

# 융합기술 개발전략 기획을 위한 특허 인용 네트워크 기반의 분석 방법론 : 스마트공장 ICT 기술을 중심으로

이현민, 김선재\*, 김홍영  
한국과학기술기획평가원 성장동력센터

## The Analysis Methods Based on Patent Citation Networks for the Convergence Technologies Development Planning : A Case of Smart Factory's ICT Technologies

Hyun-Min Lee, Sun-Jae Kim\*, Hong-Young Kim

Next Grow Engine R&D Coordination Center,  
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

**요약** 융합기술 개발에 대한 선진국들의 관심이 고조되는 가운데 우리나라의 융합기술 분야의 경쟁력 강화를 위한 전략적 기술개발의 접근으로, 기술 및 산업분야에 미치는 후생적 파급효과가 큰 핵심융합기술을 발굴할 수 있는 방법론이 요구된다. 본 연구에서는 특허의 기술융합수준을 후생적으로 타기술분야들을 연계하는 파급효과 수준으로 정의하고, 스마트공장의 ICT 융합기술 분야 1,124개 미국출원특허를 이용한 특허 인용 네트워크 분석을 통하여, IPC 기술분야 네트워크로부터 산출한 IPC 기술분야 매개중심성 지수를 이용하여 해당 특허의 기술융합수준을 측정하는 이종분야 기술융합지수를 소개하였다. 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수와 중재자역할 지표와의 상관관계를 분석한 결과, 다른 지수들(타분야비율지수 및 동종분야 기술융합지수) 대비 이종분야 기술융합지수가 후생적으로 다른 기술분야들을 연계하는 파급효과 차원의 융합특성을 측정하는 지수임이 확인되었다. 제안한 이종분야 기술융합지수를 이용하여 정부부처에서 제시한 스마트공장의 주요 ICT기술 전략분야들 중 핵심 ICT 융합기술분야들을 분석한 결과, '제조실행분석 애플리케이션'을 포함한 6개의 핵심 ICT 융합 기술분야들을 도출하였다. 추가로 '제조실행분석 애플리케이션'에 속한 특허들의 IPC들을 대상으로 블록모델링 분석한 결과, '전자통신기술'과 '전자 디지털데이터 처리기술'로 대표되는 블록들(블록 3&4)이 핵심기술과 융합 가능한 관련 기술 분야임을 확인하였다. 본 연구의 결과에 근거하여 스마트공장의 융합기술 개발방안에 대한 정책적 시사점을 제공하였다.

**Abstract** As interest in advanced countries regarding the convergence technology development increases, a methodology for identifying the core convergence technology that has a large spill-over effect on the technology and industry is required for the nation's competitiveness enhancement in the convergence technology field. Based on patent citation network analysis using 1,124 USPTO patents in the ICT convergence technology field of the smart factory, this study examined the proposed heterogeneous technology convergence index as a tool for measuring the convergence characteristics of the spillovers compared to other indexes (i.e. other sector ratio index and homogeneous technology convergence index). The proposed heterogeneous technology convergence index was used to investigate core technology sectors among ICT technology sectors of smart factory identified by government ministries. Results found 6 core ICT convergence technology sectors including the manufacturing execution analysis application sector. Also, this study conducted blockmodeling analysis using the IPC codes of patents in the manufacturing execution analysis application sector, and identified that the blocks representing the electronic communication and electric digital data processing technology sectors (Block 3 & 4) are related technology sectors which can be converged with core technology. Based on the findings, the implications for the convergence technology development planning of the smart factory field are discussed.

**Keywords** : Blockmodeling, Convergence technology, Patent citation network, Smartfactory, Technology convergence index

\*Corresponding Author : Sun-Jae Kim (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning)

Tel: +82-2-589-5268 email: sjkim@kistep.re.kr

Received September 29, 2017 Revised November 6, 2017

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

## 1. 서론

최근 전통적인 단일 기술 및 산업의 한계를 극복하기 위해 동종 및 이종기술을 융합하는 새로운 형태의 기술과 산업이 등장하고 있다. 대표적인 융합기술분야인 스마트공장은 첨단 ICT기술과 제조기술 간 융합의 결과로서, 보다 빠르고 자율적인 의사결정을 통해 최적화된 의사결정을 내릴 수 있는 지능형 ICT융합 제조시스템이다. 스마트공장 설립을 통하여 제조과정의 생산성 향상, 품질향상, 원가절감, 맞춤형 생산, 매출증대의 부가 가치를 창출할 수 있어 수익성이 둔화된 기존 제조업의 재도약을 기대할 수 있으며, 특히 제조업 뿐만 아니라 ICT기술과의 융합을 통하여 신기술과 신산업을 창출할 수 있다. 따라서 제조선진국들은 ICT 융합을 통한 제조업 스마트화 정책(독일 'Industry 4.0', 미국 'Making in America', 일본 '산업재흥플랜', 중국 '중국제조 2025' 등)과 더불어 스마트공장 기술개발 및 확산을 적극적으로 추진하고 있다. 우리나라 역시 제조업 혁신 정책의 일환으로 2014년 산업통산자원부 주관의 제조업 스마트화를 위한 '제조혁신 3.0'의 기술개발계획을 공표하고, 2015년 미래부와 공동으로 스마트 제조 R&D 중장기 로드맵[1]을 수립하여 스마트공장 기술 고도화 및 확산을 진행하고 있다.

이렇듯 스마트공장을 비롯한 융합기술에 대하여 세계 선진국들의 관심이 증대되는 가운데 미래 시장을 선점하기 위한 융합기술 개발 경쟁이 고조되고 있다. 그러나 우리나라는 스마트공장에 대한 ICT융합기술의 공급에 있어 제조강국 대비 기술경쟁력이 미흡한 상황이다. 이에 융합기술 및 시장경쟁력을 확보하기 위한 효과적인 대응 전략을 수립하기 위해서는, 거시적 관점에서 기술 및 산업분야에 미치는 파급효과가 큰 핵심융합기술을 발굴하여 개발할 필요성이 제기된다.

융합기술의 중요성이 부각됨에 따라, 관련 선행연구들은 융합기술과 수요기업 및 산업의 예측을 위한 방법론을 제시하고 있다. 강희종 외[2]는 미래 유망기술 예측 기법으로서 전문가 대상 설문조사법은 평가자의 주관성 및 고비용 문제가 있음을 지적하고, 특허데이터 기반의 유망지수와 융합지수를 이용하여 정량적인 예측 방법론을 제시하였다. 그러나 이들의 연구에서 제안한 융합지수는 분석대상특허의 다분야 IPC등록 비율을 정규화한 수치로 측정하여, 대상특허가 후생 기술분야에 미치는

파급효과를 측정하지 못한다는 한계점이 존재한다. 석명섭 외[3]연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 활용하여 특허 인용의 파급효과에 근거하여 기술의 이전을 위한 잠재 수요기업 발굴 방법론을 소개하고 있으나, 융합 기술성 평가가 선행되지 않아 기술이전 대상 특허기술을 선정함에 있어 객관적인 방법론이 추가적으로 요구된다.

따라서 본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 통하여 파급효과가 큰 핵심융합기술을 발굴하기 위하여, 후생적 파급효과를 측정할 수 있는 기술융합지수를 소개하고 융합 가능한 관련 기술분야를 탐색할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 또한 본 연구에서 제안한 방법론을 스마트공장의 ICT 융합기술 분야에 적용하여 본 방법론의 정합성을 검증하고자 한다.

## 2. 특허 인용 네트워크 기반의 융합 기술 분석

### 2.1 프로세스 관점에서의 기술융합

기술발전 및 혁신을 위해 기술융합의 중요성이 대두되며 많은 선행연구들이 기술융합에 대한 정의를 제시해 오고 있다. 1960대 초 Rosenberg[4]는 처음으로 융합에 대한 개념을 '과학기술 분야가 당면한 공통된 문제를 해결하기 위하여 다양한 기술 혹은 연구분야들이 종적 또는 횡적으로 협력하는 현상'으로 제시하였다. 이렇듯 융합의 발생원인적 관점에서의 정의에서 나아가, Kodama[5]는 융합을 '과학기술의 진보가 일어나면서 여러 핵심기술이나 연구분야들이 수평적으로 결합되어 기존에 보유하지 못한 새로운 특성의 기술이나 연구분야로 생성되는 것'으로 정의하였다. 유사하게 Pennings & Puranam[6]은 '기존에 존재하던 상이한 기술이나 연구분야를 재조합하여 새롭고 혁신적인 형태로 창출시키는 것'으로 정의하며, 이종기술간 결합의 결과물로서 융합의 개념을 제시하였다. 이러한 선행연구들은 기술의 융합현상을 융합에 참여하는 요소기술이나 융합과정이 끝난 후의 결과로서 정의한다.

