

융합 학문으로서의 산업공학 : 학술지 인용 네트워크 분석을 활용한 산업공학의 학문적 융합 구조 탐색

정보권¹ · 이학연^{2†}

¹서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 / ²서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

Industrial Engineering as a Multidisciplinary Field : Exploring the Structure of Academic Convergence in Industrial Engineering by Journal Citation Network Analysis

Bokwon Jeong¹ · Hakyeon Lee²

¹The Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University
of Science and Technology

²Department of Industrial and Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology

One of the distinctive characteristics of industrial engineering (IE) is its multidisciplinary nature. This paper explores the multidisciplinary nature of IE using journal citation network analysis. Using the relatedness indexes of IE journals obtained from journal citation report (JCR), we firstly construct the IE network only composed of 26 IE journals. The resulting IE network is partitioned into three sub-networks: management engineering, manufacturing/quality, and ergonomics. We then propose the IE convergence network which includes 81 related journals in other disciplines as well as 26 IE journals. Scrutinizing the IE convergence network reveals that IE has a high degree of interactions with seven disciplines : Operations Research and Management Science, Statistics and Probability, Manufacturing Engineering, Computer Science, Engineering Design, Business Management, Human Factors and Ergonomics. We investigate the contributions of the related disciplines to IE as well as contributions of IE to the related disciplines. The role of IE journals in exchanging knowledge with related disciplines is also identified by brokerage analysis. It is shown that visualizing and analyzing the IE convergence network can provide an excellent overview of the multidisciplinary structure of IE, which can help IE researchers easily grasp the state-of-the art of IE research.

Keywords: Industrial Engineering, Journal Citation Network, Brokerage Analysis, Multidisciplinary

1. 서 론

산업공학은 100여 년 전 프레드릭 테일러의 과학적 관리법을 효시로 생산 관리, 품질 관리, 경영 관리 등으로 체계화되었고 오늘날의 스마트 사회에서 요구되는 융합 학문으로 새롭게 발

돋움하고 있다. 과학 기술의 발전으로 급변하는 산업 현장에서 요구하는 다양한 문제들을 효율적으로 해결하기 위해 산업 공학은 항상 그 시대에 융화되는 학문으로 변화하고 발전해왔다(Kim *et al.*, 2014). 이에 산업공학은 기존의 제조 공학, 경영 과학뿐만 아니라 전산학, 경영학, 경제학 등 다양한 학문 분야

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다(2015-1566).

† 연락저자 : 이학연 교수, 01606 서울시 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교, Tel : 02-970-6469, Fax : 02-974-2849,

E-mail : hylee@seoultech.ac.kr

2016년 1월 21일 접수; 2016년 4월 25일 수정본 접수; 2016년 5월 20일 게재 확정.

와 연계를 통해 학문적 외연을 지속적으로 확대하고 있다(Kim, 2012). 산업공학의 본질은 전체 시스템이 최적의 성과를 도출할 수 있도록 기획하고 관리하는 것이라 할 수 있으며, 이 과정에서 산업공학은 복잡한 시스템의 분석 및 기획을 위해 타 공학 분야의 분석적 기법과 함께, 전산학, 통계학, 사회과학 등의 특화된 전문 지식들을 융합하면서 다각도로 진화하고 있다.

이처럼 지속적인 발전을 통해 산업공학은 공학의 독립된 학문 분야로서 자리매김 했음에도 불구하고, 산업공학 분야 자체에 대한 연구는 매우 미미한 수준이다. 일반적으로 특정 학문 분야가 성숙기에 접어들게 되면, 대상 학문 분야 자체에 대한 연구가 활발히 이루어지는 것이 일반적이다(Ramos-Rodriguez and Ruiz-Navarro, 2004). 내용 분석(contents analysis) 또는 인용 분석(citation analysis) 등의 계량서지분석(bibliometric analysis)을 활용하여 특정 학문 분야의 핵심 연구 주제 및 학술지, 연구 주제 등을 분석하는 연구가 다양한 분야별로 이루어져 왔다(Lee, 2015). 산업공학의 경우 단일 국제 학술지로 범위를 한정할 연구들이 일부 이루어져 왔다. IEEE Transactions on Engineering Management(Allen and Sosa, 2004; Pilkington, 2007), Technovation(Merino et al., 2006; Pilkington and Teichert, 2006), Journal of Product Innovation Management(Biemans et al., 2007; Durisin et al., 2010) 등의 학술지에 대해 논문 게재 건수 및 피인용수를 바탕으로 영향력 있는 논문 및 연구자, 연구기관을 파악하거나 핵심 연구 주제를 도출하려는 시도가 이루어졌다. 국내에서는 대표적인 산업공학 학술지인 IIE Transaction을 대상으로 텍스트 마이닝을 이용하여 논문 키워드 간 관계를 분석하거나(Cho and Kim, 2012), 대표적인 연구 기법을 추출하는 연구가 이루어졌다(Cho et al., 2014). 또한 대한산업공학회지의 대한산업공학회 40주년 기념 특집호를 통해, 산업공학의 세부 분야인 경영과학(Kim et al., 2014), 품질 및 신뢰성(Yum et al., 2014), 인간공학(Chung et al., 2014), 제조시스템공학(Choi et al., 2014), 생산관리(Park et al., 2014)의 발전 및 전망에 대한 심도 있는 고찰이 이루어졌다.

그러나 기존 연구들은 대부분 단일 학술지로만 범위를 한정하고 있으며, 독립된 학문 분야로서 산업공학 자체에 대한 분석에 그쳤다는 한계가 있다. 하지만 앞서 서술한 바와 같이, 타 공학 분야와는 차별화되는 산업공학의 가장 큰 특성은 타 학문과의 “융합”이라고 할 수 있으나, 산업공학의 학제적 융합 구조에 대해 실증적으로 규명한 연구는 찾아볼 수 없다. 현재 산업공학의 현황을 분석하고, 향후 발전 방향을 정립하기 위해서는 산업공학과 타 학문 분야 간의 연계 구조를 파악하는 것이 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 산업공학의 학문적 융합 구조를 학술지 인용 네트워크 분석(journal citation network analysis)을 통해 규명한다. 학술지 인용 네트워크 분석은 학술지 간의 상호 인용 관계를 바탕으로 네트워크를 구축하고, 사회 연결망 분석(social network analysis)의 다양한 지표를 활용하여 네트워크 및 노드의 특성을 분석하는 기법으로, 융합 학문의 구조 분석에 널리 활용되어 온 기법이다(Leydesdorff, 2007a; Rafols and Meyer, 2010). 본 연구는 학술지 인용 네

트워크 분석을 이용하여, 첫째, 산업공학 학술지 간의 지식 흐름을 바탕으로 산업공학 학술지 네트워크를 구축하고, 지식 흐름 관점에서 산업공학 학술지별 중요도를 측정하고 군집을 도출한다. 둘째, 산업공학 학술지와 지식 교환이 이루어지는 타 분야 학술지를 포함한 산업공학 융합 네트워크를 구축하여, 산업공학과 밀접한 관련이 있는 타 분야를 도출하고, 이들의 중요도를 산출한다. 또한 중개 분석(brokerage analysis)을 활용하여 타 분야와의 지식 교환에 있어서 핵심적인 역할을 수행하는 산업공학 학술지와 그 역할 특성을 규명한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 학술지 인용 네트워크 분석에 관한 기존 연구를 검토하고, 제 3장에서는 본 연구에 사용된 방법에 대해 기술한다. 제 4장에서는 산업공학 학술지 네트워크를 제시하고, 제 5장에서는 산업공학 융합 네트워크에 대한 분석이 이루어진다. 마지막으로 제 6장은 결론 및 향후 연구방향에 대해 기술한다.

2. 학술지 인용 네트워크 분석

과학(science)이란 지식을 생산하고 전파하는 학문 분야, 학술지, 저자, 논문 등의 학술 주제로 구성된 네트워크라고 할 수 있다(van Raan, 2008). 따라서 특정 학문 분야의 지적 구조(intellectual structure)를 네트워크 형태로 분석하려는 시도가 활발히 이루어졌으며, 네트워크의 시각화 및 정량적 측정을 위해 사회 연결망 분석이 계량서지분석에 자주 활용되어 왔다(Otte and Rousseau, 2002). 기본적으로 네트워크는 노드(node)와 링크(link)로 구성된다. 계량서지학에서 노드는 분석 대상의 단위로써 키워드, 논문, 학술지 등의 학술 정보 또는 저자, 기관, 국가 등의 학술 주제로 다양한 수준에서 정의될 수 있다(Noyons 2001). 링크는 이들 노드 간의 관계를 나타내는 것으로, 인용(citation), 동시인용(co-citation), 공동저술(co-authorship), 동시출현단어(co-word), 동시분류(co-classification) 등의 다양한 계량서지분석 지표를 통해 정의될 수 있다(White and McCain, 1997). 서로 다른 수준의 분석 단위와 서로 다른 정보를 활용하는 계량서지분석 지표를 조합하여 특정 학문 분야에 대한 다양한 형태의 학술 네트워크를 구성할 수 있다(Jeong and Lee, 2014).

본 연구에서 활용하는 학술지 인용 네트워크 분석은 노드로서 학술지 간의 연관관계를 인용 관계를 통해 측정한다. 학술지 인용 네트워크 분석은 계량서지분석의 대표적인 형태 중 하나로, 거시적인 수준에서의 전체 과학 분야의 구조 분석(Bassecoulard and Zitt, 1999), 중위적인 수준에서 특정 학문 분야의 지식 구조 분석(Ding et al., 2000; McCain, 1991; Reeves and Borgman, 1983), 미시적인 수준에서 특정 학술지와 관련된 학술지와와의 관계 분석(Calero Medina and van Leeuwen, 2012; Leydesdorff, 2007b) 등에 널리 활용되어 왔다. 학술지 인용 네트워크 분석에서 활용되는 인용 정보는 동시인용과 상호인용의 두 가지 형태가 있다. 동시인용은 학술지 간의 유사성을 바탕으로 네트워크를 구성하는데 널리 활용되어 왔다(Tsay et al.,

2003). 동시인용 분석은 두 개의 서로 다른 학술지가 제 3의 학술지에서 동시에 인용되었을 때 이 두 학술지는 관련이 있으며, 관련성의 정도는 동시인용 수에 비례한다고 가정한다. 두 학술지 사이에 높은 빈도의 동시인용이 있다면 이 두 학술지가 밀접한 연관성을 가지고 있음을 시사한다. 그러나 동시인용은 학술지 간의 유사성을 측정할 수 있을 뿐, 지식 흐름에 있어서 직접적인 영향 관계를 반영할 수 없다는 한계가 있다.

