학교건물의 에너지 성능개선에 관한 연구

박 진 철†
경민대학 건축과

A Study on the Improvement of Energy Performance in School Buildings

Jin-Chul Park†
Department of Architecture, Kyungmin College, Euijeongbu 480-702, Korea

(Received October 17, 2003; revision received November 20, 2003)

ABSTRACT: The purpose of this study is to improve of energy performance in school buildings. Many building renovations have mainly focused on commercial buildings and houses, but school buildings have no attention in this field although there are many buildings that show degraded energy performance and there are many old fashioned buildings which need renovation.

This study was carried out through the survey, field study, energy simulation and life cycle cost analysis.

The results of this study can be summarized as follows: In model building, large amount of heat were lost at the building envelope, such as non-insulated skins, window-sills and window-frame joints. According to the simulation result, about 15% of heating energy is saved by the insulating works compared to pre-renovation condition. Also, LCC analysis revealed to be more effective to select a exteria wall insulation such as a dryvit system.

Key words: Renovation(성능개선), School building(학교건물), Energy simulation(에너지시뮬레이션), Survey(현장조사), Exteria wall insulation(외단열), Life cycle cost(경제성평가)

기 호 설 명

TVS : 적외선열화상시스템(Thermal Video System)
LAN : 근거리통신망(Lacal Area Network)
DOE : 미국에너지부(Department Of Energy)
LCC : 경제성(Life Cycle Cost)

1. 서 론

최근 경제 및 산업 발달에 따라 건축부문에서 도 많은 발전을 이룩하였고, 특히 쾌적한 건축환경에 대한 요구는 그 어느 때보다도 강조되고 있는 상황이다.

그러나, 교육시설인 학교건물은 다른 건물에 비하여 상대적으로 대부분 열악한 환경을 가지고 있는 것으로 파악되고 있다. 즉, 학교건물은 그동안의 경제발전에도 불구하고 시설의 양적인 팽창에만 주력하여 질적인 면에서의 관심이 매우 미흡한 것으로 알려져 있다. 특히, 유지보수가 제대로 되지 않아 구조적 노후화가 한층 가속화되고 있었고 성능 면에서 볼 때 현대적 건물의 수준과는 큰 차이를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

따라서, 본 연구는 학교건물을 대상으로, 특히 1980년대 이전에 지어져 "건축물의 에너지 절약"

† Corresponding author
Tel.: +82-31-828-7291; fax: +82-31-828-7291
E-mail address: jcpark@kyungmin.ac.kr

조항이 적용되기 이전에 건립된 無斷熱(No Insulation) 건물을 선정하여 건물 성능개선의 필요성을 고찰하고, 대상건물에 대한 설문조사와 현장조사로 건물의 열성능을 측정하고 분석하였다. 또한, 성능개선방법으로 기존 건물에 간단히 적용 가능한 외피단열기법 등을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 적용하였고, 이에 대한 경제성도 고려하였다. 그러므로, 이와 같은 연구는 21C의 건물의 에너지 절약 및 가치 상승과 나아가 쾌적한 건축환경 창출에 이바지할 것으로 기대된다.

2. 건물의 성능개선

2.1 건물 성능개선 개요

건물 성능개선(Building Renovation)이란 기존 건물의 구조적, 기능적, 미관적, 환경적 성능이나 에너지 성능을 개선하여 거주자의 생산성(productivity), 쾌적성(comfort) 및 건강(health)을 향상시킴으로써 건물의 가치를 향상시키고 경제성을 높이는 것을 말한다. 즉, 건물 성능개선은 기존의 성능이 그대로 유지되어도 건물의 운영은 문제가 없으나 성능개선을 통하여 가치를 향상시키고자 하는 선택적 수단이라고 한다. 이에 따라 건물 성능개선방안에는 매우 다양한 대안이 제시될 수 있으며, 의사결정을 위해서는 체계적인 방법론에 의한 대안선택과 경제성 분석이 필수적이라 한다.

건물의 성능개선은 구조적 성능개선, 기능적 성능개선, 미관적 성능개선, 환경적 성능개선, 에너지 성능개선 등 5가지 분야로 분류할 수 있다.

