

기계 산업 연구

| 제3권 제1호(2024) |

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

| 논문 |

- 01 글로벌 공급망 분석을 통한 자동차 분야
소재·부품·장비 정부 R&D 지원전략
- 02 우리나라 5대 기계 산업의 R&D 효율성 분석
- ISTANS 11대 제조업을 중심으로 -
- 03 국외 해상풍력 LCR 정책 동향 분석과 시사점
- 대만 국산화비율 반영제도를 중심으로 -
- 04 고용환경의 변화에 따른 세수감소현상의 해결방안
- 로봇세 도입 논의를 중심으로 -

발간사



기계산업은 제조, 건설, 에너지 등 다양한 분야에 걸쳐 자본재를 제공하는 기반 산업으로, 한국의 산업 경쟁력 수준을 보여주는 핵심 척도라고 할 수 있습니다. 특히 우리나라 제조업 중 기계산업 비중은 약 12%로 국가산업 전반에 미치는 영향력이 매우 크다고 할 수 있습니다. 우리나라 기계산업은 2010년에 생산액 90조원 규모에서 2022년에 150조원 규모까지 지속 성장해 왔지만, 최근 미중 무역 분쟁, 선도국들의 기술패권 경쟁, 중국의 급속한 추격과 선도국들의 견제까지 받는 중차대한 현실입니다. 더불어 자율제조, 탄소중립, AI, 로봇 등 패러다임이 급변하고 있는 현시점에, 기존의 추격형 전략의 성장 한계를 넘어서, 제조 신산업을 견인하고 기술패권을 주도할 국가 차원의 혁신전략이 요구되고 있습니다. 한국기계연구원은 이러한 시대변화에 맞추어 다양한 전문가들을 발굴하고, 기계산업 전반으로 정책연구 범위를 넓혀서 해법들을 모색하고자 ‘기계기술정책’에서 「기계산업연구」로 학술지를 고도화하고자 합니다.

한국기계연구원은 1976년 설립 이래 기계 분야 연구개발, 성과확산, 신뢰성 평가 등을 통해 우리나라 기계산업 발전에 이바지해 왔으며, 특히 2007년부터는 ‘기계기술정책’ 전문 지식지와 학술지를 지속적으로 발간하며 기계산업 정책분야 허브 기관으로 성장해왔습니다.

JOURNAL OF MACHINERY INDUSTRY

「기계산업연구」 학술지로 새롭게 출발합니다. 작금의 급격한 산업 환경변화와 글로벌 기계 산업의 트렌드를 진단하고, 위기를 극복하며 혁신을 이루어 나갈 수 있는 의제를 발굴 하고자 합니다. 시작에는 다소 작은 열매가 열리더라도, 미래의 기계산업 정책 연구자들과 함께 성장하여 나중에는 풍성한 열매를 맺는 거목이 될 수 있도록 아낌없이 지원하겠습니다.

우리나라 유일한 ‘기계산업 정책 특화 학술지’로서 기계산업이 직면한 도전과제들을 진단하고, 그 해결책을 모색하는 데 이바지하겠습니다. 나아가 기계산업의 지속 가능한 발전을 위한 전략적 방향을 제시하며, 정부, 산업계, 학계와 연구계의 협력을 강화하는 데 일조하고자 합니다. 기계산업에 종사하는 모든 분들에게 영감을 주고, 새로운 아이디어와 혁신을 촉진하는 계기가 될 수 있도록 한 걸음, 한 걸음 소임을 다해나가겠습니다.

학술지 발간을 위해 힘을 모아주신 산·학·연·관 전문가, 독자 및 편집위원회 지원에 깊이 감사드리며, 기계산업 정책의 대표 학술지로 성장할 수 있도록 지속적인 관심과 성원을 부탁 드립니다. 감사합니다.

2024. 6.

한국기계연구원 원장 **류 석 현**

기계 산업 연구

CONTENTS | 목차

제3권 제1호(2024)

| 논문 |

- 글로벌 공급망 분석을 통한 자동차 분야 소재·부품·장비 정부 R&D 지원전략 ... 1
이승필
- 우리나라 5대 기계 산업의 R&D 효율성 분석 29
ISTANS 11대 제조업을 중심으로
김경수
- 국외 해상풍력 LCR 정책 동향 분석과 시사점 65
대만 국산화비율 반영제도를 중심으로
류건화, 김효정, 이도희
- 고용환경의 변화에 따른 세수감소현상의 해결방안 105
로봇세 도입 논의를 중심으로
김성화

글로벌 공급망 분석을 통한 자동차 분야 소재·부품·장비 정부 R&D 지원전략

이승필

한국과학기술기획평가원 글로벌R&D혁신센터

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

글로벌 공급망 분석을 통한 자동차 분야 소재·부품·장비 정부 R&D 지원전략*

이승필**

- 초 록 -

본 연구에서는 최근 기업들의 최대 리스크 요인으로 부각되고 있는 소재·부품·장비(이하 소부장) 공급망 리스크를 글로벌 차원에서 분석하고, 이를 기반으로 자동차 분야 산업 육성을 위한 정부 R&D 지원 방안을 제시하고자 한다. 먼저 CEPII(Center d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales)에서 제공하는 BACI(Base pour l'Analyse du Commerce International) 2021 글로벌 교역데이터를 활용하여 Korniyenko et al.(2017)에서 제시하는 네트워크 분석 방법론의 외향중심성을 통해 자동차 분야의 글로벌 공급망 리스크가 높은 품목을 HS(Harmonized Systems) code 6단위에서 도출한다. 도출된 리스크 품목과 소부장넷에서 제공하는 소부장 세부분야별 종사자 수, 기업체 수, 부가가치액, 생산액을 보조지표로 활용하여 자동차 전문가 델파이 조사를 진행하고 이를 근거로 정부 R&D지원 방안을 수립한다. 본 논문에서 제시하는 방법론은 향후 소부장 정책 수립은 물론 자동차를 포함한 전 산업 분야의 정부 R&D지원 방안 수립 시 방법론 고도화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

주 제 어 글로벌 공급망, 소재·부품·장비, 자동차, 데이터 기반 전략

논문접수일 2024년 2월 23일 수정논문 제출일 2024년 6월 9일 게재확정일 2024년 6월 17일

* 사사표기: 이 논문은 한국과학기술기획평가원 기술혁신 아젠다 대응 R&D 투자전략 기획연구를 통해 지원됨

** 한국과학기술기획평가원 글로벌R&D혁신센터 이승필, feel86@kistep.re.kr

I. 서론

탈냉전 이후 지난 수 십 년간 워싱턴 컨센서스로 대변되는 미국 주도의 자유무역 경제체제 하에 무역자유화와 자유무역협정에 참여하는 국가가 늘어나고, 국가 간 상호의존도 증가와 글로벌 공급망 및 물류체계 역시 그 규모가 증가하고 복잡해져 가고 있다. 이 과정에서 기업들은 비용-효율성을 최우선 과제로 삼으며 가장 가격이 저렴하고, 신뢰성 있게 제품을 만드는 국가로 생산시설을 이전시켰으며, 그 과정에서 특정 국가 및 기업이 주요 소부장 생산을 독점하는 현상이 나타나게 되었다. 이러한 글로벌 공급망의 확산은 2011년 동일본 대지진, 2021년 미국 텍사스 한파 등의 기후변화 요인, ESG 중요성 확대에 따른 생산 비용 증대, 코로나-19 봉쇄에 따른 물류 대란 및 미-중 패권경쟁으로 인한 구조적 공급망 재편 정책¹⁾으로 인해 기업의 최대 리스크 요인으로 다가오고 있다.

학계에서는 공급망 리스크를 분석하고자 하는 많은 시도가 이루어져 왔다. Borin et al. (2021)은 1965년 ~ 2000년 까지의 WIOD(World Input-Output Database)를 수집하여 Shift-share approach를 적용하고, GVC(Global Value Chain) 참여를 측정하는 새로운 방법론을 제안하며, 이를 통해 국가 및 산업 부문이 GVC 위험에 어떻게 노출되는지에 대해 분석하였다. Li et al.(2019)는 중국 금속광물의 안정적인 공급을 위해 생산, 소비, 거래, 공급 및 수요의 전 과정에서 발생하는 공급망 리스크를 식별하였고, Shahbaz et al.(2020)은 말레이시아 제조업의 공급망에 대한 위험 식별, 평가 및 완화를 위한 프레임워크를 제시하고 있다. 또한 Jung et al.(2022)는 특정 기업의 제품에 대한 수출입 데이터를 수집하고 RCF(Random Cut Forest)를 사용하여 글로벌 공급망 위험 식별을 개선하는 방법을 제시하였는데, 글로벌 공급망에서 위험한 항목을 식별하기 위한 요소로 ‘Size of import’, ‘Import dependence’, ‘Trend anomaly analysis’를 제안하였고, 최근 4개월간의 가치가 평균 추세보다 높을 경우 공급망 내 위험 품목으로 선정하는 과정을 제시하였다.

한편 본연구에서도 활용되는 데이터인 CEPII(Center d’Etudes Prospectives et d’Informations Internationales)의 BACI(Base pour l’Analyse du Commerce International)도 글로벌 공급망 분석에 다수 활용되고 있다. De Benedicts et al.(2014)는 글로벌 교역현황을 그래프와 네트워크로 시각화하고, 지역과 글로벌 중심성 측정 및 국가 간

1) ‘21년 2월 미국 조 바이든 대통령은 반도체, 배터리, 희토류, 의약품 4개 품목의 공급망 취약점을 100일 간 검토하고, 1년 간 국방, 보건, IT, 에너지, 운송, 농산물 6대 품목에 대해 1년 간 공급망 취약점을 검토하기 위한 “미국 공급망 강화를 위한 행정명령”에 서명

상대적 위치를 제시하였으며, Ganapati & Wong(2023)은 식량의 글로벌 공급망을 나타내기 위해 해당 데이터를 활용하여 분석을 실시하였다. 본연구에서 참고한 Korniyenko et al.(IMF, 2017)은 IMF working paper로 제시한 연구로, BACI 데이터를 사용하여 글로벌 공급망을 품목 단위로 분석하기 위해 네트워크분석 방법론인 외향중심성, 군집경향성 등을 활용하고, k-means 클러스터링 알고리즘을 통해 리스크 품목들을 도출하는 연구를 진행하였다. Korniyenko et al.(IMF, 2017)의 방법론은 한국에서도 민은지 외(2022), 이승필 외(2023)에서 활용되었으나, HS code 2단위 품목분석에 그치거나, 바이오 분야에 해당하는 글로벌 공급망 품목에 대한 간략한 소개 수준에 그쳤다.

한국 정부에서도 2019년 7월 일본의 반도체 핵심 3대 소재에 대한 수출규제를 겪으면서 2019년 8월, “소재·부품·장비 경쟁력 강화대책”, “소재·부품·장비 연구개발 투자전략 및 혁신대책”을 마련하여 대일 의존도가 높은 100대 품목을 선정하고 자립화 R&D를 지원하였다. 이후 2020년 7월 “소재·부품·장비 2.0전략”을 통해 전세계 의존 품목 및 미래 기술 품목으로 확대하였고, 2022년 10월 “소재·부품·장비 핵심전략 기술 확대 개편”을 통해 150개 핵심 전략기술을 선정하여 한국에서 의존하는 품목들에 대한 공급망 안정성을 강화하고자 노력하였다. 하지만 이러한 정책들은 한국의 수출입 의존도 분석을 통한 공급망 분석만 이루어진 점에서 여러 가지 한계가 존재한다. 특정 품목에 대한 한국 공급망이 다변화되어 있더라도, 글로벌 공급망 차원에서 특정 국가가 독점하고 있는 경우에 대한 리스크에 대응하기가 어렵고, 또 경제안보 차원에서 국가 및 기업들이 공급망을 다변화하고자 하는 경우 생기는 틈새시장을 국내 기업이 선점할 수 있는 기회요인에 대해서도 분석이 불가능하다.

이에 본 논문에서는 CEPII에서 제공하는 2021년도 양자간 글로벌 교역데이터 BACI data에 Korniyenko et al.(IMF, 2017)에서 제시한 네트워크분석 방법론을 적용하여 글로벌 공급망 리스크 품목을 HS code 6단위에서 도출하였고, 이에 대한 사례연구로 자동차 분야에 대한 정부 R&D 지원 방안을 수립하였다. 정부 R&D 지원 방안을 수립하기 위해 자동차 분야 전문가를 대상으로 파급효과, 경제성, 기술 수준 등에 대한 델파이 분석을 진행하였으며, 소부장넷에서 제공하는 소부장 세부 분야별 기업체 수, 종사자 수, 부가가치 수, 생산액을 근거자료로 제공하였다.

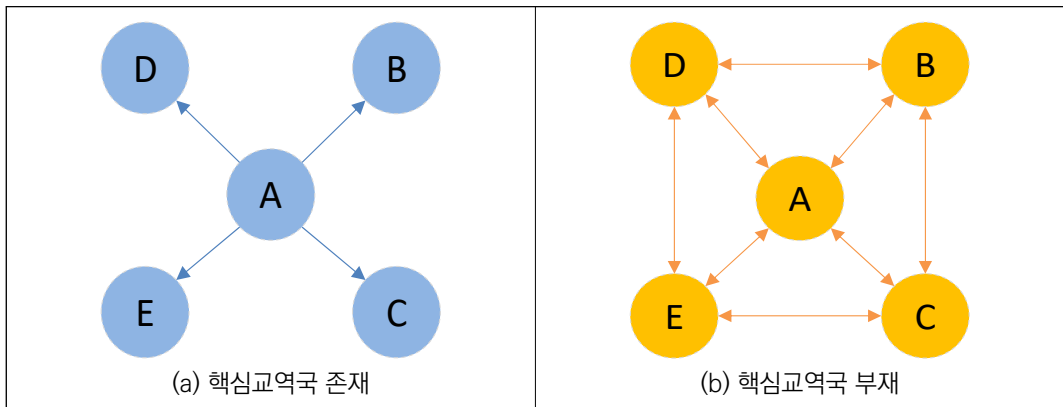
본 논문을 통해 국내 소부장 정책을 수립함에 있어 한국의 수출입 데이터에만 한정된 분석을 넘어서서 글로벌 차원의 공급망 리스크를 고려할 수 있도록 방법론을 소개하며, 동 연구에서 활용한 품목 분석 방법을 통해 자동차분야 뿐 아니라 다양한 산업에서 공급망 리스크 품목에 대한 정부 R&D 지원전략 수립에 활용될 수 있기를 기대한다.

II. 본론

1. 글로벌 공급망 분석 방법론

본 연구에서는 Korniyenko et al.(IMF, 2017)에서 제시한 네트워크분석 방법론 중 공급망 리스크와 직접적인 연관성을 설명할 수 있는 외향중심성(핵심교역국)을 활용하였다. Korniyenko et al.(IMF, 2017)에서는 그림. 1-(a)와 같이 글로벌 교역망에 핵심교역국(A국)이 존재하면, 그 국가의 독점력으로 인해 공급망 리스크가 높다고 보았고, 그림. 1-(b)와 같이 글로벌 교역망에 핵심교역국이 존재하지 않고, 서로간의 수출입이 다변화되어 있을 경우 특별한 독점국가가 존재하지 않기 때문에 글로벌 공급망 리스크가 낮다고 보았다. 이를 BACI 교역 데이터를 활용하여 수식적으로 계산하는 방법은 수식(1)과 같다. 즉, 특정 품목 k 에 대해 교역하는 모든 수출국가(i)들에 대해서 교역액(w_{ij})를 활용하여 외향중심성(C_i^k)을 계산하고, 이들의 표준편차가 높을수록 상대적으로 공급망 리스크가 높은 품목으로 판단하였다²⁾.

[그림 1] 핵심교역국 존재 여부



자료: Korniyenko et al.(2017)

$$C_i^k = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{w_{ij}}{\langle w_j \rangle}, \text{ 표준편차 } (C_i^k) = \sqrt{\frac{\sum (C_i^k - \overline{C_i^k})^2}{n-1}} \quad \text{수식(1)}$$

where

- C_i^k : 품목 k 에 대한 외향중심성, $\overline{C_i^k}$: 품목 k 에 대한 외향중심성 평균
- w_{ij} : i 국에서 j 국으로의 수출 금액, $\langle w_j \rangle$: j 국의 평균 수입 금액

2) 외향중심성이 크다는 것은 그림 1(a)의 A와 같이 수출을 독점하는 핵심교역국이 존재한다는 것을 의미한다.

아래 그림 2와 3에 2021년도 BACI 데이터를 활용하여 2,162개의 소부장 품목³⁾에 대한 글로벌 공급망 리스크 분석 결과를 나타내었다. 그림 2에서는 Korniyenko et al.(IMF, 2017)가 제시한 방법에 의거하여 특정 품목(x 축)에 대해 그 품목을 수출하는 국가들의 외향중심성의 표준편차(y 축)를 계산하여 공급망 리스크가 큰 품목이 무엇인지 식별한 결과를 나타내었고, 그림 3은 앞서 계산한 특정 품목의 표준편차 값별로 수출 국가들(x 축)의 외향중심성(y 축)의 값 분포를 나타낸 것으로, 표준편차 값과 공급망 리스크(특정 국가의 독점) 간의 상관관계를 파악할 수 있다. 즉, 특정 품목을 수출하는 국가들의 외향중심성을 계산했을 때 특정 국가의 외향중심성이 매우 큰 값을 가지면(수출을 독점하고 있으면), 그 품목을 수출하는 국가들의 외향중심성의 값들로부터 계산되는 표준편차가 크게 나타난다는 연결고리를 확인할 수 있다⁴⁾. 본 연구에서는 2,162개의 표준편차 값에 대한 평균(μ)과 표준편차(σ)를 계산하고, 임계치($\mu + \sigma$)⁵⁾를 넘는 품목 311개에 대해서 상대적 리스크 품목이라고 판별하였다. 임계치 설정 방법에 대해서는 기존 Korniyenko et al.(IMF, 2017) 연구에서도 이론적 수치를 제시하지 않았고, 리스크가 상대적으로 높은 상위 품목을 도출하는 방법으로 접근하고 있다. 하지만 본 논문에서는 이상치 탐지에 서 일반적으로 활용하는 표준편차를 이용하여 임계치를 설정⁶⁾하였으며, 그림 3에서 보듯이 본 논문에서 설정한 임계치(79.6)를 전(a, b), 후(c, d)로 하여 외향중심성이 큰 공급망 독점 국가가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 그림 3-(a), (b)와 같이 2,162개의 소부장 품목 중 2,031번째 품목과 356번째 품목의 경우 외향중심성의 표준편차 값이 임계값(79.6) 이하로 계산되었는데, 실제 그 품목을 거래하는 국가들의 외향중심성 분포를 보면 특정 독점국가 가 보이지 않는 것을 알 수 있다. 반대로 그림 3-(c), (d)의 경우 282, 1853번째 품목의 외향중심성의 표준편차 값이 임계값(79.6) 이상으로 계산되었고, 그 품목을 거래하는 국가들의 외향중심성의 분포 상 특정국가(country num = 20 부근)의 외향중심성 값이 매우 크게 계산되어 있어 공급망 독점 리스크가 있는 것으로 판단할 수 있다.

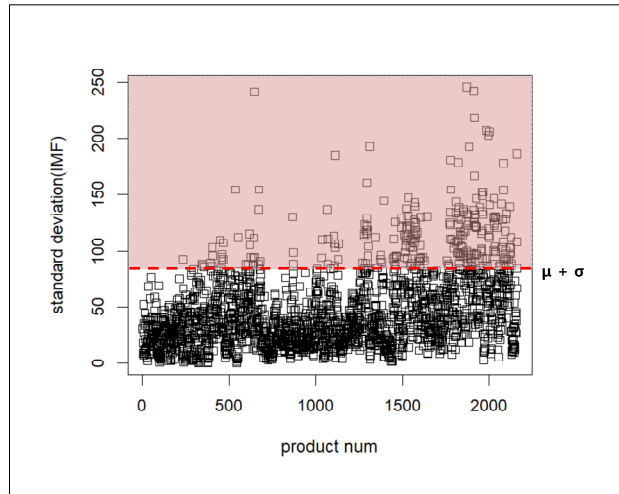
3) 2017 edition 기준 HS code 6단위는 총 5,387개이나 한국기계산업진흥회에서는 『소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 및 공급망 안정화를 위한 특별조치법』에 의거하여 산업적 활용도가 높은 소부장 관련 품목 2,162개를 도출하고, 이에 대한 통계치를 산출하고 있다.

4) 본 논문에서는 선행연구와 같이 표준편차를 통해 공급망 리스크가 큰 품목을 도출하였으나, 엔트로피 등 외향중심성의 분포에서 공급망 리스크를 식별할 수 있는 보다 적절한 방법에 대해서는 후속 연구 주제로 남겨둔다.

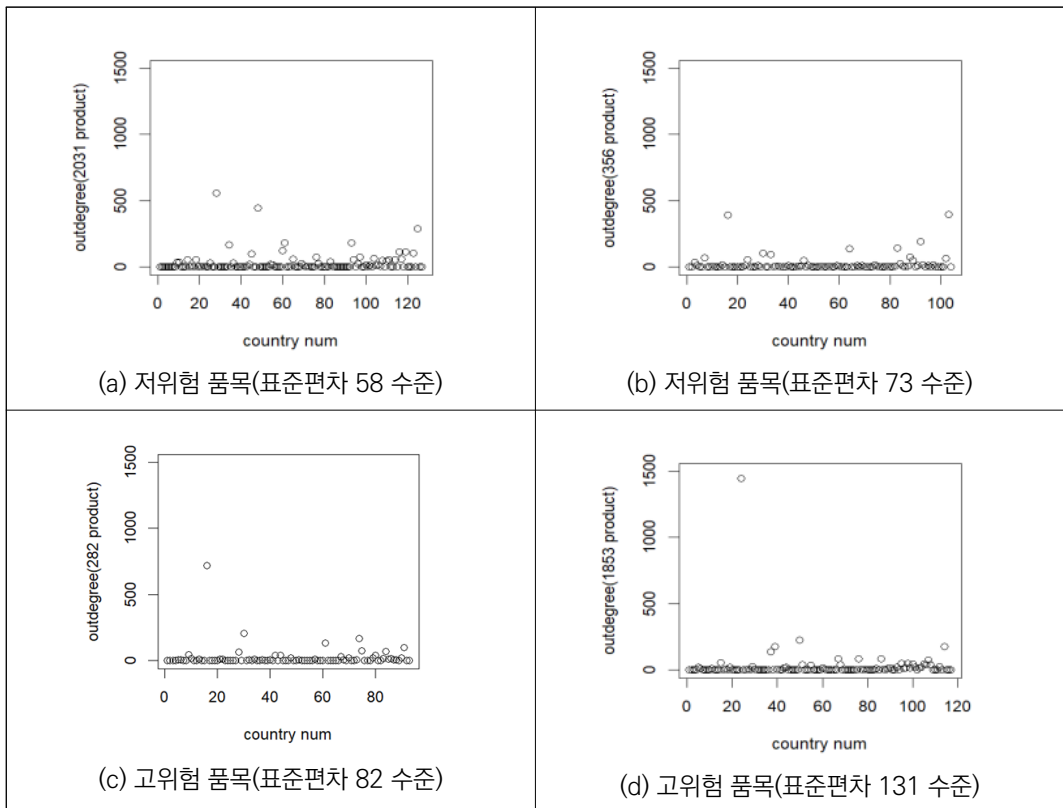
5) 본 연구에서 $\mu=45.6$, $\sigma=34.0$ 으로 임계치는 79.6이다.

6) Barnett V, Lewis T., Outliers in Statistical Data. 3rd edition. New York, John Wiley & Sons. 1994.

[그림 2] 품목별 외향중심성의 표준편차 값



[그림 3] 품목의 표준편차에 따른 수출국가의 외향중심성 분포

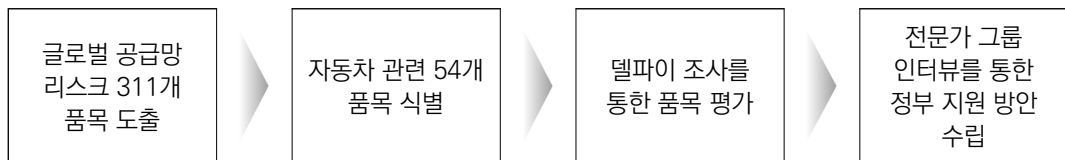


2. 자동차 분야 델파이 분석

1) 델파이 조사 기획

글로벌 공급망 리스크 품목 311개 중 자동차 분야 품목에 대한 정부 R&D 지원을 위해 자동차 분야 전문가 6인⁷⁾을 대상으로 델파이 분석을 진행하였고, 추진 절차 및 정부 R&D 지원 방안 수립 흐름도는 그림 4와 같다. 정부의 지원 방안은 ①R&D 지원(응용·개발 중심), ②실증 지원, ③사업화 지원, ④생태계 지원, ⑤세계혜택 등 크게 5가지 지원 유형을 고려하였고, 이를 도출하기 위한 델파이 조사 항목은 ①핵심 품목 여부, ②첨단제품 여부, ③고도의 신뢰성 필요 여부, ④경제성 여부, ⑤국내 수준 등 크게 5가지를 고려하여 설계하였다. 정부의 자동차 산업 지원 전략⁸⁾이 대다수 미래차 분야를 대상으로 하고 있기 때문에 미래차 핵심 품목으로 활용되는 품목에 대해서만 정부 지원 대상 품목으로 선정하였고, 그 외에는 기업 차원의 재고관리 품목으로 분류하여 정부 지원 대상에서 제외하였다. 핵심품목으로 분류된 품목들 중에서, 첨단제품이면서 국내 수준이 높은 품목은 대·중견 기업의 글로벌 시장 선도를 위한 R&D 지원, 그리고 실증 필요 여부를 판단하여 실증 지원 품목으로 분류하였고, 첨단제품이 아닌 경우에도 국내 수준이 높은 경우 중소기업의 글로벌 시장 진출을 위한 사업화 지원 품목으로, 수준이 낮은 경우 공급망 리스크 대비를 위해 장비 구축, 인력양성, 기초연구 등의 생태계 구축이 필요한 품목으로 분류하였다. 델파이 조사 항목은 표 1과 같고, 조사항목과 정부 지원방안의 연관관계는 표 2와 같다.

[그림 4] 델파이 조사를 통한 품목별 정부지원방향 수립 절차



7) 한국자동차연구원, 한국산업기술평가관리원, 한국산업기술진흥원, 한국표준과학연구원, 지능형자동차부품진흥원에서 참여하였다.

8) “미래차 경쟁력 확보를 위한 범부처 R&D 지원방안”, 혁신성장 BIG3 추진회의 21-8차(‘21.4), “미래차 R&D 투자 강화 방안”, 혁신성장 BIG3 추진회의 22-18차(‘22.1)

〈표 1〉 델파이 조사 항목

순번	조사내용
1	해당 품목이 자동차 산업에 끼치는 파급효과, 시장성, 향후 유망성 등에 대해서 어떻게 보시나요?(1~5점) (1점: 매우 미흡, 3점: 보통 수준, 5점: 매우 우수)
2	해당 품목의 개발 또는 성능개선에 필요한 기술력은 어느정도 입니까?(1~5점) (1점: 기술력을 요하지 않는 제품, 3점: 보통 수준의 기술력이 필요, 5점: 고도의 첨단 기술력이 필요)
3	해당 품목이 경쟁력을 갖기 위해서는 신뢰성 고도화를 위한 장기간 실증이 필요한 제품입니까?(1~5점) (1점: 실증이 필요 없는 제품, 3점: 단기간 실증이 필요하지만 어려운 것은 아님, 5점: 장기간 실증을 통한 신뢰성 고도화가 필요)
4	해당 품목이 경제성 논리로 인해 한국에서 생산하기에 어려움을 가지는 구조인가요?(1~5점) (1점: 경제적인 생산이 불가능, 3점: 이익을 볼 수 없지만 손해도 보지 않는 구조, 5점: 한국 생산 시 이익 창출이 충분히 가능)
5	해당 품목에 대한 우리나라의 기술력/신뢰성/생산수준은 글로벌 선도국 대비 어느정도 입니까? (1~5점) (1점: 매우 미흡, 3점: 보통 수준, 5점: 글로벌 선도국과 동등 수준)

〈표 2〉 델파이 결과에 따른 정부 지원 유형 분류

정부 지원 유형	분류 기준
기업차원 재고관리	품목의 파급효과, 시장성, 향후 유망성 등(1번 항목)이 낮은 경우
정부 지원 품목	품목의 파급효과, 시장성, 향후 유망성 등(1번 항목)이 높은 경우
R&D 지원 (응용·개발 중심)	제품 개발에 요구되는 기술수준(2번 항목)이 높고, 국내 기술 수준(5번 항목)이 중간 이상인 경우
실증 지원	제품 개발에 요구되는 신뢰성(3번 항목)이 높고, 국내 기술 수준(5번 항목)이 중간 이상인 경우
사업화 지원	제품 개발에 요구되는 기술 수준(2번 항목) 및 신뢰성(3번 항목)이 중간 이하이나, 국내 기술 수준(5번 항목)이 중간 이상인 경우
생태계 지원	국내 수준(5번 항목)이 낮은 경우
세제 혜택	경제성(4번 항목)이 낮은 경우

다음으로 311개 품목을 델파이 참여전문가에게 공유하여 델파이 조사를 진행할 자동차 관련 품목 54개를 식별하였고, 도출된 자동차 관련 품목 및 해당 품목에 대한 주요 정보 현황은 표 3과 같다. 여기서 사업체당 부가가치액은 델파이 조사 4번 항목에 대한 참고자료로, 사업체당 종업원 수 및 사업체당 생산액은 5번 항목에 대한 참고자료로 활용하기 위해 소부장넷에서 제공하는 산업데이터를 참고하여 정리하였다⁹⁾.

〈표 3〉 자동차분야 공급망 리스크 품목 54개 현황 및 산업데이터

순번	HS code	품목명	최대 수출국	소부장 통계 분류체계	사업체당 종업원 (수)	사업체당 부가가치액 (백만원)	사업체당 생산액 (백만원)
1	401110	고무제 공기타이어 (신품, 승용차용 스테이션왜건, 경주자동차용)	중국	승용차타이어	1,573	349,212	662,087
2	401120	고무제 공기타이어 (신품, 버스용·화물차용)	중국	승용차타이어	1,573	349,212	662,087
3	401190	기타 고무제 공기타이어 (신품)	중국	승용차타이어	1,573	349,212	662,087
4	700711	강화 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기 및 모양)	중국	기타산업용유리 제품	181	46,045	83,442
5	700721	접합 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기 및 모양)	중국	기타산업용유리 제품	181	46,045	83,442
6	700910	백미러 (차량용)	미국	기타자동차부품	53	7,679	24,881
7	732020	스프링 (나선용, 철강제)	독일	금속파스너 및 스프링	31	3,778	10,270
8	840991	부분품 (엔진, 불꽃점화식)	독일	자동차엔진용부품	57	8,198	24,424
9	840999	부분품 (엔진, 기계용, 발전용, 철도차량용, 차량용, 선박용 등)	독일	자동차엔진용부품	57	8,198	24,424
10	841330	액체펌프 (피스톤 엔진용, 연료 유탄유 급유용, 냉각 냉매용)	독일	액체펌프	30	4,266	10,530

9) 소부장넷에서 제공하는 소부장 세부 분류에 대한 산업데이터가 비교적 넓은 범위의 분류체계라는 점, HS code-표준산업분류체계 연계 과정에서 일부 과대·과소계상 된다는 점에서 특정 HS 6단위 품목과 정확하게 일치하지는 않으나 대략적인 판단 근거로는 활용할 수 있다.

순번	HS code	품목명	최대 수출국	소부장 통계 분류체계	사업체당 종업원 (수)	사업체당 부가가치액 (백만원)	사업체당 생산액 (백만원)
11	841391	부분품 (액체펌프)	중국	액체펌프	30	4,266	10,530
12	841950	열교환기 (가정용 제외)	중국	증류기, 열교환기 및 가스발생기	37	5,673	15,840
13	842123	여과기 (내연기관 유류용)	독일	액체여과기	33	4,055	10,832
14	842131	기체여과기/공기여과기 (내연기관용)	중국	기체여과기	33	4,599	12,733
15	842139	기체 여과기/청정기 (배기가스 정화용, 반도체제조용 등)	독일	기체여과기	33	4,599	12,733
16	842199	부분품 (차량 배기가스 정화기, 내연기관 여과기 등)	독일	기체여과기	33	4,599	12,733
17	848310	전동축 (캠샤프트, 크랭크샤프트), 크랭크	독일	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
18	848320	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 갖춘 것)	중국	베어링	52	10,834	26,824
19	848330	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 없는 것), 플레인 샤프트베어링	독일	베어링	52	10,834	26,824
20	848340	기어, 기어링, 볼 스크루, 롤러 스크루, 기어박스 변속기 (토크컨버터 포함)	독일	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
21	848350	플라이휠, 폴리 (폴리블록 포함)	독일	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
22	848360	클러치, 샤프트커플링 (유니버설조인트 포함)	독일	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
23	848410	개스킷, 조인트 (금속 아닌 재료와 결합한 금속판으로 만든것 또는 금속 2개이상을 적층한 것)	미국	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
24	848790	부분품 (차량용 기계류, 오일실링 등)	독일	기어 및 동력전달장치	30	3,641	10,159
25	850110	전동기 (출력 37.5W 이하)	중국	전동기	72	10,243	38,700
26	850120	전동기 (교류·직류 겸용, 출력 37.5W 초과)	중국	전동기	72	10,243	38,700
27	850131	직류전동기. 직류발전기 (출력 750W 이하, 태양광 제외)	중국	전동기	72	10,243	38,700

순번	HS code	품목명	최대 수출국	소부장 통계 분류체계	사업체당 종업원 (수)	사업체당 부가가치액 (백만원)	사업체당 생산액 (백만원)
28	850132	직류전동기, 직류발전기 (출력 750W~75kW, 태양광 제외)	중국	전동기	72	10,243	38,700
29	850151	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W 이하), 감속기	독일	전동기	72	10,243	38,700
30	850152	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W~75kW), 감속기	독일	전동기	72	10,243	38,700
31	850300	부분품 (전동기, 발전기, 발전세트, 회전변환기)	중국	전동기	72	10,243	38,700
32	850440	정지형 변환기 (정류기, 인버터, 배터리 충전기, 파워팩, 어댑터 등)	중국	정지형변환기	44	6,266	17,126
33	850490	부분품 (변압기, 정지형 변환기, 유도자)	중국	정지형변환기	44	6,266	17,126
34	850511	영구자석, 자화 후 영구 자석 (금속으로 만든 것)	중국	전자석 및 영구자석	26	3,269	6,224
35	850519	영구자석, 자화 후 영구자석 (금속 아닌 것)	중국	전자석 및 영구자석	26	3,269	6,224
36	850590	전자석, 영구자석식 척, 클램프, 바이스, 그 부분품	중국	전자석 및 영구자석	26	3,269	6,224
37	850760	배터리, 축전지(리튬이온)	중국	축전지	207	65,218	212,369
38	851130	발전기, 점화코일	중국	자동차용전기장치	81	13,175	54,761
39	851140	시동전동기, 시동전동기 겸용 시동발전기	일본	자동차용전기장치	81	13,175	54,761
40	851190	부분품(시동용 전기기기, 엔진용 발전기, 개폐기)	일본	자동차용전기장치	81	13,175	54,761
41	851230	음향신호용 기구	중국	음향기기	27	3,623	10,624
42	851290	부분품 (조명용, 시각 신호용 기구, 윈드스크린 와이퍼, 제상기, 제무기)	중국	조명장치	72	9,571	33,120
43	854231	프로세서, 컨트롤러 (전자집적회로)	중국	기타 집적회로반도체	495	181,648	332,097
44	854239	기타 전자집적회로	대만	기타 집적회로반도체	495	181,648	332,097

순번	HS code	품목명	최대 수출국	소부장 통계 분류체계	사업체당 종업원 (수)	사업체당 부가가치액 (백만원)	사업체당 생산액 (백만원)
45	854430	점화용 와이어링 세트 (자동차, 항공기, 선박용)	멕시코	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
46	870829	차체, 그 부분품(차량용)	독일	자동차 차체용 부품	60	10,229	35,934
47	870830	제동장치, 그 부분품 (차량용)	중국	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
48	870840	기어박스, 그 부분품 (차량용)	독일	자동차용 동력전달장치	62	12,697	45,119
49	870850	구동 차축 (차동장치 갖춘것), 비구동 차축, 그 부분품(차량용)	독일	자동차용 동력전달장치	62	12,697	45,119
50	870870	로드 휠, 그 부분품(차량용)	중국	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
51	870880	서스펜션 시스템, 그 부분품(차량용)	독일	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
52	870891	방열기, 그 부분품(차량용)	중국	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
53	870894	운전대, 스티어링칼럼, 운전박스, 그 부분품(차량용)	독일	기타 자동차부품	53	7,679	24,881
54	870899	새시, 그 부분품 (차량용)	독일	기타 자동차부품	53	7,679	24,881

자료: KOTRA 무역투자빅데이터, 소부장넷 참고하여 저자 재구성

2) 델파이 조사 결과

표 3의 54개 자동차 관련 품목에 대한 총 4회에 걸쳐 진행된 델파이 조사의 결과는 표 4와 같다. 델파이 조사의 신뢰성을 확보하기 위해 첫째, 참여자들은 전·현직 PD와 같은 자동차 분야 경력 20년 내외의 전문가로 구성하고 품목에 대한 이해도를 높이기 위해 소부장넷에서 제공하는 산업데이터를 함께 제공하였다. 둘째, 전문가들끼리의 의견 교류는 허용되지 않았으며, 셋째, 중앙값을 중심으로 전체 50%의 응답자가 모여 있는 범위를 벗어난 전문가에게는 이유를 구체적으로 제시하도록 요구하였다. 마지막으로 4회에 걸쳐 반복 수행하여 최종 합의를 도출하는 과정을 거쳤으며, 기존 연구 결과¹⁰⁾에 따라 수렴도¹¹⁾가 0.5 이하, 합의도¹²⁾가 0.75이상일 경우 타당한 문항으로 간주하였다.

