經營科學
第32卷 第3號
2015年 9月, pp.37-54
http://dx.doi.org/10.7737/KMSR.2015.32.3.037

DEA를 활용한 국내 기업의 에너지효율성 분석

문하나 · 민대기†
이화여자대학교 경영학과

The Energy-efficiency Analysis of Companies in Korea Using DEA

Hana Moon · Daiki Min†
Ewha Womans University, School of Business

■ Abstract ■

This paper suggests energy efficiency which can be the foundation on corporate profit and effective energy management following by change of global climate and of energy-related regulations. Using comparable financial information and information related to energy use, an DEA (Data Envelopment Analysis) model has been used to identify energy efficiency with DMU (Decision Making Unit)s which are companies subjected to reduce greenhouse gas emission in 2009. Through this research, different from existing researches, environmental variables which can influence on energy efficiency are identified. The results show as follows. First, most of companies follow IRS, which means scale of economy exists among units so that they have more opportunity to increase efficiency by increasing scale of inputs. Second, this research identified that depending on the difference of environmental characters such as the emission structure and the size of companies, energy efficiency of the companies turns out differently.

Keywords : Data Evelopment Analysis(DEA), Energy Efficiency, Environmental Variables

논문접수일 : 2015년 02월 02일　　논문게재확정일 : 2015년 07월 20일
논문수정일 : 2015년 06월 10일
† 교신저자, dmin@ewha.ac.kr

1. 서 론

지속적인 에너지사용과 탄소배출은 기후변화와 온난화 문제와 같이 지구촌에 심각한 문제를 야기하고 있다. 세계 각국은 온실가스 배출과 함께 에너지 사용량의 지속적인 증가에 따른 에너지 효율성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 고유가에 따라 천연자원을 보존하고 대체 에너지 또는 신재생 에너지를 보존하면서 지속 가능한 개발 및 경영을 추진하고 있는 추세이다. 이때, 온실가스 배출을 야기하는 가장 두드러진 요소로 경제적 활동 수준에 따른 석유 및 석탄과 같은 에너지원의 사용량이 제시되면서, 에너지 사용량과 온실가스 배출량의 감소를 위한 국가적인 에너지효율성 연구가 이루어지고 있다[29].

국내의 경우 에너지 해외 의존도가 97%로 매우 높고, 자원이 부족한 국가임에도 불구하고 에너지 소비량이 세계 10위 안에 들 정도로 석유 수입에 막대한 자금이 투입되고 있다. 또한, 온실가스 배출 면에서 세계 7위로 향후 온실가스 감축 의무대상국으로 편입될 전망이며, 이에 맞춰 정부는 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 환경훼손을 줄이면서 에너지 자립을 동시에 이루고자 하는 「저탄소 녹색성장」이라는 국가 비전을 제시하였고, 2020년까지 국가 온실가스 배출량을 배출전망치(Business As Usual : BAU) 대비 30% 감축할 것임을 발표하였다[1]. 이와 같은 온실가스 · 에너지 감축량의 목적에 따라 에너지효율성을 높이는 것이 앞으로의 에너지 정책에 있어서 필요한 부분으로 주목되고 있고, 2015년 본격적인 온실가스 배출권거래제를 시작으로 정부차원의 규제가 한 층 더 심화될 것으로 보인다.

에너지 사용량과 온실가스배출 감소에 대한 관심이 높아지면서 기업의 관리자와 경영자에게 이 두 요소는 경영의사결정 시에 기업생산성과 함께 고려해야하는 중요한 부분이 되었다. 기존에는 단순히 환경에 부정적인 영향을 줄이기 위한 환경성과에만 초점이 맞추어졌다면[17, 36], 최근에는 적은양의 에너지로 기업의 생산성을 높이면서 동시에 환경훼손을 야기할 수 있는 요소를 최소한으로 하여 환경비용을 줄일 수 있는 에너지효율성에 대한 연구들이 이루어지고 있다[13, 31]. 이처럼 에너지에 대한 꾸준한 수요증가에 맞추어 효율적인 에너지 사용 관리가 필요한 시점에서 에너지 절약과 온실가스 감축은 상호 밀접한 관련이 있다. 결국 기업들은 앞으로 양자를 별도로 관리하는 것이 아닌 기업 구조 및 활동에 맞춘 에너지효율성을 전략적인 면에서 함께 고려해야 할 것이다.

본 연구에서는 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; DEA)을 이용하여 국내 에너지다소비 기업들로 온실가스 · 에너지 목표관리제 대상인 기업들의 에너지효율성을 측정하되, 개별 기업의 효율성 개선보다는 전반적으로 효율성에 영향을 줄 수 있는 환경요인을 확인하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 우선 에너지효율성을 정의하고, DEA 분석을 통하여 기업 사이의 상대적인 에너지효율성을 측정한다. 또한, 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 환경요인들을 선별하고 선별된 요인들에 따른 효율성 차이를 확인함으로써 에너지효율성을 개선하기 위한 시사점을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장에서는 연구의 배경과 목적을 제시하고, 제 2장은 문헌연구를 통해 에너지효율성 평가를 위한 DEA 분석 방법론의 적용연구를 살펴보았다. 제 3장은 에너지효율성 평가를 위한 연구방법 및 설계과정을 설명하였다. 제 4장에서는 에너지효율성 결과에 맞추어 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 기업의 환경적 요인을 분석하였으며, 마지막으로 제 5장에서는 본 연구를 통해 도출된 결론과 연구의 한계점을 제시하였다.

2. 선행 연구

2.1 에너지효율성

에너지효율성과 관련한 연구는 1980년대 초반부터 이루어져 왔으나, 시대적인 상황을 견주어 보았

을 때 오일쇼크로 인하여 환경유해적인 영향력을 고려하기 보다는, 특정 연료 사용절감과 동시에 생산성만을 향상시키기 위한 방법으로 단일 장치, 기계 또는 시스템의 에너지효율성에 초점을 맞추었다[9, 11]. 1990년대에 들어서면서 점차 환경보호에 대한 인식이 높아졌고, 환경유해적인 요소들을 줄이기 위한 정부의 개입이 시작됨에 따라 정부의 새로운 정책에 맞추어 새로운 기술을 도입함으로써 발생하는 비용에 대한 부담과 시장실패를 줄이기 위한 방편으로 에너지효율성이 다루어졌다[21, 27]. 최근 에너지효율성에 대한 연구는 산업 및 국가별 특성과 함께[13, 31], 환경비용을 줄이면서 기업이 원하는 경제적인 산출물을 최대한 높이기 위한 연구가 이루어지고 있다[32, 33].

에너지효율성에 대한 정의는 다양하게 존재한다. 일반적으로 에너지효율성은 “에너지 투입에 대한 에너지 서비스의 비율”로 정의되며[35], 유럽의 온실가스 배출권 거래제를 관련 기관인 「Directive 2006/32/EC of the European Council and Paliament」는 에너지효율성을 “성과 또는 서비스, 제품, 에너지와 같은 산출요소와 에너지 투입요소 사이의 비율”이라고 정의하고 있다[39]. 기업의 에너지효율성과 관련하여 Önüt and Soner[28]는 터키의 철강제조 기업들의 에너지효율성을 비교 분석한 연구에서 기업의 이익을 최대화시키며 경쟁적인 위치로 발전시키기 위한 목적에서 에너지경영의 중요성을 강조하면서, 에너지효율성을 기업이 이전과 같은 수준의 생산을 유지하면서 적은 에너지를 사용하는 것으로 정의하였다. Zhou et al.[38]은 DEA를 이용한 기업의 에너지효율성 평가에서 에너지효율성을 에너지 투입과 성과, 서비스, 생산품 또는 에너지산출 사이의 비율로 정의하였다. 앞의 두 연구가 투입지향적 관점에서 에너지효율성을 정의했다면, Bunse et al.[12]은 에너지 투입 대비 산출되는 에너지 서비스의 비율, 즉 구입한 모든 에너지를 최대한의 이윤으로 끌어올리고자 하는 산출지향적인 정의를 제시하였다.

