

# 대학교 건축물의 에너지소비 특성 및 변화 추이 분석 : 서울소재 A대학교의 에너지 소비 실태를 중심으로

박 강 현, 김 수 민<sup>†</sup>  
숭실대학교 건축학부

## Analysis of Energy Consumption of Buildings in the University

Kang-Hyun Park, Sumin Kim<sup>†</sup>  
School of Architecture, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea  
(Received August 17, 2011; revision received August 30, 2011)

**ABSTRACT:** Increasing demand for comfortable indoor environment and air-conditioning demand is also increasing. Building energy consumption in university which is made up of many different kinds factor was researched. Central control air-conditioning systems are being replaced with individually controlled air-conditioning system. The amount of growth of electricity consumption is due to the increasing demand of EHP. Conversely, the demand for absorption chiller-heater is shrinking. Winter and in summer a lot of electricity and gas usage. On the other hand, showed less energy in spring and autumn. Increase the amount of electricity than the degree of decline in gas consumption was higher. Can be considered as transitional phenomena. Because EHP and the absorption chiller-heater are used at the same time in some of the buildings. To use energy efficiently is needed additional research about environmental impact , economic evaluation.

**Key words:** Energy Efficiency(에너지 효율), Building Energy(건물 에너지), Electric Heat Pump(EHP), Gas engine driven Heat Pump(GHP)

### 1. 서 론

소득의 증가에 따라 냉난방과 같은 생활환경 속에서의 쾌적도에 대한 요구치도 함께 상승하고 있어 에너지 소비량이 증가하고 있다. 2007년 기준 우리나라의 에너지 소비량은 222백만 toe(tonnage of oil equivalent)로서 세계 10위에 상당한 것으로 15위인 경제규모 대비 높은 수준임을 알 수 있다. 2009년 최종에너지 소비량은 182.7백만 toe로 1990년과 비교하여 2.4배 증가하였다.<sup>(1)</sup> 이러한 에너지 소비의

증가는 온실가스 배출량의 증가로 이어지게 되고 온난화 효과를 유발하게 된다.

온실가스의 발생을 동반하는 에너지 소비 패턴의 변화에 대한 검토는 기후변화에 대응하기 위한 노력의 시작이라고 볼 수 있다. 온실가스 감축목표를 설정하고 분야별로 감축대책을 선정하여 단계별로 추진하기 위해서 에너지 소비 특성과 변화 추이에 대한 기초 자료가 필요하다.

비주거용 건물의 경우에는 난방, 냉방, 조명 등의 순서로 에너지를 소비하며,<sup>(2)</sup> 이에 따른 냉난방설비 시스템의 종류와 에너지원별 효율성 검토가 이루어지고 있다. 대형건축물의 면적당 전력소비증가는 연평균 5.2%로 전체 에너지 소비의 증가가 연평균 1.1%인 것과 비교하여 높은 것을 알 수 있다.<sup>(3)</sup> 에

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-2-820-0665; fax: +82-2-816-3354  
E-mail address: skim@ssu.ac.kr

너지 다소비 건축물에 속하는 대학교의 경우 매년 전력 소비량에 있어 지속적인 증가를 보이고 있다.<sup>(4)</sup> 공공기관의 경우와 같이 대학교의 경우 냉방기간과 함께 난방기간에도 전력소비량이 크게 나타난 것으로 나타났다.<sup>(5,6)</sup>

에너지 효율을 높이기 위한 각 대학교에서의 움직임도 나타나고 있다. 건축물의 에너지 소비 중 가장 비중이 높은 냉난방시스템에 대한 검토가 지속적으로 이루어지고 있다. Electric Heat Pump(EHP)와 Gas engine driven Heat Pump(GHP)에 대한 설치 빈도가 높아지고 있으며, 각 시스템의 에너지 효율에 대한 상호 비교를 통해 최적의 시스템을 찾고 있다.<sup>(7)</sup>

대학교에서도 개별 제어가 되는 냉난방 시스템이 보급됨에 따라 사용자들의 에너지 절감에 대한 의식의 변화가 필요하다. 에너지 다소비 형태의 건축물을 사용하는 대학 내의 구성원에 대한 에너지 절약 교육이 필요하고 대형 건축물에 적용되는 실내 온도 준수를 통하여 에너지소비를 줄일 수 있는 방안이 제시되고 있다.<sup>(8)</sup>

