

네트워크 분석을 활용한 BT 분야 공동연구 활성화 정책 방향

전은혜*·이찬구**

I. 서론

과학기술이 점차 발달하면서 연구자들의 공동연구는 점차 증가하는 추세이다. 조혜선(2005)에 따르면 과학기술이 고도화되고 더욱 발전하면서 전문화와 분권화 그리고 학문사이의 ‘경계 넘기의 네트워크’(crossborder network)가 생겨나고 ‘연구자간 연대’가 활성화되고 있다. 우수한 연구자 개인의 전문성이 여전히 기술발전의 중요한 요소이지만, 연구자 간의 협력은 현재 수준의 과학기술을 뛰어넘을 수 있는 새로운 메커니즘이자 사회자본이라고 할 수 있다.

연구자간의 협력인 공동연구를 통한 논문이 유의미하게 질적으로 우수한 것으로 드러난 바 있으며(김용정 외, 2011), 과학기술이 대형화되면서 중복 투자를 줄이고 기술의 보완 측면에서 공동연구의 중요성 역시 강조되고 있다(이준영 외, 2012). 대학 및 연구소의 우수인력 활용 및 기초과학의 기술사업화 측면에서 역시 산업체와 기초과학 연구자 사이의 공동연구 중요성도 강조되고 있다. 더불어, 21세기 들어 융합연구가 강조됨과 동시에 이를 위한 공동연구가 기존 소규모 연구의 한계를 돌파하고 탈추격형 R&D를 위한 필요조건으로 요구되고 있다.

생명공학 분야는 성과의 질적 향상 측면 외에도 2003년 인간게놈프로젝트 완료와 같이 막대한 데이터가 생성되는 등 연구개발의 대형화가 급속히 이루어지고 있고, 융합을 강조하는 등의 추세를 보임에 따라 공동연구 활성화의 필요성이 더욱 두드러지는 분야라고 할 수 있다. 이러한 내용을 증명하듯이 2013년 개정된 생명공학육성법 제 10조(공동연구의 촉진)에는 학계·연구기관 및 산업계 간의 공동연구를 촉진하여야 할 필요성을 제시하고 있다(미래창조과학부, 2013가).

이와 같이 과학기술개발 성과의 질적 향상, 기술사업화, 융합연구의 필요성 대두 등과 같은 이유로 BT 분야에서의 공동연구의 활성화를 위한 국가정책이 요구되며, 이를 위해서는 현재 해당분야의 공동연구 현황에 대한 정확한 현황 파악 및 분석이 필요하다.

공동연구의 결과 및 R&D 성과를 평가하는 기준에 있어 현재 우리나라 R&D 성과 평가의 대부분은 논문을 기반으로 한다(현병환, 2010). 따라서 국내의 연구자들 사이의 의사소통 및 협업관계 방식을 반영하는 데이터로는 출판된 논문이 가장 핵심적이라고 할 수 있다. 본 연구의 대상인 BT 분야 역시 연구 성과 중 논문의 비중이 특히나 기술이전에 비해 월등히 많으며 IT나 NT 등의 타 분야와 비교 하더라도 그 차이가 두드러진다(미래창조과학부, 2015가). 특히, 사회과학 분야에 비해 과학기술 분야는 연구논문의 저자 수가 많은 것으로 알려져 있고(배순자, 2002), 최근 융합연구가 증가하면서 하나의 연구논문에 여러 연구그룹의 공동연구가 활발히 이루어지는 경향이 있다(정호연 외, 2007).

논문을 통한 연구자들 사이의 공동연구 현황을 파악하기 위한 분석 중 가장 대표적으로 사용되는 것은 공저자 네트워크 분석이다.

* 주저자: 전은혜, 충남대학교 국가정책학과 박사과정, 042-821-8026, eun2@cnu.ac.kr

** 교신저자: 이찬구, 충남대학교 행정학과 교수, 042-821-5849, changoo@cnu.ac.kr

※ 본 논문은 전은혜의 석사학위논문 “공저자 네트워크 분석을 활용한 국내 BT 분야 공동연구 활성화 정책 방향(충남대학교 국가정책대학원, 2016)”을 수정 및 보완한 것임.

물론 공저자 관계가 공동연구 관계 그 자체는 아닐 수도 있다. 하지만 특허의 공동발명, 국가연구개발과제의 공동연구원 등의 다른 방법들을 고려하더라도 논문의 공저자는 공동연구를 살펴보기 위해 가장 널리 쓰이는 방법이다. 박치성(2012)의 연구에서는 일반적인 공저자 네트워크 분석의 모든 공동저자는 논문에 대한 학문적인 기여와 협동이 있었다고 가정하고 있다.

따라서 본 연구에서도 논문의 공동집필 활동을 공동연구로 보고 PubMed 데이터베이스에서 소속 기관이 한국인 연구자의 논문을 추출하여 네트워크 구조 분석, 중심성 분석, 링크 분석을 수행하여 BT 분야의 공동연구의 특성을 파악하고자 한다. 이는 공저자 네트워크 분석을 통해 BT 분야에서 최근 강조되고 있는 융합, 공동 연구를 발전 및 유도할 수 있는 정책 수립을 위한 기초 자료로서의 데이터로 활용가능 할 것으로 기대하기 때문이다. 더 나아가 현황 분석을 통해 도출된 문제점 등을 활용하여 국내 BT 분야의 공동연구를 활성화하기 위한 바람직한 정책에 대한 방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 논의와 분석틀

이번 장에서는 이론적 배경 및 분석의 틀을 제시하고자 한다. 이론적 배경에서는 연구방법으로 활용하는 공저자 네트워크 분석과 관련된 이론과 연구대상인 공동연구에 대한 개념을 밝힘으로써 본 연구의 진행에 필요한 기초이론들을 설명하고자 한다. 또한 네트워크 분석과 관련된 선행연구와 본연구의 차별성을 밝힘으로써 연구의 필요성을 제시할 수 있을 것이다.

1. 이론적 논의

1) 공저자 네트워크 분석 이론

사회 네트워크 분석은 사회적 시스템 내의 관계적 구조를 파악하며, 행위자들의 사회적 행위의 특성을 설명하려는 시도로 정의된다(김유영, 2011). 사회 네트워크 분석 중 본 연구에서 수행하고자 하는 네트워크 분석은 논문의 공동저자를 통한 공동연구 네트워크 분석이다.

사회과학적 관점에서 과학적 지식은 제도의 산물로 과학자 공동체의 핵심인물들에 의존하며 과학자 사이의 지속적인 상호작용으로 생산된다(Endersby, 1996). 공동연구는 과학자들의 상호작용 방식 중 하나로 서로의 문제의식이나 연구주제, 연구방법에 대한 생각과 기술을 교환함으로써 연구결과에 영향을 미치게 된다(Friedkin, 1993). 즉 공동연구 네트워크는 새로운 지식을 생성하고, 전달·확산하는 중요한 메커니즘 중 하나이다(Moody, 2004).

사회 네트워크 이론은 사회학 분야의 전통적인 개인과 사회, 행위와 구조, 미시와 거시의 이분법적 연구들에 대한 통합 가능성을 제시하였다. 사회 네트워크는 행위자들을 노드로 표현하고 행위자들 간의 상호작용은 링크로 나타낸다.

사회 네트워크 분석의 목표는 개인, 조직, 국가와 같은 사회적 존재들의 관계를 네트워크의 링크로써 파악하고, 네트워크 구조의 형태적 특성의 내용을 찾아내는 데 있다. 또한 네트워크 특성에 영향을 주는 영향요인을 파악하고 구성원 간의 구체적인 사회적 관계인 네트워크 구조가 시스템과 구성원의 행동양식에 어떻게 영향을 주는지를 분석한다. 사회 네트워크에서의 링크의 수가 늘어갈수록 정보의 획득 및 흐름은 강해진다. 또한 사회 네트워크에 의해 연결된 자원들은 관계나 상호작용을 통해 다양한 지원 효과를 갖는다. 사회 네트워크 구조 및 특성 분석 이론의 종합적 적용은 네트워크 구조, 중심성, 조직구조 분석 등으로 구분될 수 있다(김유영, 2011).

사회 네트워크의 특성 중 하나로 나타나는 좁은 세상(small world)은 대부분 노드들의 링크 수가 매우 적고, 네트워크의 밀도가 매우 낮으며, 방사형으로 연결된 네트워크의 중심이 존재하지 않는 데도 불구하고, 몇 단계의 링크만 거치면 대부분이 서로 연결될 수 있는 현상으로 Erdős & Rényi는 노드 간의 링크가 무작위적으로 생성된다는 무작위 연결망 모델을 주장하였다(Erdős & Rényi,

1959). 그러나 실제 세계에서 발견되는 연결은 무작위적이 아니라 연결망이 아니라 군집 성향이 매우 큰 질서가 있는 연결망이다. 이러한 좁은 세상 네트워크에서 존재하는 이유는 위치가 먼 집단을 연결하는 핵심노드의 역할 때문이다(Watts, 1999). 좁은 세상 네트워크에서는 정보확산의 속도가 빠르다는 점에 있어 관심을 받는다(Kochen, 1989). 공저자 네트워크가 좁은 세상인지를 확인하는 이유도 학문적 지식이 과학자들 사이의 상호작용을 통해서 신속히 전달될 수 있는지를 확인하기 위해서이다.

이후 많은 네트워크들의 상호작용 수는 멱함수 분포를 따른다는 사실이 발견되었다(Barabási, 2004). 이전의 Erdős-Rényi의 무작위 네트워크 모델은 사회 네트워크 상에서 각 노드별 연결의 수가 평균 근처의 값을 갖는 정규분포라고 가정해 왔다. 그러나 현실의 수많은 네트워크들은 평균적이지 않고 모두 불평등과 불균형의 특징을 보였다. 링크의 수의 분포가 평균값 주위에 정점이 존재하지 않으며 매우 많은 연결을 갖는 일부 소수의 노드가 존재하는 네트워크에 대한 일반적인 법칙이 멱함수 법칙이다. 과학자들로 구성되는 ‘좁은 세상’에서 연결선 수는 역시 멱함수 법칙을 따르며 빈익빈 부익부의 분포를 보이는 것으로 알려져 있으나, 그 통계적 특성과 군집적 특성이 분야별로 다르다고 알려져 있다.

본 연구에서는 공저자 네트워크를 ‘논문 한편을 함께 쓴 학자들 간의 상호관계이자 연구자의 공동체 네트워크’ 라고 정의하고, 실제 분석에서는 사회네트워크 구조 및 특성 이론의 네트워크 구조 분석, 중심성 분석 그리고 링크 분석을 적용하였다.

본 연구의 분석은 BT 분야의 공저자 네트워크 생성 후에 해당 네트워크에 대한 구조적 특성에 대한 분석을 우선적으로 실시한다. 네트워크의 구조형태를 분석하는 대표적인 방법은 노드 차수(degree)의 통계분포를 확인하는 것이다. 좁은 세상 이론에 따르면 일반적인 사회 네트워크는 좁은 세상 네트워크이며 좁은 세상 네트워크는 척도 없는(scale-free) 네트워크의 구조를 갖는 것으로 알려져 있다. 특정 네트워크가 척도 없는 네트워크인지를 확인하는 방법은 노드들의 차수를 계산하고 해당 차수들의 통계분포를 살펴보는 것이다.

각 연구자별 특성을 분석하는 데에는 중심성 분석을 사용한다. 중심성 분석은 네트워크 내 개체의 지위와 역할을 해석하는 기법으로 Freeman(1979)이 체계적으로 정립했으며, 연결정도, 매개, 근접 중심성 등이 대표적인 중심성 척도로 널리 사용되고 있다.

