

Co-Classification 방법을 이용한 태양전지 연구의 학제간 다양성 분석

김민지*, 박정규, 이유아, 허은녕**

Co-Classification Analysis of Inter-disciplinarity on Solar Cell Research

Minji Kim*, Jungkyu Park, Youah Lee, Eunnyeong Heo**

Abstract

Technology is developed from the efficient interaction with other technology files while building up its own research field. This study analyzes the structure of solar cell research area and describes its paths of the technology development in terms of interdisciplinary diversity using the Co-Classification method during 1979-2009. As a results, 1,380 studies are determined as the interdisciplinary among the 2,605 studies. It shows that 52.98% of the solar cell researches have interdisciplinary relationships with two or more research fields. In addition, we show that the research area of solar cell technology is composed by Material Science, Multidisciplinary and Energy & Fuel, Physics, Applied, Chemistry, Physical from the Co-Classification matrix and network analysis. It means the complexity of the technological knowledge production increased with the concept of interdisciplinary. The results can be used for the planning of the efficient solar cell technology development..

Key words

Co-Classification(동시분류), Solar cell(태양전지), Inter-disciplinarity(간학문성), Bibliometrics(계량서지적), Social Network analysis(사회 네트워크 분석)

(접수일 2011. 2. 24, 수정일 2011. 3. 15, 게재확정일 2011. 3. 15)

* 서울대학교 에너지시스템공학부 석사과정

■ E-mail : min856@snu.ac.kr ■ Tel : (02)880-8284 ■ Fax : (02)882-2109

** 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수

■ E-mail : heoe@snu.ac.kr ■ Tel : (02)880-8284 ■ Fax : (02)882-2109

1. 서론

태양전지는 태양 광선의 빛 에너지를 전기에너지로 바꾸는 장치로 태양광 발전 Value Chain의 핵심 요소이다. 태양광 산업의 세계시장 규모가 급속한 확대와 함께 태양전지 기술 개발의 중요성이 강조 되고 있다. 더욱이 최근 폴리실리콘의

가격 급등으로 높아진 태양광 발전의 발전단가를 낮추기 위하여, 박막형 실리콘 태양전지, 염료 감응형 태양전지, 유기 태양전지 등에 대한 적극적인 기술개발을 통한 기술진화가 이루어지는 추세이다(주대영, 2008). 우리나라의 경우 반도체, LCD 등 연관산업의 경쟁력을 바탕으로 선진국과의 기술 수준을 극복하기 위기 위해 노력하고 있다. 제 3차 신·재생에

너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획에서는 태양전지를 R&D 중점 연구 분야로 선정하여 연구개발에 대한 적극적인 투자가 이루어지고 있다.

태양전지 분야의 연구개발 투자를 통해 실용화 가능한 기술을 확보하기 위해서는 효율적인 연구개발 기획이 요구된다. Porter and Cunningham(2005)의 연구에서는 연구개발 기획의 주요인자로 명확한 연구영역의 이해가 필수적으로 이루어져야 한다고 언급하고 있다. 기술의 연구영역은 효율적 네트워크 구축을 통해 변화 및 발전이 가능하며, 이를 바탕으로 형성된 연구 영역간 네트워크는 지식 확산 및 진화의 기본이 되기 때문이다(Acs, 2002).

이러한 중요성을 바탕으로 다양한 분야에서 연구영역의 분석이 이루어졌다. 대표적인 연구로는 에너지분야의 연구구조를 분석한 Tijssen(1992)의 연구와 지구물리학 분야의 연구구조를 분석한 R.Todorov, M.Winterhager(1990)의 연구가 있다.

태양전지 분야의 경우에는 최근에 와서야 Kajikawa(2007), Katarina Larsen(2008)의 연구에서 학제간 다양성을 분석하기 위한 연구들이 시도되고 있다. Kajikawa(2007)는 인용 네트워크 분석(Citation Network Analysis) 방법을 적용하여 태양전지와 연료전지의 연구영역을 설정하였다. Katarina Larsen(2008)의 연구에서는 Co-Authorship 방법론을 이용하여 나노구조화된 태양전지 기술의 연구영역 및 학제간 구조를 분석하였다. 다른 기술영역들에서는 다양한 방법론과 접근을 바탕으로 어느 정도 연구영역에 대한 합의가 이루어지고 있지만, 태양전지의 경우에는 학제간 연구영역 분석을 위한 시도가 많이 부족했음을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 방법론의 우수성에도 불구하고 태양 전지의 연구영역 분석에 적용되지 않았던 Co-Classification 방법론을 통해 태양전지의 연구구조 및 학제간 다양성 분석을 시도하였다.

