

기계 기술 정책

| 제2권 제2호(2023) |

TECHNOLOGY POLICY
MECHANICAL ENGINEERING

| 논문 |

- 01 1 kW 주택용 SOFC 에너지비용 절감효과 연구
- 02 토픽모델링과 의미연결망분석을 통한 기계분야
특허 기술이전 동향 분석
- 03 로봇틱스(robotics) 4.0과 로봇 산업 발전 방안
의미, 양상 및 발전과제

기계 기술 정책

CONTENTS | 목차

제2권 제2호(2023)

| 논문 |

- 1 kW 주택용 SOFC 에너지비용 절감효과 연구 1
박현석, 이민규
- 토크모델링과 의미연결망분석을 통한 기계분야
특허 기술이전 동향 분석 41
곽송비, 김건
- 로봇틱스(robotics) 4.0과 로봇 산업 발전 방안 71
의미, 양상 및 발전과제
이창규

1 kW 주택용 SOFC 에너지비용 절감효과 연구

박현석

기술경영학박사, 가스기술사, (주)부산도시가스 부장

이민규

부경대학교 기술경영전문대학원 부교수

TECHNOLOGY POLICY
MECHANICAL ENGINEERING

1 kW 주택용 SOFC 에너지비용 절감효과 연구

박현석*, 이민규**

- 초 록 -

최근 수소경제(Hydrogen Economy)의 새로운 혁신으로 1 kW 주택용 연료전지가 보급되고 있다. 보급된 PEMFC는 낮은 경제성 등으로 인하여 정상 가동률이 10 % 수준이다. 본 연구는 최근에 개발·보급되는 1 kW 주택용 SOFC의 에너지비용 절감효과에 관한 연구이다. SOFC는 PEMFC에 비하여 전기 생산효율이 높고 온수 회수율이 낮다. 연료전지를 최대용량(1 kW)으로 운전할 경우, PEMFC는 700 kW 이상 주택에서 절감효과가 나타났으나, SOFC는 100 kW 주택에서도 76.09 %의 에너지비용 절감효과를 보였다. 또한, SOFC는 적절한 용량으로 조정하여 운전하는 경우보다 최대용량(1 kW)으로 운전하는 경우가 에너지비용 절감효과가 더욱 크게 나타났다. 또 연료로 공급되는 도시가스의 요금이 인하될 경우, 상대적으로 전력 소비량이 작은 주택에서 에너지비용 절감효과가 더욱 크게 나타났다. 본 연구의 결과가 분산형·참여형 에너지시스템인 주택용 연료전지의 보급에 이바지되길 기대한다.

주 제 어 1 kW 주택용 연료전지, 고체 산화물 연료전지(SOFC), 수소경제, 에너지비용 절감, 시뮬레이션

논문접수일 2023년 5월 8일 수정논문 제출일 2023년 6월 8일 게재확정일 2023년 12월 2일

* 기술경영학박사, 가스기술사, (주)부산도시가스 부장, email: rosebayjj@naver.com

** 교신저자, 부경대학교 기술경영전문대학원 부교수, minkyu@pknu.ac.kr

I. 서론

최근 수소경제(Hydrogen Economy)가 새로운 에너지 패러다임으로 인식되면서 혁신성장의 핵심 분야로 주목받고 있으며, 우리 정부도 2019년에 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표하면서 ‘수소차’와 ‘연료전지(Fuel Cell)’를 양대 축으로 생산과 저장·운송 및 전주기 안전관리 체계 확립 등 수소 산업생태계 구축에 강력한 의지를 표명하였다. 그중에서 수소경제의 핵심적인 기술인 연료전지는 2040년을 목표로 발전용 연료전지 15 GW, 주택¹⁾/건물용 연료전지 2.1 GW까지 확대 보급할 계획이다(산업통상자원부, 2019a). 이에 정부의 확고한 의지로 견인된 2022년의 수소차·연료전지·충전소 보급실적을 보면, 수소경제 활성화 로드맵에서 제시한 목표에는 미달이지만 세계 최고의 수준을 나타내고 있으며, 차세대 연료전지 국제표준화 전략 「연료전지 기술위원회 (IEC/TC 105)」회의(2022년 10월 20일)를 우리나라에서 개최하는 등 큰 성과를 나타내고 있다(산업통상자원부, 2022c). <표 1>에 산업통상자원부에서 발표한 2022년 국가별 수소차·연료전지 등 보급실적을 나타내었다.

<표 1> 국가별 수소차·연료전지 등 보급실적 ('22.8월 기준)

구분	한국	미국	일본	독일
수소차(대)	25,570	14,114	7,344	1,145
연료전지(MW)	837	527	422	-
수소충전소(개소)	150	83	160	102

※ 자료 출처

수소차: (국내) 국토교통부 통계누리 / (美, 日, 獨) Marklines('22.7월)

연료전지: (국내) 한국에너지공단 / (美) 에너지부 PNNL('21.9월) / (日) IPHE('22.5월)

수소충전소: (국내) 한국가스안전공사 / (美) AFDC / (日) NEV / (獨) H2LIVE

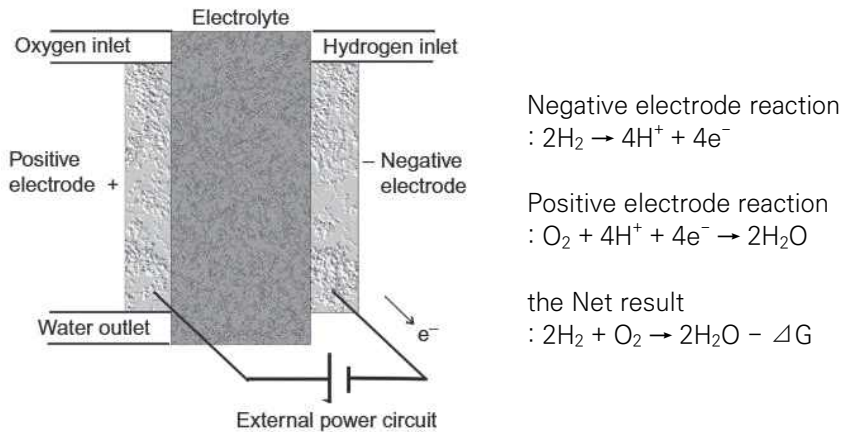
* 자료: 산업통상자원부, 2022b

연료전지는 전기 화학적인 발전장치의 일종으로 물의 전기분해와 반대되는 원리를 적용하여 수소와 산소를 전기 화학적으로 반응시켜 전기와 열을 생산하는 수소 이용의 대표적인 기술로, 대형 분산 발전기, 주택/건물용 열병합 발전기, 수송용 동력 발전기 등으로 활용된다(박현석, 2022). 이런 연료전지는 1839년 영국의 William R. Grove가 발전실험에 성공하여

1) 주택용 연료전지(Residential Fuel Cell)는 가정용 연료전지 및 Home Fuel Cell 또는 Household Fuel Cell 등으로 용어로 사용된다. 본 연구에서는 주택용 연료전지(Residential Fuel Cell)로 통일하여 사용한다.

“Philosophical Magazine and Journal of Science”에 “On a gaseous voltaic battery”로 발표한 것을 시초로 간주한다(Grove, W. R., 1842). 연료전지의 원리는 스택에서 수소(H₂)가 수소이온(H⁺)과 전자(2e⁻)로 분리된 후, 산소(O₂)와 전기화학 반응을 일으켜서 전기를 발생시키며 부산물로 물이 나온다(Sorensen, B., Spazzafumo, G., 2018). [그림 1]에 수소-산소 연료전지의 개략도를 나타내었다.

[그림 1] 수소-산소 연료전지의 개략도



* 자료: Bent Sorensen, Giuseppe Spazzafumo, 2018

연료전지의 종류는 전해질의 종류에 따라 “고분자 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)”, “인산형 연료전지(PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cell)”, “용융탄산염 연료전지(MCFC, Molten Carbonates Fuel Cell)”, “고체 산화물 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)”, “알칼리 연료전지(AFC, Alkaline Fuel Cell)”로 구분하며 종류에 따른 특성은 <표 2>와 같다(Anahara, R. et al., 1993).

<표 2> 연료전지의 종류

종류/특징	고온형 연료전지		저온형 연료전지		
	용융탄산염 연료전지 (MCFC)	고체산화물 연료전지 (SOFC)	인산염 연료전지 (PAFC)	알칼리 연료전지 (AFC)	고분자 연료전지 (PEMFC)
작동온도	550~700 °C	500~1000 °C	150~250 °C	0~230 °C	50~100 °C
주 촉매	니켈/니켈산화물	페로브스카이트/cermet	백금	니켈/은	백금

종류/특징	고온형 연료전지		저온형 연료전지		
	용융탄산염 연료전지 (MCFC)	고체산화물 연료전지 (SOFC)	인산염 연료전지 (PAFC)	알칼리 연료전지 (AFC)	고분자 연료전지 (PEMFC)
구분	용융탄산염 연료전지 (MCFC)	고체산화물 연료전지 (SOFC)	인산염 연료전지 (PAFC)	알칼리 연료전지 (AFC)	고분자 연료전지 (PEMFC)
전해질	Li/K 용융탄산염	YSZ GDC	H ₃ PO ₄	KOH	이온교환막
전해질 상태	LiAlO ₂ matrix 에 고정	고상(ceramic)	SiC matrix 에 고정	matrix 고정/ 유동 액상	고상 (고분자막)
전하전달 이온	CO ₃ ²⁻	O ₂ ⁻	H ⁺	OH ⁻	H ⁺
가능한 연료	H ₂ , CO (천연, 석탄가스)	H ₂ , CO (천연, 석탄가스)	H ₂ , CO (메탄올, 석탄가스)	H ₂	H ₂ (메탄올, 석탄가스)
외부개질기 의 필요	×	×	○	○	○
출력 밀도 (mW/cm ²)	100-300	250-350	150-300	150-400	300-1,200
스택 크기 (kW)	300-3000	1-2000	100-400	10-100	1-100
효율 (%LHV)	45~55	40~60	40~45	60-70	40-60
주용도	발전용	발전용, 수송용 보조전원	발전용 건물용	우주용	수송용, 주택/건물용, 휴대용
특징	고효율 발전 높음, 내부개질 가능 열병합 가능	고효율 발전 높음, 내부개질 가능 복합발전 가능	CO 내구성 큼, 열병합 가능	CO ₂ 에 민감, 제거장치 필수	저온작동 고출력밀도

* 자료: 산업통상자원부, 한국에너지공단, 2020

연료전지의 특징으로는 열병합 발전 시 종합 효율이 80~95 %에 이르는 고효율 발전기이며, 그린수소를 사용하게 되면 CO₂, NO_x, SO_x 배출이 전혀 없는 무공해 에너지시스템이지만, 현재 주로 사용되는 천연가스를 사용하는 연료전지와 화력 발전소의 비교에도 NO_x, SO_x의 배출은 매우 적고 소음도 절반 수준인 친환경 발전기이다. 또한, 연료전지는 모듈 형태로 제작할 수 있으므로 발전 규모의 조절이 쉽고 설치 장소의 제약이 적으므로 확장성이 크다는 장점이 있다. 그러므로 유해가스 배출과 소음이 적은 환경성과 고효율성, 설치 장소의 제약이 적은 확장성으로 인해 에너지 다소비처에 직접 설치로, 대규모 중앙집중식 전력공급 시스템 구축을 위한 송배전망 건설에 따른 사회적 갈등 비용을 감소시키며, 송배전망의 효율감소를 최소화하는 분산

전원으로서 인정받고 있다(산업통상자원부, 2019b; 산업통상자원부, 2021a).²⁾ 또한, 연료전지는 이용률(발전용량 대비 전력생산량)이 98.02 %로 태양광, 풍력발전 등 순수 재생에너지의 약점인 간헐성을 보완할 수 있다(임희천, 2019).

이와 같은 특징으로 세계 연료전지 시장규모는 2020년 기준으로 26억 2천만 달러로 크게 성장하였으며 2028년에는 289억 5천만 달러로, 연평균 36%의 성장률(CAGR, compound annual growth rate)이 예상되며, 정부 주도의 보급지원 정책을 추진하는 한국, 미국, 일본을 중심으로 발전용, 주택/건물용, 수송용에서 초기 시장이 형성될 것으로 보여진다(서울시 녹색산업지원센터, 2022).

글로벌 연료전지 산업 현황을 보면, 미국은 데이터 센터, 상업시설에서 불안정한 그리드 전력 대신 상시전원으로 활용하기 위해 수 MW급 분산형 전원으로 보급되고 있으며, 일본은 주택/건물용 등 소규모 설비 위주로 보급되고 있다. 중국은 청정 열병합 발전의 확대에 열병합 발전원 보급 위주로, 유럽은 우크라이나 사태에 따른 PNG 가격 폭등으로 LNG 기반의 열병합 발전 수요를 증가시키고 있다. 호주는 재생에너지의 간헐성 보완 및 청정수소 활용을 위한 연료전지 발전 확대를 추진 중이며, 중동은 사우디의 'Neom' 등에서 청정수소 발전원으로 도입을 추진하고 있다(산업통상자원부, 2023).

보급된 연료전지의 종류로는 발전용으로 PAFC, SOFC, MCFC, 주택/건물용으로 PEMFC, SOFC, 수송용으로 PEMFC가 시장 확대를 주도하고 있으며, 연료전지 시스템 가격 저감, 수명 및 효율 향상에 관한 연구 개발은 꾸준히 진행되고 있다(산업통상자원부, 한국에너지공단, 2020).

한편 주택용 연료전지는 에너지 소비처인 주택에 직접 설치되어 전기와 열을 생산하여 소비하는 독립형 Mini-CHP(Combined Heat & Power plant)이므로, 대규모 중앙집중식 전력 공급 시스템과 달리 송전 손실이 없고, 수요자 패턴에 따른 열 보유 등의 낭비가 없어 이론적 효율이 100%에 가깝다(BAFA, 2019). 또한 Takuya Aoki, Yoshiyuki Shimoda, (2021)는 화력발전소 대체에너지로서의 가정용 연료전지 평가 연구에서 가정용 연료전지를 24시간 고효율로 전기를 생산하면 중앙집중식 전력 공급 시스템(플랜트)을 대체하는 기저부하 전원으로도 사용할 수 있음을 나타내었다.

2) "분산형 전원"이란 전력수요의 지역 인근에 설치하여 송전선로의 건설을 최소화할 수 있는 40 MW 이하의 모든 발전설비 또는 500 MW 이하의 집단에너지, 구역전기, 자가용 발전설비를 말한다.(전기사업법제2조제21호)

주택/건물용 등 소규모 연료전지 설비 위주로 보급을 진행하는 일본은 2011년 동일본 대지진 이후 연료전지를 중심으로 한 분산발전시스템 도입 등에 초점을 두기 시작하면서 주택용 연료전지 시장의 성장을 촉진하여, 1 kW급 소형 분산 열병합 연료전지 시스템인 ‘ENE-FARM’의 지속적인 연구 개발, 대규모 실증 및 보급 등을 통하여 제품의 고효율화, 장수명화, 저가화를 진행하였으며, 2018년 7월 기준 25만 대를 보급하였다(Fuki Keizai Group, 2018).

국내에서도 주택용 연료전지로 1 kW PEMFC를 2009년부터 “그린홈 100만 호 보급사업”으로 매년 설치비 기준단가 대비 70 %까지 보조금을 지원하여 2022년까지 2,876곳에 설치하였다(한국에너지공단, 2023). 그러나 주택용 연료전지 설치 세대 중 이미 소비자가 유지관리비용, 사용 불편, 경제성 문제 등을 이유로 철거됐거나 가동을 멈춘 곳이 전체 64.4 % 수준인 것으로 조사되었다. 이렇게 가동이 멈춘 주요 이유로는 정부가 지원금을 통해 보급에만 신경 쓸 뿐 설치한 세대의 운영현황 관리가 부재했다는 것도 있지만, 연료전지 스택 교체 등 유지관리비가 많이 들고, 한전으로부터 전기를 받는 것보다 경제성이 낮은 것과 하절기에 전기와 동시에 생산되는 온수의 사용처가 없다는 것 등을 조사내용에서 제시하고 있다(가스신문, 2019a).

또한, 선행연구에서도 1 kW 주택용 연료전지가 전기부문에서 경쟁력을 갖추려면 전기사용량이 0.6~0.7 kWh 이상 사용하는 50 평 이상의 주택이 대상이 되어야 한다는 것과 주택용 연료전지가 보급 확대되고, 제대로 가동되기 위해서는 전문가의 인터뷰를 통해 중형평수가 많은 국내 주택 보급실정에 맞게 0.7 kW 이하의 제품을 개발하고, 온수 문제의 해결을 위해 전기 생산효율이 높은 SOFC 개발이 필요하다고 제시하고 있다.

기존의 선행연구에서는 대부분이 1 kW 주택용 연료전지의 모델을 PEMFC를 대상으로 연구하였으며, 발전효율이 PEMFC보다 좋은 SOFC의 개발을 제시하였다. 선행연구 당시 해외에는 PEMFC 및 SOFC가 개발되어 활발히 보급되고 있었으나 국내에는 PEMFC는 개발되어 원활히 보급되고 있었으나, SOFC는 아직 개발되지 않아서 최근까지 PEMFC 중심으로 정부의 보급 정책이 추진되었다. 따라서 PEMFC에 관한 자료 및 효과검증 등의 선행연구는 다수 있으나 SOFC는 개발 전이므로 효과검증 등 연구하기가 어려웠다. 하지만 최근에 주택용 SOFC의 기술 개발이 급속히 진행되어 다양한 제품이 출시 및 실증단계에 있다. <표 3>에 국내 출시 및 실증단계의 주택용 연료전지 제품을 나타내었다.

〈표 3〉 국내 주택용 연료전지 제품

제조사	에스퓨얼셀	두산퓨얼셀	경동나비엔	미코파워	STX에너지솔루션	에이치엔 파워
사진						
정격출력 (kW)	1	1	0.7	2	1	3
유형	PEMFC	PEMFC	SOFC	SOFC	SOFC	SOFC
발전/열효율 (%LHV)	35/50	35/52	45/	47/	51/	50/

* 자료: 산업통상자원부, 한국에너지공단, 2020

따라서, 수소경제의 핵심기술인 연료전지 중 주택용 연료전지는 낮은 송전 손실 및 열 보유 등의 이점과 중앙집중식 전력 공급 시스템을 대체하는 기저부하 전원 사용 가능성 등으로 수소경제 추진과 관련하여 많은 연구가 필요하며, 특히 국내에서는 SOFC의 미개발 상황에서 PEMFC가 주택용 연료전지 보급에 대부분을 차지하며, PEMFC는 0.6~0.7 kWh 이상 사용하는 50평 이상의 주택에서 경제성이 나타나므로 일반적인 주택에 보급되기는 어려웠으므로 최근에 개발된 1 kW 주택용 SOFC에 대한 에너지 절감 효과에 대한 연구는 수소경제 활성화를 위한 중요한 연구가 될 것이다.

이에 본 연구에서는 월 평균 전력사용량별 10개의 주택으로 구분된 계절별 일일 평균 시간대별 에너지 사용량 Data를 활용하여 주택의 에너지 흐름을 모델링 한 EXCEL 프로그램으로 시뮬레이션하여, 최근에 개발, 보급되는 1 kW 주택용 SOFC를 적용할 경우 에너지비용 절감효과에 관해 연구하고, 그 결과를 PEMFC의 에너지비용 절감효과와 비교한다. 또한, 연구의 과정에서 2016년 12월부터 적용된 주택용 전기요금 3단계 누진제 적용하고, 2016년부터 시행 중인 주택용 신·재생에너지 발전전력 상계거래를 적용하며, 2019년부터 시행 중인 도시가스 연료전지

전용 요금제 및 전국 지역별 평균 요금을 적용하여 현실성 있는 자료를 바탕으로 에너지비용 절감 효과를 산출한다. 추가 연구로 지난 2022년 1년 동안 국제 LNG 가격의 인상으로 연료전지용 전국 도시가스 평균요금이 32.80% 인상된 것을 감안하여, 연료전지용 도시가스요금과 비교하여 74.34% 수준인 주택용 도시가스요금을 적용하였을 경우 에너지비용 절감 효율과 동일기간 전기요금 인상분을 감안하여 인상 전과 후의 연간 에너지비용 차이에 관하여도 비교 연구한다.

주택용 연료전지의 투자 대비 경제성 분석 측면에서는 고정비, 유지보수비, 내구성 등 종합적인 고려가 필요하지만, 주택용 연료전지가 초기 시장을 형성하고 있으며, 특히 최근에 SOFC가 개발된 상황임을 감안하여 본 연구에서는 운영 측면에서 연간 에너지비용 절감에 관해 연구한다.

이를 위해 본 연구는 2장에서 1 kW 주택용 연료전지(PEMFC) 보급의 에너지 절감효과와 주택의 에너지 부하에 따른 운전방법 및 경제성 등에 관한 선행연구를 살펴보고, 주택용 연료전지의 보급 후 가동현황에 관한 조사내용과 주택의 에너지비용과 관련한 도시가스요금제도, 전기요금제도 및 연료전지 기술발전 등 주택용 연료전지와 관련된 제도와 정책 등을 살펴본다. 3장에서는 본 연구의 차별성을 나타내고, 전력사용량이 다른 10개의 주택 선정 등 연구의 기초 Data 선정 내용을 나타내며, 전력사용량에 따른 주택에서의 연간 에너지비용 산출 시뮬레이션 모형을 표현한다. 4장에서 1 kW 주택용 SOFC의 에너지 절감효과를 시뮬레이션 분석결과로 제시하고, 5장에서 분석결과에 따른 시사점과 연구 결론 및 한계 등을 제시한다.

II. 선행연구 및 제도·정책 연구

1. 선행연구

1 kW 주택용 연료전지 보급사업과 관련한 선행연구로는 김기영 등(2007)은 월 평균 371 kWh 전력과 1,340 kWh 난방부하를 나타내는 아파트를 기준으로 1 kW 주택용 PEMFC의 보급 시 계절별 최적화된 운전 모드 및 운전비용의 절감액을 선형 관계식으로 나타내었다. 봄/가을과 겨울의 경우 PEMFC의 가동 부하는 최소부하로 가정한 50%로 24시간 운전하는 것이 최적 운전 모드이며, 여름에는 난방 부하가 거의 없으므로 4시간 이하 운전을 제시하였다. 또한 운전비용 절감은 운전 모드에 상관없이 20% 이상 감소되어 연간 500천 원의 절감효과가 나타나는 것으로 연구하였다.

류승현, 김수덕(2011)은 주택용 연료전지 운전방법을 전기부하 추종방식과 열부하 추종방식 및 복합추종방식으로 구분하여 경제성면에서 최적 운전방안을 제시코자 서울의 난방면적 100 m²인 아파트의 시간대별 전기와 열부하를 산출한 후 1 kW 주택용 PEMFC 기준으로 시간대별 부하에 대한 운전효과를 시뮬레이션하였다. 주택용 연료전지가 복합추종방식으로 운전될 경우 연간 약 110만 원의 변동비가 발생하며, 연간 평균이용률은 61.6 %로 추정, B/C ratio의 결과는 0.44로 경제성이 없는 것으로 나타내었다. 주택용 연료전지 시스템이 경제성을 확보하기 위한 가격조건으로 2010년 당시 국내 주택용 연료전지 시스템의 가격인 6,000만 원에서 약 55 % 이상 가격하락이 필요하다고 제시하였다.

박대흠 등(2012)은 주택용 연료전지를 사용함에 있어 누진세가 적용되는 전기요금을 도시가스를 이용하여 전기요금이 절감되는 운전방법을 찾고자 하여, 35평 아파트를 기준으로 1 kW 주택용 PEMFC의 부하추종운전, DSS(Daily Start & Stop)운전, Base 부하운전³⁾ 방법에 따른 도시가스 및 전력요금을 시뮬레이션하였다. 운전방법 중 DSS 운전방법으로 0.4 kW로 13시간 연속 운전하는 경우가 에너지 요금 절감효과가 가장 큰 것으로 나타내었으며, 주택용 연료전지 시스템에 적용되고 있는 1 kW PEMFC는 요금 절감효과가 미비하고 시스템 가격상승으로 인한 부담이 큰 것으로 나타내었다. 그러므로 주택용 연료전지의 가격경쟁력 확보를 통한 확대 보급을 위해서는 연료전지의 정격출력 용량을 1 kW에서 0.4~0.6 kW 정도로 낮추어 시스템의 가격을 저감 할 필요가 있다고 제시하였다.

오석범(2013)은 전력사용량이 다른 10개 주택의 계절별 일일 에너지사용 패턴(평균 전력량 100 kWh, 150 kWh, 252 kWh, 377 kWh, 500 kWh, 700 kWh, 900 kWh, 1,000 kWh, 1,200 kWh, 1,357 kWh)을 선정하고, 주택의 전력사용량에 따른 최적 운전 모형을 이용한 1 kW 주택용 PEMFC의 경제성을 평가하였으며, 36평(119 m², 377 kWh)이하의 주택은 투자효과가 없으며, 월평균 500 kWh 이상 주택이 주택용 연료전지를 도입할 수 있는 최소 기준임을 나타내었다. 또한, 주택용 연료전지 보급확대를 위해서는 전기요금 변동률이 가스요금 변동률 보다 FC 투자 경제성에 영향이 더 많으므로 전기요금의 고려가 필요하고, 1 kW급 이하의 초소형 FC 기술개발로 초기 투자비용 절감의 필요성을 제시하였다. <표 4>는 주택용 연료전지의 경제적 효과 분석 관련 선행연구를 요약하여 표현하였다.

3) 부하추종운전은 연료전지가 소비전력 부하에 추종하게 설정한 운전방법이고, DSS 운전은 연료전지의 운전시작 시간, 운전지속 시간을 지정한 운전방법이며, Base 부하운전은 연료전지의 출력을 Base로 한 운전방법이다.

〈표 4〉 주택용 연료전지 경제적 효과 분석 선행연구 요약

구 분	연구대상	연구방법	연구결과
김기영 등 (2007)	1 kW 주택용 PEMFC 월 평균 371 kWh 전력과 1,340 kWh 난방 부하 아파트 기준	선형 관계식	<ul style="list-style-type: none"> 최적 운전모드 - 봄/가을, 겨울: 24시간 운전, 여름: 4시간 이하 운전 운전비용 절감은 20 % 이상 감소, 연간 500천 원의 절감효과
류승현, 김수덕 (2011)	1 kW 주택용 PEMFC 난방면적 100 m ² 아파트 기준	시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> B/C ratio 0.44, 경제성 없음 약 55 % 이상 제품가격 하락 필요
박대흠 등 (2012)	1 kW 주택용 PEMFC 35평 아파트 기준	시뮬레이션	<ul style="list-style-type: none"> 요금절감효과 미비 최적 운전모드 - 0.4 kW, 13시간 DDS 연속 운전 FC 정격출력 용량을 0.4~0.6 kW로 낮추어 시스템 가격 저감 필요
오석범 (2013)	1 kW 주택용 PEMFC 전력사용량이 다른 10개 주택	Matlab 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 36평(119 m², 377 kWh)이하 주택 투자효과 없음 월평균 500 kWh 이상 주택이 주택용 연료전지 도입 최소 기준 전기요금 변동률이 가스요금 변동률보다 투자 경제성 민감도 큼 1 kW급 이하 초소형 FC 기술개발로 초기 투자비용 절감 필요

한편, 정부의 “그림홈 100만 호 보급사업”으로 인해 보급된 1 kW 주택용 연료전지(PEMFC)의 운영실태 조사의 결과도 여러 매체를 통해 발표되고 있다.

가스신문(2019b)은 정부가 2010년부터 주택용 연료전지 보급확대를 위해 1 kW 1대당 2,339만 원~4,800만 원의 보조금을 지원하여, 2019년 말 전국에 2,761대 보급되었으나, 스택 교체 등 소비자의 유지관리비용 문제와 연료전지 가동 시 생산되는 온수를 재활용하지 못하고 버려지고 있어 소비자의 불편을 증가시키는 문제 및 연료전지가 한전으로부터 전기를 받는 것보다 오히려 경제성이 떨어지는 경제성 저하문제 등으로 철거했거나 가동을 멈춘 곳이 전체 64.4 % 수준이라고 밝혔다. 또한 전문가의 인터뷰를 통해 주택용 연료전지를 상시 가동 시 발생하는 잉여전기를 전기요금 상계처리가 가능토록 하는 제도적 보완이 필요하며, 1 kW 주택용 연료전지가 전기부문에서 경쟁력을 갖추려면 전기사용량이 0.6~0.7 kWh 이상 사용하는 50평 이상의 주택이 되어야 하므로 국내 주택 보급실정에 맞게 20~30평형의 주택에서 경제성이 나오도록

0.7 kW 이하의 제품개발과 전기 생산효율이 높으며 온수 회수율이 낮은 SOFC의 개발이 필요하다고 제시하였다.

전기신문(2022)은 전국 건물용 연료전지의 89.4 %가 ‘1개월 이상’ 가동이 중단되어 있으며, 전기요금보다 비싼 가스요금으로 인해 상시 가동에 어려움을 겪고 있다고 발표하며, 청정건축물 연료전지협회가 발표한 1 kW급 연료전지는 200 kWh 이하 구간에서는 경제성이 없지만, 400 kWh 초과 구간에서는 경제성이 있는 것으로 인용하였다.

KBS 9시 뉴스보도(2021)는 주택/건물용 연료전지 운영실태와 관련하여 정부 예산으로 투입된 수소연료전지 발전기 상당수가 방치되어 있으며, 현장에서는 효율이 떨어져 가동을 기피하고 있으며, 지난 5년 간 약 700억원의 정부지원에도 민간과 공공건물 660여 곳 중 한 달 이상 가동하지 않는 곳이 72%이며, 이 가운데 34%는 지난해 가동 실적이 없는 것으로 확인되었다고 보도하였으며, 2022년에도 정부에서 건물용 연료전지 보급을 위하여 천억원을 지원했는데 59 % 방치되고 있으며 정상 가동되는 연료전지는 10 % 수준이라는 보도를 하였다. 이에 산업통자원부(2021b)는 산업부가 신재생에너지 보급지원사업(지난 5년간 782억 원 지원, 민간보조 70 %)으로 설치지원 중인 연료전지는 현재 KS 인증을 받은 연료전지만 보급하고 있으며, 그 인증기준은 발전효율 30 % 이상, 열을 포함한 종합 효율 75 % 이상에 부합해야 하므로 효율이 떨어져서 가동을 기피한다는 것은 사실과 다르며, 가동률과 관련하여, 신재생법령에 따라 조사한 가동률은 80.5%이며, 건물용만 계산할 경우 66.2% 수준이라고 하였으며, 이듬해 2022년의 보도자료에 대해서는 건물용 연료전지는 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’에 따라 신에너지로 분류하여 보급확대 및 보조금을 지원하고 있으며, 연료전지용 도시가스 요금에 비해 상대적으로 낮은 전기료 등으로 최근 미가동률이 높은 상황이므로, 실태조사 및 개선방안을 마련하여 연료전지 활성화를 위한 제도개선 및 경제성 제고 방안을 검토할 계획이라고 발표하였다. <표 5>는 주택/건물용 연료전지 운영실태 관련 보도내용 등을 요약한 내용이다.

<표 5> 주택/건물용 연료전지 운영실태 관련 보도자료 요약

구분	운영실태	문제점	해결방안 제시
가스신문 (2019b)	<ul style="list-style-type: none"> 주택용 연료전지 2,761대 보급(2019) 되었으나, 철거했거나 가동을 멈춘 곳이 전체 64.4 % 수준 	<ul style="list-style-type: none"> 스택교체 등 소비자의 유지관리비용 문제 생산되는 온수 미활용 경제성 저하문제 	<ul style="list-style-type: none"> [전문가 인터뷰 결과] 잉여전기 상계처리 0.7 kW 이하 제품개발 전기 생산효율 높고 온수 회수율 낮은 SOFC 개발

구분	운영실태	문제점	해결방안 제시
전기신문 (2022)	• 건물용 연료전지의 89.4 %가 '1개월 이상' 가동이 중단	• 전기요금보다 비싼 가스요금으로 상시 가동 어려움	-
KBS 9시 뉴스보도 (2021)	• 주택/건물용 연료전지 "70% 가동 중단"	• 효율 떨어져 가동 기피	-
KBS 9시 뉴스보도 (2022)	• 건물용 연료전지 59 % 방치, 정상 가동 10 % 수준	-	-
산업통자원부 (2021b)	• 신재생법령에 따른 가동률 80.5%, 건물용만 계산할 경우 66.2% 수준	-	-
산업통자원부 (2022a)	-	• 연료전지용 도시가스 요금에 비해 상대적으로 낮은 전기료 등으로 최근 미가동률이 높은 상황	• 실태조사 및 개선방안 마련 • 연료전지 활성화를 위한 제도개선 및 경제성 제고 방안 검토 계획

SOFC 관련 해외의 선행연구를 보면, Takuya Aoki, Yoshiyuki Shimoda(2021)는 시물레이션(TREES)모델을 적용하여 일본에서 주택용 SOFC 연료전지의 발전과 석탄화력발전소 발전의 효과를 비교하였으며, 연료전지 도입효과는 에너지 절감률 14~60 %, CO₂ 절감률은 3.0 ~ 3.6 tCO₂/년이며, 현재의 연료전지 발전비용은 31 엔/kWh로서 석탄화력발전 비용보다 높은 것으로 나타났으나, CO₂ 배출비용 및 연료전지 기기가격 저감을 고려하여 미래 발전비용 잠재력의 비교에서는 주택용 연료전지 발전비용이 석탄화력발전 비용에 비해 상대적으로 약 4 엔/kWh 낮게 나타났다.

