

그린캠퍼스 조성을 위한 건물에너지 효율화에 관한 연구*

김민경** · 박권숙*** · 김세용****

Energy Efficient Buildings for Creating a Green Campus*

Min Kyeong Kim** · Kwon Sook Park*** · Sei Yong Kim****

요약 : 중앙정부와 지방자치단체의 정책적 노력의 결과로 전체 에너지 소비량은 감소한 반면, 대학 에너지 소비량은 여전히 증가하고 있다. 이 연구는 국외 사례와 함께 현장조사, 데이터 분석 등으로 대학 캠퍼스 건물의 에너지 효율화 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 서울시 소재 에너지 다소비 2개 대학, 그린 캠퍼스 관련 활동과 역할을 주도하고 있는 1개 대학, 시에서 직접 운영하고 있는 1개 대학의 대표 강의동, 연구동, 행정동 건물을 대상으로 실제 에너지소비량과 시뮬레이션 값을 이용하여 에너지원별(냉방, 난방, 조명, 환기, 급탕) 단위면적당 에너지 소비량을 산출하고 용도별 에너지소비 특성을 도출하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 대학은 건물 용도별로 다른 에너지 이용패턴과 영향요인을 보이고 있었고, 노후 건물보다 신축건물에서 많은 에너지를 사용하고 있었다. 둘째, 에너지절감 40% 타당성을 검토하고 용도별 목표 베이스라인(행정동 100kWh/m²a, 강의동 100kWh/m²a, 연구동 120kWh/m²a)을 설정하였으며, 소비특성을 기반으로 에너지 효율화 요소를 도출하였다. 셋째, 효율적인 에너지 절감을 추진하기 위해 필요한 조직과 재원의 확보 방안을 제안하였다.

주제어 : 그린캠퍼스, 에너지 효율, 용도별 에너지사용량

ABSTRACT : Total energy consumption has been decreasing these days as a result of the political efforts of central and local governments; however, energy consumption by universities is steadily increasing. The aim of this study, therefore, is to look at ways to improve the energy efficiency of buildings within a university campus. We carry out a case study, walk-through assessments, and data analysis, in order to investigate this issue. We analyze three building types (administration, teaching/research, and laboratory) of four universities located in Seoul. We present the energy-related characteristics that are formed by combining actual energy consumption results, simulation results, and primary energy requirements for space heating and cooling, lighting, hot water, and ventilation. We discuss variations in energy use by university buildings, factors affecting energy consumption rates, and results-based energy efficiency improvement opportunities, appropriate targets, which include a feasibility analysis of energy reduction of up to 40%, and an organization and financial resources plan. Contrary to our expectations, the excessive energy consumption results from window area ratio increase and use of energy-guzzling mechanical systems, not any of the physical conditions of existing buildings.

Key Words : green campus, energy efficiency, energy consumption by building type

* 이 논문은 서울연구원의 「서울시 대학 캠퍼스의 건물에너지 효율화 방안」의 결과를 수정·보완한 것입니다.

** 서울연구원 안전환경연구실 연구위원(Research Fellow, Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute),

*** 고려대학교 건축학과 박사과정 수료(Urban Planning and Design Lab, Department of Architecture, Korea University),

**** 고려대학교 건축학과 교수(Urban Planning and Design Lab, Department of Architecture, Korea University)

교신저자(E-mail: kksy@korea.ac.kr Tel: 02-3290-3341)

I. 서론

1. 연구의 목적

우리나라는 에너지원의 96.4%를 해외 수입에 의존하는 수급구조를 가지고 있으며, 1980년대 이후 시행된 에너지다변화 정책 등으로 인해 화석연료의존도는 지속적으로 감소하고, 국내 원자력, 천연가스, 신재생에너지의 공급비중은 증가하였다.

그러나 후쿠시마 사고를 계기로 원자력 발전 비중은 41%에서 29%로 하향 조정되었다. 그리고 석유·화학, 철강 등 중화학공업 중심의 경제성장, 가전제품 대형화와 주거면적 확대, 자동차 보급 확대 등에 따른 에너지소비 증가로 인하여 전력에 비율이 10% 미만으로 급락하는 블랙아웃 발생 빈도수가 2010년 이후 증가하고 있다(에너지관리공단, 2014). 이에 에너지 효율향상과 사용자 중심의 수요관리를 강화하여 에너지자립도를 높이는 정책이 시행되기 시작하였는데, 특히 전체 에너지 소비량의 약 21%를 차지하는 건물에너지는 감축 잠재력이 높아 성능개선을 통한 에너지 수요 감축에 효과적이다(국토교통부, 2013).