본 연구에서 적용한 Co-Classification 방법은 계량서지학적 분석방법의 하나로 문헌의 내용에 따라 일정한 분류기준으로 구분하여 연구영역 또는 분야 간 네트워크를 파악하는 방법론이다. 동일한 저자의 연구영역을 추적하는 Co-Authorship 방법이나, 공동 인용횟수를 분석하는 Co-Citation 방법에 비해 직접적으로 내용을 기준으로 연구 영역 구분을 이용하기 때문에 기술의 실제 범위를 가장 잘 표현할 수 있다는 장점이 있다. 태양 전지의 경우 물리화학, 재료공학 등의 큰 분류에서의 연구영역간 네트워크 결합이 이루어지는 부분이며

로, Co-Classification 방법이 연구 영역 분석에 적합할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 Co-Classification 방법을 적용하여 태양전지의 학제간 다양성을 분석하는 것이다. 분석자료는 ISI (Institute for Scientific Information staffs)의 1979~2009년 태양전지관련 논문을 대상으로 하였으며, 연구 영역은 ISI에서 부여한 Subject Category(SC)를 기준으로 분류하였다. 또한 분석기간을 5구간으로 구분하여 기간의 변화에 따른 연구영역 구축경향을 파악하였으며, 연구영역의 관계는 네트워크 방법을 적용하여 효과적으로 표현하고자 하였다.

연구의 전개는 다음과 같다. 2장은 선행연구 및 방법론 소개, 3장은 자료구성 및 분석결과, 그리고 4장에서는 결론 및 정책적 함의에 대해 기술하였다.

2. 방법론

계량서지학적 방법론은 문헌(논문)이나 특허가 가진 정보 중 저자, 인용정보, 키워드, 분류코드 등의 동시발생(Co-occurrences) 빈도를 측정하는 방법론이다. 이러한 동시발생의 경향을 추적하여 연구영역의 네트워크 관계를 파악하고 나아가 연구영역의 진화 패턴을 분석할 수 있다. 계량서지학적 분석방법은 자료수집이 비교적 용이하기 때문에 통계가 구축되지 않은 연구에도 적용할 수 있는 강점이 있다. 계량서지학적 분석방법은 분석대상 및 기법에 따라 다양한 접근이 시도 되고 있다.

우선 계량서지 분석방법은 분석대상에 따라 문헌분석과 특허분석으로 구분할 수 있다. 두 분석방법은 상호보완적인 성격을 가지며, 하나의 분석기법이 더 우월하다고 할 수 없다. 그러나 특허분석의 경우, 특허가 공개되는데 18개월의 공고기간이 존재하므로 새로운 기술의 기술상황을 파악하는데 어려움이 존재한다. 더욱이 신·재생에너지와 같이 정부투자 위주로 개발된 기술의 경우 공공성을 이유로 특허처리 없이 공개되는 경향도 존재하기 때문에 태양전지의 연구영역 파악에 특허를 이용하는 것은 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 학술연구를 중심으로 연구영역을 도출을 시도하였다.

계량서지학적 방법 가운데 학제연구, 또는 공동연구 등과 같이 2개 이상의 학문분야 또는 2인 이상의 연구자가 관련된 연구에 적용할 수 있는 분석기법은 Co-Word, Co-Authorship,

Co-Citation, Co-Classification 등으로 구분할 수 있다. Co-Word 방법론은 저자가 설정한 주제어(Keyword)가 동시발생하는 문헌간에 관계가 있다는 것에 착안하여 연구구조를 분석하는 기법이다(송충한, 1999). 그러나 Co-Word 방법론의 경우, 분석 대상이 되는 단어들을 추출하여 정제하는 과정에서 임의성이 개입될 수 있다는 단점이 존재한다. Co-Authorship 방법론은 동일저자의 동시발생을 분석하는 방법이다. 동일 문헌의 저자간의 관계를 분석함으로써 연구자가 갖는 학제간 관계를 보다 명확하게 밝힐 수 있는 장점이 존재한다. 그러나 저자가 문헌 게재 시 밝힌 저자의 소속이 기업 및 공공연구원 일 경우 저자의 학제를 파악하기 어렵다는 한계점이 있다. Co-Citation 방법론은 하나의 문헌을 공동으로 인용한 문헌을 기준으로 각 연구와 연구간의 유사도를 측정하는데 적용된다. 이 방법은 기술분야의 학제파악보다는 연구의 파급효과 및 흐름을 살피는데 강점을 갖는다는 지적이 있다(송충한, 1999). 이에 Co-Classification 방법론은 논문의 내용을 일정한 기준으로 분류하여 연구분야 및 연구영역에 참여한 네트워크 관계 등을 파악할 수 있는 방법으로 다양한 내용 분류의 기준 설정이 가능하다. 또한, 일정한 기준으로 설정된 분류체계를 통해 연구구조의 네트워크 구조를 효과적으로 파악할 수 있다는 장점이 있다(Engelsman and van Raan, 1991). 그리고 1994년 OECD는 Co-Classification 방법론이 기술간 관계 및 기술활동을 파악하는데 적합하다고 언급하였다(OECD, 1994).

