

기계 산업 연구

| 제3권 제2호(2024) |

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

| 논문 |

- 01 한국 소재부품장비기업의 혁신성과에 관한 연구
- 규제인식의 영향을 중심으로 -
- 02 토픽모델링을 활용한 기계산업의 융합 R&D
동향 분석
- 03 정책가치 이론을 적용한 소재·부품·장비 분야
공급망 안정화 법률의 효과적 운영 방안
- 04 제조공학 연구의 지식구조, 글로벌 협력 및 핵심 주제 분석
- 한국, 일본, 독일의 비교를 중심으로 -

기계 산업 연구

CONTENTS | 목차

제3권 제2호(2024)

| 논문 |

- 한국 소재부품장비기업의 혁신성과에 관한 연구 1
규제인식의 영향을 중심으로
박건우
- 토픽모델링을 활용한 기계산업의 융합 R&D 동향 분석 33
김동관
- 정책가치 이론을 적용한 소재·부품·장비 분야 공급망 안정화 법률의
효과적 운영 방안 73
전지은
- 제조공학 연구의 지식구조, 글로벌 협력 및 핵심 주제 분석 121
한국, 일본, 독일의 비교를 중심으로
김문구, 박종현, 백종현

| 논문 |

한국 소재부품장비기업의 혁신성과에 관한 연구

- 규제인식의 영향을 중심으로 -

박 건 우

국립창원대학교 행정학과 조교수

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

한국 소재부품장비기업의 혁신성과에 관한 연구

- 규제인식의 영향을 중심으로 -

박건우*

- 초 록 -

본 연구는 우리나라 소부장 기업을 중심으로 정부의 규제가 피규제자인 기업의 혁신에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고 정책적 함의를 도출하는 것을 목적으로 한다. 2019년 일본의 수출규제 이후, 소부장 산업의 위기를 극복하기 위해 국산화를 위한 다양한 노력이 이루어졌다. 이 과정에서, 기업의 혁신이 중요한 이슈로 주목되었으며, 혁신을 활성화하기 위한 학술적 논의가 부각되었다. 이에 본 연구에서는 KIS 설문조사자료를 활용하여, 경제적, 사회적, 그리고 행정적 규제가 혁신에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 경제적 규제와 사회적 규제는 대체로 소부장 기업의 혁신을 촉진하는데 긍정적이지만, 행정적 규제는 혁신을 저해하는 것으로 나타났다. 세부 산업별로는 세 가지 유형의 규제가 상이하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 규제가 혁신을 촉진하는 포터가설을 통해, 규제가 반드시 부정적인 것이 아니며, 정부의 적절한 규제와 지원을 통해 혁신을 극대화하는 환경의 조성이 중요하다는 결과로 해석된다. 또한, 산업의 특성과 규제의 유형에 따라서 산업별 기술적 특성 또는 수준에 따라서 혁신에 미치는 영향 또한 달라질 수 있다는 발견에 근거해, 이를 고려한 정책적 접근이 필요할 수 있다는 것으로 이해된다. 본 연구는 향후, 소부장 기업의 혁신 지원을 위한 규제정책의 방향성 설정에 긍정적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주 제 어 혁신, 포터가설, 규제, 소재부품장비(소부장)

논문접수일 2024년 4월 14일 수정논문 제출일 2024년 6월 13일 게재확정일 2024년 6월 20일

* 국립창원대학교 행정학과 조교수, gpark88@changwon.ac.kr

I. 서론

“Schumpeter에 따르면, 변화의 추동 요인은 혁신이며, 혁신은 우리 사회의 경제 생활 전반의 영역에서 일을 다르게 하는 것으로 정의할 수 있다”¹⁾

- Sweezy(1943: 93) -

최근 디지털 전환(digital transformation), 탄소 배출 감소, 글로벌 공급망의 다양화 등을 포함한 여러 패러다임(paradigm)의 변화가 국가 수준에서 나타나고 있다.²⁾ 이러한 국가적 아젠다를 해결하기 위해서는 글로벌 기술 리더십(technical leadership)의 강화가 중요한 것으로 인식된다. 기술 리더십을 통해, 불확실성을 극복하고 신성장동력을 확보할 수 있는 계기를 마련할 수 있는 것이다. 이는 연구개발(R&D) 시스템이 단기적이고 정량적인 성과에 의존하는 경향을 극복하고, 창의적이며 혁신적인 의제를 개발하여 기술과 정책의 패러다임을 전환하는 것이 점점 더 중요해지는 것을 의미한다.

규제와 혁신을 살펴보는 데 있어, 국제사회에서 많은 노력이 제시되고 있다. 이를테면, OECD 규제정책위원회(OECD Regulatory Policy Committee, RPC)와 경제규제자 네트워크(Network of Economic Regulators, NER)를 통해서, 정책 입안자(policy maker)들이 불확실성이 높은 상황에서 공공의 안전뿐만 아니라 기술과 혁신의 발전을 지원하기 위해 공동 작업을 수행해 왔다. 이는 신기술로 인해 제기되는 규제 문제를 해결하고 사회적으로 유익한 혁신을 지원하기 위한 모범 규제 관행(good regulatory practices)과 보다 효율적인 규칙 제정 및 규제 전달을 위한 데이터 기반 접근 방식에 주목하는 것으로 이해된다.³⁾ 즉, 혁신을 촉진하기 위해서 효율적인 규제가 필요하다는 의미로 해석될 수 있다.

기업의 혁신은 사회 전반적으로 다양한 파급효과(spillover effect)를 창출함과 동시에, 기업의 경쟁력을 강화함으로써 경쟁우위(comparative advantage)를 유지할 수 있다. 즉, 혁신은 기업의 생존력 확보를 위해 필수적이다. 기업의 혁신에 영향을 미치는 주요 외부 환경 요인은 기업의 직접적 통제 범위에 포함되지 않는 특성을 보이는데, 대표적으로 규제 환경 등을 들

1) “The causative factor in change, according to Professor Schumpeter, is “innovation,” which is defined as “doing things differently in the realm of economic life.” Sweezy(1943: 93)

2) https://www.kistep.re.kr/gpsIssueView.es?mid=a30101000000&list_no=48729&nPage=3

3) OECD(<https://www.oecd.org/fr/gov/politique-reglementaire/regulation-and-emerging-technologies.htm>) (검색일: 2024년 3월 13일)

수 있다(이정우 외, 2018). 하지만, 기업의 혁신은 필연적으로 정부의 규제에서 자유롭지 못하다. 정부는 사회의 질서 유지와 기업의 혁신 과정에서 발생하는 다양한 문제점으로부터 국민의 생명과 재산 등을 보호할 의무가 있기 때문이다. 따라서, 정부의 규제는 기업의 혁신에 일반적으로 부정적일 것이라는 인식이 지배적이다(유정민, 2020).

탈규제(deregulation), 규제철폐, 규제혁신 등의 개념이 지속해서 등장하는 것도 규제라는 요인은 혁신 등과 같은 활동을 저해할 수 있으므로 개선의 대상(target)으로 보여 왔다. 이러한 내용은 윤혜선(2017: 8)의 연구에서도 매우 명쾌하게 설명되고 있다. 이에 따르면, “기술과 규제는 대립구도를 이룬다. 기술은 시장, 기업과 산업, 성장을 상징하고, 규제는 정부, 관료주의, 성장에 대한 제약을 상징한다”고 주장하고 있다. 하지만, 유정민(2020)의 논의에서도 나타난 것처럼, 이러한 규제가 반드시 부정적인지에 대해서는 보다 구체적인 접근이 필요하다. 특정 분야에서 경제질서의 한계가 발생하고, 기업의 부정적 경영활동이 지속해서 발생한다면, 정부의 개입이 필요할 수 있다. 즉, 기업이 혁신을 촉진할 수 있는 건전한 환경의 구축을 위해서 정부규제가 긍정적일 수 있다.

한편, 본 연구가 주목하는 소부장(소재·부품·장비) 산업과 관련해, 일본은 2019년 7월, 반도체와 디스플레이 공정에 사용되는 불화수소, 포토레지스트, 폴리이미드 등 3개의 품목에 대해서 수출규제를 하였다. 이는 대일의존도가 높은 한국의 산업계에 상당한 영향을 미칠 수 있는 사건이었으며, 무엇보다 소재·부품·장비의 기술 난이도가 높아서, 의존도 완화를 위한 국산화도 쉽지 않은 상황이었다.⁴⁾ 이에 대응책으로 당시 우리 정부는 국내 기업의 피해를 최소화하기 위해, 소재·부품·장비 경쟁력 강화대책 및 소재·부품·장비 연구개발 투자전략 및 혁신대책 등을 추진함으로써, 우리 산업의 근본적인 체질 개선을 위한 정책적 노력을 촉구하였다. 결국 이는 소부장 산업의 대일의존도를 완화하고 경쟁력을 제고하는데 긍정적으로 기여했다고 평가된다.⁵⁾

소부장 등 주요 제조업은 우리나라 경제의 발전에 중요한 역할을 수행해왔다. 특히, 기계산업에서 경쟁우위가 높은 미국과 독일 그리고 일본에서는 국가 차원에서 높은 정책적 관심을 보이고 있는데, 우리나라도 이들 선도국을 벤치마킹(benchmarking)하면서 경쟁력 강화를 위해 다양

4) 대한민국정책브리핑(<https://www.korea.kr/news/contributePolicyView.do?newsId=148874274>)

5) 정부는 2019년 8월, 소재·부품·장비 경쟁력 강화대책을 발표하며 높은 대일의존도를 개선하고, 소부장의 근본적 취약점을 개선하고자 하였다. 이에, 중점분야를 선정하여 규모의 투자를 유치하고, 인프라 부문 지원과 기업 간 거버넌스 구축, 규제완화 및 제도적 지원 등이 포함되었다. 결국, 이러한 전략은 의존도 개선과 동시에 소재·부품·장비 강국으로의 도약방안을 제시한 것으로 볼 수 있다.

한 경주를 수행하고 있다. 그런데도, 소부장 등 주요 제조업에 관한 정책적 우선순위와 관심은 그렇게 높지 않으며 무엇보다 해당 분야에 종사하는 인력도 점차 감소세를 보인다. 이는 향후, 우리나라가 소부장 분야에 관한 경쟁력을 강화하는데 장애 요인으로 작용할 가능성이 크다. 소부장 산업의 경쟁력 강화를 위해서는 혁신이 중요하며, 이 과정에서 규제와 같은 정책수단 논의는 어떻게 진행되어야 하는지를 살펴볼 필요가 있다.

또한 혁신적인 기술은 인간의 삶과 일의 방식을 근본적으로 바꿀 수 있기 때문에 이를 촉진 혹은 저해하는 규제의 역할은 매우 중요하다. 혁신에 따른 변화는 실제로 많은 부분에 이미 나타나고 있다. 그리고 이러한 영향은 생산성, 고용, 기술, 소득 분배, 무역 및 환경 전반에 걸쳐 나타나므로써, 사회의 모든 부문에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서, 혁신을 촉진할 수 있는 정부의 역할 즉 규제에 대해서 주목할 필요가 있다. 본 연구에서는 상기 맥락을 중심으로, 정부규제가 피규제자인 기업의 혁신에 미치는 영향에 관해서 실증적으로 분석하고 함의를 도출하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로 기존의 규제-혁신에 대한 논의에 근거해 규제가 혁신에 긍정적인지 혹은 관계가 없는지를 테스트한다. 이에 대해서 본 논문의 핵심 연구문제는 아래와 같이 제시할 수 있다.

연구문제: 우리나라 소부장기업의 사례에서 규제는 혁신에 어떠한 영향을 미치며, 세부 산업별로 그 영향의 차이가 존재하는가? 이러한 발견은 이론으로 설명할 수 있는가?

이를 위한 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 규제와 혁신에 관한 이론적 논의와 기존의 연구를 살펴본다. 제3장에서는 연구방법과 분석 데이터, 가설 등을 설명한다. 제4장에서는 실증 분석을 수행한다. 제5장에서는 본 연구의 결론과 정책적 함의 그리고 후속 연구의 필요성 등에 대해서 논의한다.

II. 이론적 논의

1. 혁신에 대한 논의

혁신의 개념적 정의에 관해서, 조지프 쉘페터(Joseph Alois Schumpeter)의 논의가 가장 보편적인 것 중 하나로 인식되고 있다. Shumpeter는 그의 저서인 'The Theory of Economic Development'에서 다음과 같이 제시한다. 발전이라는 것은 외부에서 강요된 것이 아니라 내부에서 스스로 주도적으로 발생하는 경제생활의 변화만을 이해해야 한다고 설명한다. 또한, Shumpeter(1934: 93)는 “왕국(또는 왕조)를 세우려는 의지가 있으며, 그런 다음 정복하려는 의지, 즉 성공의 열매가 아니라 성공 자체를 위해 싸우고, 자신이 다른 사람보다 우월하다는 것을 증명하고, 성공하려는 충동이 있다. 마지막으로 창조의 기쁨(joy of creating)과 일을 완수하는데 따른 기쁨, 그리고 단순히 자신의 에너지와 독창성을 발휘하는 기쁨이 있다.”라고 제시한 바 있다. 이러한 내용은 인간이 기본적으로 창조적 행위를 통해 경제발전을 추구할 수 있으며, 혁신의 원동력이 ‘창조적 파괴(creative destruction)’ 비롯되는 것을 알 수 있다. 이 과정에 중요하게 인식되는 것이 혁신과 창조를 조성할 수 있는 환경을 만드는 것이며, 이는 곧 정부의 역할로 이해된다. 이러한 관점에서, 이동기(1998)는 공공부문의 혁신을 정책의 이해와 정보의 수집 및 생산을 통해 정책을 개선하는 것이라고 설명한 바 있다. 즉 혁신의 개념 이해에 있어, 정부의 역할이 중요한 것을 알 수 있는 대목이다.

다음으로 혁신활동과 혁신성과에 대해서 설명하고자 한다. 혁신을 측정하고 살펴보기 위한 일련의 지침으로 오슬로 매뉴얼(Oslo Manual)을 들 수 있다. 이의 내용에 따르면, 기업의 혁신 활동은 “한 기업이 혁신 달성을 위해 수행하는 모든 종류의 개발 활동, 재정 활동 및 상업 활동”으로 정의할 수 있다(이정우 외, 2020: 100). 이 과정에서, 기업은 혁신활동을 자체적으로 수행하거나 외부에서 소싱(sourcing)할 수 있다. 그리고 혁신활동은 목표를 달성하지 못해도 새로운 지식을 창출할 수 있으며, 이러한 결과를 활용, 유보, 이전, 판매, 라이선싱(licensing)할 수 있는 특징이 존재한다.

이러한 혁신활동과 더불어 혁신성과도 중요한 개념으로 이해될 필요가 있다. 혁신성과는 혁신 목표와 유사한 일련의 항목들을 활용해 실현된 혁신의 효과를 의미하며, 기업의 목표 달성뿐 아니라 경제 및 사회, 환경 그리고 조직 등에 미치는 광범위한 영향을 포함하기도 한다. 이러한 혁신성과에는 시장 경쟁 구조 변화, 다른 조직의 혁신활동 촉진 또는 저해와 같은 다양한 파급효과와 외부효과가 포함될 수 있다. 또한, 혁신은 고용 개선, 보건 환경 개선 등 사회적 목표에

기여하거나 저해할 수 있으며, 다른 사회적 과제의 해결에도 영향을 미칠 수 있다(이정우 외, 2020).

한편, Kline and Rosenberg(2010)에 따르면, 혁신은 매우 복잡하고 불확실하다는 특성이 나타나기 때문에, 무질서하고 다양한 유형의 변화를 수반할 수 있다고 설명한다. 그리고, 혁신이라는 것은 측정이 어렵다는 특성이 존재하며, 적절한 기술 지식과 시장에서의 조율이 없을 경우, 만족스러운 결과를 도출하기가 쉽지 않다. 무엇보다 혁신의 과정은 일부분으로 인식되는 것이 아니라 구조, 즉 시스템과 같은 전체의 이해가 필요하다는 것이다. 이와 유사하게, Kahn(2018)의 연구에서도 혁신의 이러한 어려움에 따라서 오늘날 많은 조직이 여전히 혁신을 이해하는 것이 어렵다고 설명하고 있다. 결국, 혁신을 이해하고 시행하기 위해서는 혁신과 관련해, 필수요소와 개념에 대한 구체적 정의를 통해 혁신을 촉진할 수 있는 의사결정을 가능케 하는 것이 필요하다.

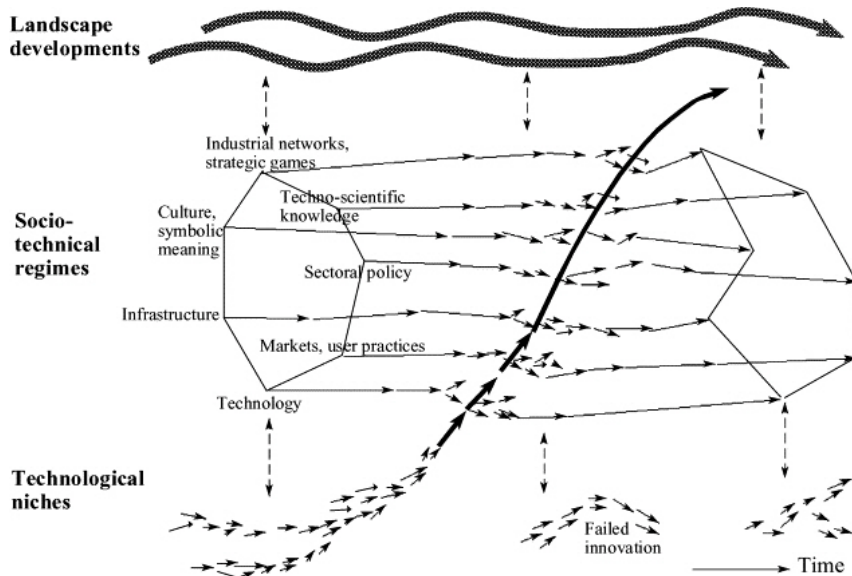
이처럼 Schumpeter가 시작한 혁신과 관련한 논의는 1960년대에 많은 경제학자들에 의해 재조명되었고, 1970년대에는 신슈뎀페터주의자(neo-Schumpeterians)들이 기술혁신과 기업가 정신을 강조하기도 했다. 1980년대에는 국가혁신체제(national innovation system, NIS) 개념이 창출되어 전 세계적으로 연구되었다. 그리고 2000년대에는 유럽을 중심으로 전환이론(transition theory)을 주도하며 지속가능한 체제로의 전환을 강조하였다. 하지만, 우리나라에서는 이에 관한 연구가 부족하여 기술혁신연구의 활성화가 필요하다는 지적이 제기되기도 했다(정선양·정지윤, 2023).

한편, 여기서 제시되고 있는 전환이론은 본 연구가 주목하고 있는 규제와 같은 제도에 대해서도 설명할 수 있는데, 이의 핵심은 사회기술체제(socio-technical regime)에 기득권을 가진 기업이 자신들의 지위를 지속하려는 경향이 있으며, 새로운 혁신이 발전되기 위해서는 기득권 중심의 사회기술체제가 붕괴되며 체제전환이 이루어져야 한다고 볼 수 있다는 것이다. 이와 연관해, 전환이론에 대한 기존의 논의를 살펴보면, 시스템 전환 또는 변화에 대해서 의미있는 주장들이 제시되는 것을 알 수 있다. 특히, 전환과 시스템 변화에 대해서 다층적 관점(multi-level perspective, MLP)의 접근이 유의미한 것으로 나타나고 있다. 이는 틈새 혁신(niche-innovations), 사회기술 체제(sociotechnical regimes), 사회기술 지형(sociotechnical landscape) 등 세 가지의 휴리스틱(heuristic) 분석 개념을 제시하고 있다(Geels, 2002; Geel and Schot, 2007).

보다 구체적으로, MLP의 접근에 따르면 전환은 (1) 틈새 혁신이 학습 과정, 가격/성능 개선, 강력한 그룹의 지원을 통해 내부 모멘텀의 구축, (2) 환경변화의 체제 압력, (3) 체제의 불안정화

가 틈새 혁신을 위한 기회의 창(windows of opportunity)을 만드는 세 단계의 상호작용을 통해 이루어진다. 이러한 과정은 새로운 혁신이 기존 체제와 경쟁하는 주류 시장에서 돌파구를 마련하는데 긍정적으로 기여한다. 하지만, 이러한 MLP에 대해서도 많은 비판이 제기되어 왔다. 이를테면, 실증분석에서 이러한 개념의 적용 가능성과, 지나친 기술적 틈새의 강조로 사회기술적 체제의 다양한 차원을 고려하지 못한다는 것이다. 그런데도 이러한 접근은 혁신을 위한 사회와 기술의 시스템적 변화에 대해서 어떠한 방향성을 모색하는지에 대한 일련의 시사점을 제공하고 있다. 아래 [그림 1]은 상기 설명된 MLP의 동태적 관계를 표준화한 것이다.

[그림 1] 전환에 대한 다차원적 접근



출처: Geels(2002: 1263)

2. 규제와 혁신의 관계에 대한 논의

다음으로, 규제와 혁신의 관계에 대해서 살펴보고자 한다. 규제의 개념에 대해서 오늘날 매뉴얼에 따르면, 다음과 같이 제시한다. 규제는 “경제에서 민간 행위 주체들의 시장 활동과 행동에 영향을 주고자 공공 규제 당국이나 정부 기구가 시행하는 규칙을 가리키며, 다양한 규제가 기업, 산업 및 경제의 혁신활동에 영향을 줄 수 있다.”(이정우 외, 2018: 309) 규제는 다양한 유형으로 구분될 수 있지만, 일반적으로 경제적 규제, 사회적 규제, 행정적 규제 등으로 구분될 수 있다. 먼저, 경제적 규제는 피규제자인 민간기업을 대상으로 이들의 경제활동(생산 및 소비 등)을 제한

하는 것이다. 그리고 사회적 규제는 시민의 생명에 대한 안전, 보호 등과 관련된 것으로 환경, 보건, 최저임금 등 다양한 부문을 포함할 수 있다. 또한, 행정적 규제는 정부 및 지방정부의 행정목적 달성을 위해서 피규제자 집단에 대해서 권리를 제한하고 의무를 부과하는 형태로 나타난다(정승일 외, 2007).

더욱 구체적으로, 사회적 규제는 일반적으로 피규제자 집단의 사회적 책임 및 역할과 관련 있는 활동을 제약하는 것으로, 소비자의 안전보호, 산업안전재해 그리고 환경오염문제와 같은 사례를 들 수 있다. 사회적 규제는 세 가지 유형으로 구분될 수 있는데, 이는 투입기준 규제, 성과기준 규제, 그리고 시장유인적 규제 등으로 나뉜다. 여기서 모든 유형의 규제가 행정규제의 형태로 나타나지만, 투입기준 규제는 투입에 보다 주목하고 있으며, 성과기준 규제는 산출에 더 주목하고 있다. 그리고, 시장유인 규제는 피규제자 집단이 사회적으로 바람직하다고 판단되는 활동을 성취할 수 있도록 유도하는 것으로 볼 수 있다(최유성·최무현·정성희, 2015). 따라서, 사회적 규제이지만 실제로는 행정규제로 나타나는 특성이 존재함을 고려한다면 규제의 유형 분류가 여전히 복잡하다는 것을 알 수 있다.

한편, 규제와 혁신 간의 관계를 설명하는 데 있어, 기존의 많은 논의는 포터가설(Porter's hypothesis)과 오염 피난처 가설(pollution haven hypothesis) 등을 통해 설명하고 있다. 먼저 포터가설은 규제가 혁신을 저해하는 것이 아니라 오히려 촉진한다는 입장이다. 포터가설의 핵심은 규제의 강화가 기업의 혁신 추구 요인을 증가시킬 수 있다는 것이다. 이러한 주장은 적절한 수준의 환경규제가 비용의 증가와 같은 부정적 영향을 상쇄하고 혁신을 통한 경쟁력 강화와 생산성을 증대시킬 수 있다는 맥락으로 이해될 수 있다(Porter, & Linde, 1995). 즉, 규제가 혁신에 긍정적일 수 있다는 내용으로도 볼 수 있는 것이다.

규제는 국내 수요를 증가시킴으로써 경쟁 우위(comparative advantage)를 촉진할 수 있다. 즉, 제품의 성과 안전, 환경 영향 등 규제와 관련한 보다 체계적인 기준의 마련을 통해 기업은 기술의 업그레이드와 질의 개선에 대한 압력을 받게된다. 따라서, 소비자의 니즈(needs) 및 사회적 수요에 반응할 수 있는 결과물을 제공할 수 있게 되는 것이다(Porter, 1990). 이와 연관해, Jaffe and Palmer(1997)는 Porter의 환경규제의 혁신 촉진과 같은 긍정적 영향에 대해서 패널분석을 통해 살펴본 바 있으며, 환경규제가 강화될수록 기업의 R&D 지출에 유의미한 긍정적 영향을 미친다고 제시하였다. 즉, 포터가설을 지지하는 대표적 결과물로 인식할 수 있다.

한편, 오염 피난처 가설(pollution haven hypothesis)은 환경규제가 경제에 미치는 영향을 분석하는 데 많이 활용되어왔다(Copeland, & Taylor, 1994; Levinson, & Taylor, 2008;

황석준, 2012; 김현·이광훈, 2012; 박건우, 2017). 오염 피난처 가설은 기업이 상대적으로 느슨한(loose) 수준의 환경규제를 선호하고 이에 대해서 투자 및 무역 등에 대해서 경제활동을 수행한다는 것이다. 따라서, 기업의 입장에서 규제는 일련의 장벽이자 회피의 대상으로 인식될 수 있으며, Porter의 가설과는 달리 오히려 오염 피난처 가설을 통해 규제가 기업 활동에 부정적인 것으로 이해될 수 있다. 즉, 환경규제가 기업이 부담해야 되는 비용을 상승시켜 경쟁력을 저해한다는 것이다. 그리고 오염 피난처 가설은 규제와 혁신 간의 관계에는 큰 유의미성이 없다는 것이 핵심이다. 환경규제와 혁신에 대해서 분석한 Rothwell(1992)에 따르면, 1960~1970년대 중반까지 정부 규제가 증가해왔지만, 이후 규제완화가 현저히 나타났다. 하지만, 80년대 중반부터 환경문제의 심각성에 따라 환경규제가 증가하면서 불필요하게 부정적인 영향을 미치는 사례가 동시에 증가했다고 주장한다. 즉, 규제는 기업의 경쟁력을 저해하며 혁신에 부정적일 수 있다는 맥락이다. 따라서 규제의 부정적 영향의 최소화과 더불어 환경문제도 해결할 수 있는 접근이 필요할 수 있다. 이러한 주장은 규제가 혁신에 부정적 관계에 위치할 수 있다는 것으로 이해된다.

그리고, Geels(2014)는 삼중 통합 프레임워크(triple embeddedness framework, TEF)⁶⁾를 제시하고 있는데, 이는 산업 내 기업을 두 종류의 외부 환경인 경제적 과제 환경(economic task environment)과 사회정치적 환경(socio-political environment) 그리고 두 환경에 대한 인식과 행동을 매개하는 산업 체제에 내재된 것으로 개념화하는 구조적 근간이다. 이러한 환경이 산업 내 기업에 영향을 미치는 다양한 메커니즘(mechanism)을 산업 내 기업과 환경 간의 양방향 상호작용에 대한 다차원적 개념화를 제공함으로써 설명될 수 있다. 이 프레임워크에서 환경 구성요소와 산업혁신 간의 관계는 서로 영향을 주고 받을 수 있다. 구체적으로, Pennas and Geels(2015)에 따르면, 경제적 환경(자금·기계·노동·지식의 공급자, 수요자), 산업레짐(규제·법·표준제도, 산업의 임무와 규범, 기술지식과 능력, 신념체계와 자세), 그리고 사회·정치적 환경(정책결정자, 시민사회와 공공담론, 활동가와 사회운동) 등이 핵심 및 주변 기업의 혁신에 영향을 미친다는 것이다(송위진 외, 2017 재인용). 이러한 구분은 본 연구에서 주목하는 규제의 유형화(경제적, 사회적, 행정적 규제)에 일련의 시사점을 제공할 수 있다.

한편, 그린캐즘(Green Chasm)⁷⁾의 논의에 따르면, 환경 및 청정기술의 경우 기술혁신 시스

6) 일련의 연구에서는 삼중배태모형으로 표현하기도 한다(송위진 외, 2017).

7) 캐즘은 첨단 기술 제품이 초기 소수의 혁신적 소비자에서 일반 대중으로 확산되기 이전에 일시적으로 수요가 정체하거나 후퇴하는 현상으로 볼 수 있는데, 이러한 캐즘을 극복하면 대중화될 수 있지만, 그렇지 못할 경우 여전히 소수의 소비자에게만 한정되어 버린다. 따라서 그린캐즘은 녹색 즉 환경분야에 대한 캐즘으로 이해될 수 있다.

템의 수명주기가 길고 기술 격차가 존재하기 때문에 혁신의 실패로 이어지지 않는 것이 중요하다. 결국, 이를 극복할 수 있는 노력이 중요한데, 반독점 규제, 기술에 대한 강제 라이선스 등의 적용 등이 요구될 수 있다. 즉 혁신을 소수의 집단에 그치는 것이 아니라 보다 많이 향유할 수 있도록 위해 규제가 필요할 수 있다는 논리로 해석할 수 있는 것이다(Ahn & Yoon, 2020).

3. 선행연구 검토

선행연구 검토에서는 혁신에 대해서 규제가 미치는 영향을 분석한 연구를 중심으로 그 논의를 살펴보았다. 먼저, 유정민(2020)은 기업의 규제인식이 제품혁신 활동에 미치는 영향을 실증적으로 분석하여, 기술형과 비기술형 규제가 혁신을 촉진하는지를 살펴보았다. 분석결과, 비기술형 사회적 규제가 혁신을 저해하고, 기술형 사회적 규제는 혁신을 촉진한다고 나타났다. 이러한 결과는 규제의 유형에 따라서 혁신에 미치는 영향이 차이가 나타날 수 있음을 보여준다. 규제가 중소기업의 기술혁신에 미치는 영향을 분석하여 Porter가설이 지지됨을 확인한 손동섭·이정수·김윤배(2017)에 따르면, 무조건적인 규제철폐가 아닌 적절한 규제와 지원을 통해서 혁신이 창출되어야 한다고 주장한다.

배영임·신혜리(2019)에 따르면, 정부의 규제완화 노력에도 불구하고 기업 관련 규제는 실제 기업의 경영 활동을 제약하는 문제점으로 인식되며, 이를 해소하기 위하여 추진 중인 규제샌드박스에 대한 활용도가 높을 것으로 전망되고 있으나 이에 대한 인식은 22% 수준으로 여전히 낮은 편이라고 제시한 바 있다. 규제와 중소기업의 혁신성과를 실증적으로 분석한 안승구 김권식·이광훈(2018)에 따르면, 중소기업이 인식하는 규제는 R&D 투자와 제품·공정 혁신에 부정적인(-) 영향을 미치며, 이는 기업 성과에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 국내 제조업(철강 구조물용 내화 피복재)의 사례연구를 통해 사회적 규제가 혁신에 미치는 영향을 포터가설을 활용해 분석한 장철권·지일용(2017)의 연구에 따르면, 사회적 규제가 혁신유인으로 볼 수 있다고 주장했다. 또한, 이들 제조업체들이 사회적 규제에 순응함으로써 다양한 혁신을 창출해 경쟁력을 확보하는데도 긍정적이라고 설명한다.

김유진(2022)은 국내를 중심으로 창업기업의 혁신에 규제 방식이 미치는 영향을 기존 연구의 문헌검토를 통해 고찰하였다. 결국, 규제가 증가할 때 기업은 위험성이 낮은 전략을 추구할 가능성이 크기 때문에, 혁신활동에 적극적이지 않을수도 있지만(Birnbaum, 1984), 기업의 규모에 따라서 혁신활동에 차이가 날 수 있다(Thomas, 1990)는 결과가 보고되기도 하였다(김유진,

2022 재인용). 규제와 기업의 다양한 특성을 고려하여 혁신규제가 기업의 성장에 미치는 영향을 분석한 김정호·이제영(2020)의 연구에 따르면, 혁신 규제는 기업의 성장에 부정적이지만 조건에 따라서 그 영향이 달라질 수 있다고 분석하였다. 기업의 규모(대기업, 중견기업, 중소기업 등)에 따라서 규제가 혁신에 미치는 영향을 실증적으로 분석한 정지은·안준모(2022)의 연구에서는 기업의 규모별로 차이가 있다는 것을 밝혔다. 대기업과 중견기업에서는 사회적 규제가 혁신을 촉진하지만, 고기술 분야에서는 혁신을 저해하는 결과가 도출된 것이다. 또한, 중소기업에서는 경제적, 행정적 규제가 혁신을 촉진할 수 있지만, 고기술 분야에서는 마찬가지로 혁신에 부정적이었다.

미국 첨단 통신 서비스의 사례를 분석한 Prieger(2002)에 따르면, 서비스 혁신과 규제 지연(regulatory delay) 간 영향관계가 존재하는 것으로 나타났다. 규제 지연이 증가할수록, 혁신이 없는 기업이 더 많이 발생한다. 특히, 간접효과 모형에서는 혁신과 규제 지연이 양(+)의 관계를 보이는데, 이는 더 많은 혁신과 더 긴 규제 지연을 유발하는 관찰되지 않은 요인(evidence of unobserved factors)의 증거로 이해될 수 있다. 전반적으로 규제가 없었다면 관련 기업이 소비자에게 더 많은 서비스를 소개할 수 있었을 것으로 예상한다.

제조업 부문을 중심으로 규제가 혁신에 미치는 영향을 분석한 김권식 외(2016)의 연구에 따르면, 규제강화는 기술혁신 활동 및 성과를 저해하는 것으로 나타났다. 이에, 규제의 품질관리와 개혁을 위한 정부의 역할이 중요할 수 있다. 기업 규모와 제약사의 혁신에 대해서 분석한 Thomas(1990)의 연구에서는 미국의 FDA 규제효과로 인해 소규모 제약사를 중심으로 연구생산성(R&D expenditures로 측정)이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 대형 제약사는 규제의 혜택(benefit)을 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 소규모 제약사가 상대적으로 (전문)인력의 부족 등으로 규제를 제대로 인지하지 못할 가능성이 크며 이에 따라서 혁신을 저해할 수 있다는 것으로 해석된다. 즉, 규제에 제대로 순응할 수 있는 역량이 부족할 수 있다는 것이다.

〈표 1〉 주요 선행연구의 내용

연구자(연도)	주요 내용
배영임·신혜리(2019)	• 정부의 기업 관련 규제는 경영에 부정적(-)이며, 규제완화를 위한 샌드박스의 활용도가 높지 않음
안승구 외(2018)	• 규제는 혁신에 부정적인(-) 영향을 미치기 때문에, 기업 활동을 저해하는 규제를 식별할 필요성이 요구됨
유정민(2020)	• 비기술형 사회적 규제가 혁신을 저해하고, 기술형 사회적 규제는 혁신을 촉진하기 때문에, 규제의 유형에 따라서 혁신에 미치는 영향이 차이가 나타남

연구자(연도)	주요 내용
장철권·지일용(2017)	• 사회적 규제는 혁신에 긍정적임(+)
김정호·이제영(2020)	• 혁신규제는 기업의 성장에 부정적(-)이지만, 규제 특성, 산업유형 등의 조건에 따라서 그 효과가 상이함
정지은·안준모(2022)	• 사회적 규제는 혁신에 긍정적일 수 있지만, 이러한 영향이 기업의 기술분야에 따라서 차이가 날 수 있으며, 기업의 규모에 따라서도 영향이 다양하게 나타날 수 있음(복합적 결과 제시)
Prieger(2002)	• 미국 통신 서비스 기업 대상 규제는 혁신에 부정적인 영향을 미침
Thomas(1990)	• 미국 제약 기업 대상 규제효과는 기업의 규모에 따라서 상이함
손동섭 외(2015)	• 중소기업 대상 규제는 혁신에 긍정적인 영향을 미치며, 지원과 규제의 적절한 접근을 통해 혁신을 창출하는 것이 중요함
김권식 외(2016)	• 제조업 부문을 중심으로 규제가 강화될수록, 기업의 기술혁신 활동 및 성과에 부정적인 영향을 미침

출처: 개별 논문의 내용을 토대로 저자 재구성

이외에도 기업 혁신의 영향요인과 관련해, 기업의 업력도 혁신에 영향을 미칠 수 있는데, 중소기업의 생존에 혁신이 미치는 영향을 분석한 황정태(2011)의 연구에 따르면, 기업의 규모와 나이가 혁신과 중요할 수 있다고 설명한다. 즉, 상대적으로 업력이 오래되지 않은 중소기업일수록 혁신에 유리할 가능성이 있다고 볼 수 있다. 한편, 기업의 규모에 관해서는 기존의 논의는 일관된 결과를 제시하지 못하고 있다. 즉, 기업의 규모가 클수록 혁신에 유리할 수도 있으며, 반대로 불리할 수도 있다는 혼합된 결과를 제시하고 있기 때문이다(Rothwell and Dodgson, 1994).

상기와 같이 선행연구 검토를 통해서 알 수 있는 것은 규제와 혁신과의 관계, 즉 연관성에 관해서 지속적으로 많은 논의가 이루어진 것을 알 수 있다. 하지만, 결과에서도 나타나듯이, 규제와 혁신과의 관계가 보다 복잡다양할 수 있으며 일반화된 견해를 제시하는데 제한적이라는 것을 알 수 있다. 무엇보다 본 연구가 주목하는 소부장 산업을 중점적으로 살펴본 연구는 여전히 학술적 논의가 미비한 것으로 나타난다. 이에 본 연구에서는 기존 연구의 한계를 극복하고, 소부장 기업의 혁신에 미치는 영향요인으로서 규제가 어떤 역할을 수행하는지를 실증적으로 분석하여 정책적 함의를 도출하고자 한다.

Ⅲ. 연구방법

1. 분석자료

본 연구는 실증분석을 위해서, 과학기술정책연구원(Science and Technology Policy Institute, STEPI)의 2022년도 한국기업혁신조사(Korean Innovation Survey, KIS) 자료를 활용하였다.⁸⁾ 해당 조사 자료는 국내 기업의 혁신 상태와 특징을 지속해서 파악하고 분석하는 것을 목적으로 한다. 그리고 국제 혁신 조사 기준인 OECD의 오슬로 매뉴얼을 기반으로 설계되어, 국제적으로 비교 가능한 기업 차원의 혁신 활동 데이터를 수집하고 있다. KIS는 한국의 제조업 및 서비스업의 혁신 활동에 관한 전반적인 현황과 특성을 체계적으로 이해하고, 이를 통해 국가 혁신 정책의 수립과 혁신 연구의 기초 자료를 제공해 왔다. 이 조사는 1996년 「우리나라 제조업의 기술혁신조사」로 처음 실시되었고, 2024년 현재까지도 지속해서 조사되고 있다. 무엇보다 KIS는 기업의 혁신활동과 혁신성과를 살펴봄으로써, 국가 경제나 산업 내 혁신의 미래를 예측하는데 긍정적으로 활용될 수 있다. 또한, 혁신 지원 프로그램이나 관련 규제 변화가 향후에 미칠 영향을 평가하는 지표 개발에도 활용될 수 있다(이정우 외, 2018). 보다 구체적으로, KIS는 기업체 내 상시종사자 수가 10명 이상인 제조업 및 서비스업 기업체를 대상으로 조사되고 있다. 자료의 수집을 위해서, 다양한 방법(방문, 웹 설문, 전화, 팩스, 이메일 등)을 활용했으며, 격년으로 제조업과 서비스업을 대상으로 실시되고 있다.

〈표 2〉 조사의 개요

구분	내용
조사대상	• 조사기준 시점에 기업 활동을 수행한 상시종사자 수 10이상의 제조업 및 서비스업 기업체
조사방법	• 방문, 웹 설문, 전화, Fax, E-mail 등 다양한 조사방법을 병행
조사주기	• 짝수 해(제조업), 홀수 해(서비스업)
조사기준시점	• 조사년도 이전 3년
표본규모	• 제조업: 4,000개사, 서비스업: 4,000개사
표본추출틀	• 조사년도 이전 최신 통계청 기업통계등록부(SBR)
표본추출	• 표본추출방법은 업종별로 1차 층화하고 다시 종사자 규모를 기준으로 2차 층화하는 다단계 층화계통추출법 적용(단, 상시종사자 수 500인 이상 기업은 절사추출을 통해 전수조사) - 표본배분에는 네이만배분법 적용
가중치	• 업종과 규모를 고려하여 표본 가중치를 산출하여 모수를 추정

자료: 한국기업혁신조사(https://www.stepi.re.kr/kis/service/sub01_research_design.do)

8) 본 연구의 분석에서는 소재, 부품, 장비 등 제조업만을 대상으로 하고 있다.

본 연구에서는 10인 이하의 소기업은 분석대상에서 포함하지 않는다. KIS 데이터가 이를 포함하지 않는 주요 이유로 다음을 고려해볼 수 있다. 10인 이하의 소기업과 창업기업은 초기에 성장을 위한 동력을 마련할 수 있도록 규제를 유예하는 방안이 중요하게 고려될 수 있다. 이에 대해서 정부는 2022년 ‘창업기업 신설강화 규제 유예 제도’의 필요성을 중요하게 인식하면서, 이들 기업의 신사업 진출을 저해하는 이른바 허들규제의 극복이 필요하다고 살펴본 바 있다. 유사하게 영국은 이미 2011년 ‘소기업 규제 유예 제도’를 전면적으로 시행하며, 10인 이하 기업과 창업기업에 한정하여 3년간 새로운 규제의 적용을 유예하고 있다.⁹⁾ 따라서, 규제의 영향을 고려함에 있어 10인 이하의 소기업은 한시적으로 규제의 대상에서 유예하는 것이 필요한 것으로 이해된다. 즉, 규제의 영향 대상으로 분석하는 것이 적절치 않거나 현재 상황에서는 불필요하다고 판단된다.

또한, 본 연구는 소부장 업종을 중심으로 하고 있어서, 제조업 중에서 섬유제품 제조업; 의복제외, 펄프, 종이 및 종이제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외, 의료용 물질 및 의약품 제조업, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업, 비금속 광물제품 제조업, 1차 금속 제조업, 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업, 전기장비 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 자동차 및 트레일러 제조업, 기타 운송장비 제조업에 포함되는 업종만을 대상으로 하고 있다.

2. 변수

아래 <표 3>은 한국기업혁신조사(KIS)에 근거하여 본 연구에서 활용된 주요 변수의 개요를 설명하고 있다. KIS 조사의 목적은 기업의 혁신 성과에 영향을 미치는 요인들을 식별하고 분석하는 것이며, 포함된 변수들은 종속변수, 독립변수, 그리고 통제변수로 구분되어 있다. 먼저, 종속변수와 관련해 혁신 성과는 상시종사자 수가 10명 이상인 제조업 및 서비스업 기업체에서 이루어진 혁신 활동의 결과물인 혁신성과다. 혁신성과는 기업의 혁신적 성과를 나타내며, 이는 제품, 서비스, 공정, 조직, 마케팅 등 다양한 혁신 영역을 포괄할 수 있다. 다음으로, 독립변수는 경제적 규제, 사회적 규제, 그리고 행정적 규제가 포함된다. 경제적 규제는 독점규제, 가격제한, 공공재화/서비스의 민간 진입 규제, 중소기업 적합업종 규제, 금융 시장 규제 및 은산분리 등 경제 활동에 대한 규제를 포함한다. 사회적 규제는 환경 규제, 산업 안전 및 보건 규제, 소비자 안전

9) 중소벤처기업부(2022.10.21.) “중소벤처기업부, 기업부담 완화 위한 규제개혁 박차”
 ”(<https://www.mss.go.kr/site/smba/ex/bbs/View.do?cbldx=86&bcldx=1036698&parentSeq=1036698>)

및 위생 규제, 근로(고용/노동) 기준 및 규제 등이 여기에 해당한다. 행정적 규제는 창업 조건, 특허 및 상표권 등 지적재산(IP) 보호에 관련된 규정이 포함된다. 그리고, 통제변수는 인력(기업의 종사자 수 규모), 매출(조사년도 이전 최신 통계청 기업통계등록부를 기반으로 한 기업의 매출액), 업력(기업의 설립연도로부터 조사 기준 연도까지의 기간), 기업 형태(독립기업, 국내그룹 계열사, 해외그룹 계열사 등 기업의 소속 형태), 법정 규모(소기업, 중기업, 중견기업, 대기업 등) 기업의 규모에 따른 분류로 볼 수 있다.

변수에 대한 측정은 다음과 같다. 먼저 종속변수인 혁신 성과는 기존의 선행연구에 기반하여, 상품 또는 서비스의 혁신 여부이며, 혁신은 1, 비혁신은 0으로 측정하였다(손동섭 외, 2015). 핵심 독립변수로는 경제적 규제(독점 규제, 가격제한 등), 사회적 규제(환경 규제, 산업안전 규제 등), 행정적 규제(창업 조건, 지적재산 보호) 등이 포함되었으며, 이에 대한 측정은 혁신을 저해(1)~혁신을 촉진(5) 등으로 5점 척도로 조사되었다. 그리고, 통제변수로는 인력(종사자 수), 매출(연간 매출 규모), 업력(기업의 설립연도 대비 기준 연도), 기업 형태(독립그룹, 국내그룹 계열사, 해외그룹 계열사), 법정 규모(소기업, 중기업, 중견기업, 대기업) 등이 포함되었다(손동섭 외, 2017).

특히 변수의 측정과 관련해, KIS의 내용에 따르면 규제를 1~5점 척도로 측정하여 낮을수록 저해하고 높을수록 촉진한다고 설명한다. 따라서, 엄밀한 관점에서 규제의 강도나 수준보다는 일반적인 규제에 대한 인식이라고 이해된다. 즉, 규제의 인식 혹은 인지된 규제 수준이라고 더욱 명확히 표현해야 할 필요성이 있다는 것이다. 본 연구에서는 이를 전반적인 혁신에 대한 규제의 영향 또는 관계를 설명하기 위한 일련의 대리(proxy) 변수로 접근하여 설명한다. 이와 관련해, 기존의 연구에서도 규제의 측정에 대해서 규제를 3가지로 유형(경제적 규제, 사회적 규제, 행정적 규제 등)으로 구분한 바 있다(정지은·안준모, 2022). 그리고 규제의 유형을 경제적 규제와 사회적 규제로 구분하며 이들 규제가 기술형인지 혹은 비기술형인지 대해서 고찰하며, 5점 척도로 구분된 규제 측정을 ‘촉진’과 ‘저해’ 그리고 ‘영향없음’ 등으로 구분하기도 했다(유정민, 2020). 무엇보다 이에 대한 이론적 지지를 확보하기 위해, 전환이론의 관점에서의 삼중 통합 프레임워크(Geels, 2014; Pennas and Geels, 2015)를 활용하면, 경제적 환경, 사회·정치적 환경, 그리고 산업레짐 등을 본 연구가 유형화한 경제적 규제, 사회적 규제, 행정적 규제 등으로 구분해 설명할 수 있다. KIS에서 조사된 데이터를 기반으로 기업의 혁신 성과에 영향을 미치는 규제 요인을 포함한 다양한 특성들을 체계적으로 분석하기 위한 변수 구성을 아래 <표 3>과 같이 제시할 수 있다.

〈표 3〉 변수의 개요

	변수	내용	측정
종속변수	혁신 성과	<ul style="list-style-type: none"> • 상품 또는 서비스의 혁신 여부 	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신 = 1 nor 0
독립변수	경제적규제	<ul style="list-style-type: none"> • 독점 규제에 의한 경쟁 제한, 가격제한, 공공재화/서비스 민간 진입 규제, 중소기업 적합업종 규제, 금융 시장 규제와 은산분리 	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신을 저해(1)~혁신을 촉진(5)
	사회적 규제	<ul style="list-style-type: none"> • 환경상의 규제, 산업안전 및 보건 규제, 소비자안전 및 위생 규제, 근로(고용/노동) 기준과 규제 	
	행정적 규제	<ul style="list-style-type: none"> • 창업 조건 관련 규정, 특허, 상표권 등 지적재산(IP) 보호 	
통제변수	인력	<ul style="list-style-type: none"> • 종사자 수 규모 	<ul style="list-style-type: none"> • 10~49인(1) • 50~99인(2) • 100~299인(3) • 300~499인(4) • 500인 이상(5)
	매출	<ul style="list-style-type: none"> • 연간 매출 규모 	<ul style="list-style-type: none"> • 10억원 미만(1) • 10억원 이상~50억원 미만(2) • 50억원 이상~100억원 미만(3) • 100억원 이상~500억원 미만(4) • 500억원 이상~1000억원 미만(5) • 1000억원 이상(6)
	업력	<ul style="list-style-type: none"> • 기업의 설립연도 대비 기준 연도 	<ul style="list-style-type: none"> • 7년이하(1) • 8~15년(2) • 15년 이상(3)
	기업 형태	<ul style="list-style-type: none"> • 독립그룹/국내그룹 계열사/해외그룹 계열사 	<ul style="list-style-type: none"> • 독립그룹(1) • 국내그룹 계열사(2) • 해외그룹 계열사(3)
	법정 규모	<ul style="list-style-type: none"> • 소기업/중기업/중견기업/대기업 	<ul style="list-style-type: none"> • 소기업(1) • 중소기업(2) • 중견기업(3) • 대기업(4)

자료: 한국기업혁신조사(https://www.stepi.re.kr/kis/service/sub01_research_design.do)

3. 요인분석 결과

본 연구에서 핵심적으로 활용하는 규제 변수는 구체적으로 세분화할 수 있다. 이에, 요인분석을 통해 조사된 규제의 내용이 유형화될 수 있는지를 살펴볼 필요가 있다. 아래 <표 4>는 경제적 규제, 사회적 규제, 행정적 규제라는 세 가지 주요 변수에 대한 요인분석 결과를 제시한 것이다. 각 변수는 규제에 관한 특정 문항에 의해 측정되었으며, 요인분석을 통해 세 가지 요인으로 유의미하게 구분된 것을 알 수 있다. <표 4>의 값은 요인의 설명되지 않는 고유성과 내적 일관성을 보고하고 있다. 경제적규제, 사회적규제, 행정적규제의 내적 일관성을 보이는 Cronbach alpha 값은 각각 0.8198, 0.8759, 0.6921로 나타났으며, 분석에 활용해도 문제가 없는 수준으로 나타났다.