이에 반해 상호인용, 즉 직접적인 인용 정보는 학술지 간 영향 관계에 대해 더 많은 정보를 제공해 준다(King, 1987). 논문 또는 저널의 피인용 횟수는 해당 논문 및 저널의 영향력을 판단하는 기준으로 활용된다(Martin and Irvine, 1983). 특히 학술지의 피인용 횟수를 게재 논문 수로 나눈 영향력 지수(impact factor : IF)는 학술지의 영향력을 나타내는 대표적인 지표로 활용되고 있다. 무엇보다 인용 정보는 학술지 간의 지식 교환 및 흐름에 대한 방향 정보를 포함한다는 측면에서 동시인용과 차별화된다(Bhupatiraju *et al.*, 2012). 특정 학술지에 게재된 논문이 다른 학술지의 논문에 인용될 경우, 피인용 학술지에서 인용 학술지로 지식 흐름이 발생했다고 가정한다. 따라서 논문 간 인용-피인용 관계는 저자 또는 학술지 간의 학술적 연관관계를 측정하는 데 매우 유용한 지표라고 할 수 있다. 이 때 단순 인용 횟수 이외에도, 인용 학술지와 피인용 학술지의 특성을 고려하여 연관 관계를 측정하기 위해 개발된 지표도 존재한다. 예를 들면 연관성 지수(relatedness index)(Pudovkin and Garfield, 2002), L-지수(Calero Medina and van Leeuwen, 2012)가 그것이다. 본 연구에서도 단순 인용 횟수가 아닌, 연관성 지수를 활용하여 학술지 간 연관관계를 측정하며, 연관성 지수에 대한 보다 구체적인 내용은 제 3장에서 다룬다.

학술지 인용 네트워크 분석은 경제학(McCain, 1991), 수학(Zhou and Leydesdorff, 2007), 정보통신(Reeves and Borgman, 1983), 정보과학(Ding *et al.*, 2000), 의학(Leydesdorff, 1994), 반도체(Tsay *et al.*, 2003) 등 다양한 분야에서 광범위하게 활용되었다. 그러나 현재까지 산업공학 분야에 대해 학술지 인용 네트워크 분석을 수행한 사례는 전무하다. 특히 학술지 인용 네트워크 분석은 학술지나 학문 분야의 다학제적 특성을 파악하는데 유용하게 활용될 수 있다(Leydesdorff, 2007a). 이로 인해 기술경영(Lee, 2015), 정보과학(Borgman and Rice, 1992), 물리화학(Leydesdorff, 1994), 나노생물학(Rafols and Meyer, 2010), 나노기술(Leydesdorff and Zhou, 2007) 등과 같은 융합 학문의 학술적 구조를 분석하는데 효과적으로 활용되어 왔다. 이에 본 연구에서도 학술지 인용 네트워크 분석을 활용하여 산업공학 분야의 학문적 융합 구조를 실증적으로 분석한다.

3. 연구 방법

3.1 학술지 관계 측정

산업공학 학술지 선택은 Web of Science(WoS) 서비스를 제

공하는 Thomson Reuters 사가 매년 발간하는 Journal Citation Report(JCR)를 활용하였다. JCR은 WoS에 포함된 학술지들의 인용 정보를 바탕으로 IF를 비롯한 다양한 학술지 성과 지표를 제공하는 보고서이다. 분야별 순위 측정을 위해 JCR은 학술지를 학문 분야별 카테고리 분류하고 있다. SCI(science citation index) 176개, SSCI(social science citation index) 56개의 카테고리가 존재하며, 이중 산업공학은 SCI의 “ENGINEERING, INDUSTRIAL”에 해당한다. 2015년 현재 동 카테고리에는 43개의 학술지가 포함되어 있으며, 본 연구에서는 이를 산업공학 학술지로 선정하고 분석을 진행하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구는 학술지 간 연관관계를 상호 인용 정보를 통해 정의한다. 그러나 절대적 인용 횟수는 학술지의 규모에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(MacRoberts and MacRoberts, 1996). 예를 들면 A라는 학술지에 연간 게재되는 논문 수가 100편이고 B라는 학술지에 연간 발표되는 논문 수는 50편이라면, A 학술지가 B 학술지보다 인용될 확률이 두 배 높다고 할 수 있다. 학술지에 게재되는 논문에 포함된 참고 문헌 수도 영향을 미친다. 논문에 포함된 참고문헌 수는 학문 분야별로 매우 상이한 것으로 알려져 있다. A 분야의 논문들의 참고 문헌 수가 평균적으로 50개이고, B 분야의 평균 참고 문헌 수가 10개라면, A 분야에 속한 학술지가 인용될 확률이 B 분야 학술지보다 다섯 배 높다고 할 수 있다. 이에 Pudovkin and Garfield(2002)는 학술지의 규모를 고려하여 인용 횟수를 보정하기 위한 연관성 지수(relatedness index)를 제시하였다. 연관성 지수는 두 학술지 사이의 인용 수는 피인용 학술지(j)에 발표된 논문의 수와 인용 학술지(i)에 포함된 참고 문헌 수에 비례한다고 가정한다. 이를 바탕으로 학술지 i의 학술지 j로의 연관성, 즉, 학술지 j의 학술지 i로의 영향력 $R_{i>j}$ 은 아래 식 (1)과 같이 정의된다.

$$R_{i>j} = \frac{H_{i>j} \times 10^6}{Pap_j \times Ref_i} \quad (1)$$

여기서 $H_{i>j}$ 는 학술지 i의 논문이 학술지 j의 논문을 인용한 횟수이고, Pap_j 는 학술지 j에 게재된 논문 수, Ref_i 는 학술지 i의 논문들에 포함된 참고 문헌의 수이다. 절대 인용 수 $H_{i>j}$ 에 임의의 수 10^6 을 곱한 것은 연관성 지수 값을 더 쉽게 인식하고 처리할 수 있기 위한 것이다. 본 연구에서도 학술지의 규모에 따른 편향을 제거하기 위해 연관성 지수를 사용하여 학술지 간 연관관계를 측정하며, 연관성 지수는 2014년에 발표된 JCR 2013으로부터 수집하였다.

3.2 네트워크 지표

네트워크상의 핵심 주체를 파악하기 위한 목적으로 중심성 지수(centrality index)가 널리 활용되고 있다. 본 연구에서는 가장 대표적인 중심성 지표인 연결(degree) 중심성, 근접(closeness)

중심성, 매개(betweenness) 중심성을 활용하여 학술지의 중요도를 측정한다(Freeman, 1979). 연결 중심성은 한 노드에 연결된 노드들의 합을 의미하며, 이를 이론 상 연결 가능한 최대 노드 수인 $n-1$ (n 은 네트워크 내 노드의 수)로 나누어 정규화 할 수 있다. 방향성이 존재하는 네트워크인 경우 내향(in-degree) 중심성과 외향(out-degree) 중심성으로 구분되어 측정된다. 근접 중심성은 한 노드가 네트워크의 다른 모든 노드들과 얼마만큼 가깝게 위치하는가를 의미한다. 근접 중심성의 경우에도 방향성이 있는 네트워크인 경우에 내향 근접성(in-closeness)과 외향 근접성(out-closeness)으로 구분하여 측정되며, 정규화된 근접 중심성은 근접 중심성과 $n-1$ 의 곱으로 계산된다. 매개 중심성은 한 노드가 다른 노드들 사이에 위치하는 정도를 의미하며, 모든 노드 쌍에 대해 노드 간 최단 경로 상에 대상 노드가 얼마나 많이 위치하는가로 측정된다. 방향성이 있는 네트워크에서 정규화된 매개 중심성은 $n-1$ 과 $n-2$ 의 곱으로 매개 중심성을 나눈 값이다.

중심성은 개별 노드들의 중요도 및 영향력을 나타내는 데 활용될 수 있는 유용한 지표이지만, 네트워크에서 각 노드의 구체적인 역할을 설명하는 데에는 한계가 있는데, 이를 위해 중개 분석(brokerage analysis)이 활용될 수 있다. 중개라는 것은 한 명의 행위자에서 중개자인 또 다른 행위자로 자원의 흐름 또는 교환이라 할 수 있다. 즉, 중개는 중개 행위자가 접근성이 부족한 다른 행위자들 사이에 일어나는 거래를 용이하게 하는 것으로 정의할 수 있다 (Marsden, 1982). 중개에는 세 명의 행위자가 포함되며, 제공자(source, S)와 수취자(recipient, R)는 거래의 당사자가 되고, 이 둘 사이의 거래를 중개하는 나머지 한 행위자를 중개자(broker, B)라 한다. 중개자의 역할 유형을 분석하기 위해서는 모든 행위자가 상호 배타적인 그룹(mutually exclusive groups)으로 구분될 수 있어야 하며, 세 행위자가 속한 그룹에 따라 <Figure 1>과 같이 중개자의 역할을 다섯 가지의 유형으로 구분할 수 있다(Gould and Fernandez, 1989).

세 행위자가 모두 동일한 그룹에 속하면 중개자를 조정자(coordinator)로 볼 수 있다. 예를 들어 산업공학 학술지가 다른 두 개의 산업공학 학술지 사이의 지식 흐름을 중개 하는 경우 조정자라고 할 수 있다. 컨설턴트(consultant)의 역할은 조정자와 유사하지만 중개자가 다른 그룹에 속해 있다는 차이점을 가지고 있다. 예를 들어 전산학 분야에 속한 두 학술지를 산업공학 학술지가 중개하는 경우 이 학술지를 컨설턴트라고 할 수 있다. 나머지 문지기(gatekeeper), 대표자(representative), 연락자(liaison)는 중개자가 속한 그룹에 의해 구별할 수 있다. 중개자가 수취자와 동일한 그룹에 속하면 문지기가 되며, 공급자와 동일한 그룹에 속하면 대표자라고 할 수 있다. 예를 들어 산업공학 학술지가 다른 산업공학 학술지에 전산학 분야 학술지에서 얻은 지식을 제공하는 경우 문지기가 되며, 반대로 다른 산업공학 학술지로부터 지식을 획득하여 전산학 분야 학술지에 전파하는 경우 대표자가 된다. 연락자의 경우 세 행위자가 모두 다른 그룹에 속하는 것을 말하며, 예를 들어 산업공학 학술지가 경영학과 전산학 분야에 속하는 학술지를 연결하면 이를 연락자라고 할 수 있다.

