대학에서의 에너지 소비패턴 및 온실가스 배출현황 분석

Analysis of Energy Consumption Pattern and Greenhouse Gas Emission in the Academic Facility

김진식 · 이경빈 · 이임학* · 김신도[†]
Jin-Sik Kim · Kyung-Bin Lee · Im-Hack Lee* · Shin-Do Kim[†]

서울시립대학교 환경공학과 · *서울시립대학교 도시과학연구원
Department of Environmental Engineering, University of Seoul
*Institute of Urban Sciences, University of Seoul

(2011년 11월 23일 접수, 2012년 9월 28일 채택)

Abstract : Self-management plan for GHG (Greenhouse Gas) reduction should be prepared in academic facilities, which occupy a large amount of energy consumption. In this study, a university was chosen as one of the major academic facilities and its energy consuming pattern and GHG emission were analyzed. The results have shown that annual CO₂ emission from university buildings was 10,452 ton-CO₂ (0.65 ton-CO₂/m²), and dependent upon 78.0% electricity, 20.5% LNG and 1.5% oil, respectively as energy sources. According to more detail analysis by usage of energy consumption, appliances occupies 36.7% followed by gas heating (18.9%), lighting (18.6%), heating with electricity (12.5%), cooling with electricity (10.2%), transportation (1.5%), gas cooling (1.2%) and cooking (0.4%). Furthermore, annual CO₂ emissions per unit area and a student by electricity usage were evaluated to 51.30 kg-CO₂/m² and 981.86 kg-CO₂/capita, respectively and those by LNG usage were 14.61 kg-CO₂/m² and 241.01 kg-CO₂/capita.

Key Words : Climate Change, Greenhouse Gas (GHG), Energy, Green Campus

요약 : 대학은 그 자체로 거대 소비 주체일 뿐만 아니라 구성원 및 지역 주민의 생활 및 인식 전반에 큰 영향을 미친다. 이에, 본 연구에서는 대학교에서 발생하는 직접, 간접, 기타 온실가스 배출을 포함한 인벤토리를 구축하여 그 배출특성을 파악하고, 배출특성을 고려한 대학 내 온실가스 배출 저감방안을 수립하였다. 사례로 선정한 S대학교의 연간 CO₂ 배출량은 10,452 t-CO₂ (0.65 t-CO₂/m²)이었고, 에너지원별로 전기 78.0%, 가스 20.5%, 석유류 1.5%에서 기인하고 있었다. 에너지의 사용목적에 따른 온실가스 배출량은 조명 18.6%, 동력 36.7%, 가스냉방 1.2%, 전기냉방 10.2%, 가스난방 18.9%, 전기난방 12.5%, 취사·급탕 0.4%, 수송 1.5%로 나타났다. 전기사용에 의한 단위면적당 및 학생 1인당 연간 CO₂ 배출량은 각각 51.30 kg-CO₂/m²와 981.86 kg-CO₂/인으로 조사되었고, 가스사용에 의한 배출량은 14.61 kg-CO₂/m²와 24.01 kg-CO₂/인으로 조사되었다.

주제어 : 기후변화, 온실가스, 에너지, 그린 캠퍼스

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 온실가스로 인한 지구온난화와 이상기후가 전 지구적인 문제로 확대되어감에 따라 에너지 절약에 대한 관심이 높아지고 있다. 에너지 자원이 절대적으로 부족한 우리나라에서 전체 에너지 소비량의 약 25% 이상을 차지하는 건물에너지 사용의 체계적인 관리는 매우 중요하다.¹⁾ 이에 건물의 대형화, 고층화로 인한 건물에서의 에너지 절약 노력은 필요성과 당위성에 있어 더 이상 논할 필요가 없을 만큼 필수 불가결의 요소로 인식되고 있다.

아울러 지구온난화 등 기후 변화 대응에 따른 에너지 절감이 국가적인 최우선의 과제로 떠올라 국내에서는 저탄소 녹색성장 기본법이 통과되어 2012년 시행된 온실가스 감축을 위한 정책적인 강제수단이 본격화되어 2020년 국가 온실가스 감축 마스터플랜을 수립해 건물 단열 능력 향상, 저에너지 사용 조명, 대기전력 차단, 고효율 보일러 보급, 친

환경 건축물 등급 인증제도 등 온실가스를 감축하기 위하여 강력한 에너지 절약 시책을 추진하고 있다.

