



플러그부하의 가구 유형별 사용 특성 및 행태 변화에 따른 에너지·탄소 저감 효과분석을 위한 Case Study 연구

A Case Study on Energy and Carbon Reduction Effects through Household-Specific Plug Load Characteristics and Behavioral Changes

추창완* · 정민희**

Chang Wan Choo* · Min Hee Chung**

* Main author, Graduate Student, Dept. of Social Welfare, The Catholic Univ. of Korea, South Korea (musicfuny@naver.com)

** Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture, Kyonggi Univ., South Korea (ecochung@kyonggi.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to analyze residential plug load characteristics by household type and evaluate the effectiveness of behavioral intervention through energy education. The goal is to provide empirical data for user-centered energy reduction strategies in carbon-neutral buildings. **Method:** Households in their 20s, 40s, and 60s+ were monitored using CT sensors to isolate plug loads. Energy consumption was measured before and after customized energy-saving education. Additionally, DesignBuilder simulations were conducted to quantify the impact of plug load reduction on primary energy use and greenhouse gas (GHG) emissions. **Result:** Energy education reduced daily average consumption by 8.9% in the 40s households and 8.6% in the 60s+ households, while the 20s households showed limited reduction. However, base loads (standby power) decreased across all types, with the 20s group showing a 13% drop. Simulations showed that a 20% plug load reduction decreases total GHG emissions by up to 6.8%. The findings suggest that while behavioral intervention is effective across all ages, tailored strategies — managing peaks for middle-aged households and addressing variability in younger households — are essential for optimizing building energy performance.

KEYWORD

플러그부하
에너지사용특성
가구유형

Plug Load Reduction
Energy Usage Characteristics
Household Type

ACCEPTANCE INFO

Received Feb. 3, 2026

Final revision received Feb. 10, 2026

Accepted Feb. 13, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 「2050 탄소중립 시나리오」와 「제로에너지건축(ZEB) 의무화 정책」을 중심으로 건물부문의 온실가스 감축과 에너지 효율 향상을 위한 제도적 기반을 지속적으로 강화하고 있다. 특히 신축 건축물을 대상으로 에너지 성능 기준을 단계적으로 상향하고, 신재생 에너지 설비 도입을 확대함으로써 건물부문의 탄소중립 달성을 국가 차원의 핵심 과제로 추진하고 있다[1]. 그러나 이러한 정책적·기술적 노력에도 불구하고, 실제 운영 단계에서의 건물 에너지 소비량과 탄소 배출량은 설계 단계에서 예측된 값보다 크게 나타나는 경우가 빈번하게 보고되고 있다[2,3]. 이는 건물의 에너지 성능이 단순히 설비 및 외피 성능에 의해 결정되는 것이 아니라, 거주자의 사용 행태와 생활 방식에 크게 영향받기 때문이다[4].

특히 주거용 건물에서는 재실자의 생활 방식, 가전기기 사용 습관, 대기전력 관리 여부 등에 따라 에너지 소비 특성이 크게 달라진다[5~7]. 이 가운데 플러그 부하는 건물이나 설비의 물리적 성능과는 달리, 사용자의 행태에 직접적으로 의존하는 대표적인 비규제 부하로 분류된다. 플러그 부하는 가전기기의 사용 시간과 빈도, 기기

효율 수준, 대기전력 발생 특성 등에 따라 변화하며, 가구 구성, 연령대, 직업 형태, 생활 양식 등에 따라 그 규모와 패턴이 상이하게 나타난다. 또한 플러그 부하에서 발생하는 내부 발열은 실내 열환경에 영향을 미쳐 냉난방 부하 변동을 유발하며, 결과적으로 건물 전체 에너지 소비량과 탄소 배출량에 직·간접적인 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용한다[8].

그럼에도 불구하고, 기존의 제로에너지건축물 및 탄소중립 건축 관련 연구와 제도는 주로 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등 규제 부하의 저감과 고효율 설비 도입에 초점을 맞추어 왔다. 이에 따라 사용자의 에너지 소비 행태, 특히 플러그 부하에 대한 체계적인 분석과 관리 방안은 그간 논의가 다소 미흡한 실정이었다. 최근 주거환경의 정보화·전기화가 가속화되면서 가전기기 및 정보통신기기의 보급이 확대되고 있는 점을 고려할 때, 플러그 부하의 비중은 향후 더 증가할 것으로 예상된다[9]. 따라서 탄소중립 건물의 실질적인 구현을 위해서는 기술적 성능 향상뿐만 아니라, 사용자 중심의 에너지 소비 행태 분석과 이를 기반으로 한 절감 전략 수립이 필수적이다.

