

LCCA 및 LCA 분석을 이용한 오피스 빌딩에 지능형 대기전력 제어시스템 도입의 타당성 분석에 관한 연구

A Study of LCCA and LCA to Evaluate Feasibility for Introducing Smart Quiescent Power Control System into Office Building

전 준 용¹ 이 석 중² 최 혜 미¹ 김 경 환^{3*} 김 주 형¹

Quan, Junlong¹ Lee, Seok-Jung² Choi, Hye-Mi¹ Kim, Kyung-Hwan^{3*} Kim, Ju-Hyung¹
Department of Architectural Engineering, Hanyang University Seongdong-Gu, Seoul, 133-791, Korea ¹
Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd., Jongno-Gu, Seoul, 110-793, Korea ²
Department of Architectural Engineering, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea ³

Abstract

Recently, in an attempt to overcome the defects of quiescent power shutdown system, smart quiescent power control system has been developed. However, due to its higher investment costs, feasibility evaluation must be conducted. While LCCA (Life Cycle Cost Analysis) model is useful to estimate net savings of alternatives that differ with respect to initial costs and operating costs, the environmental burdens are not considered. On the contrary, LCA (Life Cycle Assessment) model is suitable to assess environmental impacts associated with the stages of a product's life but it does not consider costs. In this study, a comprehensive analysis on the economic and environmental impacts of smart quiescent power control system is conducted by using LCCA and LCA model. In addition, sensitivity analysis is carried out to quantify accuracy of estimates.

Keywords : office building, smart quiescent power control system, life cycle cost analysis, life cycle assessment

1. 서 론

1.1 연구의 목적

빌딩 에너지 사용량은 전체 에너지 소비량의 약 40%를 차지할 정도로 비중이 높아 에너지 절감의 필요성이 부각되고 있다[1]. 특히 오피스 빌딩은 수많은 조명뿐만 아니라 컴퓨터, 복사기, 자판기와 같은 각종 전열기구 및 환기 설비가 사용되어 단일 오피스 건물만하여도 상당한 양의 에너지를 소비한다[2]. 일례로 63빌딩의 경우 월간 전력소

비량이 약 4000MVA로 1.7만 가구의 월간 전력소비량과 비슷하다[3].

오피스 빌딩의 에너지절감 대책으로 조명 및 환기설비는 고효율 제품을 도입하거나 제어시스템 도입 등이 있다. 전기기기 및 컴퓨터를 주로 사용하는 전열설비의 경우 각 전열설비가 사용되지 않고 플러그가 연결되어 있는 상태에서 소비되는 대기전력을 차단하는 방향으로 에너지를 절감하는 노력이 정부와 기업을 중심으로 추진되어 왔다 [4]. 국토해양부 고시 제 2010-371호 [건축물의 에너지 절감설계기준]에 의하면 전체 콘센트의 30%를 대기전력 차단콘센트로 설치하게 되어있으며, 현재 여러 종류의 대기전력 차단 연구·개발이 진행되는 추세이다. 하지만 에너지절감에 대한 인식부족과 편리성을 추구하려는 사용자로 인해 대기전력 차단콘센트가 설치됨에도 불구하고 효과를 보지 못하고 있는 실정이다[5]. 이런 단점을 극복하

Received : September 15, 2015

Revision received : October 22, 2015

Accepted : January 27, 2016

* Corresponding author : Kim, Kyung-Hwan

[Tel: 82-2-450-4160, E-mail: kykim@konkuk.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

고자 최근 대기전력 차단콘센트와 ICT(Information and Communications Technologies; 이하 ICT) 기술이 융합된 지능형 대기전력 제어시스템이 개발되기에 이르렀다. 그러나 지능형 대기전력 제어시스템은 기존의 대기전력 차단콘센트보다 투자금액이 높으므로 도입의 타당성을 검토할 필요가 있다.

일반적으로 에너지절감과 관련된 투자대안의 결정에 있어서는 장기적인 관점에서 경제성분석을 진행하여야 하며 이를 위한 방법 중에 LCCA(Life Cycle Cost Analysis; 이하 LCCA)가 유용한 것으로 알려져 있다[6]. 그러나 대기전력 차단시스템과 같은 전기설비의 경우 LCCA기법을 도입하여 경제성을 분석한 사례는 미미한 실정이다. 또한 기존의 LCCA 연구들은 단순 비용절감 측면의 경제성 분석에 치우쳐 있어 에너지소비에 따른 환경비용을 고려하지 않은 한계가 있다[7,8,9]. 이러한 환경적 영향을 분석하기 위한 방법으로는 LCA(Life Cycle Assessment; 이하 LCA)가 있지만, LCA만 평가할 경우 비교대상간의 환경영향에 대한 상호우위만 분석될 뿐 경제적인 평가는 분석되기 어려운 점이 있다[8,9,10].