2.2 건물 개보수에 대한 범위

건물 개보수 범위를 설정하다는 것은 어려운 작업이다. 왜냐하면 바라보는 시각에 따라 그 범위와 우선순위를 다르게 판단할 수 있는데, 건축주에게 개보수에 대한 긍정적인 의지를 갖게 하려면 이에 대한 객관적이고, 과학적인 자료를 제시하여 개수대안이 경제적으로 이익이 있다는 확신을 주어야 한다.

따라서, 건물 개보수의 범위는 크게 다음과 같이 대별할 수 있다.

(1) 단순히 건물의 부족한 기능을 회복시켜 수명을 연장시키고자 하는 것

(2) 보다 적극적으로 건물을 현대화하여 가치를 향상시키는 것

본 연구는 그 대상이 상업용 건물이 아닌 학교건물이며 대학의 시설우위를 확보(홍보)하기 위해서는 미관(특히, 외부) 개선은 시급한 사안이라고 판단되어 (1) 방법인 외피단열을 통한 에너지 성능개선을 통하여 에너지 절약에 의한 건물의 가치 상승과 함께 실내환경조건의 수준향상에 따른 환경적 성능개선효과를 기대하고자 하였다. 더욱이 이와 같은 개선효과는 건물의 전반적인 외관변화와 함께 미관적 성능개선도 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 현장실측

3.1 개 요

본 연구에서는 먼저 학교건물의 성능개선을 위하여 현장실측을 하였는데, 그 대상건물은 비교적 건물의 경과년수가 오래된 건물 중 '건물의 에너지 절약'에 대한 조항이 적용되기 이전에 지어진 무단열의 건물을 대상으로 하였다(Table 1 참조).

Table 1 Summary of the building

Constuction	Reinforced concrete
Story/hight	6th/3.2 m
Building area	9970 m^2
Completion year	1973
Insulation condition	No insulation
Window-area ration	About 50%
Building services & control system	· Heating-coal & oil · Cooling-none · Lighting-fluorescent lamp · Water supply-downfeed distribution · Others-LAN cable
Occupancy condition of the building	Occupancy time - Day : 8:30~22:30 - Week: Mon.~Fri. - Year : Feb.~Jun.(16 weeks) Aug.~Dec.(16 weeks)
Others	Partial repair

Table 2 Insufficient factors of performance according to survey

	Contents
Insulation, damp-proofing	· Reduce of effect for cooling & heating · Increase of energy consumption · Overheationg in top floors due to solar radiation · Condensation
A leak of water	· A leak of water in the building · Infiltration & exfiltration

또한, 현장실측 결과 건물 경년경과에 따라 노후화된 성능으로 인해 발생되는 문제점을 단열, 방습 측면과 누수 측면으로 요약하여 나타난 성능부족의 주요 현상은 Table 2와 같다.

3.2 설문조사

본 연구에서는 현장실측과 동시에 거주자들의 반응 정도를 알아보기 위하여 건물을 사용하는 재학생을 대상으로 5월 말~6월 초 기간에 걸쳐 설문조사를 실시하였다.

설문조사 결과 학교시설과 관련한 사항이 차지하는 비중은 학교선택시 19%, 학교에 대한 불만사항이 35%, 학교에 대한 희망사항의 36%로 나타나고 있다. 특히, 학교에 대한 불만 및 희망사항 부문의 빈도가 가장 높게 나타난 배경에는 대상학교의 낙후된 건물환경이 가장 크게 나타난 것으로 조사되었다(Fig. 1 참조).

3.3 열성능 측정

본 연구에서는 현장실측, 설문조사와 함께 건물의 열적 성능 정도를 파악하기 위하여 TVS (Thermal Video System) 장비를 사용하였다. TVS 장비는 건물의 노화 및 단열 정도 등에 따라 열의 누수 등을 간단히 측정할 수 있는 시스템이다.