이에 본 연구는 주거용 건물을 대상으로, 가구 유형별 플러그 부하 특성과 에너지 사용 행태를 실측 기반으로 분석하고, 재실자 교육을 통한 행태 개선 효과를 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 향후 주거용 건물의 에너지 관리 정책 및 사용자 참여형 절감 프로그램 설계에 기초 자료를 제공하고, 기술 중심의 기존 탄소중립 건축 전략을 보완하는 실증적 근거를 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 주거건물에서의 플러그 부하 저감에 따른 효과를 분석하기 위해 2장에서 주거건물에서 플러그 부하 사용과 절감 가능성에 대해 고찰한다. 3장에서는 가구 구성 및 특성에 따른 플러그 부하 전력 사용 패턴을 모니터링하고, 에너지 사용에 대한 인식 개선 및 맞춤형 교육 개입에 따른 전력 소비 변화와 절감 효과를 분석한다. 4장에서는 플러그 부하 저감에 따른 건물 전체 1차에너지 소비량 및 온실가스 배출량 변화를 평가함으로써, 사용자 행태 기반 절감 전략이 건물 차원의 탄소중립 달성에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 주거건물의 플러그 부하 사용 및 절감에 관한 연구동향 고찰

2.1. 주거건물의 플러그부하에 관한 고찰

주거부문의 에너지 사용량은 건물 전체 부분에서 약 55%를 차지하고 있으며[10], 가구당 총에너지 소비량은 감소 추세를 보이는 반면 전력 소비 비중은 지속적으로 증가하고 있다[11]. 전력은 주로 냉방, 조명, 환기, 취사 및 가전기기를 포함한 플러그 부하에 사용된다. 특히, 정보통신기기, 개인 가전기기, 생활가전의 확산으로 플러그 부하와 같은 비규제 부하의 비중이 점차 확대되고 있다. 이러한 추세는 취사기기의 전력화[12] 및 전자기기의 보급확대에 따라 향후 더 가속화될 것으로 예상된다.

과거에는 냉난방 및 조명 부하의 비율이 높았지만, 건물 성능이 고효율화됨에 따라 플러그 부하의 비중이 커지는 경향이 나타났다[13]. Butzbaugh et al.은 미국 내 주거 및 상업 부문에서 주로 사용되는 36개의 기기를 선정하였으며 이 기기만으로도 미국 전체 건물 전력소비의 12%를 차지하는 것으로 나타났다[14]. 전체 기기를 모두 합친다면 비중은 이보다 더 높아질 것이다. Firth et al.은 가정 내 전체 전력 소비의 약 10~20%가 비재실 시간대의 대기전력이나 기저 부하(Base load)에서 발생함을 정량적으로 입증하였다[15]. 이루다 외는 제로에너지 단독주택 단지에서 플러그 부하가 가정 내 전체 에너지 사용량의 약 12%를 차지해 난방·급탕 다음으로 높은 비중을 보이는 것으로 분석하였다[16]. Lee et al.의 연구에 따르면 플러그 부하는 전체 에너지소비량에서 약 14%를 차지하며, 플러그 부하의 변동성으로 인하여 운영시 제로에너지 목표를 달성하지 못할 위험성이 큰 것으로 나타났다[5]. 이와 같이 최근 가전기기 보급 확대와 상시전력 소비 기기의 증가 추세를 고려할 때, 대기전력을 포함한 플러그 부하에 대한 체계적인 관리와 사용자 행태를 반영한 저감 전략 마련의 필요성이 더욱 커지고 있음을 알 수 있다.

2.2. 플러그 부하 절감 가능성

플러그 부하는 직접적으로 전기를 소비할 뿐만 아니라 실내 발열을 유발하여 냉·난방부하 변동에 영향을 미치므로 비규제 부하인 플러그 부하 역시 관리되어야 한다.

플러그 부하 절감을 위한 접근은 기술적 접근과 행동적 접근으로 구분할 수 있다. 기술적 접근은 고효율 기기로 교체, 대기전력 차단, 스마트 제어 및 BEMS 연계 등을 통해 구조적 절감을 유도하는 방식

이다. Butzbaugh et al.은 가정에서 사용되는 기기 중 26개의 주요 기기를 최고 효율 모델로 교체할 경우 플러그 부하의 에너지 소비량을 절반으로 줄일 수 있음을 입증하였다[14]. Ohler et al.은 고효율 가전기기 보유에 따른 전기에너지 소비량 절감을 조사하였는데, 사용자의 패턴이 다양하여 전기에너지 절감량이 2.6%밖에 되지 않는 것으로 나타났다[17]. 다만, 24시간 가동되는 가전기기를 고효율 제품으로 사용할 경우 그 효과가 높아질 수 있다고 분석하였다. Burgett[18]는 미국 24가구 실측과 12,000가구 설문을 통해, 대기전력을 차단하는 whole-house switch 설치 시 가구당 연간 약 282kWh(플러그 부하의 7~23%, 전체 전력의 약 1~4%) 절감이 가능하다고 제시하였다. Ross[19]는 전체 가구 대기전력을 계측해, 기기 대기전력을 1W 이하로 제한할 경우 최대 68%의 대기전력 절감이 가능하다고 분석하였다.

