

네트워크 분석을 통한 융합연구 구조 분석: 첨단융합기술개발사업을 중심으로

Applying Network Analysis in Convergent Research Relationships:
The Case of High-Tech Convergence Technology Development Program

허정은(Jungeun Heo)*, 양창훈(Chang Hoon Yang)**

목 차

| | |
|------------------|------------------|
| I. 서론 | IV. 연구설계 |
| II. 선행연구 | V. 분석결과 |
| III. 네트워크 분석 방법론 | VI. 결론 및 연구의 제한점 |

국문요약

최근 경쟁우위 확보를 위한 급격한 경쟁 환경 속에서 과학기술혁신 분야의 경쟁력 제고를 위해서는 미래 주도형 원천 융합기술 개발 및 융합신산업을 육성할 수 있는 환경이 구축되어야 한다는 논의가 활발히 진행되고 있다. 이에 융합기술에 대한 지원 확대는 선택이 아닌 필수로 간주되고 있으며, 규모가 커지고 있는 융합기술 관련 R&D에 대한 투자의 효율적인 방향 모색의 필요성도 크게 대두되고 있다. 본 연구에서는 네트워크 분석을 통해서 연구 분야간에 어떤 유기적 관계를 형성하면서 융합연구가 이루어지고 있는지를 분석하였다. 대표적인 융합연구 사업인 첨단융합기술개발사업에 대한 네트워크 분석 결과, 연구 분야들간에 융합이 고르게 연계되어 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 연계의 응집성을 나타내는 밀도분석 결과, 핵심군집에 속한 연구 분야들간에는 강한 연계성을 보이는 반면 핵심과 주변군집간의 연계 분포성은 상대적으로 미약한 것으로 나타났다. 또한 중심성과 연구 분야간 융합과제 비율에 대한 상관관계 분석결과, 연결 중심성이 낮은 분야들에서도 융합연구에 필요한 연구 역량이나 지식 자원을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 중심성이 높더라도 융합연구에 대한 지원 미비로 융합연구 활동이 활성화되지 못하는 경우가 있음을 본 연구결과는 제시하고 있다.

핵심어 : 네트워크 분석, 네트워크 구조, 융합연구 관계, 첨단융합기술개발사업

※ 논문접수일: 2013.5.15, 1차수정일: 2013.10.31, 2차수정일: 2013.11.14, 게재확정일: 2013.11.15

* 한국연구재단 국책정보분석팀 팀장, prettyheo@nrf.re.kr, 042-869-7852

** 관동대학교 행정학과 조교수, cy8064@kd.ac.kr, 033-649-7314, 교신저자

ABSTRACT

This study examines network compositions of convergent research relationships in the field of high-tech convergence technology and investigates the relational linkages among various research fields. A network analysis was performed to evaluate the High-Tech Convergence Technology Development Program, a convergent research funding program of the National Research Foundation of Korea (NRF); the dataset covered the 2009-2011 period. The analytical results reveal the hidden network structure of convergent research relationships and demonstrate that the formation of convergent research might be enhanced by interdependent pressures placed on various research fields but also by accumulated research capabilities that each of these fields possessed and which could be used to converge specialized and heterogeneous research areas and interests.

Key Words : Network Analysis, Network Composition, Convergent Research Relationships, High-Tech Convergence Technology Development program

I. 서 론

미래 사회의 문제는 기존의 전통적인 단일 기술만으로는 해결이 불가능하며, 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위해 동종 및 이종기술을 융합하는 새로운 형태의 기술과 산업이 등장하고 있다. 주요 선진국들은 이미 이러한 융합기술의 중요성을 인식하고 미래 국가 경쟁력 확보를 위한 융합신산업 창출을 위해 투자를 강화하는 등 수년전부터 자국의 현실에 맞게 융합연구를 정의하고 정책을 마련하여 추진하고 있다.

미국은 2002년 인간수행능력 향상을 위한 나노기술(NT), 생명공학기술(BT), 정보기술(IT), 인지과학(CS) 분야가 결합된 NBIC 융합기술전략을 마련하고 정부기관을 중심으로 융합기술 개발 프로그램을 다각도로 추진하고 있다(NSF and DOC, 2002). 유럽공동체는 미국의 NBIC 이외에 인문·사회과학도 포함하는 보다 포괄적인 융합기술 범위와 융합분야의 방향성을 제시하는 “유럽지식사회를 위한 융합기술(CTEKS: Converging Technologies for the European Knowledge Society)” 의제를 마련하였다(EC, 2004). 또한 제 7차 프레임워크 프로그램(FP7: 7th Framework Programme 2007-2013)을 통하여 CTEKS에서 제시한 중점분야에 대한 연구 개발(R&D) 활동을 추진하고, 잠재적 파급효과가 큰 분야를 미래유망기술(FET: Future and Emerging Technologies)영역으로 설정하여 R&D 융합 활동을 강화하였다(EC, 2006).

또한 우리나라의 경우, 융합기술을 체계적으로 발전시켜 의료, 건강, 안전 및 에너지 문제 등을 해결하고 차세대 신성장동력인 융합신산업을 육성하기 위한 목적으로 정부는 2008년 「국가융합기술 발전 기본계획('09-'13)」을 수립하였으며(국가과학기술위원회, 2008), 국가 R&D를 지속적으로 확대하여 미래주도형 원천 융합기술 확보를 위한 노력을 기울이고 있다. 그 결과 2012년 융합기술 관련 정부 R&D 투자가 약 2.6조원의 규모로 성장하였다(국가과학기술위원회, 2012). 또한 박근혜 정부는 융합을 주요 국정과제로 선정하고 창의력·상상력에 기반한 융합과학기술을 통해 신정부의 창조경제 활성화를 강조하고 있다.

이러한 국내·외 환경변화를 고려할 때, 융합기술에 대한 지원 확대는 선택이 아닌 필수로 간주되고 있다. 또한 규모가 커지고 있는 융합기술 관련 R&D에 대한 투자의 효율적인 방향 모색에 대한 필요성이 크게 대두되고 있다. 하지만 지금까지 공공연구지원을 통해 수행된 융합연구에 대한 체계적인 분석과 평가는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 대표적인 융합연구 사업 중 하나인 첨단융합기술개발사업을 대상으로 융합연구에 있어서 중심적인 역할을 하는 분야는 무엇이며, 연구 분야간 상호 연계는 어떻게 이루어지고 있는지 그리고 이들 분야간 연계성은 실제 융합연구 활동과 어떤 상관관계를 갖는지를 분석하고자 한다. 이러한 분석 결과는 융합연구의 구조 및 특성에 대한 이해를 증진시킬 뿐만 아니라 향후 융합연구 지원분

야를 설정하기 위한 참고 자료로도 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 네트워크 분석기법을 적용하여 융합연구의 구조적 특성을 파악하고자 하였으며, 특히 중심성 지표(연결·매개·근접 중심성)와 핵심-주변 구조 밀도분석 등을 바탕으로 융합연구의 연계구조, 즉 융합연구에 있어서 연구 분야들이 어떤 유기적 관계 속성을 갖는지를 살펴보고자 하였다.

II. 선행연구

융합연구란 경쟁우위 확보를 위한 기술혁신과 새로운 시장 환경 창출을 위한 연구 협력체계를 의미한다. 하지만 융합연구라는 개념은 종종 추상적이며 때로는 측정이 불가능해 보이는 것처럼 모호하기도 하다. 따라서 합의된 개념 도출의 어려움으로 인해 많은 학자들이 융합연구에 대해 상의한 정의를 내리고 있다.¹⁾

Rosenberg(1963)에 의해 정의된 융합이란 과학기술 분야가 당면한 공통된 문제를 해결하기 위하여 다양한 기술이나 연구 분야들이 종적 또는 횡적으로 협력하는 현상이라고 설명하고 있다. Kodama(1992)의 개념 정의에 따르면, 융합은 과학기술의 진보가 일어나면서 여러 핵심기술이나 연구 분야들이 수평적으로 결합되어 기존에 보유하지 못한 새로운 특성의 기술이나 연구 분야로 생성되는 것을 의미한다고 설명하고 있다. Pennings와 Puranam(2001)은 기존에 존재하던 상이한 기술이나 연구 분야를 재조합하여 새롭고 혁신적인 형태로 창출시키는 것을 융합이라고 정의하고 있으며, 이는 상이한 과학기술 요구를 충족시키기 위하여 기술이나 연구 분야들이 결합되거나 또는 상이한 과학기술 역량이 동일한 요구를 충족시키기 위해 유사성을 갖게 되는 현상이라고 설명하고 있다. Corrocher 외(2003)는 융합연구란 과학기술 분야들이 점진적인 발전을 통해 새로운 분야에 적용 가능한 신기술의 연구분야로 생성되거나 동종 분야의 과학기술이 상호 결합하여 기술개발이나 연구 분야가 다양화 되는 현상이라고 정의하고 있다. Nystrom과 Hacklin(2005)도 과학기술 분야들이 점증적인 발전과정 속에서 상호 결합되어 새로운 형태로 창출되거나 발전되는 것이라고 설명하고 있다.

이러한 융합연구의 개념은 R&D 협력방식에 따라 다음과 같이 다학제(multidisciplinary), 학제간(interdisciplinary), 초학제적(transdisciplinary) 연구로 구분되어 정의될 수 있다(Rosenfield, 1992; Klein, 1996; Lattuca, 2003; Aboelela 외, 2007; Stokols 외, 2008). 다학제 연구란 공

1) 연구자에 따라 융합연구를 퓨전(fusion), 컨버전스(convergence), 인테그레이션(integration)으로 구분하여 사용하는 경우도 있으나 용어에 대한 정의나 범위 경계가 불분명하여 본 연구에서는 모두 융합을 의미하는 용어로 사용함.

통의 문제를 해결하기 위하여 하나 이상의 연구 분야에서 연구자들이 각각의 학제적 영역 내에서 독립적인 연구를 수행하는 것을 의미한다. 학제간 연구는 다양한 연구 분야의 연구자들이 공통적인 문제 해결을 위해서 각각의 학제적 영역 내에서 협력하는 연구 활동으로 정의된다. 초학제적 연구는 상이한 연구 분야의 연구자들이 다양한 학제적 접근방식을 결합하여 공유된 프레임워크 안에서 협력적으로 공통 문제를 해결하는 연구를 의미한다.

이러한 정의들을 종합해 보면, 융합연구는 과학기술 분야가 당면한 공통적인 문제 해결을 위한 다양한 학제적 접근방식의 조정(coordinating)이며, 상이한 기술이나 연구 분야간 유기적 상호연계와 결합을 통해 새로운 형태의 기술과 연구 분야로 창출되는 연구 협력체계라고 볼 수 있다.

