

## 방위각 및 경사각을 고려한 지역별 태양광 모듈 배치안 검토

박 성 현, 서 장 후<sup>\*†</sup>

조선대학교 대학원 건축공학과, \*조선대학교 건축학부

### A Study on the Photovoltaic Module Layout Considering the Azimuth and Inclination in Region

Sunghyun Park, Janghoo Seo<sup>\*†</sup>

Department of Architecture, Graduate School, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

\*School of Architecture, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

(Received January 11, 2012; revision received February 29, 2012)

**ABSTRACT:** Recently, building energy systems with solar collector and solar module have increased to improve energy problem, a heat island, a global warming and carbon dioxide emissions. In this study, value of solar radiation in areas was analyzed using TRNSYS simulation, and the optimum tilt and orientation angle for installing a photovoltaic module was examined. Average values of the weather data in the past twenty years in areas were used as input data. The results show that the tilt angle of a photovoltaic module for gaining the annual maximum solar radiation varies in different localities, and values of the annual solar radiation gained by using the variable photovoltaic module increased by 2.5 percent as compared with that gained by using the fixed photovoltaic module. When fixed photovoltaic module is installed, it should be examined the tilt and orientation angle for installing a photovoltaic module was examined.

**Key words:** Solar radiation(일사량), Salar time(태양시), PV setting angle(PV 설치 경사각)

#### 기 호 설 명

$R$	: 일사량 [kJ/h · m <sup>2</sup> ]
$\phi_1$	: 태양의 방위각 [°]
$\alpha_1$	: 태양의 고도각 [°]
$\alpha_2$	: PV 모듈 설치각 [°]
$ST$	: 태양시
$E$	: 균시차
$L_{st}$	: 해당지역의 표준 자오선 경도 [°]
$L_{loc}$	: 해당지역의 경도 [°]
$I_d$	: 일평균 일사량 [kJ/d/m <sup>2</sup> ]

#### 하첨자

$max$  : 표준상태

#### 1. 서 론

최근, 화석연료 고갈 및 CO<sub>2</sub> 배출, 지구온난화 현상을 줄이기 위한 방안으로 신재생에너지 및 대체 에너지의 사용이 증가하고 있다. 이중 태양광 발전 시스템은 태양전지에 의해 직접적으로 전기를 생산할 수 있어 주택과 같은 소규모 건축물에도 적합하다.<sup>(1-3)</sup>

태양광 발전시스템의 경우 PV 모듈 고정식과 가변식이 있다. 이중 고정식 태양광 집열방식의 경우 설계단계에서 결정된 PV 모듈의 각도 변경이 용이

† Corresponding author

Tel.: +82-62-230-7022; fax: +82-62-230-7155

E-mail address: seo@chosun.ac.kr

하지 않는 단점이 있다.<sup>(4)</sup>

그러나 가변식의 경우 PV 모듈의 각도 조절이 가능하여 태양광 발전시스템의 효율을 높일 뿐만 아니라, 블라인드 제어 시스템등과 접목시킬 수 있어 적용 가능성도 우수할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 TRNSYS 시뮬레이션을 이용하여 지역별 고정형 PV 모듈과 각도 조절이 가능한 가변형 PV 모듈의 변수별 일평균 일사량을 분석하고, 이에 따라 각 PV 모듈 설치에 대한 최적안을 제시하고자 한다.

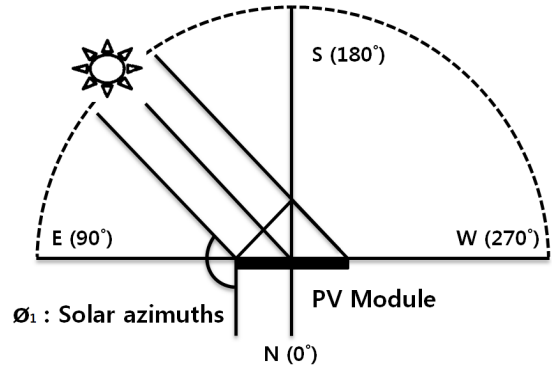


Fig. 1 Radiation by solar azimuth.<sup>(6)</sup>

## 2. 태양 위치에 따른 일사량 변화

### 2.1 일사량 개념

지구에 도달하는 일사량은 태양의 위치에 영향을 받으며, 한반도의 일사량은 동시간대 각 지역에서의 태양과 이루는 방위각 및 고도각, 기상상태, 지형형태에 영향을 받는다.<sup>(5)</sup>

