

IT분야 국가혁신시스템 네트워크 구조 분석

주성환

대중소기업협력재단 거래공정화부 과장

Analysis on structure of National Innovation System in IT

Seong-Hwan, Ju

Large & Small Business Cooperation Foundation

요 약 본 논문은 우리나라의 정보통신 분야 국가혁신시스템의 혁신 요인간 상호작용 측면을 알아보기 위해 네트워크 관점에서 연구했다. 이를 위해 우리나라 정부가 지원하는 국가 R&D 과제 중 공동연구를 수행했던 기관들 간의 관계를 소셜네트워크분석법(Social Network Analysis)를 통해 분석하였다. 분석 결과, 우리나라 정보통신 분야 국가혁신시스템의 네트워크는 좁은세상 네트워크 유형인 것으로 나타났다. 이 결과를 통해 우리나라의 정보통신 분야 혁신 주체들은 매우 긴밀하게 지식 및 정보를 주고받는다라는 것을 알 수 있었다. 또한, 기술혁신 네트워크 내의 혁신 주체 중, 연구기관의 비중은 상대적으로 높았고, 기업의 비중은 상대적으로 낮아 우리나라 기술혁신 활동이 정부 주도형으로 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 국가혁신시스템의 네트워크 구조가 혁신의 성공에 어떤 영향을 미치는지 연구할 필요가 있다.

주제어 : 국가혁신시스템, 소셜네트워크분석, 정보통신, 좁은세상 네트워크, 공동R&D

Abstract This study was conducted with the network-related viewpoint to see the aspect of interaction among innovation factors of this country's national innovation system in information and communication sector. For this, the relations in which institutions have conducted a joint study of national R&D projects supported by the government were analyzed by the method of Social Network Analysis. As a result of the analysis, the network of national innovation system in information and communication sector of this country turned out to be "small world network." Based on the result, it was found out that innovation subjects in the sector of this country closely exchange knowledge and information. In addition, among innovation subjects in the network, the proportion of research institutions was relatively high and the proportion of enterprises was relatively low, which confirmed that the activity for technical innovation has been made under the lead of the government. Further study is required to find out what effect the network structure of national innovation system has on the success of innovation.

Key Words : National Innovation System, Social Network Analysis, IT, Small World, Collaborative R&D

1. 서론

최근, 미래창조과학부에서 발표한 2015년 과학기술혁

신역량 평가에 따르면, 우리나라의 과학기술혁신역량은 OECD 30개국 중 7위라고 한다[1]. 비교적 높은 순위임에도 불구하고 아쉬운 점은 기술 환경, 기업 간 기술협력,

Received 2 March 2016, Revised 31 March 2016
Accepted 20 April 2016, Published 28 April 2016
Corresponding Author: Seong-Hwan, Ju
(Large & Small Business Cooperation Foundation)
Email: jeongmal@naver.com

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

SCI 논문 피인용도, 지식재산권 보호 등 실제 혁신성과를 측정하는 질적 지표들은 대부분 하위권을 기록했다는 점이다. 개방형 혁신(Open Innovation) 측정 지표라고 할 수 있는 기업 간 기술협력 지표의 낮은 순위는 우리나라의 기술 기초체력이 아직은 부족하다는 것을 보여준다. 그것은 정부의 기술혁신 정책이 단기적 성과에 치우쳐져 있고, 지속가능한 혁신을 가능케 하는 기초체력을 든든하게 하는 데에 소홀한 것이 아닌가 하는 우려를 지울 수 없다.

이러한 관점에서 혁신시스템(Innovation System)의 구축은 지속가능한 국가경쟁력 확보를 매우 시급하고 중요하다고 할 수 있다. 실제로 최근 많은 국가에서 기업의 혁신활동을 지원하는 정책의 핵심은 “혁신은 혁신시스템(Innovation System)에서 발생한다”라는 명제이다[3]. “혁신시스템(Innovation System)”이라는 용어는 지식의 생산을 포함하는 기업과 기관 간의 상호작용을 언급하면서, 1985년에 Lundvall에 의해 처음 소개되었고[4], Lundvall은 혁신에 대해 “혁신은 개인의 역량으로부터 얻는 단편적 이벤트가 아니라 오랜 시간 동안 개인과 조직 간의 상호작용 과정 중에 발생하는 사회학습적 프로세스의 결과물”이라고 하였고, 이에 혁신에서 가장 중요한 점은 축적적이고 상호작용적인 프로세스라고 할 수 있다[4]. 이러한 관점에서 혁신 시스템은 여러 개인 연구자 간 공동 연구, 신제품 개발과 관련된 소비자와 생산자 간 상호작용, 그리고 연구기관으로서 대학교, 기업 간의 상호작용까지 모두 포함하는 것이라고 할 수 있다. 이것을 국가적 차원으로 확장하면 국가혁신시스템(National Innovation System)을 이해할 수 있는데, 국가혁신시스템은 국가적 차원의 혁신을 주도하는 모든 주체 간 상호작용, 혹은 협력적 기술혁신을 의미한다고 할 수 있다.

