

【 論 文 】

太陽熱 給湯시스템의 最適設計 條件의
設定과 經濟性 評價에 관한 研究

A Study on the Establishment of Optimum Design Conditions and Economic
Evaluation for Hot Water Heating Solar Energy System

李 永 秀*, 李 基 雨**
(Lee, Young Soo) (Lee, Ki Woo)

(1986. 4.15 접수)

ABSTRACT

This paper presents the establishment of optimum design conditions and economic evaluation for solar hot water system. The aim of this study is to present thermal performance of solar heating systems and to determine their performance as a function of collector size, storage capacity, tilting of collector and other factors. By analyzing its performance under the various conditions, optimum design of solar heating system can be obtained. System performance are obtained monthly and yearly basis respectively. At the same time the economics of various systems are evaluated. For the computer simulation Mokpo, Kangnung, Chupungnyong and Seoul are selected for particular installation places.

As a result, the optimal design condition of solar heating system considering the following factors such as installation angle of collector, capacity of storage tank, collector size in each place can be obtained as follows;

- (1) Installation angle of collector
Tilt = latitude
- (2) Capacity of storage tank
Solar domestic hot water system : 45 l/m²
Multifamily solar domestic hot water system : 35 l/m²
- (3) Collector size
 - i) Solar domestic hot water system
Seoul & Chupungnyong area : 11.52 m²
Mokpo area : 8.64 m²
 - ii) Multifamily solar domestic hot water system
Seoul, Chupungnyong & Mokpo area : 345.6 m²
Kangnung area : 259.2 m²

記號說明

A : 太陽熱 集熱器 面積(m²)
A' : 初期投資費의 壽命價(won)
B' : 運轉費用의 壽命價(won)

C : 初期投資費(won)
C_{min} : 熱交換器의 最小 熱容量率(W/m²°C)
C_p : 熱傳達媒體 比熱(KJ/kg°C)
d : 割引率(%)
D : 一日 給水使用量(ℓ)
D' : 太陽熱 燃料 節減費의 壽命價(won)
E : 總補助熱量(KJ)
e : 燃料價 上昇率(%)

* 正會員 : 漢陽大學校

** 韓國動力資源研究所

- E : 基準年度の年間太陽熱에 의한 節減費 (won)
- f : 月別太陽依存率
- F_R : 集熱效率 修正係數
- $F_{R'}/F_R$: 集熱熱交換 效率修正係數
- G : 集熱媒體 流量 (kg/s)
- H : 水平面 日射量 (J/day·m²)
- H_d : 擴散日射量 (J/day·m²)
- H_T : 傾斜面日射量 (J/day·m²)
- i : 一般物價上昇率 (%)
- K_T : 天空日射量에 대한 水平面日射量 比
- L : 月別 總熱負荷 (KJ/month)
- m : 整備, 保修 및 保險費用 比率 (%)
- N : 物價割引係數, 月間日數
- n : 시스템의 壽命期間 (Year)
- P : 貸付期間 (Year)
- Q_t : 月間太陽熱 可用集熱量 (KJ)
- R : 水平面에 대한 傾斜面日射量 比
- r : 貸付利率 (%)
- s : 水平面에 대한 傾斜角
- S : 自己資本比率
- T_a : 外氣溫度 (°C)
- T_i : 集熱器 入口溫度 (°C)
- T_o : 集熱器 出口溫度 (°C)
- U_L : 集熱器 熱損失係數 (W/m²·°C)
- γ : 方位角
- W_s : 水平面 日沒時間角
- W'_s : 傾斜面 日沒時間角
- $(\tau\alpha)_b$: 月平均 直達輻射透過-吸收率
- $(\tau\alpha)_d$: 月平均 擴散輻射透過-吸收率
- $(\tau\alpha)_r$: 月平均 反射輻射透過-吸收率

I. 序 論

産業開展에 의한 에너지消費의 急激한 增加로 資源의 枯渴과 함께 環境汚染 問題가 深刻하게 抬頭되었고 이와함께 石油의 高價時代로 突入함

에 따라 깨끗하고 豊富한 에너지資源을 要求하게 되었다. 代替에너지中 太陽에너지는 連續性이 없는 缺點이 있으나 無限하고 公害가 없으며, 또한 利用分野가 넓고 世界 어느 場所에서나 대체로 均等하게 얻어지기 때문에 世界各國에서는 그 技術水準과 必要한 容量範圍內에서 자유로이 利用할 수 있는 特徵이 있다.

그러나 稀薄한 에너지이므로 設備投資가 크게 要求되는 缺點을 가지고 있다. 太陽에너지를 集熱하는 裝置中 平板型 集熱器는 集光型과는 달리 直達日射와 擴散日射인 低密度에너지까지 集熱할 수 있고 또 構造도 간단하여 製作과 維持가 容易하다는 長點이 있어 가장 널리 使用되고 있다. 또한 集熱器의 熱性能은 시스템을 設計할 경우에 考慮하여야 할 變數中 가장 重要한 因子이다. 平板型 集熱器의 熱性能에 관한 理論은 Hottel과 Woertz¹⁾의 古典的 研究에 이어 Whiller²⁾, Bliss³⁾, Tabor^{4,5)}, Moore⁶⁾ 등 많은 사람들이 修正 및 補完하여 현재로는 상당히 正確하게 定立되어 있는 것으로 알려져 있으며 實際로 太陽熱 시스템의 性能評價에 이 理論을 適用하면 거의 誤差없는 熱性能을 豫測할 수 있게 되었다. 또한 太陽熱 시스템에 있어서 集熱面積은 集熱量을 決定하는 重要因子로서 負荷에 따라 그 크기가 決定된다. 一般으로 集熱量은 集熱面積에 比例하지 않으므로 氣象條件, 集熱 및 蓄熱裝置의 性能, 暖房 및 給湯熱負荷 등을 考慮하여 TRNSYS⁷⁾, F-CHART⁸⁾, SOLCOST⁹⁾ 등을 利用하여 구하여야 한다.

本 研究에서는 太陽熱 給湯시스템 設計에 影響을 미치는 太陽依存率 算出方法과 經濟性分析 등을 理論적으로 다루었고, 시스템의 性能解析과 設計에 影響을 미치는 重要한 因子값들을 江陵, 서울, 秋風嶺 및 木浦地域의 氣象資料, 시스템 構成機器의 性能과 容量 및 熱負荷 등을 考慮하여 開發한 시뮬레이션 方法에 의하여

구하였다. 또한 經濟性 分析은 시스템의 設置 및 運轉費用과 太陽熱 利用에 따른 節減費用 등의 經濟性係數를 考慮한 壽命價法을 利用하여 分析하였다.

以上の 結果를 土臺로 우리나라의 4個地域에 適切한 太陽熱 給湯시스템을 設計하는데 目的을 두고 다음과 같이 세가지로 나누어 研究하였다.

(1) 우리나라의 氣象條件을 考慮한 太陽熱 給湯시스템의 模型을 選擇하여 우리나라에 適合한 集熱器의 設置傾斜角 및 貯藏탱크 容量을 決定 하였으며,

(2) 小規模 給湯 및 大規模 給湯으로 區分하여 液體式 平板型 集熱器의 面積에 따른 太陽熱 依存率을 江陵, 서울, 秋風嶺 및 木浦地域에 대해서 구하였고,

(3) 太陽熱 給湯시스템에 壽命價法을 利用한 經濟性分析을 통해서 各 地域에 대한 最適의 集熱面積을 구하였다.

II. 理論分析

2.1 傾斜面日射量, 效率 및 設置方法

水平面에 入射되는 日射量 H 를 月別 平均 傾斜面 日射量 H_T 로 나타내면 다음과 같다.

$$H_T = RH = RK_T H_0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 H_0 는 天空日射量이고, R 은

$$R = (1 - H_d/H)R_b + H_d/H(1 + \cos s)/2 + \rho(1 - \cos s)/2 \dots\dots\dots (2)$$

로 表示되며 이 式에서 첫번째 項은 直達輻射, 두번째 項은 擴散輻射, 세번째 項은 地面으로부터 集熱器에 도달되는 反射輻射에 관한 것이다. 여기서 H_d/H 는 다음式을 利用하여 구하였다.¹⁰⁻¹²⁾

$$H_d/H = 1.390 - 4.027K_T + 5.531K_T^2 - 3.108K_T^3 \dots\dots\dots (3)$$

여기서 K_T 는

$$K_T = H/H_0 \dots\dots\dots (4)$$

로 表示되며, 天空日射量은 中央氣象臺의 觀測 資料를 利用하여 구하였다. 또한 R_b 는 水平面에 대한 傾斜面에서의 直達日射量의 比이며 다음 式으로 計算할 수 있다.

$$R_b = \frac{[\cos(\phi-s) \cos \delta \sin W'_s + (\pi/180)W'_s \sin(\phi-s) \sin \delta]}{[\cos \phi \cos \delta \sin W_s + (\pi/180)W_s \sin \phi \sin \delta]} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 $W'_s = \min\{W_s, \arccos\{-\tan(\phi-\delta) \tan \delta\}\} \dots\dots\dots (6)$

式 (5)에서 R_b 값은 集熱面의 方向이 南向으로부터 東向 또는 西向으로 15°정도가 되더라도 거의 차이가 나지 않는다. 그러나 集熱面이 南向으로부터 15°以上の 方位角을 가지면 Klein이 提示한 方式으로 算定하여야 한다.¹³⁾

$$R_b = [(\cos s \sin \delta \sin \phi)(\pi/180) (W_{ss} - W_{sr}) - (\sin \delta \cos \phi \sin s \cos \gamma)(\pi/180) (W_{ss} - W_{sr}) + (\cos \phi \cos \delta \cos s)(\sin W_{ss} - \sin W_{sr}) + (\cos \delta \cos \gamma \sin \phi \sin \delta)(\sin W_{ss} - \sin W_{sr}) - (\cos \delta \sin s \sin \gamma)(\cos W_{ss} - \cos W_{sr})] / [2(\cos \phi \cos \delta \sin W_s + (\pi/180)W_s \sin \phi \sin \delta)] \dots\dots\dots (7)$$

여기서

$$\gamma > 0$$

$$W_{sr} = -\min\{W_s, \arccos[(AB + \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)/(A^2 + 1)})]\} \dots\dots\dots (8)$$

$$W_{ss} = \min\{W_s, \arccos[(AB + \sqrt{(A^2 - B^2 - 1)/(A^2 + 1)})]\} \dots\dots\dots (9)$$

$\gamma < 0$

$$W_{sr} = -\min\{W_s, \arccos[(AB - \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)/(A^2 + 1)})]\} \dots\dots\dots (10)$$

$$W_{ss} = -\min\{W_s, \arccos[(AB + \sqrt{(A^2 - B^2 + 1)/(A^2 - 1)})]\} \dots\dots\dots (11)$$

$$A = \cos\phi / (\sin\gamma \tan\delta) + \sin\phi / \tan\gamma \quad (12)$$

$$B = \tan\delta [\cos\phi / \tan\gamma - \sin\phi / (\sin\gamma \tan\delta)] \quad (13)$$

平板型 集熱器의 集熱量 Q_u 는 다음 式에서 얻을 수 있다.

$$Q_u = F_R A [H_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] = AGC_p (T_o - T_i) \quad (14)$$

또한 集熱器의 集熱效率을 η 로 表示하면 다음과 같다.

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L (T_i - T_a) / H_T \quad (15)$$

한편, 集熱器의 設置方向은 法線入射時의 透過-吸收率 $(\tau\alpha)_n$ 에 대한 實際 月平均 透過-吸收率 $(\tau\alpha)$ 의 比로

$$\begin{aligned} (\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n &= (1 - H_d / H) (R_b / R) \\ &\{ (\tau\alpha)_b / (\tau\alpha)_n \} + (H_d / H) (1 / R) \\ &(1 + \cos s) / 2 \{ (\tau\alpha)_d / (\tau\alpha)_n \} \\ &+ \rho (1 / R) (1 - \cos s) / 2 \\ &\{ (\tau\alpha)_r / (\tau\alpha)_n \} \quad (16) \end{aligned}$$

表示된다.

2.2 熱負荷

太陽熱 시스템의 長期性能을 算定하기 위하여 月別 熱負荷를 計算하여야 한다. 熱負荷는 建물이 위치한 地域과 建築設計, 方向, 構造體의 種類 및 住居者의 特定 生活樣式과 密接한 關係가 있으므로 正確한 計算을 하기 위해서는 詳細한 資料들이 必要하다.

