

【 論 文 】

온실형 자연형 태양열 학교교사의  
성능 분석 연구

A Performance Study on Passive Solar School Buildings with Sun Space

임 상 훈\*      전 홍 석\*      오 정 무\*  
S.H. Lim      H.S. Jeon      P.C. Auh

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 to elementary school buildings.

It is proposed to place the hallway on the south side of the building to improve the thermal performance as well as indoor lighting effects.

The cases have been compared with those of the existing school buildings where substantial improvements are noted. Finally, standard drawings are prepared in detail to promote the application of this passive solar technology in practical school building.

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<sub>n</sub> : Investment  
F<sub>s</sub> : First year Fuel Savings  
D<sub>r</sub> : Discounted Rate  
G<sub>i</sub> : General Inflation Rate  
D<sub>p</sub> : Rate of Owner Funds  
T<sub>1</sub> : Term of Loan  
I<sub>r</sub> : Interest

\* 정회원 : 한국동력자원연구소

- $M_s$  : Maintenance Cost of System
- DCF : Discount Cash Flow
- DPP : Discount Payback Period
- NPV : Net Present Value

## 1. 서 론

학교건물은 교육 목표에 따른 학교의 교육적 기능을 원활히 수행할 수 있도록 건설되어야 한다. 따라서 고능률의 수업분위기를 조성하기 위한 쾌적한 실내환경의 제공은 학교건물 계획에 있어서 필수적인 것이며, 특히 여름과 겨울철에는 각별한 냉·난방계획이 수립되어 있어야 한다.

현재, 학교건물에 소요되는 난방에너지는 우리나라 전체 에너지소비중 상당한 비중을 차지하고 있으므로, 이러한 주간사용건물로서 공공 건물인 학교에 소요되는 에너지를 절감하기 위한 하나의 방법으로 자연형 태양열 시스템을 적용한 새로운 개념의 학교를 설계하고 그 열적성능을 분석하였으며, 이에 따른 경제성 문제도 아울러 검토하였다.

한편, 본고에서 제시된 온실형 자연형 태양열 학교교사는 자연형태양열시스템의 원리와 일반 학교의 공간계획 개념을 조화시켰을 뿐 아니라 교사와 학생들의 시력보호를 위한 빛환경과 소음등 음환경도 고려하여 학교건물의 질적 향상을 도모하였다.

## 2. 건축계획적 고찰

### 2.1 교육적 시설로서의 기본계획

학교의 기능이 학교시설에 따라 결정되어서는 안되므로, 이 온실형 자연형 태양열 학교교사 설계에 있어서는 교육적 요소가 에너지 절약적인 요소보다도 우선하여 고려되도록 하였다.

따라서 Lyman<sup>1)</sup>이 제시한 학교시설 계획의 기본 개념을 중심으로 학교 시설 계획에서 고려해야 할 사항들을 현재의 우리나라 교육여건과 결부하여 검토하였다.

즉, 학교 시설 계획의 기본 개념인 적절성 (suitability), 효용성 (utility), 융통성 (flexibility), 효율성 (efficiency), 실용성 (serviceability), 경제성 (economy), 미관성 (beauty), 상보성 (compatibility) 등 8가지 학교건축의 기본적 속성을 반영하고, 오늘날까지 문교부에 의해 일률적으로 집행되고 있는 학교건축예산액의 한도내에서, 열성능면에서 우수한 그리고 경제적 타당성이 있는 자연형 태양열 학교를 설계토록 하였다.

### 2.2 온실형 자연형 태양열 학교교사의 설계

앞서의 교육적 시설로서의 기본계획과 설계요소 등을 고려한 뒤, 열적 성능이 우수한 온실형 자연형 태양열 학교교사 설계 계획안을 수립하였다. 그 후 이 계획안에 대한 자문을 관계인들로 부터 받은 뒤 (1987년도에 한국동력자원연구소 주관으로 건설부, 문교부, 동자부 등 관련 기관의 주무부서 실무자와 건축학회, 태양에너지학회, 공조학회 소속 학회 이사 및 대학 교수등 전문가 20명으로 자문위원회를 구성하여 3차례에 걸쳐 자문회를 개최하였음)이 온실형 자연형 태양열 학교교사 모범 설계 도면을 완성하였다.

이 온실형 자연형 태양열 학교교사의 원리는 다음과 같다.