또한 발전용 연료전지의 연구에서 Tan, L. J. et al.(2016)는 PEMFC와 SOFC의 전기효율 면에서 비교하여, PEMFC는 37.2 %, SOFC는 43 %를 나타내었으며, Wang, X. et al.(2023)은 해양연료전지의 현황과 고찰에서 SOFC의 효율을 50~65 %, PEMFC는 40~50 %로 나타내며, 현재 해양 연료전지의 연구는 PEMFC에 초점을 맞추고 있지만, 향후에는 출력이 높고 연료 다양성 등 장점이 많은 SOFC의 연구가 주류를 이룰 것으로 전망하였다.

2. 제도 및 정책 연구

최근 에너지수급 불안과 자원고갈 문제의 해결방안으로 전 세계가 수소 에너지에 주목하고 있으며, 수소경제로의 패러다임 전환을 위해 수소연료전지 원천기술개발과 보급확대에 집중하고 있다. 국내 연료전지 산업도 원천기술을 보유한 국내, 해외 기업과의 제휴·합병을 통해 최고수준의 연료전지 기술을 확보하고 있으며, 또한 발전용 연료전지는 약 1만 개, 주택/건물용 연료전지는 4천 개 이상의 부품이 필요하고, 연료전지 주요 부품의 생산, 공급업체들 역시 대부분이 중소·중견기업이므로, 연료전지 활용의 확대는 이러한 중소·중견 협력부품기업의 동반 성장을 유도할 수 있다(산업통상자원부, 한국에너지공단, 2020).

하지만 아직 국내 연료전지 산업은 정부의 지원 없이는 경쟁력을 갖기 어렵다. 원천기술 개발과 보급 및 가동률이 합을 이루는 제도와 정책이 필요하므로, 주택용 연료전지 보급사업과 관련한 제도와 정책을 살펴본다.

주택용 연료전지는 주택지원사업(그린홈 100만 호 보급사업)을 중심으로 1 kW급 주택용 연료전지 열병합 시스템의 보급이 이루어지고 있다. 주택용 연료전지의 주택지원사업은 2008년 8월 15일 대한민국 건국 60주년 기념식에서 “저탄소 녹색성장”을 우리나라의 새로운 국가비전으로 선포하며, ‘집집마다 신·재생에너지를 쓸 수 있도록 프로젝트를 전개하겠다.’는 정부의 의지를 반영하여, 2009년에 “그린홈 100만 호 보급사업”으로 추진되었으며, 2013년부터 “주택지원사업”으로 명칭을 변경하여 진행되고 있다. <표 6>에 연도별 주택용 연료전지 주택지원사업의 실적을 나타내었다.

<표 6> 주택용 연료전지 주택지원사업 실적

구분	~2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	계
주택수(개)	2,440	150	117	54	102	3	1	2,867
보급량(kW)	1,688	150	117	54	33	3	1	2,046
지원금(백만원)	56,972	3,413	2,737	1,013	514	50	17	64,716

* 자료: 한국에너지공단, 2023

정부의 주택지원사업은 보급확대로 인하여 연료전지의 생산단가를 감소시키는 효과도 있었으며, 1 kW 주택용 연료전지(PEMFC)의 생산단가가 2010년에 6,000만 원에서 이후로 지속적으로 감소하여 2019년에 2,600만 원, 2020년에는 2,200만 원이 되었다.

주택용 연료전지는 주택에서 사용할 수 있는 소규모 연료전지 발전 시스템으로 주택의 소비전력과 난방에너지의 절감을 목적으로 운영하지만, 주택에서 요구되는 전력량과 난방에너지량을 충당한 후에는 잉여전력과 잉여열에너지로 남게 된다. 잉여열에너지는 보조 열저장조를 활용하든지 또는 버릴 수밖에 없지만, 자가소비 후 남는 잉여전력은 전기판매사업자에게 공급하고 그 세대에서 수전 받은 전력량에서 상계하는 상계거래⁴⁾가 있다(이상호, 2020). 이는 산업통상자원부고시(2022)에 의한 것으로 <표 7>에 “소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침”의 내용 중 상계에 의한 전력거래를 나타내었으며, 내용을 보면 발전설비용량 10 kW 이하 신·재생에너지발전설비·전기발전보일러 설치자는 전기판매사업자와 전력거래를 할 수 있으며, 발전전력이 수전전력보다 많은 경우 그 차이에 대하여는 상계대상 전기공급자의 선택에 따라 별도의 전력요금을 지급하거나 다음 달 수전전력에서 차감할 수 있다.

<표 7> 소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침 제18조

제18조(상계에 의한 전력거래)

- ① 발전설비용량 10 kW 이하 신·재생에너지발전설비·전기발전보일러(전기저장장치·전기자동차시스템의 경우 총 총·방전설비용량이 10 kW 이하인 것을 말한다) 설치자는 전기판매사업자로부터 공급받는 전력량을 측정하기 위하여 설치된 전기계기등(이하 "수전용 전기계기등"이라 한다)을 이용하여 전력거래를 할 수 있다. 다만, 태양에너지 발전설비는 1000 kW 이하로 한다.
- ② 제1항의 전기공급자가 생산한 전력(이하 "발전전력"이라 한다)의 단가(원/kWh)는 전기판매사업자로부터 공급받는 전력(이하 "수전전력"이라 한다)의 단가(원/kWh)와 동일한 것으로 본다. 다만, 제5항에 따라 발전전력이 수전전력보다 많아 별도의 전력요금을 지급할 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 전기공급자의 발전전력 요금채권과 전기판매사업자의 수전전력 요금채권은 제7조의 검침일에 서로 대등액에서 상계한 것으로 본다.
- ④ 전기판매사업자는 제①항에 의해 공급되는 전력의 요금채권을 전기판매사업자가 부과하는 전기요금에 반영하여 정산할 수 있다.
- ⑤ 발전전력이 수전전력보다 많은 경우 그 차이에 대하여는 상계대상 전기공급자의 선택에 따라 별도의 전력요금을 지급하거나 다음 달 수전전력에서 차감하며, 별도의 전력요금 지급단가(원/kWh)는 지급대상 기간 중 전력시장의 가중평균계통한계가격을 기준으로 정산하되, 세부적인 내용은 전기판매사업자가 상계거래 처리기준에서 정하는 바에 따른다.
- ⑥ 수전용 전기계기등의 설치책임 및 설치기준 등은 이 지침에 반하지 않는 범위 내에서 전기판매사업자의 전기공급약관에서 정하는 바에 따른다.
- ⑦ 제3조 내지 제5조 및 제9조 내지 제13조의 규정은 제1항의 전력거래에 관하여 이를 준용한다.

4) “상계거래”란 고객이 자가소비 후 남는 잉여전력을 한전에 역송하고, 향후 수전량을 누적 잉여전력량에서 차감하는 제도를 말한다.

전력요금의 계산은 주택용 전기요금으로 산출하며, 주택용 전기요금은 크게 기본요금과 전력량 요금으로 구성되어 있으며, 기후환경요금과 연료비조정요금을 더하여 전기요금으로 산출하고, 요금의 청구 금액에는 전기요금에 부가가치세와 전력산업 기반기금이 포함된다. 주택용 전기요금은 국가의 전력 공급이 한정된 상황에서 사용자들이 전기를 효율적으로 사용하도록 유도하고 에너지 취약계층을 지원하고자 누진요금제를 적용하고 있다. 이는 전기를 적게 쓰는 사람에게는 낮은 요금을 부과하여 생활에 필요한 전기는 부담 없이 쓰도록 하고 전기를 많이 쓰는 사람에게는 높은 요금을 부과하여 전기를 절약하도록 유도하는 제도이다. 기본요금 3단계와 전력량 요금 4단계로 구성되어 있으며, 하계와 기타 계절에 누진제 적용 구간을 다르게 적용하고 있다. <표 8>에 주택용 전기요금(저압)을 한국전력공사 전기요금표를 참고하여 나타내었다.

<표 8> 주택용 전기요금(저압)

(2023년 1월 1일 시행)

구분	기본요금(원/호)		전력량요금(원/kWh)		
	기본요금	기타요금	구간	요금	비고
기타 계절	200 kWh 이하	910	처음 200 kWh 까지	112	
	201~400 kWh	1600	다음 200 kWh 까지	206.6	
	400 kWh 초과	7300	400 kWh 초과	299.3	
	-	-	1,000 kWh 초과	728.2	동계적용
하계	300 kWh 이하	910	처음 300 kWh 까지	112	
	301~450 kWh	1600	다음 150 kWh 까지	206.6	
	450 kWh 초과	7300	450 kWh 초과	299.3	
	-	-	1,000 kWh 초과	728.2	하계적용

[비고]

① 전기요금 구조

전기요금=기본요금+전력량요금+기후환경요금+연료비조정요금

청구금액=전기요금+부가가치세+전력산업기반기금

② 기후환경요금: 9 원/kWh, 매년변동

③ 연료비조정요금: 5 원/kWh, 매분기변동

④ 부가가치세: 전기요금 × 10 %

⑤ 전력산업기반기금: 전기요금 × 3.7 %

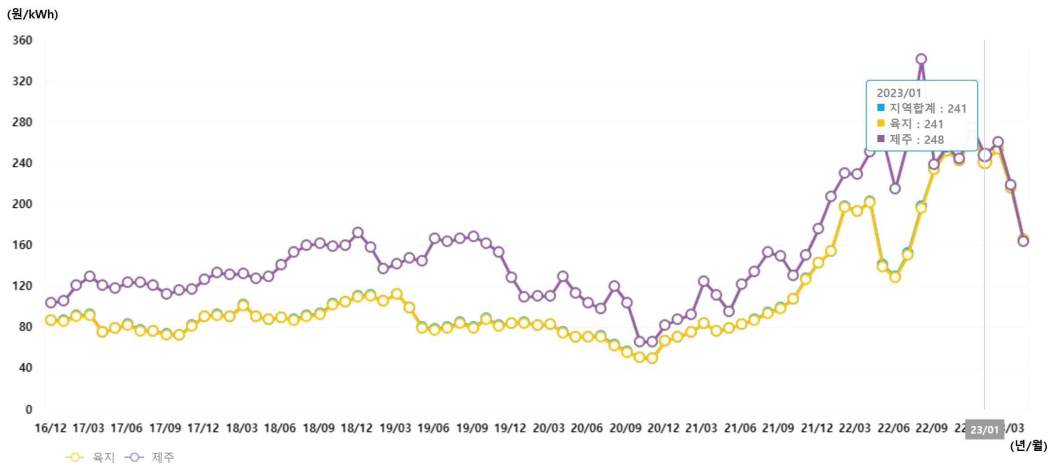
* 자료: 한국전력공사 전기요금표

또한, 상계에 의한 전력거래에 따라서 주택용 연료전지의 발전전력이 수전전력보다 많은 경우 그 차이에 대하여 다음 달 수전전력에서 차감하거나 가중평균계통한계가격⁵⁾을 기준으로 정산

5) “가중평균계통한계가격(SMP, System Marginal Price)”이란 계통한계가격으로 거래시간별로 일반발전기(원자력, 석탄 외의 발전기)의 전력량에 대해 적용하는 전력시장가격(원/kWh)을 말한다.

할 수 있다(전력통계정보시스템, 2023). 가중평균계통한계가격은 전력통계정보시스템으로 확인할 수 있으며, 육지와 제주를 별도로 산출하고 통합하여 나타내고 있다. 2023년 1월 육지의 가중평균계통한계가격은 240.73 원/kWh이다. [그림 2]에 전력통계정보시스템의 첫 화면인 2016년 11월부터 2023년 02월까지 가중평균계통한계가격을 나타내었다.

[그림 2] 가중평균계통한계가격 (16/11~23/02)



* 자료: 전력통계정보시스템

연료전지는 수소와 산소를 공급받아 전기와 열을 생산하지만, 현재 주택용 연료전지는 도시가스 인프라를 활용한 메탄(CH₄)의 개질을 통하여 수소를 공급받고 있다. 도시가스는 천연가스 도매사업자와 일반도시가스사업자로 구분하여 도매사업자와 소매사업자로 구분하며, 그에 따른 도매요금과 소매요금이 구분된다. 또한 천연가스도매사업자는 한국가스공사가 맡고 있어 전국의 도매요금은 동일하지만, 소매사업은 공급허가 지역별로 34개의 일반도시가스사업자로 구분되어 있으며, 일반도시가스사업자의 ‘소매공급비용’의 책정이 다르므로 전국의 도시가스 요금은 달라진다. <표 9>에 한국도시가스협회(2023)에서 제공하는 전국 지역별 도시가스 요금표를 나타내었으며, 2023년 3월 1일부 전국 도시가스 주택용 평균요금은 20.86 원/MJ(=75.11 원/kW)이며, 연료전지용 평균요금은 28.06 원/MJ(=101.01 원/kW)이다. 그리고, 도시가스 요금은 누진 요금제가 아니므로 가스사용량에 비례해서 요금이 청구된다.

〈표 9〉 전국 지역별 도시가스 요금표

(2023.03.01. 기준)

(단위: 원/MJ)

용도 구분		주택용	연료전지용
지역	(공급회사)		
서울특별시	(서울5사)	19.6910	28.2022
경기도	(삼천리 외)	19.9790	28.1714
인천광역시	(인천 외)	20.0540	28.0888
부산시	(부산)	20.6071	28.1977
대구시	(대성)	20.6547	28.1050
광주시	(해양)	19.5102	27.7941
대전시	(충남)	19.7884	27.8110
울산시	(경동)	20.1842	27.9138
세종시	(중부)	19.4694	27.9876
강원 춘천시	(강원)	21.5854	28.1426
강원 원주시	(참빛원주)	20.9000	28.1426
강원 영동지역	(참빛영동, 속초)	22.5973	
평창	(명성)	21.9134	
충북 청주시	(충청ES)	20.9965	28.1921
충북 충주시	(참빛충북)	21.3899	28.0454
충남 천안시	(중부)	21.2545	27.9882
충남 서산시	(서해)	20.9304	27.7949
전북 전주시	(전북)	20.3937	28.0040
전북 군산시	(군산)	20.9456	28.0711
전북 익산시	(전북ES)	21.6032	28.0305
전남 목포시	(목포)	21.4354	28.0754
전남 순천시	(전남)	21.3075	28.1565
전남 여수시	(대화)	20.4072	27.8275
전남 나주시	(해양)	21.6052	28.0915
경북 구미시	(영남ES)	20.8762	28.1372
경북 포항시	(영남ES)	20.8150	28.1152
경북 경주시	(서라벌)	20.8492	28.1083
경북 안동시	(대성청정E)	21.5781	
경남 창원시	(경남)	21.1169	28.0977
경남 진주시	(지에스이)	21.4452	28.1651
경남 양산시	(경동)	20.9120	28.1401

* 자료: 한국도시가스협회

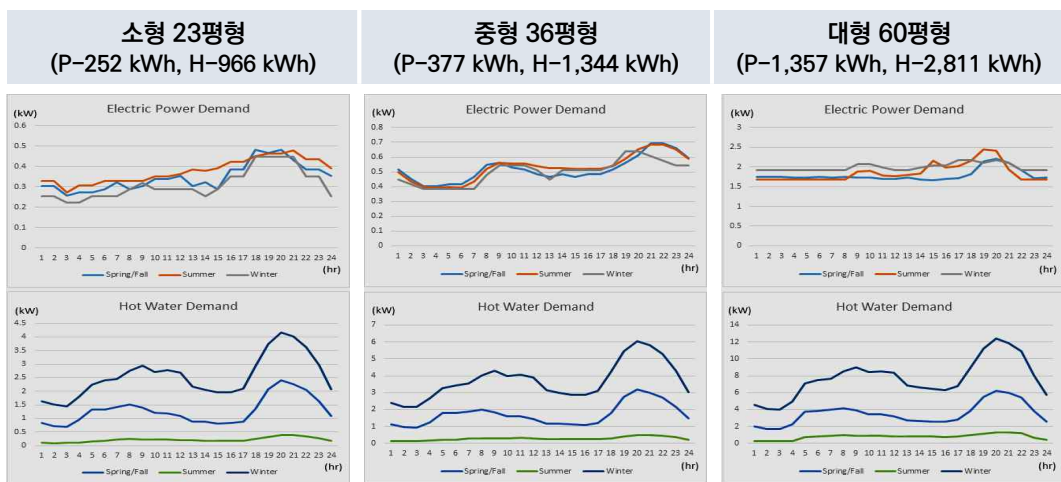
III. 연구 방법론

1. 연구 기초 Data 선정

본 연구는 최근 개발 보급되는 1 kW 주택용 SOFC의 에너지 절감효과 연구이다. 이를 위해 주택의 규모별 전력사용량 및 온수사용량 Data가 필요하며, 선행연구에서 살펴보았던 오석범(2013)의 “최적 운전 모형을 이용한 주택용 1 kW 연료전지의 경제성 평가”에서 사용한 자료를 참조한다.

오석범(2013)의 연구에서 사용한 자료는 국내 주거환경에 따라 23평형의 소형주택(76 m²)의 월평균 전력사용량은 252 kWh, 월평균 열사용량은 966 kWh이고, 36평형의 중형주택(119 m²)의 월평균 전력사용량은 377 kWh, 월평균 열사용량은 1,344 kWh이며, 60평형의 대형주택(198 m²) 월평균 전력사용량은 1,357 kWh, 월평균 열사용량은 2,811 kWh이다. 여기에 다양한 규모의 에너지 사용형태를 파악하기 위해 월평균 전력사용량 100 kWh, 150 kWh, 500 kWh, 700 kWh, 900 kWh, 1,000 kWh, 1,200 kWh인 7개의 사용처를 정하고, 추가한 7개 주택의 에너지 사용패턴은 시물레이션으로 주택에서의 에너지 사용패턴을 산정하였다. 그 자료는 10개의 월 평균 전력사용량으로 구분되어 있으며, 계절별로 Spring, Summer, Fall, Winter로 구분하여 일일 평균 시간대별 에너지 사용량이 정리되어 있다. [그림 3]에 주택 규모별 에너지 사용패턴의 Data 중 일부를 나타내었다.

[그림 3] 주택 규모별 에너지 사용 패턴



* 자료: 오석범, 2013

P: 월평균 전력사용량 / H: 월평균 열사용량

주택용 연료전지의 성능 기준 자료로 SOFC는 STX에너지솔루션(2023)에서 제공한 자료를 참조하였고, 비교 대상으로 PEMFC는 (주)두산 퓨얼셀 파워(2023)의 자료를 참조하여, <표 10>에 1 kW 주택용 연료전지 성능 기준을 나타내었다.

<표 10> 1 kW 주택용 연료전지 성능 기준

구분	단위	PEMFC	SOFC
연료		도시가스	도시가스
시스템출력		1 kW±10 %	1 kW±10 %
크기	mm	650*550*1,580	843*1188*523
	(W * D * H)		
월간 최대 발전량	kW/월	720	720
정격 열 생산량	kW	1.40	1.05
가스소비량	kW	3.11	2.18
정격 발전효율	%(LHV)	35	45
정격 열 회수효율	%(LHV)	50	45
정격 총 효율	%(LHV)	≥ 85	90
보조보일러효율	%(LHV)	94	94

* 자료: (주)두산 퓨얼셀 파워, STX에너지솔루션

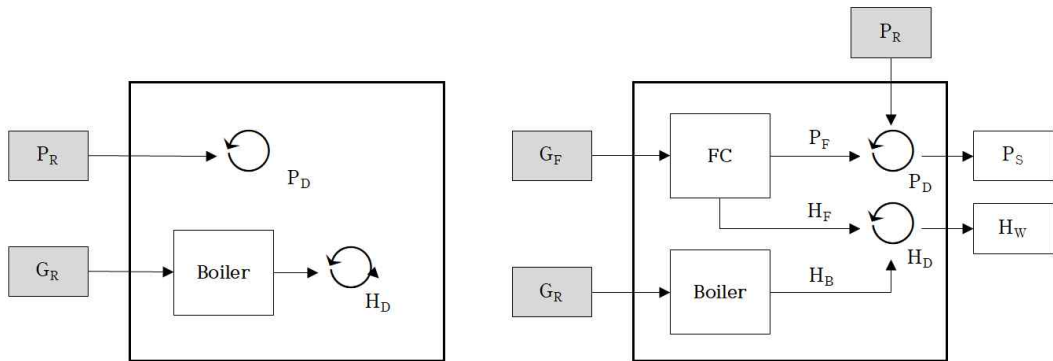
전력요금은 한국전력공사에서 2023년 01월 01일부로 제공하는 전기요금표를 참조하여 계절별로 기본요금과 전력량요금을 적용하고, 발전전력의 상계거래에 대해서는 전기공급자가 생산한 전력의 단가(원/kWh)는 전기판매사업자로부터 공급받는 전력의 단가(원/kWh)와 같이 적용하고, 발전전력이 수전전력보다 많은 경우 그 차이에 대하여는 2023년 1월의 가중평균 계통한계가격인 240.73 원/kWh를 적용한다.

그리고 연료전지에 공급하는 도시가스의 요금은 한국도시가스협회에서 제공하는 자료 중 가장 최근 자료인 2023년 3월 1일부 전국도시가스 연료전지용 평균요금 28.06 원/MJ (=101.01 원/kW)을 적용하고, 보조 보일러에 소비되는 도시가스는 주택용으로 전국 도시가스 주택용 평균요금 20.86 원/MJ(=75.11 원/kW)을 적용한다.

2. 시뮬레이션 모형

본 연구에서는 일반 주택에서 필요에너지에 대한 에너지 공급 모형과 연료전지 설치/운영상에 에너지 흐름에 대한 모형을 구성한다. [그림 4]에 일반 주택에서의 에너지 흐름과 주택용 연료전지(FC)를 설치한 주택의 에너지 흐름 시뮬레이션 모형을 표현하였다

[그림 4] 시뮬레이션 모형



[일반 주택 에너지 흐름]

$$P_D = P_R$$

$$H_D = G_R$$

[FC 운영 주택 에너지 흐름]

$$P_D = P_F + P_R - P_S$$

$$H_D = H_F + H_B - H_W$$

[기호 설명]

P_D : 주택 내 전기 요구량(demand)
 H_D : 주택 내 열 요구량
 P_R : 공급받은 전기 소비량(receive)
 G_R : 공급받은 도시가스 소비량

G_F : FC 도시가스 소비량
 P_F : FC 발전량
 H_F : FC 열 생산량
 H_B : 보조 보일러 열 생산량
 P_S : 잉여전력 공급량(supply)
 H_W : 버려진(waist) 열량

연구의 기준이 되는 일반 주택의 에너지 흐름에 대한 연간 에너지비용(Z_N) 산출식은 전기요금 및 도시가스요금이 월 단위로 산출되므로 다음의 식과 같이 연간 i 월에 산출된 에너지비용(Z_{Ni})의 합산이다.

$$Z_N = \sum_{i=1}^{12} Z_{Ni}$$

i 월에 산출된 에너지비용(Z_{Ni})은 주택에서 요구하는 전기 요구량(P_D)과 소비량(P_R)이 동일하고, 열 요구량(H_D)과 도시가스 소비량(G_R)이 동일하므로, i 월의 전기 소비량(P_{Ri})과 도시가스 소비량(G_{Ri})에 해당하는 주택용 저압 전기 기준요금(C_P)과 주택용 도시가스 기준요금(C_G)을 반영하여 다음 식과 같이 표현된다.

$$Z_{Ni} = P_{Ri} \times C_P + G_{Ri} \times C_G \quad (i=1, 2, \dots, 12)$$

i 월의 전기 소비량(P_{Ri})은 i 월에 해당하는 j 일의 전기 소비량(P_{Rij})의 합이고, j 일의 전기 소비량(P_{Rij})은 k 시간의 전기 소비량(P_{Rijk})의 합이다. 또한 i 월의 도시가스 소비량(G_{Ri})도 i 월에 해당하는 j 일의 도시가스 소비량(G_{Rij})의 합이며, j 일의 도시가스 소비량(G_{Rij})은 k 시간의 전기 소비량(G_{Rijk})의 합이므로 다음의 식으로 나타난다.

$$\begin{aligned} P_{Ri} &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Rijk} \\ G_{Ri} &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Rijk} \end{aligned} \quad s.t. \begin{cases} i = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 \rightarrow n = 31 \\ i = 2 \rightarrow n = 28 \\ i = 4, 6, 9, 11 \rightarrow n = 30 \end{cases}$$

그러므로 일반 주택의 연간 에너지비용(Z_N)은 다음 식으로 정리된다.

$$\begin{aligned} Z_N &= \sum_{i=1}^{12} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Rijk} \times C_P \right) + \sum_{i=1}^{12} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Rijk} \times C_G \right) \\ & \quad s.t. \begin{cases} i = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 \rightarrow n = 31 \\ i = 2 \rightarrow n = 28 \\ i = 4, 6, 9, 11 \rightarrow n = 30 \end{cases} \end{aligned}$$

한편, 1 kW 주택용 연료전지를 설치한 주택의 에너지 흐름에 대한 연간 에너지비용(Z_{FC})도 전기요금 및 도시가스요금이 월 단위로 산출되므로 다음의 식과 같이 연간 i 월에 산출된 에너지 비용(Z_{FCi})의 합산이다.

$$Z_{FC} = \sum_{i=1}^{12} Z_{FCi}$$

i 월의 에너지비용(Z_{Ni}) 중 전기요금의 산출은 주택에서 요구하는 전기 요구량(P_D)에 대해 도시가스를 소비(G_F)하여 생산하는 연료전지 발전량(P_F)을 먼저 반영하고, 전기 요구량이 연료 전지 발전량보다 많은 경우($P_D > P_F$)에는 전기판매사업자로부터 공급받는 전기 소비량(P_R)이 발생하며, 발전량이 전기 요구량보다 많은 경우($P_D < P_F$)에는 주택에서 전기판매사업자에게 공급하는 잉여전력 공급량(P_S)이 발생한다. 이렇게 발생한 전기 소비량(P_R)과 잉여전력 공급량(P_S)은 i 월에 누적하여 합산 후 계산하며, “소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침”의 상계에 의한 전력거래에 따라 주택용 저압 전기 기준요금(C_P)과 가중평균계통한계가격(C_{SMP})을 적용한다.

또한, i 월의 도시가스요금은 연료전지에서 소비하는 도시가스 소비량(G_F)과 연료전지에서 생산하는 열(H_F)이 주택에서 필요한 열 요구량(H_D)보다 많은 경우 잉여 생산된 열(H_W)은 버려야 하며, 열 요구량보다 적을 경우에는 보조 보일러를 통하여 열을 생산(H_B) 하므로 보조 보일러에 도시가스가 소비(G_R)된다. 이때 연료전지에 소비되는 도시가스는 연료전지용 도시가스 기준요금(C_F)이 적용되고, 보조 보일러에 소비되는 도시가스는 주택용 도시가스 기준요금(C_G)이 적용된다. 따라서 i 월의 에너지비용(Z_{Ni})은 다음의 식으로 표현된다.

$$s.t. P_{Ri} > P_{Si},$$

$$Z_{Ni} = (P_{Ri} - P_{Si}) \times C_P + G_{Fi} \times C_F + G_{Ri} \times C_G \quad (i=1, 2, \dots, 12)$$

$$s.t. P_{Ri} < P_{Si},$$

$$Z_{Ni} = (P_{Ri} - P_{Si}) \times C_{SMP} + G_{Fi} \times C_F + G_{Ri} \times C_G \quad (i=1, 2, \dots, 12)$$

또한 i 월의 에너지비용을 용도별로 구분하여 나타내면 다음 식으로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 P_{Ri} - P_{Si} &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Rijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Sijk} \\
 G_{Fi} &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Fijk} \\
 G_{Ri} &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Rijk}
 \end{aligned}
 \quad s.t. \begin{cases} i = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 \rightarrow n = 31 \\ i = 2 \rightarrow n = 28 \\ i = 4, 6, 9, 11 \rightarrow n = 30 \end{cases}$$

그러므로 1 kW 주택용 연료전지를 설치한 주택의 연간 에너지비용(Z_N)은 다음 식으로 정리된다.

$$s.t. P_{Ri} > P_{Si},$$

$$Z_N = \sum_{i=1}^{12} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Rijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Sijk} \right) \times C_P + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Fijk} \times C_F + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Rijk} \times C_G$$

$$s.t. P_{Ri} < P_{Si},$$

$$Z_N = \sum_{i=1}^{12} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Rijk} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} P_{Sijk} \right) \times C_{SMP} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Fijk} \times C_F + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{24} G_{Rijk} \times C_G$$

$$s.t. \begin{cases} i = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 \rightarrow n = 31 \\ i = 2 \rightarrow n = 28 \\ i = 4, 6, 9, 11 \rightarrow n = 30 \end{cases}$$

IV. 결과 및 토의

1 kW 주택용 SOFC의 에너지 절감효과를 일반 주택의 에너지비용과 비교하고, 1 kW PEMFC 설치 주택의 에너지비용과도 비교하여, 월 평균 전력사용량별 10개의 주택으로 구분된 계절별 일일 평균 시간대별 에너지 사용량 Data를 EXCEL 프로그램을 활용하여 시뮬레이션하였다. 연료전지의 운전용량을 1 kW Full Load 운전과 주택의 규모별 평균 전력사용량 조정 운전자로 구분하여 실시하였으며, 지난 2022년 1년 동안 국제 LNG 가격의 인상으로 연료전지용 전국 도시가스 평균 요금이 32.80 % 인상된 것을 감안하여 연료전지용 도시가스요금에 비하여 74.34 % 수준인 주택용 요금을 적용하였을 경우 연간 에너지비용 절감률과 동일 기간동안 전기요금 인상분을 감안하여 인상 전과 후의 연간 에너지비용 차이에 대하여도 살펴보았다.

1. 1 kW Full Load 운전 시 비교 연구결과

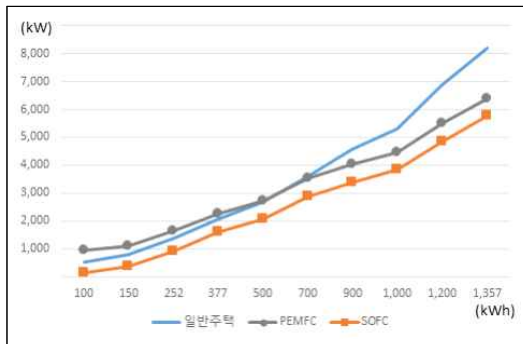
1 kW Full Load 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를 <표 11>에 일반 주택과 1 kW PEMFC 설치 주택 및 1 kW SOFC 설치 주택을 비교하여 나타내었다.

