

대학 내의 친환경건물 입지에 따른 에너지비용 절감 분석

위대현¹⁾ · 최정현^{1)*}

Analysis of Energy Cost Savings by an Eco-friendly Building in a University Campus

Daehyun Wee and Jung Hyun Choi*

Abstract : The study compares the Ewha Campus Complex (ECC), an eco-friendly building, and a conventional reference building in terms of energy usage and electricity cost, in order to understand the general effects of energy cost savings due to the presence of eco-friendly buildings in university campuses. The result indicates that the electricity usage and associated cost per area of the ECC is indeed lower than that of the reference building. However, because of the relatively low utilization rate of the ECC in class activities, the advantage over the reference building seems to be limited at present. we compute the net present values (NPVs) of the energy cost savings from the differences between the electricity costs per area. Our NPV analysis shows that the discounted payback period (DPB) turns out to be larger than 60 years. We also analyze the eco-friendliness of the ECC by calculating the difference in greenhouse gas (GHG) emissions. The ECC shows lower GHG emissions per area by 13.5% than that of the reference building, which suggests that eco-friendly buildings can play a great role in the reduction of GHG emissions.

Key words : University Campus, Eco-friendly Building, Energy Savings, Eco-Friendliness

요약 : 본 연구는 대학교에서 친환경건물 건설에 따른 에너지비용 절감의 효과를 분석하기 위하여 기존의 교내건물과 친환경건물인 ECC의 에너지이용과 전기요금을 비교하고, 이를 통하여 친환경건물의 에너지효율성, 비용효과성, 친환경성 효과를 분석해 보고자 한다. 에너지효율성 분석결과에 따르면 면적당 전력량 및 전력요금은 ECC가 기존건물보다 면적당 전력소비량과 전력요금이 낮다. 하지만, 실질적으로 학생의 수업에 활용된 공간에 대한 활용면적당 전력량 및 전력요금은 ECC가 기존건물보다 운영 상태에서 친환경성과 비용효과성의 우위가 낮아 지므로 공간의 회전율을 높여 활용면적을 높이는 것이 필요하다. 비용 효과성을 살펴보고자 두 건물에서 사용된 전력량 및 전력요금의 차이를 이용하여 친환경건물에 의한 에너지 비용 절감의 순현재가치의 합을 계산해보면, 두 건물의 단위 면적당 전력요금의 차이는 할인율 5.5%일 때 60년 동안 466,000원 이상, 할인율 4.25%일 때 60년 동안 279,000원 이상 발생하여 60년 이상의 Discounted Payback Period(DPB)을 가지게 된다. 마지막으로 본 연구에서는 친환경건물의 에너지 절감에 따른 온실가스 배출량의 차이를 계산하여 ECC의 친환경성을 분석하였다. 두 건물의 단위면적당 온실가스 배출량을 분석한 결과, ECC의 단위면적당 온실가스 배출량이 기존건물에 비해 13.5% 감소하는 것으로 나타나 친환경건물의 건설이 국가 온실가스 배출량 감소에 큰 역할을 할 수 있음을 알 수 있다.

주요어 : 대학, 친환경건물, 에너지절감, 친환경성

서론

근대 산업혁명 이래 현대까지 인류의 경제적 생산력은

경이적인 증가를 기록하였다(村田純一, 2009). 이러한 경제 생산력의 비약적인 증가는 에너지의 대규모 소비와 이용을 통하여 비로소 가능하게 되었으며, 특히 근대라고 하는 상대적으로 짧은 기간 동안에 급증한 인류의 에너지 수요는 대부분 석탄, 석유 및 천연가스 등의 화석연료의 공급을 통하여 유지되었다. 석탄이 에너지 공급을 전적으로 생명 자원에 의존하던 전근대적 유기 경제의 제약으로부터 탈출로를 제공하여 산업혁명 그 자체를 가능하게 하였다는 점은 따로 부연할 필요조차 없을 것이

2012년 12월 18일 접수, 2013년 1월 31일 심사완료

2013년 4월 11일 게재확정

1) 이화여자대학교 환경공학과

*Corresponding Author(최정현)

E-mail; jchoi@ewha.ac.kr

Address; Department of Environmental Science and Engineering,
Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

다(Wrigley, 2010).

이러한 에너지의 대규모 소비와 이용은 경제적 부의 창출이라고 하는 순효과를 가진 반면, 그에 상응하는 역효과도 함께 야기하였다. 유한한 화석연료 자원의 고갈, 에너지 자원의 채취와 이용에 수반하는 환경 문제, 그리고 최근 들어 화두가 되고 있는 지구적 기후변화 문제(IPCC, 2007) 등, 에너지의 대규모 소비와 이용에 따른 문제점의 해결이야말로 인류의 장기적인 생존과 번영을 위하여 현 세대가 마주해야 할 가장 중요한 도전 중의 하나이다. 덧붙여 최근에는 개발도상국의 고도 성장에 따른 에너지 자원에 대한 추가 수요 증대, 자원민주주의 및 기업독과점, 불안한 국제정치적 상황 등 정치경제적 요인에 따른 시장 불안까지 야기되어, 지속가능한 에너지 활용이 사회 전면에서 주요 논의의 주제로 부각되었다.