가. 여름철엔 과열방지용 차양(남측 복도가 차양역할을 함) 및 개폐용창문으로 인한 맞통풍을 유도하여 자연냉방을 한다.(Fig 1 참조)

나. 겨울철엔 복도에 태양열을 집열, 축적하여 인접한 보통교실내부공간의 난방에너지로 사용한다.(Fig.2 참조)

한편, 이 온실형자연형태양열학교교사의 특징

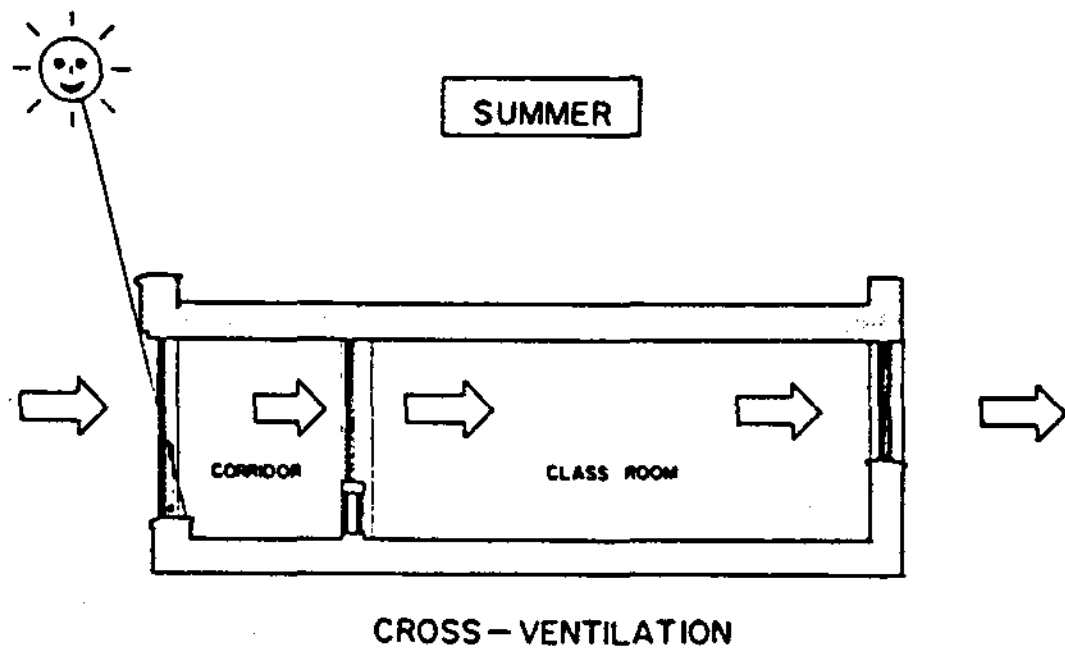


Fig. 1 Cooling System

