

과학기술계 정부출연연구기관의 논문 성과에 좁은 세상 구조와 중심성이 미치는 영향

이혜경* · 김소민** · 김정흠***

<목 차>

- I. 서론
- II. 선행연구 조사
- III. 연구 설계
- IV. 실증 분석
- V. 결론

국문초록 : 연구기관의 협력 네트워크 구조 및 특징은 기관의 학문적 성과에 영향을 미친다. 특히 한국의 정부출연연구기관은 선도적인 국가 연구개발 수행 주체로서 효율적인 협력 체제를 구축해야 할 필요가 있다.

본 연구는 효율적인 네트워크 구조로 논의되어 온 좁은 세상 구조와 노드 간 특징을 나타내는 중심성을 한국 과학기술계 정부출연연구기관 협력 네트워크에 적용하였다. 2010년~2019년 과학기술계 정부출연연구기관의 논문 데이터를 바탕으로 좁은 세상 구조적 특징 및 중심성과 논문 성과 간 관계를 네트워크 분석과 Feasible GLS 회귀모형을 이용하여 분석하였다. 그 결과, 정부출연연구기관 협력 네트워크는 좁은 세상 구조를 취할수록 학문적 성과에 유의미한 양의 성과를 거둘 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 직접적인 연결 정도를 나타내는 중심성은 양의 유의성을 보였으나, 중개자 정도를 나타내는 중심성은 유의하지 않거나 음으로 유의했다.

교류 협력하는 기관의 수가 많을수록 논문 성과가 높았으며, 협력의 중심지 역할을 하는

* 과학기술연합대학원대학교 (hyekyunglee@ust.ac.kr)

** 과학기술연합대학원대학교 (kimsm@ust.ac.kr)

*** 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책진공 교수, 교신저자 (kimjh@ust.ac.kr)

기관과 협력 관계인 기관의 성과가 높다. 또한, 정부출연연구기관의 협력 네트워크가 좁은 세상의 특성을 강하게 가질수록 연구 성과 창출에 효과적이라는 것을 규명하였다. 본 연구는 기존에 효율적인 네트워크 구조로서 논의되던 좁은 세상 구조와 중심성을 정부출연연구기관 협력 네트워크에 적용하고 성과와의 관계를 실증 분석할 뿐 아니라 정부출연연구기관 간 연구개발 협력관련 정책 및 전략 수립에 시사점을 제시한다.

주제어 : 정부출연연구기관, 네트워크, 사회연결망분석, 좁은 세상, 중심성

The Influence of Small World and Centrality on the Paper Achievement of Government-Funded Research Institutes

Hyekyung Lee · Somin Kim · Jeongheum Kim

Abstract : The cooperative network structure influences the academic performance of the research institute. In particular, South Korea's Government-Funded Research Institutes(GRI) need to establish an efficient cooperative system as a leading national R&D implementer.

This study applied the Small World structure, which has been discussed as an efficient network structure, and the centrality of representing the characteristics of nodes to the cooperative network of GRI in Korea. Based on the SCIE published data from 2010 to 2019, we analyze how the Small World characteristics and centrality of GRI contribute to academic performance using a network analysis and Feasible GLS regression. The GRI cooperative network has shown that the Small World network structure facilitates the academic performance. In addition, centrality indicating the degree of direct connection showed positive significance, but centrality indicating the degree of intermediary was not significant or negative.

The results of this study explain that the higher the number of institutions that exchange and cooperate, the higher the academic performance, and the higher the performance of the institutions that serve as the center of cooperation. In addition, it was established that the stronger the cooperative network of GRIs have the characteristics of Small World, the more effective it is to create research results.

This study applies centrality and Small World previously discussed as an efficient network structure to the GRI cooperation network and provide implications for establishing policies and strategies related to R&D cooperation among GRIs.

Key Words : Government-Funded Institute, Collaboration, Social Network Analysis, Centrality, Small World

I. 서론

과학기술은 국가발전에 큰 경제적·사회적 영향을 미친다. 한 국가에서는 정부, 기업, 대학 등 다양한 주체가 연구개발을 통해 과학기술발전을 도모하고 있으며, 이 중 정부는 국가의 혁신역량을 결정하는 주체 중 하나이다(Wang, 2018; Nelson, 1993; Etzkowitz and Leydesdorff, 2000). 1960년대 한국정부는 산업적 가치 창출과 응용·연구개발을 추구하여 국가적인 차원에서의 초기 국가경제발전계획을 실시하였고(송위진 외, 2003; 박희재, 2018), 이를 바탕으로 국가 연구개발 사업 수행을 위한 정부출연연구기관을 설립하였다. 이후 정부출연연구기관은 시대별 기술 수요에 맞추어 전문기술분야별로 설립되었고(정태원 외, 2014), 지금까지도 국가연구개발사업의 핵심 주체로서 자리 잡고 있다.

최근 혁신 환경이 변화하고 융합 환경이 조성됨에 따라 연구 효율성 증대를 위한 기관 간 협력이 강조되고 있다(이민형·김태양, 2020). 공동연구를 통해 상호 간의 역량을 공유하고 시너지 효과를 창출하여 연구개발의 위험성 및 불확실성에 대응할 수 있다(유화선 외, 2017). 정부출연연구기관은 공동 특허 출원, 논문 생산 및 국가 연구개발 사업 수행을 통해 협력 연구를 진행하고 있다. 협력 네트워크의 구조적 특성 및 개별 기관의 역할에 따라 기관의 협력 성과가 달라질 수 있으며, 협력 연구 성과 증대를 위해서는 협력 네트워크에 대한 면밀한 분석이 필요하다.

많은 기존 문헌들은 국가 연구개발 성과 창출에 일조하는 정부출연연구기관 간 공동 연구 현황에 대해 분석하고 있다. 그러나 정부출연연구기관의 협력 네트워크를 연구한 기존 문헌들은 대부분 네트워크 밀도나 중심성을 연구한 것(허정은·양창훈, 2013; 정태원 외, 2014; 김소민 외, 2020), 협력 성과를 평가한 것(육형갑 외, 2020; 이성희·이학연, 2017; 조지혁 외, 2018)에 국한되어 있었다.

협력 네트워크의 성과 증대를 위해서는 네트워크 분야의 다양한 네트워크 특징을 적용하는 시도가 필요하다(서일정, 2019). 네트워크의 구조적 특징을 연구한 학자들은 효율적인 네트워크 구조 구축을 통해 긍정적인 성과를 기대할 수 있다고 주장해왔다(Watts and Strogatz, 1998; Etzkowitz and Leydesdorff, 2000; Cowan and Jonard, 2004). 본 연구는 효율적인 네트워크 구조라고 알려져 있는 Watts and Strogatz(1998)의 좁은 세상 구조(Small World)를 정부출연연구기관 협력 네트워크에 적용하고자 하였다. 정부출연연구기관의 협력 네트워크가 좁은 세상 구조를 취한다면, 효율적인 네트워크 구조를 통해 성과 향상을 기대해 볼 수 있기 때문이다. 또한 네트워크의 특징을 나타내는 중심성

도 포함시켜 같이 분석해보았다.

본 분석을 통해 정부출연연구기관의 네트워크 구조의 협력 성과에 영향을 미치는 구조적 특징을 검증하고, 결과를 바탕으로 한 정책적 시사점을 제시하였다. 2장에서는 공동연구, 좁은 세상 구조 및 중심성 관련 이론적 배경을 검토하였고, 3장에서 기존 문헌을 바탕으로 설계한 연구방향, 연구모형 및 변수에 대해 설명하였다. 4장에서는 네트워크 분석, 회귀분석 기본 가정 검토 및 Feasible GLS 회귀분석을 실시하여 좁은 세상 구조와 중심성이 정부출연연구기관의 학문적 성과에 미치는 영향을 파악하였으며, 마지막 5장에서 연구 결과를 바탕으로 한 결론 및 시사점을 도출하였다.

II. 선행연구 조사

1. 공동연구

연구윤리정보센터(2013)에 의하면 공동연구란 “기술 및 자원 보유가 다른 연구자 및 연구기관이 하나의 과제 해결을 위해 함께 연구하는 것”이다. 공동연구를 하는 연구개발 주체는 서로 다른 분야의 인적·물적 자원의 효과적 교류를 통해 연구생산성을 높일 수 있다. 최근 연구 효율성 증대를 위한 공동연구의 중요성이 커지고 있다. Lemmens(2004)에 따르면, 연구개발 주체 간 연구개발 경쟁이 점점 치열해지면서 여러 주체들은 서로 경쟁함과 동시에 협력하면서 경쟁우위를 확보해가고 있다. 또한 많은 연구들이 여러 공식 및 비공식적 네트워크를 형성하면서 혁신이 만들어진다고 주장한다(Hidalgo and Albors, 2008; Landau and Rosenberg, 1986; Pyka, 2002; Kline and Rosenberg, 1986). 우리나라에서도 공동연구에 대한 관심이 높아지고 있고, 이와 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 국가혁신시스템을 구성하는 기업, 대학 및 연구소(이성희·이학연, 2017) 간의 공동연구가 많이 이루어지고 있다.

정부출연연구기관은 한국의 국가연구개발체제에서 중요한 한 축을 담당한다. 현재 정부출연연구기관은 기술 분야별로 설립되어 있다. 기술융합 시대에 정부출연연구기관의 협력 성과는 한국의 국가연구개발체제의 효율성에 큰 영향을 미칠 것이다. 여러 연구에서 기관 간 협력 활성화 방안을 논의해왔다(최종화 외, 2017; 국가과학기술연구회, 2018; 이민형·김태양, 2020). 이에 본 연구는 네트워크 구조와 특징을 이용해 과학기술계 정부

출연연구기관의 학문적 성과에 영향을 미치는 요소를 분석하여 정부출연연구기관 간 협력 증대를 위한 시사점을 찾고자 정부출연연구기관을 분석 대상으로 선정하였다.

본 절에서는 정부출연연구기관을 중심으로 정부출연연구기관과 기업 간, 대학 간, 정부출연연구기관 간 공동연구에 관한 기존 문헌을 산·연, 학·연, 연·연 협력 형태로 구분하여 살펴보았다. 먼저 산·연 협력에 대한 연구들은 중소기업을 대상으로 하는 연구와 연구개발특구에 위치한 기업을 대상으로 하는 연구로 나뉘었다. 박웅 외(2017)는 ICT분야 중소기업을 대상으로 하여 정부출연연구기관과의 기술제휴 영향요인을 도출하였고, 산·연 연구개발 협력은 기술혁신성과에 긍정적인 영향을 준다고 주장하였다. 이창연·김병근(2019)은 협력 주체가 가지고 있는 기업가지향성, 흡수역량 및 협력역량이 중소기업과 정부출연연구기관 간 중요한 협력 성과 요인임을 구조방정식 분석을 통해 도출하였다. 또한, 송민경·박범수(2017)는 정부출연연구기관과 중소기업의 협력은 단순·일회적이어서는 안 되며, 기술이전 지원의 질적 수준을 높일수록 정부출연연구기관과 중소기업의 효과적인 협력이 지속된다는 점을 밝혀냈다. 다음의 두 연구는 연구개발특구지역에 위치한 기업을 대상으로 한 산·연 협력이다. 황경연·성을현(2018)은 기업들과 정부출연연구기관 간 기술적 성과와 경제적 성과를 협력 성과로 두어 영향 요인을 분석하였으며, 황경연(2019)은 기업과 정부출연연구기관의 산·연 협력 의지, 역량을 종속변수로 두어 협력성과의 결정요인을 분석하였다.

