

공동주택 단지 배치유형별 PV시스템 최적 설치면적 및 전기부하 기여율 평가 연구

윤종호*, 박재성**, 신우철***

*한밭대학교 건축공학과 교수(jhyoon@hanbat.ac.kr),
(주)이건창호시스템 연구원(mono1023@hanmail.net), *대전대학교 건축공학과 교수(shinuc@dju.ac.kr)

A Study on the Power Saving Fraction of Site Electrical Load depending on the installation area of PV system in Apartment Complex

Yoon, Jong-Ho*, Park, Jae-Sung**, Shin, U-Cheul***

*Dept. of Architectural Eng. Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),
**EAGON Window System(mono1023@hanmail.net),
***Dept. of Architectural Eng. Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr)

Abstract

This study is to investigate an optimal size and position of PV system for apartment complex through the electrical load matching analysis. The 4 types of arrangements of apartment buildings are considered as follows ; —type, alternative —type, ⊏type and ⊐type. We assume that the studied site is composed of 9 buildings. Firstly, solar access evaluation of roof and facade in apartment buildings was performed with the hourly simulations of total received insolation on each surface considering the shading effect of buildings. Electrical load profile of typical Korean apartments were investigated for the load matching analysis. To calculate an annual total PV output, we used MERIT program which is a hourly based load matching tool developed by ESRU. TRY weather data of Daejeon are applied for this analysis.

Result shows that approximately 11% of total electric load of the site can be supplied by the PV system in the case of full installation of PV system at the whole south-face roof area of 9 buildings in this studied apartment complex. Depending on a various installation option of roof and facade area, the possible ratio of PV supply in total electrical load varies from 9% to 42%. Among the 4 arrangement types, the — type revealed the best option for the maximum output of PV system.

Keywords : 공동주택(Apartments), 태양광시스템(Photovoltaic system, PV system), 전기부하(Electric load), 부하 매칭(Load matching), 시뮬레이션(simulation)

1. 서 론

다양한 신재생에너지 시스템 중 태양광 및 태양열 시스템을 공동주택에 적용할 경우,

공동주택은 단독주택과 달리 고층의 인접 건물 밀도가 높기 때문에 근본적으로 태양에너지 시스템을 적용하는데 많은 제약사항이 따른다. 즉, 공동주택은 단지 내 인동간격 및

투고일자 : 2008년 5월 26일, 심사일자 : 2008년 5월 30일, 게재확정일자 : 2008년 6월 20일
교신저자 : 신우철(shinuc@dju.ac.kr)

배치형태, 방위에 따른 단위세대내의 음영영향이 크게 변화되며, 이는 태양열 및 태양광 시스템 적용 시 매우 큰 영향요소가 된다.

본 연구에서는 아파트 배치형태에 따른 주동 외피의 연간 적산일사수열량 분석과 위치에 따른 등급화 및 패턴분석을 통해 공동주택 단지의 종합적인 태양접근성을 평가한 선행연구¹⁾ 바탕으로 단지내 전기부하 분석을 통해 총 부하량 대비 태양광 시스템(PV system)을 통한 공급량을 비교함으로써, 다양한 설치가능 옵션에 따른 최대 공급가능 규모량 판정과 적정 적용부위 선정에 주 목적이 있다.

이를 위해 9개동으로 구성된 20층 규모의 30도 경사각 박공지붕형 고층아파트 단지를 해석대상으로 가정하였으며, 4개 종류의 배치유형을 해석대상으로 고려하였다. 단지는 남향으로 가정하였으며, 대전지역의 시간별 표준기상자료를 해석에 적용하였다.

