산업으로의 파급현상을 분석하기 위한 기초자료로 활용된다. 이처럼 본고에서 분석대상으로 하는 데이터는 기술지식을 표현하는 특허 데이터와 과학지식을 표현하는 과학논문 데이터로 구성되는 하나의 그룹, 그리고 과학-기술 지식흐름과 기술-산업 지식흐름의 연계관계를 나타내는 인용데이터로 구성되는 또 하나의 그룹으로 구분될 수 있으며, 각각은 다시 다양한 유형의 데이터로 나타나고 있다.

3.2 분석방법

과학, 기술, 산업 간 연계관계 분석을 위해 먼저 과학과 기술 간의 관계가 지식의 확산과 흡수를 통해 어떻게 연계되고 있는지를 분석하기 위해 Verbeek et al.(2002)에서 제시된 과학확산지수(science diffusion indicator)와 과학흡수지수(science absorption indicator)의 개념을 사용하며, 기술과 산업 간의 관계에 대해서는 이들 개념을 확장한 기술확산지수와 기술흡수지수의 개념을 별도로 정의하여 분석에 사용한다.

한편 과학과 기술, 그리고 기술과 산업 간의 지식흐름 관계를 통합하여 분석하기 위해서는 과학, 기술, 산업을 연계하기 위한 분류체계의 설정이 필요하다. 특허에 인용된 과학논문은 과학활동 영역과 기술활동 영역을 연결하는 교량역할을 한다. 과학영역을 구분하기 위해 SCI 학문분류표를 사용하며, 기술영역을 구분하기 위해 특허에 부여된 IPC의 서브클래스(4단위)를 사용한다. SCI 과학논문에 부여된 학문분야 코드는 모두 115개이다. 그리고 SCI 과학논문을 인용하고 있는 한국인 특허에 부여된 IPC 기술분야 코드는 모두 166개이며, 이를 OST/INPI/ISI로 연계할 경우 기술분야는 총 30개 분야가 된다. 따라서 과학과 기술간의 지식흐름을 파악하기 위해 115×30 의 학문분야 \times 기술분야 매트릭스를 작성한다. 여기에서 하나의 과학분야는 복수의 기술분야와 연계되어 있으며, 하나의 기술분야는 복수의 과학분야와 연계된다.

그런데, 대부분 국가에서 특허데이터에 쉽게 접근할 수 있지만 데이터의 제공형태의 한계로 인해 산업분야에서 활용하는 것은 아직 제한적인 수준이다. OECD Technology Concordance(OTC)는 IPC 기반의 특허 데이터를 경제산업 분야별 특허건수로 전환할 수 있도록 해주는 도구이다. OTC의 목표는 하나의 분류체계를 다른 분류체계로 변환하

여 매칭시키는 것이다. 특히 이는 특허제품 또는 과정범주를 그 생산 및 활용에 책임지는 경제부문으로 매핑하는 것이다. OTC 방법론은 IPC를 SIC(Standard Industrial Classification System) 기반영역으로 변환하는 단계와 SIC 기반영역을 ISIC 기반영역으로 변환하는 단계로 구성되어 있다. 여기에서는 30만 건의 캐나다 특허에 수록된 IPC를 확인하고, 각 특허에 대한 IOM(Industry of Manufacture)과 SOU(Sector of Use)를 읽은 후, 각 IPC에 대한 확률값을 계산한다. 이 과정은 특허데이터의 벡터(IPC가 부여된 특허)를 상관관계형 특허 데이터 매트릭스(IOM-SOU 매트릭스)로 변환한다. 그 결과로부터 각 발명의 산업분야(IOM)가 전체에서 차지하는 중요도뿐만 아니라, 각 활용분야(SOU)의 중요도와 IOM과 SOU 상호작용의 중요도를 파악할 수 있게 된다.

본고에서는 과학-기술-산업에 대한 지식흐름을 파악하기 위해 OTC의 방식을 참고하여 학문분야(SCI: 115) × 기술분야(OST/INPI/ISI: 30) 행렬과 기술분야(OST/INPI/ISI: 30) × 산업분야(ISI/OST/SPRU: 44) 행렬 등 2개의 행렬을 생성한다. OTC 프로그램을 수정하지 않고 과학-산업에 대한 지식흐름을 계량적인 방법으로 산출하는 것은 어렵기 때문이다. 과학-기술에 대한 115 × 30의 학문분야 × 기술분야 행렬과 기술-산업에 대한 30 × 44의 기술분야 × 산업분류 행렬에 대하여 행렬연산 과정을 통해 과학-산업에 대한 학문분야 × 산업분류 행렬을 구할 수 있다.

IV. 과학-기술 지식흐름의 연계관계 분석

4.1 과학분야의 지식확산

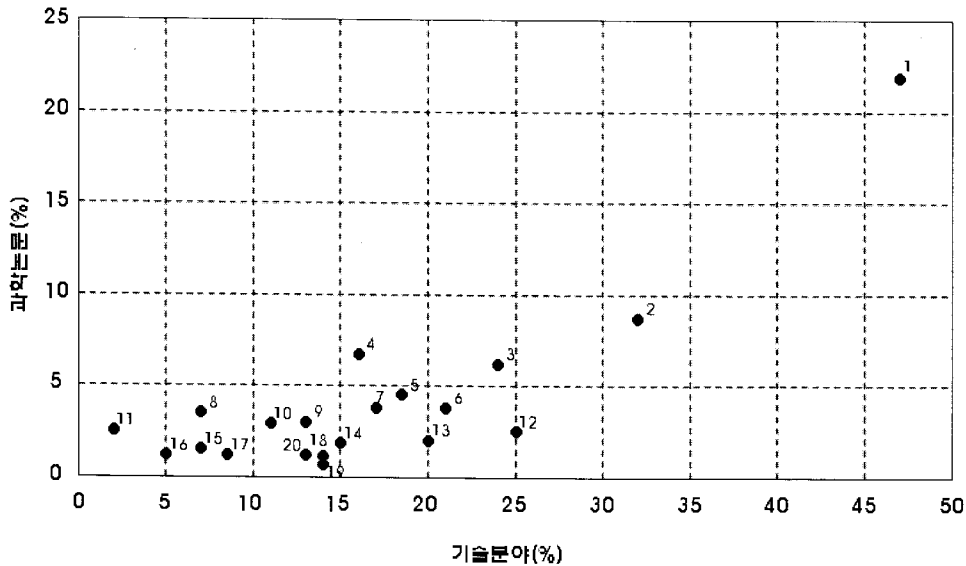
학문분야와 기술분야 간의 관계에서 어떤 과학분야가 어떤 기술분야와 상호작용을 하는지를 밝혀낼 수 있다. 특허에 인용된 과학논문이 포함된 115개 SCIE 학문분야 중 과학논문이 가장 많이 인용된 상위 20개 학문분야와 이들 학문분야에 속한 과학논문을 인용하고 있는 기술분야를 도출하였다. 학문분야와 기술분야 간의 연계를 통해 기술분야내 과학논문의 확산패턴을 확인하였다. 특허에서 과학논문의 역할을 확인할 수 있도록 해주는 기술분야내 학문분야의 확산패턴은 제한된 자원을 선택적으로, 그리고 집중적으로 사용할 수 있는 논리적 근거를 제공해준다.