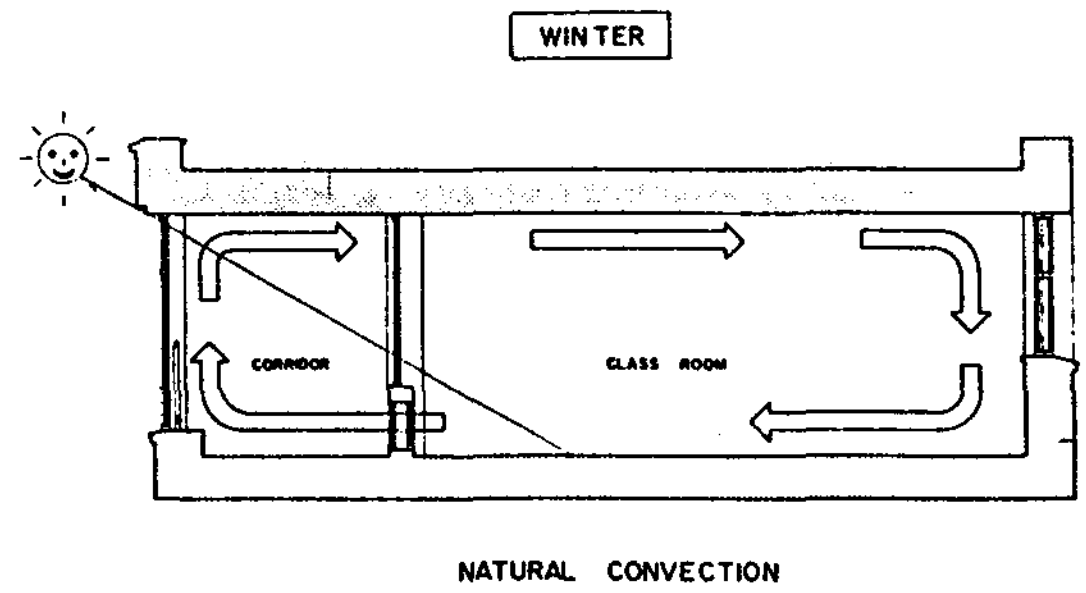


Fig. 2 Heating System

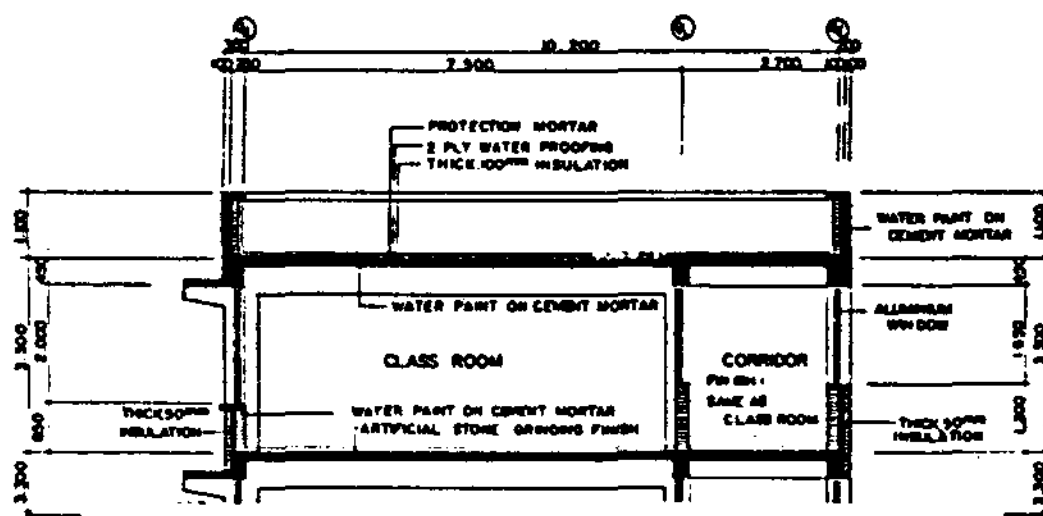


Fig. 3 Main Section Detail (Common School Classroom)

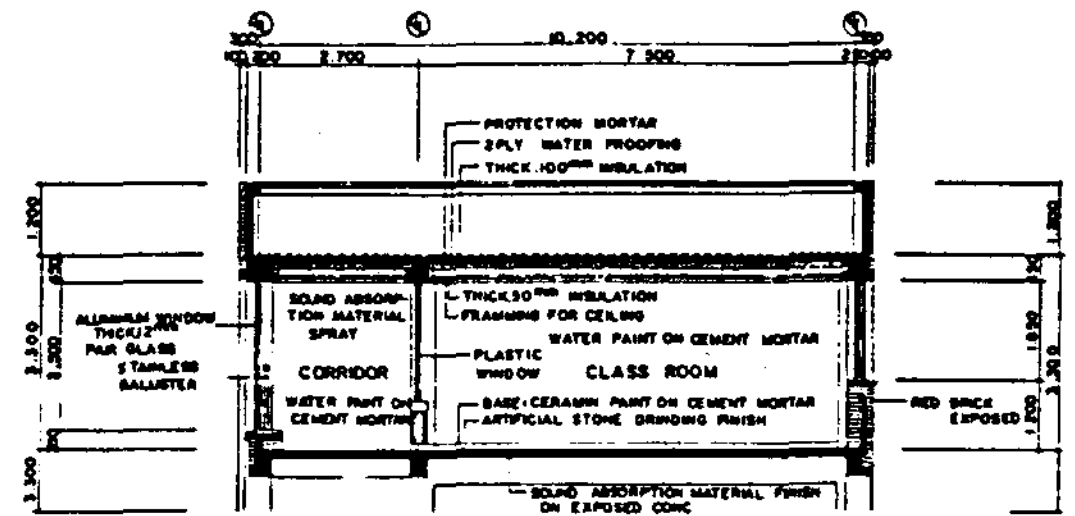


Fig. 4 Main Section Detail (Passive Solar School Classroom)

