

국내기업 에너지효율 투자 의사결정 단계별 주요 동인의 상대적 중요도 분석 : 퍼지계층분석을 활용하여

박재형* · 우종률** · 박지용***†

*고려대학교 에너지환경대학원 에너지환경정책기술학과 박사과정학생, **고려대학교 에너지환경대학원 에너지환경정책기술학과 조교수,
***에너지경제연구원 에너지산업연구본부 집단에너지연구팀 연구위원

Assessing Relative Importance of Energy-Efficiency Investment Drivers in Decision Making Process of Korean Manufacturing Enterprises : A Fuzzy AHP Approach

Park, Jae Hyeong* · Woo, Jong Roul** and Park, Ji Yong***†

*PhD Candidate, Energy Environment Policy and Technology, Graduate School of Energy and Environment
(KU-KIST Green School), Korea University, Seoul, Korea

**Assistant Professor, Energy Environment Policy and Technology, Graduate School of Energy and Environment
(KU-KIST Green School), Korea University, Seoul, Korea

***Research Fellow, District Heating and Power Research Team, Energy Industry Research Group,
Korea Energy Economics Institute, Ulsan, Korea

ABSTRACT

Energy efficiency is considered a priority because it is not only a management target for companies, but also an effective means for the government of Korea to reduce greenhouse gas emissions and implement carbon neutrality. For this, it is necessary to identify in detail drivers that have a positive impact on energy efficiency-related investments by companies and shift to the development of sophisticated policies that can promote these drivers. Under these circumstances, this study contributes to providing basic data that the government can use as reference data for developing policies to improve corporate energy efficiency by determining drivers that can lead to investments for improving energy efficiency at each stage of corporate decision-making. To this end, we first assumed the company's decision-making process leading to energy efficiency investments and then selected drivers that have a positive effect on each stage following a literature review. Further, since the government is paying considerable attention to energy efficiency as a means of implementing carbon neutrality, we divided the responding companies on the survey into large emitters of GHGs and small emitters and analyzed the results. Additionally, to improve the reliability of the results, we calculated the relative importance of each driver by applying a fuzzy analytic hierarchy process. We found that an energy price-related driver is more important for large emitters of GHGs. By contrast, we found that small emitters of GHGs placed increased importance on energy audit-related driver, energy efficiency policy-related driver, and technology identification driver. This study provides a framework for the government to take more sophisticated approaches toward developing policies for corporate energy efficiency improvement by identifying drivers that have a positive impact on the implementation of energy efficiency investments at each stage of the corporate decision-making process.

Key words: Energy Efficiency, Entrepreneurial Decision-Making, Drivers, Fuzzy AHP, GHG Emissions

†Corresponding author : jiyong.park@keei.re.kr (Korea Energy Economics Institute 405-11 Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44543, Korea. Tel. +82-52-714-2171) ORCID 박재형 0000-0001-9795-3606 박지용 0000-0003-3242-3932
우종률 0000-0002-3576-5180

Received: April 20, 2022 / Revised: May 20, 2022 1st, June 30, 2022 2nd / Accepted: July 8, 2022

1. 서론

생산 공정에 사용되는 열, 전기와 같은 에너지는 석탄, 원유, 우라늄 등과 같은 유한한 자원으로 생산되며, 또 이러한 에너지의 생산과 소비 과정에서 온실가스, 미세먼지와 같은 물질이 배출되어(Lee, 2019) 기후변화와 환경오염을 일으킬 수 있다. 이러한 이유로 생산 공정에서 에너지는 효율적으로 사용되어야 하지만 우리나라는 2010년 온실가스·에너지 목표관리제와 2015년 온실가스 배출권거래제 시행 이후에도 2019년 기준 세계 8위의 에너지다소비 국가이면서 에너지 원단위는 OECD 회원국 중 33위에 머물러 있다(MOTIE Press Release, 2019). 이에 2021년 12월 정부가 에너지효율을 온실가스 감축과 탄소중립 이행을 위한 가장 효과적인 수단으로 강조하면서 2030년까지 국가 에너지효율을 2018년 대비 약 30% 개선하겠다고 발표한 바와 같이(MOTIE Press Release, 2021) 이제 에너지효율은 기후변화 이슈와도 맞물려 기업을 넘어 사회 전체가 관심을 가지는 이슈가 되었다.

하지만 이와 같이 에너지 효율과 관련하여 시대적인 요구 상황의 변화와 이에 따른 정부의 적극적인 목표 제시 이전에도 에너지 효율 개선을 위해 정부는 여러 가지 정책을 시행하여 온 바, 이러한 정책은 규제 측면, 경제 측면, 정보제공 측면, 훈련 및 교육 측면의 4가지로 구분할 수 있다(Park and Lee, 2020). 이 중에서 특히 규제 측면에서 대표적인 것으로는 에너지이용 합리화법 제32조에 따른 에너지다소비업자에 대한 에너지진단 의무화 제도가 있으며, 경제 측면으로는 조세특례제한법 제24조에 따른 에너지절약시설 투자 기업에 대한 세제지원이 있다(KEA, 2022). 이와 같이 정부의 여러 가지 정책에 대해 기업은 그에 상응하는 에너지 효율 개선 조치를 취하는 경우도 있지만 그렇지 않은 경우도 있어왔다. 이에 기업의 공통적인 의사결정 단계와 연계하여, 이러한 장애요인을 극복할 수 있는 동인(drivers)을 촉진하는(Smith KM et al., 2022) 정책을 정부가 수립할 수 있다면 에너지 효율 개선 효과를 지금보다 더 높일 수 있을 것이다. 왜냐하면, 만약 에너지 효율 개선 조치를 검토하고 있는 기업이 내부 의사결정 단계를 거쳐 현재 비효율적인 설비까지는 파악하였으나 이를 개체하는 데 자금을 자체적으로 조달할 수 없는 문제에서 이를 해결하지 못해 더 나아가지 못하고 있다면 정부는 현재 시행 중인 정책 중에서 자금지원 프로그램을 적극 홍보하여 해당기업과 연계하면 되기 때문이다. 이와 같이 기업이 에너지효율 개선 관련 투자 의사 결정을 하고 실행에 옮기는데 거치는 의사결정 단계와 함께 단계별로 긍정적인 영향을 미치는 동인을 파악할 수 있다면 기업의 에너지효율 개

선을 위해 정부가 좀 더 세밀한 정책 수립이 가능할 것이라는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 첫째, 에너지효율 개선 투자와 관련하여 기업의 의사결정 과정에 따라 각 단계에 가장 긍정적인 영향을 미치는 동인을 밝히고, 둘째, 온실가스 배출량의 대소에 따라 국내기업이 상대적으로 더 중요하게 생각하는 동인의 차이를 퍼지계층분석(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, 이하 FAHP)으로 살펴보고자 한다. 이를 통하여 정부가 기업의 에너지효율 투자에 긍정적인 영향을 미치는 유인들을 의사결정 단계별로 파악하여, 산업부문 에너지효율 개선과 온실가스 감축을 위한 정책 수립에 참고할 수 있는 기초자료를 제공하는 데 기여하고자 한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 에너지효율 개선을 위한 투자와 관련하여 기업의 의사결정 단계와 장애요인, 동인에 대한 국내외 선행연구를 고찰한다. 제3장에서는 본 연구 모형인 기업의 의사결정 단계별 동인에 대해 상대적 중요도를 산정하는데 사용된 FAHP 중 Buckley가 제안한 방법에 대해 설명한다. 제4장에서는 제3장에서 제시한 Buckley방법을 활용한 분석 결과를 제시하고 제5장에서는 앞장의 분석 결과를 요약하면서 시사점을 제시하고자 한다.

