

## 직접획득형 자연형태양열학교 교사의 성능분석 연구

임 상 훈 · 이 남 호 · 임 복 규\*

한국에너지기술연구소, 자연형태양열연구실  
서울 산업대학 시설과장

## A Performance Study on Direct Gain Passive Solar School Buildings

Lim, Sang Hoon · Lee, Nam Ho · Lim, Bok Kyu\*

Korea Institute of Energy Research  
Seoul National Polytechnic University\*

### 요 약

본 고에 있어서는 겨울철 난방으로 인한 난방비 절감과 동시에 무공해이며 쾌적한 교육환경을 조성하고자 자연형태양열시스템의 한 부류인 직접획득형 시스템을 적용한 직접획득형 자연형태양열학교를 설계하고 그 열적성능을 분석하였으며, 이에 따른 경제성 문제도 아울러 검토하였다.

### ABSTRACT

Following the oil crisis in 1979, there have been surge of movements by the government in Korea to conserve petroleum-based energy in every sector of society.

One of these movements was the application of passive solar technologies into the construction of school buildings. Various passive designs are developed paying special regard to architectural and climatic factors.

This paper is related to the application of the passive solar technology(direct gain system) to high school buildings.

#### Nomenclature

SLR : Solar Load Ratio

ACH: Air Change per Hour

NLC : Net Heating Load Coefficient

TLC : Total Heating Load Coefficient

LCR : Load Collector Ratio

LCR<sub>s</sub>: Load Collector Ratio Solar

A<sub>p</sub> : Aperture area

T<sub>base</sub> : Base Temperature

DD : Degree Day

SSF : Solar Savings Fraction

S<sub>1</sub> : System Life Time

- $I_n$  : Investment
- $F_s$  : First year Fuel Savings
- $D_r$  : General Inflation Rate
- $D_p$  : Rate of Owner Funds
- $T_l$  : Term of Loan
- $I_i$  : Interest
- $M_s$  : Maintenance Cost of System
- DCF : Discount Cash Flow
- DPP : Discount Payback Period
- NPV : Net Present Value

## 1. 서 론

학교 건물은 그 이용인구가 많아서 건물에 소요되는 난방에너지는 국내의 난방용 에너지 중 상당한 비중을 차지하고 있다.

그런데 학교건물은 유아원부터 시작하여 대학교까지 여러종류가 있을 수 있는데, 여기서는 공공기관에서 건설하는 학교 중 초·중·고등학교에 대하여 학교건축을 살펴보면, 재래의 학교건축은 대체로 남향을 선호하여 남측교실형으로 건립되었는데, 이것은 태양열을 이용하려는 그 당시의 의도를 충분히 엿볼 수 있다. 그렇게 함으로서 교실기온을 조금이나마 향상 시키려 하였던 것이다. 이러한 것은 일반주택에 있어 평면계획상 현관, 통로 등을 북쪽에 배치하고 남쪽햇빛이 비치는 측에는 거실이나 침실을 두는 것과 같은 맥락으로 볼수 있다.

따라서 본 고에 있어서도 이들 교실에 겨울철 난방으로 인한 난방비 절감과 동시에 무공해이며 쾌적한 교육환경을 조성하고자 자연형태양열시스템의 한 부류인 직접획득형 시스템을 적용한 직접획득형 자연형태양열학교를 설계하고 그 열적성능을 분석하였으며, 이에따른 경제성 문제도 아울러 검토하였다.

## 2. 건축계획적 고찰

학교는 주로 주간사용 건물이므로 자연형 태양열 시스템 중 직접획득형 시스템을 학교건축에 적용하면 가장 열성능이 뛰어난다. 그런데, 이러한 직접획득형 자연형 태양열 시스템의 가장 큰 장점은 일반학교와 구조상 별다른 차이가

없다는 점과 함께, 시공의 단순성에 있다.

그러므로, 이 시스템은 동일한 자연형 태양열 학교인 철판가열식 학교(1982년도 자연형 태양열 학교 표준도면에 의한 학교)보다 저렴한 공사비 그리고 시스템 관리 및 운영의 편리성 그리고 내구성 등 여러면에서 유리하다.

한편, 직접획득형 자연형 태양열 시스템은 열관리가 단순하고, 경제적이며, 쾌적할 뿐만 아니라, 일반 건축 재료의 효과적인 사용과 건축 계획적 수법만으로도 태양에너지의 취득과 보존을 충분히 운용할 수 있는 특징이 있다.

따라서 직접획득형 자연형 태양열 학교를 건축시에는 건물의 방위와 형태의 적절한 조화, 창호의 처리, 재료의 열용량, 일사의 입사와 차폐, 통풍등을 배합하여 입지조건과 기후조건에 쉽게 적용하도록 하여야 될 것이다.

본고에서는 남향면의 집열창을 통하여 겨울철에 많은 양의 햇빛이 교실내로 유입되도록 하여 직접 학생등 거주자가 따스함을 느끼게 할 뿐만 아니라 얻어진 태양에너지를 교실 바닥이나 실내벽에 열에너지로서 저장하여 야간이나 흐린 날 난방에 이용할 수 있도록 하였다. (Fig. 1 참고)

또한 여름철 냉방효과를 위하여 교실내의 환기를 복도측과 함께 원활히 할 수 있도록 환기창을 두어 맞통풍이 가능하도록 하였다. (Fig. 2 참고)

이뿐만 아니라, 현재 대부분의 학교 교실은 철근 콘크리트 라멘구조에 벽돌조적 쌓기로 시행되고 있어 콘크리트 구조체와 벽돌벽 사이가 이질재료로 인하여 균열이 발생되고 기밀한 단열시공이 곤란하므로, 전체구조를 콘크리트 용