기존의 선행연구들에서는 이러한 연구 협력체계의 특성과 성과를 진단하기 위한 다양한 방법론적 접근법이 제시되고 있는데 대표적으로 연구개발 논문과 기술 분야별 특허에 대한 공저자(co-authorship) 및 인용(citation) 분석 등이 사용되어 왔다. 논문의 공저자 분석은 공동 연구과제 및 연구협력 성과를 분석하는 도구로 다수의 연구자에 의해 연구가 이루어지고 있다. Braun 외(1992) 그리고 Schummer(2004)는 논문 공저자 유형에 대한 분석을 통해 연구협력 활동의 학제적(다학제 및 학제간) 특성을 진단하였으며, Barabasi 외(2002)도 공저자 분석을 통해 과학기술 연구 협력네트워크의 진화를 분석하였다. 또한 국제협력의 관점에서 Wagner와 Leydesdorff(2005)는 국제 공저자 관계를 분석하고 연구자간 공동연구 연계 유형이 연구 협력 네트워크에 미치는 영향을 조사하였고, Glanzel과 Schubert(2001)는 국제 공저자 관계와 인용 영향력(citation impact)과의 상관관계를 분석하고 국제 연구협력이 인용도에 미치는 긍정적 영향을 설명하였다.

특허성고를 바탕으로 공동연구의 협력관계나 기술지식의 흐름과 연계 구조를 분석한 사례로 Tijssen(2001)과 Meyer(2001)는 특허인용에 대한 분석을 통해 과학-기술간 연계와 지식의 흐름을 설명하였으며, Singh(2005)도 특허인용을 통해 지식확산의 흐름을 분석하고, 발명자간의 네트워크 연계가 이러한 지식 흐름에 미치는 직·간접적 영향을 제시하였다. Glanzel 외(2003)는 특허정보를 사용하여 공동발명(co-inventions)과 특허권 공동배분(co-assignment)에 대한 분석을 수행하고 R&D 협력관계를 측정하였으며, Petruzzelli(2011)는 공동특허를 분석하여 산학 연구 협력이 혁신성과에 미치는 영향을 분석하였다.

하지만 이러한 접근법들은 과학기술 분야의 성과물인 논문과 특허를 기반으로 연구 협력체계의 특성이나 지식흐름의 연계 구조를 분석할 뿐, 융합연구의 실제적인 사례를 대상으로 연구 협력체계를 이루는 관계적 속성들이 상호작용을 통해 어떤 인과관계로 설명될 수 있는가는 제시해 주지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 융합연구의 대표적인 R&D 사업을 중심으로

융합연구 구조의 연계관계 특성을 네트워크 분석을 통해 파악하고자 한다. 네트워크 방법론은 융합연구에서 나타나는 개별 개체의 속성보다는 연구 협력체계의 구성요소들이 갖는 유기적 상호 연계성을 이해하고 이러한 연계 구조가 융합연구에서 어떤 관계적 속성을 갖는지를 탐색 하는데 유용한 수단이 되고 있다. 이러한 점을 감안할 때, 실증적 사례를 중심으로 융합연구의 연계관계를 네트워크 분석을 통해 지도화하고 연구 분야간 연결망 구조의 관계 속성을 파악하는 것은 학술적으로나 실증적으로 의의를 지니고 있다고 판단할 수 있다.

III. 네트워크 분석 방법론

본 연구는 네트워크 분석을 통해서 융합연구사업 과제가 연구 분야간에 어떤 유기적 관계를 형성하고 있는지를 분석하고자 한다. 일반적으로 이러한 유기적 관계 속성간에 일어나는 상호작용은 연결망 구조로 묘사될 수 있는데 이를 네트워크라고 한다. 네트워크 분석에서 연결망의 구조적 변수는 노드(nodes)라고 불리며, 본 연구에서 네트워크 노드란 연구 분야를 나타낸다. 융합연구 네트워크 안에서 연구 분야간 연계는 연결관계(link 또는 tie)로 나타내며, 연구 분야들의 지속적인 연결관계를 통해서 융합연구의 경로(path)가 구축된다고 본다. 그리고 네트워크 안에서 연구 분야들이 연결되는데 필요한 최소한의 연결관계를 경로거리(path length 또는 path distance)라고 볼 수 있다. 일반적으로 융합연구 네트워크는 특정 연구 분야들간의 연계관계 빈도에 의해서 측정되며, 상대적으로 연결관계가 많은 연구협력 분야들을 모아 군집, 집락 또는 클러스터(clusters)라고 한다. 따라서 융합연구 군집은 다중적 연결관계를 통해서 연계가 중복적으로 일어나는 융합 네트워크 안의 연구 분야 집단을 의미한다. 이러한 연계의 중복성(redundancy)은 융합연구 네트워크를 탄력적으로 만들어 몇몇 분야가 사라지거나 연결관계가 부분적으로 단절되어도 전체적인 융합연구 군집의 연계성은 위축되지 않게 된다.

융합연구 네트워크 안에서 연구 분야들의 상대적 위치는 지도화(mapping)되고 분석될 수 있는데, 이러한 관계적 속성을 나타내는 중요한 개념으로 중심성(centrality)을 들 수 있다. 일반적으로 중심성 측정이란 네트워크 노드가 네트워크 안의 다른 노드들과 연계되는 빈도와 거리에 초점을 맞춘다(Scott, 1991). 따라서 중심성 지수를 측정하는 것은 융합연구 내에서 형성되고 있는 연구 분야들의 유기적 연계구조를 나타내 줄 수 있다.

중심성 진단은 다른 분야들과 연결 관계가 있는 특정 연구 분야를 파악하며, 그 특정 분야는 다른 분야들과 연계되는 최단 경로의 일부가 된다. Knoke와 Kuklinski(1982)의 개념에 따

르면, 융합연구 중심성은 네트워크 안에서 형성되는 모든 연결 관계 중에서 특정 연구 분야가 포함되어 있는 연계관계의 총 수를 전체에서 차지하는 비율로 나타낼 수 있다. 이러한 중심성 연구 분야는 융합연구 네트워크를 형성하도록 하는 중요 역할을 담당하게 되며, 연구 분야들 간에 상호 연계가 이루어지도록 영향력을 미치게 된다. 따라서 융합연구 네트워크에서는 연구 분야들이 특정한 유형의 경로를 통해서 연결이 이루어지는 구조적 특성을 보이게 된다. 다시 말해, 네트워크 안에 수많은 연구 분야들이 존재하더라도 상호 밀접히 얽혀있는 연계관계를 통해서 융합이 일어날 수 있는 경로가 존재하게 된다. 이러한 구조적 개념은 네트워크 이론에서 지식이 공유되고 거대 집단에서 정보가 전달되는 중요한 수단으로 간주되고 있다.

융합연구 네트워크에 있어서 중심성 지표의 개념은 일반적으로 <표 1>에서 나타나는 바와 같이 세 가지로 구분하여 정리할 수 있다. 융합연구에 있어서 연결 중심성(degree centrality)은 네트워크 안에서 특정 연구 분야에 인접하여 연계되어 있는 상이한 분야의 수를 나타내는 것으로 다른 연구 분야들로부터 연계된 빈도가 높을수록 연결 중심성이 높다고 볼 수 있다 ($\sum C_{ijk}$: C_{ijk} 는 연구 분야 i 와 j 의 표준화 중심성 지수를 나타내며, k 는 융합연구 네트워크에서의 연결관계 빈도를 나타낸다). 이는 융합연구 네트워크 안에서 특정 연구 분야가 연구협력에 있어서 가지는 잠재적 중요성을 의미한다. <표 1>의 예시에서 연구 분야 A의 연결 중심성은 A와 직접 연결된 다른 연구 분야(B, C, D, E)의 숫자인 4가 된다.

매개 중심성(betweenness centrality)은 네트워크 안에서 특정 연구 분야가 상이한 두 연구 분야의 “사이”에 위치하는 정도를 의미한다(Scott, 1991). 이는 자체적으로 연계될 수 없는 상이한 두 분야를 매개시켜주는 다리(bridge) 역할을 수행하는 연구 분야의 역량을 나타낸다 ($\sum(D_{ij} + D_{ji}) / \sum \sum(D_{ij})$: D_{ij} 는 연구 분야 i 와 j 의 연결관계 수를 나타낸다). 연구 분야의 매개 중심성은 특정 연구 분야에서 다른 분야로의 경로 함수로 나타낼 수 있다. 따라서 매개 중심성은 특정 연구 분야가 네트워크 안에서 융합연구의 흐름을 제어하거나 조정할 수 있는 정도를 측정한다고 볼 수 있다. <표 1>의 예시에서 연구 분야 A의 매개 중심성은 네트워크 내에서 직접적으로 연결되지 않는 연구 분야들 사이의 최단경로에 위치한 횡수(B-C, B-D, B-E, B-F, C-D, C-E, C-F, D-E, D-F)의 총합으로 9가 된다.

마지막으로 근접 중심성(closeness centrality)은 네트워크 안에서 연구 분야의 잠재적 독립성을 나타낸다. Scott(1991)의 개념에 따르면, 근접 중심성은 융합연구가 일어날 수 있는 두 연구 분야 사이에 존재하는 최단 경로의 거리(geodesic distance)를 의미하는 것으로, 거리가 짧을수록 연구 분야간 근접성이 높아져 융합연구의 흐름이나 확산이 밀접히 일어나게 된다고 본다($Min D_{ij}$: D_{ij} 는 연구 분야 i 와 j 간에 형성된 연결관계 수, 즉 거리를 나타낸다). Freeman(1979)의 개념에 따르면, 특정 연구 분야가 네트워크 중심에 위치해도 다른 분야와

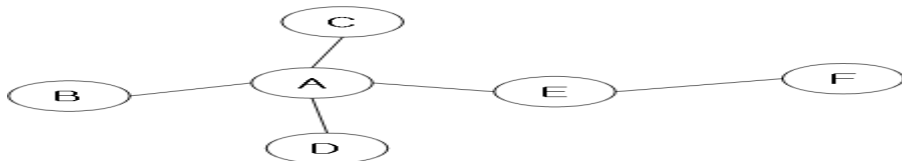
의 최단 경로거리가 멀다면 이는 융합연구 활동에 있어서 다른 분야에 대한 의존도가 낮다는 것을 의미하게 된다. <표 1>의 예시에서 근접 중심성은 네트워크 내에서 직·간접적으로 연결되는 모든 분야들과의 최단거리 합의 역수로 정의된다. 이때 직접 연결되는 두 점의 거리는 1이다. 따라서 연구 분야 A의 근접 중심성은 1/6이다.

이러한 중심성 지표들은 융합연구 네트워크에서 연구 분야들의 중심적 위치를 파악하는데 도움을 주지만 네트워크 관계의 긴밀한 정도를 측정하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 핵심-주변 구조 밀도(density by core-periphery groups)에 대한 분석을 통해서 연구 분야간 융합연구 연계빈도가 높은 핵심 군집과 연계빈도가 상대적으로 미약한 주변 군집을 분류하고, 이들 군집간 연계밀도, 즉 각 군집에 포함된 연구 분야들이 어느 정도 연계되고 있는가를 측정하고자 한다. 연계밀도가 높을수록 연구 분야간 융합이 활발하게 이루어질 수 있으며, 이는 지식 공유와 정보 전달이 촉진될 수 있는 융합연구 구조가 형성되어 있음을 의미하게 된다. 또한 Hanneman과 Riddle(2005)의 개념에 따르면, 핵심군집에 포함된 연구 분야들은 주변군집에 속한 연구 분야들과 연계될 수 있는 구조적 우위(structural advantage)를 갖게 된다. 연계밀도는 각 네트워크에서 존재할 수 있는 연구 분야간 총 연계 가능한 수와 군집 안에서 실제로 연계가 나타난 관계들 수의 비율을 측정한 것이며, 네트워크의 전체적인 연계 분포성(응집성)을 나타내는 지표로 간주된다.

