

A Study on the Calculating of GHG Reduction Intensity by 1-hour Shutdown of Air Conditioner during the Day

일과 중 냉난방기 1시간 운휴에 따른 온실가스 감축 원단위 산정 연구

Hye-jin Jung¹

정혜진¹

¹ Research Professor, Institute for Sustainable Development, Seoul National University, South Korea,
jhj2005@snu.ac.kr

Abstract: In order to achieve the goal of carbon neutrality in 2050, the importance of energy-saving activities through user participation along with technological advances is being emphasized. In particular, local governments that lack available resources want to establish and promote greenhouse gas reduction plans through user's participation, but there is a lack of empirical research results for this. Energy saving through adjustment of heating and cooling supply is the most representative greenhouse gas reduction activity, but it has not proved its effect so far. In this study, we intend to derive a greenhouse gas reduction intensity based on the energy saving effect of one hour off heating and cooling. As a result of this study, when the greenhouse gas reduction effect is expressed as a reduction rate, it can be expressed as a ratio of the reduction to the total amount of use for 1 hour. It showed a reduction rate of about 7.7% in summer and about 5.2% in winter. The unit of greenhouse gas reduction calculated based on this reduction rate is 45g-CO₂eq/m² for air conditioners and 37g-CO₂eq/m² for heaters, which is a valid result. It is expected that the greenhouse gas energy reduction project plan will be established more actively through the analysis of the reduction source by saving behavior as in this study.

Keywords: Carbon Neutrality, Energy Saving, GHG Reduction, Enrgy Use Intensity, Air Coditioner

요약: 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해서는 기술 발전과 함께 사용자 참여를 통한 에너지 절약 활동의 중요성이 강조되고 있다. 특히 가용자원이 부족한 지자체는 이용자 참여를 통한 온실가스 감축계획 수립 및 추진을 원하지만 이에 대한 실증연구 결과가 부족한 실정이다. 냉난방 공급 조절을 통한 에너지 절약은 공공부문을 중심으로 수행되는 가장 대표적인 온실가스 감축 활동이지만 지금까지 그 절감 효과에 대한 실증자료는 존재하지 않았다. 이에, 본 연구에서는 냉난방 1시간 오프에 따른 에너지 절약 효과를 기반으로 온실가스 감축 원단위를 도출하였다. 온실가스 저감효과를 저감율로 표현할 경우, 1시간 동안 총 사용량 대비 감소량의 비율로 표현할 수 있는데, 여름에는 약 7.7%, 겨울에는 약 5.2%의 감소율을 나타냈다. 이를 감축 원단위로 나타낼 경우 냉방기 1시간 운휴로 인한 온실가스 감축원단위는 45g-CO₂eq/m², 난방기는 37g-CO₂eq/m²로 나타났고, 이는 감축률을 고려할 때 타당한 결과임을 확인하였다. 이 같은 감축 원단위 분석 결과는 효율적인 온실가스 에너지 저감 및 시행 계획 수립을 도모할 것으로 기대한다.

Received: March 13, 2023; 1st Review Result: April 27, 2023; 2nd Review Result: May 25, 2023
Accepted: June 30, 2023

핵심어: 탄소 중립, 에너지 절약, 온실가스 감축, 에너지 소비 원단위, 냉난방

1. 서론

국제사회는 2020년까지의 온실가스 감축 협약인 교토의정서를 대체할 논의를 지속해 왔으며, 지난 2015년 파리협정 채택으로 2021년 이후 국제적인 온실가스 감축에 대한 합의를 이룬 바 있다. 파리협정에 따라 2021년 이후 국제사회의 기후변화 대응 체제, 즉 신기후체제 하에서 모든 당사국은 자발적으로 결정한 온실가스 감축 목표인 국가결정기여(NDC, Nationally Determined Contribution)를 설정하여 5년마다 UN에 제출할 의무가 있으며, NDC 달성을 위한 장기저탄소발전전략(LEDS, Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies) 수립을 권고하고 있다. LEDS에 따른 탄소중립이 새로운 글로벌 패러다임으로 대두되면서 EU, 미국 등 선진국뿐만 아니라 개도국도 이에 동참하고 있는 추세이며, 우리나라 또한 국제사회에 2030년까지 40% 감축하겠다는 NDC를 제출하였고 2020년 10월 '2050 탄소중립'을 선언하기도 하였다. 탄소중립의 주요 수단은 최적가용기술(BAT)을 통한 에너지 효율화 사업임을 부정할 수는 없다. 이를 반영하듯이 2050 탄소중립 추진 전략의 대부분도 산업구조 혁신, 미래형 모빌리티, 신유망 저탄소 산업 등 탈탄소 미래기술 개발 및 상용화 촉진과 같은 기술 혁신을 통한 온실가스 감축에 초점이 맞추어져 있다.

