

지역산업의 R&D 투자 효율성 분석에 관한 연구 : 대전지역을 중심으로

임병화*, 임병권**, 김천규**

충남대학교 기술실용융합학과 박사과정*, 충남대학교 기술실용융합학과 교수**

A study on the analysis of R&D investment efficiency in regional industries : Focusing on Daejeon

Byoungghwa Lim*, Byungkwon Lim**, Chun-Kyu Kim**

Doctoral course, Department of Technology Practical Convergence, Chungnam National University*, Professor, Department of Technology Practical Convergence, Chungnam National University**

요 약 본 연구는 대전지역 주력산업의 R&D 효율성을 평가하고, 지역산업의 경쟁력 강화를 위한 정책적 시사점 도출을 목적으로 하였다. 이를 위해 자료포락분석(DEA)과 Malmquist 생산성지수(MPI) 분석을 활용하여, 2013년부터 2022년까지의 대전 주력산업 16개 DMU(Decision-Making Units)에 대한 효율성 및 생산성 변화를 분석하였다.

DEA 분석 결과, 연구산업('13-'14년), 바이오산업('13-'14년), 금속산업('15-'17년) 등은 자원 활용의 최적화를 이루어 높은 효율성을 나타냈다. 이는 연구개발 활동에서 자원을 매우 효율적으로 활용하여 산출을 극대화했음을 의미한다. 반면, 지식산업('13-'14년), 무선통신산업('15-'17년) 등 일부 산업군은 상대적으로 낮은 효율성을 기록하며, 자원의 비효율적 활용과 운영 전략의 개선이 필요했던 것으로 분석되었다. 규모효율성(SE) 분석에서는 일부 산업군이 최적 규모에서 운영되지 않고 있음을 발견하였고, Malmquist 생산성지수(MPI) 분석을 통해 시간에 따른 생산성 변화를 평가한 결과, 기술적 진보와 기술적 효율성의 변화가 산업별 생산성에 영향을 미친 것을 확인하였다. 시계열에 따른 효율성 변화는 70.96%('13-'14년) → 70.31%('15-'17년) → 68.59%('18-'20년) → 76.57%('21-'22년) 분석되었고 10년에 걸쳐 개선이 가능한 R&D의 총투자 효율성은 28.38%로 분석되었다.

주제어 : 지역산업, R&D 효율성, 자료포락분석(DEA), Malmquist 생산성지수(MPI), 기술적 효율성, 규모 효율성

Abstract This study aimed to evaluate the R&D efficiency of Daejeon Metropolitan City's regional industries and to derive policy implications for enhancing the competitiveness of regional industries. To achieve this, Data Envelopment Analysis (DEA) and Malmquist Productivity Index (MPI) were employed to analyze the efficiency and productivity changes of 16 Decision-Making Units (DMUs) in Daejeon's key industries from 2013 to 2022.

The DEA analysis revealed that certain industry groups, such as the Research Industry (2013-2014), Bio Industry (2013-2014), and Metal Industry (2015-2017), demonstrated high efficiency by optimizing resource utilization. These industries were found to effectively maximize outputs by efficiently using resources in their R&D activities. On the other hand, some industries, such as the Knowledge Industry (2013-2014) and Wireless Communication Industry (2015-2017), recorded relatively low efficiency, indicating the need for improvements in resource utilization and operational strategies. The Scale Efficiency (SE) analysis showed that some industries were not operating at an optimal scale. Furthermore, the MPI analysis, which evaluated productivity changes over time, confirmed that technological progress and changes in technical efficiency significantly impacted industry-specific productivity. Efficiency changes over time were recorded as 70.96% (13-'14), 70.317% (15-'17), 68.59% (18-'20), and 76.57% ('21-'22), with a 28.38% improvement potential over ten years.

Key Words : Regional industries, R&D Efficiency, Data Envelopment Analysis, Malmquist Productivity Index, Technical Efficiency, Scale Efficiency

Received 07 Sep 2024, Revised 26 Sep 2024

Accepted 04 Oct 2024

Corresponding Author: Chun-Kyu Kim
(Chungnam National University)

Email: chunkyuk@cnu.ac.kr

ISSN: 2466-1139(Print)

ISSN: 2714-013X(Online)

© Industrial Promotion Institute. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지역산업은 국가 경제 성장의 중요한 구성요소로, 각 지역의 특성과 강점을 반영한 맞춤형 발전 전략이 필수적이다[1]. 이러한 맥락에서 R&D 투자는 지역산업의 경쟁력 강화와 지속 가능한 성장을 촉진하는 핵심 수단으로 인식되고 있다[2]. 특히, R&D 투자는 혁신을 통해 새로운 제품과 서비스를 창출하고, 기술적 우위를 확보함으로써 지역 경제의 다변화와 고용 창출에 기여해 왔다[3][4].

그러나 R&D 투자 자체가 모든 지역에서 동일한 결과를 가져오는 것은 아니다. 지역간 경제적, 산업적, 사회적 조건의 차이에 따라 R&D 투자 효율성도 크게 달라질 수 있다[2][5]. 대전 지역은 고급 기술로 이루어진 산업과 연구 기관의 밀집도가 높아 R&D 투자에 대한 높은 효율성을 기대할 수 있지만, 이러한 투자가 실제로 지역 경제에 긍정적인 영향을 미치기 위해서는 해당 지역의 고유한 산업 구조와 정책적 지원이 긴밀히 연계되어야 한다[6].

본 연구의 목적은 대전 주력산업의 R&D 효율성을 종합적으로 평가하고, 이를 바탕으로 지역산업의 경쟁력 강화를 위한 전략적 시사점을 도출하는 데 있다. 이를 위해 자료포락분석(DEA)과 Malmquist 생산성지수(MPI) 분석을 활용하여, 2013년부터 2022년까지 대전광역시의 16개 주력산업에 대한 효율성과 생산성 변화를 분석하였다. DEA는 다수의 투입 변수와 산출 변수를 고려하여 각 산업의 상대적 효율성을 평가할 수 있는 비모수적 방법론으로, 산업 간 효율성 비교와 비효율적 요소의 규명을 가능하게 한다[7]. 또한, Malmquist 생산성지수는 시간에 따른 생산성 변화를 측정하여, 기술적 효율성과 기술 진보가 산업별 생산성에 미치는 영향을 분석하는 데 유용하다[8][9][10].

본 연구를 통해 대전광역시 주력산업 R&D 활동이 얼마나 효율적으로 이루어졌는지, 그리고 각 산업의 효율성과 생산성에 영향을 미치는 주요 요인들이 무엇인지를 규명함으로써, 향후 R&D 투자 전략 수립과 정책적 결정에 참고 자료를 제공하고자 한다. 이와 같은 연구는 대전광역시뿐만 아니라 유사한 경제적 환경을 가진 다른 지역에서도 지역산업의 R&D 효율성을 평가하고, 이를 바탕으로 지속 가능한 성장을 위한 전략 수립에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 더불어 한정된 예산으로 운

영되는 지역산업 육성의 효율적인 발전 방향 제시를 가능하게 할 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 지역산업 정책

지역산업 정책은 각 정부의 경제적 비전과 지역균형 발전 목표에 따라 발전해 왔으며, 이에 대한 다양한 연구들이 이루어져 왔다. 이러한 선행연구들은 정부의 정책적 변화가 지역산업의 발전에 미친 영향을 분석하고, 정책의 효과성을 평가하는 데 중점을 두고 있다[11].

먼저, 노무현 정부는 「4+9 지역전략산업진흥사업」을 통해 총 43개의 지역 내 전략산업을 선정하여 지역의 산업집적 기반을 구축하면서 본격 시작되었다. 이와 더불어 지역혁신특성화(RIS), 테크노파크 조성, 지역혁신센터(RIC), 산업단지혁신클러스터, 지역산업혁신기반구축 등의 사업을 대폭 확대하여 추진하였다[12][13].

이명박 정부는 2009년부터 「5+2광역경제권선도산업육성사업」을 추진하였다. 기존의 주력산업뿐만 아니라 선도산업의 범위를 확대하여 지역의 경제적 기반을 다졌다[14][15].

박근혜 정부에서는 지역산업 정책의 기본 목표를 일자리 창출로 설정하였으며, 지역산업 정책의 공간적 범위를 기존의 광역경제권 단위에서 시도 단위로 변경하였다. 지역주력산업육성사업을 통해 63개의 주력산업을 선정하고, 기술개발과 사업화 지원을 집중적으로 추진하였다[16].