이에 국가적 경쟁력 차원에서 보면, 국가혁신시스템의 핵심인 혁신 주체간 상호작용을 어떻게 촉진시켜서 발전시켜 나아가야 할지를 연구해야 할 필요가 있다. 이를 통해 지속가능한 국가적 혁신 경쟁력의 토대를 만들어야 하기 때문이다. 하지만, 기존 국가혁신시스템에 관한 연구의 대부분은 상호작용이라는 복잡다단한 관계를 고려하지 않고, 단편적이고 통계적인 상관관계 및 인과관계를 밝히거나, 혁신 주체 혹은 혁신 요인의 속성을 서술하는 방식의 연구가 많았고, 이에 상호작용을 위한 시스템의 복잡한 속성을 밝히는 연구는 거의 없다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 지식 산업이라고 할 수 있는 정보통신산업을 중심으로 우리나라의 국가혁신시스템의 요인간 상호작용 측면을 네트워크 관점에서 연구하고자 한다. 상호작용 측면에 대한 분석을 통해 국가혁신시스템의 요인이 혁신을 위해 서로 협력하는 구조적 양상을 살펴보고자 한다. 이를 위해 우리나라 정부가 지원하는 국가R&D과제 중 공동연구를 수행했던 기관들 간의 관계를 소셜네트워크분석법(Social Network Analysis, 이하 SNA)를 통해 분석하고자 한다. 마지막으로 분석한 결과는 다른 국가의 결과와 비교·분석하고자 하는데, 이것은 성공적으로 혁신을 하고 있는 다른 국가의 구조적 양상과 비교하여 우리나라의 국가혁신시스템 구조가 혁신에 얼마나 기여하고 있는지를 탐색적으로 알아보고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 국가혁신시스템(NIS)

국가혁신시스템은 앞서 설명한 바와 같이 국가적 차원에서 기술 혁신을 하기 위한 혁신 주체 간 상호작용적 체계라고 할 수 있다. 여러 국내외 학자들이 국가혁신시스템에 대해 정의하고 있는데, 다음과 같다. Freeman(1987)은 국가혁신시스템에 대해 새로운 기술을 획득하고 개량하며 확산시키기 위하여 관련 기술행위와 상호작용을 수행하는 공공 및 민간부문 조직간 네트워크라고 정의하였다[5]. Nelson(1993)은 상호작용을 통해 기업들의 혁신적인 성과를 결정하는 기관들의 집합이라고 하였다[6]. Lundvall(1992)은 기술혁신을 위한 탐색·탐구 활동 뿐만 아니라 상호학습에 영향을 미치는 국가의 모든 조직 및 제도라고 하면서, 생산시스템, 교육훈련시스템, 금융시스템 등 경제진반과 하부시스템을 모두 포함한다고 하였다. 다만, 협의로는 연구개발부서, 기술연구소 및 대학 등 연구기관에 한정하여 기술혁신을 위한 탐색·탐구 활동에 관련된 모든 조직과 제도라고 정의하였다[7]. 임체성(2003)은 특정 환경 하에서 혁신활동을 하는 데 있어서 상호작용하는 주체로 이루어지는 국가적 차원에서의 시스템이라고 정의하였다[8].

종합하면 국가혁신시스템은 기술혁신을 위한 국가단위의 체계이며, 혁신 주체간 상호작용을 위해 구축된 조

직 및 제도적 네트워크라고 할 수 있다.

(Table 1) Definition of National Innovation System

Scholar	Definition
Freeman(1987)	Network among organizations in private and public for acquiring and diffusing new technology
Nelson(1993)	A set of organizations to determine the innovative performance through interaction
Lundvall(1992)	Exploration activities as well as the organizations and institutions that affect the interactive learning for innovation
Lim(2003)	Systems at the national level made it to interact with the subject innovation activities under certain circumstances

2.2 사회네트워크분석(SNA)

국가혁신시스템의 핵심 요인인 혁신 주체 간 상호작용 및 협력활동을 검증하기 위해 본 연구에서는 사회네트워크분석(Social Network Analysis) 방법을 사용하고 있다. 사회네트워크분석은 사회학, 물리학, 경제학 분야에서 활발하게 사용되고 있는 방법으로 사회적 관계, 즉 네트워크 내에 속해 있는 구성원 간의 복잡다단한 면을 파악하기 위해 연결정도, 연결경로, 연결규모 및 네트워크 내에서의 구성원의 위치 등을 분석하여 해당 네트워크가 어떤 의미를 내포하고 있는 지, 각 구성원이 어떤 위치를 차지하고 있는 지를 분석하는 방법이다[9]. 사회학 분야에서는 이메일 교환 연결망, 성 접촉 연결망 등에 대한 연구가 있어 왔고, 경제학 분야에서는 국가의 경제안정성을 위한 국가경제네트워크에 대한 연구 등이 있어 왔다[10].

분석 방법은 구조분석과 특성분석으로 나눌 수 있다. 구조분석은 혁신 주체 간 연결 형태 및 연결 정도를 표현하는 것이라고 할 수 있는데, 네트워크 내에 주체들이 어떤 규모로 연결되어 있는지, 얼마나 촘촘하게 연결되어 있는지 등을 분석하는 것이다. 주요 지표로는 모든 주체가 상호작용을 위해 서로 연결되어 있는 총 개수를 나타내는 연결정도(degree), 연결가능한 모든 연결선 대비 실제 연결된 연결선의 비율을 나타내는 밀도(density), 어떤 주체가 다른 주체와 연결되기 위해 거쳐야 하는 최소 단계를 경로거리(geodesic), 관계의 비중복성을 표현하는 구조적 공백(structural hole) 등이 있다[11].

특성분석은 해당 네트워크 및 네트워크 내의 구성원

들이 어떤 의미를 갖는 지에 밝히고자 하는 것으로 중심성 지표가 대표적이다. 중심성 지표로는 연결중심성(degree), 근접중심성(closeness), 매개중심성(betweenness)이 있다[11].