행동적 접근은 사용자 인식 제고, 실시간 피드백, 인센티브 프로그램, 행태 유도 설계 등을 통해 자발적 절전 행동을 유도하는 것이다. Delmas et al.[20]은 대규모 메타분석을 통해 에너지 사용에 대한 정보 제공이 전체 에너지사용량의 5~12%의 절감효과를 가지며 실시간 피드백과 사회적 비교 정보가 사용자 행동 변화를 유도하는데 가장 효과적인 전략임을 밝혔다. 이러한 개입은 특히 가전기기 사용 및 대기전력 관리와 같이 플러그 부하와 직접적으로 연관된 행태 변화를 유도하는 데 효과적인 것으로 보고하였다. Chatzigeorgiou & Andreou[21]은 디지털 인터페이스를 통한 피드백은 주거 부문에서 평균 3~20%의 에너지 절감 효과를 보였다. 특히, 전체 소비량이 아닌 개별 가전기기 단위로 세분된(Disaggregated) 정보를 제공하고, 이를 실시간 요금으로 환산하여 시각화할 때 플러그 부하 저감에 대한 거주자의 반응성이 가장 높은 것으로 나타났다. Sussman & Chikumbo[22]은 행동 개입으로 조명·플러그 부하·난방 설정 등 세부 행동이 바뀌며, 플러그부하 절감 관련 행동으로 약 10~30% 개선이 가능하다고 밝혔다. Allcott & Mullainathan[23]은 막대한 비용이 드는 물리적 설비 교체 없이, 거주자의 행동 변화를 유도하는 비가격적 개입(Non-price intervention)만으로도 상당한 탄소 배출 저감이 가능함을 시사하였다. 그들은 타인과의 비교를 통한 사회적 규범(Social Norms)이나 넛지(Nudge)와 같은 행동경제학적 기제가 플러그 부하와 같은 생활 밀착형 에너지 소비를 줄이는 데 효과적임을 입증하였다. 반면, Kosonen & Kim[24]은 플러그부하에 초점을 둔 피드백·캠페인은 설계가 미흡하면 유의한 절감을 달성하지 못하며, 장기적 참여와 접근성 높은 피드백·동기부여가 중요하다고 분석하였다.

이상의 선행 연구를 종합하면, 플러그 부하 절감은 고효율 기기 보급, 대기전력 차단, 스마트 제어와 같은 기술적 접근을 통해 구조적인 절감 효과를 확보할 수 있는 동시에, 사용자 인식 개선, 실시간 피드백, 사회적 규범 기반 개입과 같은 행동적 접근을 통해 추가적인 절감 잠재력을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 특히 플러그 부하는 사용자 선택과 사용 행태에 직접적으로 영향을 받는 부하 특성상, 동일한 기기 환경에서도 가구별·유형별 소비 양상이 크게 달라질 수 있으며, 절감 효과 역시 사용자 특성에 따라 상이하게 나타난다. 그러나 기존 연구들은 주로 개별 기술 또는 단일 개입 효과를 중심으로 분석하거나, 가구 유형에 따른 플러그 부하 사용 특성과 절감 잠재력 차이를 정량적으로 비교한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

3. 가구 유형별 플러그 부하 절감

3.1. 측정 개요

대표 가구 유형은 선행 연구자료를 기초로 20대 1인 가구, 40대 다인가구, 60대 이상 1인 가구로 설정하고[9], 가구에서의 플러그 부하에 의한 전력 사용량을 모니터링하였다. 주요 측정 개요는 Table 1.과 같다.

가전기기에 의한 전력 사용량은 분전반 내부에 CT(Current Transformer) 센서를 설치하여 가구별 전력 사용량을 실시간으로 계측하였다(Fig. 1.). 주 차단기에 설치된 CT 센서를 통해 가구 전체의 전력 사용량을 측정하였으며, 동시에 에어컨 및 조명 회로 등 주요 분기회로에 대해서도 개별적으로 전력을 계측하였다. 가구별 분전반 구성 및 부분 부하의 회로 분기 방식이 상이함을 고려하여, 전체 전력 사용량과 주요 회로별 전력 사용량의 차이를 플러그 부하에 의한 전력 소비로 간주하여 분석에 활용하였다.