本 研究에서는 5 人家族을 基準으로 하는 小規模給湯(250ℓ)과 200人을 基準으로 하는 大規模給湯(10000ℓ)의 給湯負荷를 計算하기로 한다. 對象地域은 서울, 日射量이 가장 적은 江陵, 日射量이 가장 많은 木浦 및 그 中間地域인 秋風嶺을 研究 對象地域으로 하였다.

給湯負荷 L_w 는 다음 式으로 計算하였다.

$$L_w = DNC_p \rho (T_s - T_m) \quad (17)$$

2.3 시스템의 熱的性能

太陽熱 시스템에서의 月間 에너지 平衡式은 다음과 같다.

$$Q_t = L - E + \Delta u \quad (18)$$

시스템에 使用되는 蓄熱模의 크기로는 月間 Δu 가 Q_t , L 및 E 에 비하여 대단히 적으므로 無視하면 太陽熱依存率 f 는 다음 式으로 表示된다.

$$f = Q_t / L \quad (19)$$

여기서 Q_t 는 集熱器로 入射되는 太陽에너지, 外氣溫度 및 熱負荷등과 複雜한 函數關係가 있으므로 f 값을 두 無次元變數와의 關係로부터 구하기로 한다.

여기서 두 無次元變數는

$$X = F_R U_L (F_R' / F_R) (T_{ref} - T_a) \Delta t A / L \quad (20)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n (F_R' / F_R) (\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n H_T A N / L \quad (21)$$

式(20), (21)에서 X 는 集熱器에서의 基準 熱損失量과 建物의 總熱負荷와의 比이고, Y 는 集熱器가 吸收한 總太陽에너지와 建物의 總熱負荷의 比이다. 그리고 F_R' / F_R 은 集熱器의 性能係數 $F_R U_L$, 熱傳達媒體의 流量 \dot{m} 및 集熱 熱交換器 有效係數 ϵ_c 의 函數로써 表示된다.

$$F_R' / F_R = 1 / [1 + (F_R U_L / \dot{m} C_p) (A \dot{m} C_p / \epsilon_c C_{min} - 1)] \quad (22)$$

또한 熱交換器 有效係數 ϵ_c 는

$$\epsilon_c = (\dot{m} C_p)_c (T_o - T_i) / (\dot{m} C_p)_{min} (T_o - T) \quad (23)$$

로 表示된다.

따라서 太陽熱依存率 f 는 式(20), (21)로 부터 구한 X , Y 를 利用하여 다음 式으로 計算한다.¹⁴⁾

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (24)$$

여기서 f 의 값은 月別 太陽熱 依存率이므로 年間 太陽熱 依存率은 月別 太陽熱을 合算한 값을 年間 熱負荷로 나누어 구한다.

Table 1. Specification of Properties and Initial Conditions for the Seoul Simulation.

	Domestic Hot Water	Multifamily Domestic Hot Water
Location Seoul	Latitude = 37.6°N	Latitude = 37.6°N
Building Heating and Hot Water Load		
Design Heat Loss Rate	11 Kcal/hr°C	1,096 Kcal/hr°C
Winter Design Temp.	-17.1°C	-17.1°C
Ave. Hot Water Consump.	250 Liter/day	10,000 Liter/day
Ave. Cold Water Temp.	13.2°C	13.2°C
Ave. Hot Water Supply Temp.	60°C	60°C
Collector Subsystem Data		
Collector Type	Flat and Selective	Flat and Selective
Number of Cover Plate	1	1
Collector Area	8.64 m²	345.6 m²
Tilt Angle	37.6°	37.6°
Azimuth Angle	180°	180°
Collector Shading	0.0%	0.0%
Collector Efficiency Data		
FR(τ _a) _n	0.679	0.679
FRUL	4.29 W/m²°C	4.29 W/m²°C
Reference Temp. Base	T _{in}	T _{in}
Fluid Composition	50% EG/W	50% Ethylene Glycol/Water
Specific Heat	3.4332 KJ/kg°C	3.4332 KJ/kg°C
Specific Gravity	1.05	1.05
Volumetric Flow Rate	54 Liter/m²hr	54 Liter/m²hr
Storage Subsystem Data		
Volume	45 Liter/m²	35 Liter/m²
Storage Medium	Water	Water
Specific Heat	4.1868 KJ/kg°C	4.1868 KJ/kg°C
Specific Gravity	1	1
Coll/Storage Heat Exchanger Effectiveness	0.7	0.7
Hot Water Preheat Storage Volume	250 Liter	10,000 Liter
Load Heat Exchanger Effectiveness	0.8	0.8

2.4 經濟性 分析

太陽熱 시스템의 適正한 規模를 決定하기 위한 經濟性 分析은 適用基準에 따라 다르나 本 研究에서는 시스템 利用에 따른 에너지 節減費用에 主眼을 두어 評價하기로 한다.

시스템의 設置에 所要되는 初期投資費 C의 一部는 貸付金, 나머지 一部는 自己資金으로 하는 경우 壽命價 A'는 다음 式으로 表示된다.

$$A' = CS + C(1-S) \sum_{k=1}^k \left(\frac{1}{1+d}\right)^k / \sum_{k=1}^k \left(\frac{1}{1+r}\right)^k \dots \dots \dots (25)$$

시스템의 運轉에 所要되는 費用의 壽命價는

一般物價 上昇率 i와 割引率 d를 適用하여 다음 式으로 表示된다.

$$B' = mC \sum_{k=1}^n \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+d)^k} \dots \dots \dots (26)$$

또한 시스템으로 年間 代替되는 燃料費 즉 非太陽熱 시스템의 運轉에 所要되는 燃料費 E는 다음과 같이 計算된다.

$$D' = E' \sum_{k=1}^n \frac{(1+e)^{k-1}}{(1+d)^k} \dots \dots \dots (27)$$

이들 壽命價를 支出 또는 利得部分으로 區分하여 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$A' + B' = D' \dots \dots \dots (28)$$

式(28)에서 支出될 費用이나 期待될 利益은 使

Table 2. Economic Parameter and Input Data

	Multifamily D.H.W.	Domestic Hot Water
Annual Mortgage Interest Rate	10 %	10 %
Term of Mortgage	20 Yrs.	5 Yrs.
Down Payment (as fraction of investment)	40 %	40 %
Collector Area Dependent Costs	150,000 Won/m ²	150,000 Won/m ²
Area Independent Costs	886,000 Won/m ²	886,000 Won/m ²
Present Cost of Solar Backup System Fuel	278 Won/liter	278 Won/liter
Present Cost of Conventional System Fuel	278 Won/liter	278 Won/liter
Efficiency of Solar Backup Furnace	70 %	70 %
Efficiency of Conventional System Furnace	70 %	70 %
Property Tax Rate (as fraction of investment)	1.35 %	1.35 %
Effective Income Tax Bracket (State + Federal State x Federal)	21 %	21 %
Extra Ins. & Maint. Costs (as fraction of investment)	1 %	1 %
General Inflation Rate per Year	10 %	10 %
Discount Rate (after tax return on best alternative investment)	16 %	8 %
Term of Economic Analysis	20 Yrs.	15 Yrs.
Salvage Value (as fraction of investment)	0	0
Fuel Prices Inflation Rate per Year	10 %	10 %

用期間을 통하여 계속 發生하지만 設置할때의 現在價로 換算하고, 시스템의 經濟性을 物價割引係數를 適用하여 分析하기로 한다.

$$F(N, i, d) = \sum_{k=1}^n \frac{(1+i)^{k-1}}{(1+d)^k}$$

$$= [1/(d-i)][1-(1+i)/(1+d)]^n \quad (i \neq d)$$

$$= N/(1+d) \quad (i=d) \dots\dots\dots (2)$$

以上の 式으로 부터 여러가지의 損益分岐값을 구할 수 있으며 이 損益分岐값으로 經濟性의 有無判斷 및 比較分析을 하였다.

III. 시스템모델에 대한 시뮬레이션

앞에서 다룬 基本支配方程式을 利用하여 太陽熱 시스템의 適正規模 즉 集熱面積, 蓄熱탱크 容量, 集熱器 設置傾斜角 등을 구하였다.

本 研究에 使用한 氣象資料中 日射量과 外氣 溫度는 中央氣象臺의 水平面 日射量(1972 ~ 1982)과 韓國氣候表(1951 ~ 1980)로부터 구하였고, 시뮬레이션에 適用한 計算機는 VAX 11/780 시스템이다.

서울地域에 대한 시스템 設計資料는 Table.1 에 掲載한 바와같고 經濟性 分析에 適用할 條

件은 Table.2에 提示하였다.

IV. 結果 및 考察

Fig.1,2는 小規模 및 大規模 給湯시스템에서 集熱面積과 太陽依存率을 蓄熱탱크 容量에 대하여 比較한 것이다. A는 蓄熱탱크 容量을 150 l/m^2 로 하였을 때이고, B는 탱크容量이 75 l/m^2 일때의 線圖이다. 이들 線圖에서 보는 바와 같이 탱크容量을 2倍로 하였을 경우 小規模, 大規模給湯 모두 太陽依存率이 2~5% 增加하는 것으로 나타났다. C는 탱크容量을 B

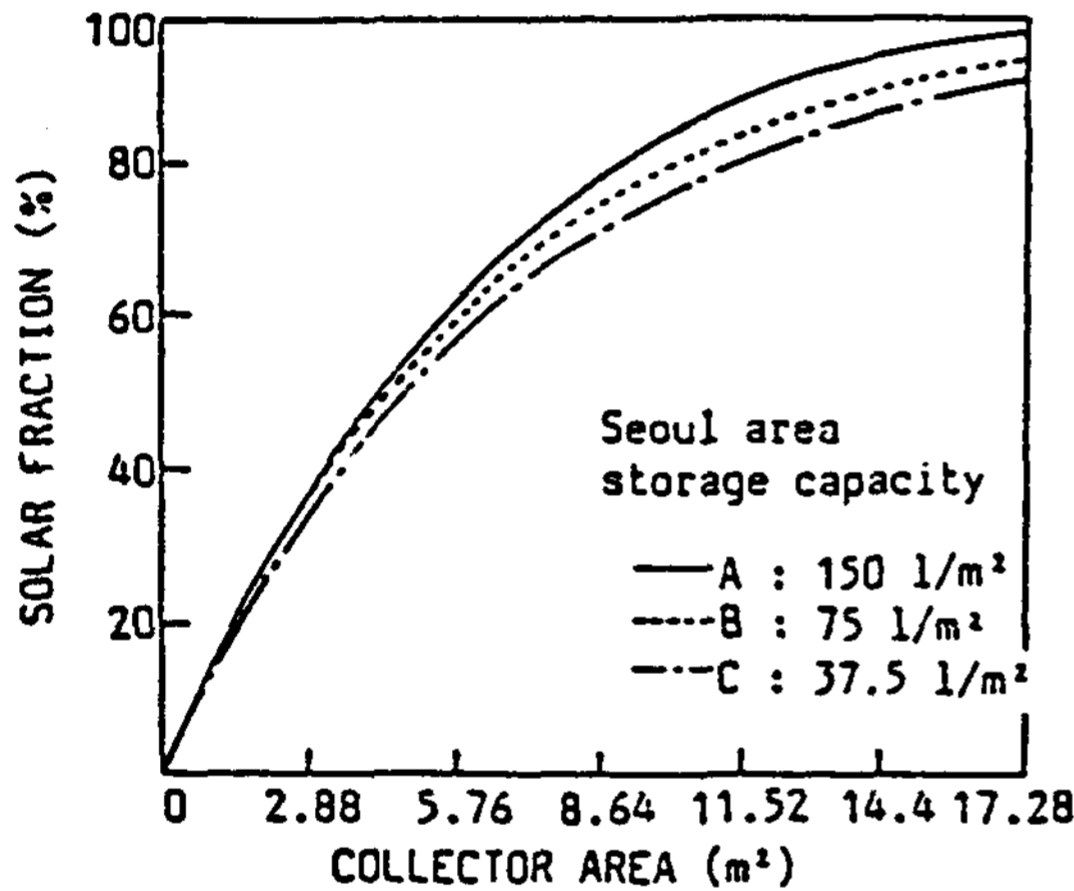


Fig. 1. Effect of storage tank capacity on the solar fraction of domestic hot water system.