각 노드별로 다섯 가지 중개 역할별 원 점수(raw score), 즉, 조정자(w_c), 컨설턴트(w_o), 문지기(w_{ol}), 대표자(w_{lo}), 연락자(w_{lo}) 점수를 산출하여 해당 노드의 중개 역할을 규명할 수 있다. 노드 j 가 속한 그룹을 m_j 라 하고 네트워크상의 노드 수가 N 일 경우, 노드 j 의 조정자 점수인 w_{cj} 는 아래 식 (2)와 같이 정의된다.

$$w_{cj} = \sum_i \sum_k w_{ij}(ik), (i \neq j \neq k) \quad (2)$$

즉, ijk 가 참(true)이고 $m_i = m_j = m_k$ 이면 $w_{ij}(ik)$ 는 1이며 그렇지 않으면 0으로 정의한다. 이와 유사한 방법으로 나머지 네 가지 중개 유형별 점수를 산출할 수 있다. 즉, 컨설턴트는

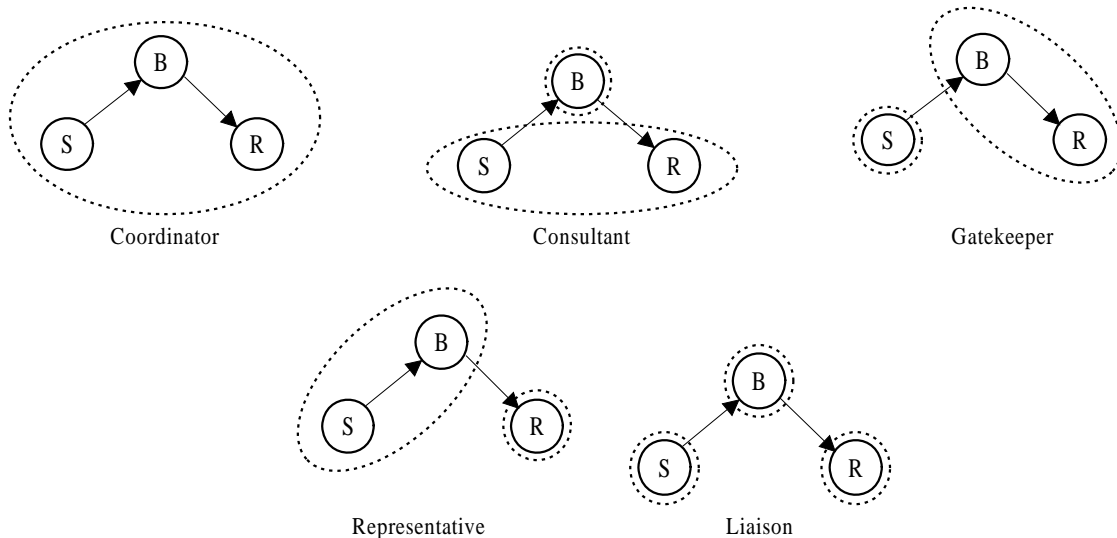


Figure 1. Five types of Brokerage

$m_i = m_k \neq m_j$ 이면 $w_O(ik) = 1$, 문지기는 $m_i \neq m_j = m_k$ 이면 $b_{IO}(ik) = 1$, 대표자는 $m_i = m_j \neq m_k$ 이면 $b_{JO}(ik) = 1$, 연락자는 $m_i \neq m_j \neq m_k$ 이면 $b_O(ik) = 1$ 이다. 중개 유형별 노드들의 부분 점수(partial score)는 원 점수를 g_{ik} 로 나눠서 계산할 수 있는데, 이때 g_{ik} 는 i 와 k 사이의 두 단계 경로의 수이다. 특정 노드의 총 중개 점수는 다섯 가지 유형의 중개 역할 별 부분 점수의 합과 같다. 또한 중개 점수는 포함된 행위자의 수가 서로 다른 그룹 내 노드 간의 비교에 사용될 수 있도록 무작위 배치에서 도출된 기대값으로 나누어 정규화하여 사용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이와 같은 방식으로 산업공학 학술지들이 다른 학문 분야와의 지식 교환에서 어떤 중개 역할을 수행하고 있는지를 파악한다.

4. 산업공학 학술지 네트워크

산업공학 융합 네트워크 구축에 앞서, 산업공학 학술지만으로 구성된 네트워크를 구축하여 학술지 간 연관관계를 분석하였

다. 이를 위해 JCR 2013에 포함된 43개 산업공학 학술지 간의 연관성 지수를 수집하여 43×43의 인접 행렬(association matrix)을 도출하였다. 인접행렬(A)의 원소 값 a_{ij} 는 연관성 지수 $R_{i>j}$ 이며, 대각원소의 값은 모두 0으로 치환된 비대칭 행렬이다. 효과적인 시각화를 위해 도출된 인접 행렬을 이진 행렬로 변환하기 위해 다양한 임계값(cut-off value)에 대한 민감도 분석을 수행하였으며, 연관성 지수 100수준에서 가장 가시성이 높고 의미 있는 네트워크가 산출될 수 있는 것으로 판단하여, 이를 기준으로 이분화를 수행하였다. 총 43개 학술지 중 6개의 학술지는 타 산업공학 학술지와 인용 관계가 전혀 존재하지 않아 삭제하였으며, 11개의 학술지는 연관성 지수 100수준에서 고립되어 네트워크에서 제외한 결과, 최종적으로 26개의 학술지가 산업공학 학술지 네트워크에 포함되었다. 26개 학술지 목록 및 학술지의 연관성 지수에 대한 정보는 아래 <Table 1>과 같다.

네트워크 시각화 및 분석에는 UCINET 6와 NetDraw를 활용하였으며, 노드의 크기는 외향 중심성을 기준으로 설정하였다. 인용 네트워크를 시각화할 때 화살표의 방향성을 두 가지

Table 1. Summary of Relatedness Index for Journals

Journal	Number of related journals	Total relatedness		Average relatedness	
		Citing	Cited	Citing	Cited
Applied Ergonomics(AE)	78	2,850.8	2,587.1	36.5	33.2
CIRP Annals-Manufacturing Technology(CIRP)	103	2,679.1	5,066.0	26.0	49.2
Cognition Technology and Work(CTW)	12	1,466.3	1,044.5	122.2	87.0
Computers and Industrial Engineering(CIE)	123	3,459.1	1,857.8	28.1	15.1
Computers and Operations Research(COR)	135	5,020.7	3,355.1	37.2	24.9
EMJ-Engineering Management Journal(EMJ)	7	2,869.8	2,590.5	410.0	370.1
Ergonomics(ERG)	138	3,635.7	3,484.7	26.3	25.3
Human Factors(HF)	69	3,109.6	3,115.2	45.1	45.1
IEEE Transactions on Engineering Management(IEEE)	54	4,730.0	3,749.6	87.6	69.4
IIE Transactions(IIE)	68	5,426.5	5,033.0	79.8	74.0
Industrial Management and Data Systems(IMDS)	33	2,608.8	1,808.9	79.1	54.8
International Journal of Industrial Ergonomics(IJIE)	48	3,974.8	3,982.9	82.8	83.0
International Journal of Production Research(IJPR)	128	3,414.7	2,021.4	26.7	15.8
Journal of Engineering and Technology Management(JETM)	7	5,246.3	4,346.5	749.5	620.9
Journal of Manufacturing Systems(JMS)	35	2,295.1	1,297.0	65.6	37.1
Journal of Product Innovation Management(JPIM)	21	3,075.6	2,503.0	146.5	119.2
Journal of Quality Technology(JQT)	20	11,856.6	19,123.8	592.8	956.2
Probability in the Engineering and Informational Sciences(PEIS)	20	5,004.1	3,499.3	250.2	175.0
Production Planning and Control(PPC)	26	2,145.4	1,250.7	82.5	48.1
Quality Engineering(QE)	16	6,789.4	2,543.9	424.3	159.0
Quality and Reliability Engineering International(QREI)	31	7,582.4	1,962.7	244.6	63.3
Quality Technology and Quantitative Management(QTQM)	6	1,711.0	527.6	285.2	87.9
Research in Engineering Design(RED)	19	6,250.6	8,413.7	329.0	442.8
Research-Technology Management(RTM)	5	25,477.7	26,286.9	5,095.5	5,257.4
Systems Engineering(SE)	17	2,541.4	2,232.0	149.5	131.3
Technovation(TVN)	16	3,886.1	5,935.5	242.9	371.0
Average	47.5	4,965.7	4,600.7	374.8	362.2

관점에서 설정할 수 있다. 학술지 A가 학술지 B를 인용하는 경우 인용 방향에 따라 A에서 B로 나아가는 화살표로 나타낼 수 있다. 반면 학술지의 영향이나 지식 흐름의 관점에서는 학술지 B가 학술지 A에 지식을 전달한다고 볼 수 있으므로, B에서 출발하여 A에 도달하는 형태로 화살표를 그릴 수 있다. 본 연구에서는 지식 확산에 영향을 주는 학술지의 역할에 보다 초점을 맞추고 있으므로, 후자의 형태로 화살표를 표시하였다. 이를 통해 최종적으로 도출된 산업공학 학술지 네트워크를 <Figure 2>에 나타내었다.

도출된 산업공학 학술지 네트워크는 단일 네트워크가 아닌, 서로 분리된 세 개의 하위 네트워크(sub-network)로 구성되어 있다. 각 네트워크에 포함된 학술지의 특성을 바탕으로 세 개의 하위 네트워크를 제조/품질, 경영 공학, 인간 공학으로 명명하였다. 가장 많은 12개의 학술지로 구성된 제조/품질 네트워크에는 대표적인 산업공학 학술지인 IIE를 비롯하여, JQT, JMS 등 제조 공학 및 품질 관리를 주로 다루는 전통적인 학술지들로 구성되어 있으며, COR, CIE는 전산학 관련 학술지도 일부 포함되어 있다. 9개의 학술지로 구성된 경영 공학 군집에는 IEEE, JPIM, JETM, TVN 등 공학 경영 또는 기술 경영 관련된 학술지들이 주로 포함되어 있다. 마지막으로 인간 공학 군집은 Ergonomics 및 HCI(human computer interaction)관련 5개의 학술지로 구성되어 있다. 이들 하위 네트워크 간에는 유의미한 수준의 지식 흐름이 전혀 존재하지 않는 것으로 나타났으며, 이는 같은 산업공학 카테고리 분류된 학술지라고 하더라도 그 특성에 따라 지식 흐름의 양상이 매우 다르다는 것을 의미한다. 이처

럼 독립된 세 개의 하위 네트워크로 구분되는 산업공학 학술지 네트워크는 다양한 분야가 융합된 산업공학의 다학제적 성격을 잘 드러낸다고 할 수 있다.