<표 11> 1 kW Full Load 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과

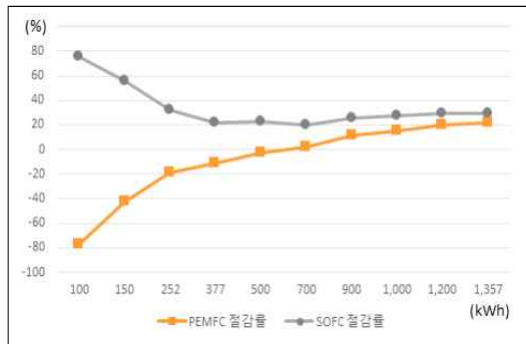
전력 사용량 구분 (kWh)	일반주택 연간 에너지비용(천원)			PEMFC 설치 주택 연간 에너지비용(천원)				SOFC 연간 에너지비용(천원)			
	전기	가스	계	전기	가스	계	절감률 (%)	전기	가스	계	절감률 (%)
100	162	367	529	-1,820	2,757	937	-77.11	-1,820	1,946	126	76.09
150	238	550	788	-1,675	2,794	1,119	-41.96	-1,675	2,026	351	55.43
252	437	927	1,364	-1,379	3,003	1,625	-19.14	-1,379	2,298	919	32.61
377	761	1,289	2,050	-1,021	3,298	2,278	-11.11	-1,021	2,621	1,600	21.92
500	1,253	1,415	2,669	-664	3,401	2,737	-2.56	-664	2,735	2,071	22.39
700	2,005	1,592	3,598	-27	3,549	3,522	2.09	-27	2,898	2,871	20.20
900	2,756	1,819	4,575	279	3,758	4,037	11.76	279	3,107	3,386	25.99
1,000	3,216	2,071	5,288	484	3,985	4,469	15.48	484	3,340	3,823	27.69
1,200	4,500	2,374	6,875	1,232	4,262	5,494	20.08	1,232	3,624	4,856	29.37
1,357	5,509	2,695	8,204	1,823	4,578	6,400	21.99	1,823	3,941	5,763	29.75

분석결과, 1 kW SOFC 설치 주택은 1 kW Full Load 운전 시 월 평균 전력사용량이 100 kWh인 소형주택의 경우에도 연간 에너지비용은 126천 원/년으로, 100 kWh 일반 주택의 연간 에너지비용 529천 원/년 대비 23.91 %로 산출되어 에너지비용 절감효과는 76.09 %로 나타났다. 즉, 1 kW PEMFC 설치 주택은 1 kW Full Load 운전 시 700 kWh 이상 사용하는 주택에서 에너지 절감효과가 있으며, 월 평균 전력사용량 500 kWh 이하인 주택에서는 에너지 절감효과가 없는 것으로 나타났지만, 1 kW SOFC 설치 주택은 주택의 전력사용 규모별 전체 주택에서 에너지 절감효과가 최대 76.09 %에서 최저 20.20 %이며, 평균 334.14 %로 나타났다. [그림 5]에 월 평균 전력사용량별 일반 주택의 연간 에너지비용과 1 kW Full Load 운전 시 PEMFC 설치 주택 및 SOFC 설치 주택의 연간 에너지비용을 나타내었으며, [그림 6]에 연간 에너지비용 절감률을 나타내었다. 그리고 [그림 7]에 에너지원별 연간 에너지비용을 나타내었다.

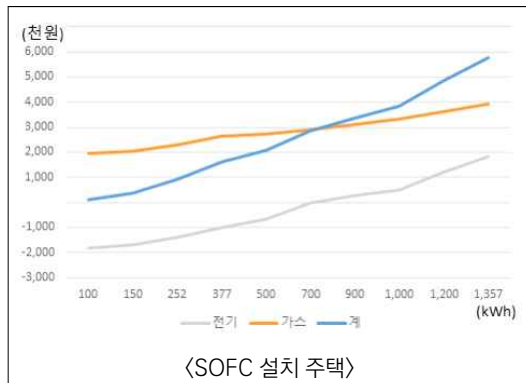
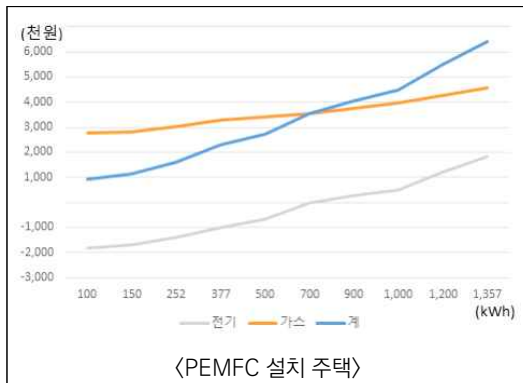
[그림 5] 주택 규모별
1 kW Full Load 운전 시 에너지비용



[그림 6] 주택 규모별 1 kW Full Load 운전 시
일반 주택 대비 에너지비용 절감률



[그림 7] 에너지원별 연간 에너지비용



2. 주택 규모별 평균 전력사용량 운전 시 비교 연구결과

또한, 주택은 규모별로 평균 전력사용량이 다르므로, <표 12>에 주택의 규모별 일 평균 전력사용량을 나타내었다.

<표 12> 주택 규모별 일 평균 전력사용량

사용량 구분 (kWh)	일 평균 전력사용량(kW)			사용량 구분 (kWh)	일 평균 전력사용량(kW)		
	S/F	Sum	Win*		S/F	Sum	Win
100	0.14	0.15	0.12	700	0.96	0.98	0.93
150	0.21	0.22	0.19	900	1.19	1.23	1.32
252	0.35	0.38	0.31	1,000	1.32	1.37	1.47
377	0.52	0.53	0.50	1,200	1.58	1.64	1.76
500	0.69	0.70	0.66	1,357	1.79	1.86	2.00

* S/F: Spring/Fall, Sum: Summer, Win: Winter

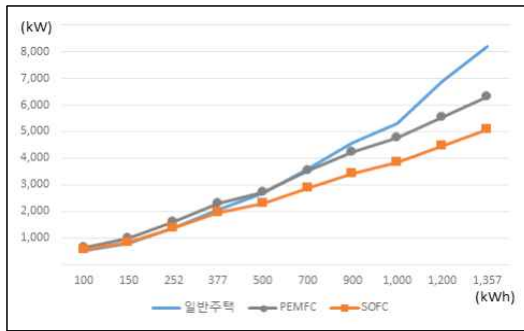
주택의 규모별 평균 전력사용량 크기로 주택용 연료전지의 용량을 조정하여 운영할 경우 에너지비용 절감효과에 대해서도 시뮬레이션한 결과는 <표 13>에 나타내었다.

<표 13> 주택 규모별 평균 전력 조정 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과

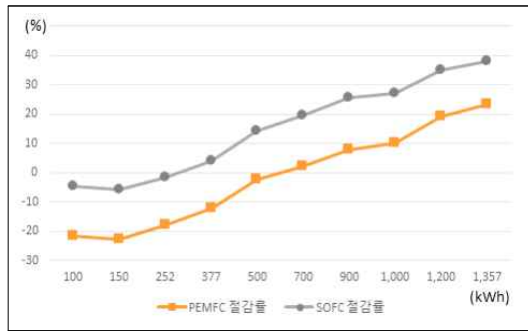
전력 사용량 구분 (kWh)	일반주택 연간 에너지비용(천원)			PEMFC 설치 주택 연간 에너지비용(천원)				SOFC 연간 에너지비용(천원)			
	전기	가스	계	전기	가스	계	절감률 (%)	전기	가스	계	절감률 (%)
100	162	367	529	11	632	644	-21.66	11	543	555	-4.86
150	238	550	788	19	948	968	-22.80	19	815	834	-5.88
252	437	927	1,364	12	1,597	1,609	-18.01	12	1,372	1,385	-1.54
377	761	1,289	2,050	13	2,286	2,299	-12.14	13	1,953	1,966	4.08
500	1,253	1,415	2,669	-10	2,745	2,735	-2.47	-10	2,304	2,293	14.07
700	2,005	1,592	3,598	46	3,469	3,516	2.28	46	2,846	2,892	19.61
900	2,756	1,819	4,575	-28	4,242	4,213	7.91	-28	3,431	3,402	25.63
1,000	3,216	2,071	5,288	7	4,751	4,758	10.01	7	3,852	3,858	27.03
1,200	4,500	2,374	6,875	-42	5,594	5,553	19.23	-42	4,512	4,470	34.98
1,357	5,509	2,695	8,204	-48	6,349	6,300	23.21	-48	5,124	5,076	38.13

그리고 [그림 8]에 일 평균 전력사용량별 일반 주택의 연간 에너지비용과 주택 규모별 일 평균 전력 조정 운전 시 PEMFC 설치 주택 및 SOFC 설치 주택의 연간 에너지비용을 나타내었으며, [그림 9]에 연간 에너지비용 절감률을 나타내었다. 그리고 [그림 10]에 에너지원별 연간 에너지비용을 나타내었다.

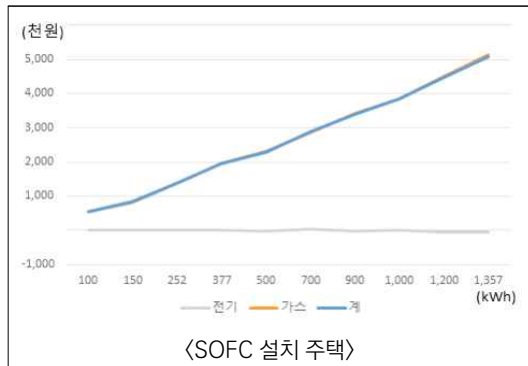
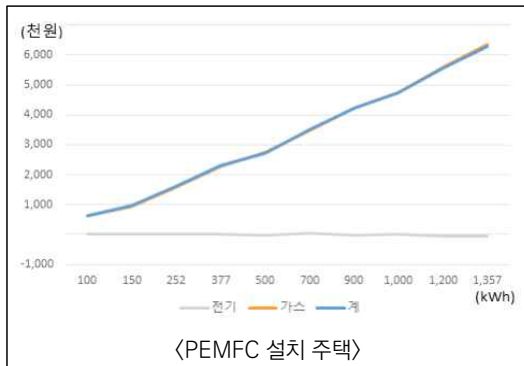
[그림 8] 주택 규모별
평균 전력 조정 운전 시 에너지비용



[그림 9] 주택 규모별 평균 전력 조정 운전 시
일반 주택 대비 에너지비용 절감률



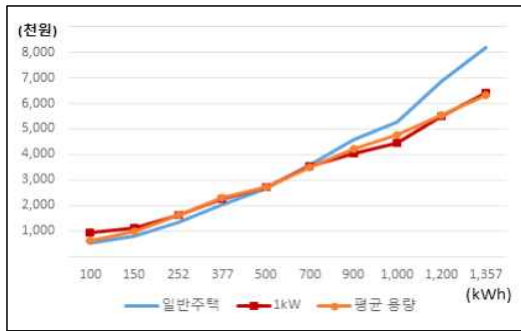
[그림 10] 에너지원별 연간 에너지비용



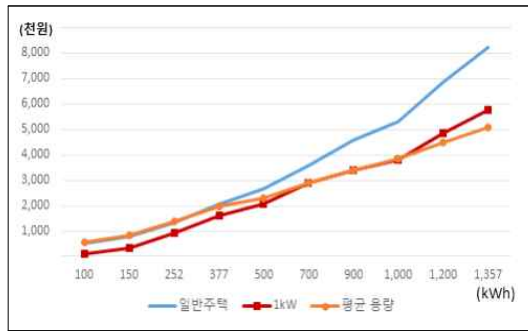
평균 전력사용량 크기로 주택용 연료전지의 용량을 조정하여 운영할 경우의 시뮬레이션 결과는 1 kW SOFC 설치 주택은 월 평균 전력사용량이 377 kWh 이상 사용하는 주택에서 에너지 절감효과가 있으며, 252 kWh 이하의 주택에서는 효과가 없는 것으로 나왔다. 또한, PEMFC 설치 주택도 700 kWh 이상의 주택에서 효과가 있는 것으로 도출되었다. 이는 연료전지를 운영하는 용량 조정 면에서 PEMFC는 두 가지 경우가 유사하게 나타났으나, SOFC는 월 평균 전력사용량이 1,000 kWh 이하의 주택에서는 1 kW Full Load로 운전하는 것이 에너지비용 절감에

유리한 것으로 나타났으며, 월 평균 전력사용량이 1,200 kWh 이상의 대형주택에서는 주택의 평균 전력 용량 조정 운전하는 경우가 유리한 적으로 나타났다. [그림 11]에 PEMFC의 시뮬레이션 결과 1 kW Full Load 운전 결과와 평균 전력 용량 조정 운전 결과를 비교하여 나타내고, [그림 12]에 SOFC의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

[그림 11] PEMFC 설치 주택 1 kW Full Load 운전 결과와 평균 전력 용량 조정 운전 결과 비교



[그림 12] SOFC 설치 주택 1 kW Full Load 운전 결과와 평균 전력 용량 조정 운전 결과 비교



3. 도시가스요금 및 전기요금 인하 시 비교 연구결과

추가로 지난 2022년 1년 동안 국제 LNG 가격의 인상으로 연료전지용 전국 도시가스 평균 요금이 32.80 % 인상된 것을 감안하여 연료전지용 도시가스요금에 비하여 74.34 % 수준인 주택용 요금을 적용하였을 경우의 에너지비용 차이에 대하여 살펴보고, 동일기간 동안 전기요금 인상분을 감안하여 인상 전과 후의 연간 에너지비용 차이에 대하여도 살펴보았다.

먼저, 연료전지용 도시가스요금에 비하여 74.34 % (25.66 % 인하) 수준인 주택용 요금을 적용하였을 경우, SOFC 적용 세대에서 1 kW Full Load 운전 시 연간 에너지 절감효과가 최대 76.09 %, 최소 20.20 %에서 최대 169.57 %, 최소 33.94 %로 변화되는 것을 볼 수 있으며, 전력 사용량이 상대적으로 작은 주택에서 도시가스 요금 인하의 효과가 크게 나타났다.

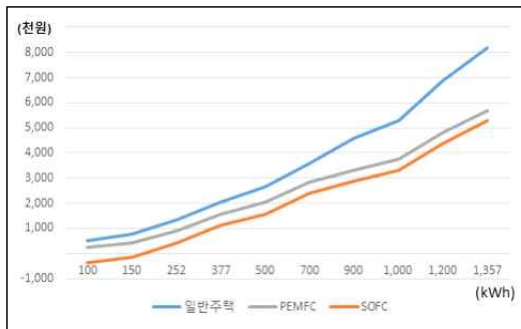
<표 14>에 도시가스 주택용 요금 적용 시 연간 에너지비용의 시뮬레이션 결과를 나타내고, [그림 13]에는 도시가스 주택용 요금 적용하며 1 kW Full Load 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를, [그림 14]에는 평균 전력 조정 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

〈표 14〉 도시가스 주택용 요금 적용 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과

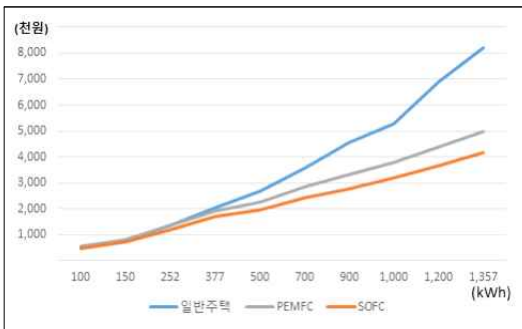
(단위 :천원)

사용량 구분 (kWh)	일반주택	1 kW Full Load 운전 시		규모별 평균 전력 조정 운전 시	
		PEMFC	SOFC	PEMFC	SOFC
100	529	231	-368	547	487
150	788	413	-143	823	733
252	1,364	919	425	1,365	1,213
377	2,050	1,572	1,106	1,935	1,711
500	2,669	2,031	1,577	2,251	1,954
700	3,598	2,817	2,377	2,839	2,418
900	4,575	3,332	2,892	3,344	2,793
1,000	5,288	3,763	3,329	3,792	3,181
1,200	6,875	4,788	4,361	4,393	3,657
1,357	8,204	5,695	5,269	4,989	4,157

[그림 13] 도시가스 주택용 요금 적용 시 1 kW Full Load 운전 연간 에너지비용 시뮬레이션



[그림 14] 도시가스 주택용 요금 적용 시 규모별 평균 전력 조정 운전 연간 에너지비용 시뮬레이션



전기요금 변동과 관련하여서는 주택용 저압 전기요금의 경우 2022년 1월과 2023년 1월 사이의 요금변동에서 기본요금은 변동이 없었으며, 전력량요금이 구간별로 변동이 있었다. 〈표 15〉에 전력량요금 변동 내역을 나타내었으며, 전기요금은 사용량에 따라 적용요금이 달라지는 누진제이므로 일반주택 전력사용량별 전기요금에 따른 연간 전기사용요금을 산출하면 〈표 16〉과 같다.

〈표 15〉 주택용 전기요금(저압) 전력량요금 변동 내역(2022.01~2023.01)

(단위: 원/kWh)

구 분		2022. 01.	2023. 01.	비 고
기타 계절	처음 200 kWh 까지	93.3	112	
	다음 200 kWh 까지	187.9	206.6	
	400 kWh 초과	280.6	299.3	
	1,000 kWh초과	709.5	728.2	동계적용
하계	처음 300 kWh 까지	93.3	112	
	다음 150 kWh 까지	187.9	206.6	
	450 kWh 초과	280.6	299.3	
	1,000 kWh 초과	709.5	728.2	하계적용

* 자료: 한국전력공사 전기요금표

〈표 16〉 2022년 전기요금 인상에 따른 연간 전기사용요금 변화

사용량 구분 (kWh)	2022년 1월 요금 적용 시 연간 전기요금 (천원)	2023년 1월 요금 적용 시 연간 전기요금 (천원)	차이 (천원)	인상률 (%)
100	140	162	22	16.07
150	204	238	34	16.50
252	380	437	57	14.91
377	676	761	85	12.50
500	1,141	1,253	112	9.83
700	1,848	2,005	157	8.50
900	2,554	2,756	202	7.91
1,000	2,992	3,216	224	7.50
1,200	4,231	4,500	269	6.36
1,357	5,204	5,509	304	5.85

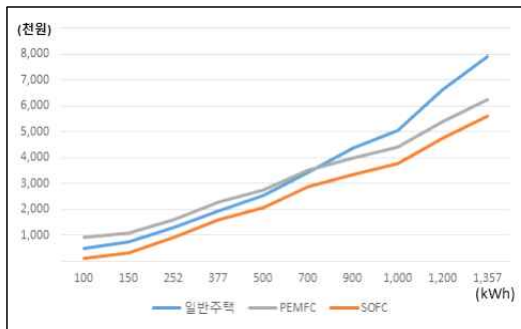
또한, 2022년 1년 동안 전기요금 인상분을 감안하여 인상 전 2022년 1월의 주택용 저압 전기요금을 반영한 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를 〈표 17〉에 나타내었다. [그림 15]에는 주택용 전기요금 인상 전 요금을 적용하며 1 kW Full Load 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를, [그림 16]에는 평균 전력 조정 운전 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

〈표 17〉 주택용 전기요금 인상 전 요금 적용 시 연간 에너지비용 시뮬레이션 결과

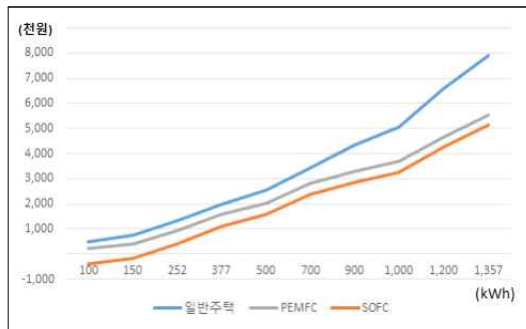
(단위 :천원)

사용량 구분 (kWh)	일반주택	1 kW Full Load 운전 시		규모별 평균 전력 조정 운전 시	
		PEMFC	SOFC	PEMFC	SOFC
100	507	937	126	231	-368
150	754	1,119	351	413	-143
252	1,307	1,625	919	919	425
377	1,965	2,278	1,600	1,572	1,106
500	2,556	2,737	2,071	2,031	1,577
700	3,441	3,515	2,864	2,810	2,369
900	4,373	3,999	3,348	3,293	2,854
1,000	5,063	4,408	3,763	3,703	3,268
1,200	6,605	5,380	4,742	4,675	4,247
1,357	7,900	6,251	5,614	5,546	5,120

[그림 15] 주택용 전기요금 인상 전 요금 적용 시 1 kW Full Load 운전 연간 에너지비용 시뮬레이션



[그림 16] 주택용 전기요금 인상 전 요금 적용 시 규모별 평균 전력 조정 운전 연간 에너지비용 시뮬레이션



전기요금 변동에 따른 연간 에너지비용 절감효과 변동은 SOFC 적용 세대에서 1 kW Full Load 운전 시 연간 에너지 절감효과가 최대 76.09 %, 최소 20.20 %에서 최대 75.03 %, 최소 16.76 %로 변화를 나타내었다.

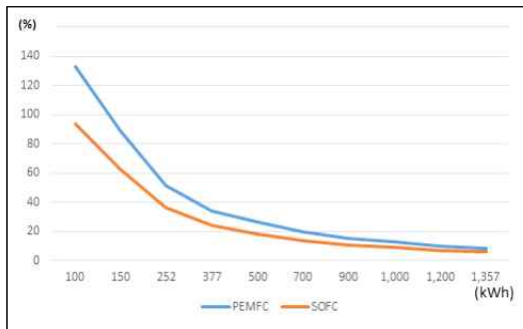
요금변동과 관련한 시뮬레이션 결과는 2023년 1월 요금 기준으로 도시가스요금은 25.66 % 인하된 요금과 비교하였고, 전기 저압 주택용 요금은 전력사용량에 따라 최대 16.07 %, 최소

5.85 % 인하된 요금과 비교하여 연간 에너지비용 절감률의 변화를 살펴보았다. 종합적으로 도시가스요금 변동과 전기요금 변동에 따른 1 kW Full Load 운영 주택에서의 에너지비용 절감률 변동을 <표 17>에 나타내었으며, [그림 17]의 도시가스요금 변동에 따른 연간 에너지비용 절감률 변동과 [그림 18]의 전기요금 변동에 따른 연간 에너지비용 절감률 변동을 보면, 도시가스요금 변동이 전기요금 변동보다 연간 에너지비용 절감에 미치는 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

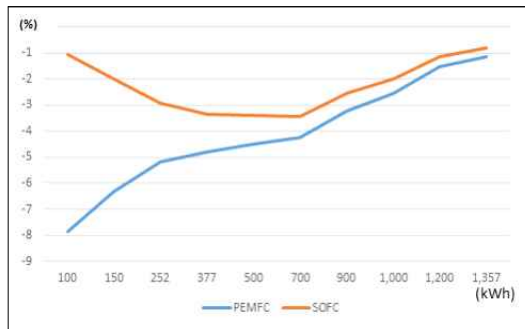
<표 18> 요금변동에 따른 에너지비용 절감률(%) 변동

사용량 구분 (kWh)	도시가스요금 변동		전기요금 변동	
	PEMFC	SOFC	PEMFC	SOFC
100	133.40	93.48	-7.85	-1.06
150	89.53	62.74	-6.34	-1.99
252	51.75	36.26	-5.17	-2.92
377	34.43	24.12	-4.78	-3.36
500	26.44	18.53	-4.50	-3.41
700	19.61	13.74	-4.26	-3.43
900	15.42	10.81	-3.20	-2.55
1,000	13.35	9.35	-2.55	-2.01
1,200	10.26	7.19	-1.53	-1.16
1,357	8.60	6.03	-1.12	-0.82

[그림 17] 도시가스요금 변동에 따른
연간 에너지비용 절감률 변동



[그림 18] 전기요금 변동에 따른
연간 에너지비용 절감률 변동



V. 결론

본 연구에서는 최근에 개발·보급되고 있는 1 kW 주택용 SOFC 연료전지의 에너지비용 절감 효과를 나타내고, 연료전지 최대용량 운전과 주택의 평균 전력사용량으로 조정 운전 시의 에너지비용 절감효과를 비교하였다. 또한, 요금변동과 관련하여 도시가스요금 변동과 전기요금 변동을 비교하여 주택용 연료전지 설치세대의 연간 에너지비용 절감률 변동을 살펴보았다.

본 연구의 결론과 시사점은 다음과 같다.

첫째, SOFC는 주택용 열병합 발전용으로 활용할 경우 평균 전력사용량 100 kW의 주택에서도 에너지 절감효과가 있으며, 중대형 주택에서는 에너지 절감효과가 더욱 커지므로 에너지 절감효과가 우수하다. 따라서 기존에 보급되던 경제성이 낮아 보급을 자제하였던 소형주택도 포함하여 중대형 주택에 폭넓게 보급을 확대할 수 있으며, 경제성이 PEMFC 보다 우수하므로, 국가에서 추진하는 주택용 연료전지 보급사업에 SOFC를 적극적으로 활용하여야 한다.

둘째, SOFC의 보급 후 운영면에서는 상계에 의한 전력거래로 인하여 평균 전력사용량으로 조정하여 운전하는 것보다 최대용량으로 운전하는 것이 효과가 좋으므로 1 kW 최대용량으로 운전하는 것이 바람직하다.

셋째 SOFC의 연료로 공급되는 도시가스 기준요금인 연료전지용 요금이 인하될 경우 에너지 절감효과가 전력사용량이 상대적으로 작은 주택에서 더욱 크게 나타나며, 전기요금 인하의 경우와 비교하여서는 도시가스요금 인하가 연간 에너지비용 절감에 미치는 영향이 크므로 주택용 연료전지 보급정책과 관련하여 도시가스요금 인하를 고려할 필요가 있다.

본 연구의 한계로는 주택의 전력사용량 및 온수 사용량 자료는 2012년에 23평형, 36평형 및 60평형의 실측 Data를 바탕으로 추가 7가지 Data를 시뮬레이션으로 추정한 것이므로 실제 사용량과 차이가 발생할 수 있으며, PEMFC 및 SOFC의 성능이 실측자료가 아닌 제조사에서 제공하는 성능기준표를 기준하였으므로 실제 운영사항과 차이가 발생할 수 있는 점 등이 있으며, 본 연구에 추가하여 분산전원으로서 주택용 연료전지와 중앙집중식 발전설비의 효과 비교와 주택용 연료전지 보급이 신재생에너지의 간헐성 절감에 미치는 영향 등의 연구가 필요하다.

본 연구를 통한 결론은 SOFC가 기존의 PEMFC와는 달리 소형주택에서도 충분한 경제성이 있으며, 중대형 주택에서는 경제적 효과가 더욱 크게 나타나므로, 추후 기술개발 및 연구 등에 방향 제시가 되길 바라며, 정부의 적극적인 보급정책으로 인하여 주택용 연료전지의 보급이

분산발전소로서 대규모 송전·발전소 불필요 및 전력 공급의 안전성 제고에 이바지하여 우리나라 중·장기 에너지 계획인 「제3차 에너지기본계획」의 중점 추진과제인 “분산형·참여형 에너지 시스템 확대”에 이바지할 것으로 기대한다.

참고문헌

- DOOSAN, 연료전지 시스템(Fuel cell System) PEMFC 1 kW,
[http://www.doosanfuelcellpower.com/kr/system/pemfc-1 kW/\[2023.03.15.\]](http://www.doosanfuelcellpower.com/kr/system/pemfc-1%20kW/).
- KBS 9시 뉴스보도(2021), “천 억 넘게 들인 수소연료전지 70% 가동 중단(2021.10.19.)”,
[https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5304604&ref=A\[2023.03.15.\]](https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5304604&ref=A).
- KBS 9시 뉴스보도(2022), “천억원 지원했는데…건물 연료전지 59% 방치(2022.10.17.)”
[https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5579628\[2023.03.15.\]](https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5579628).
- STX에너지솔루션, encube 1K / SOFC 제품소개,
[http://www.stxes.com/page.do?MENU_ID=M02-02-01\[2023.03.15.\]](http://www.stxes.com/page.do?MENU_ID=M02-02-01).
- 가스신문(2016), 도시가스 연료전지 전용요금제 문제없나?(1253호),
[http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=73655\[2023.03.13.\]](http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=73655).
- 가스신문(2019a), 가정·건물용 연료전지 가동률 35.6 %에 불과(1409호),
[http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=88876\[2023.03.13.\]](http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=88876).
- 가스신문(2019b), 정부, 가정용 연료전지 관리소홀로 ‘가동 중단’(1398호),
[http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=87860\[2023.03.13.\]](http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=87860).
- 김기영, 서석호, 오시덕, 곽호영(2007), 「가정용 PEMFC 운전 최적 설계」, 한국신재생에너지학회 학술대회논문집, 2007(06), pp. 113~116.
- 류승현, 김수덕(2011), 「기후변화 대응을 위한 가정용 연료전지 시스템의 시간대별 최적화 운전방안 제시와 경제성 평가 및 민감도 분석」, 에너지경제연구, Vol. 10, pp. 25~48.
- 박대흥, 차광석, 조호규, 정영관(2012), 「가정용 연료전지 시스템의 요금 분석을 통한 최적 운전 방법 검토」, 한국수소및신에너지학회, 23(6), pp. 598~603.
- 박현석(2022), 「수소 버스 개발의 경제적 파급효과와 보급확대 정책의 중요도 분석 연구」, 부경대학교 기술경영전문대학원 기술경영학과 박사학위논문.
- 산업통상자원부(2019a), 「수소경제 활성화 로드맵 수립 연구」, 세종: 산업통상자원부.
- 산업통상자원부(2019b), 「제3차 에너지기본계획」, 세종: 산업통상자원부.
- 산업통상자원부(2021a), 「분산에너지 활성화 추진전략」, 세종: 산업통상자원부.
- 산업통상자원부(2021b), 산업부는 효율이 확보된 KS인증 연료전지를 보급하고 있으며, 조사 결과, 보급지원사업으로 설치된 연료전지 가동률은 80.5%임(2021.10.20.),
[https://www.motie.go.kr/motie/gov_info/gov_openinfo/sajun/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=164703&bbs_cd_n=81\[2023.03.15.\]](https://www.motie.go.kr/motie/gov_info/gov_openinfo/sajun/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=164703&bbs_cd_n=81).
- 산업통상자원부(2022a), 산업부는 건물용 연료전지 가동률 제고를 위한 제도개선 방안을 마련하여 추진 중임(2022.10.17.),
[https://www.motie.go.kr/motie/gov_info/gov_openinfo/open_cost/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=166167&bbs_cd_n=81\[2023.03.15.\]](https://www.motie.go.kr/motie/gov_info/gov_openinfo/open_cost/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=166167&bbs_cd_n=81).

- 산업통상자원부(2022b), 우리나라 수소차·충전소·연료전지 보급실적은 세계 최고 수준이며, 새정부에서도 수소산업을 적극 육성할 계획(2022.10.24.),
<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156532299>[2023.06.04.].
- 산업통상자원부(2022c), 차세대 연료전지 국제표준화 전략 한국에서 논의(2022.10.20.),
https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156531676&call_from=rsslink[2023.06.04.].
- 산업통상자원부(2023), 수소산업 글로벌 선도국가 도약을 위한 연료전지 수출산업화 지원방안(2023.03.23.),
https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=166966&bbs_cd_n=81¤tPage=1&search_key_n=&cate_n=&dept_v=&search_val_v=[2023.06.04.].
- 산업통상자원부, 한국에너지공단(2020), 「2020 신·재생에너지 백서」, pp. 277~322.
- 산업통상자원부고시(2022), 「소규모 신·재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침(산업통상자원부고시 제2022-230호)」.
- 서울시 녹색산업지원센터(2022), 「녹색산업 인사이트 - 연료전지(2022.0725)」.
- 오석범(2013), 「최적 운전 모형을 이용한 주택용 1 kW 연료전지의 경제성 평가」, 아주대학교 에너지시스템학과 박사학위논문.
- 이상호(2020), 「국내외 주택용 상계거래(Net Metering) 제도 현황(2020.10.05.)」, 한전경영연구원 KEMRI전력경제REVIEW, 10, pp. 1~13.
- 전기신문(2022), 건물용 연료전지 애물단지 전략?(4054호),
<https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=310181>[2023.03.16.].
- 전력통계정보시스템(2023), 가중평균계통한계가격(2023.01),
<https://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkmaSmpSmpChart.do?menuId=040201>[2023.03.10.].
- 한국도시가스협회(2023), 전국 지역별 도시가스 요금표(2023.03.01.),
<http://www.citygas.or.kr/info/charge.jsp>[2023.03.10.].
- 한국에너지공단(2023), 「2023 KEA 에너지 편람」, 울산: 한국에너지공단.
- 한국전력공사 사이버지점, 한글 전기요금표 - 주택용 전력(저압)(2023년01월01일 시행),
<https://cyber.kepco.co.kr/kepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00101.jsp>[2023.03.10.].
- Anahara, R., Yokokawa, S., Sakurai, M.(1993), "Present status and future prospects for fuel cell power systems", Proc. IEEE. 81(3), pp. 399~408.
- BAFA(2019), "Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kWel (Mini-KWK-Richtlinie)", Frankfurter: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.
- Sorensen, B., Spazzafumo, G.(2018), "Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies

- and Applications”, London: Academic Press.
- Fuki Keizai Group(2018), “2018年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望”, 東京: FUJI KEIZAI GROUP.
- Grove, W. R.(1842), “On a gaseous voltaic battery”, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 21, pp. 417~420.
- Tan, L. J., Yang, C., Zhou, N.(2016), Performance of the Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)/Proton-Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) Hybrid System, Chemical Engineering & Technology, 39(4), pp. 689~698.
- Aoki, T., Shimoda, Y.(2021), “Evaluation of Residential Fuel Cell as the Alternative to Thermal Power Plants”, Journal of Japan Society of Energy and Resources, 42(5), pp. 305~314.
- Wang, X., Zhu, J., Han, M.(2023), “Industrial Development Status and Prospects of the Marine Fuel Cell: A Review”, Journal of Marine Science and Engineering, 11, pp. 238~277.

