



거주자 참여형 에너지 절감 활동 효과 연구 -S대학 기숙사 거주 학생을 대상으로 한 에너지피드백 활동을 중심으로-

정혜진^{*†} · 송해^{**}

^{*}서울대학교 AIEES 교수, ^{**}서울대학교 환경대학원 석사과정 학생

A Study on the Effects of Resident Participation in Energy Saving Activities

Jung, Hye-jin^{*†} and Song, Hae^{**}

^{*}Research Professor, GHG & Energy Management Center at AIEES, Seoul National University, Seoul, Korea,

^{**}Master Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

As user-involved energy saving activities have become important in recent years, many forms of energy feedback experiments have been conducted. We conducted a study to determine if energy feedback activities affect energy saving for students living in dormitories at a university in Seoul. In particular, smart plugs were used for efficient research and quantitative performance measurements, and the extent of the impact of competition and rewards on participant energy saving behavior was further analyzed. The main findings of this study are as follows. First, the power usage of groups using smart plugs was lower than that of those without them. Second, energy feedback delivered to smart plug users did not have a significant impact on reduction of electric power consumption. Third, competition and compensation strategies had additional effects in reducing power usage for smart plug users. As a result, methods to deliver energy feedback more effectively as ICT technologies develop and efficient energy activities using IoT technologies can be expected to spread widely in the future.

Key words: Energy Feedback, Energy Saving, Electric Power Consumption, Smart Plug, IoT Technology

1. 서 론

온실가스 감축을 위한 국제적 활동에 적극적인 동참을 진행하고 있는 우리나라에서는 근래 최적가용기술 (BAT) 적용을 통한 에너지 효율화 사업에 적극적인 투자를 하고 있는 추세이다 (Choi, 2017). 특히, 2010년부터 적용하고 있는 온실가스 에너지 목표관리제와 배출권 거래제, 공공기관을 대상으로 한 신재생 에너지 의무 도입, 녹색건축 인증 등과 같은 규제적 속성의 제도 시행에 의하여 기술적인 측면의 에너지 효율화 사업의 진행이 적극적으로 이루어지고 있다 (Lee et al., 2017).

다른 한편으로는 최종소비자로서 에너지 효율화에 참여하는 활동의 중요성이 매우 높아지고 있는 것도 현실이다

(Park, 2017; Cho and Jung, 2011). 미국의 에너지경제효율위원회에 의하면 2015년 기준으로 효율 향상에 의한 전기 절약은 전체 발전량의 18%이고, 2030년에는 33%에 이를 것으로 전망하기도 하였으며, 2009년 뉴욕타임즈 신년호는 에너지 절약을 제5의 에너지로 규정하기도 하였다. 이는 에너지 절약이 보다 빠르고 더욱 강력한 절감 잠재력을 지니고 있으며, 건물 에너지 사용량을 줄이기 위해서 자본집약적인 접근 방식보다 전력사용자들의 행동을 변화시키는 것이 비용 대비 효과적일 수 있다는 것을 시사하고 있다 (Anderson et al., 2017). 적극적인 온실가스 감축, 기후변화 대응을 위하여 기술적 진보와 사용자 행동 변화에 의한 에너지 효율화의 사회적 필요성과 관심이 확산되고 있는 것이다. 특히 근래에는 ICT 기술을 이용한 에너지 사용 정보 제공을 통해 소비자 절

[†] Corresponding author: jhj2005@snu.ac.kr (AIEES, Bldg. 220, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea)

Received June 26, 2018 / Revised August 17, 2018 / Accepted September 14, 2018

감을 지원하는 새로운 비즈니스 모델이 속속 등장하고 있는데 이는 스마트 기기와 에너지 피드백이 연계된 상품을 개발하여 불필요한 에너지를 줄이는 소비자 참여 확산을 주도하고 있다는 측면에서 주목을 받고 있다.

이 같은 에너지 피드백의 효과성을 증명하는 연구 또한 꾸준히 진행되어 오고 있는데, 일반적으로는 대상가구의 전력 사용량 정보를 측정하여 타인과의 비교, 시계열 비교 분석, 참여자 교육 및 칭찬 등의 다른 요소가 복합되었을 때의 효과를 확인하는 연구가 주를 이루고 있다. 본 연구 또한 에너지 피드백의 효과를 검증하기 위한 실험이지만 불특정 다수가 거주하는 대학의 기숙사를 대상으로 에너지 피드백의 효과를 검증하는 부분에서 차별성을 가진다. 다시 말해, 선형 연구들을 기숙사라는 대학 내 숙박시설에 맞도록 응용한 에너지 피드백 실험을 설계하여 에너지 피드백 절감 효과를 도출하고자 하였다. 더불어 근래 도입이 증가되고 있는 IoT 플러그 도입의 효과를 절감량으로 확인하여 기존 실험이 접근하기 어려웠던 정량적 성과를 확인하고자 하였다.

2. 선행 연구 고찰

2.1 에너지 피드백에 관한 연구

새로운 고성능 기술을 사용하는 시스템이 제원에서 밝히는 “설계된 기대 성능”을 발휘하지 못할 때 행동변화의 중요성은 매우 중요하게 나타난다 (Turner and Frankel, 2008). 또한, 과학적 연구에 의해 뒷받침되는 여러 가지 이론은 행동이 온실 가스 배출과 에너지 사용을 줄이는 데 상당한 역할을 할 수 있다는 것을 지속적으로 증명하고 있다 (Dietz et al. 2009). 이처럼 에너지의 최종 소비자들의 역할에 대한 중요성과 이를 주제로 한 연구는 꾸준히 진행되는 추세이다. 에너지 피드백에 관한 메타연구를 살펴보면, Darby (2006)는 1975년부터 2000년 약 25년 동안 일반 가정을 대상으로 한 38개의 에너지 피드백에 관한 연구 결과를 분석하였고 에너지 피드백이 실제로 사용자들의 인식을 제고하고 절감을 유도하는데 핵심적인 역할을 한다는 것을 확인하였다. 또한, Delmas et al. (2012)의 피드백 관련 연구 분석 결과에 따르면 에너지 피드백과 함께 구체적인 에너지 절감 방안에 대한 조언, 사회적 비교, 실시간 피드백, 금전적 정보 제공, 금전적 인센티브 등의 요소를 제공할 경우 전력사용량의 절감효과가 높은 것으로 나타났다.

