

# 기계 산업 연구

| 제4권 제1호(2025) |

JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY

## I Short-Brief I

- 01 탄소중립 시대 저탄소 기계의 현재와 미래  
- CBAM 대응 현황을 중심으로 -
- 02 바이오·의료 분야에서의 NGS 활용 확대와 기계장비  
산업의 대응 전략  
- NGS 기술 확산과 산업적 대응 -

## I 논문 I

- 01 토픽모델링을 활용한 초순수 기술 분야 특허 출원  
동향 분석
- 02 소재·부품·장비 산업의 효율성 결정요인 분석  
- 종업원 규모에 따른 양극화 현상 비교 -



# 기계 산업 연구

CONTENTS | **목차**

제4권 제1호(2025)

## | Short-Brief |

- 탄소중립 시대 저탄소 기계의 현재와 미래 ..... 1  
CBAM 대응 현황을 중심으로  
이구용
- 바이오·의료 분야에서의 NGS 활용 확대와 기계장비 산업의 대응 전략 ..... 15  
NGS 기술 확산과 산업적 대응  
하홍석

## | 논문 |

- 토픽모델링을 활용한 초순수 기술 분야 특허 출원 동향 분석 ..... 29  
곽송비, 김건
- 소재·부품·장비 산업의 효율성 결정요인 분석 ..... 57  
종업원 규모에 따른 양극화 현상 비교  
김경수



| Short-Brief |

# 탄소중립 시대 저탄소 기계의 현재와 미래

CBAM 대응 현황을 중심으로

이 구 용

충남도립대학교 환경에너지학과 교수

JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY



# 탄소중립 시대 저탄소 기계의 현재와 미래\*

## - CBAM 대응 현황을 중심으로 -

이구용\*\*

### - 초 록 -

기후변화에 대한 능동적 대응방안으로 탄소중립이 선언되었고, 세계 각국은 저탄소사회를 지향하며 탄소국경세 제도를 도입하고 있다. 유럽은 2023년 10월 1일 부터 CBAM 전환기에 도입하였으며, 2026년 부터 본격적 적용 단계인 Definitive Phase(최종단계)에 진입하게 된다. 해당 단계에서 수입자는 보고된 배출량에 상응하는 CBAM 인증서를 구매하여 제출해야 한다. 다만, 실제 인증서 제출 및 탄소비용 지불 의무는 2027년부터 본격화되며, 그 전까지는 인증서의 거래 및 보유 연습 기간이 제공된다. 현재 CBAM의 적용 대상 품목은 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 수소, 전기 제품이고, EU ETS와 연계하여 2030년까지 대부분 품목으로 확대할 전망이다. 탄소중립사회로 전환됨에 따라 저탄소 기계의 중요성이 강조되고 있는데, CBAM에서도 철강, 수소, 전기제품이 저탄소 기계와 밀접하게 연관되어 있다. 본 기고문에서는 CBAM 최신 현황을 알아보고, 저탄소 기계 관련 국내의 정책적, 산업적, R&D 대응 현황을 분석하고, 향후 대응 방안에 대한 고찰을 포함한다. 또한, 본 기고문에서는 산업부, 환경부 등 주요부처가 추진하는 주요 정책과 연구사업을 분석하고, 향후 탄소중립 시대 국내 저탄소 기계 경쟁력 제고를 위한 시사점을 제시한다.

주 제 어 탄소중립, 저탄소 기계, 고효율 기계, CBAM

논문접수일 2025년 6월 16일 수정논문 제출일 2025년 6월 18일 게재확정일 2025년 6월 23일

\* 사사표기: 이 논문은 별도의 연구비 지원 없이 작성되었습니다.

\*\* 충남도립대학교 환경에너지학과 교수, email: leegooyong@cnsu.ac.kr

## I. 서론

기후변화에 대한 적극적인 대응체계로서 전 세계는 탄소중립사회를 지향하고 있다. 탄소중립 사회로 가는 다양한 경로 중에서 핵심은 ‘저탄소화’이다. 저탄소화는 인류가 생산·소비 활동을 수행함에 있어서 불가피하게 발생하는 탄소량을 최소화하는 것을 의미하며, 원재료부터 생산, 소비, 폐기에 이르는 전과정이 포함된다. 기후변화 가속화의 원인은 다양하지만, 많은 과학자들은 화석연료를 다량 사용하는 산업혁명을 주요 원인으로 제시하고 있다. 산업혁명은 기계의 발달로부터 시작되었으며, 가속화되는 기후변화도 기계(또는 공업시스템)의 발달과 상당히 연관되어 있다.

유럽에서는 산업시스템으로 인한 탄소발생에 세금을 부과하는 탄소배출권 거래제도(ETS)를 시행하고 있었으며, 2023년에는 유럽 내부의 규제 강화와 글로벌 참여 촉구를 위하여 탄소국경조정제도(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)를 도입하였다. CBAM의 핵심 사항은 유럽 내·외 제품 간의 탄소 가격 형평성을 보장하고 탄소 누출을 방지하려는 목적을 지니며, 특정 탄소집약 제품에 대해 EU ETS와 유사한 수준의 탄소비용을 부과하는 것이 기본 개념이다. 유럽의 CBAM과 유사하게 미국에서도 탄소국경세 도입을 검토하고 있으며, 저탄소 공업 기술에 대한 중요도가 매우 증가하고 있는 상황이다.

국내 기계 중심의 제조업의 글로벌화를 위해서는 탄소국경세에 대한 대응책이 필요하다. 국내에서는 저탄소 산업 육성을 위한 정책과 산업의 다각적인 노력을 수행하고 있으며, 2026년 본격적으로 시행되는 CBAM에 대응하여 다양한 제도를 마련하고 있다. 본 기고문에서는 유럽 CBAM 최신 현황을 알아보고, 저탄소 기계 관련 국내의 정책적, 산업적, R&D 대응 현황을 분석하고, 향후 대응 방안에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

## II. CBAM 및 기계 분야 국제 규제 현황

### 1. 유럽 CBAM 현황

유럽연합(EU)은 2050년까지 탄소중립(Net-Zero)을 달성하겠다는 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’의 일환으로 탄소 감축을 가속화하고 있다. 이 목표를 달성하기 위해 탄소배출권 거래제도(EU ETS)를 통해 탄소가격을 부과하는 등 엄격한 환경 규제를 적용해 왔다. 그러나



EU 외부의 국가들은 대부분 이러한 수준의 규제를 도입하고 있지 않기 때문에, 상대적으로 환경 규제가 느슨한 국가에서 생산된 탄소집약적 제품이 EU로 수입되어 가격 경쟁력을 가지게 되는 ‘Carbon Leakage’ 문제가 발생하게 되었다 (European Commission, 2021). Carbon Leakage는 두 가지 경로를 통해 EU의 기후정책을 약화시킨다고 EU는 주장한다. 한 가지는 유럽 기업들이 높은 탄소비용을 회피하기 위해 생산기지를 해외로 이전하거나 수입제품과의 가격경쟁에서 밀려 피해를 보는 등 산업경쟁력이 약화될 수 있으며, 두 번째는 EU의 탈탄소 정책이 글로벌 온실가스 감축이라는 최종 목표에는 기여하지 못한 채, 단지 오염물질 배출지점을 바꾸는 결과로 귀결될 위험이 있다고 한다 (IEA, 2024).

유럽의 기후변화 대응력을 강화하고 글로벌 국가들과의 탄소규제정책 참여를 촉구하기 위하여 EU는 탄소국경조정제도(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)를 도입하였다. CBAM은 EU 역외에서 수입되는 특정 탄소집약 제품에 대해 EU ETS와 유사한 수준의 탄소비용을 부과함으로써, 유럽 내·외 제품 간의 탄소 가격 형평성을 보장하고 탄소 누출을 방지하려는 목적을 지닌다 (European Commission, 2021).

CBAM은 2023년 10월 1일부로 ‘전환기(Transitional Phase)’에 들어갔다. 이 기간 동안 수입업자들은 실질적인 탄소비용을 지불하지는 않지만, 매 분기마다 수입 품목에 포함된 직접 및 간접 온실가스(GHG) 배출량, 해당 제품의 탄소가격 지불 여부 등을 보고해야 한다 (European Commission, 2023a). 2026년 1월 1일부터 CBAM은 본격적인 적용 단계인 ‘최종 단계(Definitive Phase)’에 진입하게 되며, 수입자는 보고된 배출량에 상응하는 CBAM 인증서(Certificates)를 구매하여 제출해야 한다. 이 인증서의 가격은 EU ETS의 직전 주간 평균 경매가격을 기반으로 설정되며, 거래는 매월 단위로 집행된다 (European Commission, 2023b). 다만, 실제 인증서 제출 및 탄소비용 지불 의무는 2027년부터 본격화되며, 그 전까지는 인증서의 거래 및 보유 연습 기간이 제공된다.

초기 CBAM의 적용 대상 품목은 총 6개로, 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 수소, 전기 제품이다. 이들은 제조 과정에서 직접적인 화석연료 연소와 함께 상당한 이산화탄소 배출을 동반하는 산업 군으로, EU ETS 내에서도 핵심적으로 관리되고 있다. CBAM 인증자(declarant)에 대한 등록 제도가 본격적으로 시행되었다. CBAM 수입 인증자가 되기 위해서는 2025년 6월까지 사전 등록을 마쳐야 하며, 2026년 1월 이후부터는 승인된 인증자만이 CBAM 대상 품목을 합법적으로 수입할 수 있다. 인증자는 수입상품의 탄소배출량 산정, 인증서 구매, 보고, 제출 등의 전 과정에 책임을 지며, 자체 보고 외에도 제3자 검증(verification)을 요구받을 수 있다.

(European Commission, 2023b).

최근 EU 집행위원회는 2025년 3월 31일부터 인증자 신청을 위한 포털을 공식 개방하였으며, 이에 따라 수입업체는 전용 CBAM 레지스트리 시스템에 접속하여 등록을 신청할 수 있게 되었다. 인증자는 CBAM 품목을 수입하기 위해 필수적인 법적 지위를 갖는 주체로, 2026년 1월 1일부터 이 지위를 갖추지 못한 경우에는 CBAM 대상 제품을 수입할 수 없다 (European Commission, 2025a). 해당 절차는 집행이사회 규정 (EU) 2025/486에 따라 규정되었으며, 신청 후 120일 내에 심사 및 승인이 이루어지도록 되어 있다. EU는 기술 인프라 측면에서도 주요 업데이트를 시행하였다. 2025년 1월부터는 EU 외부의 설치 운영자(installation operators)가 자신의 탄소배출 정보를 직접 업로드할 수 있는 '매칭 포털(Matching Portal)' 기능이 CBAM 레지스트리 내에 추가되었으며, 이를 통해 수출자와 수입자의 데이터 공유 및 검증 절차가 간소화되었다 (European Commission, 2025c).

## 2. CBAM 관련 기계 분야 국제 규제 현황

현재의 CBAM의 적용 대상 품목은 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 수소, 전기 제품으로서 저탄소 기계와 관련이 있는 항목은 철강, 수소, 전기 제품이 있다. 하지만, EU가 향후 2030년까지 적용 품목을 점차 확대할 계획을 발표하였고, EU ETS 적용 산업에 CBAM 연계를 목적으로 하고 있기 때문에 대부분의 기계들이 직간접적 영향을 받을 것으로 예상하고 있다.

철강 부분에서는 원재료(예: pig iron, ferro-alloys), 반제품(semi-finished), 완제품(flat rolled, bars, rods, structural steel) 등 전반적인 부분에 적용이 될 예정이다 (website: Carbonchain.com). 2026년 1월부터는 철강 수입자에게 CBAM 인증서 구매 및 제출 의무가 부과된다. 인증서 가격은 EU ETS 경매 평균 가격을 기준으로 산정되며, 단계적으로 자유할당제 철회와 병행된다 (2026년 97.5% → 2034년 0%) (website: Normative.io).

전기로(electric arc furnace, EAF)와 수소 환원 DRI(Direct Reduced Iron) 설비에 대한 CBAM 규제 및 인센티브 체계도 강화된다. EU는 CBAM을 통해 단순히 탄소세를 부과하는 데 그치지 않고, 저탄소 설비 자체에 대한 시장 보상과 보호 장치를 동시에 제공하는 전략적 인센티브를 마련하고 있다. 예를 들어, 전기로 기반의 저탄소 철강(green steel) 생산 설비를 갖춘 제조업체는 CO<sub>2</sub> 배출량이 낮기 때문에 수입 시 CBAM 인증서 구매 부담이 크게 낮아지며, 이는 곧 시장 접근과 비용 경쟁력 확보로 이어진다고 볼 수 있다 (Argus Media, 2025; FT, 2024). 제조 부분에서도 마찬가지로 European Steel and Metals Plan에서는 CBAM이 저탄

소 제조 전환을 촉진하는 도구로 활용된다는 점을 명시하였다고 밝혔다. 이러한 설비 전환 지원 정책은 실제 CBAM 규제 내의 기술 인프라 정비와도 연결된다. CBAM 레지스트리 시스템에 포함된 ‘매칭 포털(Matching Portal)’ 기능은 수출자(예: 전기로 설비 운영자)가 직접 CO<sub>2</sub> 배출 데이터를 업로드하고 인증 가능성을 투명하게 제공함으로써, 저탄소 설비 채택 기업이 신속히 규제 요건을 충족하고 혜택을 받을 환경을 마련했다고 발표하였다 (European Commission, 2025d).

### III. 국내 CBAM 대응 현황 및 저탄소 기계 개발·정책 현황

#### 1. 국내 CBAM 대응 현황

국내 정책과 산업 분야에서도 CBAM 대응을 위하여 다각적이고 활발한 활동을 수행 중이다. 2023년 10월에는 산업통상자원부와 환경부가 공동으로 「EU 탄소국경조정제도 전환기간 이행 가이드라인(버전 1.0.1)」(23.10)」을 발표하였다. 해당 가이드라인에는 EU CBAM 전환기간 기업 지원 헬스데스크를 운영 중이라고 밝히며, 담당기관과 담당자를 공유하고 있다. 동 가이드라인은 CBAM의 개요, 이행방법, 주요방법, 배출량 산정, 탄소가격 산정, 문서 작성 등에 대한 자세한 사항들을 다루고 있다.

EU CBAM에 대응하여 산업통상자원부, 환경부, 중소벤처기업부 등은 정부합동설명회를 정기적으로 개최하고 있다. 1차 설명회는 2024년 4월에 개최되었으며, 전환기간 CBAM 대응 방안, 배출량 산정 방법론, 문서 작성, 중소기업 산정 예시, 중소기업 인프라 구축 방안 등에 대해서 안내하고 있다. 2024년 11월까지 총 5차의 합동설명회가 개최되었으며, 주요 안건은 대응 방법, 문서 작성법, CBAM 헬프데스크 등이었다. 또한, CBAM 대응을 위한 정부 사업에 대한 소개들도 추가가 되었다. 중소벤처기업진흥공단에서는 CBAM 대응을 위한 산정, 검증, 감축의 패키지 지원 사업을 발표하였고, 한국환경공단에서는 기업지원 컨설팅 사업과 역량강화 교육 사업에 대한 내용을 발표하였다. 최근에는 2025년 1차 CBAM 대응 정부합동설명회가 서울 삼성동에서 개최되었으며, 정책 동향, CBAM 최신 동향, 기업 사례, 컨설팅 사업 소개, 탄소중립 설비개선 지원사업 등이 소개되었다. 2025년 2차 정부합동설명회는 6월 중순에 열렸으며, 신규 안건으로는 옴니버스 패키지, 중소중견기업의 데이터 관리 방안, CBAM 오퍼레이터 포털 등의 소개되었다.

그 외에도 국내에서는 CBAM 대응을 위한 다양한 정부 활동이 지속적으로 추진되고 있다. 2025년 8월에는 제21차 한-EU 공동위원회가 개최되었으며, CBAM 등과 관련하여 우리 기업들에게 공정한 경쟁이 보장될 수 있는 제도를 촉구하는 제안을 하였다고 정부를 밝히고 있다. 중소벤처기업부와 중소벤처기업진흥공단은 2025년 중소기업 탄소중립 설비투자 지원사업을 수행하고 있고, 글로벌 탄소 규제에 대한 대응력을 강화하기 위해 에너지 효율이 높거나 탄소배출을 저감하는 설비의 도입을 지원하는 사업이다. 환경부와 한국환경공단이 주관하여 CBAM 해설서(환경부와 한국환경공단, 2023)를 공개하였으며, 1권에서는 철강, 2권에서는 알루미늄, 3권에서는 시멘트, 비료, 수소를 각각 다루고 있다. 또한 환경부는 국제협력관을 신설하여, 국제 환경 협약·규제 전담 대응을 하겠다고 밝혔으며, EU CBAM과 같은 국제 환경규제와 유엔기후변화협약 등 환경 분야 국제협약을 전문적으로 대응하겠다고 발표하였다.

## 2. 저탄소 기계 개발 현황

국내에서도 저탄소 기계를 개발하기 위한 다양한 연구과제들이 수행되고 있지만, 현재까지는 기후변화 대응과 탄소중립 부분이 국가 사업의 주요 아젠다로 다루어지고 있고, 저탄소 기계는 일부 연구과제로 인식되고 있는 상황으로 판단된다. 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 '기후변화'라는 키워드로 검색(25.5.30 기준)을 수행해보면 총 164개의 사업의 검색되며, '탄소중립'으로 검색하면 총 323건의 사업이 검색된다. 하지만 '저탄소 기계' 키워드로 검색하는 경우 검색되는 사업은 0건이다. 키워드의 설정의 오류 가능성을 배제해도, 저탄소 기계를 중심으로 하는 사업이 국내에는 없다는 결론을 내리는 것은 가능하다고 판단되는 수치이다. 단순 과제 수를 비교해도 저탄소기계에 대한 과제는 1,404건이 검색되는데 반해 탄소중립과제는 6,431건이 검색이 되고 있다. 물론 탄소중립의 분야가 넓고, 저탄소 기계의 분야의 포괄성에 기인한 결과로 해석도 가능하지만, 여전히 국내에서 저탄소 기계에 대한 연구개발은 부족하다는 결론을 내리는 데는 부족함이 없는 수치로 판단된다.

저탄소기계에 대한 과제를 검색해보면 최근 5년(2020~2025) 동안 총 573건의 과제가 검색된다. 부처별로는 중소벤처기업부가 140건으로 가장 많고, 산업통상자원부 137건, 과학기술정보통신부 106건으로 검색된다. 주요 수행기관으로는 한국에너지기술연구원이 15건으로 가장 많이 검색되었고, 한국과학기술원 13건, 한국생산기술연구원 10건, 국립농업과학원 10건, 한국기계연구원 9건, 한양대학교 6건, 인하대학교 5건, 서울대학교 5건, 기타 순으로 나타났다. 사업당 과제비로 분석해보면 산업혁신기반구축 사업이 17,241,224,000원으로 가장 크게 나타났으며,

에너지수요관리핵심기술개발 14,530,451,000원, 기반구축사업지원사업 14,135,000,000원으로 분석되었다. 해당 과제 중에서 60억 이상의 주요 과제 목록은 아래와 같다.

〈표 1〉 저탄소 기계 관련 대형 과제 목록('20-'25년 연구비 합산 60억원 이상)

순번	주무부처	과제명	연구비 (억원)
1	산업부	자원순환형 셀룰로스 나노섬유소재 산업화센터	162
2	산업부	친환경중소형선박기술역량강화사업	131
3	산업부	회전익기 테일로터용 최대추력 6,000 N 이상급 비선형 동적모델 역변환 제어기를 적용한 다중 전기식 통합추력시스템 기술 개발	130
4	국토부	저탄소 에너지효율화 기술 기반 에너지공유 커뮤니티 구축 기술 개발	127
5	해양수산부	700마력급 연안선박 LPG 추진시스템 개발 및 실증	117
6	산업부	친환경 선박 대체연료 추진시스템 기자재 실증 플랫폼 기반구축	103
7	산업부	미세먼지 저감형 굴뚝 폐열 활용 스마트팜 연계 운영 기술 개발 및 실증	100
8	산업부	액화수소 충전소 구축 연계 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발	88
9	산업부	300MWe급 고효율 가스터빈용 50% 수소혼소 친환경 연소기 개발	72
10	해수부	액화수소 기반 중소형선박 개발	69
11	산업부	차체 언더바디 박육주조를 위한 자이언트 캐스팅 기술	63
12	산업부	Flash 광원을 적용한 고효율 탄소저감형 고로딩 전극 건조 시스템 개발	62
13	과기정통부	기후변화 대응 국가인프라 측정기술 개발	60
14	산업부	친환경 저탄소 산업기계용 75hp급 순수전기 구동 가능한 Plug In 하이브리드 파워트레인 기술개발	60

자료: NTIS 자료를 저자가 각색

### 3. 저탄소 기계 정책 현황

기후변화에 대응하고 세계적인 탄소중립 추세에 맞춰 우리나라도 「국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안) (23.3)」을 수립하였다. 동 계획에서는 “2050년까지 탄소중립을 목표로 하여 탄소중립 사회로 이행하고, 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모”하는 비전을 발표하고, 책임있는 실천, 질서있는 전환, 혁신주도 탄소중립·녹색성장의 3가지 정책 방향을 제시하였다. 동 정책에 포함되는 저탄소 기계 관련 내용은 저탄소 농기계, 무공해 건설기계, 수소 설비, 고효율 기기,

히트펌프, 전기히터, 저전력 해운물류 등이 있다.

저탄소 산업 정책의 주무부처인 산업통상자원부는 2023년 “4대업종 탄소중립 기술개발” 사업을 발표하고, 화학, 철강, 시멘트 및 반도체/디스플레이 등 4대 탄소다배출 업종의 대표기업들과 함께 그랜드컨소시엄을 구성하여 기술개발을 추진하고, 개발 성과를 공유하는 “탄소중립 기술개발 업무협약”을 체결하였다고 보도하였다. 산업통상자원부는 해당 사업을 통해 '30년까지 9,352억원을 투자하여 산업 부문 탄소저감 기술을 개발한다고 밝혔으며, '23.4월 「탄소중립 산업핵심 기술개발」(총 사업비 9,352억원, '23~'30) 공모 착수를 통해 나프타 전기분해로(화학), 수소환원제철(철강), 시멘트 제조시 유연탄과 석회석 원료의 대체, 반도체/디스플레이용 저온산화 공정가스 등 핵심기술을 개발할 예정이다. 또한, 개발된 탄소저감 기술들이 산업 현장에 활발하게 확산될 수 있도록 그랜드컨소시엄을 구성하고, 한정된 전문 연구자력의 효율적인 활용을 위하여 중견·중소기업의 참여과제 수 제한(중소기업 3개, 중견기업 5개)을 철폐하고, 필요시 연구자의 동시수행 과제 한도(책임 수행 3개 내, 참여 5개 내)도 상향할 예정이다. 또한, “신성장·원천기술” 투자세액 감면 대상에 포함된 수소환원 제철 등 48개 기술에 추가하여 철강 단조·압연공정 등 13개 기술도 추가적으로 “신성장·원천기술”에 포함하였다.

산업통상자원부는 최근('24.7) 민-관 합동 ‘산업 공급망 탄소데이터 플랫폼’ 구축 추진을 발표하였다. 산업통상자원부는 대한상공회의소와 함께 11개 주요 업종(자동차, 배터리, 철강, 비철 금속, 전기전자, 섬유, 시멘트, 석유화학, 정유, 반도체, 디스플레이)별 협회 등과 함께 ‘산업 공급망 탄소중립 얼라이언스’ 출범회의를 개최하고, 세 가지 주요 내용을 발표하였다. 첫째로 공급망으로 연결된 기업 간에 탄소데이터를 주고받을 수 있는 ‘한국형 산업 공급망(탄소)데이터 플랫폼’을 구축한다는 것이다. 클라우드에 데이터를 저장하는 종래의 방식이 아니라, 플랫폼은 데이터의 통로 역할만 하고 개별 기업이 데이터 주권(영업비밀)을 보장받는 방식을 채택하였다. 둘째로 탄소배출량 산정·감축 사업은 기존 개별기업 중심의 지원을 벗어나 수출 공급망으로 연결된 기업군에 대한 지원을 강화하는 방식으로 전환할 예정이다. 셋째로 ‘FTA·통상종합지원센터’ 원스톱 통합창구로 활용하여 글로벌 탄소규제 관련 기업 애로상담 및 정보제공을 지원한다고 밝혔다. 특히, 대응이 시급한 5대 업종은 별도로 ‘탄소통상 규제대응 협의체’를 구성하여 정보 공유 등 업계의 규제 대응을 더욱 세밀하게 지원해나간다는 구상이다.



## V. 결론 및 제언

EU는 CBAM을 발표하고, 2023년부터 전환기에 들어갔다. 2025년 말까지 제품의 탄소량 보고의무가 지속되며, 2026년 1월 부터는 최종 단계에 진입한다. 최종단계에서는 수입자는 보고된 배출량에 상응하는 CBAM 인증서를 구매하여 제출해야 하며, 이 인증서의 가격은 EU ETS의 직전 주간 평균 경매가격을 기반으로 설정된다. 실제 인증서 제출 및 탄소비용 지불 의무는 2027년부터 본격화되며, 그 전까지는 인증서의 거래 및 보유 연습 기간이 제공된다. 현재의 CBAM의 적용 대상 품목은 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 수소, 전기 제품이지만, 2030년까지 EU ETS 적용 산업 수준으로 확대할 예정이므로, 대부분의 제품들이 직간접적으로 포함될 것이다.

국제적인 탄소규제에 맞춰 국내에서도 다각적인 정책적·산업적 활동을 수행 중이다. 산업통상자원부와 환경부는 2023년에 「EU 탄소국경조정제도 전환기간 이행 가이드라인(버전 1.0.1)(’23.10)」을 발표하고, 다양한 컨설팅 사업을 수행하고 있으며, 매년 정부합동설명회를 5차례 수준으로 개최하고 있다. 산업통상자원부는 2023년 “4대업종 탄소중립 기술개발” 사업을 발표하고, 화학, 철강, 시멘트 및 반도체/디스플레이 등 4대 탄소다배출 업종에 2030년까지 9,352억원을 투자하여 산업 부문 탄소저감 기술을 개발한다고 밝혔다. 탄소중립은 기업의 부담이 큰 정책으로 인식되어서, 국가의 연구개발 지원이 매우 필요하다. 국내에서도 탄소중립과 기후 변화 관련된 다양한 사업들이 수행되고 있다. NTIS에서 ‘기후변화’ 관련 사업은 총 164개이며, ‘탄소중립’ 관련 사업은 총 323건으로 검색된다. ‘저탄소 기계’ 핵심 키워로 분류되는 사업은 없는 것으로 분석되었다.

국제적인 기후변화 대응과 탄소규제에 맞춰서 저탄소 산업에 대한 수요가 증가하고 있고, 이에 따른 활동도 증가하고 있지만 여전히 개선해야되는 부분도 증가하고 있다. 우선 제조업 중심의 저탄소 산업을 위한 연구사업이 필요하다. 국내 제조업 시장이 축소되고 있는 상황에서 탄소 규제로 인해서 연구개발에 투자하기에는 기업들의 어려움이 있으므로, 국가에서는 이를 해결할 수 있는 사업 기획이 시급하다. 두 번째로 탄소규제 관련 정부 거버넌스의 인력 및 전문성 확장이다. 현재 국가에서 탄소규제 관련 상담 데스크를 운영하고 있지만, 주무부처별로 소수인원의 팀으로 구성되어 있어, 국내 기업들의 실시간 대응에 무리가 있고, 관련 전문가가 부족하여 기업 컨설팅이 체계적으로 수행되기 어렵다. 단계적인 정책지원을 통해 보완책을 강구해야되는 시점이다. 마지막으로 국가 인재 육성이다. 현재 국가적으로 탄소중립 인재 육성을 위한 다양한 사업들이 수행되고 있지만, 사업 규모와 지속력에 한계가 있다. 교육부 주도의 탄소중립 인재

육성 사업의 내실화가 절실한 시점이다.