기술분야 내에서 학문분야의 확산패턴을 정량적 수치로 표현한 것이 과학확산지수(science diffusion indicator)이다. 이 과학확산지수는 피인용 과학논문이 속한 학문분

야와 인용을 통해 연계되어 있는 기술분야의 수를 나타낸다(Verbeek et al., 2002). 과학확산지수가 높다는 것은 한 학문분야와 연계된 기술분야의 수가 많고, 다양한 기술과 관련성을 맺고 있으며, 학문의 응용범위가 넓다는 것을 의미한다. 반대로 과학확산지수가 낮다는 것은 한 학문분야와 연계된 기술분야의 수가 적으며, 기술개발과 관련된 학문분야의 집중도가 높다는 것을 말한다.

$$\text{과학확산지수} = \frac{\text{1개 학문분야와 인용연계된 IPC 기술분야의 수}}{\text{전체 학문분야와 인용연계된 전체 IPC 기술분야의 수(166)}}$$

[그림 1] 학문분야별 과학지식 확산패턴



주: 1. 전기전자, 2. 응용물리, 3. 다학문분야, 4. 생화학/분자생물학, 5. 고분자, 6. 화학(다학문), 7. 광학, 8. 의화학, 9. 바이오기술 및 산업미생물학, 10. 유기화학, 11. 안과학, 12. 재료과학(다학문), 13. 물리화학, 14. 전기화학, 15. 무기화학, 16. 약리학 및 약제학, 17. 식물학, 18. 재료과학 및 세라믹, 19. 컴퓨터과학, 하드웨어, 아키텍처, 20. 생화학연구방법

<그림 1>과 <표 1>에서 보면, 과학확산지수가 가장 큰 학문분야는 전기 및 전자공학이며, 그 다음은 응용물리학, 재료과학, 다학문분야 등의 순이다. 이들 분야는 기술개발을 위한 기반으로 강력한 과학확산의 패턴을 보이고 있으며, 우리나라의 기술개발과 관련하여 기술분야 내에서 활용도가 높은 과학분야들이다. 또한, 이러한 분석결과는 우리나라의 기술개발이 기초과학적 기반보다는 응용과학적, 공학적 기반이 강하다는 점을

보여주는 것이라고 할 수 있다. 전기 및 전자공학 분야는 <표 1>에서 보는 바와 같이, 한국인 특허 중 가장 많은 IPC 기술분야와 관련을 맺고 있었다. 전기 및 전자공학 분야는 특허받은 기술분야에서 가장 많이 인용되는 학문분야로서, 특허에 인용된 전체 SCIE 과학논문 9,205건 중 22.1%인 2,031건을 차지하고 있으며, 과학논문을 인용한 IPC 기술분야 166개 중 79개 분야(약 47.6%)에서 인용되었다.

<표 1> 학문분야별 과학확산지수

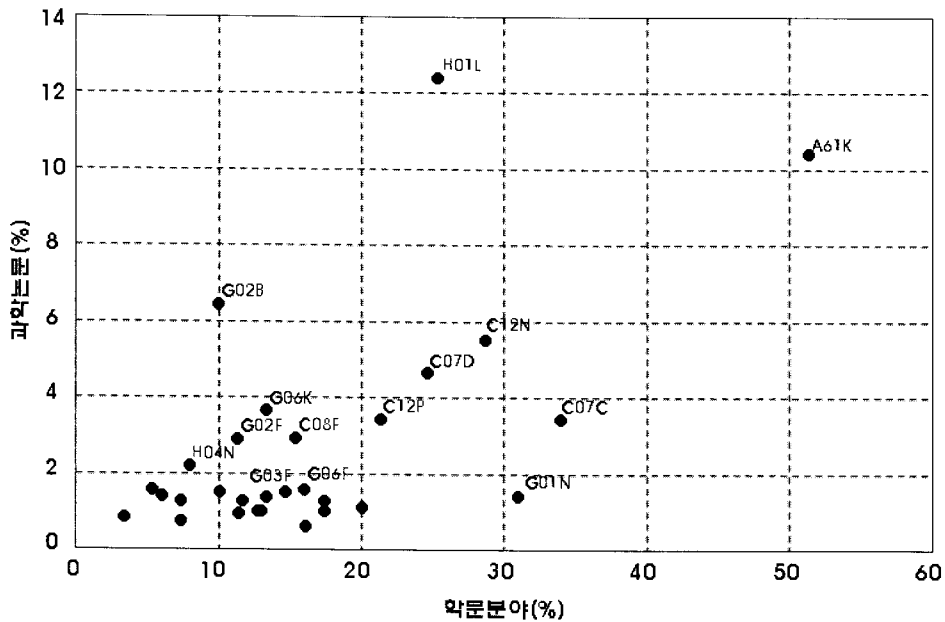
순위	학문분야	과학논문수	과학논문비율	IPC분야수	과학확산지수
1	전기 및 전자공학	2,031	22.06	79	0.47
2	응용물리학	827	8.98	53	0.32
3	다학문 분야	533	5.79	40	0.24
4	생화학 및 분자생물학	530	5.76	26	0.16
5	고분자	445	4.83	30	0.18
6	화 학 (다학문 분야)	392	4.26	35	0.21
7	광 학	385	4.18	28	0.17
8	의학학	307	3.34	11	0.07
9	바이오기술 및 산업미생물학	263	2.86	21	0.13
10	유기화학	257	2.79	19	0.11
11	안과학	237	2.57	3	0.02
12	재료과학 (다학문 분야)	222	2.41	41	0.25
13	물리화학	185	2.01	33	0.20
14	전기화학	180	1.96	25	0.15
15	무기화학 및 핵	140	1.52	12	0.07
16	약리학 및 약제학	121	1.31	9	0.05
17	식물학	116	1.26	13	0.08
18	재료과학 및 세라믹	115	1.25	24	0.14
19	컴퓨터과학, 하드웨어, 아키텍처	103	1.12	23	0.14
20	생화학연구방법	99	1.08	21	0.13

