실별 전력 소비패턴에 의거한 온실가스 감축 잠재량 산정 - 서울대학교 관악 캠퍼스를 대상으로 -

A Case Study of GHG Reduction Based on Electricity Consumption Pattern of Individual Rooms
: In case of Seoul National University

김 석 영*
Kim, Seok-Young

박 문 서**
Park, Moonseo

이 현 수***
Lee, Hyun-Soo

김 수 영****
Kim, Sooyoung

정 혜 진*****
Jung, Hye-Jin

Abstract

As GHG target management is introduced in Korea, designated establishment takes responsibilities to reduce more than 30% of expected GHG emission until 2020. Although decreasing GHG has been requested to universities which consume great amount of energy, there are difficulties to apply high cost countermeasures. Therefore, this research suggest a low cost, easily-applicable energy saving method, and derive potential GHG reduction amount in the case of SNU, Kwan-ak campus. First of all, 11 rooms of different use were chosen as the samples, and energy consumption in each room was measured. Standard models for each room were built through researching on the electric devices in each room. Moreover, energy consumption was computed for each devices through analyzing the pattern of electricity consumption. 32 GHG reduction technology and action program were chosen, and they were applied to the standard models for individual rooms. Through multiplying energy reduction rate of each program to energy consumption of each electric device, maximum energy reduction of each electric device is derived. Through that, Maximum GHG reduction for individual rooms and each month and the total GHG reduction capacity of Kwan-ak campus were computed. It was found out that approximately 5,311tCO₂-eq can be reduced, when reduction technology and action program suggested by this research are applied. It appeared 24.48% of requested reduction amount to SNU can be reduced, till 2016.

Keywords : GHG target management, GHG reduction technology, Action program, Maximum GHG reduction amount

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국제사회는 코펜하겐 협정을 통해 선진국들이 2020년까지 온실가스 감축 목표를 설정하여 지구의 기온상승을 2℃ 이내

로 제한하도록 하였다(조진영 2011). 우리나라는 기후변화 대응에 대한 자발적 노력을 국제사회에 부각하고자, 온실가스 감축 의무가 없는 국가로서는 처음으로 2020년까지 배출 전망치 대비 30% 이상의 감축목표를 발표하였다. 이에 정부 각 부처는 온실가스·에너지 목표관리제를 통해 해당 사업장 별로 감축 목표를 설정·추진해 나가고 있다.

* 일반회원, 서울대학교 대학원 건축공학과 석사과정, hot6905@snu.ac.kr

** 중신회원, 서울대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), mspark@snu.ac.kr

*** 중신회원, 서울대학교 건축공학과 교수, 공학박사, hyunslee@snu.ac.kr

**** 일반회원, 서울대학교 대학원 건축공학과 석박통합과정, finalwing@snu.ac.kr

***** 일반회원, 서울대학교 AIEES 연구조교수, 공학박사, jhj2005@snu.ac.kr

전 세계 최종 에너지 소비의 40%, 이산화탄소 배출량의 24%를 건축물이 차지하며 (박재현 2010), 국내 역시 건축물이 전체 온실가스 배출의 25%를 차지하므로 건축물의 온실가스 배출량은 국토해양부 주관 하에 집중 관리된다.

2011년 대형건물부문 최종 에너지소비량을 분석한 자료에 따르면 (지식경제부, 에너지 총조사보고서 2011) 대학교 온실가스 배출량은 242,520TOE로서, 아파트 617,714TOE와 병원 246,091TOE에 이어 세 번째로 많아, 대학교의 적극적인 온실가스 감축 필요성이 시사되었다. 이에 따라 2012년 현재 온실가스·에너지 목표관리제 대상으로 지정된 10개의 대학은 모두 연간 10,000TOE 이상의 에너지를 사용하는 에너지 다소비 기관으로서, 감축 목표치를 의무적으로 제출·달성해야 한다. 이 중 가장 많은 에너지를 소비하는 서울대학교는 2010년 기준 41,372TOE의 에너지 사용량을 기록하였다 (서울대학교 시설관리국, 에너지 목표관리 중장기계획 2011). 게다가 건물 증개축, 시설면적 증가, 설비시설 보강, 연구활동 고도화로 인해 에너지 사용량이 계속해서 증가하는 추세이므로 대응책 마련이 시급하다.

그러나 교육기관의 특성 상 에너지 절감에 투자할 수 있는 예산은 한정적이므로, 설비시설 전면 교체와 같은 고비용의 대응책을 실행하는 것은 현실적으로 어렵다. 대신, 쉽게 적용 가능한 저비용의 설비시설을 도입하고, 재실자가 에너지 절약 프로그램을 실천함으로써 절감해 나가는 것이 보다 효과적이다.