측정기간은 최소 3주 이상으로 설정하였다. 1차 측정기간에는 사전 교육이나 개입 없이 가구별 기존 에너지 사용 행태를 유지한 상태에서 전력 사용량을 계측하였다. 이후 1차 측정 결과를 바탕으로 가구별 에너지 절감 가능 요인을 분석하고, 이에 따른 맞춤형 절감 방안을 교육·안내하였다. 2차 측정기간에는 해당 교육 내용을 반영하여 거주자가 자발적으로 에너지 사용량을 저감하도록 유도한 상태에서 추가 계측을 수행하였다.

3.2. 측정 결과 분석

재실자의 에너지 교육 전후 가구유형별 전력 사용 특성 변화 결과는 Table 2.와 Fig. 2.와 같다. 에너지 저감 관련 교육은 절전교육의 필요성, 에너지 확인 방법, 가구 유형별 에너지 절감 전략, 예상 절감 효과를 제시하였다. 주요 실천 전략으로는 비재실 시 가전기기의 전원

차단, 충전기기의 충전 시간 단축, 컴퓨터 및 모니터 절전 모드 실행 등 생활에서 기기 교체 없이 실천할 수 있는 내용으로 구성하였다.

Table 2. Monitoring results by household types

Category	Age group			
	20s	40s	60s and older	
Daily average consumption (Wh)	1*	2,809	17,418	5,683
	2	2,789	15,865	5,194
Weekday average consumption (Wh)	1	2,895	16,873	5,638
	2	2,848	15,489	5,373
Weekend average consumption (Wh)	1	2,584	18,881	5,810
	2	2,663	16,807	4,748
Peak time	1	21	19	20
	2	18	19	9
Peak average value (Wh)	1	155	1,135	311
	2	264	909	269
Base load (Wh)	1	98	618	185
	2	85	574	179
Load factor (AVG/MAX)	1	0.754	0.639	0.762
	2	0.132	0.315	0.356
Peak-to-average ratio	1	1.33	1.56	4.31
	2	2.27	3.18	2.81

*1: before occupant energy education; 2: after occupant energy education.

Table 1. Monitoring overview

Category	Age group		
	20s	40s	60s and older
Number of households	1	3	1
Building type	Officetel	Apartment	Apartment
Construction year	2016	2023	1997
Area for exclusive use	29m ²	59m ²	59m ²
Monitoring period	6/2~7/2, 12/6~12/31	5/31~7/3, 12/7~1/5	5/13~6/5, 12/9~12/30
Monitoring device	SEM3000		