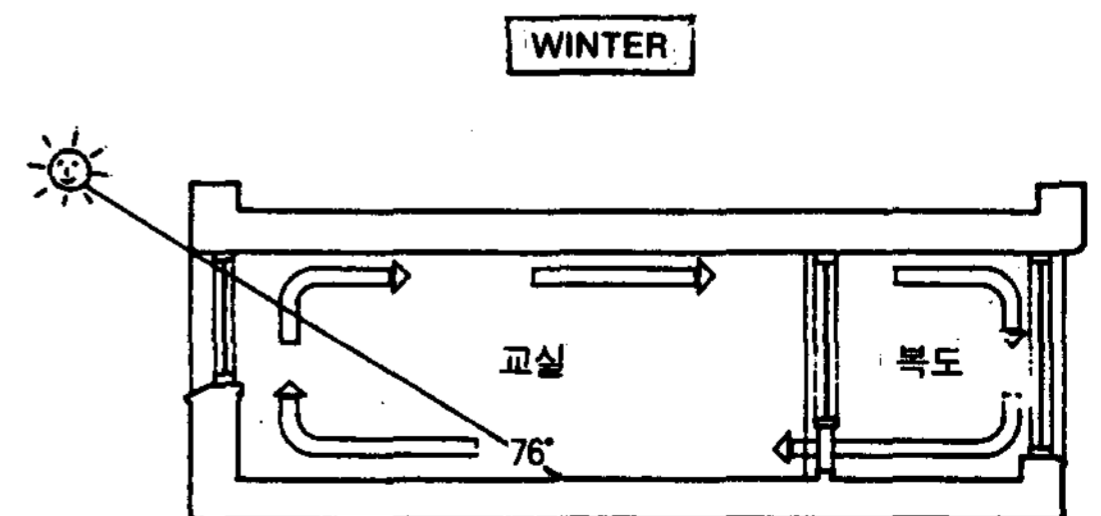


Fig.1 난방시스템도

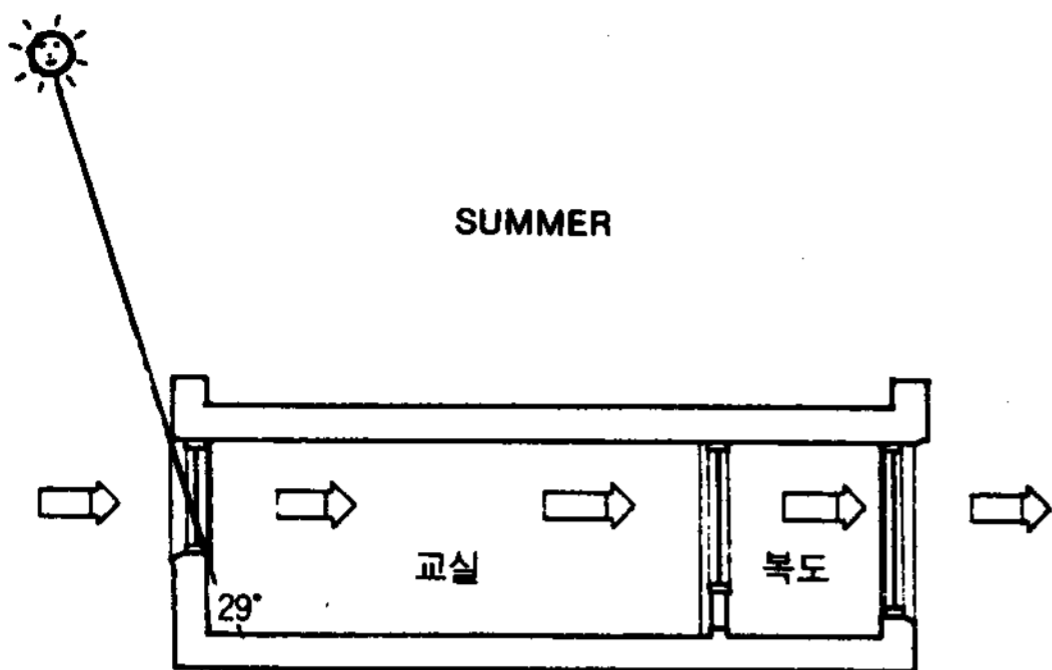


Fig.2 냉방시스템도

벽식(터널식) 구조로 하였다. 따라서 기둥과 보를 없앴으로써, 교실의 층고를 낮출 수 있고 실의 크기를 유용하게 활용할 수 있으며 또한, 균열 방지 뿐만 아니라 기밀한 단열처리가 가능한 등 커다란 효과가 있다.

또한, 외부 창문은 개폐장치를 특수고안한 페어그래스를 사용한 단창을 사용하였다.

본 직접획득형 자연형 태양열 학교의 설계개요는 다음과 같다.

(설계개요)

가. 기초 : 철근 콘크리트 연속줄 기초

나. 기둥 : 내력벽(두께 20cm)은 고강도 철근 배근량으로 구별함

다. 슬라브 : 무량판구조 교실과 복도측의 슬라브 두께 차와 고강도 철근으로 하고 교실 양 끝단에는 헌치를 두어 내력상 안정하게 함

라. 바닥 : 역T보 형상으로 콘크리트를 치고 마루밑 공기유통을 꾀하였으며 장산과 장산 사이에 단열재를 넣고 그 위에 마루를 깔았음.

마. 창 : 철제창으로서 단창이면서 개폐부분만 2중창으로 하여 고정부분은 페어그래스를 끼우고 기타는 5m/m 유리를 끼워 유지관리상 편리하게 했음

바. 내외벽 및 단열 : 외벽은 검은 콜탈을 칠하고 그밖에 단열재를 두겹으로 지그재그식으로 넣어 이음새로의 열손실을 방지하였고 그밖으로 변색 치장 벽돌을 쌓아 올렸음. 이때 벽돌 쌓기는 앙카볼트를 사용 하였음. 내벽은 적당히 크고 작게 칸막이를 할 수 있도록 하고 단열재를 넣고 석고보드 판으로 마감하였음

사. 천정 : 제물치장 콘크리트 위 방음 단열재로 뽐칠을 하였고 최상층은 단열재를 넣고 천정을 하였음

아. 환기 : 실내온도가 상승함에 따라 환기가 절대 필요함으로 중간벽 위치에 배출시설을 하여 강제 송풍하고 한편 유리창을 개폐하여 환기토록 하였음. 복도와 교실 간 벽하부에 유리창을 설치 개폐로서 온도 및 환기 조절이 필요함.

자. 실내기구 : 사물함 및 신발장 걸레 및 비, 우산 보관함을 구비하고 게시판 등을 설치하여 주변환경을 아름답고 깨끗이 했음.

### 3. 열환경 실측실험

실측실험은 직접획득형 자연형태양열학교 경우는 충북 충주시 호암동 예성여고를 선정하였고, 일반 단열학교 경우는 비교되는 직접획득형 자연형태양열학교인 예성여고와의 지형상으로 인하여 야기되는 각종 기후요소의 변화를 줄이기 위하여 동일한 지역에 위치하면서, 시공기술 및 재료상의 변화 등의 문제를 최소화하기 위해 동일 연도인 1982년에 건립된 충북 충주시 호암동 예성여중을 선정하였다.

이뿐만 아니라 앞서의 두 학교와 비교를 위해 일반학교인 충주시 용산동 충주여고에 대한 실측실험도 행하였다. 각 학교의 개요는 Table 1과 같다.

Table 1 학교개요

	충주여고	예성여고	예성여중
위 치	충주시 용산동	충주시 호암동	충주시 호암동
측 정 기 간	'91.4.2~4.9	'91.4.1~4.5	'91.4.1~4.3
위 도	36.57	36.57	36.57
경 도	127.56	127.56	127.56
향	남 향	남 향	남 향
건 물 형 태	-자 형	-자 형	-자 형
일 반 구 조	조적조	콘크리트옹벽식구조	철근콘크리트라멘조
보 조 난 방 기	난로(화목)	없 음	난로(화목)
차 양 길 이	없 음	없 음	없 음
층 수	2층	4층	4층
집 열 창 구 조	AL창	철제창	AL창