에너지 피드백과 관련된 대부분의 선행 연구에서 피드백을 통한 에너지 절감의 효과를 확인했으며 평균적으로 10%

의 절감효과가 있었음을 밝히고 있다. 이 같은 일련의 연구 결과는 에너지 사용자들의 행동 양식이 에너지 효율에 매우 중요한 결과를 나타내고 있음을 보여주고 있으며 에너지 피드백에 대한 중요성을 강조하고 있다. 사전적인 피드백의 개념을 에너지 측면에 결부하여 확장한다면, 에너지 피드백이란 거주자들에게 직접적 또는 간접적으로 그들이 사용하는 전기와 수도, 가스 등의 에너지 사용량을 알도록 하고 그 사용량이 재정적으로 혹은 환경적으로 어떤 결과를 가져오는지 에 대해 인식하도록 만들어 에너지 절감 행동으로 유도하는 과정으로 정의할 수 있다 (Petersen et al., 2007). 사용자의 행동을 변화를 촉진할 수 있는 핵심 전략은 정보 제공 및 검색, 피드백 제공, 설득력, 보상 및 인센티브 제공, 동의 확보, 사회 규범 수립 및 준수, 지역사회 홍보, 긴급 상황 대처라고 할 수 있다 (AK Wolfe et al., 2014).

2.2 기숙사 대상 피드백 연구

기숙사의 경우 일반 주택과 같은 거주 공간이기는 하지만 에너지 요금 납부 측면에서는 다른 특징을 가지고 있다. 일반적인 주택이나 공동주택 거주자들은 에너지 사용량에 기반하여 사용 요금을 지출한다. 그러나 기숙사 거주자는 전기, 수도, 가스 등에 대한 개별 사용량이 아니라 월별 정액의 관리비를 통해 공공요금을 납부하게 된다. 따라서, 기숙사 거주자들이 정액의 임대료를 지불하고 공공요금에 대해서는 별도의 비용을 지불하지 않는 경우 에너지 소비를 절감하는 것이 본인의 이익으로 환원되지 않는 특징을 보이고 있고 에너지 사용량이 지속적으로 증가하는 결과를 보이고 있다.

기숙사 공간을 대상으로 수행된 에너지 피드백에 관한 기존 연구는 모두 거주자 (대학(원)생)를 대상으로 진행되었으며, 에너지 피드백의 제공 수단, 방법, 기타 병행 수단 및 효과를 다음과 같이 요약하였다.

Petersen et al. (2007)과 Odom et al. (2008)은 기숙사 거주자를 대상으로 실시간 피드백, 제공수단간 비교, 다른 거주자들과의 비교에 따른 전력 및 수도의 절감 효과를 검증하였다. 경쟁 및 인센티브의 제공을 통한 에너지 절감행동의 영향 정도를 파악하였다. 에너지 피드백과 다양한 수단을 통해 평균적으로 전력사용량 32%, 수도사용량 3%의 절감효과를 보였다. 또한 피드백과 같이 제공할 수 단 중 경쟁을 도입한 기간의 에너지 절감량이 그렇지 않은 기간보다 더 높은 것으로 확인되었다.

Bekker et al. (2010)과 Anderson et al. (2017)은 위의 연구자들과 달리 실시간 피드백이 아닌 간접피드백 방식을 활용

하였다. 금전적 인센티브를 제공한 Bekker et al. (2010)의 실험 결과 건물의 전력 사용량을 10~16% 절감한 효과를 확인하였고, 주로 사회적 규범 요소에 따른 피드백의 효과를 검증한 Anderson et al. (2017)의 경우에는 약 14%의 에너지 절감 효과를 확인하였다. 다만, 이 경우에는 사회적 규범에 대한 인식이 높은 대상자들만의 결과이다.

Brewer et al. (2011)은 경쟁을 가장 큰 에너지 피드백 발생 요인으로 판단하고 경쟁 요소에 대한 고유한 특성과 잠재적인 가능성을 확인했다. 참여 집단을 대상으로 한 새로운 경쟁 요소의 발굴은 매년 생기는 새로운 거주자에게도 흥미를 제공하며, 많은 인원이 에너지 절감 행동에 참여하는 유인 역할을 하였다. 이 같은 결과 적은 비용으로 큰 효과를 낼 수 있었고, 특히 웹사이트와 같은 개방형 플랫폼을 통해 에너지 피드백을 제공하고 경쟁을 촉진함으로써 거주자들의 에너지 절약에 대한 인식 및 행동 개선을 확인했다 (Table 1).