10) 이종성(2001), 연구방법 21: 델파이 방법, 경기: 교육과학사

11) 전문가 응답을 오름차순으로 정렬했을 때, 수렴도 = (3분위 수 - 1분위 수)/2

12) 전문가 응답을 오름차순으로 정렬했을 때, 합의도 = 1 - (3분위 수 - 1분위 수) / 중위수

〈표 4〉 델파이 조사 결과

순번	HS code	품목명	1번 항목	2번 항목	3번 항목	4번 항목	5번 항목
1	401110	고무제 공기타이어 (신품, 승용차용 스테이션왜건, 경주자동차용)	4.00	3.75	4.25	4.50	4.25
2	401120	고무제 공기타이어 (신품, 버스용·화물차용)	3.50	4.00	4.25	3.75	4.25
3	401190	기타 고무제 공기타이어 (신품)	3.50	4.00	3.50	4.00	4.00
4	700711	강화 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기 및 모양)	2.25	2.75	3.25	3.00	3.25
5	700721	접합 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기 및 모양)	2.25	2.75	3.25	3.00	3.25
6	700910	백미러 (차량용)	2.25	2.25	2.25	2.75	3.00
7	732020	스프링 (나선용, 철강제)	2.50	3.25	3.25	2.75	3.25
8	840991	부분품 (엔진, 불꽃점화식)	2.75	4.75	4.75	3.00	3.25
9	840999	부분품 (엔진, 기계용, 발전용, 철도차량용, 차량용, 선박용 등)	2.25	4.75	4.75	3.00	3.50
10	841330	액체펌프 (피스톤 엔진용, 연료 유탄유 급유용, 냉각 냉매용)	3.00	3.50	3.50	3.25	3.25
11	841391	부분품 (액체펌프)	2.50	2.75	2.50	3.00	3.25
12	841950	열교환기 (가정용 제외)	3.70	3.75	3.75	3.50	3.00
13	842123	여과기 (내연기관 유류용)	1.75	2.75	3.25	3.00	3.50
14	842131	기체여과기/공기여과기 (내연기관용)	2.00	2.75	2.50	2.75	3.50
15	842139	기체 여과기/청정기 (배기가스 정화용, 반도체제조용 등)	3.50	3.50	3.50	3.25	3.75
16	842199	부분품 (차량 배기가스 정화기, 내연기관 여과기 등)	3.50	3.50	3.50	3.00	3.50
17	848310	전동축 (캠샤프트, 크랭크샤프트), 크랭크	3.75	3.25	4.00	3.50	3.25
18	848320	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 갖춘 것)	3.50	3.50	3.75	3.50	3.00
19	848330	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 없는 것), 플레인 샤프트베어링	3.75	3.25	3.75	3.50	3.25
20	848340	기어, 기어링, 볼 스크루, 롤러 스크루, 기어박스 변속기 (토크컨버터 포함)	3.50	4.50	4.00	3.50	3.25
21	848350	플라이휠, 풀리 (풀리블록 포함)	2.67	3.50	3.50	3.50	3.25
22	848360	클러치, 샤프트커플링 (유니버설조인트 포함)	2.75	3.50	3.50	3.50	3.25

순번	HS code	품목명	1번 항목	2번 항목	3번 항목	4번 항목	5번 항목
23	848410	가스킷, 조인트 (금속 아닌 재료와 결합한 금속판으로 만든것 또는 금속 2개이상을 적층한 것)	2.75	4.00	3.25	2.75	3.25
24	848790	부분품 (차량용 기계류, 오일실링 등)	2.75	3.00	2.75	3.25	3.00
25	850110	전동기 (출력 37.5W 이하)	1.50	3.50	2.33	2.00	3.67
26	850120	전동기 (교류·직류 겸용, 출력 37.5W 초과)	2.00	3.50	3.00	2.33	4.00
27	850131	직류전동기.직류발전기 (출력 750W 이하, 태양광 제외)	2.67	3.33	3.00	2.67	4.00
28	850132	직류전동기.직류발전기 (출력 750W~75kW, 태양광 제외)	2.50	4.00	3.33	3.00	4.00
29	850151	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W 이하, 감속기)	3.00	3.67	3.33	3.67	3.67
30	850152	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W~75kW), 감속기	4.33	4.67	4.00	3.67	3.33
31	850300	부분품 (전동기, 발전기, 발전세트, 회전변환기)	2.50	3.33	3.33	3.00	3.33
32	850440	정지형 변환기 (정류기, 인버터, 배터리 충전기, 파워팩, 어댑터 등)	3.75	3.00	3.25	2.75	3.50
33	850490	부분품 (변압기, 정지형 변환기, 유도자)	3.50	3.25	3.33	2.50	3.50
34	850511	영구자석, 자화 후 영구자석 (금속으로 만든것)	4.50	3.25	3.25	2.75	2.75
35	850519	영구자석, 자화 후 영구자석 (금속 아닌 것)	4.00	3.25	3.25	2.75	2.75
36	850590	전자석, 영구자석식 척, 클램프, 바이스, 그 부분품	2.75	3.00	3.25	3.00	3.50
37	850760	배터리, 축전기 (리튬이온)	5.00	5.00	5.00	4.50	4.50
38	851130	배전기, 점화코일	2.50	3.00	3.00	2.50	3.50
39	851140	시동전동기, 시동전동기 겸용 시동발전기	3.75	3.50	3.50	3.25	3.75
40	851190	부분품(시동용 전기기기, 엔진용 발전기, 개폐기)	3.75	3.25	3.00	3.25	3.75
41	851230	음향신호용 기구	2.75	3.00	2.75	2.25	4.00
42	851290	부분품 (조명용.시각 신호용 기구, 윈드스크린 와이퍼, 제상기, 제무기)	2.75	3.00	2.75	2.75	4.00

순번	HS code	품목명	1번 항목	2번 항목	3번 항목	4번 항목	5번 항목
43	854231	프로세서, 컨트롤러 (전자집적회로)	5.00	5.00	4.75	3.75	3.50
44	854239	기타 전자집적회로	4.50	4.75	4.50	3.75	3.50
45	854430	점화용 와이어링 세트 (자동차, 항공기, 선박용)	2.75	3.25	3.00	1.67	3.50
46	870829	차체, 그 부분품(차량용)	3.75	3.25	3.00	3.25	4.00
47	870830	제동장치, 그 부분품 (차량용)	3.75	3.75	3.50	3.25	3.75
48	870840	기어박스, 그 부분품(차량용)	3.75	4.00	3.75	3.50	3.50
49	870850	구동 차축 (차동장치 갖춘것), 비구동 차축, 그 부분품(차량용)	3.50	3.75	3.25	3.50	4.50
50	870870	로드 휠, 그 부분품(차량용)	3.25	3.00	3.00	2.75	3.75
51	870880	서스펜션 시스템, 그 부분품(차량용)	3.75	3.75	3.50	3.75	3.50
52	870891	방열기, 그 부분품(차량용)	3.75	3.75	3.75	3.25	4.25
53	870894	운전대, 스티어링칼럼, 운전박스, 그 부분품(차량용)	3.25	3.00	3.00	3.00	4.25
54	870899	새시, 그 부분품 (차량용)	3.25	3.25	3.00	3.30	4.00

3) 정부 R&D 지원 방안

델파이 조사 결과를 기반으로 정부 지원 유형 및 세부 지원 전략을 수립하기 위해 전문가 인터뷰를 개최하였고, 그 결과는 표 5, 6과 같다. 표 5에는 품목의 파급효과, 유망성 등이 미흡하여 정부지원 품목에서 제외된 기업차원 재고관리 25개 품목이며, 이를 제외한 29개 품목에 대한 정부 지원 방안 및 세부 지원 내용은 표 6과 같다.

예를 들어, 영구자석의 경우 전기차 추진 모터의 핵심 품목으로, 핵심 원재료인 디스프로슘 중희토류가 중국에서만 독점 생산이 이루어지고 있고, 저비용 대량 생산체계가 갖추어져 있기 때문에 공급망 리스크가 매우 높다. 반면 한국의 경우 관련 산업 규모가 영세함은 물론, 생태계가 전반적으로 취약하기 때문에 공급망 리스크에 적절히 대응하기 위해서는 인력양성, 세제혜택, 기초연구 등의 정부 지원이 필요하다고 볼 수 있다. 타이어의 경우에도 전기차에서 여전히 사용되는 핵심 품목으로, 관련 국내 산업이 크고 제품 개발을 위한 소재 기술력 고도화 및 고신뢰성 확보를 위한 실증이 필요한 품목으로 정부 지원 방안은 R&D 또는 실증으로 분류되었다.

〈표 5〉 자동차분야 공급망리스크 품목 중 기업차원 재고관리 품목

순번	HS code	품목명
1	700711	강화 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기.모양)
2	700721	접합 안전유리 (차량·항공기·우주선·선박용에 적합한 크기.모양)
3	700910	백미러 (차량용)
4	732020	스프링 (나선용, 철강제)
5	840991	부분품 (엔진, 불꽃점화식)
6	840999	부분품 (엔진, 기계용·발전용·철도차량용·차량용·선박용 등)
7	841330	액체펌프 (피스톤 엔진용, 연료·윤활유 급유용, 냉각 냉매용)
8	841391	부분품 (액체펌프)
9	842123	여과기 (내연기관 유류용)
10	842131	기체여과기·공기여과기 (내연기관용)
11	848350	플라이휠, 폴리 (폴리블록 포함)
12	848360	클러치, 샤프트커플링 (유니버설조인트 포함)
13	848410	개스킷·조인트 (금속 아닌 재료와 결합한 금속판으로 만든것 또는 금속 2개이상을 적층한 것)
14	848790	부분품 (차량용 기계류, 오일실링 등)
15	850110	전동기 (출력 37.5W 이하)
16	850120	전동기 (교류·직류 겸용, 출력 37.5W 초과)
17	850131	직류전동기.직류발전기 (출력 750W 이하, 태양광 제외)
18	850132	직류전동기.직류발전기 (출력 750W~75kW, 태양광 제외)
19	850151	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W 이하), 감속기
20	850300	부분품 (전동기, 발전기, 발전세트, 회전변환기)
21	850590	전자석, 영구자석식 척·클램프·바이스, 그 부분품
22	851130	배전기, 점화코일
23	851230	음향신호용 기구
24	851290	부분품 (조명용·시각 신호용 기구, 윈드스크린 와이퍼, 제상기, 제무기)
25	854430	점화용 와이어링 세트 (자동차·항공기·선박용)

〈표 6〉 자동차분야 공급망리스크 품목의 정부 지원 방안

순번	HS code	품목명	정부지원방안	R&D 지원 세부 내용
1	401110	고무제 공기타이어 (신품, 승용차용·스테이션 왜건·경주자동차용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차는 내연기관에 비해서 중량이 20% 이상 무거워 전기차 전용 타이어 개발이 필요하며, 향후 성장성에 비추어 볼 때 고부가가치 제품으로서의 이익 창출 예상 전비 향상을 위한 타이어 회전저항 감소 설계, 고중량에 따른 경량화, 고내구성, 고내피로성 등의 소재 성능개선 R&D 지원 필요
2	401120	고무제 공기타이어 (신품, 버스용·화물차용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	
3	401190	기타 고무제 공기타이어 (신품)	R&D (응용·개발 중심), 실증	
4	841950	열교환기 (가정용 제외)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차 통합 열관리를 위해 적용 중인 히트펌프 시스템은 저온 운전특성이 요구 성능에 미치지 못함 히트펌프 냉매 환경규제 대응을 위한 대체 냉매 활용 기술개발이 필요하며, 특히 탄화수소 계열 냉매의 경우 인화성을 가지고 있어 간접식 시스템(냉매 → 냉각수 → 공기)으로 시스템을 변경하는 방안이 고려되고 있음 판형열교환기에 대한 성능 및 신뢰성(내압성) 향상 기술 R&D 필요 <ul style="list-style-type: none"> 저온시 열교환 성능 향상을 위해 냉각수 및 냉매측 유동경로 개선 설계 기술 R&D (플레이트 구조 개선, 입출구 포트 개선) 대체 냉매(탄화수소 냉매, 자연 냉매)를 사용하였을 때, 높아지는 작동압력 대응 열교환기 내압성 향상 설계 기술 R&D 필요
5	842139	기체 여과기·청정기 (배기가스 정화용, 반도체제조용 등)	사업화	<ul style="list-style-type: none"> Euro7/EPA Tier3 등 배기규제 강화와 온실가스 배출저감(탄소중립) 등의 대응을 위해 요구되는 성능 고도화(고정화효율, 저온활성-전열촉매, 복합기능, 고장진단 등) 및 대체연료(e-Fuel, 수소 등 저탄소/무탄소) 대응 후처리시스템 관련 지원 필요
6	842199	부분품 (차량 배기가스 정화기, 내연기관 여과기·청정기, 반도체 제조용 여과기·청정기, 정수기 필터 등)	사업화	
7	848310	전동축 (캠샤프트, 크랭크샤프트), 크랭크	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 전기자동차는 2~3년이 경과하면 편심이 발생하고 있으며, 구동샤프트가 원인 중 한 분야로 지적되고 있음 전기자동차 구동시스템에서 구동샤프트는 고내구성의 기술 개발이 필요하며, 급출발/급제동 등 혹독한 환경에서 15년 이상 고내구성이 요구되므로 이에 대한 R&D 및 실증 지원이 필요

순번	HS code	품목명	정부지원방안	R&D 지원 세부 내용
8	848320	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 갖춘 것)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 전기차 구동 모터의 출력이 커지고 있으며, 향후 고속화까지 진행될 경우 이를 감당할 수 있는 베어링 기술 개발이 필요
9	848330	베어링하우징 (볼베어링 또는 롤러베어링 없는 것), 플레인 샤프트베어링	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 현재 200kW 이상의 출력 및 25,000rpm 이상의 대용량/고속회전을 감당할 수 있는 베어링 기술 확보를 위해 지원이 필요
10	848340	기어·기어링, 볼 스크루, 롤러 스크루, 기어박스 변속기 (토크컨버터 포함)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 현재 시판되고 있는 전기자동차 구동시스템은 감속기가 장착되고 있으며, 구동용 감속기는 대용량의 구동토크를 감당해야 하고, 특히 급출발/급제동 등 매우 열악한 환경에서 15년 이상의 고내구 신뢰성 확보 필요 향후 전기자동차 구동시스템의 고용량화와 고속화에 대비하여 기술개발을 진행해야 할 분야이며, 구동 효율을 향상시키기 위한 전기자동차용 변속기 기술개발 병행 필요
11	850152	교류전동기 (다상(多相), 출력 750W~75kW), 감속기	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 교류전동기(다상, 수십 kw ~ 수백 kw)의 경우 전기자동차의 구동모터로 사용되는 핵심 품목으로 파급효과가 매우 큼 이에 구동용 모터 스펙에 적합하도록 경량화/고속화/고효율 모터 개발을 위한 지원이 필요
12	850440	정지형 변환기 (정류기·인버터·بات데리 충전기·파워팩·어댑터 등)	사업화, 세제혜택	<ul style="list-style-type: none"> 컨버터, 인버터, 정류기 등을 포함하는 품목으로 자동차의 전동화에 따라 필수적으로 요구되는 핵심 품목이며, 전기차 충전기도 이에 해당
13	850490	부분품 (변압기·정지형 변환기, 유도자)	사업화, 세제혜택	<ul style="list-style-type: none"> 고효율 급속 충전기, 고전압/고효율/경량/소형 인버터 개발 지원 필요
14	850511	영구자석, 자화 후 영구자석 (금속으로 만든 것)	생태계 조성, 세제혜택	<ul style="list-style-type: none"> 희토류 영구자석이 이에 해당하며, 구동모터를 제작하는데 필수적인 품목임 희토류는 중국에서 전세계 공급망을 독점하고 있고, 국내 생태계가 미흡하므로 희토류 free 영구자석 개발을 위한 기초R&D 지원이 필요
15	850519	영구자석, 자화 후 영구자석 (금속 아닌 것)	생태계 조성, 세제혜택	<ul style="list-style-type: none"> 페라이트 영구자석이 해당하며, 희토류 구동모터를 대체하기 위한 움직임이 활발히 진행되고 있음 이에, 페라이트 영구자석이 희토류 영구자석을 대체하기 위한 자속밀도 강화 등에 대한 기초 R&D 지원이 필요

순번	HS code	품목명	정부지원방안	R&D 지원 세부 내용
16	850760	배터리, 축전지 (리튬이온)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 리튬이온 이차전지는 전기차 핵심 품목으로 중국, 일본, 한국 3개국이 전세계 시장 대부분을 차지하고 있음 한국은 고가 차량에 적용되는 3원계 배터리에서 압도적 지위를 가지고, 중국은 저가 차량에 적용되는 LFP 배터리에서 압도적 지위를 가지고 있음 향후 시장 확대를 위해 한국 기업의 LFP 배터리 개발을 중점적으로 지원하고, 차세대 배터리 시장 확보를 위한 전고체 배터리, NCM배터리의 양극재/음극재 등에 대한 R&D 지원도 병행 필요
17	851140	시동전동기, 시동전동기 겸용 시동발전기	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 지속적으로 강화되는 배기규제와 온실가스 저감(탄소중립)에 효과적으로 대응하기 위한 능동 전동화 부품(일체형 시동-발전장치(Integrated Starter-Generator), 고에너지저장(고효율연소, 대체연료), 전동조향제동, 자율차용 고급센서 등) 적용의 확대 추세로 엔진차 고전력 공급 및 활용 관련 요소부품과 시스템 응용 R&D 지원
18	851190	부분품 {시동용 전기기기 (점화용 자석발전기·자석발전기·점화코일·점화플러그·예열플러그·시동전동기), 엔진용 발전기 (직류발전기·교류발전기), 개폐기}	사업화	
19	854231	프로세서·컨트롤러 (전자집적회로)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 미래자동차의 E/E아키텍처가 SDV(Software Defined Vehicle)를 구현하기 위한 통합 제어용 반도체가 해당 기존 280여개의 시스템 반도체가 70여개 수준으로 통합화되는 추세이며, 자동차 적용을 위한 고신뢰성, 고성능 지원이 필요 또한 시스템반도체 전주기 생태계 구축을 위해 한국이 미흡한 분야인 후공정 기업에 대한 지원 강화가 필요
20	854239	기타 전자집적회로	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 미래자동차의 E/E아키텍처가 SDV를 구현하기 위한 믹스드칩(통신, 전력컨트롤, 센서) 반도체가 해당 센서들이 고도화되고 있고, 통신 속도가 빨라짐(1M → 1G)에 따라 고신뢰성, 고성능 R&D 지원이 필요 또한 시스템반도체 전주기 생태계 구축을 위해 한국이 미흡한 분야인 후공정 기업에 대한 지원 강화가 필요

순번	HS code	품목명	정부지원방안	R&D 지원 세부 내용
21	870829	차체, 그 부분품 (차량용)	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 고강도 차체를 위해 고에너지(950도 이상)를 사용한 핫스탬핑을 대체하는 워스탬핑(600도급)을 적용한 차체 프레임, 차체 경량화를 위한 이종 소재(철, 알루미늄, 탄소복합, 강화플라스틱 등)간의 고신뢰성을 확보한 접합 기술(용접(레이저/초음파 등), 볼트/리벳, 본딩) 지원 필요
22	870830	제동장치, 그 부분품 (차량용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 탄소저감을 위한 전자식브레이크시스템(전동형(모터 방식), 회생제동, 오일 Free, 빠른 응답으로 제동거리 단축), 자율주행차용 다중안전 리던던시(이중화/삼중화)형 제동장치 지원 필요
23	870840	기어박스, 그 부분품 (차량용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> HS 848340 “기어, 기어링, 볼 스크루, 롤러 스크루, 기어박스 변속기(토크컨버터 포함)”와 유사한 측면에서 지원
24	870850	구동 차축(차동장치 갖춘것), 비구동 차축, 그 부분품(차량용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 전후륜 동력 배분, 좌우 독립 구동을 위한 4WD(4 Wheel Driving)용 고효율 Coupling(습식다판, 모터방식 등) 및 차량 주행환경에 따라 자동동력배분 제어장치 기술개발 지원 필요
25	870870	로드 휠, 그 부분품 (차량용)	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 알루미늄/탄소복합 소재 적용 경량화, 단조형 고강성 확보로 고속화/고중량 신뢰성 확보 기술 지원필요
26	870880	서스펜션 시스템, 그 부분품(차량용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> 노면 상태에 적응하고 주행 안전성 향상을 위해 고속으로 댐핑력을 조절하는 전동화(모터 or 자기장 등) 현가 장치, 운전 안전성 및 승하차 편리성을 높이는 에어 서스펜션 장치 및 부속품들에 대한 기술개발 지원 필요
27	870891	방열기, 그 부분품 (차량용)	R&D (응용·개발 중심), 실증	<ul style="list-style-type: none"> HS 841950 열교환기와 유사한 측면에서 지원
28	870894	운전대·스티어링칼럼· 운전박스, 그 부분품 (차량용)	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 운전자 상태를 인지하기 위한 생체신호 획득이 가능한 운전대, 자율주행차의 보급에 따라 차량 공간 증가를 위한 매립형 스티어링/운전박스에 대한 기술개발 지원 필요
29	870899	새시, 그 부분품 (차량용)	사업화	<ul style="list-style-type: none"> 차체 경량화를 위한 고강도, 경량화 철강재 관련 기술개발 지원 필요

Ⅲ. 결론

본 연구에서는 기존의 한국의 수출입 의존도 분석 기반의 소부장 공급망 분석 방법론을 벗어나 IMF에서 제시한 글로벌 공급망 분석 방법론을 활용하여 글로벌 차원에서 소부장 품목의 공급망 리스크를 분석하고, 자동차 관련 품목에 대한 델파이 조사를 진행하여 정부 R&D 지원 방안을 수립하였다. 근거기반의 글로벌 공급망 분석을 위해 CEPII에서 제공하는 2021년 HS code 6단위 기반 글로벌 양자간 교역 데이터 BACI를 활용하였고, 소부장넷에서 제공하는 소부장 세부 분야별 산업데이터(사업체 수, 종업원 수, 부가가치액, 생산액)를 활용하여 자동차분야 정부 R&D 지원 방안 도출을 위한 참고 자료로 활용하였다. 또한 관세에 특화되어 있는 품목 분류에 대한 이해도를 높이기 위해 KOTRA 무역투자빅데이터에서 제공하는 품목분류 사례를 활용하였다.

분석 결과 2,162개 소부장 HS code 6단위 품목 중 311개 품목이 글로벌 차원에서 공급망 리스크가 있는 것으로 도출되었고, 이 중에서 54개의 품목이 자동차분야에 관련된 품목인 것으로 분석되었다. 54개 품목 중 25개 품목은 미래차에서의 활용도가 크지 않고, 대부분 내연기관차에서만 사용되는 품목으로 판단하여 “기업차원 재고관리” 유형으로 분류하였고, 29개 품목에 대해서만 “R&D(응용·개발 중심)”, “실증”, “사업화”, “생태계 조성”으로 분류하고, 경제성이 미흡한 품목에 대해서는 “세제혜택”을 병행 지원하도록 분류하였다.

구체적으로 살펴보면, “R&D(응용·개발 중심)”, “실증”으로 분류된 품목은 배터리, 타이어, 전자집적회로, 전기차 모터 등 전기차와 자율차에 핵심적으로 소요되는 품목들이며, 사업체 당 종업원 수, 산업 생산액 등이 크고, 소요되는 기술 및 실증 수준이 높아 산업부 위주의 정부 지원전략이 유효하다. “사업화”로 분류된 품목은 차량 배기가스 정화기, 시동전동기, 로드휠, 차체, 새시, 인버터 등 사업체 당 종업원 수, 산업생산액 등이 적고 소요되는 기술 및 실증 수준이 낮아 중기부 중심의 소규모/단기 사업화 중심의 정부 지원전략이 유효하다. 마지막으로 영구자석의 경우 전기차 구동 모터에 핵심적으로 필요한 품목이나, 경제성, 국내 수준 등이 낮아 산업 R&D 지원보다는 생태계 조성을 위한 기초연구, 기반구축 등에 대한 지원이 유효한 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 방법론은 기존과는 달리 글로벌 공급망 측면에서 리스크를 분석하여 위기 대응은 물론, 향후 글로벌 공급망 다변화에 대한 국내 기업의 기회요인으로도 활용할 수 있으며, 자동차 분야에 대해 정부 R&D 지원전략과 연계하여 실질적으로 정책수립에 도움이 되는 결과를

도출했다는 것에 의의가 있다. 다만, HS 6단위 코드 분류에는 하나의 제품만이 속해 있는 경우도 있지만, 여러 개의 제품이 함께 포함되어 있는 경우, 같은 제품이더라도 고부가가치/저부가가치 시장으로 구분되어 있는 경우 등 여러 가지 경우의 수가 존재하므로 분석에 어려움이 있고 오류가 발생할 수 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 향후에는 각 국가별로 세분화하여 관리하는 HS 6단위 하위 분류코드 정보를 활용¹³⁾하여 국가 간 연계작업을 진행하고, 품목에 대한 분석을 구체화할 필요가 있다. 또한 HS code-CPC(Cooperative Patent Classification) code 또는 IPC(International Patent Classification) code 연계표를 활용하여 특허데이터를 분석에 포함 시킨다면 특정 품목에 대한 무역 정보 외에 기술적인 측면에서 보다 효과적인 해석이 가능하다.

13) 한국무역협회에서 회원사들에 한해 글로벌 주요 국가들의 HS 6단위 하위 품목에 대한 교역 정보를 제공해주고 있다.

참고문헌

- 강내영, 양지원(2022), 「글로벌 공급망의 뉴노멀과 우리의 대응」. 한국무역협회 Trade Focus
김계환 외 8인(2020), 「통상환경 변화에 따른 글로벌 가치사슬 재편과 우리의 대응전략」, 산업연구원
연구보고서
- 민은지, 이선경(2022), 「우리경제 수입공급망 취약성 분석」, 한국은행 조사통계월보
- 박가현(2022), 「글로벌 공급망 위기와 우리 기업의 대응현황」, 한국무역협회 Trade Brief
- 이승필, 홍세호(2023), 「경제안보 관점에서의 바이오 분야 글로벌 공급망 리스크 분석 및 시사점」,
BioINpro(vol.119)
- 정형곤, 이흥배, 이형근, 박민숙(2020), 「한·중·일 소재·부품·장비 산업의 GVC 연계성 연구」,
대외경제정책연구원 연구보고서
- 한아름(2023), 「주요국의 공급망 재편 전략과 중국의 대응」, 한국무역협회 통상리포트
- 홍지상 외 9인(2022), 「글로벌 무역통상 환경 변화와 우리의 대응 과제: NEXT 20」, 한국무역협회
Trade Focus
- 관계부처 합동(2019), 소재·부품·장비 연구개발 투자전략 및 혁신대책(안)
- 관계부처 합동(2020), 소재·부품·장비 연구개발 고도화 방안
- 관계부처 합동(2020), 소재·부품·장비 2.0 전략
- 관계부처 합동(2022), 소재·부품·장비 핵심전략기술 확대개편
- 관계부처 합동(2023), 소재·부품·장비 글로벌화 전략
- 혁신성장 BIG3 추진회의(2021), 미래차 경쟁력 확보를 위한 범부처 R&D 지원방안
- 혁신성장 BIG3 추진회의(2022), 미래차 R&D 투자 강화 방안
- 이종성(2001), 연구방법 21: 델파이 방법, 경기: 교육과학사
- Borin, A., Mancini, M., & Taglioni, D.(2021), "Measuring exposure to risk in global value
chains", Policy Research Working Paper 9785, World Bank Group.
- De Benedictis, L., Nenci, S., Santoni, G., Tajoli, L., & Vicarelli, C.(2014), "Network analysis
of world trade using the BACI-CEPII dataset", Global Economy Journal, 14(3-4),
287-343.
- Ganapati, S., & Wong, W. F.(2023). "How Far Goods Travel: Glocal Transport and Supply
Chains from 1965-2020", National Bureau of Economic Research.
- Jung, M., Lee, S., Gim, M., Kim, H., & Lee, J.(2022), "Improving Global Supply Chain Risk
Identification Using Rcf. Journal of the Korean Society for Industrial and Applied
Mathematics", 26(4), 280-295.
- Korniienko, M. Y., Pinat, M., & Dew, B.(2017), "Assessing the fragility of global trade: The
impact of localized supply shocks using network analysis", International Monetary
Fund.

Li, S., Yan, J., Pei, Q., Sha, J., Mou, S. & Xiao, Y. (2019), "Risk identification and evaluation of the long-term supply of manganese mines in china based on the VW-BGR method", *Sustainability*, 11(9), 2683.

Shahbaz, M. S., Othman, B. A., Salman, P. M., Memon, D. A., & Rasi, R. Z. B. R. M. (2020), "A proposed conceptual action plan for identification, assessment and mitigation of supply chain risks", *International Journal of Advanced Operations Management*, 12(1), 65-80.

한국무역협회 k-stat 홈페이지(<https://stat.kita.net/>)

KOTRA 무역투자빅데이터 홈페이지(<https://kotra.or.kr/bigdata/main>)

CEPII 홈페이지(http://www.cepii.fr/cepii/en/bdd_modele/bdd_modele.asp)

소부장넷(<https://www.sobujang.net/index.do>)

Government R&D Support Strategy for Automotive Materials, Parts, and Equipment Through Global Supply Chain Analysis

Lee Seungphil

- Abstract -

This study analyses the supply chain risks of materials, parts, and equipment, which have recently been highlighted as the biggest risk factors for companies, at a global level and suggests government R&D support measures to foster the automotive industry. Using global trade data for 2021, we derive items with high global supply chain risks in the automotive sector from Harmonised Systems (HS) code 6 units. Using the identified risk items and industry data by segment, we conduct a Delphi survey and establish a government R&D support strategy based on the results.

Key words

Global Supply Chain, Materials, Components & Equipment, Automotive, Data Driven Strategy

데이터 출처

순번	데이터 종류	주요 내용	출처
1	CEPII BACI 데이터	<ul style="list-style-type: none"> BACI(Base pour l'Analyse du Commerce International) 데이터는 CEPII(Center d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales) 에서 UN comtrade 데이터의 모든 양자 무역관계에 대한 무게와 교역액을 활용하여 만든 글로벌 국제교역 데이터 베이스로, HS 코드를 기준으로 '95 ~ 현재까지 정리되어 있음 여기서 사용하는 HS 코드는 전세계 200개국 이상의 경제체와 세관 또는 경제연합에서 국제 무역 통계 및 세관 관세의 기초로 사용하고 있는 코드로, HS 6단위 코드가 전 세계에서 공통 표준으로 사용하는 가장 작은 단위이며, 글로벌 공급망 분석에 널리 활용되고 있음 본 연구에서도 최신 연도(2021년도)의 5,387개 HS 6단위 품목에 대해 226개국의 글로벌 교역데이터 1,113만 건을 다운받아 분석에 활용하였고, 데이터에는 교역연도, 수출국, 수입국, HS 6코드 단위, 교역액(천 달러) 및 교역량(ton)으로 구성되어 있음 	http://www.cepii.fr
2	한국 소재·부품·장비 데이터	<ul style="list-style-type: none"> 본 연구에서는 두 가지 측면에서 한국의 소부장 데이터를 활용하였음 <ul style="list-style-type: none"> 첫째, 앞서 언급한 HS 6단위 5,387개 분류체계에는 산업적 분석에 적합하지 않은 동식물성 생산물, 조제식료품, 가죽 등이 포함되어 있어 산업전략을 수립하기 위한 분류체계로 적합하지 않으므로, 한국기계산업진흥회의 협조를 구해 소부장 특별법에 따라 산업적 활용도가 높은 HS 6단위 2,162개에 한정하여 분석을 진행 둘째, 델파이 분석 시 한국의 산업적 기반, 경제성 등에 대한 보조지표로 활용하기 위해 소부장넷에서 제공하는 소재·부품·장비 세부 분야별 산업통계자료(사업체수, 종업원수, 부가가치액, 생산액)를 활용 <ul style="list-style-type: none"> ※ 자동차 품목의 경우 '자동차용엔진', '자동차 차체용 부품', '자동차용 동력전달장치' 등 세부품목에 별도로 명시가 되어 있으므로 활용하기에 더욱 용이 	한국기계산업진흥회, https://www.sobujang.net

| 논문 |

우리나라 5대 기계 산업의 R&D 효율성 분석

ISTANS 11대 제조업을 중심으로

김 경 수

(주)웍스 기술전략부 팀장

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

우리나라 5대 기계 산업의 R&D 효율성 분석*

- ISTANS 11대 제조업을 중심으로 -

김경수**

- 초 록 -

본 연구는 우리나라의 기계 산업의 R&D 효율성 측정 결과를 바탕으로 비효율성 원인, 부가가치와의 연관성, 효율성 결정요인을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

우리나라 기계 산업의 R&D 효율성에는 27.3%의 비효율성이 발생하였으며, 시간의 흐름에 따라 업종과 기술 수준별 비효율성 경향이 다르게 나타나고 있음을 확인하였다. 기계 산업의 비효율성 원인을 살펴봄으로써 R&D 효율성 제고를 위해 기계 산업 5대 업종뿐만 아니라 기술 수준까지 고려할 필요가 있음을 확인하였으며, R&D 효율성과 부가가치 간 연관성 분석을 통해 산업적 파급효과 측면에서 R&D 효율성 제고가 우선적으로 필요한 업종을 확인할 수 있었다. R&D 효율성 결정요인 분석을 통한 인력과 설비를 확대하는 것이 효율성 제고를 위한 중요한 과정임을 확인할 수 있었다. 재무 성장성 관점에서 기업의 적극적인 영업활동보다는 자기자본을 확대하기 위한 노력이 우선적으로 필요함을 확인하였으며, 재무 안정성 관점에서 자기자본에 대한 관리보다는 기업 내 장기부채에 대한 효과적인 관리가 더욱 중요함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 ISTANS를 통해 확보한 2017년부터 2021년까지 11대 제조업의 데이터를 활용하여 기계 산업의 R&D 투자 대비 성과를 실증적으로 분석하였으며, 분석 결과를 토대로 기계 산업의 R&D 효율성을 5대 업종별, 기술 수준별로 종합적으로 진단함으로써 분석 결과에 근거한 R&D 효율성 제고를 위한 방안을 제시하였다. 것에 연구의 의의가 있다.

주 제 어 기계 산업, 기술 수준, R&D 효율성, DEA, ISTANS

논문접수일 2024년 3월 17일 수정논문 제출일 2024년 6월 13일 게재확정일 2024년 6월 18일

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

* 본 논문은 2023 ISTANS 논문경진대회 수상 논문을 수정한 논문입니다.

** (주)웍스 기술전략부 팀장, jsks1020@gmail.com

I. 서론

과학기술이 경제와 안보, 외교 등 국제질서까지 뒤흔드는 기술패권 시대가 본격화되고 있다(관계부처, 2022). 과학기술은 국가경쟁력이자 국제질서 및 인류번영을 좌우하는 핵심요소이며(과학기술정보통신부, 2022), 경제성장뿐만 아니라 외교, 안보, 글로벌 난제 등 문제를 해결하는 핵심 열쇠로서 그 중요성이 지속적으로 확대되고 있다(과학기술정보통신부, 2023a). 글로벌 기술패권 경쟁에 대응하여 기술 주권을 확립하기 위해 과학기술 주요국들의 경쟁이 심화되고 있다(과학기술정보통신부, 2023a). 우리나라는 과학기술 혁신을 통한 기술경쟁력 확보를 위해 연구개발(R&D) 투자를 지속적으로 확대하고 있다. 2020년 연구개발활동조사 보고서(한국과학기술기획평가원, 2022)에 따르면, 우리나라 2020년 총 R&D 투자비는 93조 717억 원으로 세계 5위 수준이다. 특히, 우리나라 전 산업 기업의 R&D 투자비는 73조 5,998억 원으로 전년 대비 약 2조원 증가하였으며, R&D 투자비의 86.7%를 제조업이 차지하고 있어 전 산업의 R&D 투자를 제조업이 견인하고 있다.

기계 산업은 제조업을 중심으로 산업 발전의 견인차 역할을 수행하는 산업이다(박광순·이진면·진혜진, 2012). 기계 산업은 제조업의 핵심 근간이며(김희태·권상집, 2019), 국가 경제의 중심이 되는 주력산업으로서 국가 경제활동을 원활히 하는데 필수적인 국가 기간산업이다. 또한 글로벌 경기침체 이후 국가 경제발전에 원동력을 제공하고, 주요 산업에 기초 소재를 공급하는 특성으로 인해 기계 산업의 중요성은 더욱 증가하였다.

우리나라 기계 산업은 러·우 전쟁의 장기화, 금리인상 및 고물가 등 글로벌 경기침체가 지속됨에도 불구하고 기계 산업의 생산은 112조 원으로 전년 대비 증가하였다(길형배 외, 2023). R&D 활동은 대표적인 기술혁신 활동이다(오치훈 외, 2016). 기계 산업의 R&D 투자 현황을 살펴보면, 2020년 18조 680억 원으로 전체 제조업 R&D 투자 규모 중 28.4%의 큰 비중을 차지하고 있으며, 최근 5년 간 연평균 8.1%의 증가율로 제조업보다 높은 증가율로 투자 규모가 확대되었다. 또한 2019년 대비 7,697억 원 증가하였는데, 이는 기계 산업의 중요성과 함께 R&D 투자 규모가 꾸준히 확대되고 있음으로 해석해볼 수 있다.

〈표 1〉 제조업 및 기계 산업의 R&D 투자비 변화

(단위: 억 원, %)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	증가율		변화량 (b-a=c)
						5년(a)	3년(b)	
제조업	478,842	558,433	610,088	623,862	636,579	7.4	2.1	-5.2
기계산업	132,483	156,039	168,237	172,983	180,680	8.1	3.6	-4.4
비중	27.7	27.9	27.6	27.7	28.4	0.6	1.5	0.8

* 출처: ISTANS DB, 2023

주1) R&D 투자: 연구개발활동조사보고서 각 연도, 한국과학기술기획평가원

주2) 수치는 소수점 둘째자리까지 반올림

전 세계적으로 주요 국가들은 신 시장 확보를 위해 노력하고 있다. 제조업 기업들은 빠르게 변화하는 환경 변화에 대응하기 위해 R&D 투자를 통해 체질 개선을 시도하고 있다(과학기술정보통신부, 2021). 정부는 기업들이 환경 변화에 발 빠르게 대응할 수 있도록 다양한 대책을 마련하고 있으며, 이를 바탕으로 R&D 투자를 확대하고 있다. 대내외 환경 변화에 대비하고 적응하기 위해서는 R&D 투자가 수익을 창출하고, 발생한 수익이 다시 재투자되어 산업 발전으로 이어지는 선순환적인 메커니즘의 R&D 생태계 구축이 필요하다. 이를 위해서는 투입된 예산이 R&D의 경제적 성과, 즉 매출로 이어질 수 있도록 체계적으로 관리함으로써 R&D 투자의 효율성을 확보가 우선적으로 이루어져야 한다. 이에 그간 기계 산업의 R&D 효율성에 관한 연구(권일숙 외, 2013; 노상환, 2014; 김환섭·이홍배, 2018; 조남권 외, 2018)는 꾸준히 진행되었다. 하지만 광범위한 기계 산업의 범위로 인해 선행연구는 기계 산업의 특정 산업 중심으로 진행됨에 따라 기계 산업 전반의 R&D 효율성에 관한 연구는 부족하였다. 특히 비효율성 원인이나 효율성 결정 요인은 R&D 효율성 제고를 위한 중요한 요소(과학기술정책연구원, 2009)임에도 불구하고 이에 관한 연구는 한정적으로 진행되었다.

본 연구는 기계 산업의 R&D 투자 대비 성과를 객관적인 방법론을 활용하여 다각도로 분석함으로써 R&D 효율성을 종합적으로 진단하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 산업연구원에서 운영하는 산업통계 분석시스템인 「ISTANS(Industrial Statistics Analysis System: ISTANS)」를 통해 우리나라 기계 산업에 해당하는 11대 제조업의 국가승인통계 데이터를 확보

하고, 대표적인 방법론인 DEA(Data Envelopment Analysis) 모형을 활용하여 효율성을 측정하였다. 한국표준산업분류를 기준으로 「ISTANS」의 11대 제조업과 「한국기계산업진흥회(Korea Association of Machinery Industry: KAOMI)」의 기계 산업 5대 업종 분류를 연계하여 5대 업종과 기술 수준별로 효율성에 어떠한 차이가 있는지 분석하고, 측정된 효율성 값을 기초로 비효율성 원인을 도출하였다. 상관분석을 활용하여 효율성과 부가가치 간 연관성을 살펴보고, 토빗 회귀분석을 활용하여 기계 산업의 효율성 결정요인을 도출함으로써 그간 기계 산업의 R&D 투자에 대한 성과를 효율성 관점에서 종합적으로 진단하고자 하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 추후 기계 산업의 R&D 효율성 제고를 위한 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 선행연구와 활용 방법론에 대해 기술하고, 연구 모형 및 연구 방법을 기술하였다. 이후 연구 모형에 따른 분석 결과를 제시하고 연구의 결론 및 추후 연구 방향에 대해 기술하였다.

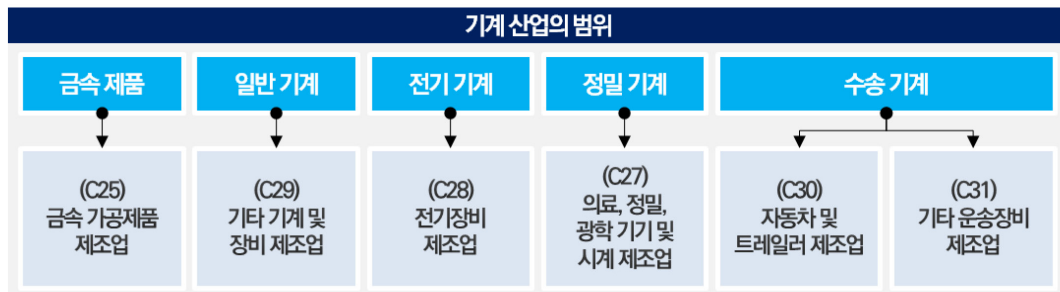
II. 이론적 배경

1. 기계 산업의 정의

기계는 제조를 위한 제조 장비로서 전방산업의 생산성과 제품의 품질을 좌우하는 핵심 요소이다(관계부처, 2019). 기계 산업은 주력 산업에 제품 생산이나 양산을 위한 장비를 공급하는 산업으로 대표적인 자본집약적 산업이며, 전방산업과 후방산업 간 유기적인 관계를 형성하고 있어 국가 경제에 미치는 파급효과가 큰 산업이다.

기계 산업은 동력의 발생, 인간과 화물의 이동, 제품의 제조, 음식료품의 재배 및 가공, 탐험 및 탐사, 진단 및 치료, 제어 및 계측 등 인간 생활에 전반에 걸쳐 밀접한 관련이 있다. 우리나라는 기계 산업의 지원 및 육성을 위해 1967년 「기계공업진흥법」을 제정하였으며, 근거 법에 의해 설립된 「한국기계산업진흥회(KOAMI)」는 당시 「한국표준산업분류」를 참고하여 기계 산업을 금속제품(C25), 일반기계(C29), 전기기계(C28), 정밀기계(C27), 수송기계(C30~31) 등 5대 업종으로 분류하였다. 기계 산업 5대 업종과 한국표준산업분류를 기준으로 한 기계 산업의 범위는 [그림 1]과 같다.

[그림 1] 기계 산업의 범위



* 출처: 한국기계산업진흥회 홈페이지, 저자 재구성

2. 선행연구

국가적 차원에서 산업 육성 정책을 수립할 때 그간의 성과를 살펴보는 것은 필수적인 과정이다. 이에 기업이나 산업의 R&D 투자에 대한 성과를 객관적인 방법론을 활용하여 종합적으로 진단하기 위해 연구가 활발히 진행되었다. 효율성은 성과를 평가하는 대표적인 지표로서 투입된

자원 대비 산출된 성과를 측정하는 개념이며(하귀룡·최석봉, 2011), 효율성을 결정하는 요인을 규명하는 것은 공공이나 민간 부문에서 효율성 제고를 위한 우선적인 과제이다(과학기술정책연구원, 2009). 기계 산업의 그간의 성과를 살펴보고 효율성 제고 방안을 도출하기 위해 R&D 효율성에 관한 연구는 꾸준히 진행되었으며, 대표적인 선행연구를 살펴보면 다음과 같다.

