

과학계량학을 이용한 연구활동 평가 : OLED 사례 분석

Research Activity Assessment with the Use of Scientometrics:
OLED Case Analysis

여운동(Yeo Woon Dong)*, 이우형(Lee Woo Hyoung)**, 이상필(Sang Pil Lee)***

목 차

- | | |
|------------|----------|
| I. 서론 | IV. 사례분석 |
| II. 이론적 고찰 | V. 결론 |
| III. 연구방법 | |

국 문 요 약

과학기술이 다양해지고 융합기술이 발달함에 따라 동료평가만으로 기술과 성과를 평가하는 것은 더욱 어려워졌다. 해당 전문가를 찾기도 쉽지 않을 뿐만 아니라 연구자들 사이에 이해관계가 한층 복잡해졌기 때문이다. 과학계량학(Scientometrics)은 과학자의 연구활동을 정치성이나 이해관계를 배척하고 객관적으로 측정하여, 성과에 비해 시그널이 약하게 발산되는 우수한 연구자나 연구 분야를 찾아내어 올바른 평가를 가능하게 한다. 본 논문에서는 OLED 기술에 대해 집계분석과 몇 가지 네트워크 분석 기법을 활용하여 과학계량학적 분석을 수행하고, 결과에 대해 한국에서는 어떤 평가가 가능한지에 대해 기술한다.

핵심어 : 과학계량학, 연구활동 평가, 서지정보학, 네트워크 분석, OLED

* 여운동, 한국과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6017, wdyeo@kisti.re.kr

** 이우형, 정보통신연구진흥원 선임연구원, 042-710-1212, leewh@iita.re.kr

*** 이상필, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 042-828-5006, splee@kisti.re.kr

ABSTRACT

Scientometrics means the metrics of science, and it plays a role in the measurement of scientists' activities by using research results like papers. Objective numerical values or indicators obtained by scientometric analysis may make a significant contribution to correct evaluation by excluding political or relationship bias or revealing significant researchers or their research fields that have been assessed relatively lower for their performance.

In the period when the scale of technology was relatively large, such as for the development of heavy chemistry, it was possible to make a not-bad selection by an assessment made only with the intuition of the assessor. However, it is nearly impossible for experts with a narrow knowledge in a field to judge the direction of change correctly as the current science technology changes rapidly and tremendously. Even in an assessment of research performance of researchers or research institutions, only some notable researchers are able to attract attention owing to the Matthew effect, and the majority who have accumulated research results in depth are not able to receive reasonable research funding. Therefore, it might be natural that there is a growing need for assessment using scientometrics.

The purpose of this research is to suggest some applicable scientometric techniques for an assessment of research performance to science and technology researchers and policy planners. In order to accomplish this, we used a frequency analysis of papers and its citations to assess the research performance of researchers, institutions, and countries for OLED technology as a case study. Furthermore, we position detailed technologies for OLED technology as arriving, growing, maturing, and declining technology by utilizing several network analysis techniques, make groups with researchers and institutions of same research interest. And we review the current international joint research of Korea, China, and Japan, who are in a competitive relationship. Also, at the end of each analysis result, we describe what kind of assessment should be available to Korean policy planners and research managers for such scientometric analysis results.

Key words : Scientometrics, Research activity evaluation, Bibliometrics, Network analysis, OLED

I. 서 론

글로벌 경쟁에서 한정된 자원으로 미래를 준비하기 위해서는 “선택과 집중”을 해야 한다는 말은 전 세계적으로 중요한 화두가 된지 오래다. 선택과 집중은 곧 “평가”라는 과정을 수반하게 되고, 평가는 지금까지 주로 해당분야 전문가(동료평가)에 의해 이루어졌다. 그러나 전문가들은 자기가 아는 분야는 무시하고 자기가 모르는 분야는 배척하는 등 지극히 심리적인 습성을 완전히 탈피하지 못한 채 평가를 수행하는 것으로 알려져 있다. 따라서 동료평가만으로는 평가수행기관이 기대하는 만큼의 결과를 객관적이고 정확하게 도출해 내기 어렵다.

과학계량학(Scientometrics)이란 과학(Science)의 계량(Metrics)이라는 뜻으로서 과학자의 활동을 연구 성과물을 이용하여 계측하는 역할을 한다. 과학계량학은 Martin(1983)의 논문에서 처음으로 연구평가에 응용되었으며, Scientometrics를 편집하는 편집자나 연구자가 중심이 되어 제 1회 과학계량학과 정보학 국제회의(International Conference on Scientometrics and Informatics)가 1987년 개최되면서 계속적으로 발전하고 있다.

과학계량학은 몇 가지 기본 전제를 가지고 조사분석·평가가 이루어진다. 과학자의 업적은 전문지에 인쇄되어 출판된 논문에 의해서 비로소 명확화 된다는 것과, 그 논문에 사용된 언어로 다른 과학자들과 의사소통을 한다는 것, 그리고 그 논문의 권위는 인용에 의해서 평가받는다라는 것이다. 과학계량적 분석에 의해 객관성이 확보된 수치나 지표는 정치성이나 이해관계를 배척하고 성과에 비해 시그널이 약하게 발산되는 우수한 연구자나 연구 분야를 찾아내어 올바르게 선정평가 하는데 크게 기여할 수 있다.

과학계량분석에서는 연구자의 연구성과 수준이나 연구분야의 성장성을 측정하는 방법으로 발표된 논문수를 단순히 집계하는 집계분석방식이 주로 사용되어 왔는데, 직관적으로 이해하기 쉽다는 장점이 있으나, 현상을 단순히 나열하는 것 외에 내용분석이나 새로운 정보의 재창출과 같은 분석의 다양성과 고급화에서는 다소 부족한 면이 있다. 최근에는 연구자의 성과평가에서는 논문 발표수뿐만 아니라 인용도 함께 사용하고 있다. 인용의 목적이 연구의 근거를 제시하거나, 선행연구자에게 헌사하거나, 연구자 자신의 정통성을 세우려는 등 제각기 달라(Small, 1982; Liu, 1993; Case and Higgins, 2000) 평가지표로서 부적절하다는 의견도 제기되고 있으나, Thomson ISI에서 제공하고 있는 Impact Factor라는 인용지표는 여전히 여러 연구자들이 논문을 발표할 때 가장 위력을 발휘하는 관심사항이고, 인용을 이용한 평가는 한층 강화되는 추세이다. 그러나 Impact Factor라는 것은 원래 어느 논문에서 어떠한 연구가 발전되었는가를 파악하기 위한 데이터베이스로서 구상되었으며,

특정논문의 질을 평가하는 것이 아니라 저널에 포함된 논문들의 평균 피인용수를 의미하고, Impact Factor가 높은 저널에 논문이 게재되더라도 피인용이 전혀 이뤄지지 않을 수 있다는 점 때문에 그 실용성에 문제점이 꾸준히 제기되고 있다(Adam, 2002). 그래서 이를 대체할 수 있는 지표로서 H-index(Hirsch, 2005), G-index(Egghe, 2006) 등이 개발되어 활용되고 있다.

집계분석에 있어서 가장 문제시 되는 것은 분석대상이 속한 집단 평균수준이 낮을 경우, 그 집단에서는 아무리 높은 수치를 보이더라도 전체와 비교하였을 때는 상대적으로 낮은 수치를 나타내게 된다는 것이다. 이를 보완하기 위해 집단의 평균으로 정규화하거나 (Schubert and Braun, 1996; Glanzel and Moed, 2002) 전체와 해당분야의 집계수치를 비교하여 비례적으로 연구자나 연구 분야를 평가하는 방법이 사용되고 있는데, Activity Index, Attractivity Index(Schubert and Braun, 1986) 등이 대표적인 예이다.