Table 1. A study on energy feedback of dormitory

Researchers	Feedback-Type	Communication Scope	Activities	Media
Marcell et al. (2004)	indirect	Building	Education Campaign	Bulletin board
Petersen et al. (2007)	real time	Building Floor	Education Financial Incentive Contest	Bulletin board Digital Signage Website
Odomet al. (2008)	real time	Building Floor	Financial Incentive Contest	SNS E-mail
Bekker et al. (2010)	indirect	Building	Financial Incentive Publish	Bulletin board
Brewer et al. (2011)	real time	Building Floor	Contest	Website
Anderson et al. (2017)	indirect	Floor Room	Comparison	E-mail

근래 이루어지고 있는 선행연구에서는 에너지 피드백과 더불어 다양한 수단을 통해 사용자들의 에너지 절감 행동을 유도하고 있으며 기술발전과 함께 다양한 기술 및 기기를 통한 연구가 시도되고 있었다 (Kim and Kim, 2016). 그러나 국

내에서는 기숙사라는 거주 공간에 대한 피드백 연구 사례가 드물다는 점, 피드백과 함께 제공하는 수단 중 ‘제어’ (사용자들이 에너지 사용에 있어 조절할 수 있는 수단 또는 방법), ‘보상’ (에너지를 절감함으로써 얻게 되는 비금전적 또는 금전적 인센티브)에 대한 연구와 스마트 기기의 활용을 통한 피드백 효과 검증에 대한 실증 연구가 부족한 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구는 불특정 학생이 거주하는 대학 기숙사를 대상으로 스마트 기기의 활용과 피드백의 전력 절감 효과를 실증적으로 검증하는 연구를 설계하였다.

3. 연구 설계

3.1 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 S대학교 학생생활관 중 1개 동 거주자를 대상으로 하였다. 모든 실험 집단은 기본적으로 동일한 주거 환경 및 주거 지원 시스템을 구비하고 있다. 특히, 본 실험 대상 동은 참여자들의 거주 생활공간이 모두 2인실로 동일하고 모두 학부생인 관계로 여러 동에서 실험을 진행했을 때 발생할 수 있는 외부 요인에 대한 효과를 상대적으로 줄일 수 있다.

전체적으로 연구를 진행한 기간은 2017년 9월부터 11월까지이다. 연구 참여자 모집 기간, 사전 설문조사 기간을 제외한 실제 실험 기간은 10월 2주차부터 11월 2주차까지이다. 상기 기간은 기숙사 내 공실율이 가장 낮고 학기 중간의 학기 초나 말보다는 비교적 사용자들의 시간적 여유가 있는 기간으로 거주자 회전, 학기나 계절 변동 등의 제한된 시간을 고려했을 때 가장 적합한 시기라고 판단한다. 연구 참여자 표집은 목적 표집방법 (purposive sampling)¹⁾으로 이루어졌으며, 기숙사의 협조를 얻어 건물 내 참여자 모집 공고를 통해 자발적인 참여 의사를 밝힌 대상을 선발하여 모집단 대표성 약화의 문제를 완화하고자 하였다.

본 연구를 위한 IRB 승인은 2017년 8월에 득하였으며, (승인번호: IRB No. 1708/003-1010) 본 승인의 유효기간은 2018년 8월 27일로 본 연구의 진행 일정에 부합한다.

3.2. 연구 모형

이 연구의 목적은 에너지 피드백이 기숙사 학생의 전력절감 행동에 미치는 효과를 규명하는데 있다. 본 목적을 검증할 수 있는 가설을 수립하고, 설문조사 및 스마트 플러그 사용

1) 본 연구는 연구의 성격 상 참여자를 무작위로 선정할 수 없는 관계로 특정대상을 표본을 삼는 방식인 목적 표집 방법을 사용하였다.

정보를 통해 가설을 검증하고자 한다. 본 연구를 통해 검증하고자 하는 가설은 아래와 같이 3가지로 설정할 수 있다. 첫째, 스마트 플러그의 사용은 신축기숙사 거주 대학생의 전력사용 행동은 전력사용량에 부 (-)의 영향을 미칠 것이다. 둘째, 에너지 피드백은 스마트 플러그 사용을 통한 전력사용 행동에 부 (-)의 영향을 미칠 것이다. 셋째, 경쟁과 보상은 스마트 플러그 사용자 중 에너지 피드백을 받은 집단의 전력사용량에 부 (-)의 영향을 더 크게 미칠 것이다.

본 연구 목적 달성을 확인하기 위하여 실험연구 방법 중 사전·사후 실험설계를 도입하였다. 절감 참여 및 절감량 측정을 위한 스마트 플러그, 에너지 피드백, 경쟁과 보상의 전력 절감 효과를 분석하기 위하여 연구 참여자를 3개의 집단 (통제집단, 실험집단 A, B)으로 분류하고 각 집단별로 호실별 에너지 사용량 데이터, 스마트 플러그 사용량 데이터를 수집하였다. 실험집단 A는 스마트 플러그를 사용하는 집단, 실험집단 B는 스마트 플러그 사용과 함께 에너지 피드백을 제공받는 집단이며 통제집단은 어떤 처치도 받지 않은 그룹이다. 이에 따른 집단별 기술통계는 Table. 2와 같고 이를 통해서 통제집단과 실험 집단의 에너지 사용량이 다르지 않음을 확인할 수 있다.

사전 실험 기간 (T0)을 통해 각 집단에 대한 사전 설문조사와 전력사용량 자료를 수집하였다. 실험기간 1 (T1)에는 각 집단에 대한 실험처치를 하였고, 중간조사에서 각 집단 별 전력사용량 자료를 재수집하였다. 실험기간 2 (T2)에는 실험집단 A, B를 대상으로 경쟁 및 보상에 대한 추가 실험처치를 진행하였다. 마지막으로 사후 실험기간에는 설문조사와 전력사용량 자료를 수집하는 절차와 처리 체계를 구성하였다. 이 같은 과정을 연구 모형으로 도식화 하면 Fig. 1.과 같다.

