

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol.18, No.2, 1998

## 국내 태양열 집열판의 최적 설치각 결정에 관한 연구

조덕기 · 최인수

승실대학교 산업공학과

## A Study on the optimal Installation Angle of Solar Absorber Plates in Korea

**Dok-Ki Jo · In-Soo Choi**

*Department of Industrial Engineering, Soongsil University*

### 요약

방위별에 따라 경사면에 입사되는 일사량은 태양에너지 수집장치인 태양열집열기나 태양열은수기, 그리고 태양전지판 설치와 태양열 주택이나 건물 설계시에 매우 중요한 자료로 널리 이용되고 있다. 이는 시스템 설치각도나 설치방향에 의해서 시스템의 수열면에 일사량을 최대로 받게 하는 것이 태양에너지 이용시스템의 성능에 크게 좌우되기 되기 때문이다.

본 연구는 이와 같은 중요성을 감안하여 태양행로에 대한 이론적인 고찰과 실측실험을 통하여 이에 적합한 전문가시스템 모형을 개발하고, 우리나라 주요 지역별에 따라 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도를 산출하여 해당 지역에 적합한 시스템의 최적 설계기준을 제시하고자 한다.

## ABSTRACT

The measured solar radiation incident on tilted surfaces by all directions has been widely used as important solar radiation data in installing solar collectors, hot water systems, and photovoltaic modules, and in designing solar buildings and houses. To maximize the incident beam radiation, the slope, which is the angle between the plane of the surface in question and the horizontal, and the solar azimuth angles are needed for these solar applied systems.

To respond to above needs, a theoretical study with actual measurements on moving route of the sun is carried out. This study focuses on the development of an solar expert system and on the selection of slopes for solar absorber plates in Korea.

## I. 서 론

2차에 걸친 유류파동에 의해 잠시 주춤했던 에너지 소비량은 국민소득의 증가와 더불어 주거 생활의 쾌적화를 위한 국민적 욕구에 의해 증가하고 있다. 그러나 석유를 비롯한 화석에너지는 언젠가는 고갈될 것이며, 근래에 와서는 전세계적으로 지구 환경오염의 주요한 요인으로 인식되고 있다. 우리나라에서는 그동안 공업화에만 집착한 나머지 환경문제는 뒷전으로 밀려나 있었으나, 이제는 정부에서도 환경오염 문제를 심각하게 받아들이고 있으며, 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지 개발에 많은 연구 지원을 하고 있는 실정이다.

태양에너지 이용시스템은 주로 태양으로부터 방출되는 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템 효율의 성능이 크게 좌우되고 있다. 즉, 일사량을 에너지원으로서 이용하고자 하는 경우에는 수광면의 최적경사각을 구하는 것이 매우 중요하다는 뜻이다. 특히, 방위별에 따라 경사면에 입사되는 일사량은 태양에너지 수집장치인 태양열 온수기나 태양열 집열기,

또는 고속도로변에 무인등으로 설치되어 흔히 볼 수 있는 태양전지판의 설치와 태양열 주택이나 건물의 설계시에 매우 중요한 자료로 널리 이용되고 있으며, 이는 직접적으로 태양열 및 태양광 시스템 등의 성능에 미치는 효과가 설치각도와 향에 따라서 크게 영향을 받기 때문이다.

## II. 이론적 배경

평판형 태양열 집열기나 태양열 온수기, 태양전지판 등과 같은 태양에너지 이용기기는 일사에너지의 직달 및 산란성분을 모두 흡수한다. 따라서, 수평면상에 입사되는 총일사량을 가지고 임의의 경사각으로 고정된 태양열 집열기나 태양전지판 평면위에 떨어지는 일사량을 평가하려면 수평면 총일사량에 대한 경사면 총일사량의 비인 R값을 알아 둘 필요가 있다.

즉,

$$R \equiv \frac{\text{경사면상에 입사되는 총일사량 } (I_T)}{\text{수평면상에 입사되는 총일사량 } (I)} \quad (1)$$

일사에너지의 직달성분( $R_b$ )과 산란성분( $R_d$ )은 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$R_b = \frac{\text{경사면상에 입사되는 직달일사량 } (I_{bT})}{\text{수평면상에 입사되는 직달일사량 } (I_b)} \quad (2)$$

$$R_d = \frac{\text{경사면상에 입사되는 산란일사량 } (I_{dT})}{\text{수평면상에 입사되는 산란일사량 } (I_d)} \quad (3)$$

따라서  $R$ 은 다음과 같이 된다.

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (4)$$

직달성분을 위한 각도보정(angular correction)은 다음 식으로 할 수 있다.

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn}}{I_{bn}} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (5)$$

여기서,  $I_{bn}$ : 태양과 수직인 법선면상에서의 직달일사량

$\theta$ : 태양입사각

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ &\quad - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &\quad + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &\quad + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &\quad + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

$\theta_z$ : 태양천정각

$$\cos \theta_z = \cos \theta \cos \delta \cos \omega + \sin \delta \sin \theta$$

$\beta$ : 수평면에 대한 집열면의 경사각도

$\gamma$ : 지표면 방위각 (동-, 서+)

이다.

직달성분의 각도보정은 앞에서 제시한 식

에 의하여 가능하나 산란성분의 경우는 상당히 곤란하다. 왜냐하면 산란형태 자체가 전 하늘에 걸친 산란분포에 달려있어 아직까지 일반화된 것이 없으며, 이 분포는 구름층의 형태나 크기, 또는 위치, 양 등 변화에 따른 다양성과 다른 대기성분의 특수한 분포에 의존하고 있기 때문이다. 따라서, 산란성분의 각도보정과 관련하여 다음과 같은 두가지 가정을 채택할 수 있다.

첫째로, 산란성분 역시 태양으로 부터 지구에 직선적으로 도달한다는 관점에서 하늘이 아주 청명한 상태에서는 산란성분에 적용되는 각 보정계수는 직달성분에 적용되는 것과 동일한 것으로 취급한다는 것으로 즉, 이 경우  $R = R_b$ 가 됨을 뜻한다.

둘째로, 산란성분은 등방위성인 성질을 갖는다고 가정할 수 있다. 즉, 이는 하늘 전체에 균일하게 분포된다는 뜻으로 이와같은 가정은 대기층이 흐리거나 구름층이 균일하게 형성되어 있을 때 상당한 신뢰도를 갖는다. 이 같은 가정들하에서는  $R_d$ 값은 항상 균일하여 1시간 동안 경사면에 입사하는 일사량은 다음 식에 의거 정의할 수 있다.

$$I_T = I_b R_b + I_d \quad (6)$$

따라서

$$R = \frac{I_T}{I} = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \quad (7)$$

식으로 유도된다.

이상과 같은 분석방법을 개선하여 세가지 성분 즉, 직달, 산란 및 지면에서 반사되는 산란성일사량 등을 고려한 식을 도출하였다. 수평면으로 부터  $\beta$ 각의 경사도를 갖는 평면은

하늘에 대한 시야계수(view factor)가  $(1 + \cos \beta)/2$ 로 주어진다. 그러나 산란일사량이 등방위성을 가질 경우라 이것은 곧  $R_d$ 가 된다. 또한 경사면의 지면에 대한 시야계수는  $(1 - \cos \beta)/2$ 이며, 만일 주위가 총일사량에 대하여  $\rho$ 라는 반사계수를 갖는다면 일사량으로 부터 주위를 둘러싸고 있는 지면에 의해 반사되는 일사성분은  $(I_b + I_d)\rho \cdot (1 - \cos \beta)/2$ 가 된다. 그러므로 1시간 동안 경사면에 떨어지는 총일사량은 이들 세가지 사항들의 합으로 구할 수 있다.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) (I_b + I_d) \quad (8)$$

그리고, R의 정의에 따라서,

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) (I_b + I_d) \quad (9)$$

이 된다. 산란지면반사율을 거울철에 눈이 없는 경우를(참고문헌 [6])에서는 0.2, 깨끗한 상태의 눈이 덮혀있는 경우를 0.7이라 제시하고 있다. 식 (8)의 마지막 두개의 항은 평면에 입사하는 산란일사량 이다. 한편  $R = R_b$ 를 사용하는 경우는 대개  $I_T$ 값이 아주 높게 예측 되기 때문에 식(8)과 식 (9)를 사용하는 것이  $I_T$ 값의 예측을 보다 신중하게 유도할 수 있다. 이와같은 이유는 지표면과 일사계의 수감부 앞에 수평으로 설치된 산란반사기(Diffuse Reflector)에서의 일사의 영향을 고려할 수 있기 때문이다.

앞에서는 임의의 시간 또는 1시간 동안과 같은 짧은 시간의 개념으로 수평면 전일사량에 대한 경사면 총일사량의 비에 관하여 고찰

하였다. 그러나 태양열난방시스템이나 태양광 발전시스템 설계시는 필연적으로 수평면에 대한 경사면에서의 월별 1일 평균일사량의 비율인  $\bar{R}$ 값이 산출되어야 한다. 이  $\bar{R}$ 값은 이미 설명한 R값을 구할 때와 마찬가지로 직달, 산란, 지면반사성분의 합으로 부터 구할 수 있다.

만일 산란일사량과 지면에서 반사되는 일사량이 각각 등방위성을 갖는다면, 식 (9)와 유사한 형태로 월별 평균비율  $\bar{R}$ 값을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{R} = \frac{H_T}{H} = & \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) \bar{R}_b \\ & + \frac{H_d}{H} \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

그리고  $H_T$ 는 식 (11)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} H_T = H \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) \bar{R}_b + & H_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \\ & + H \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $H_d/H$ 는 월별 1일 평균일사율인  $K_T$ 의 함수로서 수평면에서의 월별 1일 평균 총일사량에 대한 산란일사량의 비율을,  $\bar{R}_b$ 는 해당달의 월평균 1일 값으로 수평면에서의 총일사량에 대한 경사면 직달일사량 비율인  $H_{bT}/H$ 를 의미한다.

$$\begin{aligned} H/H_d = & 0.775 + 0.00653 (\omega_S - 90) \\ & - [0.505 + 0.00455 (\omega_S - 90)] \\ & \cos(115 K_T - 103) \end{aligned} \quad (12)$$

$\omega_S$ : 수평면 일몰시간각 ( $\cos \omega_S = -\tan \phi \tan \sigma$ )

$\phi$  ; 해당지방의 위도

$\sigma$  ; 일적위

$$= 23.45 \sin [360 (284+n/365)]$$

$n$  ; 통산일

$K_T$  ;  $H/H_0$

$H_0$  ; 해당지방의 월평균 대기권밖 일사량

$$= 24 \times 3600 G_{sc}/\pi [1 + 0.033 \cos(360n/365)]$$

$$\times [\cos\phi \cos\sigma \sin\omega_s + (2\pi \omega_s/360) \sin\phi \sin\delta]$$

$G_{sc}$  ; 태양상수(1,353 W/m<sup>2</sup>)

북반구에서 적도를 향한 경사면 즉 방위각이 정남을 향한 경우  $R_b$ 는 다음식으로 정의된다.

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta \sin \omega_s' + (\pi/180)\omega_s' \sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \sin \omega_s + (\pi/180)\omega_s \sin\phi \sin\delta} \quad (13)$$

또한 남반구에서 적도를 향한 방위각이 정북일 경우  $R_b$ 는 다음 식으로 정의 된다.