문재인 정부에서는 4차산업혁명, 중소벤처, 혁신 도시 등을 강조하며, 혁신 도시와 인근 산업 단지를 중심으로 14개의 시·도별국가혁신클러스터를 선정하여 지역산업 발전을 위한 생태계를 조성하였다. 또한, 주력산업을 조정하여 제조·ICT, 제조·서비스 간의 융복합 비중을 확대하였다[16][17].

윤석열 정부의 지역 산업정책은 지방자치분권 및 지역 균형 발전을 통한 지역 자립적 발전을 정책의 핵심 목표로 삼고 있다. 이를 위해 <표 1>에서와 같이 「지방자치분권 및 지역균형발전에 관한 특별법」을 제정하고, 체계적이고 효과적인 추진을 위해 「제1차 지방시대 종합계획(2023~2027년)」을 수립하였다. 지역의 자율성을 강화해 주력산업을 선정하고, 해당 산업에 대한 기술개

발, 사업화 지원, 인력양성 등을 추진하고 있다. 특히, 4차 산업혁명 기술과 연계한 제조·ICT 간 융합, 제조·서비스 간 융복합을 강화하는 방향으로 정책을 조정하고 있으며, 이를 통해 지역산업의 혁신을 촉진하고 있다[18].

<표 1> 국가균형발전 정책과 지역산업 정책

| 구분 | 노무현정부 ('03.2~'08.2) | 이명박정부 ('08.2~'13.2) | 박근혜정부 ('13.2~'17.3) | 문재인정부 ('17.3~'22.5) | 윤석열정부 ('22.5) |
|--------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|
| 법률 | 국가균형발전특별법(균특법) ('04.4~'23.7) | | | | 지방분권균형발전법 ('23.7) |
| 종합계획 | 국가균형발전 5개년계획 ('04~'08) | 지역발전 5개년계획 ('09~'13) | 지역발전 5개년계획 ('14~'17) | 국가균형발전 5개년계획 ('18~'22) | 지방시대 종합계획 ('23~'27) |
| 위원회 | 국가균형발전위원회 ('04.4) | 지역발전위원회('09.4) | | 국가균형발전위원회 ('18.3) | 지방시대 위원회 ('23.7) |
| 특별회계 | 국가균형발전특별회계 (균특회계, '05~'09) | 광역·지역발전특별회계 (광특회계, '10~'14) | 지역발전특별회계 (지특회계, '15~'18) | 국가균형발전특별회계 (균특회계, '19~'23) | 지역균형발전특별회계 (지특회계, '24) |
| 지역산업육성 | 4+9지역전략산업진흥사업 | 5+2광역경제권선도산업육성사업 | 지역주력산업육성사업 | 지역주력산업육성사업 | 지역주력산업육성사업 |

출처: 전성만(2023) 및 제4차 지방시대 종합계획(2023~2027년) 자료 토대 재구성

2.2 DEA 효율성 분석

자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)은 다수의 입력(input)과 출력(output)을 가진 의사결정단위(Decision Making Units, DMUs)의 상대적 효율성을 측정하는 비모수적(Non-parametric) 방법론이다[7]. DEA는 Charnes et al.(1978)가 Farrell(1957) 모형을 일반화시켜 선형계획(Linear Programming)모형으로 발전시킨 이래 공공부문(Smith and Mayston, 1986), 금융기관(Luo, 2003), 제조업(Bernard et al., 1996), 철강기업(이형석 김기석, 2007) 등 다양한 분야에 적용되고 있다[20].

DEA에서 효율성은 크게 두 가지로 구분된다. 기술적 효율성(Technical Efficiency, TE)은 주어진 투입을 사용하여 최대한의 산출을 생산할 수 있는 능력을 의미하며, 자원의 사용이 얼마나 효율적인지를 나타낸다. 반면 규모효율성(Scale Efficiency, SE)은 DMU가 최적의 규모에서 운영되고 있는지, 즉 규모의 경제를 얼마나 잘 활용하고 있는지를 평가한다. 규모효율성은 생산

량의 변화에 따른 효율성의 변화를 분석하는 데 중요한 역할을 한다[21].

DEA의 대표적인 모델로는 CCR 모델과 BCC 모델이 있다. CCR 모델(Charnes, Cooper, and Rhodes, 1978)은 규모수익불변(Constant Returns to Scale, CRS)을 가정하여 모든 DMU가 동일한 비율로 투입을 산출로 전환할 수 있다고 전제한다[21]. BCC 모델(Banker, Charnes, and Cooper, 1984)은 규모수익가변(Variable Returns to Scale, VRS)을 가정하여 규모의 변동에 따른 효율성 차이를 반영한다[21]. CCR 모델이 도출하는 효율성은 기술효율성(Technical Efficiency, TE)으로 불리며, BCC 모델이 도출하는 효율성은 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency, PTE)으로 규모로 인한 비효율성을 제외한 효율성을 의미한다[22].

DEA 모델은 분석의 방향에 따라 투입기준(Input-oriented) 모형과 산출기준(Output-oriented) 모형으로 나뉜다[44]. 투입기준 모형은 산출의 수준을 고정된 상태에서 투입을 최소화하는 데 중점을 두며, 효율성 값은 0과 1 사이에서 계산된다. 이때, 1에 가까울수록 해당 DMU가 효율적으로 자원을 활용하고 있음을 의미한다. 반면 산출기준 모형은 투입의 수준을 고정된 상태에서 산출을 최대화하는 방향으로 분석하며, 이 모형에서의 효율성 값은 1 이상일 수 있다. 산출기준 모형에서 1에 가까울수록 효율적, 1보다 클수록 비효율적으로 해석된다[23].

지역산업의 효율성을 평가할 때, DEA는 각 지역의 투입 자원(R&D 예산, 인력 등)과 산출(특히, 매출 등)을 비교하여 효율성을 진단하고, 자원의 최적 배분 및 전략적 시사점을 도출하는 데 유용하다[24]. 이로써, 지역 간 효율성을 비교하고, 지역 산업의 경쟁력 강화를 위한 정책적 방향성을 제시할 수 있다.

2.3 Malmquist 생산성지수 분석

Malmquist 지수는 1953년 Sten Malmquist에 의해 처음 제안되었으며, 이후 Caves, Christensen, Diewert (1982) 등이 이 개념을 발전시켜 현대의 생산성 분석에 활용되게 되었다[45]. Malmquist 생산성지수(MPI)는 시간에 따른 생산성 변화를 측정하는 데 사용되는 지표로, 특정 기간 동안 의사결정단위(Decision Making Unit, DMU)의 생산성 변화와 그 요인을 분석하는 방법이다.

이 지수는 각 DMU의 기술적 효율성 변화와 기술 변화의 영향을 결합하여 생산성의 변화를 평가할 수 있도록 한다. Malmquist 생산성지수는 투입지향(Input-oriented)과 산출지향(Output-oriented) 모형 하에 규모수익불변(Constant Returns to Scale: CRS)과 규모수익가변(Variable Returns to Scale: VRS)의 가정으로 측정할 수 있다[20]. 1990년대 중반 이후 총요소생산성의 증가율을 추정하기 위한 가장 표준적인 방법으로 이용되고 있다[46].

Malmquist 생산성지수는 주로 다음의 두 가지 구성요소로 이루어진다. 기술적 효율성 변화(Technical Efficiency Change, TEC)는 주어진 투입을 활용하여 산출을 극대화하는 능력의 변화를 의미한다. 이 요소는 DMU가 얼마나 효율적으로 자원을 사용하고 있는지를 평가하며, 시간에 따른 효율성의 향상 또는 저하를 측정한다. TEC가 1보다 크면 효율성이 증가한 것을 의미하며, 1보다 작으면 효율성이 감소한 것을 의미한다[47].

기술 변화(Technological Change, TC)는 기술 프론티어의 이동을 나타내며, 이는 주어진 자원으로 생산 가능한 최대 산출이 시간에 따라 어떻게 변화했는지를 평가한다. TC는 기술 혁신이나 개선을 통해 생산 가능성이 증가하는 것을 의미하며, 기술의 진보 또는 후퇴를 반영한다. TC가 1보다 크면 기술이 진보한 것으로, 1보다 작으면 기술이 후퇴한 것으로 해석된다[47].

