

출연연구기관 융합기술 연구네트워크 구조 분석[†]

An Analysis on the Research Network Structure of Convergence Technologies
in Government-sponsored Research Institutes

김홍영(Hongyoung Kim)*, 정선양(Sunyang Chung)**

목 차

I. 서 론	IV. 연구대상 및 자료
II. 선행연구	V. 분석결과
III. 네트워크 분석 방법론	VI. 결론 및 연구의 한계점

국 문 요 약

본 연구는 국가과학기술연구회(구, 기초기술연구회 및 산업기술연구회) 산하 출연연 24개 기관이 출연금과 정부수탁과제로 집행한 최근 3개년간(2011~2013)의 연구과제중 국가과학기술표준분류의 중분류 기준으로 2개 이상의 기술을 연구하는 융합기술 연구과제를 사회연결망분석 기법을 활용하여 기술간에 어떠한 네트워크 구조를 가지고 있는지를 분석해 보았다.

분석결과 출연연의 융합연구는 국가연구개발사업의 전체 융합연구와 비교할 때 더 활발하고, 다양한 기술분야에서 수행되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 외부기관과 공동연구에 의한 융합연구보다 내부에서 더 활발히 융합연구가 이루어지고 있음을 확인하였다. 그리고 융합기술의 네트워크 중심성을 파악하여 융합연구의 중심역할을 하는 기술이 내부중심형 기술과 외부중심형 기술로 분류된다는 것을 확인하였다.

융합연구는 단순히 기술간의 융합만을 뜻하는 것은 아니다. 출연연은 융합연구 활성화를 위해서 단순히 다기술 연구만을 수행하지 말고, 신기술, 신산업을 창출할 수 있는 융합연구 영역도 창출해야 할 것이다. 이러한 관점에서 본 논문은 출연연의 융합연구 현황 및 네트워크 분석을 통해 출연연의 융합연구를 활성화를 위한 역할에 대한 정책적 시사점을 제시하고 있다.

핵심어 : 융합연구, 융합기술, 융합기술 구조, 네트워크분석, 정부출연연구기관

※ 논문접수일: 2015.11.30, 1차수정일: 2015.12.10, 게재확정일: 2015.12.31

* 한국과학기술기획평가원 연구위원(건국대학교 경영대학 기술경영학과 박사과정), kimhy@kistep.re.kr, 02-589-2883

** 건국대학교 경영대학 기술경영학과 교수, sychung@konkuk.ac.kr, 02-450-3117, 교신저자

† 본 연구는 2014 한국기술혁신학회 추계학술대회 발표논문을 수정·보완한 것임.

ABSTRACT

This paper examines the presence of network structures among convergence technologies focusing on national R&D projects performed by GRIs(Government-sponsored Research Institutes) in Korea. The dataset of convergence technology projects, which were conducted by 24 GRIs over 3 years (2011-2013), are analysed using the network analysis method. In this paper, a convergence technology project is defined as a project that consists of 2 or more than 2 technologies according to the intermediate classification of National Standard Classification of S&T.

The research results confirm that convergence researches of government-sponsored research institutes are performed more actively than the entire convergence researches of national R&D projects. Furthermore, technological fields of GRIs' convergence projects are found to be much more varied. This paper also shows that in-house researches are more active than collaborative ones with external organizations. According to the network centrality analysis, it is identified that the network central characteristics of convergence technologies can be classified into internally oriented technologies and externally oriented technologies.

Convergence technologies do not just mean simple mixture of different technologies. Therefore Korean government-sponsored research institutes should make more efforts to create convergence research areas which could generate new technologies and industries more effectively than simple multidisciplinary technology researches. From this perspective, some policy suggestions can be derived on the role of government-sponsored research institutes for activating convergence researches through the analysis of status of convergence researches and networks of institutions.

Key Words : Convergence research, Convergence technologies, Convergence technology structure, Network analysis, Government-sponsored research institute

I. 서 론

21세기는 지식기반경제(Knowledge-Based Economy)사회로 과학기술기반의 지속 가능한 혁신(Sustainable Innovation)을 바탕으로 경쟁적 우위를 점유하기 위하여 전 세계적으로 노력하고 있다. 지속적인 혁신을 통한 성장은 과학기술 및 연구개발에 대한 지속적인 투자를 통해서 양적성장에서 질적 성장으로 전환되어야 가능할 것이다. 이러한 과학기술 및 연구개발에 대한 관심은 전 세계적으로 미래사회에 대한 불확실성을 해결하기 위한 대체 수단으로 인식되어 활용된 지 오래되었다. 그러나, 과학기술은 변화의 속도가 빨라 정책수립이나 집행자가 인지 못하고 진행되고 있는 경우가 빈번하다.

융합기술연구에 대한 관심은 Kodama(1992)가 융합은 기술혁신과 밀접한 관계가 있으므로 R&D투자의 효율적 정책으로 유용하다고 이야기 한 이후에 정책입안자들의 관심을 가지기 시작하였으며, 2002년 미국에서 제1차 NBIC 융합기술전략을 수립하면서 전 세계적으로 융합연구 정책이 활성화 되었다. 우리나라에서도 2007년부터 융합기술에 대한 기본방침과 ‘국가융합기술발전 기본계획(2008)’이 수립되면서 부처별 융합기술에 대한 정책들이 나타나기 시작하였다. 그 결과 정부연구개발사업의 경우 융합연구 과제의 투자비중이 전체연구개발비 대비 9.4%(2009년)에서 13.9%(2013년)로 증가추세를 보이고 있다(미래창조과학부·KISTEP, 2014).

융합기술연구는 복수기술연구, 다학제연구, 다학문연구 등으로 불리우고 있는데, 우리나라는 국가융합기술발전 기본방침(2007)에서 “이종기술간의 화학적 결합”을 융합기술로 정의하였고, 이후 기술융합화의 확산 추세에 따른 정의 재정립 필요에 따라 ‘국가융합기술발전 기본계획(2008)’에서 “NT, BT, IT 등의 신기술간 또는 이들과 기존 산업·학문 간의 상승적인 결합을 통해 새로운 창조적 가치를 창출함으로써 미래 경제와 사회·문화의 변화를 주도하는 기술”로 재정의 하였다. 이는 복잡해지고 다양해지는 과학기술의 추세를 반영하여 융합기술이 이종 및 동종의 다양한 기술들의 결합까지를 포괄하는 폭넓은 개념으로 경제·사회적 수요를 해결하기 위한 학문 및 산업과의 결합까지 포함하는 광의의 개념으로 확대된 것이다.

이러한 융합기술에 대해 우리나라에서는 ‘국가융합기술발전 기본계획(2008)’ 수립을 기점으로 ‘제1차 산업융합 발전 기본계획(2012)’, ‘창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략(2014)’ 등 정부 차원에서 체계적인 관심을 기울이기 시작하였다. 또한, 해외 주요국의 경우에도 기술간 융합 중심의 다년도 계획을 추진하고 있는데, 미국은 ‘제1차 NBIC 융합기술전략(2002)’을 수립하여 시행하였고, ‘제2차 NBIC 융합기술전략(2012)’에는 사회문제 해결을 위한 R&D전략을 포함하였다. EU는 2012년 ‘Horizon2020’ 발표를 통해 융합기술개발 확대와 기술개발과 산업화와의 연계강화를 통한 경제성장 및 일자리 창출을 강조하였으며, 일본은 ‘인간생활기술전략

2010'을 통해 안전, 환경, 의료 등 27개 분야에서 생활밀착형 서비스 중심의 IT 융합기술 개발을 추진하고 있다.

이러한 세계적인 추세에서 우리나라는 2013년에 21,691억원의 정부연구개발 예산을 융합기술 관련과제에 투자하였다(미래창조과학부·KISTEP, 2014). 박근혜 정부는 '창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략(2014)'을 수립하여 15대 국가전략 융합기술 선정 및 5대 국가전략 융합기술 개발전략을 통한 창조적 R&D를 통한 융합기술 선도국 도약 및 체계적 융합연구 기반을 구축할 예정이다. 이는 박근혜 정부의 핵심인 창조경제를 융합연구, 융합기술 발전으로 활성화하겠다는 것을 의미한다. 이러한 국내외 과학기술환경을 고려할 때 정부에서는 앞으로도 융합기술연구에 대한 투자를 지속적으로 확대할 가능성이 크다.

과학기술의 관점에서 융합은 기술의 혁신과 밀접한 관계가 있으므로 R&D투자의 효율성을 높이는 투자 정책(기술정책)으로 유용하다고 할 수 있다(Kodama, 1992; 김윤중 외, 2009). 그래서 기존의 선행연구들이 융합연구 및 융합기술에 대한 계획이나 전략에 대한 연구들을 수행하였으나, 융합연구분야에 대한 구조적 분석은 미약했던 것 같다. 이에 본 연구에서는 정부연구개발비 169,139억원(2013년)의 41.3%인 69,923억원(미래창조과학부·KISTEP, 2014)를 집행하고 있는 출연연구기관중에 과학기술계 정부출연연구기관¹⁾(이하 "출연연"이라 한다)에서 수행하고 있는 정부출연금²⁾ 사업의 융합연구과제에 대한 기술간 네트워크가 어떠한 구조를 가지고 있는지, 어떠한 기술이 융합연구의 중심에 있는지를 분석하여 출연연 융합연구과제의 기술간에 어떠한 연계 속성이 있는지를 분석해 보고, 융합연구과제중에서 연구수행 주체간의 융합은 어떠한 현상이 있는지를 파악하여 향후 출연연 융합연구의 발전을 위한 시사점을 찾아 보고자 한다.