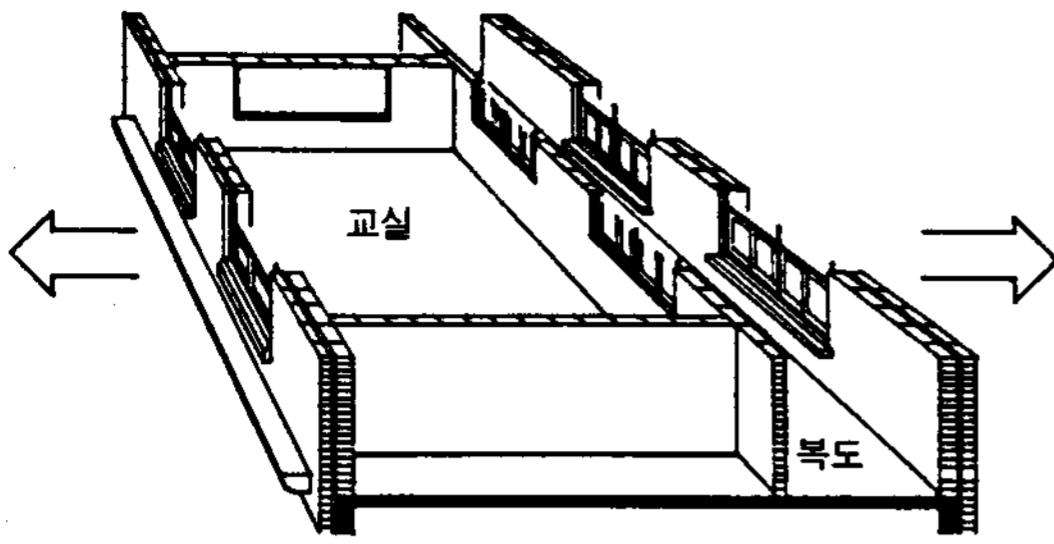


Fig. 3 일반학교 보통교실 투시도

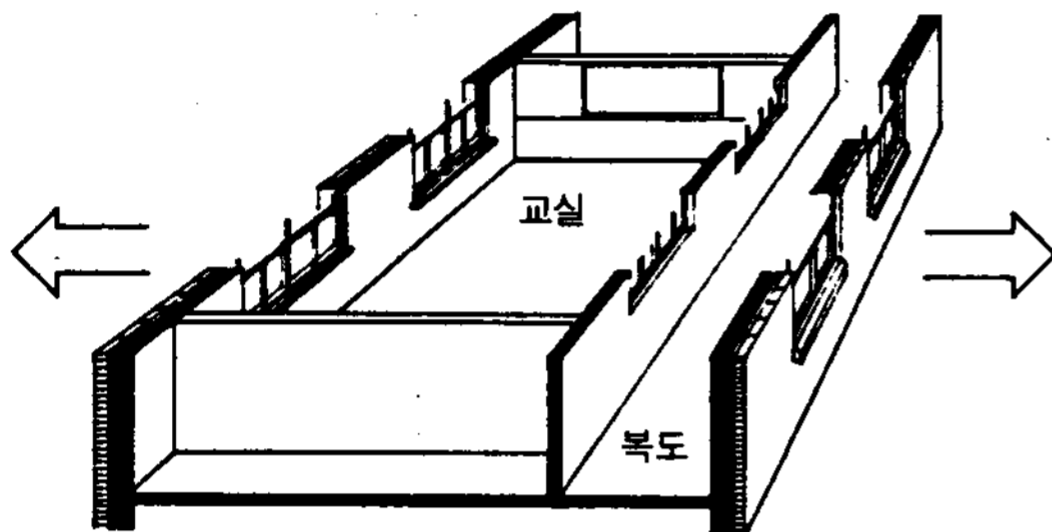


Fig. 4 직접획득형 자연형태양열학교 보통교실 투시도

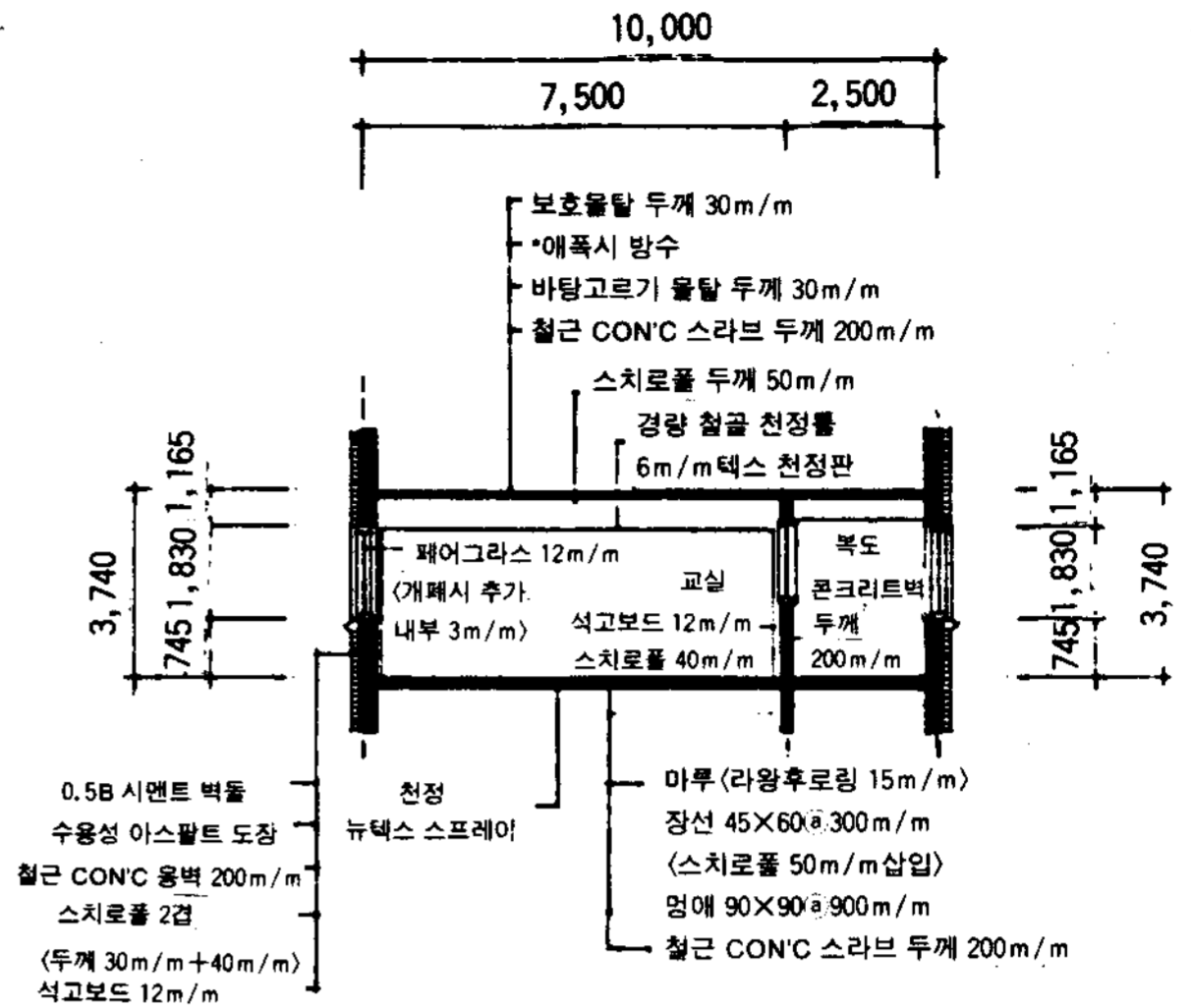


Fig. 6 직접획득형 자연형태양열학교 보통교실 주단면도

#### 4. 열성능 평가

##### 4.1 실측결과

각 학교의 열환경 변수를 구하기 위하여 일반 건식온도계를 사용하였는데 실외의 온도는 지상 1.5m에서 교실내 및 복도측 온도는 바닥 위 1.2m에서 측정하였다. 그 결과는 다음 Fig. 7~12과 같으며, Fig. 중 'INDOOR'는 교실 내부 온도를 'BUFFER'는 복도 온도, 'OUTDOOR'