본 연구는 대학교의 에너지 소비 현황에 대한 검토를 통해서 효율적인 에너지 활용을 위한 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 대상 및 방법

### 2.1 연구 대상

본 연구는 서울소재의 A대학교로 하였다. 조사대상 대학교는 서울시 도봉구에 위치해 있으며, 6개의 단과대학으로 이루어져 있다. 건축물은 인문사회관, 도서관, 기념관, 대강의동, 자연관, 약학관, 학생회관, 체육관, 유아교육관, 예술관 등 20개동으로 구성

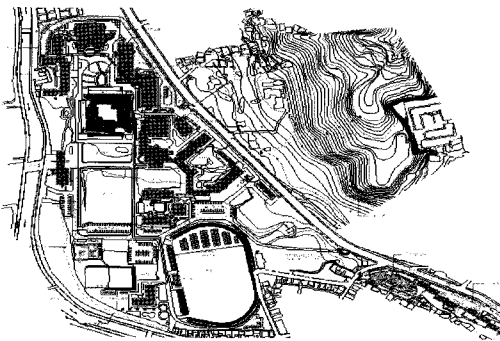


Fig. 1 University map.

Table 1 Overview of the target university

Location	Dobong-gu, Seoul
Land Area	195,657 m <sup>2</sup>
Building Area	29,426 m <sup>2</sup>
Gross Building Area	99,856 m <sup>2</sup>
Building Coverage Rate	15.04%
Floor Area Ratio	42.03%
Climate	Humid subtropical climate(9)
The Average Temperature in August	25.4°C
The Average Temperature in January	-2.5°C

Table 2 Status of cooling and heating systems

College of Natural Sciences, Pharmacy	Steam Boiler, Absorption chiller
College of the Arts	Steam Boiler
Library	Electric Heat Pump, Absorption chiller
Student Center	Electric Heat Pump
Administrative divisions	Absorption chiller
Lecture Building	Absorption chiller
Power Plant	Absorption chiller
Early Childhood Education	Electric Heat Pump
College of Humanities and Social Sciences	Electric Heat Pump
Memorial Building	Gas engine driven Heat Pump
Language Training Center	Gas engine driven Heat Pump, Boiler
Gymnasium	Electric Heat Pump

되어 있다. Table 1은 A대학교의 건축개요와 기후 특성을 보여주고 있다.

Table 2에서 보는 바와 같이 등유를 사용하는 난방설비는 없는 상태이다. 냉난방 시스템은 스팀보일러, 흡수식 냉온수기, GHP, EHP 순으로 점차 전환되고 있다. 이러한 냉난방 방식의 전환은 각 냉난방 시스템의 LCC를 분석한 기존 문헌에서 EHP, GHP, 흡수식 냉온수기 순으로 경제성이 있다<sup>(7)</sup>는 분석 결과가 현장에서도 통용되고 있는 것으로 보인

다. 신축공사를 진행하고 있는 곳이 1개소 있으며, 해당 건축물에는 EHP와 함께 지열냉난방 시스템을 적용하였으나 준공 건축물이 아니기 때문에 이번 조사 대상에서는 제외하였다. 냉난방 시스템에 대한 운전 제어는 파워플랜트 내의 기관실에서 시행하고 있다. EHP와 GHP는 개별 제어가 가능하지만 중앙제어도 가능하도록 하여 야간 또는 각 실내 부재 시 운전으로 인한 에너지 낭비를 방지하고 있다.

2.2 연구 방법

대학 내에서 사용 중에 있는 주요 냉난방 설비에 대하여 조사를 시행하고 각 설비의 신규 전환 설치 시점을 파악하였다. 파워플랜트 내부에 있는 가스 열원을 사용하는 냉난방 설비인 GHP와 흡수식 냉온수기, 스팀보일러의 가스 소비량을 각 설비별로 조사하였다. EHP 냉난방 시스템의 확대 설치로 전력 사용량의 변화가 예상됨에 따라 2007년부터 2010년까지의 전력 소비량의 변화 양상을 추적하였다. 전력과 가스 소비량 조사는 월 단위로 수행하였다. 연간 에너지원별 소비량 변화 양상을 조사하고 가스와 전력 간의 상호 소비량 증감의 연관 관계를 확인하였다.