2. 선행연구 검토

먼저 에너지효율 개선 투자를 위해 기업이 거쳐야 할 의사결정 단계와 관련하여 Trianni et al.(2016)은 ‘인식(generation of awareness) - 필요 및 기회 식별(identification of needs and opportunities) - 기술 식별(technology identification) - 조치계획 수립(planning of the intervention) - 재정적·경제적 분석(financial and economic analysis) - 조치이행·가동·교육(implementation, start-up and training)’의 6단계로 나누었다. 각 단계를 에너지효율 개선을 위한 투자가 이루어지기까지의 과정에 대입하여 살펴보면 1단계 ‘인식’은 기업의 경영진 또는 담당직원이 에너지효율의 중요성을 인지하는 단계이고, 2단계 ‘필요 및 기회 식별’은 해당기업이 에너지효율과 관련된 문제점을 분석하고 가능한 해결책이 있는지 알아보는 단계라고 할 수 있다. 다음으로 3단계 ‘기술 식별’은 앞 단계에서 조사된 해결책을 구현할 수 있는 적절한 기술이 시장에 있는지 찾아보는 단계이고, 4단계 ‘조치계획 수립’은 전단계에서 기업이 찾은 기술이 해당기업의 제반 요건에 적합한지, 호환가능한 지 검증한 후에 해당기술 도입계획을 수립하는 단계라고 할 수 있다. 이어 5단계 ‘재정적·경

제적 분석'은 도입하고자 하는 기술 구입을 위한 재정적·경제적 분석을 하는 단계이고, 마지막 6단계 '조치이행·가동·교육'은 해당기술을 도입하여 설치하고, 이후 원활한 운영을 위해 여러 가지 교육·훈련을 실시하는 단계라고 할 수 있다. 이러한 기업의 의사결정 단계 중에서 Trianni et al.(2017)와 Cagno et al.(2017)은 5단계인 재정적·경제적 분석을, 에너지 효율 개선을 위해 도입하고자 하는 기술에 대한 간접적 편익까지 분석대상에 포함하는 지속가능성 분석(sustainability analysis)으로 개념을 확대하였으나 이 연구에서는 좀 더 현실적인 기존 분류대로 활용하고자 한다.

한편 앞서 소개한 기업의 의사결정 6단계별로 여러 가지 장애요인(barriers)과 이를 극복할 수 있는 동인이 작용하며(Trianni et al., 2016), 초기에는 장애요인 연구가 대부분이었으나 2010년대 중반 이후부터 동인으로 연구대상이 확대되기 시작하였다.

Thollander et al.(2013)은 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 폴란드, 스페인, 스웨덴의 금속주조산업에 대한 연구에서 동인을 재정, 정보, 조직, 외부의 4개로 범주화하였다. 먼저 재정 부문 동인으로 에너지비용 상승 위협, 에너지 사용을 줄임에 따른 통한 비용절감 등을, 정보 부문 동인으로 자발적 협약, 업종별 조직을 통한 지원 등을 선정하였다. 다음으로 조직 부문 동인으로는 최고 경영진의 헌신, 근무여건 개선 등을, 외부 부문 동인으로는 공공기관에 제출하는 연간 환경보고서, 업종별 네트워크 등을 선정하였다. 이상의 4개 부문의 동인에 대해 기업들은 재정 부문 동인, 조직 부문 동인, 외부 부문 동인, 정보 부문 동인의 순서로 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 또한 기업 규모 기준으로는 기업규모가 작을수록 업종별 네트워크, 업종별 협회를 통한 정보 및 지원, 에너지효율 기술에 대한 투자지원을 더 중요하게 여기는 것으로 나타났다.

Cagno et al.(2015)은 네덜란드에 소재한 금속제조 기업을 대상으로 한 연구에서 에너지효율 개선을 위한 투자에 미치는 장애요인과 동인을 앞서 소개한 기업의 의사결정 6 단계뿐만 아니라 각 단계별 동인에 영향을 주는 행위자들도 연계하였다. 이 연구에서 장애요인은 기술, 정보, 경제, 행동, 조직, 역량, 인식의 7개 부문으로, 동인은 규제, 경제, 정보, 직업의 4개 부문으로 범주화하여 구분하였다. 이 중 동인과 관련하여 규제 부문에서 자발적 협약, 에너지진단

등을, 경제 부문에서 에너지 사용을 줄임에 따른 비용 절감, 공공투자(public investment subsidies) 등을 선정하였다. 그리고 정보 부문으로는 인식, 외부협력 등을, 직업 부문으로는 교육 및 훈련 프로그램, 기술지원을 선정하였다.

Trianni et al.(2016)은 이탈리아 소재 중소기업을 대상으로 한 연구에서 앞서 Cagno et al.(2015)이 제안한 장애요인과 동인을 내부와 외부로 다시 세분화한 연구에서, 동인에 대해서는 공공투자, 민간투자(private financing)와 같은 경제 부문의 외부동인을 가장 중요하게 생각하는 기업이 많았다고 하였다. 또한 기업규모와 에너지 집약도(energy intensity)¹⁾를 기준으로 소기업이면서 에너지 비집약적인 기업군(small non energy intensive)과 중·대기업이면서 에너지 집약적인 기업군(medium-large intensive) 간 비교를 통하여 전자는 규제, 경제, 정보, 직업의 4개 부문 모두 외부동인을 더 중요시하였고, 후자는 기술적 역량과 에너지 효율의 중요성에 대한 인식을 제고할 수 있는 직업 부문의 내부동인을 더 중요시하였다고 하였다.

Cagno et al.(2017)은 앞서 Trianni et al.(2016)이 세분화한 4개 부문의 내·외부 동인에 대해 에너지 집약도²⁾와 기업규모를 기준으로 상대적 중요도를 살펴본 뒤 응답결과 간 차이를 심층 분석하였다. 먼저 에너지 집약적인 기업군(Energy Intensive, EIs)과 에너지 비집약적인 기업군(Non-Energy Intensive, NEIs)은 에너지 사용을 줄임에 따른 비용 절감, 열의가 있는 직원, 해당기술에 대한 매력도에 있어서 응답결과 간 +0.4 또는 -0.4 이상의 큰 차이(EIs - NEIs)를 보였다. 이 중 에너지 사용을 줄임에 따른 비용 절감은 +0.4 이상의 차이가 발생함에 따라 에너지 집약적인 기업군에서 더 중요시하는 경제 부문의 내부동인인 반면, 나머지 2개 부문은 각각 정보 부문의 내부동인과 규제 부문의 외부동인으로 모두 -0.4 이상의 차이가 발생함에 따라 에너지 비집약적인 기업군에서 더 중요시하는 것으로 나타났다. 다음으로 기업규모에 따른 응답 비교에서는 중·대기업(Medium-Large Enterprises, MLEs)이 중·소기업(Medium-Small Enterprises, MSEs)에 비해 규제 부문의 동인에 속하는 친환경 이미지와 규제에 따른 에너지 효율에 대해 더 중요시하는 것으로 나타났다. 한편 국내에서는 Cagno and Trianni (2014)에서 제시된 장애요인 분류를 참고하여 새로 구성한 기준으로 국내기업들의 전력 에너지효

1) 이 논문에서는 생산 비용(production costs)에서 에너지 비용(energy expenditure)이 차지하는 비율을 말하며 5% 초과일 경우는 에너지 집약적인 기업, 이하일 경우 에너지 비집약적인 기업으로 분류하였음.