이에 본 연구에서는 LCCA 및 LCA를 이용하여 경제적 측면 및 환경적 측면을 종합적으로 분석하여 오피스 건물에 지능형 대기전력 제어시스템 도입의 타당성을 검토하고자 한다. 기존의 분석 사례가 미미했던 전기설비를 대상으로 함으로써 다양하게 연구되고 있는 새로운 전기설비 시스템 개발 및 도입의 타당성 검증 수단으로 활용 가능할 것으로 기대된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 오피스 빌딩에 지능형 대기전력 제어시스템 도입의 타당성을 검토하기 위하여 LCCA 및 LCA를 이용하여 종합적으로 분석하였다. 선행연구들을 고찰하여 대기전력 제어시스템의 LCCA 및 LCA 분석에 필요한 항목들을 도출하였으며, 관련업체 및 전문가와의 인터뷰를 통하여 평가항목들을 최종 선정하였다. 선정된 항목을 최근 준공된 S건물에 적용하여 대기전력 차단콘센트의 종류 및 도입방법별로 ①대기전력 차단콘센트 미적용, ②단순 대기전력 차단콘센트 30% 적용, ③지능형 대기전력 제어시스템과 단순 대기전력 차단콘센트 혼용 적용, ④지능형 대기전력 제어시스템 30% 적용 등 4가지 대안으로 생성하여 분석하였으며, 결과의 신뢰도를 확보하기 위하여 대안별

민감도 분석을 실시했다.

2. 대기전력 차단콘센트 및 LCCA/LCA 이론고찰

2.1 대기전력의 개요 및 대기전력 차단콘센트의 관련현황

대기전력(standby power)이란 ‘외부의 전원과 연결만 되어 있고, 주 기능을 수행하지 않거나 외부로부터 켜짐 신호를 기다리는 상태에서 소비되는 전력’을 말한다[5]. 국내의 경우, 가정전력소비량의 11%가 대기전력으로 사용되고 있다. 기타 선진국들의 경우도 일본 9.4%, 호주 12%, 미국 5%로 약 5~10%가 대기전력으로 소비되고 있다[4]. 이에 기존의 전원을 이어주는 역할만 하던 콘센트에서 2000년대 초반에는 대기전력을 차단하는 멀티콘센트를 시작으로 다양한 방법으로 대기전력을 차단하는 기능이 부가된 대기전력 자동차단콘센트가 개발되기에 이르렀다.

이를 종류별로 알아보면 대표적으로 부하감지형, 인체감지형, 타이머형, 조도감지형이 있다. 부하감지형은 전자기기의 On/Off상태를 자동으로 감지하여 콘센트내의 전원개폐소자를 작동시키는 방식이다. 인체감지형은 콘센트에 연결된 인체감지 센서를 통해서 사람이 있는 경우에만 On, 없는 경우에는 Off시키는 방식이다. 타이머형은 일주일 단위의 일정시간에만 전원을 On시키는 방식이다. 조도감지형은 차단콘센트에 광센서를 매입해서 빛을 감지하여 On/Off 시키는 방식이다.

상기 종류들은 로컬자동제어방식으로서 서로를 기능적으로 보완하여 사용되고 있으나, 이 역시 각 부하말단에서 제어되므로 기능적으로 단순한 대기전력 차단콘센트로서의 단점을 해결하기 어려운 면이 있다[11]. 따라서 이러한 로컬자동제어방식의 대기전력 차단시스템의 효율성을 극복하고자 최근 대기전력 차단콘센트와 ICT 기술이 융합된 중앙통제식인 지능형 대기전력 제어시스템이 개발되기에 이르렀다.

2.2 지능형 대기전력 제어시스템

지능형 대기전력 제어시스템은 Figure 1과 같이 스마트 소켓(smart socket), 중앙감시제어 워크스테이션(workstation)과 소프트웨어(software)로 구성된 대기전력 차단중앙감시반, 통신을 위한 게이트웨이(gateway)로 구성되어 있다[12].