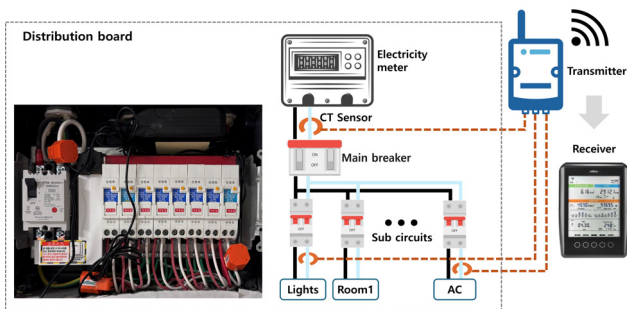


Fig. 1. Monitoring overview

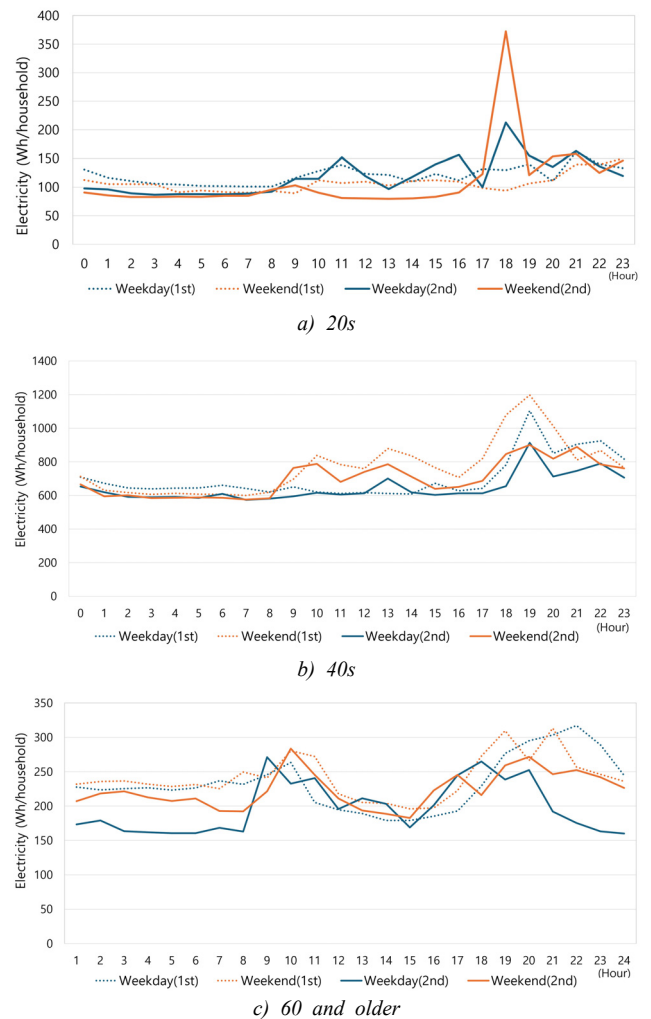


Fig. 2. Monitoring results by household type

에너지 교육을 가구 유형에 따라 상이한 절감 효과를 보였으며, 40대 및 60대 이상 가구에서 뚜렷한 개선 효과가 확인되었다. 일평균 전력소비량은 20대 가구에서 2,809Wh에서 2,789Wh로 소폭 감소하여 절감 효과가 제한적으로 나타난 반면, 40대 가구는 17,418Wh에서 15,865Wh로 약 8.9% 감소하였으며, 60대 이상 가구 역시 5,683Wh에서 5,194Wh로 약 8.6% 감소하였다. 특히 40대 가구와 60대 이상 가구에서는 평일과 주말 모두에서 소비량 감소가 확인되어, 에너지 교육이 실제 생활 행태 변화로 이어졌음을 확인할 수 있었다.

기저부하는 모든 가구 유형에서 감소하는 경향을 보였다. 20대 가구는 98Wh에서 85Wh로 약 13% 감소하였으며, 40대 가구와 60대 이상 가구에서도 각각 7%, 3% 수준의 감소가 나타났다. 이는 대기 전력 차단 및 상시 가동 기기에 대한 관리 인식이 개선된 결과로 해석된다.

피크 부하 특성 분석 결과, 40대 및 60대 이상 가구에서는 피크 평균값이 감소하여 최대 전력 사용이 완화되는 경향을 보였으나, 20대 가구에서는 오히려 피크 평균값이 증가하는 특성이 나타났다. 20대 가구는 가구 특성상 겨울철 열원기기를 사용하여 이에 따라 피크 부하가 높아진 것으로 나타났다.

반면, 부하 안정성을 나타내는 부하율(Load Factor)은 모든 가구 유형에서 감소하였으며, PAR (피크전력 대 평균전력비, Peak-to-Average Ratio) 역시 20대와 40대 가구에서 증가하는 경향을 보였다. 이는 일부 시간대에 전력 사용이 집중되면서 부하 변동성이 확대되었음을 의미하며, 에너지 절감과 함께 부하 관리 측면에서의 추가적인 개선이 필요함을 시사한다. 다만, 60대 이상 가구에서는 PAR이 감소하여 상대적으로 안정적인 부하 구조를 유지한 것으로 나타났다.

재실자 에너지 교육은 중·장년층 가구에서 전력 소비 저감과 기저 부하 관리 측면에서 높은 효과를 나타낸 반면, 20대 가구에서는 절감 효과가 제한적이고 부하 변동성이 증가하는 특성이 확인되었다. 이는 연령대별 생활 방식과 에너지 인식 수준의 차이에 기인한 것으로 판단되며, 향후 플러그 부하 저감을 위한 정책 및 프로그램 설계 시 가구 유형별 맞춤형 접근 전략이 필요함을 시사한다.

4. 가구 유형별 플러그 부하 절감에 따른 에너지 및 온실가스 배출량 평가

4.1. 분석 개요

대표 가구의 주요 입력변수는 Table 3.에 제시하였다. 가구별 면적은 실제 모니터링 대상 가구의 실제 면적을 기준으로 설정하였으며, 기기 밀도는 각 가구의 가전기기 보급 현황에 관한 선행 연구자료를 바탕으로 산정하였다. 그 외 건물 및 운영 조건은 모든 가구에 동일하게 적용하였다.

플러그 부하 절감률은 문헌 고찰 결과를 토대로 최대 20%까지 절감가능한 것으로 가정하고, 5% 단위로 플러그 부하를 절감했을 때의 에너지 소비 및 온실가스 절감량을 평가하였다. 대표 건물의 에너지 성능 분석은 DesignBuilder를 활용하였다. 온실가스 배출계수는 전력은 0.4781 tCO₂eq/MWh, 도시가스는 0.2013 tCO₂/MWh를 적용하였다[25].