하지만, 이 같은 미래기술개발의 불확실성, 적용에 따른 과도한 사회적 비용 발생 등의 이유로 인해 최종적인 에너지 소비자로서 온실가스 감축에 적극적으로 참여하는 활동의 중요성이 높아지고 있는 것도 현실이다[1]. 미국 에너지경제효율위원회의 전망에 의하면 2015년에는 이용 효율에 따른 전기 절약은 전체 발전량의 18%이고, 2030년에는 33%에 이를 것으로 밝히기도 하는 등 에너지 절약을 제5의 에너지로 규정하기도 하였다[2]. 온실가스 감축에 필요한 신기술 도입의 시차 동안 운영 방안의 효율화, 사용자들의 참여를 통한 절감 활동의 중요성이 강조되는 것도 이와 같은 이유이다[3]. 적극적인 온실가스 감축, 기후변화 대응을 위하여 기술적 진보와 사용자 행동 변화에 의한 에너지 효율화의 사회적 필요성과 관심이 확산되고 있는 것이다. 최근에는 우크라이나 전쟁에 따른 에너지 수급 불안정, 국제 유가 급등과 같은 에너지 위기 극복을 위하여 공공부문의 강도 높은 에너지 절감 수행도 이 같은 절감 차원의 에너지 효율화의 필요성이 반영된 조치로 이해할 수 있다. 공공기관을 대상으로 하였지만, 적정 난방온도 제한, 난방기 운휴, 개인 난방기 사용 중지 등 냉난방 에너지의 저감을 위한 다양한 조치는 사용자 참여를 통해 에너지를 저감할 수 있는 가장 일반적인 저감 조치라고 할 수 있다. 가장 최근 발표된 한국환경공단의 감축원단위 적용 가이드라인에서 제시한 감축 사업에서도 도시가스 공급 확대, 탄소포인트제 운영, 대기전력 차단 활동, 친환경운전문화 확산, 승용차요일제 추진, 음식물쓰레기 저감 캠페인, 수요반응시스템 구축 등 순수 기술이 아닌 소비자들의 참여에 의한 감축 활동의 효과를 꾸준히 측정하고 이를 일종의 감축 원단위라는 이름으로 발표하고 있다[4]. 이 같은 자료는 지자체뿐만 아니라 다양한 기관에서 온실가스 감축 계획 수립을 위한 투자 계획의 기초자료로 활용될 수 있다. 본 연구에서 다루고자 하는 냉난방기의 일과 중 운휴에 따른 에너지 절감, 온실가스 감축 효과도 건물 운영 과정에서 시행할 수 있는 대표적인 에너지 효율화 사업이지만 그 실증 자료가 보고되지 않는 감축원단위 중 하나이다. 이에, 통계적 방법론에 의한 냉난방 1시간 운휴 사례의 절감 효과 분석 결과를 활용하여 온실가스

에너지 감축 사업 계획 수립 시 해당 사업의 보다 적극적인 시행을 도모하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 원단위 산정 방법론 고찰

에너지 원단위의 사전적 정의는 GDP 1단위(100만 원 또는 1천 달러)를 생산하는데 소비되는 에너지의 양이며, 에너지 원단위는 "1차에너지 소비량/GDP"로 나타낼 수 있다. 따라서, 에너지 효율이 높을 수록 에너지 원단위가 낮다고 할 수 있으며 주요 국가의 에너지 원단위는 에너지 소비 효율을 잘 드러내 주는 지표라고 할 수 있다. 대한민국의 에너지원단위는 OECD 36개국 중 30위를 기록하고 있는데 이는 철강, 석유화학 등 에너지 집약적인 제조업 중심의 산업구조가 원인이라고 밝히고 있다[5]. 이 같은 원단위 관련 사전적 정의 이외에도 에너지소비, 온실가스 배출의 효율을 나타내는 다양한 원단위가 활용되고 있고 최근의 주요 연구 사례를 종합해 보면 아래의 [표 1]과 같다. 건설폐기물의 경우에는 소각 부문의 총산출량을 원단위로 배출 효과를 산정하고 있으며[6], 건축물의 에너지 원단위의 경우에는 1인당 혹은 단위 면적(m²)당이 주요한 원단위로 활용되고 있다[7]. 상업건물의 국민 1인당 에너지 원단위와 같이 특수한 목적에 기반한 원단위는 상업 건물 내에서 발생하는 경제활동으로부터 생산되는 부가가치의 한 단위(만원)로 원단위를 생성할 수 있으며[8], 주택의 에너지 원단위의 경우에는 1호당 에너지 소비원단위를 나타낼 수 있으며 경우에 따라서는 원단위에 시간 개념이 결합되기도 한다[9][10]. 재미있는 것은 연구자의 연구 의도에 따라서 똑같은 건물 부문이라하더라도 단순히 1인당 배출량을 구하는 것에 더해 일일당 피크타임 때, 풀타임 때와 같은 필요에 따른 원단위 선정이 다양하게 규정될 수 있다[11]. 한편 공공하수처리장 처럼 주요한 배출원이 생물학적 산소요구량에 기반하는 경우에는 유입유량*BOD를 뜻하는 kgBOD를 원단위로 설정하기도 하며[12], 철도와 도로 수송부문의 경우에는 일 인당 이동 거리를 의미하는 person·km를 효율 평가의 기초 단위로 활용할 수 있다[13].