따라서 본 연구에서는 김수영(2012)의 서울대학교 온실가스 감축 시나리오 연구를 발전시켜, 서울대학교에 적용 가능한 에너지 감축기술 및 재실자의 행동패턴을 고려한 실천 프로그램을 도출한다. 먼저 서울대학교 관악캠퍼스의 실 용도별 소비전력량, 전력기기, 사용패턴 등을 조사한다. 이를 바탕으로 전력기기별 소비전력량을 산출하고, 그에 따른 에너지 감축기술 및 실천프로그램을 도입하며, 최대 감축 잠재량을 산정한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

본 연구는 온실가스·에너지 목표관리제 의무 이행 사업자인 서울대학교 관악캠퍼스를 대상으로 한다. 관악캠퍼스의 에너지 소비 데이터를 바탕으로 실 레벨에서 적용 가능한 에너지 감축 기술 및 재실자의 행동 패턴을 고려한 실천 프로그램을 도출하고 이에 따른 최대 감축량을 산정한다. 이를 위해, 1) 국내·외 선행연구 분석, 2)서울대학교 에너지 사용현황 조사 및 2012년 1월부터 7월까지의 소비전력량 데이터 분석, 3)실 레벨에서 적용 가능한 에너지 감축 기술 및 재실자의 행동 패턴을 고려한 실천 프로그램 도출, 4)서울대학교 온실가스 최대 감축량 산정을 수행하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 온실가스·에너지 목표관리제

우리나라는 2020년까지 온실가스 배출전망치 대비 30%를 감축하겠다는 목표를 세우고 각종 제도를 통해 점진적으로 온실가스 감축을 이행하고 있다. 그 중 온실가스·에너지 목표관리제란, 지정된 대규모 사업장이 에너지 절약 및 이용 효율화를 통해 미리 제출한 온실가스 감축 목표치를 이행하도록 유도하는 제도로서, 저탄소 녹색성장 기본법에 의거하여 2010년부터 실시되었다.

관리대상 업체들은 온실가스 배출량, 에너지 소비량 등에 대한 명세서를 작성하고, 제 3의 검증기관을 거친 후 관련 정부 기관에 최종 보고한다. 목표치를 만족시키지 못한 경우는 패널티가 주어지고, 목표치를 초과 달성한 경우 가산점 및 인센티브를 얻는다. 2011년 6월 기준, 471개의 관리업체가 지정되어 총 1,617개의 사업장이 온실가스·에너지 목표관리제를 수행하였다.

2.2 선행연구 분석

온실가스·에너지 감축에 대한 기존 연구는 표 1에 정리된 바와 같이, 크게 공학적 연구와 행동학적 연구의 두 가지 관점으로 나뉘어 접근되고 있다.

표 1. 국내·외 관련 선행연구

저자 (연도)	연구주제
공학적 연구	
김수영 외 4인 (2012)	서울대학교 온실가스 감축 시나리오 연구
정재웅 외 4인 (2010)	사례분석을 통한 대학건물의 전력에너지 사용량 조사 및 분석
박진관 외 4인 (2010)	대학시설에서 에너지 낭비사례 및 절약 방안 연구
W P Wong (2005)	Use of Electrical Energy in University Buildings: A Case Study in Hong Kong
Bonnet et al. (2002)	Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration
행동학적 연구	
한미정, 신경아 (2008)	대학 캠퍼스 내 전기절약 캠페인 전략수립을 위한 수용자 인식 및 태도 연구 : 감지적 접근법을 중심으로
Henryson et al. (1999)	Energy efficacy in buildings through information : Swedish perspective
Marcell et al. (2004)	Cooling the Campus: Experiences from a pilot study to reduce electricity use at Tufts University, using social marketing methods
Benders et al. (2006)	New approaches for household energy conservation-In search of personal household energy budgets and energy reduction options

먼저 공학적 측면으로는, 설비시설 진단 및 개선 등 능동적인 대응책에 대한 다수의 논의가 있다. 반대로, 행동학적 측면으로는 재실자의 에너지 소비패턴 개선을 위한 효과적인 방안 마련 등 수동적인 대응책 연구가 있다.

그러나 이러한 방법들을 종합적으로 현실성 있게 적용하여 실제 감축량을 산정하는 연구는 많지 않았다. 또 대학건물의 온실가스 배출량이 많아 사회적으로 우려의 목소리가 높고 시급한 대응책이 요구됨에도 불구하고 대학건물을 대상으로 하는 연구가 많지 않았다.

박진관(2010)은 사례분석을 통해 개별식 냉난방기기 제어를 통한 에너지 절감 효과를 연구하였다. 그러나 에너지 감축을 위한 방안으로 냉난방기기만을 대상으로 하였으며, 한 개 실을 대상으로 연구하여, 실용도와 전력소모기기가 다양한 대학캠퍼스 전체로 확장시켜 기존 소비 패턴을 고려한 감축량을 산정하기 어렵다는 한계가 존재한다.

정재웅(2010)은 영남대학교 인문관 건물의 소비전력량 실제 데이터를 월별·시간대별로 분석하였으나, 실별 데이터가 아닌 전체 건물에 해당하는 데이터를 사용하였기 때문에, 용도가 다양한 대학건물 전체로 확대 적용하여 신빙성 있는 결과를 얻기가 어렵다. 대학 내 실용도별 전력 소비량 데이터를 얻기가 어려워 구체화된 연구가 미흡한 것으로 사료된다.