권일숙 외(2013)의 연구는 제조업 생산성 패널조사 데이터를 기초로 대표적인 기계 산업인 자동차, 기계완제품, 부품 및 소재, 조선을 비롯하여 이동통신 업종의 제조 기업의 효율성을 DEA 모형을 이용하여 측정하고 R&D사업포지셔닝 매트릭스 분석을 진행하였다. R&D 투자, 기업 규모, 업종별 효율성을 비교하고 매트릭스 분석을 통해 향후 투자 효율성 제고를 위한 대안을 제시하였다는 것에 의의가 있다. 하지만 비효율성 원인과 효율성 결정요인을 업종별로 비교하는 등의 추가적인 분석이 진행되지 않아 제시된 효율성 제고 방안의 타당성이 다소 미흡하다는 점에서 한계점이 존재하였다. 노상환(2014)의 연구는 한국거래소에 상장된 기계 및 장비제조 기업 데이터를 활용하여 창원 지역과 창원 외 지역의 기계 기업의 효율성을 DEA 모형과 Malmquist 생산성 분석을 활용하여 실증적으로 살펴보았다. 종업원 규모별로 구분하여 정태적 효율성을 분석하고, 분석 구간을 구분하여 동태적 효율성을 살펴봄으로써, 창원 소재 기계 산업의 생산성 변화를 파악할 수 있었다. 하지만 지역별, 종업원 규모별 비효율성 원인 비교나 효율성 결정요인에 대한 분석을 통한 구체적인 효율성 제고 방안이 제시되지 않았다는 점에서 한계점이 존재하였다. 김환섭·이홍배(2018)의 연구는 DEA 모형을 이용하여 국내 자동차 부품 관련 기업의 효율성을 측정하고, 기업 규모, 수출 비중, 기술이전 경험 등의 특성별로 기술 창출과 사업화 과정의 효율성을 비교함으로써 특성에 따른 효율성 변화를 살펴보았다. 하지만 비효율성 원인이나 효율성 결정요인 분석 등의 심층적인 분석은 진행되지 않고, 현황 점검 수준의 분석이 진행됨에 따라 효율성 제고를 위한 구체적인 방안이 제시되지 않았다는 점에서 한계점이 존재하였다. 조남권 외(2018)의 연구는 DEA 모형을 이용하여 전자 및 기계 관련 업종(C25~C31)에 해당하는 중소·중견기업의 효율성을 전자 산업(C26)과 기계 산업(C26 이외)으로 조작적으로 정의 후 구분하여 측정하고 이를 바탕으로 비효율성 원인 및 효율성 결정요인 분석을 진행하였다. 기계 산업과 전기 산업의 효율성을 비교하여 각 산업의 효율성을 점검하고, 효율성 결정요인 분석을 통해 사업화 관점에서 효율성 제고 방안을 제시했다는 것에 의의가 있다. 하지만 효율성 결정요인 분석 시 효율성 투입변수가 반 이상 독립변수로 다시 사용됨에 따라 협의의 측면에서 효율성 제고 방안이 도출되었다는 점에서 한계점이 존재하였다.

그간 기계 산업의 R&D 효율성에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 하지만 기계 산업의

넓은 범위로 인해 앞서 살펴본 바와 같이 금속제품, 수송기계 등 접근이 용이한 특정 산업 중심으로 진행됨에 따라 기계 산업 전반에 관한 R&D 효율성에 관한 연구는 부족하였다. 특히 효율성 결정요인은 투입되는 자원을 배분하기 위한 정보를 제공(우정원·천동필, 2018)하기 때문에 효율성 제고 방안 수립 시 중요한 요소임에도 불구하고 기계 산업의 R&D 효율성 결정요인에 관한 연구는 부족하였다. 이에 본 연구에서는 전체 기계 산업을 5대 업종, 기술 수준별로 구분하여 기계 산업 전반의 R&D 효율성을 측정하고, 비효율성 원인 분석, 효율성 결정요인 분석, 효율성과 부가가치 간 연관성 분석을 진행하였다. 특히 노동(labor)은 산업이나 기업의 생존과 연관성이 높은 중요한 활동이며, 기업의 재무적 성과는 R&D 투자와 밀접한 관련이 있는 점을 고려하여(김진용·황문우, 2006) 노동과 재무적 성과에 관한 12개 지표를 효율성 결정요인 분석의 독립변수로 활용함으로써 광의의 측면의 연구를 추진했다는 점에서 그간 선행연구와 차별성을 갖는다.

3. DEA 모형

효율성은 투입 대비 산출의 비율로 산출되는데, 함수적 접근법, 비율분석법, 생산성지수법 등 다양한 방법으로 측정 가능하다. 기존 효율성 측정 방법이 갖는 한계점을 보완하기 위해 DEA 모형이 개발되었다. DEA 모형은 Charnes et al.(1978)이 개발한 상대적 효율성 측정 모형이다. 동 모형은 선형계획법(linear programming)을 근거로 하는 모형이며, 다수의 투입 및 산출 요소를 활용하여 의사결정단위(Decision Making Unit: 이하 DMU)의 효율성 측정이 가능하다는 장점이 있다(박만희, 2008).

DEA 모형은 규모수익의 변화를 기준으로 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes) 효율성과 BCC(Banker, Charnes and Cooper) 효율성으로 구분된다. CCR 효율성(Charnes et al., 1978)은 규모수익 불변(Constant Return to Scale: CRS)을 가정하는 모형으로서 측정된 효율성을 기술효율성(Technical Efficiency: TE)이라고 한다. BCC 효율성(Banker et al., 1984)은 규모수익의 가변(Variable Return to Scale: VRS)을 가정하는 모형으로서 측정된 효율성을 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency: PTE)이라고 한다. 이는 CCR 효율성의 규모수익 불변 가정을 완화한 모형이다. 규모효율성(Scale Efficiency: SE)은 TE를 PTE로 나눈 값으로 산출된다. SE는 분석대상이 최적의 규모보다 작을 때 나타나는 규모의 비효율성 원인 정보를 제공한다(하승재·한용희, 2019). DEA 모형의 기본이 되는 CCR 효율성은 다음과 같은 식으로 설명될 수 있다.

$\min \theta$

제약식 $\theta x_0 - X\lambda \geq 0$

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

θ : DMU의 투입물 승수

(수식1)

x_0, y_0 : DMU의 투입물과 산출물 벡터

X, Y : 전체 DMU의 투입물과 산출물 행렬

λ : 가중치 벡터

4. 토빗 회귀분석

효율성은 0과 1사이의 값으로 산출되는데, 일반적인 최소자승법(Ordinary Least Square)을 활용하게 되면 회귀계수 추정 시 불일치나 편의추정치가 나타난다(McCarty and Yaisawarng, 1993 ; Athanassopoulos Triantis, 1998 ; 유금록, 2008 ; 김권식·이광훈, 2019). 이에 그간 선행연구에서는 효율성 결정요인 규명 시 토빗 회귀분석이 활용되어 왔다. Tobin(1958)이 제시한 토빗 회귀분석은 절단 값을 갖는 종속변수를 분석할 때 적합한 방법이다(백철우·노민선, 2013). 토빗 회귀분석은 중도절단 회귀모형(censored regression model)이라고도 하며, 일반 회귀모형과 이원선택 모형이 혼합된 분석 방법으로 이해할 수 있다(Dougherty, 2002).

토빗 회귀분석 시 다양한 영향요인이 종속변수에 미치는 영향을 해석할 수 있는데, 추정된 계수의 부호는 독립변수가 종속변수에 어떠한 영향을 미치는지의 방향성을 설명할 수 있다(김성문·하현구, 2017). 추정된 계수의 크기는 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력의 크기를 설명할 수 있다(한진석 외, 2011). 토빗 회귀모형은 잠재변수를 활용하여 계수를 추정한다. y_i^* 를 잠재변수라고 정의하면 X_i 는 효율성 결정요인 변수, β 는 계수, ϵ_i 는 오차 항으로 평균이 0이고 분산이 $\sigma^2 e$ 인 정규분포를 따른다고 가정할 때 다음과 같은 식으로 설명될 수 있다.

$$y_i^* = X_i\beta + \epsilon_i, \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2 e), i = 1, 2, \dots, n \tag{수식2}$$

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구 모형

본 연구는 기계 산업의 R&D 효율성을 측정하기 위해 DEA 모형을 활용하였다. 기계 산업 5대 업종과 기술 수준별로 효율성을 비교하기 위해 비모수통계분석을 활용하고, 비효율성 원인을 분석하였다. 측정된 기계 산업의 R&D 효율성과 부가가치 간 연관성을 살펴보기 위해 상관분석을 활용하고, 인력 특성, 재무 성장성, 재무 안정성 등이 기계 산업의 R&D 효율성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 토빗 회귀분석을 활용하였다. 본 연구의 모형은 [그림 2]와 같다.

[그림 2] 본 연구의 모형



2. 분석 대상

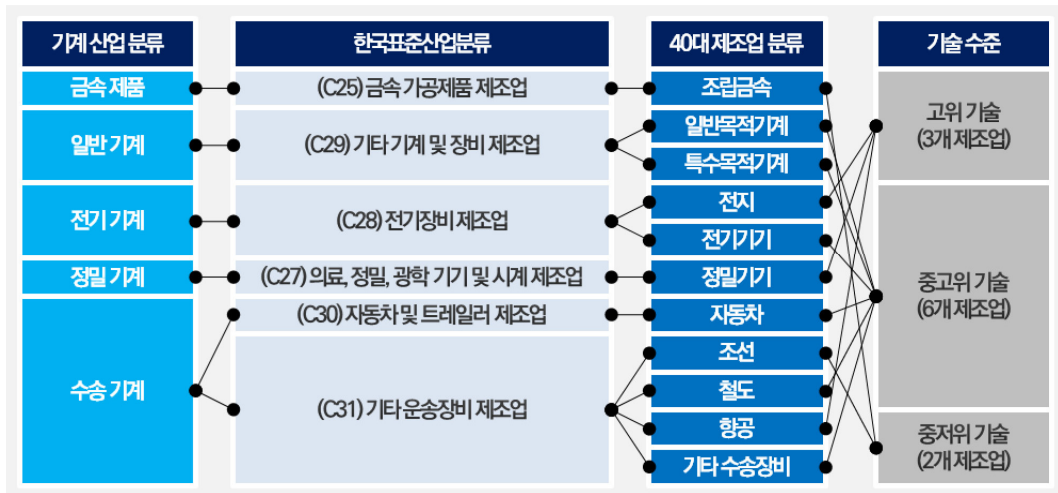
1) 기계 산업의 범위

본 연구에서는 우리나라 기계 산업에 해당하는 데이터를 수집하기 위해 대표적인 산업통계 분석시스템인 「ISTANS」를 활용하였다. 「ISTANS」는 우리나라 산업을 40개 제조업과 20개 서비스업으로 구분하여 통계 데이터를 제공하고 있다. 본 연구에서는 한국표준산업분류를 기준

으로 기계 산업 5개 업종과 연계되는 11대 제조업을 기계 산업의 범위로 정의하여 분석을 진행하였다. 기계 산업 5개 업종과 11대 제조업의 연계표는 [그림 3]과 같다.

금속 제품과 정밀 기계 업종은 각각 조립금속, 정밀기기 제조업과 1:1로 연계되며, 일반 기계 업종은 일반목적기계와 특수목적기계, 전기 기계 업종은 전지와 전기기기 제조업으로 연계된다. 수송 기계 업종은 자동차, 조선, 철도, 항공, 기타 수송장비 등 5개 제조업과 연계된다.

[그림 3] 본 연구의 기계 산업 범위



* 출처: 저자 작성

2) 모집단 설정

DEA 모형을 활용하여 효율성을 측정할 때 DMU 간 동질성과 DMU의 충분한 자유도를 확보하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 「ISTANS」를 활용하여 기계 산업에 해당하는 11대 제조업의 2016년부터 2021년까지 수집된 데이터를 활용하여 DMU 간 동질성을 확보하였다. 선행연구에서는 투입변수와 산출변수를 기준으로 DMU의 적정 개수를 제시하고 있으며, DMU 개수가 일정 수준을 넘어야 변별력 확보가 가능한 것으로 해석하고 있다(Fitzsimmons·Fitzsimmons, 1994 ; Banker et al., 1984 ; Boussofiane et al., 1991). DMU 개수가 너무 적을 경우, 효율적인 DMU가 증가하여 분석 결과의 변별력이 떨어지기 때문에 적정 수준의 DMU를 대상으로 분석을 진행하는 것이 바람직하다. 본 연구는 기계 산업 5대 업종의 효율성을 비교하기 위해 기계 산업에 해당하는 11대 제조업의 5년 간 효율성을 측정하였다. 본 연구의 분석 대상, 즉

DMU의 개수는 55개(5년 간 11대 제조업의 데이터 수)로 충분한 자유도를 확보하고 있다.

R&D를 통해 산출되는 성과는 논문, 특허, 매출액 등 다양한 형태로 산출되며, 성과물이 산출되기까지 일정기간이 소요된다. 따라서 R&D 효율성 측정 시 시차를 고려할 수 있다. R&D 시차를 반영할 경우, 보다 현실적인 결과 값을 도출할 수 있으나, 시차는 기술이나 산업 분야 등에 따라 상이하게 나타나며, 일반적으로 시차 통계는 존재하지 않기 때문에(Wang·Huang, 2007), 선행연구에서는 연구 목적에 부합하는 가정을 통해 시차를 적용하고 있다.

본 연구는 연구 목적이나 분야에 따라 1년 또는 2년의 시차를 고려한 선행연구(이준호, 2012 ; 엄익천 외, 2016 ; 한지연 외, 2020)를 근거로 산업 내 사업체 수, 산업의 R&D 투자비 및 인력 등이 투입되어 산업의 매출액이 창출되는 기간을 1년으로 가정하여 분석을 진행하였다.

3. 분석 모형 설정 및 변수 선정

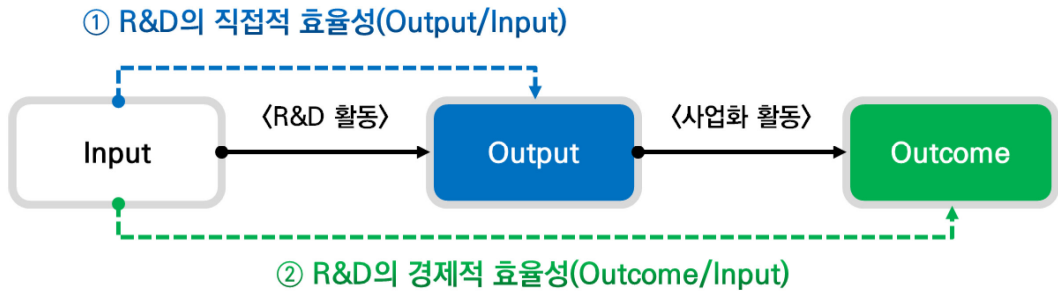
1) 분석 모형 설정

본 연구는 CCR 효율성의 단점을 개선하여 개발된 BCC 효율성을 중심으로 분석을 진행하였다. DEA 모형은 투입요소에 중점을 두는 모형(Input-Oriented)과 산출요소에 중점을 두는 모형(Output-Oriented)을 선택적으로 활용할 수 있다. 일반적으로 R&D는 정해진 예산 범위 안에서 확보된 자원을 활용하여 산출 성과를 극대화하는데 중점을 두고 진행하고 있으며, R&D 효율성에 관한 선행연구(이철행·조근태, 2014 ; 이성희·이학연, 2017 ; 조남권 외, 2018)에서도 산출 지향 모형이 활용됨에 따라 본 연구에서는 산출 중심 모형을 활용하여 분석을 진행하였다.

2) 효율성 분석 변수 선정

일반적으로 R&D 효율성은 산출되는 성과 유형에 따라 ① R&D의 직접적 효율성과 ② R&D의 경제적 효율성으로 구분할 수 있으며, [그림 4]와 같다. R&D의 직접적 효율성은 R&D 활동을 통해 논문 및 특허 등의 직접적인 성과물이 나타나는 현상으로 해석할 수 있으며, R&D의 경제적 효율성은 R&D 활동과 사업화 활동을 통해 매출액 등의 경제적 성과가 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 본 연구는 R&D 활동의 직접적 성과보다는 경제적 성과에 대한 효율성을 분석하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 R&D 경제적 효율성을 본 연구에서의 R&D 효율성으로 설정하였다.

[그림 4] R&D 효율성의 유형



* 출처: 과학기술정책연구원(2009) 저자 재구성

효율성 분석 시 투입변수와 산출변수는 연구 목적에 부합해야 하며, 분석 대상의 특성이 반영 되도록 선정하는 것이 중요하며(최석봉·하귀룡, 2013 ; 이철행·조근태, 2014), 일반적으로 선행연구를 참고하는 것이 일반적이다. 본 연구는 경제적 측면에서 기계 산업의 R&D 효율성을 측정함에 따라 관련된 선행연구에서 주로 사용된 변수를 활용함으로써 변수 선정의 타당성을 확보하였다. R&D 효율성의 투입변수는 사업체 수, R&D 투자, R&D 인력을 활용하였으며, 산출변수는 대표적인 경제적 성과 측정 변수인 매출액을 활용하였다. 본 연구에서 활용한 변수는 <표 2>와 같다.

<표 2> 효율성 투입변수 및 산출변수

구분	변수명	구간	출처
투입변수	사업체 수	2016~2020	광업제조업조사, 통계청, 각 연도
	R&D 투자	2016~2020	연구개발활동조사, KISTEP, 각 연도
	R&D 인력	2016~2020	연구개발활동조사, KISTEP, 각 연도
산출변수	매출액	2017~2021	광업제조업조사, 통계청, 각 연도

3) 연관성 분석 변수 선정

기계 산업은 장기적인 투자를 필요로 하는 만큼 전체 산업에서 차지하는 연관효과가 매우 크고, 기술뿐만 아니라 자본집약적인 고부가가치 산업이다(박영탁, 2016). 본 연구에서는 측정된 기계 산업의 R&D 효율성이 산업에서 창출되는 부가가치와 어떠한 연관성이 있는지를 분석하

기 위해 상관분석을 진행하였다. 부가가치란 기업이나 산업에서 새로이 부가한(added) 가치를 의미하는데, 본 연구에서는 광업제조업조사 결과에 포함된 부가가치를 활용하였다. 부가가치 산출 방법은 <표 3>와 같다.

<표 3> 부가가치 산출방법

구분	내용
조사 기준	광업제조업조사, 통계청
산출방법	부가가치 = 생산액 - 주요중간투입비(원재료비+전력비+용수비+외주가공비+ 수선비+연료비)

4) 효율성 결정요인 분석 변수 선정

본 연구에서는 기업의 R&D 투자 측면에서 노동과 재무적 성과의 중요성을 인지하고 효율성 결정요인 분석을 위한 변수를 크게 인력 특성 변수, 재무 성장성 변수, 재무 안정성 변수로 구분하여 선정하였다.

노동은 R&D 투자와 관련이 높은 변수로 인식되어 노동생산성 등의 대리지표가 그간 선행연구에서 활용되었다(안기돈 외, 2012; 설영훈·채성주, 2014). 종업원은 노동력의 근원이며, 종업원 수는 기업의 혁신 역량이나 경영 역량을 측정하기 위한 대리변수로 활용된 바 있다(김경아, 2021). 이에 인력 특성 변수는 종업원 1인당 매출액, 종업원 1인당 평균임금, 종업원 수 비중, 종업원 중 R&D 인력이 차지하는 비중, 노동장비율 등 종업원에 관한 변수로 설정하였다. 노동장비율은 생산 과정에서 노동자 한 사람이 어느 정도의 설비자산을 이용하는지에 관한 지표로서 자본집약화 정도를 확인하기 위한 용도로도 활용되었다. 일반적으로 노동장비율이 높으면 자본집약적 산업으로 해석할 수 있으며, 비율이 낮으면 노동집약적 산업으로 해석할 수 있다.

기업의 R&D 투자는 성장성, 안정성, 수익성 등 기업의 재무적 성과와 밀접한 관련이 있어 이를 규명하기 위한 연구는 꾸준히 추진되어 왔다(신민식·김수은, 2012; 고윤성·최형규, 2017). 재무 성장성 변수는 성장성에 관한 재무지표인 유동자산증가율, 재고자산증가율, 자기 자본증가율, 매출액증가율로 설정하였다. 유동자산은 운용자산이라고 하며, 현금이나 1년 이내에 현금회할 수 있는 자산을 의미한다. 유동자산이 증가하는 것은 기업의 영업활동이 활발하게 이루어지는 것으로 해석할 수 있다. 재고자산은 유동자산 중 상품이나 제품과 같이 재고조사에 의해 실재하는 자산을 의미한다. 재고자산이 증가한다는 것은 보통 경영 환경이 좋지 않다는

것으로 해석된다. 자기자본은 자본금, 법정준비금, 잉여금을 합한 것으로 순자산이라고도 한다. 자기자본이 증가한다는 것은 순자산이 많다는 것을 의미하기 때문에 우량기업으로 해석되기도 한다. 매출액증가율은 기준연도 대비 매출액이 얼마나 증가했는지를 보여주는 지표로 전기 대비 당기에 판매상품의 가격이 상승하거나 판매량이 증가하는 것에 기인한다.

재무 안정성 변수는 안정성에 관한 재무지표인 자기자본비율, 유동부채비율, 고정부채비율, 차입금의존도로 설정하였다. 자기자본비율은 기업의 자본 건전성을 판단하는 중요한 요소이다. 유동부채비율은 유동부채의 과대여부를 측정하는 지표로서 기업의 지불능력을 판단하기 위해 사용되는데, 유동부채의 몇 배의 유동자산을 가지고 있는가를 나타내며 비율이 높을수록 지불능력이 커진다. 고정부채비율은 자본 구성의 안정성을 판단하는 지표이다. 일반적으로 고정부채비율이 낮을수록 재무상태가 양호한 상태를 의미하나, 유동부채비율 등과 함께 검토할 필요가 있다. 차입금의존도는 총자본 중 외부에서 조달한 차입금이 차지하는 비중을 의미하는데, 차입금의존도가 높을수록 금융비용이 많아져 경영의 안정성을 저해하는 요인으로 작용한다.

〈표 4〉 효율성 결정요인 변수

구분	변수명	산식
인력 특성 (통제)	종업원 1인당 매출액	- 매출액 / 종업원 수 × 100
	종업원 1인당 평균임금	- 총임금 / 종업원 수
	종업원 수 비중	- 해당 산업의 종업원 수 / 전체 산업의 종업원 수 × 100
	R&D 인력 비중	- 해당 산업의 R&D 인력 수 / 해당 산업의 종업원 수 × 100
	노동장비율	- 유형고정자산 / 종업원 수
재무 성장성	유동자산증가율	- (당기 유동자산 - 전기 유동자산) / 전기 유동자산 × 100
	재고자산증가율	- (당기 재고자산 - 전기 재고자산) / 전기 재고자산 × 100
	자기자본증가율	- (당기 자기자본 - 전기 자기자본) / 전기 자기자본 × 100
	매출액증가율	- (당기 매출액 - 전기 매출액) / 전기매출액 × 100
재무 안정성	자기자본비율	- 자기자본비율 = 자기자본 / 총자본 × 100
	유동부채비율	- 유동부채 / 자기자본 × 100
	고정부채비율	- 고정부채 / 자기자본 × 100
	차입금의존도	- (장기차입금 + 단기차입금 + 회사채) / 총자본 × 100

IV. 분석 결과

1. 기술통계

효율성 분석 변수, 연관성 변수의 기술통계량은 사업체 수는 평균, 그 외 변수는 합계를 기준으로 기계 산업 5대 업종과 기술 수준별로 구분하여 살펴보았다. 5대 업종별로 살펴보면, 평균 사업체 수는 금속제품이 가장 많은 것으로 나타났으며, 수송기계가 가장 적은 것으로 나타났다. R&D 투자는 수송기계, 전기기계, 정밀기계 순으로 높게 나타났으며, R&D 인력은 수송기계, 정밀기계, 전기기계 순으로 높게 나타나 전반적으로 R&D 관련 변수는 3개 업종이 높은 경향을 보였다. 매출액과 부가가치는 수송기계, 일반기계, 금속제품 순으로 높은 경향을 보였다. 기술 수준별로 살펴보면, 평균 사업체 수는 기술 수준이 낮을수록 많은 것으로 나타났다. R&D 투자 및 인력은 중고위, 고위, 중저위기술 순으로 높은 경향을 보였으며, 매출액과 부가가치는 중고위, 중저위, 고위기술 순으로 높은 경향을 보였다.

〈표 5〉 기술통계량(효율성 분석 변수 및 연관성 변수)

(단위: 개, 명, 백억 원)

구분	기계 산업 5대 업종					기술 수준		
	금속 제품	일반 기계	전기 기계	정밀 기계	수송 기계	고위 기술	중고위 기술	중저위 기술
사업체 수	9,458	4,873	1,553	2,422	1,170	903	2,876	5,310
R&D투자	40,728	171,910	85,763	75,119	436,903	130,437	623,932	56,054
R&D인력	40,993	150,314	61,883	68,114	216,899	95,184	387,628	55,391
매출액	37,876	61,696	33,925	13,942	118,962	28,279	181,736	56,386
부가가치	14,810	23,250	10,954	6,051	34,856	11,065	58,437	20,420

효율성 결정요인 변수의 기술통계량은 평균을 기준으로 기계 산업 5대 업종과 기술 수준별로 구분하여 살펴보았다. 5대 업종별로 인력 특성을 살펴보면, 1인당 매출액과 1인당 평균임금, 노동장비율은 전기기계와 수송기계가 높게 나타났으며, 산업 내 종업원 수 비중은 금속제품, 일반기계가 높게 나타났다. 산업 내 R&D 인력 비중은 정밀기계가 가장 높고 금속제품이 가장 낮은 경향을 보였다. 재무 성장성 변수를 살펴보면, 전반적으로 전기기계와 정밀기계가 높은 경향을 보였다. 유동자산증가율은 금속제품, 일반기계가 낮게 나타났으며, 재고자산증가율, 자기자본증가율, 매출액증가율은 금속제품, 수송기계가 낮게 나타났다. 재무 안정성 변수를 살펴보면, 자기자본비율은 정밀기계와 전기기계가 높은 경향이 나타났는데, 이들 업종은 유동

부채비율과 고정부채비율은 낮은 경향을 보였다. 차입금의존도는 정밀기계와 금속제품이 낮은 경향을 보였으며, 수송기계가 크게 높은 것으로 나타났다.

기술 수준별로 인력 특성을 살펴보면, 1인당 매출액과 1인당 평균임금은 기술 수준이 높을수록 높은 경향을 보였다. 종업원 수 비중은 기술 수준이 높을수록 낮은 경향을 보였으며, R&D 인력 비중은 기술 수준이 높을수록 높은 경향을 보였다. 노동장비율은 중저위기술이 가장 높고, 중고위기술이 가장 낮게 나타났다. 재무 성장성 변수를 살펴보면, 기술 수준이 높을수록 높은 경향을 보였다. 재무 안정성 변수를 살펴보면, 자기자본비율은 기술 수준이 높을수록 높은 경향을 보였으며, 유동부채비율, 고정부채비율, 차입금의존도는 기술 수준에 따라 서로 다른 경향을 보였다.

〈표 6〉 기술통계량(효율성 결정요인 변수)

(단위: 억원, %)

구분	기계 산업 5대 업종					기술 수준			
	금속 제품	일반 기계	전기 기계	정밀 기계	수송 기계	고위 기술	중고위 기술	중저위 기술	
인력 특성	1인당 매출액	2.95	3.66	6.15	2.97	4.24	4.91	4.26	3.22
	1인당 평균임금	0.41	0.45	0.53	0.40	0.52	0.54	0.48	0.43
	종업원 수 비중	20.00	13.08	5.52	7.31	7.10	3.56	10.18	14.13
	R&D 인력 비중	2.61	7.35	8.18	12.29	9.41	11.40	9.03	2.32
	노동장비율	162.06	151.79	219.02	101.66	190.47	190.38	167.15	191.84
재무 성장성	유동자산 증가율	7.75	8.54	23.48	14.07	9.40	19.56	11.81	1.66
	재고자산 증가율	9.40	12.79	26.75	14.99	11.28	23.81	12.68	6.16
	자기자본 증가율	7.15	8.65	15.55	12.47	4.43	11.64	7.59	4.84
	매출액 증가율	5.59	7.64	20.94	11.76	0.32	13.07	6.20	-0.16
재무 안정성	자기자본 비율	49.26	49.46	57.83	57.96	45.18	53.94	48.54	47.32
	유동부채 비율	72.36	74.21	54.20	52.39	94.08	61.03	84.07	82.20
	고정부채 비율	30.65	28.89	23.42	20.15	44.40	37.90	33.85	30.33
	차입금 의존도	258.08	455.11	311.17	152.03	1304.77	585.67	1423.50	471.99

2. 변수 간 상관분석

DEA 모형을 활용한 효율성 측정은 투입 대비 산출의 비율로 측정되기 때문에 변수 간 일정 수준의 연관성이 있어야 한다. 변수 간 상관관계를 검정하기 위해 상관분석이나 회귀분석이 활용되며, 본 연구에서는 상관분석을 활용하였다. 분석 결과 투입변수와 산출변수 간 강한 양의 상관관계가 있는 것을 확인하였으며, 통계적으로 유의미한 것을 확인함에 따라 본 연구의 변수 선정은 타당한 것으로 판단하였다.

〈표 7〉 변수 간 상관분석

구분		투입변수		
		사업체 수	R&D 투자	R&D 인력
산출변수	매출액	0.5798**	0.9303***	0.9182***

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

3. 효율성 분석

1) 정규성 검정

본 연구에서는 5대 업종과 기술 수준별로 효율성을 비교하기 위해 모집단의 정규성 검정을 진행하였다. Shapiro-Wilk 검정 결과, TE, PTE, SE 모두 정규성이 기각되어 그룹별 효율성 비교 시 비모수통계검정을 활용하였다.

〈표 8〉 Shapiro-Wilk 정규성 검정

구분	TE	PTE	SE
W	0.87297	0.89693	0.8726
p-value	3.235e-05***	0.0002***	3.151e-05***

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

2) 효율성 비교

기계 산업 5대 업종의 5년 간 평균 효율성은 0.727로 나타났다. 이는 27.3%의 비효율성이 발생한 것으로 해석될 수 있다. 최근 5년 효율성 증가율은 1.5%로 증가하고 있으나, 최근 3년 증가율이 감소하는 것을 볼 때 최근 비효율성이 증가하는 경향이 있는 것으로 해석할 수 있다.

기계 산업 5대 업종별 효율성 비교 결과, 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 기계 산업 5대 업종별 효율성을 연도별로 살펴보면, 금속제품은 효율성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 전기기계는 최근 효율성 증가율이 가장 높은 것으로 나타났다. 일반기계는 최근 5년 대비 최근 3년 효율성 증가율이 크게 증가한 것으로 나타났으며, 정밀기계는 효율성은 가장 낮았으나 최근 5년 대비 최근 3년 효율성 증가율이 증가하여 비효율성이 해소되는 경향이 확인되었다. 수송기계는 최근 5년 대비 최근 5년 효율성 증가율이 크게 감소하여 비효율성이 증가하는 경향이 확인되었다. 금속제품 업종과 정밀기계 업종 간 효율성 차이가 크게 나타난 것이 특징적이다.

〈표 9〉 연도별 효율성 비교(5대 업종)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	총합계	CAGR		p-value
							5년	3년	
금속제품	1.000	0.956	0.967	0.933	0.955	0.962	-1.1%	-0.6%	0.0208**
일반기계	0.782	0.760	0.698	0.714	0.766	0.744	-0.5%	4.8%	
전기기계	0.635	0.701	0.741	0.867	0.888	0.766	8.8%	9.5%	
정밀기계	0.449	0.403	0.390	0.373	0.368	0.397	-4.8%	-2.8%	
수송기계	0.668	0.664	0.790	0.808	0.690	0.724	0.8%	-6.6%	
평균	0.693	0.691	0.744	0.774	0.735	0.727	1.5%	-0.6%	-

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

기술 수준별 효율성 비교 결과, 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 기술 수준별로 살펴보면, 중저위기술 군의 효율성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 고위기술 군은 효율성은 가장 낮았으나, 최근 효율성 증가율은 가장 높은 것으로 나타났다. 고위기술과 중고위기술 군은 최근 5년 대비 최근 3년 효율성 증가율이 감소하여 비효율성이 증가하는 경향이 확인되었다.

〈표 10〉 연도별 효율성 비교(기술 수준)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	총합계	CAGR		p-value
							5년	3년	
고위	0.438	0.486	0.518	0.549	0.552	0.509	6.0%	3.2%	1.683e-05***
중고위	0.718	0.703	0.777	0.822	0.745	0.753	0.9%	-2.1%	
중저위	1.000	0.962	0.984	0.966	0.978	0.978	-0.6%	-0.3%	
평균	0.693	0.691	0.744	0.774	0.735	0.727	1.5%	-0.6%	-

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

4. 비효율성 원인 분석

1) 5대 업종별 비효율성 원인

일반적으로 DEA 모형으로 측정된 PTE와 SE를 사용하여 비효율성 원인을 추정할 수 있다. PTE보다 SE가 작은 경우, 생산규모 측면에서 비효율성 원인이 발생하여, 이를 해소하기 위해 투입자원을 확대하는 것이 요구된다. 반면, SE보다 PTE가 작은 경우 기술적 측면에서 비효율성 원인이 발생하여, 이를 해소하기 위해 투입물이 산출물로 전환되는 과정의 개선이 요구된다.

기계 산업 5대 업종별로 살펴보면, 금속제품, 일반기계 업종은 생산규모 측면에서 비효율성 원인이 발생한 것으로 나타났으며, 정밀기계 업종은 기술적 측면에서 비효율성 원인이 발생한 것으로 나타났다. 전기기계 업종은 고위기술 군은 기술적 측면, 중고위기술 군은 생산규모 측면의 비효율성 원인이 발생하였으며, 수송기계 업종은 기술 수준에 따라 비효율성 원인이 상이하게 나타났다.

분석 결과를 종합적으로 정리해보면, 고위기술 수준의 전기, 정밀, 수송기계 업종, 중저위기술 수준의 수송기계 업종은 기술적 측면에서 비효율성 원인이 발생함에 따라 R&D 투자나 인력 등이 투입되어 매출액이 발생하는 과정을 개선함으로써 비효율성 원인에 대한 해소가 가능한 것으로 해석할 수 있다. 반면 중고위기술 수준의 일반, 전기, 수송기계 업종, 중저위기술 수준의 금속제품 업종은 생산규모 측면에서 비효율성 원인이 발생함에 따라 R&D 투자나 인력을 확대함으로써 비효율성 원인에 대한 해소가 가능한 것으로 해석된다.

앞서 5대 업종의 효율성 비교 결과, 정밀기계 업종은 금속제품 업종 대비 효율성이 크게 낮은 것으로 나타났는데 이는 정밀기계 업종이 금속제품 업종 대비 투입되는 R&D 투자나 인력은 많으나 산출되는 매출액은 약 1/3 수준으로 크게 낮은 것에 기인한 것이다. 정밀기계 업종의 비효율성 원인을 추정해보면, 정밀기계 업종은 자본화율이 높은 자본집약적인 업종으로 금속제품과 같은 노동집약적인 업종보다 기술 수준이 높기 때문에 투입된 R&D 투자 및 인력이 매출액으로 전환되는 과정 상 비효율성이 발생함에 따라 효율성이 낮게 나타난 것으로 해석해볼 수 있다. 이는 정밀기계 업종과 금속제품 업종의 비효율성 원인 분석 결과를 지지하는 결과로 볼 수 있다.

〈표 11〉 비효율성 원인 분석(5대 업종 및 기술 수준)

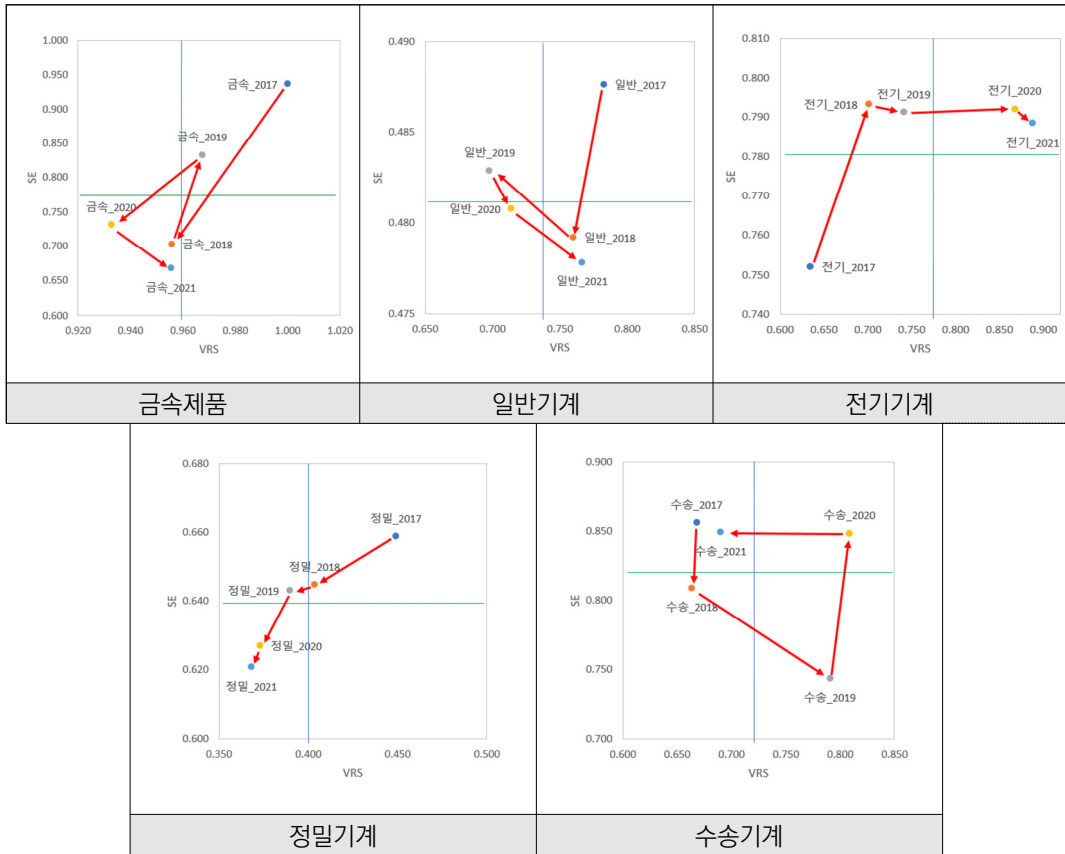
구분	01. 고위			02. 중고위			03. 중저위		
	PTE	SE	원인	PTE	SE	원인	PTE	SE	원인
금속제품	-	-	-	-	-	-	0.962	0.775	규모
일반기계	-	-	-	0.744	0.482	규모	-	-	-
전기기계	0.808	0.980	기술	0.725	0.587	규모	-	-	-
정밀기계	0.397	0.639	기술	-	-	-	-	-	-
수송기계	0.321	0.990	기술	0.769	0.707	규모	0.994	0.995	기술

2) 5대 업종별 비효율성 원인 변화

앞서 제시한 효율성 사분면을 통해 기계 산업 5대 업종의 비효율성 원인을 연도별로 살펴보았다. 금속제품, 정밀기계 업종은 1사분면에서 3사분면으로 이동함에 따라 점차 비효율성이 증가하는 경향이 나타났으며, 전기기계 업종은 3사분면에서 1사분면으로 이동함에 따라 점차 효율성이 개선되는 경향이 나타났으나, 비효율성 원인 변화를 시각적으로 확인할 수는 없었다.

일반기계 업종과 수송기계 업종은 비효율성 원인 변화를 확인할 수 있었다. 일반기계 업종은 1사분면에 위치하고 있으나 이후 4사분면으로 이동하였는데 이는 점차 비효율성이 증가하면서 생산규모 측면에서 비효율성 원인이 나타난 것으로 해석할 수 있다. 수송기계 업종은 2사분면에 위치하였으나 시간이 지남에 따라 3사분면, 4사분면, 1사분면을 거쳐 다시 2사분면에 위치하였다. 이는 수송기계 업종이 다른 업종과 달리 자동차, 철도, 항공 등 산업 특성이 강한 5개 제조업이 공존하여 서로 다른 산업 상황에 기인한 것으로 추정해볼 수 있다.

[그림 5] 기계 산업 5대 업종별 비효율성 원인 변화



5. 효율성과 부가가치 간 연관성 분석

본 연구에서는 기계 산업의 R&D 효율성과 부가가치 간 관계를 살펴보기 위해 앞서 측정된 R&D 효율성과 부가가치 간 상관분석을 진행하였다. 5년 간 11대 제조업의 R&D 효율성과 11대 제조업의 부가가치 간 상관관계수는 0.4864로 비교적 강한 양의 상관관계를 보였으며, 통계적으로 유의미하였다. 기계 산업 5대 업종별로 R&D 효율성과 부가가치 간 연관성을 살펴보면 금속제품과 수송기계 업종이 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 금속제품의 R&D 효율성과 부가가치 간 상관관계수는 0.8588로 매우 강한 양의 상관관계를 보였으며, 수송기계의 상관관계수는 0.5136으로 상관관계가 비교적 강한 것으로 나타났다. 기술 수준별로 R&D 효율성과 부가가치 간 연관성을 살펴보면 중고위기술과 중저위기술이 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다.

중고위기술에 해당하는 제조업의 R&D 효율성과 부가가치 간 상관계수는 0.5749로 비교적 강한 양의 상관관계를 보인 반면 중저위기술에 해당하는 제조업의 상관계수는 -0.6332로 비교적 강한 음의 상관관계를 보였다.

R&D 효율성과 부가가치 간 양의 상관관계를 보인다는 것은 효율성 증대가 부가가치 창출로 이어질 수 있다는 것을 추정해볼 수 있는 결과이다. 산업에서 창출되는 전체 부가가치 중 특정 제조업이 차지하는 비중이 크다면, 그만큼 산업의 부가가치 창출에 기여하는 바가 큰 것으로 해석할 수 있다. 부가가치 비중이 높은 제조업을 효율성 제고 시 우선적으로 고려한다면 산업의 부가가치 증대에 도움이 될 수 있다.