본 연구에서 태양전지 연구영역에 적용한 Co-Classification 방법론은 이미 다양한 분야에 적용되어 그 방법론적 우수성이 입증된바 있다. Tijssen(1992)은 네덜란드 에너지분야의 연구영역구조 분석에서 Co-Classification 방법론이 연구영역의 내부 관계를 효율적으로 파악할 수 있음을 실증하였다. Sybille Hinze(1994)는 Co-Classification 방법론과 Co-Word 방법론을 바이오일렉트로닉스분야에 적용하여 신기술분야인 바이오일렉트로닉스의 연구구조를 파악하였다. 분석결과 Co-Classification과 Co-Word 방법론으로 사이의 결과의 차이점을 찾을 수 없었으나, Co-Classification 방법은 보다 상위 레벨의 연구구조 파악에까지 적용할 수 있다는 장점이 존재한다. 또한, Breschi et al(2003)은 Co-Classification을 특허데이터에 적용하여 각 기술영역(TF)간의 관계 파악에 활용하였다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_k C_{ik} C_{jk}}{\sqrt{\sum_k C_{ik}^2} \sqrt{\sum_k C_{jk}^2}} \quad (1)$$

- * C_{ij} 는 SC i 와 SC j 사이의 총 동시발생의 수
- * k 는 연구에 부여된 SC i 또는 j

Co-Classification 분석방법에서는 관계계수(S_{ij})를 활용하여 연구영역 i, j 의 관계를 파악한다. S_{ij} 가 1이면, i 와 j 영역은 동일한 학제로 구성되어 있음을, S_{ij} 가 0이면 i 와 j 영역이 독립적인 연구영역임을 의미한다. S_{ij} 지수를 구성하고 있는 C_i 와 C_j 는 연구영역을 이루는 각각의 분류기준들의 출현 빈도이며, C_{ij} 는 i 와 j 의 Subject Category(SC)의 동시출현 횟수를 의미한다.

또한 본 연구에서는 네트워크 분석을 적용하여 태양전지 연구영역을 구성하는 학제간 관계를 효과적으로 표현하고자 하였다. 네트워크 분석 방법은 시스템 내의 노드(node)들의 관계를 시각적으로 표현한 것으로 그래프 기법을 이용하여 각 노드들 간의 상호작용을 분석하는 정량적 기법이다(홍형득, 2006). 이는 다양한 형태의 사회시스템의 구조를 파악하는 하나의 연구방법(Wasserman & Faust, 1994)으로 일정한 행위자들 간의 특정한 연계분석을 통해 행위자들의 사회적 행위의 특성을 파악하는데 적용되었다. 네트워크는 노드와 링크로 구성되어 있으며 휴먼네트워크 측면에서 각 노드는 개인, 집단 혹은 연구자간의 사회적 관계로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 각 노드를 학제로 표현하여 학제간의 관계를 도시하였다.

Freeman(1979)에 의해 사회 네트워크 분야의 중심성 분석에 대한 이론정리가 시도되었는데, 중심성 분석이란 노드들 간의 관계를 파악하는데 적용할 수 있다(이재운, 2006). 한 노드가 연결되어 있는 링크 수는 연결정도중심성(degree centrality)을 의미한다. 즉, 연결정도중심성이 높은 특정 노드를 중심으로 시각화의 결과가 복잡하게 나타난다. 이러한 네트워크분석의 특성을 적용하여 연구영역의 학제간 관계를 도시하였다.

3. 자료 및 분석

분석에 사용한 자료는 ISI에서 제공하는 웹 데이터베이스

인 'Web of Science(WoS)'의 태양전지 관련 학술연구를 대상으로 하였다. ISI¹⁾에서는 각 연구문헌에 대해 1개 이상의 Subject Category(SC)를 부여한다. 이에 본 연구는 ISI에서 부여한 Subject Category(SC)를 하나의 학제라 가정하여 연구를 전개하였다. 태양 전지 관련연구를 파악하기 위한 주요 검색어로 'Energy & Solar cell'과 'Energy & Photovoltaic cell'을 사용하였다. 이 때, 두 Query를 동시에 포함하는 논문(문헌)으로 자료의 표본을 구성하였다. 또한, 표본의 잡음 제어를 위해 인용횟수가 0인 논문을 제외하였다. 최종적으로 총 2,605개의 학술논문을 대상으로 분석을 실시하였다. 구성된 2,605개의 논문은 총 67개의 SC로 구성되었으며, 총 487개의 저널을 포함한다.

분석기간은 1979년~2009년까지 총 30년이다. 전체기간 분석과 함께 분석기간을 5구간으로 구분하여 기간의 변화에 따른 학제간 다양성 경향 분석을 시도하였다. 세부 구간의 범위는 1979~1990년, 1991~1995년, 1996~2000년, 2001~2005년, 2006~2009년 5단계이다.

시간의 흐름에 따라 전체연구가 갖는 SC의 발생을 Fig. 1에 도시하였다. 전체 연구 2,605개의 자료는 총 5,273번의 SC가 출현하며, 이 중 2개 이상의 SC가 동시에 발생한 연구문헌은 1,380개로 분석되었다. 이는 전체연구의 53%의 문헌이 2개 이상의 SC를 동시에 포함하여 태양전지 연구영역이 다학제를 기반으로 발생하였음을 의미한다. 2개 이상의 SC를 갖는 문헌의 출현빈도를 Fig. 1에 직선으로 도시화 하였다. 각 구간별로 나누어 살펴보면, 1979~1990년의 동시에 여러 SC가 발생한 비율은 전체연구의 23.8%이며, 동시발생에 기여한

SC는 4개이다. 이는 해당기간에 4가지 학제 관계를 바탕으로 태양전지 연구가 수행되었음을 의미한다. 1991~1995년의 복수 SC가 발생한 비율은 전체연구의 46.6%로 증가하였고, 동시발생에 기여한 SC는 16개 분야로 확대되었다. 2006~2009년은 전체연구에 대한 복수 SC발생 연구 비율은 54.9%로 나타났으며, 동시연구에 기여한 SC는 29개 분야로 확장되었다.