기존 연구와는 다르게, Hacklin et al.[7]의 연구에서는 기술융합의 개념을 프로세스 관점에서, '과학기술의 점증적인 진화과정 속에서 과학지식과 기술이 상호 결합하여 새로운 형태의 기술 혹은 산업을 창출하는 잠재력을 가진 기술'로 정의한다. 이와 같이 최근에는 융합현상

을 기초과학, 기술, 시장 그리고 산업의 일련의 연속적인 프로세스 관점에서 통찰함으로써, 융합의 특성을 후생적으로 창출하는 파급효과에 근거하여 파악하는 접근할 필요성이 있음이 제기되고 있다[7,8]. 이러한 연구흐름에 따르면, 융합현상은 과학적 지식에서부터 시작하여 기술과 시장이 융합되며 최종적으로 산업융합으로 진화한다. 구체적으로, 먼저 과학적 지식의 융합은 학제적 지식 간 상호 인용을 통하거나 연구의 협력으로 발전되어 진행될 수 있다[8]. 학제적 지식의 융합을 측정하기 위하여 선행 연구에서는 논문과 특허 정보를 이용하여 다분야의 참여 정도로 측정하거나 혹은 연구자들의 소속기관 및 전공을 이용하여 융합의 정도를 측정하였다[9]. 또한 김홍영, 정선양[10]의 연구에서는 융합기술 정부R&D과제의 네트워크 구조를 분석하여 (비)협력연구의 핵심기술을 비교 분석한 바 있다. 학제적 지식의 융합을 통하여 기초과학 영역 간 유사성을 공유하게 되면, 응용과학과 기술개발이 이어져 기술융합을 야기시킨다[8]. 기술융합을 통해 기존의 다른 기술들이 공동의 기술적 특성을 공유하며 새로운 기술의 창출될 수 있는 기회가 발생하고, 기업들이 기술적 교류를 통해 상호 혜택을 창출할 수 있으며, 결과적으로 기술혁신을 가능하게 한다. 기술융합을 통하여 혁신 기술이 개발되면, 새로운 기술응용, 제품, 혹은 서비스 등 더 넓은 범위에서 가치가 창출될 수 있다. 아울러 융합기술들은 해당 산업의 가치창출 영역을 더 확장시켜, 다양하게 연관되어 있는 산업들 간 경계를 모호하게 하며 점진적으로 산업융합을 발생시킨다.

선행연구들의 다양한 관점에서 제시해 오고 있는 융합의 개념에 근거하여 기술융합의 특성을 요약하면, ‘과학기술적 문제해결의 필요성에 의해 둘 이상의 서로 다른 요소기술들이 합쳐져 새로운 기술을 창출하고, 이를 통해 신제품과 신산업을 발생시킬 수 있는 잠재적 파급효과를 내포하는 기술’로 정리할 수 있다. 특히 기술융합의 동적인 흐름에 근거하였을 때, 후생적으로 발생할 과학지식, 기술, 제품, 그리고 산업의 융합에 미치는 파급효과를 예측함으로써 새로운 기회 창출의 잠재력이 큰 융합기술을 발견할 수 있다[11].

## 2.2 특허 인용 정보를 활용한 기술융합지수

기술융합의 개념을 융합화의 최종 결과물로서 정의하는가 혹은 후생적으로 창출할 융합화의 잠재적 파급효과로 정의하는가에 따라, 융합성을 측정하는 데 다른 방법

론적 접근을 취할 수 있다[9].

먼저 융합화의 최종 결과물로서 기술융합을 측정하는 경우 융합과정에 참여하는 요소기술에 초점을 둔다. 요소기술의 구성분야와 관련하여, 같은 기술 분야 내에서 다기능 중심의 병합성 융합을 의미하는 ‘동종기술간 융합’과 과학기술 문제를 해결하기 위하여 서로 다른 기술 분야들 간 결합성 융합을 의미하는 ‘이종기술간 융합’으로 구분할 수 있다[9]. 요소기술에 초점을 둔 기술융합성을 측정하기 위하여 주로 특허분류정보를 활용한다 [8,12,13]. 일반적으로 특허분류체계(IPC: International Patent Classification)에서 특허출원 시 해당 특허가 속하는 기술 분야의 해당 분류코드를 등록하는데, 이때 해당 특허가 다수 기술 분야와 연관된 경우 다수 개의 분류코드를 등록한다. 특정 특허가 등록된 특허분류코드를 활용하여, 기술융합성을 ‘특정분야 내 기술이 타 분야에서 활용된 정도, 해당기술이 타 분야 기술을 활용한 정도, 혹은 두 개 분야가 유사한 기술을 보유하는 정도’로 측정한다[14,15,16].

다음으로 파급효과로 정의되는 기술융합의 경우, 후생적으로 파생시킨 융합화에 초점을 둔다. 기술융합의 결과에 근거하여 정의된 기술융합은 요소기술의 분야에 따른 분류체계와 비슷하지만 새로 발생한 융합기술에 초점을 두며, 여기서 분류된 융합기술들은 융합현상을 설명 및 예측하는 기술로서 기능한다. 융합기술을 모니터링 하고 유망융합기술을 조기에 발굴할 수 있는 방법론의 개발이 요구됨에 따라, 선행연구들은 특허인용정보를 활용하여 기술융합성을 측정하는 지표들을 제시하고 있다[10,17]. 특허인용정보는 특정 특허가 이후 출원된 특허에서 얼마나 참고가 되고 있는지를 나타내는 정보를 의미하며[18], 특허인용정보와 특허피인용정보로 구분된다. 인용특허란 해당 특허가 인용하고 있는 특허들을 의미하며, 인용하는 특허가 많을수록 해당 특허는 개량 기술일 가능성이 높다[19]. 반면 피인용 특허란 해당 특허를 인용하고 있는 후생 특허들을 의미하며, 피인용특허가 많을수록 해당 특허는 원천기술일 가능성이 높다 [14]. 개별기술에 대한 특성 이외에도, 특허인용 정보는 기술 상호간의 지식흐름을 내포한다. 즉, 특허인용이 활발하게 일어나는 기술 분야의 경우, 기술 분야들 간 지식의 흐름이 활발하며 융합 가능성이 높다. 이렇듯 특허인용정보를 활용함으로써 핵심기술(core technology) 뿐만 아니라 타 기술들 간의 연결과 매개를 담당하는 기술

(linker technology)에 대하여 분석이 가능하다[18,20]. Geum et al.[11]의 연구에서는 특허인용 정보를 활용하여 기술분야간 융합성을 평가한 바 있다.

최근에는 기술융합 뿐만 아니라 관계하는 분야들 간 연계관계를 분석하기 위하여 특허인용정보를 활용한 네트워크분석이 적용되고 있다. 특허 인용 네트워크 분석은 특허의 인용관계 속에서 일어나는 상호작용을 네트워크 구조로 분석하는 방법론을 의미하며, 이를 통하여 융합분야 간 관계성 정도를 분석할 수 있다[21,22]. 특허인용관계를 기술수준에서 산업수준으로 전환하면 기업간 기술지식의 전이관계와 산업간 관계성 정도를 분석할 수 있다[3,23].

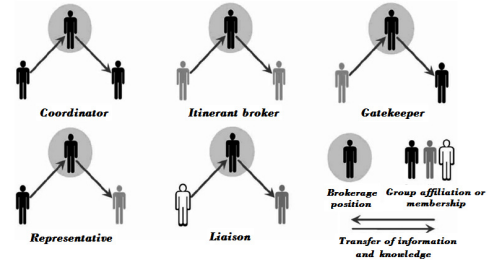
특허인용관계 네트워크 분석에서 노드(node)는 융합 대상인 기술·기업·산업분야를 나타내고, 분야 간 관계(link)는 기술정보의 전이관계를 나타낸다. 연결관계를 통하여 융합 대상들(노드) 간의 기술정보 전이 경로(path)를 확인할 수 있다[21].

융합관계 네트워크 안에서, 노드가 되는 각 융합분야의 관계적 특성을 ‘연결중심성(degree centrality), 근접중심성(closeness centrality), 그리고 매개중심성(betweenness centrality)’의 세가지 중심성(centrality) 지수로 분석할 수 있다[21]. 연결중심성은 네트워크 안에서 특정 노드가 다른 노드와 관계하는 수를 측정한 지표로, 기술융합 네트워크에서 연결중심성이 높은 노드는 기술 융합에 있어 다른 분야들과 연계되는 빈도가 높은 기술 분야를 의미한다[21].