4.2. 기술분야의 지식흡수

학문분야와 기술분야 간의 연계를 통해 기술분야내 과학논문의 흡수패턴을 확인하고자 하였다. 특정 기술분야에 인용된 과학논문들이 분류된 학문분야의 수를 과학흡수지수(science absorption indicator)라고 한다(Verbeek et al., 2002). 과학흡수지수는 한 기술분야가 지니고 있는 과학적 지식기반이 광범위한지, 혹은 협소한지를 나타낸다.

$$\text{과학흡수지수} = \frac{\text{1개 IPC 기술분야와 인용연계된 학문분야의 수}}{\text{특허에 인용된 과학논문의 전체 학문분류 분야의 수(115)}}$$

[그림 2] 기술분야별 과학지식 흡수패턴



<표 2> 기술분야별 과학지식 흡수지수

순위	IPC 기술분야	OST/INPI/ISI 기술분류	SCIE 과학논문수	SCIE 과학 논문비율(%)	학문분야수	과학흡수지수
1	H01L	반도체	1,137	12.35	29	0.25
2	A61K	의약품	940	10.21	59	0.51
3	G02B	광기술	575	6.25	12	0.10
4	C12N	바이오테크놀로지	519	5.64	33	0.29
5	C07D	유기화학	424	4.61	28	0.24
6	G06K	정보기술	348	3.78	15	0.13
7	C07C	유기화학	332	3.61	39	0.34
8	C12P	바이오테크놀로지	332	3.61	24	0.21

9	C08F	고분자	266	2.89	17	0.15
10	G02F	광기술	259	2.81	13	0.11
11	H04N	정보통신	193	2.10	9	0.08
12	H01S	광기술	164	1.78	6	0.05
13	G06F	정보기술	161	1.75	18	0.16
14	G03F	광기술	157	1.71	16	0.14
15	B01J	화학공학	145	1.58	15	0.13
16	H04B	정보통신	141	1.53	8	0.07
17	G01N	제어기술	138	1.50	36	0.31
18	C30B	표면기술	128	1.39	14	0.12
19	C23C	표면기술	123	1.34	18	0.16
20	H04L	정보통신	116	1.26	7	0.06

한국인 특허에 인용된 SCIE 과학논문은 전체 115개 학문분야 중 하나에 포함된다. <그림 2>는 SCIE 과학논문을 가장 많이 인용한 IPC 기술분야 30개의 과학지식 흡수 패턴을 보여주고 있다. SCIE 과학논문을 가장 많이 인용하고 있는 상위 8개 IPC 기술분야가 한국특허에 인용된 전체 SCIE 과학논문 중 50%를 차지하고 있었다. 특허기술을 개발하는 데 다양한 학문분야와 가장 높은 연계를 보이는 기술분야는 의약품 분야(A61K)였다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이 의약품 분야는 가장 다양한 학문분야와 지식연계를 맺고 있으며, 그 다음으로 유기화학(C07C), 제어기술(G01N), 반도체(H01L) 등의 기술분야가 여러 다양한 학문분야와 지식연계를 맺고 있다.

SCIE 과학논문에 대한 인용빈도가 높은 상위 30개 기술분야 중 다수가 115개 학문분야 중 10~20%에 해당하는 학문분야와 상호작용이 이루어졌으며, <표 2>에서와 같이, 이들 기술분야가 인용한 SCIE 과학논문은 전체 중 2% 이내에서 이루어졌다.

4.3 과학-기술 지식흐름 네트워크

과학과 기술 간의 지식흐름의 구조를 시각화하고 그 특성을 살펴보기 위해 과학과 기술 간의 지식흐름 행렬인 과학지식의 확산패턴을 바탕으로 네트워크 분석을 실시하였다.²⁾ 이때 지식흐름 행렬은 과학에서 기술로 지식이 확산되는 정도를 나타내는 것으로서, 네트워크 분석을 위해 임계치(cut-off value)를 설정하였다. 즉, 과학과 기술 간의

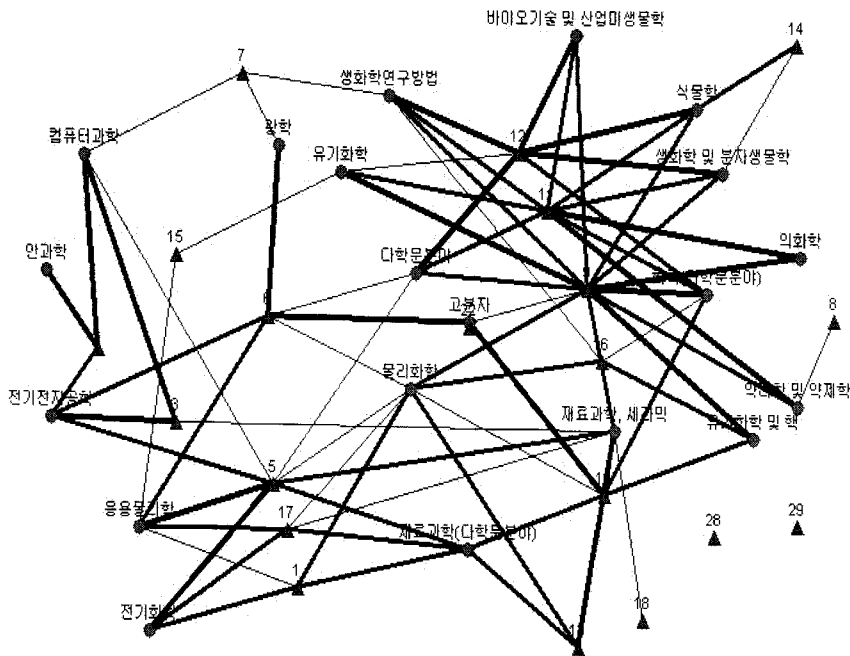
2) 여기에서는 네트워크 가시화 분석을 위해 사회네트워크분석(SNA) 소프트웨어인 NetMiner 2.6을 사용하였다.

지식흐름 양이 특정 임계치 이상일 경우에만 과학과 기술 간에 연관관계가 존재한다고 가정하였다.