Malmquist 분석은 시간의 흐름에 따라 DMU의 생산성 변화를 평가하는 데 있어 매우 유용한 도구이다. 이를 통해 각 DMU가 얼마나 효율적으로 운영되고 있는지, 기술 진보가 생산성에 어떤 영향을 미치고 있는지를 파악할 수 있다[25].

Malmquist 생산성지수는 다양한 분야에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 국가 간 경제 성장 비교, 산업분야 생산성 변화 분석, 기업의 효율성 평가 등에서 활용된다. 특히, 지역산업 분석에서 Malmquist 지수는 지역 간 생산성 변화와 기술 진보를 평가하는 데 유용하다. 이를 통해 지역산업의 경쟁력을 강화하기 위한 전략적 시사점을 도출할 수 있다.

3. 선행 연구

본 연구는 대전시가 주력산업으로 지정하고 육성한

산업별 R&D 투자에 따른 DEA 효율성 측정을 목적으로 한다. 따라서 국내의 DEA를 적용하여 R&D 투자효율성을 진행한 선행연구를 검토하였으며 개요, 연구방법 및 변수에 관한 요약은 <표 2>와 같다.

이 윤(2011)은 국내 주요 국가산업단지 20개를 대상으로 운영 효율성을 분석하였다. 이 논문에서는 국가산업단지의 DEA를 통한 기술효율성과 MPI를 통해 생산성 변화가 생산성에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

이성희(2015)에 따르면 한국의 정부출연연구기관의 동적 성능을 DEA 윈도우 모델을 사용하여 측정하였다. 2008년부터 2013년까지 6년 동안 국가과학기술연구회의 통제하에 있는 20개의 출연연에 대해 R&D 성과(특허, 논문, 기술이전)와 R&BD성과(유상기술이전, 기술료)를 구분하여 측정하고 비교하였다.

윤상흠(2017)은 국내 제약산업에서 상장 기업들의 기술 혁신 효율성을 분석하였다. DEA를 사용하여 연구개발 인력, 유형자산, 연구개발비의 투입 변수와 특허, 매출액, 당기순이익의 산출 변수를 평가하였다. 이 연구는 제약 기업 간의 효율성 차이를 구체적으로 규명하기 위해 초효율성 분석을 수행하였다. 초효율성 분석은 기존 DEA에서 모두 동일하게 효율적인 것으로 간주되었던 DMU들의 상대적 차이를 명확히 할 수 있는 장점이 있다.

조남권 외(2018)의 논문은 DEA 분석을 통해 중소·중견 기업의 연구개발(R&D) 효율성을 평가하고 그 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 기계 및 전자 산업에 속한 46개의 중소·중견기업을 대상으로 두 단계로 나누어 효율성을 분석하였다. 1단계는 R&D 성과 창출을, 2단계에서는 사업화 단계를 평가했으며, 비효율성의 주요 원인으로 기술적 비효율성이 지적되었다. Tobit 분석을 통해 R&D 비용, 총자산, 기업업력이 효율성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특허 보유수는 부정적인 영향을 미쳤다.

김현정(2019)은 에너지 공기업의 연구개발(R&D) 투자의 효율성을 측정하고 이를 개선하기 위한 방안을 제시 하였다. 2018년 자료를 바탕으로 17개의 국내 에너지 공기업에 대상으로 DEA를 적용해 분석한 결과, CCR 모형에서 평균 효율성은 0.4076, BCC 모형에서 0.7960으로 비교적 낮은 효율성을 보였다. 특히, 한국가스공사만이 두 모형에서 모두 효율적인 공기업으로 나타났으며, 다른 기업들은 순수 기술적 효율성이나 규모 효율성을 개선해야 할 필요가 있는 것으로 연구되었다.

<표 2> DEA를 이용한 R&D 효율성 분석에 관한 선행연구

| 연구자 | 연구대상 (DMU 수) | 연구기간 | 데이터 출처 | 연구 방법 | 투입변수 | 산출변수 |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| 이형석 (2020) | 17개 지자체의 연구개발(R&D) | 2013~2017 | 국가연구개발사업성과보고서 연구개발활동조사보고서 | DEA, 패널회귀분석 | 연구개발비, 연구인력 | 논문, 국내외 특허, 기술료, 사업건 수 |
| 이철행 (2020) | 국내 하이테크산업 (4개 산업 × 8년 = 32) | 2008~2015 | 연구개발 활동조사보고서 | DEA, Kruskal-Wallis 검정, Tobit회귀분석 | 연구개발비, 연구인력 | 특허등록건수, 매출액 |
| 조윤기 (2019) | 중국 하이테크산업 (20 소분류 산업) | 2013~2018 | 중국통계연감 | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | 연구개발비, 연구원수 | 특허건수, 신제품 판매액, 영업이익 |
| 우정원 (2019) | 신재생에너지기술 R&D과제 | 2011~2015 | 한국에너지기술연구원 과제관리 데이터 | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | 정부R&D투자금, 민간R&D투자금 | 논문, 특허, 신규고용 |
| 김현정 (2019) | 에너지 공기업 17개사 | 2018 | 기획재정부 알리오 시스템 | DEA | 직원수, R&D투자금 | 매출, 당기순이익 |
| 조남권 (2018) | 중소, 중견기업 (기계, 전기전자 46개사) | 2014~2015 | 특허청, 통계청, 설문조사 | DEA, Tobit회귀분석 | 연구개발비, 연구인력, 전담인력, 특허활용건수 | 특허출원, 매출액 |
| 조정래·김태윤 (2017) | 국가에너지개발사업 34개 사업 | 2011~2015 | 국가R&D통계, 에너지 R&D 성과활용 조사 | DEA | 정부출연금, 과제수 | 논문, 특허, 사업화건수 |
| 윤상훈 (2017) | 상장 제약기업 39개사 | 2014 | 한국상장사협의회 TS-2000 데이터베이스 | DEA, 초효율성 분석 | 연구인력수, 유형자산, 연구개발비 | 매출액, 특허, 당기순이익 |
| 이성희 (2015) | 정부출연연구기관 20개 기관 | 2008~2013 | 국가과학기술연구회 | DEA, Window DEA | 연구비, 연구원수 | (R&D) 특허, 논문, 기술이전 / (R&BD) 유상기술이전, 기술료 |
| 윤정목 (2014) | 한국산업단지공단 선발 강소기업 24개사 | 2014 | 한국산업단지공단 기업지원 자료 | DEA, Window DEA | 기술개발인력, 기술개발투자액 | 매출액, 기술개발실적, 경영평가, 사업성, 기술성 |
| 이광배 (2013) | 16개 시도 국가연구개발 | 2005~2009 | 국가연구개발사업 조사분석보고서 | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | 연구개발비, 연구개발인력 | 특허, 지역내 총생산 |
| 한하늘 (2012) | 인천지역 연구개발성과 | 2003~2009 | NTIS | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | 연구원수, 연구개발비 | 특허출원, 특허등록 |
| 방민석 (2011) | 16개 시도 국가연구개발 | 2006~2008 | NTIS, 통계청 | DEA | 연구개발비, 연구원수 연구장비 구입액 | 특허출원수, SCI 보정지수 |
| 이 윤 (2011) | 국가산업단지 20개 | 2001~2009 | 한국산업단지공단 | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | 부지면적, 인력 | 가동률, 생산액 |
| 소순후 (2011) | 광주 전자부품산업 기술개발과제 | 2004~2008 | 광주테크노파크 성과조사 응답기업 | DEA | 기술개발참여인력, 기술개발투자금, 기술개발성과기간 | 산업재산권, 기술선진화, 매출증가율, 고용증가율 |
| 박석중 (2010) | 정부 R&D사업 | 2004~2006 | 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) | DEA, Wilcoxon-Mann-Whitney 검정 | 연구개발비 ('04~'06년) | SCI 논문('06년), 특허 출원·등록('06년) |
| 박정희 (2010) | 유가증권, 코스닥 상장기업 | 2008 | 지역산업기술개발사업 성과활용조사보고서 | DEA | 연구개발비, 지식보유수, 연구개발기간 | 특허, 논문, 매출액, 고용창출 |
| Wang, E. C., Huang, W. (2007) | 국가별 R&D 효율성 30개국 | 1963~2003 | World Bank WIPO Statistics | DEA, Tobit회귀분석 | R&D비용, 연구원수 | 특허, 논문 |
| Sharma, S., Thomas, V. (2008) | 국가별 R&D 효율성 22개국 | 1963~2003 | WIPO Statistics, SCI DB, UIS S&T Database, UN Statistics | DEA, Tobit회귀분석 | 특허, SCI논문수, R&D비용 100만명당 연구자수, 인구추정치 | GDP(국내총생산) |
| Hashimoto, A., Haneeda, S. (2008) | 일본 제약산업 10개사 | 1982~2001 | Data Book (Tôkyô Japan Pharmaceutical Manufacturers Association) aNEEDS Database (Tôkyô Nihon Keizai Shinbun, Inc) | DEA, Malmquist 생산성지수(MPI) | R&D비용 | 특허등록, 매출액, 영업이익 |
| Wang, Y., (2020) | 중국 하이테크산업 18개 산업 | 2014~2016 | China Statistics Yearbook | two-stage DEA | (1차)R&D인력수, R&D비용, (2차)특허출원, 기술이전 | (1차)특허출원, 기술이전, (2차)신제품 매출액, 자산증가 |

