

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 20, No. 1, 2000

태양에너지 최적 이용을 위한 Typical Day 산출에 관한 연구

조덕기*, 전일수*, 이태규*

*한국에너지기술연구소

A Calculation Method of Typical Day for the Optimal Use of Solar Energy

D.K.Jo*, I.S.Chun*, T.K.Lee*

*Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구에서는 하루중의 각 시간별로 서로 다른 경사각도별로 수광면에 입사하는 태양에너지의 강도를 실측을 통하여 정량적인 검토와 분석이 가능하도록 측정된 데이터를 기술자료화하고, 각각의 날별로 일사량 강도가 유사한 날들을 그룹화하기 위하여 시간별 일사량 변화에 따른 다항회귀모형을 일별로 산출하고, 각 날별로 서로 비교하기 위해 일별로 산출된 다항회귀모형의 두 그래프사이의 면적을 계산하여 면적의 차가 거의 없는 날들을 일사량 강도가 유사한 날들로 그룹화하는 기법을 개발하여, 월별 또는 전년을 통하여 이들 그룹을 모형별로 제시한다. 또한 다시 이들 모형별로 태양에너지 이용시스템의 효율을 최대화 할 수 있는 시스템 최적 경사각도를 제시하여 해당 지역에 적합한 시스템의 최적 설계기준을 제시하고자 한다.

Abstract

In this research, the intensity of solar energy, which was injected to the different angle plane every hour day by day, was technically documented and quantitatively analyzed through actual observations. In order to group every days into days with similar intensity, graph was drawn with respect to time for every day and each area value under the curve was calculated. Then, the search for grouped days having similar intensity curve patterns was carried out. In order to maximize the efficiency of solar energy systems, the optimum incident angle of absorber plate was derived.

1. 서 론

최근 대체에너지자원 중 인류의 마지막 보루인 태양에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양열 및 태양광 시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 해당 지역에 대한 최적 일사자료가 매우 절실히 요구되고 있다. 태양에너지 이용시스템은 주로 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템의 효율의 성능이 크게 좌우되고 있다. 따라서 방위별에 따라 경사면에 입사되는 일사량은 태양에너지 수집장치인 태양열집열기나 태양전지판 설치와 태양열 주택 및 건물 설계 시에 매우 중요한 자료로 널리 이용되고 있다. 즉, 직접적으로 태양열 및 태양광시스템의 열적성능에 미치는 효과는 태양열집열기나 태양전지판 등의 설치각도나 향에 따라 좌우되는 태양에너지 양에 크게 영향을 받기 때문에 일사량 데이터는 매우 중요하다는 뜻이다.

본 연구에서는 이와 같은 중요성을 감안하여 경사각도별에 따른 태양에너지 강도 측정실험을 통하여 태양에너지 최적이용을 위한 적합한 전문가시스템 모형을 개발하고, 아울러 우리 나라에서 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도를 산출하여 태양에너지 이용시스템 설계자 및 관련 산업체 종사자들에게 최적시스템 설계기준을 제시하고자 한다.

본 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 자료처리를 위하여 각 날의 시간별로 경사각도에 따라 측정되는 일사량 데이터를 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 각종 분석용 도구를 개발한다.
- 2) 각 날의 시간별에 따른 태양에너지 강도의 변화를 다항회귀모형에 의해 표현하는 알고리즘을 제시한다. 또한 월별로 태양에너지의 강도의 형태가 서로 유사한 날들을 그룹화하기 위하여 각각의 날별로 다항회귀모형에 의하여 서로 작도된 두 그래프의 사이의 면적을 계산하여 비교하고, 면적의 차가 없는 날들을 퍼지관계에 의해 유사한 날의 그룹으로 분류하는 비교모델링 기법을 개발한다.
- 3) 비교모델링 기법에 의하여 월별로 제시된 유사한 날들의 그룹을 다시 전년을 통하여 유사한 날들을 그룹화하고, 전년을 통하여 나타날 수 있는 전형적인 날의 일사강도를 유형별로 제시한다. 다시 유형별로 최대 태양에너지를 수열할 수 있는 최적 경사각도를 산출하여 최적 태양에너지 이용시스템 설계기준을 제시한다.