Fig. 1^{2,3)}에서와 같이 2006년 지역에너지통계연보⁴⁾를 기반으로 서울의 에너지 소비량을 % 단위로 환산하면, 전력

Fig. 1. Patterns of energy consumption in Seoul City.⁴⁾

[†] Corresponding author E-mail: sdkim@uos.ac.kr Tel: 02-2210-2453 Fax: 02-2242-4962

Fig. 2. Analysis of energy consumption in domestic buildings.

(Electricity)이 47.3%로 가장 큰 비율을 차지하고 있고, LNG (Liquefied Natural Gas), 유류(Petroleum) 등의 순이었다. 이 에너지들은 분야별로 분리하면 주거·상업 69.2%, 수송 22.6%, 산업 5.9%, 공공 2.3%로 나타났다. 서울시를 위시한 대도시는 에너지 소비량의 약 70%를 주거·상업 즉, 건축물 부문의 소비량이 가장 높게 나타났다. 유류는 거의 모두 수송에 사용되고 있고 가스와 전기만 건물에서 사용되고 있다. 따라서 대도시에서는 건축물에서의 에너지 소비를 줄이는 방안이 무엇보다 중요하다.

Fig. 2에서 보이는 바와 같이, 국내 에너지 다소비 건축물 상위 45위 중 대학은 7곳이 포함된다. 대학은 거대 에너지 소비 및 온실가스 발생 주체일 뿐만 아니라 구성원 및 지역 주민의 생활 및 인식 전반에 큰 영향을 미친다. 따라서 정부의 녹색성장 정책과 기후변화 대응에 부응하는 녹색 정책에서 대학사회의 역할이 매우 중요하다.⁵⁾

그러나 아직까지 지구온난화 문제에 대한 대학 사회의 관심이 전반적으로 저조한 실정이고, 대학에서의 에너지 소비 및 온실가스 발생량 저감을 위한 체계적인 관리체계의 구축이 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 대학에서의 에너지절감을 통한 저탄소 캠퍼스의 구축을 목표로 하여 대학 내 건축물에서 발생하는 직·간접적인 에너지 소비량에 대한 현황을 분석하고, 최종 에너지 소비에 따른 온실가스(CO₂) 배출원단위를 산출·제시함으로써, 대학에서 에너지 소비 및 온실가스 배출 저감방안을 수립하고, 이를 지속적으로 수정·이행하는 체계를 확립하기 위해 서울시 동대문구에 위치한 S대학교를 대상으로 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 사례분석 개요

대학 내 에너지 소비 및 온실가스(CO₂) 배출량에 대한 현황 및 인벤토리 구축을 목표로 서울 소재 S대학을 대상으로 선정하였다. 본 대학캠퍼스 내 모든 건물(32개)에 대한 2009년 1년간의 에너지 소비량과 사용패턴을 분석하였다.

S대학 내에서의 건물에 대한 개요를 Table 1에 나타내었다. 대학 내 총인원은 재학생 8,300명, 교원 440명, 직원 250명으로 조사되었으며, 건물 총 연면적은 186,115 m²이었다.⁶⁾ 대학 내 건물의 에너지는 냉방, 난방, 취사, 급탕, 조명, 동력 등을 위해 전기와 가스를 사용하고 있었다.

2.2. 에너지 및 온실가스 산출 방법

에너지 인벤토리 구축을 위한 경계설정은 다음과 같다. 직접배출은 수송부분의 유류 사용과 도시가스 사용으로 설정하였으며, 간접배출은 전기사용으로 설정하였다. 공간적인 경계는 S대학 부지경계 내부로 설정하였다.

대학교 캠퍼스 내 각 건물에서의 에너지는 주로 냉방, 난방, 취사·급탕, 조명, 동력 등에 사용된다. 건물 에너지원으로는 전기와 가스가 사용되며, 다른 에너지원은 없는 것으로 조사되었다. 유류의 경우 교내 차량이동에 의하여 이동오염원에서만 사용되고 있었다.

전기 사용으로 인하여 발생하는 온실가스 산정을 위해 전력 사용량 자료는 건물 군별 전력 검침시스템 및 한국전력공사로부터 수집한 전체 전력 사용량 자료를 활용하였다. 전

