

# 지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향

김영일 / 편집이사

서울산업대학교 건축학부 (yikim@snut.ac.kr)

김정민

지멘스코리아 (orbit7777@daum.net)

## 서론

2006년 기준 국내의 에너지 사용량은 연간 88 조원으로 이중 공조에 사용되는 에너지는 전체의 약 15%인 13 조원이다. 우리나라는 봄·여름·가을·겨울의 4 계절이 뚜렷하여 냉방, 난방, 환기에 많은 에너지가 소비된다. 일반적인 국내 건물의 에너지 소비량 비율을 보면 공조 47%, 조명 24%, 기타 29%로 공조 시스템의 에너지 사용 비율이 대단히 높음을 알 수 있다. 에너지원의 97% 이상을 수입하는 국내 실정으로는 에너지 절약과 대체에너지 개발이 국가의 경쟁력 강화를 위하여 무엇보다도 시급한 과제가 되고 있다.

우리가 사용하는 에너지의 대부분은 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석연료로 총 에너지원의 85%를 넘는다. 그러나 그 양이 한정되어 있고 환경 문제를 유발하고 있어 재생 가능한 에너지자원의 개발이 시급한 실정이다. 가장 널리 쓰이는 원유의 남은 매장량은 1조 배럴(1 배럴 = 159 liter) 정도로 앞으로 약 40년 가량 사용 가능한 분량이다. 석탄은 200년(1조 ton), 천연가스는 60년(146조 m<sup>3</sup>) 동안 사용할 수 있는 양이 남아있다고 알려져 있다. 이러한 화석연료가 전부 고갈되는 날이면 인류는 역사상 최대의 위기를 맞이하게 되며 생존 자체를 위협받게 될 것이다.

에너지 문제를 해결하는 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 하나는 대체에너지를 개발하는 것이

고 다른 하나는 남아있는 에너지를 효율적으로 사용하여 그 사용 기간을 오래 동안 연장하는 것이다. 대체에너지 개발은 인류의 영원한 숙제이며 이 방면으로는 핵융합, 태양열, 풍력, 지열, 바이오에너지 등이 고려되고 있다.

대체에너지 중 태양은 앞으로도 50억년의 수명이 예상되므로 가장 전망이 높은 에너지라고 할 수 있다. 태양은  $3.90 \times 10^{26}$  W의 에너지를 방출한다. 대기권 밖에서의 일사량은 1393 W/m<sup>2</sup>이지만 구름과 대기 중의 수증기 등에 반사 및 산란되어 지구 표면에는 약 700 W/m<sup>2</sup>으로 줄어들지만 그래도 여전히 막대한 양이다.

본고에서는 태양열을 효율적으로 이용하기 위하여 지역별, 계절별 일사량과 집열판 경사각에 따른 일사량 변화를 살펴보고자 한다. 직달 및 산란 일사량을 계산하는 모델을 이용하여 계절별 최적 경사각을 제안한다. 또한 고정식과 추적식의 일사량을 비교한다.

## 지역별 수평면 일사량

한국에너지기술연구원에서는 국내 주요 지역의 계절별 수평면 전일사량 데이터를 표 1과 같이 제시하고 있다<sup>[1]</sup>.

표에 의하면 봄 일사량은 목포가 17,083 kJ/(m<sup>2</sup>·day)으로 가장 많고, 수원이 14,115 kJ/(m<sup>2</sup>·day)로 가장 적다. 여름 일사량은 목포가 17,242 kJ/(m<sup>2</sup>·day)으로 가장 많고, 수원이 13,299 kJ/(m<sup>2</sup>·day)로

가장 적다. 가을 일사량은 목포가 12,579 kJ/(m<sup>2</sup> · day)으로 가장 많고, 수원이 10,105 kJ/(m<sup>2</sup> · day)로 가장 적다. 겨울 일사량은 진주가 10,331 kJ/(m<sup>2</sup> · day)으로 가장 많고, 제주가 6,045 kJ/(m<sup>2</sup> · day)로 가장 적다. 연평균 일사량은 목포가 13,939 kJ/(m<sup>2</sup> · day)으로 가장 많고, 수원이 11,260 kJ/(m<sup>2</sup> · day)로 가장 적다. 지역 평균으로 계산하여 연평균 대비 일사량은 봄은 24%, 여름은 22% 많다. 이에 반하여 가을은 11%, 겨울은 34% 적다.

