

학교 건물의 성능개선에 관한 연구

A Study on the Energy Performance Renovation in School

○ 이 동 주 김 기 훈 박 진 철

Rhee, Dong-ju Kim, Ki-hoon Park, Jin-chul

Abstract

Until now building renovation has been mainly focused on commercial buildings and houses. But school buildings have been unconcerned at this area whereas there are many buildings that show up under performance and old fashioned one which is needed to renovation. The purpose of this study is to analyze the renovation environments and to suggest the appropriate methods according to the energy renovation in the outworn school building. Through the site survey, questionnaire survey and energy simulation, we know that what's the main property of the energy performance renovation on the model building.

The results of this study were as follows. In model building, large amount of heat are lost at the building envelope, such as not-insulated skin, window-sill and window-frame joints. And, according to the simulation result compared to pre-renovation condition, about 15% of heating energy is saved by the insulating works.

키워드 : 성능개선, 학교건물, 에너지 시뮬레이션, 현장조사

Keywords : Renovation, School Building, Energy Simulation, Site Survey

1. 서론

최근 건축기술의 급속한 발전과 더불어 많은 건물들은 형태적 및 기술적 수준의 향상에 따라 지속적인 환경개선이 이루어지고 있다. 그러나, 교육시설인 학교건물은 충분한 투자가 이루어지지 못하는 경우가 많으므로 상대적으로 대부분 열악한 환경이 개선되지 못하고 있다.

더욱이 학교건물은 그동안 시설의 양적인 팽창에 주력하여 질적인 면에서의 관심이 미흡하였고, 유지보수가 제대로 되지 않아 구조적 노후화가 가속화되고 있어 성능면에서 볼 때 현대적 건물

의 수준과는 큰 차이를 보이고 있는 실정이다.

본 연구는 대상 학교건물 중에서도 특히 80년대 이전에 지어져 "건축물의 에너지 절약"조항이 적용되기 이전에 건립된 無斷熱 건물을 선정하여 건물성능개선의 필요성을 고찰하고, 대상건물에 대한 설문조사와 열성능을 측정하고 분석하였다. 그리고, 성능개선방법으로 기존 건물에 적용가능한 외피단열기술 등을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검토함으로써 건물의 가치를 상승시키고 나아가 쾌적한 교육환경을 창출하는 학교건물의 성능개선방안을 제시하고자 한다.

2. 건물의 성능개선

건물성능개선(Building Renovation)이란 기존건물의 구조적, 기능적, 미관적, 환경적 성능이나 에

* 정희원, 경민대 전임강사, 중앙대 대학원 박사과정

** 정희원, 전 대우기술연구소 주임연구원

*** 정희원, 경민대 조교수, 공학박사

너지 성능을 개선하여 거주자의 생산성(productivity), 쾌적성(comfort) 및 건강(health)을 향상시킴으로서 건물의 가치를 향상시키고 경제성을 높이는 것을 말한다.

건물성능개선은 기존의 성능이 그대로 유지되어도 건물의 운영은 문제가 없으나 성능개선을 통하여 가치를 향상시키고자 하는 선택적 수단이다. 이에 따라 건물 성능개선방안에는 매우 다양한 대안이 제시될 수 있으며, 의사결정을 위해서는 체계적인 방법론에 의한 대안선택과 경제성분석이 필수적이다.

건물의 성능개선은 다음의 5가지 분야로 분류할 수 있다.

- 1) 구조적 성능개선
- 2) 기능적 성능개선
- 3) 미관적 성능개선
- 4) 환경적 성능개선
- 5) 에너지 성능개선

본 연구에서 대상으로 하는 외피단열을 통한 에너지 성능개선은 에너지절약에 의한 건물의 가치상승과 함께 실내환경조건의 수준향상에 따른 환경적 성능개선효과를 기대할 수 있고, 동시에 건물의 전반적인 외관변화를 통해 미관적 성능개선도 기대할 수 있기 때문에 건축전반에 영향을 미치고 있는 것이다.

3. 대상건물의 현장 실측

3.1 개요

본 연구는 학교건물의 성능개선을 위하여 비교적 건물의 경과년수가 오래된 건물중 '건물의 에너지 절약'에 대한 조항이 적용되기 이전에 지어진 무단열의 건물을 대상으로 현장측정을 하였다.