근접중심성은 두 노드 사이에 존재하는 최단 경로의 거리(geodesic path distance)를 측정하며, 기술융합 네트워크에서 근접중심성이 높은 노드는 다른 노드로의 기술 지식의 전이가 최단 경로로 일어나는 기술분야임을 의미한다[26,27]. 만약 특정 기술분야인 노드가 연결중심성이 높아도 근접중심성이 낮다면, 관계하는 기술분야는 많으나 지식전이가 어려운 기술분야로 해석할 수 있다[21,28].

매개중심성은 네트워크 안에서 특정노드가 다른 두 노드를 연결하는 정도를 측정한 지표로, 기술융합 네트워크에서 매개중심성이 높은 노드는 다른 기술분야들을 직·간접적으로 연결하는 정도가 높으며[21], 따라서 타 기술간 지식전이의 흐름을 제어하거나 조절할 수 있는 정도가 높은 기술분야임을 의미한다[24]. 특히 조용래, 김의석[23]의 기술융합 전략연구에서는 네트워크의 매

개중심성 지표를 이용하여 핵심기술을 규명하고, 이러한 핵심 융합기술을 보유한 기업이 기업네트워크에서 중심적 역할을 담당하고 있음을 제시한 바 있다.



Gould, R. V., & Fernandez, R. M. (1989). Structures of mediation: A formal approach to brokerage in transaction networks. *Sociological methodology*, 89-126.

Fig. 1. Types of Brokerage roles

전체 네트워크 차원에서 매개적 역할 정도를 측정하는 매개중심성과 유사하게, 자아 중심 연결망(ego-centric network) 내에서 각 개별 노드의 매개적 역할을 측정하는 지표로 중재자 역할(brokerage role)이 있다[25]. Figure 1과 같이 중재자 역할은 5가지로 유형화될 수 있는데, 먼저 조정자(coordinator)는 같은 분야 내에서 서로 다른 노드들 간 관계가 형성되도록 매개해주는 역할을 의미한다. 대표자(representative)는 다른 분야에 있는 노드를 동일한 분야 내 노드와 연결해주는 역할을 의미하며, 게이트키퍼(gatekeeper)는 동일한 분야의 노드를 다른 분야와 연결해 주는 역할을, 순환 중재자(itinerant broker)는 다른 분야의 노드가 동일한 분야의 노드들을 연결해 주는 역할을, 마지막으로 연락관(liaison)은 서로 다른 분야들을 연결해주는 역할을 각각 의미한다. 중재자 지표를 통하여특허인용 네트워크에서 특정 융합기술이 동종기술간 융합과 관계되는지 혹은 이종기술간 융합과 관계되는지를 확인할 수 있다.

중심성 지표들은 전체 네트워크에서 개별 노드의 관계특성을 측정하는 지표인 반면, 복잡한 네트워크에서 개별 노드의 공통적 관계특성에 근거하여 그룹화하여 전체 네트워크를 분석하는 방법으로 블록모델링(block modeling)이 있다. 블록모델링은 네트워크 내에서 같은 역할을 담당하거나 같은 구조적 위치를 갖는 행위주체들을 동일한 블록 혹은 역할집단으로 분류해낸다[27]. 특히 concor(convergent correlation) 방법을 통하여, 복잡하게 얽힌 관계망 내에서 노드들 간 직·간접적인 연결패턴의 상관관계를 분석하여 유사 노드들이 블록으로 축약

하여 블록간 밀도 매트릭스를 결과물로 제공된다. 밀도 매트릭스(density matrix)는 등위적인 노드들을 그룹화한 블록들이 블록내에서 그리고 블록간에 가지는 상호작용의 정도를 밀도로 제시한 행렬이며, 밀도매트릭스를 특정 절취값(cut-point)을 기준으로 단순화하면 블록들 간 상호작용의 유형을 제시하는 이미지 매트릭스를 구할 수 있다. 블록모델링은 연결망의 연결 형태에서 지위와 역할을 찾아내기 위해 적용될 수 있는 유용한 방법론이다[27].

### 3. 연구 설계 및 결과

#### 3.1 연구 설계

본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석에 기반하여, 핵심융합기술 분야를 발굴하고 융합가능한 기술분야를 탐색하는 방법론을 제시하고자 한다. 특히 융합화의 대표적인 분야인 스마트공장을 대상으로 방법론을 적용함으로써, 본 연구에서 제안한 방법론의 정합성을 검증한다. 본 연구의 설계를 도식화하면 Figure 2와 같다.

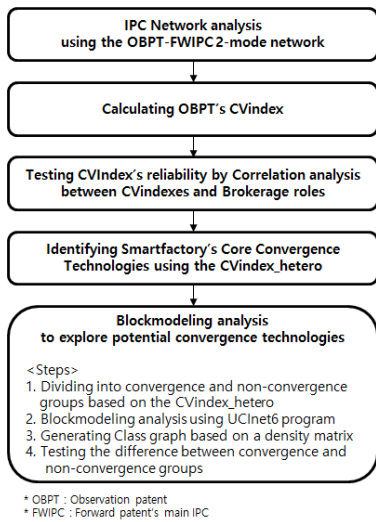


Fig. 2. The Overall Research Process

먼저 원천적인 핵심융합기술 분야 발견을 위한 기술 융합성 지수와 관련하여, 선행연구에서 적용하는 결과론적 관점에서의 기술융합성을 측정하는 지수와 달리, 본 연구에서는 후생적 과급효과를 측정하는 기술융합지수

를 제안하고, 지수들 간 차이를 비교분석하였다.

선행연구에서 적용한 기술융합지수는 융합과정에 참여하는 요소기술에 초점을 두어, 특허의 융합수준을 국제특허분류코드(IPC code) 4자리를 중심으로 분석대상 특허(observation patent, i)가 등록된 기술분야의 다양성 정도로 정의하였다. 그리고 (식 1)과 같이, 특허의 융합수준(convergence ratio)을 분석대상특허가 등록된 IPC 코드 수 중에서 중복을 제외한 IPC코드 수의 비중으로 산출하였다[2].

$$CONVindex\_Ratio_i = F_c / F_{max} \quad (식 1)$$

$F_c$  : 한 기술특허가 등록한 서로 다른 IPC분류 수

$F_{max}$  : 한 기술특허가 등록한 총 IPC분류 수

본 연구에서는 Hacklin et al.[7]에서 제시한 프로세스 관점에서의 기술융합 개념에 근거하여, 핵심융합기술을 연속적 프로세스 관점에서 후생적으로 기술분야들 간 지식교류를 발생시키는 과급효과가 큰 기술로 정의하고, 후생적인 과급효과를 측정하는 기술융합지수를 제안한다. 이때, 후생적인 기술융합에 있어 동종기술들 간 융합과 이종기술들 간 융합으로 구분할 수 있다.

정의에 근거하여 과급효과를 측정하는 기술융합지수 개발을 위하여, 본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 적용한다. 특허 인용-피인용 네트워크에서 매개중심성은 기술분야들 간 관계를 연결하는 매개적 역할을 의미하는 지표로서 후생적 융합에 미치는 과급효과를 측정하는 유용한 대리변수(proxy variable)가 된다[23].

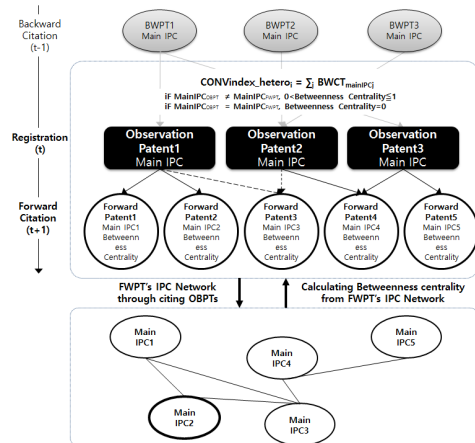


Fig. 3. The Process for Calculating a CVIndex\_Hetero in a Patent Citation Network

본 연구사례에 적용했을 때, Figure 3과 같이 분석대상특허를 인용한 특허들(Forward patents)의 IPC분야들 간 네트워크에서 매개중심성이 높은 IPC분야는 다른 IPC분야를 연결하는 특성이 높은 기술분야를 의미하므로, 후생적으로 기술분야들 간 융합가능성을 촉진하는 IPC분야로 볼 수 있다.