Fig. 1과 같이 태양이 위치할 때 태양과 PV 모듈은  $\phi_1 - 90^\circ$ 의 각을 이룬다. 그리고 태양과 PV 모듈이 법선방향이 된 경우의 일사량을 표준상태의 값이라고 가정하고 이때의 값을  $R_{max}$ 라 정의하면 이 값은  $1 \text{ kW/m}^2$ 의 광량이 된다. 따라서 태양의 현재 방위각이  $\phi_1$ 이라면 이때 PV 모듈 면적 수광량은 식(1)과 같이 정의할 수 있다.<sup>(6)</sup>

$$R_{\phi_1} = R_{max} \sin(\phi_1 - 90) \quad (1)$$

또한 Fig. 2와 같이 태양이 점선방향으로 움직이고 PV 모듈과 지표면이 이루는 각이  $\alpha_1$ 인 경우에는 PV 모듈과 태양이 이루는 각이  $(90 - \alpha_1 - \alpha_2)^\circ$ 가 됨으로 이때의 일사량을 계산하면 식(2)와 같다.<sup>(6)</sup>

$$R_{\beta_1} = R_{max} \cos(90 - (\alpha_1 + \alpha_2)) \quad (2)$$

태양은 시간에 따라 PV 모듈과 이루는 고도각과 방위각이 동시에 변화하기 때문에 식(1)과 식(2) 방위각이 동시에 변화하기 때문에 식(1)과 식(2)를 동시에 만족해야 하므로 고정된 PV 모듈의 일사량은 식(3)과 같이 정의된다.<sup>(6)</sup>

$$R_n = R_{max} \sin(\phi_1 - 90) \cos(90 - (\alpha_1 + \alpha_2)) \quad (3)$$

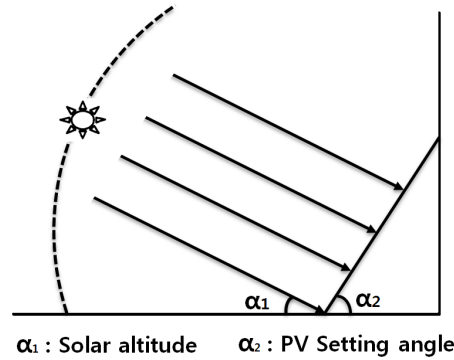


Fig. 2 Radiation by solar altitude.<sup>(6)</sup>

그러나 이는 태양이 평면상을 움직인다고 가정한 경우로 한반도의 각 지역별 표준시로 기록된 표준기상데이터의 경우 태양과의 거리 및 태양시를 고려한 일사량 값의 보정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 TRNSYS 시뮬레이션을 이용하여 20년간 실측된 지역별 표준기상데이터(등록번호 : 2012-Seoul-R-010, 2012 Incheon-R-007, Daejeon-R-006, Gwangju-R-006, Daegu-R-007, Busan-R-006)를 바탕으로 태양시를 고려하여 일평균 일사량을 값을 분석 하였다.

### 2.2 균시차를 고려한 태양시

동경  $135^\circ$ 를 표준 자오선으로 사용하는 한반도의 경우, 표준시에서 작성된 기상데이터 자료는 실제 태양시와의 차인 균시차를 고려하여야 한다. 이는 태양의 계산된 위치가 이 시간 간격에 대한 평균 위치가 되도록 보장하기 위함이다.<sup>(7)</sup>

태양시를 구하는 방법은 식(4)와 같다.

$$ST = \text{표준시} + E + 4(L_{st} - L_{loc}) \quad (4)$$

### 2.3 지역별 일평균 수평면 전일사량

Table 1은 지역별로 실측된 일평균 수평면 전일사량 및 경도, 위도 정보를 나타낸다.