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta)\cos\delta \sin \omega_s' + (\pi/180)\omega_s' \sin(\phi + \beta)\sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \sin \omega_s + (\pi/180)\omega_s \sin\phi \sin\delta} \quad (14)$$

여기서 경사면 일몰시간각인  $\omega_s'$ 는 해당월 평균일의 대표값인 일적위 등을 적용하여 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

북반구일 경우,

$$\omega_s' = \min \begin{bmatrix} \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \\ \cos^{-1}[-\tan(\phi - \delta)\tan\delta] \end{bmatrix} \quad (15)$$

남반구일 경우,

$$\omega_s' = \min \begin{bmatrix} \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \\ \cos^{-1}[-\tan(\phi + \delta)\tan\delta] \end{bmatrix} \quad (16)$$

식 (13)과 식 (14)에서 분자항은 경사면에서의 대기권밖 일사량을, 분모항은 수평면에서의 대기권밖 일사량을 의미하며, 이들 각각의 값은 식 (5)에서 태양입사각 산출공식을 사용하여 수평면 또는 경사면에서 태양시를 기준으로한 일출에서 일몰시간까지의 적분치로서 구할 수 있다. 위에 소개한 식 (13)을 임의의 방향을 갖는 어떠한 평면에서도 적용할 수 있도록 다음과 같은 식으로 재 변형되었다.

$$R_b = \frac{(\cos\beta \sin\delta \sin\phi)(\omega_{sr} - \omega_{sr}')(\pi/180) - (\sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma)(\omega_{sr} - \omega_{sr}')(\pi/180) + (\cos\phi \cos\delta \cos\beta)(\sin\omega_{sr} - \sin\omega_{sr}') + (\cos\delta \cos\gamma \sin\phi \sin\beta)(\sin\omega_{sr} - \sin\omega_{sr}') - (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma)(\sin\omega_{sr} - \sin\omega_{sr}')}{2 [\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s \sin\phi \sin\delta]} \quad (17)$$

여기서,  $\omega_{sr}$ 과  $\omega_{sr}'$  각각 경사면에서의 일출, 일몰시간각으로 다음 식에 의해 산출할 수 있다

$\gamma > 0$ 인 경우,

$$\omega_{sr} = -\min \{ \omega_s, \arccos [(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}) / (A^2 + 1)] \}$$

$$\omega_{sr}' = \min \{ \omega_{sr}, \arccos [(AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}) / (A^2 + 1)] \}$$

(18)

$\gamma < 0$ 인 경우,

$$\omega_{sr} = -\min \{ \omega_s, \arccos [(AB - \sqrt{A^2 - B^2 + 1}) / (A^2 + 1)] \}$$

$$\omega_{sr}' = \min \{ \omega_s, \arccos [(AB + \sqrt{A^2 - B^2 + 1}) / (A^2 + 1)] \}$$

(19)

$$A = [\cos\phi / (\sin\gamma \tan\beta)] + (\sin\phi / \tan\gamma)$$

$$A = [\cos\phi / (\sin\gamma \tan\beta)] + (\sin\phi / \tan\gamma) \tag{20}$$

$$B = \tan\delta / \{(\cos\phi / \tan\gamma) - [\sin\phi / (\sin\gamma \tan\beta)]\} \tag{21}$$

### III. 실험

#### 3-1. 무인자동화 측정시스템 구성

##### 3-1-1. 측정지의 선정

측정지에서 일사센서를 설치할 입지를 선정할 시에는 일사센서의 감지부 면이 태양광선이 잘 받아들일 수 있도록 주위의 장애물로부터 충분히 떨어진 장소를 물색하여야 한다. 만약 이와 같은 장소를 구하기 곤란한 경우에는 최소한 동북동(ENE)쪽에서 남(S)쪽을 경유하여 서북서(WNS)쪽에 이르는 수평방향에 장애물이 없는 곳을 선정하여야 하며, 혹 장애물이 없더라도 그 높이가 수평방향에서 5도 이상 높이 있지 않은 장소를 선정하여야 한다.

따라서, 이와 같은 점을 고려하여 측정기기의 설치위치는 비교적 높아 주변의 장애물의 영향이 적은 건물의 옥상(36°22'N, 127°22'E)으로 정하였다.

##### 3-1-2. 측정시스템의 구성과 구성요소의 특성

일반적으로 장기간에 걸친 연속적인 데이터의 수집은 시스템 가동시 정전에 대비하기 어렵고, 측정작업을 계속적으로 도울 수 인력을 구하기 쉽지 않기 때문에 측정시스템의 무

인자동화가 절실히 필요하다. 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 측정지에 Table 1과 Fig.1과 같이 무인자동화 측정시스템을 구성하여 설치운영하였다. 무인자동화 측정시스템의 구성을 위하여 선정된 장치와 관련 부속기기의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

Table 1. Equipment list of the measurement system

품 명	형 식	비고
○수평면일사계 (Pyranometer) - 경사각도 ( 0° S) - 경사각도 (15° S) - 경사각도 (30° S) - 경사각도 (45° S) - 경사각도 (60° S) - 경사각도 (75° S) - 경사각도 (90° S) - 경사각도 (90° E) - 경사각도 (90° W) - 경사각도 (90° N)	Eppley PSP형	10 개
○ 데이터수집장치 (Data Aquisition System)	Handar 570A형	1 셀
○ 데이터터미널 (Data Terminal)	Toshiba 100형	1 셀
○ 데이터회수장치 (Data Collection Set)	Handar 545B형	1 셀
○ 변복조장치(Modem)	Garnet GTM-2421V1형	2 개
○ 데이터프로세서 (Data Processor)	IBM 586형	1 셀
○ 태양전지판 (Photovoltaic Module)	Integrated Power IP84-A형	1 개
○ 전압조정기 (Voltage Regulator)	Handar 570-7001형	1 개
○ 축전지 (Rechargeable Battery)	Handar 600-0932형	1 개

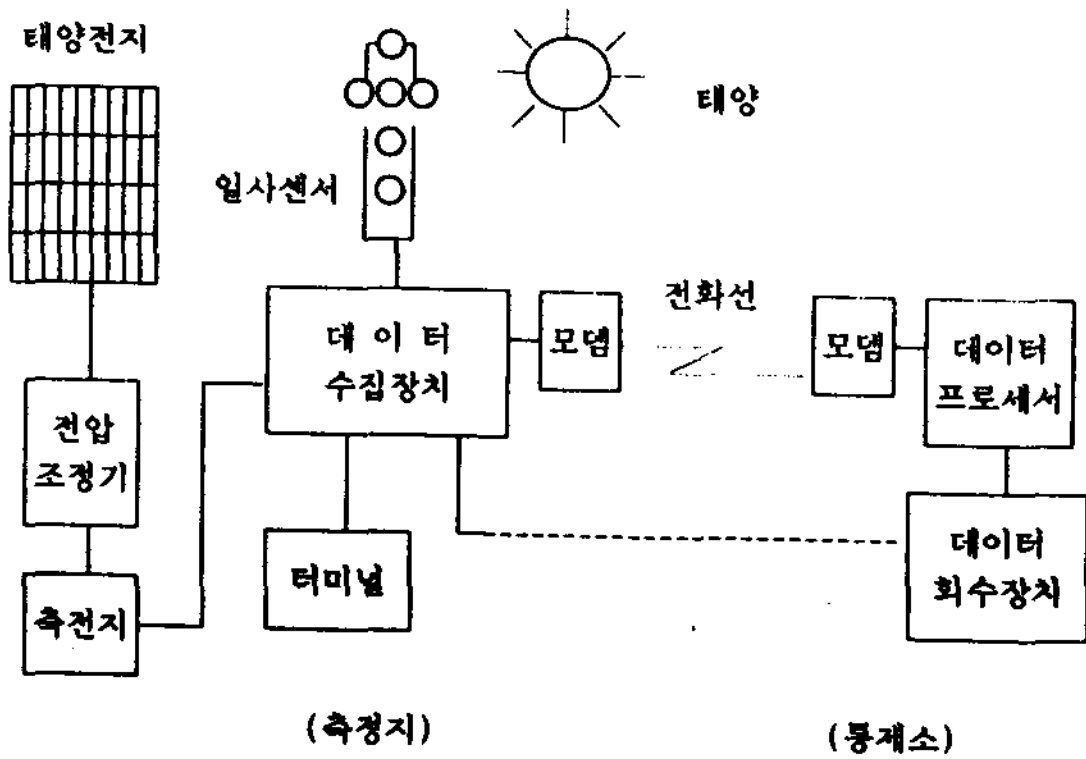


Fig. 1. Configuration diagram of the measurement system

1) 일사센서(수평면일사계)

미국 Eppley사에서 개발된 것으로 현재 범용으로 공급된 단파대역의 전일사량계(Global Radiation)측정기기 중에서 가장 정밀도가 높은 기기로 평가되고 있으며, 단파대역의 일사에너지 측정뿐만 아니라, 단파장 반사에너지(albedo)의 측정은 물론 항별 경사각도 변화에 따라 설치함으로써 수평면 전일사량 및 방위별 경사면일사량을 측정할 수 있으며, 태양차폐판(Shadow Band)를 부착하여 태양으로부터 직접 전달되는 태양에너지를 차단하여 대기 중에서 산란되는 일사량만을 측정할 수 있는 등 용도가 다양하게 사용할 수 있다.

2) 데이터수집장치

미국 Handar사 제품으로 마이크로프로세서에 의해 제어되는 저전력소모형 장비로서 이 장치는 서로 다른 종류의 아날로그와 디지털 신호의 입력을 수용할 수 있다.

또한, 반도체 기억장치를 내장하고 있어 약 68,000개 데이터와 운영프로그램을 기억할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 기억장치에 저장

된 데이터는 모뎀(modem)에 의해 전화라인으로 데이터를 원격전송할 수 있다.

3) 데이터터미널

데이터터미널 측정지에서 데이터수집장치에 운영프로그램을 입력시켜 측정된 데이터를 직접 받아들이거나, 데이터수집장치의 측정기능을 조정하고 통제하는 역할을 한다. 이 장비는 야외에서도 운영이 용이하도록 방수와 충격방지를 위해 플라스틱 재질의 케이스 안에 내장되어 있으며, 장시간 독자적으로 가동할 수 있도록 예비전원용 축전지도 갖추고 있다.

4) 태양전지판 및 관련 부속장치

광기전력효과에 의하여 직류전기를 발생하는 가장 중요한 부분으로 정전 에 대비한 데이터수집장치의 공급전원으로 사용되고 있다. 이에 따른 부속장치로서는 전압조정기와 축전지가 있으며, 전압조정기는 태양전지판이 일사조건에 따라 변화하는 전압을 일정한 전압으로 축전지에 충전하는 기능을 갖고 있다. 또한 축전지장치는 데이터수집장치가 주간에 태양전지판에서 태양빛을 받아 발전된 전력을 야간에도 사용하기 때문에 필수적으로 필요하며, 이를 위해 규격 12V, 6.5AH Ni-Cd 알카리형 축전지를 설치하여 청명한 날 전압조정기를 거쳐 나온 출력전압을 축전지에 저장시킨 뒤에 야간이나 일조시간이 적은 날을 대비하였다.

그 외에 측정지에서 수집된 자료를 통제소로 전송 및 회수하기 위하여 변복조장치인 모뎀(modem)과 데이터회수장치(Data Collection Set : Handar 545B 형)를 운영하였으며, 다시 전송 회수된 자료를 DBASE 처리하기 위해 데이터처리용 컴퓨터(Data Processor : IBM



PC. 586형)를 사용하였다. Fig. 2는 시스템 설치장소의 전경과 측정작업이 현장에서 진행되고 있는 장면을 소개한 것이다.