이형석(2020)은 한국 17개 광역자치단체의 R&D 투자 효율성을 분석한 연구이다. 지자체의 연구개발비, 연구인력을 투입변수로 논문수, 특허수, 기술료, 사업화 건수를 산출변수로 설정하고 평가하였다. 연구 결과, 대전, 광주, 강원, 제주가 우수한 효율성을 보였으며, 경기, 인천, 세종은 낮은 효율성을 보였다. 규모수익체감(DRS)을 나타내는 지자체가 많아, R&D 투자의 질적 개선이 필요함을 도출하였고 특허효율성이 지역 경제 성장에 유의미한 영향을 미친다고 정리하였다.

이철행(2020)의 연구는 국내 하이테크산업의 R&D 투자 효율성을 분석한 논문이다. 2008년부터 2015년까지의 데이터를 바탕으로 한다. 연구개발비, 연구원수를 투입변수로 특허 등록건수, 매출액을 산출변수로 사용하였다. 하이테크산업에서의 기술효율성(TE), 순수기술효율성(PTE), 규모효율성(SE)을 각각 평가하였으며, 산업 간 효율성 차이와 개선 방안을 제시하였다.

기존 R&D 투자효율성에 관한 선행연구는 대체로 국가단위, 광역시도단위, 특정산업을 기준으로 투자효율성을 분석하고 있다. 일부 기업에 관련된 연구가 있기는 하나 대부분 상장기업에 대한 연구로 국한되어 있다. 본 연구는 대전지역에 등록된 기업 전체를 연구 대상으로 한다는데 큰 차이점이 있다. 대전지역에 사업자등록을 두고 있는 기업들을 KSIC코드 산업단위로 묶어서 R&D 투자효율성에 대해 분석하였다.

<표 3> 주력산업별 분포현황

| 연도 | 주력산업명 | 연구개발비 | 종업원수 | 연구원수 | 특허출원수 | 특허등록수 | 매출액 | 당기순이익 | 부가가치금액 |
|--------------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2013 ~ 2014년 | 금형정밀가공 | 0.54 | 20.08 | 4.69 | 0.20 | 0.19 | 24.65 | 2.00 | 8.28 |
| | 지식융합 | 1.25 | 20.25 | 6.40 | 0.51 | 0.34 | 18.40 | 0.76 | 7.85 |
| | 연구개발서비스 | 6.50 | 131.05 | 7.16 | 17.29 | 11.95 | 142.88 | -2.49 | 5.28 |
| | 광학기구조재 | 2.07 | 34.31 | 6.81 | 0.89 | 0.76 | 36.75 | -0.14 | 10.57 |
| 2015 ~ 2017년 | 바이오소재 | 1.98 | 38.95 | 8.30 | 0.58 | 0.48 | 95.90 | 3.92 | 15.43 |
| | 무선통신융합 | 2.81 | 26.53 | 6.89 | 0.71 | 0.38 | 36.99 | 0.23 | 7.45 |
| | 메디바이오 | 5.47 | 51.88 | 11.45 | 2.24 | 2.20 | 68.82 | -2.57 | 8.57 |
| | 로봇자동화 | 1.52 | 13.23 | 5.71 | 0.63 | 0.41 | 18.91 | 1.51 | 6.11 |
| 2018 ~ 2020년 | 금속가공 | 0.63 | 26.87 | 2.65 | 0.18 | 0.13 | 43.35 | 3.62 | 9.92 |
| | 지식재산서비스 | 0.50 | 11.72 | 2.70 | 2.90 | 2.16 | 20.19 | 0.64 | 2.29 |
| | 무선통신융합 | 3.63 | 22.48 | 6.34 | 0.79 | 0.53 | 40.22 | 1.49 | 4.80 |
| | 로봇자동화 | 1.72 | 51.37 | 4.46 | 4.54 | 3.65 | 68.98 | 1.17 | 5.26 |
| 2021 ~ 2022년 | 바이오기능성소재 | 6.94 | 42.00 | 10.02 | 2.10 | 1.76 | 106.14 | 1.11 | 12.39 |
| | 차세대무선통신융합 | 4.81 | 16.10 | 7.21 | 0.24 | 0.62 | 54.83 | -22.40 | 0.14 |
| | 지능형로봇 | 3.72 | 14.01 | 5.18 | 0.19 | 0.51 | 44.61 | 3.31 | 8.03 |
| | 바이오메디컬 | 9.19 | 18.26 | 6.26 | 0.25 | 0.59 | 178.06 | 8.82 | 30.89 |

4. 연구 방법

4.1 분석 대상

본 연구의 분석대상은 대전광역시에서 2013년부터 2022년까지 주력산업으로 선정하여 육성한 16개 산업이다. 이들 산업은 각각 한국 표준산업분류(KSIC) 코드를 포함하고 있으며, 해당 코드에 포함된 기업군을 대상으로 <표 3>과 같이 분석하였다. 분석에 사용된 자료는 한국평가데이터에서 제공하는 기업정보를 기반으로 하였다. 한국평가데이터는 기업의 재무정보, 경영실적, 신용평가 결과 등 다양한 기업 관련 데이터를 제공하는 기관으로, 본 연구에서는 대전 주력산업에 속한 기업들의 연구개발비, 종업원 수, 연구원 수, 특허출원 수, 특허등록 수, 매출액, 당기순이익 데이터를 추출하여 활용하였으며, <표 4>와 같이 정리하였다.

<표 4> DEA분석을 위한 투입 및 산출변수

| 구분 | 변수명 | 기간 | 출처 |
|------|-------|-----------|-----------------|
| 투입변수 | 연구개발비 | 2013~2022 | 한국평가데이터 기업DB |
| | 종업원수 | 2013~2022 | |
| | 연구원수 | 2013~2022 | |
| 산출변수 | 특허출원수 | 2014~2023 | |
| | 매출액 | 2014~2023 | |
| | 당기순이익 | 2014~2023 | |

대전광역시의 16개 주력산업에 대한 분석에서 연구개발(R&D) 효율성을 평가하기 위해 본 연구에서는 투입변수와 산출변수를 다음과 같이 설정하였다.

투입변수는 해당 산업에 속한 기업들의 연구개발비, 종업원 수, 연구원 수로 설정하였다. 연구개발비는 해당 기업들의 기술개발을 위한 투자 규모를 나타내며, 이는 기업의 연구개발 역량을 가늠할 수 있는 핵심 지표이다. 종업원 수는 기업의 규모와 노동력 투입량을 의미하며, 연구원 수는 연구개발 활동에 직접적으로 참여하는 인력의 양을 나타낸다. 이들 변수는 각각의 산업이 보유한 자원의 투입 정도를 반영한다.

산출변수는 특허출원 수, 매출액, 그리고 당기순이익으로 설정하였다. 특허출원 수는 연구개발 활동의 질적 성과를 측정하는 대표적인 지표로서, 기업이 개발한 기술의 혁신성과 경제적 가치를 평가하는 데 사용된다. 매출액은 연구개발의 성과가 시장에서 실제로 실현된 정도를 나타내며, 당기순이익은 연구개발 활동이 기업의 수익성에 미치는 영향을 평가하는 데 중요한 변수로 작용한다. 이들 산출변수는 연구개발 활동의 결과가 얼마나 효과적으로 경제적 성과로 전환되었는지를 평가하는 지표이다.