분석 결과를 종합적으로 살펴보면, 5대 업종 관점에서는 수송기계에 해당하는 제조업의 부가가치 비중이 38.8%로 높고, 기술 수준 관점에서는 중고위기술에 해당하는 제조업의 부가가치 비중이 65.0%로 높게 나타났다. 이들 제조업은 산업의 부가가치 창출에 기여도가 높은 제조업으로 해석할 수 있으며, 수송기계 업종에 해당하면서 중고위기술 수준인 제조업, 즉, 자동차, 철도, 기타 수송장비 제조업은 효율성 제고 시 산업적 파급효과가 클 것으로 추정해볼 수 있다.

〈표 12〉 R&D 효율성과 부가가치 간 상관분석

구분	PTE	부가가치합계(억원)	부가가치비중(%)	상관계수		
전체	0.727	8,992,335	100.0%	0.4864	***	
5대 업종	금속제품	0.962	1,481,051	16.5%	0.8588	*
	일반기계	0.744	2,325,064	25.9%	-0.3356	
	전기기계	0.766	1,095,493	12.2%	0.0478	
	정밀기계	0.397	605,106	6.7%	-0.7568	
	수송기계	0.724	3,485,621	38.8%	0.5136	***
기술 수준	고위	0.509	1,106,543	12.3%	0.2287	
	중고위	0.753	5,843,716	65.0%	0.5749	***
	중저위	0.978	2,042,076	22.7%	-0.6332	**

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

6. 효율성 결정요인 분석

기계 산업의 R&D 효율성에 영향을 미치는 요인을 다각도로 검토하기 위해 인력 특성 모형, 재무 성장성 모형, 재무 안정성 모형 등 3개 모형으로 구분하여 토빗 회귀분석을 진행하였다. 회귀분석에서 독립변수 사이의 상관관계가 높은 경우 회귀계수의 분산을 크게 하여 추정 회귀계수를 믿을 수 없게 되는 문제가 나타나는데 이를 다중공선성(Multicollinearity)이라 한다. 다중공선성은 분산팽창요인(Variance Inflation Factor), 공차 한계(Tolerance) 등을 활용하여 진단 가능하며, 분산팽창요인의 경우 10을 초과하는 경우 다중공선성이 존재하는 것으로 해석된다.

기본 모형은 통제변수만을 활용하여 기계 산업의 R&D 효율성 결정요인을 분석한 결과이며, <표 13>과 같다. 분산팽창요인 진단 결과, 모든 독립변수의 분산팽창요인이 10이하로 나타나 다중공선성이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 토빗 회귀분석 결과, R&D 효율성에 부정적 영향을 미치는 요인으로 종업원 1인당 평균임금이 도출되었으며, R&D 효율성에 긍정적 영향을 미치는 요인으로 종업원 수 비중, 노동장비율이 나타났다. 종업원 수와 노동장비율이 R&D 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것은 인력뿐만 아니라 설비투자가 기계 산업의 R&D 효율성을 결정하는 중요한 요인임을 알 수 있는 결과이다. 노동장비율이 높아질수록 R&D 효율성이 증가한다는 것은 기계 산업이 자본집약적인 산업임을 의미하며, 노동장비율이 R&D 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것은 종업원 수를 확대하는 만큼 설비자산도 함께 확대해야 함으로 해석가능하다.

<표 13> 효율성 결정요인 분석(인력 특성 모형)

구분	변수명	Esti.	Std.Err	z-value	Pr(> z)	
인력 특성 (통제)	종업원 1인당 매출액	0.029	0.018	1.582	0.114	
	종업원 1인당 평균임금	-1.578	0.348	-4.535	0.000	***
	종업원 수 비중	0.015	0.002	6.107	0.000	***
	R&D 인력 비중	-0.004	0.003	-1.113	0.266	
	노동장비율	0.004	0.001	5.490	0.000	***

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

Log-likelihood: 36.1025 on 103 degrees of freedom

재무 성장성 모형은 통제변수와 함께 성장성에 관한 4개 변수를 추가하여 기계 산업의 R&D 효율성 결정요인을 분석한 결과이며, <표 14>와 같다. 분산팽창요인 진단 결과, 모든 독립변수의 분산팽창요인이 10이하로 나타나 다중공선성이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 토빗 회귀분석 결과, R&D 효율성에 부정적 영향을 미치는 요인으로 유동자산증가율이 나타났으며, R&D 효율성에 긍정적 영향을 미치는 요인으로 자기자본증가율과 재고자산증가율이 나타났다. 운용자산을 의미하는 유동자산증가율이 R&D 효율성에 부정적인 영향을 미치는 것은 기업의 영업활동이 R&D 효율성에는 큰 영향을 주지 못 하는 것으로 해석되며, 순자산이 증가하는 것을 의미하는 자기자본증가율이 R&D 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것은 우량기업일수록 R&D 효율성이 높은 것으로 해석된다.

<표 14> 효율성 결정요인 분석(재무 성장성 모형)

구분	변수명	Esti.	Std.Err	z-value	Pr(> z)	
인력 특성 (통제)	종업원 1인당 매출액	0.047	0.021	2.205	0.027	**
	종업원 1인당 평균임금	-1.584	0.340	-4.657	0.000	***
	종업원 수 비중	0.013	0.002	5.260	0.000	***
	R&D 인력 비중	-0.007	0.003	-2.134	0.033	*
	노동장비율	0.003	0.001	4.890	0.000	***
재무 성장성	유동자산증가율	-0.003	0.001	-2.898	0.004	***
	재고자산증가율	0.002	0.001	1.677	0.094	*
	자기자본증가율	0.003	0.002	1.870	0.061	*
	매출액증가율	-0.002	0.001	-1.457	0.145	

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

Log-likelihood: 41.0568 on 99 degrees of freedom

재무 안정성 모형은 통제변수와 함께 안정성에 관한 4개 변수를 추가하여 기계 산업의 R&D 효율성 결정요인을 분석한 결과이며, <표 15>와 같다. 분산팽창요인 진단 결과, 모든 독립변수의 분산팽창요인이 10이하로 나타나 다중공선성이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 토빗 회귀분석 결과, R&D 효율성에 부정적 영향을 미치는 요인으로 자기자본비율, 고정부채비율이 나타났으며

며, R&D 효율성에 긍정적 영향을 미치는 요인으로 차입금의존도가 나타났다. 자본 건전성을 판단하는 자기자본비율이 R&D 효율성에 부정적인 영향을 미치는 것은 기업의 자본 건전성이 R&D 효율성에는 큰 영향을 주지 못 하는 것으로 해석된다. 자본 구성의 안정성을 판단하는 고정부채비율이 R&D 효율성에 부정적인 영향을 미치는 것은 기업의 재무상태가 양호할수록 R&D 효율성이 높게 나타나는 것으로 해석된다. 경영 안정성을 판단하는 차입금의존도가 R&D 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것은 외부에서 조달하는 자금이 많을수록 R&D 효율성이 높게 나타나는 것으로 해석된다.

〈표 15〉 효율성 결정요인 분석(재무 안정성 모형)

구분	변수명	Esti.	Std.Err	z-value	Pr(> z)	
인력 특성 (통제)	종업원 1인당 매출액	0.063	0.016	3.881	0.000	***
	종업원 1인당 평균임금	-1.266	0.331	-3.827	0.000	***
	종업원 수 비중	0.016	0.002	8.217	0.000	***
	R&D 인력 비중	-0.001	0.002	-0.421	0.674	
	노동장비율	0.003	0.001	6.620	0.000	***
재무 안정성	자기자본비율	-0.021	0.005	-4.207	0.000	***
	유동부채비율	-0.002	0.001	-1.563	0.118	
	고정부채비율	-0.008	0.002	-4.764	0.000	***
	차입금의존도	0.004	0.002	1.851	0.064	*

*** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1 수준에서 통계적으로 유의함

Log-likelihood: 53.3321 on 99 degrees of freedom

V. 결론

본 연구에서는 산업연구원에서 운영하는 「ISTANS」에서 확보한 국가승인통계 데이터를 활용하여 우리나라 기계 산업 전반의 R&D 효율성을 측정하였다. 측정된 효율성 결과를 바탕으로 기계 산업 5대 업종과 기술 수준별 분석을 진행하였으며, 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

2017년부터 2021년까지 우리나라 기계 산업의 R&D 효율성에는 27.3%의 비효율성이 발생하였으며, 최근 비효율성이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 금속제품, 일반기계, 전기기계, 정밀기계 업종은 전반적으로 비효율성이 해소되는 반면, 수송기계 업종은 타 업종과 달리 비효율성이 증가하는 경향을 보였다. 중저위기술 군은 비효율성이 해소되는 반면, 고위기술 군과 중고위기술 군은 비효율성이 증가하는 경향이 확인되었다. 이는 수송기계 업종의 효율성 제고 우선순위가 높은 것으로 해석할 수 있으며, 특히 수송기계 업종 중 중고위기술 군인 자동차, 철도, 기타 수송장비 제조업의 효율성 제고 우선순위가 높은 것으로 추정해볼 수 있다.

비효율성 원인 분석을 통해 기계 산업의 R&D 효율성 제고를 위해서는 5대 업종뿐만 아니라 기술 수준까지 고려할 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 비효율성 원인 변화를 살펴본 결과, 일반기계 업종은 비효율성 원인이 기술적 측면에서 최근 생산규모 측면으로 변화하였는데, 이는 투입자원이 산출물로 전환되는 과정 상 비효율성 원인이 해소된 것을 확인할 수 있는 결과로, 투입자원의 확대를 통해 효율성 제고가 필요한 것으로 추정해볼 수 있다. 반면 수송기계 업종의 비효율성 원인은 기술적 측면이었으나, 2년 단위로 생산규모 측면으로 변화하였다가 다시 기술적 측면으로 변화한 것을 확인할 수 있다. 이는 산업 특성이 강한 5개 제조업이 공존함에 따라 나타난 현상으로 판단되며, 각 제조업의 비효율성 원인에 대한 추적 관찰을 통해 효율성 제고가 필요한 것으로 추정해볼 수 있다.

R&D 효율성과 부가가치 간 양의 상관관계를 보이는 것은 효율성 증대가 부가가치 창출로 이어질 수 있는 것으로 해석 가능하며, 또한 산업 내 부가가치 비중이 높게 나타난다면 그만큼 산업적 파급효과가 큰 것으로 해석할 수 있다. 분석 결과, 5대 업종별로는 수송기계, 기술 수준별로는 중고위기술 군의 부가가치 비중이 높게 나타난 것으로 보아 자동차, 철도, 기타 수송 장비 제조업의 효율성 제고가 산업적으로 파급효과가 큰 것으로 해석할 수 있다.

기계 산업의 R&D 효율성을 결정하는 요인을 인력 특성, 재무 성장성, 재무 안정성 관점에서

살펴보았다. 인력 특성 관점에서 살펴보면, 종업원 수, 노동장비율이 R&D 효율성을 결정하는 중요한 역할을 하고 있음을 확인할 수 있었는데, 인력과 설비를 확대하는 것이 R&D 효율성 제고를 위한 중요한 과정임으로 해석할 수 있다. 한편 종업원 1인당 평균임금은 R&D 효율성에 부정적 영향을 미치는 요인으로 나타났으며 영향력도 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 기계 산업 내에서 종업원의 임금, 즉 인건비가 R&D 효율성 제고를 결정짓는 중요한 요인임을 확인할 수 있는 결과이다.

재무 성장성 관점에서 살펴보면, 유동자산증가율은 부정적인 영향을 미치며, 자기자본증가율과 재고자산증가율은 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 기업의 영업활동 보다는 자기자본을 확대하기 위한 노력이 우선적으로 필요한 것으로 해석할 수 있다. 재무 안정성 관점에서 살펴보면, 자기자본비율과 고정부채비율은 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 기업의 총자산 중에 자기자본 비중, 즉 자기자본에 대한 관리보다 기업 내 장기차입금 등 장기부채에 대한 관리가 더 중요한 것으로 해석할 수 있다. 한편 차입금의존도는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 기업의 부채 중 은행차입금과 같이 외부에서 차입 형태로 조달한 자금은 R&D 효율성을 저해하지 않는 것으로 해석 가능하다.

앞서 연도별 R&D 효율성 측정 결과, 비효율성 원인 분석, 비효율성 원인 변화, R&D 효율성과 부가가치 간 연관성 분석 결과를 통해 기계 산업 5대 업종 중 우선적으로 효율성 제고가 필요한 업종을 확인할 수 있었다. 효율성 결정요인 분석을 통해 인력 특성, 재무 성장성, 재무 안정성 관점에서 우리나라 기계 산업의 R&D 효율성 제고를 위한 요인들을 살펴볼 수 있었다. 분석 결과를 바탕으로 기계 산업의 R&D 효율성 제고 방안을 다음과 같이 제시할 수 있다.

수송기계 업종에 해당하는 제조업의 효율성 제고가 우선적으로 필요한 것을 확인할 수 있었다. 항공과 철도 업종은 기술적 측면에서 비효율성 원인이 나타나 R&D 투자나 인력 등이 투입되어 매출액이 발생하는 과정의 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 이는 기업을 경영하고 운영하는 관점에서 효율성 제고 방안을 마련할 필요가 있는 것으로 판단해볼 수 있다. 이를 위해서는 공격적 영업 전략보다는 기업 내 자기자본을 확대하고 안정적으로 관리하기 위한 성장성 전략을 마련하는 것이 필요하며, 기업 내 장기부채를 효과적으로 관리하기 위한 안정성 전략을 마련하는 것이 필요할 것이다. 자동차와 기타 수송장비 업종은 생산규모 측면에서 비효율성 원인이 나타나, R&D 투자나 인력 등을 확대함으로써 효율성 제고가 가능한 것으로 분석되었다. 이는 기업이 R&D를 추진하기 위한 투입자원 관점에서 효율성 제고 방안을 마련할 필요가 있는 것으로 판단해볼 수 있다. R&D 투자 관점에서는 장기적으로 R&D 자금을 확보하기 위한 R&D 추진 로드맵

수립 등의 방안을 모색할 필요가 있다. 특히 정부 지원을 통해 R&D 자금을 확보할 수 있도록 최근 정부 정책 트렌드에 부합하는 아이템을 발굴하고 그에 따른 R&D를 추진할 수 있도록 준비할 필요가 있을 것이며, 투자유치나 대출 등 안정적으로 외부 자금을 조달할 수 있는 방안을 마련하는 것도 고려해볼 수 있을 것이다. R&D 인력 관점에서는 정기적으로 인력을 채용하여 종업원 수를 확대할 필요가 있으며, 채용하는 인력 중 R&D 인력의 비중을 확대하기 위한 노력이 필요할 것이다. 신규 인력 채용 이외에도 기존 인력에 대한 전문교육 실시, 부서 이동 및 재배치 등의 인력 관리 전략을 다양화함으로써 R&D 인력을 확보하기 위한 방안을 마련한다면 기계산업의 R&D 투자 활성화 및 촉진에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과에서는 종업원 수가 기계산업의 R&D 효율성을 결정하는데 중요한 요인으로 도출되었다. 종업원 수는 노동을 대표하는 지표로서 기계산업뿐만 아니라 타 산업 분야에서도 의미를 갖는 지표로서 성별, 학위, 전공 분야, 근무 형태 등에 따라 어떠한 차이가 있는지 추가적인 검토가 필요한 지표로 판단된다. 본 연구에서는 R&D 효율성 결정요인 분석 시 재고자산증가율을 독립변수로 활용하였는데, 일반적으로 재고자산증가율은 재고자산회전율과 같이 검토함으로써 판매 부진 등을 판단할 수 있는 지표이다.

본 연구에서는 기계산업에 해당하는 11대 제조업의 5년 간 데이터를 활용하여 기계산업의 R&D 효율성을 다각도로 분석하였다. 분석 결과, 기계산업 5대 업종, 기술 수준뿐만 아니라 11대 제조업의 특성을 고려하여 R&D 효율성 제고 방안을 수립해야 함을 실증적으로 확인하였으며, 우리나라 기계산업 전반의 R&D 효율성 제고를 위한 방안을 제시하였으나, 다음과 같은 한계점을 가진다. 본 연구는 「ISTANS」에서 제공하는 국가승인통계 데이터를 바탕으로 진행됨에 따라 활용된 데이터 측면에서 공신력을 확보하고 있으나, 분석을 위한 여러 가정 하에 진행되었기 때문에 분석 결과를 바라봄에 있어 유의할 필요가 있다. 11대 제조업의 5년간 축적된 데이터를 활용하여 분석을 위한 충분한 자유도를 확보하고 있으나, 기계산업 5대 업종이나 기술 수준별로 효율성 결정요인 분석을 진행하기에는 모집단이 부족하여 각 업종이나 기술 수준의 특성을 고려한 R&D 효율성 결정요인을 도출하지는 못하였다는 한계점이 존재한다. 또한 본 연구에서 선행연구 검토를 바탕으로 효율성 분석을 위한 대표적인 변수를 투입변수와 산출변수로 활용하였으나, 이는 거시적 환경변화에 대한 고려는 되지 않은 변수이다. 토빗 회귀분석에서 종속변수와 독립변수 간 역인과성(reverse causality)으로 인한 잠재적인 내생성(endogeneity) 문제가 발생할 가능성이 있는데, 본 연구에서는 변수 간 시차를 둬으로써 부분적으로 이를 감소시키고자 하였다. 그럼에도 불구하고 잠재적인 내생성 문제는 완전히 제거할 수 없기 때문에 효율성 추정

결과에 편의가 발생할 수 있으므로 연구 결과를 해석함에 있어 유의할 필요가 있다.

추후 연구에서는 분석기간을 확대하여 모집단을 추가적으로 확보할 필요가 있으며, 거시적 환경변화를 고려할 수 있는 효율성 변수에 대한 발굴이 이루어질 필요가 있다. 또한 본 연구 결과에서 나타난 바와 같이 산업 특성이 강한 업종에 대한 심층 분석이나 노동집약적인 산업과 자본집약적인 산업 간의 비교 분석 등의 추가적인 분석이 이루어진다면, 기계 산업의 특성을 이해하는데 도움이 될 수 있는 또 다른 의미의 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Athanassopoulos, A. D., and Triantis, K. P. (1998), "Assessing aggregate cost efficiency and their related policy implications for Greek local municipalities", *INFOR*, 36(3), pp. 66-83.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984), "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, 30(9), pp. 1078-1092.
- Boussofiene, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991), "Applied data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, 52(1), pp. 1-15.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. L. Rhode. (1978), "Masuring the Efficiency of Decision Making Unit." *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444
- Dougherty, C. (2002), "Introduction to Econometrics", Oxford: Oxford University Press.
- Fitzsimmons, J. A., and Fitzsimmons, M. J. (1994), "Service Management for Competitive Advantage", McGraw-Hill inc.
- McCarty TA and S Yaisawarng. (1993), "Technical Efficiency in New Jersey School Districts." in Fried HO and SS Schmidt (eds.) *the Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, Oxford U.K.: pp. 271-287
- Tobin, J. (1958), "Estimation for relationships with limited dependent variables", *Econometrica*, 26(1), pp. 24-36
- Wang, E. C. and Huang, W. (2007), "Relative Efficiency of R&D Activities: A Cross-Country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach", *Research Policy*, 36(2), pp. 260-273
- 고윤성·최형규(2017), 「연구개발투자가 재무성과 및 특허성과에 미치는 영향 - 1,000대 기업 R&D 투자 스코어보드를 활용하여」, 『회계정보연구』, 35(2), pp. 1-25
- 과학기술정보통신부(2021), 「2022년도 국가연구개발 투자방향 및 기준(안)」
- 과학기술정보통신부(2022), 「2022년도 과학기술정보통신부 연구개발사업 종합시행계획」
- 과학기술정보통신부(2023a), 「2023년도 과학기술정보통신부 연구개발사업 종합시행계획」
- 과학기술정보통신부(2023b), 「2024년도 국가연구개발사업 예산 배분·조정(안)」
- 과학기술정책연구원(2009), 「국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안」, 『정책연구 2009-24』
- 관계부처(2019), 「소재·부품·장비 경쟁력 강화 대책」
- 관계부처(2022), 「국가전략기술 육성 방안」
- 권일숙·박성민·설원식(2013), 「제조업의 R&D 투자와 효율성: 2단계 DEA 모형의 적용을 중심으로」, 『경영컨설팅연구』, 13(3), pp. 155-174

- 김형배·최진철·김철후·오승훈·김희태·이운규·이용규(2023). 「기계산업 2023년 성과와 2023년 전망」, 『기계기술정책』, 111, pp. 1-30
- 김경아(2021), 「COVID-19 관련된 정부재정지원정책과 중소기업 기술혁신 특성에 관한 연구」, 『한국자치행정학보』, 35(3), pp. 343-361
- 김권식·이광훈(2019), 「자료포락분석(DEA)과 패널토빗모형을 이용한 문화 분야 지방재정사업의 효율성 평가 및 영향요인 분석」, 『문화정책논총』, 33(1), pp. 35-73
- 김성문·하현구(2017), 「국내 주요 물류기업의 효율성과 효율성에 미치는 영향 분석」, 『교통연구』, 24(3), pp. 17-26
- 김진용·황문우(2006), 「기업의 연구개발투자가 경영성과에 미치는 영향」, 『한국은행 Monthly Bulletin』, 2006 December
- 김환섭·이홍배(2018), 「General two-stage DEA 모형에 의한 제조업 기술혁신 효율성 분석」, 『의사결정학연구』, 26(2), pp. 23-43
- 김희태·권상집(2019), 「국내 기계 산업의 지속 성장을 위한 구조 진단과 혁신 정책」, 『과학기술정책』, 2(1), pp. 107-131
- 노상환(2014), 「창원 소재 기계산업의 효율성 및 생산성 분석: DEA와 Malmquist 기법을 중심으로」, 『경제연구』, 32(4), pp. 237-260
- 박광순·이진면·진혜진(2012), 「기계산업의 국제경쟁력 분석과 전략적 발전방안」, 『산업연구원』, 2012-645
- 박만희(2008), 「효율성과 생산성 분석」, 『한국학술정보』
- 박영탁(2016), 「기계 산업의 회고와 전망」, 『정책과이슈』
- 백철우·노민선(2013), 「기업의 개방형 혁신전략의 R&D 효율성 제고 효과」, 『생산성논집』, 27(4), pp. 302-319
- 설영훈·채성주(2014), 「바이오의약산업의 연구개발투자가 노동생산성에 미치는 효과 분석」, 『지역연구』, 30(4), pp. 37-50
- 신민식·김수은(2012), 「기업의 재무적 특성변수가 R&D 투자와 기업가치간의 관계에 미치는 영향」, 『기술혁신연구』, 20(1), pp. 45-74
- 안기돈·이병채·설영훈(2012), 「광역경제권 의약바이오 선도산업에 대한 R&D 투자의 경제적 효과 분석」, 『한국지역경제연구』, 10(1), pp. 23-39
- 엄익천·백철우·홍세호(2016), 「영역조절모형(RAM)을 활용한 신약개발 국가연구개발사업의 효율성 분석」, 『기술혁신학회지』, 19(4), pp. 711-735
- 오치훈·문성욱·안준모(2016), 「비공식적인 연구개발 활동이 기술혁신에 미치는 영향」, 『기술혁신학회지』, 19(2), pp. 302-32
- 우청원·천동필(2018), 「과학기술정책조합이 R&D 효율성에 미치는 영향 분석」, 『기술혁신학회지』, 21(4), pp. 1268-1295
- 유금록(2008), 「공공부문의 효율성과 영향요인 분석: 도시개발공사를 중심으로」, 『한국행정학보』,

- 42(3), pp. 79-109
- 이성희·이학연(2017), 「정부출연연구기관의 산학연 공동연구 성과 평가」, 『대한산업공학회지』, 43(3), pp. 154-163
- 이준호·하석태·배병한·유시문·김대성·한민현(2012). 「R&D지출의 효율성 측면에서 특허를 이용한 KPI 개발: 특허효율성지표」, 『기술혁신연구』, 20(3), pp. 29-56
- 이철행·조근태(2014), 「DEA를 이용한 보건의료기술 R&D 사업의 효율성 분석과 전략적 포트폴리오 모형 - 중개연구를 중심으로」, 『대한산업공학회지』, 40(2), pp. 172-183
- 전수진·이진수·홍재범(2016), 「DEA를 활용한 민간 기업의 R&D 효율성 분석 사례: 공작기계 A사를 중심으로」, 『기술혁신연구』, 24(4), pp. 27-54
- 조남권·김규환·이석진(2018), 「DEA를 통한 중소·중견기업의 R&D 효율성 분석」, 『지식재산연구』, 13(2), pp. 207-236
- 최석봉·하귀룡(2013), 「기술혁신과 경영 효율성 분석에 관한 연구: 한·중·일 철강기업 비교분석」, 『대한경영학회지』, 26(7), pp. 1887-1908
- 하귀룡·최석봉(2011), 「국내 ICT중소기업의 경영효율성 분석: 상장기업을 중심으로」, 『중소기업 연구』, 33(4), pp. 55-75
- 하승재·한용희(2019), 「DEA를 이용한 육용종계 농가의 효율성 영향 요인에 관한 연구」, 『한국자료 분석학회 논문지』, 21(6), pp. 3141-3153
- 한국과학기술기획평가원(2022), 「연구개발활동조사 보고서」
- 한지연·하석태·조성표(2020), 「혁신효율성이 기업의 수익성에 미치는 영향」, 『기술혁신연구』, 28(3), pp. 1-28
- 한진석·김혜란·고승영(2011), 「DEA(data envelopment analysis) 모형을 이용한 서울시 지선버스 노선의 형평성 분석」, 『대한교통학회지』, 29(2), pp. 15-24

Analysis of R&D Efficiency of Korea's 5 Machinery Industries

– ITANS 11 Major Manufacturing Industries –

Kim, Kyung Soo

– Abstract –

The purpose of this study is to measure the R&D efficiency of the Korean machinery industry. The DEA model was used to analyze the efficiency of the machinery industry, and Tobit regression analysis was used to analyze the determinants of R&D efficiency. Through this study, it was confirmed that manpower and facility investment are important factors for improving the R&D efficiency of the machinery industry. As the R&D efficiency of the machinery industry was classified and analyzed by industry from 2017 to 2021, implications for revitalizing R&D of the machinery industry in the future could be derived.

Key words Machinery Industry, Technology Level, R&D Efficiency, DEA, ISTANS

국외 해상풍력 LCR 정책 동향 분석과 시사점

대만 국산화비율 반영제도를 중심으로

류 건 화

OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) 수석·공학박사

김 효 정

OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) 책임·공학석사

이 도 희

OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) 주임

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

국외 해상풍력 LCR 정책 동향 분석과 시사점

- 대만 국산화비율 반영제도를 중심으로 -

류건화*, 김효정**, 이도희***

- 초 록 -

본 논문은 해상풍력 분야 국산화비율 반영제도(LCR)의 국외 사례를 분석하기 위한 대만 중심의 해상풍력 국산화비율 반영제도 시장 및 동향에 대한 연구이다. 대만 에너지국은 단계별로 LCR을 매 2년마다 개정하고 있으며, 기본적으로 해상풍력 관련 26개 중요 품목에 대해 대만에서 의무적으로 공급해야 하는 유연성을 고려하여 최대 40%의 장치를 해외에서 공급할 수 있다고 명시하고 있다. 많은 국가가 해상풍력을 포함한 신재생에너지에 대한 국가적인 투자를 정당화하기 위해 LCR과 같은 정치적 근거를 만드는 데 동조하고 있으며, 결과적으로 이러한 정책은 전략적 역할을 수행하며 해당 국가가 신재생에너지로부터 경제적 이익을 얻을 수 있게 한다고 볼 수 있다. 또한 제조된 부품의 일정부분에 대해 국산화를 명시하고 의무화시킴으로써 산업정책 마련 및 활성화와 지역산업 발전을 촉진시키는 매개체로 작용될 수 있다. 따라서 LCR 정책이 국제 무역 규칙과의 양립성과, 국내에서의 실효성을 보장할 수 있도록 신중하게 설계하는 것이 필요하다.

주 제 어 국산화비율 반영제도(LCR), 해상풍력, 공급망, 풍력터빈, 부품 현지화

논문접수일 2024년 4월 18일 수정논문 제출일 2024년 6월 7일 게재확정일 2024년 6월 18일

* 1저자 겸 교신저자, OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) / 수석(Principal Consultant)·공학박사 / geonhwa.ryu@owcltd.com

** 공동저자, OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) / 책임(Consultant)·공학석사 / hyojeong.kim@owcltd.com

*** 공동저자, OWC (오프쇼어윈드컨설턴츠) / 주임(Junior Consultant) / dohee.lee@owcltd.com

I. 서론

전 세계적으로 재생에너지 시장은 크게 성장하고 있고 그 중심에는 태양광과 풍력이 있다. 태양광과 풍력은 어느 특정 지역이나 국가 중심의 보급이 아닌 전 세계 다양한 지역, 대규모 유틸리티급에서 가정 건물용 소규모 설비까지 다양한 용량의 설비가 보급되고 있다. 이러한 태양광과 풍력 중심의 신재생에너지 보급 확대 추세는 향후 지속될 것으로 보인다. 또한, 다양한 재생에너지원들이 경제성을 갖추면서 재생에너지 시장, 산업, 정책이 빠르게 변화하고 있다. 급격히 변화하는 재생에너지 시장에서 우리가 나아가야 할 방향을 찾고 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 세계 신재생에너지 시장과 정책 동향을 파악하고 시사점을 찾는 것이 중요하다.

그 중 풍력발전의 관점에서 우리나라 정부는 2030년까지 해상풍력만 14.3 GW의 설비용량을 구축하여 세계 5대 해상풍력 강국으로 성장하고자 하는 로드맵을 가지고 있으며, 이는 정부주도 입지발굴 및 인허가 간소화, 주민수용성 및 환경성 강화, 대규모 프로젝트 연계 산업경쟁력 강화의 3대 추진방안을 기반으로 조성하고자 한다.

정부주도 입지발굴 및 인허가 간소화에는 계획적 입지발굴, 집적화단지 제도 도입, 인허가 절차 개선이 있다. 주민 수용성 및 환경성 강화에는 주민들이 원하는 해상풍력, 주민 의견을 적극 수렴하는 해상풍력, 환경 친화적 해상풍력이 있다. 대규모 프로젝트와 연계된 산업경쟁력 강화를 위해서는 대규모 프로젝트의 조기착공, 선제적인 계통 구축, 산업경쟁력 강화 지원, 프로젝트 경제성 향상 지원이 계획되어 있다.

특히, 해상풍력발전 사업은 기본적으로 사업의 규모가 방대하고 다양한 이해관계자가 존재하며 제도·기술·금융 등이 체계적으로 지원되어야 한다. 과거 해상풍력 사업을 활성화하려다 제대로 된 후속 지원이 부족해 대기업들이 사업진출을 철수하는 등의 어려움을 겪은 사례를 통해 금번에는 대책을 마련하는데 그치지 않아야 한다. 정부는 2023년 초, 제 10차 전력수급기본계획에 따라 2030년까지 해상풍력 14.3 GW 설치 목표를 달성해 연간 87,000개의 추가 일자리를 창출하고 지역사회 및 주민과 발전수익을 공유함으로써 지속적인 지역 발전에도 기여하고자 한다. 해상풍력산업에 이렇게 대규모 일자리가 창출될 수 있는 이유는 해상풍력이 다분야 산업의 집합체라고 할 수 있기 때문이다. 풍력터빈과 관련된 기계산업, 기초하부구조물과 관련된 철강산업, 설치 및 유지보수와 관련된 조선해양산업, 풍력자원 관측과 관련된 해양 및 대기과학 그리고 광센서산업 등 많은 산업군이 복합적으로 연계되어 있으며, 이는 해상풍력산업이 쉽게 진행될 수 없는 매우 신중한 분야임을 보여준다. 특히 풍력터빈 분야에서 우리나라의 대기업들은 유럽에

버금갈만큼 초기 풍력터빈 개발 시장에 일찍이 참여했다고 할 수 있다. 초기 개발사업에 참여했던 국내 터빈 제조사는 과거 9개에서 현재 4개로 감소했으며 이는 충분한 국내 시장을 확보하지 못해 트랙 레코드가 전무했기 때문이라고 할 수 있다. 사업의 가시적 성과가 없는 상황에서 터빈 제조사들은 손해를 감수하고 터빈 개발시장에서 물러나야 했으며, 현재는 기초구조물, 타워 등의 단조제품과 베어링 등 소형부품 위주로 국산화가 진행되고 있다. 이에 풍력터빈의 핵심부품에 대한 해외 의존도가 상당히 높기에 전반적인 가치사슬과 공급망이 확고하다고 할 수 없는 실정이다. 해상풍력 프로젝트의 사업 개발비(CAPEX)가 MW당 약 45억원(고정식 풍력)에서 많게는 70억원(부유식 풍력)으로 추정되기에 자기자본만으로 감당할 수 없는 조 단위의 초대형 규모의 사업이라고 할 수 있다. 따라서 이러한 거대 산업시장에 대한 참여 기회를 국외 경쟁업체에게 무분별하게 제공하는 것보다 국내 중소기업에게 성장 동력을 제공하고 국내 해상풍력산업을 전반적으로 활성화시키며, 우리나라의 신성장 미래 먹거리로 삼는 것이 여러모로 더 이득이라고 할 수 있다.

국산화비율 반영제도(LCR, Local Content Requirements)는 풍력발전과 관련된 국내 기업을 지원하는 정책이라고 할 수 있다. 이는 자국 내에서 생산된 제품 및 서비스에 대해 혜택을 제공하고자 하는 자국 산업보호의 정책 수단이다(김은성 외, 2023). 즉, 해상풍력 국내 터빈 제조사 및 부품사의 보호와 함께 글로벌 터빈 제조사의 국내 생산 시설 투자 및 유치, 국내 부품 사용 유도를 통한 국내 해상풍력산업의 성장과 경쟁력 강화를 목적으로 한다. 2021년 12월에 제정된 “공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙”에서는 해상풍력 개발에 사용되는 주요 부품의 국산화 비율이 50%를 초과하는 경우 공급인증서(REC) 가중치를 추가로 적용하는 내용을 포함하고 있었다. 하지만, 2023년 2월, 정부는 국내외 기업차별을 이유로 이 혜택을 삭제하는 개정안을 공고했고, 이는 국내 생산시설 구축을 검토 중이었던 글로벌 터빈 제조사에게 결정을 망설이는 계기를 주고, 아직 글로벌 기업과의 경쟁력을 확보하지 못했던 국내 풍력산업이 어떠한 정부의 보호 없이 국외기업과 경쟁해야 하는 상황을 초래했다는 평가를 받아왔다. 이에 많은 산학연 종사자들은 국산화부품 반영제도가 다시 제정되어야 한다고 목소리를 높이고 있지만, LCR 제도를 다시 부활시킨다 하더라도 이를 뒷받침할 수 있는 국내 내수 시장이 확고하지 않다면 국내 시장의 확대 및 기업 생산량 증대, 기술적인 향상 및 기술 수준 증가의 선순환 구조를 이룩할 수 없다.

현재 아시아 국가 중 중국을 제외하고 해상풍력산업이 가장 활발하게 진행되는 국가는 대만이라고 할 수 있다. 2022년 1.4 GW, 2023년 700 MW 신규 해상풍력단지 설비를 포함하여 현재

2 GW가 넘는 해상풍력단지를 운영 및 시공 중이며(GWEC, 2024), 최근 2024년 4월 Greater Changhua 1과 2a 해상풍력단지 (900 MW)가 전력망에 완전히 연결되었기에 아시아 태평양 지역에서 가장 큰 규모의 트랙레코드를 달성했다고 할 수 있다. 대만 정부는 2025년까지 5.7 GW의 해상풍력단지를 완공하여 운영한다는 계획을 추진 중에 있으며(2025년까지 6.9 GW의 육·해상 풍력발전 설비 용량 목표), 2035년까지 총 20 GW의 해상풍력설비를 확보 및 운영하겠다는 방침을 가지고 있다(GWEC, 2024; Emmanuel and Hsin-Wei, 2024). 대만은 전체 국가 에너지원 중 98%를 수입하는 형태이기 때문에 해상풍력사업 초창기부터 글로벌 기업을 적극 유치해 협력했으며, 대만의 공급망이 전혀 갖춰져 있지 않은 상태에서 자국 산업형태와 기업을 보호해야만 했기에 현 우리나라의 상황과 유사하다고 할 수 있다(Tat-Dat et al., 2024). BloombergNEF에 따르면 상대적으로 엄격한 LCR을 준수한 결과로 대만에서 달성된 해상풍력 LCOE는, LCR을 완화시킨 이후 대비 상향된 수치를 기록했다고 밝혔으나, 이로 인해 자국의 공급망 산업은 규모 및 기술력, 매출면에서 눈에 띄게 성장했다고 발표했다. 이는 사업 초기 단계에서 장기적인 비용 절감과 경쟁력 있는 지역 공급망을 구축하기 위해 글로벌 시장 상황을 유연하게 반영하고 실용적인 LCR 접근 방식을 고려해나가야 함을 의미한다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 아시아 태평양지역에서 가장 해상풍력산업이 가장 활발하게 진행되고, 우리나라의 해상풍력 시장 현황과 가장 유사하다고 할 수 있는 대만의 LCR 제도를 분석하여 그 시사점을 찾아보고자 한다. 이는 대만의 LCR 제도를 벤치마킹하여 정책적인 설계가 바람직하게 이루어질 수 있도록 근거와 지원책을 마련하는데 그 의의를 둔다고 할 수 있다.

II. 국내외 신재생에너지 정책 동향

1. 국외 신재생에너지 정책 동향

글로벌 기후변화 대응 체제 수립을 목적으로 1992년 브라질 리우데자네이루에서 개최된 UN 환경회의에서 ‘기후변화에 관한 국제연합 기후협약’(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)이 채택되었고, 1997년에는 온실가스 배출을 감축시키기 위한 구체적인 계획과 의무사항을 명시한 교토 기후변화협약 의정서(교토의정서)가 채택되었다. 교토의정서의 제정 목적은 산업발전에 따른 온실가스 배출량의 과반수 이상을 차지하는 전 세계 38개 선진국을 대상으로 1990년 배출량 대비 평균 5.2% 가량을 감축하는 것이었다 <표 1>. 특히, 신축성 메커니즘(Flexibility Mechanism)의 일환으로 온실가스를 지속적이고 유연하게 감축할 수 있도록 지원하는 제도를 기반으로, 효과적인 온실가스 감축 방안을 도모하고 개발도상국의 지속가능한 발전을 유지 및 지원하는 것을 목적으로 하였다(John et al., 2023).

교토의정서에 이어 체결된 파리협정(Paris Agreement)에 따라 해당 참여국 195개국은 2050년까지의 장기저탄소발전전략(Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies, LEDS)을 UN에 제출할 의무를 가지며, 우리나라를 포함한 세계 각국은 기후변화 대응전략 수립과정에서 탄소 순배출량 제로(Carbon Net Zero)를 목표로 하는 탄소중립을 선언하며, 이를 실현하기 위한 이행체계를 구축해 나가고 있다<표 1>.

<표 1> 교토의정서와 파리기후변화협정 비교

구분	교토의정서 (Kyoto Protocol)	파리협정 (Paris Agreement)
목표	온실가스 배출량 감축	산업화 이전 대비 2°C 목표, 1.5°C 목표 달성 노력
범위	온실가스 감축에 초점	온실가스 이외 적응, 자원, 기술이전, 투명성, 역량배양 등 포괄적 범위
감축 의무국가	개도국 제외(38개국)	모든 당사국(195개국)
목표 설정방식	하향식	상향식
목표 불이행시 징벌여부	징벌적	비징벌적
목표 설정기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약기간 종료시점 존재, 지속가능성에 대한 의문	종료시점 규명없는 지속가능 대응 가능

이어, 2019년 기후정상회의(Leaders Summit on Climate)에서 전 세계 60여개의 국가가 탄소중립을 선언하는 등 현재까지 선진국과 개도국 구분 없이 상당수가 탄소중립을 선언해왔고 <표 2>, 세계 각국이 탄소 및 온실가스 중립을 선언하는 것은 이상기후와 기후변화, 지구온난화에 대한 전지구적인 위기감이 극에 달하며, 지금도 고조되고 있기 때문이라고 할 수 있다.

<표 2> 주요 국가별 탄소중립 정책 비교

구분	한국	일본	중국	유럽	미국
목표	2050	2050	2060	2050	2050
주요 정책	2050 탄소중립 추진계획	탈탄소 계획 (Decarbonization Plan)	탄소중립 중국 (Zero Carbon China)	그린딜 (Green Deal)	청정에너지 개혁 (Clean Energy Revolution)
주요 목표	<ul style="list-style-type: none"> 탄소중립, 경제성장, 삶의 질 향상 동시 달성 2018년 대비 2030년 온실가스 35% 감축 	<ul style="list-style-type: none"> 탈탄소 사회 실현 경제-환경의 선순환기반 장기성장 실현 2050년까지 온실가스 850억톤 감축 	<ul style="list-style-type: none"> 준탄소중립 시스템 구축 2060 탄소중립을 위한 저탄소 경제 전환 	<ul style="list-style-type: none"> 경제의 구조적 변화를 통한 탄소중립 및 지구온난화 대응 	<ul style="list-style-type: none"> 친환경에너지-인프라 확대 경기부양 및 일자리 창출
주요 활동	<ul style="list-style-type: none"> 에너지효율 개선 그린모빌리티 그린산업 신재생에너지 건물에너지 생태계 회복 	<ul style="list-style-type: none"> 그린모빌리티 그린산업 신재생에너지 에너지절약 블루카본 	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 에너지효율 최종소비된 에너지 전기화 에너지저장 디지털화 제로탄소발전 	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 그린모빌리티 건물에너지 그린산업/수송 재활용/순환경제 에너지 효율성 생물다양성 보존 	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지 전기차 건물에너지 그린산업 제로탄소발전

탈탄소 사회 구축과 기후변화 대응을 위한 다양한 수단 중, 신재생에너지로의 전력믹스 구성 변화에 의한 에너지 전환이 가장 중요하게 인식되고 있는 이유는 기존의 화석연료 대비 가격 경쟁력이 지속적으로 개선되면서 그리드 패리티(Grid Parity)¹⁾로 수렴하고 있기 때문이라고 할 수 있다(김범규, 2020).