이러한 에너지 위기에 대한 적절한 대응이야말로 대한민국과 같은 자원빈곤국에게 있어서 생존과 번영의 필수요소라고 할 수 있다. 이를 위하여, 신재생에너지 기술에 관한 투자나 이산화탄소 포집 및 저장 기술과 같은 에너지 생산 및 자원 확보 측면에서의 대응이 필수적이긴 하지만(Kim and Nam, 2012; Lee *et al.*, 2012), 생활양식에 기인하는 소비 측면에서의 대응 역시 그에 못지않게 중요하며 또한 효과적인 수단이라고 할 수 있다. 정부는, 이러한 인식을 바탕으로, 2008년에 ‘저탄소 녹색성장’을 대한민국의 새로운 국가 장기발전 비전으로 내세우고(Chosun Ilbo, 2008), 2010년 1월 13일에 ‘저탄소 녹색성장 기본법’을 제정하는 등(Korea Ministry of Government Legislation, 2010), 에너지와 환경에 대한 기존의 생활양식을 국가 차원에서 근본적으로 전환하기 위한 노력을 경주하고 있다. 그러나 생활양식의 변화를 실질적으로 이루기 위해서는, 정부 차원의 노력 이상으로 사회 전반의 인식 전환이 필요하다. 특히 변화를 실천해야 하는 이해당사자들, 즉, 에너지 소비자들에게 이러한 변화에 따른 편익이 적지 않음을 인식시키는 것이야말로 가장 효과적인 유인책이 될 수 있다.

이러한 측면에서 친환경 건축물 건설 기술의 개발과 보급은 건전하고 지속가능한 개발과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안으로 새롭게 각광을 받고 있다(Jeong and Nam, 2009). 건물의 에너지 소비는 대한민국의 전체 에너지 소비의 약 25%에 달하고 있으며, 특히 건물의 유지관리 단계에서 소비되는 에너지가 전체 라이프사이클 에너지 소비의 약 80%를 차지하는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2011). 따라서 친환경 건축물 보급은 에너지 소비 저감 효과를 즉각적으로 실현할 수 있을 뿐 아니라, 해당 건축물의 사용 연한 동안 지속적으로 그 효과를 거둘 수 있다는 점에서 큰 장점을 가지고 있

다고 할 수 있다. 이에 따라 건축물에서의 에너지 절약과 환경보전을 목표로 ‘에너지 부하 저감, 고효율 에너지설비, 자원재활용, 환경공해 저감기술’ 등을 적용한 친환경 건축물의 건설을 유도하기 위해 환경부와 건설교통부에 의해 친환경건축물 인증기준이 개발되고 인증제도가 시행하는 등의 다각적인 노력이 수행되고 있다(Korea Environmental Industry and Technology Institute). 건축물 분야의 에너지 절감에 대한 관심은 해외에서 특히 두드러져, 다양한 접근 방법에 의한 비용/효과 분석 연구가 보고되고 있다(Ren *et al.*, 2011; Wierzbka *et al.*, 2011).

녹색연합이 에너지관리공단의 ‘2007 에너지 사용량 통계자료’를 분석한 결과에 따르면, 연간 2000 TOE(Ton of Oil Equivalent, 석유환산톤) 이상의 에너지를 사용하는 국내 대학들의 에너지 사용량은 2000년 13만58 TOE에서 2007년 24만437 TOE로 7년 만에 84.9%나 상승하였으며, 이는 대한민국 전체 에너지 소비량 증가폭 22.5%보다 무려 3.7배나 높은 것이다(Hankyoreh, 2009) 이는 대학이 거대한 에너지 소비자인 동시에 온실가스 배출원임을 단적으로 보여주는 사례라고 할 수 있다. 대학의 에너지 사용량이 크게 증가하는 가장 대표적 원인은 캠퍼스 내 건물의 산·증축이다. 특히 최근 각 대학들이 교육 및 연구 환경 개선을 위하여 건물을 산·증축하거나 캠퍼스를 확장하는 과정에서 에너지 소비량이 크게 증가하고 있으며, 에너지 낭비와 효율감소를 불러올 가능성이 높다는 주장이 전개되고 있다(Li *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2010). 대학의 에너지 소비 증가는 이렇게 위기의 일면을 가지고 있으나, 대학의 특성상 친환경 건축 및 신재생에너지의 도입을 통하여 에너지 소비 저감을 크게 기대할 수 있다는 점에서 저감 잠재력의 측면에서는 기회의 일면 역시 가지고 있다고 하겠다(Song and Choi, 2012).

이화여자대학교는 2008년 교내에 Ewha Campus Complex(ECC)를 건설하여, 이용하고 있다. ECC는 면적 68,657 m²으로 지하 6층, 지상 1층으로 구성되어 있고, 교내의 교육연구 및 복지시설을 위한 공간 부족을 해결하려는 목표 외에도, 대학교의 장기비전 하에서 에너지를 절약하고 환경부하를 저감하는 친환경캠퍼스를 구축한다는 목표를 갖고 건설되었다. 이를 위하여 ECC는 열원시스템으로 냉열원시스템, 온열원시스템, Re-Cooling 시스템, CCA(Concrete Core Activation) 냉온수공급시스템, 지열 및 지하수시스템을 갖추고 있다. 또한, 국내 최초로 연중 일정한 온도를 갖는 지중의 특성을 이용하여 도입 외기를 예냉 및 예열하는 열 미로(Thermal Labyrinth)를 이용하여 공기열을 활용하고 있다. 이러한 친환경적 에너지 절약 시스템을 적용하여 설계를 하였다는 점에 근거하여 ECC는 제 26회 서울시 건축상에서 대상을 수상

하였다(Seoul Architecture Festival 2008).