두 번째로 학·연 협력 시스템에 대한 기존 문헌이다. 민철구 외(2004)는 주요국의 협력 사례를 분석하여 지역대학과 정부출연연구기관의 협력 시스템 구축에 필요한 요소를 제시하였다. 이옥선 외(2011)는 지질자원분야의 학·연 협력 시스템이 연구개발성과에 미치는 영향을 분석하였고, 그 결과 대학과 정부출연연구기관 간 협력활동에는 여러 종류가 있으며, 연구개발 협력 목적에 따라 다른 형태의 협력 활동을 해야 연구개발 성과를 높일 수 있다는 점을 밝혀냈다. 이성희·이학연(2017)은 산업기술분야 10개를 대상으로 연구를 진행하였으며, 연구개발 프로세스 중 연구 단계에서 정부출연연구기관과 대학 간의 공동연구 성과가 가장 우수하다는 점을 발견했다.

그러나 산·연 및 학·연 연구에 비해 정부출연연구기관 간 연·연 공동연구 네트워크에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 김홍영·정선양(2015)은 정부출연연구기관의 융합연구과제에 대한 네트워크 분석을 통해 공동연구 현황을 분석하였으나 기술 협력을 대상으로 하여 기관 간 경계가 모호하였다. 육형갑 외(2020) 및 조지혁 외(2018)은 국가과학기술연구회의 융합연구사업에 대한 자료포락분석(DEA) 모델을 통해 정부출연연구기관의 융합연구가 일반연구에 비해 효율성이 높다는 점을 시사 하였으며, 조지혁 외

(2018)도 자료포락분석 모델을 이용하여 융합연구 효율성을 국가과학기술연구회 소관 정부출연연구기관 25개별로 비교분석했다. 이렇듯이 정부출연연구기관 간 협력연구는 대부분 국가과학기술연구회의 융합연구사업에 한정되어 있었다. 또한, 정부출연연구기관 간 공동연구를 회의적으로 바라보는 학자도 있다. 이성희·이학연(2017)은 산·연, 학·연, 연·연 협력 중 정부출연연구기관 간의 공동연구가 연구개발단계 중 어느 단계에서도 좋은 성과를 내지 못한다는 결과를 제시하면서 정부출연연구기관 간 공동연구는 실질적으로 한계가 있다고 지적하였다.

많은 연구들은 논문을 협력의 결과물로 보고 있는데, 이는 공동논문이 협력 네트워크 구축과 밀접한 관련이 있기 때문이다(이수상, 2012; 오진환·구훈영, 2018). 많은 학자들이 논문 데이터를 이용해 기관 간 협력을 파악한 바 있다. Newman(2004)은 논문 데이터를 이용해 생물학, 수학, 물리학의 협력 네트워크가 모두 다른 형태를 띠고 있는 것을 발견하였다. Barabasi et al.(2002) 역시 8년간의 수학 및 신경과학 논문 데이터를 이용하여 협력 매커니즘을 분석하였다. 국내에서도 협력 정도를 파악할 때 논문 데이터를 분석한 바 있다. 이수환(2016)은 지리학계의 협력 네트워크 분석을 위해 지리학회지 2곳에 수록된 논문을 분석하였으며, 백영기(2015)는 지역 내 과학적 지식이 생산되는 지역적 네트워크를 분석하기 위해 논문 데이터를 사용하였다. 정부출연연구기관의 경우에도 단독연구보다 공동연구를 통해 논문을 더 많이 생산하여 협력이 이루어진다는 것을 확인할 수 있었다(장덕희·강예린, 2020; 김홍영·정선양, 2015). 박주형·이희상(2014)에 따르면, 2014년 기준 과학기술계 정부출연연구기관의 논문의 77.4%가 협력을 통해 생산되었다. 고성주·이춘수(2018)는 SCI 논문편수를 이용하여 정부출연연구기관의 공동연구가 학술적 성과에 영향을 미친다고 주장한 바 있다. 따라서 본 연구는 논문을 협력연구의 하나의 결과물로 선택하였다.

2. 중심성 분석

사회 연결망 분석(Social Network Analysis)에서 가장 대표적인 연구 분야 중 하나는 중심성 분석이다. 중심성은 사회연결망의 결속을 나타내는 지표 중 하나이다(김용학, 2014). 중심성 분석은 그래프이론의 연장선으로 한 노드(node)와 다른 노드를 선(link)으로 연결하고 네트워크상에서 그들의 중심성을 분석하는 것을 말한다(이희연·김홍주, 2006). Freeman (1979)은 그의 논문에서 정도중심성(Degree Centrality), 매개중심성(Betweenness Centrality)을 비롯하여 9개의 중심성 척도를 개발하여 네트워크의 특성

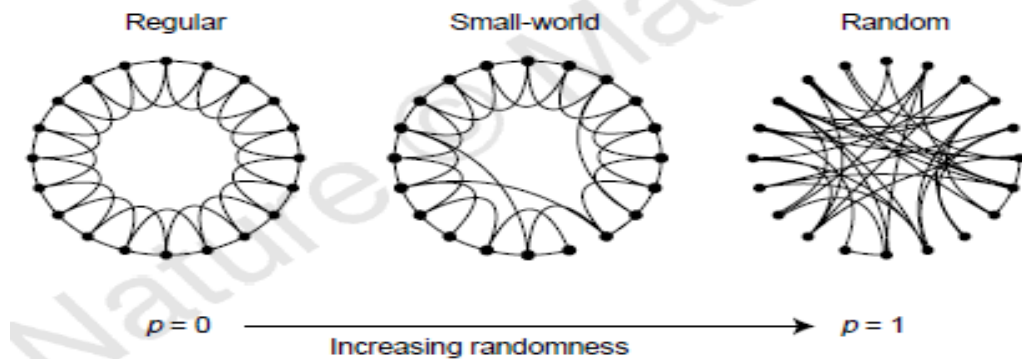
을 나타내는 지표를 제시하였다. 중심성 이론에 따르면, 노드는 네트워크 특성 및 노드의 특성에 따라 각각 다른 정도중심성(Degree Centrality), 매개중심성(Betweenness Centrality), 근접중심성(Closeness Centrality), 고유벡터중심성(Eigenvector Centrality), 구조적공백(Structural Holes) 등의 값을 가지며 그 값들은 각 노드가 네트워크 안에서 얼마나 중요한 역할을 하는지, 전체 네트워크 구조에 어떤 영향을 미치는지, 매개 역할은 얼마나 하는지 등을 특정 값으로 제시한다. 중심성 분석은 하나의 네트워크 내 여러 가지 특성을 파악할 수 있다는 장점이 있다.

중심성 분석에 대한 선행연구는 크게 연구동향 파악 및 네트워크 분석, 중심성과 성과와의 관계 두 가지로 나뉜다. 연구동향 파악 및 네트워크 분석을 실시했던 연구는 다음과 같다. 조종선 외(2019)는 정부 바이오헬스 연구개발사업에 참여하는 노드들의 저자별 및 기관별 중심성을 계산하여 영향력이 큰 개인 및 기관을 파악하였으며, 박연수 외(2020)는 기후변화 분야에서 중심성 분석을 이용하여 네트워크를 분석하였다. 허정은·양창훈(2013)은 정부의 첨단융합기술개발사업에서 수행하는 연구과제의 국가과학기술표준분류를 바탕으로 중심성을 분석하였고, 조성용·변기식(2020)은 식품 미세플라스틱 키워드 데이터에 대한 중심성으로 연구동향을 파악하기도 하였다. 김홍영·정선양(2015)은 정부출연연구기관의 융합연구분야에 대한 중심성을 측정하여 기술 간 띠고 있는 네트워크를 살펴보았다. 이처럼 중심성 분석은 바이오헬스부터 국가과학기술표준분류까지 다양한 연구 분야에서 수행되었으며, 연구개발 주체 간 네트워크를 파악하는데 도움을 주었다.

중심성을 단순히 측정하는 것을 넘어 성과와의 관계를 파악한 선행연구도 있었다. Björk and Magnusson(2009)는 개별 정도중심성과 그룹 정도중심성을 계산하여 혁신 성과와의 관계를 분석했고, 그 결과 정도중심성과 혁신 아이디어 창출 간의 상호관계를 밝혔다. 강동준·이길남(2015)은 무역학에서의 논문 데이터를 이용하여 중심성을 파악하였고, 그 결과 공저자의 중심성과 연구 성과 간의 정(+)의 관계를 확인하였다. 또한, 주성환(2016)에 의하면, 혁신 주체별 중심성과 혁신 성과 간에는 양의 관계가 있으나 구조적 공백과는 유의한 영향이 없는 것으로 나타났다. Zheng(2017)은 매개중심성을 이용하여 중국 내 네트워크 배태성(Embeddedness)과 기업 혁신 정도가 교집합 관계가 있음을 밝혔다. 정태원 외(2014)는 정부출연연구기관의 공동논문 생산에는 기관별 근접중심성과 고유벡터 중심성이 큰 영향을 주기 때문에 이를 우선적으로 고려해야 한다고 주장하기도 하였다. 본 연구에서도 기관의 특성을 나타내는 중심성이 정부출연연구기관의 성과와 관계가 있는지 확인하기 위해 각종 중심성을 기관 성과에 대한 주요 독립변수로 사용하였다.

3. 좁은 세상 구조(Small World)

좁은 세상 구조는 개체들이 가지고 있는 네트워크를 구조화하여 거시적으로 이해하는 학문으로, 소셜 네트워크 서비스 혹은 생물학 네트워크 등의 위상적 특성을 나타낸다(이강원 외, 2017). 좁은 세상 구조는 사회심리학자인 Milgram(1967)의 편지전달 실험 이후 제시된 6단계 분리이론(Six Degree)에서 출발하였다. 이후 통계물리학자인 Watts and Strogatz (1998)와 Albert et al.(1999)이 좁은 세상 구조 이론을 더 발전시켰다. Watts and Strogatz(1998)에 따르면 전체 네트워크가 아무리 크더라도 일부 연결 위치를 바꾸면 노드끼리 가깝게 연결되고 그 네트워크의 효율성이 증가하는데 이것을 바로 좁은 세상 구조라고 하며, 군집화계수(Clustering Coefficient)가 크고 노드 간 경로 거리(Path Length)가 작을수록 좁은 세상 구조에 가깝다. 좁은 세상 구조일 경우, 그 구조적 형태를 통해 안정적인 지식 확산도 가능하다 (Cowan and Jonard, 2004). 좁은 세상 구조는 무작위 네트워크와 정칙 네트워크 사이의 네트워크로 그 형태는 다음의 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Small World (Watts and Strogatz, 1998)

기존 문헌들은 네트워크가 좁은 세상 구조인지 아닌지 판단하기 위한 다양한 기준을 제시하고 있다. 먼저 좁은 세상 구조의 창시자인 Watts and Strogatz(1998)은 무작위 네트워크와 비교했을 때 군집화계수가 높고 평균 경로거리가 짧으며, 정칙 네트워크와 비교했을 때 군집화계수가 낮고 평균 경로거리가 짧으면 좁은 세상 구조로 판단할 수 있다고 언급한다. 이후 Kogut and Walker(2001), Davis et al.(2003), Uzzi and Spiro(2005)는 같은 수의 노드를 가진 무작위 네트워크를 구축하여 실제네트워크의 군집화계수(평균거리)를 무작위네트워크 상 군집화계수(평균거리)로 나눈 값을 이용해 계산한 $Small\ World\ Q = \frac{C/C_r}{L/L_r}$

를 제시하면서 그 값이 1 이상일 때 좁은 세상구조라고 판단하였다(C : 실제 네트워크의 군집화계수, L : 실제 네트워크의 경로 거리, C_r : 무작위 네트워크의 군집화계수, L_r : 무작위 네트워크의 경로 거리). 한 편, Telesford et al.(2011)은 $w = \frac{L_r}{L} - \frac{C}{C_l}$ 의 값을 좁은 세상 구조 판단 기준으로 제시하였고, -1에서 1 사이 값 중 0에 가까울수록 좁은 세상 구조라고 주장하였다 (C_l : 정칙 네트워크의 군집화계수). 또한, Neal(2015)도 $SWI = \frac{L - L_l}{L_r - L_l} \times \frac{C - C_r}{C_l - C_r}$ 의 수식으로 만들어진 0과 1 사이의 Small World Index를 제시하였다(L_l : 정칙 네트워크의 경로 거리). 이처럼 다양한 학자들이 좁은 세상 구조 판단 기준을 제시한 바 있다.