<표 4> 주요 변수의 요인분석 결과

구분	Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Uniqueness	Cronbach alpha
경제적 규제	규제_1	0.3475	0.7006	0.0137	0.3883	0.8198 (5 items)
	규제_2	0.4295	0.6596	0.0923	0.3720	
	규제_3	0.4352	0.5441	0.1330	0.4969	
	규제_4	0.4582	0.5688	0.1221	0.4516	
	규제_5	0.1965	0.5955	0.3763	0.4652	
사회적 규제	규제_6	0.8012	0.2632	-0.0248	0.2882	0.8759 (4 items)
	규제_7	0.8533	0.2346	-0.0006	0.2169	
	규제_8	0.8176	0.2373	0.0160	0.2749	
	규제_9	0.6973	0.2318	0.1553	0.4359	
행정적 규제	규제_10	0.0444	0.2047	0.6862	0.4852	0.6921 (2 items)
	규제_11	-0.0455	0.0051	0.6618	0.5599	

IV. 실증분석 결과

1. 기술통계

먼저, 주요 변수의 기술통계를 살펴보면, 전체 조사에 포함된 기업은 4,000개 수준인데 이 중에서 실제로 혁신을 수행한 기업은 약 31% 수준으로 나타나고 있어 1,200여개의 기업이 혁신을 수행한 것으로 이해된다. 또한, 핵심적인 독립변수인 규제에 있어, 각각 2.74, 2.80, 2.64 등으로 나타나고 있어, 기업이 인식하고 있는 규제에 관한 주관적 태도는 3(보통)보다 낮은 것으로 보인다. 따라서, 아래 <표 5>에 제시된 평균값만을 고려할 때, 경제적 규제, 사회적 규제, 행정적 규제 모두 혁신성과를 촉진하기보다 큰 의미가 없다는 즉, 오히려 저해할 수도 있다는 인식으로 이해할 수도 있으나, 이는 실제 구체적인 분석을 통해 더 살펴볼 필요가 있다.

<표 5> 주요 변수의 기술통계

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
혁신성과	4,000	0.310	0.462	0	1
경제적 규제	3,122	2.739	0.613	1	5
사회적 규제	3,236	2.798	0.705	1	5
행정적 규제	2,440	2.644	0.771	1	5

먼저, 종속변수인 기업의 혁신 여부와 관련해, 모든 변수들이 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 특히, 기업의 매출이 0.40으로 투입된 변수 중에서 가장 높은 양(+)의 상관관계를 보인다. 본 연구의 주요 독립변수인 규제관련 변수는 -0.06으로 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이외에 독립변수 및 통제변수 간 높은 상관관계를 보이는 변수는 기업의 매출과 근로자 수인데, 이는 0.82로 나타났다. 마찬가지로, 법정규모와 인력 그리고 매출과도 각각 0.84와 0.97과 같은 높은 상관관계를 보인다. 기업의 규모가 클수록 매출액과 근로자 수가 높은 것은 일반적으로 주지된 사실이기 때문에, 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 다만, 높은 상관관계로 인해 분석 과정에서 나타날 수 있는 문제를 사전에 파악하기 위해, 분산팽창요인(variance impact factor, VIF)을 통해 결과를 검토하였다. 아래 <표 6>에 제시된 바, VIF 테스트에서 10을 넘는 결과가 도출되지 않았기 때문에, 제시된 변수들을 실제 분석에 활용가능한 것으로 나타났다.

〈표 6〉 변수 간 상관관계

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	VIF	1/VIF
혁신 성과	1										
경제적 규제	0.21*	1								1.74	0.57
사회적 규제	0.16*	0.63*	1							1.70	0.59
행정적 규제	-0.10*	0.20*	0.12*	1						1.06	0.95
인력	0.40*	0.13*	0.12*	-0.06*	1					4.31	0.23
매출	0.40*	0.13*	0.12*	-0.05*	0.82*	1				6.53	0.15
업력	0.14*	0.00	0.02	-0.02	0.24*	0.29*	1			1.12	0.89
기업 형태	0.23*	0.06*	0.09*	-0.08*	0.57*	0.54*	0.16*	1		1.60	0.62
법정 규모	0.38*	0.12*	0.12*	-0.04*	0.84*	0.90*	0.26*	0.57*	1	7.09	0.14
Mean VIF										3.14	

주: * $p < 0.05$

먼저, 소부장(소재·부품·장비) 산업에 대한 실증 분석 결과를 제시한 것이다. 전반적으로 규제와 혁신의 관계는 전체 제조업과 소부장 산업 간의 극적인 차이는 나타나지 않았다. 경제적 규제와 사회적 규제는 혁신과 정(+)의 관계를 보였으며, 행정적 규제는 부(-)의 관계를 보이는 것으로 나타났다. 모형 I을 중심으로 결과를 살펴볼 때, 경제적 규제가 한단계 증가할수록 소부장 기업들의 혁신이 약 2.080배 정도 증가할 가능성이 있으며($OR = 2.080$, $p < 0.01$), 행정적 규제가 한단계 증가할수록 소부장 기업들의 혁신이 약 0.814배로 감소할 가능성이 커지는 것($OR = 0.814$, $p < 0.01$)으로 해석할 수 있다. 사회적 규제는 모든 규제 변수가 투입된 모형 I에서는 유의미하지 않았으나, 모형 III에서 사회적 규제 변수만을 투입했을 경우 유의미한 것으로 나타났다. 사회적 규제가 한 단계 증가할 때, 소부장 기업의 혁신 가능성이 약 1.458배 증가할

것으로 나타났다($OR = 1.458, p < 0.01$). 이외에도 인력과 매출은 모든 모형에서 상당히 유의미한 것으로 나타나고 있는데, 이러한 결과는 인력과 매출이 큰 소부장기업일수록 혁신의 가능성 또한 증가할 것으로 해석할 수 있다. 구체적으로, 인력이 증가할 때, 혁신은 약 1.4~1.5배 증가할 가능성이 있는 것으로 나타났으며, 매출은 1.5~1.8배 증가할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

또한, 업력에 따른 분석에서는 8~15년 및 15년 이상의 업력을 가진 소부장 기업들이 레퍼런스 그룹인 업력이 7년 이하인 소부장 기업들에 비해서 혁신의 가능성이 더 큰 것으로 나타나고 있다. 이는 업력이 긴 기업이 더 안정적인 성장 가능성을 통해 혁신을 창출하는 것으로 해석할 수 있다. 하지만, 이러한 결과는 모든 변수가 투입된 모형 I에서는 유의미하지 않았다. 기업 형태에 대한 분석에서 해외그룹 계열사는 모든 모형에서 유의미하게 낮은 결과를 보여주었으며($OR = 0.326 \sim 0.411, p < 0.01$), 이는 해외그룹 계열사가 국내 독립 기업에 비해 상대적으로 낮은 혁신을 보여주는 것으로 이해될 수 있다. 즉, 국내독립 기업이 해외그룹 계열사보다 혁신 성장 가능성이 큰 것으로 볼 수 있다. 그리고, 법정 규모에 따른 분석에서는 중견기업과 대기업이 소기업에 비해서 혁신 가능성이 큰 것으로 분석되고 있다. 하지만, 모형 III에서는 소기업보다 중기업이 혁신 가능성이 큰 것으로 보고되었다($OR = 1.128, p < 0.1$).

종합적으로 볼 때, 전체 제조업에 비해서 큰 차이는 나타나지 않았지만, 여전히 경제적, 사회적 규제가 혁신을 촉진할 수 있으며, 행정적 규제는 혁신을 저해할 가능성이 큰 것으로 나타나고 있다.

〈표 7〉 실증분석 결과(소부장 산업)

	모형 I	모형 II	모형 III	모형 IV	모형 V
경제적 규제	2.080*** (0.255)	1.947*** (0.150)			
사회적 규제	1.036 (0.104)		1.458*** (0.095)		
행정적 규제	0.814*** (0.055)			0.876** (0.055)	
인력	1.500*** (0.112)	1.450*** (0.094)	1.408*** (0.089)	1.495*** (0.107)	1.451*** (0.084)
매출	1.855*** (0.205)	1.688*** (0.153)	1.687*** (0.146)	1.838*** (0.189)	1.572*** (0.125)
업력 (ref. 7년이하)					

	모형 I	모형 II	모형 III	모형 IV	모형 V
8~15년	1.287 (0.246)	1.499** (0.246)	1.528*** (0.246)	1.396* (0.256)	1.691*** (0.260)
15년 이상	1.118 (0.189)	1.306* (0.190)	1.317* (0.187)	1.141 (0.185)	1.475*** (0.200)
기업 형태 (ref. 독립기업)					
국내그룹 계열사	0.970 (0.160)	1.025 (0.144)	0.998 (0.131)	0.948 (0.146)	1.132 (0.139)
해외그룹 계열사	0.329*** (0.123)	0.389*** (0.120)	0.355*** (0.107)	0.326*** (0.114)	0.411*** (0.117)
법정 규모 (ref. 소기업)					
중기업	0.798 (0.179)	1.130 (0.210)	1.128* (0.202)	0.799 (0.171)	1.174 (0.199)
중견기업	0.314*** (0.129)	0.531* (0.180)	0.558* (0.182)	0.366*** (0.142)	0.661 (0.201)
대기업	0.257*** (0.123)	0.458* (0.185)	0.516*** (0.201)	0.307*** (0.138)	0.597 (0.213)
_cons	0.005*** (0.002)	0.005*** (0.002)	0.011 (0.003)	0.039*** (0.012)	0.026*** (0.006)
N	1,974	2,730	2,807	2,066	3,390
Pseudo R ²	0.199	0.193	0.174	0.166	0.162

주: 상기 보고된 값은 Odds Ratio를 의미하며, 괄호 안은 standard error를 의미함(* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$)

다음 분석 결과는 소부장 산업을 세부 산업으로 구분하여 경제적, 사회적, 행정적 규제가 기업에 미치는 영향을 로짓 분석으로 나타낸 것이다. 이를 통해서, 소부장 세부산업별로 규제가 미치는 영향이 상이할 수 있음을 알 수 있다. 먼저, 화학 산업에서는 사회적 규제가 강하게 유의미한 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 의약 산업에서도 사회적 규제가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 고무 및 금속 산업에서는 행정적 규제가 유의미하게 영향을 미쳤다. 전자 산업은 경제적 규제가 매우 유의미한 영향을 미치는 반면, 의료 장비 산업에서는 행정적 규제가 약간 유의미

했다. 기타 장비 및 전기 장비 산업에서도 경제적 규제가 유의미한 영향을 보이며, 자동차 산업에서는 경제적 규제와 행정적 규제가 유의미한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 한편, 의료장비에서는 행정적 규제가 혁신과의 관계에 있어 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 개별 산업이 규제의 종류에 따라 다르게 반응할 수 있다는 것을 알 수 있는 대목이다. 규제의 영향이 특정 산업에서는 중요할 수 있지만, 다른 산업에서는 규제의 영향이 크지 않을 수도 있다는 것으로 해석된다.

〈표 8〉 실증분석 결과(소부장 세부산업)

	의류	화학	의약	고무	금속	전자	의료 장비	전기 장비	기타 기계	자동차
경제적 규제	2.44	0.72	0.36	0.16	0.60	5.50***	2.05	17.14*	3.16***	1.75*
사회적 규제	0.89	4.03***	15.88**	2.93	0.51	1.34	0.94	1.86	0.99	0.92
행정적 규제	1.30	1.81	0.37	5.69**	2.19**	0.92	0.48*	21.49	1.17	1.74***
통제 변수	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
N	85	174	80	109	217	245	94	111	309	220
Pseudo R ²	0.226	0.495	0.449	0.542	0.569	0.336	0.227	0.358	0.202	0.289

주: 상기 보고된 값은 Odds Ratio를 의미(* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$)

주2: 모든 통제변수가 동일하게 투입되었으나 결과를 보고하지 않고 생략하였으며, 통계적으로 유의미한 모형만 분석 대상에 포함(Prob > chi2 = 0.0000)

연구 결과를 종합하면, 기존의 연구와 마찬가지로 Porter의 혁신이론을 지지하는 결과로 이해된다(손동섭 외, 2017). 즉, 소부장 기업을 대상으로 살펴볼 때, 경제적, 사회적 규제가 혁신을 촉진할 가능성이 크다고 해석할 수 있다. 한편, 규제와 혁신 간의 관계가 존재하지 않는다는 오염 피난처 가설의 설명에서도 일부 결과가 지지될 수 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과에 더해, 기존의 논의에서도 나타난 것처럼 규제가 경제적 성과에 미치는 영향은 일관되지 못하지만, 규제완화는 기업이 정신을 활성화할 수 있으며, 혁신적 아이디어의 활용으로 변화를 주도하

고 촉진할 수 있다는 측면에 주목할 필요가 있다. 이 과정에서 포터가설과 같이 규제와 경제성장의 공진화가 제시될 수 있으며, 정부는 규제의 방향성을 설정할 수 있기 때문이다(김종호·오준병, 2009).

그리고 소부장 기업을 중심으로 행정적 규제는 혁신에 부정적일 수 있다는 기존의 전환이론과 그린캐즘의 논의를 지지하는 것으로 이해될 수 있다. 정부 규제의 비합리성 및 비효율성 등 제도적 장벽이 혁신활동과 혁신성과에 부정적일 수 있으며, 결국 혁신성과가 사회 전반으로 확산되는 데도 매우 제한적일 수 있다. 이러한 내용이 결국 기존의 논의에서 제시된 혁신 과정에 존재하는 장애물로 혁신주기와 기술격차에 발생하는 것으로 이해될 수 있다(Ahn and Yoon, 2020). 결국, 과학기술의 발전에 따라 고도화된 다양한 산업문제에 대해서 단순한 경제 및 기술적 수준의 접근으로는 한계가 있다. 즉, 기술혁신 기반한 선제적 대응 및 관리가 중요하다. 이를 위해, 불확실성에 대한 규제의 새로운 질서 이해를 위한 기반이 중요할 수 있으며, 공공-민간의 공동의 노력이 더욱 촉구될 수 있다(이한웅 외, 2015). 이러한 측면에서, 규제가 혁신에 미치는 영향 또는 관계를 규명하는 것은 매우 중요한 과제라고 인식된다.

V. 결론 및 정책적 함의

2019년 일본의 수출규제는 우리나라의 반도체·디스플레이 그리고 소재부품 등에 있어 자체 경쟁력을 강화해야 한다는 중요한 계기를 마련했다. 당시 해당 품목의 확보가 어려워, 우리 경제에 부정적인 영향을 초래하기도 했지만, 오히려 이러한 계기를 통해 국내 산업 경쟁력이 강화될 수 있는 요인으로도 작용했다. 이는 소부장 산업발전에 있어, 국산화와 같은 혁신이 매우 중요할 수 있으며, 이 과정에서 정부의 지원 및 관리가 필수적이라는 것을 의미한다. 하지만, 동시에 정부의 규제적 접근에 대해서도 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 맥락에서 소부장 산업을 중심으로 규제와 혁신성과 간의 관계에 대해서 실증적으로 분석하였으며, 경제적 규제와 사회적 규제는 소부장 기업의 혁신 성과에 긍정적인(+) 것으로 나타났으며, 행정적 규제는 부정적인(-) 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해서 다음과 같은 정책적 함의를 도출할 수 있다.

과학기술 등 신기술의 발전에 따른 급변화는 환경의 변화로 말미암아 소부장 산업정책의 발전을 위해서 선제적 대응의 모색이 중요한 시점이다. 따라서, 기본적으로 사회내에서 규제가 제도화되는 과정을 신중하게 수용하고 접근하는 것이 필요하다. 이와 연관해, 특정 기술이나 그 기술

을 적용한 제품이 시장에 도입되고 사회적으로 수용될 때 필요한 여부, 시점, 방법 등을 결정해야 하는 구체적이고 현실적인 문제이다. 그리고 이 과정에서 다양한 이해관계자 간의 갈등을 조율하는 방법도 중요하다(윤혜선, 2017).

결국, 규제는 당국과 정부가 피규제집단인 시장과 민간 활동에 영향을 미치기 위해 규칙을 실행하는 것을 의미하는 것으로, 기업, 산업, 경제의 혁신활동에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 규제가 혁신에 미치는 영향을 검토하기 위한 규제 관련 데이터를 시장별, 목적별로 수집해야 하며, 이를 통해 규제가 혁신을 저해하는지 혹은 규제가 기업에 적용되지 않는지 종합적으로 파악할 수 있다. 이에, 규제 준수를 위한 혁신 투자 여부와 준수 비용이 높은 규제 유형, 혁신과 시장 진입에 영향을 미치는 규제에 관한 정보도 체계적으로 수집함과 동시에 규제의 범위에 대한 고려가 중요하게 인식될 수 있다(이정우 외, 2018).

또한, 소부장 산업의 발전 방향에 관해서 변화하는 기술정책 패러다임에 관한 고려와 더불어, 혁신을 촉진할 수 있는 정책 어젠다(policy agenda)의 발굴이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 즉, 소부장 산업의 발전을 위해 혁신의제와 정책과제를 발굴하는 것이 필요한 것이다. 이러한 측면에서, 우리나라의 소부장 등 핵심 산업을 발전시키기 위한 정책발굴을 통해, 전략적 시사점을 도출하는 것이 중요하다. 이를 위해서, 글로벌 상황의 변화뿐만 아니라 국내 차원의 요인에도 적극적인 대응이 필요하다. 이를테면, 소부장 등 산업이 지속해서 발전할 수 있도록 역량이 있는 인력의 양성과 이를 지원할 수 있는 정책의 일관성 유지가 필요하다. 또한, 본 연구의 결과에서도 나타났듯이, 정부의 규제가 기업의 혁신에 미치는 영향을 고려해 그 방향성을 설정하는 것이 매우 중요하다고 하겠다. 그뿐만 아니라, 소부장 산업의 선도화를 위해서 신기술을 활용한 융복합 산업으로의 적극적 추진과 기술개발 지원정책이 수반될 필요가 있을 것이다. 이러한 노력을 통해, 향후 소부장 산업이 글로벌 산업 패러다임의 변화에도 유연한 대응이 가능할 것으로 판단된다.

그리고 지속적인 규제완화를 통한 기업 지원이 필요하다. 규제는 기업의 경영 및 혁신성과를 저해할 수 있으므로, 산업의 특성을 고려하여 제도적 절차와 정책의 집행과정에서 발생하는 현실과의 괴리 현상을 극복할 수 있도록 해야 한다. 그리고, 소부장 분야의 경쟁력 향상을 위해, 인력양성과 R&D지원 등 정부 주도의 정책적 지원의 노력이 필요할 수 있다. 소부장 관련 기업의 혁신성과를 더욱 촉진할 수 있는 투자유치도 중요하다. 이를 위해서 국내뿐만 아니라 해외로부터의 투자유치와 국내에 이미 유치된 외국인투자기업과의 전략적 협력도 중요할 수 있을 것이다. 특히, 소부장 분야는 일본계 기업의 영향력이 여전히 크게 작용할 수 있으므로, 이에 관한 경쟁력

확보가 필요하다.

마지막으로 본 연구에서 다루지 못한 것을 고려하여, 다음과 같은 후속연구가 필요할 것으로 판단된다. 먼저, 본 연구는 기업의 규제와 혁신에 관한 설문조사를 활용한 분석을 수행했기 때문에, 향후 연구에서는 실제 기업을 대상으로 규제지수를 산출하여, 규제의 완화가 정책수단으로서 효과성을 가지는지를 구체적으로 분석할 필요가 있을 것이다. 즉, 실제 규제의 수준 또는 강도가 아닌 기업의 응답 내용에 기초한 주관적 인식이라는 것이다. 분석을 위해 활용한 규제 변수가 각 규제의 수준이나 정도를 객관적으로 보여주는 지표는 아니기 때문에, 주관적인 규제에 대한 인식과 혁신에 대한 관계를 설명하는 정도로 해석하는 것이 더욱 적절할 것으로 판단된다.

또한, 시기별로 규제의 변화 양상에 따라서 혁신은 어떤 변화를 보이는지도 함께 분석할 수 있다면, 더 풍부한 결과를 제시할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해, 해외 주요 선진국의 소부장 관련 산업 지원 정책 및 제도를 살펴보는 것도 의미가 있을 것이다. 무엇보다 정부의 규제가 기업의 혁신에 부정적일 수 있다는 것은 일부 수용될 수 있으나 일반화하기에는 무리가 있다(유정민, 2020). 즉, 본 연구에서도 나타난 것처럼 경제적 규제와 사회적 규제는 혁신을 촉진하는데 긍정적일 수 있으며, 행정적 규제는 혁신을 저해하는 것이다. 따라서, 규제의 세부 내용과 범위, 수준 그리고 산업 부문별로 차이가 날 수 있음을 고려해볼 수 있을 것이다.

후속 연구에서는 혁신의 저해 요인을 위험요인의 측면에서 구체적으로 접근할 수도 있다. 이를테면, 혁신을 주도하는 연구개발 전문가 집단을 중심으로 단계별 위험인식이 상이할 수 있다. 즉, 위험에 대해서 기술단계나 소속, 조직별로 차이가 나타날 수 있다는 것이다. 이는 혁신 촉진 과정에서 위험이 상대적이기 때문에, 그룹별로 혁신성고가 상이할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 후속 연구에서는 이러한 특성을 충분히 반영할 필요가 있을 것이다(이윤빈·윤지웅, 2014).

마지막으로, 시점에 대한 논의가 추가적으로 논의될 필요가 있다. 이를테면, 실제 일본의 수출 조치 이후 대응이 이루어진 시점과 조사가 이루어진 시점에서는 차이를 보인다. 무엇보다 코로나 19 팬데믹과 같은 특수한 상황으로 글로벌 공급망뿐만 아니라 기업의 경영활동에도 다양한 차질이 발생한 것으로 판단된다. 따라서, 실제 혁신에 미치는 요인을 분석하는데 규제가 아니라 이와 연관된 요인을 살펴보는 것이 더 타당할 수 있을 것으로 접근할 수도 있다. 이러한 내용을 본 연구의 한계로 구체적으로 작성하였으며 성과를 살펴보는 데 있어 대외적 요인에 대한 충분한 고려와 동시에, 단년도 자료가 가지는 제약을 극복할 필요가 있다.

참고문헌

- 김권식·안승구·이종한·이광훈(2016), 「규제가 기술혁신에 미치는 영향에 관한 실증분석: 우리나라 제조업 분야기업을 대상으로」, 『규제연구』, 25(1), pp. 91~111.
- 김유진(2022), 「규제방식이 창업기업의 진입 및 혁신에 미치는 영향: 한국 사례를 중심으로」, 『벤처창업연구』, 17(4), pp. 1~16.
- 김정호·이제영(2020), 「혁신 규제가 기업 성장에 미치는 영향: 규제 특성, 기업 연령대, 제조업 내 산업 유형의 조건부 효과」, 『한국혁신학회지』, 15(3), pp. 29~58.
- 김종호·오준병(2009), 「규제, 기업가정신과 경제성장 간의 관계분석」, 산업연구원.
- 김현·이광훈(2012), 「환경규제의 오염 집약적 재화 수입에 대한 영향 분석」, 『경제연구』, 30(3), pp. 1~17.
- 박건우(2017), 「중국 지방정부의 환경규제가 한국의 제조업부문 FDI에 미치는 영향에 관한 실증적 논의」, 『지방행정연구』, 31(4), pp. 221~252.
- 배영임·신혜리(2019), 「규제샌드박스 성공적 안착을 위한 제언」, 『경기연구원 이슈&진단』, 359, pp. 1~23.
- 손동섭·이정수·김윤배(2017), 「정부지원과 규제장벽이 국내 중소기업의 기술혁신성과에 미치는 영향에 관한 연구」, 『Journal of Digital Convergence』, 15(4), pp. 117~125.
- 송위진·성지은·장영배·한재각·이정필·김준한·김남영(2017), 「사회·기술시스템 전환 전략 연구 사업(3차년도)」, 과학기술정책연구원.
- 안승구·김권식·이광훈(2018), 「기술규제와 중소기업 성과의 관계 탐색」, 『규제연구』, 27(1), pp. 67~95.
- 우지환·김영준(2019), 「정부의 혁신 촉진 정책이 서비스 산업의 기술 혁신 성과에 미치는 영향에 관한 연구」, 『한국산학기술학회 논문지』, 20(2), pp. 469~482.
- 유정민(2020), 「규제의 영향 인식과 혁신 활동과의 연관성 분석: 규제의 유형에 따른 차이를 중심으로」, 『규제연구』, 29(2), pp. 121~153.
- 윤혜선(2017), 「신흥기술(emerging technologies)의 규제에 대한 몇 가지 고찰」, 『경제규제와 법』, 10(1), pp. 7~29.
- 이동기(1998), 「정부혁신: 논리와 특징 그리고 유형」, 『한국공공관리학보』, 12, pp. 139~150.
- 이윤빈·윤지웅(2014), 「대형 R&D사업 사전평가에서의 위험요인에 대한 인식 분석」, 『기술혁신 학회지』, 17(2), pp. 289~308.
- 이정우·강희종·조가원·장필성·나다영·서현정·손수아(2018), 「오슬로 매뉴얼 2018 (제4판): 혁신 관련 데이터의 수집·보고·활용을 위한 지침 - 과학·기술·혁신활동의 측정」, 과학기술정책연구원.
- 이한웅·김성훈·배하나·서용모(2015), 「복잡계 패러다임에서 환경규제의 출현에 대한 연구」, 『한국산학기술학회 논문지』, 16(10), pp. 6905~6916.
- 장철권·지일용(2017), 「사회적 규제가 대체재 간 경쟁과 혁신에 미치는 영향에 관한 연구: 국내 철강

- 구조물용 내화 피복재 산업의 사례연구, 『기술혁신학회지』, 20(4), pp. 939~969.
- 정선양·정지윤(2023), 「기술혁신이론의 진화: 숨페터에서 전환이론까지」, 『기술혁신연구』, 31(3), pp. 75~110.
- 정승일·김병우·이우성·손수정·장병열·유의선(2007). 「정부규제가 기업의 기술혁신 행태에 미치는 영향」, 과학기술정책연구원.
- 정지은·안준모(2022), 「규제가 제품혁신에 미치는 영향: 대기업·중견기업과 중소기업의 비교」, 『규제연구』, 31(2), pp. 39~73.
- 최유성·최무현·정성희(2015), 「경제적 규제와 사회적 규제의 분류지침 및 실태 분석에 관한 연구」, 한국행정연구원.
- 황정태(2011), 「혁신이 중소기업 생존에 미치는 영향: 규모와 나이에 따른 분석」, 『한국혁신학회지』, 6(2), pp. 47~77.
- Ahn, S, and Yoon, H.(2020), “‘Green Chasm’ in Clean-Tech for Air Pollution: Patent Evidence of a Long Innovation Cycle and a Technological Level Gap”, *Journal of Cleaner Production*, 272, pp. 122-726.
- Birnbaum, P. H.(1984), “The Choice of Strategic Alternatives under Increasing Regulation in High Technology Companies”, *Academy of Management Journal*, 27(3), pp. 489-510.
- Copeland, B. R., and Taylor, M. S.(1994), “North-South Trade and the Environment”, *The Quarterly Journal of Economics*, pp. 755-787.
- Geels, F. W.(2002), “Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-level Perspective and a Case-study. *Research policy*, 31(8-9), pp. 1257-1274.
- Geels, F. W.(2014). “Regime Resistance against Low-carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-level Perspective”, *Theory, culture & society*, 31(5), pp. 21-40.
- Geels, F. W., and Schot, J.(2007), “Typology of Sociotechnical Transition Pathways”, *Research policy*, 36(3), pp. 399-417.
- Jaffe, A. B., and Palmer, K.(1997), “Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study”, *Review of Economics and Statistics*, 79(4), pp. 610-619.
- Kahn, K. B.(2018), “Understanding Innovation”, *Business Horizons*, 61(3), pp. 453-460.
- Kline, S. J., and Rosenberg, N.(2010), “An Overview of Innovation. *Studies on Science and the Innovation Process: Selected works of Nathan Rosenberg*, pp. 173-203.
- Levinson, A., and Taylor, M. S.(2008), “Unmasking the Pollution Haven Effect”, *International Economic Review*, 49(1), pp. 223-254.
- Penna, C. C., & Geels, F. W.(2015). “Climate Change and the Slow Reorientation of the

- American Car Industry (1979–2012): An Application and Extension of the Dialectic Issue LifeCycle (DILC) Model”, *Research Policy*, 44(5), pp. 1029–1048.
- Porter, M. E.(1990). *The Competitive Advantage of Nations: With a New Introduction by the Author*. Free Press. (https://economie.ens.psl.eu/IMG/pdf/porter_1990_-_the_competitive_advantage_of_nations.pdf)
- Porter, M. E., & Linde, C. V. D.(1995), “Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship”, *Journal of economic perspectives*, 9(4), pp. 97–118.
- Prieger, J. E.(2002), “Regulation, Innovation, and the Introduction of New Telecommunications Services”, *Review of Economics and Statistics* 84(4), pp. 704–715.
- Rothwell, R.(1992), “Industrial Innovation and Government Environmental Regulation: Some Lessons from the Past”, *Technovation*, 12(7), pp. 447–458.
- Rothwell, R., and Dodgson, M.(1994). “Innovation and Size of Firm”, In M. Dodgson, & R. Roth-Well (Eds.), *The Handbook of Industrial Innovation* (pp. 310–342). Cheltenham: Edward Elgar.
- Schumpeter, J. A.(1934). “The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle”, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Sweezy, P. M.(1943), “Professor Schumpeter's Theory of Innovation”, *The Review of Economics and Statistics*, 25(1), pp. 93–96.
- Thomas, L. G.(1990), “Regulation and Firm Size: FDA Impacts on Innovation”, *RAND Journal of Economics*, 21(4), pp. 497–517.

A Study on the Innovation Performance of Korean Material Parts and Equipment Companies

: Focusing on the Impact of Perceived Regulations

Park, Geonwoo

- Abstract -

This study aims to empirically analyze the impact of regulations on innovation of material parts and equipment companies in South Korea. In the aftermath of Japan's export restrictions in 2019, various efforts have been made to localize the industry in order to overcome the crisis of South Korean companies. In this process, innovation has been highlighted as a key issue, and academic discussions on the revitalization of innovation have emerged. This study analyzes the impact of economic, social, and administrative regulations on innovation using KIS survey data. The results show that economic and social regulations are generally positive in promoting innovation, but administrative regulations hinder innovation. The impact of the three types of regulations varies across industries. These results support Porter's theory that regulation promotes innovation, suggesting that regulation is not necessarily negative and that it is important to create an environment that maximizes innovation through appropriate regulation and government support. It also suggests that the impact on innovation may vary depending on the characteristics of the industry and the type of regulation, and that policy approaches may need to take this into account. This study can be used as a positive resource for setting the direction of regulatory policy to support innovation in material parts and equipment companies.

Key words Innovation, Porter Hypothesis, Regulation, Material Part and Equipments Companies

기계산업연구

제3권 제2호(2024)

| 논문 |

토픽모델링을 활용한 기계산업의 융합 R&D 동향 분석

김 동 관

인천테크노파크 책임연구원

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

토픽모델링을 활용한 기계산업의 융합 R&D 동향 분석

김동관*

- 초 록 -

본 연구는 기계산업에서 융합기술의 특성을 분석하고, 해당 기술들이 어떠한 분야에 적용되고 있는지 조사하여 융합환경에서의 기계산업의 동향과 시사점을 제시하고자 한다. 이를 위해 국가연구개발데이터를 활용하여 토픽모델링을 수행하였다. 토픽모델링 결과, 총 16개의 주요 토픽으로 구분되었으며, 각 토픽별로 핵심 이슈를 도출하였다. 토픽을 기반으로 연도별 추이를 분석함으로써, 어느 분야의 투자가 가장 활발하게 이루어지고 있는지를 확인할 수 있었다. 또한, 산업계, 학계, 연구계 각각의 참여 현황을 분석하여, 각 분야에서 중요한 역할을 하는 주체들의 참여 패턴을 파악하였다. 이러한 분석을 통해 기계산업 내에서의 융합 R&D가 현재 어떻게 진행되고 있는지, 그리고 주요 동향 및 중점적인 이슈들을 명확하게 할 수 있었다. 연구 결과는 기계산업 육성의 효과적 추진과 관련 정책 수립에 필요한 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주 제 어 기계산업, 융합 R&D, 토픽모델링, 텍스트 마이닝

논문접수일 2024년 4월 19일 수정논문 제출일 2024년 6월 11일 게재확정일 2024년 6월 20일

* 인천테크노파크 책임연구원, dongk29@itp.or.kr

I. 서론

최근, 기술 간 융합과 기존 산업의 구조적 파괴를 통해 혁신을 추진하는 경향이 강화되고 있다. 과거에는 특정 산업에 변화를 가져오는 핵심 기술들이 주요한 역할을 했다면, 현재는 정보통신기술(ICT)을 기반으로 하는 새로운 혁신 패러다임이 그 중심을 이루고 있다. 이러한 첨단 기술들은 (빅데이터, 인공지능(AI) 등) 지능화된 사회를 만들고, 초연결 상태로 전환시키며, 전통적 산업경제를 허물고 있다. 특히 대규모 기업들은 자신들의 방대한 인프라와 기존 제품 및 서비스의 디지털화를 통해 제조 및 서비스 영역을 넘나들며, 비즈니스 영역을 점점 더 확장하고 있다(김은정·최희진, 2022). 이러한 기술 융합은 기존의 가치사슬과 생산방식을 혁신하는 새로운 기술혁신 패러다임을 발생시키고 있으며 이러한 변화로 인해 산업 간 경계가 모호해지며, 여러 산업에서 연속적인 혁신이 요구되는 새로운 경제 환경이 만들어지고 있다(Chang, 2017).

기계산업 또한 융합 신기술 도입으로 인한 파급효과가 커지고 있으며, 생산성 향상과 유연성 요구 증대에 따른 지능화와 자동화 등이 진행 중에 있다(박광순 외, 2012). 이러한 현상은 4차 산업혁명 시대의 도래로 인해 더욱 가속되어 진행되고 있으며 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등 융합기술과의 결합을 통해 혁신을 이끌어내는 것이 필수적으로 여겨지고 있다. 기계산업의 혁신을 주도하는 주요기술이 정보통신 등 다른 부분으로 옮겨가고 있지만, 기계산업의 기본 기능 속성에 대한 지속적인 혁신은 여전히 요구되고 있으며 이는 기계산업을 기반으로 한 융합 R&D 특성을 이해하고 전략 수립에 대한 논의가 필요하다는 것을 의미한다.

이에 본 연구는 기계산업에서 융합기술의 특성을 분석하고, 해당 기술들이 어떠한 분야에 적용되고 있는지 조사하여 융합환경에서의 기계산업의 동향분석과 시사점을 제시하고자 한다. 기계산업은 기계 제조공정상 불가분의 관계에 있는 금속제품 가공업을 포함해 일반기계, 전기기계, 정밀기계, 수송기계 등 다양한 분야로 구성되어 있고 모두 융합기술의 적용 대상이 된다. 이에 범위가 매우 광범위해 기계산업에 포함되고 있는 세부 기술들을 파악하기에는 한계가 존재한다. 그러므로 기계산업 융합 R&D에서 세부기술분야를 중심으로 특성을 파악하기 보다는 산업부분에서 주요 추진되는 테마를 분석하는 것이 효율적이다. 또한 이는 공통의 주제에 대하여 서로 다른 분야의 협력을 통해 연구를 수행한다는 융합의 본질적인 취지를 이끌어 내기에 적합하다고 판단된다.

본 연구는 국가 연구개발 데이터를 활용해 수행되었으며, 기계산업의 융합에 있어서 핵심적인 주제들을 도출하기 위해 토픽모델링을 수행하였다. 산업, 과학기술표준분류에 따라 융합의 형

태를 파악하면 R&D 과제단위 또는 연구내용에 따른 융합의 실체를 이해하기에는 부족한 측면이 존재한다. 이러한 방식은 융합을 기술을 중심으로 분석하는 것으로 신기술이 다른 분야에 단순히 적용되는 경우에도 융합연구로 간주될 수 있으며, 이로 인해 융합의 본래 취지인 새로운 가치를 창출하거나 해결되지 않던 문제를 본질적으로 해결하는 역할이 희미해질 수 있다(이남우, 2015). 이러한 측면에서 대량의 서지정보를 바탕으로 과제의 특성을 전체적으로 파악하는 토픽 모델링은 본 연구에 적합하다 할 수 있다. 이러한 분석을 통해, 기계산업에서의 융합 R&D가 어떻게 진행되고 있는지, 중요한 변화와 동향을 이해하는 데 필요한 시사점을 제공하고자 한다. 이는 기계산업 융합의 R&D 방향을 설정하고, 관련 산업의 전략 수립에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구의 절차는 다음과 같다. 우선, 기계산업과 융합 R&D에 대한 이론적 배경과 관련 선행 연구들을 검토하였다. 이어서, 국가 연구개발데이터를 활용하여 기계산업의 융합R&D현황을 분석하고, 관련 분야의 주요 연구개발 과제들을 조사했다. 이어 대량의 서지 정보와 텍스트 데이터를 이용한 토픽모델링을 통해 기계분야의 융합R&D 유형을 분류하고 유사 토픽을 식별한다. 그리고 식별된 토픽들을 바탕으로 연구 과제와 연구비의 변화 추이를 상세히 분석하고, 주요 연구 주체들을 파악하였다. 마지막으로 연구결과를 바탕으로 연구의 시사점을 도출하였다.

II. 이론적 배경

1. 융합 R&D

융합(Convergence)은 다양한 영역이나 종류의 것들이 상호작용하여 하나로 합쳐지거나 유사성을 가지게 되는 현상을 의미한다. 라틴어에서 유래된 ‘Convergere’는 ‘함께 모이는’ 또는 ‘한 지점에서 만나는’ 것을 의미하며, 이는 다른 것들이 특정 지점이나 방향으로 모여들거나 유사한 형태로 변화하는 과정을 나타낸다(김홍영·박소희, 2015). 융합이라는 개념은 오랜 역사를 가지고 있으며, 그 정의는 시간이 지나면서 다양한 분야에서 사용되면서 확장되었다. 이로 인해 융합의 의미는 주체나 맥락에 따라 다양한 해석이 가능해졌으며 R&D와 연결되어 사용되면서 굉장히 다양한 의미를 가지게 되었다(이남우, 2015). 융합은 이종 간의 ‘화학적 결합’을 통해 새로운 가치의 창출로 이어진다는 특성이 있어 단순한 물리적 결합이 아닌, 서로 다른 요소들이 상호작용하여 새로운 형태나 가치를 창출한다. 이러한 특징은 융합이 단순히 기존 기술의 결합이 아니라, 새로운 혁신의 가능성을 가능케 한다(류성환, 2015).

기술적 융합에 대한 초석은 1963년 Nathan Rosenberg에 의해 마련되었다. Rosenberg (1963)은 산업 분야에서의 기술이 서로 융합되어 제품 생산에 활용되는 과정을 ‘기술융합 (Technological Convergence)’라고 묘사하였고 그 후, 전기, 통신, 컴퓨터 및 가전제품 산업과 화장품 및 약학 산업에서 혁신 과정이 진행되면서 기술 융합이라는 용어가 사용되었다(Katz, 1996, Duysters and Hagedoorn, 1998, 진영현 외, 2014 재인용).

시장에서 기술의 융합이 발생하는 이유는 기술 융합이 상품화를 통한 시장 진출 가능성을 제공하기 때문이다. 이에 따라 기업들은 다양한 기술을 융합하여 새로운 제품 및 서비스를 개발하고 시장에 선보이고 있다. 또한 정부도 융합연구 정책을 추진함으로써 시장의 수익성에 가려진 융합기술을 국가적인 전략 수준에서 발굴하거나, 융합기술의 발전을 가속화하기 위한 정책을 시행한다. 다시 말해, 융합연구 정책의 배경에는 ‘융합’이 우리 사회와 경제에 긍정적인 영향을 미치는 새로운 기회, 즉 경제의 성장동력으로 작용한다는 공감대가 형성되어 있기 때문이다(황광선, 2015).

한편, 융합 R&D는 다양한 분야의 전문가들이 협력하여 새로운 기술이나 제품을 개발하는 연구개발 활동을 의미한다. 이는 새로운 아이디어나 기술을 발견하고, 이를 현실 세계에 적용하기 위해 다양한 기술, 지식, 및 자원을 융합하는 프로세스를 포함한다. 융합 R&D는 학문적 발전, 새로운 영역 발전을 통한 부가가치의 창출, 복합적인 실생활 문제의 해결을 위한 수단으로 주목받고 있다. 경제 및 산업에 미치는 융합 R&D의 영향은 개방형 혁신 이론을 통해 잘 설명되며 융합 R&D를 통해 다양한 지식 및 기술 자원을 활용하고, 연구개발 활동 전후의 모든 주체들이 연계되는 개방형 시스템으로 발전함으로써 새로운 부가가치를 창출할 수 있다(황광선·정기영, 2019).

융합 R&D는 기존의 R&D에 비해 연구개발 환경이 더욱 복잡하며, 기술 및 분야의 다양성이 높고 성과의 불확실성이 크기 때문에 전략적인 관점에서 접근해야 한다. 특히 국가 차원에서는 융합 R&D의 접근은 투입되는 자원과 역량을 증가시키고 효율적으로 활용하는 것이 중요하다(홍유정 외, 2021).

우리나라의 국가융합기술 발전의 중장기계획은 ‘국가융합기술 발전 기본방침(2007)’에 근거하여 수립되었다. 그러나 실질적인 융합기술개발 전략은 2008년에 노무현 정부 시기인 교육과학기술부(現 과학기술정보통신부)의 주도로 이뤄진 ‘제1차 국가융합기술 발전 기본계획(‘09~’13)’에서 처음으로 제시되었다. 이후에도 다양한 융합 트렌드를 반영하여 기본계획이

개정되었으며, 최근에는 ‘자유롭고 상생하는 인류, 한계와 제약이 없는 스마트 사회, 지속가능한 지구’를 비전으로 ‘제4차 융합연구개발 활성화 기본계획(‘23~’27)’이 수립되었다. 해당 계획에는 건강수명 증진 플랫폼 등 12개의 도전 영역과 9개의 세부 추진 과제가 제시되었다(국가과학기술자문회의, 2023). 국내 융합연구 정책은 주로 기술의 수준 향상이나 산업 부흥, 경제성장을 주요 목표로 삼아왔다. 그러나 이러한 정책은 종종 구체적인 목표나 실행 계획이 부족한 것으로 지적되어 왔다. 최근 들어 정부는 이러한 상황을 개선하고자 사회목적형 융합정책으로의 전환을 시도하고 있으나 아직까지 구체적인 전략이나 실행 계획이 부족한 상황이며 융합에 대한 정책이 단일 사업 위주로 진행되는 등 여전히 구체성과 전략적인 면에서 부족한 점이 있다(김홍영·박소희, 2015).

해외 주요국에서도 다양한 융합 정책이 진행되고 있다. 미국의 경우, 주요 다부처 공동국책사업과 연방 기관 또는 소규모 기관 간 협동 프로그램을 중심으로 목표 지향적 연구를 추진하고 있다(Wagner et al., 2011). 융합연구의 목표를 인간 중심에서부터 사회적 이익까지 확장시키며, 인간의 잠재적 능력 향상 뿐만 아니라 경제적 생산성 향상, 지속 가능한 삶의 질 보장 등의 사회적 부가가치 향상이 핵심 전략으로 제시되었다. 이러한 노력은 단순한 기술적 실현의 수단이 아닌 인간, 지구, 사회 등의 목적 중심의 융합을 추구하고 있음을 강조한다(Rocom et al., 2013). 미국 국립과학재단(NSF: National Science Foundation)은 오랜 기간 동안 학제 간 융합연구의 중요성을 인식하고 이를 촉진하기 위한 정책적 가이드라인을 제시해 왔다. NSF는 광범위한 국가 목표를 달성하기 위해 융합연구가 필요하다고 판단하여, 2019년부터 ‘컨버전스 액셀러레이터(Convergence Accelerator)’ 프로그램을 통해 단기간 내에 영향력을 발휘할 수 있는 학제 간 연구를 지원하고 있다. 이 프로그램은 기초연구에 기반을 두되 융합 연구와 혁신을 통해 사회적 과제를 해결하기 위함을 추구하고 있다¹⁾. EU는 사회문제 해결을 위한 중장기 대형 프로젝트 중심의 융합연구를 추진하고 있으며, 이는 기초과학이나 경제성보다 건강, 식량안보, 환경 오염, 신재생 에너지 등을 중요시하는 경향이 있다(Nordmann, 2004). EU는 기존 기술 간 융합 뿐만 아니라 환경과학, 사회과학, 인문학, 윤리적 규제 등 다양한 영역의 융합연구 범위를 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 융합연구 활성화를 위해 비전과 전략을 수립하고, 새로운 아젠다를 제시하며, 광범위한 연구 체계와 지원 환경을 구축하고, 윤리 및 사회적 권한 부여를 강조한다. 대표적인 프로그램으로는 호라이즌 유럽(Horizon Europe)이 있으며, 이는 2021~2027년 동안 955억 유로(약 140조 원)를 지원하는 EU 최대의 다자 간 연구혁신(R&I) 프로그램이다.

1) <https://new.nsf.gov/funding/initiatives/convergence-accelerator>

이러한 노력은 다양한 회원국들의 협력을 토대로 한 프레임워크 프로그램을 통해 추진되고 있다 (이경재, 2020).

일본은 2016년 과학기술정책의 최상위 기구인 종합과학기술이노베이션회의를 통해 4차 산업기술을 사회 전반에 적용하여 고령화, 구인난, 자연재해, 에너지 문제 등 주요 사회 문제를 해결하고자 하는 초 스마트사회(Society 5.0)를 발표했다(최해옥 외, 2017). 이를 실현하기 위한 제6차 과학기술 혁신 기본계획(2021~2025)은 자연과학과 인문·사회과학을 융합한 혁신 정책을 통해 인간과 사회의 종합적 이해와 과제 해결에 기여하며, 글로벌 과제와 국내 사회구조 개혁에 대응하는 중장기 방향을 제시한다. 또한, 과학기술·혁신기본법 개정과 함께 과학기술정책의 영역을 혁신정책으로 확장하고, 융합기술을 통해 이러한 목표를 달성하는 데 중점을 두고 있다(도계훈, 2021).

종합하면 우리나라의 융합 연구개발은 기술 향상, 산업 부흥, 경제성장을 목표로 해왔으나 여전히 구체적인 전략과 실행 계획이 부족하고 단일 사업 위주로 진행되는 등 전략적 면에서 미흡한 점이 있다. 반면 해외에서의 융합연구는 특정 목표나 문제 해결에 중점을 둔 중장기적이고 연속적인 형태로 진행되며, 학제 간 협력과 혁신을 중시하고, 다양한 기술과 학문의 융합을 통해 실질적인 해결책을 모색하고 있음을 보여준다(김형진 외, 2018).

2. 기계산업과 융합 R&D

기계산업은 동력의 발생(원동기), 인간과 화물의 이동(자동차, 선박, 항공기 등), 제품의 제조(공작기계, 섬유기계 등), 음식료품의 재배와 가공(농기계, 음식료품 가공기계 등), 미지에의 탐험(우주선, 심해선 등), 진단 및 치료, 제어·계측·측정(의료용 기계, 계측기 등) 등 인간 생활의 전반에 걸쳐 있으며 산업화 등 인류발전의 전환기에 핵심적인 역할을 수행하는 기계와 관련된 산업을 의미한다.²⁾

기계산업은 제조업의 핵심으로서 제품의 품질, 부가가치 생산량 등을 결정하는 중요한 요소이다. 이는 신제품 개발과 양산의 원동력으로 작용하며, 전방 산업 육성, 제품 품질 개선, 차별화된 제품 생산 등의 경쟁력 강화를 위한 중요한 해결책으로 이어진다. 기계산업은 생산 기술을 축적하기 위해서는 지속적이고 대규모 투자가 필요하며, 경쟁력 확보 후에는 장기적인 성장동력으로

2) 한국기계산업진흥회 홈페이지(<https://www.koami.or.kr/>)

작용하는 자본집약적 산업이다(곽기호·박주형, 2009).