이와 같은 개별 SC의 발생 및 복수 SC 발생 경향을 바탕으로 태양전지 기술에 기여하는 복수의 SC가 시간에 따라 증가하였으며, 이와 함께 SC의 집합의 다양성이 발생하였음을 알 수 있다. 이는 태양전지 연구에 있어서 학제간의 소통이 발생하였으며, 점차 다학제적으로 그 연구가 진행되었음을 의미한다. 이는 궁극적으로 지식의 다양성이 발생하였고, 태양전지분야에 있어서 기술의 복잡도가 증가하였음을 시사한다.

시간의 흐름에 따른 태양전지관련 문헌의 수는 Fig. 2에 도시하였다. 태양전지관련 문헌 2,605개의 자료는 1979~1990년에 21개의 연구가 검색되었다. 최초의 연구는 1979년에 'Journal of the Indian Chemical Society'에 발표된 「ENERGY-CONVERSION THROUGH ELECTROCHEMICAL SOLAR-CELL BASED ON CDS FILM PHOTOANODE」이다. 1991~1995년에는 236개의 연구, 1996~2000년에는 397개의 연구, 2001~2005년에는 1.9배 증가한 740개의 연구, 그리고 2006~2009년 사이에는 총 1,211개의 태양전지기술관련 연구논문이 생성되었다.

전체 태양전지관련 문헌 2,605개 가운데 복수의 SC를 갖는 1,380개의 연구의 시간에 따른 발생 수는 다음과 같다. 1979~1990년 사이에 5개, 1991~1995년 사이에는 110개로 증가, 이후 1996~2000년 사이에는 동기간의 전체연구의 53.4%인 212개로 늘어나며 전체연구 대비 복수 SC를 갖는 연구의

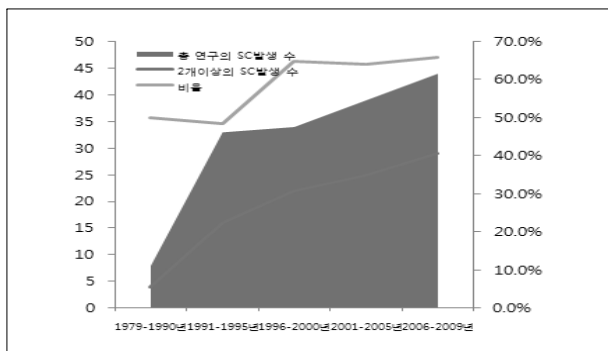


Fig. 1 연도별 SC 발생 수

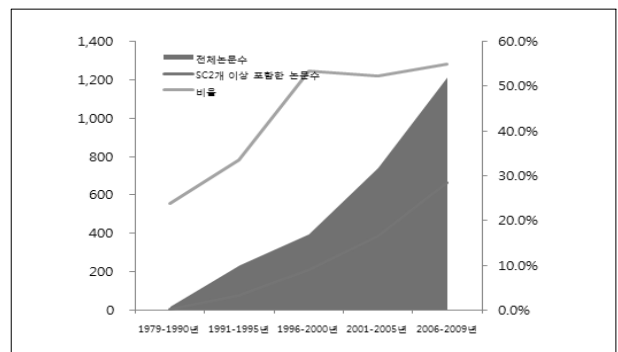


Fig. 2 연도별 발생 연구

1) WoS는 SCI/SCIE/SSCI/AHCI에 등재된 8,700여종 저널에 대한 정보를 제공하고 있다.

수는 계속적인 증가를 보였다. 이후, 2001~2005년 사이 388개, 2006~2009년 사이 665개로 증가하였다.

태양전지 연구의 SC의 출현빈도는 다음(Table 1)과 같이 정리할 수 있다. 태양전지 기술발전에 가장 활발하게 기여한 분야는 Material Science, Multidisciplinary 이며, 이어서 Energy&Fuel, Physics, Applied, Chemistry, Physical 순으로 SC의 발생빈도가 높게 나타났다. 이는 기본적으로 태양전지의 연구가 재료, 물리, 화학을 기반으로 연구가 수행됨을 의미한다. 또한 Nanoscience를 기반한 태양전지연구가 전체 연구의 6.4%를 차지하며, 태양전지 기술발전에 기여하였으며, Environmental Science도 4.7%의 비중을 차지하며 기술발전에 동참하였다.

복수의 SC 출현빈도는 다음 (Table 2)와 같이 정리할 수 있다. 복수의 SC중 가장 출현 빈도가 높은 분야는 Material Science, Multidisciplinary로 전체 동시발생의 55.4%를 차지한다. 2위는 43.8%로 Energy&Fuel, 3위는 29.4%로 Physics, Applied, 4위는 24.0%로 Physics, Condensed Matter, 이어서 Chemistry, Physical 순으로 복수 SC의 발생빈도가 높

은 것으로 분석되었다.

