

중소규모 기존 건물의 에너지 개수 방법에 관한 실증연구

정희규*, 이영재**, 송두삼***

*성균관대학교 대학원 초고층·장대교량학과(heegyuj@gmail.com),
**(주)삼우종합건축사사무소 전략사업부 친환경설계팀(youngjae.lee@samoo.com),
***성균관대학교 건축공학과(dssong@skku.edu)

A Proposal of Energy Retrofitting Methods for Small-to-Medium Existing Building

Jeong, Hee-Gyu*, Lee, Young-Jae**, Song, Doosam***

*Dept. of Mega Buildings and Bridges, Graduate School, Sungkyunkwan University(heegyuj@gmail.com),
**Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan University(kantazang@naver.com),
***Dept. of Architectural Eng., Sungkyunkwan University(dssong@skku.edu)

Abstract

In recent years, building energy has received much attention and there are many support system to reduce building energy consumption. In addition, It is clear that encouraging to energy efficiency investments can be beneficial to our society, because of the energy supply instability and higher energy price in Korea. Nevertheless, ESCO business, represent the existing building energy retrofit business, hardly has not expanded in Korea. besides, in the case of existing building, it is more difficult to achieve the energy retrofit measures than new building, due to the existing buildings have attributes such as a long life and a lots of energy factor, etc. Therefore, for activate ESCO business and expand ESCO bussiness target to small-to-medium building, it is needed to optimization of retrofitting methods for existing small-to medium buildings in Korea. this research was to derive energy retrofit methods through the energy audit and analysis performed for a small-to-medium building located in Suwon, Korea.

Keywords : 건물 에너지 개수(Building Energy Retrofits), ESCO(Energy Saving Company), 에너지 진단(Energy Audit), 측정 및 검증(Measurement and Verification)

1. 서 론

건물 에너지 효율의 향상은 국가차원에서 에너지 수입 비용을 줄이고, 환경문제, 기후변화협약에 대한 효과적인 대응책이 된다. 특히 미국의 경우 ESCO사업을 중심으로 하

는 기존 건물의 에너지 개수 사업을 일자리 창출 모델로써 권장하고 있으며, 연간 활동 규모는 '00년 2조원¹⁾에서 '08년 4.1조원²⁾으

1) Julie Osborn, Chuck Goldman, Nicole Hopper, Terry Singer, Market Trends in the U.S. ESCO Industry : Results from the NAESCO Database Project, LBNL, 2002.

2) Andrew Satchwell, Charles Goldman, Peter Larsen, Donald Gilligan,

로 꾸준히 증가하고 있다.

국내 또한 이러한 건물 에너지의 중요성을 인식하고 많은 노력을 기울이고 있다. 국토해양부는 ‘그린 리모델링’ 정책을 통해 ‘20년까지 노후건축물의 약30%(약20만동)를 그린 리모델링하겠다고 예고하고 있어³⁾ 기존 건물의 에너지 개수 사업화 전망을 밝게 하고 있다.

또한 ESCO사업을 관할하는 에너지관리공단에서는 감축잠재량이 높은 건물 및 공공부문의 수요를 적극 창출하는 방안 등을 통해 ‘15년까지 1조원대(현 2천억원 규모) 시장규모로 확대될 것으로 전망하고 있다.⁴⁾ 이를 위해 ESCO사업의 기존 계약방식을 개선하여 ESCO가 자금을 조달하되 성과를 책임지는 ‘新성과배분계약’을 ‘11년 2월 도입하는 등 ESCO사업 활성화에 힘을 쏟고 있다.

ESCO사업의 수익성 또한 나쁘지 않은 것으로 보이는데, 김수덕(‘05년)⁵⁾은 국내 ESCO사업의 수익성 분석(‘93~04년 자료)을 통해 수익률이 상대적으로 낮은 프로젝트에서도 대체로 평균적인 시장 수익률을 보이고 있음을 보여주었다.

