

서울지역 고등학교 건물의 에너지소비특성에 관한 사례분석

김성범* · 오병철** · 신우철****

*대전대학교 대학원 건축공학과

**신한대학교 디자인학부 공간디자인전공

***대전대학교 건축공학과

A Case Study for Energy Consumption Characteristics of High School Facilities in Seoul

Kim Sung-Bum* · Oh Byung-Chil** · Shin U-Cheul****

*Department of Architectural Engineering, Graduate School, Daejeon University

**School of Design, Space Design Major, Shinhan University

***Department of Architectural Engineering, Daejeon University.

†Corresponding author: shinuc@dju.ac.kr

Abstract

In this study, we analyzed five-year(2011~2015) data for D high school in Seoul area to analyze energy consumption characteristics in high school. The results are summarized as follows. (1) In the result of comparison analysis about 2015 energy consumption by usage, based on primary energy, 18% of energy was consumed in cafeteria, and 82% was consumed in main building. In the case of main building, base and constant load excepting hot water supply in restroom took 40%, heating including freeze protection took 20%, hot water supply in restroom took 14%, and cooling took 8% in order. (2) In the 2015 total energy consumption in D high school based on primary energy, heating energy takes 28%. The range and limit of energy savings coming from the reinforcement of insulation and window performance could be estimated. (3) To introduce new & renewable energy system in high school, electricity-based system is suitable than heat-based system because usage of electric energy is larger than that of heat energy in high school. (4) Five-year energy consumption unit according to heating degree-day showed a linearly increasing trend, and the coefficient of determination(R²) was 0.9763, which means high correlation.

Keywords: 에너지소비특성(Energy consumption characteristics), 에너지원단위(Energy consumption unit), 고등학교시설(High school facility), 난방도일(Heating degree-day), 에너지사용량(Energy consumption), 기저전력(Base load electricity)

1. 서론

정부에서는 국가 온실가스 배출량의 25% 이상을 차지하는 건축물 분야의 에너지수요 및 온실가스 감축을 위해 2025년 제로에너지 건물 보급을 위한 건축 중장기 로드맵을 발표한 바 있다. 이에 따라 ‘녹색건축물 조성 지원법’에 따른 ‘건축물 에너지절약설계기준’과 ‘건축물 에너지효율등급



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.36, No.6, pp.61-69, December 2016
<https://doi.org/10.7836/kses.2016.36.6.061>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 13 October 2016

Revised: 21 November 2016

Accepted: 07 December 2016

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인증기준, '기존 건축물의 에너지성능 개선기준' 등을 지속적으로 강화하는 등 제로에너지건물 활성화를 추진하고 있다.

이 과정에서 초·중·고등학교 건물과 관련하여 교육부에서는 2009년부터 '그린스쿨(Green School) 사업'¹⁾을 시행하였으며, 2012년까지 약 8천억 원을 투자하여 노후화된 학교를 지역과 학교 특성에 맞게 5개 항목 중점으로 개선하였다. 또한 서울시와 서울시 교육청은 2009년 5월부터 '에코스쿨 조성사업'을 통하여 시범학교 31개(초 19, 중 6, 고 6)를 선정하여 단열성능 개선 및 LED 조명, 기타 전력제어장치 등 에너지고효율시설 및 신·재생에너지 시설(태양광, 지열히트펌프 등) 설치 등을 주요 사업으로 선정하고 시행하였다. 이어 2014년에는 '건물에너지효율화사업(Building Retrofit Project)²⁾의 일부로 '제로 에너지 에코스쿨 시범사업'을 통해 50개 학교에 통합전력제어시스템, LED 조명 및 단열창호 교체 등 에너지절약에 효율적인 시설 개선과 태양광 발전시설 등 신·재생에너지시설의 보급을 추진하였다.

그러나 2012~2014년 교육기본통계에 따른 전국 초·중·고등학교의 신·재생에너지를 제외한 에너지소비량은 약 778,628 TOE에서 847,002 TOE로 약 8.7% 증가하였으며, 면적당 에너지 소비량 또한 높아진 것으로 조사되었다³⁾.