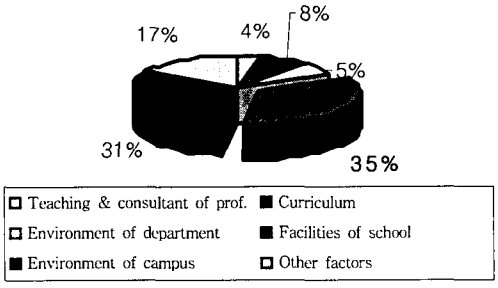


Fig. 1 Discomfort factors of students.

따라서, TVS 장비를 특히 대상건물 중 부하변동이 많은 전산실에 설치하여 열성능을 측정하였다. 측정기간은 봄철인 4월 9일부터 10일까지 2일간에 걸쳐 실시되었다. 특히, 이 기간은 중간기로서 외기온이 약 10℃ 안팎의 분포를 보이고 있었고, 또한 전산실은 일반강의실보다도 발열밀도가 높고 온풍기가 설치되어 실온조절이 가능하였다. 이때 기상조건은 외기온이 평균 10.4~11.2℃, 평균 습도 65%, 풍속 2~4 m/s의 분포를 나타내고 있었고, 측정실의(전산실) 내부온도 및 습도는 각각 평균 22℃와 74%로 나타났다.

Fig. 2와 Fig. 3은 TVS 장비의 측정결과를 나타낸 것으로, 특히 건물 외벽에 대하여 실내와 옥외에서 측정위치를 달리하여 측정하였다. 즉, 사진에서 붉게 보이는 부분은 고온측이고 청색으

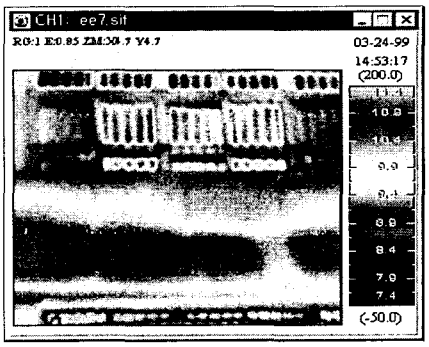


Fig. 2 TVS of exterior wall surface.

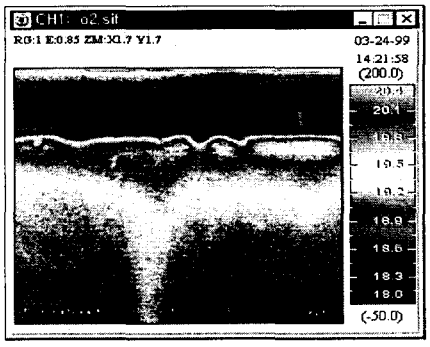


Fig. 3 TVS of interior wall surface.

Table 3 Input data of materials

	Specific heat capacity		Density		Conductivity		Source
	kcal/kg℃	Btu/lb°F	kg/m^3	lb/ft^3	kcal/mh℃	Btu/fth°F	
Cement brick	0.23	0.23	1795	112	0.97	0.65	3)
Insulation	0.30	0.30	28	1.7	0.032	0.022	1)
Concrete	0.22	0.22	2400	150	1.4	0.94	1)
Mortar	0.21	0.21	2000	125	1.12	0.75	1)
Air layer	0.24	0.24	1.3	0.08	0.019	0.013	3)
Mesh (#1) dryvit	0.30	0.30	28	1.7	0.034	0.023	Test & 1)
Mesh (#2) dryvit	0.30	0.30	28	1.7	0.038	0.026	Test & 1)

로 보이는 부분은 주변보다 온도가 낮은 것을 나타낸다.

따라서, 전산실 실내 측에서 촬영한 영상(Fig. 3)에서 청색으로 나타난 부위는 단열이 부족하여 냉교(cold bridge) 현상이 있거나 또는 틈새를 통하여 찬 바람이 유통되고 있는 곳이다. 한편으로 옥외에서 촬영한 영상(Fig. 2)에서 주위보다 온도가 높아 붉게 보이는 부분은 실내의 열이 외부로 많이 손실되는 부위가 된다. 또한, 사진에서 창대 밑면에 외벽과 실내 사이를 합판으로 막은 부분과 유리창의 커튼이 드리워진 부분의 색상차이를 통하여 이들 부분에서 공기유동이 지연되어 공기층에 의한 단열효과가 있음을 알 수 있으며, 합판이 연결되는 부위 및 커튼의 말단부위에서는 단열성능이 떨어지는 것을 알 수 있다.