그러나 기존 건물의 에너지 효율을 높이는 에너지 개수 사업은 아직까지는 활성화되지 못하고 있는 상황이다. ESCO사업은 산업·발전 및 일부 대형건물 등 에너지다소비사업장 위주로 적용되며, 조명 및 열원, 냉난방 등 설비시스템에 국한하여 노후 장비 교체나 고효율시설 설치 위주로 활용되면서, 그 규모와 영역이 확대되지 못하고 사업의 건수와 금액 모두 ‘01년을 기점으로 더 이상 활성화되지 못하는 추세를 보이고 있다.⁶⁾ ESCO 사업기회의 축소는 결국 기술력 및 전문 인력

의 부족, 기술개발 투자저조, 기술수준 낙후, ESCO 사업 신뢰 상실이라는 악순환을 낳을 수 있다.

본 연구는 이러한 점에 주목하여 ‘그린 리모델링’ 정책에 부합하고, ESCO사업을 중소기업 건물까지 확대하여 건물에너지 개수 사업의 활성화를 뒷받침할 수 있는 기초 연구를 하고자 한다.

이를 위해 기존 에너지 개수 방법을 고찰하여 프로세스를 재정립하고, 건물에너지에 영향을 미치는 모든 요소를 검토하며, 사업화를 위해 경제성과 건물주의 요구를 최우선하는 방법 등으로 최적화 하고자 하였다. 또한 실제 건물에서 이를 수행해 봄으로써 중소기업 기존 건물의 에너지 개수 방법을 찾고자 한다.

2. 건물에너지 개수 방법 고찰

ESCO사업의 기존 건물에너지 개수 프로세스는 사업수준과 계약에 따라 차이는 있으나 기본적으로 그림 1의 단계를 따른다.⁷⁾ 진단 단계와 수행단계에서는 M&V(Measurement and Verification, 측정 및 검증)이 수행된다. M&V를 통해 개수안이 작성되고, 에너지 절감효과 및 비용절감 효과를 확인하여 ESCO 사업을 평가하기 때문에 공정하고 객관적인 M&V규정이 요구되며, 이 때문에 美ESCO 산업에서는 국제에너지효율기구(EVO)의 국제성능측정및검증규약(IPMVP)⁸⁾을 이용하고 있으며, 연방정부 프로젝트를 수행시 IPMVP보다 세분화된 美에너지국(DOE)의 M&V Guidelines⁹⁾을 활용하고 있다. 이러한 M&V의 중요성

and Terry Singer, A Survey of the U.S. ESCO Industry : Market Growth and Development from 2008 to 2011, LBNL, 2010.

3) 국토해양부, 녹색건축물 활성화방안, 건물에너지효율향상정책설명회 발표자료, 2011.6.

4) 하원형, 에너지관리공단, ESCO 사업의 현황 및 전망, 설비/공조·냉동·위생, 2010.11.

5) 김수덕, 국내ESCO사업의 수익성 분석, 응용경제, 제7권 제3호, 2005.12.

6) 에너지관리공단, 2011 에너지·기후변화 전망, 2011.8.

7) Caroline Fluhrer et al., Achieving Radically Energy Efficient Retrofits: The Empire State Building Example. ASHRAE Transactions 2010, vol 116, part2.

8) International Performance Measurement & Verification Protocol, Concept and Options for Determining Energy and Water Savings Vol. I, 2009.

9) M&V Guidelines Version 3.0, Measurement and Verification for Federal Energy Projects, FEMP, 2008.

을 국내에서도 인식하고 ESCO협회 등을 통해 IPMVP 등 관련 교육을 실시하고 있었다. 이렇듯 건물에너지 개수 방법에는 M&V 기준이 제시되어야 한다.