현장실측 대상이 된 학교건물의 개요를 표 1.에 나타내었고, 건물 경년경과에 따라 노후화된 성능으로 인해 발생하는 문제점을 단열, 방습측면과 누수측면으로 요약하여 표 2.에 정리하였다.

표 1. 현장실측 대상 건물 개요

건축구조	철근콘크리트조
층수	6층
층고	3.2 m
건축연면적	9970 m ² (2955 평)
건립년도	1973년 (약 26년 경과)
단열재	무단열
창면적비	약 50 %
설비시스템	난방 - 석유난로, (온풍기) 냉방 - 없음 (전산실은 패키지에어콘) 조명 - 형광등 전반조명 위생 - 음용수 : 고가수조 잡용수 : 山頂池 중력급수 기타 - LAN 통신망
건물 이용 현황	설치학과 - 예체능계열 3개 학과 공업계열 - 3개 학과 식품계열 - 1개 학과 교육편성 - 주간반, 사회교육원(주간) 야간반, 산업체반(야간) 건물사용시간 - 일별 8:30 ~ 22:30 - 주별 월~금 - 연간 2월말~6월말 (약 16주) 8월말~12월초 (약 16주) 강의실 평균가동률 - 주간 53 % 야간 65 %
기 타	건립이후 부분 개보수 및 증축

표 2. 성능부족 주요 증상

구 분	내 용
단열, 방습	· 냉/난방효과 감소 및 에너지 비용의 증가 · 옥상슬라브의 일사축열에 따른 최상층의 무더위 현상 · 구조체의 과냉, 과열에 따른 외부 / 내부 기온역전현상 심화 · 지면과 접하고 있는 1층 바닥 슬라브면의 결로발생 심화
구조부위 누수	· 옥상슬라브 방수불량으로 인한 빗물 누수피해 발생 · 외벽과 창문틀 사이의 기밀시공 불량으로 인한 과도한 침기 및 빗물 침투에 의한 피해

3.2 설문조사

거주자의 반응도를 알아보기 위하여 재학생을 대상으로 5월말~6월초 설문조사를 실시하였다. 설문중에서 학교시설과 관련된 사항을 정리, 요약 하면 다음과 같다(그림 1., 그림 2., 그림 3. 참조).

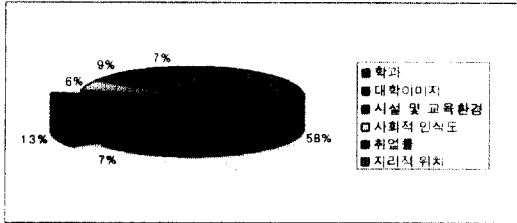


그림 1. 대학선택시 가장 중요하게 생각되는 사항

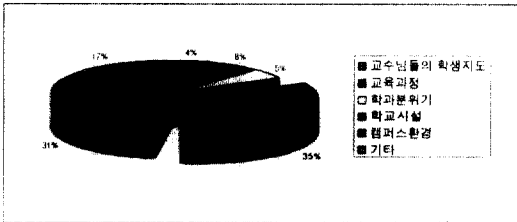


그림 2. 대학에 대한 불만족 사항

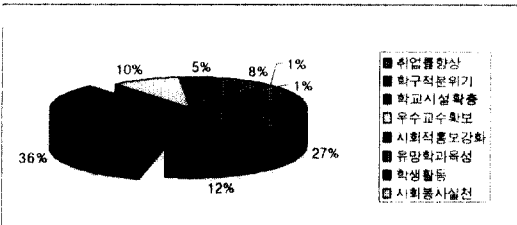


그림 3. 대학에 대한 희망 사항

설문조사결과에서 학교시설과 관련한 사항이 차지하는 비중은 학교선택시 19%, 학교에 대한 불만 사항의 35%, 학교에 대한 희망 사항의 36%로 나타나고 있다. 특히, 학교에 대한 불만 및 희망사항 부분의 빈도가 가장 높게 나타난 배경에는 대상학교의 낙후된 건물 및 캠퍼스환경등 특수한 상황이 반영된 것으로 보인다.