본 연구에서는 임계치를 5%로 설정하여 과학과 기술 간의 지식흐름을 파악하였다. 이에 따라 분석된 과학과 기술간 지식흐름 네트워크는 <그림 3>과 같다. 이 네트워크에서 원형으로 표시된 노드는 과학분야, 그리고 세모로 표시된 노드는 기술분야이며, 링크는 지식흐름의 존재 여부와 크기를 설명하고 있다.

이 네트워크 분석결과를 통해 과학과 기술 간의 연계관계를 살펴보면, 다음과 같다. 우선 과학분야의 지식이 기술분야로 과급연계되는 관계를 보면, 물리화학 분야의 과학 지식이 가장 다양한 기술분야로 확산되어 활용되고 있는 것으로 나타나고 있다. 그리고 재료과학·세라믹, 응용물리학, 다학문분야, 재료과학(다학문분야), 생화학연구방법 등의 과학분야의 지식도 다양한 기술분야로 연계되고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 안과학, 광학, 의화학 등의 과학분야는 지식흐름이 소수의 기술분야에 집중되어 있는 것으로 나타나고 있다.

[그림 3] 과학-기술 지식흐름 네트워크



주: 임계치(cut-off value) = 5.0%

한편, 기술지식의 과학지식 흡수 측면에서 살펴보면, 유기화학(9) 기술분야의 경우 가장 폭넓은 과학분야로부터 지식을 흡수하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그리고 의약품(11), 바이오기술(12), 반도체(5) 기술분야 등도 다양한 과학분야에서 지식을 흡수하여 활용하는 관계에 있음을 알 수 있다.

V. 기술-산업 지식흐름의 연계관계 분석

기술과 산업 간의 연계관계를 분석하기 위해 피인용특허와 인용특허 간의 연계관계를 활용한다. 이러한 분석은 과학지식을 활용하여 생산된 기술지식이 어떤 산업분야에 활용되는지를 설명해주며, 궁극적으로 산업혁신에 대한 과학기술 지식흐름의 파급구조를 규명할 수 있도록 해준다. 이를 위해 SCIE 논문을 인용한 한국인 특허에 대하여 이들 특허가 등록된 이후 2006년까지 이들 특허를 인용한 다른 미국특허를 대상으로 분석을 수행한다. 이러한 자료를 이용하여 기술의 산업파급 구조를 파악하기 위해 IPC 서브클래스를 기초로 산업분류로 전환할 필요가 있다. 여기에서는 ISI/OST/SPRU의 분류체계에 따라 IPC를 산업분류로 구분하였다. 이를 통해 과학지식이 활용된 기술지식이 어떻게 산업분야와 연계되는지를 확인하였다.

5.1 기술분야의 지식확산

여기에서는 기술분야와 산업분야 간의 지식흐름 관계에서 어떤 기술분야가 어떤 산업분야와 상호작용을 하는지를 분석하고자 한다. 하나의 특허가 다른 특허에 인용되는 관계에서 원래의 특허가 포함된 27개 기술분야 중 이들 특허가 가장 많이 인용된 상위 15개 기술분야와 이들 기술분야에 속한 특허를 인용하고 있는 산업분야를 도출하였다.

기술분야와 산업분야 간의 연계를 통해 산업분야 내 특허의 확산패턴을 확인하였다. 인용특허에서 피인용특허의 역할을 확인하게 하는 산업분야내 기술분야의 확산패턴의 분석은 기술개발에 투입될 수 있는 제한된 자원을 선택적으로, 그리고 집중적으로 사용할 수 있는 논리적 기반을 제공해줄 수 있다.

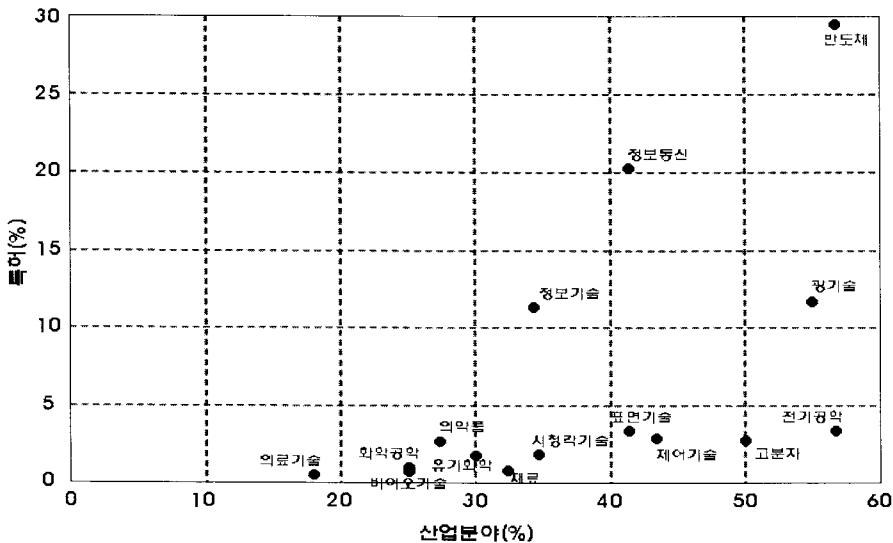
산업분야 내에서 기술분야의 지식확산 패턴을 살펴보기 위해, 기술분야 내에서 학문분야의 지식확산 패턴을 보여주는 과학확산지수의 개념을 확장하여 기술확산지수라는 개념을 적용한다. 이 기술확산지수는 피인용 특허가 속한 기술분야와 인용을 통해 연계

되어 있는 산업분야의 수로 표현될 수 있다. 기술확산지수가 높다는 것은 하나의 기술 분야와 지식흐름이 연계된 산업분야의 수가 많고, 다양한 산업과 관련성을 맺고 있으며, 기술의 응용범위가 넓다는 것을 의미한다. 반대로 기술확산지수가 낮다는 것은 특정의 기술분야와 연계된 산업분야의 수가 적으며, 산업에 대한 활용과 관련된 기술분야의 집중도가 높다는 것을 말한다. 기술확산지수를 다음과 같이 정의한다.3)

$$\text{기술확산지수} = \frac{\text{1개 기술분야와 인용연계된 산업분야의 수}}{\text{전체 기술분야와 인용연계된 전체 산업분야의 수(44)}}$$

<그림 4>에서 보면, 기술확산지수가 가장 큰 기술분야는 반도체와 전기공학이며, 광 기술 분야도 높게 나타나고 있다. 그 다음으로는 고분자, 제어기술, 정보통신 등이 뒤를 잇고 있다. 이들 분야는 기술의 산업활용이라는 측면에서 활발한 기술지식 확산의 패턴을 보이고 있으며, 산업분야 내에서 활용도가 높은 분야들이라고 추정할 수 있다.

