

【論 文】

自然型 太陽熱시스템의 適定化 設計에
關한 研究

Development of Software Program for the
Design of Passive Solar Systems

姜 岱 浩* 吳 正 茂* 林 常 薰*
(D.H.KANG) (P.C.M.AUH) (S.H.LIM)

ABSTRACT

The study aims at providing the methodology for planning and designing of passive solar systems. The computer softwares for the optimization of passive solar systems and insulation level of passive solar houses are developed. The computer software package was generated for various residential buildings under Korean weather condition.

I. 序 論

自然型太陽熱시스템은 가능한 많은太陽에너지를 效果的으로 획득하여 暖房空間에 効率的으로 分配하도록 設計되어야 한다. 그러므로 太陽熱시스템 設計時 주어진 범위내의 조건에 적합한 規模의 構成이 重要하게 된다. 또한 획득된 熱에너지의 熱損失을 最小化하기 위한 적절한 斷熱對策도 강구되어야 한다.

이러한 두가지 基本的인 事項을 고려하는데 영향을 미치는 因子로서는 氣候因子(온도, 일사량 등)와 空間內에서의 생활패턴, 시스템이 適用되는 建物の 規模 및 特性을 비롯하여 경제적인 수준, 기술적인 수준 등을 들수 있다. 이 因子중에서 設計者 또는 建築主에게 시스템 設計상의 가장 직접적인 制約條件으로 등장하는 것이 經濟性이다. 즉, 시스템 및 斷熱強化 등에 所要되는 投資費用을 몇 년이내에 回收할 수 있는 지가 決定的인 觀念이 되는 것이다.

또한 制限된 費用으로써 自然型시스템과 斷熱強化에 部位別로 어느 정도 各各 分配하여 投資하는 것이 效果的인가 라는 問題도 남게된다. 다시 말하면 同一한 費用으로 自然型시스템의 規模와 斷熱水準에 投資하는 比率를 決定하는 일이다.

本 研究에서는 自然型 太陽熱시스템의 適定規模를 決定하고 이에 따른 建物の 部位別 適定斷熱水準 등을 선택하여 그에 따라 몇년 이내에 投資額을 回收할 수 있는 지의 計算을 포함한 관련된 사항들을 도출할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 開發함으로써 차후 自然型 太陽熱 建物の 設計에 필요한 基本資料로 活用하는데 目的이 있다.

研究方法으로서는 自然型시스템 設計에 대한 種래의 方法을 살펴보고 기개발된 方法들을 利用한 最適化 接近方法을 設定하는 方法을 취하였다.

研究內容에서는 理論的 背景에 의한 最適化 接近方法을 設定한 후 실제의 프로그램을 開發하였으며 이를 이용한 適用事例를 제시하였다.

*正會員 : 韓國動力資源研究所

II. 理論的 背景

1. 종래의 방법

自然型 太陽熱시스템의 設計 및 效率豫測에 使用된 종래의 方法으로는 Edward Mazria에 의한 간이설계법 (Rule of Thumb), F-Chart 方法, 그리고 LASL의 技法 등이 있다. Mazria의 간이설계법은 경험치에 근거하여 시스템設計의 規模 및 크기 등을 設計初期段階에서 손쉽게 이용될 수 있는 長點이 있으나, 지나치게 개략적인 면이 短點이라고 볼 수 있다. 역시 경험론적 方法인 F-chart 方法 역시 간이설계법과 거의 유사한 면이 있다. 이론적인 시뮬레이션에 의한 LASL기법은 정확성이 높고 비교적 복잡하지 않아서 일반적으로 널리 사용되고 있다.

그러나 상기의 방법들은 자연형 태양열시스템의 設計 및 效率分析에 중점을 두고 있어 태양열 획득 만큼이나 중요한 熱損失防止 즉 斷熱強化를 적절한 수준에 맞추는 면은 거의 무시되고 있다고 볼 수 있다.