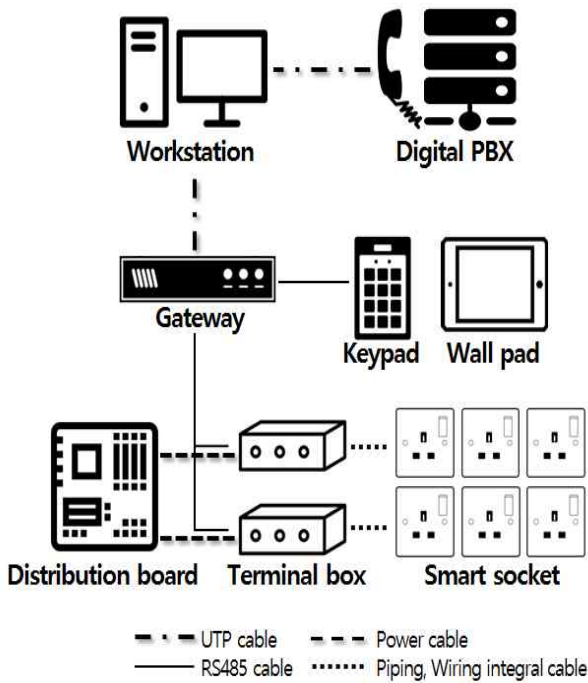


Figure 1. Smart quiescent power control system diagram

스마트소켓은 게이트웨이를 통하여 소켓의 On/Off상태, 대기전력 차단 설정값, 전력사용 시 전력값을 중앙감시제어 워크스테이션으로 전송한다. 스마트소켓은 중앙감시제어 워크스테이션의 ①On/Off상태변경 요청을 수신하면 릴레이(relay)의 상태를 On/Off변경시키는 동작을 수행하고, 그 결과를 중앙감시제어 워크스테이션으로 피드백하며, ②대기전력 차단 설정치 변경 요청을 수신하면, 그 설정치 이내의 전력이 소비될 경우 즉각적으로 전력공급을 차단할 수 있도록 변경한다. 또한 스마트 소켓은 기본적인 대기전력 차단, 전원제어 뿐만 아니라 정격전류를 초과하는 부하 발생 시 해당 소켓의 전원공급을 자동으로 차단하며, 원인이 제거되면 자동으로 복귀되는 과부하차단기능을 제공함으로써 해당 전기회로 모두에 전원 공급이 중단되는 것을 방지하여 정전으로 인한 사용자의 불편을 최소화할 수 있다.

중앙감시제어 워크스테이션에는 중앙감시제어 소프트웨어를 탑재하여 건물전체 스마트 소켓의 상태를 실시간으로 모니터링할 수 있으며, 층별, 그룹별로 필요한 부분을 선택하여 감시할 수 있다.

중앙감시제어 소프트웨어는 스마트 소켓의 On/Off상태 감시 및 On/Off제어 명령을 통하여 원격에서 전원공급

차단 및 복귀를 조정한다. 또한 개별 스마트 소켓의 전력사용량정보 수집을 통한 전력사용량 통계 및 분석이 가능하여 효과적인 건물전력에너지관리를 위한 기초자료를 제공한다. 또한 이더넷(ethernet)을 통하여 BAS(Building Automatic System; 이하 BAS)에 연결되어 있으므로, SI/FMS시스템(System Integration/Facility Management System; 이하 SI/FMS 시스템), 조명제어 및 출입통제시스템 뿐만 아니라 사용목적에 따른 모바일 연계시스템, 웹 서비스 시스템과의 연계를 통한 모니터링 및 제어가 가능하다. 디지털 교환기를 사용하는 경우 PBX(Private Branch Exchange; 이하 PBX)에 연결한 건물 내 전화기를 통한 개별 소켓 제어가 가능하도록 구현할 수 있다. 그리고 필요시 게이트웨이에 현장제어반(key pad, wall pad)을 층, 또는 특정 구역에 설치하여 특정 그룹의 스마트 소켓을 제어하도록 구성할 수 있으므로 스케줄에 의한 전원공급/차단이 어려운 지역의 전력사용을 최적화할 수 있다.

2.3 LCCA

LCCA는 시설의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 분석하는 방법이다. 생애주기동안 발생하는 총비용을 LCC라 하며 초기투자비, 운용관리비, 해체·폐기비 등이 LCC를 구성하는 비용항목이 된다[13]. LCCA 분석방법은 확정적방법, 확률적방법, 신뢰성 방법이 있다[14]. 확정적방법은 수집된 데이터를 기초로 확정적 분석을 실시하므로 적용이 용이하며, 하나의 결과를 얻을 수 있다. 확률적방법은 수집된 데이터를 기초로 확률적 분석을 실시하며, 수집된 데이터의 불확실성은 시물레이션 기법 등의 해석 방법에 의해 분석한다. 신뢰성방법은 유사한 형식 시설물에 대한 신뢰성 데이터(초기신뢰성지수, 열화개시시간, 신뢰성 저하율 등)를 활용하여 분석하는 방법이다.

본 연구에서는 생애주기비용분석에 필요한 데이터를 전문가 또는 실적자료를 통하여 확보하였으며 하나의 고정된 입력값으로만 분석하기 때문에 확정적방법을 사용한다. 또한 입력변수의 불확실성이 고려되지 않은 단점을 개선하기 위하여 민감도분석을 실시한다.

2.4 LCA

LCA는 제품 및 시스템의 생애주기동안 발생하는 환경영향을 분석하기 위해 사용되는 방법이다[10]. 이 기법의

목적은 인간 활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 하기 위한 판단자료를 제공하는데 있으며 크게 3가지로 구분된다[15,16]. 먼저, 제품 및 서비스가 생산되고 폐기되는 과정을 직접 상세하게 조사하여 투입물과 배출물을 파악하는 방식인 직접조사법(Process-based LCA)이 있다. 둘째 산업연관표를 활용하여 제품 및 시스템에 관련된 산업부분에서 배출되는 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 등을 산출하는 산업연관분석법(I-O LCA)이 있다. 마지막으로 이 두 가지 방법의 장점을 절충한 혼합법(Hybrid LCA)이 있다. 본 연구에서는 시간과 비용의 측면에서 직접조사법은 적합하지 않으므로 산업연관분석법을 사용하였다.

