

# 정부출연(연)의 협력네트워크 구조와 논문실적과의 관계 분석

정대원<sup>1)</sup> · 정동섭<sup>2)</sup> · 김정흠<sup>3)</sup>

## I. 서론

기술의 발전 속도가 빨라지면서 기술개발비용과 기술개발 실패위험이 증가하고, 기술분야의 다양화로 인해 기술개발환경에 대한 변화가 요구되고 있다. 이러한 문제를 해결하고 연구개발자원의 효율적 활용과 연구생산성 향상을 위해 공동연구개발의 중요성이 부각되고 있다. 연구자간의 협력을 의미하는 공동연구개발은 외부 주체들을 활용하여 독자적으로 성취하기 어려운 성과를 달성하고 유무형의 자원(지식, 정보, 인적 네트워크 등)을 얻는 중요한 경로가 되고 있다.

공동연구개발의 협력은 기술개발 수행주체에 따라 산학(산업체, 대학)협력, 학연(대학, 연구소)협력, 산학연(산업체, 대학, 연구소)협력으로 구분할 수 있다. 최근 협력연구의 관심은 산학연협력 또는 산학협력이 주를 이루고 있지만 출연(연)을 매개로 한 협력연구 또한 매우 중요한 비중을 차지하고 있다. 우리나라의 공동연구는 정부주도로 시작되었으며 그 수행주체가 정부출연(연)과 산업체인 산연협력이었다. 산연협력은 정부출연(연)의 우수한 인력과 장비를 바탕으로 해외 선진기술을 습득하여 산업체에 보급하는 수단으로 활용되었다. 또한 정부출연(연)간 공동연구를 촉진시키고 우수한 성과를 창출하기 위해 대덕연구단지를 조성하였으며 최근에는 정부출연(연)에서 자발적으로 협력을 증진하기 위해 기관간 협력체계를 구축하였다.

정부출연(연)은 오랜 기간 우리나라 국가연구개발사업의 주체로서 역할을 수행해 왔으며, 산학연협력의 역사가 길다. 국내의 산학연협력의 활성화를 위해서도 출연(연) 간의 협력의 증대는 필요하다. 또한 기술융합이 빠르게 진전되는 시대에 전문분야별로 설립된 출연(연)의 협력연구는 출연(연)이 신생융합기술 개발의 선도자로서의 역할을 중대시시킬 것이다.

협력의 측면에서 공동연구개발은 긍정적인 영향이 높을 것으로 예상되지만 기술개발 수행주체들의 내재된 특성에 대한 분석이 미비하고, 협력네트워크의 구조를 고려하지 않은 상황에서 우수한 성과를 기대하기에 어려움이 있다. 이에 따라 최근 문헌에서는 기술개발 수행주체간 협력네트워크의 구조관계를 시각화, 계량화하여 파악하고 연구성과에 미치는 영향을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 논문에서는 정부출연(연) 간의 협력구조를 분석한다. 정부출연(연)의 SCI급 논문실적을 표집하고, 이를 통해 수집된 논문정보를 바탕으로 정부출연(연)의 협력네트워크 구조를 살펴보고자 한다. 또한, 협력네트워크의 구조에서 나타난 특성이 기관의 연구성과에 미치는 영향에 대해 살펴보고 출연(연)의 협력활성화를 위한 정책방향에 대한 함의를 찾고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론적 배경을 바탕으로 연구모형을 제시하고, 3장에서는 선행연구를 바탕으로 연구방법을 제시한다. 4장에서는 사회연결망분석을 통해 네트워크 분석과 패널회귀분석 결과를 살펴보고, 5장에서는 4장에서 도출된 결과를 바탕으로 정부출연(연)간 협력증진을 통한 연구성과 향상에 대한 정책적 시사점 도출과 본 연구의 한계점에 대해서 논의한다.

1) 과학기술연합대학원대학교(UST) 과학기술정책과정, twchung@ust.ac.kr

2) 과학기술연합대학원대학교(UST) 과학기술정책과정, judelsi@ust.ac.kr

3) 과학기술연합대학원대학교(UST) 과학기술정책 교수, 교신저자, kimjh@ust.ac.kr

## II. 이론적 배경과 연구모형

### 1. 이론적 배경

협력이란 기관간의 상호 긍정적인 기대를 바탕으로 하고 있다. 협력활동은 독자적인 내부의 역량으로 성취하기 어려운 성과를 달성하기 위해 외부의 자원을 활용하는 것으로 새로운 아이디어, 지식, 정보를 얻는 중요한 경로가 된다(Granovetter, 1973). 결과적으로 협력이란 외부로부터 부족한 자원을 습득하는 주요 수단이며(Powell, Koput, and Smith-Doerr, 1996), 내부의 역량으로 불가능한 새로운 성과를 창출하기 위해 그 필요성이 부각된다(Lemmens, 2004).

과학기술분야의 공동연구가 활발히 진행되면서 연구협력이 수행주체의 성과에 미치는 영향에 대한 논의가 증대하고 있다. Stuart(1998)는 기술개발의 수준이 높은 분야일수록 성공의 불확실성을 감소시키고 경쟁에서 우위를 선점하기 위해 외부주체와 적절한 협력관계를 유지해야 하는 것으로 분석하고 있다. 사회학에서는 사회연결망분석(Social Network Analysis)을 통해 협력네트워크의 구조를 분석하여 공동연구가 연구주체의 성과에 미치는 영향에 대한 논의가 증대하고 있다. 이와 같은 분석은 네트워크 구조의 특징을 도출하고 연구주체별 계량화된 데이터를 제공함으로써 협력 관계의 성격과 특징을 직관적으로 파악할 수 있게 한다. 협력네트워크 내에서 연구수행주체의 위치(Position)와 역할(Role)은 연구성과에 중요한 영향을 미치며(Goetze, 2010), 영향력이 높은 연구성과와 많은 경쟁자가 속한 분야의 연구 수행은 협력의 기회를 높일 수 있다(Stuart, 1998). 연구수행주체의 위치와 역할은 중심성(Centrality)과 구조적 공백(Structural Hole)으로 설명할 수 있다. Ahuja(2000), Autant-Bernard(2007), Stuart(1998), Ferriani(2008), Goetze(2000)는 동일 산업분야의 기관간 협력네트워크 분석을 통해 기관의 중심성과 구조적 공백이 연구성과에 미치는 영향을 분석하였으며, 직간접적으로 연결이 많을수록 새로운 자원과 정보의 습득에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