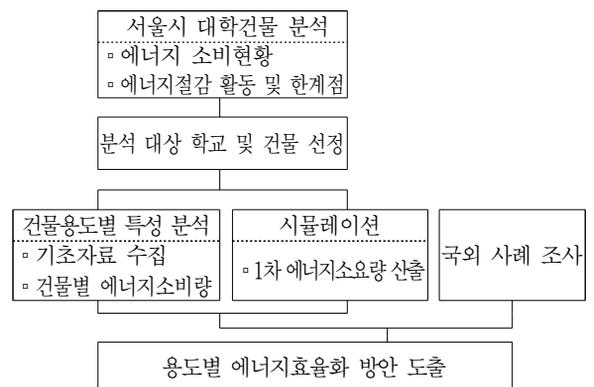
그러나 현재 시행하고 있는 중앙과 지방자치 정책으로는 건물에너지 절감 및 효율화의 한계점에 봉착했다는 의견이 분분하다. 다만, 대표적인 에너지다소비 기관인 대학에 대한 추가 대책 마련이 시급하다는 것에 대해서는 의견 일치를 보이고 있다. 서울시는 대학을 에너지 절감과 온실가스 감축 실천에 앞장서는 그린캠퍼스로 전환하고자 협의회를 조직하고 업무협약을 체결하였다. 대학도 정부와 지자체 정책을 적극 반영하여 기반시설, 에너지, 폐기물, 물, 교통 등 캠퍼스 환경 이슈와 관련된 다양한 노력을 지속하고 있지만, 에너

지사용량은 여전히 증가하고 있다.

이 연구는 대학 내 가장 큰 비중을 차지하고 있는 건물을 대상으로 캠퍼스 에너지 소비 현황과 특성을 분석하고, 건축물의 에너지효율화 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 절차

그린캠퍼스 조성을 위한 건물에너지 효율화에 관한 연구 방법은 다음과 같다. 첫째, 대상 대학을 선정하고, 대학 캠퍼스를 구성하는 건물을 용도와 성격에 따라 연구용·강의용·업무용으로 구분한다. 둘째, 건물별 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기 등에 대한 1차 에너지 소비량은 실질적인 검증 데이터가 없어서 정확성에 한계가 있기 때문에 설문, 현장조사, 도면검토 등을 통하여 기초자료를 수집하고, 이를 서울시에서 개발한 시뮬레이션에 적용하여 비교한다. 셋째, 용도별 에너지 이용 특성을 규정하여 저감 목표 및 효율화 방향을 제시하고 국외 사례를 통해 조직 및 재원 확보 방안을 도출한다.



〈그림 1〉 연구절차

II. 국외 사례 및 선행연구 고찰

1. 그린캠퍼스 조성 사례

하버드대학은 Harvard Green Campus Initiative (HGCI)를 기반으로 Harvard Office for Sustainability (OFS)를 조직하고, 2016년까지 온실가스 감축 목표를 2006년 대비 30%로 설정하였다. 그리고 스마트 디자인 프로세스를 기반으로 리노베이션, 건물 시스템 개선 등을 위한 종합적인 그린 빌딩 기준(Green building Standards)을 수립하였다. 재원은 7만 달러의 기금으로 시작하여 2001년 3백만 달러의 용자 프로그램으로 확충하고, 2006년 그린 론펀드(GLF)로 1200만 달러까지 증액하였다. 또한 프로젝트 파이낸싱(Project Financing) 같은 금융시장과 연계한 기금을 조성해 투자자의 참여를 유도하였고, 그린 리볼빙 펀드(Green Revolving Fund)로 1천 2백만 달러 규모의 부가 수익을 창출하여 현재까지 투자회수율을 30%대로 유지하고 있다. 펜실베이니아 대학은 부동산 서비스, 비즈니스 서비스, 환경 지속가능성 자문위원회, 교수, 학생그룹, 펜실베이니아 환경단체로 구성된 Green Campus Partnership을 조직하였고, 2014년까지 2007년 대비 에너지 소비량 절감 17% 및 온실가스 감축 23% 목표를 설정하였다. 이를 실현하기 위해 재활용 비율을 2008년 대비 18%에서 40%로 확대하고, 신축 및 리노베이션 건물에 대한 LEED 실버 인증 획득, 그린 스페이스 확충, 보행자 중심의 캠퍼스 환경, 대중교통 이용을 장려하였으며, 환경과 지속가능성에 대한 관심을 증진하기 위한 프로그램(Penn Green)을 운영하고 교육을 위한 강의 및 콘퍼런스를 개최하였다. 재원은 건물에너지 성능 관련 프로젝트를 수행하면서 절감된 금액을 재투

