

TRNSYS를 이용한 지역별 고정형 태양광모듈 배치안 검토

박성현*, 서장후**

*조선대학교 건축학부, 학부생(park4mm@nate.com),

**조선대학교 건축학부, 조교수(seo@chosun.ac.kr)

A Study on the Optimum Selection of Placing Photovoltaic Module In the Metropolitan City Using a TRNSYS

Park, Sung-Hyun*, Seo, Jang-Hoo**

*Dept. of Architecture, Chosun University(park4mm@nate.com),

**Dept. of Architecture, Chosun University(seo@chosun.ac.kr)

Abstract

In this study ,used Trnsys and will apply metropolitan city distinguishes, fixations and BIPV systems the photovoltaic module arrangement environment which receives solar radiation quantity plentifully from the case design process which and most the outcome value simulation did analyzed.. The climate data uses each metropolitan city distinguishes 20 average weather data, With measured values of horizontal solar radiation The error scope appeared with 0.1%~6.7%.Variable of module arrangement Azimuth and angle of inclination of module and comparison group Module on due south direction angle of inclination 45° day time set with the yearly average solar radiation quantity which receives. The result When the case comparison group which arranges a solar storehouse module with optimum environment and comparing until the minimum 1.4% - maximum 10.9% the solar radiation quantity difference appears with the thing, metropolitan city distinguishes considers the case solar radiation quantity which will arrange a photovoltaic module and that must establish with optimum environment judges.

Keywords : 일사량(Amount of Solar Radiation), 태양광 모듈(Photovoltaic Module), 건물일체형태양광시스템(Building Integrated Photovoltaic System)

기 호 설 명

R_{ϕ_1}	: 방위각 ϕ_1 에서의 일사량 (W/m^2)
R_{β_1}	: 고도각 α_1 PV 경사각 α_2 에서의 일사량 (W/m^2)
R_{max}	: 표준상태 일사량 ($1kW/m^2$)
ϕ_1	: 태양의 방위각 ($^\circ$)
α_1	: 태양의 고도각 ($^\circ$)
α_2	: PV 모듈 설치각 ($^\circ$)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근, 화석연료 고갈 및 CO₂ 배출, 지구온난화 현상을 줄이기 위한 방안으로 신재생에너지 및 대체에너지의 사용이 증가하고 있다. 이중 태양광 발전시스템은 태양전지에 의해 직접적으로 전기를 생산 할 수 있어 주택과 같은 소규모 건축물에도 적합하다.

고정식, BIPV [Building Integrated Photovoltaic System] 태양광 집열방식의 경우 설계단계에서 결정된 PV 모듈판의 변경이 용이하지 않기 때문에 태양광 발전시스템의 효율을 높이기 위한 고려가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 TRNSYS 시뮬레이션을 이용하여 기후 및 지형조건을 고려한 지역별 고정형 PV 모듈 설치 경사각 및 방위각에 관한 최적안을 검토하고자 한다.

1.2 연구방법 및 절차

전기량 생산을 증가시키기 위한 지역별 PV 모듈 최적설계 과정은 그림 1과 같다. 지역별 기상자료를 수집하고 TRNSYS를 이용하여 실측값과의 오차분석을 한 후, PV 모듈의 경사각 및 방위각별 연평균 최대 일사량을 받는 조건을 찾아 시뮬레이션 한다. 지역별 고정식 PV 모듈의 최적설계를 제시하고 그 결과값을 대조군인 PV 모듈이 정남방향 경사각 45°로 설치되었을 경우의 연평균 일사량과 비교한다.