연결정도 중심성(Degree Centrality)은 한 노드에 연결되어 있는 상호작용의 수로 측정되는 지역 중심성이다(Freeman, 1979). 사회 네트워크 상에서 많은 연결을 가지는 개인은 관계 선택의 폭이 넓어 더욱 많은 기회를 가질 수 있다(손동원, 2008). 공저자 네트워크 경우에서 연구자의 영향력을 단순히 상호작용의 수, 즉, 공저관계를 갖는 연구자의 수만으로 평가할 수는 없지만 좁은 지역 수준에서는 영향력이 있다고 여겨진다(이수상 2010).

매개 중심성(Betweenness Centrality)은 두 노드 사이의 최단경로에 존재하는 횟수를 측정하는 중심성 척도이며, 서로 다른 집단 간을 연결하는 노드일수록 높게 나타난다(Freeman, 1979). 특정 노드의 매개 중심성의 계산 방법은 네트워크에서 모든 2가지 노드의 조합별로 서로를 연결하는 최단 경로를 구한 다음, 해당 노드가 최단경로들 중에 몇 번 등장하는지를 셈으로써 계산된다. 매개 중심성이 높은 개인은 정보의 흐름에 있어 큰 영향력을 갖는 매개자 또는 다리(bridge) 역할을 한다.

근접 중심성(Closeness Centrality)은 한 노드가 다른 노드들과 얼마나 평균적으로 가까이 있는지를 측정하는 중심성 척도이다(Freeman, 1979). 근접 중심성이 높은 노드는 다른 노드들과 전반적으로 가장 짧은 거리에 위치하여 적은 단계만으로 여러 노드에 연결될 수 있다.

2) 공동연구의 개념 및 성공 요인

사회를 구성하는데 있어서 구성원들 간의 의사소통과 이에 따른 협력관계는 중요하고 당연한 것이다. 이러한 측면에서 학자들의 의사소통은 서로의 학문적 지식과 정보의 교류를 통하여 학문적

으로 협력을 하고 이러한 과정을 통해 학문의 발전 역시 이를 수 있기 때문에 중요한 요소라고 할 수 있다(박치성, 2012)

최근 연구 프로젝트가 대형화되면서 공동연구를 통해 각 전문 분야 간의 상호 보완이 필요하게 되었고 이메일과 같은 편리한 통신기술의 발달은 이를 더욱 촉진하는 역할을 하였다. 따라서 이제는 연구자들이 같은 기관에 있는 혹은 다른 기관이나 기업에 있는 다른 연구자들과 같이 일하는 것은 매우 흔한 일이다.

공동연구는 협력의 형태에 따라 기술정보와 자료 교환, 공동 실험, 인적 교류, 자원 교환, 공동 세미나 운용 등의 형태로 구분될 수 있다. 공동 연구자들의 소속기관에 따라서는 단일기관 내부, 대학-대학, 대학-연구소, 대학-산업체, 대학-연구소-산업체 및 기타 가능한 모든 조합의 협력 형태가 존재한다. 최근 연구자의 소속기관 뿐 아니라 소속기관의 국가가 다른 국제 공동연구도 활발히 일어나는 추세이다. 그 원인으로서는 공동연구가 한 국가의 한정된 연구인력 및 인프라만으로 성과를 창출하기 어려워짐에 따라 한계를 극복하고, 과학기술 후발국이 선도국의 기술을 효과적으로 도입하기 위한 방법이기 때문이다(윤종민, 2009).

논문의 공동저술은 학자들 간의 공식적인 협동 유형으로 점차 증가 되는 경향을 보이고 있으며, 그 이유로 학문분화, 기회시간 비용, 연구 질, 위험분산 등을 들 수 있다(Barnett et al., 1988; Piette & Ross, 1992). 공동저술의 최종결과는 논문의 생산에 있으나 저술에 있어서 연구자들 간의 공동행위는 전체 연구과정에서 발생하는 상호작용의 성격(Bozeman & Rogers, 2002; Bozeman & Mangematin, 2004; Beaver, 2004)을 지니고, 이는 Katz & Martin(1997)의 사회적 활동으로서의 학술연구의 성격을 확인시켜준다. 이로써 공동저술에 참여하는 개인들 간의 사회적 관계의 구성이 연구 자체는 물론 그 후의 연구활동, 나아가 해당 학문 분야의 연구활동 전반에 영향을 줄 수 있다고 말할 수 있다(최영훈 외, 2009).

한편 성공적인 공동 연구를 위해서는 연구자들의 부가적인 노력이 수반된다는 점을 이해할 필요가 있다. 공동 연구는 정보의 비대칭성, 연구문화의 이질성 때문에 실패하기도 하고, 관리가 허술할 경우 연구 개발 결과가 불확실성으로 인해 연구 참여자들 중 노력 없이 무임승차를 바라거나 책임을 회피하는 등의 문제가 발생할 수 있다(오준병 외, 2004). 또한 일반적으로 공동 연구에 참여하는 연구자들의 역할과 상호관계는 매우 복잡하게 얽히게 되고 관심이나 이해가 반드시 동일하지는 않으며, 대형 프로젝트에는 문화적 차이들이 내재하고 있다. 즉, 공동 연구자간 의사 결정 방식의 차이, 학문 분야에 따른 연구 방식의 차이, 데이터 및 연구 결과물의 공유에 대한 인식 차이 등의 문제점에 관심을 갖고 해결하기 위해 노력할 필요가 있다.

김미경(2009)에 따르면 위와 같은 문제점을 극복하고 공동 연구를 강화하기 위한 방안은 다음과 같다. 첫째, 원활한 의사소통이 매우 중요하다. 연구자들 간의 효과적인 의사소통은 매우 중요하고, 특히 산-학 협력에서는 자료의 출판, 발명, 특허에 관한 요구 사항에 대한 의견 교환이 필요하다. 둘째, 해당 공동 연구에서의 역할 분담이 명확히 이루어져야 한다. 공동의 연구 목표를 설정한 후에는 연구의 관리 및 조율을 책임질 사람이 필요하며, 공동 연구의 종료 시점도 명확해야 한다. 셋째 공동 연구자들은 공동 연구와 관련한 제도, 정책, 법 등을 숙지하고 준수해야 한다. 연구자가 속한 기관마다 준수해야 할 제도 등이 있으므로 해당 내용을 위반하지 않도록 해야 한다.

2. 선형연구 검토 및 본 연구의 차별성

1) 선형연구 검토

본 연구의 연구 의의 및 연구 결과의 해석을 위해서 국내외의 주요 공저자 네트워크 관련 선형 연구를 살펴볼 필요가 있다. 이숙희(1994)는 사회과학과 자연과학 분야의 협력연구 현상을 비교하고, 협력 연구와 투고 논문수 간의 상관성을 분석하여 협력연구의 기능을 밝히고자 하였다. 그 결과 단일 저자에 비해 공저자의 투고 논문수가 많고 연구비 수혜율이 높음을 밝혔으며, 사회과학자들의 공저활동은 자연과학자들에 비해 매우 저조함을 확인하였다.

이희재(2005)는 국내의 과학기술 분야 네트워크의 구조화, 계층화 논리를 연구했다. 공저자 네트워크는 ‘좁은 세상’이며 멱함수 분포를 따른다는 것을 보였으며, 일반적인 네트워크 특성이 국내 과학기술 분야에도 적용됨을 보였다. 한국 과학기술 분야 공저자 네트워크는 학제간 협력연구에 의해 커다란 하나의 네트워크를 이루며, 그 중앙에는 기초과학이 위치함을 보였다.

김용학 외(2007)는 국내 과학기술 분야의 협력연구 네트워크가 전공 분야별로 차이가 있는지를 살펴보았다. 연구범위는 6T(IT, BT, NT, ET, ST, CT)로 구분되는 국가 연구과제 정보를 활용하였다. 비교적 분절적인 형태를 보인 IT에 비해, BT 분야는 포괄적인 형태를 띠는 것으로 나타난 바 있다.

공저자 네트워크 분석이 문헌정보를 활용한다는 측면에서 문헌정보학 관련 연구자들의 관심을 많이 받았고, 그로 인해 문헌정보학 연구분야를 대상으로한 선행연구들이 꾸준히 진행되어 오고 있다(이숙희 1994; 이재운 2006; 이수상 2010). 가장 최근에 이루어진 이수상(2010)에서는 공저자 네트워크와 함께 저자동시인용 네트워크, 저자서지결합 네트워크를 함께 분석하였고, 공저자 네트워크상에서 중심성이 높은 연구자가 연구 성과도 우수한 것으로 나타났다.

행정학 분야 최영훈 외(2009)의 연구에서는 한국행정학보의 논문을 분석하여 국내 행정학 분야 공저 관계가 지역적으로 편중되어 있음을 보였다. 또한 공저의 대부분은 대학 교수들 사이에서 일어나며, 지도교수와 지도학생간의 공저활동이 점차 늘어나고 있음을 밝혔다. 박치성(2012)은 연구 범위를 확장하여 행정학 분야 학술지 24종을 이용하여 행정학 분야가 특이적으로 다른 학문에 비하여 결속력이 높음을 보이고, 네트워크에서 매개역할을 하는 학자들의 연구 성과가 상대적으로 우수한 것을 밝혀내었다.

해외의 경우는 1960년대에 Price 외(1966)에 의해 과학 분야의 경우 공저 활동이 활발한 핵심 저자는 극히 일부이며, 저자 대부분은 약한 공저관계를 갖는 멱함수 법칙을 따른다고 밝혀졌다.

Newman(2004)의 연구에서는 모든 자연과학 분야에서 멱함수 분포를 보이며 대체로 공저활동이 활발함을 알아냈는데 특히 생물학 분야의 협력연구 경향이 더 높은 것을 보였다.

위에서 살펴본 선행연구들로부터 이미 공저자 네트워크를 활용한 연구는 다수가 있어 왔으며, 공동연구를 분석하기 위한 연구방법론으로 널리 사용되어 왔다는 점이 확인된다. 다만 기존의 네트워크 구조에 대한 국내 연구들이 주로 행정학, 문헌정보학 등의 인문사회 분야이며, 과학기술 분야를 연구하였다고 하여도 그 대상이 제한적이라는 한계점이 있다. 또한 국내연구의 대부분이 국내 학술지를 대상으로 하였다는 점을 확인할 수 있다. 연구 내용면에서는 기존의 선행연구들은 구조 분석을 하되 중심성 분석과 연구성과의 상관관계에 치중되어 있고, 네트워크의 구조와 유형 등의 분석 결과를 제시하는데 초점을 두는 특징을 보인다.

2) 본 연구의 차별성

앞서 살펴본 기존의 네트워크 구조에 대한 국내의 연구들은 주로 인문사회분야에 치중되어 있으며 국내계제 논문을 대상으로 하였다는 점과 비교하여 본 연구의 차별적 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 본 연구의 연구 범위는 PubMed 데이터베이스에 저장되어 있는 생물학 및 의학 관련 분야로 한정한다. PubMed는 미국 국립 보건원 산하 미국 국립 의학 도서관의 정보검색 시스템 중의 하나로 생물학 및 의학 분야의 서지 데이터베이스로는 가장 방대한 데이터베이스로 해당 분야 연구자들이 논문 검색 등에 실제로 많이 사용하는 데이터베이스 중 하나이다. 국내의 선행연구들 중에서는 BT 분야만을 중심으로 한 연구는 존재하지 않았다. 분야에 대한 특성 중 하나로 생물학 분야는 특히 국내 학술지에 논문을 발표하는 경우에 비해 국제 학술지에 발표하는 경우가 월등히 많으며, 실제로 R&D 성과 평가에 활용되는 논문의 경우는 SCIE급 이상의 국제 학술지에 출간된 논문만이 반영되고 있다. 따라서 해당 분야 연구자들의 실제적인 협력 연구 네트워크 분석을 위해서는 국내 학술지만을 이용하는 기존 연구들과의 차별화가 반드시 필요하다고 여겨진다.