Table 2. Descriptive statistic of 3 groups

Criteria	Control Group (n=23)	Group A (n=26)	Group B (n=24)	
Residence Status in Weekend	1.3	1.3	1.41	
Living time in dormitory	2.43	2.26	2.29	
Electricity Consumption	Pre-experiment period (T ₀)	2.02 ± 0.47	1.9 ± 0.34	1.89 ± 0.42
	Experiment period 1 (T ₁)	6.12 ± 3.72	4.04 ± 2.73	3.83 ± 2.71
	Experiment period 2 (T ₂)	8.58 ± 4.63	7.45 ± 4.62	5.93 ± 3.64

2) 플러그 직접 제어, 앱을 통한 제어 등

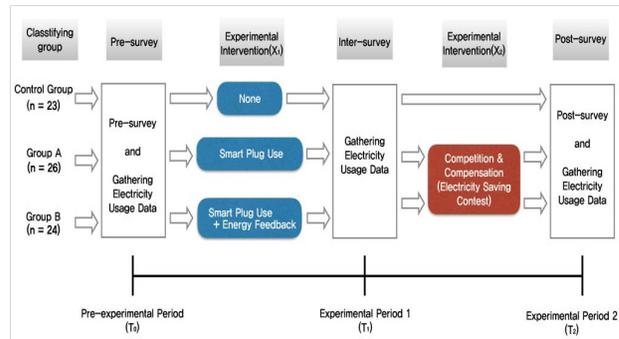


Fig. 1. Research framework.

3.3 에너지 피드백 방법

스마트 플러그 (smart plug)는 스마트폰 등의 기기를 통해 원격으로 기기의 스위치를 제어하여 대기전력을 절감할 수 있고, 플러그에 연결된 전자기기의 전력 사용량 혹은 절감량을 측정할 수 있다. 이 실험에서 사용하는 스마트 플러그는 ‘NEXSoft’에서 출시한 ‘Table Tab’이라는 기기이고, 본 기기는 국내에서 기관단위 스마트 플러그 관리가 가능한 유일한 기기로서 2017년 초 전파인증 및 안전인증을 마친 후 시판된 제품이다.

스마트 플러그를 통해 사용자의 에너지 절감 행동의 참여 수준을 판별 할 수 있고, 다양한 제어 방식)을 통해 사용자와 절감 행동의 결과를 절감량으로 확인할 수 있으므로 정량적인 성과 평가가 용이하다. 보다 정교하고 통합적인 분석을 위하여 제작 업체의 도움을 받아 참여자의 에너지 사용 정보를 일단위로 제공 받는 방식을 취하여 사용자의 전력 사용량을 개별적으로 파악하는 것에서 발생할 수 있는 오류를 최소화 할 수 있다.

스마트 플러그를 통해 참여자가 사용량 정보를 스스로 확인하는 것은 사용자의 의지에 따라 에너지 피드백의 영향이 매우 불규칙하게 나타날 수 있어 피실험자 그룹이 동일한 실험 환경을 가지는데 한계가 존재한다. 따라서 에너지 피드백에 대한 보다 분명한 효과 검정을 위하여 실험그룹 II를 대상으로 매일 1회 SNS를 통해 개인의 호실별 전력사용량, 스마트 플러그 사용량을 전달하였다. 에너지 피드백 요소는 선행 연구 검토를 통해 구성되었으며 Fig. 2.와 같다. 첫째, 이모티콘과 지표를 제공하여 본인의 전력사용량 및 스마트플러그 사용량에 대한 비교 정보를 직관적으로 인식함과 동시에 지표에 대하여 친근함을 느낄 수 있도록 하였다. 둘째, 역사적 정보를 제공하여 본인의 전력사용량에 대한 패턴을 인식하게

하였다. 셋째, 사회적 비교를 통해 다른 사람과의 전력사용량 비교자료를 제공하고 본인의 사용량 수준을 보다 객관적으로 알 수 있도록 하였다. 마지막으로 에너지 절약 정보에 해당하는 호실 내 전력 절감 방법, 스마트 플러그 이용에 대한 추가적인 정보를 제공하였다.

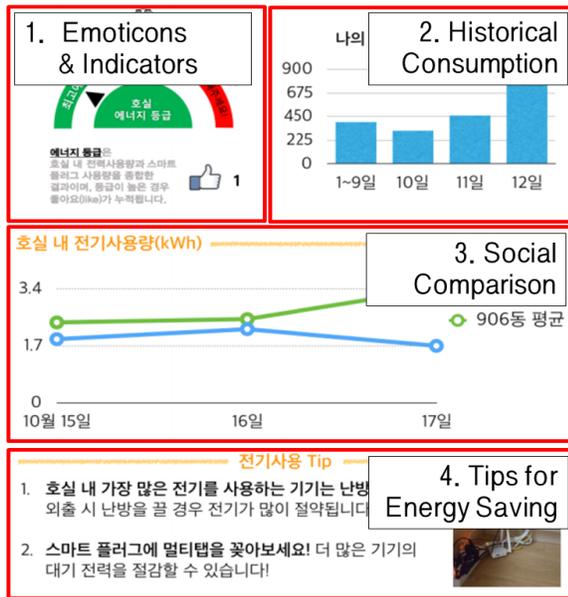


Fig. 2. Energy feedback sample.