2.5 LCCA 및 LCA 종합분석

시설물의 생애주기동안 사용되는 자원과 에너지를 절약하기 위한 에너지절감기술들의 개발이 점차 확대되고 있다. 그러나 이러한 수많은 에너지절감기술들을 무분별하게 적용하는 것은 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 따라서 에너지절감기술을 선택적으로 적용하기 위해서는 우선 순위 선정이 필요하다. 즉 기술의 경제적 타당성을 생애주기 관점에서 접근해야 하는데 초기투자비, 유지관리비, 폐기물처리비 등의 경제적인 요인뿐 아니라 생애주기동안 발생하는 CO₂ 배출량 등의 환경적인 요인을 포함하여야 한다[7,8,9,16]. 따라서 본 연구에서는 비용평가 항목 중 의사결정에 영향도가 높은 항목만을 선별하여, 종류별 대기전력 제어시스템 도입에 대하여 경제적 비용과 환경적 비용이 모두 고려된 LCCA 및 LCA 종합분석을 실시하고자 한다.

3. LCCA 및 LCA 평가항목 선정 및 분석방법

3.1 LCCA 및 LCA 종합 분석절차

본 연구에서의 LCCA 및 LCA를 이용한 분석절차는 Figure 2와 같다. 문헌고찰 및 전문가 인터뷰를 통하여 LCA 및 LCCA 평가항목을 도출한다. 선정된 각 항목은 대기전력 차단콘센트의 종류 및 도입방식에 따라 선정된 대안별로 비용을 산정한다. 산정된 값을 LCCA 및 LCA를 이용하여 종합적으로 분석한다. 분석된 결과를 바탕으로 최적의 대안을 선정한다.

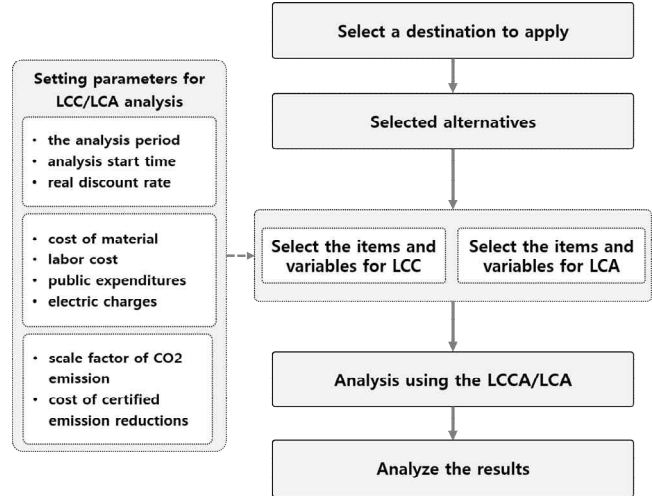


Figure 2. Analysis procedures using the LCCA and LCA

3.2 평가항목 선정

3.2.1 LCCA

본 연구의 분석 대상인 콘센트설비의 평가항목 선정을 위해서 건설업계의 견적 담당자들과 전기시설물 유지보수 용역 인력 및 관련 제품제조사의 영업담당자 등 전문가들과의 인터뷰를 통해서 적합한 항목을 선정하였다.

각 항목은 경제성 분석을 위한 평가요소로 Table 1과 같이 초기투자비, 유지관리비, 해체비 등으로 크게 3가지로 나누었고, 초기투자비용은 각 대안에 대한 자재비, 노무비 등의 투자비용으로 선정하였다. 유지관리비는 매년 발생하는 해당 자재의 교체에 해당되는 자재비와 노무비 등이 포함되고, 각 대안에 해당되는 에너지비용을 연간 비용으로 선정하였다. 마지막으로 해당 자재의 철거비용으로써 노무비를 반영하였으며 폐기물처리비는 미미하므로 반영하지 않았다.

Table 1. LCCA analysis items

Division	Items
Initial costs	Cost of materials
	Labor cost
Maintenance costs	Replacement materials cost
	Labor cost
	Energy cost
Demolition costs	Labor cost

3.2.2 LCA

LCA 평가항목은 건물의 기계전기설비에서 배출하는

CO₂량과 에너지사용량에 따른 CO₂배출량으로 구분할 수 있다[7, 10]. 하지만 전기설비에서 배출되는 CO₂량은 미미함으로[8], 본 연구에서는 에너지사용량에 따른 CO₂량만을 평가항목에 반영하였다.

3.3 LCCA 및 LCA 분석 방법

3.3.1 분석 시 고려사항

LCCA는 장기적인 관점에서 경제성분석을 진행하기 때문에 분석대상의 특성을 반영한 분석기간과 분석시점의 결정이 필요하다. 또한 금리변동, 물가상승 등의 이유로 시간의 흐름에 따라 변화되는 미래가치를 분석시점의 가치로 환산하는 과정이 요구되며 이를 위해 할인율과 물가상승률을 반영하여야 한다. 따라서 해당 단계에서는 LCCA 항목의 비용 산정을 위한 분석기간, 분석시점을 결정하고 할인율과 물가상승률을 설정하여 분석을 진행하여야 한다. 본 연구의 분석기간은 전기설비의 수명기간으로 설정하고, 할인율과 물가상승률은 기존의 이론고찰을 통하여 산정한다.