Table 3. Simulation input variables

Input		Variable
Location		Seoul
Area	20s	30m ²
	40s	60m ²
	60s and older	60m ²
U-value	Wall	0.17W/m ² ·K
	Roof	0.15W/m ² ·K
	Floor	0.17W/m ² ·K
Window	SHGC	0.43
	Visible transmittance	0.4
	U-value	0.8W/m ² ·K
Infiltration		4.5 ACH50
Lighting density		8W/m ²
Plug load density	20s	6.71W/m ²
	40s	7.34W/m ²
	60s and older	5.70W/m ²
Mechanical ventilation rate		0.5 ACH
Heating system	Type	Gas boiler
	Efficiency	92%
	Fuel	Natural gas
	Set point temperature	20°C
	Heating period	November ~ March
Cooling system	Type	Air conditioner
	COP	3.5
	Fuel	Electricity
	Set point temperature	26
	Cooling period	June ~ August

4.2. 플러그부하 절감에 따른 결과 분석

Table 4.는 가구 유형별 플러그 부하 절감률에 따른 전력 및 도시가스 사용량, 1차에너지 소비량, 온실가스 배출량 변화를 나타낸 것이다. 대표 가구를 대상으로 에너지 해석한 결과, 단위면적당 에너지소비량은 146.1~179.6kWh/m²·yr 범위로 나타났으며, 이는 공동주택을 실측한 기존 연구[26]의 분석 결과와 비교할 때 약 4~14%의 오차 범위에 해당한다. 이러한 결과는 본 연구에서 적용한 에너지 해석 방법의 신뢰성이 확보되었다고 판단하였다.

분석 결과, 모든 가구 유형에서 플러그 부하 절감률이 증가할수록 전력 소비량과 1차에너지 소비량, 온실가스 배출량이 점진적으로 감소하는 경향이 확인되었다. 20대 가구의 경우, 기준 시나리오(BASE) 대비 플러그 부하를 20% 절감할 경우 전력 사용량은 1,706kWh에서 1,458kWh로 약 14.5% 감소하였으며, 1차에너지 소비량은 8.74MWh에서 8.20MWh로 약 6.2% 감소하였다. 이에 따라 온실가스 배출량 역시 1.56 tCO₂eq에서 1.46 tCO₂eq로 감소하여 약 6.4%의 저감 효과를 나타냈다.

40대 가구에서는 절감 효과가 보다 뚜렷하게 나타났다. 전력 소비량은 2,930kWh에서 2,465kWh로 약 15.9% 감소하였으며, 1차에너지 소비량은 14.83MWh에서 13.79MWh로 약 7.0% 감소하였다. 40대 가구의 플러그부하 비중이 가장 높아, 이로 인한 절감효과가 큰 것으로 판단된다. 온실가스 배출량 역시 2.64 tCO₂eq에서 2.46 tCO₂eq로 약 6.8% 저감되어, 플러그 부하 관리가 중장년층 가구의 에너지 절감에 효과적인 수단임을 확인할 수 있었다.

60대 이상 가구도 유사한 경향이 나타났으며, 20% 절감 시 전력 사용량은 약 15.2%, 1차에너지 소비량은 약 6.5%, 온실가스 배출량은

Table 4. Energy and greenhouse gas emissions according to plug load reduction rates

Household type	Plug load reduction rate	Electricity (kWh)	Natural gas (kWh)	Primary energy (MWh)	GHG (tCO ₂ eq)
20s	BASE	1,706	3,682	8.74	1.56
	5%	1,644	3,714	8.61	1.53
	10%	1,582	3,746	8.47	1.51
	15%	1,520	3,778	8.34	1.49
	20%	1,458	3,811	8.20	1.46
40s	BASE	2,930	6,155	14.83	2.64
	5%	2,779	6,226	14.49	2.58
	10%	2,674	6,275	14.26	2.54
	15%	2,570	6,324	14.02	2.50
	20%	2,465	6,374	13.79	2.46
60s and older	BASE	2,831	5,933	14.31	2.55
	5%	2,718	5,997	14.07	2.51
	10%	2,616	6,051	13.85	2.47
	15%	2,508	6,105	13.61	2.43
	20%	2,400	6,164	13.38	2.39

약 6.3% 감소하였다. 이는 고령 가구에서도 플러그 부하 절감에 에너지 및 환경 성능 개선에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

한편, 플러그 부하 절감에 따라 전력 소비량은 감소하는 반면, 도시가스 사용량은 소폭 증가하는 경향이 나타났다. 이는 전기기기 사용 감소에 따른 실내 발열량 감소로 인해 난방 부하가 일부 증가한 결과로 해석되며, 플러그 부하 관리가 건물 전체 에너지 수요 구조에 복합적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

3장에서 수행한 재실자의 교육 및 행동 개선에 의한 플러그 부하 저감 모니터링 결과 평균 약 9%의 전력 사용량 절감 효과가 나타났으며, 이는 Table 4.의 10% 절감 시나리오와 유사한 수준에 해당한다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 10% 절감 시 전력 소비량은 20대 가구에서 약 7.3%, 40대 가구에서 약 8.7%, 60대 이상 가구에서 약 7.6% 감소하였으며, 이에 따른 온실가스 배출량도 약 3.2~4.3% 수준으로 저감되는 것으로 나타났다. 이는 실측을 통해 확인된 절감 성과가 단기적인 행태 개선만으로도 충분히 달성 가능한 수준임을 의미한다.