본 연구에서 제시한 네트워크 측정 지표들은 Freeman(1979)이 언급한 것처럼 네트워크 구

<표 1> 대표적 중심성 지표의 정의 및 특징

| 구분 | 정의 | 특징 | 예시 |
|-----------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| 연결중심성 (Degree Centrality) | 네트워크 안에서 특정노드에 인접하여 연계되어 있는 상이한 노드간의 수 | 특정 노드의 연결중심성이 크다는 의미는 직접적인 관계를 맺고 있는 노드들의 수가 많음을 의미 | A(4)>E(2)>B,C,D,F(1) |
| 매개중심성 (Betweenness Centrality) | 네트워크 안에서 특정노드가 다른 상이한 두 노드 사이에 위치하는 정도 | 자체적으로 연계가 될 수 없는 상이한 두 노드를 매개시켜 주는 중계인 또는 다리(bridge)의 역할을 수행하는 노드의 능력을 의미 | A(9)>E(4)>B,C,D,F(0) |
| 근접중심성 (Closeness Centrality) | 하나의 노드와 연결된 모든 노드간의 거리의 합 | 네트워크 내에서의 정보권력, 영향력 및 지위 등에 대한 확보와 접근이 보다 용이 | A(1/6)>E(1/8)>B,C,D(1/10)>F(1/12) |



*()안의 숫자는 중심성 값을 나타냄.

조가 융합연구에 있어서 연구 분야간에 어떤 유기적 관계 속성을 갖는지를 탐색해 볼 수 있는 기회를 제공한다. 이 연구에서는 네트워크 중심성 분석과 핵심-주변 구조 밀도분석을 통하여 연구 분야간 융합연구 구조를 분석해 보고자 한다.

IV. 연구설계

1. 연구대상과 자료수집

1) 첨단융합기술개발사업 개요

첨단융합기술개발사업은 미래 성장잠재력 확보 및 국민 삶의 질 향상에 기여하는 첨단융합 기술분야의 핵심원천기술을 전략적으로 개발하기 위한 목적으로 추진되는 융합분야의 대표적 공공연구지원사업이다. 첨단융합기술개발사업은 크게 원천기술 개발을 목적으로 하는 R&D사업과 교육과 과학기술의 연계를 통한 새로운 교육-연구 융합 환경 구축을 목적으로 하는 기반 구축사업으로 구분된다. 본 연구는 첨단융합기술개발사업의 대표적 R&D사업을 분석대상으로 설정하였다.

첨단융합기술개발사업은 세 개의 세부사업(신기술융합형성장동력, 미래유망융합기술파이오니어, 그리고 뇌과학원천기술개발)으로 구성되어 있으며, 각 사업은 융합기술 개발이라는 측면에서는 동일한 지향성을 갖지만 각기 다른 사업 목적을 가지고 지원과제를 추진하고 있다 (<표 2> 참조). 따라서 본 연구에서는 각 사업별로 융합연구 구조가 지원과제에 따라 어떠한 연계관계를 통해서 나타나는가를 분석하고자 함이며, 이를 통해서 융합연구 활동에 영향을 미치는 네트워크 구조의 특성을 파악하고자 한다. 또한 이들 세부사업은 상이한 지원규모(연구

<표 2> 첨단융합기술개발사업 목적 및 지원규모

| 세부사업명 | 사업 목적 | 지원 규모(년간) | 지원 기간 |
|----------------|--|------------|------------------|
| 신기술융합형 성장동력 | 새로운 시장 선점 및 신산업창출에 기여할 수 있는 융합형 핵심기술을 개발하여 기술경쟁력 제고와 미래 성장 동력 확보 | 50억원/연구단 | 5년 (2+3, 3+2) |
| 미래유망융합 기술파이오니어 | 이중 기술간 융합을 통한 고위험-고수익형 융합 원천기술 개발 | 10억원/연구단 | 6년(3+3) |
| 뇌과학원천기술 | 뇌 연구를 통해 뇌질환 예방치료기술 등의 핵심 원천기술 확보 | 0.4~8억원/과제 | 5년~9년 |

지원 기간, 연구비 등)나 사업 목적(기술개발대상, 기대성과물, 추진체계 등)을 갖지만 융합기술 개발이라는 단일한 목적을 달성하기 위하여 전략적으로 선정된 사업들이다. 이러한 목적은 연구 분야간 네트워크 구축이 용이하고 연구의 역량이 총체적으로 결집될 수 있는 융합활동의 기반 조성을 통해 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 세부사업 전체에 대한 분석을 실시하고 융합연구의 총체적인 네트워크 연계 구조를 통하여 첨단융합기술개발사업의 융합연구 기반이 어떤 분야를 중심으로 이루어져 있는가를 파악하고자 한다.

2) 데이터 개요

최근 3년간(2009~2011) 분석대상 사업의 지원규모는 <표 3>과 같으며, 신기술융합형성장동력사업이 전체 연구비의 70.6%와 과제수 44.1%를 차지하고 있어 가장 많은 지원이 이루어지고 있는 융합연구 사업임을 알 수 있다. 동 자료를 바탕으로 사업별로 융합연구지원이 어떤 분야, 어떤 연계관계를 통해 이루어지고 있는가를 파악하기 위해 네트워크 분석을 실시하고자 한다. 첨단융합기술개발사업의 경우, 연구계획서 작성 시 연구책임자로 하여금 해당 과제가 어떤 분야 간 융합으로 이루어진 연구인지를 계획서상에 입력토록 하고 있다. 일례로, 과제별 중심분야는 필수 입력사항이며 관련분야1~관련분야4는 선택 입력사항이다. 관련분야가 입력

<표 3> 최근 3년간 분석대상사업 연구비 지원현황

(단위 : 백만원)

| 구분 | 2009 | | 2010 | | 2011 | | 합계 | | 연평균 증가율 (연구비) |
|------------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|---------------|
| | 연구비 | 과제수 | 연구비 | 과제수 | 연구비 | 과제수 | 연구비 | 과제수 | |
| 신기술융합형 성장동력사업 | 43,001 | 86 | 53,500 | 94 | 60,520 | 104 | 157,021 | 284 | 19% |
| 미래유망융합기술 파이오니어사업 | 12,000 | 63 | 16,000 | 70 | 21,000 | 88 | 49,000 | 221 | 32% |
| 뇌과학원천기술 개발사업 | 2,904 | 33 | 4,600 | 48 | 9,000 | 58 | 16,504 | 139 | 76% |
| 계 | 57,905 | 182 | 74,100 | 212 | 90,520 | 250 | 222,525 | 644 | 56.3% |

<표 4> 첨단융합기술개발사업 연구계획서 중 연구분야 관련 양식

| 코드구분 | 중심분야 | | 관련분야1 | | 관련분야2 | | 관련분야3 | | 관련분야4 | |
|-------------|------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|
| | 코드 | 비중 | 코드 | 비중 | 코드 | 비중 | 코드 | 비중 | 코드 | 비중 |
| 국가과학기술 표준분류 | | % | | % | | % | | % | | % |

되는 경우 중심분야와 관련분야 비중의 합은 100이 되도록 하며, 분야 선정은 국가과학기술위원회에서 발표한 국가과학기술표준분류를 활용하고 있다. 융합 연구분야 관련 연구계획서 양식은 <표 4>와 같다.

2. 네트워크 분석 데이터 개요

융합연구 지원 과제를 바탕으로 연구 분야간 융합연구 구조를 분석하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다. 첫째, 연구 분야간 융합연구 네트워크의 전체적인 집중도는 어느 정도인가? 둘째, 융합연구 네트워크의 연결·매개·근접 중심성이 높은 융합연구 분야는 무엇인가? 셋째, 사업별로 연구 분야의 융합연구 현황과 연계구조는 어떻게 나타나는가?

위에서 언급한 문제들에 대한 답을 얻기 위해서는 네트워크 분석을 수행하기 위해서 수집된 과제별 연구 분야 자료들을 관계형 네트워크 데이터(relational data)로 변환시켜 연구의 목적에 따라 노드의 관계적 속성을 부여해야 한다. 연구 분야간 유기적 융합연구 구조를 분석하는데 있어서 수집된 자료를 분석하는 방법으로는 융합연구 사업별 지원과제나 연구 분야가 어떻게 연계되었는가를 단순히 파악하기 보다는 무엇이 네트워크 구조를 형성했는가를 조사해보는 것이다. 이를 위해서는 연구 분야간 융합연구의 유기적인 관계 속성을 네트워크 분석을 위한 연결망 구조로 구축해 보는 것이다. 연구 분야간 연계구조는 융합연구 활동에 영향을 미치는 구조적 특성을 나타내 줄 수 있는데, 네트워크 분석을 위한 연결망 구축 방법은 융합연구의 분야를 각 사업별 지원과제에 따라 연계시키는 것이다. 이는 융합연구 활동을 통해 수행한 과제가 많을수록 연구 분야들은 서로 밀접한 상관관계를 갖는다고 볼 수 있기 때문이다. 다음의 예는 네트워크 구조 분석을 위한 융합연구 관계형 데이터 분석 방법이다.

아래는 수집된 자료의 원시 데이터(raw data) 구성 형태의 예시로 융합연구 활동을 사업별 지원과제 (과제1~과제2)와 연구 분야(F1~F4)로 분류한 것이다.

| 지원과제 | 연구 분야 |
|------|------------|
| 과제1 | F1, F3, F4 |
| 과제2 | F2, F3, F4 |

융합연구의 유기적 관계 속성을 2-mode 매트릭스표(sociomatrix) S로 나타내기 위해서는 행(rows)에 연구 분야를 그리고 열(columns)에는 사업별 지원과제를 아래와 같이 배열한다.

이는 연구 분야간 연결망을 나타내는 것으로 연구 분야 F 와 F 가 연계되어 과제가 수행되었을 경우 융합연구 활동을 통해 상호연계 관계가 형성된 것으로 본다.

$$S =$$

| | 과제1 | 과제2 |
|----|-----|-----|
| F1 | 1 | 0 |
| F2 | 0 | 1 |
| F3 | 1 | 1 |
| F4 | 1 | 1 |

F 와 F 사이에 형성된 연계의 수를 나타내는 정방행렬(square matrix)은 S 의 값과 S 의 전치 값으로 산출되는 1-mode 인접행렬(adjacency matrix) A 로 변환될 수 있다. 여기서 A 는 연구 분야간 융합연구의 인접행렬을 나타내며, 두 연구 분야간에 관계가 있으면 1로 그리고 관계가 없으면 0으로 표기한다. 일례로, 연구 분야 F4의 경우 과제1과 과제2에 모두 관련된 분야임을 알 수 있고($S_{41} = S_{42} = 1$), 따라서 융합연구 네트워크 안에서 다른 모든 연구 분야들과 연계됨을 파악할 수 있다($A_{41}, A_{42}, A_{43} \geq 1$). 이처럼 수집된 자료들을 관계형 네트워크 데이터로 변환시켜 연구 분야간 융합연구 네트워크의 유기적인 관계구조와 그 특성을 분석할 수 있다.

$$A = SS' =$$

| | F1 | F2 | F3 | F4 |
|----|----|----|----|----|
| F1 | - | 0 | 1 | 1 |
| F2 | 0 | - | 1 | 1 |
| F3 | 1 | 1 | - | 2 |
| F4 | 1 | 1 | 2 | - |

또한 융합연구 관계를 통해서 나타나는 연구 분야간 네트워크 위상과 개별 연구 분야가 타 분야와 융합되는 정도는 어떤 관계가 있는지를 이해하기 위해서, 연결 중심성과 융합과제 비율 사이의 상관성을 분석해 볼 수 있다. 연구 분야의 융합연구 정도를 나타내는 융합과제 비율은 인접행렬 A 에서 F 와 F 의 융합으로 이루어진 과제 수를 의미하게 된다. 해당 연구 주제분야(F)의 융합과제 비율은 전체 해당분야 과제 중 타 주제분야(F)와 융합으로 이루어진 과제 비율을 나타내며, 비대각행렬 원소($F_i \neq F_j$)의 합을 해당분야 전체 과제 수로 나눈 값을 의미하게 된다. 일례로, 연구 분야 F4의 경우 동 분야와 관련된 과제는 총 6건이며, 이중 타 분야와 관련된 과제 수(F1 1건, F2 1건, F3 2건)는 4건이므로 융합과제 비율은 $(4/6) \times 100 = 66.7\%$ 임을 알 수 있다.

