KBR 제24권 신년 특별호 2020년 1월 http://dx.doi.org/10.17287/kbr.2020.24.0.87

국제특허분류(IPC) 네트워크 분석을 통한 전력-Digital Transformation 기술간의 융복합 혁신동향 연구

정 지 준*
이 덕 희**

4차 산업혁명 기반 기술들이 전력산업에 접목되면서 전력산업의 Digital Transformation이 진행되고 있으며, 이로 인해 에너지 생산-발전-송배전-고객까지 전력산업 내 전 가치사슬 전체에 대전환이 벌어지고 있다. 이 연구는 국내 전력산업 전분야를 총괄하는 한국전력공사와 자회사 특허분석을 통하여 전력산업 내의 Digital Transformation 핵심기술들의 융복합 혁신동향을 분석하고, 운영효율성에 미치는 영향을 파악하여 올바른 전략을 세우는 것이 이 연구의 목표로 한다.

문헌고찰을 통해 전력-Digital Transformation 기술 융복합 영향에 관한 2가지 연구가설을 도출하였다.

이 연구에서는 1998년부터 2018년까지의 20년간 9,669개의 전력산업 특허를 분석하고 Digital Transformation의 핵심기술(AI, Big data, IoT, Cloud)의 영향을 IPC코드들의 네트워크 분석방법을 통해 알아보고, 다중회귀분석을 통하여 전력산업에 어떻게 영향을 끼치는지 분석하였다.

이 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 전력산업에 IoT - AI - Bigdata-Cloud 관련 기술순으로 융복합을 주도하는 매개중심성이 크게 나타났다. 둘째, 전력설비 운영 효율화 활동을 평가하다고 평가되어지는 전력손실률과의 회귀분석을 통해 IoT기술의 연결성이 전력효율성과 유의미한 음의 상관관계를 가진다고 분석되었다.

이 연구를 통해 향후 올바른 정책방향을 수립하고 향 후 Digital Transformation 지표를 만들어 동종, 이종산업간 정도를 비교분석 할 수 있을 것이다.

주제어: 디지털 트랜스포메이션, 국제특허분류(IPC), 네트워크 분석, 전력산업, 기술융합, 4차산업혁명

Ⅰ. 서 론

1.1 서론

디지털 트랜스포메이션에 대한 선행연구들은 디지털 변환 성과에 대해 여러 분야에 걸쳐 진행되었다. 하지만 전련 산업 분야에서 디지털 포메이션의 영향에 대한 연구는 없다. 따라서 본 연구는 전력산업 분야 중 전력손실률에 대해 영향을 연구하고자한다. 이 때 분석 방법은 다중회귀분석을 사용한다. Kleinbaum 외 (1988)는 다중회귀분석은 여러 독립변수 한 번에 분석할 수 있는 장점이 있으며, 잔차의 정규분포, 선형성, 동분산을 가정한다고 한다. 한국전력공사와 자회사의 특허분석을 통해 전반적인 디지털 트랜스포메이션의 혁신 동향을 분석하고 운영 효율성에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

논문접수일: 2019. 12. 18. 1차 수정본 접수일: 2020. 01. 10. 게재확정일: 2020. 01. 13.
* KAIST 기술경영전문대학원 석사졸업(Jungjijoon@kaist.ac.kr), 한국전력 전력연구원 재직
** KAIST 기술경영전문대학원 교수(dhlnexys@kaist.ac.kr), 교신저자

1.2 4차 산업혁명의 도래

전력산업에 '4차 산업혁명'이라는 거대한 물결이 다가오고 있다. 1차 산업혁명이 철도, 증기기관 중심의 '기계화'시대였다면, 2차 산업혁명은 전기와 조립라인 중심의 '대량생산'의 시대, 3차 산업혁명은 컴퓨터 기반의 '자동화' 시대라고 할 수 있다.

4차 산업혁명은 IoT(Internet of Things)와 AI(Artificial Intelligence)와 같은 알고리즘 기반으로 한 '지능화' 와 '초연결' 시대를 의미하며, 이러한 변화의 크기와 속도가 이전에 비해 상상할 수 없을 정도로 빠르고 급격하다는 것이 특징이다. 2016년 2월 다보스 포럼에서 클라우스 슈밥이 '4차 산업혁명'이라는 용어를 제시하면서 전 세계적으로 커다란 반향을 불러일으켰다.

4차 산업혁명의 핵심기술은 사물인터넷(IoT), 인공지능, 로봇, 빅데이터. 크라우드 등이며 이러한 급격한 기술변화가 거의 모든 국가의 전 산업에서 와해적인 혁신을 불러오고, 시스템의 영향 측면에서는 생산, 경영 및 거버넌스 등을 포함하는 전체 시스템의 변혁을 초래할 것으로 것이다.

1.3 Digital Transformation

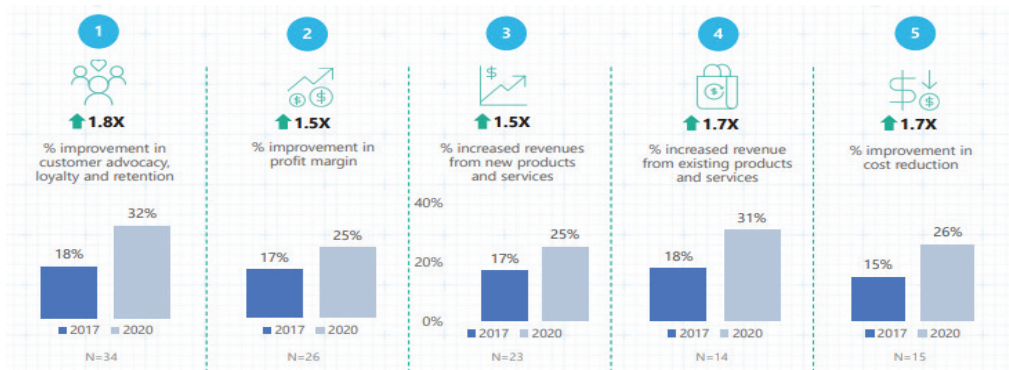
이러한 4차 산업혁명의 정의와 전망은 다양한 기술과 개인, 기업, 정부, 경제, 사회, 문화 등을 광범위하게 포함하기 때문에, 이에 대한 논의에 있어 구체적인 분석 프레임이 부족하여 이를 보완해야하는 필요성이 제기되고 있다.

이러한 의미에서 김민식·손가녕(2017)의 연구에서 디지털 트랜스포메션의 개념은 '산업 내에 기업이 최신의 디지털기술을 실제적으로 활용하여 프로세스가 변화하는 과정에서부터, 이를 통해 비즈니스 모델의 변화를 가져오는 효과까지'를 포함하고 있다. 또한 기존산업의 가치사슬 변화를 이끌어 새로운 사업기회, 새로운 가치를 제공한다. 또한 Berman, S. J., & Bell, R. (2011)에 의하면 트랜스포메이션은 '기업이 디지털과 물리적인 요소들을 통합하여 비즈니스 모델을 변화시키고 산업에 새로운 방향을 정립하는 전략'으로 정의된다.