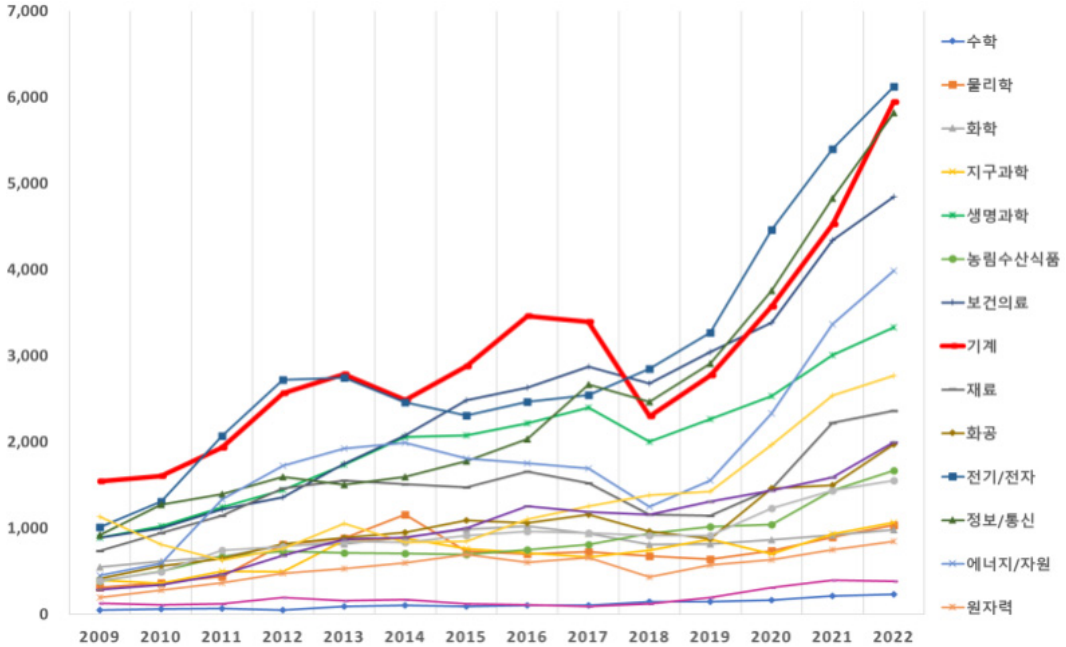
연구개발에 있어 기계산업은 장기간에 걸친 기술 축적이 필요하며, 설비 생산에는 기계산업의 자체 기술 외에도 수요산업의 전문기술과 설계에 필요한 기초과학 등이 필요하다. 이는 새로운 재료의 개발, 생산 프로세스의 혁신, 제품 디자인 개선 등을 포함하며, 수요산업과의 협력과 전문지식이 필수적이다. 그러므로, 기계산업은 다양한 산업 분야와 협업을 통해 새로운 기술을 개발하고 적용할 수 있는 융합이 필수적이다.

한편, 한국과학기술기획평가원(KISTEP)은 연구개발 분야의 동향을 파악하고 정책 수립에 필요한 근거자료를 제공하기 위해 매년 국가연구개발사업 조사분석 보고서를 발행하고 있으며 이 보고서는 2009년부터 융합분야 과제를 선별하여 분석하고 있다. 융합분야 과제는 과학기술 표준분류를 기준으로 대분류에 해당하는 분야가 2개 이상인 과제로 정의되며, 해당 과제의 R&D 투자 금액은 해당 분야의 연구비와 비중의 곱으로 계산된다. 해당 보고서에는 기계분야에 대한 융합연구 규모도 제시되어 있다.

2009년부터 2022년까지 융합연구개발 투자현황은 [그림 1]과 같다. 융합연구개발의 투자 규모는 전반적으로 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있어 융합연구개발에 대한 지속적인 관심과 투자가 이루어지고 있음을 보여준다. 기계산업 분야는 2010년대 초반부터 투자 규모가 눈에 띄게 상승했으며, 특히 2014년부터 2017년까지는 가장 높은 투자규모를 기록했다. 2018년에는 급격한 하락을 보였으나, 이후 다시 지속적으로 상승하여 2022년에는 두 번째로 높은 투자규모를 기록했다. 이는 기계산업이 다른 분야에 비해 투자 변동성이 크다는 것을 나타내며, 새로운 기술 개발과 시장 변동성, 정책 변화에 민감하게 반응하는 기계산업의 특성을 반영한다. 2022년을 살펴보면 전기/전자가 약 6,120억 원으로 가장 높은 투자 규모를 기록하였으며 다음으로 기계분야가 약 5,944억 원으로 2위를 차지하였다. 기계산업 분야는 2018년 4위의 순위를 나타냈지만 2022년에는 2위로 가장 융합분야에서 2번째로 많은 투자가 이루어졌다. 결론적으로 산업 트렌드의 변화와 정부의 연구개발 투자 현황을 종합적으로 살펴보면, 기계분야의 융합연구가 중요하며 현재에도 활발하게 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다.

[그림 1] 국가과학기술표준분류 연구분야 기준융합 분야 과제 집행 추이

(단위: 억 원)



자료: 한국과학기술기획평가원(각 년도)

3. 선행연구

기계산업에 대한 종합적이고 체계적인 정책 방향 설정에 관한 연구는 상대적으로 드물지만, 4차 산업혁명과 관련하여 제조업의 융합 패턴을 다룬 연구나 특정 부문에 집중되어 기계산업의 융합 형태를 탐구한 연구는 존재한다. 본 장에서는 기계산업과 융합정책에 대한 연구들을 검토하고, 본 연구의 주요 방법론인 토픽모델링을 활용하여 산업 현황을 분석한 사례들을 살펴보고자 한다.

김동훈과 송준엽(2012)은 IT와 기계산업 간의 융합기술에 대해 국내외의 시장 및 기술 동향을 조망하며, 생산 및 제조 분야에서 IT 기술의 융합을 통한 새로운 시너지를 도출해낸 사례를 탐구하였다. 특히 지능형 공작기계, 지능형 건설기계, 자동차 산업에서의 IT 융합 사례, 가공기계산업의 IT 융합 등을 사례로 들어 IT 융합이 기계산업에 미치는 영향을 구체적으로 분석하였다.

송준엽·곽기호(2013)는 우리나라 기계산업의 정보통신기술(Information Communication

Technology, ICT) 융합을 정의하고 분류한 뒤 대표적인 기술융합 사례를 소개하고, 한국은행 산업연관표를 활용하여 기계산업 중간투입에서 IT 부문 비중을 나타내는 ICT 융합도를 제시하였다. 또한, ICT 융합도의 변화 추이를 분석하여, 기계산업 ICT 융합의 경제적 파급효과를 부가가치 유발효과의 관점에서 살펴보았다. 연구 결과 ICT 융합기술개발이 기계산업의 고부가가치화를 촉진하고, 다른 산업의 발전을 견인하고 있음을 계량적으로 확인하였다. 이는 ICT 융합도가 감소함에도 불구하고, 융합기술개발에 따른 부가가치 유발효과가 증가하여 기계산업에서 ICT의 융합이 기술적, 경제적 측면에서 중요한 역할을 하고 있는지를 보여주었다.

이상훈(2016)은 경남 기계산업의 지속적인 성장과 재도약을 위한 기계산업의 ICT 기술과의 융합에 초점을 맞추어 경남 기계ICT 융합산업의 현황을 조사하여 육성을 위한 구체적인 목표를 설정하고, 관련 기술 포트폴리오 분석을 통해 유망한 기술군을 도출했다. 연구에서는 공작기계 ICT 및 정밀기기ICT 분야를 대상으로 기술포트폴리오 분석을 수행하였으며 분석은 기술 원천성, 파급성, 시장 성장성, 시장 매력도, R&D 역량, 생산시설 확보 역량, ICT 융합성, 산업 파급성 등 8개 항목을 평가하는 방식으로 진행되었다. 평가결과, 고능률 복합가공시스템, 초정밀 가공시스템, 미세패턴 롤 성형시스템이 경남 기계ICT 융합산업의 유망 기술로 평가되었다.

황광선과 정기영(2019)은 경기도 제조업 부문의 과학기술 융합 R&D 과제를 집중적으로 분석하였다. 이 연구는 경기도 제조업 분야에서 주요하게 수행되는 과학기술 융합연구의 유형을 파악하고, 제조업 분야에서의 융합연구 현상을 조사하였다. 이를 위해 국가 지원 R&D 사업에 참여하는 경기도 내 기업들의 데이터를 바탕으로 한 기술 가중치 분석을 수행했다. 분석 결과, 경기도에서 의약품/의약품개발, 자동차/철도차량, 정보통신 모듈/부품 등 다양한 분야에서 활발한 융합 R&D가 이루어지고 있음이 드러났다. 또한 정보통신 모듈/부품, 기타 기계, 중전기 기 등 분야의 융합이 새로운 성장동력이 될 수 있다는 점을 강조하였다.

Lee et al.(2015)은 한국의 섬유기계산업을 바탕으로 혁신의 유형과 과정을 통해 융합 혁신이 다양한 산업 분야에 어떻게 적용될 수 있는지에 대한 사례를 제시하였다. 연구는 섬유기계산업이 과거 섬유산업이 사용자 기반으로 두고도 역량 구축에 실패한 원인을 분석하며, 이는 섬유기계산업의 현지 사용자 기업들이 전문 공급업체의 역량 구축을 통한 융합 혁신에서 중요한 역할을 하지 않았다고 주장하였다. 또한 섬유기술과 섬유기계 기술 간의 긴밀한 연결을 통해 이루어지는 융합 혁신의 과정을 상세히 설명하였다.

Kose & Sakata(2019)는 기계산업에서 로봇 기술이 다양한 고급 기술 분야와 어떻게 융합되

어 제조업 자동화에 기여했는지에 대해 심층적으로 분석하였다. 이 논문은 기술 융합이 의료 및 건강 관리 분야 등 새로운 부문에서 로봇의 도입을 촉진하는 중요한 요소임을 주장하였다. 연구에서는 인용 네트워크 분석, 클러스터링, 기술 유사성 측정 등의 방법론을 활용하여 기술 간의 관련성과 융합을 측정하고 평가했다. 또한 해당 연구에서 로봇 기술 연구의 현재 동향을 분석하여, 기계공학, 컴퓨터 과학, 자동화 및 제어 시스템 등의 주요 과학 분야에서 로봇 기술이 어떻게 발전하고 있는지를 제시하였다.

Byrne et al.(2021)의 연구는 기계산업에서 생물학적 원리의 융합이 가져올 수 있는 혁신적 변화를 분석하였다. ‘생물화(Biologicalisation)’라는 개념을 도입하여, 고급 제조 시스템에서 생물학적 원리의 통합이 가져오는 잠재력을 평가하였다. 이 연구는 생물학에서 영감을 받은 다양한 분야의 설계 방법론, 미생물 기반의 절삭유 사용, 생물학적 영감을 받은 자가 학습 시스템의 개발 등을 예시로 들어 이러한 융합의 실제 기계 및 제조 공정에 적용된 사례를 제시하였다. 연구는 생물학적 원리가 제조 공정의 성능을 개선하고, 환경적 영향을 줄이며, 제조 공정의 효율성을 유지하거나 향상시킬 수 있음을 제시하였다.

토픽모델링을 활용하여 산업현황을 분석한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 박주섭 외(2017)은 과학기술의 동향 및 예측을 위해 미국 특허 중 AI 초록을 대상으로 토픽모델링 기법을 활용하였다. 분석결과 도출된 AI 기술이 실무적으로 실제 행정기관의 과학정책 수립에 활용할 수 있으며 AI 산업 기술에 대한 초기 학술 연구로써 의의가 있다고 하였다. 조경원·우영운(2019)은 4차 산업혁명과 관련된 논문들의 세부 연구 주제를 파악하기 위하여 KCI 논문 685편을 텍스트 마이닝 기법을 적용하여 분석하였다. 상위 주요기술로 인공지능, 빅데이터, 스마트 등이 4차 산업혁명의 연구개발로 활발하게 이루어짐을 나타냈다.

해외에서도 비슷한 형태로 산업의 동향과 방향성을 살펴보기 위해 토픽모델링을 많이 수행하였다. Yeung et al.(2019)는 Web of Science에서 2017년 이후 발표된 biotechnology 관련 문서들을 검색하여 총 12,351개의 출판물을 식별하고 분석하였다. 8,500개 이상의 기관들이 바이오 기술 출판물을 발간하고, 가장 많은 저널을 발표한 기관들은 프랑스, 중국, 미국, 스페인, 브라질에 있으며 140개 이상의 국가 및 지역이 바이오기술 연구를 진행하는 것으로 밝혀졌다. 또한 대사공학, 대장균, 효모 등에 대한 바이오분자의 합성과 관련된 연구들이 주요 수행되고 있는 것을 파악하였다.

Bickel(2019)은 지속가능 에너지산업의 트렌드를 파악하기 위해 1990년부터 2016년까지

발행된 26,533편의 Scopus에 인덱싱된 초록을 대상으로 텍스트 마이닝 접근 방식을 적용하였다. 최대 1,100개의 토픽을 갖는 모델을 생성하고 일관성 점수와 수동 검사를 기반으로, 300개의 토픽을 분석하였다. Tran et al.(2019)은 1977년부터 2018년까지 의학 분야에서 AI의 이론과 실무에 관한 문헌을 바탕으로 토픽모델링을 실시하였다. Web of Science 데이터베이스에서 1977년부터 2018년까지 발표된 출판물의 문헌 데이터 및 초록을 바탕으로 총 27,451편의 논문을 분석하였으며, LDA 분석을 사용하여 연구 현황의 구조를 파악했다.

기존 선행연구들은 주로 정보통신과 같은 특정 기술이나 분야와 기계산업의 융합에 초점을 맞추어 분석이 진행되었다. 그러나 기계산업 전반에 걸친 종합적인 융합 R&D 현황 분석은 미흡한 상태이다. 또한, 많은 연구들이 특허나 기술 표준 분류의 동시 출현을 융합으로 정의하는 기술 중심적 분석방법론에 의존해 왔으며 토픽 모델링을 통한 산업 동향 분석도 활발하게 이루어지고 있으나, 데이터가 주로 특허와 논문으로 한정된다는 한계가 있다. 이는 기계산업의 범위가 광범위하고 다양하여 전체 산업에 대한 포괄적인 융합 R&D 현황을 파악하기가 어렵고, 융합 역시 기술적으로 정의하기 어려운 부분이 존재하기 때문이다. 그러므로 기계산업의 전반적인 융합 R&D 현황을 보다 정확하고 종합적으로 분석하기 위해서는 다양한 데이터를 활용하고, 보다 융합 R&D의 본질적인 특성을 도출할 수 있는 접근방식을 도입할 필요가 있다.

본 연구는 기계산업의 융합 R&D 현황을 특정 기술이 아닌 산업 부문 전체를 대상으로 기술의 목표를 중심을 두고 종합적으로 조망한다. 이는 기계산업 내 다양한 분야와 융합 기술들이 상호작용을 통해 새로운 시너지를 창출하는 과정을 포괄적으로 분석할 수 있게 한다. 기존 연구들이 특정 기술이나 사례를 중심으로 연구 결과를 제시한 것과 달리, 본 연구는 실제 연구 과제 데이터를 활용해 토픽 모델링을 통해 분석을 진행한다. 이를 통해 기계산업의 융합 R&D 현황에 대한 이해를 심화시키고, 향후 기술 발전과 산업 정책 수립에 필요한 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 분석데이터 및 방법

본 연구에서는 기계분야의 융합 R&D 동향을 파악하기 위해 국가 R&D 데이터를 집중적으로 수집하고 분석하였다. 구체적으로, 텍스트마이닝 기법 중 하나인 토픽모델링을 적용하여 기계 분야에서의 융합연구 특성을 분석한다.

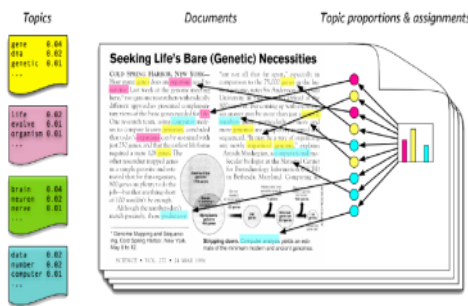
우선 융합기술 연구를 위해서는 먼저 융합기술의 정의와 식별 방법이 명확해야 한다. 기존 연구들은 융합기술을 파악하고 측정하기 위해 델파이 방법, 시나리오 분석, 계층화 분석 방법 등을 사용해 왔다(한장협 외, 2016). 그러나 이러한 방식들은 대체로 직관에 의존하며 전문가 의견에 기반을 두어 분석 결과가 주관적이며 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있다(강희종 외, 2006). 융합기술을 보다 정량적으로 식별하기 위한 방법으로는, 동시 분류 분석이 주요 방법으로 활용된다. 이는 계량서지학적 방법을 사용하여 문헌 정보를 특정 기준에 따라 분류하고, 이를 통해 분야나 영역 간의 네트워크를 파악하는 방식이다(Todorov, 1989).

국가과학기술지식정보서비스(NTIS)는 과학기술표준분류 기준에 따라 주요 분야가 두 개 이상 겹치는 연구 과제를 융합 과제로 지정한다. 본 연구에서도 같은 기준을 적용하여 기계분야의 융합 과제를 식별하고 분석하였다. 연구의 데이터는 국가 연구개발 사업의 일환으로 수행된 기계분야의 연구과제들로 구성된다. 이 데이터는 국가과학기술지식정보서비스에서 공개적으로 제공되며, NTIS를 통한 정보 공개 청구를 통해 수집하였다.

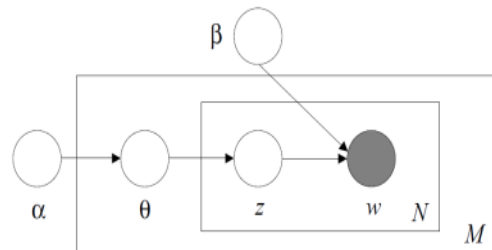
본 연구의 분석방법인 토픽모델링은 텍스트 마이닝의 한 방법으로 비구조화된 대량의 문서 또는 텍스트 데이터에서 숨겨진 주요 주제인 ‘토픽’을 추출하는 확률적 모델을 의미한다(Blei, Ng, Jordan, 2003). 토픽모델링은 문헌 텍스트의 주제와 각 주제에 속하는 단어들의 생성 확률을 기반으로 하는 분석 방법으로, 연구자는 문헌에 내재된 주제의 수와 각 주제를 대표하는 단어들의 수를 설정함으로써, 분석의 범위와 깊이를 결정하게 된다(안주영 외, 2016). 이는 비정형 텍스트 데이터 내 숨겨진 패턴과 관계를 추출하여 의미 있는 정보나 지식을 찾아내는 데 매우 유용하다. 이러한 특성 때문에 토픽모델링은 기존의 정형화된 분류를 넘어서 새로운 주제를 탐색할 수 있는 데 효과적인 방법론으로 본 분석에 적합한 방법으로 판단된다. 토픽모델링은 별도의 특정 학습 자료를 요구하지 않으면서 연구 논문의 텍스트 내용을 분석해 연구 주제를 파악하고 시간의 흐름에 따른 연구동향을 확인하는 데 유용하다(황서이·황동열, 2018). 토픽모

텔링에서 가장 일반적으로 사용되는 방법인 LDA(Latent Dirichlet Allocation)기법은 각 문서가 여러 ‘토픽’의 혼합이며 이들 토픽은 다양한 단어들의 혼합으로 구성된다고 가정하고 문서와 단어들을 확률적으로 분석하여 각 토픽에 속할 가능성이 높은 단어들을 집합으로 추출한다. [그림 2]는 토픽 추출과정을 나타내는 모델로 θ 는 문서의 각 주제별 비율(topic proportions)이고 Z 는 특정 주제에 대한 단어의 확률로, θ 값에 따라 Z 가 결정되고 β 는 주제(topic)이며 단어 W 는 Z 와 β 의 값에 따라 결정되는 구조이다(Blei, Ng, & Jordan, 2003).

[그림 2] 토픽모델링 이해와 알고리즘 구조



〈LDA 토픽모델링의 이해〉



〈LDA 알고리즘의 구조〉

자료: TowardsDataScience 홈페이지(a좌), Blei, Ng, Jordan, 2003(우)

2. 분석절차

본 연구의 분석대상은 2013년부터 2022년까지의 10년간 수행된 기계산업 분야 융합 과제로, 과학기술표준분류에서 기계를 포함하면서 다른 분야와 결합된 과제를 융합 과제로 선별하였다. 과학기술표준분류가 1개라도 기계로 표기된 과제는 10년간 총 61,908개로 이 중 보안과제를 제외하고 융합분류 기준에 적합한 과제는 총 16,396개이다. 분석절차는 크게 데이터 수집, 데이터 정제, 토픽모델링, 모델최적화, 종합 및 해석의 단계로 이루어진다. 분석 프로그램은 Netminer 4.0을 사용하였다.

데이터 분석을 위해 연구 목표, 키워드의 비정형 데이터를 수집하고 이를 체계적으로 정제하여 분석에 필요한 정보를 추출하였다. 본 연구의 목적이 기계산업 분야 융합R&D의 세부적인 기술 동향을 살펴보는 것이 아닌 제품과 서비스의 동향과 정책적 방향성을 살펴보는 것이 주 목적이기 때문에 세부적인 연구개발내용을 담고 있는 연구내용 보다는 연구목표를 추출하여 분석하였다. 수집된 텍스트는 형태소 분석기를 이용하여 형태소 단위로 분해되었고, 주요 명사를 추출하는

과정을 거쳤다. 텍스트 전처리 과정에서 문장 분리, 단어 분할, 소문자 처리, 구두점 제거, 불필요한 단어 제거, 원형 복원 등을 수행하였다. TF-IDF(term frequency-inverse document frequency) 분석을 통해 특정 단어의 문서 내 중요도를 측정하였으며, 이렇게 계산된 TF-IDF 점수를 바탕으로 문서와 단어 간의 연결 관계를 이원모드 네트워크로 구축하였다. TF-IDF 점수는 관용적으로 쓰는 단어는 수치가 낮게 나타나고, 핵심어는 수치가 높게 나타나는데 이를 바탕으로 중요도가 낮은 단어의 수치는 분석대상에서 제외하였다.⁴⁾

토픽모델링 분석을 위해 워드클라우드와 LDA 기법을 활용하였다. 워드클라우드 분석을 통해 데이터에서 주요 키워드를 시각화하고, LDA 모델을 사용하여 데이터 내에 숨겨진 토픽들을 추출하였다. 각 토픽과 관련된 연구 주제를 파악하여 우리나라 기계 융합 R&D 연구 방향성을 분석하였다.

토픽모델링의 정확성과 해석의 용이성을 높이기 위해 토픽 수의 최적화 작업을 진행하였으며 각 토픽이 가지는 의미와 키워드들 간의 관련성을 분석하였다. 토픽 수를 결정하는 전통적인 방법들은 혼잡도(perplexity)와 일관성(coherence) 등이 있지만, 본 연구에서는 토픽 수별로 결과를 추출한 뒤, 이들 결과의 해석 용이성과 타당성을 기반으로 토픽 수를 결정하였다. 이 방식은 최적의 토픽 수를 찾는 이상적인 모델이 실제로는 존재하지 않는다는 기존 연구의 주장을 바탕으로 한다. 최근 일부 연구에서는 토픽모델링은 분류되지 않은 문서 집합을 소수의 토픽으로 분류하여 나머지 토픽들을 더 해석 가능하게 만들어 주는 것이 목표이므로, 전체 토픽을 대상으로 최적의 모델을 평가하는 것은 실질적으로 의미가 없다고 주장한다(DiMaggio et al., 2013).

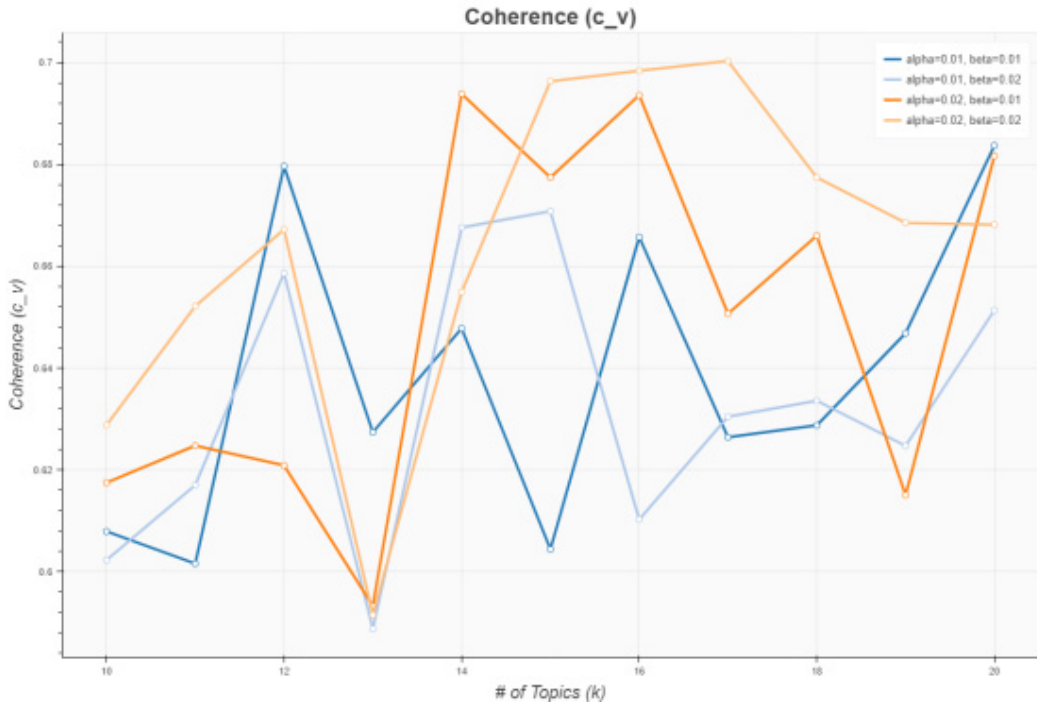
NetMiner를 사용하여 토픽 일관성을 측정하기 위해 C_V: 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 기반의 단어 간 공출현(Cooccurrence) 유사도를 계산하였다. C_V 값은 1에 가까울수록 최적의 토픽임을 나타내며, 이 지표를 통해 최적의 토픽 수를 결정하였다. 분석을 coherence 값을 10에서 20 사이의 다양한 토픽 수에 대해 측정하여 수행하였으며 그 결과, α 값이 0.02, β 값이 0.02인 조건에서 토픽 수가 15~17일 때 가장 높은 일관성을 보였다. 토픽 모델링에서 α 와 β 는 LDA모델의 주요 하이퍼파라미터로 각각 문서 내 토픽 분포와 토픽 내 단어 분포에 영향을 미친다. NetMiner에서 확인된 최적의 하이퍼파라미터를 적용하여 토픽 수를 15에서 17로 설정하고 LDA를 실행하였다. 각 경우에 대해 도출된 토픽의 내용 분석결과와

3) 국가연구개발사업 연구계획서는 표준화된 양식으로 되어 있으며 사업계획서 국문요약문은 연구목표(500자 내외), 연구 내용(1000자 내외), 기대효과(500자 내외), 국문핵심어(5개 내외), 영문핵심어(5개 내외)로 작성하게 되어 있다.

4) 일반적으로 TF-IDF 값이 낮은 단어는 중요도가 낮다고 판단 하는데 최적화 과정을 통하여 2-mode 내 degree가 20이상이고 TF-IDF 점수가 0.8이상의 단어만 추출하여 분석하였다.

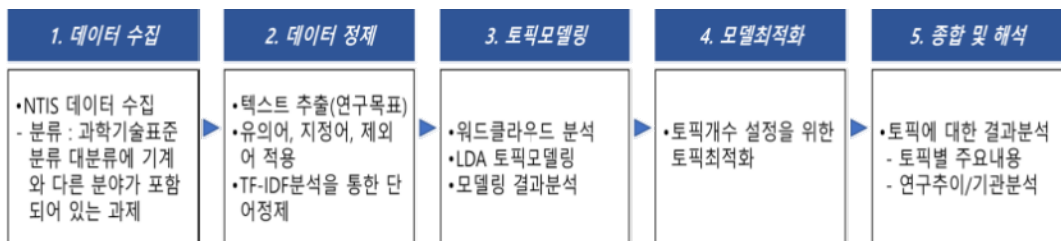
동일한 토픽수 대비하여 하이퍼파라미터의 변동성을 종합적으로 고려하여 16개를 최적의 토픽으로 선정하였다.

[그림 3] 토픽 수에 따른 coherence의 변화



최종적으로, 추출된 토픽을 중심으로 기계분야 융합 R&D 분야의 연구 동향과 주요 이슈를 분석하였다. 각 토픽별로 연구개발 과제들을 분류하고, 이를 통해 현재 기계산업 R&D 연구 주제들과 트렌드를 파악하였다. 이와 함께 도출된 토픽을 바탕으로 과제들의 추이와 핵심 기관을 분석하였다.

[그림 4] 분석 절차



IV. 분석결과

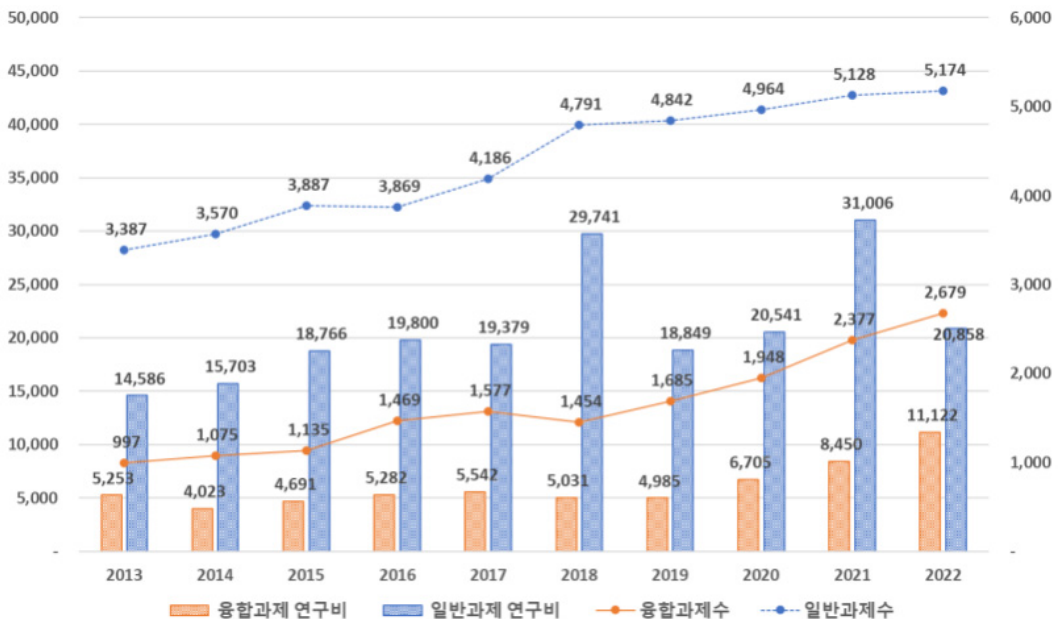
1. 기술통계⁵⁾

데이터를 바탕으로 2013년부터 2022년까지 과학기술표준분류에서 기계분야로 지정된 과제의 기술통계를 살펴보면 2013년 기계분야 융합과제의 수는 997개로 일반과제의 29.4%의 수준 정도 였으나 2022년에는 총 2,679개로 일반과제의 약 51.7% 수준으로 증가한 것을 알 수 있다.

기계분야 융합과제의 연구비는 10년 동안 약 112% 증가하며, 일반과제의 연구비 증가율(약 43%)보다 현저히 높은 증가세를 보였다. 과제 수도 융합과제가 약 169% 증가하여 일반과제의 과제 수 증가율(약 53%)을 크게 웃돌았다. 이는 융합과제가 기존의 일반과제보다 훨씬 더 빠른 속도로 증가하고 있음을 나타내어 융합기술 분야에 대한 투자가 일반과제보다 증가하고 있음을 의미한다.

[그림 5] 기계분야 융합 및 일반과제 R&D 현황

(단위: 억 원(좌)/개(우))



5) 앞의 <표 1> '국가과학기술표준분류 연구분야 기준융합 분야 과제 집행 추이'과 수치가 차이나는 것은 앞의 데이터는 융합데이터 중 과학기술표준분류 1의 연구비를 제외하고 2, 3의 비중과 연구비의 곱으로 계산하여 분석하지만 해당 연구에서는 융합으로 판단된 연구비 전체를 포함하여 분석하였다.

지난 10년 동안 기계산업의 융합 추세를 분석해 보면, 특히 전기/전자, 재료, 정보/통신, 농림수산물 등의 분야에서 눈에 띄는 증가세를 나타냈다. 전기/전자 분야는 2013년에 120건의 융합 과제로 가장 높은 수치를 나타냈고, 2022년에는 341건으로 가장 높은 수치를 기록하며 연평균 12.3%의 성장률을 보였다. 재료 분야는 2013년에 90건으로 두 번째로 높은 융합 과제 수를 보였으며, 2016년에는 298건으로 크게 증가하여 기계산업 내에서 가장 많은 융합 과제를 나타냈지만, 이후 감소하여 2022년에는 266건을 기록했다. 정보/통신 분야는 2013년 68건에서 2022년 276건으로 크게 증가했으며, 이는 약 4.06배의 증가를 나타내는 수치이다. 기계산업과 2개 이상의 다른 분야와의 융합에서는 ‘전기/전자, 정보/통신’이 상위권을 차지하였으며, 2013년 17건에서 2022년 59건으로 증가하였다. 농림수산물 분야는 2013년 17건에서 2022년 110건으로 증가했으며, 연평균 성장률이 23.06%를 기록하였으며 이는 모든 융합 분야 중 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기계산업 내에서 전기/전자는 여전히 중요한 것으로 보이며 정보/통신 기술의 증가하는 추세를 보여주며, 농림수산물 분야의 지속적이고 빠른 성장을 보여 해당 분야의 높은 잠재력을 시사한다.

〈표 1〉 기계산업 분야별 융합 R&D 과제수 추이(상위 12위)

(단위: 개, %)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	CARG
전기/전자	120	122	136	156	182	189	205	241	258	341	12.3%
정보/통신	68	70	64	81	115	113	151	192	235	276	16.8%
재료	90	103	113	298	251	175	185	206	232	266	12.8%
건설/교통	47	53	73	81	74	88	111	126	194	209	18.0%
에너지/자원	88	90	91	100	110	85	104	130	149	196	9.3%
보건의료	55	70	88	85	106	91	119	119	164	144	11.3%
환경	28	34	42	51	57	58	85	92	124	138	19.4%
농림수산물	17	14	14	42	55	65	74	75	106	110	23.1%
전기/전자·정보/통신	17	22	27	31	33	27	32	49	57	59	14.8%
재료·전기/전자	15	17	13	22	22	21	27	34	46	41	11.8%
생명과학	32	29	23	29	38	38	41	37	32	39	2.2%
화공	26	27	26	25	41	30	33	25	34	34	3.0%

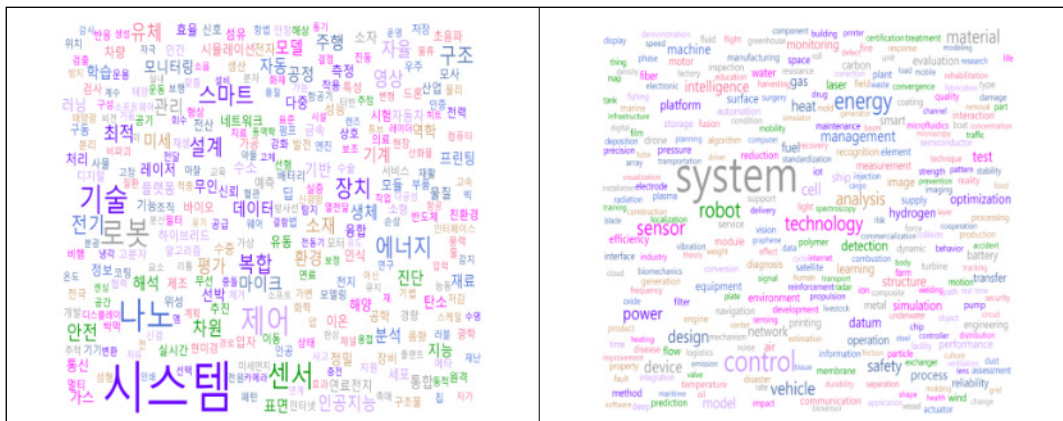
2. 토픽모델링 분석결과

1) 워드클라우드 분석

토픽모델링을 수행하기 전에 주요 키워드를 파악하여 주제와 방향성을 이해하기 위해 기계산업 분야의 핵심 키워드를 분석하였다. 분석 대상은 과제정보 내 연구자가 제시한 주요 한글, 영문 키워드였으며, 워드클라우드 분석을 통해 이를 시각화하였다. 핵심 키워드는 연구계획서 작성 시 연구 내용을 압축적으로 표현하는 단어들로 구성된다. 분석 대상 기간 동안 수집된 과제 데이터에서 한글 키워드 8,544개와 영문 키워드 13,515개가 추출되었으며, 빈도수가 가장 높은 300개 단어를 각각 워드클라우드 분석에 활용하였다.

한글키워드에는 그림과 같이 시스템, 나노, 제어, 로봇 등이 랭크 되었고 영문키워드도 비슷한 맥락으로 system, control, energy, robot 등이 상위에 랭크되었다. 이러한 분석 결과는 기계산업 분야에서 통합 시스템 설계와 운영, 나노기술의 혁신적 적용, 정밀 제어 기술의 중요성, 그리고 로봇과 센서 기술 등에 관한 연구가 많이 진행되고 있음을 시사한다. 특히, ‘시스템’과 ‘control’ 키워드의 빈번한 등장은 복잡한 기계 시스템의 효율적인 관리와 운영이 핵심 요소임을 강조한다. 또한, ‘나노’와 ‘energy’ 키워드는 기계산업이 더 작고, 더 효율적인 기술로 이동하고 있음을 나타내며, 이는 지속 가능한 개발과 에너지 효율 측면에서 중요한 의미를 갖는다. ‘로봇’ 키워드의 상위 랭크는 로봇공학이 기계산업에서 점점 더 중요한 역할을 하게 될 것임을 예시하며, 이는 제조, 의료, 물류 등 다양한 분야에 혁신을 가져올 수 있다. 이러한 키워드들은 기계산업의 융합 R&D 과제에서 중요한 역할을 했음을 확인할 수 있으며 이를 통해 국내 연구의 거시적인 흐름을 키워드 중심으로 파악할 수 있다.

[그림 6] 기계산업 융합R&D과제 워드클라우드(한글/영문 키워드)



2) 기계산업 융합R&D 토픽추출

기계산업 융합R&D과제 16,396개에서 데이터 전처리를 통해 도출된 단어를 대상으로 LDA 토픽모델링을 수행한 결과 16개의 토픽을 도출하였으며 토픽명은 주제별 키워드를 바탕으로 유추하였다. 각 토픽들은 기계산업 융합R&D의 주요 이슈들은 나타낸다. 기계산업 융합R&D에서 도출된 여러 과제들 중, 특히 주목할 만한 토픽은 그 비중을 따라 중요한 부분을 파악할 수 있다. 가장 높은 비중을 차지한 토픽은 ‘차세대 바이오 의료 기술(8.6%)’, ‘친환경 에너지 동력(8.4%)’, ‘나노기술과 스마트 소재(7.8%)’이며, 가장 낮은 비중을 보인 토픽은 ‘디지털 해양 및 항해기술(2.8%)’, ‘해양에너지 기술(4.4%)’, ‘차세대 에너지 저장 솔루션(5.3%)’ 순이다.

기계산업은 다양한 산업 분야와의 광범위한 연계성을 가지고 있어 융합되는 분야가 굉장히 넓고 이러한 특징은 토픽모델링 결과를 통해 알 수 있다. 각 토픽이 가지는 의미를 살펴보면 다음과 같다.

〈표 2〉 토픽모델링 분석 결과

Topic	Theme	Keywords	비중
Topic1	금속소재 및 성형가공	가공, 성형, 경량, 시제품, 금형, 금속, 적층, 형상, 강도, 합금	6.6%
Topic2	차세대 의료기술	수술, 유동, 거동, 역학, SIMULATION, 형상, 수치, 환자, 변형, 손상	5.7%
Topic3	친환경 에너지 동력	가스, 연료, 공기, 엔진, 운전, 냉각, 펌프, 온도, 배출, 제거	8.4%
Topic4	차세대 에너지 저장 솔루션	이온, 연료전지, 배터리, 전력, 전지, 분리, 수소, 공급, 저장, 리튬	5.3%
Topic5	인간 중심의 로봇공학	로봇, 작업, 인간, 보행, 운동, 동작, 재활, 보조, 인식, 사용자	6.6%
Topic6	미래 모빌리티 기술	차량, 수소, 자율주행, 주행, 자동차, 철도, 도로, 선박, 충전, 운전자	5.4%
Topic7	고급 광학응용기술	LASER, 영상, 물질, 광학, 메타, 초음파, 음향, 진동, 영역, 주파수	6.6%
Topic8	지능형 데이터 처리와 인공지능	데이터, 학습, AI, 러닝, 상황, SIMULATION, 인식, NETWORK, 서비스, 계획	5.5%
Topic9	나노기술과 스마트 소재	소자, 전극, 물질, 금속, PRINTING, 박막, 섬유, 코팅, 전자, 입자	7.8%
Topic10	해양에너지 기술	설치, 모터, 해상, 구동, 풍력, 해양, 운용, 인증, 구조물, 전동기	4.4%

Topic	Theme	Keywords	비중
Topic11	무인항공 및 우주탐사	무인, 영상, 위성, 비행, 드론, 운용, 임무, 통신, 우주, 항공기	7.0%
Topic12	안전과 표준화 전략	표준, 인증, 재난, 조사, 시설, 수립, 품질, 정책, 자료, 한국	6.7%
Topic13	지역 인력양성 및 교육 프로그램 개발	교육, 기업, 양성, 인력, 지역, 협력, 전문, 미래, 강화, 경쟁력	6.5%
Topic14	스마트 진단과 IoT 통합	모듈, 데이터, 진단, 고장, SW, 검사, 통신, IOT, 설비, 감지	6.1%
Topic15	디지털 해양 및 항해기술	선박, 운항, 디지털, 자율, 해양, 데이터, 해상, 트윈, 육상, 영상	2.8%
Topic16	생명공학 및 바이오테크놀로지	세포, BIO, 마이크로, 진단, 조직, 미세, 치료, 모사, 약물, 질환	8.6%

Topic1 ‘금속소재 및 첨단 성형가공’에 도출된 키워드는 ‘가공, 성형, 경량, 시제품, 금형, 금속, 적층, 형상, 강도, 합금’이다. 해당 토픽은 현대 제조 기술의 진보와 함께 다양화되고 있는 금속소재의 활용도를 반영한다. 최근의 기술 발전은 금속을 다양한 형상으로 성형할 수 있게 하였으며, 이러한 금속들은 강도가 높고, 종류에 따라 내식성이나 내열성 등의 특성이 뛰어나다. 금속의 다양성은 기간 산업부터 첨단 산업에 이르기까지 광범위한 응용 분야에 걸쳐 기초적인 역할을 하고 있다(중소기업기술정보진흥원, 2023). 해당분야의 기술적 발전은 전통적 제조 방식을 혁신적으로 개선할 가능성을 내포하고 있으며, 특히 고성능 재료의 개발과 고정밀 가공기술은 산업 전반에 걸쳐 제품의 품질을 향상시키고 생산 비용을 절감할 수 있다. 더불어, 환경에 영향을 최소화하면서 효율성을 극대화하는 새로운 금속가공기술의 개발은 중요한 연구 주제로 주목받고 있다. 금속가공, 경량화, 시제품 제작, 금형 기술, 적층제조(3D 프린팅) 등의 기술은 이 토픽을 구성하는 핵심 요소로, 현대 제조업에서 필수적인 역할을 한다. 기계분야의 제품 설계와 제작 과정에서 혁신을 촉진하는 중심축으로 작용하며, 이러한 기술들은 맞춤형 제품 제작에서부터 대량 생산에 이르기까지 다양한 산업에 활용된다.

Topic 2는 ‘차세대 의료기술’로 정의되며, 주요 키워드로는 ‘수술, 유동, 거동, 역학, 시뮬레이션, 형상, 수치, 환자, 변형, 손상’ 등이 포함된다. 과거 의료기기는 주사기와 같은 일회용품부터 MRI나 CT 같은 영상 진단 기기, 그리고 수술 및 치료 장비까지 다양했으나 최근 의료기기 분야는 ICT를 포함한 여러 기술의 통합이 활발히 이루어지고 있으며, 사용자의 편의성 향상(소형화,

무구속, 최소침습, 비침습 등)에 대한 수요가 커지고 있다. 사회적으로는 고령화와 만성질환자의 증가로 조기 진단과 예방, 개인 맞춤형 진료 및 관리의 필요성이 높아지고 있다. 또한 경제적으로 소득의 증가와 삶의 질 향상을 추구하는 과정에서 의료비 지출이 늘어나고 있다(이선재 외, 2021). 최신 의료기기는 다양한 분야의 기술이 결합되어 점점 더 복잡해지고 있어 이러한 측면에서 기계공학의 원리는 더욱 정밀하고 개인화된 의료 솔루션 개발에 크게 기여하며, 의료 시뮬레이션의 발전을 통해 수술 전 준비, 위험 평가 및 치료 계획을 최적화하는 데 필수적이다.

Topic 3 ‘친환경 에너지 동력’의 키워드는 ‘가스, 연료, 공기, 엔진, 운전, 냉각, 펌프, 온도, 배출, 제거’ 등을 포함하고, 환경 친화적인 기술개발에 대한 주요 이슈로 묶여 있다. 특히, 엔진의 효율성 증대와 배출가스 줄이기는 지속 가능한 환경을 위한 필수기술이다. 교토 의정서와 발리 협약을 포함한 글로벌 아젠다들은 지속 가능한 환경을 위한 관심을 높이고 있으며, 이에 따라 CO₂ 감축과 에너지 절약이 절실히 필요한 자동차산업에서 하이브리드 차량, 연료전지 차량, 그리고 내연 기관의 효율 개선을 위한 연구가 계속해서 이루어지고 있다(Ringler et al, 2009). 친환경 에너지동력기술은 환경 기술과 기계공학의 융합을 통해 개발되며, 운전 효율을 높이고 배출을 최소화하여 에너지 사용을 최적화하는 데에 활용된다. 본 토픽은 16개 토픽 중 두 번째로 높은 8.4%의 비중을 차지한 토픽으로 해당 분야의 연구가 많이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

Topic 4 ‘차세대 에너지 저장 솔루션’은 ‘이온, 연료전지, 배터리, 전력, 전지, 분리, 수소, 공급, 저장, 리튬’의 키워드를 포함하며, 에너지 효율성을 높이고 재생 가능한 에너지 소스의 활용을 최적화하기 위한 핵심 기술들이다. 1990년 이후 세계의 전기 수요는 전체 에너지 소비량의 두 배 이상으로 급증했으며, 앞으로 20년 간 2/3 이상 추가 증가가 예상된다(조정근·김재국, 2018). 이에 따라 에너지 저장 및 전환 기술은 지속가능한 생활을 위한 중요한 연구 분야로 주목 받고 있다. 현재는 화력 및 원자력 발전소를 통해 전기를 생산하고 있으나, 화석 연료의 한계와 환경문제로 인해 풍력과 태양광 같은 재생에너지로의 전환이 필요하다. 이러한 에너지의 효율적 사용을 위해서는, 필요시 에너지를 공급할 수 있는 대용량 전력 저장시스템 개발이 중요하다. 이 분야는 기계공학, 화학, 물리학 등의 융합을 통해 가능하며, 고성능 배터리와 연료전지는 지속 가능하고 친환경적으로 에너지 사용을 위해 사용될 것으로 보인다.

Topic 5의 키워드는 ‘로봇, 작업, 인간, 보행, 운동, 동작, 재활, 보조, 인식, 사용자’로 ‘인간 중심의 로봇공학’으로 명명하였다. 해당 분야는 인간의 작업 보조, 재활, 인식 및 사용자 인터랙션을 향상시키기 위한 기술들로 묶여 있다. 2000년대부터 센서를 통한 환경 인식, 정보 수집,

지능적 판단, 자율 행동 등을 가능하게 하는 지능형 로봇이 로봇산업의 새로운 분야로 부상하면서 로봇기술이 급격하게 증가되었다고 볼 수 있다. 인간과 유사한 기능을 수행할 수 있는 이러한 지능형 로봇은 전자공학의 여러 신기술과 결합되어 21세기 인류의 생활을 혁명적으로 변화시키고 생산성을 크게 향상시키는 분야로 자리잡았다. 로봇산업은 다양한 성장동력과 밀접한 연관이 있으며, 국가의 주요 산업으로서의 역할을 계속해서 수행할 것으로 보인다(권오상·이원석, 2007). 로봇분야에서의 기계는 로봇공학, 인지과학, 인공지능 등이 통합되어 인간 친화적 로봇을 개발하는 것을 목표로 하며, 재활로봇은 의료 분야에서 큰 변화를 가져오고 생활의 질을 향상시킬 것으로 보인다.

Topic 6 ‘미래 모빌리티 기술’은 ‘차량, 수소, 자율주행, 주행, 자동차, 철도, 도로, 선박, 충전, 운전자’ 등을 포함한다. 모빌리티(Mobility)는 인간과 물체의 이동 가능성 및 이동성을 의미하며, 이동수단의 연구, 개발, 제품, 서비스, 사용자 경험, 상호작용, 운영, 유지 및 폐기를 포괄하는 개념이다. 전통적인 대중교통수단인 택시, 버스, 지하철 외에도 카셰어링, 카셰어링, 초소형 EV, 전동 킥보드 등 다양한 이동수단이 모빌리티에 포함된다. 첨단 정보기술의 활용으로 공유 및 개인 맞춤형 미래 모빌리티 산업이 각광 받으며, 자율주행 자동차, 도심 항공교통(UAM), 친환경 자동차, 개인형 이동수단 등 새로운 교통수단이 등장하고 있다(김유빈·남양희, 2023). 자율주행 차량의 개발과 스마트교통 관리시스템은 도시의 교통 흐름을 최적화하고 사고를 감소시킨다. 해당 기술은 교통의 안전성과 효율성을 크게 향상시키는 것을 목표로 한다.