협력네트워크 구조에서 주체별 중심성은 연결정도중심성(Degree Centrality), 매개중심성(Betweenness Centrality), 근접중심성(Closeness Centrality), 고유벡터중심성(Eigenvector Centrality)으로 설명할 수 있다. 연결정도중심성은 네트워크 내에서 특정 주체가 다른 주체와 직접적으로 연결된 정도를 측정하는 지표이다. 연결정도가 높을수록 다른 주체와 협력의 기회가 많아지며 연구성과가 향상된다.(Goetze, 2010; Ahuja, 2000). 매개중심성은 네트워크 내에서 특정 주체가 중개자의 역할을 하는 지표로서 다른 주체들 사이에 위치하는 정도를 나타낸다. 예를 들어 다른 두 주체가 한 주체를 통해서만 관계를 맺을 수 있다면 연결을 해주는 주체의 매개중심성은 향상된다. 중개자로서 네트워크 내의 다양한 정보의 흐름에 영향을 미치고 통제할 수 있기 때문에 새로운 정보를 습득하는데 용이하며 얻을 수 있어 연구성과가 향상된다(Goetze, 2010). 근접중심성은 네트워크 내에서 특정 주체가 다른 주체와의 경로거리를 측정하는 지표로서 직접적으로 연결된 정도와 간접적으로 연결된 정도를 측정하여 그 합이 작을수록 네트워크의 중심에 위치한다. 다른 주체와의 경로가 짧을수록 많은 주체와 연결되는데 효율적이며, 네트워크 내에서 상대적으로 높은 독립성을 가질 수 있어 연구성과가 향상된다(Goetze, 2010). 고유벡터중심성은 네트워크 내에서 특정 주체가 다른 주체와 직접적으로 연결된 정도와 직접적으로 연결된 주체의 연결정도 중심성을 고려하여 측정하는 지표이다. 즉 연결된 상대주체의 연결정도중심성이 높을수록 네트워크의 중심에 위치한다. 고유벡터중심성이 높을수록 근접중심성과 같이 효율적으로 다른 주체와 연결이 가능하고 상대적인 독립성을 가지게 되며, 성과에 긍정적인 영향을 미친다(Ferriani, 2009).

네트워크 구조에서 주체들의 밀집도와 상호작용 패턴에 따라 다른 유형의 네트워크 특징을 가진다. 밀집도가 높은 네트워크에서는 행위자간의 빈번한 상호작용이 발생하게 된다. 그러나 실제 사회의 네트워크에서는 몇 개의 분절 네트워크들이 모여 구성된 네트워크의 구조를 가진다. 개별

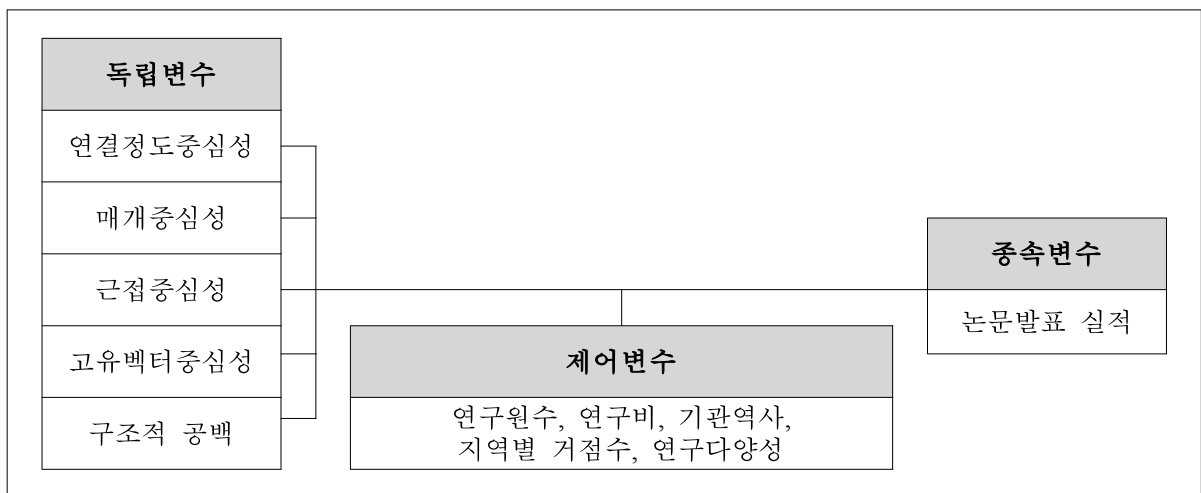
분절 네트워크는 다른 문화적 특성을 가지고 있으며 이는 불협화음으로 관계의 단절을 발생시킨다. 여기서 발생하는 균열이 구조적 공백이다. Burt(1992)는 구조적 공백이란 분절 네트워크 간 1~2개의 링크를 추가하여 채워질 수 있는 공백을 의미하며, 이는 구조적 공백을 많이 보유한 주체일수록 분절네트워크에서 정보의 흐름을 가장 빠르게 파악할 수 있으므로 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그러나 Ahuja(2000)는 특허출원성과에 미치는 구조적 공백의 영향은 부정적인 것으로 나타났다. 즉 구조적 공백을 많이 가지고 있는 주체일수록 연구성과가 저하되기도 한다. 이는 분절 네트워크간의 중개자 역할로 정보의 확산에 영향을 받기 때문이라고 볼 수 있다.