Table 1. Overview of the target university buildings (2009)⁶⁾

No.	Building name	Total Area (m ²)
1	Cheonnong Hall	3,952
2	The 1st Engineering Bldg.	4,838
3	Architecture & Civil Engineering	8,078
4	Economics & Business Bldg.	6,101
5	Liberal Arts Bldg.	6,521
6	Baebong Hall	3,969
7	University Center	7,987
8	Natural Science Bldg.	6,843
9	Music Bldg.	1,560
10	Architecture Engineering Lab	1,260
11	The 2nd Engineering Bldg.	7,201
12	Student Hall	7,910
13	University Press & ROTC Bldg.	2,002
14	Science & Technology Bldg.	9,677
15	The 21st Century Bldg.	15,522
16	Design & Sculpture Bldg.	6,698
17	University Gymnasium	3,244
18	Birch Hall	453
19	Information & Technology Bldg.	11,415
20	General Lecture & Law Institute	14,156
21	Main Library	12,556
22	Student Dormitory	9,256
23	Laboratory of Architectural Engineering	448
24	Lumber Mill	405
25	Campus Maintenance Center	781
26	Greenhouse	1,141
27	Main Auditorium	2,984
28	Main Stadium	23,262
29	University Museum	535
30	Main Gate	40
31	Rear Gate	17
32	Wellness Center	5,303
Total		186,115

력 사용량은 각 건물군별 시각별 전기 사용량으로 kWh 단위의 자료를 수집하여 분석하였다.⁶⁾

가스 사용량은 지역 도시가스회사로부터 월별 고지서를 취합하여 분석하였다. 전력 및 가스소비량에 대한 분석기간은 모두 동일하게 2009년도 1월부터 12월까지를 대상으로 하였다.⁶⁾

Fig. 3은 월별 에너지 사용량(전력+가스)을 용도 구분 기준으로 표현한 그래프이다.^{7,8)} 월별 에너지 사용량 분석지 중 최소의 사용량을 나타내는 월의 에너지 사용량에 대해 전기의 경우에는 동력·조명으로, 가스의 경우에는 취사·급탕으로 추정하고, 이를 기본 에너지라고 명명하였다. 각월별 에너지 사용량에서 이와 같이 추정된 기본 에너지량(동력, 조명, 취사, 급탕)을 제외할 경우 겨울철에는 난방용으로 여름철에는 냉방용으로 사용하는 것으로 추정하였다. **Fig. 4**는 월평균 외기 온도와 에너지 사용량과의 상관관계를 그래프

Fig. 3. The classification criteria of the monthly energy use.

Fig. 4. Energy usage and mean monthly temperature.

로 나타난 것이다.^{9,10)} 산정된 냉·난방에너지 중 하절기와 동절기에 따라 냉방 및 난방에너지로 최종 구분하였다.

CO₂ 발생량은 **Table 2**에서 제시하는 연료별(가스) 탄소배출계수를, 전력의 경우 에너지경제연구원에서 국내 전기발전에 투입되는 화석연료의 양을 고려하여 산정한 배출계수를 적용하였다.^{4,11,12)}

Table 2. The emission unit of the carbon dioxide each energy source^{4,11,12)}

Energy	Gross calorific value	Emission unit of the carbon dioxide
Electricity	kWh	2,150 kcal/kWh
City gas	Nm ³	10,550 kcal/Nm ³
		0.425 kgCO ₂ /kWh
		2.469 kgCO ₂ /Nm ³

3. 연구결과

3.1. 전력소비에 따른 온실가스 배출량

자체 전력 검침 시스템은 총 16계통으로 구성되어 있으며, 건물에 단독으로 설치되어 단일 건물의 전력 사용량을 검침하는 시스템이 총 7계통이 설치되어 있고, 그 외 건물은 2~5개의 건물을 하나의 계통으로 연결되어 각 건물군의 전력 사용량을 일괄 검침하는 시스템으로 구성되어 사용량이 계측되고 있다. 이러한 상황을 고려하여 각 검침시스템이 구축되어 있는 건물을 중심으로 건물별 군집화를 실시하여 E1 건물군에서 E16 건물군까지의 16개 군으로 구분하여 전력 사용량 자료를 확보하였다. 각 건물이 속한 군집은 Table 3과 같다. 각 건물군 내 소속된 개별 건물은 i1에서 i5로 나타내었다.

건축물에서의 전력 사용량은 겨울철 전기 난방기기의 사용과 여름철 냉방기기 사용에 의해 증가되는 패턴을 보이고 있었다. 전력 사용량을 건물 그룹별 총량기준으로 보면 주로 정보화기술, 엔지니어링 학문 계열의 건물이 전기에너지 사용량이 많았고, 이에 반해 상대적으로 인문학 및 체대 계열의 건물이 전기에너지 사용량이 적은 것으로 조사되었다. 이는 정보화기술, 엔지니어링 학문 계열의 건물이 전력 소모량이 많은 기기 및 실험장비 등을 사용하는 경우가 많기 때문인 것으로 해석되었다.