Topic 7 ‘고급 광학응용기술’은 ‘LASER, 영상, 물질, 광학, 메타, 초음파, 음향, 진동, 영역, 주파수’ 등을 포함하며, 새로운 센싱, 이미징 및 통신 방법을 가능하게 하는 기술들이다. 광학 및 레이저 기술은 빛의 속성과 상호작용을 이용한 기술로, 정밀 측정, 레이저 가공, 의료 기기, 통신 등 다양한 분야에 응용되며 음향과 초음파기술은 소리 및 초고주파 소리를 이용하여 물체의 내부 구조를 파악하거나 거리를 측정하는 데 사용된다. 메타물질은 자연에서는 존재하지 않는 특수한 물질로서 인공적으로 제작된 구조체로, 각종 파동(전자기파, 역학파)을 원하는 대로 제어할 수 있어 새로운 제품의 개발이 가능하다. 이를 통해 극도의 굴절률 조절, 투명 망토(투명 클로킹), 초소형 렌즈 등 혁신적인 광학 기기가 가능하다(김용준 외, 2022). 진동과 주파수는 공학적 설계 및 진단에서 중요한 역할을 하며 이를 통해 기계적 안정성을 평가하거나, 소재의 결함을 찾아내고, 환경 모니터링 등에 활용된다. 이러한 고급 광학응용기술은 기계분야의 첨단 기술이 연구개발에 응용되어 사용되고 있음을 의미한다.

Topic 8 ‘지능형 데이터 처리와 인공지능’은 ‘데이터, 학습, AI, 러닝, 상황, SIMULATION,

인식, NETWORK, 서비스, 계획' 등을 포함하며, 데이터의 스마트 처리와 AI의 활용이 효율적이고 지능적인 서비스를 제공하는 기술이다. 디지털 기술의 발전, 특히 인공지능과 빅데이터는 초연결과 지능화를 통해 경제와 산업은 물론 국가시스템과 일상생활에까지 혁신적 변화를 가져오고 있다. 이러한 변화는 산업혁명과 같은 중대한 성격을 띠고 있으며, 사회의 모든 구성요소가 네트워크(예: IoT, 5G)에 연결되어 데이터가 대량으로 생성되고 있다. 이 데이터는 클라우드와 빅데이터 시스템에 저장되며, 인공지능 소프트웨어(예: 머신러닝, 알고리즘)가 이를 자동으로 학습하여 물리적 노동뿐만 아니라 지적 판단도 수행할 수 있으며 지능화 기술은 다양한 분야의 기반 기술과 통합되어 범용적인 영향을 미치고 있다(유수정, 2017). 이는 기계공학 기술과 지능형 데이터처리와 인공지능이 결합하여 새로운 산업 애플리케이션과 솔루션을 창출하고 있음을 나타내며 기계분야와도 활발하게 융합되고 있음을 의미한다.

Topic 9 '나노기술과 스마트 소재'는 '소자, 전극, 물질, 금속, PRINTING, 박막, 섬유, 코팅, 전자, 입자'의 키워드를 포함한다, 나노미터 단위에서 물질을 조작하고 생성하는 나노기술, 전자 인쇄, 박막 등의 첨단 재료 기술을 포괄한다. 나노기술은 원자나 분자 수준에서 개별적으로 조작하여 전혀 다른 특성과 기능을 지닌 장치나 시스템을 개발하는 과정으로 이 기술은 매우 작은 소재나 구성요소를 제작하는 데 사용되며, 미래 기술의 발전에 있어 핵심적인 역할을 하고 있다(이인식, 2002). 스마트 소재는 자가 반응이나 자가 조절 기능을 가진 혁신적인 재료로, 두 기술이 결합될 때 상호 보완적인 혁신을 추진한다. 예를 들어, 나노기술을 활용한 스마트 소재는 센서를 통해 환경 변화를 감지하거나 기계분야에서 생산 효율을 증대시키는 데 기여할 수 있으며 이러한 결합은 제품과 응용 프로그램에서 혁신적인 가능성을 크게 향상시킬 수 있다. 나노기술과 스마트 소재는 소재의 물리적 및 화학적 속성을 근본적으로 변화시킬 수 있는 능력을 가지고 있어 기계 부품의 내구성, 효율성, 그리고 에너지 사용 최소화를 가능하게 하여 기계산업에서의 성능을 대폭 향상시킬 수 있다.

Topic 10 '해양에너지 기술'은 '설치, 모터, 해상, 구동, 풍력, 해양, 운용, 인증, 구조물, 전동기' 등의 키워드를 포함하고 있으며 해상 에너지 변환, 해양 구조물, 풍력 에너지 등을 포함하며, 해양 자원을 활용하여 지속가능한 에너지를 생산하는 것을 의미한다. 전 세계적으로 기후 위기가 심화되면서, 여러 나라 정부들은 재생 가능 에너지로의 전환을 적극적으로 추진하고 있다. 대규모 오일 회사들도 기존의 석유 및 가스 사업을 줄이고 재생 에너지 분야로의 투자를 확대하고 있으며, 많은 기업들이 RE100 같은 이니셔티브에 참여하면서 에너지 전환을 가속화하고 있다. 특히, 해상 풍력 발전 및 해양 에너지 기술에 대한 연구와 개발 투자가 증가하고 있다. 이러한

해양 재생에너지 기술은 육상 기반 에너지 기술과 비교하여 환경적 문제가 적고, 경제적 가치가 입증되면 미래의 주요 에너지원으로 주목받을 것으로 보인다(김경환, 2020). 기계산업과의 융합은 필수적이며, 해상 풍력을 포함한 재생에너지 기술개발은 에너지 자원의 다양화 및 지속 가능성을 높이는 데 기여하고 있다.

Topic 11 ‘무인항공 및 우주탐사’는 ‘무인, 영상, 위성, 비행, 드론, 운용, 임무, 통신, 우주, 항공기’의 키워드가 도출되었다. 해당 토픽은 드론, 위성, 우주 등과 관련된 기술을 포함하며, 탐사, 통신, 환경 모니터링 등의 목적으로 사용된다. 항공우주 분야는 항공기와 그 부품의 제조, 유지보수(MRO: Maintenance, Repair, Overhaul), 그리고 우주 산업을 포함하고 있다. 이 산업은 큰 초기 투자와 높은 진입 장벽, 그리고 긴 개발 기간이 특징적이다(임채린, 양현석, 송운경, 2019). 무인기는 항공우주산업에서 주요한 세부 분야로, 군사적 목적으로 처음 개발되어 정찰 및 공격에 사용되었고, 현재는 민간 분야까지 확장되었다. 기술의 진보에 따라 다양한 기능을 가진 무인기가 등장하고 있으며, 앞으로 다방면에서의 활용이 기대되고 있다(한국항공우주학회, 2020). 개인용 항공기(PAV: Personal Air Vehicle)와 도심항공모빌리티(UAM: Urban Air Mobility)에 대한 관심도 증가하고 있는데 이는 비용 절감, 주차 문제 해결 및 대기 오염 감소 등의 이점 때문에 플라잉카가 각광 받고 있는 이유와 유사하다(한국항공우주학회, 2020). 또한, 항공 드론과 우주 위성 개발 전략이 중요해지고 있으며, 스페이스 X, 아마존 같은 민간 기업의 우주 산업 진출로 인해 해당분야 산업의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

Topic 12 ‘안전과 표준화 전략’은 ‘표준, 인증, 재난, 조사, 시설, 수립, 품질, 정책, 자료, 한국’의 키워드로 안전 표준, 재난 관리, 품질 인증 등을 나타내며, 제품과 서비스의 안전성을 보장하고, 관련 정책과 프로세스를 표준화하는 것이다. 재난 환경이 점차 복잡해지고 크기가 커지면서 다양한 형태의 신종 재난이 빈번히 발생하고 있어 이에 따라, 최신 과학기술이 재난 현장에서의 활용 사례도 증가하고 있다. 특히, 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT)과 같은 신기술들이 재난 안전 분야에 도입되어 재난 관리 방식에 혁신적인 변화를 가져오고 있다(관계부처, 2018). 이러한 기술적 접근은 재난 안전 문제를 과학적으로 해결하려는 글로벌 추세를 반영하며, 이에 따라 재난 및 안전 관리에 대한 투자도 지속적으로 증가하는 추세이다. 이는 공공의 재난 안전 인식 향상과 직결되어, 관련 기술개발에 더 많은 예산이 배정되고 있다. 이에 로봇 기술, 인공지능, 센서 기술의 융합을 통해 최신 재난 대응 시설을 설계하고, 이를 바탕으로 재난 대응 훈련 시나리오 및 시뮬레이션을 개발하며, 융합기술 실행을 위한 정책 및 자료 수립 방안을 마련한다.

Topic 13 ‘지역 인력양성 및 교육 프로그램 개발’ 토픽은 ‘교육, 기업, 양성, 인력, 지역, 협력, 전문, 미래, 강화, 경쟁력’으로 지역 경제를 지원하고 전문 인력을 양성하기 위해 교육 프로그램을 개발하며, 이를 통해 지역 사회의 경쟁력을 강화하고 지속 가능한 성장을 도모하는 것을 의미한다. 이러한 지역산업 정책은 국가의 기술 혁신 정책에서 중요한 역할을 하며, 정부의 지원 아래 국가 및 지역의 R&D 사업 규모가 지속적으로 확대될 것으로 예상된다. 이에 따라 지방자치단체에서는 대응 자금을 증가시키는 추세이다(한웅규·이아람, 2021). 이와 동시에, 지역의 특성을 반영한 혁신적 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이는 기계, 바이오, 반도체와 같은 특정 전략 산업과 연계되어 추진된다. 특히 기계분야에서는 지역과 연계하여 다양한 프로젝트를 진행하고 있으며, 이를 통해 전문 기술교육을 실시하고 산업 수요에 맞는 인력을 양성하여 지역 사회의 경제적 성장과 기술혁신을 촉진하고 있다.

Topic 14 ‘스마트 진단과 IoT 통합’ 토픽은 ‘모듈, 데이터, 진단, 고장, SW, 검사, 통신, IOT, 설비, 감지’의 키워드이며 스마트 감지 기술, IoT, 그리고 데이터 분석을 활용하여 산업 설비의 상태를 실시간으로 모니터링하고 유지보수를 최적화하는 것을 의미하고 스마트 설비관리 영역으로 볼 수 있다. 이는 전자공학, 컴퓨터 과학, 기계공학의 통합을 통해 공장, 건물, 기계의 효율성을 극대화하고 에너지 사용을 절감해 운영 비용을 낮추는 데 기여한다. 장치 산업에서는 제품 원가의 상당 부분을 차지하는 설비의 가동 효율을 최대화하기 위해 노력하고 이를 위해 설비 고장의 원인을 찾아 해결하고, 설비의 파라미터를 실시간으로 조절하여 불량 발생을 미연에 방지하는 전략이 중요하며 이러한 측면에서 IoT, SW, 모듈 기술의 발달로 인해 스마트 설비관리 시스템이 부각받고 있다(심현식, 2017). 다양한 센서와 IoT 기기들이 설치되어 기계의 상태를 실시간으로 모니터링하고 데이터를 수집하는 스마트 팩토리, 전력망에 IoT 기술을 통합하여 에너지 사용을 최적화하는 스마트 그리드, 센서와 IoT 기술을 활용하여 건물 내의 조명, 난방, 환기 시스템 등을 제어하는 건물자동화 시스템 등 다양한 분야와의 융합을 통해 해당 분야 산업이 발전하고 있다.

Topic 15 ‘디지털 해양 및 항해기술’ 토픽은 ‘선박, 운항, 디지털, 자율, 해양, 데이터, 해상, 트윈, 육상, 영상’의 키워드로 해양 및 항해 분야의 작업을 디지털화하여 혁신하는 데 중점을 두고 있다. 이는 해양의 안전성을 강화하고 운영의 효율성을 끌어올리는 것을 주된 목표로 잡는다. 이는 수송기계산업에 자동차, 항공기, 이륜자동차, 자전거, 선박 등의 범주에 포함되는데, 해양 및 선박 분야도 중요한 연구 영역으로 자리 잡고 있음이 확인되나 전체 토픽 중 비중은 2.8%로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 도출된 키워드를 통해 해양 기술의 디지털 전환 추세를

파악할 수 있는데 선박분야가 아날로그 방식에서 디지털로의 전환이 가속화되고 있는 것을 확인할 수 있다. 디지털 해상교통정보산업은 첨단 정보통신기술(ICT)을 선박 운용 및 관리에 적극 도입하고, 선박과 육상 간의 데이터를 연결하여 부가가치를 창출하는 분야를 의미하는데 해당 분야는 연간 평균 8%의 성장률을 보이며, 2027년에는 약 145조 원 규모에 이를 것으로 예측된다(관계부처 합동 2023). 해양공학, 정보기술, 기계공학이 결합된 이러한 기술은 선박 운용의 안전성 및 효율성을 상당히 향상시킬 것으로 기대되며, 해양 데이터의 심도 있는 분석은 해양 환경 이해의 폭을 넓히는 데 중요한 역할을 할 것이다.

Topic 16 ‘바이오 테크놀로지’는 ‘세포, BIO, 마이크로, 진단, 조직, 미세, 치료, 모사, 약물, 질환’ 등의 키워드로 세포, 조직공학, 바이오파마, 치료제 개발 등을 포함하며, 의료 분야에서의 정밀한 진단과 효과적인 치료 방법을 개발하는 것을 목표로 한다. 코로나19 팬데믹과 4차 산업혁명이라는 디지털 전환은 바이오산업의 패러다임을 근본적으로 바꾸어 놓았다. 팬데믹 이후로는 비대면 진료 활용 증가와 의료 과부하 해결을 위한 디지털 기술의 도입이 확대되었고, 이로 인해 대중의 인식 또한 긍정적으로 변화하였다(한국보건산업진흥원, 2021). 또한 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT)과 같은 첨단 기술이 바이오산업과 융합하여 새로운 산업 생태계를 형성하고 있다. 바이오기술을 기반으로 첨단 기술을 결합함으로써 개인 맞춤형 치료법, AI를 이용한 신약 개발, 바이오 빅데이터를 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 혁신적인 바이오 제품과 서비스 개발이 진행 중이다(한국산업기술진흥원, 2023). 바이오 분야는 다른 산업과 융합을 통해 새로운 시장을 창출하는 특징을 지니고 있으며 해당 분야의 시장도 상승 중에 있어 이러한 측면에서 기계산업과의 융합이 적극적으로 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 해당 분야는 나온 토픽들 중에서 가장 비중이 높은 토픽으로 나타났으며 앞서 농림수산물 등의 높은 증가율은 이러한 측면을 반영한다 할 수 있다.

3) 토픽 유형별 추이분석

분석 결과를 바탕으로 토픽별 연구 과제 수, 연구비의 추이를 살펴보면 다음과 같다. 우선 과제 수에서는 ‘디지털 해양 및 항해기술(Topic 15)’이 연평균 성장률이 가장 높게 나타나며, 이는 해당 분야가 가장 늘어나고 있는 추세임을 시사하지만 절대적인 과제수는 다른 토픽에 비해 적어 해석에 유의할 필요가 있다. ‘지능형 데이터 처리와 인공지능(Topic 8)’의 경우에는 과제 수의 비중도 다른 토픽과 유사하지만 두 번째로 높은 연평균 성장률을 나타내어 해당 분야가 급격하게 발전하고 있음을 유추할 수 있다. 반면, ‘고급 광학응용기술(Topic 7)’과 ‘나노기술과

스마트 소재(Topic 9)'는 상대적으로 낮은 성장률을 보이며, 이는 해당 기술들이 성숙단계에 이르렀거나 다른 영역에 비해 변화의 폭이 작다는 것을 의미한다.

연구비 추이에서는 '무인항공 및 우주탐사(Topic 11)'와 '미래 모빌리티 기술(Topic 6)'이 2022년 기준 가장 높은 투자를 보이고 있으며 해당 분야의 성장률도 각각 20.3%, 19.0%로 두드러진 투자 성장을 보이고 있어 해당 분야의 투자가 높은 것을 알 수 있다. 특히 자동차, 항공 및 기타 운송 수단의 미래에 대한 연구가 중요하게 여겨지고 있음을 의미한다. 특히, 자율주행차, 전기차와 같은 기술의 발전이 이러한 투자 증가에 기여하고 있음을 시사한다. '디지털 해양 및 항해기술(Topic 15)'은 연구비에서도 가장 높은 연평균 성장률을 나타내었으며 '지능형 데이터 처리와 인공지능(Topic 8)'도 과제수와 마찬가지로 두 번째로 높은 성장률을 보여 이 분야의 기술 발전이 투자를 촉진하고 있음을 알 수 있다.

과제 수와 연구비를 동시에 살펴보면, '지능형 데이터 처리와 인공지능(Topic 8)'과 '나노기술과 스마트 소재(Topic 9)'는 과제 수 대비 높은 투자가 이루어지고 있지 않음에도 불구하고, 많은 수의 과제가 진행되고 있다. 이는 연구개발의 효율성이 높거나 해당 기술이 연구개발 단계에서 적은 자본으로도 많은 성과를 낼 수 있음을 의미할 수 있다. 과제 수 대비 연구비가 높은 분야는 '지역 인력양성 및 교육 프로그램 개발(Topic 13)'으로 해당 분야는 지역의 혁신을 위한 인프라 지원사업의 성격이 강하여 단일과제의 투자되는 비용이 높아 도출된 결과로 보여진다.

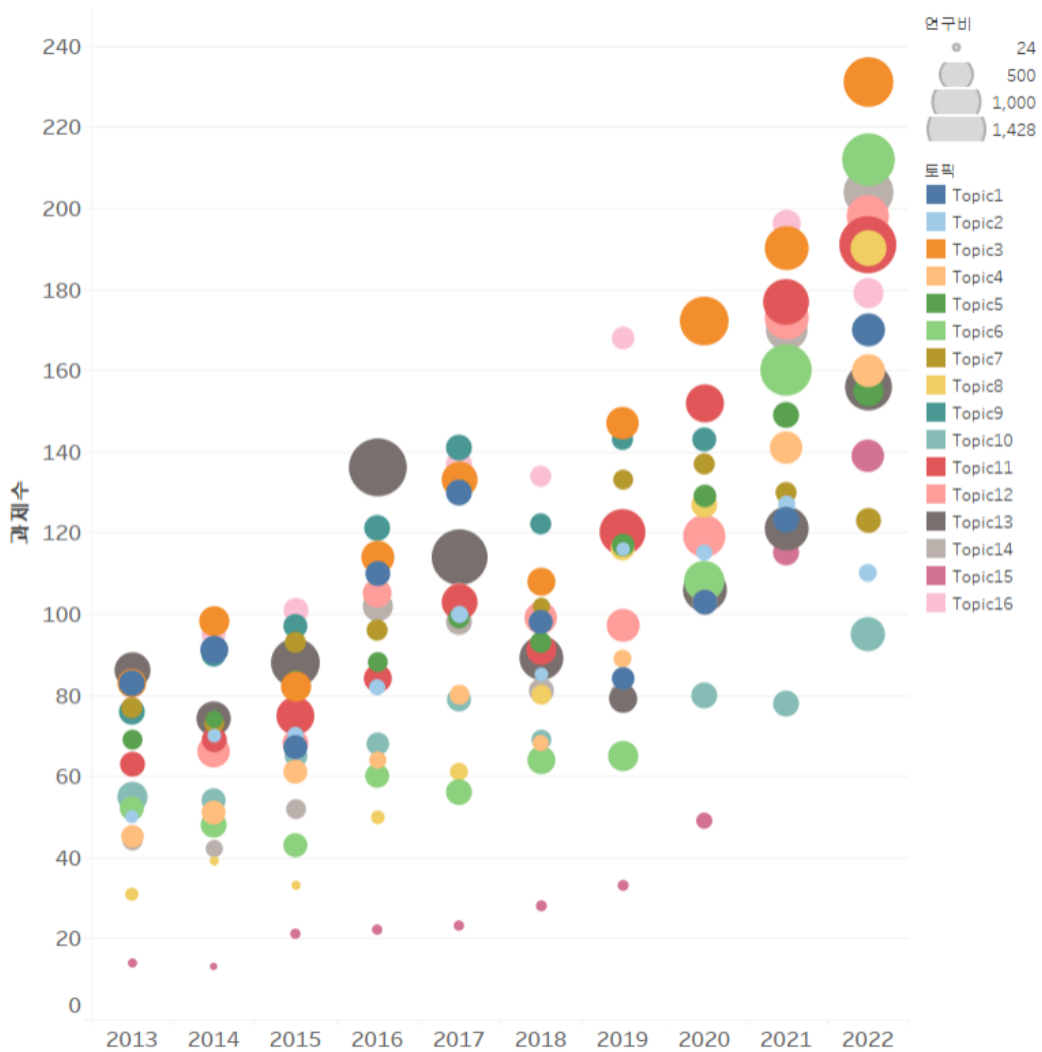
이러한 분석은 각 토픽별 연구와 개발의 추세를 이해하고, 향후 연구개발 투자 결정에 중요한 정보를 제공한다. 연구비 투자가 많이 이루어지고 있는 분야는 기술의 혁신적인 발전이 기대되며, 연구비 대비 많은 과제가 진행되는 분야는 연구 효율성이 높은 분야로 볼 수 있다.

〈표 3〉 토픽 유형별 과제수·연구비 추이

(단위: 개, 억 원, %)

구분		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	CARG
Topic1	과제수	83	91	67	110	130	98	84	103	123	170	8.30%
	연구비	286	344	229	285	311	251	218	268	314	483	6.00%
Topic2	과제수	50	70	70	82	100	85	116	115	127	110	9.20%
	연구비	72	87	96	108	132	88	86	101	132	154	8.80%
Topic3	과제수	83	98	82	114	133	108	147	172	190	231	12.00%
	연구비	375	406	406	469	572	343	450	1,001	839	1,043	12.10%
Topic4	과제수	45	51	61	64	80	68	89	103	141	160	15.10%
	연구비	218	250	235	128	173	100	145	262	427	458	8.60%
Topic5	과제수	69	74	84	88	99	93	117	129	149	155	9.40%
	연구비	168	124	142	173	191	198	205	218	299	391	9.80%
Topic6	과제수	52	48	43	60	56	64	65	108	160	212	16.90%
	연구비	248	290	250	239	288	330	394	698	1,127	1,185	19.00%
Topic7	과제수	77	73	93	96	99	102	133	137	130	123	5.30%
	연구비	191	168	182	194	143	124	168	186	197	260	3.50%
Topic8	과제수	31	39	33	50	61	80	116	127	161	190	22.30%
	연구비	76	36	38	82	138	161	241	315	476	568	25.00%
Topic9	과제수	76	90	97	121	141	122	143	143	159	160	8.60%
	연구비	287	241	248	292	305	199	190	255	318	303	0.60%
Topic10	과제수	55	54	65	68	79	69	64	80	78	95	6.30%
	연구비	388	246	226	207	253	157	188	291	299	513	3.20%
Topic11	과제수	63	69	75	84	103	91	120	152	177	191	13.10%
	연구비	263	263	617	338	542	383	893	620	898	1,387	20.30%
Topic12	과제수	55	66	68	105	104	99	97	119	173	198	15.30%
	연구비	174	419	307	382	355	441	466	776	815	763	17.90%
Topic13	과제수	86	74	88	136	114	89	79	106	121	156	6.80%
	연구비	552	503	1,017	1,428	1,327	814	347	815	823	940	6.10%
Topic14	과제수	44	42	52	102	98	81	80	107	170	204	18.60%
	연구비	161	128	170	390	297	270	301	393	737	1,057	23.20%
Topic15	과제수	14	13	21	22	23	28	33	49	115	139	29.10%
	연구비	37	24	45	44	47	62	53	113	308	452	32.10%
Topic16	과제수	77	95	101	134	137	134	168	173	196	179	9.80%
	연구비	179	240	267	286	287	191	219	247	336	390	9.00%

[그림 7] 토픽 유형별 과제수·연구비 추이



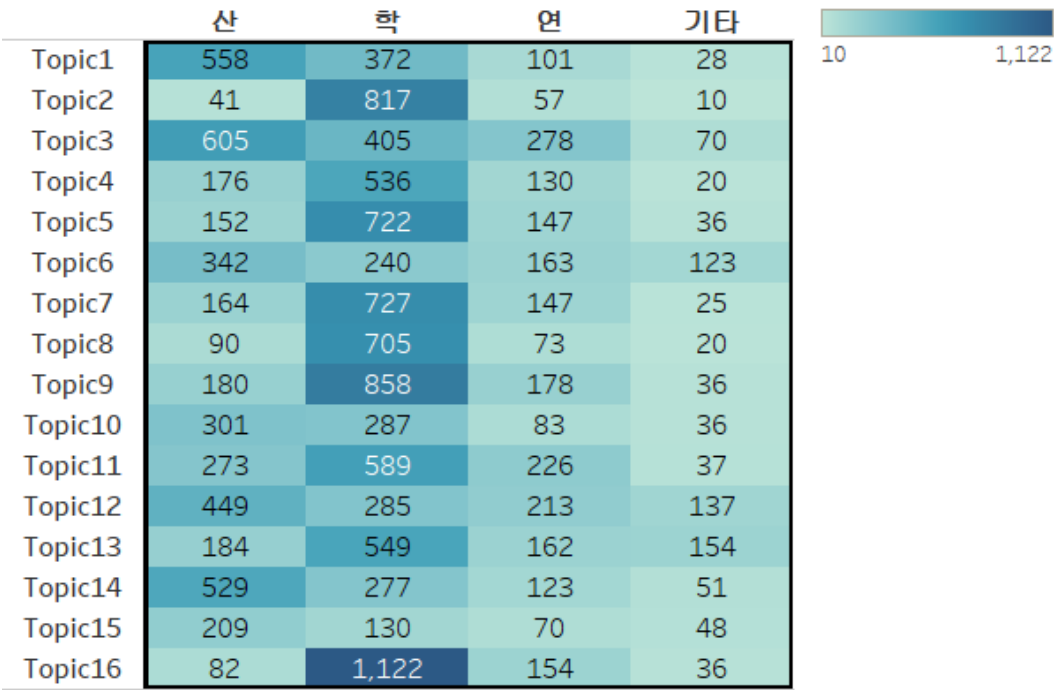
4) 토픽 유형별 연구주체 분석

다음은 토픽별로 NTIS과제와 매칭하여 참여한 주요 연구주체들의 비중을 살펴보면 [그림 8]과 같다.⁶⁾ 주요 토픽에 대한 특징을 살펴보면 우선 ‘차세대 의료기술(Topic 2)’, ‘생명공학 및 바이오테크놀로지(Topic 16)’, ‘지능형 데이터 처리와 인공지능(Topic 8)’, ‘나노기술과 스마트

6) 산학연의 구분은 NTIS에 분류되어 있는 연구주체를 중심으로 분류하였으며 연'의 경우 출연연구소, 국공립연구소를 포함하여 분석하였으며 기타는 병원, 의료재단, 지자체 등 산학연에 포함되지 않는 기타 기관들을 의미

소재(Topic 9)’는 학계의 참여 비중이 두드러진다. 이는 기초 연구와 학문적 발전이 매우 중요한 분야로, 심도 깊은 연구와 혁신적인 아이디어가 필수적이고 이론과 기초연구가 중시되는 경향이 있음을 의미한다. ‘스마트 진단과 IoT 통합(Topic 14)’, ‘디지털 해양 및 항해기술(Topic 15)’은 산업계와 학계의 참여가 균형을 이루며, 이는 기술개발이 이론과 실제 응용 사이의 긴밀한 협력을 필요로 하는 분야임을 나타낸다. ‘금속소재 및 성형가공(Topic 1)’과 ‘친환경 에너지 동력(Topic 3)’은 산업계 참여가 비교적 높은 편으로, 이들 분야는 실질적인 적용과 제품화가 중요한 영역이다. ‘미래 모빌리티 기술(Topic 6)’은 산학연 간의 협력 뿐만 아니라 기타 부문에서의 참여도 두드러지는데, 이는 해당 분야가 다양한 기술적, 사회적, 정책적 요소를 포함하는 복합적인 연구가 필요함을 시사한다. ‘안전과 표준화 전략(Topic 12)’과 ‘지역 인력양성 및 교육 프로그램 개발(Topic 13)’은 기타 부문에서도 상대적으로 높은 참여를 보여주며, 이는 정부 또는 비영리 단체 등 다양한 조직들이 연구 및 개발 활동에 참여하고 있음을 나타낸다. 각 토픽별로 산학연기타 부문의 참여 비중 분석은 기술의 성격과 연구개발의 특성에 대해 깊게 이해할 수 있고 각 분야의 혁신 속도와 시장 적용 가능성을 가늠하는 중요한 지표가 될 수 있다.

[그림 8] 토픽 유형별 연구주체 분석



V. 결론

본 연구에서는 기계산업 분야의 융합 R&D 동향을 분석하고, 적절한 정책 방향을 모색하기 위해 국가 R&D 과제 데이터를 활용하여 연구를 진행하였다. 첫째, 토픽모델링을 적용해 국가 R&D 데이터를 기반으로 유사 토픽별로 기술을 분류하고, 이를 통해 기계산업에서의 주요 융합 R&D 방향성을 파악하였다. 결과적으로, 기계산업 융합연구개발은 총 16개의 토픽으로 나누어 질 수 있으며, 이들 각각의 토픽은 기계산업 융합 R&D의 주요 이슈들을 대표하는 것으로 분석되었다. 다음으로, 각 토픽별 연도별 추이와 주요 참여 연구주체를 상세히 분석하여, 기계산업 융합 R&D가 어떻게 진행되고 있는지에 대한 분석을 수행하였다. 토픽별로 과제 수와 연구비의 증가율을 분석함으로써, 투자가 활발히 이루어지고 있는 분야와 기술의 성숙도를 평가할 수 있었으며, 토픽별 주요 연구주체를 산학연으로 구분 분석하여, 각 분야에서 중요한 역할을 하는 주체들의 참여 양상을 파악하였다. 이러한 분석은 기계산업 융합 R&D의 현재 주요 동향과 중점 이슈들을 명확히 하고, 이를 바탕으로 기계산업이 지속 가능하게 발전하고 기술 혁신을 이루어갈 수 있는 방향성을 파악할 수 있을 것이다.

분석결과를 통해 도출된 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기계산업 분야는 4차 산업혁명, 인공지능 기술의 확대, 코로나19로 인한 바이오 기술 확산, 친환경 에너지, 자율주행 등과 같은 다양한 사회적, 기술적 대형 이슈들을 반영하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 글로벌 이슈들이 연구개발에 직접적인 영향을 미치고 있다는 점은 기계산업이 단순한 기술 진보를 넘어 사회적 변화와 긴밀히 연결되어 있음을 시사한다. 따라서 기계산업은 지속 가능한 발전을 위해 사회적 이슈를 고려한 융합 R&D를 적극적으로 추진해야 한다. 예를 들어, 기계산업과 연관된 지속 가능한 기술개발(친환경 소재, 저탄소 기술 등)을 추진하거나, 사회적 이슈와 연관된 테마를 선정하여 이를 적극적으로 추진하는 것이 필요하다. 해외 사례의 특징으로는 융합정책이 기술 중심의 정책이 아닌 목적형 융합정책으로서 정부, 공공기관, 민간 부문이 협력할 수 있는 융합정책으로 시행되고 있다. 우리나라의 융합정책은 아직 기술 중심의 정책에 머물러 있으며 이를 해결하기 위한 개선이 필요하다(김홍영·박소희, 2015).

둘째, 토픽별 주요 연구 주체의 참여 양상이 다르다는 점에서, 기술정책 수립 시 연구 주체들의 참여도를 반영한 전략적 접근이 필요하다. 융합 R&D에서는 다양한 분야의 전문가들이 모여 공동 목표를 달성하려 하므로, 효과적인 협업을 위해서는 각 주체가 참여하는 분야가 적합한지 신중하게 검토해야 한다. 이는 기존 기술 분류 방식을 넘어 테마나 서비스 기반의 분류 및 배치가

중요함을 의미한다. 특히 모빌리티와 같이 기술개발뿐만 아니라 사회적 이슈도 중요하게 고려되는 분야는 이러한 점을 더욱 고려하여 진행해야 할 것이다. 기계산업 분야별 융합 R&D 과제는 전기/전자, 정보/통신, 재료, 건설/교통 등 기계산업과 직접적으로 연관되는 분야와의 협력이 높게 나타나고 있으나, 그 외 인문사회와의 융합은 미흡한 것으로 나타났다. 다양한 사회 문제 해결 및 이슈 대응을 위해서는 기초연구 및 인문사회 분야와의 협력도 중요하게 이루어져야 할 것이다. 이를 위해서는 기술적 지식을 가지고 있는 연구자들을 위한 융합플랫폼을 구축하거나 문제해결 지향형 연구사업 등을 통해 연구자 간의 암묵적 지식 전이가 쉽게 될 수 있도록 지원해야 한다. 이를 통해 해당 분야의 연구자들 사이에 활발한 학술적 교류와 융복합 연구를 통해 기계산업의 발전을 이루어내야 할 것이다.

셋째, 기계산업분야는 다양한 성장 패턴을 보이는 여러 연구 주제로 구성되어 있음에 따라 고성장 분야에 대해서는 전략적 투자, 중간 성장 분야의 최적화와 효율성 향상, 그리고 낮은 성장 분야에 대한 철저한 검토와 자원 재배치 등을 통해 산업의 혁신을 촉진하고 지속 가능한 경쟁력을 유지하는 것이 중요하다. 예를 들어 지능형 데이터 처리와 인공지능(Topic 8), 무인항공 및 우주탐사(Topic 11), 미래 모빌리티 기술(Topic 6)은 과제수와 연구비 성장률에서 상당한 발전과 혁신 잠재력을 가지고 있는 것으로 보인다. 이러한 분야에 대한 집중적인 투자와 지원은 산업의 경쟁력을 강화하고 지속 가능한 발전을 도모하는 데 중요한 역할을 할 것으로 보이며 장기적인 관점에서의 지원과 투자가 필요하다. 상대적으로 중간의 성장률을 보이는 고급 광학응용기술(Topic 7)과 해양에너지 기술(Topic 10)은 기존 프로젝트를 최적화하고 효율성을 향상시키는 노력이 요구된다. 이들 분야는 기술의 성숙도가 비교적 높아 추가적인 혁신보다는 현재 자원의 최적 활용과 운영 효율성 개선을 통해 성과를 극대화할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 중간 성장 분야는 신규 기술 도입과 기존 기술의 융합을 통해 추가적인 성장 기회를 모색할 수 있다. 반면, 낮은 성장률을 보이는 나노기술과 스마트 소재(Topic 9)와 같은 분야는 산업의 필요와 미래 방향에 여전히 부합하는지 철저한 검토가 필요하다. 이러한 분야는 현재의 산업 트렌드와 시장 요구에 맞지 않거나 혁신적 성과를 도출하는 데 어려움을 겪고 있을 수 있다. 따라서, 이러한 분야에서 고성장 분야로 자원을 재배치하거나, 새로운 연구 방향을 모색함으로써 보다 효과적인 자원 활용이 가능할 것으로 보인다.

본 논문을 통한 학술적 기여는 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 기존의 논문이나 특허 데이터를 통한 분석과 달리, 실질적인 연구개발 데이터를 활용하여 그동안 분석되지 않았던 기계산업의 융합기술을 심층적으로 분석하였다는 점에서 중요한 학술적 시사점을 지닌다. 이를 통해 기계산

업의 연구개발 현황을 보다 구체적이고 실질적으로 파악할 수 있었다. 둘째, 기존의 기술간 협력을 융합으로 정의하던 방식을 넘어, 목적지향형 융합기술의 진정한 목표를 달성하기 위한 방법으로 토픽모델링을 활용한 점은 본 연구의 또 다른 중요한 기여이다. 대부분의 기존 연구들이 특허 혹은 기술표준분류의 동시분류분석을 사용한 반면, 본 연구는 텍스트 기반 분석을 수행하여 융합기술의 진정한 목적을 명확히 하는 데 기여하였다. 마지막으로, 분석된 토픽을 연구주체와 시간의 흐름에 따라 다양하게 살펴봄으로써, 융합기술 연구의 동적 변화를 포착하고, 이를 통해 융합기술의 발전 방향과 변천사를 보다 체계적으로 이해할 수 있게 하였다.

본 연구 결과는 실무적으로도 여러 가지 시사점을 제공한다. 첫째, 연구자 관점에서는, 본 연구결과를 활용하여 융합연구 추진 시 기술 변화의 트렌드를 파악하고 추가적인 과제 계획을 수립하는 데 중요한 인사이트를 제공할 수 있을 것이다. 도출된 연구 주제와 방법론을 통해 기술간 융합이나 확장이 가능한 방안을 제시함으로써 연구의 확대 적용을 위한 논리를 제공할 수 있다. 정책 입안자의 관점에서는, 융합기술의 정책 개발이나 기획 시 현재의 트렌드를 고려하고 각 주제별 연구 참여 주체 등을 세밀하게 분석함으로써, 보다 정교하고 실효성 있는 정책을 수립할 수 있을 것이다. 이러한 접근은 융합기술 연구의 효과적 추진과 관련 정책의 수립에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 지난 10년 간의 연구개발 과제 데이터를 활용하여 기계산업에서 융합된 과제들을 중심으로 분석을 진행하였다. 그러나 융합된 과제들을 일반 기계 과제들과 상대적으로 비교 분석하지 못한 점은 본 연구의 한계로 지적될 수 있다. 일반과제와의 비교 분석을 통해 기계산업의 융합 R&D만의 특징을 도출하고, 이를 바탕으로 기계산업의 융합 연구개발 현황을 보다 정확히 파악하는 것은 추가적인 연구 과제로 남아있다. 또한, 데이터 측면에서 연구목표만을 대상으로 분석하였기 때문에 세부적인 융합기술의 현황을 충분히 파악하지 못한 점은 아쉬움으로 남는다. 따라서 향후 연구에서는 일반 기계 분야와 융합 기계 분야를 비교 분석함으로써 기계산업의 발전 트렌드를 보다 명확히 도출하고, 세부적인 기술 분석을 추가하여 미래의 트렌드와 기술을 예측하는 연구가 진행되기를 기대한다. 이를 통해 기계산업의 융합기술 연구에 대한 더욱 포괄적이고 심층적인 이해를 도모할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강희종·엄미정·김동명(2006), 「특허분석을 통한 유망융합기술의 예측」, 기술혁신연구, 14(3), pp. 93-116.
- 곽기호·박주형(2009), 「산업연관분석을 활용한 기계산업의 경제적 파급효과 분석」, 산업경제연구, 22(1), pp. 179-199.
- 관계부처 합동(2018), 「제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획('18~'22)」.
- 관계부처 합동(2023), 「디지털 해상교통정보산업 육성 전략」.
- 국가과학기술자문회의(2023), 「제4차 융합연구개발 활성화 기본계획(안)」.
- 권오상·이원석(2007), 「차세대 첨단산업의 핵심으로 부상하는 로봇산업의 기술발전 동향과 과제」, 전자공학회지, 34(1), pp. 71-85.
- 김경환(2020), 「에너지전환을 위한 해양재생에너지 기술개발 동향」.
- 김동훈·송준엽(2012), 「생산 및 제조 분야에서의 IT기계 융합 기술 동향 및 사례」, 오토저널, 34(3), pp. 20-28.
- 김용준·이학주·임승혁(2022), 「메타물질」, 한국과학기술기획평가원.
- 김유빈·남양희(2023), 「미래 모빌리티 산업에서 경험적 속성에 따른 메타버스 적용 사례 연구: 자율주행 자동차 레벨 3-5단계를 중심으로」, 멀티미디어학회논문지, 26(2), pp. 341-358.
- 김은정·최희진(2022), 「토픽모델링과 네트워크분석을 활용한 헬스케어 분야의 핵심기술과 기술융합 분석 연구: 특허정보를 중심으로」, 한국정보통신학회논문지, 26(5), pp. 763-778.
- 김형진·김은정·이승연(2018), 「학제간 융합연구자의 시행착오 극복을 위한 성공적 융합연구 방법 제안」, 문화와융합, 40(1), pp. 183-214.
- 김홍영·박소희(2015), 「융합 R&D 추진현황 분석 및 활성화 방안」, 한국과학기술기획평가원, 서울.
- 도계훈(2021), 「일본의 제6기「과학기술·혁신기본계획」 주요 내용과 시사점」. KISTEP 정책 브리프
- 류성환(2015), 「국가연구개발사업 관점에서 본 융합기술R&D 활성화 전략」, 융합연구리뷰, 1(2), pp. 4-29.
- 박광순·이진면·진혜진(2012), 「기계산업의 국제경 competitive 분석과 전략적 발전방안」, 연구 보고서 2012-645.
- 박주섭·홍순구·김종원(2017), 「토픽모델링을 활용한 과학기술동향 및 예측에 관한 연구」, 한국산업 정보학회논문지, 22(4), pp. 19-28.
- 송준엽·곽기호(2012), 「기계산업 ICT 융합과 부가가치 유발효과」, 기계저널, 52(11), pp. 37-42.
- 심현식(2017), 「스마트 설비관리시스템 구축 및 효과분석」, 반도체디스플레이기술학회지, 16(3), pp. 121-126.
- 안주영·안규빈·송민(2016), 「텍스트 마이닝을 이용한 매체별 에볼라 주제 분석」, 한국문헌정보 학회지, 50(2), pp. 289-307.
- 유수정(2017), 「4차 산업혁명과 인공지능」, 한국멀티미디어학회지, 21(4), 한국멀티미디어학회, pp. 1-8.

- 이경재(2020), 「지속가능한 출연(연) 융합생태계 조성의 조건- 국가과학기술연구회 융합연구사업 발전을 위한 제언」.
- 이남우(2015), 「융합연구 식별 방법에 대한 고찰: 국가연구개발사업을 중심으로」, 융합연구리뷰, 1(2), pp. 30-59.
- 이상훈(2016), 「경남 기계ICT 융합산업의 육성전략」, 한국정보기술학회논문지, 14(2), pp. 185-194.
- 이선재·이성주·설현주(2021), 「토픽모델링과 인용 분석에 기반한 의료기기 산업의 기술융합 유형 연구」, 한국융합학회논문지, 12(7), pp. 207-220.
- 이인식(2002), 「나노기술이 미래를 바꾼다」, 김영사.
- 임채린·양현석·송운경(2019), 「성향점수매칭을 활용한 정부 연구개발 지원 효과 분석: 항공·우주산업을 중심으로」, 한국항공경영학회지, 17(5), pp. 37-53.
- 조경원·우영운(2019), 「텍스트 마이닝을 이용한 4차 산업 연구 동향 토픽 모델링」, 한국정보통신학회논문지, 23(7), pp.764-770.
- 조정근·김재국(2018), 「차세대 이차전지용 아연 이온 이차전지 소재 연구 개발 동향」, 세라미스트, 21(4), pp. 312-330.
- 중소기업기술정보진흥(2023), 「중소기업 전략기술로드맵 2023-2025」, 진한M&B.
- 진영현·정상기·박정일·배용국·강지희(2014), 「기술·산업의 융합현상에 관한 실증적 고찰」.
- 최해옥·최병삼·김석관(2017). 「일본의 제4차 산업혁명 대응 정책과 시사점. 동향과 이슈」, (30), pp.1-25.
- 한국과학기술기획평가원(2013), 「2012년 국가연구개발사업조사분석 보고서」.
- 한국과학기술기획평가원(2019), 「2018년 국가연구개발사업조사분석 보고서」.
- 한국과학기술기획평가원(2023), 「2022년 국가연구개발사업조사분석 보고서」.
- 한국보건산업진흥원(2021), 「바이오헬스 산업의 넥스트 노멀」, KHIDI(한국보건산업진흥원).
- 한국산업기술진흥원(2023), 「2023 산업기술 환경예측 보고서(바이오·헬스)」.
- 한응규·이아람(2021), 「정부 지역혁신계획의 체계성 제고 방안」, 정책연구, 1-127.
- 한장협·나중규·김채복(2016), 「특허정보를 활용한 분산형 에너지 기술융합 네트워크 분석: 대구지역을 중심으로」, 산업경영시스템학회지, 39(3), pp. 156-169.
- 한국항공우주학회. (2020). 항공우주학개론. 경문사.
- 홍유정·최선아·송영화(2021), 「융합 R&D 전략이 과학기술성과에 미치는 영향에 관한 연구: 대학의 정부 R&D 사업을 기반으로」, 한국혁신학회지, 16(3), pp. 421-451.
- 황광선(2015), 「융합연구 Collaboration 과정의 알파와 오메가에 대한 질적 탐구: 융합연구정책에 대한 시사점 도출」, 융합연구리뷰, 1(8), pp. 4-37.
- 황광선·정기영(2019), 「경기도 제조업 부문 융합 과학기술 분석: 국가R&D사업 참여 기업을 대상으로」, GRI 연구논총, 21(3), pp. 237-267.
- 황서이·황동열(2018), 「토픽모델링과 의미연결망 분석을 통한 예술경영 연구동향 분석」, 예술경영 연구, 47, pp.5-29.

- Bickel, M. W. (2019). "Reflecting trends in the academic landscape of sustainable energy using probabilistic topic modeling." *Energy, Sustainability and Society*, 9, 1-23.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). "Latent dirichlet allocation." *Journal of Machine Learning Research*, 3(Jan), pp. 993-1022.
- Byrne, G., Damm, O., Monostori, L., Teti, R., van Houten, F., Wegener, K., Wertheim, R., & Sammler, F. (2021). "Towards high performance living manufacturing systems-A new convergence between biology and engineering." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 34, pp. 6-21.
- Chang, S. I. (2017). "The direction of industrial structure change and policy tasks in the era of the 4th industrial revolution." *Planning and Policy*, 424, pp. 22-30.
- DiMaggio, P., Nag, M., & Blei, D. (2013). "Exploiting affinities between topic modeling and the sociological perspective on culture: Application to newspaper coverage of US government arts funding." *Poetics*, 41(6), pp. 570-606.
- Duysters, G., & Hagedoorn, J. (1998). "Technological convergence in the IT industry: the role of strategic technology alliances and technological competencies." *International Journal of the Economics of Business*, 5(3), pp. 355-368.
- Katz, M. L. (1996). "Remarks on the economic implications of convergence." *Industrial and Corporate Change*, 5(4), pp. 1079-1095.
- Kose, T., & Sakata, I. (2019). "Identifying technology convergence in the field of robotics research." *Technological Forecasting and Social Change*, 146, pp. 751-766.
- Lee, K., Yun, J. J., & Jeong, E.-S. (2015). "Convergence innovation of the textile machinery industry in Korea." *Asian Journal of Technology Innovation*, 23(1), pp. 58-73.
- Nordmann, A. (2004). "Converging technologies: shaping the future of European societies." Office for Official Publications of the European Communities Luxembourg.
- Ringler, J., Seifert, M., Guyotot, V., & Hübner, W. (2009). "Rankine cycle for waste heat recovery of IC engines." *SAE International Journal of Engines*, 2(1), pp. 67-76.
- Roco, M. C., Bainbridge, W. S., Tonn, B., & Whitesides, G. (2013). "Converging knowledge, technology, and society: Beyond convergence of nano-bio-info-cognitive technologies." Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 450.
- Rosenberg, N. (1963). "Technological change in the machine tool industry, 1840-1910." *The Journal of Economic History*, 23(4), pp. 414-443.
- Todorov, R. (1989). "Representing a scientific field: A bibliometric approach", *Scientometrics*, 15(5), pp. 593-605.
- Tran, B. X., Nghiem, S., Sahin, O., Vu, T. M., Ha, G. H., Vu, G. T., Pham, H. Q., Do, H. T., Latkin, C. A., & Tam, W. (2019). "Modeling research topics for artificial intelligence

- applications in medicine: latent Dirichlet allocation application study” *Journal of Medical Internet Research*, 21(11), e15511.
- Wagner, C. S., Roessner, J. D., Bobb, K., Klein, J. T., Boyack, K. W., Keyton, J., Rafols, I., & Börner, K. (2011). “Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature.” *Journal of Informetrics*, 5(1), pp. 14–26.
- Yeung, A. W. K., Tzvetkov, N. T., Gupta, V. K., Gupta, S. C., Orive, G., Bonn, G. K., Fiebich, B., Bishayee, A., Efferth, T., & Xiao, J. (2019). “Current research in biotechnology: exploring the biotech forefront. *Current Research in Biotechnology*” 1, 34–40.

홈페이지

국가과학기술지식정보서비스(NTIS): www.ntis.go.kr
미국 국립과학재단: <https://new.nsf.gov>
한국기계산업진흥회 홈페이지: <https://www.koami.or.kr/>
<https://towardsdatascience.com>

An Analysis of the Convergence R&D Trends in the Machinery Industry Using Topic Modeling

Kim Dongkwan

– Abstract –

This study aims to analyze the characteristics of convergence technologies in the machinery industry and investigate their application fields to present trends and implications within a convergence environment. To achieve this, topic modeling was performed using national R&D data. The topic modeling results identified a total of 16 major topics, and key issues were derived for each topic. By analyzing the annual trends based on these topics, we determined which fields have seen the most active investment. Furthermore, the participation status of the industrial, academic, and research sectors was analyzed to identify the participation patterns of key stakeholders in each field. Through this analysis, the current state of convergence R&D in the machinery industry, as well as major trends and key issues, were clearly delineated. The findings of this study can serve as foundational data for the effective promotion of the machinery industry and the formulation of relevant policies.