연결중심성은 연결정도를 기반으로 한 중심성으로 연결관계가 많은 주체가 높은 연결중심성을 갖게 되며, 높은 연결중심성을 갖는 주체는 주체들 간의 지식, 정보의 거래를 증대할 수 있고, 이로부터 이익을 취할 수 있다[9]

근접중심성은 연결중심성과는 달리 네트워크 내의 간접적 연결까지 고려하여 전체 네트워크에서 한 주체와 다른 모든 주체들 간의 거리를 강조한다. ‘근접’이란 한 주체가 다른 주체들과 직접적 또는 소수의 중개주체를 통해 얼마나 빨리 소통할 수 있는 지를 나타내는데, 근접중심성은 네트워크 내에서 한 주체가 다른 주체와 얼마나 가까이 있는지를 측정하는 것이다. 높은 근접중심성을 갖는 주체는 정보를 신속하게 접할 수 있게 되고, 높은 정확도의 정보를 얻게 된다[9].

매개중심성은 직접 연결되어 있지 않은 주체들 간의 관계를 통제 또는 중개하는 정도를 나타낸다. 한 주체가 네트워크 내 어디에 있는지가 중심성을 결정하는 중요한 요소이며, 주체가 네트워크 내 주체쌍 간의 최단 경로상에 위치하는 횟수를 측정하여 계산된다[9].

사회네트워크분석법은 위의 측정을 통한 수치 결과로 네트워크의 특성을 파악하여 그 특성에 따른 상호작용, 지식전파, 구성원 간 협력의 양상을 살펴 보고, 그에 대한 의미를 유추할 수 있는데, 그러한 결과들을 토대로 학자들은 크게 세가지의 네트워크 유형과 유형별 특징을 제시하고 있다.

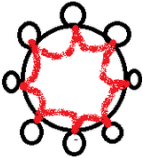


첫째, 무작위 네트워크(Random Network)이다. 무작위 네트워크는 결점 당 오직 하나의 연결만 있어도 전체가 모두 연결되기에 충분하다는 것에서 나왔다. 무작위 네트워크 모델의 전제는 철저하게 평등주의적이다. 즉, 연결선을 완전히 무작위적으로 부여한다. 따라서 모든 결점은 추가적 연결 하나를 부여받을 기회를 똑같이 갖고 있다. 만약 네트워크가 커지게 되면, 링크를 완전히 무작위적으로 부여하더라도 거의 모든 결점들은 같은 수의 연결을 갖게 될 것이라는 뜻이다. 결점당 연결선 수가 동일한 네트워크로 결점이 늘 때마다 정규분포와 같이 연결선수가 동일하게 늘어난다[9].

둘째, 좁은세상 네트워크이다. 이것은 매우 멀리 떨어

저 보이는 사람이나 사물들 사이에 실제로는 매우 짧은 링크에 의해 연결되는 현상을 말한다. 그 특징으로는 첫째, 매우 높은 군집화 계수 값이 나타난다는 것이고, 둘째, 경로거리가 매우 짧게 나타난다는 것이다. 좁은 세상 네트워크는 가까운 이웃 간에는 서로 연결되어 군집화되어 있으며, 멀리 떨어져 있는 결점들도 특정 결점이 형성되어 지름길이 형성되므로, 연결거리가 급격하게 짧아지는 것이라고 할 수 있다[9].

셋째, 무척도 네트워크는 연결정도 분포가 멱함수(거듭제곱) 법칙을 준수한다는 것이다. 이 네트워크는 몇가지 특징적 현상들이 나타나는데, ① 연결 패턴에서 선호적 연결 현상이 나타나고, ② 예외적이라고 할 만큼 극히 많은 연결을 가지는 소수의 허브가 발견되며, ③ 좁은 세상 네트워크가 나타난다는 것이다[9].

<Table 2> Network types

Random Network	Small World Network	Scale-Free Network
		
- Average Connection the same - Increase the number of connections the same	- High Clustering - Short Degree	- Preferential Connection - Small World Network

<Jung(2003)[12]>

2.3 NIS 네트워크 분석에 관한 기존연구

네트워크 분석 기법은 상당히 오래된 분석 기법이지만, 분석을 위한 도구의 기술적 한계로 활발하게 사용되지는 못 했다. 그러나, 1980년대 이후 INSNA (International Network for Social Network Analysis)라는 전문가 조직이 출범하고, UCINET, NetMiner, Pajek 등 관련 분석 도구들이 등장하면서 경제, 사회, 물리 등 다양한 분야에서 활용되어지기 시작했다[9]. 특히, 국가 혁신시스템은 상호작용이라는 본질을 갖고 있기 때문에 각 국가의 시스템에 대한 네트워크 분석이 진행되기 시작하였다.

Breschi et al(2003)은 유럽의 대표적인 기술혁신 프로젝트인 EU Framework 중, 1992년과 1996년 사이에 추

진된 조인트 벤처(R&D Joint Ventures) 네트워크를 실증적으로 분석하였다. 그 네트워크는 9,816개의 연구기관·기업과 3,874개의 협력 프로젝트를 포함하고 있고, 바이오 관련 프로젝트가 23%, ICT관련 프로젝트가 17%를 차지하고 있었다. 분석 결과에 의하면 네트워크 내에 가장 큰 집단(Component)은 전체 기관 중 96.3%가 모여 있어 대다수의 기관이 직·간접적으로 연결되어 있다는 것을 알 수 있다. 기관 간 평균 경로거리는 4.5로 평균적으로 4.5단계만 지나면 연결하고자 하는 기관과 만날 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 연결밀도를 나타내는 클러스터링 계수는 0.82로 매우 조밀한 분포를 보인다고 할 수 있다. 종합하면 매우 조밀하고 정보연결이 신속하고 용이하게 전달 가능한 네트워크 분포를 보이고 있고, 이것을 좁은 세상 네트워크 유형이라고 한다[13].