II. 선행연구

이종간의 기술이 혼합된 연구는 연구자들의 호기심과 문제점을 해결하기 위해서 자발적으로 발생하고 있다. 과거 단일기술내에서의 혁신과 발견을 위한 연구를 수행하던 것이 기술의 발전과 기술의 다양성이 생성되면서 연구자들의 주제가 다변화됨에 따라 단일기술분야에서의 연구

1) 국가과학기술연구회는 산하에 25개 출연연구기관이 있는데 이중 2013년에 신설된 녹색기술센터는 제외한 24개 기관을 대상으로 한다. 국가과학기술연구회는 기초기술연구회(11개 출연연)와 산업기술연구회(14개 출연연)를 통합하여 2014년 6월30일부로 단일 연구회로 출범하여 25개 출연연을 지원하고 있다

2) 정부출연금은 정부에서 출연연에 직접 지원하는 과제와 정부에서 수주한 정부수탁과제로 국가연구개발사업 조사분석 대상과제를 말한다.

〈표 1〉 융합 관련 선행연구 주요 내용 요약

저자	논문 제목	방법	주요 내용	주요 결과 및 정책 제언
경정운 외 (2011)	융합연구의 새로운 발전방향 모색	사례 비교	<ul style="list-style-type: none"> NSF와 NRF 사업(사업규모, 내용, 운영방식) 비교 융합연구의 발전방향 제언 	<ul style="list-style-type: none"> 명확한 비전 제시, 국가 차원의 아젠다 전략 지원과 상향식 지원 병행, 파트너십과 소통을 통해 시너지 극대화, 그랜트 방식으로 고위험 원천연구 지원, 사회경제적 기여도가 높은 과제 중점 지원, 전문인력 양성, 사업기획시 연계성 강화, 명확한 사업설명
한승환 외 (2011)	학제간 융합연구 촉진을 위한 실증분석	설문 조사	<ul style="list-style-type: none"> 연구자 인식(지식융합, 철학, 협력, 논문게제 의 장애) 설문조사 	<ul style="list-style-type: none"> 종합적·체계적인 계획 하에 융합연구 비전 제시, 연구자들의 지식과 이해도 제고와 개방적 태도, 지식융합수준을 학술지 심사기준으로 반영, 균형적인 발전 추구
송용일 외 (2004)	대형 융합 연구 사업의 최선단 연구기획 관리전략	사례 연구	<ul style="list-style-type: none"> 대형 첨단 국책연구 사업 사례연구 대형 프로젝트에 대한 함의 	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트의 복잡성으로 인해 세밀한 기획과정 필수, 참여자간의 네트워킹, 전문가 확보, 최고 경영진의 지원, 기획단계에서 비전의 공유와 협력을 위한 면밀한 계획수립, 최선단 단계에서의 충분한 검토가 실제 기술개발에서의 투자와 최적 활동으로 연계
김윤중 외 (2009)	융합기술 관련 국가 연구개발 사업 현황과 효과적 지원전략에 대한 연구	질적 분석	<ul style="list-style-type: none"> 융합기술 제정의, 융합기술 연구 유형화 	<ul style="list-style-type: none"> 광의의 개념으로 융합기술 제정의 유형1: 미래시장 선점을 위한 원천성 연구 유형2: 신기술 융합으로 단기간에 기술적 성과를 상용화하는 연구 유형3: 기존 산업을 고도화하여 부가가치를 높이기 위한 연구
안승구 (2008)	국가융합기술 발전 기본계획 수립에 관한 연구	기획 연구	<ul style="list-style-type: none"> 기본계획 수립을 위한 사전기획보고서 	<ul style="list-style-type: none"> 기본계획의 비전 및 목표수립, 추진전략 및 과제 도출 원천기술 조기 확보, 창조적 융합기술 전문 인력 양성, 융합신산업 발굴 및 지원강화, 융합기술 기반 산업 고도화, 개방형 공동연구 강화, 범부처 연계 협력체계 구축 정부 차원의 투자 규모 확대, 범부처적 조정 및 연계기능 강화
안연식 (2010)	국가기술전략 관점에서의 기초 융합 연구개발 기획 선진화 방안 연구	사례 연구	<ul style="list-style-type: none"> 기초 융합 현황분석 및 기획프로세스 선진화방안 	<ul style="list-style-type: none"> 융합연구 관련 정책 프레임워크 구축 및 관리 연구 조직, 연구 기반, 학문 및 학제 기반 등 인프라 개선
이광호 외 (2013)	융합연구사업의 실태조사와 연구개발 특성 분석	정량 분석	<ul style="list-style-type: none"> 융합연구사업과 융합연구조직의 현황 및 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> 국내의 융합R&D사업 실태조사, 융합R&D조직 특성분석, 융합R&D 정책방향 제언
이중만 외 (2008)	과학기술분야 융합기술 인력현황 및 이동 행태분석	정량 분석	<ul style="list-style-type: none"> 융합기술개발 및 융합기술인력 현황과 연구원 인력이동 행태 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 융합기술인력의 유동성 강화, 글로벌 수준의 인력 양성, 공동협업연구 및 전환교육, 인프라의 체계화 및 개선 등 제언
경정운 (2012)	정부의 역할이 융합연구효과에 미치는 영향요인에 관한 연구	설문 조사	<ul style="list-style-type: none"> 연구자 인식수준 분석 학문분야 간 인식 차이 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 융합연구효과를 창출하기 위한 정부역할의 수준이 대체로 미흡 정부의 융합연구에 대한 중장기 계획 수립, 학문분야 간 차별화 전략 제시

한계가 발생함으로써 생긴 자생적인 융합현상이었다. 이러한 자발적인 기술융합의 융합연구에 대하여 정부가 전략적 대상으로 최초로 인식하고 계획을 수립하게 된 것은 2002년 미국 NSF에서 만든 “인간수행능력 향상을 위한 융합기술(NBIC)”³⁾ 보고서부터이며, 이후 2004년 EU의 “유럽사회의 미래설계를 위한 융합기술(CTEKS)”⁴⁾ 보고서 등이 마련되면서 융합연구의 중요성이 세계적으로 부상하였다(이광호 외, 2013). 우리나라는 경제성장의 새로운 먹거리 마련을 위한 신성장동력 창출과 연계하는 방향으로 추진되었는데, 2008년 “국가융합기술발전 기본계획(2009~2013)”을 수립하면서 제도적 기반을 마련하였다.

융합 관련 국내의 선행연구들은 전반적으로 정량적 분석보다는 기술(description)이나 사례조사 등 질적 분석이 대부분이며, 소수 정량적 분석연구의 경우도 인식에 대한 설문조사 결과를 다루고 있다. 김정운 외(2011), 송용일 외(2004), 안연식(2010) 등은 사례연구를 수행하였고, 한승환 외(2011), 김정운(2012) 등은 인식에 관한 설문조사를 실시하여 그 결과를 분석하였다.

대다수의 선행연구들이 융합연구의 정량적인 데이터를 활용하지 못하고 사례연구와 설문조사를 통한 연구를 수행하였으나, 최근들어 융합연구의 데이터를 활용한 실증연구들이 이루어지고 있다. 이광호 외(2013)는 국내 융합연구사업의 실태를 2011년 정부연구개발사업 데이터를 이용하여 분석하였으며, 더불어 R&D 조직특성을 분석하여 융합R&D의 정책적인 대안을 제시하였다. 이 연구는 융합연구과제단위에서 분석한 것이 아니고 이종기술이 일정비율 이상인 사업을 융합사업으로 정의하고 이에 대한 투입성과 등을 분석하였다. 따라서 순수 이종기술의 연구과제에 대한 성과분석으로 인정하기는 곤란할 것이다.

융합연구에 대한 사회연결망분석(Social Network Analysis)을 활용한 네트워크 구조분석 연구는 상당히 많은 분야에서 연구되고 있다. 그러나 대다수의 선행연구는 이종기술의 융합연구 과제에 대한 네트워크 분석이 아니라 연구주체(연구책임자)에 대한 네트워크 구조분석 연구들이다. 이는 산학연의 연구자간의 공동연구 구조 및 특성에 대한 연구를 통해 공동연구의 구조적 형태와 협력의 강도 등을 연구한 사례들이다. 공동연구자간의 분석은 연구자간의 협력 및 상호작용을 파악하여 다양한 학술지식의 관계를 분석한 것으로, 이는 중요한 과학자 또는 기관이 누구인지를 식별하는데 유용하며 지식 집단의 형태, 동향, 지식의 흐름 정보 확인과 공동연구 네트워크와 연구자간의 사회적 관계분석에 도움이 되는(김용학, 2011) 것이기 때문에 네트워크 구조 분석에서는 다양한 학문분야에서 주제로 활용되고 있다.

공동연구자 간의 공동연구 네트워크 분석은 행정학(박치성, 2012), 기술교육학(강현무 외,

3) Roco, C., & Bainbridge, W. S. (2002). ‘Converging Technologies for Improving Human Performance : Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science’, NSF/DOC.

4) Nordmann A. (2004). ‘Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies’, EUROPEAN COMMISSION.

2010), 물류(임혜선 외, 2011), 전자통신(한혁 외, 2013), 방사선중양학(최진현 외, 2010), 융합 기술(이중만·최민석, 2010), 기술혁신(남수현 외, 2007) 등의 분야에 대한 연구가 있으며, 국제적 네트워크와 관련해서는 물리학(Barabasi et al., 2002; Newman, 2001), 컴퓨터 과학(Cho et al, 2004), 경영학(Acedo et al., 2006), 마케팅(Morlacchi et al., 2004) 등에 대한 연구가 이루어져 왔다.