국내에서도 온실가스 에너지 감축과 배출권거래제가 시행됨에 따라 기업 내 에너지 절약과 연계한 효율성 관리에 관심이 많은 실정이다. 하지만 아직까지는 환경 친화적인 측면을 강조한 환경효율성(Eco-Efficiency)에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 환경효율성의 경우 산출변수를 환경부하로 나눈 값을 사용하거나[2], 경제적 가치와 환경적 영향을 주는 변수들을 투입과 산출 값으로 사용하고 있다[1]. 지금까지의 국내연구들이 신재생에너지와 연료전지 등 특정 에너지를 사용하는 산업 군별로 환경 개선 목적의 환경효율성에 초점을 맞추어 진행하였다면, 본 연구에서는 기업의 입장에서 환경 성과와 함께 경제적인 목표달성을 위한 에너지효율성을 고려하고자 한다.

2.2 DEA를 이용한 에너지효율성 평가

DEA 모형은 의사결정단위들(Decision Making Units : DMU)간의 투입요소와 산출요소를 상대적으로 비교, 측정하는 방법으로, DEA 모형을 적용한 에너지효율성 평가는 에너지 및 환경연구 분야에서 다양하게 이루어져 왔다. 국내에서는 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서 고려하는 에너지효율성의 목적과 달리 환경 친화적 기업운영을 위한 에코효율성 및 탄소효율성을 고려하거나[1, 7], 기업보다 국가 및 지역별 에너지효율성 비교를 목적으로 하고 있다[6]. Wang et al.[37]은 DEA를 활용하여 중국의 지역별 에너지 및 환경효율성을 비교 분석하였는데, 에너지효율성의 시계열 분석을 함께 제시하였다. Hu and Wang[20] 또한 중국의 지역별 에너지효율성을 비교함에 있어 연도별 효율성 변화를 분석하였는데, 에너지효율성은 경제적 성장과 함께 향상됨을 확인하였다.

국가와 지역별 비교 연구와 함께 산업별 특성을 고려한 DEA 활용한 연구 중, Seiford and Zhu[30]는 미국 제지공장의 효율성 검증을 위하여 DEA 모형을 활용하였는데, 소망재 산출을 늘리는 동시에 비소망재 산출을 감소하기 위한 방안을 고려하였다. 이 연구에서는 생산과정에서 발생하는 화학

적 요소를 산출값으로 포함하여 효율성을 측정하고, 효율성을 향상시키기 위해서는 투입요소를 적정 수준으로 증가하는 것이 필요하다고 하였다. 농업에서는 기업 운영구조와 함께 식물 재배에 필요한 발열(Heating) 기술의 활용에 따라서 효율성 차이가 있음을 확인하였으며[22], Önüt and Soner[28]는 터키의 20개 철강제조업기업을 대상으로 에너지효율성을 측정한 결과, LPG를 많이 사용하는 기업일수록 에너지효율성이 낮은 결과를 보여주면서, 에너지소비당 생산률을 높이기 위해서는 기업의 구조적 특성에 알맞은 에너지 종류를 파악하는 것이 필요함을 강조하였다.

DEA의 후속 분석으로, 개별 DMU의 효율성을 개선하기 위한 방법으로 벤치마킹 대상을 선정하고 투입 또는 산출요소의 개선수준을 확인하는 경우도 있으나[1, 8], McDonald[26]는 효율성 분석 후 효율성에 영향을 주는 요인을 연구하는 목적으로 회귀분석을 두 번째 단계에서 사용함으로써 특정 회귀분석의 적절성을 비교분석하였고, Chilinerian[14]는 병원의사들의 효율성을 DEA를 통해 측정하고 결과에 영향을 미치는 의사의 주요 결정자격요소를 토빗회귀분석을 통해 추론하였다. Latruffe et al.[22]의 경우 가축농장과 작물농장들의 효율성을 SFA (Stochastic Frontier Analysis)와 DEA로 각각 분석 및 비교 한 후 비효율성에 영향을 주는 요소를 회귀분석을 통해 제시하였다.

본 연구는 에너지효율성에 대한 공통적 환경효과를 확인해야 하므로 특정 산업군으로 구분지어 분석하기보다는 다양한 산업 군들을 대상으로 하였다. 그리고 규모효율성을 통한 관측치 사이의 차이를 확인하기 위해 방사형의 DEA 모형을 적용하고, DEA 분석 후 개별 기업의 효율성 개선수준 보다는 추가적인 통계분석을 통해 전반적 효율성에 영향을 미칠 수 있는 환경요인을 확인하고자 한다.

2.3 효율성 평가를 위한 투입 및 산출 요소

기존 연구에서는 환경효율성을 측정하기 위하여 매출액을 환경부하로 나눈 값을 사용하거나[2], 생산품이나 서비스의 경제적 산출 가치를 환경영향 변수로 나눈 값을 이용하였다. 환경영향 변수, 즉 투입변수로는 온실가스 배출량, 자원, 에너지, 물, 폐기물, 발전원 등을 사용하였고, 산출변수로는 경제적 가치를 내포하는 생산량, 매출액, 생산성, 연간 ROI 등을 사용하였다[1]. 에너지효율성을 평가한 연구에서는 노동력(종업원 수)과 함께 투자금 또는 자본금과 같이 기업규모를 반영하는 요소를 에너지 사용량과 함께 투입변수로 사용하였고, 산출변수는 대표적으로 GDP(국가별 비교의 경우), 판매액, 고객 수, 매출액, 생산량, 비소망재 등이 사용되었다[19, 22, 30].

노동력 및 자본금 등과 같은 비에너지 자원(non-energy resource)을 통제변수로 사용할지 아니면 투입요소로 구성할 것인가에 대한 논의가 있으나 Wang et al.[37]은 투입요소가 에너지 자원(energy resource)과 비에너지 자원으로 구성된 총요소 효율성 (total factor efficiency)로 에너지 효율성을 구성하는 것이 적절함을 제시하였다. 관련하여 다수의 연구가 에너지 효율성을 측정하기 위하여 에너지/비에너지 자원을 함께 고려하고 있다 <표 1>.

투입요소와 산출요소를 선정함에 있어 Dyson et al.[16]은 투입변수 개수를 m, 산출변수 개수를 n이라고 할 때 DMU의 수가 $2 \times m \times n$을 넘는 것이 바람직하다고 하였다. 또한 산출요소와 투입요소 사이의 상관관계 분석을 통하여 통계적 유의성이 높은 투입요소를 활용하여 효율성 지표를 구성하는 것이 필요하다[5, 6].