산업공학 학술지 네트워크상의 학술지들의 중요도를 파악하기 위해 연결, 근접, 매개 중심성을 각각 측정하였으며, 정규화된 중심성 값을 <Table 2>에 제시하였다. IEEE, JMS, JPIM 학술지가 외향 연결 중심성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 내향 연결 중심성의 측면에서는 IIE, IEEE, TVN 학술지 순서대로 높게 나타났다. IEEE 학술지의 경우 외향성과 내향성 모두 높은 순위를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 외향 연결 중심성과 내향 연결 중심성의 비율을 바탕으로 산업공학 학술지 네트워크상에서의 역할을 정의할 수 있다. 비율이 1이 넘는 경우 지식의 공급자 역할을, 1 미만인 경우는 수요자 역할을 수행한다고 볼 수 있다. 예를 들어 외향 연결 중심성이 제일 높은 JMS의 경우, 내향 연결 중심성은 매우 낮아 비율 값이 5로 나타났다으며, 산업공학 학술지 네트워크 내 지식 공급에 있어서 핵심 역할을 수행하는 것으로 나타났다. 반면 내향 연결 중심성이 가장 높은 IIE는 비율 값이 0.222로 도출되었으며, 따라서 산업공학 학술지 네트워크상에서 핵심적인 지식 수요자 역할을 수행한다고 볼 수 있다. 외향 근접 중심성은 JMS, SE, EMJ 순서로 높게 나타났고, 내향 근접 중심성은 IIE, JQT, QREI 순서로 높게 나타났다. 매개 중심성 값이 높은 JQT, IEEE, IIE는 연결 중심성과 근접 중심성 역시 높은 값을 가지고 있으며, 산업공학 학술지 네트워크상에서 가장 활발하게 지식을 매개하는 학술지라 할 수 있다.

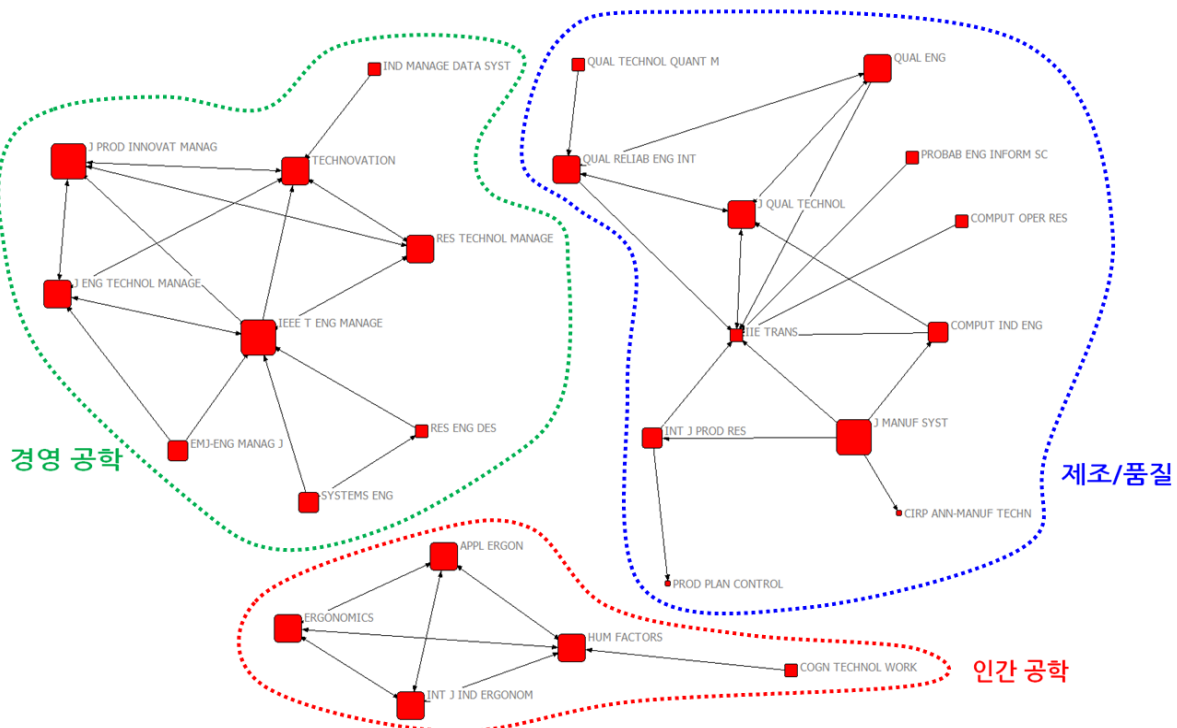


Figure 2. Industrial Engineering Network

Table 2. Centrality of 26 Journals in the IE Network

Journal	Degree			Closeness			Betweenness
	Out	In	Ratio (out/in)	Out	In	Ratio (out/in)	
Applied Ergonomics(AE)	15.4(4)	15.4(8)	1.0(12)	4.3(17)	4.5(11)	1.0(13)	0(12)
CIRP Annals-Manufacturing Technology(CIRP)	3.8(25)	7.7(14)	0.5(24)	3.8(25)	4(15)	1.0(12)	0(12)
Cognition Technology and Work(CTW)	7.7(18)	3.8(19)	2.0(4)	4.5(13)	3.8(19)	1.2(7)	0(12)
Computers and Industrial Engineering(CIE)	11.5(14)	7.7(14)	1.5(9)	4.5(12)	4(15)	1.1(11)	0.3(8)
Computers and Operations Research(COR)	7.7(18)	3.8(19)	2.0(4)	4.5(15)	3.8(19)	1.2(9)	0(12)
EMJ-Engineering Management Journal(EMJ)	11.5(14)	3.8(19)	3.0(2)	4.7(3)	3.8(19)	1.2(3)	0(12)
Ergonomics(ERG)	15.4(4)	15.4(8)	1.0(12)	4.3(17)	4.5(11)	1.0(13)	0(12)
Human Factors(HF)	15.4(4)	19.2(4)	0.8(19)	4.3(17)	4.5(10)	1.0(16)	0.5(5)
IEEE Transactions on Engineering Management(IEEE)	19.2(1)	26.9(2)	0.7(22)	4.5(7)	5.5(5)	0.8(20)	1.8(2)
IIE Transactions(IIE)	7.7(18)	34.6(1)	0.2(26)	4.3(24)	5.9(1)	0.7(26)	1.8(3)
Industrial Management and Data Systems(IMDS)	7.7(18)	3.8(19)	2.0(4)	4.7(5)	3.8(19)	1.2(4)	0(12)
International Journal of Industrial Ergonomics(IJIE)	15.4(4)	15.4(8)	1.0(12)	4.3(17)	4.5(11)	1.0(13)	0(12)
International Journal of Production Research(IJPR)	11.5(14)	7.7(14)	1.5(9)	4.7(5)	4(15)	1.2(6)	0.2(10)
Journal of Engineering and Technology Management (JETM)	15.4(4)	19.2(4)	0.8(19)	4.5(9)	5.5(7)	0.8(20)	0.3(7)
Journal of Manufacturing Systems(JMS)	19.2(1)	3.8(19)	5.0(1)	5.5(1)	3.8(19)	1.4(1)	0(12)
Journal of Product Innovation Management(JPIM)	19.2(1)	19.2(4)	1.0(12)	4.5(7)	5.5(7)	0.8(19)	0.2(9)
Journal of Quality Technology(JQT)	15.4(4)	19.2(4)	0.8(19)	4.3(17)	5.8(2)	0.7(25)	2.0(1)
Probability in the Engineering and Informational Sciences(PEIS)	7.7(18)	3.8(19)	2.0(4)	4.5(15)	3.8(19)	1.2(9)	0(12)
Production Planning and Control(PPC)	3.8(25)	7.7(14)	0.5(24)	3.8(25)	4.2(14)	0.9(17)	0(12)
Quality Engineering(QE)	15.4(4)	11.5(13)	1.3(11)	4.3(17)	5.7(4)	0.8(23)	0(12)
Quality and Reliability Engineering International(QREI)	15.4(4)	15.4(8)	1.0(12)	4.3(17)	5.7(3)	0.8(24)	0.5(5)
Quality Technology and Quantitative Management(QTQM)	7.7(18)	3.8(19)	2.0(4)	4.5(13)	3.8(19)	1.2(7)	0(12)
Research in Engineering Design(RED)	7.7(18)	7.7(14)	1.0(12)	4.7(4)	4(15)	1.2(5)	0(12)
Research-Technology Management(RTM)	15.4(4)	15.4(8)	1.0(12)	4.5(9)	5.5(9)	0.8(18)	0.1(11)
Systems Engineering(SE)	11.5(14)	3.8(19)	3.0(2)	5.0(2)	3.8(19)	1.3(2)	0(12)
Technovation(TVN)	15.4(4)	23.1(3)	0.7(23)	4.5(9)	5.5(5)	0.8(22)	0.8(4)

5. 산업공학 융합 네트워크

5.1 산업공학 융합 네트워크 구축 및 특성

제 4장에서 제시된 산업공학 학술지 네트워크를 통해 산업공학 분야 내부에서의 지식 흐름 특성을 파악할 수 있었으나, 산업공학과 타 분야와의 지식 흐름을 분석하여 산업공학의 융합적 특성을 규명하기 위해서는 산업공학 학술지 네트워크를 타 분야 학술지를 포함하여 확장시킬 필요가 있다. <Table 1>에 제시된 바와 같이 26개의 학술지는 평균 47.5개의 학술지와 연관성을 가지고 있으며, 이 중에는 산업공학 학술지가 아닌 타 분야의 학술지가 다수 포함되어 있다. 이들 학술지를 포함

하여 산업공학 융합 네트워크를 구축함으로써 산업공학과 타 분야와의 연관관계를 분석할 수 있다.

산업공학 학술지와 연관성이 존재하는 타 분야 학술지를 추가하고, 또한 이들 학술지와 연관된 다른 학술지들을 단계적으로 추가해나간다면, 산업공학 분야에 간접적인 영향을 미치는 분야들을 보다 광범위하게 고려할 수 있겠으나, 네트워크 규모와 범위가 너무 방대해져 분석의 효율성이 저해된다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 산업공학 학술지 네트워크에 포함된 26개의 학술지와 직접적인 연관이 있는, 즉 0이 아닌 연관성 지수 값을 가지는 학술지로만 그 범위를 한정한다. 또한 연관된 타 분야 학술지 간에는 산업공학 학술지뿐만 아니라 그들 간의 연관성 지수가 존재하나, 본 연구는 산업공학

분야의 융합적 특성을 규명하는 것을 목적으로 하므로, 타 분야 학술지 간의 연관관계는 고려하지 않는다.