그러므로, TVS 시스템에 의한 적외선 촬영결과 열화상 영상을 종합적으로 살피면 열손실은 주로 창문과 창대부위 및 단열재가 설치되지 않은 외벽면을 통하여 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.

4. 열성능 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 학교건물의 에너지 성능개선과 관련하여 건물 외피구조를 대상으로 성능개선에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 열부하 계산 프로그램인 DOE-2.1E 프로그램을 이용하여 실시하였다. 시뮬레이션에 적용된 건축재료와 관련된 물성치는 기존 관련문헌 및 실험치를 이용하여 입력하였다(Table 3, 4 참조).

건물은 실외의 기후조건에 따라 실내의 열부하가 영향을 받게 되고, 이와 더불어 실내의 각종 인체, 기기, 조명 등의 영향에 의해서도 영향을 받게 된다. 또한 에너지 해석시에는 실내에서 발생하는 열량에 대한 정확한 고려가 필수적으로 요구된다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 대학건물의 특성을 활용하여 정확한 입력치를 파악하고자 연중 학교운영계획 및 시설사용시간 등의 자료를 토대로 인체, 기기, 조명에 대한 스케쥴과 발열량을 입력하였다.

Table 4 Orientaion according to space

Space	Orientaion
Physical training room	SE
Laboratory/calss room-1	S
Class room-2	N
Professor room	S
Lobby	N
Corrider	NW
PC & system terminal room	SE
Rest room	NW

그리고, 각 공간의 사용 스케쥴 및 실내발열 정도의 차이에 따른 각 실간의 열출입을 고려하여 체육관, 조리실, 강의실, 교수실, 컴퓨터실 등을 각각의 Zone으로 구획하여 분석하였다. 또한, 환기량 데이터로는 관련연구의 측정치를 활용하였고, 실내 설정온도는 냉방시 설정온도 26℃, 난방시 설정온도 20℃의 중간값인 23℃를 이용하여 최대 냉난방부하 및 연간 에너지소비량을 예측하였다.

4.2 시뮬레이션 변수

노후화된 기존 건물의 개보수 방안을 확보하기 위하여 본 연구에서의 에너지소비량 해석에 사용

Table 5 Max. cooling and heating load according to retrofit

Retrofit case No.	Max. cooling load (kW)	Saving (%)	Max. heating load (kW)	Saving (%)
No insulation+single-glass	660.573	0.0	−802.399	0.0
Exteria insulation+single-glass	610.980	7.5	−683.614	14.8
Exteria insulation+pair-glass	581.383	12.0	−578.862	27.9
Stone+insulation+single-glass	610.712	7.5	−683.209	14.9
Stone+insulation+pair-glass	581.115	12.0	−578.457	27.9

된 변수 즉 개선방안으로는 기존 비단열 벽체와 단층유리에 대응하여 첫째, 외단열, 둘째, 외단열+Pair-Glass 조합, 셋째, 화강석+중단열 조합, 넷째, 화강석+중단열+Pair-Glass 조합으로 나누어 분석하였다.

즉, 본 연구에서는 그 대상이 상업용 건물이 아닌 학교건물인 점을 고려하여 건물 개보수의 범위 중 단순히 건물의 부족한 기능을 회복시켜 수명을 연장시키고자 하는 것으로서, 특히 외피의 외부미관을 개선하는 방법인 외단열 공법을 통하여 종합적인 성능향상을 개선하고자 하였다.

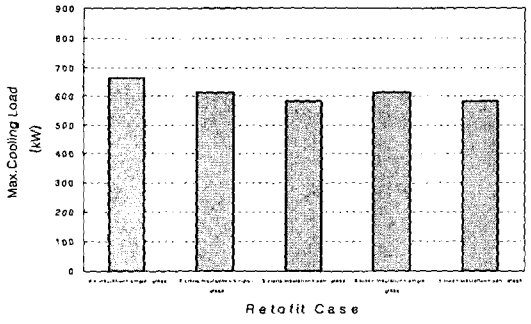


Fig. 4 Max. cooling load according to retrofit.