디지털 트랜스포메이션은 갑자기 나타난 경영전략이 아니다. 1990년대부터 등장한 인터넷혁명의 시대에서부터 시작해 현재까지 발전하고 있는 개념이다. 이형민(2018)에 의하면 디지털 트랜스포메이션 기술의 발전과 산업구조의 변화에 따른 기업의 조직, 프로세스, 전략, 비즈니스 모델 등 기업 경영전략과 관련한 모든 것들의 디지털 트랜스포메이션을 추진하고 있다. 〈그림 1〉에서 마이크로소프트에서 발표한 아시아 태평양 지역에서 디지털 전환에 따른 경제적 영향력을 2018년 3월 발표하였다. 고객 지지충성도와 유지력이 현지 수준보다 1.8배 상승할 것이라는 정망을 내놓았고, 이윤이 1.5배 상승할 것이라는 예측을 제시하였다. 마이크로소프트에 따르면 새로운 상품과 서비스에 대한 이익이 1.5배, 기존 제품과 서비스에 대한 이익이 1.7배, 비용 절감이 현 상황보다 1.7배 개선될 것으로 예측할 수 있다.

〈표 1〉 4차 산업혁명으로의 진화과정

1차 산업혁명	2차 산업혁명	3차 산업혁명	4차 산업혁명
철도, 증기기관 '기계화' 시대	전기, 조립라인 '대량생산' 시대	컴퓨터, 반도체 '자동화' 시대	인공지능, IoT '융합'의 시대



참고: Microsoft, Unlocking the Economic impact of Digital Transformation in Asia Pacific(2018.3)

〈그림 1〉 Top 5 benefits of Digital Transformation

Ⅱ. 이론적배경

2.1 전력산업 트렌트

선진국 전력시장 성장은 느리게 진행 중이며, 신흥국 전력수요는 증가하는 추세이다. 수송분야 등 여러 분야에서 탈탄소화 하려는 움직임이 증가하고 있고, 2015년 12월에 열린 21번째 유엔총회에 참가한 200여개 국가는 파리기후변화협약을 통해 탄소배출 저감을 위한 노력을 더욱 더 하도록 약속하였다. 또한, IT회사들과 같은 4차산업혁명 핵심기술을 보유한 이종사업자의 전력사업 참여로 글로벌 전력시장의 지각 변동이 발생할 것이다. 이들은 기존의 역량과 네트워크로 소비자 분석 및 마케팅등의 맞춤형 서비스를 개발하여 시장진출을 모색할 것이다.

따라서, 파괴적 혁신기술의 등장과 시장과 소비자의 변화, 친환경 에너지정책 패러다임 하에서 "Digital Utility"로의 전환을 통한 효율향상 및 고객중심 비즈니스 모델 개발이 전력회사의 시대적 과제로 대두되고 있다.

2.2 Digital Utility

전력산업에서 AICBM(AI, IoT, Cloud, Big data, Mobile)등 파괴적 혁신기술을 전면적으로 접목하여 전통사업의 효율제고와 최적화는 물론, 새로운 사업모델 개발을 통해 신수익을 창출하는 전력회사를 뜻한다.[1)]

또한, 이런 전력산업 내의 디지털화는 새로운 가치를 창출할 수 있는 엄청난 기회가 있다. WEF (2016)의 Digital Transformation of Industries Electricity Industry 보고서에 따르면 2016년부터 2025년까지 전 세계적으로 1.3조 달러의 가치가 있다고 추정한다. 자산성능관리, 실시간 수요관리 플랫폼, 스마트 자산계획수립, 에너지통합플랫폼, 실시간 망관리 등의 새로운 분야가 향후 10년간 최소 1,000억 달러의 가치가 있다고 보았다.

2.2.1 글로벌 전력회사 Digital Transformation 사례

글로벌 전력회사들은 디지털 변환을 경영전략 핵

1) 한국전력공사 디지털 전환전략 보고서 (내부자료)

〈표 2〉 기존 전력회사와 Digital Utility 차이점

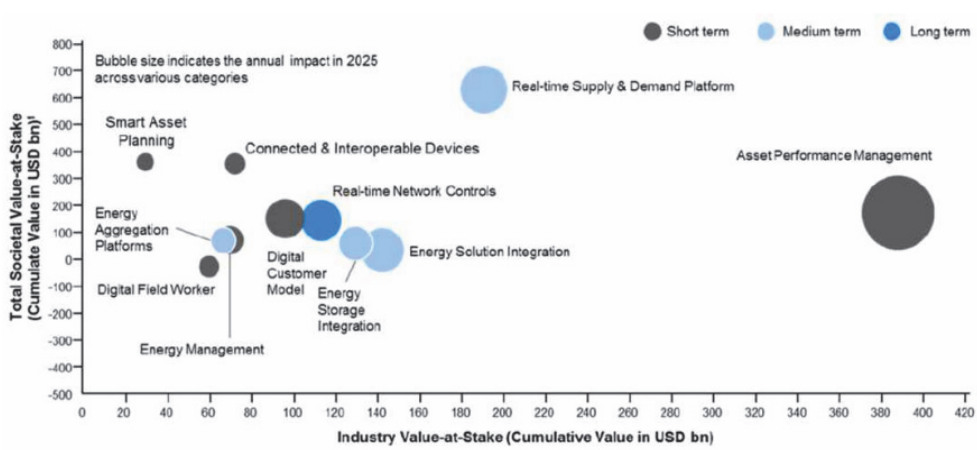
기존 전력회사	디지털 유틸리티
▪ 일방적 정보 전달, 폐쇄적 정보 흐름 ▪ 시스템 자동화, 부문별 효율제고 중심 ▪ 중앙집중형 대규모 발전원 중심 ▪ 안정적이고 보편적인 서비스 제공 ▪ 전력판매가 주요 수익원 ▪ 중앙집중형 서버 중심의 업무시스템	▪ 실시간, 양방향 **데이터가 가치창출의 원천** ▪ AI, IoT 적용 **지능형 전력망 최적화 추구** ▪ 분산전원 연계 위한 **유연한 전력망 구축** ▪ 고객맞춤형 **차별화된 에너지솔루션 제공** ▪ BTM 분야 **다양한 비즈니스모델 창출** ▪ **클라우드 기반** 유비쿼터스 **업무시스템**

참고: 한국전력공사 디지털 전환전략 내부자료 참고

심으로 하여 발전부터 판매(고객서비스/에너지신사업)에 이르는 전력산업 가치사슬 전 분야에 적용 및 추진하고 있다. 원전 정전관리 및 예측 정비(프랑스 EDF), 계통신뢰도 향상 IoT 플랫폼(이탈리아, Enel), 인공지능 기반 자산관리(미국, Exelon) 등 각 국가의 전력회사들은 전력망의 수선유지 및 투자비용 최적화 및 수용성 증대를 목표로 Digital Transformation을 추진 중에 있다. 〈그림 2〉를 참조하면, 실시간 네트워크 통제와 에너지 취합 플랫폼, 에너지 관리 산업의 중요성이 드러나 있다. 에너지의 저장과 관리, 그리고 해결통합은 중 장기적인 프로젝트이며, 에너지의 효율적 관리를 위해 실시간 네트워크를 구축하고 통제하는 것이 매우 중요하다는 것을 그림을 통해 확인할 수 있다.