[그림 4] 기술분야별 기술지식 확산패턴



3) 여기에서 기술분야의 경우 OST/INPI/ISI의 총 30개 분류를 적용하며, 산업분야의 경우는 ISI/OST/SPRU의 44개 제조업 분야 분류를 사용하기로 한다.

반도체와 전기공학 분야는 가장 많은 산업분야와 관련을 맺고 있는 것으로 나타났다. 특히 반도체 분야는 가장 많이 인용되는 기술분야로서 <표 3>에서 보는 바와 같이 다른 특허에 인용된 전체 특허 12,770건 중 30.0%인 3,828건을 차지하고 있으며, 한국인 특허를 인용한 다른 특허의 산업분야 44개 중 25개 분야(약 57%)에서 인용되었다.

<표 3> 기술분야별 기술지식 확산지수(상위 15개 기술분야)

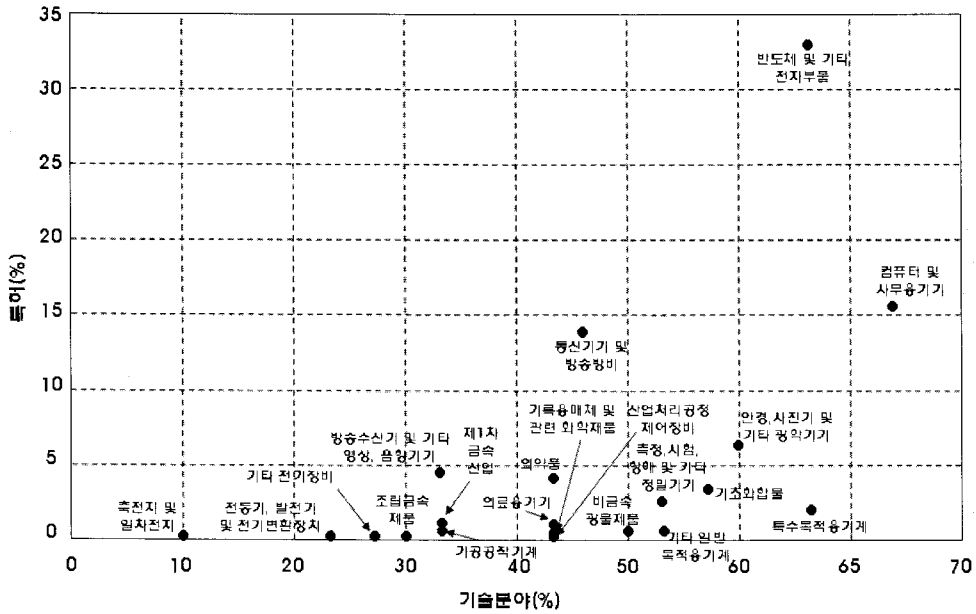
순위	기술분야	특허건수	특허비율	산업분야 수	기술지식확산지수
1	반도체	3,828	29.98	25	0.57
2	정보통신	2,561	20.05	18	0.41
3	광기술	1,503	11.77	24	0.55
4	정보기술	1,477	11.57	15	0.34
5	전기공학	499	3.91	25	0.57
6	표면기술	454	3.56	18	0.41
7	제어기술	408	3.19	19	0.43
8	고분자	330	2.58	22	0.50
9	의약품	327	2.56	12	0.27
10	시정각기술	248	1.94	15	0.34
11	유기화학	246	1.93	13	0.30
12	화학공학	177	1.39	11	0.25
13	바이오기술	147	1.15	11	0.25
14	재료	136	1.06	14	0.32
15	의료기술	75	0.59	8	0.18

5.2 산업분야의 지식흡수

기술분야와 산업분야 간의 연계를 통해 산업분야의 기술지식 흡수패턴을 분석하였다. 특정 산업분야에서의 기술지식 흡수패턴을 살펴보기 위해 앞에서 본 과학흡수지수의 개념을 확장하여 기술흡수지수의 개념을 적용하기로 한다. 기술흡수지수를 다음과 같이 정의하며, 이는 한 산업분야가 지니고 있는 기술지식 기반이 광범위한지, 혹은 협소한지를 나타낸다.

$$\text{기술흡수지수} = \frac{\text{1개 산업분야와 인용연계된 기술분야의 수}}{\text{산업분야에 인용된 특허가 분류된 전체 기술분야의 수(30)}}$$

[그림 5] 산업분야별 기술지식 흡수패턴



44개 산업분야에 인용된 특허기술은 전체 30개 기술분야 중 하나에 포함된다. <그림 5>는 특허를 가장 많이 인용한 15개 산업분야의 기술흡수 패턴을 보여준다. 특허가 가장 많이 인용되고 있는 상위 4개 산업분야가 인용된 전체 특허 중 70% 이상을 차지하고 있다. 가장 다양한 기술분야와 높은 연계를 보이는 산업분야는 컴퓨터 및 사무용기기 분야로 나타났다. 이 그림에서 보듯이 컴퓨터 및 사무용기기 분야는 가장 다양한 기술분야와 지식연계를 맺고 있으며, 그 다음으로 반도체 및 기타 전자부품, 특수목적용기계 등의 산업분야가 여러 다양한 학문분야와 지식연계를 맺고 있다.

특허건수 측면에서 가장 높은 산업분야는 <표 4>에서 볼 수 있는 바와 같이 반도체 및 기타 전자부품으로서, 전체의 33.5%(4,282건)를 차지하고 있으며, 다음으로는 컴퓨터 및 사무용기기와 통신기기 및 방송장비 분야가 각각 15.6%(1,996건)와 14.2%(1,813건)로서 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 반도체 및 기타 전자부품 산업과 컴퓨터 및 사무용기기 산업 등 2개 산업분야는 기술흡수 측면에서도 각각 63%와 67%의 기술분야로부터 지식을 활용하고 있는 것으로 나타나고 있어, 기술개발 활동과 지식흡수에 있어 가장 왕성한 분야로 평가될 수 있다.