주동 지붕 및 단위세대의 전면을 대상으로 PV 시스템이 설치가능한 면적을 4개 유형으로 구분하여 설치면적 가용량을 평가하였으며, 이에 따른 PV 발전량을 평가하였다. PV 시스템을 통한 연간 전기 발전량은, 시간별 부하매칭 프로그램인 영국 ESRU의 MERIT 프로그램²⁾을 통해 산출하였다. MERIT의 경우 인접동에 의한 음영영향을 고려하지 못하기 때문에, 동일조건에서의 태양접근성 평가에 대한 선행연구¹⁾ 결과를 이용해 수정계수 형태로 세대 위치별 음영의 영향을 고려하였다. 문헌 고찰을 통해 국내 공동주택의 전기 총부하량을 설정한 후, 다양한 대안조건에 따른 PV 생산량을 비교함으로써 공동주택에 공급가능한 PV 시스템의 신재생에너지 기여율을 평가하였다.

2. PV 시스템 설치 가용면적 및 평가방법

2.1 해석대상 배치유형 및 단위동의 PV모듈 적용 범위

태양광 시스템을 적용하기 위한 기준모델이 되는 공동주택 단지는 그림 1에서 보는 바와 같이 4가지 배치형태로 하였으며 향은 정남향으로 제한하여 분석을 수행하였다.