4.2 분석 방법

DEA분석에서 투입지향(input-oriented approach)과 산출지향(output-oriented approach)은 각각 다른 분석 관점을 제공한다. 어떤 방법을 채택할지 결정하는 것은 연구의 목표와 산업의 특성에 따라 달라질 수 있다. 투입지향은 자원을 효율적으로 관리하고 절감하는 데 초점을 둔다. 동일한 산출을 달성하기 위해 얼마나 적은 자원을 사용할 수 있는지 평가한다. 반면 산출지향은 주어진 자원을 활용하여 최대한의 산출을 달성하는 데 초점을 맞춘다. 본 연구의 주요 관심사는 각 산업이 연구개발 활동을 통해 얼마나 많은 성과(특히, 매출, 당기순이익 등)를 창출하는지에 있으므로 산출지향을 채택하는 것이 더 적절하다. 이를 통해 각 산업이 동일한 자원을 투입했을 때, 다른 산업에 비해 산출을 얼마나 더 많이, 혹은 적게 달성했는지를 비교할 수 있다[26].

본 연구에서는 CCR(Charnes, Cooper, and Rhodes) 효율성 점수와 BCC(Banker, Charnes, and Cooper) 효율성 점수를 각각 계산하였다. CCR 모형은 규모수익불변(Constant Returns to Scale, CRS)을 가정하고, 모든 DMU가 동일한 규모의 효율성을 가지고 있다고 전제한다. 이를 통해 각 산업의 기술효율성(Technical Efficiency, TE)을 측정할 수 있으며, 각 산업이 주어진 자원을 얼마

나 효율적으로 사용하여 산출을 극대화하는지를 평가한다. BCC 모형은 규모수익가변(Variable Returns to Scale, VRS)을 가정하여, DMU의 규모에 따라 효율성이 달라질 수 있음을 반영한다. 이를 통해 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency, PTE)을 측정할 수 있으며, 이는 DMU가 규모와 관계없이 기술적으로 얼마나 효율적으로 운영되고 있는지를 나타낸다[22].

규모효율성(Scale Efficiency, SE)은 CCR 효율성 점수와 BCC 효율성 점수의 비율로 계산되며, DMU가 최적 규모에서 운영되고 있는지를 평가하는 지표이다. 이를 통해 각 산업이 규모의 경제를 충분히 활용하고 있는지를 판단할 수 있다[22].

또한, 본 연구에서는 Malmquist 생산성 지수를 활용하여 시간에 따른 효율성 변화를 분석하였다. Malmquist 지수는 시간의 경과에 따른 생산성 변화와 기술 진보를 평가할 수 있는 지표로, 본 연구에서는 대전 주력산업의 연구개발 생산성이 분석 기간 동안 어떻게 변화했는지를 파악하는 데 사용되었다[20].

이와 같은 분석방법을 통해 대전광역시 주력산업의 연구개발 효율성을 다각도로 평가하고, 효율성을 향상시키기 위한 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

5. 연구 결과

5.1 기초통계량

대전광역시 주력산업에 속한 16개 산업의 연구개발 효율성을 분석하기 위해 사용된 주요 투입변수와 산출변수의 기초통계량을 <표 5>에 제시하고 있다. 각 변수는 16개의 산업을 대상으로 계산되었으며, 평균, 중위수, 표준편차, 최댓값, 최솟값을 포함하고 있다.

<표 5> 투입변수 및 산출변수에 대한 기초통계량

| 변수 | N | 평균 | 중위수 | 표준편차 | 최댓값 | 최솟값 |
|--------|----|--------|--------|--------|---------|---------|
| 연구개발비 | 16 | 3.330 | 2.440 | 2.600 | 9.187 | 0.498 |
| 종업원수 | 16 | 33.694 | 24.506 | 29.035 | 131.053 | 11.717 |
| 연구원수 | 16 | 6.388 | 6.367 | 2.314 | 11.446 | 2.649 |
| 특허출원수 | 16 | 2.141 | 0.668 | 4.221 | 17.292 | 0.178 |
| 특허등록수 | 16 | 1.666 | 0.558 | 2.908 | 11.951 | 0.127 |
| 매출액 | 16 | 62.480 | 43.981 | 46.575 | 178.061 | 18.400 |
| 당기순이익 | 16 | 0.062 | 1.143 | 6.552 | 8.820 | -22.399 |
| 부가가치금액 | 16 | 8.955 | 7.939 | 6.919 | 30.890 | 0.144 |

5.2 상관관계분석

본 연구에서는 투입변수와 산출변수 간의 상관관계를 <표 6>과 같이 분석하였다. 상관관계 분석 결과, 연구개발비, 종업원수, 연구원수 등 주요 투입변수와 특허출원수, 특허등록수, 매출액, 당기순이익 등 산출변수 간의 상관관계를 통해 변수 간의 관계를 파악하였다.

<표 6> 상관관계 분석

| | 연구 개발비 | 종업원 수 | 연구원 수 | 특허 출원수 | 특허 등록수 | 매출액 | 당기 순이익 |
|---------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|----------|
| 종업원 수 | 0.3544 | | | | | | |
| 연구원 수 | 0.5828** | 0.3225 | | | | | |
| 특허 출원수 | 0.2939 | 0.9314*** | 0.0897 | | | | |
| 특허 등록수 | 0.3313 | 0.9340*** | 0.1174 | 0.9968*** | | | |
| 매출액 | 0.8345*** | 0.5311** | 0.3729 | 0.4500* | 0.4778* | | |
| 당기 순이익 | -0.0695 | -0.0601 | -0.2175 | -0.0915 | -0.1124 | 0.1739 | |
| 부가가치 금액 | 0.5013** | -0.0837 | 0.1772 | -0.2086 | -0.1975 | 0.6651*** | 0.6010** |

연구개발비와 매출액 간의 상관계수는 0.8345로, 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 연구개발비가 기업의 매출 성과에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사한다.

연구원수와 연구개발비 간의 상관계수는 0.5828로, 유의미한 상관관계를 보였다. 이는 연구개발 인력의 규모가 연구개발비와 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다.

종업원수와 특허출원수는 0.9314, 특허등록수는 0.9340 으로 서로 간의 매우 높은 상관관계를 보였다. 이는 종업원 수가 많을수록 특허출원 및 특허등록 활동이 활발하게 이루어질 가능성이 높다는 것을 의미한다.

특허출원수와 특허등록수 간의 상관계수는 0.9968로, 거의 완벽한 상관관계를 나타냈다. 이는 두 변수 간의 중복성을 시사하여, 분석에서는 특허출원수만을 대표 변수로 고려하였다. 매출액과 부가가치금액 간의 상관계수는 0.6651로 높게 나타났으나, 상관관계가 높아 분석에서 부가가치금액은 제외하였다. 당기순이익은 대부분의 투입변수 및 산출변수와 상관관계가 낮게 나타났으며, 특히 연구개발비와는 -0.0695로 음의 상관관계를 보였다.

이러한 상관관계 분석 결과를 바탕으로, 연구에서는 투입변수로 연구개발비, 종업원수, 연구원수를 선정하고, 산출변수로 특허출원수, 매출액, 당기순이익을 선정하였다.

5.3 DEA분석 결과

본 연구에서는 대전광역시 주력산업의 R&D 효율성을 평가하기 위해 CCR 모형과 BCC 모형을 활용하여 각 산업군의 기술효율성(TE), 순수기술효율성(PTE), 규모효율성(SE)을 <표 7>과 같이 분석하였다. 또한, 각 산업의 규모수익(RTS: Returns to Scale)을 평가하여 증가규모수익(IRS), 감소규모수익(DRS), 고정규모수익(CRS)을 확인하였다.