2. 最適化 接近方法

가. 斷熱設計

建物에서의 熱損失은 몇가지 평행한 경로를 통하여 發生하는 것으로 解析된다. 복사열이 통과하지 않는 불투명한 물체의 경우에는 斷熱費用을 다음과 같은 식으로 정의하여 사용한다.

$$COST_i = \gamma_i R_i A_i - C_i \dots\dots\dots (1)$$

R_i : 열저항값 ($m^2 h \text{ } ^\circ C / Kcal$)

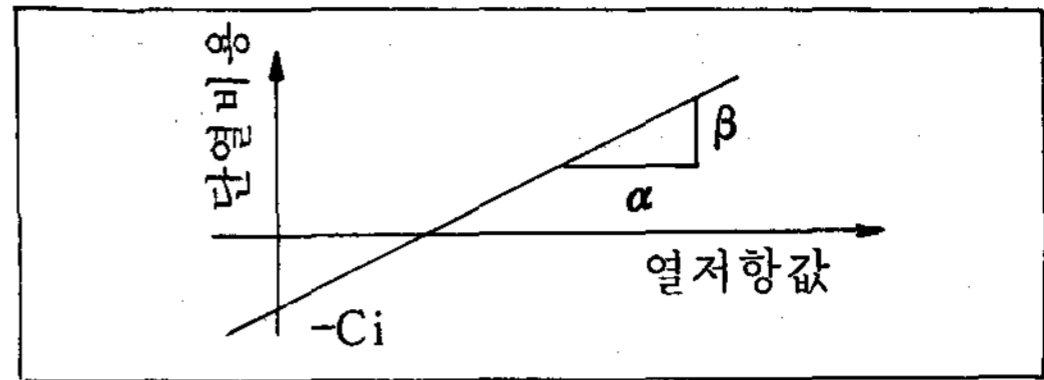
A_i = 면적 (m^2)

γ_i : R 에 대한 費用增分

C_i : $R = 0$ 일때 계산해서 제외된 부위의 비용

여기서 γ 과 C 의 관계는 그림 1과 같다. 그림에서 나타난 직선의 기울기 즉 R 에 대한 비용증분은 γ_i 가 되고 절편의 값은 $-C_i$ 가 된다. i 는 평행한 여러가지의 열손실 경로 즉 벽체, 천정등의 지수로써 단열에 소요되는 총비용은 $\sum COST_i$

가 된다.



[그림 1] 열저항값과 단열비용과의 관계³⁾

한편 단열은 건물의 난방부하와 밀접한 관계를 갖는다. 난방부하계수 L_i 는 부위별 면적에 열손실계수를 곱한 값이다.

$$L_i = 24 \cdot A_i \cdot U_i (= 24A_i / R_i) \dots\dots\dots (2)$$

A_i : 부위별 면적 (m^2)

U_i : 부위별 열손실계수 ($Kcal / m^2 h \text{ } ^\circ C$)

L_i : 부위별 난방부하계수 ($Kcal / ^\circ C \text{ day} : Kcal / DD$)

R_i : 부위별 열저항값 ($m^2 h \text{ } ^\circ C / Kcal$)

여기서 $24 \gamma_i A_i^2$ 을 b_i 로 놓으면 (1)식을 다음과 같이 간단한 형태로 고쳐쓸 수 있다.

$$COST_i = b_i / L_i - C_i \dots\dots\dots (3)$$

(3)식에 의하면 단열비용은 난방부하계수의 변화에 따라 연속적인 값을 취할 수 있도록 되어 있으나, 실제의 단열시공에는 난방부하계수가 연속적인 값을 취할 수 없으므로 몇가지 중의 한가지가 선택된다. 따라서 단열비용도 離散的인 (discrete) 값을 취한다.

어떤 정해진 총난방부하에 맞추기 위한 단열시공의 경우에는 필요한 총단열비용 $COST$ 는 열손실의 각 경로에 어느 정도씩 투자를 배분하는가에 달려있다.

(3)식에서의 b_i 및 c_i 는 상수이므로 총단열을 최소화하기 위하여 각 열손실경로의 L_i 를 적절하게 선택하여야 한다. 최적 L_i 는 다음식에 의하여 정해지는 것으로 알려져 있다.

$$L_i = L \sqrt{b_i / b} \dots\dots\dots (4)$$

$$L = \sum L_i \quad b = (\sum \sqrt{b_i})^2$$

여기서 $\sum C_i$ 를 C_c 로 하면 총단열비용은 다

음 식과 같다.