2. 태양에너지 최적이용 배경 이론

2.1 각 날 일사형태 그래프의 다항회귀모형 일사량 측정시스템에서 측정되는 일사량 자료

의 특징을 정확히 분석하려면 변수들간의 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고, 이 모형을 측정된 변수들의 데이터를 추정하는 통계적 분석방법인 회귀분석이 필요하며, 이 추정된 모형을 사용하여 필요한 예측을 하거나 관심있는 통계적 추론을 하게 된다.

독립변수가 하나인 k차 다항회귀모형은,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon \quad (1)$$

[$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$]이고 서로 독립

여기서, y : 해당 관측지의 시간별 일사량 (h/m^2)

x : 측정시간 (hrs)

β_k : 회귀계수

으로 표현된다.

2.2 두 날의 일사형태 그래프 사이의 면적 계산

일사량 측정시스템에서 측정되는 데이터를 각 날별로 서로 비교를 통하여 서로 유사한 날끼리 그룹화를 하기 위하여 앞에서 언급된 각 날의 시간별 일사량 변화에 따른 직교다항식모형에 의하여 비교되는 두 날의 두 곡선 사이의 넓이를 계산하여 서로의 차가 없는 날을 유사한 날의 그룹으로 묶는다.

으로 정의 된다.

구간 $[a, b]$ 에서 $f(x) \geq g(x)$ 일 때, 두 곡선 $y = f(x)$, $y = g(x)$ 로 싸인 부분의 넓이 S는 위에 있는 그래프의 식 $f(x)$ 에서 아래에 있는 그래프의 식 $g(x)$ 를 뺀 $f(x) - g(x)$ 를 $x=a$ 에서 $x=b$ 까지 적분한 값이 되며, 다음과 같이 나타내어진다.

$$S = \int_a^b |f(x) - g(x)| dx \quad (2)$$

2.3 태양에너지 강도의 유사한 날 그룹화 모형

월별 또는 계절별로 태양에너지의 강도의 형태

가 서로 유사한 날들을 그룹화하기 위하여 각각의 날별로 다항회귀모형에 의하여 서로 작도된 두 그래프의 사이의 면적의 합을 계산하여 비교하고, 그 차가 별로 없는 날들을 퍼지관계에 의해 유사한 날의 그룹으로 분류하는 기법을 다음과 같이 제시하고자 한다.

<단계 0> m=1로 초기화함.

첫 번째 달을 1로 한다.

<단계 1> m, m+1, m+2월에 대한 일별 그래프 작성함.

[1-1] m월중의 각 날의 시간별에 따른 일사량 변화를 직교다항식 모형을 통해 일별 그래프로 작성한다.

[1-2] m+1월중의 일별 그래프를 <단계 1-1>과 같이 작성한다.

[1-3] m+2월중의 일별 그래프를 역시 <단계 1-1>과 같이 작성한다.

<단계 2> m, m+1, m+2 석달간의 면적의 합을 계산함.

<단계 1>의 모든 일별 그래프를 대상으로 하여, 각각 서로 다른 두 그래프 사이의 면적의 합을 석달간에 걸쳐 계산한다.

두 그래프 사이의 면적의 합에 관한 전체집합 X는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$X = \{ \begin{array}{l} X_{1111}, X_{1112}, X_{1113}, \dots, X_{111j}, \dots \\ X_{1211}, X_{1212}, X_{1213}, \dots, X_{121j}, \dots \\ X_{1311}, X_{1312}, X_{1313}, \dots, X_{131j}, \dots \\ X_{2211}, X_{2212}, X_{2213}, \dots, X_{221j}, \dots \\ X_{2311}, X_{2312}, X_{2313}, \dots, X_{231j}, \dots \\ X_{3311}, X_{3312}, X_{3313}, \dots, X_{331j}, \dots \\ \dots, \end{array} \} \quad (3)$$

여기 X_{ghij} 에서, $g, h = 1, 2, 3$ (서로 비교되는 달)
 $i, j = 1, 2, \dots, t$ (서로 비교되는 날로서 $t = 28, 29, 30, 31$ 단, $j \geq i$)

<단계 3> 면적 합의 유사값을 찾음.