JCR로부터 26개 학술지와 연관된 학술지들의 정보와 연관성 지수를 수집한 결과, 중복을 제외하고 총 693개의 학술지가 연관되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 인접 행렬(A)은 26개의 산업공학 전문 학술지(S)과 693개의 산업공학 연관 학술지(R)로 구성된 719×719행렬이며, 산업공학 학술지 네트워크에서와 같이 원소 값 a_{ij} 는 학술지 i 에서 학술지 j 로의 연관성 지수 $R_{i,j}$ 로 구성되며, 대각 원소는 0으로 치환되었다. 인접 행렬은 다음과 같이 네 개의 행렬 세그먼트로 분할될 수 있다.

$$\begin{matrix} \text{IE speciality journals} & \text{IE-related journals} \\ \text{IE speciality journals} & \begin{bmatrix} A_{SS} & A_{SR} \\ A_{RS} & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

A_{SS} 행렬 세그먼트는 산업공학 학술지 사이의 상호 관계를 나타내는 것으로 산업공학 학술지 네트워크에서의 인접 행렬과 동일하다. A_{SR} 과 A_{RS} 는 각각 산업공학 연관 학술지에 대한 산업공학 학술지의 연관성과 산업공학 학술지에 대한 산업공학 연관 학술지의 연관성을 나타낸다. A_{RR} 은 산업공학 연관 학술지 간의 연관성을 나타내는 부분으로, 실제 값이 존재함에도 불구하고, 본 연구의 초점과 무관하기 때문에 0행렬로 대체하였다. 산업공학 학술지 네트워크에서와 같이 연관성 지수 100을 기준으로 이분화를 수행하였으며, 그 결과 693개의 연

관 학술지 중 총 81개의 연관 학술지만이 유의한 연관 관계가 존재하는 것으로 나타났다. <Figure 3>은 도출된 산업공학 융합 네트워크를 시각화한 것이며, 동 네트워크는 26개의 산업공학 전문 학술지와 81개의 산업공학 연관 학술지를 포함한 107개의 노드로 구성되어 있다.

산업공학과 타 학문분야의 연관 관계를 분석하기 위해, 네트워크에 포함된 81개의 연관 학술지를 분야별로 분류하였다. 산업공학 연관 학술지들의 학문 분야를 명확하게 정의하는 것은 쉽지 않다. 연관 학술지들 대부분이 여러 분야로 분류될 수 있고 실제로 대부분의 연관 학술지들이 WoS에서 두 개 이상의 카테고리에 동시에 포함되어 있다. 그러나 중개 분석을 통해 다른 학문 분야와의 지식 교류에서 핵심적 역할을 수행하는 산업공학 학술지를 도출하기 위해서는 모든 학술지가 하나의 분야로만 할당되어야 한다. 따라서 두 개 이상의 카테고리에 포함된 학술지들은 학술지 홈페이지에서 목표와 연구 범위를 바탕으로, 관련 분야의 전문가에게 자문을 받아 분야를 정의하였다. 산업공학과 연관 관계를 가지는 학문 분야로 경영과학(Operations Research and Management Science : ORMS), 확률 및 통계(Statistics and Probability : SP), 제조공학(Manufacturing Engineering : ME), 전산학(Computer Science : CS), 공학설계(Engineering Design : ED), 경영학(Business Management : BM), 인간공학(Human Factors and Ergonomics : HF&ERG)으로 총 7개의 분야가 정의되었으며, 81개의 학술지는 이중 한 개의 분야에 할당되었다. 81개 학술지의 목록 및 할당된 분야는 <부록

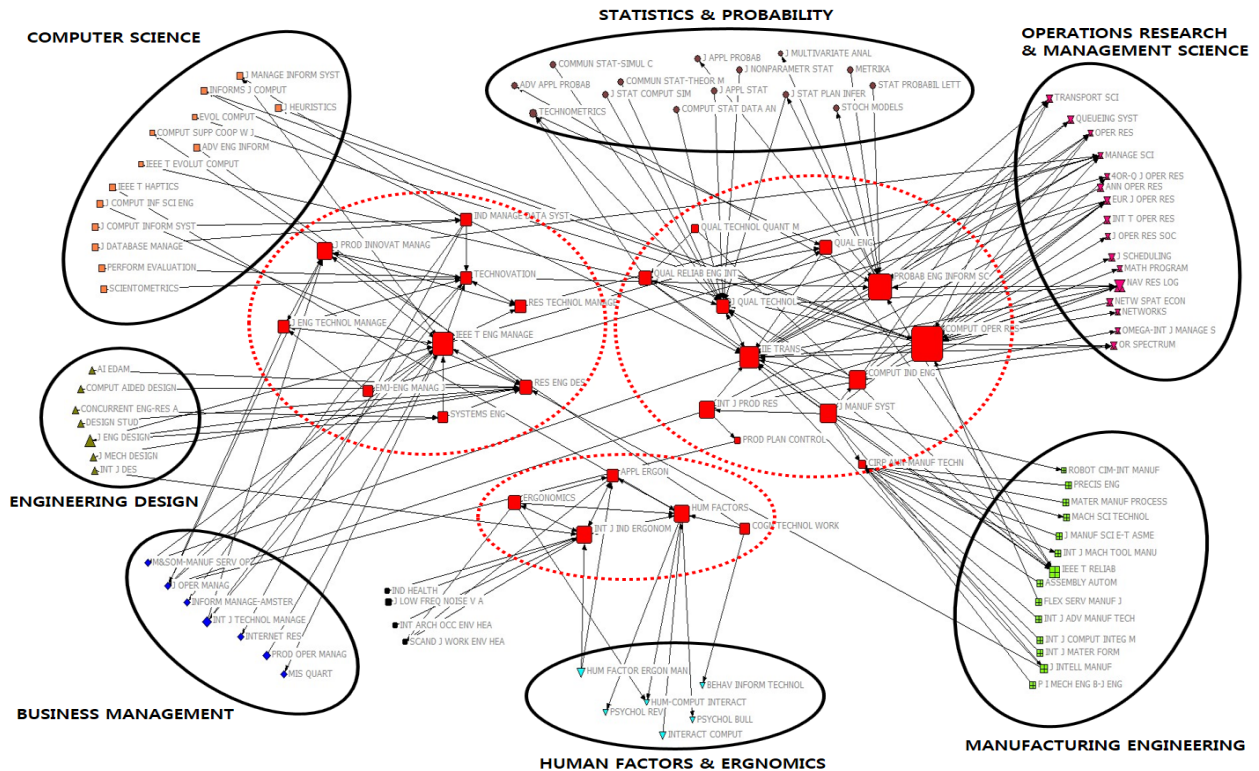


Figure 3. Industrial Engineering Convergence Network

A>에 제시되어 있으며, <Table 3>은 분야별로 할당된 학술지의 개수를 나타낸 것이다. ORMS가 가장 많은 16개의 학술지를 포함하고 있으며, HF&ERG에는 6개의 학술지만이 포함되어 있다. 상기 7개 분야에 포함될 수 없는 고유한 특성을 가진 4개의 학술지는 기타(miscellaneous)로 정의했다. <Figure 3>의 산업공학 융합 네트워크는 제 4장에서 제시된 산업공학 학술지만으로 구성된 산업공학 학술지 네트워크가 중앙에 존재하고, 동일한 학문 분야로 분류된 연관 학술지들을 그룹화하여 산업공학 학술지 네트워크 주변에 위치하는 형태로 시각화되어 있다. <Figure 3>을 통해서 시각적으로 산업공학의 전반적인 융합 특성을 확인할 수 있으며 산업공학이 다양한 학문 분야와 활발한 지식 교류를 하고 있음을 파악할 수 있다. 또한 각 학문 분야와의 지식 교류를 담당하고 있는 주요 학술지를 확인할 수 있다.

Table 3. Related Disciplines and Number of Affiliated Journals

Discipline	Number of affiliated journals
Industrial Engineering(IE)	26
Operations Research and Management Science(ORMS)	16
Statistics and Probability(SP)	14
Manufacturing Engineering(ME)	14
Computer Science(CS)	13
Engineering Design(ED)	7
Business Management(BM)	7
Human Factors and Ergonomics(HF&ERG)	6
miscellaneous	4
Total	107

Table 4. Centrality of 26 Base Journals in IE Convergence Network

Journal	Degree			Closeness			Betweenness
	Out	In	Ratio (out/in)	Out	In	Ratio (out/in)	
Applied Ergonomics(AE)	4.7(16)	4.7(12)	1.0(17)	1.0(21)	1.0(15)	1.0(10)	0.0(20)
CIRP Annals-Manufacturing Technology(CIRP)	2.8(24)	11.2(3)	0.3(26)	1.0(25)	1.0(12)	0.9(15)	0.2(11)
Cognition Technology and Work(CTW)	3.7(21)	0.9(23)	4.0(3)	1.1(15)	0.9(23)	1.1(6)	0(22)
Computers and Industrial Engineering(CIE)	7.5(5)	1.9(20)	4.0(2)	1.3(3)	0.9(21)	1.4(4)	0.1(16)
Computers and Operations Research(COR)	15.9(1)	6.5(8)	2.4(7)	1.3(5)	1.4(6)	0.9(16)	4.3(2)
EMJ-Engineering Management Journal(EMJ)	3.7(21)	0.9(23)	4.0(3)	1.0(14)	0.9(23)	1.1(5)	0(22)
Ergonomics(ERG)	5.6(11)	3.7(14)	1.5(9)	1.0(21)	1.0(15)	1.0(10)	0(21)
Human Factors(HF)	6.5(7)	6.5(8)	1.0(17)	1.0(21)	1.0(15)	1(10)	0.4(7)
IEEE Transactions on Engineering Management(IEEE)	10.3(3)	9.3(4)	1.1(16)	1.0(16)	1.2(7)	0.9(22)	1.6(5)
IIE Transactions(IIE)	9.3(4)	14.0(2)	0.7(22)	1.3(6)	1.4(1)	0.9(20)	5.1(1)
Industrial Management and Data Systems(IMDS)	4.7(16)	2.8(18)	1.7(8)	1.1(13)	1.0(19)	1.1(7)	0.2(10)
International Journal of Industrial Ergonomics(IJIE)	6.5(7)	6.5(8)	1.0(17)	1.0(21)	1.0(15)	1.0(10)	0.3(8)
International Journal of Production Research(IJPR)	6.5(7)	1.9(20)	3.5(5)	1.3(2)	0.9(21)	1.4(2)	0(19)
Journal of Engineering and Technology Management(JETM)	4.7(16)	4.7(12)	1.0(17)	1.0(18)	1.2(10)	0.9(22)	0(18)
Journal of Manufacturing Systems(JMS)	7.5(5)	0.9(23)	8.0(1)	1.9(1)	0.9(23)	2.0(1)	0(22)
Journal of Product Innovation Management(JPIM)	6.5(7)	5.6(11)	1.2(15)	1.0(16)	1.2(8)	0.9(22)	0.1(14)
Journal of Quality Technology(JQT)	5.6(11)	15.0(1)	0.4(25)	1.3(8)	1.4(2)	0.9(21)	2.9(4)
Probability in the Engineering and Informational Sciences (PEIS)	11.2(2)	9.3(4)	1.2(14)	1.3(7)	1.4(3)	0.9(19)	3.2(3)
Production Planning and Control(PPC)	1.9(26)	1.9(20)	1(17)	0.9(26)	1.0(19)	1.0(14)	0(22)
Quality Engineering(QE)	5.6(11)	3.7(14)	1.5(9)	1.3(8)	1.4(4)	0.9(17)	0.1(13)
Quality and Reliability Engineering International(QREI)	5.6(11)	3.7(14)	1.5(9)	1.3(8)	1.4(4)	0.9(17)	0.1(15)
Quality Technology and Quantitative Management(QTQM)	2.8(24)	0.9(23)	3.0(6)	1.3(4)	0.9(23)	1.4(3)	0(22)
Research in Engineering Design(RED)	5.6(11)	9.3(4)	0.6(24)	1.1(11)	1.0(13)	1.1(8)	1.2(6)
Research-Technology Management(RTM)	4.7(16)	3.7(14)	1.3(13)	1.0(18)	1.2(10)	0.9(22)	0(17)
Systems Engineering(SE)	3.7(21)	2.8(18)	1.3(12)	1.1(12)	1.0(14)	1.1(8)	0.1(12)
Technovation(TVN)	4.7(16)	7.5(7)	0.6(23)	1.0(18)	1.2(8)	0.9(22)	0.2(9)

