

과학기술 성과에 대한 네트워크 연구

김진애¹⁾, 이희상²⁾
성균관대학교 기술경영대학원

Abstract

국내 연구개발 활동의 다양한 구조적 특성을 파악하기 위하여 명시화된 지식인 ‘논문’을 중심으로 사회 네트워크 분석을 하고자 한다. 첫째, 과학기술 분야간 지식의 흐름을 네트워크 분석을 이용하여 정성적/정량적으로 분석하고 둘째, 국내 연구기관의 공동연구 현황에 대하여 공동연구 네트워크와 연구기관 중심도를 분석한다. 마지막으로 두 네트워크를 연결함으로써 다차원적인 네트워크 분석을 시도해보고, 앞으로의 기술정책의 발전방향을 모색한다.

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

과학 지식 자체는 대부분 무형이나, 연구의 결과로 발표된 ‘명시화된 지식’은 객관적 개체로서 지식의 생산, 확산, 이용 등과 같은 지표로 측정하기에 좋은 자료이다[1]. 명시화된 지식은 일반적으로 논문, 특허, 책, 보고서 등이 있는데, 본 연구에서는 SCI 논문을 이용하여 국내 연구개발 활동의 다양한 구조적 특성 파악하고자 한다.

이 연구의 필요성은 다음과 같다.

첫째, 국내 연구개발 활동의 다양한 특성을 파악해야 한다. 올바른 국가 정책 수립을 위하여 현 상태를 파악하는 것은 매우 중요하다. 과학기술 분야 간의 융합의 정도, 공동 연구의 현황 등을 살펴보면서 지금은 어떠한 형태인지 살펴보고자 한다.

둘째, 사회네트워크 분석 방법론을 이용하

여 분석하고자 한다. 기존에도 이와 같은 방법론으로 많은 연구가 있었지만, 연결의 유무와 같은 기초적인 방법이 쓰였다. 본 연구에서는 링크에 적절한 가중치를 두고, 여러 가지 방법을 이용하여 가중치가 의미하는 바를 이끌어내고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

SCI란 미국 과학정보 연구소(ISI : Institute for Scientific Information)가 과학기술분야 학술잡지에 게재된 논문의 색인을 수록한 데이터베이스를 의미한다. ISI는 설립 이전인 1985년부터 화학, 의학, 생명 과학 분야의 현재 내용을 제공하기 시작하여 현재는 그 대상을 전 학문 분야로 넓혔다. 매년 전 세계에서 출판되고 있는 과학기술저널 중에 자체기준과 전문가의 심사를 거쳐 등록 학술지를 결정한다. 따라서 SCI등록여부는 세계적으로 그 권위를 인정받고 있는 학술지 평가기준이 된다.

연구 자료로는 ISI사에서는 제공하는 SCI CD의 DB를 이용하였다. 가장 최근 자료인 2007년 자료와 BK 21사업의 시작 년도인 1999년도의 ‘국내 연구자들에 의한 논문’을 조사하였다. 또한, ‘국내 연구자들에 의한 논문발표’는 논문저자 주소 필드에서 ‘SOUTH KOREA’로 검색하였다.

본론의 1장에서는 논문의 인용/피인용 분석을 통하여 과학기술 분야 간의 융합에 관해 살펴본다. 2장에서는 연구기관의 공동연구에 관한 네트워크를 살펴보고, 의학, 화학, 공학과

1) 성균관대학교 기술경영대학원 석사과정

2) 성균관대학교 기술경영대학원 교수

같은 세부분야에 관한 공동연구 네트워크를 비교해본다. 3장에서는 두 네트워크를 연결함으로써 다차원적인 네트워크 분석을 해본다.

2. 본론

1. 과학기술 분야 간 융합에 대한 네트워크

논문분석과 같은 계량서지학적인 연구에서, 여러 분야의 학제적인 연구나 과학기술의 융합에 대해서 여러 연구방법론이 제시되었다. 논문에 제시된 주요 단어를 이용한 ‘동시단어 분석(co-word analysis)’ 방법, 논문의 인용과 피인용의 네트워크를 분석하는 방법[2] 등이 있다.

이 장에서는 과학기술 분야 간의 융합을 ‘논문의 인용과 피인용 네트워크 분석방법’으로 분석한다. 또한, 물리학과 재료공학과 같은 세부 분야를 선택하여 ‘계량서지학적인 척도(Bibliometric indicators)’[3]를 이용하여 세부 분야 내의 학제적인 연구 정도를 살펴본다.