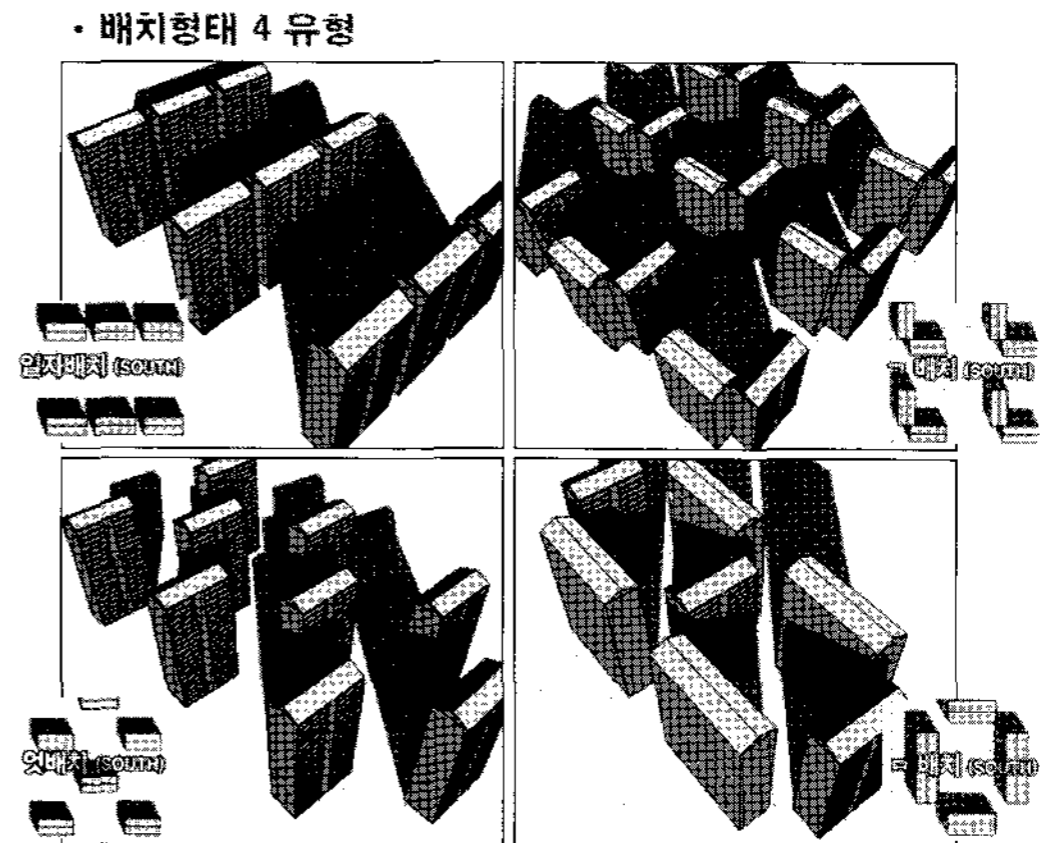


그림 1. 공동주택 배치형태 유형화

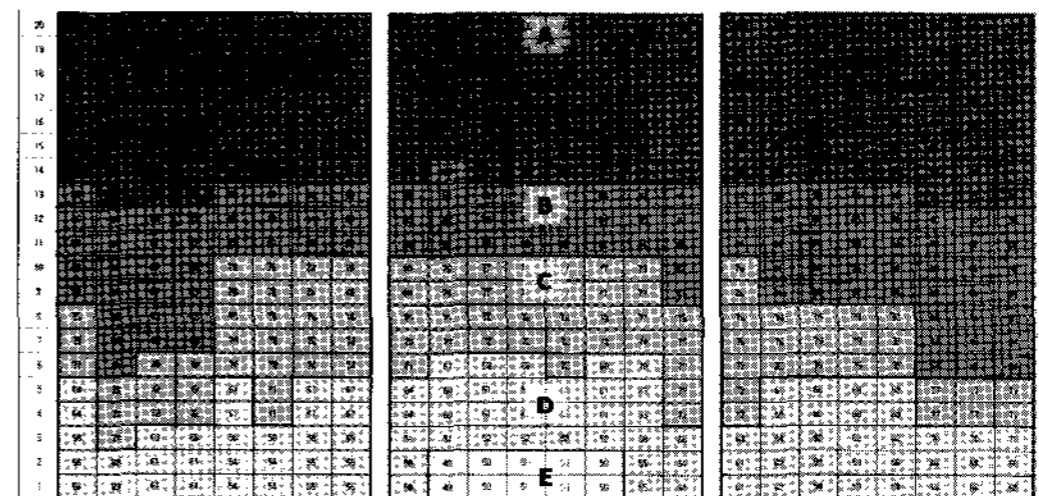


그림 2. 선행연구의 일사수열등급화 예시

한편, 주동의 수직벽면을 총 168개의 그리드로 분할해 각 셀의 일사수열량 중 가장 큰 일사수열면을 기준으로 그림 2와 같이 10% 간격의 5개 구간영역으로 구분하여 음영영향을 평가에 기준하여, 본 연구에서는 수직벽면에 대하여 최상부의 최대일사수열량을 100으로 보았을 때 91~100% 부분을 A등급, 81~90% 부분을 B등급으로 하여 A 및 B 등급에 해당되는 세대에 PV 시스템을 적용하는 것으로 가정하였다.

2.2 PV모듈 설치가능 면적 산정

공동주택에 태양광 시스템을 적용하기 위해서

1) 윤종호, 박재성, 「공동주택의 배치형태 및 방위변화에 따른 주동 전면부의 태양접근성 평가」 대한건축학회 논문집,

는 PV모듈을 설치할 수 있는 부위를 결정해야 할 것이다. 본 연구에서는 설치가능면적으로 그림 3과 같이 지붕면(R)과 수직벽면의 세대와 세대간의 불투명 외벽부위, 각 세대의 투명 발코니 부위에 적용하는 것으로 가정하였다.