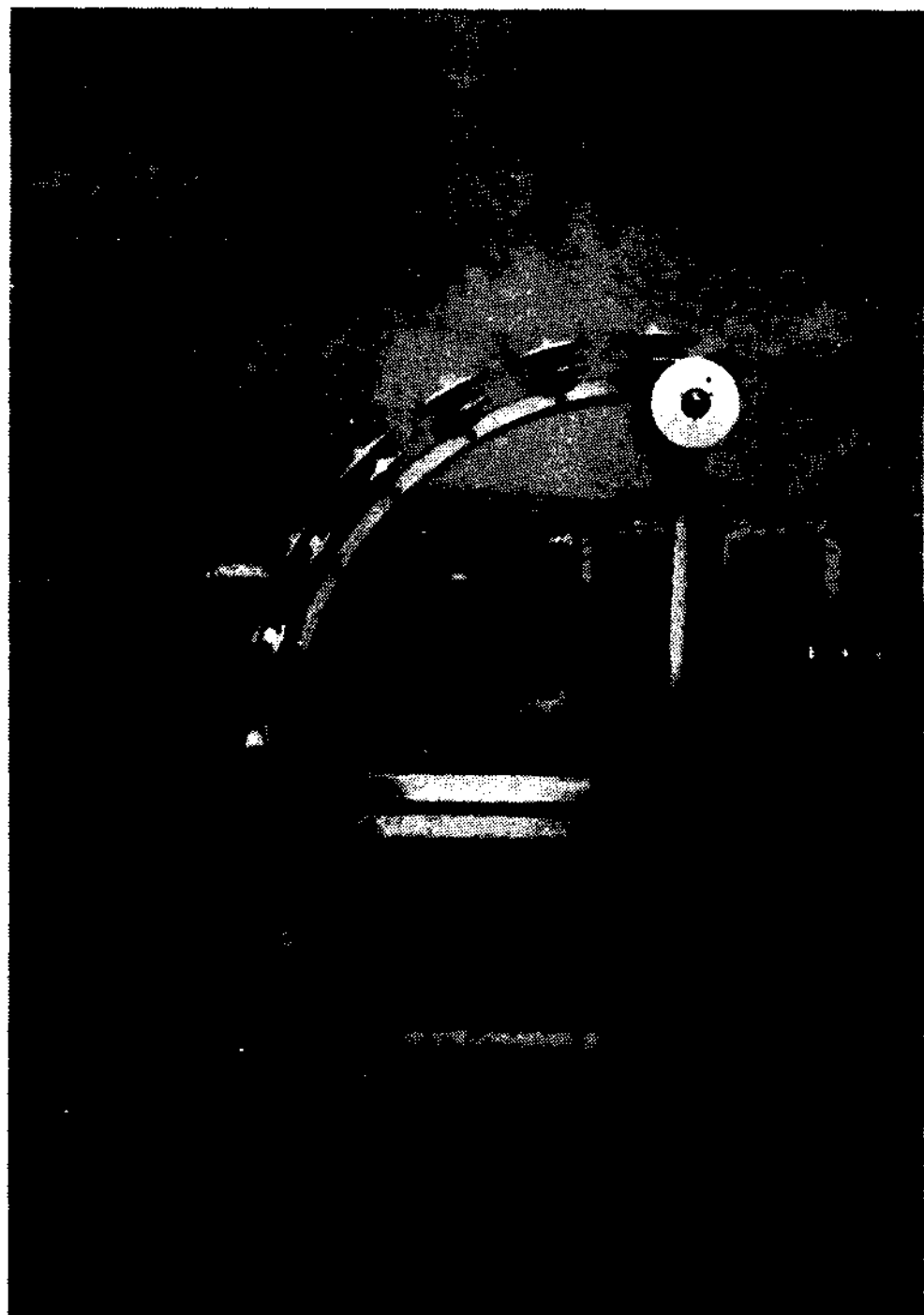


Fig 2. View of the measurement system

### 3-2. 측정데이터의 수집과 처리

Fig. 2에서 보는바와 같이 측정지에 일사센서를 남향면에 수평면에 대한 경사각도 0도에서 90도 사이에 15도씩 변환하여 7개를 설치하였으며, 또한 동향 및 서향, 그리고 북향면의 경사각도 90도에 각각 1개씩 설치하여 총 10개를 설치하였다. 이와 같이 설치된 시스템에 의하여 측정되는 데이터는 통제소에 설치된 데이터 프로세서의 원격제어에 의해 기존 전화선을 통하여 원거리 전송되며, 전송된 데이터는 다시 데이터 화일로 구분하여 하드디스크에 저장시켜 각종 데이터의 분석 및 전산처리를 행할 수 있다. 이와 같이 통제소에서

전산처리되고 있는 전산프로그램은 데이터 회수 및 처리용 프로그램(Data Retrieval and Process Program)으로 이를 통하여 시간별 일사량 자료를 전송 받아 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 하였다.

데이터 회수 및 처리용 프로그램의 기본적인 소프트웨어 운영형태는 미국 Borland사의 Turbo C언어를 사용하여 Fig 3와 같이 미국 Microsoft사의 Windows 95 운영체제에서 이용할 수 있도록 프로그램하였으며, 이 프로그램의 각 소프트웨어의 기본 구성은 다음의 열거지로 구분된다.

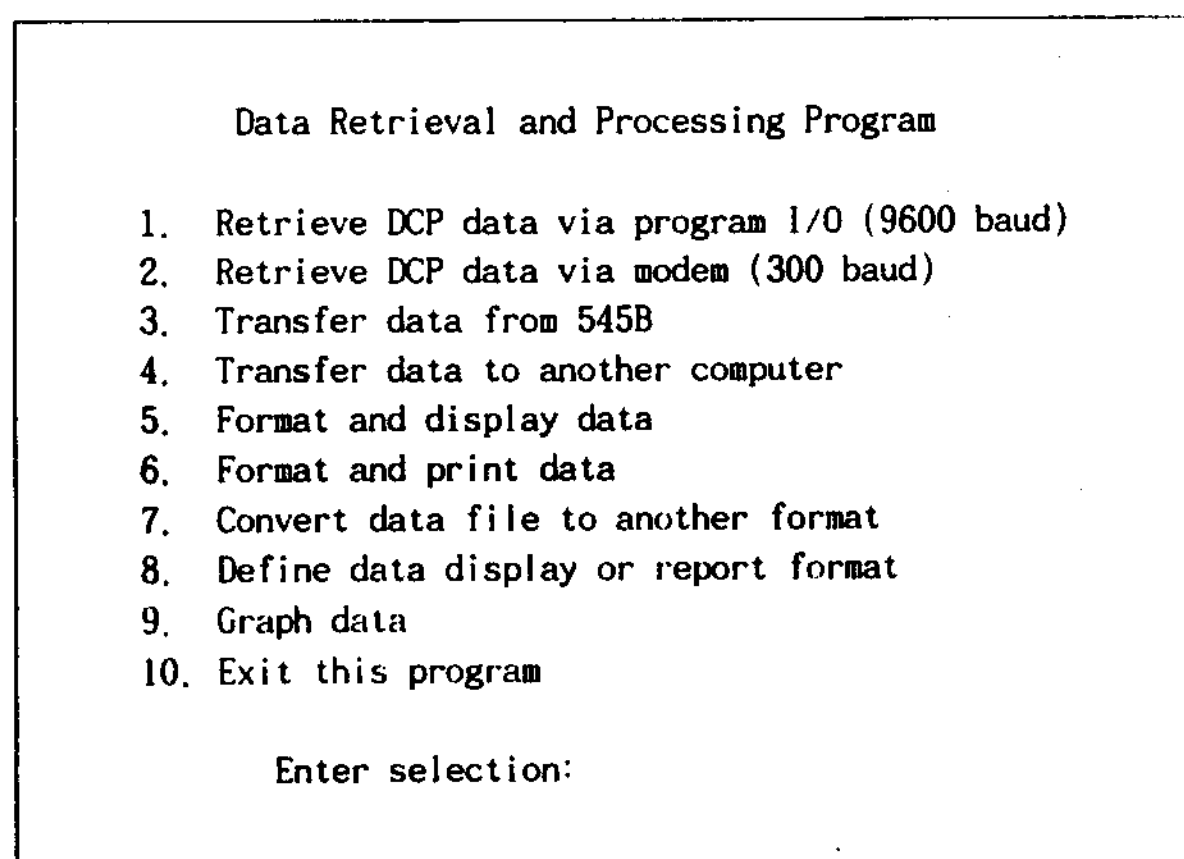


Fig. 3. Monitor screen of DPP(Data Retrieval and Process Program)

- 1) 데이터수집장치에 저장된 데이터를 접속된 데이터터미날을 통하여 회수하거나 시스템을 제어하는 소프트웨어
- 2) 데이터수집장치에 저장된 데이터를 온라인 직결시스템으로 전송 받거나 시스템을 원격제어하는 소프트웨어
- 3) 데이터수집장치에 저장된 데이터를 데이터



- 회수장치를 통하여 수거하는 소프트웨어
- 4) 데이터프로세서에 저장된 데이터화일을 LAN망에 접속되어 있는 다른 컴퓨터로 전송하는 소프트웨어
  - 5) 데이터프로세서에 저장된 데이터화일을 일정한 형식으로 모니터 화상을 표현하는 소프트웨어
  - 6) 데이터프로세서에 저장된 데이터화일을 일정한 형식으로 프린터로 인쇄하는 소프트웨어
  - 7) 데이터프로세서에 저장된 데이터화일을 ASCII나 DBF형식으로 전환하는 소프트웨어
  - 8) 모니터 화상이나 프린터로 출력할 수 있도록 데이터화일을 일정한 형식으로 정의하는 소프트웨어
  - 9) 데이터화일을 그래프 형태로 변환하는 소프트웨어
  - 10) 측정 및 분석작업을 종료하는 소프트웨어

한편, Fig. 4과 Fig. 5는 무인자동 측정시스템에서 측정된 데이터를 전송받아 통제소의 데이터프로세서에서 처리된 데이터의 형식과 도형분석의 예이다.

Date	Time	S(0)	S(15)	S(30)	S(45)	S(60)	S(75)	S(90)
mm/dd/yy	hh/mm/ss	(Wh/m2)	(Wh/m2)	(Wh/m2)	(Wh/m2)	(Wh/m2)	(Wh/m2)	(Wh/m2)
5/21/96	04:00:00	-003	-005	-005	-004	-005	-005	-005
	05:00:00	-003	-005	-005	-004	-005	-005	-005
	06:00:00	0002	0001	0001	0000	-001	-002	-002
	07:00:00	0040	0047	0046	0031	0029	0020	0019
	08:00:00	0050	0062	0065	0047	0046	0034	0031
	09:00:00	0202	0246	0248	0173	0165	0119	0105
	10:00:00	0285	0353	0362	0257	0246	0178	0153
	11:00:00	0654	0829	0856	0613	0571	0389	0292
	12:00:00	0783	0997	1037	0741	0689	0476	0359
	13:00:00	0793	1013	1058	0760	0716	0502	0384
	14:00:00	0612	0779	0814	0587	0560	0398	0318
	15:00:00	0513	0641	0660	0471	0442	0310	0239
	16:00:00	0559	0683	0692	0482	0439	0291	0206
	17:00:00	0399	0466	0458	0307	0266	0161	0110
	18:00:00	0235	0250	0228	0138	0108	0068	0066
	19:00:00	0080	0071	0056	0032	0032	0026	0026
	20:00:00	0001	-002	-002	-003	-004	-004	-003
	21:00:00	-010	-013	-013	-010	-011	-009	-008

Use [ PgUp PgDn ] keys to scroll data - Press F10 to exit

Fig.4. Monitor screen for measurement data

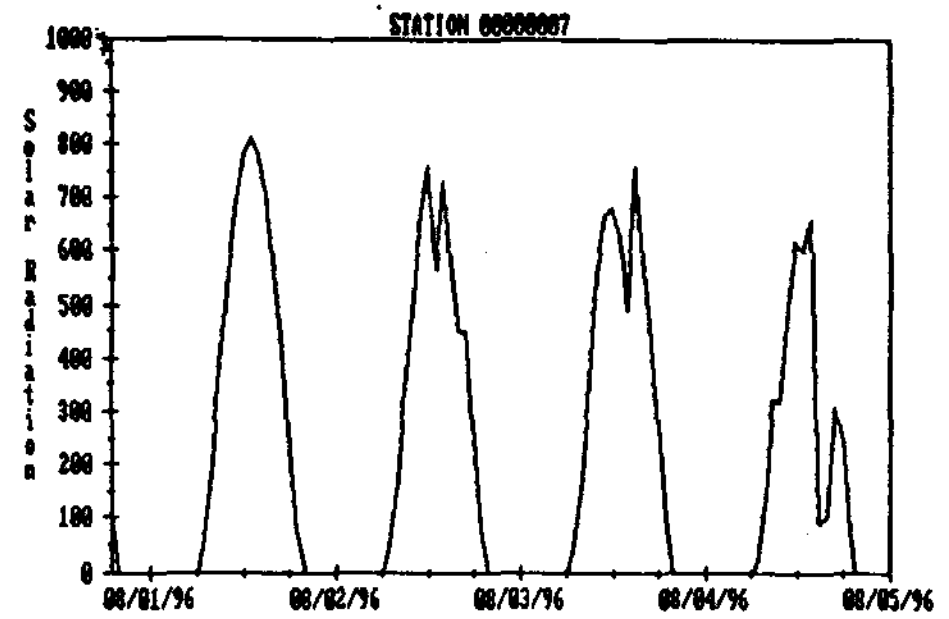


Fig.5. Monitor screen for data analysis graph

#### IV. 전문가시스템 모형구축

##### 4-1. 시스템 체계

전문가시스템은 일반적으로 전문적인 지식 즉, 전문기술을 요구하는 비구조적 업무수행을 이끌어 주는 컴퓨터응용이다. 전문가시스템을 사용하면, 비전문가도 특정문제 영역에서 전문가에 상당하는 성과를 얻을 수 있다. 전문가시스템은 의사결정지원시스템의 한 실례로 고려될 수 있다. 전문가시스템의 고유하고 두드러진 특징은 전문지식을 나타내는 데이터와 의사결정 규칙인 지식베이스이다.