따라서 기술융합지수(Technology Convergence Index, CVindex)는 분석대상특허(observation patent, i)를 인용한 후생특허들(forward patent, j)의 주요 IPC를 파악한 후, (식 2,3)과 같이 각 인용특허(j)의 main IPC가 가진 매개중심성 지수(BTW)의 합으로 산출하며, 이는 해당 분석대상특허가 후생적으로 기술분야들 간 연결에 기여하는 과급성 정도를 측정한다.

특히, 동종분야 기술융합성과 이종분야 기술융합성으로 구분하였을 때, 동종분야 기술융합성은 (식 2)와 같이 전체 후생특허의 주요 IPC의 매개중심성 값을 합한 값으로 산출한다.

$$CVindex\_homo_i = \sum_j BTW_{mainIPCj} \quad (\text{식 } 2)$$

반면, 이종분야 기술융합성의 경우 (식 3)과 같이 인용한 후생특허의 주요 IPC분류가 분석대상 선행특허의 주요 IPC분류와 같으면 매개중심성 값을 0으로 처리하여 산출한다. 따라서 인용특허와 피인용특허의 IPC분류가 완전 동일한 분석대상 특허의 기술융합지수는 0이 된다.

$$CVindex3\_hetero_i = \sum_j BTW_{mainIPCj} \quad (\text{식 } 3)$$

(if mainIPCi ≠ mainIPCj, 0 ≤ BTW<sub>mainIPCj</sub> ≤ 1  
if mainIPCi = mainIPCj, BTW<sub>mainIPCj</sub> = 0,  
i=cited patent, j=citing patent)

본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수의 정합성을 검증하기 위하여, 각 노드의 매개적 역할을 측정하는 중재자 역할 지수를 이용하여 기술융합지수 간 상관관계를 분석하고자 한다. 네트워크 중재자 역할 지수 산출을 위하여, 분석대상특허(i)와 이를 인용하는 특허(j) 간 1-mode 네트워크를 구성하고, 이때 분석대상특허가 속한 IPC분야를 속성변수(attribute data set)로 적용한다. 분석대상특허(i)의 중재자 역할 지수를 산출하여 융합지수들 간 상관관계를 분석함으로써, 각 기술융합지수가 어떠한 유형의 중재자 역할을 측정하는 경향성이 있는가

를 확인할 수 있다. 즉, 동종분야를 연결하는 정도를 측정하는 융합지수일 경우 조정자(coordinator) 중재자 역할지수와 상관관계값이 높을 것인 반면, 이종분야를 연결하는 정도를 측정하는 융합지수일 경우 연락관(liaison) 중재자 역할지수와 상관관계값이 높게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

상관관계 분석을 통하여 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수의 정합성을 검증한 후, 산업통상자원부 [1]에서 제안한 전략기술분야들 중 핵심융합기술분야를 확인한다. 구체적으로, 각 분석대상 특허의 기술융합성 정도를 측정된 후, 특허가 해당되는 기술분야를 중심으로 평균치를 산출하면 기술분야 차원의 기술융합성 정도를 산출할 수 있으며, 다른 기술과의 비교를 통해 과급효과 차원의 융합성 수준이 높은 핵심융합기술분야를 확인할 수 있다.

다음으로, 핵심융합기술분야 내에서 융합가능한 기술분야를 탐색하기 위하여, concor 분석 기반의 블록모델링을 시행하였다. IPC 네트워크 내에서 같은 역할을 담당하거나 같은 구조적 위치를 갖는 IPC 수준의 노드들을 동일한 블록 혹은 역할집단으로 분류할 수 있다. 또한, 블록모델링 분석의 결과물로 제공되는 블록간 밀도 매트릭스를 중앙값(median)의 절취값(cut-point)을 기준으로 단순화하여 재구성한 이미지 매트릭스를 기반으로 블록들 간 상호작용의 유형을 분석함으로써 융합가능한 기술분야를 확인할 수 있다. 특히, 본 연구에서 제안한 분석대상특허의 기술융합지수의 평균값을 이용하여 융합그룹과 비융합그룹으로 구분하여 각 그룹 내에서 블록모델링을 시행함으로써, 융합그룹과 비융합그룹의 네트워크 특성의 차이를 비교분석하여 본 연구에서 제안한 기술융합지수의 정합성을 재검증하고자 한다.

### 3.2 연구 결과

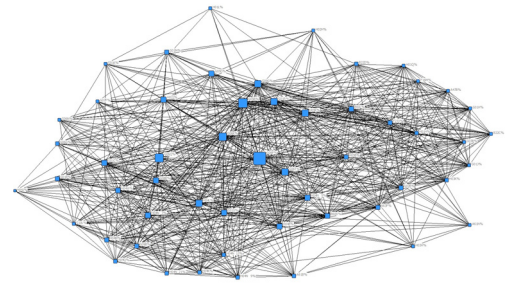
본 연구는 특허인용정보를 이용하여 스마트공장 융합 기술 및 융합가능한 분야의 규명을 위하여, 산업통상자원부[1]에서 정의한 스마트공장 주요 전략 기술트리를 이용한다. 그 중에서 기술 및 특허전문가를 통하여 스마트공장의 애플리케이션 및 플랫폼 기술분야 주요 특허 키워드를 개발한 후, WIPS 데이터베이스를 이용하여 2010년~2015년 동안의 미국 출원특허 총 4,816개를 추출하고, 이중 피인용수 1회 이상인 특허 1,124개를 분석 대상으로 선정하였다.

**Table 1.** Observation Patent Frequency in the Smartfactory Technology Classification

Main class : Application			Main class : Platform		
Secondary class	Frq	%	Secondary class	Frq	%
[A1] Process design App.	55	4.9	[B1] Production bigdata analytics	57	5.1
[A2] Manufacturing execution analysis App.	506	45.0	[B2] Cyber physics	18	1.6
[A3] Quality analysis App.	37	3.3	[B3] Factory resource/process modeling/simulation	30	2.7
[A4] Equipment stability App.	13	1.2	[B4] Production process control/monitor	155	13.8
[A5] Safety (Virtual) App.	92	8.2	[B5] Cloud	45	4.0
[A6] Distribution/Supply/Customer response App.	67	6.0	[B6] IIoT (Industrial IoT)	16	1.4
[A7] Manufacturing application-component linkage framework	17	1.5	Main class : Others		
[A8] ERP, etc.	15	1.3	[F1] Smartfactory in titles	1	0.1
Sub-total of Application	802	71.4	Sub-total of Platform & Others	322	28.6
Overall				1,124	100

산업통상자원부에서 정의한 스마트공장 관련 애플리케이션 및 플랫폼의 소분류 기술분야 및 해당 특허수는 Table 1과 같다. 총 1,124개 출원특허 중 애플리케이션 관련 기술이 71.4%를 차지하며 대다수를 차지했고, 특히 제조실행분석 애플리케이션 분야 특허가 전체 45.0% 출원되어 높은 비중을 차지하고 있으며, 그 다음으로 플랫폼 기술분야에서 생산프로세스 제어/관리 기술이 13.8%의 비중으로 출원되었음을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 UCInet 6.0 프로그램을 이용하여 네트워크 지수를 산출하고, Netdraw 2.160을 이용하여 네트워크를 시각화하였다. 후생특허( $n_1=5,729$ 건)의 주요 IPC 네트워크 분석을 위하여, 특허 인용-피인용 데이터를 이용하여 분석대상 특허들( $n_2=1,124$ 건)과 이를 인용한 특허들 간 관계(총 6,853건)를 기반으로 분석대상특허와 인용한 특허의 주요IPC의 2-mode 네트워크 데이터를 입력한 후, IPC를 중심으로 1-mode로 전환하여 네트워크 분석을 실행하였다. 특허 전체 네트워크에서 연결중심성이 가장 높은 IPC분야 G06F(Electric digital data processing)의 자아중심 네트워크를 시각화한 결과는 Figure 4와 같으며, 이때 노드의 크기는 연결중심성으로 표시하였다.



**Fig. 4.** Egocentric Network of G06F (Electric digital data processing)

네트워크 구조에서 알 수 있듯이, G06F를 중심으로 방사선 형태의 스타 연결망 구조의 네트워크 특성을 보이고 있으며, 이는 기술융합지수를 IPC 네트워크의 매개중심성(betweenness centrality)을 이용하여 다른 기술과 상호교류하는 파급효과로 측정할 수 있음을 확인할 수 있다.