또한, 에너지 관점의 안보 확보와 신성장 동력산업, 환경보존 및 정화에 상당한 역할을 수행할 수 있기 때문인데 석탄, 석유, 가스와 같은 기존의 화석연료는 대부분 수입에 의존할 수 밖에

1) 석유·석탄 등을 쓰는 화력발전 비용과 태양광·풍력 등과 같은 신재생에너지 기반 전기 생산비용이 같아지는 시점

없는 구조이지만 신재생에너지는 자체적으로 지속 생산이 가능하기에 그 잠재력이 매우 크다고 할 수 있다(Adriaan et al., 2022; Tamarindo, 2023).

탄소중립과 에너지전환, 즉 재생에너지 중심의 에너지정책 변화는 글로벌 에너지 패러다임이며, 탄소중립 목표달성을 위해 세계 재생에너지 산업 규모는 지속적으로 확대되고 있는 추세이다. 글로벌 재생에너지 산업 규모는 2010년 기준 1,200 GW에서 2021년 3,064 GW로 약 2.6배가 증가한 것으로도 확인되며, <표 2>에서 언급한 것처럼, 온실가스 다배출 국가인 세계 경제강국들의 탄소중립 선언이 줄을 이었다. 이는 2021년 12월 기준 196개 국가 중 137개국이 탄소중립을 선언한 것을 통해 확인할 수 있다(이구용·이민아, 2021; 전은진, 2021; 이승은, 2021).

세계에너지기구(IEA) 2023 전력시장 보고서에 의하면 재생에너지 생산전력이 2025년을 목표로 현 기준 3년 이내 가장 큰 전력공급원이 될 것으로 전망하고 있다. 미국은 기후변화대응을 주요 국정과제로 설정하고 기후변화를 국가안보와 외교정책 중심 아젠다로 공식화했으며, 이와 관련하여 미 에너지청은 2022년 21.5%에 해당하던 재생에너지 비중을 2050년까지 42%로 확대할 계획을 발표했으며, 이에 풍력과 태양광이 중심이 될 예정이다. 미국은 2030년을 목표로 30 GW 규모의 해상풍력보급 확대를 위한 공유지 및 연안 위치 확인 작업이 진행되고 있으며, 동시에 인허가 절차 또한 추진되고 있다(IRENA, 2022).

독일의 경우 2022년 7월에 제정된 재생에너지법에 따라 2035년까지 재생에너지 비중을 100%로 달성하고자 하며, 2030년에 80%를 달성하고자 한다. 독일은 이를 위해 2030년까지 115 GW의 육상풍력 보급목표를 발표했으며 이는 연간 10 GW 규모의 신규설비 보급이 필요함을 의미한다. 또한 같은 기간 내 해상풍력 30 GW 보급 확대 계획도 발표했으며, 2022년 8 GW, 2030년 30 GW, 2035년 40 GW, 2045년 70 GW 설비용량 달성을 목표로 하고 있다.

영국은 2022년 4월 에너지안보전략을 발표하면서 2030년에 국가전력믹스 중 95%를 저탄소 전력으로 전환하고자 하며, 2030년까지 해상풍력 40 GW를 달성하고자 했던 2020년의 목표를 50 GW로 상향 조정하였다(NREL, 2023).

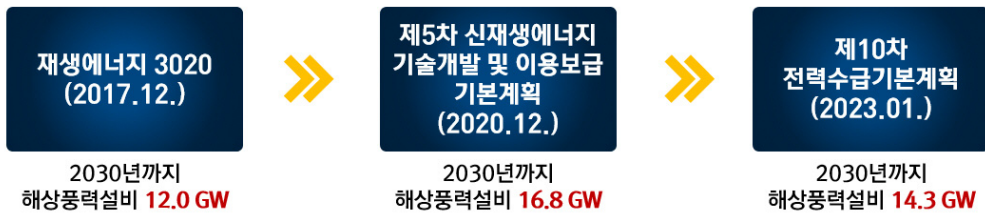
일본 역시 2020년 10월 환경과 경제 선순환을 근간으로 하는 2050 탄소중립을 선언하였으며 재생에너지 보급목표를 2030년 기준 최대 38%로 상향 조정하였고, 특히 해상풍력은 2030년까지 10 GW, 2040년까지 30~45 GW 설비용량을 확보하고자 하는 목표를 구축했다(NREL, 2021).

2. 국내 신재생에너지 정책 동향

2017년 말에 공표된 재생에너지 3020에 의해, 2030년까지 국가전력믹스 중 재생에너지 비중을 20%로 달성하고자 했으며 이를 위해 해상풍력설비 구축 목표를 12 GW로 설정하였다. 이어 2020년 말, 제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획에 따라 2030년까지 해상 풍력설비를 16.8 GW 구축하겠다고 기존 목표를 상향조정했으나, 2023년 초 제10차 전력수급 기본계획에 따라 14.3 GW로 재조정하였다[그림 1].

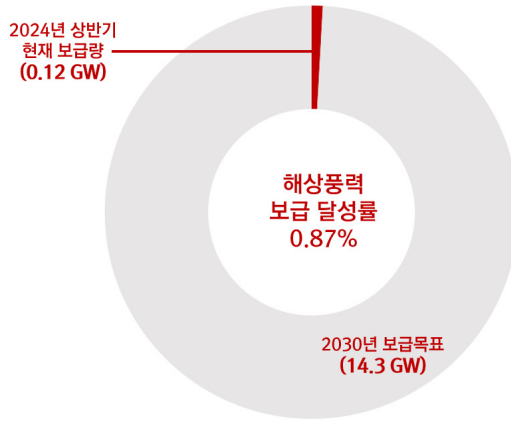
정부의 대규모 해상풍력 프로젝트 착공 시기에 맞춰 2022년 말 두산에너지빌리티 8 MW급 해상풍력용 대형 터빈의 국제 인증 작업이 완료되었으며, 2024년 말까지 국산 부유식 해상풍력 시스템 개발을 완료할 예정이며, 해상풍력 배후지원항만 개발과 해상풍력 테스트베드와 같은 인프라도 구축하여 국내 풍력 산업계의 경쟁력도 제고해 나가고자 한다. 또한 국내 해상풍력 프로젝트 사업 경제성 확보를 지원하기 위해 REC 가중치 가이드라인에 수심 등의 요인을 추가해 실제 시공비에 반영할 수 있도록 개편하였고, 탄소저감 보증제도를 신설해 풍력기업 및 발전사업자에 대한 금융지원도 강화해 나갈 계획이다(김은성 외, 2023).

[그림 1] 국내 재생에너지 관련 정책 중 해상풍력설비 목표 변화

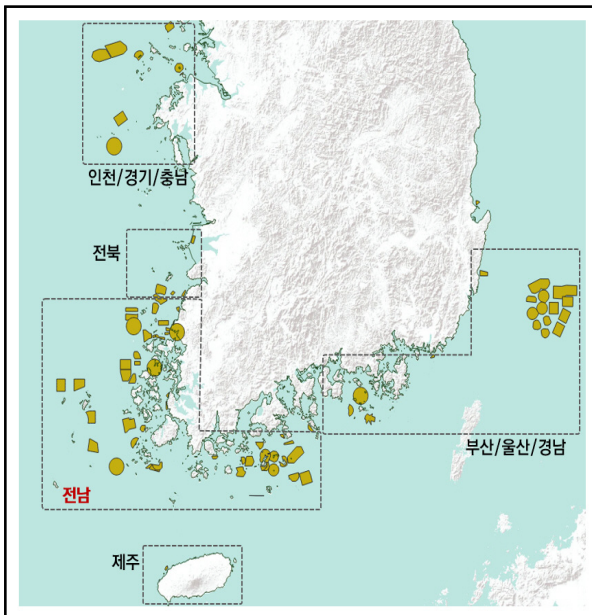


그러나 2023년 현재까지 해상풍력은 약 125 MW만이 보급되어 목표치 대비 실적이 매우 저조한 상황이며, 정부 목표인 14.3 GW의 1%도 달성하지 못한 실정이다[그림 2]. 2024년 4월 기준 보급이 완료된 해상풍력의 설비용량은 124.5 MW이며, 별도로 17.6 MW가 실증 및 연구용으로 운영되고 있다. 2017년 탐라해상풍력(30 MW), 2019년 영광해상풍력(34.5 MW), 2020년 서남해 해상풍력 실증단지(60 MW) 준공 이후 국내에서는 상업용 해상풍력이 착공된 사례가 전무하다고 할 수 있다.

[그림 2] 국내 해상풍력설비 보급목표 대비 달성률



[그림 3] 국내 해상풍력 발전사업허가 취득 현황



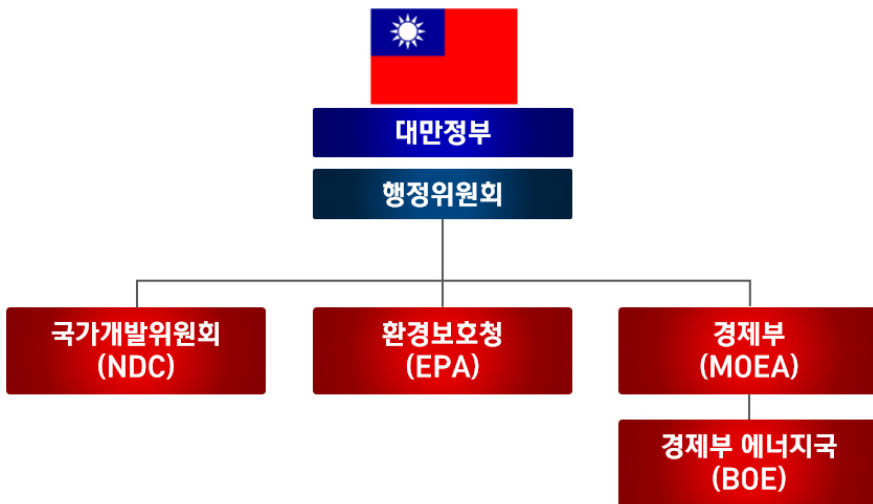
지역	설비용량 [MW]	비율 [%]	프로젝트 수
인천	2,161.5	7.8	4
경기도	200	0.7	1
충남	1,609	5.8	4
전북	628	2.2	4
전남	15,743.3	56.7	55
경남	586	2.1	3
경북	96	0.4	1
부산	136	0.5	2
울산	6,453	23.3	14
제주	130	0.5	2
합계	27,742.8	100.0	90

우리나라는 2030년까지 14.3 GW의 해상풍력 설비용량 구축을 목표로 하며, 국내 공기업, 민간 개발사, 국외 투자 및 개발사 등에 의해 2024년 상반기 기준, 90개의 해상풍력 프로젝트 발전사업허가가 취득되어 있고 이는 약 27 GW의 설비용량에 해당된다(그림 3).

3. 대만 신재생에너지 정책 동향

2020년 기준, 대만의 상위 5대 에너지원은 석탄(43.3%), 천연가스(21.4%), 원자력(12.7%), 석유(5.8%), 재생에너지(3.5%)로 발표되었으며, 인구 밀도가 높은 섬이기 때문에 기후변화 및 대기오염이 전반적인 대만 사회에 다차원적인 악영향을 미쳤다. 대만 에너지의 약 98%는 수입되는 형태이기에 수입에너지에 대한 높은 의존도는 에너지안보의 위기에 직면하게 했고, 저렴한 가격의 안정적인 에너지 공급을 도모함으로써 국내외 사회 및 경제적 분위기 안정화를 보장하고자 하는 것이 대만의 기본 에너지 정책이다. 대만의 에너지 전환 정책은 해상풍력에 중점을 두고 있으며, 이는 2008년 대만정부가 발표한 “대만의 지속가능한 에너지 정책 프레임워크 (Framework of Taiwan’s Sustainable Energy Policy)” 및 2009년의 “재생에너지 개발법 (Renewable Energy Development Act)”에 의거하고 있다. 대만의 에너지 관련 최고 기관인 행정위원회는 2008년 프레임워크를 기본 정책으로 채택하여 미래 에너지 전환 작업의 방향을 안내했으며(그림 4), 그 목적은 에너지 안보, 경제개발 및 환경보호에 있고 미래세대의 개발 요구를 충족시키기 위해 에너지 효율 향상, 청정 에너지 개발 및 안정적인 에너지 공급확보가 정책 목표라고 할 수 있다(표 3).

[그림 4] 대만정부 산하 에너지 관련 기관 구성도



〈표 3〉 대만정부 산하 에너지 관련 기관별 주요 역할

기관명	역할
행정위원회	• R.O.C정부의 행정 조직으로, 계엄령, 선전포고, 평화조약 등에 관한 법률 및 예산 심사 후 입법부에 제출
국가개발위원회	• 국가 개발을 위한 정책 수립, 조정 및 검토
환경보호청	• 환경 분야 정책 및 규정 등 모니터링
경제부	• 국제 무역, 공업 등 전반적인 산업의 경제 담당
경제부 에너지국	• 에너지 정책 및 국가 산업경제 개발 관련 정책 수립 및 이행, 천연가스 전기요금 검토, 신재생에너지 기술 연구/개발 지원 등

자료: 한국에너지기술평가원 세계 에너지시장 정보(<https://energy.ketep.re.kr>)

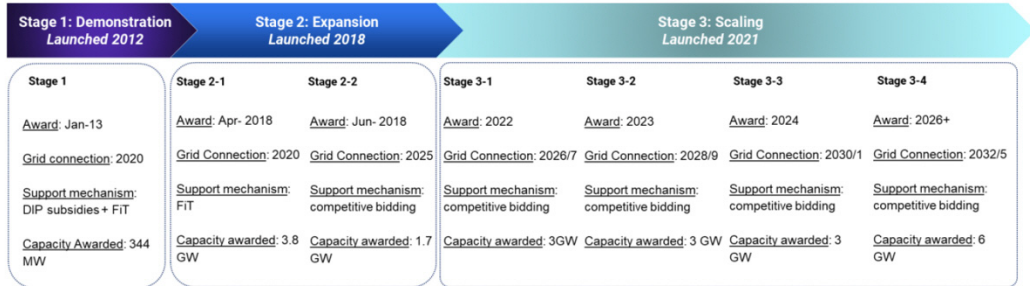
2009년 대만의 환경부는 신재생에너지 개발법을 공포했으며, 이는 풍력과 태양광에 중점을 두고 있고 공공건축물 신축/증축/개축 시 재생에너지 발전설비 설치를 권장하며, 전기사용량이 일정 용량을 초과하는 민간기업은 재생에너지 발전 및 저장시설을 설치하거나 인증서 구매를 명시하고 있다(해당 법은 에너지 전환을 촉진하기 위해 재생에너지에 대한 수요를 창출하고자 하였음).

에너지 전환을 발표한 대만정부가 선택한 재생가능한 청정에너지원은 원자력, 태양광, 육상 및 해상풍력이었으나, 2011년 일본 후쿠시마 제1원자력 발전소 사고 이후, 원자력의 안전성에 대한 여론이 불신과 반대로 돌아섰으며, 2016년 대만 정부는 2025년까지 원자력에너지 비중을 0으로 만드는 “Nuclear-free Homeland Action Plan”을 발표하였다. 또한 대만정부는 2025년까지 원자력 발전소를 단계적으로 폐지함과 동시에 천연가스 50%, 석탄 30% 재생에너지 20%의 전력믹스를 목표로 하며, 2050년까지는 전력생산의 최대 70%를 재생에너지, 나머지는 가스 및 수소를 활용하고자 한다고 발표했다.

2021년 3월, 대만정부는 에너지 전환을 더욱 강조하고 가속화하는 구상을 발표했으며, 재생 에너지 및 천연가스 사용의 증가, 석탄발전 감소, 원자력발전 금지가 포함되었다. 대만정부는 좁은 국토 면적으로 인해 육상풍력의 한계를 실감하게 되었지만 내부 연구를 통해 해상풍력의 잠재량을 확인한 후 향후 30년간 국가개발을 위한 차세대 인프라에 해상풍력을 포함시키기에 이르렀다. 2012년 대만정부가 “1,000개의 풍력터빈 프로젝트”를 발표하면서 대만의 해상풍력 산업 발전을 위한 20년 장기 로드맵 초안을 작성하였으며, 이 3단계 계획은 시범 프로젝트로

시작해서 상업용 풍력발전단지 적용 라운드로 이동한 후, 대만 전역의 풍력발전구역 개발을 완료할 것을 목적으로 하였다.

[그림 5] 대만 해상풍력 개발 단계



대만은 아시아 태평양 지역에서 해상풍력의 첫 주자이자 주요 시장이며, 현재 운영 중인 약 200 MW와 다양한 개발 단계에 있는 약 5 GW의 예비 풍력단지들, 그리고 2035년까지 추가될 15 GW의 해상풍력단지를 목표로 하고 있다.

이러한 정부의 강력한 로드맵과 지원은 Ørsted, CIP, GIG와 같은 글로벌 해상풍력 개발사를 대만 시장으로 끌어들이고, Swancor와 같은 규모 있는 현지 개발사를 성장시키는데 일조하였으며, 이는 경쟁시장을 창출하고 국제적인 공급망을 유치하려는 대만정부의 전략이라고 할 수 있다. 대만의 이러한 정부 로드맵은 타 아시아 국가에서의 성공사례 및 벤치마킹 대상으로 간주되며, 이 여러 단계의 장기계획은 [그림 5]에서 확인할 수 있다.

Ⅲ. 국산화비율 반영제도

1. 국내 국산화비율 반영제도

1) 국산화비율 반영제도(LCR) 정의

LCR (Local Content Requirements)이란 ‘국산부품 사용요건’, ‘자국산 부품 사용 의무화’ 등의 의미로, 자국 내에서 생산된 제품 및 서비스에 대해서 혜택을 제공하고자 활용하는 자국 산업 보호 정책수단을 말한다(일부 보고서에서는 국산화비율 반영제라는 의미로 Local Content Rule로 쓰이기도 한다). LCR의 시행으로 자국의 고용창출, 산업 활성화 등 긍정적 효과가 있는 반면, 비효율적 자원배분 및 무역왜곡 발생 등의 부정적 효과가 있다고도 알려져 있다. 주요 LCR 적용 수단으로는 정부보조금(FIT²⁾) 차등, 사업권 입찰시 낙찰 자격조건, 자금 대출시 LCR 비율 적용, 시장진입 금지 등이 있다(Huey-Shian, 2021; Yachi, 2023).

2) 국내 국산화비율 반영제도(LCR) 현황

최근 몇 년간 러시아와 우크라이나 전쟁, 이란과 이스라엘 분쟁, 미국과 중국의 무역 갈등 등 전 세계적인 분쟁과 물리적 충돌이 지속되면서 특정 분야 산업에 악영향을 미치는 빈도도 높아지고 있다. 이에 관련 국가들은 자국의 주요 산업 공급망을 국내에 구축하거나 분쟁대상국이 아닌 제3국 위주로 재편하려는 움직임을 보이며 이는 글로벌 풍력 산업 측면에서도 해당되는 부분이다(Hogan, 2022). 특히 국가적 안보와 직결될 수 있는 에너지 분야를 예로 들자면, 석유나 석탄, 가스는 비축분을 확보하는 방법으로 위기에 대응할 수 있는 반면, 풍력의 경우 제품주기와 감가상각 때문에 재고를 오랜기간 유지하기 곤란하기에 안정적인 공급망을 사전에 확보해야만 지속적인 에너지 생산이 기대될 수 있다. 또한 해상풍력 공급망 강화를 도모하는 과정에서 자국의 관련 산업을 육성할 수 있다는 부가적인 기대효과도 얻을 수 있다. 이것이 해외에서 시행 중인 해상풍력 공급망 관련 정책 수단을 참고하여 우리나라가 취할 수 있는 방안을 심도있게 고민해야 하는 이유이다.

해상풍력은 우리나라의 한정된 국토 면적을 극복할 수 있게 해주는 동시에 상당량의 잠재량을 확보한 신재생에너지원으로, 여전히 인허가, 주민수용성 및 계통연계 등 이슈가 부각되고 있지만, 큰 규모의 수요가 창출될 수 있는 에너지원으로 주목받고 있다. 그동안 우리나라는 충분한

2) Feed-In Tariff: 신재생에너지로 생산한 전기의 거래 가격이 기준가격보다 낮은 경우 그 차액을 지원하는 제도

국내 시장을 확보하지 못해 터빈 제조사가 과거 9개에서 현재 4개로 감소하고 기초구조물 및 타워 등의 단조제품과 소형부품 위주로 국산화가 진행되어 풍력터빈 핵심부품에 대한 해외 의존도가 높아 전반적인 공급망이 취약한 상황이라고 평가받아 왔다. 국내 해상풍력단지 개발사업에 한해 여전히 중국 및 유럽에 비해 높은 개발비가 요구되며, 이는 서론에서 논했듯이 약 45억원/MW (고정식) ~ 70억원/MW (부유식)의 CAPEX에 해당된다. 일반적인 규모라고 할 수 있는 2-300 MW급 해상풍력단지에 보통 조 단위의 개발비가 투입된다는 점을 고려하였을 때, 높은 고부가가치를 지닌 해상풍력 시장을 해외 투자사 및 개발사가 독점적으로 장악하기에 앞서 국내 기업들을 적재적소에 유치하여 산업 전반을 활성화하고 신성장동력의 기반으로 삼는 것이 필요하다(JONESDAY, 2021.; Metal Industry Intelligence, 2022).

풍력발전시장은 설치이력 및 운영실적을 증시하는 보수적인 시장의 형태와 지속적인 글로벌 풍력발전기 가격 감소로 인해 가격 경쟁력을 증시하는 형태를 동시에 보유하고 있다. 따라서 국내 기업들이 국내 및 해외 시장에서 입지를 넓혀 가기 위해서는 핵심기술 경쟁력뿐만 아니라 트랙 레코드를 조속히 확보해야 하며, 트랙 레코드의 확보를 위해 정부가 현 상황에서 다른 지원 제도 없이 국내 해상풍력 시장만 확대할 경우 기술경쟁력 차이로 인해 해외 기업들이 시장의 상당 부분을 점유할 확률이 높다고 할 수 있다. 따라서 국내 기업의 트랙 레코드 확보를 지원하기 위해서는 국산 부품에 대한 수요를 창출하기 위한 제도적 지원책을 설계해야 한다.

한편, 국내 해상풍력터빈 제조업체는 한정적이며(두산에너지빌리티, 유니슨, 효성중공업 등), 이에 따라 생산량 및 제한적 생산모델로 인하여 원활한 물량공급이 불가능할 것으로 판단되어 해외 제조업체의 국내 생산공장 유치 등을 통한 공급망 다양화가 요구되는 실정이다. 이에 2021년, 한국남동발전(주)은 국내 해상풍력산업의 성장 및 확대와 함께 자국 내 관련 산업 육성의 선도적 역할을 위하여 국내 풍력 기기업체들의 보호와 해외 풍력 터빈업체의 국내 생산기지 투자 및 국내 부품 사용을 유도해 관련 산업의 일자리를 증대하고 기술력을 확보하기 위해 국내 풍력산업의 경쟁력 강화를 목표로 국산 부품 사용요건제도(LCR)를 제정하고자 하였다. LCR 제도는 이러한 맥락에서 도입된 국내 기업 지원 정책으로, 국산 부품에 대해 일정 규모의 수요를 창출시켜 기업의 기술 혁신 및 투자에 대한 유인을 제공하는 역할을 할 것으로 기대되었다. 일반적으로 LCR 제도는 재생에너지의 발전단가(LCOE)를 증가시키는 요인이기 때문에, 제도 설계 시 정책 목표를 효과적으로 달성하면서도 사회 전체의 효율성을 지나치게 저해하지 않도록 정교하게 설계하는 것이 중요하다고 할 수 있다. LCR 제도의 정교한 설계가 진행되지 못할 시, 해상풍력 기술에 대한 지원 수준이 상승하여 국내 RE100 기업 및 국민의 부담은 높아지는 반면, 핵심부

품 기술에 대해서는 여전히 해외 경쟁업체에 비해 경쟁력을 확보하지 못할 것으로 예상되기 때문이다. 또한 기존 여러 해외 사례에서도 확인할 수 있다시피 풍부한 국내 시장의 존재는 LCR 제도의 성공을 좌우하는 핵심사항이며, 제도적 전문성이 높다 해도 이를 현실화할 수 있는 국내 시장 및 산업 성숙도가 활성화되지 않으면 국내 시장의 확대 - 기업 생산량 증대 - 기술 개발 및 상용화 가속 - 국내 기술 수준 향상의 선순환 구조를 만들 수 없다고 할 수 있다. 이에 정책적으로는 LCR 제도의 정교한 설계, 국내 시장의 확대, 해상풍력 공급망 기업 육성 및 지원에 대한 노력이 동시에 이루어져야 한다(김은성 외, 2023).

하지만 최근, 2023년 4월 3일 한국에너지공단은 규정개정심의회를 통해 해상풍력발전 사업 추진 과정에서 국산 부품 비율이 50% 이상일 때 재생에너지 공급인증서(REC) 가중치를 부여하는 방안을 폐지하였다(4월 6일 최종 확정, 4월 7일 산자부 승인 완료). 한국에너지공단에서는 LCR 폐지는 시장 경쟁을 통한 자재 가격 완화 차원이며, 통상법상 국산부품 지원은 외국기업에 대한 차별에 해당될 수 있다는 입장을 밝혔다. 하지만 최근 국제 무역시장이 보호무역체제로 변화하는 트렌드이며, 이는 수출 중심의 우리나라 성장상 지속적으로 불리한 환경에 노출된다고 할 수 있다. 아직 해상풍력관련 글로벌 경쟁력과 기술력이 부족한 우리나라가 이러한 무역 환경 변화에 처해지면서 최소한의 자국시장 보호를 위한 조치였던 LCR 제도가 폐지됨으로써 국내산업 육성과 해외자본 유치에 아주 부정적인 영향을 끼친 것은 명백한 사실이라고 할 수 있다.

2. 대만 국산화비율 반영 대상 입찰 라운드

1) 대만 해상풍력 개발 제2라운드

대만 해상풍력의 LCR은 제2라운드부터 적용될 수 있다. 이는 2장에 나타난 [그림 5]의 Stage 2, 그리고 같은 단계인 아래 <표 4> 2단계의 경쟁입찰은 5.5 GW의 해상풍력 프로젝트를 두 가지의 다른 단계로 할당하여 시장을 개발하는 단계를 의미한다.

(1) 2-1 라운드

대만 해상풍력 2-1 입찰 라운드에서는 상당한 LCR 요구 사항을 포함하고 있다. 총 설비용량 3.8 GW를 부여한 상대적으로 높은 고정 관세(FiT)를 제공하는 용량 할당 라운드이며, 이 입찰의 목표는 현지 제조 기회를 창출하는 것이었다고 할 수 있다. FiT 금액은 다음과 같다.

- ① 2018년: 전체 20년 기간 동안 kWh당 NTD³⁾ 5.8498의 FiT 요율 또는 (개발자의 선택에 따라) 처음 10년 동안 NTD 7.1177, 두 번째 10년 기간 동안 kWh당 NTD 3.5685의 FiT 중 선택할 수 있음. 2018년 FiT 요율은 2019년 1월 2일 또는 그 이전에 체결된 PPA에 만 적용됨
- ② 2019년: 전체 20년 기간 동안 kWh당 NTD 5.5160의 FiT 요율 또는 (개발자의 선택에 따라) 처음 10년 동안 NTD 6.2795, 두 번째 10년 동안 kWh당 NTD 4.1422의 FiT 중 선택할 수 있음. 연간 최대 부하 시간 4,200시간의 한도가 부과되고, 이를 초과할 시 FiT의 75%가 감소되며, 연간 최대 부하 시간 4,500시간 초과 시에는 50%가 추가로 감소함.
- ③ 2020년: 전체 20년 동안 kWh당 NTD 5.0946의 FiT 요율 또는 (개발자의 선택에 따라) 처음 10년 동안 NTD 5.8015/kWh, 두 번째 10년 동안 NTD 3.8227/kWh의 FiT 중 선택할 수 있음.

(2) 2-2 라운드

수년 전 유럽 시장에서 달성한 수준(60~70 EUR/MWh 범위의 가격)과 비교할 수 있는 시장 가격으로 1.7 GW를 획득한 LCR 요구 사항이 없는 경쟁력 있는 용량 할당 라운드를 의미한다.

2-2 입찰 라운드의 결과는 아래와 같다.

- ① Hai Long 2b 프로젝트는 MWh당 TWD⁴⁾ 2,224.5의 가격으로 232 MW를 낙찰받았음
- ② Hai Long 3 프로젝트는 MWh당 TWD 2,502.5의 가격으로 512 MW를 할당받았음
- ③ Ørsted는 MWh당 TWD 2,548 및 TWD 2,548.1에 920 MW의 용량을 수주함

2라운드에서 입찰 완료되어 개발 예정인 프로젝트들은 다음과 같은 경쟁력을 가지기 때문에 3라운드에서 진행될 분석에 유의미한 도움이 될 수 있다고 보여진다.

- ① 2라운드 프로젝트에 인접한 3라운드 프로젝트의 부지에 대한 풍력자원 분석 및 지반조사를 포함한 초기 단계 프로젝트 개발연구에서 일부 비용 절감 및 자료 참조 가능
- ② 풍력터빈 및 단지 개발 시 필요한 구성요소 제조를 위한 추가 현지화에 대한 기회와 제한

3) NTD (New Taiwan Dollar): 1 NTD = 약 42원 (2023.08.16. 환율 기준)

4) TWD (Taiwan Dollar): 1 TWD = 약 42원 (2023.08.16. 환율 기준)

장벽을 식별함에 있어 유용한 글로벌 및 현지 공급업체와의 관계 유지

- ③ 경쟁력있는 포트폴리오 및 규모의 경제에 의한 개발자의 운영 및 유지관리에 적절한 조연 및 해결책 제시 가능

〈표 4〉 대만 해상풍력 산업발전을 위한 20년 장기 3단계 가이드라인

단계	세부사항 및 목표	상세설명
1단계 - 데모 (DIP) [2016-2020]	<ul style="list-style-type: none"> Offshore Demonstration Incentive Program 투자유치와 실증 테스트 목적, 실행가능성 확인이 주요 목적 시장 선도자에게 인센티브 부여 단지 개발에 대하여 보조금 지급 (~2020년) 	<ul style="list-style-type: none"> 약 350 MW의 총 용량을 가진 3개의 프로젝트가 시범 라운드로 선정됨 Formosa 실증단지(120 MW), Fuhai 실증단지 (120 MW), TPC 실증단지(108 MW) 각 프로젝트는 20년간 PPA를 통해 보조금이 지급됨
2단계 - 신청 (ZAP) [2021-2025]	<ul style="list-style-type: none"> Directions of Zone Application for Planning 잠재력 있는 해상풍력 사이트 개발, 5.5 GW 신청 절차 완료 과도기적 단계 (2020년~2025년) 36개의 해상풍력 구역을 선정 후 전반부(3,836 MW) 수의계약, 후반부(1,664 MW)경매 도입, 신청 절차 종료 	<ul style="list-style-type: none"> 대만 에너지국이 잠재적 개발이 가능한 36개 해상풍력 개발구역 발표 환경영향평가(EIA) 예비 승인을 받은 사업자가 해당구역 개발을 위한 신청서 제출 가능 초기 3 GW에서 5.5 GW로 상향 조정, 3.8 GW의 프로젝트는 20년동안 발전차액지원제도로 보장되며 나머지 프로젝트는 입찰을 통해 경쟁 경매 진행예정
3단계 - 개발 (ZD) [2026-2035]	<ul style="list-style-type: none"> Offshore Zonal Development 산업 전반의 자생력에 의한 개발 정부가 EIA를 주도, 해상풍력 발전단지 개발기간 단축 및 비용 절감 효과 제고 해양 공간계획, 자원 최적활용, 국내산업 진흥을 목표로 진행 	<ul style="list-style-type: none"> 2026년부터 2035년까지 4단계로 구분됨 1단계(2026-2027)에서 개발자에게 매년 1.5 GW가 할당됨 2단계(2028-2029)에서 개발자에게 매년 1.5 GW가 할당됨 3단계(2030-2031)에서 개발자에게 매년 1.5 GW가 할당됨 4단계(2032-2035)에서 개발자에게 총 6 GW가 할당됨 글로벌 기술개발 및 2단계 ZAP 결과에 대응하여 보다 구체적인 규칙이 발표될 예정임

〈표 5〉 대만 입찰 2라운드 내 발전차액지원제도 및 LCR이 요구되는 프로젝트 현황

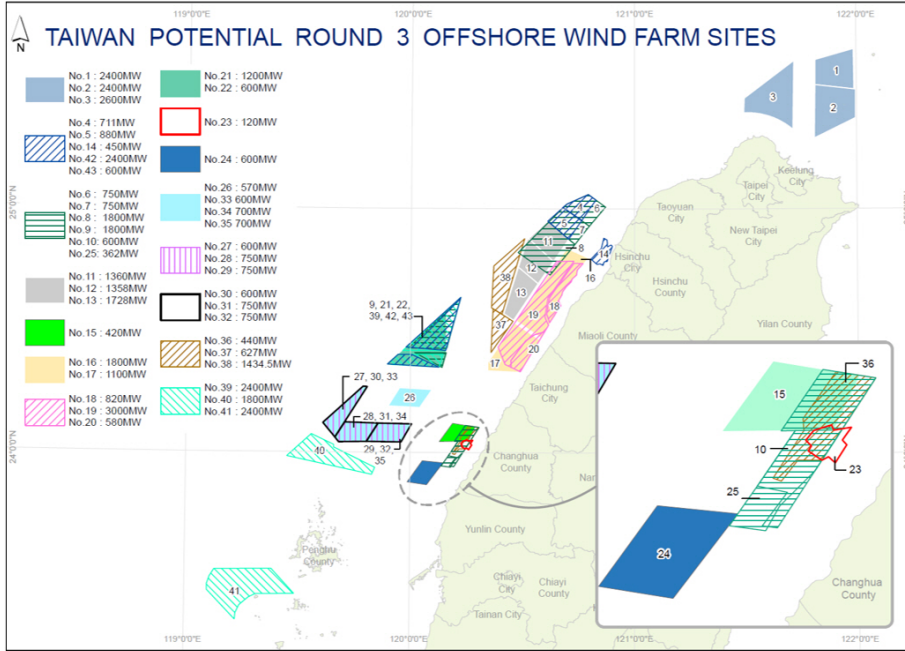
번호	개발사	프로젝트명	낙찰용량 [MW]	위임년도	PPA 년도
1	WPD	Guanyin (cancelled due to aviation)	350	-	-
2	WPD	Yunlin	360+347	2022	2018
3	Ørsted	Greater Changhua 2a	294.8	2022	2019
4	Ørsted	Greater Changhua 1	605.2	2022	2019
5	Swancor and Macquarie GIG (+JERA)	Formosa 2	378	2022	2018
6	Northland Power and Yushan Energy (+Mitsui)	Hai Long 2a	300	2024	2019
7	CIP	Changfang	100+452	2022	2019
8	CIP	Xidao	48	2023	2019
9	CSC and CIP (+Mitsubishi)	Zhong Neng	300	2024	2019
10	Taipower	TPC2	300	2025	미정
합계			3,835		

〈표 6〉 대만 입찰 2라운드 내 지원 및 LCR 제외 대상 경쟁입찰 프로젝트 현황

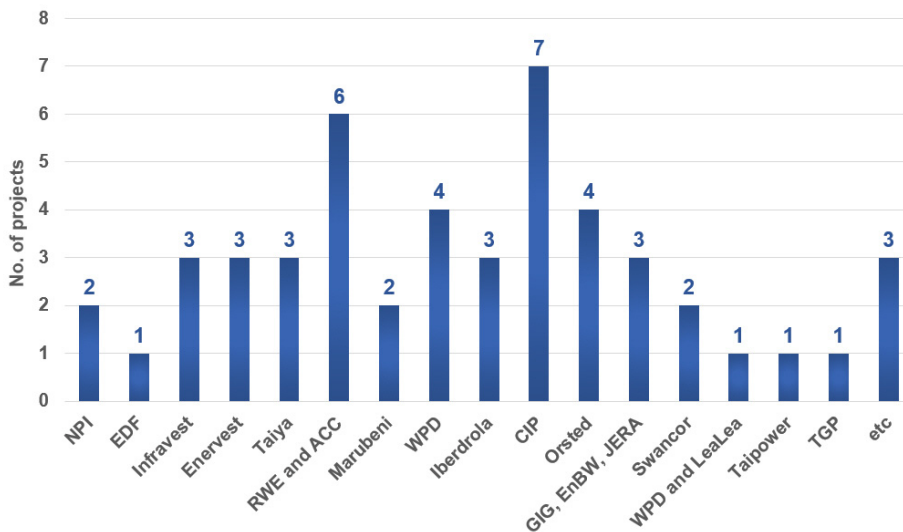
번호	개발사	프로젝트명	낙찰용량 [MW]	위임년도	PPA 년도
1	Ørsted	Greater Changhua 2b	337	2025	2020
2	Ørsted	Greater Changhua 4	583	2026	2020
3	Northland Power and Yushan Energy (+Mitsui)	Hai Long 2b	232	2026	미정
4	Northland Power and Yushan Energy (+Mitsui)	Hai Long 3	512	2025	미정
합계			1,664		

2) 대만 해상풍력 개발 제3라운드

[그림 6] 대만 해상풍력 제3라운드 입찰 대상의 49개 프로젝트 현황



[그림 7] 대만 해상풍력 제3라운드에 참여한 49개 개발사 현황 및 프로젝트 수



〈표 7〉 대만 해상풍력 제3라운드 입찰 대상 프로젝트 세부 정보

지도 번호	프로젝트명	단지용량 [MW]	수심 [m]	해안선 기준 거리 [km]
1	He Er North	2400	90 - 140	30
2	He Er South	2400	30 - 270	10
3	He Yi	2600	120 - 200	10
4	Xinfeng Offshore Wind Power Project	900	70 - 100	20
5	Laifeng Offshore Wind Power Project	950	70 - 100	20
6	Hsinchu Fengfan	750	70 - 90	20
7	Hsinchu Fengcheng	750	60 - 90	20
8	Miaoli Fengli	1800	60 - 80	20
9	Taichung Fengmiao	1800	50 - 60	40
10	Changhua Fengyou	600	20 - 50	10
11	Hai Feng - Formosa IV-1	1360	60 - 80	20
12	Hai Shuo - Formosa 5	1440	60 - 80	20
13	Hai Sheng - Formosa 4	1095	60 - 60	20
14	Chu Feng	450	10 - 50	2
15	Taipower IIb	420	40 - 50	10
16	Miaoli	1800	50 - 60	10
17	Taichung	1100	40 - 60	10
18	Mei Sen	820	50 - 60	4
19	Zhong Mei	3000	45 - 60	10
20	Zhong Qian	580	45 - 50	5
21	Bei Neng (North Wind)	1200	50 - 60	30
22	Jia Neng (Can Wind)	600	50 - 60	40
23	Fuhai Phase 2	120	20 - 40	10
24	Changhua Strait Wind Power (Hai Xia)	600	20 - 30	20
25	Xidao - phase 2	600	20 - 40	10
26	Greater Changhua 3 - Northeast	570	30 - 40	40
27	Xufeng 1	600	20 - 30	60
28	Xufeng 2	750	20 - 30	50
29	Xufeng 3	750	30 - 40	40

지도 번호	프로젝트명	단지용량 [MW]	수심 [m]	해안선 기준 거리 [km]
30	Haiding 1 – Formosa III	552	20	60
31	Haiding 2 – Formosa III	760	20	50
32	Haiding 3 – Formosa III	760	40	40
34	Changhua Datian	700	20 – 30	50
35	Changhua Youde	700	30 – 40	40
36	Huan Yang	440	20 – 50	10
37	Huan Yu	627	50 – 60	20
38	Huan Ya	1434	60 – 80	30
39	Da Chung Bu	2400	50 – 60	40
40	Guo Feng	1800	20 – 70	40
41	Ju Dao	2400	10 – 60	80
42	Haian Offshore Wind Power Project	2500	60 – 70	40
43	Zhangfeng Offshore Wind Power Project	900	50 – 70	30
44	Zhu Xin	711	70 – 90	20
45	Zhu Yang	880	70 – 90	20
46	Fuhai Phase 1 (Changhua Offshore Pilot Project)	8	20	10
47	Zhongneng Phase 2	180	20 – 30	10
48	Laizhong Offshore Wind Power Project	600	50 – 60	30
49	Fufang / Fufeng	600	20 – 40	20

대만 해상풍력 입찰 3라운드에는 완전히 경쟁적인 경매입찰 프로세스로 LCR 요구 사항이 증가하고 Taipower와 함께 임대 계약과 PPA를 모두 제공하는 형태이다. 8월 31일까지 신청이 마감되었던 2022년 입찰에서는 3 GW의 용량이 할당되었고, 대만 에너지국은 경쟁을 강화하기 위해 개별 프로젝트 용량을 500 MW로 제한하였다. 이 500 MW 용량은 에너지국이 잠재적인 개발 혜택, 대만의 산업 용량, 송전 및 배전 시스템의 용량과 같은 다양한 지표에 따라 적절하다고 판단할 경우 600 MW로 확장될 수 있었다. 또한 여러 개발자가 동일하거나 중복되는 사이트를 놓고 경쟁하는 경우 점수가 가장 높은 개발자가 요청한 전체 영역을 확보하고, 점수가 낮은 다른 개발자는 중복되는 영역을 잃게 되는 형태라고 할 수 있다.