Watts and Strogatz(1998)의 좁은 세상 구조 주장 이후, 이를 확장시켜 좁은 세상 구조에 대한 연구와 좁은 세상 구조가 성과에 미치는 영향에 대한 연구가 시작되었다. 이러한 연구는 혁신 역량, 과학기술 연결망 같은 기술적·학문적 분야 뿐 아니라 연극시장, 올림픽 축구팀 성과 등 다양한 분야에서 진행되었다. 대한민국 과학기술자 연결망을 분야별로 분석한 김용학 외(2007)는 전체적인 과학기술자 연결망이 멱함수를 따르는 좁은 세상 구조를 보인다고 주장했다. 이와 유사하게 주성환(2016)은 우리나라 ICT분야의 혁신 네트워크의 밀도는 0.009로 좁은 세상 구조를 띤다는 것을 밝혔다. 예성호(2013)은 6 단계 분리이론과 좁은 세상 구조를 이용하여 한국인과 중국인 사이 정보 전파 구조는 평균 2.8명의 중국인 경로거리를 통해 이루어진다는 연구결과를 제시하였다.

좁은 세상 구조는 혁신 성과에도 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 경로거리가 작고 군집화 정도가 높을수록 지역 혁신 정도와 프로젝트 혁신 역량에 유의한 양의 영향을 준다는 연구가 이를 뒷받침 한다(Fleming et al., 2007; Kastle and Steen, 2010). 이외에도 좁은 세상 구조를 예술 세계에도 적용한 연구가 있었다. Uzzi and Spiro(2005)는 Small World Q를 이용해 좁은 세상 구조 효과와 미국 브로드웨이 연극의 재정적 및 작품적 성공 간의 관계가 교집합 형태를 띤다는 것을 발견하였으며, 서일정(2019)은 좁은 세상 구조를 대한민국 올림픽 축구팀에 적용하여 팀 내 좁은 세상 구조는 팀 성과에 긍정적인 역할을 준다는 사실을 밝혀냈다. 본 연구에서는 선행문헌을 바탕으로 좁은 세상 구조의 정도를 나타내는 군집화계수와 경로거리가 정부출연연구기관의 연구 성과에 미치는 영향을 분석하였다. 앞서 분석한 선행문헌을 <표 1>로 정리하였다.

<표 1> 선행연구

분류	구분	선행문헌
공동연구	산·연 협력	박웅 외(2017), 송민경·박범수(2017), 이창연·김병근(2019), 황경연·성을현(2018), 황경연(2019)
	학·연 협력	민철구 외(2004), 이옥선 외(2011), 이성희·이학연(2017)
	연·연 협력	김홍영·정선양(2015), 육형갑 외(2020), 이윤빈 외(2019), 정태원 외(2014), 이성희·이학연(2017), 조지혁 외(2018)
	출연(연) 공동연구	김홍영·정선양(2015), 장덕희·강예린(2020), 정태원 외(2014), 김소민 외(2020)
	공동연구	고성주·이춘수(2018), 백영기(2015), 이수환(2016), Barabasi et al.(2002), Newman(2004)
중심성	중심성-성과	강동준·이길남(2015), 주성환(2016), Björk and Magnusson(2009), Zheng(2017)
	연구 동향 파악 및 핵심 노드 파악	박연수 외(2020), 조성용 외(2020), 조종선 외(2019), 허정은·양창훈(2013)
	정부출연연구기관	김홍영·정선양(2015), 정태원 외(2014), 김소민 외(2020)
좁은 세상 구조	지식 확산, 혁신	김용학 외(2007), 예성호(2013), 주성환(2016), Cowan and Jonard(2004), Fleming et al.(2007), Kastelle and Steen(2010)
	예술적 성과	서일정(2019), Uzzi and Spiro(2005)
	좁은 세상 구조 판단 기준 제시	Kogut and Walker(2001), Davis et al.(2003), Uzzi and Spiro(2005), Telesford et al.(2011), Neal(2015)

Ⅲ. 연구 설계

1. 연구방향

선행문헌 분석을 토대로 본 연구의 방향을 설명하면 다음과 같다. 첫째, 정부출연연구기관의 협력 네트워크를 분석할 것이며, 논문 데이터를 이용할 것이다. 앞서 설명한대로 과학기술계 정부출연연구기관은 국가 연구개발 성과에 있어 선도적인 주체이며, 국가과학기술연구회 차원에서도 융합연구를 장려하고 있기 때문에(국가과학기술연구회, 2018) 연구 대상을 과학기술계 정부출연연구기관으로 한정하였다.

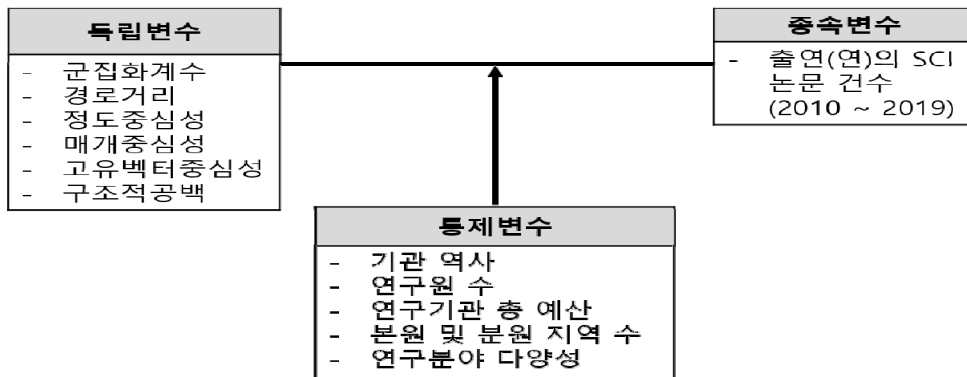
둘째, 중심성 분석과 좁은 세상 구조를 결합하여 논문 성과와의 관계를 분석할 것이다. 기존의 연구들은 대부분 노드 관점에서 중심성 분석만 실시하거나 좁은 세상 구조 개념을 이용하여 전체적인 네트워크의 구조만 살펴보는 것에 그쳤다. 정부출연연구기관에 대한 협력 네트워크 연구는 중심성으로 파악된 바 있으나(정태원 외, 2014; 김소민 외, 2020), 정부출연연구기관이 정부로부터 설립되었다는 점, 정부로부터 출연금을 확보한다는 점에서 기관 간 상호 관련이 높기 때문에 거시적인 네트워크 차원도 살펴볼 필요가 있다. 따라서 정부출연연구기관 협력 네트워크 분석에서 중심성만 파악하기엔 부족하다고 판단하였다. 또한, 좁은 세상 구조 판단 기준에 따라 2010년~2019년의 정부출연연구기관의 협력 네트워크 구조를 살펴본 결과, 정부출연연구기관의 구조가 좁은 세상 구조에 가까운 것으로 관찰되었다. 따라서 좁은 세상 구조에 대한 선행연구를 바탕으로 ‘좁은 세상 구조’라는 특이한 구조를 가졌을 때 정부출연연구기관 간의 협력 및 지식의 전파 속도가 더 빨라지는지에 대해 알아보고자 하였다.

종합하자면, 본 연구는 정부출연연구기관 협력 네트워크를 분석함에 있어 공동논문 데이터를 사용하여 노드별 관점에 대한 분석인 중심성 분석과 거시적인 관점인 좁은 세상 구조 개념을 함께 정부출연연구기관 네트워크에 적용하여 정부출연연구기관의 협력 구조가 얼마나 좁은 세상 구조를 가지는지, 성과에 어떤 요소가 가장 큰 영향을 미치는지 분석하고자 하였다. 본 연구를 통해 좀 더 넓은 관점에서 정부출연연구기관 협력 네트워크를 파악하고, 이에 대한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구 모형

2010년~2019년 과학기술분야 정부출연연구기관 네트워크의 중심성과 좁은 세상 구조 특성이 조직성과에 미치는 영향을 알아보기 위해 좁은 세상 구조의 특성(군집화계수, 경로거리)과 중심성(정도중심성, 매개중심성, 고유벡터중심성, 구조적공백)을 독립변수로 설정하였다. 군집화계수와 경로거리는 좁은 세상 구조를 나타내는데 사용되는 네트워크 특성으로, 군집화계수가 높고 경로거리가 작을수록 좁은 세상 구조에 가깝다(Watts and Strogatz, 1998). 네트워크에 속해 있는 노드의 중심성을 나타내는 지표는 대표적으로 정도중심성, 매개중심성, 고유벡터중심성, 구조적공백, 근접중심성이 있다. 본 연구는 중심성 중 근접중심성은 분석에서 제외하였다. 2011년 네트워크에 고립자(isolate)가 존재하는데, 근접중심성은 고립자가 존재하는 네트워크에서는 정확한 측정이 어렵기 때문이다. 종속변수에는 23개 정부출연연구기관의 2010년~2019년의 SCIE 논문 건수를 두어 정부출연연구기관의 학술적인 성과를 측정했다.

정부출연연구기관의 좁은 세상 구조와 중심성외에 다른 요소도 조직성과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구는 23개 기관의 기관 역사, 연구원 수, 연구기관 총 예산, 본원 및 분원 지역 수, 연구 분야 다양성을 통제변수로 포함시켰다. 이를 모형화하면 <그림 2>처럼 나타낼 수 있다.



<그림 2> 연구 모형

3. 변수 설정

3.1 종속변수

고성주·이춘수(2018)는 정부출연연구기관의 성과를 나타내는 종속변수를 SCI 논문 건수, 특허출원 건수, 기술료 수입 건수 총 3가지로 하여 다각적인 차원에서 접근한 바 있다. 본 연구에서는 정부출연연구기관의 협력 네트워크와 학술적 성과 간의 관계를 확인하는 것을 목표로 하여 Web of Science에서 추출한 각 기관별 SCIE 논문 데이터를 종속 변수로 사용하였다.

3.2. 독립변수

좁은 세상 구조 특성(군집화계수, 경로거리)과 중심성 분석지표(정도중심성, 매개중심성, 고유벡터중심성, 구조적공백)를 구하기 위해 Web of Science 데이터베이스에서 추출한 기관 간 논문 중 공동논문 데이터를 이용하였다.

군집화계수는 네트워크 안에 세 개의 노드가 있는 상황에서 두 노드가 연결되었을 때 나머지 하나도 연결될 확률로 네트워크의 실제 링크 수를 가능한 모든 링크 수로 나눈 값이다 (Watts and Strogatz, 1998). 만약 세 개의 노드가 서로 모두 연결되면 하나의 삼각형(triangle)이 생긴다. 이 때, 군집화계수는 하나의 네트워크 안에서 세 노드가 모두 연결되어 형성되는 삼각형의 개수의 비율로 정의될 수 있다(Fleming et al., 2007). 좁은 세상 구조와 혁신 및 지식 확산 사이 관계를 파악한 Cowan and Jonard(2004), Fleming et al.(2007), Kastle and Steen(2010)의 연구는 군집화계수를 이용하여 성과와의 관계를 파악하였는데, 본 연구도 선행문헌을 참조하여 독립변수에 포함시켰다.