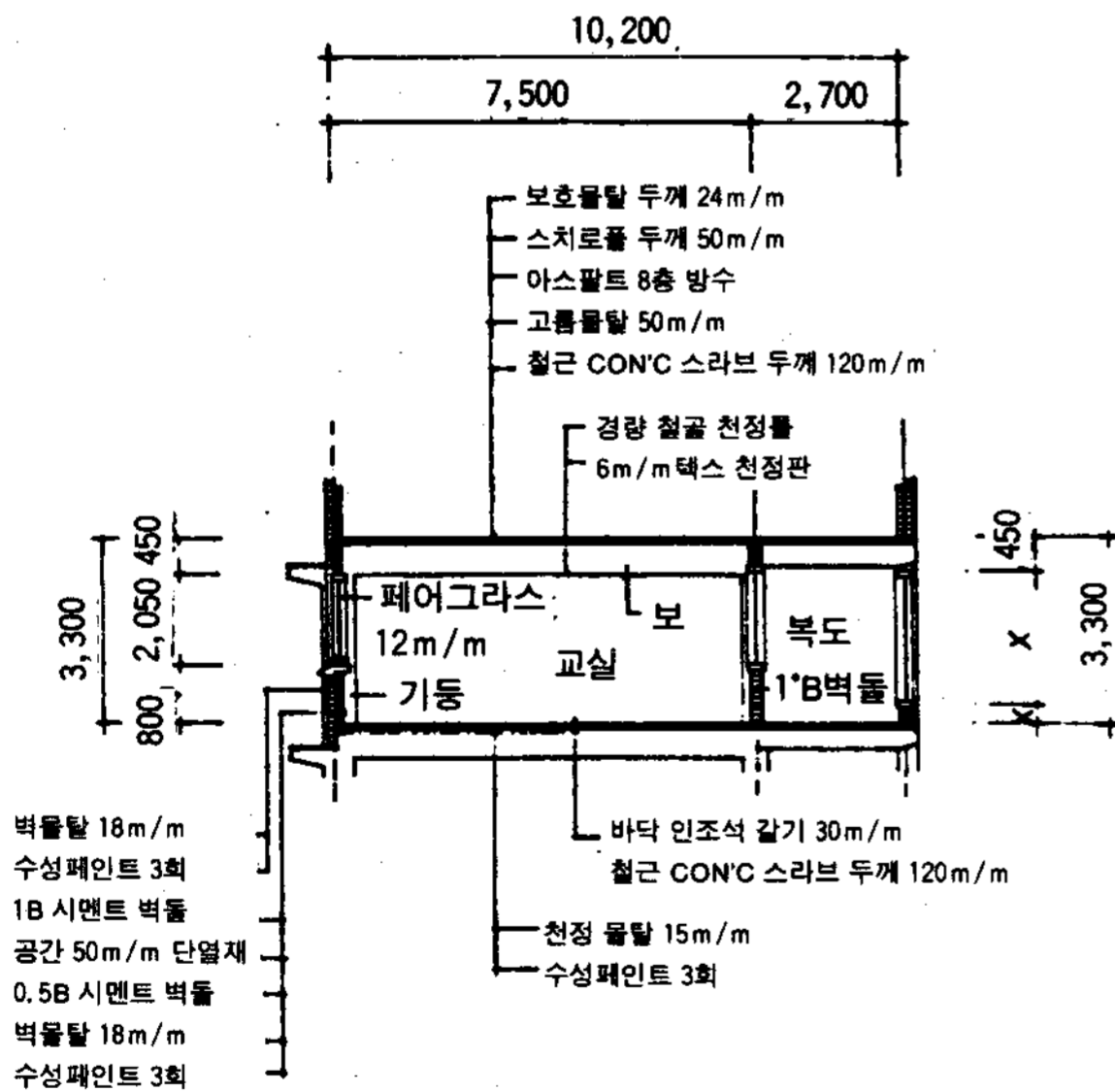


Fig. 5 일반학교 보통교실 주 단면도

또한 일반학교와 본 직접획득형 자연형태양열학교의 투시도, 주단면도는 Fig. 3~6과 같다.

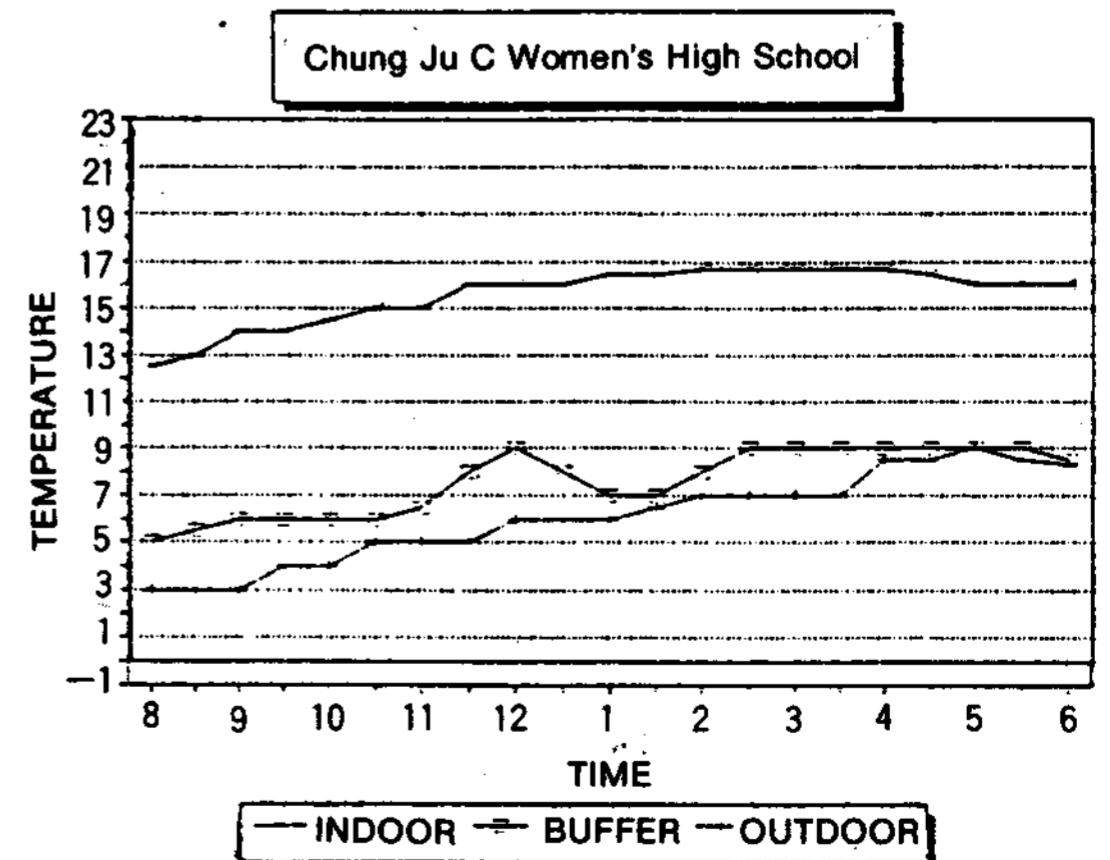


Fig. 7 충주여고('91.4.2)