여기서는 각 지역에서 지표면상에 입사되는 총일사량, 즉 수평면 전일사량 실측데이터를 근거로하여 수평면상에 입사되는 일사량에 대한 경사면상에 입사되는 총일사량의 비를 산출하기 위하여 우선, 수평면에서의 총일사량에 대한 산란일사량 비율을 산출한 다음 수평면에 대한 경사면일사량 비율을 구한다. 이에 대한 시뮬레이션 계통도는 Fig. 6과 같다.

이 시스템의 전체 모니터 화상은 Fig. 7과 같으며, 결과출력을 위한 데이터 입력순서는 우선

원하는 지역의 번호를 입력하고, 다음에 향(E, W, S, N, SE, SW, NE, NW) 중에서 선택한 후, 최종적으로 출력되는 결과표를 프린터로 직접 출력할 수 있거나 출력되는 결과표의 화일 이름을 입력하여 텍스트화일로 저장할 수 있다.

#### 4-2. 시스템 입출력

이 시스템은 미국 Microsoft사의 FORTRAN

언어로 구성되었으며, 실행화 일명을 [TILT.EXE]라 칭하였다. [TILT.EXE]는 우리나라 주요 지역에 대한 지역명, 해당 위도, 월별 일 평균 수평면 전일사량과 대기권밖 일사량을 데이터를 파일로 작성하고, 이를 읽어들이 원하는 지역에 대하여 8개 방위별에 따라 경사 각도 0도부터 90도까지 1도씩 변환하여 월별 및 연평균, 난방기간(HP)으로 구분하여 1일 평균 경사면일사량을 Fig. 8과 같이 결과를 출력한다.

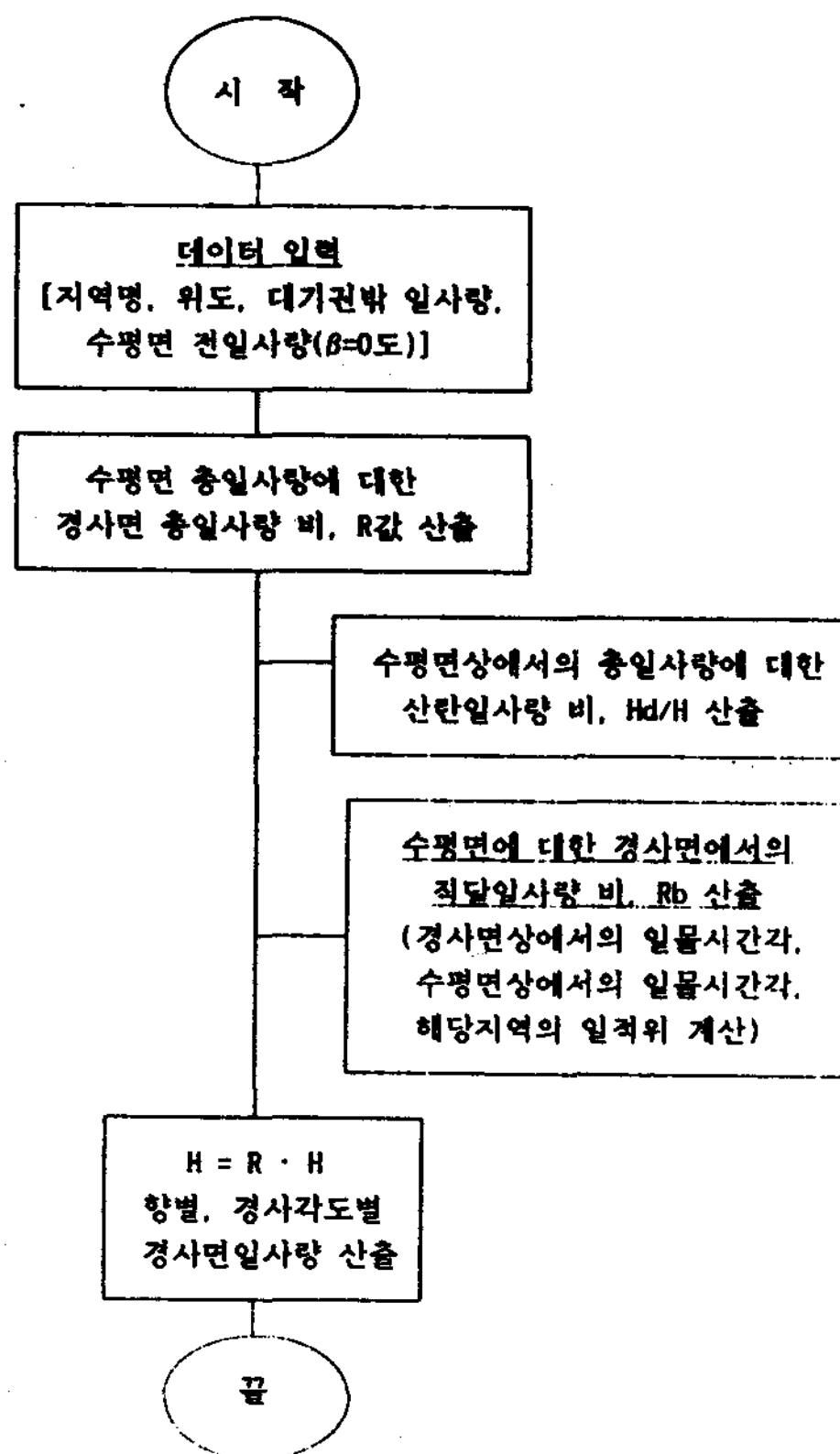


Fig. 6. Systematic diagram for the simulation process

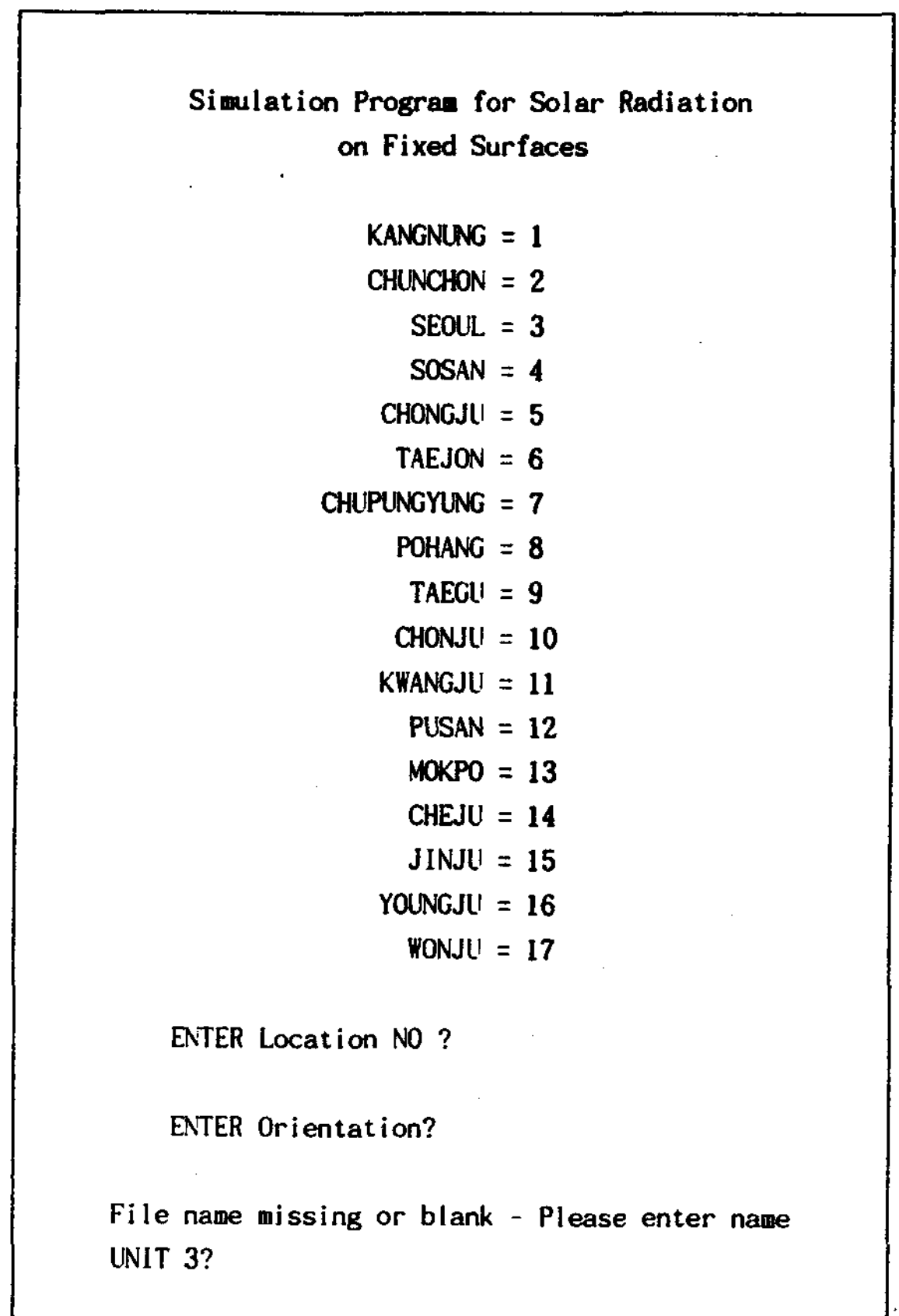


Fig. 7. Monitor screen for the whole system



## V. 실험결과 및 고찰

### 5-1. 양적비교 분석

태양에너지 이용을 보다 효과적으로 돕기 위하여 경사면일사량 측정을 위한 관련 장비를 확보하고, 방위별에 따른 경사면일사량의 실측을 통하여 태양에너지 이용시스템 설계를 위한 보다 정확한 기초자료 수집을 시도하였다.

1996년 8월부터 1997년 7월까지 매 시간마다 측정된 측정된 실측자료를 토대로 주거부분 설계를 위한 각 방위별 수직면 일사량을 분석하여 보면, Table 2에서 나타난바와 같이 전 기간에 걸쳐 평균적으로 남향 수직면에서 받는 일사량은 동, 서향 수직면에 비해 1.5배

정도로 나타났으나, 북향 수직면에 비해서는 무려 4배나 높게 나타났다.