### 3.2.1 기술융합지수

선행연구에서 적용한 타분야비중 기술융합지수(CVindex\_Ratio)와 비교를 위한 동종분야 기술융합지수(CVindex\_Homo), 그리고 본 연구에서 제안하는 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero) 각각을 이용하여 스마트공장 애플리케이션 및 플랫폼의 분석대상특허(i)의 기술융합지수를 산출한 결과는 Table 2와 같다. 특히, 각 분석대상특허의 기술융합지수가 파급효과 관점에서 후생특허들 간 상호연계를 측정하는지, 그렇다면 어떠한 유형의 연계 관계를 측정하는가를 확인함으로써 본 연구에서 제안한 기술융합지수의 적합성을 평가하기 위하여, 분석대상특허의 기술융합지수들과 중재자 역할 지수 간 상관관계를 분석하였다. Table 2와 같이 상관관계를 실

**Table 2.** Descriptive statistics of CVindex and Correlations with Brokerage roles

	CVindex_Hetero	CVindex_Homo	CVindex_Ratio
Mean	.19	.62	.36
Std.Dev.	.74	1.20	.34
Min	0	0	0
Max	16.73	16.73	1
Coordinators	-.005	-.012	.025
Itinerant brokers	.166**	.088**	.035
Representatives	.115**	.058	.057
Gatekeepers	.096**	.041	.034
Liaisons	.085**	.036	.063

\*\*p<.05

행한 결과, 모두 동일한 기술분야들 간의 중재역할인 조정자(Coordinator)와의 관계에 있어, 타분야비중 기술융합지수(CVindex\_Ratio)는 유의미하지 않지만 정의 방향성을 보이는 상관관계( $r_{Ratio}=.025, p>.05$ )가 나타난 반면, 동종분야 기술융합지수와 이종분야 기술융합지수와는 부의 상관관계를 보였다( $r_{homo}=-.012; r_{hetero}=-.005, p>.05$ ). 특히 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)는 동종 기술분야를 연결하는 타 분야의 매개적 역할인 순환중재자(Itinerant brokers)와 유의미한 정의 상관관계가 있고 ( $r=.166, p<.05$ ), 서로 다른 기술분야들 간 매개역할을 하는 연락관(Liaison)과도 유의미한 정의 상관관계( $r=.085, p<.05$ )를 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)가 다른 기술분야 기술들을 연결하는 융합적 특성을 측정함을 확인할 수 있다.

추가적인 정합성 검증을 위하여, 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)를 이용하여 분석대상특허들(N=1124)의 기술융합지수의 평균값( $m=.19$ )을 기준으로 분석대상특허들을 융합특허그룹(Convergence group,  $n=255$ )과 비융합특허그룹(Non-Convergence group,  $n=869$ )으로 구분하였다. 그리고 특허 인용-피인용 1-mode 네트워크를 구성하여 중심성 수치를 산출한 후 네트워크 중심성의 차이를 검증하였다.

Table 3과 같이, 융합특허그룹의 모든 네트워크 중심성 수치가 비융합특허그룹 보다 유의미하게 높게 나타났으며 (연결성  $M_{conv}=15.17$  vs.  $M_{non-conv}=4.45, z=12.2, p<.001$ ; 근접성  $M_{conv}=.003$  vs.  $M_{non-conv}=.001, z=10.5, p<.001$ ; 매개성  $M_{conv}=2.92e-08$  vs.  $M_{non-conv}=4.80e-09, z=5.33, p<.001$ ), 이는 융합그룹의 특허들이 비융합그룹의 특허들 대비 다른 특허들과 가지는 중심성 관계가 유의미하게 더 높음을 의미한다.

**Table 3.** Difference Test of Patent Network Centrality (Convergence vs. Non-Convergence Patent Network)

	Degree	Closeness	Betweenness
Mean of Convergence Group	15.173	.003	2.92e-08
Mean of Non-Convergence Group	4.448	.001	4.80e-09
F(1, 1122)	149.25***	110.35***	28.43***
Z-score by Contrast test (Con vs. Non-conv)	12.2***	10.5***	5.33***

\*\*\* $p<.001$

따라서 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)가 융합그룹과 비융합그룹 간 다른 특

허들과 가지는 중심성 차이를 분별함을 확인할 수 있다.

### 3.2.2 스마트공장 핵심 융합기술분야 규명

산업통상자원부[1]에서 정의한 스마트공장 주요 전략 기술분야들에 대하여 각 기술융합지수의 평균값을 산출한 결과, 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)를 이용한 경우, Table 4와 같이 애플리케이션 분야 <A2>, <A5>~<A8> 및 플랫폼 분야 <B1>의 기술분야 융합수준이 기술분야 전체 평균값을 상회하는 기술분야로 나타났다. 이는 해당 기술분야들이 하나 이상의 이종기술분야를 연계하는 과급효과를 발생시켜 기술분야들 간 융합가능성을 증대시키는 주요 기술분야임을 의미한다.

**Table 4.** Core Convergence Technology Sectors based on Technology Convergence Indexes

Technology Sector	CV index_Hetero	CV index_Homo	CV index_Ratio
[A7] Manufacturing application-component linkage framework	.37	.61	.44
[A6] Distribution/Supply/ Customer response App.	.30	.60	.37
[A8] ERP, etc.	.28	.56	.28
[A5] Safety (Virtual) App.	.24	.78	.44
[A2] Manufacturing execution analysis App.	.21	.77	.34
[B1] Production bigdata analytics	.18	.50	.20
[B6] IIoT (Industrial IoT)	.17	.23	.32
[B3] Factory resource/ process modeling/simulation	.17	.37	.37
[B2] Cyber physics	.17	.57	.27
<b>Total Mean</b>	.18	.56	.34

Table 5와 같이 상기와 동일한 방법으로 각 융합기술분야 내에서 IPC코드를 중심으로 각 특허의 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero) 평균값을 산출한 후, 평균치가 높은 상위 2개 IPC 기술분야들을 제시하였다. 제시된 IPC 기술분야들은 각 해당 기술분야에서 핵심융합기술로 규명할 수 있다. 특히 <A2>는 저장기술(G11C)이 핵심융합기술로 나타났고, <A6>,<A7>,<A8>,<B2>에서는 데이터처리시스템(G06Q)분야가, <A5>는 영상커뮤니케이션(H04N), <B6>는 배열 등의 선택(H04Q), <B2>는 통제/제어시스템(G05B)이 각각 핵심융합기술로 확인되며, 이는 다른 기술들 간 기술지식 교류에서 중심기술임을 의미한다.



**Table 5. Core Convergence Technologies based on the Technology Convergence Index\_Hetero**

Technology Sector	IPC code and Technology	CV index_Hetero
[A7] Manufacturing application-component linkage framework	(G06Q) Data processing systems or methods	1.45
	(H04W) Wireless comm. networks	.54
[A6] Distribution/Supply /Customer response App.	(G06G) Analogue computers	4.92
	(G06T) Image data processing or generation	1.06
[A8] ERP, etc.	(G06Q) Data processing systems or methods	.79
	(G06F) Electric digital data processing	.03
[A5] Safety (Virtual) App.	(H04N 13) Stereoscopic television systems	2.95
	(H04N 5) Details of television systems	1.15
[A2] Manufacturing execution analysis App.	(G11C) Static stores	3.85
	(H04M) Telephonic comm.	1.69
[B1] Production bigdata analytics	(G06N) Computer systems based on specific computational models	1.28
	(G06K) Recognition of data; Presentation of data; Record carriers; Handling record carriers	.78
[B6] IIoT (Industrial IoT)	(H04Q) Selecting	1.26
	(H04L) Transmission of digital information	.27
[B3] Factory resource/process modeling/simulation	(G05B) Control or regulating systems in general	1.55
	(G01N 1) Sampling; Preparing specimens for investigation	.41
[B2] Cyber physics	(G06Q) Data processing systems or methods	.86
	(G09G) Arrangements or circuits for control of indicating devices using static means top resent variable information	.62
<b>Total Mean</b>		<b>.18</b>

**3.2.3 블록모델링 분석을 통한 융합가능한 기술분야 탐색**

상기에서 확인한 융합가능성이 높은 기술분야 <A2> 제조실행분석 애플리케이션(n=506개)에서, 핵심 융합기술이 되는 IPC 기술분야와 융합가능한 기술분야를 파악하기 위하여, 간접적인 연결패턴의 상관관계에 근거하여 유사한 구조적 위치를 차지하는 노드들을 블록으로 그룹화 하는 방법론인 **concor**를 이용한 블록분석을 실행하였다. 이때, 본 연구에서 제안한 이중분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)를 이용하여 구분한 융합그룹(n=103)과 비융합그룹(n=403) 간 블록분석 결과의 차이를 비교함으로써, 이중분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)의 정합성을 재확인하고자 하였다. 블록모델링 분석을 실행하기 이전에, 이중분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)를 이용하여 분석대상특허를 융합그룹과 비융합그룹으로 구분하였다.