3. DEA 모형 및 효율성 평가

DEA 모형은 접근방법에 따라 투입지향적(Input-Oriented) 모형과 산출지향적(Output-Oriented) 모형으로 구분되는데, 투입지향적 모형은 산출 값을 기준으로 최소한으로 줄이고자 하는 투입 값의 정도에 따라 효율성이 결정되는 반면, 산출지향적

〈표 1〉 효율성 평가를 위한 투입 및 산출 요소에 대한 선행연구

참고문헌	투입요소		산출요소	
	에너지 자원	비에너지 자원	소망재	비소망재
Seiford and Zhu [30]	섬유(Fiber) 에너지 사용량	자본금(Capital) 노동력(Labour)	Paper	생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand) 부유물질총량(total suspended solids) 미립자(particulates) 황산화물(Sulfur Oxides)
Lansink and Bezlepkin[22]	에너지 사용량 원재료(Materials) 기계(Machinery)	서비스(Service) 구조(Structure) 설비(Installation) 노동력(Labour)	Vegetable Fruits Potplants Flowers	CO_2 Emission
Hu and Wang [20]	에너지 사용량	자본금(Capital) 노동력(Labour)	국내 총생산 (GDP)	-
Li et al.[25]	에너지 사용량	자본금(Capital) 노동력(Labour)	국내 총생산 (GDP)	폐기물(산업폐수, 가스와 고체 폐기물)
Wang et al.[37]	에너지 사용량	자본금(Capital) 노동력(Labour)	국내 총 생산 (GDP)	CO_2 Emission SO_2 Emission
Goto et al.[19]	에너지 사용량	자본금(Capital) 노동력(Labour)	국내 지역별 매출(Gross Prefecture Products)	Carbon Emission SO_x Emission NO_x Emission Dust Emission

모형은 투입 값에 대비하여 최대화 시키고자 하는 산출 값에 따라 효율성이 결정된다. 본 연구에서는 환경비용과 에너지 비용을 동시에 투입요소로 고려하고, 이를 개선하기 위한 에너지효율성을 기반으로 하고 있으므로 투입 지향적 모형을 구성하였다.

DEA 모형은 투입과 산출의 생산관계를 기준으로 산출이 투입수준과 정비례 관계인 CCR 모형(불변규모수익)과 규모의 경제가 반영이 되어 투입이 늘어나면 산출이 어느 정도 증가하다가 일정 수준에서 수렴되는 BCC 모형(가변규모수익)으로 구분된다. CCR 모형에 의하여 계산된 효율성을 기술효율성(Technical Efficiency)이라고 하며, 기술효율성은 경영상의 요인과 관련한 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency)와 규모요인에 의한 규모효율성(Scale Efficiency)으로 구분된다. 순수기술효율성은 기술효율성에서 투입요소의 규모요인을 제외한 순수기술적요인에 값으로 경영효율성을 나타낸다. 본 논문에서는 투입 지향적 모형을 구성하되 기술효율성(CCR 모형), 순수기술효율성(BCC 모형), 그리고 CCR과 BCC 모형 값의 차이를 비교하여 규모효율성(Scale efficiency : SE)을 함께 평가하였다. 규모효율성은 CCR과 BCC 모형에서 측정한 효율성 값 사이에 차이가 있을 때 DMU가 적정 규모에서 이탈하여 생산함으로써 발생하는 규모의 비효율성이 있다는 것을 반영한다.

본 연구에서 에너지효율성을 구조적·환경적 투입자원 및 비용 대비 기업이 최대한 높이고자 하는 산출물의 비율로 정의하였다. 여기서 구조적 투입은 기업 경영 환경을 나타내는 투입요소로 노동력, 자본금과 같이 비에너지 자원을 의미한다. 환경적 투입은 자연 환경에 부정적인 영향이 있으며 기업이 저감하고자 하는 요소인 온실가스배출량, 에너지 사용량 또는 에너지 비용 등 에너지 자원을 나타낸다. 산출물은 기업이 최대한 증가시키고자 하는 것으로 매출액 또는 생산량 등이 사용된다. 따라서 본 연구에서는 선행연구와 동일하게 에너지/비에너지 자원을 포괄하는 총요소 효율성을 구성하였다.

DEA 모형은 비통계적인 분석방법으로 변수들 간의 상관관계가 분석결과에 통계적 영향을 미친다고 할 수 없으나, 투입 혹은 산출 변수의 개수가

늘어나면 식별력에 문제가 있을 수 있고, 관측치의 개수도 한정 되어 있으므로 상관관계가 높은 변수들은 통합하여 전체 변수 개수를 줄이는 것이 바람직하다[5]. 즉, 온실가스 배출량, 에너지 사용량, 에너지사용비용, 연료사용량, 전기사용량, 종업원 수, 자본금, 그리고 매출액 등의 가용한 자료를 모두 변수로 활용할 수도 있으나, 변수들 간의 통계적 유의성을 고려 할 때, 변수 개수를 무한정 늘리기보다 상관관계가 높은 변수들을 하나로 통합하는 것이 정확한 효율성 값을 측정하는데 적절하다고 판단하였다. 따라서 본 논문에서는 변수들 사이의 상관분석을 수행하여 최종적으로 온실가스 배출량, 연간 총 에너지 사용량, 종업원 수, 자본금 등 4개 요소를 산출요소로 정의하고, 산출변수는 매출액 1개 요소만을 고려하였다. 본 논문에서는 투입지향적(input-oriented) 모델을 사용하여 고정된 산출값에 대하여 투입요소를 최대한으로 줄이는데 목적을 두고 있다. 따라서 온실가스 배출량과 같은 비소망재를 투입요소로 고려하여 비소망재에 대한 비용을 최소화하는 방향으로 반영하였으며, 향후 소망재와 비소망재를 함께 산출변수로 포함하는 모형으로 확장하도록 한다.

3.1 효율성 평가를 위한 자료

본 논문에서는 국제인증기관이며 국내 온실가스 제3자 검증기관인 업체로부터 제공받은 2009년 온실가스 에너지 명세서와 검증 체크리스트 등을 통해 약 100개의 온실가스 목표관리제 대상 기업들의 자료를 확보하였다. 에너지 명세서에서 누락된 일부 재무정보는 에프앤가이드(FnGuide)를 이용하여 확보하였다. 약 100개의 기업들 중에서 분석에 필요한 모든 정보를 포함하고 있는 업체로 63개 기업을 최종적으로 선별하였다.

Dyson et al.[16]은 투입변수 개수를 m, 산출변수 개수를 n이라고 할 때 관측치 즉 DMU의 개수가 $2\times m\times n$을 넘는 것이 바람직하다고 하였으며, 일부 연구자의 경우 최소 DMU 수를 $3\times m\times n$, $3\times(m+n)$, $2\times(m+n)$로 제시하였다. 본 연구에서 선정된 입력변수는 4개(m = 4)이고, 산출변수로는 1개(n = 1)이므로 최소 DMU 개수가 8개, 12개, 15개, 10개로 63개의 기업 수는 앞서 제시된 최소 DMU 조건을 모두 만족한다.

개별 기업별로 수집한 자료는 온실가스 배출량(이동연소, 고정연소, 공정배출, 폐기물배출, 간접배출 등), 에너지 사용량, 생산 제품, 생산량, 온실가스 배출관리 담당자 직급, 담당부서, 매출액, 자본금, 종업원 수, 온실가스 배출 경로 등을 포함한다. 63개의 조사대상 업체들은 에너지다소비 업체들로 90%가 제조업, 나머지 10% 가량이 서비스업에 해당이 되며, 지정업종으로는 비철금속, 석유화학, 철강, 자동차부품, 섬유, 제지목재, 기계자재, 반도체, 시멘트 제조업과 교통(운송) 서비스, 그리고 요업 등을 포함하고 있다. 본 연구에서는 에너지 효율성에 대한 산업별 차이를 확인하기 위하여 다양한 산업에 속한 기업들을 함께 고려하였다. 수집한 자료를 이용하여 본 논문에서 정의한 투입변수와 산출변수의 기술 통계값을 요약한 결과를 <표 2>과 <표 3>에 제시하였다.