<표 4> 산업분야별 기술지식 흡수지수(상위 20개 산업분야)

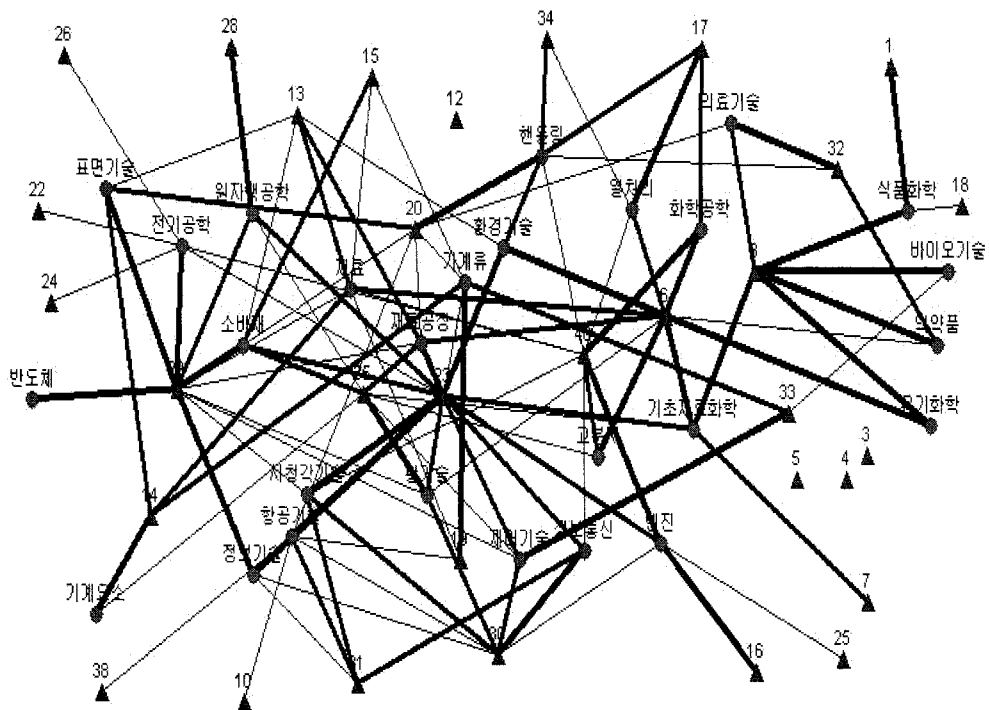
순위	산업분야	특허건수	특허비율	기술분야 수	기술지식 흡수지수
1	반도체 및 기타 전자부품	4,282	33.53	19	0.63
2	컴퓨터 및 사무용기기	1,996	15.63	20	0.67
3	통신기기 및 방송장비	1,813	14.20	13	0.43
4	안경, 사진기 및 기타 광학기기	787	6.16	18	0.60
5	방송수신기 및 기타 영상, 음향기기	615	4.82	10	0.33
6	의약품	565	4.42	13	0.43
7	기초화합물	488	3.82	17	0.57
8	측정, 시험, 항해 및 기타 정밀기기	330	2.58	16	0.53
9	특수목적용기계	271	2.12	19	0.63
10	제1차 금속산업	160	1.25	10	0.33
11	의료용기기	153	1.20	13	0.43
12	비금속광물제품	134	1.05	15	0.50
13	기타 일반목적용기계	97	0.76	16	0.53
14	가공공작기계	85	0.67	10	0.33
15	기록용매체 및 관련 화학제품	69	0.54	13	0.43
16	산업처리공정 제어장비	58	0.45	13	0.43
17	전동기, 발전기 및 전기변환장치	42	0.33	7	0.23
18	축전지 및 일차전지	42	0.33	3	0.10
19	기타 전기장비	37	0.29	8	0.27
20	조립금속제품	35	0.27	9	0.30

5.3 기술-산업 지식흐름 네트워크

기술과 산업 간의 지식흐름의 구조를 시각화하고 그 특성을 살펴보기 위해 기술과 산업분야 간의 지식흐름 행렬인 기술지식의 확산패턴을 바탕으로 네트워크 분석을 실시하였다. 이때 지식흐름 행렬은 기술에서 산업분야로 지식이 확산되는 정도를 나타내는 것으로서, 네트워크 분석을 위해 임계치를 5%로 설정하여 기술과 산업 간의 지식흐름을 파악하였다. 이에 따라 분석된 기술과 산업간 지식흐름 네트워크는 <그림 6>과 같다. 이 네트워크에서 원형으로 나타난 노드는 기술분야, 그리고 세모로 나타난 노드는 산업분야이며, 링크는 지식흐름의 존재 여부와 크기를 설명하고 있다.

이러한 네트워크 분석결과를 통해 기술과 산업 간의 지식흐름 연계관계를 살펴보면, 다음과 같다. 우선 기술분야의 지식이 산업분야에 확산되는 연계관계를 보면, 전기공학, 재료, 재료공학, 기계류, 소비재 등의 기술분야의 경우 상대적으로 다양한 산업분야로 기술지식을 확산하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이에 반해 반도체, 의료기술, 유기화학, 의약품, 식품화학, 열처리, 환경기술, 기계요소 등의 기술분야는 소수의 산업분야에 집중적으로 지식을 확산하고 있음을 알 수 있다. 한편, 산업분야 측면에서 기술지식을 흡수하는 관계를 보면, 컴퓨터 및 사무용기기(23), 기초화학물(6), 반도체 및 기타 전자부품(29) 등의 산업분야에 있어서 다른 산업분야에 비해 훨씬 다양한 기술분야로부터 기술지식을 흡수하고 있는 것으로 나타나고 있다.

[그림 6] 기술-산업 지식흐름 네트워크



주: 임계치(cut-off value) = 5.0%

VI. 과학-기술-산업의 연계관계 분석

6.1 과학-기술-산업 지식흐름의 연계

여기에서는 과학과 기술 간의 연계관계 분석결과와 기술과 산업 간의 연계관계 분석 결과를 결합한 과학-기술-산업 간의 연계관계를 분석함으로써 과학지식이 최종적으로 어떤 산업분야와 파급연계되고 있는지를 규명하고자 한다. 우선, 과학과 기술 간의 관계는 SCIE 학문분야 분류에 근거한 20개 분야의 주요 과학분야와 OST/INPI/ISI의 특허기술분류에 근거한 30개 기술분야간 관계를 과학논문과 특허 간의 연계관계를 통해 파악한 20×30 행렬로 표현하였다. 다음으로, 기술과 산업 간의 관계는 OST/INPI/ISI의 특허기술분류 30개 기술분야와 ISI/OST/SPRU의 산업분류에 근거한 44개 산업분야 간의 관계를 특허의 전방인용 관계를 통해 분석한 30×44 행렬로 표현하였다.