3.3.2 LCCA 항목별 비용 산정

앞장에서 도출된 구성항목을 기본으로 해당 자재의 설치 시점을 기준으로 설정된 분석기간까지의 발생하는 비용을 모두 포함하여 에너지비용을 제외한 기타 항목 비용은 관련업체의 실적자료와 견적자료를 제공받아 산정한다.

에너지 비용은 해당자재의 사용에 따라 발생하는 모든 에너지를 산출 합산하여 전력요금단가를 반영해 산정한다. 산정방법은 수식(1)과 같다.

$$C_e = \sum_{i=1}^n E_i \times h_i \times D_m \times C \text{ ----- (1)}$$

- C_e = 에너지비용 (Won/m)
- E_i = i 부하의 대기 전력 (W/h)
- h_i = i 부하의 대기 시간 (h/d)
- D_m = 작동 일수 (d/m)
- C = 전력요금 단가 (Won/m)

또한 수명주기비용을 산출하기 위해서는 현재의 비용과 미래의 비용을 모두 공통의 동일시점으로 환산해야 한다. 이와 같이 비용발생시점이 상이한 경우 현재가치법을 사용하며 수식(2)와 같다.

$$P = F \times PWF$$

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \text{ ----- (2)}$$

- P = 현재가치
- F = 미래발생비용
- PWF = 현재가치계수
- i = 할인율
- n = 비용발생시기

3.3.3 LCA 항목 비용 산정

각 부하에서 소비되는 에너지를 합산하여 CO₂ 발생량을 산출하고 이를 비용으로 환산한다. 이를 위해서 CO₂ 배출계수를 사용하여 발생하는 CO₂량을 산출한다[8, 10] 그리고 국내 탄소배출권 시세를 적용해 CO₂ 비용을 산출하며 수식(3)과 같다.

$$C_c = W_n \times EF \times C_{CO_2} \text{ ----- (3)}$$

- C_c = 탄소배출비용 (Won/y)
- W_n = 연간 에너지소비량 (Kwh)
- EF = 전력의 탄소배출계수 (tonCO₂/Kwh)
- C_{CO_2} = 탄소배출권거래가격 (Won/ton)

3.4 LCCA 및 LCA 결과분석

LCCA 및 LCA 평가항목별 비용을 종합적으로 합산하여 대안별 전체 비용을 산정해 비교 분석한다. 또한 각 대안별 초기투자비용이 상이함으로 증가된 투자비에 대한 투자회수기간을 산정하여 대안별로 비교한다. 투자회수기간 산정방법은 비교대안 대비 증가된 초기투자비용에서 투자회수년(R)까지의 연간에너지절감비용(CS)을 감한 값이 0으로 될 때까지 계산한다(수식 4). 연간에너지절감비용(CS)은 연간전력요금 절감비용 및 탄소배출절감비용의 합이며, 이때 물가상승률을 반영한다(수식 5).

$$R = \log_{1+i} \left\{ \left(\frac{I_r \times i}{C_s} \right) + 1 \right\} \text{ ----- (4)}$$

$$I_r = \sum_{\epsilon=0}^R C_s (1+i)^\epsilon \text{ ----- (5)}$$

- R = 회수기간
- I_r = 증가투자비
- i = 물가상승률
- C_s = 연간 에너지절감비용 (기준년도)

4. 사례적용을 통한 LCCA 및 LCA 분석

4.1 사례대상 건물의 개요

본 연구의 사례적용은 최근 준공된 S중공업의 한 건물을 대상으로 실시하였다. 본 건물은 지하1층, 지상11층 규모로 약 900명에서 최대 1200명까지 근무할 수 있는 Office 빌딩이다(Table 2).

Table 2. The outline of the building

Division	Content
Lot area	184,6852m ²
Building area	4,513.57m ²
Total floor area	37,033.66m ²
The building-to-land ratio	2.44%
Floor area ratio	20.05%
Building size	1 Basement floor, 11 Ground floor

각 층별로 약 100여명이 근무하는데, 주로 선박설계에 필수적인 사무기기로 컴퓨터, 모니터 등이 개인별로 지급되어 있고 복합기 외 플로터 등의 인쇄 설비를 갖추고 있다. 탕비실에는 전자레인지, 커피머신, 냉장고 등이 있으며 화장실에는 비데와 핸드드라이어, 기타 공용부위에는 냉온수기, 자동판매기, 에어컨 등의 전열부하가 사용 중에 있다.

4.2 사례대상 건물의 전열부하 사용현황 및 대안선정

사례대상 건물에서 사용되는 전열부하들을 조사하였으며 Table 3은 근무시간에만 작동되는 부하로써 사용을 마치면 대기전력 차단콘센트가 자동으로 전원을 차단시키는 항목이다. 또한 작동되지 않는 시간을 대기시간으로 정의하였다.