$$COST = b/L - C_c \dots\dots\dots (5)$$

(4)식을 (3)식에 대입하면 식(6)과 같으며

$$COST_i = \sqrt{b_i b/L} - C_i \dots\dots\dots (6)$$

이를 다시 (1)과 (2)식에 대입하면 최적 R_i 는 다음과 같이 바뀐다.

$$R_i = \sqrt{24b/ri/L} \dots\dots\dots (7)$$

극간풍에 의한 난방부하계수 $L_i = \text{容積(volume)} \cdot \text{ACH} \cdot \text{ADR} \cdot (6.920)$ 으로 계산한다. ADR (Air Density Ratio) 공기밀도비 = 0.91, ACH : Air Change Ratio (공기교환율) 基礎斷熱 (Perimeter Insulation)에서의 난방부하계수 $L_p = (30.5 \times \text{둘레}) / (R + 1.024)$ 로 계산된다.

나. 最適設計(총난방부하의 결정)

자연형 태양열 시스템의 最適設計에는 다음과 같은 2가지 경제적인 조건을 고려할 수 있다.

- i) 投資額이 決定(限定)되어 있는 경우
- ii) 投資額을 增額할 수 있는 경우

먼저 투자액이 한정되어 있는 경우의 최적 난방부하를 결정하는 방법은 다음과 같다.

자연형 태양열 건물에 있어서 태양열시스템에 소요되는 비용은 일반적으로 집열창면적에 비례한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$COST_{solar} = a \cdot A + C_a \dots\dots\dots (8)$$

COST solar : 태양열시스템의 비용

a : 상수

A : 집열창 면적 C_a : 상수

여기서 a와 C_a 의 값은 재료 및 시스템의 유형, 집열창의 재료 등에 따라 달라지므로 기본적인 설계의 방향이 정해진 다음에 정해진다.

태양절감율을 F라 하고 부하를 L로 표시하면 보조열원 소모량은 $L(1-F)$ 로 표시된다. 태양열시스템 투자액 COST solar가 제한되어 있으므로 이제 최적화 방법은 $a \cdot A + C_a + b/L - C_c$ 가 일정한 조건하에서 $L(1-F)$ 를 최소화하도록 A와 L의 값을 구하는 수학적 문제로 귀착된다.

$a \cdot A + C_a$: 태양열 시스템 투자액

$b/L - C_c$: 단열비용

이 방정식의 해는 Lagrangian multiplier의 방법에 의하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$L_0 = \sqrt{b \cdot LCR / (a \cdot R)} \dots\dots\dots (9)$$

$$A_0 = L_0 / LCR \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{여기서 } R = 1 + LCR(1-F)/D \dots\dots\dots (11)$$

$$D = dF/d(1/LCR) \dots\dots\dots (12)$$

d는 미분치를 표시한다. 즉 D는 F를 $1/LCR$ 에 대하여 미분한 도함수(derivative)이다.

LCR : Load Collector Ratio, A_0 및 L_0 는 구하고자 하는 최적치

최적설계의 궤적(Locus)을 이루는 상기와 같은 식들을 실제의 문제해결에 적용하는 방법은 다음과 같다.

F의 값이 0%, 10%, 90%인 경우에 대하여 LCR, D, R, A 및 A_0 를 차례로 계산한 다음 이들 수치들로 부터 총투자액 ($a \cdot A + C_a + b/L - C_c$)를 계산한다. 계산결과로 나온 총투자액들 중에서 원래 정해져 있는 투자액과 일치하는 점이 바로 최적설계조건이 된다.

투자액이 한정되어 있지 않고 증액할 수 있는 경우에는 최적투자액을 결정하는 계산까지 해야 하므로 계산은 더욱 복잡해진다.

투자액을 증액한다면 연료비는 절감되지만 초기투자액이 과다하게 되어 경제성이 낮아지므로 결국 경제성있는 어떤 투자액이 결정된다. 이 과정에서는 일반물가상승율, 시장할인율, 연료비상승율 등의 경제성 지수들을 사용하는 수명가분석법(Life Cycle Cost Analysis)가 필요하다.