본 연구에서는 네트워크 데이터 구성 및 분석을 위해 사회연결망 분석 프로그램인 UCINET 6(Borgatti et al. 2002)을 활용하였다. 또한 연구 분야간 유기적 융합연구의 네트워크 관계구조 속성을 분석하기 위해서 연결·매개·근접 중심성 지표 및 핵심-주변 구조 밀도를 선택하여 네트워크 분석결과를 도출하고, 이러한 분석결과를 시각적인 네트워크 관계구조, 즉 소시오그램(sociogram)으로 나타내기 위해 Net-Draw(Borgatti, 2002) 프로그램을 활용하였다.

V. 분석결과

1. 융합연구 네트워크 중심성

1) 첨단융합기술개발사업(전체)

2009년도부터 2011년까지 첨단융합기술개발사업의 융합연구는 연구 분야간 어떤 연계구조로 나타나는지를 네트워크 분석을 통해 탐색해 보았다. 여기서 네트워크 노드(node)는 644개 과제들에 대한 99개 연구 분야(중분류)이며, 연결 관계(link 또는 tie)는 연구 분야와의 연계 빈도를 의미한다. <표 5>는 연구 분야의 중심성을 측정한 결과이다. 과제별 연구 분야의 융합 수준에 대한 분산 정도를 나타내는 연결 중심성의 변이계수(coefficient variation of the degree centrality)는 1.22(평균: 1.168, 표준편차: 1.422)로 연구 분야간 융합연구 중심성 분포는 대표값의 중심에서 넓게 분포되고 있음을 알 수 있다. 과제별 융합연구 활동에 있어서 연구 분야의 전체적인 네트워크 중심성(network degree centralization)은 7.19%로서 연구 분야의 약 7%만이 직접 또는 간접적으로 연결된 네트워크에 속해 있음을 나타낸다. 이는 융합연구 활동이 소수의 연구 분야에 집중되기 보다는 다양한 연구 분야에 고르게 연계되어 융합이 이루어지는 분산형 네트워크 구조 형태임을 의미한다.

연결 중심성(degree centrality)이 높은 연구 분야는 융합바이오(8.21), 치료/진단기기(6.22), 기능복원/보조/복지기기(5.47)인 것으로 나타났다. 이와 같이 연결 중심성이 높은 분야는 다른 연구 분야와 연계되어 융합연구를 이끄는 주요 분야라고 간주되며, 하나의 분야를 중심으로 상대적으로 보다 다양한 분야와 연결될 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 매개 중심성(betweenness centrality)을 살펴보면, 융합바이오 분야(18.27)가 가장 중심적으로 연구 분야간 다리 역할을 수행해줄 수 있으며, 그 다음으로 나노화학공정기술(12.46), 치료/진단기기(10.63) 순으로 나타나고 있다. 하지만 전체 매개 중심성(overall betweenness centralization)

은 17.04%의 비교적 낮은 수준으로 상이한 분야들간에 융합이 일어날 수 있도록 매개 역할을 수행하는 연구 분야가 많지 않음을 시사한다. 근접 중심성(closeness centrality)을 살펴보면, 융합바이오 분야(7.25)가 전체적인 네트워크에서 다른 연구 분야와 연계되는 정도가 상대적으로 가장 높음을 알 수 있으며, 그 다음으로 치료/진단기기(7.20), 나노화학공정기술 및 나노/마이크로 기계시스템(7.16) 순으로 나타나고 있다.

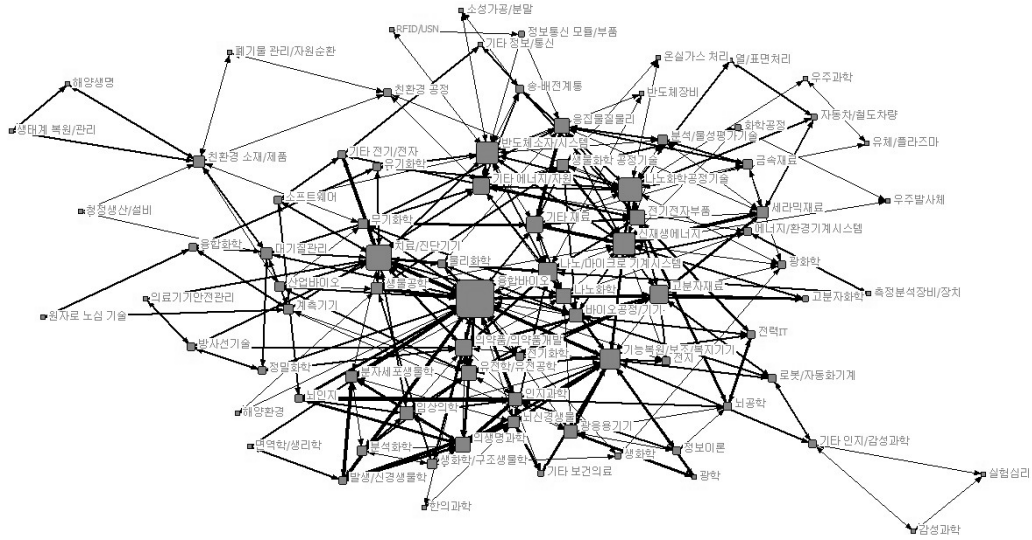
(그림 1)에서 이러한 구조적 특성을 시각적으로 확인할 수 있는데, 중심성이 높은 융합바이오 분야를 중심으로 매개·근접 중심성이 높은 치료/진단기기 및 나노화학공정기술 분야와 중

〈표 5〉 첨단융합기술개발사업 네트워크 중심성 지표 상위 20개 연구 주제분야

| 순위* | 연구분야 | 연결중심성 (표준화) | 매개중심성 (표준화) | 근접중심성 (표준화) |
|-----|---------------|----------------------------|----------------|----------------|
| 1 | 융합바이오 | 8.21 | 18.27 | 7.25 |
| 2 | 치료/진단기기 | 6.22 | 10.63 | 7.20 |
| 3 | 기능복원/보조/복지 기기 | 5.47 | 10.04 | 7.14 |
| 4 | 신재생에너지 | 3.99 | 7.28 | 7.12 |
| 5 | 의생명과학 | 3.85 | 0.94 | 7.00 |
| 6 | 고분자재료 | 3.80 | 4.16 | 7.11 |
| 7 | 의약품/의약품개발 | 3.57 | 2.08 | 7.10 |
| 8 | 나노/마이크로 기계시스템 | 3.29 | 5.69 | 7.16 |
| 9 | 기타 재료 | 3.25 | 3.10 | 7.15 |
| 10 | 발생/신경생물학 | 3.20 | 0.06 | 6.87 |
| 11 | 인지과학 | 3.15 | 1.17 | 7.05 |
| 12 | 유전학/유전공학 | 2.74 | 1.87 | 7.05 |
| 13 | 나노화학공정기술 | 2.69 | 12.46 | 7.16 |
| 14 | 뇌신경생물 | 2.69 | 0.74 | 7.02 |
| 15 | 전기전자부품 | 2.41 | 3.51 | 7.05 |
| 16 | 분자세포생물학 | 2.41 | 2.15 | 6.99 |
| 17 | 반도체소자/시스템 | 2.27 | 9.14 | 7.11 |
| 18 | 뇌인지 | 2.23 | 0.28 | 6.93 |
| 19 | 응집물질물리 | 2.13 | 1.60 | 6.97 |
| 20 | 기타 에너지/자원 | 2.09 | 5.43 | 7.10 |
| | 평균 | 1.168 | 1.399 | 6.686 |
| | 표준편차 | 1.422 | 2.945 | 1.065 |
| | | 전체적인 네트워크 중심성(연결) = 7.19% | | |
| | | 전체적인 네트워크 중심성(매개) = 17.04% | | |

* 연결중심성을 기준으로 순위를 정함

심성이 낮은 기타 연구 분야들이 연계되어 거대 군집을 형성하고 이를 통해 융합연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 그림에서 노드의 크기는 각 연구 분야의 연계 빈도 그리고 연결 관계의 굵기는 연구 분야간 연계 정도를 나타낸다.



(그림 1) 첨단융합기술개발사업 국가과학기술표준분류간 네트워크 구조

융합연구의 전체적인 연계 분포성(응집성)을 파악하기 위해 핵심-주변(core-periphery) 구조에 대한 밀도(density)분석을 실시하였다. <표 6>에 따르면, 총 99개 연구 분야들 중 융합연구 연계빈도가 높은 핵심 분야 군집은 융합바이오 및 치료/진단기기를 포함하여 17개 분야를 포함하고 있으며, 이들 연구 분야간 연계밀도는 2.779 수준으로 나타났다. 이는 82개 주변

<표 6> 첨단융합기술개발사업 네트워크 핵심-주변 구조 밀도

| 총 연구 분야 수 | 핵심군집 규모 (Size of core) | 핵심군집 연계밀도 (Density in core) | 주변군집 연계밀도 (Density in periphery) | 핵심-주변군집 연계 밀도 (Density of core-periphery connections) |
|-----------|---|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 99 | 17 (고분자재료; 광응용기기; 광학; 기능복원/보조/복지기기; 기타 보건의료; 기타 재료; 나노/마이크로 기계시스템; 나노화학; 뇌신경생물; 발생/신경생물학; 분자세포생물학; 신재생에너지; 융합바이오; 의생명과학; 의약품/의약품개발; 인지과학; 치료/진단기기) | 2.779 | 0.114 | 0.352 |

연구 분야 군집의 밀도(0.114)에 비해 약 24배 이상 높은 수치이며, 핵심-주변 군집간 융합 연계밀도는 0.352로 나타났다. 이는 핵심군집의 연구 분야는 주변군집에 비해 상대적으로 적은 수를 보이지만, 핵심군집에 속한 중심성이 높은 상위 연구 분야들간의 긴밀한 연계를 통해서 응집력을 형성하고 융합연구를 통하여 상호 유기적인 관계를 형성하고 있음을 의미한다. 반면에 주변군집에 포함된 연구 분야들간 그리고 핵심-주변군집 사이의 융합연계는 낮은 밀도를 보이고 있어 융합연구를 위한 연계활동이 상대적으로 편중된 상태임을 알 수 있다.