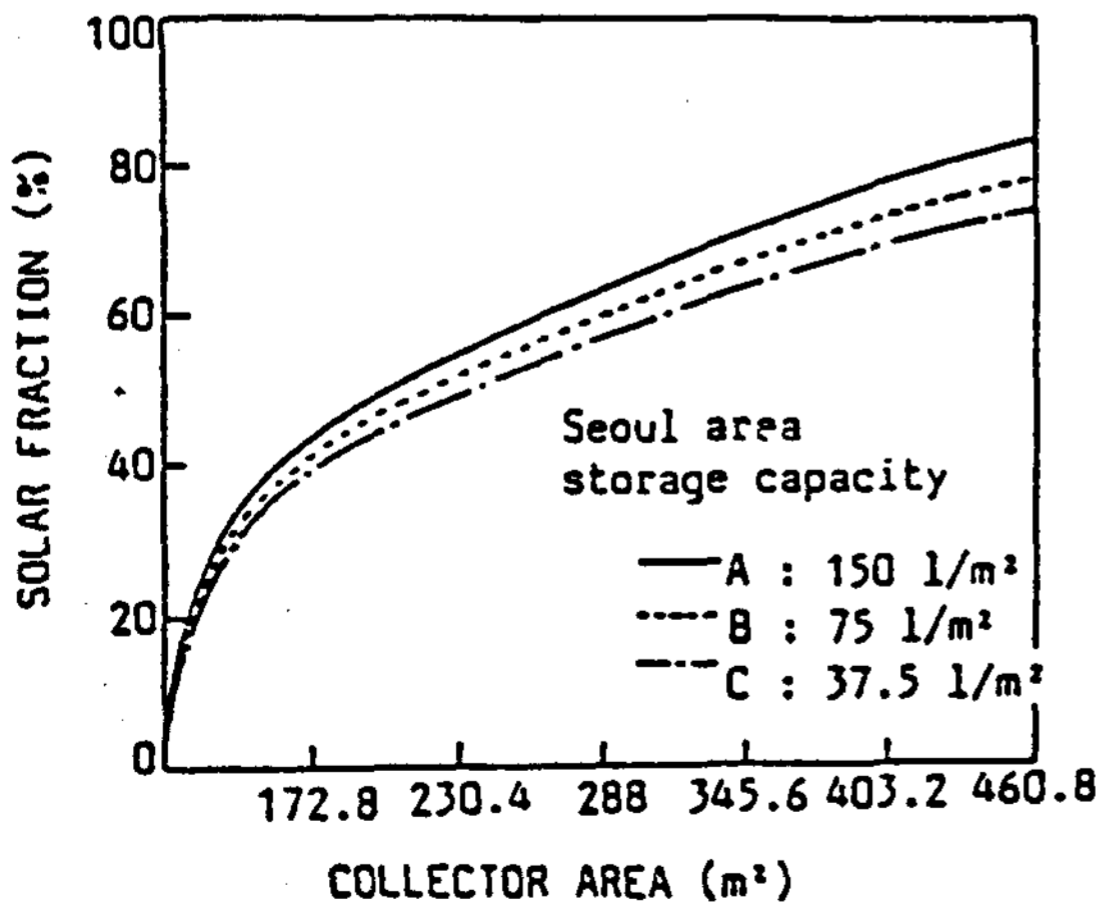


Fig. 2. Effect of storage tank capacity on the solar fraction of multifamily domestic hot water system.

의 $\frac{1}{2}$ 인 37.5 l/m^2 로 減少시켰을 때이고 小規模, 大規模 모두 依存率이 2~4% 減少하였다. 특히 集熱面積 8.64 m^2 , 345.6 m^2 일때 탱크容量을 2倍로 하면 太陽依存率이 4% 增加하고, 탱크容量을 $\frac{1}{2}$ 로 減少시키면 그 값이 4% 減少하는 것으로 나타났다.

Fig 3,4는 각 地域別 集熱面積 增加에 따른 太陽依存率을 分析한 것으로 太陽依存率은 日射量이 많은 地域順으로 높게 나타났다. 小規模

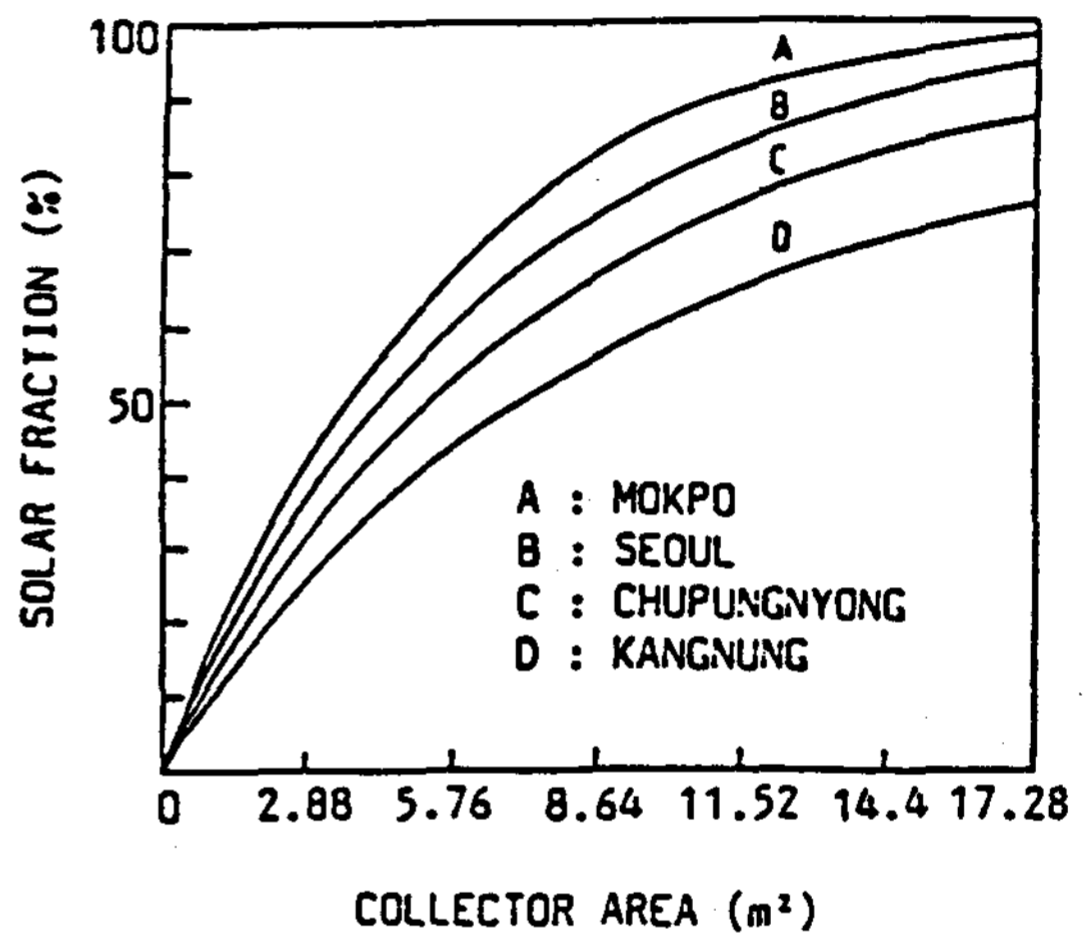


Fig. 3. Relation between solar fraction and collector area for domestic hot water system at four different areas.

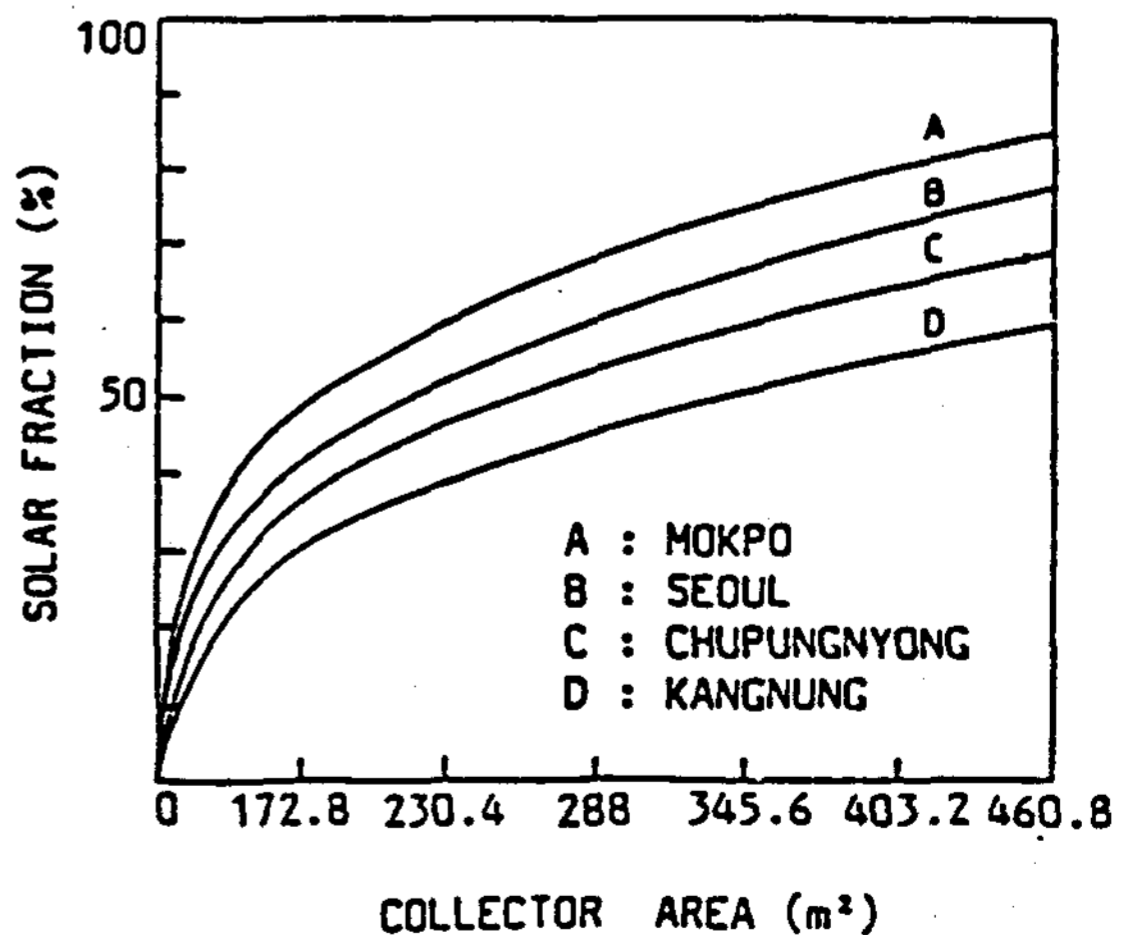


Fig. 4. Relation between solar fraction and collector area for multifamily solar hot water system at four different areas.

給湯의 경우 集熱面積 $8.64 m^2$ 일 때 각 地域別 年間 太陽依存率은 木浦 82%, 서울 75%, 秋風嶺 67%, 江陵 56%이다. 또한 大規模 給湯의 경우에는 集熱面積 $345.6 m^2$ 일 때 木浦 75%, 서울 67%, 秋風嶺 59%이고 江陵地域은 50%로 나타났다. 이와같은 結果를 比較하면 大規模 給湯의 경우가 小規模 給湯보다 年間 太陽依存率이 약 7% 정도 減少하는 것을 알 수 있다.

Fig.5,6은 集熱面積에 따른 太陽熱에 의한 節減費를 各 地域別로 圖示한 것이다. 集熱面積이 增加함에 따라 節減效果는 增加하다가 最大 節減效果를 갖는 面積을 지나서는 오히려 減少하는 傾向을 나타내었다. 시스템에서 가장 經濟的인 最適規模는 太陽熱에 의한 節減費가 最大가 되는 集熱面積일 때이다.