2) 이 논문에서는 순 매출액(net turnover)에서 에너지 비용(energy expenditure)이 차지하는 비율을 말하며 2% 초과일 경우는 에너지 집약적인 기업, 이하일 경우 에너지 비집약적인 기업으로 분류하였음.

을 개선 시 장애요인을 파악하고 이에 따른 맞춤형 정책패키지 지원을 제안한 Park and Lee (2020)의 연구가 있다.

지금까지의 선행연구를 살펴 본 바 해외의 경우 다양한 업종과 규모의 기업을 대상으로 설문 또는 인터뷰를 통해 에너지효율 개선을 위한 투자를 가로막는 장애요인에 대한 연구가 시작되어 동인으로 연구대상이 확대되고, 이후 장애요인, 동인과 기업의 의사결정 단계, 행위자 간에도 연계가 시도되고 있음을 알 수 있었다. 나아가 최근에는 이러한 체계에 에너지 집약도, 기업규모 등 기업의 특성이 미치는 영향에까지 연구대상이 확대되고 있다는 것도 알 수 있었다. 이에 반해 국내의 경우 최근에 국내 기업의 에너지효율 투자에 영향을 주는 장애요인을 파악하는 연구가 시작된 점과 2021년 12월에 발표된 바와 같이 정부가 온실가스 감축 및 탄소중립 수단으로 에너지 효율 개선을 주목하고 있는 점에 비추어, 향후 국내에도 기업의 에너지 효율 개선뿐만 아니라 온실가스 저감을 위한 의사결정 과정에 긍정적인 영향을 주는 동인에 대한 연구가 필요함을 시사하고 있다고 판단된다. 한편 국내외 선행연구의 경우 기업의 의사결정 과정과 단계별 장애요인 또는 동인 간의 상위기준과 하위기준이라는 계층적 관계에 있음에도 아직 계층분석을 적용한 연구가 없는 점은 한계라고 생각된다.

이상의 선행연구의 시사점과 한계점을 토대로 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 국내 기업이 에너지 효율 투자 시 거치는 의사결정 단계와 함께 의사결정 단계별 동인을 제안하고자 하였다. 둘째, 에너지효율 개선은 온실가스 감축과 같은 기후변화 아젠다와도 연결되므로(MOTIE Press Release, 2021) KEA (2021a)의 온실가스 다배출 업종 및 소배출 업종 분류기준에 따라 에너지 효율 투자와 관련하여 기업의 의사결정 단계별 동인에 대해 기업이 가장 중요하게 생각하는 동인은 무엇인지 규명하고자 하였다. 셋째, 기업의 의사결정 과정을 상위기준으로, 의사결정 단계별 동인을 하위기준으로 각각 가정하여 각각의 중요도를 판단할 수 있는 계층분석을 적용하였다. 넷째, 응답자의 선호를 신뢰구간을 통해 좀 더 현실에 가깝게 반영할 수 있는 퍼지이론이 가미된 FAHP (Cho and Lee, 2006)를 활용하였다.

3. 연구 방법

3.1. 퍼지계층분석

본 연구에서는 계층분석(Analytic Hierarchy Process, AHP)의 한 방법인 FAHP를 이용하여 에너지효율 개선 투자를 위

한 기업 의사결정 단계별 주요 동인에 대한 상대적 중요도를 도출하였다. 퍼지 이론은 인간의 판단과정에서 발생하는 부정확성과 불확실성을 고려하기 위해 Zadeh (1965)가 개발하였으며(Shin et al., 2014), Van Laarhoven and Pedrycz (1983)는 계층분석의 단점을 보완하기 위하여 퍼지 이론에 계층분석을 접목, 하나의 특정 수치로 반영하기 어려운 의사결정자의 선호를 신뢰구간을 통해 좀 더 현실에 가깝게 반영할 수 있는 FAHP를 개발하였다(Cho and Lee, 2006). Fu et al.(2020)과 Ayhan (2013)은 FAHP 과정 중 기준 간 가중치 산정 단계에서 Buckley (1985)가 제안했던 기하평균을 이용한 방법을 소개하였다. 본 연구는 이 방법을 토대로 다음과 같은 순서로 응답자들의 설문결과를 분석하였다. 1단계로, ‘같은 - (중간) - 약간 중요 - (중간) - 중요 - (중간) - 매우 중요 - (중간) - 절대 중요’의 언어 척도(linguistic terms)로 응답된 응답자별 설문결과를 삼각퍼지수(triangular fuzzy numbers)로 퍼지화(fuzzification)하였다. 이때 삼각퍼지수 변환 척도는 Ayhan (2013)에서 사용된 기준을 따랐다.

Table 1. Linguistic scale and corresponding triangular fuzzy numbers

Satty scale	Definition	Fuzzy Triangular Scale
1	Equally important	(1, 1, 1)
3	Weakly important	(2, 3, 4)
5	Fairly important	(4, 5, 6)
7	Strongly important	(6, 7, 8)
9	Absolutely important	(9, 9, 9)
2	The intermittent values between two adjacent scales	(1, 2, 3)
4		(3, 4, 5)
6		(5, 6, 7)
8		(7, 8, 9)

Source: Ayhan (2013)

2단계로, 삼각퍼지수로 변환된 응답자별 설문결과로 쌍대비교 행렬을 구성하였다. 참고로 일반적인 AHP에서 쌍대비교 행렬은 대각선을 기준으로 대각선 위의 요소와 아래의 요소가 서로 역수관계인데 삼각퍼지수(11, m1, u1)의 역수는 (1/u1, 1/m1, 1/11)이 된다. 3단계로, 삼각퍼지수로 변환된 응답자별 설문결과를 식 (1)에 따라 기하평균한 후 식 (2)에 따라 퍼지 가중치(fuzzy weight)를 계산하였다.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}} \text{ (단, } n \text{은 기준 수)} \tag{1}$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \tag{2}$$

마지막으로, 3단계에서 계산된 퍼지 가중치를 면적중심법(Center of Area)을 사용하여 비퍼지화(defuzzification)한 후 각 가중치의 합이 1이 되도록 정규화하였다.