2.3 국내 전력산업의 Digital Transformation

전력산업은 대규모 투자와 장기간이 소요되고 규모의 경제를 실현하여, 국가경제에 이바지하기 위하여 국내는 공기업 체제로 운영되고 있다. 국내전력산업은 대한민국정부가 한국전력공사의 대주주로, 한국전력공사가 발전자회사(6개사), IT 계열사(한전 KDN)의 지분 100%를 보유하는 전력산업의 생산-중개-판매에 이르는 전 가치사슬을 자연독점적



참고: WEF, Digital Transformation of Industries Electricity Industry (2016))

〈그림 2〉 전력산업의 디지털 전환이 산업 및 사회에 대한 잠재적 이익

〈표 3〉 전력산업 가치사슬 별 디지털 변환 적용 해외사례

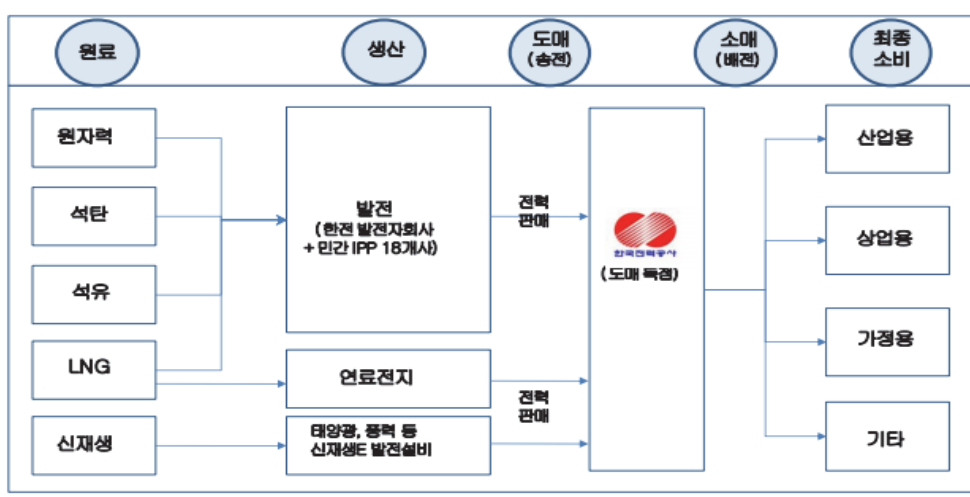
분야	사례
송변전	■ 〔AEP, 미국〕 자산관리시스템 통한 노후 변압기, 차단기 유지보수 , 자산 건전도 평가 ■ 〔TEPCO, 일본〕 드론, AI, 딥러닝 기술 활용 송전선로 점검 자동화, 정확도 개선
발전	■ 〔Exlelon, 미국〕 GE Predix 전 발전설비 적용, 실시간 유지보수 및 관리 ■ 〔Felxitricity, 영국〕 스마트크리드 열병합 효과분석위해 가상발전소 운영
배전	■ 〔Iberdrola, 스페인〕 스마트미터 기반의 배전망 모니터링 및 망운영 자동화 ■ 〔E.ON, 독일〕 AI 분석을 통한 배전망 고장예측 및 정비
판매	■ 〔Engie, 프랑스〕 에너지비용 월300불 초과고객 대상 패턴분석, 컨설팅 서비스

참고: 한국전력공사, 유틸리티 디지털변환 추진사례 연구(2018), 서울에너지공사 가상발전소 발전과 국내외 산업현황 참고 제작

구조로 운영하고 있다.

탈원전, 신쟁생에너지와 같은 정부정책반영, 원가를 제대로 반영하지 못하는 전기요금 구조등으로 한전의 적자는 2019년 1분기 무려 6300억원에 달하였다. 이러한 경영악화를 개선하기 위하여 국내전력산업을 총괄하는 한국전력공사는 기존에 가지고 있는 장점들과 디지털변환기술(AICBM[2])과 접목하여 전통사업의 효율제고와 최적화는 물론, 새로운 사업모델 개발을 통해 신수익을 창출하여 국민들에게 사회적편익을 나누기 위해 다양한 기술개발 중에 있다.

본 연구는 국내전력산업이 가지고 있는 특수성에 기반하여 전력산업 내 디지털변환 기술이 기존 기술들과의 융합을 파악하고, 그에 따른 영향과 향 후 대응전략 등에 대하여 말하고자 한다.



참고: 포스코 경영연구소, 우리나라 전력산업 경쟁체제 도입 현황 및 향후 전망

〈그림 3〉 국내 전력산업의 밸류체인 구성

2) 한전 디지털전환전략, Digital 전환핵심기술 : AI, IoT, Cloud, Big Data, Mobile

Ⅲ. 연구설계

3.1 연구 설계 및 방법

3.1.1 특허정보를 활용한 기술융합 선행연구

융합기술의 미래 방향을 예측하기 위해서 많은 방법론들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 기술융합 정도를 파악하기 위한 유형은 두 가지로 구분된다. 첫째, 특허인용 정보이다(Geum 등, 2012). 특정 특허가 출원된 후 다른 특허에서 인용된 정도를 통해 기술융합을 측정하는 방법이다. Karvonen과 Kassi(2011)는 특허자료를 이용하여 융합을 분석한 연구로는 특허 인용을 통해 기술 융합을 분석하고, 사례로 RFID 시장에서 종이와 전자산업의 교차에 대해 특허 인용관계를 사용하여 분석을 실시하였다. 둘째, 특허분류 정보를 통해 기술융합정도를 측정하는 방법으로 Curran과 Leker(2011)은 IPC co-classification을 이용하여 융합을 관찰하며, 하나 이상의 다른 분야에 동시에 속할 가능성을 바탕으로 융합의 정도를 파악하였다. IPC co-classification은 특정 특허가 두 개 이상의 클래스에 속할 때 복수의 클래스의 기술 영역에 관계가 존재한다는 것을 의미한다. 또한 이런 특허가 많을수록 기술 영역 간 관계가 강하게 나타남을 의미한다.

특허문헌을 체계적으로 정리해서, 특허문헌에 포함되어 있는 기술 및 권리정보에 용이하게 접근할 수 있게 하기 위해 국제적으로 통일된 특허 분류체계가 필요함에 따라 1968년에 국제특허분류(IPC)가 도입되었다. IPC의 구조는 섹션, 클래스, 서브클래스 및 메인그룹/서브그룹의 계층구조로 이루어진다.

본 연구에서는 기술간 트렌드를 분석위해 서브클래스를 기본단위로 하였다.