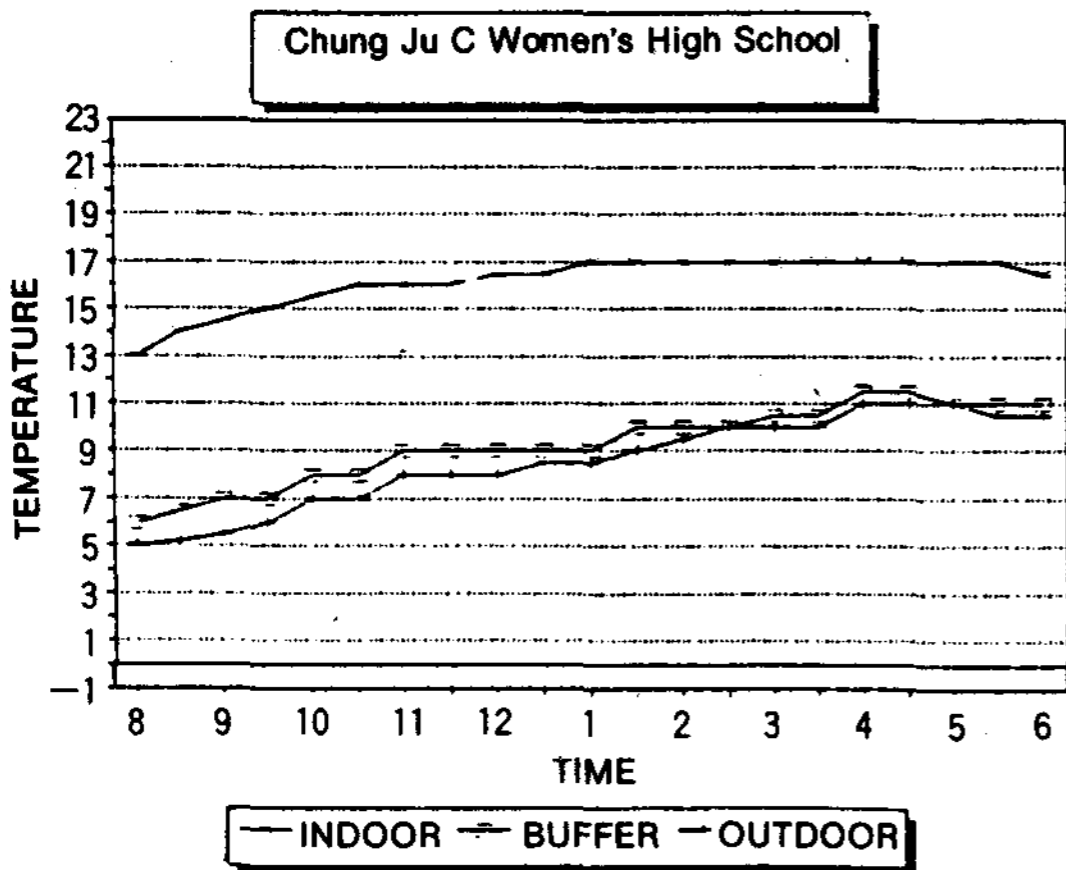


Fig. 8 충주여고('91. 4. 3)

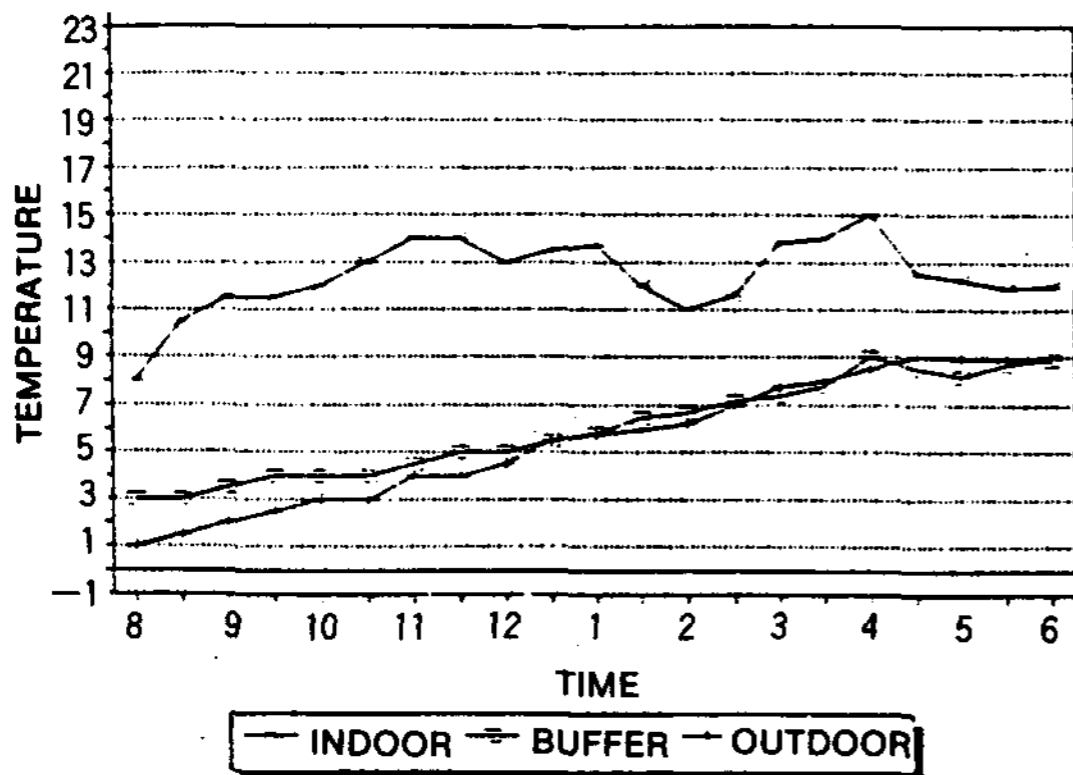


Fig. 9 예성여중('91. 4. 2)