자하는 방식인 에너지절감펀드(Energy Reduction Fund)가 있고, 이는 인프라를 업그레이드하고 기본 시스템을 보수하는데 지원되는 분할지급방식의 시설개선펀드(Facilities Renewal Fund)를 기반으로 운영되고 있다. 또한 2010년 단과대와 연구센터에서 매칭 시설 개선펀드(Matching Facilities Renewal Fund)를 추가 지원하였다. 이외에도 펜실베이니아 공공서비스 제공기관 PECO에서 주관하는 스마트 아이디어 인센티브 프로그램에서 23만 달러의 리베이트를 받아 '여름철 에너지 보전 전략' 시범사업을 수행하였다.

그린캠퍼스를 조성하기 위해서는 소규모 자체 기금으로 기반을 마련해야 하며 외부자금(정부지원, 민간자본)을 유치하고 수익성과 회수율이 높은 사업에 선투자하여 재원을 확보해야 한다. 그리고 이를 기반으로 전담조직과 신속한 의사결정 체계를 구축하고 다양한 프로그램을 가동해야 함을 시사하고 있다.

2. 그린캠퍼스 조성 관련연구

윤대일 외(2014)은 신축 대학 캠퍼스의 1년(2010년 3월 ~2011년 2월)간 월별 에너지 데이터를 바탕으로 소비구조를 분석하여, 낮 시간대 냉난방 전력사용량과 건물별·계절별·일별 특성을 고려한 열에너지 사용량 저감 대책이 필요하다고 주장하였다. Song et al.(2014)은 E대학 캠퍼스의 2013년 에너지 소비량을 기준으로 고효율 보일러 및 냉동기, 적절한 쿨링 타워 설치 등 기계설비 개선과 모션 센서, 고효율 모터, LED 조명 및 비상등 등 전기설비 개선에 따른 에너지 소비량 저감을 분석하여, 가장 효과적인 개선 요소로 LED 조명을 제시하였다. Chung and Rhee(2014)는 에너지

사용과 준공연도를 기준으로 건물을 분류하여 효율적인 에너지저감 전략을 제시하였고, 그중에서 가장 큰 효과를 보이는 것은 오래된 노후 건물의 창문과 단열재 개선이라고 밝히고 있다. 이왕제 외(2012)는 D대학의 시간별 전력사용량을 분석하여 난방기 심야시간에 사용량이 급증하고 있고 그 요인으로 EHP를 이용한 동파방지 장치 및 동파방지열선 운영을 제시하였다. 박강현 외(2011)는 A대학을 대상으로 2007년부터 2010년까지 4년간 냉난방 설비 전환과 이에 따른 에너지 소비 특성 및 변화 추이를 비교분석하여 기존 문헌에서 경제성이 높은 것으로 제시된 EHP와 GHP 사용이 개별제어로 인해 에너지 사용량을 증가시키고 있다고 주장하였다.

이와 같이 그린캠퍼스 개념과 계획요소 도출에서 최근에는 실제 데이터를 기반으로 에너지사용량을 저감하고자하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 분석 대상과 기간이 한정적이어서 다양한 적용 기술과 에너지 소비패턴을 가진 대학 건물을 분석하고 효율화 방안을 도출하기에는 한계가 있다.

III. 서울시 소재 대학건물 현황

에너지관리공단에서 발표한 에너지통계핸드북에 따르면 서울시 에너지소비량은 2008년 15,482천toe에서 2013년 15,398천toe로 약 0.5% 감소하고 연도별 증감도 거의 변화가 없었으나, 같은 기간 학교 에너지소비량은 263천toe에서 336천toe로 약 28% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 아파트(408천TOE), 상용(363천TOE) 다음으로 많은 에너지 사용량으로, 특히 대학은 서울시 소재 54개소의 39%(21개소)가 에너지다소비 건물 100위권