1.1. 과학기술분야에 대한 정의

과학기술 분야를 정의하기 위하여 22개의 대분류와 180개의 소분류를 이용하였다. 대분류는 Thomson ISI에서 ESI(Essential Science Indicators)로 제공하는데, 이는 연구자, 연구기관, 국가별 현황에 대한 분석 시 사용한다. ESI분류법은 22개의 분야를 가지며 13,229개의 저널을 이 분류에 대해 나누어 놓았다.

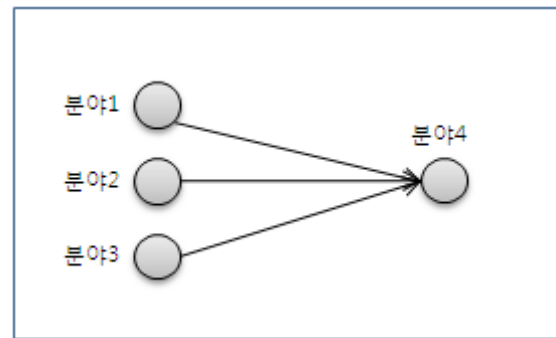
소분류는 Web of Science에서 제공하는 SC (Subject Category)라는 180개의 분류체계를 이용하였다. SC는 학술지마다 부여되는 정보로, 단일 학술지에 복수의 SC가 부여될 수 있다.

1.2. 과학기술 분야간 상관관계 연구

1.2.1. 네트워크 정의

과학기술의 분야를 ESI에서 제공하는 22

개의 대분류 기준으로 보고, 거시적으로 이 22개 분야 간 융합 정도를 살펴보자. 노드는 과학기술분야로 정의하고, 링크는 분석 모집단에 포함된 논문이 속한 ‘과학기술분야’와 인용된 논문의 ‘과학기술분야’간의 연결이라고 정의한다. 이때에 ‘링크’는 방향성을 갖게 되고, 인용횟수를 링크의 ‘가중치’로 정의한다.



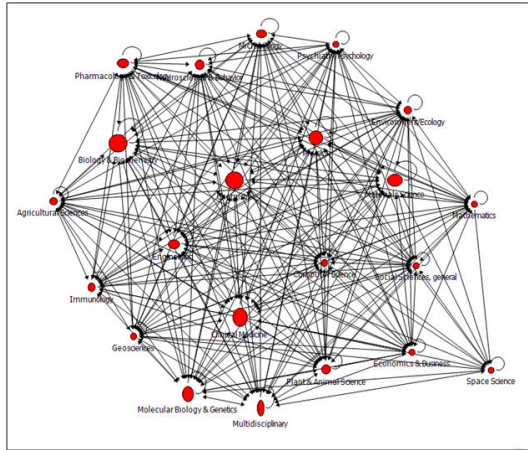
<그림1. 분야 간 인용/피인용 관계>

본 연구에서 정의한 ‘링크’는 ‘지식의 흐름’, ‘지식의 융합’이다. 즉 어떠한 과학기술분야에서 생성된 지식이 다른 과학기술분야로 전달되어 또 다른 지식을 생성하는 과정으로 이해할 수 있다. 이를 그림1에서 살펴보면, 분야 4의 논문은 분야 1,2,3논문을 인용(citing)하고 있으므로 분야 1,2,3,이 분야 4에서 융합되었다고 해석할 수 있다[4].

1.2.1. 분석 결과

2007년 SCI논문 24931개의 논문을 분석하였다. 한 네트워크에서 한 점이 다른 몇 개의 점과 연결되어 있는지를 말하는 ‘연결정도’는, ‘활동력’ 혹은 ‘영향력’을 표현하는 개념으로 활용된다. 여기서 가중치가 고려된 In-Degree 값(들어오는 화살표)이 뜻하는 것은 다른 분야에서 인용한 횟수이고, Out-Degree 값(나가는 화살표)은 다른 분야를 인용한 횟수이다[5]. 두 값을 비교하여 상대적으로 In-Degree 값이 더 큰 경우 다른 과학기술 분야에 ‘지식 제공자’역할을 하고, Out-Degree 값이 더 큰 경우 ‘지식 수용자’역할을 한다고 해석 할 수 있다.