Key words Machinery Industry, Convergence R&D, Topic Modeling, Text Mining

| 논문 |

정책가치 이론을 적용한 소재·부품·장비 분야 공급망 안정화 법률의 효과적 운영 방안

전 지 은

과학기술정책연구원 혁신법제도연구단 연구위원

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

정책가치 이론을 적용한 소재·부품·장비 분야 공급망 안정화 법률의 효과적 운영 방안

전지은*

- 초 록 -

글로벌화와 기술혁신의 가속화는 소재, 부품, 장비 분야의 공급망 안정성을 국가 경제의 지속가능성과 경쟁력 유지에 필수적인 요소로 부상시켰다. 본 연구는 이러한 공급망 확충을 위한 국내 주요 법률인 「소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화 특별조치법」, 「국가자원안보 특별법」, 「경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법」, 「미래자동차부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법」을 대상으로 정책가치 이론의 관점에서 정책목표와 수단을 분석하였다. 정책가치 이론을 적용하여 각 법률이 내포하고 있는 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등 법률의 목적에 기반한 목표의 정책가치를 유형화하고, 법률 내에 포함된 규정의 정책가치를 분류하여 정책목적과 정책수단 간의 정책가치 정합성을 평가하였다. 위의 4가지 정책가치를 모두 정책의 목표와 수단의 가치로 활용하고, 이러한 분류 기준에 근거하여 법률에서 지향하는 정책목적과 정책수단의 목표, 즉 법률목적의 정책가치와 정책수단의 가치 정합성을 분석하였다. 분석 결과, 「소재부품장비산업법」은 기술자립성과 산업 경쟁력 강화를 포괄적으로 다루는 반면, 「국가자원안보 특별법」과 「공급망안정화법」은 주로 경제적 안정성과 국가안보에 집중하는 것으로 나타났다. 또한, 「미래자동차부품산업법」은 특정 산업 분야의 특성을 반영하여 기술자립성과 산업경쟁력을 강화하는 데 중점을 두고 있었다. 특히, 「국가자원안보 특별법」의 목적에 기반한 정책가치는 경제적 안정성과 국가안보인 반면, 규정에 기반한 정책수단의 정책가치는 기술자립성과 산업경쟁력에 초점을 맞추고 있어 설정된 가치와의 정합성이 다소 부족한 것으로 분석되었다. 본 연구는 법률의 정책가치 정합성을 기반으로 법률의 효과성을 제고하고, 정책 수립 및 집행 과정에서의 개선 방안을 제안하였다. 이를 통해 국가가 직면한 경제적 및 안보적 도전에 대응하기 위한 통합적이고 효과적인 공급망 안정화 전략 마련에 기여하고자 한다.

주 제 어 공급망 안정성, 소재·부품·장비 산업, 정책가치 이론, 경제안보, 법률 분석

논문접수일 2024년 10월 30일 수정논문 제출일 2022년 12월 4일 게재확정일 2024년 12월 12일

* 과학기술정책연구원 혁신법제도연구단 연구위원, jejeon@stepi.re.kr

I. 서론

글로벌화와 기술혁신의 가속화로 인해 소재, 부품, 장비 분야의 공급망 안정성이 국가 경제의 지속가능성과 경쟁력 유지에 필수적인 요소로 부상하고 있다. 특히, 이러한 산업은 국가안보와 직결되며, 글로벌 가치 사슬에서의 위치는 국가의 경제적 위상과 직결된다. 최근 몇 년간 전 세계적으로 발생한 공급망 교란 사태는 각국이 자국의 핵심 산업과 기술에 대한 안정적인 공급망 확보의 필요성을 절감하게 만들었으며, 이에 따라 정부 차원에서 다양한 법률과 정책이 마련되고 있다.

본 연구는 소재, 부품, 장비 분야의 공급망 확충을 위한 국내 법률 현황을 분석하고, 이를 정책목표와 수단의 정책가치 이론 관점에서 평가하고자 한다. 정책가치 이론은 정책 과정에서 설정된 목표와 이를 달성하기 위한 수단이 내포하고 있는 가치를 체계적으로 분석함으로써, 정책의 정당성과 효율성을 평가하는 이론적 틀을 제공한다(Stewart, 2009). 특히, 최근 연구에서는 정책가치를 정책의 근간으로 삼아 정책 과정을 분석하는 접근이 주목받고 있으며(오철호, 2008; 송근원, 2008), 본 연구 역시 이러한 흐름을 따르고자 한다.

연구 대상은 「소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화 특별조치법」, 「국가자원안보 특별법」, 「경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법」, 「미래자동차부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법」 등 네 가지 주요 법률로, 이들 법률이 설정한 정책 목표와 이를 달성하기 위한 정책 수단이 어떠한 행정 가치를 반영하고 있는지를 분석하였다. 이를 통해 각 법률이 공급망 안정화라는 공통된 목표로 중심으로 하면서도, 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등 다양한 정책 가치를 어떻게 내재하고 있는지를 규명하였다.

본 연구의 주요 목적은 다음과 같다. 첫째, 소재·부품·장비 분야의 공급망 안정화를 위한 국내 주요 법률의 현황과 구조를 체계적으로 분석한다. 둘째, 정책가치 이론을 적용하여 각 법률이 내포하고 있는 정책가치를 유형화하고, 이를 바탕으로 법률 간의 정책가치 정합성을 평가한다. 셋째, 분석 결과를 토대로 법률의 효과성을 제고하고, 정책 수립 및 집행 과정에서의 개선 방안을 도출한다.

본 연구는 소재·부품·장비 산업의 공급망 안정화와 관련된 법률 분석을 통해 정책의 당위성과 실효성을 평가함으로써, 향후 정책 수립 시 보다 효과적이고 통합적인 접근 방식을 제안하는데 의의가 있다. 특히, 법률 간의 정책가치 정합성을 분석함으로써 국가가 직면한 다양한 경제적

및 안보적 도전에 대응하기 위한 종합적인 정책 전략 마련에 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 정책목표와 수단의 정책가치 이론을 개괄하고, 정책가치의 유형과 그 분류 기준을 설명한다. III장에서는 소재·부품·장비 분야 공급망 확충을 위한 주요 국내 법률의 현황 및 구조를 분석한다. IV장에서는 법률별 정책가치 분석을 통해 각 법률이 내포하고 있는 정책가치를 유형화하고, 그 정합성을 평가한다. 마지막으로 V장에서는 법률의 효과성을 제고하기 위한 방안을 제안하며, 연구를 마무리한다.

본 연구는 국내 소재·부품·장비 산업의 공급망 안정화와 관련된 법률적 접근을 심도 있게 분석함으로써, 국가의 경제적 안정성과 산업 경쟁력 강화에 기여하고자 한다. 이를 통해 정책 입안자들이 보다 효과적인 법률과 정책을 설계하고 집행할 수 있는 기초 자료를 제공하고, 궁극적으로는 국가 경제의 지속가능한 성장을 도모하는 데 일조할 것이다.

II. 정책목표와 수단의 정책가치 이론

1. 정책목표와 수단

정책가치는 정부가 정책과정을 통해 의사결정 한 선택의 결과로 구현되는 목적이라는 의미다(Stewart, 2009, p.14). 이러한 정책가치는 구체적으로 정책목적(policy goal)과 정책목표(policy objective)로 표현되며, 정책수단과 연계되어 정책설계 시 핵심적인 영향을 미친다(이정희·오철호, 2016). 정부가 가치를 규범적으로 배분하는 활동의 일환으로 정책은 필연적으로 가치를 내포하고 있다(Lasswell, 1951, p.3). 기존에는 정책 분석 과정에서 정책가치보다는 정책수단에 초점을 맞추어 정책과정과 효과를 평가하는 경향이 있었으나, 최근에는 정책가치를 정책의 핵심으로 보고 이를 중심으로 정책과정과 성과를 분석하는 연구들이 증가하고 있다(오철호, 2008; 소영진, 2008).

또한 정책분야별로 중요한 정책가치가 존재한다는 인식에 따라 분야별 정책가치의 내용과 의미를 명확히 하고, 그 역할과 기능을 제시하는 연구도 진행되었다(Kalambokidis, 2014; Andrews, 1980; 이시경, 2014). 정책추진의 당위성은 정책가치, 정책수단, 정책효과의 구조를 통해 제시할 수 있다(최세경 외, 2015). 정책가치는 정책의 방향성을 설정하고, 정부 개입 및 지원의 타당성을 제공하여 ‘정부가 왜 이 정책을 추진해야 하는가’에 대한 답을 제시한다. 정책수

단은 정책가치를 실현하기 위한 전략과 방법으로, 정책가치에 따라 적합한 전략과 방법을 선택해 정책효과로 이어지는 중요한 매개체 역할을 한다. 따라서 정책수단의 선택은 정책 추진에서 중요한 단계로 간주된다. 마지막으로 정책효과는 정책가치가 얼마나 실현되었는지를 판단하는 기준이 되며, 이를 통해 정책수단의 지속 여부를 결정할 수 있다.

2. 정책가치 유형 분류

정책 활동을 통해 추구하는 목표는 곧 가치로 볼 수 있다. 가치는 개인이나 사회가 지향하는 바람직한 상태에 대한 규범적 개념으로 정의된다(국가공무원인재개발원 연구개발센터, 2018; p.48). 이러한 가치 중 정책가치는 정책이 추구해야 할 목표나 그 목표 안에 내포된 의미 있는 가치를 말한다.(정정길 외, 2016). 정책가치는 본질적 가치와 수단적 가치로 구분할 수 있는데(Ackoff, 1981; 41), 본질적 가치는 정책의 궁극적인 목표를, 수단적 가치는 목표를 달성하기 위한 방법을 뜻한다(국가공무원인재개발원 연구개발센터, 2018; p.48-54).

정책의 본질적 가치는 정책목표 자체가 추구하는 바이다. 이러한 가치는 종종 법률에 명시되어 있는데, 예를 들어 「대한민국 헌법」에서는 여러 본질적 가치를 찾을 수 있다(이종수 외, 2008). 「대한민국 헌법」 제11조제1항 “모든 국민은 법 안에 평등하다. 누구든지 성별·종교 또는 사회적 신분에 의하여 정치적·경제적·사회적·문화적 생활의 모든 영역에 있어서 차별을 받지 아니한다.”라고 하여 평등의 가치를 강조한다. 또한 「대한민국 헌법」 제12조제1항은 “모든 국민은 신체의 자유를 가진다.”라고 명시하여 자유의 가치를 보장하고 있다. 이와 유사하게, 미국의 「Affirmative Act」는 인종, 성평, 종교, 장애 등을 이유로 차별받지 않을 권리를 법적으로 규정하며, 사회적 기회에서의 평등을 정책의 본질적 가치로 구현하고 있다.

반면, 정책의 수단적 가치는 정책을 수립하고 집행하는 과정에서 본질적 가치를 실현하기 위해 필요한 가치로, 합법성, 효과성, 효율성, 합리성 등이 주요 요소로 논의된다(이종수 외, 2008, p.175). 합법성은 정책이 법적 및 절차적 기준을 충족하여 정당하게 집행되는지를 평가하는 기준으로(Webb & Sabatier, 2004; Habermas, 1996), 법적 근거와 투명성, 사회적 수용성을 포함한다. 효과성은 설정된 정책 목표가 얼마나 성공적으로 달성되었는지를 평가하는 기준으로(Dunn, 1978; Pressman & Wildavsky, 1973), 단순한 목표 달성 여부뿐 아니라 목표의 타당성과 정책의 영향력까지 포괄하는 개념이다. 효율성은 주어진 자원을 효과적으로 활용하여 정책 목표를 달성하는 정도를 평가하는 기준으로, 자원의 최적 배분과 비용 대비 효과에 중점을

둔다(Sabatier, 1988), 마지막으로 합리성은 정책 결정 과정에서는 논리적이고 체계적인 접근을 통해 최적의 결정을 내리는 것을 의미하며(Bingham, 1966; Dye, 1972) 기술적 분석을 넘어 사회적 합의와 조화를 추구하는 과정으로 여겨진다.

Ackoff(1981)는 이러한 수단적 가치들이 본질적 가치를 실현하기 위한 도구로 작용한다고 설명하며, 정책은 본질적 가치와 수단적 가치를 균형 있게 고려하여 설계 및 집행되어야 한다고 강조하였다.

이와 같이 정책의 본질적 가치와 수단적 가치는 정책 수립 및 집행 과정에서 상호 보완적인 역할을 하며, 정책의 성공적인 실현을 위해서는 두 가치 간의 조화가 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 이론적 배경을 바탕으로 현재 공급망 확충과 관련한 법률의 현황, 구조, 목표, 규정 등을 심층적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 해당 법률이 지향하는 정책의 본질적 가치와 규정된 수단적 가치 간의 정합성을 파악함으로써, 법률이 실제로 목적하는 바를 효과적으로 달성할 수 있는지를 평가할 것이다. 나아가, 분석의 결과를 토대로 공급망 확충 법률의 효과성을 높이기 위한 구체적인 개선방안을 도출함으로써 정책 목표의 실현 가능성을 강화하고 보다 합리적이고 효과적인 법률 운영을 도모하고자 한다. 이러한 연구는 정책 가치의 이론적 고찰을 실질적인 법률 분석에 적용함으로써, 이론과 실무의 통합적 이해를 증진시키는 데 기여할 것이다.

Ⅲ. 소재·부품·장비 분야 공급망 확충을 위한 국내 법률 현황 및 구조 분석

1. 법률 현황

본 연구에서는 소재·부품·장비 분야의 공급망 확충을 위한 국내 법률 현황을 분석하기 위해 「소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화를 위한 특별조치법」과 함께 최근 제정된 ‘공급망 3법’을 주요 대상으로 선정하였다. ‘공급망 3법’은 2021년 발생한 요소수 대란을 계기로 경제 안보와 공급망 안정화의 중요성이 부각되면서 제정된 법률들로, 「국가자원안보 특별법」, 「경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법」, 「미래자동차 부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법」을 포함한다(전현희·이준, 2024). 이 법들은 각각 자원 안보, 경제 안보, 미래 산업 육성이라는 측면에서 소재·부품·장비 분야의 공급망 확충과 밀접한 관련이 있다. 또한 이 법들은 최근의 글로벌 경제 환경 변화와 공급망 위기에 대응하기 위한 정부의 최신 정책 방향을 반영하고 있어, 현재의 법률 현황을 가장 잘 보여줄 수 있다(전현희·이준, 2024). 이들 법률을 대상으로 소재·부품·장비 분야의 공급망 확충을 위한 법적 효과성을 분석하고자 한다.

1) 소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화를 위한 특별조치법 (2019.12 전부개정, 2024.7 시행)

「소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화를 위한 특별조치법(이하, 소재부품장비산업법)」¹⁾은 소재·부품·장비 산업의 경쟁력을 높이고 공급망의 안정성을 확보하기 위해 제정된 법률이다. 이 법은 국가안보와 경제 성장을 뒷받침하는 산업 핵심 요소로서 소재·부품·장비 분야의 기술개발, 인력양성, 기업지원, 국제협력 등을 포괄적으로 다루고 있다. 이 법은 총칙을 포함하여, 경쟁력 강화 기본계획의 수립(2장), 소재·부품·장비 경쟁력강화위원회(3장), 기업육성(4장), 공급망 안정화(4장의2), 기술개발 및 사업화(5장), 실증 기반의 확충 및 활용(6장), 전문 기술 인력 양성(7장), 특화 단지 지정 및 지원(8장), 기업 간 상호 협력 촉진(9장), 특화 선도기업 및 핵심전략기술 특례(10장), 특별회계(11장), 보칙(12장) 등으로 구성되어 있다.

1) 본 연구에서 동법은 2024.7.10. 시행 법률을 대상으로 함: 국가법령정보센터, <<https://www.law.go.kr/lsSc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EC%86%8C%EC%9E%AC%EB%B6%80%ED%92%88#J61:0>>

이 법의 목적은 “소재·부품·장비산업의 발전기반을 조성하고, 산업기술역량의 축적 등 소재·부품·장비산업의 경쟁력 강화와 공급망 안정화 및 건전한 생태계 구축을 통하여 국가안보 및 국민경제의 지속적인 성장에 기여하는 것”이다(「소재부품장비산업법」 제1조). 제2장에서는 이러한 산업의 경쟁력 강화를 위한 정부 지원 체계를 규정하고 있다. 구체적으로, 소재·부품·장비 분야의 발전 기반 조성과 경쟁력 강화 및 공급망 안정화를 위해 ‘소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 기본계획’을 수립·시행하도록 하고(동법 제5조제1항), 이를 산업통상자원부장관이 관계 부처의 의견을 반영하여 마련한 후, 소재·부품·장비 경쟁력강화위원회의 심의를 거쳐 확정한다(동법 제5조제2항). 기본계획에는 발전 방향, 기술력 향상 방안, 산·학·연 협력을 통한 인력 양성, 신뢰성 향상과 기반 조성, 기술 혁신 지원 방안 등이 포함된다(동법 제5조제3항). 또한, 관계 부처는 시행계획을 수립해 매년 경쟁력강화위원회에 제출해야 하며, 관련 통계를 작성해 계획 수립을 지원할 수 있다(동법 제6조, 제7조).

소재·부품·장비 경쟁력강화위원회는 이 기본계획과 시행계획 외에도 산업경쟁력 관련 사안을 심의·조정하는 대통령 소속 기구로, 위원장은 기획재정부 장관이, 부위원장은 산업통상자원부 장관이 맡으며, 관계 부처의 장과 경제정책 담당 비서관, 관련 전문가들로 구성된다(동법 제8조). 또한 경쟁력위원회의 운영을 지원하고 규제 개선 등 실무를 담당하는 실무추진단이 산업통상자원부에 설치되며, 수급 기급 지원이 필요한 경우에는 수급대응지원센터도 운영할 수 있다(동법 제9조).

제4장부터 제10장까지는 법률에 기반하여 제공되는 다양한 지원 사항을 명시하고 있다. 소재·부품·장비 분야의 경쟁력 강화와 공급망 안정화를 위해 우선적으로 기업 육성 방안을 지원하며(동법 제4장), 핵심 전략기술과 공급망 안정 품목을 선정하고 있다(동법 제12조, 제12조의2). 특히, 총매출액에서 소재·부품·장비 매출액 비중, 핵심 전략기술 관련 연구개발비 지출, 지식재산권 및 연구인력 보유 현황, 투자자 지원 등을 기준으로 ‘특화선도기업’을 선정할 수 있다(동법 제13조).

이 법은 국가의 소재·부품·장비 산업을 전략적으로 육성하고, 글로벌 경쟁에서의 우위를 확보하며, 안정적인 공급망을 구축하여 국가안보와 경제 발전을 동시에 도모하는 중요한 법률이다. 이를 통해 국내 기업의 경쟁력을 강화하고, 지속가능한 산업 생태계를 조성함으로써 장기적인 국가 발전에 기여할 것으로 기대할 수 있다.

2) 국가자원안보 특별법(2024.2 제정, 2025.2 시행)

「국가자원안보 특별법」은 자원 안보 위기에 효과적으로 대응하고, 국가 안전보장과 국민경제의 지속가능한 발전 및 국민 복리 향상을 위해 제정되었다(2024년 2월 제정, 2025년 2월 시행).²⁾ 이 법은 자원 안보 추진 체계와 조기 경보 체계, 핵심 자원의 수급 관리, 위기 대응 체계 및 긴급 대응 조치를 규정하고 있다.

법은 총칙(제1장)을 비롯하여 자원안보 추진체계(2장), 자원안보위기 대비(제3장), 자원안보 위기 대응(제4장), 자원안보에 관한 특례(제5장), 자원안보 기반 구축(제6장), 보칙(제7장), 벌칙(제8장)으로 구성되어 있다. 제1조에서는 이 법의 목적을 “자원 안보 위기에 대비하고 발생 시 효과적으로 대응하여 국가의 안전보장과 국민경제의 지속적인 발전, 국민 복리 향상에 기여하는 것”으로 명시하고 있다.

동법은 자원 안보 위기 대비를 위해 자원안보위기 대비 체계 구축(제10조~제11조)과 핵심 자원의 수급 관리 체계(제12조~제22조)를 마련하도록 규정하고 있다. 특히, 제23조부터 제31조에서는 자원안보 위기 대응 사항을 구체적으로 다루고 있다. 위기 대응 체계로는 경보 발령(제23조), 대책본부 구성 및 운영(제24조), 위기대응 매뉴얼 작성(제25조), 대응훈련 실시(제26조) 등이 포함된다. 수급 관리 차원에서 위기 발생 시 긴급 대응으로 해외 개발 핵심 자원의 반입 명령(제27조), 비축 자원의 방출 및 사용(제28조), 비상 동원 광산의 채굴(제29조), 수급 안정화 조치(제30조), 핵심 자원 판매가격의 최고액 설정(제31조) 등의 규정도 마련하고 있다.

또한, 자원안보를 위한 특례로 환경보전 조치(제32조), 도시가스 처분 특례(제33조), 핵심 자원 구매 특례(제34조), 부과금 감면(제35조) 등의 규정을 두고 있다. 자원안보 기반 구축을 위해 국제협력(제36조), 연구개발(제37조), 인력양성 및 교육·홍보(제38조)와 관련된 사항도 명시하고 있다.

「국가자원안보 특별법」은 글로벌 자원 경쟁과 잠재적 위협 속에서 자원의 안정적 확보를 보장하고, 이를 통해 국가의 안전과 경제발전을 지속가능하게 유지하며, 국민의 복리를 증진시키기 위한 종합적이고 체계적인 법적 기반을 제공한다. 이 법은 자원 안보를 국가안보의 중요한 축으로 인식하고, 이를 실현하기 위한 구체적이고 실질적인 조치들을 법률적으로 명문화함으로써 국가 미래 경쟁력과 안정성을 강화하고자 한다.

2) 국가법령정보센터, 「국가자원안보 특별법」 제정·개정이유, <<https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=259657&lsd=&efYd=20250207&chrClsCd=010202&urlMode=lsEfInfoR&viewCls=lsRvsDocInfoR&ancYnChk=0#>>

3) 경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법(2023.12. 제정, 2024.6. 시행)

「경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법(이하, 공급망안정화법)」은 국내외 다양한 요인으로 인한 공급망 위험을 사전에 예방하고, 공급망 교란 발생 시 효과적으로 대응하여 국가 안전보장과 국민의 경제활동 및 국민경제의 발전을 도모하기 위해 제정되었다(2023년 12월 제정, 2024년 6월 시행).³⁾

「공급망안정화법」은 총 7장, 48개 조로 구성되어 있으며, 주요 내용은 공급망 안정화를 위한 기본계획 수립(제7조), 공급망안정화위원회 구성 및 운영(제10조), 경제안보품목의 지정·변경 및 해제(제13조) 등의 추진 체계 마련에 관한 규정 등이다. 공급망 위험 점검을 위한 조기 경보시스템 운영(제15조), 관련 국가 간 협력(제16조), 관세 정보 제공(제17조) 등도 포함된다. 경제안보품목의 안정화를 위해 선도사업자 선정(제19조), 수입국 다변화 지원(제22조), 국내외 생산기반 지원(제23조), 기술개발 지원(제24조) 등의 사항이 규정되어 있으며, 경제안보품목에 대한 특례 조항도 마련되어 있다(제27조).

또한, 공급망 위기 대응을 위한 매뉴얼 작성 및 운영(제28조), 위기품목의 지정 및 해제(제29조), 긴급 수급 조정 조치(제30조), 위기대책본부 운영(제32조), 관세 지원(제34조), 긴급 조달(제35조), 위기품목 수입업자에 대한 지원(제36조) 등을 명시하여 위기 발생 시 신속한 대응체계를 마련하고 있다. 특히, 공급망 안정화 기금을 설치하여 핵심 사업을 체계적으로 지원할 수 있도록 규정하고 있다(제38조). 기금 지원 대상에는 안정화 선도사업자가 추진하는 사업, 관계 중앙행정기관 장이 필요하다고 인정하는 사업, 공급망안정화기금운용심의회에서 지원이 필요하다고 판단하는 사업 등이 포함되며, 기금은 자금 대출, 자산 매수, 채무 보증·인수, 신용 공여, 사채 보증·인수, 출자 등의 방식으로 운용될 수 있다(제41조).

이 법은 국가 차원의 체계적이고 선제적인 공급망 관리 방안을 마련함으로써 국민경제와 안보를 보호하고자 한다. 국내외 불안정성에 대응할 수 있는 법적 기반을 마련하여 경제와 안보의 불확실성을 줄이고, 안정적인 산업 생태계와 국가의 자립성을 강화할 것으로 기대할 수 있다.

3) 국가법령정보센터 「경제안보를 위한 공급망 안정화 지원 기본법」 제정·개정이유, <<https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=257271&lsId=&efYd=20240627&chrClsCd=010202&urlMode=lsEfInfoR&viewCls=lsRvsDocInfoR&ancYnChk=0#>>

4) 미래자동차 부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법 (2024.1. 제정, 2024.7. 시행)

「미래자동차 부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법(이하, 미래자동차부품산업법)」은 미래자동차 부품산업의 경쟁력 강화와 유연한 전환을 통해 지속가능한 생태계를 구축하고, 국내 공급망을 안정화하여 국민 경제 발전에 기여하기 위해 제정되었다.⁴⁾ 이 법은 총 6장으로 구성되어 있다. 주요 내용으로는 생태계 활성화를 위한 체계 구축(제2장), 미래자동차 기술 개발 및 사업화 지원(제3장), 기반 조성(제4장), 특례지원(제5장) 등이 포함된다. 제 6장에 보칙에 해당한다.

이 법에서는 기술개발 및 사업화 촉진을 위해 다양한 지원 정책을 규정하고 있다. 이에 따라 기술개발 시책 마련(제9조), 기술이전 및 사업화 촉진(제10조), 표준화 사업 추진(제11조), 부품 인증(제12조), 전문기업 지정 및 지원(제13조), 부품산업 협의체 구성(제14조), 국가연구개발에 대한 특례(제15조) 등이 지원된다. 또한, 생태계 활성화를 위한 기반 조성 부분에서는 디지털 혁신 촉진(제16조), 협력모델 발굴 및 지원(제17조), 전문기술 인력 양성(제18조), 계약 기반의 직업교육 훈련과정 설치 지원(제19조), 부품산업 특화단지 지정(제20조), 부품 실증기반 개방 및 활용(제21조), 실증 촉진 및 지원(제23조), 국제협력(제24조), 시범사업 시행(제25조) 등이 포함된다. 특례 지원으로는 미래자동차 부품산업 전환 특례(제26조), 해외 진출 기업의 국내 복귀 지원(제27조), 중소기업의 부품산업 전환 특례(제28조), 관련 규제 개선(제29조) 등이 마련되어 있다.

이 법은 국가 미래자동차 부품산업의 지속가능성과 글로벌 경쟁력을 강화하기 위한 종합적인 지원 체계를 구축함으로써, 국민 경제 발전에 기여하고자 하는 의도를 담고 있다. 이를 통해 국가 미래자동차 산업의 핵심 부품 공급국으로 자리매김할 수 있도록 기대할 수 있다.

4) 국가법령정보센터 「미래자동차 부품산업의 전환촉진 및 생태계 육성에 관한 특별법」 제정·개정이유, <<https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=258067&lsId=&efYd=20240710&chrClsCd=010202&urlMode=lsEfInfoR&viewCls=lsRvsDocInfoR&ancYnChk=0#>>

2. 소재·부품·장비 분야의 공급망 확보 관련 법률 구조 분석

이 장에서는 소재·부품·장비 분야의 공급망 확보와 관련된 법률⁵⁾ 구조를 분석하여 각 법률이 공급망 안정화를 어떻게 지원하는지 살펴본다. 이를 위해 각 법률의 목적, 지원체계, 주요 내용을 기준으로 법률별로 규정을 비교하고, 이를 통해 해당 법률이 공급망 확보에 기여하는 구조적 요소를 고찰한다. 분류의 기준은 각 법률의 규정 내용을 기반으로 설정되었다. 예를 들어 기본계획 및 시행계획 수립과 정책 심의·조정과 같은 규정은 법률에서 규정한 사항을 관리하고 조정하기 위함⁶⁾이므로 지원체제로 구분하였다. 또한 산업과 기업 지원 방안과 규정을 포함할 경우 기업 및 산업 지원으로, 공급망 위험 예방과 대응의 구조를 마련하는 규정일 경우 공급망 안정화 대응체제로 구분하였다. 이러한 분류 기준을 바탕으로 각 법률이 제시하는 주요 조항과 지원 체계를 정리하였으며, <표 1>에서는 각 법률별로 설정된 분류 기준에 따라 주요 조항을 비교함으로써 법률 간의 유사점과 차이점을 명확히 파악할 수 있도록 구성하였다.

먼저 각 법률의 목표는 산업경쟁력 강화, 국가안보, 기술적 자립 등의 중요성을 강조하며, 공급망 안정화를 궁극적 목표로 한다. 「소재부품장비산업법」은 기술개발을 통해 경제 성장을 도모하고 자급자족 기반을 마련하는 것을 중점으로 하며, 「국가자원안보 특별법」과 「공급망안정화법」은 국가안보와 경제 성장에 필요한 위기 대응 및 공급망 안정성을 유지하는 데 초점을 맞춘다. 「미래자동차부품산업법」은 첨단 기술을 활용해 미래자동차 부품 산업의 경쟁력 강화와 안정화에 집중한다.

지원체계 부문에서는 각 법률이 목표 달성을 위해 수립한 기본계획과 시행체계를 제시한다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」은 기본계획과 시행계획을 수립하고, 경쟁력강화위원회를 통해 정책 심의와 조정을 담당하도록 하고 있다. 「국가자원안보 특별법」은 자원안보협의회와 전담기관을 통해 자원안보 정책을 관리하며, 「공급망안정화법」은 공급망안정화위원회를 통해 공급망 안정성 관련 사안을 조정한다.

기업 및 산업 지원 측면에서는 각 법률이 특정 산업과 기업의 경쟁력 강화를 위한 규정을 마련하고 있다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」은 핵심저약기술과 공급망안정품목을 선정하고, 특허 선도기업과 강소기업을 지원한다. 「국가자원안보 특별법」은 핵심자원 개발과 관리에 중점을 두며, 「공급망안정화법」은 경제안보 품목 지정을 통해 필수 품목의 안정성을 강화한다.

5) 대상 법률은 「소재부품장비산업법」, 「국가자원안보 특별법」, 「공급망안정화법」, 「미래자동차부품산업법」 등임.

공급망 안정화 대응 체계는 각 법률이 공급망 위험을 예방하고 위기 발생 시 대응하는 구조를 다룬다. 「소재부품장비산업법」은 조기경보시스템과 국내 생산시설 구축을 통해 신속한 위기 대응을 목표로 하며, 「국가자원안보 특별법」은 자원안보 위기 경보 발령과 비축을 통해 위기 대응을 체계화한다.

기술개발 및 사업화에서는 법률들이 기술혁신을 지원하고, 산업 활성화를 위한 사업화를 촉진하는 데 초점을 둔다. 「소재부품장비산업법」은 기술개발 사업과 기술 표준화를 지원하며, 「미래자동차부품산업법」은 제조업 혁신을 위한 디지털 전환을 촉진한다.

기반구축은 산업의 지속가능성과 경쟁력 강화를 위한 물적, 기술적, 제도적 기반을 마련하는 것으로, 각 법률이 물리적 인프라와 기술적 인프라를 조성해 공급망 안정성을 높이고 있다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」은 실증기반과 신뢰성 보증 기반을 구축하여 기술적 검증과 산업화를 지원한다.

인력양성 부문에서는 산업에 필요한 전문 인력의 교육과 훈련을 지원한다. 「소재부품장비산업법」은 인력 수급 동향 조사와 직업 교육훈련과정을 지원하며, 「미래자동차부품산업법」은 산학협력을 통해 현장 인력을 양성하는 데 중점을 둔다.

특화단지와 기업 상호개발 협력 초진은 특정 산업의 집중 발전과 기업 간 협력을 강화하는 주요 수단이다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」은 특화단지를 지정해 해당 산업의 경쟁력 강화를 지원하며, 「미래자동차부품산업법」은 미래자동차 부품산업의 특화된 단지를 기반으로 산학연 협력을 촉진한다.

특례와 특별회계 및 기금은 특정 상황에서의 규제 완화 및 재정적 지원을 통해 산업 전환과 발전을 촉진하는 데 중점을 둔다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」은 핵심 전략기술과 특화 선도기업에 대한 특례를 제공하며, 「공급망안정화법」은 조세감면과 금융지원 특례를 통해 공급망 리스크에 대응할 수 있도록 돕는다.

각 법률은 서로 다른 중점 분야를 가지고 있으며, 이를 통해 종합적인 산업 경쟁력 강화와 공급망 안정화를 도모하고 있다. 「소재부품장비산업법」은 전반적인 산업 경쟁력 강화와 공급망 안정화를 위한 종합적인 지원을 제공하며, 특히 기업지원, 기반구축, 인력양성, 특별회계 및 기금에 중점을 두고 있다. 이를 통해 산업의 물적·인적 기반을 강화하고, 특정 기업과 기술에 대한 집중 지원을 통해 전체 산업의 경쟁력을 높이는 전략을 취하고 있다. 「국가자원안보특별법」은 자원 안보 강화를 목적으로 기반구축과 특별회계 및 기금을 중점 지원하며, 기업지원과

특례 규정을 통해 자원관리 및 확보에 집중한다. 이는 자원의 안정적 확보와 관리가 국가 안보 및 경제 안정에 필수적임을 반영한 접근이다. 「공급망안정화법」은 공급망 안정화 대응 체계, 기반구축, 특례, 특별회계 및 기금을 통해 공급망의 안정성과 경제안보를 강화하는 데 주력하고 있으며, 기업과 산업 지원을 통해 다양한 산업의 공급망 관련 부문을 포괄적으로 지원한다. 이는 경제 전반의 안정성을 유지하기 위한 다각적인 접근을 보여준다. 「미래자동차부품산업법」은 기반구축, 인력양성, 특화단지, 기업 상호개발협력 촉진, 특례에 중점을 두고, 미래자동차 부품 산업의 전환과 생태계 육성을 지원한다. 이는 미래부품 산업의 기술혁신과 시장 경쟁력을 확보하기 위한 전략적 접근을 반영한 것으로 보인다.

〈표 1〉 소재·부품·장비 분야 관련 법률 구조 비교·분석

구분	소재부품장비산업법	국가자원안보 특별법	공급망안정화법	미래자동차 부품산업법
지원 체계	기본계획 수립(§5) 시행계획 수립(§6) 통계 작성(§7) 경쟁력강화위원회(§8)	기본계획 수립(§5) 자원안보협의회의(§6) 전담기관 지정(§7) 정보 종합관리(§8)	기본계획 수립(§7) 시행계획 수립(§8) 공급망안정화위원회(§10) 현황조사(§11) 통계 작성(§12)	기본계획 수립(§5) 전략회의(§6) 실태조사(§7) 통계 작성(§8)
기업 · 산업 지원	핵심전략기술선정(§12) 공급망안정품목선정 (§12의2) 특화선도기업선정(§13) 강소기업·창업기업선정 (§15) 특화선도기업지원(§16) 전문투자조합(§18) 특화선도기업기금투자 (§19) 조세·부담금감면(§23) 인수·합병 지원(§20)		경제안보품목 지정 등(§13) 선도산업자 선정(§19) 취소(§20) 선도사업자 협의체 구성 (§21)	미래자동차부품 전문기업 지정·지원(§13) 미래자동차 부품산업 협의체(§14)
공급망 안정화 대응 체계	조기경보시스템(§23의2) 공급망센터지정(§23의3) 공급망안정사업 선정 (§23의4) 수입위험 완화지원 (§23의5) 국내 생산시설 구축지원 (§23의7)	국가자원안보 진단·평가(§10) 공급망점검·분석(§11) 핵심자원개발·구매·조달 (§12) 핵심광물생산기반 확충 지원(§13) 공급국가 다원화(§14) 비축(§15) 비축계획(§16) 비상동원광산지정(§17) 재자원화(§18) 대체물질 개발(§19)	조기경보시스템 운영(§15) 국가 간 협력(§16) 관세정보 제공(§17) 국가정보보호의무(§18) 수입국가 다변화(§22) 국내외 생산기반 지원 (§23) 경제안보품목 비축·관리(§25) 경제안보서비스 안정적 제공을 위한 지원(§26) 위기대응 매뉴얼	데이터 플랫폼의 구축·운영(§23)

구분	소재부품장비산업법	국가자원안보 특별법	공급망안정화법	미래자동차 부품산업법
		공급기반시설 설치·운영 (§20) 핵심공급기관지정·관리 (§21) 핵심수요기관 지정·관리 (§22) 자원안보위기 경보 (§23) 위기대책본부 (§24) 위기대응 매뉴얼 (§25) 대응훈련 실시 (§26) 위기 시 해외개발핵심자원 반입명령 (§27) 비축자원방출·사용 (§28) 비상동원광산 채굴 (§29) 수급안정 조치 (§30) 핵심자원판매가격 최고액 설정 (§31)	작성·운용 (§28) 위험품목 지정·해제 (§29) 긴급수급조정조치 (§30) 위기대책본부 (§32) 관세지원 (§34) 긴급조달 (§35) 위험품목 수입업자 지원 (§36) 손실지원 (§37)	
기술개발 및 사업화	기술개발사업 (§24) 기술이전·사업화 (§26) 표준화사업 (§27) 융합혁신지원단 (§28) 지원사업 (§29)	연구개발 (§37)	기술개발 지원 (§24)	기술개발 시책 (§9) 기술이전·사업화 (§10) 표준화사업 (§11) 디지털혁신 촉진 (§16)
기반구축	국제협력 사업 (§25) 실증기반개방·활용 (§30) 확충 (§31) 실증시험, 성능검증 촉진·지원 (§32) 신뢰성향상기반구축사업 (§33) 신뢰성 보증사업 (§35) 신뢰성인증기관 (§34) 정보의 체계적 생산 및 관리 (§36) 소재개발 촉진 조치 (§37) 혁신소금속산업 강화시책 (§37-2) 혁신소금속 센터의 지정 및 운영 (§37-3) 수요창출 (§38)	국제협력 (§36)	국제협력 (§14)	미래자동차 부품 인증 (§12) 미래자동차 부품의 실증기반의 개방·활용 (§21) 미래자동차부품 실증 촉진·지원 (§22) 국제협력 (§24) 시험사업 (§25)
인력 양성	인력수급동향조사 (§39) 인력양성 (§40) 직업교육훈련과정 (§41) 기업공동교육훈련시설 (§42)	인력양성 및 교육·홍보 (§38)		전문기술인력 (§18) 직업교육훈련과정 (§19)

구분	소재부품장비산업법	국가자원안보 특별법	공급망안정화법	미래자동차 부품산업법
	양성기관 지정(§43) 해외우수인력 유치(§44)			
특화 단지	특화단지 지정(§45) 육성시책(§47) 특화단지 지원(§48)			특화단지 지정(§20)
기업 상호개발 협력 촉진	협력모델발굴(§49) 지원(§50) 규제개선 신청(§51) 규제 관리·감독(§52)			협력모델발굴·지원(§17)
특례	외국인 출자(§53), 공모전문투자조합(§54) 합병절차(§55) 주식매수선택권(§56) 교육공무원휴직(§57) 겸임·겸직(§58) 직업능력개발(§59) 공동기술혁신(§60) 예비타당성조사특례 (§61) 관계법특례(§62~§67)	환경보전 조치(§32) 도시가스 처분(§33) 핵심자원 구매(§34) 부과금 감면(§35)	경제안보품목 등 특례(§27) * 조세감면, 금융지원, 필요 정보 제공, 협력 지원, 예비 타당성 조사 신속 추진 등	국가연구개발특례(§15) 미래자동차부품산업 전환 (§26) 해외진출기업 국내복귀 지원(§27) 중소·중견기업 미래자동차 부품산업 전환지원(§28) 미래자동차 부품 규제개선 (§29) 규제개선신청·적극행정 (§30) 교육공무원 휴직(§31) 겸임·겸직(§32)
특별 회계 및 기금	특별회계설치(§68) 회계운용·관리(§69) 세입·세출(§70) 회계·기금으로부터의 전입 (§71) 예산 이월(§72) 회계사무위탁(§73)		공급망안정화기금(§38) 기금 재원(§39) 기금 관리·운용·회계 (§40) 기금지원대상·용도(§41) 자금지원절차·요건(§42) 공급망안정화기금운용심 의회의 설치(§43)	

이 장에서는 소재·부품·장비 분야의 공급망 확보와 관련된 주요 법률인 「소재부품장비 산업법」, 「국가자원안보 특별법」, 「공급망안정화법」, 「미래자동차부품산업법」 등을 중심으로 각 법률의 목적, 지원체계, 주요 내용을 구조적으로 분석하였다. 이를 통해 각 법률이 공급망 안정화에 어떻게 기여하고 있는지, 그리고 서로 어떤 점에서 유사하거나 차별화되는지를 명확히 파악할 수 있었다. 다음 파트에서는 이러한 법률의 목적과 규정이 공급망 확충과 관련된 유형화된 정책가치로 어떻게 분류될 수 있는지를 심층적으로 고찰하고, 각 정책가치 간의 정합성을 분석함으로써 국내 공급망 확충을 위한 법적 기반의 종합적 효과성을 평가할 것이다.

IV. 소재·부품·장비 분야의 법률의 정책가치 분석

1. 공급망 확보 정책의 가치 유형화

공급망 확보 정책에 내재된 가치를 유형화하기 위해 ‘공급망’ 관련 정책 동향들을 검토해보았다. 일본, 미국, 중국 등 해외 주요국의 ‘공급망’ 관련 정책 분석을 통해 정책가치를 경제적 안정성(지속가능성), 국가 안보, 기술 자립성, 산업 경쟁력 강화로 구분하여 살펴보고자 한다. 먼저 일본 정부는 「경제안전보장추진법」을 통해 중요물자의 공급망 관리정책을 추진하고 있다(김규판 외, 2023). 일본의 정책은 법률명에서 알 수 있듯이 경제적 안정성을 확보하기 위한 노력으로 구분할 수 있다. 또한 EU의 통상 및 산업전략에서도 ‘공급망’ 관련 가치를 파악할 수 있다. EU는 ‘전략적 자율성’이라는 전략을 제시하고, 주요 전략산업에서의 공급망 역내화를 추진하며 경제적 지속가능성을 강조하고 있다(김종덕 외, 2023). 여기서 ‘자율’을 타국에 대한 의존도를 낮추려는 것으로 이를 통해 경제안보, 즉 경제적 안정성을 확보하고자 하는 것을 확인할 수 있다.

경제안보와 같이 국가 안보도 공급망 확보 정책에 주요한 목표인 점을 확인할 수 있다. 미국의 2022년 ‘국가안보전략’은 세계 공급망 교란에 대응하기 위한 전략적 공공 투자의 필요성을 강조하고 있다(김종덕 외, 2023). 이는 공급망 확보가 국가안보와 직결된다는 인식을 보여주고 있다. 또 다른 정책 목표로 기술 자립성을 살펴볼 수 있다. 중국은 14차 5개년 계획을 공급망 정책에서 과학기술 혁신을 국가 핵심 전략으로 추진하고 있다(김종덕 외, 2023). 일본 정부의 「공급망 강화 기본지침」과 시행령에서도 11개 특정중요물자를 지정하여 산업 경쟁력 강화를 위한 노력을 펼치고 있다(김종덕 외, 2023). 이외에 EU의 「기후중립산업법(NZIA)」, 「핵심원자재법(CRMA)」, 「반도체법」 등도 산업 경쟁력 강화를 위한 정책적 노력을 주목할 수 있다(김종덕 외, 2023). 이와 같은 각국의 공급망 확보 정책은 종합적으로 국가적 회복력을 강화하고, 글로벌 경쟁력을 유지하는 데 핵심적 목표를 담고 있어, 본 연구에서는 ‘공급망’ 관련 정책 가치를 경제적 안정성, 국가 안보, 기술 자립성, 산업 경쟁력 강화로 구분하여 살펴보고자 한다.

1) 경제적 안정성

공급망 안정성은 경제 전반의 지속가능성을 유지하기 위한 필수적인 요소다. 공급망 취약성을 극복하는 것이 경쟁 우위를 확보하는 데 필수적이라고 설명하며(Yossi, 2007), 이를 통해 기업과 국가 모두가 경제적 충격에 신속히 대응할 수 있음을 강조하고 있다. 특히, 공급망 다변화

위기 대응은 경제적 안정성 확보의 중요한 수단으로 불확실성이 커지는 글로벌 시장에서 위기 관리 능력을 강화하여 경제적 지속 가능성을 보장한다. 우리나라는 글로벌 공급망에 적극적으로 참여하여 섬유에서 첨단 반도체까지 산업을 고도화하며 경제 성장을 이루었다(정선영 외, 2024).

공급망 형성에 있어 탄력성(Resilience)이 중요한 요건으로 꼽히고 있는 가운데(Ray, 2021), 탄력성은 공급망이 외부적 충격으로부터 신속하게 회복할 수 있는 능력을 의미한다(유현정, 2024). 이는 공급망 전반에 걸친 필수적 요소로서 각국이 중소기업을 육성하고 청정 에너지를 개발하는 등 지속가능한 기업 생태계를 구축하려는 노력과 관련이 있다(유현정, 2024). 경제적 안정성은 탄력성과 회복력이라는 핵심 요소를 통해 더욱 견고하게 구축할 수 있다. 공급망의 탄력성은 경제 전반의 안정성을 보장하는 데 중요한 역할을 할 것이다. 경제적 안정성은 지속가능한 기업생태계를 구축하여 공급망의 다변화와 혁신을 촉진하고, 예기치 못한 상황에서도 안정적인 운영을 가능하게 한다. 결과적으로 탄력성과 회복력을 갖춘 공급망은 경제적 안정성을 뒷받침하며, 이는 국가와 기업이 장기적인 번영을 이룰 수 있는 기반을 제공한다.

본 연구에서 경제적 안정성은 국가 경제의 지속가능한 성장과 안정적인 공급망을 유지하는 것을 의미한다. 이는 경제 전반의 안정성을 확보하고, 외부 충격에 대한 대응력을 강화하는 정책적 노력을 포함한다.

2) 국가 안보

국가 안보는 공급망 확보 정책에서 중요한 가치로 다루어진다. 전략 물자의 안정적인 공급이 국가 안보를 유지하는 데 필수적이며, 공급망 교란 시 국가의 안정보장에 직접적인 영향을 미칠 수 있다고 주장한다(최원석 외, 2023). 이는 군사적, 경제적 자원이 외부 의존 없이 확보될 때만이 국가가 자주성을 유지하고, 안보 리스크를 최소화할 수 있음을 의미한다.

공급망 관리는 경제안보와 밀접하게 연계되어 국가안보의 핵심가치를 형성하는 중요한 요소로 부각되고 있다. 글로벌화가 심화됨에 따라 국가의 핵심 산업과 기술이 외부적 충격에 취약해지면서, 안정적인 공급망 확보는 단순한 경제력 증대 차원을 넘어 국가의 종합적인 안보를 유지하는 데 필수적인 요소로 인식되고 있다(조용래 외, 2020). 이에 따라 주요 국가들은 경제적 수단을 활용하여 공급망의 안정성을 강화하고(곽성일, 2023), 경제와 안보를 통합적으로 강화하는 경제-안보 복합 전략을 적극적으로 추진하고 있다(임종식, 2021). 이러한 흐름은 공급망

관리가 단순한 경제 정책을 넘어 국가의 전반적인 안보 전략의 중심축으로 자리매김하고 있음을 시사하며, 국가안보의 가치의 관점에서 공급망 관리의 역할과 중요성을 재확인할 수 있다(김양희, 2022).

본 연구에서 국가 안보는 국가의 안전과 안보를 보장하기 위한 조치로 볼 수 있다. 이는 전략적 지원의 안정적 확보, 외부 의존도 감소 등을 통해 국가의 주권과 안전을 보호하는 정책적 노력을 포함한다.

3) 기술 자립성

기술패권 경쟁이 과열되면서 기술공급망의 불확실성에 대한 우려가 커지고, 이는 ‘기술주권’이 중요한 정책적 목표 설정이 중요해진다. ‘기술주권’은 다른 국가에 대한 기술 의존도를 낮추고 자국의 기술력을 강화함으로써 지속가능한 기술 생태계를 구축하려는 것(유현정, 2024), 국가가 경쟁력 확보를 필수적으로 필요로 하는 기술을 직접 공급하거나 다른 경제권으로부터 일방적인 구조적 의존 없이 조달할 수 있는 능력으로(Edler et al., 2020), 이는 공급망의 안정성과 자국 기술의 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 한다. Klaus Schwab은 「The Fourth Industrial Revolution」에서 기술 리더십을 확보하기 위한 필수 조건으로 기술 자립성을 제시하며, 국가 차원에서의 자립성이 없을 경우 글로벌 기술 경쟁에서 밀려날 수 있다고 경고했다. 이는 반도체, AI와 같은 첨단 기술에서 특히 중요한 가치로 기술 자립성 확보는 공급망 교란에 의한 기술 의존을 극복하고, 혁신을 촉진하는 핵심적 요소로 작용한다.

이러한 맥락에서 공급망 정책은 기술자립성을 실현하기 위해 자국의 기술력 향상과 기술 의존도 감소를 핵심 목표로 설정하고 있다. 기술자립성은 단순히 외부 의존도를 줄이는 것을 넘어, 자국 내 기술혁신과 경쟁력을 강화하여 글로벌 기술 경쟁에서 우위를 점하기 위한 전략적 접근이다. 기술자립성은 경제적 안정성과 직결되며, 기술자립성의 확보는 곧 국가와 기업의 지속가능한 발전을 위한 생태계 구축을 통해 경제적 안정성 달성을 가능하게 할 것이다.

본 연구에서 기술 자립성은 외국 기술에 대한 의존도를 줄이고, 국내 기술의 독립성을 강화하는 것이라고 볼 수 있다. 이는 국내 기술의 혁신과 발전을 촉진하여 자립적인 기술 생태계를 구축하는 정책적 노력을 포함한다.

4) 산업 경쟁력 강화

산업 경쟁력은 공급망 확보 정책의 또 다른 중요한 가치이다. 글로벌 가치 사슬에서 공급망 안정화는 산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위한 중요한 전략적 선택임이 강조되고 있다(현대경제연구원, 2022). 공급망 다변화를 통해 한국과 같은 국가가 원가 절감과 생산성 향상을 이루어 세계 시장에서 지속적인 경쟁 우위를 확보할 수 있음을 강조한다. 이를 통해 공급망 정책은 산업 전반의 경쟁력을 강화하고 첨단 산업의 발전을 촉진하는 역할을 한다.