A Study on the Energy Cost Reduction Effect of 1 kW Residential SOFC

Park Hyunseok, Lee Minkyu

- Abstract -

Recently, as part of the Hydrogen Economy innovation, 1 kW residential Fuel Cells are being supplied. The PEMFC, which has been supplied, has a normal operating rate of around 10 % due to low economic efficiency. This study focuses on the energy cost reduction effects of the newly developed and supplied 1 kW residential SOFC. Compared to PEMFC, SOFC has higher electricity production efficiency and lower hot water recovery rate. When the residential Fuel Cell is operated at maximum capacity(1 kW), PEMFC shows energy cost savings in medium-to-large-sized houses with an average power consumption of over 700 kW, while SOFC shows a 76.09 % energy cost savings effect in small houses with a power consumption of 100 kW. In addition, operating SOFC at maximum capacity(1 kW) resulted in even greater energy cost savings than adjusting the capacity to an appropriate level. Furthermore, if the price of City-Gas, which is the fuel supplied, is lowered, the energy cost savings effect is even greater in small houses with relatively low power consumption. It is expected that the results of this study will contribute to the spread of residential Fuel Cells, which are part of a decentralized and participatory energy system.

Key words

1 kW Residential Fuel Cell, SOFC(Solid Oxide Fuel Cell), Hydrogen Economy, Energy Cost Reduction Effect, Simulation

토픽모델링과 의미연결망분석을 통한 기계분야 특허 기술이전 동향 분석

곽 송 비
마노엘 대표

김 건

한국기계연구원 기업지원실 선임행정원, 경영학박사

TECHNOLOGY POLICY
MECHANICAL ENGINEERING

토픽모델링과 의미연결망분석을 통한 기계분야 특허 기술이전 동향 분석

곽송비*, 김건**

- 초 록 -

본 연구는 기계분야 특허 기술이전 동향 분석을 위해, 한국기계연구원이 보유한 특허들 중 기술이전 계약이 체결된 특허 1,311건을 대상으로 토픽모델링 및 의미연결망분석을 실시하였다. 먼저 특허 영문초록의 텍스트 데이터에 대한 토픽모델링 결과 기술이전 특허들의 기술 분야는 10가지 토픽(나노패터닝 기술, 자기부상 동력장치, 플라즈마 클리닝, 레이저빔 리소그래피, 내연기관 배기장치, 롤투를 프린팅, 유압 구동장치, 슬러지 처리 장치, 수처리 장치, 유체 기계)으로 구분되었다. 그리고 이렇게 구분된 각 토픽별로 포함된 특허들의 선진특허 분류(Cooperative Patent Classification)에 대한 의미연결망 분석을 통해 각 토픽별 특허들이 어떠한 연결망으로 구성되어있는지, 그리고 어떤 선진특허분류가 연결망 내부에서 핵심적인 역할을 수행하고 있는지 분석하였다. 분석 결과 각 토픽 별로 핵심기술이 전체 특허 연결망에서 미치는 영향력과 특징이 다름을 알 수 있었다. 이에 기계분야 기술이전 활성화를 위해서는 각각의 기술영역별로 차별화된 정책, 전략의 수립이 필요함을 확인할 수 있었다. 이러한 시사점에도 불구하고, 본 연구는 기술이전 시기에 따른 시계열 분석이 수행되지 않은 등 여러 한계점을 가지고 있어 향후 추가연구를 통해 이러한 점을 보완할 필요가 있다.

주 제 어 기술이전, 특허, 토픽모델링, 의미연결망분석, 선진특허분류(CPC)

논문접수일 2023년 10월 4일 수정논문 제출일 2023년 11월 17일 게재확정일 2023년 12월 3일

* (주저자) 마노엘 대표 / songbikwak@gmail.com

** (공동저자) 한국기계연구원 기업지원실 선임행정원, 경영학박사 / doublek1@kimm.re.kr

I. 서론

기술이 고도화됨에 따라, 하나의 기술을 구성하는 요소들의 복잡성, 다양성은 지속적으로 상승하고 있다(Krimsky 2007). 반면 기술의 변화 속도는 더욱 빨라지고 있으며, 제품의 수명주기는 점차 단축되고 있다. 그 결과 새로운 기술 개발 및 사업화를 위한 모든 요소 기술들을 하나의 기업이 내부에서 개발하는 것은 시간과 보유 자원의 측면에서 한계가 존재한다(홍종의 외 2023). 이에 기업들의 기술혁신 전략 수립에 있어 외부의 아이디어, 연구개발 성과 및 역량을 수용하고, 자신들의 연구개발 성과, 내용을 외부에 공개하여 다양한 주체들과 협업을 추진하는 개방형 혁신(Open innovation)의 필요성이 높아지고 있다(Perkmann and Walsh 2007; 송민경, 박범수 2017). 이러한 맥락에서 양도, 실시권 허락 등을 통해 기술보유자로부터 그 외의 자에게 기술이 이전되는 것을 의미하는 기술이전(Technology transfer)의 중요성이 강조되고 있다(Perkmann and Walsh 2007).

국내 기술이전 시장에서 공공연구기관(대학, 정부출연연구기관, 국·공립연구기관 등)은 연구개발을 통해 나타난 특허, 노하우 등 유·무형의 연구개발 성과를 기술이전 시장에 공급하는 중요한 역할을 수행하고 있다. 이에 우리나라는 공공연구기관의 보유기술이 민간에 이전되어 사업화되는 것을 촉진하고자¹⁾ 2000년 “기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률(약칭: 기술이전법)”을 제정하고 이를 근거로 공공연구기관 내 기술이전 전담조직(Technology Licensing Office: 이하 TLO)의 운영, 기술중개기관 육성 등과 같은 다양한 제도를 운영하고 있다(황현덕, 정선양 2015; 윤장호 2017).

공공연구기관들 중 대학과 과학기술정보통신부 산하 정부출연연구기관(이하 출연(연))은 국내 기술이전 시장의 주요 기술공급자로서 2021년 대학은 7,099건, 출연(연)은 5,384건의 기술을 다양한 주체에 이전하였고, 이는 해당 연도 전체 공공연구기관에서 이전된 기술의 46%, 35%를 차지하는 수치이다(산업통상자원부 2022).

기술이전의 주요한 주체로서 대학과 출연(연)은 설립의 목적 및 이에 따른 조직구성에 큰 차이가 존재한다. 대학은 공학, 이학, 인문학, 예체능 등 다양한 전공분야에 대한 교육에 초점을 맞춰 운영되며, 대학이 보유한 학과들은 타 대학과 대동소이한 경우가 많다. 반면 출연(연)은 각각의 기관별로 기계, 화학, 천문, 원자력 등 세분화된 특정 전공 및 기술에 대한 연구개발에 초점을

1) 기술이전법은 이 외에도 민간부문 내 기술의 원활한 거래, 사업화 촉진과 관련된 내용 또한 포함하고 있다. 본 연구는 공공연구기관 기술이전에 초점을 맞춰 수행되었기에 민간부문 측면의 내용은 서술하지 않았다.

맞춰 운영되고 있다(윤장호 2017).

본 연구는 대학과 비교되는 이러한 출연(연)의 특징이 특정 기술 영역에서 나타난 기술이전 성과를 분석함에 효과적일 것으로 판단했다. 여러 전공분야가 함께 운영되는 대학의 구조적 특성 상 다양한 기술 분야에서 기술이전이 발생할 가능성이 높은 것에 비해 기관별로 특정 전공/기술 분야에 초점이 맞춰져 있는 출연(연)의 특성 상 특정 분야의 기술이전이 반복적으로 발생할 가능성이 높기 때문이다. 이에 기계분야 기술이전 동향 분석을 통한 정책적 제언을 위해 기계분야에 초점을 맞춰 연구를 수행 중인 한국기계연구원(이하 기계(연))에서 제3자에게 이전된 특허를 분석하여, 기계분야 기술이전 동향을 가늠해보고자 한다.

이를 위해 본 연구는 기계(연)이 보유한 전체 특허 중 기술이전이 완료된 특허의 초록에 대한 토픽모델링(Topic modeling)을 통해 기술이전 특허의 주요 토픽을 추출하였다. 그리고 각각의 토픽들에 포함된 특허의 선진특허분류(Cooperative Patent Classification: 이하 CPC)들 간의 의미연결망분석(Semantic network analysis)을 실시하여, 기술이전이 실시된 특허들의 기술적 구성요소를 분석하였다.

II. 선행연구

1. 출연(연) 기술이전

공공연구기관의 연구개발성과가 효율적으로 시장에 이전되는 것은 국가 경제성장에 중요한 요소이기에, 공공연구기관의 기술이전 효율성 및 성과에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다(김한준 2020). 하지만 이러한 연구들은 대부분 공공연구기관에 포함되는 대학과 출연(연)을 함께 분석한 경우가 많고(옥주영, 김병근 2009, 이혜진, 김장훈 2021 등), 출연(연)만을 대상으로 수행된 연구는 그 수가 제한적인 현실이다(윤장호 2017; 윤호열 2020 등).

정성적 측면에서 특정 출연(연)의 기술이전 사례를 분석한 연구들은 다음과 같은 결과를 제시하고 있다. 먼저 황현덕, 정선양(2015)은 기술의 공급자인 출연(연)과 수요자인 기업 간에 존재하는 기술 관련 정보비대칭이 존재하고, 출연(연)의 기술이전 프로그램이 상대적으로 공급자 중심으로 편중되어 운영되고 있다는 한계점을 지적하며, 기술 개발이 완성되기 전 잠재적 수요기

업을 발굴하고 수요기업이 원하는 수준으로 기술을 완성시킨 후 기술이전을 실시하는 “수요기업 중심 모델”의 필요성을 강조하고 있다. 고성준, 이춘수(2017)은 R&D 프로세스를 단계별로 분류하고 각 단계별로 기술이전, 사업화 촉진 그리고 이를 통한 연구생산성 향상에 미치는 요인들을 제시하였다. 먼저 R&D 기획단계에서는 수요자의 기술수요 반영 여부, 기술이전 목표의 명확성, R&D 수행단계에서는 참여 연구원의 연구개발 능력, 기업의 과제 참여 여부, 기술완성도의 중요성이 강조되었다. 그리고 성과 확산 단계에서는 TLO 역량, 기술이전 네트워크 구축, 추가기술 개발 및 기술지도 등이 성과평가 단계에서는 기술평가의 적절성 등이 주요한 영향요인으로 제시되었다.

이와 달리 정량적 측면에서는 기술이전 전담부서인 TLO 규모(예산, 인력)나 논문, 특허 수가 기술이전 성과로서 기술이전 계약 체결 건수 또는 기술이전 계약/수입액에 미치는 영향을 분석한 연구들이 주로 이루어지고 있다(황현덕, 정선양 2015; 고성주, 이춘수 2017; 윤장호 2017; 정미림 2020; 윤호열 2020).

TLO규모가 기술이전 성과에 미치는 영향력을 분석한 연구들은 TLO에 소속된 직원의 수²⁾ 및 배정 예산 등이 기술이전 성과에 미치는 영향력에 대해 상반된 결과들을 제시하고 있다. 김학민, 박윤환(2021)의 연구에서는 TLO 규모가 기술이전 성과에 정(+)적 영향을 미침을 제시한 반면, 윤장호(2017), 윤호열 외(2020)의 연구에서는 TLO 규모가 기술이전 성과에 영향을 미치지 못함을 제시하고 있다. 하지만 이들은 방법론에 따라 TLO규모가 기술이전 성과에 미치는 영향이 서로 다르게 나타나며, 출연(연)의 기관 유형(산업화, 공공인프라, 기초미래선도형)에 따라 기관이 TLO에 부여한 역할과 목표가 다를 수 있기에 TLO규모가 기술이전 성과에 직접적으로 영향을 미치지 않는다는 연구결과의 일반화에는 주의가 필요함을 강조하고 있다. 논문 수가 기술이전 성과에 미치는 영향을 분석한 연구결과들 또한 TLO 규모와 같이 연구에 따라 논문 수가 기술이전 성과에 영향을 미친다는 결과와 함께 유의미한 영향 관계가 없음을 주장하는 연구결과들이 혼재되어 있다(윤장호 2017; 정미림 2020).

반면 출연(연)이 보유한 특허 수는 해당 출연(연)의 기술이전 성과에 정(+)적 영향을 미치고 있음이 여러 연구를 통해 검증되었다(윤장호 2017; 정미림 2020; 김학민, 박윤환 2021). 이는 출연(연)의 기술이전 성과에 있어 특허가 미치는 영향력이 검증되었음을 의미하는 것이다. 하지

2) 윤장호(2017)의 연구에서는 TLO에 소속된 전체 인원을 TLO 직원 수로 정의하였고, 윤호열 외(2020)의 연구에서는 TLO 소속 직원들 중 전문인력(변리사, 기술거래사, 기술가치평가사 또는 박사학위 보유자)의 수로 TLO 직원 수를 정의하였다는 차이가 있다.

만 이러한 선행연구 결과들은 정량적 특허 수와 기술이전 성과 간의 관계만을 제시한 것으로, 실제 기술이전이 진행된 특허들이 담고 있는 기술적 내용에 대한 분석은 이루어지지 않았다는 한계점이 존재한다. 이와 달리 출원(연)이 보유한 특허들의 내용에 초점을 맞춘 연구들은 국제특허분류(International Patent Classification)에 대한 연결망분석에 기초하여 과학기술 분야별 기술융합정도를 분석하거나(김경수, 조남욱 2020), 특정 출원(연)이 보유한 특허 초록에 대한 토픽모델링을 통해 해당 출원(연)의 연구동향을 분석(서연, 박경혜 2021)하는 등 주로 기술이전과는 다른 영역에서 연구가 수행되고 있다.

본 연구는 기술이전 특허들의 초록에 대한 토픽모델링과 각 토픽별 CPC에 대한 의미연결망 분석을 통해, 기존 선행연구들의 한계점을 극복하고 기술이전 특허의 기술적 구성 및 특징을 분석할 수 있다는 점에서 선행연구들과 차별화되어 있다고 할 수 있다.

2. 토픽모델링과 의미연결망분석

온라인 환경에 대한 접근성 증가 및 스마트폰, 소셜미디어의 확산으로 인해, 온라인 환경에서 생성되는 텍스트 데이터의 양은 기하급수적으로 늘어나고 있다. 이러한 방대한 텍스트 데이터의 분석은 특정 연구 분야에서의 연구동향을 분석하거나, 사회적으로 이슈가 된 사안에 대한 공증의 의견을 유추하는 등 다양한 활용이 가능하다(Newman et al., 2009; Jelodar et al., 2019).

하지만 텍스트 데이터는 비정형 데이터로 구분되기에, 기존 정형데이터 분석 기법과는 다른 방식이 요구된다. 토픽모델링은 이러한 텍스트 데이터를 분석하는 텍스트 마이닝(Text mining) 기법 중 하나로, 방대한 양의 텍스트 데이터로 구성된 문서들의 집합인 코퍼스(Corpus) 속에 내재된 토픽(topic)을 도출하는 확률적 알고리즘이다. 이는 특정 문서 내부에서는 해당 문서와 연관된 단어가 그 외의 단어들보다 더 자주 등장할 것이기에, 동시에 등장하는 단어들은 하나의 토픽으로 묶일 가능성이 높을 것이라 가정한다. 그리고 이에 기초하여 각각의 문서에 포함된 단어들과 그 빈도를 생성하는 모수들(Parameters)의 추정을 통해 코퍼스에 내재된 토픽의 구조 및 특성을 포착한다(Blei et al., 2003; Newman et al., 2009; Blei 2012; Jelodar et al., 2019).

토픽모델링은 확률적 잠재 의미 분석(Probabilistic latent semantic indexing, pLSI), 잠재 디리클레 할당(Latent Dirichlet Allocation, 이하 LDA), 구조적 토픽 모델(Structural

Topic Model, STM) 등 여러 방식이 존재한다. 이 중 LDA가 가장 일반적으로 활용되고 있는데, 이는 LDA가 텍스트 데이터의 분석에 적합하며 다른 방식에 비해 알고리즘이 단순하고, 확장성이 높기 때문이다(Blei 2012; Jelodar et al., 2019). 특히 사회과학 분야에서는 장문의 텍스트 데이터 분석에 효율적인 LDA가 주로 활용되고 있다(Jelodar et al., 2019).³⁾

LDA는 생성적 확률 모델(Generative probabilistic model)로서 여러 단어들의 확률 분포로 표현되는 토픽들의 집합을 통해 문서가 형성됨을 가정한다. 이에 LDA는 분석의 대상이 되는 다수의 문서들과 이에 포함된 단어들 간의 문서-단어행렬(Document term matrix)을 구성한 후 각각의 문서에 등장하는 단어들의 조합에 기초하여 토픽을 설정하고, 특정 토픽에 단어가 포함될 확률을 디리클레(Dirichlet) 분포를 통해 계산한다(Blei et al., 2003; Blei 2012; Jelodar et al., 2019).

의미연결망분석은 토픽모델링과 함께 대량의 텍스트 데이터를 분석하는 대표적인 방법론 중 하나이다. 이는 텍스트 데이터 구조분석에 초점을 맞춘 방법론으로, 개인들 간의 상호작용 정도, 개인과 집단 간의 관계 등 사회적 관계를 분석한 사회연결망분석(Social network analysis)과는 연구대상 측면에서 차이가 존재한다. 의미연결망분석은 텍스트 데이터 내부 단어 간의 관계를 노드(Node)와 링크(Link)의 관계로 모형화, 시각화하여 방대한 양의 텍스트 데이터가 갖는 의미를 도출한다. 여기서 노드는 분석의 대상이 되는 유의미한 단어들을 의미하며, 링크는 이들 간의 연결 관계를 의미한다(Borgatti et al., 2013; Ruiz and Bernett 2015).

연결망분석은 노드의 밀도(Density), 집중성(Centralization), 중심성(Centrality) 등의 지표를 통해 네트워크 속 노드의 영향력을 분석한다. 이 중 중심성은 연결망 속 특정 노드의 중요성을 분석한 지표이다. 중심성은 주로 연결(Degree), 매개(Betweenness), 아이젠벡터(Eigenvector) 중심성 등으로 분류되며 각각의 중심성 지표들을 통해 특정 노드가 노드들 간의 관계에서 갖는 영향력을 파악해 볼 수 있다(Borgatti et al., 2013; Ruiz and Bernett 2015).

연결중심성은 특정 노드가 다른 노드들과 직접적으로 연결되어 있는 정도를 의미하며, 특정 노드에 직접 연결된 링크들의 합을 통해 파악할 수 있다. 특정 노드에 연결된 노드가 많을수록 해당 노드의 연결중심성은 높게 나타나고, 이를 통해 특정 노드가 다른 노드들과 얼마나 많은 관계를 맺고 있는지 알 수 있다. 매개중심성은 특정 노드가 서로 다른 노드들 간의 관계를 연결(매개)하는 정도를 의미한다. 이는 노드들 간의 최단 경로 속에 특정 노드가 포함되어 있는 정도를

3) 반면 인터넷 댓글과 같은 짧은 문장의 분석에는 LDA가 적절치 않다. 불용어 제거 등 전처리 과정 이후 문장에 남은 단어의 수가 적어 토픽 도출이 제한되기 때문이다(Jelodar et al., 2019).

측정한 지표이다. 연결망 내부에서 특정 노드가 서로 다른 노드들 간의 간접적 인용관계에 있을수록 매개중심성은 높게 나타나며, 이를 통해 어떤 노드가 연결망 속에서 다른 노드들 간의 매개 역할을 수행하는지 알 수 있다. 마지막으로 아이겐벡터중심성은 특정 노드와 다른 노드들 간의 단순 연결정도가 아닌 연결된 노드의 중심성에 가중치를 부여하여 특정 노드의 중심성을 측정하는 지표이다. 이는 특정 노드의 중심성이 그와 연결된 노드의 중심성이 높을수록 높을 것이라는 가정 하에 특정 노드와 연결된 노드들이 갖는 중심성 값의 합에 기초하여 산출된다. 특정 노드가 중심성이 높은 다른 노드들과 많이 연결되어 있을수록 해당 노드의 아이겐벡터중심성은 높게 나타나며, 이를 통해 어떤 노드가 연결망 내부에서 실질적으로 영향력이 높은 노드들과 연결되어 있는지 알 수 있다(Borgatti et al., 2013; Ruiz and Bernett 2015).

토픽모델링과 의미연결망 분석을 활용한 연구는 다양한 영역에서 하나의 방법론을 개별적으로 적용하거나 이 둘을 연계하여 수행되고 있다. 특허 분석 또한 이 두 방법론이 주로 활용되는 영역으로서, 토픽모델링은 특정 영역의 특허가 어떠한 내용들로 구성되어 분류될 수 있는지를, 의미연결망 분석은 특허들 간의 관계 및 융합정도 분석을 위해 주로 활용되고 있다(남대경, 최경현 2018; 김경수, 조남욱 2020; 서연, 박경혜 2021; 김은정, 최희진 2022).

남대경, 최경현(2018)은 차량용 반도체와 관련된 미국 특허를 토픽모델링으로 분석하여 차량용 반도체 분야의 기술 추세를 분석하였고, 서연, 박경혜(2021)는 특정 출연(연)이 보유한 특허의 초록을 토픽모델링을 통해 분석하여 출연(연)의 연구동향을 분석하는 등 토픽모델링을 통한 다양한 연구가 수행되고 있다. 의미연결망 분석 측면에서 김경수, 조남욱(2020)은 19개 출연(연)이 보유한 특허들의 국제특허분류에 기초한 의미연결망 분석을 통해 과학기술 분야별 융합 정도를 제시하고 융합을 촉진시키기 위한 정책적 제언을 제시하였다. 김은정, 최희진(2022)은 토픽모델링과 의미연결망분석을 연계하여 헬스케어 분야의 핵심기술과 기술융합 수준을 분석하였고 이에 기초하여 헬스케어 산업 육성을 위한 전략 및 정책적 방향성을 제시하였다.

이처럼 특허를 대상으로 한 토픽모델링과 의미연결망 분석은 기술의 변화 추세를 분석하거나 현재 기술 동향에 대한 개괄에 효과적인 방법론으로서, 특정 기술과 관련된 활성화 방안 및 정책적 방향성 설정을 위한 기초자료로서 의미를 가지고 있다.

III. 연구방법

1. 분석 데이터

본 연구를 위한 특허 데이터 확보에는 특허정보검색서비스(KIPRIS) 및 기계(연) 내부 자료가 사용되었다. 먼저 특허정보검색서비스를 통해 출원인이 기계(연)인 전체 등록 특허의 출원/등록 번호 및 영문 초록, CPC 등을 확보하였다. 그리고 이들의 기술이전 계약 체결 여부를 기계(연) 내부 데이터를 통해 구분하였다. 해당 데이터는 기계(연)의 내부 기술이전 전산 시스템을 통해 축적된 자료로서, 기술이전 계약에 포함된 모든 특허 및 참여연구자, 기업 등의 정보가 포함되어 있는 자료이다. 기술이전에 대한 기술이전법의 정의에 기초하여 통상/전용실시권, 양도, 연구소 기업 출자 등 모든 기술이전 계약 유형을 기술이전에 포함시켜 분류를 실시하였고, 이를 통해 2000년부터 연구가 수행된 2023년 6월까지 기술이전 계약 체결이 완료된 총 1,311건의 특허를 분석대상으로 설정하였다.

2. 분석 절차

확보된 특허 1,311건의 영문 초록에 대한 토픽모델링에는 R(4.2.3)이 활용되었다. 이를 위해 가장 먼저 텍스트 데이터에 대한 전처리가 실시되었다. 전처리는 우선 분석의 대상이 영문이기에 대문자와 소문자를 통일시킨 후 불용어(Stopwords)를 제거하는 과정으로 진행되었다. 불용어는 우선 R에서 제공하는 영문 불용어 리스트(a, an, is, are 등)를 통해 이에 포함된 단어들 1차적으로 제거하였다. 그 후 영문 특허 초록에 빈번히 등장하나 분석에 유의미하지 않은 단어들(invention, technology, claim 등)을 제거하였고, 마지막으로 단어 출현 빈도분석을 통해 등장 빈도가 높은 단어들 중 분석에 필요치 않을 것으로 판단되는 단어들(axis, steel, dimension 등)을 제거하였다. 이후 전처리가 완료된 데이터를 문서-단어행렬로 변환시킨 후 LDA 토픽모델링을 실시하였다(Parameter 추정: Gibbs sampling).

토픽모델링을 위한 토픽 수의 설정은 사후지정 방식과 사전지정 방식을 통해 가능하다. 사후지정 방식은 토픽 수에 따른 복잡도(Perplexity) 또는 응집도(Coherence)를 비교하여 토픽의 수를 설정하는 방식이다. 다만 복잡도의 경우 토픽 수가 많아질수록 지표가 긍정적으로 산출되는 특성이 있어 이에 기초한 토픽 수 설정 시 불필요한 수준으로 많은 토픽이 산출된다는 한계점이

있고, 응집도의 경우 현재까지 지표의 신뢰성에 대한 연구가 충분히 이루어지지 않았다는 한계점이 존재한다(O'callaghan et al., 2015). 특히 기계분야의 여러 특허들을 분석 대상으로 하고 있는 본 연구와 같이 코퍼스 내부에 다양한 주제가 포함되어 있을 가능성이 높은 경우 표준화된 토픽 수 결정 방식의 적용은 거의 불가능하기에, 연구자들의 정성적 판단에 기초하여 토픽 수를 설정하는 사전지정 방식이 주로 활용되고 있다(DiMaggio et al., 2013; Maier et al., 2018).

이에 본 연구에서는 사전지정 방식을 활용하고자, 토픽의 수를 5부터 30까지 순차적으로 변경하여 LDA 토픽모델링을 실시하였다. 그 결과 선행연구들이 제시한 복잡도의 한계점과 같이 토픽의 수가 많아질수록 토픽의 복잡도는 감소되었으나, 토픽의 수가 11 이상인 경우 토픽의 수가 늘어나는 것에 비해 감소되는 복잡도의 수치가 현저히 낮아짐을 확인하였다. 또한 10 이상의 토픽 수를 지정한 경우 분류된 토픽별 단어들이 특정 기술 분야로 확연히 규합된다고 판단하기 어려워 토픽 수는 최종적으로 10으로 설정하였다.

이후 토픽모델링을 통해 도출된 각각의 토픽별로 해당 토픽에 포함된 특허들이 어떤 기술들로 구성 및 관계되어 있고, 핵심기술은 무엇인지를 분석하기 위해 기술이전 특허 CPC에 대한 의미연결망분석을 실시하였다. 분석에는 Gephi(0.10)이 활용되었고, 토픽별 기술이전 특허들에 부여된 CPC가 연결망 내부에서 갖는 연결, 매개, 아이젠벡터중심성을 확인하였다. 그리고 이 중 중심성이 높은 특허들의 CPC코드가 의미하는 기술 분야를 확인하였다.

IV. 연구결과

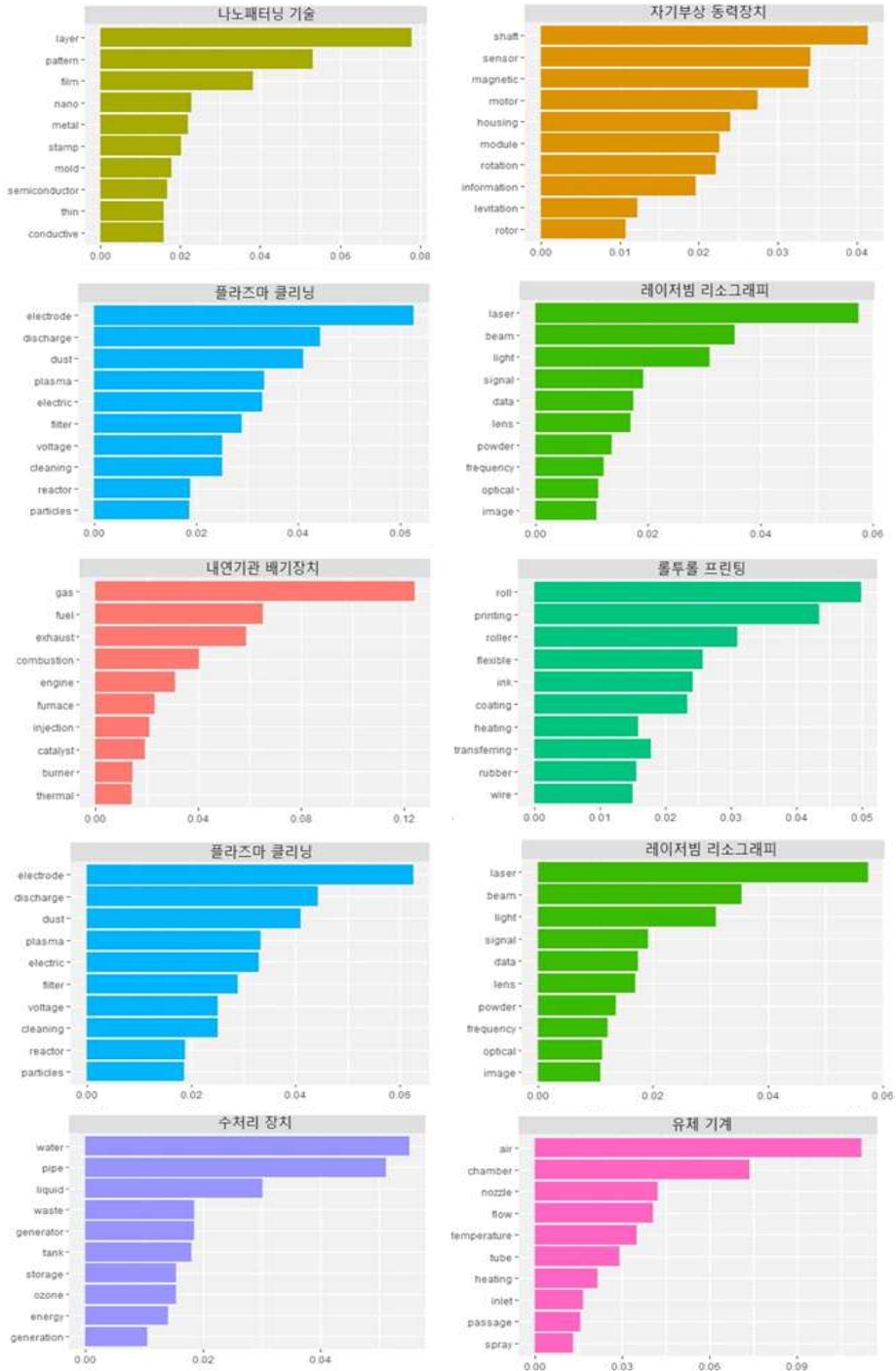
1. 토픽 모델링 결과

기계(연) 기술이전 특허 1,311건의 영문초록을 대상으로 LDA 토픽모델링을 실시하여 <표 1>과 같이 총 10개의 토픽을 도출하였다. 분류된 토픽이 의미하는 기술 분야 확인을 위해서는 나노, 광응용, 로봇메카 등 다양한 연구배경을 가진 기계(연) 소속 기계공학 분야 연구자 5인에게 해당 토픽에 포함된 주요 단어들을 제시하고, 이들이 공통적으로 포함되는 기술 분야를 제시해 줄 것을 요청, 회신 의견에 기초하여 토픽별 기술 분야를 확정하였다.