이에 본 연구에서는 대학교에서 친환경건물을 건설하여 얻을 수 있는 에너지절약과 비용절감을 기존의 교내 건물과 비교분석하여 생활양식의 변화가 초래하는 편익을 정량적으로 제시하고, 친환경건물의 에너지효율성, 비용효과성, 친환경적 효과를 분석해 보고자 한다.

친환경건축물(ECC)의 개요

이화여자대학교의 ECC는 프랑스 건축가 도미니크 페로(Dominique Perrault)가 설계했으며, 국내 지하캠퍼스 중 완성도 있는 친환경건축물로 꼽힌다(Fig. 1). 건물의 전체적인 구성을 소개하면, 폭 20 m, 길이 300 m에 달하는 “Campus Valley”가 정문과 본관 사이를 연결하며, 전체 지하 6층 규모인 캠퍼스 센터는 하부 2개 층의 주차장 시설과 상부 4개 층의 교육 및 문화 복지 시설로 구성된다. 지하공간은 채광이 어렵고, 환기 및 결로 등의 문제로 인해 그 동안 활용도가 높지 않았으나, ECC의 경우 가운데에 Valley를 두어 빛을 내부까지 유입시켜 지하이지만 지하 같지 않은 친환경적인 쾌적한 환경을 창조하여 지하공간을 적극적으로 활용하면서 동시에 친환경적인 부분을 고려했다는 점에서 친환경적인 건축물로서의 의의가 있다.

친환경적인 지하캠퍼스를 위해 다양한 1차 연료의 사용량 저감 방안이 적용되어 에너지 절약, 운전비 절감 및 환경부하가 저감될 수 있도록 하였고, 지하 중량 구조체의 축열 성능을 활용하여 냉난방 에너지를 절약할 수 있도록 하였다. 또한 최상부 층 옥상 녹화를 계획하였으며,

지하수, 우수, 영구배수 등의 다양한 수자원을 적극 활용하였다. 이와 같이 ECC는 에너지를 최소한으로 사용하고, 사용된 에너지를 최대한 재활용하는 것에 중점을 두고 설계된 친환경 건물이라 할 수 있으며, ECC에 적용된 주요 에너지 절약 시스템 설비 요소에 대하여 설명하면 다음과 같다(Fig. 2).

열 미로

연중 일정한 온도를 가지는 지중의 특성을 이용하여 도입외기를 예냉, 예열하는 시스템이다. 지상에서 유입된 외기를 구조체와 지중벽 사이에 설치된 구불구불한 긴 통로를 지나게 하여 공조기에 유입되는 외기온도를 자연적으로 조정한다.

열 미로의 성능에 영향을 주는 인자로는 지중 열전도율, 흙의 밀도, 지중 열용량, 지중에 접하는 표면적, 정압, 열 미로의 덕트 길이 및 내부 풍속 등이며 이러한 인자들을 모두 고려하여 ECC 열 미로 시스템을 시뮬레이션 분석한 결과, 난방 시에는 약 411 kW, 냉방 시에는 약 324 kW의 피크 부하 저감이 가능한 것으로 분석된다.

지열 에너지

지하 바닥 슬래브 하부에 소구경의 수배관을 매설하여 지중과 열교환을 통해 냉방 및 난방열원으로 활용한다. 동절기 대지에서 얻은 열을 건물 내부로 전달하고, 하절기 건물 내부의 열을 흡수하여 폐회로를 순환하면서 지하로 흡수열을 방출한다. 지열에너지의 용량은 냉방 100 kW, 난방 150 kW이며, 24시간 가동한다.



Fig. 1. Landscape of the Ewha Campus Complex (ECC).

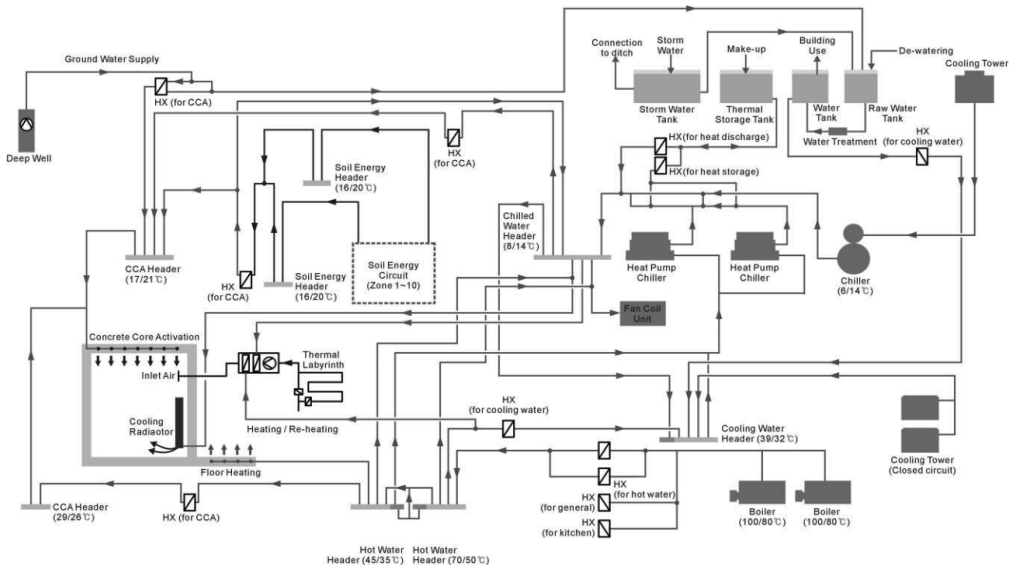


Fig. 2. Schematic illustration of the HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) system of the ECC (Chung, 2007).