안에 포함되었다. 그중에서 6개소(건국대학교, 고려대학교, 서울대학교, 연세대학교, 이화여자대학교, 한양대학교)는 2013년 온실가스·에너지 목표관리 대상 기관으로 선정되었다. 에너지를 가장 많이 사용하는 곳으로 선정된 서울대학교의 전력소비량(152,664kWh)은 2번째로 에너지를 많이 쓰는 연세대학교의 전력소비량(68,384kWh)과 2배 이상 차이를 보이고 있다. 이는 약 5만kWh에 해당하는 일반주택의 연간사용량과 맞먹는 수치이다. 그러나 대학은 전력 요금 산정 시 교육용으로 분류되어 일반용 대비 여름철(6~8월)과 겨울철(11~2월)은 약 18%, 봄·가을철(3~5월, 9~10월)은 23.7% 저렴하게 책정되어 있고 정부의 에너지절약규제 대상에도 제외되었다. 따라서 에너지 절약을 위한 자발적 노력이 필요하지만 이에 대한 관심과 연구는 아직 미미한 실정이다.

〈표 1〉 2012년 서울시 에너지다소비 대학 상위 12개교

대학	전력 (MWh)	총에너지 (TOE)	면적당 에너지소비 (kgOE/㎡)
서울대학교	152664	44038	37.5
연세대학교	68384	19959	37.0
고려대학교	63990	18684	25.4
한양대학교	53961	16714	36.5
이화여자대학교	44588	13929	31.5
건국대학교	38491	13523	33.5
경희대학교	28924	9399	35.5
중앙대학교	30014	8842	34.9
서강대학교	23292	7137	29.5
국민대학교	22266	6161	25.2
시립대학교	21647	6117	30.3
숭실대학교	20173	5,833	34.4

자료: 서울시 보도자료, 2013. 5. 27

IV. 대학건물의 에너지소비 특성 분석

1. 대상건물 선정 및 조사방법

서울시 소재 대학 중 그린 캠퍼스 관련 활동과 역할을 주도하고 있는 대학(U1), 에너지 다소비 대학(U2, U3), 서울시가 운영하여 정책 활용성이 높은 대학(U4)을 분석대상으로 선정하였다. 단, 에너지 다소비 대학은 에너지 사용량 공개를 거부하거나 인프라 구축 미비로 에너지사용량 진단 자체가 불가능한 대학은 제외하고 상위 2개 대학을 대상으로 하였다.

〈표 2〉 설문조사 항목 및 조사내용

조사 항목	조사 내용
건물개요	건물명, 소재지, 연면적, 준공년월, 층수, 냉난방 기간 및 설정온도
설비 부분	열원기기 및 방식, 냉난방 에너지원, 축열조 유무 및 용량
조명부분	복도의 조명 비율과 형식, 강의실 타입
에너지 소비 현황 (2008년~2012년)	전력 월별 사용량, 도시가스 월별 사용량
에너지 절약대책	에너지 절약방법, 건물 적용 시스템 현황
학생, 교직원 활동현황	학생, 교직원 활동현황

에너지소비 특성을 분석하기 위해 〈표 2〉와 같은 조사항목과 내용을 중심으로 에너지소비 실태를 조사하였다. 1차로 각 대학의 시설 담당자들의 면담을 진행하였는데, 이는 시간과 환경상 문제로 인하여 용도별(행정동(O), 강의동(L), 연구동(R)) 대표 건물을 선정하고, 데이터베이스화된 도면과 일을 수집하기 위해서 필요한 단계이다. 이후 시뮬레이션을 위한 기초 데이터인 건물의 일반적 사항, 건축 요소 및 설비시스템 등을 수집하기 위해 현장조사를 실시하였다. 단, 〈표 3〉과 같이 시설 담당자 설문조사, 도면 검토 등을 통해 확인이 가

능한 항목 이외에는 다른 방법으로 현장조사의 한계를 보완하였다. 예를 들어 외피와 창호의 열관류율은 준공연도의 법적 기준을 적용하였고, 확인할 수 있는 실이 한정적인 기기 및 조명은 단위 실면적을 에너지사용량으로 나누어 계산하였으며 운영스케줄 등은 현장조사와 함께 공조학회의 시뮬레이션 데이터 입력 조건을 사용하였다(〈표 4〉).

