

특허를 통한 연료전지 기술혁신과정의 동태적 분석

윤성필 · 박종구

서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

Dynamic Patent Analysis on Fuel Cell Innovation System

Yoon, Seong-Pil · Jung-Gu Park

*The Graduate School of Energy and Environment,
Seoul National University of Technology*

I. 서론

지속가능성장을 위해서는 에너지에 대해 수급 안정성 측면에서뿐만 아니라 산업적 측면에서 제조업의 시각으로 바라보는 노력이 필요하다. 또한 에너지 특유의 기술혁신시스템에 대한 심층적인 연구를 토대로 성과지향적인 R&D 기반을 다져야 한다. 그러기 위해서는 새롭게 떠오르는 분야들에 대해 기술혁신의 동태적 분석을 통해 기술개발의 궤적을 밝히고 기술혁신주체간의 상호 네트워크에 대해 분석하는 연구가 필요하다. 본 논문은 기술시스템 (Technological System: TS) 관점에서 기술 키워드들 간의 상관관계 분석을 통해 한국의 연료전지 기술의 동태적 발전 양상을 분석하고자 한다. 1971년부터 2005년까지 연료전지와 관련한 미국 등록 특허를 수집하여 전체 연료전지 기술의 키워드를 도출하고, 1991~1995년, 1996~2000년, 2001년~2005년의 3구간으로 나누어 각 구간의 핵심 키워드들 간의 상관관계를 통해 기술 네트워크의 특징을 분석하였다. 한국의 연료전지 기술은 molten carbonate, temperature, lithium 등의 기능과 재료에서 MCFC, SOFC 등 제품 중심의 연구를 거쳐 membrane 쪽으로 기술의 관점이 변화해가는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 특허분석을 통해 기술혁신시스템의 동태적인 변화추이를 분석하고 향후 세계 각국의 기술시스템을 상호비교 한다면 한국 에너지 산업이 세계적인 경쟁력을 확보하기 위한 R&D 전략수립의 사전연구로 활용할 수 있을 것이다.

II. 기존 연구

혁신에 대한 시스템적 접근방법중 TS(Technological Systems : Carlsson and Stankiewicz, 1991; Hughes, 1983)는 주로 기술기반형 혁신들, 즉 철도, 전기 grid, 통신시스템 등이 어떻게 등장하고 진화하는지를 설명하는 방법이다. TS는 지식/능력, 산업적 네트워크, 그리고 제도적 하부구조 등 세 가지 요소로 구성되고 기술의 창출, 혁신, 그리고 확산의 단계를 거치면서 진화하면서 이러한 과정에서 상호 네트워킹이 발생한다. TS상에서 기술변화를 추적하기 위해 Jaffe & Tragtenberg(2002)는 특허를 활용하였다. 특허분석은 기술적인 의사결정과 연구개발의 경제성 평가에 자주 적용되며, 특히 기업수준에서 자사와 경쟁사의

기술우위를 평가하고 기업의 기술혁신활동을 기획하는 데 많이 사용되고 있다(Mogee, 1991). 또한 Kostoff et al.(2004)은 기술로드맵과 텍스트마이닝 기법을 결합하여 와해성 기술(disruptive technology)를 찾고자 하는 체계적 방법론을 제시하였다. 텍스트마이닝은 텍스트 형태로 된 데이터로부터 특정 유형을 발견해 내고 그 결과를 시각화하기 위한 기법(Losiewicz et al., 2000; Yoon et al., 2002)이며 주로 지적자산을 다루기 위한 목적으로 활용되어 왔다(Feldman et al., 1998). 또한 이러한 방법론을 특허정보와 연계하여 추출된 주요 키워드들이 시간에 따라 어떻게 진화해나가는지를 보여주는 한편, co-word 분석을 통해 제품과 기술의 특성이 서로 연관되는 것을 보이게 하는 연구들이 최근에 등장하기 시작했다. Zhu & Porter(2002)는 텍스트마이닝을 통해 특허문서를 분석하고, 유용한 정보를 재가공하여 기술예측을 도와주는 시스템을 제안하였다. 이후 이승훈(2005)은 특허정보를 바탕으로 반복 유형으로서 키워드를 찾아내고, 기술지도학의 한 분야인 co-word 분석을 활용하여 시각화하고자 하였다. 기술지도학은 공간적으로 표현하기 힘든 추상적 개념을 시각화하기 위한 여러 정보 시각화(information visualization) 방법 중 하나로 특정 기술 도메인의 구조를 시각화하는 방법론(Engelsman & van Raan, 1994)이며, co-word 분석법은 주제 분야의 문헌에 속한 키워드나 분류코드 등의 동시출현 결과를 이용하여 2차원에 매핑하는 방법(Ding et al., 2001)이다. 최근에 나온 이러한 논문들은 과거의 통계적 분석에 치중해온 특허 분석을 시스템적 관점에서 해석하거나 지수화하여 방법론 개선을 도모한 것이 특징이다.