<표 1> 토픽모델링(LDA) 결과

토픽	기술 분야	주요단어	특허 수(%)
1	나노패터닝 기술	layer, pattern, film, nano, metal, stamp, mold, semiconductor, conductive, thin	173 (13.2%)
2	자기부상 동력장치	shaft, sensor, magnetic, motor, housing, module, rotation, information, levitation, rotor	155 (11.8%)
3	플라즈마 클리닝	electrode, discharge, dust, plasma, electric, filter, cleaning, voltage, reactor, particles	149 (11.4%)
4	레이저빔 리소그래피	laser, beam, light, signal, data, lens, powder, frequency, optical, image	136 (10.4%)
5	내연기관 배기장치	gas, fuel, exhaust, combustion, engine, furnace, injection, catalyst, burner, thermal	131 (10.0%)
6	롤투롤 프린팅	roll, printing, roller, flexible, ink, coating, transferring, heating, rubber, wire	128 (9.8%)
7	유압 구동장치	pressure, fluid, valve, cylinder, piston, oil, pump, actuator, elastic, vibration	128 (9.8%)
8	슬러지 처리 장치	load, vacuum, holder, channel, membrane, hollow, work, sheet, porous, screw	122 (9.3%)
9	수처리 장치	water, pipe, liquid, generator, waste, tank, ozone, storage, energy, generation	106 (8.1%)
10	유체 기계	air, chamber, nozzle, flow, temperature, tube, heating, inlet, passage, spray	83 (6.3%)

[그림 1] 토픽별 단어 분포(B)

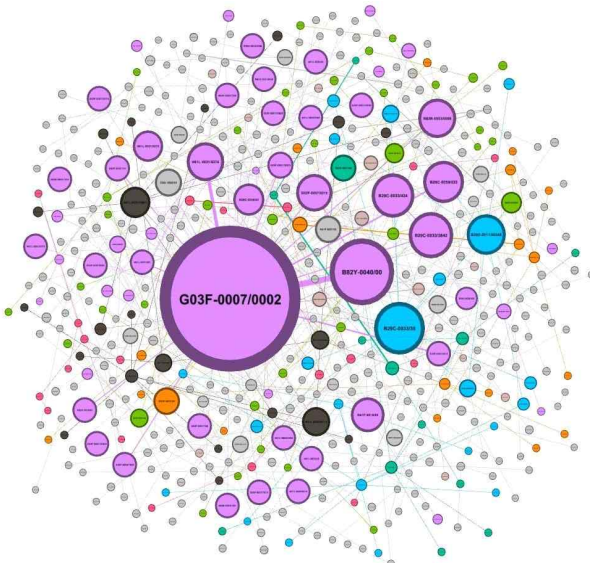


2. 의미연결망분석 결과

1) 토픽 1. 나노패터닝 기술

토픽 1, “나노 패터닝 기술”의 경우 전체 분석 대상 특허 중 가장 많은 특허가 포함된 토픽으로서 (173건, 13.2%), 해당 특허들에 부여된 CPC코드들에 대한 의미연결망 분석을 실시한 결과, <표 2>와 같이 “포토리소그래픽 공정의 대안으로 적용 가능한 전사 및 임프린팅 공정에 기초한 마이크로 표면 및 나노 구조화”에 해당하는 CPC코드 “G03F7/02”의 연결, 매개, 아이겐벡터 중심성 값이 모두 가장 높게 나타났다. 또한 분석 결과 1순위와 2순위 CPC코드가 갖는 중심성 값의 차이가 크게 나타났다. 이에 CPC코드 “G03F7/02”가 토픽 1에 포함된 기술이전 특허들의 CPC 연결망 내부에서 가장 영향력이 높은 핵심기술이며, 그 외 특별히 영향력이 크지 않은 다양한 기술 분야들을 연결하는 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

<표 2> 토픽 1. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이겐벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이겐 벡터
	1	G03F7/ 02 (0.24)	G03F7/ 02 (0.15)	G03F7/ 02 (1.00)
	2	B82Y40/ 00 (0.10)	B82Y40/ 00 (0.08)	B82Y40/ 00 (0.43)
	3	B29C33/ 0038 (0.07)	H01L21/ 0274 (0.04)	B29C33/ 38 (0.32)
	4	H01L21/ 0274 (0.06)	B29D11/ 00346 (0.03)	B29C33/ 3842 (0.28)
	5	H01L21/ 6836 (0.05)	G01Q70/ 12 (0.02)	B29C33/ 424 (0.26)

2) 토픽 2. 자기부상 동력장치

토픽2, “자기부상 동력장치”에 포함된 특허 155건의 CPC에 대한 의미연결망 분석을 실시한 결과, <표 3>과 같이 “차량용 자기적 현가 또는 부양”을 의미하는 CPC코드 “B60L13/04”과 “모듈구조에 의해 쉽고 빠르게 장착 및 탈착이 가능한 조정장치(Manipulators)”를 의미하는 CPC코드 “B25J9/08”의 연결 및 아이겐벡터중심성 값이 1, 2순위로 높게 나타났다. 특히 이 두 CPC코드의 중심성이 비슷한 수준으로 나타나, 이 두 기술 분야가 토픽 2에 포함된 특허들의 연결망에서 핵심적이며 큰 영향력을 지니고 있음을 알 수 있다. 매개중심성의 경우 “자기베어링(CPC코드: H02K7/09)”, “속도나 위치 감지 또는 그것으로 작동하는 장치(CPC코드: H02K11/21)” 등의 CPC코드들이 비슷한 수치로 해당 연결망 내부에서 높았으나, 그 수치가 다른 토픽들의 매개중심성 수치에 비해 상대적으로 낮게 나타났다.

<표 3> 토픽 2. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이겐벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이겐 벡터
	1	B60L13/ 04 (0.12)	H02K7/ 09 (0.04)	B60L13/ 04 (1.00)
	2	B25J9/ 08 (0.11)	H02K11/21 (0.04)	B25J09/ 08 (0.91)
	3	B25J9/ 1633 (0.07)	H02K9/ 19 (0.04)	B25J9/ 1633 (0.78)
	4	B65G54/ 02 (0.07)	B25J9/ 08 (0.03)	H01L21/ 67709 (0.68)
	5	H01L21/ 67709 (0.06)	B25J17/ 00 (0.03)	B65G54/ 02 (0.67)

3) 토픽 3. 플라즈마 클리닝

토픽 3, “플라즈마 클리닝”에 포함된 특허 149건의 CPC에 대한 의미연결망을 분석한 결과, <표 4>와 같이 우선 “고체 물질 또는 유체로부터 고체 물질의 자기 또는 정전기 분리; 고전압 전기장에 의한 분리”를 의미하는 “B03C3” 영역에 포함된 세부기술들의 아이젠벡터중심성 값이 전반적으로 높게 나타났다. 이 중 “이온화 전극”을 의미하는 “B03C3/41”는 아이젠벡터중심성 뿐만 아니라 연결중심성도 높게 나타났다. 또한 “전기 또는 코로나(corona) 방전기를 이용한 개념(eg: 플라즈마 처리)”을 의미하는 CPC코드 “B01D53/32”의 경우 연결 및 매개중심성 수치가 높게 나타났다. 이를 통해 토픽 3에 포함된 특허들의 CPC 연결망 내부에서 CPC코드 “B03C3” 영역이 갖는 영향력이 전반적으로 높고, 특히 CPC코드 “B03C3/41”이 영향력이 가장 높은 핵심기술임을 알 수 있다. 다음으로 타 CPC코드들과의 연결 관계가 많고, 이들의 관계를 매개하는 역할을 수행하고 있는 CPC코드 “B01D53/32”의 영향력이 높다고 할 수 있다.

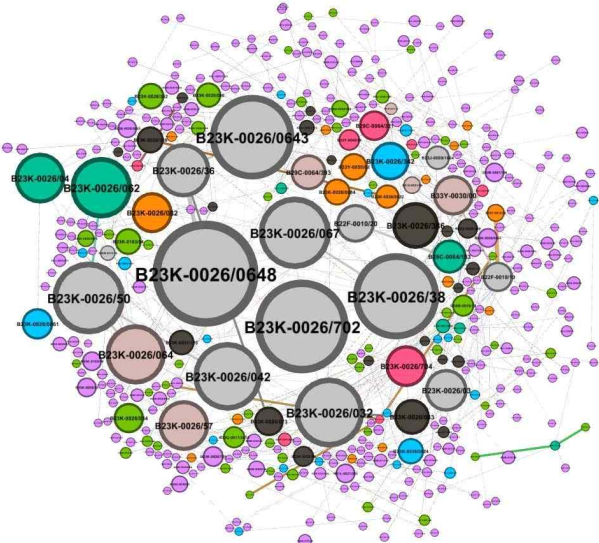
<표 4> 토픽 3. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이젠벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이젠 벡터
	1	B03C3/ 41 (0.12)	B01D53/ 32 (0.13)	B03C3/ 41 (1.00)
	2	B01D53/ 32 (0.12)	F01N3/ 01 (0.09)	B03C3/ 47 (0.96)
	3	B03C3/ 47 (0.10)	H05H1/ 2406 (0.08)	B03C3/ 38 (0.73)
	4	F01N3/ 01 (0.10)	H05H1/ 24 (0.07)	B03C3/ 78 (0.68)
	5	H01J37/ 32348 (0.09)	H01J37/ 32348 (0.07)	B03C3/ 04 (0.63)

4) 토픽 4. 레이저빔 리소그래피

토픽 4, “레이저빔 리소그래피”에 포함된 특허 136건의 CPC에 대한 의미연결망을 분석 결과, <표 5>와 같이 “레이저 빔에 의한 가공”을 의미하는 “B23K26”의 영역의 세부 기술들의 아이겐 벡터 중심성 값이 전반적으로 높게 나타났다. 이중 “광학 요소에 의한 렌즈를 구성하는 것”을 의미하는 CPC코드 “B23K26/0648”은 아이겐벡터중심성 뿐만 아니라 연결중심성 또한 가장 높게 나타났다. 이에 토픽 4에 포함된 특허들의 연결망 내부에서는 CPC코드 “B23K26”의 영역에 포함된 CPC코드들의 영향력이 전반적으로 높게 나타나며, 이 중에서도 “B23K26/0648”가 가장 영향력이 높은 핵심 기술 분야임을 알 수 있다. 매개중심성의 경우 “레이저 빔에 의한 가공 보조 장치”를 의미하는 CPC코드 “B23K26/702”의 매개중심성이 해당 연결망 내부에서는 가장 높게 나타났으나, 수치 자체가 높지 않아 해석에 주의가 필요할 것으로 판단된다.

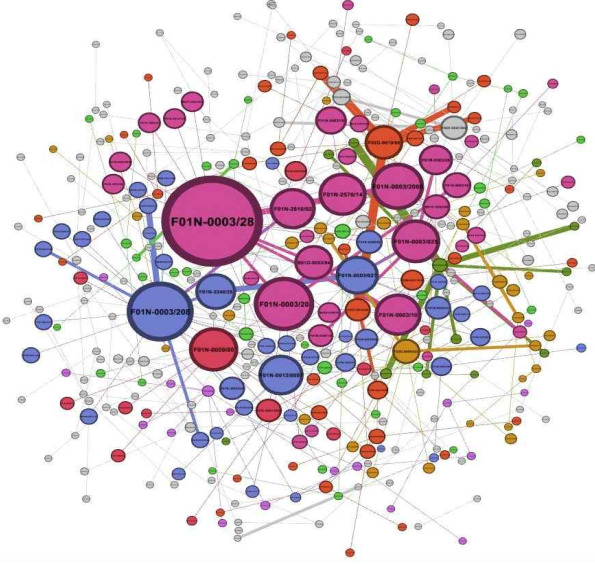
<표 5> 토픽 4. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이겐벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이겐 벡터
	1	B23K26/ 0648 (0.10)	B23K26/ 702 (0.04)	B23K26/ 0648 (1.00)
	2	B25J9/ 1664 (0.08)	B33Y30/ 00 (0.02)	B23K26/ 702 (0.87)
	3	B23K26/ 38 (0.08)	B23K26/ 342 (0.02)	B23K26/ 38 (0.79)
	4	B23K26/ 702 (0.08)	B23K31/ 125 (0.02)	B23K26/ 0643 (0.78)
	5	B23K26/ 0643 (0.07)	G01N21/ 88 (0.02)	B23K26/ 50 (0.66)

5) 토픽 5. 내연기관 배기장치

토픽5, “내연기관 배기장치”에 포함된 특허 131건의 CPC에 대한 의미연결망 분석 결과, <표 6>과 같이 “촉매 반응기의 구조”를 의미하는 CPC코드 “F01N3/28”의 연결 및 아이젠벡터 중심성 값이 가장 높게 나타났다. 매개중심성의 경우 “배기가스 처리장치의 전기적 제어”를 의미하는 CPC코드 “F01N9/00”의 수치가 가장 높게 나타났다. 이를 통해 해당 토픽에 포함된 기술이전 특허들의 가장 핵심적인 기술 분야는 CPC코드 “F01N3/28”이며, 이에 포함된 여러 기술 분야들 간의 관계를 CPC코드 “F01N9/00”가 연결하고 있음을 알 수 있다.

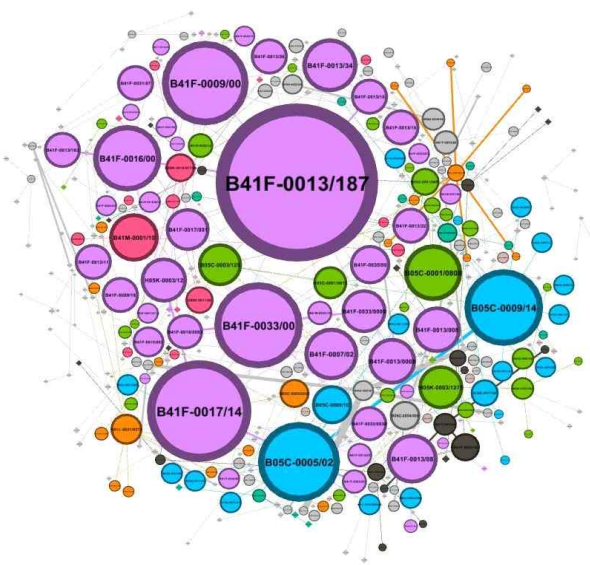
<표 6> 토픽 5. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이젠벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이젠 벡터
	1	F01N3/ 28 (0.16)	F01N9/ 00 (0.12)	F01N3/ 28 (1.00)
	2	F01N3/ 208 (0.14)	F01N3/ 28 (0.11)	F01N3/ 208 (0.63)
	3	F23G5/ 027 (0.12)	F02D41/ 222 (0.11)	F01N3/ 20 (0.56)
	4	F02D19/ 08 (0.11)	F02M21/ 0218 (0.11)	F01N3/ 2066 (0.48)
	5	F02D41/ 062 (0.09)	F01N3/0 27 (0.09)	F01N9/ 00 (0.45)

6) 토픽 6. 롤투롤 프린팅

토픽 6, “롤투롤 프린팅”에 포함된 특허 128건의 CPC에 대한 의미연결망 분석 결과, <표 7>과 같이 “인쇄 기계 또는 프레스의 로토그래비아”를 의미하는 CPC코드 “B41F13/187” 기술 분야의 연결, 매개, 아이겐벡터중심성 값이 모두 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 토픽 1의 연결망 분석과 비슷한 양상으로, 토픽 6에서는 CPC코드 “B41F13/187”가 다른 CPC코드들과 연결된 수준도 높고, 다른 CPC코드들 간의 관계를 매개하는 구심점 역할을 수행함을 알 수 있었다.

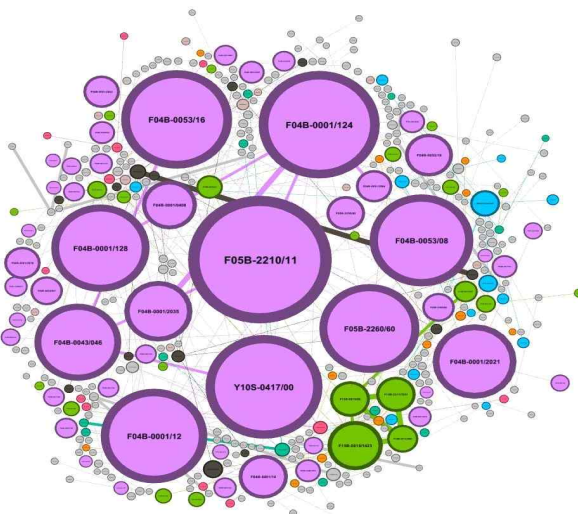
<표 7> 토픽 6. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이겐벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이겐 벡터
	1	B41F13/ 187 (0.12)	B41F13/ 187 (0.10)	B41F13/ 187 (1.00)
	2	B05C5/ 02 (0.08)	B05C1/ 0808 (0.09)	B41F17/ 14 (0.63)
	3	B05C9/ 14 (0.08)	H05K1/ 092 (0.08)	B41F33/ 00 (0.53)
	4	B29C64/ 209 (0.07)	H05K3/ 1275 (0.08)	B41F09/ 00 (0.52)
	5	A61F2/ 82 (0.07)	B05C1/ 08 (0.08)	B05C05/ 02 (0.49)

7) 토픽 7. 유압 구동장치

토픽 7, “유압 구동장치”에 포함된 특허 128건에 포함된 CPC의 의미연결망을 분석한 결과, <표 8>과 같이 연결중심성은 “유체 압력 액추에이터(유압 또는 공압); 유압 액추에이터 구성부품”을 의미하는 CPC 코드 “F15B15/1423”가 그리고 아이젠벡터중심성은 “액체를 위한 기계 또는 엔진”을 의미하는 CPC 코드 “F05B2210/11”가 가장 높게 나타났다. 또한 중심성 수치가 이들보다 크진 않지만, “실린더의 수 또는 배열에 특징이 있는 다중 실린더 기계 또는 펌프”를 의미하는 CPC 코드 “F04B1” 영역에 포함된 기술들(CPC코드: F04B1/124, F04B1/12)의 연결 및 아이젠벡터중심성 수치가 높게 나타났다. 매개중심성의 경우 상위 5개 CPC코드들이 갖는 매개중심성이 매우 낮게 나타나, 서로 다른 기술을 연결하는 두드러진 기술 분야는 없는 것으로 확인되었다. 이에 해당 토픽에 포함된 특허들의 경우 CPC 코드 “F15B1/1423”, “F05B2210/11”와 “F04B/01” 영역에 포함된 여러 기술들이 연결망 내부에서 독자적인 영향력을 가지고 있음을 알 수 있다.

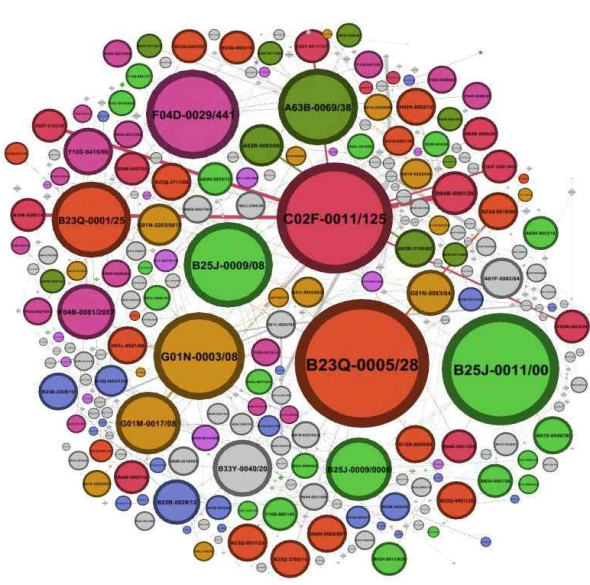
<표 8> 토픽 7. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이젠벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이젠 벡터
	1	F15B15/1423 (0.10)	F15B15/1423 (0.01)	F05B2210/11 (1.00)
	2	F04B1/124 (0.10)	F05B2210/11 (0.01)	F04B1/124 (0.83)
	3	F04B1/12 (0.09)	B63H21/165 (0.01)	Y10S417/00 (0.80)
	4	F05B2210/11 (0.07)	G01M13/00 (0.01)	F04B53/16 (0.76)
	5	B63H21/165 (0.07)	F15B19/005 (0.01)	F04B1/12 (0.72)

8) 토픽 8. 슬러지 처리 장치

토픽 8, “슬러지 처리 장치”에 포함된 특허 122건에 포함된 CPC의 의미연결망을 분석한 결과, <표 9>와 같이 “구동 또는 이송 기계; 전기적 구동”을 의미하는 CPC코드 “B23Q5/28”의 연결 및 아이겐벡터중심성 수치가 높게 나타났다. 연결중심성 측면에서는 “슬러지 처리 및 그것을 위한 장치; 스크류 필터를 사용하는 것”을 의미하는 CPC코드 “C02F11/125”가 “B23Q5/28”와 동일한 수준으로, 아이겐벡터중심성의 경우 “달리 분류되지 않는 매니플레이터”를 의미하는 CPC 코드 “B25J11/00”의 중심성 수치가 높게 나타났다. 매개중심성의 경우 유의미한 영향력을 보인 CPC 코드는 존재하지 않았다. 이를 통해 “B23Q5/28”이 해당 토픽에서 가장 핵심적인 기술 분야이며, “C02F11/125” 또한 그 다음으로 연결망 내부에서 중요한 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다.

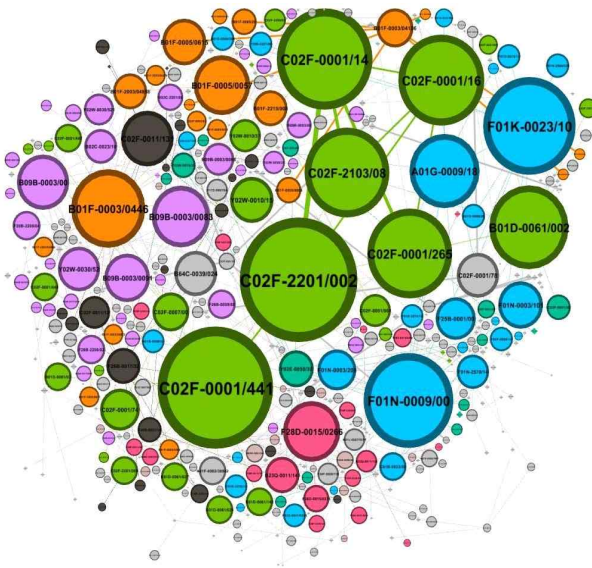
<표 9> 토픽 8. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이겐벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이겐 벡터
	1	B23Q5/28 (0.08)	B23B29/12 (0.00)	B23Q5/28 (1.00)
	2	C02F11/125 (0.08)	B25J11/00 (0.00)	B25J11/00 (0.87)
	3	F04D29/441 (0.07)	B23B2228/16 (0.00)	C02F11/125 (0.86)
	4	B25J11/00 (0.06)	B25J9/0006 (0.00)	F04D29/441 (0.69)
	5	A63B69/38 (0.06)	B23Q3/1554 (0.00)	G01N3/08 (0.68)

9) 토픽 9. 수처리 장치

토픽 9, “수처리 장치”에 포함된 특허 106건의 CPC에 대한 의미연결망 분석 결과, <표 10>과 같이 “물, 폐수, 하수 또는 슬러지의 처리”를 의미하는 기술 영역인 CPC코드 “C02F”에 포함된 기술들의 아이젠벡터중심성 값이 높은 순위에 위치해 있다. 이 중 “물, 폐수 또는 하수의 처리를 위한 장치의 세부 구조”를 의미하는 CPC코드 “C02F2201/002”의 아이젠벡터 중심성 값이 가장 높게 나타났다. 다음으로 “물, 폐수, 하수 또는 슬러지의 처리”를 의미하는 기술 영역인 CPC코드 “C02F1”에 포함되며 “역삼투 방식”을 의미하는 CPC코드 “C02F1/441”와 “태양에너지 사용 방식”을 의미하는 CPC코드 “C02F1/14”의 아이젠벡터중심성 값이 높게 나타났다. 그리고 “C02F1/14”의 경우 연결중심성 또한 높게 나타났으나, 이 외 다른 CPC코드가 갖는 연결중심성 수치와 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 이에 CPC코드 “C02F” 기술 영역에 포함된 세부기술들이 토픽 9번에 포함된 특허들의 연결망 내부에서 갖는 영향력이 매우 높고, 이 외의 다양한 기술들도 독자적인 영향력을 가지고 있다고 판단할 수 있다.

<표 10> 토픽 9. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이젠벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이젠 벡터
	1	C02F1/441 (0.10)	C02F2201/002 (0.02)	C02F2201/002 (1.00)
	2	F28D15/0266 (0.10)	C02F11/131 (0.02)	C02F01/441 (0.98)
	3	B01F3/0446 (0.10)	C02F7/00 (0.01)	C02F01/14 (0.81)
	4	B64C39/024 (0.10)	C02F1/74 (0.01)	F01K23/10 (0.78)
	5	F01K23/10 (0.09)	Y02W10/15 (0.01)	F01N9/00 (0.76)

10) 토픽 10. 유체 기계

토픽 10, “유체 기계”에 포함된 특허 83건에 포함된 CPC의 의미연결망분석을 실시한 결과, <표 11>과 같이 “퇴적, 응집, 적층에 의한 3차원 물체 제조”를 의미하는 “B29C64” 기술 영역에 포함된 “제조 공정을 제어 또는 조절하는 방식(B29C64/393)”의 연결, 아이젠벡터중심성 값이 가장 높게 나타났다. 연결중심성 측면에서는 “원심 분리에 의한 공기 정화”를 의미하는 CPC코드 “F24F8/183”이 2순위로 높게 나타났고, 이를 이어 “유체의 흐름을 방해하지 않는 감지 또는 가열 요소(G01F1/6847)”, “연소실 또는 연소존에 연소 가스를 되돌리는 수단”에 의한 연소 장치(F23B80/00)의 수치가 높게 나타났다. 매개중심성의 경우 유의미한 영향력을 보인 CPC 코드는 존재하지 않았다.

<표 11> 토픽 10. CPC 연결망 구조 및 중심성

연결망 구조 (노드 크기: 아이젠벡터 중심성)	중심성			
	순위	연결	매개	아이젠 벡터
	1	B29C64/ 393 (0.14)	B29C64/ 393 (0.00)	B29C64/ 393 (1.00)
	2	F24F8/ 183 (0.10)	A61L27/ 38 (0.00)	C21D9/ 00 (0.66)
	3	G01F1/ 6847 (0.09)	G01F1/ 6847 (0.00)	C21D9/ 562 (0.60)
	4	F23B80/ 02 (0.09)	G01K13/ 02 (0.00)	B41J2/ 04501 (0.57)
	5	B41J2/ 14137 (0.06)	B41J2/ 14137 (0.00)	B41J2/ 14137 (0.57)

V. 결론

본 연구는 기계분야 기술들의 기술이전 동향을 분석하여 기계분야 기술이전 및 이에 기반한 사업화 촉진 전략 수립을 위한 기초 자료를 구성함에 그 목적이 있다. 이에 국내 기술이전 시장에서 기술의 공급자로서 역할을 수행하고 있는 공공연구기관 중 기계분야에 초점을 맞춰 연구를 수행하는 대표적인 출연(연)인 기계(연)이 이전한 특허들에 대한 분석을 통해 국내 기계분야 기술이전 동향을 가늠해보고자 한다. 이를 위해 먼저 기계(연)이 이전한 특허들의 영문초록에 대한 LDA방식의 토픽모델링을 통해 기계(연)에서 이전된 특허들이 주로 어떤 주제(토픽), 기술 분야로 분류될 수 있는지 파악하였다. 그리고 이를 통해 도출된 토픽들에 포함된 특허들의 CPC에 대한 의미연결망 분석을 통해 해당 토픽을 구성하는 주요 핵심기술이 무엇인지 분석하였다. 분석에는 기계(연) 특허들 중 기술이전 계약이 체결된 특허 총 1,311건이 활용되었고, 이를 통해 도출된 10가지 토픽 및 이에 포함된 주요 CPC는 <표 12>와 같다.

먼저 토픽모델링 결과 기술이전이 실시된 특허들의 기술 분야는 “나노패터닝 기술”, “자기부상 동력장치”, “플라즈마 클리닝”, “레이저빔 리소그래피”, “내연기관 배기장치”, “롤투롤 프린팅”, “유압 구동장치”, “슬러지 처리 장치”, “수처리 장치”, “유체 기계”로 구성됨을 확인할 수 있었다.

<표 12> 기술이전 특허의 주요 토픽 및 토픽별 주요 CPC

토픽	토픽명	주요 CPC
1	나노패터닝 기술	• G03F7/02 (포토리소그래픽 공정의 대안으로 적용 가능한 전사 및 임프린팅 공정에 기초한 마이크로 표면 및 나노 구조화)
2	자기부상 동력장치	• B60L13/04 (차량용 자기적 현가 또는 부양) • B25J9/08 (모듈구조에 의해 쉽고 빠르게 장착 및 탈착이 가능한 조정 장치 (Manipulators))
3	플라즈마 클리닝	• B03C3/41 (고체 물질 또는 유체로부터 고체 물질의 자기 또는 정전기 분리; 고전압 전기장에 의한 분리 / 이온화 전극) • B01D53/32 (전기 또는 코로나(corona) 방전기를 이용한 개념(플라즈마 처리))
4	레이저빔 리소그래피	• B23K26/0648 (레이저 빔에 의한 가공; 광학 요소에 의한 렌즈를 구성하는 것)
5	내연기관 배기장치	• F01N3/28 (촉매 반응기의 구조) • F01N9/00 (배기가스 처리장치의 전기적 제어)
6	롤투롤 프린팅	• B41F13/187 (인쇄 기계 또는 프레스의 로토그래비아)

토픽	토픽명	주요 CPC
7	유압 구동장치	<ul style="list-style-type: none"> F15B15/1423 (유체 압력 액추에이터; 유압 액추에이터 구성부품) F05B2210/11 (액체를 위한 기계 또는 엔진) F04B01 영역 (실린더의 수 또는 배열에 특징이 있는 다중 실린더 기계 또는 펌프)
8	슬러지 처리장치	<ul style="list-style-type: none"> B23Q5/28 (구동 또는 이송 기계; 전기적 구동) C02F11/125 (슬러지 처리 및 그것을 위한 장치; 스크류 필터를 사용하는 것) B25J11/00 (달리 분류되지 않는 매니플레이터)
9	수처리 장치	<ul style="list-style-type: none"> C02F2201/002 (물, 폐수 또는 하수의 처리를 위한 장치의 세부 구조) C02F1/441 (물, 폐수, 하수 또는 슬러지의 처리; 역삼투 방식) C02F1/14 (물, 폐수, 하수 또는 슬러지의 처리; 태양에너지 사용방식)
10	유체기계	<ul style="list-style-type: none"> B29C64/393 (퇴적, 응집, 적층에 의한 3차원 물체 제조; 제조 공정을 제어 또는 조절하는 방식) F24F8/183 (원심 분리에 의한 공기 정화) G01F1/6847 (유체의 흐름을 방해하지 않는 감지 또는 가열 요소) F23B80/00 (연소실 또는 연소존에 연소 가스를 되돌리는 수단에 의한 연소 장치)

기술이전 특허들에 부여된 CPC에 대한 의미연결망 분석 결과 해당 토픽에 포함된 특허들의 핵심기술이 무엇인지 파악할 수 있었고, CPC연결망에 존재하는 특징이 몇몇 토픽에서 동일하게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 먼저 토픽 1에서는 “G03F7/02”가 토픽 6에서는 “B41F13/187”가 갖는 연결, 매개, 아이젠벡터중심성 값이 가장 높게 나타났으며 이는 2순위가 갖는 중심성 값과 큰 차이가 존재했다. 즉 토픽 1과 6의 CPC연결망에서는 하나의 기술 분야가 연결망 내부에서 절대적인 영향력을 가지고 있다는 동일한 특징이 확인된 것이다. 다음으로 토픽 3과 5는 연결, 아이젠벡터 중심성이 높은 CPC와 매개중심성이 높은 CPC가 서로 다르게 나타나, CPC코드들 간의 관계를 매개하는 별도의 CPC가 존재함을 알 수 있었다. 토픽 3, 4, 9의 CPC연결망 내부에서는 모두 동일 기술영역에 포함된 기술들의 연결 및 아이젠벡터 중심성이 높게 나타난 특징이 있었다. 이에 해당 토픽들에 포함된 특허들의 경우 다양한 기술들이 융합되기 보다는, 특정 기술 영역 내부에서 유사한 기술들 간의 결합이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 그 외 토픽들의 경우 매개중심성이 매우 낮거나 0에 가깝게 나타났다는 동일한 특징이 발견되었다. 이에 해당 토픽들의 연결망 내부에서는 CPC들 간의 관계를 매개하는 특정 CPC가 존재하기 보다는, 각각의 기술 분야가 직접적으로 연결되어 연결망이 구성되었을 것이라 판단할 수 있다.