〈표 5〉 국제특허분류(IPC)의 표기단위 예
(G01R : 전기량의 측정, 자기변량 측정)

G (Section)	01 (Class)	R (Sub Class)

3.1.2 특허정보를 활용한 전력산업 기술융합 선행연구

전력산업내에 특허정보를 활용한 기술융합에 관한 연구는 김대기 외(2014) 특허정보를 활용한 에너지

〈표 4〉 특허정보 활용 기술융합 연구

Step	Data	Methodology	Case study
technology	patent	IPC co-classification analysis	- Curran and Leker(2011) - Geum et al.(2012)
		Co-citation analysis	- Geum et al.(2012)
industry	Industrial Classification /patent	SIC-IPC concordance analysis	- Pennings and Puranam - Athreye and Keeble - Fei and Tunzelmann - Curran et al. - Karvonen et al. - Karvonen and Kassi
		Input-output analysis	- Xing et al.

하베스팅 기술의 기술경쟁력 분석과 같은 특정 에너지별 연구와 한장협 외(2016) 특허정보를 활용한 분산형 에너지 기술융합 네트워크 분석 : 대구지역을 중심으로 와 같은 지역단위의 기술특성에 대한 연구 등이 있다. 전력산업 Value Chain전반에 걸쳐 특허를 분석하여 산업융합을 파악하고 영향을 분석한 연구는 미비한 실정이다.

3.1.3 자료 수집

본 연구에서 특허자료는 WIPSON 특허DB를 활용하여 특허출원일 기준, 20년(1998.11.26. ~ 2018.11.25.)동안의 전력산업 특허를 검색하고 한국전력공사가 100%지분을 소유하고 지배력을 가지고 전체 전력산업 Value Chain을 포괄하는 발전(한국수력원자력, 발전5개사), 송배전, 판매를 총괄하는 한국전력공사, 전력IT 회사인 한전KDN을 대표출원인으로 설정하여 분류하였다. 전력산업내에 다양한 연구기관, LS산전과 같은 기업들도 존재하지만 기초연구가 아닌 실증연구를 진행하고 실제 전력산업 현황과 직결되는 경영환경을 지닌 기업들로 출원인을 한정시켰다.

한편 특허출원 후에 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 2017년부터 출원된 특허는 미공개건이 다수 존재하고 있어 전체 데이터가 반영되지 못함으로 인해 특허출원이 감소하고 있는 것으로 보여 지고 있으나 실제로 출원이 감소한 것은 아닌 것으로 분석된다.

WIPSON 중복제거 기능을 사용하여 나온 9,669개 특허데이터를 각 연도별 분류작업을 실시하였고, 특허 서브클래스 코드(IPC)설명을 위한 검색은 특허청에서 제공하는 국제특허분류를 활용하였다.

또한, 전력-디지털 기술간의 기술융합이 미치는 영향에 대한 국제적 비교지표인 전력손실률을 기준으로 비교하였다.

송배전손실률(%) = (송전단전력량 - 판매전력량) ÷ 송전단전력량

전력공급 과정에서 발생하는 손실을 최소화하기 위한 전력설비 운영 효율화 활동을 평가하다고 평가되어지는 국제적인 지표로서, 2017년 기준 일본(4.7), 프랑스(7.4)과 비교하여 한국(3.5)은 비교우위에 있다.[3)]

3.1.4 연구방법

이재윤 (2006)에 의하면 네트워크 분석은 개별 노드들이 하나의 네트워크를 형성할 때 내부적으로 어떠한 구조로 연결되는지 확인하는 시각화(visualization) 분석기법이다. 일반적으로 이러한 유기적 관계 속성 간에 일어나는 상호작용은 연결망 구조로 묘사될 수 있는데 이를 네트워크라고 한다. 네트워크 분석에서 연결망의 구조적 변수는 노드(node)라고 명명된다. 노드와 노드는 연결관계(link)로 나타내며, 각 관계 간의 지속적인 연결관계를 통해서 네트워크의 경로(path)가 구축된다. Freeman(1978)의 연구에 의하면 네트워크 안에서 노드들이 연결되는데 필요한 최소한의 연결관계를 경로거리(path length 또는 path distance)라고 한다.

일반적으로 네트워크 분석은 중심성(centrality)을 통해 이루어지며, 중심성을 분석하는 방법은 한 점에 연결된 다른 점들의 수를 측정하는 연결중심성(degree centrality), 한점에서 다른 점에 얼마만큼 가깝게 있는가(distance)를 측정하는 근접중심성(closeness centrality), 한 점이 다른 노드들 간

3) 한국전력공사 핵심성과지표 개선방안 (2019)

의 네트워크를 구축하는데 중계자 혹은 브리지 역할을 측정하는 매개중심 (betweenness centrality) 등이 있다.

연결 중심성이란(degree centrality) 각 노드에 대해 그 노드가 상호 작용하는 이웃노드의 개수(또는 에지의 개수)로 정의된다. 연결중심성이 큰 노드들은 네트워크에서 이들이 없어지면 연결되어 있는 이웃 노드들과 상호 작용이 없어져서 네트워크 기능에 상당한 손실을 야기하므로 네트워크 기능에서 중요하다고 할 수 있다.

$$\text{degree centrality} = \Sigma C_{ijk}$$

(C_{ijk}는 연구 분야 i와 j의 표준화 중심성 지수, k는 네트워크에서의 연결관계 빈도)

매개 중심성이(betweenness centrality)란 네트워크상의 두 개의 노드 사이의 최단 경로(Shortest path)를 이용하는 개념이다. 네트워크상의 두 개의 다른 노트 세트들(set1, 2)을 정의하고, set 1의 노드와 set 2의 노드의 모든 조합에 대한 최단 경로(shortest path)들 상에 각 노드가 얼마나 자주 등장하는지를 정량화한 개념이다. 이는 어떤 노드가 set 1, 2의 최단경로상에 많이 존재한다면, set1, 2 사이의 관계를 정의할 때 중요한 역할을 할 것이라는 가정에서 나온 개념이다. 매개 중심성은 특정 set 1, set 2의 상호 작용에 있어서 중요한 노드를 동정할 때 사용한다.

$$\text{betweenness centrality} = (\Sigma(D_{ij}+(D_{ji}/\Sigma\Sigma(D_{ij}))$$

(D_{ij}는 연구분야 i와 j의 연결관계 수를 나타낸다.)

3.2 연구가설

전력산업 4차산업혁명 핵심기술을 활용한 Digital Transformation 기술들의 유입과 융합을 확인하고자, 동시분류분석을 통한 IPC Code를 활용 Digital Transformation 기술로 분류하고 각각의 영향력을 분석하고자 아래와 같이 2가지 가설을 설정하였다.

H1-1: 전력산업내 Digital Transformation 기술과 융합이 증가한다.

H1-2: 전력기술과 Digital Transformation 융합의 증가는 전력산업의 송배전손실률 감소에 긍정적 영향을 끼친다.

아래절차를 통해 연구가설을 검증하고 결과 값을 추론하는 과정을 거쳤다.