〈표 2〉 효율성 평가를 위한 투입변수와 산출변수의 기술 통계치 요약

구 분	투입변수				산출변수
	온실가스 배출량 (tCO2e)	에너지 사용량 (TJ)	직원 수(명)	자본금 (백만 원)	매출액 (백만 원)
평균	63318.07	841.91	311.68	51047.66	183552.5
표준편차	66428.14	649.55	485.64	139969.4	338124.8
최대값	433563.3	2905.94	2410	931000	2337217
최소값	5054.13	96.8	20	240	6273

〈표 3〉 산업별 기술통계량(평균)

산업구분	관측치 개수	온실가스 배출량 (tCO2e)	에너지 사용량(TJ)	직원수(명)	자본금 (백만원)	매출액 (백만원)
광물요업	15	97158.77	683.2	16317.85	85.73	3478.14
전기전자	7	69806.35	1017.8	24309.71	760.86	55156.29
기계자동차	7	35469.44	582.27	13907.32	864.43	113307
석유화학	7	66955.57	1021.22	24391.31	225.44	25986.33
제지목재	14	64857.51	1237.85	29565.47	99.43	16506.36
철강금속	7	22469.27	377	9004.463	111.43	63826.86
서비스	4	31709	607.98	14521.35	693	268208.3

3.2 효율성 평가 결과

본 연구에서는 투입지향의 DEA 모형을 사용하여 에너지효율성을 측정하였다. 효율성 평가에 사용된 소프트웨어는 Banxia에서 제공하는 Frontier Analyst version 4이며, 분석 결과는 <표 4>에 제시하였다. 63개 기업의 효율성 평가 결과는 <부록>에 제시된 표를 참고하도록 한다.

기술효율성의 평균값은 약 29%로, 효율성이 100%보다 작은 비효율적인 기업은 효율적인 기업과 비교하여 평균적으로 약 71%의 비효율성이 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 산출물을 가정할 때 투입요소의 약 29%만이 효율적으로 활용되고 있음을 의미하는데, 국내 기업들의 에너지효율성이 매우 낮은 수준에 머무르고 있는 것을 알 수 있다. 규모요인을 제거한 순수기술효율성의 평균값은 약 53%로 확인되었는데, 이는 기술비효율성 71%(= 100%-29%) 중에서 상당 부분인 47%(= 100%-53%)가 규모요인보다는 관리상의 비효율성에 기인하고 있는 것을 의미한다. 결국, 국내 기업들의 상당수가 에너지효율성이 매우 낮은 수준에 머무르고 있으며, 이는 규모요인보다는 적절한 관리가 이루어지지 못함에 따라 발생하고 있다.

기술효율성과 순수기술효율성 값이 100%이면 해당 기업의 에너지효율성은 효율적이라고 판단되는데, 기술효율성을 기준으로는 9개의 업체가 에너지효율성을 달성하였다고 볼 수 있고, 규모의 경제에 대한 제약이 없는 순수기술효율성에서는 16개의 기업이 효율적인 것으로 확인되었다. 순수기술효율성에서 효율적 기업이지만 기술효율성에서 에너지효율성을 달성하지 못한(즉, 100%보다 작은 효율성) 기업은 경영상의 비효율성보다는 투입요소의 규모가 적절하지 않음으로써 비효율성이 발생한 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 에너지효율성 평가 결과

		기술효율성 (CCR 모형)	순수기술효율성 (BCC 모형)	규모효율성 SE(= CCR/BCC)
효율성 (%)	평균	28.57	53.21	0.5131
	표준편차	33.46	34.61	0.3200
	최소	1.28	10.95	0.0305
효율적인 기업 수(개)		9	16	9
규모의 경제 유형별 기업 수(개)		규모수익불변(CRS; Constant Returns to Scale) : 9		
		규모수익체증(IRS; Increasing Returns to Scale) : 54		
		규모수익체감(DRS; Decreasing Returns to Scale) : 1		

규모효율성을 기준으로 살펴보면 9개의 기업들이 기술효율성과 순수기술효율성이 일치하는 규모수익불변의 상태에 있음을 확인하였는데, 해당 기업들은 모든 투입요소를 동시에 증가시킬 때 산출량이 이에 비례하여 동일하게 증가하는 경우를 의미한다. 한 개의 기업을 제외한 모든 기업들은 규모수익체증 상태에 있음을 확인하였는데, 이는 규모의경제가 존재하는 것으로 산출요소를 증가시킴으로써 효율성 개선이 기대되는 것을 의미한다. 이를 투입기준으로 해석하면, 현재 대부분의 기업이 투입요소를 기준으로 살펴볼 때 적정규모를 초과하는 수준에 있음을 나타내고 있으므로, 투입규모를 적절하게 감소시킴으로써 효율성 제고 방안을 수립하는 것이 적절함을 시사한다.

4. 환경 요인의 영향 평가

DEA를 이용하여 개별 DMU의 효율성을 개선하기 위한 방법으로는 벤치마킹 대상을 선정하고 투입 또는 산출요소의 개선 수준을 확인하는 것이 가능하다. 하지만 앞서 제시한 바와 같이 본 연구는 개별 DMU의 효율성 개선 방안 보다는 전반적으로 효율성에 주는 환경요인을 확인하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 에너지효율성에 영향을 미칠 수 있는 기업 구조적 · 환경적 요인에 대한 선행연구를 살펴보고, 제 3장에서 수행한 DEA 효율성 분석 결과를 대상으로 Mann-Whitney 검정과 토빗 회귀분석을 통하여 환경 요인별 통계적 유의성을 분석하도록 한다[23, 26].

에너지효율성에 영향을 주는 환경적 요인으로는 기업규모, 매출, 에너지 사용량, 투자금, 주요 시장[15], 정책적 규약, 건설기준, 경영시스템인증, 사후관리 목적의 모니터링 시스템 등이 제시되었다[33]. 주요 시장이나 정책적 규약은 국가별로 상이하므로 이와 관련된 부분은 본 연구에서 제외한다. 스위스의 중소기업을 대상으로 에너지 프로그램 운영실태를 조사한 연구에서는 기업의 장기 전략이나 친환경 기업에 대한 청사진, 환경경영시스템 인증, 국제적인 경쟁력, 제 3자의 투자가 에너지효율성을 높이기 위해 고려해야 할 부분으로 강조하였다[34]. Cagno and Trianni[13]는 주조산업의 에너지효율성에 대한 실증 연구에서 에너지효율성에 영향을 미칠 수 있는 요인을 확인하기 위해 설문조사를 진행하였으며, 기업 규모, 산업, 공급망 복잡도, 기업의 혁신적 특성 등을 검토하였다.

기존 선행연구에서 제시한 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 환경 요인 중에서 공급망의 복잡도와 기업의 혁신적 특성 등 정의가 모호하거나 본 연구의 목적에서 벗어나는 요인을 제외하고, 기업규모, 매출, 에너지 사용량, 자본금, 환경경영인증, 산업특성 등을 본 연구에서 고려하였다.

환경경영인증은 기업에서 전사적으로 환경유해적인 요소를 줄이기 위한 목적으로 취득하고 있는 대표적인 국제표준 인증인 ISO 14000 환경경영인증(Environmental Management System; EMS)을 기준으로 검토하였다. 이는 선행연구에서 주요한 요인으로 고려하고 있는 동시에 환경유해적인 요소에 대한 전사적인 관리 체계가 온실가스 배출량 저감에 따른 에너지효율성 개선에 긍정적으로 활용될 수 있을 것이라는 가정에 근거하고 있다.