X_{ghij} 중에서 서로 유사한 값들을 찾는다. 이때, 집합 X 의 요소 중에서 그 값이 α 이하가 되는 요소의 집합을 α -컷트 집합이라고 하고, 이를 x_α 로 표기한다.

$$x_\alpha = \{ X_{ghij} \in X \mid X_{ghij} \leq \alpha \} \quad (4)$$

<단계 4> 여러가지 일사량 강도가 유사한 날들의 합집합을 구함.

<단계 5> 다시 $m=m+1$ 로 함.

<단계 6> $m \leq 10$ 일 때는 <단계1-3>으로 가서 반복수행함.

<단계 7> 만약 $m \leq 10$ 이 아니고 $m \leq 11$ 일 경우, [단계 2b]로 가서 다시 [단계 3]부터 반복 수행함.

<단계 8> 만약 $m \leq 10$ 및 $m \leq 11$ 도 아니고, $m \leq 12$ 일 경우, [단계 2c]로 가서 다시 [단계 3]부터 반복 수행함. 그렇지 않으면 종료함.

2.4 유형별 최적 경사각 산출

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

즉,

$$R \equiv \frac{\text{경사면에 입사되는 총일사량 } (I_T)}{\text{수평면에 입사되는 총일사량 } (I)} \quad (5)$$

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

$$R_b = \frac{\text{경사면에 입사되는 직달일사량 } (I_{bT})}{\text{수평면에 입사되는 직달일사량 } (I_b)} \quad (6)$$

$$R_d = \frac{\text{경사면에 입사되는 산란일사량 } (I_{dT})}{\text{수평면에 입사되는 산란일사량 } (I_d)} \quad (7)$$

따라서 R 은 다음과 같이 된다.

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (8)$$

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

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn}}{I_{bn}} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (9)$$

여기서, I_{bn} : 태양과 수직인 법선면상에서의 직달일사량
 θ : 태양입사각

이다.

직달성분의 각도보정은 앞에서 제시한 식에 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 두 가지 가정을 채택할 수 있다.

첫째로, 산란성분 역시 태양으로부터 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 이와 같은 가정은 대기층이 흐리거나 구름층이 균일하게 형성되어 있을

때 상당한 신뢰도를 갖는다. 이 같은 가정들 하에서는 R_d 값은 항상 균일하여 1시간 동안 경사면에 입사하는 일사량은 다음 식에 의거 정의할 수 있다.

$$I_T = I_b R_b + I_d \quad (10)$$

따라서

$$R = \frac{I_T}{I} = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \quad (11)$$

식으로 유도된다.

이상과 같은 분석방법을 개선하여 세가지 성분 즉, 직달, 산란 및 지면에서 반사되는 산란성일사량 등을 고려한 식을 도출하였다. 수평면으로부터 β 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 ρ 라는 반사계수를 갖는다면 일사량으로부터 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 세 가지 사항들의 합으로 구할 수 있다.

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) (I_b + I_d) \quad (12)$$

그리고, R의 정의에 따라서,

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (13)$$

이 된다. 산란지면반사율을 겨울철에 눈이 없는 경우를 0.2, 깨끗한 상태의 눈이 덮혀있는 경우를

0.7이라 제시하고 있다. 식 (12)의 마지막 두개의 항은 평면에 입사하는 산란일사량으로 간주되곤 한다. 한편 $R = R_b$ 를 사용하는 경우는 대개 I_T 값이 아주 높게 예측되기 때문에 식 (12)과 식 (12)을 사용하는 것이 I_T 값의 예측을 보다 신중하게 유도할 수 있다. 이와 같은 이유는 지표면과 일사계의 수감부 앞에 수평으로 설치된 산란반사기(Diffuse Reflector)에서의 일사의 영향을 고려할 수 있기 때문이다.

3. 시스템 구성 및 자료처리

3.1 측정지 선정

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

3.2 무인자동 측정시스템의 구성

측정시스템에 설치된 개개의 일사센서에서 측정된 데이터를 전송매체인 기존 통신회선을 이용하여 통제소(key station)에서 수신할 수 있고, 또한 시스템을 제어할 수 있는 형태로 결합시켜 유기적으로 작동하게 하는 컴퓨터통신망을 구성하였으며, 또한 시스템 가동에 필요한 전력을 자체 내에서 조달하고, 측정작업과 이에 따른 데이터의 자체 저장처리 문제를 스스로 해결할 수 있도록 측정의 자동화를 시도하였다.