단일 SC 및 복수 SC 출현빈도 분석 결과 Materials Science, Coatings & Films과 Nanoscience & Nanotechnology 분야는 태양전지 기술발전에 있어서 항상 타 학제와의 관계를 가지고 기여함을 발견할 수 있었다. 즉, 2개의 분야는 독립된 연구로 태양전지 연구에 기여하는 것이 아니라 타 분야와의 결합을 통해 기술발전에 참여한다는 것을 의미한다.

복수의 SC를 포함한 1,380개의 문헌 가운데 발생빈도가 높은 상위 10개 학제에 대해 각 학제간의 관계계수(S_{ij})를 매트릭스의 형태로 구성하였다(Table 3). 도출된 S_{ij} 는 1에 가까울수록 높은 관계를 가지고 있으며, 0에 가까울수록 두 학제간의 관계가 미약함을 의미한다 분석대상이 되는 100개의 관계 중에서 Physics, Atomic 분야와 Environmental Science 분야의 S_{ij} 계수가 가장 높게 나타났다. 이는 태양전지기술연구에서 두 분야로 대표되는 각 SC가 하나의 문헌에서 동시발생되는 경향이 높음을 의미한다. 즉, 태양전지기술연구에 있어서 학제간의 관계가 가장 밀접한 분야라고 할 수 있다.

S_{ij} 가 0.5이상인 결합관계는 6개가 도출되었다. Material

Table 1. SC 출현 빈도 상위 20위

	Subject Area	빈도수	비율
1	Materials Science, Multidisciplinary	786	29.0%
2	Energy & Fuels	732	27.1%
3	Physics, Applied	698	25.8%
4	Chemistry, Physical	444	16.4%
5	Physics, Condensed Matter	362	13.4%
6	Chemistry, Multidisciplinary	254	9.4%
7	Materials Science, Coatings & Films	181	6.7%
8	Nanoscience & Nanotechnology	173	6.4%
9	Electrochemistry	157	5.8%
10	Physics, Atomic, Molecular & Chemical	141	5.2%
11	Environmental Sciences	126	4.7%
12	Engineering, Electrical & Electronic	104	3.8%
13	Polymer Science	62	2.3%
14	Astronomy & Astrophysics	54	2.0%
15	Engineering, Chemical	53	2.0%
16	Chemistry, Inorganic & Nuclear	48	1.8%
17	Thermodynamics	41	1.5%
18	Crystallography	39	1.4%
19	Nuclear Science & Technology	37	1.4%
20	Optics	37	1.4%

Table 2. Co-SC 출현 빈도 상위 20위

	Subject Category	빈도수	비율
1	Materials Science, Multidisciplinary	765	55.4%
2	Energy & Fuels	605	43.8%
3	Physics, Applied	406	29.4%
4	Physics, Condensed Matter	331	24.0%
5	Chemistry, Physical	295	21.4%
6	Materials Science, Coatings & Films	181	13.1%
7	Nanoscience & Nanotechnology	173	12.5%
8	Physics, Atomic, Molecular & Chemical	131	9.5%
9	Environmental Sciences	122	8.8%
10	Electrochemistry	98	7.1%
11	Chemistry, Multidisciplinary	93	6.7%
12	Engineering, Electrical & Electronic	89	6.4%
13	Engineering, Chemical	46	3.3%
14	Thermodynamics	38	2.8%
15	Nuclear Science & Technology	34	2.5%
16	Polymer Science	34	2.5%
17	Mechanics	30	2.2%
18	Physics, Nuclear	30	2.2%
19	Engineering, Mechanical	28	2.0%
20	Engineering, Multidisciplinary	21	1.5%

Table 3. 1979~2009년에 발생한 태양전지 전체연구의 Co-Classification 분석

	Materials Science, Multidisciplinary	Energy & Fuels	Physics, Applied	Physics, Condensed Matter	Chemistry, Physical	Materials Science, Coatings & Films	Nanoscience & Nanotechnology	Physics, Atomic, Molecular & Chemical	Environmental Sciences	Electrochemistry
Materials Science, Multidisciplinary	1.000	0.409	0.467	0.521	0.263	0.317	0.421	0.003	0.000	0.044
Energy & Fuels	0.409	1.000	0.153	0.000	0.218	0.000	0.000	0.327	0.409	0.168
Physics, Applied	0.467	0.153	1.000	0.619	0.159	0.546	0.257	0.000	0.000	0.000
Physics, Condensed Matter	0.521	0.000	0.619	1.000	0.221	0.584	0.209	0.000	0.000	0.028
Chemistry, Physical	0.263	0.218	0.159	0.221	1.000	0.078	0.412	0.621	0.485	0.018
Materials Science, Coatings & Films	0.317	0.000	0.546	0.584	0.078	1.000	0.000	0.000	0.000	0.248
Nanoscience & Nanotechnology	0.421	0.000	0.257	0.209	0.412	0.000	1.000	0.007	0.000	0.000
Physics, Atomic, Molecular & Chemical	0.003	0.327	0.000	0.000	0.621	0.000	0.007	1.000	0.720	0.000
Environmental Sciences	0.000	0.409	0.000	0.000	0.485	0.000	0.000	0.720	1.000	0.000
Electrochemistry	0.044	0.168	0.000	0.028	0.018	0.248	0.000	0.000	0.000	1.000