반대로, Bonnet(2002)은 실용도별 소비전력량 분석치를 캠퍼스 전체로 확대 적용하는 시도를 했으나, 데이터를 실측이 아닌 가정에 의거하여 얻었고, 그 과정에서 계절부하와 같은 중요 요소를 고려하지 않아 정확도에 한계를 보인다.

김수영(2012)은 실용도 표준모형에 따라 적용 가능한 설비 기술을 도출하였다. 이를 서울대학교 전체로 확대 적용한 후 시나리오 기법을 이용하여 연도별 총 온실가스 감축량 가이드 라인을 제시하였다. 그러나 비용 효율적인 가이드라인 설계가 미흡하고, 구체화된 전력 소비량 데이터의 부재로 인해 재실자의 기존 실제 사용 패턴에 의거한 실천적 감축방안은 제시하지 못했다는 한계가 있다.

3. 온실가스 배출 특성 분석

본 연구는 실용도별로 뽑힌 표본실들의 단위면적 당 소비전력량을 실측·분석하고, 캠퍼스 내 동일용도 실의 전체 면적으로 확대 적용함으로써, 관악캠퍼스 실 용도별 월간 소비전력량을 산정한다.

3.1 서울대학교 온실가스 감축목표 및 현황

표 2는 서울대학교 건물 연면적 증가에 따른 예상 배출량 및 온실가스·에너지 목표관리제 기준에 따른 필요 감축량이다(김수영 2012). 2016년까지 관악캠퍼스는 예상 배출량 대비 15%인 21,692tCO₂-eq의 온실가스를 의무 감축해야 하는 것으로 조사되었다.

표 2. 연도별 예상배출량 및 필요감축량

연도	건물 연면적 (㎡)	예상 배출량 (tCO ₂ -eq)	감축 목표	배출 허용량 (tCO ₂ -eq)	필요 감축량 (tCO ₂ -eq)
2012	1,215,757	118,964	2.2%	116,347	2,617
2013	1,224,777	119,847	5.3%	113,495	6,352
2014	1,318,104	128,979	8.0%	118,661	10,318
2015	1,426,689	139,604	10.6%	124,806	14,798
2016	1,477,863	144,612	15.0%	122,920	21,692

한편 2007년부터 5년간 온실가스 배출원 현황을 평균하면, 구매전력 사용에 따른 간접배출이 서울대학교 전체 온실가스 배출원의 62.5%로서 감축 가능한 대부분의 소비에너지는 구매전력에 집약되어 있다고 볼 수 있다.

3.2 용도별 연면적 및 연구대상 선정

그림 1은 서울대학교 관악캠퍼스의 실용도별 연면적 점유율을 나타낸 것이다. 본 연구의 대상은 다수에 의해 자율적으로 운용되는 11개실, 즉, 연구실·실험실·강의실·사무실·교수연구실·도서관·화장실·회의실·학생실·멀티미디어실·운동실로 정한다.

그림 1. 2011년 관악캠퍼스 실용도별 연면적 점유율

3.3 소비전력량 조사

3.3.1 소비전력량 실측조사

3.2에서 정한 연구대상별로 에너지 사용량을 분석하기 위해, 인문계열과 이공계열의 특성, 구관과 신관의 특성을 모두 보여주며, 학생들의 이용 패턴이 보편화 되어있는 1동(인문관 1)과 39동(대학원연구동)을 표본 건물로 설정하였다.

표 3. 표본 건물 기본 정보

구분		1동	39동
정보	명칭	인문관1	대학원연구동
	연면적	3,844㎡	26,440㎡
	건축년도	1978	2006
계량기 설치 여부	강의실	o	o
	회의실	o	x
	멀티미디어실	x	o
	교수실	o	o
	실험실	x	o
	연구실	o	o
	사무실	o	o
	학생실	o	x
	운동실	x	o
	화장실	o(남·여)	x
	도서실	o	o

두 개동에 실별로 계량기를 설치하고 2012년 1월 1일부터 7월 31일까지 총 213일간 매일 오전 9시에 값을 확인하였다. 이 측정값을 해당 실의 연면적으로 나누어, 실별 단위면적당 소비전력량을 구하였다. 이와 병행하여 재실자 설문 및 인터뷰를 실시하여 사용패턴을 조사하였다.

3.3.2 단위 소비전력량 실측 및 주요결과분석

그림 2 및 그림 3은 각각 1동과 39동 표본실들의 단위면적당 월평균 소비전력량을 나타낸다. 39동에서는 실험실이 3월에 32.02kWh/월·㎡로서 최대치를 기록하였다. 1동은 남자 화장실이 2월에 67.94kWh/월·㎡로서 최대치를 기록하였는데, 이는 소비전력 1kW에 이르는 방열기 2대를 이용하여 24시간 난방을 한 것에 기인하는 것으로 사료된다.

