

# 국내 산업공학 공동연구 네트워크 분석

정보권<sup>1</sup> · 이학연<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 / <sup>2</sup>서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

## Analyzing the Domestic Collaborative Research Network in Industrial Engineering

Bokwon Jeong<sup>1</sup> · Hakyon Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science and Technology

<sup>2</sup>Department of Industrial and Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology

This paper aims to construct and analyze the domestic collaborative research network in industrial engineering. Using co-authorship information contained in the papers published in the two journals of the Korean Institute of Industrial Engineers, the collaborate research network at the institutional level is constructed. The core institutions in the network are identified by means of the centrality indexes of social network analysis. In addition, the five types of roles of the institutions in industry-university-institute cooperation are examined through brokerage analysis: coordinator, consultant, gatekeeper, representative, and liaisons. The findings are expected to be fruitfully utilized in formulation of R&D strategy of relevant organizations and technology policy making for promoting collaborative research in industrial engineering.

**Keywords:** Industrial Engineering, Collaborative Research, Social Network Analysis, Brokerage Analysis

### 1. 서론

사회·경제적 현상의 복잡화 및 다양화로 인해 단일 부문 또는 단일 기관별 독립적인 연구만으로는 새로운 혁신을 창출하기 어려워짐에 따라 다양한 학문분야 간 공동연구 또는 서로 다른 기관 간의 공동연구의 필요성이 급격히 높아지고 있다. 특히 개방형 혁신(open innovation) 패러다임의 도래에 따라, 기업들 간의 공동연구가 활발히 이루어지고 있으며, 기업뿐만 아니라, 기업과 대학 및 연구소 간의 공동연구, 즉 산학연 공동연구가 활발히 이루어지고 있다(Katz and Martin, 1997; Calvert and Patel, 2003).

공동연구 구조 및 특성에 대한 분석을 통해 연구 기관들의 기술경영 전략 수립뿐만 아니라, 국가 수준의 과학기술정책 개발과 관련하여 다양한 시사점을 도출할 수 있다. 이에 다양

한 분야 및 수준에서 공동연구 구조 및 특성을 분석하려는 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 이는 주로 공동연구 네트워크 분석을 통해 이루어져 왔다. 공동연구 네트워크를 통해 학술 공동체에서 협력의 구조적 형태와 연구자들 간의 사회적 관계와 학술적 영향력의 특성 파악이 가능하다(Lee, 2010). 이에 국내외의 다양한 학문 분야별 공동연구 현황을 네트워크 형태로 분석하는 많은 연구들이 수행되어 왔으나(Park, 2012; Lee, 2010; Lim *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2010; Kim, 2011; Hahn *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2005; Jung, 2012), 산업공학 분야에 대한 공동연구 네트워크를 분석한 연구는 미비한 실정이다.

국내 산업공학 분야는 1974년 대한산업공학회 설립 이후 발전을 거듭하여 현재 70여 개의 대학을 중심으로 활발한 학술 연구를 지속하고 있으나, 산업공학 공동연구의 구조 및 특성을 파악하는 시도는 거의 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

\* 연락저자 : 이학연 교수, 139-746 서울시 노원구 공릉길 138 서울과학기술대학교, Tel : 02-970-6469, Fax : 02-974-2849,

E-mail : hylee@seoultech.ac.kr

2014년 8월 13일 접수; 2014년 9월 22일 수정본 접수; 2014년 10월 24일 게재 확정.

국내 산업공학 분야를 대표하는 대한산업공학회가 발간하는 학술지 논문을 바탕으로 산업공학 공동연구 네트워크의 구조를 사회연결망 분석(social network analysis)을 활용하여 산업공학 분야의 공동연구 네트워크를 구성하고 있는 네트워크의 특성과 중심성 지표에 따른 공동연구 기관들의 비중을 분석한다.

또한 기존의 산학연 공동연구에 대한 연구들은 지원 정책 수립을 위해 산학연 공동연구의 효과 및 산/학/연의 기여도 등을 분석하는 것에 초점을 맞추고 있으나, 산학연 공동연구 네트워크상에서 어떤 기관이 공동 연구에 핵심적인 역할을 수행하고 있는지에 대한 정량적 분석을 통한 접근은 거의 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중개 분석(brokerage analysis)을 활용하여 국내 산업공학 공동연구 네트워크상에서 산/학/연 간의 공동연구를 중개하는 핵심 기관을 도출한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 공동연구 네트워크 분석에 관한 기존 연구를 고찰하고, 제 3장에서는 본 연구에서 활용하는 네트워크 분석 지표를 설명한다. 제 4장에서는 국내 산업공학 분야의 공동연구 네트워크 구축 절차 및 결과를 제시하고, 제 5장에서는 중심성 분석 및 중개 분석을 통해 산업공학 공동연구의 핵심 기관 및 그 역할을 도출한다. 마지막으로 제 6장에서는 본 연구의 의의와 한계 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 관련 연구 : 공동연구 네트워크 분석

연구 주체들 간의 관계를 네트워크 형태로 분석하는 공동연구 네트워크 분석은 계량서지 분석(bibliometric analysis)의 한 형태이다. 계량서지 분석은 논문, 서적 등 다양한 형태의 학술 자료를 수학적, 통계적 방법을 통해 분석하는 것으로, 특정 지식 도메인(domain)의 성과 측정 및 지식 구조 분석 등의 목적으로 활용된다. 일반적으로 특정 학문 분야의 지식 구조는 지식을 생산하고 교환하는 학술 주체(academic entity)들이 복잡하게 상호 연결된 네트워크 형태로 나타난다(van Raan, 2008). 이러한 네트워크의 특성을 보다 체계적, 정량적으로 분석하기 위한 수단으로, 사회과학 및 행동과학에서 개발된 사회연결망 분석이 계량서지 분석에 있어서 널리 활용되어 왔다(Otte and Rousseau, 2002).

기본적으로 네트워크는 노드(node)와 링크(link)로 구성되며, 계량서지분석에서 노드는 키워드, 문서, 저자, 학술지 등의 다양한 유형의 학술 주체로 정의된다(Börner et al., 2003). 링크는 학술 주체 간의 관계를 나타내는 것으로, 상호 인용 및 동시 인용 등 인용 관계 또는 공동저술(co-authorship), 동시단어(co-word), 동시분류(co-classification)와 같은 동시 발생(co-occurrence)에 기초하여 정의될 수 있다(White and McCain, 1997). 이처럼 다양한 유형의 학술 주체와 관계 측정 지표를 조합함으로써 다양한 형태의 학술 네트워크가 구성될 수 있다.