실제 지표면 태양에너지는 위도가 낮을수록 크며 운량이 많은 서해안 지역인 경우 지표면에 도달하는 태양에너지가 작아 누적 태양광량이 다른 지역에 비해 다소 낮게 나타난다.<sup>(8)</sup> 그러나 서울이 일평균 일사량 11496 kJ/d/m<sup>2</sup>로 조사 지역중 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 대기오염으로 인해 PV 모듈에 도달하는 직달일사 및 산란일사가 감소되었기 때문으로 판단된다.

한반도의 주요도시 위도 분포는 N 37° 56'에서 N 35° 16'이며, 경도 분포는 E 126° 97'에서 E 129° 07'이다. 이는 지역별로 남중고도를 이루는 시간대가 다르다는 것을 의미한다.

### 3. TRNSYS 시뮬레이션 개요

일사량 계산은 TRNSYS Type16a 모듈을 사용하였으며, 시뮬레이션 입력 조건 및 PV 모듈 형태별 최적설계를 위한 변수는 Table 2와 같다.

기상데이터는 표준시로 작성된 각 지역별 20년간 평균치를 사용하고, 일사량 측정시간 단위는 1시간으로 실측된 Time of step과 동일하게 설정하였다. 결과값은 일평균 일사량[kJ/d/m<sup>2</sup>]으로 나타낸다. PV 모듈의 방위각 변수는 -40°에서 40° 사이를 5°씩 나누는 19개에 -90°[E], 90°[W], 180°[N] 변수를 포함한 총 22개로 설정하고, 경사각 변수는 0°에서 60° 사이를 2°씩 나누는 30개의 변수로 설정하였다.

본 연구에서는 PV 모듈은 그 면에 도달하는 일사량을 모두 받는 이상적인 조건으로 가정하였다.

### 4. 지역별 태양광 모듈 배치안 검토

#### 4.1 PV 모듈 방위각 변화별 일사량 분석

PV 모듈의 방위각에 변화에 따른 지역별 일평균 일사량을 Table 3에 나타낸다. 이때의 PV 모듈 경사각은 30°로 지역별 동일하게 설정하였다.

지역에 관계없이 PV 모듈의 방위각이 북쪽[N]에 가까울수록 태양으로부터 받는 직사광량이 줄어들어 일평균 일사량이 감소되는 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과 지역별로 최대 일평균 일사량을 받는 방위각은 광주의 경우 정남 서울과 인천의 경

Table 1 Solar radiation distribution(86-05year)

Area	Latitude	Longitude	I <sub>d</sub> [kJ/d/m <sup>2</sup> ]
Seoul	N 37° 56'	E 126° 97'	11496
Inchon	N 37° 45'	E 126° 70'	13019
Daejun	N 36° 35'	E 127° 38'	13422
Gwangju	N 35° 16'	E 126° 85'	13416
Daegu	N 35° 87'	E 128° 60'	12970
Busan	N 35° 18'	E 129° 07'	13118

Table 2 Simulation condition and case

Climate data	86-05year Average data
Run time	0-8760 hour [all year]
Intaval	1 hour
Azimuth case	Between -40° and 40° by 5° -90°[E], 0°[S], 90°[W], 180°[N]
Angle case	Between 0° and 60° by 2°
Result	I <sub>d</sub> [kJ/d/m <sup>2</sup> ]