Table 3는 에너지열량 환산기준을 나타낸 것이다. 전력 및 가스의 사용량 집계 후 에너지열량 환

산기준표의 석유환산계수를 적용하여 공통된 에너지 사용 기준을 세운 후 전력과 가스 사용량의 합한 총에너지 사용 패턴을 조사하였다. 전력과 가스의 단위당 단가를 각각 적용한 후 에너지 비용의 변화 양상을 조사하고 비용의 증감과 에너지 사용량의 증감에 대한 변화 정도를 비교하였다. 석유환산계수는 에너지원별 발열량을 1kg = 10,000 kcal로 환산한 값이다. 1 cal = 4.1868 J로 하고, MJ = 10<sup>6</sup> J로 한다. Nm<sup>3</sup>은 0°C, 1기압 상태의 체적이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전력 및 가스 사용량 조사 결과

전력의 사용량이 가장 큰 시기는 동절기인 11, 12, 1월로 나타났다. 2008년부터 냉난방 설비를 EHP로 전환하기 시작하였으나 초기에는 연면적이 작은 유아교육관과 예술대, 인문사회관의 일부에만 적용하여 2007년과 2008년도의 차이는 크지 않았다. 2009년 하절기에 학생회관의 모든 실에 EHP를 설치하여 겨울철에 난방을 제공하면서부터 전력사용량이 급격하게 상승하는 경향이 나타났다.

Fig. 2는 2007년부터 2010년까지의 연간 전력 사용량을 나타낸 것이다. 난방을 주로 가스 에너지를 사용하던 2009년과 비교할 때 2010년 1월의 전력사용량은 755,686 kWh에서 1,004,396 kWh로 32.91% 증가하였다. 2008년 12월에는 488,458 kWh에서 2009년 12월에는 810,097 kWh로 65.85% 증가하였다. 2010년 1월에 EHP를 냉난방 설비로 사용하는 체육관이 준공됨에 따라 전력 사용량은 전년보다 증가하였다. 하절기 냉방에 따른 전력 사용량의 증가는 동절기 난방에 따른 전력 사용량의 증가보다 작은 것으로

Table 3 Total heating value of energy<sup>(10)</sup>

Energy	Unit	total heating value	
		kcal	MJ
Crude oil	kg	10,750	45.0
petrol	ℓ	8,000	33.5
Indoor kerosene	ℓ	8,800	36.8
boiler Kerosene	ℓ	8,950	37.5
diesel	ℓ	9,050	37.9
propane	kg	12,050	50.4
butane	kg	11,850	49.6
solvent	ℓ	7,950	33.3
jet fuel	ℓ	8,750	36.6
asphalt	kg	9,900	41.4
lubricating oil	ℓ	9,250	38.7
Petro Coke	kg	8,100	33.9
LNG	Nm <sup>3</sup>	10,550	44.2
LPG	Nm <sup>3</sup>	15,000	62.8
electric power	kWh	2,150	9.0

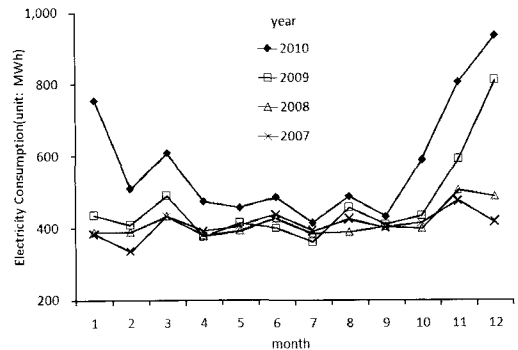


Fig. 2 Monthly electricity consumption.

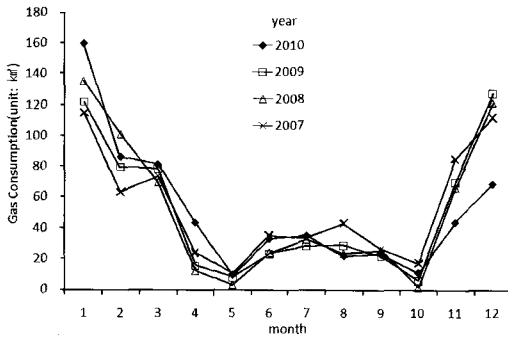


Fig. 3 Monthly gas consumption.