둘째, 생물학 분야만을 대상으로 하지만 분석 대상인 논문의 양은 본 연구가 기존의 연구에 비해 훨씬 많다. 선행 연구 중에서 생물학 분야를 포함하는 몇몇 연구는 있었으나, 대상으로 하는 논문 편수 및 저자수가 극히 제한적이었다. 이와 달리, 본 연구에서는 2004~2013년까지의 10년간의 논문 데이터를 활용해 선행연구들에 비하여 그 양이 방대하다.

3. 분석의 틀

본 연구는 우선 BT 분야 논문을 PubMed 데이터베이스로부터 추출한다. 이 때, 본 연구의 범위는 국내 연구자의 공저자 네트워크를 대상으로 하므로 소속기관이 한국으로 되어 있는 결과만을 고른다. 2015년 5월 17일 해당 기준을 적용한 결과 2004년부터 2013년까지 10년간 156,523건의 논문을 얻을 수 있었다. 해당 논문의 저자정보를 이용하여 공저자 네트워크를 생성한다.

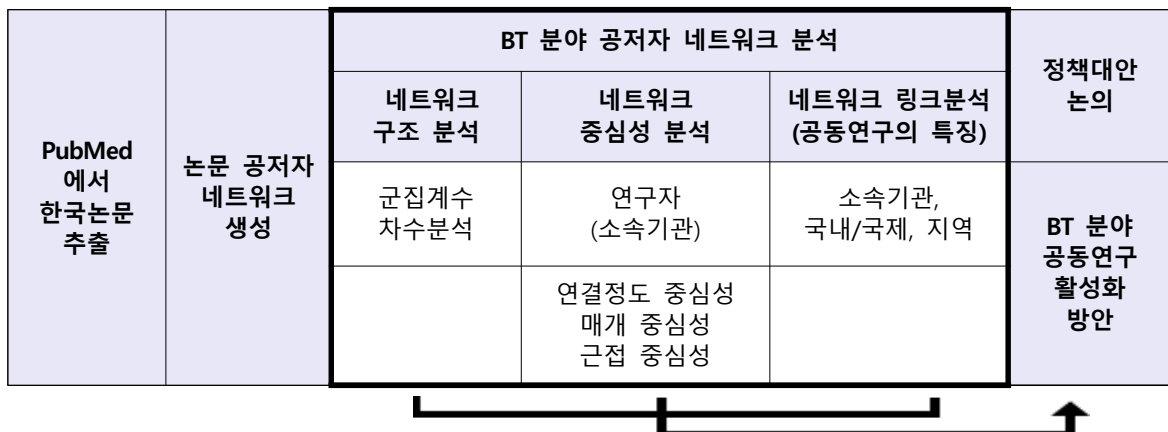
PubMed를 활용하는 이유는 국제 영문저널 정보를 활용하고자 한다는 점 외에도, 가장 다량의 정보를 포함하는 생명의료 분야 데이터베이스이므로 다량의 데이터를 활용할 경우 특정 샘플링으로 발생할 수 있는 데이터의 왜곡을 최소화하기 위해서이다.

이후 완성된 공저자 네트워크 데이터를 활용하여 구체적인 분석을 하였다. 먼저 BT 분야 공저자 네트워크의 구조적 특성에 대한 분석을 수행하였다. 알려진 대로 공저자 네트워크가 생명의료 분야에서 ‘좁은 세상’ 네트워크인지를 확인하고, 멱함수 법칙을 따르는지도 확인하였다. 그 밖에 연결정도의 분포, 지름 등의 구조적 특성을 대변하는 수치 등을 계산한 후 기존의 선행연구에서 알려진 내용 등과 비교하였다.

네트워크의 거시적인 구조 분석 후에는 범위를 좁혀 네트워크 내 연구자에 해당하는 노드들의 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성을 계산하고, 중심성이 높은 연구자를 검출하고, 해당 연구자와 그렇지 않은 아웃사이드 연구자들과의 사이에 특이적인 차이점이 존재하는지 살펴본다.

중심성 분석은 네트워크의 성분 중 노드를 대상으로 하는 분석이라 할 수 있는데 추가로 링크 분석이 이루어진다. 노드와 노드 사이를 연결하는 링크는 공저자 네트워크에서 연구자 간의 관계성을 의미한다. 연구자와 연구자 사이의 관계인 링크를 지역적 근접성, 국제공동연구 여부, 소속기관의 유사성 및 특성 등에 따라 분류하여 분석하였다.

이를 통해, 국내 BT 분야의 공동연구 현황을 면밀히 확인하고, 협력이 원활히 이루어지는 않는 부분이 드러난다면 이를 해결하기 위한 공동연구 활성화 정책 방향을 논의하였다. 이를 요약한 분석의 틀은 (그림 1)과 같다.



(그림 2) 분석의 틀

III. BT 분야 공저자 네트워크 분석

본 장에서는 우선 BT 분야의 연구개발 현황, 산업의 특징 및 국가 전략을 정리하고, 앞서 정립한 분석의 틀에 따라 실시한 실제 네트워크의 생성과정과 분석의 결과를 제시한다.

1. BT 분야 연구개발 현황

BT 분야는 안전성 및 생명윤리 문제와 더불어 고비용에 긴 연구기간이 소요되는 반면 제품개발의 불확실성이 높은 분야지만, 타 분야 기술들과의 융합이 빈번하게 일어나 다양한 산업적 응용이 가능할 뿐 아니라 분야 간 성과 극대화를 일으켜 기술혁신에 가속화를 이끌 수 있다는 특성을 보인다. 더불어 최근 인류 문제로 떠오른 환경, 질병, 에너지, 기아 문제 등과 더불어 전 세계적 경제 위기를 해결할 수 있는 핵심 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대 되고 있다. 이에 따라 전체 사회의 트렌드 변화와 함께 BT 분야의 연구개발 이슈 역시 변화하고 있다.

BT산업은 타 산업과 다른 특성을 보인다. 예를 들어 신약개발과 같은 경우 후보물질의 발굴단계에서부터 최종 사업화까지의 평균 개발기간이 10년 이상 소요될 뿐 아니라 사업화 가능성도 낮다. 기술개발에 따르는 고위험, 고비용으로 인해 민간 차원에서 연구개발부터 제품출시까지의 전 과정을 자체적으로 모두 수행하기에 어려움이 있다. 이런 이유로 BT 분야의 발전을 위해서는 지속적인 지원 시스템과 적극적인 협력 연구와 융합이 필요하고 이를 위해 보다 체계적이고 구체적인 정책을 마련할 필요가 있다.

특히 BT 분야의 우위를 점하기 위한 경쟁이 심화되는 현 상황에서 한국의 관련 산업이 경쟁력을 갖추고 더욱 발전하기 위해서는 원천기술 개발부터 사업화에 이르는 각각의 수준별 지원 전략과 산·학·연을 아우르는 네트워크와 파트너십, 다양한 분야 간의 장벽을 허무는 공동연구를 필요로 한다. 또한 이러한 부분을 전담할 수 있는 전문 인력의 양성이 필수적인 요소라 할 수 있다(미래창조과학부, 2013나).

BT 분야 연구개발 국가 전략은 1982년 과학기술부가 생명공학을 핵심전략기술로 선정하고 특정 연구개발사업으로 지원하면서부터 정부 차원의 생명공학 육성이 시작되었다고 볼 수 있다. 1983년 제정된 생명공학육성법을 바탕으로 1994년 ‘생명공학육성기본계획(Biotech 2000)’을 수립하고 범국가적 정책 시행과 더불어 R&D투자를 대폭 확대하기 시작하였다. 이와 더불어 2004년에는 생명공학을 차세대 성장동력 산업중 하나로 선정하고, 2008년 과학기술위원회 산하 BT 위원회를 운영하는 등 생명공학 육성정책에 더욱 박차를 가하고 있다(생명공학정책연구센터, 2014).

5년마다 수립되는 생명공학육성기본계획을 통해 4대 추진전략에 해당하는 15개 실천과제를 설정하여 BT 분야 발전을 위한 주요 과제로 융합 및 공동연구에 대한 지원 정책을 계획하고 실행하고 있다. 연구개발의 일류화를 위한 세부과제로 국제공동연구와 협력을 강조하며 산업발전 측면에서도 연계사업과 글로벌화를 강조하고 있음을 확인할 수 있다. 15대 실천과제 중 4번째 과제인 생명공학 관련 다부처 통합 대형 사업 추진 확대는 ‘제2차 생명공학육성기본계획 2단계’에서 새롭게 추가된 내용으로 연구개발이 대형화됨에 따라 국경을 초월한 전략적 협력을 강화할 필요가 있으며 광범위한 연구자, 연구기관이 유기적으로 결합된 대규모 국제 협력 프로그램이 등장하고 있음을 뒷받침하고 있다(교육과학기술부, 2012). 이러한 추세에 따라 바이오 기술을 중심으로 한 시장 규모도 2000년대 이후 급격히 성장하면서 바이오경제시대를 맞이하였다. 바이오경제시대를 준비하기 위한 적극적인 육성정책과 더불어 BT 분야 R&D예산은 1994년 536억원에서 2013년 2.9조 원으로 약 50배 이상 예산이 증가하였으며 미래유망신기술(6T)분야 중 18.4%로 2위를 차지(생명공학정책연구센터, 2014)할 정도로 BT 분야는 국가연구개발사업에서 핵심이라고 할 수 있다.

2. BT 분야 공저자 네트워크 생성

본 연구의 BT 분야 공저자 네트워크는 2004년부터 2013년까지 10년 동안의 논문을 대상으로 하였다. 우선 PubMed 데이터베이스에 접속하여 소속기관(Affiliation)을 기준으로 “Korea”로 검색되, 세부적으로 검색조건을 조절하여 2004년~2013년 자료만을 대상으로 검색하였다. 검색결과는 156,523건의 논문이 검색되었다. PubMed의 검색결과를 추출하여 저장하는 방법은 여러 방법이 있으나, 각 저자별 소속기관 등의 정보를 포함한 상세정보를 추출하기 위해서는 XML 파일 포맷을 이용한 다운로드가 유일한 방법이다. 따라서 본 연구에서도 15만 여건의 검색결과를 XML 형태로 다운로드 받았으며, 그 용량은 1.76GB에 달하는 대규모 데이터이다.

데이터베이스로부터 다운로드받은 XML파일에는 저자 정보뿐 아니라 다양한 정보를 함께 포함하고 있으므로, XML파일에서 각 논문별 저자 정보를 추출하고 공저자 관계를 확인하는 프로그램을 python 프로그래밍 언어로 작성하였다. XML 구문 해석에는 python에서 자체 제공하는 Element Tree XML API(Application Programming Interface)를 이용하였으며, 초록, 저널, 출판일 등 다양한 정보 중에서 주로 사용된 정보는 <AuthorList> 태그 내에 저자의 이름과 소속기관(Affiliation) 정보를 활용하였다.