종합적으로, 플러그 부하 절감은 모든 가구 유형에서 전력 소비량과 온실가스 배출량 저감에 기여하였으며, 특히 40대 및 60대 이상 가구에서 상대적으로 높은 절감 효과가 확인되었다. 이러한 결과는 사용자 행태 개선과 가전기기 관리 중심의 플러그 부하 저감 전략이 주거부문 에너지 절감 및 탄소중립 달성에 효과적인 수단일 수 있음을 보여준다.

5. 결론

본 연구는 주거용 건물을 대상으로, 가구 유형별 플러그 부하 사용 특성을 실측 기반으로 분석하고, 재실자 교육에 따른 행태 개선 효과 및 이에 따른 건물 전체의 에너지-탄소 저감 잠재량을 평가하였다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

재실자 교육을 통한 행동적 개입은 중장년층 가구(40대 및 60대 이상)에서 약 8.6~8.9%의 뚜렷한 전력 소비 절감 효과를 나타냈다.

반면, 20대 1인 가구에서는 전체 절감량은 제한적이었으나 대기전력을 의미하는 기저부하가 13% 감소하여, 모든 가구 유형에서 사용자 인식 개선이 플러그 부하 관리에 유의미한 영향을 미침을 확인하였다.

에너지 해석 결과 모든 가구 유형에서 플러그 부하 절감률이 증가함에 따라 전력 소비, 1차 에너지 소비, 온실가스 배출량이 일관되게 감소하였다. 플러그 부하의 20% 절감 시 온실가스 배출량은 가구 유형별로 약 6.3~6.8% 저감되는 것으로 나타났다. 이는 플러그 부하 절감이 직접적인 전력 사용 저감뿐만 아니라, 실내 발열 감소를 통해 냉방 부하를 낮추는 등 건물 에너지 효율 향상에 복합적으로 기여할 수 있음을 시사한다.

따라서, 향후 건물 부문의 탄소중립 실현을 위해서는 외피 성능 강화 및 설비 효율 향상과 같은 기술적 대책뿐만 아니라, 사용자 중심의 에너지 행태 관리 전략을 포함한 통합적 절감 방안이 필수적이다. 특히 연령, 가구 구성, 거주 시간 등 가구별 특성을 고려한 맞춤형 플러그 부하 관리 프로그램과 실시간 에너지 피드백 시스템의 도입은 주거 부문 탄소중립 달성을 위한 실질적이고 경제적인 수단이 될 수 있다.

본 연구는 실측과 시뮬레이션을 결합하여 사용자 행태 기반의 절감 효과를 정량적으로 규명하였다는 점에서 의의가 있다. 다만, 연구의 한계점으로 각 가구 유형별 대상 세대가 1개 가구로 제한되어, 분석 결과를 해당 연령대 전체의 보편적인 특성으로 일반화하기에는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 표본의 크기를 확대하여 가구 유형 내에서도 발생할 수 있는 다양한 변수를 고려해야 하며, 본 연구에서 확인된 교육에 의한 행태 변화가 장기적으로 지속되는지에 대한 추적 조사와 다양한 주거 형태를 포함한 광범위한 실증 연구가 병행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217322). 본 논문은 2025년 한국생태환경학회 추계학술발표대회에서 발표한 논문을 수정 및 보완한 것입니다.

References

- [1] 탄소중립 정책포털, <https://www.gihoo.or.kr/netzero> 2025.12.27. // (Carbon Neutrality Policy Portal, <https://www.gihoo.or.kr/netzero> 2025.12.27.)
- [2] P. De Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, *Automation in Construction*, 41, 2014 pp.40-49.
- [3] P. X. Zou et al., Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives, *Energy and Buildings*, 178, 2018, pp.165-181.
- [4] A. Mahdavi et al., The role of occupants in buildings' energy performance gap: Myth or reality?. *Sustainability*, 13(6), 2021, 3146. <https://doi.org/10.3390/su13063146>
- [5] R. Lee et al., Impacts of lighting and plug load variations on residential building energy consumption targeting zero energy building goals, *Journal of Building Engineering*, 75, 2023, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106962>