3.2. 설문 설계

본 설문을 통해 기업의 에너지 효율 개선 조치로 이어질 수 있는 의사결정 단계별 동인에 대해 물어보고자 하였으며 이를 목표로 상하위 동인은 다음과 같은 순서로 선정하였다. 1단계로 에너지 효율 조치로 이어지는 기업의 의사결정 단계는 제2장 선행연구 검토에서 제시된 대로 ‘인식 - 필요 및 기회 식별 - 기술 식별 - 조치계획 수립 - 재정적·경제적 분석 - 조치이행·가동·교육’의 6단계로 하되 조치계획 수립과 재정적·경제적 분석은 응답자 편의를 위해 ‘계획/재무분석’으로 합쳤다. 2단계로 기업이 에너지 효율 개선 조치를 도출하고 이행하기까지의 과정에 긍정적인 영향을 미치는 동인에 대해서는 다양한 선행연구 결과를 참고하였다. Thollander and Ottosson (2008)은 에너지 효율 관련 동인으로 시장 부문, 행동 및 조직 부문의 동인으로 구분하여 제시하였으나 기업이 기존의 비효율 설비를 교체하고자 할 때 이에 미치는 기술 관련 동인에 대해서는 간과하였다. Thollander et al.(2013)은 에너지 효율 관련 동인으로 재정 부문, 정보 부문, 조직 부문, 외부 부문의 총 4개로 구분하여 Thollander and Ottosson (2008) 보다 다양한 부문을 고려하여

제시하였다. 하지만 재정과 정보 부문의 동인도 외부 부문의 동인이 될 수 있다는 점에서 한계가 있다. Venmans (2014)는 에너지 효율 관련 동인으로 경제 부문, 정책 부문, 경영 부문의 3개 부문으로 구분하여 제시하였다. 이 분류에 따르면 이전 연구에서 경제 부문 또는 정보 부문에 속했던 정책 관련 동인을 별도의 ‘정책’ 부문으로 분류한 점은 개선되었다고 볼 수 있으나, 기술 관련 동인을 경제 부문에 포함시켜 가격 측면으로만 좁게 본 점은 한계라고 생각된다. Cagno et al.(2015)은 Trianni et al.(2013)이 규제, 경제, 정보, 직업 이상 4개 부문으로 분류한 동인을 소개하였다. 이 분류에서는 기업의 친환경 이미지, 기술적 매력도(technological appeal) 등이 규제 부문에 포함되어 국내 기업 현황과 일부 맞지 않는 부분도 있지만 이전 연구에 비해 동인 분류가 세분화된 것은 개선점이라고 생각된다. 이에 본 연구에서는 에너지 효율 관련 동인으로 Cagno et al.(2015)이 제시한 동인들을 참고하여 연구진 논의를 통해 국내기업 환경에 맞지 않는 동인은 제거하고, 필요한 것으로 판단되었으나 여기에 없는 동인은 추가하여 본 설문에 활용하고자 하였다. 이상의 1단계와 2단계를 거쳐 Table 2와 같이 상위기준으로 기업의 의사결정 5단계와 하위기준으로는 각 단계별로 인식 단계 4개, 기회식별 단계 5개, 기술식별 단계 2개, 계획/재무분석 단계 5개, 설치 및 교육 단계 2개 동인을 각각 선정하였다.

설문 시 기업에게 제시된 설문지의 목표와 앞에서 설명된 상하위 동인과의 관계는 Fig. 1과 같다.

Table 2. Drivers for energy-efficiency investment in decision making process in companies

Decision-making process	Main drivers
Awareness	The management becomes interested in energy efficiency.
	Employees in charge become interested in energy efficiency.
	A company can receive an energy audit.
	Employees in charge become aware of energy efficiency improvement related policies.
Needs and Opportunities identification	Employees in charge identified inefficient facilities.
	The energy price has increased.
	Employees in charge become aware of energy efficiency improvement related various programs.
	Employees in charge get to know the advantages from energy efficiency investment.
Technology identification	The company which invests on energy efficiency improvement can build green image.
	Employees in charge can identify new facilities compatible with existing facilities.
Planning and financial analysis	Employees in charge can identify competitive facilities.
	A company can secure internal sources of finance on energy efficiency investment.
	A company can estimate the payback period of the investment on energy efficiency improvement.
	A company can benchmark cases fit for itself.
	A company can receive public funds or tax benefits.
Installation and training	A company can get loan support through private finance.
	Employees in charge can manage and maintain the technology on energy efficiency.
	A company can be supported through education and training.

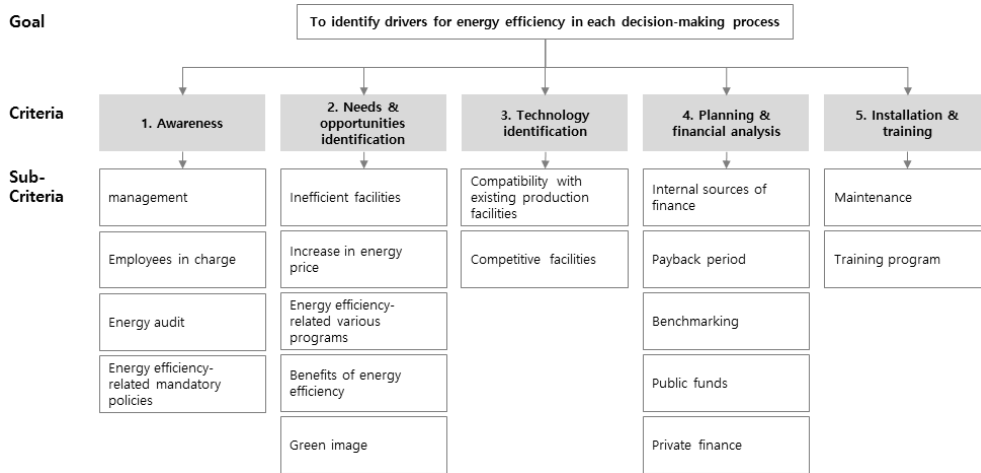


Fig. 1. FAHP hierarchical structure

설문은 Fig. 1에서 제시된 기업 의사결정 단계별 동인에 대해 각각 쌍대비교 설문문항을 1개씩 할당하여 총 5개 문항으로 구성하였으며 척도는 ‘같음 - (중간) - 약간 중요 - (중간) - 중요 - (중간) - 매우 중요 - (중간) - 절대 중요’의 9점으로 구성하여 응답점수가 높을수록 응답자가 더 중요하게 생각하는 것으로 해석하였다.