한편, 에너지 분야인 연료전지에 관해서도 특허분석을 통해 혁신시스템적 관점에서 기술발전의 패턴을 살피고자 하는 노력들이 최근에 나타나고 있다. 영국에서는 연료전지 특허를 조사하여 사업화 지표로서 특허포트폴리오를 사용하고자 하는 시도가 있었다.(A. Pilkington, 2004) 또한 노르웨이에서는 1990년부터 2002년까지 자국의 대표적인 연료전지와 수소기술 R&D 프로젝트의 특허성과를 바탕으로 기술의 발전을 분석하였다.(Helge Godoe, Stian Nygaard, 2006)

III. 연구 분석 방법론

본 논문은 기술기반형 혁신들, 즉 철도, 전기 grid, 통신시스템 등이 어떻게 등장하고 진화하는지를 설명하는 방법인 TS 관점에서 연료전지 기술을 검토하고자 한다. 구체적으로 1970년 대 이후 미국 특허청에 등록된 특허를 바탕으로 한국의 연료전지 기술 발전과정에서 시기별로 어떻게 변화되어 왔는지를 동태적으로 분석하고자 한다. 이러한 분석을 위해 1단계로 1971년부터 2005년까지 연료전지 기술과 관련된 미국 특허청 등록 특허 자료 3,173건을 한국특허정보원으로부터 입수하였다. 검색식((fuel<near/1>cell) and h01m8/*)의 결과로 추출된 이 특허를 대상으로 DB 형태로 가공하는 한편, 2단계인 데이터 추출단계에서는 검토한 특허자료로부터 필요한 주요 키워드를 추출해냈다. 3단계는 데이터 변환 단계로서 문서에서 키워드간의 동시출현 횟수를 측정하여 co-word 행렬을 작성(Borner et al., 2003)하고, 이를 정규화(normalizing)하였다. 4단계에서는 네트워크 기법을 사용하여 2차원 상에 정규화된 co-efficient 행렬을 표현하는데, 이 때 각각의 키워드들은 유사한 키워드끼리 서로 연결된 네트워크 형태로 나타나게 된다. 마지막 단계로는 특허분석의 주요 지표들을 활용하기 위하여 DB를 재구성하여 한국연료전지 기술혁신시스템을 구체적으로 설명하고자 하였다.

1. 키워드 네트워크 분석

우선 연료전지에 관한 1971년부터 2005년까지 미국 등록특허를 추출하여 연도별로 등록특허의 빈도를 파악하였다(<표 1> 참고). 대상 특허의 수는 3,173개이며 국별로 보면 미국이 1,602건으로 가장 많으며, 일본 851건, 독일 239건, 캐나다 188건, 영국 45건의 순이고 한국의 연료전지 특허는 총 29건이 추출되었다. 본 논문에서는 한국의 연료전지 기술의 발전에 대해 동태적인 관찰을 위해 5년 구간으로 나누어 1991~1995, 1996~2000, 2001~2005년 각 구간에 대해 한국 연료전지 기술의 네트워크를 분석하였다.