나타났다. 하절기 냉방 수요에 따른 전력 사용량 관리보다는 동절기 난방 시 소요되는 전력 피크 관리가 필요해 보인다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 가스의 사용량은 GHP, 흡수식냉온수기, 스팀보일러 등의 난방설비 가동에 따른 동절기 수요가 가장 많이 나타났다. 2010년 1월에는 159,772 m<sup>3</sup>로 2009년 1월의 122,004 m<sup>3</sup>보다 30.96% 사용량이 증가함을 보였다. 2009년 하절기에 EHP 냉난방 설비를 학생회관에 설치하여 운영하였으나 학생회관의 난방을 담당하고 있는 흡수식냉온수기가 도서관에도 함께 난방을 제공하고 있어 2009년 12월과 2010년 1월의 가스 사용량 감소하지 않은 것으로 나타났다. 2010년 8월에 인문사회관과 예술관, 11월에는 도서관 일부의 냉난방을 EHP로 전환함에 따라 2010년 하반기부터 가스의 사용량 감소 양상이 나타났다. 2010년 11월에 43,843 m<sup>3</sup>, 12월에 68,600 m<sup>3</sup>로 2009년 11월의 69,979 m<sup>3</sup>, 12월의 127,713 m<sup>3</sup>보다 각각 37.35%, 46.29% 감소하였다. 인문사회관과 예술관, 도서관을 담당하고 있는 흡수식냉온수기와 스팀보일러의 난방부하 감소 등으로 인하여 가스 사용량이 줄어들었다. 2010년 하반기부터 가스 사용량이 감소하는 경향이 나타나고 있어 2011년의 연간 가스 사용량 감소율이 높아질 것으로 보인다. 2011년 이후의 에너지 소비 양상의 판단을 위해 추가적인 조사가 필요하다.

연간 전력 사용량은 EHP 등 전력을 에너지원으로 사용하고 있는 냉난방 설비의 확대 설치로 인하여 지속적으로 상승하는 경향이 나타났다. Fig. 4는 연간 총 전력사용량에 대한 데이터를 표시한 것으로 2007년 4,918,848 kWh에서 2010년 6,960,807 kWh로 41.51% 증가하였다.

연간 가스 사용량은 2007년에서 2009년까지 감소하는 추세를 보이다가 Fig. 5와 같이 2010년에는 소폭

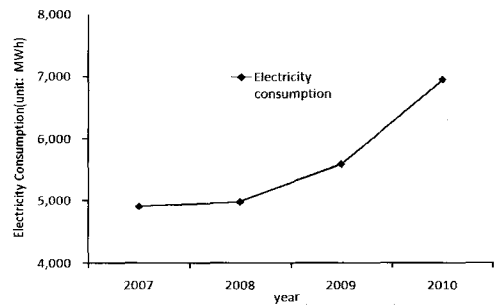


Fig. 4 Annual electricity consumption.

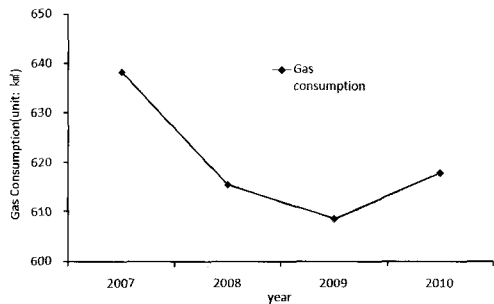


Fig. 5 Annual gas consumption.

상승하는 경향이 나타났다. 1월의 평균기온이 2007년 0.4℃, 2008년 -1.7℃, 2009년 -2.0℃, 2010년 -4.5℃로 점점 추워지는 경향을 보였다.<sup>(11)</sup> 한파로 인하여 2010년 초반의 난방 수요가 증가하여 가스 소비량이 늘어난 것으로 보인다.

전력과 가스 사용량의 증감률은 전력부분에서 크게 나타나고 있다. Fig. 6에서와 같이 전력 사용량의 증감률은 2007년에서 2008년 간 1.43%로 미미한 변화 정도를 나타냈지만 2008년에서 2009년 간 12.19%와 2009년에서 2010년 간 24.36%의 급격한 증가 추이를 보이고 있음을 알 수 있다. 가스의 경우 2007년에서 2008년 간 -3.57%와 2008년에서 2009년 간 -1.12%로 소폭의 감소율을 보이고 있다. 2009년에서 2010년 간에는 1.51% 증가하는 경향을 보이고 있다.