3.3. 설문 실시 및 자료 분석

표본은 국내 기업에 대해 KEA (2021a)의 제조업 분류를 기준을 적용, 업종별로 최대한 고르게 선정하여 총 40개 기업을 확보하였다. 설문은 2021년 9월부터 10월까지 구조화된 설문지를 활용하여 실시하였으나, 이 시기에 코로나19 팬데믹으로 인해 재택근무를 권장하는 기업이 많아짐에 따라 이메일과 전화를 통한 비대면 조사를 실시할 수밖에 없었다. 하지만 이러한 비대면조사에 따른 신뢰도 저하를 막기 위해 응답자격을 가능한 대리 이상의 직급을 가진 분으로 한정하고자 하였다. 이 과정에서 미응답한 3개 기업과 한국표준산업 분류상 비제조업 6개 기업을 제외한 31개 기업을 연구대상으로 하였다. 이에 대해 AHP는 전문가를 대상으로 한 설문기법으로 일관성 비율 충족 시 최소 표본수에 대한 제약은 일반적으로 없으며(Al-Harbi et al., 2001; Armacost et al., 1994; Peterson et al., 1994) FAHP 역시 AHP 중의 하나이므로 이후 분석절차를 진행하였다. 자료분석은 먼저 expert choice 2000 프로그램을 이용, 응답결과의 일관성 비율 (Consistency Ratio, CR)을 측정하여 수치가 0.1이 넘는 5개 응답 기업을 추가로 제외하였다. 마지막으로 이 단계를 통과한 26개 기업 중 최근 3년 이내 에너지 소비효율 향상을 위한 투자 경험 유무를 묻는 설문문항에 무응답한 기업은 추가조사(National GHGs Management System)를 통해 모두 경험이 있는 것으로 확

인하여 최종적으로 26개 기업을 확정하였다. 이 기업들의 응답 결과에 대해 마이크로소프트사의 엑셀로 FAHP를 실시하여 동인별 중요도를 도출하였다. 이 과정에서 상위기준별 하위기준 수가 상이할 경우 산정된 중요도의 신뢰성을 제고하기 위해 Choi (2020)의 연구결과를 참고하여 다음과 같이 산정 결과를 보정하고자 하였다. Choi (2020)의 연구에 따르면 다음과 같이 두 단계에 따라 가중치를 보정하는데, 먼저 1단계로 다음 식 (3)과 같이 총 하위기준 수를 분모로, 해당 상위기준별 하위기준 수를 분자로 하여 보정 이전의 하위기준별 최종 중요도에 각각 곱한다.

$$\frac{HN_i}{\sum_{i=1}^n HN_i} \tag{3}$$

단, HN_i : i 상위기준에 속한 하위기준의 개수

이 때 1단계를 통해 보정된 각 하위기준의 중요도를 모두 합하면 보정 이전의 하위기준 중요도의 총합과 달리 1이 안되므로, 2단계로 다음 식 (4)와 같이 1차 보정된 각 하위기준의 중요도 총합의 역수를 1단계를 통해 1차 보정된 하위기준별 중요도에 곱하면 최종 보정된 하위기준별 중요도가 산정된다.

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (HW_i \times LW_{ij} \times HN_i)} \times \sum_{i=1}^n HN_i \tag{4}$$

단, HN_i : i 상위기준에 속한 하위기준의 개수

HW_i : i 상위기준의 가중치

LW_{ij} : i 상위기준에 속한 j 하위기준의 가중치

4. 분석 결과

4.1. 응답 기업의 주요 특징

먼저 26개 기업에 대한 일반 특성을 기업규모, 기업연한, 매출액, 상시 종사자 수, 한국표준산업분류 상 업종으로 구분하였다. 그 결과 기업규모는 중견기업, 기업연한은 10~30년 미만, 매출액은 1,000억 원 미만, 상시종사자 수는 100인 이상~300인 미만, 업종은 화학이 각각 가장 많이 차지하였다.

Table 3. Major characteristics of the responding companies

		No.	%
Company size	Large	7	26.9
	Medium	11	42.3
	Small	8	30.8
Years in business	More than 50	7	26.9
	30 ~ 50	8	30.8
	10 ~ 30	10	38.5
	Less than 10	1	3.8
Annual sales	More than ₩500 billion	7	26.9
	₩100 billion ~ ₩500 billion	9	34.6
	Less than 100 billion	10	38.5
Employees	More than 500	5	19.2
	300 ~ 500	7	26.9
	100 ~ 300	10	38.5
	Less than 100	4	15.4
Sector	Food and Beverage	4	15.4
	Pulp and Paper	2	7.7
	Chemical	8	30.8
	Non-metallic minerals	2	7.7
	Primary metals	2	7.7
	Other manufacturing	3	11.5
	Electrical equipment	3	11.5
Automotive	2	7.7	

4.2. 온실가스 배출량 기준 동인 간 중요도 분석

Chontanawat (2020)에 따르면 에너지 소비량이 증가하면 이산화탄소 배출량을 증가시킬 수 있으므로 결국 온실가스 배출량도 에너지효율과 관계가 있다. 또한 에너지효율 개선은 온실가스 감축의 효과적인 수단(MOTIE Press Release, 2021)이기도 하므로 온실가스 배출량을 기준으로 에너지효율 개선을 위한 투자 시 동인과의 관계를 살펴보고자 한다. 이에 26개 기업을 KEA (2021a) 중 2020년 온실가스 배출량 자료를 참고하여 연 60,000 천tCO₂eq 이상 배출업종을 온실가스 다배출 업종으로, 그 미만을 소배출 업종으로 이분화하여 각 업종이 상대적으로 더 중요하게 생각하는 동인은 무엇인지 분석하고자 하였다. 이에 따라 온실가스 다배출 업종은 제1차 금속산업 2개와 화학 8

개인 총 10개 기업이 속하게 되었고, 온실가스 소배출 업종은 비금속광물 2개, 전자장비제조업 3개, 기타 제조업 3개, 펄프·종이 2개, 음식료업 4개, 자동차제조업 2개의 총 16개 기업이 속하게 되었다.

다음 Table 4에서 기업의 의사결정 단계별 최종 중요도를 보면 온실가스 다배출 업종과 소배출 업종 모두 인식단계에서는 에너지효율에 대한 경영진의 관심을, 기회 식별 단계에서는 에너지 비효율 설비 인지를, 기술 식별 단계에서는 기존설비와 호환 가능한 설비 발굴을, 투자 계획 단계에서는 투자 회수기간 가늠 여부를 각각 동인으로 가장 중요시하는 것으로 나타났다. 하지만 설치 및 교육 단계에서는 온실가스 다배출 업종은 교육을 동인으로 중요시하는 반면, 온실가스 소배출 업종은 유지관리를 동인으로 가장 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 온실가스 다배출 업종으로 선정된 제1차 금속산업과 화학은 사업장 내 대형설비가 상시 운전되는 장치산업으로 사고 발생 시 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 수동적인 유지관리보다 지속적인 교육을 동인으로 더 중요시하기 때문으로 생각된다.