Table 3. Electrical equipment in operation (during business hours)

Items	Quantity	Standby time(h/d)
TV	13	20
PC	100	14
Monitor	200	14
Charger	50	14
Microwave	2	22
Air conditioner	12	14
Hand Dryer	4	22

Table 4의 전열부하는 오피스 관리 인력의 한계로 인해 매일 On/Off관리가 거의 불가능하여 근무시간 외에도 항상 작동되는 전열부하들에 해당된다. 이는 전체 전열부하 수량의 불과 7.7%에 해당되는 적은 수량이지만 대기시간에 소비되는 대기전력의 합계는 72.9%에 달하는 것으로 조사되었다.

Table 4. Electrical equipment in operation (non-work hours)

Items	Quantity	Standby time(h/d)	Note
Water fountain	4	14	
Bidet	14	14	Sleep mode
Coffee machine	4	14	Warm mode
Vending machine	2	14	
Official replicator and plotter	8	14	Sleep mode

따라서 상기 Table 3, Table 4와 같이 사례적용 대상건물에서 조사된 전열부하의 사용시간의 특성에 따라 다음과 같이 대안을 분류하여 경제성을 분석한다.

① 대안 1: 대기전력 차단콘센트 미적용

경제성분석을 위해 초기투자비는 적을 것으로 예상되나 유지관리비인 에너지비용이 많이 소요될 것으로 예상되는 경우로써 사례적용 대상건물에 대기전력 차단콘센트를 적용하지 않는 경우를 가정하였다.

② 대안 2: 단순 대기전력 차단콘센트 30% 적용

Table 4의 전열부하는 24시간 작동되는 전열부하로써 단순 대기전력 차단콘센트로는 On/Off 되지 않는다. 따라서 지능형 대기전력 제어시스템에 비해 상대적으로 저렴한 단순 대기전력 차단콘센트를 Table 3의 전열부하에만 건축물의 에너지절약 설계기준에 따라 전체 콘센트수량의 30%를 적용하였을 경우를 가정한다.

③ 대안 3: 지능형 대기전력 제어시스템과 단순 대기전력 차단콘센트 혼용 적용

대안3에는 항상 사용되는 Table 4의 전열부하는 퇴근 시간 후에는 강제 Off가 필요하고 전체 전열부하수량의 7.7%에 불과하므로 지능형 대기전력 제어시스템을 100% 적용하고, 그 외 건축물의 에너지절약 설계기준에 따라 필요한 수량인 전체 콘센트수량의 22.3%에 단순 대기전력 차단콘센트를 Table 3의 전열부하에 혼용하여 적용하였을 경우로 가정하였다.

④ 대안 4: 지능형 대기전력 제어시스템 30% 적용

마지막으로는 항시 사용되는 Table 4의 전열부하를 100% 포함하여 전체 전열부하의 30%를 지능형 대기전력 제어시스템으로 적용하였을 경우를 가정하였다.

4.3 LCCA, LCA 항목별 비용 산정

4.3.1 기본 가정 설정

LCCA 및 LCA를 위한 기본 가정은 아래와 같이 설정한다.

- ① 분석기간: 일반적으로 대기전력 차단콘센트의 기본적인 수명은 10년이므로 본 연구에서는 분석기간을 10년으로 설정한다.
- ② 전력요금단가: S중공업 오피스 빌딩은 일반용(을)고압B, 선택Ⅱ 요금제를 사용하고 있으므로 본 연구에서는 계절별 전력단가의 평균값인 98.93원/kWh를 적용한다.
- ③ 탄소배출권 시세: 국내에서는 2015년부터 탄소거래권제도가 시행되고 있으며 1Ton당 가격이 거래건별로 10,000~12,000원으로 거래되므로 본 연구에서는 평균가격인 11,000으로 적용한다.
- ④ 실질할인율: 본 연구의 할인율과 물가상승률은 Kim[17]의 연구결과를 반영하여 할인율 6.41%, 물가상승율 3.30%, 실질할인율 3.01%를 반영한다.

4.3.2 항목별 입력금액 산정

LCCA, LCA 항목별 입력금액은 아래와 같이 산정한다.

- ① 재료비: 일반콘센트와 단순 대기전력 차단콘센트는 사례 대상 건물의 실적자료를 사용하였으며 지능형 대기전력 제어시스템의 경우 S업체의 견적가격을 적용하였다.
- ② 노무비: 노무비는 사례대상건물의 실적자료를 적용하였다.
- ③ 교체비: 관련업체와의 인터뷰를 통하여 교체비용을 파악하였다. 일반콘센트와 단순대기전력차단콘센트는 건물의 사용과 더불어 자연적으로 파손되거나 하자가 발생하는 수량을 1년에 약 1%를 반영하였다. 지능형대기전력차단시스템의 경우에도 HW 및 SW 유지보수비용으로 초기투자비용의 1%가 연간 발생하는 것으로 반영하였다. 교체인건비는 초기설치 노무비의 150%를 반영하였다.