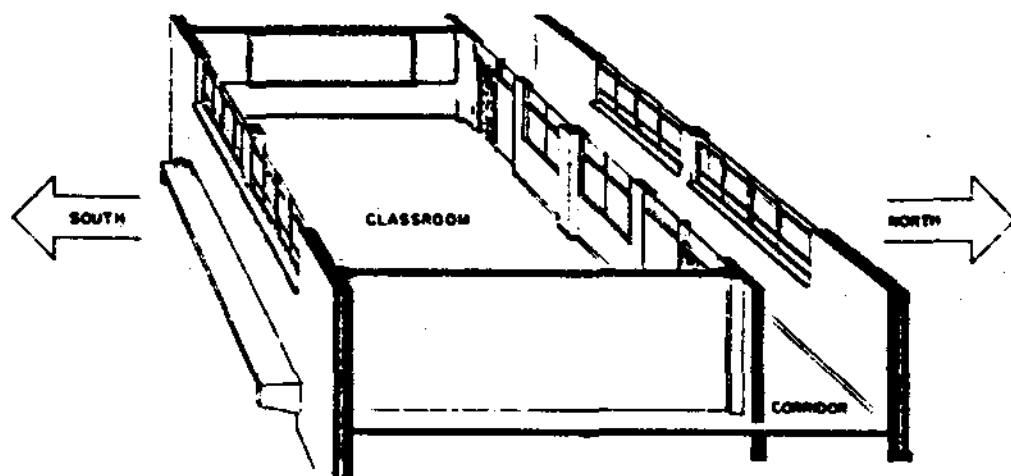


Fig. 5 Perspective (Common School Classroom)

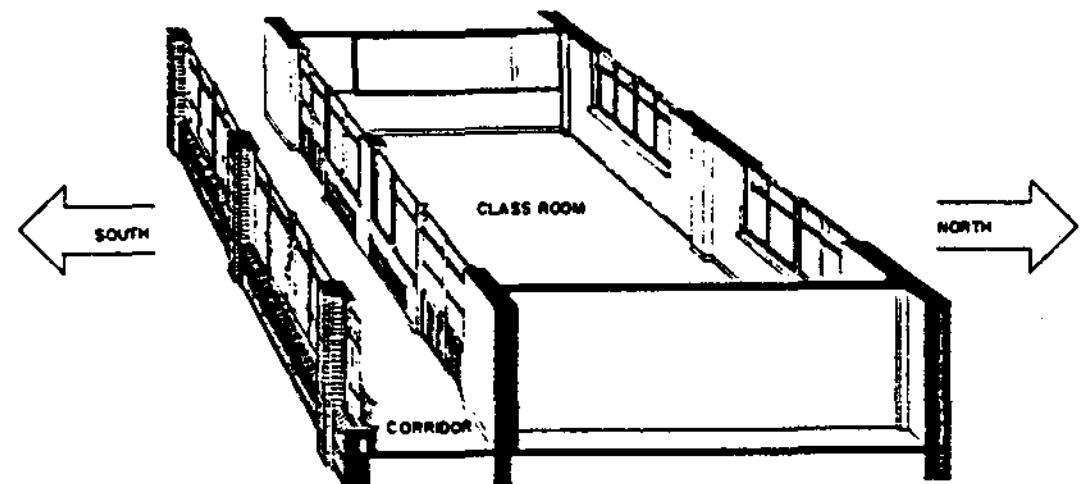


Fig. 6 Perspective (Passive Solar School Class Room)

은 다음과 같다.

가. 북측이 복도로 되어 있는 기존 학교교실의 구조를 남측에 복도가 있게 함으로써, 복도의 역할을 겸하면서 휴식공간으로도 사용되고 보통교실의 온도조절기능도 수행할 수 있도록 하였다.(Fig.3,4 참조)

나. 교실에 직접 사입되는 빛을 최소화하고, 교실 남·북측 창의 크기를 적당하게 함으로써 채광에 의한 실내조도분포를 균일하게

\* 본고에서의 자연형 태양열 교실은 일사에 의해 더워진 복도내의 공기를 교실과 복도 사이에 있는 간벽 하단과 상부의 미서기창 개폐를 통해 자연대류현상을 이용 교실내부공간에 이용할 수 있도록 하였으나, 일반학교교실 경우는 북측에 복도가 있고, 또한 간벽은 상부에 창이 있으나 하부에 창이 없기 때문에 공기 이동이 원활하지 않아 온도조절기능이 없는 것으로 평가된다.