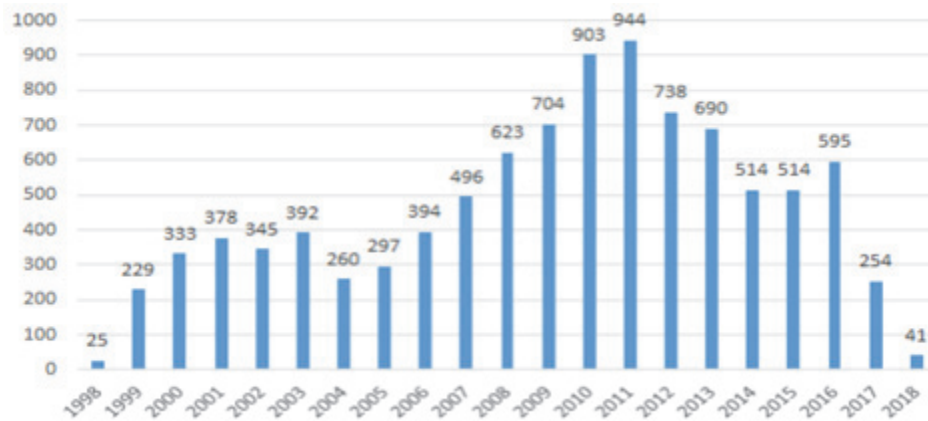
Ⅳ. 실증연구 및 분석

4.1 전력산업 특허 일반 분석

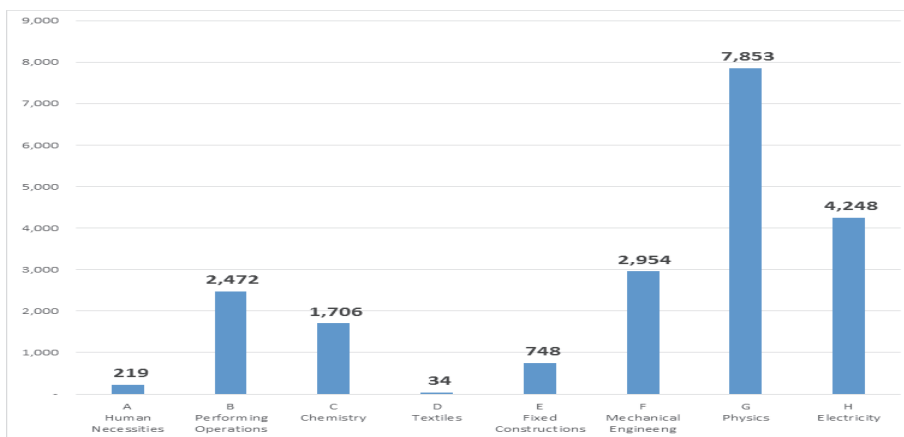
전력산업내의 1998년부터 2018년까지의 특허동향은 2011년까지 일반적으로 상승하고 국제유가 상승에 따른 경영악화로 인하여 특허출원건수가 다소 줄어든 경향이 보이나 일정수준 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

전력산업 특허내의 IPC Code를 Section별로 분류하여 분석한 결과는 다음과 같다. 기기장치를 대표하는 산업으로서 G(Physics), H(Electricity)가 주를 이룬다고 확인되었다.

또한 전력산업 전체 특허 IPC Code를 Subclass 단위까지 주요 상위 10개 IPC코드를 아래와 같이 분석하였다. G01R(전력기계 장치관련 기술), G21C(원자로 관련 기술), B01D(발전소 화학반응 관련) 등 주요 기계설비가 중심이 되는 전력산업 특성상 장치관련 기술과 발전공정관련 기술들에 대한 특허



〈그림 4〉 전력산업 특허동향(1998-2018)



〈그림 5〉 전력산업 특허분류

가 주를 이루는 것을 볼 수 있다.

4.2 전력산업 내 Digital Transformation 기술 분석

전력산업내의 기술 중에 Digital Transformation 기술과의 관계를 분석하고자 특허청의 '4차 산업관련 특허분류'의 7가지 분류[4]를 활용하여, 전력산업 내에 혁신적 영향을 끼치는 4가지 기술(AI, Big data, IoT, Cloud)를 IPC code와 매칭하였다. 기술별 중복되는 IPC Code는 다수 포함된 분류에만 추가하였다.

전력산업의 변화추이를 시간에 흐름에 따라 구분하고자 1기(1998~2004), 2기(2005~2011), 3기(2012~2018)로 구분하여 전체 특허네트와 각 Digital Transformation 기술과 전력기술과의 융합에 대하여 살펴보았다. 네트워크 분석 프로그램

4) 특허청, 4차산업혁명 관련 7대 기술분야 특허분류 체계(특허청, 2018.)

〈표 6〉 전력산업 내 IPC코드 기술분류별 현황

순위	IPC Code	내용	빈도수
1	G01R	MEASURING ELECTRIC VARIABLES	1,356
2	G21C	NUCLEAR REACTORS	795
3	B01D	SEPARATION	649
4	H02J	SUPPLYING OR DISTRIBUTING ELECTRIC POWER	601
5	G01N	ANALYSING MATERIALS BY DETERMINING	568
6	H02G	INSTALLATION OF ELECTRIC CABLES OR LINES	489
7	G06Q	Simulators which are concerned with the mathematics of computing	394
8	G06F	Simulators which are concerned with the mathematics of computing	352
9	H04L	Transmission of pictures or their transient	303
10	B01J	CHEMICAL OR PHYSICAL PROCESSES	264

〈표 7〉 Digital Transformation 핵심기술 IPC Code 분류

분야	IPC Code 분류
A.I	■ G16H(헬스케어 인포매틱스), G10L(음성분석 또는 합성), G06Q(관리용, 상업용, 금융용, 경영용, 감독용 또는 예측용으로 특히 적합한 데이터 처리 시스템), G06N(특정 계산모델 방식의 컴퓨터시스템), G06K(데이터의 인식; 데이터의 표시; 기록매체; 기록매체의 취급), A63F(카드게임, 보드게임 또는 룰렛게임; 작은 움직이는 물체를 사용하는 실내용게임)
Big data	■ H04Q,(선택(스위치, 계전기, 셀렉터) H04N(화상통신), H04M(전화통신), G08B(신호 또는 호출시스템), G01S(무선에 의한 방위결정; 무선항행; 무선전파의 사용에 의한 거리 또는 속도의 결정), A61B(진단; 수술; 개인 식별)
IoT	■ H04W, G06T(이미지 데이터 처리 또는 발생), G05B(제어계 또는 조정계 일반; 이와 같은 계의 기능요소), G01W(기상학), G01V(지구물리; 중력측정; 질량 또는 대상물의 검출), G01K(온도의 측정; 열량의 측정; 달리 속하지 않는 감온소자), G01J(적외선, 가시광선 또는 자외선의 강도, 속도, 스펙트럼, 편광 또는 위상 또는 펄스의 측정), G01H(기계적 진동 또는 초음파, 음파 또는 아음파의 측정), G01F(체적. 체적유량, 질량유량 또는 액위측정), G01C(자이로스코프; 진동질량을 가지는 회전-감응 장치)
Cloud	■ H04L(디지털 정보의 전송), G01V(지구물리; 중력측정; 질량 또는 대상물의 검출), G06F(전기에 의한 디지털 데이터처리)

Netminer4.0을 활용하여 시각화 및 연결중심성, 매개중심성, 네트워크중심화지수 분석을 시행하였고, 시각화시에만 3회미만 연결은 갖는 IPC Code간 결합과 동일 IPC코드간 결합은 중요하지 않은 변수로 보고 제외하였다.