[표 1] 다양한 온실가스 에너지 원단위 산정 연구

[Table 1] Various Study Results for GHG & Energy Intensity

에너지/온실가스 배출 원단위 명	원단위 값	에너지/온실가스 배출 원단위 명	원단위 값
건설폐기물 소각에 의한 온실가스 배출원단위	0.03175 kgCO ₂ eq/원	다세대주택의 에너지원단위	192.13 Mcal/m ² ·yr,
건물에너지원단위	0.42 toe/인	캠퍼스의 연간 에너지 원단위	0.549 toe/person
상업건물의 GDP 만원 당 에너지원단위	1.45 toe/만원	온실가스배출 원단위 - 파트타임	1.081 tonCO ₂ eq/person
서비스업의 부가가치에 따른 상업건물의 에너지원단위	2.41 toe/만원	온실가스배출 원단위 - 풀타임	2.429 tonCO ₂ eq/person
주택의 에너지 원단위	1.84 toe/만원	공공하수처리장의 온실가스 배출 원단위	1.766 tCO ₂ -eq/kgBOD
주택 당 에너지 원단위	1.33 toe/호	철도수송에 의한 온실가스 배출원단위(고속)	29.34g Co ₂ eq/person·km)
단독주택 에너지원 단위	277.08 Mcal/m ² ·yr	철도수송에 의한 온실가스 배출원단위(일반)	46.96 Co ₂ eq/person·km)

2.2 온실가스 감축 유형별 산정 방법

온실가스 감축량을 올바르게 산정하기 위해서는 온실가스 배출량의 산정이 수반되어야만 한다. 온실가스 배출량의 산정은 ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침’(환경부 고시 2022-279호)에서 정하고 있는 배출량 산정원칙을 따라야 한다. 활동도 자료에 적합한 배출량 산정의 방법론이 결정되면 감축 활동 이전 상태인 베이스라인 (온실가스)배출량과 특정한 감축 활동이 반영된 사업 후 (온실가스)배출량을 각각 산정한 후 그 차이를 감축량이라고 할 수 있다.

이 같은 감축 활동의 유형은 크게 3가지로 구분해 볼 수 있다. 감축 기술의 도입에 의한 감축, 재생에너지원의 도입에 의한 감축, 마지막으로 제도 운영 등에 따른 사용자 참여에 의한 감축으로 구분할 수 있고 각각은 산정의 기본적인 방식이 구분된다. 먼저, 감축 요소 기술 도입에 따른 감축원단위의 경우 기초방법론은 기술 도입에 따른 감축 물질을 정의하고 비교가능한 베이스라인을 설정 후 베이스라인 대비 절감량 산정하며 이 과정 중 감축 온실가스별 배출계수를 결정하고 필요 조건에 따른 감축 원단위 결정을 진행한다. 예를 들어, LED 조명 교체, 대기전력 차단기 보급, 옥상 녹화 사업에 의한 온실가스 감축이 이와 같은 경우에 해당된다. 둘째, 재생 에너지 발전원 도입에 따른 감축원단위의 경우 기초방법론은 에너지 원별 생산 효율을 정의하고 생산된 에너지량 산정, 그리고 생산된 에너지 원별 이산화탄소 배출량 산정한 뒤 필요 조건을 고려한 감축 원단위를 결정하게 된다. 다시 말해, 순수하게 자연에너지를 이용하여 에너지를 생산하므로 그 만큼의 화석에너지 소비가 없어진다는 전제로 연간 발전량이 이산화탄소 감축량으로 환산된다. 태양광 발전, 지열히트펌프, 수소 연료전지 등에 의한 온실가스 감축이 이와 같은 경우에 해당된다. 셋째, 본 연구에서 다루고자 하는 제도 운영 등에 따른 사용자 참여에 의한 감축원단위의 경우에는 활동도 자료에 대한 샘플링, 이에 대해 영향을 끼치는 변수 파악 (외기, 규모, 제도 적용 강도, 시행 시기 등) 이후 회귀모형 등 분석 모형 설정 또는 가정 설정을 통해 베이스라인 대비 감축 효과를 분석하고 감축 원단위를 결정하게 된다. 세 번째 경우인 참여에 의한 감축 성과는 투입되는 기술적 요인과 비용, 그리고 이에 따른 효과가 정량화되기 어려운 측면이 있으므로 사업 단위별로 적절한 통계 모형을 구축하고 그 효과를 검증하는 절차를 지니게 되고, 본 연구의 세부 주제인 1시간 운휴에 의한 절감 효과 또한 세 번째 감축 유형에 해당된다고 할 수 있다. 상기한 3가지 각각의 경우에 대하여 온실가스 감축량을 산정하는 기본적인 산정식과 예시를 종합하면 아래의 [표 2]와 같다.