3.4 경쟁 및 보상 (전력절감 컨테스트)

에너지 피드백 선행연구를 검토한 결과, 피드백은 정보 제공 이외의 다른 수단을 동시에 적용하였을 때 효용이 높은 것을 확인하였다. 특히, 전력 사용자들이 본인의 전력사용량을 제어함에 따라 보상이 주어진다면 호실 내 전력사용제어 및 스마트 플러그 이용률을 높일 수 있을 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 경쟁 및 보상 전략으로 ‘전력절감 컨테스트’를 기획하였다. 이 2017년 10월 30일부터 2017년 11월 12일까지 약 2주간 진행되었으며, 실험집단 A, B를 대상으로 진행하였다. 해당 기간 동안 참가자들의 호실 내 전력사용량, 스마트 플러그 사용량을 종합하여 전력 절감량이 큰 사용자에게 보상을 지급하도록 설계하였다. 보상의 규모는 1등에게는 15만원 상당의 상품, 2등은 10만원 상당의 상품, 3등에게는 5만원 상당의 상품을 지급하기로 하였으며, 컨테스트의

참여를 독려하기 위하여 절감량 상위 10명에게는 1만원 상당의 문화상품권을 지급하였다.

4. 연구의 결과

본 연구에서는 전력사용량의 절감효과를 살펴보기 위하여 스마트 플러그의 전력사용량 절감 효과를 분석하였고, 이를 통해 제 1,2 가설과 관계된 집단 간 실험 처치에 따른 전력사용량 차이를 도출하였다.

4.1 사전 동질성 검증

실험 전 세 집단의 전력사용량에 대한 사전 동질성 검증으로 Shapiro-Wilk 정규성 검정과 Levene의 등분산성 검정을 수행하였다. 이는 분산분석, T-검정을 수행하기 위한 사전 작업으로 통제집단과 실험집단 A, B의 실험 전 (T_0) 전력사용량이 정규분포를 이루는지 확인하기 위한 작업이다. Table 2.는 Shapiro-Wilk³⁾ 검정을 통해 집단 별 값을 나타낸 것이다. 결과 값으로 W통계량은 각각 0.961, 0.981, 0.926로 나타났고, 모든 값에 대해 유의확률 0.05 이상으로 나타나 귀무가설인 정규분포를 이룬다는 사실을 지지하였다. 따라서 각 집단의 자료는 정규분포하며 정규성을 가지고 있다고 할 수 있다.

Table 3. Pre-test results of normality by groups

Group	Mean (standard deviation)	Shapiro-Wilk Test		
		w-statistic	d.f.	p-value
Control Group	2.01 (0.464)	0.961	23	0.482
Group A	1.89 (0.667)	0.981	26	0.885
Group B	1.88 (0.088)	0.926	24	0.081

집단 간 사전 전력사용량에 대해 분산의 동질성을 확인하기 위하여 Levene's 등분산 검정⁴⁾을 통해 각 집단의 등분산성을 검정하였다. Levene 통계량은 Table 3과 같이 요약할 수 있으며 결과 값은 1.46, 유의확률 (p)은 0.240로 나타났다. 유의확률이 유의수준 (0.05)보다 높음에 따라 귀무가설을 채택하여 각 집단 간 분산의 동질성이 확인되었다.

3) Shapiro-Wilk 검정은 정규성을 검정하는 또 다른 방법인 Kolmogorov-Smimov보다 표본이 적을 경우 사용하는 방법으로 Shapiro-Wilk 검정의 귀무가설 (H_0)은 표본 데이터가 정규분포를 이룬다는 것이다.

4) Levene's 검정의 귀무가설 (H_0)은 세 집단 간 분산은 동질하다는 것이다.

Table 4. Homogeneity of variance test of 3 groups

Group	Mean (standard deviation)	Levene's Homogeneity of variance test			
		Leven Statistic	d.f. 1	d.f. 2	p-value
Control Group	2.01 (0.464)	1.46	2	70	0.240
Group A	1.89 (0.667)				
Group B	1.88 (0.088)				

4.2 전력 사용량 절감 효과 (제1, 2 가설 검증)

본 연구의 가설에 의하면 아무런 실험 처치를 하지 않은 통제집단과 스마트 플러그를 사용하는 실험집단 A, 스마트 플러그 사용과 함께 에너지 피드백을 제공받는 실험집단 B 간의 평균 전력사용량에는 차이가 있어야 한다. 구체적으로, 실험집단은 통제집단에 비하여 평균 전력사용량이 적어야 하며 실험집단 간의 평균 전력사용량에도 차이가 있어야 한다. 따라서, 스마트 플러그 사용과 에너지 피드백의 제공에 따라 기숙사 거주 대학생의 전력사용량 변화량의 차이가 확인 되어야 하면 이를 위하여 세 집단에 대한 분산분석을 수행하였고, 추가적으로 세 집단 간 전력사용량 차이가 발생하게 된 집단을 식별하기 위하여 사후분석을 시행하였다. 사후분석 방법은 LSD (Least Significant Difference)를 사용하였고 모든 분석의 유의수준은 0.05로 설정하였다.

실험처치 전 (T₀) 각 집단의 전력사용량은 다음과 같다. 통제집단의 평균 전력사용량은 2kWh, 실험집단 A는 1.9kWh, 실험집단 B는 1.9 kWh였다. 실험집단 A, B 모두 스마트 플러그를 사용하고 실험집단 B는 에너지 피드백을 추가로 받은 후 (T₁)의 평균 전력사용량은 통제집단은 6.1kWh, 실험집단 A는 4kWh, 실험집단 B는 3.8kWh로 증가하였다⁵⁾. 실험처치에 의한 전력사용량 증감량 차이를 보기 위하여 실험 처치 전 후 (T₁-T₀) 전력사용량 평균 차이에 대한 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과는 95%의 신뢰구간에서 세 집단 간 평균 전력사용량의 차이가 유의한 것으로 나타났다 (F=3.65, p=0.031)