Schilling et al(2007)은 네트워크의 군집화(Clustering)와 경로거리(Reach)가 특허 등 기술혁신 성과에 미치는 영향을 분석하였다. 1990년부터 2000년까지의 하이테크 산업 11개에 속해 있는 미국 기업 데이터를 활용하였다. 본 네트워크는 1,106개 기업과 5,306개의 협력관계로 구성되어 있었다. 분석결과에 의하면 군집화 계수는 0.267로 나타났고, 평균 경로거리는 1.224을 나타냈다. 즉, 아 독립변수 값을 종속변수인 특허출원에 적용 분석하면 군집계수가 0.267을 초과할 때에 기술혁신에 긍정적이고, 평균 경로거리가 1.224 이상일 때에 기술혁신에 긍정적인 것으로 나타났다. 이것은 지식 확산의 매개자로서 네트워크 구조가 어떠한 영향을 미치고 있는 지에 대해 의미 있는 시사점을 제시하고 있다[14].

Barber et al(2007)은 유럽의 대표적인 기술혁신 프로젝트인 Framework Programmes(FPs)의 협력 네트워크를 연구하였다[15]. 그 결과 프로젝트의 규모는 네트워크의 전체 구조에 의미있는 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 나타났고, 또한, 유럽 내 협력 연구기관 들 간의 통합이 점점 증가하여 유럽 내 연구 영역이 밀접하게 통합되어 가고 있다는 것을 알아내었다[15].

이덕희(2011)는 유럽의 BT분야 네트워크를 분석하기 위해 1차부터 6차까지의 FP 프로젝트 중, BT분야 프로젝트만을 선별하여 분석하였다[11]. 본 네트워크는 5,763개의 연구기관과 2,829개의 협력 네트워크를 포함하고 있다. 분석 결과에 의하면 네트워크 내에 가장 큰 집단(Component)은 전체 기관 중 94.47%가 모여 있어 대다

수의 기관이 직·간접적으로 연결되어 있다는 것을 알 수 있다. 기관 간 평균 경로거리는 3.942로 평균적으로 3.9단계만 지나면 연결하고자 하는 기관과 만날 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 연결밀도를 나타내는 클러스터링 계수는 0.246으로 매우 조밀한 분포를 보인다고 할 수 있다. 종합하면 매우 조밀하고 정보연결이 신속하고 용이하게 전달 가능한 네트워크 분포를 보이고 있고, 본 네트워크 또한 좁은세상 네트워크 유형이라고 할 수 있다[11].

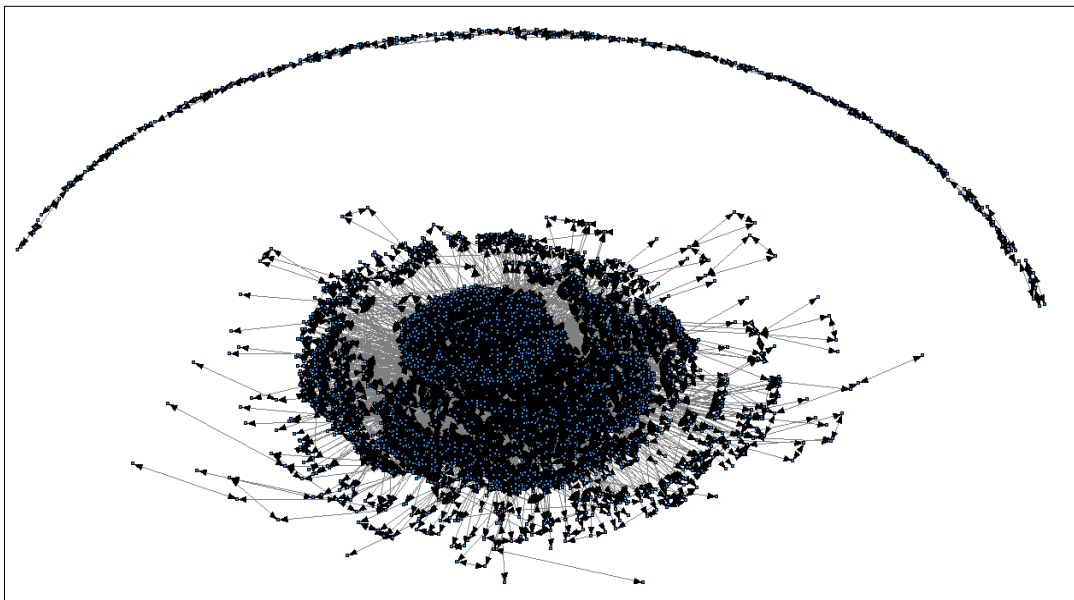
이러한 기존 연구를 종합하면 유럽의 협력형 R&D 프로젝트들을 통한 국가혁신시스템의 구조는 대체적으로 다음과 같다. 군집계수가 0.2이상으로 매우 조밀한 구조를 갖고 있고, 평균 경로거리도 5 미만을 보이고 있다. 또한, 가장 큰 구성집단의 비중이 매우 높은 것으로 나타나고 있어 좁은세상 네트워크의 구조를 보이고 있다. 좁은세상 네트워크는 구성원 간 정보·지식의 교류 및 전달에 매우 강한 구조라고 할 수 있으며, 이에 혁신을 위해 정보·지식의 교류 및 협력이 매우 중요하다고 할 수 있다.