3.3 측정데이터의 수집과 처리

측정지에 일사센서를 남향 면에 수평면에 대한 경사각도 0도에서 90도 사이에 15도씩 변환하여 7개를 설치하였으며, 또한 동향 및 서향, 그리고 북향 면의 경사각도 90도에 각각 1개씩 설치하여 총 10개를 설치하였다. 이와 같이 설치된 시스템에 의하여 측정되는 데이터는 통제소에 설치된 데이터 프로세서의 원격제어에 의해 기존 전화선

을 통하여 원거리 전송되며, 전송된 데이터는 다시 데이터 파일로 구분하여 하드디스크에 저장시켜 각종 데이터의 분석 및 전산처리를 행할 수 있다. 이와 같이

통제소에서 전산 처리되고 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.

4. 전문가시스템 모형구축

여기서는 실측데이터를 근거로 한 월별로 태양에너지의 강도의 형태가 서로 유사한 날들을 그룹하기 위한 모델링을 위하여 각각의 날별로 시간별에 따른 일사량의 변화를 다항회귀모형에 의해 표현하는 알고리즘을 제시하고, 다시 각각의 날별로 다항회귀모형에 의하여 서로 작도된 두 그래프사이의 면적을 계산하여 비교하고, 면적의 차가 없는 날들을 퍼지관계에 의해 유사한 날들을 그룹으로 분류하는 기법을 프로그램하였다. 프로그램의 구조를 살펴보면,

- 1) SOLAR.C: 프로그램 이름을 SOLAR라 명명하였고, 미국 Borland사의 C언어로 구성되었으며, 이 모든 작업은 이 파일에서 이루어진다).
- 2) MONTH.DAT: SOLAR.C에서 불변의 자료를 수록하고 있는 데이터파일로서 월별로 일별 시간변화에 따른 수평면 전일사량 자료를 포함하고 있다.
- 3) 기타 데이터: 프로그램 사용 중 사용자가 원하는 한 달 내에서 또는 두 달 사이 내에서 날별로 비교 시, 선택되는 번호와 해당 달과 날 수, 그리고 입력되는 데이터파일, 출력되는 계수파일 이름을 사용자가 직접

키로 입력한다.

5. 실험결과 및 고찰

무인 자동화된 방위별 경사면일사량 측정시스템 운영기간중 비교적 일사변동이 적은 1996년 8월부터 1997년 7월까지 기간동안을 표준기간으로 설정하여 이 기간동안 매시간 측정된 실측자료를 근거로 수평면상의 지표면에 입사되는 태양에너지의 강도를 전년을 통하여 각각의 날별로 산출된 다항회귀모형을 작도하였다. 또한 여기서 각각의 그래프별로 서로 비교되는 그래프사이의 넓이를 계산하여 산출된 값 [0, 31, 89, 97, 129, 137, 146, ..., 6484, 6552, 6751] 중에서 $\alpha = 0.055$ 이하로 만든 α -수준집합으로 이루어진 원소 [0, 31, 89, 97, 129, 137, 146, ..., 370]으로 전형적인 날의 일사강도를 산출하기 위하여 유사한 성향을 갖는 날들을 그룹한 결과를 Fig. 1에서 보는바와 같이 전년에 걸쳐 4가지 모형이 제시되었다.

각 모형별 특성을 살펴보면, 대부분 [모형 1]은 10월 상순부터 다음해 3월 하순에 걸쳐 나타났고, [모형 2]는 4월 상순부터 9월 상순까지 나타났으며, [모형 3]은 9월 중순부터 9월 하순에 걸쳐 나타났다. 반면에 [모형 4]는 9월을 제외한 전년에 걸쳐 고르게 분포되었다. 시간별 최대치는 전 모형 공히 오후 1시경으로 나타났다. [모형 1]의 시간별 최대치는 533 Wh/m^2 , [모형 2]는 825 Wh/m^2 , [모형 3]은 674 Wh/m^2 이며, 그리고 [모형 4]는 120 Wh/m^2 이인 것으로 나타나 모형 중에서 [모형 2]가 시간별 최대치가 가장 높게 나타났다으며, 시간별 일사량도 가장 높게 나타나는 경향을 보였다.

또한, 이들 모형을 그림. 1을 토대로 태양에너지의 강도의 형태가 유사한 날들의 각 그룹별 모형을 다항회귀식으로 나타내면 표 1과 같다.