LSD 사후분석을 통해 통제집단, 실험집단 A, B 중 두 집단 간의 차이를 검증하였다. 통제집단과 실험집단 A, 통제집

단과 실험집단 B 간의 평균 전력사용량 차이 검증에서는 각각 전력사용량 평균 차이에 대한 값이 통계적 유의성을 갖는 것으로 나타났다. 실험집단 A는 통제집단보다 실험 전후 전력사용량 차이 평균값이 1.956 kWh 낮은 것으로 확인되었다. 이는 유의확률 0.029로 통계적 유의성을 갖는다고 할 수 있다. 실험집단 B는 통제집단보다 실험 전후 전력사용량 차이 평균값이 2.161 kWh 낮은 것으로 나타났다. 이 또한 유의확률이 0.018로 나타나 유의수준 0.05에서 통계적 유의성을 갖는다고 할 수 있다. 따라서, 제 1가설인 “스마트 플러그를 사용한 집단의 전력사용량은 사용하지 않는 집단의 사용량보다 적을 것이다.”는 지지되었다. 또한, 통제그룹과 실험그룹 A,B 간의 사용량 차이를 통해 스마트 플러그에 내재된 에너지 피드백 기능에 따른 에너지 절감 효과는 확인되었다고 할 수 있다. 반면, 실험집단 A와 B의 실험 전후 전력사용량 차이 평균 값 0.2 kWh에 대해서는 유의확률이 0.814로 나타나 집단 간 평균 전력사용량의 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다. 따라서, 제 2가설 “에너지 피드백을 받은 스마트 플러그 사용 집단의 전력사용량은 피드백을 받지 않은 플러그 사용자 그룹보다 낮을 것이다”는 기각되었다. 한편 에너지 소비 행태 변화에 관한 사후 설문 결과 스마트 플러그가 호실 내 전력 절감에 도움이 되었는지에 대하여 전체 참여자 중 16%의 응답자가 ‘동의함’으로, 46%가 ‘동의하지 않음’으로 답하였다. 실험집단 B는 A에 비해 ‘전혀 동의하지 않음’ (16.7%), ‘보통’ (45.8%)의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 ‘동의함’ (8.3%)의 비율은 낮고 ‘매우 동의함’에 대한 응답이 없었다. 따라서, 에너지 피드백을 받은 집단은 스마트 플러그가 호실 내 전력 절감에 직접적인 도움은 미약하다고 생각하지 않는 것으로 볼 수 있고 이는 가설 2의 검증 결과와 유사하다고 할 수 있다.

이외에도 기숙사 내 전기절약에 긍정적인 영향 여부에 ‘예’라고 답한 응답자를 대상으로 구체적으로 어떤 부분에 영향을 미쳤는지를 확인한 설문문에 대하여 에너지 피드백이 스마트 플러그 사용에 영향을 미쳤다고 답한 응답자는 33.3% (6명), 호실 내 전기 절약에 영향을 주었다고 답한 경우는 22.2% (4명), 스마트 플러그 사용과 호실 내 전기 기기 사용 모두에 영향을 미쳤다고 답한 경우는 44.4% (8명)로 나타났다. 따라서 본인이 사용하는 전력 사용량에 대한 에너지 피드백을 받았을 경우 스마트 플러그 등을 통한 호실 내 전기 기

5) 본 실험을 실시한 기간은 9월~11월로 간절기에서 동절기로 외부 온도가 점진적으로 낮아짐에 따라 호실 내 전력난방 사용에 따른 전력사용량이 증가하였음. 이는 통제집단 및 실험집단 모두 공통적으로 적용되는 외부요인으로 실험설계에서는 이러한 점을 고려하여 특정한 시기의 전력사용량의 차이를 비교하지 않고 실험 기간 간의 전력사용량 차이에 대한 비교하는 분산 분석을 실시함.

기 전력 절감 노력을 비슷한 수준으로 증가시킨 것으로 이해할 수 있다.

4.3 경쟁 및 보상의 전력사용량 절감 효과 분석 (제 3가설 검증)

전체 실험 기간 후반 약 2주일⁶⁾ 동안 스마트 플러그를 사용하는 실험집단 A, B를 대상으로 전력절감 컨테스트를 진행하였고 본 테스트가 전력사용량에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 독립검정 T-test를 시행하였다.

구체적으로는 전력절감 컨테스트 기간 (T_2)과 그 전 기간 (T_1)의 평균 전력사용량 차이에 대한 비교 분석을 진행하였다. 실험집단 A의 ($T_2 - T_1$) 평균 전력사용량 차이와 표준편차는 3.4 ± 2.804 kWh, 실험집단 B의 평균 전력사용량 차이와 표준편차는 2.1 ± 1.669 kWh로 나타났다. 실험집단 B의 평균 전력사용량은 실험집단 A의 사용량보다 1.3 kWh 낮은 결과를 나타냈는데 독립검정 t-test 결과, 두 평균 전력사용량에 대한 두 집단 간의 평균 전력사용량 차이가 통계적으로 유의미하고 컨테스트가 전력 소비량의 차이에 영향을 미쳤다고 할 수 있다 ($t=1.974, p=0.027$). 따라서 제 3가설인 “경쟁 및 보상이 스마트 플러그 사용과 함께 에너지 피드백을 받은 집단이 스마트 플러그만 사용한 집단에 비해 전력사용량이 적을 것이다”는 지지되었다 ($p<0.05$). 이 같은 결과를 도식화하면 Fig. 3.과 같다.