3차 경매의 첫 번째 단계는 3단계로 구성되며, 처음 두 단계는 통과/불합격으로 구분되며, 세 번째 단계는 경쟁 구도에 해당된다.

- ① 1단계: 사전심사. 프로젝트는 경제부의 부지 계획 승인, 환경영향평가 승인(전체 또는 조건부) 및 Taipower의 그리드 연결 승인을 받아야 함
- ② 2단계: 기술능력(60%) 및 재무능력(40%) 및 산업 관련성(LCR)을 기반으로 한 능력평가가 진행됨. LCR은 3단계 이후 별도의 사항을 고려하여 재평가함
- ③ 3단계: 가격평가. 프로젝트가 3단계에 도달하면 주로 가격을 기준으로 선정 결정이 내려지며, 최소 입찰가는 0이고 최대 입찰가는 kWh당 NTD 2.49 (약 80유로/kWh)로 이전 경매의 모든 입찰가의 가중 평균에 해당됨. 동점인 경우, LCR 점수에 따라 승패가 결정됨

3. 대만 국산화비율 반영제도 분석

대만 에너지국은 더 넓고 강력한 현지 대만 해상 풍력 산업을 개발하려는 명확한 목표를 가지고 있으며, 이를 달성하기 위해 프로젝트에서 입증해야 하는 중요 항목(필수) 또는 선택 항목(가치)을 설정하는 현지화 요구 사항이 도입되었다. 최종 3단계로 진행하려면 중요 및 선택 항목에 대한 최소 점수를 획득해야 하며, 앞서 언급한 바와 같이 일부 개발자가 동일한 행사가를 제출하는 경우(제로 입찰의 경우일 수 있음) LCR의 산업 관련성 점수가 입찰 당락을 결정하게 된다. 현지 전문가들은 대만 에너지국이 공급망 약속의 확실성 정도에 따라 산업 관련 점수를 부여할 것으로 기대한다고 언급했으며, 따라서 공급업체와의 구속력 있는 계약은 초기 양해각서(MOU) 또는 선호 공급업체의 지위보다 높은 점수를 받을 수 있다(Metal Industry Intelligence, 2022).

FEED 작업이 완료되고 프로젝트가 일반적으로 조달을 시작하면, 경쟁이 없는 대규모 공급업체(WTG, 기초, 케이블)가 계약을 체결하면 해당 계약을 갱신할 때 위험이 있으므로 궁극적으로 더 높은 비용이 발생할 수 있다.

1) LCR 대상 부품

(1) 핵심 대상 부품

대만 에너지국은 26개 중요 품목에 대해 대만에서 의무적으로 공급해야 하는 유연성을 고려하여 최대 40%의 장치를 해외에서 공급할 수 있다고 언급하고 있다. 중요 항목 목록은 <표 8>에 제시되어 있으며, 전통적으로 WTG, 타워 및 기초는 모든 해상 풍력 시장에서 목표로 하는 핵심 구성 요소였기에 이러한 대형 키트를 제조함에 따라 항만 및 사무직 및 생산직 일자리, 특히 재산업화의 아이콘인 철강 산업과 관련된 측면 투자를 확보할 수 있다. 기초하부구조물은 3라운드 입찰에서 LCR의 분명한 예시로 제시될 수 있으며, 최소 60%가 대만에서 제조되어야 하고 100% 현지화시 1점이 획득 되어진다.

대만은 이미 Round 2의 일부로 재킷(Jacket) 하부구조물을 생산했으며, Round 3의 차이점은 더 큰 WTG로 인한 기초 및 크기 측면의 규모이며 개발 및 건설 프로그램이 유사한 프로젝트를 위해 많은 수의 재킷 구조를 제조하는 것이 주요 과제라고 할 수 있다. 일반적인 풍력터빈이 15 MW라고 가정하면 3 GW의 프로젝트를 제공하려면 500개의 재킷 기초가 필요하며, 대형 재킷을 제조하는 데는 일반적으로 2~4개월이 소요되며, 그런 다음 직렬 생산을 위해 설정된 일반적인 야드에서 약 일주일에 한 번 재킷이 생산된다. 따라서 500개의 재킷을 완성하는 데 야드 1개 기준 10년, 또는 동시에 야드 4개에서 작업하는 데 3년이 소요되며(둘 다 시설에서 제작 문제가 없다고 가정), 이전에 대만에서 제조된 적이 없는 많은 품목과 함께 현지화된 다른 다양한 요구 사항(예: 케이블, 변전소, 나셀 등)에도 유사한 복잡성 및 용량 문제가 존재하였다. 부유식 풍력 프로젝트용 부품의 비용 경쟁력 있는 제조는 또 다른 과제이며, 부유식 풍력 산업은 전 세계적으로 약 100 MW가 가동되고 대규모 배치의 위험을 줄일 수 있는 데모 프로젝트를 시작하기 위해 경쟁하는 다양한 플로터 설계로 아직 초기 단계에 있다. 그럼에도 불구하고 세계 해상 풍력 시장에는 이번 10년 동안 부유식 풍력을 산업화하고 고급화하려는 분명한 추진력이 있는데 예를 들어, 스코틀랜드는 최근 2030년 초까지 가동을 목표로 하는 15 GW의 부유식 풍력 프로젝트를 수주했다. 제조와 관련하여 부유식 기초에 사용되는 두 가지 주요 건축 자재는 강철과 철근 콘크리트이며 각각 장단점이 있다. 두 경우 모두 기초 제작은 가장 진보된 부유식 기초 기술의 단일 단위를 제조하는 데 평균 6~9개월이 걸리는 매우 노동 집약적이며, 부두 수심(기초 기술 및 적재 방법에 따라 일반적으로 8~10 미터가 필요함), 토양 지지력 또는 전체 제작 및 정박 공간과 관련하여 항구 및 제작 인프라에서 추가 문제가 발생할 수 있다.

부유식 풍력터빈도 현재 장벽이며, 일반적으로 유럽에서 15 MW 풍력터빈에 대해 0.9~1.8

MEUR/MW 범위의 부유식 기초 공급 비용을 확인할 수 있는데 하한치는 터빈, 기초 및 공격적인 학습 속도에 대한 상당한 비용 절감을 고려한 예비 추정치이다. 한편 유럽에서는 고정식 프로젝트에서 0.2~0.3 MEUR/MW의 모노파일을 사용하며, 대만에서 0.8~1.0 EUR/MW의 재킷 기초를 고정식 프로젝트에 반영하고 있음. 이는 대만 부유식 풍력 산업이 시작될 때 상당한 FiT 및 기타 지원 메커니즘과 정부의 명확하고 장기적인 지원이 필요함을 보여준다고 할 수 있다.

〈표 8〉 대만 에너지국에서 분류하는 해상풍력 부품 현지화 중요 품목 목록

Power facility	Foundation	WTG	Marine Engineering
Onshore power facilities	Monopile	Whole Nacelle assembly & Fasteners	Survey vessel Eng.
Transformer	Main pile	Tower and fasteners	Drillship Eng.
Switchgear	Transition Piece (TP)	Transformer	FOU installation vessel Eng.
Switchboard	-	Switchboard	WTG installation vessel Eng.
Onshore cables	-	Nose cone and nacelle housing	Cable laying vessel
-	-	Cables	Operation and Maintenance (O&M) vessels
Offshore Substation (OSS)	Jackets	Casting of hub and bedplate	-
Transformer	Main structure	Power conversion system and uninterrupted power supply system (UPS)	-
Switchgear	Transition Piece (TP)	Rotor blades	-
Switchboard	Pin piles	Resin	-
Power Conversion system	-	Blade pitch system	-

(2) 선택적 대상 부품

앞선 26개의 주요 부품대상을 제외하면 선택적 대상으로 약 57개의 기타 항목이 있으며, 대만 에너지국에서도 관심이 있지만 대만에서 조달하기가 어려울 수 있으므로 선택 항목으로 분류되어진다. 이러한 선택적 항목은 <표 9>에 제시되어 있으며, 유연성을 더하기 위해 에너지국은 현지 조달 항목을 자유롭게 선택할 수 있는 포인트 시스템(각 항목에 가중치를 다르게 적용)을 제안하고 있고, 3단계 가격 평가 단계에 필요한 최소 점수는 10점이다.

<표 9> 대만 에너지국에서 분류하는 해상풍력 부품 현지화 선택적 품목 목록

Power facility	FOU	WTG	Marine Engineering	New built vessels
Submarine cables (4p)	Grouting materials (1p)	Wind turbine Generator (4p)	Engineering design (2p)	Hydrographic survey vessels (2p)
OSS structure (1p)	Coating (1p)	Tower-coating (1p)	Foundations	Seabed drill vessels (2p)
Energy Storage System (3p)	Anti-corrosion systems: anode sacrifice or impressed current protection (1p)	Blades-fiberglass (1p)	WTG	Tugboats (2p)
-	Steel structure of frame plate for piling works (1p)	Blades-carbon fibre and pultrusion (1p)	Cable	Pile driving vessels (2p)
-	Floating foundation (2p)	Blades-parting agent (1p)	OSS	Support vessels (2p)
-	-	Blades-tackifier (1p)	Eng. Services cable laying (export & inter-array) (2p)	CTVs (2p)
-	-	Blades-material processing (1p)	O&M Services (2p)	Cable laying vessel (2p)
-	-	Blades-foam materials (PET or PVC) (1p)	Environmental surveys during operation (2p)	-
-	-	Blades-hub plate (1p)	-	-

Power facility	FOU	WTG	Marine Engineering	New built vessels
-	-	Blades-lightning protection system (1p)	-	-
-	-	Turbine-nacelle cooling system (1p)	-	-
-	-	Turbine-yaw system (1p)	-	-
-	-	Turbine-lubrication system (1p)	-	-
-	-	Turbine-casting of bearing seat and stationary shaft (1p)	-	-

2) 대만의 LCR 제도 상세 분석

대만 경제부는 2020년까지 0.5 GW, 2025년까지 최대 3 GW의 풍력단지 프로젝트 제안서를 선정했고, 외국 투자자들에게 “현지 산업 관련 실질적 실행계획”을 제시해 줄 것을 요청했다. 실질적인 지역산업 관련 계획을 실행하겠다는 서약에는 LCR 계획뿐만 아니라 지역 공급자와의 계약도 포함되었으며, 외국인 투자자가 정당한 사유없이 LCR 약속을 이행하지 않을 경우, 매달 계약이행보증금의 3%에 해당하는 벌금이 부여되며, 예비순위로 대기 중인 차선 회사로 교체될 소지가 있다. 이는 대만 경제부가 “해상풍력 발전구역 개발용량 할당 규칙 (Offshore Wind Power Zonal Development Capacity Allocation Rules, 2021)”과 관련된 정책 명령에 따라 3라운드에서의 LCR은 “선 약속, 후 실행”으로 검토될 것으로 규정되었기 때문이라고 할 수 있다(Hai-Ning, 2021).

2021년 8월, 풍력발전 클러스터에 대한 실질적인 지역산업 관련성 실행계획의 1차 발표 이후, 2021년 12월에 대만 경제부는 업데이트된 버전을 발표했으며, 주요한 개정사항은 LCR 규칙이 기존 매 5년마다 이뤄져야 했던 조건이 2년마다 검토되는 것으로 바뀐 점이다(Yachi, 2023).

또한, 일부 까다로운 LCR 항목에 대해 외국인 투자자가 LCR 항목을 모두 이행하도록 강제하는 대신 자발적으로 LCR 항목을 선택할 수 있도록 하였는데, 투자자가 자발적 LCR 항목을 선택

하면 정부 심사에서 더 많은 점수를 받을 수 있으며 이는 외국 기업이 구매, 협력 및 투자 방법을 포함하여 LCR 항목을 이행할 수 있음에 더 많은 유연성을 허용할 수 있다고 보여진다.

3) 대만 해상풍력 제3라운드 LCR 제도

대만 현지에서는 2라운드보다 3라운드의 LCR 제도가 훨씬 강화되었다고 판단하고 있다(표 10). <표 10>의 첫 항목인 기초하부구조물 설계에서 60%를 LCR 필수항목으로 적용하였으며, 코팅, 음극보호시스템을 포함한 40%는 선택사항으로 제시되었다. 터빈 설계에서 역시 총 11개 주요 구성품목에 해당하는 60%의 부품은 모두 국산화가 이루어져야 한다. 육상변전소와 해상변전소 역시 60%를 기준으로 LCR을 요구하고 있으나, 케이블의 경우 강제적인 LCR에서 자유롭다고 할 수 있다(내부망 설치는 선택사항으로 제시하고 있음). 기초하부구조물, 터빈, 변전소, 케이블 설치 시 공사는 모두 국내업체가 진행해야 하며, O&M의 경우 선박 역시 모두 국산화가 진행되어야 함을 명시하고 있다(Tamarindo, 2023).

일반적으로 대만 프로젝트에 적용되는 터빈은 Vestas와 SGRE (Siemens-Gamesa Renewable Energy)가 주도하고 있으며, 복수의 터빈제조사가 경쟁하는 기간이 길어질수록 CAPEX는 저감되어질 수 있다(많은 프로젝트에서 협상할 터빈제조사가 하나여서 예상보다 높은 CAPEX가 발생한 이력이 있음).

<표 10> 대만 에너지국에서 분류하는 해상풍력 부품 현지화 중요 품목 목록

항목	엔지니어링	생산		건설 및 설치	
	필수	필수	선택사항	필수	선택사항
FOU	WTG foundation design	60% WTG foundation (Jacket + TP + Pin Pile)	1. 40% WTG Foundation (Jacket + TP + Pin Piles) 2. Coating 3. Cathodic-Protection system	100% foundation installation construction	1. Grouting material 2. Piling installation frame 3. Pile installation vessel (new build or upgrade)

항목	엔지니어링	생산		건설 및 설치	
	필수	필수	선택사항	필수	선택사항
WTG	Turbine design	60% turbine equipment, total 11 items	1. 40% Turbine equipment, total 11 items 2. Generator 3. Turbine material in category C, total 13 items	100% Turbine installation construction	-
ONS	-	60% transformer + Distribution Panel + Switchgear + onshore cable	40% transformer + Distribution Panel + Switchgear + Onshore Cable	-	-
OSS	OSS design	60% Transformer + Disctribution Panel + Switchgear + PCS	40% Transformer + Distribution Panel + Switchgear + Onshore Cable	-	-
CAB	Subsea cable design	-	Subsea cable	100% export cable installation construction	1. Inter array cable installation 2. Cable laying vessel (new build or upgrade)
O&M	-	-	-	100% Support vessel on O&M (CTV, SOV)	1. O&M: WTG O&M / support equipment O&M 2. Environmental monitoring in O&M phase

항목	엔지니어링	생산		건설 및 설치	
	필수	필수	선택사항	필수	선택사항
Other	-	-	-	100% Environmental survey service 100% Geotechnical survey service	New build or upgrade of: 1. Geophysical survey vessel 2. Geotechnical survey vessel 3. Barge 4. Support vessel 5. CTV, SOV

4. LCR 정책 관련 이슈 및 영향

자국 내 산업에 이점을 제공해 줄 수 있는 LCR 정책은 한편으로는 WTO 분쟁해결기구를 통해 제재 및 소송을 받을 여지가 많다고 할 수 있다. 경제협력개발기구(OECD)는 2015년 5월, “새로운 정책이슈: 무역에 대한 현지화 장벽(Emerging Policy Issues: Localization Barriers to Trade)” 보고서를 발간하였는데, 해당 내용은 다양한 유형의 LCR 규정을 요약하고 국제 무역에 대한 잠재적인 부정적 영향에 관한 것이었다. 그럼에도 불구하고 많은 국가에서 지역경제를 활성화시키고 고용 기회를 증가시키기 위해 LCR 정책을 활용해왔는데, 이는 지난 20년간 특히 재생에너지 분야에서 점점 더 많은 주목을 받아왔다고 할 수 있다. 본 연구에서 소개된 대만의 경우, 해상풍력 후발주자에 해당되어 자체 공급망을 갖추기 어렵다는 점에서 우리나라와 유사한 상황에 처해 있었다고 할 수 있다. 이는 과거 영국도 해당된 케이스이며, 당시 영국에는 터빈 포함 관련 부품을 생산할 수 있는 자국 내 생산기업이 전무했다. 이에 발전차액거래(Contract For Difference, CFD) 시 정부의 지원을 받기 위해 사업주 및 제조사들에게 공급망 계획서 제출을 의무화하여 해외 기업들이 영국 내에 생산기지를 구축하도록 유도하기에 이르렀다.

다만, 영국이 2021년에 도입하고자 했던 LCR제도는 WTO의 제소로 취소된 바 있다. 당시 EU는 영국의 해상풍력발전 보조금 지급과 관련하여, 정부가 자국기업과 외국 기업을 차별하고 있다며 제소했는데, 이는 자국 상품을 우대한 영국의 조치가 WTO 핵심 원칙인 “내국인 대우 원칙”에 위반하는 차별적인 조치라는 이유에 기반하였다.

한편, 대만에서는 영국과는 달리 여전히 LCR 정책이 유지되고 있는데, 이는 아직 대만의 LCR에 대해 제소한 국가가 없기 때문이다. 영국의 경우, EU라는 국가규모의 연합체에 의해 제소되었는데, 이는 WTO 원칙 상 회원국만이 WTO 분쟁해결기구에 제소할 수 있기 때문이다. WTO 회원국은 각 국 정부에 해당하며 기업이 대신할 수는 없다. 이에 대만의 LCR 제도에 불만을 가진 글로벌 기업이 있다하더라도 WTO에 제소할 수 있는 권한은 없으며, 주변 국가들 또한 대만의 LCR 제도에 대해 국가적 단위의 손해를 주장할만한 사례가 없었기 때문이다. 또한 특정 국가의 정부가 WTO 메커니즘을 통해 국제 제소를 제기하는 경우, 그 결정은 다수의 복잡한 문제에 근거하며 진행되는데, 이는 분쟁 대상 기업의 이해관계 또한 고려되어야 하기 때문이다. 기업과 국가의 손실을 증명하기 위해 판결받는데만 수 년이 소요될 것이나, 관련 기업은 현재 WTO의 법적 체계 하에서는 국가가 아니기 때문에 어떠한 보상도 요구할 수 없다. 이에 일반 기업은 아무 이득도 기대하지 못하는 제소에 자국 정부를 지원할 이유를 찾지 못할 것이다. 또한, 일부 항목들에 대해서는 해외 기업들이 입찰 경쟁에 참여할 시, LCR은 의무사항이 아닌 자국 산업에 얼마나 보탬이 될 수 있는지를 기업 스스로가 제안하는 형태이기 때문에 WTO 규정 내 위반사항을 쉽게 입증할 수 없다는 이유도 제기된 바 있다. 위 사항들로 인해 여전히 WTO의 공식적인 규제에도 불구하고 대만은 자국 내 LCR 정책을 유지하고 있다고 할 수 있다.

브라질, 인도, 남아프리카 공화국을 대상으로 LCR 규정이 현지 제조 능력을 창출하는 데 도움이 되는지, 현지 기업에 도움이 되는지 평가한 연구에 따르면, 세 국가의 기업은 LCR 규정을 충족시키기 위해 자체적인 역량 확보가 아닌 타 산업군, 국외 산업체로부터 편법을 통해 기술을 빌려오는 경향이 두드러진다고 밝혔다. 결과적으로 더 정교한 부품 생산을 위한 제조능력 확보가 어려우며, LCR이 프로젝트 비용 증가에도 기여하고 있음을 밝혔다. 비용증가와 관련된 상세 설명으로는, 현지 생산 품목을 구매해야만 하는 의무사항으로 인해 비용이 증가한다는 것이었다.

인도 태양광의 경우, LCR 정책을 적용받은 프로젝트는 태양광 발전비용이 다른 유사 프로젝트보다 kWh당 6% 증가되었고, LCR 적용기간인 3년 동안 인도 태양광 패널은 글로벌 기업보다 약 14% 가량 가격이 높았으며, 이 기간 내 인도기업은 시장 점유율을 높이거나 국제 시장에 진출할 수 없었다고 밝혔다. LCR을 반대하는 입장에서는 국제적인 자유 시장에 대한 원칙에 위배된다는 것이며, 자국산업의 보호를 위해 폐쇄적이고 보수적인 입장을 취하는 것은 해당 국가 시장에 진입하여 투자하고자 하는 글로벌 외국계 기업들을 무시하려는 태도라고 보고 있다.

그럼에도 불구하고 LCR 정책의 경제적 효과를 고려하면, 여전히 많은 정부가 지역산업의 활성화를 위해 LCR 정책을 선호하고 있는 것이 사실이다. LCR 선호론자들은 해상풍력을 비롯

한 산업은 세계화와 지역화가 균형을 이루어야 된다는 의견을 내세우며, 글로벌 기업들이 현지 제조 및 공급망을 성장시킬 수 있다고 말한다. 많은 국가가 해상풍력을 포함한 신재생에너지에 대한 국가적인 투자를 정당화하기 위해 LCR과 같은 정치적 근거를 만드는 데 동조하고 있으며, 결과적으로 이러한 정책은 전략적 역할을 수행하며 해당 국가가 신재생에너지로부터 경제적 이익을 얻을 수 있게 한다. 또한 제조된 부품의 일정부분에 대해 국산화를 명시하고 의무화시킴으로써 산업정책 마련 및 활성화와 지역산업 발전을 촉진시키는 매개체로 작용될 수 있다.

〈표 11〉 대만 입찰 2라운드 내 지원 및 LCR 제외 대상 경쟁입찰 프로젝트 현황

항목	LCR 이전	LCR 이후	
	2013년	2020년	2025년(예상)
순 생산가치 (10억 NTD)	8	130	1,200
고용기회	1,400	4,640	20,000
투자금액 (10억 NTD)	2	100	1,000

자료: Moving Toward Net-Zero Carbon Society, Chapter 8 (2023)

대만 풍력산업협회가 제시한 〈표 11〉에 따르면, LCR 적용 이전과 이후에 대해 대만 해상풍력 산업의 생산가치, 고용기회, 투자금액이 급격하게 증가한 것으로 나타나며, 정부는 LCR이 대만 산업의 효율적인 발전에 기여하고 다른 국가에 좋은 모범사례가 될 수 있다고 판단하고 있다. 다만, 지난해 진행된 3-1라운드 협상 시작 전, 대만 정부는 해상풍력 개발사에 큰 폭의 LCR 확대를 요청했으나 당초 공모한 3 GW의 총 프로젝트 설비용량 중 665 MW 규모의 미계약 사태가 발생하였다. 이에 대만 정부는 3-2라운드부터 LCR 조항을 완화시킬 계획도 검토 중이라는 방침을 밝힌 바 있다. 이는 구체적이고 안정된 공급 계획으로 해외 기업의 생산시설과 투자를 유치하는데 있어 LCR이 효과적인 정책이 될 수 있으나, 자국 공급망 성장이 전제 조건이 되지 못한다면 오히려 장기적으로는 시장의 성장을 저해시킬 수 있음을 암시한다.

LCR 정책이 모든 국가에 대해 긍정적으로 작용되는 것은 아니나, 외국인 투자자를 유치하고 지역산업을 구축하며, 일자리를 창출하기 위한 경제적 인센티브를 확보하는데 큰 도움이 되는 것은 확실하다고 보여진다.

IV. 결론 및 제언

해상풍력 LCR 정책을 둘러싼 두가지 쟁점은 합법성과 효율성이며, 국가들이 채택한 LCR 정책에 반대하는 입장에서는 그것이 국제 자유 무역 규칙에 위배되거나, 국가의 장기적인 경제성장 및 일자리 성장에 부정적인 영향을 미친다고 주장한다. 많은 전문가들은 대만이 아시아 태평양 해상풍력 시장에서 가장 유망한 시장이 되기 위해 노력하고 있지만, 단순히 국가의 산업 및 경제 발전 패턴 때문에 적극적인 LCR 정책 개입이 반드시 정당성을 얻을 수는 없다고 말하고 있다. 아주 강력한 LCR 정책은 오히려 외국 투자자들의 투자 시도를 위축시키며, 경제성장, 일자리 확보, 산업 기술 성숙도 및 선진 업체로부터의 기술 이전 등의 기회를 막아버리는 부정적인 효과를 가져올 수 있다.

그럼에도 불구하고 LCR 정책은 해당 국가의 해상풍력산업의 기술적/양적 성장, 투자유치, 장기적인 관점에서의 외국기업 의존도 저하 및 국내기업의 독립적인 활동 보장 등 긍정적인 효과들이 부정적 영향을 상쇄할 수 있다고 보여진다. LCR 정책이 국제 무역 규칙과의 양립성과, 국내에서의 실효성을 보장할 수 있도록 신중하게 설계하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

우리나라 역시, 무역 통상법상 공정성을 근거로 LCR 제도를 작년에 폐지하기에 이르렀지만, 해상풍력 활성화와 국내기업을 보호하는 차원에서 다시 한번 제정을 고려할 필요가 있다. LCR 제도를 통해 해외 기업의 국내 진출을 유도하여 국내 생산비율을 높이는 것이 하나의 방법이 될 수 있다. 또한 우리나라가 지정학적 조건을 고려해 국산화비율 반영 항목을 선정할 필요가 있다. 이는 중국시장의 한국시장 잠식을 우려하는 측면에서, 중국시장이 독점하고 있는 부품들의 국내 생산을 장려하는 한편, 해외 공급망 다각화를 고려하는 것이 국내 해상풍력 공급망 안정성을 확보하는 방안이 될 수 있다.

하지만, LCR의 도입은 우리나라의 해상풍력 공급망 인프라와 자체 기술력이 지속적으로 향상되고 확보된다는 전제 조건 하에 진행되어야만 한다. 국내 풍력 관련 기업의 경쟁력은 일부를 제외하고는 글로벌 주요 기업 대비 상당히 열세를 보이는 것으로 알려져 있다. 특히, 풍력터빈 대형화 측면에서는 국내외 기업간의 기술력 격차는 점점 벌어지고 있다는 것이 객관적인 평가이다. 2022년, 국내 기업에 의해 8 MW 해상풍력터빈이 개발을 완료하고, 현재 인증까지 취득한 상황이지만, Vestas와 GE, SGRE 등은 14-15 MW급의 터빈을 자체 개발하여 인증 취득까지 진행되었고, 중국의 경우 18 MW부터 22 MW급까지 개념설계를 완료한 상황이라고 할 수 있다. 물론, 우리나라가 저풍속대 영역에 해당하기 때문에 회전 반경이 큰 맞춤형 터빈이 요구되는

환경이라고 할 수 있지만, 기본적으로 단일 설비용량이 글로벌 트렌드로부터 많이 뒤쳐져 있는 것은 사실이다. 또한, 국내 기업이 생산한 터빈은 내수 시장을 우선적으로 타겟으로 삼았기 때문에 소량 생산에 따른 규모의 경제 효과를 기대하기 어려운 상황이며, 국내외 해상풍력 개발사들 역시 국산 터빈보다는 외산 터빈을 선호한다고 할 수 있다. 이러한 환경 하에서는 지속적인 수주 및 공급물량 계약을 확신할 수 없기 때문에 국내 기업들도 터빈 개발에 선뜻 투자하지 못하는 상황에 처해 있다고 할 수 있다.

이에 본 저자는 국내 해상풍력시장 활성화를 위해 다음과 같이 정리하여 제언을 하고자 한다. 첫째, 기술도입과 자국산업 육성의 공존이 필요하다. LCR 정책의 목적은 외산 기기 생산시설의 자국내 도입을 통한 일자리 생성 및 경제 활성화와, 국내 기업 기술력 증진 및 시장 보호에 있다고 할 수 있다. 두 목적을 모두 달성하는 것이 취지이지만, 어느 한쪽으로 비중이 기울어져 균형을 잃게 되면 외국 기업에 의한 내수시장 잠식 또는 국내 기업 보호를 위한 폐쇄 시장 형성의 극단적인 형태로 진행될 수밖에 없다. 이는 대만을 국내 LCR 정책의 벤치마킹 분석 사례로 적용하고자 하는 본 저자의 의도와 일치한다고 할 수 있다. 대만 정부는 시범사업 구간이었던 입찰 1라운드에서는 자국 산업의 육성 및 보호보다는 실질적인 해상풍력 보급과 시장 개방에 중점을 두고 해외로부터의 투자와 기술 도입을 적극 유도해내었다고 할 수 있다. 과감한 규제 완화와 안정적인 지원을 통해 해외사가 대만 현지에 공장 설립을 포함한 각종 투자를 진행할 수 있게 안정적인 시장을 형성하는데 일조를 했다고 할 수 있다. 반면, 입찰 라운드 2와 3에서는 LCR 규정을 적용함으로써 실질적으로 대만과 지역산업에 제공할 수 있는 혜택과 관련한 구체적인 실행계획과 지표를 제시하게 하였고, 이는 대만 정부가 국외기업의 투자와 자국 기업의 육성에 명확한 로드맵과 실행 방안을 갖추고 해상풍력시장을 형성해 왔다고 볼 수 있다. 이에 우리나라 역시 자국 산업 육성에만 치중하거나, 투자유치에만 집중할 것이 아니라 국내 시장 활성화와 국내 기업의 경쟁력 확보를 위한 균형잡힌 맞춤형 LCR 정책을 연구 및 도입할 필요성이 있다. 중국과 같이 충분한 내수 시장이 확보되지 않는 한, 국내 기업만을 보호하는 형태는 결국 시장과 기술력 도태를 초래하기 때문에 산업의 경쟁력을 확보하고 향상시키기 위해 충분한 시간을 가지고 국내 시장을 위한 LCR 정책 도입이 필요하다고 할 수 있다.

둘째, 국내 기업의 원천기술 경쟁력 향상이 전제가 되어야 한다. 앞서 설명하였듯이, 현재 글로벌 트렌드에 적합하지 않는 기기와 부품의 사용, 기술력이 부족하여 안전성 또는 지속성에 의문점을 가지게 하는 기업과의 협업 등을 LCR의 규제 하에 의무화하게 한다면 이는 사업의 경제성 확보를 떠나 존속의 여부와 관련된 문제로 발전하게 된다. 국산 부품 사용 의무화라는

것은 국내 기업에서 생산한 기기와 부품의 기술력과 경쟁력이 선진 기업에 비해 크게 떨어지는 것이 없는, 안전성과 사업 지속성에 영향을 주지 않는다는 전제 조건이 수반되어야 한다. 안전성과 사업 지속성에 대한 보장이 이루어지지 않는다면, 가격 경쟁력을 통한 사업의 경제성 확보는 논의할 가치가 없는 문제라고 할 수 있다. 이에 본 저자는 국내 기업의 기기 및 부품관련 원천기술 경쟁력과 함께 가격 경쟁력이 확보되지 않는 전제 하에서는, LCR 정책이 오히려 해외 투자와 시장 형성에 상당히 부정적인 영향을 끼칠 것이라고 판단한다.

우리나라는 최근 해상풍력 시장이 급격히 성장하기에 많은 관심을 받은 투자고려대상 국가이다. 따라서 안정적인 풍력산업 공급망을 확보하기 위해서는 관련 분야에 대한 국산화 전략과 더불어, 해당 시장을 선도하고 있는 글로벌 기업과의 협력 및 경쟁기업의 대응방안을 마련하는 것이 시급하다고 할 수 있다. 이에 면밀한 검토와 여러 국가의 LCR 정책 벤치마킹을 통해 우리나라 환경에 적합한 맞춤형 LCR 정책을 재도입함으로써 국내 해상풍력 시장 활성화와 기업 경쟁력 확보, 해외로부터의 지속적이고 안정적인 투자 유치를 도모할 수 있다고 생각한다.

참고문헌

- 김범규(2020), 산업부문의 전기화(Electrification) 잠재력과 실현조건 (2020), 한국전력공사 경영연구원 보고서.
- 김은성, 허민호, 정윤식(2023), 국내 해상풍력 LCR (Local Content Requirement) 제도 개선 방향, 넥스트그룹 이슈브리프.
- 이구용, 이민아(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향: G7 국가 탄소중립 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언, 2(1), 녹색기술센터(GTC) Focus.
- 이승은(2021), 탄소중립을 고려한 2050년 글로벌 전기화 전망 (2021), 한국전력공사 경영연구원 보고서.
- 전은진(2021), 탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석 (2021), 한국과학기술기획평가원.
- IRENA(2022), "Smart Electrification with Renewables: Driving the transformation of energy services".
- Adriaan et al.(2022), "Developing local industries and global value chains: The case of offshore wind", *Technological Forecasting & Social Change*, 121248.
- GWEC(2024), "Global Wind Report 2024".
- Emmanuel Binyet, Hsin-Wei Hsu(2024), "Decarbonization strategies and achieving net-zero by 2050 in Taiwan: A study of independent power grid region", *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 123439.
- Hai-Ning Huang(2021), "Localization of Taiwan Offshore Wind Industry and Onward: Critiques and Recommendations for its Policy Design through the Lens of WTO Law", *Asian Journal of WTO & International Health Law and Policy*, 16(1), pp. 59-98.
- Hogan Levells International LLP(2022), "Offshore Wind Worldwide: Regulatory Framework in Selected Countries", *World Forum Offshore Wind*.
- Huey-Shian Chung(2021), "Taiwan's Offshore Wind Energy Policy: From Policy Dilemma to Sustainable Development", *Sustainability*, 13, 10465.
- John Mathews et al.(2023), "Gone with the wind: how state power and industrial policy in the offshore wind power sector are blowing away the obstacles to East Asia's green energy transition", *Review of Evolutionary Political Economy*, 4, pp. 27-48.
- JONESDAY(2021), "Taiwan Offshore Wind Farm Projects: Updates to Guide Investors and Financiers through the Legal and Regulatory Framework", *White Paper of JONESDAY One firm Worldwide*.
- Metal Industry Intelligence(2022), "The Supply Chain Study of Offshore Wind Industry in Taiwan".
- NREL(2023), "A Supply Chain Road Map for Offshore Wind Energy in the United States".

NREL(2021), “Electrification Futures Study: Scenarios of Power System Evolution and Infrastructure Development for the United States”.

Tamarindo(2023), “Finance Quarterly: Wind supply chain risk, What developers can do to prevent delayed and cancelled projects”, Finance Quarterly Q1 2023.

Tat-Dat Bui et al.(2024), “Assessing energy resilience under uncertainty in Taiwan: System response ability and energy sufficiency”, Energy Strategy Reviews, 53, 101403.

Yachi Chiang(2023), “Moving Toward Net-Zero Carbon Society, Chapter 8 The Legitimacy and Effectiveness of Local Content Requirements: A Case of the Offshore Wind Power Industry in Taiwan”, Springer Climate, pp. 130-144.

LCR policy trend analysis and implications for global offshore wind industry

– Focusing on the Taiwanese LCR policy –

Geonhwa Ryu, Hyojeong Kim, Dohee Lee

– Abstract –

This research is an analysis of the offshore wind power market and trends of the Local Content Requirements (LCR), focusing on Taiwan, to analyze overseas cases of the LCR. Taiwan's Energy Department is revising the LCR every two years in stages. Basically, considering the flexibility of Taiwan's mandatory supply of 26 important items related to offshore wind power, it is mentioned that up to 40% of the devices can be supplied from overseas. By specifying and mandating the local production of a certain portion of manufactured parts, it can serve as a medium to establish and revitalize industrial policies and promote local industry development. Therefore, it is necessary to carefully design LCR policies to ensure compatibility with international trade rules and effectiveness domestically.

Key words

Local content requirements (LCR), Offshore wind, Supply chain, Wind turbine generator (WTG), Localization

| 논문 |

고용환경의 변화에 따른 세수감소현상의 해결방안

로봇세 도입 논의를 중심으로

김성화

대법원 사법정책연구원 조사위원

JOURNAL OF
MACHINERY INDUSTRY

고용환경의 변화에 따른 세수감소현상의 해결방안

- 로봇세 도입 논의를 중심으로 -

김성화*

- 초 록 -

종래에는 과학기술 등의 발달로 인하여 새로운 직업이나 업무 등이 생기면서 고용이 창출되었으나, 최근에는 인공지능(AI) 등에 의하여 고용환경이 변화되면서 고용대체 가능성이 제시되고 있다. 이러한 배경에는 빅데이터, 인공지능과 산업로봇 등의 기술력이 강화되면서 과학기술의 발전과 미래 신산업 등이 적극적으로 추진되면서 그 변화의 속도가 종전과 달리 상당히 빠르고 복잡하게 진행되고 있으므로 해당 변화에 직면한 문제를 체계적이고 정합적으로 검토할 필요가 있다. 이와 관련하여 기존 직업의 소멸과 신생 직업의 발현의 과정에서 근로자성의 문제, 노무종사자에 대한 보호 및 사회보험제도(연금제도 및 건강보험제도) 등의 변화가 연계되어 검토되고 있다.

본 논문은 과학기술혁신에 따른 고용환경의 변화를 살펴보고, 디지털 전환에 따른 고용의 대체가능성을 검토하였다. 특히 첨단기술의 발달이 고용감소의 현상을 초래하는지 여부를 분석한 후 일정 정도 고용감소가 유발될 수 있다는 전제 하에 이로 인하여 야기된 세수감소의 현상을 해결하기 위한 방안으로서 로봇세의 도입 논의를 검토하였다. 따라서 과세방식에 대한 논의의 필요성을 검토하고, 로봇세에 대한 EU 및 영국 등 국제적인 논의를 살펴본 후 로봇세에 관한 도입 과제와 그 대응방안을 제시하였다.

주 제 어 디지털전환, 고용환경변화, 고용대체, 세수감소, 로봇세

논문접수일 2024년 4월 23일 수정논문 제출일 2024년 6월 18일 게재확정일 2024년 6월 20일

* 대법원 사법정책연구원 조사위원, email: kimsunghwa@scourt.go.kr

I. 머리말

정보통신기술(Information & Communication Technology: ICT) 등의 발달에 따른 인공지능(Artificial Intelligence: AI)과 산업로봇 등 새로운 기술이 대두됨에 따라 산업계 전반에 걸쳐 다양한 변화들이 나타나고 있다. 이를 정보혁명 또는 제4차 산업혁명이라고 한다. 현재 제4차 산업을 선도하는 미국에서는 AI와 산업로봇 등을 이용하여 산업자동화나 디지털화에 따른 산업구조의 전반적 개혁을 논의하고 있으며,¹⁾ AI 등의 과학기술이 점차 발전됨에 따라 기계가 인간을 대체할 수 없다는 기존의 인식이 바뀌고 있다.

종래에는 과학기술의 혁신으로 새로운 직업이나 업무 등이 생기면서 고용이 창출되었다면, 최근에는 AI 등에 의하여 일정한 범위에서만 고용이 증가될 뿐, 새로운 업무가 생기지 않거나 오히려 고용이 대체되는 현상이 발생하고 있다. 이러한 배경에는 AI와 산업로봇, 빅데이터 등의 기술력이 발전되면서 과학기술의 진전과 미래 신산업 등이 적극적으로 추진되고 있기 때문이다. 그동안 기존 직업체계가 점차 변화되고 있으며, 일부 직업이 소멸 또는 생성되고 있는데 그 변화의 속도가 종전과 달리 상당히 빠르고 복잡하게 진행되고 있으므로 디지털 전환과정에서 나타나는 문제를 체계적이고 정합적으로 살펴볼 필요가 있다.²⁾ 이와 동시에 AI나 산업로봇이 가져올 수 있는 고용대체 가능성으로 인한 세수감소현상이 심화될 수 있기 때문에 이를 해결하기 위하여 EU 및 영국 등을 중심으로 AI 및 산업로봇 등에 대한 과세논의가 진행되고 있다.³⁾ 해당 논의가 격차시정에 대한 대응방안이라면 자본소득과세(법인세나 개인단계에서의 금융소득과세) 및 상속세의 재검토 등의 수단이 될 것이고, 세수감소에 대한 대응방안이라면 소득, 소비, 자산에 균형 있게 과세함으로써 세계 전체에서 세수를 확보하면 될 것이다.

그러므로 이하에서는 기술혁신에 따른 고용 및 노동시장의 변화를 살펴보고, 디지털 전환에 따른 고용의 대체가능성을 검토한다. 특히 첨단기술의 발달에 따른 고용감소현상이 초래될 수 있는 불확정인 요소에 대하여 살펴보고, 고용대체에 대한 체계적인 대응방안을 제시한다. 이에 따라 일정 정도 고용감소가 발생하는 과정에서 세수감소현상이 유발될 수 있다는 점을 감안하여

1) Frey, Carl Benedikt & Osborne, Michael A. (2017), "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?", *Technological Forecasting and Social Change* Vol. 114, pp. 254-280.
 2) 구체적으로 기존의 직업의 소멸과 신생 직업의 발현의 과정에서 근로자성의 문제, 노무종사자에 대한 보호 및 사회보험 제도(연금제도 및 건강보험제도) 등의 변화가 연계되어 검토되고 있다.
 3) 2017년 EU의회의 법무위원회에서는 로봇세에 관한 필요성을 제기하였다(Committee on Legal Affairs(2017), "Report with Recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL)", <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0005_EN.pdf> (최종확인 2024. 4. 18)).

최근 국제적으로 논의되고 있는 로봇세(robot tax)에 대한 도입 과제와 대응방안을 제시하고자 한다.