두 그래프의 전체적인 모양을 대조해보면, 1동의 하절기 소비전력량은 동절기에 비해 감소하는데 반해, 39동의 계절에 따른 소비전력량 차이는 미미하다. 인터뷰 결과, 두 동 모두 공통적으로 하절기 재실시간 내내 냉방을 틀어놓고 있었으나, 1동은 엄격한 중앙제어가 이루어져 6월 중순부터 냉방이 가능했던 반면, 39동은 5월 말부터 개별냉방이 가능했으며 7월말에야 엄격한 중앙제어가 이루어졌다. 실제로, 냉난방 외 전력기기의 사용패턴이 유사한 강의실 부문을 대조해보면 1

그림 2. 단위 면적 당 월평균 소비전력량 - 1동

그림 3. 단위 면적 당 월평균 소비전력량 - 39동

그림 4. 단위 면적 당 월평균 소비전력량 - 강의실

동과 39동이 5월까지의 전력소비패턴이 유사하나, 하절기에 차이를 보인다.

재실시간 등 사용패턴이 비슷하나, 인원, 전력소모시설 등에서 상이한 1동과 39동의 두 사무실을 비교해보면 그래프 모양의 패턴이 서로 일치한다. 같은 용도별로 유사한 형태의 에너지 소비가 이뤄지고 있음을 알 수 있다.

그림 5. 단위 면적 당 월평균 소비전력량 - 사무실

3.4 실별 단위소비전력량 일반화 및 순위 분석

각 실의 데이터를 관악캠퍼스 전체로 확대 적용하기 위해 1동과 39동의 소비전력량 실측값을 일반화하였다. 즉, 3.3.2에서 보듯, 같은 용도의 실임에도 불구하고 상이한 전력소비 패턴을 보이는 실이 있다. 먼저 그 차이가 기인한 원인요소를 파악하고, 이 요소를 기준으로 관악캠퍼스 전체 실을 분류한다. 예를 들어, 두 동의 단위 소비전력량이 모두 실측된 강의실의 경우, 냉방 중앙제어 여부가 하절기 전력소비패턴을 결정한다. 따라서 관악 캠퍼스 전체 강의실 중, 하절기에 엄격한 중앙제어가 있었던 건물의 강의실과, 그렇지 않은 건물의 강의실을 분류하고, 각 분류군의 면적비를 고려하여 두 실측치 사이의 대푯값을 잡아주었다. 표 4는 이와 같은 방법으로 11개실의 단위면적당 소비전력량 값을 일반화 한 것이다.

표 4. 단위 면적 당 소비전력량 일반화

실 실	전체 면적(㎡)	단위 소비전력량 (kWh/월·㎡)						
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
강의실	67,838	0.8	0.8	2.3	2.1	2.2	2.3	2.2
회의실	27,180	0.3	0.4	1.3	1.0	1.1	1.2	0.7
멀티미디어	11,751	1.4	0.3	1.9	2.8	3.7	2.6	0.1
교수실	49,638	5.7	5.5	10.1	5.7	2.9	2.6	2.2
실험실	81,052	29.2	28.2	32.0	29.5	27.7	20.6	19.0
연구실	102,575	16.2	16.2	19.6	14.2	12.6	13.6	10.7
사무실	64,474	8.5	10.2	8.4	7.2	6.5	6.4	6.7
학생실	12,451	5.9	1.3	11.8	4.8	2.9	2.3	1.3
운동실	10,121	14.2	14.8	14.8	13.9	13.4	14.1	14.4
화장실	31,695	31.3	29.5	24.3	9.8	11.7	5.8	3.4
도서실	40,854	2.9	3.0	4.2	3.6	3.8	3.7	2.5

이후, 단위 면적당 소비전력량을 관악캠퍼스 해당 실 전체 면적에 곱한다. 예를 들어, 1월 강의실의 단위 소비전력량 0.8kWh/월·㎡를 관악캠퍼스 강의실 67,838㎡에 곱하면 1월 강의실 총 사용량인 51,557kWh를 구할 수 있다. 표 5는 관악 캠퍼스의 실별 총 월간 소비전력량을 예측한 것이다.

분석 결과, 불특정 다수가 사용하는 용도보다는 특정 인원이 상주하는 용도인 실험실, 연구실, 사무실, 교수실에서 전체 에너지 사용량의 대부분인 81.11%를 기록하였으며, 단위 소비전력량 역시 높음을 알 수 있었다. 이에 이들 실에 대한 적극적인 에너지 감축 방안이 필요할 것으로 판단된다.

4. 기기별 소비전력량 분석

각 실을 구성하는 전력기기의 종류, 개수, 소비전력, 사용패턴 등을 조사하여 실용도별 표준모형을 구축하고, 이를 기반으로 전력기기들의 현 소비전력량을 산정한다.