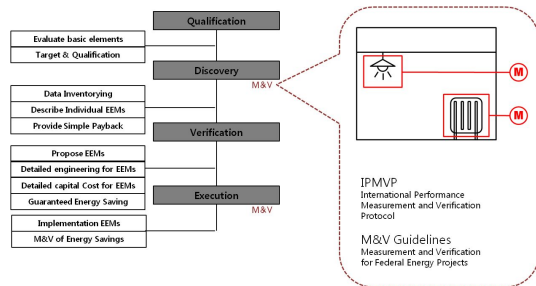


그림 1. ESCO사업의 건물에너지 개수 프로세스

다만 기존 ESCO 사업의 개수 방법론은 일정한 개수범위 내에서 개별적인 기기나 동종 설비 계통(Loops)의 성능을 명확하게 진단하고, 개수의 효과를 평가하는데 적합하기 때문에, 주로 조명설비나, 공조기기 및 열원기기, 냉·난방 계통에 대한 에너지 개수가 ESCO 사업의 대상이 된다. 그러나 개수의 범위가 넓고, 여러 설비 계통(loops)이 중첩되는 건물에너지 개수를 수행하고자하는 경우, 개수에 따른 복잡한 건물의 에너지 성능변화를 측정하기 어려운 한계를 가진다.

이에 Caroline Fluhrer¹⁰⁾ 등은 기존의 ESCO 사업의 수행 프로세스를, 건물에너지의 영향을 미치는 모든 요소를 고려한 통합적인 건물의 건물에너지 개수(Whole Building Retrofits)를 수행한 Empire State Building의 개수 사례의 프로세스와 비교하여 검토한 바 있다.

기존 ESCO 사업의 개수 프로세스 중 진단 단계가 Whole Building Retrofits의 개수 프로세스에서는 두 단계(Design Development, Design Documentation)로 세분화되었다. Design Development 단계에서는 개수범위가 한정되어 실측을 통하여 에너지 진단을 수행하는 기존의 ESCO사업과 달리, 건물전체의 성능

진단을 수행해야 하기 때문에 건물전체의 에너지 소비량을 검토하고, 건물요소별 세부 정보를 수집하고 있다. Design Development 단계에서는 건물전체로 범위가 확대됨에 따라 개수안에 대하여 직접적인 M&V 수행이 어렵기 때문에, 현장 조사/진단으로 수집된 정보를 바탕으로 작성한 건물에너지 모델(Baseline Model)을 토대로 시뮬레이션을 수행하여 개수안 평가를 수행한다.

이에 따라, 개수안 및 건물에너지 성능 분석을 위한 시뮬레이션의 중요성이 강조된다. 부정확한 시뮬레이션을 통한 에너지 절감량 예측은 에너지 개수 사업의 불확실성을 높이기 때문에, 건물에너지 모델 작성에 요구되는 건물요소의 입력 데이터를 정확하게 조사 및 진단하는 과정이 수반되어야 할 것이다.

3. 건물에너지 개수 방법 개선안 작성

기존 연구를 분석한 결과 도출된 중소건물의 에너지개수 방법 개선점은 다음과 같다.

- (1) 건물에너지 개수 사업화를 위해 개수안의 경제성 평가를 수반해야 한다.
- (2) 중소건물 에너지 개수의 범위는 건물에너지 효율에 영향을 미치는 모든 요소(건축, 설비, 운영)를 고려해야 한다
- (3) 에너지 진단과 개수안 효과 검토를 위한 객관적인 M&V규정을 정해야 한다.
- (4) 시뮬레이션을 위한 건물에너지 모델 작성에 요구되는 건물요소의 입력 데이터를 M&V규정에 따라 조사/진단해야 한다.
- (4) 건물은 시공의 견실도, 경년변화, 용도 변경 등에 따라 설계성능이 저하되기 때문에 실제 성능을 진단할 수 있는 세부수행 사항 및 분석기술을 포함해야 한다.

위 개선점을 바탕으로 기존 건물의 건물에너지 개수 방법을 개선하였으며, 개수 구현 및 후속조치 단계는 연구범위에서 제외하였다. 그 프로세스 및 개요는 그림 2와 같다.

10) Ibid.