사회연결망분석을 활용한 상관관계 분석연구로는 양혜영(2008)이 국내 연구자들이 발표한 SCIE 논문 DB를 활용하여 연구기관간 공동연구현황과 연구기관별 중심도를 분석하고, 논문수, 논문별 피인용도 등과의 상관관계를 분석하였으며, 진영현(2013)은 특허분석을 통하여 기술-산업간 융합현상과 그 관계를 규명하였다. 정태원 외(2014)는 국내 출연연구기관이 발표한 논문의 공동연구자를 협력관계와 논문성과와의 상관관계를 네트워크분석과 회귀분석을 활용하여 연구하였다.

이종기술의 융합연구과제에 대한 사회연결망분석을 활용한 연구는 허정은 외(2013)가 대표적인 융합연구사업인 “첨단융합기술개발사업”의 기술간 융합관계를 네트워크 구조를 통해 분석한 유일한 연구이다.

허정은 외(2013)를 제외하고는 선행논문들은 연구수행주체인 논문 및 특허의 공저자간의 관계를 사회연결망분석 방법을 활용하여 분석한 사례들이 대다수이다. 이는 융합연구가 연구자간의 협력체계에서 기술 및 지식의 융합이 생성될 수 있는 인과관계로 인식되었기 때문에 연구주제로 활용되었던 것 같다.

Rosenberg(1963)는 융합이란 과학기술분야가 당면한 공통된 문제를 해결하기 위하여 다양한 기술이나 연구분야들이 종적 또는 횡적으로 협력하는 현상이라고 설명하고 있다. Rosenberg가 정의한 융합이 최근에는 과학기술의 혁신적인 진보로 기술간 융합이 자연스럽게 발생되고 있으며, 단일기술만을 활용한 연구보다는 2개 이상의 종적·횡적 기술이 연계된 융합연구가 활성화 되고 있다.

기존의 연구들이 연구주체에 대한 융합현상에 대한 연구이었고, 허정은 외(2013)가 유일하게 융합연구과제의 기술간의 네트워크 구조분석을 하였지만, 단일사업에서의 융합기술에 대한 구조분석이었기 때문에 특정기술에 집중된 현상을 보일 수 있어 네트워크 구조가 편향될 수 있는 여지가 있을 수 있다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 융합연구를 국가과학기술표준분류 중분류 기준으로 2개 이상의 기술이 포함되어 연구되는 과제로 정의하고, 기관별로 주요기술이 다른 국가과학기술연구회 산하 출연연의 융합연구과제를 대상으로 사회연결망분석을 활용하여 융합연구에서의 기술간 융합관계 및 유기적 연계구조를 실증적 사례를 중심으로 분석하고자 한다.

III. 네트워크 분석 방법론

네트워크 분석 방법론은 연결망 형태의 특징을 도출하고, 관계성으로 체계의 특성을 설명하거나 체계를 구성하는 단위의 행위를 설명하는 사회연결망 분석 방법론이다(김용학, 2011). 네트워크 분석은 연구설계를 어떻게 하는가에 따라 동일한 자료도 다른 수준으로 분석할 수 있다는 특징을 가지고 있다(김용학, 2011). 네트워크 단위, 네트워크 단위내의 노드와 링크 등을 어떻게 설계하는지에 따라 네트워크의 위상 및 노드간의 구조들이 다른 의미를 가질 수 있다. 따라서, 네트워크 단위와 노드의 정의가 중요한데, 본 연구에서의 네트워크 단위는 출연연에서 수행한 국가연구개발사업의 융합연구과제이며, 노드는 각 연구과제에서 활용하고 있는 기술분야(국가과학기술표준분류 중분류 기준)이고, 연결관계(링크)는 단일과제에서의 기술간의 관계를 말한다.

즉, 본 연구는 출연연구기관에서 수행한 정부 출연금과제중 2개 이상의 기술이 혼합된 융합연구과제간에 어떠한 유기적 관계가 있는지를 분석하고자 한다. 연구과제간의 유기적 관계는 연구책임자간의 유기적 관계, 과제간의 연관관계, 기술에 따른 연구분야의 연관관계, 연구결과간의 연관관계 등 상호작용에 따른 관계가 형성될 것이다. 본 연구에서는 융합연구내의 기술분야간의 연관관계를 사회연결망분석 기법을 활용하여 구조적으로 어떠한 관계가 있는지를 분석하고자 한다.

본 연구에서의 네트워크 노드(node)란 연구분야를 말한다. 연구분야는 한 과제를 수행하면서 주로 활용되는 기술분야를 말한다. 이 기술분야는 국가과학기술표준분류(2012년 기준)에 따라 분류되는데 대분류 33개, 중분류 369개로 나누어 지며, 국가연구개발사업 조사분석 자료에 대·중분류 기술을 3개까지 입력하게 되어 있다. 본 연구에서는 조사분석에 제출한 국가과학기술표준분류의 중분류 기준에서 분석할 것이다. 융합연구 네트워크내에서 기술분야간 연계는 연결관계(link)로 나타내며, 연결관계를 통해서 융합연구의 경로(path)가 구축된다고 본다. 융합연구 네트워크에서 특정기술분야들간의 연계관계는 빈도에 의해서 측정되며, 상대적으로 연결관계가 많은 연구협력 분야들은 클러스터(clusters)를 구축한다(허정은 외, 2013). 클러스터는 기술간 융합연구가 중복적으로 빈번이 일어나는 기술로 기술간 융합연구가 활성화 되어 있는 기술군집이다.

융합연구내에서 기술간 연결정도에 따라 사회연결망분석에 의한 중심성 분석을 할 수 있는데, 중심성분석은 네트워크 노드가 네트워크 안의 다른 노드들과 연계되는 빈도와 거리에 의하여 결정된다. 따라서 네트워크내의 중심성 지표를 측정하는 것은 융합연구 내에서 형성되고 있는 기술분야간의 유기적 연계구조를 보여줄 수 있는 중요한 지표이다(허정은 외, 2013).

중심성 지표는 연결 중심성(degree centrality), 매개 중심성(betweenness centrality), 근접 중심성(closeness centrality)으로 설명할 수 있다.

연결 중심성(degree centrality)은 전체 연결 수에서 각 행위자의 연결 수의 비율로 측정된다. 융합연구의 네트워크 내에서 특정기술에 연결된 다른 기술의 수를 측정할 수 있으며, 연결 중심성이 높다는 것은 특정기술이 융합연구가 활발히 진행되고 있는 기술이라고 볼 수 있다.

$$C_d = \frac{d(n_i)}{(g-1)}$$

- g는 전체 노드 수
- d(n)는 노드 n의 degree

*수식인용: NetMiner 교육교재

매개 중심성(betweenness centrality)은 네트워크 내에서 특정 기술분야와 다른 두 기술분야의 사이에 위치하는 정도를 의미한다. 이는 자체적으로 연계될 수 없는 상이한 두 기술을 매개시켜주는 다리(bridge) 역할을 수행하는 기술의 역량을 나타낸다(허정은 외, 2013). 한 기술분야와 다른 기술분야 사이의 최단거리를 연결하는 선, 즉 최단경로(geodesic) 위에 위치하면 할수록 그 결점의 사이 중앙성은 높아진다(김용학, 2011).

$$C_B(i) = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(i) / g_{jk}}{(g-1)(g-2) / 2}$$

*수식인용: NetMiner 교육교재

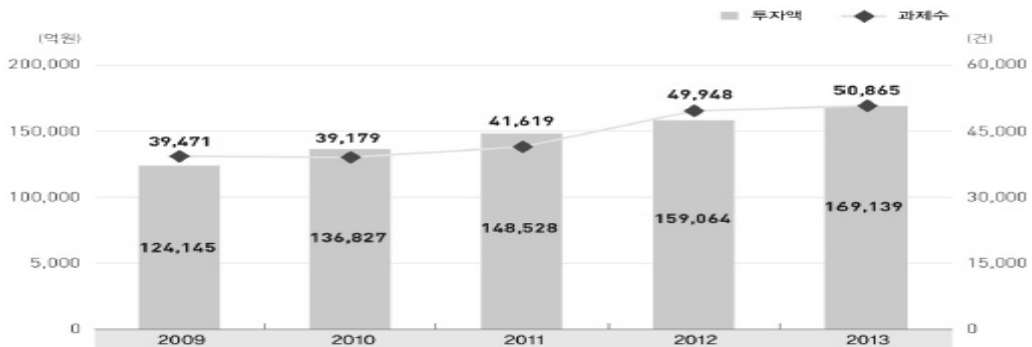
g_{jk} 는 융합연구 네트워크내에서 j기술분야와 k기술분야의 최단경로 개수이고, $g_{jk}(i)$ 는 j기술분야와 k기술분야가 i기술분야를 거치는 최단경로 횟수를 말한다. 따라서 매개 중심성이 높은 기술분야는 기술간 융합연구의 중심역할을 하는 기술분야인 것이다.

근접 중심성(closeness centrality)은 두 기술분야간의 경로를 측정하는 것으로 경로거리의 합이 가장 작은 기술분야가 근접 중심성이 가장 높은 기술분야이고 전체 기술분야의 중심을 차지하는 기술분야이다. 근접 중심성은 융합연구가 일어날 수 있는 두 기술분야 사이에 존재하는 최단경로의 거리(geodesic distance)를 의미하는 것으로 거리가 짧을수록 기술분야간 근접성이 높아져 융합연구의 흐름이나 확산이 밀접히 일어나게 된다고 본다(허정은 외, 2013). 근접 중심성이 높다면 기술분야간 융합연구가 일어날 확률이 높은 것이라 할 수 있다.