경로거리는 네트워크 내 노드와 노드 간의 거리를 뜻한다. 본 연구에서는 네트워크에 속해 있는 노드의 모든 거리(distance)를 합하여 경로거리를 구하였다. 예를 들어 노드가 A, B, C가 있고 A-B, B-C 이렇게 연결되어 있을 때, A와 B의 거리는 1, A와 C의 거리는 2이다. 이 경우 A의 경로거리는 3이 된다. 경로거리도 군집화계수와 마찬가지로 선행 연구에서 성과와의 관계를 파악하기 위해 네트워크 특성으로 사용된 바 있어 독립변수에 포함시켰다.

정도중심성은 특정 노드가 네트워크 내 다른 노드들과 연결된 정도를 나타낸다. 예를 들어 A, B, C 노드가 있고, A-B, B-C 이렇게 연결되어 있다면, B의 정도중심성은 2이

다. 방향성 네트워크에서는 방향에 따라 내도(in-degree)와 외도(out-degree)로 나눌 수 있으나, 본 연구에서는 비방향성 네트워크이기 때문에 이를 고려하지 않았다. 정도중심성을 수식화하면 다음과 같다. n_i 를 i 번째 기관이라 할 때, $d(n_i)$ 는 n_i 에 직접적으로 연결된 선의 수를 뜻한다. 정도중심성은 한 기관이 함께 논문을 생산한 기관이 몇 개인지 나타내는 지표이다. 정도중심성이 높을수록 타 기관과의 신뢰관계가 형성되고 기관 간 지식·정보에 대한 접근성이 높아져 성과 창출의 가능성이 높아진다(곽기영, 2014). 따라서 본 연구는 정도중심성을 학술적 성과에 대한 독립변수로서 포함시켰다.

$$\text{Degree Centrality} = d(n_i)$$

매개중심성은 특정 노드가 네트워크 내 다른 노드들 사이에 얼마나 위치하고 있는지를 나타낸다. 매개중심성은 다른 노드 사이에 위치함으로써 정보에 대한 접근성 획득 정도, 네트워크 내 의사소통의 제어력 정도를 나타내는 수치이다(권오진 외, 2007). 매개중심성이 높은 노드일수록 네트워크 내 중요한 중개자 역할을 하여, 정보 전달에 있어 이 노드가 잠재적인 영향력을 많이 발휘할 수 있다. 본 연구에서는 연구기관의 중개 역할을 통한 기관의 역량을 파악하기 위해 매개중심성을 사용하였다. 매개중심성을 수식화하면 다음과 같다.

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

고유벡터중심성은 하나의 노드에 연결되어 있는 다른 노드의 수뿐만 아니라 연결된 다른 노드들이 각각 얼마나 중요한지 그 중요성에도 가중치를 부여한다 (Bonacich, 1987). 고유벡터중심성은 정도중심성의 연장선으로 파악되기 때문에 독립변수로 포함시켰다. 고유벡터중심성이 높은 노드는 그 네트워크 안에서 중요한 위치를 차지하고 있는 노드들과 많이 연결되어 있다. 고유벡터중심성을 수식화하면 다음과 같다. 아래의 수식에서 A_{ij} 는 n_i 의 인접행렬이며, n_i 는 기관 j 의 Degree Centrality이다. α 는 인접행렬 A 의 고유치(Eigenvector)이고, 여기서 가장 큰 고유치 α 가 고유벡터중심성이다.

$$\text{Eigenvector Centrality} = \alpha \sum_{i=1}^g A_{ij} n_j$$

구조적공백은 Burt(2004)가 제시한 네트워크 특성으로 예고 네트워크¹⁾ 안에서 서로 연결되지 않은 노드들 간의 중간매개역할을 의미한다. 구조적공백에 위치한 노드는 클러

1) 예고 네트워크는 특정 노드(예고)를 중심으로 하는 네트워크를 말하며, 정부출연연구기관 협력 네트워크의 경우 노드가 총 23개이기 때문에 23개의 예고 네트워크가 존재한다.

스터에 직접적으로 위치하지는 않으나, 중간 매개역할을 통해 큰 거래비용 없이 네트워크의 이점을 향유할 수 있다. 구조적공백은 효율성(Efficiency), 제약성(Constraint) 및 효과성(Effective Size)으로 개념화된다. 구조적공백 중 효율성은 중복되지 않은 정보를 신속히 획득하는 정보효익(Information Benefit)을, 제약성은 타 기관 간 협상에서 누리는 이점인 통제효익(Control Benefit)을 나타낸다(Burt, 1992). 효과성은 예고 네트워크의 비 중복적 액터 수를 측정하여 수치화한다. 본 연구는 이 개념 중 기관이 협력 네트워크 안의 중개자로서 누리는 정보효익 정도를 측정하기 위해 효율성 지표를 선정하여 분석하였다. 효율성은 효과성을 실제 네트워크 규모로 표준화하여 측정된다. 이를 수식화하면 다음과 같다.

$$\text{Efficiency} = \frac{N_i - \sum_j R_{i(j)}}{N_i}$$

예고 네트워크 내 중복성을 나타내는 $R_{i(j)}$ 는 정부출연연구기관 i 와 직접 연결된 기관 j 가 i 와 연결된 타 기관들과 가지고 있는 연결 관계를 측정하며, 효과성은 $N_i - \sum_j R_{i(j)}$ 로 비 중복적 액터 수를 나타낸다(N_i 는 실제 네트워크 규모를 의미한다). 효율성 값은 0에서 1 사이 값으로 나타나며, 0에 가까울수록 기관 간 연결 관계가 비효율적이고, 1에 가까울수록 연결 관계가 효율적이며 높은 파급효과를 기대할 수 있다(이동현·이상근, 2020). 구조적공백은 단절된 액터들을 매개하는 정도를 나타낸다는 점에서 매개중심성과 밀접하게 연관된다. 그러나 본 연구에서 사용한 구조적 공백의 개념 중 효율성은 예고 네트워크를, 매개중심성은 전체 네트워크를 대상으로 한다는 점에서 두 개념의 차이가 존재한다.

3.3. 통제변수

기관의 역사는 2010년~2019년 현재에서 설립연도를 뺀 값으로 설정하였다. 따라서 기관이 설립된 연도가 오래될수록 기관의 역사는 크다. Stuart(1998), Powell(1999) 및 정태원 외(2014)에 따르면 기관의 역사가 오래될수록 정부출연연구기관의 협력이 잘 이루어져 성과에 긍정적인 영향을 미친다. 기관이 오래 전 설립되면 협력을 위한 인프라나 인력이 잘 구축되어있기 때문이다. 따라서 기관의 역사가 정부출연연구기관의 논문 성과에 영향을 미친다고 판단하였고 통제 변수에 포함시켰다.

연구원 수는 조직의 크기를 나타내는데, 이는 조직의 혁신 생산에 영향을 미친다

(Cohen and Levin, 1989). 연구원 수가 많은, 큰 조직일수록 조직성과를 만들어낼 수 있는 주체가 많기 때문이다. 그러나 연구원 수가 조직성과에 미치는 연구들은 서로 상반된 주장을 제기한다. 일부 연구에 따르면, 조직의 크기가 클수록 연구개발 혁신성이 감소한다 (Audretsch and Vivarelli, 1996; Bound et al., 1982). 반면 Ahuja(2000)와 안세정·이준영(2020)는 연구원 인력 수가 조직성과에 유의한 양의 영향을 미친다고 주장하였다. 본 연구는 기존 문헌 검토를 토대로 연구원 수의 영향력을 고려하여 통제변수에 포함시켰다.

연구기관의 총 예산도 기관의 연구개발 투입 요소로서 논문 생산에 영향을 미칠 수 있다. 예산은 연구기관 내에서 관리통제의 기능을 하며, 이는 연구기관의 효과적인 목표 달성을 위해 중요하다(김계수 외, 1994; 이민형, 2014). 정부출연연구기관은 전체 기관 예산 중 약 30%를 출연금으로부터 확보하며, 1996년 실시된 PBS 제도에 의해 나머지 예산은 정부수탁과제 수주 경쟁 및 민간 수탁으로 확보한다(고성주·이춘수, 2018). 본 연구에서 통제변수로 사용한 연구기관 총 예산은 정부가 출연하는 출연금, 정부수탁사업비, 민간수탁사업비를 합친 금액으로 정의하였으며, 정부출연연구기관의 논문 성과에 대한 통제변수로 포함시켰다.

연구를 수행하는 주체가 여러 각지에 분포해있을수록 연구 성과가 높다는 연구가 있다(Ahuja, 2000; 정태원 외, 2014). 반면, Porter의 클러스터 이론과 Marshall의 산업지구는 근접한 위치에 연구개발 주체가 집적되어 있을수록 연구 성과가 증가한다고 주장한다 (Marshall, 1919; Porter, 1998). 따라서 기관의 본원 및 분원 지역 수도 조직성과 향상에 어떠한 영향을 줄 것이라고 생각하여 통제변수에 포함시켰다. 본원 및 분원 지역 수는 기관의 본원, 분원 및 센터 등을 모두 포함하였다. 만일 본원, 분원 및 센터가 하나의 지역에 2개 이상 있는 경우, 1개의 지역으로 간주하였다.

연구 분야 다양성도 성과에 영향을 미칠 수 있다(Ahuja, 2000; Cohen and Levin, 1989a; Cohen and Levin, 1989b; Stuart, 1998; 정태원 외, 2014). 다양한 분야를 연구하는 기관일수록 많은 장비와 인력 등이 필요하며 궁극적으로 큰 조직을 필요로 한다. 이러한 이유로 정부출연연구기관별로 상이한 연구 분야 다양성을 통제변수에 포함시킴으로써 순수한 정부출연연구기관 간의 협력이 조직성과에 미치는 영향을 측정하고자 하였다.

IV. 실증 분석

1. 데이터

OECD(2002)의 Frascati Manual에 따라 정부출연연구기관의 성과는 기술료 수입, SCI 논문 및 특허 출원 3가지로 측정된다(고성주·이춘수, 2018). 그동안 SCIE 논문은 여러 연구 및 사업에서 성과 지표로 선정되었다. SCIE 논문은 정부 주도 BK21사업에서는 연구수준 평가 근거(BK21기획단, 2006)로, 국가연구개발사업 성과분석에서는 과학적 성과(김행미·이윤빈, 2020)로 활용되어 왔다. 이외 다수 학술 문헌도 성과의 척도로서 SCIE 논문을 선정하였다(이방래 외, 2019; 김미진, 2020; 정태원 외, 2014; 김소민 외, 2020). 이처럼 우리나라에서 SCIE 논문은 국제 우수 과학기술 논문으로 통용되면서 KCI 논문과 같은 비SCIE논문보다 더 많이 활용되고 있다. 따라서 본 연구도 국내 논문(KCI급 저널) 및 기타 비SCIE 논문을 제외하고 SCIE급 저널 정보를 제공하는 Web of Science 데이터를 이용하였다.