우리나라는 지난 수십년간 전 세계에서 유례없는 초고속 발전을 해왔으며, 그 근간에는 초도의 기술 집약도와 숙련된 인력이 있다. 현재 국제적으로 대두되고 있는 탄소규제에 대한 대응책도 같은 방향성을 가지고, 고도의 기술력을 확보하여 이를 수행할 수 있는 인재 양성, 그리고 이를 지원하는 정부정책 있다면 다가오는 저탄소 사회는 우리나라의 위기가 아니고 기회로 인식될 것으로 판단된다.



## 참고문헌

Argus Media. (2025), "EU prepares CBAM export scheme"

European Commission (2021), "Proposal for a Regulation establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism"

European Commission (2023a), "Carbon Border Adjustment Mechanism"

European Commission (2023b), "Default values transitional period"

European Commission (2025a), "CBAM Registry Access Notice – Authorised Declarants Portal Opens"

European Commission (2025b), "CBAM Registry User Manual: Matching Portal Guidelines (v2.1)"

European Commission (2025c), "Commission Implementing Regulation (EU)"

European Commission. (2025d), "European Steel and Metals Plan"

FT (2024), "Europe is making trade conditional on production methods"

환경부와 한국환경공단 (2023), "전환기간 이행을 위한 배출량 산정 해설서"

### [ website ]

CarbonChain: [www.carbonchain.com/cbam/eu-cbam-metals?utm\\_source=chatgpt.com](http://www.carbonchain.com/cbam/eu-cbam-metals?utm_source=chatgpt.com)  
\_How will EU CBAM affect metal trade

Normative: [normative.io/insight/eu-cbam-explained/?utm\\_source=chatgpt.com](http://normative.io/insight/eu-cbam-explained/?utm_source=chatgpt.com)\_The  
EU's Carbon Border Adjustment Mechanism

# The present and future of low-carbon machines in the net-zero era

– centered on CBAM response strategies –

Gooyong Lee

## – Abstract –

Carbon neutrality has been declared as a proactive response to climate change. Accordingly, countries around the world are pursuing a low-carbon society and introducing carbon border tax systems. Europe has been in the CBAM Transition Phase since October 1, 2023, and will enter the Definitive Phase in 2026. During this phase, importers will be required to purchase and submit CBAM certificates corresponding to their reported emissions. However, the actual obligation to submit certificates and pay carbon fees will not begin until 2027, with a practice period for trading and holding certificates before then. The CBAM scheme currently covers steel, cement, fertilizer, aluminum, hydrogen, and electricity. The EU expects to expand it to most products by 2030 in conjunction with the ES ETS. The transition to a carbon-neutral society emphasizes the importance of low-carbon machinery, and steel, hydrogen, and electrical appliances are closely linked to low-carbon machinery in the CBAM. This article provides an overview of the latest status of the CBAM, analyzes the current status of domestic policy, industry, and R&D responses to low-carbon machines, and discusses future responses.

**Key words** Carbon neutral, low-carbon machine, high efficiency machine, CBAM

| Short-Brief |

# 바이오·의료 분야에서의 NGS 활용 확대와 기계장비 산업의 대응 전략

NGS 기술 확산과 산업적 대응

하 홍 석

서울대학교병원 임상유전체학과 정밀의료센터 연구교수

JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY



# 바이오·의료 분야에서의 NGS 활용 확대와 기계장비 산업의 대응 전략\*

- NGS 기술 확산과 산업적 대응 -

하홍석\*\*

## - 초 록 -

차세대염기서열분석(NGS)은 정밀의료, 암 진단, 감염병 대응 등 바이오·의료 분야의 핵심 기술로 자리 잡았다. 본 논문은 NGS 기술 확산에 따른 세계 바이오·의료 산업의 최신 동향을 살펴보고, 이에 대응하는 기계장비 산업의 전략을 제시한다. NGS 보급으로 정밀의료와 희귀질환 진단, 공중보건 감시 등에서 거대한 시장 성장이 이루어지는 한편, 데이터 폭증과 인프라 확충의 과제가 부상하고 있다. NGS 기술 측면에서는 숏리드 vs 롱리드 시퀀싱 플랫폼의 발전, 단일세포 및 공간 유전체 분석 등 새로운 오믹스 기술의 부상을 조명한다. Illumina, Oxford Nanopore, PacBio 등 글로벌 선도 기업들의 기술 전략을 비교하고, NGS 시장 구조 변화를 논의한다. 이어서 이러한 흐름에 대응하기 위한 기계장비 산업 측면의 전략을 살펴본다. 분석 장비, 샘플 전처리 장비, 실험실 자동화 시스템 등 분야별로 국내외 동향과 현황을 점검하고, 국내 기계장비 산업의 현재 위치와 직면한 과제를 짚어본다. 이를 바탕으로 핵심 장비의 국산화 필요성, 산학연 협력, R&D 투자 등 정책적 시사점을 도출하였다.

주 제 어 차세대염기서열분석(NGS), 바이오산업, 기계장비 산업, 시장 동향, 자동화

논문접수일 2025년 4월 23일 수정논문 제출일 2025년 6월 16일 게재확정일 2025년 6월 23일

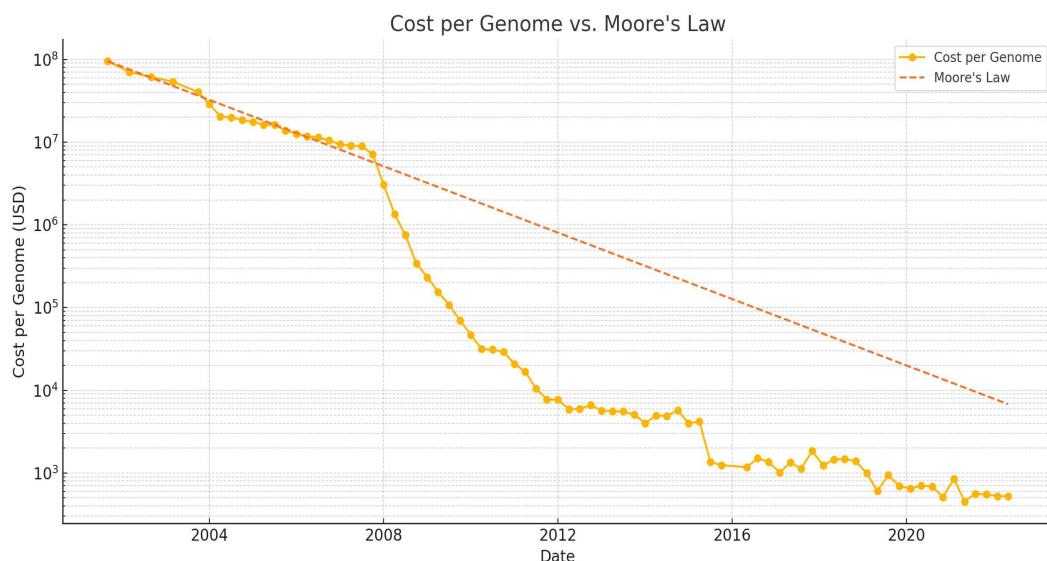
\* 이 논문은 별도의 연구비 지원 없이 작성되었음을 밝힙니다.

\*\* 서울대학교병원 임상유전체학과 정밀의료센터 연구교수, email: emperorhay2k@gmail.com

## I. 서론

차세대 염기서열분석(NGS, Next-Generation Sequencing)은 DNA나 RNA의 염기서열을 대량으로 빠르게 해독하는 기술로, 바이오·의료 분야의 핵심 기술로 자리 잡았다. 2000년대 초 인간게놈프로젝트 완성 당시만 해도 개별 인간 유전체 해독비용이 수억 달러에 달했으나, 2020년대에 이르러 NGS를 통한 유전체 분석 비용은 불과 몇백 달러 수준으로 급락하며 유전체 분석의 대중화 시대를 열었다.

[그림 1] DNA 시퀀싱 비용의 연도별 변화



자료: NHGRI DNA Sequencing Costs Data(재구성)

실제로 [그림 1]의 NHGRI DNA Sequencing Costs 데이터에 나타난 바와 같이 시퀀싱 비용은 무어의 법칙을 능가하는 속도로 급감하여 현재 인간 전체 유전체 해독비용이 몇 백 달러까지 낮아졌다 (Wetterstrand, 2023). NGS 기술의 비약적 성능 향상과 비용 절감은 유전체 의학 시대를 앞당기며 개인별 유전체 정보를 활용한 맞춤형 의료의 실현을 가능하게 했다. 이러한 변화에 힘입어 바이오·의료 산업 전반에 걸쳐 NGS 활용이 빠르게 확대되어 새로운 패러다임 전환이 일어나고 있다. 본 논문에서는 먼저 바이오·의료 산업에서 NGS 활용 확대가 가져온 주요 변화와 시장 동향을 살펴본다. 정밀의료와 암 진단, 희귀질환 유전 진단, 감염병 대응 등 세부 분야별로 NGS 도입이 어떤 임팩트를 주고 있는지 정리한다. 이 과정에서 Illumina, Oxford Nanopore,

10x Genomics, BGI, PacBio 등 글로벌 NGS 선도 기업들의 기술 전략과 경쟁 구도를 비교 분석한다. 끝으로 이러한 흐름에 대응하기 위한 기계장비 산업 측면의 대응 전략을 논의한다. 시퀀싱 분석 장비, 샘플 준비·처리 장비, 실험실 자동화 시스템 등 분야별로 기술개발 방향과 시장 요구를 짚어보고, 국내 기계장비 산업의 현주소와 향후 과제를 정리한다. 이를 통해 국내 기계산업 관점에서 본 바이오·의료 NGS 시대의 기회와 대응 전략을 도출하고자 한다. NGS 기술은 시퀀싱 비용 절감과 처리량 증대를 통해 정밀의료, 암 진단, 희귀질환 진단 등 다양한 분야로 적용 범위를 확대하고 있으며, 이에 따라 관련 기계장비 산업에도 새로운 기회가 창출되고 있다.

## II. 바이오·의료 산업에서의 NGS 활용 확대와 시장 동향

NGS 기술의 보급은 바이오·의료 산업 전반에 걸쳐 폭넓은 응용을 이끌어내며 시장 성장을 가속화하고 있다. 유전체 의학 시대가 도래하면서 개인별 유전체 데이터를 활용한 맞춤형 의료 실현이 가시화되고 있고, 암 진단과 희귀질환 진단, 감염병 감시 등에서 기존에 불가능하거나 어려웠던 접근이 NGS를 통해 가능해지고 있다. 아래에서는 주요 분야별로 NGS 활용 확대 사례와 그 시장 파급 효과를 살펴본다.

### 1. 정밀의료와 암 진단

암 환자의 종양 유전체 데이터를 NGS로 분석하여 환자별 돌연변이 프로필을 파악하고 최적의 치료제를 제시하는 동반진단이 의료 현장에서 점차 표준화되고 있다. 예를 들어 NGS 기반 암 유전자 패널 검사를 통해 환자에게 투여할 표적 항암제의 적합성을 결정하는 것이 선진 의료시스템에서 표준 진료로 자리 잡았다. 종양 조직뿐 아니라 혈액 속 암 유래 DNA까지 분석하는 액체 생검 기법도 NGS를 통해 구현되어 암의 조기 진단과 재발 모니터링에 활용되고 있다. 2020년대 중반에 이르면 글로벌 종양학(oncology) NGS 시장 규모가 2023년 약 5억 달러에서 2029년 11억 달러 이상으로 두 배 이상 성장할 것으로 전망되는 등 암 분야에서 NGS에 대한 수요가 특히 높다 (DeciBio, 2024). 이러한 종양학 NGS 시장의 성장은 고처리량 시퀀싱 장비와 자동화된 샘플 전처리 시스템에 대한 수요를 증가시키고 있다.

## 2. 희귀질환 및 유전 질환 진단

전장유전체시퀀싱(WGS)이나 엑솜시퀀싱(WES)을 통해 환자의 유전체 변이를 찾음으로써 과거 진단이 어려웠던 희귀 유전질환의 진단 성공 사례가 크게 늘고 있다. 선천성 대사이상, 발달장애 등 원인 불명 질환에 대해 NGS 기반 유전자 진단이 임상에 도입되어 진단 소요 시간을 획기적으로 단축하고 진단율을 향상시키고 있다. 예컨대 드문 유전병 환자의 경우에도 이전에는 진단에 수년이 걸렸다면, 이제는 임상 의사가 환자의 유전체를 NGS로 분석해 원인 유전자를 며칠 내 확인하는 것이 가능해졌다. 이처럼 신속하고 포괄적인 유전체 진단은 많은 환자들의 진단 방랑을 종결시키고 적절한 관리와 치료로 이어지게 하고 있다. 전장 유전체 분석의 확산은 대용량 데이터 처리 인프라와 실험실 자동화 장비의 필요성을 더욱 부각시키고 있다.

## 3. 감염병 진단과 공중보건

2020년 시작된 COVID-19 팬데믹은 전 세계 보건체계에 NGS 기반 병원체 감시의 중요성을 각인시켰다. 코로나 바이러스의 새로운 변이를 추적하고 전파 양상을 파악하기 위해 효율적이고 정확한 SARS-CoV-2 유전체 분류 알고리즘 등이 NGS 데이터를 활용하여 개발되었으며(Miao et al., 2022), 전례 없이 방대한 수의 바이러스 샘플 유전체 정보가 NGS로 생산되어 국제적으로 공유됨으로써 변이 추적과 역학조사에 기여하였다. 미국 등 주요국들은 공중보건 역량 강화를 위해 지역 보건실험실에 NGS 장비를 보급하고 표준화된 검사 프로토콜을 구축하는 등 적극적인 투자를 단행하였다. 이러한 각 분야에서의 NGS 활용 확산에 힘입어 전 세계 NGS 시장 규모도 급격히 팽창하고 있다. NGS 장비 제조사를 기준으로 한 글로벌 시장 규모(장비 기준)는 2024년 약 64억 달러에서 연평균 9%의 성장률로 2027년 약 83억 달러에 이를 전망이며 (DeciBio, 2024), 시약 및 서비스 등을 포함한 전체 NGS 관련 세계 시장은 2022년 130억 달러에서 2027년 270억 달러 규모로 두배 이상 확대될 것으로 예상된다. NGS의 임상 진단 적용이 늘어남에 따라 각국의 규제 및 보험 제도도 변화하고 있다. 미국은 진행성 암 환자에 대한 광범위한 NGS 패널 검사의 비용을 공공보험(Medicare)에서 지원하기 시작했고, 영국(NHS와 Genomics England), 인도(전국 게놈 프로젝트) 등도 국가 주도의 대규모 유전체 사업을 적극 추진 중이다. 이처럼 글로벌 움직임은 결국 NGS 서비스를 뒷받침하는 기계 장비 수요의 증가로 이어져, 병원 및 전문 검사실을 중심으로 고성능 시퀀서와 자동화된 샘플 준비 장비의 도입이 가속화되고 있다. 요약하면, NGS 활용 확대는 바이오·의료 분야에 폭발적인 성장 기회를 제공하는 동시에 데이터 폭증과 인프라 확충이라는 도전과제를 동반하고 있다. 팬데믹 대응을 위한 NGS 기반 감시체계 구축은 휴대형 시퀀싱 장비와 신속 분석 시스템 개발을 촉진하고 있다.



### III. NGS 기술 발전과 주요 동향

NGS 활용이 확대됨에 따라 생성되는 대용량 유전체 데이터의 분석과 해석 기술도 급속히 발전하고 있다. 대규모 시퀀싱 데이터 처리에는 고성능 컴퓨팅 자원과 효율적인 파이프라인이 필수적이며, 클라우드 컴퓨팅과 분산 처리 시스템, 인공지능 기반 알고리즘이 적용되고 있다. 예를 들어, 인공지능 기법을 적용한 변이 탐지 및 유전자 발현 분석은 정확도를 크게 향상시키며, 대규모 코호트 유전체-표현형 연관 연구를 가속화하고 있다. 또한 공개 유전체 데이터베이스와 오픈소스 생물정보학 툴의 확산으로 연구자들은 표준화된 분석 파이프라인을 개발하고 협업할 수 있게 되었다. 한편, 전 세계 NGS 장비 산업은 Illumina의 독주 체제 속에서도 다양한 기업들이 기술적 차별화와 시장 전략을 바탕으로 경쟁 구도를 형성하고 있다. 아래 <표 1>은 주요 글로벌 NGS 장비 기업들의 기술 특성과 시장 전략, 점유율 등을 요약한 것이다. 이들 기업의 경쟁은 장비 기술의 발전뿐 아니라 생태계의 혁신과 사용자 선택의 폭 확대로 이어지고 있으며, 이는 국내 산업계에도 시사점을 제공한다.

<표 1> 주요 글로벌 NGS 장비 기업 비교 (2023년 기준)

기업명	기술 특징	시장 전략	점유율	비고
Illumina	짧은 읽기의 SBS 기술로 높은 정확도와 대량처리량 제공	통합 생태계 구축, 초대형~소형 장비 풀라인업, 임상시장 개척	77.6%	NovaSeq X 시리즈 출시, Grail 인수 관련 규제 이슈, 특허 분쟁 지속
Oxford Nanopore Technologies (ONT)	나노포어 기반 실시간 롱리드 시퀀싱	휴대성 및 실시간 분석으로 신규시장 공략, 정확도 개선 통한 임상 확장	4.7%	장비 소형화, 임상 승인 확대, 나노포어 기술 독자 생태계
Pacific Biosciences (PacBio)	SMRT 기반 고정확도 롱리드 시퀀싱 (HiFi)	정밀 롱리드 시장 집중, 최신 장비로 throughput 확대	4.4%	HiFi 정확도 기반 틈새시장 집중, Revio 장비 출시
BGI (MGI)	DNBSEQ 등 DNA 나노볼 기반 시퀀싱	가격경쟁력 기반 중국 및 아시아 시장 공략, 특허 리스크 존재	7.1%	특허 분쟁 지속, 무역제한 리스크 존재, 정부 주도 기술자립 추진
10x Genomics	단일세포 및 공간 유전체 분석 플랫폼	NGS 응용 확장(단일세포, 공간), 소모품 기반 수익모델	N/A	특허 승소, Xenium 등 공간분석 기술 확대

기업명	기술 특징	시장 전략	점유율	비고
NanoString Technologies	디지털 바코드 기반 유전자 정량 및 공간 분석	간소한 분자진단 틈새시장 공략, 공간 분석 제품 전환	N/A	GeoMx/CosMx 보유, NanoString 파산 후 Bruker에 인수
Thermo Fisher (Ion Torrent)	반도체 센서 기반 짧은 읽기 시퀀싱	신속·자동화 진단 플랫폼으로 병원·소형 실험실 공략	6.6%	Ion Genexus 출시, 자동화 진단 워크플로 구현

자료: DeciBio (2024), PacBio (2023), Oxford Nanopore Technologies (2023), 10x Genomics (2023), NanoString Technologies (2023)

위의 주요 기업들은 각각 특화된 분야에서 경쟁력을 보이고 있다. Illumina는 임상진단용 종양학 분야에, ONT는 감염병 현장진단에, PacBio는 복잡한 유전질환 분석에 주로 활용되고 있어, 앞에서 언급한 NGS 활용 분야별로 차별화된 기술 전략을 추진하고 있다.

## IV. NGS 시대에 대한 기계장비 산업의 대응 전략

앞서 살펴본 NGS 활용 확대는 정밀의료, 유전질환 진단, 감염병 대응 등 각 분야별로 특화된 기계장비에 대한 수요를 창출하고 있다. 이러한 수요는 크게 시퀀싱 분석 장비, 샘플 전처리 및 시약 자동화 장비, 고처리량 실험실 자동화 및 데이터 처리 인프라의 3개 분야로 구분할 수 있다. 시퀀싱 장비부터 시료 준비를 위한 전처리 장비, 그리고 대량의 샘플과 데이터를 처리할 실험실 자동화 시스템에 이르기까지, NGS 생태계에는 다양한 기계기술의 투입이 요구된다. 그러나 현재 상당수 핵심 장비는 해외 소수기업이 장악하고 있어 국내 산업에는 기술 종속 및 시장 진입 장벽으로 작용하고 있다(남정민, 2023). 이에 대응하기 위해 기계장비 산업 측면에서 다음과 같은 전략적 접근이 필요하다.

### 1. 시퀀싱 분석 장비 분야

NGS의 분석 장비, 즉 유전체 해독 장비 자체는 고도의 광학·정밀기계·화학기술이 집약된 분야로서 현재 Illumina, Thermo Fisher, PacBio, ONT, BGI 등의 해외기업들이 시장을 주도하고 있다. 국내에서는 상용 NGS 시퀀서를 자체 개발한 기업이 아직 없어, 국내 NGS 장비의

해외 의존율이 100%에 가깝다(남정민, 2023). 최첨단 장비일수록 데이터 처리 속도와 정확도가 향상되지만 그만큼 가격이 비싸져서, 새로운 장비가 출시될 때마다 국내 연구기관과 병원은 비싼 수입 장비를 구매하기 위해 줄을 서는 상황이다. 따라서 장기적 관점에서 NGS 장비 국산화를 위한 전략적 R&D 노력이 필요하다. Illumina의 독점이 공고했던 NGS 시장에 중국 BGI가 국가 지원을 바탕으로 도전하여 일부 성과를 거둔 사례에서 알 수 있듯이, 우리나라도 정부와 대형 민간기업의 공동 투자를 통해 핵심 기술 축적에 나설 필요가 있다. 한국은 정밀 광학기기, 반도체, 로봇공학 등 관련 분야에서 세계적 경쟁력을 보유하고 있어, 이를 바이오 영역의 DNA 시퀀싱 장비 개발에 융합한다면 돌파구를 마련할 가능성이 충분하다. 실제로 의료영상장비나 체외진단기기 등 바이오와 기계기술의 융합 분야에서 국내 기업들이 성공적인 제품을 내어 세계 시장에서 두각을 나타낸 사례가 있다. 물론 단기간에 바로 최고 성능의 시퀀서를 내놓기는 현실적으로 어려울 수 있다. 따라서 초기에는 특정 틈새시장용 NGS 플랫폼 또는 부품·모듈 개발부터 단계적으로 추진하고, 점진적으로 완성도를 높여가는 전략이 현실적이다. 궁극적으로는 정부의 정책적 지원 아래 산·학·연 협력 컨소시엄을 구성하여 NGS 해독기술 자립화를 장기 목표로 연구개발을 지속해야 할 것이다(남정민, 2023). 이는 한두 기업이 단독으로 감당하기 어려운 도전이므로 국가 전략 과제로의 육성이 요구된다.

## 2. 샘플 전처리 및 시약 자동화 장비

NGS 분석 절차에서 시료 준비(sample preparation) 단계는 성공적인 결과를 위한 중요한 과정이지만, 많은 시간과 인력이 투입되는 병목 구간이기도 하다. DNA/RNA 추출, 정제, 라이브러리 제작, 증폭 및 정량 등 일련의 전처리 과정을 사람이 수작업으로 수행하면 오차 발생과 재현성 문제가 생길 수 있다. 이에 따라 최근 NGS 업계에서는 다양한 샘플 전처리 자동화 장비가 도입되어 운영되고 있다. 대표적으로 자동 파이펫팅 시스템, 로봇 팔 연동 시약분주기, 통합 라이브러리 준비 워크스테이션 등이 상용화되어, 많은 샘플을 일관되고 효율적으로 처리함으로써 인적 오류를 최소화하고 처리량을 극대화하고 있다. 자동화 장비의 도입으로 NGS 실험에서는 “수작업 단계”가 줄어들고, 사람이 하기 어려운 수백~수천 샘플의 동시 처리가 가능해졌다(Frontline Genomics Team, 2023). 국내 기계장비 산업에는 이러한 바이오 시약·샘플 처리 분야에서 비교적 진입 장벽이 낮은 일부 장비를 선점할 기회가 있다. 예컨대 정밀 제어가 가능한 로봇공학 기술이나 마이크로플루이드스(microfluidics) 기술을 활용한 랩온어칩(lab-on-a-chip) 기반 시료 준비 기기 등은 한국 기업들이 강점을 발휘할 수 있는 영역이다. 실제로 일부 국내 중소기업

업들은 자동 DNA 추출기나 PCR 세팅 로봇 등을 개발하여 연구용 장비 시장에 공급하고 있다. 다만 바이오 시료의 특성과 복잡성 때문에 새로운 장비를 현장에 적용하기까지는 긴 검증 기간과 신뢰성 확보가 필요하며, 기존 글로벌 시약·장비 생태계에 호환성도 갖춰야 하는 과제가 있다. 또한 정부 차원의 지원을 통해 국산 장비 시범 적용 프로그램 등을 운영, 국내 개발 전처리 장비의 초기 레퍼런스를 확보해주는 것도 한 방안이다. 선도기업과의 협력도 고려할 수 있다. 글로벌 NGS 시약 회사와 기술 제휴를 통해 국산 자동화 기기의 호환성을 높이고 공동 마케팅을 전개하면 비교적 수월하게 시장 진입을 할 수 있다.

### 3. 고처리량 실험실 자동화 및 데이터 처리 인프라

NGS 시대에 경쟁력을 갖추기 위해서는 대량의 샘플을 신속 처리하고 산출된 방대한 데이터를 원활히 관리·해석할 수 있는 종합 자동화 시스템이 필수적이다. 선진 연구기관들은 이미 로봇 팔(robotic arm)이 실험실 내에서 시료 튜브를 이송하고, 컨베이어 시스템이 각 장비 간 연결을 수행하며, LIMS(Laboratory Information Management System) 소프트웨어가 실시간으로 모든 과정과 데이터를 추적·관리하는 스마트랩을 운영 중이다. 우리나라 역시 대형병원, 국가 기관 등을 중심으로 NGS 실험실 자동화 수요가 늘고 있으나, 현재는 대부분 수입 자동화 장비 및 소프트웨어에 의존하고 있다. 자동화 통합 시스템은 여러 기기와 센서, IT가 유기적으로 연동되어야 하므로 표준화된 인터페이스와 맞춤형 소프트웨어 개발 역량이 중요하다. 국내 기계·IT 업계의 강점을 살려 이 분야에 도전한다면 새로운 사업 기회를 창출할 수 있을 것이다. 이미 국내 몇몇 바이오인프라 기업은 유전체 데이터 분석 소프트웨어 분야에서 세계적인 경쟁력을 보여주고 있어, 여기에 기계 자동화 기술을 접목한다면 토탈 솔루션을 제공하는 기업으로 성장할 잠재력이 있다. 다만 한꺼번에 완벽한 풀패키지 자동화 시스템을 개발하기보다, 부분적 자동화 모듈부터 단계적으로 상용화하여 신뢰성을 쌓는 것이 현실적일 것이다. 또 다른 측면으로, NGS 데이터 폭증에 대응한 데이터 저장 및 처리 인프라 장비도 기계산업의 새로운 영역이다. 유전체 해독으로 발생하는 데이터는 환자 1인당 수십~수백 GB에 달하며, 대규모 프로젝트 시 페타바이트(PB)급 데이터센터가 요구된다. 이 분야에서는 국내 전자·ICT 기업들이 충분한 역량을 갖추고 있어, 바이오 특화 데이터센터 솔루션 시장을 공략할 수 있을 것으로 보인다. 다만 데이터 인프라 분야는 전통적 기계장비라기보다는 ICT 영역에 가깝지만, NGS 생태계의 한 축으로서 기계산업 관점에서도 전략적으로 접근할 필요가 있다. 요컨대, 기계장비 산업은 NGS 시대의 도래에 따라 분석 장비, 전처리 장비, 자동화 시스템 전반에 걸쳐 새로운 역할과

시장을 마주하고 있다. 국내 산업의 대응 전략으로는 (1) 핵심 시퀀싱 장비의 국산화 및 기술축적 노력, (2) 비교우위를 지닌 주변 장비(전처리 등)의 선행 개발과 현장 안착, (3) 실험실 자동화 및 데이터 인프라 분야에서의 IT-기계 융합 혁신을 추진하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 정부의 정책 지원과 산학연 협력, 수요자-공급자 간 공동 테스트베드 운영 등이 수반되어야 한다. 특히 바이오 분야는 규제 준수와 신뢰성 확보가 필수이므로 기계분야 엔지니어와 바이오 현장전문가의 긴밀한 협업이 성공의 열쇠다. 국내 기계장비 기업들이 새로운 도전을 통해 NGS 장비 생태계에 진입한다면, 첨단 바이오산업의 밸류체인에 기계기술을 불어넣어 국내 바이오 경제 경쟁력을 높이는 길을 개척하게 될 것이다.