4.3 전력산업 내 Digital Transformation 기술 영향력 분석 결과

전력산업 내 기술들은 시간이 지남에 따라 혁신적인 변화가 일어나고 있다.

〈그림 6〉의 1기 IPC Code간 네트워크는 2기, 3기와 비교하여 단순한 구조를 보이고 다른기술들과의 결합이 아닌 동종기술간의 네트워크 상당부분 차지하여 다른기술간 연결이 끊기는 경우가 다수 존재한다. 〈표 8〉의 연결성 측면을 보면 네트워크내에서 융합의 핵심적인 역할 여부를 판단하는 지표인 매개중심성을 보면 1기에서는 Digital Transformation 기술이 전력산업 기술 융합에 어떠한 영향력을 주지 못하는 것으로 분석되었다.

〈그림 7〉의 2기 네트워크에서는 타기술간 연결횟수가 증가하고, 전체네트워크 연결의 중심화지수가 1기대비 증가하였다.

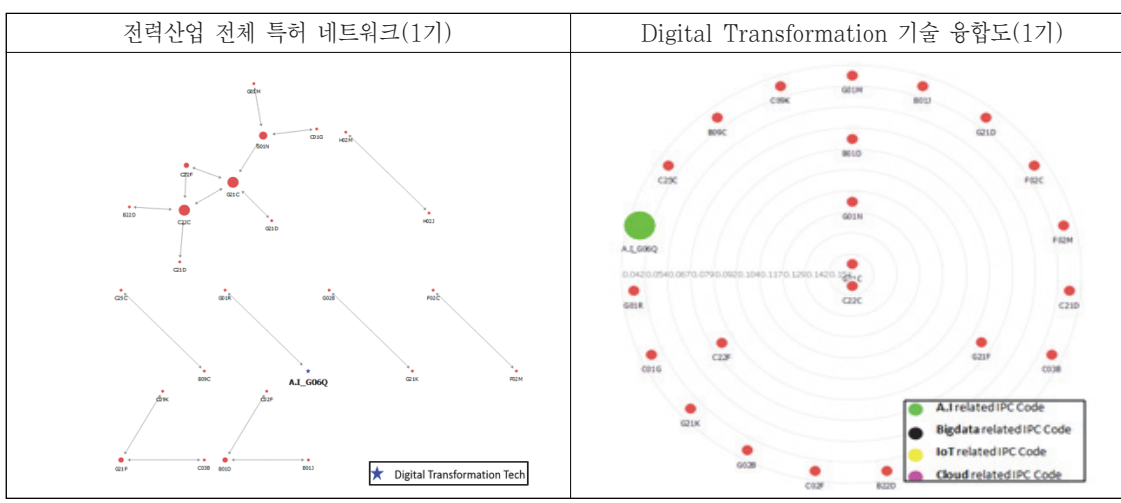
각각의 Digital Transformation 기술들은 연결중심성 및 매개중심성이 증가하는 경향을 보인다.

〈그림 8〉의 3기 네트워크에서 보면 Digital Transformation 기술들이 전력산업 네트워크에의 중심으로 역할이 증가하였고 연결중심성과 매개중심성이 1~3기 지나면서 증가하고, 핵심적인 역할을 한다고 판단되어진다.

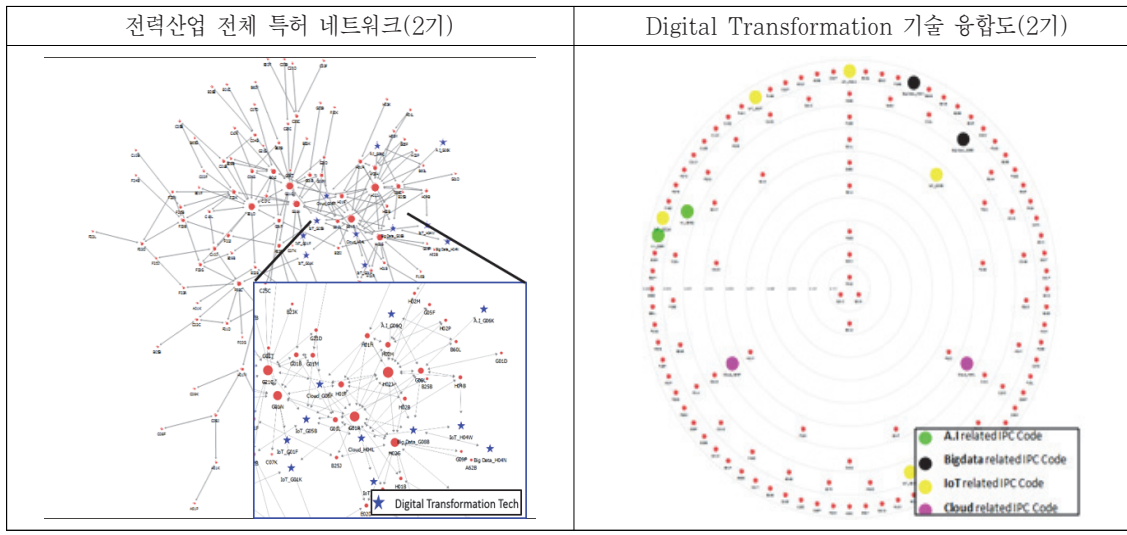
각각의 기술별로 영향력은 시간이 지남에 따라 증가하는 경향성을 보인다. 〈그림 9〉의 가장 최근의 3기의 매개중심성을 보면 IoT-AI-Bigdata-Cloud 순으로 네트워크 내 융합의 핵심적이 역할을 하는 것으로 판단되고, 이를 통하여 가설 1의 전력산업내 Digital Transformation 기술들의 영향력이 커진다는 가설을 채택한다.