<표 7> DEA 분석결과

| DMU명 | TE (CCR) | PTE (BCC) | SE (TE/PTE) | RTS |
|-----------|----------|-----------|-------------|-----|
| 금형 13-14 | 0.73836 | 0.83005 | 0.88953 | IRS |
| 지식 13-14 | 0.36628 | 0.38052 | 0.96256 | IRS |
| 연구 13-14 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |
| 광학 13-14 | 0.44354 | 0.45910 | 0.96611 | IRS |
| 바이오 13-14 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |
| 무선 15-17 | 0.43194 | 0.44155 | 0.97822 | IRS |
| 로봇 15-17 | 0.65034 | 0.65034 | 1.00000 | CRS |
| 바이오 15-17 | 0.43360 | 0.51777 | 0.83744 | DRS |
| 금속 15-17 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |
| 지식 15-17 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |
| 무선 18-20 | 0.43889 | 0.44974 | 0.97588 | IRS |
| 로봇 18-20 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |
| 바이오 18-20 | 0.61908 | 0.69945 | 0.88510 | DRS |
| 무선 21-22 | 0.53026 | 0.54464 | 0.97359 | IRS |
| 로봇 21-22 | 0.76712 | 0.90053 | 0.85186 | IRS |
| 바이오 21-22 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | CRS |

기술효율성을 나타내는 TE(CCR)에 있어 연구 13-14, 바이오 13-14, 금속 15-17, 지식 15-17, 로봇 18-20, 바이오 21-22의 효율성 점수는 1.000으로, 이들 산업군은 자원을 효율적으로 활용하여 최대한의 산출을 달성하고 있음을 의미한다. 그 외의 산업군들은 0.36628(지식 13-14)에서 0.76712(로봇 21-22) 사이의 효율성을 보여, 상대적으로 비효율적으로 자원을 활용하고 있음을 시사한다.

순수기술효율성을 나타내는 PTE(BCC) 점수 또한 연구 13-14, 바이오 13-14, 금속 15-17, 지식 15-17, 로봇 18-20, 바이오 21-22 산업군에서 1.000으로 나타나, 이들 산업군은 규모의 영향을 배제한 상태에서도 효율적으로 운영되고 있음을 보여준다. 다른 산업군들은 0.38052(지식 13-14)에서 0.90053(로봇 21-22) 사이의 효율성을 보

여주며, 일부 산업군에서는 순수기술효율성의 개선이 필요한 것으로 보인다.

규모효율성(SE)은 CCR 효율성 점수와 BCC 효율성 점수의 비율로 계산되며, 금속 15-17, 로봇 15-17 등 일부 산업군에서는 1.000으로 나타나, 최적 규모에서 운영되고 있음을 시사한다. 반면에 바이오 15-17(0.83744), 로봇 21-22(0.85186) 등은 규모의 효율성을 충분히 발휘하지 못하고 있는 것으로 나타났다.

규모수익(RTS) 분석 결과, 연구 13-14, 바이오 13-14, 금속 15-17, 지식 15-17, 로봇 18-20, 바이오 21-22는 고정규모수익(CRS)을 나타내며, 이들 산업군은 규모의 경제를 충분히 발휘하고 있음을 의미한다. 지식 13-14, 광학 13-14, 무선 15-17 등 여러 산업군에서는 증가규모수익(IRS)이 나타나, 자원 투입을 증가시킴으로써 효율성을 더욱 개선할 수 있는 여지가 있음을 시사한다. 바이오 15-17, 바이오 18-20는 감소규모수익(DRS)을 보이며, 이들 산업군은 규모의 축소가 효율성 개선에 도움이 될 수 있음을 나타낸다.

<표 8> 주력산업 기간별 기술효율성(TE)

| 연도 | 2013~2014 | 2015~2017 | 2018~2020 | 2021~2022 |
|------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|
| 산업 | 금형, 지식, 연구, 광학, 바이오 | 무선, 로봇, 바이오, 금속, 지식 | 무선, 로봇, 바이오, | 무선, 로봇, 바이오, |
| 기술효율성(TE) | 0.70963 | 0.70317 | 0.68599 | 0.76579 |
| 개선 가능한 효율성 | 0.29037 | 0.29683 | 0.31401 | 0.23421 |

<표 8>은 주력산업 해당기간의 기술효율성을 나타낸 표이다. '13~14년간의 5개 주력산업(금형, 지식, 연구, 광학, 바이오)의 평균 기술효율성은 70.963%으로 29.037% 효율성 개선이 가능했던 것으로 분석되었다. '15~17년간의 5개 주력산업(무선, 로봇, 바이오, 금속, 지식)의 기술 효율성은 70.317%으로 29.863%효율성 개선이 가능했던 것으로 분석되었다. '18~20년간의 3개 주력산업(무선, 로봇, 바이오)의 기술효율성은 68.599%으로 31.401%효율성 개선이 가능했던 것으로 분석되었다. '21~22년간의 3개 주력산업(무선, 로봇, 바이오)의 기술효율성은 76.579%으로 23.421%효율성 개선이 가능했던 것으로 분석되었다.

종합적으로 DEA 분석 결과, 일부 산업군은 자원을 효율적으로 활용하며 최적 규모에서 운영되고 있지만, 그

외의 산업군은 자원의 투입이나 규모의 조정이 필요하였던 것으로 나타났다.

5.4 Malmquist 생산성지수 분석 결과

Malmquist 생산성지수(MPD)는 시간에 따른 생산성의 변화를 측정하는 지표로, 기술적 효율성 변화(TEC)와 기술 변화(TC)를 곱하여 계산됩니다. 이 지수는 특정 기간 동안의 생산성 변화를 이해하는 데 중요한 역할을 합니다. Malmquist 지수의 구성요소로는 기술적 효율성 변화(TEC), 기술 변화(TC), 기술적 순효율성 변화(PTEC), 그리고 규모 효율성 변화(SEC)가 있으며[20][27], 대전지역 주력산업에 대한 Malmquist 생산성지수에 대하여 <표 9>와 같이 분석되었다.

<표 9> Malmquist 생산성지수 및 구성요소 분석

| DMU명 | TEC (기술적 효율성 변화) | TC (기술의 변화) | PTEC (기술적 순효율성 변화) | SEC (규모 효율성 변화) | MPI (생산성 지수) |
|-----------|---------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|
| 금형 13-14 | 3.8170 | 0.4442 | 3.7074 | 1.0296 | 1.6955 |
| 지식 13-14 | 1.1783 | 0.2273 | 0.5241 | 2.2481 | 0.2678 |
| 연구 13-14 | - | - | 3.8570 | - | - |
| 광학 13-14 | 0.4174 | 0.5582 | 0.4209 | 0.9916 | 0.2330 |
| 바이오 13-14 | 4.1865 | 0.7269 | 4.1062 | 1.0196 | 3.0432 |
| 무선 15-17 | 2.7634 | 0.4286 | 1.6879 | 1.6372 | 1.1844 |
| 로봇 15-17 | 0.7784 | 0.3755 | 1.0000 | 0.7784 | 0.2923 |
| 바이오 15-17 | 1.5800 | 0.5319 | 1.6265 | 0.9714 | 0.8404 |
| 금속 15-17 | 1.0000 | 0.2275 | 1.0000 | 1.0000 | 0.2275 |
| 지식 15-17 | 1.3560 | 1.0558 | 1.3250 | 1.0234 | 1.4316 |
| 무선 18-20 | 3.0595 | 0.3025 | 2.2995 | 1.3305 | 0.9256 |
| 로봇 18-20 | 1.1683 | 0.6926 | 1.0496 | 1.1131 | 0.8091 |
| 바이오 18-20 | 0.9355 | 0.5192 | 0.9906 | 0.9444 | 0.4857 |
| 무선 21-22 | 1.3774 | 0.3677 | 1.1839 | 1.1635 | 0.5064 |
| 로봇 21-22 | 3.1096 | 0.2448 | 1.8313 | 1.6980 | 0.7612 |
| 바이오 21-22 | 5.1018 | 0.2735 | 4.1918 | 1.2171 | 1.3955 |

주 : 1. Malmquist 생산성지수 및 구성요소의 평균은 기하평균임
 2. Malmquist 생산성지수 = 기술적효율성변화 × 기술변화,
 규모효율성변화 = 기술적효율성변화 ÷ 기술적순효율성변화

기술적 효율성 변화(TEC)는 특정 산업이 주어진 자원을 활용하여 효율적으로 운영되는 정도가 시간에 따라

어떻게 변했는지를 나타낸다. 바이오 13-14의 TEC는 4.1865로 나타나, 이 기간 동안 바이오 산업의 기술적 효율성이 크게 향상되었음을 의미한다. 기술 변화(TC)는 기술의 전반적인 진보를 측정하며, 기술 프론티어가 시간에 따라 어떻게 이동했는지를 평가한다. 지식 15-17의 TC는 1.0558로, 이 기간 동안 기술적 진보가 있었다는 것을 나타낸다. 기술적 순효율성 변화(PTEC)는 순수하게 기술적 효율성 측면에서의 변화를 나타내며, 규모의 영향을 배제한 효율성 변화를 의미한다. 바이오 13-14의 PTEC는 4.1062로 나타나, 규모와 관계없이 기술적 효율성이 크게 향상되었음을 보여준다. 규모 효율성 변화(SEC)는 규모의 변동이 효율성에 미친 영향을 평가한다. 이는 TEC를 PTEC으로 나누어 계산되며, 규모가 생산성에 어떻게 영향을 미쳤는지를 보여준다. 지식 13-14의 SEC는 2.2481로 나타나, 규모의 변화가 이 기간 동안 효율성에 긍정적인 영향을 미쳤음을 나타낸다.