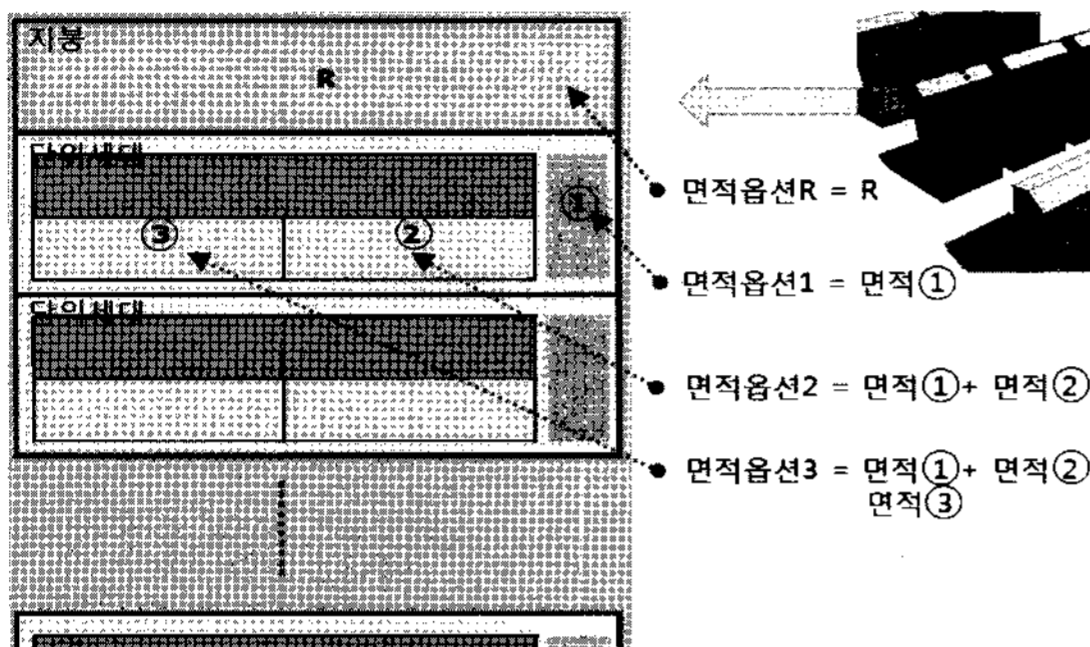


그림 3 단위주동 도해 및 면적옵션

표 1. 지붕 및 수직벽면 PV 설치가능면적(m²)

(단위: m ²)		단위 세대	단위 주동	단지 전체
	세대수		1	40
바닥면적		131	5,223	47,011
면적옵션 R	유효지붕면적	006	121	1,001
수직벽면	전면면적	38.7	1,550	13,948
	전면창면적	22.1	883	7,949
	전면창면적1/4	5.5	221	1,987
	③전면창면적1/2	11.0	442	3,974
면적옵션 1	①전면유효벽면적	4.7	187	1,687
면적옵션 2	면적 ①+②	10.2	408	3,675
면적옵션 3	면적 ①+②+③	15.7	629	5,662

표 1에 나타난 바와 같이 단위주동의 30도 경사각 박공지붕 남측면 면적은 약 186.6m²이다. PV 시스템이 실제 설치될 수 있는 가용 유효면적비를 65%로 가정할 경우 지붕에 설치 가능한 PV모듈의 면적은 121m²이다. 또한, 수직벽면에 설치할 수 있는 면적은 세대와 세대 사이의 불투명 외벽과 각 세대의 발코니 부위로써 본 연구에서는 이를 면적옵션 1, 2, 3의 세가지 영역으로 구분하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 면적옵션 1은 세대와 세대 사이의 외벽으로 그 면적은 세대당 약 4.7m²로 동단위로 환산하면 약 187m²가

된다. 또한, 면적옵션 2는 발코니 샷시의 1/4에 해당되는 면적과 면적옵션 1을 합산한 면적으로 각 세대당 약 10.2m², 동단위로는 약 408m²가 되며 면적옵션 3은 발코니 샷시의 하부 1/2에 해당되는 면적과 면적옵션 1을 합산한 면적으로 각 세대당 약 15.7m², 동단위로는 약 629m²가 된다.

이 때, 수직벽면 설치영역인 면적옵션 1, 2, 3은 앞서 언급한 바와 같이 일사량 및 일사수열면적을 등급화한 결과를 나타낸 선행연구를 토대로 하여 일사수열이 가장 양호한 A등급과 B등급 영역에 대하여만 PV모듈을 설치하는 것으로 가정하였다(그림 2 참조). 따라서 수직벽면의 설치 가능한 최종 면적은 배치유형에 따른 A, B등급의 영역면적이 틀림으로, 동 배치유형에 따라 각각 다르게 적용된다.