II. 과학기술혁신에 따른 고용환경의 변화

1. 현황

1) 종래 아날로그방식의 전환

2016년에 스위스 다보스포럼을 계기로 하여 제4차 산업혁명에 대한 논의가 진행되면서 미래 사회에 대한 다양한 전망 등이 나왔고, 종래 아날로그기반의 경제체계에서 디지털 기업의 경제체계로 전환이 시작되었다. 과학기술의 개발범위는 AI, 산업로봇, 빅데이터, 사물인터넷(Internet of Things: IoT), 클라우드, 3D프린팅 및 블록체인(Block Chain) 등까지 확대되고 있으며, 여기에 정보통신기술(ICT)을 접목하여 디지털 전환(Digital Transformation: DX) 체계가 확대되고 있다. 이러한 디지털 전환이 진행되는 과정에서 산업언어는 데이터 및 네트워크 등으로 변환되고 있으며, 이는 디지털 경제체계를 근간으로 산업 전반의 고용환경에도 영향을 미치고 있다.⁴⁾ 특히 2020년에 발생한 코로나바이러스의 감염증이 확대되면서 디지털 전환과정에서 기존에는 없었던 근무방식이나 근무형태에 대한 전환논의 등이 있었다.

이러한 가운데 AI, 사물인터넷(IoT), 산업로봇, 빅데이터, 딥러닝(deep learning) 등에 정보통신기술(ICT)이 결합되면서 제조업 등의 산업과 연계되면서 새로운 형태의 제품과 서비스 등이 생성 및 확대되고 있다. 특히 제4차 산업혁명에 따른 첨단기술의 발달로 생산성 등이 증가하면서 급격한 경제 및 산업 환경의 변화가 디지털방식의 고용 및 노동시장에 긍정적인 영향을 줄 수도 있고, 디지털 경제체계로 완전한 전환이 이루어질 때까지 고용 및 노동시장은 지속적으로 확대될 수 있다.⁵⁾

4) 한지우·오삼일(2023), 「AI와 노동시장 변화」, 『BOK이슈노트』 제2023-30호, 한국은행, 2면.

5) 광도원·이동은·편주현(2021), 「디지털 전환에 따른 노동시장의 변화와 정책 시사점」, 중장기통상전략연구 21-02, 대외경제정책연구원, 15면.

2) OECD의 노동시장의 영향에 대한 조사

OECD는 2022년에 AI 등의 과학기술 등의 발전이 미래의 노동시장에 미치는 영향에 대한 인식을 이해하기 위하여 미국, 독일 및 영국 등의 금융업 및 제조업의 근로자 등을 대상으로 설문조사 실시하였는데, 해당 조사 결과 AI 등을 도입한 사용자 절반 이상이 AI 등이 고용에 아무런 영향을 미치지 않는다고 하였다.⁶⁾

이러한 조사의 결과에 따르면, 응답자의 약 25% 이상은 AI 등으로 고용이 감소하였다고 대답한 반면, 약 20%는 오히려 고용이 증가하였다고 대답하였다. 과학기술 등의 발전에 따른 AI 등의 도입이 근로자의 이직이나 일자리 변동을 야기할 수 있으나, 그렇다고 AI 등이 전반적으로 상당한 고용의 감소를 가져왔다고는 볼 수 없다고 하였다. 그러한 측면에서는 AI 등이 총고용에 확정적 영향을 미치는 증거가 없다는 다른 실증연구의 결과들과 일치한다.⁷⁾ 예컨대, 중소기업의 고용에 관한 사례연구를 기반으로 한 질적 연구에서는 이러한 결과의 원인을 유추할 수 있는데, AI 등의 도입에 따라 일부 직원의 역할이 필요하지 않게 되더라도 사용자는 해당 직원을 바로 해고하지 않고, 다른 직무나 사업 분야로 재배치하거나 직원이 퇴사나 은퇴할 때까지 대기하는 경우가 있다.⁸⁾

3) 생성형 AI 도입에 의한 새로운 변화

2022년 11월 Open AI社에 의하여 Chat GPT가 공개되면서 이미지를 생성하는 확산모델(diffusion model)이나 자연언어를 취급하는 대규모 언어모델(large language model: LLM) 등이 생성됨에 따라 기존의 대규모 언어모델보다 높은 수준의 의미 이해와 대화가 가능해지면서 점차 생성형 AI의 활용이 확대되고 있다. 2023년부터 Chat GPT가 본격적으로 문장이나 코드의 생성에 활용되기 시작하면서 2025년에는 화상을 생성할 것이고 2030년에는 동영상, 3D, 게임 등까지 직접적으로 생성할 것으로 예상된다.⁹⁾

6) Lane, Marguerita, Williams, Morgan & Stijn Broecke(2023), "The Impact of AI on the Workplace: Main Findings from the OECD AI Surveys of Employers and Workers", OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 288, pp. 43-44.

7) Lane, Marguerita & Saint-Martin, Anne(2021), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labour Market: What Do We Know So Far?", OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 256.

8) Lane, Marguerita(2023), 「AI 관련 사용자 및 노동자 대상 OECD 조사의 주요결과」, 『국제노동브리프』 2023년 8월호, 한국노동연구원, 31-32면.

9) Huang, Sonya, Grady, Pat & GPT-3, Generative AI: A creative new world, Sequoia Capital, <<http://www.sequoiacap.com/article/generative-ai-a-creative-new-world/>> (최종확인 2024. 4. 18).

2023년에 발표된 생성형 AI가 고용에 미치는 영향으로 노동생산성이 향상될 수 있는데, Open AI·Open Research에 의하면, 대규모 언어모델(LLM)의 도입으로 미국의 약 80%의 노동자의 작업의 내용이 적어도 10%가 변경되었고, 약 19%의 노동자의 작업의 내용이 최소 50% 이상 변경되었다고 한다.¹⁰⁾ 이러한 과정에서 향후 생성형 AI의 활용이 확대되는 경우에 기존 작업체계가 변화되면서 web에서 검색기능이 사라질 수 있고, 지금까지 전문적인 영역의 업무 등이 생성형 AI에 의하여 대체될 수 있을 것이라고 한다.¹¹⁾

미국 경제 전체적으로 기존 업무의 25%가 AI에 의하여 대체된다고 한다. 자동화에 의한 근로자의 실업은 역사적으로 새로운 고용의 창출에 의하여 상쇄되지만, 현재의 상황에서는 반드시 그렇게 된다고는 할 수 없다. 무형자산은 그 복제비용이 유형자산에 비해 현격히 낮고, 급속하고 광범위하게 보급될 수 있다는 점에서 AI에 의한 자동화의 영향을 고려할 때 무시할 수 없는 요인이다.

그동안 AI 등이 고용에 미치는 영향에 관한 다양한 연구가 이루어졌는데, 새로운 기술혁신 등의 거시적 관점에서 생산성 향상에 따른 생산의 확대가 고용의 확대를 촉진할 수 있었지만, 이에 반해 고용대체의 증가 및 경제격차의 확대 등으로 고용이 감소될 수 있다는 점에서 현시점에서 고용 및 노동시장의 불확정적인 요소가 많다.¹²⁾ 이러한 요소로는 국제적 상황 악화, 과학기술의 변화에 대한 예측 제한, 기술혁신에 따른 노동시장 감축 등이 있으며, 고용의 대체가능성과 함께 이를 체계적으로 고려할 필요가 있다.

10) Eloundou, Tyna et al.(2023), "GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models", <<http://arxiv.org/pdf/2303.10130.pdf>> (최종확인 2024. 4. 18).

11) Ibid.

12) 이러한 배경에는 생성형 AI 기술이 범용기술(General Purpose Technology)적 특징을 가지며, 누구나 쉽게 접근하고 사용할 수 있다는 점에서 AI 기술이 일자리와 노동에 미칠 영향의 크기를 예측하기 어려운 불확정적인 측면도 존재한다고 한다.

2. 고용 및 노동시장의 불확정적 요소

1) 국제적 상황의 악화 및 과학기술의 변화에 대한 예측 제한

세계경제 상황은 디지털화, 세계무역질서에서의 미국과 중국의 대립에 따른 자국 우선 및 보호주의 강화, 신종코로나 바이러스시기의 양적완화(Quantitative easing)에 의한 막대한 국가부채 증가, 북한의 핵미사일 발사 및 주변국의 전쟁에 따른 안보위험의 확대 등으로 인한 상당히 위협적 문제 등이 혼재되고 있다. 특히 고금리, 고물가, 고유가 등을 비롯하여 국제적 원자재 가격과 인건비 등의 급증으로 인하여 기업 파산 및 회생신청이 심각할 정도로 증가하고 있다. 또한 주요 3대 부채인 국가부채, 가계부채, 기업부채가 2022년 기준 6,863조에 이르고 있기 때문에 재정건전성의 관리를 통한 체계적인 개선이 필요한 상황이다.¹³⁾

또한 과학기술의 변화가 고용 및 노동시장에 미치는 영향을 연구하고자 할 때에 당면하는 일차적인 과제는 기술변화를 어떻게 측정할 것인가의 문제이다. 최근 인공지능(AI) 등의 과학기술의 급진적인 발전은 산업계에 상당히 큰 영향을 미치고 있는데, 이른바 일반목적기술(general purpose technology)로 지칭되는 신기술의 발전은 기존의 아날로그 경제체제에 근본적인 변화를 가져오고 있으며, 이러한 변화의 방향과 깊이 등을 파악하는 것이 쉽지 않다. 이는 기존 일자리를 대체하면서 새로운 일자리를 생성할 수도 있지만, 경제 전체로의 결과를 예단하는 것은 어렵기 때문이다.

2) 기술혁신에 따른 노동시장의 감축

2022년 말에 발표된 생성형 AI(Generative AI)인 Chat GPT의 기술과 성능이 종전과 달리 상당히 진화 및 발전됨에 따라 온라인망에 축적된 방대한 데이터 원본을 토대로 하여 딥러닝 학습으로 인간의 지식 한계를 초월한 작문, 언어번역, 이미지, 비디오, 코딩, 미술 등의 다양한 콘텐츠 등의 생성과 최적화된 검색 활용에 이용되고 있다. 과학기술 등의 발달이 노동현장에 다양한 시스템을 구축하여 위험한 근로에서 해방시키고, 업무효율성을 상당히 발전시켰으나, 그러한 신기술에 대한 혁신의 속도가 빠르게 진행됨에 따라 기존의 노동시장의 급격한 질적 변화와 양적 감소에 직면할 수 있게 된다.¹⁴⁾

13) 국가부채는 2,326조, 가계부채는 1,863조, 기업부채는 2,674조에 이르고, GDP 대비 정부부채가 54.3%이고, 민간부채는 281.7%로서 전년대비 42.8%가 상승하였다.

14) 大内伸哉 저·이승길 역(2019), 『AI시대의 근무방식과 법—2035년의 노동법을 생각하다—』, 박영사, 25면.

생성형 AI가 많은 일자리를 소멸시킬 것이라는 우려는 2023년 3월에 발표된 Goldman Sachs의 보고서에 의하여 증폭되었다. 이 보고서에서는 미국 직업의 약 3분의 2가 AI 등에 의하여 영향을 받을 것이며, 영향을 받는 직업의 직무 중 평균 25% 내지 50%가 AI 등에 의하여 고용이 대체될 수 있다고 전망하였다. 특히 행정이나 법률 분야 등의 직업이 큰 영향을 받을 것이고, 건설이나 정비직 등과 같이 육체의 집약적인 업무는 영향을 적게 받을 것으로 추정하였다. 미국 고용의 7%가 생성형 AI 등으로 대체되고 있으며, 63%가 보완될 것이고, 30%는 영향을 받지 않을 것이라고 하였다.¹⁵⁾ 생성형 AI 등의 과학기술은 인건비 절감과 생산성 향상 등을 가져올 수 있으며, 산업자동화의 급속한 가속화를 야기할 수 있다. 다만 생성형 AI의 잠재력에 대한 상당한 불확실성이 있음에도 불구하고, 만일 신기술이 고도화될 경우에는 노동시장은 심각한 혼란에 직면할 수 있다.

또한 Goldman Sachs의 보고서에 의하면, 현재 직업의 약 66%가 소멸 및 대체될 수 있다고 하였는데, 현재 복합적이고 고도화된 과학기술 등을 근거로 컴퓨팅 성능이 기하급수적으로 증가하면서 생성형 AI 등이 수행할 수 있는 업무 등의 복잡성과 정확성이 급속히 발전되고 있다.¹⁶⁾ 특히 심층학습(deep learning)으로 인하여 기계학습이 진화됨에 따라 네트워크를 다층화할 수 있고, 이러한 다층화에 따라 추상도가 높은 특징량을 도출할 수 있다.¹⁷⁾ 이러한 가운데 과학기술 발달 등에 따른 중소기업의 노동시장에 적용하는 것이 점차 어려워지고 있다. 따라서 OECD에서는 2019년에 「AI 원칙」(Artificial Intelligence Principle)을 제정하였고, 2022년에 디지털경제정책위원회에 ‘AI거버넌스작업반’(Working Party on Artificial Intelligence Governance)을 마련하였다.¹⁸⁾

15) Briggs, Joseph & Kodnani, Devsh(2023), "The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth, Global Economics Analyst", Goldman Sachs.

(<http://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/03/27/d64e052b-0f6e-45d7-967b-d7be35fabd16.html>) (최종확인 2024. 4. 18).

16) 예컨대, 2023년 3월에 발표된 Open AI의 Chat GPT모델은 단순 텍스트의 입력에 그치는 것이 아니라, 시각적 입력을 받아들이고, 알고리즘에 근간하여 이미지 분류와 독해 등과 같은 숙련된 작업을 수행하고 있다. 생성형 AI는 인간이 정한 규칙(rule-based)을 따르는 것이 아니라, 데이터에서 패턴을 찾아 모방하는 방식으로 학습하는 알고리즘체계로 되어 있어 인간과 같이 현상을 인식하고 추론할 수 있게 되었다(Michael Webb(2022), The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market, (http://www.michaelwebb.co/webb_ai.pdf) (최종확인 2024. 3. 18)).

17) 大内伸哉 저·이승길 역, 앞의 책, 48면.

18) 엄지현·박영(2023), 「인공지능에 관한 OECD 최근 논의 동향: 노동시장에 미치는 영향을 중심으로」, 『Global Issue Brief』 제11호, 42면.

3) 중소기업의 노동력 인구의 감소

최근 저출산 및 고령화 등에 따른 향후 노동력 인구의 급격한 감소는 노동시장의 불균형과 국가경쟁력의 악화로 이어질 수 있다. 이로 인하여 경제성장의 동력이 둔화되고, 산업 전반의 노동력 부족과 특정분야의 공급 과잉으로 인한 청년 및 경력단절자 등의 실업문제가 장기화될 수 있다. 여기에 정년퇴임 이후 국민연금의 개시 전 소득절벽(Income Crevasse) 구간에 놓이거나 경제적 빈곤 등으로 인한 노인빈곤문제도 사회적 문제가 될 수 있다. 노동력 인구의 급격한 감소는 향후 각종 세금이나 건강보험 및 연금 등의 재정적 기반이 될 수 없다는 점에서 국가의 재정적 위기에 있어 상당히 중요한 문제이지만, 파급효과를 파악하는 것조차 여전히 쉽지 않은 상황이다.¹⁹⁾

4) 세수의 감소

AI나 산업로봇 등에 의한 자동화의 진전이 중장기적으로 정부의 세수나 사회보험료 수입의 심각한 감소를 초래할 가능성이 있다. 우선 고용에 미치는 영향을 통한 과세근간의 상실이다. EU 등에서는 개인소득과세, 사회보험료(피용자 부담/고용자 부담), 법인소득과세, 소비과세 등이 정부의 주요 세수원이 되고 있다. 특히 AI나 산업로봇 등에 의하여 고용이 감소하거나 경제적 격차가 확대되면 개인소득과세나 사회보험료로 인한 정부의 수입이 상실될 뿐 아니라, 실업급여가 확대되는 등의 재정지출이 증가될 수 있다. 여기에 소득 저하에 따라 개인소비가 축소되면 소비과세에 따른 세수도 감소될 수 있다. 예컨대, 근로자가 감소하거나 고용격차가 확대되더라도 AI나 산업로봇 등의 기술진보에 따른 임대가 증가하면 법인소득과세근간의 확대나 고소득개인의 과세근간의 확대를 통하여 세수의 감소가 줄어들 수 있을 것이다. 다만 일반적으로 법인소득과세의 세율은 개인소득과세의 세율보다 낮고, 고소득자는 절세수단을 가지고 있으므로 세수 감소를 완전히 상쇄하지 못할 가능성이 높다. 최근에는 추가적으로 과학기술의 진전에 따라 각국의 조세법규를 이해하고, 그 허점에 관하여 조세회피나 그 한계 등을 파악하는 AI 등이 등장하고 있는 실정이다.²⁰⁾

19) 인구구조의 변화는 노동인력의 절대적인 규모뿐 아니라, 연령 구성도 변경할 것이므로 그 변화에 따른 노동시장에 미칠 파급효과에 대응하기 위한 다양한 방안들이 제시되고 있다(이철희(2022), 「장래 인구변화가 노동투입 규모에 미치는 영향」, 『한국노동경제학회』 제45권 제2호, 38-40면).

20) Parthasarathi Shome(2022), "Taxation of Robots", Governance Brief No. 44, p. 4.

Ⅲ. 디지털 전환에 따른 고용 대체가능성의 검토

1. 고용의 대체가능성

1) 기존 기술혁명과의 차이

기술혁신은 고용상실을 의미하기도 하나, 과학기술에 의하여 창출된 일자리가 그것을 보완하여 노동력의 이동만 실현된다면 실직의 악영향을 억제할 수 있다. 그동안 산업계에서 기술혁신 등이 끊임없이 진행됨에 따라 이로 인하여 발생한 새로운 기능에 대한 요구는 중소기업 내에서의 직업훈련이나 배치전환이라는 인사정책으로 대응함으로써 현재의 고용체계를 유지하고 있다. 특히 과학기술의 변화 등에 따른 중소기업의 고용에 대한 영향은 개별국가의 노동시장 유연성이나 중소기업 내의 고용시스템 및 인사제도 등의 방향에 따라 결정되는데, 그 중에서 우리나라의 고용시스템은 기술혁신 등을 비롯한 외적 환경변화 등에 대한 적응성이 높아져서 고용 및 노동시장에 유연하게 적용할 수 있다.²¹⁾

제4차 산업혁명에서 AI 등에 의하여 디지털 신기술의 전환이 신규분야의 고용을 창출하고, 생산성을 향상시켜 중소기업의 수익성을 증가시킬 수 있겠으나,²²⁾ 디지털의 기계화에 따른 노동수요의 감소가 발생하면, 점차적으로 새로운 산업에 대하여 적합업무만 존재하게 되어 기계로의 대체적 보완성이 높은 직무는 사라질 수밖에 없게 된다. 이러한 특징이 종전의 기술혁명과의 차이로 볼 수 있다. 예컨대, 20세기 후반 은행의 ATM의 보급에 의하여 창구업무가 상당히 간소화되었지만, 창구에서 고객에 대한 대출상담 등으로 새로운 업무를 실시하였으나 은행의 근로자는 실제로 감소하지 않았다. 다만 향후 은행의 사무처리가 아날로그방식과 디지털방식 병행운영이 아닌 전부 디지털자동화로 전환되면, 그에 따른 대폭적인 인원의 삭감이 진행될 수밖에 없을 것이다. 이는 AI에 의한 디지털기술의 전환은 기존의 과학기술과는 다른 의미를 가진다고 볼 수 있고,²³⁾ 이러한 논의는 중소기업을 비롯한 산업현장에 전반적으로 확산되고 있는 실정이다.

2) 디지털 신기술에 따른 고용의 양극화

최근 미국이나 독일 등을 중심으로 고용확대를 수반하지 않는 경기회복이 진행되고 있으며,

21) 김성화(2021), 「AI 등 기술의 발전에 따른 고용정책의 변화」, 『법제』 제695호, 84-85면.

22) 유진성(2021), 「4차 산업혁명 시대에 적합한 일자리 정책 마련해야」, 『KERI Column』, 한국경제연구원, 1면.

23) 김성화, 앞의 논문, 86면.

임금수준이 상당히 높거나 상당히 낮은 계층만 고용이 증가할 뿐 중산층의 고용이 감소하는 양극화현상이 나타나고 있다.²⁴⁾ 이러한 구조는 정보통신기술(ICT) 등에 의한 자동화의 영향으로 기술의 진보에 따른 고용감소의 효과가 커지는 반면, 삭감된 고용용도에 맞는 새로운 노동수요가 발생하기 어렵게 되고 있다.²⁵⁾

종전에는 컴퓨터 등의 보급으로 정형적인 업무가 대체되었던 반면, 고도의 지식이나 소통을 필요로 하는 비정형적인 업무(조사, 연구 및 영업이나 판매 등)가 보완되었다.²⁶⁾ 또한 임금과 기술의 관계에 대하여 종래 기술진보가 상대적으로 높은 스킬을 가진 고숙련 근로자의 실질적 임금을 높이는 한편, 낮은 기술의 저숙련 근로자의 실질적 임금을 하락시켰다는 지적이 있다. 정보통신기술(ICT)로 대체되는 정형적 업무에서 근로자가 퇴출되면서 제한된 분야의 저숙련 및 비정형적 업무에 근로자가 집중되면서 향후 비숙련 근로자 전체의 임금이 하락할 가능성에 대한 지적이 있었다.²⁷⁾ 한편, 제4차 산업혁명이 진전됨으로써 산업로봇 및 사물인터넷(IoT) 등 차세대 기술의 급속한 발달 및 보급이 예상되고 있으며, 이러한 기술에 정형적 업무가 대부분 대체될 수밖에 없을 뿐 아니라, 고용대체의 범위가 비정형적 업무에도 상당하게 미칠 수 있다.²⁸⁾

3) 대규모 실업으로 인한 고용의 대체가능성

혁신적 기술은 생산성의 향상이나 새로운 산업창출 등의 이점이 있는 반면, 기존 산업의 일부를 쇠퇴시키면서 자동적으로 실업자가 증가하는 기술적 실업이 형성된다. 특히 차세대 기술은 범용성이 높기 때문에 기존 오피스사무 등은 광범위하게 대량실업을 야기할 수 있다. 현재 우리나라에서 이러한 대규모실업은 없었지만, 예컨대, 자율주행차량의 주행실험 등의 실시나 행정 및 공공기관이나 법원 등의 업무에서 AI 등이 도입되면, 기존 단순 업무에서 복잡한 프로세스를 이해하여야 해결할 수 있는 업무까지 AI로 대체될 수 있을 것이다.²⁹⁾

24) OECD(2017), OECD Employment Outlook 2017, pp. 86, 94, 95, 113.

25) Jaimovich, Nir & Siu, Henry E.(2012), The trend is the cycle: Job polarization and jobless recoveries, NBER working paper series No. 18334, pp. 2-3.

26) David H. Autor et al.(2003), The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration, The Quarterly Journal of Economics Vol. 118 Issue 4, pp. 1279-1333.

27) Acemoglu, Daron(2002), Technical Change, Inequality, and the Labor Market, Journal of Economic Literature Vol. 40 No. 1, pp. 7-72.

28) Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual(2018), Artificial Intelligence, Automation, and Work, NBER Working Paper Series No. 24196, p. 27.

29) 이채정·조희찬·장윤정(2021), 「기술혁신에 따른 직무대체의 사회적 영향 탐색: 사회적 비용 추계와 사회적 인식 검토를 중심으로」, 『사회과학연구』 제60집 제1호, 235-236면.

일반적으로 AI 등의 기술혁신은 업무의 수행을 효율화하는 효과가 있지만, 이는 산업로봇 등으로 고용대체가 될 수 있다.³⁰⁾ AI나 산업자동화 등 현재 첨단기술부문에 저축됨에 따라 무엇이 정답인지 명확한 업무는 정확한 데이터만 입력하면 AI 등이 효율적으로 작업하여 해당 업무는 AI로 대체될 수 있다. 특히 생성형 AI의 도입으로 고용의 대체가능성이 높아지고 있으나, 아직 이에 대한 실증적 연구가 충분히 마련되지 않았기 때문에³¹⁾ 기술혁신에 따른 고용 및 노동정책은 AI에 의하여 대체되는 업무의 교육환경 개선, 근로방식의 전환 및 보유기술력의 활용 등을 전반적으로 고려할 수밖에 없을 것이다.

2. 개별 노동환경에 적합한 근무환경의 구축 필요성

1) 고용대체에 대한 체계적인 대응의 필요성

최근 AI 및 산업로봇 등을 이용하여 자동화나 디지털화에 따른 직업의 대체가능성이 지속적으로 논의될 뿐 아니라, 신종코로나 바이러스 이후 근로방식의 전환논의가 제기되면서 정보통신기술 등을 기반으로 한 재택근무 등이 확대되었다. 고용대체위험이 현실화될 때까지 기간을 명확하게 추산할 수 없으나, 현재 AI 등을 이용한 디지털 과학기술 등은 상용화단계까지 발전되었기 때문에 이러한 변화가 단순히 장기적 관점에서만 고려하는 것은 한계가 있다. 2016년 이후 과학기술의 범위나 속도 등이 급진적으로 확대되고 있기 때문에 향후 디지털대전환이 현실화된다면, 기존의 업무가 대체될 수밖에 없다고 생각한다. 특히 우리나라에 대한 영향이라는 관점에서 살펴보면, 산업구조별로 나타나는 현상에 차이가 있을 수 있으나, 정형업무의 비율을 유의할 필요가 있다.

OECD 각 국가의 직업의 정형업무집약도(Routine Task-Intensity: RTI)³²⁾를 살펴보면, 우리나라는 OECD의 다른 국가 중 미국이나 독일에 비해 해당 집약도가 상대적으로 높을 뿐 아니라, 유사한 산업구조를 가지고 있는 일본보다 상당히 높은 실정이다. 각종 보고서에서 정형적인 업무는 대체위험이 높을 것으로 전망하고 있으므로 향후 기술대체가 우리나라의 근로자에

30) Cyert, Richard M. & Mowery, David C.(1987), Technology and Employment: Innovation and Growth in the U.S. Economy, National Academies Press, pp. 1-2, 177.

31) 기술의 내부 및 외부 소스에 따른 기술혁신이 새로운 고용을 창출하는지 여부에 대한 실증적인 선행연구가 국내외적으로 많지 않은 실정이다(서일원(2018), 「기술혁신의 원천에 따른 고용효과에 관한 연구」, 『기술혁신학회지』 제21권 제2호, 772면; Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual(2016), The Race Between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment, NBER Working Paper Series No. 22252).

32) 정형업무집약도(routine task-intensity: RTI)는 정형업무에 대한 상대적인 특화를 나타내는 지수이다. 각 개인이 실시하는 정형업무의 빈도로부터 비정형업무의 빈도를 차감함으로써 산출된다.

게 주는 영향의 크기에 주의할 필요가 있다.³³⁾ 또한 미국이나 독일 등에서는 IT 등의 활용을 진행시킨 결과, 정형업무가 감소하고, 비정형업무가 증가하고 있지만, 우리나라에서는 IT가 다른 국가에 비해 상당히 발전된 것과 달리 이를 업무의 개선에 대한 활용이나 대체는 거의 진행되지 않으며, 사무업무 등의 직업을 중심으로 정형적인 업무가 여전히 많이 남아 있으므로 향후 이에 대한 체계적인 실증연구가 필요한 실정이다.

2) 개별 영역별 근무방식의 변화

개별 노동시장에서 AI 등의 도입 및 활용에 대한 논의가 적극적으로 이루어지고 있으나, 실무 상 이를 도입하는 것에 대하여 보수적으로 접근하는 경우가 많아서 우수한 인재 등을 고용하여 각 분야의 AI 등의 모델을 개발하기 보다는 검증된 모델을 적용하고 이를 활용하는데 초점을 맞추고 있다. 산업별 노동환경 등이 상이하여 AI 등의 도입 목적이나 현황에 따른 근무환경의 변화가 상이하게 나타나고 있다.³⁴⁾

중소기업의 산업현장에서 숙련을 요구하는 경우에는 일부 정형화된 단순, 반복 업무를 AI 등이 자동화하여 대체할 가능성이 있지만, 실제 산업현장에서 노동은 다양한 과업과 직무를 수행하기 때문에 단기적으로 AI 및 산업로봇 등이 기존 일자리를 대체하기보다 우수한 성과를 보이는 제한된 분야를 제외하고 이를 보완하는 차원에서 도입될 가능성이 있다. 따라서 산업별 인력부족이나 구인난을 해소하기 위한 AI 대체가 적극적으로 이루어질 가능성이 크고, 의료분야에서도 주 80시간 근로하는 것이 불가능해지면서 이를 보완할 수 있는 차원에서 AI 등이 도입될 수 있다. 특히 근로자의 고령화가 심한 영세한 제조업의 경우에 신규인력 등을 고용하는 것이 제한되는 경우에 AI 등의 도입 가능성이 높다.³⁵⁾

다만 이러한 논의는 단기적 측면에서 AI 등이 도입에 따른 고용 및 노동시장의 근무환경의 변화로 이해할 필요가 있다. AI 및 산업로봇 등의 과학기술의 발전에 따른 도입 초기 단계에는 핵심 노동력의 대체보다 핵심 기능의 지원이나 비핵심 영역을 중심으로 기술이 도입되고 있었으며, 국가경제 전체적으로 신기술의 도입으로 인한 직무변화가 노동수요를 증가시켰던 것으로 판단된다. 특히 이는 아날로그방식의 근무체계에서 AI 등의 과학기술의 발전 등으로 인한 디지털체제로 전환된다고 하더라도 산업계에서 즉각적으로 근무환경이 전환되는 것이 아니고, 양자

33) De La Rica, Sara & Gortazar, Lucas(2016), Differences in JobDe-Routinization in OECD Countries: Evidence from PIAAC, IZA Discussion Paper Series No. 9736, p. 10.

34) 신현구(2022), 「AI경제활성화가 고용에 미치는 영향」, 『고용영향평가브리프』 통권 제29호, 한국노동연구원, 3면.

35) 신현구, 위의 논문, 3면.

를 운영하기 위하여 오히려 고용이 촉진 및 확대될 수 있다. 향후 디지털 전환이 체계적으로 정착된 이후의 근무형태나 방식 등은 폭넓게 다양하고 심각한 변화를 야기할 것이라 생각한다. 이를 위하여 개별 노동시장에 맞는 노동수요를 파악한 후에 체계적인 대응방안을 마련할 필요가 있다.

〈표 1〉 산업별 AI의 도입에 따른 일자리 변화

구분	AI의 도입 현황	AI의 인재 수요	일자리 변화
금융업	<ul style="list-style-type: none"> • 대기업은 자체 개발과 외주생산(SI)을 병행 • 소기업은 SI기업의 AI 개발역량에 의존 • 보수적 금융권 특성상 비핵심업무 위주 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 모델이나 기능을 이해하고 적용할 수 있는 전문 인재에 대한 수요 	<ul style="list-style-type: none"> • 개인 인센티브측면에서 금융권 마케팅실무자의 AI의 이해와 기초소양 학습 중요
정보통신업	<ul style="list-style-type: none"> • 공급기업과 수요기업 명확한 구분이 어렵고, SW개발자가 AI기능을 직접 구현 및 프로젝트 활용하는 경우 많음 	<ul style="list-style-type: none"> • (그룹 AI조직) 새로운 모델을 제안할 수 있는 고급인재 수요(모델구축) • (계열회사) 전문 인재에 대한 수요(모델활용) 	<ul style="list-style-type: none"> • AI 및 콘텐츠를 통한 新서비스를 중심으로 새로운 일자리 증가
의료업	<ul style="list-style-type: none"> • (상급종합병원) AI조직 신설, AI연구실 운영 • (의원급병원) 구독기반 클라우드 AI서비스 이용 	<ul style="list-style-type: none"> • AI의 인력채용은 정부 R&D과제로 지원(비정규직으로 채용) • 의료시장 특성상 AI 인력을 확대하기 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • AI 등장 초기특징과를 중심으로 일자리 대체 우려가 컸으나, 실제 활용 이후 한계 존재
제조업	<ul style="list-style-type: none"> • 품질검사, 불량확인, 유지보수 중심 활용 • R&D에서 활발히 도입 양산과정에서 적용은 유보적 	<ul style="list-style-type: none"> • 엔지니어링에 대한 높은 이해도를 근거로 AI 적용할 수 있는 전문 인재에 대한 수요 	<ul style="list-style-type: none"> • 제조업은 산업자동화로 인한 기계화나 산업로봇 등으로 무인화 진행 • 지방의 영세사업장의 인력공백을 AI 대체의 필요성

3) AI 등의 전문인재의 육성

기술혁신에 따른 중소기업의 산업현장의 애로사항은 AI 등의 고급인력 부족, 전문적 인재의 부족 등에 대한 어려움이 크다고 한다. 중소기업의 산업현장에서 즉각적으로 필요한 인력을 채용하여 해당 업무를 수행할 수 있도록 대학이나 훈련기관 등에서 이를 양성하여야 함에도

불구하고 현실적 한계가 존재한다.³⁶⁾ 이러한 현상은 주요국에서도 나타나는 것으로 미국이나 독일 등에서 AI 및 산업로봇 등의 연구나 개발 및 응용분야의 전문적인 인재 등을 양성하기 위하여 AI 등을 활용한 대학과정, 교육이나 연수프로그램 등을 개발하여 운영하고 있다.

국가적인 측면에서는 산업계의 수요를 체계적으로 종합 및 파악하여 전문적인 인력체계를 마련하기 위한 전문가를 중심으로 하는 위원회를 운영하고, 산업계의 인력수급상황에 대한 지속적인 모니터링을 실시하며, AI인력양성의 체계화를 위한 국가 차원의 자격증이나 연수교육 등을 신설하고, 관련 통계나 데이터 등을 재정비하며, AI 등의 도입을 희망하는 중소기업이나 사업장과 연계하여 인적·물적 인프라 등을 체계적으로 구축할 필요가 있다.

4) 고용 및 노동시장의 유연화

4차 산업혁명시대에 노동법적 과제로서 장기적 일자리의 감소 및 고용의 대체, 고용형태의 다양화(직무구조, 숙련요건, 개별적 고용관계의 변화 등), 근로시간과 근로형태의 다양화, 노동시장 이중구조의 심화, 노동 친화적 기술개발과 기술 친화적 지속가능한 노사관계체계의 역할과 대응, 관련 법률 정비 등의 변화가 지속적으로 제기되고 있다. 다만 고용 및 노동시장의 문제는 점차 노동법에 국한된 문제가 아니라, 국가적인 차원의 사회·경제적 문제와 연계하여 검토할 필요가 높아지고 있다. 특히 급격한 인구의 감소에 따른 노동인구의 감소와 고령화에 따른 세금 부담의 확대, AI 등 과학기술의 발전에 따른 생산설비의 자동화와 기술 환경 등의 변화에 의한 고용 및 노동시장의 축소와 산업구조의 변화 등의 검토가 필요하다. 근로시간의 다양화, 노동시장 이중구조의 심화 및 직무구조와 숙련요건의 변화, 개별적 고용관계의 변화, 고용형태 및 취업형태의 다양화 등의 논의도 병행하여 검토되어야 한다.³⁷⁾ 또한 장기적으로 노동환경 및 노동시장의 변화에 대응하고, 경제조직의 인프라 및 경제질서의 조화를 위하여 노동의 유연성과 직장의 이동성을 촉진하고, 새로운 변화에 적절하게 대응할 수 있는 관련 법제의 연계 검토가 이루어져야 할 것이다. 예컨대, 근로시간에 대한 자기결정권과 유연성의 확대 및 일과 생활의 조화로운 양립 등에 관한 법률과 가이드라인이 마련되어야 할 것이다.

36) 신현구, 앞의 논문, 10면.

37) 大内伸哉 저·이승길 역, 앞의 책, xxvii-xxix.

IV. 로봇세의 도입 논의

AI나 산업로봇 등에 의한 자동화의 진전이 고용 등에 미치는 영향에 대하여 긍정적인 논의가 있음에도 불구하고, 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다. 첫째, AI나 로봇 등에 의한 자동화에 의하여 인간의 고용이 상실될 수 있다는 점,³⁸⁾ 둘째, AI나 로봇 등을 소유한 기업 등이 생산성 향상의 혜택을 받아 그 이익이 증가할 수 있는 한편, 근로자 사이에는 임금이 양극화되면서 소득이나 자산의 격차가 확대될 수 있다는 점,³⁹⁾ 셋째, 이러한 것들이 사회보장의 세출 압력이 되어 세수나 사회보험료 수입의 심각한 감소를 초래할 수 있다는 점이다.⁴⁰⁾ 이러한 상황에서 과학기술의 진보가 야기하는 고용감소 및 고용대체 등을 해결하기 위한 방안으로서 로봇세가 논의되는 것이 아니라, 고용감소 및 고용대체 등에 따른 세수감소현상이 확대됨으로써 이를 해결하기 위한 방안으로서 로봇세의 도입 논의가 점차 제기되고 있으므로 이를 적용하기 위한 과세방식에 대한 논의의 필요성 및 주요국의 현황을 살펴본 후 우리 제도에 도입하기 위하여 검토하여야 할 과제 및 대응방안을 살펴보려고 한다.

1. 과세방식에 대한 논의의 필요성

기업은 자본이나 노동이라는 생산요소를 투입하여 재화 및 서비스를 생산한다. 최근 제조업 분야에 도입이 확대되고 있는 AI 및 산업로봇 등에 의하여 사회경제적으로 어떠한 영향 등을 초래할 것인지에 대하여 관심이 점차 높아지고 있다. 이러한 생성 AI 등의 기술은 생산성 및 부가가치를 향상시키거나 노동인구의 감소문제 등을 해결할 것으로 예상하고 있으나, 앞서 서술한 바와 같이 향후 대량의 실업자가 발생하거나 격차가 확대될 가능성이 우려되고 있다. 이에 따라 국가의 재정지출이 급격하게 확대될 염려가 있으므로 주요국에서는 AI나 로봇세에 관한 연구를 본격적으로 실시하고 있다. 이러한 AI나 로봇세는 자본의 일종이기 때문에 해당 제도의 도입 여부를 고려할 때에는 자본에 대한 과세(자본과세의 대표적인 유형인 자본에서 얻을 수

38) 이에 관한 대표적인 선행연구로서 McKinsey & Company(2023), The economic potential of generative AI: The next productivity frontier, https://www.mckinsey.com/jp/~/_media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/the_economic_potential_of_generative_ai_the_next_productivity_frontier_colormama_4k.pdf (최종확인 2024. 3. 18).

39) Daron Acemoglu/Pascual Restrepo(2019), "Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor", *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), pp.3-30.

40) Parthasarathi Shome(2022), "Taxation of Robots", *Governance Brief Issue 44*, p. 4.

있는 소득에 대한 과세)의 기본적인 방향을 확인하는 것이 필수적이다. 현재까지 로봇세가 도입된 국가는 없지만, 이러한 과세에 대한 논의가 점차 증가하고 있다.⁴¹⁾

20세기부터 경제학계에서는 자본소득과세에 관하여 다양한 논의가 있었다. 약 100년 전인 1920년대부터 1930년대까지 포괄적 소득세가 주장되었다.⁴²⁾ 이러한 견해에서는 자본소득에 적용되는 세율은 노동소득에 적용되는 세율과 항상 동일해진다. 그 후 1950년대 개인단계에 있어서 과세의 기반은 소득이 아니고 소비나 지출이 적절하고, 자본소득에 대하여 과세를 실시하지 않는 것이 적절하다는 견해가 있었다.⁴³⁾ 경제에 왜곡을 가져오지 않는다고 하는 자원배분의 효율성의 관점으로부터 일정한 전제하에서 자본소득(자본의 정상수익)에 대한 과세의 세율을 제로(0)로 하는 것이 적절하다고 하는 견해가 최근까지 학계의 통설이었다.⁴⁴⁾

그러나 자본소득에 대한 제로과세를 주장하는 각종 이론에 대해서는 그 전제조건이 반드시 현실적인 내용은 아니었다. 그러한 가운데 자원배분의 효율성 관점에서 지금까지의 통설에 대한 다른 측면에서 자본소득과세의 세율을 플러스 값으로 설정해야 한다고 주장이 있다.⁴⁵⁾ 또한 자본소득에 대한 제로과세를 권장하는 최적과세론을 출발점으로 하면서 공평성의 관점에서 자본소득에 과세해야 한다고 주장도 있다.⁴⁶⁾

41) Mazur, Orly(2019), Taxing the Robots, Pepperdine Law Review Vol. 46 Issue 2, pp. 282-295, 314-318.

42) Haig, Robert Murray(1921), The Federal Income Tax, Columbia University Press; Simons, Henry Calvert(1938), Personal Income Taxation: the Definition of income as a problem of fiscal policy, University of Chicago Press.

43) Kaldor, Nicholas(1955), An Expenditure Tax, Allen & Unwin.

44) Atkinson, A. B. & Stiglitz, J. E.(1976), The design of tax structure: Direct versus indirect taxation, Journal of Public Economics Vol. 6 Issue 1-2, pp. 55-75; Chamley, C.(1986), Optimal taxation of capital income in general equilibrium with infinite lives, Econometrica Vol. 54 Issue 3, pp. 607-622; Judd, K. L.(1985), Redistributive taxation in a simple perfect foresight model, Journal of Public Economics Vol. 28 Issue 1, pp. 59-83.

45) Banks, James & Diamond, Peter(2010), The Base for Direct Taxation, James Mirrlees et al., eds., Dimensions of Tax Design: The Mirrlees Review, Oxford University Press, pp. 548-648.