신·개축 학교건물의 에너지효율을 극대화하기 위해서는 새로운 요소기술개발뿐만 아니라 기존 요소기술의 비용편익 분석(Cost-benefit analysis)을 기반으로 적절한 투자가 이루어져야 하며, 이를 위해서는 기존 학교건물의 에너지소비특성 분석이 전제되어야 한다. 일반적으로 학교건물은 여름과 겨울의 방학으로 인해 주택이나 사무용건물과는 매우 상이한 에너지 소비특성을 갖고 있으며, 이와 같은 용도별 에너지소비형태가 고려되지 않을 때, 에너지요소기술에 대한 투자 효과의 불확실성을 높이게 된다.

한편 국내 학교건물의 에너지분석과 관련한 연구동향을 살펴보면, Yoon et al.⁴⁾은 전국 16개 시도별 고등학교에 대한 에너지사용 시설 일반현황과 2008년 연간 사용된 에너지소비량을 수집하여 에너지원별 소비량에 대해 분석하였다. Kim et al.⁵⁾은 전국 고등학교의 통계자료를 기반으로 평균 에너지사용량을 갖는 기준 고등학교를 선정하고, 현장실태조사와 에너지 시뮬레이션을 통하여 에너지소비형태 및 구조를 파악하였으나 에너지사용량을 1차 에너지가 아닌 2차 에너지로 계산하여 연료의 채취, 가공, 운송, 변환, 공급 과정 등의 손실이 배제됨으로써 용도별 에너지사용량을 상호 비교하기에 다소 모호한 측면이 있다. Lee et al.⁶⁾은 노후 고등학교 건물의 에너지효율화 리모델링 요소기술에 대한 에너지성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 이를 위해 노후 고등학교의 표준해석모델을 제안하고 각 요소기술의 적용에 따른 냉·난방 에너지의 절감효과를 분석하였으나, 표준해석모델의 타당성에 대한 검증은 제시하지 않았다.

이에 본 연구에서는 서울지역 고등학교의 에너지소비특성을 사례분석을 통하여 장·단기 분석함으로써 용도별 1차 에너지소비량을 조사하고, 그중 냉난방에너지의 비중을 분석함으로써 이를 통한 에너지절약의 범위 및 한계를 파악하며, 또한 고등학교 건물에 적합한 신·재생에너지시스템을 결정하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 고등학교 건축개요

Fig. 1은 서울특별시 관악구에 위치한 D고등학교의 전경과 건물 배치도를 나타낸 것이다. D고등학교는 1983년 12월에 준공되어 체육관, 정보종합센터, 식당, 본관으로 구성되며, 교직원 및 학생 수는 총 984명이다.

Table 1은 건축개요를 나타낸 것이다. 건축구조는 철근 콘크리트조로 구축되었으며 규모는 지하 1층에서 지상 4층, 연면적 14,529 m²이다.



Fig. 1 Front view of D high school

Table 1 Architecture scheme

| Item | Content |
|------------------------------|----------------------------------|
| Location | Gwanak-gu, Seoul |
| Structure | Reinforced concrete construction |
| Building size | four-storeyed building |
| Lot area | 20,098m ² |
| Gross area | 14,529m ² |
| Floor space index | 67.2% |
| Conditioned floor area ratio | 50.4% |

3. 열원설비개요

Table 2는 D고등학교 열원 및 공조설비시스템을 나타낸 것이다. 전기히트펌프시스템(Electric Heat Pump System, 이하 EHP)과 가스보일러, 전기온수기, 전기방열기로 구성되었다. EHP 시스템은 교육일정과 일치하는 교무실, 교실, 식당 등에 냉난방용으로 설치되었으며, 가스보일러는 사용빈도가 적거나 교육일정과는 무관하게 운영되는 실내체육관 및 당직실, 시설관리실, 교사휴게실 등의 난방을 담당하고 있다. 또한 전기온수기와 전기방열기는 화장실 급탕과 동파방지에 각각 사용되고 있다.