〈표 3〉 일반 현황

대학	준공연도	공조면적 (m ²)	창면적 비율(%)	벽면적 대비 개구부 면적비(%)	에너지원	층수
U1	O 1934	2,107	14.49225	16.91	흡수식공조기	3
	L 2003	8,689	19.48328	22.47	흡수식공조기	6(1)
	R 1996	14,025	23.78341	32.26	흡수식공조기	6(1)
U2	O 1996	9,210	17.26158	18.96	AHU+FCU	6
	L 2008	18,824	34.11105	45.27	AHU+FCU	7
U3	R 1984	11,855	23.45610	25.19	EHP	6(1)
	O 2009	6,050	27.47142	35.61	AHU+FCU, GHP	6(1)
	L 2007	8,388	27.96800	36.44	AHU+FCU, GHP	8(2)
U4	R 2006	12,073	28.02132	30.18	AHU+FCU, GHP, EHP (일부실합실)	12(1)
	O 1990	5,177	23.84264	37.98	EHP	8(1)
	L 2003	4,453	28.72646	35.40	EHP	4
	R 1999	6,057	30.65170	44.52	EHP	6(1)

〈표 4〉 운영 스케줄

구분	내용											
강의 일수	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	0	5	22	23	23	22	14	9	21	24	22	23
사용 시간	월~금 수업 시 8시~15시 100%재실 15시~22시 30% 재실											
냉방 기간	난방						10월 말 ~ 3월말					
	냉방						7월초 ~ 9월 말					

2. 에너지소요량 산출

기존 건물에 대한 에너지 원단위를 산정하고 소비패턴을 분석하기 위하여 시뮬레이션 프로그램을 사용하였고, <표 5~8>과 같이 실제 에너지사용량(전기, 도시가스)과 비교하여 오차범위 내에서 일치하는지 확인과정을 거쳤다. 시뮬레이션은 서울시에서 ISO13790을 기반으로 건물에너지 총량제 시행과 함께 개발한 BESS(Building Energy Simulation for Seoul)을 사용하였다. 그 결과, U3 대학을 제외하고는 10% 이내의 오차가 발생하는데 이는 허용 범위(Jon-Ho Yoon 외, 2003)로 이 연구를 위해 활용하는 것이 합당하다고 판단되었다. U3 대학은 행정동이 타 대학보다 회의실과 세미나실이 차지하는 비율이 높아 에너지소요량이 다소 많이 설정되었고, 강의동과 연구동은 계통분리가 되지 않아 전력량으로만 분석되어 오차가 크게 발생한 것으로 보인다. 그뿐만 아니라 시뮬레이션 프로그램은 에너지사용에 영향을 미치는 많은 요인을 반영하는 데 한계가 있어 이에 대해서는 추후 연구를 통해 분석할 예정이다.

<표 5> U1 연간 1차 에너지 소비량

	U1O	U1L	U1R
에너지사용량 (kWh/m ²)	151.54	184.75	272.24
시뮬레이션 계산치 (kWh/m ²)	153.73	185.34	280.23
오차값	-2.19	-0.59	-7.99
오차(%)	-1.4	-0.3	-2.9

<표 6> U2 연간 1차 에너지 소비량

	U2O	U2L	U2R
에너지사용량 (kWh/m ²)	267.27	223.74	186.04
시뮬레이션 계산치 (kWh/m ²)	278.56	237.56	200.24
오차값	-11.29	-13.82	-14.20
오차(%)	-4.2	-6.2	-7.6

<표 7> U3 연간 1차 에너지 소비량

	U3O	U3L	U3R
에너지사용량 (kWh/m ²)	166.51	129.28	207.12
시뮬레이션 계산치 (kWh/m ²)	190.26	194.93	288.18
오차값	-23.75	-65.65	-81.06
오차(%)	-14.3	-50.8	-39.1

<표 8> U4 연간 1차 에너지 소비량

	U4O	U4L	U4R
에너지사용량 (kWh/m ²)	275.93	109.39	216.28
시뮬레이션 계산치 (kWh/m ²)	262.98	150.23	220.00
오차값	12.95	-40.84	-3.72
오차(%)	4.7	-37.3	-1.7

시뮬레이션 분석 결과, 행정동은 냉방보다 난방 에너지 소비가 많았고(냉방 29.10%, 난방 43.04%, 조명 24.40%, 환기 2.81%, 급탕 0.65%), 에너지 소비는 주로 업무시간에 집중되었다. 연구동은 연구 기자재로 인한 내부 발열로 난방보다 냉방에 에너지 소비가 많았다(냉방 41.23%, 난방 32.37%, 조명 22.57%, 환기 3.47%, 급탕 0.36%). 강의동은 강의 스케줄에 따라 에너지소요량에 차이를 보였다. 즉, 캠퍼스 건물은 냉·난방과 조명에서 에너지의 약 96%를 소비하고 있는데, 이 중 냉·난방은 건물의 노후화보다는 외벽면적 대비 창면적 비율(벽면대비 개구부 면적비) 및 냉·난방 방식과 관련이 있었다. 예를 들어 높은 단위면적당 에너지소요량을 가지고 있는 U1과 U3 대학 연구동은 건물 노후화로 인한 외피성능 저하보다는 커튼월 방식의 신축 건물 설계로 인하여 창면적 비율이 가장 컸다. 그다음으로 높은 단위면적당 에너지소요량을 나타낸 U4 대학 행정동은 다른 용도 대비 낮은 창면적 비율을 가지고 있지만 전기를 이용하여 EHP(Electric Heat Pump)에서 생산하는 열에너지로 난방을 제공하고 있어 다른 대학 행정동보다 약 18%의 높은 단위면적당 에너지소요량을 보여주고 있었다.