전력 사용량의 지속적인 증가는 가스 사용량의 감소 경향에도 불구하고 증가폭이 커짐에 따라 에너지의 총사용량이 증가하고 있다. Fig. 8은 에너지열량 환산기준표를 활용하여 전력과 가스 사용량을 Mcal 단위로 환산하여 비교한 것이다. 2010년의 에너지 사용량은 21,483,768 Mcal로 2009년의 17,309,367 Mcal보다 24.12% 증가하였다. 2007년에서 2010년으로 올수록 증가폭이 확대되어 그래프의 기울기가 급하게 나타났다.

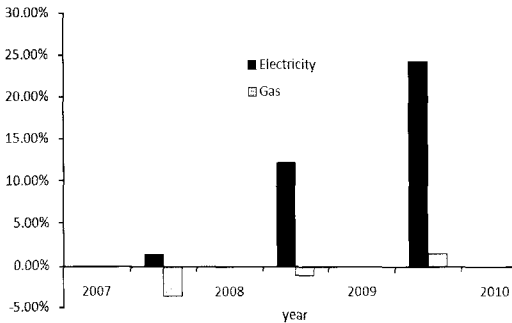


Fig. 6 Increasing rates of energy consumption.

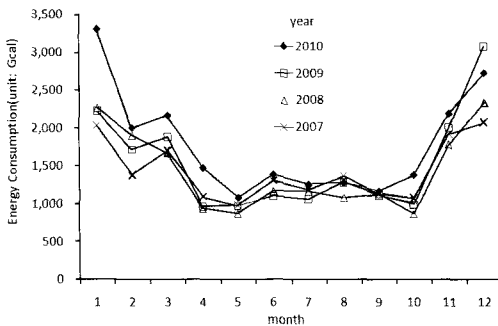


Fig. 7 Monthly energy consumption.

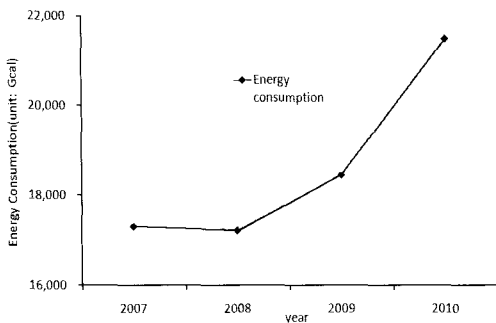


Fig. 8 Annual energy consumption.

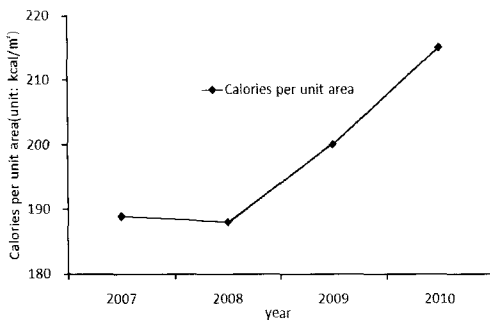


Fig. 9 Calories per unit area.

단위 면적당 에너지 사용량은 Fig. 9와 같이 2008년부터 상승하는 경향을 보이고 있다. 2008년 188 kcal/m<sup>2</sup>에서 2009년 200 kcal/m<sup>2</sup>, 2010년 215 kcal/m<sup>2</sup>로 지속적인 증가 양상을 보이고 있다. 이는 각실에서 개별 제어가 가능한 EHP와 GHP로 전환함으로써 기존의 대형 냉난방 장비를 가동함에 따른 비효율성 제거로 인한 에너지 사용량의 절감 예측과 반대되는 결과이다.

각 동의 냉난방 효율성은 증가하였으나 개별 제어가 가동함에 따라 강의실 및 실험실습실, 동아리실 등의 냉난방 사용 빈도가 증가하게 됨에 따른 결과로 보인다. 또한 가스를 열원으로 사용하고 있는 기존 흡수식 냉온수기와 보일러, 냉동기를 부분적으로 함께 사용하고 있어 가스 사용량이 감소하지 않음에 따라 전체 에너지 사용량이 증가하는 경향이 나타났다.