2) 신기술융합형성장동력사업

2009년도부터 2011년까지 신기술융합형성장동력사업의 융합연구 네트워크 분석 결과는

〈표 7〉 신기술융합형성장동력사업 네트워크 중심성 지표 상위 20개 연구 주제분야

| 순위 | 연구분야 | 연결중심성 (표준화) | 매개중심성 (표준화) | 근접중심성 (표준화) |
|----|-----------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 치료/진단기기 | 6.25 | 20.69 | 6.26 |
| 2 | 융합바이오 | 5.39 | 11.30 | 6.17 |
| 3 | 응집물질물리 | 3.77 | 7.97 | 6.05 |
| 4 | 신재생에너지 | 3.51 | 8.82 | 6.11 |
| 5 | 기타 재료 | 3.42 | 3.50 | 6.01 |
| 6 | 고분자재료 | 3.00 | 7.40 | 6.10 |
| 7 | 대기질관리 | 2.91 | 5.50 | 6.05 |
| 8 | 반도체소자/시스템 | 2.48 | 6.33 | 6.13 |
| 9 | 의약품/의약품개발 | 2.23 | 2.37 | 5.99 |
| 10 | 전기화학 | 2.05 | 2.86 | 6.11 |
| 11 | 생물공학 | 1.97 | 1.59 | 6.11 |
| 12 | 생물화학 공정기술 | 1.88 | 7.48 | 6.12 |
| 13 | 계측기기 | 1.88 | 3.17 | 6.00 |
| 14 | 유전학/유전공학 | 1.80 | 2.92 | 5.98 |
| 15 | 로봇/자동화기계 | 1.71 | 6.46 | 5.97 |
| 16 | 바이오공정/기기 | 1.71 | 3.77 | 6.11 |
| 17 | 융합화학 | 1.71 | 2.24 | 6.05 |
| 18 | 유기화학 | 1.71 | 1.78 | 6.08 |
| 19 | 정밀화학 | 1.71 | 0.68 | 5.97 |
| 20 | 방사선기술 | 1.71 | 0.68 | 6.03 |
| | 평균 | 1.152 | 2.112 | 5.580 |
| | 표준편차 | 1.192 | 3.402 | 1.222 |

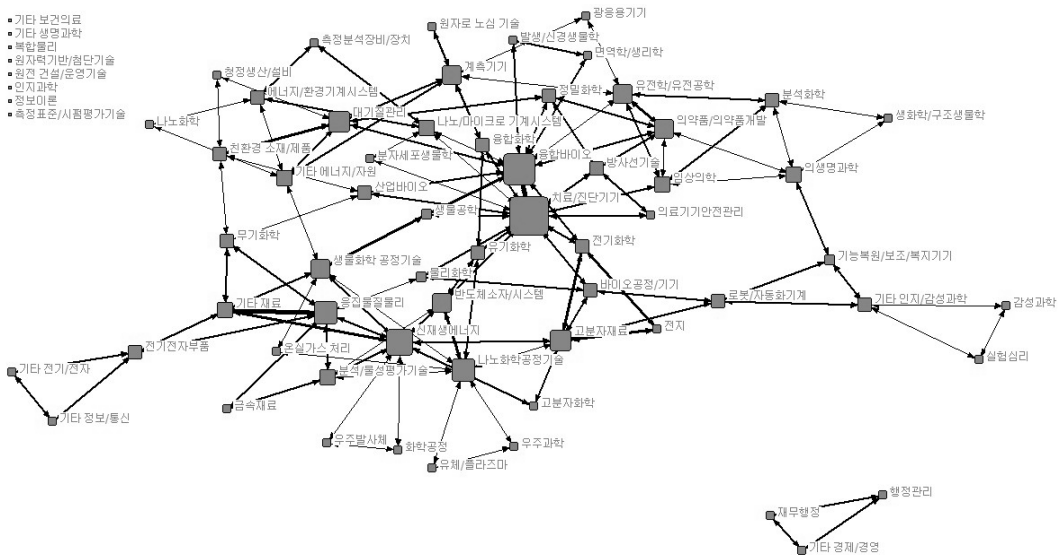
전체적인 네트워크 중심성(연결) = 5.24%

전체적인 네트워크 중심성(매개) = 18.83%

〈표 7〉과 같다. 네트워크 노드는 284개 과제들에 대한 73개 연구 분야(중분류)이며, 연결 관계는 연구 분야와의 연계 빈도를 의미한다. 과제별 연구 분야의 연결 중심성 변이계수는 1.04 (평균: 1.152, 표준편차: 1.192)이며, 전체적인 네트워크 중심성도 5.24%로서 융합연구 활동은 분산형 네트워크 구조 형태로 나타나고 있다.

연결 중심성이 높은 연구 분야는 치료/진단기기(6.25), 융합바이오(5.39), 응집물질물리(3.77), 신재생에너지(3.51), 기타 재료(3.42), 고분자재료(3.00) 등이며, 상대적으로 보다 다양한 연구 분야들과 연계되어 융합연구를 이끄는 주요 분야라고 간주된다. 매개 중심성의 경우 치료/진단기기 분야(20.69)가 가장 중심적인 중계 역할을 수행하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 융합바이오(11.3), 신재생에너지(8.82), 응집물질물리(7.97), 생물화학공정(7.48) 순으로 나타나고 있다. 하지만 전체 매개 중심성은 18.83%의 비교적 낮은 수준으로 매개 역할을 수행하는 연구 분야가 많지 않음을 시사한다. 근접 중심성에 있어서도 치료/진단기기 분야(6.26)가 전체적인 네트워크에서 다른 연구 분야와 연계되는 정도가 상대적으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 융합바이오(6.17), 반도체소자/시스템(6.13), 생물화학공정기술(6.12) 순으로 나타나고 있다.

이러한 구조적 특성은 (그림 2)에서 확인할 수 있는데, 중심성이 높은 치료/진단기기 및 융합바이오 분야 등을 중심으로 기타 연구 분야들이 연계된 거대 군집의 분산형 네트워크 구조를 통해 융합연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 예외적으로 원자력기반/첨단기술, 원전 건



(그림 2) 신기술융합형성장동력사업 국가과학기술표준분류간 네트워크 구조

설/운영기술, 인지과학, 정보이론, 복합물리 분야 등은 다른 연구 분야와의 연계 없이 독립적인 연구를 수행하고 있음을 관찰할 수 있다.

밀도분석 결과인 <표 8>에 따르면, 총 73개 연구 분야들 중 2개 분야(융합바이오와 치료/진단기기)의 융합 연계밀도가 기타 분야들간의 밀도보다 약 108배(핵심군집 밀도: 16.000, 주변군집 밀도: 0.148) 이상 높은 것으로 나타났으며, 이들 2개 분야가 주변군집 분야들과 상호 연계되는 밀도는 0.722의 낮은 수준을 보이고 있다. 이는 융합연구를 위한 연계활동이 중심성이 높은 치료/진단기기 및 융합바이오 분야에 집중되어 이루어지고 있음을 증명해 준다.

<표 8> 신기술융합형성장동력사업 네트워크 핵심-주변 구조 밀도

| 총 연구 분야 수 | 핵심군집 규모 (Size of core) | 핵심군집 연계밀도 (Density in core) | 주변군집 연계밀도 (Density in periphery) | 핵심-주변군집 연계 밀도 (Density of core-periphery connections) |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 73 | 2 (융합바이오; 치료/진단기기) | 16.000 | 0.148 | 0.722 |

3) 미래유망융합기술파이오니어사업

미래유망융합기술파이오니어사업의 경우 융합연구 네트워크 노드는 2009년도부터 2011년까지 총 221개 과제들에 대한 65개 연구 분야(중분류)이며, 연결 관계는 연구 분야와의 연계 빈도를 의미한다. 연구 분야의 중심성을 측정된 결과는 <표 9>와 같다. 과제별 연구 분야의 연결 중심성 변이계수는 1.21(평균: 1.286, 표준편차: 1.556) 그리고 전체적인 네트워크 중심성은 7.44%로서 융합연구 네트워크는 분산형 구조 형태를 보이고 있다.

융합바이오(8.50), 의약품/의약품개발(4.98), 나노/마이크로 기계시스템(4.69), 치료/진단기기(4.10), 신재생에너지(4.00)는 연결 중심성이 높은 연구 분야들로 융합연구를 이끄는 주요 분야로 간주되며, 이들 분야들은 상대적으로 보다 다양한 분야와 연결될 수 있다는 의미를 함축한다. 근접 중심성에는 대부분의 연구 분야들이 유사한 중심성 지수를 갖는 것으로 나타나 융합연구 네트워크 형태가 상호 밀접히 연계된 구조임을 보이고 있다. 이 중 융합바이오 분야(11.23)가 전체적인 네트워크에서 다른 연구 분야와 연계되는 정도가 상대적으로 가장 높음을 알 수 있으며, 그 다음으로 기타 재료(11.15), 신재생에너지(10.92), 의약품/의약품 개발(10.90), 치료/진단기기 및 나노화학(10.88) 순으로 나타나고 있다. 매개 중심성의 경우에도, 융합바이오 분야(32.61)가 가장 중심적으로 매개 역할을 수행하는 분야임을 알 수 있으며, 그 다음으로 기타 재료(19.13), 나노화학공정기술(13.79), 반도체소자/시스템(12.89), 나노마이크로 기계시스템(11.62) 순으로 나타나고 있다. 하지만 근접 중심성에서 나타나는 바와 같이 대

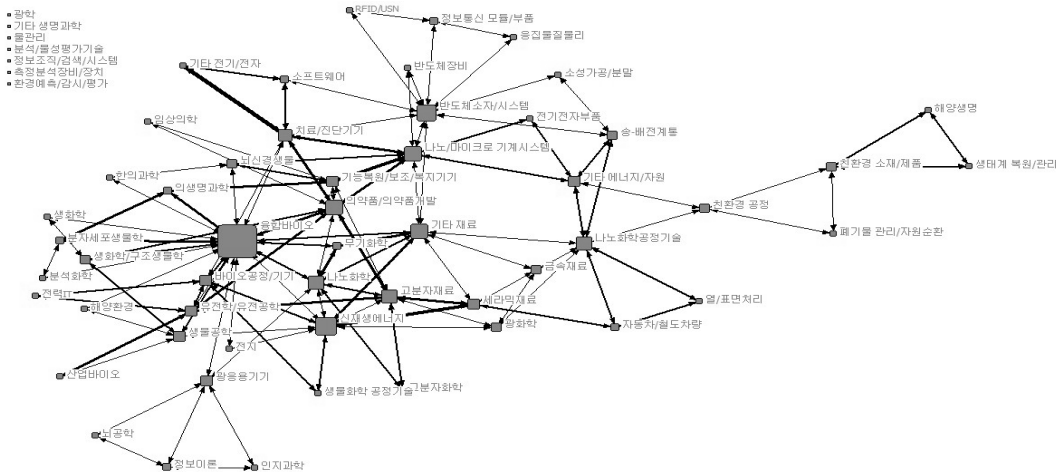
부분의 분야들이 밀접히 연계되어 있어 연구 분야간 매개 역할도 융합바이오, 기타 재료, 나노 화학공정, 반도체소자/시스템, 나노마이크로 기계시스템 분야 등을 중심으로 분산되어 나타나고 있다. 따라서 전체 매개 중심성도 30.45%의 비교적 높은 수준을 나타내고 있다.