3.3 열성능 측정

TVS(Thermal Vidio System)을 이용하여 대상 건물 중앙부 남향에 위치한 6층 전산실 외피를 대상으로 열성능을 측정하였다.

측정시기는 1999년 4월 9일부터 10일까지 실시되었고, 이 기간은 중간기로서 외기온이 약 10도 안팎의 분포로 일반강의실보다도 발열밀도가 높고 또한 온풍기가 설치되어 실온조절이 용이한 전산실을 측정장소로 선정하였다. 이 때, 기상조건은 외기온이 평균 10.4~11.2℃, 평균습도 65%, 풍속 2~4 m/s의 분포를 보였고, 측정실의(전산실) 온도 및 습도는 각각 평균 22℃와 74%로 나타났다.



그림 4. 벽체 외표면의 적외선 사진



그림 5. 전산실 외벽 내표면의 적외선 사진

그림 4.와 그림 5.는 외벽에 대해 실내와 옥외에서 측정 위치를 달리하여 TVS로 촬영한 적외선 사진으로 열손실은 창문과 창대부위 및 단열재가 설치되지 않은 외벽면을 통하여 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

4. 열성능 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 개요

열성능 시뮬레이션에는 표 1.에 나타난 개요에 따라 대상건물의 면적과 외피구조 등을 입력하였다. 또한, 실내에서 발생하는 열량에 대한 정확한 입력을 위하여 연중 학교운영계획 및 시설사용시간 등의 자료를 토대로 인체, 기기, 조명에 대한 스케줄과 발열량을 입력하였다. 또한 사용스케줄 및 실내발열 정도의 차이에 따른 각 실간의 열교환을 고려하기 위하여 체육관, 조리실, 강의실, 교수실, 컴퓨터실 등을 각각의 Zone으로 구획하여 해석하였다.

또한 실내 설정온도는 냉방시 설정온도 26℃, 난방시 설정온도 20℃의 중간값인 23℃를 이용하여 최대 냉난방부하 및 연간 에너지소비량을 예측하였다.

시뮬레이션 변수로는 기존 비단열벽체와 단층유리에 대응하여 첫째, 외단열 시공, 둘째, 외단열+Pair-Glass 시공, 셋째, 화강석+중단열시공, 넷째, 화강석+중단열+Pair-Glass 시공으로 나누어 해석하였다. Simulation Program은 DOE-2.1E 를 이용하였다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

(1) 건물 최대 냉난방부하

대상건물의 최대 냉난방부하를 변수에 따라 해석한 결과는 표 3. 및 그림 6., 그림 7.과 같다.

냉방부하의 경우 단열보강시 외단열 및 중단열 모두에서 약 7.5% 감소되는 것으로 나타났으며, 난방부하의 경우에는 약 15% 감소되는 것으로 나타났다. 또한 Pair-Glass 적용에 따라서는 창을 통한 일사차폐 및 열손실방지에 의해 냉방부하의 약 12%, 난방부하의 약 28%가 감소되는 것으로 나타났다.

즉, 단열보강에 의해 냉난방 최대부하의 절감효

과를 나타냈으며, 창호의 경우에도 Pair-Glass 채택시 냉방부하의 약 5%, 난방부하의 약 13%를 절감시킬 수 있음에 따라 우선적으로 외피와 창호의 단열성능을 향상시키는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 3. 변수별 최대 냉난방부하

변 수	최대 냉방부하 (kW)	감소 비율 (%)	최대 난방부하 (kW)	감소 비율 (%)
비단열+단층유리	660.573	0.0	-802.399	0.0
외단열+단층유리	610.980	7.5	-683.614	14.8
외단열+Pair-Glass	581.383	12.0	-578.862	27.9
화강석+중단열+단층유리	610.712	7.5	-683.209	14.9
화강석+중단열+Pair-Glass	581.115	12.0	-578.457	27.9