표 5. 관악캠퍼스 실용도별 월간 총 소비전력량 예측

소비전력량 (kwh)												
월	강의실	회의실	멀티미디어실	교수실	실험실	연구실	사무실	학생실	운동실	화장실	도서실	합계
1	51,557	7,610	16,921	282,442	2,369,956	1,658,637	547,386	72,965	143,520	990,776	119,497	6,261,268
2	53,592	10,329	3,643	270,529	2,286,473	1,659,663	657,637	16,685	149,896	933,725	123,378	6,165,550
3	152,976	33,975	21,974	502,588	2,595,280	2,005,341	540,616	146,677	150,200	771,449	170,564	7,091,640
4	142,460	26,093	33,020	282,442	2,393,461	1,458,103	464,859	60,140	140,787	309,974	145,235	5,456,575
5	149,244	29,355	43,596	143,207	2,245,947	1,293,983	417,148	36,109	135,625	371,303	153,610	5,019,126
6	156,027	33,704	30,317	128,563	1,672,100	1,394,507	411,668	28,763	143,014	183,037	151,771	4,333,470
7	149,244	18,754	1,293	108,708	1,542,417	1,102,168	432,944	16,436	145,848	107,445	103,360	3,728,616
합계	855,100	159,820	150,764	1,718,480	15,105,633	10,572,403	3,472,259	377,773	1,008,888	3,667,708	967,415	38,056,245

4.1 실용도별 표준모형 구축

실을 구성하는 전력기기 각각의 에너지 소비량을 구하고자 용도별 표준모형을 구축한다. 1동과 39동 각 실에 대해 수행한 계수조사, 행정기록조사, 설문, 인터뷰를 근거로 바닥면적(㎡), 평균 사용인원(명), 일평균 운영시간(h), 월간 사용일수(일), 전력기기, 개수, 소비전력(kW)을 조사 하였으며, 1동과 39동 해당 실의 데이터를 평균함으로써 표6과 같은 표준모형을 구축하였다. 환기팬 · 스피커 · TV · 전자식 지우개 털이와 같이 간헐적으로 사용하는 기기는 사용패턴이 간헐적으로 불규칙하고 전력사용량이 적기 때문에 제외하였다.

표 6. 용도별 표준모형 예시 – 강의실 (3월)

바닥면적 (㎡)	평균 사용 인원 (명)	일평균 운영시간 (h)	월간 사용일수 (일)
68.99	18.0	5.0	25
전력기기	개 수	소비전력(kW)	사용 패턴
형광등	18	0.033	상시, 규칙적
프로젝터	1	0.3	상시, 규칙적
실내기	1.5		상시, 규칙적
노트북	3	0.03	상시, 규칙적
환기팬	0		간헐적, 불규칙
스피커	4		간헐적, 불규칙
TV	1		간헐적, 불규칙
전자식 지우개 털이	1		간헐적, 불규칙

4.2 기기별 소비전력량

표 7은 표준모형에 따라 기기별 소비전력량을 산정한 예이다. 각 전력기기의 소비전력(kW), 개수, 일평균 운영시간(h), 월간사용일수를 곱해 1실 당 기기별 소비전력량을 산정한다. 이를 표준모형 강의실의 면적으로 나누고 관악캠퍼스 전체 강의실 면적을 곱하면, 관악캠퍼스 전체 강의실의 기기별 총 소비전력량을 유추할 수 있다.

표 7. 기기별 소비전력량 예시 – 강의실

소비전력량 (kWh/ 1실)				
월	형광등	프로젝터	노트북	실내기
1	22.3	11.3	0.0	21.1
2	17.8	9.0	3.4	21.9
3	74.3	37.5	2.7	39.2
4	74.3	37.5	11.3	0
5	74.3	37.5	11.3	18.9
6	74.3	37.5	11.3	33.7
7	74.3	37.5	11.3	33.7
합계	411.3	207.8	62.3	168.4

표 7. 기기별 소비전력량 예시 – 강의실 <계속>

월	관악캠퍼스 강의실 기기별 총 소비전력량 (kWh)			
월	형광등	프로젝터	노트북	실내기
1	21,928	11,111	0	20,748
2	17,503	8,850	3,343	21,534
3	73,059	36,874	2,655	38,545
4	73,059	36,874	11,111	0
5	73,059	36,874	11,111	18,584
6	73,059	36,874	11,111	33,137
7	73,059	36,874	11,111	33,137
합계	404,727	204,330	50,443	165,686
1월~7월 관악캠퍼스 강의실 소비전력량 총 합 (kWh)				
825,187				

기기별로 계산한 관악캠퍼스 강의실 소비전력량의 총합은 825,187kWh로서 앞서 본 실측치 855,100kWh에 근사한다. 같은 방법으로 관악캠퍼스 11개실에 대해 기기별 소비전력량을 산정하였다.

5. 최대 감축량 산정

앞서 산정한 관악캠퍼스 전력기기들의 현 소비전력량을 바탕으로, 각 실의 특성을 고려한 온실가스 감축기술 및 실천프로그램을 제시하며 적용 시 최대 감축잠재량을 산정한다.

5.1 적용가능 감축기술 및 실천프로그램 도출

표 8은 김태국(2011)의 온실가스 감축기술 및 실천 프로그램에 대해 조사한 자료를 참고하여 대학캠퍼스 실 레벨에서 쉽게 적용 가능한 항목만을 도출 및 추가한 것이다. 이 과정에서 감축량 산정에 대한 검증이 미비하거나, 비용대비 효율이 적어 적용가능성이 낮거나, 기술문제로 기존 건물에 적용이 불가능한 항목들은 제외하였다. 이렇게 도출된 감축기술 및 실천 프로그램은 총 32개이다.