Table 3 Total Radiation by module azimuth

Area	Seoul	Inc hon	Dae jun	Gwan gju	Dae gu	Bu san
Azimuth	I <sub>d</sub> [kJ/d/m <sup>2</sup> ]					
-40°	12317	13808	15049	14533	14309	13960
-35°	12440	13950	15095	14648	14384	14038
-30°	12551	14080	15124	14747	14440	14097
-25°	12649	14195	15138	14828	14476	14136
-20°	12734	14301	15193	14899	14495	14156
-15°	12809	14401	15221	14958	14497	14155
-10°	12870	14490	15231	15002	14480	14138
-5°	12915	14565	15165	15030	14449	14101
0°[S]	12944	14621	15084	15041	14402	14044
5°	12956	14660	14986	15035	14336	13968
10°	12952	14685	14867	15013	14252	13873
15°	12932	14694	14726	14976	14151	13760
20°	12895	14684	14574	14930	14037	13634
25°	12844	14657	14414	14872	13914	13497
30°	12779	14611	14241	14797	13779	13348
35°	12698	14544	14052	14704	13630	13185
40°	12603	14461	13855	14598	13472	13017
-90°[E]	10688	11894	13465	12748	12706	12314
90°[W]	11103	12787	11533	12826	11571	11072
180°[N]	8519	9205	9066	9646	9331	8864

우 서측으로 대전과 대구, 부산의 경우는 동측으로 약간 틀어져 있을 경우로 나타났다.

그러나 이는 표준시로 작성된 기상데이터의 경우 위도변화에 따른 태양시가 고려되지 않아 Fig. 3(a)와 같이 지역별 남중고도를 시간에 관계없이 한지점으로 잘못 인식하기 때문이다. 따라서 동시간대 측정된 표준시 기상데이터를 사용하여 시물레이션할 경우, 결과값의 오차를 줄이기 위하여 Fig. 3(b)와 같이 지역별 남중고도가 해당 지역의 자오선에서 나타나도록 태양시와 균시차를 고려한 조정이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 간이적 조정으로 지역별 PV 모듈이 최대 일사량을 받는 방위각을 정남향으로 재설정하여 경사별 일사량을 산출하였다.

### 4.2 지역별 고정식 PV 모듈 배치 최적안 분석

PV 모듈의 경사각을 2°간격으로 0°에서 60°까지 시물레이션한 지역별 일평균 일사량 결과값을 Fig. 4와 Table 4에 나타낸다. 이 때 PV 모듈의 방위각은 지역별 동일하게 정남 방향으로 설정하였다. PV 모듈의 경사각이 34°~38°에 위치할 때 지역별 일평균 일사량이 가장 높은 것으로 나타났다. 한편 PV 모듈의 경사각이 0°~15° 사이에 위치할 경우에는 대전보다 광주와 대구의 경우 일평균 일사량이 높게 나타났다. 이는 태양의 고도가 낮은 동절기에는 대전에 비해 광주지역이 태양으로부터 더 많은 에너지를 받아 일평균 일사량의 평균값이 상승되었기 때문이다.

### 4.3 지역별 가변형 PV 모듈 배치 최적안 분석

각도 조절이 가능한 가변형 PV 모듈의 최적안 배치를 위한 시물레이션 결과값을 Fig. 5와 Table 5에 나타낸다. 가변식 PV 모듈의 변경 효율성과 태양의 고도에 따른 경사각별 일평균 일사량 분포를 알아보기 위하여 분기별로 분석하였다.

1/4분기에는 PV 모듈의 경사각이 48°~52°, 2/4분기에는 12°~16°, 3/4분기 12°~18°, 4/4분기에는 52°~56°로 설정되었을 경우 지역별 일평균 일사량이 가장 높은 것으로 확인되었다.