[표 2] 온실가스 감축 유형별, 사업별 감축 원단위 산정식 예시

[Table 2] Examples of Calculation Formula for Reduction Intensity by Type of Reduction Activity

감축유형	감축수단	감축량 산정식	감축원단위	모니터링 인자
감축 요소 기술 도입	LED 조명 교체	전력배출계수 × (형광등 소비전력 - LED 조명등 소비전력) × 점등시간(근무시간 × 근무일수) × 단위환산	t-Co2eq/개	기기별 소비전력, 단위면적당 감축 에너지량
	대기전력 차단기 보급	전력배출계수 × 가구당 에너지 저감량(가구당 연평균 대기전력 소비량 × 대기전력 차단율) × 시간(근무시간×근무일수) × 단위환산	t-Co2eq/가구	
	쿨루프 조성	전력배출계수 × 단위 면적당 감축	t-Co2eq/m ²	

		전력량 × 냉방일수 × 단위환산		
재생 에너지 발전원 도입	태양광 발전설비 설치	에너지생산량(설치용량 1Kw당) × 발전일(365일) × 발전시간(24.5%) × 전력배출계수 × 단위환산(10 ⁻³)	t-Co2eq/kW	발전원별 연간 이용률 정보(수력양수 : 24.5%, 풍력 : 21.9%, 태양광 발전효율:15.04%)
	지열 히트펌프	(냉방환산기준 × 냉방비중 × 전력배출계수) + (난방환산기준 × 난방비중 × LNG 배출계수)	t-CO2eq/RT	
제도 운영 등에 따른 사용자 참여	탄소포인트제 운영	LNG 배출계수 × 도시가스 사용절감량(전년도 사용량 - 이번년도 사용량) × 단위환산	t-Co2eq/m ³	운영 혹은 참여에 영향을 끼치는 변수
	승용차 요일제 추진	(승용차 일평균 주행거리 ÷ 승용차 평균 연비 × 휘발유 순발열량 × 휘발유 배출계수 × 단위 환산) × 운행저감일(연간 52일: 주 1회 참여한다고 가정)	t-Co2eq/대.yr	

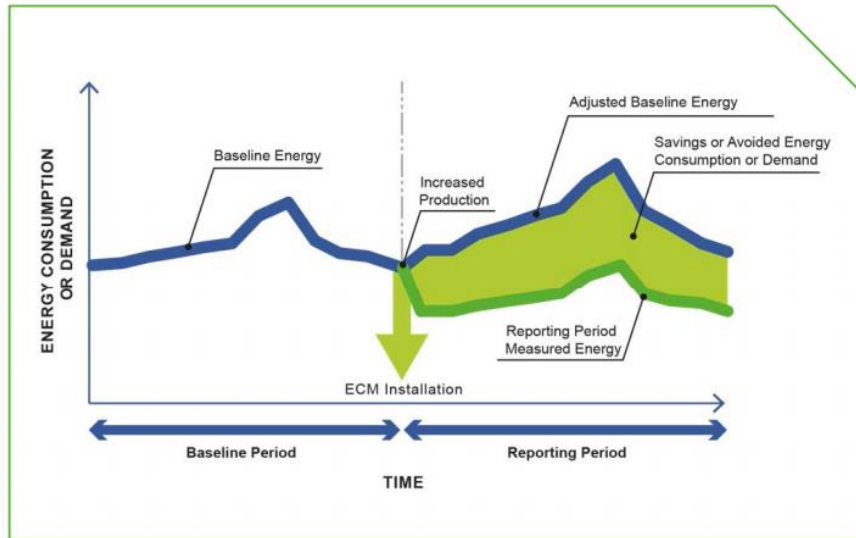
3. 분석방법과 결과

3.1. 에너지 절감 측정 및 검증 방법론

에너지 절감을 측정한다는 것의 의미는 어떠한 에너지 절감 활동의 실행 전(베이스라인 소비량)과 후에 측정된 각각의 소비량(사업 기간 소비량)을 비교하되, 변수 발생에 따른 적절한 조정계수 선정을 통해 결정이 되는 구조이다. 다시 말해, 단순히 ‘사업 전 에너지 소비량 - 사업 후 에너지 소비량’의 차이를 절감량이라 칭할 수는 없으며, ‘사업 전 에너지소비량 * 조정계수 - 사업 후 에너지소비량’의 과정을 통해 사업 전과 후의 일관성 있는 기준이 설정되어야 한다. 가장 대표적인 절감 사업인 건물을 대상으로 한 활동을 예로 들면, 절감 활동이 있었던 기간과 절감 활동이 없었던 기간이 시기적으로 일치할 수는 없기 때문에, 절감량이 있었던 기간과 절감량이 없었던 기간의 환경을 통제하는 일정한 조정계수를 도입한다는 의미를 가지고 있다. 따라서, 절감량을 산정하기 위한 베이스라인 배출량을 어떻게 결정하고, 이 베이스라인 배출량을 현재 상황에 맞게 어떤 방식으로 조정할 것인가가 에너지 절감량 평가의 핵심이라고 할 수 있다[14].