이와 같은 전력 사용량은 대학 각 건물 내 조명, 동력, 난방, 난방용으로 사용되고 있으며, 본 연구의 분석 자료로 취합한 데이터의 월별 전력 사용량 변화 패턴은 Fig. 5와 같이 전형적으로 겨울철과 여름철에 전력 사용량이 많은 W 형태로 나타났다.¹³⁾

여기서 연중 기본적으로 사용되는 전력 사용량(BLC: Base Level Consumption)은 조명용 전력사용량과 계절별 사용량

Fig. 5. The patterns of the monthly consumption of the electricity energy (E14).

에 큰 차이를 나타내지 않을 것으로 예상되는 기타 동력용 전력 사용량으로 가정하였다.

조명·동력용 전력 사용량의 용도 구분은 교내 조명기기 설치현황 조사 자료를 이용하여 각 건물별 조명기기의 설치용량과 조명기기의 실제 사용시간 조사결과에 따른 조명용 전력 사용량을 산정하고, BLC 중 이를 차감한 양을 동력용 전력 사용량으로 추정하였다. 이후 조명용 전력 사용량의 월별 변동을 고려하기 위해 일출·일몰 시각을 고려하여 월 별로 보정하였다. 대학에서 사용하는 동력용 전력은 월별로 일정하게 사용되는 기기로 각 실에서 사용하는 컴퓨터, 프린터, 복사기 등의 사무용 기기 및 주로 이공계열의 학과 연구실이나 실험실에서 사용하는 전동기 및 펌프, 그라인더, 실험기자재 등 전기를 사용하는 다양한 전기제품 사용에 의한 전력사용량을 의미한다.

본 방법론을 16개 건물 계통에 적용하여 냉·난방용 전력 사용량과 기타(조명·동력용) 전력 사용량을 구분하였다. 기준년도인 2009년도의 대학 총 전력 사용량은 19,177,528 kWh

Table 3. Grouping of buildings in accordance with the calculation of the electricity usage

Classification	i 1	i 2	i 3	i 4	i 5
E1	The 2nd Engineering Bldg.	The 1st Engineering Bldg.	Baebong Hall	-	-
E2	University Press & ROTC Bldg.	Economics & Business Bldg.	Rear Gate	-	-
E3	Science & Technology Bldg.	-	-	-	-
E4	Main Library	-	-	-	-
E5	Student Dormitory	-	-	-	-
E6	Design & Sculpture Bldg.	-	-	-	-
E7	General Lecture & Law Institute	-	-	-	-
E8	University Gymnasium	Music Bldg.	-	-	-
E9	Cheonnong Hall	Architecture Engineering Lab.	Laboratory of Architectural Engineering	University Museum	Main Gate
E10	Architecture & Civil Engineering	Rock Model Lab.	-	-	-
E11	The 21st Century Bldg.	Lumber Mill	Birch Hall	-	-
E12	Student Hall	Main Auditorium	-	-	-
E13	Liberal Arts Bldg.	-	-	-	-
E14	Information & Technology Bldg.	Woodworking room	Greenhouse	-	-
E15	University Center	-	-	-	-
E16	Natural Science Bldg.	-	-	-	-

로 조사되었으며, 전력 사용량 중 용도별로 동력용 47.0%, 조명용 23.9%, 난방용 16.0%, 냉방용 13.1%를 차지하는 것으로 분석되었다.

3.2. 가스소비에 따른 온실가스 배출량

도시가스사용으로 인해 발생하는 온실가스(CO₂) 산정을 위해 대상 지역 도시가스공급회사로부터 12개월의 도시가스 사용량(Nm³) 고지서를 수취하여 활용하였다. 도시가스는 대부분 난방 및 온수(급탕) 용도로 사용되고 있으며, 일부는 취사용으로 사용되는 것으로 조사되었다.

가스 사용량의 경우에는 Table 4와 같이 G1~G12의 12개 건물 그룹으로 나누어 사용되고 있었다. 대학교 내 주요 공동 난방에너지 공급라인은 본관으로부터 7개동으로 공급되는 라인과 연무관으로부터 9개동으로 공급되는 라인으로 구분되어 운영되고 있었고, 기타 건물은 개별로 난방에너지 공급을 운영하고 있는 것으로 조사되었다.

건물군별 에너지 사용량을 조사한 결과 가스 사용량을 건물 그룹별 연면적(m²)당 기준으로 보면 식물에 난방에너지를 공급하는 온실의 연면적(m²)당 가스 사용량이 가장 많았다. 그 다음 순으로 본관 공동 난방에너지 공급라인, 21세기관 라인, 과학기술관 라인, 연무관 공동 난방에너지 공급라인 등이 차지하였다. 비교적 최근에 건축된 건물에서는 여름철에 흡수식 냉동기의 운영에 의한 냉방용 가스 사용량이 조사되었다.