산업공학 융합 네트워크에서 산업공학 학술지의 중요도를 파악하기 위해 제 4장에서와 같이 연결, 근접, 매개 중심성을 측정하였으며, 그 결과가 <Table 4>에 나타나 있다. 제 4장의 산업공학 학술지 네트워크와 비교했을 때 여러 가지 차이점이 발견되었다. 산업공학 학술지 네트워크에서 외향 연결 중심성이 가장 높은 순위에 있던 IEEE, JMS, JPIM 중 IEEE를 제외한 두 학술지는 각각 5위와 7위로 순위가 하락하였고, 하위권이던 COR과 PEIS 학술지가 각각 1위와 2위로 순위가 상승하였다. 따라서 이들 학술지는 산업공학 학술지보다 타 분야 학술지에 더 많은 지식을 공급한다고 볼 수 있다. 마찬가지로 IIE, IEEE, TVN은 산업공학 학술지 네트워크에서 내향 연결 중심성이 높았으나, IIE를 제외한 IEEE, TVN은 각각 4위와 7위로 순위가 하락하였고 JQT와 CIRP가 각각 1위와 3위로 높은 순위 상승을 보였다. CIRP의 눈에 띄는 순위 상승은 제조공학 분야에 속한 연관 학술지들의 대부분이 CIRP 학술지와 지식 교환이 이루어지기 때문이다. 내향과 외향 연결 중심성의 비율을 살펴보면, 산업공학 학술지 네트워크에서와 마찬가지로 JMS가 가장 높은 값을 가지는 핵심 공급자로 나타났으며, CIE와 IJPR의 경우 산업공학 학술지 네트워크 대비 상대적으로 높은 비율을 가지는 주요 공급자 역할을 수행하는 것으로 파악되었다. 반면, 지식 수요자 역할 측면에서는 산업공학 학술지 네트워크와 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 나타났다. 외향 근접 중심성은 JMS, IJPR, CIE 순서로 높게 나타났으며, 내향 근접 중심성은 IIE, JQT, PEIS 순서로 높게 나타났다. 매개 중심성은 산업공학 학술지 네트워크에서 높은 값을 가졌던 IIE와 함께 COR, PEIS가 높은 수준을 보였으며, 이들 두 학술지는 산업공학 학술지 간 지식 교류보다는 타 분야 학술지와 지식 교류가 더 활발하다고 할 수 있다.

5.2 산업공학의 융합 특성 분석

산업공학 융합 네트워크 시각화를 통해 산업공학과 연관 학문 분야와의 관계를 한 눈에 파악할 수 있지만, 산업공학이 어떤 학문 분야에 어떻게 기여하는지, 반대로 어떤 학문 분야가

산업공학에 어느 정도 수준으로 기여 하는지를 분석하기 위해서는 보다 심층적인 정량적 분석이 요구된다. 이를 위해 산업공학 융합 네트워크상의 산업공학과 타 분야와의 지식 흐름을 분석하였다. 즉, 네트워크에 존재하는 학술지 간 링크를 바탕으로, 산업공학 학술지로 타 분야의 학술지의 지식 공급량과 산업공학 학술지에서 타 분야 학술지로의 지식 공급량을 도출하고, 분야별 기여도를 측정하였다.

먼저 <Table 5>는 산업공학 학술지들에 대한 연관 분야의 기여율을 나타낸 것이다. 첫 행은 각 학문 분야별로 얼마나 많은 학술지가 26개의 산업공학 학술지에 영향을 미치는지를 나타내며, 두 번째 행은 산업공학 학술지들로 지식이 유입되는 총 169개의 링크(기타 분야 5개 포함) 중 각 분야가 차지하는 비중을 나타낸다. 마지막 행은 산업공학 분야를 제외한 연관 분야들의 기여율 순위를 의미한다. 산업공학 학술지로 유입되는 링크 중 절반 수준에 해당하는 49.1%는 산업공학 학술지 내부에서 비롯되는 것으로 나타났으며, 연관 분야 중에서는 경영과학 분야가 19.5%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 경영과학으로 분류된 16개 학술지들이 비록 산업공학으로 동시에 분류되어 있지는 않으나, 산업공학 내에서는 전통적으로 경영과학이 산업공학의 세부 분야로 간주되어왔기 때문에, 이는 매우 자연스러운 결과라고 할 수 있다. 다음으로 경영학(7.1%), 제조공학(5.9%)의 순서로 기여율이 높은 것으로 나타났다. 경영학의 주요 의사결정 문제를 공학적 기법을 적용하여 해결하는 경영공학의 비중이 지속적으로 증가함에 따라, 경영학이 높은 기여도를 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한 초기 산업공학은 기계 공학에서 분화되어 제조업을 기반으로 발전해왔기 때문에, 기계 공학의 세부 분야로 간주되는 제조공학과 지속적인 연계가 이루어지는 것으로 보인다.

위의 분석을 통해 타 연관 분야들이 산업공학에 미치는 영향의 크기를 살펴보았다면, 반대로 산업공학이 타 연관 분야에 미치는 영향을 유사한 방법으로 분석할 수 있다. 산업공학 학술지들의 타 연관 분야에 대한 기여율을 <Table 6>과 같이 산출하였다. <Table 5>와는 반대로 산업공학 학술지들이 지식을 공급하는 링크의 개수를 분석하였으며, 총 150개의 링크(기

Table 5. Contribution Rates of Related Disciplines to IE Journals

	IE	ORMS	SP	ME	CS	ED	BM	HF&ERG
Number of links	83	33	8	10	8	5	12	5
Percentage	49.1%	19.5%	4.7%	5.9%	4.7%	3%	7.1%	3%
Ranking	-	1	4	3	4	6	2	6

Table 6. Contribution Rates of IE Journals to Related Disciplines

	IE	ORMS	SP	ME	CS	ED	BM	HF&ERG
Number of links	83	11	14	16	10	9	3	3
Percentage	55.3%	7.3%	9.3%	10.7%	6.7%	6%	2%	2%
Ranking	-	3	2	1	4	5	6	6

타 분야 1개 포함)의 연관 분야별 개수 및 비중을 측정하였다. 절반 이상의 링크가 산업공학 내부에 존재하는 것으로 나타났으며, 연관 분야 중에서는 제조 공학에 대한 기여율이 10.7%로 가장 높게 나타났으며, 확률 및 통계(9.3%)가 다음 순서로 나타났다. 품질 관리를 비롯한 산업공학 내 다양한 분야에서 확률 및 통계 모형이 활용되고 있으나, 분석 결과에 따르면 산업공학은 확률 및 통계 분야와의 지식 교환에 있어서 수요자보다는 공급자 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다.

이처럼 산업공학은 다양한 연관 분야와의 연계를 통해 지속적으로 진화하고 있으며, 타 분야와의 융합 및 지식 교환을 촉진하기 위해서는 어떤 학술지가 어떤 분야와의 지식 교류에 있어서 어떤 역할을 수행하고 있는지를 파악할 필요가 있다. 이를 위해 중개 분석을 사용하여 26개 산업공학 학술지의 중개 역할 및 수준을 분석하였다. 아래 <Table 7>은 다섯 가지 유형의 중개 역할 별 중개 점수를 나타낸 것이다. PEIS와 IIE가

핵심적인 중개 역할을 수행하고 있는 반면, 5개의 학술지는 전혀 중개 역할을 수행하지 않는 것으로 나타났다. 조정자 역할은 주로 IEEE가 수행하고 있으며, 문지기로는 JQT, 대표자로는 IIE가 핵심적인 역할을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 또한 COR과 PEIS는 각각 핵심적인 컨설턴트와 연락자 역할을 수행하는 것으로 나타났다.