본 연구를 통해 기계분야에서 기술이전이 실시된 특허들이 어떠한 기술적 요소들로 구성되어 있는지 개괄적으로 확인할 수 있었다. 이는 향후 특정 기계기술 분야의 지원 또는 활성화 정책을

수립하는 과정에서 관련 기술의 시장성 향상을 위한 전략수립의 기초자료로서 활용이 가능할 것이다. 또한 본 연구를 통해 수행된 의미연결망 분석 결과 기술 분야별 CPC연결망이 모두 일관된 모습이 아닌 몇 가지 특징으로 구분될 수 있음을 확인하였다. 즉 토픽 1, 6과 같이 하나의 핵심기술이 절대적 영향력을 가지고 있는 분야가 있는 반면, 토픽 3, 4, 9와 같이 여러 기술들이 복합적으로 구성되는 특성을 가진 분야들 또한 존재함을 알 수 있었다. 이는 향후 특정 기계기술 분야에 대한 지원 또는 활성화 정책을 수립하는 과정에서는 정책을 도입하고자 하는 세부 기술 분야가 갖는 특성을 사전에 분석하여 정책 수립이 진행되어야 정책의 효율성을 높일 수 있음을 시사한다.

연구 결과의 이러한 의의에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 한계가 존재하기에 연구결과의 해석에는 주의가 필요하며, 차후 이를 보완할 수 있는 후속 연구가 실시되어야 할 것이다. 먼저 유체(Fluid)란 액체와 기체를 아울러 이르는 말인데, 단어를 분석의 기준으로 하는 토픽모델링의 특성 상 유체 기계분야에서 액체, 기체에 대한 세부적인 구분이 이루어지지 않은 것으로 보인다. 이에 토픽 10에 포함된 특허들의 주요 핵심기술에 대한 해석 과정에서는 주의가 필요하다. 다음으로 본 연구결과를 통해서는 각 토픽별 핵심적인 CPC의 코드 및 명칭만 제시되었을 뿐 이들이 담고 있는 기술적 내용은 제시되지 않았다. 이에 본 연구 결과의 활용을 위해서는 각 CPC코드 내부에 서술된 기술적 내용들에 대한 확인이 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구는 시계열에 기초한 연구결과가 제시되지 않아, 시기별 기술이전 트렌드를 파악함에는 한계가 존재한다. 이는 통상실시권 설정이 기본인 출원(연) 기술이전의 특성 상 동일한 특허가 여러 시기에 반복적으로 이전되는 경우가 있어 시계열 분석 시 이로 인해 시기별 차이가 뚜렷하게 나타나지 않을 가능성이 높다고 판단했기 때문이다. 하지만 기술이전 동향을 분석하기 위해서는 시기별로 기술이전이 실시된 기술의 특성에 대한 확인이 반드시 추가되어야 할 것이다. 이에 이러한 다회 기술이전 계약 체결 특허들을 어떠한 방식으로 분석할 것인지에 대한 논의를 거쳐, 시계열이 고려된 후속 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

참고문헌

- 고성주·이춘수(2017), 「공공 연구기관의 연구생산성 제고를 위한 사례연구: 국내 E 연구원을 중심으로」, 『Korea Business Review』, 21(4), 29-63.
- 김경수·조남욱(2020), 「국가 과학기술 융합 연결망의 정태적·동태적 분석: 정부출연연구기관 특허 분석을 중심으로」, 『대한산업공학회지』, 46(6), 616-625.
- 김은정·최희진(2022), 「토픽모델링과 네트워크분석을 활용한 헬스케어 분야의 핵심기술과 기술융합 분석 연구」, 『한국정보통신학회논문지』, 26(5), 763-778.
- 김학민·박윤희(2021), 「과학기술의 지식창출과 경제적 성과의 결정요인 분석: 과학기술분야 정부출연연구기관을 중심으로」, 『한국사회와 행정연구』, 32(2), 59-83.
- 남대경·최경현(2018), 「토픽모델 및 특허분석을 통한 차량용 반도체 기술 추세 분석」, 『기술혁신학회지』, 21(3), 1155-1178.
- 산업통상자원부(2022), 「2022년도 공공 기술이전사업화 실태조사 보고서」
- 서연·박경혜(2021), 「특허정보를 활용한 국방 R&D 기술추세 분석: Topic Modeling 과 ARM 분석을 중심으로」, 『전산회계연구』, 19(2), 43-69.
- 송민경·박범수(2017), 「출연(연)과 중소기업의 장기적 협력을 위한 영향요인 분석」, 『한국콘텐츠학회논문지』, 17(3), 654-665.
- 옥주영·김병근(2009), 「국내 공공 연구기관들의 기술이전 효율성 분석」, 『기술혁신연구』, 17(2), 131-158.
- 윤장호(2017), 「정부출연연구기관 기술이전 영향요인에 관한 연구」, 『기술혁신학회지』, 20(3), 519-545.
- 윤호열·김우중·최상욱·김병주·소홍수(2020), 「DEA-MPI 를 활용한 정부출연 연구기관의 TLO 효율성 분석」, 『한국혁신학회지』, 15(4), 93-124.
- 이혜진·김장훈(2021), 「공공연구기관의 기술이전 성과 영향요인에 관한 연구: 기술이전 Process 를 중심으로」, 『기술혁신학회지』, 24(3), 497-516.
- 정미림(2020), 「정부출연연구기관 연구개발사업의 기술이전 성과동인 분석」, 『한국기술혁신학회 학술대회』, 630-660.
- 홍종의·김승현·박경보(2023), 「기술이전 활성화를 위한 기술제공자 진단 프레임워크 개발: 대학의 기술이전을 중심으로」, 『기술혁신학회지』, 26(1), 149-167.
- 황현덕·정선양(2015), 「수요기업 중심의 정부출연연구기관 기술이전 활성화 방안: K 연구원 사례를 중심으로」, 『기술혁신학회지』, 18(2), 318-337.
- Blei, D. M. (2012). Probabilistic topic models. *Communications of the ACM*, 55(4), 77-84.
- Blei, D. M. Ng. A, and Jordan. M.(2003), "Latent Dirichlet allocation". *Journal of Machine Learning Research*, 3:993

- Das, K., Samanta, S., and Pal, M.(2018). "Study on centrality measures in social networks: a survey", *Social network analysis and mining*, 8, 1-11.
- DiMaggio, P., Nag, M., and Blei, D.(2013), "Exploiting affinities between topic modeling and the sociological perspective on culture: Application to newspaper coverage of US government arts funding", *Poetics*, 41(6), 570-606.
- Jelodar, H., Wang, Y., Yuan, C., Feng, X., Jiang, X., Li, Y., and Zhao, L. (2019). "Latent Dirichlet allocation (LDA) and topic modeling: models, applications, a survey", *Multimedia Tools and Applications*, 78, 15169-15211.
- Krimsky, S.(2007), "Risk communication in the internet age: The rise of disorganized skepticism", *Environmental hazards*, 7(2), 157-164.
- Maier, D., Waldherr, A., Miltner, P., Wiedemann, G., Niekler, A., Keinert, A., Adam, S.(2018), "Applying LDA topic modeling in communication research: Toward a valid and reliable methodology", *Communication methods and measures*, 12(2-3), 93-118.
- Newman, D., Asuncion, A., Smyth, P., and Welling, M.(2009), "Distributed algorithms for topic models", *Journal of Machine Learning Research*, 10(8).
- O'callaghan, D., Greene, D., Carthy, J., and Cunningham, P.(2015), "An analysis of the coherence of descriptors in topic modeling", *Expert Systems with Applications*, 42(13), 5645-5657.
- Perkmann, M., and Walsh, K.(2007), "University-industry relationships and open innovation: Towards a research agenda", *International journal of management reviews*, 9(4), 259-280.
- Ruiz, J. B., and Barnett, G. A.(2015), "Exploring the presentation of HPV information online: A semantic network analysis of websites", *Vaccine*, 33(29), 3354-3359.

Analysis of patent technology transfer trends in mechanical engineering: Using topic modeling and semantic network analysis

Song Bi Kwak, Kim Keon

- Abstract -

To analyze the patent technology transfer trends in mechanical engineering, topic modeling and semantic network analysis were conducted on the total of 1,311 korean-patents. Ten major topics(Nano patterning technology, Magnetic bearing motor, Plasma cleaning, Laser beam lithography, Internal combustion engine, Roll to roll printing, Hydraulic drive mechanism, Sludge treatment equipment, water treatment equipment, Fluid machinery) were derived through the topic modeling. And each of the ten topics were analyzed to depict relations among technologies and identify the core-technology through degree, betweenness, eigenvector centrality analysis

Key words Technology transfer, Patent, Topic modeling, Semantic network analysis, CPC

| 논문 |

로봇틱스(robotics) 4.0과 로봇 산업 발전 방안

의미, 양상 및 발전과제

이창규

중앙대학교 산학협력단 / 연구전담교수(법학박사·기술거래사)

TECHNOLOGY POLICY
MECHANICAL ENGINEERING

로봇틱스(robotics) 4.0과 로봇 산업 발전 방안

- 의미, 양상 및 발전과제 -

이창규*

- 초 록 -

로봇이 진화한 로봇틱스(Robotics) 분야의 연구영역이 기초연구에서 응용연구로 고도화되었다. 현재 로봇틱스 분야를 주도하는 미국, 유럽연합, 일본 등에서 로봇틱스 분야에서의 미래를 향한 정책을 펼치고 있다. 그러나 로봇 기술개발은 많은 자본과 전문 인력이 필요하며, 최근 기술은 다양한 영역의 기술이 융복합되고 있다. 이에 연구실이나 대학, 국가의 경계를 넘는 다양한 영역에서의 협업이 중요하다. 그리하여 생산성과 효율성을 높일 뿐만 아니라, 인력 부족 등의 문제를 해결하는 방안에 대한 고민이 필요하며, 이 글에서 로봇틱스 4.0 기반 로봇 산업 발전 방안으로 산학관 연계 전략을 제시하였다. 첫째, 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드 정비가 필요하다. 로봇 기술개발을 위해 사용자의 요구에 근거한 현실에 가까운 환경에서의 실증이 필수적이다. 둘째, 로봇 시스템 인티그레이터(system integrator, Sler)의 전략적 육성이 필요하다. 로봇 Sler의 지원을 위해 맞춤형 과제의 지원이 필요하다. 셋째, 사회적 문제에 대한 로봇의 활용 방안이 필요하다. 고령화나 도시 인프라의 노후화 등의 문제가 발생하고 있으며, 사이버 물리시스템(Cyber Physical System)과 로봇틱스를 융합한 기술개발을 추진하는 것이 필요하다.

주 제 어 로봇, 로봇틱스 4.0, 로봇제조기업, 산학관 제휴, 인재 양성

논문접수일 2023년 10월 11일 수정논문 제출일 2023년 11월 27일 게재확정일 2023년 12월 5일

* 중앙대학교 산학협력단 / 연구전담교수(법학박사·기술거래사) / sunrise@cau.ac.kr

I. 서(序)

로봇(robot)이란 용어가 처음 쓰인 것은 1900년대이며, 본 용어는 카렐 차페크(Karel Čapek)라는 극작가가 체코어에서의 강제노동을 의미하는 로보타(Robota)와 슬로바키아어에서 노동자라는 의미를 가진 ‘로보트닉(Robotnik)’을 합쳐 ‘로봇(robot)’이라는 단어를 처음 사용하면서부터이다.¹⁾ 이후 로봇의 실용화는 1958년 미국의 컨솔리티드 컨트롤즈(Consolidated Controls)사가 디지털로 제어되는 자동 설비의 기본형을 발표한 것이 산업용 로봇의 시작이었으며, 10여 년 뒤에 우리나라에 도입되었다. 이후 시간이 흐르고 흘러 물가와 임금 상승에 따른 노동력의 부족으로 산업용 로봇 개발에 집중하게 되었으며, 자동차, 전기, 전자산업에서 수요가 증가함에 따라 대기업을 중심으로 해외에서 기술을 도입해 산업용 로봇을 개발하기 시작했다.²⁾

로봇의 발전은 로봇이 진화한 로보틱스(Robotics) 분야로 이어졌으며, 연구영역이 요소기술에서 응용연구로 고도화 되어 발전했다. 로봇 분야에서 권위 있는 국제학회인 미국 전기전자학회(Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE)의 국제로봇자동화학술대회(International Conference on Robotics and Automation: ICRA)와 지능형 로봇이나 시스템에 관한 국제 컨퍼런스(International Conference on Intelligent Robots and Systems: IROS)에서 심도 있는 연구가 진행되었으며, 향후 더욱 진행될 것으로 예상된다. 이 연구를 주도하는 국가는 미국이며, 미국은 국방 분야를 중심으로 한 신기술과 산학 연계하에서 추진되고 있는 로보틱스 정책인 ‘로드맵: 인터넷에서 로봇 공학으로(A Roadmap: From Internet to Robotics)’에서 로보틱스 분야의 미래 방향을 제시하고 있다.³⁾

로봇 기술개발의 특징은 다양한 영역에서 기술이 융복합되어 있다는 점이다. 이 때문에 연구실이나 대학, 국가의 경계를 넘는 복합영역에서 협업의 중요성이 꾸준히 증가하고 있으며, 국가 간, 연구 기관 간, 연구자 간의 네트워크 구축이 중요해지고 있다. 특히, 클라우드 컴퓨팅 및 인터넷 기술의 발전으로 클라우드 기반의 로봇개발이 가능해지고 인공지능, 사물인터넷, 자율주행 등 자동화가 중요하게 취급되는 로보틱스 4.0 시대로 진입하면서 일상 전반에서 로봇의 필요성이 증가했다. 이에 생산성과 효율성을 높이는 그것뿐만 아니라, 인력 부족과 같은 문제를

1) Science Friday, “The Origin Of The Word ‘Robot’”, <<https://www.sciencefriday.com/segments/the-origin-of-the-word-robot/>>(last visited October 05, 2023)

2) Brian McMorris, “A Timeline History of Robotics”, <<https://futura-automation.com/2019/05/15/a-history-timeline-of-industrial-robotics/>>(last visited October 05, 2023)

3) CCC·CRA, A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics, 2009, pp.7~11.

해결하는 방안에 대한 고민이 필요하다.

우리나라는 로봇 산업의 잠재력이 높은 국가로 평가받고 있으며, 이는 국내 자동차, 반도체, 조선 등 제조업 강국으로, 로봇을 활용한 자동화 수요가 높기 때문이다. 또한, 인공지능, 사물인터넷 등 첨단 기술 분야에서 두각을 나타내고 있어, 로봇 산업의 발전을 위한 기술개발에도 유리한 환경을 갖추고 있다. 정부는 로봇 산업을 육성하기 위해 2025년까지 로봇 시장 규모를 20조 원으로 확대하고, 로봇 수출액을 100억 달러로 달성하는 것을 목표로 하고 있다.⁴⁾ 이를 위해 로봇 기술개발 및 산업 육성, 인재 양성 등에 대한 투자를 확대하고 있다. 로봇 산업의 발전은 국내 경제의 성장과 일자리 창출에 크게 이바지할 것으로 예상할 수 있다. 이에 로봇틱스의 가치를 파악하고 국내에서의 미래 로봇 산업의 발전 방안이 필요하다.

그리하여 이 글에서는 로봇틱스 연구개발의 발전 방안에 대한 단견(短見)을 제시하고자 한다. 이를 위해 아래의 내용을 순연해 전개한다. 첫째, 로봇틱스 4.0에서의 로봇 기업의 전략을 제시한다(이하 II.). 이를 위해 로봇틱스 4.0 개념과 특징을 살피고, 로봇 제조 기업의 미래 전략을 제시한다. 둘째, 해외 주요국의 로봇 연구개발 정책을 분석한다(이하 III.). 구체적으로 미국, 유럽연합, 일본의 정책을 중점적으로 살핀다. 이후 우리나라에서의 로봇틱스 4.0 전략의 방안을 제시한다(이하, IV). 중점적으로 로봇 기술의 발전을 위해 산-학-관이 연계해야 하는 목적과 방향에 대해 전개하고자 한다.

4) 연구개발특구진흥재단, 「유망시장 Issue Report」, 2021.07, 10면.

II. 로보틱스 4.0에서의 로봇 기업의 전략

1. 로보틱스 4.0의 대응 필요성

로보틱스 4.0은 인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등 첨단 기술의 발전으로 인해 로봇의 지능화, 자율화, 협업이 가속화되는 시대를 의미한다. 로보틱스 1.0은 로봇의 여명기, 2.0은 표준화, 3.0은 협조·이동기능을 통한 영역 확장, 4.0은 로봇의 수평분업·민주화 등 4단계로 로봇의 발전이라고 할 수 있다.⁵⁾ 이러한 로보틱스 4.0의 대응 필요성을 경제적 측면과 사회적 측면의 필요성은 다음과 같다.

먼저, 경제적 측면에서 로보틱스 4.0은 제조업, 서비스업, 의료, 교육 등 다양한 분야에 혁신을 가져올 것으로 기대된다.⁶⁾ 이에 따라, 로봇 기술을 선도하기 위한 연구개발 및 투자를 확대하고, 로봇 산업 육성에 적극적으로 나서야 한다. 로봇 기술이 발전하게 되면, 제조업의 생산성 및 품질이 향상되고, 서비스업의 경쟁력이 강화되며, 의료 및 교육 분야에서 새로운 서비스가 창출될 수 있다. 이러한 혁신은 경제 성장과 고용 창출로 이어질 것이다. 그리고 사회적 측면에서 로봇 기술은 일자리 창출, 사회 안전망 강화, 삶의 질 향상 등에 이바지할 것으로 기대된다.⁷⁾ 로봇 기술이 발전하면, 새로운 일자리가 창출되고, 기존 일자리의 생산성이 향상되어 일자리의 질이 높아질 수 있다. 또한, 로봇의 활용을 통해 사회 안전망이 강화되고, 고령화 사회에 대비한 돌봄 서비스가 제공될 수 있다. 이러한 사회적 변화는 국민의 삶의 질을 향상하게 시킬 것이다.

우리나라는 제조업 강국으로서 로봇 기술의 발전에 따라 제조업 경쟁력이 더욱 강화될 것으로 예상된다. 또한, 고령화 사회 진전에 따라 의료, 복지, 보건 분야에서 로봇의 활용이 확대될 것으로 기대된다. 이에 따라, 로봇 기술의 선도적인 발전을 통해 미래 산업을 선도하는 국가로 도약이 필요하다.

5) Zhen Gaoa, Tom Wanyamaa, Ishwar Singha, Anoop Gadhria, Reiner Schmidt, From Industry 4.0 to Robotics 4.0 - A Conceptual Framework for Collaborative and Intelligent Robotic Systems, *Procedia Manufacturing* 46 (2020), pp.591~592.

6) *Ibid.*, pp.592~593.

7) *Ibid.*, pp.593~594.

2. 로봇틱스 4.0의 개념과 특징

로봇틱스 4.0은 협조·이동 기능을 바탕으로 모든 산업·도시·생활에 로봇 적용이 확대되는 로봇틱스 3.0과 함께, 로봇의 오퍼레이션 시스템(Operating System: OS)을 담당하는 플랫폼 등 생태계의 정비에 의해 로봇의 수평 분업화가 기반이 된 로봇 기술의 진화 체계를 의미한다.⁸⁾ 특히, 로봇 전문 기업이 아니라도 새롭게 로봇 기술의 개발 참여가 가능해졌다. 로봇틱스 4.0이 확산하면서 디지털 세계와 물리적 세계라는 큰 구조에서 디지털 트윈(Digital twin)이나 메타버스(Metaverse)와 같은 사이버 물리시스템(Cyber Physical System, 이하 CPS)을 통해 변화에 대응해 유연한 시뮬레이션을 활용한다.

이러한 결과에 기초해 로봇에 피드백 제어가 수행되어 시뮬레이션에 기초한 동작이 이루어진다. 로봇과 사람 그리고 현장이 조화된 실제 동작 데이터를 검출해, CPS에 반영 이후에 시뮬레이션 사이클이 더 고도화될 수 있는 체계이다. 이러한 구조에서 로봇은 디지털 세계에서 시뮬레이션을 물리 세계에 반영하기 위한 인터페이스이다.⁹⁾ 이를 구성하는 필수 기술 요소는 크게 3가지이다. 첫째, 디지털과 로봇을 융합시키는 CPS로 디지털 트윈과 메타버스이다. 둘째, 로봇을 가장 알맞게 활용하기 위한 현황을 CPS에 반영시키는 검출 기술이다. 셋째, 시뮬레이션을 기초로 물리 공간에서 최적으로 동작하는 로봇 기술이다.

1) 디지털과 로봇 융합 기반 사이버 물리시스템(CPS)의 기술

지금까지의 물리적인 PDCA(Plan-Do-Check-Action) 사이클에서 디지털 트윈이나 메타버스를 활용한 시뮬레이션, 디지털 세계에서 검증 후 시행한 이후에 물리 세계의 최종 활용을 시행하는 프로세스 전환이 이루어졌다. 물리 세계의 실행은 로봇이 중요한 역할을 한다. 이는 디지털 트윈으로 시뮬레이션한 결과를 물리 세계의 로봇에 피드백해 연동한다는 대처가 이루어지고 있는 것이 특징이다. 예를 들어 CES(Consumer Electronics Show) 2022에서 현대자동차가 메타버스와 로봇을 연결하는 기술인 ‘메타모빌리티(Metamobility)’를 발표했다.¹⁰⁾ 메타버스를 통해 모빌리티 로봇을 이동시켜 위험한 작업장 등에서의 작업이나 화성으로의 여행,

8) Ho Lee, John Laurence Enriquez, and Geon Lee, Robotics 4.0: Challenges and Opportunities in the 4th Industrial Revolution, Journal of Internet Services and Information Security, Volume 12 - Issue 4, 2022, pp.39~40

9) 노상도, “사이버 물리시스템(Cyber Physical System)”, <<https://url.kr/h9c811>>(최종방문일 2023년 10월 5일)

10) Boston Dynamics, “Hyundai Motor Group Completes Acquisition of Boston Dynamics from Softbank”, <<https://url.kr/x49w62>>(last visited October 05, 2023)

원격지에서 애완동물에게 먹이를 주는 것을 목표로 한다. 이는 이미 산업계에서 제조업의 로봇이나 건설기기, 농업 기기 등에 활용되고 있으며, 도시나 빌딩에서도 BIM(Building Information Modeling) 정보와 연동해 활용되고 있다. 디지털 트윈으로부터 로봇을 제어하는 기술은 향후 보다 정확도가 높아질 수 있는 여지가 있지만, 디지털 트윈 기술을 적용해 정밀도가 필요한 부분을 현장에서 조정해 효과적으로 디지털 트윈을 사용하여 로봇을 제어할 수 있다.¹¹⁾

2) 사이버 물리시스템(CPS) 기반 센싱(Sensing) 기술

디지털 트윈을 통해 최적으로 로봇을 시뮬레이션 제어할 때는 설계상의 정보뿐만 아니라 현재의 실시간 현황을 CPS에 반영시키는 센싱 기술이 필수적이다. 가령, 건축 현장에서 매일 현장의 상황이 진척에 따라 바뀌는 것과 동시에 일시적으로 건축 자재나 설계에서 오류가 존재한다. 이러한 상황을 CPS에 반영하여 최적의 시뮬레이션 및 제어를 수행하는 방법이 필요하다. 가령, 드론이나 크롤러(Crawler)형 4족 로봇 등을 활용하여 현장 상황을 센싱 및 3차원화해 구현한 시뮬레이션 제어를 할 수 있도록 하는 것이다.¹²⁾ 이러한 기술은 건축물뿐만 아니라 옥외의 넓은 장소를 활용할 때 중요한 기술이다.

3) PDCA-ISM 모델 기술

이 기술 요소가 결합 되어 도시와 모든 영역에서 CPS에 의한 시뮬레이션을 통한 변화의 대응, 로봇을 활용한 결과의 반영, 나아가 로봇 동작·감지 결과를 CPS에 피드백이라는 사이클이 완성될 수 있다. PDCA 사이클을 시뮬레이션한 이후에 현실 세계에서 그 디지털에서의 시뮬레이션이나 개선 결과를 통합(integration)하고, 감지(sensing) 결과를 바탕으로 한 추가 모델(model)을 구축해 가는 방식이다.¹³⁾ 이 PDCA-ISM 모델은 CPS·로보틱스 4.0 시대에서 필수 조건이 될 것이다. 이들이 확립되면 오퍼레이션의 대응 속도와 품질이 표준화 및 고도화되어 가치(Value)가 증대될 수 있다. 향후 기업에서는 운영 프로세스보다, CPS와 로보틱스를 활용한 뒤, 사회·경영 과제 해결 등의 가치의 차이점이 발생할 것으로 예상된다. 이는 모든 산업의 근본적인 패러다임을 변화시킬 것이다.

11) 우현수외 3인, 디지털 트윈 기술과 로봇 연계 기술 동향 및 발전 방향, 「KEIT Issue Review」 한국산업기술기획평가원, 2023, 61~65면.

12) 서기성·현수환, “4족 보행 로봇의 걸음새 생성에 대한 GP와 CPG 기법 비교 연구”, 「정보 및 제어 논문집」 대한전기학회, 2009.5, 151~152면.

13) 산업동향연구소, 「2023 로봇 산업 기술개발 동향과 시장 전망 (II)」, 2023, 47~53면.

3. 로봇 제조 기업의 미래 변화

1) 로봇 활용 가치의 전환

로봇틱스 4.0 혁명을 통해 로봇과 관련된 비즈니스 환경이 변화하는 가운데 기업의 전략도 크게 변모되고 있다. 기존 로봇개발은 기업의 하드웨어 경쟁력의 강화와 동시에 기술적으로 우수한 로봇을 개발하는 것에 집중했다. 그러나 중국 기업들의 기술 추격으로 인해 하드웨어를 자체 생산함과 동시에 경영 전략으로 하향식 접근방식, 엔지니어링 단계에서의 표준 모듈 활용, 서비스형 사업 전개를 통한 운영을 하고 있다.¹⁴⁾ 이에 미래에는 로봇을 활용해 어떤 가치를 제공할 수 있는지가 가장 중요하다. 특히, 로봇은 오랫동안 기술의 상징이며, 기업으로서도 요소 기술에 초점을 맞추기 쉽다. 이는 어느 정도의 고도화된 로봇을 만들 수 있는지가 경쟁력에서 우위를 선점하게 되는 것으로 이어진다.

그러나 혁신적 기술의 등장과 중국 기업들의 급속한 추격, 로봇 OS를 지원하는 플랫폼의 등장 등을 통해 기술 자체는 급속히 상향 평준화되었다. 다른 업계와 같이 로봇도 로봇 자체가 아니라 로봇을 활용하는 가치로 관점이 변모한 것이다. 가령, 제조업용 로봇 업계에서는 가치의 기준에 따라 전략이 변화하고 있다. 이러한 동향은 로봇의 도입이 진행되고 있는 제조업에 한정된 이야기는 아니며, 모든 영역에서 공통된 움직임이다. 하드웨어의 로봇 제공 자체를 가치로 하는 것이 아니라, 로봇을 활용한 고객의 경영 변화나 문제를 해결해 가는 것이 요구되고 있다.¹⁵⁾

경영에서의 하향식에서 상향식으로 전개에서의 로봇을 활용하는 공정이 복잡해지면서 중점 과제는 로봇을 활용해 어떤 사업을 운영할 지로 관점이 이동하고 있다. 가령, 물류 영역에서 로봇을 활용하는 RaaS(Robot-as-a-Service) 기업인 플러스 오토메이션(Plus Automation)과 IT 기업인 GROUND는 물류업을 하는 고객 기업에 대한 컨설팅을 강화하고 있다. 특히, 로봇 도입이 제조업에 비해 활용되지 않는 물류 영역에서는 사용자에게 대한 교육·계발이나 컨설팅이 필수가 되었다. 또한 제조업 영역에서도 공장 자동화(Factory Automation) 기업인 보쉬(Bosch)는 보쉬 인더스트리 컨설팅(Bosch Industry Consulting)을 설립하고, 제조업이 갖추어야 하는 역량을 경영진에 요청해 기술개발을 요구하고 있다.¹⁶⁾ 지금까지 로봇이 많이 도입되지 않은 새로운 산업이나 새로운 기술 컨셉을 요구하는 것에 있어서는 현장에서의 기술의 하향식

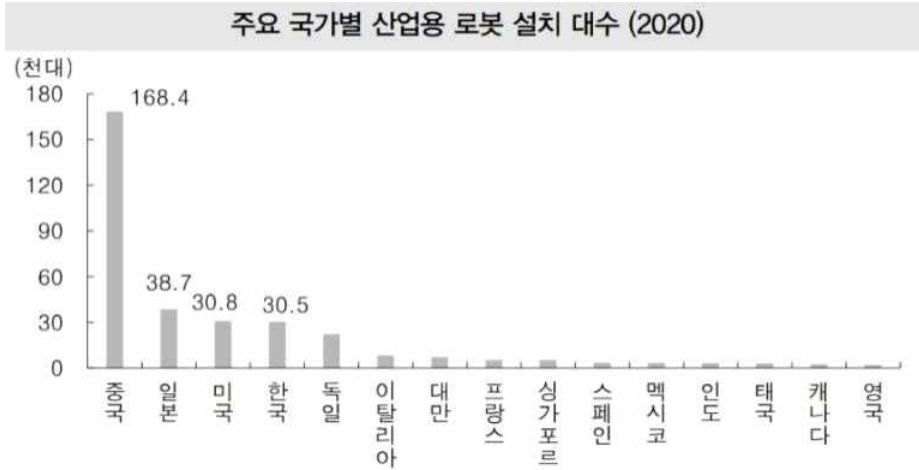
14) 최원석 외 6인, 「중국의 디지털 전환 전략과 시사점: 5G 네트워크 구축과 데이터 경제 육성을 중심으로」, 대외경제정책연구원, 2021, 79~80면

15) Alicia A. Grandey and Kayley Morris, Robots Are Changing the Face of Customer Service, (<<https://hbr.org/2023/03/robots-are-changing-the-face-of-customer-service>>)(last visited October 05, 2023)

16) 정남기, 「4차 산업혁명과 관련된 중소기업의 대응 전략: 자동차산업을 중심으로」, 4차 산업혁신연구소, 2019, 59~65면.

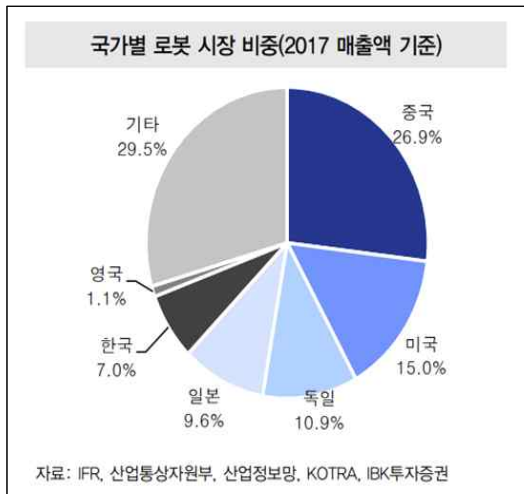
접근방식과 경영 방식에서의 경영 성과나 어떻게 사업 경영 모델을 바꿀 것인지와 같은 하향식 접근방식이 중요해진 것이다.

[그림 1] 주요 국가별 산업용 로봇 설치 대수



* 출처: IFR, 산업통상자원부, 산업정보망, KOTRA, IBK 투자증권 자료 종합

[그림 2] 국가별 로봇 시장 비중(2017년 매출액 기준) [그림 3] 중국 서비스용 로봇 시장 규모 및 증감률



* 출처: IFR, 산업통상자원부, 산업정보망, KOTRA, IBK 투자증권 자료 종합

2) 로봇 기업의 전략 변화

엔지니어링 단계에서 로봇을 활용하는 방식은 모든 산업에서 활용해지고 있으며, 사용자 측에서 하드웨어나 주변기기·소프트웨어를 개별적으로 선택하는 것이 중요해지고 있다. 이러한 이유는 가령, 엔지니어링 단계에서의 모듈 및 패키지 제품의 개발이 중요해졌기 때문이다. 제조업에서는 로봇을 활용한 라인 모듈(line module)을 전개하고 플러그 앤드 플레이(plug and play)로 제조 설비에 활용할 수 있는 제품 개발이 진행되는 것 이외에 농업 분야에서는 수확 로봇에 최적화된 재배 하우스 자체를 포장하는 방식을 활용하고 있다.¹⁷⁾ 이에 따라 자사의 핵심 고객에 대한 깊은 통찰 혹은 고객 동향을 분석해 경쟁력 있는 제품을 개발해 나가는 것이 필요하다.