특정기관의 논문실적은 위에서 언급된 네트워크 구조적 특성 외에 연구비, 연구원수, 연구분야의 다양성, 지리적 특성 등에서 영향을 받는다. Eom and Kim(2010)은 우리나라 기업의 제품혁신과 개선 측면에서 기업의 특성변수(종업원수, 매출대비 연구비 등)가 기업의 성과에 미치는 영향을 분석하고 있다. Ponomariov and Boardman(2010)은 연구생산성 측면에서 연구소의 특성변수(박사연구원수, 기관역사 등)가 논문성과에 미치는 영향을 분석하고 있다. 또한 지리적 근접성(Allen, 1984), 연구분야의 다양성과 기술개발 가능수준(Cohen and Levin, 1989) 등이 연구성과에 미치는 영향을 분석하고 있다.

학문적 연구에 대한 협력의 성과는 논문의 공동저술로 설명되어 왔으며, 공식적으로 협력연구를 가늠할 수 있는 척도이다. 공동저술은 지속적으로 증가하고 있으며 연구의 질적 향상, 새로운 지식 습득, 다양한 아이디어 산출 등과 같은 장점이 있다(Crase & Rosato, 1992). 또한 학문의 세분화, 연구의 질적·양적 성과 향상, 시간적 기회비용 절감, 실패의 위험분산 등이 있으며 기술융합 연구의 증가 추세와 관련이 있다. 공동저술의 바탕에는 사회적 관계에 의한 유사성이 존재하며, 저자간의 사회적 관계는 공동연구에서 중요한 요인이 된다(Rigby and Edler, 2005).

## 2. 연구모형 설계

네트워크구조가 출연(연)의 연구성과에 미치는 영향을 살펴보기 위해 4 개의 중심성과 구조적 공백을 독립변수로 설정하고, 이들이 종속변수인 논문발표실적에 미치는 영향을 회귀분석으로 분석한다. 이러한 구조적 특성 외에 기관의 연구성과에 영향을 미치는 연구원 수, 연구비, 기관의 역사, 연구의 다양성, 지역별 거점 수 등을 제어변수로 채택하였다. 이를 모형화 하면 (그림 1)과 같다.



(그림 1)

### III. 연구방법

#### 1. 자료수집

기초기술연구회 10개 정부출연(연)<sup>1)</sup>, 산업기술연구회 12개 정부출연(연)<sup>2)</sup>에서 2008년부터 2012년까지 5년간 저술한 SCI급 논문을 2013년 6월 기준으로 조사하였다.

정부출연(연)의 속성에 대한 자료를 수집하기 위해 22개 기관의 정보를 수집하기 위해 기초기술연구회, 산업기술연구회 기관평가보고서와 공공기관 경영정보 공개시스템(ALIO)<sup>3)</sup>를 통해 2008년부터 2012년까지 5년간 연구원수, 기관역사, 지역별 거점수(본원, 분원, 지역별 센터 포함)를 조사하였다. Elsevier社의 논문DB SciVerse SCOPUS<sup>4)</sup>에서 제공하는 27개의 기술분류에 따라 기관별 연구분야의 다양성을 조사하였다.

#### 2. 변수의 정의

##### 1) 종속변수

정부출연(연)의 정량적 연구성과를 측정하기 위해 SCOPUS를 통해 추출한 기관별 SCI급 논문 게재수를 연도별로 정리하여 사용하였다.

##### 2) 독립변수

SCOPUS를 사용해 추출한 논문정보를 바탕으로 정부출연(연)이 2개 이상 참여하여 저술한 논문을 추출하여 소속기관별로 정리를 하였다. 한 저자의 소속기관이 2곳 이상인 경우 첫 번째 소속을 기준으로 하였다. 논문별 소속기관으로 정리된 네트워크는 two-mode network matrix이므로 기관간 공동저술 네트워크로 변환하기 위해 행렬변환을 거쳐 연도별 one-mode network matrix를 만들었다. 이후 기관간 공동저술 논문의 유무를 바탕으로 협력여부를 구분하기 위해 행렬의 이원화 과정을 거쳐 공동저술 논문이 있으면 1, 없으면 0으로 구분하였다. 네트워크의 중심성과 구조적공백에 대한 분석은 UCINET6을 이용하였으며, 중심성은 정규화 된 수치를 사용하였다.

##### (1) 연결정도중심성

특정 노드(기관)가 다른 노드들과 직접적으로 연결된 정도를 측정하는 지표로, 연결의 방향성

---

1) 국가핵융합연구소(NFRI), 한국과학기술연구원(KIST), 한국과학기술정보연구원(KISTI), 한국기초과학지원연구원(KBSI), 한국생명공학연구원(KRIBB), 한국원자력연구원(KAERI), 한국천문연구원(KASI), 한국표준과학연구원(KRISS), 한국한의학연구원(KIOM), 한국항공우주연구원(KARI)

2) 안전성평가연구소(KITOX), 재료연구소(KIMS), 한국건설기술연구원(KICT), 한국기계연구원(KIMM), 한국생산기술연구원(KITECH), 한국식품연구원(KFRI), 한국에너지기술연구원(KIER), 한국전기연구원(KERI), 한국전자통신연구원(ETRI), 한국지질자원연구원(KIGAM), 한국철도기술연구원(KRRI), 한국화학연구원(KRICT)

3) [www.alio.go.kr](http://www.alio.go.kr)

4) [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

에 따라 내향 중심성(indegree centrality)과 외향 중심성(outdegree centrality)로 분류할 수 있다. 내향 중심성은 다른 노드로부터 선택된 빈도를 의미하며 위신(prestige)과 지위(status)가 높을 가능성이 있다. 외향 중심성은 다른 노드와 연결을 먼저 시도한 빈도를 의미하며 노드간 연결의 적극성을 나타낸다.