Malmquist 생산성지수(MPI)는 TEC와 TC의 곱으로 계산되며, 전체적인 생산성 변화를 나타낸다. 바이오 13-14의 MPI는 3.0432로, 이 기간 동안 생산성이 크게 증가했음을 의미한다. 반면, 지식 13-14의 MPI는 0.2678로 나타나, 이 기간 동안 생산성이 감소했음을 나타낸다.

Malmquist 지수 분석 결과, 일부 산업군은 기술적 효율성과 기술적 진보의 향상으로 인해 생산성이 크게 증가한 반면, 그외의 산업군은 생산성의 저하를 겪은 것으로 나타났다. 특히, 기술적 효율성의 변화와 기술적 진보가 생산성 향상에 중요한 역할을 하는 것으로 분석되었다.

6. 결론

본 연구는 대전광역시 주력산업의 연구개발(R&D) 효율성을 종합적으로 평가하고, 이를 통해 지역산업의 경쟁력 강화를 위한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 수행되었다. 연구에서는 자료포락분석(DEA)과 Malmquist 생산성지수(MPI) 분석을 통해 각 산업군의 효율성 및 생산성 변화를 다각도로 분석하였다.

DEA 분석 결과, 대전광역시의 주력산업 간에 효율성의 큰 차이가 존재함을 확인할 수 있었다. 연구 13-14, 바이오 13-14, 금속 15-17 등 일부 산업군은 CCR(고정규모 수익) 및 BCC(가변규모수익) 효율성 점수에서 모두 1.000을 기록하며, 자원 활용의 최적화를 이루고 있었다.

이들 산업군은 자원을 매우 효율적으로 활용하여 산출을 극대화하고 있으며, 이는 해당 산업군이 대전광역시의 경제 성장과 기술 혁신을 선도하는 데 중요한 역할을 하고 있음을 시사한다. 반면, 지식 13-14, 무선 15-17 등 일부 산업군은 효율성 점수가 상대적으로 낮아 자원의 활용 방식이나 운영 전략에 개선이 필요함을 시사한다.

규모효율성(SE) 분석에서는 일부 산업군이 최적 규모에서 운영되지 않고 있음을 발견하였다. 예를 들어 바이오 15-17, 로봇 21-22 산업군은 규모효율성(SE)에서 낮은 점수를 기록하였으며, 이는 규모의 경제를 충분히 활용하지 못하고 있음을 의미한다. 이러한 산업군에서는 규모의 확대나 축소를 통해 효율성을 높일 수 있는 여지가 있으며, 이는 자원의 재배치나 운영 전략의 변화가 필요하다라는 것을 시사한다.

Malmquist 생산성지수(MPI) 분석을 통해 시간의 흐름에 따른 생산성 변화를 평가한 결과, 일부 산업군에서는 기술적 효율성과 기술 진보가 생산성 향상에 중요한 기여를 한 것으로 나타났다. 특히 바이오 13-14, 지식 15-17 산업군은 기술적 효율성의 개선과 기술적 진보가 동시에 이루어지면서 생산성의 큰 폭 향상을 이루어냈다. 이는 이들 산업군이 연구개발 투자에 효과적으로 대응하며, 혁신적인 성과를 창출해왔음을 보여준다. 반면, 광학 13-14, 로봇 15-17 등 일부 산업군에서는 생산성의 저하가 관찰되었으며, 이는 기술적 진보의 부족, 비효율적인 자원 활용, 또는 경영 전략의 한계로 인한 결과일 수 있다.

이러한 분석 결과는 대전광역시 주력산업의 연구개발 효율성을 개선하고, 지역 산업의 경쟁력을 강화하기 위해 다음과 같은 시사점을 제공한다.

첫째, 효율성이 높은 산업군에 대해서는 현재의 연구개발 전략을 유지하면서도 기술적 진보를 지속적으로 추구하는 것이 필요하다. 특히, 추가적인 R&D 투자와 더불어 기술 인프라 강화, 인력 양성 등을 통해 이들 산업군이 지속적으로 혁신을 이어갈 수 있도록 지원해야 한다.

둘째, 효율성이 낮은 산업군에 대해서는 자원의 재배치와 구조적 개선이 필요하다. 이들 산업군은 자원의 활용 방식이 비효율적이며, 이에 대한 개선이 필요하다. 자원의 효율적 배분과 더불어, 경영 전략의 재검토, 기술 혁신 촉진을 위한 정책적 지원이 필요하다.

셋째, 규모효율성 분석에서 나타난 바와 같이, 일부 산업군은 규모의 적정화를 통해 효율성을 높일 수 있다. 증

가규모수익(IRS)을 보이는 산업군에 대해서는 자원 투입을 통해 성과를 향상시킬 수 있으며, 감소규모수익(DRS)을 나타낸 산업군에 대해서는 규모 축소를 고려한 전략이 필요하다.

넷째, 기술 혁신은 생산성 향상의 핵심 요소로, 지역 산업의 지속 가능한 성장을 위해 반드시 필요하다. 기술 혁신을 촉진하기 위해 연구개발 투자 확대, 기술 인프라 구축, 산학연 협력 강화 등의 정책이 필요하며, 이를 통해 대전광역시가 기술 중심의 경쟁력을 지속적으로 강화할 수 있을 것이다.

다섯째, 대전광역시 주력산업의 특성에 맞춘 차별화된 정책 대응이 필요하다. 효율성이 높은 산업군은 글로벌 시장에서의 경쟁력 강화를, 효율성이 낮은 산업군은 구조적 개선과 기술 혁신을 목표로 한 맞춤형 정책이 필요하다.

마지막으로, 이러한 정책의 효과를 지속적으로 모니터링하고 피드백을 통해 정책을 조정하는 것이 필요하다. 효율성 평가와 생산성 변화에 대한 지속적인 모니터링을 통해, 정책의 효과를 실시간으로 평가하고 필요한 경우 신속하게 대응할 수 있는 체계를 구축해야 한다.

본 연구의 한계는 시계열 측면에서 상호 비교대상인 DMU의 개수가 한계가 있어 각 연도에 해당되는 산업간의 깊이 있는 분석은 어렵다는 점이다. 이를 극복하기 위해 산업을 세부적으로 구분하는(표준산업분류코드 또는 기업레벨) 분석이 필요하다.