어느 연구자의 성과가 더 우수하며, 어느 기관의 연구성과가 더 발전적인가를 평가하는 것은 약간의 위험만 감수한다면 단순 집계분석만으로도 평가가 가능하다. 그러나 어떤 연구 집단이 연구를 주도하고 있으며, 어느 기술이 앞으로 유망한가를 찾아야 한다면 그것은 복잡한 문제이다. 이를 고민하기 위해서는 연구자별 기술별로 현재 포지셔닝(Positioning)이 선행되어야 하는데, 과학계량분석에서는 기술 포지셔닝을 위해, 단순히 차트의 추세선 분석을 이용하여 현재 기술의 수준을 파악하려는 시도부터 복잡한 통계기법을 사용하여 현재의 벡터를 감지하려는 시도까지 다양하게 진행되고 있다. 그러나 해당 기술범위가 넓지 않는 경우, 즉 빈도의 차나 추세로서 판단하기 어려운 경우, 포지셔닝은 단순 집계분석으로는 불가능하게 된다. 여기에 이용되는 것이 네트워크 분석이다. 네트워크 분석기법을 활용하면 기술이 가지고 있는 다양한 속성(attribute)들 관계 속에 내재된 정보, 즉 단일 속성의 정보가 아닌 속성간의 유기적 관계정보로 연구성과를 평가할 수 있다. 예를 들어 단순히 연구자가 A가 B에 비해 연구성과가 크다 많다가 아닌, A와 밀접한 연구자의 관계, A의 연구에서의 중심성, A를 포함하는 집단의 연구성과 평가가 가능한 것이다. 네트워크 분석은 그것이 문헌정보학에 뿌리를 가지고 있는 동시인용분석(Small, 1973)이든 사회네트워크분석에서 유입된 동시단어분석(Callon et al., 1986)이든 서지정보를 이용하여 동시발생관계를 고려하고 이를 가시화하여 그들의 네트워크 관계를 분석한다는 것은 동일하다. 실제로 분석하고자 하는 서지정보(필드)를 선정하고 이의 발생매트릭스를 만든 이후는 거의 동일한 분석절차를 따르게 된다. 현재 과학계량학에서 주로 사용하는 네트워크분석기법은 동시단어분석, 동시인용분석, 공저자분석, 동시인용저자분석(White and Griffith, 1981), 동시분류분석, 서지결합법(Kessler, 1963) 등이 있다.

본 논문에서는 차세대 디스플레이로서 세계적으로 연구개발이 활발한 OLED(Organic Light Emitting Diodes) 기술에 대해 과학계량학을 이용하여 연구활동 평가를 수행한다. 한국은 OLED 생산에 있어서 세계 1, 2위를 다투고 있지만, 원천 기술인 소재기술은 일본에 뒤져 있으며 중국은 연구개발에 투자를 집중하여 무서운 속도로 한국을 뒤쫓고 있다. 따라서 한정된 자원으로 OLED 기술에서 앞서가기 위해서는 효율적인 투자가 무엇보다도 중요하며 이를 위해 올바른 연구성과 평가가 필요하다. 우선 OLED의 전반적인 연구현황을 파악하기 위해 집계분석으로 국가별 및 주요 연구자별 논문발표와 피인용 수준을 평가한다. 또한 몇 가지 네트워크 분석 기법을 활용하여 OLED 기술별 세부기술을 도래, 성장, 성숙, 쇠퇴 기술로 포지셔닝하며, 연구에서 서로 관련이 있는 연구기관과 연구자를 관계 짓고, 아시아에서 경쟁관계에 있는 한국, 중국, 일본의 국제공동연구 현황도 살펴본다. 그리고 각 분석결과 말미에는 이러한 과학계량학적 분석결과에 대해 한국정책입안자 및 연구관리자 입장에서 어떤 평가가 가능한지에 대해 기술한다.

II. 이론적 고찰

본 논문에서는 집계분석 외에 3개의 네트워크 분석기법을 평가 예로 보여주었다. 동시단어분석의 전략맵 기법을 변형한 기술 포지셔닝과 동시인용분석을 이용한 Affiliation co-citation 분석 및 Author co-citation, Co authorship의 소속국가 관계를 분석한 국가간 공동연구분석 및 한중일과 대륙간의 공동연구 분석이다.

네트워크 분석은 Börner et al.(2003)의 “Visualizing Knowledge Domains” 논문에 상세히 기술되어 있으며, 일반적인 절차는 아래 (그림 1)과 같다. DATA EXTRACTION부에서는 분석에 적합한 DB를 결정하고, UNIT OF ANALYSIS부와 MEASURE부에서는 분석에 필요한 Entity(사회네트워크 분석에서는 Actor와 event로 표현되기도 함)와 최소빈도수(Threshold) 등을 결정한다. 이후 LAYOUT과 DISPLAY를 거쳐 네트워크 가시화가 완료된다.

DATA EXTRACTION	UNIT OF ANALYSIS	MEASURES	LAYOUT (often one code does both similarity and ordination steps)		DISPLAY
			SIMILARITY	ORDINATION	
SEARCHES ISI INSPEO Eng Index Medline Research Index Patents etc BROADENING By citation By terms	COMMON CHOICES Journal Document Author Term	COUNTS/FREQUENCIES Attributes (e.g. terms) Author citations Co-citations By year	SCALAR(unit by unit matrix) Direct citation Co-citation Combined Linkage Co-word / co-term Co-classification VECTOR(unit by attribute matrix) Vector space model(words/terms) Latent Semantic Analysis(words/terms) incl. Singular Value Decomp(SVD) CORRELATION(if desired) Pearson's R on any of above	DIMENSIONALITY REDUCTION Eigenvector/Eigenvalue solutions Factor Analysis(FA) and Principal Components Analysis(PCA) Multi-dimensional scaling(MDS) Pathfinder networks(PNet) Self-organizing maps(SOM) includes SOMET-maps etc. CLUSTER ANALYSIS SCALAR Triangulation Force-directed placement(FDP)	INTERACTION Browse Pan Zoom Filter Query Detail on demand ANALYSIS

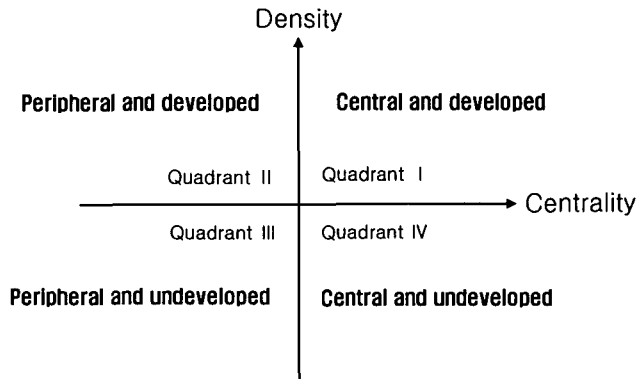
출처 : Börner et al.(2003)

〈그림 1〉 네트워크 분석의 일반적 절차

Morris(2005)는 MEASURE와 SIMILARITY 단계에서 사용하는 Occurrence Matrix와 Co-occurrence Matrix관계로서 Co-citation와 Bibliographic coupling등의 여러 네트워크 기법을 일반화하여 설명하고 있다. p를 paper, r를 reference, au를 author이라고 하면 paper와 reference의 발생관계와 동시발생관계는 각각 $O[p, r]$ 와 $C[p; r]$ 이며, 이들의 관계는 $C[p; r] = O[p, r] \cdot O[r, p]$ 인 매트릭스 function으로 표현될 수 있다. $C[p; r]$ 는 reference를 매개로 한 paper들의 Co-occurrence Matrix이다. 이는 Bibliographic coupling에 사용되는 매트릭스이다. 마찬가지로 Co-citation Matrix $C[r; p] = O[r, p] \cdot O[p, r]$ 로 표현이 가능하다. function은 매트릭스가 binary인 경우는 단순히 매트릭스 multiple로 계산되나 non-binary인 경우는 Overlap function(Jone and Furnas, 1987)을 사용해야 한다. 이와 같은 방식을 적용하면 다른 네트워크 분석도 가능하게 되고, 데이터 클린징이나 분류(clustering)에서도 계산상의 정확성과 편리성을 확보할 수 있다.

네트워크분석을 이용하여 기술을 포지셔닝 하는 방법으로는 전략맵(Turner, et al., 1988 ; Law, et al., 1988, Courtial, 1994)이 있다. 이는 단어 간의 동시출현을 분석하는 것 뿐만 아니라 동시출현회수가 높은 단어를 클러스터화하여 그 내부나 복수의 클러스터 간에서의 동시출현 관계를 분석하는 것이다. 단어 클러스터가 갖는 특징은 「밀도」와 「중심성」 2가지 지표를 바탕으로 평면상에 표시된다. 그러나 단어의 클러스터링을 이용하여 범위가 작은 기술을 포지셔닝하게 되면, 현재 진행되고 있는 하부기술을 제대로 구분해 내지 못하는 단점을 지니게 된다. 따라서 작은 범위 기술의 경우는 클러스터링을 하지 않고 포지셔닝하는 것이 필요하며, 이를 위해 본 논문에서는 기존의 전략맵 방법을 수정하여 단어

의 빈도수로 중심성을 대체하고 밀도는 두 단어 간의 유사성으로만 계산한다. 다음으로 Callon et al.(1991)의 방법과 같은 식으로 2005년 이전과 이후의 빈도수나 유사성의 변화치를 계산하여 전략맵의 4개 분면에 <그림 2>와 같이 도시화 하였다.