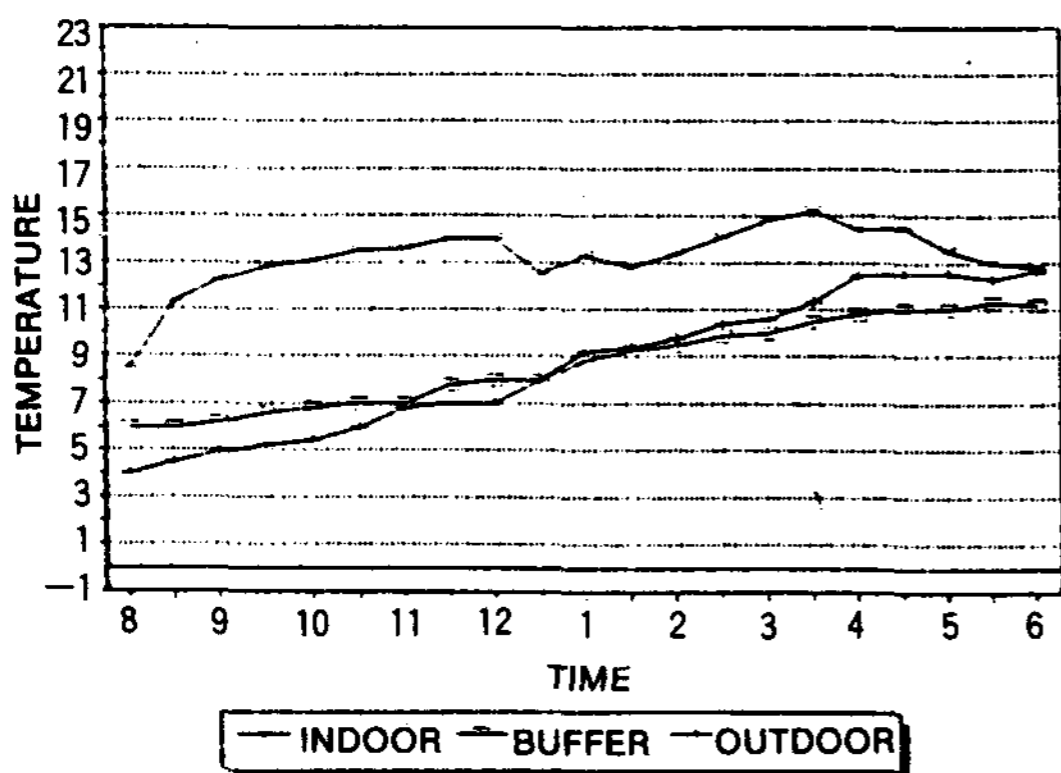


Fig. 10 예성여중('91. 4. 3)

는 실외온도를 나타낸다.

또한 Table 7, 8은 충주여고, Table 9, 10은 예성여중, Table 11, 12은 예성여고의 경우이다.

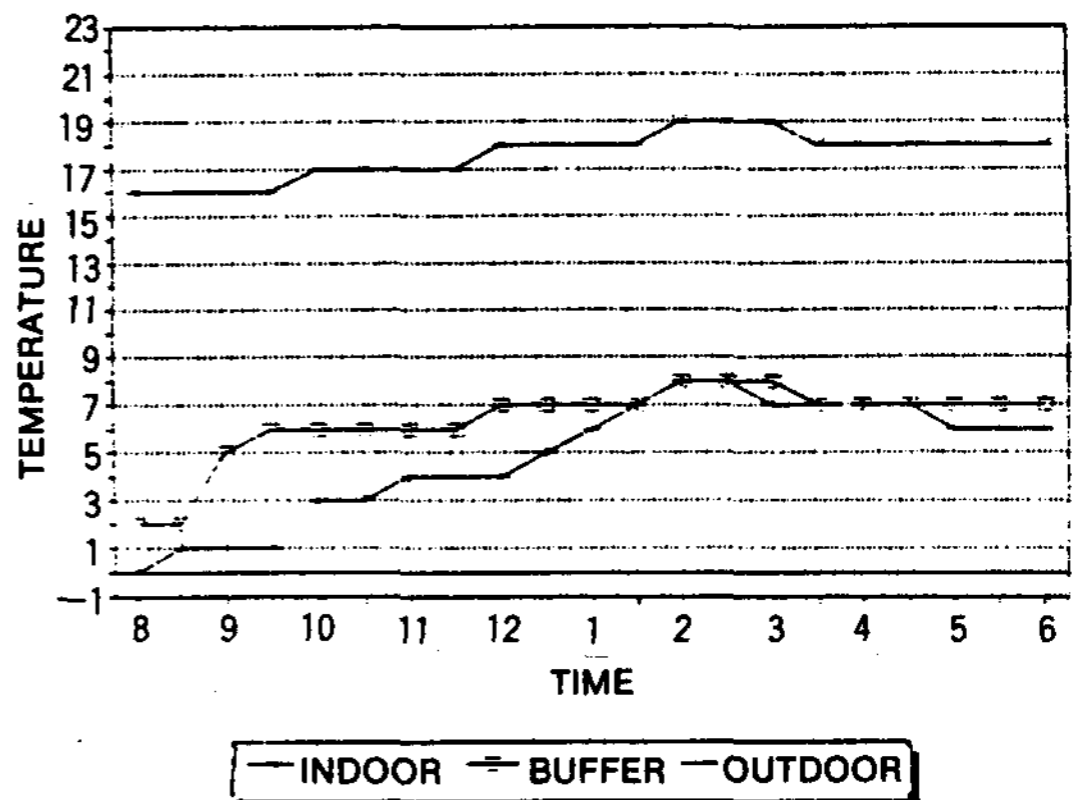


Fig. 11 예성여고('91. 4. 2)