월별 가스 사용량 결과는 Fig. 6에 나타내었다.¹³⁾ 전력 사용

량과 마찬가지로 연중 가스 사용량이 가장 적은 달의 가스 사용량을 BLC로 설정하였다. 그리고 BLC를 연중 일정하게 사용될 것으로 생각되는 취사·급탕용 에너지로 추정하였으며, 각 월 별 가스사용량에서 기본 가스 사용량을 뺀 값을 동절기의 난방 및 하절기 냉방에너지로 추정하였다.

가스 사용량은 동절기 난방에너지 수요에 따라 크게 증가하는 것으로 연중 가스 사용량의 대부분이 난방에너지로 투입되는 것으로 분석되었다. 또한, 실험용 흡수식 냉동기가 운영되는 건물이 있어서 여름철 냉방에도 약간 사용되고 있었다. 학생회관, 자연과학관, 본관 등 식당이 위치한 건물 군에서 상대적으로 미량의 가스를 취사용으로 사용하고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 6. The patterns of the monthly consumption of the gas energy.

Table 4. Grouping of buildings in accordance with the calculation of the gas usage

Classification	The location of boiler	i 1	i 2	i 3	i 4	i 5	i 6	i 7	i 8	i 9
G1	University Center1	University Center	The 1st Engineering Bldg.	Architecture & Civil Engineering	Music Bldg.	University Gymnasium	Architecture Engineering Lab.	Cheonnong Hall	-	-
G2	University Center2	Shower room	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	University Center3	Cafeteria Hot-water supply	-	-	-	-	-	-	-	-
G4	University Press & ROTC Bldg.	University Press & ROTC Bldg.	Main Library	Liberal Arts Bldg.	Baebong Hall	Economics & Business Bldg.	Student Hall	The 2nd Engineering Bldg.	Electric room substation	Natural Science Bldg.
G5	Greenhouse	Greenhouse	-	-	-	-	-	-	-	-
G6	Science & Technology Bldg.	Science & Technology Bldg.	-	-	-	-	-	-	-	-
G7	The 21st Century Bldg.	The 21st Century Bldg.	-	-	-	-	-	-	-	-
G8	Design & Sculpture Bldg.	Design & Sculpture Bldg.	-	-	-	-	-	-	-	-
G9	Information & Technology Bldg.	Information & Technology Bldg.	-	-	-	-	-	-	-	-
G10	General Lecture & Law Institute1	General Lecture & Law Institute	-	-	-	-	-	-	-	-
G11	General Lecture & Law Institute2	General Lecture & Law Institute	-	-	-	-	-	-	-	-
G12	Main Stadium	Main Stadium	-	-	-	-	-	-	-	-

가스 사용량에 대해 전력과 동일한 용도구분 방법을 적용하여 냉방, 난방용 가스 사용량과 기타(취사·급탕용) 가스 사용량으로 구분하였다. 기준년도인 2009년 12개 건물군의 연간 대학 총 가스 사용량은 833,203 Nm³로 조사되었으며, 가스 사용량 중 용도별로 취사·급탕용 2.1%, 난방용 92.3%, 냉방용 5.6%를 차지하는 것으로 나타났다.

3.3. 유류소비에 따른 온실가스 배출량

유류의 경우, 대학교 건물 내에서는 사용하지 않으며 오직 교내 유·출입 차량의 내연기관에서의 사용에 의하여 유류 기여 온실가스 배출량이 발생하고 있었다.

차량 이동에 의한 온실가스 배출량은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 대학교에서 차량의 유·출입이 가능한 문은 정문 1개소로, 학교로 들어온 모든 차량은 일방통행의 학교 둘레 길을 따라 돌아서 다시 정문으로 나가게 되는 구조이다. 차량이 교내에 진입하면 교내 외곽순환도로를 일주한다는 가정으로 1차량 1회 출입시 교내 운행량을 교내 외곽순환도로 일주거리인 1.51 km로 가정하였다. 따라서 정문 차량 관리소의 월별 차량 유·출입 자료를 바탕으로 차량 이동에 의한 온실가스 배출량을 산정하였다. 유·출입차량의 차종별 혼입률을 적용하기 위해 2011년 12월 18일부터 12월 20일까지의 4일간 정문의 차량 통제소에 CCTV를 설치하고 차종별로 직접 계수하여 혼입률을 산정하였다.