산업경쟁력은 앞선 정책적 가치인 기술자립성과 관계를 맺고 있다. 국가가 기술자립성을 확보하면 산업경쟁력 확보와 핵심기술의 일방적 의존도 경향을 완화할 수 있다고 보고 있다(Eidler et al., 2020). 기술주권이나 기술자립성 확보는 기술수출과 기술표준화를 선점함으로써 산업 경쟁력 확보로 연결된다고 볼 수 있다. 최근 미국의 「반도체과학법(CHIPS and Science Act)」와 「인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act)」는 인공지능 및 반도체, 에너지 산업의 역량의 총체적 제고를 위해 대대적인 투자 전략을 제시하는 것으로 미국의 공급망 확보를 위한 정책이 그 동안 추진되지 않았던, 경제적 안보를 중요시하면서, 그 일환으로 공급망 안정성 확보를 위한 산업경쟁력 강화를 중요시하고 있다고 볼 수 있다. 즉, 본 연구에서 공급망 정책의 가치로서 분류하고 있는 경제적 안정성과 기술자립성, 산업경쟁력은 모두 국가의 기술력과 산업 경쟁력을 기반으로 한 경제적 성장을 추구하는 형태로, 최근 경제적 성장이 경제안보 및 국가안보와 같은 개념으로 확대되어 추진되고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 산업경쟁력 강화는 국내 산업의 글로벌 경쟁력을 높이고 생산성과 혁신성을 증대시키는 것을 의미한다. 이는 국내 기업들이 글로벌 시장에서 우위를 점하고, 지속가능한 성장을 이룰 수 있도록 지원하는 정책적 노력을 포함한다.

2. 법률별 정책가치 분석 결과

본 절에서는 제1절에서 살펴봤던 법률별 구조 비교·분석 결과를 기반으로 정책가치를 분류하도록 한다. 법률의 목적에 기반한 정책가치 분류는 한국이 소재·부품·장비 산업과 관련한 정책의 방향 및 목표를 파악하는 데 기여할 것이다. 또한 법률의 규정에 기반한 정책가치 분류는 정책의 목표에 부합하는 수단을 규정으로 포함시켰는가를 살펴보는 것이다. 정책의 목표와 수단의 정합성은 정책 추진의 가속화를 통해 올바른 정책 추진에 도움이 된다. 따라서 본 연구에서는

법률의 목적과 규정 등을 검토하여 정책가치를 분류하고 소재·부품·장비 산업 정책 추진의 당위성을 법에 기반하여 분석한 결과를 제시하고자 한다.

1) 법률 목적에 따른 정책가치

각 법률은 공급망 안정화를 중심으로 다양한 정책가치를 내재하고 있으며, 이는 법률이 설정한 최종 목표(목적)에 따라 분류할 수 있다. <표 2>는 소재·부품·장비 분야의 공급망 관련 주요 법률들이 경제적 안정성, 국가 안보, 기술 자립성, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치를 어떻게 반영하고 있는지를 제시하고 있다. 이를 통해 각 법률이 추구하는 주요 정책 목표와 그에 따른 가치를 한눈에 파악할 수 있다. 각 법률을 해당 정책가치로 분류하기 위한 근거는 법률의 목적(제1조)에 기반하였다. 예를 들어, 「소재부품장비산업법」의 목적(제1조)은 “이 법은 소재·부품·장비산업의 발전기반을 조성하고, 산업기술역량의 축적 등 소재·부품·장비산업의 경쟁력 강화와 공급망 안정화 및 건전한 생태계 구축을 통하여 국가안보 및 국민경제의 지속적인 성장에 이바지함을 목적으로 한다.”고 명시되어 있다. 이에 따라, 동법은 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치를 지향하는 것으로 분류되었다(<표 2>).

「소재부품장비산업법」은 산업 경쟁력 강화와 건전한 생태계 구축을 통해 공급 안정화와 국가 안보, 경제성장을 목표로 설정하고 있다. 이는 기술개발을 통해 경제적 성장과 자급자족 가능성을 강조하며, 산업의 발전 기반을 조성하는 데 중점을 두고 있다.

「국가자원안보특별법」은 국가 안보와 경제 성장을 위해 자원 안보를 강화하고, 위기 대응 및 공급망 안정성을 유지하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 이 법률은 자원의 안정적 확보와 관리가 국가 안보와 직결됨을 강조하며, 자주성을 유지하고 경제적 안정성을 지원하는 데 중점을 두고 있다.

「공급망안정화법」은 경제적 안정성과 국가 안보를 위해 공급망의 안정성을 강화하고, 위기 대응 체계를 구축하는 것을 목표로 한다. 경제안보품목의 안정적 확보와 공급망 리스크 대응을 통해 경제적 안정성을 보장하고, 국가의 회복력을 높이는 데 중점을 두고 있다.

「미래자동차부품산업법」은 미래자동차 부품산업의 경쟁력 강화와 국내 공급망의 안정화에 중점을 두고 있다. 첨단 기술 산업 생태계 구축을 주요 목표로 설정하여 기술적 자립성과 글로벌 경쟁력 확보를 목표로 한다.

〈표 2〉 법률별 정책가치 분류

정책가치	법의 목적	경제적 안정성	국가 안보	기술 자립성	산업 경쟁력강화
소재부품장비산업법	이 법은 소재·부품·장비산업의 발전기반을 조성하고, 산업기술역량의 축적 등 소재·부품·장비산업의 경쟁력 강화와 공급망 안정화 및 건전한 생태계 구축을 통하여 <u>국가안보 및 국민경제의 지속적인 성장에 이바지함을 목적으로 한다.</u>	V	V	V	V
국가자원안보 특별법	이 법은 자원안보에 관한 위기에 대비하고 위기 발생에 효과적으로 대응하기 위하여 자원안보 추진체계와 자원안보위기 조기경보체계, 핵심 자원의 공급과 수요의 관리, 위기대응체계 및 긴급대응조치 등에 관한 사항을 규정함으로써 <u>국가의 안전보장과 국민경제의 지속가능한 발전, 국민의 복리 향상에 이바지함을 목적으로 한다.</u>	V	V		
공급망안정화법	이 법은 각종 국내외 요인에 따라 발생하거나 발생할 우려가 있는 공급망 위험을 예방하고 공급망 교란이 발생할 경우 이에 효과적으로 대응함으로써, <u>국가의 안전보장과 국가 및 국민의 경제 활동과 관련된 안전 유지 및 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 한다</u>	V	V		
미래자동차부품산업법	이 법은 미래자동차 부품산업의 경쟁력 강화 및 유연한 전환을 통하여 지속가능한 미래자동차 부품산업 생태계를 구축하고 미래자동차 부품의 국내 공급망을 안정화함으로써 <u>국민경제 발전에 이바지함을 목적으로 한다.</u>	V		V	V

네 가지 주요 법률을 중심으로 각 법률이 내재하고 있는 정책가치를 비교분석 한 결과 다음의 특징을 도출할 수 있었다. 먼저 「소재부품장비산업법」, 「국가자원안보특별법」, 「공급망안정화법」 등은 경제적 안정성과 국가안보를 주요 정책가치로 공유하고 있었다. 안정적인 공급망이 경제 성장과 국가의 안보에 직결됨을 인식하고, 이를 강화하기 위한 법적 장치를 마련하고자 하는 공통된 목적을 반영한 것으로 보인다. 둘째, 「소재부품장비산업법」과 「미래자동차부품산업법」은 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 주요한 정책가치로 설정하고 있었다. 이는 국내 산업의 글로벌 경쟁력을 높이고, 첨단 기술 산업의 발전을 통해 경제적 우위를 확보하려는 의지라고 해석할 수 있다.

결과적으로 네 가지 법률은 공급망 안정화라는 공통된 최종 목표를 중심으로 다양한 정책가치를 내재하고 있지만, 각 법률이 추구하는 구체적인 목적과 중점 사항에 따라 정책가치의 배치와 강조점이 다르게 나타난다. 「소재부품장비산업법」은 네 가지 주요 정책가치를 포괄적으로 다루며, 산업 전반의 경쟁력과 지속가능성을 동시에 추구하는 반면, 「국가자원안보특별법」과 「공급망 안정화법」은 경제적 안정성과 국가 안보에 더욱 집중하고 있다. 「미래자동차부품산업법」은 기술적 자립성과 특정 산업의 경쟁력 강화를 중점으로 두어 첨단 기술 산업 생태계 구축에 초점을 맞추고 있다. 이는 각 법률이 설정한 정책 목표와 국가의 전략적 필요에 따라 다양한 접근 방식을 채택하고 있음을 시사한다. 정책 수립 및 실행 시 각 법률의 특성과 그에 따른 정책가치의 균형 있는 조화를 통해 보다 효과적이고 종합적인 공급망 안정화 체계를 구축하는 것이 필요할 것이다.

2) 법률별 규정에 따른 정책수단의 가치

각 규정이 분류된 기준은 해당 조항의 주요 목적과 기능이 정의된 정책가치와 어떻게 연관되는지에 기반하였다. 각 법률별로 규정에 포함된 정책 수단이 특정 정책가치로 분류된 근거를 설명하고자 한다. 앞서 제시하였던 정책가치 의미에 기반하여 규정별 지원의 목적에 따라 분류하도록 한다(〈표 3〉).

경제적 안정성은 경제성장 촉진, 재정 건전성 유지, 공급망의 안정화 등을 통해 국가 경제의 전반적인 안정성을 확보하는 데 중점을 둔다. 이를 통해 경제의 지속가능한 발전과 외부 충격에 대한 회복력을 강화한다고 볼 수 있다. 국가 안보는 주로 전략적 중요성을 지닌 자원의 안정적 확보와 외부 의존도 감소를 통해 국가의 안전과 주권을 보호하는 데 중점을 둔다. 이는 국가의 장기적인 안전과 경제적 자립성 확보를 지향하는 규정이라고 볼 수 있다. 기술자립성을 위한 규정은 국내 기술의 독립적인 발전과 혁신을 촉진하는 데 중점을 두고 있는 것이다. 외국 기술에 대한 의존도를 줄이고, 국내 기술 생태계를 강화하여 자립적인 기술 역량을 확보하도록 한다. 산업경쟁력 강화를 위한 규정들은 기술개발, 생산성 향상, 시장 확대 등을 통해 국내 산업의 경쟁력을 높이려 한다. 글로벌 시장에서의 경쟁 우위를 확보하고, 국내 기업의 성장과 지속가능성을 도모하는데 목적이 있다.

〈표 3〉 정책가치 의미 및 규정별 분류 기준

정책가치	의미	분류 기준
경제적 안정성	국가 경제의 지속가능한 성장과 안정적인 공급망 유지	경제성장 지원, 재정 안정화, 공급망의 리스크 관리 등을 목적으로 하는 규정
국가 안보	국가의 안전과 안보를 보장	자원의 안정적 확보, 외부 의존도 감소 등을 목적으로 하는 규정
기술자립성	외국 기술에 대한 의존도를 줄이고, 국내 기술의 독립성 강화	핵심기술 개발, 기술 혁신 지원, 국내 기술 인력 양성 등을 지원하는 규정
산업경쟁력	국내 산업의 글로벌 경쟁력을 높이고, 생산성과 혁신성 증대	산업의 기술력 향상, 생산능력 증대, 시장 확대 등을 지원하는 규정

각 규정이 특정 정책가치에 부합하는지 판단하기 위해 주요 목적과 기능, 정책가치와의 직접적인 연관성, 규정의 영향 범위 및 대상, 규정에서 취하는 조치의 성격 등을 고려하였다. 규정의 주요 목적과 기능이 어떤 산업적, 경제적, 기술적 목표를 지향하는지, 규정의 내용이 정책가치와 직접적으로 어떻게 연결되는 지 등을 분석하였다. 또한 규정이 산업 전반, 특정 기업, 기술 개발, 인력 양성 등 어떤 범위와 대상을 지원하는 지를 고려하였고, 지원하는 수단이 재정적인지, 제도적인지 등 성격을 고려하여 분류하였다(표 4).⁶⁾ 이러한 분류 기준에 따라 네 개의 주요 법률 내에 포함된 규정들의 정책가치를 분류해보면 다음과 같다.

「소재부품장비산업법」에는 소재, 부품, 장비 산업의 경쟁력 강화와 안정적인 공급망 확보를 목적으로 다양한 규정을 포함하고 있다. 이 법률은 산업의 전반적인 경쟁력을 높이고, 경제적 안정성을 확보하며, 국가 안보를 강화하고, 기술자립성을 증진시키기 위해 체계적인 지원과 규제를 도입하고 있다. 이를 효과적으로 관리하고 실행하기 위해 법률 규정들을 지원 체계 구축, 기업·산업 육성, 공급망 안정화 대응체계, 기술개발 및 사업화 지원, 기반 구축, 인력 양성, 특화 단지, 기업 상호 개발협력 촉진, 특례, 특별회계 및 기금 등으로 구분하고 있다. 각 구분에 해당하는 규정들을 경제적 안정성, 국가 안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치에 따라 분류한 이유와 기준은 다음과 같다.

우선, 지원체계 구축에 해당하는 규정들은 본 법의 정책가치에 모두 연관되어 있다. 기본계획

6) 예를 들어, 핵심전략기술의 선정과 같은 규정은 국내 기술의 자립을 강화하고 외국 기술 의존도를 줄이는 데 기여하므로 기술자립성, 산업의 경쟁의 높이는 데 필수적인 기술로서 이를 집중적으로 개발하고 지원하면 산업 전반의 경쟁력 강화를 이끌 수 있으므로 산업경쟁력, 전략적 중요성을 가진 기술의 안정적 확보가 국가 안보와 직결되고, 외부 리스크에 대한 대응력을 높이므로 국가 안보 규정으로 분류함.

수립(제5조)과 시행계획 수립(제6조)은 본 법의 정책가치를 실현하기 위한 기본 틀을 제공하며, 소재·부품·장비 경쟁력강화위원회의 구성과 실무추진단 설치(제8조)를 통해 산업경쟁력 강화와 기술자립성 확보 등을 도모한다. 기업·산업 육성에 해당하는 규정들은 경제적 안정성, 산업경쟁력 강화, 기술자립성을 목표로 한다. 핵심전략기술 및 특화선도기업의 선정(제12조, 제13조), 특화선도기업 지원(제16조), 인수·합병 지원(제20조) 등을 통해 산업의 경쟁력을 직접적으로 강화하며, 기술자립성을 높이고 경제적 안정을 목표로 한다.

공급망 안정화 대응체계에 포함된 규정은 기술자립성, 산업경쟁력 강화라는 정책가치를 지향한다. 공급망 조기경보시스템 운영(제23조의2), 공급망센터 지정(제23조의3), 공급망안정사업 선정(제23조의4), 수입위험 완화 지원(제23조의5), 국내 생산시설 구축 지원(제23조의7) 등을 통해 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 촉진한다. 이는 잠재적인 공급망 위협을 사전에 식별하고 신속하게 대응함으로써 외부 의존도를 줄이고 국내 기술 및 자원의 자립을 강화하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 산업 전반의 안정성과 효율성이 향상되어 산업경쟁력도 함께 강화된다.

소재·부품·장비기술의 개발 및 사업화는 기술개발 사업(제24조), 기술이전 및 사업화 촉진(제26조), 표준화사업(제27조) 등을 통해 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 지원한다. 여기에 포함된 규정들은 기술개발을 통해 혁신적인 기술이 창출되면, 기술이전을 통해 이를 실질적인 산업 현장에 적용하며, 표준화를 통해 산업 전반의 효율성과 일관성을 확보함으로써 지속가능한 경제 발전과 글로벌 경쟁력 확보에 중요한 기여를 할 것으로 기대할 수 있다.

이 외에도 기반구축, 인력양성 규정, 특화단지 운영 규정, 기업 상호 개발협력촉진, 특례에 포함된 규정들은 모두 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 목표로 하고 있다. 기반구축으로서 실증기반의 활용(제30조)과 확충(제31조) 등은 실증기반의 개방·활용, 신뢰성향상기반 구축, 신뢰성 인증 등을 통해 공급망의 효과성과 안정성을 높이고, 산업경쟁력을 강화하며 기술자립성을 증진시킨다. 또한 기업 상호 개발협력촉진을 위한 협력모델의 발굴(제49조) 및 지원(제50조), 규제개선신청(제51조) 및 처리를 통해 산업경쟁력 강화, 기술자립성을 촉진한다. 특화단지 지정 및 지원(제45조) 등을 통해서도 특정 지역에 집중된 사업 클러스터를 형성하여 경쟁력을 높이고, 기술자립성을 강화하며, 지역 경제의 활성화와 안정적인 산업 기반을 마련한다.

특례에 해당하는 규정들은 특화선도기업과 핵심전략기술 등을 대상으로 외국인 출자(제53조), 합병절차 특례(제55조) 등을 통해 특화선도기업들의 성장을 촉진하고 경쟁력을 강화하며,

외국 자본 유치를 용이하게 하고, 기술자립성을 강화하여 기업의 구조조정과 경쟁력 강화를 목적으로 한다.

마지막으로 특별회계 설치에 있어 소재·부품·장비 경쟁력강화특별회계의 설치 및 운용, 세입·세출 규정을 통해 경제적 안정성과 산업경쟁력 강화를 지원한다. 특별회계의 설치(제68조), 운용(제69조)을 통해 사업의 재정적 기반을 마련하고, 지속가능한 재정지원을 가능하게 하여 사업의 다양한 사업의 효과적으로 수행하고 경쟁력을 강화하고자 한다.

이와 같이 「소재부품장비 산업법」은 다양한 규정을 통해 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치를 동시에 추구하고 있다. 각 규정은 산업의 전반적인 경쟁력과 안정성을 높이기 위한 구체적인 방안을 제공하며, 이를 통해 국내 소재·부품·장비산업의 글로벌 경쟁력을 강화하고, 불확실한 국제 환경 속에서도 안정적인 공급망을 유지함으로써 국가 경제와 안보에 기여하고자 한다.

〈표 4〉 규정별 정책 수단 가치분류 체계: 「소재부품장비산업법」

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
지원체계	기본계획·시행 계획 수립	§5, §6	기술자립성, 산업경쟁력 강화	체계적인 지원 체계 마련을 통해 산업 전반의 경쟁력 강화하고, 기술 독립을 위한 기본 틀을 제공
	통계작성	§7	산업경쟁력 강화	정확한 통계로 산업 전반의 현황을 파악하고, 정책 수립에 기여
	경쟁력 강화위원회	§8	산업경쟁력 강화	경쟁력강화위원회의 구성 및 역할을 통해 산업의 경쟁력을 체계적으로 강화
기업·산업 지원	핵심전략기술 선정, 공급망안정품목 선정	§12, §12의2	기술자립성	핵심전략기술 및 공급망안정품목 선정 등을 통해 국내 기술의 독립성, 자립성을 강화
	특화선도기업 선정·지원, 특화선도기업 기금투자, 강소기업 및 창업기업 선정	§13, §16, §19, §15,	산업경쟁력 강화	특화선도기업의 선정, 지원을 통해 산업의 경쟁력을 직접적으로 강화
	조세·부담금감면, 인수·합병 지원	§23, §20	경제적 안정성	조세 및 부담금 감면으로 기업 재정의 유연성을 확보하고, 인수·합병 지원을 통해 산업 내 구조조정을 지원하여 경제적 안정 도모

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
공급망안정화대응체계	공급망조기경보시스템 운영, 공급망센터 지정	§23의2, §23의3	산업경쟁력 강화	잠재적 위협을 사전에 식별하고 대응하여 안정적인 공급망을 유지하여 산업의 효율성과 경쟁력 향상
	공급망안정사업 선정, 수입위험 완화 지원, 국내 생산시설구축 지원	§23의4, §23의5, §23의7	기술자립성, 산업경쟁력 강화	공급망 안정화를 위한 국내 생산을 촉진하여 외부 의존도를 줄이고 기술 자립성 실현
기술개발·사업화	기술개발사업 실시, 기술이전·사업화	§24, §26	기술자립성	혁신적인 기술개발과 이전을 통해 기술 자립성 확보
	표준화사업	§27	산업경쟁력 강화	표준화를 통해 산업의 효과성과 글로벌 경쟁력 확보
	융합혁신지원단지 원사업	§28, §29	산업경쟁력 강화	산업 전반의 기술 생태계를 강화하기 위해 조직을 지정하고 종합적인 지원체계를 구축
기반구축	국제협력 사업	§25	산업경쟁력 강화	외국 기술의 도입과 공동 기술개발을 통해 국내 기술 수준을 향상시키고, 혁신적인 제품과 서비스를 개발을 통한 산업경쟁력 강화
	실증기반 개방·활용·확충, 실증시험, 성능검증 촉진 및 지원	§30~§32	기술자립성	실증기반을 조성하여 기술자립성을 강화
	신뢰성향상기반구축사업, 보증사업, 인증기관 지정	§33~§34	기술자립성, 산업경쟁력	신뢰성 있는 기술기반을 조성하여 기술자립성 및 산업의 경쟁력 증대
	정보의 체계적 생산 및 관리	§36	산업경쟁력 강화	체계적인 정보 관리와 활용을 통해 산업의 지속 가능한 경쟁력을 확보하고, 변화하는 글로벌 환경에 유연하게 대응
	소재개발 촉진	§37	기술자립성, 산업경쟁력 강화	핵심 소재를 개발하고 상용화함으로써, 해외 기술 의존도를 줄이고 자립적인 기술 기반 마련과 산업경쟁력 강화
	희소금속산업 강화 정책, 센터 지정·운영	§37의2~37의3	국가안보	희소금속은 첨단 기술, 군사 장비, 에너지 분야 등 국가의 핵심 산업과 직결되는 중요한 자원으로 안정적인 확보를 통해 국가안보 유지
	수요창출	§38	산업경쟁력 강화	정부가 기술개발 제품을 우선적으로 구매함으로써 해당 제품의 초기 시장 진입을 촉진하고, 이를 통해 기업의 매출 증대와 시장 점유율 확대를 도모하며, 기업의 성장과 경쟁력 강화를 직접적으로 지원

정책수단	관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
인력양성	인력 수급동향조사, 해외 우수인력 발굴·유치	§39, §44 경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	원활한 인력공급을 통해 산업의 지속가능성과 경제적 안정 지원
	인력양성, 직업교육훈련과정 설치 지원	§40, §41 기술자립성	전문인력 확보와 숙련된 인력을 통해 기술자립성 증대
	기업공동교육훈련 시설, 양성기관 지정	§42, §43 경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	원활한 인력 공급을 통해 산업의 지속가능성과 경제적 안정성 지원
특화단지	특화단지 지정, 지원, 육성시책	§45, §48, §47 기술자립성, 산업경쟁력 강화	특화지역에 집중된 사업 클러스터를 형성하여 산업 경쟁력 향상 및 기술자립성 확보
기업상호 개발협력 촉진	협력모델발굴, 지원, 규제개선 신청, 관리·감독	§49, §50, §51, §52 기술자립성, 산업경쟁력	기업 간 협력을 통한 기술 및 자원 공유로 기술역량을 강화하고, 산업 경쟁력 증대
특례	외국인 출자, 공모전문투자조합	§53, §54 산업경쟁력 강화	외국인 투자를 효과적으로 유치하고 관리함으로써 국내 산업의 경쟁력 강화
	합병절차, 주식매수선택권	§55, §56 산업경쟁력 강화	기업의 성장과 혁신을 지원하여 산업경쟁력 강화
	교육공무원 휴직, 겸임·겸직	§57, §58 산업경쟁력 강화	학계와 산업계 간의 협력을 강화하고, 산업 전반의 경쟁력 향상
	사업주·단체 등 직업능력개발	§59 산업경쟁력 강화	핵심 산업 분야의 인력양성과 기술혁신 촉진 등으로 국내 산업의 경쟁력 향상
	공동기술혁신, 예비타당성조사	§60, §61 기술자립성	기술혁신 특례를 적용하여 기술자립성 강화
	관계법 관련 특례	§62~§67 산업경쟁력 강화	특화선도기업 및 핵심전략기술 관련 기업에 대한 규제 완화와 지원을 통해 기업의 경쟁력과 산업 생태계 효율성 향상
특별회계 및 기금	특별회계 설치, 회계의 운용·관리	§68, §69 산업경쟁력 강화	재정적 기반을 마련하여 다양한 사업의 효율적 수행과 산업경쟁력 증대 지원

「국가자원안보 특별법」은 국가의 자원 안보를 강화하고, 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화를 도모하기 위해 다양한 규정을 포함하고 있습니다. 아래는 법률의 주요 규정을 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화라는 네 가지 정책가치로 분류한 결과는 다음과 같다. 각 규정별 분류 기준은 <표 5>에서 정리하였다.

지원체계는 자원안보를 위한 전반적인 관리와 협력을 구축하는 규정들로 구성되어 있으며, 경제적 안정성, 국가안보에 기여한다. 먼저 경제적 안정성 측면에서 기본계획 수립(제5조), 자원안보정보의 종합관리(제8조)가 중요한 역할을 한다. 기본계획의 수립을 통해 자원안보를 체계적으로 관리함으로써 경제적 충격을 예방하고, 핵심자원 관련 정보를 효율적으로 관리하여 경제적 의사결정의 안정성을 확보한다. 국가안보 측면에서는 자원안보협의회의의 구성(제6조), 전담기관의 지정(제7조)이 핵심적인 역할을 한다. 협의회를 통해 국가안보와 직결된 자원안보 정책을 종합적으로 논의하고 결정하며, 자원안보 전담기관을 지정하여 전문적으로 업무를 수행함으로써 국가안보를 강화한다.

공급망 안정화 대응체계는 공급망의 취약점을 점검하여 경제적 안정성과 국가안보에 기여한다. 경제적 안정성을 확보하기 위해 국가 자원안보의 진단·평가(제10조), 핵심자원의 개발·구매·조달(제12조), 핵심자원의 비축(제15조) 및 비축계획 수립(제16조), 핵심자원판매가격 최고액 설정(제31조) 등의 규정을 포함하고 있다. 이는 자원안보 진단을 통해 경제적 위험요인을 사전에 파악하고 대응하며, 핵심자원의 안정적 공급과 비축을 통해 공급 중단 시 경제적 충격을 완화하고, 수급 및 가격 안정을 통한 경제적 변동성을 최소화하고자 한다. 국가안보 측면에서는 공급망 점검·분석(제11조), 핵심자원 공급국가의 다원화(제12조), 비상동원광산의 지정(제17조), 핵심공급기관의 지정·관리(제21조), 핵심수요기관의 지정·관리(제22조) 등의 규정으로 공급망의 취약점을 점검하여 국가안보 위협을 사전에 차단하고, 공급국가의 다변화를 통해 외부 의존도를 줄이며, 비상 상황에서 핵심자원의 생산을 통해 국가안보를 강화하고자 한다. 또한 핵심공급 및 수요기관의 지정과 관리를 통해 자원안보를 유지한다. 이 가운데 국내외 핵심광물 생산기반 확충 지원(제13조), 재자원화(제18조), 핵심자원 대체물질의 개발(제19조), 공급기반 시설의 설치·운영(제20조) 등의 규정으로 산업경쟁력 강화도 목표로 한다. 핵심광물 생산기반을 확충과 재자원화, 대체물질 개발을 통해 기술적 경쟁력을 높이며, 안정적 공급기반 시설 구축을 통해 산업경쟁력을 향상시킨다. 즉, 공급망 안정화 대응체계는 자원 공급의 안정성을 확보하고, 공급망의 취약점을 사전에 점검하며, 핵심자원의 생산 및 공급 기반을 강화함으로써 경제적 안정성과 국가안보를 동시에 강화하고, 산업의 경쟁력을 높이고자 한다.

기술개발 및 사업화 관련 규정으로는 대표적으로 연구개발(제37조)이 해당되나, 공급망 안정화 대응체계로 분류된 재자원화(제18조), 핵심자원 대체물질의 개발(제19조) 등도 해당 규정으로 고려할 수 있다. 이들 규정 모두 기술자립성을 통한 산업경쟁력 강화에 중점을 두고 있다. 기술자립성 강화를 위해 재자원화와 대체물질 개발을 촉진하며, 이를 통해 외부 의존도를 줄이고

국내에서 핵심 기술을 개발 및 보유하도록 지원한다. 연구개발 규정(제37조)은 자원안보 관련 기술 연구개발을 지원하여 기술적 자립성을 강화하는 동시에, 인력양성 및 교육·홍보(제38조) 규정과 연계되어 전문 인력의 양성을 도모한다. 이러한 지원은 궁극적으로는 자원안보를 위한 기술적 기반을 마련하고, 국내 산업의 혁신을 촉진하여 글로벌 시장에서의 경쟁력을 강화하는 데 기여한다.

기반구축은 산업경쟁력 강화에 기여하는 국제협력(제36조) 규정이 해당된다. 국제협력을 통해 글로벌 기술 및 산업 경쟁력을 강화하고자 한다. 인력양성을 위해서는 인력양성 및 교육·홍보(제38조) 규정을 통해 기술자립성 강화를 위한 자원안보와 관련된 전문 인력을 양성하고, 교육 및 홍보를 통해 국민적 인식을 제고하고자 한다. 전문인력 양성과 교육은 산업의 인적 자원을 강화하고, 경쟁력 향상에 기여하며, 산업의 혁신과 효율성을 높여 글로벌 시장에서의 경쟁력을 강화하는 데 중요한 역할을 한다. 즉, 인력양성은 자원안보와 관련된 전문 인력을 양성하고 교육 및 홍보를 통해 국민적 인식을 제고함으로써 기술적 자립성과 산업경쟁력을 동시에 강화한다.

특례에는 환경보전 등에 관한 조치(제32조), 도시가스 처분에 관한 특례(제33조), 핵심자원 등의 구매 등에 관한 특례(제34조), 부과금의 감면(제35조) 등이 포함되며, 이들 규정은 경제적 안정성, 기술자립성, 산업경쟁력 강화에 기여한다고 볼 수 있다. 경제적 안정성을 지원하기 위한 환경보전 조치(제32조)는 산업 활동의 지속가능성을 확보하며, 도시가스 처분 특례(제33조)는 비축 물량을 효과적으로 활용하여 시장의 안정성을 유지한다. 핵심자원 구매 특례(제34조)는 긴급 시 계약 절차를 간소화하여 경제적 대응력을 강화하고, 부과금 감면은 특정 상황에서 산업의 비용 부담을 완화하여 경제적 안정성을 지원한다. 또한 핵심자원의 구매 등에 관한 특례(제34조)를 통해 핵심자원 또는 대체 자원의 구매를 지원하여 기술적 자립성을 강화한다. 구매 특례 규정(제34조)과 함께 부과금 감면(제35조)은 산업 활동의 유연성과 경쟁력을 강화하는 데 기여한다. 핵심자원 구매 특례는 산업 활동의 유연성을 보장하고, 부과금 감면은 산업의 비용 부담을 줄여 경쟁력을 향상시킨다.

「국가자원안보 특별법」에 포함된 규정은 자원 공급과 가격 안정을 통해 국가 경제의 지속가능성을 확보하는 데 중점을 두며, 기술적 자립과 혁신을 통해 국내 산업이 글로벌 시장에서 경쟁력을 유지하고 향상시킬 수 있도록 지원한다.

〈표 5〉 규정별 정책 수단 가치분류 체계: 「국가자원안보 특별법」

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
지원체계	기본계획 수립	§5	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	자원의 안정적 공급과 관리, 기술개발 등을 통해 경제를 강화하고, 산업 경쟁력을 높이는 기반 마련
	자원안보협의회의 구성, 전담기관 지정	§6, §7	국가안보	자원안보협의회의와 전담기관의 설립 및 운영을 통해 국가의 핵심 자원 확보와 공급망 안정성을 강화함으로써 국가안보 확보
	정보 종합관리	§8	국가안보	자원안보와 관련된 정보를 체계적으로 관리하고 활용함으로써 국가의 핵심 자원 확보와 공급망 안정성을 강화하여 국가안보를 확보
공급망안정화대응 체계	국가자원안보 진단·평가, 공급망점검·분석	§10, §11	국가안보	국가 차원의 자원안보를 정기적으로 진단하고 평가함으로써, 핵심 자원의 안정적인 공급과 관련된 위험요인을 사전에 파악하고 대응하여 국가안보 뒷받침
	핵심자원 개발·구매·조달, 국내외 핵심광물 생산기반 지원	§12~13	경제적 안정성, 국가안보	핵심자원의 안정적인 개발 및 조달, 생산기반 확충은 자원의 안정적 공급을 보장함으로써 경제와 안보의 기초 강화
	공급국가 다원화, 비축, 비축계획, 비상동원광산 지정	§14	경제적 안정성, 국가안보, 산업경쟁력 강화	자원의 안정적 공급을 보장하여 경제와 안보를 강화하고, 다양한 공급원을 확보함으로써 산업 경쟁력 증대
	재자원화, 대체물질 개발	§18~§19	기술자립성, 산업경쟁력 강화	자원의 효율적 사용과 기술자립을 도모하며, 산업의 경쟁력 강화에 기여하고, 핵심자원 대체물질 개발은 새로운 산업 경쟁력 확보에 중요한 역할
	공급기반시설 설치·운영, 핵심공급기관 지정·관리, 핵심수요기관 지정·관리	§20~§22	경제적 안정성, 국가안보, 산업경쟁력 강화	자원의 지속적인 공급을 보장하여 경제와 안보를 강화하고, 산업경쟁력 유지
	자원안보위기 경보 발령, 위기대책본부, 위기대응매뉴얼, 대응훈련 실시	§23~§26	경제적 안정성, 국가안보	경제와 국가 안보에 직접적인 영향을 미치는 자원의 공급 차질을 사전에 방지하고, 대응할 수 있도록 경보 체계, 관련 조직의 구성과 운영, 매뉴얼 작성 등을 통합적인 대응을 가능하게 하여 경제와 안보를 동시에 보호,

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
	위기 시 해외개발 핵심자원 반입명령, 비축자원 방출·사용, 비상동원광산, 채굴, 수급안정조치, 핵심자원판매 가격 최고액 설정	§27~§31	경제적 안정성, 국가안보, 산업경쟁력 강화	자원 수급과 가격 안정을 위한 조치는 경제의 지속가능한 운영과 국가 안보를 강화하며, 산업경쟁력 유지 지원
기술개발 및 사업화	연구개발	§37	기술자립성	자원안보 관련 기술개발과 연구는 기술자립성 촉진
기반 구축	국제협력	§36	경제적 안정성, 국가안보, 산업경쟁력 강화	자원의 안정적 공급과 기술교류를 통해 경제와 안보를 강화하고, 글로벌 경쟁력 향상에 기여
인력양성	인력양성 및 교육·홍보	§38	기술자립성, 산업경쟁력 강화	전문인력 양성과 교육, 홍보를 통해 기술자립과 산업경쟁력 강화에 기여
특례	환경보전 조치, 도시가스 처분, 핵심자원 구매, 부과금 감면	§32~§35	경제적 안정성, 국가안보	자원 안보 위기 시 특정 조건에 규제 완화 및 부과금 감면, 통관절차 간소화 등을 가능하게 하여 경제적 부담을 경감하고, 국가 안보 확보

「공급망안정화법」을 구성하고 있는 규정들은 주로 경제적 안정성, 국가안보, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치를 추구하며, 각 조항별 분류 체계 기준은 <표 6>에서 설명하고 있다.

지원체계에 해당하는 규정은 기본계획 및 시행계획 수립(제7조, 제8조), 공급망안정화위원회(제10조), 공급망 현황조사(제11조), 통계작성(제12조) 등이 해당하며, 이들 규정은 경제적 안정성을 지원하는 한편, 국가안보를 목적으로 한다. 계획 수립으로 공급망의 체계적인 관리를 통해 경제와 안보의 연속성을 보장하고자 하고, 위원회를 통해 정책 조정을 하여 공급망의 안정성을 유지하고, 국가 안보를 강화하고자 한다. 아울러 현황조사 및 통계 작성과 같은 데이터 기반의 정책 수립으로 경제의 예측과 안정성을 높인다.

기업·산업 육성에 해당하는 규정은 경제안보품목 지정(제13조), 선도사업자 선정(제19조), 선도사업자 협의체 구성(제21조) 등이 해당되며, 경제적 안정성과 국가안보, 산업경쟁력 강화를 목적으로 하고 있다. 경제안보품목을 지정하여 필수 품목의 안정적인 공급을 보장하여 국가 안보와 경제의 안전을 유지하고, 선도사업자 선정과 협의체 구성을 통해 산업 전반의 경쟁력을 강화하고자 한다.

공급망 안정화 대응체계는 경제적 안정성과 국가안보를 목적으로 하고 있다. 여기에 해당하는 조기경보시스템 운영(제15조)과 위기대책본부 설치(제32조) 규정은 조기경보와 위기대응으로 공급망의 중단을 방지하고, 경제와 안보를 동시에 보장하고자 한다. 또한 긴급수급조정조치(제30조)로 공급망 위기 시 신속히 대응하여 경제와 안보에 미치는 영향을 최소화하고자 하고, 경제안보품목 비축·관리(제25조), 손실지원(제37조)으로 필수 품목의 비축과 손실 보전을 통해 공급망의 안정성과 경제적 충격 완화를 지원한다. 이 외에도 관세지원(제34조), 긴급조달(제35조), 수입업자 지원(제36조) 등으로 국가의 경제와 안보를 보호, 수입국가 다변화(제22조), 국내 외 생산기반 지원(제23조) 등으로 공급원의 다변화와 생산기반 지원을 통해 산업의 경쟁력과 기술 자립성을 강화한다. 경제안보서비스 안정적 제공을 위한 지원(제26조)과 위기대응 매뉴얼 작성 및 운용(제28조) 등의 규정으로 필수 서비스의 안정적 제공을 통해 위기 상황을 대비함으로써 경제적 안정성과 국가 안보를 더욱 촉진한다.

기술개발 및 사업화에는 기술개발 지원(제24조) 규정이 포함되어 있다. 이 규정은 국내 기술의 도입과 개발을 지원하여 외부 의존도를 줄이고 기술자립성을 확보하고자 한다. 또한 기술혁신을 통해 산업의 기술적 우위를 확보하고 경쟁력 강화를 동시에 목적으로 한다. 국제협력 규정(제14조)은 외국정부와의 협력을 통해 국가안보와 관련된 글로벌 공급망 리스크를 공동으로 관리한다.

경제안보품목 등에 대한 특례(제27조) 규정은 경제적 안정성, 산업경쟁력 강화 등을 지향한다. 본 규정은 조세 감면 및 금융 지원을 통해 사업자의 재정적 부담을 경감시켜 경제적 안정을 지원하면서도, 산업경쟁력 강화도 함께 목적으로 한다고 볼 수 있다.

특별회계 및 기금과 관련된 규정은 공급망안정화기금의 설치(제38조), 기금의 재원(제39조), 기금의 관리·운용, 회계(제40조), 기금의 지원대상·용도(제41조), 자금지원 절차·요건(제42조), 공급망안정화기금운용심의회의 설치(제43조) 등이 포함되며, 주로 경제적 안정성, 산업경쟁력 강화를 촉진하고자 함을 알 수 있다. 이는 기금의 조성 및 효율적 운용을 통해 경제적 안정성을 위한 자금을 지속적으로 확보하고 관리하고자 하고, 산업경쟁력을 강화하는 데 필요한 자금을 확보하고 배분하고자 한다.

「공급망안정화법」은 경제적 안정성, 국가 안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화라는 네 가지 주요 정책가치를 중심으로 다양한 지원 체계를 마련하여 국가와 국민의 경제활동을 보호하고 강화하는 것을 목표로 한다. 각 규정의 분류는 상호 연관되어 있으며, 종합적으로 국가의 경제와 안보를 동시에 강화하는 데 기여하고자 한다.

〈표 6〉 규정별 정책 수단 가치분류 체계: 「공급망안정화법」

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
지원체계	기본·시행계획 수립	§7, §8	경제적 안정성, 국가안보	공급망의 체계적인 관리로 경제와 안보의 연속성 보장
	공급망안정화 위원회	§10	경제적 안정성, 국가안보	정책 조정을 통해 공급망의 안정성을 유지하고 국가 안보 강화
	현황조사, 통계작성	§11, §12	경제적 안정성	데이터 기반의 정책 수립으로 경제의 예측 가능성과 안정성 향상
기업·산업 지원지원	경제안보품목 지정 등	§13	경제적 안정성, 국가안보	필수 품목의 안정적인 공급을 보장하여 국가와 경제의 안전 유지
	선도사업자 선정·취소, 협의체 구성	§19, §20, §21	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	선도기업의 지원과 협력을 통해 산업 전반의 경쟁력 강화
공급망안정화대응 체계	조기경보시스템 운영, 위기대책 본부 설치	§15, §32	경제적 안정성, 국가안보	조기 경고와 위기 대응을 통해 공급망의 중단을 방지하고, 경제와 안보 보호
	긴급수급조정조치, 위키품목 지정·해제	§29, §30	경제적 안정성, 국가안보	긴급 조치로 공급망 위기 시 신속히 대응하여 경제와 안보에 미치는 영향 최소화
	경제안보품목 비축·관리, 손실지원	§25, §37	경제적 안정성	필수 품목의 비축과 손실 보전을 통해 공급망의 안정성과 경제적 충격 완화 지원
	관세지원, 긴급조달, 수입업자 지원	§34, §35, §36	경제적 안정성, 국가안보	관세 지원과 긴급 조달을 통해 공급망의 안정성을 유지하고, 국가의 경제와 안보 보호
	수입국가다변화, 국내외 생산기반 지원	§22, §23	경제적 안정성, 기술자립성, 산업경쟁력 강화	공급원의 다변화와 생산기반 지원을 통해 산업의 경쟁력과 기술 자립성 강화
	경제안보서비스 안정적 제공	§26	경제적 안정성, 국가안보	필수 서비스의 안정적 제공을 통해 경제 활동과 국가 안보 유지
	위기대응매뉴얼 작성·운영	§28	경제적 안정성, 국가안보	위기 상황에 대비하여 경제적 성장과 국가 안보 지원
	기술개발·사업화	§24	기술자립성	국내 기술의 도입과 개발을 지원하여 기술자립성 확보
기반 구축	국제협력	§14	국가안보	국제적 차원의 협력을 통해 국가안보 견고히 구축
특례	경제안보품목 특례	§27	경제적 성장, 산업경쟁력 강화	조세감면과 금융 지원을 통해 산업경쟁력 강화를 위한 기업 재정적 지원, 경제성장 도모
특별회계·기금	공급망안정화 기금 등, 기금운용심의회	§38~41, §43	경제적 성장, 산업경쟁력 강화	산업 전반의 경쟁력을 강화하는 데 필요한 자금을 확보하고 효율적으로 배분하여 산업 경쟁력 향상 및 경제성장 지원

「미래자동차부품산업법」은 미래자동차 부품산업의 경쟁력 강화와 생태계 구축을 통해 국민 경제 발전에 기여하고자 제정된 법률이다. <표 7>에서와 같이 각 규정별 분류된 정책가치를 살펴보면, 이 법은 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등의 다양한 정책가치와 밀접하게 연계되어 있다.

먼저 지원체계는 미래자동차 부품산업의 전반적인 활성화를 위한 기초적인 틀을 제공한다. 여기에 포함된 규정은 미래자동차 부품산업 생태계 활성화를 위한 기본계획 수립(제5조)과 전략회의 운영(제6조)으로 지속가능한 산업 발전을 위한 장기적이고 전략적인 접근을 가능하게 한다. 또한 실태조사를 실시하고(제7조), 통계를 작성함으로써(제8조) 정책 수립과 시행의 근거 자료를 확보하여 효과적인 지원 체계를 구축한다. 지원체계에 포함된 규정은 산업의 전반적인 방향성과 자원 배분을 책임지며, 체계적인 계획과 조정을 통해 경제적 안정성과 산업 경쟁력 강화를 지원한다.

기업·산업 육성은 미래자동차 부품산업의 핵심 주체인 기업들의 경쟁력을 강화하고 생태계를 확장하는 데 중점을 둔다. 제13조는 미래자동차 부품 전문기업을 지정·지원함으로써 해당 기업들이 기술개발과 생산에서 선도적인 역할을 할 수 있도록 한다. 이를 통해 고부가가치 제품의 생산과 혁신을 촉진하고, 산업 내 전문성을 강화한다. 제14조는 미래자동차 부품산업 협의체를 구성하여, 정부출연연구기관, 특정연구기관, 전문생산기술연구소 등 다양한 기관들이 협력하여 산업을 육성할 수 있는 체계를 구축한다. 이는 기업과 연구기관 간의 시너지 효과를 창출하여 기술혁신과 산업 생태계의 발전을 도모한다. 즉, 해당 규정은 전문기업의 성장과 협력을 통해 산업의 핵심 경쟁력을 강화하며, 이를 통해 경제적 안정성과 기술자립성을 동시에 지원한다.

기술개발 및 사업화는 미래자동차 부품산업의 기술적 경쟁력을 확보하고 이를 상용화하여 산업의 발전을 촉진한다. 제9조 기술개발 시책을 마련하여 중점 기술개발 분야와 추진 목표를 설정하고, 기술개발의 효율적인 추진을 지원한다. 제10조는 기술이전 및 사업화를 촉진하여, 연구개발 성과의 상용화를 가속화하고 산업 생태계를 강화한다. 제11조는 표준화 사업을 통해 국내 기술의 표준화를 추진함으로써, 기술적 자립성과 국제 경쟁력을 동시에 강화한다. 제16조는 디지털 혁신을 촉진하여 제조 및 유통 과정의 디지털 전환을 지원하며, 기술적 혁신과 생산성 향상에 기여한다. 제23조는 데이터 플랫폼을 구축하여, 산업 관련 데이터를 체계적으로 관리하고 활용할 수 있는 기반을 마련한다. 기술개발 및 사업화는 산업의 기술적 경쟁력을 높이는 목적을 통해 산업의 지속가능성과 경제적 성장을 지원한다고 볼 수 있다.

기반구축은 산업의 성장과 발전을 위한 물리적 및 제도적 인프라를 마련하는 데 중점을 둔다. 제12조는 미래자동차 부품의 인증 제도를 규정하여, 품질과 신뢰성을 확보하는 기반을 마련한다. 인증 제도는 산업의 표준화와 품질 관리에 기여하여 글로벌 시장에서의 신뢰성을 높인다. 제21조에서는 실증시험 및 성능검증을 위한 시설의 개방과 활용을 지원한다. 이는 기술의 실제 적용과 검증을 가능하게 하여, 산업의 신뢰성과 경쟁력을 높인다. 제24조는 국제협력을 통해 해외 시장 진출을 촉진하고, 공급망의 다변화를 통해 경제적 리스크를 분산시킨다. 제25조에서는 산업 수요 창출을 위한 시범사업을 지원한다. 기반구축과 관련된 규정은 산업의 물리적 및 제도적 인프라를 강화하여 기술개발과 사업화의 효율성을 높이고 산업의 지속가능한 성장을 지원한다.

인력양성은 산업의 지속가능한 성장을 위해 필수적인 전문인력을 확보하고 육성하는 데 중점을 둔다. 제18조는 전문기술인력 양성을 위한 다양한 교육 및 훈련 사업을 추진하도록 규정하여, 산업의 기술적 요구에 부응하는 인력을 확보한다. 이를 통해 기술혁신과 산업 발전을 지원한다. 제19조는 계약에 의한 직업교육훈련과정의 설치를 지원하여 산업체의 구체적인 인력 수요에 맞춤형 교육을 제공한다. 이는 산업과 교육 기관 간의 협력을 촉진하여, 현장에 적합한 인력을 양성하는 데 기여한다. 즉, 인력양성 규정은 산업의 전문성을 높이고, 지속가능한 기술개발과 혁신을 지원하여 산업의 경쟁력을 강화하고자 한다.

또한 제20조에서 미래자동차 부품산업의 특화단지를 지정하는 규정을 운영하고 있다. 지정된 특화단지에서는 연구개발, 사업화, 창업 유치, 교류 및 협력 활성화 등 다양한 사업을 수행할 수 있으며, 필요한 비용을 지원받을 수 있다. 특화단지는 산업의 집중화를 통해 기술혁신과 생산성 향상을 도모하고, 관련 기업과 연구기관 간의 협력을 촉진하여 시너지 효과를 창출한다. 특화단지 내의 인프라 구축과 지원을 통해 기업들의 경쟁력을 강화하고, 글로벌 시장에서의 우위를 확보하는 데 기여한다. 본 규정은 산업의 집중화와 자원 효율성을 높여 산업의 글로벌 경쟁력 향상과 경제적 성장을 지원한다.

기업상호개발협력촉진 관련 규정(제17조)은 정부가 협력 모델 구축을 지원하고, 실태조사 및 수요조사를 통해 기업 간의 협력 필요성을 파악한다. 이는 기업들이 상호 협력하여 기술을 개발하고, 시장을 확대하는 데 필요한 기반을 제공함으로써 기술혁신과 산업의 경쟁력과 지속가능성을 강화한다.

특례와 관련된 규정으로는 제15조 국가연구개발 지원 특례, 제26조 미래자동차 부품산업 전환, 제27조 해외진출기업의 국내복귀 지원, 제28조 중소·중견기업 미래자동차 부품산업 전

환지원, 제29조 미래자동차 부품 관련 규제개선, 제30조 규제개선 신청 및 적극행정, 제31조 교육공무원 휴직, 제32조 겸임·겸직 등이 포함된다. 먼저 국가연구개발 지원 특례는 중앙행정기관이 미래자동차 부품산업 관련 연구개발 기관에 대한 정부출연금 지원 기준 및 현금부담비율을 조정할 수 있도록 하여 연구개발의 효율성을 높이고, 산업의 기술적 역량을 강화하고자 한다. 제26조~제28조에 해당 하는 특례에서는 미래자동차 부품산업 전환 및 해외진출기업의 국내복귀 지원, 중소·중견기업의 전환 지원 등을 규정하여, 특정 조건 하에서 기업들이 산업 전환을 원활하게 할 수 있도록 지원한다. 이는 산업 전환의 유연성을 높이고, 기업들의 경쟁력 강화를 돕는다. 제29조~제30조에 해당하는 규정에서는 미래자동차 부품 관련 규제 개선과 규제개선 신청 및 적극행정을 규정하여, 기업들이 직면한 규제 장벽을 신속히 해결할 수 있도록 지원한다. 이는 기업 활동의 촉진과 혁신을 장려하여 산업 경쟁력을 강화한다. 제31조~제32조 특례는 연구개발 및 산업 현장에서의 전문 인력의 유연한 배치를 지원하여 교육과 산업 간의 긴밀한 협력을 가능하게 하여 인력의 전문성과 산업의 요구를 동시에 충족시키고자 한다. 특례에 해당되는 규정들은 특정 조건 하에서 법률의 유연한 적용을 가능하게 하여 산업전환과 혁신을 촉진하고 기업들의 경쟁력을 강화하는 데 기여한다.