또한, 남향에서 지표면에 대한 경사각도가 0° ~ 90° 사이의 집열면에서는 경사각도가 30°에서 최대의 일사량을 받는 것으로 나타났다.

한편, 무인자동화된 방위별 경사면일사량 측정시스템에서 매 시간 측정된 실측자료를 이용하여 일별에 따른 시간별 평균 경사면일사량과 표준편차를 토대로 전기간에 걸쳐 월별 평균 및 경사각도별로 분석하여 보면, Table 3에서 나타난바와 같이 수평면상의 지표면에 대한 경사면이 받는 일사량은 서로 상당히 회귀관계를 갖는 것으로 나타났다.

Table 2. Comparison of the experimental values on tilted surfaces

수평면 일사량	집열면 방위	경사면 일사량	정남향 경사면과의 비교						수평면 전일사량과의 비교
			15°	30°	45°	60°	75°	90°	
3,563	S ( $\beta=15^\circ$ )	4,074	1.00	0.94	0.97	1.09	1.28	1.53	1.14
	S ( $\beta=30^\circ$ )	4,320	1.06	1.00	1.03	1.15	1.36	1.62	1.21
	S ( $\beta=45^\circ$ )	4,213	1.03	0.98	1.00	1.12	1.33	1.58	1.18
	S ( $\beta=60^\circ$ )	3,749	0.92	0.87	0.89	1.00	1.18	1.40	1.05
	S ( $\beta=75^\circ$ )	3,176	0.78	0.74	0.75	0.85	1.00	1.19	0.89
	S ( $\beta=90^\circ$ )	2,671	0.66	0.62	0.63	0.71	0.84	1.00	0.75
	E ( $\beta=90^\circ$ )	1,743	0.43	0.40	0.41	0.46	0.55	0.65	0.49
	W ( $\beta=90^\circ$ )	1,760	0.43	0.41	0.42	0.47	0.55	0.66	0.49
	N ( $\beta=90^\circ$ )	674	0.17	0.16	0.16	0.18	0.21	0.25	0.19

(단위 : Wh/m<sup>2</sup>.day)

Table 3. Relationship between experimental values on titled surfaces and standard deviations

월	경사각도	0(S)	15(S)	30(S)	45(S)	60(S)	75(S)	90(S)	90(E)	90(W)	90(N)
		1	A	-10.949	-19.621	-27.839	-33.031	-35.449	-36.815	-37.408	7.617
	B	1.135	1.162	1.185	1.189	1.198	1.210	1.231	0.750	0.759	0.921
	R	0.966	0.960	0.955	0.953	0.949	0.944	0.937	0.977	0.932	0.867
2	A	-11.875	-15.483	-19.634	-20.123	-20.433	-18.220	-18.758	6.332	8.601	0.307
	B	1.249	1.252	1.264	1.256	1.261	1.267	1.290	0.849	0.852	1.259
	R	0.969	0.954	0.944	0.936	0.929	0.958	0.912	0.985	0.979	0.917
3	A	-20.060	-23.157	-25.367	-28.008	-26.473	-25.560	-22.408	8.734	8.586	4.208
	B	1.143	1.397	1.390	1.384	1.384	1.393	1.403	0.916	0.928	1.394
	R	0.948	0.946	0.945	0.945	0.943	0.942	0.939	0.971	0.961	0.808
4	A	-6.644	-3.584	-2.388	-3.343	-3.393	-2.555	-22.408	8.734	8.586	4.208
	B	1.558	1.495	1.458	1.419	1.394	1.357	1.403	0.916	0.928	1.394
	R	0.895	0.910	0.918	0.928	0.934	0.942	0.939	0.971	0.961	0.808
5	A	-29.133	-28.694	-25.863	-22.516	-16.029	-9.886	-4.970	4.968	5.492	54.603
	B	1.652	1.578	1.524	1.462	1.419	1.367	1.361	1.063	1.106	0.524
	R	0.868	0.897	0.916	0.913	0.940	0.944	0.926	0.965	0.949	0.096
6	A	-1.116	2.677	5.696	5.111	6.283	4.296	-1.335	22.347	9.100	79.300
	B	1.170	1.610	1.544	1.472	1.426	1.397	1.507	1.067	1.185	0.244
	R	0.830	0.862	0.879	0.897	0.902	0.902	0.861	0.878	0.934	0.014
7	A	-23.925	-18.805	-13.334	-9.446	-5.490	-2.672	-2.399	10.554	14.938	26.718
	B	1.705	1.610	1.544	1.470	1.426	1.380	1.410	1.083	1.081	1.213
	R	0.918	0.940	0.952	0.962	0.967	0.964	0.943	0.955	0.943	0.331
8	A	-20.307	-18.024	-15.168	-12.849	-9.130	-5.831	-3.000	9.355	12.121	45.498
	B	1.642	1.569	1.519	1.464	1.431	1.386	1.382	1.116	1.111	0.753
	R	0.859	0.877	0.890	0.900	0.906	0.914	0.907	0.938	0.948	0.183
9	A	-23.714	-23.562	-25.721	-26.278	-24.882	-22.062	-20.158	22.845	32.129	21.632
	B	1.446	1.402	1.388	1.370	1.366	1.362	1.372	0.832	0.823	0.930
	R	0.896	0.903	0.904	0.906	0.908	0.912	0.910	0.912	0.965	0.647
10	A	-16.792	-22.613	-29.195	-34.295	-35.152	-34.560	-32.819	7.885	9.363	4.582
	B	1.266	1.268	1.286	1.298	1.313	1.329	1.345	0.836	0.847	1.103
	R	0.947	0.946	0.938	0.935	0.932	0.929	0.925	0.970	0.977	0.716
11	A	-17.936	-22.974	-25.291	-30.017	-29.474	-28.205	-26.879	6.157	7.962	4.897
	B	1.173	1.171	1.174	1.177	1.178	1.181	1.185	0.783	0.755	0.892
	R	0.938	0.943	0.948	0.937	0.935	0.932	0.929	0.977	0.981	0.708
12	A	-15.792	-27.128	-36.989	-50.017	-51.896	-52.126	-52.231	5.324	-1.278	-3.241
	B	1.134	1.162	1.181	1.207	1.216	1.226	1.248	0.758	0.852	1.192
	R	0.965	0.952	0.943	0.936	0.928	0.924	0.918	0.951	0.940	0.961

\*  $Y = A + BX$

5-2. 시뮬레이션 분석

앞절에서 언급한 경험식을 이용하여 예측된 정남향에서의 월별 일평균 경사면일사량값을 실측치와 비교하여 보면, Table 4에서 보는바와 같이 각 경사각별 예측치는 전기간에 걸쳐 평균 - 7.9 % ~ + 3.7 % 정도 다소 높

은 오차를 내었으나 이와같은 원인은 서로 각기 다른 측정기기의 감도정수로 인한 교정오차의 발생으로 판단되고 있어 전반적으로 경사각에서 흔히 예측되는 실측치와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

Table 4. Comparison of experimental and estimated values on tilted surfaces facing south

(단위 : Wh/m<sup>2</sup>.day)

구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
15도	실측치	3014	3966	4807	4956	4565	5208	4072	4552	4669	3602	2606	2879	4074
	예측치	2868	3697	4248	4733	4397	5035	3941	4381	4408	3378	2477	2699	3855
	오차(%)	-4.8	-6.8	-11.6	-4.5	-3.7	-3.3	-3.2	-3.8	-5.6	-6.2	-5.0	-6.3	-5.4
30도	실측치	3594	4560	5203	5034	4447	4985	3936	4524	4928	4073	3052	3506	4320
	예측치	3378	4125	4438	4668	4186	4719	3730	4247	4495	3659	2837	3240	3977
	오차(%)	-6.0	-9.5	-14.7	-7.3	-5.9	-5.3	-5.2	-6.1	-8.8	-10.2	-7.0	-7.6	-7.9
45도	실측치	3896	4778	5159	4667	3938	4341	3462	4124	4786	4219	3298	3880	4213
	예측치	3706	4338	4412	4397	3820	4237	3390	3941	4369	3758	3050	3603	3919
	오차(%)	-4.9	-9.2	-14.5	-5.8	-3.0	-2.4	-2.1	-4.4	-8.7	-10.9	-7.5	-7.1	-7.0
60도	실측치	3860	4550	4645	3923	3153	3399	2753	3427	4229	3940	3205	3900	3749
	예측치	3831	4321	4172	3941	3324	3622	2946	3484	4041	3669	3103	3765	3685
	오차(%)	-0.8	-5.0	-10.2	+0.5	+5.4	+6.6	+7.0	+1.7	-4.4	-6.9	-3.2	-3.5	-1.7
75도	실측치	3663	4135	3962	3102	2344	2457	2042	2652	3523	3495	2974	3760	3176
	예측치	3742	4076	3735	3329	2734	2916	2428	2907	3531	3398	2992	3715	3292
	오차(%)	+2.2	-1.4	-5.7	+7.3	+16.6	+18.7	+18.9	+9.6	+0.2	-2.8	+0.6	-1.2	+3.7
90도	실측치	3491	3777	3357	2391	1666	1679	1450	1963	2876	3051	2741	3612	2671
	예측치	3447	3619	3130	2605	2086	2164	1869	2250	2876	2964	2725	3455	2766
	오차(%)	-1.3	-4.2	-6.8	+9.0	+25.3	+28.9	+28.9	+14.0	0	-2.9	-0.6	-4.3	+3.6

\* 오차: [(예측치/실측치)-1]x100



또한, 이들 실측치와 예측치를 Table 4를 토대로 지표면상의 경사각도별 모형을 다항회귀식으로 나타내면 Table 5와 같으며, 이에 대한 회귀곡선은 fig. 9와 같다.

우리나라 전지역에 대한 시뮬레이션 결과, 그림에서 나타난바와 같이 대부분 지역의 연평균 최적 경사각은 남향 31° ~ 34° 부근에서 최대의 일사를 수열 받는 것으로 나타났다.

Table 5. Emprical constants of experimental and estimated values on tilted surfaces facing south

모형		15도	30도	45도	60도	75도	90도
상수							
A	실측치	2947.20454	4606.86363	5873.29544	6100.99999	6021.86363	5803.18181
	예측치	-2766.90908	-2031.63635	-1172.06817	-234.74999	698.18183	1558.25
B1	실측치	-1366.45532	-4314.61397	-6808.38563	-7347.29137	-7435.07246	-7229.07681
	예측치	11818.57385	11127.27232	9785.64376	7870.10061	5533.83253	2968.44642
B2	실측치	2207.22586	5244.81682	7744.98519	8260.49651	8284.84204	8140.3659
	예측치	-9351.28787	-8509.73184	-7148.32568	-5356.92431	-3263.264	-1055.76749
B3	실측치	-985.53385	-2504.44092	-3767.42776	-4089.44853	-4172.6971	-4213.73667
	예측치	4007.56187	3507.86534	2784.10225	1888.19518	878.62012	-148.51304
B4	실측치	238.30019	645.7744	986.3052	1083.00144	1118.90033	1152.77845
	예측치	-968.85042	-822.90606	-621.08679	-378.58246	-110.25065	157.2342
B5	실측치	-36.50444	-99.50969	-151.97011	-167.46543	-173.94865	-181.36857
	예측치	135.26657	111.63216	79.88513	42.49181	1.63462	-38.47477
B6	실측치	3.54298	9019158	13.84512	15.2206	15.80148	16.56165
	예측치	-10.75745	-8.57375	-5.72064	-2.42466	1.12908	4.56262
B7	실측치	-0.19504	-0.46774	-0.68894	-0.75278	-0.77784	-0.81546
	예측치	0.44953	0.34173	0.20503	0.05045	-0.1136	-0.26916
B8	실측치	0.00454	0.01002	0.01438	0.01559	0.01599	0.01671
	예측치	-0.0076	-0.0054	-0.00269	2.9664E-4	0.00341	0.0063
R <sup>2</sup>	실측치	0.91583	0.87443	0.84774	0.9058	0.96266	0.987
	예측치	0.92034	0.86551	0.80258	0.8451	0.9363	0.98037