〈표 9〉 건물별 1차 에너지소요량(BESS결과)

단위: kWh/(㎡·a)

구분	냉방	난방	조명	환기	급탕	1차에너지 소비량	
U1	O	31.73	73.14	48.03	0	0.82	153.73
	L	75.79	57.36	51.51	0	0.68	185.34
	R	147.91	78.18	51.89	1.55	0.69	280.23
U2	O	105.22	100.36	54.48	16.32	2.17	278.56
	L	90.65	68.29	61.10	16.58	0.94	237.56
U3	O	47.18	88.63	49.65	4.10	0.69	190.26
	L	83.15	53.08	54.07	3.61	1.03	194.93
U4	R	121.41	99.64	62.99	3.17	0.98	288.18
	O	87.33	110.34	54.42	8.51	2.39	262.98
	L	59.35	44.53	38.08	6.63	1.64	150.23
R	72.25	85.48	52.67	7.69	1.91	220.00	

V. 건물에너지 효율화

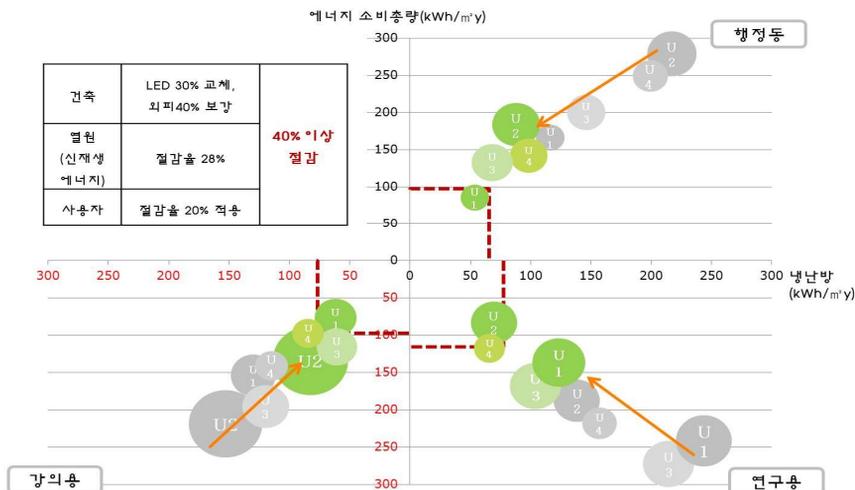
1. 에너지 절감 감축 요소 기술 도출

적용 가능한 에너지 소비량 감축 기술을 선정하기 위하여 국내 에너지 절감관련 논문을 분석해

해당 요소를 도출하고, 시뮬레이션을 이용하여 재평가하였다. 평가 결과, 기존의 낮은 형광등을 효율이 높은 LED 제품으로 대체하는 방식만으로도 에너지 효율이 손쉽게 개선되었고, 유리창 교체와 단열 추가로 에너지 절약과 실내 온열환경을 우수하게 만들 수 있었다. 이외에도 국내 대학(공주대, 숙명여대, 부산대 등)에서 시행한 재실센서 설치를 통한 에너지 절약, 학생 감시단 운영 등과 같은 사용자 노력에 따른 에너지 절감과 신재생에너지 설치 결과를 검토하고 평균값을 적용하였다.