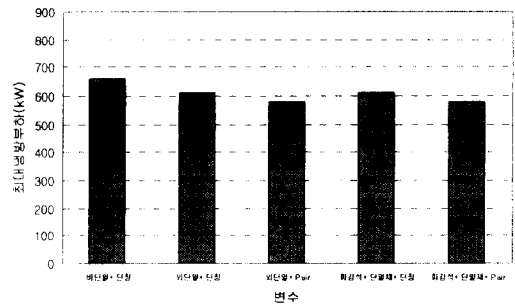


그림 6. 변수별 최대 냉방부하

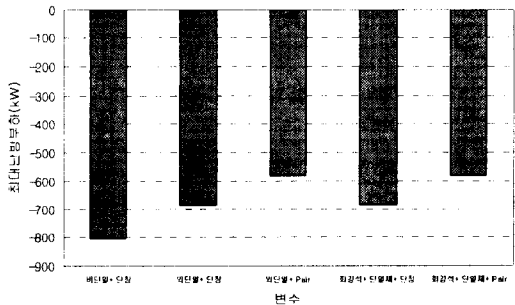
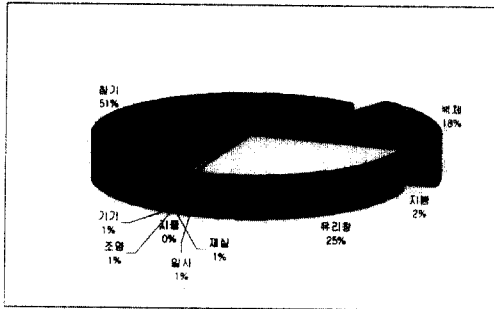


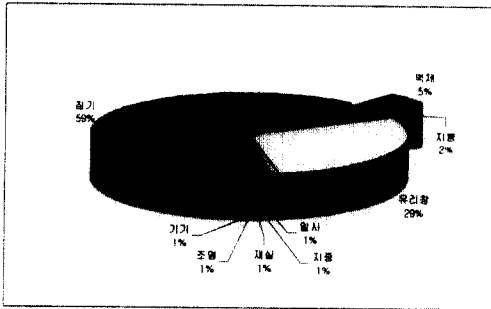
그림 7. 변수별 최대 난방부하

한편, 건물에서의 성분별 부하해석 결과인 그림 8.에 따르면 비단열구조의 경우에서 벽체가 차

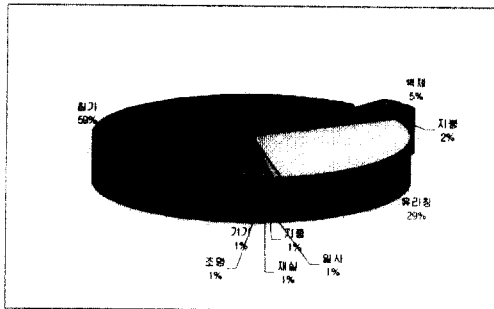
지하는 부하의 비중은 난방부하에서 약 18%에 이르렀으나, 단열구조를 채택하고 난 이후 약 5%로 13% 정도의 절감을 보임을 알 수 있다.



(a) 무단열



(b) 외단열



(c) 화강석+중단열

그림 8. 단열보강시 성분별 최대 난방부하

따라서 외단열 구조 혹은 화강석 중단열 구조의 단열보강시 난방부하에서는 상당한 에너지절감효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 연간 냉난방에너지

건물의 전체 에너지 절약 효과를 판단하기 위해서는 연간 에너지 소비량을 비교함으로써 가능해진다. 본 Simulation에서의 연간 에너지 소비량을 변수별로 나타내면 표 4.와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 그림 9. 및 그림 10.과 같다.

표 4. 변수별 연간 에너지소비량

변 수	냉방 (MWH)	절감 비율 (%)	난방 (MWH)	절감 비율 (%)
비단열+단층유리	654.864	0.0	-782.381	0.0
외단열+단층유리	677.443	-3.4	-531.464	32.1
외단열+Pair-Glass	708.695	-8.2	-370.831	52.6
화강석+중단열+단층유리	676.826	-3.4	-531.122	32.1
화강석+중단열+Pair-Glass	708.075	-8.1	-370.486	52.6