PubMed 데이터로부터 저자 정보를 추출하면서 저자의 이름이 이니셜로만 표기되는 논문들의 경우도 상당수가 있었으며, 이러한 경우 영문 이니셜이 같기만 하더라도 서로 다른 연구자가 동일인물로 간주될 수 있으므로 저자의 풀네임이 제공되지 않는 경우는 분석에서 제외하였다. 또한 단독 저자가 작성한 논문들은 제외하였으며, 데이터베이스 상에서 저자별 소속기관 정보가 명확치 않은 데이터와 본 연구의 목적인 공동연구 관련 현황을 조사하는 데에는 다소 적합하지 않은 단일 연구 그룹 내에서 발표된 논문을 제외하도록 프로그램을 작성하였다. 본 분석에 있어 어려움이 있었던 내용은 한국의 이름은 동명이인이 매우 많고 이를 고려하지 않을 경우, 실제와는 다른 네트워크가 구성될 수 있는 점이었다. 따라서 소속기관 정보를 바탕으로 이름이 같더라도 소속기관이 다를 경우는 별개의 연구자로 취급하였다.

작성한 프로그램을 바탕으로 하여 저자 정보를 추출하고 논문의 공저관계에 따라 네트워크를 구성한 결과 개인 연구자에 해당하는 노드의 수는 21,426개였으며, 노드들 사이에 존재하는 공저 링크는 73,512개에 달하였다. 이와 같은 방법으로 만들어진 네트워크는 네트워크 분석관련 무료 소프트웨어인 Cytoscape 3.0 (Shannon 외, 2003)을 이용하여 시각화 및 분석 작업을 수행하였다.

3. BT 분야 공저자 네트워크 분석

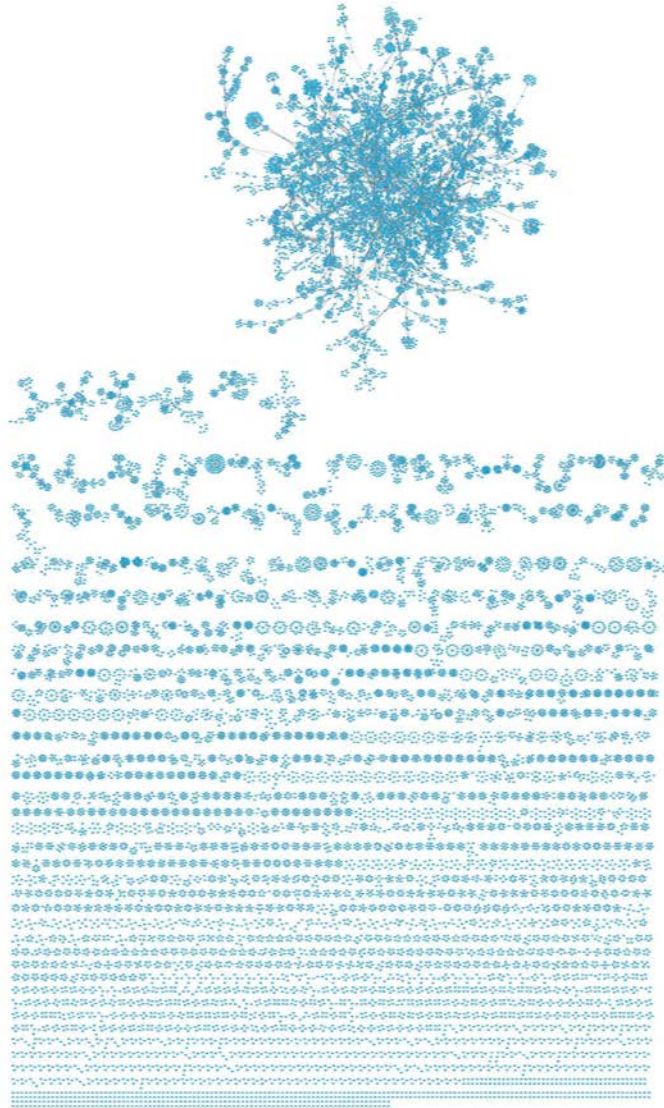
1) 네트워크 구조 특성 분석

PubMed로부터 얻은 데이터를 자체적으로 만든 python 코드를 이용해 공저관계를 추출하였으며, 이를 Cytoscape를 통하여 시각화한 결과는 (그림 2)와 같다. 우선적으로 관찰할 수 있는 부분은 그림의 상단에 큰 덩어리로 구분되는 주 부분네트워크(primary sub-network)와 해당 부분네트워크와는 단절된 다른 노드들이 상당수 존재한다는 것이다. 그림에서 주의할 점은 독립된 각각의 부분네트워크가 모두 한 공저자 네트워크의 일부분이라는 것이다. 다른 부분 네트워크와는 단절된 독립된 부분네트워크를 네트워크의 컴포넌트(component)라고 칭한다. 본 네트워크에서는 컴포넌트의 수가 2,054개에 달하였으며, 그림 상단의 가장 컴포넌트를 제외한 나머지 컴포넌트를 이루는 노드의 수는 14,612개로 전체 노드 수의 68.2%를 차지한다. 다시 말해, 68.2%의 노드는 어떠한 방법으로도 주 컴포넌트와는 연결될 수 없다는 것을 의미한다.

기존의 공저자 네트워크와 비교해 볼 때, 상당히 많은 연구자들이 다른 연구자들과 단절되어 있다는 것이 확인되며, 주 부분네트워크를 이루는 노드는 31.8%에 불과하지만 전체 링크의 개수는 34,774개로 전체 링크의 수인 73,512개의 47.3%를 차지해 노드의 수에 비해 상대적으로 많음을 확인할 수 있었다.

네트워크 구조에서 살펴볼 수 있듯이 단절된 공저자들은 그들 사이에서는 링크가 많이 존재하는 경우도 있지만 공동연구의 협력관계가 확산되지 않고 특정 관계 사이에서만 제한적으로 이루어지

고 있음을 확인할 수 있으며, 이렇게 단절된 노드가 전체의 60% 이상이라는 점을 유의 깊게 살펴볼 필요가 있다.



(그림 3) PubMed 데이터베이스로부터 생성한 한국기관 소속 공저자 네트워크

네트워크 구조 관련 수치 분석 이후에는 척도 없는(scale-free) 네트워크인지를 확인하기 위하여 차수(degree) 분포 데이터가 멱함수 법칙을 따르는지를 확인하였다. 차수의 분포가 멱함수 법칙을 따를 경우 차수를 x , 해당 차수를 갖는 노드의 개수를 y 라 할 때, y 는 x 에 \log 를 취한 값에 비례하게 되고 이를 바꿔 표현하면 $y=ax^b$ 의 관계를 갖는다. 실제 데이터를 기반으로 분석한 결과 a 는 91,427, b 는 -2.527값으로 추정되었으며, 이 때 결정계수(R^2)는 0.847로 비교적 멱함수 법칙을 잘 따르는 것으로 확인되었다.

종합하면, BT 분야 공저자 네트워크가 척도 없는 네트워크의 형태를 보인다는 것을 확인할 수 있으며, 몇몇 소수의 노드가 평균 차수에 비해 상당히 많은 링크를 갖는 허브를 꽤 보유하고 있음을 간접적으로 확인할 수 있다. 다시 말해, 매우 많은 연구자들과 공저관계를 갖는 소수의 핵심 연구자들이 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

보통 척도 없는 네트워크는 허브가 존재하고, 허브가 네트워크의 말단과 말단을 잘 연결해줌으로 인하여 비교적 적은 단계만 거처도 네트워크가 모두 잘 연결되는 형태로 좁은 세상 네트워크라고 말한다(Barabási, 2004). 하지만 그에 비하여 본 공저자 네트워크는 좁은 세상인지를 확인할 수 있는 척도인 네트워크 지름이 26에 달하는 것으로 분석되었다. 네트워크 지름을 공동 연구 관계로 적용시켜 해석한다면, 경우에 따라서는 어떤 연구자가 다른 연구자와 관계가 연결되기까지 26단계나 필요하다는 것이다. 두 연구자 사이의 평균 거리 값은 10.03으로, 이 역시 일반적인 사회네트워크에서의 값에 비하여 매우 큰 값이다. 따라서 앞서 살펴본 네트워크의 단절의 측면 (다수의 컴포넌트가 존재) 외에 네트워크 지름의 척도에서 살펴보다라도 본 공저자 네트워크상의 연구자들 사이에는 근접하고 촘촘한 공저관계가 형성되어 있지는 않은 것으로 확인된다.

추가적으로 본 네트워크의 구조적 특성을 명확히 확인하고, 분야별 특성을 파악하기 위하여 관련 선행연구들에서 생성된 공저 네트워크의 구조적 특성을 비교하여 <표 1>로 나타냈다.

<표 1> 선행연구 공저 네트워크와의 구조적 특성 비교

	본 연구 BT 네트워크	김용학외 (2007)	김용학외 (2007)	박치성 (2012)	이수상 (2010)	남수현 설성수 (2007)	임병학 전희주 (2011)
		BT 네트워크	IT 네트워크	행정학 네트워크	문헌정보 네트워크	기술혁신 네트워크	물류학회 네트워크
저자수	21,426	1,534	1,176	1,748	886	599	331
공저수	73,512	3,019	2,748	6,244	2,285	503	244
밀도	0.000008	0.003	0.004	0.00204	0.003	0.002	0.002
지름	26	24	9	17	14	-	6
평균 경로거리	10.03	6.8	2.6	5.756	11.062	-	2.114
저자 2인 이상 컴포넌트 수	2,054	265	304	83	62	94	46
가장 큰 컴포넌트의 저자 수	6,814 (31.8%)	663 (43.2%)	92 (7.82%)	1,514 (86.7%)	535 (60.4%)	-	47 (14.2%)

우선적으로 본 연구를 통해 생성된 BT 네트워크가 기존의 어떤 선행연구보다도 규모가 훨씬 큼을 확인할 수 있다. 본 연구 외의 다른 연구들은 모두 저자의 수가 2,000명 이하로 본 연구의 1/10 이하이다. 링크 수 역시 기존 연구에서 가장 많은 편인 행정학 네트워크의 6,244개는 본 BT 네트워크의 10%가 안 되는 개수이다.

본 BT 네트워크의 구조적 특징이라 할 수 있는 네트워크의 단절화 정도를 비교하는 척도로는 컴포넌트의 수와 가장 큰 컴포넌트에서의 저자 수가 전체 저자에서 차지하는 비율을 사용할 수 있다(박치성, 2012). 기존 선행연구들의 결과를 비교하면 과학기술 분야 공저네트워크에 비해 사회과학 분야 공저 네트워크가 컴포넌트의 수도 적고, 가장 큰 컴포넌트에 속하는 저자의 수가 60% 이상으로 과학기술 분야보다 단절이 적음을 알 수 있다. 본 연구의 네트워크 역시 주 컴포넌트에 속하는 저자의 비율이 31.8%에 불과하며 전체 컴포넌트의 개수도 2,054개로 사회과학 분야 네트워크에 비해 단절되어 있음이 확인된다. 다만 물류학회 네트워크의 경우는 14.2%로 그 값이 작은 데 이는 해당 연구의 대상이 다른 연구들에 비해 매우 적어서, 직접 비교가 적절하지 않기 때문으로 판단된다.