본 논문에서는 연결을 통한 협력의 유무만을 판단하기 위해 방향성을 고려하지 않았으며, 연결 정도 중심성이 높은 기관은 협력을 통한 많은 정보를 습득할 수 있기 때문에 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

$$\text{degree centrality} = d(n_i)$$

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ 를 노드들이라고 하면,  $d$ 는 직접적으로 연결된 선(ties)들의 수를 나타낸다.

### (2) 매개중심성

특정 노드가 다른 노드들 사이에 위치하는 정도를 나타내는 지표로 네트워크에서 매개자, 중개자로서의 역할을 측정한다. 즉, 특정노드의 매개중심성이 높을수록 다른 노드들의 의사소통에 통제력을 갖게 되므로 정보의 흐름에 많은 영향을 미치게 된다. 이는 네트워크에서 특정 노드의 잠재적인 영향력을 파악할 수 있다.

본 논문에서는 매개자로서 각 기관의 영향력을 판단하기 위해 사용하였으며, 매개 중심성이 높은 기관은 정보의 흐름에 많은 영향을 미칠 수 있기 때문에 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

$$\text{betweenness centrality} = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / g_{jk}$$

$g_{jk}$ 는 노드 $j$ 와 노드 $k$  사이에 존재하는 최단 경로의 수이며  $g_{jk}(n_i)$ 는 최단 경로 중에서  $n_i$ 를 거쳐 가는 수를 나타낸다.

### (3) 근접중심성

특정 노드와 다른 노드들 사이의 최단거리를 고려하는 지표로 네트워크에서 긴밀성과 효율성이 미치는 영향을 측정할 수 있다. 긴밀성과 효율성이 높을수록 직간접적 연결이 쉬워지므로 특정 노드의 영향력을 파악할 수 있다.

본 논문에서는 직간접적 연결의 영향력이 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

$$\text{closeness centrality} = \left[ \sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1}$$

$d(n_i, n_j)$ 는 노드 $i$ 와 노드 $j$ 의 최단거리의 수를 의미하며  $g$ 는 기관의 수이다.

### (4) 고유벡터중심성

특정 노드와 직접적으로 연결된 다른 노드들의 중요성에 가중치를 고려하는 지표로 네트워크에서 중요 노드와 연결되어 있는 연계성을 측정한다. 즉, 특정 노드의 연결정도 중심성이 낮아도 직접적으로 연결된 노드의 영향력이 높으면 고유벡터중심성은 높아진다. 이에 직접 연결된 노드의 영향이 미치는 정도를 파악할 수 있다.

본 논문에서는 직접연결된 기관의 영향력이 각 기관의 연구성과에 미치는 정도를 파악하기 위해 사용하였으며, 고유벡터중심성이 높은 기관은 직접연결된 영향력이 높은 기관으로부터 많은 정보를 습득할 수 있기 때문에 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다.

$$\text{eigen vector centrality} = \alpha \sum_{i=1}^g A_{ij} n_j$$

$A_{ij}$ 는  $n_i$ 의 인접행렬(adjacency matrix)을 나타내며,  $n_j$ 는  $j$ 의 연결정도 중앙성이 된다.  $\alpha$ 는 인접행렬  $A$ 의 고유치(eigenvalue)가 되고, 이때 가장 큰 고유치를 갖는 고유벡터(eigenvector)를 구하면 각 주체들의 고유벡터중심성이 된다.

### (5) 구조적 공백

Burt(1992)에 의해 제시된 구조적 공백은 네트워크 내에서 연결되지 않은 기관들 간의 중간매개역할을 해주는 것을 뜻한다. 구조적 공백이 높을수록 연구기관 간의 매개자 역할을 담당하게 되고 연구성과에 미치는 영향이 높을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 실제크기 구조적 공백(effective size structural holes)을 사용한다. 실제크기 구조적 공백은 각 기관의 연결정도(degree)에서 그 기관과 연결된 기관들의 평균연결정도를 뺀 크기로 정의한다.

## 3) 통제변수

### (1) 연구원수

각 기관의 종사자 중 연구원의 수를 나타내는 지표로 연구원수가 많을수록 논문저술의 기회가 높으므로 정량적 연구성과에 미치는 영향이 높을 것으로 예상된다(Powell, 1999; Ahuja, 2000).

### (2) 연구비

기관의 연간 예산 중 직접연구비를 나타내는 지표로서 연구비가 많을수록 연구성과에 미치는 영향이 긍정적일 것으로 예상된다(Ahuja, 2000).

### (3) 기관역사

기관의 역사와 연구성과와의 관계에 대해서는 기존 연구들이 서로 상이한 결과를 보여주고 있다. 기관의 역사가 깊을수록 연구성과가 향상되는 긍정적인 효과가 나타난다는 연구(Powell, 1999; Stuart, 1998)도 있는 반면 Ruef(2002)의 연구에서는 반대로 부정적인 효과가 있는 것으로 나타났다.

### (4) 지역별 거점수

기관의 지역별 거점이 많을수록 여러기관과 협력의 기회를 가질 수 있으며, 이는 연결정도 중심성과 같이 연구성과에 긍정적일 것으로 예상된다. 기관별 본원, 분원, 지역별 센터를 시(市)단위로 조사하였으며, 같은 시에 2개 이상의 분원 또는 센터가 존재하면 1개로 봤다. 2012년 기준 각 기관의 지역별 거점수는 아래<표 1>과 같다.