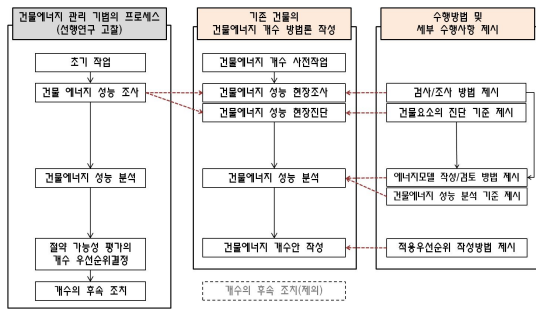


그림 2. 건물에너지 개수 방법 개선의 주요 개요

4. 건물에너지 개수 방법의 현장 적용성 평가

개선한 개수 방법의 적용성 평가를 위해 대상건물을 선정하여 에너지 개수를 수행하였다. 대상건물 일반개요는 표 1과 같다.

4.1 건물에너지 개수 사전작업

'08년 일부 내부 공간 구획 및 용도변경 이력을 확인하였고, 준공도서 및 리모델링 도면을 검토하여 공간 구성 및 용도, 냉·난방 시스템에 관한 일반정보를 습득하였다.

4.2 건물에너지 성능 조사 및 진단

결함검사(외피단열/기밀)에서 특별한 결함은 확인하지 못하였다. 관리자 인터뷰를 통해 건물의 운영실태, 냉·난방시스템, 향온향습실 운영 정보 등을 수집하였으며, 기록조사를 실시하여, 냉·난방기기 및 사무기기 조사, 조명기기 설치 실태 및 운영 정보 기록조사, 실 용도변경 사항 기록 조사를 수행하였다. 상당수 설계도서와 위치 및 규격이 상이한 점은 현장 진단의 중요성을 말해준다.

성능 진단 시 설계도서로 성능을 규명할 수 없었던 창호성능과 외피 기밀성, 설계성능 저하가 예상된 외피 단열성능 측정 등을 진행하였다.(표 2, 그림3 참조) 외피단열성능은 ISO 9869에 따라 진단하였으나 실내의 온도차가 미미하여 열류계에 충분한 열류량이 발

생되지 않아, 설계도서를 바탕으로 KS L ISO 6946에 따라 수치계산 되었다.

표 1. 대상 건물 개요

구 분	내 용
건 물 명	한국도로공사 동수원영업소
준공년도	2001년
대지위치	경기 수원시 팔달구 이원동
용 도	1종근린생활시설(사무소)
연 면 적	759.06 m ²
구 조	철근콘크리트조
규 모	지하1층 / 지상2층
마 감	알루미늄복합판넬, 칼라복층유리

표 2. 대상 건물의 성능진단 수행사항

구 분	기간구분	내 용	
건물 외피	창호성능	단기-1일	레이어 구성, 성능 측정
	단열성능	장기-1주	창호 및 벽체 관류율 측정
	열화상	단기-1일	방위별 외피 열적결함
	기밀성능	단기-1일	대표실, 방풍실 기밀성
실내 온열 환경	실온도분포	장기-2주	수직/수평온도 분포 측정
	열쾌적성	장기-2주	온도, 기류, 습도, 복사온도
외기	냉난방설비	장기-2주	설정온도, 취출/리턴온도
	실외기후	장기-2주	외기 온습도, 일사량 등