Table 2 Heat source & HVAC system

| Usage | Equipment |
|-------------------|------------------------|
| Heating | EHP System, Gas boiler |
| Cooling | EHP System |
| Hot water | Electric water heater |
| Freeze Protection | Electric radiator |

4. 에너지소비특성 분석

에너지소비량은 현장조사 및 한국전력공사, 도시가스 공급업체의 측정자료를 조사하였으며, 조사기간은 2011년 1월부터 2015년 12월까지 5년으로 설정하였다.

4.1 기후분석

기상데이터 조사는 기후조건에 따른 정량적인 에너지소비량을 분석하기 위해 선행되었다.

Table 3은 서울지역 실내설정온도 18°C 기준 난방도일과 24°C 기준 냉방도일을 분석한 것이다. 지난 5년간 가장 적은 난방도일은 2015년의 2,369이였으며, 가장 큰 2012년에 비해 20% 정도 감소하였다. 냉방도일의 경우 2012년 221로 가장 많았으며, 가장 적은 2011년의 130에 비해 70% 증가하였다.

Table 4는 연간 수평면 총 일사량을 정리한 것이다. 일사량의 5년간 편차는 7%로서 냉·난방도일에 비해 상대적으로 적게 나타났다.

Table 3 Heating & cooling degree day

| Year | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HDD | 2,728 | 2,851 | 2,765 | 2,403 | 2,369 |
| CDD | 130 | 221 | 218 | 161 | 200 |

Table 4 Annual horizontal insolation

| Year | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Insolation (kWh/m ² yr) | 1,182 | 1,185 | 1,171 | 1,177 | 1,262 |

4.2 에너지공급계통

Table 5는 D고등학교의 전기 및 도시가스에너지공급계통이다. 에너지공급원으로 전력을 사용하는 공급계통은 3가지, 가스를 사용하는 공급계통은 2가지로 구분되었다. 전력은 식당건물을 제외한 모든 건물(이하 본관)에 공급되는 ‘교육용(갑)고압A’와 식당건물에 공급되는 ‘교육용(갑)고압A’, 본관의 화장실 동파방지용 전기방열기에 공급되는 ‘심야전력’ 등으로 구성된다. S도시가스(주)에서 공급되는 도시가스는 식당 취사에 사용되는 ‘업무용(취사 및 난방)’과 본관 가스보일러에 난방으로 사용되는 ‘업무난방’으로 구분된다.

Table 5 Energy supply system

| Item | Supply system | Usage |
|--------------|-------------------------------------|---|
| Elect-ricity | Education service(A) High Voltage A | Main building(lighting, plug, appliance, EHP) |
| | Education service(A) High Voltage A | Restaurant(lighting, plug, appliance, EHP) |
| | Mid Night Service | Rest room(freeze protection) |
| City gas | Business(cooking & heating) | Rest room(cooking and hot water) |
| | Business heating | Main building(heating) |

4.3 전력소비량 분석

본관의 전력(교육용(갑)고압A) 사용량은 한전 iSmart 시스템을 통해 최소 15분 간격으로 측정된 전력 데이터를 분석하였으며, 식당과 심야전력의 경우 월별로 고지된 사용량을 기준으로 하였다.

Fig. 2는 D고등학교 본관의 연간 전력분포를 나타낸 것이다. 여기서 전력사용을 용도별로 분리하면 기저전력과 상시 전력, 냉난방 EHP 전력 등으로 구분할 수 있다. 기저전력은 교육과정에 관계없이 24시간 지속되는 것으로 역률손실과 대기전력, 서버컴퓨터, 동절기 화장실 전기온수기 등이 해당되며, 야간과 공휴일의 전력을 기준으로 추정한 것이다. 상시 전력은 교직원 근무시간 및 학생의 교육과정에 사용되는 조명과 사무기기, 전열기기 등이 포함되며, 냉난방이 이루어지지 않는 중간기의 전력에서 기저전력을 제외하여 그 사용량을 추정한 것이다.