출처 : Callon et al.(1991), He(1999)

<그림 2> 전략맵의 의미

Ⅲ. 연구방법

1. 사용 소프트웨어

집계분석에서는 Microsoft Excel을, 네트워크 분석에서는 Pajek을 사용하였다. 정보분석 시스템으로 사용가능한 유료 프로그램으로는 Morris가 개발한 DIVA, Borner가 제안한 User Meta Model, Georgia Tech.의 TPAC에서 제안한 TOA와 VantagePoint, Bin Zhu가 제안한 S&T Information Analysis System, ARC의 BibTechMon, Cyram의 NetMiner, 그리고 Kostoff가 제안한 Database Tomography 외에도 수십여 가지가 넘게 있다. 그 중 Pajek은 무료다, 처리속도가 빠르다, 사회네트워크분석이 가능하다, 데이터 입력이 자유롭다, 맵의 가독성이 뛰어나다 라는 장점을 지닌다(Nooy et al., 2004). 그러나 Pajek은 Co-occurrence Matrix 단계까지의 데이터 전처리 기능이 없이 entity 간의 관계 데이터를 입력해야한다. 본 논문에서는 VisualBasic을 사용하여 데이터 전처리 수행 후 Pajek을 사용하여 나머지 분석절차를 수행하였다.

2. 사용 데이터베이스

Elsevier사의 Scopus DB를 사용하였다. Bibliometric을 이용한 평가에서는 SCI DB가 주로 사용된다. SCI는 평가지표로서 공공연히 인정을 받고 있기 때문이며, 인용정보가 없던 시기에 유일하게 인용정보를 제공하였기 때문이다. 그러나 SCI는 수록저널이 전통적인 학문인 의학과 생물분야에 치중되어 있어서 공학과 같은 응용학문을 분석하기에는 적합하지 않다. 또한 모든 저자에 대한 소속기관 정보를 제공하고는 있으나 저자와 매칭이 되지 않아 주저자나 교신저자만을 분석할 수 있다는 제약을 가진다.

이에 반하여 Scopus DB는 2004년부터 launching되어 세계연구자들이 SCI 다음으로 많이 사용하는 DB로서 인용정보와 함께 저자별로 구분하여 소속기관을 제공하고 있으며, SCI에 비해 포함하고 있는 저널수가 2배 가까이 많고, 무엇보다도 Compendix를 기반으로 하기 때문에 공학분야 저널비중이 높다는 특징을 가진다. 분석의 편의성에서도 분석모집단을 설정하고 이들을 인용하는 논문들을 연도별로 리스팅할 수 있으며, 인용논문들만 다운받아 분석에 이용할 수도 있다. SCI 경우는 CD롬 버전을 가지고 어렵게 가공해야 분석이 가능하다. 그러나 그마저도 2005년부터는 SCI CD버전이 raw data형태가 아닌 SCI-E와 같은 운영체제 형식을 띠고 있어 분석이 어렵게 되었다. 또한 이러한 외적인 측면에서 뿐만 아니라 질적인 측면에서도 평가용 DB로서 SCI를 대체할 수 있는 Scopus의 가능성이 비교연구를 통해 발표되고 있다(Norris, 2006).

IV. 사례 분석

1. OLED 개요

디스플레이산업은 기술이란 다양한 정보를 인간이 볼 수 있도록 화면으로 구현해 주는 영상 표시장치로 정보통신 시대의 핵심이라고 할 수 있다. 1800년대 LCD의 발견과 브라운관의 발명이 이루어졌고, 1935년에 세계최초로 TV방송이 개시된 이후로 디스플레이의 기술은 눈부시게 발전하였다.

현재 사용되고 있는 디스플레이로는 CRT, PDP, LCD, FED, ELD등이 있으며, OLED는 1987년 미국 Eastman Kodak사의 Tang이 OLED의 표시소자에 적용 가능성을 실제로 증

명한 이후, 당초 소자의 짧은 수명은 해결하기 어려운 가장 큰 문제로 지적되어 왔으나 최근 들어 소자의 수명이 획기적으로 연장됨으로써 기술개발의 새로운 전기를 맞고 있다. 그 결과 단색광 OLED 표시소자가 시판 중인 기기의 표시부품으로 사용되기 시작했으며, 풀 컬러 OLED 시제품이 보고되기 시작하는 등 기술발전이 한층 가속화되고 있다.

OLED는 자체 발광형이고, 소비전력이 낮다. 그리고 시야각이 넓고, 화소의 응답속도가 마이크로 초 이하로 아주 빠르기 때문에 고화질의 동영상을 표현할 수 있다. 또한, 다른 디스플레이 기술과 비교해서 제조 공정이 간단하고, 생산비용이 낮다는 장점을 가지고 있기 때문에 가장 유망한 차세대 평판 디스플레이 기술로서 평가받고 있다.

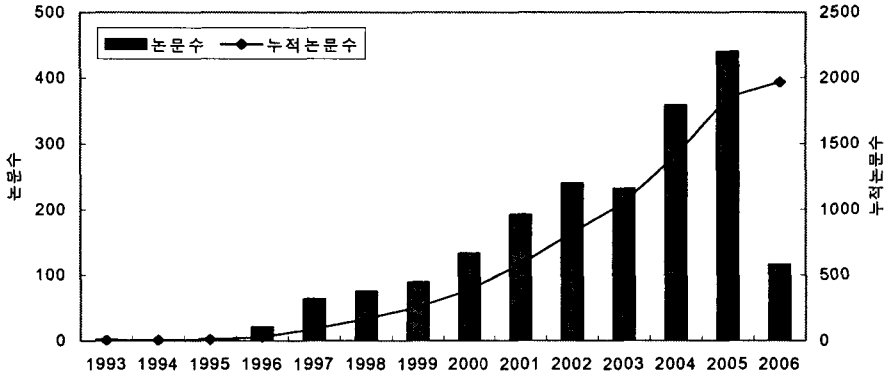
한국은 세계 1, 2위를 다투는 주요 디스플레이 생산국으로서 차세대 디스플레이인 OLED 분야에서도 선두적인 입장에서 연구개발을 활발히 진행하고 있다.

2. 분석데이터

2006. 5. 31 까지 Scopus Database(www.Scopus.com)에 등록된 논문들 중 키워드 검색을 통해 1,966개 논문과 이를 인용하는 11,912 논문의 서지정보를 확보하였다.

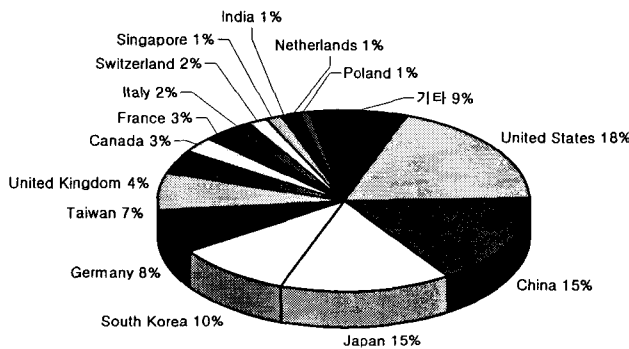
3. OLED 연구활동 분석 및 평가결과

〈그림 3〉은 OLED 기술의 연도별 발표논문수를 보여준다. 2003년을 제외하고 최근까지 논문이 꾸준히 증가하고 있어서 OLED는 계속적으로 발전하고 있는 기술임을 알 수 있다. 참고로 2006. 5. 31이 데이터 검색 시점이므로 2006년 데이터는 완전하지 못해 분석에서 제외해야 한다.

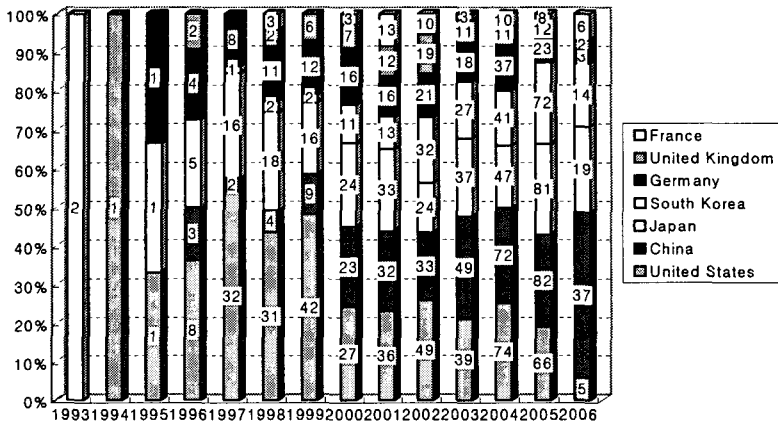


〈그림 3〉 연도별 발표논문수

〈그림 4〉는 국가별 논문 점유율을 보여주고 있으며, 논문별로 다수의 저자가 있는 경우 모든 국가를 계산한 수치이다(주저자 기준 국가별 점유율도 차이가 없는 것으로 나타났다). 미국이 410편의 논문을 발표하여 전체 18%를 점유하고 있으며, 다음으로 중국, 일본, 한국의 순서이다. 〈그림 5〉는 주요 국가별 점유율의 연도별 변화 추이를 보여주고 있다. 미국의 경우 전체 학문분야에서의 논문발표 건수가 - 언어 등의 여러 요인에 의해서 - 한국의 10배를 훨씬 넘는 것을 고려한다면 2005년 OLED 논문발표 수준은 미국을 능가하는 것으로 볼 수도 있다. 중국은 OLED 산업이 아직 초보적이지만 대규모 소비시장과 세계적 수준의 기초과학(화학 등)을 갖추고 있으며, 국가적 지원 아래 적극적으로 육성되고 있는 현황을 반영하듯 논문발표가 급격히 늘고 있다. 과학기술분야의 전통적 강국인 독일은 최근에는 OLED 기술에서 세계적 비중이 축소되고 있는 양상이다. 〈그림 4〉와 〈그림 5〉를 통해 한국의 OLED 연구수준이 세계적인 것으로 판단할 수 있다.