Web of Science의 데이터베이스에서 23개 정부출연연구기관의 2010~2019년 SCIE 논문 데이터를 확보하였다. 확보한 논문 건수를 이용하여 23 X 23 정부출연연구기관 논문 인접행렬을 구하였다. 인접행렬에서 두 기관이 공동으로 논문을 생산하면 해당 셀에 공동 논문 생산 건수를, 그렇지 않으면 0을 값으로 입력하였다. 공동논문 인접행렬을 이용하여 각 정부출연연구기관의 좁은 세상 구조 특성 및 중심성을 측정하였다.

Web of Science의 데이터베이스는 논문, 출판 항목 초록, 미술 전시회 리뷰, 서지, 도서 등 총 42개의 문서 유형을 제공하고 있다. 본 연구에서는 학술적인 성과 수치를 측정하기 위해 논문 데이터(Article)만 수집하였다. Web of Science에서는 자체적으로 확장된 연구기관명(OG) 검색 기능을 제공하는데, 이 기능을 이용하여 23개의 정부출연연구기관 논문 데이터를 확보하였다. OG는 어느 정도 논문 건수가 있어야 부여된다. 국가보안기술연구소(국보(연))와 녹색기술센터(GTC)는 상대적으로 타 기관들에 비해 논문 건수가 많지 않아 OG가 제공되지 않았다. 따라서 두 기관은 분석 범위에서 제외하였다. 그러나 OG 검색식에 오류가 있을 수 있기 때문에 이후에 수작업으로 데이터 오차 수정 및 전거 작업을 진행하여 최종 인접행렬을 구하였다.

본 연구는 이러한 과정을 통해 정부출연연구기관이 생산한 10년 간 SCIE 논문 총 62,780건과 한국 정부출연연구기관과 논문을 공동 생산한 국내외 14,000여 개의 기관명

데이터를 확보하였다. 그 중 23개의 정부출연연구기관끼리의 논문을 추출하여 분석 데이터로 사용하였다. 네트워크 지표 측정은 공동논문을 이용하였고, 종속변수로 둔 학문적 성과는 그 기관이 생산한 전체 논문을 이용하였다. 통상적으로 많은 협력 네트워크 연구들은 네트워크 생성 시 값의 절대치 빈도를 이용한다(장임숙, 2013; 정태원 외, 2014; 조종선 외, 2019). 본 연구는 기관 간 협력 유무가 성과에 미치는 영향을 파악하고자 하였기 때문에 논문 건수의 절대치를 사용하였다. 기관 역사와 본원 및 분원 지역 수는 각 정부출연연구기관의 웹사이트 및 국가과학기술연구회 웹사이트를 참조하여 데이터를 수집하였다. 연구원 수, 정부출연금 데이터는 각 정부출연연구기관에서 데이터를 제공받았다. 연구 분야 다양성은 Web of Science가 자체 제공하는 150여 개의 분류를 참조하여 분야 다양성의 단순 합(sum)으로 측정하였다. 분석 도구는 UCINET 6.486과 R을 사용하였다. UCINET는 네트워크 분석 전용 소프트웨어로 R에서 제공하지 않는 다양한 네트워크 수치 계산 기능을 제공하기 때문에 이 소프트웨어를 사용하여 네트워크 속성을 측정하였다. 이후 R을 사용하여 기초통계량을 측정하였고, Feasible GLS 회귀분석을 실시하였다.

2. 기초통계량

본 연구에서는 총 230개의 샘플을 이용하였으며 각 변수들의 평균, 표준편차 등의 기초통계량을 <표 2>에 제시하였다. 2010년부터 2019년까지의 군집화계수의 평균은 0.616, 표준편차는 0.220으로 나타났다. 경로거리의 평균은 36.096, 표준편차는 7.613이었다. 이는 전체 네트워크에서 평균적으로 하나의 기관이 다른 모든 기관들과 약 36의 거리를 가지고 있다는 것을 의미한다. 정도중심성은 평균 8.852, 표준편차 4.546이었으며 매개중심성은 평균 7.235, 표준편차는 9.339로 넓은 분산 형태를 보였다. 고유벡터중심성의 평균은 0.564, 표준편차는 0.265이었으며 구조적공백은 평균 0.607, 표준편차는 0.145였다. 통제변수 중 기관의 역사는 평균 30년으로 나타났고 연구원 수는 평균적으로 361명, 연구기관 총 예산은 평균 1,847억 원으로 나타났다. 23개의 정부출연연구기관은 평균적으로 3개의 본원 및 분원 지역을 가지고 있으며, 평균 연구 분야 다양성은 52였다. 정부출연연구기관의 논문 수는 평균 315, 표준편차 277로 나타났다.

<표 2> 기초통계량

		자료 수	평균	표준편차	최솟값	최댓값
독립 변수	군집화계수	230	0.616	0.220	0	1
	경로거리	230	36.096	7.629	0	68
	정도중심성	230	8.852	4.556	0	19
	매개중심성	230	7.235	9.360	0	55.718
	고유벡터중심성	230	0.564	0.266	0	1
	구조적공백	230	0.607	0.145	0.258	1
통제 변수	기관의 역사	230	30.439	13.960	0	60
	연구원 수	230	361.203	371.859	9	1,959
	연구기관 총 예산*	230	18.468	15.095	0.809	65.516
	본원 및 분원 지역 수	230	3.013	2.429	1	13
	연구 분야 다양성	230	52.252	25.927	1	127
종속 변수	논문 수	230	315.370	277.373	3	1,600

* 총 예산의 단위 : 백억 원

3. 네트워크 분석

3.1 연도별 네트워크 특성분석

정부출연연구기관의 2010년에서 2019년까지의 협력 네트워크 특성을 <표 3>로 정리하였다. 정부출연연구기관 간 공동논문 수는 2010년 5,332건에서 2019년 8,513건으로 지속적으로 증가하였다. 정부출연연구기관 기관 수는 10년간 23개로 동일하였으며, 연결수도 공동논문 수와 마찬가지로 증가하는 추세를 보였다. 10년 간 2011년에 고립자가 1개(세계김치연구소)가 존재하였다. 즉, 2011년에 세계김치연구소는 다른 기관과 생산한 공동논문이 0건이라는 것을 뜻한다.

네트워크 분석에서는 링크 설정 기준을 1개로 할 것인지 cut-off value 이상으로 할 것인지에 따라 링크 개수가 달라진다. 협력 대상이 연구자일 때는 전반적으로 협력 정도가 많아 cut-off value를 설정하여 링크 존재 여부를 판단하기도 한다(이수상, 2011). cut-off value를 설정할 경우, 해당 값보다 적게 협력을 한 기관과 기관의 협력은 무시될

수 있다. 본 연구에서는 기관 협력 강도보다는 협력의 유무를 통해 구조를 분석하는 것이 목적이므로, 링크 설정 기준을 1개로 하였다.

<표 3>에 따르면, 연도별 네트워크 10개 중 2010년에 연결 수(83) 및 밀도(0.328)가 가장 낮고 2018년에는 124, 0.490으로 가장 높았다. 따라서 정부출연연구기관의 협력 네트워크는 2010년에 강도가 가장 미약하였고, 2018년에 가장 강력했다고 할 수 있다. 2010년과 2018년의 네트워크 구조를 나타낸 그림을 <그림 4> 및 <그림 5>에 제시하였다. 그림에서 노드 간의 연결의 굵기는 공동논문 개수를 의미한다.

<표 3> 연도별 네트워크 특성

	공동논문 수	노드	링크	고립자	밀도
2010	5,332	23	83	0	0.328
2011	5,887	23	85	1	0.336
2012	6,509	23	90	0	0.356
2013	6,710	23	96	0	0.379
2014	7,370	23	107	0	0.423
2015	7,563	23	92	0	0.364
2016	8,045	23	111	0	0.439
2017	8,274	23	113	0	0.447
2018	8,332	23	124	0	0.490
2019	8,513	23	117	0	0.462

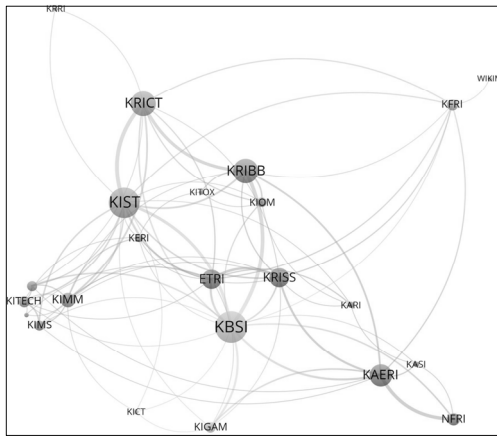
3.2 연도별 좁은 세상 구조 확인

본 절에서는 좁은 세상 구조 척도인 군집화 계수와 평균 경로거리를 이용해 회귀분석을 실시하기에 앞서 정부출연연구기관 협력 네트워크가 좁은 세상 구조인지 확인하였다. 선행연구에서 살펴본 대로 좁은 세상 구조를 나타내는 단일한 기준은 없으나, Small World Q가 보다 많은 학자들에게 좁은 세상 구조를 판단하는 기준으로 쓰인 것을 알 수 있었다(Kogut and Walker, 2001; Davis et al., 2003; Uzzi and Spiro, 2005). 본 연구도 이에 따라 Small World Q를 정부출연연구기관 협력 네트워크에 적용하였고, 그 결과 정부출연연구기관의 협력 네트워크에 대한 Small World Q(SWQ)가 모두 1 이상으로 나타나 모든 연도에서 정부출연연구기관 협력 네트워크가 좁은 세상 구조임을 확인하였다.

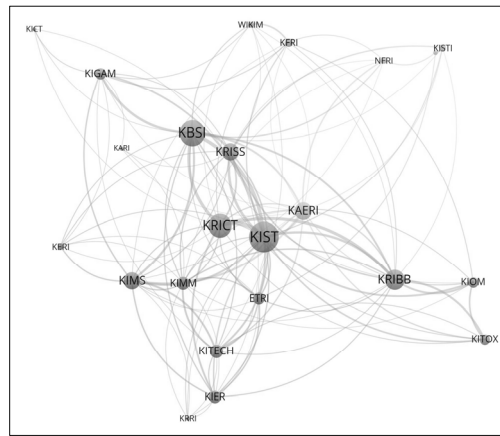
따라서 군집화 계수와 평균 경로거리를 좁은 세상 구조 척도로 사용하였다.

<표 4> 연도별 네트워크 Small World Q

연도	2010	2011	2012	2013	2014
SWQ	1.465077	1.672825	1.695603	1.388291	1.310132
연도	2015	2016	2017	2018	2019
SWQ	1.608303	1.413253	1.253403	1.207651	1.219445



<그림 4> 2010년 정부출연연구기관 협력 네트워크



<그림 5> 2018년 정부출연연구기관 협력 네트워크

4. 회귀분석

4.1 상관관계분석

다중공선성은 독립변수 간에 강한 상관관계가 나타나는 현상을 의미한다. 다중공선성이 나타날 경우 회귀분석의 전제가정을 위배하게 되어 연구결과의 유의성을 저해할 수 있기 때문에 회귀분석 이전에 그 유무를 파악해야 한다. 본 절에서는 다중공선성 확인을 위하여 피어슨 상관분석을 실시하였다. <표 5>은 변수 간 피어슨 상관관계를 나타낸 표이다. 고유벡터중심성은 정도중심성을 확장시킨 개념이기 때문에 정도중심성과 상관계수가 1에 가깝게 나타나는 건 당연한 결과로 확인된다. 연구 분야 다양성도 정도중심성, 고유벡터중심성과 높은 상관계수를 띠는 것으로 나타났으나 정도중심성과 고유벡터중심성은 공동논문 건수를 이용하여 계산되었기 때문에 이 현상은 불가피한 것으로 보인다. 정도중심성과 고유벡터중심성 외에 다른 중심성 간에도 다소 높은 상관관계를 띠는 것

으로 나타났지만 회귀 분석에 큰 문제를 줄 정도는 아니었다. 그러나 기관의 연구원 수와 연구기관 총 예산은 거의 0.9에 가깝게 나타나 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서 본 회귀분석에서는 연구원 수를 분석에서 제외하였다. 상관계수가 0.8 이상인 것은 음영으로 표기하였다.