서비스형 사업을 통한 제조업에서의 경영지원은 경기나 실적의 변동에 영향을 받기 쉽고, 기존 제품의 상품화·가격 경쟁이 치열하다. 이에, 고객 경영에 대한 자사 제품이 활용되는 형태로 사업을 추진할 필요가 있다. 방법으로 하드웨어나 소프트웨어와 같은 제품 단위로 제공하는 것이 아니라, 고객의 요구를 자체를 지원하고 대체해, 리커링 모델(recurring model)로 과금해, 이 중에서 자사 제품을 활용하는 것을 고려할 수 있다.¹⁸⁾ 이 접근법을 통해 고객의 초기 투자 금액과 장애물을 낮추어 도입을 촉진할 수 있다.

특히, 새로운 유형의 기술 영역에서는 유효한 전략이다. 가령, 농업 수확 로봇의 이나호(INAHO)는 아스파라거스 등의 수확량에 따른 성과 보수형의 도입을 시행하고 있다.¹⁹⁾ 이러한 전략은 고객 경영에 맞춘 것으로 경영에 맞는 첨단 과제나 요구에 대한 새로운 해법이나 서비스 개발에 활용할 수 있다. 고객에게 판매를 메인 비즈니스 모델로 하는 로봇 기업으로서는 고객 요구를 파악하는 것이 매우 유효한 접근이 될 수 있는 것이다. 한편, 고객 경영에 대한 깊은 이해가 필요하므로 초기 단계는 대상 고객을 한정하는 것이 필요하다. 자사나 핵심 고객과 공정에 대한 특성이 가까운 영역이나, 반송·검사 등의 노하우·경영에 대한 공통부분이 많으므로 확장이 가능한 공정부터 시작해, 고객으로부터의 요구에 대응할 수 있는 범위를 넓혀 가는 것이 요구된다.

그리하여, 로봇 기업의 전략 변화를 보았지만 어떻게 하드웨어로 좋은 로봇을 개발할 것인지에 대해 로봇을 기준으로 어떤 가치를 어떻게 창출할지가 중요해지고 있다. 하드웨어의 기준이

17) KEREC, “플러그 앤 프로듀스(plug-and-produce)방식을 통한 제조업 향상”, <<https://zrr.kr/MHLb>>(최종방문일 2023년 10월 5일)

18) 석왕현, “메타버스와 NFT 비즈니스 모델현황 및 고려사항”, 「전자통신동향분석」 제38권 제2호, 한국전자통신연구원, 2023, 57면.

19) 로봇신문, “일본 ‘이나호’, 작물 수확 로봇 시장 진출”, <<http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=181139>>(최종방문일 2023년 10월 5일)

아니라 사회와 도시 그리고 산업과 같은 사회의 과제를 어떻게 해결할지에 대한 해답을 찾는 것이 필요하다. 로봇 산업에서는 첨단 기술 활용과 로봇 자체의 성능 향상에 중점을 두고 왔지만, 향후 로봇이 일상화된 사회에서는 기술을 전제로 어떻게 가치를 내는지 초점을 맞출지에 대한 전략이 필요하다. 이는 개별 기업의 전략뿐만 아니라 산학관에서 산업 전체로의 전략과도 관련된다.

III. 해외 주요국의 로봇 연구개발 정책의 분석

1. 미국의 현황

미국은 국방 및 산학의 연계에 의한 연구를 진행하고 있다. 미국은 연구예산의 절반 이상이 국방 기술 연구 분야가 차지하고 있으며, 로봇 기술개발도 국방 분야를 중심으로 발전하고 있다. 핵심 기관은 국방고등연구계획국(The Defense Advanced Research Projects Agency, 이하 DARPA)이며, 이 기관은 중장기적인 연구 등 혁신적 연구를 지원하고 있다는 점이 특징이다. DARPA의 지원을 받은 연구는 벤처기업 투자사에 의한 민간 투자 등으로 연결돼 신산업의 창출에도 긍정적 영향을 주고 있다.²⁰⁾

연구지원 성과는 GPS 시스템이나 로봇 청소기의 아이로봇(iRobot)의 룸바(Roomba), 보스턴 다이내믹스(Boston Dynamics)가 개발하고 현대자동차가 인수한 4족 보행 로봇인 스팟(Spot) 등이 있다. 또한 DARPA에서는 기술 대회를 개최해 신기술을 발전시켜 민간 보급에 공헌하고 있다. 가령, 자동 운전에 관한 DARPA 그랜드 챌린지(DARPA Grand Challenge 2004~2007), 재해 구조에 관한 DARPA 로보틱스 챌린지(DARPA Robotics Challenge Features Disaster 2013~2015), DARPA 지하 챌린지(DARPA Subterranean Challenge 2019~2021) 등이 있다.²¹⁾ 이 대회를 통해 기술을 발전시킴과 동시에 엔지니어를 발굴하는 행사를 마련해 로봇 인재를 배출했다.

미국의 로봇 정책은 “A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics(이하, 로보틱스 로드맵)”이며, 부처에서 추진하고 있다는 점이 특징이다. 이 로드맵은 2009년에 발표

20) William Janeway, Ramana Nanda and Matthew Rhodes-Kropf, Venture Capital Booms and Startup Financing, Working Paper 21-116, 2021, Harvard Business School, pp.2~3.

21) DARPA, The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later, <<https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13>> (last visited October 05, 2023)

된 초판에서 애틀랜타에서 개최된 RSS(Robotics Science and Systems) 회의에서 시작되어 CCC(Computing Community Consortium)의 지원으로 작성되었다. 이러한 지원을 통해 기획된 National Robotics Initiative(NRI)가 2011년에 발족했다. 이후 세 번 개정이 되고 최신판은 2020년에 발표되었다. 로드맵에서 캘리포니아 대학교 샌디에이고(University of California, San Diego: UCSD)의 크리스텐센(Christensen) 교수를 중심으로 카네기 멜런 대학(Carnegie Mellon University)과 조지아 공과 대학(Georgia Institute of Technology), 존스 홉킨스 대학(Johns Hopkins University) 등이 참여하고 있다.²²⁾

이 로드맵은 인간과 로봇이 공생하는 세계를 전제로 하고 있으며, 인간의 생활에서의 로봇틱스의 유용성을 극대화하기 위한 세부 연구로 구체화 되고 있다. 이는 제조업, 물류, 이동 수단, 의료, 보안·구조 로봇에 대한 활용을 생각할 수 있다.²³⁾ 종래에는 공장의 생산 설비를 중심으로 발전해 온 로봇이지만, 이 로봇틱스 로드맵에서는 청소용, 배달용 등 일반 국민의 생활과 밀접한 범위로 확대되고 있다는 것이 특징이다. 또한, 추출된 연구과제는 로코모션(locomotion), 파지·조작(grasping/manipulation), 퍼셉션(perception), 플래닝·컨트롤 러닝(Planning and control learning), 멀티 로봇 시스템(multi robot system), 인간과 로봇의 상호작용 등이 특징이다.

〈표 1〉 로봇틱스 로드맵의 주요 내용

A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics		
사회 과제와 로봇 활용 가능성		
제조업	이동 수단	의료·건강
물류	생활산업	보안 및 구조 로봇
위 분야의 활용을 위한 연구과제		
재료, 통합 센서, 계획·제어의 신기술 확립	다중 로봇 협력, 견고한 컴퓨터 비전, 시스템 최적화	
상황 인식, 견고성 등의 성능 향상	신기술 활용을 위한 노동자 교육	신기술의 설계·전개에서의 정책의 정비

22) Henrik I Christensen, Allison Okamura, Maja Mataric, Vijay Kumar, Greg Hager, Howie Choset, Next Generation Robotics, Computing Community Consortium, 2016, pp.5~8

23) Henrik Christensen, A Roadmap for US Robotics – From Internet to Robotics 2020 Edition, 2022, pp.43~54.

〈표 2〉 DARPA의 전략

미국 연구예산의 약 50%를 차지하는 국방영역에서는 DARPA의 지원으로 연구발전을 가속	
DARPA의 연구 주제 기반 연구지원	기술대회 개최에 의한 기술 발전 및 민간 보급
<ul style="list-style-type: none"> • 자율성이 높은 혁신적 연구지원 • 연구 성과로는 GPS 시스템이나 로봇 청소기의 룸바, 4족 보행 로봇 스팟(Spot) 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 엔지니어 육성을 통해 산업계 활용 • 자율주행에 관한 DARPA 그랜드 챌린지, 재해 구조에 관한 DARPA 로보틱스 챌린지, DARPA 지하 챌린지 등

2. 유럽연합의 현황

유럽연합에서의 로봇 정책은 ‘연구실로부터 산업에, 그리고 시장에(From Lab to Market - Successful Technology Transfer Journeys)’라는 목표에 따라 연구 프로그램인 ‘Horizon Europe’(2021~2027)’을 수행 중이다. 이 프레임워크 프로그램(Framework Program, 이하 FP)은 7년마다 수립되고 있으며, Horizon Europe는 제9기에 해당한다. FP 추진에서 핵심 기관은 과학기술 정책 관할하고 있는 연구 총국(Directorate-General for Research and Innovation: DG RTD)이다. Horizon Europe는 방위 연구개발과 시민 사회 운용의 두 가지 목적으로 추진되고 있으며, 이 중에서 시민 사회의 운용에 대한 응용 프로그램은 3개의 Pillar로 구성되어 있다.²⁴⁾ 먼저 Pillar 1은 우수한 과학(Excellent science)이며, Pillar 2는 글로벌 챌린지·유럽 산업 경쟁력(Global Challenges and European Industrial Competitiveness)이며, Pillar 3은 혁신적인 유럽(Innovative Europe)으로 구성되어 있다. 특히, Pillar 2는 6개의 영역별 클러스터로 나뉘어 전략이 수립되어, 인공지능·로보틱스 정책에 관해서는 클러스터 4 ‘디지털, 산업, 우주(Digital, Industry and Space)’에서 언급되고 있다.²⁵⁾

또한, 유럽 성장 전략의 주제인 그린×디지털(Green x Digital)의 맥락에서 각 대치가 이루어지고 있다. 가령, 기후 중립적인 산업 밸류 체인을 향한 생산·제조 프로세스의 디지털 혁신(#15)이나, 미국을 의식한 디지털 영역에서의 리더십 전환(#18), 인간 중심인 생각에 근거한 디지털 기술의 발전(#20) 등이 있다. 세부 영역으로는 클러스터 1에서의 ‘건강’의 향상을 위한 의료용 로봇 활용이나, 클러스터 3에서의 ‘사회를 위한 시민 안전성’의 실현을 위해, 재해 발생 시의

24) EUROPEAN COMMISSION, HORIZON EUROPE STRATEGIC PLAN 2021 - 2024, 2021, pp.3~7.

25) *Ibid.*, p.13.

자율적 탐지·대응이 통신·데이터 분석과 함께 로봇 공학에 따라 향상되는 것이 있다.

Horizon Europe는 유럽위원회(European Commission: EC)가 추진하는 유럽 성장 전략 2019-2024(Priorities 2019-2024 - European Commission)에 기초하고 있으며, 그린×디지털 관련 측면에서 실현하려고 하는 것으로 전체 전략에 근거해 체계적인 시책을 추진하고 있다.²⁶⁾ 또한 시책의 일관성을 위해 주변 시책을 포함해 프로그램 간의 연계를 통해 혁신의 도모 하고 있다는 점도 특징이다. 이는 교육, 직업훈련, 청년 육성 등에서 국경을 넘은 협동 지원을 목적으로 하는 엘라스무스+(Elasmus+)라는 프로젝트가 있다. 이 프로젝트는 262억 유로(약 36조 9천억 원)가 예산 지원되어 유럽 내 학생들은 엘라스무스+(Elasmus+)제도를 통해 타국에 의 연구 유학이나 사업 참여하고 있다.

이처럼 유럽연합에서는 기관이나 국가가 연계되는 혁신이 추진되고 있으며, 이는 유럽 파트너십(European Partnership)으로 국제적인 산학관 제휴를 촉진하는 것이다. 공동펀드(Co-funded) 파트너십, 제도화된(Institutionalised) 파트너십, 공동프로그램(Co-programmed) 파트너십의 3종류로 나누어져 있다. 로봇틱스에 대해선 공동프로그램으로서 디지털·산업·우주 영역의 인공지능·로봇틱스라는 주제로 실시된다. 공동프로그램은 유럽위원회, 가맹국, 정부와의 각서나 계약에 근거한 것이며, 목적이나 금전적 공헌을 미리 정하고 장기적인 지원을 하는 것이다.²⁷⁾

Horizon Europe에서는 프로그램 참여 대상 국가가 EU 회원국 및 유럽 인근 국가 외에 비유럽권에서도 준 가맹국(associated countries)으로 포함하고 있다. Horizon Europe에서는 Horizon 2020에서 데이터와 논문의 공개 및 공유하고 있다.²⁸⁾ 이 프로그램의 지원을 받은 성과로서의 논문은 즉시 공개해야 하며, 연구 자료도 가능한 한 공개해야 해야 한다. 이에 따라 프로젝트, 연구실, 조직 내에 기술을 개방해, 종국적으로는 추가 기술 발전에 공헌하는 선순환을 기획한 것이다. 이러한 특징에 의해 유럽의 로봇틱스는 혁신 정책의 하나로서 인식되고 있으며, 유럽연합 회원국의 산업 정책과의 제휴를 통해 국가 간 동반관계 제휴를 통해 연구개발을 강화하

26) EC, 6 Commission priorities for 2019-24, <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024_en>(last visited October 05, 2023)

27) EC, European Partnerships in Horizon Europe, <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/european-partnerships-horizon-europe_en>(last visited October 05, 2023)

28) EC, List of Participating Countries in Horizon Europe, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/common/guidance/list-3rd-country-participation_horizon-atom_v2.0_en.pdf>(last visited October 05, 2023)

는 구조이다. 결과적으로 소프트웨어, 하드웨어 등 다양한 요소가 융복합된 로봇 영역에서도 연구 협업 체계가 수월해지고 혁신이 창출되고 있다고 할 수 있다.

〈표 3〉 유럽 (EU)의 로봇틱스 노력

Horizon Europe(2021~2027년) → '연구실에서 산업으로, 그리고 시장으로'를 공표하고 7년간의 연구·혁신 프레임워크 프로그램 수립				Pillar 2의 6개 클러스터와 로봇틱스의 관련		
		유럽 성장 전략 2019-2024 그린×디지털		① 건강		
연구·혁신 지원·촉진	방위 연구 개발 (유럽 방위 기금)	Horizon Europe			② 문화, 창조성, 포괄적인 사회	
		시민 사회 운용				
		Pillar 1: 탁월한 과학	Pillar 2: 글로벌 챌린지 유럽 산업 경쟁력	Pillar 3: 혁신적인 유럽		③ 사회를 위한 시민 안전성
		유럽 연구 회의	영역별 클러스터	유럽 혁신 회의		
		MSCA (Marie Skłodowska-CurieActions)	공동 연구 센터		유럽 혁신 에코시스템	④ 디지털, 산업, 우주 AI·로봇틱스
		연구 기반			유럽 혁신 기술 기구	
		참가자 확대와 유럽 연구영역 강화				⑤ 기후, 에너지, 모빌리티
		참여 확대와 탁월성 보급		R&I 시스템의 개혁·강화		
				⑥ 식량, 경제, 자원, 농업, 환경		

〈표 4〉 Horizon Europe의 로봇틱스에 관한 대처

클러스터	기대효과	개요	관련 분야
디지털, 산업, 우주	<ul style="list-style-type: none"> #15 친환경적으로 기후 변화에 영향을 받지 않는 산업 밸류 체인, 순환형 경제 이후 변화에 영향을 받지 않는 디지털 시스템 및 인프라의 글로벌 리더십 	<ul style="list-style-type: none"> 혁신적인 생산·제조 과정과 그 디지털화, 새로운 비즈니스 모델, 지속할 수 있는 설계에 의한 첨단 재료, 그린 디지털 기술 등 모든 주요 배출 산업 부문에서 탈탄소화를 가능하게 하는 기술을 통해서 깨끗하고 기후 중립적인 산업 밸류 체인, 순환 경제 이후 중립적인 디지털 시스템과 인프라의 글로벌 리더 지향 	<ul style="list-style-type: none"> Manufacturing Technologies Advanced Materials Circular Industries Low-Carbon and Clean Industries Key digital technologies AI and Robotics

클러스터	기대효과	개요	관련 분야
	<ul style="list-style-type: none"> #17 세계적으로 매력적이고 안전하며 역동적인 데이터 애자일(Agile) 경영 	<ul style="list-style-type: none"> 공공 부문(건강, 교육 등)에서 오는 데이터와 디지털화한 대·중·소의 산업의 생태계에서 온 산업 데이터에 대해서 일반 데이터 보호 규칙(GDPR)에 의해서 확립된 데이터 공유와 데이터 보호에 관한 EU의 법적 틀 속에서 EU 데이터 에코 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> AI and Robotics Advanced Computing and Big Data Manufacturing Technologies
	<ul style="list-style-type: none"> #18 디지털 기술 및 미래에 출현할 가능성이 있는 기술의 개방적인 전략적 자율성 	<ul style="list-style-type: none"> 강점인 디지털 수직 시장(비즈니스 소프트웨어 등)이나 산업용 애플리케이션(센서나 제어, 자동차 전자, 제조, 통신기기 등) 외에 다른 지역에 의존하고 있는 컴퓨팅이나 디지털 인프라 등의 강화, 양자 컴퓨팅 등 신 영역에서의 리더십 조기 확립 	<ul style="list-style-type: none"> Key digital technologies Emerging enabling technologies AI and Robotics Next Generation Internet Advanced Computing and Big Data
	<ul style="list-style-type: none"> #20 디지털 기술과 산업 기술의 인간 중심적이고 윤리적 발전 	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 그린·디지털 이행에 따라 노동자·지역·사회는 급변혁에 직면하기 때문에 인간 중심이고 윤리적인 측면을 수반하는 정책 강화 필요 스킬 업을 위한 트레이닝 프로그램 제공 등을 통해 기술과 사회의 양방향 관련 필요 	<ul style="list-style-type: none"> Next Generation Internet AI and Robotics Manufacturing Technologies

3. 일본의 현황

일본은 경제산업성(經濟産業省)과 신에너지산업기술종합개발기구(新エネルギー・産業技術総合開発機構, NEDO) 외에 민간 주도의 협의회인 로봇 혁명·산업 IoT 이니셔티브협의회(ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会)를 중심으로 로봇 전략이 추진되고 있다.²⁹⁾ 2014

29) ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会, <https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/RRI/RRI_Pamphlet_jp.pdf>(last visited October 05, 2023)

년 OECD 각료 이사회에서 아베 신조 전 총리에 의해 경제산업성에 의해 2015년 1월에 로봇 신전략이 책정되었다. 이후 같은 해 2월 민간 주도의 조직 플랫폼이 로봇 혁명 이니셔티브 협의회(ロボット革命イニシアティブ協議会)에서 2020년 현재의 기구로 설립되었다. 2015년에 발표된 로봇 기술의 새로운 전략은 초창기 로봇 기술을 주도하던 일본의 위상을 드높이는 것이었다. 세부 내용은 세계의 혁신 거점이 되는 것과 함께 세계 제일의 로봇 기술의 활용 사회가 되는 것으로 만드는 것이다. 이를 위해 식품, 의료, 화장품 등 노동집약형 제조 현장에서의 로봇 활용과 보급 확대를 위한 산학관 제휴에 의한 시스템 인티그레이터(system integrator: SIer)의 육성 등을 목표로 한다. 또한 산학관 제휴를 위해 설립된 ‘로봇 혁명·산업 IoT 이니셔티브협의회’는 미쓰비시중공업(三菱重工)과 도시바(東芝), 히타치제작소(日立製作所), 야스카와전기(安川電機) 등의 주도에 따라 3가지 워킹그룹(WG)을 조직하고 활동 중이다.³⁰⁾

특히, 2015년 2월에 일본 정부가 기획한 로봇 신전략에서는 일본은 세계 제일의 로봇 활용 사회를 목표로 하고 있다. 일본 정부는 로봇 산업을 새로운 산업의 핵심 요소로 파악하고, 기술 개발력의 강화, 로봇 이용·보급 추진, 로봇×IoT 추진 등 다양한 지원을 시행하고 있다. 현재 일본은 세계 산업용 로봇을 약 절반 정도를 생산하는 로봇 생산국이며, 모노즈쿠리(モノづくり)를 통한 강점을 가진다. 한편, 범용 산업용 로봇은 반완성품으로 직접 공장의 생산 설비에 도입할 수는 없다. 이는 공장의 상황에 맞추어 주변장치·부품과 동작 시스템을 적용하는 로봇에 대한 시스템 인티그레이터(SIer)가 필요하다. 그러나 이와 같은 일본의 로봇 SIer는 중소기업이 중심이며, 기업의 수도 충분하지 않아, 로봇 SIer의 공급력이 로봇 사업 확대에 대한 문제점으로 작용하고 있다. 이에 일본 정부는 로봇 SIer의 수를 늘리는 것과 동시에 해외 수요에도 대응하는 방안을 고심하고 있다.³¹⁾

또한 정부뿐만 아니라 지방에서도 로봇 SIer 연계의 대처, 보조금 제도나 로봇 도입 지원 센터의 설립 등의 지원이 이루어지고 있다. 제조업을 통한 로봇 SIer가 많이 존재하는 중부지방(中部地方)에서는 ‘중부지역 SIer연계회(中部地域SIer連携会)’라는 사단법인이 조직되어 기업과 기업 사이의 공동 연구를 진행하고 있다.³²⁾ 특히, 히로시마현(広島県)에서는 제조업·로봇 SIer·행정·대학·연구 기관으로 구성된 히로시마현 인공지능·사물인터넷·로보틱스 활용 연구회(広島県AI・IoT・ロボティクス活用研究会)를 통한 산학관 제휴가 진행되고 있다. 게다가 도시 단위

30) 前掲資料. WG1: IoT에 의한 제조 비즈니스 변혁 WG(Industry 4.0 등 제조업의 비즈니스 변혁이 주제), WG2: 로봇 이익 활용 추진 WG(로봇의 사회 구현이 주제), WG3: 로봇 혁신 WG(로봇의 혁신이 주제)

31) 日本経済再生本部, ロボット新戦略, 2015, 15~18面

32) 中部の地域づくり委員会, ~リニア時代の“ものづくり”対流拠点形成の検討, 2019, 1~5面

에서도 시즈오카현(静岡県) 하마마츠시(浜松市)에서는 상공 회의를 중심으로 로봇 Sier의 프로모션을 실시하고 있다.³³⁾ 또, 가나가와현(神奈川県) 사가미하라시(相模原市)에서는 2015년에 사가미하라시 산업용 로봇 도입 보조금(相模原市産業用ロボット導入補助金) 지급 제도를 설치했다.³⁴⁾ 또한 산업용 로봇 도입 지원과 Sier 등 기술자 육성을 위해 사가미하라 로봇 도입 지원 센터를 설립해 지원하고 있다.

〈표 5〉 일본의 로봇 신전략 개요

제조업	서비스업	헬스케어	인프라·재해·건설	농림수산물
중소기업·상품업계에 적용	물류·음식·숙박업 등에 적용	간병용 개발·실용·보급	건설 현장의 에너지 절약화·자동화	스마트팜
표준 모듈화, 공통 기반	접객 자동화를 위한 요소기술 개발	수술 지원 로봇 등의 보급	유지관리의 고도화·효율화	중노동의 기계화·자동화
로봇 OS 정비		의료기기 심사의 신속화	재해 조사 로봇에 의한 효율화	에너지 절약·고품질 생산 실현
발전 방안				
국제 표준화	실증 실험장 정비	소프트웨어 인재, SI 인재 육성	로봇 올림픽 개최	수상 제도 (우수사례 평가)

로봇에 의한 사회변혁 추진계획

로봇의 사회 구현을 위한 인재 육성·기술 고도화				
국제 표준화 대응	실증 실험장 정비	소프트웨어 인재, SI 인재 육성	로봇 올림픽 개최	수상 제도 (우수사례 평가)

4. 소결 및 시사

미국, 유럽, 일본 등 선진국은 로봇틱스 4.0 시대를 선도하기 위해 다양한 정책을 추진하고 있다. 먼저 미국은 2018년 로봇틱스 전략을 발표하고, 로봇 기술 연구개발 및 상용화, 로봇 인력 양성 등을 위한 투자를 확대하고 있다. 또한, 로봇 산업의 글로벌 허브로 도약하기 위해 로봇 테스트 및 인증 체계 구축, 로봇 관련 국제협력 강화 등에도 힘쓰고 있다. 유럽연합은 2020년 로봇틱스 이니셔티브를 출범하고, 로봇 기술개발 및 상용화, 로봇 산업 육성 등을 위한 정책을 추진하고 있다. 또한, 로봇 안전 및 윤리 관련 규제 마련, 로봇 인력 양성 등에도 주력하고 있다.

33) 広島県AI・IoT・ロボティクス活用研究会, <<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/28/ai-forum.html>> (last visited October 05, 2023)

34) 相模原市, 相模原市産業用ロボット導入補助金について, <<https://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/sangyo/sangyo/1026664/1003291/josei/1003308.html>>(last visited October 05, 2023)

일본은 2014년 로봇혁명전략을 발표하고, 로봇 기술개발 및 상용화, 로봇 산업 육성 등을 위한 투자를 확대하고 있다. 또한, 로봇 관련 인프라 구축, 로봇 인력 양성 등에도 힘쓰고 있다. 우리나라는 2020년 로봇산업 육성 기본계획을 발표하고, 로봇 기술개발 및 상용화, 로봇 산업 육성 등을 위한 정책을 추진하고 있다. 이와 함께, 로봇 안전 및 윤리 관련 규제 마련, 로봇 인력 양성 등에도 주력하고 있다.

특히, 미국, 유럽연합과 일본은 로보틱스 정책의 연구, 산학관의 연계나 유동을 촉진하는 체계의 구축, 오픈 이노베이션 컬처(Open innovation culture)라고 하는 핵심 정책을 추진하고 있다. 구체적으로 미국은 국방 및 산학의 강한 연계에 의한 연구 추진, 유럽연합은 혁신 정책의 하나로 투자를 포함한 파트너십에 의한 연계, 일본은 산학관 협력을 모체로 한 로봇 혁명·산업 IoT 이니셔티브협의회에서의 실무협의단의 활성화를 통해 정책을 활성화했다. 앞에서 주요국은 산업(기업)·대학·연구 기관(대학), 정부(정책)가 유기적으로 협력해 로봇 산업의 고도화를 추진해 왔다. 특히, 일본은 요소기술 개발에 있어서는 산학관의 협업을 통해 대처하고 있으며, 기술적 측면에서 기술개발을 선도해 왔다.

향후 로봇의 중요성이 요소기술·하드웨어에서 ‘로봇 활용으로 창출되는 가치’로 옮겨가면서 로보틱스의 정책이 변화할 것으로 예상된다. 이에 우리나라는 전략적인 산학관 제휴로, “제3차 지능형로봇 기본계획”의 실현을 향해 얼마나 사회 과제나 경영·운영의 과제를 해결하는 로봇 시스템 전체를 창출해 나갈 수 있을지가 관건이라고 할 수 있다. 이에 우리나라는 로봇 기술을 선도하기 위한 연구개발 및 투자를 확대하고, 로봇 산업 육성에 적극적으로 나서야 할 것이다. 또한, 로봇 안전 및 윤리 관련 규제를 마련하고, 로봇 인력 양성을 통해 로봇 산업의 발전을 위한 기반을 마련해야 할 것이다.

IV. 국내에서의 로봇틱스 4.0 전략 방안

1. 로봇틱스 4.0 산학관 연계 필요성

미국과 유럽연합 그리고 일본은 산학관의 제휴를 통해 로봇 산업의 발전을 위한 총력을 다하고 있다. 우리나라에서도 로봇개발 기업의 개별 전략과 함께 산학관이 협업해 경쟁력 강화에 임할 필요가 있다. 우리나라는 요소기술 개발을 수행해 왔지만, 이러한 요소기술은 중국을 비롯한 타국 기업의 추격과 로봇 운영체제(OS)를 지원하는 플랫폼의 등장 등에 의해 급속한 평준화가 진행되었다. 로봇의 가치가 요소기술이 아니라 로봇 활용에 의한 사회·경영 전략을 통해 변화해야 한다. 이에, 우리나라의 산학관 제휴는 요소기술을 활용하는 것에 역점을 두어야 한다. 이는 2020년 11월에 발표된 지속가능성이 주요 목적으로 설정된 독일의 인더스트리 4.0 Vision 2030(2030 Industry 4.0 Vision)이나, 2021년 1월의 지속가능성, 인간중심, 탄력성을 주제로 발표된 유럽위원회의 인더스트리 5.0(Industry 5.0)과 같은 맥락인 국내 국가과학기술자문회의의 ‘국가전략 기술 육성방안’이 있으며, 이 기획을 기반으로 속도감 있는 전개가 필요하다.³⁵⁾

로봇의 하드웨어 자체의 평준화와 수평분업이 진행되는 가운데 어떻게 경쟁과 협조 영역을 나누어 전략적으로 로봇 사업을 강화해 나갈지에 대한 의문이 있다. 이는 개별 요소기술 자체보다 이를 활용해 어떻게 가치를 창출할 것인지에 대한 방향으로 로봇 산업의 중요성이 변화되고 있다는 점에 주목해야 한다. 이러한 맥락에서 산업 전체에서의 대책 논의가 필요하다. 글로벌 경쟁이 치열해지면서 수평 분업화가 진행되고 있으며, 각각의 회사들은 자원을 분산하고 집중하지 못한다면 경쟁력을 잃을 수 있다.³⁶⁾ 이에 우리나라는 가치 창출을 위해 주력하는 핵심 영역과 비핵심 영역으로 나누어 비핵심 영역은 다른 나라의 상용 기술이나 오픈 소스를 활용하는 것이 유효하다고 할 수 있다. 그리고 핵심 영역에 관한 기술 수준을 높일 필요가 있다.

특히, 핵심 영역은 각각의 회사가 가치 창출을 향해 기업의 경쟁력으로 자원을 집중하여 투자하는 경쟁 영역과 산학관의 연계를 기반으로 사업을 전개하는 협조 영역으로 구분할 수 있다. 협조 영역은 산학관이 연계하여 공동 개발을 한 이후에 경쟁력 향상을 위해 협조 활용하는 영역과 수평분업 분야 중에서 전략적 외판영역으로 나눌 수 있다. 산학관의 제휴로 협조 영역을 향상할 수 있다면, 이를 수평분업 속에서 로봇 플랫폼으로 전개하는 것으로 이어질 수 있다. 전술한 로봇 생태계를 인식한 후의 에코시스템을 분석한 후 방향성 선정이 요구된다.³⁷⁾ 사실 지금까지

35) 과학기술정보통신부, “12대 국가전략 기술, 대한민국 기술 주권 책임진다.”, 2022년 10월 28일자 보도자료.

36) IFR, The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs, 2017, pp.1~5.

로봇이나 기기 제조회사가 각각 개별 전개를 보였지만 최근에는 가치를 기점으로 한 연계도 볼 수 있다. 이는 가령, 도시 내 빌딩에서의 엘리베이터와 로봇의 연계 등이다. 이러한 산학관 연계에서의 산업 강화를 위한 움직임을 더욱 가속하기 위해 정부에 의한 추진이 요구된다. 또한 협조 영역에서는 아시아 국가와의 협력도 필요하다.³⁸⁾ 기술 공여 및 연계를 통해 협업 기업을 생성함과 동시에 각국이 로봇 기술에 대해 강화를 도모하고 있으므로 외교적으로도 전략적으로 활용하는 것이 필요하다.

〈표 6〉 로봇 기술의 경쟁 및 협조 영역 구분

코어 영역	① 경쟁 영역		• 로봇 산업에서 각 회사가 개별 경쟁 영역으로 가치를 부여하는 영역
	협조 영역	② 전략 외판영역	• 공통으로 활용할 수 있는 요소기술을 개발해, 타국 기업에 전략적으로 확장해 나가는 영역
		③ 협조 활용 영역	• 공통으로 활용할 수 있는 요소기술을 개발하는 영역
	④ 비핵심 영역		• 자원을 투자하지 않고 기존 기술을 활용하는 영역

2. 구체적 전략 방안

1) 총론

국내 로보틱스 4.0 전략으로 크게 세 가지를 언급하고 싶다. 첫째, 산학관 제휴 로보틱스 테스트 베드의 정비, 둘째, 로봇 시스템 인티그레이터(system integrator)의 전략 육성, 셋째, 사회적 문제와 융합 로봇 기술의 전개이다.