<표 1> 2012년 기준 지역별 거점

기관명(기초기술연구회)	지역별 거점수	기관명(산업기술연구회)	지역별 거점수
국가핵융합연구소	1	안전성평가연구소	3
한국과학기술연구원	4	재료연구소	1
한국과학기술정보연구원	7	한국건설기술연구원	3
한국기초과학지원연구원	11	한국기계연구원	1
한국생명공학연구원	3	한국생산기술연구원	8
한국원자력연구원	2	한국식품연구원	1
한국천문연구원	3	한국에너지기술연구원	4
한국표준과학연구원	1	한국전기연구원	3
한국한의학연구원	1	한국전자통신연구원	4
한국항공우주연구원	2	한국지질자원연구원	1
		한국철도기술연구원	1
		한국화학연구원	1

(5) 연구다양성

다양한 분야의 연구를 수행할수록 연구성과에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다(Ahuja, 2000). Scopus에서 제공하는 연구분야는 아래 <표 2>와 같다. SCOPUS에서 제공하는 논문의 주제분야(27가지 주제분야, 복수 주제분야 허용)를 적용하여 각 기관의 공동논문을 통해 얻은 주제분야의 수에 따라 기관의 연구분야 다양성을 측정하였다.

<표 2> SCOPUS에서의 연구분야 분류

No	기술분야명	No	기술분야명
1	multidisciplinary	15	environmental science
2	agricultural and biological sciences	16	health professions
3	arts and humanities	17	immunology and microbiology
4	biochemistry, genetics and molecular biology	18	materials science
5	business, management and accounting	19	mathematics
6	chemical engineering	20	medicine
7	chemistry	21	neuroscience
8	computer science	22	nursing
9	decision sciences	23	pharmacology, toxicology and pharmaceuticals
10	dentistry	24	physics and astronomy
11	earth and planetary sciences	25	psychology
12	economics, econometrics and finance	26	social sciences
13	energy	27	veterinary
14	engineering		

## IV. 분석결과

### 1. 네트워크 분석

2012년 공동연구 네트워크 분석을 통해 22개 출연(연)의 네트워크 중심성과 구조적 공백을 아래 <표 3>에 나타내었다. 연결정도중심성의 경우, 상위 3개 기관은 KBSI, KIST, KRIBB이고 하위 4개 기관은 KASI, KRRI, KARI, KICT이다. 매개중심성의 상위 3개 기관은 KBSI, KIST, KAERI이고 하위 3개 기관은 KARI, KASI, KICT이다. 근접중심성의 상위 3개 기관은 KBSI, KIST, KRIBB이고 하위 4개 기관은 KARI, KRRI, KASI, KICT이다. 고유벡터중심성의 상위 3개 기관은 KBSI, KIST, KRISSE이고 하위 3개 기관은 KRRI, KASI, KICT이다. 구조적 공백의 상위 3개 기관은 KBSI, KIST, KRIBB이고 하위 3개 기관은 KASI, KARI, KICT이다. 기관들의 4가지 형태의 네트워크 중심성 값들에 대한 기관별 순위는 상위기관과 하위기관 목록에서 보이는 것처럼 대체적으로 비슷하게 나타났다.

<표 3> 2012년 출연(연) 네트워크 분석 결과

기관명	연결정도중심성	매개중심성	근접중심성	고유벡터중심성	구조적 공백
ETRI	17.8	3.6	54.153	21.433	20.586
KAERI	30.7	11.2	58.633	30.352	40.76
KARI	1.8	0	39.659	4.102	1
KASI	3.1	0	36.795	2.362	3
KBSI	44.8	19.7	63.672	39.104	63.192
KERI	9.8	1	46.307	10.47	11.5
KFRI	17.2	4.1	51.258	16.315	21.714
KICT	1.2	0	28.497	0.16	1
KIER	14.1	0.9	52.581	21.453	13.522
KIGAM	22.7	6.2	53.795	22.401	28.784
KIMM	12.3	1.5	48.225	14.359	13.8
KIMS	16.6	2.5	51.582	17.532	20.407
KIOM	13.5	1.9	50.154	16.007	15.727
KIST	38.7	13.4	61.977	38.563	51.984
KISTI	12.9	1.6	48.802	16.084	14.048
KITECH	28.8	8	57.597	30.672	37.043
KITOX	8	0.3	41.162	6.226	6.538
KRIBB	33.7	10.7	59.058	30.279	46.345
KRICT	30.1	8.4	56.597	29.063	39.816
KRISS	29.4	6.6	57.801	33.027	37.208
KRRI	3.1	2.4	39.659	3.306	3.4
NFRI	12.3	2.3	48.368	11.669	14.2

### 2. 기초통계량

분석에 사용된 샘플의 관측치는 110이다(22개 기관의 5년간 패널 데이터). 각 변수의 평균과 표준편차 등의 기초통계량은 <표 4>과 같다. 지난 5년간 출연(연) 발표 논문의 평균은 227이다. 이 기간의 출연(연)간 공동논문의 평균은 18로서 공동논문이 전체 발표 논문의 약 8%를 차지하였



다. 출연(연)의 평균 연구원수는 319명이고, 평균 연구비는 985억원이고, 기간의 평균역사는 27년이었다. 출연(연)은 평균적으로 3개의 지역별 거점을 갖고 있고, 연구분야 다양성의 평균값은 8로 나타났다. 공동연구 네트워크에서 출연(연)의 연결정도중심성의 평균은 17.9, 매개중심성의 평균은 4.9, 근접중심성의 평균은 50.3, 고유벡터중심성의 평균은 18.6, 구조적 공백의 평균은 19.4 이다. 평균논문수를 포함한 대부분의 변수들이 상당히 큰 분산을 갖는 특징을 나타내고 있다.