그러나 <Table 7>의 정보만으로는 구체적으로 어떤 분야와의 지식 교류에 어떤 저널이 역할을 수행하는지를 파악하기 어렵다. 이에 각 학문 분야 간의 중개 역할을 파악하기 위해서 <Table 8>과 같이 분야 대 분야 중개 지도를 도출하였다. 각 셀에 제시된 학술지는 해당 행에 나타난 학문 분야의 지식을 해당 열에 나타난 학문 분야로 전달하는 중개자를 의미한다. 괄호 안의 값은 중개 점수를 나타내며, 중개 점수가 3 이하인 경우는 제외하였다. 각 셀 별로 중개 역할이 다르게 정의되어 있다. 예를 들어, (1, 1) 셀의 경우 산업공학 학술지에서 산업공학

Table 7. Brokerage Scores of IE Journals

Journal	Coordinator	Gatekeeper	Representative	Consultant	Liaison	Total
Applied Ergonomics(AE)		1	0.3		0.5	1.8
CIRP Annals-Manufacturing Technology(CIRP)			2	18		20
Cognition Technology and Work(CTW)						
Computers and Industrial Engineering(CIE)	0.3		2.3			2.6
Computers and Operations Research(COR)		6		45	42	93
EMJ-Engineering Management Journal(EMJ)						
Ergonomics(ERG)			1.3			1.3
Human Factors(HF)	3	6	10	3	3	25
IEEE Transactions on Engineering Management(IEEE)	10.7	12	30.3	4	13	70
IIE Transactions(IIE)	1.2	4	44.8	13.5	27.3	90.9
Industrial Management and Data Systems(IMDS)		2		2	4	8
International Journal of Industrial Ergonomics(IJIE)		7	6.3	3	5.5	21.8
International Journal of Production Research(IJPR)	1		2.3			3.3
Journal of Engineering and Technology Management(JETM)	1.3		0.5			1.8
Journal of Manufacturing Systems(JMS)						
Journal of Product Innovation Management(JPIM)	1	2	1.3	0.5	1	5.8
Journal of Quality Technology(JQT)	4	29	2.5	7	11.8	54.3
Probability in the Engineering and Informational Sciences (PEIS)		7		26.5	53.3	86.8
Production Planning and Control(PPC)						
Quality Engineering(QE)		1			0.5	1.5
Quality and Reliability Engineering International(QREI)	2		1			3
Quality Technology and Quantitative Management(QTQM)						
Research in Engineering Design(RED)		7	3	16	12	38
Research-Technology Management(RTM)	0.3		0.5			0.8
Systems Engineering(SE)		2		1		3
Technovation(TVN)	3.7	4	1.3	0.5	1	10.5

Table 8. Brokerage Roles of IE Journals

	IE	ORMS	SP	ME	CS	ED	BM	HF&ERG	miscellaneous
IE	[Coordinator] IEEE(13), IIE(4), JQT(4), TVN(5)	[Representative] CIE(4), IEEE(4), IIE(28)		[Representative] IIE(4)	[Representative] IEEE(6), IIE(7)		[Representative] IEEE(22), IIE(8)	[Representative] HF(11)	[Representative] IJIE(7)
ORMS	[Gatekeeper] COR(4), JQT(5)	[Consultant] COR(42), IIE(14), PEIS(6)	[Liaison] PEIS(10)		[Liaison] COR(16)				
SP	[Gatekeeper] JQT(23), PEIS(5)	[Liaison] PEIS(20)	[Consultant] JQT(7), PEIS(22)	[Liaison] JQT(8), PEIS(5)					
ME		[Liaison] COR(11), IIE(10), PEIS(4)	[Liaison] PEIS(5)	[Consultant] CIRP(18)	[Liaison] COR(4)	[Liaison] RED(4)			
CS	[Gatekeeper] IEEE(4)	[Liaison] COR(11), IIE(5), PEIS(4)	[Liaison] PEIS(5)			[Liaison] RED(8)	[Liaison] IEEE(4), IMDS(4)		
ED	[Gatekeeper] IEEE(4), RED(4)					[Consultant] RED(16)	[Liaison] IEEE(4)		
BM	[Gatekeeper] IEEE(4)						[Consultant] IEEE(4)		
HF&ERG									
miscellaneous									

학술지로의 지식 흐름을 증가하므로 조정자에 해당한다. 이를 제외한 첫 행은 산업공학 학술지에서 연관 분야 학술지로의 지식 흐름을 증가하므로 대표자에 해당되며, 첫 열은 연관 분야 학술지에서 산업공학 학술지로의 지식 흐름을 증가하므로 문지기에 해당한다. 대각 셀은 동일한 타 학문 분야의 학술지들을 산업공학 학술지가 중개 하고 있으므로 컨설턴트로 정의되며, 나머지 셀은 모두 연락자 역할에 해당한다.

산업공학과 타 분야의 모든 관계에서 IEEE와 IIE의 중개 역할이 매우 두드러지며, 확률 및 통계, 제조 공학, 전산학 분야에서 경영 과학 분야로의 지식 전달에 PEIS가 공통적으로 연락자 역할을 수행한다. PEIS는 경영 과학, 제조 공학, 전산학 분야에서 확률 및 통계 분야로의 지식 전달 역할에도 유일한 연락자 역할을 하고 있다. 이밖에 유일한 연락자 역할을 하는 학술지로는 경영 과학, 제조 공학에서 전산학으로의 COR, 전산학, 제조 공학에서 공학 설계로의 RED, 공학 설계에서 경영학으로의 IEEE가 있다. CIRP는 제조 공학 분야에 대한 유일한 컨설턴트 역할을 수행하며, RED와 IEEE가 각각 공학 설계 분야와 경영학 분야의 유일한 컨설턴트 역할을 담당하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 인간공학 분야의 경우 타 연관 분야에 비해 지식 흐름이 저조하게 나타나는데, HF만이 인간공학 분야에 대한 대표자 역할을 수행하는 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 학술지 인용 분석을 활용하여 산업공학 분야의 학제적 융합 구조를 실증적으로 규명하였다. WoS에 포함된 산업공학 학술지들의 인용 관계를 보정한 연관성 지수를 기반으로 산업공학 학술지 네트워크를 구축한 뒤 시각화하였고 중심성 분석을 통해 영향력이 높은 학술지를 실증적으로 파악하였다. 총 26개의 학술지로 구성된 산업공학 학술지 네트워크는 경영 공학, 제조/품질, 인간 공학으로 3개의 하위 네트워크로 구분되었다. 산업공학 학술지와 연관 관계를 가진 타 연관 분야 학술지를 포함한 산업공학 융합 네트워크를 구축하여 시각화하였다. 산업공학과 활발한 지식 흐름이 존재하는 타 연관 분야로 경영과학, 확률 및 통계, 제조공학, 전산학, 공학설계, 경영학, 인간공학의 7개 분야를 도출하였고, 마지막으로 중개 분석을 통해 연관 분야와의 지식 흐름에서 핵심적인 역할을 하는 산업공학 학술지를 도출하였다.

산업공학은 지난 100여 년 동안 변화와 융합을 거듭하며 발전해왔다. 산업공학이 항상 그 시대에 어울리는 학문으로 발전할 수 있었던 동력은 그 시대의 산업에서 요구하는 해법을 찾고자 지속적으로 변화하고 다양한 학문 분야와 지식 교류를 통해 새로운 방법론을 개발하고 응용 분야를 개척했기 때문이

다. 따라서 산업공학 연구의 지속적인 발전 방향 정립을 위해서는 산업공학과 타 학문과의 지식 연계 구조를 면밀하게 파악할 필요가 있으며, 이에 본 연구는 산업공학과 연관된 타 학문 분야를 정의하고, 타 분야와의 지식 흐름을 실증적으로 분석하였다는 점에서 의의를 가진다. 본 연구 결과는 산업공학 분야의 연구 및 교육 현장에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 연구자들은 산업공학과 연관 분야들 간의 지식 흐름 비중을 바탕으로 추후 융합 연구의 거시적 방향을 설정할 수 있으며, 학술지별 중심성 지수와 중개 역할 정보는 융합 연구 수행을 위한 구독 학술지 선택 및 융합 연구 결과 발표 대상 학술지 선정에 활용될 수 있다. 또한 학술지 편집위원들은 학술지의 위상 파악 및 편집 방향 설정에 본 연구 결과를 참조할 수 있으며, 학술지의 정체성 정립 및 전략적 포지셔닝에도 적극적으로 활용될 수 있다. 한편, 대학 및 대학원 교육 현장에서는 본 연구를 통해 드러난 연관 분야와의 지식 흐름 비중을 바탕으로 커리큘럼 개편을 수행할 수 있으며, 융합 교육을 위한 타 학과와의 연계 전략 수립에도 활용할 수 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구에는 몇 가지 한계점이 존재하며, 이는 추후 연구를 통해 보완될 필요가 있다. 첫째, 중개 분석을 수행하기 위해 두 개 이상의 분야와 연관된 연관 학술지들을 하나의 분야로만 분류하였다. 그러나 특정 학술지의 학문 분야가 변경되면 연관 분야의 기여도 및 학술지의 중개 유형이 바뀔 수 있기 때문에, 학술지의 카테고리를 분류하는 명확한 기준이 필요하다. 분야별 가중치를 부여하여 학술지를 복수의 카테고리에 분류하여 중개 분석을 수행할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 연구는 JCR 2013 자료만을 활용하였기에 산업공학 학술지 네트워크의 특정 시점의 단편(snapshot)만을 분석하였다고 할 수 있으며, 시점에 따른 진화 과정을 파악할 수 없다는 한계가 있다. 산업공학의 진화 흐름을 이해하고 향후 발전 방향을 모색하기 위해서는 서로 다른 시기의 산업공학 융합 네트워크를 각각 도출하고 비교하는 것이 필요하다.

참고문헌

- Allen, T. J. and Sosa, M. L. (2004), 50 years of engineering management through the lens of the IEEE transactions, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **51**(4), 391-395.
- Bassecouard, E. and Zitt, M. (1999), Indicators in a research institute : A multi-level classification of scientific journals, *Scientometrics*, **44**(3), 323-345.
- Biemans, W., Griffin, A., and Moenaert, R. (2007), Twenty years of the journal of product innovation management : History, participants, and knowledge stock and flows, *Journal of Product Innovation Management*, **24**(3), 193-213.
- Borgman, C. L. and Rice, R. E. (1992), The convergence of information science and communication : A bibliometric analysis, *Journal of the American Society for Information Science*, **43**(6), 397-411.
- Bhupatiraju, S., Nomaler, O., Triulzi, G., and Verspagen, B. (2012), Knowledge flows, Analyzing the core literature of innovation, entrepreneurship and science and technology studies, *Research Policy*, **41**(7), 1205-1218.
- Calero Medina, C. M. and van Leeuwen, T. N. (2012), Seed journal citation network maps : A method based on network theory, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **63**(6), 1226-1234.
- 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.
- 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.
- Choi, B. K., Han, K. H., Jun, C. S., Lee, C. S., and Park, S. C. (2014), Review and Perspectives on the Research and Industrial Applications of Manufacturing Systems Engineering in Korea for 40 Years, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 555-567.
- Chung, M. K., Yun, M. Y., Park, J. H., Lee, I-S., and Lim, J-H. (2014), 40 Years of Ergonomics in Korea : Accomplishments, Challenges and 40 More Years Ahead, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 568-579.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., and Foo, S. (2000), Journal as markers of intellectual space: Journal co-citation analysis of information retrieval area, 1987 ~ 1997, *Scientometrics*, **47**(1), 55-73.
- Durisin, B., Calabretta, G., and Parmeggiani, V. (2010), The intellectual structure of product innovation research : A bibliometric study of the journal of product innovation management, 1984 ~ 2004, *Journal of Product Innovation Management*, **27**(3), 437-451.
- Freeman, L. C. (1979), Centrality in social networks conceptual clarification, *Social Networks*, **1**(3), 215-239.
- Jeong, B. K. and Lee, H. Y. (2014), Analyzing the Domestic Collaborative Research Network in Industrial Engineering, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 618-627.
- Kim, H. T. (2012), The role of industrial engineering in convergence industry and technology era, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers (ie magazine)*, **19**(2), 13-19.
- Kim, Y. K. and Kim, J. Y. (2014), OR/MS in Korea : The Review and Outlook, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 592-608.
- King, J. (1987), A review of bibliometric and other science indicators and their role in research evaluation, *Journal of Information Science*, **13**(5), 261-276.
- Gould, R. V. and Fernandez, R. M. (1989), Structures of mediation: A formal approach to brokerage in transaction networks, *Sociological methodology*, **19**, 89-126.
- Lee, H. Y. (2015), Uncovering the multidisciplinary nature of technology management : Journal citation network analysis using the relatedness index, *Scientometrics*, **102**(1), 51-75.
- Leydesdorff, L. (1994), The generation of aggregated journal citation maps on the basis of the CDROM version of the Science Citation Index, *Scientometrics*, **31**(1), 59-84.
- Leydesdorff, L. (2007a), Betweenness centrality as an indicator of the interdisciplinarity of scientific journals, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **58**(9), 1303-1319.
- Leydesdorff, L. (2007b), Visualization of the citation impact environments of scientific journals : An online mapping exercise, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **58**(1), 25-38.