CCA

CCA(Concrete Core Activation) 시스템은 천정 구조체의 축열을 통해 천정 패널의 표면온도를 조절하여 실내 온도를 제어함으로써, 피크 타임 분산 및 공조부하 저감의 효과를 가져올 수 있다.

수축열 시스템

심야전력을 이용하여 히트펌프 냉동기에서 생산된 저온의 냉수와 열교환한 냉수를 수축열조에서 축냉하여 주간 피크 냉방부하 발생 시 방냉하여 부하를 담당하는 시스템으로 값싼 심야전력을 사용하여 운전 비용을 절감할 수 있는 효과를 가져올 수 있으며, 부하 변화에 빠르게 대응할 수 있다.

하수 및 수자원 재활용

연중 온도변화가 적은 지하수를 이용하여 CCA의 냉방열원으로 사용하고, 열교환된 지하수는 지하 물탱크에 집수하여 냉동기의 냉각수 열원으로 활용한 후 건물 용수로 사용한다.

그 외 에너지 절약 시스템

자연채광-지하공간의 단점을 보완하기 위해 건물 중앙에 밸리와 같은 외부공간을 형성, 지하 1층부터 지하 4층까지 18 m(최고높이)에 달하는 벽면을 커튼월로 마감하여 건물 내부로 태양광이 유입되도록 한다. 자연환

기-온화한 계절인 봄철과 가을철에는 지붕의 환기구와 커튼월 쪽 통풍창을 통해 외부공기가 내부로 이동, 부분적인 자연통풍이 가능하다. 우수이용-녹색 지붕에 설치한 우수관은 우천시 우수를 흡수하여 지하 저장탱크로 이동, 필요에 따라 화장실 용수, 원예용수 등으로 활용된다.

연구 방법

본 연구에서는 교내에 건설된 기존건물과 친환경건물인 ECC의 에너지이용과 전기요금을 비교하고, 이를 통하여 ECC의 에너지효율성, 비용효과성, 친환경성 효과를 분석한다. 교내건물들은 교육과 연구를 위해서 사용되지만, 각 건물에는 편의시설도 포함되어 있고 전공의 특성에 따라서 실험실이 포함되기도 한다. 이에 교내의 건물들 중에서 ECC와 같은 형태로 운영되는 건물을 선택하여 비교한다. ECC는 수업, 세미나, 사무실 등의 용도로 사용되고 있으므로 이와 비슷한 용도로 사용되고 있는 기존건물인 P관을 선정한다.

에너지효율성 분석

학교는 주요에너지원으로서 전환에너지인 전력을 사용하므로 에너지비용 분석을 위하여 전력량 및 전력요금에 초점을 맞추어 에너지소비량을 산출한다. 기존건물과 ECC와의 에너지사용 비교지표로서 단위면적당 전력량, 단위면적당 전력요금, 활용면적당 전력량, 활용면적당

전력요금, 교실회전을 대비 전력사용량, 교실이용자 1인 당 전력량을 비교한다.

비용효과성 분석

친환경건물 입지가 에너지 절감에 미치는 경제적 가치를 비용편익분석(CBA: Cost and Benefit Analysis)을 통해 살펴보고자 한다. 기업이나 공공부문에서 비용편익분석을 위해 가장 보편적으로 사용되는 현재가치기준(Present Value Criterion)을 이용하여 친환경건물 입지가 에너지 절감에 미치는 경제적 가치에 대해 살펴보고자 한다.

현재가치기준을 사용하여 비용과 편익을 비교할 경우에는 먼저 각 연도에 발생하는 편익에서 비용을 빼준 순편익을 구한 뒤, 이러한 순 편익의 현재가치의 합을 극대화하는 방법을 선택하도록 한다. 사업시작 후 t 년에 발생하는 편익과 비용을 각각 B_t 와 C_t 라 하고, 사업의 효과가 완전히 종료되는 시점이 사업시작 후 T 년이라고 하면, 이 사업의 순편익의 현재가치의 합(Net Present Value, NPV)은 다음과 같다(Kwon, 2007).

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

여기서, r 은 할인율이다.

두 건물의 단위 면적당 전력요금의 차이가 친환경건물 운영에 따른 편익이라 가정하고, 그를 이용하여 향후 10년, 20년, 30년, 40년, 50년간 절감된 전기요금의 현재가치의 합을 계산한다. 계산에 필요한 할인율은 한국개발연구원(Korea Development Institute)에서 예비타당성조사시 사용하는 사회적 실질 할인율 5.5%(KDI, 2012)와 2012년 7월 현재의 콜금리 4.25%를 사용한다.

또한, 투자에 소요된 자금을 그 투자로부터 발생하는 현금흐름에 기반하여 모두 회수하는데 걸리는 기간인 할인된 회수 기간(Discounted Payback Period, DPB)을 계산하여, 친환경건물의 에너지 절약 시스템 사용에 따른 에너지 비용 절감이 ECC와 기존건물의 건설비 차이를 상쇄할 수 있는 시점을 계산한다.