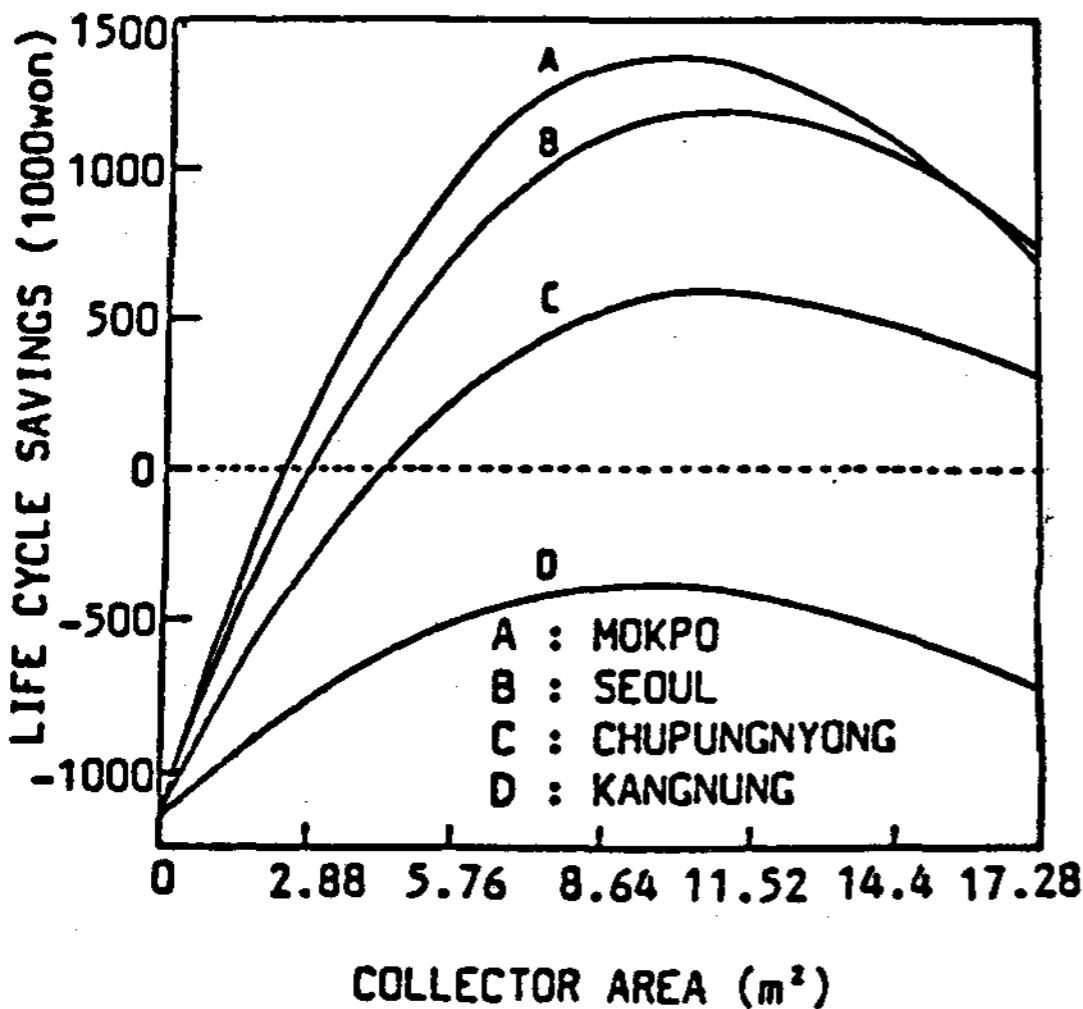


Fig. 5. Life cycle savings as a function of collector area for domestic hot water system in the four different areas.

Fig.5에서 가장 經濟的인 面積은 木浦地域이 $8.64 m^2$, 서울 및 秋風嶺地域이 $11.52 m^2$, 江陵地域은 전혀 經濟性이 없는 것으로 나타났다. 또한 實質的인 利得效果는 木浦地域이 140 萬원, 서울地域이 120 萬원 그리고 秋風嶺地域이 58 萬원이었다. 한편 Fig.6에서 가장 經濟

的인 規模는 서울, 秋風嶺 및 木浦地域이 $345.60 m^2$, 江陵地域은 $259.20 m^2$ 이며, 實質的인 利得效果는 서울地域 3,800 萬원, 秋風嶺地域 2,700 萬원, 木浦地域 4,500 萬원, 江陵地域은 700 萬원이었다.

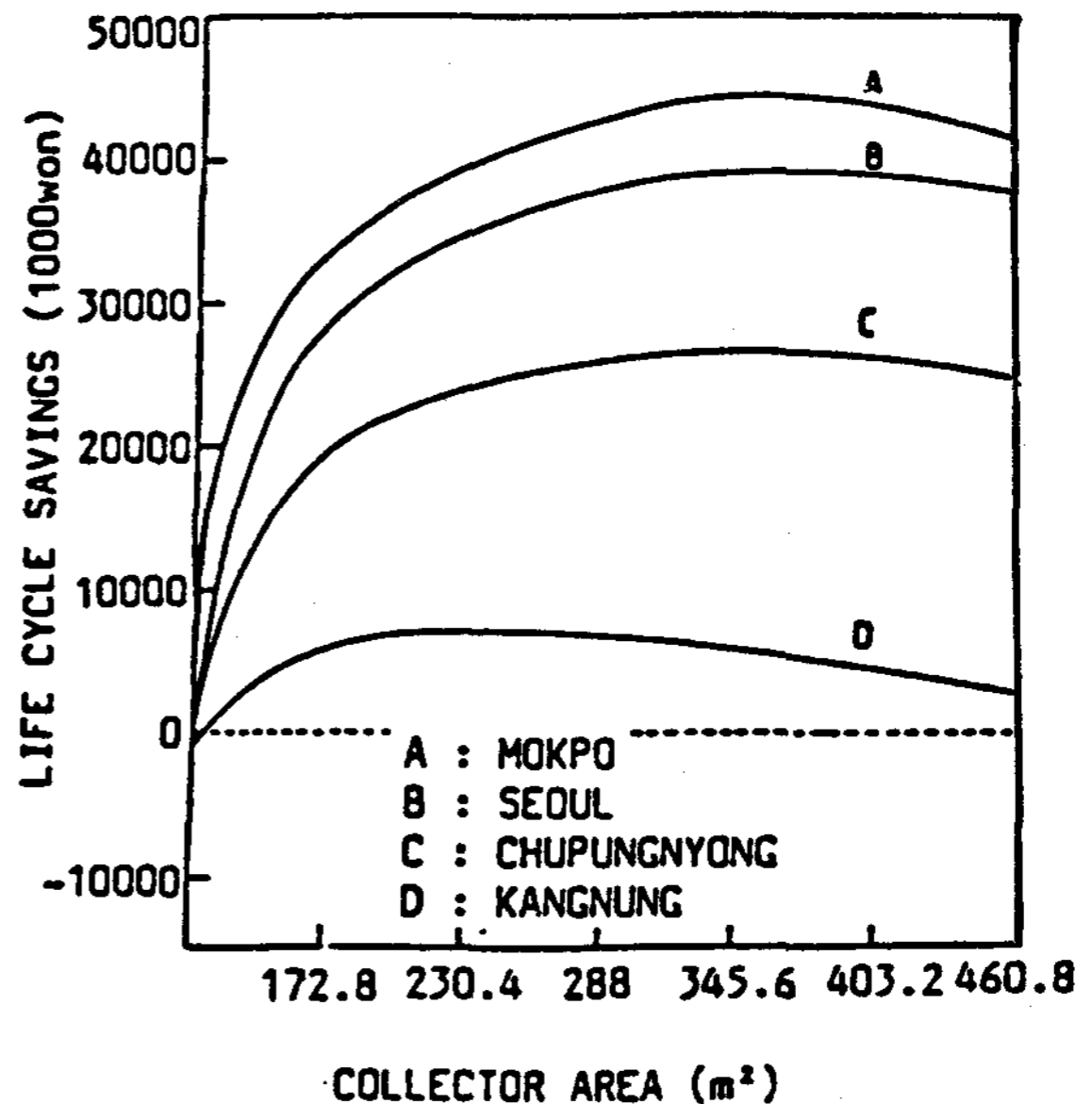


Fig. 6. Life cycle savings as a function of collector area for multifamily hot water system in the four different areas.

Fig.7,8은 燃料費를 달리하였을 경우 集熱器 面積과 太陽熱에 의한 節減費와의 關係를 圖示한 것이다. 集熱面積의 增加와 더불어 거의 全 領域에서 太陽熱에 의한 節減費가 陽으로 나타나는 경우는 小規模 給湯에서는 燃料費가 278 원/ℓ, 大規模 給湯에서는 178 원/ℓ인 경우이다. 또한 太陽熱에 의한 節減費 增加率은 集熱面積이 넓어짐에 따라 급격히 커지다가 어느 範圍에서 最大值에 달한 후 다시 減少하는 傾向을 보였다. Fig.7에서 보는 바와같이 燃料費가 228 원/ℓ일 때 太陽熱에 의한 節減費가 0 이되는 集熱面積은 $4.32 m^2$ 이었으며, 이 條件에서의 燃料費는 損益分岐점에서의 燃料價이다.

Fig.9,10은 集熱面積을 變化시켰을 경우 太陽熱에 의한 節減費와 割引率과의 關係를 圖示

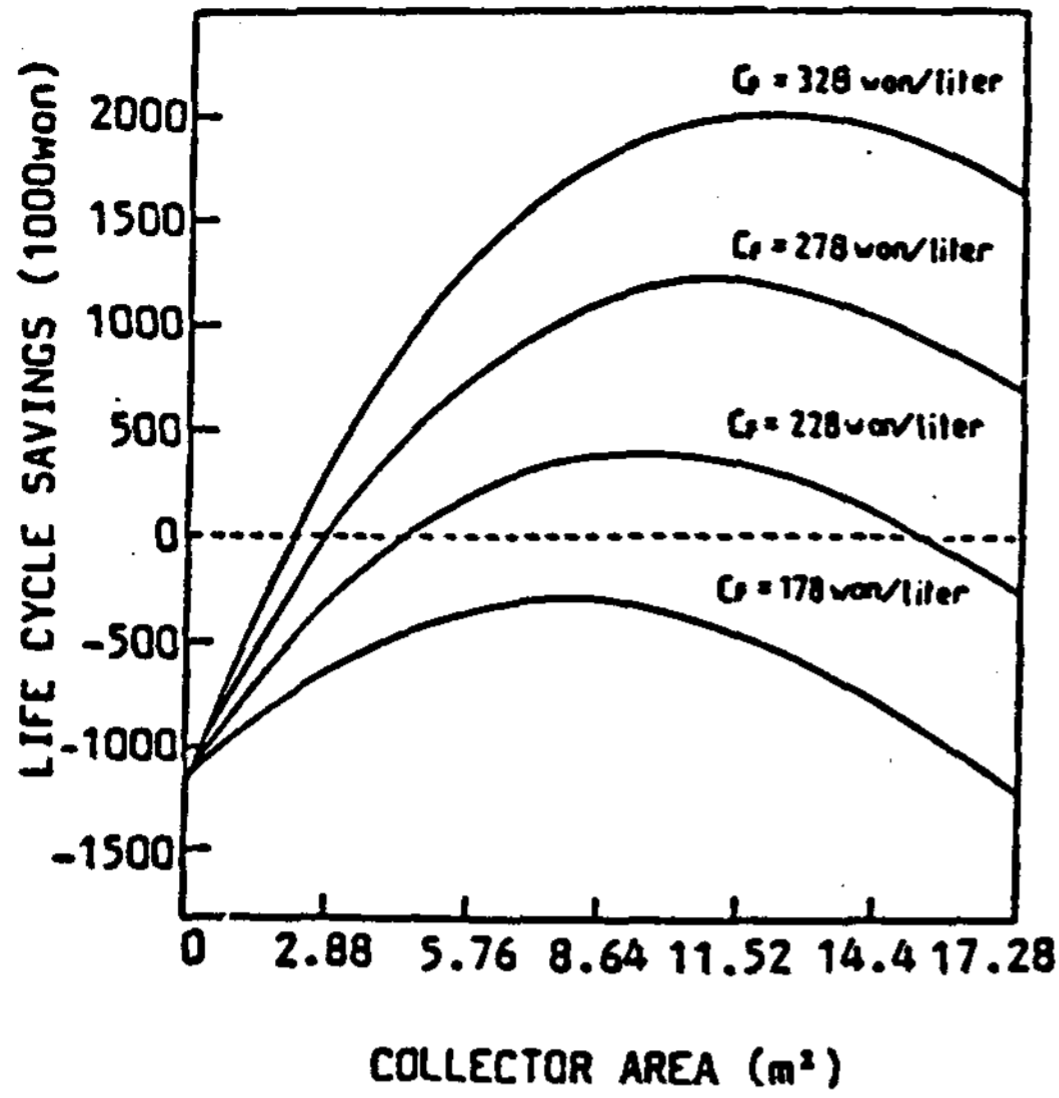


Fig. 7. Effect of fuel cost on the life cycle savings of domestic hot water system in the seoul area.