Science, Multidisciplinary 분야와 Physics, condensed matter 분야, Physics, Applied 분야와 Physics, condensed matter 분야, Physics, Applied 분야와 Material Science, Coating&film 분야, Physics, condensed matter 분야와 Material Science, Coating&Film 분야, Chemistry, Physical 분야와 Physics, Atomic Molecular&chemical 분야, Physics, Atomic 분야와 Environmental Science분야이다.

분석 기간별 SC간의 네트워크 관계 변화는 Fig. 3과 같다. 네트워크 관계는 67개 SC를 각 노드로 표현하고 그 관계를 링크로 구성하였다. 전반적인 경향을 살펴보면 시간에 따라 출현 SC가 증가하였으며, 학제간 다양성이 증가하는 방향으로 발전하였다. 즉, 학제의 다양성으로 인해 기술지식의 복잡도, 각 학제관계의 복잡성이 증가하였음을 의미한다. 1979~2009년 발생한 태양 전지 연구의 학제간 관계에 있어서 중심이 되는 학제는 Material Science, Multidisciplinary와 Energy&Fuel, Chemistry, Physical, Physics, Applied로 파악되었다.

1979~1990년 문헌에서는 Material Science, Coating&Flims, Material Science, Multidisciplinary, Physics, Applied로 이루어진 학제간 구성과 Energy&Fuel과 Nuclear Science& Technology 학제간 구성, Chemistry, Multidisciplinary와 Chemistry, Applied 학제간 구성이 태양전지 기술연구의 기초

기술발전에 기여하였다. 이후, 1991~1995년 네트워크 관계에서는 Material Science, Multidisciplinary와 Energy&Fuel, Engineering, Electrical & Electronic 노드를 중심으로 각 학제간 연결이 다양화되었다. 특이점으로는 Nanoscience & Nanotechnology 분야가 처음으로 Material Science, Multidisciplinary와 학제적 연계를 시도하며 태양전지 연구영역 형성에 기여하였다는 점이다. 또한 Environmental Studies와 Environmental Science도 이 시기에 등장하였다. 1996~2000년의 태양전지 연구구조를 살펴보면 Material Science, Multidisciplinary, Energy&Fuel, Chemistry, Physical, Physics, Applied, Engineering, Electrical&Electronic이 중심 학제로 파악되었다. 그리고 Environmental Science와 Energy&Fuel의 학제간 연결되었다. 2001~2005년 연구구조는 Material Science, Multidisciplinary의 중심도가 가장 높게 나타났으며, Energy&Fuel, Chemistry, Physical, Physics, Applied, Engineering, Electrical & Electronic, Physics, Condensed Matter를 중심으로 학제간 연구가 활발하게 수행되었다. 또한, Multidisciplinary와 Optics의 연계가 새롭게 생성되었다. 2006~2009년 연구는 Material Science, Multidisciplinary, Energy&Fuel, Chemistry, Physical, Physics, Applied, Engineering, Electrical & Electronic, Physics, Condensed Matter, Engineering, Mechanical, Nanoscience & Nanotechnology, Electrochemistry, Chemistry, Multidisciplinary가 중심이 되어 태양전지 연구의 학제간 연계를 주도하였다.

4. 결론

본 연구에서는 Co-Classification 방법을 적용하여 태양전지 연구의 학제간 관계 및 발전 경향을 분석하였다. 또한 네트워크 분석을 적용하여 학제간의 관계를 효과적으로 도식화 하였다.

연구결과 태양 전지 연구의 학제간 다양성은 증가하고 있는 것을 확인하였다. 1979~2009년 기간 동안 총 발생연구수 대비 복수 SC가 발생한 논문의 출현비율은 1979~1990년 23.8%, 1991~1995년 46.6%, 2006~2009년 54.9%로 증가하였다. 이와 함께 복수 SC의 출현 빈도 역시 구간별로 증가