또한 지역별로 1/4분기와 4/4분기, 2/4분기와 3/4분기의 최대 일평균 일사량을 받는 경사각의 차이가 2°~4°로 나타났다. 따라서 PV 모듈의 경사각 변화시기를 상반기, 하반기로 나누어도 일평균 일사량에는 큰 변화가 없어 융통성 있는 시스템 운용

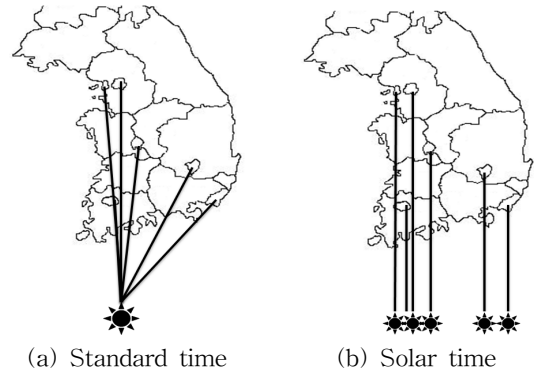


Fig. 3 Concept of meridian transit altitude.

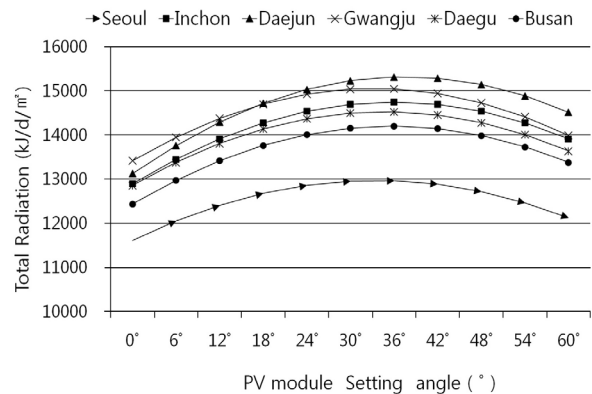
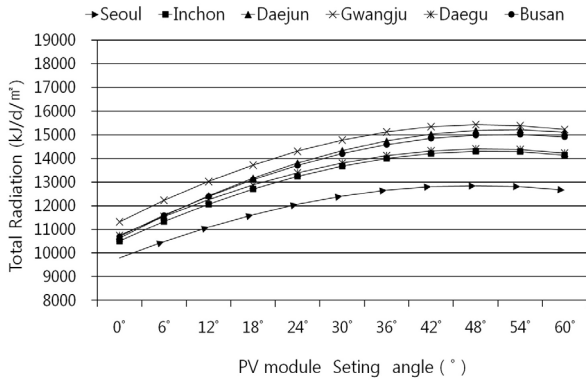


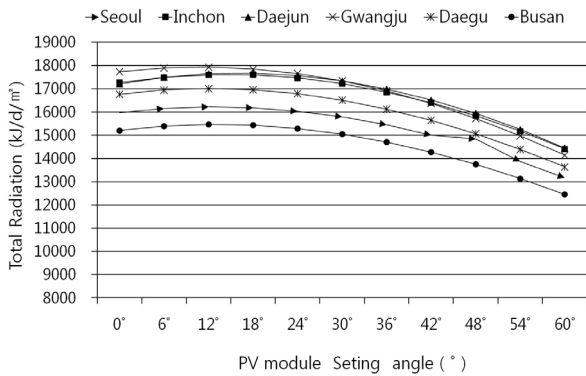
Fig. 4 Total radiation in area for annual.