- Leydesdorff, L. and Zhou, P. (2007), Nanotechnology as a field of science : Its delineation in terms of journals and patents, *Scientometrics*, **70**(3), 693-713.
- MacRoberts, M. H. and MacRoberts, B. R. (1996), Problems of citation analysis, *Scientometrics*, **36**(3), 435-444.
- Marsden, P. V. (1982), Brokerage behavior in restricted exchange networks, *Social structure and network analysis*, **7**(4), 341-410.
- Martin, B. R. and Irvine, J. (1983), Assessing basic research : some partial indicators of scientific progress in radio astronomy, *Research Policy*, **12**(2), 61-90.
- McCain, K. W. (1991), Mapping economics through the journal literature : An experiment in journal cocitation analysis, *Journal of the American Society for Information Science*, **42**(4), 290-296.
- Merino, M. T. G., do Carmo, M. L. P., and Alvarez, M. V. S. (2006), 25 years of technovation : Characterisation and evolution of the journal, *Technovation*, **26**(12), 1303-1316.
- Noyons, E. C. M. (2001), Bibliometric mapping of science in a policy context, *Scientometrics*, **50**(1), 83-98.
- Otte, E. and Rousseau, R. (2002), Social network analysis : A powerful strategy, also for the information sciences, *Journal of Information Science*, **28**(6), 441-453.
- Park, J. W., Shin, H. S., Kim, K.-D., Jeong, H.-I., and Lee, J. C. (2014), Production Planning and Control in Korea : with Emphasis on the Role of Industrial Engineers, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 580-591.
- Pilkington, A. (2007), *Engineering management or management of technology? A bibliometric study of IEEE TEM*, In Industrial Engineering and Engineering Management, 2007 IEEE International Conference on, 2106-2109.
- Pilkington, A. and Teichert, T. (2006), Management of technology : Themes, concepts and relationships, *Technovation*, **26**(3), 288-299.
- Pudovkin, A. I. and Garfield, E. (2002), Algorithmic procedure for finding semantically related journals, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **53**(13), 1113-1119.
- Rafols, I. and Meyer, M. (2010), Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity : Case studies in bionanoscience, *Scientometrics*, **82**(2), 263-287.
- Ramos-Rodriguez, A. R. and Ruiz-Navarro, J. (2004), Changes in the intellectual structure of strategic management research : A bibliometric study of the Strategic Management Journal, 1980 ~ 2000, *Strategic Management Journal*, **25**(10), 981-1004.
- Reeves, B. and Borgman, C. L. (1983), A bibliometric evaluation of core journals in communication research, *Human Communication Research*, **10**(1), 119-136.
- Tsay, M.-Y., Xu, H., and Wu, C.-W. (2003), Journal co-citation analysis of semiconductor literature, *Scientometrics*, **57**(1), 7-25.
- 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.
- Yum, B. J., Seo, S. K., Yun, W. Y., and Byun J. H. (2014), Trends and Future Directions of Quality Control and Reliability Engineering, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(6), 526-554.
- Zhou, P. and Leydesdorff, L. (2007), The citation impacts and citation environments of Chinese journals in mathematics, *Scientometrics*, **72**(2), 185-200.

<부록 A> 연관 학술지 목록 및 분야

No	Journal	Abbreviation	Category
1	4OR-A Quarterly Journal of Operations Research	4OR-Q J OPER RES	ORMS
2	Advances In Applied Probability	ADV APPL PROBAB	SP
3	Advanced Engineering Informatics	ADV ENG INFORM	CS
4	AI Edam-Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis And Manufacturing	AI EDAM	ED
5	Annals of Operations Research	ANN OPER RES	ORMS
6	Assembly Automation	ASSEMBLY AUTOM	ME
7	Behaviour and Information Technology	BEHAV INFORM TECHNOL	HF&ERG
8	Communications in Statistics-Simulation and Computation	COMMUN STAT-SIMUL C	SP
9	Communications in Statistics-Theory and Methods	COMMUN STAT-THEOR M	SP
10	Computer-Aided Design	COMPUT AIDED DESIGN	ED
11	Computational Statistics and Data Analysis	COMPUT STAT DATA AN	SP
12	Computer Supported Cooperative Work-The Journal of Collaborative Computing	COMPUT SUPP COOP W J	CS
13	Concurrent Engineering-Research and Applications	CONCURRENT ENG-RES A	ED
14	Design Studies	DESIGN STUD	ED
15	European Journal of Operational Research	EUR J OPER RES	ORMS
16	Evolutionary Computation	EVOL COMPUT	CS
17	Flexible Services and Manufacturing Journal	FLEX SERV MANUF J	ME
18	Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries	HUM FACTOR ERGON MAN	HF&ERG
19	Human-Computer Interaction	HUM-COMPUT INTERACT	HF&ERG
20	IEEE Transactions on Evolutionary Computation	IEEE T EVOLUT COMPUT	CS
21	IEEE Transactions on Haptics	IEEE T HAPTICS	CS
22	IEEE Transactions on Reliability	IEEE T RELIAB	ME
23	Industrial Health	IND HEALTH	miscellaneous
24	Information and Management	INFORM MANAGE-AMSTER	BM
25	Inform Journal on Computing	INFORMS J COMPUT	CS
26	International Archives of Occupational and Environmental Health	INT ARCH OCC ENV HEA	miscellaneous
27	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	INT J ADV MANUF TECH	ME
28	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	INT J COMPUT INTEG M	ME
29	International Journal of Design	INT J DES	ED
30	International Journal of Machine Tools and Manufacture	INT J MACH TOOL MANU	ME
31	International Journal of Material Forming	INT J MATER FORM	ME
32	International Journal of Technology Management	INT J TECHNOL MANAGE	BM
33	International Transactions in Operational Research	INT T OPER RES	ORMS
34	Interacting with Computers	INTERACT COMPUT	HF&ERG
35	Internet Research	INTERNET RES	BM
36	Journal of Applied Probability	J APPL PROBAB	SP
37	Journal of Applied Statistics	J APPL STAT	SP
38	Journal of Computing and Information Science in Engineering	J COMPUT INF SCI ENG	CS
39	Journal of Computer Information Systems	J COMPUT INFORM SYST	CS

40	Journal of Database Management	J DATABASE MANAGE	CS
41	Journal of Engineering Design	J ENG DESIGN	ED
42	Journal of Heuristics	J HEURISTICS	CS
43	Journal of Intelligent Manufacturing	J INTELL MANUF	ME
44	Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control	J LOW FREQ NOISE V A	miscellaneous
45	Journal of Management Information Systems	J MANAGE INFORM SYST	CS
46	Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme	J MANUF SCI E-T ASME	ME
47	Journal of Mechanical Design	J MECH DESIGN	ED
48	Journal of Multivariate Analysis	J MULTIVARIATE ANAL	SP
49	Journal of Nonparametric Statistics	J NONPARAMETR STAT	SP
50	Journal of Operations Management	J OPER MANAG	BM
51	Journal of the Operational Research Society	J OPER RES SOC	ORMS
52	Journal of Scheduling	J SCHEDULING	ORMS
53	Journal of Statistical Computation and Simulation	J STAT COMPUT SIM	SP
54	Journal of Statistical Planning and Inference	J STAT PLAN INFER	SP
55	M&Som-Manufacturing and Service Operations Management	M&SOM-MANUF SERV OP	BM
56	Machining Science and Technology	MACH SCI TECHNOL	ME
57	Management Science	MANAGE SCI	ORMS
58	Materials and Manufacturing Processes	MATER MANUF PROCESS	ME
59	Mathematical Programming	MATH PROGRAM	ORMS
60	Metrika	METRIKA	SP
61	Mis Quarterly	MIS QUART	BM
62	Naval Research Logistics	NAV RES LOG	ORMS
63	Networks and Spatial Economics	NETW SPAT ECON	ORMS
64	Networks	NETWORKS	ORMS
65	Omega-International Journal of Management Science	OMEGA-INT J MANAGE S	ORMS
66	Operations Research	OPER RES	ORMS
67	Or Spectrum	OR SPECTRUM	ORMS
68	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture	P I MECH ENG B-J ENG	ME
69	Performance Evaluation	PERFORM EVALUATION	CS
70	Precision Engineering-Journal of the International Societies For Precision Engineering and Nanotechnology	PRECIS ENG	ME
71	Production and Operations Management	PROD OPER MANAG	BM
72	Psychological Bulletin	PSYCHOL BULL	HF&ERG
73	Psychological Review	PSYCHOL REV	HF&ERG
74	Queueing Systems	QUEUEING SYST	ORMS
75	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	ROBOT CIM-INT MANUF	ME
76	Scandinavian Journal of Work Environment and Health	SCAND J WORK ENV HEA	miscellaneous
77	Scientometrics	SCIENTOMETRICS	CS
78	Statistics and Probability Letters	STAT PROBABIL LETT	SP
79	Stochastic Models	STOCH MODELS	SP
80	Technometrics	TECHNOMETRICS	SP
81	Transportation Science	TRANSPORT SCI	ORMS