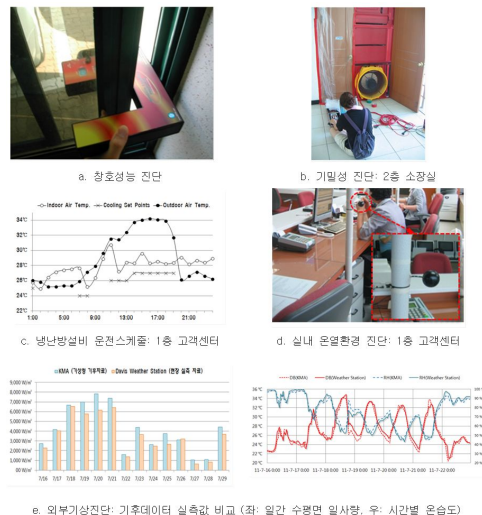


그림 3. 건물에너지 성능 조사 및 진단

4.3 건물에너지 성능 분석

이전 단계에서 수집된 정보를 바탕으로 건물에너지 모델을 작성하였다. 연간 에너지 시뮬레이션을 수행 틀은 사용자의 제어 모듈 구현이 용이한 TRNSYS16을 사용하였다. 각 실을 실제 운전형태에 따라 공조, 비공조, 간헐운전, 항온항습, 주간운전으로 Zoning을 구분하였다. 소규모 사무용 건물로 냉난방 운전에 관한 기록정보가 없어 냉·난방기기의 취출/리턴 온도 및 실내온도를 검토하여 운전 스케줄을 작성하였다.

에너지 사용량은 사전조사 결과 대상건물과 톨게이트에서 사용한 총 전력량만을 보유하고 있어, 별도의 전력량계를 설치하여 약 2개월간 대상건물 소비전력량 측정 및 과거 3년간의 전력사용량과 비교하여, 건물 사용량을 분리 산출하였다.

작성된 건물에너지 모델 검증에 위해 시뮬레이션을 통한 에너지 사용량 예측값과 실제 건물의 사용량을 통계적인 방법으로 검토하였다. 앞서 고찰한 규정¹¹⁾에 따라 Whole Building단위에서 Baseline Model을 보정하는 경우의 월간 에너지사용량 데이터 허용보정오차 범위인 MBE(mean bias error, 평균편향오차) $\pm 5\%$ 와 Cv(RMSE) (coefficient of variation of the root-mean-squared error, 평균제곱근 오차의 변동계수) 15%를 벗어나지 않는지 검토하였다. 전력의 경우 MBE -3.1%, Cv(RMSE) 0.6%, 경유의 경우 MBE 4.1%, Cv(RMSE) 7.1%로써 작성된 건물에너지 모델이 타당함을 검토하였다.(그림 4, 그림 5참조)

보정된 건물에너지 모델을 바탕으로 연간 에너지 사용량 시뮬레이션을 수행함으로써 에너지 세부 내역을 확인하였다.(그림 6참조)

냉방부하가 상대적으로 작은 것은 공공기관 에너지절약 지침에 따라 여름철 실내온도를 28도 이상 유지했기 때문인데, 측정된

PMV는 그림 7과 같이 최대 2.09, 평균 1.13, 최소 0.88로 쾌적범위를 벗어났다.

최종 산출된 에너지사용량을 단위면적당 연간 1차 에너지 소요량으로 환산한 결과 311kWh/m²·year로 건축물에너지효율 2등급에 해당하는 것으로 나타났다.

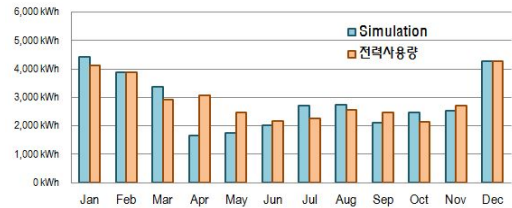


그림 4 시뮬레이션 예측 전력소비량 검토

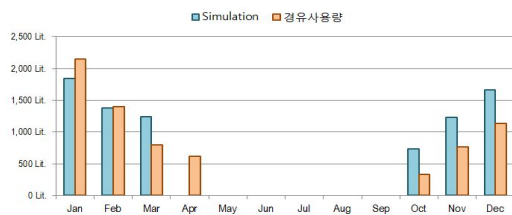


그림 5. 시뮬레이션 예측 경유소비량 검토

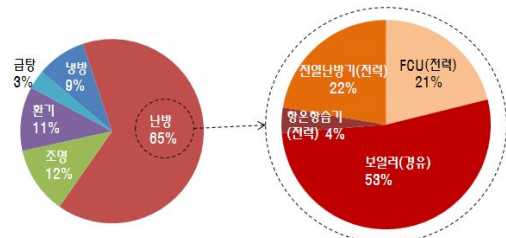


그림 6. 1차 에너지 소비 내역

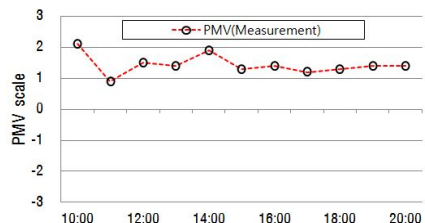


그림 7. 실내 열쾌적성 진단 (PMV)

11) FEMP (2008), op.cit.