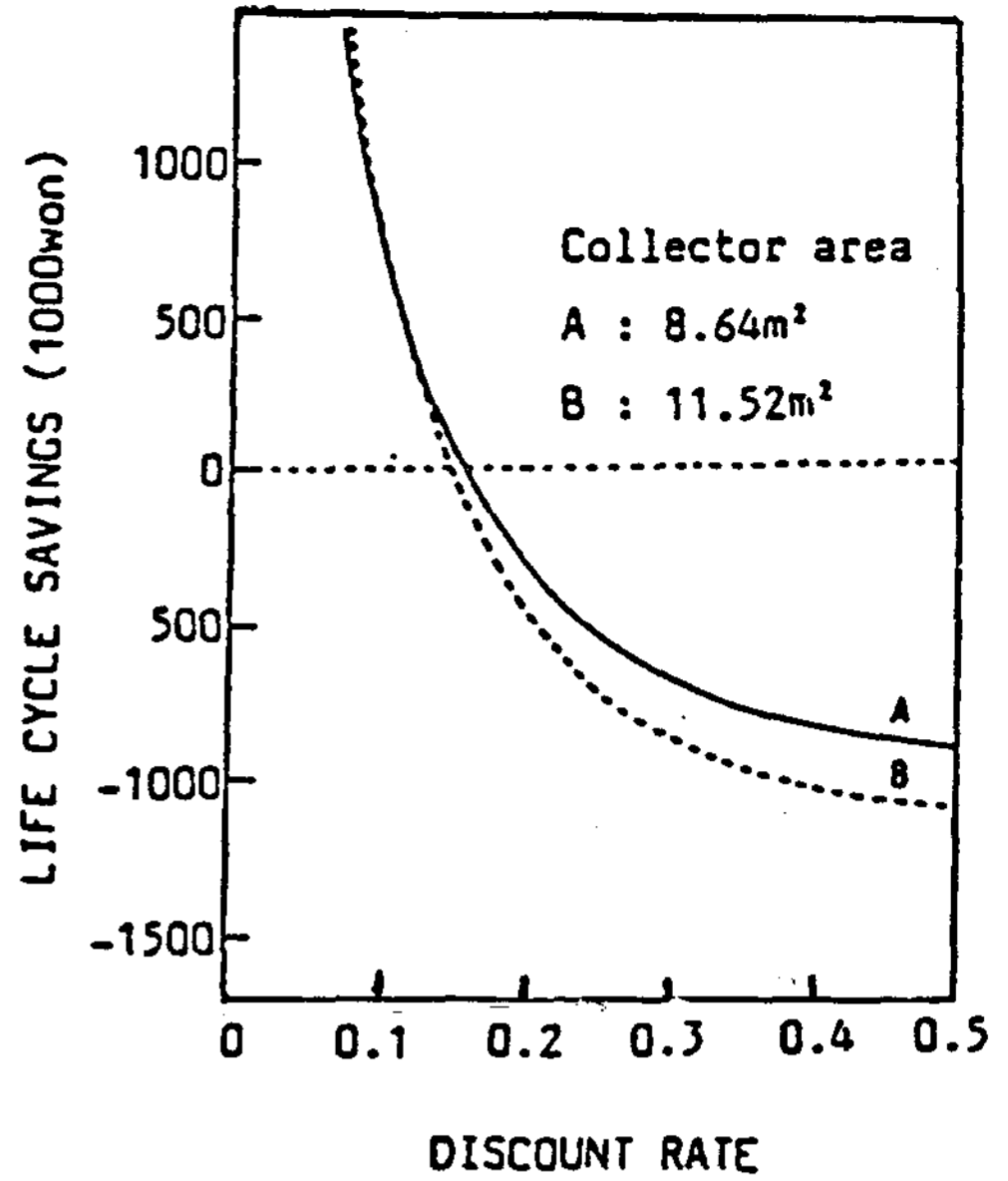


Fig. 9. Effect of collector area on the life cycle savings of domestic hot water system in the Seoul area.

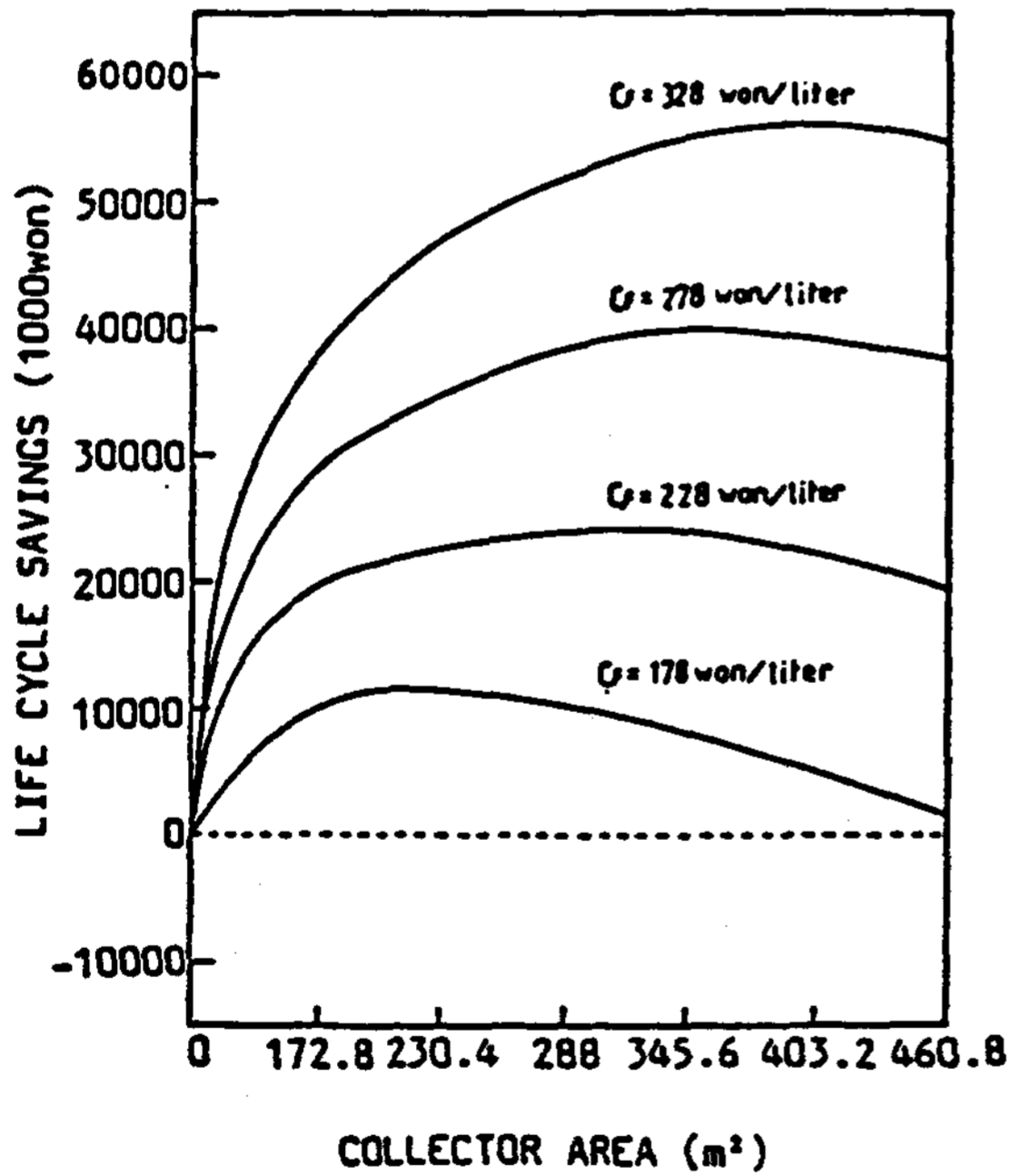


Fig. 8. Effect of fuel cost on the life cycle savings of multifamily hot water system in the seoul area.

한 것이다. 割引率이 0일 경우의 모든 壽命節減費는 전혀 換算되지 않는 現時價로 나타난다. 대체로 割引率이 낮을 경우에는 시스템의 壽命節減費는 增加하고, 割引率이 높을 경우에는

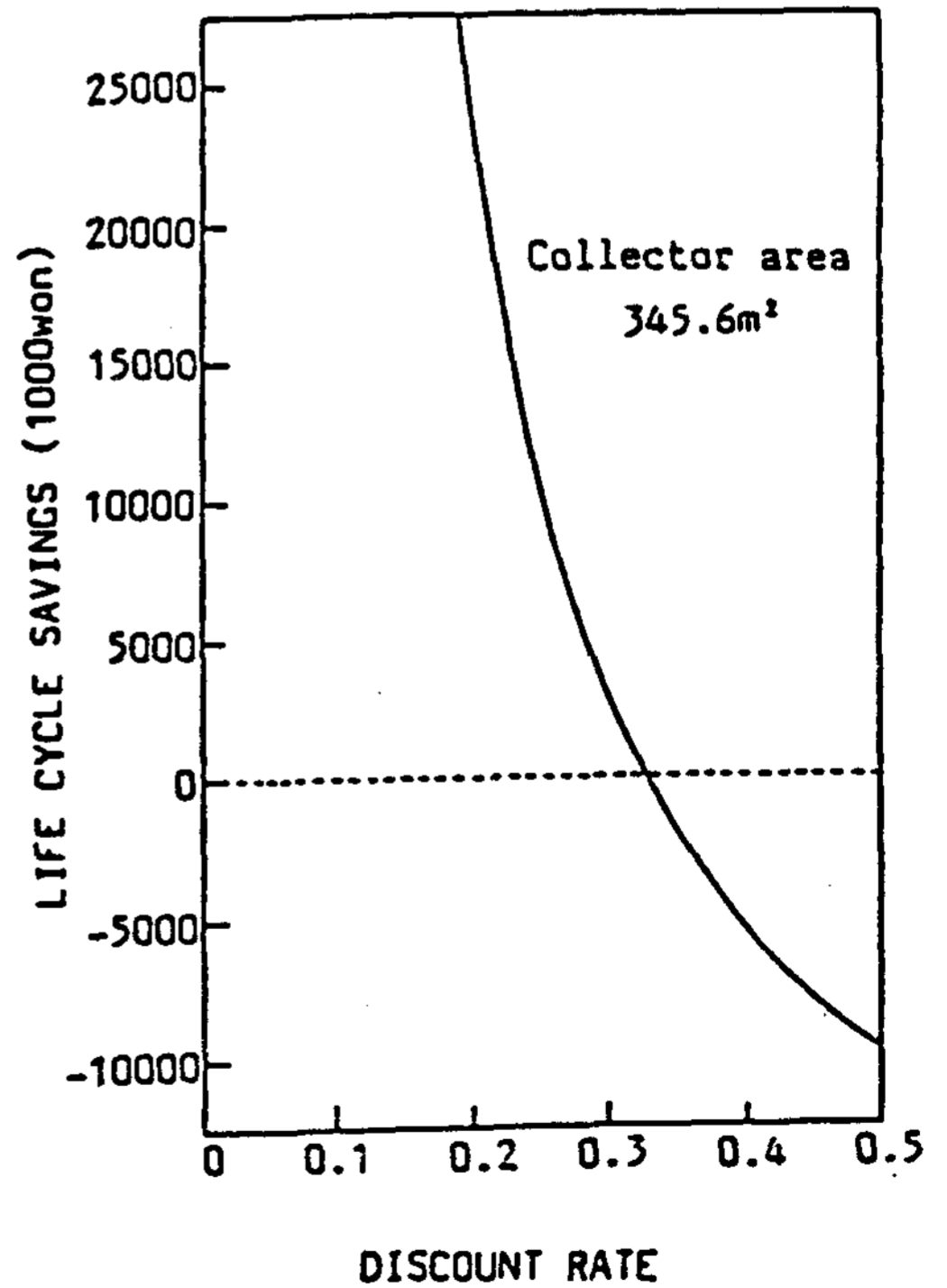


Fig. 10. Life cycle savings as a function of market discount rate for the multifamily hot water system in the seoul area.

壽命節減費는 減少한다. Fig.9에서는 集熱面積을 $8.64 m^2$, $11.52 m^2$, Fig.10에서는 集熱面積 $345.60 m^2$ 인 太陽熱 시스템을 選定하고 여러 割引率을 適用하여 太陽熱에 의한 節減費를 計算한 것으로서, 그 結果 集熱面積 $8.64 m^2$ 에 대하여 損益分岐 投資回收率은 15.6%, $11.52 m^2$ 에 대해서는 14.5%로 나타났으며 大規模 給湯인 集熱面積 $345.6 m^2$ 에 대해서는 32.5%로 나타났다.

Fig.11은 集熱器 設置傾斜角을 緯도와 일치시키고, 集熱面積을 $2.88 m^2$ 에서 6段階로 變化시킨 경우의 太陽依存率을 月別로 圖示한 것이다. 이들 線圖에서 共通的인 現象은 集熱面積이 增加할수록 시스템 性能은 集熱面積의 增加에 비하여 太陽依存率이 그다지 높아지지 않는 것으로 나타났으며, 특히 7월에 太陽依存率이 低下되고 있는것은 雨期로 인한 日射量 부족 때문인 것으로 判斷된다.