공동연구 네트워크는 노드를 연구자 또는 기관으로 설정하고, 링크를 공동저술 빈도에 따라 구성한 네트워크이다. 노드

를 연구자 개인으로 정의함으로써 개별 연구자들 간의 사회적 관계를 파악할 수 있으며, 개별 연구자의 소속 기관 정보를 활용하여 네트워크를 기관 수준으로 확장함으로써 연구 기관 간의 협력 연구 현황을 분석할 수 있다. 공동저술 관계는 특정 논문의 공동 저자로 동시에 기재된 빈도수를 기초로 산출된다. 넓은 의미의 연구 협력 네트워크(research collaboration network) 분석을 위해 공동저술 관계가 아닌 저자 동시인용(author co-citation) 관계를 활용하여 링크를 정의할 수도 있다(Chen, 1999). 저자 동시인용 관계는 개별 연구자들이 저술한 논문이 다른 논문의 참고문헌에 동시에 포함되는 빈도수를 측정한다. 따라서 저자 동시인용 관계를 활용하여 구축된 연구 협력 네트워크는 특정 연구 분야의 지적 구조(intellectual structure)를 파악하거나, 핵심 연구자를 도출하는 목적으로 쓰일 수는 있으나, 기본적으로 연구 분야의 유사성만을 바탕으로 연구자들의 관계를 나타낸 것이므로, 실질적인 공동 연구 네트워크라고 볼 수는 없다(Racherla and Hu, 2010). 따라서 진정한 의미의 공동연구 관계를 분석하기 위해서는 실질적인 연구 협력을 나타내는 공동저술 정보를 활용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서도 공동저술 정보를 활용하여 기관 수준에서의 산업공학 공동연구 네트워크를 분석한다.

공동저술 관계는 이론적으로 방향 또는 무방향 모형으로 구분할 수 있는 이진 네트워크 모형과 가중 네트워크 모형으로 구분이 가능하다. 하지만 저자들 간의 상호 협력으로 공동연구가 이루어지기 때문에 공동 저자 간의 관계에 방향성을 부여하기 위한 기준의 설정과 의미를 부여하기 힘들다. 그리고 네트워크의 링크에 공동저술의 빈도를 고려하지 않는 경우는 이진 네트워크가 되고 공동저술의 빈도를 고려하는 경우에 가중 네트워크가 된다(Lee, 2010).

공동저술 정보를 활용한 공동연구 네트워크 분석은 다양한 학문분야별로 활발히 이루어져 왔다. 국내의 경우 행정학(Park, 2012), 기술교육학(Kang et al., 2010), 물류(Lim et al., 2012), 전자통신(Hahn et al., 2013), 방사선종양학(Choi et al., 2010), 융합기술(Lee et al., 2010), 기술혁신(Namn et al., 2007) 등의 분야에 대한 연구가 있으며, 국제 학술지와 관련해서는 문헌정보학(Yan et al., 2009), 사회학(Moody, 2004), 물리학(Barabasi et al., 2002; Newman, 2001), 컴퓨터 과학(Cho et al., 2005), 경영학(Acedo et al., 2006), 마케팅(Morlacchi et al., 2004), 관광 경영(Hu et al., 2008; Yoo et al., 2013) 등에 대한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 산업공학 분야에 대해서는 주제어 분석(Cho and Kim, 2012), 연구 기법 분석(Cho et al., 2014) 등 계량서지학을 활용한 일부 연구가 이루어졌으나, 공동연구 네트워크에 대한 분석에 대한 연구는 미비한 실정이다.

## 3. 연구 방법 : 네트워크 분석 지표

사회연결망 분석의 다양한 지표를 활용하여 네트워크와 노드

의 특성을 정량적으로 측정할 수 있다(Kim *et al.*, 2013). 본 연구에서는 노드의 중요도를 나타내는 중심성(centrality) 분석과 노드 간의 중개 역할을 규명할 수 있는 중개 분석을 활용하여 산업공학 공동연구 네트워크를 구성하는 기관들의 중요도 및 역할을 분석한다.

### 3.1 중심성 분석

네트워크상의 핵심 주체를 파악하기 위한 목적으로 다양한 형태의 중심성 지수를 활용할 수 있다. 본 연구에서는 가장 대표적인 중심성 지수인 Freeman(1979)의 연결(degree) 중심성, 근접(closeness) 중심성, 매개(betweenness) 중심성과, Bonacich(1972)의 위세(power) 중심성을 측정한다.

연결 중심성은 한 노드에 연결된 노드들의 합을 의미한다. 한 노드가 많은 연결을 가지면 연결 중심성이 높아지며 그 연결들로 인해 더욱더 많은 기회를 가질 수 있고 선택의 폭이 넓어지기 때문에 네트워크에서 영향력을 가질 수 있다. 근접 중심성은 인접 중심성이라고도 하며, 한 노드가 다른 노드에 얼마만큼 가깝게 있는 정도를 의미한다. 네트워크에서 가장 일반적인 영향력을 가진 노드를 알아낼 수 있으며, 근접 중심성이 높은 노드는 자원과 영향력을 빠르게 전달할 수 있는 좋은 위치에 있다는 의미이다. 매개 중심성은 사이 중심성이라고도 하며 한 노드가 다른 노드들 사이에 위치하는 정도를 의미한다. 매개 중심성이 높은 노드는 다른 노드들의 정보 습득에 매우 유리한 위치에 있으며 이를 기반으로 전체 네트워크의 흐름을 중개하거나 영향력을 가질 수 있다. 위세 중심성은 한 노드에 연결된 상대 노드들의 영향력 및 중심성에 가중치를 추가하여 해당 노드의 중요성을 분석한다. Bonacich의 아이겐벡터(eigenvector) 중심성 분석으로 네트워크에서 가장 영향력이 있는 중심 노드를 찾을 수 있다.

### 3.2 중개 분석

일반적으로 중개라는 것은 한 명의 행위자에서 중개자인 또

다른 행위자로의 자원의 흐름 또는 교환이라 할 수 있다. 중개는 행위자 간의 관계가 연결되어 있지 않은 상태에서 다른 행위자 간의 거래를 가능하게 하는 것으로 정의된다(Marsden, 1982). 즉 중개자는 서로 접근이 어려운 두 행위자들에게 필요한 자원이나 정보를 연결해주는 역할을 한다. 이러한 역할을 수행함으로써 중개자는 자원이나 정보를 연결하는 과정에서 권력을 획득하거나 영향력을 행사할 수 있으며 다른 행위자들보다 더 높은 성과를 획득하기 용이하다.