〈표 5〉 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 선행연구

요인	참고 문헌
기업 규모, 매출, 에너지 사용량, 투자액, 주요 시장	De Groot et al.[15]
표준(정책), 구조적 요소(기술), 운영적 요소(체계적 관리를 위한 에너지경영관련 인증취득), 유지보수 요소(모니터링 체계)	Sola and de Paula Xavier[32]
장기 전략, 친환경 기업의 청사진, 환경경영인증, 국제적 경쟁, 제 3자의 투자	Thollander et al.[34]
기업 규모, 산업분야, 공급망의 복잡도, 기업의 혁신적 특성	Cagno and Trianni[13]

앞서 문헌연구에서 제시한 바와 같이 산업별 에너지효율성 차이를 분석한 연구는 다수 존재하는데, 대부분의 선행연구가 DEA 분석결과 측정된 효율성을 산업별로 구분하여 통계적 유의성을 평가하였다. 본 논문에서는 단순히 산업 간 에너지효율성의 통계적 차이를 분석하는 것에 더하여 산업특성에 따른 온실가스 배출 유형의 차이를 검토하였다. 산업별로 생산 공정과 폐기물처리 과정에서 배출되는 온실가스, 즉 공정배출과 폐기물배출 규모가 산업별로 차이가 있을 수 있다는 가정을 수립하고, 공정배출과 폐기물배출량에 따른 에너지효율성 차이를 분석하였다. 여기서 공정배출이란 전기사용 또는 연로연소와 같이 직접적인 에너지 사용에 의한 온실가스 배출이 아닌, 시멘트 생산 및 석회생산, 탄산염의 기타 공정사용, 암모니아 생산, 질산 생산, 철강 생산 등 직접적인 에너지 사용과 관계없이 생산 공정에서 온실가스가 배출되는 것을 의미한다. 일반적으로 공정배출이 높은 대표적인 산업으로는 철강금속 및 시멘트 제조업, 석유화학, 요업 등을 들 수 있다.

4.1 Mann-Whitney and Kruskal-Wallis 검정 결과

DEA 모형의 장점은 투입과 산출 값 사이의 함수관계를 사전에 정의할 필요가 없으며, 비효율적인 부분의 개선 가능성 정도를 도출함으로써 벤치마킹해야 할 대상을 제시하면서 자원의 효율적인 배분이 가능하다는 것이다. 하지만 DEA를 활용하여 측정한 상대적 효율성 결과에 대한 정규성을 가정할 수 없으며, 이론적인 분포 또한 알려져 있지 않기 때문에 사후분석이 명확하지 않은 단점이 존재한다. 이와 같은 특성에 의하여 DEA를 활용한 연구에서는 DMU 집단성 효율차이를 검증하기 위한 방법으로 효율성의 분포를 F분포로 가정하여 분석하는 Banker의 검증방법과 분포에 대한 가정을 설정하지 않는 대표적인 비모수 검정법인 Kolmogorov-Smirnov 또는 Mann-Whitney 검정 등을 활용하고 있다[10]. 특히, 집단간 효율성 차이를 검정하는데 많이 사용되는 Mann-Whitney 검정은 정규성을 보장할 수 없는 효율성 자료의 통계적 유의성을 검정하는데 적합한 방법이다. 예를 들어, Lee et al.[24]는 DEA를 활용하여 국가 연구개발 과제의 성과를 평가하고, Kruskal-Wallis 검정과 Mann-Whitney 검정을 사용하여 제약요인에 따른 효율성 차이를 확인하였다. 이와 유사하게 DEA 기반의 가설 검정시 Mann-Whitney 검정의 적절성을 다른 모수적・비모수적 검정법들과 함께 제안한 경우도 있다.

본 논문에서는 기업의 에너지효율성에 영향을 줄 것으로 예상되는 환경요인인 환경경영인증 보유, (기업규모를 고려한) 중소기업 여부, 관리 담당자의 직급, 공정배출 및 폐기물처리에 의한 온실가스 배출 여부에 의한 집단 간의 에너지효율성 차이를 확인하기 위하여 Mann-Whitney 검정을 실시하였다. Kruskal-Wallis 검정은 세 개 이상 집단의 효율성 차이를 검정하는 방법으로 산업에 따라 에너지효율성에 차이가 있는지 확인하기 위한 목적으로 사용되었다. Kruskal-Wallis 검정에서 63개 기업은 광물・요업, 전기・전자, 기계・자동차, 석유화학, 제지목재, 서비스, 철강・금속 등의 7개 산업으로 구분하였다.

<표 6>와 <표 7>은 환경요인을 기준으로 구분된 집단 간의 에너지효율성 차이에 대한 통계적 검정 결과를 제시한다. Mann-Whitney 검정을 통해 기술효율성에서는 환경경영인증 유무와 중소기업 여부에 따라 두 집단 간 에너지효율성의 차이를 보였고, 규모효율성에서는 환경경영인증 유무 및 중소기업 여부 그리고 온실가스 배출량 중 공정배출의 유무에 따라 에너지효율성에 유의미한 차이가 있었다.

환경인증 보유가 에너지효율성 개선을 위한 관리 체계를 의미하지 않지만 환경인증을 통하여 온실가스 배출 저감을 위한 전사적 관리 체계가 존재하며 에너지 효율성에 긍정적 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 중소기업 여부는 기업 규모를 나타내는 환경요인으로 기업규모가 에너지효율에 영

〈표 6〉 Mann-Whitney 검정결과

		기술효율성		순수기술효율성		규모효율성	
		P-value	그룹별 평균	P-value	그룹별 평균	P-value	그룹별 평균
환경인증	유	0.0313**	39.28	0.2593	58.53	0.0487**	0.6121
	무		21.05		49.47		0.4435
직급차이	고	0.7291	29.85	0.8889	51.62	0.75	0.5239
	저		25.55		54.48		0.5044
중소기업	중소	0.0051***	17.21	0.8132	51.53	0.0002***	0.3509
	중견		38.9		54.74		0.6605
공정배출	유	0.2136	24.72	0.18	59.68	0.0591*	0.4182
	무		30.78		49.49		0.5676
폐기물처리	유	0.726	28.83	0.1257	44.97	0.3426	0.5618
	무		28.43		57.33		0.4887

주) ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 각각 유의함.

〈표 7〉 산업별 기술통계량

산업 구분	기업 수(개)	규모효율성(평균)
광물요업	15	0.2459
전기전자	7	0.8579
기계자동차	7	0.5886
석유화학	9	0.5159
제지목재	14	0.3832
서비스	4	0.6497
철강금속	7	0.8432
Chi-squared = 29.056		
P-value = 0.0001		

향을 미치며, 기업 규모가 클수록 에너지효율성이 높음을 확인하였다. 마지막으로 공정배출 유무에 따라 에너지효율성의 차이가 있다는 것은 산업 별 효율성 차이가 존재함을 나타내는 것이며, 이는 Kruskal-Wallis 검정을 통해 다시 한 번 산업 간의 에너지효율성 차이가 존재함을 확인하였다.

4.2 토빗 회귀분석(Tobit Regression) 결과

앞서 Kruskal-Wallis 검정과 Mann-Whitney 검정을 적용하여 에너지효율성에 영향을 미칠 수 있는 환경요인을 확인하였다. 이번 장에서는 환경요인을 기준으로 구분한 집단 간의 효율성 차이에 대한 검정에 더하여, 개별 환경요인과 에너지효율성 사이의 관계를 보다 상세하게 분석하기 위하여 토빗 회귀분석 (Tobit Regression)을 수행하였다.

DEA를 활용한 효율적인 관측치는 1의 값을 가질 것이고 그렇지 않을 경우 0에서 1사이의 값을 가질 것이므로 효율성 값의 분포는 항상 일정한 방향의 한계 값을 갖게 되고 이는 일반적인 회귀모형에서 가정하는 정규분포와 다르게 나타나게 되는 것이다. 따라서 회계계수가 불일치한 추정치를 가질 수 있는 최소자승법에 의한 회귀모형은 부적절하다[4]. DEA 모형에서 측정한 효율성이 0과 1사

이의 값으로 제한되고 회귀계수가 불일치 또는 편의 추정치가 되는 문제점을 보안해 줄 수 있는 토빗 회귀분석은 효율성의 사후 분석 방법으로 광범위하게 사용되고 있다[3, 22].