(그림 3)에서 나타나는 바와 같이 융합연구 네트워크는 중심성이 높은 융합바이오 분야를 중심으로 의약품/의약품 개발, 신재생에너지, 치료/진단기기 분야 등이 다양한 연구 분야들과 연계되는 분산형 구조 형태를 보이고 있다. 예외적으로 네트워크 외각부에 위치한 광학, 기타 생명과학 분야 등은 융합연구 군집과는 분리되어 독립적인 연구를 수행하고 있음을 확인할 수 있다.

〈표 10〉은 밀도분석 결과로 총 65개 연구 분야들 중 핵심군집 17개 분야의 연계밀도가 주

〈표 9〉 미래유망융합기술파이오니어사업 네트워크 중심성 지표 상위 20개 연구 주제분야

| 순위 | 연구분야 | 연결중심성 (표준화) | 매개중심성 (표준화) | 근접중심성 (표준화) |
|------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 융합바이오 | 8.50 | 32.61 | 11.23 |
| 2 | 의약품/의약품개발 | 4.98 | 6.07 | 10.90 |
| 3 | 나노/마이크로 기계시스템 | 4.69 | 11.62 | 10.85 |
| 4 | 치료/진단기기 | 4.10 | 8.77 | 10.88 |
| 5 | 신재생에너지 | 4.00 | 8.91 | 10.92 |
| 6 | 고분자재료 | 3.81 | 3.20 | 10.65 |
| 7 | 유전학/유전공학 | 3.71 | 2.93 | 10.56 |
| 8 | 기타 재료 | 2.93 | 19.13 | 11.15 |
| 9 | 기능복원/보조/복지기기 | 2.93 | 1.78 | 10.53 |
| 10 | 세라믹재료 | 2.83 | 1.99 | 10.49 |
| 11 | 나노화학 | 2.73 | 5.07 | 10.88 |
| 12 | 의생명과학 | 2.64 | 0.32 | 10.39 |
| 13 | 기타 에너지/자원 | 2.25 | 7.24 | 10.31 |
| 14 | 나노화학공정기술 | 2.15 | 13.79 | 10.60 |
| 15 | 바이오공정/기기 | 2.15 | 2.82 | 10.67 |
| 16 | 분자세포생물학 | 1.95 | 0.04 | 10.27 |
| 17 | 무기화학 | 1.95 | 0.00 | 10.65 |
| 18 | 기타 전기/전자 | 1.95 | 0.00 | 9.95 |
| 19 | 생물공학 | 1.37 | 1.39 | 10.41 |
| 20 | 생화학/구조생물학 | 1.37 | 0.25 | 10.42 |
| 평균 | | 1.286 | 2.636 | 10.171 |
| 표준편차 | | 1.556 | 5.537 | 0.538 |



(그림 3) 미래유망융합기술파이오니어사업 국가과학기술표준분류간 네트워크 구조

변군집 연계밀도의 약 17배(핵심군집 밀도: 1.419, 주변군집 밀도: 0.082) 수준으로 나타나고 있다. 이는 융합연구가 핵심군집에 속한 중심성이 높은 상위 연구 분야들간의 응집을 통해 이루어지고 있음을 의미하며, 주변 분야들간 그리고 핵심-주변군집 사이의 연계활동은 상대적으로 매우 미흡함을 알 수 있다.

〈표 10〉 미래유망융합기술파이오니어사업 네트워크 핵심-주변 구조 밀도

| 총 연구 분야 수 | 핵심군집 규모 (Size of core) | 핵심군집 연계밀도 (Density in core) | 주변군집 연계밀도 (Density in periphery) | 핵심-주변군집 연계 밀도 (Density of core-periphery connections) |
|-----------|--|-----------------------------|----------------------------------|---|
| 65 | 17 (고분자재료;광응용기기;기능복원/보조/복지기기;기타 보건의료;기타 재료;나노/마이크로 기계시스템;나노화학;무기화학;물리화학;발생/신경생물학;분자세포생물학;신재생에너지;유전학/유전공학;융합바이오;의생명과학;의약품/의약품개발;치료/진단기기) | 1.419 | 0.082 | 0.175 |

4) 뇌과학원천기술개발사업

2009년도부터 2011년까지 뇌과학원천기술개발사업에 지원된 과제는 총 139개이며, 네트워크 노드는 이들 과제에 대한 24개 연구 분야(중분류) 그리고 연결 관계는 연구 분야와의 연계

빈도를 나타낸다. <표 11>은 연구 분야의 중심성을 측정한 결과이다. 과제별 융합연구 활동에 있어서 연구 분야의 연결 중심성 변이계수는 0.81(평균: 4.809, 표준편차: 3.895)로 나타나고 있으며, 전체적인 네트워크 중심성은 10.49%로서 융합연구 네트워크에서 연구 분야간 연결 관계의 중심성이 몇 개의 분야들에 분산집중된 구조임을 나타낸다. 이는 융합연구 활동에 있어서 몇 개의 연구 분야가 우월적 지위를 가지고 있음을 의미한다.

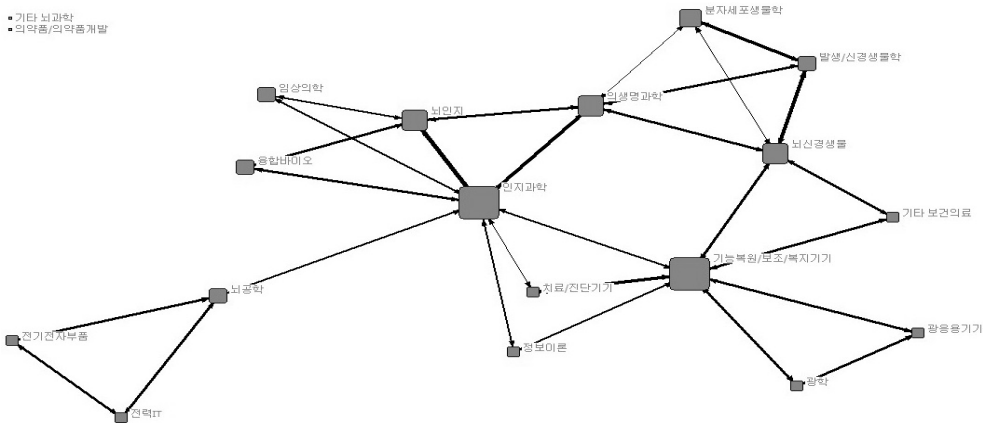
연결 중심성이 높은 연구 분야는 기능복원/보조/복지 기기(14.43), 인지과학(13.04), 뇌인지 및 뇌신경생물(9.49)인 것으로 나타났다. 근접 중심성에서는 대부분의 연구 분야들이 유사한 중심성 지수를 갖는 것으로 나타나 융합연구 네트워크 형태가 상호 밀접히 연계된 구조임을 보이고 있다. 이 중 인지과학 분야(27.71)가 전체적인 네트워크에서 다른 연구 분야와

<표 11> 뇌과학원천기술개발사업 네트워크 중심성 지표 상위 20개 연구 주제분야

| 순위 | 연구분야 | 연결중심성 (표준화) | 매개중심성 (표준화) | 근접중심성 (표준화) |
|------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 기능복원/보조/복지기기 | 14.43 | 29.97 | 26.14 |
| 2 | 인지과학 | 13.04 | 45.52 | 27.71 |
| 3 | 뇌인지 | 9.49 | 12.38 | 25.00 |
| 4 | 뇌신경생물 | 9.49 | 8.70 | 23.71 |
| 5 | 의생명과학 | 9.29 | 16.07 | 25.00 |
| 6 | 발생/신경생물학 | 9.29 | 0.00 | 22.12 |
| 7 | 분자세포생물학 | 5.93 | 7.91 | 22.33 |
| 8 | 융합바이오 | 5.34 | 7.91 | 23.23 |
| 9 | 뇌공학 | 4.35 | 15.02 | 23.23 |
| 10 | 치료/진단기기 | 3.75 | 0.00 | 23.71 |
| 11 | 기타 보건의료 | 3.56 | 0.00 | 22.33 |
| 12 | 광응용기기 | 3.56 | 0.00 | 21.50 |
| 13 | 광학 | 3.56 | 0.00 | 21.50 |
| 14 | 전기전자부품 | 3.56 | 0.00 | 19.49 |
| 15 | 전력IT | 3.56 | 0.00 | 19.49 |
| 16 | 임상의학 | 3.36 | 7.91 | 23.23 |
| 17 | 정보이론 | 1.98 | 0.00 | 23.71 |
| 18 | 나노화학공정기술 | 1.78 | 0.00 | 21.30 |
| 19 | 나노화학 | 1.78 | 0.00 | 19.33 |
| 20 | 뇌의약 | 1.78 | 0.00 | 19.33 |
| 평균 | | 4.809 | 6.308 | 22.392 |
| 표준편차 | | 3.895 | 11.023 | 2.324 |

연계되는 정도가 상대적으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 기능복원/보조/복지 기기(26.14), 의생명과학 및 뇌인지(25.00) 순으로 나타나고 있다. 매개 중심성의 경우에도, 인지과학(45.52), 기능복원/보조/복지 기기(29.97), 의생명과학(16.07), 뇌공학(15.02), 뇌인지(12.38) 분야 등이 중심적으로 연구 분야간 다리 역할을 수행하고 있으며, 전체 매개 중심성은 40.92%로 다양한 연구 분야가 상호 매개되어 융합연구가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

이러한 구조적 특성은 (그림 4)에서 확인되고 있다. 중심성이 높은 기능복원/보조/복지 기기와 인지과학 분야를 중심으로 의생명과학, 뇌인지 분야 등이 서로 이어진 네트워크를 형성하고 있으며, 주변부의 여러 연구 분야들이 이들 네트워크와 연계되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 기능복원/보조/복지 기기와 인지과학 분야를 중심으로 모든 연구 분야들이 연계되어 융합연구가 분산적으로 일어나고 있음을 의미한다. 예외적으로 기타 뇌과학과 의약품/의약품개발 분야에서는 다른 연구 분야와의 연계가 나타나지 않음을 알 수 있다.



(그림 4) 뇌과학원천기술개발사업 국가과학기술표준분류간 네트워크 구조

〈표 12〉의 구조 밀도를 살펴보면, 총 5개의 연구 분야들이 핵심군집에 속하는 것으로 나타났으며, 이들 분야들간 연계밀도는 주변군집 밀도에 비해 약 10배 이상 높은 수준을 보이고 있다(핵심군집 밀도: 7.70, 주변군집 밀도: 0.766). 또한 연결 중심성이 높은 기능복원/보조/복지기기 분야는 핵심군집이 아닌 주변군집에 포함되고 있는 것으로 나타났다. 이는 (그림 4)에서 확인되는 바와 같이 기능복원/보조/복지기기 분야는 여러 다양한 분야들과 연계되어 융합 연구를 이끄는 주요 분야로 간주되지만, 핵심군집에 포함되는 중심성이 높은 연구 분야들과 응집적으로 연계되는 빈도가 상대적으로 낮기 때문이라고 볼 수 있다.