EHP시스템을 열원설비로 이용하고 있는 D고등학교 특성상 동·하절기 냉난방으로 인한 소비전력의 변동 폭이 큰 것을 알 수 있으며, 피크전력은 581 kW로 2월 9일에 나타났다. 기저전력은 최소 20 kW 이상으로 유지하고 있으며, 특히 동절기에는 화장실 전기온수기에 의해 최대 64 kW까지 증가하고 있다.

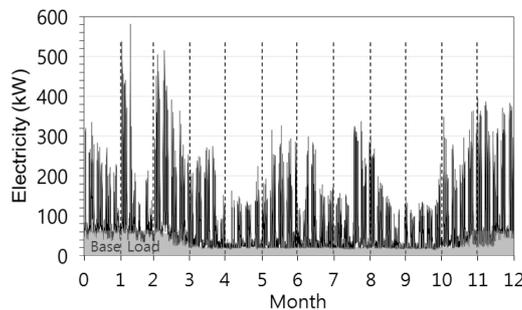


Fig. 2 Annual electricity distribution of Main building in 2015

Fig. 3은 전력계통의 용도별 월별 전력소비량을 나타낸 것이다. 본관에서 소비되는 총전력량은 621 MWh로 전체 전력사용량, 713 MWh의 87%에 해당하고 있다. 이중 기저전력량이 294 MWh로 41%, 상시전력량이 143 MWh로 20%, EHP 난방전력량이 118 MWh로 17%, EHP 냉방전력량이 66 MWh로 9%의 비중으로 각각 구성되었다. 기저전력의 경우 동절기에 크게 증가하고 있으며, 주원인은 화장실 급탕공급을 위해 24시간 가동하는 전기온수기의 전력사용으로 추

정되었다. 월평균 상시전력량은 19 MWh ($\sigma=3.05$)로 연간 상대적 편차가 가장 적은 것으로 나타났다. 식당에서 소비된 연간 전력량은 75 MWh로 총 전력량의 11%를 차지하였으며, 월평균 6 MWh ($\sigma = 1.06$)로 월별 소비량의 편차 또한 크지 않은 것으로 나타났다. 화장실 동파방지 전기방열기에 사용된 심야전력량은 연간 16 MWh로 2%에 해당하였으며 동절기인 1~4월, 12월에 한정되었다.

Fig. 4는 D고등학교의 일평균온도에 따른 EHP 일별 냉난방 전력량을 표시한 것이다. 난방피크는 일 평균외기온이 -3.6°C 일 때 2,851 kWh로 나타났으며 냉방은 26.4°C 에서 2,062 kWh가 되었다.