특히, 본 연구에서 다루는 제도 운영 등에 따른 사용자 참여 부문의 절감량 평가의 경우 사업 기간 동안의 에너지의 소비량 변동이 특정한 에너지 절감 운영 조치만으로 100% 설명할 수 없는 특성을 가질 수 있으므로 에너지 소비에 영향을 끼치는 대표적인 변수(영향인자)에 의한 일상적인 조정량을 회귀계수로 도출해 내는 것이 중요하다. 이와 같은 이유로 에너지 소비에 영향을 끼치는 변수에 의한 소비량 조정(Adjusted Baseline Energy)은 절감량의 신뢰도 확보에 필수적인 절차이며, 이를 위하여 에너지 소비 영향 요인인 날씨, 생산량, 점유율의 변화 양상을 통계적 모형을 통해 유추하는 절차를 지낸다. 다음의 [그림 1]과 같이 국제성과측정 및 검증 프로토콜(IPMVP: International Performance Measurement and Verification Protocol) 상의 절감량의 개념 또한 다음과 같이 베이스라인 기간 에너지와 보고 기간 에너지의 차이에 조정량을 환산한 값으로 표현하고 있다[15].

$$\text{Savings} = (\text{Baseline Period Energy} - \text{Reporting Period Energy}) \pm \text{Routine Adjustments} \pm \text{Non Routine Adjustments}$$



[그림 1] IPMVP 상의 절감량 산정식과 개념도(자료: EVO (2016))

[Fig. 1] Calculation Equation and Conceptual Diagram of IPMVP Option C(Source: EVO(2016))

3.2 통계 모형과 분석 결과

본 연구에서는 2.2장의 감축 유형 중 제도 운영 등에 따른 참여 증진 분야의 온실가스 감축 원단위 발굴을 위하여 일과 중 1시간 냉난방기 가동 중지 등에 따른 감축 효과를 산정하고자 한다. 이를 위하여 동일한 환경 조건하에 다수의 건물의 사용량 정보를 가지고 있는 대학 건물을 대상으로 하였다. 분석 대상인 국립대학 법인 S대학교의 경우 2012년부터 전력 계전 시스템을 운영하고 있으며, 온실가스 에너지 종합관리센터를 통해 일정 해상도(시간 단위)의 전력 소비량 데이터의 품질이 관리되고 있다.

건물의 이용 강도 변화가 냉난방 기간의 기온 변화에 따른 주기성을 띠고 있는 여건에서는 실질적인 증감량 산정을 위해 외기온 변화에 따른 베이스라인을 산정하는 것이 필수적이다. 건물의 이용상의 변화에 따라 변수가 발생할 수 있지만 외기온의 변화는 반드시 고려되어야 하는 고정변수이기 때문이다. 따라서, 동일한 외부 환경에 접해 있는 다량의 유사 샘플의 동일한 해상도를 가진 에너지 소비 데이터는 외부 변수에 의한 변동량을 측정하기에 적합한 대상이라고 할 수 있다[16].

본 연구에서 분석하고자 하는 냉난방기 운휴에 의한 에너지 절약 사업은 냉난방기 운전의 효율화를 통한 감축 사업으로서 일과 중 일정 시간 동안 냉난방기 운전을 중단하는 방식으로 에너지 절약을 실천하는 사업이다. 따라서, 건물의 구조나 주요 설비 등의 변경 없이 냉난방기의 자동제어 시스템에 의한 일과 중 일정 기간의 냉난방기 운휴를 통해 에너지 소비량을 절감한 사업에 적용할 수 있는 사업이다. 보다 세부적으로는 사업장 경계 내 전기를 에너지로 사용하는 개별 냉난방기(EHP: Electric Heat Pump)를 사용하는 건물, 그리고 건물의 주요한 사용 주체나 방식에 대한 변동이 없는 경우에 분석 가능한 대상이라고 할 수 있다.