하도록 하여 학생 및 교사의 시력보호를 기하였다.(Fig.5.6 참조)

다. 이 온실형자연형태양열학교교사 모범 설계도면의 용도는 우리나라에서는 적용지역 제한 없이 초·중·고등학교 학교교사 신축시 입지 조건만 적당하면 사용가능하다.

### 3. 효율분석 및 경제성분석

#### 3.1 효율분석

이 온실형자연형태양열 학교교사의 열성능 분석은 가장 최근에 개발된 열해석 방법인 Expanded SLR 방법을 사용하였는데, 컴퓨터 프로그램은 한국동력자원연구소 자연형태양열연구실에서 개발한 "SLR<sub>2</sub>"\*에 의하여 수행하였다. 열성능 분석결과는 다음과 같으며 기후데이터\*\*는 서울지역을 기준으로 하였다.

NLC(Net Heating Load Coefficient :

건물순난방부하계수)

$$24 \text{ hr} \times 3,479.9 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C} = 83,517.6$$

$$\text{Kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{day} \quad (97,130.96 \text{ Wh/}^\circ\text{C} \cdot \text{day})$$

TLC(Total Heating Load Coefficient :

건물총난방부하계수)

$$24 \text{ hr} \times 5,699.86 \text{ Kcal/h}^\circ\text{C}$$

$$= 136,796.64 \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{day}$$

LCR (Load Collector Ratio)

$$\text{NLC}/A_p = 83,517.6 / 853.83$$

(표 1) 열성능평가 자료

부위	면적 (㎡)	열관류율 (Kcal/㎡·h°C)	U × A (Kcal/h°C)	
벽	동측벽	151.47	0.25	37.87
	서측벽	151.47	0.25	37.87
	남측벽	689.08	0.25	172.27
	북측벽	1,213.40	0.25	303.35
창	326.64	1.74	568.35	
문	북측벽	2.88	2.81	8.09
	남측벽	22.36	2.62	58.58
천정	1,019.28	0.18	183.47	
바닥	1,019.28	0.21	214.05	
Infiltration	12,640 × 0.3 × 0.5*** = 1,896			
계	3,479.9 Kcal/h°C			
집열부 손실	853.83 × 2.6 = 2,219.96 Kcal/h°C			
총계****	5,699.86 Kcal/h°C			

\*\*\* 환기율 (ACH) : 0.5회/시간

상기 환기율은 O<sub>2</sub> 기준으로 환기율이 다소 적게 계산되었음

\*\*\*\* 상기 부하계산에서는 특별교실 건물은 제외하였음.

$$= 97.81 \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{day}$$

$$(113.75 / \text{m}^\circ\text{C} \cdot \text{day})$$

LCR<sub>2</sub> (Load Collector Ratio Solar)

$$24 \text{ hr} \times \text{집열부통한열손실계수}/A_p$$

$$24 \times 2,219.96 / 853.83$$

$$= 62.40 \text{ Kcal/}^\circ\text{C} \cdot \text{day}$$

$$(72.57 \text{ wh/m}^\circ\text{C})$$

\* a. 동자연 자연형태양열연구실에서는 현재 자연형태양열시스템분석프로그램으로 'SLR<sub>2</sub>'와 'SERI-RES' 프로그램을 사용하고 있으며, 새로운 프로그램에 대한 개발을 위해 과학기술처 특정연구과제로 금년도에 신청중인 과제가 있음. 따라서 본고는 'SLR<sub>2</sub>' 프로그램외에 현재 당실로서는 'SERI-RES' 프로그램으로도 분석가능하나 그렇게 되면 이중분석이 되어 중복이 되므로 본고에서는 'SLR<sub>2</sub>' 프로그램으로만 수행하였다.

b. 한편, 'SERI-RES'에 대해 설명을 하면, 'SERI-RES'는 건물의 시간별 동적 열성능 분석을 위하여 개발된 전산프로그램으로서, 건물에 적용된 자연형 태양열 시스템의 열성능 분석에 적합하도록 되어 있다. 즉, 건물의 열모델을 건물 부위별로 기술한 입력은 프로그램에 의하여 Simulation Parameters로 변환되고, 모델이 열방정식을 시간별로 반복적으로 해석하여 Simulation기간 동안의 Solution을 구하는 것이다.('SERI-RES'는 미국 워싱턴 주의 Ecotope Group이 SERI(Solar Energy Research Institute)와의 계약에 의해 개발한 건물해석용 프로그램입니다.)