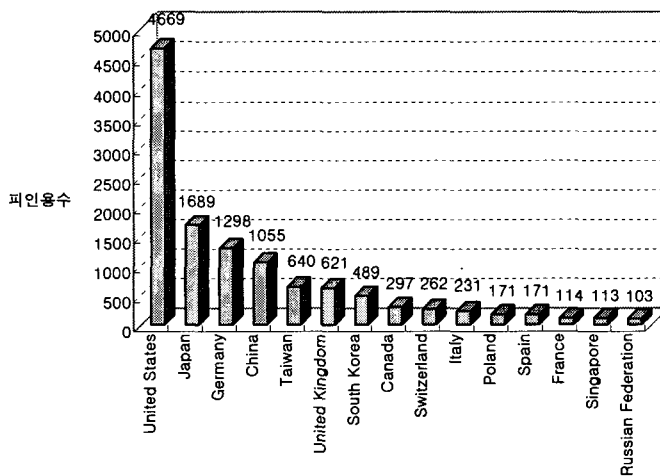


〈그림 4〉 국가별 논문 점유율



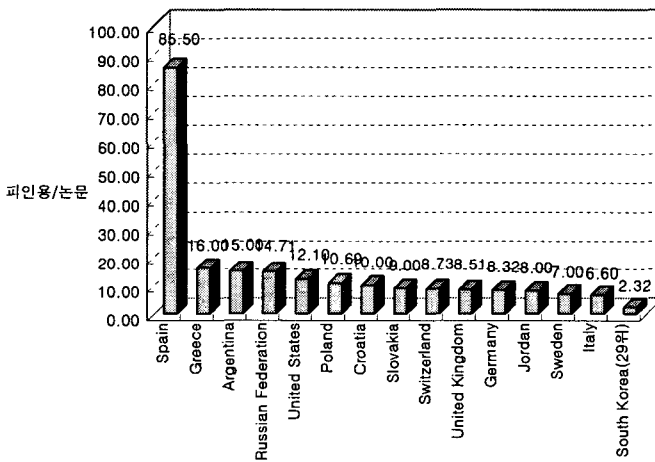
〈그림 5〉 국가별 점유율 변화

〈그림 6〉은 주저자의 국가별 피인용수를 보여준다. 주저자의 국적이 그 논문의 피인용수를 모두 가진 것으로 간주하고 분석을 수행하였다. 소속이 두 국적으로 되어있을 경우 두 국가 모두 피인용수를 동일하게 갖는 것으로 계산하였다. 논문수에서는 중국, 일본과 큰 차이를 보이지 않았던 미국이 피인용수에서는 이들을 크게 앞서고 있다. 논문 편수에서 5위였던 독일은 3위로 나타났다. 한국은 논문 편수에서는 4위였으나, 피인용수는 대만에 뒤진 7위를 차지하고 있다. 인도는 19위로 순위에서 밀려났으며, 러시아는 Moscow D. Mendeleev Univ.의 Shoustikov, A.A.(University of Southern California에서 진행된 연구에 참여함)의 논문 1편이 97번 피인용되어 순위에 들어오게 되었다. 이 분석을 통해 한국의 OLED 연구의 질적인 수준이 양적인 수준에 비해 낮은 것으로 평가할 수 있다.



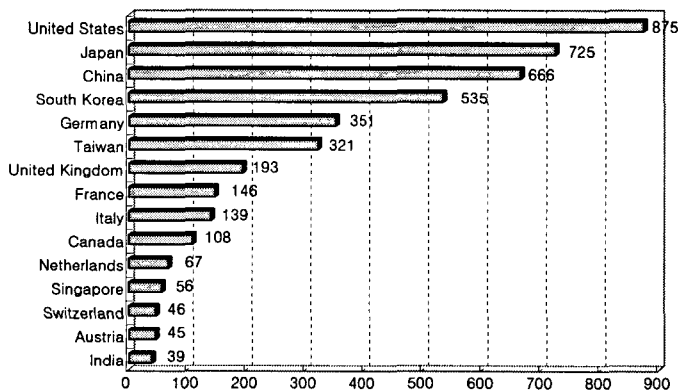
〈그림 6〉 국가별 피인용수

〈그림 7〉은 주저자 국적의 국가별 피인용수를 논문수로 나눈 지표로서 주저자의 국가별 논문당 피인용수를 보여준다. 스페인이 2편의 논문을 발표하였으나, 그 중 Universidad Complutense의 Segura, J.L.가 쓴 논문이 총 171번 피인용 되어 논문당 피인용수가 가장 높게 나타났다. 논문편수에서 15위에 오른 국가 중에는 미국이 가장 높은 수치를 보이며, 다음으로 폴란드, 스위스, 독일, 스웨덴, 이탈리아 순이다. 한국은 29위로 17위 일본, 22위 대만, 25위 중국보다 낮아서 연구효율성 측면에서 디스플레이 분야 강국으로서의 연구성과를 제대로 보여주지 못하고 있는 것으로 평가할 수 있다.



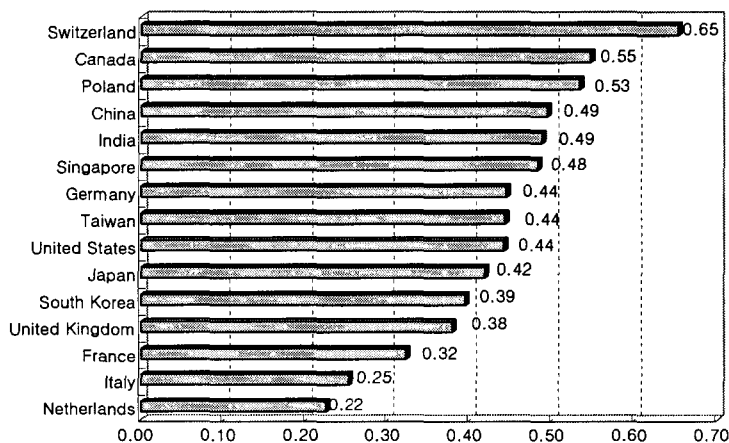
〈그림 7〉 국가별 논문당 피인용수

〈그림 8〉은 논문 발표 저자수를 보여준다. 국가별로 논문을 발표한 모든 저자수는 논문의 발표수와 유사함을 알 수 있다. 즉 논문 발표량은 연구지수에 비례하는 것으로 추론할 수 있다.



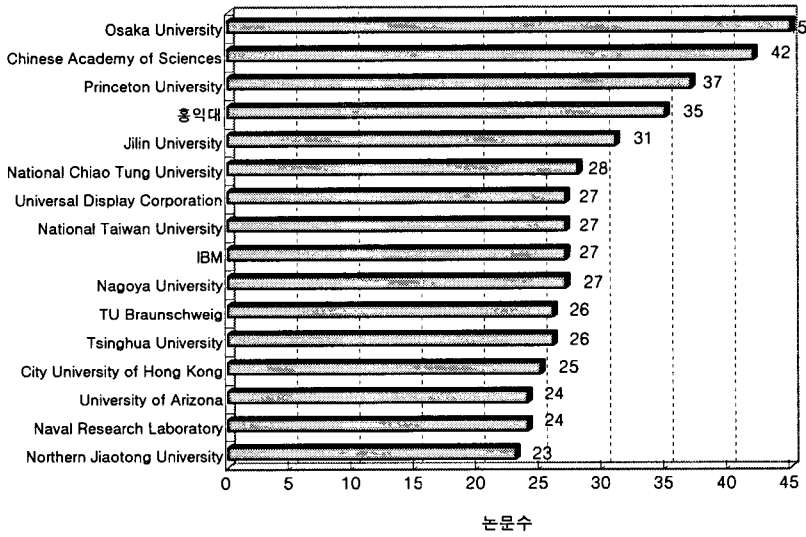
〈그림 8〉 논문발표 저자수

〈그림 9〉는 주저자 기준으로 논문수 상위 15개국의 저자 1명당 논문 생산성을 보여준다. 국가별로 주저자 논문수/논문 발표 저자수 수치이다. 저자 1명당 논문 생산성이 가장 높은 국가는 스위스로서, 저자 1명이 0.65편의 논문을 썼으며, 다음으로 캐나다 0.55편, 폴란드 0.53편 순이다. 한국은 일본 다음으로 11위로서 저자당 0.39편의 논문을 쓴 것으로 나타났다. 저자 1명당 논문생산성이 높다는 것은 연구자들의 연구활동이 활발하다는 긍정적인 측면으로 해석가능하나, 경우에 따라서 연구자 폭이 좁다는 부정적인 해석도 가능하다. 그러나 추상적이기는 하나 연구자가 일정수 이상이 될 경우는 긍정적 해석이 바람직할 것이다.