다음의 [표 3]을 통해 지난 4년 동안 사례기관의 냉난방기 절약 운전 현황을 살펴보면, 2019년에 12시부터 13시까지 한 시간 동안 강제 오프한 절약 운전이 2020년 하절기까지 진행되다가 사용자가 켤 수 있는 자동 오프 방식으로 바뀌었음을 확인할 수 있다. 다만

2022년 동절기에는 다시 특정시간대 강제오프를 진행하였다. 따라서, 1년 전체기간 동안의 기간 동안 동일한 활동을 진행한 기간은 2019년과 2021년이라고 할 수 있으며, 강제 오프를 실시한 2019년을 분석기간으로, 그렇지 않은 2021년을 대조기간으로 설정하였고 분석 대상 건물은 2019년~2021년까지 EHP를 쓰는 건물 중 리모델링, 재건축 등 건물 운영상의 큰 변화가 없는 건물(하절기 대상 66개, 동절기 58개)을 대상으로 하였다.

[표 3] 사례 기관의 연차별 냉난방 절약운전 시행 현황

[Table 3] Annual Cooling and Heating Energy Saving Activities by Study Case

년도	구분	절약운전내용 1 (특정 시간대 일괄 차단)	절약운전내용 2: 자동 OFF (사용자에 의해 ON 가능)	비고
2019	하절기	12:00~13:00	1시간 단위 자동 오프 (지속)	
2019	동절기	12:00~13:00	1시간 단위 자동 오프 (지속)	
2020	하절기	12:00~13:00	1시간 단위 자동 오프 (지속)	
2020	동절기		12:00, 18:00, 21:00, 23:00 자동 OFF	민원 폭증으로 일괄 차단 해제
2021	하절기		12:00, 18:00 자동 OFF 18시 이후 3시간 단위 자동 OFF	
2021	동절기		12:00, 18:00 자동 OFF 18시 이후 3시간 단위 자동 OFF	
2022	하절기		12:00, 18:00 자동 OFF 18시 이후 3시간 단위 자동 OFF	
2022	동절기	09:30~10:00	12:00, 18:00 자동 OFF 18시 이후 3시간 단위 자동 OFF	

(냉방기 운휴를 실시한 하절기: 6월~7월, 난방기 운휴를 실시한 동절기 : 1월/12월)

각 건물의 12시-13시 시간대의 전력 소비량 예측모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 운휴 운전을 하지 않은 2021년 하절기 및 동절기의 평일 12시-13시 시간대에 전력 사용량 자료를 아래의 회귀모형식에 적용하여 각 건물별 회귀계수(β_1)를 얻을 수 있다. 이 회귀계수를 적용하면 각 건물의 하절기 및 동절기의 기온대별 예상 소비량이 도출된다. 이를 통해, 2019년 전력사용량을 예측하면 대부분의 건물에서 예측된 사용량에 비해 2019년의 실제 사용량이 더 높게 나타난다. 이 같은 결과는 기초 소비량 변화 양상이 반영된 결과이고 COVID-19 확산에 의한 기초 소비량(β_0)이 낮아졌음을 유추할 수 있다. 따라서, 이를 보정하기 위하여 분석 시간의 양측 시간인 2021년 11시~12시 시간대, 13시~14시 시간대에 대해서도 동일한 모형을 만들어 예측량을 구하고 증감비를 도출하였다. 이 증감비를 12시~13시 예상소비량에 적용하여 분석 대상 시간대에 냉난방 운휴시 최종적인 전력소비량을 예측하고 이를 실제 전력소비량과 비교하는 절차를 수행하였다.

$$(1) \log y_i = \beta_0 + \beta_1 T_i + \epsilon_i$$

y_i : i번째 날의 전력 사용량

β_0 : 회귀모형의 절편

β_1 : 회귀모형의 기온에 대한 기울기 계수

T_i : i번째 날의 기온

ϵ_i : 오차

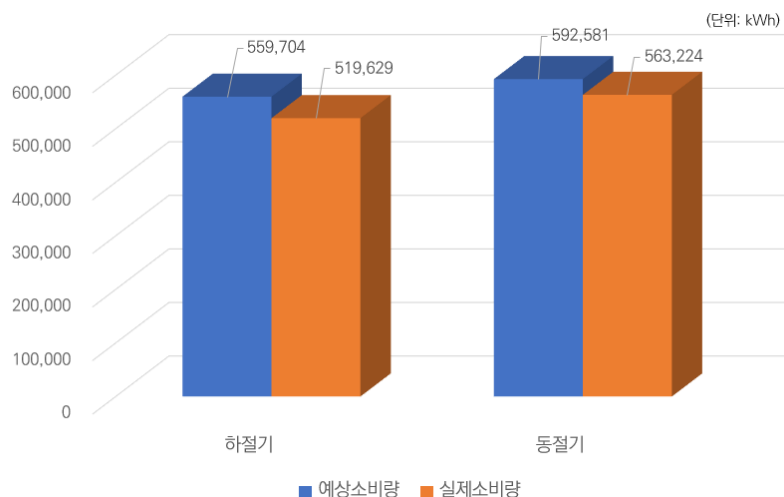
상기한 모형(1)을 보다 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 동절기 및 하절기의 시간대별 전력 사용량에 대해서는 다음과 같은 로그선형모형을 사용하였다.