토빗 회귀 모형에서 효율성(기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성)을 종속변수로 설정하고 투입요소(온실가스 배출량, 에너지 사용량, 종업원 수, 자본금), 산출요소(매출액) 그리고 앞서 통계적 검정을 통하여 확인한 환경요인들(중소기업 여부, 환경경영인증 유무, 공정배출 유무)을 독립변수로 고려하였다. 회귀모형의 다중공선성 및 설명력 문제를 고려하여 우선 종속변수와 개별 독립변수들 사이의 상관관계 분석을 실시하여 최종 독립변수를 선정하였다.

<표 8>은 종속변수, 독립변수들 사이의 상관관계 분석결과로 도출한 상관계수와 통계적 유의성을 보여준다. <표 8>의 상관관계 분석결과를 기반으로 다른 변수들과 상관관계가 높거나 독립적이면서 동시에 효율성에 영향을 미치는 변수를 독립변수로 선정하였다. 종속변수(규모효율성)와 상관관계가 높은 변수는 에너지 사용량, 온실가스 배출량, 종업원 수, 자본금, 매출액, 중소기업여부 등을 확인할 수 있다. 하지만 에너지 사용량과 온실가스 배출량 사이의 상관관계가 매우 높으며, 내포하는 의미 또한 유사하므로 에너지 사용량을 독립변수로 선정하였다. 또한 종업원 수, 자본금, 매출액, 중소기업 여부 등은 기업규모를 나타내는 변수로써 모두 효율성에 높은 영향을 주지만 변수들 간의 상관관계 또한 매우 높게 존재하므로, 기업규모를 대표하는 중소기업 여부를 독립변수로 결정하였다. 폐기물 처리과정에서의 온실가스 배출 여부와 담당자의 직급은 다른 변수들과 유의미한 차이가 거의 없었으나, 효율성과 유의미한 관계가 없으므로 독립변수에서 제외하였다.

상관관계 분석을 통하여 최종적으로 에너지 사용량, 중소기업 여부, 환경경영인증 유무, 그리고 공

〈표 8〉 변수들 간의 상관관계 분석-상관계수

	규모 효율성	온실가스 배출량	에너지 사용량	종업원 수	자본금	매출액	중소기업 여부	인증취득 여부	공정배출 비율	폐기물 배출비율
규모 효율성	1.0000									
온실가스 배출량	-0.0159	1.0000								
에너지 사용량	0.1951**	0.6283***	1.0000							
종업원 수	0.5182***	-0.0870	0.1434	1.0000						
자본금	0.3554***	-0.0108	0.2002**	0.4752***	1.0000					
매출액	0.8351***	0.0036	0.2360***	0.5325***	0.4665***	1.0000				
중소기업 여부	-0.2806***	0.1188	-0.0061	-0.2345***	-0.3149***	-0.3154***	1.0000			
인증취득 여부	0.1444**	-0.0328	0.0164	0.1562**	0.1004**	0.1802**	-0.1091	1.0000		
공정배출 비율	-0.1987***	0.2565***	-0.0435	-0.1147***	-0.1859***	-0.2197***	0.1362***	-0.0573**	1.0000	
폐기물 배출비율	0.0789	0.1249	0.2458***	-0.0123	0.0865	0.0829	0.0164	-0.1137	0.5591	1.0000
직급	0.0236	0.0236	0.0000	-0.0399	-0.0399	0.0000	-0.0108	0.0415	-0.0067	0.5018

주) ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 각각 유의함.

정배출 비율을 독립변수로 선정하였다. 앞서 공정배출 유무가 효율성에 유의미한 여향을 미치는 것을 확인하였으나, 토빗 회귀분석에서는 산업별 특성을 나타내는 요소로써 산업효과를 통제하면서 다른 독립변수들의 영향을 확인하기 위한 목적으로 공정배출 비율을 사용하였다. 중소기업 여부와 환경경영인증 유무는 더미변수(Dummy Variable)로 설정하였다. 토빗 회귀분석에서 사용한 독립변수의 기술 통계치를 <표 9>에 제시하였다.

<표 10>은 토빗 회귀분석 결과 도출한 독립변수의 계수와 통계적 유의성 결과를 보여준다. 투입지향의 DEA 모델 효율성 값을 사용하였기 때문에, 독립변수의 (+)의 부호는 효율성 증가를 나타내고, (-)부호는 비효율성에 의한 효율성 감소를 나타낸다. 분석결과를 살펴보면, 우선 에너지사용량 부분에서는 규모효율성 모델을 제외하고 (-)의 부호로 나타났으며, 이는 에너지 사용량이 많아질수록 순수기술효율성에는 부정적인 영향을 주는 반면, 규모효율성에는 긍정적인 영향을 주는 것으로 분석되었다. 즉, 에너지 사용량이 많아질수록 개별 기업의 에너지효율성은 감소하며, 규모에 의한 영향이 증가함을 확인하였다.

중소기업여부의 경우, 모든 효율성 모형에서 (-)의 부호로 나타났으며, 기술효율성과 규모효율성모델에 대하여 유의미한 결과를 보여주었다. 즉, 중소기업 일수록 에너지효율성에 부정적인 영향을 미친다는 것을 나타내는데, 이는 기업규모가 작은 중소기업일수록 에너지효율성을 효과적으로 관리하지 못하고 있음을 의미한다.

환경경영인증 여부의 경우에는 모든 효율성모형들이 양의 부호를 갖고 있었고, 기술효율성과 규모효율성모형에서 유의미한 결과를 보여준다. 이는 환경경영인증을 기업이 갖고 있을 시에 효율성을 높일 수 있는 가능성이 높아질 수 있음을 명시한다. 환경경영인증이 에너지효율성을 목적으로 하고 있지는 않지만, 환경위해요소를 줄이는 전사적 관리가 에너지효율성 측면에서는 환경비용을 줄여주는 역할을 하므로 긍정적 연관성이 있다고 볼 수 있다.

공정배출비율은 총 온실가스 배출량 중에서 공정배출이 차지하는 비율로써, 이 변수는 순수기술효율성과 규모효율성에서 유의미한 결과를 보여주었

〈표 9〉 영향요인 독립변수의 기술 통계치 요약

	에너지사용량(TJ)	공정배출비율(%)	환경경영인증	중소기업
평균	841.91	10.87	유	중소기업
표준편차	644.37	24.14	26개	30개
최대값	2905.94	80.14	무	중견/대기업
최소값	96.8	0	37개	33개

〈표 10〉 토빗 회귀분석 결과

	기술효율성	순수기술효율성	규모효율성
에너지사용량	-0.0045	-0.02737***	0.000117**
중소기업 여부	-18.2186*	-6.89478	-0.26147***
환경경영인증 유무	16.8360*	7.229616	0.151082**
공정배출비율	-15.2017	43.24353*	-0.3729**
상수 항	37.8190	77.9375	0.5374
Pseudo R^2 값	0.0188	0.0328	0.4396

주) ***는 1% 수준, **는 5% 수준, *는 10% 수준에서 각각 유의함.

다. 규모효율성에서는 음(-)의 부호로 나타났으며, 순수기술효율성에서는 양(+)의 부호로 나타났다. 즉 공정배출비율이 규모의 경제에 대한 제약을 받게 되면 에너지효율성에 부정적인 영향을 주지만, 그렇지 않을 경우 긍정적인 영향을 미칠 것을 의미한다.

본 논문에서는 산업별 에너지효율성의 차이를 명시적으로 분석하기 위하여 공정배출비율 대신에 산업 구분을 명시적으로 더미 독립변수로 설정하여 토빗 회귀분석을 추가적으로 시행하였다. 공정배출비율 이외에 기타 독립변수들(환경경영인증, 중소기업, 에너지사용량)은 앞서 토빗 회귀 모형과 동일하게 사용하였다.