2.3 단위세대 부하 및 분석방법

단지규모의 태양광 시스템 부하매칭을 위한 첫 번째 단계는 단위세대, 동 및 전체 단지의 전기부하 변동 프로파일이 결정되어야 한다. 이때, 시간별 부하패턴으로 설정되는 것이 매시간 일사량 및 외기조건 등에 따라 전기 생산량을 산출하고 시간별 부하 충족여부를 판정할 수 있어 바람직할 것이다. 본 연구에서는 전기사용량에 대한 실측 선행연구 결과²⁾를 기준하여 단지내 전기부하에 대한 시간별 프로파일 및 연간 부하량을 산출하였다. 표 2는 실측조사를 통한 주거용 가전기기 제품별 조사 결과를 나타내며, 본 연구에서는 각각의 가전기기 사용패턴에 대한 선행연구 결과를 취합하여 연간 시간평균 전기부하 프로파일 및 연간 부하량을 작성하였다.

분석 결과 1개동 전체의 총 전기부하는 129,863 kWh/yr, 1개 단위세대의 연간 총 전기소비량으로 환산할 경우 3,247 kWh/세대,yr로 일반적인 세대의 표준 전기에너지 소비량 조사 결과값³⁾ 2,900 kWh/세대,yr과 비교하였을 경우

2) 내부발열 및 일사가 없는 상태로 가정, 외기노출 측벽 및 옥상층 지붕면 열손실 무시

3) 한국전력공사, 2006년도판 가전기기 보급률 조사, 2006년

약 10%의 오차를 나타내었다. 본 연구에서는 이 값을 단지의 총 전기부하 기준값으로 설정하였다.

PV 모듈을 통한 연간 전기 발전량 산출을 위해 영국 ESRU의 MERIT 프로그램을 사용하였으며, 기상자료는 대전지역 표준기상 자료를 적용하였다. PV모듈은 앞서 정의한 지붕면 및 면적옵션 1, 2, 3 각각에 대해 적용하였으며, 또한, 이를 배치 유형별로 별도 적용하였다. 적용한 PV 모듈은 정격출력 50Wp, 면적 0.48m², 효율 11%의 다결정 태양전지 모듈을 적용하였다.

표 2. 각 가전제품별 전기부하(kWh/yr)

오디오	2.314187
헤어드라이기	120.1057
다리미	225.6393
조명기구	1053.873
전자레인지	117.937
냉장고	256.9144
전기밥솥	1181.105
텔레비전	132.7827
진공청소기	135.2646
개인용컴퓨터	11.15795
세탁기	9.483534
계	3246.577

MERIT의 경우 입력된 시간별 기상자료에 근거해 방위각 및 경사각과 PV모듈의 사양에 따라 시간별 발전량을 계산한다. 이때, 온도에 따른 PV모듈의 보상은 고려되는 반면, 음영에 대한 영향은 고려하지 못한다.

인접건물의 음영 영향에 따른 PV발전량 변화 평가는 PV모듈의 설치위치에 따라 매우 다양하게 변화되기 때문에 이에 대한 영향을 각각 고려하는 정밀 해석은, 본 연구와 같이 단지규모 가용량 평가 성격에는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 MERIT을 통해 도출된 연간 PV발전량 결과에 PV모듈의 설치위치에 따른 연평균 음영계수값을 적용해 음영영향에 고려를 반영하였다. 고려방법은 지붕면 설치의 경우 음영영향이 없으므로 수정계수 1을 곱해주며, 수직벽면

에 설치할 경우 음영 A등급 영역에 설치한 경우는 구간 평균인 0.95를, B등급 영역은 0.85를 각기 음영 수정계수의 형태로 MERIT을 통한 연간발전량 계산결과에 곱해주었다.