Fig. 7은 대학교 내로 유입되는 차량수를 월별로 나타낸 것이다. 방학중인 1~3월, 7~9월에는 차량의 유·출입이 적었고, 학기중인 4~6월, 10~12월에는 차량의 유·출입이 약 25% 정도 증가되는 것을 알 수 있었다.

차량에 의한 온실가스 배출량 산정은 대학교 내부의 차로를 따라 차량이 이동한 거리를 바탕으로 대학 내부로 유입된 차량의 차종별 혼입률을 고려한 연간 차종별 V.K.T.를 산정하였다. 그리고 차종별 연비 및 CO₂배출계수를 적

Fig. 7. The number of influent vehicles each month in university.

용하는 교통량 기준 온실가스 배출량 산정 방법론을 적용하였다.

4. 대학 내 온실가스 발생 패턴

전력 사용에 의한 온실가스 배출량은 연중 8,150 t-CO₂로 나타났으며, 월별 온실가스 배출량은 전력사용량에 비례하여 겨울철과 여름철에 많은 것으로 조사되었다. 전력 사용에 의한 온실가스 배출량을 교내 총 건물 연면적으로 나누어 단위면적당 온실가스 배출량을 산정한 결과, 건물 연면적(m²) 당 연간 51.3 kg-CO₂의 온실가스가 배출되는 것으로 분석되었다. 또한, 대학시설은 결과적으로 학생들의 교육을 위한 시설이므로 월별 온실가스 배출량을 대학 내 학생수로 나누어 학생 1명당 전력 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과 학생 1명당 평균적으로 연간 981.9 kg-CO₂를 배출하고 있는 것으로 나타났다.

가스 사용에 의한 온실가스 배출량은 주로 난방에너지가 사용되는 겨울철에 대부분 집중되어 있었다. 가스 사용에 의

Table 5. Greenhouse gas emissions each month by electricity and gas usage

Month	Greenhouse gas emissions					
	Electricity			Gas		
	The total emissions [t-CO ₂ /month]	Emissions per unit area [kg-CO ₂ /m ² ·month]	Emissions per student [kg-CO ₂ /capita·month]	The total emissions [t-CO ₂ /month]	Emissions per unit area [kg-CO ₂ /m ² ·month]	Emissions per student [kg-CO ₂ /capita·month]
1	781.98	4.92	94.20	549.34	3.75	61.85
2	643.22	4.05	77.49	378.30	2.58	42.59
3	736.75	4.64	88.75	283.40	1.93	31.91
4	565.30	3.56	68.10	34.63	0.24	3.90
5	587.34	3.70	70.76	10.45	0.07	1.18
6	676.24	4.26	81.46	25.32	0.17	2.85
7	704.16	4.43	84.83	33.46	0.23	3.77
8	707.18	4.45	85.19	39.98	0.27	4.50
9	686.32	4.32	82.68	25.71	0.18	2.89
10	559.38	3.52	67.39	7.98	0.05	0.90
11	703.88	4.43	84.79	236.36	1.61	26.61
12	798.70	5.03	96.22	515.76	3.52	58.07
Total	8,150.45	51.30	981.86	2,140.69	14.61	241.01

Table 6. The group of buildings emits greenhouse gas by electricity usage per unit area

Classification	Part of the buildings	Greenhouse gas emissions per unit area [kg-CO ₂ /m ²]
E1	The 1st Engineering Bldg., The 2nd Engineering Bldg., Baebong Hall	45.5
E2	University Press & ROTC Bldg., Rear Gate, Economics & Business Bldg.	20.9
E3	Science & Technology Bldg.	103.4
E4	Main Library	52.8
E5	Student Dormitory	57.4
E6	Design & Sculpture Bldg.	105.8
E7	General Lecture & Law Institute	36.3
E8	University Gymnasium, Music Bldg.	17.3
E9	Cheonnong Hall, Architecture Engineering Lab, Main Gate, Laboratory of Architectural Engineering, University Museum	15.0
E10	Architecture & Civil Engineering, Rock Model Lab.	52.0
E11	The 21st Century Bldg., Lumber Mill, Birch Hall	76.9
E12	Student Hall, Main Auditorium	30.0
E13	Liberal Arts Bldg.	13.9
E14	Information & Technology Bldg., Woodworking room, Greenhouse	75.0
E15	University Center	34.8
E16	Natural Science Bldg.	65.5

한 온실가스 배출량을 교내 총 건물 연면적으로 나누어 단위면적당 온실가스 배출량을 산정한 결과, 건물 연면적(m²)당 연간 14.6 kg-CO₂의 온실가스가 배출되는 것으로 분석되었다. 학생 1명당 가스 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과 학생 1명당 평균적으로 연간 241.0 kg-CO₂를 배출하고 있는 것으로 나타났다. 이를 월별로 정리하면 Table 5와 같이 나타낼 수 있다.