이상의 과학과 기술, 그리고 기술과 산업 간의 구체적인 관계는 각 과학분야와 기술 분야, 그리고 기술분야와 산업분야 간에 연계비율로 설명된다. 따라서 과학과 기술 간의 연계관계가 비율로 표시된 20×30 행렬과 기술과 산업 간의 연계관계가 비율로 표시된 30×44 행렬에 대하여 행렬연산을 수행할 수 있다. 이러한 연산과정은 과학에서 기술로, 그리고 산업으로의 지식흐름 연계관계를 보여주게 된다. 이는 특정의 과학분야 지식이 다양한 기술분야로 확산되고, 또한 각각의 기술분야는 다양한 과학분야로부터 과학지식을 흡수하는데, 과학지식을 흡수한 기술은 자신의 기술지식을 다시 새로운 산업영역에 제공하게 된다는 사실을 반영하여, 궁극적으로 과학지식이 산업영역으로 파급연계되는 관계를 보여준다.

6.2 과학-산업 지식흐름의 연계관계

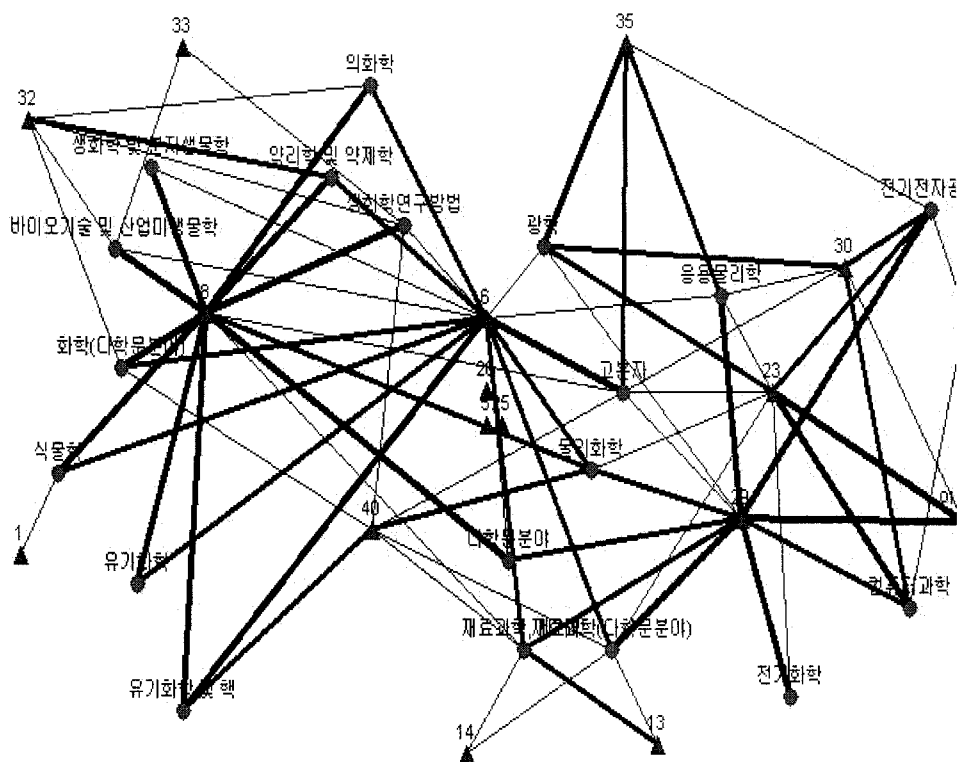
과학-기술 행렬과 기술-산업 행렬에 대하여 행렬 곱을 수행하면 최종적으로 20×44의 과학과 산업간의 행렬을 얻을 수 있다. 이 행렬은 주요 학문분야별 과학지식이 기술영역을 거쳐 산업영역으로 파급연계되는 지식흐름 패턴을 보여준다. 이는 과학 지식의 기술산업 확산패턴을 나타내는 것이라고 할 수 있다.

6.3 과학-산업 지식흐름 네트워크

과학지식이 기술지식을 통해 궁극적으로 산업혁신으로 연계되는 지식흐름의 구조를 시각화하고 그 특성을 살펴보기 위해 과학과 산업분야 간의 지식흐름 행렬인 과학-산

업 지식 확산 파급연계를 바탕으로 네트워크 분석을 수행하였다. 이때 지식흐름 행렬은 과학분야에서 산업분야로 지식이 확산되는 정도를 나타내는 것으로서, 네트워크 분석을 위해 임계치를 5%로 설정하여 과학과 산업 간의 지식흐름을 파악하였다. 이에 따라 분석된 과학과 산업간 지식흐름 네트워크는 <그림 7>과 같다. 이 네트워크에서 원형으로 나타난 노드는 과학분야, 그리고 세모로 나타난 노드는 산업분야이며, 링크는 지식흐름의 존재 여부와 크기를 보여준다.

[그림 7] 과학-산업 연계 네트워크



주: 임계치(cut-off value) = 5.0%

과학과 산업 간의 지식흐름 네트워크 분석결과를 통해 과학과 산업 간의 지식흐름 연계 관계를 살펴보면, 다음과 같다. 우선 과학분야의 지식이 산업분야에 확산되는 연계 관계를 보면, 고분자, 응용물리학, 재료과학(다학문분야), 재료과학·세라믹 등의 과학분야의 경우 다양한 산업분야와 지식흐름이 연계되고 있음을 볼 수 있다. 반면, 생화학 및 분

자생물학, 유기화학, 전기화학, 식물학 등의 과학분야의 경우 상대적으로 적은 분야의 산업과 지식흐름이 연계되고 있는 것으로 나타나고 있다. 반면, 산업분야 측면에서 과학지식을 흡수하는 관계를 보면, 기초화합물(6), 의약품(8), 컴퓨터 및 사무용기기(23), 반도체 및 기타 전자부품(29) 등의 산업분야에 있어서 매우 폭넓은 과학분야로부터 지식을 흡수하고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한, 통신기기 및 방송장비(3), 의료용기기(32), 안경, 사진기 및 기타 광학기기(35) 등의 산업분야도 상대적으로 다양한 과학분야로부터 지식을 흡수하고 있는 것으로 나타나고 있다.