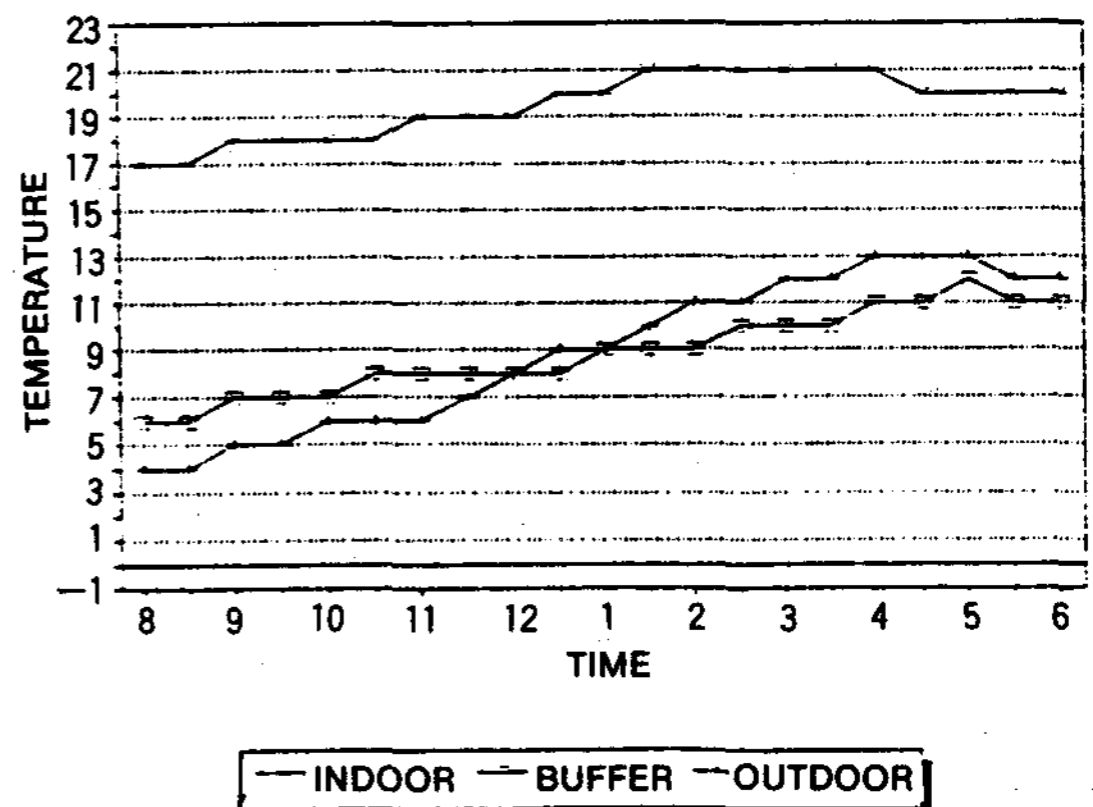


Fig. 12 예성여고('91. 4. 3)

#### 4.2 효율분석

앞서의 실측실험자료만으로 연간을 통한 각 학교 유형별에 대한 열성능 분석을 할 수 없다.

1) 그런데 이러한 실측분석 외에 학교교실에 대한 열효율 이론분석 방법으로는 동적해석법(Unsteady State Analysis)과 정적해석법(Steady State Analysis)가 있다.

동적해석법은 일반적으로 건물의 시간별 동적 열성능 분석을 위해 개발된 것으로 건물의 전체적인 흐름을 파악하기엔 정적해석법 만큼 간편하지 않다. 따라서 여기서는 정적해석법의

\*1) 실측실험을 통한 열성능 분석방법으로 'STEM TEST'에 의한 방식 등이 있다.

일종인 Expanded SLR법<sup>\*2)</sup>을 사용하였다.

한편 본고에서 사용된 전산 프로그램은 'SLR<sub>2</sub>'이며, 기후데이터는 서울지역을 기준으로 하였다. 분석결과 총절감량이 15.6%로 나왔다.<sup>\*3)</sup>

### 4.3 경제성 분석

직접획득형 자연형태양열학교 교실의 설계에 있어 가장 큰 관심의 대상이 되는 것은 직접획득형 시스템을 설치하여 얻을 수 있는 경제적 타당성이다.

따라서 여기서는 앞에서 설계한 직접획득형 자연형태양열학교 교실의 경제성을 라이프 사이클 이용 분석법 (Life Cycle Cost Analysis Method)으로 평가하였다. 그런데 이러한 경제성 평가에 필요한 중요한 자는 첫째, 교실에 의한 자연형 태양열 시스템의 초기투자비용과 둘째, 초기 투자에 의한 혜택 즉, 유류절감 효과이다.

유류절감 효과는 자연형 태양열 시스템의 성능 평가방법으로서 교실의 태양열 절감율(SSF: Solar Savings Fraction)을 의미한다.

먼저 교실에 직접획득형 자연형 태양열 시스템을 적용함으로써 추가되는 초기투자비는 일반학교의 보통교실과 비교하여 한 교실당 1,090,000원이 추가되었다. (Table 2 참고)

다음에 유류절감효과는 Table 3 와 같다.

이와같이 라이프 사이클 이용 분석법에 의한 경제성 평가를 위해서 사용된 입력데이터는

\*2) 1983년 J.D. Balcomb 등이 개발

종래 SLR법이 집열부 자체의 열손실을 고려하지 않았던 단점을 보완하여, 집열부 자체의 열손실도 고려하여 보다 정확한 열성능 분석을 할 수 있도록 한 방법이다.

\*3) - 환기회수는 CO<sub>2</sub> 기준하여 2회 1시간

- 총 절감량이 낮은 이유는 첫번째, 비교되는 일반학교 교실도 직접획득형 자연형 태양열 시스템 개념을 도입하였기 때문이며, 두번째, 'Expanded SLR법'은 일년 365일에 대한 전체적인 태양열절감을 계산법이므로 실지 학교의 방학기간(겨울방학 12월21~2월4일경)까지도 포함해서이며, 셋째, 하루 24시간에 대한 분석이므로 태양빛이 주로 사입되는 낮과 수업시간(국민학교 경우 오전 9시20분 부터 오후 3시30분까지)이 일치하므로써 야기되는 불필요한 야간의 난방 필요량도 계산되기 때문이다.

Table 2 공사비 비교표

명칭	단위	수량	개선교실(벽식무량판구조)		표준교실(국교80-92-나(라멘))	
			재료비	노무비	재료비	노무비
가설공사	식	1	308,818	831,886	310,768	784,972
토공사	〃	〃	78,034	50,833	34,413	73,976
기초공사	〃	〃	1,551,427	1,442,404	1,084,992	137,537
콘크리트공사	〃	〃	3,102,854	2,884,808	3,885,832	3,023,285
조적및석공사	〃	〃	785,930	956,071	629,811	728,908
목공사	〃	〃	3,582,844	407,943	-	-
방수방습공사	〃	〃	1,634,577	1,280,334	1,832,988	1,403,679
지붕, 흙통공사	〃	〃	11,714	18,494	271,624	229,712
미장공사	〃	〃	240,495	1,275,677	683,021	3,060,518
창호, 유리공사	〃	〃	1,250,965	201,949	2,422,604	489,100
도장공사	〃	〃	52,308	236,269	125,867	466,095
수장공사	〃	〃	712,212	286,107	369,805	46,229
합계			13,312,178	9,872,725	11,651,725	10,444,011
총공사비			23,184,953		22,095,736	

\*1. 단위당 물량은 건설부 제정 건축부문 표준 품셈에 의함.  
 \*2. 단가는 사단법인 한국물가협회 발행 월간 물가지표 '91년 6월호에 의함.  
 \*3. 상기 내역은 순공사비 원가이며 공과잡비 및 부가세 등은 포함치 않은 금액임.

Table 3 유류절감 효과

Net Reference Load(kwh)	Solar Savings (kwh)	단열보강 절감 ** (kwh)	총 절감량 *** (kwh)	유류 절감량 **** (1)	절감액 *** (원)
22,429	1,254	2,240	3,494	659	119,938

\*SSF값  
 \*\*Net Reference Load의 10%  
 \*\*\*보일러효율 50%, 경유 1 당 발열량 10.6kwh  
 \*\*\*\*경유 1 당 182원

Table 4 과 같으며 계산된 수치는 1991년 10월 사용되는 수치가 적용되었다.

라이프 사이클 이용 분석법에 의한 경제성 평가를 동자연 자연형태양열연구실에서 개발된 전산프로그램인 'JECO<sub>2</sub>'에 의하여 계산하였다. 그 결과 DCF(Discount Cash Flow)<sup>1)</sup>는 21%/년 이었고, DPP(Discount Payback Period)<sup>2)</sup>는 11년

- 1) 내부수익율로써 초기투자에 투자된 돈을 연간 몇 % 의 이자로 활용하는가를 나타낸다.
- 2) 투자 상환기간으로 초기 투자된 돈이 몇 년 동안 상환될 수 있는가를 나타낸다.
- 3) 순 현재가로써 수명 기간 동안 발생한 총수익의 현재가를 나타낸다.