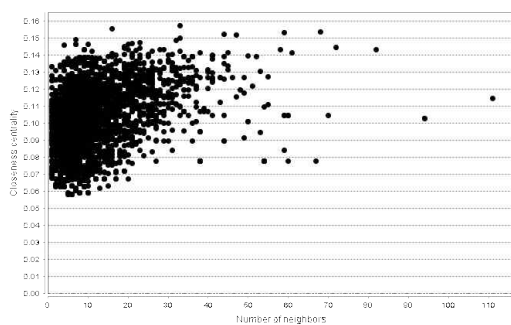
네트워크의 지름을 비교해 보면, 본 연구의 네트워크는 26으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 선행연구들만 가지고 비교해 볼 경우 역시 24의 값을 갖는 김용학 외(2007)의 BT 네트워크가 가장 크게 나타났다. 이러한 점으로 미루어 BT 분야의 공저 네트워크가 다른 분야 네트워크에 비해 좁은 세상을 이루지 않는 점은 현재 국내 BT 분야 공동연구 특성에 의한 결과로 보인다.

종합적으로 BT 분야의 공저자 네트워크는 가장 큰 부분의 네트워크가 전체 네트워크의 31.8%지

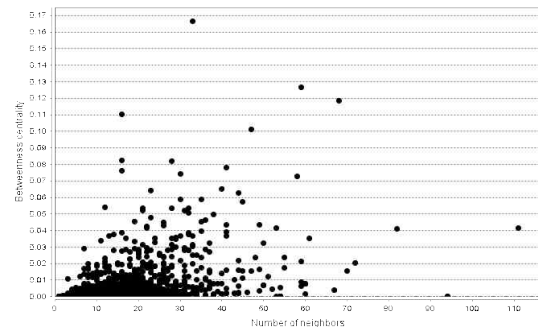
만 링크수는 47.3%로 상대적으로 많으며, 가장 큰 네트워크를 제외한 나머지 컴포넌트는 전체 노드 수의 68.2%이고, 이 노드는 가장 큰 컴포넌트와 연결이 불가능한 단절된 네트워크이다.

2) 네트워크 중심성 분석

네트워크 중심성 분석에서는 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성으로 나누어 분석하였다. 연결정도 중심성은 각각의 연구자가 얼마나 많은 공저관계를 가지고 있는지를 판단하는 척도이고, 근접 중심성은 네트워크 내의 다른 연구자로부터 평균적으로 얼마나 짧은 거리 내에 위치하는지를 살펴보는 척도이다. 끝으로 매개 중심성은 네트워크가 단절되지 않고 연결되는 데에 있어 중요한 역할을 하는 연구자를 판단하는데 사용되는 척도이다. 네트워크 내에 어떠한 연구자가 핵심적인 역할을 하는지를 판단하는 데에는 한가지 중심성만으로 판단할 수 없으며, 이는 이러한 세 종류의 중심성 사이의 상관관계 분석을 통해서도 확인된다.



(a) 연결정도 중심성 vs 근접 중심성



(b) 연결정도 중심성 vs 매개 중심성

(그림 4) 네트워크 중심성간의 상관관계 비교.

본 공저자 네트워크에는 세 가지 중심성 사이에 양(+)의 상관관계가 존재하기는 하지만 특정 중심성이 높다고 해서 반드시 다른 중심성도 높은 것은 아님을 확인할 수 있다. (그림 3a)는 연결정도 중심성(차수)와 근접 중심성의 상관관계를 나타낸 그림이다. 두 중심성 사이에 전반적으로 양의 상관관계를 보이는 것을 확인할 수 있다. 연결정도 중심성이 높은 노드들은 대부분 근접 중심성도 높은 경우가 많다. 하지만 연결정도 중심성이 비교적 낮더라도 근접 중심성이 높은 경우가 상당히 존재함을 확인할 수 있다. (그림 3b)는 연결정도 중심성과 매개 중심성과의 관계를 나타내는 그림이며, 마찬가지로 양의 상관관계를 관찰할 수 있다. 역시 전반적으로 연결정도 중심성이 높을수록 매개 중심성이 높지만 그림의 우측 하단에 몇몇 노드가 존재하는 것으로 볼 때, 연결정도 중심성이 높더라도 매개 중심성은 낮은 경우, 다시 말해 공저관계는 상당히 많지만 네트워크 내에서 다리(bridge) 역할을 하지는 못하는 연구자가 존재하고 있음을 확인할 수 있다.

세 가지 중심성에서 모두 50위 이내인 연구자는 단 4명뿐이다. 즉, 연결정도 중심성이 매우 높음에도 불구하고 매개나 근접 중심성은 낮은 경우 혹은 그 반대의 경우가 존재하며 세 개의 중심성이 모두 상위를 차지하는 연구자는 매우 드물다고 할 수 있다. 상위 50위만이 아니라 그 범위를 확장해 각각의 중심성이 다른 중심성의 상위 1%, 5%, 10% 사이에 얼마나 존재하는지를 <표 2>에 나타내었다. 그 결과 1% 기준에서는 연결정도 중심성이 높은 연구자가 매개 중심성이나 근접 중심성이 높은 경우가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

네트워크에는 중심성이 높은 연구자들이 있는 반면 중심성이 낮은 네트워크 외부 또는 말단의 연구자들이 존재한다. 본 연구에서는 연결정도가 낮은, 다시 말해 차수가 1인 연구자들을 아웃사이더 연구자라고 분류하여 특성을 확인하였다. 아웃사이더 연구자들은 차수가 1에 불과하므로 분석기간으로 한 10년 동안 공저관계를 갖는 연구자가 특정 1인의 연구자뿐이라는 것을 의미한다.

<표 2> 각 중심성 상위 순위 내 타 중심성 상위 연구자 포함 분포 (단위: %)

구분	중심성	연결 중심성	매개 중심성	근접 중심성
상위 1%	연결 중심성	-	14.8	11.54
	매개 중심성	39.1	-	29.49
	근접 중심성	39.1	37.7	-
상위 5%	연결 중심성	-	38.2	28.7
	매개 중심성	36.6	-	30.3
	근접 중심성	35.9	39.3	-
상위 10%	연결 중심성	-	50.0	37.2
	매개 중심성	43.6	-	30.1
	근접 중심성	44.8	41.5	-

이러한 아웃사이드 연구자가 네트워크 내에서 어느 정도의 비중을 차지하는지를 분석한 결과 전체 연구자 수 21,426명 중에서 아웃사이드에 해당되는 연구자는 2,423명으로 전체의 11.3%나 차지하고 있음이 확인된다. 하지만 이들을 포함하는 공저관계 링크 수는 2,150개로 전체 링크 수 73,512개의 2.9%에 불과하다. 이들은 공저관계가 극히 제한적으로 이루어진다고 할 수 있으며, 해당 공저관계만을 유지하는 경우와 대상 기간 동안 단 한 번만의 공저관계가 이루어진 경우로 구분 지을 수 있다. 이 둘을 구분 짓기 위하여 공저관계로 발표한 논문이 2회 이상인지 확인하였다. 그 결과 아웃사이드 연구자 중 같은 공저관계를 2회 이상 갖는 연구자는 총 98명으로 전체 아웃사이드 연구자들 중 4.0%를 차지한다. 요약하면 본 네트워크의 10% 가량의 연구자는 단 한 명의 연구자와만 공저관계를 갖고 그 10%의 4%(전체의 0.4%)는 그 제한된 공저관계가 2회 이상 이루어졌다고 할 수 있다.

3) 네트워크 링크 분석

네트워크 링크 분석은 앞서의 중심성 분석과는 달리 특정 노드에 주안점을 맞추기보다 노드와 노드 사이의 링크의 특성, 즉 관계성의 내용에 대하여 분석하는 것이다. 본 연구의 결과로 만들어진 공저자 네트워크는 노드(연구자)들 사이에 73,512개의 링크(공저관계)가 존재하며, 각 공저관계에 어떠한 특성이 있는지를 확인하기 위하여 링크 분석을 수행하였다. 우선 공저 관계는 소속기관이 산학연 중 어디에 속하는지에 따라 산-학-연 공저관계 분석이 가능하다. 전체 링크 중 상당수인 44,334개는 같은 소속기관을 갖는 공저관계로 이와 같은 경우를 제외한 29,178개의 링크를 산학연 관계에 따라 분류하여 통계를 내면 <표 3>과 같다.

<표 3> 산-학-연 공저관계 링크 수

구분	기업	대학	연구원
기업	108 (0.4%)	3,165 (10.8%)	563 (1.9%)
대학		19,306 (66.2%)	5,192 (17.8%)
연구원			844 (2.9%)

우선 공저관계의 상당수는 대학 간의 공저관계임을 확인할 수 있었으며, 특히 기업-기업, 기업-연구원, 연구원-연구원의 공동연구가 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 통계로부터 얻을 수 있는 일차적인 결론은 대부분의 공저관계는 대학 소속의 연구자를 기반으로 한다는 것이다. 대학이 포함되지 않는 다른 공저관계와 대비되어, 대학-대학의 공저관계가 가장 많고 대학-연구원, 대학-기업의 순으로 링크의 수가 많음에서 해당 내용이 확인된다. 이는 논문 저자의 수가 절대적으로 대학 소속이 많은 것으로 판단할 수 있다. 특히 기업-기업 간의 공저관계는 전체의 1%도 미치지 못하는 양으로 서로 다른 두 기업 사이에서의 공동연구 개발이 활발하지 않음을 확인할 수 있다.

다른 링크 분석으로는 국제공동연구 여부에 대한 확인이 가능하다. 73,512개의 전체 링크를 국제

공동연구 관계인지를 확인하였다. 국내의 소속기관이 같은 공저관계는 44,334개이며, 서로 다른 소속기관을 갖는 공저관계는 29,178개이다. 다른 소속기관의 공저관계 중 국내 공동연구는 21,640개의 링크를 국제 공동연구는 7,538개의 링크를 갖는다. 이를 통해, BT 분야 상당수의 공저관계는 국제관계보다는 국내에서 이루어짐을 알 수 있다. 또한 본 분석에서는 2개 이상의 소속기관이 표시된 논문만을 대상으로 했으므로 실제 대부분의 공저관계는 국내 연구자들 사이에서 이루어진다고 할 수 있다.

세 번째로 살펴본 링크 분석은 국내 지역별 공동연구 관계의 현황이다. 대상은 국제 공동연구는 제외하고, PubMed에서 제공되는 논문의 소속정보(affiliation)에 적혀있는 주소정보를 기반으로 하되, 해당 정보의 이용이 불가능할 경우에는 소속기관명을 기반으로 지역을 판단하였다. 지역은 광역자치단체를 기준으로 17개로 분류하고, 각 지역별 공저자 관계의 통계를 계산하였다. 이 때 유의할 점은 앞서 산학연 분석, 국제·국내 관계 분석과 마찬가지로 동일기관 내에서의 공저관계는 제외하였다는 것이다. 예를 들어, 대전-대전 관계의 경우는 대전 내에 위치한 서로 다른 두 기관에 존재하는 연구자들 사이의 공저관계만을 포함하고, 대전 내 동일기관의 서로 다른 두 연구자 사이의 공저관계는 포함하지 않는다.

분석 결과 특징적인 내용으로는 양적으로 서울에 있는 연구자의 공저관계(13,315개)가 압도적으로 많다는 것이다. 그 다음으로는 경기(4,213개), 대전(2,588개) 순으로 나타났다. 가장 적은 지역은 세종시였으며, 이는 해당 자치단체가 광역자치단체로 출범한 것이 불과 2014년이라는 점이 원인으로 파악된다. 또한 지역을 불문하고 서울지역 연구자와의 공저관계가 가장 많다는 것이 관찰되었다. 이는 서울 지역 연구자를 포함하는 공저 관계가 특정 지역에만 한정되어 있지 않고, 전국적이라는 것을 의미한다.