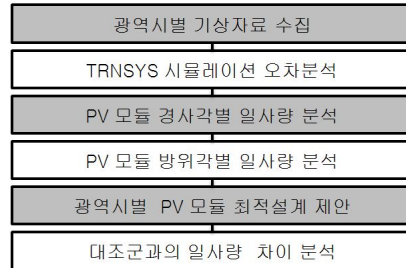


그림 1. 연구의 방법 및 절차

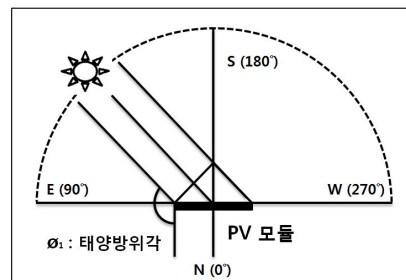


그림 2. 방위각에 따른 일사량 변화

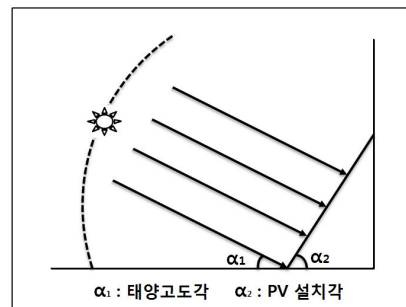


그림 3. 고도각에 따른 일사량 변화

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.

그림 2와 같이 태양이 위치할 때 태양과 PV 모듈은 $\phi_1 - 90^\circ$ 의 각을 이룬다. 그리고 태양과 PV모듈이 법선방향이 된 경우의 일

사량을 표준상태의 값이라고 가정하고 이때의 값을 R_{max} 라 정의하면 이 값은 $1kW/m^2$ 의 광량이 된다. 따라서 태양의 현재 방위각이 ϕ_1 이라면 이때 PV 모듈 면적 수광량은 식 1과 같이 정의할 수 있다.

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

또한 그림 3과 같이 태양이 점선방향으로 움직이고 PV 모듈과 지표면이 이루는 각이 α_1° 인 경우에는 PV 모듈과 태양이 이루는 각이 $(90 - \alpha_1 - \alpha_2)^\circ$ 가 됨으로 이때의 일사량을 계산하면 식 2와 같다.

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

태양은 시간에 따라 PV모듈과 이루는 고도각과 방위각이 동시에 변화기 때문에 식 1과 2를 동시에 만족해야 하므로 고정된 PV모듈의 일사량은 식 3과 같이 정의된다.

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

그러나 이는 태양이 평면상을 움직인다고 가정한 경우로 직사광량에 영향을 주는 태양과의 거리 및 기상조건이 고려되지 않았다. 이에 본 연구에서는 지역별 지형 및 기상조건을 고려하기 위하여 20년간 실측된 지역별 연평균 수평면 전일사량을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

2.2 지역별 연평균 수평면 전일사량

표 1은 지역별로 실측된 연평균 수평면 총 전일사량 및 경도, 위도 정보이다.

서울특별시의 경우 연평균 총일사량이 $4196MJ/m^2$ 로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 서울의 경우 대기오염으로 인해 PV 모듈에 도달하는 직달일사 및 산란일사량이 감소되었기 때문으로 판단된다.

한반도의 주요도시 위도 분포는 $N37^\circ56'$ 에서 $N35^\circ16'$ 이며, 경도 분포는 $E126^\circ97'$ 에서 $E126^\circ85'$ 이다. 이는 지역별로 태양과 PV 모듈간의 법선을 이루는 경사각 및 방위각이 다름을 나타낸다.

표 1. 지역별 일사량 분포 (86년-05년)

광역시	위도	경도	연평균 총일사량 (MJ/m ²)
서울특별시	N37°56'	E126°97'	4196
인천광역시	N37°45'	E126°70'	4752
대전광역시	N36°35'	E127°38'	4899
광주광역시	N35°16'	E126°85'	4897
대구광역시	N35°87'	E128°60'	4734
부산광역시	N35°18'	E129°07'	4788
울산광역시	N35°53'	E129°31'	4875