「미래자동차부품산업법」은 다양한 측면에서 미래자동차 부품산업의 전반적인 발전과 경쟁력 강화를 도모하고 있다. 이러한 종합적인 접근은 경제적 안정성과 국가의 전략적 이익에 기여할 것으로 기대할 수 있다. 각 규정들이 상호 유기적으로 연결되어 미래자동차 부품산업의 지속 가능한 성장과 글로벌 경쟁력 확보를 지원하며, 궁극적으로 국내 산업의 선도적인 위치를 확립하는 역할을 기대한다.

〈표 7〉 규정별 정책 수단 가치분류 체계: 「미래자동차부품산업법」

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
지원체계	기본계획	§5	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	생태계 활성화 기본계획을 수립하여 산업의 지속가능한 발전과 경쟁력 강화 도모
	전략회의	§6	산업경쟁력	주요 정책 사항 심의·조정으로 산업의 일관된 발전과 경쟁력 강화 지원
	실태조사, 통계작성	§7, §8	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	산업 현황 파악과 데이터 기반 정책 수립으로 경제적 안정성과 산업경쟁력 강화에 지원
기업·산업지원	미래자동차 부품전문기업 지정·지원	§13	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	전문기업 지정과 지원을 통해 경제적 안정성과 산업경쟁력 강화
	미래자동차 부품산업 협의체	§14	경제적 안정성, 산업경쟁력 강화	다양한 기관과의 협력을 통해 경제적 안정성과 산업경쟁력 증진

정책수단		관련 규정	정책가치	정책가치 분류 이유
기술개발 및 사업화	기술개발시책, 기술이전·사업화	§9, 10	기술자립성, 산업경쟁력 강화	기술개발과 경쟁력 강화를 위한 시책마련, 기술이전 및 상비화 추진을 통해 기술자립성, 산업경쟁력 강화
	표준화 사업	§11	기술자립성, 산업경쟁력 강화	국제 표준 참여로 기술자립성과 산업 경쟁력 강화
	디지털혁신 촉진	§16	산업경쟁력 강화	미래자동차 부품산업의 디지털 혁신을 중심으로 한 산업 경쟁력 강화 및 협업 생태계 구축
	데이터 플랫폼 구축·운영	§23	경제적 안정성, 기술자립성, 산업경쟁력 강화	데이터 활용을 통해 경제적 안정성과 기술자립성, 산업경쟁력 강화
기반 구축	미래자동차부품 인증·실증기반 개발·활용, 실증촉진·지원, 시범사업	§12, §21, §22, §25	경제적 안정성, 기술자립성, 산업경쟁력 강화	인증제도를 통해 기술기준을 마련하여 기술자립성과 산업경쟁력 확보, 실증시험 지원을 통해 경제적 안정성과 기술자립성, 산업경쟁력 강화
	국제협력	§24	기술자립성, 산업경쟁력 강화	국제협력을 통해 기술자립성과 산업경쟁력 기여
인력양성	전문기술인력 양성, 계약에 의한 직업교육훈련과 정 설치 지원	§18, §19	기술자립성, 산업경쟁력 강화	전문인력과 맞춤형 인력 양성을 통해 기술자립성, 산업경쟁력 강화,
특화단지	미래자동차 부품산업 특화단지의 지정	§20	산업경쟁력 강화	특화단지를 통해 산업경쟁력 강화
기업상호 개발협력 촉진	협력모델 발굴·지원	§17	기술자립성, 산업경쟁력 강화	협력모델 구축을 통해 기술자립성과 산업경쟁력 증진
특례	국가연구개발 지원 특례	§15	기술자립성, 산업경쟁력 강화	연구개발 지원을 통해 기술자립성, 산업경쟁력 강화
	산업 전환, 해외진출기업 국내복귀 지원, 중소·중견 미래자동차 부품산업 전환지원	§26~§28	기술자립성, 산업경쟁력 강화	산업전환 지원을 통해 기술자립성, 산업경쟁력 강화
	규제개선, 규제개선 신청·적극행정	§29, §30	산업경쟁력 강화	규제완화를 통해 산업경쟁력 강화
	교육공무원 휴직, 겸임·겸직	§31, §32	산업경쟁력 강화	전문 인력의 산업 참여를 통해 산업경쟁력 강화

3) 목적에 따른 정책가치와 규정에 따른 정책수단의 가치 정합성

각 법률의 목적과 정책수단이 내재한 정책가치 간의 정합성은 법률 목적에 기반하여 분류된 정책가치와 각 규정(정책 수단)이 이러한 정책가치를 얼마나 반영하고 있는지를 평가한 결과로 판단한다(〈표 8〉). 각 법률이 정책목표를 얼마나 효과적으로 반영하고 있는지를 명확히 파악하여, 법률의 목적과 수단의 정합성, 그리고 법률 간 유사점과 차이점을 파악할 수 있도록 하였다. 법률 목적과 규정 간의 정합성을 평가하기 위해 규정의 정책가치의 수와 비중으로 판단하였다. 즉, 규정들이 법률 목적과 일치하는 정책가치의 비중과 수가 매우 높을 경우 ‘매우 높은 정합성’, 다소 높은 경우 ‘높은 정합성’, 낮은 경우 ‘약한 정합성’, 그 이하는 ‘매우 약한 정합성’으로 분류하였다.

먼저 「소재부품장비산업법」은 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화라는 네 가지 주요 정책가치를 지향한다. 이를 달성하기 위해 법률 내에서 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 중심으로 다양한 정책 수단을 활용하고 있다. 예를 들어, 기술개발 및 사업화는 기술자립성을 강화, 기업 및 산업 육성은 산업경쟁력을 높이는데 기여한다. 또한 인력양성과 특화단지 조성 및 관련된 규정들이 장기적으로 기술자립성과 산업경쟁력을 지속적으로 유지할 수 있는 기반을 마련한다. 이러한 정책 수단들은 법률의 목적에서 설정된 정책가치와 높은 정합성을 보이지만, 직접적으로는 경제적 안정성과 국가안보를 효과적으로 지원하고 있다고 볼 수 없다. 동법의 목적별 정책가치와 규정별 정책가치 정합성은 네 가지 주요 가치를 지향하기 위해서 기술자립성과 산업경쟁력을 목적으로 하는 정책수단을 활용하여 간접적으로는 경제적 안정성과 국가안보를 지향하는 구조로 해석될 수 있다.

「국가자원안보 특별법」은 경제적 안정성과 국가안보를 주요 정책가치를 설정하고 있다. 이를 달성하기 위해 공급망 안정화 대응체계와 기술개발 및 사업화를 중점적으로 활용하고 있으며, 이는 자원의 안정적 관리와 기술자립성을 통해 경제적 안정성과 국가안보를 강화하는 데 기여한다. 특화단지 조성 및 인력양성은 장기적으로 국가 자원의 효율적 관리와 활용을 가능하게 한다. 다만, 본 법의 지향하는 정책가치가 대표적으로 경제적 안정성과 국가안보임에도 불구하고, 법률을 구성하고 있는 규정에서 산업경쟁력을 지향하는 정책수단이 다수 구성되어 있어 법률의 정책가치 정합성은 다소 떨어진다고 볼 수 있다.

「공급망안정화법」은 국가의 공급망 관리를 위한 기본법으로서 경제적 안정성과 국가안보를 실현하기 위해 설계되었다. 경제적 안정성을 지향하는 규정들은 지원체계 구축, 기업·산업 육

성, 공급망 안정화 대응체계, 특례, 특별회계·기금에 해당하는 데 이들 규정을 통해 안정적인 공급망 유지와 외부 충격에 신속히 대응할 수 있도록 지원하고 있으며, 공급망 안정화 대응체계, 기업·산업 육성 등에 해당하는 규정이 국가의 생존과 안전 보장을 위한 기여를 할 수 있도록 활용되고 있음을 알 수 있다. 각 규정에 포함된 정책 수단은 설정된 정책가치와 높은 정합성을 가지고, 상호 보완적인 역할을 통해 법률의 목표를 실현하고 있다.

「미래자동차부품산업법」은 경제적 안정성, 기술자립성, 산업경쟁력 강화를 주요 정책가치로 설정하고 있다. 이를 달성하기 위해 산업경쟁력 강화를 중심으로 한 다양한 정책 수단을 활용하고 있으며, 특히 기술개발 및 사업화는 혁신적인 부품 기술을 개발하여 글로벌 시장에서의 경쟁력을 높이도록 규정하고 있다. 기업·산업 육성과 기술개발 및 사업화, 기반구축, 인력양성, 특화단지 조성, 기업상호개발협력 촉진, 특례 등 규정이 경쟁력 있는 기업을 육성하고, 혁신적인 기술개발과 이를 상용화, 특화된 단지에서 관련 기업들이 효율적으로 협력하고 자원을 공유할 수 있는 환경을 제공한다. 또한 국내외 기업 간 기술교류와 공동 연구개발을 통해 산업경쟁력을 강화한다. 아울러 특례제도와 특별회계·기금 운용 등은 정책 수단의 유연성과 지속가능성을 보장함으로써 특정 상황에 빠르게 대응할 수 있는 법적 기반을 제공하고, 안정적인 재정 지원을 통해 정책의 지속적인 실행을 가능하게 하도록 하고 있다. 다만 본 법이 지향하는 경제적 안정성과 관련한 규정은 다소 적게 구성되어 있어, 약한 정합성을 보였다. 즉, 본 법을 구성하고 있는 정책 수단은 설정된 정책가치와 대체로 높은 정합성을 보이며, 특히 기술자립화와 산업경쟁력을 중심으로 법률의 정책가치 실현을 도모하고 있음을 알 수 있다.

〈표 8〉 법률의 목적과 정책수단의 가치 정합성 분류 결과

(괄호: 규정 수)

법률	정책가치 분류				
	규정 목적	경제적 안정성	국가안보	기술자립성	산업경쟁력
「소재부품장비 특별법」	경제적 안정성	매우 약한 정합성(3)			
	국가안보		매우 약한 정합성		
	기술자립성			높은 정합성 (11)	
	산업경쟁력				매우 높은 정합성 (23)

법률	정책가치 분류				
	목적 \ 규정	경제적 안정성	국가안보	기술자립성	산업경쟁력
「국가자원안보 특별법」	경제적 안정성	높은 정합성(8)			
	국가안보		매우 높은 정합성(10)		
	(기술자립성)			매우 약한 정합성(2)	
	(산업경쟁력)				높은 정합성(7)
「공급망 안정화법」	경제적 안정성	매우 높은 정합성(14)			
	국가안보		높은 정합성(9)		
	(기술자립성)				
	(산업경쟁력)				매우 약한 정합성(4)
「미래자동차 부품산업법」	경제적 안정성	약한 정합성(6)			
	(국가안보)				
	기술자립성			높은 정합성(9)	
	산업경쟁력				매우 높은 정합성(18)

- 주1) 법률의 목적과 규정의 정책가치의 정합성 정도는 법률 내 규정의 정책가치 현황에 기반하여 평가함.(예, 규정에 정책가치가 많이 반영될수록 높은 정합성 부여)
- 주2) 법률의 목적별 정책가치 현황은 로 표기, 즉, () 표기된 법률 목적의 정책가치는 해당 법률에 해당하지 않는 정책가치임.
- 주3) 로 표기된 부분은 법률 목적과 규정의 정책가치 정합성이 부합하지 않는 경우에 해당함. 예를 들어 「국가자원안보특별법」은 산업경쟁력을 지향하지 않으나, 규정에서는 산업경쟁력에 해당하는 다수의 규정이 포함됨.

V. 소재·부품·장비 공급망 확충을 위한 법률 효과적 운영 방안

앞서 정리·분석된 내용에 따르면, 각 법률은 공통적으로 경제적 안정성과 산업경쟁력 강화를 중요한 정책가치로 설정하고 있으며, 이를 달성하기 위해 다양한 정책 수단을 활용하고 있다. 특히, 「소재부품장비산업법」은 국가안보와 기술자립성까지 포함하여 네 가지 주요 정책가치를 포괄적으로 다루고 있다. 이는 산업 전반의 경쟁력과 안정성을 동시에 강화하고자 하는 포괄적인 접근 방식을 반영한다. 반면, 「국가자원안보 특별법」과 「공급망안정화법」은 주로 경제적 안정성과 국가안보에 집중하고 있으며, 다른 정책가치에 대한 반영은 상대적으로 제한적이다. 이러한 법률들은 국가의 핵심 자원 확보와 공급망의 안정성을 통해 국가 안보와 경제적 안정성을 강화하는 데 중점을 두고 있다. 또한, 「미래자동차부품산업법」은 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 주요 정책가치로 설정하고 있으며, 미래자동차 부품산업의 특성을 반영한 특화된 정책 수단을 도입하여 첨단 기술 산업 생태계 구축에 집중하고 있다. 이는 특정 산업 분야에 특화된 접근을 통해 글로벌 경쟁력을 확보하려는 전략적 의지를 보여준다.

법률별 정책가치와 정책 수단의 정합성 분석을 통해 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 각 법률이 설정한 구체적인 정책가치와 수단의 차별화는 국가의 다양한 전략적 필요와 산업별 특성을 반영한 것이다. 「소재부품장비산업법」은 기술자립성과 산업 전반의 경쟁력을 동시에 추구하는 반면, 「국가자원안보 특별법」과 「공급망안정화법」은 자원 안보와 경제적 안정성에 더욱 집중하고 있다. 이는 정책의 효과성을 높이기 위해 각 법률이 목표로 하는 바에 따라 맞춤형 접근을 채택하고 있음을 시사한다.

둘째, 기술자립성과 산업경쟁력 강화를 중시하는 법률들은 국내 기술의 독립적인 발전과 글로벌 시장에서의 경쟁 우위 확보를 목표로 하고 있다. 특히, 미래자동차 부품산업 관련 법률은 첨단 기술 산업 생태계 구축을 통해 기술적 자립성과 환경적 지속가능성을 추구함으로써, 산업의 미래 경쟁력을 확보하려는 전략적 접근을 보여준다.

셋째, 다양한 정책 수단을 통해 경제적 안정성, 국가안보, 기술자립성, 산업경쟁력 강화 등의 정책가치를 동시에 추구함으로써, 보다 종합적이고 지속가능한 공급망 안정화 체계를 구축할 수 있다. 이는 정책 목표 달성의 효과성을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

네 가지 주요 법률은 국가의 전략적 필요와 산업별 특성에 따라 다양한 정책가치를 설정하고, 이를 실현하기 위한 구체적인 정책 수단을 도입함으로써, 국가 경제와 안보를 동시에 강화하는

데 기여하고 있다. 이러한 종합적인 접근은 경제적 안정성과 국가 안보를 보장하는 동시에, 기술 자립성과 산업경쟁력을 강화하여 국내 산업의 글로벌 경쟁력을 확보하는 데 중요한 역할을 한다. 향후 정책 수립 및 실행 시 이러한 법률들의 특성과 정책 수단의 정합성을 고려하여, 보다 효과적이고 통합적인 공급망 안정화 전략을 마련하는 것이 필요할 것이다.

본 연구는 법률의 목적과 규정별 정책가치 분석을 통해 법이 지향하는 목적 달성을 위한 정책 수단의 적절한 활용 여부를 확인하였다. 분석 결과를 기반으로 다음의 정책적 제언을 하고자 한다.

첫째, 법률의 목적을 실현하기 위한 규정의 수정 및 보완을 고려할 필요가 있다. 우선, 법률의 정책가치 정합성이 가장 높은 법률은 「공급망안정화법」로 나타났다. 「공급망안정화법」은 법률이 설정한 경제적 안정성과 국가 안보라는 명확한 목표 달성을 위해 적절한 정책수단을 효과적으로 활용하고 있었다. 반면 이 외의 법률은 목적 실현을 위한 규정의 보완 및 개선이 필요하다고 볼 수 있다. 예를 들어, 「국가자원안보 특별법」은 법률의 목적과 관련이 적은 산업경쟁력에 해당하는 규정이 다수 포함되어 있고, 「소재부품장비 산업법」은 국가안보라는 목적 실현을 위한 규정이 포함되어 있지 않아, 보다 구체적이고 집중적인 정책수단의 보완을 고려해볼 필요가 있을 것이다. 이는 법률의 본질적 가치와 수단적 가치의 정합성을 확인하여 법률의 실현성을 높여 정책의 올바른 추진을 가능하도록 할 것이다.

특히, 「공급망안정화법」을 제외하고는 공급망 확충과 관련된 법률의 규정 정비가 필요하다. 「국가자원안보 특별법」의 경우 산업경쟁력 관련 규정이 법률의 주요 목적과 부합하지 않으므로, 해당 규정을 축소하거나 다른 법률로 이전하여 법률의 목적 정합성을 높일 필요가 있다. 또한 「소재부품장비 산업법」 또한 국가안보와 직결되는 규정을 도입하여 산업 경쟁력을 동시에 강화할 수 있는 기반을 마련하거나, 또는 국가안보를 본 법률의 목적에서 제외하는 방안도 고민해볼 수 있을 것이다. 이러한 법률들 간의 정합성 강화는 산업계와 정부 간의 신뢰를 구축하고, 효율적인 자원 배분을 가능하게 하여 소재·부품·장비 산업의 혁신과 성장을 촉진할 것으로 기대할 수 있다. 따라서 각 법률의 정책가치 정합성을 높이는 노력은 산업과 국가의 발전을 도모하는데 필수적인 요소라 할 수 있다.

둘째, 법률의 정책가치 정합성을 지속적으로 모니터링하여 정책을 개선해 나가는 체계 마련이 필요할 것이다. 정합성이 높아 목표를 효과적으로 달성할 수 있는 법률이 있는 반면, 개선이 필요한 법률이 있기도 하지만, 환경의 지속적인 변화와 새로운 도전에 대응하기 위해서는 지속적

인 모니터링과 유연한 개선이 필수적이다. 본 연구의 정합성 분석 결과를 바탕으로 법률의 실효성을 높이고 법률이 지향하는 정책가치를 지속적으로 강화함으로써 법률의 체계적이고 유연한 운영이 이루어져야 할 것이다. 법률의 정책가치 정합성으로 정책의 유연성을 높이고, 변화하는 경제 및 기술 환경에 신속하게 대응할 수 있게 할 것이다.

셋째, 법률의 목적과 정책 수단의 통합적 관리를 통해 법률의 효과성과 효율성을 높이고 정책 목표 달성에 기여할 수 있는 방향으로 법체계 관리가 가능할 것이다. 목적의 정책가치와 규정의 정책가치 간에 일치하지 않는 규정들을 식별하고, 이를 수정하거나 보완하여 법의 일관성을 강화할 수 있고, 목적에 부합하지 않거나 중복되는 규정을 제거하여 법률의 간결성과 효율성을 높일 수 있다. 또한 여러 정책가치가 충돌하는 경우, 우선 순위를 재조정하여 법률의 목적에 더 부합하는 방향으로 정책을 설정하고, 법률 제정 시 달성하고자 하는 정책가치를 고려하여 정책수단을 설계함으로써 균형 잡힌 정책 수립이 가능하게 할 것이다. 아울러 법률의 목적과 정책가치가 일치하도록 구체적인 시행 지침이나 가이드라인을 마련하여 집행 과정에서의 일관성을 유지할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 국가공무원인재개발원 연구개발센터(2018), 정책기획 이론과 실제,
김규판, 이형근, 김승현, 손원주(2023), 「일본의 글로벌 공급망 리스크 관리와 한·일 간 협력방안 연구」,
연구보고서 23-10, 대외경제정책연구원.
- 김종덕, 김영귀, 구경현, 연원호, 예상준, 최원석, 조성훈, 김혁황, 금혜윤, 정민철(2023), 「경제안보
시대의 공급망 재편 동향과 시사점」, *KIEP 오늘의 세계경제*, Vol. 23, No. 16, 대외경제
정책연구원.
- 김양희(2022), 「한국형 경제안보전략의 모색과 IPEF」, 서울: 외교안보연구소.
- 곽성일(2023), 「한국의 경제안보 추진 방향」, 『외교』, 제145호, 한국외교협회, p. 54-65.
- 소영진(2008), 「정책평가에 있어서 가치의 역할에 관한 소고」, *정책분석평가학회보*, 제19권, 제3호,
pp. 39-72.
- 유현정(2024), 「글로벌 기술공급망 재편과 시사점」, *한국동북아논총(Journal of Northeast Asian
Studies)*, Vol.29, No.1, pp. 97-121.
- 이시경(2014), 「환경정책의 가치체계: 목표가치와 수단가치를 중심으로」, *한국자치행정학보*, 제28권,
제2호, pp. 21-43.
- 이정희, 오철호(2016), 「우리나라 중소기업정책가치에 대한 탐색적 연구: 역대 행정부의 중소기업
정책가치의 변화와 추세를 중심으로」, *한국사회와 행정연구*, 제27권, 제1호, pp. 209-243.
- 임종식(2021), 『지경학의 이론과 실제』, 바른북스.
- 오철호(2008), 「문제제기: 평가설계와 가치의 재인식」, *정책분석평가학회보*, 제19권, 제3호, pp.
1-13.
- 전현희, 이준(2024), 「공급망 3법과 한국형 경제안보, 도전과 과제는?」, *월간 KIET 산업경제*, 2월호
‘특집’, 산업연구원.
- 정선영, 이아람, 정동재, 최준, 안병탁(2024), 「글로벌 공급망으로 본 우리경제 구조변화와 정책대응」,
BOK 이슈노트, 제2024-28호, pp. 43.
- 정정길, 최종원, 이시원, 정준금, 정광호(2016), 정책학원론, 대명출판사
- 조용래, 박현준, 이선아, 최종화, 이정노(2020), 「산업기술안보 관점의 국가 전략목적기술(CPT)
도입과 정책방향」, 『STEPI Insight』, 제256호, 과학기술정책연구원, pp. 49.
- 최세경, 오동윤, 한국중소기업학회(2015), 「중소기업 지원 정책의 정당성과 정부 역할 연구」,
중소기업연구원
- 최원석, 한형민, 조성훈, 홍진희, 윤형준, 차정미(2023), 「글로벌 경제안보 환경 변화와 한국의 대응」,
『연구보고서 23-09』, 대외경제정책연구원, pp. 322.
- 현대경제연구원(2022), 「반도체 산업 글로벌 공급망의 구조적 변화와 시사점」, 『VIP 리포트』,
22-2(통권 740호), pp. 32.
- 국가법령정보센터, <<https://www.law.go.kr/main.html>>

- Ackoff R. L. (1981), *Creating the Corporate Future: Plan or be Planned For*, John Wiley & Sons.
- Andrews, R. (1980), "Values Analysis in Environmental Policy", *Policy Studies Journal*, Vol.9, No.3, pp. 369-378.
- Bingham D. W. (1966), "Rationality in Policy-Making", *Public Administration Review*, 26(2), pp. 120-128.
- Dunn W. N. (1978), *Public Policy Analysis: An Introduction*, Scott, Foresman.
- Dye T. R. (1972), *Understanding Public Policy*, Prentice Hall.
- Edler J., Blind K., Frietsch R., Kimpeler S., Kroll H., Lerch C., Reiss T., Roth F., Schubert T., Schuler J. and Walz R. (2020), "Technology sovereignty: From demand to concept [Technologiesouveränität: Von der Forderung zum Konzept]", *Perspectives – Policy Briefs*, 02/2020, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI).
- Habermas J. (1996), *Between Facts and Norms: Contributions to a Discourse Theory of Law and Democracy*, MIT Press.
- Kalambokidis, L.(2014), "Creating Public Value with Tax and Spending Policies: The View from Public Economics", *Public Administration Review*, Vol.74, No.4, pp. 519-526.
- Lasswell, H.(1951), "The Policy Orientation" in Lemer, Daniel, and Harold Lasswell eds. *Policy Sciences, Recent Developments in Scope and Method*, Stanford: Stanford Univ. Press. pp. 3-15.
- Pressman J. L. and Wildavsky A. (1973), *Implementation: How Great Expectations in Washington Are Dashed in Oakland: or, Why It's Amazing that Federal Programs Work at All*, University of California Press.
- Ray T. (2021), "Trust but Verify: A Narrative Analysis of "Trusted" Tech Supply Chains", *Digital Frontiers*, April 21.
- Sabatier P. A. (1988), "An Advocacy Coalition Framework of Policy Change and the Role of Policy-Oriented Learning therein", *Policy Sciences*, 21(2-3), pp. 129-168.
- Schwab K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*, Crown Currency.
- Stewart, J.(2009), *Public Policy Values*, Springer
- Webb P. and Sabatier P. (2004), "Updating the Advocacy Coalition Framework: Key Concepts and Policy Subsystems", In Sabatier P. A. (Ed.), *Theories of the Policy Process*, Westview Press, pp. 248-274.
- Yossi S. (2007), *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*, MIT Press.

Strategies for enhancing the efficiency of supply chain stabilization laws in the materials, parts, and equipment sector using administrative value theory

Jeon Jieun

– Abstract –

This study examines key domestic laws aimed at expanding these supply chains, specifically the “Act on Special Measures to Strengthen Competitiveness and Stabilize Supply Chain of Materials, Components, and Equipment Industry”, the “National Resource Security Special Act”, the “Framework Act on Supply Chain Stabilization Support for Economic Security”, and the “Special Act on Transition Facilitation and Ecosystem Development for Future Automobile Parts Industry”. Using the policy value theory, the research analyzes the policy objectives and means of these laws, categorizing their policy values based on goals such as economic stability, national security, technological self-reliance, and industrial competitiveness.

The findings reveal that the “Act on Special Measures to Strengthen Competitiveness and Stabilize Supply Chain of Materials, Components” comprehensively addresses technological self-reliance and the enhancement of industrial competitiveness. In contrast, the “National Resource Security Special Act” and the “Framework Act on Supply Chain Stabilization Support for Economic Security” predominantly focus on economic stability and national security. Additionally, the “Special Act on Transition Facilitation and Ecosystem Development for Future Automobile Parts Industry” prioritizes technological self-reliance and industrial competitiveness, reflecting the specific characteristics of the automotive sector. A notable observation is that while the “National Resource Security Special Act” aims to achieve economic stability and national security, the policy measures within the law emphasize technological self-reliance and industrial competitiveness, indicating a partial mismatch between the intended policy values and the implemented strategies.

This study proposes that enhancing the consistency of policy values between objectives and means can improve the effectiveness of these laws. Furthermore, it suggests improvements in the policy formulation and implementation processes. By ensuring policy value alignment, the research aims to contribute to the development of integrated and effective strategies for stabilizing supply chains, thereby addressing the economic and security challenges faced by the nation.

Key words

Supply chain stability, Materials, parts, and equipment industry, Policy value theory, Economic security, Legal analysis

| 논문 |

제조공학 연구의 지식구조, 글로벌 협력 및 핵심 주제 분석 : 한국, 일본, 독일의 비교를 중심으로

김 문 구

한국전자통신연구원 ICT전략연구소 책임연구원

박 종 현

한국전자통신연구원 ICT전략연구소 책임연구원

백 종 현

서강대학교 일반대학원 기술경영 박사수로

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

제조공학 연구의 지식구조, 글로벌 협력 및 핵심 주제 분석

: 한국, 일본, 독일의 비교를 중심으로

김문구*, 박종현**, 백종현***

- 초 록 -

4차 산업혁명과 디지털 전환의 가속화로 글로벌 경제에서 제조업의 전략적 중요성이 더욱 부각되고 있다. 본 연구는 제조업의 기반 학문이자 산업혁신을 견인하는 제조공학 분야에서 한국, 일본, 독일의 지식구조와 협력 특성, 핵심 주제를 비교·분석하였다. 구체적으로 Web of Science 데이터베이스에서 2010년부터 2023년까지 발표된 논문들을 대상으로 서지분석, 주제분석, 네트워크 분석, 클러스터링을 수행하였다. 분석 결과, 한국은 글로벌 지식생산에서 글로벌 최상위권을 유지하고 있으나 2015년 이후 성장이 정체되었으며, 독일과 비교할 때 논문의 영향력과 국제 협력 수준이 상대적으로 미흡한 것으로 나타났다. 세 국가 모두 제조기술 혁신과 AI 적용을 중심으로 연구주제가 진화하는 가운데, 일본은 정밀 기계가공 분야, 독일은 첨단 공정과 지능형 생산시스템 분야에 특화된 반면, 한국은 제조와 IT 융합 연구에서 강점을 보였다. 분석결과를 바탕으로 한국 제조공학 연구의 지식 성장과 영향력 강화, 허브형 연구기관 육성, 글로벌 협력 강화, 연구주제 전문화와 차별화를 시사점으로 제시하였다.

주 제 어 제조공학, 서지분석, 주제분석, 지식구조, 연구협력

논문접수일 2024년 4월 22일 수정논문 제출일 2024년 12월 16일 게재확정일 2024년 12월 18일

* 한국전자통신연구원 ICT전략연구소 책임연구원, mkkim@etri.re.kr

** 한국전자통신연구원 ICT전략연구소 책임연구원, stephanos@etri.re.kr(교신저자)

*** 서강대학교 일반대학원 기술경영 박사수료, jhpaik@sogang.ac.kr

I. 서론

현대 경제에서 제조업은 높은 부가가치 창출과 양질의 일자리 제공을 통해 경제 발전을 견인할 뿐만 아니라, 기술혁신을 통한 생산성 향상과 산업 고도화를 주도하고 있다. World Bank(2023)와 WTO(2023)에 따르면, 2022년 기준 제조업은 전 세계 GDP의 약 16%를 차지하고, 글로벌 교역의 50% 이상을 점유하며 세계 경제의 중추적 역할을 담당하고 있다.

최근 4차 산업혁명의 진전과 디지털 전환이 가속화되면서 제조업의 전략적 중요성이 더욱 부각되고 있다. 인공지능(AI), 사물인터넷, 로봇, 디지털 트윈 등 첨단 디지털 기술과 제조업의 융합은 스마트 제조를 구현하며 새로운 부가가치 창출의 기회를 제공하고 있다(과학기술정책연구원, 2022). 이러한 환경 변화에 대응하여 주요국들은 2010년 이후 제조업 경쟁력 강화를 위한 다양한 정책을 추진하고 있다(스마트제조혁신추진단, 2022). 미국은 다양한 첨단제조정책과 리쇼어링 정책을 통해 제조업 부흥을 도모하고 있으며, 중국은 ‘중국제조 2025’를 통해 제조강국으로의 도약을 추진하고 있다. 일본은 ‘Society 5.0’과 ‘Connected Industries’를 중심으로 제조업의 디지털 전환과 첨단 소재·부품 산업의 고도화에 주력하고 있으며, EU는 ‘European Industrial Strategy’를 통해 디지털 전환과 친환경 전환을 결합한 제조업 혁신을 가속화하고 있다. 특히 독일은 ‘인더스트리 4.0’을 통해 제조업의 디지털화와 스마트화를 선도하며 글로벌 제조혁신을 주도하고 있다.

제조업의 혁신에서 제조공학은 핵심적인 공학적 기반과 응용을 제공한다. 제조공학(manufacturing engineering)은 제품 설계부터 생산 공정, 품질 관리에 이르는 제조 전반의 과학적 원리와 기술적 방법을 연구하는 학문 분야로서, 제조업 발전의 근간이 되어왔다(Kalpakjian와 Schmid, 2009; Groover, 2020). 최근 AI 기반 스마트 제조, 적층 제조, 정밀 가공 등 첨단 제조 기술의 급속한 발전으로 제조공학의 학문적·실무적 중요성이 더욱 부각되고 있다(ElMaraghy 외, 2021).

이러한 배경에서 제조공학 분야의 연구는 양적·질적으로 급속히 성장하고 있으며, 연구 영역도 지속적으로 확장되고 있다. 그러나 선행연구 검토 결과, 제조공학 분야의 연구동향과 특성을 체계적으로 분석한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 글로벌 제조업을 선도하고 유사한 산업특성을 가진 한국, 일본, 독일의 제조공학 연구를 비교 분석한다. 이들 국가들은 제조업 중심의 산업구조와 높은 글로벌 경쟁력이라는 공통점을 가지면서도, 각각의 주력 산업에서 차별적 특성을 보인다. 이들 국가의 제조공학 연구에 나타난 유사성과 차이점을 규명하는

것은 학술적 의미와 더불어, 국내 제조공학 연구의 발전 방향을 제시할 것이다

이를 위해 본 연구는 Web of Science 데이터베이스에 수록된 학술논문을 대상으로 서지분석과 주제분석을 실시하고자 한다. 구체적으로 다음과 같은 세 가지 연구과제를 설정하여 한국, 일본, 독일의 제조공학 연구를 체계적으로 비교 분석하고자 한다.

- 연구과제 1: 제조공학 연구의 지식생산과 영향력 비교 분석
- 연구과제 2: 제조공학 연구의 글로벌 협력 네트워크 비교 분석
- 연구과제 3: 제조공학 연구의 핵심 주제 및 주제 진화 비교 분석

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 한국, 일본, 독일의 제조업 특성을 파악하고, 제 III장에서는 선행연구를 고찰하고 본 연구의 방법론과 연구 프로세스를 기술하였다. 제 IV장에서는 세 국가의 제조공학 연구의 지식생산, 참여기관, 글로벌 협력, 연구주제에 대한 비교 분석 결과를 제시하였다. 제 V장은 결론으로 연구의 요약과 시사점, 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 한국, 일본, 독일의 제조업 특성 비교

본 연구는 한국, 일본, 독일의 제조업이 지닌 유사성과 차별점을 비교하였다. 그런데 이들 3개국은 제조업뿐만 아니라 <표 1>과 같이 일부 사회·경제적 측면에서 유사한 특성을 보인다. 한국통계청(2024)에 따르면, 2022년 기준 이들 국가들은 모두 OECD 회원국으로서 인구 규모가 5천만 명에서 1.5억 명 사이에 분포하여 세계 10~30위권에 해당한다. 국가별 GDP는 모두 세계 10위권에 속하며, 1인당 GDP는 3만 달러를 상회한다. WTO(2023) 자료에 의하면, 2022년 세계 교역 규모에서도 이들 국가는 모두 글로벌 상위 6위권 내에 포함되어 있다.

<표 1> 한국, 일본, 독일의 사회·경제적 특성 비교

구분	한국		일본		독일	
	수치	순위	수치	순위	수치	순위
1. 전체 인구 (천명, 2022)*	51,674	29	124,998	12	84,086	19
2. 전체 GDP (10억 달러, 2022)*	1,663	10	4,645	3	3,677	4
3. 1인당 GDP (달러, 2022)*	32,177	23	37,124	21	43,878	15
4. 상품 무역 (10억 달러, 2022)**	684	6	747	5	1,655	3

* 통계청, 국가통계포털(KOSIS)의 해당 부분.

** WTO, World Trade Statistical Review 2023, 2023.

제조업 분야에서 이들 국가들은 세계적 경쟁력을 보유하고 있다는 공통점을 지닌다. <표 2>에서 보듯이, 통계청(2024)에 따르면, 2022년 GDP 대비 제조업 비중에서 한국이 25.6%로 OECD 국가 가운데 2위를 차지하고 있으며, 일본(19.2%, 7위)과 독일(18.4%, 8위)이 뒤를 잇고 있다. 한국경제자총협회 보고서(2024)에 따르면, 반도체, 디스플레이, 2차전지, 전기차, 바이오, 로봇으로 구성된 6대 첨단전략산업의 2022년 세계 수출시장 점유율에서 독일이 8.3%로 2위, 한국이 6.5%로 5위, 일본이 3.2%로 6위를 기록했다. 통계청(2024년)에 따르면, 2022년 글로벌 제조업 부가가치액 점유율은 일본(5.1%, 2위), 독일(4.7%, 3위), 한국(2.7%, 5위) 순으로 나타났으며, 유엔 산업개발기구(UNIDO)에 의하면 2022년 글로벌 제조업 경쟁력 지수에서 독일(0.38, 1위), 한국(0.30, 4위), 일본(0.28, 8위)이 모두 상위권에 해당되었다.

<표 2> 한국, 일본, 독일의 제조업 글로벌 경쟁력 비교

구분	한국		일본		독일	
	비율·지수	순위	비율·지수	순위	비율·지수	순위
1. GDP 대비 제조업 비중 (2022년)*	25.6%	2위	19.2%	7위	18.4%	8위
2. 6대 첨단산업 세계 수출시장 점유율 (2022년)**	6.5%	5위	3.2%	6위	8.3%	2위
3. 글로벌 제조업 부가가치액 점유율 (2022년)***	2.7%	5위	5.1%	2위	4.7%	3위
4. 글로벌 제조업 경쟁력 지수 (2022년)****	0.30	4위	0.28	8위	0.38	1위

* 통계청, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA906&conn_path=I3. (순위는 OECD 국가 가운데 순위).

** 한국경제자총협회, 6대 국가첨단전략산업 수출시장 점유율 분석 및 시사점, 2024.

*** 통계청, 국제통계연감, 2024.

**** United Nations Industrial Development Organization(UNIDO), Competitive Industrial Performance (CIP) indexes.

앞서 살펴본 공통점과 달리 한국, 일본, 독일은 주력 제조업과 산업생태계 측면에서 차이점이 존재한다(스마트제조혁신추진단, 2022; 산업연구원, 2024; UN, 2023; IRF, 2024).

한국은 반도체, 디스플레이, 배터리, 조선, 자동차, 가전산업을 중심으로 한 수출주도형 산업 구조를 특징으로 한다. 특히 스마트폰, 메모리 반도체, 디스플레이 등 첨단 IT 제조 분야에서 세계적 경쟁력을 보유하고 있다. 그러나 대기업 중심의 산업생태계로 인해 중소기업의 경쟁력은 일본, 독일에 비해 상대적으로 취약한 상황이다. 일본은 자동차, 기계, 전자산업, 화학을 주력 제조업으로 보유하고 있으며, 특히 글로벌 산업용 로봇 생산의 절반 이상을 차지하는 로봇제조

강국이다. 또한 글로벌 제조 공급망에서 핵심 부품·소재의 주요 공급자 역할을 담당하며, 고부가가치 제조업 전반에서 우수한 기술역량을 보유하고 있다. 독일은 자동차, 기계, 화학, 철강, 제약 산업을 주력 제조업으로 하며, 글로벌 경쟁력을 갖춘 대기업과 중소기업 간 협력생태계가 핵심 강점으로 작용하고 있다. 특히 공작기계와 친환경 제조산업에서 세계적 경쟁우위를 확보하고 있다.

III. 선행연구 고찰과 연구방법론

1. 선행연구 고찰

본 연구는 제조 분야의 선행연구를 검토하였다. Google Scholar, Scopus, 한국학술지인용색인(KCI) 등 국내외 주요 학술데이터베이스를 분석한 결과, 2020년 이전에는 관련 연구가 부족했으나, 2020년 이후 연구가 점차 증가하는 추세를 보였다. 주요 선행연구를 살펴보면 다음과 같다.

우선 해외 연구의 경우, Franceschini와 Maisano(2011)는 제조분야 학술저널을 대상으로 서지분석을 수행하여 저널들의 영향력을 비교 분석하였다. Sangwan과 Mittal(2015)은 서지분석을 통해 친환경 제조 관련 연구의 기원과 개념, 범위 및 특징을 파악하였다. Caviggioli와 Ughetto(2019)는 적층 제조의 산업적, 사회적, 비즈니스적 영향에 관한 학술문헌을 분석하여 연구 방향, 참여기관, 연구 협력 현황을 도출하였다. Ante(2021)는 스마트 제조에서의 디지털 트윈 기술 적용에 대한 서지분석과 탐색적 요인분석을 통해 주요 연구 동향을 분석하였다. Lee 외(2021)는 첨단 제조 및 엔지니어링 분야의 서지분석을 통해 디지털 전환 관련 연구동향을 파악하였다. Tiwari 외(2022)는 스마트 제조와 지속가능성에 대한 서지분석을 통해 두 주제 간 학문적 연계성을 중심으로 주요 연구주제, 저널 영향력, 지적·사회적 구조를 분석하였다. Kaur 외(2023)는 스마트 제조 관련 학술문헌의 서지분석을 통해 인더스트리 4.0 환경에서의 생산성 향상을 위한 스마트 제조 구현 방향을 제시하였다.

국내에서는 2020년 이후 관련 연구가 본격화되었다. 김기범과 이정우(2020)는 동시 출현 단어 분석 등 서지분석 기법을 활용하여 스마트 팩토리 관련 국내 연구동향을 분석하였으며, 권태훈(2022)은 스마트 팩토리에 대한 서지분석을 통해 국가별 연구동향, 주요 연구주제 및

국가 간 협력관계를 파악하였다. 김송주(2022)는 서지분석을 통해 국내 스마트 팩토리의 연구동향을 파악하고 기술별 핵심 주제를 도출하였다.

선행연구를 종합하면, 2020년 이후 스마트 제조, 스마트 팩토리를 중심으로 서지분석 연구가 증가하는 추세를 보이나, 제조공학 분야에 특화된 체계적인 서지분석과 주제분석은 아직 미흡한 실정이다.

2. 연구 방법론과 프로세스

본 연구에서는 연구방법으로 서지분석, 주제분석, 네트워크 분석, 클러스터링 방법을 복합적으로 적용하였다.

서지분석(bibliometric analysis)은 특정 분야의 연구지형과 지식체계를 분석하는 방법론으로 널리 활용되며, 연구 활동의 성과 평가, 연구주체의 특성 파악, 지식구조와 연구주체의 심층적 이해를 가능하게 한다(Ohlan과 Ohlan, 2022; Senthil 외, 2024). 이 방법론은 지식생산 분석, 영향력 분석, 협력관계 분석, 키워드 분석, 지식매핑 등 다양한 계량적 통계 분석과 시각화 방법을 포함한다(Noyons 외, 1999; Ohlan과 Ohlan, 2022). 주제 분석(thematic analysis)은 텍스트 데이터에서 핵심 주제와 패턴을 체계적으로 도출하는 연구방법으로, 학술 연구의 주제 발굴, 기관이나 국가 등 연구주체 간 주요 연구주제 비교, 시간에 따른 주제 변화 파악에 효과적이다(Clarke와 Braun, 2017). 주제 분석은 주로 키워드를 활용하여 수행되며, 키워드의 출현 빈도, 키워드 간 연관관계, 키워드의 진화 양상을 분석한다(Donthu 외, 2021)

네트워크 분석(network analysis)은 서지분석과 주제분석 분야에서 기관 및 국가와 같은 연구주체와 키워드와 같은 연구주체들 간의 상호연계성을 시각적으로 파악하는 데 널리 활용되는 방법이다. 이 분석 방법은 공저자 관계, 기관 및 국가 간 연구협력, 키워드 동시출현, 연구주체 간 연관성 등을 체계적으로 분석하는 데 효과적이다. 클러스터링(clustering analysis) 또한 서지분석과 주제분석에서 활용되는 고도화된 분석기법으로, 연구 데이터를 의미 있는 군집으로 분류하여 학문 분야의 구조적 특성을 파악하는 데 활용된다. 이를 통해 연구분야의 지식체계를 구조화할 수 있을 뿐만 아니라, 클러스터의 형성과 진화과정을 파악함으로써 특정 연구분야의 출현과 발전 양상을 분석하는 데 유용하다(Zupic와 Čater, 2015; Donthu 외, 2021).

본 연구는 제조공학 분야의 지식구조, 연구협력 네트워크, 그리고 핵심 연구주제를 분석하기

위해 상기 연구방법론들을 적용하였으며, 전체 연구과정은 [그림 1]과 같다. 분석 방법론의 적용에 있어 Donthu 외(2021)와 Lim 외 (2024)가 제시한 체계적 분석지침과 사례를 참조하였다.

우선 학술정보 데이터 수집을 위해 Web of Science(WoS)를 활용하였다. WoS는 엄격한 학술지 선정 기준, 신뢰성 높은 논문 데이터, 포괄적인 인용 정보, 그리고 저자, 기관, 키워드 등 메타데이터의 높은 표준화로 인해 서지분석에 널리 사용된다(Kadyan 외, 2024). 다음으로 2024년 8월 18일을 기준으로, WoS가 분류한 254개의 세부 학문 분야(WoS categories) 중 제조공학(Engineering, Manufacturing) 분야를 대상으로 검색 쿼리 WC='Engineering, Manufacturing'을 사용하여 총 338,581건의 서지정보를 수집하였다. 그리고 분석의 시간적 범위는 2010년부터 2023년까지로 한정하였으며, 이 기간 동안 발표된 200,061건의 서지정보를 분석대상으로 선정하였다. 2010년을 분석의 시작점으로 설정한 것은 독일의 '하이테크 전략 2020'(2010년)과 '차세대 제조부흥 전략 연구'(2010년)와 '인더스트리 4.0'(2011년) 발표를 기점으로 한국, 일본을 비롯한 주요 국가들이 제조업의 디지털 전환을 본격화한 시기를 반영한 것이다(김규판 외, 2017; 안성원, 2019).

수집된 학술정보 중 저널 논문(article)만을 분석대상으로 한정하고, 북 챕터(book chapter), 철회 논문, 중복 논문 등을 제외하였으며, 한국(5,619편), 일본(4,144편), 독일(4,676편)의 논문을 분석대상으로 선정하였다. 주제분석을 위해 저자 키워드에 대한 전처리 과정을 수행하였는데, 구체적으로 오타자 정정, 대소문자 통일(소문자 기준), 용어 표준화(예: 'Artificial Intelligence'를 'AI'로 통일) 등의 작업을 진행하였다. 이어 체계적인 분석을 위해 서지분석, 주제분석, 네트워크 분석, 클러스터링을 수행하였다

본 연구는 지식생산과 영향력, 협력 양상 및 주제의 시기별 변화를 분석하고자 전체 14년의 연구기간을 전기(2010년~2016년)와 후기(2017년~2023년)로 구분하였다. 본 구분은 분석기간의 중간시점을 기준으로 하되, 2017년 이후 급격한 AI 기술발전을 바탕으로 한국의 'I-KOREA 4.0', 일본의 'Society 5.0' 및 'Connected Industries' 정책 등에서 나타난 제조업의 본격적인 AI 도입 시기를 반영한 것이다(관계부처 합동, 2017; 김규판, 2018).

본 연구의 분석도구로 데이터 처리에 특화된 Python 패키지와 서지분석에 널리 사용되는 전문 소프트웨어인 Bibliometrix를 활용하였다(Aria와 Cuccurullo, 2017; Lim 외 2024).

[그림 1] 연구 프로세스

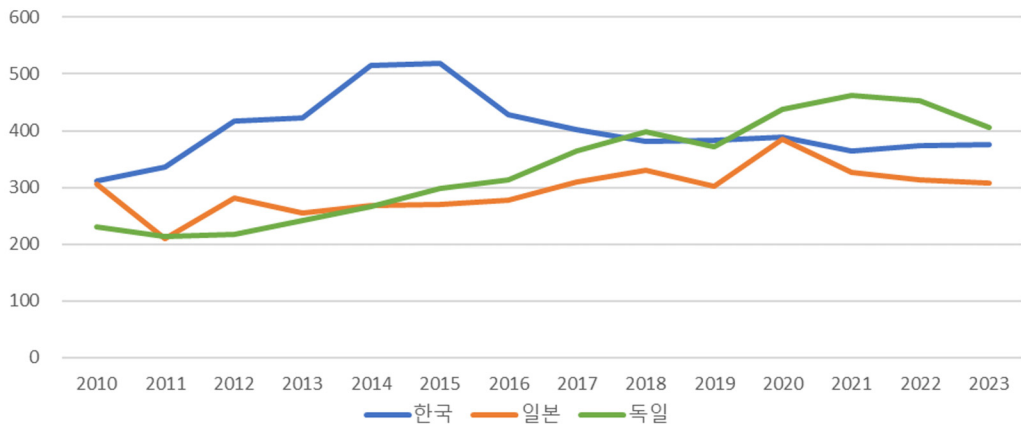


IV. 연구결과

1. 국가별 지식생산과 영향력 비교

[그림 2]는 2010년부터 2023년까지 한국, 일본, 독일의 제조공학 분야 논문 출판을 중심으로 지식생산 추이를 나타내고 있다. 세 국가 모두 활발한 지식생산을 보이고 있으나, 각국의 성장 패턴에는 주목할 만한 차이가 나타났다. 연평균 증가율(CAGR)은 독일이 4.5%로 가장 높았으며, 한국(1.5%), 일본(0.1%) 순으로 나타나 독일을 제외하곤 두 국가의 지식생산이 정체되는 것으로 나타났다. 특히 한국은 2015년에 성장률이 정점을 기록한 이후 하락 또는 정체되었으며, 독일은 상대적으로 높은 성장추세 속에서 2020년도에는 한국을 추월하였다.