친환경적 효과 분석

경제성 분석만으로 건축물의 환경 영향을 적절히 고려할 수 없으므로, 이에 대한 추가 분석이 필요하다. 특히 친환경건물은 에너지 절감을 통하여 기후변화의 원인이 되는 온실가스의 배출을 저감할 수 있으므로 이에 대한 논의가 필수적이라고 할 수 있다.

이를 위하여 두 가지 서로 다른 배출량 산정 방법을 이용한다. 첫째는 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 따른 방식이다(Ministry of Environment, 2012). 이에 따르면 배출량 산정식은 다음과 같이 적용한다.

$$\begin{aligned} &\text{온실가스 배출량(tCO2eq)} \\ &= \sum[\text{전력사용량(MWh)} \times \text{배출계수(tGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/MWh)} \times \text{지구온난화지수}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{에너지 사용량(TJ)} \\ &= \text{전력사용량(MWh)} \times 9 \times 10^3 \end{aligned}$$

배출계수, 즉, 전력간접배출계수(국가고유전력배출계수)는 Table 1에 제시된 기준연도에 해당하는 2개연도('07~'08년) 평균값을 적용한다.

지구온난화지수(Global Warming Potential)는 이산화탄소가 지구온난화에 미치는 영향을 기준으로 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 것이다. 여기서는 교토의정서에 따른 제1차 의무이행기간(2008-2012년) 동안 적용되도록 되어 있는 IPCC 제2차 보고서(IPCC, 1995; Houghton *et al.*, 1996)의 지구온난화지수를 사용한다.

$\text{CO}_2=1, \text{CH}_4=21, \text{N}_2\text{O}=310$ (Ministry of Environment, 2012).

상기 방식은 국가 온실가스 목표관리제에서 관리되는 법적 구속력이 있는 방법으로서 그 의미를 찾을 수 있다. 그러나 건축물의 에너지 절감 효과는 변화하는 전력 수요에 대응 가능한 전원의 전력 생산을 주로 감소시키게 되므로, 에너지 절감에 의한 온실가스 배출 저감을 추정함에 있어 전체 전력 생산에 이용된 전원 구성을 따라 산정된 배출계수를 이용하는 것은 불합리하다고 할 수

Table 1. Country-Specific Electricity Emission Factor

Year	CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	CH ₄ (kgCH ₄ /MWh)	N ₂ O (kgN ₂ O/MWh)
Average of 2 years (2007~2008)	0.4653	0.0054	0.0027

* Ministry of Environment (2012)

있다. 이를 고려하기 위해서는 여타 전원에 비하여 상대적으로 수요에 대응이 쉬운 화력 발전만의 온실가스 배출을 고려한 배출계수를 이용하는 것이 적절하다. 화력 발전만을 고려한 배출계수는 에너지관리공단이 제시한 값을 사용한다(Table 2).

연구 결과

에너지효율성 분석

분석결과에 따르면 면적당 전력량은 ECC가 81.4 kWh/m², 기존건물이 94.1 kWh/m² 이고, 면적당 전력요금은 ECC가 6,478 원/m², 기존건물이 8,237 원/m² 이다. 이와 같은 지표들을 비교하면 ECC는 기존건물보다 면적당 전력소비량과 전력요금이 낮다(Table 3).

비교 대상인 두 건물은 학기 중에는 대부분의 공간이 교실로 사용되므로 교실회전율과 교실이용자수를 고려한다면 실질적으로 이용된 공간 및 실질적으로 이용한 학생들을 대상으로 전력량 및 전력요금을 산출할 수 있다. 2011년 2학기과 2012년 1학기의 1년간 평균회전율은 ECC가 0.577%, 기존건물이 0.617%이고, 수용가능학생수는 ECC가 3,900명, 기존건물이 3,008명이다. 실질적으로 학생의 수업에 활용된 공간에 대한 활용면적당 전력량은 ECC가 141.0 kWh/m², 기존건물이 152.6 kWh/m²,

활용면적당 전력요금은 ECC가 11,222 원/m², 기존건물이 13,354 원/m² 이다.

수용가능학생수와 회전율을 곱한 값을 각 건물의 전력량으로 나누어 활용학생수당 전력량을 구해보면 ECC는 2,405.4 kWh/명, 기존건물은 955.9 kWh/명이며, 전력요금으로 나누어 활용학생수당 전력요금을 구해보면 ECC는 191,451 원/명, 기존건물은 83,656 원/명이다. 이상의 결과를 보면 면적을 기준으로 할 때에 ECC는 기존건물보다 친환경적이고 비용효과적이지만, 운영 상태에서 친환경성과 비용효과성의 우위가 낮아진다. ECC가 갖고 있는 친환경성을 보다 높이고 비용효과를 거두기 위해서는 공간의 회전율을 높이는 것이 필요하다.

비용효과성 분석

친환경건물 건설 및 운영에 따른 에너지 비용 절감에 대한 경제적 효과를 분석하기 위하여 두 건물에서 사용된 전력량 및 전력요금의 차이를 이용하여 친환경건물에 의한 에너지 비용 절감의 순현재가치의 합을 계산하였다. 절감된 전기요금의 현재가치의 합을 계산하기 위해서 한국개발연구원(KDI)에서 예비타당성조사시 사용하는 사회적 실질 할인율 5.5%(KDI, 2012)과 2012년 7월 현재의 콜금리 4.25%를 사용하였고, 두 건물의 단위 면적당 전력요금의 차이를 이용하여 향후 10년, 20년, 30년, 40년, 50년, 60년간 절감된 전기요금의 현재가치의 합을 계산하여 보면 Table 4와 같다.