여기서 보조열원비용은 연료비환산계수 'h'를 이용하면 $h(1-F)L$ 로 표시된다. 이를 이용하여 건물의 난방에 소요되는 총비용은 $a \cdot A + b/L + C_a - C_c + h(1-F)L$ 로 계산되며 이식의 값을 최소로 하는 변수들의 값은 다음과 같다고 알려져 있다.⁴⁾

$$D = a/h \dots\dots\dots (13)$$

$$L_0 = \sqrt{b / (a/LCR + h(1-F))} \dots\dots\dots (14)$$

$$A_o = L_o / LCR \dots\dots\dots (15)$$

이상과 같은 투자액의 조건에서 투자액이 한정되어 있는 경우의 식 (9~12)에서는 해가 하나의 궤적을 이루는 반면, 투자액을 증액 할 수 있는 경우 식 (13~15)에서는 하나의 점 즉 최적 설계점을 이룬다. 여기서 주목되는 점은 식 (14)에서 보면 LCR과 F의 값이 정해져야만 L_o의 값이 계산될 수 있는데 LCR은 본래 A_o/L_o로 계산되므로 다시 연립방정식을 풀어야 한다. 이러한 형태의 방정식을 푸는 별도의 계산법이 없으므로 결국 iteration에 의하여야 한다.

III. 最適化 電算 프로그램

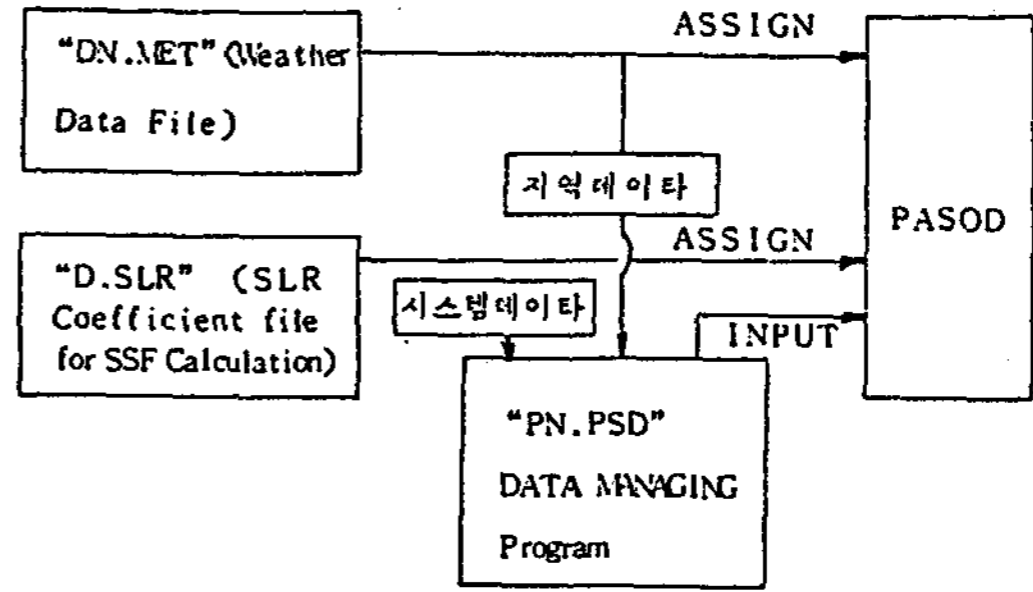
1. 개요

최적화 전산프로그램은 주프로그램인 PASOD (Passive Solar Optimal Design Program) 과 데이터 입력 프로그램 PN.PSD로 구성된다. 본 프로그램은 HP 9845B 컴퓨터기종을 통하여 개발된 것으로서 사용된 언어는 HP BASIC Language이다. 프로그램에 사용되는 입력데이터는 기후데이터와 SSF(태양열감율)을 계산하는데 필요한 계수를 제외하고 모두 PN.PSD (Data Managing Program for the PASOD)에 의하여 입력된다. 기후데이터와 SSF 계산용 계수는 별도의 파일에 구성되어 있다.