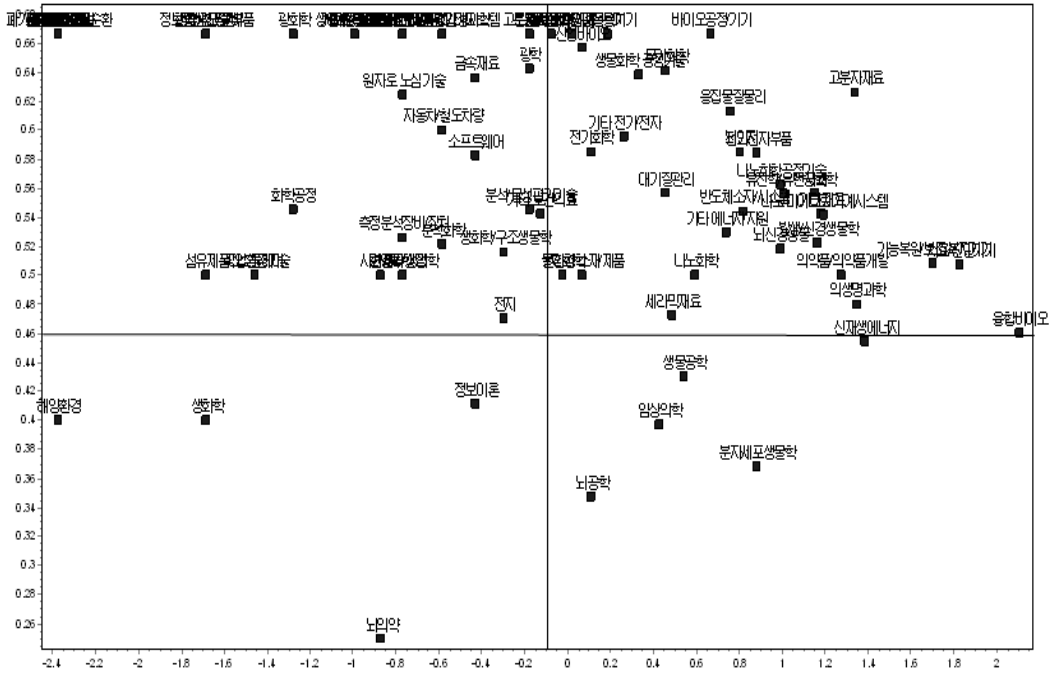
〈표 12〉 뇌과학원천기술개발사업 네트워크 핵심-주변 구조 밀도

| 총 연구 분야 수 | 핵심군집 규모 (Size of core) | 핵심군집 연계밀도 (Density in core) | 주변군집 연계밀도 (Density in periphery) | 핵심-주변군집 연계 밀도 (Density of core-periphery connections) |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| 24 | 5(신경생물;발생/신경생물학;분자세포생물학;의생명과학;인지과학) | 7.700 | 0.766 | 0.884 |

2. 융합연구 중심성과 융합과제 상관관계

2009년도부터 2011년까지 첨단융합기술개발사업에 지원된 사업 과제별 연구 분야를 중심으로 융합연구 활동이 높은 분야가 실제 융합연구의 중심(hub)역할을 하고 있는지를 조사하기 위해 중심성 지표와 융합연구 비율에 대한 상관분석을 실시하였다. (그림 5)는 각 연구 분야의 융합과제 비율(y)과 연결 중심성(x : 로그 스케일)간의 관계를 산점도(scatterplot)로 표시한 것이다. 융합연구 네트워크에서 연구 분야의 연결 중심성과 융합과제 비율 사이에는 미약한 상관관계가 있는 것으로 나타났으며(상관계수: $R = 0.3408$), 이는 연구 분야간 융합활동이 융합과제 비율을 결정하는 유일한 요소가 아님을 시사한다.

융합연구 분야의 산점도는 연결 중심성과 융합과제 비율을 기준으로 4개의 분면에 위치되고 있다. I분면(기준선 오른쪽 위)은 융합연구 네트워크에서 가중 중심부에 위치하며 연구 분야간에 융합 비율도 높은 분야들을 포함하고 있다(융합바이오; 고분자재료; 응집물질물리; 나노화학공정기술; 나노/마이크로 기계시스템; 유전학/유전공학; 바이오공정/기기 분야 등). 이들 분야들은 융합 활동이 활발한 연구 분야들로, 다양한 분야들과의 상호의존적 연계를 통해 높은 융합과제 비율을 나타내고 있다. II분면(기준선 왼쪽 위)의 경우, 융합연구 네트워크 관계는 미약하지만 융합과제 비율이 높은 연구 분야들을 나타낸다(한의학; 폐기물 관리/자원순환; 유체/플라즈마; 우주발사체; 우주과학; 반도체장비; 감성과학; 정보통신 모듈/부품; 광화학 등). 이들 연구 분야들은 네트워크에서 주변부에 위치하여 융합연구를 이끄는 주요 분야로는 간주되지 못하지만, 상이한 분야들과 연계되어 융합되는 비율이 높게 나타나고 있다. III분면(기준선 왼쪽 아래)은 중심성과 융합 비율이 모두 낮은 연구 분야들을 나타내며(해양환경; 생화학; 정보이론; 뇌의약), 연구협력과 융합과제에 필요한 연구 역량이나 지식 자원이 미약한 분야임을 의미한다. 마지막, IV분면(기준선 오른쪽 아래)은 융합과제 비율은 낮지만 중심성이 높은 연구 분야들을 나타내며(신재생에너지; 생물공학; 임상의학; 뇌공학; 분자세포생물학), 향후 연구협력을 통한 융합과제 비율을 높일 수 있도록 연구지원이 필요한 분야임을 시사한다.



(그림 5) 융합연구 중심성과 융합과제 관계(연결 중심성(로그 x)과 융합과제 비율(y))²⁾

VI. 결론 및 연구의 제한점

본 연구에서는 2009년도부터 2011년까지 첨단융합기술개발사업에 지원된 과제별 연구 분야를 중심으로 융합연구 구조 및 특성을 네트워크 분석에서의 주요 지표를 선정하여 분석해 보고자 하였다. 전체적인 네트워크 중심성 측면에서 보면, 첨단융합기술개발사업의 융합연구는 분산형 형태의 네트워크 구조라는 사실을 알 수 있으며, 세부 사업들에서도 이러한 경향이 나타나고 있다. 이는 융합연구가 소수의 특정 연구 분야를 중심으로 모든 연계가 집중되는 구조이기 보다는 다양한 분야들간에 융합이 고르게 연계되어 이루어지는 구조적 특성을 갖는 것을 시사한다.

둘째, 연결 중심성 측면에서 융합연구의 연계 기능이 특정 연구 분야에 상대적으로 편중되어 있음을 관찰할 수 있었다. 특히 미래융합기술과 이오니아사업이나 뇌과학원천기술개발

2) 첨단융합기술개발사업의 연구 분야는 총 99개로 상관관계 계수가 유사한 분야들이 다수 존재하는 것으로 나타났으며, 이를 산점도로 표시할 경우 많은 분야들이 겹쳐서 나타나고 있음.

사업의 경우 상위 연구 분야와 그 이하 분야들간의 연결 중심성 사이에는 큰 격차가 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 편중 문제 해결을 위해서는 융합연구 지원이 연결 중심성이 높은 연구 분야에만 한정되기 보다는 상위 분야에 속하지만 중심성 지수가 상대적으로 낮은 분야에 대한 지원방안도 지속적으로 연구되어야 할 것이며, 이를 통해 새로운 융합연구 거점을 형성하기 위한 장기적인 전략과 융합연구의 연계 기능을 분산시킬 수 있는 방안도 검토되어야 할 것이다.

셋째, 융합연구의 중계 역할을 수행하는 매개 중심성이 높은 연구 분야들은 일반적으로 연결 중심성이 높은 분야임을 알 수 있었다. 하지만 연결 중심성은 높지 않지만 매개 중심성이 높은 연구 분야들도 나타나고 있는데, 일례로 첨단융합기술개발사업에서 나노화학공정기술 분야나 뇌과학원천기술개발사업의 뇌공학 분야가 대표적인 예라고 볼 수 있다. 이들 연구 분야는 다른 분야들에 비해서 상대적으로 연결 중심성은 낮지만 매개 중심성이 높아 융합연구 네트워크에서 상이한 연구 분야간 매개체로 활용되는 분야라고 추측할 수 있다. 하지만 연구 분야간 매개성을 발굴하여 융합기술을 개발하기 위해서는 우선적으로 매개 중심성이 높은 연구 분야들에 대한 성과측정이나 질적수준 분석을 수행해야 할 것이고, 이를 통해 새로운 지식 교환과 정보 전달을 위한 연결 매개체로서의 활용성 여부를 평가하는 것이 고려되어야 할 것이다.

넷째, 연구 분야간 융합의 확산이 일어날 수 있는 최단 경로거리를 의미하는 근접 중심성의 경우, 첨단융합기술개발사업 모두 연결·매개 중심성이 높은 연구 분야들이 높은 근접 중심성을 보이는 것으로 나타나고 있었다. 또한 상위 20개 연구 분야들 모두 유사한 근접 중심성 값을 갖는 것으로 나타나 융합연구 네트워크가 상호 밀접히 연계된 구조임을 시사한다. 이는 공공연구지원사업이 상이한 연구 분야간 협력을 촉진하여 융합 연계성이 높아 졌음을 보여준다.

다섯째, 융합연구의 핵심-주변 구조 연계밀도를 분석한 결과에 따르면 첨단융합기술개발사업 모두 핵심군집에 속한 중심성이 높은 상위 연구 분야들에서 상호 긴밀한 연계 관계를 통해서 응집력을 형성하고 있음을 확인할 수 있었다. 반면에 주변군집에 포함된 연구 분야들간 그리고 핵심-주변군집 사이의 융합연계는 낮은 밀도를 보이고 있어 융합연구 활동이 상대적으로 매우 미흡하다는 것을 알 수 있었다. 즉, 핵심군집의 연구 분야들이 그동안 융합연구 형성의 주요 분야로서 중심적 역할을 해오고 있음을 추측할 수 있다. 다만 이러한 분야들이 융합연구 네트워크에서 갖는 구조적 우위만을 강조하게 될 경우, 공공연구지원사업이 소수의 특정분야들에만 한정되거나 융합의 고착현상을 초래하여 새로운 지식이나 기술을 습득하고 창출하는 능력을 제한하거나 새로운 융합 형성 과정을 지체시킬 가능성이 다소 존재할 수 있다고 보여

진다.

마지막으로, 연구 분야간 연계관계와 융합연구 비율과의 상관성을 분석한 결과에 따르면 연결 중심성이 높은 연구 분야들은 융합연구를 이끄는 주요 분야로 간주되지만, 이는 융합과제 비율과 높은 상관관계를 보이지 않는 것으로 나타나고 있다. 다시 말해, 연결 중심성이 낮은 연구 분야들에서도 융합연구에 필요한 연구 역량이나 지식 자원을 보유하고 있음을 함축하며, 중심성이 높더라도 융합연구에 대한 지원 미비로 융합연구 활동이 활성화되지 못하는 경우가 있음을 시사한다. 이러한 관점에서 볼 때, 융합연구 활동은 연구 분야간 상호 의존적 연계관계에 의해서만 결정되는 것이 아니므로 각 분야들이 보유한 연구 역량을 진단하고, 집중적인 연구지원과 개발이 필요한 연구 분야를 선별하여 융합연구의 영역을 확대할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다.