두 그룹 각각 인용-피인용 특허의 주요 IPC코드를 이용하여 192개의 IPC분야 간 인용관계를 1-mode 네트워크로 구성하였다. 먼저 융합그룹의 IPC 네트워크를 이용하여 **concor**를 이용한 블록분석을 실행한 결과, Table 6과 같이 6개의 블록으로 구분되었다. 각 블록의 중심성 특성에 근거한 전체 평균치 이상의 융합그룹의 대표 IPC분야를 보면, 전반적으로 G(물리)와 H(전기) 기술분야의 공급기술 중심으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 제조실행분석 애플리케이션 기술에서 G와 H분야와 같은 공급기술이 이중분야를 연계하는 주요 융합기술인 것으로 해석할 수 있다.

**Table 6. IPC Areas of the Convergence Patent group**

IPC code	Label	Eigen-vector	Degree	Closeness	Betweenness
<b>Block 1 (nodes=1)</b>					
G11B	Information storage based on relative movement between recordcarrier and transducer	.05	.05	.22	.02
<b>Block 2 (nodes=104)</b>					
H04N 11	Colour television systems	.00	.00	.17	.00
<b>Block 3 (nodes=26)</b>					
H04L	Transmission of digital information, e.g. telegraphic communication	.37	.07	.24	.01
H04W	Wireless communication networks	.30	.06	.24	.00
<b>Block 4 (nodes=24)</b>					
G06F	Electric digital data processing	.65	.22	.25	.10
H04M	Telephonic communication	.44	.12	.24	.03
<b>Block 5 (nodes=23)</b>					
H01F	Magnets; Inductances; Transformers; Selection of materials for their magnetic properties	.22	.09	.23	.02
H02J	Circuit arrangements or systems for supplying or distributing electric power; Systems for storing electric energy	.15	.03	.23	.00
<b>Block 6 (nodes=14)</b>					
G05D	Systems for controlling or regulating non-electric variables	.15	.04	.23	.01
H05B	Electric heating; Electric lighting not otherwise provided for	.10	.01	.23	.00
<b>Total</b>		<b>.05</b>	<b>.01</b>	<b>.18</b>	<b>.00</b>

Table 7. IPC Areas of the Non-convergence Patent group

IPC code	Label	Eigen-vector	Degree	Closeness	Betweenness
<b>Block 1'</b> (nodes=43)					
H04L	Transmission of digital information e.g. telegraphic communication	.36	.07	.18	.01
G06Q	Data processing systems or methods, specially adapted for management	.32	.05	.18	.01
<b>Block 2'</b> (nodes=4)					
G06F	Electric digital data processing	.86	.24	.19	.15
G01C	Measuring distances, levels, or bearings; Surveying; Navigation; Gyroscopic instruments; Photogrammetry	.19	.02	.18	.00
<b>Block 3'</b> (nodes=5)					
A43D	Machines, tools, equipment or methods for manufacturing or repairing footwear	.02	.01	.16	.00
F01K	Steam engine plants; Steam accumulators; Engines using special working fluids or cycles	.02	.01	.16	.00
<b>Block 4'</b> (nodes=24)					
H04K	Secret communication; Jamming of communication	.08	.02	.17	.00
H01F	Magnets; Inductances; Transformers; Selection of materials for their magnetic properties	.05	.02	.17	.01
<b>Block 5'</b> (nodes=1)					
C23C	Coating metallic material, etc.	.02	.03	.17	.02
<b>Block 6'</b> (nodes=105)					
H04N17	Diagnosis, testing or measuring for television systems or their details	.00	.00	.13	.00
<b>Total</b>		.04	.01	.13	.00

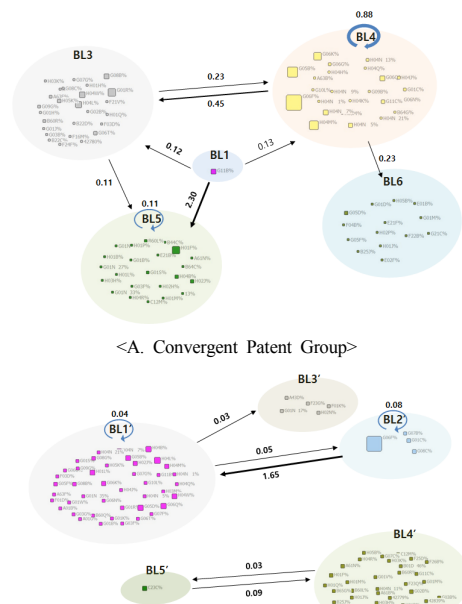
동일한 방법으로 비융합특허그룹의 블록 모델링을 실행한 결과, Table 7과 같이 6개의 블록으로 구분되었다. 각 블록의 중심성 특성이 전체 평균치 이상이 되는 비융합그룹의 대표 IPC분야의 경우, G(물리)와 H(전기) 기술 분야 이외에 그룹3의 기계/엔진(A43D,F01K)과 같은 수요기업 기술이 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 제조실행분석 애플리케이션 기술에서 요구되는 수요기업 기술의 경우 수요기업의 기술분야 내 고유특성으로 인하여 비융합특허그룹으로 분류된 것으로 해석할 수 있다.

동위적인 노드들을 블록으로 묶은 후 블록 내 그리고 블록 간의 관계 밀도를 보여주는 밀도 매트릭스(Density Matrix)는 융합그룹 및 비융합 그룹 각각 Table 8과 같다.

Table 8. Density Matrixes

A. Convergence Patent Group						
conv	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6
Block1	.00	.00	.12	.13	2.30	.00
Block2	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Block3	.00	.00	.03	.23	.11	.00
Block4	.00	.00	.45	.88	.02	.23
Block5	.00	.00	.01	.00	.11	.01
Block6	.00	.00	.00	.01	.01	.00
B. Non-Convergence Patent Group						
non conv	Block 1'	Block 2'	Block 3'	Block 4'	Block 5'	Block 6'
Block1'	.04	.05	.03	.01	.00	.00
Block2'	1.65	.08	.00	.01	.00	.00
Block3'	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Block4'	.01	.00	.00	.02	.03	.00
Block5'	.02	.00	.00	.09	.00	.00
Block6'	.00	.00	.00	.00	.00	.00

블록 간 정보의 흐름을 분석하기 위하여, Table 8에서 제시된 두 그룹 각각 밀도 매트릭스의 중앙값 (Median<sub>conv</sub>=.11; Median<sub>non-conv</sub>=.03)을 절취점으로 하고, 그 이상을 1로 치환하여 이미지 행렬을 구한 후, 각 블록 간 기술정보의 전이관계를 확인하기 위하여 이미지 행렬을 기반으로 Figure 5와 같이 블록 그래프를 도식화하였다.



<A. Convergent Patent Group>

<B. Non-Convergence Patent Group>

\* Values and Line width are based on relation density

Fig. 5. Class Graph based on Block modeling (Convergence & Non-Convergence Patent Group)

분석 결과, Figure 5-A의 융합그룹의 경우, 정보저장 기술(G11B)로 구성된 블록1에서 다른 블록들에게 정보가 제공되고, 특히 블록1은 공장 에너지관련 생산최적화 관련 기술(H01F,H02J)로 대표되는 블록5와 관계밀도가 높은 것으로 확인된다. 이는 블록5가 정보저장과 관련된 기술정보를 필요로 하는 기술분야임을 의미한다. 또한, 전자통신기술(H04L, H04W)을 대표로 하는 블록3과 전자 디지털데이터 처리기술(G06F, H04M)을 대표로 하는 블록4 간의 상호 정보교류가 활발한 것으로 나타나며, 블록3의 전자통신기술정보는 전자기계/에너지의 블록5에, 그리고 블록4의 전자 디지털데이터 처리기술은 제어시스템/전자기계(G05D,H05B)에 제공되어 수렴되는 기술전이과정을 확인할 수 있다. 전술한 융합특허의 블록모델링 분석 결과에 근거하여, <A2> 제조실생분석 애플리케이션 기술분야에서는 정보저장기술(블록1)과 전자통신기술(블록3), 그리고 전자 디지털데이터 처리기술(블록4)이 주요 원천융합기술임을 확인할 수 있다.