<표 1> 연도별 특허분석추이 분석결과

	1971~ 1975	1976~ 1980	1981~ 1985	1986~ 1990	1991~ 1995	1996~ 2000	2001~ 2005	합계
전체	51	103	187	269	374	926	1263	3173
미국	33	67	126	150	138	455	633	1602
일본	5	5	49	88	139	218	347	851
독일	6	6	4	9	23	108	83	239
캐나다	0	0	0	3	27	54	104	188
영국	0	1	4	1	15	15	9	45
한국	0	0	0	0	3	7	19	29

첫 번째 단계로 텍스트마이닝 툴(TextAnalyst 2.1)을 활용하여 특허문서들의 초록으로부터 키워드를 추출하였다. 하나의 특허문서는 발명가(inventor), 초록(abstract), 청구항(claim), 인용정보(references cited), 발명의 묘사(description) 등으로 구성되는 데, 그 중 초록에는 해당 특허가 보호하는 발명과 관련된 기술 및 제품에 대한 용어가 집약적으로 표현되어 있어 텍스트마이닝으로 분석하기에 적합하다(이승훈, 이성주, 박용태, 2006). 총 특허 3,173건의 초록에서 도출된 키워드들을 57개로 정리하였으며 이것을 다시 42개로 선별하였다.

두 번째 단계로 특허문서의 텍스트 마이닝 결과를 시각화하기 위해 Co-word 분석을 수행하였다. Co-word 분석은 주제 분야의 문헌에 속한 키워드나 분류코드 등의 동시 출현 결과를 이용하여 2차원에 매핑하는 방법이다. 이를 위해서는 특허 초록에서 각 키워드들의 동시 출현 횟수를 측정하여 행렬의 (i,j)위치에는 행 i의 키워드와 열 j의 키워드가 동시에 출현하는 문서의 수를 입력한 co-word 행렬을 작성(Borner et al., 2003)하고 아래의 Salton Index를 활용하여 co-efficient 행렬로 변환한다.

$$Sim(x,y) = \frac{C_{xy}}{\sqrt{C_x C_y}}$$

여기서 x, y는 keyword, C_{xy} 는 동시출현횟수, C_x 와 C_y 는 키워드 x와 y의 출현횟수를 의미한다.

이 작업을 통해 각각의 행렬내부의 값을 정규화하게 되고 키워드들의 직접적인 상관관계를 나타낼 수 있다. 마지막으로 매핑 단계에서는 Ucinet 6.0을 사용하여 2차원 상에 정규화된 co-efficient 행렬을 표현하는데, 이 때 각각의 키워드들은 유사한 키워드끼리 서로 연결된 네트워크 형태로 나타나게 된다(<표 2> 참조).

<표 2> co-efficient matrix

	membrane	electrode	polymer	anode	catalyst	electrolyte
membrane	1	0.6	1	1	1	0.5
electrode	0.6	1	1	0.5	0.666667	0.75
polymer	1	1	1	0	1	0.5
anode	1	0.5	0	1	0.5	0
catalyst	1	0.666667	1	0.5	1	0.333333
electrolyte	0.5	0.75	0.5	0	0.333333	1

네트워크 표현 방식으로는 다차원척도법(MDS : Multi-Dimensional Scaling)으로 다변량 자료를 저차원공간(대부분 2차원의 x-y공간)에 표현하였다. 이렇게 하면 서로 얼마나 다른 특성을 가지고 있는지가 네트워크 상의 거리(geodesic distance)로 표현된다.

2. 특허 정량 분석

보다 정교한 분석을 수행하기 위해 연료전지 기술 분류에 따라 특허 DB를 재정리하였다. 연료전지의 기술 분류는 연료처리장치, 운전장치(BOP), 스택(STACK)으로 크게 나뉘며 각각의 세부 요소기술은 <표 3>과 같다. 이에 따라 기계적으로 필터링한 특허를 바탕으로 한국의 연료전지 세부기술과 주요 혁신주체에 대한 심층적인 분석을 수행하였다.