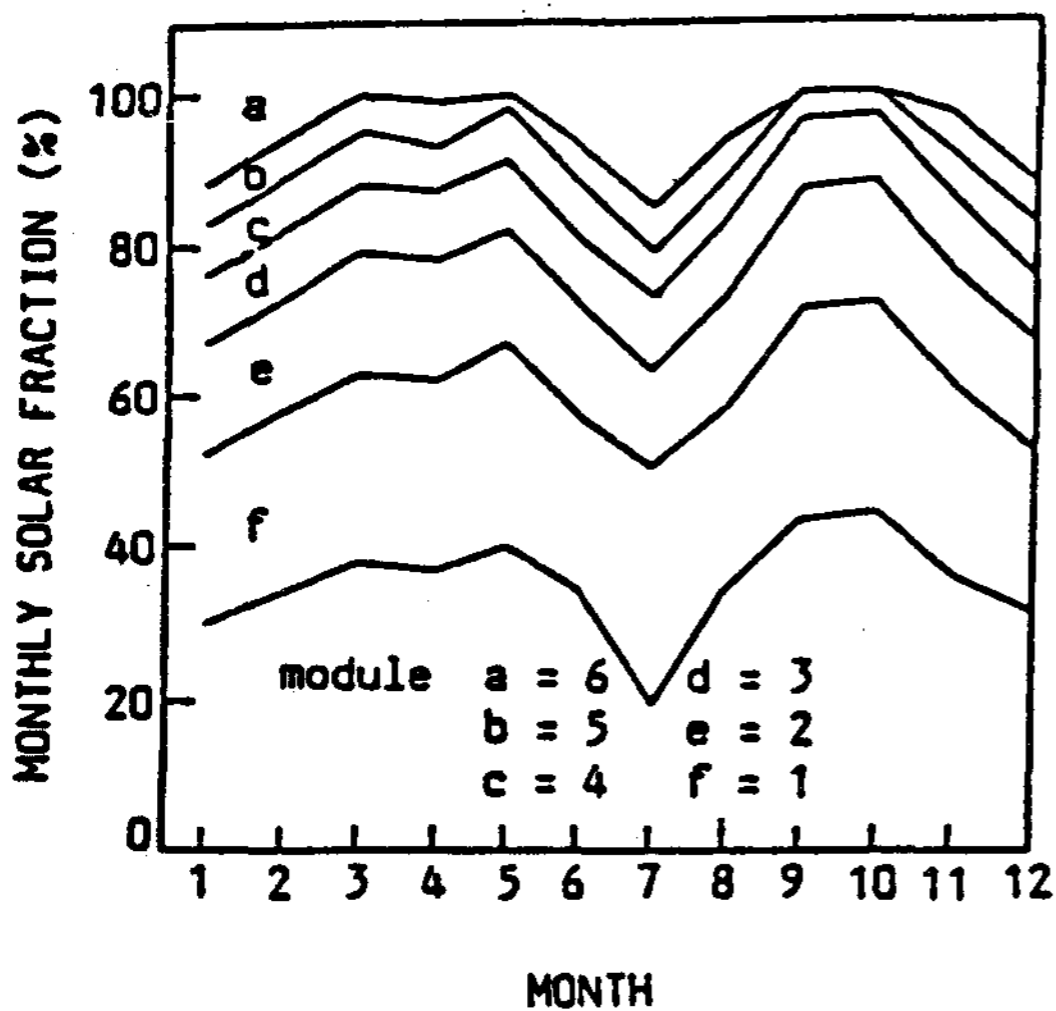


Fig. 11. Monthly fraction of solar energy for six different collector areas for domestic hot water system. One module = $2.88 m^2$

Fig.12는 集熱器 傾斜角을 緯도와 一致시키고, 集熱面積을 $172.8 m^2$ 에서 6段階로 變化시킨 경우의 月別 太陽依存率을 圖示한 것이다. 이때 年間 太陽依存率은 60枚일때 42%, 80

枚일때 52%, 100枚일때 60%, 120枚일때 67%, 140枚일때 72%이고 160枚일때 77%로 나타났다. 大規模 給湯시스템에 있어서도 7월에 太陽依存率이 低下되므로 이러한 時期를 利用하여 시스템을 點檢, 補修등을 하는것이 좋을 것으로 思料된다.

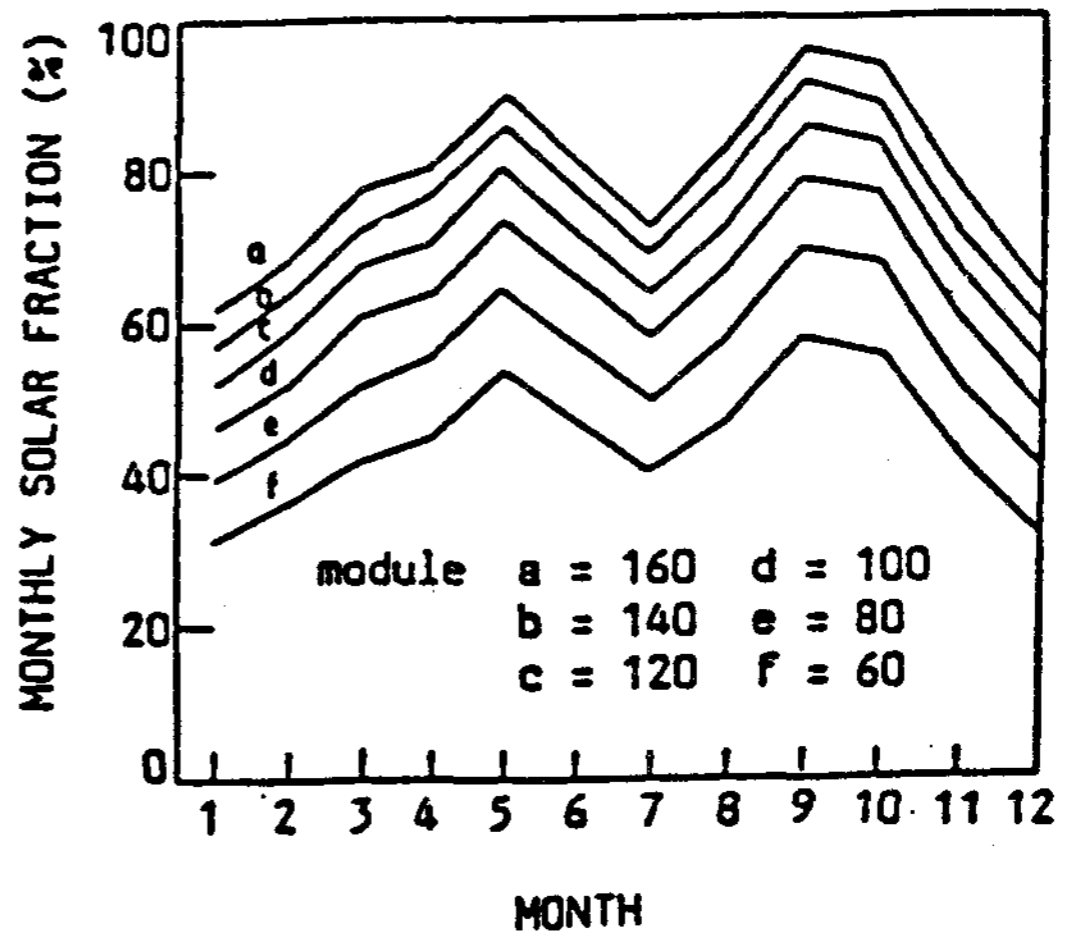


Fig. 12. Monthly fraction of solar energy for six different collector areas for multifamily hot water system. One module = $2.88 m^2$

Fig.13,14는 小規模 및 大規模 給湯시스템의 6개 集熱面積에 대한 年平均 시스템 效率 η_a 를 나타낸 것이다. 이 線圖에서 알 수 있는

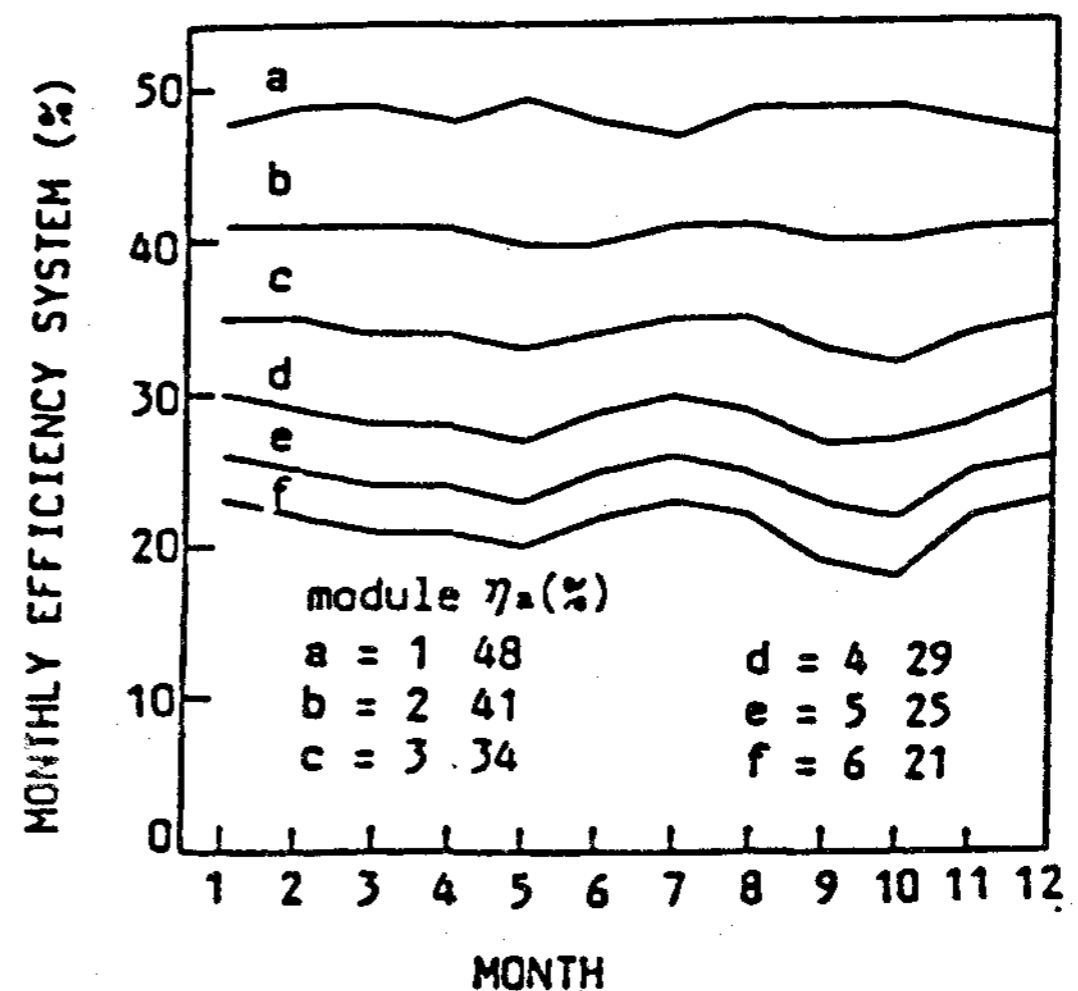


Fig. 13. Monthly system efficiency of domestic hot water system for the Seoul area.

바와같이 集熱面積이 增加할수록 시스템 效率이 減少하는 傾向을 보였으며, 小規模 給湯에 비하여 大規模 給湯의 시스템 效率이 良好한 것으로 나타났다.