- ④ 에너지비: 에너지비용은 4.2절에 조사된 바와 같이 각 부하별로 그 사용 특성에 따라 각 부하의 대기전력과 대기시간을 구분하여 소비전력을 산출한 후 앞서 설정된 전력요금단가를 반영하였다.
- ⑤ 해체비: 해체비는 구내 배선기구류의 경우 전기통신공사의 표준품셈 5-23의 기준에 의하여 설치하는 노무비의 50%를 적용하게 되어 있다.
- ⑥ 탄소배출비용: 에너지비의 산출시 계산된 소요전력에 탄소배출계수(0.454kgCO₂/kWh)를 무게(ton)으로 산한 후 곱하여 탄소배출권 시세를 반영하였다.

4.3.3 대안별 LCCA, LCA 항목별 비용 산정결과

앞서 산정한 비용들은 Table 5와 같이 각 대안별 항목에 작성하였고, 작성된 비용을 토대로 10년 동안 발생하는 비용을 현재가(NPV: Net Present Value)로 환산하여 작성하였다.

Table 5. LCCA and LCA analysis result list

(Unit: Thousand Won)

Case	Division	Cost Item	1st yr cost	LCC (10yr)	
1	initial	materials	5,668	5,668	
		labor	4,542	4,542	
	maintenance	replacement	114	975	
		standby power	1,145	117,189	
		CO ₂ emission	58	5,916	
		demolition	labor	2,271	1,688
	total cost			135,988	
	2	initial	materials	26,652	26,652
			labor	4,542	4,542
		maintenance	replacement	300	2,558
standby power			1,052	107,647	
CO ₂ emission			53	5,434	
demolition			labor	2,271	1,688
total cost			148,521		
3		initial	materials	49,252	49,252
			labor	6,142	6,142
		maintenance	replacement	510	4,348
	standby power		242	24,729	
	CO ₂ emission		12	1,248	
	demolition		labor	2,571	1,911
	total cost			87,631	
	4	initial	materials	59,112	59,112
			labor	7,947	7,947
		maintenance	replacement	570	7,024
standby power			242	24,729	
CO ₂ emission			12	1,248	
demolition			labor	2,571	1,911
total cost			101,972		

Table 6. Sensitivity analysis

(Unit: Thousand Won)

Case	1.01%	2.01%	3.01%	4.01%	5.01%	6.01%
1	150,039	142,739	135,988	129,734	123,935	118,550
2	161,641	154,825	148,521	142,682	137,268	132,241
3	91,389	89,434	87,631	85,964	84,423	82,955
4	106,026	103,918	101,972	100,174	98,510	96,969

4.4 결과도출 및 최적안 선정

본 연구의 분석결과는 대안3, 대안4, 대안1, 대안2 순으로 경제적인 것으로 분석되었다. 즉 지능형 대기전력 제어시스템을 24시간 작동하는 전열부하에 100% 적용하고 기타 부하에 건축물의 에너지절약 설계기준에 따라 단순 대기전력 차단콘센트를 30%의 잔여수량(22.3%)을 적용하였을 때 가장 경제적인 것으로 나타났다. 특이한 것은 단순 대기전력 차단콘센트를 30% 적용하였을 경우 오히려 대기전력 차단콘센트를 적용하지 않았을 경우보다 전체비용이 많이 나오는 것으로 산출되었다. 이는 에너지절감 효과보다 초기투자비용이 커서 경제성이 없는 것으로 분석된다.

대안3은 초기투자비가 대기전력 차단콘센트를 적용하지 않는 대안1보다 45,175천원이 더 소요되지만 대안1 대비 연간에너지절감비용(전력소비량 및 CO₂절감비용 합계)은 949천원이며 투자회수년은 4.82년으로 산출됐다. 즉 수명주기를 10년으로 가정하였을 경우 대안3이 유지관리비 측면에서 이익이 가장 많이 발생한다. 이러한 결과에 근거하면 오피스빌딩에 대기전력차단콘센트를 적용할 경우 Off관리가 가능한 전열부하에는 단순형을 적용하고 관리가 불가능한 전열부하에는 지능형을 적정하게 적용하는 것이 가장 경제적인 방안이라는 것을 알 수 있다.

4.5 민감도 분석

본 연구에서는 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 실질 할인율을 3.01%에서 1.01%, 2.01%, 4.01%, 5.01%, 6.01%로 변경하여 민감도 분석을 실시하였다. 그 결과는 Table 6과 같이 할인율 변경에 따라 다소 비용의 차이는 발생하더라도 결과적으로 대안3이 가장 경제적인 것으로 산출되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 LCCA 및 LCA를 이용하여 경제적 측면과 환경적 측면을 종합적으로 분석하여 오피스 빌딩에 대기전력 차단콘센트 도입의 타당성 검토를 진행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

본 연구에서 실시된 LCCA 및 LCA의 분석결과에 따라 일반 오피스 빌딩에서 단순 대기전력 차단시스템을 적용할 경우 대기전력 차단시스템을 적용하지 않았을 경우보다 오히려 경제성이 없는 것으로 나타났다. 또한 본 연구에서 제안한 지능형 대기전력 제어시스템을 공용부위에 부분 적용하였을 경우 경제적인 것으로 나타났으며 그 초기투자비 대비 회수 기간은 4.82년으로 산출되었다. 본 연구를 통하여 향후 오피스빌딩에 대기전력차단시스템의 도입 및 대안선정에 있어서 합리적인 평가자료로 활용될 것으로 사료된다.