표 8. 적용가능 감축기술 및 실천 프로그램

대상	구분	감축기술 및 실천 프로그램
컴퓨터	Aa	컴퓨터 '시스템 대기모드' 5분 설정
	Ab	모니터 밝기 에코모드
	Ac	퇴실 시, 컴퓨터 전원 off
	Ad	부재 시, 모니터 전원 off
냉난방	Ba	냉난방 온도 2도 조절
	Bb	주 2회 냉난방기 필터청소
	Bc	창이나 문의 틈새 기밀 유지
	Bd	중식시간 1시간 전 냉난방 중단
	Be	퇴실시간 1시간 전 냉난방 중단
	Bf	겨울철 내복 착용
	Bg	선풍기 이용, 냉방온도 2℃ 절약
	Bh	커튼 및 블라인드의 사용
	Bi	문 개구 제어 센서 설치
	Bj	방열기 타이머 설치, 사용시간 외 off
	C.a	낮에 창문 주변 조명 끄고 자연채광
조명	C.b	조도센서 부착: 조도에 따라 자동 소등
	C.c	점심시간 일괄 소등 후 필요한 곳만 점등
	C.d	탁상조명, 네온조명을 LED로 교체
	C.e	다운라이트 조명 최소개수 켜기
	C.f	고조도 반사각 설치
	C.g	조명기기 및 반사판 자주 닦기
	C.h	화장실 자동센서 조명 설치
	C.i	절전형 멀티 탭 설치
대기 전력	D.a	키텍 시스템 도입
	D.b	키텍 시스템 도입
가구 및 기타	E.a	정수기 타이머 설치, 사용시간 외 off
	E.b	비데 타이머 설치, 사용시간 외 off
	E.c	냉장고 내 음식물을 정리
	E.d	냉장고 양쪽 면이 벽에 접하는 상태에서 한쪽 면만 접하도록 개선
	E.e	냉장고 열려있는 시간 10초 이내로 개선
	E.f	동절기 냉장고 설정을 강에서 중으로 변경
	E.g	냉동실 -15~-18℃, 냉장실은 3~4℃ 설정
사무기기	F.a	프린터, 팩스, 복사기, 스캐너, 슬립모드 설정

5.2 최대 감축잠재량 산정

위의 기술 및 프로그램 적용 시 예상되는 관악캠퍼스 최대 에너지 감축량을 산정하였다. 이를 위해 먼저 프로그램 각각의 감축비율을 구하였으며, 감축방법이 소비전력을 줄이는 것

그림 6. 감축비율산정 프로세스

에 기인할 경우 참고자료 및 실측을 통해 감축비율을 구하였고, 사용시간을 줄이는 것에 기인할 경우 계산을 통해 감축비율을 구하였다. 다음으로, 표준모형에 해당 감축기술을 적용하였다. 기술 간의 중복이 있는 경우 감축비율의 값이 더 큰 프로그램을 우선 적용하였다. 이 때, 기존에 이미 같은 프로그램을 적용·운영하고 있는 경우가 있으므로, 이것을 고려하여 최종 감축비율을 재산정하였다. 표 9는 강의실의 기기별 최대감축량을 산정한 예시이다.

표 9. 기기별 최대감축비율 예시 - 강의실

(단위 %)						
전력 기기	적용 프로그램	레퍼런스	감축비율	기존적용 범위	최종감축 비율	최대감축 비율
노트북	Aa	실측치	5.30	50.00	2.65	13.60
	Ab	실측치	12.50	10.00	11.25	
실내기	Bb	교토대학 ¹⁾	9.60	0.00	9.60	10.64
	Bc	실측치	2.30	50.00	1.15	
조명	Ca	계산치	35.40	40.00	21.24	35.02
	Cf	실측치	25.00	30.00	17.50	
대기 전력	D.a	에너지 관리공단 ²⁾	10.00	0.00	10.00	11.94
	D.b	실측치	2.16	0.00	2.16	

최종적으로, 기기별 총 소비전력량에(표7) 최대감축비율을(표9) 곱해 기기별 최대감축량을 유도함으로써, 실별 최대감축량과 관악캠퍼스 최대감축잠재량을 산정하였다.

$$R = \alpha \sum_i \sum_j (E_{ij} \times r_{ij}) \text{-----} (1)$$

R : 관악캠퍼스 최대감축량

α : $471.4 \times 10^{-6} tCO_2/kWh$

(전력부문 온실가스 배출계수³⁾)

E_{ij} : 실용도 j 표준모형의 i 전력기기에 대한 총소비전력량

r_{ij} : 실용도 j 표준모형의 i 전력기기에 대한 최대감축비

5.3 결과 및 분석

실별 감축기술 및 프로그램 적용 결과, 표 10에서 나타내듯 1월부터 7월 동안 약 5,311tCO₂-eq의 에너지를 감축할 수 있었으며, 이는 동일 기간 관악캠퍼스 전체 에너지 사용량의 12.66%에 해당되는 양이다. 서울대학교의 2016년까지 필요감축량은 당해 예상배출량의 15%, 즉 21,692tCO₂-eq이므로, 본 연구에서 제시한 감축기술 및 실천 프로그램으로 최대

1) 京都大学環境保全センター, 京都大学環境配慮行動マニュアル~研究室・脱温暖化編~, 2007

2) <http://www.kemco.or.kr/>

3) 2010년 사용단, 전력거래소

5,311tCO₂-eq, 즉 목표치의 24.48%를 감축할 수 있다. 그림 7은 11개실의 최대감축량을 월별로 나타낸 것이다.