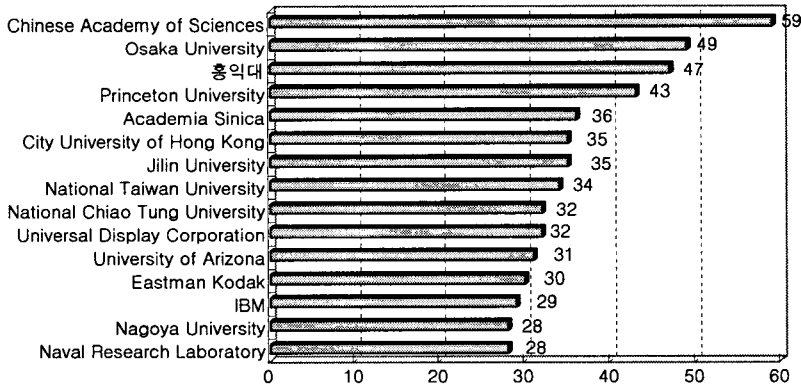


〈그림 9〉 저자 1명당 논문 생산성

〈그림 10〉과 〈그림 11〉은 주저자 및 모든 저자 소속기관에 관한 논문발표수를 보여준다. 주저자 분석에서는 일본 Osaka University에서 45편의 논문을 발표하여 1위로 나타났으며, 중국의 Chinese Academy of Sciences가 42편, 미국의 Princeton University이 37편, 다음으로 한국의 홍익대 35편으로 나타났다. 모든 저자 분석은 대만의 중앙연구소인 Academia Sinica가 5위에 올라있는 것을 제외하면, 주저자 분석과 유사하다. 한국의 홍익대가 논문발표에서 세계적인 수준임을 알 수 있다.

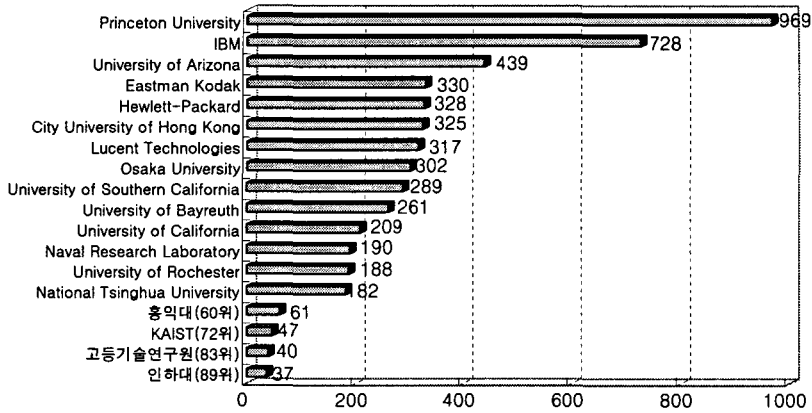


〈그림 10〉 주저자 소속기관분석



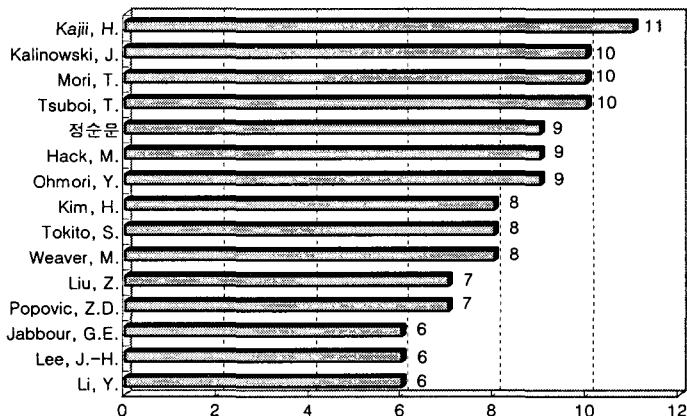
〈그림 11〉 모든저자 소속기관분석

〈그림 12〉는 주저자의 소속기관 피인용수를 보여준다. 1위에서 5위까지 모두 미국의 기관들이 차지하고 있으며, 6위 중국(홍콩) City University of Hong Kong, 8위 Osaka University, 10위 독일 University of Bayreuth, 14위 대만 National Tsinghua University 등의 비영어권 국가 기관들이 있다. 한국기관들 중에는 홍익대가 60위, KAIST 72위이며, 현재 실제적으로 OLED 연구가 수행되지 않는 고등기술원과 인하대가 각각 83위, 89위를 차지하여, 비영어권국가인 것을 고려하더라도 논문수에 비하여 피인용수가 낮다는 것을 알 수 있다. 즉 OLED 연구에서 질 제고에 대한 노력이 필요하다고 평가된다.

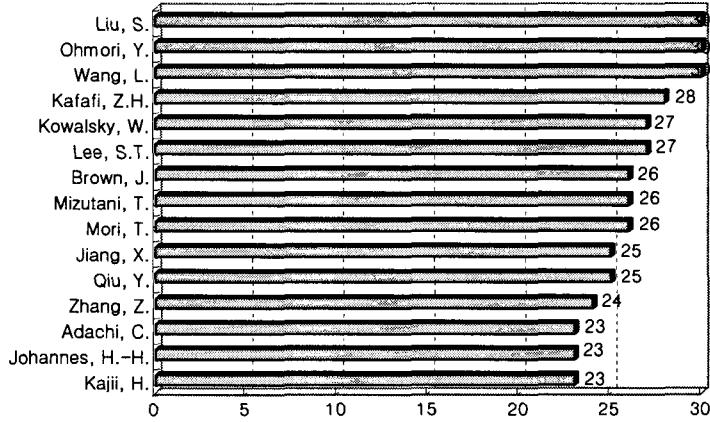


〈그림 12〉 1저자 소속기관 피인용수 분석

〈그림 13〉과 〈그림 14〉는 각각 주저자 논문수와 모든 저자의 논문수를 보여준다. 주저자로 논문을 가장 많이 발표한 연구자는 일본 Osaka University의 Kajii, H.로 11편을 발표했으며, 다음으로 폴란드 Technical University of Gdansk의 Kalinowski, J., 일본 Nagoya University의 Mori, T., 일본 Kyoto Sangyo University의 Tsuboi, T.가 각 10편의 논문을 발표하고 있다. 모든 저자 분석에서는 Ohmori, Y.만이 순위가 상승하였으며 Mori, T.와 Kajii, H.는 순위가 하강하였고, 그 외 저자는 순위밖으로 밀려났다. 소속기관 분석과는 달리 저자분석에서는 주저자 기준 분석과 모든저자를 포함하는 분석에서 저자별로 순위차이가 많이 나는 것을 볼 수 있다. 따라서 개인 연구실적 평가에서 평가 목적에 따라 평가방법을 달리해야 할 것이다.