또한 건축물에 있어서 전기설비의 경우 경제성 분석에 관한 연구는 그동안 미미한 실정이었으며 본 연구에서 분석된 바와 같이 전기설비에 LCCA와 LCA 기법의 적용에 그 의의가 있다. 따라서 본 연구가 향후 건축물뿐만 아니라 기타 전기설비 도입의 타당성 검토에 도움이 될 것으로 기대한다.

요 약

기존의 대기전력차단시스템의 단점을 극복하고자 최근 지능형 대기전력 제어시스템이 개발되기에 이르렀다. 하지만 기존의 시스템 보다 투자금액이 높은 문제로 도입에 대한 타당성 검토가 필요하다. 이에 본 연구에서는 LCCA 및 LCA를 이용하여 경제적 측면 및 환경적 측면을 종합적으로 분석하여 도입의 타당성을 검토하였다. 또한 결과의

신뢰성을 확보하기 위하여 민감도 분석을 실시하였다.

키워드 : 오피스 빌딩, 지능형 대기전력 제어시스템, 생애주기비용분석, 생애주기평가

Acknowledgement

This research was supported by a grant (15RTRP-B083384-03-000000) from Railroad Technology Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government".

References

1. Song JY, Noh HJ, Ju YD, Kim J. Overseas Construction Case of The Building Energy Management System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. 2014 Jun;2014:214-7.
2. Shim KT. A Study on System of controlling electrical load of electrical outlet for office building and method thereof [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2013. 61 p.
3. Park JH. Korea Electrotechnology Research Institute provides services of 8000MVA class power test facility [Internet]. Seoul (Korea): Yonhapnews(C); 2015 Oct [cited 2015 Oct 30]. 1p. Available from: <http://www.knnews.co.kr/news/article-view.php?idxno=1161783>
4. Sur HS. Analysis Result for Korea Standby Power Reducing Policy and Forward Direction, JOURNAL OF ENERGY & CLIMATE CHANGE. 2012 Oct;7(2):71-88.
5. Kim YS. A Study on Energy Reduction Effects of Auto Standby Power Cutoff Socket [master's thesis]. [Suwon (Korea)]: Ajou University; 2014. 51 p.
6. Choi HK, Hwang SS, Kim YS. A Case Study on the Economic Analysis for a New Technology-Based Ventilation System Using LCC Technique, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2004 Dec;4(4):143-50.
7. Choi SH. A Study on the Integrated LCCA/LCA Model for Introducing High Efficient Motors into Air Ventilation Systems of Public Facilities [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2015. 51 p.
8. Quan JL, Choi SH, Kwon TH, Choi HM, Kim JH, Kim JJ. LCCA and LCA to Evaluate Feasibility for Introducing High-Efficiency Motors into Air Ventilation Systems of Public Facilities, Korea Journal of Construction Engineering and Management. 2015 Jul;16(4):41-9.
9. Kim YD, Cha HS, Kim KR, Shin DW. Evaluation Method of Green Construction Technologies Using Integrated LCC and LCA Analysis, Korea Journal of Construction Engineering and Management. 2011 May;12(3):91-100.
10. Kim, JH. (A) Study on the Analysis and Application of Life Cycle Assessment on Building Mechanical Systems [master's thesis]. [Suwon(Korea)]: Suwon University. 2006. 71 p.
11. Kang MS. Design and Implementation of Smart Building for Reducing Standby Power [master's thesis]. [Anyang(Korea)]: Anyang University; 2012. 75 p.
12. MBS ENG. Smart Quiescent Power Control System [Internet]. Seoul(Korea): MBS ENG CO., LTD; 2014. [updated 2014 Jul; cited 2015 Aug 12]. Available from: http://www.mbseng.co.kr/system/hpbbs/board.php?bo_table=data
13. Choi OY, Kim TH, Kim GH. A Study on Selection of Roof Waterproofing Method by analyzing Life Cycle Costing, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2008 Oct;8(5):127-34.
14. Shin TK, Koo JS, Lee SH, Hong TH, Koo KJ, Hyun CT. A Study on the Optimum Selection of Railroad Bridge Using LCC Analysis, Korean Society for Railway. 2007 May;2007:31-6.
15. Hong TH, Ji CY. Comparison of the CO2 Emissions of Buildings using Input-Output LCA Model and Hybrid LCA Model, Korea Journal of Construction Engineering and Management. 2014 Jul;15(4):119-27.
16. Ahn HR, Lim JH, Huh YK. Development of LCC-LCA Integrated Analysis Model for Efficiency. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2013 Oct;13(6):585-93.
17. Kim BS, Jung YH. Stochastic analysis for Real Rate Interest of Building Life Cycle Cost(LCC) with Monte-Carlo Simulation, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2012 May;12(1):161-3.