3. 단지규모 PV 전기부하매칭 평가 결과

3.1 각 동별 PV시스템 부하매칭 평가 결과
표 3은 一자형 배치를 대상으로 좌, 중, 우측 동에 대해 결정계 PV 모듈을 적용할 경우 생산 가능한 발전량의 시뮬레이션 결과를 종합한 결과이다.

3x3열의 9개동 가운데 최남측 3개동의 경우 일사수열을 방해하는 인접동이 없으므로 전방에 인접동이 있는 중간 열 3개동에 대하여 분석을 실시하였다. 면적옵션은 지붕 및 면적옵션 1, 2, 3까지 변화시켰으며, 음영등급에 따른 적용세대의 범위도 A등급과 B등급으로 변화시켜 다양한 조건에 대해 해석을 수행하였다.

시뮬레이션을 통해 도출된 각 조건별 PV 총발전량을 1개동의 총부하량으로 나누어 1개동의 전기부하에 대한 태양광 시스템의 전기부하 분담율을 산출하였다. 예들 들어 좌측동 A등급 영역 세대만을 대상으로 면적옵션 1 부위에 PV모듈을 적용할 경우 총 전기부하에 대해 약 7,748 kWh/yr로 약 6%를 태양광으로 분담할 수 있음을 나타내며, 동일 조건에서 음영등급 B세대를 대상으로 면적옵션 1에 PV모듈을 설치할 경우는 약 3.1% 정도를 기여할 수 있는 것으로 나타났다.

동위치에 따른 차이는 A등급 면적옵션 1 영역의 경우 좌우측 동은 약 6%를, 중앙동은 약 5.6%를 나타내 큰 차이를 나타내지 않은 반면, 상대적으로 낮은 층에 위치하는 B등급의 경우는 동 위치에 따라 다소 큰 편차를 나타내었다. 한편 우리나라의 위도상 최적 설치각도라 할 수 있는 30도 경사 지붕에 PV모듈을 설치할 경우 정남향 조건에서 단지 전체 전기부하의 약 11.1%를 태양광으로 분담할 수 있는 것으로 나타났다. 물론 이는 20층규모의 본 해석조건에서 가정한 단지를 대상으로한 결과이다.

표 3. PV설치조건별 전력생산량 및 전기부하분담율
(- 자형배치, 정남향)

동위 치	일사수열등급	설치 위치	동단위 설치가능 면적(m ²)	생산량 (kWh/yr)	전기 부하 분담율
좌측동	A등급	ROOF	121.2	14,381.6	11.1%
		옵션1	69.3	7,748.7	6.0%
		옵션2	150.5	16,842.7	13.0%
	B등급	옵션3	231.6	25,936.6	20.0%
		옵션1	42.3	4,025.02	3.1%
		옵션2	91.8	8,736.12	6.7%
	계(A,B 옵션1)	옵션3	141.3	13,447.22	10.4%
	계(A,B 옵션2)	옵션1	151.6	11,774	9.1%
	계(A,B 옵션3)	옵션2	329.0	25,579	19.7%
	계(A,B 옵션3)	옵션3	506.3	39,384	30.3%
중앙동	A등급	ROOF	121.2	14,381.6	11.1%
		옵션1	64.6	7,264.4	5.6%
		옵션2	140.3	15,712.7	12.1%
	B등급	옵션3	215.9	24,214.7	18.6%
		옵션1	41.1	3,933.55	3.0%
		옵션2	89.3	8,644.65	6.7%
	계(A,B 옵션1)	옵션3	137.4	13,081.31	10.1%
	계(A,B 옵션2)	옵션1	137.5	11,198	8.6%
	계(A,B 옵션3)	옵션2	298.4	24,357	18.8%
	계(A,B 옵션3)	옵션3	459.2	37,296	28.7%
우측동	A등급	ROOF	60.6	14,381.6	11.1%
		옵션1	69.3	7,748.7	6.0%
		옵션2	150.5	16,842.7	13.0%
	B등급	옵션3	231.6	25,936.6	20.0%
		옵션1	51.7	4,939.77	3.8%
		옵션2	112.2	10,702.86	8.2%
	계(A,B 옵션1)	옵션3	172.7	16,465.97	12.7%
	계(A,B 옵션2)	옵션1	150.4	12,688	9.8%
	계(A,B 옵션3)	옵션2	326.4	27,546	21.2%
	계(A,B 옵션3)	옵션3	502.4	42,403	32.7%