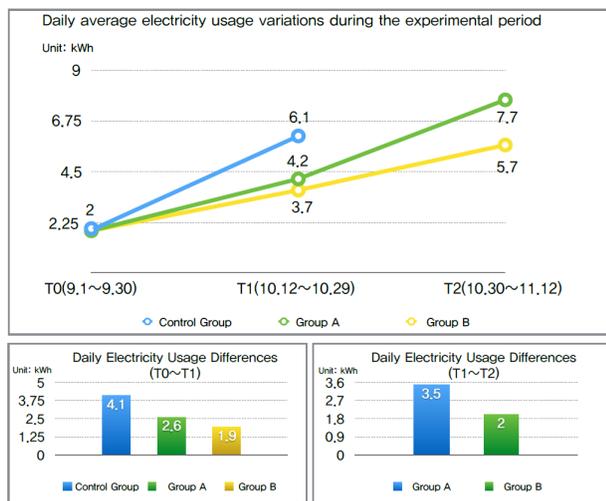


Fig. 3. Variation of electricity consumption.

이 같은 에너지 피드백이 기숙사 내 전력 절감 행동에 영향 여부를 묻는 문항에 대한 사후 설문 결과, 에너지 피드백이 절감 활동에 영향을 주었다는 응답이 75% (18명), 그렇지 않다는 응답이 25% (6명)로 나타나 응답자 대다수가 에너지 피드백이 기숙사 내 전력 절감 행동을 하는데 있어 도움이 되었다고 생각한 것을 알 수 있고 이는 가설1과 3의 검증 결과와 유사하다고 할 수 있다.

5. 결론과 시사점

본 연구는 기숙사라는 공간에서 스마트 플러그의 사용, 에너지 피드백이 거주 대학생의 전력절감행동에 어떤 영향을 미치는지에 대해 확인하고자 하는 목적을 지니고 있다. 그동안 기숙사라는 공간에서는 개인의 에너지 사용에 대한 정보 취득의 어려움과 기여분에 대한 보상이 수반되지 않은 관계로 에너지 절감 참여가 미흡한 문제가 있었다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위하여 에너지 피드백, 경쟁 및 보상을 진행하였고 이 과정 중 참여자들의 스마트 플러그 사용을 통한 에너지 정보를 분석하였다. 그 결과 통제집단 보다는 에너지 피드백을 받은 집단이 절감 활동 참여 효과가 있음을 확인했고, 에너지 피드백과 경쟁 및 보상을 함께 수행한 집단이 경쟁 및 보상만을 받는 집단보다 효과가 있음을 정량적으로 증명하였다. 또한 국내에서 활발하게 진행되지 못했던 에너지 피드백에 대한 선행적 연구, 스마트 플러그 등의 IoT 기기를 활용한 에너지 절감 참여 효과에 대한 실증 연구, 마지막으로 경쟁 및 보상의 효과성에 대한 탐색적 연구로서 의의를 가질 수 있다.

연구의 결과는 가설 검증으로 대신할 수 있다. 우선, 연구 가설 1 “스마트 플러그를 사용한 집단의 전력사용량은 사용하지 않는 집단의 사용량보다 적을 것이다.”는 지지되었다 ($p=0.029$). 그러나 연구가설 2 “에너지 피드백을 받은 스마트 플러그 사용 집단의 전력사용량은 피드백을 받지 않은 경우보다 낮을 것이다”는 통계적 유의성을 갖지 못하여 기각되었다 ($p=0.814$)⁷⁾. 마지막으로 연구 가설 3 “경쟁 및 보상이 스마트 플러그 사용과 함께 에너지 피드백을 받은 집단이 스마트 플러그만 사용한 집단에 비해 전력사용량이 적을 것이다”는 지지되었다 ($t=1.974, p=0.027$).

가설 검증을 통한 집단 간 차이 분석은 기숙사 내 생활 패턴 (일주일 중 거주 일수, 주말 거주 여부, 생활 시간 등)을

6) 2017. 10. 30 ~ 2017. 11. 12

7) 스마트 플러그 자체에 에너지 피드백 (정보전달) 기능이 내재되어 있기 때문에 추가적인 에너지 피드백의 효과가 유의성 있는 차이를 보이지 않은 것으로 판단됨.

통제하였을 때도 크게 다르지 않은 결과가 산출되었다.

결과적으로 스마트 플러그의 사용이 신축기숙사 거주 대학생의 전력사용량에 부(-)의 영향을 주었으며, 1차 실험 기간 동안 일반 집단 대비 약 48%의 적은 전력을 사용했다고 볼 수 있다. 스마트 플러그 사용과 함께 에너지 피드백을 제공 받은 집단의 경우에는 일반 집단 대비 약 53%의 적은 전력을 사용했다고 해석할 수 있다. 마지막으로 전력절감 컨테스트(경쟁 및 보상)에 따른 스마트 플러그 사용 집단의 전력 사용량 일반 스마트 플러그 사용 집단에 비해 평균 전력사용량이 약 38% 적은 것으로 나타났다. 이 같은 결과를 일평균 절감량으로 환산해보면 스마트 플러그 사용자는 실험기간 동안 일평균 2.1 kWh를 절감하였고 이를 절감액으로 환산할 경우 약 315,000원/월⁸⁾이며, 기숙사 동 전체(약 450명)에서 진행했다면 월간 280여만원의 절감액을 기대할 수도 있다. 따라서, 집단적 커뮤니티를 구성하는 사용자 그룹을 위한 에너지 피드백 활동과 스마트 플러그 등의 IoT 기기에 의한 전력 절감효과성은 유효하다고 할 수 있으며 추가적으로 경쟁과 보상 등에 대한 정책 수립도 매우 효과적이라는 점을 확인하였다. 이 같은 사실을 통해, 기숙사에서 개인이 에너지 절감 활동에 대한 실질적인 경제적 보상을 느낄 수 있는 정책 수립이 필요함을 알 수 있다. 본 연구의 사례 대상과 같이 기숙사 입주 요금을 매월 정액으로 정해 놓는 것보다 실별 에너지 사용에 따라 차등적으로 적용하는 방안에 대하여 진지하게 고민해보아야 한다⁹⁾.