- [6] Z. J. Yu et al., Standby energy use and saving potentials associated with occupant behavior of Chinese rural homes, *Energy and Buildings*, 154, 2017 pp.295-304.
- [7] M.J. Kim, RETRACTED: Characteristics and determinants by electricity consumption level of households in Korea, *Energy Reports*, 4, 2018, pp.70-76. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.12.001>
- [8] T. Nagai, A. Nagata, Probabilistic approach to determination of internal heat gains in office building for peak load calculations, France: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 2013, pp.2444-2450
- [9] 정민희, 인구구조 변화에 따른 가전기기 보급 현황 및 에너지 소비 인식 조사, *KIEAE Journal*, 제25권 제1호, 2005.02 pp.33-39. // (M.H. Chung, Analysis of home appliance distribution and energy consumption habits based on changes in population structure, *KIEAE Journal*, 25(1), 2025, pp.33-39.)
- [10] 그린투게더, 녹색건축통계, <https://www.greentogether.go.kr/> 2025.07.03. // (Green Together, Green Building Statistics, <https://www.greentogether.go.kr/> 2025.07.03.)
- [11] 산업통상자원부, 2023년도 에너지총조사 보고서, 에너지경제연구원, 2024. // (Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2023 Energy Consumption Survey Report, Korea Energy Economics Institute (KEEI), 2024.)
- [12] 김유민, 신혜리, 공동주택의 취사에너지의 탈탄소화를 위한 특성 분석 - 중부지방을 대상으로 -, *한국건축환경설비학회 논문집*, 제17권 제6호, 2023, pp.376-386. // (Y.M. Kim, H.R. Shin, Characteristics of cooking energy for decarbonization in apartment complexes - Focus on central region of Korea -, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 17(6), 2023 pp.376-386.)
- [13] E. Proedrou, A comprehensive review of residential electricity load profile models, *IEEE Access*, 9, 2021, pp.12114-12133.
- [14] J. Butzbaugh, R. Hosbach, A. Meier, Miscellaneous electric loads: Characterization and energy savings potential, *Energy and Buildings*, 241, 2021, 110892. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110892>
- [15] S. Firth et al., Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements, *Energy and Buildings*, 40(5), 2008, pp.926-936.
- [16] 이루다, 윤종호, 김동수, 저밀 집합 주거단지의 실측자료에 기반한 용도별 에너지 사용량 분석 연구, *한국태양에너지학회 논문집*, 제41권 제3호, 2021, pp.1-9. // (R.D. Lee, J.H. Yoon, D.S. Kim, Analysis of energy consumption by end-use based on measurement data of low-density multi-family housing complex, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 41(3), 2021, pp.1-9.)
- [17] A.M. Ohler, D.G. Loomis, K. Ilves, A study of electricity savings from energy star appliances using household survey data, *Energy Policy*, 144, 2020, 111607.
- [18] J.M. Burgett, The effectiveness of a whole-house switch for reducing standby power loss in U.S. residences, *Energy Research & Social Science*, 6, 2015, pp.87-94.
- [19] J.P. Ross, A. Meier, Whole-house measurements of standby power consumption, LBNL-45967, Lawrence Berkeley National Laboratory Report, 2000.
- [20] M.A. Delmas, M. Fischlein, O.I. Asensio, Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012, *Energy Policy*, 61, 2013, pp.729-739.
- [21] I.M. Chatzigeorgiou, G.T. Andreou, A systematic review on feedback research for residential energy behavior change through mobile and web interfaces, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 2021, 110187.
- [22] R. Sussman, M. Chikumbo, Behavior change programs: Status and impact, Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy, 2016.
- [23] H. Allcott, S. Mullainathan, Behavior and energy policy, *Science*, 327(5970), 2010, pp.1204-1205.
- [24] H.K. Kosonen, A.A. Kim, Feasibility of plug-load monitoring and energy-saving interventions in residential and office buildings on the University of Washington campus, *International Construction Specialty Conference*, 2015.
- [25] 온실가스종합정보센터, 2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수, CTIS, <https://www.ctis.re.kr>, 2025.12.03. // (National Greenhouse Gas Inventory Management Center, 2021 approved national greenhouse gas emission and absorption factors, Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR), Carbon Tracking & Information System (CTIS), <https://www.ctis.re.kr>, 2025.12.03.)
- [26] 진혜선 외 5인, 표본건물 계측에 의한 공동주택 세대에서의 용도별 에너지사용량 및 CO₂ 배출량 연간 원단위 (2016 - 2017) 분석. *대한건축학회 논문집 - 구조계*, 제34권 제7호, 2018, pp.43-52. // (H.S. Jin et al., Annual intensities (2016-2017) analysis of energy use and CO₂ emission by end use based on measurements of sample apartment units, *Journal of the Architectural Institute of Korea of KOREA Structure & Construction*, 34(7), 2018, pp.43-52.)