<표 4 > 기초통계량

변 수	N	평균	표준편차	최소값	최대값
1. 논문수	110	226.49	196.62	15	940
2. 연구원수	110	319.18	342.41	70	1667
3. 연구비	110	985.51	845.11	100	3889
4. 기관역사	110	27.36	12.85	1	53
5. 지역별 거점수	110	2.80	2.45	1	11
6. 연구분야 다양성	110	8.25	4.12	1	18
7. 연결정도중심성	110	17.93	12.61	0.6	53.8
8. 매개중심성	110	4.91	5.89	0	24.8
9. 근접중심성	110	50.26	8.09	28.50	68.42
10. 고유벡터중심성	110	18.55	11.85	0.16	42.34
11. 구조적 공백	110	19.36	15.78	1	67

### 3. 회귀 분석

공동연구 네트워크에서 기관의 네트워크 위치(중심성)와 특징(구조적 공백)이 연구 성과(논문수)에 미치는 영향을 알아보기 위해 가산자료 패널회귀모형(count data panel regression model)을 사용하였다.

#### 1) 변수의 상관관계 분석

표본 관측치의 변수들 사이의 상관관계를 확인하기 위해서 피어슨 상관관계 계수를 <표 5>에 나타내었다. 기관의 제어변수들 중에서 연구원수와 연구비 사이에 상관관계 계수는 0.87로 매우 높게 나타나서 다중공선성(multicollinearity)을 고려해서 연구비 변수를 회귀분석 모형에서 제외하였다. 공동연구 네트워크에서 기관의 중심성과 구조적 공백을 나타내는 변수들은 서로와 0.8이상의 매우 높은 상관관계를 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 연구분야 다양성 변수가 이 5가지 변수들과 0.7이상의 높은 상관관계를 나타내는 것은 연구분야 다양성 변수를 공동논문의 주제분야를 이용해 표시하였기 때문에 예상된 결과이다. 연구에서 회귀 모형의 제어변수로 사용한 연구원수, 연구비, 기관역사, 지역별 거점수, 연구분야 다양성 사이의 상관관계 계수는 0.4이하로 비교적 작은 값을 보였다.

<표 5> 상관관계 분석

변수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. 논문수	1									
2. 연구원수	0.45 <sup>***</sup>	1								
3. 연구비	0.33 <sup>***</sup>	0.87 <sup>***</sup>	1							
4. 기관역사	0.52 <sup>***</sup>	0.39 <sup>***</sup>	0.23 <sup>**</sup>	1						
5. 지역별 거점수	0.17 <sup>*</sup>	0.03	0.05	0.13	1					
6. 연구분야 다양성	0.69 <sup>***</sup>	0.13	0.09	0.25 <sup>***</sup>	0.28 <sup>***</sup>	1				
7. 연결정도중심성	0.77 <sup>***</sup>	0.18 <sup>*</sup>	0.12	0.30 <sup>***</sup>	0.33 <sup>***</sup>	0.85 <sup>***</sup>	1			
8. 매개중심성	0.73 <sup>***</sup>	0.19 <sup>**</sup>	0.12	0.30 <sup>***</sup>	0.36 <sup>***</sup>	0.74 <sup>***</sup>	0.92 <sup>***</sup>	1		
9. 근접중심성	0.73 <sup>***</sup>	0.22 <sup>**</sup>	0.15	0.30 <sup>***</sup>	0.26 <sup>***</sup>	0.87 <sup>***</sup>	0.94 <sup>***</sup>	0.82 <sup>***</sup>	1	
10. 고유벡터중심성	0.76 <sup>***</sup>	0.20 <sup>**</sup>	0.11	0.33 <sup>***</sup>	0.29 <sup>***</sup>	0.85 <sup>***</sup>	0.97 <sup>***</sup>	0.86 <sup>***</sup>	0.96 <sup>***</sup>	1
11. 구조적공백	0.78 <sup>***</sup>	0.18 <sup>*</sup>	0.14	0.30 <sup>***</sup>	0.34 <sup>***</sup>	0.86 <sup>***</sup>	0.96 <sup>***</sup>	0.93 <sup>***</sup>	0.89 <sup>***</sup>	0.93 <sup>***</sup>

유의수준: \* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

## 2) 고정효과(fixed effect) 음이항(negative binomial) 패널분석

모형의 종속변수로 기관의 논문수를 사용하고, 독립변수로 공동연구 네트워크에서 기관의 연결정도중심성, 매개중심성, 근접중심성, 고유벡터중심성, 구조적 공백에 대한 측정값을 사용한다. 모델에서 독립변수 각각이 종속변수에 미치는 영향을 확인하기 위해서 제어변수로 기관의 연구원수, 기관역사, 지역별 거점수, 연구분야 다양성을 사용한다. 종속변수인 논문수의 평균과 비교해서 분산이 크기 때문에 가산 자료 회귀 분석 중에서 포아송(Poisson) 회귀 분석 대신에 음이항 회귀 분석을 사용하였다. <표 6>의 모형1은 기관의 논문수에 대한 기관의 제어변수들로 구성된 기준 모형이다. 여기에서 무작위 효과(random effect) 음이항 패널 회귀와 고정 효과(fixed effect) 음이항 패널 회귀를 수행한 다음 Hausman 검증 결과로 부터 고정효과 음이항 패널 회귀를 적용하여 개별 모형에서 변수들의 추정값을 구하기로 하였다. 다른 독립 변수들로 구성된 여러 모형들에 대한 고정 효과 음이항 추정량들을 사용한 회귀 분석의 결과들을 <표 6>에서 요약해서 보여주고 있다.