3. 연구목적 및 방법

3.1 연구의 목적

구성원 간 네트워크를 통한 상호학습, 지식의 교환, 교류가 중요해 지고, 이러한 구조적 특성이 결국 기술혁신에 중요한 역할을 미치고 있다는 것은 앞서 설명한 바 있다. 이에 앞서 살펴봤던 기존 연구들은 네트워크의 구조를 분석하고, 그 구조적 특성과 기술혁신의 관계에 대해 연구한 바 있다. 이덕희(2011)는 유럽의 R&D 프로젝트인 FP에 대한 연구를 통해 해당 프로젝트의 네트워크가 좁은세상네트워크 특징 및 먹힘수 분포를 밝힌다는 점을 밝혔다[11]. 김용학 등(2007)은 우리나라 과학기술 공동연구의 연결망 구조를 밝히면서, 연결의 정검다리 역할을 하는 연구자들이 논문 생산성, 연구비 수혜와 높은 상관관계를 보인다는 점을 밝히기도 하였다[16].

본 연구에서는 정보통신 분야의 우리나라 정부 R&D 프로젝트를 중심으로 국가기술혁신시스템에 대해서 분석하고자 한다. 기존 유럽의 연구들을 통해 좁은세상 네트워크 구조, 척도없는 네트워크 구조 등이 비교적 기술혁신에 기여함을 보인 바 있다. 이에 본 연구에서도 우리나라의 시스템 구조가 이러한 기존 연구의 구조와 비교하여 어떤 유사점과 차이점이 있는지 밝힘으로써 기술혁신에 기여할 수 있는 구조를 갖고 있는지를 알아볼 것이다. 이것은 국가적으로 지속가능한 기술혁신시스템의 구조를 만들어 가는데 일정 부분 기여할 수 있을 것으로 생



[Fig. 1] Network Structure in IT

각되며, 이를 통해 기술혁신 정책에 대한 시사점도 도출할 것이다.

3.2 연구방법

본 연구는 2013년에 수행중이었거나 완료된 IT분야의 장기, 단기 협력형 국가 R&D과제를 대상으로 실시하였다. 국가 R&D과제를 수행한 주관기관, 협력기관, 위탁기관 간의 네트워크를 분석하기 위해 각 기관간 연결을 행렬로 만들어 그 관계를 분석하였다. 행렬은 1원모드이고, 비방향 및 계량형 행렬이다.

데이터의 출처는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)이다. 2013년 IT분야에서 공동연구를 수행한 총 과제수는 1,430개이고, 수행 기관수는 2,236개이다. 연구도구는 소셜네트워크분석 전문도구인 UCINET6를 사용하였다.

본 도구를 통해 우리나라 IT분야 혁신시스템의 R&D 네트워크에 대해 분석하고자 한다. 우선, 연결정도, 밀도, 경로거리, 컴포넌트에 대한 측정을 통해 네트워크의 일반 구조를 분석하고, 둘째, 클러스터링 계수, 경로거리에 대한 측정을 통해 네트워크의 유형을 분석하고자 한다. 셋째, 연결중심성, 매개중심성, 근접중심성 측정을 통해 각 혁신주체별 중심성에 대한 분석을 하고, 각 혁신주체 분류에 따른 특징을 살펴보고자 한다. 마지막으로 해외 연구와 비교 분석을 통해 우리나라 IT분야 혁신시스템에 대한 탐색적 시사점을 제시하고자 한다.

4. 네트워크 구조 분석

4.1 구조 분석

소셜네트워크분석법을 통해 <Table 3>과 같은 결과를 도출하였다. 이 측정값을 통해 네트워크의 전체적 형태 및 속성을 파악할 수 있고, 네트워크 유형을 분류할 수 있다. 연구 대상 혁신주체인 참여기관수는 2,236개이다. 이 기관들을 연결할 수 있는 연결가능개수는 4,919,897개인데, 이 중 실제로 연결된 연결선 개수는 18,946개이다. 이에 실제 연결선수를 연결가능한 모든 연결선수로 나눈 네트워크 밀도는 0.004이고, 표준편차는 0.081을 나타내고 있다. 혁신 주체 당 평균 연결관계 개수는 8.477개로서, 네트워크에 속하는 혁신 주체들이 8개 남짓한 협력 파트너를 갖고 있다. 전체 네트워크는 80개

의 구성집단(component)으로 나누어져 있고, 전체의 91.8%에 해당하는 2,052개 혁신 주체가 가장 큰 구성집단에 속하여 있다. 두 번째로 큰 구성집단에 속한 기관이 5개에 불과한 것으로 볼 때, 가장 큰 구성집단을 제외한 나머지는 대부분 소규모의 군락을 이루고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 본 네트워크는 좁은 세상 네트워크(small world network)임을 유추해 볼 수 있는 매우 촘촘한 구조를 갖고 있다는 것을 알 수 있다. [Fig. 1]은 본 네트워크의 모양을 그림으로 나타내고 있는데, 역시 중앙이 매우 촘촘한 구조로 구성되어 있고, 소수의 연결되지 않은 혁신 주체들이 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

또한, 경로거리는 한 혁신주체가 다른 혁신주체와 만나기 위해 몇 단계를 거쳐야 하나를 보여주는 것이다. 경로거리에 대한 분석은 다음과 같다. 가장 많은 경로거리는 3단계로 43.4%를 차지하고 있는데, 이것은 어떤 혁신 주체가 다른 혁신 주체와 만나기 위해서 3개의 혁신 주체를 거쳐야 가능한 연결관계가 전체의 43.4%를 차지한다는 의미이다. 평균 경로거리는 4.1단계를 보이고 있고, 최대 경로거리이자 본 네트워크의 지름은 9단계로 나타났다.