Table 4 입력자료

변수명	입력자료	데이터
$S_1$	시스템 수명	50년
$I_n$	초기투자비용	1,090,000원
$F_s$	1차년도 유류절감액	120,000원
$D_r$	시장할이율	6%/년
$G_i$	일반물가상승율	8%/년
$D_p$	자기자본 비율	50%
$P_1$	부채 상환기간	20년
$I_{er}$	이자율	13%
$M_g$	시스템 운용비용	10,000원 <sup>1)</sup>

이며, NPV(Net Present Value)<sup>3)</sup>는 7,770,000원 이었다(유가상승율 8%/년).

## 5. 결 론

1989년 7월 현재 문교부(현 교육부)에서 조사한 시설 실태조사표(통계표)에 의하면 우리나라는 국민학교 7,640개, 중학교 2,495개, 고등학교 1,670개 학교가 설립되어 있는데 이들 학교의 총 보유교실 수는 국민학교 140,726교실, 중학교 71,128개, 고등학교 67,924교실로써 제주남부 일부지역을 제외하고 대부분 겨울난방을 하고 있으며 이를 난방 종류별로 분류해 보면 국민학교는 난로난방교실(유류, 가스, 탄류, 전기)이 138,739교실, 보일러교실이 1,978교실, 중학교는 난로난방 교실이 69,390교실, 보일러 교실이 1,738, 고등학교는 난로교실 62,303교실, 보일러 교실(유류, 가스)이 5,621교실이다.

따라서, 본고에서의 예성여자고등학교와 같이 직접획득형 자연형 태양열 시스템을 학교건물에 적용하면 상당한 량의 난방에너지 절감을

도모할 수 있다.

그러나 학교건물은 일반주택의 거실 등과 달리 창가측에서는 학생이 계속 책을 본다든지 칠판을 바라보아야 하는 등의 교육적 특수성이 있으므로 향후 교실에서의 빛환경에 대한 분석도 이루어져, 본고에서의 열성능 분석과 함께 종합적인 환경평가가 있어야 겠다.

## 참고 문헌

1. 오정무 외, '자연형 시스템 개발 및 대체에너지 정책 비교분석', 한국동력자원연구소 연구보고서 KE83-14, 1983
2. 이경희, '건축환경계획', 문운당, 1986
3. 이연구 외, '건축환경과학', 태림문화사, 1989
4. 이연구 외, '에너지 절약형 건축설계 핸드북', 대한건축사협회, 1990
5. 김광우, 조균형, '태양열 주택 설계의 기본 지식과 설계사례', 태림문화사, 1990
6. 김정태, '자연형 태양열 주택 설계기법', 전우사, 1990
7. 김교두, '공기조화·위생공학편람 I, II, III', 금탑 1983
8. 김교두, '공기조화 설비설계핸드북', 국제이연사, 1979
9. Edward mazria, 'The Passive Solar Energy Book', Rodale Press, Organic Park, Emmaus, PA18049, 1979
10. J.D. Balcomb et al, 'Passive Solar Design handbook Vol.2 of Vols., Passive Solar Design Analysis', DOE/cs-0127/2, Prepared by LASL, 1980

1) 초기 투자비용의 1%

Simulation model for thermal environments of solar collector was developed to investigate the effect of solar radiation and airflow rate on thermal performance.

## **Experimental Studies for Solar Drying System of Agricultural Products(Ⅱ)**

— Solar drying characteristics for rough rice —

**Koh, Hak-Kyun · Kim, Yong-Hyeon\* · Song, Dae-Bin\*\* · Park, Jae-Bok\*\*\***

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ.

Institute of Agricultural Science & Development, Seoul National Univ.\*

Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National Univ. Graduate\*\*

Korea Food Research Institute\*\*\*

In-bin grain drying experiments were performed to investigate the drying characteristics between natural air and solar heated-air drying system of rough rice. A computer simulation model for solar drying system of rough rice resulted in a good agreement between the experimental and predicted moisture content.

In order to save the electric energy consumption of fan, airflow rates control system using inverter was developed and resulted in the effect of energy saving.

## **Misgurnus Anguillicaudatus Growing in Winter Season by Solar Thermal Heating**

**Jung, Hyun Chai · Sun, Kyung Ho · Jo, Jae Sun\* · Nam, Sang Yul\*\***

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy. Dept. of Chemistry, Kyung Hee Univ.

Dept. of Food Processing, Kyung Hee Univ.\*

Dept. of Biology, Kyung Hee Univ.\*\*

We have maintained the optimum water temperature for misgurnus in winter season by solar thermal heating energy.

The Optimum temperatures for the misgurnus anguillicaudatus were experimentally estimated, i.e. for the total length 4~5cm and body weight 1~2g, the optimum temperature was 18~20°C. For the total length 5~7cm, body weight 2~3g was 20~22°C and for the total length 7~9cm and body weight 4~6gr was 22~24°C.

The smaller misgurnus(1~3g) grow relatively slow but the bigger ones(4~8g) grow relatively fast and total average body weight increment was about 30~50g per month.

## **A Performance Study on Direct Gain Passive Solar School Buildings**

**Lim, Sang Hoon · Lee, Nam Ho · Lim, Bok Kyu\***



Korea Institute of Energy Research  
Seoul National Polytechnic University\*

## ABSTRACT

Following the oil crisis in 1979, there have been surge of movements by the government in Korea to conserve petroleum-based energy in every sector of society.

One of these movements was the application of passive solar technologies into the construction of school buildings. Various passive designs are developed paying special regard to architectural and climatic factors.

This paper is related to the application of the passive solar technology(direct gain system) to high school buildings.

## A Simulation for the Stratified Thermal Storage System in Residential Solar Energy Application

**Pak, Ee-Tong · Yoo, Hoseon\***

Sung Kyan Kwan Univ  
Kyung Sang Univ.\*

The benefits of thermal stratification in sensible heat storage systems has been considered and studying by several investigators. In this paper, the basic data which is hard to obtain normally through the experiment were obtainable through the computer simulation. The major objectives of the study were to assess the benefits of stratified storage in residential solar water heating application and to suggest the optimum design parameters. From the computer simulation, following results were obtained.

1. The solar load fraction increases with increasing the number of tank segments. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 10%.
2. The solar load fraction increases when the ratio of diameter to height of the tank(H/D) increases to 3, but H/D exceed 3 then, the solar load fraction decreases. In these simulation, the magnitude of the improvement was about 3%.
3. Increasing the collector flow rate slightly improved the performance of the mixed storage system-(Node=1). But, for the stratified storage system(Node=N), the solar load fraction increases with decreasing flow rate until the point is reached at which the collector outlet temperature reaches the boiloff limit of 100°C over some portion of the simulation period.

## Study on the Latent Heat Characteristics of the Organic Compound, $C_{28}H_{58}$ and the Inorganic Compound, $CH_3COONa \cdot 3H_2O$

**Song, Hyun Kap · Ryou, Young Sun\***