다음으로 Table 4의 기업의 의사결정 단계별 중요도를

Table 4. Importance of sub-drivers for energy-efficiency investment in each decision making process

		Large emitters	Small emitters	Total
Awareness	Management	0.1024	0.1635	0.1400
	Employees in charge	0.0627	0.0973	0.0840
	Energy audit	0.0328	0.0725	0.0572
	Related policies	0.0367	0.0577	0.0496
	Inefficient facilities	0.0930	0.0928	0.0929
Needs & Opportunities identification	Energy price	0.0787	0.0502	0.0612
	Related various programs	0.0296	0.0344	0.0326
	Advantages	0.0429	0.0616	0.0544
	Green image	0.0281	0.0240	0.0256
Technology identification	Compatible facilities	0.0661	0.0708	0.0690
	Competitive facilities	0.0468	0.0587	0.0541
Planning & financial analysis	Internal sources of finance	0.0532	0.0413	0.0459
	Payback period	0.0680	0.0449	0.0538
	Benchmarking	0.0585	0.0334	0.0430
	Public funds	0.0324	0.0246	0.0276
Installation & training	Private finance	0.0289	0.0234	0.0255
	Maintenance	0.0623	0.0340	0.0449
	Training program	0.0769	0.0150	0.0388
Total		1.0000	1.0000	1.0000

반영한 Table 5의 전체 18개 기준 중요도를 보면 온실가스 배출량의 다과에 상관없이 에너지 효율에 대한 경영진의 관심이 에너지 효율 개선 조치 이행으로 이어지는 데 있어서 가장 중요한 동인으로 평가되는 것으로 나타났다. 다음으로 기회 식별 단계의 에너지가격 인상 관련 동인에 대해서 중요도가 0.0787로 온실가스 다배출 업종이 더 중요시하는 것으로 나타났는데 이는 이 연구에서 온실가스 다배출 업종으로 분류된 제1차 금속산업과 화학업종의

2020년 에너지 사용 비중이 각각 26.2%, 28.5%로 제조업에서 가장 많이 에너지를 사용하는(KEA, 2021a) 점에 비추어 볼 때 에너지 가격에 상대적으로 더 민감하기 때문으로 생각된다. 이와 같은 연구결과는 금속주조산업을 대상으로 한 연구에서 에너지 효율 개선에 있어 에너지가격 인상 위협과 같은 재정 부문의 동인을 가장 중요시했다는 해외 선행연구 결과와 일치한다(Thollander et al., 2013). 또한 설치 및 교육 단계의 교육 프로그램 관련 동인에 대

Table 5. Importance of all drivers for energy-efficiency investment in decision making process

Rank	Large emitters	Value	Small emitters	Value	Total	Value
1	[Awareness] The management	0.1024	[Awareness] The management	0.1635	[Awareness] The management	0.1400
2	[Opportunities] Inefficient facilities	0.0930	[Awareness] Employees in charge	0.0973	[Opportunities] Inefficient facilities	0.0929
3	[Opportunities] Energy price	0.0787	[Opportunities] Inefficient facilities	0.0928	[Awareness] Employees in charge	0.0840
4	[Installation & training] Training program	0.0769	[Opportunities] Energy audit	0.0725	[Technologies] Compatible facilities	0.0690
5	[Planning] Payback period	0.0680	[Technologies] Compatible facilities	0.0708	[Opportunities] Energy price	0.0612
6	[Technologies] Compatible facilities	0.0661	[Opportunities] The advantages	0.0616	[Opportunities] Energy audit	0.0572
7	[Awareness] Employees in charge	0.0627	[Technologies] Competitive facilities	0.0587	[Opportunities] The advantages	0.0544
8	[Installation & training] Maintenance	0.0623	[Awareness] Related policies	0.0577	[Technologies] Competitive facilities	0.0541
9	[Planning] Benchmarking	0.0585	[Opportunities] Energy price	0.0502	[Planning] Payback period	0.0538
10	[Planning] Internal sources of finance	0.0532	[Planning] Payback period	0.0449	[Awareness] Related policies	0.0496
11	[Technologies] Competitive facilities	0.0468	[Planning] Internal sources of finance	0.0413	[Planning] Internal sources of finance	0.0459
12	[Opportunities] The advantages	0.0429	[Opportunities] Related various programs	0.0344	[Installation & training] Maintenance	0.0449
13	[Awareness] Related policies	0.0367	[Installation & training] Maintenance	0.0340	[Planning] Benchmarking	0.0430
14	[Opportunities] Energy audit	0.0328	[Planning] Benchmarking	0.0334	[Installation & training] Training program	0.0388
15	[Planning] Public funds	0.0324	[Planning] Public funds	0.0246	[Opportunities] Related various programs	0.0326
16	[Opportunities] Related various programs	0.0296	[Opportunities] Green image	0.0240	[Planning] Public funds	0.0276
17	[Planning] Private finance	0.0289	[Planning] Private finance	0.0234	[Opportunities] Green image	0.0256
18	[Opportunities] Green image	0.0281	[Installation & training] Training program	0.0150	[Planning] Private finance	0.0255

해서는 온실가스 다배출 업종의 경우 중요도가 0.0769로, 온실가스 소배출 업종의 0.0150에 비해 크게 중요시되는 것으로 나타났는데 이는 앞에서 서술하였던 바와 같이 제1차 금속산업·화학업종의 특성이 상당부분 반영되었기 때문으로 생각된다. 마지막으로 기술 부문의 2개 동인, 즉, 호환 가능한 신규설비 발굴에 대한 동인과 가격 경쟁력 있는 설비 발굴에 대한 동인의 중요도가 온실가스 소배출 업종에 비해 모두 낮은 이유는 제1차 금속산업과 화학 업종의 설비수명이 일반적으로 30~40년이어서(IEA, 2020) 에너지 효율 개선을 이유로 조기에 설비를 교체하는 것은 선택하기 어려운 점이 반영되었기 때문으로 생각된다.

한편 온실가스 소배출 업종은 에너지효율에 대한 경영진의 인식뿐만 아니라 직원의 인식도 온실가스 다배출 업종보다 더 중요시되는 동인인 것으로 나타났다. 이는 온실가스 소배출 업종으로 분류된 업종들이 설비 도입 및 운전비용에 있어서 제1차 금속산업이나 화학업종에 비해 상대적으로 낮아 설비 교체 시 담당직원의 역할이 더 중요시되기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같은 연구결과는 에너지 집약적인 기업군이 에너지 집약적인 기업군보다 상대적으로 열의가 있는 직원(staff with real ambition)에 대한 동인을 더 중요시한 해외 선행연구 결과와 일치한다(Cagno et al., 2017). 다음으로 에너지 진단 관련 동인에 대한 중요도가 0.0725로 온실가스 다배출 업종의 0.0328에 비해 더 높게 나타났다. 이 결과에 따라 현행법상 에너지 진단이 에너지 다소비 사업장에 한하여 의무화되어 있고 에너지 저소비 기업은 제외되어 있는 것에 비추어 볼 때, 에너지 저소비 기업의 에너지 효율 개선을 위해 에너지 현황 파악을 위한 에너지 진단을 지원하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 한편, 기술 부문의 2개 동인, 즉, 호환 가능한 신규설비 발굴에 대한 동인과 가격 경쟁력 있는 설비 발굴에 대한 동인의 중요도가 온실가스 다배출 업종에 비해 모두 높게 나타난 것은 에너지 효율 개선을 위해 비효율적인 설비 교체에 대한 부담이 제1차 금속산업과 화학 업종에 비해 상대적으로 적기 때문으로 생각된다. 나아가 이 점은 에너지 효율 개선을 위해 기업이 선택할 수 있는 조치의 범위가 온실가스 다배출 업종에 비해 더 넓다는 의미가 될 수 있으므로 향후 이를 근거로 정부는 정책대상을 선별하여 수립할 필요가 있다고 생각한다. 그리고 에너지 효율 투자에 따른 이점 관련 동인과 에너지 효율 정책 인식 관련 동인에 대한 중요도가 각각 0.0616, 0.0577로 에너지 다배출 업종의 0.0429, 0.0367보

다 높은 것은 그만큼 정부의 정책 홍보 강화가 필요한 이유를 제공하고 있다고 생각된다.