<표 3> 연료전지의 구성 및 요소기술의 분류

구 성	대분류 기술	요소 기술
연료처리장치	수소저장 기술	수소 압축, 액화수소기술, 특수금속 활용기술
	수소개질 기술	고온 수증기 개질, 부분산화 개질, 자동발열 개질기술
운전장치	운전장치(BOP) 기술	연료공급제어, 공기공급제어, 전력변환, 전지냉각, 수처리기술 등
스택	스택기술	MEA(촉매/전극, 공기확산층, 전해질), 세퍼레이터 기술

[자료 : 한국과학기술정보연구원]

먼저 각 특허의 출원인을 분석하여 한국의 연료전지 기술의 혁신주체를 파악한 후, 특허당 피인용 수(Cites per Patent: CPP)와 특허패밀리규모(Patent Family Size: PFS)를 구하였다. CPP는 분석 대상의 특허가 이후 기술혁신 활동에 어느 정도 영향을 미쳤는지를 보여주는 지표로 특허의 기술적 중요성과 특정 국가 또는 기업의 기술혁신 활동의 수준을 파악하는데 활용할 수 있다.

$$CPP_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} C_i}{n_t}$$

여기서 n_t 은 t 연도에 등록된 특허 건수, C_i 는 i특허의 피인용 수를 의미한다.

또한 FPS는 특허의 보호범위에 관한 지표로서 혁신활동의 성과물을 보호하기 위한 패밀리 규모를 파악하여 패밀리 규모가 큰 특허는 기술적 중요성과 가치가 높으며 지적재산으로서의 시장확보력이 높다고 추정할 수 있다.