이러한 중개 관계에는 공급자(source), 수여자(recipient), 중개자(broker)의 세 행위자로 구성된다. 중개의 유형을 분석하기 위해서는 모든 행위자가 상호 배타적인 그룹(mutually exclusive groups)으로 구분되어야 한다. 세 행위자가 속한 그룹에 따라 <Figure 1>과 같이 중개자의 역할은 다섯 가지의 유형으로 구분된다(Gould and Fernandez, 1989).

Coordinator는 모든 행위자가 동일 그룹에 속한 경우를 말하며 이 경우 중개자의 중개 행위는 그룹 내부에서 이루어진다. 예를 들어, 대학 그룹에서 A 대학이 B와 C 두 대학을 중개하는 것으로 설명할 수 있다. Liaison의 경우는 Coordinator와 반대로 모든 행위자가 다른 그룹에 속한 경우이며 이 경우 중개자의 중개 행위는 소속되지 않은 서로 다른 그룹간의 연결 역할을 하게 된다. Consultant는 중개자를 제외한 두 행위자가 동일한 그룹에 속한 경우이며 이 경우 중개자는 동일한 그룹 내의 두 행위자 간 중개 역할을 하게 되는데 동일 대학 그룹에 속한 A와 B를 산업체 또는 연구소 C가 중개 역할을 하는 형태로 볼 수 있다. 마지막으로 Gatekeeper와 Representative에서의 중개자는 단어의 의미에서 알 수 있듯 중개 대상인 행위자의 어느 한 쪽과 동일한 그룹에 속한 경우를 말한다. Gatekeeper에서 중개자는 정보의 흐름을 모니터링 한 뒤 동일한 그룹에 속한 기관에 전달하는 역할을 하며 Representative는 자신이 속한 그룹을 대표 또는 대리하는 역할을 한다. 이러한 중개의 유형화는 유형화 기준의 단일성이라는 측면보다는 다양성에 주목한 것이다.

중개 분석을 통해 각 노드의 중개 역할을 측정하는 방식은 가중(weighted) 방식과 비가중(unweighted) 방식의 두 가지가 존재한다. 가중 방식은 특정 공급자 및 수여자 노드의 쌍(pair)에

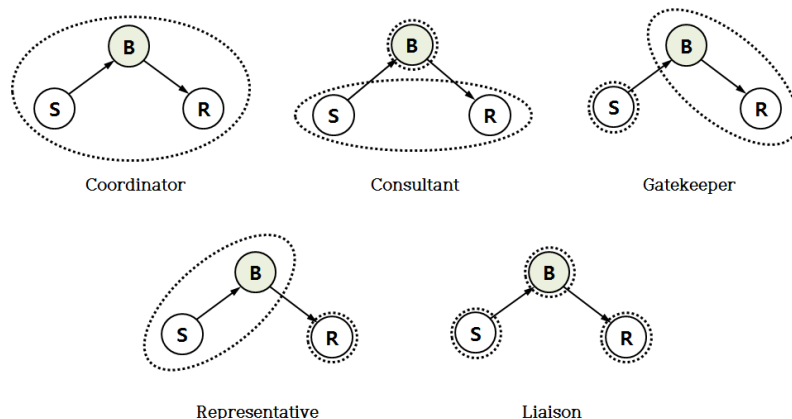


Figure 1. Five types of brokerage

대해 동일한 역할을 수행하는 중개자가 n개일 경우, 각 중개자들에 대해  $1/n$ 의 값만 부여하는 반면, 비가중 방식은 모든 중개자에게 1의 값을 부여한다. 예를 들어 A와 C를 중개하는 B와 D가 있다고 가정하면, 비가중 방식은 B와 D 모두에게 1의 값을 부여하지만, 가중 방식은 B와 D에게 0.5의 가중치를 부여한다. 일반적으로 개별 노드의 역할에 초점을 맞추는 경우 비가중 방식이 바람직하며, 그룹들 간의 관계 측정에 관심이 있는 경우에는 가중 방식이 적합하다. 본 연구에서는 산업공학 공동연구 네트워크상에서 각 기관의 중개 역할을 측정하는 것이 목적이므로, 비가중 방식을 활용한다.

#### 4. 산업공학 공동연구 네트워크 구축

산업공학 분야의 공동연구 네트워크 분석을 위해 국내 산업공학 분야의 대표 학술지인 대한산업공학회지와 산업공학(IE Interfaces)에 게재된 논문 정보를 수집하였다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 제공하는 학술정보 서비스인 NDSL(National Discovery for Science Leaders)의 저널/프로시딩 검색을 통해 2008년부터 2012년 3호까지 두 학술지에 게재된 논문 343편에 대한 정보를 수집하였다. 343편의 논문 중 공동연구 분석에 고려할 필요가 없는 단독 저자 논문 50건을 제외하였고, 복수의 저자로 구성된 논문 중에서도 저자가 모두 동일 기관 소속인 논문 140건을 제외하였다. 이렇게 총 343편의 논문 데이

터에서 분석에 불필요한 190편의 논문 데이터를 삭제한 153편의 논문 데이터를 공동연구 네트워크 분석의 최종 데이터로 사용하였다.

기관 간 인접 행렬 생성을 위해 153편의 논문에 포함된 저자들의 기관을 추출하였다. 동일한 기관이 두 개 이상의 형태로 표기된 경우가 존재하여(예 : 한국과학기술원과 KAIST, 한국전자통신연구원과 ETRI), 이를 공식 명칭으로 통일하였으며, 해당 기간 내에 기관명이 변경된 경우(예 : 서울산업대와 서울과학기술대학교), 최근 명칭으로 통일하였다. 이를 통해 대학 74개, 연구소 32개, 기업 35개의 총 141개의 기관이 도출되었다.

기관 간 공동연구의 강도를 나타내는 인접 행렬을 생성하기 위해서 각 논문에 나타난 저자들의 소속 기관 정보를 바탕으로 기관별 가중치를 부여하였다. 기관별 가중치 산정 시, 저자의 수와 관계없이 포함된 기관의 수만을 고려하였으며,  $1/(\text{공동연구 기관수}-1)$  공식을 적용하여 기관별 가중치를 부여하였다(Newman, 2001; Xiaoming *et al.*, 2005). 예를 들어 특정 논문의 저자가 소속된 기관이 A, A, A, B, B, C라고하면, A 기관 3, B 기관 2, C 기관 1로 처리하지 않고 A, B, C를 동일한 비중으로 설정하였으며, 이 경우 A와 B, B와 C, C와 A에 해당하는 행렬의 원소에 각각 0.5의 가중치가 부여된다. 이러한 방식으로 153개의 모든 논문들에 대해 기관별 가중치를 부여한 후, 이를 모두 합산하여 최종적인 인접 행렬을 도출하였다. 따라서 최종 인접행렬은 방향성이 없는  $141 \times 141$  대칭행렬(symmetric matrix)이다.