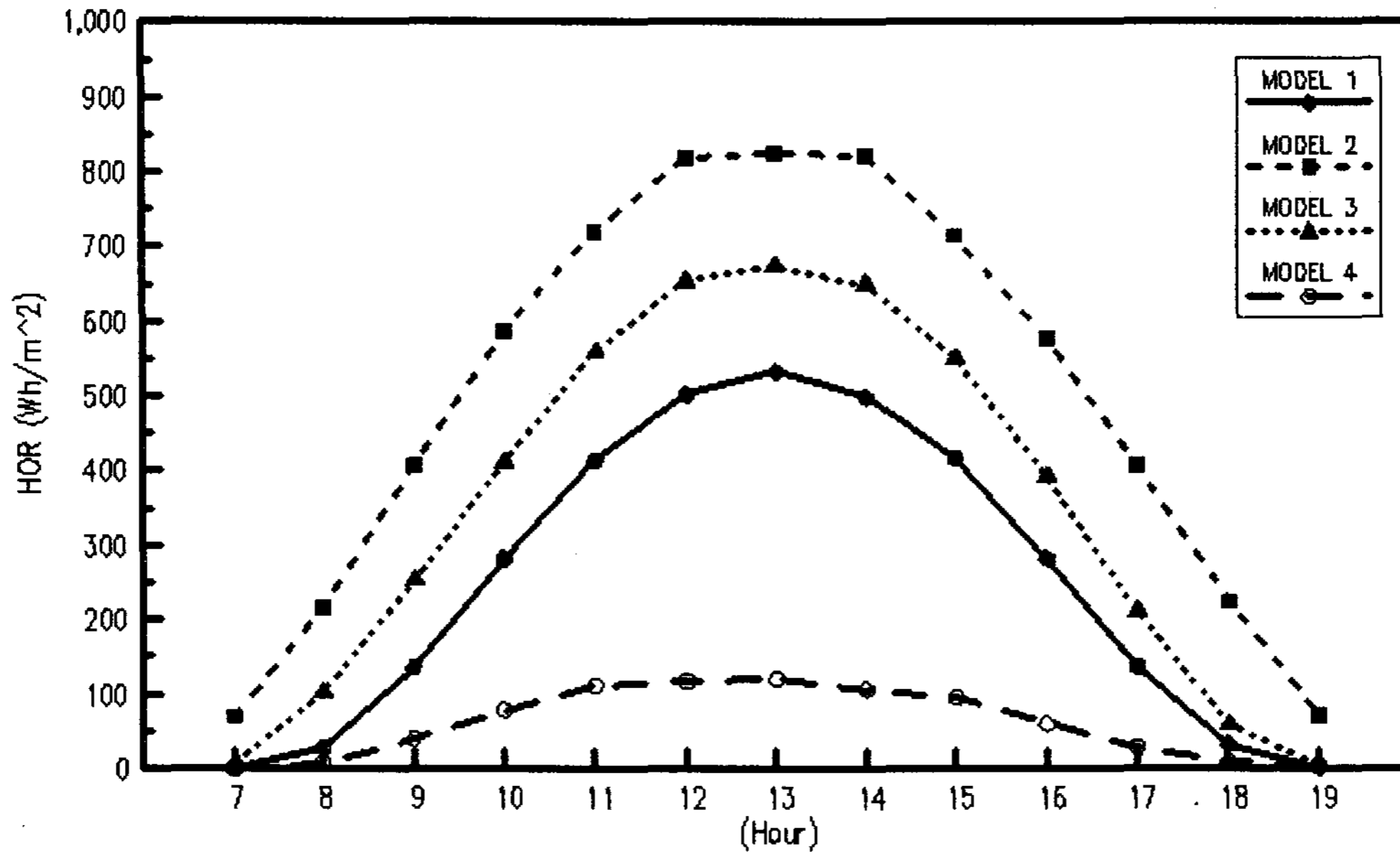


Fig. 1. 전 모형의 시각별에 따른 수평면 전일사량 변화도

Table 1. 태양에너지 강도가 유사한 날들 그룹의 모형별 상수 값

상수 \ 모형	모형 1	모형 2	모형 3	모형 4
A	-129328.44605	20272.52012	-154848.17998	-117497.90573
B1	93051.26637	-9520.14499	109253.69203	84024.27840
B2	-28436.20101	1557.29839	-32932.44965	-25672.22873
B3	4828.91609	-73.02773	5535.87456	4378.39755
B4	-500.01197	-8.51288	-568.27254	-456.38554
B5	32.45493	1.4201	36.57258	29.81834
B6	-1.29346	-0.08628	-1.44417	-1.19433
B7	0.02899	0.00251	0.03203	0.02685
B8	-2.79902E-4	-2.90902E-5	-3.05636E-4	-2.59576E-4
R ²	0.99997	0.99948	0.99983	0.99833