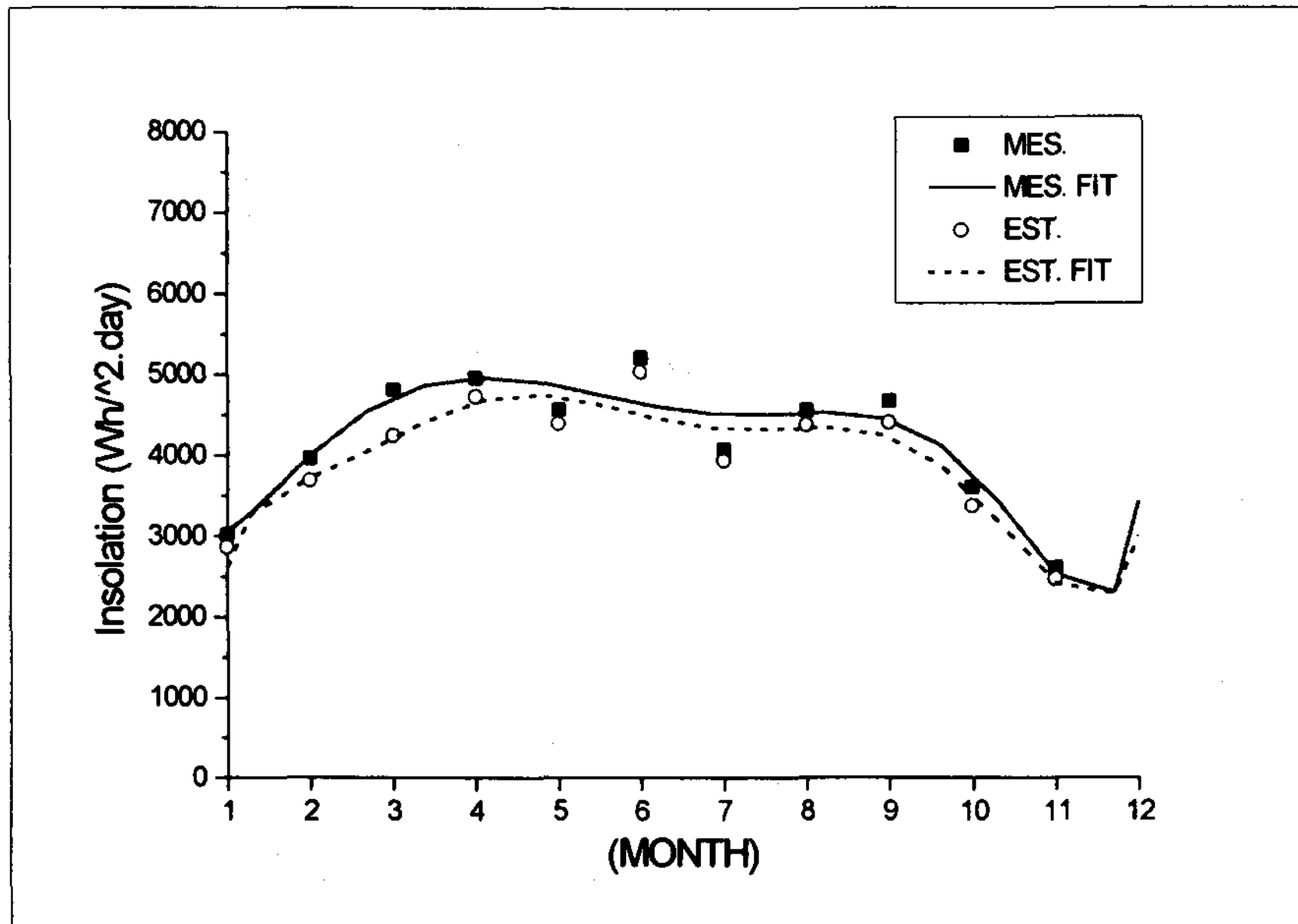
$$* Y = A + B1*X + B2*X^2 + B3*X^3 + B4*X^4 + B5*X^5 + B6*X^6 + B7*X^7 + B8*X^8$$

한편, 앞에서 제시된 경사면일사량 분석 이론식을 기초로 시뮬레이션 기법에 의하여 산출된 주요 지역의 최적 경사각을 가지고, 다시 근접지역간의 최적 경사각을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의의 지역의 최적 경사각을 산출하는 기법으로 그린 전국적인 최적 경사각 분포도를 Fig. 10과 같이 작성하였다.

분포상 특징을 살펴보면, 그림에서 보는바와 같이 최적 경사각은 노령산맥을 경계로 하여 남해중서부지방 일원이 31° ~ 32°, 제주도 지방이 25°, 태백산맥 대관령 일대가 35°로 나타났다으며, 그 외의 대부분 지역에서는 33° ~ 34°인 것으로 나타났다.



SOUTH ( $\beta=15^\circ$ )



SOUTH ( $\beta=30^\circ$ )

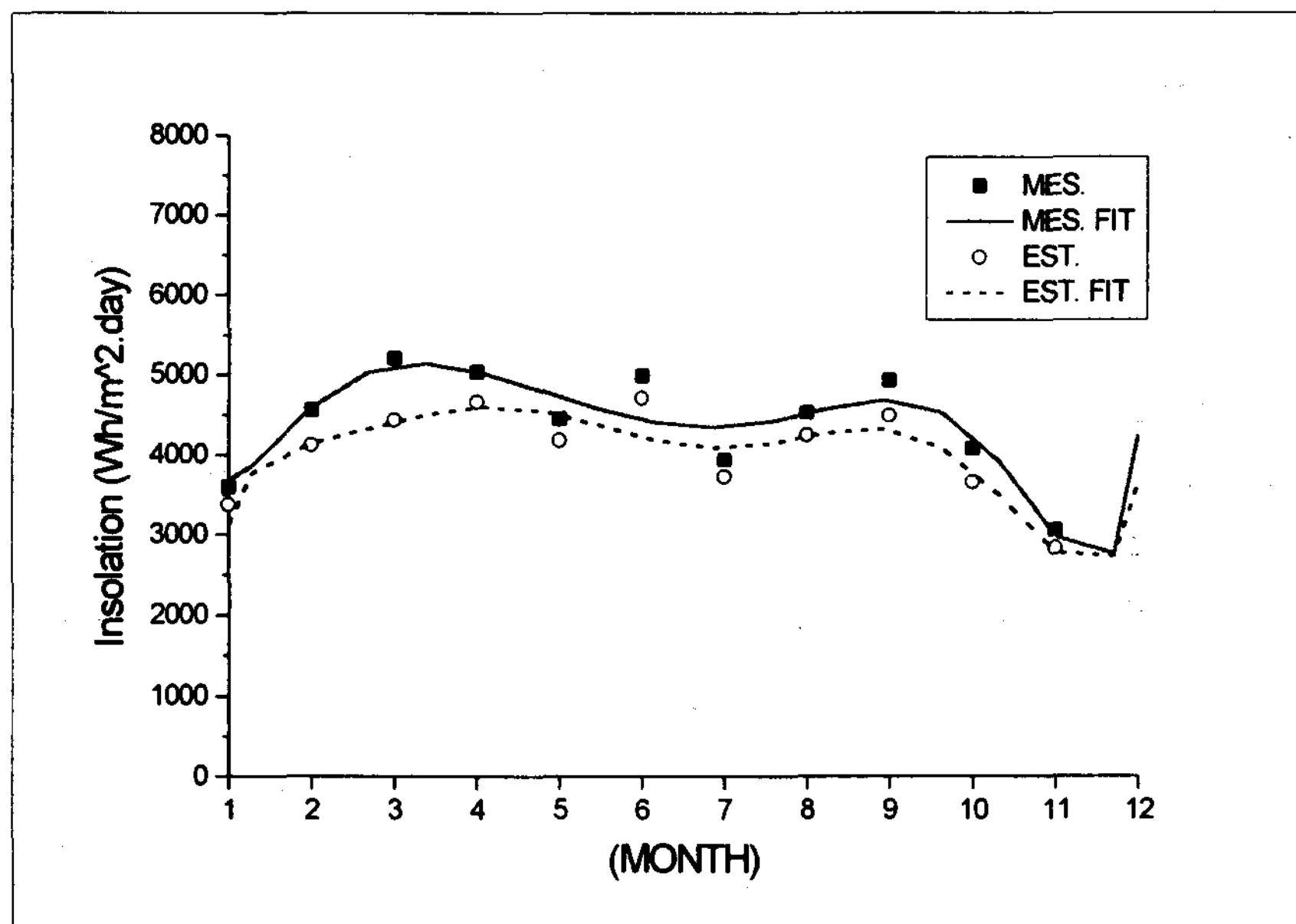
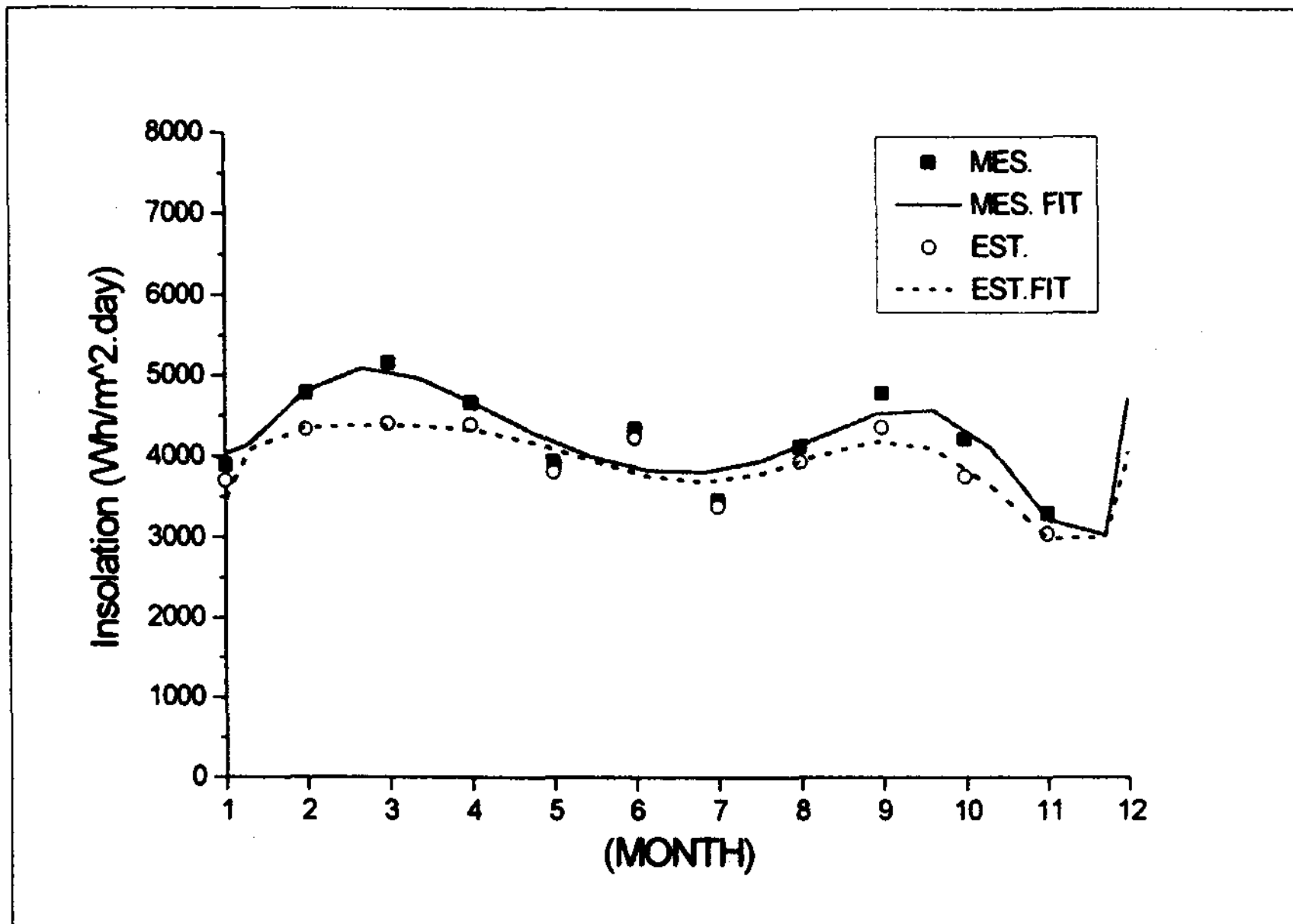