2. 프로그램의 구성

프로그램의 구성은 (그림 2)와 같다. (그림 2)에서도 알 수 있듯이 기후데이터 파일 (DN.MET)와 SSF계산용 계수 SLR상수 파일 (D.SLR)은 주프로그램인 PASOD에 항상 Assign되며 이를 데이터 파일 내에서 필요한 지역 및 시스템 데이터는 DN.MET 파일과 D.SLR 파일로부터 데이터 입력용 프로그램 (PN.PSD)에 의하여 불러져서 PASOD에 입력된다. PN.PSD는 이외에도 계산에 필요한 경제성 계산변수, 자연형 태양열시스템 및 타입 그리고 각 부위별 제원 등

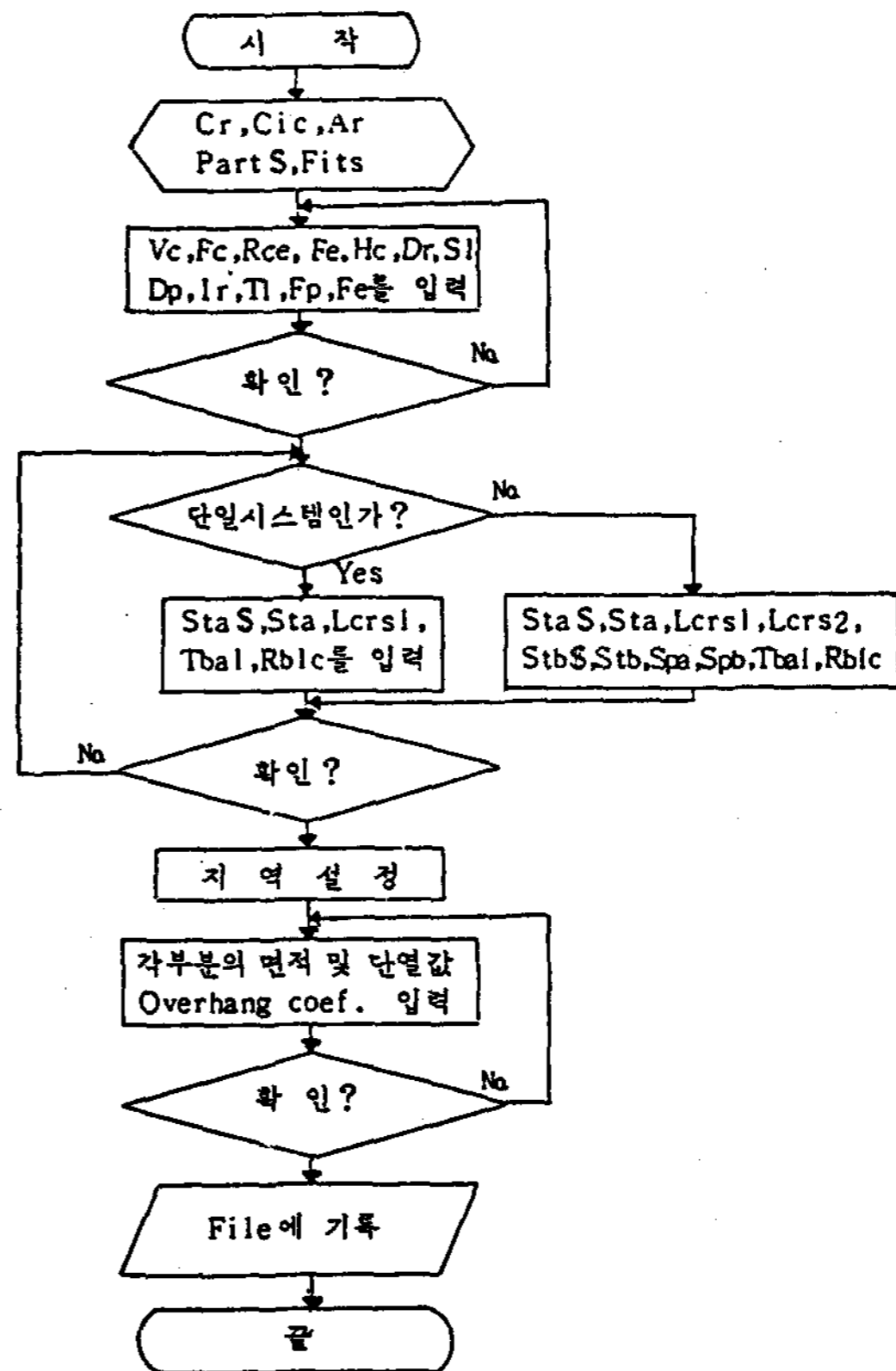
을 PASOD에 입력시키는 역할도 하게 된다.