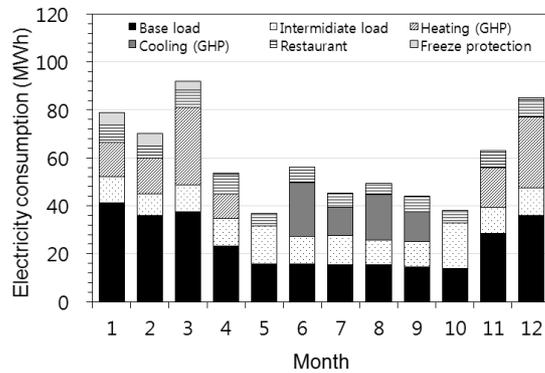


Fig. 3 Monthly electricity consumption by usage in 2015

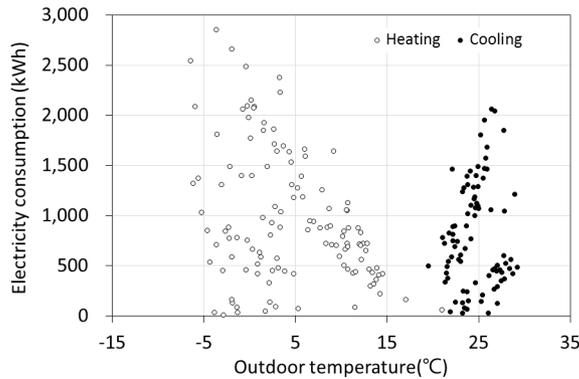


Fig. 4 Daily heating & cooling electricity consumption of EHP system

4.4 가스소비량 분석

Fig. 5는 2015년 용도별 가스소비량을 ‘에너지법 시행규칙의 에너지열량 환산기준’에 따라 순발열량으로 계산한 것이다. 취사에 공급된 도시가스 공급량은 185 MWh로 전체 소비량, 264 MWh의 70%에 해당하였으며, 방학기간인 1~2월, 7~8월을 제외하고 학기 중 월별 사용량은 비교적 일정한 형태를 보이고 있다. 본관의 난방용 가스보일러에 소비된 도시가스는 연간 79 MWh로 30%를 차지하였으며 이 가운데 5월부터 9월까지 공급된 2%는 미확인되었다.

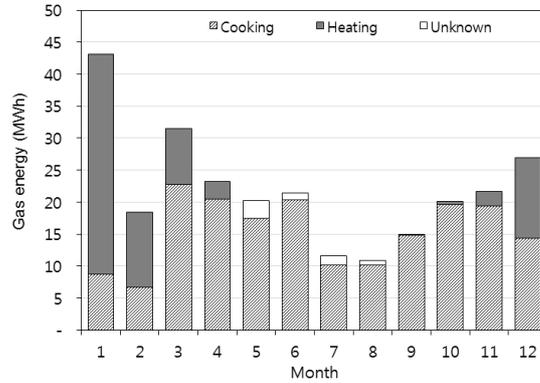


Fig. 5 Monthly gas consumption by usage in 2015

5. 용도별 에너지사용량

Fig. 6은 2015년 용도별 전기와 가스사용량을 ‘건축물 에너지효율등급 인증제도 운영규정’에 따라 1차 에너지 기준으로 환산한 것이다. 식당에서 소비되는 에너지는 411 MWh로서 총 에너지, 2,283 MWh의 18%를 차지하고 있으며, 나머지 82%를 본관에서 소비하고 있다. 본관의 경우 화장실 급탕을 제외한 기저 및 상시전력이 40%, 화장실 동파방지를 포함한 난방이 20%, 화장실 급탕이 14%, 냉방이 8% 순으로 나타났다. 여기서 냉난방에너지 합은 28%로 학교의 총에너지 사용량 중 단열 및 창호성능강화에 따른 에너지절감의 효과에는 범위와 한계가 있음을 추정할 수 있다.

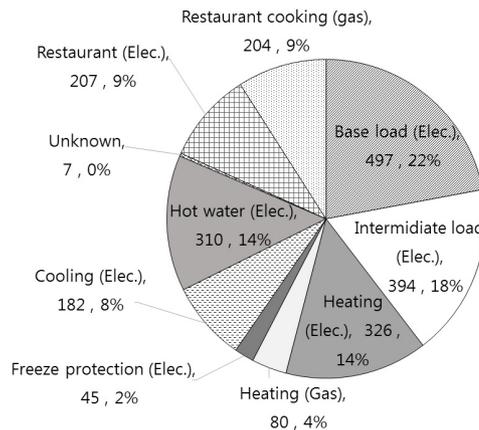


Fig. 6 Annual primary energy use by usage

또한 이상과 같은 에너지소비형태에 따라 고등학교의 신·재생에너지 시스템을 검토해보면 열공급 중심의 에너지는 연간 지속적 급탕부하가 발생하는 식당에 한정되며, 총 사용량의 40% 이상(식당 포함)을 차지하는 기저 및 상시전력 등에 대한 전기공급 중심의 신·재생에너지 시스템이 적합한 것으로 판단된다.

6. 장기 에너지소비특성

Table 6는 지난 5년간의 D 고등학교 1차 에너지 기준 에너지원단위를 나타낸 것이다. 2015년 연면적 및 공조면적 기준 에너지원단위는 각각 158 kWh/m²yr와 314 kWh/m²yr이었으며, 난방도일이 가장 큰 2012년과 비교할 때 약 16% 감소된 수준을 보이고 있다.