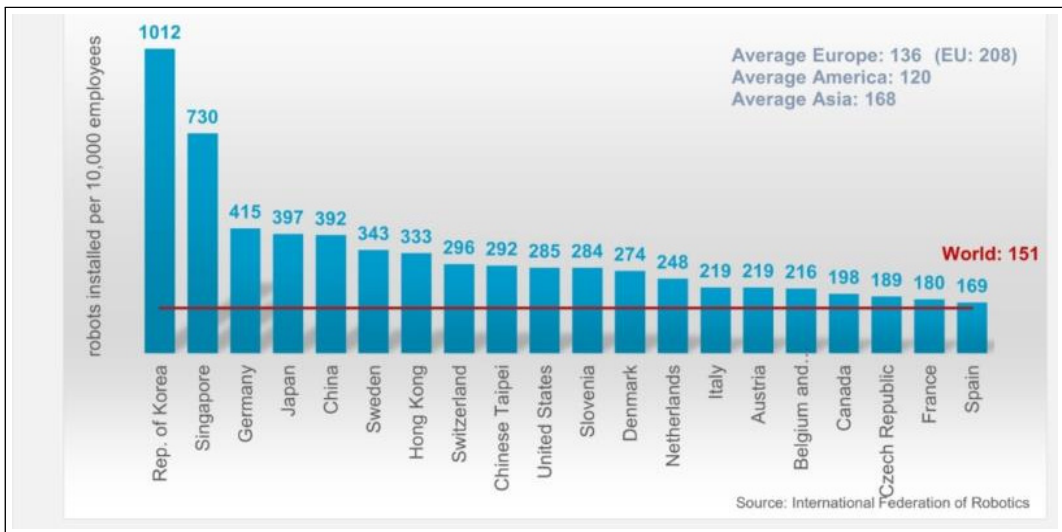
46) Stiglitz, Joseph E.(2018), Pareto efficient taxation and expenditures: Pre- and re-distribution, Journal of Public Economics Vol. 162, p. 101.

2. 국제적인 로봇세 도입 논의

1) 현황

국제로봇연합(International Federation of Robotics: IFR)이 2024년에 공표한 제조업의 로봇밀도(2022년 제조업 종업원 1만 명당 산업용 로봇의 대수)는 <그림 1>과 같다. 해당 조사의 대상은 약 40개국의 제조업의 산업용 로봇이고, 동일한 유형자산이라고 해도 서비스 로봇은 포함되지 않고, 소프트웨어 등의 무형자산도 포함되지 않는다. 해당 조사에 의하면, 2022년 시점에서 제조업에 있어서 자동화가 세계에서 가장 진행되고 있는 국가는 우리나라(로봇밀도 1,012대)이고, 2위는 싱가포르(로봇밀도 730대)이며, 3위는 독일(로봇밀도 415대)이고, 일본은 4위(로봇밀도 397대)이다. 반면에 미국은 10위(로봇밀도 285대), 프랑스는 19위(로봇밀도 163대)이다.⁴⁷⁾ 국제적으로 제조업 로봇밀도의 평균은 151대로서 이러한 수치를 2016년(로봇밀도 74대)에 비교하면 2배 이상으로 나타나고 있고,⁴⁸⁾ 산업로봇이 국제적으로 급속하게 보급되고 있다는 점을 알 수 있다.

[그림 1] 국제로봇연합의 제조업의 로봇밀도(2022)⁴⁹⁾



47) IFR(2024), “Global Robotics Race: Korea, Singapore and Germany in the Lead.”
 (<<http://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robotics-race-korea-singapore-and-germany-in-the-lead>> (최종확인 2024. 4. 18).

48) Ibid.

49) IFR, “Global Robotics Race: Korea, Singapore and Germany in the Lead”, 2024,
 (<<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robotics-race-korea-singapore-and-germany-in-the-lead>> (최종확인 2024. 4. 18).

2) EU

EU의회의 법무위원회는 2017년 1월 27일 EU위원회에 대하여 로봇법의 제정을 요구하는 결의를 채택하였다.⁵⁰⁾ 이 결의에서는 로봇에 대하여 전자법인격(electronic personality)을 적용할 수 있는 ‘전자인(electronic persons)’이라는 법적 지위를 부여하는 방안이 제안되었고, 이를 근간으로 하여 로봇세의 검토 필요성이 언급되었다.⁵¹⁾ 구체적으로 산업로봇이나 AI 등의 개발이나 도입이 초래할 영향을 염두에 두고 사회의 변화를 예견하는 것의 중요성을 강조한 후에 새로운 고용모델이나 과세제도 등의 지속가능성에 대하여 포괄적인 논의를 개시하여야 한다고 제안하였다.⁵²⁾

이러한 제안의 배경에는 산업로봇 및 AI 등의 개발은 오늘날 대부분 인간에 의하여 행해지고 있는 업무가 산업로봇 등에 의하여 대체됨에 따라 기존 인간의 직업이 상실되고 있으며, 현재 과세체계가 변경되지 않고 유지되는 한 고용의 장래, 사회복지 및 사회보장제도의 존속, 연금 제도의 계속적인 정체에 관한 우려를 발생시킬 수 있고, 부와 권력의 배분에 있어서의 불평등을 증가시키며, 다른 한편으로는 사회적 일체성과 번영의 유지를 위하여 그 직업이 감소하거나 소멸한 경우의 실업자 지원 및 재훈련이라는 맥락 속에서 산업로봇 등에 의하여 이루어지는 업에 대한 과세 및 산업로봇 등의 이용 및 유지를 위한 수수료의 징수 등이 검토되어야 한다고 하였다.⁵³⁾ 또한 EU의회에서는 과세는 기술의 진보를 파괴하고, 산업로봇 등의 개발기술자의 역외 이전을 추진할 수 있다는 반대의견이 표명⁵⁴⁾됨에 따라 최종적으로 2017년 2월 16일에 실시된 본회의 결의에서 로봇세 부분은 채택되지 않았음에도 불구하고,⁵⁵⁾ 로봇세에 관한 지속적인 논의가 제기되고 있다.⁵⁶⁾

50) Committee on Legal Affairs(2017), op. cit.

51) Committee on Legal Affairs(2016), “Draft Report with Recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL))”, paras. E, 23.
 <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/JURI-PR-582443_EN.pdf> (최종확인 2024. 4. 18).

52) Committee on Legal Affairs(2017), op. cit., para. 44.

53) Committee on Legal Affairs(2017), op. cit., para. K.

54) European Parliamentary(2017), Civil Law Rules on Robotics(debate), 2017. 2. 15.
 <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/CRE-8-2017-02-15-ITM-014_EN.html>
 (최종확인 2024. 4. 18).

55) European Parliament(2017), European Parliament resolution of 16 February 2017 with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL)), P8_TA(2017)0051.
 <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2017-0051_EN.pdf> (최종확인 2024. 4. 18).

56) Shiller, Robert J.(2017), “Robotization Without Taxation?”, Project Syndicate.
 <<http://www.project-syndicate.org/commentary/temporary-robot-tax-finances-adjustment-by-robert-j--shiller-2017-03?barrier=accesspaylog>> (최종확인 2024. 4. 18).

3) 영국

2019년 9월 영국 하원의 비즈니스·에너지·산업전략위원회는 「자동화(automation) 및 일의 미래」에 관한 보고서를 공표⁵⁷⁾하면서 로봇세의 부과에 관한 논의를 부정하였다.⁵⁸⁾ 이 보고서에서는 일본 등과 비교하여 영국의 산업자동화율이 낮은 것을 예로 들면서 영국의 노동시장과 경제에서의 문제는 제조업에 산업로봇 등이 상당히 적다는 주장이 있었다.⁵⁹⁾ 해당 위원회는 산업로봇 등에 대한 과세에 의하여 산업로봇의 도입이 더욱 억제될 수 있는 것을 고려하여 산업로봇 등의 과세가 영국의 중소기업이나 노동자의 이익은 되지 않는다고 판단하였다. 오히려 영국에서 자동화 도입율의 지연이 영국을 자동화혁명으로부터 잔류할 수 있도록 함으로써 영국 정부에 중소기업의 자동화기술의 도입 장려책을 구축하도록 요구하였다.⁶⁰⁾ 해당 위원회는 산업로봇 등에 대한 과세에 관하여 관계자에게 증언을 요구하고 있다. 제조기업 등에서 산업로봇 등의 도입을 두려워하기보다는 제조기업의 생산성을 향상시키는 협조형 산업로봇의 도입을 추진하여야 하고, 기술진보를 촉진하고 생산성을 높이는 기술에 과세하는 것은 안 된다고 하면서 로봇에 대한 과세는 영국 제조기업의 경쟁력을 저하시키고 기업에 손해를 끼친다고 하였다.

4) 독일

독일에서는 여전히 로봇세에 관한 도입의 논의가 많지 않다. 독일 연방재무부에 설치된 과학자문위원회는 2021년 7월에 공표한 기본소득에 관한 전문가 의견서에서 로봇세는 기본소득의 재원을 조달하는 수단으로 판단하기 어렵다고 하였다.⁶¹⁾ 그 이유로 세제는 원칙적으로 기계나 산업로봇 등과 같은 생산수단의 사용을 왜곡해서는 안 되고, 로봇세가 초과이윤에 대한 세금이라면 일정한 이점이 있지만, 독일에서는 여전히 로봇세를 부정하고 있다.

57) House of Commons Business, Energy and Industrial Strategy Committee(2019), "Automation and the future of work", 2019. 9. 18.

<http://publications.parliament.uk/pa/cm201719/cmselect/cmbeis/1093/109302.htm>

(최종확인 2024. 4. 18).

58) Ibid., para. 41.

59) Ibid., paras. 10-13.

60) Ibid., paras. 41-44.

61) Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium der Finanzen(2021), "Bedingungsloses Grundeinkommen", Gutachten 02/2021, 2021. 7. 21., p. 35.

http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Ministerium/Wissenschaftlicher-Beirat/Gutachten/bedingungsloses-grundeinkommen.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (최종확인 2024. 4. 18).

5) 일본

일본에서는 2023년 6월 세제조사회에서 실시한 논의에서 로봇세에 대한 직접적인 언급은 없었지만, 다음과 같은 문제의식이 제시되었다.⁶²⁾ 경제의 세계화·디지털화 등을 배경으로 소득을 창출하는 원천으로서 기존의 노동과 실물 자원을 대신하여 지식, 데이터, AI, 플랫폼 등으로 대표되는 무형자산의 비중이 높아지고 있다. 이러한 무형자산을 배경으로 한 경쟁이 반복되는 가운데, 전형적으로는 소득의 집중화가 진행되고 있다. 소득격차의 확대가 진행된다면 고소득자층과 저소득자층 사이에 자본 환원을 얻을 수 있는 기회에 대한 접근성 격차가 생겨 소득격차는 더욱 확대될 수 있다. 특히 세제조사회는 외부 전문가의 공청회를 실시하였는데, 외부 전문가로부터 디지털화에 따른 소득의 발생 등에 공헌하는 요소가 분산되는 가운데, 소득과세는 과세의 기반이 크게 침식될 수밖에 없기 때문에 향후에는 포착이 용이한 소비에 과세하는 편이 과세의 공평성을 확보할 수 있다는 문제의식이 제시되어 로봇세에 대해서도 증장기적인 과제로서 제기되고 있다.⁶³⁾

3. 로봇세의 도입 과제

1) 기술진보나 물적 자본에 대한 투자 저해

로봇세의 논의는 일반적으로 오늘날 대부분 인간에 의하여 행해지고 있는 업무가 산업로봇 등에 의하여 대체됨에 따라 기존 인간의 직업이 상실될 경우에 전체 세수의 감수가 불가피하기 때문에 이를 보전하기 위하여 AI 및 로봇의 취득 등에 따른 취득세와 별도로 산업로봇에 의한 수익을 사회에 재분배하자는 논의이다.

따라서 로봇세의 도입을 반대하는 경우에는 로봇세가 기술의 진보와 물적 자본의 투자를 저해한다는 점을 강조하고 있다. 기업에 로봇세를 부과하면 AI 및 산업로봇 등의 연구개발을 정체시키고, 기술의 진보를 저해할 수 있다. 또한 AI나 산업로봇 등은 기업의 자본으로서 여기에 추가적으로 과세하면 자본축적을 저해할 수 있다. 따라서 로봇세는 장기적으로 생산성 향상을 막아 기업이나 국가경쟁력을 약화시킬 가능성이 있다.⁶⁴⁾

62) 税制調査会(2023), 「わが国税制の現状と課題—令和時代の構造変化と税制のあり方—」, 61-62頁.

63) 内閣府(2022), 「税制調査会(第14回総会)議事録」, 12-14, 17頁.

〈<http://www.cao.go.jp/zei-cho/content/4zen14kaigiji.pdf>〉 (최종확인 2024. 4. 18).

64) Atkinson, Robert D.(2019), 「The Case Against Taxing Robots」, ITIF, 2019. 4. 8.

〈<http://itif.org/publications/2019/04/08/case-against-taxing-robots>〉 (최종확인 2024. 4. 18).

이와 달리 로봇세가 기술의 진보나 물적 자본에 대한 투자를 저해한다는 문제점에 대하여 로봇세 도입을 찬성하는 경우에도 의견이 나뉘고 있다. 소득과세에 관하여 기술의 진보를 이유로 지적재산권으로 발생하는 소득이 과세의 대상이 되지 않은 것은 아니다. 지금까지도 로열티, 저작권 등에서 발생하는 소득에 대하여 과세를 하고 있으므로 AI 및 로봇세가 반드시 기술의 진보나 이에 대한 투자를 저해한다고 할 수 없다고 한다. 무엇보다 자동화에 의하여 초래된 이익에 대하여 통상적으로 소득과세를 부과한 후 이에 더하여 새로운 AI 및 로봇세의 도입을 주장할 수도 있다. 여기에 새로운 로봇세의 도입에 의한 부담의 증가나 영향이 어느 정도가 될 것인지 또는 그 부담의 정도가 적절한지에 대한 추가적인 논의가 필요하다.

2) 생산자본의 이전에 따른 조세회피

AI나 산업로봇 등이라는 생산자본을 해외로 용이하게 이전할 수 있다는 점에서 로봇세를 어느 국가에 단독으로 부과하더라도 향후 생산능력이 타국으로 유출될 수 있다는 지적이 있다. AI나 산업로봇 등에 대하여 과세하지 않은 국가로 생산자본을 이전하는 경우에는 국제경쟁상 불리한 위치에 놓일 수 있고, 기업의 국외 이전이나 조세의 회피를 초래할 수도 있다.⁶⁵⁾ 이러한 배경에는 로봇세의 복잡성과 불확실성은 납세자의 준수비용을 증가시키는 동시에 거기에 내재된 모호성을 이용한 조세회피의 기회를 야기할 수 있는 문제점이 내포하고 있기 때문이다. 따라서 법인세에서 세율인하 경쟁의 전철을 피하고, 로봇세에 실효성을 갖게 하기 위해서는 국제적인 협조가 필요하며, 최종적으로 국제적이고 다자간의 해결책을 모색하여야 할 것이다. 또한 세제에 있어서 국제협조라는 측면에서 OECD나 G20 등이 주도한 디지털 과세분야의 논의와 연계할 필요가 있다.⁶⁶⁾

3) 세수에 미치는 영향의 불투명 및 세금부담 대상의 불명확

AI나 산업로봇 등에 의하여 자동화가 진전되더라도 세수가 감소된다고 할 수 없다는 점도 지적된다. 즉 AI나 산업로봇 등에 의한 자동화의 진전은 생산성 향상, 고용 창출, 임금 상승을 가져오고 세수를 증가시킬 수 있다는 것이다.⁶⁷⁾ 이와 관련하여 AI와 산업로봇 등의 사용으로

65) Englisch, Joachim(2018), "Digitalisation and the Future of National Tax Systems: Taxing Robots?", pp. 12-13. <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3244670> (최종확인 2024. 4. 18).

66) Kovacev, Robert(2020), "A Taxing Dilemma: Robot Taxes and the Challenges of Effective Taxation of AI, Automation and Robotics in the Fourth Industrial Revolution", Ohio State Technology Law Journal vol. 182, pp. 200-202.

67) Daubanes, Julien & Yanni, Pierre-Yves(2019), "The Optimal Taxation of Robots", IEB Report 2, pp. 7-9.

기업이 이익을 보고 법인세수가 증가하였다 해도 일반적으로 법인세율은 개인소득세율과 사회보험료율을 합산한 세율보다도 낮은 경향에 있다는 점에서 법인세수의 증가로 개인소득세수와 사회보험료 수입의 손실을 완전히 상쇄할 수 없다는 견해도 있다.⁶⁸⁾

또한 세금부담이 최종적으로 누구에게 귀착될 것인지는 로봇세의 제도적인 설계에 따라 크게 달라진다. 납세의무를 부과하는 대상으로서는 ① 산업로봇을 제조하는 사업자, ② 산업로봇을 소유하는 사업자, ③ 산업로봇이 제공하는 상품이나 서비스의 소비자 중 어느 하나로 구별된다. 그 중 ② 산업로봇을 소유하는 사업자에게 납세의무를 부과한 경우에서의 세금의 최종적인 귀착 대상의 논의는 법인세의 부담이 주주와 종업원 중 어느 쪽에 귀착하는가 하는 논의와 유사하다. 즉 법인소득과세의 부담이 누구에게 귀착하는지 여부는 상당히 논란이 많은 주제이다. 법인소득과세에 따른 과세부담의 일부는 주주 이외의 이해관계자(종업원, 채권자, 고객 등)에게 귀착될 수 있다. 최근의 연구에서는 법인소득과세 부담의 약 30%가 주주에게 귀착하는 한편, 약 70%가 근로자에게 귀착한다고 하는 연구가 있고, 법인소득과세의 부담은 시간의 경과와 함께 근로자에게 귀착하는 비율이 높아진다고 지적하는 연구가 있다.⁶⁹⁾ 또한 ① 로봇을 제조하는 사업자에게 납세의무를 부과하였을 경우에도 납세의무자에게 세금이 귀착한다고 할 수 없다. 세금의 최종적인 귀착대상은 ①→②→③이라고 하는 형태로의 전가를 거쳐 ③ 산업로봇이 제공하는 상품이나 서비스의 소비자가 될 가능성이 있다. 따라서 물품세 및 사용료와 같이 소매수준에서 소비자에게 부과되는 세금인 ③의 경우에 소비자가 부담하는 것이 상정된다. 그러나 사업자에게 부과되는 세금의 경우에는 세금 부담의 최종적인 담당자는 아직까지 명확하지 않은 실정이다.⁷⁰⁾

4) 산업로봇 등의 개념의 복잡성 및 불확실성

과세대상이 되는 AI나 산업로봇 등을 정의하는 것은 상당히 곤란하다는 지적도 있고, 일반적으로 산업로봇에 대하여 인정된 법적 정의는 없다.⁷¹⁾ 예컨대, 업무를 향상시킬 수 있는 기계(ATM 등)를 포함할 것인지 또는 복잡한 업무를 수행하는 것을 포함할 것인지 또는 어느 정도 자율성을 포함할 것인지 및 스마트 산업로봇 등과 같이 물리적 실체의 존재를 전제로 할 것인지, 무형의 소프트웨어나 알고리즘을 포함할 것인지, 인간의 업무를 보완하는 기계를 포함할 것인지

68) Johal, Sunil, Thirgood, Jordann & Urban, Michael Crawford(2018), "Robots, Revenues & Responses: Ontario and the Future of Work", Mowat Research No. 167, pp. 30-31.

69) Randolph, William C.(2006), "International Burdens of the Corporate Income Tax", Congressional Budget Office Working Paper Series 2006-09.

70) Kovacev, Robert(2020), op. cit., p. 197.

71) Ibid., pp. 192-195.

혹은 인간의 업무를 대체하는 기계만을 가리킬 것인지 등에 대한 구체적인 검토가 필요하다.⁷²⁾ 향후 무형의 소프트웨어나 알고리즘이 자동화의 추진력이 될 것으로 전망됨에 따라 무형자산의 취급이 최대의 논점 중 하나가 될 것이다.⁷³⁾ 이러한 여러 가지 논점에 대하여 세법상 명확하게 규정하고, 운용적인 측면에서 혼란을 초래하지 않는 구조를 강구하는 것은 쉽지 않다. 또한 복잡성과 불확실성은 컴플라이언스의 비용을 증가하게 하고, 조세회피를 유발한다고 하는 지적도 있다.⁷⁴⁾

4. 대응방안

제4차 산업혁명이 진전됨에 따라 기존 직업의 변용, 소멸과 신종 직업의 창출이 예상되기 때문에 이러한 변화에 직면한 문제 등에 대하여 능동적으로 대응할 필요가 있다. AI 등의 과학기술의 발전에 따른 도입 초기 단계에서는 핵심 노동력의 대체보다 핵심기능의 지원이나 비핵심영역을 중심으로 기술이 도입되고 있고, 신기술의 도입에 따른 직무변화가 노동수요를 증가시킬 것으로 판단된다. 특히 이는 아날로그방식의 근무체계에서 디지털체계로 전환되는 과정에서 산업계에서 즉각적으로 근무형태나 방식 등이 변경되는 것이 아니라, 양자를 효율적으로 운영하기 위하여 오히려 고용이 촉진 및 확대될 수 있다. 따라서 이를 위하여 개별 영역별 노동시장에 맞는 수요를 파악한 후 체계적인 대응방안을 마련할 필요가 있다.

다만 오늘날 대부분 인간에 의하여 행해지고 있는 업무가 산업로봇 등에 의하여 대체됨에 따라 기존 인간의 직업이 상실되고 있고, 현재 과세체계가 변경되지 않고 유지되는 한 고용의 장래, 사회복지 및 사회보장제도의 존속, 연금 제도의 지속적인 정체에 관한 우려를 발생시킬 수 있고, 부와 권력의 배분에 있어서의 불평등을 증가시키며, 다른 한편으로는 사회적 일체성과 번영의 유지를 위하여 그 직업이 감소하거나 소멸한 경우의 실업자 지원 및 재훈련이라는 맥락 속에서 산업로봇 등에 의하여 이루어지는 업에 대한 과세 및 산업로봇 등의 이용 및 유지를 위한 수수료의 징수 등이 검토될 필요가 있다. 그러므로 자본소득과세에 관한 일반적 제도 설계에 입각하여 로봇세의 도입 방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

72) Ibid.

73) Oberson, Xavier(2019), *Taxing Robots: Helping the Economy to Adapt to the Use of Artificial Intelligence*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing, pp. 26-27.

74) Robert Kovacev(2020), op. cit., pp. 197-198.

첫째, 산업로봇 등의 세제를 체계적으로 구축하는 방안이 있다. 산업로봇 등에 의하여 창출된 수익에 주목하는 과세방식으로서 로봇박스(Robot box) 세제가 있다. 이러한 과세방식은 특허박스(Patent box) 세제와 유사한 구조로서 기술진보를 장려하기 위한 우대세제를 받고 있다. 이에 반해 로봇박스 세제는 AI나 산업로봇 등에 의한 특정 수익을 기업의 일반적인 수익과는 별도로 추출하고 있으며, 이에 따라 다른 세율로 과세하는 것이 상정되고 있다. 즉 AI를 장착한 로봇에 기인하는 일정한 적격 소득에 대하여 잠재적으로 추가적인 세율로 과세하고, 이는 자동화에 의한 이익에 조준을 맞추고 있으며, AI나 로봇에 의한 이익에 대하여 통상보다도 높은 세율을 적용한다. 이에 대해서는 AI나 산업로봇 등으로부터 초래되는 수익의 특징이 어렵다는 문제가 있다.⁷⁵⁾

둘째, 초과이윤에 대한 관세를 부과하는 방안이 있다. 시장의 독점을 통해 얻을 수 있는 초과이윤에 대하여 과세한다는 논의가 있다. 이는 자동화를 적극적으로 추진하는 기업일수록 시장지배력이 강하다고 하는 분석으로부터 착안한 것이다.⁷⁶⁾ 초과이윤에 과세하는 방안에 대해서는 산업로봇의 정의를 애매하게 한 채로도 일정 정도는 정당화될 수 있다는 지적도 있다. 그 이유는 초과이윤은 기업이나 투자자에게 있어서 초과수익이며, 이에 대한 과세는 폐쇄경제(외국과 무역 및 금융거래가 이루어지지 않는 경제)를 전제로 하는 경우에는 기업의 투자를 저해하지 않기 때문에 적절하다고 판단되기 때문이다.⁷⁷⁾

셋째, 자산에 대한 과세를 구축하는 방안이 있다. 제조기업이 보유하다 AI나 산업로봇 등이라고 하는 자산 그 자체에 대한 과세도 제안될 수 있다. 세율은 AI나 산업로봇 등의 종류를 불문하고 일률적으로 할 수 있고, AI나 산업로봇 등의 종류에 따라 다른 세율로 할 수 있다. 해당 제안은 비교적 간편하고 실용적이라는 특징이 있다. 다만 단순한 기계와 같은 낡은 산업로봇을 전제로 한 것으로서 자율적인 학습이 가능하고, 인간보다도 효율적인 AI나 산업로봇 등이 등장하고 있다는 기술적 진전에 따른 것은 반드시 아니라고 볼 수 있다.⁷⁸⁾ 이러한 논의는 보유하는 자산에 대한 과세라는 제안에 관하여 미국을 중심으로 최적의 로봇 세율을 제안하는 특징이 있다.⁷⁹⁾

75) Oberson, Xavier(2019), op. cit., pp. 122-123.

76) Berg, Andrew et al.(2021), "For the Benefit of All: Fiscal Policies and Equity-Efficiency Trade-offs in the Age of Automation", IMF Working Paper WP/21/187, p. 26.

77) Griffith, Rachel et al.(2010), "Chapter 10. International Capital Taxation", Mirrlees et al., eds., Dimensions of Tax Design: The Mirrlees Review, Oxford University Press, p. 927.

78) Oberson, Xavier(2019), op. cit., pp. 129-130.

79) Thuemmel, Uwe(2023), "Optimal Taxation of Robots", Journal of the European Economic Association Vol. 21 Issue 3, pp. 1154-1190.

넷째, AI나 산업로봇 등의 소유자에 대한 귀속급여과세란 비교 가능한 급여(동일한 업무를 인간이 수행한 경우에 지급되는 급여상당액)를 고려하여 AI나 산업로봇 등이 얻는 가상적인 급여(귀속급여)로 간주하고, 개인소득세나 사회보험료 등을 부과하는 것이다.⁸⁰⁾ 여기서 AI나 산업로봇 등의 소유자가 납세의무자가 되는 것이 상정되고 있다. 귀속급여과세가 제안되는 배경에는 귀속소득도 과세 대상이 될 수 있다는 포괄적 소득세 개념이 있기 때문이다. 또한 자동화에 의하여 기업이 노동자에게 지급하는 급여를 줄일 수 있는 것이나 귀속급여과세가 노동자의 고용과 AI나 산업로봇 등의 사용의 선택에 관해서 중립적이라는 점도 들 수 있다. 다만 귀속급여과세에 대해서는 적절한 과세방법을 규정하는 것이 매우 곤란하다고 지적되고 있다.⁸¹⁾ 이 제안은 단기적으로는 근로자의 유사한 업무와 관련지어 과세기준을 산정하는 것이 상정되고 있지만, 이러한 산정 방법이 장기적으로도 실현 가능한지 불확실하다. 또한 귀속급여과세의 경우에는 법인세의 과세기준 조정이 필요하다.

다섯째, AI나 산업로봇 등에 대한 투자에 대한 세제혜택을 폐지 및 축소하는 것도 산업로봇 과세의 한 유형으로서 제안되고 있다. 우리나라에서는 2018년에 투자와 관련된 세액공제를 축소하면서 로봇과세를 도입한 최초의 국가로 언급되고 있다. 투자와 관련된 우대 세제를 축소하는 제안의 하나로서 역감가상각(reverse depreciation)이라고 불린다. 이는 기업에서 자동화 수준이 낮은 경우에 감가상각에 의한 인간의 노동력 대체가 전혀 없거나 낮은 수준인 경우에 감가상각에 의한 세금 혜택을 많이 주고, 자동화 수준이 높은 경우에는 감가상각에 의한 세금 혜택을 적게 주는 것이다. 다만 이러한 제안에 대해서는 현재 국제적인 세제 흐름에 역행하고 있다는 비판이 제기되고 있다. 일부 국가에서는 오히려 투자나 기술진보를 촉진하기 위하여 생산성을 향상시키는 기제를 도입하거나 연구개발을 하는 기업에 대하여 세제상의 우대조치가 제공하고 있기 때문이다.⁸²⁾

80) Chand, Vikram et al.(2020), "Taxing Artificial Intelligence and Robots: Critical Assessment of Potential Policy Solutions and Recommendation for Alternative Approaches-Sovereign Measure: Education Taxes/Global Measure: Global Education Tax or Planetary Tax", World Tax Journal Vol. 12 Issue 4, p. 730.

81) Mazur, Orly(2019), op. cit., pp. 301-302.

82) OECD(2020), Tax Policy Reforms 2020: OECD and Selected Partner Economies, pp. 67-73.

V. 맺음말

기술진보가 경제에 미치는 영향은 생산성 향상, 경제성장, 고용창출이라는 긍정적 측면과 기술실업 증가, 경제격차 확대라는 부정적 측면의 양면이 있다. 4차 산업혁명의 핵심적인 기술로서 빅데이터, IoT, AI, 산업로봇 등은 범용성이 높기 때문에 점차 고용의 대체가능성이 증가될 수 있을 것이다. 따라서 AI나 산업로봇에 의한 자동화 진전이 경제에 미치는 영향에 관한 다양한 논의가 제시되고 있다. 특히 최근 산업자동화의 진전에 의하여 고용의 상실, 경제 격차의 확대, 세수의 심각한 감소가 우려되는 가운데, 분배 및 재정상의 문제를 완화하기 위한 방책으로서 AI나 산업로봇에 대한 과세에 관하여 체계적으로 연구할 필요가 있다.

그동안 AI나 산업로봇은 자본의 일종이기 때문에 로봇세는 자본소득 과세체계 안에서 파악하는 것이 적절하다고 판단하였으나, 이를 구체적으로 과세하기 위하여는 보다 세부적으로 면밀하게 검토할 필요가 있다. 따라서 로봇세를 부과하기 위하여 ① 자본이 창출하는 소득을 직접적인 대상으로 과세하는 방법, ② 자본이 창출하는 초과이윤에만 과세하는 방법, ③ 자본소득에 대하여 과세를 실시하는 방법 등이 제안되었으나, 현실적으로 기술혁신 및 투자의 저해, 생산자본의 이전에 따른 조세회피, 산업로봇 등의 개념의 복잡성 및 불확실성, 세수에 미치는 영향의 불투명 및 세금부담 대상의 불명확 등의 과제를 해결하는 것이 곤란하다는 문제점이 지적되었다.

아직까지 로봇세를 본격적으로 도입한 국가는 아직 없으나, AI의 개발 및 활용과 규제와의 균형의 관점에서 국제적인 논의가 급속히 진전하고 있고, 향후 로봇세의 국제적인 논의도 본격화할 수 있는 점을 고려하면 다각적인 측면에서 도입시 고려사항이나 대응방안 등을 마련할 필요가 있을 것이다. AI나 산업로봇에 의한 자동화의 진전이 가져올 수 있는 폐해에 대하여 로봇세로서 해결방안을 마련할 필요는 반드시 없으나, 경제격차의 확대 및 경제의 디지털 전환이 진행되는 가운데, 자본소득에 대한 과세를 검토할 필요가 있고, 노동시장의 변화에 따른 장기적인 측면에서 국가재정지출과 연계하여 이를 체계적으로 논의할 필요가 있다고 본다.

참고문헌

- 곽도원·이동은·편주현(2021), 『디지털 전환에 따른 노동시장의 변화와 정책 시사점』, 증장기통상 전략연구 21-02, 대외경제정책연구원.
- 김성화(2021), 「AI 등 기술의 발전에 따른 고용정책의 변화」, 『법제』 제695호.
- 서일원(2018), 「기술혁신의 원천에 따른 고용효과에 관한 연구」, 『기술혁신학회지』 제21권 제2호.
- 신현구(2022), 「AI 경제 활성화가 고용에 미치는 영향」, 『고용영향평가브리프』 통권 제29호, 한국노동연구원.
- 엄지현·박영(2023), 「인공지능에 관한 OECD 최근 논의 동향: 노동시장에 미치는 영향을 중심으로」, 『Global Issue Brief』 제11호.
- 유진성(2021), 「4차 산업혁명 시대에 적합한 일자리 정책 마련해야」, 『KERI Column』, 한국경제연구원.
- 이채정·조희찬·장윤정(2021), 「기술혁신에 따른 직무대체의 사회적 영향 탐색: 사회적 비용 추계와 사회적 인식 검토를 중심으로」, 『사회과학연구』 제60집 제1호.
- 이철희(2022), 「장래 인구변화가 노동투입 규모에 미치는 영향」, 『한국노동경제학회』 45(2).
- 정미애(2021), 『디지털전환기 기업혁신활동 변화와 대응전략』, 정책연구 2021-07, 과학기술정책연구원.
- 한지우·오삼일(2023), 「AI와 노동시장 변화」, 『BOK이슈노트』 제2023-30호, 한국은행.
- Lane, Marguerita(2023), 「AI 관련 사용자 및 노동자 대상 OECD 조사의 주요결과」, 『국제노동브리프』 2023년 8월호, 한국노동연구원.
- 大内伸哉 저·오이승길 역(2019), 「AI시대의 근무방식과 법—2035년의 노동법을 생각하다—」, 박영사.
- Acemoglu, Daron(2002), Technical Change, Inequality, and the Labor Market, Journal of Economic Literature, Vol. 40 No. 1.
- Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual(2016), The Race Between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment, NBER Working Paper Series No. 22252.
- Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual(2018), Artificial Intelligence, Automation, and Work, NBER Working Paper Series No. 24196.
- Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual(2019), Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor, Journal of Economic Perspectives, Vol. 33 No. 2.
- Autor, David H., Levy, Frank, Murnane, J. Richard(2003), The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration, The Quarterly Journal of Economics Vol. 118 Issue 4.

- Berg, Andrew, Bounader, Lahcen, Gueorguiev, Nikolay, Miyamoto, Hiroaki, Moriyama, Kenji, Nakatani, Ryota & Zanna, Luis-Felipe(2021), "For the Benefit of All: Fiscal Policies and Equity-Efficiency Trade-offs in the Age of Automation", IMF Working Paper WP/21/187.
- Banks, James & Diamond, Peter(2010), The Base for Direct Taxation, James Mirrlees et al., eds., Dimensions of Tax Design: The Mirrlees Review, Oxford University Press.
- Chand, Vikram et al.(2020), "Taxing Artificial Intelligence and Robots: Critical Assessment of Potential Policy Solutions and Recommendation for Alternative Approaches—Sovereign Measure: Education Taxes/Global Measure: Global Education Tax or Planetary Tax", World Tax Journal Vol. 12 Issue 4.
- Cyert, Richard M. & Mowery, David C.(1987), Technology and Employment: Innovation and Growth in the U.S. Economy, National Academies Press.
- De La Rica, Sara & Gortazar, Lucas(2016). Differences in JobDe-Routinization in OECD Countries: Evidence from PIAAC, IZA Discussion Paper Series No. 9736.
- Daubanes, Julien & Yanni, Pierre-Yves(2019), "The Optimal Taxation of Robots", IEB Report 2.
- Frey, Carl Benedikt & Osborne, Michael A.(2017), "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?", Technological Forecasting and Social Change Vol. 114.
- Griffith, Rachel et al.(2010), "Chapter 10. International Capital Taxation", Mirrlees et al., eds., Dimensions of Tax Design: The Mirrlees Review, Oxford University Press.
- Johal, Sunil, Thirgood, Jordann & Urban, Michael Crawford(2018), "Robots, Revenues & Responses: Ontario and the Future of Work", Mowat Research No. 167.
- Kovacev, Robert(2020), A Taxing Dilemma: Robot Taxes and the Challenges of Effective Taxation of AI, Automation and Robotics in the Fourth Industrial Revolution, Ohio State Technology Law Journal Vol. 182,
- Lane, Marguerita, Williams, Morgan & Stijn Broecke(2023), The Impact of AI on the Workplace: Main Findings from the OECD AI Surveys of Employers and Workers, OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 288.
- Lane, Marguerita & Saint-Martin, Anne(2021), The Impact of Artificial Intelligence on the Labour Market: What Do We Know So Far?, OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 256.
- Mazur, Orly(2019), Taxing the Robots, Pepperdine Law Review Vol. 46 Issue 2.
- McKinsey Global Institute(2017), A Future That Works: Automation, Employment, and Productivity, 5.

- Jaimovich, Nir & Siu, Henry E.(2012), The trend is the cycle: Job polarization and jobless recoveries, NBER working paper series No. 18334.
- Oberson, Xavier(2019), Taxing Robots: Helping the Economy to Adapt to the Use of Artificial Intelligence, Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- OECD(2017), OECD Employment Outlook 2017.
- OECD(2018). Automation, skills use and training, OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 202.
- OECD(2020), Tax Policy Reforms 2020: OECD and Selected Partner Economies.
- Randolph, William C.(2006), “International Burdens of the Corporate Income Tax”, Congressional Budget Office Working Paper Series 2006-09.
- Shome, Parthasarathi(2022), “Taxation of Robots”, Governance Brief Issue 44.
- Stiglitz, Joseph E.(2018), Pareto efficient taxation and expenditures: Pre- and re-distribution, Journal of Public Economics Vol. 162.
- Thuemmel, Uwe(2023), “Optimal Taxation of Robots”, Journal of the European Economic Association Vol. 21 Issue 3.
- Webb, Michael(2020). The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market.
- Atkinson, Robert D.(2019), “The Case Against Taxing Robots”, ITIF, <<http://itif.org/publications/2019/04/08/case-against-taxing-robots>>.
- Briggs, Joseph & Kodnani, Devesh(2023), “The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth, Global Economics Analyst”, Goldman Sachs, <<http://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/03/27/d64e052b-0f6e-45d7-967b-d7be35fabd16.html>>.
- Committee on Legal Affairs(2016), “Draft Report with Recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL))”, <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/JURI-PR-582443_EN.pdf>.
- Committee on Legal Affairs(2017), “Report with Recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL))”, <http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2017-0005_EN.pdf>.
- Eloundou, Tyna, Manning, Sam, Mishin, and Rock, Daniel(2023), “GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models”, Working Paper, <<http://arxiv.org/pdf/2303.10130.pdf>>.
- Englisch, Joachim(2018), Digitalisation and the Future of National Tax Systems: Taxing Robots?, <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3244670>.
- European Parliamentary(2017), “Civil Law Rules on Robotics(debate)”,

http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/CRE-8-2017-02-15-ITM-014_EN.html).

European Parliamentary(2017), “European Parliament resolution of 16 February 2017 with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics(2015/2103(INL)), P8_TA(2017)0051”, http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2017-0051_EN.pdf).

Huang, Sonya, Grady, Pat & GPT-3(2022), “Generative AI: A creative new world”, Sequoia Capital, <http://www.sequoiacap.com/article/generative-ai-a-creative-new-world/>).

IFR(2024), “Global Robotics Race: Korea, Singapore and Germany in the Lead”, <http://ifr.org/ifr-pressreleases/news/global-robotics-race-korea-singapore-and-germany-in-the-lead>).

McKinsey & Company(2023), “The economic potential of generative AI: The next productivity frontier”, http://www.mckinsey.com/jp/~media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/the_economic_potential_of_generative_ai_the_next_productivity_frontier_colormama_4k.pdf).

Shiller, Robert J.(2017), “Robotization Without Taxation?”, Project Syndicate, <http://www.project-syndicate.org/commentary/temporary-robot-tax-finances-adjustment-by-robert-j--shiller-2017-03?barrier=accesspaylog>).

Webb, Michael(2022), “The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market”, http://www.michaelwebb.co/webb_ai.pdf).

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium der Finanzen(2021), “Bedingungsloses Grundeinkommen”, Gutachten 02/2021, http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Ministerium/Wissenschaftlicher-Beirat/Gutachten/bedingungsloses-grundeinkommen.pdf?__blob=publicationFile&v=8).

税制調査会(2023), 「わが国税制の現状と課題—令和時代の構造変化と税制のあり方—」.

内閣府(2022), “税制調査会(第14回総会)議事録”.

Changes in the employment environment and introduction of robot tax due to scientific and technological innovation

Kim Sunghwa

- Abstract -

In the past, employment was created as new jobs or tasks were created due to the development of innovative technologies, but in recent years, few new jobs have been created by artificial intelligence (AI), and concerns about employment substitution are increasing. This is because the development of science and technology and future new industries are actively being promoted as technologies such as big data, artificial intelligence (AI), and industrial robots are strengthened. In the process of this change, the existing job system has changed, and some jobs are disappearing or being created, and the rate of change is progressing quite fast and complex unlike before, so it is necessary to systematically and consistently review the problems facing the change. In particular, changes in worker nature, protection for labor workers, and social insurance systems (pension and health insurance systems) are being considered in connection with the disappearance of existing jobs and the emergence of new jobs.

This article examines the changes in the employment and labor markets due to technological innovation, and examines the possibility of replacing employment due to digital transformation. In addition, after examining international discussions on the robot tax according to the possibility of employment substitution, a plan to introduce the robot tax was proposed.

Key words Digital Transformation(DX), Work Environment Transformation, Employment Replacement, Tax Revenue Decline, Robot Tax

기계산업연구

| 제3권 제1호(2024) |

발행일 2024년 6월
발행처 한국기계연구원
발행인 류석현
문의처 한국기계연구원 기계정책센터
대전광역시 유성구 가정북로 156
T. 042-868-7640

ISSN 3058-2784

기계산업연구

제3권 제1호 (2024)