2006년 기준 국내의 연간 1차 에너지 소비량은 233 백만 TOE (1 TOE = 10<sup>7</sup> kcal)이므로 만약 국내 평균 일사량을 12,742 kJ/(m<sup>2</sup> · day)라고 가정한다면, 이는 2,097 km<sup>2</sup> 면적에 해당하는 일사량 에너지와 같다. 이 면적은 남한의 면적 99,601 km<sup>2</sup> 의 2.1%에 해당하며, 제주도 면적 1,847 km<sup>2</sup> 에 비하여 약 1.14배

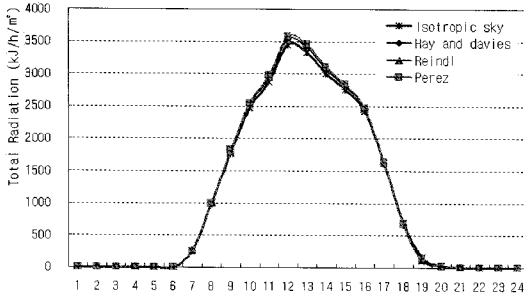
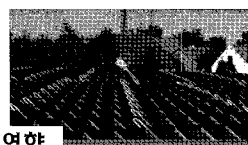
크다. 만약 제주도 면적의 1.14배에 해당하는 집열판을 만들고, 그 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다면 우리나라는 에너지를 수입할 필요 없이 태양열만으로 에너지 문제를 해결할 수 있다.

### 직달 및 산란 일사량 계산 모델

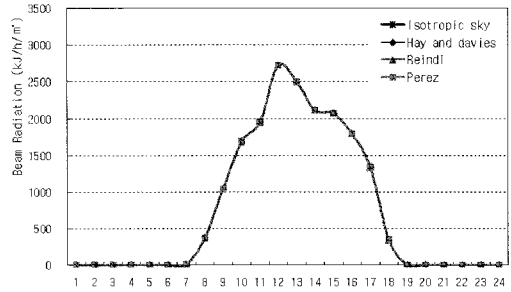
수평면 일사량을 수평면의 직달 및 확산 일사량으로 계산하기 위하여 Isotropic sky, Hay and Davies, Reindle, Perez 등 여러 모델이 있다<sup>2)</sup>. 그림 1 ~ 3은 서울의 최고 일사량을 나타내는 8월 3일을 기준으로 정남에 집열판 경사각이 30도일 때 4개의 모델별로 전체, 직달 그리고 산란 일사량을 계산한 결과이다<sup>3)</sup>. 4 모델별로 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 본고에서는 4 모델 중 평균값을 나타내는

<표 1> 계절별 수평면 전일사량, kJ/(m<sup>2</sup> · day)

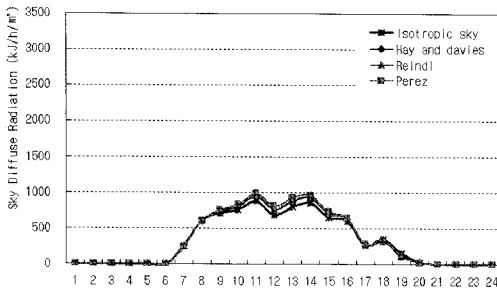
| 지역        | 봄      | 여름     | 가을     | 겨울     | 연평균    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 강릉        | 15,873 | 14,777 | 10,925 | 8,778  | 12,587 |
| 고산        | 14,496 | 15,224 | 12,223 | 6,852  | 12,202 |
| 광주        | 16,150 | 15,710 | 11,800 | 8,669  | 13,081 |
| 대구        | 15,886 | 15,145 | 10,955 | 8,669  | 12,663 |
| 대전        | 16,104 | 15,773 | 11,348 | 8,548  | 12,943 |
| 목포        | 17,083 | 17,242 | 12,579 | 8,862  | 13,939 |
| 부산        | 15,677 | 15,806 | 11,620 | 9,490  | 13,148 |
| 서산        | 16,828 | 16,342 | 11,738 | 8,703  | 13,404 |
| 서울        | 14,823 | 13,479 | 10,327 | 7,619  | 11,562 |
| 수원        | 14,115 | 13,299 | 10,105 | 7,522  | 11,260 |
| 안동        | 15,982 | 15,610 | 11,470 | 9,293  | 13,090 |
| 영주        | 16,824 | 16,003 | 11,717 | 8,899  | 13,362 |
| 원주        | 15,451 | 15,371 | 10,779 | 7,958  | 12,391 |
| 인천        | 15,656 | 15,463 | 11,574 | 8,305  | 12,751 |
| 전주        | 15,183 | 14,919 | 10,913 | 7,928  | 12,236 |
| 제주        | 14,806 | 16,974 | 11,005 | 6,045  | 12,240 |
| 진주        | 16,836 | 16,150 | 12,353 | 10,331 | 13,918 |
| 청주        | 15,836 | 15,668 | 11,152 | 8,368  | 12,755 |
| 춘천        | 15,748 | 15,723 | 10,398 | 7,803  | 12,420 |
| 포항        | 15,999 | 15,350 | 11,172 | 9,130  | 12,914 |
| 평균        | 15,773 | 15,501 | 11,306 | 8,389  | 12,742 |
| 연평균 대비 비율 | 1.24   | 1.22   | 0.89   | 0.66   | 1.00   |