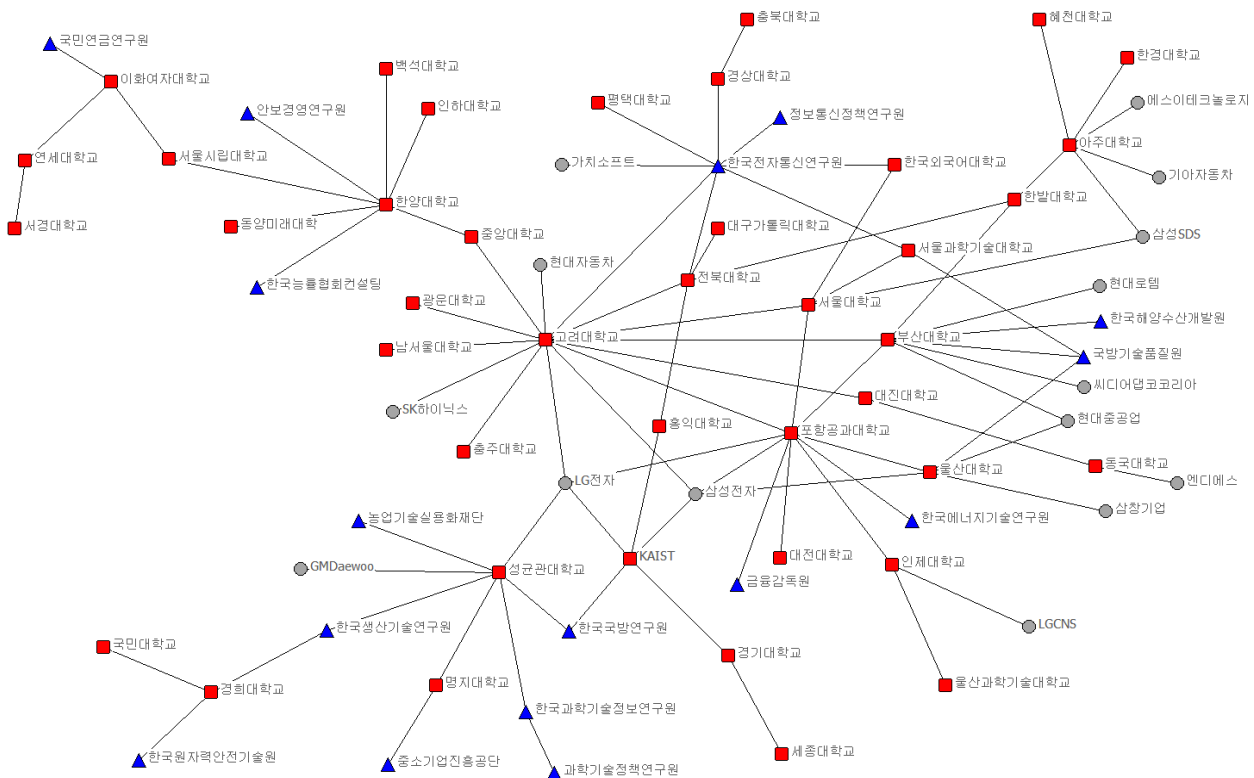


Figure 2. Collaborative R&D network of industrial engineering

효과적인 시각화를 위해 도출된 인접 행렬을 이진 행렬로 재구성하였다. 다양한 임계값(cut-off value)에 대한 민감도 분석을 수행하였으며, 가중치 0.5수준에서 가장 가시성이 높고 의미 있는 네트워크가 산출될 수 있는 것으로 파악되어, 이를 바탕으로 이진 행렬을 도출하였다. 이진 행렬을 NetDraw를 사용하여 네트워크로 시각화하였으며, 전체 네트워크에서 고립되어 있는 기관들을 네트워크에서 제외하였다. 총 69개의 기관이 제외되어, 최종적으로 72개의 노드로 구성된 산업공학 공동연구 네트워크가 구축되었으며, 이는 <Figure 2>에 제시되어 있다. 기관 유형 구분은 위해 각 노드를 산업체(●), 대학교(■), 연구소(▲)로 구분하여 나타내었다.

## 5. 산업공학 공동연구 네트워크 특성 분석

### 5.1 핵심 기관 분석

공동연구 네트워크를 구성하는 다양한 기관 중에서, 어떤 기관이 활발한 공동연구를 통해 핵심적인 역할을 수행하고 있는가를 파악함으로써 향후 기관별 공동연구 전략 수립 및 공동연구 활성화를 위한 정책 수립에 유용한 시사점을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 제 3장에서 언급한 네 가지 종류의 노드 중심성 지수를 활용하여 <Figure 2>에 제시된 산업공학 공동연구 네트워크상의 핵심 기관을 도출하였다. 네 가지 종류의 중심성 지수별 상위 15개 기관의 명칭과 중심성 지수 값이 아래 <Table 1>에 나타나 있다.

첫 번째 연결 중심성 분석 결과를 보면 고려대학교, 포항공과대학교, 한국전자통신연구원, 부산대학교, 한양대학교, 성

균관대학교 순으로 높게 나타났으며 이는 이 기관이 속한 네트워크상에서 많은 연결을 가지고 있음을 나타내며 관계되어 있는 기관들 사이에서 영향력이 높다고 볼 수 있다.

두 번째 근접 중심성 분석 결과를 보면 고려대학교, 포항공과대학교, 부산대학교, LG전자, 한국전자통신연구원 순으로 높게 나타났으며 이 기관들은 다른 기관들과 위치적으로 유리하기 때문에 전체 네트워크상에서 정보 접근이 용이하고 이에 따른 영향력이 높다고 볼 수 있다.