[그림 2] 연도별 지식생산 추이



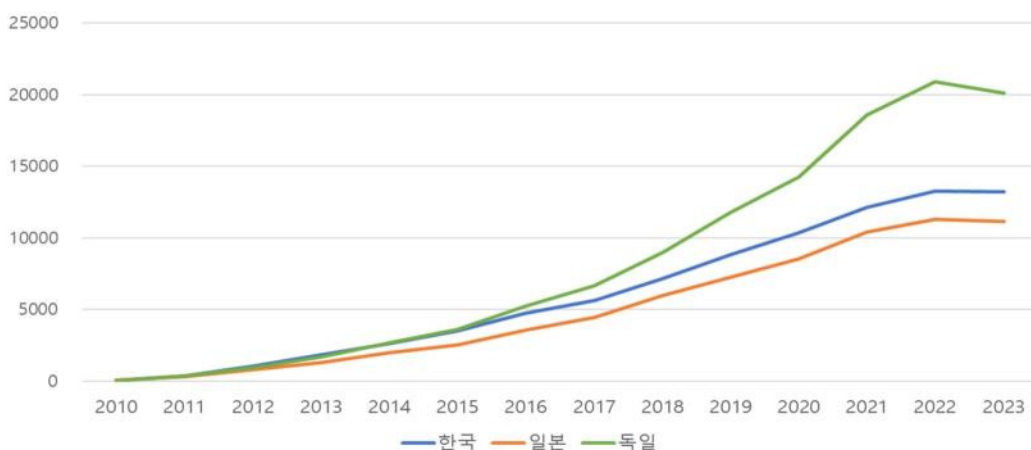
〈표 3〉은 한국, 일본, 독일의 지식생산 현황을 시기별로 구분한 결과를 보여준다. 전체 논문 수는 한국이 5,619편으로 가장 많았으며, 다음으로 독일(4,676편), 일본(4,144편) 순으로 나타났다. 그러나, 시기별로 살펴보면 다른 양상을 보였는데, 전기에는 한국이 2,950편으로, 후기에는 독일이 2,894편으로 가장 많은 논문을 출판하였다. 특히 한국은 지식생산의 글로벌 점유율과 순위에서 전기 대비 다소 하락한 것에 비해 독일은 반대로 소폭 상승하였다.

〈표 3〉 국가별 지식생산 비교

구분		전체	전기	후기
한국	논문수	5,619	2,950	2,669
	글로벌 점유율	6.0%	8.0%	4.7%
	글로벌 순위	4위	3위	6위
일본	논문수	4,144	1,868	2,276
	글로벌 점유율	4.4%	5.0%	4.0%
	글로벌 순위	7위	6위	8위
독일	논문수	4,676	1,782	2,894
	글로벌 점유율	5.0%	4.8%	5.0%
	글로벌 순위	6위	8위	5위
글로벌	논문수	94,350	36,998	57,352

논문의 질적 영향력을 피인용 수를 통해 비교한 결과, [그림 3]과 같이 국가 간에 상당한 차이가 나타났다. 독일은 누적 피인용 수와 증가율 모두에서 다른 국가들을 크게 앞섰다. 구체적으로 독일의 누적 피인용 수는 115,858회로 가장 많았으며, 연평균 피인용 증가율(CAGR) 또한 58.9%로 가장 높았다. 한국의 경우 누적 피인용 수가 84,834회로 일본의 69,611회를 상회했으나, 연평균 증가율은 한국이 49.6%, 일본이 49.8%로 거의 동일한 수준을 보였다.

[그림 3] 연도별 피인용 추이



논문의 피인용 현황을 전·후기로 구분하여 분석한 결과(〈표 4〉 참조), 국가별 논문의 영향력이 시기에 따라 상이한 변화 양상을 보였다. 전기에는 독일(14,566회)과 한국(14,236회)의 피인용 수가 유사한 수준을 보였으나, 후기에는 독일(101,292회)이 급격한 성장세를 보이며 한국(70,598회)과의 격차가 크게 확대되었다. 구체적으로, 한국과 독일 간 피인용 점유율 격차는 전기의 0.2%에서 후기에는 1.8%로 확대되었다.

〈표 4〉 국가별 피인용 비교

구분		전체	전기	후기
한국	피인용 횟수	84,834	14,236	70,598
	글로벌 점유율	4.4%	6.0%	4.2%
	글로벌 순위	8위	6위	9위
일본	피인용 횟수	69,611	10,535	59,076
	글로벌 점유율	3.6%	4.5%	3.5%
	글로벌 순위	10위	11위	11위
독일	피인용 횟수	115,858	14,566	101,292
	글로벌 점유율	6.0%	6.2%	6.0%
	글로벌 순위	5위	5위	5위
글로벌	피인용 횟수	1,932,459	235,440	1,697,019

〈표 5〉와 같이 국가별 논문의 영향력을 종합적으로 분석하고자 논문당 피인용 수와 서지 지표(bibliometric index)를 활용하였다. 연구의 생산성과 영향력을 동시에 측정하는 h -index와 높은 피인용 논문의 영향력을 중점적으로 평가하는 g -index를 사용하였다(Costas와 Bordons, 2008). 분석결과, 모든 지표에서 독일이 다른 국가들을 크게 앞서는 것으로 나타났다. 전체 기간에서 독일의 논문당 피인용 수는 24.8회로 일본(16.8회)과 한국(15.1회)을 크게 상회했으며, h -index 역시 132로 일본(95)과 한국(94)보다 훨씬 높은 수준을 보였다. 상위 피인용 논문의 영향력을 더 민감하게 반영하는 g -index에서도 독일은 208을 기록하며 일본(134)과 한국(129)을 크게 앞섰다. 이러한 격차는 전기와 후기 모두에서 나타났다.

〈표 5〉 국가별 지식 영향력 비교

구분		전체	전기	후기
논문당 피인용	한국	15.1	4.8	26.5
	일본	16.8	5.6	26.0
	독일	24.8	8.2	35.0
h -index	한국	94	35	82
	일본	95	35	83
	독일	132	47	120
g -index	한국	129	48	115
	일본	134	48	119
	독일	208	69	190

2. 국가별 참여기관 및 상위저널 비교

〈표 6〉의 국가별 지식생산에 참여한 기관들을 분석한 결과, 전체 기간에서 독일이 2,617개로 가장 많은 기관이 참여했으며, 일본(1,870개)과 한국(1,843개)은 차이가 크지 않았다. 전기 대비 후기의 참여기관 증가율에서 독일이 77%로 가장 높은 성장세를 보인 반면, 일본은 31.1%, 한국은 13.7%에 그쳤다.

〈표 6〉 국가별 지식생산 참여기관 비교

국가	전체	전기	후기	증감
한국	1,843	1,057	1,202	13.7%
일본	1,870	1,020	1,337	31.1%
독일	2,617	1,161	2,055	77.0%

〈표 7〉과 같이 국가별 참여기관 집중도를 HHI(Herfindahl-Hirschman Index)로 분석한 결과, 한국의 집중도가 가장 높게 나타났다. HHI는 시장 점유율 제곱의 합으로, 그 수치가 높을수록 소수 기관에 연구가 집중되어 있음을 의미하며 경제학, 행정학을 비롯하여 사회과학 연구에서 널리 활용된다(Rhoades, 1993). 전체 기간 동안 한국의 HHI는 0.47로 독일(0.34)과 일본(0.33)을 상당히 앞섰는데, 이는 한국의 제조공학 연구가 다른 국가들에 비해 상대적으로 소수 기관들을 중심으로 이루어지고 있음을 보여준다. 한국과 일본은 기간에 따른 HHI 변화가 거의 없는 가운데, 독일은 후기의 집중도가 조금 높아지는 것으로 나타났다. 이는 후기에 독일에서 일부 기관에 의한 연구집중이 다소 심화됨을 보여준다.

〈표 7〉 국가별 지식생산 참여기관의 HHI 지수 비교

국가	전체	전기	후기	증감
한국	0.47	0.38	0.38	0.01
일본	0.33	0.27	0.28	0.01
독일	0.34	0.26	0.31	0.05

국가별 지식생산 참여 상위 15개 기관을 살펴보면 〈표 8〉과 같았다. 세 국가 모두 대학이 80% 이상을 차지하는 공통 특성이 나타났다. 한국은 부산대(9.1%), KAIST(8.4%), 서울대(8.3%)가 1~3위를 차지한 가운데, 정부출연 연구기관(이하 출연연)인 한국생산기술연구원(5

위, 6.5%), 한국기계연구원(11위, 3.3%)과 기업체인 삼성(10위, 3.8%)이 포함되었다. 일본은 도쿄대(11.1%), 오사카대(9.9%), 도호쿠대(6.3%)가 최상위권을 형성하는 가운데 출연연인 일본 산업기술종합연구소(8위, 3.8%), 기업체인 히타치(14위, 2.2%)가 순위권에 포함되었다. 독일은 이들 국가와 달리 네트워크형 연구기관인 프라운호퍼(2위, 8.5%)와 헬름홀츠 연구협회(3위, 8.4%)가 최상위권에 포진하여 차별화된 특징을 보였다.

〈표 8〉 국가별 지식생산 상위 참여기관 비교

순위	한국		일본		독일	
	기관	점유율	기관	점유율	기관	점유율
1	부산대	9.1%	도쿄대	11.1%	아헨 공대	8.6%
2	KAIST	8.4%	오사카대	9.9%	프라운호퍼	8.5%
3	서울대	8.3%	도호쿠대	6.3%	헬름홀츠 연구협회	8.4%
4	한양대	7.4%	게이오대	5.0%	뮌헨 공대	7.4%
5	한국생산기술연구원	6.5%	도쿄공대	4.7%	프리드리히 알렉산더대	5.0%
6	연세대	5.2%	나고야대	4.6%	라이프니츠 하노버대	5.0%
7	고려대	4.9%	교토대	4.5%	도르트문트 공대	4.9%
8	성균관대	3.9%	일본 산업기술 종합연구소	3.8%	칼스루에 공대	4.7%
9	POSTECH	3.8%	도쿄농공대	3.1%	브레멘대	4.0%
10	삼성	3.8%	가나자와대	3.0%	다름슈타트 공대	3.7%
11	한국기계연구원	3.3%	와세다대	2.6%	베를린 공대	3.3%
12	울산대	3.0%	히로시마대	2.5%	드레스덴 공대	3.1%
13	영남대	3.0%	도요하시 공과대	2.3%	슈투트가르트대	3.1%
14	경북대	2.8%	히타치	2.2%	브라운슈바이크 공대	2.5%
15	UNIST	2.7%	도쿄도립대	2.1%	케미츠 공대	2.4%

국가별 논문 게재 상위 15개 저널을 비교한 결과, 〈표 9〉와 같이 9개 저널이 세 국가에 공통으로 나타났다. 이들 저널은 첨단제조와 제조공정, 복합재료 및 소재 제조, 메카트로닉스 및 전자 패키징, 생산관리와 경제 분야를 주로 다루고 있다.

국가별 특징을 비교하면, 한국은 자국의 학회에서 발행되는 ‘International Journal of Precision Engineering and Manufacturing(1위, 34.6%)’와 International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology(3위, 6.7%)가 최상위권을 형성하였으며, 정밀공학, 산업공학, 반도체 제조, 지능형 제조에 특화된 저널들이 포함되었

다. 일본 역시 자국 발행 저널인 Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing(1위, 18.3%)과 International Journal of Advanced Manufacturing Technology (5위, 7.7%)가 최상위권을 형성했으며, 기계 설계, 정밀공학, 반도체 제조, 공작기계, 일반 제조 등의 저널들이 두드러졌다. 이들 국가와 달리 독일은 자국 발행 저널이 상위권에 포함되지 않았으며, 소성가공, 스케줄링, 운영관리, 일반 제조 등에 특화된 저널들이 상위권 저널에 포함되었다. 이를 종합하면, 세 국가 모두 소재·재료, 공정, 생산경제를 포괄하는 제조 분야 전반에서 활발한 지식생산 활동을 보이는 가운데, 각국은 차별화된 연구 영역에서 강점을 나타냈다. 구체적으로 한국은 반도체 제조와 지능형 제조, 일본은 기계 설계·공작기계·반도체 제조, 독일은 생산 최적화 분야의 저널에서 우수한 지식생산 성과를 보였다.

〈표 9〉 국가별 지식생산 상위 저널 비교

순위	한국		일본		독일	
	저널명	점유율	저널명	점유율	저널명	점유율
1	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	34.6%	Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing	18.3%	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	12.4%
2	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	8.6%	Precision Engineering Journal of The International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology	12.9%	CIRP Annals Manufacturing Technology	12.0%
3	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology	6.7%	CIRP Annals Manufacturing Technology	10.1%	Journal of Materials Processing Technology	8.7%
4	IEEE ASME Transactions on Mechatronics	6.1%	Journal of Materials Processing Technology	8.6%	International Journal of Production Research	6.3%
5	IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology	3.6%	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	7.7%	Additive Manufacturing	6.1%
6	Composites Part A Applied Science and Manufacturing	3.6%	Composites Part A Applied Science and Manufacturing	5.6%	Composites Part A Applied Science and Manufacturing	5.5%

순위	한국		일본		독일	
	저널명	점유율	저널명	점유율	저널명	점유율
7	International Journal of Production Research	3.5%	IEEE ASME Transactions on Mechatronics	5.3%	International Journal of Production Economics	5.1%
8	Journal of Materials Processing Technology	3.3%	Journal of Manufacturing Processes	3.5%	International Journal of Material forming	3.6%
9	International Journal of Industrial Engineering Theory Applications and Practice	2.7%	IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology	3.2%	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	3.3%
10	IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing	2.4%	IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing	3.1%	Journal of Manufacturing Processes	3.2%
11	Journal of Manufacturing Processes	2.1%	Additive Manufacturing	2.8%	IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology	3.2%
12	Additive Manufacturing	1.8%	International Journal of Machine Tools Manufacture	2.1%	IEEE ASME Transactions on Mechatronics	2.6%
13	International Journal of Production Economics	1.8%	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	2.1%	Journal of Scheduling	2.3%
14	Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture	1.8%	International Journal of Production Economics	1.7%	Production and Operations Management	1.9%
15	Journal of Intelligent Manufacturing	1.6%	International Journal of Production Research	1.3%	Journal of Manufacturing Science and Engineering Transactions of The ASME	1.8%

3. 국가별 글로벌 협력 비교

국가별 글로벌 협력 현황을 분석한 결과, <표 10>과 같이 독일의 국제 공동연구 비율이 44.9%로, 일본(31.8%)과 한국(25.7%)을 크게 앞서는 것으로 나타났다. 다만 글로벌 협력의 연평균 증가율은 일본(6.6%)과 한국(5.3%)이 독일(2.2%)에 비해 상대적으로 높은 수준을 보였다.

<표 10> 국가별 글로벌 협력 비율 비교

구분	국가	전체	전기	후기	증감
글로벌 협력	한국	25.7%	23.1%	28.4%	5.3%
	일본	31.8%	28.2%	34.8%	6.6%
	독일	44.9%	43.6%	45.8%	2.2%

국가별 협력국가 수와 그 증가 추이는 <표 11>과 같이 국가별로 상이한 양상을 보였다. 독일은 총 82개국과 협력관계를 맺어 가장 광범위한 글로벌 네트워크를 구축했으며, 일본(72개국)과 한국(65개국)이 그 뒤를 이었다. 시기별 증가율을 살펴보면, 일본이 33.3%로 가장 높은 성장세를 보였으며, 한국(27.7%)과 독일(19.1%)이 그 뒤를 이었다

<표 11> 국가별 협력 국가 수 비교

구분	국가	전체	전기	후기	증감
협력국가수	한국	65	47	60	27.7%
	일본	72	48	64	33.3%
	독일	82	68	81	19.1%

국가별 글로벌 협력 국가를 살펴보면, <표 12>와 같이 미국과 중국이 세 국가의 최상위의 협력국가로 나타났으며 영국, 프랑스, 이탈리아, 캐나다, 호주, 스위스가 공통적인 주요 협력국으로 확인되었다. 이들 8개 공통 협력국가를 제외한 협력 패턴에서는 국가별로 상이한 특성이 나타났다

한국은 다른 국가들에 비해 일본(2.0%), 인도(1.3%), 베트남(1.1%), 싱가포르(0.9%) 등 아시아 국가들과의 협력이 상대적으로 활발하였다. 일본의 경우 한국(2.7%), 말레이시아(1.4%), 대만(0.9%) 등 아시아 국가들과 함께 독일(2.0%), 영국(1.7%), 프랑스(1.0%) 등 유럽 국가들과

의 협력이 상위권을 차지하였다. 독일은 영국(5.2%), 프랑스(4.0%), 이탈리아(3.3%), 스위스(2.7%), 오스트리아(2.4%) 등 유럽 국가들과 활발한 연구협력 네트워크를 구축하였다.

〈표 12〉 국가별 협력 상위 국가 비교

순위	한국	점유율	일본	점유율	독일	점유율
1	미국	11.2%	중국	13.4%	미국	8.9%
2	중국	5.6%	미국	6.3%	중국	6.4%
3	일본	2.0%	한국	2.7%	영국	5.2%
4	인도	1.3%	독일	2.0%	프랑스	4.0%
5	베트남	1.1%	영국	1.7%	이탈리아	3.3%
6	캐나다	1.0%	말레이시아	1.4%	스위스	2.7%
7	독일	0.9%	호주	1.3%	오스트리아	2.4%
8	싱가포르	0.9%	프랑스	1.0%	네덜란드	2.2%
9	영국	0.8%	대만	0.9%	브라질	2.1%
10	이란	0.6%	캐나다	0.7%	캐나다	2.0%
11	호주	0.5%	스위스	0.7%	스웨덴	1.9%
12	스위스	0.5%	벨기에	0.6%	스페인	1.8%
13	파키스탄	0.5%	인도	0.6%	일본	1.8%
14	프랑스	0.4%	태국	0.6%	벨기에	1.7%
15	이탈리아	0.3%	이탈리아	0.6%	호주	1.6%

세 국가 간 상호 협력관계를 분석한 결과, 〈표 13〉과 같이 삼국이 동시에 참여한 공동연구는 전체 기간 동안 4건에 불과하였다. 양국 간 협력관계를 살펴보면, 한국과 일본의 협력이 총 112건으로 가장 활발했으나, 후기에 들어 협력이 크게 감소하는 추세를 보였다. 한국과 독일 사이의 협력은 가장 저조한 수준을 보였으며 후기에도 소폭 감소하였다. 반면 일본과 독일의 협력은 후기에 큰 폭의 증가세를 나타냈다.

〈표 13〉 한국, 일본, 독일간 상호 협력 현황

구분	전체	전기	후기	증감
3국 협력	4	2	2	0.0%
한국-일본	112	71	41	-42.3%
한국-독일	53	28	25	-10.7%
일본-독일	83	33	50	51.5%

4. 국가별 핵심 연구주제 비교

본 연구에서는 저자 키워드를 중심으로 제조공학 연구의 주제분석을 수행하였다. 구체적으로 키워드 상위 출현빈도를 분석하여 핵심 주제를 도출하고, 시간의 흐름에 따른 키워드의 등장, 확산, 쇠퇴 양상을 파악하였으며, 클러스터링을 통해 키워드 간 연관성을 체계적으로 분석하였다.

국가별 상위 15개 고빈도 키워드를 분석한 결과, <표 14>와 같이 세 국가에서 FEA(Finite Element Analysis), PMCS(Process Monitoring and Control System), FEM(Finite Element Method), Additive Manufacturing, Mechanical Property, Simulation, Microstructure의 7개 키워드가 공통적으로 나타났다. 이는 세 국가가 요소 및 구조 해석, 시뮬레이션, 공정 모니터링과 제어, 적층 제조 기술 분야를 중심으로 제조와 공정 혁신을 추구하고 있음을 시사한다.

공통 상위 키워드를 제외한 국가별 연구주제는 뚜렷한 차별성을 보였다. 한국은 AI 기법 적용, 탄소섬유강화 플라스틱, 최적화, 일정계획, 3D 프린팅, 반도체 제조공정, 공정제어 등의 연구가 상위를 차지했다. 일본에서는 공작기계, 측정, 연마, 절삭, 잔류응력, 마모 등 기계가공 관련 키워드들이 주요 연구주제로 나타났다. 독일의 경우 머신러닝 기법, 레이저 기술, 잔류응력, 연삭 등 기계가공 분야와 함께 최적화 및 스케줄링 등 생산운영관리 분야에서 연구가 두드러졌다. 종합하면, 한국은 반도체, 3D 프린팅, 탄소섬유 등 신기술 제조 분야, 일본은 기계가공 관련 세부 분야, 독일은 레이저 기술과 머신러닝을 활용한 첨단 공정 분야에 상대적인 연구집중이 나타났다.

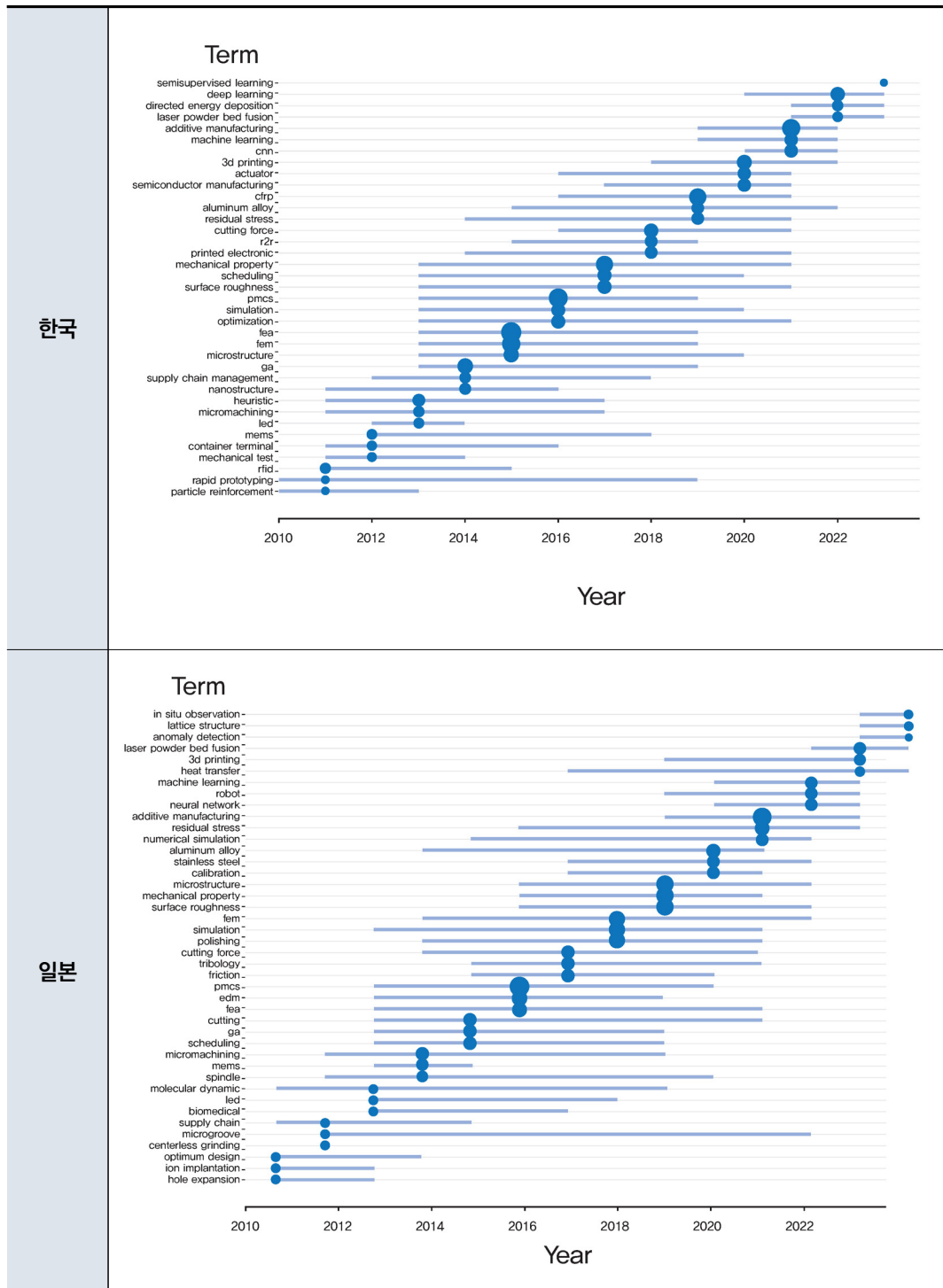
<표 14> 국가별 핵심 키워드 비교

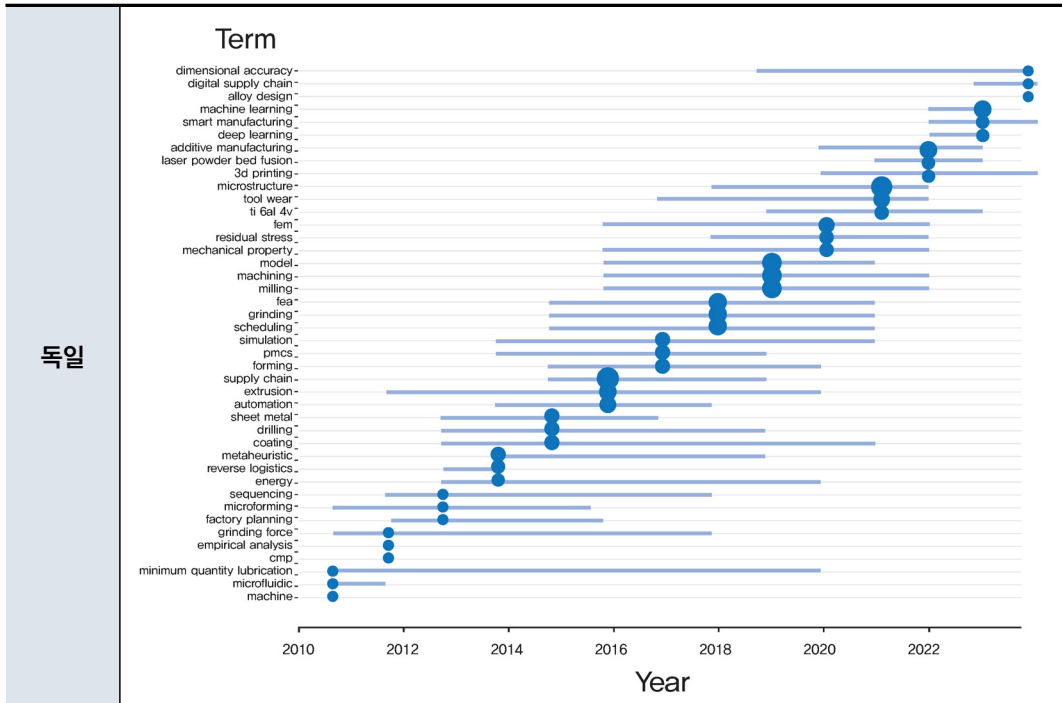
순위	한국	점유율	일본	점유율	독일	점유율
1	FEA	3.2%	PMCS	3.8%	Additive Manufacturing	5.8%
2	PMCS	2.8%	Additive Manufacturing	2.7%	Simulation	3.1%
3	FEM	2.7%	Microstructure	2.5%	FEM	2.4%
4	Additive Manufacturing	2.1%	Mechanical Property	2.3%	Microstructure	2.2%
5	Mechanical Property	1.8%	FEM	1.9%	Model	2.1%

순위	한국	점유율	일본	점유율	독일	점유율
6	Simulation	1.4%	Surface Roughness	1.7%	FEA	2.1%
7	GA	1.3%	Simulation	1.6%	Residual Stress	2.0%
8	Microstructure	1.2%	FEA	1.5%	Machine Learning	2.0%
9	CFRP	1.2%	Machine Tool	1.5%	Laser Powder Bed Fusion	1.9%
10	Optimization	1.1%	Measurement	1.3%	PMCS	1.8%
11	Scheduling	1.1%	Residual Stress	1.2%	Mechanical Property	1.8%
12	3D Printing	1.1%	Cutting	1.2%	Selective Laser Melting	1.7%
13	Surface Roughness	1.0%	CFRP	1.2%	Grinding	1.6%
14	CMP	1.0%	Polishing	1.2%	Optimization	1.4%
15	ACF	0.9%	Tool Wear	1.2%	Scheduling	1.3%

국가별 상위 키워드의 시간에 따른 출현, 성장, 쇠퇴 양상을 [그림 4]에 제시하였다. 분석을 위해 각 국가의 연간 출판 논문에서 출현 빈도 1% 이상을 기록한 키워드들을 추출하고, 이들의 생명주기를 최초 등장(emergence), 전성기(peak), 쇠퇴기(decline)로 구분하여 연구주제의 시계열적 변화를 파악하였다. 한국은 전기에는 물류·공급망, 생산시스템, 재료 공정 등이 주요 키워드였으나, 후기에는 재료 특성·시험, 신소재, 첨단 제조공정, 기계학습의 제조 적용이 핵심 키워드로 부상했다. 일본은 전기의 가공기술, 최적설계, 해석도구 중심에서 후기에는 첨단 제조 기술, AI 기법 적용, 로봇 기술로 연구 중심이 이동했다. 독일은 전기의 가공·조립기술, 생산계획·공급관리에서 후기에는 첨단 제조기술, 신소재 제조기술, 지능형 제조로 연구 주제가 변화했다. 분석 결과, 세 국가의 핵심 연구주제는 첨단 제조기술의 도입과 AI 기술 적용을 중심으로 발전해왔다. 특히 일본은 로봇 기술에, 한국과 독일은 신소재 관련 제조가 부각되었다.

[그림 4] 국가별 핵심 키워드 변화 비교



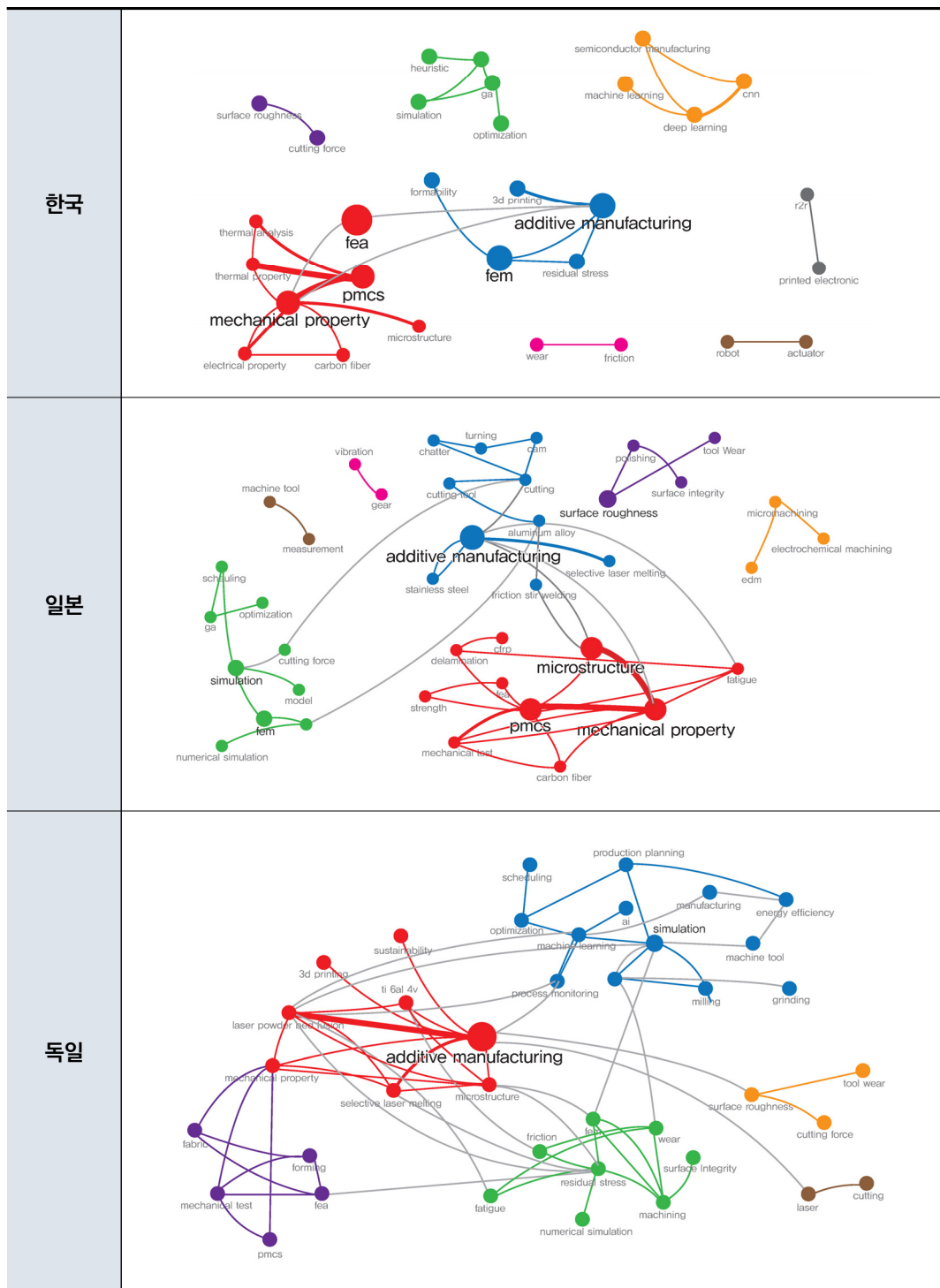


주) 각 키워드의 청색 원은 해당 키워드의 출현빈도가 최고점(peak)을 기록한 연도를 표시함

본 연구는 저자 키워드 간 연관성 파악을 위해 클러스터링을 수행하였다. 분석 대상은 각국 논문에서 0.1% 이상의 연결 빈도를 보인 키워드(한국 5회 이상, 일본·독일 4회 이상)로 선정하였다. 분석 방법으로는 소셜 네트워크, 논문 인용 네트워크 등에서 널리 활용되는 Leiden 기법을 채택하였다. 이는 Louvain 알고리즘의 임의성과 비밀관성을 개선한 방법이다(Traag 외, 2019).

클러스터 분석 결과([그림 5]), 한국은 재료 특성 분석, 첨단 제조기술, 최적화·시뮬레이션, 표면 품질 관리, AI·반도체 제조, 로봇·자동화, 마모·마찰, 인쇄 전자 기술의 8개 클러스터로 구분되었다. 일본의 경우 재료 특성·기계적 성능, 첨단 제조·가공기술, 시뮬레이션·최적화, 표면 품질 관리, 정밀 가공 기술, 기계 도구·측정, 기계 요소·진동의 7개 클러스터가 도출되었다. 독일은 첨단 제조 기술, 제조 프로세스 최적화·지능화, 재료 특성·시뮬레이션, 재료 특성·성형, 표면 품질·공구 마모, 절삭·레이저 가공의 6개 클러스터로 분류되었다. 종합하면, 세 국가는 재료 특성, 첨단 제조기술, 최적화/시뮬레이션, 표면 품질 관리 분야에서 공통적인 연구주제를 형성하였다. 그러나 각국은 서로 다른 분야에서 차별성을 지녔다. 한국은 IT 융합 기술에서, 일본은 정밀 기계 공학 분야에서, 독일은 고도화된 레이저 가공 등 첨단 제조 공정 기술에 특화되었다.

[그림 5] 국가별 키워드 기반 클러스터링 비교



V. 결론

1. 연구 요약 및 시사점

본 연구는 글로벌 제조업을 선도하며 일부 산업특성과 제조업 역량이 유사한 한국, 일본, 독일을 대상으로 제조공학 연구의 지식생산과 영향력, 글로벌 협력 관계, 핵심 연구주제의 특성과 변화를 체계적으로 비교 분석하였다. 우리나라를 중심으로 본 분석결과를 요약하고 연구 활성화를 위한 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 한국의 제조공학 분야 지식생산은 2015년까지 양적으로 우수한 성과를 보였으나, 이후 성장이 정체되었다. 특히 2020년 이후에는 독일이 연간 지식생산량에서 한국을 추월하였다. 한국은 글로벌 논문 점유율에서 6위권 내 연구 강국의 위상을 유지하고 있으나, 연간 성장률이 1.5%에 그치고 있어 제조공학 분야의 지식생산 확대가 시급한 과제로 대두되고 있다.

둘째, 한국의 논문 피인용 수는 독일에 비해 양적으로 낮았으며, 연평균 증가율에서도 뒤처졌다. 또한 지식생산과 영향력을 종합적으로 반영하는 서지 지표에서 독일과 상당한 격차를 보였다. 현재 지식 영향력에서 글로벌 8위권에 머물러 있는 만큼, 한국의 국제적 지식 영향력 제고를 위해서는 연구의 질적 수준을 제고하는 것이 필요하다.

셋째, 논문 생산에 참여하는 기관의 수는 한국이 독일에 비해 현저히 적었으며, 후기로 갈수록 격차가 심화되었다. 또한 한국은 독일과 비교하여 소수 기관에 연구가 집중되는 현상이 두드러졌다. 양국 모두 대학이 지식생산의 주요 주체로서 상위권을 형성하였으나, 독일의 경우 특징적으로 프라운호퍼, 헬름홀츠 연구협회와 같은 네트워크형 연구기관이 최상위권을 차지하였다. 따라서 한국은 독일의 네트워크형 연구기관을 벤치마킹하여 허브형 연구협력 체계를 구축할 필요가 있다.

넷째, 세 국가 모두 자국 제조업의 특성이 반영된 전문 학술지에서 차별적인 연구생산성을 나타냈다. 구체적으로, 한국은 반도체 제조와 지능형 제조 분야, 일본은 기계 설계, 공작기계, 반도체 제조 분야, 독일은 생산 최적화 분야의 학술지에서 높은 연구 생산성을 보였다. 따라서 한국은 제조공학 전반에 걸친 연구역량 강화와 함께, 기존 강점 분야에서 일본과 독일을 상회하는 연구경쟁력의 지속적 제고가 요구된다.

다섯째, 한국의 국제 공동연구 네트워크는 독일이나 일본에 비해 협력국 수가 제한적이며,

상위권 협력국을 기준으로 할 때 일본이나 독일에 비해 아시아 지역으로 상대적으로 한정되는 특징을 지니고 있다. 따라서 한국은 주요 협력국인 미국, 중국을 비롯하여 기존 국가들과의 연구 협력을 더욱 강화하는 동시에, 아시아권을 넘어선 지역적 다변화를 통해 글로벌 연구 영향력을 제고할 필요가 있다.

여섯째, 세 국가 모두 제조공학의 핵심인 제조·공정 혁신 연구가 활발했으며, 각국의 제조업 특성을 반영한 차별화된 연구 경향이 나타났다. 한국은 반도체, 3D 프린팅, 탄소섬유 등 신기술 제조 분야에서, 일본은 정밀 기계공학 분야에서, 독일은 레이저 가공과 머신러닝 등 첨단 공정 적용 분야에서 우수한 연구성과를 보였다. 최근에는 세 국가 모두 첨단 제조기술과 AI 융합 연구에 역량을 집중하고 있다. 특히 한국은 기존 강점 분야의 우위를 유지하면서, AI 기반 첨단 제조혁신 분야에서도 선도적 지위를 확보하기 위한 연구 강화가 필요하다.

마지막으로 키워드 기반 클러스터링 분석 결과, 한국은 IT 기반 제조 융합기술, 일본은 제조기술의 고도화, 독일은 첨단 제조기술과 지능형 생산시스템이 주요 연구영역으로 특화된 것으로 나타났다. 한국은 IT와 제조 분야의 강점을 결합하여 미래 연구이슈를 선점하고 연구주제와 연구영역을 더욱 전문화·차별화함으로써, 이 분야에서의 선도적 지위와 연구경쟁력을 지속적으로 강화할 필요가 있다.

2. 연구의 기여와 한계

본 연구는 제조공학 분야의 글로벌 연구동향과 학술적 주제 변화를 체계적으로 고찰하고, 산업특성과 글로벌 경쟁력이 유사한 주요 제조 강국과의 비교를 통해 국내 연구 활성화를 위한 시사점을 제시했다는 점에서 학술적·실천적 의의를 갖는다.

먼저 학술적 측면에서, 본 연구는 제조공학 분야의 지식구조와 핵심 주제를 종합적으로 규명한 최초의 시도라는 점에서 의미가 있다. Web of Science와 Scopus 데이터베이스 분석 결과, 2020년 이전까지 제조 분야에서 서지계량적 분석과 주제 매핑 연구는 극히 제한적이었으며, 2020년 이후에도 스마트 제조나 친환경 제조 등 일부 세부 영역에 편중된 연구만 진행되었다. 이러한 상황에서 AI, 로봇, 디지털 전환 기술이 급진적으로 발전하는 현 시점에, 본 연구는 제조업 강국인 한국, 일본, 독일을 중심으로 제조공학 분야의 연구동향, 협력 네트워크 구조, 핵심 연구 주제 변화를 총체적·체계적으로 분석하였다. 이를 통해 제조공학 분야의 전개 과정을 파악하고

향후 발전 방향을 예측하는 데 유용한 정보를 제공한다.

또한 본 연구는 일부 사회·경제적 특성과 제조업 역량이 유사한 일본, 독일과의 비교분석을 통해 국내 제조공학 연구의 상대적 강점과 약점을 파악하고, 이를 토대로 지식생산과 영향력 강화, 참여기관 확대, 허브형 연구기관 육성, 글로벌 협력 강화, 연구주제 전문화와 차별화 측면에서 제조공학 연구 활성화를 위한 시사점을 제시했다는 점에서 실천적 의의를 지닌다.

본 연구는 다음과 같은 한계를 지닌다. 첫째, 영문으로 출판된 논문만을 분석 대상으로 삼았다. 서지분석에서 영문저널을 활용하는 것이 일반적이나, 각국의 자국어로 출판된 저널과 논문들을 함께 분석한다면 해당 국가들의 제조업 환경과 특성이 반영된 연구 트렌드와 주제를 보다 심층적으로 비교할 수 있을 것이다. 둘째, 제조공학 전체 측면에서의 지식구조, 협력관계, 주제분석이 이루어지지 못했다. 후속 연구에서는 국가별 자국어 출판 논문과 영문 논문의 비교분석, 또는 자국어 출판 논문들의 국가 간 비교분석과 함께 제조공학 전체를 포괄하는 종합적 분석이 필요하다.

약어

ACF	Autocorrelation Function
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic
CMP	Chemical Mechanical Planarization
CNN	Convolutional Neural Network
EDM	Electrical Discharge Machining
FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Method
GA	Genetic Algorithm
PMCS	Process Monitoring and Control System
R2R	Roll-to-Roll
RFID	Radio-Frequency Identification

참고문헌

- 과학기술정책연구원(2022), 주요국 스마트제조혁신 정책 비교와 한국에의 시사점.
- 관계부처 합동(2017), 4차 산업혁명 대응계획(I-KOREA 4.0).
- 권태훈(2022), 「스마트 팩토리 관련 연구 동향 분석」, 『KISTI DATA · INSIGHT』, 28, 과학기술정보연구원.
- 김규판(2018), 일본의 제조업 혁신 정책 추진 현황과 시사점: ‘Connected Industries’를 중심으로, 대외경제정책연구원.
- 김규판·이형근·김종혁·권혁주(2017), 주요국의 4차 산업혁명과 한국의 성장전략: 미국, 독일, 일본을 중심으로, 대외경제정책연구원.
- 김기범·이정우(2020), 「스마트공장에 관한 체계적 문헌 분석: 국내 학술 경향 연구」, 『Journal of Digital Convergence』, 18(11), pp. 59-71.
- 김송주(2022), 「키워드 네트워크 분석을 통한 국내 스마트 팩토리 기술연구 동향」, 『Journal of the Korea Academia-Industrial』, 23(5), pp. 17-23.
- 산업연구원(2024), 2024년 주요 신산업의 글로벌 경쟁력 포지션.
- 스마트제조혁신추진단(2022), 스마트제조혁신 국가별 정책보고서: 일본, 중국, 독일.
- 안성원(2019), 독일의 Industry 4.0 추진현황, 소프트웨어정책연구소.
- 통계청(2024), 국제통계연감.
- 한국경영자총협회(2024), 6대 국가첨단전략산업 수출시장 점유율 분석 및 시사점.
- Ante L.(2021), “Digital Twin Technology for Smart Manufacturing and Industry 4.0: a Bibliometric Analysis of the Intellectual Structure of the Research Discourse”, Manufacturing Letters, 27, pp. 96-102.
- Aria M. and C. Cuccurullo(2017), “Bibliometrix: an R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis”, Journal of Informetrics, 11(4), pp. 959-975.
- Cavaggioli F. and E. Ughetto(2019), “A Bibliometric Analysis of the Research Dealing with the Impact of Additive Manufacturing on Industry, Business and Society”, International Journal of Production Economics, 208, pp. 254-268.
- Clarke V. and V. Braun(2017), “Thematic Analysis”, The Journal of Positive Psychology, 12(3), pp. 297-298.
- Costas R. and M. Bordons(2008), “Is g-index Better than h-index? An Exploratory Study at the Individual Level”, Scientometrics, 77(2), pp. 267-288.
- Donthu N., S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey and W. M. Lim(2021), “How to Conduct a Bibliometric Analysis: an Overview and Guidelines”, Journal of Business Research, 133, pp. 285-296.
- ElMaraghy, H., Monostori, L., Schuh, G., and ElMaraghy, W. (2021). “Evolution and Future of Manufacturing Systems”. CIRP Annals, 70(2), pp. 635-658.

- Franceschini F. and D. Maisano(2011), "Bibliometric Positioning of Scientific Manufacturing Journals: a Comparative Analysis", *Scientometrics*, 86, pp. 463-485.
- Groover M. P.(2020), *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. John Wiley & Sons.
- IRF(2024), *World Robotics 2024*.
- Kadyan S., M. Nain, A. Makhija, P. Punia, A. Ohlan, S. Dahiya, R. Punia and A. S. Maan(2024), "A Biblomic Ananlysis of Glabal Research Trend and Progress on Dy doped Materials", *Journal of Alloys and Compounds Communications*, 3, 100006.
- Kalpajian S. and S. R. Schmid(2009), *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall: London, UK, pp. 568-571.
- Kaur R., D. Goyal, D. Gupta and R. K. Dang(2023), "Emerging Trends in Smart Manufacturing: a Bilbliometric Analysis", *2023 International Conference IoT, Communication and Automation Technology(ICICAT)*, pp. 1-7.
- Lee C. H., C. L. Hiu, A. J. C. Trappey, J. P. T. Mo and K. C. Desouza(2021), "Understanding Digital Transformation in Advanced Manufacturing and Engineering: a Bibliometric Analysis, Topic Modeling and Research Trend Discovery", *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101428.
- Lim W. M., S. Kumar and N. Donthu(2024), "How to Combine and Clean Bibliometric Data and Use Bibliometric Tools Synergistically: Guidelines Using Metaverse Research", *Journal of Business Research*, 182, 114760.
- Noyons E. C. M. and H. F. Moed(1999), "Combining Mapping and Citation Analysis for Evaluative Bibliometric Purposes: A Bbliometric Study", *Journal of the American Society for Information Science*, 50(2), pp. 115-131.
- Ohlan R. and A. Ohlan(2022), "A Comprehensive Bibliometric Analysis and Visualization of Smart Home Research", *Technological Forecasting & Social Change*, 184, 121975.
- Rhoades S. A.(1993), *The Herfindahl-Hirschman Index*. Fed. Res. Bull., 79, 188.
- Sangwan K. S. and V. K. Mittal(2015), "A Bibliometric Analysis of Green Manufacturing and Similar Frameworks", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(4), pp. 566-587.
- Senthil R., T. Anand and C. R. Somala(2024), "Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence in Healthcare Research: Trends and Future Directions", *Future Healthcare Journal*, 11, 100182.
- Tiwari S., P. C. Bahuguna and P. Srivastava(2022), "Smart Manufacturing and Substainability: a Bibliometric Analysis", *Benchmarking: an International Journal*, 30(9), pp. 3281-3301.

- Traag V. A., L. Waltman and N. J. Van Eck(2019). "From Louvain to Leiden: Guaranteeing Well-Connected Communities". Scientific reports, 9(1), pp. 1-12.
- UN(2023), 2022 International Trade Statistics Yearbook.
- WTO(2023), World Trade Statistical Review 2023.
- Zupic I. and T. Čater(2015), "Bibliometric Methods in Management and Organization", Organizational Research Methods, 18(3), pp. 429-472.
- 통계청, 국가통계포털(KOSIS).
<https://kosis.kr/index/index.do>[2024.12.5.]
https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA906&conn_path=I3[2024.12.5.]
- United Nations Industrial Development Organization(UNIDO), Competitive Industrial Performance(CIP) indexes.
<https://stat.unido.org/analytical-tools/cip>[2024.12.5.]
- World Bank Group, Manufacturing, value added(% of GDP)-World.
<https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.ZS?locations=1W&utm>[2024.12.5.]

Analysis of knowledge structure, global collaboration, and key themes in manufacturing engineering research

: A comparative study of Korea, Japan, and Germany

Moon-Koo Kim, Jong-Hyun Park, JongHyun Paik

– Abstract –

The strategic importance of manufacturing in the global economy is becoming increasingly prominent with the acceleration of digital transformation and Industry 4.0. This study analyzed the knowledge structure, collaboration characteristics, and core themes in manufacturing engineering research among Korea, Japan, and Germany. We conducted bibliometric analysis, thematic analysis, network analysis, and clustering on articles published from 2010 to 2023 in the Web of Science database. The analysis revealed that while Korea maintains its position as a global leader in knowledge production, its growth has stagnated since 2015, showing relatively lower knowledge impact and international collaboration compared to Germany. While research themes in all three countries center on manufacturing innovation and AI application, Japan specializes in precision machining, Germany in advanced processes and intelligent production systems, and Korea demonstrates strengths in manufacturing-IT convergence. Based on these findings, we suggest policy implications for Korea's manufacturing engineering research in terms of knowledge growth and impact enhancement, fostering hub-type research institutions, strengthening global cooperation, and specialization and differentiation of research themes.

Key words

Manufacturing Engineering, Bibliometric Analysis, Thematic Analysis, Knowledge Structure, Research Collaboration

기계산업연구

| 제3권 제2호(2024) |

발행일 2024년 12월
발행처 한국기계연구원
발행인 류석현
문의처 한국기계연구원 기계정책센터
대전광역시 유성구 가정북로 156
T. 042-868-7640

ISSN 3058-2784

기계산업연구

제3권 제2호 (2024)