

태양에너지 시스템 설계를 위한 Typical Day 예측기법

*,**조 덕기¹⁾, 윤 창열²⁾, 김 광득³⁾, 강 용 혁⁴⁾

A Estimation Technique of Typical Day for Solar Energy System Design

Dok-ki Jo, Chang-Yeol Yun, Kwang-Deuk Kim, Young-Heak Kang

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 and the optimum incident angle of absorber plate was derived to maximize the efficiency of solar energy systems.

Key words : Solar Energy Resource (태양자원), Horizontal Global Radiation (수평면 전일사량)

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 우리나라에서 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도를 산출하여 태양에너지 이용시스템 설계자 및 관련 산업체 종사자들에게 최적시스템 설계기준을 제시하고자 한다.

2. 태양에너지 최적이용 배경 이론

2.1 각 날 일사형태 그래프의 다항회귀모형

일사량 측정시스템에서 측정되는 일사량 자료의 특징을 정확히 분석하려면 변수들간의 관련성

을 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,

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \dots + \beta_kx^k + \varepsilon \quad (1)$$

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

여기서, y : 해당 관측지 시간별 일사량 (h/m²)
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 계산

-
- 1) 저자의 소속
E-mail : dokkijo@kier.re.kr
Tel : (042)860-3561 Fax : (042)860-3739
 - 2) 저자2의 소속
E-mail : yuncy@kier.re.kr
Tel : (042)860-3746 Fax : (042)860-3739
 - 3) 저자3의 소속
E-mail : kdkim@kier.re.kr
Tel : (042)860-3731 Fax : (042)860-3739
 - 4) 저자4의 소속
E-mail : yhkang@kier.re.kr
Tel : (042)860-3518 Fax : (042)860-3739

하여 서로의 차가 없는 날을 유사한 날의 그룹으로 묶는다.

구간 $[a, b]$ 에서 $f(x) \geq g(x)$ 일 때, 두 곡선 $y=f(x)$, $y=g(x)$ 로 싸인 부분의 넓이 S 는 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 형태가 서로 유사한 날들을 그룹화하기 위하여 각각의 날별로 다항회귀모형에 의하여 서로 작도된 두 그래프의 사이의 면적의 합을 계산하여 비교하고, 그 차이가 별로 없는 날들을 퍼지관계에 의해 유사한 날의 그룹으로 분류하는 기법을 다음과 같이 제시하고자 한다.

<단계 0> $m=1$ 로 초기화함.

첫 번째 달을 1로 한다.

<단계 1> $m, m+1, m+2$ 월에 대한 일별 그래프 작성함.

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

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

[1-3] $m+2$ 월중의 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 X 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

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

여기 X_{ghij} 에서, $g, h=1, 2, 3$ (서로 비교되는 달) $i, j=1, 2, \dots, \iota$ (서로 비교되는 날로서 $\iota=28, 29, 30, 31$ 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 a 이하가 되는 요소의 집합을 a -컷 집합이라고 하고, 이를 x_a 로 표기한다.

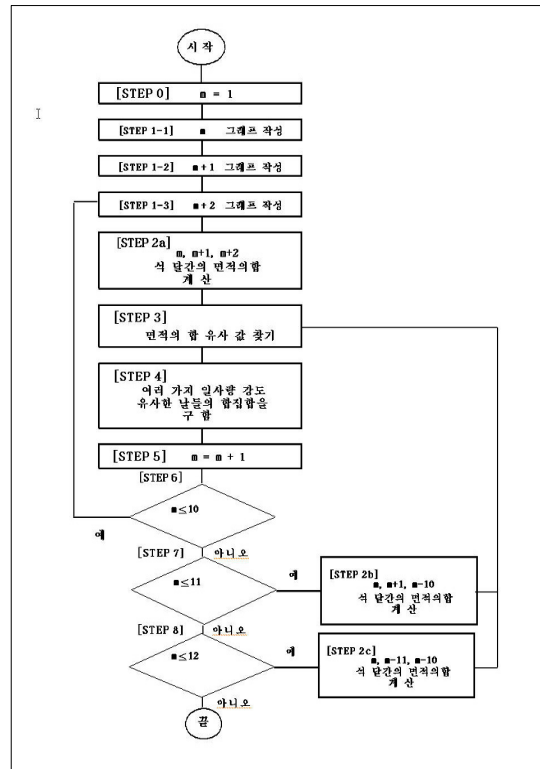


그림 1. 두 곡선 사이의 면적 계산을 위한 알고리즘 계통도

$$X_a = \{ X_{ghij} \in X \mid X_{ghij} \leq a \} \quad (4)$$

<단계 4> 여러가지 일사량 강도가 유사한 날들의 합집합을 구함.

<단계 5> 다시 $m=m+1$ 로 함.