## V. 결론 및 제언

NGS 기술 확산은 기계장비 산업에 새로운 기회를 제공하고 있다. 이에 대응하기 위한 전략으로 다음을 제언한다.

첫째, 핵심 NGS 장비의 단계적 국산화가 필요하다. 정부 R&D 투자와 산학연 협력을 통해 부분 기술부터 축적해야 한다.

둘째, 국내 기술 우위 분야인 자동화 장비와 데이터 처리 시스템 개발에 집중해야 한다.

셋째, 바이오-기계 융합 인재 양성과 수요-공급기업 간 협력 체계 구축이 중요하다.

이를 위해서는 정부의 정책적 지원과 국제 표준화 참여가 수반되어야 한다.

NGS 시대는 기계산업에 위기가자 기회이다. 국내 기계기술과 바이오 분야의 융합을 통해 새로운 성장 동력을 창출할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- Wetterstrand, K.A. (2023), "DNA Sequencing Costs: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP)", National Human Genome Research Institute (NHGRI). (accessed 2025-04-22)
- Miao, M., De Clercq, E., Li, G. (2022), "Towards Efficient and Accurate SARS-CoV-2 Genome Sequence Typing Based on Supervised Learning Approaches", *Microorganisms*, 10(9), 1785.
- DeciBio (2024), "Next Generation Sequencing (NGS) Market Assessment Trends (2021-2027)", Market Report Summary, Dec 10.
- 남정민 (2023), 「유전체분석 장비, 100% 수입…해외업체만 배불린다」, *한국경제*, 2023년 5월 2일자.
- Frontline Genomics Team (2023), "Implementing Laboratory Automation for NGS: Benefits and Challenges" (Interview with Dr. King), *Frontline Genomics Magazine*, July 28, 2023.
- PacBio (2023), "PacBio SMRT Sequencing Overview", Pacific Biosciences. (accessed 2025-04-22)
- Oxford Nanopore Technologies (2023), "MinION and Nanopore Sequencing Applications", Oxford Nanopore Technologies Ltd. (accessed 2025-04-22)
- 10x Genomics (2023), "10x Genomics Single Cell Solutions", 10x Genomics Inc. (accessed 2025-04-22)
- NanoString Technologies (2023), "GeoMX Digital Spatial Profiler", NanoString Technologies. (accessed 2025-04-22)

## Strategic Responses of the Machinery Industry to the Expanding Use of NGS in Biomedical Applications

Hongseok Ha

### – Abstract –

Next-Generation Sequencing (NGS) has become a cornerstone technology in biotechnology and medicine, powering innovations in precision medicine, cancer diagnostics, and infectious disease response. This study reviews the latest global trends driven by the expansion of NGS adoption in the bio-medical industry and proposes response strategies for the mechanical equipment sector. The widespread use of NGS is fueling explosive market growth in areas such as personalized medicine, rare genetic disease diagnosis, and public health surveillance, while also introducing challenges including a deluge of data and infrastructure demands. On the technology front, we highlight advancements in sequencing platforms (short-read vs. long-read sequencing) and the emergence of novel high-dimensional omics techniques like single-cell and spatial genomics. We compare the strategies of major international players – Illumina, Oxford Nanopore, PacBio, and others – and discuss how the genomics market landscape is evolving. We then examine how the mechanical equipment industry can respond to these developments, focusing on categories such as sequencing instruments, sample preparation equipment, and laboratory automation systems. The current status and challenges of Korea's machinery sector in this domain are analyzed, underscoring the need for domestic innovation. Based on this analysis, we suggest policy implications including the importance of localization of key equipment, enhanced industry-academia collaboration, and sustained R&D investment to bolster competitiveness.

#### Key words

Next-Generation Sequencing (NGS); Biomedical Industry; Machinery Industry; Market Trends; Automation; Localization Strategy; Industrial Convergence





| 논문 |

# 토픽모델링을 활용한 초순수 기술 분야 특허 출원 동향 분석

곽 송 비  
마노엘 대표

김 건

한국기계연구원 인재경영실 선임행정원, 경영학박사

JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY



## 토픽모델링을 활용한 초순수 기술 분야 특허 출원 동향 분석

곽송비\*, 김건\*\*

### - 초 록 -

본 연구는 토픽모델링 기법을 적용하여 초순수(Ultrapure Water) 기술 분야에서의 특허 출원 동향을 분석하였다. 이를 통해 2013년부터 2023년까지 출원된 초순수 관련 특허의 주요 기술 분야를 식별하고, 국가 및 출원인별 특허 경쟁력을 정량적으로 평가하였다. 분석 결과, 초순수 기술은 '산화 및 정화 공정', '전극 및 촉매 반응', '세정 및 순환 시스템', '가스 및 열처리 공정', '막 분리 및 이온 교환', '코팅 및 미립자 처리'의 6가지 주요 토픽으로 분류되었다. 특허 출원 동향을 살펴본 결과, 일본이 전체 특허 출원의 47.7%를 차지하며 독보적인 특허 출원 점유율을 가지고 있었으며, 특히 막 분리 및 이온 교환과 산화 및 정화 공정에서 높은 특허 점유율을 기록하였다. 중국은 전극 및 촉매 반응 분야에서 대학을 중심으로 빠르게 성장하였다. 한국은 삼성전자를 중심으로 초순수 관련 특허를 출원하고 있었으나 경쟁력 확보를 위해 추가적인 연구개발과 특허 전략 수립이 필요한 것으로 분석되었다. 본 연구는 초순수 기술의 국산화 및 연구개발 방향 설정을 위한 기초자료를 제공하며, 향후 국가별 기술 전략 비교 및 특허 영향력 분석을 위한 후속 연구의 필요성을 제시한다.

주 제 어 초순수, 토픽모델링, 지식재산전략, 특허 출원 동향, 기술 국산화

논문접수일 2025년 3월 17일 수정논문 제출일 2025년 6월 16일 게재확정일 2025년 6월 23일

\* (주저자) 마노엘 대표 / songbikwak@gmail.com

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

## I. 서론

초순수(Ultrapure Water)는 미세 오염 물질까지 제거된 극한의 고순도 정제수로, 반도체, 디스플레이, 제약, 원자력 등 다양한 첨단 산업에서 폭넓게 사용되고 있다. 특히 반도체 산업에서 초순수는 반도체 공정의 수율과 생산성에 영향을 미치는 중요한 소재이다(Lee et al., 2016; Zhang et al., 2021). 반도체의 미세 패턴 형성 과정에서 불순물 제거를 위해 초순수가 필수적으로 활용되기 때문이다(권병수 외 2020; 이현경, 부찬희 2024). 초순수는 특히 반도체 산업과의 연관성이 높게 나타나는 분야로, 반도체 산업의 수요에 따라 이를 충족시키기 위한 다양한 연구 개발이 진행되는 경향이 존재한다(Zhang et al., 2021). 특히 최근에는 반도체 산업의 수요 증가에 맞춰 안정적 원수 확보를 위해 재생수 활용과 관련된 논의가 시작되며, 이를 위한 주요 한계점인 소분자 유기물(Small organic molecules) 제거에 대한 다양한 연구개발이 진행되고 있다(Zhang et al., 2021; Kang et al., 2023).

이에 반도체가 경제성장에 큰 영향을 미치는 우리나라의 경우 안정된 품질의 초순수를 생산하기 위한 고도화된 정제 기술, 모니터링, 재이용 기술 등에 대한 연구 및 개발 그리고 관련 지식재산권 확보가 필수적일 것이다. 그러나 국내에서는 초순수 생산 설비의 설계 및 운영을 주로 외국 기업에 의존해 왔으며, 특히 일본 기업들에 대한 의존도가 매우 높았다(이정혁 외 2016; 권병수 외 2020; 이현경, 부찬희 2024). 하지만 2019년 한일 무역 분쟁 시 일본이 반도체 공정의 핵심 소재인 플루오린 폴리이미드(Fluorinated Polyimide), 고순도 불화수소(High Purity Hydrogen Fluoride) 및 포토레지스트(Photoresist)에 대한 수출 규제 강화로 반도체 산업이 위기를 경험한 후 반도체 관련 기술의 국산화 필요성이 대두되었고, 이 과정에서 초순수 기술에 대한 국산화 움직임 또한 함께 시작되었다(권병수 외 2020; 이현경, 부찬희 2024).

그러나 일본은 초순수와 관련된 특허를 다수 확보하고 있으며, 그들의 경쟁력을 유지하기 위해 지속적으로 관련 특허를 출원하고 있다. 그리고 이를 통해 반도체, 정밀 제조 산업 분야에서의 기술적 영향력을 강화하고 있다. 또한 최근 중국 또한 관련 특허를 공격적으로 출원하며, 시장에서의 입지를 확대하고 있다(이현경, 부찬희 2024). 따라서 일본의 초순수 관련 특허 독점과 중국의 성장세를 견제하고, 초순수 기술의 국산화를 이루기 위해서는 국내 기업 및 연구기관이 적극적으로 연구개발을 수행함과 동시에 체계적인 특허 전략의 수립이 필요하다. 그리고 이를 위해서는 정수, 여과, 재순환 등의 다양한 세부 기술로 구성되는 초순수 기술의 특성을 반영하여, 초순수 관련 세부 기술 분야별로 어떤 국가 그리고 기업이 핵심적인 역할을 하고 있는

지에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 하지만 국내에서는 초순수 분야의 특허 출원 동향을 분석한 연구는 몹시 제한적이며, 주로 초순수 기술과 관련된 특성과 현황을 제시한 논문들로 구성되어 기술 분야별 발전 흐름을 세밀하게 분석하지 못했다는 한계점을 가지고 있다(권병수 외 2020).

본 연구는 이러한 한계점을 극복하고 초순수 관련 특허 출원 동향을 세밀하게 분석하기 위해 초순수 관련 특허들의 초록을 자연어처리(NLP) 기법 중 하나인 토픽모델링(Topic Modeling)을 통해 기술 분야를 분류하였다. 특허에 포함된 기술은 표준화된 분류체계(International Patent Classification(IPC), Cooperative Patent Classification(CPC))를 통해서도 분류할 수 있다. 하지만, 이는 출원 시점의 분류 기준에 따라 코드가 부여되기에 최신 기술이 적시에 반영되기 어려우며, 상위 분류 수준에 코드가 집약되어 기술 간 분류가 세부적으로 나타나지 않는다는 한계점을 가지고 있다(채수현, 김장원 2018; Rainville et al., 2025). 이에 본 연구에서는 하나의 문서 내부에서 여러 기술적 내용이 포함된 경우, 기술의 다층적 구조나 의미적 연관성을 효과적으로 파악할 수 있다고 평가되는 잠재 디리클레 할당(Latent Dirichlet allocation, 이하 LDA) 방식의 토픽모델링을 활용하는 것이 정밀하게 초순수 관련 기술 분야를 분류할 수 있을 것으로 판단되어 이에 기반하여 연구를 진행하였다(Yun and Geum 2020). 이를 통해 기존 선행연구들의 한계점을 극복하고, 초순수 기술의 어떤 분야에서 특허 출원이 집중적으로 이루어지고 있는지를 정량적으로 파악하였다. 그리고 이에 더해 각 기술 분야별로 어떤 나라가 그리고 어떤 출원인이 가장 많은 특허를 출원하고 있는지를 복합적으로 분석하였다.

## II. 이론적 배경

텍스트 마이닝(Text mining) 기법 중 하나인 토픽모델링은 비정형 데이터인 텍스트 데이터를 분석하여 해당 텍스트 데이터가 어떠한 주제(Topic)들로 구성되어 있는지 확인하는 방법론 중 하나이다. 이는 확률적 생성모델(Probabilistic generative model)의 개념을 기반으로 텍스트 데이터 속에는 여러 개의 주제가 포함되어 있고, 특정 주제와 연관된 단어들은 다른 단어들보다 해당 주제에서 더 자주 등장할 것이라 가정한다. 즉 토픽모델링은 대량의 텍스트 데이터 속에 내재된 주제를 자동으로 추출하는 확률적 알고리즘으로서 문서 속에 포함된 단어들과 해당 단어들의 출현 빈도를 생성하는 모수(Parameters) 추정을 통해 텍스트 데이터의 의미적 구조를 분석하는 방법론인 것이다(Blei et al., 2003; Newman et al., 2009; Blei, 2012; Jelodar et al., 2019).

토픽모델링은 LDA 외에도, 확률적 잠재 의미 분석(Probabilistic latent semantic analysis), 구조적 토픽모델링(Structural topicmodel) 등 여러 방식이 존재하며 최근에는 딥러닝(Deep Learning)에 기반한 BERTopic, VAE와 같은 새로운 모델들이 제시되고 있다. 이 중 가장 일반적인 방식은 LDA이며, 이는 수많은 단어의 확률분포로 표현되는 토픽들의 집합이 문서로서 나타남을 가정한다. 그리고 이에 기초하여 문서-단어행렬(Document term matrix)을 중심으로 각 문서에서 나타난 단어들의 조합을 통해 토픽을 분류하고, 디리클레(Dirichlet) 분포에 따라 해당 토픽에 특정 단어가 나타날 확률을 계산한다. 이는 단순하고 확장성이 높음과 동시에 장문의 텍스트 분석에 효율적이라는 평가를 받는다. 이에 LDA 방식의 토픽모델링은 특히 사회과학 분야에서 널리 활용되고 있다(Newman et al., 2009; Blei 2012; Jelodar et al., 2019). 다양한 기술정보를 포함하고 있는 특허 또한 이러한 토픽모델링의 주요 분석 대상 중 하나이다. 기술의 다층적, 세부적인 구조나 의미들간의 연관성을 파악함에 있어 LDA방식의 토픽모델링의 성능이 매우 높고(Yun and Geum 2020), 특허와 같은 장문의 텍스트 데이터에 대한 주제를 도출함에 있어 LDA가 매우 효과적이기 때문이다(Goyal and Kashyap 2023). 국내에서는 특정 기술 분야를 설정하고 이와 관련된 특허들의 초록을 대상으로 LDA 방식의 토픽모델링을 실시, 해당 기술 분야가 어떠한 주제들로 구성되어 있는지 분석하는 논문들이 주를 이루고 있다(오승현 외 2017; 조은누리, 장태우 2020; 김은정, 최희진 2022; 박송비, 김건 2023; 최신념, 김웅 2023; 김건 외 2024). 즉 특정 기술 분야의 세부적인 기술 분야를 도출하기 위해 LDA 방식의 토픽모델링이 사용되고 있는 것이다. 세부적으로 오승현 외(2017)은 증강현실(Augmented reality) 관련 특허들을 대상으로 LDA 방식의 토픽모델링을 실시하여 증강현실과 관련된 세부 기술 분야들을 추출하였다. 그리고 이렇게 분류된 기술 분야들에 포함된 특허가 갖는 특허 지표(피인용 등)에 대한 통계분석을 통해 분야별 기술수준, 변화추세, 발전동향을 예측하였다. 또한 김은정, 최희진(2022)은 헬스케어 분야 특허를 대상으로 LDA 방식의 토픽모델링을 실시하여 세부 기술 분야를 분류하고, 각 분야 특허의 선진특허분류코드(Cooperative Patent Classification; CPC)에 대한 의미연결망 분석을 실시하였다. 이를 통해 이들은 헬스케어 분야의 기술융합 특성을 도출하였고, 중심성 지표를 중심으로 각 분야별 핵심기술을 제시하였다. 김건 외(2024)는 지역 혁신 개념을 중심으로 인천광역시에서 출원된 바이오 특허들을 LDA 방식의 토픽모델링을 통해 분석하였고, 그 결과에 기초하여 관련 유망 기술을 도출하고 이를 육성하기 위한 지역 정책 및 전략 방향성을 제시하였다.

### III. 분석 방법

#### 1. 데이터 확보 및 데이터 개요

본 연구를 위한 특허 데이터는 특허 검색 엔진 중 하나인 WIPSON을 통해 한국, 미국, 중국, 일본, EPO를 기준으로 검색 및 확보하였다. 초순수 분야 특허 검색을 위한 검색식은 초순수, Ultrapure water 등을 중심으로 구성된 권병수 외(2020)가 제시한 키워드를 활용하였다<sup>1)</sup>. 검색 기간은 특허가 출원 후 1년 6개월 동안 비공개로 유지될 수 있다는 점을 고려하여 2013년부터 2023년의 데이터를 분석 대상으로 선정하였다<sup>2)</sup>. 그리고 패밀리 특허로 인해 동일 발명이 중복으로 집계되어 출원인이나 관련 기술의 출원 동향이 과대 해석되는 것을 방지하고자, 패밀리 특허의 경우 우선권 번호를 기준으로 최초 출원 특허만을 남기고 분석 대상에서 제외시켰다. 이를 통해 총 1,169건의 특허 데이터가 확보되었다. 토픽모델링 실시 전 전체 특허 데이터를 개괄적으로 분석한 결과 특허 출원 상위 5개국(일본, 중국, 미국, 한국, 독일)이 출원한 특허는 1,071건으로 전체 특허의 91.6%를 차지하였다. 특히 일본의 특허 출원 건수는 558건으로 다른 4개국의 특허 출원 건수의 합(513건)보다 더 높았고 이는 초순수 관련 특허 출원의 47.7%를 차지하는 수치였다.

〈표 1〉 출원인 국적별 특허출원 건수 및 비중(상위 5개국)

No.	국가 (출원인 국적)	출원국					출원건수 (전체)	비중(%)
		한국	미국	유럽	일본	PCT		
1	일본(JP)	65	119	18	220	136	558	47.73
2	중국(CN)	1	85	26	2	86	191	16.34
3	미국(US)	10	82	22	2	17	142	12.15
4	한국(KR)	51	34	6	3	24	118	10.09
5	독일(DE)	2	26	21	1	12	62	5.30
합 계							1,071	91.62

1) 특허 검색식: Ultra pure water AND (product OR system OR apparatus OR equipment), (Ultra near water OR Ultrapure) AND water AND (product OR system OR apparatus OR equipment OR process)

2) 연구가 2025년 3월 수행되었기에 특허 비공개 가능 기간인 1년 6개월을 기준으로 2023년 중 일부 기간(3개월)의 특허 또한 제외하는 것을 고려하였으나, 2023년 출원된 특허의 수가 다른 연도와 비슷한 수준이었으며 기술의 최신 트렌드를 반영함이 필요할 것으로 판단되어 2023년 전체 기간을 기준으로 특허를 검색하였다.



출원인별 특허출원 건수 및 비중을 확인한 결과 일본 기업인 KURITA WATER, ORGANO CORPORATION, NOMURA MICRO SCI가 다수의 특허를 출원하여 높은 특허 출원 비중을 가지고 있음이 확인되었다. 그 다음으로 미국의 EVOQUA WATER TECHNOLOGIES, 한국의 SAMSUNG ELECTRONICS가 많은 특허를 출원하였으나 일본 기업들과 비교했을 때 출원 건수에서 큰 격차가 나타났다.

〈표 2〉 출원인별 특허출원 건수 및 비중(상위 5개 출원인)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP29	KURITA WATER(JP)	206	17.62
2	JP49	ORGANO CORPORATION(JP)	112	9.58
3	JP48	NOMURA MICRO SCI(JP)	105	8.98
4	US11	EVOQUA WATER TECHNOLOGIES(US)	33	2.82
5	KR30	SAMSUNG ELECTRONICS(KR)	29	2.48
합 계			485	41.48

## 2. 분석 절차

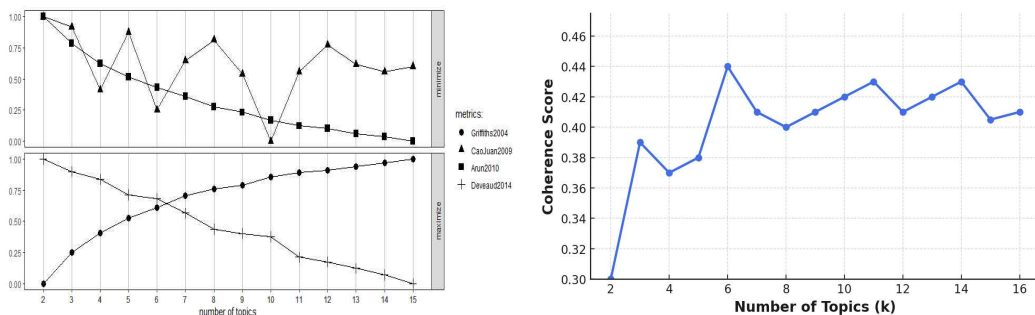
초순수 세부 기술 분야별 특허 출원 동향 분석을 위해 본 연구는 분석 대상 특허에 수록된 영문 초록을 기준으로 토픽모델링을 실시하였다. 토픽모델링은 R(4.2.3)을 통해 전처리, 토픽 수 결정, 토픽모델링 수행 및 분석 결과에 대한 해석 단계로 실시되었다.

전처리 과정에서는 우선 분석 대상 영문인 점을 고려하여 대문자를 모두 소문자를 일치시킨 후 특수기호, 숫자 및 영문 텍스트 데이터의 전처리 과정에서 일반적으로 제거되는 불용어(ex: a, am, is, are, this, there 등)를 제거하였다. 이후 영문 특허 초록 텍스트에서 일반적으로 나타나는 단어들(ex: invention, claim, technology, figure 등)과 단어 출현 빈도분석을 통해 등장 빈도는 높으나 분석 자체에 유의미하지 않을 것으로 판단되는 단어들(ex: solutions, water, stability, column, machining 등)을 불용어로 설정하여 제거하였다. 이러한 과정을 통해 전처리가 완료된 텍스트 데이터를 문서-단어행렬로 변환시켰다.



토픽모델링을 위한 토픽 수는 사후지정 방식으로서 토픽 수에 따른 복잡도(Perplexity)<sup>3)</sup> 및 응집도(Coherence)를 기준으로 설정하였다. 분석 결과 [그림 1]과 같이 토픽이 6개인 지점에서 복잡도 지표들의 최적 교차점(Gold cross)이 나타났으며 응집도 지표도 가장 높게 나타났다. 하지만 최적의 토픽 수 설정을 위해서는 토픽별 출현 단어들에 대한 일관성을 연구자들이 정성적으로 판단하는 과정 또한 필요하다. 이에 토픽의 수를 4 ~ 8 및 응집도가 높게 나타난 11, 14로 설정하고 각각의 토픽모델링을 수행하였다(Parameter 추정: Gibbs sampling). 그리고 이를 통해 도출된 각 토픽모델링별 출현 상위 20개 단어들을 기준으로 특정 단어가 여러 토픽에 반복적으로 출현하여 토픽 간 중복성이 높아지거나, 서로 다른 분야에 속해 있다고 판단되는 단어들이 동일 토픽에 존재하여 토픽의 해석력을 낮추는 경우가 있는지를 종합적으로 검토하였다. 그 결과 최종적으로 토픽별 출현 단어들이 일관성이 토픽 수가 6개인 상황에서 가장 적절하게 나타나는 것으로 판단되어 토픽 수는 6개로 결정하였다. 각 토픽에 대한 명칭은 토픽별로 출현하는 주요 단어들에 기초하여 공학 분야 연구자들과의 논의를 통해 설정하였다. 이후 주요 출원 국가 및 출원인에 대한 토픽별 특허 출원 동향을 분석하였다.

[그림 1] 토픽 수에 따른 복잡도(좌) 및 응집도(우)



3) 복잡도 분석을 위해 정량적 평가 지표 4가지(GRIFFITHS2004(로그우도기반), CAOJUAN2009(코사인 유사도 기반), ARUN2010(KL divergence 기반), DEVEAUD2014(Kullback-Leibler Divergence 평균 기반))를 고려하였음. GRIFFITHS2004, DEVEAUD2014 지표는 해당 값이 최대일 때, CAOJUAN2009, ARUN2010 지표는 값이 최소일 때 복잡도가 최적이라 판단할 수 있음.

## IV. 분석 결과

1,169건의 초순수 관련 특허 데이터를 토픽모델링을 통해 6가지 토픽으로 분류한 결과 아래의 <표 3>과 같은 결과가 도출되었고 토픽명은 “산화 및 정화 공정”, “전극 및 촉매 반응”, “세정 및 순환 시스템”, “가스 및 열처리 공정”, “막 분리 및 이온 교환”, “코팅 및 미립자 처리”로 명명하였다. 6가지 토픽 중 토픽1(산화 및 정화 공정)과 토픽2(전극 및 촉매 반응) 그리고 토픽5(막 분리 및 이온 교환)의 경우 초순수 내에 존재하는 불순물을 제거하는 정제/정화 영역에 해당되는 것으로 해석된다. 토픽3(세정 및 순환 시스템), 토픽4(가스 및 열처리)의 경우 설비 내부 세정, 온도 등에 대한 제어를 통해 초순수 공정 운영의 안정성과 일관성 유지 영역, 토픽6(코팅 및 미립자 처리)의 경우 반도체, 디스플레이 산업 등에서 실제 활용을 위한 품질 제어 및 입자 제거 등 품질관리의 영역이라 해석된다. 이에 도출된 6가지 토픽이 초순수 생산 공정의 전반적인 내용을 포괄하고 있다고 판단되어 분석의 의미가 더해질 것으로 생각된다.