세 번째 매개 중심성 분석 결과를 보면 고려대학교, LG전자, 성균관대학교, 중앙대학교, 포항공과대학교 순으로 높게 나타났으며 이들 기관들은 노드가 최단 경로 상에 위치하는 횟수가 많으며 서로 다른 그룹 사이를 연결하는 노드로 볼 수 있다. 고려대학교, 포항공과대학교, 성균관대학교 등과 같이 매개 중심성과 연결 중심성이 동시에 높은 기관은 산업공학 분야 공동연구에 있어서 매우 핵심적인 역할을 수행하고 있다고 할 수 있으며, LG전자, 중앙대학교, 한국생산기술연구원, 서울시립대학교, 한밭대학교와 같이 매개 중심성은 높으나 연결 중심성이 낮은 기관의 경우 공동연구 비중이 크지는 않으나, 기관들 간의 공동연구를 연결하는 데에 있어 핵심적인 역할을 수행하는 기관이라고 할 수 있다.

마지막으로 위세 중심성 분석 결과를 살펴보면 고려대학교, 포항공과대학교, 부산대학교, 삼성전자, 서울대학교 순으로 위세 중심성이 높게 나타났다. 이 기관들은 전체 네트워크 내에서 영향력이 있으면서 연결되어 있는 기관의 영향력이 더해져 나타난 결과라고 할 수 있으며 전체 네트워크상에서 영향력이 높은 기관과 공동연구를 매우 활발하게 하고 있는 기관이라 볼 수 있다. 고려대학교의 경우 모든 중심성 분석에서 가장 순

Table 1. Results of centrality analysis

Rank	Degree centrality		Closeness centrality		Betweenness centrality		Power centrality	
	Organization	Value	Organization	Value	Organization	Value	Organization	Value
1	고려대학교	10.000	고려대학교	26.036	고려대학교	16.646	고려대학교	71.255
2	포항공과대학교	7.857	포항공과대학교	23.793	LG전자	8.652	포항공과대학교	59.415
3	한국전자통신연구원	5.714	부산대학교	21.590	성균관대학교	8.296	부산대학교	39.667
4	부산대학교	5.714	LG전자	20.995	중앙대학교	7.122	삼성전자	34.663
5	한양대학교	5.000	한국전자통신연구원	20.876	포항공과대학교	7.084	서울대학교	33.470
6	성균관대학교	5.000	전북대학교	20.197	한양대학교	6.937	LG전자	31.348
7	이주대학교	4.286	서울대학교	20.162	부산대학교	4.464	한국전자통신연구원	30.076
8	울산대학교	3.571	삼성전자	19.816	한국전자통신연구원	4.102	전북대학교	25.874
9	경희대학교	3.571	중앙대학교	18.607	한국생산기술연구원	3.546	울산대학교	25.762
10	KAIST	3.571	성균관대학교	18.603	이주대학교	2.984	KAIST	16.658
11	전북대학교	3.571	울산대학교	18.031	경희대학교	2.939	국방기술품질원	16.305
12	서울대학교	3.571	한밭대학교	17.618	서울시립대학교	2.878	서울과학기술대학교	15.991
13	LG전자	2.857	KAIST	17.579	전북대학교	2.609	중앙대학교	15.067
14	삼성전자	2.857	대진대학교	17.459	한밭대학교	2.557	대진대학교	14.892
15	서울과학기술대학교	2.143	한양대학교	16.968	서울대학교	2.354	광운대학교	14.269

위가 높게 나타나기 때문에 공동연구에서 산학연 기관들 간 연결이 많고 영향력이 매우 크다고 할 수 있으며 고려대학교와 공동연구를 하는 기관들 역시 네트워크상에서 영향력이 높은 기관들임을 알 수 있다.

산학연 각 기관별로 중심성 지표 순위를 보면 산업체에서는 LG전자가 근접 중심성과 매개 중심성이 높게 나타났고 삼성전자의 경우 위세 중심성 부분에서 영향력이 높게 나타났다. LG전자의 경우 중심성이 높은 대학교들과 공동연구에 참여하면서 네트워크의 유리한 위치에서 연구 능력이 활발한 대학들의 우수한 인력과 연구 성과를 높이는데 유리한 위치를 차지하고 있으며 삼성전자는 고려대학교, 포항공과대학교 같이 공동연구를 매우 활발히 수행하는 대학과 연계하여 연구 성과를 내고 있음을 확인할 수 있다. 대학의 경우 고려대학교, 포항공과대학교, 부산대학교가 중심성 분석에서 상위에 위치하고 있으며 국내 산업공학 분야의 공동연구에서 이 상위 대학들이 전체 공동연구 네트워크에 큰 영향력과 성과를 내고 있다는 것을 알 수 있다. 연구소의 경우 한국전자통신연구원 이 연결 중심성과 근접 중심성 그리고 위세 중심성에서 높은 순위를 가지고 있으며 산학연 간의 공동연구에 활발하게 참여를 하고 있음을 알 수 있다.

5.2 산학연 중개 역할 분석

중심성 지수를 활용한 핵심 기관 분석을 통해 산업공학 공동연구 네트워크상의 주요 기관들을 도출하였으나, 이는 기관

의 유형을 고려하지 않았기 때문에, 산학연 간의 공동연구에 있어서 어떤 기관이 어떤 역할을 수행하는 지에 대한 구체적인 정보를 제공해줄 수 없다. 이에 중개 분석을 수행하여, 기관의 유형별로 공동연구를 매개하는 주요 기관과 이들의 구체적인 역할을 분석하였다.

중개 분석을 수행하기에 앞서, 산학연 간의 연계 구조 및 기관별 역할을 보다 효과적으로 나타내기 위해 네트워크상의 노드를 기관별로 그룹화 하여 재구성하였다. <Figure 3>은 <Figure 2>의 네트워크를 산업체, 대학교, 연구소의 세 그룹별로 각각 분리 재구성하여 나타낸 것이다. <Figure 2>의 네트워크에서 그룹별 경계에 위치한 기관들은 다른 그룹의 기관들과의 공동연구를 활발히 수행함으로써 공동연구를 매개하는 역할을 수행하는 기관들이라고 할 수 있다.

중개분석을 통해 이러한 기관들의 구체적인 역할 수준을 측정된 결과가 <Table 2>에 제시되어 있다. 또한 <Table 3>은 다섯 가지 유형의 중개 역할 별로 높은 값을 가지는 상위 기관들을 요약해서 나타낸 것이다.