계산결과에 따르면 두 건물의 단위 면적당 전력요금의 차이는 할인율 5.5%일 때 60년 동안 466,000원 이상, 할인율 4.25%일 때 60년 동안 279,000원 이상 발생함을 알 수 있다.

최근 건설되고 있는 건물들은 에너지와 관련된 환경적인 영향, 국가정책, 열원장비의 기술개발 등 다양한 주변 여건에 따라 에너지비용이 저렴한 냉난방시스템을 설치하고 있고, 이화여대의 ECC도 다양한 에너지 절약 시스템들을 적용하여 건설되었다. 이러한 에너지 절약 시스템들이 적용된 ECC와 기존 건물인 P관의 단위 면적당 건설비를 산출하여 그 차이를 비교함으로써 에너지 절약

Table 2. Annual Electricity Greenhouse Gas Emission Factor (Thermal Power Generation)

Year	Average emission rate for thermal power generation (tCO ₂ eq/MWh)
2004	0.8139
2005	0.8158
2006	0.8202
2007	0.8000
2008	0.8066

* Korea Energy Management Cooperation, www.kemco.or.kr

Table 3. Comparison of characteristics of two buildings

Items	ECC	P-building
Area	66534.61 m ²	18843.05 m ²
Areal electricity	81.4 kWh/m ²	94.1 kWh/m ²
Areal electricity charge	6,478 원/m ²	8,237 원/m ²
Available areal electricity	141.0 kWh/m ²	152.6 kWh/m ²
Available areal electricity charge	11,222 원/m ²	13,354 원/m ²

시스템 설치에 소요된 자금이 에너지비용 저감으로부터 발생하는 편익에 의해 회수되는데 걸리는 기간인 할인된 회수 기간(DPB)을 찾아보았다. ECC와 P관의 총 건축비용이 비공개인 관계로 ECC의 추정 건설비 1184억원 (The Ewha Weekly, 2007)과 P관의 추정 건설비 204억 6700만원 (Ewha Voice, 2005)을 이용하여 단위면적당

건설비의 차이를 산정하면 638,326원이다. 할인된 회수 기간을 계산하기 위하여, ECC가 에너지 절약 시스템을 사용하여 얻은 에너지 비용 절감의 현재가치의 합이 두 건물의 단위면적당 건설비의 차이를 상쇄할 수 있는 시점을 계산하면 Fig. 3과 같다. 에너지 절약 비용과 건설비를 이용하여 계산한 할인된 회수 기간(DPB)은 할인이 5.5%일 때 66년, 할인이 4.25%일 때 79년이었고, 이는 콘크리트 건물의 일반적인 내구연한인 60년을 상회함을 알 수 있었다(Fig. 2). 따라서, 현재의 에너지비용이 지속된다는 가정하에 다양한 에너지 절약 시스템들을 가지고 있는 친환경 건물이 비용 절감 효과를 가지기 위해서는 내구연한이 60년 이상 지속되도록 유지하는 것이 필요하다.

Table 4. Summation of present value based on the electricity charge per unit area difference of two building

Duration (year)	PVNB (Won/m ²)	
	Discount rate 5.5%	Discount rate 4.25%
5	7,008.77	6,791.78
10	14,839.09	13,901.89
15	25,073.01	22,656.89
20	38,448.32	33,437.34
25	55,929.33	46,711.81
30	78,776.30	63,057.28
35	108,636.38	83,184.22
40	147,662.31	107,967.47
45	198,667.63	138,484.23
50	265,329.56	176,060.93
55	352,454.03	222,330.89
60	466,322.23	279,305.23

친환경성 분석

본 절에서는 친환경건물의 에너지 절감에 따른 온실가스 배출량의 차이를 계산하여 ECC의 친환경성을 분석한다. 두 건물의 단위면적당 온실가스 배출량을 국가고유전력배출계수와 화력발전원 평균 배출계수를 이용하여 각각 계산한 결과는 Table 5와 같다.

두 건물의 단위면적당 온실가스 배출량을 국가고유전력배출계수와 화력발전원 평균 배출계수를 분석하여 볼 때, ECC의 단위면적당 온실가스 배출량이 P관의 경우

Table 5. Change of greenhouse gas emission per unit area of two buildings

Emssion rate	ECC (kgCO ₂ eq/m ²)	P-building (kgCO ₂ eq/m ²)	Emission Reduction (kgCO ₂ eq/m ²)
Country-specific electricity emission rate	37.95	43.87	5.92
2004	66.25	76.60	10.35
2005	66.40	76.78	10.38
Average emission rate for thermal power generation	66.76	77.19	10.43
2007	65.12	75.29	10.17
2008	65.66	75.91	10.25
Average	66.04	76.36	10.32

Table 6. Value of the reduced greenhouse gas emission per unit area, in terms of the annual average European Union Allowance (EUA) price in 2011, i.e., US\$18.8/tonCO₂eq (Kossov and Guigon, 2012)

Emssion rate	Emission Reduction (kgCO ₂ eq/m ²)	EUA price (US\$/m ²)	EUA price (Won/m ²)
Country-specific electricity emission rate	5.92	0.111	122
2004	10.35	0.195	214
2005	10.38	0.195	215
Average emission rate for thermal power generation	10.43	0.196	216
2007	10.17	0.191	210
2008	10.25	0.193	212
Average	10.32	0.194	213