<단계 6> $m \leq 10$ 일 때는 <단계 1-3>으로 가서 반복 수행함.

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

즉,

$$R = \frac{\text{경사면상에 입사되는 총일사량}(I_T)}{\text{수평면상에 입사되는 총일사량}(I)} \quad (5)$$

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

$$R_b = \frac{\text{경사면상에 입사되는 직달일사량}(I_{br})}{\text{수평면상에 입사되는 직달일사량}(I_b)} \quad (6)$$

$$R_d = \frac{\text{경사면상에 입사되는 산란일사량}(I_{dr})}{\text{수평면상에 입사되는 산란일사량}(I_d)} \quad (7)$$

따라서, R은 다음과 같이 된다.

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

3. 시스템 구성 및 자료처리

측정지 선정을 위해 측정기기의 설치위치는 비교적 높아 주변의 장애물의 영향이 적은 건물의 옥상(36° 22'N, 127° 22'E)으로 정하였으며, 실험을 위한 무인자동 측정시스템의 구성은 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.

또한, 측정데이터의 수집과 처리를 위하여 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 전화선을 통하여 원거리 전송되며, 전송된 데이터는 다시 데이터 화일로 구분하여 하드디스크에 저장시켜 각종 데이터의 분석 및 전산처리를 행할 수 있다. 이와 같이 통제소에서 전산 처리되고 있는 전산프로그램은 데이터 회수 및 처리용 프로그램으로 이를 통하여 시간별 일사량 자료를 전송 받아 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 하였다.

4. 전문가시스템 모형구축

여기서는 실측데이터를 근거로 한 월별로 태양 에너지의 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 구성되었으

며, 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 날수, 그리고 입력된 데이터파일, 출력되는 계수화일 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 그래프 사이의 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 이던 것으로 나타나 모형 중에서 [모형 2]가 시간별 최대치가 가장 높게 나타났으며, 시간별 일사량도 가장 높게 나타나는 경향을 보였다.

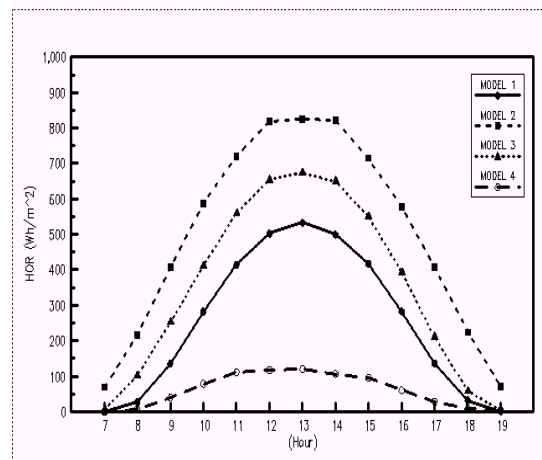


그림 2. 전 모형의 시간별에 따른 수평면 전일사량 변화도

표 1. 태양에너지 강도가 유사한 날들 그룹의 모형별 상수 값

모형 상수	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

$$* Y = A + B_1 X + B_2 X^2 + B_3 X^3 + B_4 X^4 + B_5 X^5 + B_6 X^6 + B_7 X^7 + B_8 X^8$$

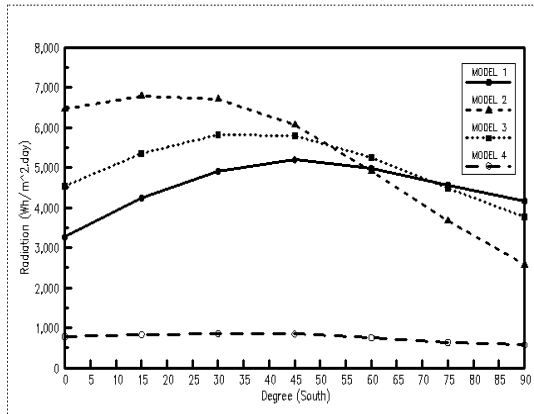


그림 3. 전 모형에 대한 정남향에서의 경사각도별에 따른 일사량 변화도

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

모형 상수	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

또한, 이들 모형을 그림 2를 토대로 태양에너지 강도의 형태가 유사한 날들의 각 그룹별 모형을 다항회귀식으로 나타내면 표 1과 같다.

한편, 그 동안 측정된 실측자료를 토대로 태양열 및 태양광 시스템 설계 및 주거부분 설계를 위하여 각 방위별로 수평면상의 지표면에 대한 경사면이 받는 일사량을 모형별로 대상으로 하여 분석하여 보면, 각 모형별로 다항회귀모형으로 도출된 그림 3에서 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 3을 토대로 다항회귀식으로 나타내면 표 2와 같다.

6. 결론

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 이용시스템의 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 실측 실험을 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.

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] 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, "기상년월보", (1996-2008).