Fig. 9. Comparison of experimental and estimated values

SOUTH ( $\beta=45^\circ$ )



SOUTH ( $\beta=60^\circ$ )

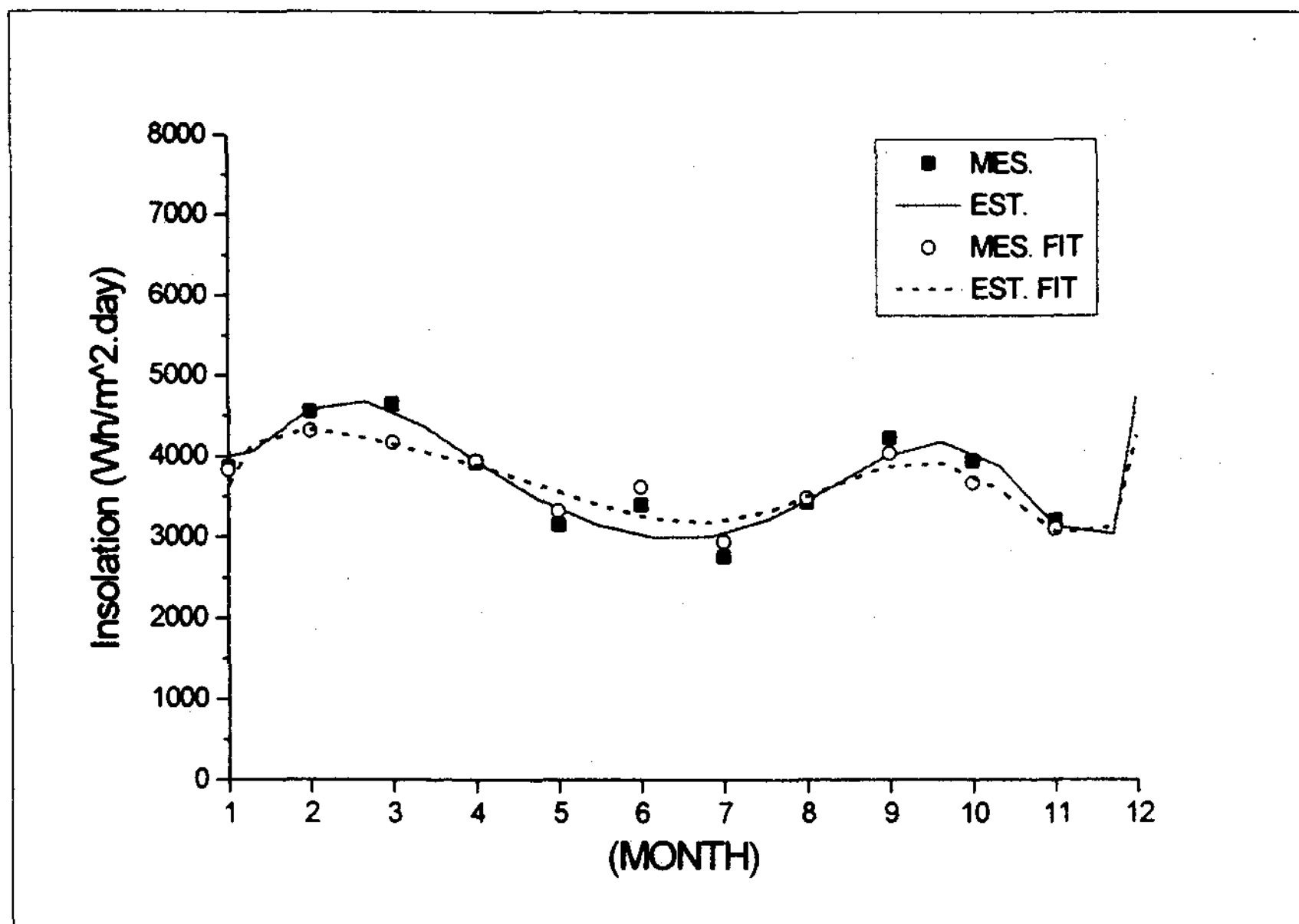
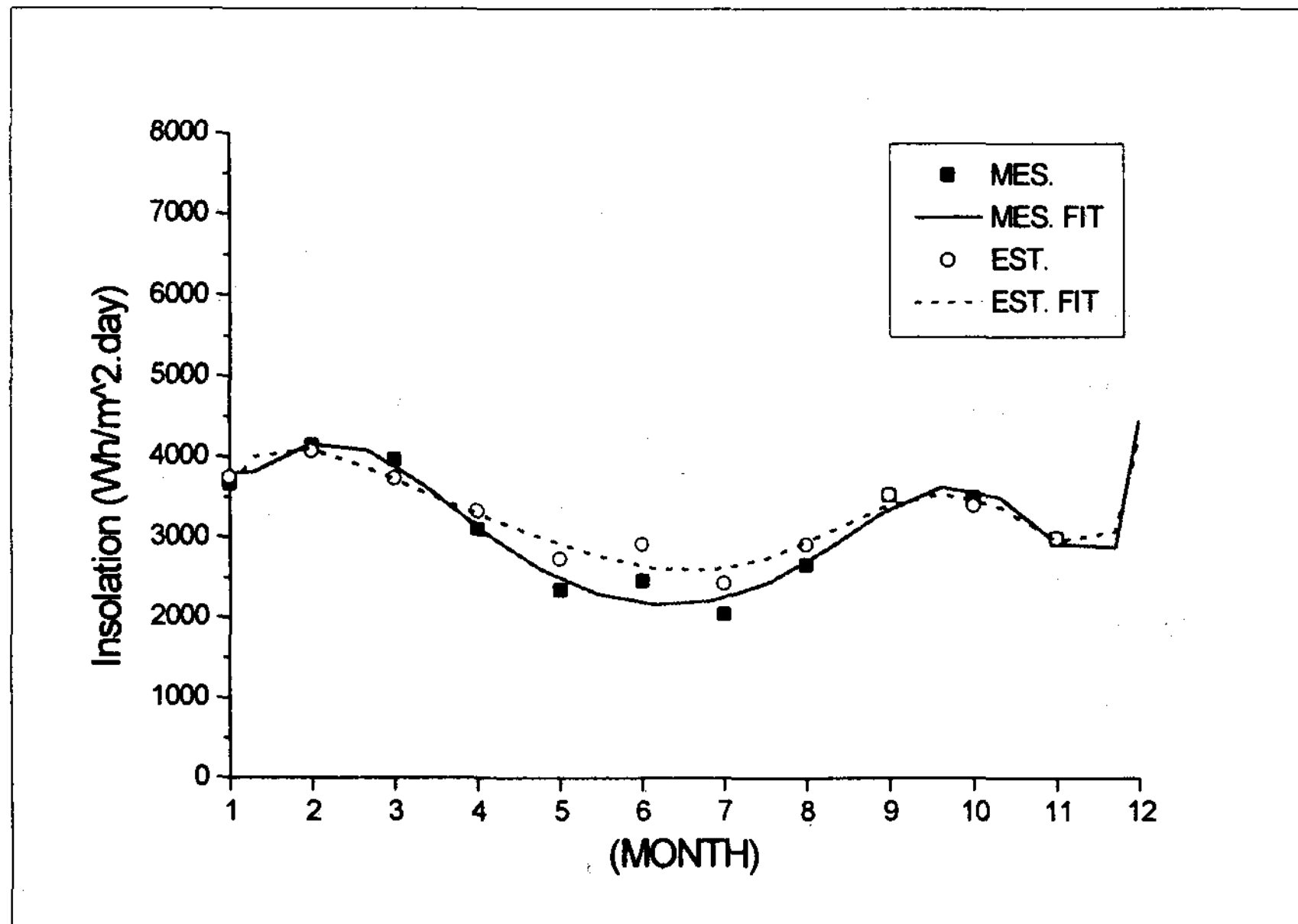


Fig. 9. Comparison of experimental and estimated values(continuation)

SOUTH ( $\beta=75^\circ$ )



SOUTH ( $\beta=90^\circ$ )

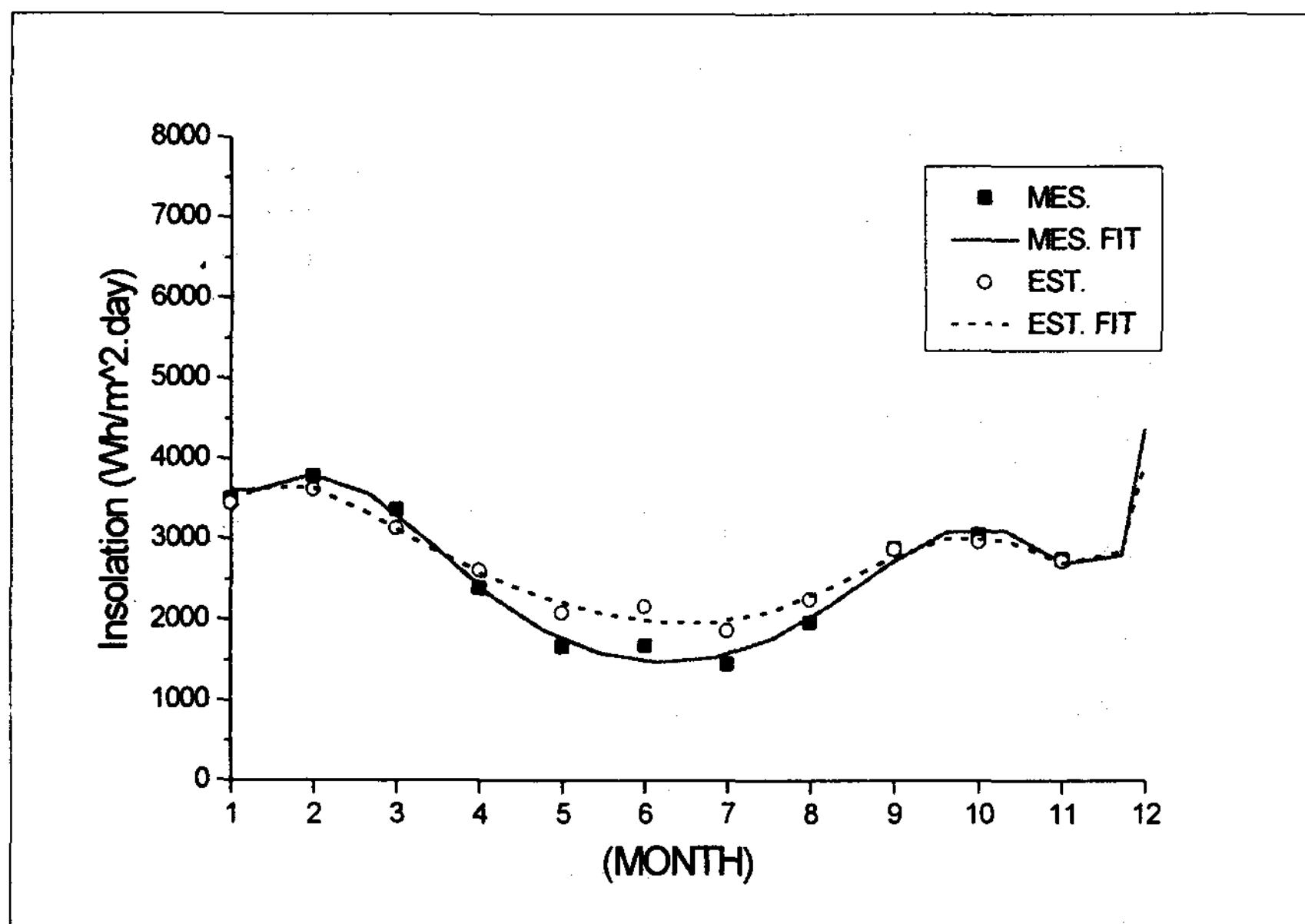


Fig. 9. Comparison of experimental and estimated values(continuation)