2. 용도별 에너지 절감

에너지효율화사업(리트로핏)의 타당성 검토 기준선인 40%를 에너지 절감목표로 설정하였다. 〈그림 2〉는 LED 30% 교체, 외피 40% 보강, 신재생에너지 절감률 28%, 사용자 노력에 따른 에너지 절감률 20%를 적용하기 전(회색계 원형)과 후(녹색원형)의 전체 에너지소요량 및 냉난방 에너지소요량을 원단위로 나타낸 것이다. 적용 후 U1 대학



〈그림 2〉 에너지 절감 요소 적용에 따른 용도별 에너지소요량

의 에너지소요량은 행정동 87.53kWh/㎡a, 강의동 99.1kWh/㎡a, 연구동 150.98kWh/㎡a로 나타났다. U2 대학의 에너지소요량은 행정동 158.49kWh/㎡a, 강의동 141.05kWh/㎡a, 연구동 111.63kWh/㎡a로 분석됐다. U3 대학 에너지소요량은 행정동 110.21kWh/㎡a, 강의동 110.98 kWh/㎡a, 연구동 159.93kWh/㎡a로 나타났고, U4 대학 에너지소요량은 행정동 151.27kWh/㎡a, 강의동 116.11 kWh/㎡a, 연구동 128.06kWh/㎡a로 40~46%(냉·난방 42~49%) 감소하여 목표치를 만족하였다. 이를 기반으로 향후 캠퍼스 건물의 에너지소비 목표치를 행정동은 100kWh/㎡a, 강의동은 100kWh/㎡a, 연구동은 120kWh/㎡a로 설정하였다.

3. 건물에너지 효율화 방안

시뮬레이션 분석에 의한 건물 용도별 소비 특성과 절감목표 달성을 위한 적용기술을 기반으로 다음과 같은 건물에너지 효율화 요소 기술을 도출하였다: (1) 행정동: 대기전력 차단 장치 및 에너지 절약 실천, 외피 단열과 기밀 성능 향상, LED 조명과 자연 채광장치, 개별 제어가 가능한 공조 시스템과 조명제어, (2) 연구동: 연료전지, 지열, 태양광 등을 통한 에너지 공급(24시간 사용되는 기자재 대상), 고효율 기자재 사용, 대기전력 차단 장치 및 개별 제어, 자연외기 도입과 CO₂ 센서를 통한 최적화 환기시설, (3) 강의동: BEMS 도입(강의 시간에 따른 스케줄 관리, 조명, 냉난방기 센서 사용), 외피 단열 성능 강화, 창문 교체를 통한 기밀화, 중앙 제어 시스템으로 효율적인 공조기 제어, 반사판을 상용한 자연 채광장치.

도출된 에너지 절감 감축 요소 기술을 적용하는데 필요한 공사비를 기존 건물의 개보수 공사 사례를 토대로 산정한 결과, U1 대학은 행정동 520,400

원, 연구동 2,814,900원, 강의동 1,521,500원, U2 대학은 행정동 3,954,000원, 연구동 2,954,800원, 강의동 4,554,800원, U3 대학은 행정동 1,556,000원, 연구동 2,590,300원, 강의동 2,162,200원, 마지막으로 U4 대학은 행정동 1,082,800원, 연구동 1,140,000원, 강의동 888,400원으로 나타나 용도에 관계없이 ㎡당 약 13만 6천 원의 재원이 필요한 것으로 분석되었다. 그리고 이를 추진하기 위해서는 국외 사례에서 언급한 바와 같이 조직이 확보되어야 한다. 단기적으로는 대학 주도로 캠퍼스별 전담 부서와 소규모 재원이 마련되어야 하는데, 특히 재원은 다양한 방식으로 확충하고 매칭펀드 프로그램 등을 활용해 효율적인 사업을 우선 선정하여 안정적으로 수익성을 확보하도록 유도해야 한다. 중장기적으로는 분산된 자금지원을 전담조직과 재원이 마련된 캠퍼스에 집중 지원하여 대학 간 경쟁체계를 구축해야 하고 인증 제도를 활용하여 에너지 효율화를 유도할 필요가 있다.

VI. 결론

이 논문은 서울시 소재 대학을 대상으로 에너지소비 절감의 문제점을 도출하고, 용도별 에너지 이용 특성을 규정하여 건물에너지 효율화 방안을 제안하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 2013년 서울시 에너지소비량은 2008년 대비 약 0.5% 감소하였으나 같은 기간 학교 에너지 소비량은 약 28% 증가하였다. 특히 서울 소재 대학은 39%(21개소)가 에너지다소비 건물 100위에 포함되었고, 이 중 6개소가 2013년 온실가스·에너지 목표관리 대상 기관으로 선정됨에 따라 에너지효율화의 필요성이 나타났다.