\*\* 이남호외, '한국의 일사량자원 현황분포' KE-86-11 별책부록, 한국동력자원연구소, 1986, pp.61~65.

$$T_{base} \text{ (실내온도 } 18^\circ\text{C 기준 : } T_{set} = 18^\circ\text{C)}$$

$$T_{base} = T_{set} - Q_{int} / T_{LC}$$

$$18 - 768.000 / 136.796 = 12.4^\circ\text{C}$$

〈표 2〉 열 성능 분석 결과

Location ..... SEOUL							
Latitude ..... 37.6 [deg]							
System Type ..... SS 20							
Net Heating Load Coeff. .... 97130.96 [Wh/C.day]							
Load Collector Ratio (LCR) ..... 113.75 [Wh/m 2.C.day]							
LCR for Solar Aperture (LCRs) ..... 72.57 [Wh/m 2.C.day]							
Balance Point Temperature ..... 12.4 [C]							
Month	Ambient Temp. [C]	DD [C.day]	S [kWh/m <sup>2</sup> ]	Net Ref. Load [kWh]	Solar Savings [kWh]	Aux. Heat [kWh]	SSF [%]
Jan	-4.9	536	54	52091	11981	40110	23.0
Feb	-1.9	400	49	38891	12961	25930	33.3
Mar	3.6	273	53	26497	15446	11052	58.3
Apr	10.5	57	42	5536	5473	64	98.9
May	16.3	0	42	0	0	0	100.0
Jun	20.8	0	38	0	0	0	100.0
Jul	24.5	0	34	0	0	0	100.0
Aug	25.4	0	34	0	0	0	100.0
Sep	20.3	0	44	0	0	0	100.0
Oct	13.4	0	52	0	0	0	100.0
Nov	6.3	183	48	17775	13110	4665	73.8
Dec	-1.2	422	51	40950	13529	27421	33.0
Total		1871		181742	72499	109243	
Annual SSF = SS/NRL = 39.9							

### 3.2 경제성 분석

자연형 태양열 교실의 설계에 있어 가장 큰 관심의 대상이 되는 것은 그 시스템을 설치하여 얻을 수 있는 경제적 타당성이다. 효율이 높은 시스템을 설치하여 많은 연료비를 절감할 수 있다 하더라도 그 초기투자비가 많으면 태양열 시스템으로서의 가치가 없는 것이다. 또한 그 수명기간이 짧아도 시스템의 경제성은 없는 것으로 보아야 한다. 자연형 태양열 시스템의 가장 큰 장점은 바로 이러한 내구성. 초기투자비의 저렴 등으로 요약될 수 있다.

여기서는 앞에서 설계한 온실형 자연형 태양열 교실의 경제성을 라이프사이클 이용분석법\* (Life Cycle Cost Analysis Method) 으로 평가하였다.

#### 3.2.1 경제성 평가방법

자연형 태양열 교실의 경제성 평가에 필요한 중요인자는 첫째, 교실에 대한 자연형 태양열

\* Pay-Back Period Method로 평가

시스템의 초기투자 비용과 둘째, 초기투자에 의한 혜택 즉 유류절감효과이다.

유류절감효과는 자연형 시스템의 성능평가 방법으로서 교실의 태양열절감율 (SSF: Solar Savings Fraction) 을 의미한다.