3개의 중심성 지표들은 2개 이상의 기술을 활용하여 연구하는 융합연구 과제의 구조를 분석하는 중요한 지표라고 생각된다. 연결 중심성은 특정 기술분야와 연결된 기술분야의 다양성을 확인할 수 있고, 매개 중심성은 기술간의 다리역할을 수행하는 기술을 의미하므로 단일기술내에서 연구를 수행하던 기존의 연구에서 기술간 브로커 역할을 수행하는 기술분야를 파악하기 용이한 지표이며, 근접 중심성은 하나의 기술과 연결된 모든 기술간의 경로의 합이므로 융합연구의 중심기술을 파악할 수 있는 지표이다.

IV. 연구대상 및 자료

우리나라 정부연구개발사업 총집행액은 2013년도에 16조 9,139억원으로 2009년도 12조 4,145억원 대비 1.36배 확대되었으며, 이는 정부의 연구개발비 투자 확대 방침에 따라 연 평균 8.0% 증가한 것으로 매년 절대적인 투자규모는 증가하고 있다. 다만, 투자 증가율은 점차적으로 둔화되고 있으나 다른 예산보다는 증가율이 높은 편이다.



*자료: 2013년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서, 미래부·KISTEP

(그림 1) 국가연구개발사업 투자액 및 과제수 추이(2009-2013)

연구수행주체별 투자현황을 보면 정부 출연연구기관의 안정적 연구기반 확보를 위하여 직접 출연금 비중을 확대한 결과 최근 5년간 출연연구기관 지원사업 투자가 대폭 증가하여 예산의 확대 폭이 상대적으로 크다. 또한 중소기업 역량 강화를 위한 중소기업 전용 R&D 지원을 확대한 결과 대기업에 비해 중소기업의 연구개발비 규모와 증가율이 상대적으로 크게 증가하고 있다.



*자료: 2013년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서, 미래부·KISTEP

(그림 2) 국가연구개발사업 연구수행주체별 투자 비중 추이(2009-2013)

본 연구에서는 국가과학기술연구회 산하 24개(녹색기술센터 제외⁵⁾) 과학기술계 출연연구기관이 2011-2013년도에 정부출연금으로 받아 수행한 과제를 분석대상으로 설정하였다. 연구수행 주체중에서 출연연구기관으로 선택한 이유는 정부 R&D 예산이 40%이상 투입되는 연구수행주체이기도 하고, 학과단위로 운영되는 대학보다는 조직 및 분야 위주로 운영되는 출연연구기관이 융합연구 실적이 많을 것으로 판단했기 때문이다. 또한 2012년 이후 정부는 출연연에 묶음예산을 추가적으로 배정하였으며, 이 예산을 융합연구에 투입하도록 권고하였다. 묶음예산 지급대상이 국가과학기술연구회에만 한정되었기에 출연연구기관중에서도 연구회 산하의 기관만으로 축소하여 분석하였다.

출연연구기관의 예산은 정부출연금으로 받는 기관운영비와 주요사업비, 정부 수탁연구과제, 민간 수탁연구과제, 자체수입 등으로 확보하고, 예산 목적에 맞게 집행한다. 본 연구에서는 정부출연금으로 지원된 융합연구과제를 대상으로 하므로 기관에 직접 지원되는 출연금 주요사업비인 기관고유사업 및 일반사업과 정부R&D예산으로 지원받는 정부 수탁연구과제를 대상으로 한다. 민간수탁은 자료수집의 한계상 제외하기로 한다. 출연연은 2011~2013년 동안 8,576개의 과제를 수행하였으며, 9조5,735억원의 연구비를 집행하였다. 24개 기관에서 매년 3조원 규모의 연구비를 집행하고 있는 것이다.

〈표 2〉 출연연 연구과제 및 연구비 현황(2011-2013)

(단위: 억원, 개)

구 분	2011	2012	2013	합계 (2011~2013)
연구비	30,239	31,308	34,188	95,735
연구과제수	2,769	2,933	2,874	8,576

5) 녹색기술센터는 2012년 12월에 신설된 기관으로 2013년 이전 연구수행실적이 없어서 제외했다.

정부R&D예산으로 지원된 과제는 한국과학기술기획평가원에서 매년 국가연구개발사업 조사·분석을 통하여 조사하고 있으므로, 본 연구에서는 정확한 데이터 분석을 위하여 조사·분석 자료중 24개 출연연의 데이터를 활용하였으며, 융합연구과제는 조사분석 항목에 국가과학기술 표준분류⁶⁾ 기준으로 대분류, 중분류 3개 기술까지 기입하게 되어 있는데 본 논문에서는 중분류 기준으로 2개 이상 기술이 포함된 과제를 융합연구과제로 분류하였다.

본 연구에서는 네트워크 구성 및 분석으로 위해서 사회연결망분석 프로그램인 NetMiner 4.0 프로그램을 활용하였다.

V. 분석결과

1. 출연연 융합연구과제 현황

출연연이 3년간(2011~2013) 수행한 연구과제중 융합연구과제는 2,262개 과제로 전체 출연연에서 수행한 과제(8,576)의 26.4%가 2개기술 이상의 융합연구과제이고, 융합연구과제중에서도 3개 기술인 융합연구과제도 1,032과제로 융합연구과제의 45.6%를 차지하고 있다. 이는 최근의 연구과제들이 다기술을 접목한 융합연구를 하고 있다는 단면을 보여주고 있는 것이다.

출연연의 융합연구 비중은 3년간 평균 18.9%로 2013년 국가연구개발사업 전체 융합연구과제 집행액 비중 13.9%(미래창조과학부, 2014)보다 출연연의 융합연구비 투자비중이 높다. 이는 출연연이 다른 연구주체들보다도 이종기술의 융합연구를 많이 수행한다고 볼 수 있다.

〈표 3〉 출연연 융합연구과제 및 연구비 현황(2011-2013)

(단위: 억원, 개)

구 분	2011	2012	2013	합계 (2011~2013)
융합연구비	5,155	6,185	6,776	18,116
융합연구 비중 (융합연구비/전체연구비)	17.0%	19.8%	19.8%	18.9%
융합연구 과제수	644	823	795	2,262
융합연구 과제수 비중 (융합연구 과제수/전체 과제수)	23.3%	28.1%	27.7%	26.4%
3개 기술 융합과제수	298	383	351	1,032

6) 국가과학기술표준분류는 '12년도에 개편한 33개 대분류, 369개 중분류 기준이다.

2. 출연연 융합연구과제 네트워크 분석

융합연구 2,262개 과제의 기술분야간 네트워크 구조를 분석해 본 결과 융합연구과제의 node (연구분야)는 2011년 194개 노드(기술), 2012년 204개 노드(기술), 2013년 215개 노드(기술)로 국가과학기술표준분류 중분류 396개의 과반수 이상의 기술들이 융합연구 대상이 되고 있음을 보여주고 있다.

〈표 4〉는 출연연 융합연구과제의 기술분야별 네트워크 중심성을 측정한 결과이다. 기술간 융합연구를 수행하고 있는 기술은 신재생에너지가 36(2011년), 45(2012년), 42(2013년) 가장 많은 기술과 융합연구대상이 되고 있으며, 상위 10개 기술은 20개 이상의 기술과 융합연구대상이 되고 있음을 보여주고 있다. 연결정도는 기술이 융합연구를 하고 있는 대상기술이 얼마나 많은지를 알 수 있는 것으로 출연연의 융합연구과제에서는 평균적으로 1개의 기술이 6~7개의 기술과 융합하고 있는 것으로 분석되었다.

연결 중심성도 연결정도와 같이 신재생에너지, 융합바이오, 방사선기술 순으로 나타나고 있다. 연결 중심성이 높은 기술분야는 다양한 기술분야와 연계되어 융합연구가 수행되고 있는 기술분야로 융합연구의 중심에 있는 기술분야로 이해할 수 있다. 출연연의 융합연구과제에서 신재생에너지가 제일 다양한 기술과 융합연구가 수행되고 있음으로 보여주고 있다.

매개 중심성은 특정기술분야와 다른 두 기술분야의 사이에 위치하는 정도로 자체적으로 연결될 수 없는 두 기술을 연결시켜주는 다리(bridge) 역할을 수행하는 기술을 볼 수 있는 지표인데 신재생에너지(0.108)가 최고의 다리역할을 하고 있어 연결 중심성과 동일한 순위를 보여주고 있고, 그 다음은 2011년에는 소프트웨어(0.099), 방사선기술(0.087), 2012년에는 방사선기술(0.099), 융합바이오(0.091), 2013년에는 융합바이오(0.120), 소프트웨어(0.055)로 연결 중심성과는 약간의 다른 모습을 보여주고 있다. 이 중 소프트웨어 기술분야는 매개 중심성이 상대적으로 연결중심성 보다 높아 직접 연결되어 수행하는 기술분야는 상대적으로 적어도 다른 두 기술을 연결해 주는 다리역할을 하는 브로커기술로 파악된다.

근접 중심성이 높다는 것은 융합연구의 흐름이나 확산이 밀접하게 일어나는 것으로 기술분야간 융합연구가 일어날 확률이 높다는 것인데, 전체적으로 신재생에너지가 가장 높게 나타나고 있다. 그 다음으로는 연도별로 차이가 있는데, 2011년에는 방사선기술(0.415), 융합바이오(0.409), 2012년에는 융합바이오(0.459), 방사선기술(0.447), 2013년에는 융합바이오(0.441)가 가장 높고 신재생에너지(0.437), 방사선기술(0.423)으로 나타나고 있다.