VII. 요약 및 결론

과학과 기술, 그리고 산업의 지식은 그 생성의 특성이 크게 차이가 있다. 과학은 과학을 담당하는 사람들이 자신이 속한 집단에서 명성을 얻고 존재를 인식시키는 것을 목적으로 하기 때문에 문서로 표현되는 경향이 있는 반면, 기술은 과학에 비해 사유성과 암묵성이 강한 지식으로서 특허로 보호받기를 원하는 경향이 있다. 또한 산업지식은 산업 활동 과정에서 다양한 형태로 발생하는데, 그나마 관련지식의 축적이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다는 특징을 가지고 있다. 이처럼 과학과 기술, 기술과 산업은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으면서도 각 영역에서 발생하는 지식의 특성이 매우 상이하게 때문에 그 연계관계를 명확히 하는 일이 그리 쉽지 않은 것이 사실이다.

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. 과학지식 생산활동에 투입된 자원의 측정과 과학기술 연계구조의 규명을 통해 미래에 새롭게 부상할 기술을 예측하거나 과학기술의 상호작용에 따른 융합기술 출현을 예견하기 위한 모델의 구상도 가능할 것이다. 또한, 국가적 차원에서 기술혁신 시스템의 효율성 제고를 위한 과학기술 및 산업정책의 조정, 경제성장의 새로운 잠재력과 동력의 발굴을 위한 기초연구와 연구개발 투자의 선택과 집중을 도모하기 위한 정책적 수단을 마련해 줄 수 있을 것이다. 한편으로는, 지역간 기술혁신 연계관계 분석을 통한 기술협력 연계체제의 형성, 효율적 클러스터 전략의 수립 등에서 유효한 지침을 제시해 줄 수 있을 것이다.

특정의 산업영역에서 활동을 하는 기업에게는 자사의 기술기반과 가장 연계성 높은

기초기술력 확보를 위한 대학과의 공동연구 수행 등, 산학연 협력을 효율적으로 추진하고 미래 유망기술을 예측함으로써 경쟁력 강화를 추진할 수 있는 전략적 도구를 제공해 줄 수 있을 것이다.

본고는 비체화된 과학기술 지식의 흐름에 대한 계량정보학적 접근을 통해 기술혁신의 연계구조를 밝히는데 목적을 두었다. 그러나 현실에 있어서 과학기술이 기술혁신을 이끄는 경로는 다양하게 존재하는 것이 사실이다. 또한 과학연구를 위한 자원의 배분이 기술개발에 영향을 미치는데, 그 과정에서 권력과 같은 정치적 요소가 개입할 수 있으며, 한편으로는 기술이 산업화되는 과정에서 문화적 요소가 작용할 수도 있다. 향후 과학기술 지식흐름에 관한 연구에서는 이러한 다양한 차원에서의 거시적 접근이 기대된다고 할 수 있다.

참고문헌

- Beise, M., and H. Stahl (1999), "Public Research and Industrial Innovations in Germany," *Research Policy*, 28(4), 397-422.
- Bergeron, S., S. Lallich and C. Le Bas (1998), "Location of Innovating Activities, Industrial Structure and Techno-industrial Clusters in the French Economy, 1985-1990. Evidence from US Patenting," *Research Policy*, 26(7-8), 733-751.
- Brooks, H. (1994), "The Relationship between Science and Technology," *Research Policy*, 23, 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), 180-185.
- Davies, S. (1979), *The Diffusion of Process Innovations*, London: Cambridge University Press.
- 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), 109-123.
- Howells, J. (1996), "Tacit Knowledge, Innovation and Technology Transfer," *Technology Analysis and Strategic Management*, 8(2), 91-106.
- Gibbons, M. and R. Johnston (1974), "The Roles of Science in Technological Innovations," *Research Policy*, 3, 220-242.
- Grupp, H. and U. Schmoch (1992), "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, 73-128.
- Jaffe, A. (1989), "Real Effects of Academic Research," *Academic Economic Review* 79, 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.
- Malo, S. and A. Geuna (2000), "Science-technology Linkages in an Emerging Research Platform: The Case of Combinatorial Chemistry and Biology," *Scientometrics*, 47, 303-321.
- Mansfield, E. (1995), "Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics and Financing," *Review of Economics and Statistics*, 77(1), 55-65.
- Mansfield, E. (1963), "Intrafirm Rates of Diffusion of an Innovation," *Review of Economics and Statistics*, 45, 348-354.

- Mansfield, E. (1961), "Technological Change and the Rate of Imitation," *Econometrica*, 29, 741–766.
- Meyer, M. (2000), "What is Special about Patent Citations? Difference between Scientific and Patent Citations," *Scientometrics*, 49(1), 93–123.
- Nadiri, I. M. (1993), *Innovations and Technological Spillovers*, NBER Working Paper 4423.
- Narin, F. (1994), "Patent Bibliometrics," *Scientometrics*, 30(1), 147–155.
- Narin, F. and E. Noma (1985), "Is Technology Becoming Science?" *Scientometrics* 7(3–6), 369–381.
- 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., K. S. Hamilton, and D. Olivastro (1995), "Linkage between Agency Supported Research and Patented Industrial Technology," *Research Evaluation*, 5(3), 183–187.
- Nasbeth, L. and G. F. Roy (1974), *The Diffusion of New Industrial Process: An International Study*, London: Cambridge University Press.
- Pavitt, K. (1998a), *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, 553–568.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do Companies do Basic Research with their Own Money?," *Research Policy*, 19, 165–174.
- Rosenberg, N. and R. R. Nelson (1994), "American Universities and Technical Advance in Industry," *Research Policy*, 23(3), 323–348.
- Scherer, F. M. (1982), "Inter-industry Technology Flows and Productivity Measurement," *Review of Economics and Statistics*, 64, 627–634.
- Schmoch, U. (1993), "Tracing the Knowledge Transfer from Science to Technology as Reflected in Patent Indicators," *Scientometrics*, 26(1), 193–211.
- Schmookler, J. (1966), *Inventions and Economic Growth*, Cambridge, MA: Harvard Business Press.
- Stoneman, P. (1983), *The Economic Analysis of Technological Change*, London: Oxford University Press.
- Tijssen, R. J. W. (2001), "Global and Domestic Utilization of Industrial Relevant Science: Patent Citation Analysis of Science–technology Interactions and Knowledge
- Van Raan, A. F. J. (1998), ed., *Handbook of Quantitative Studies on Science and*

Technology, Amsterdam: Elsevier Science Publisher.

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.

Verspagen, B. and I. De Loo (1999), "Technology Spillovers between Sectors and over Time," *Technological Forecasting and Social Change*, 60, 215–235.