<Table 3> Structure Analysis

	Index	Result
General Information	Project	1,430
	Organization	2,236
	Available Connection	4,919,897
Connection	Actual Connection	18,946
	Density	0.004
	Standard Deviation	0.081
	Average Link	8.477
Degree	Most Degree	3(43.4%)
	Average Degree	4.1
	Longest Degree	9
Component	Number	80
	the 1st Component	91.8%
	the 2nd Component	0.2%
Clustering	Simple Clustering	1.317
	Weighting Clustering	0.189

마지막으로 군집화 측정인데, 혁신 주체들의 군집 정도를 측정하는 것이다. 위의 표에서 보는 바와 같이 단순 평균 클러스터링 계수는 1.317이다. 네트워크의 크기가 반영된 가중평균으로 계산한 클러스터링 계수는 0.189라는 것을 알 수 있다. 가중평균 클러스터링 계수가 네트워크의 군집화 정도를 보다 적절하게 나타낸다고 할 수 있다.

4.2 특성 분석

클러스터링 계수 측정을 통해 본 네트워크가 얼마나 밀접하게 연관되어 있는 지를 파악할 수 있다.

〈Table 4〉 Feature Analysis

Index	Result
Degree Centrality	26.05%
Closeness Centrality	47.4%
Betweenness Centrality	25.72%

위 표에서는 네트워크 전체의 중심성 평균을 구한 것이다. 네트워크 내의 각 주체들은 평균적으로 26.05%의 연결중심성, 47.4%의 근접중심성, 25.72%의 매개중심성을 갖는다고 할 수 있다.

아래는 각 중심성 별 상위를 차지하고 있는 혁신 주체 및 각 수치를 나타내고 있는데, 이를 통해 중요한 역할을 하는 혁신 주체의 분포를 파악할 수 있다.

〈Table 5〉 Degree Centrality

Organization	Degree Centrality
Research Organization	0.151
Public Agency	0.003
University	0.010
Private Agency	0.002
Company	0.002

위의 표는 연결중심성에 관한 수치 측정값으로 연구 기관, 공공기관, 대학교, 민간단체, 기업의 평균 연결중심성에 대한 수치이다. 가장 연결중심성이 높은 혁신 주체는 연구기관으로 0.151의 수치를 보이고 있고, 뒤를 이어 대학교가 0.010, 공공기관이 0.003의 수치를 보이고 있다. 연결 중심성이 높을수록, 더욱 많은 기회를 얻게 되고, 다른 주체들에 대해 덜 종속적이 되며, 이러한 자율성은 높은 지위를 갖게 한다[9].

〈Table 6〉 Closeness Centrality

Organization	Closeness Centrality
Research Organization	0.285
Public Agency	0.263
University	0.278
Private Agency	0.261
Company	0.258

근접중심성은 연구기관, 공공기관, 대학교, 민간단체, 기업의 수치가 비슷하다. 연구기관이 0.285로 가장 높고, 대학교가 0.278, 공공기관이 0.263이 뒤를 잇고 있으나, 그 차이는 미미하다. 근접중심성의 수치가 작다는 것은 경로거리가 짧다는 것을 의미하는데, 짧은 경로거리로 다른 혁신 주체에 도달할 수 있다면 해당 혁신 주체는 파워의 보유 및 행사에 유리한 위치를 갖게 된다[9].

〈Table 7〉 Betweenness Centrality

Organization	Betweenness Centrality
Research Organization	0.644
Public Agency	0.042
University	0.422
Private Agency	0.037
Company	0.009

매개중심성이 높은 혁신 주체도 연구기관 및 대학교에 집중되어 있다. 연구기관이 0.644, 대학교가 0.422의 수치를 보이고 있으며, 다른 혁신 주체와 차이가 있을 것을 알 수 있다. 중개 위치에 있는 혁신 주체는 주체 간 중개로 이득을 얻거나 다른 혁신 주체를 소외시킬 수 있어 큰 파워를 갖게 된다[9].

4.3 시사점

앞 선 논의에서 살펴 본 바와 같이, 본 연구의 네트워크 구조는 높은 밀도, 짧은 경로거리, 높은 군집화 계수 등을 토대로 판단하건데, 좁은세상 네트워크일 것으로 예상된다. 이것은 기존 연구와 비슷한 결과로 우리나라의 국가혁신시스템이 비교적 정보·지식의 협력 및 교류가 활발하며, 즉 혁신 주체 간 상호작용이 긴밀하게 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 이를 통해 개방형 기술혁신이 성공적으로 이루어지고 있을 것으로 추정해 볼 수 있다. 다음 장에서 논의할 타 네트워크와의 비교 분석을 통해 보다 자세하게 검증할 수 있을 것이다.

또한, 네트워크 내에서 혁신 주체들의 역할에 대해서는 세 개의 중심성 수치에 비추어 설명할 수 있다. 연결 중심성의 측면에서, 주로 연구기관의 수치가 높은 것으로 나타나 다른 기관 유형들에 비해 공동 R&D 과제에 많이 참여하고 있는 것으로 보여지며, 과제 내에서도 주도적인 역할을 하고 있어 다른 주체들이 비해 덜 종속적인 위치를 차지하고 있다. 반면, 기업은 연구기관이나 대

학교에 종속적으로 역할을 하고 있는 것으로 보여 진다. 근접중심성의 측면에서 비슷한 수치를 보이고 있는데, 이것은 거의 모든 혁신주체들이 타 기관과의 연결양상이 비슷하다는 것을 의미하는 것으로 특별히 중심적인 역할을 하는 주체가 없다는 것이다. 마지막으로 매개중심성의 측면에서 연구기관의 수치가 높은 것으로 나타나는데, 정보 및 지식의 이동에서 연구기관의 비중이 상대적으로 높다는 것을 의미하며, 이에 상대적으로 우월적 지위를 갖고 있다고 할 수 있다.