표 2. 시뮬레이션 입력조건 및 변수

기후 DATA	86-05년 평균 광역시 기상 자료
Run Time	0h-8760h
Interval	1h
방위각 변수	0°에서 360°까지 15°씩 변화 0°:정남 90°:정동 180°:정북 270°:정서
경사각 변수	광역시별 위도 및 위도±5°, ±10°, ±15°
결과값	연일사량 합계 [MJ/m ²]

표 3. 실측과 시뮬레이션의 오차분석

	TRNSYS [MJ/m ²]	86-05년 실측값 [MJ/m ²]	오차 [%]
서울특별시	4239	4196	1.0
인천광역시	4708	4752	0.9
대전광역시	4794	4899	2.1
광주광역시	4902	4897	0.1
대구광역시	4694	4734	0.8
부산광역시	4678	4875	4.0
울산광역시	4468	4788	6.7

3. TRNSYS 시뮬레이션

3.1 TRNSYS 시뮬레이션 개요

일사량 계산은 TRNSYS Type9c 모듈을 사용하였으며, 시뮬레이션 입력 조건 및 최적설계를 위한 PV 모듈 변수는 표 2와 같다. 기상 DATA는 동일지역의 날씨변화를 고려하여 20년 평균 기상자료를 사용하고 일사량 측정시간은 1시간 단위로 하였으며, 결과값을 연간 총일사량[MJ/m²] 으로 나타냈다. PV모듈의 방위각 변수는 시뮬레이션 시간을 고려하여 360°의 방위각을 15°씩 나누어 총

24개로 하고, 경사각 변수는 해당 지역의 위도 및 위도±5, ±10, ±15 로 총 7개로 설정하였다. 본 연구에서는 PV 모듈은 그 면에 도달하는 일사량을 모두 받는 이상적인 조건으로 가정하였다.

3.2 실측과의 오차분석

표 3은 실측값과 시뮬레이션값을 비교한 결과를 나타낸다. 결과값의 신뢰성 확보를 위해 실측값과 동일한 조건으로 시뮬레이션한 후 결과값을 비교하였다. 그 결과 최소 오차 0.1%, 최대 오차 6.7%, 표준편차 2.45% 로 시뮬레이션값과 실측값이 거의 유사한 경향을 보였다. 한반도의 동쪽에 위치한 울산과 부산에서의 오차는 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 동절기에 수평면 전일사량이 큰 울산과 부산의 경우 TRNSYS의 Type9c 모듈에서 이상기후로 인식하고 재계산 하여 수평면 전일사량 평균값이 변경되었기 때문으로 판단된다.

4. 광역시별 PV 모듈 배치의 최적안 분석

4.1 PV 모듈 방위각에 따른 일사량 분석

PV 모듈의 방위각 변화에 따른 지역별 연간 총 일사량을 표 4에 나타낸다. 이 때 PV 모듈의 경사각은 지역별 동일하게 45°로 설정하였다.

지역에 관계없이 PV 모듈의 방위각이 N(북쪽)에 가까울수록 태양으로부터 받는 PV 모듈의 직사광량이 줄어들어 연간 총일사량이 감소되는 것으로 나타났다.

서울을 기준으로 좌측에 위치한 인천광역시의 경우 PV 모듈의 방위각이 북서 15°인 경우 연간 총일사량이 높게 나타났고, 좌측에 위치한 대전, 대구, 부산, 울산광역시의 경우는 PV 모듈의 방위각이 북동 345°~315°인 경우 연간 총일사량이 높게 나타났다. 이는 지역별 경도가 다르므로 인해 동시간대에 남중고도가 달라 태양으로부터 받는 직사광량.