$$(2) \log(\text{사용량}) = (\beta_0^{(y,h)} + \beta_1^{(h)} \times \text{기온}) - (\text{절감운행효과})$$

상기 모형(2)을 설명하면 다음과 같다. 모형의 절편 β_0 는 시간대 h 별로, 그리고 년도 y 별로 달라지지만, 기온에 대한 기울기 β_1 는 시간대별로는 달라지는 반면, 년도가 달라질 때에는 바뀌지 않는 것을 가정하였다. 본 연구의 목표는 1시간 냉난방기 운휴를 실시한 2019년도의 12시~13시 절감 운전에 따른 에너지 절감 효과이므로, 이를 추정하기 위해 동일 건물들에 대하여 절감 운전을 시행하지 않은 2021년도 11시~14시 소비량을 사용하여 각 시간대 별 β_0 , β_1 값을 추정하였다. 그리고 2021년도 모형을 통해 예측한 2019년도 사용량과 실제 2019년도 소비량의 차이를 이용하여 2021년도 β_0 값의 차이를 각 시간대 별로 추정하였다. 이때, 2019년도 12시~13시 시간대에 대한 β_0 추정은 절감운행이 적용된 소비량 자료를 사용하지 않고 절감운행을 시행하지 않은 11시~12시, 13시~14시 시간대의 연도별 β_0 차이를 평균을 내어 추정하였으며 이를 식으로 나타내면 다음의 모형(3) 같다.

$$(3) \beta_0^{19,12} - \beta_0^{21,12} = \frac{1}{2} \{(\beta_0^{19,11} - \beta_0^{21,11})\} + (\beta_0^{19,13} - \beta_0^{21,13})$$

이를 통해 절감운행을 시행하지 않았을 때의 2019년도 12시~13시 시간대 사용량 예측 모형 $\log(\text{사용량}) = (\beta_0^{(19,12)} + \beta_1^{(12)} \times \text{기온})$ 에 필요한 모든 계수를 얻을 수 있다. 그리고 이 모형을 사용한 예측량과 실제 소비량의 차이가 절감운행으로 인한 소비량 감소 효과인 것으로 말할 수 있다. 상기절차에 따른 감축량 분석 결과를 차트로 정리하면 아래의 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 일과중 냉난방 1시간 공급제한에 따른 전력소비량 변화

[Fig. 2] Changes in Electricity Consumption Due to the 1 hour Shutdown of Heating and Cooling

4. 결론

본 연구는 ‘2050 탄소 중립’을 위한 다양한 온실가스 감축 활동 중 제도 운영 등에 따른 사용자 참여에 의한 온실가스 감축 효과와 이에 따른 감축 원단위를 산정하고자 하였다. 이를 위하여 사례 건물들의 냉난방기 운휴를 시행하지 않은 해의 전력 사용량(베이스라인) 자료를 회귀모형식에 적용하여 회귀계수를 도출하고, 냉난방 운휴를 시행한 해의 예상되는 전력 소비량을 도출하였다. 베이스라인을 사용한 예상 소비량과 실제 소비량을 비교하여 전력에너지 절감량을 평가할 수 있었다. 다만, 냉방도일과 난방도일이 구분되고, 하절기와 동절기의 기온 변화에 따른 민감도가 상이하고, 에너지원의 열효율이 온기, 한기때 다르게 나타나는 관계로 결과 값은 냉방기(여름)와 난방기(겨울)를 구분하여 도출하였다.

절감 효과를 통상적으로 나타내는 절감률로 표현하면, 냉방 기간 1시간 동안 전체 전력소비량 대비 절감량의 비율로 나타내는데 하절기 기준으로 7.7%, 동절기 기준으로 5.2%의 절감률이 산출되었다. 이는 냉방기 1시간 동안 쓰는 양이 100일 때 냉방기 가동 정지에 의해 줄인 양이 7.7이라는 의미를 지니고 있다.

이를 다시 감축 원단위로 표현할 수 있는데, 감축 원단위로 환산하면 ‘ $(\sum \text{미시행 건물의 1시간 예상 전력소비량의 합} \times \text{조정계수}) - \sum \text{시행 건물의 1시간 전력소비량}) \times \text{전력배출계수} / \text{적용 건물의 연면적의 합}$ ’으로 표현할 수 있다. 이는 냉난방 1시간 공급을 중단한 대상 건물의 단위면적(m^2)당 온실가스 감축량이라는 의미를 지닌다. 본 식에 따라 산출된 온실가스 감축 원단위는 냉방기는 $45\text{g-CO}_2\text{eq}/\text{m}^2$, 난방기는 $37\text{g-CO}_2\text{eq}/\text{m}^2$ 로 나타났으며, 상기한 절감률과 비슷하게 냉방기의 운휴 효과가 난방기보다 약간 높음을 확인할 수 있다.