IV. BT 분야 공동연구 활성화 정책 방향

1. 공동연구 활성화 정책의 기본 방향

본 연구의 분석 결과에 따른 BT 분야 공동연구 활성화 방향의 도출에 앞서 공동연구 지원 정책에 필요한 기본 요건을 우선 논의하고자 한다.

첫째, 공동연구를 지원하는 보다 구체적이고 현실적인 제도적 장치가 마련되어야 한다. 우리나라의 국가연구개발사업의 경우 과학기술기본법을 근거로 하여 사업을 추진함에 따라 공동연구 촉진을 위한 근거 조항이 마련되어 있음이 확인되었다. 다만, 세부사업을 진행하는데 있어서 제도적 장치의 기반 하에 그 효과성 측면을 점검하고 급변하는 사회현상을 반영할 수 있는 정책 수단을 마련하고 이의 시행을 촉진하는 정책의 추진이 필요하다. 또한 제도적 측면과 더불어 정부 차원에서 공동연구에 대한 지속적인 관심을 가지고 관련 예산 및 인적 자원을 투입하는 것이 필요하다.

둘째, 연구자들 간의 공동연구 관계가 단절된 네트워크가 아닌 잘 연결된 즉, 좁은 세상을 이루는 네트워크가 형성되도록 노력을 기울여야 한다. 좁은 세상에서는 정보 확산의 속도가 빠르고(Kochen, 1989) 공동연구 네트워크는 새로운 지식을 생성 및 확산의 중요 메커니즘(Moody, 2004)이기 때문에 공동연구 네트워크가 좁은 세상을 이루게 된다면, 대다수의 연구자들이 기존의 공동연구 네트워크에서 동떨어지지 않게 된다. 이로써 연구자들이 소외감을 느끼지 않게 되며, 새로운 공동연구 관계를 형성하는 데에 있어 거부감을 최소화할 수 있을 것이다. 이는 공동연구의 기본이 되는 연구 분야 내에서의 네트워크의 연결을 통해서 연구자들의 상호작용을 촉진 및 강화시키고, 이를 바탕으로 지식의 확산이 일부 연구자들에게만 한정되지 않도록 뒷받침하여야 한다.

셋째, 다양한 형태의 공동연구를 지원하고 이를 지속·확산시키기 위한 정책을 실시하여야 한다. 공동연구에는 최근 정책적으로 강조되고 있는 학제간 융합연구, 산학연 협력, 국제 공동연구 외에도 국내 공동연구, 분야 내 공동연구 등이 있으며 새로운 지식 창출, 과학기술의 혁신, 도전적 연구개발 등을 위해서는 공동연구 형태를 가리지 않는 정책적 지원이 필요하다. 이는 국제공동연구

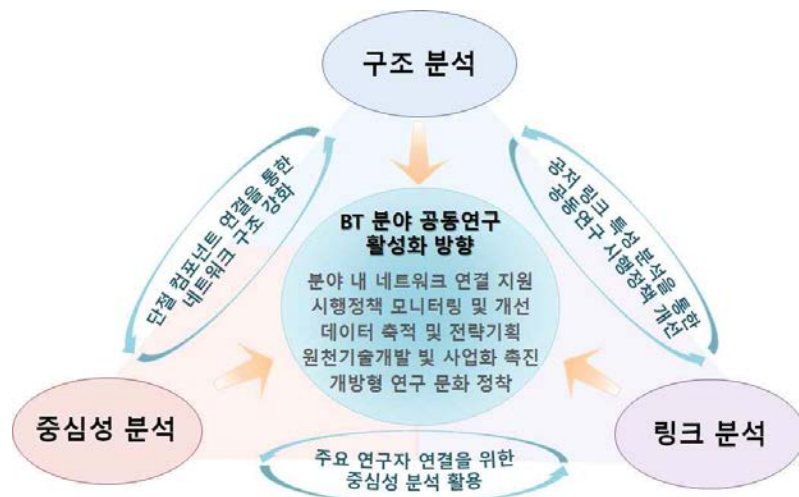
를 통해 한정된 연구인력 및 인프라의 한계를 극복하고(윤종민, 2009), 산학연 공동연구를 통해 연구 성과의 산업화 측면에서의 효율성을 높일 수 있기 때문이다.

넷째, 연구자들의 공동연구가 지식의 유출이 아닌 지식의 순환 개념으로 정착될 수 있도록 인식 전환과 협력 문화를 정착시켜야 한다. 연구자들은 여전히 안정된 네트워크 속에서 연구를 진행하려는 경향이 있으며, 새로운 네트워크를 연결하고 새로운 연구를 시도함으로써 발생하는 위험에 대한 두려움을 갖고 있다. 특히 기업 간의 공동연구는 기술 유출 등에 대한 우려로 인하여 타 분야에 비해 특히 더 제한적인 공동연구만이 수행되고 있는 실정이다. 하지만 오준병 외(2004)에 따르면 공동연구를 통한 연구개발은 연구효율성을 증가시키고 불확실성에 대한 위험을 분산시키며, 중복 투자예방과 비용 분담으로 대규모 또는 고기술의 연구개발이 가능하다는 장점을 가진다.

마지막으로 최근 협력을 위해 강조하고 있는 협력 주체 간 네트워크 강화 정책의 경우 강화하고자 한 네트워크가 얼마나, 어떻게 강화되었는지를 판단하기 위한 검증방법과 기준을 마련해야 한다, 이를 위한 방법의 일환으로 네트워크 분석이 활용 가능하며 더불어 이외의 다른 활용 가능한 다양한 방법을 연구할 필요가 있다.

2. 논문 공저관계를 통한 BT 분야 공동연구 활성화 방향

본 연구의 BT 분야 논문 공저자 네트워크 분석은 구조특성 분석, 중심성 분석, 링크 분석으로 구분 될 수 있다. 각각의 분석을 통해 도출된 결과는 BT 분야의 공동연구 현황과 문제점을 실제로 확인하는 데이터를 제공하고 현 시행정책의 보완 및 확장을 위한 자료로 활용할 수 있다. 각각의 네트워크 분석으로부터 도출된 문제점과 한계를 서로 연계하여 BT 분야 공동연구 활성화를 위한 정책 방향을 종합하면 (그림 4)와 같이 정리할 수 있다. 각 구조 분석, 중심성 분석, 링크 분석을 통해서 도출된 결과를 바탕으로 1항, 2항, 3항에서 BT 분야 공동연구 현황과 문제점을 진단하고, 4항에서 각각의 분석을 연계한 정책 대안을 제시하고자 한다.



(그림 5) 공저자 네트워크 분석의 공동연구 활성화 정책 연계

1) 단절 컴포넌트 연결을 통한 네트워크 구조 강화

먼저 구조특성 분석 결과 BT 분야의 논문 공저자 네트워크는 허브 역할을 하는 연구자(연결정도 중심성이 높은 연구자)는 많으나 브릿지 역할을 하는 연구자(매개 중심성이 높은 연구자)의 수가 현저히 적다는 점과 소규모 단절 네트워크가 전체 네트워크의 68%를 차지 한다는 점에서 BT 분야 공저자 네트워크는 단절된 네트워크임을 확인할 수 있었다. BT 분야 내에서 그룹 간 단절은 현재 정책적으로 강조하고 있는 BT+IT, BT+NT 융합이나 인문사회·이공계 융합 등과 같은

학제간 공동연구의 강조 이전에 분야 내에서의 공동연구 활성화를 위한 네트워크 연결을 우선적으로 강화할 필요가 있음을 시사한다.

단절된 각 그룹을 연결하는 것은 인적 인프라를 최대한 활용할 수 있는 그룹과 그렇지 않은 그룹을 연결하게 되는 것이고, 이는 공동연구가 활성화 되지 않은 그룹이 최소한의 연결을 통해 다양한 네트워크로 연결될 수 있다.

공동연구의 저해 요인인 정보 공유의 한계 및 폐쇄적인 연구문화 등(Hansen, 2011)을 극복하기 위하여 단절된 연구자들을 연결하는 것으로 낯선 연구자들 사이의 상호작용 촉진 및 공동연구 네트워크의 좁은 세상 만들기를 들 수 있다. 이로써 분야 내에서 지식의 전달이 수월성을 높이고 개인의 암묵지가 형식지로 전환되어 이를 통한 기술혁신을 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 정책적으로는 학제 간의 융합 뿐 아니라 BT 분야 내에서 연구자별 전문성에 대한 내용의 홍보 및 전파를 촉진하며, 각종 공동연구 지원 사업 등에서 BT 분야 내의 공동연구 역시 실제 협력 내용 등을 고려해 지원할 필요가 있다고 판단된다. 또한 좁은 세상 네트워크의 형성을 위해서는 새롭게 형성되는 링크가 중요하며 이때 본 연구의 공저자 네트워크 분석과 같은 방법을 활용하는 공동연구 지원 정책을 고려할 필요가 있다.

2) 주요 연구자 연결을 위한 중심선 분석 활용

단절되어 있는 부분 네트워크와 BT 분야 전체 네트워크를 연결할 수 있는 정책을 마련하는데 있어서 중심성 분석이 활용될 수 있다. 예를 들어, 해당 분석을 통해 단절된 그룹 내에서의 중심 연구자를 찾고 이 연구자들과 다른 그룹 사이에서의 주요 연구자를 연결하는 방법을 통해 그룹과 그룹을 연결 하는 브릿지의 역할을 부여하는 방안을 마련하게 되면, 앞서 살펴본 바와 같이 연결 정도 중심성은 높으나 브릿지 역할을 하지 못하는 연구자들이 네트워크의 단절을 효과적으로 줄일 수 있게 될 것으로 기대한다.

앞서 연결정도, 매개, 근접 중심성 척도별로 분석을 수행한 결과, 모든 중심성 척도에서 상위를 차지하고 있는 연구자들의 소속기관은 대부분 대학이었는데, 이는 박사연구의 대부분인 62%가 대학에서 연구를 수행하는 결과(미래창조과학부, 2013년)와 일맥상통한다. 하지만 중심성 척도별로 핵심 연구자 목록이 일치하지는 않았으며, 공저관계가 많다고 해서 네트워크 내의 각 부분의 연결에 있어서 중요한 역할을 하지는 않는 것으로 나타났다.

따라서 단순히 양적인 측면만을 기준으로 공저 관계가 많은 사람(연결정도 중심성이 높은 연구자)만을 유의미하게 생각할 것이 아니라 네트워크 내에서 단절될 수도 있는 그룹들을 연결하는 근접 중심성 및 매개 중심성이 높은 연구자들의 중요성을 분석 및 정량화하여 실제로 활용할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

3) 공저 링크 특성 분석을 통한 공동연구 시행정책 개선

산학협력 정도에 대한 링크 분석의 결과로는 BT 분야 논문 공저자 네트워크상에서 대학-대학의 공동연구가 주를 이루고 있음이 확인된다. 논문은 원천기술 개발 단계에서의 중요한 연구 성과이다. 특정 기술의 산업화 단계에 이르는 과정을 논문 → 특허 → 기술이전의 순으로 볼 때, 논문은 낮은 단계로 볼 수 있고, 이러한 원인으로 인해 대학 소속 연구자 간의 협력에 비해 논문 공저 관계를 통한 산학 협력의 양의 적다고 판단된다. 이러한 점은 기업이 원천기술 개발 단계에서의 협력보다는 기술개발 완료 이후 기술이전 등을 통한 협력이 주를 이루는 것으로 보이며, 실제로 중소기업청이나 산업통상자원부 등의 지원사업도 연구기관의 보유기술을 기업 등에 연결시켜 주는 등의 사업에 집중하고 있다. 하지만 산업계와의 연계 활성화를 통한 연구성과의 산업화를 촉진하기 위해서는 원천기술의 개발 단계부터 상호 협력관계를 맺고 단계를 밟아 가는 것이 연구개발의 불확실성이나 위험성을 감소시킨다는 점에서 기술혁신적 측면에서 유리하다. 이는 이공래 외(2009)의 연구에서 기술융합 생태계에서 산학협력의 중요성을 이야기하며 융합기술혁신에서 연구

개발 단계에서의 산학협력이 가장 효과가 좋다는 조사결과와 일맥상통한다.