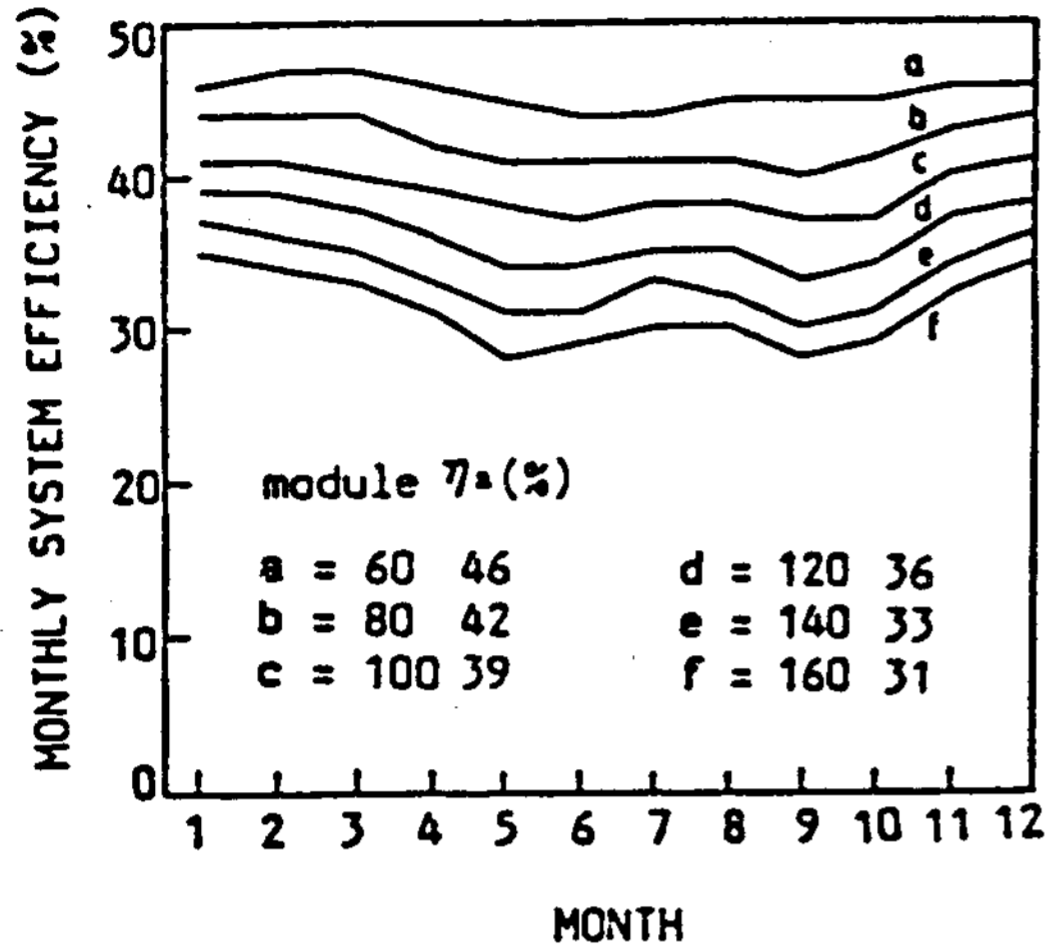


Fig. 14. Monthly system efficiency of multifamily hot water system for the seoul area.

Fig.15는 集熱器 設置傾斜角을 4가지 角度로 變化시킨 경우의 月別 太陽依存率을 圖示한 것이다. 이 線圖에서 보는 바와 같이 傾斜角이 클수록 冬節期에 太陽依存率이 높은 反面에, 傾斜角이 작을수록 夏節期の 太陽依存率이 좋은 것으로 나타났다. 또한 年 平均値는 傾斜角을 緯度와 一致시키는 것이 가장 適切한 것으로 나타났다.

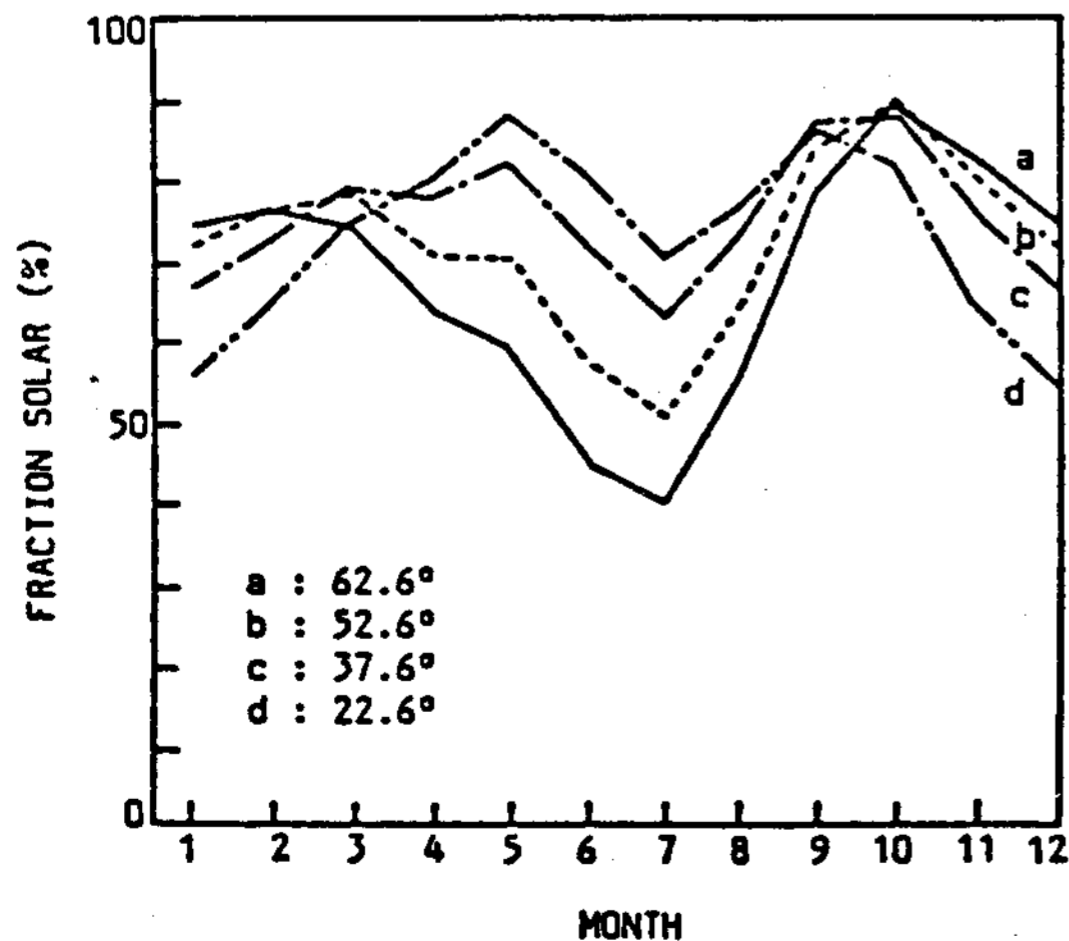


Fig. 15. Effect of tilt angle of collectors on the performance of solar domestic hot water system.

Fig.16,17은 集熱器 設置傾斜角을 그 地域 緯度와 같게 하고, 蓄熱탱크 容量을 각각 300 l, 10,000 l 集熱面積을 각각 8.64 m², 345.6 m²로 變更시켰을 때의 每月別 太陽依存率을 4개 地域에 대해서 圖示한 것이다. 여기서 4개 地域이란 앞에서와 같이 日射量이 가장 많은 木浦地域 (= 3002 Kcal / m² day), 日射量이 가장 적은 江陵地域 (= 1910 Kcal / m² day) 中間 地域인 秋風嶺 (= 2506 Kcal / m² day) 그리고 서울 (= 2711 Kcal / m² day)의 임의 地域을 택 하였다. 小規模 給湯일 때의 年平均 太陽依存率은 木浦地域이 82%, 서울地域 75%, 秋風嶺地域 67% 및 江陵地域 56%로 나타났고, 大規模 給湯일 때에는 木浦地域이 75%, 서울地域 67%, 秋風嶺地域 59% 및 江陵地域 50%로 나타났다.

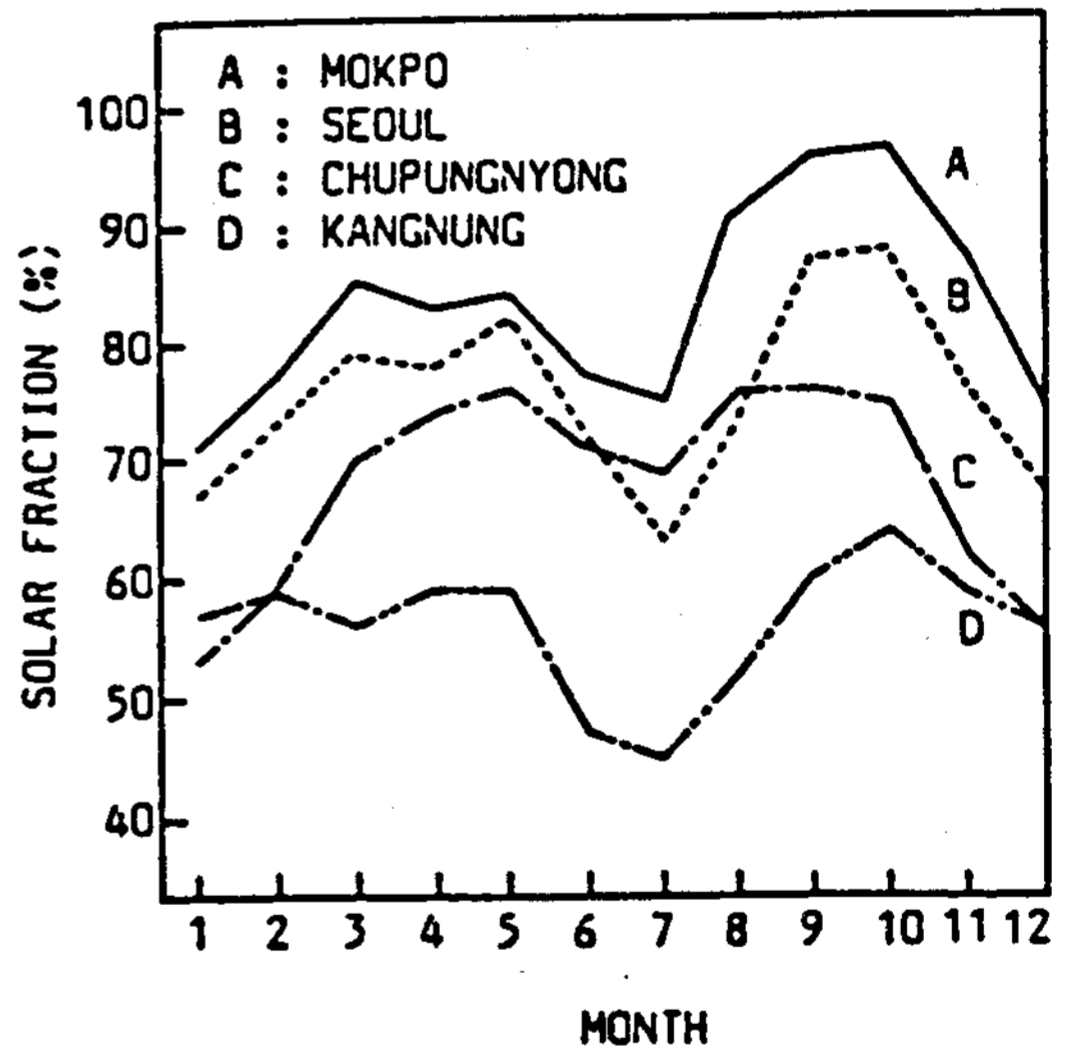


Fig. 16. Monthly fraction of solar energy for domestic hot water system in the four different areas.

Fig.18은 集熱面積이 8.64 m²인 小規模給湯, Fig.19는 集熱面積이 345.6 m²인 大規模 給湯 시스템에서 集熱器 傾斜角을 그 地域 緯度와 같게 하고, 蓄熱탱크 容量을 變化시켰을 경우 太陽依存率을 각 地域別로 比較한 것이다. 小規模 給湯에서는 300 l 以內까지는 각 地域 모두 3~4% 增加하고 그 이후는 1~2% 增加하