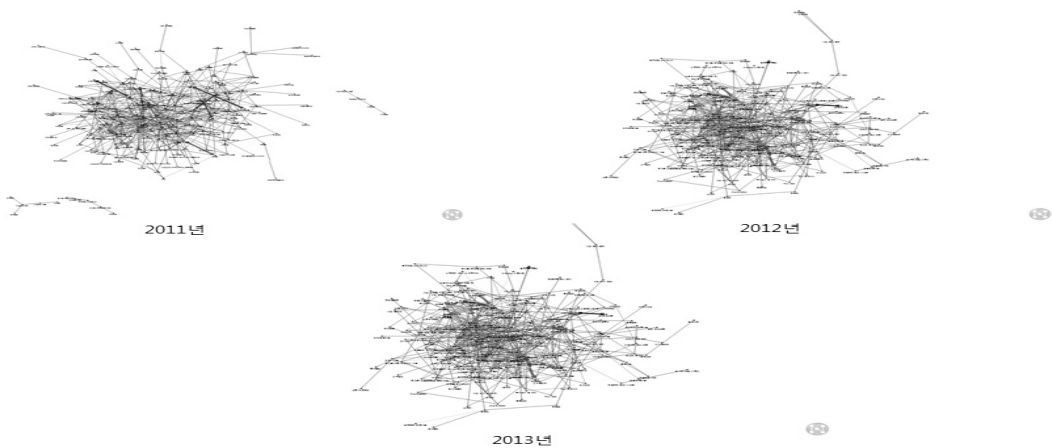
전체적인 중심성 지표(연결, 매개, 근접)에서 모두 신재생에너지, 융합바이오, 방사선기술 분야가 지표의 상위에 랭크되어 융합연구 네트워크 구조상에서 중심적인 역할을 수행하고 있음을 보여주고 있다.

〈표 4〉 출연연 융합연구 전체 네트워크 중심성 상위 10개 기술분야

연구 분야	2011년				2012년				2013년					
	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성	연구 분야	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성	연구 분야	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성
신재생 에너지	36	0.187	0.108	0.430	신재생 에너지	45	0.222	0.202	0.478	신재생 에너지	42	0.196	0.148	0.438
융합바이오	28	0.145	0.064	0.410	융합바이오	36	0.177	0.091	0.459	융합바이오	40	0.187	0.120	0.441
방사선기술	27	0.140	0.087	0.415	방사선기술	34	0.167	0.099	0.447	방사선기술	35	0.164	0.093	0.423
의약품/의약품개발	26	0.135	0.065	0.384	생물공학	27	0.133	0.042	0.413	의약품/의약품개발	24	0.112	0.068	0.397
고분자재료	24	0.124	0.064	0.391	의약품/의약품개발	26	0.128	0.063	0.419	고분자재료	23	0.107	0.044	0.393
생물공학	23	0.119	0.042	0.388	반도체소자/시스템	23	0.113	0.044	0.425	생물공학	22	0.103	0.027	0.383
기타재료	23	0.119	0.052	0.394	고분자재료	22	0.108	0.042	0.409	금속재료	22	0.103	0.039	0.407
반도체소자/시스템	21	0.109	0.048	0.409	금속재료	22	0.108	0.036	0.418	소프트웨어	21	0.098	0.118	0.406
소프트웨어	20	0.104	0.099	0.408	기타 재료	21	0.103	0.047	0.407	식품과학	21	0.098	0.055	0.361
식품과학	20	0.104	0.059	0.375	산업바이오	20	0.099	0.023	0.405	반도체소자/시스템	21	0.098	0.047	0.402
평균값	6.52	0.034	0.009	0.286		7.14	0.035	0.011	0.324		6.70	0.031	0.010	0.301
최고값	36	0.187	0.108	0.43		45	0.222	0.202	0.478		42	0.196	0.148	0.441
최저값	1	0.005	0	0.008		1	0.005	0.000	0.175		1	0.005	0.000	0.008

주) 연결중심성 기준으로 순위를 정함

(그림 3)은 〈표 4〉에서 처럼 연구분야(노드)의 중심성 지표가 높은 신재생에너지, 융합바이오, 방사선기술 중심으로 네트워크 구조 클러스터가 형성되어 융합연구가 진행되고 있음을 보



(그림 3) 출연연 융합기술연구과제 기술분야간 네트워크 구조

여주고 있다. 노드의 크기는 각 기술분야의 연계빈도이며, 연결(링크) 선의 굵기는 연구분야간 연계 정도를 말한다.

3. 출연연 공동연구 과제 네트워크 분석

출연연의 협력연구는 연도별로 전체연구과제의 68%, 21%, 26% 로 2011년도에 협력연구비 중이 상당히 높게 나타나고 있다. 융합과제의 협력연구도 2011년에 70%로 2012년 19%, 2013년 21%과 연도별로 상당한 차이를 보이고 있다. 출연연이 외부의 연구주체와 협력연구를 수행하는 비중은 융합연구와 상관없이 비슷한 수준에서 산학연 공동연구를 수행하는 것으로 조사되었다. 산학연 협력연구 비중이 비슷한 이유는 정부출연금 및 정부수탁의 연구과제를 대상으로 하고 있기 때문에 비슷한 비중을 보이는 것 같다. 만약 외부에서 받은 수탁연구과제를 포함하면 좀 더 높은 산학연 협력연구 비중을 보일 것으로 예상된다. 이는 출연연이 정부수탁 과제를 제외한 외부에서 연구과제를 받는 경우는 산업체, 학계, 외국의 경우인데, 이런 경우 협력연구 일 가능성이 높기 때문이다.

〈표 5〉 출연연 융합연구과제중 공동연구 현황(2011-2013)

(단위: 억원, 개)

구분		2011년			2012년			2013년		
		과제수	연구비	비중(과제)	과제수	연구비	비중(과제)	과제수	연구비	비중(과제)
전체	소계	2,769	30,239	100%	2,933	31,308	100%	2,874	34,188	100%
	연학산	270	4,005	10%	198	2,584	7%	228	3,361	8%
	연산	930	8,787	34%	194	1,830	7%	296	2,318	10%
	연학	321	3,747	12%	130	1,425	4%	120	1,498	4%
	연연	264	2,588	10%	22	266	1%	36	433	1%
	연기타	91	1,470	3%	77	404	3%	55	548	2%
	협력없음	893	9,642	32%	2312	24,799	79%	2,139	26,030	74%
융합과제	소계	644	5,155	100%	823	6,185	100%	795	6,776	100%
	연학산	76	836	12%	48	530	6%	54	677	7%
	연산	216	896	34%	39	263	5%	52	463	7%
	연학	90	913	14%	29	305	4%	28	426	3%
	연연	56	442	9%	12	134	1%	16	178	2%
	연기타	16	199	2%	32	148	4%	16	166	2%
	협력없음	190	1,869	30%	663	4,805	81%	629	4,866	79%

기관별 융합연구과제의 협력연구 비중은 <표 6>의 기관별 융합연구과제 공동연구 현황에서 보듯이 한국생산기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국전자통신연구원은 60% 넘는 수준으로 융합연구를 외부의 연구수행주체와 하는 경우가 많은 것으로 나타났다. 외부 연구수행주체와 협력연구가 없는 김치연구소는 최근 신설된 기관으로 아직 외부기관과의 협력 네트워크가 형성이 안 된 것으로 보이고, 산학연과의 협력비중이 낮은 기관은 기초과학 위주 기관이라서 타기관과의 협력연구가 미진한 것으로 보인다.

전체적으로 과제수 기준으로 보았을 때 35% 정도가 외부의 연구수행주체와 융합연구를 수행

<표 6> 기관별 융합연구과제의 공동연구 현황(2011~2013)

(단위: 개, 억원)

구분	과제수		연구비		공동연구비율 (과제)	공동연구 비율 (연구비)
	공동연구	내부	공동연구	내부		
국가보안기술연구소	2	7	20	143	22.2%	12.2%
국가핵융합연구소	7	48	111	541	12.7%	17.0%
세계김치연구소	0	7	0	8	0.0%	0.0%
한국건설기술연구원	15	14	119	20	51.7%	85.7%
한국과학기술연구원	101	154	761	1383	39.6%	35.5%
한국과학기술정보연구원	13	28	275	613	31.7%	31.0%
한국기계연구원	47	49	381	357	49.0%	51.6%
한국기계연구원 부설 재료연구소	26	59	212	358	30.6%	37.1%
한국기초과학지원연구원	15	84	155	1114	15.2%	12.2%
한국생명공학연구원	73	284	348	1159	20.4%	23.1%
한국생산기술연구원	69	39	671	534	63.9%	55.7%
한국식품연구원	31	78	157	137	28.4%	53.4%
한국에너지기술연구원	38	22	329	138	63.3%	70.4%
한국원자력연구원	75	209	647	1518	26.4%	29.9%
한국전기연구원	52	109	236	657	32.3%	26.4%
한국전자통신연구원	82	54	971	666	60.3%	59.3%
한국지질자원연구원	11	26	127	214	29.7%	37.1%
한국전문연구원	5	9	21	21	35.7%	50.1%
한국철도기술연구원	14	30	139	301	31.8%	31.6%
한국표준과학연구원	27	44	183	215	38.0%	46.0%
한국한의학연구원	1	2	1	1	33.3%	52.6%
한국항공우주연구원	7	25	35	209	21.9%	14.4%
한국화학연구원	67	90	676	972	42.7%	41.0%
한국화학연구원 부설 안전성평가연구소	2	11	2	260	15.4%	0.7%
합계	780	1,482	6,575	11,540	34.5%	36.3%

하는 것으로 보아, 출연연 융합연구과제의 공동연구 비중이 적절하다고 해석할 수 있다.

융합연구과제중 외부 연구주체와 협력연구를 수행하는 과제는 3년간(2011~2013) 780개 과제에서 6,575억원의 연구비를 집행하였다. 780개 과제의 기술분야간 네트워크 구조를 분석해 본 결과 융합연구과제 node(연구분야)는 227개이다.