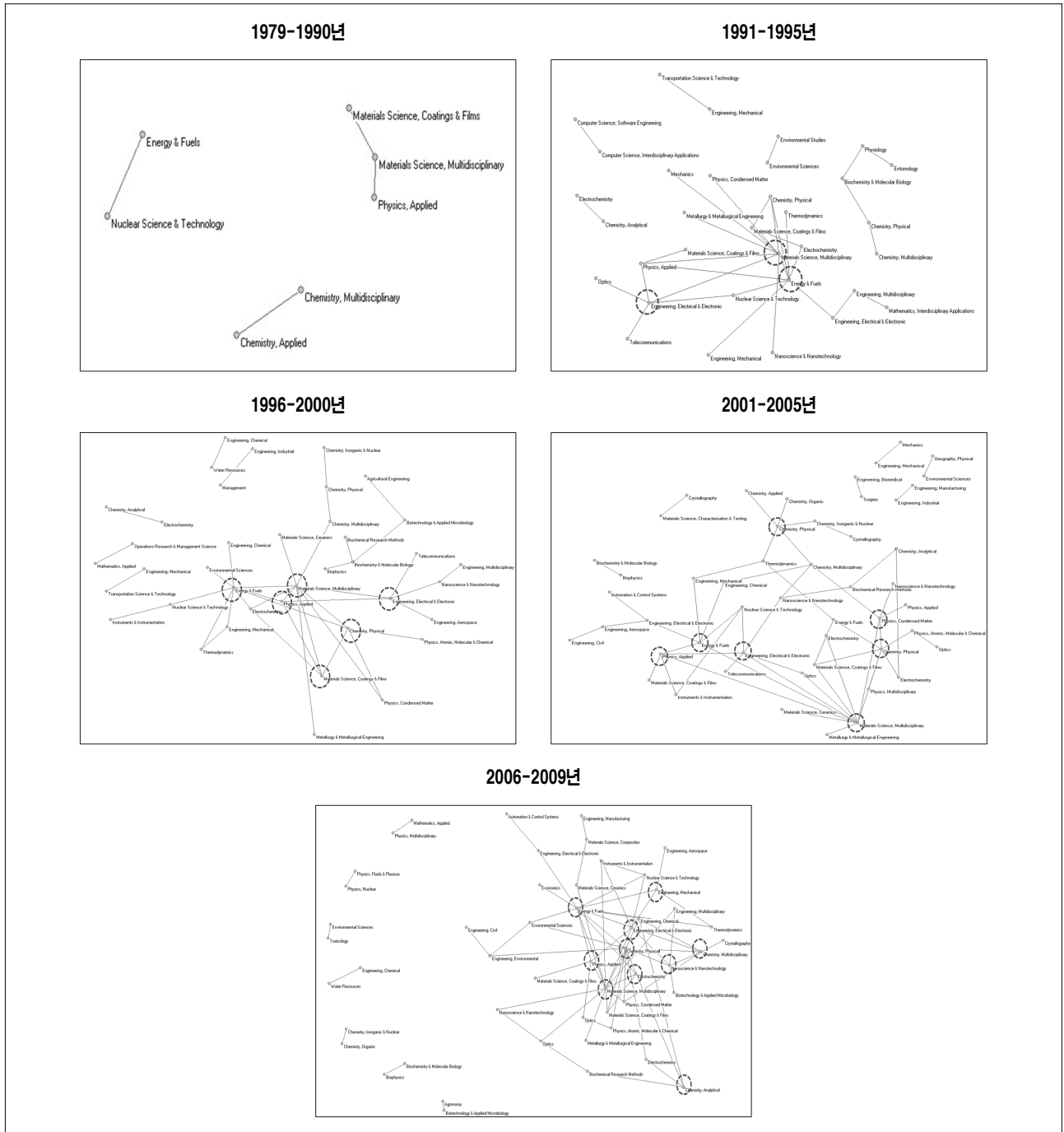


Fig. 3 네트워크 분석 결과

하는 경향을 나타냈다. 복수의 SC 내부의 관계를 살펴보면, 1979~1990년 4개의 SC에 의해 학제간 관계가 발생하였으며 1991~1995년은 16개의 SC, 2006~2009년은 SC는 29개 분야로 복수 SC를 이루는 SC의 수가 확장되었다. 즉, 태양전지 기

술에 기여하는 복수의 SC가 시간에 따라 증가하였으며, 복수의 SC를 구성하는 SC의 구성이 다양성해 졌음을 의미한다. 복수의 SC를 동시에 포함한 1,380개의 문헌 가운데 발생빈도가 높은 상위 10개 학제에 대해 각 학제간의 관계계수를 매

트릭스의 형태로 구성하였다. 도출된 S_{ij} 가 0.5이상인 학제관계는 Material Science, Mutidisciplinary 분야와 Physics, condensed matter분야가 가장 높게 도출되었다. 이외에도 Chemistry, Physical 분야와 Physics, Atomic Molecular & chemical분야, Physics, Atomic 분야와 Environmental Science 분야의 학제간의 결합이 높게 도출되었다. 1991~1995년 사이 Nanoscience & Nanotechnology 분야가 처음으로 태양전지 발전에 기여하며, 학제간 다양성을 획득하는데 기여하였다.

학제간의 관계를 시각화하기 위해 도입한 네트워크 분석을 시도한 결과 학제간 다양성이 급격히 증가하고 있음을 확인하였다. 1979~1990년 4가지의 학제간 관계가 존재하였다. 이후, 1991~1995년부터 학제간의 다양성은 폭발적으로 증가하며, 기술발전에 기여하였다. 1996~2000년에는 Chemistry, physical부분이 중심학제로 그 역할을 수행하였다. 2001~2005년 연구구조는 Material Science, Multidisciplinary와 Optics의 관계가 생성되었으며, 2006~2009년 연구는 Material Science, Multidisciplinary와 Enegy&Fuel 노드를 중심으로 학제간 연계가 다양화 되었음을 확인하였다.