표 4. PV 모듈 방위각별 연간 총 일사량 [MJ/m²]

PV모듈 방위각	서울	인천	대전	광주	대구	부산	울산
0°[N]	4665	5296	5481	5412	5193	5073	4813
15°	4655	5332	5311	5384	5073	4938	4470
30°	4576	5288	5071	5293	4888	4733	4108
45°	4442	5174	4799	5147	4670	4501	3805
60°	4255	4983	4485	4931	4414	4237	3524
75°	4033	4735	4159	4672	4144	3964	3288
90°[W]	3783	4438	3826	4373	3867	3687	3078
105°	3518	4103	3493	4046	3588	3412	2890
120°	3251	3746	3179	3710	3710	3152	2730
135°	3001	3391	2903	3385	3385	2923	2607
150°	2793	3075	2696	3103	3103	2749	2543
165°	2664	2867	2624	2932	2932	2665	2561
180°[N]	2605	2758	2681	2878	2878	2663	2660
195°	2621	2758	2843	2932	2932	2737	2851
210°	2713	3016	3161	3104	3104	2916	3169
225°	2889	3115	3483	3379	3379	3215	3603
240°	3111	3407	3893	3696	3716	3553	4044
255°	3358	3719	4304	4025	4056	3901	4455
270°[E]	3611	4030	4684	4345	4381	4235	4808
285°	3861	4328	5016	4639	4673	4534	5079
300°	4095	4598	5283	4897	4918	4787	5251
315°	4308	4842	5474	5115	5104	4981	5315
330°	4477	5034	5570	5270	5211	5093	5260
345°	4603	5192	5570	5373	5240	5127	5089

표 5. PV 모듈 경사각별 연간 총 일사량 [MJ/m²]

지역	서울	인천	대전	광주	대구	부산	울산
위도	N37°56'	N37°45'	N36°35'	N35°16'	N35°87'	N35°18'	N35°53'
-15°	4675	5262	5398	5397	5175	5029	4794
-10°	4712	5316	5469	5455	5228	5089	4844
-5°	4726	5344	5512	5486	5255	5123	4871
±0°	4728	5345	5525	5488	5257	5131	4873
+5°	4687	5319	5510	5463	5233	5114	4852
+10°	4635	5266	5466	5410	5183	5071	4808
+15°	4561	5187	5393	5329	5108	5003	4740

* ±0°, ±10°, ±15° 는 해당지역의 위도를 기준으로 함

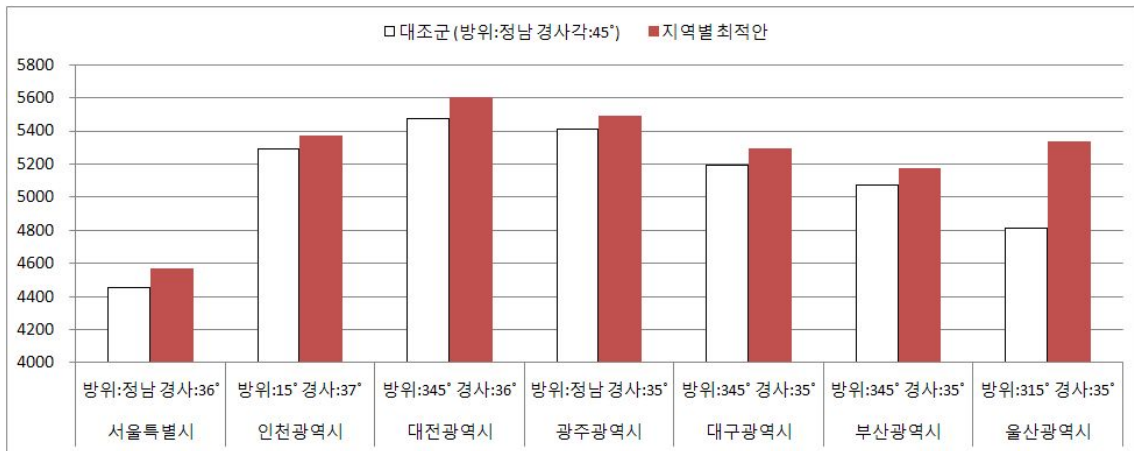


그림 4. 지역별 PV 모듈 배치 최적안 적용후 일사량 비교 (MJ/m²)

이 차이가 나기 때문이다.