표 10. 관악캠퍼스 최대감축량 산정

구분	감축 전 (tCO ₂ -eq)	감축량 (tCO ₂ -eq)	감축 후 (tCO ₂ -eq)	감축비 (%)
11개 실	17,940	5,311	12,629	29.60
전체 실	41,960	5,311	36,649	12.66

그림 7. 11개실의 월별 최대감축량

표 11은 11개실을 구분하여 최대감축량을 산정한 결과이다. 실험실, 연구실, 사무실, 교수실의 에너지 소모가 많고 감축잠재량 또한 높은 것을 볼 수 있다. 그러므로 본 연구에서 제안한 프로그램을 적용하여 만족할만한 실효를 거두기 위해서는 4개실 상주인원의 에너지 소비패턴 개선이 필수적이다. 이를 위해, 에너지 절약에 대한 지속적인 교육과 캠페인 뿐 아니라, 매월 실별 에너지사용 고지서를 통해 실 구성원들에게 피드백을 제공하고, 실별 절감량에 따른 상급제도를 도입함으로써 소비패턴 개선을 촉구할 수 있다.

표 11. 실별 최대감축량 산정

구분	감축 전 (tCO ₂ -eq)	감축량 (tCO ₂ -eq)	감축 후 (tCO ₂ -eq)	감축비 (%)
강의실	403	130	273	32.27
회의실	75	29	46	38.64
멀티미디어실	71	17	54	24.44
교수실	810	372	438	45.89
실험실	7,121	1,590	5,531	22.32
연구실	4,984	1,604	3,379	32.19
사무실	1,637	610	1,027	37.24
학생실	178	69	109	38.82
운동실	476	119	357	24.98
화장실	1,729	676	1,053	39.09
도서관	456	95	361	20.82

6. 결론

본 연구는 서울대학교 온실가스·에너지 목표관리제 수행을 위한 연구의 일부로서 감축 계획 수립을 위한 온실가스 감축 잠재량 산정을 위해 실 레벨에서 적용 가능한 감축기술 및 실천프로그램을 제시하였다. 이를 위해 실용도별 소비전력량을 실측하고 설문과 인터뷰를 통해 현 전력소비 실태를 분석하였다. 이를 기반으로 감축기술 및 실천프로그램을 작성·선택하여 실 표준모형에 적용함으로써 관악캠퍼스 온실가스 최대감축 잠재량을 산정하였다.

본 연구는 현실성을 고려, 실 레벨에서 쉽게 적용 가능한 프로그램을 제시하고 감축잠재량을 정량화했다는 점에 의의가 있다. 기존 연구들은 캠퍼스 전체 및 건물 전체 레벨로 접근하였기에 구체적이면서도 거시적인 감축잠재량 연구가 미비하였다. 그러나 본 연구는 실 레벨에서 실측된 소비전력량 데이터를 실용도별, 기기별, 월별로 분석한 후 이 구체화 된 데이터를 캠퍼스 전체로 확대적용 하여 거시적인 감축잠재량 연구가 가능하였다. 이렇듯 온실가스 감축 잠재량 산정 방법론을 시스템화한 점에 의의가 있다.

그러나 관악캠퍼스 전체 실이 아닌 11개실에 한정하여 연구가 이루어졌다는 점과, 데이터의 부재로 인해 1월~7월에만 해당하는 감축방안 제안과 감축잠재량 산정이 이루어졌다는 점에 한계를 가지고 있다.

따라서 향후 연구에서는, 11개실 외에 다른 용도의 실에도 연구를 확대 적용하고 8월부터 12월에 대해서도 추가적으로 실측 데이터를 조사함으로써, 보다 구체적이고 정확한 감축방안 제안 및 감축잠재량 산정이 필요할 것으로 사료된다. 또한 실제 실천프로그램 적용 시 재실자의 특성을 반영하는 보정계수의 도입 등이 추가적으로 요구된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (한국연구재단 - C1AAA003 - 2011 - 0019049)이며, 서울대학교 공학연구소의 연구비 지원으로 수행되었음에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