표 3. 개별 개수안에 대한 에너지지수 평가

구분	개별 개수안		에너지지수	적용우선순위 및 1차에너지절감량	
Passive Design (중부기준)	벽체	외기직면	0.36 W/m ² K 85T 비드법2종2호	0.29	Level 1 (0.2이상)
			3,829 천원		
	외피단열	외기간면	0.49 W/m ² K 60T 비드법2종2호	0.07	Level 3 (0.1미만)
			186 천원		
	지붕	외기직면	0.20 W/m ² K 160T 비드법2종2호	0.18	Level 2 (0.1~0.2미만)
			14,167 천원		
	창호	외기직면	2.4 W/m ² K 24T Low-E복층	0.13	Level 2 (0.1~0.2미만)
		기밀성(KS)	1등급 (5m3/hm2@50Pa이하)		
	차양	남향 및 서향 창면적 80%이상 적용	적용(식당) 외부 고정식	0.15	Level 2 (0.1~0.2미만)
			2,285 천원		
Active Design	고효율 조명	램프 20% LED 45W	1.17	Level 1 (0.2이상)	
	LED조명적용비율	2,026 천원			
	난방기기	기름보일러효율(%) 92%	0.23	Level 1 (0.2이상)	
		고효율진공온수보일러			
폐열회수	폐열회수열교환환기	적용(효율70%) 전열교환기350CMH*2	-0.18	삭제(에너지증가)	
		3,310 천원			
Renewable	태양열	태양열 급탕설비	급탕부하 10%	0.12	Level 2 (0.1~0.2미만)
			태양열(평판형)		
	태양광	태양광 발전설비	전기용량 2%	0.03	삭제 (0.05이하)
		고정식, 후면통풍형			
투자비용		합계	87,761 천원		

4.4 건물에너지 개수안 작성

개수 목표는 사전작업 단계에서의 의견수렴과 분석된 에너지 성능 수준을 바탕으로 정량적으로 달성여부를 확인할 수 있는 객관적 지표를 중심으로 3가지를 작성하였다. 첫째, 건축물에너지효율 1등급 수준 성능구현. 둘째, 신축 공공기관 에너지성능지표(EPI)기준인 74점 이상 달성. 셋째, 쾌적한 실내환경구현을 위해 PMV를 ±0.5로 유지하여 예상불만족율(PPD) 5%이하 유지이다.

먼저 개수 목표 달성 전략으로써 적용 가능한 요소기술을 국내외 에너지 절약 설계 기준 및 가이드를 조사하여 외피, 조명 및 자연채광, 전력부하, 공조시스템 및 장비, 신재생에너지, 기타의 분류로 리스트화 하였다.

$$\text{에너지지수} = \frac{\text{연간1차에너지 절감량(kWh)}}{\text{투자비용(천원)}} \quad (1)$$

이후 개별 개수안을 에너지 지수(식 1)로 평가해 경제성 높은 요소를 우선 적용하며, 건물자체성능 향상을 통한 부하감축을 위해 패시브적 요소를 우선 하였다. 단 EPI 목표를 위해 에너지를 절감하면서 공공건물의 건축기준을 만족할 수 있는 개수안을 에너지지수에 따라 선별하여 종합적 개수안의 EPI점수를 74점 이상 유지하였다. 투자비용은 일위대가표와 물가정보를 이용하여 재료의 할증과 노무공수를 적용하였다.