본 연구는 기숙사를 대상으로 한 에너지 피드백 효과를 정량적으로 확인한 성과와 함께 다음과 같은 연구의 한계를 지니고 있다. 첫째, 이 같은 연구의 성과를 도출하기 위해서는 지속적으로 운영이 가능한 시스템적 접근이 필요하지만 특정한 실험 기간을 정해두고 일정 물량을 투입하는 방식의 일회적 연구 활동에 의하여 충분한 해석 도출의 한계가 존재하였다. 둘째, 이 같은 활동이 학문적 활동에서 생활 활동으로 확산되기 위해서는 경제성이 전제되어야 한다. 하지만, 아직은 IoT 기기와 이를 운용할 인프라의 구축 비용이 고가라는 점, 운영 시스템에 관한 지속적인 관리 등은 경제성 확보를 위해 해결해야 할 문제점이다. 셋째, 실험설계 상 실험처치간의¹⁰⁾ 상호작용 효과는 분석하지 못한 점, 마지막으로 시스템 냉난방에 의한 에너지 사용량이 압도적인 관계로 스마트 플러그 사용에 따른 개별 기기의 절감량이 전체 절감율에 큰 영향을

미치지 못한 점도 효과성 제고의 장애요인으로 나타났다. 향후 연구에서는 이와 같은 점을 보완하여 이 같은 에너지 피드백과 IoT 기기에 의한 효율적 에너지 활동이 보편적으로 확산될 수 있기를 기대한다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20151210200080, SRnD 0666-20180016)80)

REFERENCES

- AK Wolfe, EL Malone, J Heerwagen, J Dion. 2014. Behavioral Change and Building Performance: Strategies for Significant, Persistent, and Measurable Institutional Change. US Department of Energy.
- Anderson K, Song K, Lee S, Krupka E, Lee H, Park M. 2017. Longitudinal analysis of normative energy use feedback on dormitory occupants. *Applied Energy*, 189.
- Bekker J, Tania D, Nikola K. P, Angela M, Julia I, Louis S. 2010. Encouraging electricity savings in a university residential hall through a combination of feedback, visual prompts, and incentives, *Journal of Applied Behaviour Analysis*, 43 (2): 327 - 331.
- Brewer RS, Lee GE, Johnson PM. 2011. The Kukui Cup: a dorm energy competition focused on sustainable behavior change and energy literacy.
- Cho SH, Jung SJ. 2011. A Study on the Energy Use Behavior according to Apartment Residents' Characteristics, *The Korean Housing Association Spring Conference* (116-120).
- Choi KS. 2017. Domestic zero energy building policies and trends, *construction technology*, 74.
- Darby S. 2006. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays. Oxford, England: Environmental Change Institute, University of Oxford.

8) $2.1 \text{ (kWh)} \times 30 \text{ (일)} \times 50 \text{ (명)} \times 100 \text{ (원)} = 315,000 \text{ 원}$

9) 본 연구 진행시 이와 같은 방안에 대하여 기숙사 관리자와 논의해 보았지만, 기숙사 관리 주체와의 계약 변경, 공공요금의 사후 정산 등과 같이 새로운 관리 체계 수립 등에 대해 부정적 인식이 강했다.

10) 스마트 플러그 / 에너지 피드백과 경쟁 및 보상

- Delmas MA, Fischlein M, Asensio OI. 2013. Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy*, 61.
- Dietz T, GT Gardner J, Gilligan PC, Stern MP Vandenberg. 2009. Household action can provide a behavioral wedge to rapidly reduce U. S. carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 18452 - 18456.
- Energy Management Corporation, 2015. *Korea Energy Manual*.
- Kim JH, Kim JI. 2016. Empirical Research of Energy Saving based on Measurement of the Consumed Power of University's Electric Vending Machine, *Journal of Climate Change Research*, 7 (1): 95-101.
- Ko DY, Jo HS, Park MS. 2012. Analysis of general household demand for smart meter and home display. *Energy Economic Research*, 11 (2): 165-190.
- Lee SR, Cho YS, Lee SK. 2017. Analysis of CO2 Reduction effected by GHG · Energy Target Management System and Korea Emissions Trading Scheme, *Journal of Climate Change Research*, 8 (3): 221-230.
- Marcell K, Agyeman J, Rappaport A. 2004. Cooling the campus: Experiences from a pilot study to reduce electricity use at Tufts University, USA, using social marketing methods. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5 (2):169-189.
- Neenan B, Robinson J, Boisvert RN. 2009. Residential electricity use feedback: A research synthesis and economic framework. *Electric Power Research Institute*, 3.
- Odom W, Pierce J, Roedl D. 2008. Social incentive & eco-visualization displays: Toward persuading greater change in dormitory communities. In *Workshop Proc. Of OZCHI (Vol. 8)*.
- Park SC. 2017. Improve energy efficiency, importance of fifth energy, *Hankook-Ilbo*.
- Petersen JE, Shunturov V, Janda K, Platt G, Weinberger K. 2007. Dormitory residents reduce electricity consumption when exposed to real-time visual feedback and incentives. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8 (1): 16-33.
- Turner C, M Frankel. 2008. *Energy Performance of LEED for New Construction Buildings*. Vancouver, WA: New Buildings Institute.