<표 6> 논문수에 대한 패널 회귀 모형

변수	모형					
	1	2	3	4	5	6
상수	1.4278*** (0.3324)	1.5376*** (0.3331)	1.5007*** (0.3333)	0.8162** (0.4014)	1.4658*** (0.3312)	1.7272*** (0.3340)
연구원수	-0.0016** (0.0006)	-0.0013** (0.0006)	-0.0016** (0.0006)	-0.0012* (0.0007)	-0.0013** (0.0006)	-0.0015** (0.0006)
기관역사	0.0906*** (0.0121)	0.0898*** (0.0115)	0.0907*** (0.0115)	0.0869*** (0.0129)	0.0908*** (0.0116)	0.0793*** (0.0123)
지역별 거점수	0.2197*** (0.0424)	0.1924*** (0.0446)	0.2244*** (0.0429)	0.1715*** (0.0459)	0.1579*** (0.0425)	0.2389*** (0.0434)
연구분야 다양성	0.0043 (0.0084)	-0.0015 (0.0077)	0.0029 (0.0078)	-0.0040 (0.0082)	-0.0013 (0.0076)	-0.0009 (0.0081)
연결정도중심성		0.0091*** (0.0024)				
매개중심성			0.0082*** (0.0031)			
근접중심성				0.0168*** (0.0051)		
고유벡터중심성					0.0140*** (0.0030)	
구조적 공백						0.0059*** (0.0017)
AIC	834.8872	822.1986	830.3427	824.5281	815.9926	824.7948
BIC	848.3896	838.4014	846.5456	840.731	832.1955	840.9977
N	110	110	110	110	110	110

유의수준: \* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

모형에 사용된 제어변수들 중에서 연구분야 다양성 변수는 모든 모형들에서 유의하지 않게 나타났다(모형 1). 따라서 다양한 분야의 연구를 수행하는 출연(연)이 연구 성과의 양적 측면인 논문 수평가에서 우세하게 나타나지 않는다. 또한 모든 모형에서 변수들 중에서 연구원수는 유의미한 변수이지만 음의 추정값을 갖는 것을 알 수 있다. 연구원수가 1명 증가하면 논문수는 0.1~0.2% 감소한다. 이 결과는 일반적으로 연구원수가 많으면 그에 따른 논문수도 많을 것이라는 일반적인 예상과 다른 결과를 보여 준다. 그 외에 기관의 역사는 논문수에 양의 효과를 가지고 있고, 여러 지리적 위치에서 운영하는 기관일수록 논문의 수가 증가하는 것으로 나타났다.

모형 2부터 모형 6은 공동연구 네트워크에서 기관의 중심성과 구조적 공백이 기관의 논문수에 미치는 영향의 정도를 보여준다. 모형 2에서 기관의 연결정도중심성은 p값이 0.0024로 유의미한 변수이고 1단위 증가할 때, 기관의 논문수는 0.9% 증가한다. 이것은 공동연구 네트워크에서 기관의 직접적인 파트너(협력기관)의 수와 관련있는 연결정도중심성이 높은 기관의 논문수가 증가한다는 결과를 알려 준다. 모형 3에서 매개중심성의 p값은 0.0031로서 유의미하고 1단위 증가할 때 기관의 논문수는 0.8% 증가한다. 이것은 네트워크에 존재하는 기관들 사이에서 중개자 역할의 수행 능력과 관련된 매개중심성이 기관의 논문 수 증가에 긍정적인 영향을 준다는 사실을 말해 준다. 모형4에서 근접중심성의 p값은 0.0051로 유의미하고 1단위 증가할 때 기관의 논문 수는 1.7% 증가한다. 기관의 근접중심성은 네트워크 내에서 그 기관으로부터 다른 기관들에 도달할 수 있는 최단 경로 길이의 합으로 나타낼 수 있다. 모형 4는 이러한 근접중심성이 높은 기관일수록 연구성과 지표인 논문수도 증가한다는 것을 보여 준다. 네트워크에서 근접중심성이 높은 기관은 직·간

접적으로 연결된 기관들과 연구개발 관련 지식과 정보를 긴밀하게 주고 받을 수 있고 이를 통해 기관의 연구개발 역량을 향상 시킬 수 있다. 모형 5에서 고유벡터중심성의 p값은 0.0030으로 유의미한 변수이고 1단위 증가 시 기관의 논문 수를 1.4% 증가 시킨다. 즉, 고유벡터중심성이 높은 기관이 많은 논문을 발표하는 경향을 갖는다는 것을 나타낸다. 네트워크에서 고유벡터중심성이 높은 기관은 그들 자신이 많은 연결을 갖고 있는 다른 기관들과 연결된다. 단순히 많은 기관들과 연결되는 것보다 네트워크에서 중요한 핵심 기관들과 소수의 연결을 가지는 것이 기관의 연구성과를 높이는데 더 유리할 수 있다. 모형 6은 구조적 공백 변수가 p값은 0.0017로 유의미하고 1단위 증가하면 기관의 논문 수가 0.6% 증가하는 사실을 보여준다. 공동연구 네트워크에서 구조적 공백이 기관의 연구 성과, 즉 논문 수에 긍정적인 영향을 준다는 사실을 설명해 준다. 여기에서 구조적 공백이 큰 기관은 다양하고 중복되지 않은 연구개발 정보와 지식을 보유한 뛰어난 기관들과 공동연구를 수행할 가능성이 높다. 이러한 공동연구를 통해 기관의 연구역량을 향상시켜서 연구생산성을 높일 수 있고 결국 기관의 연구 성과(논문 수)에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다.

앞에서 살펴본 것처럼 모형 4의 근접중심성과 모형 5의 고유벡터중심성이 기관의 논문 수에 미치는 영향이 상대적으로 크게 나타났다. 모형의 적합도를 나타내는 AIC, BIC값(적합도는 값이 작을수록 더 좋음)을 비교해 보면, 고유벡터중심성을 독립 변수로 포함한 모형5가 기관의 논문수에 대한 여러 모형 중에서 적합도가 가장 좋지만 나머지 모형들도 모형1(기준모형)과 비교할 때 적합도가 모두 개선된 것을 알 수 있다.