〈표 7〉은 출연연 융합연구과제중 공동연구의 기술분야별 중심성을 측정한 결과이다. 전체적으로 신재생에너지 분야가 전체 융합연구와 비슷하게 가장 많은 기술과 융합연구대상이 되고 있음은 동일하나, 융합기술 대상이 전체와 비교하여 2011년(36개→33개), 2012년(45개→23개), 2013년(42개→21개)로 줄어들고, 연결중심성도 유사하게 공동연구의 경우가 낮음을 알 수 있다. 1개의 기술과 융합하고 있는 대상기술의 평균도 전체(6.52)보다 낮은 5.57로 분석되었다. 이는 출연연의 기술융합연구 대상기술이 내부보다는 외부가 적다는 것을 의미한다. 즉 외부 연구주체보다는 내부에서 기술융합이 다양하게 이루어지고 있다는 것이다.

매개중심성과 근접중심성의 평균을 보면 외부와의 협력연구 보다도 전체연구에서 더 높게 나타나고 있다. 이는 출연연의 융합연구의 중심기술 역할을 하는 기술이 외부보다는 내부에서

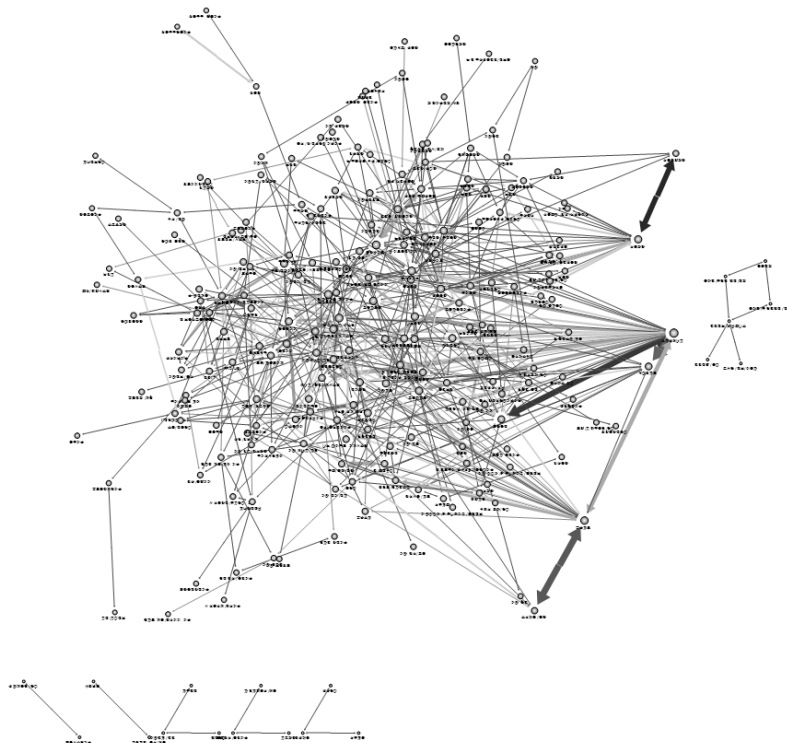
〈표 7〉 출연연 융합연구과제중 공동연구 네트워크 중심성 상위 10개 기술분야

2011년					2012년					2013년				
기술	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성	기술	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성	기술	연결 정도	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성
신재생 에너지	33	0.189	0.164	0.436	신재생 에너지	23	0.193	0.299	0.370	신재생 에너지	21	0.160	0.267	0.352
방사선기술	26	0.149	0.120	0.414	금속재료	13	0.109	0.126	0.340	금속재료	14	0.107	0.140	0.341
융합바이오	23	0.131	0.080	0.398	반도체소자/ 시스템	11	0.092	0.096	0.332	소프트웨어	12	0.092	0.214	0.327
생물공학	20	0.114	0.048	0.384	화학공정	10	0.084	0.046	0.287	반도체소자/ 시스템	11	0.084	0.138	0.329
의약품/의약 품개발	19	0.109	0.053	0.360	중전기	9	0.076	0.048	0.318	정밀생산 기계	10	0.076	0.086	0.298
고분자재료	18	0.103	0.054	0.369	소프트웨어	9	0.076	0.115	0.312	로봇/자동 화기계	8	0.061	0.065	0.271
반도체소자/ 시스템	17	0.097	0.053	0.395	전지	9	0.076	0.103	0.328	고분자재료	8	0.061	0.056	0.291
식품과학	17	0.097	0.064	0.368	고분자재료	8	0.067	0.053	0.287	광응용기기	7	0.053	0.075	0.273
유전학/유전 공학	17	0.097	0.035	0.364	기타 에너지/자원	8	0.067	0.110	0.291	전기전자 부품	7	0.053	0.031	0.284
나노화학	17	0.097	0.030	0.380	반도체장비	8	0.067	0.042	0.293	화학공정	7	0.053	0.065	0.279
평균값	5.57	0.032	0.011	0.276		3.20	0.028	0.020	0.216		3.11	0.024	0.019	0.212
최고값	33	0.189	0.164	0.436		23	0.193	0.299	0.370		21	0.160	0.267	0.352
최저값	1	0.006	0	0.006		1	0.008	0.000	0.008		1	0.008	0.000	0.008

더욱더 활발히 일어나고 있다는 것을 보여준다. 출연연의 기술융합은 전반적으로 외부 연구수행주체와의 협력연구에서도 증가하고 있으나, 아직까지는 융합기술의 중심은 내부에서 역할이 높음을 알 수 있다.

전체 네트워크 중심성 상위기술 10개와 공동연구 네트워크 중심성 상위 10개를 비교해보면 상당부분이 변경된 것을 확인할 수 있다. 특히 융합바이오, 방사선기술은 2011년을 제외하고는 공동연구에서는 연결정도와 중심성 지표들이 낮음을 확인할 수 있었다. 이러한 네트워크 현상을 보이는 특정기술은 내부에서 타 기술과는 활발히 융합연구가 진행되는데, 외부에서는 타기술분야와 융합연구가 상대적으로 덜 활발함을 알 수 있는 것이다.

융합기술의 내부·외부 네트워크 중심성의 차이는 융합기술에 대해 해당기관의 역량(기술분야, 연구인력)에 따라 내외부 비중의 차이가 발생할 것이다. Hoekman 외(2010)은 협력연구는 물리적 거리에 영향을 받고, 제도적 차이는 환경의 변화로 해결할 수 있는 요인으로 제시하였는데, 우리나라는 지리적으로 작은 영토이므로 물리적 거리 보다는 제도적(조직, 규정, 문화 등) 거리에 의한 영향일 것으로 해석된다. 따라서, 우리나라 융합연구의 산학연 공동연구 활성화를



(그림 4) 출연연 융합연구과제중 공동연구과제의 기술분야간 네트워크 구조(2011~2013)

위해서는 제도적 환경을 변화시킬 필요성이 있다.

(그림 4)는 3개년도 공동연구 과제의 근접 중심성의 네트워크를 보여주는데, 3개년도의 연구 분야(노드)중 근접 중심성이 높은 신재생에너지, 소프트웨어 등을 중심으로 네트워크 구조가 클러스터를 형성하여 융합연구를 진행하고 있음을 보여주고 있다. 노드의 크기는 각 기술분야의 연계빈도이며, 연결(링크) 선의 굵기는 연구분야간 연계 정도를 말한다.

VI. 결론 및 연구의 한계점

1. 결론

본 연구는 2011년부터 2013년까지 국가과학기술연구회(구, 기초기술연구회 및 산업기술연구회) 산하 24개 출연연이 출연금과 정부수탁과제로 집행한 정부출연금 연구과제중 국가과학기술표준분류의 중분류 기준으로 2개 이상의 기술을 연구하는 융합연구과제를 사회연결망분석 기법을 활용하여 기술간에 어떠한 네트워크 구조를 가지고 있는지를 분석해 보고자 하였다. 전체적인 융합연구의 기술간 네트워크 구조와 공동연구를 수행하는 연구과제와 비교를 통하여 자체 기관내에서 수행하는 융합연구과제와 타 기관과의 공동연구를 수행하는 기술분야를 분석함으로써 융합연구 대상기술 중에서 내부역량으로 가능한 기술분야와 외부 협력연구를 통해서 연구가 활성화될 기술분야를 분석하였다. 이는 향후 출연연간 융합연구를 위한 기술분야를 제시할 수 있는 중요한 자료가 될 것이다.

출연연은 정부연구개발사업에서 타 연구주체들보다 더 많은 융합기술연구를 수행하고 있음을 확인할 수 있었으며, 내부 융합연구와 외부협력 융합연구의 비중은 별 차이가 없음을 확인하였다. 다만, 내부 융합연구와 외부협력 융합연구의 주요 대상기술이 차이가 있음을 확인하였으며, 외부보다는 내부에서 더 다양한 기술분야에서 활발한 융합연구가 이루어지고 있음을 확인하였다.