<표 3> 토픽모델링 결과

토픽	토픽명	주요 출현단어( $\beta$ ) 및 해석	특허 수(%)
1	산화 및 정화 공정	hydrogen(0.053), ultraviolet(0.034), filtering(0.031), peroxide(0.02), semiconductor(0.02), oxidation(0.018), platinum(0.018), degassing(0.016), ozone(0.016), irradiation(0.015) • 초순수 내 존재할 수 있는 미량 유기물 산화 • 수소(탈기 공정), 백금 촉매를 활용한 불순물 정화	192 (16.42)
2	전극 및 촉매 반응	electrode(0.025), catalyst(0.024), acid(0.023), chlorine(0.017), oxide(0.014), carbon(0.01), fluorescence(0.01), adsorption(0.009), sensor(0.009), nickel(0.008) • 전극과 촉매를 활용한 화학적, 전기화학적 정제 기술	189 (16.17)
3	세정 및 순환 시스템	cleaning(0.065), pipe(0.050), valve(0.037), chamber(0.032), filter(0.025), wafer(0.024), drain(0.022), purification(0.016), rinsing(0.015), dispensing(0.012) • 배출 및 세정 후 행금 공정을 통한 잔류 화학물 제거 • 초순수의 지속적 순환을 통한 고순도 유지	188 (16.08)
4	가스 및 열처리 공정	gas(0.066), heating(0.035), temperature(0.029), pressure(0.026), pump(0.024), air(0.021), ammonia(0.017), chlorination(0.016), cooling(0.016), steam(0.015) • 암모니아, 탄소, 산소 가스 제어 • 열, 온도, 압력 등의 조절을 통한 초순수 특성 유지	159 (13.60)

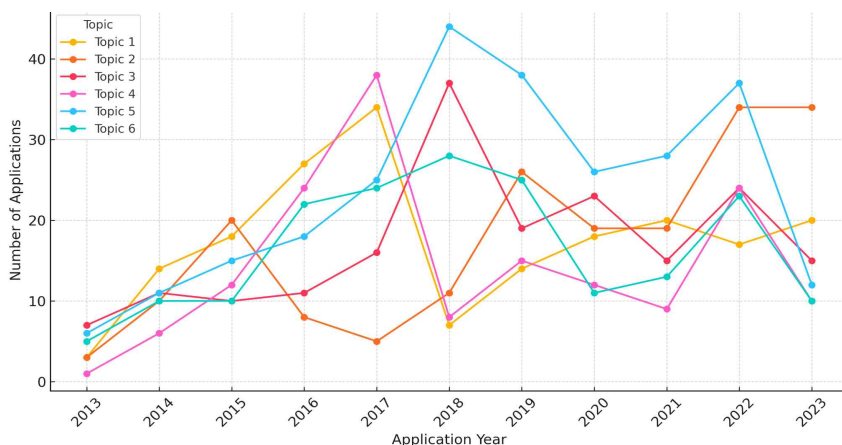
토픽	토픽명	주요 출현단어( $\beta$ ) 및 해석	특허 수(%)
5	막 분리 및 이온 교환	membrane(0.116), ion(0.060), resin(0.047), ultrafiltration(0.029), osmosis(0.025), polymer(0.025), ionexchange(0.025), electrical(0.024), deionization(0.016), desalination(0.016) • 막, 초여과를 통한 초순수 순도 유지 • 탈이온화, 역삼투, 담수화 등을 통한 초고순도 물 제조	260 (22.24)
6	코팅 및 미립자 처리	film(0.037), particle(0.028), polishing(0.025), solvent(0.020), microparticles(0.017), slurry(0.013), contamination(0.012), sensor(0.011), silica(0.008), coating(0.008) • 필름, 코팅, 실리카 기반 박막 형성을 통한 미립자 제거	181 (15.48)

\* Beta( $\beta$ ): 특정 토픽에서 해당 단어가 등장할 확률

세부 토픽별로 특허 출원 동향을 분석하기 전 전체 토픽의 특허 출원 수를 확인하였다. 그 결과 토픽1, 토픽4 기술 분야의 경우 공통적으로 2017년까지 지속적으로 특허 수가 상승하였고, 2018년 일시적 감소 후 다시금 특허 출원 수가 증가하였다. 토픽2 기술 분야의 경우 2016, 2017년 하락 후 전체적으로 특허 출원 수가 우상향하는 모습을 보였다. 토픽3, 토픽4 기술 분야의 경우 지속적으로 특허 출원 수가 증가하여 2018년 최고점에 도달한 후 감소하였으나 일부 연도에서 특허 출원이 상승하는 경향이 확인되었다. 토픽6 기술 분야의 경우 연도별 특허 출원 수의 변동폭이 다른 토픽 기술 분야들에 비해서는 크게 나타나지 않아 안정적인 모습을 보였고, 2020년 감소 후 회복하는 모습을 보이고 있었다.

이후 세부 토픽별 특허 출원 동향을 분석하기 위해 각각의 토픽별로 주요 출원 국가 및 출원인에 대한 분석을 진행하였다.

[그림 2] 토픽별 특허 출원 수

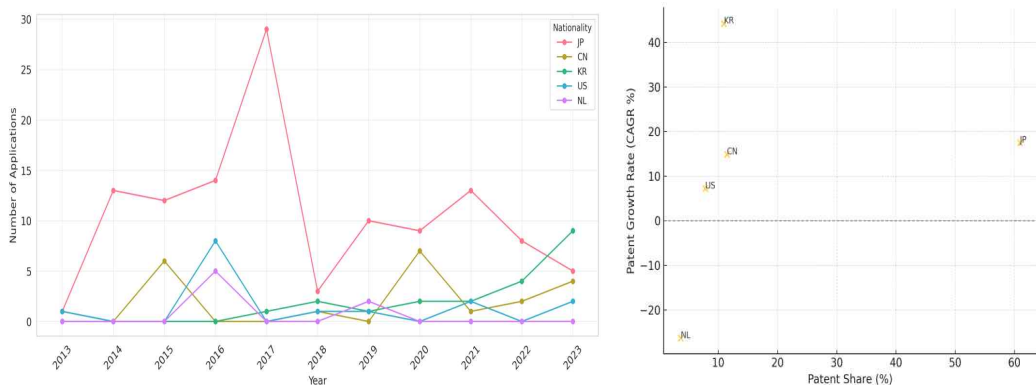


## 1. (토픽1) 산화 및 정화 공정

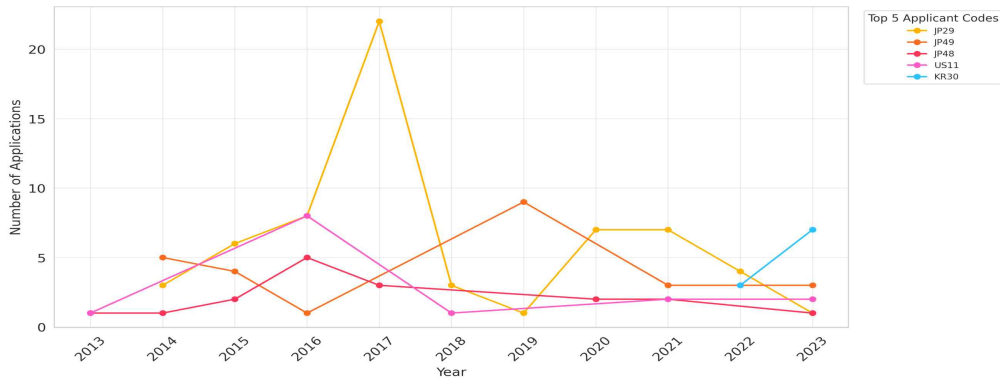
토픽1 관련 기술 분야에서 일본의 특허 출원은 2017년까지 급격히 증가하다가, 2018년 잠시 주춤한 이후 다시금 증가하는 추세를 보였다. 그 결과 토픽1 기술 분야에서 일본이 117건으로 가장 많은 특허를 출원한 것으로 확인되었는데, 이는 전체 토픽1 관련 출원 특허의 60.9%를 차지한다. 중국 등 다른 나라들도 관련 특허 출원 수가 지속적으로 증가하고 있으나, 일본에 비해 절대적인 출원 수가 적어 점유율은 낮게 나타났다. 성장률 측면에서는 한국이 가장 높은 특허 출원 성장률(44.2%)을 보였고 일본(17.5%)과 중국(14.9%) 그리고 미국(7.2%)의 성장률이 높게 나타났다. 이를 통해 일본이 한국에 비해 성장률은 낮게 나타났으나, 양(+)적 성장을 보이고 있기에 해당 기술 분야에서 기술 경쟁력을 지속적으로 유지하고 강화하기 위해 꾸준한 연구개발을 이어가고 있음을 유추할 수 있다. 그리고 이에 더해 과거 다수의 특허를 출원하여 높은 점유율을 가지고 있는 일본이 토픽1 기술 분야에서는 가장 핵심적인 국가라고 판단할 수 있다.

출원인별 특허 출원 동향을 확인한 결과, 일본의 KURITA WATER가 62건(32.3%)으로 가장 많은 특허를 출원했으며, 이어 ORGANO CORPORATION(28건, 14.6%), NOMURA MICRO SCI(17건, 8.9%) 순으로 특허를 출원하고 있음이 확인되었다. 즉, 이 3개 기업이 토픽1 기술 분야에 포함된 전체 특허 중 55.7%라는 높은 비중을 차지하고 있는 것이다. 일본이 토픽1 기술 분야에 출원한 전체 특허 중 60.9%를 차지하고 있다는 점을 고려할 때 일본 내에서도 다양한 기업들이 특허를 출원하고 있는 것이 아니라 소수의 몇 개 기업이 특허 출원을 주도하고 있음을 알 수 있다. 또한 KURITA WATER가 토픽1 기술 분야 전체 특허 출원의 30% 이상을 차지하고 있기에 이 기술 분야에서 강한 영향력을 가지고 있을 것이며, 지속적인 연구개발과 특허 출원을 통해 그 영향력과 지위를 공고히 하고 있음을 알 수 있다.

[그림 3] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽1)



[그림 4] 특허 출원 상위 5개 출원인의 연도별 특허 출원 수(토픽1)



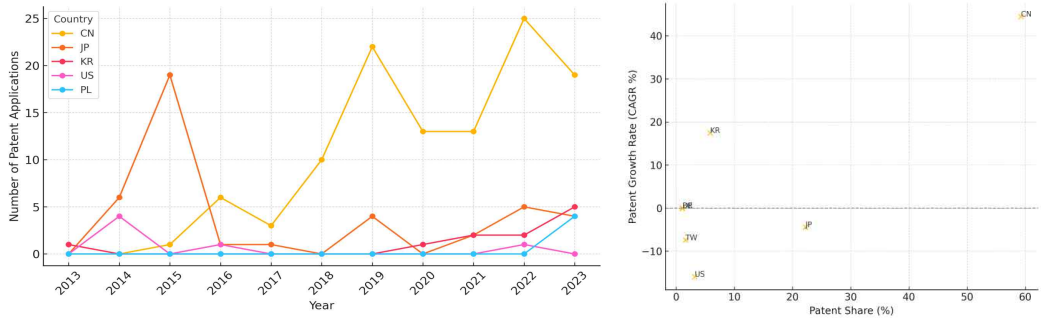
[표 4] 출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽1)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP29	KURITA WATER(JP)	62	32.3
2	JP49	ORGANO CORPORATION(JP)	28	14.6
3	JP48	NOMURA MICRO SCI(JP)	17	8.9
4	US11	EVOQUA WATER TECHNOLOGIES LLC(US)	14	7.3
5	KR30	SAMSUNG ELECTRONICS(KR)	10	5.2
합 계			131	68.3

## 2. (토픽2) 전극 및 촉매 반응

토픽2 기술 분야에서는 중국의 성장세가 두드러지게 나타났다. 중국은 2015년부터 일부 등락은 있었으나 특허 출원 수가 꾸준히 증가하였다. 그 결과 중국은 토픽2 기술 분야에서 중국은 112건으로 가장 많은 특허를 출원했다. 이는 토픽2 기술 분야의 전체 특허 중 59.3%를 차지한다. 그 다음으로 일본이 2014, 2015년 다수의 특허를 출원한 이후 그 수가 감소하기는 하였으나, 지속적으로 관련 특허를 출원하여 42건(22.2%)의 특허를 출원했다. 한국은 중국과 일본 다음으로 토픽2 기술 분야에서 특허를 많이 출원한 국가이나 그 수가 중국, 일본과 점유율을 비교하기에는 적은 수치였다(11건, 5.8%). 다만 성장률 측면에서는 토픽2 기술 분야에서 일본(-4.4%), 미국(-15.9%) 등 대부분의 국가가 음(-)의 성장을 한 것에 비해 한국(17.5%)은 중국(44.5%)과 함께 양(+)적 성장을 한 국가 중 하나이다. 이를 통해 중국이 점유율과 성장률 양 측면에서 모두 강세를 보이고 있으나, 후발주자로서 한국이 지속적인 연구개발을 통해 기술 경쟁력을 확보하고자 노력하고 있다고 판단할 수 있다.

[그림 5] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽2)



토픽2 기술 분야의 출원인 분석 결과, 해당 분야에 출원된 특허는 총 189건이나, 출원인은 101명으로 출원인 1명당 평균 1.8개의 특허만을 출원하는 것으로 나타났다. 이는 6개의 토픽들 중 가장 많은 출원인이 포함된 수치로 토픽6에 76명의 출원인이 포함된 것을 제외하고는 보통 45.5명 정도의 출원인이 출원인 1인당 평균 5.6개의 특허를 출원하였다는 점에서, 다른 토픽의 기술 분야들보다는 상대적으로 다수의 출원인들이 특허 출원에 참여하고 있으나, 해당 분야에 대한 특허 출원이 반복적으로 이루어지지 않고 있다고 할 수 있다. 특허 출원 상위 5개 출원인의 출원 수를 확인한 결과, 일본의 NE CHEMCAT CORPORATION가 가장 많은 특허를 출원하였다(13건, 6.9%). 그 다음으로 가장 많은 특허를 출원한 출원인들은 모두 중국의 대학이었고, 이들의 특허 출원 수 자체에 큰 차이는 없었다. 토픽2 기술 분야에 상기 4개 중국 대학이 출원한 총 특허 수는 22건으로, 중국이 이 분야에 112건의 특허를 출원했다는 것을 고려하였을 때 그 비중이 크다고 할 수는 없다. 즉 토픽2 기술 분야에서는 소수의 일본 기업들이 특허 출원을 주도하고 있는 모습을 보인 토픽1 기술 분야와는 달리, 중국 소재 대학들을 중심으로 다양한 기관들이 특허 출원에 참여하고 있음을 알 수 있다. 이에 토픽2 기술 분야에서는 한 출원인이 시장에서 독점적 위치 또는 영향력을 가지고 있지는 않을 것이라 예상해 볼 수 있다.

〈표 5〉 출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽2)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP43	NE CHEMCAT CORPORATION(JP)	13	6.88
2	CN7	BEIJING NORMAL UNIVERSITY(CN)	7	3.70
3	CN17	CHONGQING UNIVERSITY OF ARTS AND SCIENCES(CN)	5	2.65
4	CN40	JIANGSU UNIVERSITY(CN)	5	2.65
5	CN57	QINGDAO UNIVERSITY(CN)	5	2.65
합 계			35	18.53

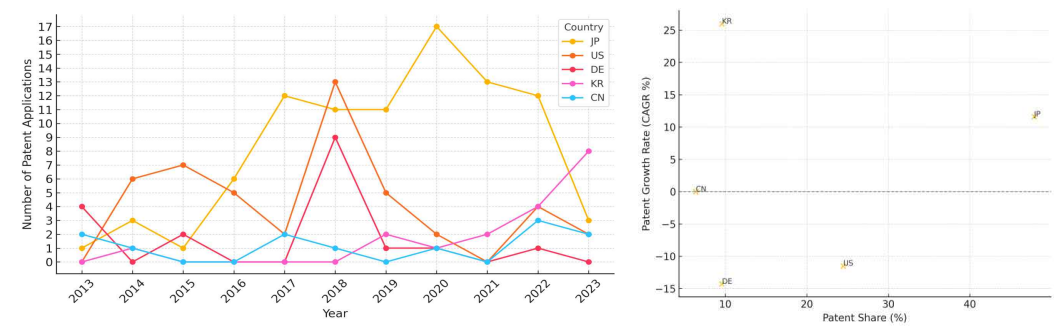


### 3. (토픽3) 세정 및 순환 시스템

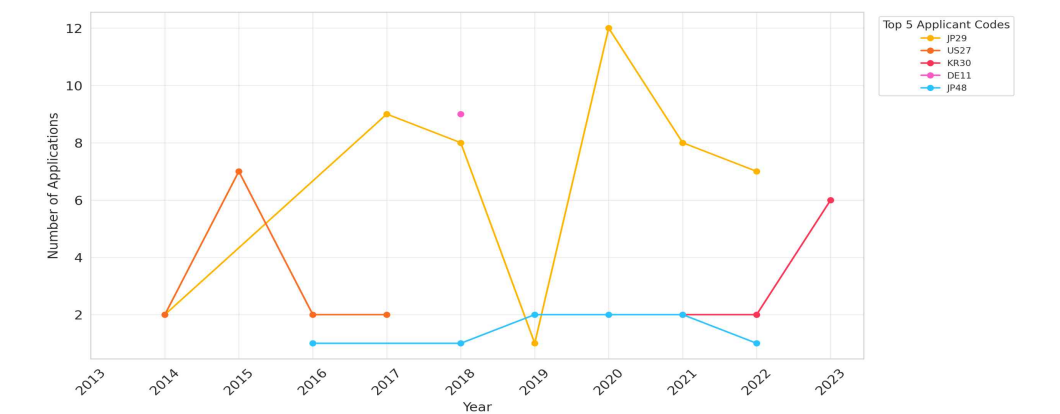
토픽3 기술 분야에서는 일본의 특허 출원이 2020년까지 지속적으로 증가하여, 2023년까지 총 90건의 특허를 출원하였는데, 이는 전체 특허 중 47.9%를 차지하는 수치이다. 이를 통해 토픽3 기술 분야에서도 특허 출원에 있어 일본의 점유율이 상당히 높은 수준임을 알 수 있다. 다음으로 미국이 46건(24.5%), 한국과 독일이 18건(9.6%), 중국이 12건(6.4%)의 특허를 출원하여 일본 다음으로 높은 특허 출원 점유율을 보였다. 2018년에는 미국, 독일의 특허 출원이 급격히 상승하였는데, 미국의 경우에는 그 수가 하락하긴 했으나 2018년 이후에도 관련 특허를 지속적으로 출원한 반면, 독일의 경우 해당 연도에 다수의 특허를 출원한 후 2020년, 2022년 각 1건의 특허만을 출원하여 관련 특허 출원이 급격히 감소하였음이 확인되었다. 이에 미국(-11.5%), 독일(-14.3%)은 음(-)의 성장률을 보였다. 한국(25.9%), 일본(11.6%), 중국(0.1%)의 경우 양(+)의 성장률을 하였는데, 이중 한국이 가장 높은 성장률을 보였고 중국의 경우 0에 가까운 성장률을 가지고 있었다.

토픽3 기술 분야의 특허 출원 상위 5개 출원인을 분석한 결과, 특허 출원 상위 5개 기관이 전체 특허 출원의 46.8%를 차지하고 있었다. 이 중에서도 일본의 KURITA WATER가 총 47건(25%)의 특허를 출원하였고, 2017년에는 17건 2020년에는 12건의 특허를 출원하는 등 지속적으로 많은 수의 특허를 출원하고 있는 것이 확인되었다. 다음으로 많은 특허를 출원한 출원인은 미국의 QOL MEDICAL(13건, 6.9%)로, 2014~2017년 사이에 집중적으로 특허를 출원한 이후 관련 특허의 출원은 없는 것으로 확인되었다. 다음으로 한국의 SAMSUNG ELECTRONICS가 10건의 특허를 출원하여 세 번째로 많은 특허 출원인으로 확인되었고, 이들의 경우 2021부터 2023년 3개년 동안 10건의 특허를 모두 출원하며 높은 특허 출원 성장률을 보여주었다. 일본의 NOMURA MICRO SCI와 독일의 MERCK KGAA가 동일하게 9건의 특허를 출원하였고, NOMURA MICRO SCI의 경우 매년 1~2건의 특허를 지속적으로 출원하였다면, MERCK KGAA의 경우 2018년 9건의 특허를 출원한 이후 해당 분야에 대한 특허 출원이 전혀 이루어지지 않은 상반된 모습을 보여주었다.

[그림 6] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽3)



[그림 7] 특허 출원 상위 5개 출원인의 연도별 특허 출원 수(토픽3)



[표 6] 출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽3)

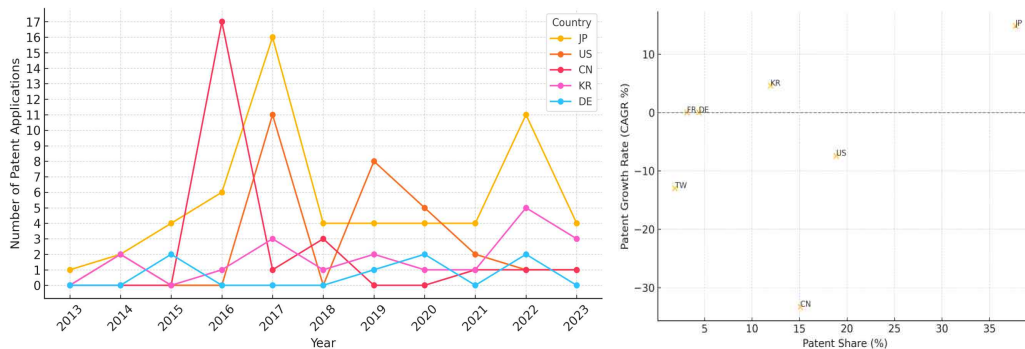
No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP29	KURITA WATER(JP)	47	25.00
2	US27	QOL MEDICAL(US)	13	6.91
3	KR30	SAMSUNG ELECTRONICS(KR)	10	5.32
4	JP48	NOMURA MICRO SCI(JP)	9	4.79
5	DE11	MERCK KGAA(DE)	9	4.79
합 계			88	46.81



#### 4. (토픽4) 가스 및 열처리 공정

토픽4 기술 분야에서는 일본이 총 60건의 특허를 출원하여 해당 기술 분야 전체 특허 출원의 37.7%를 차지하고 있었다. 일본은 2015년 이후 매년 4건 이상의 특허를 출원하였고, 이 중 2017년(16건), 2022년(11건)에는 다른 연도 대비 더 많은 특허를 출원하였다. 다음으로 미국 30건(18.9%), 중국 24건(15.1%)이 일본에 이어 많은 수의 특허를 출원하였고, 미국은 2017년(11건), 2019년(8건)에 그리고 중국은 2016년(17건)에 집중적으로 관련 특허를 출원했다. 이를 통해 토픽4 기술 분야에서 3개국(일본, 미국, 중국)의 특허 출원이 2016년과 2017년에<sup>4)</sup> 집중적으로 나타났음을 확인할 수 있다. 연구개발과 특허 출원 간의 시차(Time lag)는 기술 분야마다 다르기에 특정 시점과 직접적인 인과관계를 단정할 수는 없다. 그러나 이러한 특허 출원 증가는 토픽4 기술 분야와 관련된 정책적 지원 강화, 연구개발의 활성화 또는 산업적 수요 변화와 연관되었을 가능성이 있다. 한국은 14건(11.9%)의 특허를 출원하여 토픽4 기술 분야에서 네 번째로 특허를 많이 출원하는 국가였으며, 출원 성장률은 4.6%로 나타났다. 이는 일본(14.9%)의 성장률에 비해서는 낮은 편이지만 다른 대부분의 국가들의 음(-)의 성장을 한 것에 비한다면 유의미한 성장률이라 할 수 있을 것이다. 특히 중국(-33.3%)의 경우 2016년부터 2018년까지 다수의 특허를 출원한 이후 2022년과 2023년에 각 1건씩의 특허만을 출원하여, 주요 출원 국가들 중 가장 낮은 성장률을 보였다.

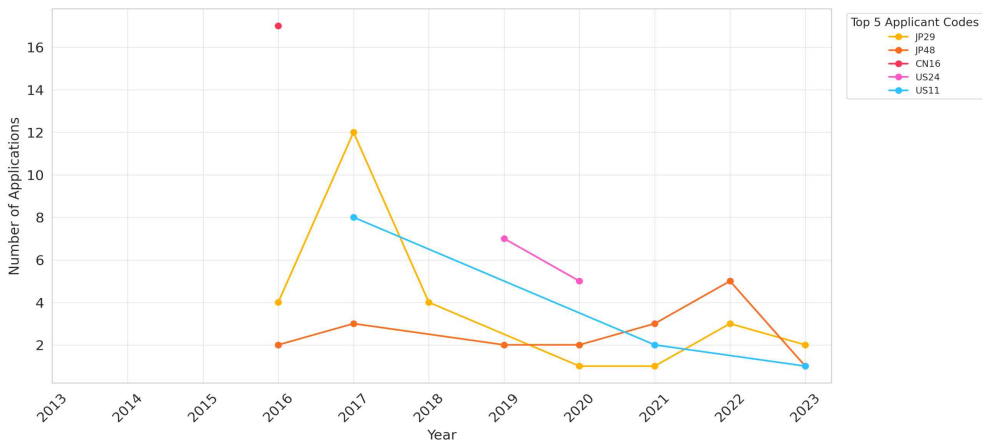
[그림 8] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽4)



4) 미국의 경우 2019년, 일본의 경우 2020년에도 다른 연도 대비 높은 특허 출원을 보였으나, 국가별로 가장 많은 특허가 출원된 시점을 비교하고자 하였다.

토픽4 기술 분야의 특허 출원 상위 5개 출원인을 분석한 결과, 상위 5개 출원인이 전체 특허 출원의 53.7%를 차지했다. 이 중 일본의 KURITA WATER가 27건의 특허를 출원하여 16.9%를 차지했다. 그러나 2017년 12건의 특허를 출원한 이후 특허 출원 수가 크게 감소한 것으로 나타났다. 반면, 전체 특허의 11.3%를 차지한 일본 기업인 NOMURA MICRO SCI는 매년 2~3건의 특허를 꾸준히 출원하고 있음이 확인되었다. 중국 대학인 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES는 17건(10.7%)의 특허를 출원했으며, 이 특허들은 모두 2016년에 집중적으로 출원된 것이 특징이었다. 특허 출원 4, 5순위는 미국 기업들이었으며, 이들 기업은 특정 연도에 다수의 특허를 출원한 후 출원 건수가 크게 감소하거나 사실상 출원이 중단되었다. 즉 토픽4 기술 분야의 상위 5개 출원인들 중 일본의 상위 두개 기업을 제외하면, 중국과 미국의 출원인들은 특정 시점에 집중적으로 특허를 출원한 이후 출원을 이어나가지 않는 특징을 가지고 있다. 이는 해당 출원인들이 노하우, 영업비밀과 같은 암묵지(Tacit knowledge)를 중심으로 한 지식재산 전략을 수립했거나, 관련 기술 분야의 연구개발 비중을 낮추었을 가능성을 시사한다.

[그림 9] 특허 출원 상위 5개 출원인의 연도별 특허 출원 수(토픽4)



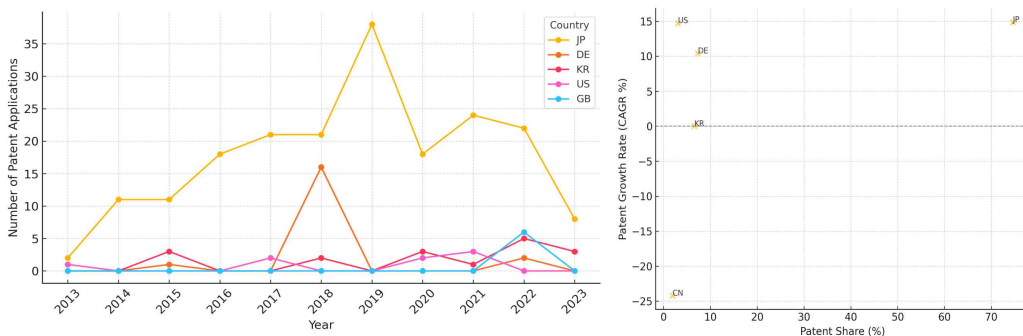
<표 7> 출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽4)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP29	KURITA WATER(JP)	27	16.98
2	JP48	NOMURA MICRO SCI(JP)	18	11.32
3	CN16	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES(CN)	17	10.69
4	US24	MKS INSTRUMENTS(US)	12	7.55
5	US11	EVOQUA WATER TECHNOLOGIES(US)	11	6.92
합 계			85	53.46

## 5. (토픽5) 막 분리 및 이온 교환

토픽5 기술 분야는 본 연구에서 제시한 6가지 초순수 관련 토픽 중 일본의 특허 출원 비중이 가장 높은 분야이다. 일본은 해당 분야에서 총 194건의 특허를 출원하였는데, 이는 전체 출원된 특허 260건 중 74.6%를 차지하는 수치이다. 그 다음으로 많은 특허를 출원한 독일이 19건의 특허를 출원하여 전체 특허 중 7.3%의 비중을 가지는 것을 고려했을 때 토픽5 기술 분야에서 일본의 영향력은 몹시 클 것이라 판단된다. 이에 더해 일본은 지속적으로 특허를 출원하여, 가장 높은 14.9%의 성장률을 보였다. 미국이 14.8%의 성장률을 보여 일본과 비슷한 수준의 성장세를 보였으나, 점유율(8건, 3.1%)은 일본에 비해 현저히 낮았다. 중국의 경우 5건(1.9%)의 특허를 출원하였는데, 해당 특허는 모두 2018년 1년 동안 중국의 대학인 DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY에 의해 출원되었다. 그리고 이 후 특허 출원이 없어 중국은 -24.2%의 낮은 성장률을 보였다.