Table 4 Optimum module angle in area

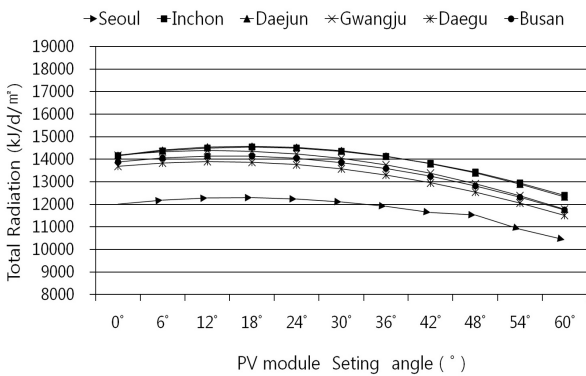
Area	Seoul	Inc hon	Dae jun	Gwa ngu	Dae gu	Bu san
Angle	$I_d$ [kJ/d/m <sup>2</sup> ]					
20°	12749	14377	14836	14787	14227	13857
22°	12810	14464	14941	14862	14304	13939
24°	12861	14539	15032	14925	14369	14010
26°	12902	14603	15111	14976	14423	14070
28°	12934	14654	15178	15015	14466	14118
30°	12956	14694	15231	15041	14497	14156
32°	12968	14722	15272	15055	14517	14183
34°	12971	14739	15301	15057	14526	14198
36°	12963	14745	15317	15047	14524	14203
38°	12946	14740	15320	15025	14511	14196
40°	12919	14724	15310	14990	14488	14177
42°	12883	14695	15288	14944	14453	14147
44°	12836	14655	15253	14885	14407	14106
46°	12780	14603	15205	14814	14350	14053
48°	12715	14539	15145	14731	14282	13990
50°	12640	14464	15072	14636	14202	13914



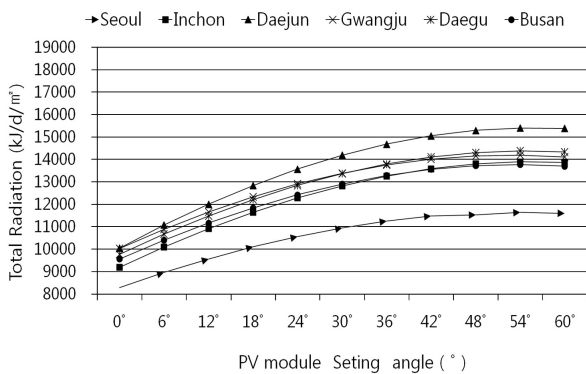
(a) Total radiation for 1/4 quarter



(b) Total radiation for 2/4 quarter



(c) Total radiation for 3/4 quarter



(d) Total radiation for 4/4 quarter

Fig. 5 Quarterly total radiation in area.

Table 5 Quarterly optimum module angle

Area	Optimum module angle(°)			
	1/4 quarter	2/4 quarter	3/4 quarter	4/4 quarter
Seoul	48	12	16	52
Inchon	50	14	18	56
Daejun	52	16	18	56
Gwangju	50	12	12	52
Daegu	50	12	12	54
Busan	52	14	14	54

Table 6 Compare between PV module method

Area	PV module method	$I_d$ [kJ/d/m <sup>2</sup> ]	Percent(%)
Seoul	Fixed	12971	+2.3
	Variable	13265	
Inchon	Fixed	14745	+2.4
	Variable	15093	
Daejun	Fixed	15320	+2.6
	Variable	15723	
Gwangju	Fixed	15047	+2.9
	Variable	15490	
Daegu	Fixed	14525	+2.7
	Variable	14924	
Busan	Fixed	14196	+2.9
	Variable	14603	

을 할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 1/4분기에는 광주가 대전에 비해 연평균 수평면 전일사량이 낮음에도 불구하고 PV 모듈의 경사각에 관계없이 일평균 일사량이 가장 높게 나타났다. 이는 이시기에 광주가 다른 지역에 비해 기상 조건과 관련하여 상대적으로 작은 운량 때문에 지표면에 도달하는 태양에너지가 크기 때문이다.

#### 4.4 PV 모듈별 일사량 분석

고정식 PV 모듈 및 가변형 PV 모듈의 최적안 적용에 따른 일사량 차이를 Table 6에 나타낸다.

지역별로 최소 2.3% 최대 2.9%의 일평균 일사량이 차이가 나는 것으로 나타났다. 특히 서울의 경우 분기마다 최적안으로 조절이 가능한 가변형 PV 모듈 적용시 고정식 PV 모듈에 비해 일평균 일사량이

2.3% 증가 하는 것으로 나타났는데, 이는 동일한 고정식 PV 모듈에서 경사각을 최적인 34°로 설치할 경우와 이보다 16°도 낮은 18°로 설치한 경우에 PV 모듈이 받는 일평균 일사량 차이와 같은 값이다. 따라서 가변형 PV 모듈의 설치시 상대적으로 많은 전력생산이 가능할 것으로 예상된다.