<표 5> 피어슨 상관계수 표

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SCIE 논문	1											
군집화 계수	-0.116*	1										
경로 거리	-0.531***	0.097	1									
정도 중심성	0.746***	-0.063	-0.723***	1								
매개 중심성	0.608***	-0.33***	-0.517***	0.731***	1							
고유벡터 중심성	0.708***	0.024	-0.727***	0.967***	0.674***	1						
구조적 공백	-0.443***	0.284***	-0.119**	-0.156**	-0.287***	-0.116**	1					
기관의 역사	0.490***	-0.101	-0.216***	0.392***	0.344***	0.348***	-0.178***	1				
연구원 수	0.348***	-0.130**	-0.231***	0.316***	0.314***	0.289***	-0.012	0.427***	1			
연구기관 총 예산	0.365***	-0.142**	-0.222***	0.316***	0.311***	0.279***	-0.066	0.395***	0.896***	1		
본원 및 본원 지역 수	0.21***	0.069	-0.192***	0.3***	0.134***	0.316***	-0.091	0.133**	0.214***	0.255***	1	
연구분야 다양성	0.860***	-0.063	-0.601***	0.822***	0.654***	0.806***	-0.291***	0.549***	0.372***	0.384***	0.347***	1

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

4.2 회귀분석 기본 가정 검토

다중회귀분석의 기본 가정은 선형성, 독립성, 외생성, 정규성, 등분산성이다. 회귀분석을 실시하기에 앞서 다섯 가지 회귀분석 기본 가정에 대한 분석을 실시하였다. 첫째, 연

구 데이터 중 정규분포를 따지 않는 변수인 SCIE 논문 수, 본원 및 분원 지역 수, 연구원 수가 지수분포 형태와 유사하게 나타났기 때문에 이 변수들에 대해 자연로그 변수 변환을 취하여 선형성을 만족시켰다.

둘째, 피어슨 상관분석 결과 타 변수와 상관관계가 높았던 연구원 수를 제외한 이후의 회귀 모형에 대해서 VIF 검정을 실시하였고, 그 결과 <표 6>에 제시한 바와 같이 연구원 수를 제외한 회귀 모형에서는 다중공선성이 발생하지 않는 것을 확인하였으며, 이를 통해 독립성을 만족시켰다.

<표 6> VIF 검정 결과

VIF 지수	독립변수	log(지역)	기관 역사	연구 분야 다양성	연구기관 총 예산
Model 0		1.231	2.296	1.947	1.772
Model 1	(군집화계수) 1.271 (경로거리) 1.217	1.217	2.366	3.255	1.676
Model 2	2.841	1.103	1.617	3.424	1.625
Model 3	1.436	1.273	2.815	2.389	1.947
Model 4	3.051	1.123	1.708	3.855	1.463
Model 5	2.526	1.221	2.109	3.828	1.737

셋째, 독립변수가 오차항과 상관관계가 있거나 독립변수들 간에 상관관계가 있는 경우 회귀분석에서 문제가 될 수 있다. 독립변수 간 상관관계는 앞서 분석한 피어슨 상관분석을 통해 문제가 없음을 확인하였다. 외생성 검증을 위해 오차항과 독립변수 간의 상관관계를 확인한 결과, 회귀 식의 각각 독립변수와 오차항은 모두 상관관계가 낮은 것으로 나타나 외생성이 충족되는 것으로 나타났다.

넷째, 정규성에 대한 검증이다. 정규성 검정을 위해 자료의 값과 표준정규점수 간 선형상관관계를 측정하는 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시하였다. 그 결과, 회귀 식은 H_0 : “정규분포를 따른다”는 귀무가설을 채택하지 못하여 완전한 정규분포모양을 따지 않는 것으로 드러났다. 그러나 본 연구에서 사용한 데이터의 수가 100개 이상이므로 근사 정규분포에 의한 정규성 가정을 할 수 있었다.

다섯째, 다중회귀분석을 진행한 5개의 회귀모형의 이분산성을 측정하기 위하여 브루쉬-피건 검정(Breusch-Pagan test)을 실시하였다. 그 결과, 5개의 회귀모형 모두 H_0 :

“오차항이 등분산성이다”는 귀무가설을 채택하지 못하여 오차항이 이분산성을 띠는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구는 이분산성을 고려할 필요가 있었다. 외생성, 정규성 및 이분산성 검정 결과는 <표 7>에 정리하였다.

<표 7> 외생성, 정규성 및 이분산성 검정 결과

	외생성	정규성	이분산성
Model 0		W = 0.872 p-value = 6.004e-13	BP = 51.379, df = 4 p-value = 1.86e-10
Model 1	(군집화계수) 0.071 (경로거리) -0.083	W = 0.889 p-value = 5.348e-12	BP = 77.544, df = 6 p-value = 1.148e-14
Model 2	0.258	W = 0.877 p-value = 1.137e-12	BP = 46.193, df = 5 p-value = 8.297e-09
Model 3	0.149	W = 0.868 p-value = 3.158e-13	BP = 56.375, df = 5 p-value = 6.802e-11
Model 4	0.235	W = 0.877 p-value = 1.129e-12	BP = 50.02, df = 5 p-value = 1.373e-09
Model 5	0.022	W = 0.828 p-value = 3.058e-15	BP = 57.036, df = 5 p-value = 4.972e-11

회귀 식이 이분산성을 띠는 때는 가중 선형회귀(Weighted Least Squares Regression; WLS), 혹은 Feasible GLS 회귀분석을 실시한다. 가중 선형 회귀분석은 회귀 식에 적용한 가중치(Weight)가 주어져 있을 때 사용한다(Wooldridge, 2016). 그러나 본 연구에서는 가중 선형 회귀 식에 적용할 적절한 가중치(Weight)이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 그에 비해 Feasible GLS 회귀분석은 분산의 함수를 추정하여 회귀 식에 적용할 가중치를 도출한 후 회귀분석을 실시한다. 따라서 본 연구는 Feasible GLS 다중회귀분석을 이용하여 적절한 가중치를 찾아 회귀 식에 사용하였다.

4.3 Feasible GLS 회귀분석

위 과정을 모두 거쳐 도출한 회귀 모형은 <표 8>와 같다. 모형 0은 통제변수만을 포함한 회귀 식이다. 모형 1에서 5까지는 기관의 역사, 기관의 분원 및 분원 지역 수, 연구분야 다양성, 연구원 수, 연구기관 총 예산이 모두 통제되었을 때 각 독립변수가 논문 성과에 미치는 영향을 분석한다.

<표 8> Feasible GLS 결과

	Model 0	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
(Intercept)	3.912***	4.670***	3.790***	3.969***	3.634***	4.634***
군집화계수		0.338**				
경로거리		-0.024***				
정도중심성			0.030***			
매개중심성				-0.001		
고유벡터 중심성					0.819***	
구조적공백						-1.026***
log(본원 및 분원 지역 수)	-0.027	-0.033	-0.060**	-0.037	-0.052	0.011
기관 역사	-0.003	0.003	0.003	0.001	0.007***	0.006**
연구 분야 다양성	0.026***	0.023***	0.024***	0.026***	0.021***	0.022***
연구기관 총 예산	0.004*	0.004**	0.003	0.006***	0.001	0.003
<i>Adj.R</i> ²	0.861	0.883	0.881	0.882	0.844	0.850

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

모형 1에서 기관이 각각 가지고 있는 군집화계수는 논문 성과에 유의미한 양의 영향을 미치며, 경로거리는 유의한 음의 영향을 주는 것으로 나타났다. 군집화계수가 크고 경로거리가 작을수록 좁은 세상 구조에 가깝다(Watts, 1999). 연구 결과, 정부출연연구기관의 협력구조가 좁은 세상 구조를 취할수록 유의미한 학문적 성과를 거둘 수 있는 것으로 파악된다. 군집화계수는 전체의 네트워크 구조에서 세 개의 기관이 연결되어 생기는 삼각형 연결 관계가 어느 정도 있는지 나타내며, 정부출연연구기관 협력 네트워크에서의 이러한 연결 관계가 논문 성과에 양의 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 경로거리가 클수록 논문 성과에 부정적인 영향을 미치는 것이 확인되었다. 이는 즉, 기관 간 연결되어 있을 때 다른 기관을 거쳐 연결되어 그 거리가 커지면 논문 성과에 좋지 않다는 것이다. 따라서 기관 간 직접적인 연결이 존재할 때 논문 성과에 긍정적인 영향을 주는 것으로 파악된다.

모형 2는 정도중심성과 논문 성과와의 관계를 보여준다. 분석 결과 정도중심성은 논문 성과에 유의미한 양의 추정 값을 갖는 것으로 나타났다. 정도중심성은 지식·정보에 대한 높은 접근성, 강한 신뢰 기반의 협력 정도를 의미한다. 따라서 연결 정도가 강한 기관이 다른 기관에게 “영향력을 행사할 가능성이 높으므로 네트워크에서 중심적인 역할을 한다”는 것을 의미한다(주성환·서환주, 2017).

모형 3에서는 매개중심성과 논문 성과 간의 관계를 분석하였다. 분석 결과 매개중심성은 논문 생산에 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 기관이 협력 네트워크 안에서 타 기관과 교류하는 정보를 통제하는 정도가 논문 생산과는 큰 관련이 없다는 것이다. 이는 정부출연연구기관 간 지식 교류가 한 기관에 의해 통제될 수 없기 때문인 것으로 보인다. 기관 간 자율적으로 협력활동을 하기 때문에 특정 한 기관이 정보 통제에 의한 효익을 얻지 못하는 것으로 판단된다.

모형 4는 고유벡터중심성과 논문 성과 사이에 유의한 양의 영향이 있다는 것을 보여주었다. 고유벡터중심성은 앞서 분석한 4개의 독립변수보다 계수의 절댓값이 크다는 것이 특징이었으며, 연결된 타 기관의 중요성을 반영하는 고유벡터중심성이 논문 성과에 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

모형 5는 구조적 공백과 논문 성과 사이의 관계를 보여준다. Burt(1992)에 의하면 구조적 공백은 노드 간 연결 관계가 존재하지 않거나 미약할 때 중개자역할 정도를 나타낸다. 분석결과 구조적 공백은 논문 성과에 음으로 유의하였다. 이는 각 기관을 중심으로 하는 에고네트워크에서 네트워크의 효율성이 높으면, 즉 협력기관들 사이에 협력관계가 많지 않으면, 매개역할을 하는 기관의 논문 성과는 낮아진다는 것을 뜻한다. 반면, 전체 네트워크에서의 중개역할을 의미하는 매개중심성은 논문 성과에 유의하지 않다는 결과가 나타났다. 에고네트워크의 효율성이 논문 성과에 부정적인 것에 비해 전체 네트워크에서의 매개역할은 학문적 성과에 별 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 두 결과는 정부출연연구기관의 논문 성과는 각 기관이 매개역할을 함으로써 향상되는 것이 아니고, 많은 기관 간의 직접 협력을 높임으로써 향상될 수 있음을 시사한다.