### III. 결론 및 시사점

정부출연연구기관의 연구 성과를 나타내는 양적 지표 중 하나인 논문 수에 영향을 주는 결정요인들을 확인하기 위해서 출연(연)간 공동논문을 조사하여 공저자 관계를 기반으로 기관들의 공동연구 네트워크를 만들고 사회연결망분석을 통해 네트워크의 구조와 특징을 분석하였다. 네트워크 중심성과 구조적 공백이 그 기관의 논문실적에 영향을 주는 중요한 변수인 것으로 나타났다. 네트워크구조 중에서 기관의 근접중심성과 고유벡터중심성의 영향이 상대적으로 크게 나타났다. 이것은 출연(연)의 연구 성과를 높이기 위해서 출연(연)간 공동연구에서 협력기관들 사이의 응집력을 높일 수 있는 출연(연)의 정책적 노력이 필요하다는 것을 시사한다. 단순히 협력기관의 수를 늘리는 것보다는 네트워크 내에서 각 기관사이의 거리를 좁히는 방향으로의 협력관계 구축이 효과가 더 높은 정책임을 말해준다. 또한 출연(연)이 협력을 위한 공동연구기관을 선정하는 경우, 타 기관들과 공동연구를 활발하게 수행하는 기관을 협력기관으로 선택하는 전략이 자신의 연구성과를 향상시키는데 큰 도움이 된다는 것을 알 수 있다.

최근 출범한 박근혜정부에서는 창조경제의 선봉으로 출연(연)의 개방형 협력생태계 조성을 추진하고 있다. 출연(연)의 개방형 협력시스템을 구축하는 것을 골자로 하고 있다. 본 연구는 이러한 개방형 협력시스템구축에 있어서 방향성에 대해 중요한 시사점을 제시한다.

향후, 이 연구에서 다루지 못한 출연(연)간 공동연구 네트워크가 출연(연)의 연구 성과의 질적 측면에 미치는 영향에 대한 연구를 진행할 계획이다. 논문의 인용회수를 이용하여 논문의 질을 계량화하고 이를 통해 기관의 연구 성과의 질을 평가하고 공동연구 네트워크에서 기관의 위치와의 관계를 정량적으로 분석해서 출연(연)간 협력과 공동연구가 기관의 연구 성과의 질에 미치는 영향을 분명하게 보여 줄 수 있을 것으로 기대한다.

## [참고문헌]

- 기초기술연구회(2009). “기초기술연구회 소관 정부출연(연) 2008년도 기관평가보고서”
- 기초기술연구회(2010). “기초기술연구회 소관 정부출연연구기관 2009년도 기관평가보고서”
- 기초기술연구회(2011). “기초기술연구회 소관 정부출연연구기관 2011년도 기관평가보고서”
- 기초기술연구회(2012). “2012년도 기초기술연구회 소관 정부출연연구기관 기관평가보고서”
- 기초기술연구회(2013). “2013년도 기초기술연구회 소관 정부출연연구기관 기관평가보고서”
- 산업기술연구회(2011). “산업기술연구회 소관연구기관 2010년도 기관평가보고서”
- 산업기술연구회(2012). “산업기술연구회 소관연구기관 2011년도 기관평가보고서”
- Ahuja, Gautam (2000). "Collaboration Networks, Structural Holes, and Innovation: A Longitudinal Study", *Administrative Science Quarterly* 45(3), 425-455.
- Allen, T. J. (1984). "Managing the Flow of Technology: Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization", *MIT Press Books*, 1.
- Autant-Bernard, C., P. Billand, and C. Bravard (2007). "Network Effects in R&D Partnership Evidence from the European Collaborations in Micro and Nanotechnologies", In *DIME-Workshop on Interdependencies of Interactions in Local and Sectoral Innovation Systems*.
- Burt, R. S. (2009). "Structural Holes: The Social Structure of Competition", *Harvard University Press*.
- Cohen, W. M., D. A. Levinthal (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation", *Administration Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Cruse, D., F. D. Rosato. (1992). "Single versus Multiple Authorship in Professional Journals" *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 63(7), 28-31.
- Eom and Kim. (2010). "Determinants of Industry - Academy Linkages and, Their Impact on Firm Performance: The Case of Korea as a Latecomer in Knowledge Industrialization", *Research Policy*, 39(5), 625-639.
- Ferriani, S., Cattani, G., & Baden-Fuller, C. (2009). "The Relational Antecedents of Project-Entrepreneurship: Network Centrality, Team Composition and Project Performance", *Research Policy*, 38(10), 1545-1558.
- Goetze, Christiane (2010). "An Empirical Enquiry into Co-Patent Networks and Their Stars: The Case of Cardiac Pacemaker Technology", *Technovation*, 30(7), 436-446.
- Lemmens, C. E. (2004). "Innovation in Technology Alliance Networks", Edward Elgar.
- Mark S. Granovetter (1973). "The Strength of Weak Ties", *American Journal of Sociology*, 78, 1360-1380.
- Ponomarev, B. L., & Boardman, P. C. (2010). "Influencing Scientists' Collaboration and Productivity Patterns Through New Institutions: University Research Centers and Scientific and Technical Human Capital", *Research Policy*, 39(5), 613-624.
- Powell, Walter W., et al (1999). "Network Position and Firm Performance: Organizational Returns to Collaboration in the Biotechnology Industry", *Research in the Sociology of Organizations*, 16(1), 129-159.
- Rigby, J., J. Edler. (2005). "Peering Inside Research Networks: Some Observations on the Effect of the Intensity of Collaboration on the Variability of Research Quality", *Research Policy*, 34, 784-794.

Stuart, Toby E (1998). "Network Positions and Propensities to Collaborate: An Investigation of Strategic Alliance Formation in a High-Technology Industry", *Administrative Science Quarterly*, 668-698.