4.2 PV 모듈 경사각에 따른 일사량 분석

PV 모듈의 경사각 변화에 따른 지역별 연간 총 일사량을 표 5에 나타낸다. 이 때 PV 모듈의 방위각은 지역별 동일하게 정남방향으로 설정하였다. 광역시에 관계없이 그 지역의 위도와 동일하게 PV 모듈의 경사각을 설정하였을 경우 연간 총일사량이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 PV 모듈의 경사각이 그 지역의 위도와 동일할 경우 태양과 법선을 이뤄 태양으로부터 받는 직사광량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 따라서 45° 경사각으로 이루어진 기존의 고정형 PV 모듈은 지역에 관계없이 최대효율을 가지지 못할 것으로 판단된다.

4.3 최적안 검토에 따른 일사량 비교

지역별 가장 이상적으로 PV 모듈을 배치할 때의 연간 총일사량과 그 값을 대조군 (방위각:정남 경사각:45°) 과 비교한 결과는 그림 4와 같다. 대조군과 비교 결과 최적안 도입 후 100MJ/m² 이상의 연간 총일사량의 차이를 보였다. 그러나 울산의 경우 약 11%로 평균 2.5% 차이를 보이는 다른 광역시에 비해 TRNSYS 시뮬레이션의 분석값의 정확성이

다소 떨어짐을 알 수 있다. 이는 첫째로, 울산 기상 DATA 자료의 수집기간이 짧아 편차가 다소 크며, 둘째로 Type9c 모듈에서는 산란일사 및 기상을 고려하지 않았기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

고정형 및 BIPV 시스템 도입을 위한 설계 단계에서의 지역별 PV 모듈 배치안 검토에 관한 결론은 다음과 같다.

- (1) 일사량 계산의 정확성을 위하여 20년간 실측된 광역시별 기상DATA를 사용 하였으며, Type9c 모듈은 실측값과 그 결과값이 거의 유사한 것으로 나타나 산란일사를 고려하여 보정하면 향후 일사DATA 사용 모듈로 결과값에 대한 신뢰성이 높아질 것으로 판단된다.
- (2) PV 모듈의 방위각별 일사량 변화는 서울을 기준으로 좌측에 위치한 도시의 경우 남중고도는 약 남서 15°, 우측에 위치한 도시의 경우 남중고도는 약 북동 15°로 나타났다.
- (3) PV 모듈의 경사각을 해당 설치지역의 위도로 설정한 경우 연간 총일사량이 가장 높을 것으로 예상된다. 그러나 BIPV시스

템의 경우 실제 외벽의 경사각을 40°이하로 낮추는 것은 현실성에 어긋나므로 루버와 같은 차양장치에 BIPV시스템의 PV 모듈을 설치하여 경사각을 조절하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- (4) 본 연구에서는 지역(지점)별 일사량을 분석하였으며, 변수로 PV 모듈의 경사각과 방위각을 설정하였다. 따라서 추후에는 한반도 전체지역의 일사량 분포를 검토하고 각 지역별 기상 DATA를 참조하여 한반도 전체 지역의 효율적인 PV 모듈 배치안에 관한 마인드맵을 제시할 것이다.

후 기

본 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : 2011-0020027)

참 고 문 헌

1. 정석우, 박강철, 서장후, 열부하 계산을 이용한 집합주택의 에너지 저감형 건축설비시스템의 설계, 대한건축학회지회연합논문집, 12권 3호, 2010.
2. 강신영, 소규모 독립형 태양광 발전 시스템 설계 및 시뮬레이터 개발, 박사학위논문, 2003
3. 조던기, 강용혁, PV시스템 설치를 위한 경사면 태양광에너지 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 27권 1호, 2007
4. S Sadohara, 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, p.p.641-642, 1984