(그림 2) 최적화 전산프로그램의 構成圖

가. 데이터 입력용 프로그램 (PN.PSD)

PN.PSD의 프로그램 흐름도는 (그림 3)과 같다. 본 프로그램은 주 프로그램에 사용되는 각종 데이터를 모아서 PASOD에 입력시키고 데이터 모음을 또 하나의 파일로 CREATE하는 기능을 맡는다. 이렇게 하는 이유는 입력 데이터의 종류가 많고 그 일련의 데이터 모음을 저장해 두는



(그림 3) PN.PSD의 프로그램 흐름도

데 있다.

또한 지역명 및 자연형시스템의 종류와 타입을 입력받아서, PASOD에 Assign된 "D.MET"와 "D.SLR" 파일에서 어떤 지역의 기후데이터와 시스템에 관한 SSF계산용 SLR 상수를 지정해준다.

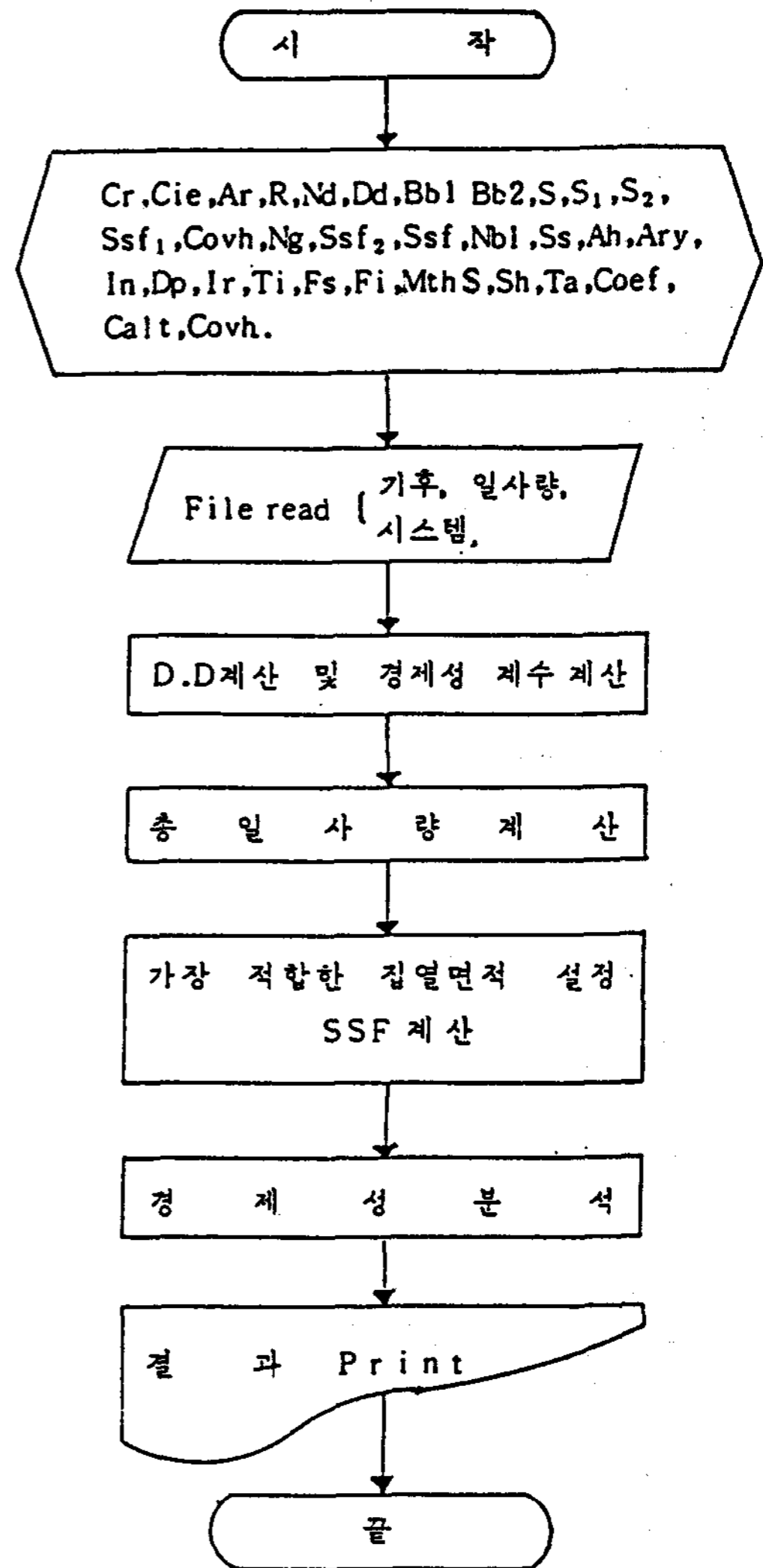
PN.PSD에 입력되는 변수는 경제성변수는 ① Vc : 자연형시스템 단위면적당 추가비용 ② FC : 자연형시스템 고정비용 ③ RCC : 기준단열비용 ④ DP : 자기자본비율 ④ IR : 이자율 ⑤ TL : 부채상환기간 ⑥ FP : 유가 ⑦ FI : 유가상용율 ⑧ HC : 유류발열량 ⑨ FE : 보일러효율 ⑩ SL : 시스템 수명 ⑪ DR : 시장할인율등이다. 이 외에 시스템 종류 및 타입변수, 지역명, 단열변수(cost per R : 각 부위별 m²당 1R 증가분의 비용), Const. Insl. Cost : 각 부위별 고정비용 Area : 각 부위별 면적) 그리고 차양계수 등이 있다.