#### 4. 결 론

서울소재 A대학교의 에너지 소비 양상을 조사한 결과 전력과 가스 사용량의 변화 추이를 파악을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 휴한기와 휴서기에 전력사용량이 급증하는 현상이 나타나는 것은 EHP 냉난방시스템의 확대 설치에 따른 전력 사용량 증가로 판단된다. 연간 에너지 사용량의 평균화를 위해 균형 잡힌 에너지원별 냉난방 시스템을 구성에 대한 고려가 있어야 한다.

(2) 가스 사용량의 감소 경향에도 불구하고 매년 에너지 소비량이 증가함에 따른 대응방안의 검토가 있어야 하며, 재생에너지의 적용을 적극적으로 검토하여 지속 가능한 시스템을 찾아야 할 것이다. 개별 냉난방 시스템의 확대 보급으로 대학 구성원들의 자발적인 에너지 절약에 대한 의지가 필요하며, 이를 위해 에너지 비용의 상승에 대한 자료 공유 및 교육을 통하여 공감대를 형성하여야 한다.

(3) 에너지 소비량이 많은 냉난방 설비의 에너지 원이 가스에서 전기로, 전기에서 재생에너지로 변화함에 따른 추적 조사가 계속적으로 이루어질 경우 에너지 소비 패턴의 변화 양상은 다르게 전개될 가능성이 있다. 연구 대상의 냉난방 시스템의 경우도 전환기에 있기 때문에 에너지 소비 패턴의 변화가 예상된다.

에너지 소비 특성과 변화 양상에 대한 본 연구를 통하여 대학교에서의 에너지 정책 결정을 위한 기

초 자료로 사용될 수 있을 것이다. 또한 냉난방 시스템과 같은 에너지 다소비 설비에 대한 합리적인 설치 및 운용 계획을 수립하기 위한 기초 자료를 제공하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

에너지 소비 양상에 대한 검토 및 경제성 고려와 함께 향후 기후 변화에 대응할 수 있도록 대학에서 사용 중인 냉난방 시스템에 대한 온실가스 배출량 등 환경에 미치는 영향을 조사하여 대학 환경에 최적화된 에너지 소비 시스템을 구축하기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

## 후 기

본 논문은 지식경제부/한국산업기술평가관리원(사업명: 컨버전스 기반의 신재생에너지원 개발을 위한 원천융합기술 인력양성)에 의해 지원되었습니다.

## 참고문헌

1. Korea Energy Management Corporation, 2010, Energy and climate change handbook.
2. Kim, D. H., Kim, Y. K., Lee, T. W., and Moon, S. M., 2011, Gill-Chan Ahn, Energy consumption characteristics in domestic small buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Summer Annual Conference, pp. 664-667.
3. Park, J. I., Park, S. I. and Park, J. C., 2011, A study on analysis domestic energy consume and reduce greenhouse gas by building mechanical system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Summer Annual Conference, pp. 1349-1354.
4. Kim, T. W., Lee, K. G. and Hong, W. H., 2010, A study on the energy resource in school buildings with the changes of educational facilities standard, Journal of the KIEAE, Vol. 10, No. 6, pp. 73-80.
5. Jung, J. W., Kim, D. W., Seok, H. T., and Yang, J. H., 2009, A study on the analysis of energy consumption in university campuses, Journal of the Korean Solar Energy Society, pp. 175-180.
6. Shin, H. S. and Yee, J. J., 2011, A study on the characteristics of energy-consumption and energy consumption unit of public building in busan metropolitan city, Proceeding of Spring Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, pp. 233-234.
7. Park, S. Y., Park, H. S., Lee, S. H., Kim, J. Y., and Hong, S. H., 2010, A study on the optimization of heating and cooling system in university campus, Journal of the Korean Institute of Ecological Architecture and Environment(KIEAE), Vol. 10, No. 6, pp. 139-144.
8. Park, C. K., Jung, H. D., Shin, Y. H., Jeong, H. M., and Chu, H. S., 2010, University facilities and saving energy in the case study on waste, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Winter Annual Conference, pp. 266-271.
9. Energy Law Enforcement[Part of Article 124 amended Ordinance No. 4/13/2010 knowledge economy] Article 5 (caloric equivalent energy basis) attached table, Korea Ministry of Government Legislation, 2010.
10. National Institute of Meteorological Research, Understanding climate change part 3-seoul's climate change, 2009.
11. Korea Meteorological Administration, 2010, Annual Climatological Report.