본 연구는 일과 중 냉난방기의 1시간 공급 중단을 통한 온실가스 감축 효과를 범용적으로 활용할 수 있도록 통계적 모형을 구축하고 감축 원단위를 도출하였다. 하지만, 이를 적용할 수 있는 건물의 주 용도는 일반 오피스 건물이나 상가와 같이 통상적인 수준의 에너지 소비 강도를 지니고 있어야 함을 고려하여야 한다.

References

- [1] S. C. Park, Improve energy efficiency, importance of fifth energy, Hankook-Ilbo, (2017)
Available from: <https://www.hankookilbo.com/News/Read/201703280477270585>
- [2] Hyejin Jung, Song Hae, A Study on the Effects of Resident Participation in Energy Saving Activities, Journal of Climate Change Research, (2018), Vol.9, No.3, pp.253-261.
DOI: <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2018.9.3.253>
- [3] K. Anderson, K. Song, S. Lee, E. Krupka, H. Lee, M. Park, Longitudinal analysis of normative energy use feedback on dormitory occupants, Applied Energy, (2017), Vol.189, pp.623-639.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.086>
- [4] Korea Environment Corporation, Guidelines for Application of Greenhouse Gas Reduction Intensity by Local Government, (2022)
Available from: https://www.gihoo.or.kr/netzero/user/carbonNeutral/library/nv_libraryEduDetail.do?firstIndex=¤tPageNo=1&recordCountPerPage=10&bbscttId=BBSCCTT_0000000885&bbsId=EDU&p_cntntsNm=
- [5] <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=6654501&cid=70129&categoryId=70129>, Apr 28 (2023)
- [6] Jeong Kwangboke, Ji Changyoon, Kim Jimin, An Sangjueon, Lee Jaewook, Estimation of Greenhouse Gas Emissions

Intensity from the Incineration of Construction Waste, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Journal, (2021), Vol.21, No.2, pp.200-201.

Available from: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10674041>

- [7] Byun Seong-hwan, Kim Ju-young, Hong Won-hwa, A study on the Energy Consumption and the Greenhouse gas Emission intensity of library, Journal of The Korean Solar Energy Society, (2010), pp.88-93.
Available from: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01408113>
- [8] Y. S. Jeong, H. K. Jung, Analysis and long-term change of energy intensity of buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, (2016), Vol.32, No.6, pp.97-104.
DOI: https://doi.org/10.5659/jaik_pd.2016.32.6.97
- [9] Kim Seung-Hee, Yee Jurng-Jae, A Study on the Energy Consumption Units by Housing Type in Busan Metropolitan City, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, (2014), Vol.16, No.4, pp.209-214.
Available from: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10873137>
- [10] Yu-Min Kim, Kim Deuk-Woo, Seung Eon Lee, Calculation of Energy Use Intensity for Housing Sector to develop a National Greenhouse Gas Roadmap, Journal of KIAEBS, (2018), Vol.12, No.1, pp.39-47.
DOI: <https://doi.org/10.12972/jkiaebbs.20180004>
- [11] H. J. Park, W. Rhee, Estimation of the GHG Intensity for Non-Manufacturing Plant : The Example of a University Campus, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, (2012), Vol.26, No.3, pp.46-52.
DOI: <https://doi.org/10.5207/jieie.2012.26.3.046>
- [12] Kang Seongmin, Sungheum Cho, Ki-Hyun Kim, Eui-chan Jeon, Comparison of GHG Emission Methods Calculated by Applying Biomass Fraction at Sewage Sludge Incinerators in Korea, Sustainability, (2019), Vol.11, No.12, 3419.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su11123419>
- [13] B. K. Kim, J. S. Lee, H. K. Kim, J. Y. Lee, An Analysis of Energy Consumption and GHG Emission per Unit of Rail and Road Transportation, Journal of the Korean society for railway, (2014), Vol.17, No.3, pp.216-222.
DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.3.216>
- [14] EVO(Efficiency Valuation Organization), Concepts of international performance Measurement and verification protocol, (2022)
Available from: <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>
- [15] Jung Hye-jin, A Study on the Use of Outdoor Temperature Information for Evaluation of Building Energy Savings, Journal of Climate Change Research, (2021), Vol.12, No.1, pp.109-120.
DOI: <https://doi.org/10.15531/ksccr.2021.12.1.109>
- [16] Yoon Jinha, Lee Byunghee, Yeo Myoungsouk, Kim Kwang-Woo, Classification of Energy Consumption Patterns in University Buildings Using Change Point Model and Analysis According to Energy Impact Factors, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, (2017), Vol.33, No.11, pp.71-78.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2017.33.11.71