나. 주 프로그램 (PASOD)

본 프로그램은 6개의 서브프로그램으로 구성되어 있다.

- SUB Rd : 데이터 읽기
- SUB Epcal : Ep의 계산
- SUB Opt SSF : 최적 SSF계산
- SUB Cfr : 최적 단열값 계산
- SUB Econo : 경제성 분석
- SUB Output : 계산출력

프로그램의 흐름도는 (그림 4)와 같다.



(그림 4) PASOD프로그램의 흐름도

IV. 事例研究

1. 적용모델

사례연구를 위한 적용모델은 동력자원연구소에서 설계한 자연형 태양열 주택²⁾으로서 25 평형, 40 평형, 50 평형, 60 평형 4가지를 대상으로 하였다. 자연형 시스템은 트롬울 (TW) 60%, 직

접 획득형 40%으로서 서울지역에 대하여 적용하였다.

2. 적용결과

적용은 주택의 규모별로 실시하였으며 (서울 지역기준), 또한 우리나라 14개도시에 대하여 각각 결과를 도출하였다.

(1) 주택 규모별 적용

(표1) 주택규모별 적용결과 요약

항 목		건물규모			
		25 평 형	40 평 형	50 평 형	60 평 형
CF		1.61	1.64	1.68	1.71
R 값 ($m^2h^{\circ}C/kcal$)	천 장	3.78(0.264)	3.85(0.259)	3.94(0.254)	4.01(0.249)
	벽	3.81(0.262)	3.88(0.257)	3.98(0.251)	4.05(0.247)
	창 문	0.60(1.67)	0.61(1.64)	0.62(1.612)	0.63(1.587)
	바 닥	3.23(0.309)	3.31(0.302)	3.42(0.292)	3.50(0.285)
ACH(회/HR)		2.12	2.16	2.21	2.25
투자회수 기 간 (년)	Solar	3 - 4	3.5 - 4	3.5 - 4	3.5 - 4
	Solar + 단열	3 - 3.5	3.5 - 4	3.5 - 4	4.5 - 5

*괄호안은 열관류율 ($Kcal/m^2h^{\circ}C$)

상기 (표1)에서 보면, 단열계수(CF)는 규모가 클수록 증가함으로써, 단열비용이 규모에 따른 열손실량의 증가보다 더욱 많이 소요되어야 한다는 점을 지적하고 있다. 또한 단열값들은 현행 건축법에서 규정하고 있는 부위별 열관류율 (K 값 : $Kcal/m^2h^{\circ}C$: 천장 : 0.5, 벽 : 0.5 바닥 : 1.0, 창문 3.0)보다 단열을 강화해야 한다는 것을 의미하고 있다. 특히 창문의 경우(남측 창 제외) 매우 강화된 단열값을 취하고 있는데 이를 현실적으로 해결할 수 있는 방법으로는 단열덧문을 설치하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 값들은 단열비용과의 관계를 고려한 경제적 측면에서의 결과치이므로 단열재 등의 단가의 변동에 따라 유동적인 측면이 있을 수 있으나 태양열 주택에서의 단열이 매우 중요하다는 점을 시사해 주고 있다.