그림2에서 노드의 크기는 ‘가중치의 합/가능한 최대 라인의 개수’로 결정된다. 이 값은 In-Degree 또는 Out-Degree값이 높을수록 커진다. ‘지식 제공자’역할은 Mathematics,



<그림2. 분야간 인용/피인용 네트워크>

Molecular Biology & Genetics, Computer Science 등이고, ‘지식 수용자’역할은 Space Science, Materials Science, Pharmacology & Toxicology, Engineering, Microbiology등이 있다.

1.3. 세부분야내의 융합의 관한 연구

세부분류 SC(Subject category)는 하나의 저널에서 여러 개를 가질 수 있는데, 여러 개의 SC를 가진 저널은 하나를 가진 저널보다 학문적 융합이 일어났다고 볼 수 있다.

225개의 SC소분류를 22개의 ESI대분류로 분류할 수 있다[6].

1.3.1. 연구 방법

대분류	소분류	저널	유형
Engineering	Mechanics	Journal1	Internal multi-assigned
	Robotics		
Chemistry	Polymer	Journal2	External Muti-assinged
Physics	Optics	Journal3	Single-assinged
	Nuclear		

<표1. SCI based Indicators>

표1은 저널을 세 가지 유형으로 나누었다. Single-assinged는 Journal3과 같이 소분류를 하나 부여받은 저널이고, Internal muti-assinged는 같은 대분류 안의 소분류를 복수개 가진 저널, External Muti-assinged는 다른 대분류의 소분류를 복수개 가진 저널이다.

1.3.1. 분석결과

분야	저널 수	Single assigne d	External multi - assigned	Internal multi- assigne d
Chemistry	311	194	90	27
Biology& Biochemistr y	224	119	112	13
Materials Science	121	50	61	10
Physics	230	112	84	7
Molecular Biology &Genetics	157	60	97	0
Immunology	57	26	28	3

<표2. 저널의 융합 정도>

Biology & Biochemistry, Molecular Biology & Genetics는 하나의 소분류를 가진 저널이 상대적으로 많다. 또한 이 분야는 여러 대분류에 걸친 소분류를 상대적으로 많이 가지는 것으로 조사되었다.

2. 공동연구에 관한 네트워크

2.1. 네트워크 정의

방향성이 없는 네트워크이고, 노드는 국내 연구자들에 의하여 발표된 SCI논문 저자목록에 열거된 연구기관, 링크는 저자목록에 연구기관명의 동시발생이다. 가중치는 다음과 같

다.

가중치 = $\frac{1}{\text{공동연구기관수} - 1}$ (단, 공동연구기관 수=1 일 때는 가중치는 1이다.)

이와 같은 가중치의 여러 가지 합을 통하여 논문의 수를 파악할 수 있다. 노드의 Degree값은 공동 논문의 수, 노드의 Self-loop 값은 혼자 연구된 논문의 수, 노드의 Degree와 Self-loop의 합은 총 논문의 수이다.

2.2. 분석결과

① 시계열적으로 살펴본 네트워크

1999년 국내 연구자들에 의해 발표된 SCI 현황을 살펴보면 다음과 같다.

순위	기관	논문 수	공동연구비율(%)
1	서울대	1832	0.59
2	카이스트	1222	0.57
3	연세대	824	0.59
4	포항공대	503	0.49
5	고려대	488	0.67

<표3. 1999년 SCI논문 현황>

공동연구 비율은 약 60% 정도 이루어지고 있으며, 포항공대는 49%로 상대적으로 공동연구 비율이 작은 것을 확인 할 수 있다.

2007년을 살펴보면 다음과 같다.

순위	기관	논문 수	공동연구비율(%)
1	서울대	2917	0.70
2	연세대	2113	0.69
3	고려대	1774	0.73
4	성균관대	1651	0.68
5	한양대	1267	0.72

<표4. 2007년 SCI논문 현황>

공동연구 비율이 약 70%로 1999년보다 10%정도 상승 하였고, 1999년 7위와 9위였던 성균관대와 한양대가 논문 수 랭킹 5위에 진

입하였다. 논문 100편 이상 쓴 한국 연구기관 중에 공동연구 비율이 가장 높은 기관은 정부출연 연구소 ‘한국기초과학지원 연구소’ 로 전체 195편의 논문 중 95%인 186편을 공동 연구하였다. 다음으로 KIST는 총 517편의 논문 중 88%의 논문 454편을 공동 연구하였다.