참고문헌

- [1] 정주원, 이준석, 이학연. (2021). 지역경제 성장요인과 정책적 함의: 광역지방자치단체를 중심으로. 한국행정연구, 30(2), 209-241.
- [2] 안소희. (2024). 2023년 지역 R&D 실태조사. 한국과학기술기획평가원, 24-25.
- [3] 이동욱. (2015). 정부 R&D 투자와 기업 혁신활동 간의 상관관계 분석 연구, 19-23.
- [4] 김선배 (2001). 지역혁신체제 구축을 위한 산업정책 모형. 지역연구, 17(2), 79-97.
- [5] 이수창, 이환범. (2017). 지역경제 성장에 관한 영향요인 분석. 한국행정논집, 29(2), 231-251, 10.21888/KPAQ.2017.6.29.2.231
- [6] 김경근, 정선영, 홍성호. (2014). 중소기업 R&D 활동에서 외부조달 재원의 효과에 대한 실증분석과 효율성 제고방안: 대전·충남지역을 중심으로. [BOK] 한국은행 지역본부 공동연구보고서 모음집, 4(1), 161-201.
- [7] 김보람, 김대철. (2017). DEA 모형을 활용한 혁신형 중소기업과 일반 중소기업의 효율성 평가에 관한 연구. 경영교육연구, 32(2), 339-358.
- [8] 송희영, 최원석. (2011). Malmquist Productivity Index 기법을 활용한 한국 서비스산업의 생산성 변화 분석. 무역학회지, 36(4), 21-44.
- [9] 이병철. (2008). 우리나라 광역시·도별 특허성과를 통한 연구개발 효율성과 생산성 분석. 지식재산연구, 3(2), 99-121, 10.34122/jip.2008.12.3.2.99
- [10] 권선희, 조윤기. (2019). 중국 하이테크산업의 R&D투자 효율성 및 생산성 분석. 유라시아연구, 16(3), 81-100.
- [11] 정민수, 이영호, 유제성, 김의정. (2024). 지역경제 성장요인 분석과 거점도시 중심 균형발전. [BOK] 이슈노트 [제2024-15호], 3-28.
- [12] 한국개발연구원. (2006) 지역전략산업진흥사업(4+9사업) 심층평가. 공공투자관리센터 연구보고서, 3-22.
- [13] 박정희, 문중범. (2010). DEA 를 이용한 지역산업기술개발사업의 효율성 분석. 산업경제연구, 23(4), 2047-2068.
- [14] 국가기록원. <https://www.archives.go.kr/next/newsearch/listSubjectDescription.do?id=00242&pageFlag=&sitePage>
- [15] 균형발전종합시스템. <https://www.nabis.go.kr/termsDetailView.do?menucd=189&gbrnCode=551&eventNo=40>
- [16] 송우경. (2018). 국가균형발전특별법의 변천과 발전방향. 이슈페이퍼, 1-88.
- [17] 중소벤처기업부. 보도자료(2017.10.20.) 14개 시·도 지역주력산업 개편방안 확정 <https://www.mss.go.kr/site/smba/ex/bbs/View.do?cbIdx=86&bcIdx=1003641&parentSeq=1003641>
- [18] 지방시대위원회. <https://www.balance.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=11&boardNo=9245&searchCategory=&page=4&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=41>
- [19] 전성만, 정현민. (2023). 국가균형발전정책의 성과와 한계에 관한 연구. 한국지방행정학보, 20(3), 57-83.
- [20] 이윤, 안영호. (2011). DEA와 Malmquist 생산성지수를 이용한 한국의 주요 국가산업단지 운영 효율성 분

- 석. 한국지역개발학회지, 23(5), 95-117.
- [21] 고길근. (2017). 효율성 분석 이론-자료포락분석과 확률변경분석, 문우사.
- [22] 이철행. (2020). 연구개발투자의 효율성 분석 연구-국내 하이테크산업 사례 분석. 과학기술정책, 3(2), 187-209.
- [23] 이정동, 오동현. (2012). 효율성 분석 이론. (주) 지필 미디어, 81-102.
- [24] 박병상, 이용균, 김윤신. (2009). DEA 를 이용한 종합병원의 효율성 평가. 한국콘텐츠학회논문지, 9(4), 299-312.
- [25] 송건섭. (2015). 지방상수도 공기업의 경영성과 분석: DEA-Malmquist 지수 이용: DEA-Malmquist 지수 이용. 한국정부학회 학술발표논문집, 143-162.
- [26] 이형석, 서형준. (2020). 17 개 광역자치단체의 R&D 투자 효율성 분석. 지식재산연구, 15(2), 253-280.
- [27] 한하늘. (2013). 인천광역시 연구개발 생산성 추세변화 비교분석-특허성과를 중심으로. 인천연구, (7), 141-175.
- [28] 조운기, 권선희. (2019). 중국 하이테크산업의 R&D 투자 효율성 및 생산성 분석. 유라시아연구, 16(3), 81-100.
- [29] 우정원. (2019). DEA 를 이용한 청정에너지기술 R&D 효율성 분석: 신재생에너지기술 R&D 과제를 대상으로. 기술혁신학회지, 22(4), 690-708.
- [30] 김현정. (2019). 에너지 공기업 연구개발 (R&D) 투자의 효율성 측정과 제고 방안. 공공사회연구, 9(4), 162-182.
- [31] 조남권, 김규환, 이석진. (2018). DEA 를 통한 중소·중견기업의 R&D 효율성 분석. 지식재산연구, 13(2), 207-236.
- [32] 조정래, 김태윤. (2017). 공기업 주관 R&D 효율성의 특성 분석: 국가에너지기술개발사업의 연구 성과를 중심으로: 국가에너지기술개발사업의 연구 성과를 중심으로. 규제연구, 26(2), 147-187.
- [33] 윤상흠, 박춘식, 하귀룡. (2017). 국내 제약기업의 기술혁신 효율성 분석에 관한 연구: 상장기업을 중심으로: 상장기업을 중심으로. 경영교육연구, 32(1), 25-46.
- [34] 이성희, 김태수, 이학연. (2015). DEA 윈도우 분석을 이용한 정부출연연구기관의 연구개발 사업화 동태적 효율성 분석. 경영과학, 32(4), 193-207.
- [35] 윤정목, 류태수, 황승준, 박근환. (2014). DEA 를 통한 산업단지내 강소기업의 효율성 평가 및 특성에 관한 연구: R&D 투자를 중심으로: R&D 투자를 중심으로. 대한경영학회지, 27(10), 1747-1765.
- [36] 이광배, 모수원. (2013). 우리나라 지역연구개발투자의 생산성과 동태적 효율성. 산업경제연구, 26(1), 333-345.
- [37] 박석중, 김경화, 정상기. (2010). 과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D 사업 효율성 분석에 관한 연구. 기술혁신학회지, 14(2), 205-222.
- [38] 방민석, 정혜진. (2011). 자료포락분석을 활용한 지방 R&D 사업의 효율성 분석. 지방행정연구, 25(4), 287-310.
- [39] 소순후. (2011). 비방사적 SBM 모형을 이용한 지역 전략산업 기술개발투자의 효율성 분석. 산업경제연구, 24(2), 1169-1188.
- [40] 박정희, 문중범. (2010). DEA 를 이용한 지역산업기술개발사업의 효율성 분석. 산업경제연구, 23(4), 2047-2068.
- [41] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.
- [42] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the royal statistical society: series A (General), 120(3), 253-281.
- [43] 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), 1078-1092.
- [44] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Zhu, J. (Eds.). (2011). Handbook on data envelopment analysis.
- [45] Chen, Y., Ali, A. I. (2004). DEA Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry. European journal of operational research, 159(1), 239-249.
- [46] Rayeni, M. M., Vardanyan, G., Saljooghi, F. H. (2010). The measurement of productivity growth in the academic departments using malmquist productivity index. Journal of Applied Sciences, 10(22), 2875-2880.
- [47] Färe, R., Grosskopf, S., Roos, P. (1998). Malmquist productivity indexes: a survey of theory and practice. In Index numbers: Essays in honour of

Sten Malmquist, 127-190. Dordrecht: Springer Netherlands.

- [48] Wang, E. C., 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), 260-273.
- [49] Sharma, S., Thomas, V. (2008). Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 76(3), 483-501.
- [50] Hashimoto, A., Haneda, S. (2008). Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. *Research policy*, 37(10), 1829-1836.
- [51] Wang, Y., Pan, J. F., Pei, R. M., Yi, B. W., Yang, G. L. (2020). Assessing the technological innovation efficiency of China's high-tech industries with a two-stage network DEA approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, 100810.

김 천 규 (Kim, Chun Kyu)



- 2017년 9월~현재: 충남대학교 신약 전문대학원 교수
- 2022년 10월~현재: 충남대학교 기술 실용화융합학과 주임교수
- 관심분야: 기술가치평가, 바이오가치평가, 기술사업화, 기술금융
- E-Mail: chunkyuk@cnu.ac.kr

임 병 화 (Lim, Byoung Hwa)



- 2005년 6월~현재: 대전테크노파크 지역산업육성실장
- 2023년 3월~현재: 충남대학교 기술 실용화융합학과 박사과정
- 관심분야: 지역산업, 투자효율성, 기술사업화, 상장(IPO), 산업클러스터
- E-Mail : haolim@djtp.or.kr

임 병 권 (Lim, Byoung Kwon)



- 2022년 10월~현재: 충남대학교 기술 실용화융합학과 교수
- 관심분야: 중소기업금융, 기술금융, 벤처캐피탈, 지역산업, 정책효과 분석
- E-Mail: bklim@cnu.ac.kr