PV모듈을 최대로 설치할 수 있는 조건인 면적옵션 3, 그리고 일사수열 A, B등급 세대 모두에 적용할 경우 좌측동 전면에 총 약 506.3m²의 PV모듈이 설치 가능하며 이때 전력생산량은 약 39,384 kWh/yr로 태양광 시스템의 전기부하 분담율은 약 30.3%로 평가되었다. 또한, 중앙동의 경우 약 459.2m²에 PV모듈 약 957대가 설치 가능하며 이때의 생산량은 약 37,296 kWh/yr, 태양광 시스템의 전기부하 분담율은 약 28.7%로 나타났으며, 우측동의 경우에는 약 502.4m²에 PV모듈 약 1,047대가 설치 가능하며 이 때의 생산량은 약 42,403kWh/yr, 태양광 시스템의 전기부

하분담율은 약 32.7%로 나타났다.

3.2 단지규모 PV시스템 부하매칭 결과

표 4는 면적옵션 변화에 따라 단지규모의 태양광시스템을 통해 생산할 수 있는 총 전기량 및 이때의 태양광 시스템의 전기부하 분담율을 산출한 결과이다. 단, 표 4의 결과에서 최남측 3개동은 인접건물이 없는 것으로 가정하였으며, PV 생산량은 PV를 설치하였을 때 후방 6개동과의 동일한 입면디자인을 고려하여 동일한 부위에 동일한 규모의 PV를 적용하는 것으로 하였다.

표 4. 단지규모 PV시스템 부하분담율 계산결과(-자형)

면적	구분		총부하	PV생산량 (kWh/yr)	전기부하 분담율
	지붕	벽면			
면적 옵션 1	지붕	9개동	1,168,768	129,435	11%
	벽면	후방 6개동	779,178	71,320	9%
		최남측 3개동	389,589	35,676	9%
		9개동	1,168,768	106,997	9%
지붕+벽면		1,168,768	236,431	20%	
면적 옵션 2	지붕	9개동	1,168,768	129,435	11%
	벽면	후방 6개동	779,178	154,963	20%
		최남측 3개동	389,589	77,648	20%
		9개동	1,168,768	232,612	20%
지붕+벽면		1,168,768	362,046	31%	
면적 옵션 3	지붕	9개동	1,168,768	129,435	11%
	벽면	후방 6개동	779,178	238,165	31%
		최남측 3개동	389,589	118,813	30%
		9개동	1,168,768	356,978	31%
지붕+벽면	9개동	1,168,768	486,413	42%	

수직벽면에 최대로 설치할 수 있는 면적옵션 3 조건에, 일사수열등급 A+B 영역에 PV 시스템을 적용할 경우 연간 전력생산량은 약 238,165 kWh/yr로 평가되었다. 후방 6개동에 대한 총 전기부하는 779,178 kWh/yr로, PV 시스템을 통한 전기부하 분담율은 30.6%로 나타났다. 이를 면적옵션 2와 1로 변화할 때 PV시스템의 전기부하 분담율은 각기 20%, 9%로 줄어든다. 또한 지붕에 태양광 시스템을 적용하였을 경우에는 총 9개동에 대하여 129,435 kWh/yr의 전력을 생산할 수 있으며 9개동 총 부하에 대해 약 11.1%를 분담할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 배치유형별 PV시스템 부하매칭 평가 결과

3장에서 언급한 一자형 배치의 단지규모 PV 전기부하매칭 평가 결과와 동일한 평가과정을 통해 나머지 3개 배치형태(一자형 엇배치, ㄱ자형 배치, ㄷ자형 배치)에 대한 부하매칭평가를 수행하였다.