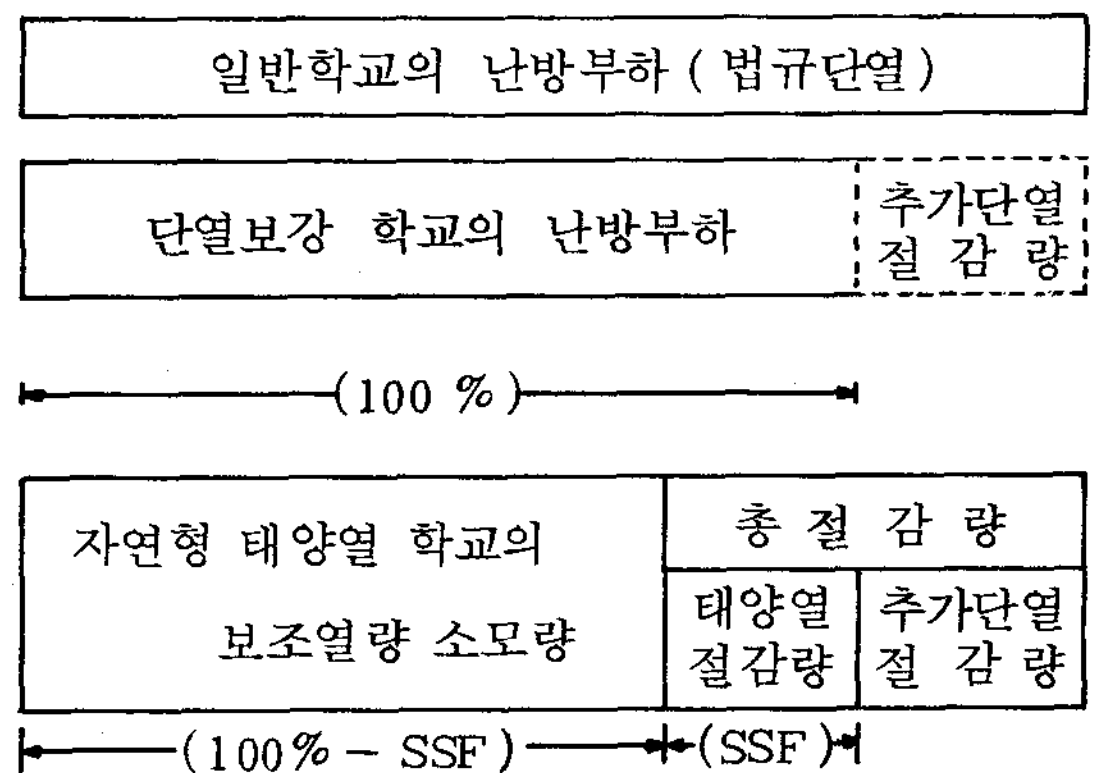
먼저 교실에 자연형 태양열 시스템을 적용하므로써 추가되는 초기투자비는 교실의 남측벽 외부에 설치되는 집열창의 재료인 복층 유리와의 지지하는 창틀 그리고 추가 단열재료의 합을 뜻한다.

따라서 이 자연형 태양열 교실의 추가비용은 남측 정면 부분의 태양열 시스템 구성에 대한 유리창 및 창틀을 계산한 것이며 이외 모든 부분은 일반학교의 보통교실과 동일한 재료 및 공법으로 내역상 같은 금액으로 산정하였다. 그 결과 초기투자비는 한 교실당 1,076,000 원이 추가되었다.

#### 3.2.2 유류절감효과

자연형 태양열 교실의 유류절감 효과를 알기 위해서는 태양열절감율 (SSF) 을 알아야 한다. 태양열절감율 (SSF) 의 개념은 표 3 과 같다.

〈표 3〉 태양열절감율 (SSF) 개념도



상기에서 보는 바와 같이 태양열절감율(SSF) 은 단열보강학교의 난방부하가 자연형 태양열 시스템을 설치하므로써 절약되는 난방에너지의 비율을 의미한다. 이러한 개념을 식으로 표시

하면 다음과 같다.

$$\text{자연형 학교의 태양열절감율 (SSF)} = 1 - \frac{\text{자연형 태양열 학교의 보조열원 소모량}}{\text{단열보강 학교의 난방부하}}$$

그러므로 총유류절감효과 (ESF : 총절감량) 는 결국 추가단열에 의한 효과와 자연형 태양열 시스템 추가에 의한 효과의 합이 된다.

$$\begin{aligned} \text{총절감량} &= \text{일반학교 난방부하} - \text{자연형 태양열 학교의 보조열원 소요량} \\ &= \text{태양열절감량} + \text{추가단열절감량} \end{aligned}$$

따라서 유류절감효과는 표 4 와 같다.