Table 6에서와 같이 건물군별로 살펴보면 조형관이 속한 'E6' 건물군의 단위면적당 전력 사용에 의한 온실가스 배출량이 105.8 kg-CO₂/m²·year로 가장 높게 나타났고, 과학기술관이 103.4 kg-CO₂/m²·year, 21세기관이 76.9 kg-CO₂/m²·year로 뒤를 이었다.

단위면적당 전력 사용에 의한 온실가스 배출량이 가장 적은 건물은 인문학관으로 13.9 kg-CO₂/m²·year로 조형관 건물군의 8분의 1수준이다. 이를 통해 주로 전력 소모량이 많은 기기를 사용하는 환경조각과나 공과대학이 분포한 건물에서의 전력 사용량이 월등히 높음을 알 수 있다.

이상 분석된 대학교 캠퍼스 내 전력·가스사용 및 유류기여에 따른 월별 온실가스(CO₂) 배출 패턴을 다음 Fig. 8(a)에 나타내었다. 고정 배출원으로 분류되는 건물에너지 사용에 의한 온실가스 배출량이 절대적인 비중을 차지하고 있어, 대학교의 총 온실가스 배출량은 각 계절별 건물 에너지 사용량에 비례하여 변화하는 것으로 나타났다.

Fig. 8(b)에서 나타난 바와 같이 동절기 난방에너지와 하절기 냉방에너지에 의해 온실가스 배출량은 큰 폭으로 변화하는 것으로 나타난다. 연중 온실가스 배출량이 가장 많은 월은 난방에너지의 사용량이 최대인 1월로 1343.6 t-CO₂/month가 발생하였으며, 하절기의 경우 냉방에너지 사용의 증가로 인해 8월의 온실가스 배출량이 759.1 t-CO₂/month로

Fig. 8. Patterns of total greenhouse gas emissions each month.

Fig. 9. The ratio of greenhouse gas emissions by heat source and use.

크게 분석되었다.

Fig. 9는 열원 및 용도별 온실가스 배출비율을 나타낸 것이다.¹⁴⁾ Fig. 7에서와 같이 대학교 내 건물에서의 온실가스(CO₂) 배출 총량은 연간 10,452 t-CO₂로 나타났다.

이에 대한 구성 비율을 보면, 배출원별로 전기 78.0%, 가스 20.5%, 유류 1.5%에서 기여하는 것으로 나타나, 전력사용에 의해 발생하는 온실가스 배출량이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 용도별로는 조명 18.6%, 동력 36.7%, 냉방(전기) 10.2%, 냉방(가스) 1.2%, 난방(전기) 12.5%, 난방(가스) 18.9%, 취사 0.4%, 수송 1.5%를 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 사례분석 건물(대학)을 대상으로 에너지 소비량에 대한 현황을 분석함으로써, 최종 에너지 소비에 따른 온실가스(CO₂) 배출량 인벤토리를 구축하여 그 배출특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 월별 에너지 사용량 분석치 중 최소의 사용량을 나타내는 월의 에너지 사용량을 기본에너지 사용량(BLC)으로 설정하고 전기의 경우에는 동력, 조명으로, 가스의 경우에는 취사, 급탕으로 추정하였다. 조명용 전력사용량은 월별 일출·일몰시간에 따라 보정하였다. 각 월 별 총 에너지 사용량에서 이와 같이 추정된 사용량(동력, 조명, 취사, 급탕)을 제외하여 최종 건물에서 소비되는 냉·난방에너지 소비량(W형 소비형태)이 분석되었다.

2) 기준년도인 2009년도 대학교의 총 전력 사용량은 19,177,528 kWh (221,540 kcal/m²·year, 4,967,711 kcal/capita·year)

로 조사되었으며, 전력사용량 중 용도별로 동력용 47.1%, 조명용 23.8%, 난방용 16.0%, 냉방용 13.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 총 가스 사용량은 833,203 Nm³ (49,244 kcal/m²·year, 1,104,217 kcal/capita·year)로 조사되었으며, 가스사용량 중 용도별로 취사·급탕용 2.0%, 난방용 92.2%, 냉방용 5.8%를 차지하는 것으로 나타났다.