산학연 공동연구 네트워크상의 Coordinator 역할은 연세대학교, 경기대학교, 대진대학교, 한밭대학교, 중앙대학교, 서울시립대학교, 홍익대학교 등으로, 대학 그룹에서만 나타났을 뿐, 산업체와 연구소 그룹 내에서는 도출되지 않았다. 이는 첫째, 본 연구에서는 학술논문을 통해서만 공동연구 관계를 분석했기 때문에, 학술논문이 주요 연구 산출물인 대학을 중심으로 공동연구 네트워크가 구성되어 있기 때문이다. 따라서 응용연구 및 개발, 사업화에 보다 초점을 맞추고 있는 산업체나 연

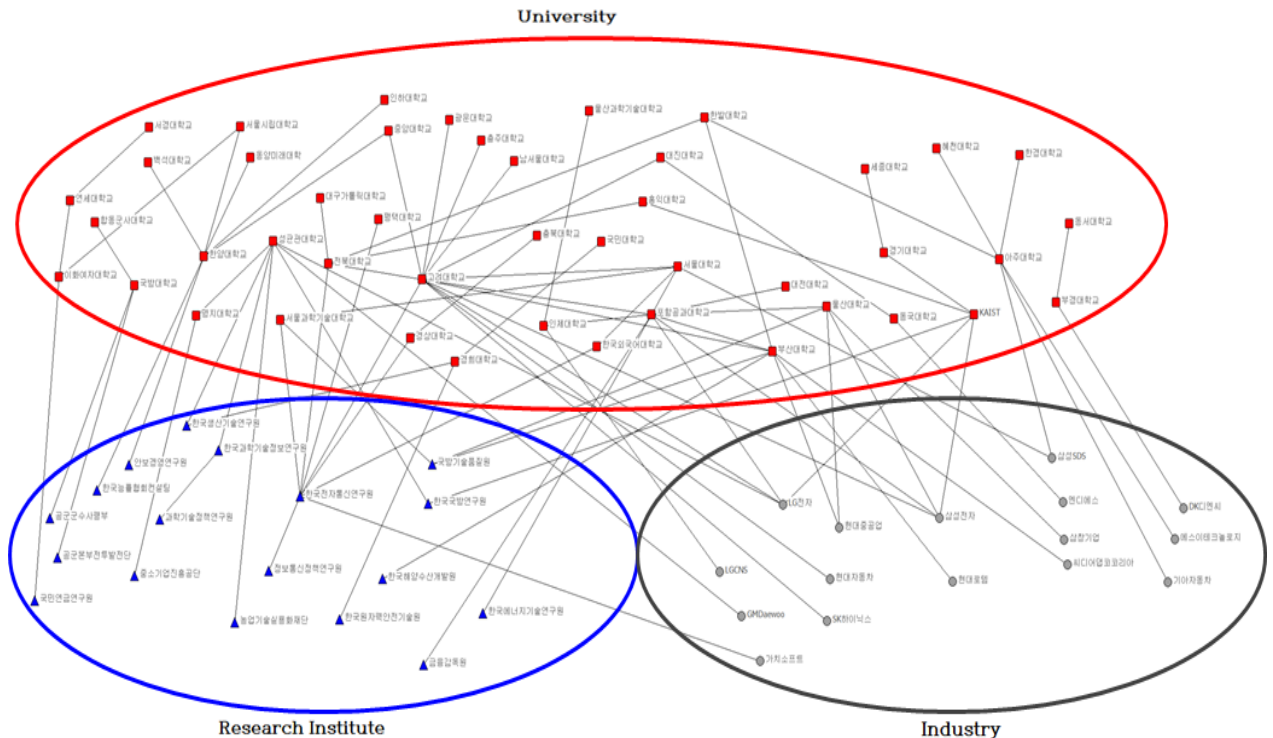


Figure 3. Group-wise collaborative R&D network of industrial engineering

Table 2. Results of brokerage analysis

Organization	Coordinator	Gatekeeper	Representative	Consultant	Liaison
삼성SDS	0	0	0	<b>4.602</b>	0
현대중공업	0	0	0	<b>4.602</b>	0
LG전자	0	0	0	<b>4.602</b>	0
삼성전자	0	0	0	<b>4.602</b>	0
인제대학교	1.997	1.534	1.534	0	0
연세대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
경상대학교	0	<b>2.301</b>	<b>2.301</b>	0	0
부경대학교	0	<b>2.301</b>	<b>2.301</b>	0	0
부산대학교	0.444	1.278	1.278	0.682	1.226
국방대학교	0	1.534	1.534	1.534	0
명지대학교	0	2.301	<b>2.301</b>	0	0
경기대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
울산대학교	0	0.767	0.767	1.534	1.839
대진대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
동국대학교	0	<b>2.301</b>	<b>2.301</b>	0	0
아주대학교	1.198	1.381	1.381	0.92	0
경희대학교	1.797	1.381	1.381	0.46	0
고려대학교	2.369	1.124	1.124	0.321	0.257
서울과학기술대학교	0	1.534	1.534	1.534	0
성균관대학교	0	0.657	0.657	1.534	2.102
한밭대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
전북대학교	3.994	0.767	0.767	0	0
한양대학교	2.853	1.096	1.096	0.219	0
중앙대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
한국외국어대학교	0	<b>2.301</b>	<b>2.301</b>	0	0
포항공과대학교	1.558	1.243	1.243	0.368	0.662
이화여자대학교	1.997	1.534	1.534	0	0
서울시립대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
서울대학교	3.329	1.023	1.023	0	0
KAIST	0.599	1.381	1.381	0.46	1.104
홍익대학교	<b>5.991</b>	0	0	0	0
국방기술품질원	0	0	0	<b>4.602</b>	0
한국전자통신연구원	0	0.597	0.597	2.386	1.226
한국과학기술정보연구원	0	2.301	2.301	0	0
한국국방연구원	0	0	0	<b>4.602</b>	0
한국생산기술연구원	0	0	0	<b>4.602</b>	0

구소들은 대학과의 연결 관계가 대부분이며, 그룹 내 기관들 간의 연결은 많이 존재하지 않아 Coordinator가 도출되지 않았다. 둘째, 대학들 간의 학술연구는 상대적으로 자유로운 반면, 산업체 간 또는 연구소 간 공동연구는 구조적 요인들로 인해 공동연구를 수행할 수 있는 여건이 여의치 않기 때문인 것으로 보인다.

본 연구에서 구축한 네트워크는 방향성이 없기 때문에 Gatekeeper 및 Representative 역할을 수행하는 기관들이 동일하게 산출되었다. Gatekeeper 및 Representative 역할을 수행하는 기관은 대학의 경우 경상대학교, 부경대학교, 명지대학교, 동국대학

교, 한국외국어대학교 등으로 나타났다. 이 기관들은 산업체 또는 연구소와의 공동연구를 활발히 함과 동시에 대학 그룹 내 타 기관들과도 공동연구를 수행함으로써 산학 연구 또는 학연 연구를 주도하는 기관들이다.