기술융합은 이종 기술간의 융합만을 의미하지는 않는다. 이종간의 기술을 하나의 연구과제화해서 수행한다는 것은 서로 다른 환경에서 지식을 축적한 주체(연구자)들이 다른 지식(기술)을 공유하면서 상호작용을 해 나가는 혁신활동 실현과정이라고 할 수 있다. 기술융합을 실현하기 위해서는 서로 다른 혁신주체간에 새로운 지식의 전유성이 높을 경우 왕성하게 이루어 질 것이고, 이것은 네트워크의 집중성(근접 집중성)이 높을 경우 가능성이 높을 것이다. 근접성이 높은 기술은 기술(technology)뿐만 아니라 해당기술을 대상으로 연구하는 연구자(혁신주체)간에도

클러스터(cluster)가 형성되어 해당 클러스터 내에서 기술(skill), 역량(capability), 지식(knowledge)이 향상될 것이다. 따라서 출연연을 중심으로 융합기술 클러스터가 형성되면 클러스터내에서 인력, 조직, 기술간의 융합 시너지효과(synergy effect)가 발생하여 연구생산성이 높아질 것이다. 융합R&D의 연구생산성이 높다는 것은 김홍영·박소희(2014)의 연구결과에서 확인할 수 있는데, 정부연구개발사업 4개년(2009~2012)의 과제당 연구성과를 분석한 결과 융합R&D과제가 SCI논문, 국내외특허에서 전체 정부연구개발과제 평균보다 상대적으로 높게 나타나고 있다.

이러한 관점에서 출연연의 융합기술연구는 활성화되어야 할 것이며, 이를 위한 출연연의 융합기술연구에 대한 정책적 제안을 제시하고자 한다.

첫째, 출연연의 융합기술연구 활성화를 위해서는 산학연 협력 네트워크의 강화가 필요하다. 산학연 융합기술 연구는 협력주체의 요구에 의한 “수요지향적 R&D”에서 “수요창출형 융합기술 R&D”로 변화된 협력이 필요하다.

산학연 협력은 기업의 입장에서 보면, 변화의 속도가 빠른 최근의 과학기술환경에서 기술적 경쟁우위를 확보하기 위한 전략적 기술경영의 일환이다. 특히 자체 R&D 역량이 부족한 중소기업의 경우 핵심역량(core competence) 강화와 지속 가능한 성장(sustainable growth)을 유지하기 위한 협력적 파트너 형성은 중요하다. 중소기업의 경우 혁신단계별 협력중에서 R&D협력을 가장 우선시 하고, 협력대상으로 대학,출연연을 선택하고 있다(조찬우 외, 2013). 이는 출연연이 중소기업과 협력연구를 통해 융합연구를 수행할 수 있는 환경이 충분하다는 것을 알 수 있다. 출연연의 융합연구는 외부기관과의 협력연구가 2011년 이후 2012년 감소하였다가 2013년부터는 증가추세로 20% 수준을 유지하고 있으며, 증가추세는 박근혜정부의 창조경제 및 중소기업 지원 강화로 지속적으로 이어질 것으로 보인다.

창조경제의 핵심키워드인 중소기업과의 협력연구를 위해서는 중소기업이 원하는 기술이 무엇인지를 파악해서 추진하는 “수요지향적 협력연구”도 필요하지만, 출연연이 가지고 있는 수월적 기술 및 R&D분야와 중소기업의 잠재적 역량이 충분한 기술분야를 융합해서 연구할 수 있는 “수요창출형 융합기술 R&D” 협력연구로 변화를 추구해야 할 것이다. 이를 위해 출연연은 협력연구 기획단계에서 산업체의 경제적 파급효과가 큰 융합기술분야를 파악하여 해당분야에서 성장 가능성이 있는 기업과 공동연구를 통해 새로운 융합산업을 창출할 수 있도록 산학연 협력을 도전적으로 추진해야 할 것이다.

둘째, 출연연의 융합연구분야는 창조적 파괴(creative destruction)가 가능한 신기술·신산업을 창출할 수 있는 기술융합 R&D 영역이어야 한다. 미시적인 성과를 위해서 결과가 예측 가능한 쉬운 연구 및 연구분야를 선택하는 것은 출연연의 설립 목적과 미션에 맞지 않는다.

출연연은 KIST를 제외하고는 기관명에서 알 수 있듯이 특정기술분야를 집중적으로 연구하기

위하여 설립된 특징을 가지고 있다. 이는 설립당시의 환경에서 이루어진 것으로 과학기술 융합 시대에서는 맞지 않는다. 현재 출연연의 융합연구현황을 보더라도 2011~2013년 동안 26.4%의 융합연구를 수행하고 있다. 2개 이상의 기술의 융합을 통해 연구를 하다보면 새로운 기술의 응용분야가 발굴될 것이고, 응용분야가 발전하여 하나의 새로운 기술영역(융합기술)으로 자리매김 될 것이다. 이러한 새로운 융합기술은 Bower and Christensen(1995) 이 이야기한 파괴적 혁신(disruptive innovation)으로 그 파급효과가 다양하고 클 것이다. 따라서 출연연은 이러한 새로운 영역의 융합기술을 다양하게 창출하여 국가의 신기술(융합기술), 신산업의 새로운 패러다임 창출에 기여해야 할 것이다.

이러한 융합R&D 영역 발굴을 위해서는 기술분야가 다른 출연연간에 수행한 협력연구 대상이었던 융합기술을 바탕으로 수행하는 것이 각 출연연의 핵심역량을 활용할 수 있는 최적의 분야일 것이다. 본 연구에서 조사한 기술융합분야가 출연연간 융합연구에 활용될 우선순위 기술분야가 될 것이다.

셋째, 출연연은 융합연구 활성화를 위해서 다양한 분야의 우수한 인재가 지속적으로 연구할 수 있는 제도와 환경을 구축하여야 한다. 최고의 성과를 얻기 위해서는 우수한 인재의 확보와 유지가 필요하며, 우수한 인재가 지속적으로 연구할 수 있는 환경과 제도가 구축되어야 우수한 인재의 이탈이 발생하지 않아 체화된 지식의 지속적 발전이 가능하여 연구생산성이 높아질 것이다. “Global Research”와 “유연한 인력 구조” 등으로 누가 와서 연구를 하더라도 지식이 전이(knowledge transfer)될 수 있는 조직 구조를 형성하고 연구에 대한 열정으로 조직에 충성할 수 있는 그런 인력정책이 필요하다.

융합연구는 다른 기술에 대한 지식을 가진 연구주체(연구자)와의 공동연구를 하는 경우가 대다수 이므로 공동연구자간 융합할 수 있는 소양을 갖춘 인재를 확보해야만 융합연구 수행이 원활할 것이다. 이러한 인재를 위해서는 상상력과 창의성을 바탕으로 한 융합교육만을 통해서 창의·융합형 인재를 양성할 수 있을 것이다(김예슬·정선양, 2014). 이러한 교육은 제도권(국가, 대학)에서의 교육프로그램으로 양성이 가능하겠지만, 실질적인 융합연구를 수행하는 연구 현장에서 활발히 이루어져야 할 것이다. 따라서 출연연은 융합연구를 통한 자발적인 인력양성이 될 수 있는 교육환경 및 연구환경을 구축하여 실행해야 할 것이다.

융합연구를 하게 되면 다른 부서, 다른 기관과의 공동연구를 수행할 경우가 빈번할 것인데, 인력이동의 유연성이 약한 우리나라의 노동환경하에서는 제약요건에 해당된다. 따라서, 출연연은 융합연구 인력에 대해서 인사평가에서 인센티브를 줄 수 있는 인사제도를 구축하고, 타 기관과의 인력교류가 가능한 인사제도를 만들어 인사제도로 인한 융합연구 저해요인을 제거하여야 할 것이다.

넷째, 연구개발단계(기초, 응용, 개발) 구분이 없는 융합연구로 과학과 비즈니스가 공존하는 연구과제를 구성하여 융합연구 네트워크와 클러스터를 구축하여야 한다. 기초연구만 하는 사람은 사업화전략에 익숙하지 않다. 또한 개발연구 및 실용화 연구를 하는 연구자는 기초연구에 대한 지식을 외부로부터 얻고자 한다. 21세기에는 1개의 기술로 이루어진 제품은 상상할 수도 없다. 다양한 기술이 융합된 제품이 양산되고 있으며, 이러한 제품의 기술진보는 상당히 빠르기 때문에 기초연구부터 개발연구까지 동시에 연구되지 않으며 제품수명주기가 짧아서 시장에서 성공할 수 없다.

따라서 연구개발단계 구분이 없는 융합연구로 “기초 연구에서 지식을 시장으로 밀어주면(Push Knowledge to Market), 산업계에서 활용할 수 있는(Industry Pull)” 융합연구 전략을 수립하여 추진하여야 한다. 이러한 전략을 수립하기 위해서는 기초-응용-개발-사업화를 포괄해서 수행할 수 있는 융합네트워크와 클러스터를 내·외부에 구축하여야 한다. 이러한 조직을 구축하기 위해서는 조직의 유연성과 인력이동의 유연성이 선행되어야 할 것이다.

2. 연구의 의의 및 한계

본 연구는 최근 3개년간(2011~2013) 출연연 24개 기관의 정부출연금 수행과제중 2개 기술 이상을 융합하여 연구한 과제를 사회연결망분석을 활용하여 네트워크 분석을 시도하였다. 분석 결과 출연연의 융합연구는 국가연구개발사업의 전체 융합연구보다 더 활발히 다양한 기술분야 간의 융합연구를 수행하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 기관내부에서의 자체 융합연구와 기관외부와의 협력이 의한 융합연구의 기술간 네트워크를 분석한 결과를 보면, 외부 협력에서 보다는 기관내부에서 더 활발히 융합연구가 이루어지고 있음을 확인하였다.

기존의 연구들이 연구주체에 대한 융합현상에 대한 연구가 대다수 이었고, 일부 융합연구과제의 기술간의 네트워크 구조분석을 하였지만, 특정사업에 한정된 연구였는데, 본 연구는 24개 기술분야로 대표되는 출연연의 기술융합에 대한 분석으로 기술간 융합네트워크를 확인할 수 있었던 것에 의의가 있다고 할 것이다.