이상의 결과를 종합하면 먼저 온실가스 다배출 업종에 대해 에너지효율 개선을 위한 정책을 수립할 경우, 기회 식별 단계에서 에너지가격 동인 중요도가 온실가스 소배출 업종에 비해 더 높게 나타난 본 연구결과에 따라 먼저 국내 에너지가격의 점진적 현실화가 필요할 것으로 생각된다. 다음으로 온실가스 다배출 업종이라 하더라도 예를 들면 제1차 금속산업에서 철강산업 중 단순압연 업체, 비철금속산업 중 가공업체 등 에너지 효율 개선의 필요성은 절감하나 관련정보나 재원이 부족한 기업을 발굴하여 이들 기업에 대해 보다 정교한 접근방법이 필요할 것으로 생각된다. 한편 온실가스 소배출 업종에 대한 에너지효율 개선 정책 방향은 담당직원의 인식 관련 동인, 에너지 효율 투자에 따른 이점 관련 동인, 에너지 효율 정책 인식 관련 동인에 대한 중요도가 모두 온실가스 다배출 업종에 비해 높게 나온 본 연구결과에 따라 담당직원의 인식 제고를 위해 에너지효율 의무 관련 정책 설명회 홍보를 강화할 필요가 있다고 생각된다. 참고로 현재 연간 에너지 사용량이 2천toe 미만인 중소기업 대상 국내정책으로는 에너지 서포터, 에너지동행 및 그린크레딧 발굴 지원, 에너지효율 시장 조성사업 등이 있으며 최근 독일의 LEEN (the Learning Energy Efficiency Network)을 모델로 한 지역에너지효율 네트워크 사업(KEA, 2021b)도 있다. 다음으로 에너지 진단 관련 동인에 대한 중요도 역시 온실가스 다배출 업종에 비해 높게 나타났으므로 현재 연간 2천toe 이상의 에너지 다소비 사업장에 한해 의무화한 에너지 진단을 온실가스 소배출 업종에 대해서는 재정지원을 통하여 확대하는 방안도 필요할 것으로 생각된다. 요컨대 온실가스 소배출 업종에 대해서는 현재 정부가 중소기업장을 대상으로 운영하고 있는 다양한 사업에 대한 설명회 개최 강화와 에너지진단 지원 확대가 에너지효율에 대한 중소기업장의 인식 개선과 나아가 이들 사업장의 에너지효율 개선을 위해 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

기업은 에너지효율을 개선함으로써 운영비용 절감으로 인한 이윤 극대화뿐만 아니라 혁신기술 도입을 통한 생산성 향상, 대외경쟁력을 확보하고 기업의 친환경 이미지를 제고하는 비에너지 편익도 얻게 된다(Park and Lee,

2021). 하지만 이러한 장점에도 불구하고 왜 어떤 기업은 에너지 효율 개선 조치를 하지 않는가? 이러한 문제에 대해 정부는 그 원인을 세밀히 진단하기보다는 외부에서 단순히 기업이 에너지 효율 개선 조치를 이행할 수 있도록 인센티브 관련 정책을 수립하여 이에 대응해온 것은 아닌가? 이러한 문제의식에서 정부가 기업에 좀 더 가까이 다가가는 기업의 최종의사에 이르기까지 영향을 미치는 동인들을 파악하고 이를 진작하는 정책을 수립하는 것으로 방향을 전환하고자 할 때 참고할 수 있는 기초자료를 제공하는데 본 연구의 함의가 있다. 기업은 최종의사를 도출하기까지 일련의 의사결정 과정을 거친다. 에너지 효율 개선 조치를 예로 들면, 먼저 에너지 효율 개선을 위한 투자행위 자체가 필요함을 기업 내부적으로 인식해야 하고, 다음으로 기업 내 어느 곳에 그 투자가 필요한지를 인지한 후, 재원을 확보하여 최종적으로 그 대상에 투자하게 될 것이다. 만약 이러한 의사결정이 어느 한 단계에서 막히면 그 다음 단계로 진행되지 못하고 결국 기업의 에너지 효율 개선이라는 가시적 성과로 이어지지 못하게 된다. 이는 점에서 의사결정 단계별로 동인을 파악하는 의의가 있다고 생각된다. 특히 우리나라는 에너지 다소비 국가이면서 에너지 원단위는 아직 OECD 회원국 중 하위에 머물러 있다는 점에서 이제는 기업의 에너지 효율 개선을 위해 이러한 미시적인 접근이 필요한 때가 되었다고 판단된다. 이에 본 연구진은 국내 산업계의 에너지 효율 개선을 위해 앞서 설명한 대로 해외 선행연구가 주는 이러한 시각을 본 연구에 적용하고자 하였다. 이러한 시도에 따라 본 연구는 에너지 효율 투자 이행 또는 미이행이라는 기업의 최종의사 결과가 왜 나오게 되었는지를, 기업의 내부 의사결정 단계를 가정하고 그 단계별로 긍정적 영향을 미칠 수 있는 동인이 무엇인가를 온실가스 다배출 업종과 소배출 업종으로 나누어 연구하였다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다. 아울러 설문 응답결과에 신뢰구간을 고려한 FAHP를 적용하여 응답자의 불확실성을 제고하였다는 점에서 기존의 국내외 선행연구와 차별성이 있다고 할 수 있다.

본 연구 결과 기업의 의사결정 단계별로 온실가스 다배출 업종과 소배출 업종이 에너지 효율 개선 조치에 있어 가장 중요시하는 동인은 두 업종 모두 경영진의 인식과 관련된 것으로 나타났다. 하지만 기업의 최종 의사결정권자인 경영진이 에너지 효율이 중요함을 인식해도 관련 조치를 이행하기 위해서는 기업의 의사결정 과정별로 여러 가지 동인으로 인해 그 조치의 타당성이 입증되어야 하

로 나머지 동인 역시 중요하다 할 것이다. 본 연구 결과 경영진의 인식을 제외한 나머지 동인은 다배출 업종과 소배출 업종이 상이하게 도출되었으며, 정부는 이를 검토하여 기업군에 따라 상대적으로 중요하게 생각하는 동인을 촉진하는 정책수립으로의 방향 전환이 필요할 것으로 생각된다. 예를 들면, 온실가스 소배출 업종의 경우, 에너지 진단 관련 동인과 함께 호환 가능한 신규설비 발굴에 대한 동인, 가격 경쟁력 있는 설비 발굴에 대한 동인 등이 온실가스 다배출 업종에 비해 높게 나타났다는 것은 현재 사업장 내 에너지 사용 현황에 대해 알려줄 수 있는 지원이 필요하다는 것으로 추론될 수 있으므로 만약 온실가스 소배출 업종 중에서 현재 에너지 진단 의무화 제도 대상이 아닌 기업들이 있다면 이러한 결과가 나온 유사기업을 묶어 해당기업별로 각 대표사업장의 에너지 현황을 파악할 수 있는 진단을 지원하는 정책을 정부가 수립할 수 있을 것이다.