에 비하여 13.5% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 전력 사용량의 감소에 따른 당연한 결과이다. 반면, 정량적으로 화력발전원 평균 배출계수를 이용하여 계산된 저감량이 국가고유전력배출계수를 이용하여 계산한 것에 비하여 43% 더 높게 나오는 것을 알 수 있다. 앞서 설명한바와 같이 건축물의 에너지 절감 효과는 변화하는 전력 수요에 쉽게 대응 가능한 전원의 전력 생산을 주로 감소시키므로, 실제 온실가스 저감 효과는 화력발전원 평균 배출계수를 통하여 추정하는 것이 더 타당하다. 국가고유전력배출계수만을 이용하여 저감 효과를 평가할 경우 친환경건축물의 친환경성이 상대적으로 저평가될 가능성이 매우 크며, 이 문제점을 보완할 수 있는 배출 저감량 산정법의 개선이 요구된다.

온실가스 저감의 친환경적 효과를 경제적 지표로 평가하는 것은 쉬운 일이 아니지만, 배출권 가격을 통하여 산정할 경우 Table 6과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이는 현재 운영 중인 배출권거래제도인 유럽 연합(EU)의 Emissions Trading Scheme(ETS)의 2011년 평균 배출권 가격을 통하여 계산된 것이다. 환율 변동을 무시하고 고정 환율 1100 원/US\$를 적용할 때, 연간 온실가스 저감의 경제적 효과는 EUA 가격으로 단위면적당 122 원/m²에서 216 원/m²의 사이의 가치를 가지고 있는 것으로 나타났다. 경제적 효과의 수치 자체는 작게 나타났지만, 향후 배출권 거래가 본격화되어 안정된 시장 가격이 형성될 경우에는 배출권 가격이 경제적으로 중요한 보상 요인으로 작용할 수 있는 가능성을 배제할 수 없다. 장기적으로 온실가스 감축이 국가 정책의 주요 목표 중 하나임을 감안할 때, 친환경건축물의 온실가스 감축 효과에 대한 조금 더 긍정적인 평가법이 고안되어야 할 것이다.

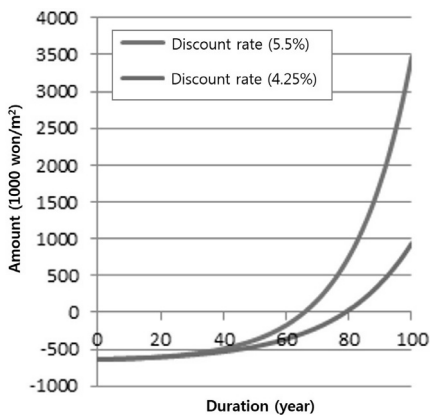


Fig. 3. Change of present value summation based on the cost-reduction by environmental friendly building (ECC) according to time passage.

결론

본 연구는 대학교에서 친환경건물 건설에 따른 에너지 비용 절감의 효과를 분석하기 위하여 기존의 교내건물과 친환경건물인 ECC의 에너지이용과 전기요금을 비교하고, 이를 통하여 친환경건물의 에너지효율성, 비용효과성, 친환경성 효과를 분석해 보고자 한다. 에너지효율성 분석결과에 따르면 면적당 전력량은 ECC가 81.4 kWh/m², 기존건물이 94.1 kWh/m² 이고, 면적당 전력요금은 ECC가 6,478 원/m², 기존건물이 8,237 원/m²로 ECC는 기존건물보다 면적당 전력소비량과 전력요금이 낮다. 하지만, 실질적으로 학생의 수업에 활용된 공간에 대한 활용 면적당 전력량은 ECC가 141.0 kWh/m², 기존건물이 152.6 kWh/m², 활용면적당 전력요금은 ECC가 11,222 원/m², 기존건물이 13,354 원/m²로 면적을 기준으로 할 때에 ECC는 기존건물보다 친환경적이고 비용효과적이지만, 운영 상태에서 친환경성과 비용효과성의 우위가 낮아진다. 따라서 ECC가 갖고 있는 친환경성을 보다 높이고 비용효과를 거두기 위해서는 공간의 회전율을 높여 활용면적을 높이는 것이 필요하다.

친환경건물의 건설 및 운영에 따른 에너지 비용 절감에 대한 경제적 효과를 분석하기 위하여 두 건물에서 사용된 전력량 및 전력요금의 차이를 이용하여 친환경건물에 의한 에너지 비용 절감의 순현재가치의 합을 계산하였다. 두 건물의 단위 면적당 전력요금의 차이는 할인율 5.5%일 때 60년 동안 466,000원 이상, 할인율 4.25%일 때 60년 동안 279,000원 이상 발생한다. 이러한 에너지 비용 저감으로부터 발생하는 편익이 친환경건물 건설에 소요되는 추가 자금을 보상하는데 걸리는 기간인 할인된 회수 기간(DPB)을 계산해보면, 할인율이 5.5%일 때 66년, 할인율이 4.25%일 때 79년으로, 이는 콘크리트 건물의 일반적인 내구연한인 60년을 상회한다.