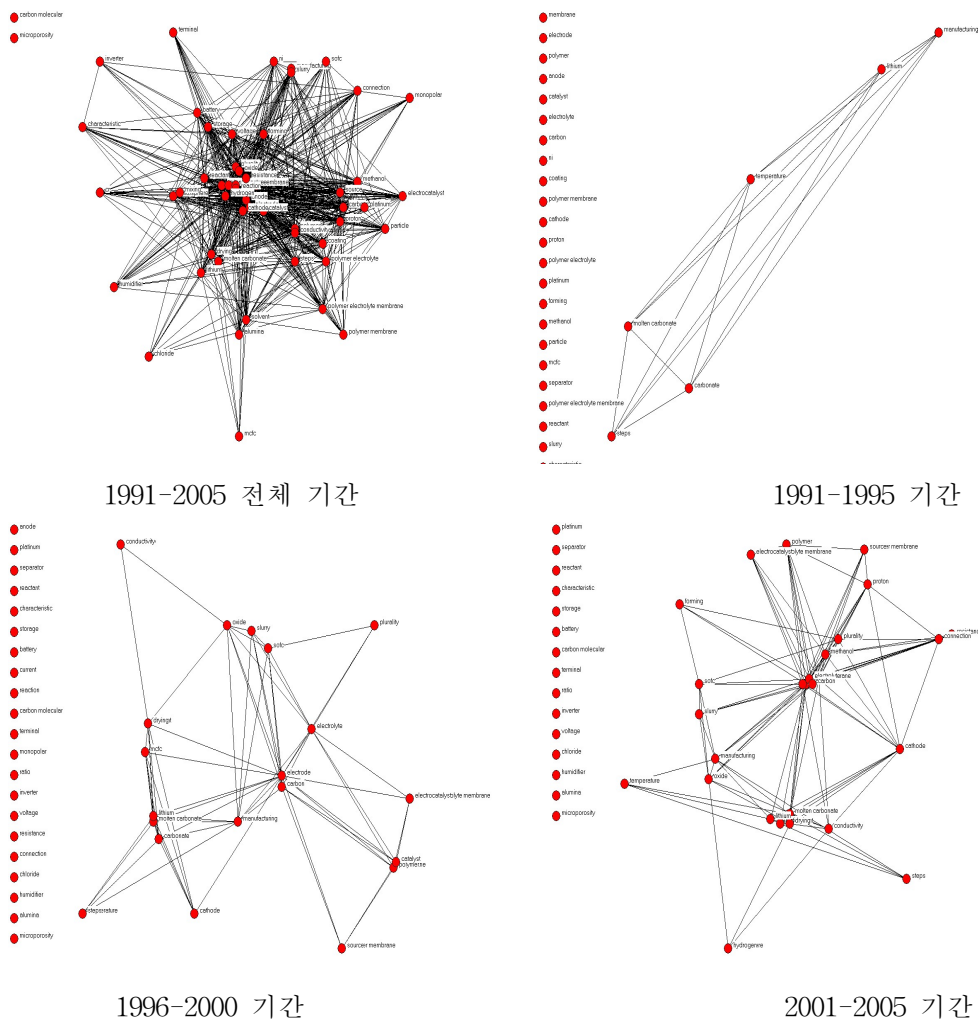
$$PFS = \frac{\sum_{i=1}^N F_i}{N}$$

여기서 N은 특허 건수, F_i 는 i특허의 패밀리가 형성되어 있는 국가 수를 의미한다.

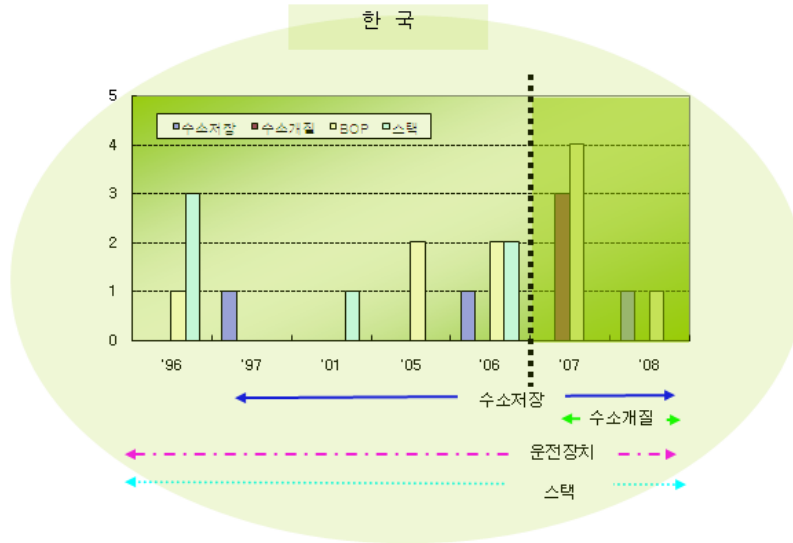
IV. 분석 결과

한국은 1991-1995년 사이에 3건의 연료전지 논문을 등록하였으며 이 과정에서 나온 기술 키워드들간의 네트워크를 분석하여 보면 molten carbonate, temperature, lithium, manufacturing, steps 등의 키워드들이 상호 연관관계를 가지고 있다는 것을 볼 수 있다. 이후 1996-2000년 기간에는 7건이 등록되면서 MCFC, SOFC 등의 제품분류 중심으로 네트워크가 형성되기 시작하며 electrolyte, carbon, electrode가 기술네트워크의 중심을 차지하게 된다는 것을 볼 수 있다. 2001-2005년 기간에 들어 19건으로 특허등록건수가 늘어나면서 polymer와 membrane으로 기술의 관점이 전환되고 있음을 볼 수 있다. 또한 forming과 proton이 네트워크를 갖기 시작한 단계라고 볼 수 있다.([그림 1] 참조)