(2) 대학에서 시행한 온실가스 인벤토리 구축

은 전체 온실가스 배출 현황 파악만 가능하고 실제 에너지 실태 분석과 대안 제시에는 한계가 있다. 또한 에너지 절감을 위해서는 총량보다 개별 건물단위의 에너지 소비량을 측정하고 관리해야 하지만, 인프라가 구축되어 있지 않고 외부자금으로 BEMS를 설치한 대학도 이를 이용한 종합통제 시스템이 미비하였다. 또한 대학의 건물 에너지 효율화는 수익 창출 요인이 되지 않기 때문에 동기를 부여하기 어렵고 지자체에서 마련한 기금은 엄격한 자격요건과 비싼 금리로 인해 부정적으로 인식되고 있을 뿐만 아니라 다른 조직에 비해 경직된 계층구조와 단과별·주체별 블록화로 의사결정과정도 복잡하였다. 그러므로 이러한 문제점들을 개선하기 위한 방안 마련이 필요하였다.

(3) 서울시 소재 4개 대학을 대상으로 에너지 소비 실태를 조사하였다. 연구범위는 캠퍼스 내 건물로 한정하고 용도별(행정동, 강의동, 연구동) 대표 건물을 선정하였으며 에너지 원단위를 산정하고 소비패턴을 분석하기 위하여 서울시에서 개발한 BESS를 사용하였다. 분석 결과, 행정동은 냉방보다 난방 에너지 소비가 많았고 연구동은 내부 발열 때문에 냉방 에너지 소비가 많았으며 강의동은 강의 스케줄에 따라 상이한 에너지소요량을 보이고 있었다. 또한 대학 건물에너지의 문제점으로 흔히 언급되는 노후화보다 신축건물의 과도한 에너지소비가 문제점으로 나타났다.

(4) 에너지 절감 40% 이상 에너지 절감이 되었을 때 가능한 수준을 정책 목표로 제시하고 이를 위해 적용 가능한 요소기술을 도출하였으며 용도별 목표 베이스라인(행정동 100kWh/m²a, 강의동 100kWh/m²a, 연구동 120kWh/m²a)을 설정하였다. 그리고 용도별 에너지 소비 특성을 함께 고려하여 건물에너지 효율화 요소를 도출하고 이를 추

진하는데 필요한 조직과 재원의 단계별 확보 방안을 제시하였다.

이 연구는 용도별로 다른 에너지소비 특성을 보여주고 있는 대학 건물을 대상으로 하였다. 이를 위하여 대학별로 대표 건물 1개를 선정하였는데 한정된 샘플 수로 인하여 특성을 보편적으로 활용하는 데에는 한계가 있고 특정 용도를 대상으로 하지 않아 에너지 사용에 영향을 미치는 요인을 세분화하여 분석하기 어려웠다. 향후 용도별로 대상 건물 수를 확대하여 에너지 사용과 이에 영향을 미치는 요소인 기후, 건물 관련 특징, 사용자 관련 특징, 건물 운영 및 관리 시스템, 사용자의 행위 등과의 상관성을 분석하기 위한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 국토교통부, 2013, 「건축물 에너지 수요절감을 위한 그린 리모델링 활성화 방안」.
- 박강현·김수민, 2011, “대학교 건물의 에너지소비 특성 및 변화 추이 분석: 서울소재 A대학교의 에너지 소비 실태를 중심으로”, 「설비공학논문집」, 23(9): 633~638.
- 서울시 보도자료, 2013, “서울에서 에너지를 가장 많이 쓰는 대형건물은?”, 2013. 5. 27
- 에너지관리공단, 2015, 「2015 에너지통계 핸드북」.
- 윤대일·고명진·장재동·김용식, 2014, “신축 대학 캠퍼스의 에너지소비 현황 조사 및 분석”, 「한국생활환경학회지」, 21(3): 356~363.
- 이왕제·이동원·이재범·윤종호·신우철, 2012, “대학건물의 에너지 소비 특성에 관한 사례분석”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 32(4): 90~95.
- Chung, M. H. and Rhee, E. K., 2014, “Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea”, *Energy*

and Buildings, 78: 176~182.

Song, S. M., Peom, S. W., Park, H. S. and Song, K. D., 2014, "Methods to reduce greenhouse gas for university buildings to make a low-carbon green campus", *KIEAE Journal*, 14(2): 37~46.

Yoon, J. H. and Lee, E. J., 2003, "Calibration procedure for energy performance simulation of a commercial building", *Journal of solar energy engineering* 125 (3): 251~257.

<https://green.harvard.edu/campaign/our-plan>

<https://sustainability.upenn.edu/our-commitment/our-plan>

원 고 접 수 일 : 2016년 7월 24일

1차심사완료일 : 2016년 9월 29일

최종원고채택일 : 2017년 1월 9일