본 연구의 결과는 태양전지의 연구개발시스템 설계 시, 동시발생경향이 높은 학제간의 공동연구를 활성화시키는 방향으로 연구 환경을 조성하는데 활용될 수 있다. 공동연구의 활성화는 연구 효율성 제고를 기대할 수 있으며, 기술개발 촉진을 유도할 수 있을 것으로 보인다. 뿐만 아니라 타 신재생에너지 원의 학제간 연구를 시도하여 R&D지원 체계 재편에도 활용될 수 있다.

그러나 본 연구는 자료구성에 있어서, 단순Query를 사용하여, 자료를 구성하였기 때문에 태양전지 기술연구에 참여하지 않은 연구문헌이 포함될 수 있다는 한계를 가지고 있다. 향후 자료구축에 있어서 잡음 제거를 위한 추가 고려가 이루어 진다면 보다 의미 있는 연구결과를 도출할 수 있을 것으로 전망한다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제이다(No. 20093021020020).

References

- [1] 김민지, 2010, “지식흐름 관점에서 신·재생에너지연구의 학제간 다양성 분석: 태양전지 연구를 중심으로”, 2010년도 추계학술대회 논문집, Nov.
- [2] 박정규, 허은영, 2010, “가산자료 회귀모형을 활용한 연료전지 및 태양전지 분야 특허의 질적 수준 결정요인 분석”, 기술혁신학회지, 제13권, 제2호, pp. 365-378.
- [3] 설성수, 2002, “기술분석의 고도화”, 기술혁신학회지, 제5권, 제8호, pp. 260-276.
- [4] 송충한, 1999, “개인연구의 학제특성에 관한 연구”, 기술혁신학회지, Vol. 2, No. 1, pp. 16-27.
- [5] 이공래, 황정태, 2005, “다분야 기술융합의 혁신시스템 특성 분석”, p. 48, STEPI.
- [6] 이재운, 2006, “계량서지적 네트워크 분석을 위한 중심성 척도에 관한 연구”, 한국문헌정보학회지, 제40권, 제3호, pp. 191-214.
- [7] 정만태 외, 2009, “신재생에너지 설비산업의 성장전략”, 산업연구원.
- [8] 한선화 외, 1999, “SCI DB분석을 통한 기초과학수준 평가체계 수립에 관한 연구”, 연구개발정보센터.
- [9] 홍형득, 2006, “과학기술정보 및 지식의 생산과 흐름분석을 위한 네트워크 분석 -바이오안정성 관련정보의 하이퍼링크를 중심으로”, 한국행정학보, Vol. 40, No. 1, pp. 199-223.
- [10] Anthony F. J. van Raan, 2003, “The use of bibliometric analysis in research performance assessment and monitoring of interdisciplinary scientific developments”, Technology Assessment—Theory and Practice, pp. 20-29.
- [11] Kajikawa, Y., et al., 2008, “Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy”, Technological Forecasting and Social Change, 75(6), pp. 771-782.
- [12] Loet Leydesdorff, 2008, “Patent classifications as indicators of intellectual organization”, Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(10), pp. 1582-1597.
- [13] Layton Jr, E., 1974, “Technology as knowledge”, Technology and culture, pp. 31-41.
- [14] Porter, A., et al., 2007, “Measuring researcher interdisciplinarity”, Scientometrics, 72(1), pp. 117-147.
- [15] Porter, A., et al., 2006, “Interdisciplinary research: meaning, metrics and nurture. Research Evaluation”, 15(3), pp. 187.
- [16] Robert J.W. Tijssen, 1992, “A quantitative assessment of interdisciplinary structures in science and technology:

Co-Classification analysis of energy research”, Research Policy, 21(1), pp. 27-44.

[17] SiHyung joo, Yeonbae Kim, 2010, “Measuring relatedness between technological fields”, Scientometrics, 83(2), pp. 435-454.

[18] Small, H., 2006, “Tracking and predicting growth areas in science”, Scientometrics, 68(3) pp. 595-610.

[19] Weinel, I. and P. Crossland, 1989, “The scientific foundations of technological progress”, Journal of Economic Issues, 23(3), pp. 795-808.

김민지



2009년 건국대학교 환경과학과 이학사, 경제학과 경제학사

현재 서울대학교 에너지시스템공학부 석사과정
(E-mail : min856@snu.ac.kr)

박정규



2002년 인하대학교 환경공학과 공학사
2004년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학석사
2011년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학박사

현재 한국산업기술진흥원 기술전략단 선임연구원
(E-mail : jkpark@kiat.or.kr)

이유아



2006년 경희대학교 환경응용화학부 공학사
2008년 서울대학교 에너지시스템공학부 공학석사

현재 서울대학교 에너지시스템공학부 박사과정
(E-mail : youah@snu.ac.kr)

허은녕



1987년 서울대학교 자원공학과 공학사
1989년 서울대학교 자원공학과 공학석사
1996년 Ph. D. in Energy, Environmental and Mineral Economics, The Pennsylvania State University, USA

현재 서울대학교 에너지시스템공학부 부교수
동 대학 기술경영경제정책대학원과정 겸임교수
(E-mail : heoe@snu.ac.kr)