[그림 1] 한국의 연료전지 특허의 기술네트워크와 변화

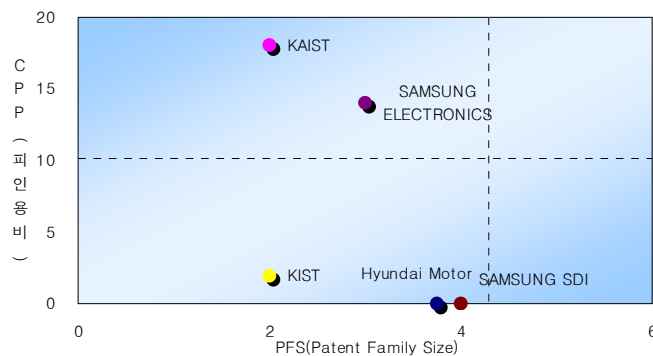


[그림 2] 한국의 기술분야별 특허현황



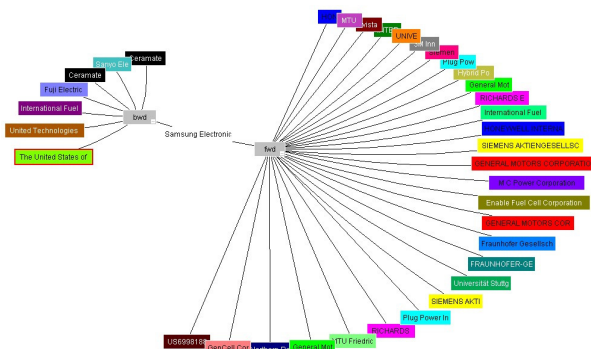
기술분류상으로 확인하면 한국의 연료전지 특허는 1996년부터 운전장치와 스택 기술로 시작되어 수소저장기술은 1997년, 수소개질은 최근인 2007년에서야 등장하기 시작하였다.([그림 2] 참조) 또한 KAIST, LG 전자, 현대자동차가 수소저장기술 분야에서, KIST와 삼성SDI가 수소개질분야에서, 현대자동차, 삼성전자, LG전자, 삼성SDI가 운전장치(BOP)분야에서, 퓨얼셀파워, 현대자동차, 에너지기술연구원이 스택부문에서 주요 혁신주체로 나타났다. 각 혁신주체에 대해 CPP와 FPS를 활용하여 포트폴리오 분석을 한 결과 LG전자, 삼성SDI, 현대자동차는 패밀리규모인 PFS가 각각 4.5, 4, 3.75로 높게 나타나 시장확보력이 강하며, KAIST와 삼성전자는 피인용도인 CPP가 각각 18, 14로 나타나 질적 수준이 높게 나타났다. ([그림 3] 참조)

[그림 3] 한국 연료전지 혁신주체들의 기술영향력과 시장성 확보



대표적인 예로 삼성전자의 US5543240 특허는 1996년에 등록된 연료전지 스택에 관한 특허로서 레퍼런스로는 7개 특허를 바탕으로 하였지만 이 특허의 피인용특허는 2007년 11월까지 29개에 달한다.([그림 4] 참조) 삼성전자는 이 기술을 산요전기와 후지전기의 2개 일본기업과, United Technologies, International Fuel Cell, Ceramtec, DOE 4개 미국기업과 기관으로부터 참조했다.

[그림 4] US5543240의 인용/피인용 관계 분석



그러나 상대적으로 최근에 등록된 현대자동차, 삼성SDI, KIST의 특허의 피인용비는 낮다. 이 점은 한국의 특허등록이 최근들어 증가하는 추세이며 시간이 지나면서 인용특허가 늘어난다는 점을 감안한다면 CPP분석의 한계인 평균적 가치를 기준으로 기술개발 활동의 양적 측면이 간과된다는 약점이 드러난 것으로 추정된다.

V. 결론 및 시사점

본 논문에서는 한국의 연료전지 기술에 대해 특허분석 기법들을 활용하여 기술의 변화과정을 밝히는 한편, 연료전지 기술혁신시스템에서 각 혁신주체들을 규명하고, 심층적인 지표분석을 통해 주체들의 혁신역량을 파악하고자 하였다. 그 결과 한국의 연료전지 기술은 molten carbonate, temperature, lithium, manufacturing의 키워드를 중심으로 발전하기 시작하였으며, MCFC, SOFC 등의 제품분류 중심으로 기술네트워크가 강화되고 새롭게 electrolyte, carbon, electrode가 기술네트워크의 중심으로 부각된 후 polymer와 membrane으로 기술의 관점이 전환되고 있음을 밝혔다. 또한 주요한 혁신주체로는 수소저장에서는 KAIST, LG 전자, 현대자동차, 수소개질에서는 KIST와 삼성SDI, 운전장치(BOP)에서는 현대자동차, 삼성전자, LG전자, 삼성SDI, 스택에서는 퓨얼셀파워, 현대자동차, 에너지기술연구원등이며 KAIST와 삼성전자의 피인용도가 각각 18, 14로 나타나 특허의 질적 수준이 높다는 것을 확인하였다. 이상의 결과를 바탕으로 에너지 산업에서도 제조업 기반의 방법론인 특허분석을 활용하여 기술혁신의 패턴을 동태적으로 밝힐 수 있다는 점을 연료전지 기술을 사례로 보였다. 이러한 분석방법은 에너지 분야의 R&D의 성과분석이나 기획을 위한 사전조사 방법론의 프레임워크로 활용할 수 있을 것이다. 본 논문의 분석은 한국의 연료전지 기술혁신의 변화를 보이고 주체의 역량을 밝히는데 국한되어 기술혁신시스템 전반을 보여주는 데에는 한계를 보였으며 향후 각 혁신주체들간의 네트워크, R&D 투입과 성과, 제도 변화에 대한 분석이 새롭게 보완된다면 기술의 흐름과 지식스톡의 성과까지 결합한 기술혁신시스템의 분석이 가능할 것이다.