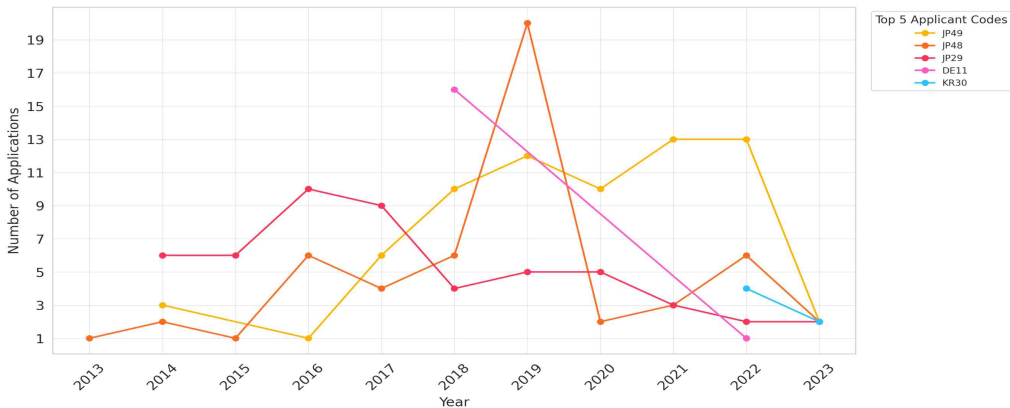
[그림 10] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽5)



토픽5 기술 분야의 특허 출원 상위 5개 출원인을 분석한 결과, 상위 5개 출원인이 출원한 특허는 총 198건으로 전체 특허 출원의 76.15%를 차지했다. 이 중 일본의 3개 출원인 (ORGANO CORPORATION(70건, 26.9%), NOMURA MICRO SCI(53건, 20.4%), KURITA WATER(50건, 20%))이 175건의 특허를 출원하여 67.3%를 차지하고 있었다. 이를 통해 토픽5 기술 분야 또한 토픽1 기술 분야와 같이 일본이 다수의 특허를 출원하고 있으며, 일본 내에서도 소수의 특허 출원인이 관련 특허 출원을 주도하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 이 중에서도 ORGANO CORPORATION이 가장 많은 특허를 출원하고 있으며, 다른 2개 일본 출원인들의 특허 출원이 감소하는 상황에서도 특허 출원 수가 우상향하고 있어 일본 기업들 중에서도 가장 활발한 특허 출원을 보이고 있었다. 독일 MERCK KGAA(17건, 6.5%)의 경우

2018년 다수의 특허(17건)를 집중적으로 출원한 후 2022년 단 1건의 특허만을 출원하였다. 이에 토픽4 기술 분야의 미국, 중국과 같이 암묵지 중심의 지식재산 전략을 수립하였거나, 관련 연구개발에 대한 투자를 감소시켰을 가능성이 존재한다.

[그림 11] 특허 출원 상위 5개 출원인의 연도별 특허 출원 수(토픽5)



〈표 8〉출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽5)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP49	ORGANO CORPORATION(JP)	70	26.92
2	JP48	NOMURA MICRO SCI(JP)	53	20.38
3	JP29	KURITA WATER(JP)	52	20.00
4	DE11	MERCK KGAA(DE)	17	6.54
5	KR30	SAMSUNG ELECTRONICS(KR)	6	2.31
합 계			198	76.15

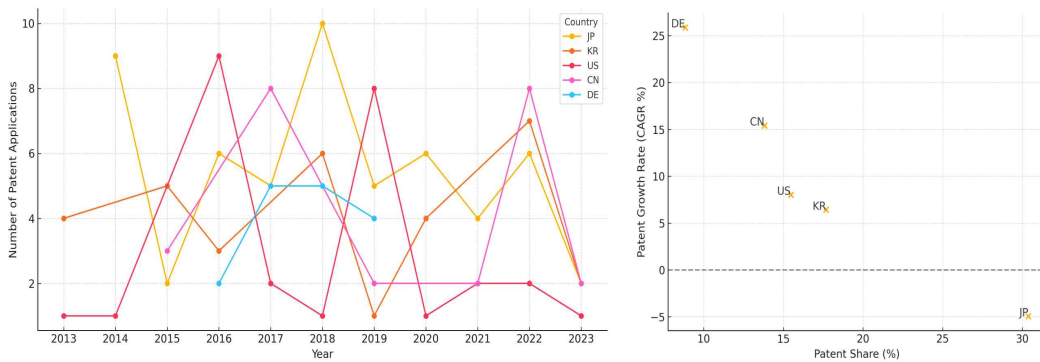
## 6. (토픽6) 코팅 및 미립자 처리

토픽6 기술 분야에서 가장 많은 특허를 출원한 국가는 일본으로 총 55건으로 특허를 출원하여 30.4%의 점유율을 가지고 있었다. 성장률은 -4.9%로 음(-)의 성장률을 보여 다른 주요국들에 비해 저조하게 나타났다. 다만 이는 연평균성장률(Compound annual growth rate: CAGR)이 단순히 특정 기간의 시작값과 끝값을 기준으로 계산되는 한계점에 의한 것으로 보인다. 2014년 일본이 9건의 특허를 출원하여 시작값 자체가 높게 설정되어 있기 때문이다. 일본 다음으로 한국(32건, 17.7%), 미국(28건, 15.5%), 중국(25건, 13.8%), 독일(16건, 13.8%) 순으로 많은

특허를 출원하였고, 이들 모두는 양(+)의 성장률을 보였다. 성장률이 가장 높게 나타난 출원국가는 독일(25.9%)이었으나, 2019년 이후로는 특허 출원이 없어 해석에 주의가 필요할 것으로 보인다. 그 다음으로 높은 성장률을 보인 출원국가는 중국(15.4%)이었다. 중국은 2017년 다수의 특허를 출원(8건)한 후 2021년까지는 특허 출원이 감소하는 경향을 보였으나 2022년 8건의 특허를 출원하며 감소세를 멈추고 회복하는 모습을 보였다.

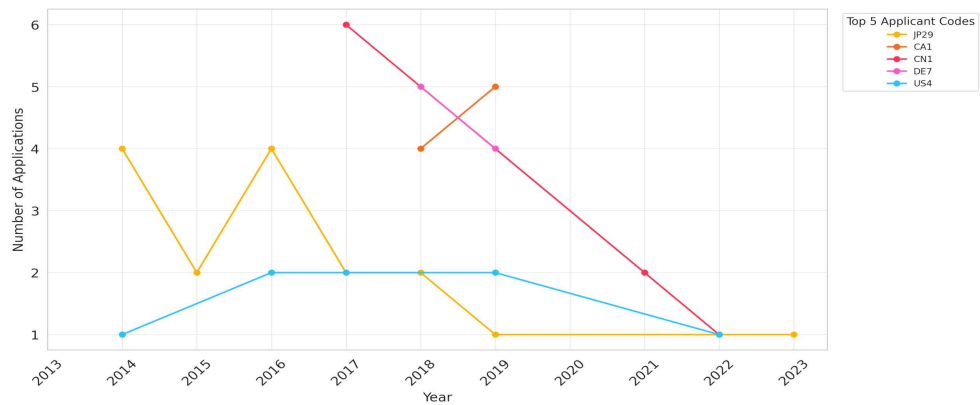
미국의 경우 8.0%의 성장률을 보였으나, 다수의 특허를 출원한 2016년과 2019년 전/후 연도의 특허 출원이 매우 낮아 연도별 특허 출원 수의 변화가 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 한국은 2013년부터 꾸준히 특허를 출원해왔고, 2019년 일시적으로 특허 출원이 크게 감소했지만 2020년과 2022년 다시 증가하여 6.4%의 성장률을 보였다.

[그림 12] 출원인 국적별 특허 출원 수 및 성장률/점유율(토픽6)



토픽6 기술 분야의 특허 출원 상위 5개 출원인을 분석한 결과, 상위 5개 출원인이 해당 분야에서 차지하는 비중은 28.7%로 나타났다. 이는 전체 토픽들 중 토픽2 기술 분야 다음으로 낮은 수치이다. 이를 통해 이 분야 또한 특정 출원인들을 중심으로 특허 출원이 이루어지기 보다는 다수의 출원인들이 특허 출원에 참여하고 있음을 판단해 볼 수 있다. 가장 많은 특허를 출원한 출원인은 일본의 KURITA WATER로 17건의 특허를 출원하여 전체 특허 중 9.4%의 비중을 차지하고 있다. 다만 2016년을 기점으로 특허 출원 수가 크게 감소하고 있는 모습을 보이고 있었다. 이처럼 토픽6 기술 분야 상위5개 출원인들의 특허 출원 수는 대부분 감소하는 경향을 보이거나 캐나다의 OVIVO(9건, 4.9%)와 같이 특정 시점 이후로 특허 출원이 나타나지 않는 모습을 보였다. 이와 같이 토픽6 기술 분야에서 주요 출원인들의 특허 출원이 감소하는 것은 관련 기술이 성숙 단계에 접어들어 혁신 속도가 완만해지거나, 기존 기술 개발이 일정 수준에 도달한 결과일 가능성이 있다.

[그림 13] 특허 출원 상위 5개 출원인의 연도별 특허 출원 수(토픽6)



<표 9> 출원인별 특허출원 건수 및 비중(토픽6)

No.	출원인 코드	출원인명(국적)	출원건수	비중(%)
1	JP29	KURITA WATER(JP)	17	9.39
2	DE7	FRESENIUS MEDICAL CARE(DE)	9	4.97
3	US31	AC PHARMACEUTICALS(CN)	9	4.97
4	CA1	OVIVO(CA)	9	4.97
5	US4	BFP MANAGEMENT(US)	8	4.42
합 계			52	28.72

V. 결론

본 연구에서는 초순수 기술 분야에서의 특허 출원 동향을 분석하기 위해 토픽모델링 기법을 적용하였으며, 이를 통해 주요 기술 분야 및 국가별 특허 경쟁력을 정량적으로 파악하였다. 연구 결과, 초순수 기술은 산화 및 정화 공정, 전극 및 촉매 반응, 세정 및 순환 시스템, 가스 및 열처리 공정, 막 분리 및 이온 교환, 코팅 및 미립자 처리의 6가지 주요 기술 군으로 분류될 수 있었다. 특허 출원 동향 분석 결과, 분석 대상 특허 전체 1,169건 중 558건의 특허를 출원한 일본이 특정 기술 분야에서도 독보적인 점유율을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 막 분리 및 이온 교환, 산화 및 정화 공정 분야에서 일본의 특허 출원 비중이 매우 높은 것으로 나타났다.



또한 주요 출원인 분석 결과, 토픽2 기술 분야를 제외하고는 KURITA WATER, ORGANO CORPORATION, NOMURA MICRO SCI 3개 일본 기업이 대부분의 토픽에서 높은 특허 출원 점유율을 가지고 있는 것으로 확인되었다. 특히 이들은 지속적으로 관련 특허를 출원하고 있었는데 이를 통해 시장에서의 지배력을 공고히 하기 위한 지식재산 전략을 취하고 있는 것으로 예상된다. 중국은 전극 및 촉매 반응 분야에서 두드러진 성장세를 보였는데, 일본과는 반대로 국립 대학을 중심으로 다양한 출원인들이 특허를 출원하는 형태를 보였다. 한국은 SAMSUNG ELECTRONICS를 중심으로 지속적으로 특허를 출원하고 있었으나, 강한 시장 지배력을 가지고 있는 일본이나 일부 기술 분야에서 빠른 성장을 보이는 중국에 비해서는 경쟁력이 부족한 상황임을 확인할 수 있었다. 이는 한국의 경우 반도체나 디스플레이가 중요한 산업군임에도 불구하고 초순수 공급과 관련된 기술을 주로 외국기업에 의존해 왔기에 과거 관련 분야에 대한 연구개발 및 특허 출원을 적극적으로 수행하지 않았다는 점이 반영된 것이라 판단된다.

하지만 일본이 초순수 관련 기술을 독점적으로 확보하며 반도체 및 첨단 산업에 대한 영향력을 행사하고 있는 만큼, 한국은 초순수 기술 국산화를 위한 지속적인 연구개발과 특허 전략 수립이 필수적이다. 특히, 일본의 특허 점유율이 높은 막 분리 및 이온 교환, 산화 및 정화 공정 기술에 대한 국산화 노력이 집중적으로 이루어져야 한다. 특허 장벽이 높은 영역에 대한 회피 설계, 대체 기술 개발과 지식재산권 확보를 통해 특정 국가 기업들이 전략적으로 자사 특허 기술에 대한 사용 제한을 가할 경우를 대비할 필요가 있기 때문이다. 그리고 이러한 맥락에서 2019년 일본의 반도체 핵심 소재 수출 규제 이후, 한국은 플루오린 폴리이미드, 포토레지스트, 고순도 불화수소뿐만 아니라 초순수 정제 기술 국산화도 중요한 과제로 떠올랐다. 이에 따라 단순한 연구개발을 넘어 특허 출원을 통한 기술 보호와 지식재산권 확보가 필요하다. 반도체 및 디스플레이 산업에서 초순수는 필수적인 공정 소재로 활용되며, 제약·바이오 및 원자력 산업에서도 그 중요성이 점점 커지고 있다. 이에 각 산업의 특성에 맞춰 초순수 기술을 최적화하고, 산업별로 차별화된 국산화 전략을 수립하여야 할 것이다. 그리고 이를 위해 정부 차원의 전략적 정책 지원이 필요할 것으로 판단된다. 일본이 막 분리 및 이온 교환, 산화 및 정화 공정 등 특정 기술 분야에서 독점적인 특허 점유율을 가지고 있는 만큼, 한국은 해당 분야에서 선제적 R&D 투자와 기술 개발 지원을 확대해야 한다. 이에 국산 기술 개발을 위한 대규모 R&D 프로젝트를 지원하고, 산업계·학계·연구소 간 협력을 촉진하여 기술 상용화를 앞당기는 정책을 마련할 필요가 있다. 특히 초순수 기술이 반도체 공정의 필수 요소인 만큼 소부장(소재·부품·장비) 정책과 연계, 적극적으로 국산화를 추진함과 동시에 일본의 독점적 특허 기술을 대체할 수 있는 신기술 개발을 위한 연구개발 지원이 필요할 것으로 판단된다. 이에 더해 일본이 다양한 출원국에 특허를 출원

하여 독점적 지위를 가지고 있는 만큼 해외에서 국내 기업 또는 연구기관이 특허 분쟁에 직면한 경우 법률적·재정적 지원이 가능한 정책의 설계가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 초순수 기술 분야의 연구개발 방향 설정 및 특허 전략 수립에 있어 중요한 기초자료를 제공할 수 있을 것이며, 다음과 같은 학술적 그리고 실무적 의의를 가질 것이다. 먼저 본 연구는 기존의 특허 분석 연구들은 주로 국가별, 출원인별 특허 수 집계에 초점을 맞추어 수행되었던 것과 달리, 자연어처리 기반의 토픽모델링 기법을 활용하여 기술 분야별 특허 출원 동향을 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 초순수 기술을 6가지 주요 기술 군으로 분류하고, 각 기술 분야에서 특허 출원이 어떻게 변화해 왔는지, 국가별/출원인별 특허 경쟁력이 어떻게 변화하고 있는지 분석하여 향후 초순수 기술 연구개발의 방향성을 제시할 수 있는 학술적 기초자료를 제공하였다. 또한 일본, 중국, 미국, 한국 등 주요 국가별로 특허 출원에 어떠한 차이가 존재하는지 분석, 제시하여 향후 각국의 기술 전략을 비교·분석할 수 있는 새로운 연구 방향을 제시하였다. 실무적 차원에서 본 연구 결과는 국내 기업 및 연구기관들이 R&D 투자 방향을 설정하는 데 있어 중요한 참고자료로 활용될 수 있다. 먼저 국내 기업은 타국의 특허가 집중된 기술 군에 대한 기술 자립 전략으로서, 회피 설계, 대체 기술 개발, 주요 특허 출원 기업과의 라이선싱 계약 체결을 고려할 수 있다. 이를 위해서는 특정 기술군에서 어떤 국가의 기업들이 특허 점유율과 성장세가 높은지에 대한 파악이 선행되어야 하며, 본 연구의 결과는 이러한 전략 수립에 실질적인 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 특정 기술 영역의 특허 출원 동향을 파악함에 따라, 출원이 일정 기간 지속되지 않거나 정제된 구간을 식별할 수 있었는데, 이러한 영역에 대한 시장성 및 기술수명주기 평가를 거쳐, 필요시 후속 기술 개발을 통해 지식재산권을 선점 전략을 수립할 수 있을 것이다. 이를 통해 국내 기업들이 타국과는 차별화된 특허 포트폴리오를 구성할 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구는 위와 같은 학문적·실무적 의의를 가지나, 다음과 같은 한계점을 가지고 있다. 우선 본 연구를 위한 특허 데이터는 권병수 외(2020)가 제시한 하나의 특허 검색식만을 사용하였기에, 특허 검색어 구성의 다양성 측면에서 일부 한계가 존재한다. 이에 향후 연구에서는 선행연구에서 제시된 다양한 검색식들과의 조합, 관련 연구자들과의 협업을 통한 검색식 개발 등 보다 정교한 검색식 설계가 필요할 것이다. 다음으로 본 연구는 토픽모델링을 통해 분류한 초순수 기술 분야 토픽별 특허 출원 건수 및 출원인 정보에 한정하여 분석을 진행하였다. 이에 특허의 기술 수준(기술 성숙도, 인용 빈도, 영향력 등)에 대한 분석은 부족하다. 향후 연구에서는 특허 인용 분석(Citation Analysis)이나 특허 영향력 지수(Patent Impact Index: PII) 등을 활용하



여 보다 심층적인 분석을 진행할 필요가 있다. 또한 특허의 출원 수가 반드시 해당 산업의 기술 경쟁력이나 경제적 성과와 연결되는 것은 아니다. 이에 후속 연구에서는 이러한 한계점을 극복할 수 있도록 산업 데이터와의 연결 또한 고려해 보아야 할 것이다. 또한 특허 토픽별 기술 특성과 주요 출원국의 기술 경쟁력을 연계하여 심층적으로 분석하는 경우 연구 결과의 실용적 활용도와 이를 통해 얻을 수 있는 정책적 시사점은 더욱 증대될 것으로 예상된다. 이에 후속 연구에서는 이를 고려하여 국가별 기술 경쟁 구도를 다각도로 분석할 필요가 있다. 마지막으로 특허는 출원 후 1년 6개월 동안 비공개로 유지될 수 있기에, 본 연구에서는 데이터의 일관성 확보를 목적으로 2023년까지 출원된 특허만을 분석 대상으로 하였다. 이에 최신 기술 트렌드가 충분히 반영되지 못하였거나, 2023년 이후 빠르게 발전하는 신규 기술 분야가 존재했다면 이는 본 연구에서 분석되지 않았을 가능성이 있다. 따라서 향후 연구에서는 분석의 대상을 특허에 국한하지 않고, 최신 트렌드를 반영할 수 있도록 학술 논문을 추가적으로 분석하는 방안을 고려할 필요가 있다.

## 참고문헌

- 곽송비·김건(2023), 「토픽모델링과 의미연결망분석을 통한 기계분야 특허 기술이전 동향 분석」, 『기계산업연구』, 2(2), pp.43~69.
- 권병수·이상호·강석태·임재림(2020), 「반도체 제조용 초순수 생산기술 동향 및 국산화 필요성」, 『대한환경공학회지』, 42(10), pp.493~512.
- 김건·김동관·최호철·윤호열(2024), 「특허 정보를 활용한 지역 유망 기술 도출: 인천 지역 바이오 산업을 중심으로」, 『경영과학』, 41(3), pp.69~81.
- 김은정·최희진(2022), 「토픽모델링과 네트워크분석을 활용한 헬스케어 분야의 핵심기술과 기술융합 분석 연구: 특허정보를 중심으로」, 『한국정보통신학회논문지』, 26(5), pp.763~778.
- 오승현·최하영·윤장혁(2017), 「특허의 토픽 모델링을 활용한 증강현실 기술 모니터링」, 『대한산업공학회지』, 43(3), pp.213~228.
- 이경혁·김동규·권병수·정관수(2016), 「초순수 생산을 위한 최적공정 조합 평가」, 『대한환경공학회지』, 38(7), pp.364~370.
- 이현경·부찬희(2024), 「초순수 (Ultrapure Water). 기술동향브리프」, 한국과학기술기획평가원, pp.1~41.
- 조은누리·장태우(2020), 「특허 분석을 통한 스마트공장 관점의 5G 기술개발 동향 연구」, 『한국전자거래학회지』, 25(3), pp.95~108.
- 최신념·김웅(2023), 「토픽모델링을 활용한 대체불가토큰(NFT) 관련 특허 동향 분석」, 『한국컴퓨터 정보학회논문지』, 28(12), pp.41~48.
- 채수현·김장원(2018). 「CPC 기반 특허 기술 분류 분석 모델」, 『한국콘텐츠학회논문지』, 18(10), 443-452.
- 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
- Goyal, A., and Kashyap, I. (2023), "Comprehensive analysis of topic models for short and long text data", *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 14(12).
- 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.
- Kang, Y., Kwon, J., Kim, J., and Hong, S. (2023), "Fate of low molecular weight organic matters in reverse osmosis and vacuum ultraviolet process for high-quality ultrapure water production in the semiconductor industry", *Journal of Cleaner Production*, 423, 138714.

- Lee, H., Jin, Y., and Hong, S. (2016), "Recent transitions in ultrapure water (UPW) technology: Rising role of reverse osmosis (RO)", *Desalination*, 399, 185-197.
- Newman, D., Asuncion, A., Smyth, P., and Welling, M.(2009), "Distributed algorithms for topic models", *Journal of Machine Learning Research*, 10(8).
- Rainville, A., Dikker, I., and Buggenhagen, M. (2025), "Tracking innovation via green patent classification systems: Are we truly capturing circular economy progress?", *Journal of Cleaner Production*, 486, 144385.
- Yun, J., and Geum, Y. (2020), "Automated classification of patents: A topic modeling approach", *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106636.
- Zhang, X., Yang, Y., Ngo, H. H., Guo, W., Wen, H., Wang, X., and Long, T. (2021), "A critical review on challenges and trend of ultrapure water production process", *Science of The Total Environment*, 785, 147254.

# Analysis of Patent Application Trends in Ultrapure Water Technology Using Topic Modeling

Song Bi Kwak, Kim Keon

## - Abstract -

This study analyzes patent application trends in ultrapure water (UPW) technology using topic modeling. By examining patents filed between 2013 and 2023, six major technology topics were identified: oxidation and purification, electrode and catalytic reactions, cleaning and circulation, gas and heat treatment, membrane separation and ion exchange, and coating and fine particle treatment. Japan leads with 47.7% of total patent applications, particularly in membrane separation and oxidation processes. China shows rapid growth in electrode and catalytic reactions, driven by universities, while South Korea, led by Samsung Electronics, requires further R&D and patent strategies to enhance competitiveness. This study provides insights for UPW technology localization and suggests further research on national technology strategies and patent impact analysis.

### Key words

Ultrapure Water, Topic Modeling, Intellectual Property Strategy,  
Patent Application Trends, Technology Localization

| 논문 |

# 소재·부품·장비 산업의 효율성 결정요인 분석

종업원 규모에 따른 양극화 현상 비교

김 경 수

(주)웍스 사업기획팀 책임연구원

JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY



## 소재·부품·장비 산업의 효율성 결정요인 분석\*

- 종업원 규모에 따른 양극화 현상 비교 -

김경수\*\*

### - 초 록 -

본 연구는 「소재·부품·장비산업동향조사」 데이터를 활용하여 우리나라 소부장 산업의 효율성을 측정하고, 측정 결과를 바탕으로 산업별, 업종별, 종업원 규모별로 효율성을 비교 분석하고, 비효율성 원인 분석 및 효율성 결정요인 분석을 진행하는 것을 목적으로 하였다.

연구 결과, 우리나라 소부장 산업은 71.5%의 비효율성이 존재하였으며, 산업별로는 장비 → 부품 → 소재 산업 순으로 비효율성이 높게 나타났다. 종업원 규모별로는 50인 미만 → 50인 이상 → 300인 이상 그룹 순으로 비효율성이 높게 나타나 효율성 관점에서도 종업원 규모에 따른 양극화 현상이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 비효율성 원인 분석을 통해 50인 미만 그룹의 경우 기술적 측면에서 비효율성 원인이 존재하고, 300인 이상 그룹의 경우 생산 규모 측면에서 비효율성 원인이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다. 효율성 결정요인 분석을 통해 종업원당 중간투입비와 종업원당 부가가치액이 소부장 산업의 효율성에 가장 큰 영향을 미치는 요인임을 확인할 수 있었는데, 종업원당 중간투입비는 300인 미만 그룹에 부(-)의 영향을 미치는 가장 큰 요인이었으며, 종업원당 부가가치액과 종업원 비중은 50인 이상 및 300인 이상 그룹에 정(+)의 영향을 미치는 주요 요인임을 확인할 수 있었다.

본 연구는 2017년부터 2022년까지의 국가승인통계 데이터를 활용하여 우리나라 소부장 산업에서 투입된 자원에 대한 성과를 객관적인 방법론을 활용하여 분석하였다. 이를 통해 소부장 산업은 대분류 산업뿐만 아니라 종업원 규모별로 효율성 차이가 존재함을 확인하였다. 우리나라 소부장 산업의 효율성 제고를 위해서는 효율성 진단을 통해 효율성 개선이 필요한 업종을 선정하여 우선적으로 지원할 필요가 있으며, 특히 지원하는 과정 상 해당 산업의 종업원 규모를 고려할 필요가 있음을 실증적으로 확인했다는 것에서 연구의 의의를 찾을 수 있다.

주 제 어 소재·부품·장비 산업, 양극화 현상, DEA 효율성, 효율성 결정요인

논문접수일 2025년 4월 7일 수정논문 제출일 2025년 6월 11일 게재확정일 2025년 6월 20일

본 논문에 대해 유익한 논평을 해주신 익명의 심사위원 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

\* 본 논문은 「소재·부품·장비 통계 데이터 활용 논문 공모전」에서 수상한 논문을 수정·보완한 논문입니다.