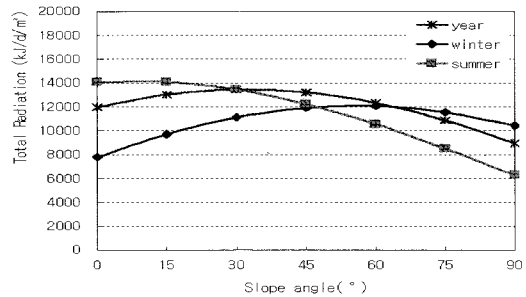
[그림 1] 4개 모델에 의한 전체 일사량 계산 결과



[그림 2] 4개 모델에 의한 직달 일사량 계산 결과



[그림 3] 4개 모델에 의한 산란 일사량 계산 결과



[그림 4] 집열판 경사각에 따른 서울의 일사량 변화

Reindel 모델을 사용하여 일사량을 계산한다.

### 집열판 각도의 영향

방위각은 남향으로 고정하고 수평면과 집열판 사이의 경사각의 영향을 살펴보기 위하여 Reindel 모델을 이용하여 집열판 경사각에 따른 연간, 겨울 그리고 여름의 일사량을 계산하였다. 그림 4는 집열판 경사각에 따른 서울의 수평면 일사량을 나타내고 있다. 태양은 겨울에는 고도가 낮고, 여름에는 높으므로 겨울에는 경사각이 큰 것(수직에 가까운)이, 여름에는 경사각이 작은 것(수평에 가까운)이 유리하다.

서울, 인천, 강릉, 울산, 광주, 목포 등 6 지역에 대하여 연간, 여름 그리고 겨울의 집열판 최적 경사각과 그에 상응하는 최대 하루 일사량을 표 2에 나타내었다. 모든 지역에서 여름의 최적 경사각은 7 ~ 8°, 겨울의 최적 경사각은 56 ~ 58°, 연간 최적 경사각은 29 ~ 32°이다. 따라서 여름만 사용하는 경우

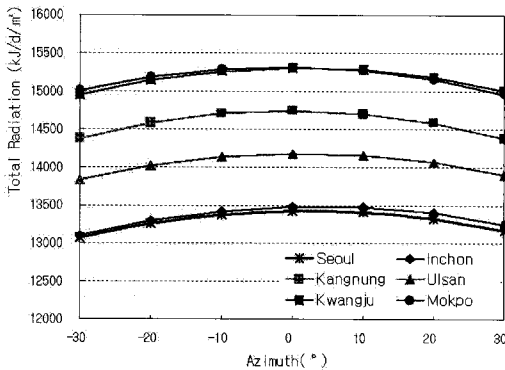
집열판의 경사각은 7 ~ 8°, 겨울만 이용하는 경우 56 ~ 58°, 1년 내내 이용하는 경우 29 ~ 32°의 경사각을 유지하는 것이 유리하다. 서울의 경우 연평균 수평 일사량은 11,562 kJ/d/m²임에 반해, 최적 경사각에 의한 일사량은 13,430 kJ/d/m²이므로 최적 경사각일 때의 일사량이 약 16.2% 많다.

수평면으로부터 집열판의 경사각을 30°(수평면인 경우 0°)로 고정된 후, 방위각의 영향을 고찰하였다(그림 5). 정남쪽을 0°, 서쪽 방향은 "+", 동쪽 방향은 "-"라고 가정하였다. 정남을 향할 때가 연간 평균 일사량이 가장 많았다. 서울의 경우 방위각을 -30°(동쪽 방향)로 하면, 일사량은 방위각 0° 대비 약 2.7% 감소한다. 따라서 방위각은 일사량 취득에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

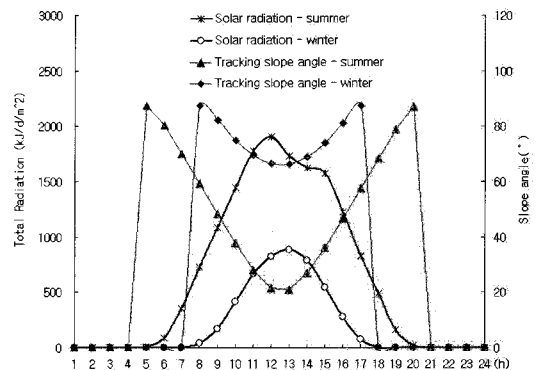
태양은 계절과 시간에 따라 고도와 방위각이 계속 변한다. 다음은 고정식과 추적식 집열판의 일사량 차이를 살펴보고자 한다. 추적식은 태양의 위치에 따라 집열판과 태양의 입사각도가 직각이 되도록 집