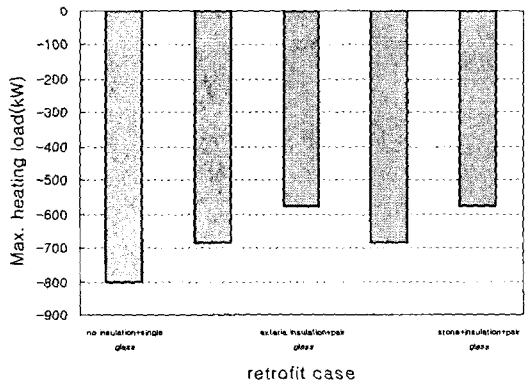


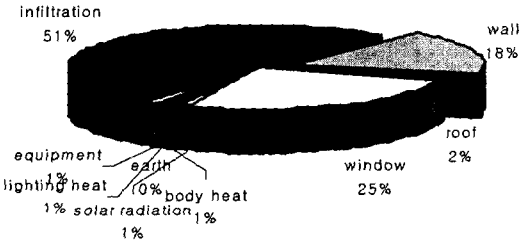
Fig. 5 Max. heating load according to retrofit.

4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

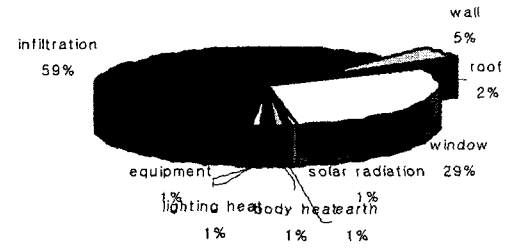
4.3.1 건물 최대 냉난방부하

대상건물의 최대 냉난방부하를 개선방안에 따라 분석한 결과는 Table 4 및 Fig. 4, 5와 같다.

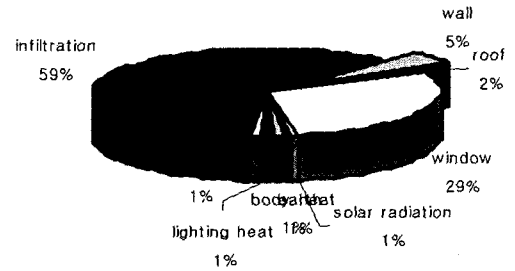
Table 4에서 냉방부하의 경우 단열보강시 외단열 및 중단열 모두에서 약 7.5% 감소되는 것으로



(a) No insulation



(b) Exteria wall insulation



(c) Stone+middle wall insulation

Fig. 6 Max. heating load according to retrofit.

Table 6 Yearly energy consumption according to retofit strategies

Retrofit case No.	Cooling (MWH)	Saving (%)	Heating (MWH)	Saving (%)
No insulation+single-glass	654.864	0.0	−782.381	0.0
Exteria wall insulation+single-glass	677.443	−3.4	−531.464	32.1
Exteria wall insulation+pair-glass	708.695	−8.2	−370.831	52.6
Stone+insulation+single-glass	676.826	−3.4	−531.122	32.1
Stone+insulation+pair-glass	708.075	−8.1	−370.486	52.6

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 절감효과를 나타냈으며, 창호의 경우에도 Pair-Glass 채택시 냉방부하의 약 5%, 난방부하의 약 13%를 절감시킬 수 있는 것으로 나타나 우선적으로 외피와 창호의 단열성능을 향상시키는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

한편, Fig. 6은 건물에서의 단열보강시 단열형태 및 외피형태에 따른 부하해석 결과를 나타낸 것이다. 즉, 비단열구조의 경우에서 벽체가 차지하는 부하의 비중은 난방부하에서 약 18%에 이르렀으나, 단열구조를 채택하고 난 이후 약 5%로 13% 정도의 에너지 절감효과를 알 수 있었다.

따라서 외단열구조 혹은 화강석 중단열구조의 단열보강시 난방부하에서는 상당한 에너지 절감효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

4.3.2 연간 냉난방에너지

최대부하가 열원기기의 용량을 산정하는 데 사용되는 반면, 건물의 전체 에너지 절약효과를 판단하기 위해서는 연간 에너지소비량을 비교함으로써 가능해진다. 본 시뮬레이션에서의 연간 에너지소비량을 개선방안별로 나타내면 Table 6와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다.