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

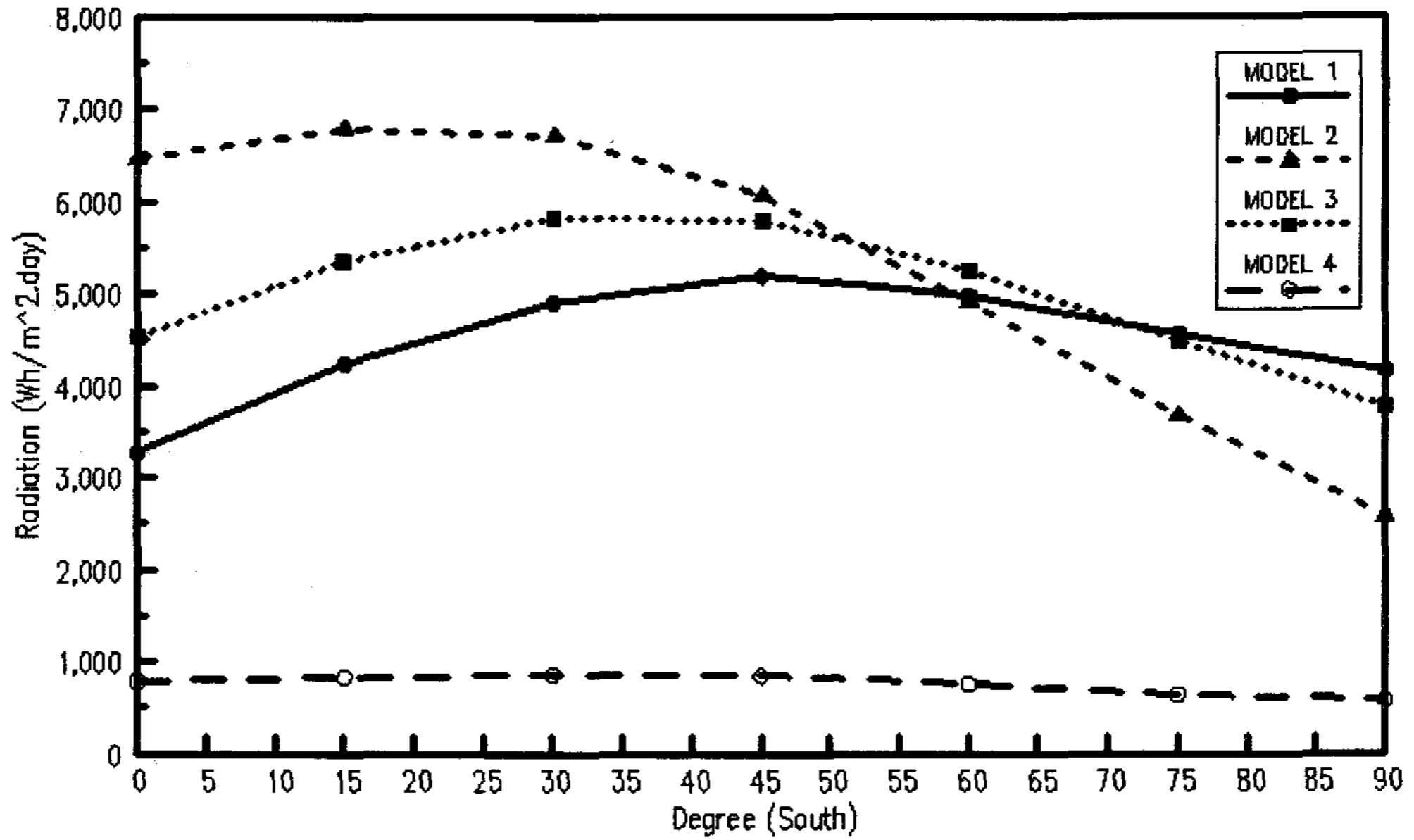


Fig. 2. 전 모형에 대한 정남향에서의 경사각도별에 따른 일사량 변화도

Table 2. 경사각도별 일사량 변화에 따른 모형별 상수 값 (정남향 기준)