반면 비융합그룹의 경우, Table 8-B과 같이 융합그룹 대비 관계 밀도가 상대적으로 미약한 것으로 나타났으며, 이는 정보교류에 있어 각 블록의 연계강도가 낮은 것으로 해석할 수 있다. 밀도 매트릭스에 근거하여 도식화한 Figure 5-B와 같이, 전체 유기적인 정보흐름을 보이는 융합그룹과 달리 비융합그룹에서는 두 영역 내에서만 연계강도가 상대적으로 높은 정보전이의 패턴으로 나타남을 확인할 수 있다. 즉, 한 영역 내에서는 디지털정보 전달 및 처리시스템(H04L,G06Q)으로 대표되는 블록1'과 전자데이터처리/측정기술(G06F,G01C)로 대표되는 블록2' 간의 상호 정보교류가 이루어지는 관계에서 주로 블록2'의 전자데이터처리/측정기술이 블록1'에게 전달되고 있음을 확인할 수 있다. 특히 교류된 정보는 블록1'을 통하여 기계/엔진(A43D,F01K)과 같은 수공업 기술로 제공되는 간접적인 경로가 확인된다. 다른 영역에서는 통신/전자기계(H04K,H01F)로 대표되는 블록4'와 마감기술(C23C)의 블록5' 간 정보교류가 이루어지고 있고, 이때 블록5'가 블록4'에게 정보를 제공하는 관계 밀도가 더 높게 나타났다. 한편, 블록4'와 블록5'는 블록1', 블록2', 블록3'과 정보교류가 거의 없는 것으로 나타났다.

<A2> 제조실생 분석 애플리케이션 내 융합그룹과 비융합그룹 간 네트워크 중심성의 차이를 검증한 결과, Table 9와 같이 연결중심성과 매개중심성 간 차이는 유의미하지 않으나 융합그룹의 수치가 높게 나타났고, 근

**Table 9.** Difference Test of IPC Network Centrality (Convergence vs. Non-Convergence IPC Network)

	Degree	Close ness	Betweenness
Mean of Convergence Group	22.10	.08	.0003
Mean of Non-Convergence Group	17.71	.06	.0002
F(1, 382)	.09	3.98**	.55
Z-score by Contrast test (Conv vs. Non-conv)	.29	1.99**	.74

\*\*p<.05

접중심성에 있어서는 두 그룹 간 유의미한 차이가 있는 것으로 검증되었다( $M_{conv}=.08, M_{non-conv}=.06, z=1.99, p<.05$ ). 결과를 통하여 융합그룹의 기술이 중심성이 높은 네트워크 구조로 연계되어 있음을 해석할 수 있다.

블록모델링 분석 및 네트워크 차이검증 결과를 통하여, 본 연구에서 제안한 기술융합지수에 따라 네트워크 특성에 있어 유의미한 차이가 있으며, 따라서 이종분야 기술융합지수(CVindex\_Hetero)가 파급효과로 나타난 기술분야들 간 연계관계의 차이를 적합하게 측정하고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 이용하여 특허파급효과에 기반한 기술융합지수를 산출하고 원천적인 핵심융합기술을 발굴하는 방법론을 제안한 후, 이를 스마트공장 융합기술인 애플리케이션 및 플랫폼 기술에 적용하여 해당 기술분야를 분석하였다.

먼저 핵심융합기술분야 규명을 위한 기술융합지수와 관련하여, 본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 적용하여, 분석대상 기술의 후생적 파급효과를 측정하는 기술융합지수를 산출하는 방법론을 제시하였다. 그동안 선행연구에서 제시한 융합화의 결과물로서의 기술융합 개념을 측정하는 지수와 달리, 본 연구에서 제안하는 이종분야 기술융합지수는 프로세스적 관점에서의 기술융합 개념에 근거하여 분석대상기술이 이후의 기술분야들 간 융합에 미치는 파급효과를 측정할 수 있는 지수라는 점에서 의미가 있다. 특히, 스마트공장 특허인용데이터를 이용하여 제안한 이종분야 기술융합지수가 중재자 역할 유형들 중 타 분야 간 연결하는 역할을 측정하는 순환중재자(Itinerant brokers) 및 연락관(Liaison) 지표와

유의미한 상관관계가 나타남을 확인함으로써, 다른 지수들(타분야비율지수 및 동종분야 기술융합지수) 대비 이종분야 기술융합지수가 다른 기술분야 기술들을 연결하는 융합적 특성을 측정하고 있음을 검증하였다.

또한, 본 연구에서 제시한 기술융합지수를 이용하여 산업통상자원부에서 제시한 스마트공장의 애플리케이션 및 플랫폼의 전략 기술분야들에 대한 융합성 수준을 비교한 결과, 특허의 융합성 수준이 높은 기술분야는 <A7> 제조 애플리케이션 컴포넌트 연동 프레임워크, <A6> 유통/조달/고객대응 애플리케이션, <A8> ERP, etc., <A5> 작업자 안전(증강) 애플리케이션, <A2> 제조 실행분석 애플리케이션, <B1> 생산 빅데이터 애널리틱스, <B6> IIoT(Industrial IoT), <B3> 팩토리 자원/공정 모델링/시뮬레이션, <B2> 사이버물리'로 나타났다. 해당 기술분야들이 스마트공장의 고도화기술에 해당되는 만큼, 본 연구에서 제안한 특허 인용 네트워크에 기반하여 산출한 이종분야 기술융합지수가 융합기술분야를 발굴하는 유용한 방법론이 될 수 있음을 확인할 수 있다.

이중 <A2> 제조실행분석 애플리케이션 기술분야에 대하여 융합그룹 여부를 구분한 후 각 그룹 내에서 융합 가능한 분야를 탐색할 수 있는 블록모델링을 실행하였다. 융합그룹의 네트워크에서는 '정보저장기술(블록1)과 전자통신기술(블록3), 그리고 전자 디지털데이터 처리기술(블록4)'이 상호 간 정보교류가 강한 기술들이며, 이들을 중심으로 유기적인 정보흐름 네트워크가 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 반면, 비융합그룹에서는 네트워크 전반적으로 각 블록 간의 연계강도가 상대적으로 낮으며, 네트워크 전체에서 유기적인 정보흐름을 보이는 융합그룹과 달리 비융합그룹에서는 두 영역 내에서 상대적으로 높은 연계강도를 보이는 정보전이의 패턴으로 나타났다. 또한 각 블록들 중 디지털정보 전달 및 처리시스템(블록1')과 전자데이터처리/측정기술(블록2') 간 상호 정보교류가 강하여 융합가능한 기술분야임을 확인할 수 있었다. 추가적으로 네트워크 중심성 차이를 검증한 분석에서 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수에 근거하여 구분한 융합그룹과 비융합그룹 간 네트워크의 근접 중심성 특성은 유의미한 차이가 있는 것으로 검증되었다. 이로써 본 연구에서 제안한 이종분야 기술융합지수가 Hacklin et al.[7]에서 제시한 프로세스 관점에서의 융합에 대한 개념인 후생 기술들 간 연계에 미치는 과급효과를 측정하는 지수임을 확인할 수 있다.

전술한 바와 같이, 본 연구에서는 제안한 방법론을 2015년 산업통상자원부의 스마트공장 기술로드맵에서 제시한 애플리케이션 및 플랫폼 기술분야의 특허 인용-피인용 데이터에 적용함으로써, 방법론의 유용성을 확인하고자 하였다. 본 연구 결과에 근거하여 기술개발을 위한 정부R&D 정책적 시사점은 다음과 같다. 미국특허청에 등록된 스마트공장 관련 특허들이 후생특허들에 미치는 과급효과가 큰 기술분야들은 A2, A5-A8, B1, B3, B6으로 나타나, 해당 기술분야에 관련하여 출원된 미국특허들에 대하여 기술개발 수요가 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 반면, 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 스마트공장 관련 우리나라 R&D 투자현황 및 전략방향을 제시한 보고서[29]에서 과제 당 지원비가 평균보다 낮은 분야는 A5, A6, A8, B3, B6으로 제시하고 있어, A5, B3, B6의 통합운영시스템 기술분야에 대하여 우리나라가 기술경쟁력을 확보하도록 R&D투자를 확대할 필요성이 제기된다. 또한 최근 기술개발이 활발했던 A2의 기술분야에 대하여 블록모델링 기반의 네트워크 분석 결과에 근거하여, 융합가능한 기술분야인 '정보저장기술과 전자 디지털데이터 처리기술, 그리고 전자통신기술'을 유기적인 관계가 형성되도록 기술개발, 나아가 산업생태계가 구성되도록 개발전략을 계획할 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점으로는 본 연구에서 융합기술의 과급효과를 측정하는 기술융합지수를 특허인용네트워크 분석에 기반하여 제안하였으나, 과급효과가 특허와 같은 새로운 융합기술지식 개발 및 기술지식 간 융합 가능성 수준에 한정된다는 한계점이 있다. 과급효과가 기술지식 수준에서 나아가 제품, 기업, 산업 혁신과 같은 범위로 확장될 수 있어 이러한 과급효과를 측정할 수 있는 지수 개발에 대한 추가적인 연구가 요구된다. 아울러, 본 연구에서는 스마트공장의 기술에 적용하여 기술융합지수의 정합성을 검증하였으나, 이를 다양한 기술분야에 적용하여 지수의 신뢰성을 검증해 볼 필요성이 제기된다.