\*\* (주)웍스 사업기획팀 책임연구원, jsks1020@gmail.com

I. 서론

트럼프 신행정부의 보편적 관세, 러-우 전쟁, 미-중 기술패권 경쟁 등으로 인해 글로벌 공급망의 밸류체인 주도권 경쟁이 본격화되고 있으며, 첨단산업을 중심으로 가속화되는 양상이 나타나고 있다. 트럼프 2.0 시대가 도래함에 따라 미국과 중국의 갈등, 보호무역 기조가 심화되는 가운데, 국내 공급망과 소재·부품·장비(이하 소부장) 기업으로 불확실성이 확산되고 있다. 전 세계적으로 공급망과 탄소중립의 중요성이 확대됨에 따라 이를 중심으로 산업 지형이 재편되고 있다(관계부처, 2023). 공급망 관점에서는 첨단산업 선점을 위한 주도권 확보 경쟁이 본격화되고, 첨단산업의 필수요소인 소부장을 전략적으로 무기화함에 따라 소부장 산업의 중요성은 더욱 커지고 있다. 소부장 산업의 생산성 향상에 대한 중요성이 부각됨에 따라 노동, 자본 등 전통적인 투입자원 중심의 성장 전략에서 효율성 기반의 성장 전략으로의 전환이 시급히 요구되고 있다(오지환·정기호, 2012).

소부장 산업은 제조업의 허리이자 국가 경제 발전의 핵심요소이다(관계부처, 2019). 2022년 기준 소부장 산업의 사업체 수와 종업원 수는 전체 제조업의 각각 41.2%, 48.8%의 높은 비중을 차지하고 있다. 소부장 산업의 생산액은 1,150조 5,584억 원으로 전체 제조업의 55.5%를 차지하고 있으며, 부가가치액은 413조 2,500억 원으로 전체 제조업의 57.2%에 달하는 높은 부가가치를 창출하였다. 이를 통해 소부장 산업이 전체 제조업의 큰 비중을 차지하고 있으며, 국가 산업과 경제 성장을 뒷받침하는 중요한 산업임을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 제조업과 소부장 산업 현황 비교(2022)

(단위: 개, 명, 억 원)

구분	사업체 수	종업원 수	부가가치액	생산액
제조업	73,260	2,981,764	7,222,731	20,737,781
소부장	30,212	1,454,533	4,132,500	11,505,584
비중	41.2%	48.8%	57.2%	55.5%

자료: 국가통계포털(KOSIS), 소재부품장비산업동향조사, 각 연도, 2024.07.월 기준

연도별로 살펴보면 2017년 소부장 산업의 사업체 수는 28,779개에서 2022년 30,212개로, 종업원 수는 1,437,137명에서 1,454,533명으로 각각 1.0%, 0.2%로 소폭 증가하였다. 생산액은 832조 8,515억 원에서 1,150조 5,584억 원, 부가가치액은 308조 3,232억 원에서 413조 2,500억 원으로 각각 연평균 6.7%, 6.0%로 증가하였다. 이를 구간별로 구분하여 살펴보면, 생산액의 경우 1구간 대비 2구간의 연평균증가율이 16.0%, 부가가치액은 11.5% 증가하여



소부장 산업의 생산 및 부가가치의 성장세가 크게 개선되고 있음을 확인할 수 있다.

우리나라 소부장 산업은 종업원 수 50인 미만 사업체가 산업의 대부분을 차지하고 있으며, 소부장 산업을 영위하는 사업체의 영세성, 양극화 현상이 문제점으로 지적되고 있고 있다(국회 예산정책처, 2020). 우리나라 소부장 산업의 50인 미만 사업체 비중은 2017년 80.1%에서 2022년 82.2%로 지속적으로 증가함에 따라 50인 미만 사업체의 기술 경쟁력 확보 및 생산성 향상을 위해서는 정부의 지원이 필요한 시점이다(오지환·정기호, 2012). 소부장 산업 현황을 종업원 규모별로 구분하여 살펴보면, 50인 미만 사업체의 경우 생산액과 부가가치액은 1구간 대비 2구간의 연평균증가율이 각각 10.9%, 5.3% 증가한 반면, 50인 이상 300인 미만 사업체는 각각 15.7%, 10.6%, 300인 이상 사업체는 17.7%, 13.6% 증가하였다. 세 그룹 모두 1구간 대비 2구간의 연평균증가율이 증가하였으며, 특히 종업원 규모가 클수록 1구간보다 2구간의 연평균증가율이 높게 나타났는데, 이는 종업원 규모에 따른 양극화 현상이 나타나고 있음을 추정해 볼 수 있는 결과이다.

〈표 2〉 소부장 산업의 종업원 규모별 현황(2017~2022)

(단위: 개, 명, 억 원, %)

구분		2017	2019	2020	2022	연평균증가율			
						전체	1구간	2구간	편차
50인 미만	사업체 수	23,064	23,603	24,250	24,829	1.5	1.2	1.2	0.0
	종업원 수	478,981	483,053	494,449	499,340	0.8	0.4	0.5	0.1
	부가가치액	501,920	525,075	558,451	646,215	5.2	2.3	7.6	5.3
	생산액	1,386,927	1,447,756	1,504,905	1,922,862	6.8	2.2	13.0	10.9
50인 이상	사업체 수	5,058	4,839	4,752	4,746	-1.3	-2.2	-0.1	2.1
	종업원 수	507,237	486,209	478,508	475,323	-1.3	-2.1	-0.3	1.8
	부가가치액	776,696	775,978	783,290	958,014	4.3	0.0	10.6	10.6
	생산액	2,431,579	2,382,139	2,327,872	3,059,323	4.7	-1.0	14.6	15.7
300인 이상	사업체 수	657	630	612	637	-0.6	-2.1	2.0	4.1
	종업원 수	450,919	458,754	454,213	479,870	1.3	0.9	2.8	1.9
	부가가치액	1,804,617	1,897,934	1,874,684	2,528,271	7.0	2.6	16.1	13.6
	생산액	4,510,009	4,596,063	4,633,548	6,523,399	7.7	0.9	18.7	17.7
전체 산업	사업체 수	28,779	29,072	29,614	30,212	1.0	0.5	1.0	0.5
	종업원 수	1,437,137	1,428,016	1,427,170	1,454,533	0.2	-0.3	1.0	1.3
	부가가치액	3,083,232	3,198,987	3,216,425	4,132,500	6.0	1.9	13.3	11.5
	생산액	8,328,515	8,425,957	8,466,325	11,505,584	6.7	0.6	16.6	16.0

자료: 국가통계포털(KOSIS), 소재부품장비산업동향조사, 각 연도, 2024.07.월 기준

주) (1구간) 2017 ~ 2019년, (2구간) 2020 ~ 2022년

앞서 살펴본 바와 같이 그간 우리나라 소부장 산업의 생산액과 부가가치액은 전반적으로 성장하고 있으나, 이를 종업원 규모별로 살펴보면 50인 미만 사업체의 부가가치액은 50인 이상 300인 미만, 300인 이상 사업체 대비 크게 낮은 수준으로 나타나 50인 미만 사업체의 생산성이 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

빠르게 변화하고 있는 글로벌 경제·사회·기술적 환경변화에 효과적으로 대응하고 소부장 산업의 양극화 현상 해소와 소부장 기업이 경영 효율성 기반으로 성장할 수 있도록 지원하기 위해서는 그간 추진된 소부장 산업의 경영성과를 점검하고 이에 따른 소부장 산업 및 기업을 지원하기 위한 지속가능한 체계 마련이 필요가 있다. 주요 선진국과의 첨단산업 선점을 위한 주도권 확보 경쟁에서 우위를 차지하기 위해서는 보유한 자원을 최대한 활용하여 우수한 성과가 창출될 수 있도록 생산성 향상을 위한 효율성 관리가 우선적 과제이며, 소부장 산업의 지속적인 경영활동이 산업의 생산 및 부가가치를 창출할 수 있는 선순환 구조가 마련되어야 한다. 이를 위해서는 객관적인 방법론을 통해 투입 대비 성과, 즉 효율성을 객관적인 방법론을 통해 진단할 필요가 있으며, 효율성 제고를 위한 지속적인 관리가 중요하다.

소부장 산업의 중요성이 증대됨에 따라 소부장 분야의 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 최근 진행된 소부장 분야 선행연구를 살펴보면, 법률·규제(박건우, 2024; 전지은, 2024), 국내 수출 경쟁력(김은영·서창배, 2023; 최두원, 2022), 지역 산업 경쟁력(김대중·고경호, 2020; 이나영·채성욱, 2023), R&D 및 기술혁신 활동(김경아, 2020; 이수지·김태운, 2015; 천동필 외, 2019) 등 소부장 산업에 대한 다양한 주제로 연구가 진행되었다. 하지만 효율성 제고의 중요성에도 불구하고 우리나라의 소부장 산업의 효율성을 다룬 연구(오지환·정기호, 2012; 이광배·김창범, 2013; 이상학 외, 2010)는 2010년 초를 중심으로 진행되어 왔으며, 특히 효율성 결정요인을 규명하거나 소부장 산업의 양극화 현상을 다룬 연구는 부족하였다.

본 연구는 산업통상자원부의 「소재·부품·장비산업동향조사」의 연도별 데이터를 이용하였다. 대표적인 효율성 측정 모형인 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 활용하여 우리나라 소부장 산업을 중분류 업종별로 구분하여 측정한 효율성 결과를 바탕으로 대분류 산업 및 중분류 업종, 종업원 규모별로 효율성을 비교하고, 비효율성 원인 분석, 효율성 결정요인 도출을 진행함으로써 우리나라 소부장 산업에서 투입된 자원에 대한 성과를 객관적인 방법론을 활용하여 분석하는 것을 목적으로 하였다. 분석 결과를 통해 소부장 산업의 생산성 향상을 위한 시사점을 제시하고자 하였으며, 본 연구의 분석 결과는 소부장 산업 내 양극화 현상 해소를 위한 증거 기반 정책을 수립할 시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 2장에서는 선행연구와 이론적 배경에 대해 기술하고, 3장에서는 연구 모형과 기본적인 가정에 대해 설명하였다. 4장에서는 분석 결과에 대해 기술하고, 5장에서는 연구 결과를 요약하고, 연구의 의의 및 한계점을 기술하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 선행연구 검토

국가적인 차원에서 산업 육성 및 지원 정책을 수립할 때 그간의 성과를 살펴보는 것은 필수적인 과정이다. 이에 산업에 투입된 자원 대비 산출된 성과를 객관적인 방법론을 활용하여 그간의 성과를 종합적으로 진단하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 효율성은 투입 대비 성과를 측정하는 대표적인 지표로서(하귀룡·최석봉, 2011), 산업 또는 기업의 투입 자원 대비 산출 성과를 진단하기 위해 유용한 지표이다. 공공 또는 민간 부문에서 효율성 제고 방안을 수립 시 효율성 결정요인을 규명하는 것은 중요한 과정 중 하나이다(과학기술정책연구원, 2009).

본 연구의 선행연구는 DEA 모형을 활용한 소부장 산업에 관한 연구와 기업 및 산업의 효율성 결정요인에 관한 연구로 구분할 수 있다. DEA 모형을 활용한 소부장 산업의 효율성에 관한 대표적인 주요 선행연구인 이상학 외(2010)의 연구는 부품소재전문기업의 2007년 기업 현황 및 경영성과를 기초로 경영효율성을 분석한 연구이다. 128개 기업을 대상으로 소재전문기업과 부품전문기업으로 구분하여 효율성을 분석하고, 지역 및 기업규모별 효율성 비교, 비효율성 원인 분석, 효율성 순위 분석 등을 진행하였다. 또한 투입변수와 산출변수를 독립변수로 설정하여 회귀분석을 진행함으로써 부품소재전문기업의 투입과 산출요소 개선방안을 도출했다는 것에 연구의 의의가 있으나, 한해의 데이터를 활용하여 시간 흐름에 따른 효율성 변화를 확인할 수 없었으며, 효율성 결정요인 분석은 이루어졌으나, 독립변수가 내부적인 요인으로 한정되어 진행되었다는 점에서 한계점이 존재하였다. 오지환·정기호(2012)의 연구는 부품소재산업을 영위하는 기업의 2009년도 재무제표를 기초로 경영효율성을 분석한 연구이다. 48개 기업을 대상으로 CCR 효율성과 BCC 효율성을 측정하고, 기업 및 업종별 규모 수익성 분석, 초효율성 분석 등을 진행하였다. 이를 통해 비효율적인 부품소재기업을 파악하고, 이들 기업들이 효율적인 기업이 되기 위해 참조할 집단을 제시했다는 것에 연구의 의의가 있으나, 부품소재기업의 시계열적인 효율성 변화를 파악할 수 없었으며, 비효율성 원인이나 어떤 요인이 효율성에 영향을

미치는지에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 이광배·김창범(2013)의 연구는 DEA/Window 모형 Malmquist 생산성 지수를 활용하여 1993년부터 2009년까지 17년간의 부품소재산업의 효율성을 분석한 연구이다. 부품소재산업 12개 업종의 정태적 효율성과 동태적 효율성, 동태적 생산성, 비효율성 원인 분석 등을 진행하였다. 특히 외환위기 이전과 이후로 구간을 구분하여 분석함으로써 외부 환경변화에 따른 효율성 변화를 살펴볼 수 있었다는 것에 연구의 의의가 있으나, 효율성 결정요인에 대한 분석이 부재하다는 점에서 한계점이 존재하였다.

그간 기업 및 산업의 효율성 결정요인에 관한 최근 선행연구를 살펴보면 다음과 같다. 박현준·안병일(2024)의 연구는 DEA 모형을 활용하여 해양바이오산업을 영위하는 기업의 효율성을 측정하고 기업연령, 종사자수, 해양바이오클러스터 위치 여부, R&D수행여부, 부채비율 등이 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석한 연구이다. 효율성 측정 결과를 바탕으로 결정요인을 도출함으로써 기업의 효율성 제고를 위한 방안을 제시했으나, 분석기간이 1개년으로 짧고 분석 대상 수가 25개로 적었다. 또한 기업 특성에 따른 비교 분석, 비효율성 원인 분석 등이 이루어지지 않았다는 점에서 한계점이 존재하였다. 정대운 외(2024)의 연구는 DEA 모형을 활용하여 전문 건설기업의 효율성을 측정하고, 기업 규모, 업력, 자본집약도, 시장점유율, 수출액 여부, 연구개발투자비 유무 등 12개의 독립변수가 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석한 연구이다. 분석 대상 수가 394개로 풍부하며, 효율성 결정요인을 업종별로 비교분석했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 분석기간이 1개년으로 짧고 소규모 기업에 대한 내용이 부재하며, 업종별 특성에 따른 비교 분석과 비효율성 원인 분석 등이 이루어지지 않았다는 점에서 한계점이 존재하였다.

DEA 모형을 활용한 소부장 분야 효율성에 관한 연구는 2010년 초를 중심으로 진행되었으며, 최근에 이루어진 연구는 부족한 실정이다. 특히 효율성 결정요인을 규명하는 것은 효율성 제고 방안 도출을 위한 중요한 과정임에도 불구하고(우청원·천동필, 2018), 소부장 산업의 효율성 결정요인에 관한 연구는 부족하였다. 최근 효율성 결정요인에 관한 연구는 시계열 분석, 그룹별 비교 분석, 비효율성 원인 분석 등이 부재하였다는 점에서 한계점이 존재하였다. 본 연구에서는 소부장 산업을 3대 산업, 16개 중분류 업종의 2017년부터 2022년까지 총 6년 간 효율성을 측정하고, 측정 결과를 바탕으로 대분류 산업, 중분류 업종, 종업원 규모 등 특성에 따른 비교 분석을 진행하였다. 또한 대분류 산업과 종업원 규모별로 구분하여 효율성 결정요인 분석은 진행하였다는 점에서 그간 선행연구와 차별성을 갖는다.

## 2. DEA 모형

일반적으로 효율성은 최소한의 투입으로 기대되는 산출을 얻는 것을 의미하는데, 투입 대비 산출의 비율로 계산되며 비율 값이 클수록 효율성이 높은 것으로 평가된다. 효율성은 다양한 방법으로 산출 가능한데, 선형계획법에 근거한 DEA 모형은 대표적인 효율성 분석 모형으로 많은 연구에 활용되고 있다. Charnes et al.(1978)이 개발한 DEA 모형은 상대적 효율성 측정 모형으로 다수의 투입변수와 산출변수를 활용하여 분석대상, 즉 의사결정단위(DMU)의 효율성을 측정할 수 있다(박만희, 2008). 또한 DEA 모형은 비모수적 수리 모형인 동시에 다른 분석 방법과 달리 변수 간의 함수적 관계를 가정하지 않아도 되는 장점이 존재한다(Farrell, 1957 ; Charnes et al., 1978 ; Seiford and Thrall, 1990).

DEA 모형은 규모수익에 대한 가정을 기준으로 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes) 모형과 BCC(Banker, Charnes and Cooper) 모형으로 구분된다. 규모수익이란 투입자원이 일정 비율로 유지되면서 증가할 때 생산량이 변화하는 것을 의미한다(박만희, 2008). CCR 모형은 규모수익 불변을 가정으로 하는 반면 BCC 모형은 규모수익 가변을 가정으로 한다. CCR 모형으로 측정된 효율성을 기술효율성(Technical Efficiency: TE), BCC 모형으로 측정된 효율성을 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency: PTE)이라고 하며, 기술효율성을 순수기술효율성으로 나눈 값을 규모효율성(Scale Efficiency: SE)라고 한다. 산출된 규모효율성은 순수기술 효율성과 비교하여 비효율성 원인 규명이 가능하다(이재성·김재일, 2014). DEA 모형의 기본이 되는 CCR 모형은 아래와 같은 식으로 설명될 수 있다.

$$\min \theta$$

$$\text{제약식 } \theta x_0 - X\lambda \geq 0$$

$$\theta y_0 - Y\lambda \leq 0$$

(수식1)

$\theta$ : DMU의 투입물 승수

$x_0, y_0$ : DMU의 투입물과 산출물 벡터

$X, Y$ : 전체 DMU의 투입물과 산출물 행렬

$\lambda$ : 가중치 벡터

### 3. 토빗 회귀분석

대표적인 효율성 측정 모형인 DEA를 통해 측정된 효율성 값은 0~1 값으로 산출되기 때문에 일반적인 최소자승법을 활용하여 회귀계수를 추정하면 편의가 발생하게 된다(McCarthy and Yaisawarng, 1993 ; Athanassopoulos and Triantis, 1998). 토빗 회귀분석은 Tobin (1958)에 의해 제안된 방법으로 종속변수가 양쪽으로 절단된 형태로 나타나는 경우 적합한 회귀 모형으로 중도절단 회귀분석으로 알려져 있다. 이에 토빗 회귀분석은 DEA 모형과 회귀모형을 활용한 연구에 적합한 방법이다(김현재·윤원철, 2006 ; 백철우·노민선, 2013).

토빗 회귀분석을 통해 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력을 해석할 수 있다. 효율성 결정요인 연구에서는 효율성 값이 종속변수가 되는데, 추정된 계수의 부호는 종속변수에 미치는 효과의 방향을 해석할 수 있는 정보를 제공하며(김성문·하헌구, 2017), 추정된 계수의 크기는 효과의 크기를 설명할 수 있다(한진석 외, 2011). 토빗 회귀분석은 잠재변수를 활용하여 계수를 추정하게 되는데 아래와 같은 식으로 설명될 수 있다.

$$y_i^* = X_i\beta + \epsilon_i, \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2_e), i = 1, 2, \dots, n$$

$y_i^*$ : 잠재변수

$X_i$ : 효율성 결정요인 변수 (수식2)

$\beta$ : 계수

$\epsilon_i$ : 오차 항

평균 0, 분산  $\sigma^2_e$ 인 정규분포 가정

## III. 연구 설계

### 1. 연구 모형

본 연구에서는 소부장 산업을 영위하는 사업체에 종사하는 종업원의 생산 활동을 통해 매출 및 부가가치가 창출되는 과정을 효율성으로 조작적으로 정의하였다. 2017년부터 2022년까지 16개 중분류의 업종별 효율성을 측정하고 비모수통계분석을 활용하여 대분류 산업, 중분류 업종, 종업원 규모별로 비교하고, 효율성에 영향을 주는 요인을 도출하고자 하였다.



[그림 1] 본 연구의 모형



## 2. 분석 대상

본 연구에서는 소부장 산업의 데이터를 수집하기 위해 산업통상자원부의 「소재·부품·장비산업동향조사」 데이터를 활용하였으며, 「소부장넷」 통계서비스를 통해 데이터를 확보하였다. 「소부장넷」에서는 소부장 산업에 대한 산업통계와 무역통계를 제공하고 있다. 산업통계에서는 품목별 연간 산업동향, 지역별 연간 산업동향, 종업원 규모별 연간 산업동향 정보를 제공하고 있으며, 사업체 수, 종업원 수, 부가가치액, 생산액, 출하액, 재고액 등 6개 세부 항목에 대한 데이터를 제공하고 있다. 본 연구에서는 산업통계 중 종업원 규모별 연간 산업동향 정보를 활용하였다.

본 연구의 분석 대상은 2017년부터 2022년까지 6년 간 축적된 소부장 산업의 16개 중분류 업종별 데이터를 수집함으로써 분석대상 선정의 적절성 확보하였다. DEA 모형을 활용하여 효율성 분석 결과의 변별력을 확보하기 위해 적정 수준의 DMU를 확보해야 한다. 주요 업종별 기준은 다르지만 일반적으로 10인 이상 50인 미만은 소기업, 50인 이상 300인 미만은 중기업, 300인 이상은 대기업으로 구분된다. 본 연구에서는 이를 준용하여 3개 그룹으로 구분하여 분석을 진행하였다. 본 연구에서는 총 16개 중분류, 6년 간 데이터를 종업원 규모에 따라 3개 그룹으로 분할하여 총 276개 데이터를 DMU로 설정함에 따라 충분한 자유도를 확보하였다. 300인

이상 그룹 중 제조로봇 자동화장비, 계측장비의 경우 조사된 값이 완전하지 않아 분석 대상에서 제외하였다.

〈표 3〉 3대 대분류 산업 및 16개 중분류 업종

대분류	중분류 업종 개수	중분류 업종의 명칭
소재 산업	5개	① 섬유제품, ② 화학물질 및 화학제품, ③ 고무 및 플라스틱제품, ④ 비금속 광물제품, ⑤ 1차 금속제품
부품 산업	6개	① 금속가공제품, ② 일반기계부품, ③ 전기장비부품, ④ 전자부품, ⑤ 정밀기기부품, ⑥ 수송기계부품
장비 산업	5개	① 정밀가공장비, ② 산업공정장비, ③ 반도체·디스플레이장비, ④ 제조로봇 자동화장비, ⑤ 계측장비

## 2. 분석 모형 및 변수 설정

### 1) DEA 모형 설정

투입되는 요소를 중심으로 분석하는지 산출되는 요소를 중심으로 분석하는지에 따라 투입 중심 DEA 모형과 산출 중심 DEA 모형을 선택할 수 있다. DEA 모형을 설정할 때는 연구의 목적이나 연구자의 의도 중심으로 선행연구를 참고하여 설정하게 된다. 본 연구에서는 투입변수로서 사업체 수와 종업원 수를 활용함에 따라 투입되는 요소를 최소화하기 보다는 투입되는 자원을 바탕으로 최대의 성과를 산출하기 위한 것을 기본 전제로 설정하여 산출 중심 모형을 활용하였다.

### 2) 효율성 분석 변수 선정

분석 변수를 선정하는 과정은 효율성 측정을 위한 중요한 절차 중 하나이다(최석봉·하귀룡, 2013 ; 이철행·조근태, 2014). 연구 목적에 부합하는 변수를 선정함으로써 분석 결과의 신뢰성을 확보할 수 있다. 선행연구를 참고하여 적절한 변수를 선정하는 것이 일반적인 방법이다. 본 연구에서는 「소부장넷」에서 확보 가능한 데이터 항목과 선행연구에서 활용된 변수를 기초로 투입 및 산출변수를 선정함으로써 변수 선정의 타당성을 확보하였다. 「소부장넷」에서는 사업체 수, 종업원 수, 부가가치액, 생산액, 출하액, 재고액 등 6개 항목에 대한 데이터를 제공하고 있다.

본 연구의 투입변수는 사업체 수와 종업원 수로 선정하였다. 사업체 수는 대표적인 소부장



분야 효율성 연구(이광배·김창범, 2013)에서는 활용된 바 있다. 종업원 수는 기업의 혁신 역량을 측정하는 대리변수로서 선행연구에서 투입변수로 활용된 바 있으며(김경아, 2021), 소부장 분야 선행연구(오지환·정기호, 2012 ; 이상학 외, 2010)에서 활용된 바 있다. 산출변수는 「소부장 넷」에서 제공하는 성과에 해당하는 변수로 부가가치액과 출하액을 선정하였는데, 이들 변수는 선행연구에서 활용된 매출액, 영업이익 등의 대용변수로 이해할 수 있다. 또한 출하액은 광업·제조업조사 결과 공표 시에도 사용되는 주요한 변수이다.

〈표 4〉 효율성 분석 변수

유형	변수명	단위	설명
투입변수	사업체 수	개	• 소부장 산업에 해당하는 각 중분류의 당해연도 사업체 수
	종업원 수	명	• 소부장 산업에 해당하는 각 중분류의 당해연도 종업원 수
산출변수	부가가치액	억 원	• 소부장 산업에 해당하는 각 중분류의 당해연도 부가가치액
	출하액	억 원	• 소부장 산업에 해당하는 각 중분류의 당해연도 출하액

### 3) 효율성 결정요인 변수

효율성 결정요인 변수는 종업원, 부가가치 관점에서 독립변수를 선정하였다. 종업원 비중은 산업의 규모 측면에서 각 중분류 업종이 전체 소부장 산업에 어느 정도 기여하고 있는지 측정하기 위해 활용하였다. 부가가치액 비중은 각 중분류 업종의 생산액 중 부가가치액의 비중을 의미한다. 사업체당 부가가치액, 종업원당 부가가치액은 통계청의 광업·제조업조사에서 활용되는 대표적인 지표로서 각 중분류 업종의 단위당 생산성을 측정하기 위해 활용하였다. 종업원당 중간투입비는 생산 후 부가가치를 창출하기까지 투입되는 비용으로 원재료비, 전력비, 용수비, 외주가공비, 수선비, 연료비 등을 합한 값을 의미한다.

〈표 5〉 효율성 결정요인 변수

변수명	단위	산식
종업원 비중	%	• 중분류 업종 종업원 수 ÷ 소부장 산업 전체 종업원 수 × 100
부가가치액 비중	%	• 당해연도 부가가치액 ÷ 당해연도 생산액 × 100
사업체당 부가가치액	억 원	• 당해연도 부가가치액 ÷ 당해연도 사업체 수
종업원당 부가가치액	억 원	• 당해연도 부가가치액 ÷ 당해연도 종업원 수
종업원당 중간투입비	억 원	• 당해연도 중간투입비 ÷ 당해연도 종업원 수

IV. 분석 결과

1. 기초분석

1) 기술통계

사업체 수, 종업원 수, 부가가치액 및 출하액은 부품 → 소재 → 장비 산업 순으로 높게 나타났다. 소재 산업의 경우 사업체 수는 50인 미만 그룹이 가장 높은 반면 종업원 수는 50인 이상 그룹이 가장 높았다. 부가가치액, 출하액은 300인 이상 그룹이 가장 높고 50인 미만 그룹이 가장 낮게 나타났다. 부품 산업의 경우 사업체 수는 50인 미만 그룹이 가장 높은 반면 종업원 수, 부가가치액, 출하액은 300인 이상 그룹이 가장 높고 50인 미만 그룹이 가장 낮게 나타났다. 장비 산업의 경우 사업체 수와 종업원 수는 50인 미만 그룹이 가장 높게 나타났으며, 부가가치액과 출하액은 50인 이상 그룹이 가장 높고 300인 이상 그룹이 가장 낮게 나타났다.