마지막으로 본 연구에서는 친환경건물의 에너지 절감에 따른 온실가스 배출량의 차이를 계산하여 ECC의 친환경성을 분석하였다. 두 건물의 단위면적당 온실가스 배출량을 국가고유전력배출계수와 화력발전원 평균 배출계수를 사용하여 분석한 결과, ECC의 단위면적당 온실가스 배출량이 기존건물에 비해 13.5% 감소하는 것으로 나타나 친환경건물의 건설이 국가 온실가스 배출량 감소에 큰 역할을 할 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- Chosun Ilbo, "We shall achieve low carbon, green growth," President Lee Myung-bak provides a new national vision on the 60th anniversary of the state founding (Aug. 16,

- 2008; Section A1).
- Chung, C.S., 2007, "Machinery Design Practices of Ewha Campus Center(ECC)," *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 52-65.
- EWHA Voice, 2005, "Large companies eager to support and educate Ewha's talented women," <http://evoice.ewha.ac.kr/news/articleView.html?idxno=527>.
- Hankyoreh, University campuses as energy guzzlers. (May 13, 2009; Section 14) (<http://www.hani.co.kr/arti/society/environment/354567.html>).
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K., 1996, *The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 1995, Second Assessment Report: Climate Change (AR2).
- IPCC, 2007, Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4).
- Jeong, S.I and Nam, K.S., 2009, "A Study on Environment-Friendly Characteristics of Campus Buildings for Creating a Green Campus," *J. of the Korean Institute of Interior Design*, Vol. 18, No. 6, pp. 221-228.
- Kim, J.W. and Nam, M.J., 2012, "A Review on Monitoring the Behavior and Saturation of CO₂ at a CO₂ Injection Field, Nagaoka, Japan," *J. of Koreana Society for Geosystem Engineering*, Vol. 49, No. 5, pp. 677-688.
- Kim, S.E., Wee, W.S., Lee, D.H. and Kim, S.K., "A Basic Study on the Cost Impact of Environment-Friendly Residential Buildings," *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Chungnam National University, Nov. 12th.
- Korea Development Institute, 2012, Introduction to the Framework and Analytic Methodology for Preliminary Feasibility Study of Business by Public Companies and Para-Government Agencies.
- Korea Energy Management Cooperation, www.kemco.or.kr.
- Korea Environmental Industry and Technology Institute, <http://www.ecokite.com>.
- Korea Ministry of Government Legislation, *Framework Act on Low Carbon, Green Growth*, enforced on Apr. 14, 2010, Act No. 9931, Jan. 13, 2010.
- Kossoy, A. and Guigon, P., 2012, *State and Trends of the Carbon Market 2012*, World Bank.
- Kwon, O.S., 2007, Environmental Economics, 2nd Edition, Pakyoungsa, Seoul, pp. 327-335.
- Lee, K.S., Kim, J.W., Kim, H.T. and Son, H.A., 2012, "Potential Opportunities and Outlook of CO₂ Enhanced Oil Recovery Associated with CCS," *J. of Koreana Society for Geosystem Engineering*, Vol. 49, No. 5, pp. 700-707.
- Li, T., Kim, J.H. and Kim, J.J., 2010, "A Study on the Cost Benefit Assessment in the Green Building Assessment," *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korean Institute of Building Construction, Chungnam National University, Nov. 12th.
- Ministry of Environment, 2012, A Guide for Greenhouse Gas and Energy Target Management System in Public Sectors.
- Park, W.K., Jeong, Y.K. and Lee, I.W., 2011, "Energy Management Technology for High Energy-Efficient Building," *Electronic and Telecommunications Trends*, Vol. 26, No. 6, pp. 10-20.
- Ren, Z. E., Chen, Z. D. and Wang, X. M., 2011, "Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings," *Building and Environment*, Vol. 46, No. 11, pp. 2398-2412.
- Seoul Architecture Festival, <http://citybuild.seoul.go.kr>.
- Song, J. and Choi, Y., 2012, "Assessment of Rooftop Photovoltaic Potential in the Pukyong National University for Establishing a Green Campus," *J. of Koreana Society for Geosystem Engineering*, Vol. 49, No. 3, pp. 369-378.
- The Ewha Weekly, 2007, "Construction of the ECC has been progressed up to about 60%; Possibility of change in the structure of the main entrance," <http://news.ewha.ac.kr/news/articleView.html?idxno=13033>
- Wierzbna, A. L., Morgenstern, M. A., Meyer, S. A., Ruggles, T. H. and Himmelreich, J., 2011, "A study to optimize the potential impact of residential building energy audits," *Energy Efficiency*, Vol. 4, No. 4, pp. 587-597.
- Wrigley, E.A., 2010, *Energy and the English Industrial Revolution*, Cambridge University Press.
- 村田純一, *技術の哲學*, 岩波書店, 2009.



위대현

1996 서울대학교 공과대학 기계공학과 학사
 2002 미국 Massachusetts Institute of Technology 기계공학과, 석사(M.S.)
 2007 미국 Massachusetts Institute of Technology 기계공학과, 이학박사 (Sc.D.)

현재 이화여자대학교 공과대학 환경공학과 조교수
 (E-mail; dhwee@ewha.ac.kr)



최정현

1997 이화여자대학교 공과대학 환경공학과 공학사
 2000 미국 Princeton Univ. 대학원 토목 환경공학과, 환경공학석사(M.S.)
 2004 미국 Princeton Univ. 대학원 토목 환경공학과, 환경공학박사(Ph.D.)

현재 이화여자대학교 공과대학 환경공학과 조교수
 (E-mail; jchoi@ewha.ac.kr)