본 연구는 네트워크 분석을 통해 연구 분야간 융합연구의 구조적 관계 속성에 있어서 중요한 함의를 제시하고 있다. 첫째, 융합기술을 개발하고 융합신산업을 육성하기 위한 공공연구 지원사업을 추진하는데 있어서 융합연구의 효율성을 높이고 급변하는 과학기술 환경변화의 요구에 유연하고 탄력적으로 대응하기 위해서는 상이한 연구 분야들의 다양한 학제적 접근방식을 어떻게 합목적으로 연계시키고, 이에 대한 연구활동 분배를 어떻게 이룰 것인가가 중요하다 하겠다. 또한 융합연구를 통해서 효율적인 연구협력 관계를 형성하고 유지하기 위해서는 단기적 목적을 위한 지원보다는 장기적인 차원에서 각 연구 분야별 전문지식과 장기적으로 축적된 기술을 공유하고, 이를 활용하여 융합기술과 융합신산업을 발굴·육성할 수 있는 지원으로 전환하는 것이 필수적이라고 본다. 이를 위해서는 융합연구의 세부 사업별 특성과 목표에 따라 달성하고자 하는 성과와 운영 방식이 재정립되어야 할 것이며(김태희, 2012), 융합연구 사업에 대한 목표체계와 예산배분체계의 개선을 통한 연계성 강화, 융합연구 평가 체계의 구축 및 융합R&D 연계전략, 융합연구 활성화를 위한 규정 제정 등이 필요하다고 볼 수 있다(안승구 외, 2010).

둘째, 방법론적 측면에서 볼 때 본 연구는 네트워크 방법론을 통해 융합연구의 구조가 연구 분야간 유기적 연계를 통해 형성되어 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 분야간 연계관계의 구조적 속성이 가지는 의미와 융합연구 구조에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 네트워크 안에서 과학기술 지식의 생성과 흐름에 미치는 요소를 면밀하게 검토할 필요가 있다. 이를 위해서는 융합연구에 대한 분석과 평가를 단순히 정량적 측면에만 한정하기 보다는 융합연구 네트워크의 연계 효과를 다면적으로 파악하기 위한 다양한 방법론적 접근방식과 분석틀을 고안할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 융합연구 분야에 대한 네트워크 중심성을 분석하였지만 네트워크 중심성이 융합연구 활동의 질적 성과에 미치는 영향력에 대해서는 연구를 진

행하지 못하였다. 따라서 네트워크 중심성과 융합연구 성과의 질적 수준을 반영할 수 있는 다양한 지표를 개발하고 네트워크 중심성과의 상관관계를 분석한다면, 향후 융합연구의 효과성 평가 시에 활용 가능한 방안을 모색할 수 있을 것이다.

융합연구의 네트워크 구조를 분석한 본 연구는 다음과 같은 문제로 일반화의 한계를 가질 수 있다. 첫째, 첨단융합기술개발사업만을 한정하여 네트워크 분석을 수행하였으나, 해당 사업이 가지는 Top-down형 기획의도 등의 외생변수로 인해 이를 융합연구의 일반적 구조특성으로 일반화하기에는 제한이 따른다. 둘째, 본 연구의 네트워크 분석에서는 융합연구 사업의 연구계획서 제출 시 기재하도록 되어 있는 과학기술표준분류상 관련분야 코드와 비중을 분석 자료로 사용하였으나, 이는 연구책임자가 자의적 판단에 의해 작성한 것이므로 객관성을 담보할 수 없기에 분석결과의 일반화에 한계가 따른다. 후속 연구에서는 증거기반의 자료 수집을 통하여 첨단융합기술개발사업의 네트워크 구조를 진단하고, 다른 나라의 유사 R&D 프로그램이나 국내의 다른 프로그램 네트워크 구조와 어떤 차이점 또는 공통점이 있는지를 추가적으로 분석해 융합연구의 구조적 특성에 대한 이해를 증진시키고 지원방안을 마련하는 것이 필요하다고 본다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 융합연구 네트워크에 있어서 연구 분야간 연계관계의 구조적 속성이 가지는 의미와 네트워크 지표가 융합연구 구조의 특성을 파악하는데 활용될 수 있다는 가능성을 제시해 주었으며, 이는 융합연구 사업에 대한 지원을 논의하는데 있어서 객관적이고 기초적인 자료로 활용 가능성이 있음을 제시해 주고 있다.

참고문헌

(1) 단행본

- 국가과학기술위원회 (2008), 「국가융합기술 발전 기본계획(안)('09-'13) : 교육과학기술부 등」, 서울: 국가과학기술위원회 운영위원회.
- 국가과학기술위원회 (2012), 「2013년도 국가연구개발사업 예산 배분·조정(안)」, 서울: 국가과학기술위원회.
- Borgatti, Stephen P. (2002), *Netdraw network visualization*, Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Borgatti, Stephen P., Everett, Martin G., and Freeman, Lin C. (2002), *UCINET for Windows: software for social network analysis*, Harvard, MA: Analytic Technologies.
- EC (2004), *Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies*, A report from the High Level Expert Group on Foresighting the New Technology

- Wave, by Rapporteur Alfred Nordmann, Brussels.
- EC (2006), *FP7 - Tomorrow's answers start today (7th Framework Programme)*, Community Research.
- Glanzel, Wolfgang., Meyer, Martin., Schlemmer, Balazs., du Plessis, Mariette., Thijs, Bart., Magerman, Tom., Debackere, Koenraad., and Veugelers, Reinhilde (2003), "*Biotechnology*"-*An Analysis based on Publications and Patents*, http://www.ecoom.be/sites/ecoom.be/files/downloads/biotech_domain_study.pdf.
- Hanneman, Robert A. and Riddle, Mark (2005), *Introduction to social network methods*, Riverside, CA: University of California, Riverside.
- Klein, Julie T. (1996), *Crossing boundaries: Knowledge, disciplines, and interdisciplinaries*, Charlottesville, VA: University of Virginia Press.
- Knoke, David and Kuklinski, James H. (1982), *Network Analysis*, Beverly Hills: Sage Publications.
- NSF (National Science Foundation, US) and DOC (Department of Commerce, US) (2002), "Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science", in Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge (eds.), Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Scott, John P. (1991), *Social Network Analysis: A Handbook*, Thousand Oaks: Sage Publications.

(2) 학위 논문 및 학술 논문

- 김태희 (2012), "국가연구개발사업을 통한 국제공동연구 성과 제고 방안에 대한 연구: 기초 및 원천분야를 중심으로", 「한국기술혁신학회지」, 15(2): 400-420.
- 안승구, 황두희, 정선양 (2010), "범부처 대형공동연구개발사업의 성과분석 사례연구: 차세대 성장동력사업을 중심으로", 「한국기술혁신학회지」, 13(1): 68-98.
- Aboeela, Sally W., Larson, Elaine., Bakken, Suzanne., Carrasquillo, Olveen., Formicola, Allan., Glied, Sherry A., Haas, Janet., and Gebbie, Kristine M. (2007), "Defining Interdisciplinary Research: Conclusions from a Critical Review of the Literature", *Health Services Research*, 42(1): 329-346.
- Barabasi, Albert L., Jeong, Hawoong., Neda, Zoltan., Ravasz, Erzsebet., Schubert,

- Andras., and Vicsek, Tamas (2002), "Evolution of the social network of scientific collaborations", *Physica A*, 311(3-4): 590-614.
- Braun, Tibor., Gomez, Isabel., Mendez, Aida., and Schubert, Andras (1992), "International co-authorship patterns in physics and its subfields, 1981-1985", *Scientometrics*, 24(2): 181-200.
- Corrocher, Nicoletta., Malerba, Franco., and Montobbio, Fabio (2003), "The Emergence of New Technologies in the ICT Field: Main Actors, Geographical Distribution and Knowledge Sources", : *Conference in honour of Keith Pavitt-What do we know about Innovation*, Brighton, UK.
- Freeman, Linton C. (1979), "Centrality in social networks: Conceptual clarification", *Social Networks*, 1(3): 215-239.
- Glanzel, Wolfgang and Schubert, Andras (2001), "Double effort=Double impact? A critical view at international co-authorship in chemistry", *Scientometrics*, 50(2): 199-214.
- Kodama, Fumio (1992), "Technology fusion and the new R&D", *Harvard Business Review*, 70(4): 70-78.
- Lattuca, Lisa R. (2003), "Creating interdisciplinarity: Grounded Definitions from College and University Faculty", *History of Intellectual Culture*, 3(1): 1-20.
- Meyer, Martin S. (2001), "Patent citation analysis in a novel field of technology: An exploration of nano-science and nano-technology", *Scientometrics*, 51(1): 163-183.
- Nystrom, Anna-Greta and Hacklin, Fredrik (2005), "Operator Value-Creation through Technological Convergence: The Case of VoIP", : *16th European Regional Conference*, Interantional Telecommunications Society, Porto, Portugal.
- Pennings, Johannes and Puranam, Phanish (2001), "Market Convergence and Firm Strategy: new directions for theory and research", In: *ECIS Conference, The Future of Innovation Studies*, Eindhoven, Netherlands.
- Petruzzelli, Antonio M. (2011), "The impact of technological relatedness, prior ties, and geographical distance on university-industry collaborations: A joint-patent analysis", *Technovation*, 31(7): 309-319.
- Rosenberg, Nathan (1963), "Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910", *Journal of Economic History*, 23(4): 414-446.
- Rosenfield, Patricia L. (1992), "The potential of transdisciplinary research for sustaining

- and extending linkages between the health and social sciences”, *Social Science and Medicine*, 35: 1343-1357.
- Schummer, Joachim (2004), “Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology”, *Scientometrics*, 59(3): 425-465.
- Singh, Jasjit (2005), “Collaborative Networks as Determinants of Knowledge Diffusion Patterns”, *Management Science*, 51(5): 756-770.
- Stokols, Daniel., Hall, Kara L., Taylor, Brandie K., and Moser, Richard P. (2008), “The Science of Team Science: Overview of the Field and Introduction to the Supplement”, *American Journal of Preventive Medicine*, 35: 77-89.
- Tijssen, Robert J. W. (2001), “Global and domestic utilization of industrial relevant science: patent citation analysis of science-technology interactions and knowledge flows”, *Research Policy*, 30(1): 35-54.
- Wagner, Caroline S. and Leydesdorff, Loet (2005), “Mapping the network of global science: comparing international co-authorships from 1990 to 2000”, *International Journal of Technology and Globalisation*, 1(2): 185-208.

양창훈

미국 George Washington University에서 정책학 박사학위를 취득하고, 현재 관동대학교 행정학과 조교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 과학기술혁신정책, 네트워크 분석, 정책분석 등이다.

허정은

미국 University of Florida에서 통계학 박사학위를 취득하고, 현재 한국연구재단 국책사업기획단 국책정보분석팀 팀장으로 근무 중이다. 주요 관심분야는 성과분석, R&D 기획 및 평가 등이다.