〈표 6〉 기술통계량(투입 및 산출변수)

구분	사업체 수(개)	종업원 수(명)	부가가치액(억 원)	출하액(억 원)
소재 산업	46,965	2,204,267	5,676,108	20,656,849
50인 미만	37,763	769,701	1,022,935	3,216,197
50인 이상	8,046	809,806	1,953,938	6,652,641
300인 이상	1,156	624,760	2,699,235	10,788,011
부품 산업	108,651	5,706,644	13,954,947	31,942,292
50인 미만	88,004	1,817,362	1,894,734	5,156,690
50인 이상	18,256	1,838,888	2,560,806	7,512,771
300인 이상	2,391	2,050,394	9,499,407	19,272,831
장비 산업	20,782	712,415	1,127,579	2,813,608
50인 미만	17,715	345,406	420,523	1,005,454
50인 이상	2,832	270,818	457,739	1,164,628
300인 이상	235	96,191	249,317	643,526

주) 2017 ~ 2022년 데이터, 기술통계량 값은 합계

종업원 비중, 사업체당 부가가치액은 부품 → 소재 → 장비 산업 순으로 높은 경향을 확인할 수 있다. 종업원당 부가가치액은 소재 → 부품 → 장비 산업 순으로 높게 나타났으며, 부가가치액 비중, 종업원당 중간투입비는 장비 → 부품 → 소재 산업 순으로 높은 경향을 보였다. 사업체당 부가가치액, 종업원당 부가가치액, 종업원당 중간투입비는 모두 300이상 그룹, 50인 이상 그룹,

50인 미만 그룹 순으로 높게 나타났다. 종업원 비중, 부가가치액 비중은 산업별로 종업원 규모에 따라 다른 경향을 보였다. 출하액 중 부가가치액의 비중이 높다는 것은 제조 과정에서 투입되는 비용의 비중이 상대적으로 낮다는 것을 의미하는데, 장비 산업의 경우 50인 미만 그룹의 부가가치액 비중이 상대적으로 높게 나타난 것은 종업원 규모가 작은 사업체에서 제조 과정 상 중간 투입비용이 적다는 것으로 해석할 수 있다.

〈표 7〉 기술통계량(결정요인 변수)

구분	종업원 비중(%)	부가가치액 비중(%)	사업체당 부가가치액(억 원)	종업원당 부가가치액(억 원)	종업원당 중간투입비(억 원)
소재 산업	5.10	34.21	674.0	2.33	0.33
50인 미만	5.25	34.39	26.9	1.33	0.44
50인 이상	5.55	33.40	210.3	2.10	0.32
300인 이상	4.51	34.84	1,784.8	3.56	0.23
부품 산업	11.05	36.88	931.2	1.76	0.42
50인 미만	10.33	37.81	21.6	1.04	0.60
50인 이상	10.50	36.37	136.4	1.39	0.43
300인 이상	12.33	36.45	2,635.7	2.86	0.23
장비 산업	1.89	40.00	286.2	1.65	0.47
50인 미만	2.36	42.54	24.2	1.23	0.63
50인 이상	1.86	39.28	147.0	1.58	0.44
300인 이상	1.16	36.96	954.9	2.47	0.27

주) 2017 ~ 2022년 데이터, 기술통계량 값은 평균값

## 2) 변수 간 상관분석

DEA 분석에서 변수 선정의 타당성을 갖기 위해서는 투입변수와 산출변수 간 일정한 양의 상관관계가 필요하다. 사업체 수와 산출변수 간에는 음의 상관관계를 보였으나, 통계적으로 유의미한 수준이 아니며, 종업원 수와 산출변수 간에는 0.8 이상의 높은 양의 상관관계를 보여 변수 선정이 타당한 것으로 판단하였다.

〈표 8〉 변수 간 상관분석

구분		투입변수			
		사업체 수	p value	종업원 수	p value
산출변수	부가가치액	-0.0358	0.5534	0.8326	2.2e-16***
	출하액	-0.0383	0.5262	0.8223	2.2e-16***

주) \*\*\* < 0.01, \*\* < 0.05%, \* < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

### 3. 효율성 분석

#### 1) 연도별 효율성 변화

2017년부터 2022년까지의 소부장 산업의 효율성은 0.285로 71.5%의 비효율성이 존재하는 것으로 나타났다. 산업별로 살펴보면, 소재 산업은 0.354(64.6%), 부품 산업은 0.255(74.5%), 장비 산업은 0.248(75.2%)으로 나타나 장비 → 부품 → 소재 산업 순으로 비효율성이 가장 높게 나타났다. 각 산업의 효율성 변화를 구간별로 살펴보면 2017~2019년 대비 2020~2022년 효율성이 각각 5.2%, 5.6%, 5.4% 증가하여 비효율성이 개선되고 있음을 확인할 수 있다. 종업원 규모별로 살펴보면 50인 미만 그룹은 0.164(83.6%), 50인 이상 그룹은 0.242(75.8%), 300인 이상 그룹은 0.474(52.6%)로 종업원 규모가 작을수록 비효율성이 높게 나타났다. 효율성 변화를 구간별로 살펴보면 2017~2019년 대비 2020~2022년 효율성이 각각 4.2%, 6.1%, 5.6% 증가하여 비효율성이 개선되고 있음을 확인할 수 있다. 이는 2020년 코로나19의 영향으로 산업 전반에 걸쳐 내수와 수출이 감소하는 등 산업 경기가 둔화되었음에도 불구하고 소부장 산업의 효율성이 증가한 것은 2019년 이후 「소재·부품·장비 경쟁력 강화대책」(19.8월), 「소재·부품·장비 2.0전략」(20.7월)」 등 정부가 적극적으로 소부장 정책을 펼친 영향이 있을 것으로 추정해 볼 수 있다.

〈표 9〉 소재·부품·장비 산업의 효율성 변화(2017~2022)

(단위: %)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	평균	연평균 증가율		증가율 변화 (c=b-a)
								'17~'19 (a)	'20~'22 (b)	
소재 산업	0.321	0.324	0.312	0.354	0.373	0.443	0.354	-1.5	11.9	5.2
50인 미만	0.163	0.165	0.166	0.176	0.195	0.213	0.180	0.8	10.1	4.6
50인 이상	0.263	0.278	0.263	0.272	0.323	0.358	0.293	0.0	14.8	8.5
300인 이상	0.536	0.530	0.506	0.614	0.601	0.758	0.591	-2.9	11.1	3.9
부품 산업	0.233	0.241	0.234	0.245	0.275	0.300	0.255	0.2	10.7	5.6
50인 미만	0.132	0.136	0.139	0.144	0.156	0.170	0.146	2.6	8.6	3.5
50인 이상	0.191	0.191	0.201	0.196	0.215	0.236	0.205	2.4	9.7	5.4
300인 이상	0.376	0.396	0.363	0.394	0.454	0.494	0.413	-1.8	12.0	6.4
장비 산업	0.256	0.246	0.237	0.235	0.250	0.265	0.248	-3.8	6.1	5.4
50인 미만	0.175	0.174	0.162	0.168	0.160	0.187	0.171	-3.9	5.6	4.2
50인 이상	0.254	0.238	0.212	0.229	0.232	0.239	0.234	-8.7	2.3	3.5
300인 이상	0.394	0.382	0.405	0.358	0.432	0.437	0.401	1.3	10.4	8.4
전체 산업	0.268	0.270	0.260	0.278	0.300	0.337	0.285	-1.5	10.1	5.5
50인 미만	0.155	0.157	0.155	0.161	0.170	0.189	0.164	-0.2	8.2	4.2
50인 이상	0.234	0.233	0.224	0.230	0.254	0.275	0.242	-2.1	9.4	6.1
300인 이상	0.437	0.441	0.423	0.465	0.501	0.576	0.474	-1.7	11.3	5.6

## 2) 효율성 비교

### (1) 정규성 검정 및 비모수통계검정

본 연구에서는 소부장 산업의 중분류 업종과 종업원 규모별로 효율성을 비교하기 위해 앞서 모집단의 정규성 검정을 진행하였다. Shapiro Wilk Test를 통해 정규성 검정 결과, 모든 그룹의 정규성이 기각되었다. 앞서 정규성이 기각됨에 따라 효율성 비교를 위해 비모수통계검정 방법인 Kruskal Wallis Test를 활용하여 그룹 간 효율성 차이를 검정하였다. 분석 결과, 중분류 업종별 효율성은 통계적으로 유의미한 차이를 확인할 수 있었다.

〈표 10〉 Shapiro Wilk Test 및 Kruskal Wallis Test

구분	Shapiro Wilk Test	구분	Kruskal Wallis Test
W	0.7012	chi squared	61.253
p value	2.2e-16***	p value	1.5e-07***

주) \*\*\* < 0.01, \*\* < 0.05%, \* < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

### (2) 중분류 업종별 효율성 비교

16개 중분류 업종의 효율성을 종업원 규모별로 구분하여 살펴본 결과, 50인 미만 그룹의 효율성은 0.164, 50인 이상 그룹은 0.242, 300인 이상 그룹은 0.474로 나타나 50인 미만 그룹의 경우 300인 이상 그룹의 1/2도 안 되는 수준으로 나타나 종업원 규모에 따른 효율성 편차가 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 소재 산업의 ① 섬유제품, ② 화학물질 및 화학제품, ⑤ 1차 금속제품, 부품 산업의 ④ 전자부품, 장비 산업의 ① 정밀가공장비 업종 등 300인 이상 그룹의 상위 5위 업종 중심으로 효율성 편차가 큰 경향을 보였다.

〈표 11〉 대분류 산업 및 중분류 업종별 효율성 비교

대분류	중분류	50인 미만		50인 이상		300인 이상		표준 편차
		PTE	순위	PTE	순위	PTE	순위	
소재 산업	① 섬유제품	0.134	16	0.154	16	0.518	5	0.176
	② 화학물질 및 화학제품	0.241	1	0.567	1	0.925	1	0.279
	③ 고무 및 플라스틱제품	0.140	13	0.182	14	0.287	11	0.062
	④ 비금속 광물제품	0.157	7	0.230	7	0.404	6	0.104
	⑤ 1차 금속제품	0.227	2	0.331	2	0.821	3	0.259
부품 산업	① 금속가공제품	0.140	12	0.180	15	0.266	13	0.052
	② 일반기계부품	0.157	8	0.195	10	0.261	14	0.043
	③ 전기장비부품	0.137	15	0.211	8	0.387	7	0.105

대분류	중분류	50인 미만		50인 이상		300인 이상		표준 편차
		PTE	순위	PTE	순위	PTE	순위	
	④ 전자부품	0.140	14	0.183	13	0.866	2	0.333
	⑤ 정밀기기부품	0.142	11	0.184	12	0.344	10	0.087
	⑥ 수송기계부품	0.161	6	0.280	4	0.352	9	0.079
장비 산업	① 정밀가공장비	0.149	10	0.195	9	0.561	4	0.184
	② 산업공정장비	0.149	9	0.186	11	0.270	12	0.051
	③ 반도체·디스플레이장비	0.197	4	0.250	5	0.373	8	0.074
	④ 제조로봇 자동화장비	0.199	3	0.301	3	-	-	0.051
	⑤ 계측장비	0.162	5	0.237	6	-	-	0.038
	평균	0.164	-	0.242	-	0.474	-	-

## 4. 비효율성 원인 분석

### 1) 대분류 산업별 비효율성 원인

일반적으로 DEA 모형으로 효율성 분석 시 PTE와 SE를 비교하여 비효율성 원인에 대한 추정  
이 가능하다. 상대적으로 SE가 작으면 생산 규모 측면에서 비효율성이 발생하여 투입자원을  
확대함으로써 이를 해소할 수 있다. 반면, PTE가 작으면 기술적 측면에서 비효율성 원인이 발생  
하여 투입물이 산출물로 전환되는 과정을 개선함으로써 이를 해소할 수 있다. PTE와 SE 간  
편차가 클수록 효율성 개선의 우선순위가 높음으로 해석해볼 수 있다. 본 연구에서는 전체 소부  
장 산업을 대분류 산업 단위에서 종업원 규모별로 비효율성 원인을 비교하기 위해 PTE와 SE는  
각각 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 후 분석을 진행하였다.

소재 산업과 장비 산업은 50인 미만, 50인 이상 그룹은 기술적 측면에서 비효율성이 발생하였  
으나, 300인 이상 그룹은 생산 규모 측면에서 비효율성이 발생하는 경향이 나타났다. 반면 부품  
산업은 50인 미만 그룹은 기술적 측면에서 비효율성이 발생하였으나, 50인 이상 그룹과 300인  
이상 그룹은 생산 규모 측면에서 비효율성이 발생하는 경향이 나타났다.

종업원 규모별로 살펴보면, 50인 미만의 소부장 산업은 기술적 측면에서 비효율성 원인이  
존재하였는데, 이는 사업체와 종업원 수가 투입되어 많은 부가가치와 출하액을 창출시키는 과정  
상에서 비효율성이 발생하고 있음을 추정할 수 있는 결과이다. 반면, 300인 이상의 소부장 산업  
은 생산 규모 측면에서 비효율성 원인이 존재하였다. 이는 300인 이상의 사업체와 종업원 수를  
확대하기 위한 방안을 통해 효율성 개선이 가능한 것으로 해석해 볼 수 있다.

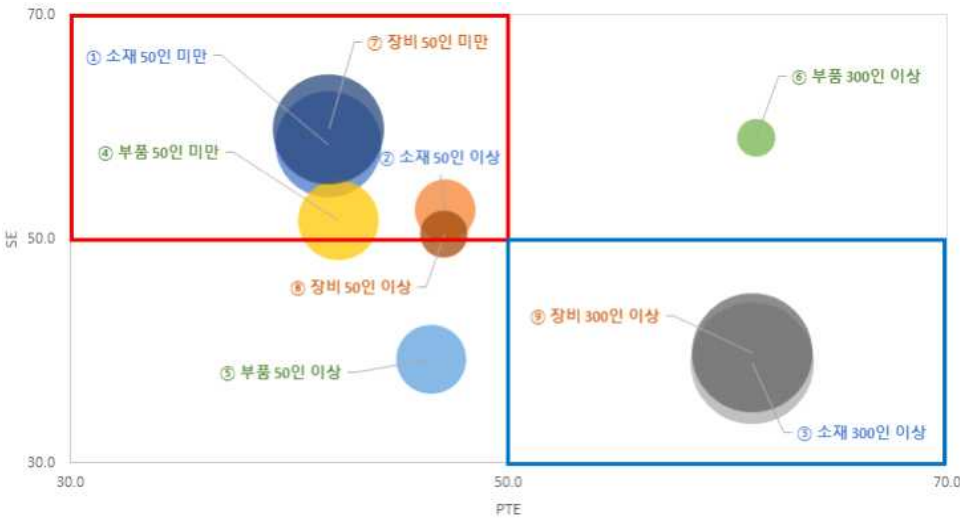
〈표 12〉 대분류 산업의 종업원 규모별 비효율성 원인 비교

대분류	소재 산업				부품 산업				장비 산업			
	PTE	SE	편차	원인	PTE	SE	편차	원인	PTE	SE	편차	원인
50인 미만	41.8	58.4	16.7	기술	42.2	51.7	9.4	기술	41.8	59.8	18.0	기술
50인 이상	47.1	52.6	5.5	기술	46.5	39.3	7.2	규모	47.1	50.4	3.3	기술
300인 이상	61.1	39.0	22.2	규모	61.3	59.1	2.2	규모	61.1	39.8	21.3	규모
평균	50	50	-	-	50	50	-	-	50	50	-	-
표준편차	10	10	-	-	10	10	-	-	10	10	-	-

주) PTE, SE는 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 값

앞서 도출된 PTE와 SE를 각각 X축과 Y축으로 구성하고 PTE와 SE 간 편차를 버블 크기로 설정하여 분석 결과를 매트릭스 형태로 시각화하였다. 매트릭스 상 2사분면에 위치할수록 비효율성 원인이 기술적 측면에서 발생한 것으로 해석되며 4사분면에 위치할수록 비효율성 원인이 생산 규모 측면에서 발생한 것으로 해석해볼 수 있다. 50인 미만 소재 산업과 장비 산업은 2사분면에 위치하여 기술적 측면에서 비효율성이 존재하고 있음을 시각적으로 확인할 수 있다. 반면 300인 이상 소재 산업과 장비 산업의 경우 4사분면에 위치하여 생산 규모 측면에서 비효율성 원인이 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 버블 크기가 상대적으로 큰 산업은 효율성 개선의 우선 순위가 높은 산업으로 이해할 수 있다.

〔그림 2〕 종업원 규모별 비효율성 원인 매트릭스



주1) X 축: PTE, Y 축: SE, 버블 크기: PTE와 SE의 편차

주2) PTE, SE는 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 값

2) 중분류 업종별 비효율성 원인

중분류 업종별로 비효율성 원인을 분석한 결과, 소재 산업의 경우 50인 미만 그룹은 ① 섬유제품, 50인 이상 그룹은 ② 화학물질 및 화학제품, 300인 이상 그룹은 ③ 고무 및 플라스틱제품 업종의 효율성 편차가 높게 나타났다. 부품 산업의 50인 미만 및 50인 이상 그룹은 ⑥ 수송기계부품, 300인 이상 그룹은 ② 일반기계부품 업종의 편차가 높게 나타났다. 장비 산업의 50인 미만 및 50인 이상 그룹은 ④ 제조로봇 자동화장비, 300인 이상 그룹은 ① 정밀가공장비 업종의 효율성 편차가 높게 나타났다. 이들 업종은 각 산업의 중분류 업종 관점에서 효율성 개선의 우선순위가 높은 업종으로 해석된다.

〈표 13〉 중분류 업종의 종업원 규모별 비효율성 원인 비교

구분		50인 미만				50인 이상				300인 이상			
		PTE	SE	편차	원인	PTE	SE	편차	원인	PTE	SE	편차	원인
소재 산업	①	39.8	60.1	20.2	기술	40.7	56.2	15.5	기술	47.0	30.2	16.8	규모
	②	63.6	50.8	12.8	규모	68.3	33.7	34.6	규모	63.7	55.7	8.0	규모
	③	41.1	32.7	8.5	규모	42.6	46.9	4.3	기술	37.5	55.4	17.9	기술
	④	45.0	47.1	2.0	기술	45.8	49.5	3.7	기술	42.4	52.4	10.1	기술
	⑤	60.4	59.4	1.0	규모	52.5	63.7	11.2	기술	59.4	56.3	3.1	규모
부품 산업	①	44.4	51.7	7.3	기술	43.5	57.8	14.3	기술	43.6	54.5	11.0	기술
	②	60.9	39.3	21.6	규모	47.2	51.4	4.2	기술	43.3	56.6	13.3	기술
	③	41.1	49.0	8.0	기술	51.4	48.0	3.4	규모	48.9	57.0	8.2	기술
	④	43.7	62.6	19.0	기술	44.1	55.6	11.6	기술	69.9	57.2	12.7	규모
	⑤	45.5	59.1	13.6	기술	44.3	56.2	11.9	기술	47.0	34.9	12.1	규모
	⑥	64.4	38.2	26.2	규모	69.5	30.9	38.6	규모	47.3	39.7	7.6	규모
장비 산업	①	40.1	55.5	15.4	기술	40.7	47.3	6.6	기술	63.3	40.6	22.7	규모
	②	40.2	58.5	18.3	기술	38.4	60.6	22.2	기술	39.1	45.6	6.5	기술
	③	61.3	57.0	4.3	규모	53.9	61.7	7.8	기술	47.6	63.8	16.2	기술
	④	62.6	31.5	31.1	규모	66.2	35.2	31.1	규모	-	-	-	-
	⑤	45.8	47.5	1.7	기술	50.8	45.2	5.5	규모	-	-	-	-

주) PTE, SE는 대분류 산업별로 평균 50, 표준편차 100이 되도록 표준화한 값

※ 소재: ① 섬유제품 ② 화학물질 및 화학제품 ③ 고무 및 플라스틱제품 ④ 비금속 광물제품 ⑤ 1차 금속제품

※ 부품: ① 금속가공제품 ② 일반기계부품 ③ 전기장비부품 ④ 전자부품 ⑤ 정밀기기부품 ⑥ 수송기계부품

※ 장비: ① 정밀가공장비 ② 산업공정장비 ③ 반도체·디스플레이장비 ④ 제조로봇 자동화장비 ⑤ 계측장비

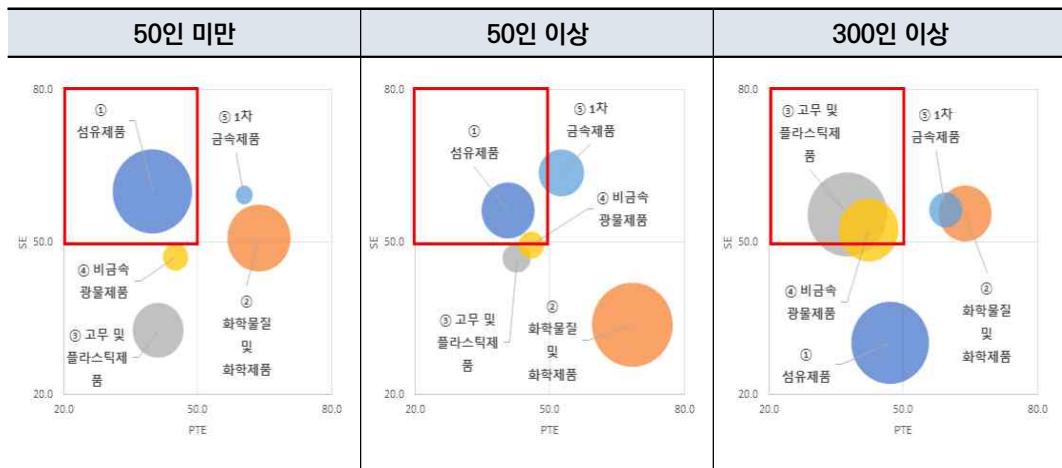


### 3) 중분류 업종별 비효율성 원인 매트릭스

중분류 업종별 비효율성 원인 분석 결과는 앞서 진행한 효율성 비교 결과와 비교해서 해석해볼 수 있다. 비효율성이 생산 규모 측면에서 발생하는 업종 대부분은 앞서 효율성이 상대적으로 높은 업종에 해당하였다. 따라서 이들 업종 중 효율성이 상대적으로 낮고 기술적 측면에서 비효율성 원인이 발생한 업종이 효율성 개선의 우선순위가 높은 업종으로 이해할 수 있다. 비효율성 원인이 기술적 측면에서 발생하는 경우 2사분면에 위치한다. 중분류 업종별 비효율성 원인 분석 결과를 종업원 규모별로 구분하여 매트릭스를 구성하여 시각적으로 확인해 보았다.

소재 산업은 50인 미만 그룹과 50인 이상 그룹의 ① 섬유제품, 300인 이상 그룹의 ③ 고무 및 플라스틱제품, ④ 비금속 광물제품 업종이 2사분면에 위치하여 기술적 측면에서 효율성 개선의 우선순위가 높은 것으로 해석할 수 있다.

[그림 3] 소재 산업 종업원 규모별 비효율성 원인 매트릭스

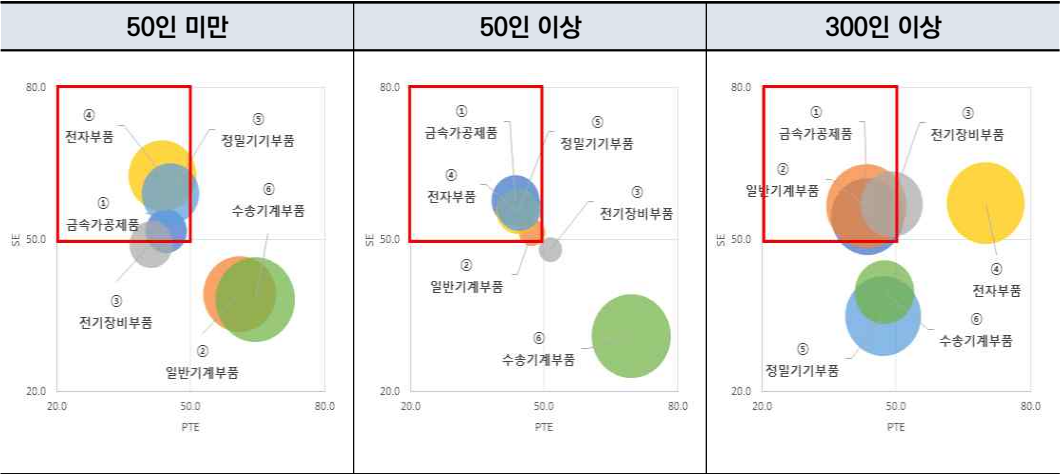


주1) X 축: PTE, Y 축: SE, 버블 크기: PTE와 SE의 편차

주2) PTE, SE는 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 값

부품 산업은 50인 미만 그룹의 ① 금속가공제품, ④ 전자부품, ⑤ 정밀기기부품, 50인 이상 그룹의 ① 금속가공제품, ② 일반기계부품, ④ 전자부품, ⑤ 정밀기기부품, 300인 이상 그룹의 ① 금속가공제품, ② 일반기계부품, ③ 전기장비부품 업종이 2사분면에 위치하여 기술적 측면에서 효율성 개선의 우선순위가 높은 것으로 해석할 수 있다.

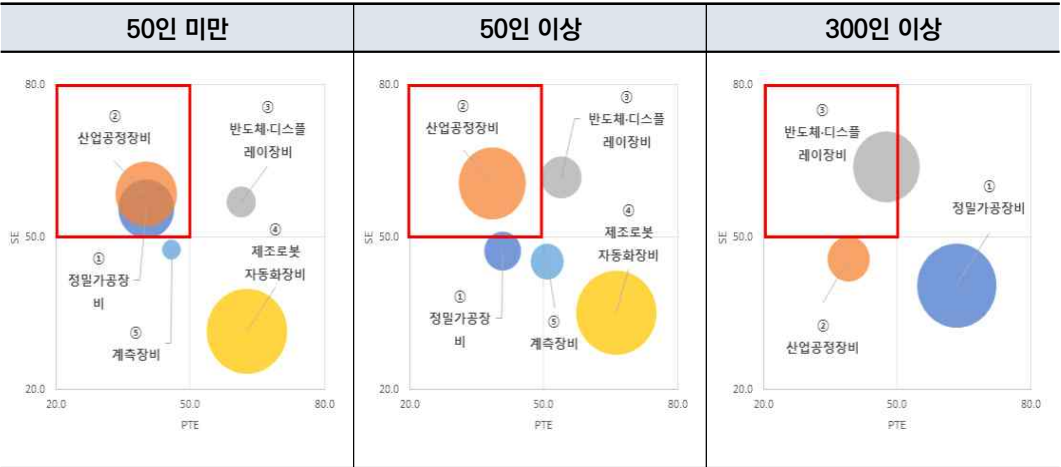
[그림 4] 부품 산업 종업원 규모별 비효율성 원인 매트릭스



주1) X 축: PTE, Y 축: SE, 버블 크기: PTE와 SE의 편차  
주2) PTE, SE는 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 값

장비 산업은 50인 미만 그룹의 ① 정밀가공장비 ② 산업공정장비, 50인 이상 그룹의 ② 산업공정장비, 300인 이상 그룹의 ③ 반도체·디스플레이장비 업종이 2사분면에 위치하여 기술적 측면에서 효율성 개선의 우선순위가 높은 것으로 해석할 수 있다.