먼저 산학관 제휴 로보틱스 테스트 베드의 정비의 필요성이다. 산학관 제휴 로보틱스 테스트 베드는 로봇의 성능과 신뢰성을 검증하기 위한 중요한 인프라이다. 로봇 기술이 발전함에 따라, 로봇의 성능과 신뢰성을 정확하게 측정하고 평가하기 위해서는 테스트 베드의 기능과 장비를 지속해서 정비해야 한다.

둘째, 로봇 시스템 인티그레이터(system integrator)의 전략 육성이 필요하다. 로봇 시스템 인티그레이터는 로봇과 주변 장치들을 결합하여 로봇 시스템을 구축하는 기업이다. 로봇 기술의

37) Joachim von Braun *et al.*, Robotics, AI, and Humanity Science, Ethics, and Policy, Springer, 2021, pp.22-23.

38) 정성춘, 「일본의 개방형 혁신전략:산학협력을 중심으로」, 대외경제정책연구원, 2020, 22~30면.

발전으로 로봇의 활용이 확대됨에 따라, 로봇 시스템 인티그레이터의 역할이 중요해지고 있다. 로봇과 주변 장치들을 결합하여 로봇 시스템을 구축하기 위해서는 전문적인 기술과 경험이 필요하다.

셋째, 사회적 문제와 융합 로봇 기술 전개의 필요성이다. 로봇 기술은 다양한 산업 분야에서 활용되고 있을 뿐만 아니라, 사회적 문제 해결에도 활용될 수 있다. 가령, 고령화 사회의 도래에 따라 노약자나 장애인을 위한 보조 로봇, 재난 현장에서의 인명 구조 및 구급 활동을 위한 로봇, 환경 오염을 방지하기 위한 로봇 등이 개발되고 있다. 특히, 사회적 문제의 심각성 고령화, 재난, 환경 오염 등과 같은 사회적 문제는 우리 사회의 지속 가능한 발전을 위협하는 심각한 문제이다. 이 문제들을 해결하기 위해 새로운 기술과 혁신이 필요하다.

2) 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 정비

(1) 로봇틱스 실증 테스트 베드의 설치 필요성

산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 정비는 로봇 기술의 발전에 따른 테스트 베드의 요구 변화 때문에 필요하다. 로봇 기술이 발전함에 따라, 로봇의 성능과 신뢰성을 검증하기 위한 테스트 베드의 요구도 변화하고 있다. 예를 들어, 인공지능 기술이 발전함에 따라, 인공지능 기술 기반 로봇의 테스트를 위한 기능과 장비가 필수적이다. 특히, 테스트 베드의 노후화가 큰 몫을 한다. 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 대부분은 오래전에 구축된 것으로, 노후화가 진행되고 있다. 노후화된 테스트 베드는 로봇의 성능과 신뢰성을 정확하게 측정하고 평가할 수 없으므로, 정비가 필요하다. 현 정부는 로봇 강국으로 도약하기 위한 국가 로봇 정책을 추진하고 있다. 이 정책의 성공적인 실행을 위해서는 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 정비가 필수적이다.

그리하여 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 정비를 위해서는 다음과 같은 내용을 고려해야 한다. 테스트 베드의 기능 및 장비의 현대화이다. 로봇 기술의 발전에 따라, 테스트 베드의 기능 및 장비도 현대화해야 한다. 이를 위해 정부, 기업, 학계 협력이 필요하다. 그리고 테스트 베드의 운영 및 유지보수 체계의 강화도 필요하다. 테스트 베드의 성능과 신뢰성을 유지하기 위해서는 운영 및 유지보수 체계를 강화해야 한다. 이를 위해서는 전문 인력의 양성과 교육이 필요하다. 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드의 정비를 통해 국내 로봇 산업의 경쟁력을 강화하고, 로봇 강국으로 도약할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

(2) 로봇틱스 실증 테스트 베드의 설치 방안

로봇 솔루션을 개발 및 실용화를 위해서는 사용자의 과제·요구에 근거한 현실에 가까운 환경에서 실증이 필수적이다. 이러한 맥락에서 산학관이 연계한 실증 필드의 제공이 요구된다. 제조업에서 실증 테스트 베드의 형태는 ‘Learning Factory’라고 하는 데모 공장형의 테스트 베드가 세계 시장에서 활용되고 있다.³⁹⁾ 공과대학 등에 산학관 제휴로 첨단 하드웨어·소프트웨어를 활용한 제조 설비를 설치하여 사용자 제조업과 주변 기업이 활용하여 솔루션을 검토함으로써 고객의 요구에 근거한 혁신을 창출하는 것이다. 제조업에서의 실증라인과 같이 모든 산업이나 도시에서의 로봇의 적용이 확산하고 있으며, 어떻게 실증 필드를 정비할지가 중요하다.⁴⁰⁾ 가령, 이동형 로봇에서는 법규제에 의해 공도에서의 실증시험을 실행할 수 없고, 개발·검증의 진행이 충분하지 않고, 미국과 중국에 뒤처져 있다. 우리나라에서도 몇 개의 거점이 설치되기 시작했지만, 스타트업이나 연구 기관 등에서도 널리 활용할 수 있도록, 산학관 제휴로의 한층 더 실증형 테스트 베드 확대가 요구된다.

〈표 7〉 실증형 로봇틱스 테스트베드

	사용자		연구자	
	↓ 이용, 데이터·과제 축적		↓ 연구 활용	
사용자 요구 기반 이노베이션 창출	실증형 로봇틱스 테스트베드 데모제조라인 도시필드 등			
	로봇 제공	소프트웨어 제공		
	로봇 기업	소프트웨어 기업	연구 기관/대학	정부 부처

한편, 현재 기술 혁신이 진행되는 메타 버스 공간의 활용을 통한 디지털 개념증명(Proof of Concept, 이하 PoC)의 전개도 고려할 수 있다. 그래서 게임 엔진 등으로 가상적으로 도시 공간을 생성하여 신규 기술을 시뮬레이션할 수 있다. 3D 모델 자체도 물리적인 조건을 포함할 수 있으므로 게임 엔진 활용으로 효율적으로 실증 필드를 생성해, 현실에 가까운 조건에서 실증이 가능할 수 있다. 라스트 마일 배송(Last Mile Delivery)의 실증은 규제가 완화되는 등, 현실

39) Stefanie Findeisen *et al.*, Classification Approach for Use Cases Within a Demonstration Factory Environment, *Procedia Manufacturing* 39 (2019), pp.106~108.

40) 한국과학기술기획평가원, 「국가로봇테스트필드사업」, 2022, 171~180면.

공간에서의 실증은 진행하기 수월해지고 있다.⁴¹⁾ 하지만 보다 신속하게 실증을 진행해 정밀한 실증 결과를 얻어 가는데 있어서 메타버스 기술을 활용한 디지털 PoC와의 조합이 더 가속해 나가는 것이 중요하다.

포인트 클라우드(Point Cloud) 기반 디지털 실증 필드 조성을 위해 3D 도시 모델인 PLATEAU의 활용 등 3차원 포인트 클라우드(Point Cloud)를 활용한 3차원 데이터는 현실 공간을 가미한 디지털 실증 필드로서 기능을 고려할 수 있다. 포인트 클라우드(Point Cloud)를 활용하여, 자동 운전용의 3차원 지도를 제공하는 다이내믹 맵(Dynmap) 기반과 연계해, 자동 운전의 실증을 진행할 수 있다.⁴²⁾ 또한, 유럽의 게임 회사에 의해 포인트 클라우드(Point Cloud)를 활용한 새로운 레이싱 게임이 개발되었다. 이처럼 디지털 데이터가 로봇을 활용해 혁신을 창출할 것으로 기대할 수 있다.

(3) 로봇 시스템 인티그레이터(system integrator)의 전략 육성

산업별 특화 로봇의 요구가 끊임없이 증가하고 있으며, 산업별 특화 로봇의 요구가 증가하고 있다. 산업별 특화 로봇을 구축하기 위해서는 산업별 전문 지식이 필요하다. 이를 위해 로봇 시스템 인티그레이터가 산업별 전문 지식을 확보할 수 있도록, 정부와 기업이 지원해야 한다. 이를 통해 로봇 시스템 인티그레이터의 역할이 강화되었을 때 로봇 산업이 활성화될 것으로 기대할 수 있다. 즉, 로봇 시스템 인티그레이터가 로봇 기술을 개발하고 적용함으로써, 로봇 기술의 발전에 이바지 할 것으로 예상할 수 있는 것이다. 결과적으로 로봇 시스템 인티그레이터는 로봇 산업의 발전에 중요한 역할을 담당하고 있다고 할 수 있다. 따라서, 정부, 기업, 학계의 협력을 통해 로봇 시스템 인티그레이터의 육성을 위한 노력이 필요하다.

로봇 시스템 인티그레이터에서 중요한 것은 고객 경영의 문제를 이해하고 로봇을 활용 방법을 제시하는 것이다. 특히, 로봇을 활용하고 있는 제조업에는 로봇을 이용하는 생산 기술 기술이 축적되어 있다. 이들은 로봇 시스템 인티그레이터로서 타사 연계하기 위해 제품화할 수 없는 경우가 많았다. 이에 따라, 자사 생산 기술 노하우의 표준화를 통한 로봇 공정의 3D화·디지털 트윈화 및 생산 기술의 이전에 대한 코어 솔루션 개발의 PoC에 대해 보조금을 지원하는 방식을

41) Lin Zhou *et al.*, Evolutionary Game Analysis on Last Mile Delivery Resource Integration—Exploring the Behavioral Strategies between Logistics Service Providers, Property Service Companies and Customers, Sustainability 2021, 13, 12240., pp.5~8

42) 이재희외 3인, “도로정보를 활용한 UAV 기반 3D 포인트 클라우드 공간객체의 위치정확도 향상 방안”, 「대한원격탐사학회지」 제35권 제5호, 대한원격탐사학회, 2019, 710면.

생각할 수 있다. 결과적으로 대기업이 가진 로봇 활용의 기술을 다른 제조업뿐만 아니라 다른 업계에 적용해 가는 것이다. 또한, 큰 로봇 시스템 인티그레이터의 과제로서는 규모가 한정적인 사업체이기 때문에 활동할 수 있는 산업 공정은 한계가 있다.⁴³⁾ 로봇 시스템 인티그레이터는 특정 로봇 도입 공정뿐만 아니라 제조 설비와 고객 오퍼레이션을 통합적으로 지원할 수 있는 형태로 강화하는 것이 중요하다. 그러기 위해 기업의 인수합병 등의 방식이 있지만 컨소시엄의 구성을 통해 수주를 확대하는 방식도 고려할 수 있다.

연구·개발에 한계가 있는 로봇 시스템 인티그레이터 지원에 관해서는 이들은 조직화하고 산학관에서 로봇 시스템 인티그레이터의 컨소시엄의 설립·운영에 대한 지원을 시행하는 것도 하나의 방안이라고 할 수 있다. 컨소시엄을 통해 공동영업 활용, 공동구매, 로봇 도입 공정 메뉴의 공동개발, 노하우 공유 등을 하는 것이다. 그때 과제가 되는 것이 고객의 잠재 요구와 과제로부터의 제안 내용을 구상해, 태스크를 정의하는 고객 대응 업무이다.⁴⁴⁾ 중소 로봇 시스템 인티그레이터에서는 이 잠재 요구로부터 제안 구상을 시행하는 자원·능력이 부족한 경우가 많았다. 그래서 우선 컨소시엄 내에서 고객 대응 기능을 설치하고, 생산 기술력이 축적된 제조업에서의 기술을 공유하고 그 기능을 강화해 나가야 한다.

(4) 사회적 문제와 융합 로봇 기술의 전개

① 사회적 문제와 로봇기술의 관련성

로봇 기술은 최근 급속한 발전을 거듭하고 있으며, 인공지능, 기계 학습, 센서 기술 등 다양한 기술의 융합으로 로봇은 더욱 지능화되고, 정교화되고 있다. 이러한 발전은 사회적 문제 해결을 위한 로봇 기술의 활용 가능성을 더욱 높여주고 있다. 사회적 문제 해결을 위해서는 단일 기술로는 해결하기 어려운 경우가 많다. 이 문제를 해결하기 위해서는 다양한 기술의 융합이 필요하다. 로봇 기술은 인공지능, 기계 학습, 센서 기술 등 다양한 기술과 융합될 수 있다. 이러한 융합은 사회적 문제 해결을 위한 로봇 기술의 효율성과 효과성을 높여줄 수 있다.

이를 위해 선행되어야 하는 것은 사회적 문제 해결을 위한 융합 로봇 기술의 전개를 위해선 사회적 문제에 대한 이해와 분석이 필요하다. 이를 위해 사회과학, 공학, 의학 등 다양한 분야의 전문가들이 협력하여 연구를 수행해야 한다. 이와 함께 사회적 문제 해결을 위해서는 로봇 기술 뿐만 아니라, 인공지능, 기계 학습, 센서 기술 등 다양한 기술을 이해하고 융합할 수 있는 능력이

43) 김규판 외 5인, 「주요국의 혁신성장 정책과 제도: 미국, 유럽, 일본을 중심으로」, 대외경제정책연구원, 2019, 74~75면.

44) 정미애외 10인, 「디지털전환기 기업혁신활동 변화와 대응전략」, 2021, 11~13면.

필요하다. 이를 위해서는 융합 기술에 대한 교육과 훈련이 필요하다.

이와 함께, 실증과 평가도 중요하다. 사회적 문제 해결을 위한 로봇 기술은 실증을 통해 검증되고 평가되어야 한다. 이를 위해 실증 환경을 구축하고, 실증을 위한 제도와 규정을 마련하는 것이 필요하다. 사회적 문제 해결을 위한 융합 로봇 기술의 전개는 고령화 사회의 도래에 따라 노약자나 장애인을 위한 보조 로봇을 개발함으로써, 노약자나 장애인의 일상생활을 지원하고, 사회 참여를 확대하는 것에 도움이 될 수 있다. 또한, 재난 현장에서의 인명 구조 및 구급 활동을 위한 로봇을 개발함으로써, 재난 피해를 최소화하고, 인명 피해를 줄일 수 있다. 환경 오염을 방지하기 위한 로봇을 개발함으로써, 환경을 보호하고, 지속 가능한 발전에 이바지할 수 있다고 할 수 있다.

우리나라는 고령화나 도시 기반의 노후화 등의 과제를 안고 있으며, CPS와 로보틱스를 융합한 과제 해결형의 솔루션을 창출해 가는 것이 중요하다. 현재 글로벌 전체에서 지속가능개발목표(Sustainable Development Goals, 이하: SDGs)에 기반한 경영이 필수로 되고 있다. 행정에 의한 디지털 실증 필드 전개의 가능성이 있지만, 도시나 산업에서 과제를, 실증을 기준으로 로보틱스 해결책을 전략적으로 전개해 나가는 것은 국내 로봇 산업 경쟁력의 원천이 될 수 있다.⁴⁵⁾ SDGs는 지속 가능한 개발 목표를 의미하며, 2015년 9월 유엔 정상회의에서 회원국 만장일치로 채택된 ‘지속 가능한 개발을 위한 2030 의제’에서 설명된 30년까지 지속 가능에서 더 나은 세계를 목표로 하는 국제 목표이다.

SDGs는 국제사회에서 정책이나 기업의 전략에 있어서 중요성이 증가하고 있지만, 이 SDGs의 실현과 로보틱스와의 밀접한 관련성이 있다. SDGs “Goal 3 건강 보장과 모든 연령대 인구의 복지증진”의 목표인 ‘모든 사람에게 건강과 복지’에서는 이동이 곤란한 자에 대해 퍼스널 모빌리티를 활용한 이동의 제공이나, 신흥 국가에서의 의료 서비스 제공에 있어서 로봇이 효과적으로 활용되고 있다. CES 2022에서 혁신 어워드를 수상하고 있는 일본의 스타트업 WILL社 사는 휠체어의 이미지를 바꾸어 MaaS 등과도 연동한 차세대 퍼스널 모빌리티를 제공하고 있다.⁴⁶⁾ 또한, 의료기술이 발전하지 않은 국가에 대한 로봇 수술에 의한 원격의료의 제공이 모색되고 있다. 수술 로봇은 미국 인튜이티브 서지컬(Intuitive Surgical)社 ‘다빈치’를 사용하고 있으며, 일본에서도 가와사키중공업(川崎重工業)과 시스템스(Sysmex)의 합작회사인 메디카로이드(medicaroid)社가 국산 수술 로봇 ‘히노토리(Hinotori)’를 개발·전개하고 있다.⁴⁷⁾ 향후 원격

45) 한국개발연구원, “로봇과 함께 일하는 시대- 주요국의 로봇 정책 동향을 중심으로 -”, 2023, 4~6면.

46) 오토헤럴드, “휠체어가 아니고 사륜구동 퍼스널 모빌리티 ‘Whill’”(http://www.autoherald.co.kr/news/articleView.html?idxno=21095)(최종방문일 2023년 10월 5일)

47) Medicaroid, 川崎重工業の産業用ロボット技術, (https://www.medicaroid.com/company/strength.html)(last

로봇과 이동성 로봇을 통한 의료 서비스의 확충이 기대되고 있다.

② SDGs Goal 8 및 Goal 9의 산업과 기술 혁신의 기반 조성

모든 사람에게 일을 제공하는 것에 대해서는 다양성(Diversity)의 관점에서 로봇이 중요한 역할을 한다. 예를 들어 일본의 오리(Ori) 연구소는 ‘분신 로봇 카페 DAWN ver.β’이라고 하는 외출이 어려운 사람을 위해 원격 조작 로봇으로 근무할 수 있는 환경을 정비했다. 또, 농업의 수확 로봇을 전개하는 애그리스트(AGRIST)는 농업과 복지를 융합해, 원격 조작을 통한 농업에서의 복지 취업 지원을 도모하고 있다. 이러한 로봇은 질병이나 장애 등으로 인해 지금까지 물리적으로 취업이 어려웠던 사람에게 편리성을 제공하고 있다.⁴⁸⁾

사회의 기반 유지와 구축은 사회적 문제이지만 이를 로봇이 해결할 수 있는 것이다. 가령, 익시스(iXs)는 점검 로봇을 통해 교량을 비롯한 사회 기반의 디지털 트윈을 생성해 그 관리에 활용되고 있다.⁴⁹⁾ 수중 쓰레기를 제거하는 수중 드론 로봇이나 폐기물 자동 선별 로봇 등, SDGs에서 목표로 공표하였으며, 지구 환경을 유지하는 데 있어서 중요한 #14 바다의 풍요를 지키자, #15 육지의 풍부함을 지키자”를 실현하기 위해 로봇의 역할 고려할 수 있다. 로봇틱스 혁명 시대, SDGs 시대에서 지구 환경과 사람 친화적인 기술 전개를 통해 세계에서 존재감을 발휘하는 것이 필요하다.

[그림 4] SDGs에 대응한 주요 로봇 스타트업 전개

<p>3 건강과 웰빙</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • WHILL사 • 퍼스널 모빌리티 × MaaS • MaaS와도 연동된 차세대 휠체어 	
<p>8 양질의 일자리와 경제성장</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 오리연구소(Ory Laboratory) • 분신로봇카페 DAW Nver.β • 원격 조작 로봇을 활용한 외출이 불편한 사람의 취업 기회 창출 	
<p>9 산업, 혁신, 사회기반 시설</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 익시스(iXs)·하이봇(HIBOT)社 • 점검 로봇·디지털 트윈화를 통한 사회 인프라 노후화 대응 	

visited October 05, 2023)

48) robotstart inc, 「分身ロボットカフェDAWN ver.β」常設実験店レポート 難病や外出困難の人達が生き活きと働けるカフェが ついに常設店に, <<https://robotstart.info/2021/06/21/dawn-avatar-orihime-cafe.html>>(last visited October 05, 2023)

49) iXs Co., 社会インフラ系, <<https://www.ixs.co.jp/business/robot>>(last visited October 05, 2023)

V. 결론

그간 국내 로봇 산업은 제조 분야에서의 산업 로봇의 고도화 및 확산을 중심으로 발전해 왔다. 앞으로도 제조 분야에서의 산업 로봇의 활용을 확대하는 한편, 서비스 분야로의 진출을 강화해 나갈 필요가 있다. 로봇 기술은 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등 첨단 기술의 발전과 함께 빠르게 진화하고 있다. 이에 국내 로봇 산업은 이러한 기술 변화에 대응하고 로봇 기술의 혁신 및 선진화를 주도해 나갈 필요가 있다. 우리나라 로봇 산업은 세계 5위권의 규모를 갖추고 있지만, 국제 경쟁력을 더욱더 강화해야 한다. 로봇 산업의 국제 경쟁력을 강화하기 위해 로봇 기술의 국산화율을 높이고, 해외 시장 진출을 확대해 나갈 필요가 있다.

로봇틱스 4.0은 혁신적인 기술과 개념을 결합하여 로봇 기술의 발전을 이끄는 전략이다. 로봇틱스 4.0은 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 빅데이터 등 첨단 기술의 발전을 바탕으로, 인간과 로봇이 협력하여 더 지능적이고 유연하게 작업을 수행하는 것을 목표로 한다. 종국적으로 스스로 학습하고 판단하여 작업을 수행할 수 있다. 그리고 로봇과 인간이 협력하여 작업을 수행할 수 있으며, 로봇은 다양한 환경과 조건에서 작업을 수행할 수 있다. 이러한 특징을 통해 제조, 서비스, 의료, 국방 등 다양한 산업 분야에 적용될 것으로 기대할 수 있다. 예를 들어, 제조 분야에서는 로봇을 활용하여 생산 공정을 자동화하고, 서비스 분야에서는 로봇을 활용하여 고객 서비스를 제공할 수 있다.

이에 이 글에서는 로봇틱스 4.0 기반 로봇 산업 발전 방안을 제시하였고, 아래와 같이 정리할 수 있다.

총론적으로 로봇틱스 4.0 연계 산학관 연계 전략이 필요하다. 해외 주요국에서는 산학관의 제휴를 통해 로봇 산업의 발전을 위한 총력을 다하고 있다. 우리나라에서도 로봇개발 기업의 개별 전략과 함께 산학관이 협업해 경쟁력 강화에 임할 필요가 있다. 우리나라는 요소기술 개발을 수행해 왔지만 이러한 요소기술은 중국을 비롯한 타국 기업의 추격과 로봇 OS를 지원하는 플랫폼의 등장 등에 의해 급속한 평준화가 진행되었다. 로봇의 가치가 요소기술이 아니라 로봇 활용에 의한 사회·경영 전략을 통해 변화해야 한다. 우리나라의 산학관 제휴는 요소기술을 활용하는 것에 역점을 두어야 한다.

첫째, 산학관 제휴 로봇틱스 테스트 베드 정비가 필요하다. 로봇 솔루션을 개발 및 실용화를 위해서는 사용자의 요구에 근거한 현실에 가까운 환경에서의 실증이 필수적이다. 이러한 맥락에

서 산학관이 연계한 실증 필드의 제공이 요구된다. 우리나라에서도 몇 개의 거점이 설치되기 시작했지만, 스타트업이나 연구 기관 등에서도 널리 활용할 수 있도록, 산학관 제휴로의 한층 더 실증형 테스트 베드 확대가 요구된다.

둘째, 로봇 시스템 인티그레이터(system integrator)의 전략적 육성이 필요하다. 큰 로봇 시스템 인티그레이터의 과제로서는 규모가 한정적인 사업체이기 때문에 활동할 수 있는 산업 공정은 한계가 있다. 솔루션 개발 등의 연구·개발에 자원이 나눌 수 없는 고객의 개별 요구에 따른 인재 육성을 할 수 없는 문제점이 있다. 로봇 시스템 인티그레이터의 활동 범위를 확대하여 특정 로봇 도입 공정뿐만 아니라 제조 설비와 고객 오퍼레이션을 통합적으로 지원할 수 있는 형태로 강화하는 것이 중요하다. 그러기 위해 M&A 등의 방식이 있지만 컨소시엄의 구성을 통해 수주를 확대하는 구조 조성도 요구된다.

셋째, 사회적 문제에 대한 로봇의 활용 방안이 필요하다. 우리나라는 고령화나 도시 인프라의 노후화 등의 과제를 안고 있으며 CPS와 로봇틱스를 곁한 과제 해결형의 솔루션을 창출해 가는 것이 중요하다. 현재 글로벌 전체에서 SDGs에 기반한 경영과 오퍼레이션이 필수가 되고 있다. 행정에 의한 디지털 실증 필드 전개의 가능성이 있지만, 도시나 산업에서 과제의 실증을 기준으로 로봇틱스 솔루션을 전략적으로 전개해 나가는 것은 국내 로봇 산업의 경쟁력의 원천이 될 수 있다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 김규판 외 5인(2019), 「주요국의 혁신성장 정책과 제도: 미국, 유럽, 일본을 중심으로」, 대외경제정책연구원, pp.74~75.
- 서기성·현수환(2009), “4족 보행로봇의 걸음새 생성에 대한 GP와 CPG 기법 비교 연구”, 「정보 및 제어 논문집」 대한전기학회, pp.151~152.
- 석왕현(2023), “메타버스와 NFT 비즈니스 모델현황 및 고려사항”, 「전자통신동향분석」 제38권 제2호, 한국전자통신연구원, p.57.
- 우현수의 3인(2023), 디지털 트윈 기술과 로봇 연계 기술동향 및 발전방향, 「KEIT Issue Review」 한국산업기술기획평가원, pp.61~65.
- 이재희외 3인(2019), “도로정보를 활용한 UAV 기반 3D 포인트 클라우드 공간객체의 위치정확도 향상 방안”, 「대한원격탐사학회지」 제35권 제5호, 대한원격탐사학회, p.710.
- 최원석 외 6인(2021), 「중국의 디지털 전환 전략과 시사점: 5G 네트워크 구축과 데이터 경제 육성을 중심으로」, 대외경제정책연구원, pp.79~80.
- 연구개발특구진흥재단(2021), 「유망시장 Issue Report」, p.10.
- 산업동향연구소(2023), 「2023 로봇산업 기술개발 동향과 시장전망 (II)」, pp.47~53.
- 한국개발연구원(2023), “로봇과 함께 일하는 시대- 주요국의 로봇 정책 동향을 중심으로 -”, pp.4~6.
- 한국과학기술기획평가원(2022), 「국가로봇테스트필드사업」, pp.171~180.

2. 외국문헌

- Alicia A. Grandey and Kayley Morris, Robots Are Changing the Face of Customer Service, <<https://hbr.org/2023/03/robots-are-changing-the-face-of-customer-service>>
- Boston Dynamics, “Hyundai Motor Group Completes Acquisition of Boston Dynamics from Softbank”, <<https://url.kr/x49w62>>
- Brian McMorris, “A Timeline History of Robotics”, <<https://futura-automation.com/2019/05/15/a-history-timeline-of-industrial-robotics/>>
- CCC·CRA(2009), A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics, pp.7~11.
- DARPA, The DARPA Grand Challenge: Ten Years Later, <<https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13>>
- EC, 6 Commission priorities for 2019-24, <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024_en>

- EC, European Partnerships in Horizon Europe, <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/european-partnerships-horizon-europe_en>
- EC, List of Participating Countries in Horizon Europe, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/common/guidance/list-3rd-country-participation_horizon-auratom_v2.0_en.pdf>
- EUROPEAN COMMISSION(2021), HORIZON EUROPE STRATEGIC PLAN 2021 – 2024, pp. 3~7.
- Christensen. Henrik(2022), A Roadmap for US Robotics – From Internet to Robotics 2020 Edition, pp.43~54.
- Christensen, Henrik I., Okamura, Allison., Mataric, Maja., Kumar, Vijay., Hager, Greg., Choset, Howie.(2016), Next Generation Robotics, Computing Community Consortium, pp.5~8
- Lee Ho., Enriquez, John Laurencem, and Lee, Geon.(2022), Robotics 4.0: Challenges and Opportunities in the 4th Industrial Revolution, Journal of Internet Services and Information Security, Volume 12 - Issue 4, pp.39~40.
- IFR(2017), The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs, pp.1~5.
- Joachim von Braun et al.(2021), Robotics, AI, and Humanity Science, Ethics, and Policy, Springer, pp.22~23.
- Lin Zhou et al.(2021), Evolutionary Game Analysis on Last Mile Delivery Resource Integration—Exploring the Behavioral Strategies between Logistics Service Providers, Property Service Companies and Customers, Sustainability 2021, 13, 12240, pp.5~8.
- Findeisen, Stefanie et al.(2019), Classification Approach for Use Cases Within a Demonstration Factory Environment, Procedia Manufacturing 39, pp106~108.
- Janeway. William, Nanda, Ramana and Rhodes-Kropf, Matthew.(2021), Venture Capital Booms and Startup Financing, Working Paper 21-116, Harvard Business School, pp.2~3.
- Gaoa, Zhen., Wanyamaa, Tom., Singha, Ishwar., Gadhrria, Anoop., Schmidt, Reiner(2020), From Industry 4.0 to Robotics 4.0 - A Conceptual Framework for Collaborative and Intelligent Robotic Systems, Procedia Manufacturing 46, pp.591~592.
- 로봇트 혁명·산업IoT이니셔티브協議會, <https://www.jmfrii.gr.jp/content/files/RRI/RRI_Pamphlet_jp.pdf>
- 広島県 AI·IoT·ロボティクス活用研究会, <<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/28/ai-forum.html>>
- 日本經濟再生本部(2019), 로봇트新戰略, 2015.
- 中部の地域づくり委員会, ~りニア時代の“ものづくり”対流拠点形成の検討,

3. 기타 문헌

KERC, “플러그 앤 프로듀스(plug-and-produce)방식을 통한 제조업 향상”, <<https://zrr.kr/MHLb>>
과학기술정보통신부, “12대 국가전략기술, 대한민국 기술주권 책임진다”, 2022년 10월 28일자
보도자료.

로봇신문, “일본 ‘이나호’, 작물 수확 로봇 시장 진출”, <<http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=18139>>

相模原市, 相模原市産業用ロボット導入補助金について, <<https://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/sangyo/sangyo/1026664/1003291/josei/1003308.html>>

노상도, “사이버물리시스템(Cyber Physical System)”, <<https://url.kr/h9c8l1>>

오토헤럴드, “휠체어가 아니고 사륜구동 퍼스널 모빌리티 ‘Whill’” <<http://www.autoherald.co.kr/news/articleView.html?idxno=21095>>

iXs Co., 社会インフラ系, <<https://www.ixs.co.jp/business/robot>>

Medicaroid, 川崎重工業の産業用ロボット技術, <<https://www.medicaroid.com/company/strength.html>>

robotstart inc, 「分身ロボットカフェDAWN ver.β」常設実験店レポート 難病や外出困難の人達が生き活きと働けるカフェがついに常設店に, <<https://robotstart.info/2021/06/21/dawn-avatar-orihime-cafe.html>>

Science Friday, “The Origin Of The Word ‘Robot’”, <<https://www.sciencefriday.com/segments/the-origin-of-the-word-robot/>>

A Study of robotics 4.0 and how the robot industry will develop

– Focusing on meaning, aspects, and development issues –

Lee, Chang-Kyu

– Abstract –

The research field of robotics, where robots have evolved, has advanced from basic research to applied research. Currently, the United States, the Yuran Alliance, and Japan, which are leaders in the field of robotics, are developing policies for the future of robotics. However, developing robot technology requires a large amount of capital and specialized human resources, and recent technology is a fusion of technologies from various fields. Collaboration in diverse fields that transcends the boundaries of laboratories, universities, and countries is important for this purpose. Therefore, it is necessary to consider ways to not only increase productivity and efficiency but also solve problems such as a shortage of human resources. In this article, we have presented an industry-academia-government collaboration strategy as a way to develop the robot industry based on Robotics 4.0.

Key words

Robots, Robotics 4.0, robot manufacturing companies, industry-academia-academia collaboration, human resources training

기계기술정책

| 제2권 제2호(2023) |

발행일 2023년 12월
발행처 한국기계연구원
발행인 류석현
문의처 한국기계연구원 전략조정본부 기계기술정책센터
대전광역시 유성구 가정북로 156
T. 042-868-7640

ISSN 2950-9939

TECHNOLOGY POLICY
MECHANICAL ENGINEERING

기계기술정책

제2권 제2호 (2023)

KIMM 한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

대전광역시 유성구 가정북로 156 기계기술정책센터
Tel. 042-868-7640 www.kimm.re.kr



9 772950 993008

ISSN 2950-9939