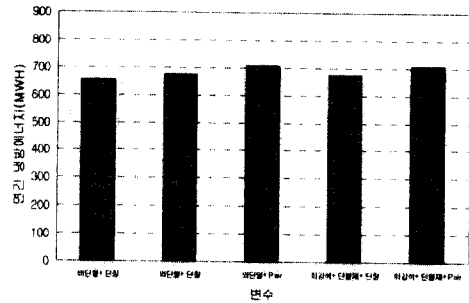


그림 9. 변수별 연간 냉방에너지 소비량

그림 9.로부터 연간 냉방에너지의 경우 단열보강 및 Pair-Glass 채택에 의해 오히려 증가함을 보이고 있는데, 이러한 현상은 조리실의 기기발열, 체육관의 인체발열 및 사무실 등의 기기발열 등 실내발열이 외피의 단열성능 강화로 인해 외부로 방출되지 못함에 기인한 것으로 보인다. 따라서 냉방에너지의 효율적인 절약을 위해서는 냉방시 적절한 환기시스템을 통한 실내발열제어가 필요할 것으로 판단된다.

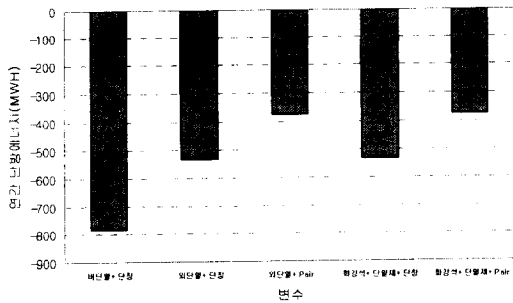


그림 10. 변수별 연간 난방에너지 소비량

반면, 그림 10.에서 알 수 있듯이 난방에너지 소비량에서는 외피단열 및 유리창 열성능 향상으로 인해 30~50%의 높은 에너지 절약을 유도하고 있었다.

5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현장실측을 통하여 대상건물에서 나타나고 있는 성능부족 사항은 단열 및 방수, 방습 불량에 의한 것이 주된 요인이 되고 있는 것을 알 수 있었다.

(2) 대상건물에 대한 설문조사결과 학교시설개선은 사용자가 희망하는 최우선 사항으로 건물성능개선에 대한 거주자의 반응도를 확인하였다.

(3) TVS에 의한 적외선 사진촬영을 통하여 외피(외벽)면에서 열손실이 과다하게 이루어지고 있는 부위는 유리창과 시공상태가 불량한 창대부위 그리고 단열재가 설치되지 않은 외벽면임을 확인할 수 있었다.

(4) 단열재 보강에 따른 최대 부하 해석결과, 약 15%의 난방부하 절감효과를 나타냈으며, 창호의 경우, Pair-Glass 채택시 난방부하의 약 5%, 난방부하의 약 13%를 절감시킬 수 있음에 따라 우선적으로 외피의 단열성능을 향상시키는 것이

바람직한 것으로 판단된다.

(5) 연간 에너지 해석 결과, 냉방에너지의 경우 실내발열이 외피의 단열성능 강화로 인해 외부로 방출되지 못함에 따라 외단열 및 Pair-glass 설치가 오히려 불리한 것으로 나타났다. 그러나, 난방에너지 소비량에서는 외피단열 및 유리창 열성능 향상으로 인해 30~50%의 높은 에너지 절약을 유도하고 있음에 따라 효율적인 에너지절약을 위해서는 냉방시 적절한 환기 스케줄을 통한 실내 발열제어가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 이연구, 건물성능개선의 필요성과 방향, 1999, 6, 한국건축설비학회, 건축설비 2권 2호, Vol.2 No.2, pp. 4-10.
- (2) 박효순, 김영호 외, 학교건물의 환경개선을 위한 냉난방시스템 연구, 한국에너지기술연구소, 1998
- (3) 이연구 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 1991
- (4) 공기조화 냉동공학회, 부하계산 및 기상자료 표준화를 위한 발표회, 공기조화냉동공학회, 1993
- (5) 박종일, 설비갱신과 진단, 한미, 1993
- (6) 경민대학, 대학요람, 경민대학, 1999
- (7) ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK 1997 FUNDAMENTALS, ASHRAE, 1997.
- (8) L.B.L., DOE-2 Basics Version 2.1E, 1994.
- (9) John A. Watson, Residential Evaluation and Retrofit, 1983