<표 2> 국내 여러 지역의 집열판 최적 경사각 및 일사량

| 지역 | 최적 각도                        | 년간     | 여름     | 겨울     |
|----|------------------------------|--------|--------|--------|
| 서울 | 경사각 (°)                      | 32     | 7      | 56     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 13,430 | 14,159 | 12,099 |
| 인천 | 경사각 (°)                      | 32     | 7      | 56     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 13,489 | 14,211 | 12,129 |
| 강릉 | 경사각 (°)                      | 34     | 7      | 58     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 14,776 | 15,085 | 14,973 |
| 울산 | 경사각 (°)                      | 30     | 8      | 56     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 14,176 | 16,019 | 12,512 |
| 광주 | 경사각 (°)                      | 29     | 7      | 56     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 15,303 | 17,243 | 12,489 |
| 목포 | 경사각 (°)                      | 29     | 7      | 56     |
|    | $I_d$ (kJ/d/m <sup>2</sup> ) | 15,312 | 17,248 | 12,814 |



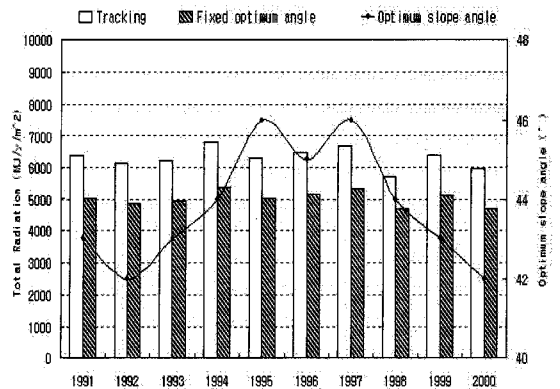
[그림 5] 방위각에 따른 연간 평균 일사량



[그림 6] 방위각에 따른 연간 평균 일사량

열판의 각도를 제어하는 방식이다. 그림 6은 서울의 여름철 8월 4일과 겨울철 1월 3일에 대하여 태양열 추적식 시스템을 이용하여 일사량 변화에 따른 추적 경사각의 변화를 나타내었다. 추적식인 경우, 여름의 경우 해가 뜨기 시작하는 새벽에는 경사각이 약 90°, 정오에는 약 20°가 된다. 추적식인 경우, 겨울의 경우 해가 뜨기 시작하는 이른 아침에는 경사각이 약 90°, 정오에는 약 70°가 된다.

고정식과 추적식의 일사량 변화를 비교하기 위하여 서울의 10년(1991 ~ 2000년) 동안의 연간 일사량 변화를 그림 7에 나타내었다. 고정식은 최적 경사각에 값이며 이 기간 동안 최적 경사각은 42 ~ 45°를



[그림 7] 고정식과 추적식 집열판의 일사량 비교 (서울)



나타내고 있다. 최적 경사각으로 유지되는 고정식인 경우 일사량 값은 평균 5000 MJ/d/m<sup>2</sup>이고, 추적식인 경우 평균은 6200 MJ/d/m<sup>2</sup>이므로 추적식의 일사량이 고정식 대비 약 20% 많다.

### 결론

태양열을 효율적으로 이용하기 위해서는 지역별, 계절별, 시간별 일사량 데이터가 필요하다. 또한 사용 기간에 따라 가장 많은 일사량을 취득할 수 있는 최적 경사각이 존재한다. 우리나라의 경우, 방위각은 정남이 가장 유리하며, 여름의 최적 경사각은 7 ~ 8°, 겨울의 최적 경사각은 56 ~ 58°, 연간 최적 경사각은 29 ~ 32°이다. 서울의 경우 방위각을 정남향으로부터 동쪽 방향으로 30°로 하면, 일사량은 방위각 0° 대비 약 2.7% 감소하므로 방위각의 영향은 미미하다고 볼 수 있다.

집열판의 각도가 태양의 직달 일사선과 수직이 되

는 추적식을 채용하는 경우, 서울 기준 추적식의 일사량이 고정식 대비 약 20% 많다.

### 참고문헌

1. 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터, 공공기관 신축 건축물에 대한 대체에너지이용의무화 제도 안내, 산업자원부.
2. TRNSYS 15, Transient System Simulation Program, 2000, Solar Energy Lab. Rep., University of Wisconsin-Madison.
3. 김정민, 김영일, 정광섭, 2006, 국내 여러 지역의 집열판 각도 및 방위각에 따른 일사량 연구, 대한설비공학회 동계학술대회 논문집, 307-312.
4. 김정민, 김영일, 정광섭, 2007, 국내 여러 지역의 고정식과 추적식 태양열 집열기의 일사량 연구, 대한설비공학회 하계학술대회 논문집, 949-954. 