한편 이상의 연구결과를 참조함에 있어 본 연구는 설문을 통해 확보된 표본에 한한 설명이며 국내 산업 전반에 대한 진단은 아님을 유의할 필요가 있다. 이러한 유의점과 더불어 한계점으로는 업종별 표본 수가 다소 적고, 에너지 효율 개선과 관련하여 기업의 의사결정 단계별 장애요인에 대한 연구는 포함되지 못한 것을 들 수 있다. 이에 향후 업종뿐만 아니라 기업규모별 표본 수 확대와 함께 기업의 의사결정 단계별 에너지 효율 개선 투자 관련 장애요인 연계를 후속 연구방향으로 제안하고자 한다.

하지만 이러한 한계점에도 불구하고 본 연구는 첫째, 에너지효율 개선을 위한 투자와 관련하여 기업의 의사결정 단계를 설정하고 이 단계별로 긍정적 영향을 미치는 동인을 국내기업을 대상으로 파악하였으며, 둘째, 설문응답자의 판단을 확정적인 수치 대신 불확실성을 고려한 일정구간으로 표현함으로써 기업의 의사결정에 미치는 동인을 파악함에 있어 보다 현실적인 방법을 제시하였고, 셋째, 이전보다 세밀한 정부정책 수립으로의 방향 전환을 위해 정부가 참고할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있다는 점에서 의의를 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 에너지경제연구원의 2021년도 기본연구인 “산업부문 에너지효율 성과공유 및 평가체계 구축방안(1/3)” 결과를 수정 보완하여 작성되었습니다.

References

- Al-Harbi KMAS. 2001. Application of the AHP in Project Management, *International Journal of Project Management* 19(1): 19-27.
- Armast RL, Compton PJ, Mullens MA, Swart WW. 1994. An AHP Framework for Prioritizing Customer Requirements in QFD: An Industrialized Housing Application, *IIE Transactions* 26(4): 72-79.
- Ayhan MB. 2013. A Fuzzy Ahp Approach For Supplier Selection Problem: A Case Study In A Gearmotor Company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains* 4(3): 11-23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Buckley JJ. 1985. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems* 17(3): 233-247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)
- Cagno E, Trianni A. 2014. Evaluating the barriers to specific industrial energy efficiency measures: An exploratory study in small and medium-sized enterprises. *Journal of Cleaner Production* 82: 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.057>
- Cagno E, Trianni A, Abeelen C, Worrell E, Miggiano F. 2015. Barriers and drivers for energy efficiency: Different perspectives from an exploratory study in the Netherlands. *Energy Conversion and Management* 102: 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.018>
- Cagno E, Trianni A, Spallina G, Marchesani F. 2017. Drivers for energy efficiency and their effect on barriers: empirical evidence from Italian manufacturing enterprises. *Energy Efficiency* 10(4): 855-869. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9488-x>
- Cho SK, Lee JS. 2006. Development of the Attributes and Their Weights for Evaluation of Amenity of Seoul by Applying Fuzzy-AHP(in Korean with English abstract). *Seoul Studies* 7(1): 1-16.
- Choi M-C. 2020. Evaluation of Analytic Hierarchy Process Method and Development of a Weight Modified Model. *Management Information Systems review* 39(2): 145-162. <https://doi.org/10.29214/damis.2020.39.2.009>
- Chontanawat J. 2020. Relationship between energy consumption, CO₂ emission and economic growth in ASEAN: Cointegration and causality model. *Energy Reports* 6: 660-665. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.046>
- Fu HH, Chen YY, Wang GJ. 2020. Using a fuzzy analytic hierarchy process to formulate an effectual tea assessment system. *Sustainability (Switzerland)* 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156131>
- IEA. 2020. *Energy Technology Perspectives 2020*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- KEA [Korea Energy Agency]. 2021a. 2021 Industry Sector Energy and GHG Emission Statistics.
- KEA. 2021b. Introduction to a pilot project of Learning Energy Efficiency Networks.
- KEA. 2022. 2022 KEA Energy Handbook.
- Lee SI. 2019. As for energy transition, the most important is to innovate national energy efficiency. *Energy Focus* 16(3). Korea Energy Economics Institute.
- MOTIE [Ministry of Trade, Industry and Energy] Press Release. 2019 Aug 21. Realization of advanced energy consumption structure by 2030 through energy efficiency innovation.
- MOTIE Press Release. 2021 Dec 23. MOTIE, Discussion on energy efficiency innovation plan with industry.
- National GHGs Management System. Companies to be allocated; [accessed 2022 Jun 8] <https://master.gir.go.kr/link.do?menuNo=30130101&link=/websquare/websquare.html%3Fw2xPath%3D/cm/bbs/OGCMBBS021V.xml%26menu%3D30130101>.
- Park JY, Lee SI. 2020. Analysis of investment behavior for energy efficiency of electricity in the industrial sector and measures to improve incentives. Korea Energy Economics Institute.
- Park JY, Lee SI. 2021. A Study on Industrial Energy Efficiency Network and Its Evaluation System(1/3). Korea Energy Economics Institute.
- Peterson DL, Silsbee DG, Schmoldt DL. 1994. A case study of resources management planning with multiple

- objectives and projects, *Environmental Management* 18(5): 729.
- Shin JY, Park YJ, Kim TW. 2014. Evaluation of Inland Inundation Risk in Urban Area using Fuzzy AHP(in Korean with English abstract). *Journal of Korea Water Resources Association* 47(9): 789-799. <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.9.789>
- Smith KM, Wilson S, Lant P, Hassall ME. 2022. How Do We Learn about Drivers for Industrial Energy Efficiency—Current State of Knowledge. *Energies* 15(7): 1-26. doi:10.3390/en15072642.
- Thollander P, Ottosson M. 2008. An energy efficient Swedish pulp and paper industry - Exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments. *Energy Efficiency* 1(1): 21-34. <https://doi.org/10.1007/s12053-007-9001-7>
- Thollander P, Backlund S, Trianni A, Cagno E. 2013. Beyond barriers - A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden. *Applied Energy* 111: 636-643. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.036>
- Trianni A, Cagno E, Marchesani F, Spallina G. 2013. Drivers for industrial energy efficiency: an innovative approach. In *ICAE-International Conference on Applied Energy* (pp. 1-9).
- Trianni A, Cagno E, Farn, S. 2016. Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. *Applied Energy* 162: 1537-1551. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.078>
- Trianni A, Cagno E, Marchesani F, Spallina G. 2017. Classification of drivers for industrial energy efficiency and their effect on the barriers affecting the investment decision-making process. *Energy Efficiency*, 10(1), 199-215. <https://doi.org/10.1007/s12053-016-9455-6>
- Van Laarhoven P. J. M., Pedrycz W. 1983. A fuzzy extension of Saaty. *Fuzzy Sets and Systems* 11(1-3): 229-241.
- Venmans F. 2014. Triggers and barriers to energy efficiency measures in the ceramic, cement and lime sectors. *J Clean Prod* 69: 133-142. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.076. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.076>.
- Zadeh LA. 1965. "Fuzzy Sets," *Information and Control* 8: 338-353.