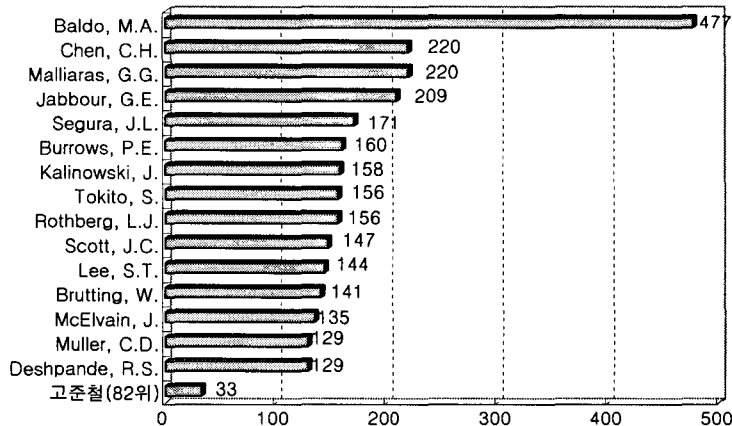


〈그림 13〉 주저자 논문수



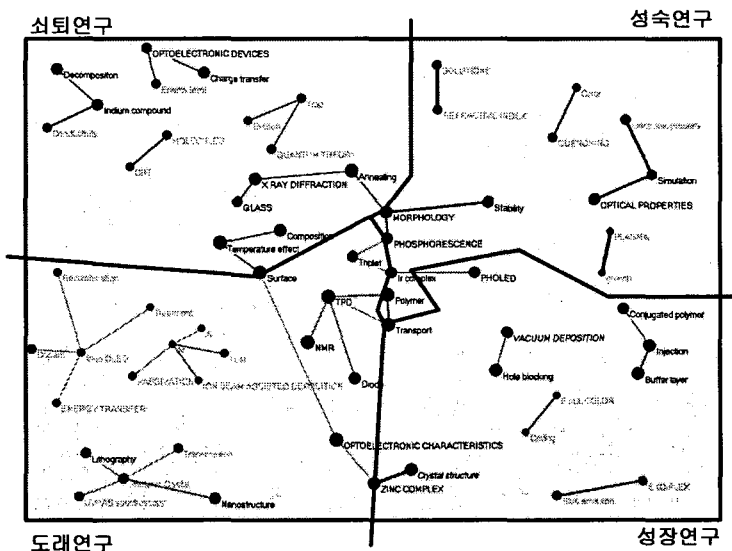
〈그림 14〉 모든저자 논문수

〈그림 15〉는 주저자의 피인용수를 보여준다. 미국 Princeton University의 Baldo, M.A.는 주저자로 2편의 논문을 발표하였는데, 1999년에 발표한 “Very high-efficiency green organic light-emitting devices based on electrophosphorescence” 논문이 477번 피인용되어 총피인용수에서도 1위를 차지하였다. 폴란드 Technical University of Gdansk의 Kalinowski, J.는 폴란드의 대표적인 OLED 연구자로서 논문수나 피인용수에서 모두 우수한 것으로 나타났다. 한국의 KAIST 소속이었던 고준철(소속변경)은 3편의 발표논문이 총 33번 피인용되어 82위를 차지하였다. 논문의 발표수와 논문의 피인용수가 비례하지 않으므로 성과평가 시 두 요소를 모두 고려해야 할 것이다.



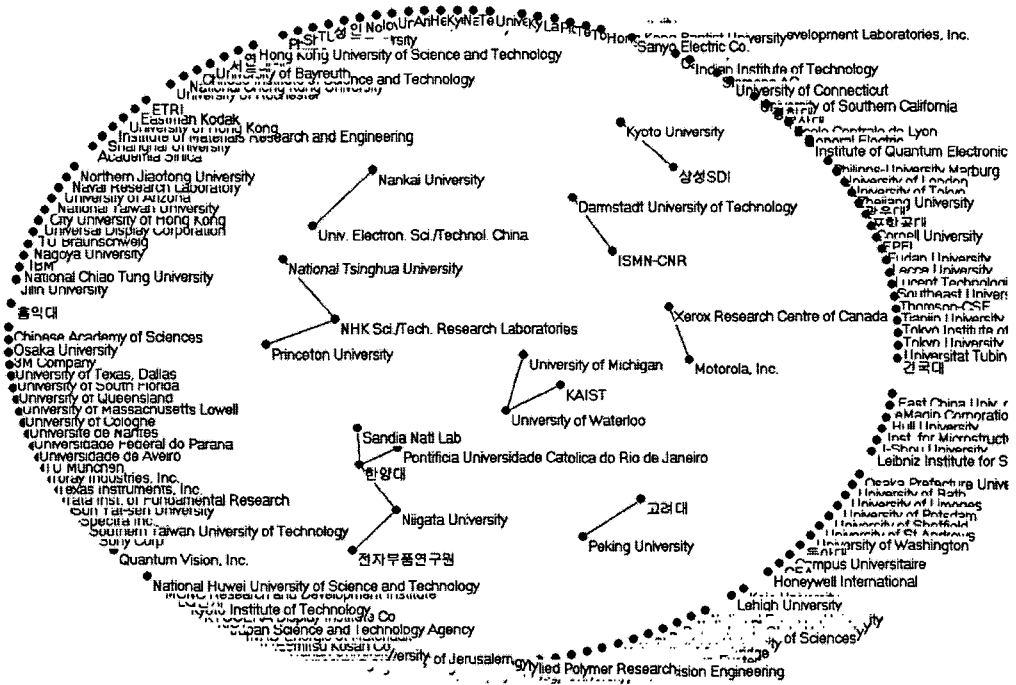
〈그림 15〉 주저자의 피인용수

(그림 16)은 OLED 연구를 도래, 성장, 성숙, 쇠퇴 4개의 영역으로 구분하고 각 영역마다 과학계량분석기법으로 시그널이 강한 4-5개 연구영역을 보여주고 있다. 도래 연구는 2005년부터 연구가 싹트기 시작한 분야로서 고효율을 얻기위한 청색발광(Recombination, dopant, energy transfer, energy transfer), 전극제작기술(Al, Ion Beam assisted deposition), 소자의 내구성 관련한 Passivation 기술, 기존의 진공박막구조에서 새로운 개념을 도입한 OLED 분야(Photonic crystal, nanostructure). 성장연구는 2005년부터 연구가 눈에 띄게 활발해진 분야로서 발광층에 Ir을 기초한 인광소재(Ir complex, PHOLED)적 용에 따른 고효율화, 양산기술에 대비한 박막공정기술(Vacuum deposition), Full color 화 기술, 구동방법에 따른 OLED 수명증가, 청색발광 분야. 성숙연구는 2005년 이후에도 계속해서 활발히 연구되는 분야이며 소자제작을 위한 기본공정기술로 균일한 박막을 얻기 위한 공정기술(Vacuum deposition), 수명을 연장시키기 위한 소자의 안정성(stability), Simulation을 통한 OLED 소자의 구조 및 광학적 특성(optical properties). 도핑에서 소광현상(Quenching) 분야. 쇠퇴연구는 2005년 이후 연구활동이 감소하는 분야이며 OLED 소자의 물리적인 이해를 기초한 연구분야로서 전하의 이동(charge transfer), 소재 및 소자의 energy level 제어, 유기박막에서 분자의 Quantum theory, Exciton의 제어, Charge의 trap 분야. 기술 포지셔닝을 통하여 현재의 기술상태를 평가함으로써 향후에 연구개발을 집중해야 할 연구분야가 어디인지 판단할 수가 있다.