〈 표 4 〉 유류절감 효과

Net Reference Load (Kwh)	Solar Savings (Kwh)	단열보강절감** (Kwh)	총절감량 (Kwh)	유류절감량*** (ℓ)	절감액**** (원)
5.679	2,265 (39.9)*	1,703	3,968	748	157,080

- \* SSF 값
- \*\* Net Reference Load의 30%
- \*\*\* 보일러효율 50%, 경우 1 ℓ당 발열량 10.6Kwh
- \*\*\*\* 경우 1 ℓ당 210원

### 3.2.3 경제성 평가

라이프사이클이용분석법에 의한 경제성 평가를 위해서 사용된 입력데이터는 다음과 같으며 사용된 수치는 1987년 12월 사용되는 수치가 사용된다.

라이프사이클 이용분석법에 의한 경제성 평가를 한국동력자원연구소 자연형태양열연구실에서 개발된 전산 프로그램인 "JECO<sub>2</sub>"에 의하여 계산하였다. 경제성 분석결과는 표 6 과 같다.

## 4. 결 론

본고에서의 온실형 자연형태양열학교교사 설계

〈 표 5 〉 입력 자료

변수명	입력 자료	데이터
S <sub>t</sub>	시스템 수명	50 %
I <sub>n</sub>	초기투자비용	1,076,000 원
F <sub>s</sub>	1차년도 유류절감액	157,000 원
D <sub>r</sub>	시장할인율	6%/년
G <sub>i</sub>	일반물가 상승율	8%/년
D <sub>p</sub>	자기자본비율	50 %
P <sub>i</sub>	부채상환기간	20 %
I <sub>r</sub>	이자율	10 %
M <sub>g</sub>	시스템운영비용	* 100,000 원

\* 초기투자비용의 1%

〈 표 6 〉 경제성 분석결과

Initial Investment = 1076 [1000 won]  
1st year Fuel Saving = 157 [1000 won]

Analysis Method	5 [%/yr]	Fuel Cost Infl. Rate		
		10 [%/yr]	15 [%/yr]	20 [%/yr]
DCF [%/yr]	22.93	29.7	36.0	41.9
DFP [yr]	9.6	7.9	7.0	6.3
NPV [won]	3890095	19052929	98345272	550882051

안은 당연한 에너지절약 정책에 부응하여 질적, 경제적으로 향상된 학교의 전국적 확대 보급을 제고하고, 학생들로 하여금 열 뿐 아니라 빛 및 음환경면\*\*에서도 양호한 쾌적한 실내공간에서 수업하도록 함으로써 교육적 성과를 높임과 동시에 설계 및 시공업체에 대해서는 설계지침으로 이용되어 태양열학교건설의 활성화를 기할 수 있는 선도적인 제시가 되도록 하였다.

또한 이 설계안은 태양열 이용장치가 극히 단순하고 유지관리가 간편하며 구조상세에 있어서도 재래의 건축적 수법을 원용하였고, 학습기능이나 외관상으로도 이질감을 느낄 수 없도록 하

\*\* 일반적인 학교교실은 남측에 교실이 있고, 그 교실 또한 직접 운동장에 면하게 됨에 따라 운동장의 소음이 직접 교실로 전달되나, 본 고에서의 자연형태양열교실은 북도가 남측에 있고 교실이 북측에 있으므로 운동장의 소음이 북도내부에서 일부 흡음되어 교실로 전달되므로 음환경면에서 개선된 것이다.

는 등 학교건물 본연의 교육적 기능, 미, 경제성을 균형있게 조합하여 우리나라 교육감각에 쉽게 적용될 수 있도록 하였다.

한편, 열효율분석을 실시하였는데, 분석해 본 결과 난방연료의 연간절약율이 70%로 상당히 높은 수준을 보이고 있다.

끝으로 경제성 분석 결과 향후 30~50년사이의 평균 유가상승율을 5%로 예측할 경우, 한 교실당 추가투자비 107만원에 대한 추가투자회수기간은 10년미만으로 시스템 수명이 건물 수명과 같이 30~50년 이상임을 감안할 때 경제성이 매우 높은 것으로 평가된다.

#### REFERENCES

1. W. Lyman, "Eight Y's of School Planning", The American School Board Journal, Vol. 140, No.1, 1960, pp.24-25.
2. Edward Mazria, "The Passive Solar Energy Book", Rodale Press, Organic Park, Emmaus, PA 18049, 1979.
3. 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
4. ASHRAE, 'ASHRAE Handbook 1985. Fundamentals', ASHRAE Inc., 1985