Consultant 역할은 산업체와 연구소를 중심으로 나타났다. 삼성SDS, 현대중공업, LG전자, 삼성전자 등의 산업체와 국방기술품질원, 한국국방연구원, 한국생산기술연구원 등의 연구소는 여러 대학들과의 공동연구를 수행함으로써 대학들 간의 간접적인 매개를 수행하고 있는 것으로 나타났다. <Table 2>를 보면 일부 대학들도 산업체 간 또는 연구소 간 공동연구에 있

Table 3. Brokerage roles

Brokerage type	University	Industry	Research Institute
Coordinator	연세대학교, 경기대학교, 대진대학교, 한밭대학교, 중앙대학교, 서울시립대학교, 홍익대학교		
Gatekeeper	경상대학교, 부경대학교, 명지대학교, 동국대학교, 한국외국어대학교		한국과학기술정보연구원
Representative	경상대학교, 부경대학교, 명지대학교, 동국대학교, 한국외국어대학교		한국과학기술정보연구원
Consultant		삼성SDS, 현대중공업, LG전자, 삼성전자	국방기술품질원, 한국국방연구원, 한국생산기술연구원
Liaison	부산대학교, 울산대학교, 고려대학교, 성균관대학교, 포항공과대학교, KAIST		한국전자통신연구원

어 Consultant 역할을 수행하고 있으나, 그 수준은 미미한 것으로 나타났다.

마지막으로 산학연 간 중개에서 특정 그룹에 속하지 않은 경우의 중개자를 알 수 있는 Liaison 역할은 대학과 연구소를 중심으로 나타났다. Liaison 역할은 중개자가 어느 한 그룹에 속하지 않은 다른 기관 간의 중개를 하고 있다는 점에서 다섯 가지의 중개 유형에서 그 의미가 가장 중요하다. 이는 산학연 공동연구가 상호 관심을 가지고 있는 문제를 해결하기 위한 협력 활동으로 보았을 때 특정 그룹에 속하지 않은 다른 기관 간의 중개가 다양한 자원 공유와 기관 간의 협력을 활성화시킬 수 있기 때문이다. Liaison 역할을 하는 주요 대학은 부산대학교, 울산대학교, 고려대학교, 성균관대학교, 포항공과대학교, KAIST 등으로 나타났다. 이들 대학은 산업체뿐만 아니라 연구소와도 활발한 공동연구를 수행함으로써 산학연 공동연구의 중심적인 매개 역할을 수행하고 있다고 볼 수 있다. 또한 연구소 중에서는 한국전자통신연구원이 대학 및 산업체와의 공동연구를 통해 산학연 공동연구에 있어서 핵심적인 중개 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구는 대한산업공학회에서 발간하는 학술지를 중심으로 국내 기관 간 산업공학 분야의 공동연구 네트워크를 구축하고 분석하였다. 논문의 공동저술 정보를 바탕으로 기관 간 연관관계를 측정하고, 이를 네트워크 형태로 시각화하였으며, 중심성 분석과 중개 분석을 이용하여 산업공학 공동연구 네트워크상의 주요 기관 및 역할을 도출하였다. 산업체 중에서는 국내의 대표적인 대기업인 삼성전자와 LG전자가 산업공학 분야의 공동연구에 적극적으로 참여하고 있는 것을 확인하였다. 대학의 경우 고려대학교, 포항공과대학교, 부산대학교가 국내 산업공학 분야의 공동연구에서 큰 영향력과 성과를 내고 있음을 파악하였으며, 연구소의 경우 한국전자통신연구원이 산학연

간의 공동연구에 활발하게 참여를 하고 있음을 파악하였다.

기술경영 전략 및 기술정책 수립을 위한 시사점 도출을 목적으로, 그간 다양한 학문 분야에 대한 국내의 공동연구 네트워크 분석이 활발히 이루어졌음에도 불구하고, 국내 산업공학 분야를 다루는 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 국내 산업공학 분야에 대한 기관 수준의 공동연구 네트워크를 최초로 분석하였을 뿐만 아니라, 단순한 기관 간 네트워크가 아닌 기관의 산학연 유형별로 주요 기관을 도출하고, 산학연 공동연구에서의 역할을 규명하였다는 측면에서 의의를 가진다. 본 연구 결과는 산업공학 관련 기관의 향후 공동연구 전략 수립이나 산업공학 관련 융합 연구 정책 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 한계점을 가지며, 이는 추후 연구에서 다루어질 필요가 있다. 첫째, 본 연구에서는 방향성이 없는 네트워크를 구축하였기 때문에 중개 분석에서 Gatekeeper와 Representative의 구분이 이루어지지 않았다. 공동연구 네트워크 구축 시 본 연구에서와 같이 방향성이 없는 경우가 일반적이거나, 일부 연구에서는 주저자, 교신저자 등 저자의 역할을 고려하여 방향성을 고려하는 경우가 있으며, 이 경우 Gatekeeper와 Representative의 역할을 구분하여 분석이 가능하다. 둘째, 본 연구는 국내 학술지에 게재된 연구만을 바탕으로 공동연구를 분석하였기 때문에 해외 학술지에 발표된 연구 산출물을 고려하지 않았다는 한계점을 가진다. 최근 이공분야에서는 논문 게재에 있어 국내 학술지보다 국제 학술지를 선호하는 추세이므로, 국제 학술지에 대한 분석을 추가적으로 수행하고 그 결과를 비교하는 연구가 요구된다. 셋째, 주요 국제학술지 논문을 분석함으로써 국내 수준의 네트워크가 아닌 글로벌 산업공학 공동연구 네트워크를 분석하는 것도 의미 있는 추후 수행되어야 할 연구 주제이다. 마지막으로 본 연구에서는 논문 정보만을 활용하여 분석을 수행하였기 때문에 대학 중심의 네트워크가 형성되었다. 논문과 함께 특허의 공동발명 정보, 연구과제의 공동연구 참여 정보 등을 활용한다면, 보다 풍부한 분석이 가능할 것으로 기대된다.