Fig. 7로부터 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 실내 발열제어가 필요

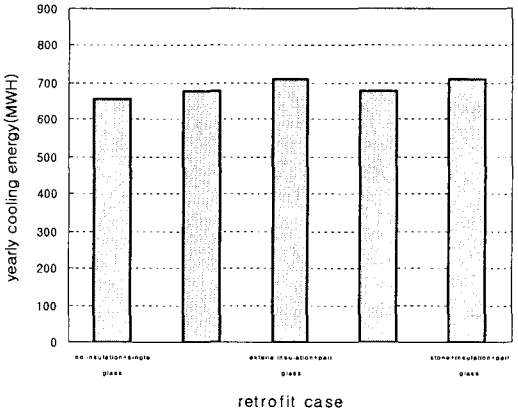


Fig. 7 Yearly cooling energy according to retrofit.

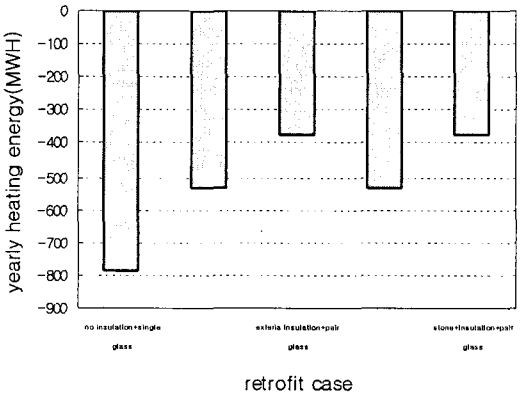


Fig. 8 Yearly heating energy according to retrofit.

할 것으로 판단된다.

한편, Fig. 8에서 알 수 있듯이 난방에너지 소비량에서는 외피단열 및 유리창 열성능 향상으로 인해 30~50%의 높은 에너지 절약을 유도하고 있었다.

5. 경제성 분석

Simulation 결과를 토대로 초기공사비 및 이에 따른 에너지소비량을 비교함으로써 보다 현실적이고 경제적인 대안을 제시하고자 하였다.

5.1 개선방안별 초기공사비

Simulation의 개선방안에 사용된 대안들의 시공에 소요되는 공사비를 분석한 결과, 드라이비트 외단열 공사의 경우 28,000원/m^2, Pair-Glass 시공비 128,000원/m^2, 화강석 공사 110,000원/m^2으로 파악되었으며, 이와 같은 자료를 건물에 적용시켜 총 공사비를 산출해 보면 Table 7과 같다.

분석결과, 화강석 공사의 경우 드라이비트 외단열 공사에 비해 약 4배의 금액이 소요되는 것으로 나타났다. 화강석 마감의 경우, 외관이 고급스러움에 따라 최근 신축건물에 활발히 적용되지만 본 건물의 창틀과 연결되는 부위의 시공에 난점이 예상되며, 그 금액이 고가이므로 본 건물과 같은 개보수 공사에서는 다소 적용이 어려울 것으로 판단되었다.

5.2 개수공법별 에너지소비량

각 개선방안들의 소요공사비와 에너지소비량을 건물 전체에 걸쳐 비교해 본 결과는 Table 8과 같다.

즉, Table 8로부터 드라이비트 외단열 시공의 경우 비단열에 비해 약 30%의 연간 난방에너지가 절감됨을 알 수 있었으며, 이러한 값은 화강석 마감과 중단열 구조를 채택한 대안에서의 수치와 거의 같음을 알 수 있다. 즉, 실질적으로 외부열에 저항할 수 있는 것은 단열성능의 재료임에 따라 두 가지의 대안은 동일한 에너지 절감효과를 발휘할 수 있는 것으로 판단된다. 한편, 이러한 결과를 초기투자비 관점에서 살펴보면 약 4배의 시공비 차이를 보이면서도 동일한 효과를 가짐을 알 수 있다.