그러나 루버와 같은 차양시설에 설치할 경우 총면적에서 생산되는 전력량에 따른 효율성을 고려할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

방위각 및 경사각을 고려한 지역별 태양광 모듈 배치안 검토에 관한 결론은 다음과 같다.

(1) 지역별 PV 모듈 배치의 최적 방위각 분석결과 표준시 자오선 동경 135°를 기준으로 작성된 기상데이터의 사용시 표준시와 태양시 사이의 시간각을 고려하여야 하며, 보다 정밀한 방위별 일사량 분석을 위해서는 태양시로 작성된 기상데이터의 사용이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 연중 고정된 PV 모듈의 사용시 최대 일평균 일사량을 받는 지역별 최적 경사각은 34°~38° 범위로 나타났으며, 분기마다 각도 조절이 가능한 가변형 PV 모듈의 최적 경사각은 태양의 고도가 다소 높은 2/4분기, 3/4분기의 경우는 12°~18°, 다소 낮은 1/4분기, 4/4분기에는 48°~56°로 나타났다.

(3) 고정식 PV 모듈과 가변형 PV 모듈의 최적안 분석에 따른 일평균 일사량 대조결과 가변형 PV 모듈의 경우 일평균 일사량이 고정식 대비 약 2.5% 증가하는 것으로 나타나 효율적인 전력생산이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 루버와 같은 차양시설에 가변형 PV 모듈을 설치할 경우에는 총면적에서 생산되는 전력량에 따른 경제성을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

(4) 본 연구에서는 지역(지점)별 기상 데이터를 사용하여 일사량을 분석하였다. 향후에는 한반도를 위도 및 경도 단위로 분할하여 전지역에 대한 PV 모듈 설치 가이드라인을 제시하고, 전력생산량에 따른 경제성을 검토하고자 한다.

## 후 기

본 논문은 2010학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음. 본 논문은 2011년 정부(교

육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 2011-0020027). 본 논문의 일부는 2011년도 한국태양에너지학회 추계학술발표대회에서 발표되었음.

## 참고문헌

1. Jeong, S. W., Park, K. C., and Seo, J. H., 2010, Design of Energy System for Minimizing Primary Energy Consumption of Apartment House Using Energy Simulation, Journal of Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 12, No. 1, pp. 253-260.
2. Sadohara, S., 1984, A survey on energy consumption in housing complex in Tokyo : part 2 analysis of hot water consumption, Summaries of technical papers of annual meeting, AIJ, pp. 641-642.
3. Jo, D. K., Yun, C. Y., Kim, K. D., and Kang, Y. H., 2010, Revaluation of domestic solar radiation data on inclined surfaces for all directions by field measurement, Proceedings of the KSES Spring Annual Conference, pp. 200-203.
4. Park, S. H. and Seo, J. H., 2011, A study on the optimum selection of placing photovoltaic module in the metropolitan city using a TRNSYS, Proceedings of the KSES 2011 Autumn Annual Conference, pp. 297-302.
5. Cho, Y. U., Kim, Y. I., and Chung, K. S., 2011, A study of collector slope angles for acquiring maximum solar radiation for various periods, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 23, No. 7, pp. 477-482.
6. Gang, S. Y., 2003, Design and simulator development of stand-alone PV system, MS thesis, Chonnam University, Gwangju, Korea.
7. TRNSYS 17(Transient System Simulation Program, 2011, Solar Energy Lab, Rep., University of Wisconsin-Madison.
8. Jee, J. B., Choi, Y. J., and Lee, K. T., 2011, The development of the solar-meteorological resources map based on satellite data on Korean peninsula, Proceedings of the KSES 2011 Autumn Annual Conference, pp. 342-347.