현재 시행중인 산학연 협력은 개발이 완료된 대학과 출연(연)의 보유 원천기술 자원을 활용한다는 측면에서의 산업계와의 연결이 강조되고 있는데 이뿐만 아니라 기술혁신을 위해서는 원천기술 개발단계서부터 산학연 공동연구를 위한 정책을 시행할 필요가 있으며, 산학연을 연결하여 공동연구 네트워크를 활성화할 수 있는 인력양성에 대한 정책 수립이 필요할 것으로 보인다.

실제로 우리나라 기업 10개사 중 4개사(39.7%)는 산학 및 기업간 연계활동을 추진한 실적이 전혀 없다는 점과 이에 대한 애로요인으로 기업들은 기획 및 준비단계에서 ‘파트너 확보(38.0%)’, ‘인력 및 자금미흡(29.8%)’, ‘추진 경험 부족(17.1%)’ 등을 언급하고 있다. 이러한 결과는 정부의 지원이 이러한 요인에서 조금만 이루어져도 충분한 효과를 얻을 수 있다는 측면에서 연구개발 분야(업종이나 산업)에 대한 정책지원과 함께 연구개발 생태계를 조성하는 데에도 정책을 집중할 필요가 있다(이상규, 2015). 기업에서 체감하는 진입장벽을 해결하기 위해 중심성과 링크 분석의 결과를 바탕으로 산학연 협력에 경험이 있고 서로 관심 있는 분야를 연결할 수 있는 인력을 추천하여 멘토링을 실시하는 등의 정책을 추진할 수 있을 것으로 보인다.

한편, 빠른 기술발전 속도와 기술간 융합이 확산됨에 따라 개방형 혁신을 위한 국제기술협력이 증대되는 추세이며 이를 반영하듯이 국내에서도 국제공동연구를 위한 지원이 활발하다. 예를 들어 미래창조과학부에서 지원중인 ‘국제 연구인력 교류 사업’의 경우 개방형 연구 협력 체계를 구축하여 세계 각 분야의 우수 연구원들과의 공동연구를 활성화하는 것을 목표로 하고 있으며 지속적인 공동 심포지엄을 통해 글로벌 협력네트워크 강화를 시도하고 있다. 하지만, 분석결과에 따르면 BT 분야의 실제 공동 연구의 대부분은 국내 연구자들 사이의 관계이다. 이는 정부에서 지원한 국제 공동연구 지원 사업의 결과로 나타난 관계를 확산시키는 측면에서의 정책 지원이 부족하다는 점을 대변하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 현재 진행 중인 국제 공동연구 촉진 정책의 효용성에 대한 점검과 더불어 협력관계 지속 여부에 대한 모니터링이 필요할 뿐 아니라 연결된 네트워크를 확산하기 위한 정책을 추진 및 시행할 필요성을 제기할 수 있다.

4) 공저자 네트워크 연결을 통한 공동연구 활성화 실행 방안

공저자 네트워크를 분석하고 네트워크 상에서 보이는 문제점을 통해 공동연구 현황을 진단하는 것의 궁극적 목표는 단절된 네트워크를 연결하고 강화할 뿐 아니라 신규 네트워크 생성 및 확장을 통한 공동연구 활성화를 이끌어 내는 것이다. 이를 위해 추진할 수 있는 구체적 실행 방안으로는 크게 4가지를 들 수 있다.

첫째, 네트워크의 연결을 위한 공동연구 지원 사업 실시이다. 이는 공동연구를 지원하되 BT 분야의 공저자 네트워크가 단절되어 있는 것으로 확인되었기 때문에 이를 연결하는 것에 맞춤형 공동연구 지원 사업을 실시하는 것이다. 본 연구의 분석결과, 21,426명의 BT 분야 연구자들의 68.2%는 나머지 31.8%로 구성된 가장 큰 컴포넌트에 연결되어 있지 않으며, 2,053개의 컴포넌트로 분리·단절되어 있다. 이론적으로 이들 컴포넌트 사이를 연결할 수 있는 2천여개의 링크가 새로 생성된다면 모든 연구자들이 하나의 네트워크로 연결될 수 있다. 모든 연구자들을 연결하는 것은 현실적인 어려움이 있을 수 있지만, 크기가 큰 컴포넌트를 우선적으로 선별하여 서로 연결하여 최소 50%이상의 연구자들이 연결될 수 있도록 전략적으로 공동연구를 지원하는 방안을 고려할 수 있다. 또한 연결정도 중심성이 높은 연구자는 많은 연구자와 관계를 맺고 있다는 점에서 이러한 연구자의 매개 중심성이 높아진다면 단절 그룹이 연결되는 것을 기대할 수 있다. 이처럼 네트워크 구조를 파악하여 단절된 부분을 확인하고 이를 연결하기 위한 목표를 설정하는 것을 시작으로 매개 중심성이 높은 연구자를 양성하여 브릿지 역할을 부여하면 그룹간의 연결을 통해 네트워크를 강화하는 것과 더불어 신규 네트워크를 생성하고 확장되는 것을 기대할 수 있다고 판단된다.

이를 위한 사업의 평가지표를 마련하는데 있어서 중심성 분석의 측정값을 기준점으로 삼는 등의 활용이 가능할 것으로 보인다. 다만, 그 기준점의 객관성을 마련하기 위한 분석절차가 추가적으로 필요할 것이다.

BT 분야의 네트워크 연결을 강화하고 단절을 줄이면 더 많은 연구자들에게 지식이 확산되는 것을 촉진하고 지식의 불균형을 해소하는 등 분야 내의 발전을 도모한다는 점이 해당 사업을 진행하는 당위성을 제공해 줄 수 있다. 사업의 성공을 위해서는 네트워크 구조의 강화만을 유도하는 것이 아니라 공동연구와 같은 연구자간 상생을 통해 우수한 연구 성과를 위한 노력과 도전적 연구를 지지하는 것임을 강조할 필요가 있다.

둘째, 국내의 BT 분야 공동연구 데이터 축적을 통한 시행정책의 효과성 모니터링 및 전략기획에의 활용을 들 수 있다. 공저자 네트워크 분석과 같은 공동연구 현황에 대한 조사·분석을 연차별, 단계별 등과 같이 다각도로 실시하여 지속적으로 데이터를 축적한다면 중장기 정책의 모니터링이 가능해지며, 이를 통해 파악되는 점을 피드백하여 후속사업 혹은 진행 중인 사업의 개선책 마련에 기초 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

예를 들어 본 연구에서의 링크 분석과 중심성 분석을 확장하여 시간별 중심성의 변화 및 산-학-연 공동연구 현황의 변화추이를 추적한다면, 산-학-연의 연계를 위한 기존의 시행정책의 효과성을 진단하는 기초자료로써 활용이 가능하다.

마찬가지 방법으로 국제공동연구를 통한 연구 성과의 질적 향상과 글로벌화를 추진하는 데에도 활용할 수 있다. 기존의 공저 네트워크 분석을 통해 국제공동연구 정도를 확인하고 얼마나 지속·확대 되었는가를 판단할 수 있다. 그러나 현재 국제공동연구를 지원하는 사업을 계속해서 추진 중에 있으나 BT 분야의 공저네트워크를 확인한 결과 국제공동연구의 비중이 높지 않다는 것이 확인되었다. 따라서 지속적인 데이터 수집을 통한 지원사업의 지속가능성 여부에 대해 모니터링을 실시하고 후속사업을 준비하는 것이 적합하다고 판단된다.

셋째, 원천기술개발 단계에서의 공동연구 지원을 통한 연구 성과의 질적 향상과 사업화 촉진을 들 수 있다. 논문의 질적 수준을 향상시키고 개발된 우수한 원천기술이 단순 지식으로 머물지 않고 다양한 방면으로 사업화되기 위한 연계 촉진을 목표로 원천기술개발 단계에서부터의 공동연구를 지원하는 것이다.

본 연구의 네트워크 분석 결과, 현재 BT 분야의 논문공저를 통한 공동연구는 대학-대학 중심의 연구가 대부분이고, 기업과의 공동연구 비중은 매우 낮으며 연구 자체가 대학을 중심으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 정부 연구개발 혁신방안(미래창조과학부, 2015년)에서도 언급한 바와 같이 연구의 대부분이 대학과 연구소의 시장을 외면한 연구이고, 그 결과 성과물이 사장된다는 점과 일맥상통한다. 현재 정책이 원천기술개발 이후의 산학협력에 무게중심을 두고 있는 반면, 연구개발단계에서의 산학협력이 융합기술혁신에서 가장 효과가 좋다는 점(이공래 외, 2009)에서 원천기술개발 단계부터의 지원에 대한 당위성을 마련할 수 있다.

이상규(2015)가 밝힌 기업이 체감하는 공동연구 진입장벽을 허무는 방안으로 본 연구를 활용할 수 있다. 중심성과 링크 분석의 결과를 바탕으로 산학연 협력에 경험이 있고 서로 관심 있는 분야를 연결할 수 있는 인력을 추천하여 멘토링을 실시할 수 있다. 특히 자본이 적은 중소기업의 경우 불확실성이 높은 R&D를 위한 투자나 참여에 어려움을 겪고 있는데 이를 지원하기 위한 의견 수렴이나 전략수립에 있어서 효과적인 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

또한 공저자 네트워크상에서 모범적인 공동협력관계를 보이는 부분을 찾아 새로운 산-학-연+관의 연결고리를 만드는데 있어서 기존의 우수 사례를 벤치마킹하는 것 역시 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

마지막으로 연구자들의 공동연구를 촉진하기 위한 연구문화 정착을 위한 정책적 노력을 들 수 있다. 앞서 살펴봤듯이 공저자 네트워크 분석 결과 현재 BT 분야 연구의 협력관계가 익숙한 연구자들로 제한된 경우가 다수이고, 이는 네트워크 확장의 저해요인으로 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 공동연구 관련 정책의 성공을 위해서 공동연구의 긍정적 측면을 강조하고 연구자들 사이에 다양한 방식의 공동연구에 대한 거부감이 없는 연구문화의 형성이 우선적으로 이루어질 수 있도록 하는 정책이 뒷받침되어야 한다. 이를 위해 연구자들의 연구교류를 위한 적극적인 지원사업과 홍보활동을 병행하고, 우수 모범사례 발굴 등을 시행할 수 있다.

V. 결론

과학기술의 발전과 더불어 21세기에 나타나는 현대사회 문제의 복잡성과 다양성으로 인해 연구자들은 공동연구를 통해 다른 학문 분야의 지식이나 방법론을 도입하고 있다. 이는 연구자 개인으로서 대형화되는 연구의 수행과 성과의 우수성을 위한 수단이 되고 거시적으로는 국가, 혹은 전 세계적인 지식의 공유 및 활용이라는 측면에서 중요하다. 공동연구의 필요성이 증대됨에 따라 체계적으로 공동연구 현황을 파악하고 촉진하기 위한 정책이 뒷받침되어야 할 필요가 있다.