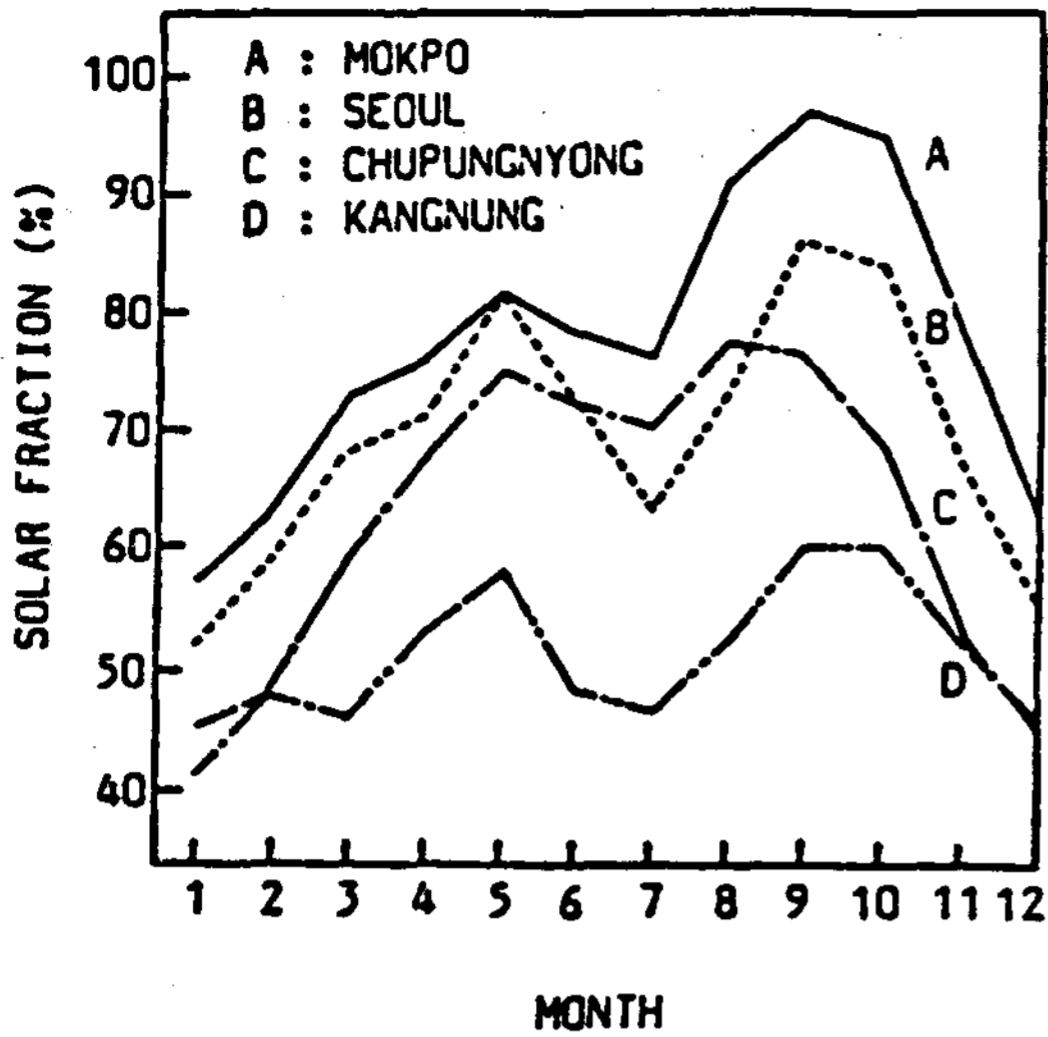


Fig. 17. Monthly fraction of solar energy for multi-family hot water system in the four different areas.

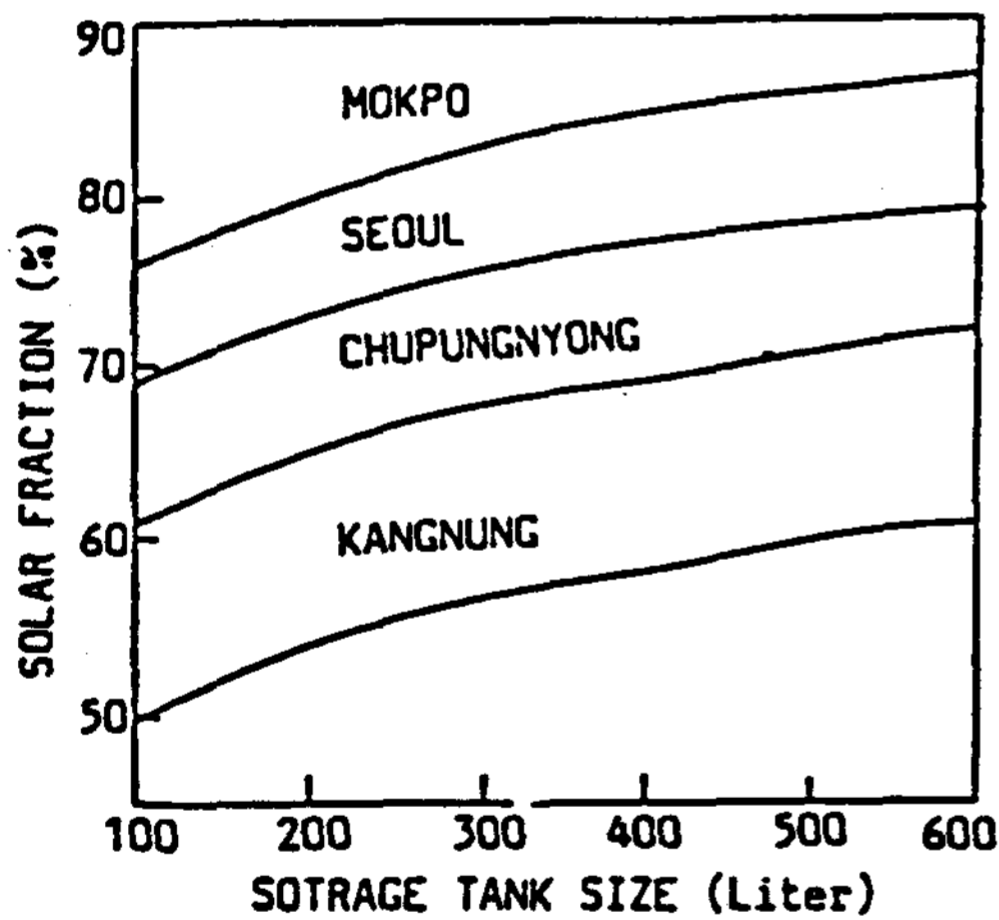


Fig. 18. Annual solar fraction for a domestic hot water system in the four different areas, as a function of storage capacity.

는 것으로 나타났다. 또한 대규모給湯에서는 5,000 l 以內까지는 각地域 모두 4% 增加하고 그 이후는 1~2% 增加하는 것으로 나타났다.

V. 結論

시뮬레이션에 의하여 태양熱給湯시스템의 最

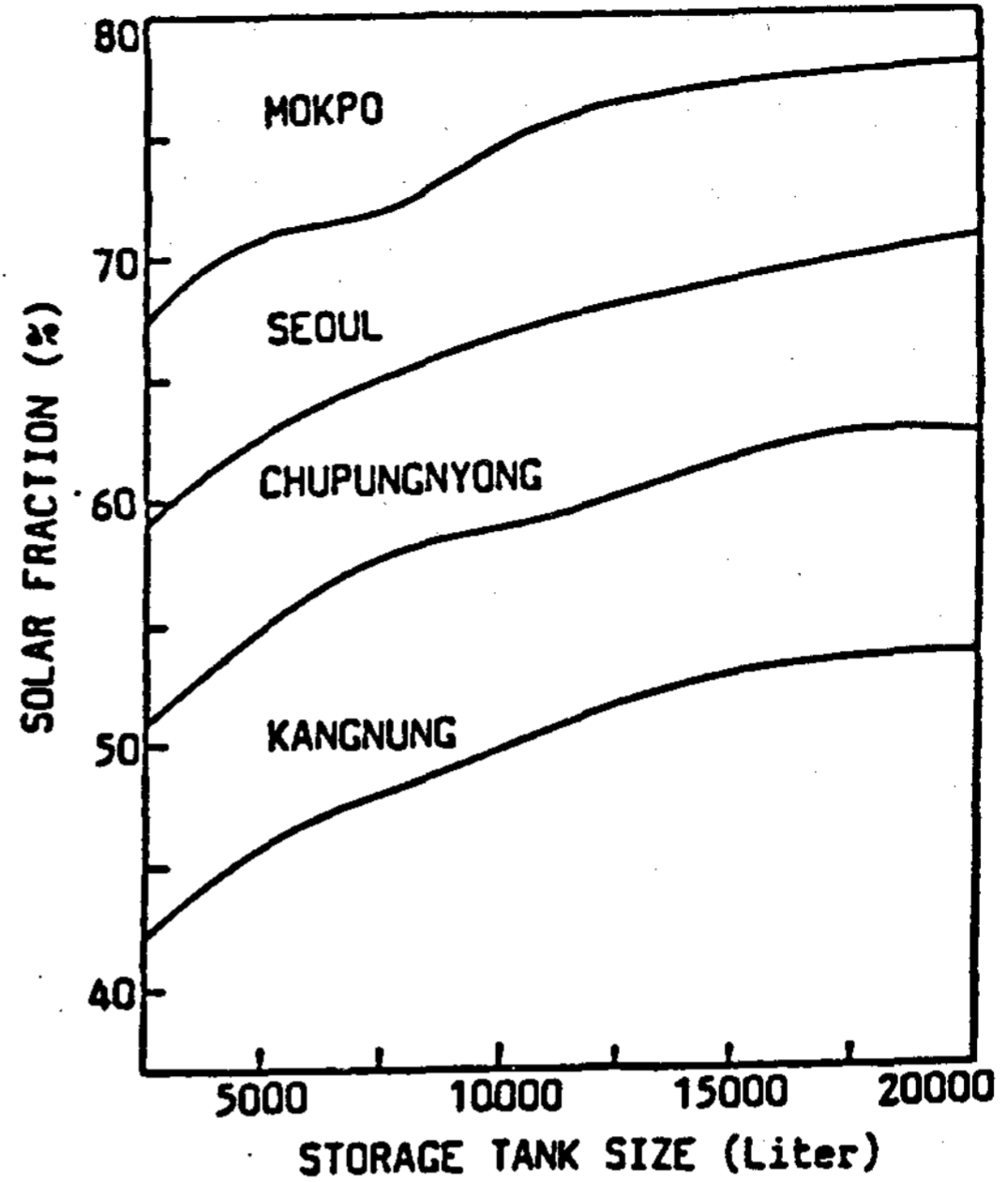


Fig. 19. Annual solar fraction for a multifamily hot water system in the four different areas, as a function of storage capacity.

適設計條件을 設定하고 經濟性 評價를 解析한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

(1) 太陽熱 給湯을 위한 集熱器의 最適設置角은 그 地域 南向의 緯度와 同一한 傾斜角이어야 한다.

(2) 小規模 給湯시스템의 最適 集熱面積은 木浦地域이 8.64 m², 서울 및 秋風嶺地域이 11.52 m²인 경우가 太陽熱 依存率이 가장 良好하며, 또한 江陵地域은 小規模 給湯시스템을 設置하지 않는 것이 經濟的인 側面에서 바람직한 것으로 나타났다.

(3) 大規模 給湯시스템의 경우에는 集熱面積을 서울, 秋風嶺 및 木浦地域 다같이 345.6 m²로 設置하는 것이 良好하고, 江陵地域은 259.2 m²로 하는 것이 經濟的인 面에서나 시스템의 效率面에서 가장 適當하다.

(4) 太陽熱 集熱器 單位面積當 蓄熱탱크 容量은 小規模 給湯의 경우에는 45 l/m² 또한 大規模 給湯일 때에는 35 l/m²로 하는 것이 適當하다.

REFERENCES

1. H.C. Hottel and B.B. Woertz, "The Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors", Trans. ASME, Vol.64, pp.91-104, 1942.
2. H.C. Hottel and A. Whillier, "Evaluation of Flat-Plate Solar collector Performance", Trans. Conf. use. solar Energy, Univ. of Arizona, pp.74-104, 1955.
3. R.W. Bliss, "The Derivations of Several Plate-Efficiency Factors Useful in the Design of Flat-Plate Solar Heat Collectors", Solar Energy, Vol. 3, pp. 55-64, 1959.
4. H. Tabor, "Radiation, Convection, and Conduction Coefficients in Solar Collectors", Bulletin of the Research Council of Israel, Vol. 6c, pp. 155-176, 1958.
5. H. Tabor, "Solar Energy Collector Design with Special Reference to Selective Radiation", Bulletin of the Research Council of Israel, Vol. 5c, pp. 5-27, 1955.
6. S.W. Moore, J.D. Balcomb and J.C. Medstrom, "Design and Testing of a Structurally Integrated Steel Solar Collector Unit Based on Expanded Metal", Paper presented at Ft. Collins LSES meeting, August 1974.
7. TRNSYS, A Transient Simulation Program, Report 38, Solar Energy, Laboratory, The University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, November 1976.
8. M.W. Fanning, "Evaluation of the FCHART/SLR Solar Design Process", ASHRAE Trans., To-82-7, No.2, pp.890-907, 1982.
9. ERDA, Division of Solar Energy Technology Transfer. An Introduction to SOLCOST: A New Simplified Design Method for Residential and Light Commercial Solar Heating and Cooling. Washington: ERDA, 1977.
10. B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator", Trans. ASHRAE, pp. 526-541, 1962.
11. B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse, and Total Solar Radiation", Solar Energy, Vol. 4, 1960.
12. B.Y.H. Liu and R.C. Jordan, "The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors", Solar Energy, Vol. 7, pp. 53-74, 1963.
13. S.A. Klein, "Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces", Solar Energy, Vol. 19, pp.325-329, 1977.
14. W.A. Beckman, S.A. Klein and J.A. Duffie, Solar Heating Design by the f-chart Method, New York, John Wiley and Sons, Inc., 1977.