종합하면, 우리나라의 혁신 특성상, 연구기관 및 대학교의 중요도가 매우 높다는 것을 나타낸다. 즉, 국가 주도형 정책 추진으로 인해 혁신시스템 네트워크 내에서도 비슷한 양상을 보이는 것이라고 할 수 있다.

5. 연구결과 비교분석

5.1 비교 개요

이덕희(2011)는 1984년부터 2006년 기간 동안 이루어진 1차부터 6차까지의 FP(Framework Program)의 연구 과제 중 BT분야의 과제를 대상으로 하여 연구한 바 있다. 공동연구 과제로 분류된 2,829개의 과제를 대상으로 하였고, 참여기관의 수는 5,763개로 식별되었다[11]. Cusmano et al(2003)은 1992년부터 1996년 사이에 ICT를 포함한 모든 영역의 과제를 대상으로 연구한 바 있다. 공동연구 과제로 분류된 3,874개의 과제를 대상으로 하였고, 참여기관의 수는 9,816개로 식별되었다[13]. 본 챗터에서는 위 2개의 연구와 본 연구를 비교 분석하여 시사점을 도출하고자 한다.

<Table 8> Comparison

Index	My Result	Lee	Cusmano
Project	1,430	2,829	3,874
Organization	2,236	5,763	9,816
Connection	18,946	15,228	103,687
Density	0.004	0.000917	0.00215
Average Connection	8.477	5.285	7.09
Average Degree	4.1	3.942	3.16
Longest Degree	9	10	8
Component	80	113	114
the 1 st Component	91.8%	94.47%	96.3%
the 2 nd Component	0.2%	0.2%	0.1%
Clustering	0.189	0.246	0.28

5.2 비교 분석

세 개 네트워크의 전체 규모는 다소 차이가 있으나, 구조 및 특징 분석을 통해 비교가 가능하다.

첫째, 밀도는 본 연구 네트워크의 밀도가 0.004로 가장 높은 수치를 나타냈는데, 이것은 다른 네트워크에 비해 혁신 주체 간 연결이 많다는 것을 의미하므로, 혁신 주체 간 정보 및 지식의 교류가 비교적 활발할 가능성이 많다는 것을 보여준다. 둘째, 평균 연결선수에서도 본 연구 네트워크의 수치가 8.477로 가장 높은 것으로 나타났는데, 이것은 혁신 주체가 직접적으로 관계하고 있는 주체 수가 비교적 많다는 것을 의미한다. 셋째, 평균 경로거리는 세 개의 네트워크가 비슷하나, 본 연구 네트워크의 거리가 가장 먼 것으로 나타났다. 이것은 평소 서로 알고 있는 혁신 주체간의 정보 및 지식 교류는 매우 활발하나, 다소 동떨어진 혁신 주체들과는 교류할 수 있는 기회를 만들기가 어려워 교류가 매우 드물 것이라고 예상할 수 있다. 이것은 다음에 살펴 볼 컴포넌트 분포에서도 알 수 있는데, 본 연구 네트워크의 제1컴포넌트가 91.8%로 타 네트워크의 수치에 비해 작은 것은 비교적 작은 개수의 혁신 주체들이 제1그룹에 모여 있다는 것이고, 높은 밀도 수치를 감안했을 때, 제1그룹과 타 그룹사이의 연결 거리가 상당히 멀 것으로 예측된다. 마지막으로 군집화 계수는 본 연구 네트워크의 수치가 가장 작은 것으로 나타났는데, 네트워크 내에서 3개 이상의 혁신주체들이 모두 연결되어 있는 소규모의 지역적 클러스터는 타 네트워크에서 더욱 많이 발견된다는 것을 알 수 있다.

5.3 시사점

앞 선 논의에서 살펴 본 바와 같이, 본 연구의 네트워크 구조는 밀도가 매우 높고, 서로 직접 연결관계가 많은 구조를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이에 반해 간접적으로 타 혁신주체와 연결될 수 있는 가능성은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 즉, 기존에 알고 있거나, 협력해 본 경험이 있는 혁신 주체와 계속적으로 협력할 가능성이 있다는 것을 보여준다.

다만, 그럼에도 불구하고, 타 네트워크와의 수치 비교 차이는 거의 없다고 할 수 있어 비슷한 네트워크 유형을 보인다고 할 수 있다. 매우 높은 밀도를 보이고 있고, 평균적인 경로거리도 4 내외로 이덕희(2011) 연구의 무작위 네트워크 시뮬레이션 결과인 5.387보다 짧은 것으로

나타났다. 군집화 계수도 0.2 내외로 무작위 네트워크의 약 0.001에 비해 훨씬 큰다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 세 개 네트워크 모두 다소의 차이는 있지만 좁은세상 네트워크 유형이라고 할 수 있다.

이에 우리나라 IT분야 네트워크는 좁은세상 네트워크의 특징이라고 할 수 있는 정보와 정보·지식의 교류 및 협력이 활발할 것으로 예상된다. 다만, 그것이 연구기관 및 대학 중심으로 이루어지고 있다는 점은 한계라고 할 수 있다. 이것은 앞서 논의한 바와 같이 정부주도형 기술 혁신 정책에 기반한다고 할 수 있고, 또한, 기업 등 다른 혁신 주체들의 역량의 문제도 있을 것이라고 생각한다. 이에 정부주도형 기술혁신 정책의 방향도 보다 기업 주도형으로, 더불어 기업 등 다른 혁신 주체들의 역량을 향상시키는 방향을 병행함으로써 혁신의 다양성 및 창의성을 높여야 할 필요가 있을 것으로 보이며, 이를 통해 개방형 혁신의 수준을 높이고, 지속가능한 기술 경쟁력을 확보해야 할 것이다.