통제변수로 설정한 연구 분야 다양성은 모든 모형에서 양의 유의성을 보였으며, 각 기관의 본원 및 분원 지역 수는 모형 2에서만 음으로 유의했다. 즉, 기관의 본원 및 분원이 몇 개 있는지에 따라 논문 성과에 큰 영향을 주지 않으며, 연구 분야 다양성은 넓을수록 논문 성과에는 긍정적인 효과를 준다는 것이다. 반면 연구기관 총 예산은 독립변수가 정도중심성, 혹은 매개중심성일 때에만 유의하였다. 기관의 역사는 모형 4와 모형 5에서만 양으로 유의하였다.

V. 결론

1. 결론

본 연구는 국가과학기술연구회 산하 23개 과학기술계 정부출연연구기관의 협력 네트워크 구조를 살펴보고, 좁은 세상 구조 특징과 중심성이 정부출연연구기관의 학술적 성과에 미치는 영향을 분석하였다. 2010년에서 2019년의 정부출연연구기관 네트워크 구조는 무작위 네트워크와 정칙 네트워크 사이인 좁은 세상 구조 모양을 띠고 있었다. 따라서 본 연구는 거시적인 차원에서 좁은 세상 구조의 특징을 분석에 사용하였고, 미시적인 관점에서 중심성 개념을 사용하여 학문 성과와의 연관성을 측정하고자 하였다.

회귀분석을 바탕으로 도출한 결과 및 시사점은 다음과 같다. 첫째, 각 기관은 서로 간의 강력한 신뢰를 바탕으로 많은 공동연구에 참여해야 한다. 회귀분석에서 정도중심성은 기관의 학술적 성과에 양으로 유의했다. 반면, 네트워크 안에서 연결을 형성하지 못한 공백을 나타내는 구조적공백은 성과에 부정적인 것으로 나타났다. 보다 많은 기관과 협력하는 정부출연연구기관이 학술적 연구 성과가 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 정부출연연구기관이 활발하게 공동연구를 수행하는 것이 연구 성과 향상을 위해 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 정부출연연구기관 협력 네트워크에서 타 기관 협력 관계가 많은 기관을 선정하여 전략적으로 협력하는 자세가 필요하다. 본 연구에서 연결된 노드의 중요도에 가중치를 부여한 고유벡터중심성은 논문 성과에 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 타 기관과 협력을 많이 하는 기관과 공동연구를 진행할 때 고유벡터중심성은 증가하며, 반대로 중요 기관과 공동연구를 하지 않을 때 감소한다. 회귀분석 결과 고유벡터중심성의 계수 값이 매우 높았다. 두 기관이 같은 수의 연결망이 갖고 있더라도, 기관이 어떤 기관과 연결이 되었는지에 따라 그 기관이 갖게 되는 인적 네트워크 혹은 기술적 네트워크가 달라질 것이다. 따라서 기관은 단순히 타 기관과의 연결을 늘리려는 노력 뿐 아니라, 연결하려고 하는 기관의 중요성도 함께 고려해야 한다. 기관은 전략적인 협력 정책을 구축하여 보다 높은 논문 성과를 창출할 수 있을 것이다.

셋째, 정부출연연구기관 협력 네트워크는 좁은 세상 구조의 특성을 강하게 가질수록 논문 성과가 좋다. 좁은 세상 구조를 나타내는 두 가지 지표는 군집화계수와 경로 거리였다. 데이터를 이용한 실증 분석 결과, 군집화계수는 양으로, 경로 거리는 음으로 유의

하였다. 군집화계수는 여러 개의 노드가 뭉쳐있는 군집(cluster)가 얼마나 많은지를 뜻한다. 즉, 군집 수는 여러 기관이 공동으로 작성하는 논문 수를 나타낸다. 본 연구결과 군집화계수는 논문 성과에 대해 양으로 유의하였다. 경로 거리는 음으로 유의하였으며, 이는 기관과 기관 간의 거리가 짧을수록 논문 성과에 좋다는 점을 시사한다.

2. 한계점 및 향후 연구방향

본 연구는 23개 과학기술계 정부출연연구기관의 SCIE 논문 데이터로 좁은 세상 구조 특징과 중심성을 도출하여 연구 성과와의 관계를 분석하였다. 또한 그 결과를 통해 정부출연연구기관의 적극적인 협력 참여 자세와 전략적인 협력 정책의 필요성 및 좁은 세상 구조에 대해 논의하였다. 본 연구에 대한 한계점도 존재한다. 첫째, 논문의 질적 성과를 측정하지 못했다. 정부출연연구기관의 연구 분야별로 피인용지수가 상이하여 질적 성과를 반영하기 어려웠다. 후속연구에서 정부출연연구기관의 기관별이 아닌 분야별 네트워크를 구축하여 질적 성과와의 관계를 연구할 수 있을 것이다.

둘째, 본 논문은 학술적 성과만 측정하였다. 정부출연연구기관의 연구 성과는 학술적 성과 외에 특허, 기술료 등 다양하게 나타난다. 특허나 기술료 등을 이용한 협력 네트워크 후속연구에서 다양한 양적 성과에 대한 회귀분석을 실시하여 성과의 특성별로 네트워크의 영향을 비교해볼 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구는 SCIE 논문을 대상으로 하였다. 그 결과 기관 간 협력 네트워크가 좁은 세상 구조를 취하며 일부 중심성과 학문적 성과 간의 관계를 파악하였다. 그러나 국내 연구기관 간 학문적 성과는 SCIE 논문 뿐 아니라 KCI 논문에 의해서도 파악될 수 있다. KCI 논문은 협력 네트워크에서 또 다른 정책적 시사점을 제시해줄 수 있을 것으로 사료되며, 후속연구에서 SCIE 논문과 KCI 논문을 사용해 도출한 회귀분석 결과를 비교해볼 수 있을 것이다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 강동준·이길남 (2015), “SNA (Social Network Analysis)를 활용한 한국무역학회지 공저자 네트워크 분석”, 『무역학회지』, 제40권 제5호, pp. 1-23.
- 고성주·이춘수 (2018), “과학기술계 출연 연구기관의 사업 유형별 연구성과 요인에 관한 연구”, 『대한경영학회지』, 제31권 제4호, pp. 715-741.
- 곽기영 (2014), 「소셜네트워크분석」, 서울 : 청람.
- 국가과학기술연구회 (2018), 『출연(연)의 선도형 연구환경 조성을 위한 법제 개선방안 연구』, 서울 : 국가과학기술연구회.
- 권오진·노경란·이방래·고병열·문영호 (2007), “매개중심성 분석을 통한 기술군간 융합 정도측정”, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 제5권 제1호, pp. 1-5.
- 김계수·김재영·이민형 (1995), “정부출연연구기관의 종합예산시스템”, 『연구보고』, pp.1-441.
- 김미진 (2020), “생명과학 분야 연구자들의 연구 성과 분석 연구 - K 대학교를 중심으로 -”, 『한국도서관·정보학회지』, 제51권 제2호, pp. 273-294.
- 김소민·이혜경·김정흠 (2020), “네트워크 폐쇄와 구조적 공백이 정부출연연구기관 협력 네트워크에 미치는 영향”, 『기술혁신학회지』, 제23권 제6호, pp. 1222-1239.
- 김용학·윤정로·조혜선·김영진 (2007), “과학기술 공동연구의 연결망 구조”, 『한국 사회학』, 제41권 제4호, pp. 68-103.
- 김용학 (2014), 『사회 연결망 분석』, 서울 : 박영사.
- 김행미·이윤빈 (2020), 『2018년도 국가연구개발사업 성과분석 보고서』, 음성: 과학기술정보통신부·한국과학기술기획평가원.
- 김홍영·정선양 (2015), “출연연구기관 융합기술 연구네트워크 구조 분석”, 『기술혁신학회지』, 제18권 제4호, pp. 693-718.
- 민철구·송완흡·현병환 (2004), “지역대학과 출연(연)의 협력시스템 구축방안”, 『정책연구』, pp. 1-163.
- 박연수·박주영·김종주·원유형 (2020), “기후변화 학술연구 협력 경향 분석 : 공동저자 네트워크 구조 및 중개자 특성 분석을 중심으로”, 『기술혁신학회지』, 제23권 제1호, pp. 162-180.
- 박용·박호영·염명배 (2017), “ICT분야 중소기업의 산·연 R&D 협력이 기술혁신성장에 미치는 영향: 출연연구기관과의 협력을 중심으로”, 『벤처창업연구』, Vol. 12, No. 6, pp. 139-150.
- 박주형·이희상 (2014), “과학기술계 출연연구기관의 지식창출 협력유형 분석에 관한 연구”, 『기술혁신학회지』, 제17권 제3호, pp. 563-583.
- 박희제 (2018), “연구규범과 가치관을 통해 본 한국 과학기술자사회의 성격: 공공부문 연구자를

- 중심으로”, 『기술혁신연구』, 제16권 제1호, pp. 81-106.
- 백영기 (2015), “공동저술 논문을 이용한 연구협력에 대한 공간적 분석”, 『대한지리학회지』, 제50권 제6호, pp. 641-657.
- 서일정 (2019), “팀 프로세스의 작은 세상 구조가 팀 성과에 미치는 영향”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 제19권 제3호, pp. 539-547.
- 송민경·박범수 (2017), “출연(연)과 중소기업의 장기적 협력을 위한 영향요인 분석 : 출연(연)의 인력파견사업을 중심으로”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 제17권 제3호, pp. 654-665.
- 송위진·이은경·송성수·김병운 (2003), 『한국 과학자사회의 특성분석- 탈 추경체제로의 전환을 중심으로』, 과학기술정책연구원.
- 안세정·이준영 (2020), “정부출연연구기관의 성과데이터를 활용한 거시적 연구 지형 및 수준 분석”, 『기술혁신학회지』, 제23권 제3호, pp. 478-504.
- 엄익천·류영수 (2019), “정부출연연구기관의 R&D 효율성 분석 : 정부수탁과제와 출연금과제의 비교”, 『정책분석평가학회보』, 제29권 제3호, pp. 85-113.
- 연구윤리정보센터 (2013), “공동연구관”, <https://www.cre.or.kr>, (2013.06.17.).
- 예성호 (2013), “‘좁은 세상(Small World)’에서의 한중 간 정보화산 구조에 관한 연구”, 『중국과 중국학』, 제20호, pp. 33-65.
- 오진환·구훈영 (2018), “공동연구성과에 협력요소가 미치는 영향에 관한 연구 : IT R&D를 중심으로”, 『한국전자거래학회지』, 제23권 제1호, pp. 23-36.
- 유화선·김윤명·양치승 (2017), “국내 우수 연구자의 글로벌 공동연구 활동도 분석 연구”, 한국기술혁신학회 학술대회, pp. 1225-1246.
- 육형갑·강재열·배기봉·강대석 (2020), “국가과학기술연구회 융합연구사업의 연구성과 효율성에 관한 연구 : DEA를 활용한 융합연구 및 일반수탁사업의 비교분석을 중심으로”, 『한국융합학회논문지』, 제11권 제3호, pp. 211-218.
- 이강원·엄희관·최혜진 (2017), “Small-world와 Scale-free 네트워크를 위한 조정 가능한 네트워크 생성 모델”, 『한국통신학회논문지』, 제42권 제7호, pp. 1392-1401.
- 이동현·이상근 (2020), “구조적 공백 이론을 이용한 산업간 융합 측정 연구 : ICT 산업을 중심으로”, 『한국산업정보학회논문지』, 제25권 제3호, pp. 11-19.
- 이민형 (2014), “정부연구개발사업 성과 제고를 위한 예산 배분제도 및 구조 개선방안”, 『과학기술정책』, 제24권 제5/6호, pp. 20-32.
- 이민형·김태양 (2020), “공공연구기관 R&D 협력체계 구축을 위한 주요 혁신방안”, 『STEPI Insight』, 제252호, pp. 1-28.
- 이방래·임종연·이우주·원동규 (2019), “개별 논문의 질적 수준에서 측정된 과학기술분야 기초연구사업의 SCI 성과 분석”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 제19권 제9호, pp. 11-25.
- 이성희·이학연 (2017), “정부출연연구기관의 산학연 공동연구 성과 평가”, 『대한산업공학회지』,

제43권 제3호, pp. 154-163.