또한 유리창의 경우 동절기 실내로부터의 열손실을 방지할 수 있는 단열효과가 단창에 비해 우수한 Pair-Glass를 적용한 대안에서 난방부하 모두가 50% 이상 절감됨을 알 수 있다.

따라서 실제 건물외피의 열저항치를 높이기 위해서는 단열층의 설치를 우선적으로 고려하며, 유리창을 통한 일사열부하 및 동절기 열손실을 차단하기 위해서는 유리창의 종류를 Pair-Glass로 변화하는 것이 유리함을 알 수 있다.

또한 시공비 측면에서는 25%의 초기금액만으로도 동일한 효과를 발휘할 수 있는 드라이비트 외단열 시공을 하는 것이 미관을 위해 약 4배 이상의 시공비를 투자하는 화강석 시공에 비해 보다 경제적이라 판단되었다.

6. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현장실측을 통하여 대상건물에서 나타나고

Table 7 Constrution cost according to insulation strategies

Insulation strategies	Area (m^2)	Cost (won)	Construction cost (won)
Exteria wall insulation (dryvit)	5,226	28,000	146,328,000
Stone+middle wall insulation	5,226	110,000	574,860,000
Pair-glass	2,459	128,000	314,752,000

Table 8 Yearly energy saving & construction cost according to retrofit strategy

Simulation case No.	Construction cost (Won)	Saving of heating energy (MWH/Yr)	(%)
No insulation+single-glass	0	−782.381	0.0
Exteria wall insulation+single-glass	146,328,000	−531.464	32.1
Exteria wall insulation+pair-glass	461,080,000	−370.831	52.6
Stone+middle wall insulation+single-glass	574,860,000	−531.122	32.1
Stone+middle wall insulation+pair-glass	889,612,000	−370.486	52.6

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 건물 성능개선에 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 최대부하 해석결과, 약 15%의 난방부하 절감효과를 나타냈으며, 창호의 경우 Pair-Glass 채택시 냉방부하의 약 5%, 난방부하의 약 13%를 절감시킬 수 있음에 따라 우선적으로 외피의 단열성능을 향상시키는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

(5) 연간 에너지 해석결과, 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 에너지 절약을 위해서는 냉방시 적절한 환기 스케쥴을 통한 실내발열 제어가 필요할 것으로 판단되었다.

(6) 개선방안의 Simulation 결과를 토대로 초기 공사비 및 에너지소비량 등을 고려한 경제성 평가에서는 드라이비트 외단열 시공의 경우 비단열에 비해 약 30%의 연간 난방에너지가 절감됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 화강석 마감과 중단열 구조를 채택한 대안에서의 수치와 거의 같지만, 초기투자비 관점에서 검토할 때 약 4배의 시공비 차이를 보이면서도 동일한 효과를 보이고 있음을 알 수 있었다.

(7) 경제성 분석결과 실제 건물외피의 열저항치를 높이기 위해서는 단열층의 설치를 우선적으로 고려하는 것이 유리하며, 특히 초기금액만으로도 동일한 효과를 발휘할 수 있는 드라이비트 외단열시공이 보다 경제적으로 나타났다.

참고문헌

1. Rhee, E. K., 1999, A need & direction of the improvement of building performance, Journal of The Korea Institute of Building Services, Vol. 2, No. 2, pp. 4-10.
2. ASHRAE, ASHRAE Handbook, 1997 Fundmentals, ASHRAE.
3. ASHRAE, 1998, ASHRAE Standard, ASHRAE.
4. ASHRAE, 1995, ASHRAE Handbook HVAC Applications, 28.5.
5. L.B.L, 1994, DOE-2 Basics Version 2.1E.
6. Park, H. S., 1998, A study on Cooling & Heating Systems Installation for Better Environment of the Classrooms in the School Buildings, Korea Institute of Energy Research.
7. Park, J. C., Park, C. S., Song, G. S. and Kim, K. H., 1999.7, A Study on Effect of Remodeling using a Dryvit in Apartment Buildings, Chang-Ang Univ.
8. Watson, J. A., 1983, Residential Evaluation and Retrofit.
9. Thermo Tracer, 1994, NEC, Japan.