6. 결론

본 연구를 통해 우리나라 IT분야의 혁신시스템은 좁은세상 네트워크의 특징을 보임을 밝혔다. 유럽의 FP 네트워크에 비해서도 상당히 촘촘한 네트워크를 구성하고 있어, 혁신 주체 간 정보의 교류, 지식의 전달이 매우 신속하고 활발하게 이루어질 가능성이 높은 구조를 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한, 유럽 국가와 달리 연구기관 및 대학의 역할이 기업에 비해서 중요한 것으로 조사되었다. 본 결과는 우리나라의 기술 정책을 포함한 경제 정책이 국가 주도형으로 급속하게 추진되다 보니 국책 연구기관이 주도적으로 기술개발 프로젝트를 추진한 바에 기인한다고 할 수 있다.

다만, 기존 연구들에서 좁은세상 네트워크가 기술혁신에 효과적인 구조라는 점을 밝힌 바 있으나, 우리나라의 특성을 고려한 연구는 없다. 이에 실제로 도출된 네트워크의 특징들이 혁신의 성과와 연결되는 지는 살펴봐야 할 필요가 있다. 특히, Granovetter(1973)는 약한 연결의 힘을 주장하면서, 촘촘한 네트워크 내의 주체들은 서로 알고 있는 정보들만을 전달할 가능성이 높으므로 오히려 서로 잘 알지 못 하는 느슨한 네트워크 구조 내의 혁신

주체들이 창의적이고 신선한 정보를 주고받아 창조적 혁신을 이끌어 낼 가능성이 많다고 주장하기도 하였다[17]. 이에 우리나라 국가혁신시스템의 네트워크가 혁신 성과가 어떻게 연결되는 지도 향후 연구에서 살펴볼 필요가 있다. 또한, 본 연구는 정부지원 기술개발 프로젝트들만을 대상으로 하고 있어 민간 차원의 혁신 프로젝트들을 다루지 못 하는 한계가 있어 이에 대한 보완도 필요하다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Science, ICT and Future Planning, "2015 Measurement on Competence in Science and Technology", <http://www.kdirre.kr> (Dec 23, 2015)
- [2] The Electronic Times, "Basic Research Paradigm Shift : Follow→ Lead", <http://www.etnews.com> (Oct 22, 2015)
- [3] M. J. Kim, "Policy Instruments, Organization Networks and Business Innovation", Ph D, dissertation, Yonsei University., 2011
- [4] B. Lundvall, "Innovation, Growth and Social Cohesion", Edward Elgar Publishing, 2004
- [5] C. Freeman, "Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan", Pinter, 1987
- [6] R.R. Nelson, "National Innovation Systems: A Comparative Study", Oxford University, 1993
- [7] B. Lundvall, "National Innovation System: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning", Pinter, 1992
- [8] C. S. Lim, "National Innovation Systems of Small Advanced European Countries", STEPI, 2003
- [9] K. Y. Kwak, "Analysis in Social Network", ChungLam Publishing, 2014
- [10] J. D. Kim, D. H. Lee, "Network Structure Economic Stability", the 5th COREN Conference, 2010
- [11] D. H. Lee, "Study on Relationship and Evolution between Network Structure and Innovation Systems : Modeling a Creative Science Technology Innovation systems", KAIST, 2011
- [12] J. S. Jung, "Science Concert of Jae-Seung, Jung", Dongasia Publishing, 2003

- [13] S, Breshi. L, Cusmano. “Unveiling the texture of a European Research Area: Emergence of oligarchic networks under EU Framework Programmes”, Evaluation of Government Funded R&D Activities Conference”, 2003
- [14] M, Schilling. P, Corey. “Interfirm Collaboration Networks : The Impact of Large-Scale Network Structure on Firm Innovation”, Management Science, Vol. 53, No. 7, pp. 1113-1126, 2007
- [15] M, Barber. A, Krueger. T, Krueger. T, Roediger-Schluga, “Network of European Union-funded collaborative research and development projects”, The American Society 2006
- [16] Y. H. Kim, Y. J. Ro, H. S. Cho, Y. J. Kim, “Structure of Collaboration Network among Korean Scientists”, Korean Journal of Sociology, Vol. 41, No. 4, pp. 68-103, 2007
- [17] M, Grannovetter. “The Strength of Weak Ties”, The American Journal, Vol. 78, pp. 1360-1380, 1973
- [18] Kyoungcho Choi, Jin An Yoo, “A reviews on the social network analysis using R”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 1, pp 77-83, 2015
- [19] Hyojik Lee, Onechul Na, Soyoung Sung, Hangbae Chang, “A Design on Security Governance Framework for Industry Convergence Environment”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 4, pp. 33-40, 2015

주 성 환(Ju Seong Hwan)



- 2004년 2월 : 경희대학교 정경대학 경제학과(경제학사)
- 2010년 2월 : 중앙대학교 글로벌인적자원개발대학원 인적자원개발정책학과 (인적자원개발학 석사)
- 2013년 9월 : 한양대학교 일반대학원 경영컨설팅학과(경영학 박사 수료)

- 2004년 9월 ~ 2012년 4월 : 이러닝산업협회 기획진흥팀장
- 2012년 4월 ~ 현재 : 대·중소기업협력재단 거래공정화부과장
- 관심분야 : 빅데이터, 국가혁신시스템, 소셜네트워크분석
- E-Mail : jeongmal@naver.com