<표 11>은 산업효과를 고려한 토빗 회귀분석 결과의 계수와 p-value를 요약하고 있다. 에너지사용량은 유의미한 결과이지만 역시나 그 영향력이 여전히 미세하였고, 환경경영인증을 획득하는 것이 에너지효율성에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 유의미한 결과를 보여주었다. 중소기업 여부에서는 계수의 부호는 이전과 동일하지만 유의미한 결과를 보여주지 않았다. 산업 더미변수에 의한 에너지효율성의 영향은 모두 음(-)의 부호로 나타났으며, 효율성에서 가장 큰 손실을 볼 수 있는 산업으로는 광물・요업임을 확인하였다. 광물・요업은 에너지 사용량이 많고 공정배출비율이 높아 온실가스 배출량 또한 증가하는 특성을 갖는다. 이와 같은 산업 특성에 의하여 광물・요업 산업은 타 산업에 비하여 평균 효율성이 낮은 것을 확인할 수 있었고<표 6>, 효율성에 대한 손실을 감소시키기 위해서는 공정배출비율을 줄이기 위한 기술적인 노력과 지원이 필요함을 시사한다. <표 11>에서 제시한 토빗 회귀분석 결과 에너지효율성에 산업효과가 매우 유의미한 요인으로 작용하는 것을 확인할 수 있었으며, 이와 같은 산업별 차이를 설명하는데 있어서 공정배출비율이 효과적인 지표가 될 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내 에너지 다소비 업종이면서 온실가스・에너지 목표관리제 기업을 대상으로 에너지효율성을 평가하고, 에너지효율성에 영향을 미칠 수 있는 환경요인을 분석하였다. 분석 대상 기업들의 평균 효율성은 약 29%로 매우 낮은 수준이었으며, 비효율의 상당부분이 규모요인보다는 관리상의 비효율성에 기인하고 있음을 확인하였다. 또한 약 84%의 기업체가 규모수익체증형으로 현재

〈표 11〉 토빗 회귀분석 결과-산업 효과 분석

		관측개 수 : 63 Pseudo R^2값 : 0.9384
<종속변수 : 규모효율성>	계수	P-value
에너지 사용량	0.0002	0.000
환경경영인증 유무	0.1523	0.015
중소기업 여부	-0.0826	0.272
광물요업	-0.7165	0.000
전기전자	-0.2673	0.052
기계자동차	-0.4	0.003
석유화학	-0.5793	0.000
제지목재	-0.6966	0.000
서비스	-0.3951	0.009
상수 항	0.8415	0.000

투입규모가 적정 수준을 초과한 상태이며, 이는 에너지사용량, 온실가스 배출량, 종업원 수 등을 감소시킴으로써 에너지효율성을 향상시킬 수 있는 가능성을 보여주었다.

둘째, 에너지효율성에 대한 영향 요인을 결정하는데 있어서 분석한 결과 중소기업 여부, 에너지사용량, 산업공정배출 여부, 환경경영인증 유무에 따라 에너지효율성에서 유의미한 차이를 보였다. 이는 기업규모와 환경경영인증에 의한 에너지효율성의 차이를 분석한 선행연구와 일치하는 결과이다. 추가적인 토빗 회귀분석 결과 에너지 사용량과 환경경영인증은 에너지효율성 개선에 긍정적 요인으로 작용하지만 공정배출 비율과 중소기업여부는 에너지효율성에 부정적 영향을 미치는 요인임을 확인하였다. 즉 기업들이 내부의 경영시스템이나 환경을 바꾸지 않는 한 단순히 에너지 사용량을 줄이는 것만으로 효율성을 향상시키는 방안이 되지 않을 것임을 보여주는 것이고, 환경경영인증보유가 기업이 에너지효율성을 향상시키는데 도움을 주는 잠재적요소로 에너지와 관련된 경영인증보유를 권장하는 방안을 적극 추진할 필요가 있음을 나타낸다.

마지막으로 에너지효율성에 산업별 차이가 매우 유의미한 결과를 살펴보았으며, 공정배출 비율은 이와 같은 산업효과를 분석하는데 적절한 지표로 사용될 수 있음을 제시하였다.

본 논문은 학문적으로는 기존 연구들이 제시한 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 요인들을 국내 실제데이터를 바탕으로 실증하는 데 의의를 둘 수 있고, 실무적으로는 연구에서 제시한 에너지효율성에 영향을 줄 수 있는 요소들을 바탕으로 실제 경영에서 기술적인 발전 방향성 또는 기업 내부의 에너지 시스템적 개선을 구현함으로써 기업의 실제 에너지효율성을 높일 수 있음을 시사한다.

본 논문에서는 온실가스 배출량과 같은 비소망재를 투입요소로 고려하였으나 향후 소망재와 비소망재를 함께 산출요소로 포함하는 모형으로 확장하도록 하는 것이 요구된다. 또한 다년간의 자료를 대상으로 분석을 수행함으로써 시간에 따른 에너지효율성의 변화를 살펴보는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 강인규, 심광식, 김재윤, “DEA 모형을 이용한 온실가스,에너지 목표관리제 지정기업의 효율성 평가”, 「국제 · 경영연구」, 제21권, 제1호(2014), pp.1-25.

[2] 박지혜, 옥해명, 차경훈, 허탁, “국내 전기전자산업의 에코효율성 측정 및 평가 동향”, 「한국전과정평가학회지」, 제7권, 제1호(2006), pp. 33-38.

[3] 유금록, “공공서비스의 효율성 측정에 있어서 환경변수의 조정”, 「한국행정학보」, 제42권, 제4호(2008), pp.117-149.

[4] 이의준, 이한식, “펀드 투자의 성과효율성 측정 및 효율성 결정요인 분석”, 「POSRI 경영경제연구」, 제13권, 제2호(2013), pp.27-52.

[5] 이정동, 오동현, 「효율성 분석이론 DEA 자료포락분석법」, 2판, 지필미디어, 2012.

[6] 장동철, “중국의 에너지효율성에 관한 연구”, 「상품학 연구」, 제30권, 제5호(2012), pp.45-54.

[7] 한정희, “DEA 모형을 이용한 발전회사 환경효율성에 대한 연구”, 「디지털융복합연구」, 제11권, 제5호(2013). pp.119-133.

[8] 홍한국, 이창열, “인천항만의 효율성 평가를 위한 DEA와 SOM을 결합한 하이브리드 분석”, 「韓國知識情報技術學會論文誌」, 제6권, 제5호(2011), pp.65-73.

[9] Akau, R.L. and R.J. Schoenhals, "The second law efficiency of a heat pump system," *Energy*, Vol.5, No.8(1980), pp.853-863.

[10] Banker, R.D., Z.E. Zheng, and R. Natarajan, "DEA-based hypothesis tests for comparing two groups of decision making units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No.1(2010), pp.231-238.

[11] Berndt, E.R., "Aggregate energy, efficiency,

and productivity measurement," *Annual Review of Energy*, Vol.3, No.1(1978), pp.225-273.

[12] Bunse, K., M. Vodicka, P. Schönsleben, M. Brülhart, and F.O. Ernst, "Integrating energy efficiency performance in production management-gap analysis between industrial needs and scientific literature," *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.6(2011), pp.667-679.

[13] Cagno, E. and A. Trianni, "Exploring drivers for energy efficiency within small-and medium-sized enterprises : first evidences from Italian manufacturing enterprises," *Applied Energy*, Vol.104(2013), pp.276-285.

[14] Chilingerian, J.A., "Evaluating physician efficiency in hospitals : A multivariate analysis of best practices," *European Journal of Operational Research*, Vol.80(1995), pp.548-574.