Table 6 Primary energy demand

| Item | Per gross area(kWh/m ² yr) | | | | | Per conditioned floor area(kWh/m ² yr) | | | | |
|-------------|---------------------------------------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Year | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Electricity | 153 | 163 | 152 | 138 | 138 | 304 | 322 | 301 | 273 | 274 |
| Gas | 25 | 27 | 26 | 23 | 21 | 49 | 52 | 53 | 45 | 41 |
| Total | 178 | 189 | 178 | 160 | 158 | 353 | 375 | 354 | 318 | 314 |

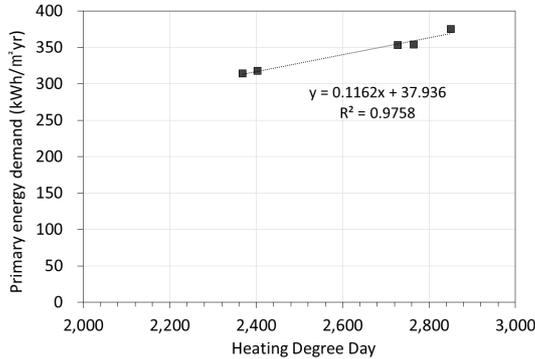


Fig. 7 Primary energy demand by Heating degree day

Fig. 7은 난방도일에 따른 공조면적 기준 에너지원단위를 나타낸 것이다. 난방도일의 증가에 따라 에너지원단위는 선형적으로 증가추세를 보이고 있으며, 결정계수(R²)가 0.9763로서 매우 높은 상관관계를 나타내는 반면, 냉방도일에 따른 상관관계(R²=0.071)는 없는 것으로 나타났다.

7. 결론

본 연구에서는 고등학교 에너지소비특성을 분석하기 위해 서울지역 D고등학교를 대상으로 5년간(2011~2015년) 자료를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2015년 용도별 에너지소비량을 1차에너지 기준으로 비교 분석한 결과, 식당에서 소비되는 에너지가 18%를 차지하였으며, 나머지 82%를 본관에서 소비되었다. 본관의 경우 화장실 급탕을 제외한 기저 및 상시전력이 40%, 화장실 동파방지를 포함한 난방이 20%, 화장실 급탕이 14%, 냉방이 8% 순으로 나타났다.
- (2) 2015년 D고등학교의 1차 에너지기준 총에너지 소비량에서 냉난방에너지의 비중은 약 28%로서 단열 및 창호성

- 능강화에 따른 에너지절감효과의 범위와 한계를 추정할 수 있다.
- (3) 2015년 연면적 및 공조면적 기준 에너지원단위는 각각 158 kWh/m²yr와 314 kWh/m²yr가 되었으며, 난방도일이 가장 큰 2012년에 비해 약 16% 감소하였다.
 - (4) EHP시스템이 적용된 고등학교에 신·재생에너지시스템을 도입하고자 할 경우, 열에너지보다는 전기에너지의 사용이 많은 고등학교의 소비특성상 열중심의 시스템보다는 태양광시스템 등 전기중심의 시스템이 적합하다.
 - (5) 5년간 난방도일에 따른 에너지원단위는 선형적 증가추세를 나타냈으며, 이때 결정계수(R²)는 0.9763로서 매우 높은 상관관계를 보이고 있다.

후기

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (과제번호: 20133030080840).

Reference

1. Ministry of Education, Green School Project Overview, 2009.
2. Seoul Metropolitan Government, Building Retrofit Project, 2014.
3. Park, K. H., A Study on Energy Efficiency School Retrofit, Korea Energy Economics Institute, 2014.
4. Yoon, J. H., Shin, U. C., Cho, J. I., Kim, H. J., and Lee, C. S., A Study on Analysis of Energy Consumption of a High School Facilities in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 4, pp. 55-62, 2010.
5. Kim, K. S., Park, J. W., Yoon, J. H., and Shin, U. C., A Case Study of Characteristics of Energy Consumption of a High School Education Facilities, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 5, pp. 99-104, 2011.
6. Lhee, S. C., Choi, Y. J., and Choi, Y., Evaluating Performance of Energy Conservation Measures for Remodeling Educational Facilities - Focused on Deteriorated Middle School Buildings, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 12, No. 4, pp. 105-110, 2012.