3) 대학교 내에서 발생하는 온실가스(CO₂) 배출 총량은 연간 10,452 t-CO₂ (0.056 t-CO₂/m²·year, 1.259 t-CO₂/capita·year)로 나타나며, 이에 대한 구성 비율을 분석할 경우, 배출원별로 전기 78.0%, 가스 20.5%, 유류 1.5%에서 기여하는 것으로 나타나, 전력사용에 의해 발생하는 온실가스 배출량이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

4) 전력사용량에 의한 온실가스(CO₂) 배출량은 단위면적당(m²) 연간 43.68 kg-CO₂, 학생 1인당 982.24 kg-CO₂의 배출되는 것으로 분석되었고, 가스사용에 따른 온실가스(CO₂) 배출량은 단위면적당(m²) 연간 11.48 kg-CO₂, 학생 1인당 258.15 kg-CO₂의 배출되는 것으로 분석되었다. 용도별로는 동력 36.7%, 조명 18.6%, 냉방(전기) 10.2%, 냉방(가스) 1.2%, 난방(전기) 12.5%, 난방(가스) 18.9%, 취사 0.4%, 수송 1.5%를 보였다.

대학내 온실가스 배출원의 약 78%는 전력 사용량에서 기인하는 것으로 나타나 전력 에너지 사용량을 감축하는 것이 온실가스 배출량 감축에 가장 효과적일 것으로 판단된다. 현재 일부 대학을 중심으로 그린캠퍼스 사업이 진행되고 있으나, 대부분이 총량적인 규제 이거나 정성적인 캠페인성 정책이 대부분이다. 효과적인 대학의 온실가스 저감정책의 결과를 거두기 위해서는 대학 내 어느 부분에서 온실가스 배출량이 큰지, 어느 과의 에너지 효율이 높은지, 어떤 용도에서 에너지 사용량이 많은 지를 알아야 에너지 다소비 부분과 이를 저감하기 위한 정량적인 그린캠퍼스 정책 수립이 용이할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시된 대학에서의 온실가스 발생현황 및 저감의 필요성을 통해 향후 대학 내 온실가스 배출량에 대한 정량적인 감축을 목표로 하는 기술적인 다양한 감축 방안의 개발과 이에 대한 적극적인 적용의 노력이 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2009-413-D00001).

KSEE

참고문헌

1. 김기동, "BAS와 IT를 이용한 건물 에너지 절약 주요 기술의 개요 및 현황," 한국설비기술협회, 설비/공조·냉동·위

- 생 9월호, pp. 34~46(2011)
2. David, S., Andrea, L., Jim, M., Andrew, T. and Geoff, W., "Household Carbon Dioxide Production in Relation to the Greenhouse Effect" *J. Environ. Manage.*, **40**, 197~211(1994)
3. Larry, C.-H. Chow, "A study of sectoral energy consumption in Hong Kong (1984-97) with special emphasis on the household sector" *Energy Policy*, **29**, 1099~1110(2001)
4. 2007년도 지역에너지 통계연보, 에너지경제연구원(2007)
5. 기후변화 시대, 대학의 대안 -저탄소 그린캠퍼스 만들기 가이드 북-, 녹색연합(2009)
6. 서울시립대학교 2009 통계연보, 서울시립대학교(2009)
7. Joseph, H. ETO, "On using degree-days to account for the effects of weather on annual energy use in office buildings" *Energy and Buildings*, **12**, 113~127(1988)
8. Joseph, C. Lam., Danny, H. W. Li, S.O. Cheung, "An analysis of electricity end-use in air-conditioned office buildings in Hong Kong" *Building Environ.*, **38**, 493~498(2003)
9. Jeffrey, A. Dubin, "An integrated engineering-econometric analysis of residential balance point temperatures" *Energy Economics*, **30**, 2537~2551(2008)
10. T. Ihara, Y. Genchi, T. Sato, K. Yamaguchi, and Y. Endo "City-block-scale sensitivity of electricity consumption to air temperature and air humidity in business districts of Tokyo, Japan" *Energy*, **33**, 1634~1645(2008)
11. 온실가스 배출량 산정 Good Practice 가이드라인, 에너지관리공단
12. Intergovernmental Panel of Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Program "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." *IPCC*, **1**, Chap. 4, pp. 4.8, **2**, Chap. 2, pp. 2.16(2006)
13. W. Y. Fung, K. S. Lam, W. T. Hung, S. W. Pang, and Y. L. Lee, "Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong" *Energy*, **31**, 2623~2637(2006)
14. Anibal de Almeida, Paula Fonseca, Barbara Schломann, Nicolai Feilberg "Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations" *Energy and Buildings*, **43**, 1884~1894(2011)