- 이수상 (2011), “공저빈도에 따른 공저 네트워크의 속성 연구 : 문헌정보학 분야 4개 학술지를 중심으로”, 『한국도서관·정보학회지』, 제44권 제3호, pp. 405-428.
- 이수상 (2012), 『네트워크 분석 방법론』, 서울 : 논형학술.
- 이수환 (2016), “지리학계의 공동저술 논문에서 공동저자간의 네트워크분석 : 대한지리학회지와 한국지역지리학회지를 중심으로”, 한국지역지리학회 학술대회발표집, pp. 13-14.
- 이옥선·김지대·김성용·이재욱 (2011), “학·연 연구개발 협력시스템이 성과에 미치는 영향에 관한 실증 분석”, 『한국산학기술학회 논문지』, 제12권 제6호, pp. 2489-2499.
- 이윤빈·이성용·정고은 (2019), “정량분석에 기반한 정부출연연구기관 연구영역 유사도와 연구협력 관계 고찰”, 『기술혁신학회지』, 제22권 제4호, pp. 526-547.
- 이창연·김병근 (2019), “중소기업의 산·연 기술협력 성과 영향 요인”, 『기술혁신학회지』, 제22권 제3호, pp. 416-445.
- 이형진 (2016), “국방핵심기술 연구개발사업의 효율성 분석에 관한 연구”, 『국방과 기술』, 제448호, pp. 70-83.
- 이희연·김홍주 (2006), “네트워크 분석을 통한 수도권의 공간구조 변화 : 1980-2000년”, 『국토계획』, 제41권 제1호, pp. 133-151.
- 장덕희·강예린 (2020), “정성적 관점에서 과학기술분야 정부출연연구기관의 논문 성과 변화 분석 : SCIE 논문을 중심으로”, 『한국행정논집』, 제32권 제2호, pp. 147-169.
- 장임숙 (2013), “지역의 다문화가족지원을 위한 협력네트워크에 관한 사회네트워크분석(Social Network Analysis)”, 『한국행정논집』, 제25권 제3호, pp. 693-718.
- 정태원·정동섭·김정흠 (2014), “공동논문 현황을 통한 정부출연(연)의 협력네트워크 구조와 논문 성과와의 관계분석”, 『기술혁신학회지』, 제17권 제1호, pp. 242-263.
- 조성용·변기식 (2020), “중심성 분석을 이용한 식품 미세플라스틱의 최근 연구동향”, 『한국산학기술학회논문지』, 제21권 제5호, pp. 508-515.
- 조종선·이만표·신상훈·전용웅 (2019), “소셜 네트워크 분석(SNA)을 통한 정부 바이오헬스 연구 개발사업의 협력 네트워크 분석”, 한국기술혁신학회 학술대회, pp. 1207-1228.
- 조지혁·강병삼·최호철·김영준 (2018), “정부출연연구원의 융합연구 효율성에 관한 연구 : 연구회 융합연구사업 중심으로”, 『한국정책과학학회보』, 제22권 제2호, pp. 1-24.
- 주성환 (2016), “특허 출원인 간 상호협력이 기술혁신에 미치는 영향”, 『디지털융복합연구』, 제14권 제10호, pp. 83-93.
- 주성환·서환주 (2017), “공동 특허 출원인간 협력 요인이 기술혁신성과에 미치는 영향 분석: 우리나라 정보통신업을 중심으로”, 『기술혁신연구』, 제25권 제4호, pp. 211-238.
- 최종화·이광호·조용래·우정원·이충현·김은아 (2017), 『정부출연연구기관의 협력적 융합연구 촉진 방안』, 세종 : 과학기술정책연구원.

- 황경연·성을현 (2018), “기업-정부출연(연) 간 협력과 기업성과에 영향을 미치는 요인”, 『경영과 정보연구』, 제37권 제3호, pp. 147-171.
- 황경연 (2019), “기업과 출연(연)간 관계특성 및 협력성과 결정요인 분석”, 『경영과 정보연구』, 제38권 제2호, pp. 119-137.
- 허정은·양창훈 (2013), “네트워크 분석을 통한 융합연구 구조 분석: 첨단융합기술개발사업을 중심으로”, 『기술혁신학회지』, 제16권 제4호, pp. 883-912.
- BK21기획단 (2006), 「2단계 BK21 사업 기본계획」, 교육인적자원부.

(2) 국외문헌

- Albert, R., Jeong, H. and Barabasi, A. L. (1999), “The Diameter of the World Wide Web”, *Nature*, Vol. 401, pp. 130-131.
- Ahuja, G. (2000), “Collaboration Networks, Structural Holes, and Innovation: A Longitudinal Study”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 45, No. 3, pp. 425-455.
- Audretsch, D. and Vivarelli, M. (1996), “Firm Size and R&D Spillovers: Evidence from Italy”, *Small Business Economics*, Vol. 8, pp. 249-258.
- Barabasi, A. L., Jeong, H., Ravasz, N. E., Schubert, A. and Vicsek, T. (2002), “Evolution of the Social Network of Scientific Collaborations”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 311, No. 3-4, pp. 590-614.
- Björk, J. and Magnusson, M. (2009), “Where Do Good Innovation Ideas Come From? Exploring the Influence of Network Connectivity on Innovation Idea Quality”, *Product Innovation Management*, Vol. 26, No. 6, pp. 662-670.
- Bonacich, P. (1987), “Power and Centrality: a Family of Measures”, *American Journal of Sociology*, No. 92, pp. 1170-1182.
- Bound, J., Cummins, C., Griliches, Z., Hall, B. H. and Jaffe, A. (1982), “Who Does R&D and Who Patents”, NBER Working Paper, No. 908, June 1982.
- Burt, R. S. (1992), *Structural Holes: The Social Structure of Competition*, Cambridge, MA.: Havard University Press.
- Burt, R. S. (2004), “Structural Holes and Good Ideas”, *American Journal of Sociology*, Vol. 110, No. 2, pp. 349-399.
- Cohen, W. M. and Levin, R. C. (1989a), “Empirical Studies of Innovation and Market Structure”, In R. Schmalensee and R. D. Willig (eds.), *Handbook of Industrial Organization Vol. 2*, NY: North-Holland, pp. 1059-1107.
- Cohen, W. M. and Levin, R. C. (1989b), “Innovation and Learning: The Two Faces of R&D”, *Economic Journal*, Vol. 99, No. 397, pp. 569-596.

- Cowan, R. and Jonard, N. (2004), "Network Structure and the Diffusion of Knowledge", *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 28, No. 8, pp. 1557-1575.
- Davis, G. F., Yoo, M. and Baker, W. E. (2003), "The Small World of the American Corporate Elite, 1982-2001", *Strategic Organization*, Vol 1. No. 3, pp. 301-326.
- Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000), "The Dynamics of Innovation: from National Systems and Mode 2 to a Triple Helix of University - Industry - Government relations", *Research Policy*, Vol. 29, No. 2, pp. 109 - 123.
- Fleming, L., King, III, C. and Juda, A. I. (2007), "Small Worlds and Regional Innovation", *Organization Science*, Vol. 18, No. 6, pp. 938-954.
- Freeman, L. (1979), "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification", *Social Networks*, No. 1, pp. 215-239.
- Hidalgo, A. and Albors, J. (2008), "Innovation Management Techniques and Tools: A Review from Theory and Practice", *R&D Management*, Vol. 38, No. 2, pp. 113-127.
- Kastelle, T. and Steen, J. (2010), "Are Small World Networks Always Best for Innovation?", *Organization & Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 75-87.
- Kogut, B. and Walker, G. (2001), "The Small World of Germany and the Durability of National Networks", *American Sociological Review*, Vol. 66, No. 3, pp. 317-335.
- Landau, R. and Rosenberg, N. (1986), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington, DC: National Academies Press.
- Landry, R., Amara (2002), "Does Social Capital Determine Innovation? To What Extent?", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 69, No. 7, pp. 681-701.
- Lemmens, C. E. A. V. (2004), *Innovation in Technology Alliance Networks*, Amsterdam: Edward Elgar.
- Marshall, A. (1919), *Industry and Trade. A Study of Industrial Technique and Business Organization; and of their Influences on the Conditions of Various Classes and Nations*, London: Macmillan.
- Milgram, S. (1967), "The Small-World Problem", *Psychology Today*, Vol. 1, No. 1, pp. 61-67.
- Neal, Z. (2015), "Making Big Communities Small: Using Network Science to Understand the Ecological and Behavioral Requirements for Community Social Capital", *American Journal of Community Psychology*, Vol. 55, No. 3-4, pp. 369-380.
- Nelson, R. R. (1993), *National Innovation Systems: a Comparative Analysis*, New York: Oxford University Press.
- Newman, M. E. J. (2004), "Coauthorship Networks and Patterns of Scientific Collaboration", *PNAS*, Vol. 101, No. 1, pp. 5200-5205.

- OECD (2002), *Frascati Manual Paris*, OECD.
- Porter, M. E. (1998), “Clusters and Competition: New Agendas for Companies, Governments, and Institutions”, Harvard Business School Working Paper, No. 98-080, March 1998.
- Powell, W. W. (Eds) (1999), “Network Position and Firm Performance: Organizational Returns to Collaboration in the Biotechnology Industry”, *Research in the Sociology of Organizations*, Vol. 16, No. 1, pp. 129-159.
- Pyka, A. (2002), “Innovation Networks in Economics: From the Incentive-Based to the Knowledge-Based Approaches”, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 5, No. 3, pp. 152-163.
- Stuart, T. E. (1998), “Network Positions and Propensities to Collaborate: An Investigation of Strategic Alliance Formation in a High-Technology Industry”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 43, No. 3, pp. 668-698.
- Telesford, Q. K., Joyce, K. E., Hayasaka, S., Burdette, J. H. and Laurienti, P. J. (2011), “The Ubiquity of Small-World Networks”, *Brain Connectivity*, Vol. 1, No. 5, pp. 367-375.
- Uzzi, B. and Spiro, J. (2010), “Collaboration and Creativity: The Small World Problem”, *American Journal of Sociology*, Vol. 111, No. 2, pp. 447-504.
- Wang, J. (2018), “Innovation and Government Intervention: A Comparison of Singapore and Hong Kong”, *Research Policy*, Vol. 47, No. 2, pp. 399-412.
- Watts, D. J. and Strogatz S. H. (1998), “Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks”, *Nature*, Vol. 393, pp. 440-442.
- Watts, D. J. (1999), *Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness*, Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Wooldridge, J. M. (2016), *Introductory Econometrics, Sixth Edition*, Singapore: Cengage Learning Asia Pte Ltd.
- Zheng, X. (2017), “Network Embeddedness and Firm Innovation: An Empirical Research on Strategic Emerging Industries in China”, *International Journal of Business and Management*, Vol. 12, No. 5, pp. 209-216.

□ 투고일: 2020.12.24. / 수정일: 2021.02.16. / 게재확정일: 2021.02.16.