이러한 필요에서 본 연구는 BT 분야의 공동연구 현황 파악을 위하여 해당 분야에서 2004년부터 2013년까지 10년 동안의 PubMed 영어 논문 서지정보를 이용하여 한국 연구자들을 대상으로 공저자 네트워크 분석을 구조, 중심성, 링크 분석으로 나누어 수행하였고 분석결과를 바탕으로 공동연구 활성화를 위한 정책 방향을 논의하였다.

구조 분석의 결과 31.8%의 연구자만이 서로 연결되고 나머지 연구자들은 단절된 컴포넌트로 존재하며 네트워크 지름이 타 학문 분야에 비해 매우 커 BT 분야 내에서의 공동연구를 활성화할 필요가 있다는 것이 확인되었다.

중심성 분석은 연결정도 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성 척도별로 나누어 파악하였으며 세가지 중심성 척도가 각자 고유한 특성을 가지고 있음이 나타났다. 이는 한가지 중심성 척도만을 이용하여 네트워크상에 주요 연구자를 판단하는 것보다는 세가지 중심성 척도를 종합적으로 고려하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 또한 단절된 그룹을 효과적으로 연결할 가능성이 있는 연구자들의 특성을 파악하였으며, 이러한 분석을 활용하여 현재 시행되고 있는 공동연구 활성화 정책에서 추가적인 고려사항으로 해당 특성을 갖는 연구자들 사이의 새로운 연결의 필요성이 제기되었다.

링크 분석을 통해서도 BT 분야의 공동연구는 대학 주도의 공동연구가 다수를 차지하고 있으며 기업과의 공동연구 비중은 매우 낮다는 점이 확인되었다. 지역별로 분류해 본 결과, 서울 소재 연구기관을 통한 공저관계가 많음을 확인하였다. 논문 공저관계에 비해 국제공동연구의 활성화 정도를 확인한 결과, 국제 협력을 강조하는 정책 지원에 비해 그 성과가 미흡하다고 판단되어, 시행정책의 재점검 및 지속여부에 대한 모니터링이 필요함을 확인하였다.

위와 같은 분석 결과를 바탕으로 한 구체적 실천방안으로 네트워크 연결 강화를 위한 공동연구 지원 사업 실시, 공저자 네트워크 데이터 축적 및 모니터링 시행, 사업화를 염두에 둔 원천기술개발단계부터의 공동연구 지원, 공동연구 정책의 성공적 시행을 위한 연구문화 정착을 위한 정책적 노력 등 4가지를 제시하였다.

공동연구 현황과 관련하여 BT 분야만을 대상으로 공저자 네트워크 관계를 분석한 연구가 없었으며 10년여 간의 데이터를 바탕으로 2만명 이상의 연구자를 대상으로 하는 대규모의 네트워크를 생성하고, 그 현황을 진단하여 정책적인 방향을 제시한 논문이 없었다는 점에서 본 연구의 일차적인 의의를 찾을 수 있다. 또한 이러한 연구를 연차별로 확대 실시 및 적용하면 추후 R&D 정책 수립 및 분석의 기초 자료로 활용할 수 있다는 점에서 본 연구 방법의 실용적인 활용방안을 찾을 수 있다.

최근 공동연구 정책과 관련하여, 개방형 협력을 통한 연구역량 강화와 글로벌 네트워크를 활용한 공동연구 성과 창출 및 시장개척을 위한 협력체계 구축 강화에 대한 부분이 강조되고 있다(미래창조과학부, 2015나). 이러한 공동연구 관련 정책을 지속적으로 발전시키고 추진하기 위해서는 정책 관련 사전조사 및 현황 점검이 필요하고 본 연구의 연구방법 및 그 결과가 기반 자료가 될 수 있다는 점에서 추가적인 의의를 찾을 수 있다.

다만 본 연구는 논문 형태만의 공동연구 및 BT분야로 범위를 한정하여, 전 학문분야의 모든 공동연구 형태로의 확정적 결론을 내리기엔 한계가 있다. 또한 본 연구에서는 공저의 횟수에 대한 정보가 반영되지 않아 공동연구관계의 지속성을 파악하지 못한다. 추후 연구범위를 확장시키고, 공동연구의 강도(Strength)를 분석요소에 추가하여 이와 같은 한계를 보완할 필요가 있다.

[참고문헌]

- 교육과학기술부. (2012). 『Bio-Vision 2016 제2차 생명공학육성 기본계획 2단계 계획(2012~2016)』.
- 김미경. (2009). 『카이스트인들의 책임있는 연구수행을 위하여』. KAIST I&TM.
- 김용정·오동훈. (2011). 『기술분야별 SCI 논문 질적 위상 분석 및 시사점』. 한국과학기술기획평가원. 2011-06.
- 김용학·윤정로·조혜선·김영진. (2007). “과학기술 공동연구의 연결망 구조: 좁은 세상과 위치 효과” 『한국사회학』. 41(4):68-103.
- 김유영. (2011). “공저자 네트워크의 중심성이 연구 생산성에 미치는 영향에 관한 연구”. 부산대학교 대학원. 석사학위 논문.
- 남수현·설성수. (2007). “한국의 기술혁신 연구자 관계구조 분석: 사회네트워크 관점”. 『기술혁신학회지』. 10(4):605-628.
- 미래창조과학부. (2013가). 『생명공학육성법』.
- 미래창조과학부. (2013나). 『2012년도 연구개발활동조사보고서』.
- 미래창조과학부. (2014). 『과학기술기본법』.
- 미래창조과학부. (2015가). 『2013년도 국가연구개발사업 성과분석』.
- 미래창조과학부. (2015나). 『정부 연구개발 혁신방안』.
- 생명공학정책연구센터. (2014). 『Biotechnology in Korea』.
- 박치성. (2012). “행정학 학문공동체의 공동연구 네트워크 구조에 관한 연구: 1998-2009년간 24개 행정학 학술지의 논문공저자 네트워크의 분석을 중심으로”. 『한국사회와 행정연구』. 22(4):129-153.
- 배순자. (2002). “국내 학술연구자들의 국내학술지 의존도에 대한 계열간 비교조사연구”. 『한국문헌정보학회지』. 32(3):127-142.
- 손동원. (2008). 『사회 네트워크 분석』. 경문사
- 오준병·조운애. (2004). 『공동연구개발의 성공요인 분석 - 정부지원 공동연구개발사업을 중심으로 -』. 산업연구원.
- 윤종민. (2009) “국제공동 성과물 관리제도 개선방안”. 『기술혁신학회지』. 12(3):499-524.
- 이공래·성태경. (2009). 『융합기술 혁신을 위한 산학협력 활성화 방안』. 과학기술정책연구원.
- 이상규. (2015). “우리나라 연구개발 투자의 현주소와 정책과제”. 『KIET 산업경제』. 산업연구원. 2015(8):18-28.
- 이수상. (2010). “공저 네트워크 분석에 관한 기초연구”. 『한국도서관·정보학회지』. 41(2):297-315.
- 이숙희. (1994). “사회 자연과학 분야의 공저자 문헌에 관한 연구”. 『한국정보관리학회 학술대회 논문집』. 1:47-50.
- 이재윤. (2006). “계량서지적 네트워크 분석을 위한 중심성 척도에 관한 연구”. 『한국문헌정보학회지』. 40(3):191-214.
- 이준영·심위·안세정·권오진·노경란. (2012). “국제 공동연구의 인용영향력에 대한 연구 - 기초기술 연구회 13개 출연연구기관을 대상으로 -”. 『한국전자통신학회논문지』. 7(6):1353-1362.
- 이희재. (2005). “과학기술 분야 구조화에 대한 연구”. 연세대학교 대학원. 석사학위논문.
- 임병학·전희주. (2011). “사회 네트워크 분석을 활용한 물류 공저자들의 협력 네트워크 구조 분석: 한국물류학회지를 중심으로”. 『물류학회지』. 21(2):205-229.
- 정호연·정영미. (2007). “학술지 인용과 웹 링크 분석을 통한 과학기술분야의 학제성 비교연구”. 『정보관리학회지』. 24(3):179-200.
- 조혜선·김용학. (2005). “과학기술자의 공동연구 네트워크 - 성별 비교를 중심으로”. 『한국사회학』. 39(6):119-158.

- 최영훈·이강춘. (2009). “학술논문 공동저술 유형 분석”. 『한국행정학보』, 43(3):51-72.
- 최윤희·문혜선·심우석·정무섭. (2013). 『바이오경제시대의 정책과제』. 산업연구원.
- 현병환, (2010). “3P 분석 이용해 국가연구개발 생산성 높인다”. 『과학과 기술』, 489:60-63.
- Barabási A.-L., Oltvai Z. N. (2004). “Network Biology: Understanding the Cell’s Functional Organization”, *Nature Reviews Genetics*, 5, 101-113.
- Barnett A. H., Ault R. W., Kaserman D. L. (1988). “The Rising Incidence of Co-authorship in Economics: Further Evidence”, *Review of Economics and Statistics*, 70(3), 539-543.
- Beaver, D. D. (2004). “Does Collaborative Research Have Greater Epistemic Authority?”, *Scientometrics*, 60(3), 399-408.
- Bozeman, B., Rogers J. (2002). “A Churn Model of Scientific Knowledge Value: Internet Researchers as a Knowledge Value Collective”, *Research Policy*, 31, 769-794.
- Bozeman, B., Mangematin. V. (2004). “Editor’s Introduction: Building and Deploying Scientific and Technical Human Capital”, *Research Policy*, 33, 565-568.
- Endersby J. W. (1996). “Collaborative Research in the Social Sciences: Multiple Authorship and Publication Credit”, *Social Science Quarterly*, 77(2), 375-392.
- Erdős P., Rényi A. (1959). “On Random Graphs”, *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 6, 290-297.
- Freeman L. (1979). “Centrality in Social Networks Conceptual Clarification”, *Social Networks*, 1, 215-239.
- Friedkin N. E. (1993). “Structural Bases of Interpersonal Influence in Groups: A Longitudinal Case Study.”, *American Sociological Review*, 58(6), 861-872.
- Hansen M. (2011). 「협업: 콜라보레이션」, 교보문고(한국어판).
- Katz, J. S., Martin. B. R. (1997). “What is Research Collaboration?”, *Research Policy*, 26, 1-18.
- Kochen M. (1989). *The Small World*. Ablex Publishing Corporation.
- Moddy J. (2004). “The Structural of a Social Science Collaboration Network: Disciplinary Cohesion from 1963-1999”, *American Sociological Review*, 69, 213-238.
- Newman M. E. J. (2004). “Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(1), 5200-5205.
- Piette, M. J., Ross. K. L. (1992). “An Analysis of the Determinants of Co-authorship in Economics”, *Journal of Economic Education*, 23(3), 277-283.
- Price D. J., Beaver D. de B. (1966). “Collaboration in an Invisible College”, *American Psychologist*, 21, 1011-1018.
- Watts, D. J. (1999). “Networks, Dynamis and the Small-World Phenomenon”, *American Journal of Sociology*, 105, 493-527.
- Shannon P, Markiel A, Ozier O, Baliga NS, Wang JT, Ramage D, Amin N, Schwikowski B, Ideker T. 2003.“Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks.”, *Genome Research*, 13(11), 2498-2504.