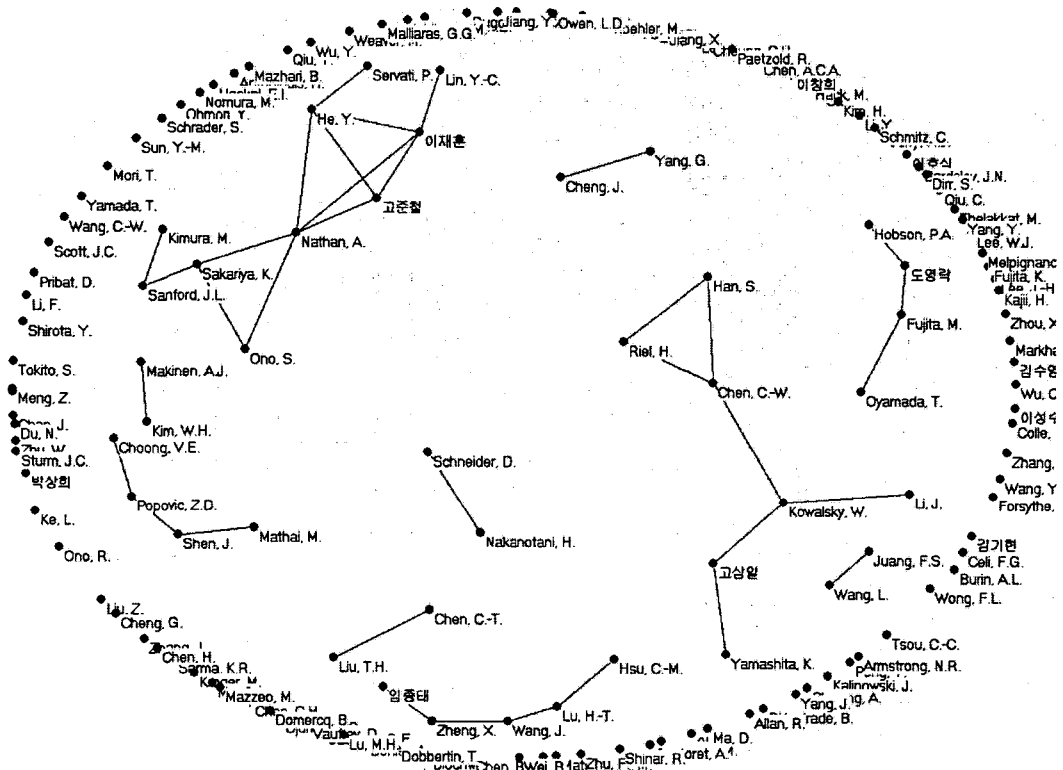
(그림 16) 세부기술별 포지셔닝

〈그림 17〉은 동시인용분석을 기관에 적용하여 기관에서 수행하는 연구사이의 유사성을 보여준다. 공저분석과는 달리 제 3의 연구자들에 의해 유사한 연구를 수행하는 기관으로 인식된다는 점에서 객관적이며, 연구내용상에서 클러스터를 구성하여 OLED 기술에서 수행되고 있는 연구들을 대변할 수 있다. OLED 기술은 아직까지 상업화가 완전히 진행되지 못한 도약하는 유망기술영역이며, 기존 디스플레이 기술이 종합된 기술로서 네트워크의 밀집도(Density)가 매우 낮다는 특징을 지닌다. 동시인용 관계를 Cosine 계수로서 Normalize하였으며, 일반적으로 사용하고 있는 Cut off 값인 0.3을 적용하였을 경우 Sandia Natl Lab, 한양대, Pontificia Universidade Catolica do Rio de Janeiro의 관계만이 형성된다. 이들 세 기관의 연구는 매우 유사한 점을 가지며, 동시에 연구자들에게 강하게 인식될 정도의 연구상의 중요성을 지닌다. Cut off 값을 0.2로 낮추면 〈그림 17〉과 같은 네트워크 관계들이 도출되나 그 유사성이 낮다.



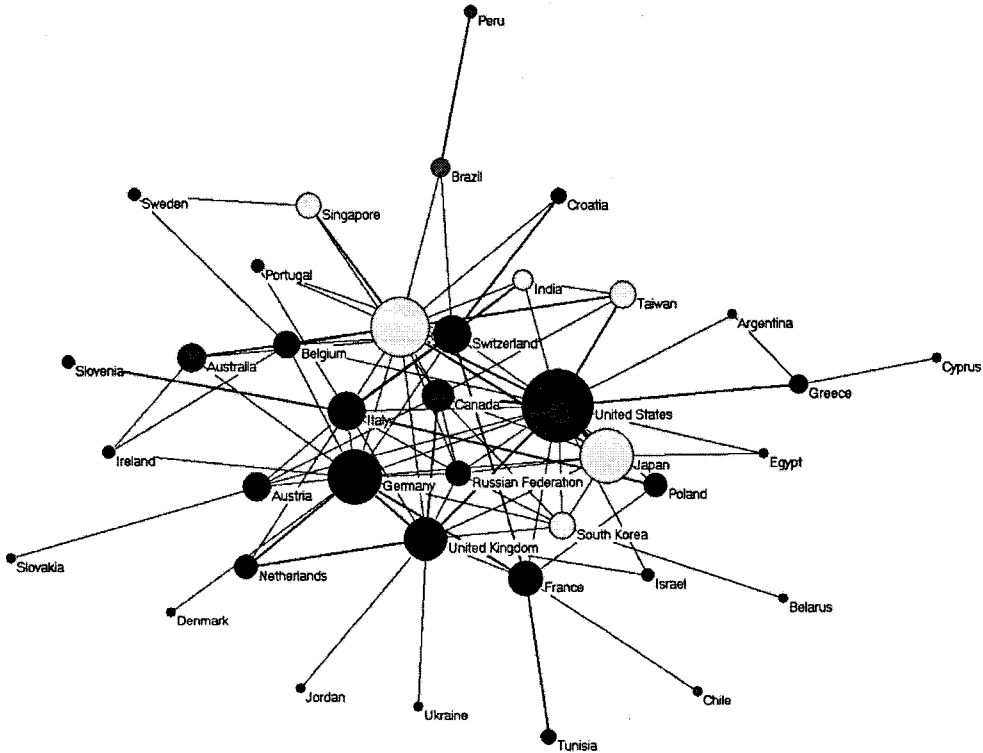
〈그림 17〉 유관 연구기관

〈그림 18〉은 연구기관의 유사성분석과 동일한 방법으로 연구자들 사이의 유사관계를 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이 밀집도가 낮아서 Cut off 값을 0.2로 하였으며 네트워크가 주는 의미는 약하다. 이재훈, 고준철, 도영락, 임종태, 고삼일 등 한국연구자들이 다수 포함되어 있는 특징이 나타났다.



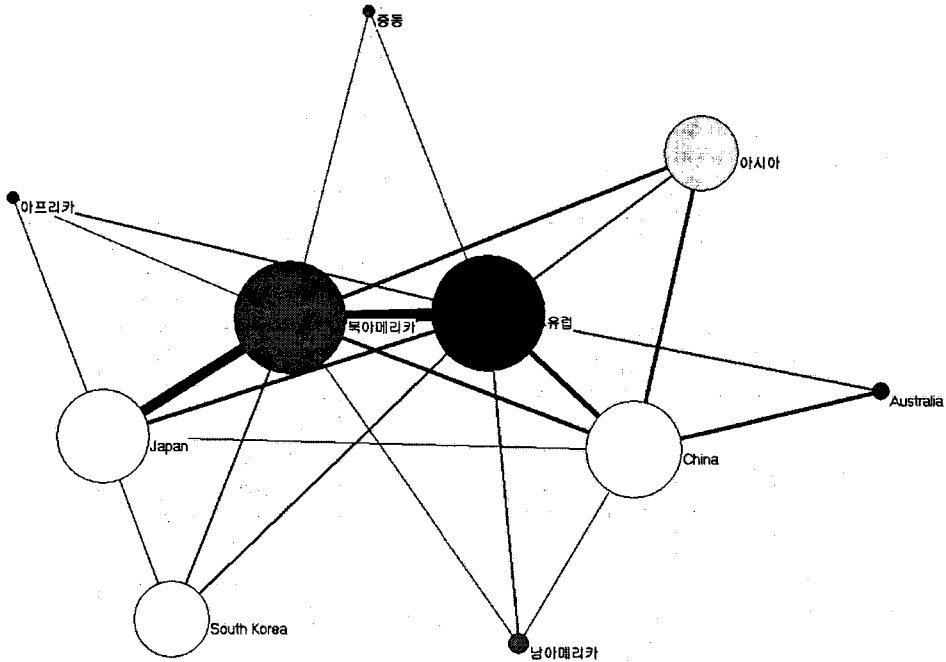
〈그림 18〉 유관 연구자

〈그림 19〉는 국가간의 공동연구 현황을 네트워크형태로 보여준다. 원의 크기는 공동연구 회수, 원의 색깔은 대륙구분, 선의 굵기는 각 단의 공동연구 실적을 나타낸다. 공동연구가 활발한 국가는 미국, 중국, 독일, 영국 등이며, 일본과 한국은 유사한 공동연구 형태를 보인다. 중국은 싱가포르, 인도, 대만 등의 아시아 국가뿐만 아니라 유럽의 여러나라와 활발히 공동연구를 수행하여, 일부 선진국과 공동연구를 수행하는 형태를 벗어나 탈아시아적인 연구 형태를 취하고 있다.



〈그림 19〉 국가간 공동연구

〈그림 20〉은 국가별 공동연구 그림을 간략화하여 한중일 3개국과 각 대륙간의 공동연구 현황을 보여준다. 아프리카, 중동, 오스트레일리아, 남아메리카에서는 국가별 공동연구가 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 일본과 북아메리카, 유럽과 북아메리카 사이의 공동연구가 가장 활발하다. 일본은 한국을 비롯하여 중국, 북아메리카, 유럽, 아프리카와 공동연구를 수행하고 있으며(특히 북아메리카와의 공동연구관계가 강함), 중국은 오스트레일리아, 아시아, 남아메리카, 일본 북아메리카 등 여러 대륙의 국가와 공동연구를 수행하고 있다. 한국은 유럽, 북아메리카, 일본에 한정되어 공동연구를 수행하고 있어, 다른 지역과의 공동연구도 고려할 필요가 있는 것으로 평가된다.



〈그림 20〉 한중일 대륙간 공동연구

V. 결 론

과학기술이 다양해지고 융합기술이 발달함에 따라 동료평가만으로 기술과 성과를 평가하는 것은 더욱 어려워졌다. 해당 전문가를 찾기도 쉽지 않을 뿐만 아니라 연구자들 사이에 이해관계가 한층 복잡해졌기 때문이다. 중화학과 같은 비교적 덩치가 큰 기술이 발달하던 시기에는 평가자의 직관에 의한 평가만으로도 나쁘지 않은 선택이 가능하였다. 하지만 작금의 과학기술은 변화의 속도가 빨라 협소한 전공지식을 가진 전문가들이 변화의 방향을 제대로 판단하는 것은 불가능하다. 연구자나 연구기관의 연구 성과 평가에서도 Matthew effect에 의해 눈에 띄는 일부만이 주목을 받을 뿐, 심층에서 연구결과를 쌓고 있는 다수에 대해서는 연구비가 합리적으로 분배되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 상황에서 과학계량학을 이용한 평가의 필요성이 증대되고 있는 것은 당연한 결과일 것이다.