② 여러 분야의 공동연구 네트워크 비교

2007년 논문 중 가장 많은 논문이 나온 의학 분야와 기초과학인 화학과 공학 분야에 대해 조사하였다.

	의학	화학	공학			
전체 논문수	5673	3153	2287			
참여 기관수	2289	1480	1234			
논문의 수(개) 랭킹	서울대	993	서울대	439	서울대	347
	연세대	668	고려대	215	카이스트	191
	성균관대	506	한양대	205	연세대	162
공동연구비율(%) 랭킹	한림대	81.6	충남대	81.5	고려대	71.3
	충남대	78.8	고려대	80.9	성균관대	67.2
	경북대	77.8	경북대	76.4	한양대	66.7
공동기관과의 연구 집중도 랭킹	울산대	1.11	카이스트	0.88	카이스트	0.97
	서울대	1.08	한양대	0.78	서울대	0.72
	경희대	0.95	부산대	0.66	연세대	0.53

<표5. 공동연구 네트워크 비교>

$$\text{공동 연구된 논문의 비율} = \frac{\text{degree}}{(\text{degree} + \text{Selfloop})}$$

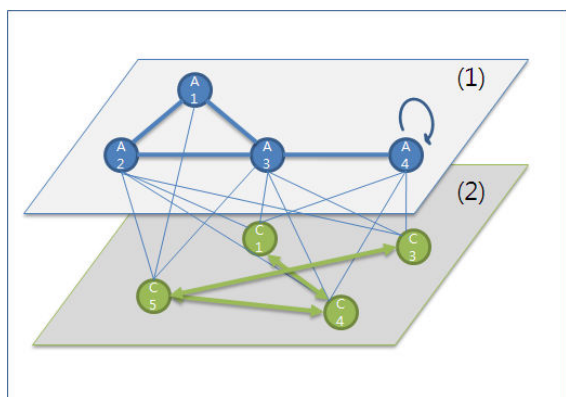
$$\text{기관의 집중도} = \frac{\text{degree}}{\text{링크의 개수}}$$

서울대는 세 분야에 관하여 모두 1위를 차지하면서 여러 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있음을 보였다. 전체 논문으로 보았을

때, 공동 연구의 비율이 높은 기관은 정부출연 연구기관들이다. 의학 분야에서는 한림대, 충남대, 경북대가 공동 연구비율이 높고, 화학 분야에서는 충남대, 경북대가 공학 분야에서는 고려대, 성균관대, 한양대가 높게 나타났다. 또한 공동 기관과의 연구 집중도 랭킹이 의미하는 것은 소수의 기관과 얼마나 집중적으로 공동연구를 하는가이다. 이 수치가 클 때에는 공동연구된 논문의 수가 많거나, 참여기관의 수가 적을 때이다. 화학분야에서는 카이스트가 공동연구로 약 0.88편의 논문을 쓰고, 한양대가 0.78편의 논문을 쓰고 있다. 이 둘만 비교하였을 때, 카이스트가 한양대보다 공동연구가 소수의 기관에 편중되어있다고 해석할 수 있다.

3. 다차원 네트워크

3.1. 네트워크 정의



<그림3. 다차원 네트워크>

(1)네트워크는 공동연구기관에 대한 네트워크로 2장에서 언급하였던 노드와 링크, 가중치를 갖는다. (2)네트워크는 과학기술 분야의 인용/피인용에 대한 네트워크로 1장에서 언급했던 노드와 링크, 가중치를 갖는다. 또한 (1)과 (2)네트워크를 잇는 링크는 한 논문에 명시된 저자목록과 분야이고 가중치는 그 횟수이다.

3.2. 결과분석

2007년 SCI논문 중 가장 많은 논문의 수를 썼고, 공동연구기관의 중심에 있는 기관은 서울대학교이다. 서울대학교와 공동연구를 했던 기관들의 다차원 네트워크를 분석해보면 다음과 같다.