4.4 전력-Digital Transformation 기술융합이 전력산업에 미치는 영향

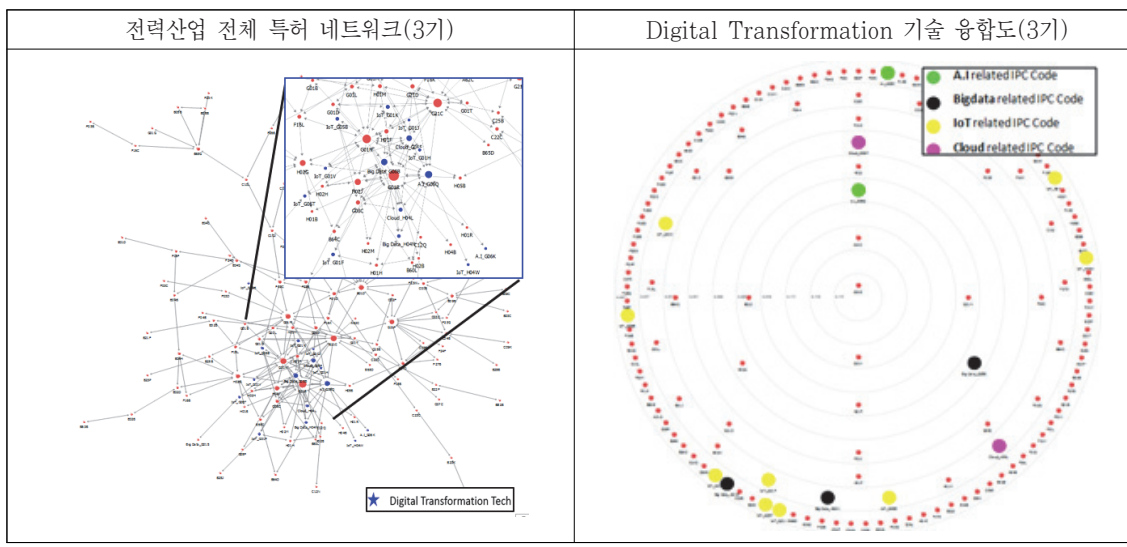
전력-Digital Transformation 기술간의 융합이



〈그림 6〉 전력산업 특허분류 1기 (1988-2004)



〈그림 7〉 전력산업 특허분류 2기 〔2005-2011〕

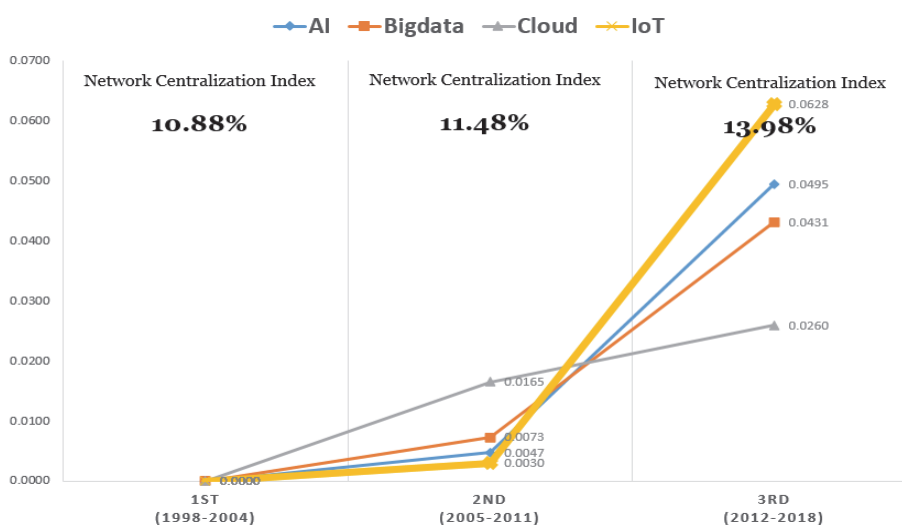


〈그림 8〉 전력산업 특허분류 3기 〔2012-2018〕

전력산업의 미치는 영향을 확인하기 위해 각 Digital Transformation 기술들의 degree centrality 값에 Log를 취하여 독립변수(x)로 놓고 전력손실률을 종속변수(y)로 설정하였다. 김민국 외(2014)에 의하면 전력손실률은 전력설비 운영 효율화 활동 평가 지표로서 2017년기준 한국 3.49, 일본 4.7, 프랑스 7.4의 값을 가진다. 또한, 이태정(2005)의 선행연구에 따라 유의미한 모델설계를 위하여 전력손실률 미치는 영향이 큰 전압의 크기를 1998-2004 (110V, 200V), 2005 ~ (220V,380V)와 같이

〈표 8〉 전력산업 기간 Centrality 분석결과

Periods	Technology	Averages of Degree centrality	Averages of Betweenness centrality	Network degree centralization index
1st (1998-2004)	AI	0.0187	0	10.88%
	Bigdata	0	0	
	IoT	0.0031	0	
	Cloud	0.0187	0	
2nd (2005-2011)	AI	0.0243	0.0047	11.48%
	Bigdata	0.027	0.0073	
	IoT	0.0215	0.003	
	Cloud	0.055	0.0165	
3rd (2012-2018)	AI	0.0394	0.0495	13.98%
	Bigdata	0.0323	0.0431	
	IoT	0.0332	0.0628	
	Cloud	0.0663	0.026	



〈그림 9〉 전력산업내 Digital Transformation 기술 매개중심성 변화추이

통제변수로 설정하였다. 이현준 외(2014)에 따르면 기술과 성과의 일반적으로 존재하는 시차는 1~3년으로 두고 연구를 수행한다. 결정계수가 가장 큰 3년을 시차를 두고 분석한 결과를 통계프로그램 R ver 3.4.1.을 활용하여 다중 회귀분석을 실시하였다.

결과값을 보면 아래 회귀분석 결과 우선 결정계수(Centered R^2) 0.8411, 조정된결정계수(R-Bar^2) 0.7616이고, 분석모델 전체적인 유의검정을 위하여 ANOVA 검정을 Significance Level of F 값의 유의수준이 0.000961로 전반적으로 모형은 유의미하

〈표 9〉 회귀분석 변수 설명

분야	Log X Average of Degree Centrality				Voltage 배전승압*		Loss 전력 손실률(%)
	A.I	Big Data	IoT	Cloud	1998-2004	2005-2017	
독립변수	○	○	○	○			
통제변수					Dummy (0)	Dummy (1)	
종속변수							○

〈표 10〉 다중회귀분석 DT Model 분석결과

Residuals	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.18866	-0.08101	0.001193	0.046695	0.266748
Coefficients		Estimate	Std.Error	t-value	Pr(>|t|)
	Intercept	4.02799	0.28636	14.066	0.000***
	AI	0.11317	0.05762	1.964	0.0779*
	BigData	-0.03456	0.04928	-0.701	0.4992
	IOT	-0.14083	0.06047	-2.329	0.0421**
	Cloud	-0.01625	0.05303	-0.306	0.7655
	Voltage	-0.37039	0.20236	-1.83	0.0971*
R-squared	0.8411		F-statistics	10.59	
Adjusted R-squared	0.7616		F-statistics P-value	0.000961	

게 설계되었고 볼 수 있다. 또한, 잔차들이 정규분포를 따르고, 선형성가정을 만족시키고, 등분산 가정을 만족시키는 것으로 알 수 있다. AI, BigData, IoT, Cloud의 4가지의 독립변수 중 p값이 0.05 이하의 유의수준에서 IoT가 유의미한 결과를 나타냈다. IoT는 유의수준 내에서 전력손실률과 음의 상관관계를 보인다. 이는 IoT 기술의 융합이 전력손실률을 떨어트림을 시사한다.

따라서 가설 2의 전력기술과 Digital Transformation 융합의 증가는 전력산업의 송배전손실률 감소에 긍정적 영향을 끼친다는 가설을 채택한다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 국제특허분류(IPC) 코드 기반의 특허 기술내용 분류를 통해 전력산업의 디지털 전환에 핵심적인 역할을 담당하는 기술들의 특허 네트워크 분석을 시도하였다.