상기와 같은 한계점에도 불구하고, 본 연구에서 과급효과를 측정할 수 있는 기술융합지수를 제안하고 지수의 정합성을 검증함으로써, 현재 지속적으로 증대하고 있는 융합기술 개발 및 투자전략 기획에 있어 프로세스적 관점에서 융합화의 특성을 고려 및 반영하는 계기가 될 수 있을 것이다.

## References

- [1] Ministry of Trade, Industry & Energy, and Ministry of Science, ICT and Future Planning, *Smart Manufacturing R&D Roadmap for Promoting Manufacturing Industry Innovation*, 2015.
- [2] H.J. Kang, M.J. Um, and D.M. Kim, "A Study on Forecast of the Promising Fusion Technology by US Patent Analysis", *Journal of Technology Innovation*, vol. 14, no. 3, pp. 93-116, 2006.
- [3] M.S. Seok, B.H. Jo, and I.Y. Ji, "An Application of Patent Citation Network Analysis for Technology Marketing: A Case of a Public Research Institute", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 5, pp. 3210-3219, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.5.3210>
- [4] N. Rosenberg, "Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910", *Journal of Economic History*, vol. 23, no. 4, pp. 414-446, 1963.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022050700109155>
- [5] F. Kodama, "Technology Fusion and the New R&D", *Harvard Business Review*, vol. 70, no. 4, pp. 70-78, 1992.
- [6] J.M. Pennings and P. Puranam, "Market Convergence & Firm Strategy: New Directions for Theory and Research", ECIS Conference, *The Future of Innovation Studies*, Eindhoven, Netherlands, 2001.
- [7] F. Hacklin, C. Marxt, and F. Fahrni, "Coevolutionary Cycles of Convergence: An Extrapolation from the ICT Industry", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 76, no. 6, pp. 723-736, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.03.003>
- [8] C.S. Curran, and J. Leker, "Patent Indicators for Monitoring Convergence - Examples from NFF and ICT", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 78, no. 2, pp. 256-273, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.021>
- [9] D.Y. Hwang, Y.I. Kim, and B.M. Lee, "A Study on the Classification for Technology Convergence according to Characteristics", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 11, no. 4, pp. 592-612, 2008.
- [10] H.Y. Kim and S.Y. Chung, "An Analysis on the Research Network Structure of Convergence Technologies", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 18, no. 4, pp. 693-718, 2015.
- [11] Y. Geum, C. Kim, S. Lee, and M.S. Kim, "Technological Convergence of IT and BT: Evidence from Patent Analysis", *Etri Journal*, vol. 34, no. 3, pp. 439-449, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.4218/etrij.12.1711.0010>
- [12] R.J.W. Tijssen, "A Quantitative Assessment of Interdisciplinary Structures in Science and Technology: Co-classification Analysis of Energy Research", *Research Policy*, vol. 21, no. 1, pp. 27-44, 1992.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(92\)90025-Y](https://doi.org/10.1016/0048-7333(92)90025-Y)
- [13] W. Xing, X. Ye, and L.Kui, "Measuring Convergence of China's ICT Industry: an Input-Output Analysis", *Telecommunications Policy*, vol. 35, no. 4, pp. 301-313, 2011.
- [14] J.E. Kim and S.j. Lee, "A Methodology to Evaluate Industry Convergence Using the Patent Information : Technology Relationship analysis", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 39, no. 3, pp. 212-221, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.7232/JKIIE.2013.39.3.212>
- [15] S.H. Joo and Y. Kim, "Measuring Relatedness between Technological Fields", *Scientometrics*, vol. 83, no. 2, pp. 435-454, 2011.
- [16] F. Fai and V.N. Tunzelmann, "Industry-Specific Competencies and Converging Technological Systems : Evidences from Patents", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 12, no. 2, pp. 141-171, 2001.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0954-349X\(00\)00035-7](https://doi.org/10.1016/S0954-349X(00)00035-7)
- [17] H.J. No and Y.T. Park. "Trajectory Patterns of Technology Fusion: Trend Analysis and Taxonomical Grouping in Nanobiotechnology." *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 77, no. 1, pp. 63-75, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.06.006>
- [18] S. Yoo, Y. Lee, and D. Won, "A Study on Estimation of Technology Life Span Using Analysis of Patent Citation", *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, vol. 31, no. 4, pp. 1-11, 2006.
- [19] E.C. Engelsman and A.F. van Raan, "A Patent-Based Cartography of Technology", *Research Policy*, vol. 23, no. 1, pp. 1-26, 1994.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)90024-8)
- [20] T.S. Cho and H.Y. Shih, "Patent Citation Network Analysis of Core and Emerging Technologies in Taiwan: 1997 -2008", *Scientometrics*, vol. 89, no. 3, pp. 795-811, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0457-z>
- [21] J.E. Heo and C.H. Yang, "Applying Network Analysis in Convergent Research Relationships: The Case of High-Tech Convergence Technology Development Program", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 16, no. 4, pp. 883-912, 2013.
- [22] M. Karvonen and T. Kässi, "Patent Citations as a Tool for Analysing the Early Stages of Convergence", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, no. 6, pp. 1094-1107, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.05.006>
- [23] Y.R. Cho and E.S. Kim, "A Corporate Strategy on Technological Convergence through Analyzing Patent Networks and Strategic Indicators", *The Journal of Intellectual Property*, vol. 9, no. 4, pp. 191-221, 2014.
- [24] D.H. Lee, I.W. Seo, H.C. Choe, and H.D. Kim, "Collaboration Network Patterns and Research Performance: The Case of Korean Public Research Institutions", *Scientometrics*, vol. 91, no. 3, pp. 925-942, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0602-8>
- [25] R.V. Gould and R.M. Fernandez, "Structures of Mediation: A Formal approach to Brokerage in Transaction Networks", *Sociological Methodology*, vol. 19, pp. 89-126, 1989.  
DOI: <https://doi.org/10.2307/270949>
- [26] J.P. Scott, *Social Network Analysis: A Handbook*,

Thousand Oaks: Sage Publications, 1991.

- [27] Y.H. Kim, *Social Network Analysis*, Parkyoung-sa, 2003.
- [28] L.C. Freeman, "Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification", *Social Networks*, vol. 1, no. 3, pp. 215-239, 1979.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- [29] H.Y. Kim, S.J. Kim, J.H. Lee, N.H. Cho, J.Y. Lee, and J.H. Park, *Study on a Governmnet's R&D Strategy for a Smart Manufacturing Industry*, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 2017.

### 김 흥 영(Hong-Young Kim)

[정회원]



- 2006년 2월 : 한국외국어대학교 경영대학원 경영학과(경영학석사)
- 2015년 2월 : 건국대학교 일반대학원 기술경영학과(박사수료)
- 1993년 7월 ~ 1999년 1월 : 과학기술정책연구소 연구원
- 1999년 2월 ~ 현재 : 한국과학기술기획평가원 연구위원

### 이 현 민(Hyun-Min Lee)

[정회원]



- 2007년 8월 : 연세대학교 일반대학원 경영학과 (경영학석사)
- 2014년 8월 : 연세대학교 일반대학원 경영학과 (마케팅박사)
- 2014년 8월 ~ 2016년 12월 : 연세대학교 경영연구소 전문연구원
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국과학기술기획평가원 부연구위원

<관심분야>

정보통신, 기술수요, 기술특허분석, 기술사업화

<관심분야>

과학기술정책, 기술혁신, 기술경영, 정부R&D 예산조정 및 성과평가, 연구관리 제도개선

### 김 선 재(Sun-Jae Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학원 전기컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 서울대학교 공과대학원 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 책임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술기획평가원 부연구위원

<관심분야>

주력산업 고도화, 투자기획 및 전략, 스마트공장 보급확산