과학계량학에서는 OLED 사례에서 보인 것 외에도 평가에 적용 가능한 많은 기법들이 연구개발되고 있다. 그러나 과학계량학을 이용한 평가가 가지는 몇 가지 문제로 인해 이들 기법이 실제평가에 적용되지 못해 그 실효성이 증명되지 못하고 있다. 과학기술분야별 논문발표 및 인용수의 불평등, 영어저널에 편중된 평가범위, 정립되지 못한 과학기술분류체계, 분석결과 해석의 어려움 등이 그것이다. 과학계량학을 연구하는 학자들 중에는 과학계량학만으로도 연구활동 평가가 가능하다고 주장하는 사람들이 있다. 그러나 이것은 과학계량학이 가지는 한계를 간과한 데서 비롯된 주장일 것이다. OLED 분석에서와 같이 중국이 한국보다 논문발표수와 피인용수에서 앞선다고 해서 기술수준에서 앞서는 것은 아니다. 물론 특허분석 결과 OLED 분야에서 중국의 출원비율이 낮다는 사전 정보를 가지고 논문분석을 수행하였다면, 현재의 기술수준은 낮지만 OLED 기술 확보를 위해 연구가 활발히 진행 중이라는 평가를 내렸을 수도 있다. 그렇지만 계량적인 수치에 영향을 줄 수 있는 기타 요인들이 존재하고 그것을 모두 평가에 반영할 수 없는 한, 동료평가와 과학계량적 평가를 병행하는 것이 보다 정확한 평가를 가능하게 할 것이다.

본 연구에서는 OLED 기술에 대해 전통적인 집계분석과 몇 가지 네트워크 분석기법을 과학계량학적 평가의 예로서 살펴보았다. 한국의 과학기술 관리자가 이 분석결과를 본다면, 한국의 OLED 기술은 세계적이지만 연구의 질적인 수준은 개선할 필요가 있고, 한국보다 기술수준이 많이 낮은 것으로 인식되던 중국의 추적이 예상보다 무섭게 진행 중이며, OLED 기술의 발전을 위해서 기술 포지셔닝 결과에 나타난 도래하고 성장하는 기술에 투자를 집중해야 한다는 것을 파악했을 것이다. 더불어 한국은 일본이나 중국과는 달리 일부 국가에 한정하여 공동연구를 수행하고 있어, 연구성과 제고 및 확산을 위해 다른 지역과의 공동연구도 고려할 필요가 있음을 감지했을 것이다. 여기에서 기술 포지셔닝을 통한 한국의 연구집중 분야 파악과 국제 공동연구 확대필요성은 네트워크 분석을 통해서 가능한 평가이다. 그러나 본 연구에 나타난 일부 결과에 대해 정책입안자 및 연구관리자 입장에서는 실제 평가에 어떠한 효용성이 있을지에 대해 의문을 제기할 수도 있다. 이를테면 한국의 국제공동연구가 다른 국가에 비해 다양하지 못하다고 해서 무엇이 문제인가이다. 이에 대한 해답을 얻기 위해서는 우선 평가의 목적을 명확히 설정했어야 하고, 다음으로 그 목적에 맞는 분석, 즉 국제공동연구를 수행하는 기술분야와 패턴 및 성과 등에 관한 분석을 좀 더 면밀히 수행해야 한다. 이는 과학계량학적 연구활동 평가의 효용성을 증진시키기 위해 향후 과학계량학이 연구를 지속해야 할 과제이다.

참고문헌

- Adam, D., 2002, "The counting house" . *Nature*, 415(6873), 726-729.
- Börner, K., C. Chen, and K.W. Boyack, 2003, "Visualizing knowledge domains", *Annual Review of Information Science and Technology*, 37, 179-255.
- Callon, M., J. P. Courtial, and Laville, F., 1991, "Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry" , *Scientometrics*, 22(1), 155-205.
- Callon, M., J. Law, and A. Rip, 1986, *Mapping the Dynamics of Science and Technology*, Sociology of Science in the Real World, London: The Macmillan Press Ltd.
- Case, D. O., and G. M. Higgins, 2000, "How can we investigate citation behavior? A study of reasons for citing literature in communication" , *Journal of the American Society for Information Science*, 51(7), 635-645.
- Courtial, J. P., 1994, "A cword analysis of scientometrics" , *Scientometrics*, 31(3), 251-260.
- Egghe, L., 2006, "An improvement of the h-index: The g-index" . *ISSI Newsletter*, 2 (1), 8-9.
- Glänzel, W., H. F. Moed, 2002, "Journal impact measures in bibliometric research" , *Scientometrics*, 53(2), 171-193.
- Hirsch, J. E., 2005, "An index to quantify an individual' s scientific research output" , *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 16569-16572.
- Jones, W. P., and G. W. Furnas, 1987, "Pictures of relevance: A geometric approach to the analysis of similarity measures" , *Journal of the American Society for Information Science*, 38, 420-442.
- Kessler, M. M., 1963, "Bibliographic coupling between scientific papers" , *American Documentation*, 14, 10-25.

- Law, J., S. Bauin, J.-P. Courtial, and J. Whittaker, 1988, "Policy and the mapping of scientific change: A co-word analysis of research into environmental acidification" , *Scientometrics*, 14, 251-264.
- Liu, M., 1993, "Progress in documentation: the complexities of citation practice: a review of citation studies" , *Journal of Documentation*, 49(4), 370-408.
- Martin, B. R., and J. Irvine, 1983, "Assessing basic research. Some partial indicators of scientific progress in radio astronomy" , *Research Policy*, 12, 61-90.
- Morris, Steven A., 2005, "Unified mathematical treatment of complex cascaded bipartite networks: The case of collections of journal papers" , Dissertation, Oklahoma State University.
- Nooy, W. D., M. Mvrrar, A., and V. Batagelj, 2004, *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*, Cambridge.
- Norris, M., and C. Oppenheim, 2007, "Comparing alternatives to the Web of Science for coverage of the social sciences' literature" , *Journal of Informetrics*, 1-9.
- He, Q., 1999, "Knowledge discovery through co-word analysis" , *Library Trends*, 48(1), 133-159.
- Schubert, A., and T. Braun, 1986, "Relative Indicators and Relational Charts for Comparative Assessment of Publication Output and Citation Impact (with A. Schubert)" , *Scientometrics*, 9(5-6), 281-291.
- Schubert, A., and T. Braun, 1996, "Cross-field normalization of scientometric indicators" , *Scientometrics*, 36, 311-324.
- Small, H., 1973, "Co-citation in the scientific literature: a new measure of the relationship between two documents" , *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265-269.
- Small, H., 1982, "Citation context analysis" , *Progress in Communication*, 3, 287-310.
- Turner, W., G. Chartron, F. Laville, and B. Michelet, 1988, "Packaging information

for peer review: New co-word analysis techniques” , *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*, Elsevier, 291-323.

White, H. D., and B. C. Griffith, 1981, “Author cocitation: A literature measure of intellectual structure” , *Journal of the American Society for Information Science* 32, 163-171.

여운동

경북대학교 전자공학과를 졸업하고, 동 대학에서 전자정보통신대학원에서 석사학위를 취득하였다. 현재 한국과학기술정보연구원에 연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 계량정보분석, 정보네트워크분석 등이다. 주요저서로는 블루투스 기술동향, PCB 등이 있다. 또한 특허동향분석, 기술동향분석 등에 관한 다수의 논문이 있다.

이우형

현재 정보통신연구진흥원 중장기전략팀 선임연구원으로 재직중이다. 한국외국어대학교에서 경영학 박사 학위(2002)를 취득하였다. 과학기술정책연구원 신기술경제성분석연구센터 부연구위원(2004)으로 재직하였으며, 보스턴대학교에서 박사후 과정(2005)을 수행하였다. 주요 관심분야는 계량정보분석, 정보기술 평가, R&D 성과평가 등이다.

이상필

건국대학교에서 학석사 과정을 수료하고 일본 오사카대학교에서 응용생물공학 박사학위를 취득하였다. 현재 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원으로 재직 중이며 주요 연구 분야는 기술가치평가, 정보계량분석, 과학기술동향분석 등이다. 주요 저서 및 논문으로는 생물산업 발전방안, 개별기술 가치평가, 유전자치료의 기술개발 동향분석(기술혁신학회지 2002), 인공혈관의 R&D 동향분석(Biomaterials Research, 2005)등이 있다.