전력산업은 기존에 성숙된 송전, 배전, 발전등과 같은 기술에서 4차 산업혁명 기술들과의 융합으로 디지털 전환이 이루어지고 있다. 관련 기술들의 매개중심성은 많게는 30배 가까이 증가하며 기술융합을 통해 혁신을 선도하고 있다. 가장 최근 3기의 경

〈표 11〉 Digital Transformation 기술 별 전력산업 주요융합 분야

분야	주요 융합 IPC Code	주요 융합분야
A.I	H02J	전력계통 Smart Grind, Micro Grid, 전력계통(송전, 배전),설비 디지털화 및 지능화,
	G01R	
Big Data	G01R	전력계통(송전, 배전),설비 디지털화 및 지능화, AMI등 원격검침 관련 소프트웨어
	G08C	
IoT	G01N	열화상 카메라 등 설비 모니터링, 전력계통(송전, 배전),설비 디지털화 및 지능화,
	G01R	
Cloud	G08C	AMI등 원격검침 관련 소프트웨어, 원자력발전 설비관리 시스템
	G21D	

향은 IoT-AI-Bigdata-Cloud 순으로 전력산업 내에서 핵심적인 중재자의 역할을 수행하고 있다.

이러한 기술들로 인한 전력산업의 Digital Transformation의 즉각적인 편익은 효율성 향상으로 이어져, IoT를 활용한 기술융합이 1%증가하면 전력손실률이 3년의 시차를 두고 0.14% 가량 감소하는 경향을 보인다고 판명되었다.

따라서, 전력 IoT분야 신산업 개척을 위한 인프라 구축 및 IoT기술이 전력시스템에 적용 시 필요한 표준정립등의 정책을 수립하여야 한다. 또한, 다른 4차 산업혁명 기술들과의 융복합을 통한 전력산업 Value chain의 Digital Transformation이 촉진되도록 IP역량을 집중할 필요가 있다. IoT 기술을 이용한 전력인프라가 보급 된다면 각 기기와 시스템의 유기적이고 즉각적인 소통을 통해 에너지의 효율적 사용과 시스템의 신뢰성이 보장될 것이다. 이를 위해 전력 기기와 시스템간의 상호 호환과 전사적인 유지관리 체계가 필요하다.

향후 연구에서는, 기업을 매출액이나 자산규모 순으로 배열하고 시장점유율을 각각의 %로 계산한 후 이들 점유율의 제곱을 모두 합산한 지수인 HHI (Herfindahl-Hirschman index)를 활용한 Digital Transformation Index를 만들어 동종·이종사업간, 국내외 비교분석을 수행할 계획이다.

REFERENCES

Berman, S. J., & Bell, R. (2011), Digital transformation: Creating new business models where digital meets physical. *IBM Institute for Business Value*, 1-17.

Curran, C. S. and Leker, J.(2011), Patent Indicators for Monitoring Convergence-Example from NFF and ICT, *Technological Forecasting and Social Change*, 78, 256-273.

Freeman, L. C. (1978), Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215-239.

Karvonen, M. and Kässi, T.(2011), Patent Analysis for Analysing Technological Convergence, foresight, 13(5), 34-50.

Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Muller, K. E., & Nizam, A. (1988), Applied regression analysis and other multivariable methods (Vol. 601). Belmont, CA: Duxbury Press.

WEF(The World Economic Forum)(2016), Digital Transformation of Industries Electricity Industry.

국내참고문헌

김대기, 이필우, 김재성(2014), 특허정보를 활용한 에너지 하베스팅 기술의 기술경쟁력 분석: 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국을 중심으로, **기술혁신학회지**, 17(1), 25-44.

김민국, 우동균, 이병국, 김남준, 김종수(2014), 전력 변환 장치 효율 개선을 위한 손실 분석 연구, **The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics**, 19(1), 83-84.

김민식, 손가녕(2017), 제 4 차 산업 혁명과 디지털 트랜스포메이션의 이해, **정보통신정책연구원 동향**, 29(3).

고성주, 이춘수(2017), 공공연구기관의 연구생산성 제고를 위한 사례연구 : 국내 E연구원을 중심으로, **Korea Business Review**, 21(4), 29-64.

구정호, 양지현(2017), 프로젝트 중심 학습(PBL)에서 의사소통능력. 문제해결능력, 자기주도학습능력이 회계학습에 미치는 영향, **Korea Business Review**, 21(4), 119-141.

이재윤(2006), 계량서지적 네트워크 분석을 위한 중심성 척도에 관한 연구. **한국문헌정보학회지**, 40(3), 191-214.

이태정(2007), 배전승압사업의 경제성 평가". **한국경제학보(구 연세경제연구)**, 14(1), 215-258.

이현준, 백철우, 이정동(2014), 기업 R&D 투자의 시차 효과 분석, **기술경영경제학회지, 기술혁신연구**, 22(1), 1-22.

이형민(2018), ITFIND, 디지털 트랜스포메이션의 혁신을 선도하고 있는 3가지 사례.

특허청(2008),『특허분류와 한국표준산업분류의 연계표 작성에 관한 연구』.

한국전력공사(2018), Digital KEPCO 전환 전략(안).

한국전력공사(2018), 유틸리티 디지털변환 추진사례 연구.

한국전력공사(2019), 핵심성과지표 개선방안.

A Study on Convergence Innovation Trends of Power-Digital Transformation Technology through IPC Network Analysis

Ji-joon Jung* · Deok-hee Lee**

Abstract

As the technology based on the Fourth Industrial Revolution is applied to the power industry, the digital transformation of the power industry is proceeding. The energy production - power generation, transmission, and distribution - customers are going through the entire value chain in the power industry. This study aims to establish a proper strategy by analyzing the trends of fusion and innovation of the core technologies of digital transformation within the power industry through a patent analysis of the Korea Electric Power Corporation (KEPCO) and its subsidiaries, which cover all fields of the Korean power industry due to its monopoly.

Through a literature review, we derived two research hypotheses on the effect of the power-digital transformation technology fusion.

This study analyzed 9,669 power industry patents over 20 years from 1998 to 2018 and examined the influence of the core technologies of digital transformation (AI, Big data, IoT, Cloud) through the network analysis method. It then investigated the effects on the power industry through multiple regression analysis.

The results of this study are as follows. First, there was high betweenness centrality leading convergence in the power industry regarding Big data, AI, Cloud, and IoT, in this order. Second, through regression analysis with power loss rate, which is determined to evaluate power plant operation efficiency activities, we found that connectivity of IoT technology has a significant negative correlation with power efficiency.

This study will enable the establishment of appropriate policy directions for the future power industry and a comparative analysis of the degree of homogeneity and heterogeneity by creating a digital transformation index.

Key Words: Digital Transformation, International Patent Classification (IPC), Power Industry, Network Analysis

* KAIST Graduate School of Technology Management, Master's Course(Jungjijoon@kaist.ac.kr), KEPCO Research Institute
** Professor, KAIST Graduate School of Technology Management(dhlnexys@kaist.ac.kr), Corresponding Author