[15] De Groot, H.L.F., E.T. Verhoef, and P. Nijkamp, "Energy saving by firms : decision-making, barriers and policies," *Energy Economics*, Vol.23, No.6(2001), pp.717-740.

[16] Dyson, R.G., R. Allen, A.S. Camanho, V.V. Podinovski, C.S. Sarrico, and E.A. Shale, "Pitfalls and protocols in DEA," *European Journal of Operational Research*, Vol.132, No.2(2001), pp.245-259.

[17] Färe, R., S. Grosskopf, and F. Hernandez-Sancho, "Environmental performance : an index number approach," *Resource and Energy Economics*, Vol.26, No.4(2004), pp.343-352.

[18] Färe, R., S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell, "The measurements of efficiency of production," *Kluwer-Nijihoff*, Boston, 1985.

[19] Goto, M., A. Otsuka, and T. Sueyoshi, "DEA (Data Envelopment Analysis) assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries," *Energy*, Vol. 66(2014), pp.535-549.

[20] Hu, J.L. and S.C. Wang, "Total-factor energy efficiency of regions in China," *Energy Policy*, Vol.34, No.17(2006), pp.3206-3217.

[21] Jaffe, A.B. and R.N. Stavins, "The energy-efficiency gap What does it mean?," *Energy Policy*, Vol.22, No.10(1994), pp.804-810.

[22] Lansink, A.O. and I. Bezlepkin, "The effect of heating technologies on CO_2 and energy efficiency of Dutch greenhouse firms," *Journal of environmental management*, Vol.68, No.1(2003), pp.73-82.

[23] Latruffe, L., K. Balcombe, S. Davidova, and K. Zawalinska, "Determinants of technical efficiency of crop and livestock farms in Poland," *Applied Economics*, Vol.36(2004), pp.1255-1263.

[24] Lee, H., Y. Park, and H. Choi, "Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives : A DEA approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.3(2009), pp. 847-855.

[25] Li, H., W. Yang, Z. Zhou, and C. Huang, "Resource allocation models' construction for the reduction of undesirable outputs based on DEA methods," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.58, No.5(2013), pp.913-926.

[26] McDonald, J., "Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses," *European Journal of Operational Research*, Vol.197, No.2(2009), pp.792-798.

[27] McMahon, M.D., E. Hirst, J.G. Koomey, J.E. McMahon, and A.H. Sanstad, "Energy Efficiency, Market Failure and Government Policy," *Lawrence Berkeley Laboratory*, Berkeley, CA, 1994.

[28] Önüt, S. and S. Soner, "Analysis of energy use and efficiency in Turkish manufacturing sector SMEs," *Energy Conversion and Management*, Vol.48, No.2(2007), pp.384-394.

[29] Ramanathan, R., "An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa," *Energy*, Vol.30, No.15(2005), pp.2831-2842.

[30] Seiford, L.M. and J. Zhu, "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, No.1(2002), pp.16-20.

[31] Siitonen, S., M. Tuomaala, and P. Ahtila, "Variables affecting energy efficiency and CO_2 emissions in the steel industry," *Energy Policy*, Vol.38, No.5(2010), pp.2477-2485.

[32] Sola, A.V.H., C.M. de Miranda Mota, and J.L. Kovaleski, "A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis," *Energy Policy*, Vol.39, No.6(2011), pp.3645-3654.

[33] Sola, A.V.H. and A.A. de Paula Xavier, "Organizational human factors as barriers to energy efficiency in electrical motors systems in industry," *Energy Policy*, Vol.35, No.11(2007), pp.5784-5794.

[34] Thollander, P., M. Danestig, and P. Rohdin, "Energy policies for increased industrial energy efficiency : Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs," *Energy Policy*, Vol.35, No.11(2007), pp.5774-5783.

[35] Turner, W.C. and S. Doty, "Energy management handbook," *The Fairmont Press*, Inc. 2007.

[36] Tyteca, D., "Linear programming models for the measurement of environmental performance of firms-concepts and empirical results," *Journal of productivity analysis*, Vol.8, No.2(1997), pp.183-197.

[37] Wang, K., S. Yu, and W. Zhang, "China's regional energy and environmental efficiency : a DEA window analysis based dynamic evaluation," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.58, No.5(2013), pp.1117-1127.

[38] Zhou, P. and B.W. Ang, "Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance," *Energy Policy*, Vol.36, No.8(2008), pp.2911-2916.

[39] Zhou, P., B.W. Ang, and K.L. Poh, "A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies," *European Journal of Operational Research*, Vol.189, No.1(2008), pp.1-18.

〈부 록〉

〈부록 1〉 DEA를 활용한 에너지효율성 측정 결과

업체 ID	기술효율성	순수기술효율성	규모효율성	RTS[1)]
1	100	100	1	CRS
2	100	100	1	CRS
3	100	100	1	CRS
4	100	100	1	CRS
5	100	100	1	CRS
6	100	100	1	CRS
7	100	100	1	CRS
8	100	100	1	CRS
9	100	100	1	CRS
10	46.85	48.4948	0.966106	IRS
11	89.69	99.6106	0.900423	IRS
12	17.77	19.9479	0.890986	IRS
13	29.71	34.6248	0.858157	IRS
14	22.01	27.3925	0.803651	IRS
15	27.29	35.5375	0.768014	DRS
16	36.51	47.5589	0.767583	IRS
17	22.39	29.2324	0.765962	IRS
18	16.64	22.2338	0.748455	IRS
19	15.44	20.9724	0.736086	IRS
20	11.29	15.3829	0.733977	IRS
21	72.55	100	0.725506	IRS
22	7.9	11.6398	0.678869	IRS
23	11.54	17.4499	0.661276	IRS
24	12.11	18.9656	0.638572	IRS
25	21.16	34.2651	0.617421	IRS
26	7.5	12.1907	0.615084	IRS
27	55.75	93.6906	0.595082	IRS
28	6.49	10.9484	0.592498	IRS
29	9.04	15.493	0.58338	IRS
30	15.15	29.3349	0.516416	IRS
31	7.41	15.5514	0.476433	IRS
32	7.94	16.9081	0.46955	IRS
33	17.98	39.2488	0.458085	IRS
34	16.41	36.3527	0.45129	IRS
35	42.42	100	0.424236	IRS

36	7.19	17.487	0.410945	IRS
37	9.76	23.9426	0.407763	IRS
38	40.72	100	0.407204	IRS
39	4.95	12.5628	0.394132	IRS
40	11.75	30.9123	0.379985	IRS
41	12.39	36.2678	0.341727	IRS
42	7.84	23.9539	0.327358	IRS
43	4.73	16.5188	0.286558	IRS
44	6.9	25.4029	0.271764	IRS
45	9.81	37.5457	0.26134	IRS
46	9.69	37.1731	0.260589	IRS
47	14.66	56.5255	0.259421	IRS
48	10.19	43.2876	0.235363	IRS
49	13.09	64.3628	0.203318	IRS
50	8.68	43.1687	0.201102	IRS
51	8.16	41.368	0.19715	IRS
52	4.25	27.7497	0.153191	IRS
53	8.82	61.1359	0.144326	IRS
54	11.15	100	0.111504	IRS
55	1.35	14.579	0.092379	IRS
56	7.76	90.5578	0.085714	IRS
57	8.31	100	0.083099	IRS
58	5.42	65.7972	0.08235	IRS
59	6.54	86.9808	0.07521	IRS
60	6.46	100	0.064566	IRS
61	5.81	100	0.058064	IRS
62	5.44	100	0.054378	IRS
63	1.28	42.0739	0.030539	IRS

Note) RTS[1)] : Returns To Scale, CRS : Constant Returns to Scale, IRS : Increasing Returns to Scale, DRS : Decreasing Returns to Scale.