종합적 개수안은 에너지지수가 유사한 범위별로 그룹화 하였다.(표 5 참조) 종합적 개수안의 에너지 성능 및 경제성 평가 결과는 그림 6와 같다. Level 1에서 목표한 건물에너지효율 1등급을 달성하며, 에너지 절감비용 연간 1,122천원, 투자비 15,892천원으로 단순회수기간은 14년이다. 회수기간이 긴 이유는 전력사용이 많은 톨게이트와 대상건물이 통합된 계약전력으로 부과하기 때문에 건물 전

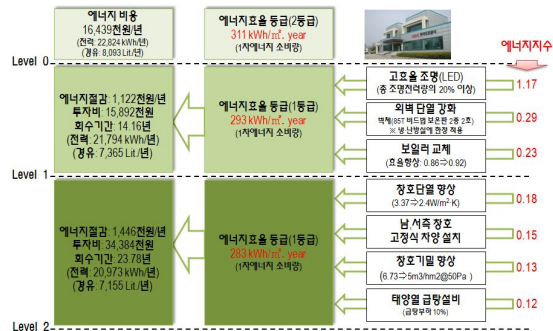


그림 6. 종합적 개수안의 경제성평가

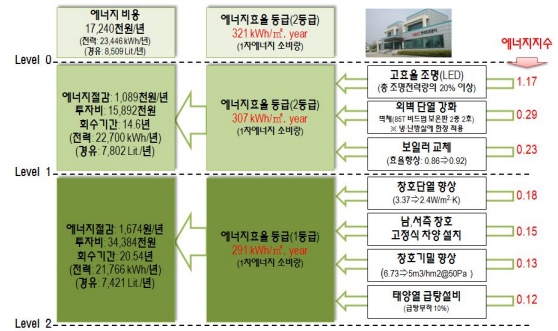


그림 7. 쾌적성개선 종합적 개수안의 경제성평가

력절감 효과가 미미하게 나타났기 때문이다. 향후 건물 별도의 계약전력량을 체결할 수 있다면 회수기간이 감소할 것이다.

추가로 실내쾌적성을 개선하여 실내설정온도를 조정했을 때, 종합적 개수안의 결과는 그림 7과 같이 Level 2에서 에너지효율 1등급이 달성되었으며, 에너지절감비용은 연간 1,674천원, 투자비 15,892천원, 단순 회수기간 20.54년으로 나타났다.

5. 결론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존 건물의 에너지 개수 관련 고찰을 통한 개선점 도출
- (2) 기존 건물의 에너지 개수 방법 정립
- (3) 사례연구를 통한 개발된 건물에너지 개수 방법의 현장 적용가능성 검토

본 연구의 대상건물과 같은 중소규모 건물의 에너지 개수에서는 에너지 조사/진단과 건물에너지 모델의 정확성을 높일 때, 그 개수안이 실효성을 가질 수 있다고 생각된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 「세계수준의 연구중심대학(WCU)육성사업」의 지원을 받아 수행되었음(R332011000100270)

참 고 문 헌

1. Julie Osborn, Chuck Goldman, Nicole Hopper, Terry Singer, Market Trends in the U.S. ESCO Industry : Results from the NAESCO Database Project, LBNL, 2002.
2. Andrew Satchwell, Charles Goldman, Peter Larsen, Donald Gilligan, and Terry Singer, A Survey of the U.S. ESCO Industry : Market Growth and Development from 2008 to 2011, LBNL, 2010.
3. 국토해양부, 녹색건축물 활성화방안, 건물에너지효율향상정책 설명회 발표자료, 2011. 6.
4. 김수덕, 국내ESCO사업의 수익성 분석, 응용경제, 제7권 제3호, 2005. 12.
5. 에너지관리공단, 2011 에너지·기후변화편람, 2011. 8.
6. Caroline Fluhrer et al., Achieving Radically Energy Efficient Retrofits: The Empire State Building Example. ASHRAE Transactions 2010, vol 116, part2.
7. International Performance Measurement & Verification Protocol, Concept and Options for Determining Energy and Water Savings Vol. I, 2009.
8. M&V Guidelines Version 3.0, Measurement and Verification for Federal Energy Projects, FEMP, 2008.