(2) 지역별 적용

우리나라의 14개 지역을 대상으로 동일한 조건으로 25평형을 적용한 결과는 (표2)와 같다.

우리나라는 지형상 남북으로 길게 위치하므로 일사량과 기온의 차가 비교적 크다고 할 수 있다. 이러한 조건의 차이는 (표2)의 지역별의 차이에서도 나타나 있다.

CF의 값은 1.05 ~ 1.86 정도의 범위를 나타내고 있으며 북쪽으로 갈수록 CF 값이 많아지고

(표2) 25평 주택의 지역별 적용결과 요약

지역명	시스템종류 및 타입	CF	R 값 ($m^2h^{\circ}C/Kcal$)				
			천장	벽	창	바닥	ACH
대관령	TW, F ₁ (0.6), DG, B ₁ (0.4)	1.81	4.24	4.28	0.67	3.75	2.38
춘천	"	1.86	4.37	4.41	0.69	3.90	2.45
강릉	"	1.19	2.78	2.81	0.44	2.11	1.56
서울	"	1.61	3.78	3.81	0.60	3.23	2.12
서산	"	1.30	3.05	3.08	0.48	2.41	1.71
청주	"	1.72	4.04	4.08	0.64	3.53	2.26
충청	"	1.27	2.98	3.00	0.47	2.33	1.67
포항	"	1.05	2.48	2.50	0.39	1.77	1.39
대구	"	1.22	2.86	2.88	0.45	2.20	1.60
전주	"	1.41	3.30	3.33	0.52	2.70	1.85
광주	"	1.31	3.08	3.11	0.49	2.45	1.73
목포	"	1.32	3.11	3.14	0.49	2.48	1.74
제주	"	1.15	2.70	2.73	0.43	2.02	1.51

있으므로 단열비용이 추운 지역일수록 열손실량의 증가로 인하여 많아지는 현상을 보이고 있다. 이러한 점은 기후조건에 따라 단열값이 달라져야 한다는 점을 말해주고 있다. 이에 따라 결국 R 값도 증가하는데 지역별 CF의 차이보다 더 큰 변화를 보이고 있다.

V. 結 論

자연형 태양열시스템을 설계하는데 가장 중요한 조건은 시스템의 규모와 단열수준의 적정화라고 할 수 있다. 이러한 2가지 조건은 서로 밀접하게 관련을 맺고 있으며 상호 보완적인 역할을 하고 있다.

종래에 사용된 자연형 시스템의 설계는 semi-empirical 도표와 수식 등을 사용함으로써 정밀한 방법이 되지 못하였으며 어떠한 범위설정에 한정되어 있었다. 본 자연형 시스템의 최적화 방법은 역시 반경험적인 수식을 사용하였으나 수계산으로는 많은 노력과 시간이 소요되는 수학적인 해결방법을 전산화 소프트웨어로 개발함으로써

자연형 시스템의 적정설계에 활용될 수 있을 것이다.

본 프로그램을 규모별(25평, 40평, 50평, 60평의 자연형주택), 지역별(25평형자연형주택)로 적용한 결과, 현 단열기준 보다 단열을 더욱 강화해야 하며 지역별 기후조건에 따라 단열 및 시스템의 규모가 상이해야 함을 알 수 있었다.

References

1. 오정무 외, 자연형 태양열 시스템개발, 동력자원연구소 연구보고서 KE-82T-30(1982)
2. 오정무 외, 자연형 시스템개발 및 대체에너지 정책비교분석, 동력자원연구소 연구보고서 KE-83-14(1983)
3. 오정무 외, 자연형 시스템개발 (IV), 동력자원연구소 연구보고서 KE-84-15(1984)
4. J. Douglas Balcomb, "Conservation and Solar: Working Together," Proc. of the 5th National Passive Solar Conference, Oct. 19-26, 1980, Amherst, Massachusetts.
5. J. Douglas Balcomb, "Performance Analysis of Passive Heated Buildings: Expanding the SLR Method", Passive Solar Journal, Vol. 1, No. 2, Spring (1982)
6. J. Douglas Balcomb and Robert W. Jones Ed., Passive Solar Design Handbook Vol. III, American Solar Energy Society, Inc., 1983.