참고문헌

1. Carlsson, B., Stankiewicz, R., *On the nature, function and composition of technological systems*. Journal of Evolutionary Economics 1 (2), 93-118, (1991)
2. Hughes, T.P., *Networks of Power-Electrification in Western Society 1880-1930*,

- John Hopkins University Press, Baltimore, MD, (1983)
3. Jaffe, A. and Tragtenberg, M., *Patents, citations & innovations: a window on the knowledge economy*, Cambridge, The MIT Press, (2002)
 4. Moge, M., *Using patent data for technology analysis and planning*, Research-Technology Management 34, 43-49., (1991)
 5. Kostoff, R. N., Boylan, R., and Simons, G. R., *Disruptive Technology Roadmaps*, Technological Forecasting and Social Change 71(1), 141-159., (2004)
 6. Losiewicz, P., Oard, D., and Kostoff, R., *Textual data mining to support science and technology management*, Journal of Intellectual Information System 15, 99-119., (2000)
 7. Yoon, B., Yoon, C., and Park, Y. (2002), *On the development and application of a self-organizing feature map-based patent map*, R&D Management 32(4), 291-300.
 8. Feldman, R., Fresko, M., Hirsh, H., Aumann, Y., Liphstat, O., Schler, Y., and Rajman, M., *Knowledge management: a text mining approach*, Proceeding of the 2nd International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management, Basel, Switzerland., (1998)
 9. Zhu, D. and Porter, A., Automated extraction and visualization of information for technological intelligence and forecasting, *Technological Forecasting and Social Change* 69, 495-506. (2002)
 10. 이승훈, 이성주, 박용태, “차세대 제품과 기술기획을 위한 특허정보의 활용: 키워드 기반 기술로드맵핑 접근”, 추계 산업공학회, (2005)
 11. Engelsman, E. C. and van Raan, A. F. J., *A Patent-based Cartography of Technology*, Research Policy, 23(1), 1-26. (1994)
 12. Ding, Y., Chowdhury, G. G., and Foo, S., *Bibliometric Cartography of Information Retrieval Research by Using Co-word Analysis*, Information Processing and Management 37 (6), 817-842. (2001)
 13. A. Pilkington, *Technology portfolio alignment as an indicator of commercialisation: an investigation of fuel cell patenting*, Technovation 24, 761-771, (2004)
 14. Helge Godoe, Stian Nygaard, *System failure, innovation policy and patents : Fuel cells and related hydrogen technology in Norway 1990-2002*, Energy Policy 34, 1697-1708, (2006)
 15. Sungjoo Lee, Seonghoon Lee, Hyeonju Seol, and Yongtae Park, *Using patent information for designing new product and technology: Keyword-based technology roadmapping*, R&D Management, Vol.38, No.2, (2008)
 16. Bart Verspagen, *Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks. A Study on the History of Fuel Cell Research*, MERIT-infonomics Research Memorandum Series, (2005)
 17. 성태경, “혁신시스템 이론의 비교분석과 정책적 시사점”, 과학기술정책연구원, (2005)
 18. 한국특허정보원, “특허분석방법론 개발 및 사례연구”, (2005)
 19. 손재익, “수소·연료전지 기술”, Korean Chem.Eng. Res., Vol 42, No 1, pp. 1-9, (2004)