[그림 5] 장비 산업 종업원 규모별 비효율성 원인 매트릭스



주1) X 축: PTE, Y 축: SE, 버블 크기: PTE와 SE의 편차  
주2) PTE, SE는 평균 50, 표준편차 10이 되도록 표준화한 값

중분류 업종별 비효율성 원인 매트릭스 분석 결과를 정리해보면, 소재 산업은 섬유제품(50인 미만, 50인 이상), 고무 및 플라스틱제품(300인 이상) 업종이 효율성 개선의 우선순위가 높게 나타났다. 부품 산업은 종업원 규모별로 상이하게 나타났는데, 전자부품(50인 미만), 금속가공 제품(50인 이상), 일반기계부품(300인 이상)의 우선순위가 높게 나타났다. 장비 산업은 산업공정장비(50인 미만, 50인 이상), 반도체·디스플레이장비(300인 이상) 업종의 우선순위가 높게 나타났다. 이를 통해 소부장 산업의 효율성 제고를 위해서는 대분류 산업뿐만 아니라 종업원 규모를 고려할 필요가 있음을 실증적으로 확인할 수 있다.

## 5. 효율성 결정요인 비교 분석

소부장 산업의 효율성 결정요인을 도출하기 위해 대분류 산업별, 종업원 규모별로 구분하여 분석을 진행하였다. 일반적으로 종속변수와 독립변수 간 높은 상관성을 보이는 경우, 다중공선성 문제가 나타난다. 다중공선성은 분산팽창요인(Variance Inflation Factor)으로 진단 가능하며, 가장 많이 활용되는 진단 방법이다(박승준·김대철, 2018). 분산팽창계수는  $1/(1-R^2)$ 로 측정되는데 독립변수의 선형관계로 인해 회귀모형의 추정계수의 분산의 크기를 추정하여 산출한다. 선행연구에서는 분산팽창요인의 경우 10을 초과하는 경우 다중공선성이 존재하는 것으로 해석한 바 있다(Marquardt, 1970).

대분류 산업별 분석 결과, 소재 산업과 장비 산업은 다중공선성에 문제가 없는 것으로 나타났으며, 부품 산업은 다중공선성 문제가 발생하여 해당 변수를 제외하고 분석을 진행하였다. 소재 산업의 경우 종업원당 중간투입비, 종업원 비중은 효율성에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 종업원당 부가가치액, 사업체당 부가가치액은 정(+)의 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 부품 산업은 종업원당 중간투입비만이 효율성에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 부가가치액 비중, 사업체당 부가가치액은 정(+)의 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 장비 산업의 경우 종업원당 부가가치액, 종업원당 중간투입비가 효율성에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타난 반면 종업원 비중, 부가가치액 비중은 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

종업원당 중간투입비는 소재 산업과 부품 산업의 효율성에 부(-)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 종업원당 부가가치액은 장비 산업과 소재 산업의 효율성에 정(+)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 종업원 비중은 소재 산업과 장비 산업의 효율성에 부(-)의 영향을 주는 요인으로 나타난 반면, 종업원당 부가가치액은 소재 산업

과 장비 산업의 효율성에 정(+)의 영향을 주는 요인으로 나타났다. 사업체당 부가가치액은 모든 산업에서 통계적으로 유의미하게 나타났으나, 그 영향력은 미미한 것으로 나타났다.

〈표 14〉 효율성 결정요인 분석 결과(대분류별 모형)

결정요인	소재 산업			부품 산업			장비 산업		
	Esti.	Std. Err	p value	Esti.	Std. Err	p value	Esti.	Std. Err	p value
종업원 비중	-0.012	0.004	0.005***	0.000	0.001	0.397	-0.013	0.001	0.000***
부가가치액 비중	-0.001	0.002	0.469	0.004	0.001	0.001***	-0.005	0.001	0.000***
사업체당 부가가치액	0.000	0.000	0.000***	0.000	0.000	0.000***	0.000	0.000	0.023**
종업원당 부가가치액	0.096	0.014	0.000***	-	-	-	0.200	0.009	0.000***
종업원당 중간투입비	-0.275	0.114	0.016**	-0.406	0.041	0.000***	0.139	0.032	0.000***

주) \*\*\* < 0.01, \*\* < 0.05%, \* < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

※ 소재 산업: Log-likelihood: 81.4265 on 173 degrees of freedom

※ 부품 산업: Log-likelihood: 204.8186 on 210 degrees of freedom

※ 장비 산업: Log-likelihood: 196.8598 on 149 degrees of freedom

종업원 규모별 분석 결과, 다중공선성 문제가 발생하는 변수를 제외함으로써 다중공선성을 해소한 후 분석을 진행하였다. 50인 미만 그룹의 경우 종업원당 중간투입비와 종업원 비중이 효율성에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 사업체당 부가가치액은 정(+)의 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 50인 이상 그룹의 경우 종업원당 부가가치액이 효율성에 정(+)의 영향을 미치는 반면 종업원당 중간투입비는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 300인 이상 그룹의 경우 종업원당 부가가치액과 종업원당 중간투입비가 효율성에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

종업원당 중간투입비는 50인 미만 그룹과 50인 이상 그룹, 즉 300인 미만 그룹의 효율성에 부(-)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 종업원당 부가가치액은 50인 이상 그룹과 300인 이상 그룹의 효율성에 정(+)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 종업원 비중은 50인 미만 그룹의 효율성에 부(-)의 영향을 주는 요인으로 나타난 반면, 50인 이상 그룹과 300인 이상 그룹의 효율성에는 정(+)의 영향을 주는 요인으로 나타났다. 사업체당 부가가치액은 50인 미만 그룹에서만 유의미하게 나타났으며, 효율성에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈표 15〉 효율성 결정요인 분석 결과(종업원 규모별 모형)

결정요인	50인 미만			50인 이상			300인 이상		
	Esti.	Std. Err	p value	Esti.	Std. Err	p value	Esti.	Std. Err	p value
종업원 비중	-0.001	0.000	0.023**	0.001	0.001	0.011**	0.001	0.001	0.015**
부가가치액 비중	-	-	-	-	-	-	-0.001	0.001	0.324
사업체당 부가가치액	0.005	0.000	0.000***	-	-	-	-	-	-
종업원당 부가가치액	-	-	-	0.135	0.005	0.000***	0.139	0.007	0.000***
종업원당 중간투입비	-0.030	0.012	0.014**	-0.045	0.027	0.093*	0.007	0.060	0.903

주) \*\*\* < 0.01, \*\* < 0.05%, \* < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

※ 50인 미만: Log-likelihood: 265.5893 on 187 degrees of freedom

※ 50인 이상: Log-likelihood: 212.0535 on 187 degrees of freedom

※ 300인 이상: Log-likelihood: 212.5366 on 186 degrees of freedom

## V. 결론

본 연구에서는 산업통상자원부의 「소재·부품·장비산업동향조사」 데이터를 활용하여 우리나라 소부장 산업 전반의 효율성을 측정하였다. 측정 결과를 바탕으로 2017년 ~ 2022년까지 소부장 산업의 대분류 산업, 중분류 업종, 종업원 규모별 효율성 변화를 살펴보고, 비효율성 원인을 분석하였다. 또한 효율성 결정요인 분석을 통해 우리나라 소부장 산업의 효율성을 결정하는 요인이 대분류 산업별, 종업원 규모별로 어떠한 차이가 있는지를 분석하였다.

우리나라 소부장 산업은 71.5%의 비효율성이 존재하였으며, 산업별로는 장비→부품→소재 산업 순으로 비효율성이 높게 나타났다. 종업원 규모별로는 50인 미만→50인 이상→300인 이상 그룹 순으로 비효율성이 높게 나타나 효율성 관점에서도 종업원 규모에 따른 양극화 현상이 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 코로나19의 영향으로 산업 경기가 둔화되었음에도 불구하고 2020년 이후 비효율성이 크게 개선됨을 확인할 수 있었는데, 정부의 적극적인 소부장 정책 수립의 영향이 작용했을 것으로 추정되는 결과이다. 중분류 업종별로 효율성을 비교한 결과, 섬유제품, 화학물질 및 화학제품, 1차 금속제품, 전자부품, 정밀가공장비 업종 등 300인 이상 그룹의 효율성 상위 업종 중심으로 종업원 규모별 편차가 큰 경향을 확인할 수 있었다.

비효율성 원인 분석 결과, 50인 미만 그룹은 기술적 측면, 300인 이상 그룹은 생산 규모 측면에서 비효율성이 발생하였다. 50인 이상 그룹은 산업별로 서로 다른 경향이 나타났는데, 소재 및 장비 산업은 기술적 측면의 비효율성이 발생한 반면, 부품 산업은 생산 규모 측면에서 비효율성이 발생함을 확인할 수 있었다. PTE와 SE, PTE와 SE 편차를 활용하여 비효율성 원인 매트릭스를 구성하였으며, 이를 통해 소재 및 장비 산업의 50인 미만 그룹과 300인 이상 그룹이 효율성 개선의 우선순위가 높은 산업임을 확인할 수 있었다. 중분류 관점에서 효율성 개선의 우선순위는 중분류 업종의 효율성 순위와 중분류 업종별 비효율성 원인을 종합적으로 검토하여 도출하였다. 비효율성 원인이 생산 규모 측면에서 나타난 업종 대부분은 효율성이 높게 나타났다. 따라서 비효율성 원인이 기술적 측면에 있는 업종 중심으로 효율성을 개선하는 것이 소부장 산업 전반의 효율성 제고에 도움이 될 것으로 판단된다.

소부장 산업의 효율성을 결정하는 요인을 대분류 산업 및 종업원 규모별로 살펴보았으며, 분석 결과를 요약하면 <표 16>과 같다. 대분류 산업별 분석 결과, 소재 산업과 부품 산업에서 종업원당 중간투입비는 효율성에 부(-)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 반면 소재 산업과 장비 산업에서 종업원당 부가가치액은 효율성에 정(+)의 영향을 주는 요인 중 영향력이 가장 큰 요인으로 나타났다. 종업원 규모별 분석 결과, 50인 미만 그룹과 50인 이상 그룹, 즉 중·소기업의 경우 종업원당 중간투입비가 효율성에 부(-)의 영향을 주는 가장 큰 요인으로 나타났으며, 50인 이상 그룹과 300인 이상 그룹, 즉 중기업과 대기업의 경우 종업원당 부가가치액이 효율성에 정(+)의 영향을 주는 가장 큰 요인으로 나타났다.

효율성 결정요인 분석 결과를 종합적으로 살펴보면, 원재료비, 전력비, 용수비, 외주가공비, 수선비, 연료비 등 제조 과정 상 발생하는 중간 투입비용이 소기업(50인 미만)과 중기업(50인 이상 300인 미만)의 효율성을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 제조 과정 상 투입비용 절감이 효율성 개선을 위한 중요한 요소임을 시사하는 결과이다. 이는 제조 과정 상 중간 투입비용을 낮추기 위한 원가 절감 전략을 수립함으로써 효율성 개선이 가능한 것으로 해석해볼 수 있을 것이다. 또한 종업원당 부가가치 창출 능력이 중기업(50인 이상 300인 미만)과 대기업(300인 이상)의 효율성을 결정하는데 중요한 역할을 하고 있음으로 확인할 수 있었는데, 이는 중기업(50인 이상 300인 미만)의 경우 대기업(300인 이상)과 달리 단순히 단위당 생산성 향상을 위한 경영 전략뿐만 아니라 중간 투입비용을 낮추기 위한 전략을 병행함으로써 효율성 개선이 가능한 것으로 해석해볼 수 있다.



〈표 16〉 효율성 결정요인 분석 결과(종합)

효율성 결정요인	대분류 산업별			종업원 규모별		
	소재 산업	부품 산업	장비 산업	50인 미만	50인 이상	300인 이상
종업원 비중	부(-)	-	부(-)	부(-)	정(+)	정(+)
부가가치액 비중	-	정(+)	부(-)	×	×	-
사업체당 부가가치액	정(+)	정(+)	정(+)	정(+)	×	×
종업원당 부가가치액	정(+)	×	정(+)	×	정(+)	정(+)
종업원당 중간투입비	부(-)	부(-)	정(+)	부(-)	부(-)	-

본 연구를 통해 소부장 산업의 효율성 추세, 비효율성 원인, 효율성 결정요인은 대분류 산업뿐만 아니라 종업원 규모별로 차이가 존재함을 확인할 수 있었다. 이는 우리나라 소부장 산업의 지속성장을 위해서는 효율성 개선이 우선적으로 필요한 산업에 대한 집중 지원이 필요하며, 지원 하는 과정 상 해당 산업의 종업원 규모를 고려한 정책을 수립해야 함을 시사하는 결과이다.

소부장 산업은 모든 산업의 근간으로 제조업의 허리 역할을 하고 있다. 특히 효율성 개선의 우선순위가 높게 나타난 소재 및 장비 산업을 영위하는 소기업과 중기업의 효율성 확보는 전체 소부장 산업의 생산성 향상을 위한 중요한 과제이다. 예를 들어 소재 산업의 경우 최초 개발부터 사업화까지 많은 시간과 비용이 소요되는 산업으로 제조 과정 상 투입되는 비용을 줄이기 위한 전략은 필수적이다. 분석 결과, 소재 산업을 영위하는 중·소기업(50인 미만, 50인 이상 300인 미만 그룹)의 효율성 개선의 우선순위가 높은 것으로 나타났으며, 투입물이 산출물로 전환되는 과정 상 개선이 필요한 것으로 분석되었는데, 이를 위해 첨단기술이 급속도로 발전함에 따라 빠르게 보급되고 있는 인공지능 기술을 소재 산업 현장에 도입함으로써 효율성을 개선하는 방안을 모색해볼 수 있다. 미국의 경우 이미 2019년부터 섬유제품 산업의 자동화 추세가 확대되고 있으며, 인공지능을 활용한 원단 패턴 검사 소프트웨어(Cognex Corp社) 등을 활용하여 효율성을 향상시킨 사례가 존재한다<sup>1)</sup>. 우리나라에서도 최근 섬유산업 내 자동화 및 무인화의 필요성이 강조<sup>2)</sup>되고 있어 앞서 효율성 개선의 우선순위가 높게 나타난 섬유제품 업종을 중심으로 지원 정책을 마련하는 것을 고려해볼 수 있다. 제조 장비는 제품의 품질, 부가가치, 생산성을 결정하는 제조업의 경쟁력의 근간이다(심창섭·이운규, 2024). 분석 결과, 장비 산업의 경우도 중·소기업

1) 자동화 기술이 이끄는 미국 의류 제조업의 부활, kotra, 2019.07.29.

2) 자동화·무인화가 섬유산업 살 길, TIN뉴스, 2025.03.26.

(50인 미만, 50인 이상 300인 미만 그룹)의 효율성 개선의 우선순위가 높은 것으로 나타났으며, 기술적 측면의 비효율성 원인 해소가 필요한 것으로 나타났다. 이를 위해서는 제조 현장에 공정 기술 고도화를 위한 지능화·자율화 시스템을 도입함으로써 효율성을 개선하는 방안을 모색해볼 수 있다. 우리나라는 세계 4대 제조 강국 도약을 위해 2021년 「신산업 제조장비 개발 로드맵」을 수립한 바 있으며, 전 세계적으로 지속 가능한 제조혁신 생태계 조성을 위한 정책이 확산되고 있다. 또한 2024년 「스마트제조혁신 생태계 고도화 방안」을 수립하여 제조 현장의 지능화·자율화를 추진 중에 있다<sup>3)</sup>. 이런 정책 기조와 맞물려 장비 산업 중 효율성 개선의 우선순위가 높게 나타난 산업공정장비 업종을 영위하는 중소기업을 대상으로 공정기술 고도화 지원을 추진해볼 수 있을 것이다. 다만 우리나라 소재 및 장비 산업을 영위하는 중·소 사업체의 경우 대부분 영세하며, 구식 공장에 노후화된 설비를 보유하고 있을 것으로 추정된다. 따라서 자동화 설비 도입, 제조 공정 과정 상 인공지능 기술의 적용, 공정기술의 지능화 및 자율화 등 소부장 산업의 스마트 제조혁신 구현을 위해서는 정부의 과감한 투자와 정책적 지원이 뒷받침이 되어야 할 것이다.

본 연구 결과, 우리나라 소부장 산업은 대분류 산업과 종업원 규모에 기초로 하여 효율성 향상 및 개선을 위한 정책을 수립해야 함을 실증적으로 확인하였다. 분석 결과를 바탕으로 소부장 산업의 생산성 향상을 위한 시사점을 제시하였으나, 다음과 같은 한계점을 가진다.

첫째, 활용 데이터 확보 측면에서 본 연구는 「소재·부품·장비산업동향조사」 데이터를 활용함으로써 공신력을 확보하고 있다. 하지만 「소재·부품·장비산업동향조사」는 소부장 산업의 생산, 출하, 재고의 변동사항을 조사하여 경기변동을 파악하는 것을 주된 목적으로 함에 따라 조사 항목이 제한적으로 구성되어 있어 효율성 결정요인 변수를 연구 목적에 따라 다양화함에 있어 한계점이 존재하였다. 본 연구의 효율성 결정요인 변수는 효율성 분석의 투입변수와 산출변수를 재조합하여 만든 변수이다. 이들 변수는 통계청의 광업·제조업조사 등 국가승인통계 조사에서 주로 활용되는 대표적인 변수로서 검증된 변수이나, 투입 및 산출변수를 재조합한 변수이기 때문에 토빗 회귀분석을 진행하는 과정 상 내생성(endogeneity) 문제가 발생하여 분석 결과의 계수 추정 시 편의를 발생시킬 수 있다. 따라서 분석 결과를 해석할 때 이러한 점을 고려할 필요가 있을 것이다. 「소재·부품·장비산업동향조사」의 조사 항목이 제한적인 것은 그간 소부장 분야의 효율성 결정요인에 관한 연구가 부족한 이유 중 하나인 것으로 추정된다. 둘째, 활용 데이터의 분석기간 측면에서 본 연구는 2017년부터 2022년까지를 분석기간으로 설정함에 따라 최신 경향을 반영하지 못 하였다. 산업 환경 변화, 정권 교체 등으로 인해 3년 전 산업 통계 데이터를

3) 「지능형(스마트)제조혁신 생태계 고도화 방안」 발표, 중소벤처기업부 보도자료, 2024.10.02.



활용한 연구는 분석 결과를 통해 학술적 또는 정책적으로 교훈을 줌에 있어 한계점이 존재한다. 다만 일반적으로 통계 데이터는 조사 후 가공 및 처리 등의 과정을 거쳐 대국민에게 공표되기까지 일정 시간이 소요되며, 본 연구의 분석 시점인 2025년 상반기 기준으로 「소재·부품·장비산업동향조사」 데이터는 2022년 데이터까지만 제공되고 있어 최신 데이터 확보의 어려움이 존재하였음을 밝힌다. 셋째, 활용 방법론 측면에서 본 연구는 효율성 결정요인 분석을 위해 토빗 회귀분석을 활용하였다. 앞서 기술한 바와 같이 토빗 회귀분석은 DEA 모형을 이용한 효율성 분석 시 적절한 모형이다. 그럼에도 불구하고 DEA 모형을 통해 측정된 효율성 값은 0과 1사이의 제한된 변수이지 관측 불가능한 구간에 있는 절단 변수가 아니다. 따라서 토빗 회귀분석 이외에도 보다 더욱 적합하다고 알려진 단절 회귀분석(Truncated Regression) 등을 활용(유금록, 2010)하여 분석함으로써 분석 결과의 강건성(robustness)를 확보할 필요가 있을 것이다.

추후에는 본 연구에서 제시한 한계점을 극복하기 위한 흥미로운 독립변수의 발굴, 분석기간의 최신성 확보 등을 통해 연구 모형을 설계하여 분석을 진행한다면 새로운 관점에서 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- Athanassopoulos, A. D., and Triantis, K. P. (1998), "Assessing aggregate cost efficiency and their related policy implications for Greek local municipalities", *INFOR*, 36(3), pp. 66-83.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. L. Rhode. (1978), "Masuring the Efficiency of Decision Making Unit." *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productivity Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), pp. 253-290.
- Marquardt, D. W. (1973). Generalized Inverses, Ridge Regression, Biased Linear Estimation, and Nonlinear Estimation. *Technometrics*, 12(3), pp. 591-612.
- McCarty TA and S Yaisawarng. (1993). Technical Efficiency in New Jersey School Districts, in Fried HO and SS Schmidt (eds.) the Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications. Oxford U.K, pp. 271-287.
- Seiford, L. M., & Thrall, R. M. (1990). Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), pp. 7-38.
- Tobin, J. (1958), Estimation for relationships with limited dependent variables. *Econometrica*, 26(1), pp. 24-36.
- 과학기술정책연구원(2009), 「국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안」. 『정책연구 2009-24』
- 관계부처(2019), 「소재·부품·장비 경쟁력 강화 대책」
- 관계부처(2021), 「신산업 제조장비 개발 로드맵」
- 관계부처(2023), 「소재·부품·장비 글로벌화 전략」
- 관계부처(2024), 「스마트제조혁신 생태계 고도화방안」
- 국회예산정책처(2020), 「소재·부품·장비 산업 정책 분석」
- 김경아(2020). 「소재·부품·장비 산업의 기술혁신성공에 대한 정부지원정책 및 일본과의 기술격차 조절효과」, 『한국거버넌스학회보』, 27(3), pp. 257-282.
- 김경아(2021), 「COVID-19 관련된 정부재정지원정책과 중소기업 기술혁신 특성에 관한 연구」, 『한국자치행정학보』, 35(3), pp. 343-361.
- 김대중·고경호. (2020). 「소재·부품산업의 지역경쟁력 분석」, 『한국산학기술학회논문지』, 21(1), pp. 401-408.
- 김성문·하현구(2017), 「국내 주요 물류기업의 효율성과 효율성에 미치는 영향 분석」, 『교통연구』, 24(3), pp. 17-26.
- 김은영·서창배. (2023). 「주요국의 고위기술 소재부품산업 수출경쟁력 비교 분석 - 한국, 미국, 독일, 일본, 중국을 중심으로 -」, 『중국지역연구』, 10(1), pp. 33-65.

- 김현제·윤원철(2006), 「DEA기법과 토빗모형을 활용한 효율성 차이에 대한 분석: 서울시 고등학교의 교육성과를 대상으로」, 『재정논집』, 21(1), pp. 97-114.
- 박건우(2024), 「한국 소재부품장비기업의 혁신성과에 관한 연구」, 『기계산업연구』, 3(2), pp. 1-31.
- 박만희(2008), 「효율성과 생산성 분석」, 『한국학술정보』.
- 박승준·김대철(2018), 「패널데이터 능형회귀분석을 이용한 지방재정지출의 결정요인 분석」, 『경제분석』, 24(1), pp. 67-98.
- 박현준·안병일(2024), 「해양바이오산업의 효율성 결정요인 분석」, 『수산경영론집』, 55(4), pp. 89-102.
- 백철우·노민선(2013), 「기업의 개방형 혁신전략의 R&D 효율성 제고 효과」, 『생산성논집』, 27(4), pp. 302-319.
- 심창섭·이운규(2024), 「차세대 첨단산업 핵심제조장비 개발 로드맵」, 『KEIT ISSUE PICK』
- 오지환·정기호(2012), 「DEA 모형을 이용한 부품소재산업의 효율성 분석」, 『대한경영정보학회』, 31(1), pp. 273-292.
- 우정원·천동필(2018), 「과학기술정책조합이 R&D 효율성에 미치는 영향 분석」, 『기술혁신학회지』, 21(4), pp. 1268-1295.
- 유금록(2010), 「공공의료서비스의 효율성평가: 지방의료원에 대한 부트스트랩 자료포락분석모형의 적용」, 『한국사회와행정연구』, 21(2), pp. 117-140.
- 이광배·김창범(2013), 「우리나라 부품소재산업의 효율성 분석」, 『한국산업경제저널』, 5(1), pp. 41-54.
- 이나영·채성욱. (2023). 「변이할당분석을 이용한 소재·부품·장비 산업 충청지역 경쟁력 분석」, 『지능정보연구』, 29(4), pp. 415-430.
- 이상학·이철규·정동우·문종범(2010), 「DEA를 이용한 부품소재전문기업의 경영효율성 분석에 관한 연구」, 『한국경영학회지』, 15(2), pp. 101-127.
- 이수지·김태운(2015), 「국가R&D 사업화 영향요인에 관한 연구: “부품·소재산업경쟁력향상사업” 사례를 중심으로」, 『기술혁신학회지』, 18(4), pp. 590-620.
- 이재성·김재일(2014), 「서울시 국공립어린이집의 운영효율성 및 영향요인에 관한 연구」, 『지방정부연구』, 18(3), pp. 355-383.
- 이철행·조근태(2014), 「DEA를 이용한 보건의료기술 R&D 사업의 효율성 분석과 전략적 포트폴리오 모형 - 중개연구를 중심으로」, 『대한산업공학학회지』, 40(2), pp. 172-183.
- 전지은(2024), 「정책가치 이론을 적용한 소재·부품·장비 분야 공급망 안정화 법률의 효과적 운영 방안」, 『기계산업연구』, 3(2), pp. 73-120.
- 정대운·손영훈·김경래(2024), 「DEA와 토빗회귀 모형을 이용한 전문건설기업 효율성 결정요인 분석」, 『한국건설관리학회논문집』, 25(2), pp. 45-55.
- 천동필·우정원·조용곤·한명훈(2019), 「연구개발 수행기관 및 협력유형이 소재부품 R&D 효율성에 미치는 영향」, 『기술혁신연구』, 27(3), pp. 1-26.

- 최두원(2022). 「한국과 중국의 소재·부품·장비 산업의 무역구조 및 경쟁력 변화 분석」, 『중국학』, 81, pp. 519-538.
- 최석봉·하귀룡(2013), 「기술혁신과 경영 효율성 분석에 관한 연구: 한·중·일 철강기업 비교분석」, 『대한경영학회지』, 26(7), pp. 1887-1908.
- 통계청(2024). 「국가통계포털」. (2024년 7월). <https://kosis.kr/>
- 하귀룡·최석봉(2011), 「국내 ICT중소기업의 경영효율성 분석: 상장기업을 중심으로」, 『중소기업연구』, 33(4), pp. 55-75.
- 한국산업기술기획평가원(2023), 「소부장넷」, (2024년 7월). <https://www.sobujang.net/>
- 한진석·김혜란·고승영(2011), 「DEA(data envelopment analysis) 모형을 이용한 서울시 지선버스 노선의 형평성 분석」, 『대한교통학회지』, 29(2), pp. 15-24.

# A Study On The Efficiency Analysis Of The Materials, Parts and Equipments Industry In Korea

: Focused On The Polarization Phenomenon According To The Size Of The Workforce

Kim, Kyung Soo

## - Abstract -

The purpose of this study is to compare and analyze the efficiency of the material parts and equipment industry in Korea by industry and derive efficiency determinants. To conduct the study, efficiency was measured using DEA analysis, a representative efficiency analysis method, and efficiency determinants were derived using Tobit regression analysis.

It was confirmed that Korea's material parts and equipment industry had inefficiency, and that the phenomenon of polarization was occurring according to the size of the employee. In particular, as a result of the analysis of efficiency determinants, it was confirmed that the improvement of productivity per unit and the reduction of input costs in the manufacturing process are important factors determining efficiency.

### Key words

Materials, Parts and Equipments Industry, Polarization, Efficiency Determinants, DEA, Tobit Regression



# 기계산업연구

| 제4권 제1호(2025) |

발행일 2025년 6월  
발행처 한국기계연구원  
발행인 류석현  
문의처 한국기계연구원 기계정책센터  
대전광역시 유성구 가정북로 156  
T. 042-868-7640

ISSN 3058-2784



JOURNAL OF  
MACHINERY INDUSTRY

# 기계산업연구

제4권 제1호 (2025)

**KIMM** 한국기계연구원  
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS



대전광역시 유성구 가정북로 156 기계정책센터  
Tel. 042-868-7640 [www.kimm.re.kr](http://www.kimm.re.kr)



9 773058 278004

ISSN 3058-2784