상수 \ 모형	모형 1	모형 2	모형 3	모형 4
A	3263.99892	6461.75974	4524.66126	780.19697
B1	67.97621	19.35687	57.20328	3.49162
B2	0.03316	0.88002	0.17541	0.00328
B3	-0.01960	-0.05975	-0.02804	-3.50168E-4
B4	1.40554E-4	6.87692E-4	2.31987E-4	-3.01534E-5
B5	-7.13306E-8	-2.42524E-6	-3.56653E-7	2.85322E-7
R ²	0.99964	0.99997	0.99988	0.99951

* $Y = A + B1 X + B2 X^2 + B3 X^3 + B4 X^4 + B5 X^5$

한편, 그 동안 측정된 실측자료를 토대로 태양 열 및 태양광 시스템 설계 및 주거부분 설계를 위하여 각 방위별로 수평면상의 지표면에 대한 경사면이 받는 일사량을 모형별로 대상으로 하여 분석하여 보면, 각 모형별로 다항회귀모형으로 도해진 그림. 2에서 보는바와 같이 정남향에서 [모형 1]인 경우, 지표면에 대한 경사각도가 45° 부근인 집열면에서, [모형 2]는 경사각도 20° 부근에서, [모형 3]은 37° 부근에서, [모형 4]는 경사각도 30° 부근에서 최대의 일사량을 받는 것으로 나타났다. 또한 경사각도별 일사량 변화에 따른 각 그룹별 모형을 그림. 2를 토대로 다항회귀식으로 나타내면 표 2와 같다.

그러나, 한 지역에서 일정기간 측정된 결과만을 가지고 전반적인 우리나라의 일사강도에 대한 전형적인 모형을 정확하게 유추하기에는 아직은 불가능하다. 따라서 앞으로는 여러 지역에 대한 장기적인 태양에너지 강도측정을 통한 표준년도의 도출뿐만 아니라 여기서 제시된 비교 모델링 기법을 적용하여 우리나라 전지역에 대한 전형적인 일사량 형태를 유추해 나아갈 계획이다.

6. 결 론

본 연구에서는 하루중의 각 시간별로 서로 다른 경사각도별로 수광면에 입사하는 태양에너지의 강도를 실측을 통하여 정량적인 검토와 분석이 가능하도록 측정된 데이터를 기술자료화하였으며, 각각의 날별로 일사량 강도가 유사한 날들을 그룹화하기 하기 위하여 시간별 일사량 변화에 따른 다항회귀모형을 일별로 산출하고, 각 날별로 서로 비교하기 위해 일별로 산출된 다항회귀모형의 두 그래프사이의 면적을 계산하여 면적의 차가 거의 없는 날들을 일사량 강도가 유사한 날들로 그룹화하는 기법을 개발하여, 월별 또는 계절별로 이들 그룹을 모형별로 태양에너지 이용

시스템의 효율을 최대화 할 수 있는 시스템 최적경사각도를 제시하여 태양에너지 이용시스템 설계자와 주택 및 건물 설계자, 그리고 관련 산업체 종사자들에게 최적시스템 설계기준을 마련하였다.

또한, 태양행로에 대한 이론적인 고찰과 실측실험을 통하여 이에 적합한 전문가시스템 모형을 개발하고, 우리 나라 주요 지역별에 따라 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도를 산출하여 태양에너지 이용시스템 설계자 및 관련 산업체 종사자들에게 최적시스템 설계기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

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. Duffie John A., and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991, pp. 3~145.
5. Garg H.P., Treatise on Solar Energy, John Wiley & Sons, 1982, pp. 26~131.
6. Dickinson, William C., and Chermisinoff Paul N., Solar Energy Technology Handbook, Dekker, Inc., 1982.
7. 기상청, "기상년·월보", (1996~1997).
8. 최인수 외, 자동생산시스템의 분석과 설계, 영지문화사, 1993, pp. 322~323.