## 참고문헌

- Acedo, F. J., Barroso, C., Casanueva, C., and Gala'n, J. L. (2006), Co-authorship in management and organizational studies : an empirical and network analysis, *Journal of Management Studies*, **43**(5), 957.
- Barabási, A.-L., Jeong, H., Ne'da, Z., Ravasz, E., Schubert, A., and Vicsek, T. (2002), Evolution of the social network of scientific collaborations, *Physica A : Statistical Mechanics and its Applications*, **311** (3/4), 590-614.
- Bonacich, P. (1972), Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification, *Journal of Mathematical Sociology*, **2**, 113-120.
- Borner, K., Chen, C., and Boyack, K. W. (2003), Visualizing knowledge domains, *Annual review of information science and technology*, **37**, 179-255.
- Calvert, J. and Patel, P. (2003), University-Industry Research Collaborations in the UK : bibliometric trends, *Science and Public Policy*, **30**(2), 85-96.
- Chen, C. (1999), Visualising semantic spaces and author co-citation networks in digital libraries, *Information processing and management*, **35**(3), 401-420.
- Cho, G.-H., Lim, S.-Y., and Hur, S. (2014), An Analysis of the Research Methodologies and Techniques in the Industrial Engineering Using Text Mining, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(1), 52-59.
- Cho, H., Lee, J. S., Stefanone, M., and Gay, G. (2005), Development of computer-supported collaborative social networks in a distributed learning community, *Behaviour and Information Technology*, **24**(2), 435-447.
- Cho, S.-G. and Kim, S.-B. (2012), Finding Meaningful Pattern of Key Words in IIE Transactions Using Text Mining, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **38**(1), 67-73.
- Choi, J.-H., Park, S.-H., and Kang J.-O. (2010), The Characteristics of a Research Network for Radiation Oncology in Korea, *The Journal of the Korean society for therapeutic radiology and oncology*, **28**(3), 184-191.
- Freeman, L. C. (1979), Centrality in social networks: Conceptual clarification, *Social Networks*, **1**(3), 215-239.
- Gould, R. V. and Fernandez, R. M. (1989), Structures of mediation: A formal approach to brokerage in transaction networks, *Sociological methodology*, 89-126.
- Hahn, H., Kwon, O.-J., Kang, H.-J., S, W., and Noh, K.-R. (2013), A Study on the Structure of Scientific Collaboration Networks in The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, *The Journal of the Korean institute of electronic communication sciences*, **8**(5), 671-678.
- Hu, C. and Racherla, P. (2008), Visual representation of knowledge networks : A social network analysis of hospitality research domain, *International Journal of Hospitality Management*, **27**(2), 302-312.
- Jung, S.-H. (2012), Problems of and Alternatives to the Government-Led and Region-Based Industry-University-Research Institute Collaboration, *Journal of The Association of Korean Photo-Geographers*, **22** (4), 65-74.
- Kang, H.-M., Kim, J.-S., Lee, Y.-S., and Noh, T.-C. (2010), A Study on the Social Network of the Technological Education in Korea-Focused on the journal of KTEA, *Journal of Korean Institute of Industrial Educators*, **35**(1), 106-133.
- Katz J. S. and Martin B. R. (1997), What is research collaboration?, *Research Policy*, **26**(1), 1-18.
- Kim, D.-S. and Kwahk, K.-Y. (2013), Investigating the Global Financial Markets from a Social Network Analysis Perspective, *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, **38** (4), 11-34.
- Kim, G.-S. (2011), Structure of Collaborative Network and Research Productivity among Korean Sports Sociologist : Based on Korean Journal of Sociology of Sport, *Journal of Korean Society for the Sociology of Sport*, **24**(3), 67-91.
- Kim, H.-N. and Cho, H.-G. (2005), Accomplishment and Success Story of Consortium Project for Small and Medium Business, *Korea Electrotechnology Research Institute*, 140-144.
- Lee, J.-M. and Choi, M.-S. (2010), Social Network Analysis on Interdisciplinary Collaboration of Convergence Technologies Specialists, *Journal of the Korea Contents Association*, **10**(6), 415-428.
- Lee, S.-S. (2010), A Preliminary Study on the Co-author Network Analysis of Korean Library and Information Science Research Community, *Journal of Korean Library And Information Science Society*, **41**(2), 297-315.
- Lim, H.-S. and Chang, T.-W. (2012), A Study on Co-authorship Network in the Journals of a Branch of Logistics, *IE interface*, **25**(4), 458-471.
- Marsden, P. V. (1982), *Brokerage Behavior in Restricted Exchange Networks*, 201-18, edited by Peter V. Marsden and Nan Lin, Beverly Hills, Sage.
- Morlacchi, P., Wilkinson, I. F., and Young, L. (2004), *Social networks of researchers in business to business marketing*, A case study of the IMP Group, 1984~1999, Retrieved Dec 3 2005 from <http://www.sussex.ac.uk/spru/documents/sewp116.pdf>.
- Moody, J. (2004), The Structure of a Social Science Collaboration Network : Disciplinary Cohesion from 1963 to 1999, *American Sociological Review*, **69**, 213-238.
- Nam, S.-H. and Seol, S.-S. (2007), Coauthorship Analysis of Innovation Studies in Korea : A Social Network Perspective, *Journal of Korea technology innovation society*, **10**(4), 605-628.
- Newman, M. E. J. (2001), Scientific collaboration networks II Shortest paths, weighted networks, and centrality, *Physical Review*, **E64**, 016132.
- Newman, M. E. J. (2001), The structure of scientific collaboration networks, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **98**(2), 404-409.
- Otte, E. and Rousseau, R. (2002), Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences, *Journal of Information Science*, **28**, 441-453.
- Park, C.-S. (2012), A Study on the Network Structure of the Public Administration Academic Community Using the Coauthor Network from 1998 to 2009, *Journal of Korean society and public administration*, **22**(4), 129-153.
- Racherla, P. and Hu, C. (2010), A Social Network Perspective of Tourism Research Collaborations, *Annals of Tourism Research*, **37**(4), 1012-1034.
- van Raan, A. F. J. (2008), Scaling rules in the science system : Influence of field-specific citation characteristics on the impact of research groups, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **59**, 565-576.
- White, H. D. and McCain, K. W. (1997), Visualization of Literatures, *Annual Review of Information Science and Technology*, **32**, 99-168.
- Xiaoming, L., Johan, B., Michael, L. N., and Herbert, V. S. (2005), Co-authorship networks in the digital library research community, *Information Processing and Management*, **41**(6), 1462-1480.
- Yan, E. and Ding, Y. (2009), Applying Centrality Measures to Impact

Analysis : A Coauthorship Network Analysis, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **60**(10), 2107-2118.  
Yoo, K.-O., Kim, H.-M., and Kim, J.-W. (2013), Evolution and Develop-

ment Process of Customer Value Research Using Network Analysis In Marketing : Focusing on SSCI Rank 20 Journals Using Author Co-Citation Analysis, *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, **38**(2), 1-24.