김수영 · 이현수 · 박문서 · 정혜진 · 송권식 (2012). “서울대학교 온실가스 감축 시나리오 연구”. 한국퍼실리티매니지먼트

- 트학회 논문집, 제7권 제1호, 한국퍼실리티매니지먼트학회, pp. 15~23
- 김태국 (2011). “감축기술 및 실천프로그램에 의한 대학단위 온실가스 감축잠재량 연구 : 서울대학교를 중심으로”. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, p. 72
- 박재현 · 홍태훈 (2010). “국내 건축물 에너지 절감 관련 정책 개선방안”. 한국건설관리학회 논문집, 제11권 제4호, 한국건설관리학회, pp. 32~40
- 박진관 · 정홍도 · 신용한 · 정효민 · 정한식 (2010). “대학시설에서 에너지 낭비사례 및 절약 방안 연구”. 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, 대한설비공학회, pp. 266~271
- 서울대학교 시설관리국 (2011). “에너지 목표관리 중장기계획”
- 서울대학교 관악사 (2011). “서울대학교 그린캠퍼스 조성을 위한 기숙사 에너지 수요관리방안”
- 정재웅 · 김동우 · 이종민 · 양정훈 · 석호태 (2010). “사례분석을 통한 대학건물의 전력에너지 사용량 조사 및 분석”. 한국생활환경학회지, 제17권 제1호, 한국생활환경학회, pp. 1~9
- 조진영 · 장운성 · 정경희 (2011). “신도시 개발과정의 CO₂ 감축 목표관리 방안에 관한 연구”. 정기학술발표대회 논문집, 제11권, 한국건설관리학회, pp. 11~12
- 지식경제부 (2011). “2011년도 에너지총조사 보고서”
- 한미정 · 신경아 (2008). “대학 캠퍼스 내 전기절약 캠페인 전략수립을 위한 수용자 인식 및 태도 연구: 감지적 접근법을 중심으로”. 광고연구, 제80호, 한국방송광고공사, pp. 153~177
- Benders, R. M. J., Kok, R., Moll, H. C., Wiersma, G., Noorman, K. J. (2006). “New approaches for household energy conservation - In search of personal household energy budgets and energy reduction options”. Journal of Energy Policy, 34(18), pp. 3612~3622
- Bonnet, JF., Devel, C., Faucher, P., Roturier, J. (2002). “Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration”. Journal of Cleaner Production, 10(1), pp. 13~24
- Henryson, J., Hakkansson, T., Pyrko, J. (2000). “Energy efficiency in buildings through information - Swedish perspective”. Journal of Energy Policy, 28(3), pp. 169~180
- Kreider, J. F., Rabi, A., Curiss, P. (2002). Heating and Colling of Buildings : Design for Efficiency, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, p. 6
- Marcell, K., Agyeman, J., Rappaport, A. (2000). “Cooling the campus: Experiences from a pilot study to reduce electricity use at Tufts University, USA, using social marketing methods”. International Journal of Substantiality in Higher Education, 5(2), pp. 169~189
- Wong, W. P., Fellows, R. F., Liu, A.M.M. (1983). “Use of Electrical Energy in University Buildings: A Case Study in Hong Kong”. Facilities, 24(1/2), pp. 5~17
- 京都大学環境保全センター, 京都大学環境配慮行動マニュアル ~研究室・脱温暖化編~, (2007)
- <http://www.kpx.or.kr/KOREAN/htdocs/popup/pop_1224.html> (2012.10.15)
- <<http://www.kemco.or.kr/>> (2012.10.29)

논문제출일: 2012.11.05
 논문심사일: 2012.11.09
 심사완료일: 2013.02.25

요 약

온실가스·에너지 목표관리제가 시행됨에 따라, 해당 사업장은 2020년까지 온실가스 배출 전망치 대비 30% 이상을 의무적으로 감축해야 한다. 에너지소비의 큰 비중을 차지하는 대학교 부문 역시 온실가스 감축이 요구됨에도 불구하고, 교육기관의 특성 상 에너지 절감에 투자할 수 있는 예산은 한정적이므로 고가의 대응책 적용에는 한계가 따른다. 따라서 본 연구는 서울대학교 관악캠퍼스를 대상으로 실 레벨에서 쉽게 적용 가능한 저가의 에너지감축 방안을 도출하고, 이를 통한 최대감축잠재량을 산정하는 사례 연구를 목적으로 한다. 먼저, 관악캠퍼스 내 표본이 될 11개 용도의 실을 뽑아 1월 1일부터 7월 31일까지 에너지소비량을 매일 실측하였고, 실별 전력기기 계수 조사를 통해 실용도별 표준모형을 구축하였으며, 사용자 인터뷰와 설문 및 행정조사를 통해 전력소비패턴을 분석함으로써 실용도 표준모형 기반의 기기별 소비전력량을 산출하였다. 이를 기반으로, 32개의 감축기술 및 실천프로그램을 도출하여 실용도 표준모형에 적용하고 각 프로그램별 최대감축비율을 기기별 소비전력량에 곱해 기기별 최대감축량을 유도함으로써, 실별·월별 최대감축량과 관악캠퍼스 최대감축잠재량을 산정하였다. 그 결과, 본 연구가 제안한 감축기술 및 실천프로그램의 적용 시 1월부터 7월까지 약 5,311tCO₂-eq 즉 동일기간 관악캠퍼스 전체 에너지 사용량의 12.66%에 해당되는 양을 감축할 수 있으며, 2016년까지 서울대학교 필요감축량의 24.48%를 감축할 수 있는 것으로 조사되었다.

키워드 : 온실가스·에너지 목표관리제, 감축기술, 실천프로그램, 최대감축량