① 분야별 공동연구기관 집중도

$$\text{공동연구기관 집중도} = \frac{\text{논문의 수}}{\text{기관과분야의 링크가중치}}$$

분야	논문 수	참여기관 수	비율(%)
Clinica lMedicine	993	596	1.67
Materials Science	251	171	1.47
Neuroscience & Behavior	97	78	1.24

<표6 .분야별 서울대와 공동연구 집중도>

비율이 의미하는 것은 서울대학교가 공동연구함에 있어서 얼마나 편향된 연구기관과 연구를 하는가를 나타낸다. 분야별 공동연구기관의 집중도를 살펴보면 전체적으로 평균 0.87의 비율이며, 그 중 의학, 재료공학에서 편향된 연구기관에서 공동연구를 하고 있다. 그 밖에 다양한 연구기관과 공동연구를 하고 있는 분야는 우주과학(0.45%), 식물학(0.48%)이 있다.

② 분야별 외국기관과 연구정도

$$\text{외국기관과 연구정도} = \frac{\text{한국기관과의 가중치합}}{\text{외국기관과의 가중치합}}$$

연구기관 노드의 성격을 한국기관/외국기관으로 규명한 뒤, 분야별 외국기관과 연구정도를 살펴보았다. 이때에, 분야 노드로 들어오는 총 가중치의 합은 한국기관과 외국기관의 합이다.

분야	한국 기관 수	외국 기관 수	비율(%)
Physics	1213	2614	2.2
Environment/Ecology	80	155	2.0
Space Science	58	96	1.7

<표7. 분야별 외국기관과 연구정도>

Physics, Environment/Ecology, Space Science가 외국기관 비율이 높은 것으로 조사되었다. 또한, Immunology(0.09%), Neuroscience & Behavior(0.10%), Material Science(0.15%)와 같은 분야는 외국기관보다는 한국기관에서 많은 연구가 되고 있음을 알 수 있다.

3. 결론

3.1. 연구결과 요약

과학기술분야간 논문인용에 대한 네트워크 분석 결과, 22개의 대분류 분야들이 밀접한 것으로 나타났다. 특히, ‘지식 제공자’역할은 Mathematics, Molecular Biology & Genetics, Computer Science 등이고, ‘지식 수용자’역할은 Space Science, Materials Science, Pharmacology & Toxicology, Engineering, Microbiology등이었다. 과학기술 정책자는 이러한 지식의 제공자 역할을 하는 분야를 잘 파악하고, 적절히 뒷받침을 해주어야 할 것이다. 또한, 세부분야 융합에 관한 네트워크를 통해서 Biology & Biochemistry, Molecular Biology & Genetics는 여러 대분류에 걸친 소분류를 상대적으로 많이 가지고 있는 것으로 조사되어, 융합이 활발히 되고 있다고 판단할 수 있다.

2007년 공동연구 비율은 1999년에 비하여 약 10%정도 상승 하였다. 특히, 정부출연연구소와 카이스트가 공동연구를 활발히 진행하고 있는 것으로 조사되었다.

서울대학교를 중심으로 하여 다차원 네트워크를 분석해 보았을 때, 의학과 재료공학 분야가 공동연구에 있어서 편향된 연구기관에서 이루어지고 있었다. 또한, 물리와 환경, 우주과학 분야는 참여 외국 기관 비율이 한국 기관 비율보다 약 2배 많은 것으로 조사되었다.

3.2. 향후 연구과제

연구기관별 중심도의 시계열적 분석, 분야별 중심 연구기관의 탐색, 정부투자비와 중심도의 연관성 분석 등의 연구를 수행함으로써 보다 심층적인 연구개발 활동의 다양한 구조적 특성을 파악해야 한다. 또한 이러한 네트워크 분석 방법론을 이용하여 특허에 관한 분석에 응용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 소민호, *우리나라 과학기술분야 공동연구 현황*, 한국과학기술원, 2003
 [2] POTER,A.L., CUBIB,D.E., *An indicator of cress-disciplinary research*, Scientometrics, 8(1985)
 [3] FERNANDA MORILLO, *An approach to interdisciplinarity through bibliometric indicators*, Scientometrics, 51(2001)
 [4] 이방래, *융합기술에 대한 조망과 접근*, KISTI, 2007
 [5] 손동원, *사회네트워크 분석*, 경문사, 2002
 [6] 양혜영, *네트워크 분석방법을 적용한 과학기술분야간 상관관계 및 국가연구개발사업 특성 분석*, 한국과학기술평가원, 2008
<http://in-cites.com/>
<http://www.thomsonscientific.com/cgi-bin/jrnlst/jloptions.cgi?PC=K>