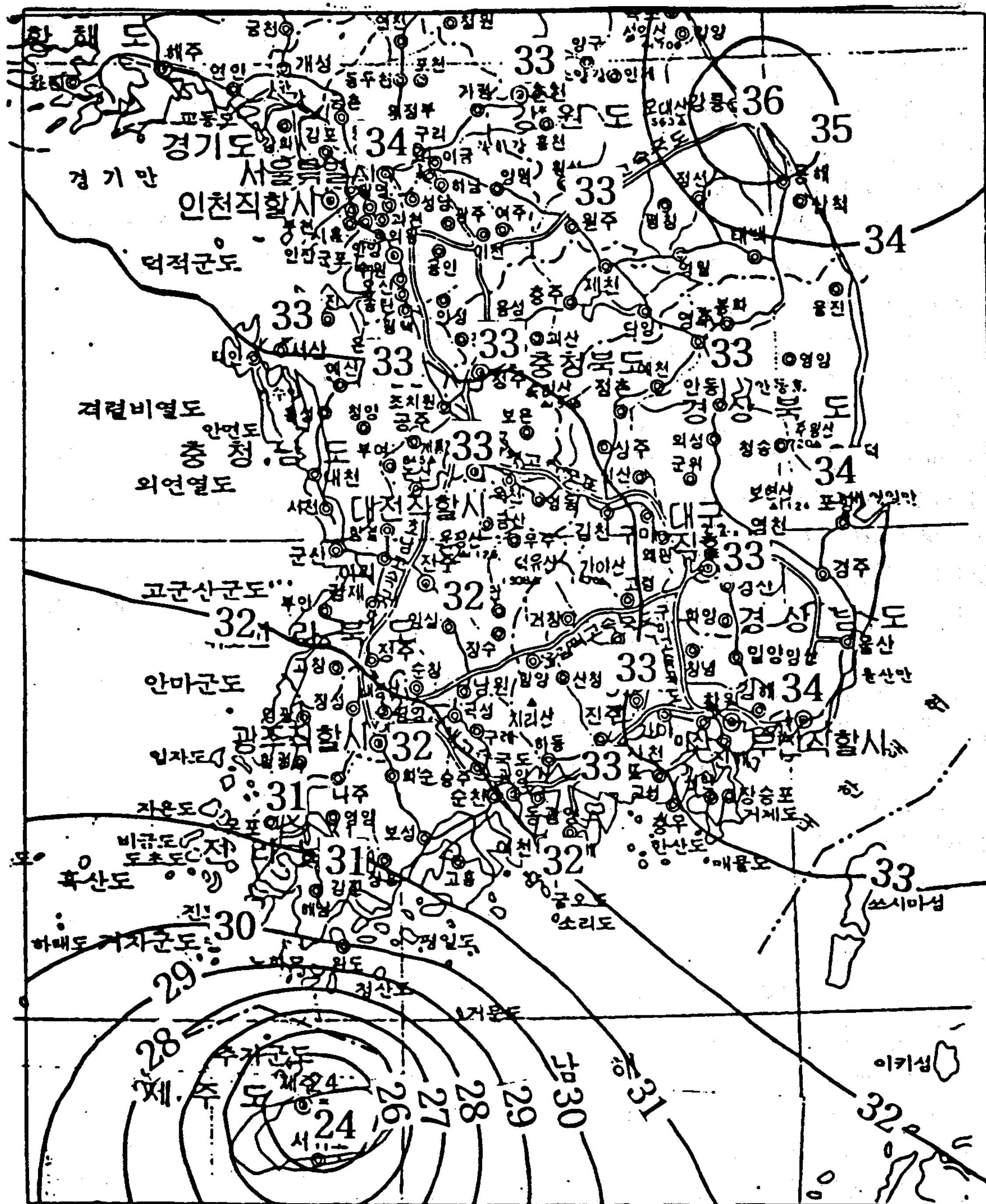


Fig. 10. Map of yearly mean optimum installation angle (Degree)

## VI. 결론

본 연구에서는 태양행로에 대한 이론적인 고찰과 실측실험을 통하여 이에 적합한 전문가시스템 모형을 개발하고, 우리나라 주요 지역별에 따라 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도를 산출하여 태양에너지 이용시스템 설계자 및 관련 산업체 종사자들에게 최적시스템 설계기준을 제시하고자 하였다.

본 연구에서 수행된 결과를 살펴보면,

- 1) 태양에너지의 강도를 경사각도별로 측정할 수 있도록 측정장소의 선정과 측정센서(일사계)의 설치대를 제작하여 설치하였다.
- 2) 각 측정센서로부터 장기간에 걸쳐 측정되는 방대한 양의 데이터를 측정하기 위하여 데이터를 전송매체인 기존 통신회선을 사용하여 통제소(key station)에서 수신할 수 있고 또한 시스템을 제어할 수 있는 형태로 결합시켜 유기적으로 작동하게 하는 컴퓨터 정보통신망을 구성하고, 또한 시스템 가동에 필요한 전력을 자체내에서 조달하고, 측정작업과 이에 따른 자체 데이터 저장처리 문제를 스스로 해결할 수 있도록 무인자동화 측정시스템을 구축하였다.
- 3) 자료처리를 위하여 각 날의 시간별로 경사각도에 따라 측정되는 일사량 데이터를 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 각종 분석용 도구를 개발하였다.
- 4) 태양에너지 이용을 보다 효과적으로 돕기 위하여 경사면일사량 측정을 위한 관련 장비를 확보하고, 방위별에 따른 경사면일사량의 실측을 통하여 태양에너지 이용시스템 설계를 위한 보다 정확한 기초자료 수집을 시도하였다.

1996년 8월부터 1997년 7월까지 매 시간마다 측정된 측정된 실측자료를 토대로 주거부분 설계를 위한 각 방위별 수직면 일사량을 분석한 결과, 전 기간에 걸쳐 평균적으로 남향 수직면에서 받는 일사량은 동, 서향 수직면에 비해 1.5배 정도로 나타났으나, 북향 수직면에 비해서는 무려 4배나 높게 나타났으며, 남향에서 지표면에 대한 경사각도가  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  사이의 집열면에서는 경사각도가  $30^{\circ}$ 에서 최대의 일사량을 받는 것으로 나타났다.

- 5) 태양행로에 대한 경험식을 토대로 하여 각 방위에 따라 서로 다른 경사면에 입사되는 일사량을 예측할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

이 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 예측된 정남향에서의 월별 일평균 경사면 일사량 값을 실측치와 비교하여 보면, 각 경사각별 예측치는 전기간에 걸쳐 평균  $-7.9\% \sim +3.7\%$  정도 다소 높은 오차를 내었으나 이와같은 원인은 서로 각기 다른 측정기기의 감도정수로 인한 교정오차의 발생으로 판단되고 있어 전반적으로 경사각에서 흔히 예측되는 실측치와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

- 6) 시뮬레이션 기법에 의하여 산출된 주요 지역의 최적 경사각을 가지고, 다시 근 접지역간의 최적 경사각을 거리에 따라 균등하게 배분하여 임의의 지역의 최적 경사각을 산출하는 기법으로 그린 전국적인 최적 경사각 분포도를 나타내어 최적 태양에너지 이용시스템 설계기준을 제시하였다.

시뮬레이션 결과, 대부분 지역의 연평균 최적 경사각은 남향  $31^{\circ} \sim 34^{\circ}$  부근에서 최대의 일사를 수열 받는 것으로 나타났다. 분포상 특징을 살펴보면, 그림에서 보는바와

같이 최적 경사각은 노령산맥을 경계로 하여 남해중서부지방 일원이  $31^{\circ} \sim 32^{\circ}$ , 제주도지방이  $25^{\circ}$ , 태백산맥 대관령 일대가  $35^{\circ}$ 로 나타났으며, 그 외의 대부분 지역에서는  $33^{\circ} \sim 34^{\circ}$ 인 것으로 나타났다.

그러나, 현재까지의 결과만을 가지고 우리나라 전지역에 대한 정확한 최적 경사각도의 산출은 아직 어려운 실정이다. 이에 따라 여러 지역에 대한 장기적인 태양에너지 강도 측정뿐만 아니라 운량이나 대기오염도에 따른 일사량의 변동형태 등 각종 기후조건과의 연관성을 규명하여 우리나라 전지역에 적합한 최적경사각 산출을 위한 모형을 유추해 나아갈 계획이다.

## References

- [1] Montgomery, Douglas C., Design and Analysis of Experiments (Third Edition), John Wiley & Sons, Inc., 1981.
- [2] Klir, George J., Fuzzy Sets-Uncertainty and Information, Prentice-Hall International, Inc., 1988.
- [3] Rao, Valluru B., and Rao, Hayagriva V., C++ Neural Networks and Fuzzy Logic, A Subsidiary of Henry Holt and Company, Inc., 1993.
- [4] Davis, Goron B., and Olson, Margrethe H., Management Information Systems-Conceptual Foundations, Structure, and Development (Second Edition), McGRAW-HILL Book Company, 1985.
- [5] Alter, Steven L., Decision Support Systems-Current Practice and Continuing Challenges, Addison-Wesley Publishing Company, 1980.
- [6] Duffie, John A., and Beckman, William A., Solar Engineerring of Thermal Process (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [7] Garg, H. P., Treatise on Solar Energy, John Wiley & Sons, 1982.
- [8] Anderson, Edward E., Fundamentals of Solar Energy Conversion, Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- [9] Kerith, Frank, and Kreider Jan F., Principles of Solar Engineering, McGRAW-HILL Book Company, 1978.
- [10] Kambezidis, H. D., Psiloglou, B. E., and Gueymard c., Measurements and Models Total Solar Irradiance on Inclined Surface In Athens, Greece, Solar Energy, Vol. 53, No. 2, pp. 177-185, 1994.
- [11] Feuermann, D., and Zemel A., Validation of Modals For Global Irradiance, on Inclined Planes, Solar Energy , Vol. 48, No. 1, pp. 59-66, 1992.
- [12] Revfeim, K. J. A., Simplified Relationships for Estimating Solar Radiation Incident on Any Flat Surface, Solar Energy, Vol. 28, No. 6, pp. 509-517, 1982.
- [13] Klucher, T. M., Evaluation of Models to Predict Insolation on Tilted Surface, Solar Energy, Vol. 23, pp. 111-114, 1992.
- [14] Dickinson, William C., and Chermisinoff, Paul N., Solar Energy Technology Handbook, Dekker, Inc., 1982.
- [15] Wise, J. L., Analysis of Solar Radiation Measurements on An Inclined Surface in Anchorage Alaska, AEIDC Publication, 1980.

# A Study on the optimal Installation Angle of Solar Absorber Plates in Korea

**Dok-Ki Jo · In-Soo Choi**

*Department of Industrial Engineering, Soongsil University*

## **ABSTRACT**

The measured solar radiation incident on tilted surfaces by all directions has been widely used as important solar radiation data in installing solar collectors, hot water systems, and photovoltaic modules, and in designing solar buildings and houses. To maximize the incident beam radiation, the slope, which is the angle between the plane of the surface in question and the horizontal, and the solar azimuth angles are needed for these solar applied systems.

To respond to above needs, a theoretical study with actual measurements on moving route of the sun is carried out. This study focuses on the development of an solar expert system and on the selection of slopes for solar absorber plates in Korea.