다만, 기술의 네트워크 중심성을 파악하여 융합연구의 중심기술은 파악하였으나, 해당기술과 상대적으로 긴밀한 융합을 수행하고 있는 기술을 분석하지 않은 한계가 있다. 이는 전체적인 융합연구에서의 기술의 네트워크 중심성을 파악한 것으로 두 기술간의 상대적 연결강도를 파악하지 않은 본 연구의 범위 한정에 따른다고 할 수 있다.

또한 공동연구의 네트워크에서 산학연 협력유형에 따른 기술융합과 기관별로 융합의 중심기술이 어떤 것인지에 대한 분석을 포함하고 있지 못하다. 3개년이라는 짧은 기간동안의 시계열

자료 확보로 일부기관은 융합연구의 협력연구가 소수이었기 때문에 기관별·협력유형별 네트워크 분석은 의미가 없다고 판단하여서 분석하지 않았다. 충분한 자료가 더 확보되면 향후 추가적인 연구가 가능할 것이다.

본 연구에서는 연구성과에 대한 분석을 수행하지 못 하였다. 기술융합연구과제는 2개 이상의 기술분야가 융합하여 연구하는 것으로 일반적인 단일연구 체제와는 다른 성과를 도출할 것으로 판단된다. 따라서 향후 융합연구가 기관별·협력유형별로 어떠한 융합기술의 유형과 연구성과가 있는지에 대한 영향분석연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- 국가과학기술위원회 (2007), 「국가융합기술발전기본방침」, 서울: 국가과학기술위원회.
- 국가과학기술위원회 (2008), 「국가융합기술발전 기본계획(안) (‘09~‘13): 교육과학기술부 등」, 서울: 국가과학기술위원회 운영위원회.
- 국가과학기술위원회 (2012), 「2013년도 국가연구개발사업 예산 배분·조정(안)」, 서울: 국가과학기술위원회.
- 김용학 (2011), 「사회연결망 분석」, 박영사.
- 김홍영·박소희 (2014), 「융합R&D 추진현황 분석 및 활성화 방안」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 미래창조과학부 (2014), 「창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략」, 서울: 과학기술종합심의회.
- 미래창조과학부·한국과학기술기획평가원 (2014), 「2013년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 사이람 (2014), 「NetMiner를 이용한 소셜 네트워크 분석:기본과정」, 서울: 사이람.
- 안승구 (2008), 「국가융합기술 발전 기본계획 수립에 관한 연구」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 양혜영 (2008), 「네트워크분석방법을 적용한 과학기술분야간 상관관계 및 국가연구개발사업 특성분석」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 이광호·김승현·최종화·서지영·강지훈·이아정 (2013), 「융합연구사업의 실태조사와 연구개발 특성분석」, 서울: 과학기술정책연구원.
- 이중만·허태영·이정배·황규희·엄기용 (2008), 「과학기술분야 융합기술 인력현황 및 이동 행태분석」, 대전: 한국연구재단.
- 지식경제부 외 (2012), 「제1차 산업융합 발전 기본계획」, 서울: 산업융합발전위원회.

- 진영현 (2013), 「기술·산업의 융합현상에 관한 실증적 고찰」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 강현무·김정식·이용순·노태천 (2010), “공업교육학 연구집단의 사회 네트워크 분석”, 「대한공업교육학회지」, 35(1): 87-105.
- 경정운·김영우·한승환 (2011), “융합연구의 새로운 발전방향 모색 : NSF의 환경 속의 생명복합성과 NRF의 학제간 융합연구지원사업 비교”, 「한국정책과학회보」, 15(1): 151-177.
- 경정운 (2012), “정부의 역할이 융합연구효과에 미치는 영향요인에 관한 연구”, 서울시립대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김경식 (2011), “스포츠사회학 공동연구의 연결망 구조와 연구생산성 : 한국스포츠사회학회지 분석”, 「한국스포츠사회학회지」, 24(3): 67-91.
- 김윤종·정욱·정상기 (2009), “융합기술 관련 국가 연구개발 사업 현황과 효과적 지원전략에 대한 연구”, 「기술혁신학회지」, 12(2): 413-429.
- 김예슬·정선양 (2014), “창조경제 발전을 위한 융합형 인재 양성”, 한국기술혁신학회 2014년 춘계학술대회 논문집, 71-84.
- 김하나·조한구 (2005), “산학연 공동연구개발 컨소시엄 사업의 실적 및 성공 사례”, 한국전기전자재료학회 2005년 춘계학술대회 논문집, 140-144.
- 남수현·설성수 (2007), “한국의 기술혁신 연구자 관계구조 분석 사회네트워크 관점”, 「기술혁신학회지」, 10(4): 605-628.
- 박치성 (2012), “행정학 학문공동체의 공동연구 네트워크 구조에 관한 연구”, 「한국사회와 행정연구」, 22(4): 129-153.
- 송용일·이대희·박성배·정윤철 (2004), “융합 연구사업의 최선단 연구기획 관리 전략”, 「기술혁신연구」, 12(3): 135-157.
- 안연식 (2010), “국가기술전략 관점에서의 기초 융합 연구개발(R&D) 기획선진화 방안 연구:EU, 일본, 미국사례 분석 기반”, 「유라시아연구」, 7(1): 25-46.
- 이수상 (2010), “공저 네트워크 분석에 관한 기초 연구-문헌정보학 분야 4개 학술지를 중심으로”, 「한국도서관 정보학회지」, 41(2): 297-315.
- 이중만·최민석 (2010), “융합기술전문가의 공동연구에 대한 사회적 연결망 분석”, 「한국콘텐츠학회논문지」, 10(6): 415-428.
- 이재윤·최상희 (2013), “계량정보학분야의 협력연구 네트워크 및 문헌네트워크 분석 : 국가, 기관, 문헌단위 분석”, 「정보관리학회지」, 30(1): 179-191.
- 임혜선·장태우 (2012), “물류분야 학술지의 공저자 네트워크 및 연구주제 분석”, 「IE interface」, 25(4): 458-471.

- 정성훈 (2012), “정부 주도형 지역 산학연 협력에 대한 문제점과 개선 방안”, 『한국사진지리학회지』, 22(4): 65-74.
- 정태원·정동섭·김정흠 (2014), “공동논문 현황을 통한 정부출연(연)의 협력네트워크 구조와 논문성과와의 관계 분석”, 『기술혁신학회지』, 17(1): 242-263.
- 조찬우·이성주 (2013), “융합기술 개발을 위한 중소기업 간 협업모형 제안”, 『대한산업공학회지』, 39(3): 198-203.
- 최진현 (2010), “방사선종양학 분야의 연구 네트워크 특성 분석”, 『대한방사선종양학회지』, 28(3): 184-191.
- 한승환·경정운 (2010), “융합연구 지원의 정책 방향: 미국 과학혁신정책 기반사업, 스위스 연구센터 역량강화사업을 중심으로”, 『정책개발연구』, 10(2): 109-136.
- 한혁·권오진·강혜진·심위·노경란 (2013), “한국전자통신학회 논문지에 나타난 공동연구 네트워크의 구조에 관한 연구”, 『한국전자통신학회논문지』, 8(5): 671-678.
- 허정은·양창훈 (2013), “네트워크 분석을 통한 융합연구 구조 분석: 첨단융합기술개발사업을 중심으로”, 『기술혁신학회지』, 16(4): 883-912.
- Acedo, F. J., Barroso, C., Casanueva, C. and Gala'n, J. L. (2006), “Co-Authorship in Management and Organizational Studies: An Empirical and Network Analysis”, *Journal of Management Studies*, 43(5): 957-983.
- Nordmann, A. (2004), “Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies”, *European Commission Research, Interim report of the Scenarios Group, High Level Expert group*, 3.
- Barabasi, A.-L., Jeong, H., Ne 'da, Z., Ravasz, E., Schubert, A. and Vicsek, T. (2002), “Evolution of the Social Network of Scientific Collaborations”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3-4): 590-614.
- Bower, J. L. and Christensen, C. M. (1995), “Disruptive Technologies: Catching the Wave”, *Harvard Business Review*, January-February, 43-53.
- Cho, H., Lee, J. S., Stefanone, M. and Gay, G. (2005), “Development of Computer-Supported Collaborative Social Networks in a Distributed Learning Community”, *Behaviour & Information Technology*, 24(2): 435-447.
- Kodama, F. (1992), “Technology Fusion and the New R&D”, *Harvard Business Review*, 70(4): 70-78.
- Hoekmana, J., Frenkena, K., Robert J. W. and Tijssen, R. J. (2010), “Research Collaboration

- at a Distance: Changing Spatial patterns of scientific collaboration within Europe”, *Research Policy*, 39(5): 662-673.
- Morlacchi, P., Wilkinson, I. F. and Young, L. (2004), *Social Networks of Researchers in Business To Business Marketing: A Case Study of the IMP Group 1984-1999* (No. 116), SPRU-Science and Technology Policy Research, University of Sussex.
- Rosenberg, N. (1963), “Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910”, *Journal of Economic History*, 23(4): 414-446.
- Newman, M. E. J. (2001), “The Structure of Scientific Collaboration Networks”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2): 404-409.
- Roco, M. C. and Bainbridge, W. S. (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Arlington, Virginia: NSF/DOC.

김홍영

건국대학교 밀러 MOT스쿨 박사과정 재학중이며 현재 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 사업총괄조정실에서 연구위원으로 근무하고 있다. 주요 연구분야는 과학기술 전략 및 정책, 기술혁신연구 등이다.

정선양

독일 University of Stuttgart에서 기술경영·정책학 박사학위를 취득하였다. 현재 건국대학교 W.F.Miller School of MOT 원장, 건국대학교 경영대학 기술경영학과 교수 및 한국과학기술한림원 정책연구센터 소장으로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 기술경영, 과학기술정책 등이다.