표 5는 각 배치유형에 따른 PV 시스템의 연간 전력생산량과 총 전기부하 분담율을 나타낸 것이다. 표 5에서 보는 바와 같이 9개동의 총 전기부하에 대해 가장 큰 분담율을 차지하는 배치형태는 一자형 배치의 면적옵션 3으로 42%를 PV에 의해 충당할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 一자형 엇배치 37%, ㄱ자형 배치 33%, ㄷ자형 배치 29%로 나타나 수직벽면에 적용된 태양광 시스템의 전기부하분담율에 따른 최적배치형태는 一자형 배치 > 一자형 엇배치 > ㄱ자형 배치 > ㄷ자형 배치의 순으로 나타났다.

표 5. 배치유형별 PV 시스템 부하매칭 결과(정남향)

	면적옵션1		면적옵션2		면적옵션3	
	PV생산량 (kWh/yr)	부하 분담율	PV생산량 (kWh/yr)	부하 분담율	PV생산량 (kWh/yr)	부하 분담율
一자형 배치	236,431	20%	362,046	31%	486,413	42%
一자형 엇배치	221,318	19%	329,092	28%	436,100	37%
ㄱ자형 배치	207,320	18%	298,717	26%	390,006	33%
ㄷ자형 배치	64,357	17%	89,121	23%	114,045	29%

5. 결 론

최근 PV시스템의 건물 보급 사례는 단독주택 및 공공건물에 이어 공동주택까지 확대되고 있는 추세이다. 하지만 공동주택의 경우 인접동에 의한 음영영향 및 가용 설치면적의 제한 등으로 인해 태양열 및 태양광 시스템의 설치여건이 단독주택과는 상이하다. 따라서 본 연구에서는 인접 동간의 음영영향을 고려하고, 주동의 다양한 배치유형에 따른

PV시스템의 설치 가용면적 및 이에 따른 연간 발전량을 평가함으로써 국내 공동주택에서 현실적으로 설치가능한 PV시스템의 설치 규모를 예측해 보고 이에 따른 단지 총 전기부하 대비 분담율을 평가하였다. 20층의 남향 9개동이 3x3열로 배치된 공동주택 단지(동별 360세대, 연면적 7,462m²/동)를 배치유형별로 4가지로 구분하여 평가한 핵심 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 지붕 및 음영등급 A+B의 수직벽면에 PV시스템을 설치할 경우, 단지 총 전기부하에 대한 PV시스템의 분담율이 가장 큰 배치형태는 정남향의 一자형 배치로 나타났다.
- 지붕에만 설치할 경우 연간 전력생산량은 129,435kWh/yr로 전기부하분담율은 약 11%로 나타났으며, 벽면 설치시 면적옵션 중 가장 큰 면적을 갖는 면적옵션 3으로 설치할 경우 분담율은 약 31%로 나타났다. 또한 지붕면과 수직벽면 모두에 태양광 시스템을 설치하였을 때는 약 42%를 충당할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 공동주택의 지붕 및 수직벽면에 대한 일사수열량을 평가한 선행연구에 이어 일사수열이 양호한 특정부위에 태양광 및 태양열 시스템을 적용하였을 경우 각 세대 및 단지내의 전기 및 열부하에 대한 분담율을 분석하여 공동주택에 적정 규모의 태양광 및 태양열 시스템 적용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다.

이 논문은 2005년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음

참 고 문 헌

1. 박재성 외, 동절기 음영면적비를 이용한

공동주택 배치유형별, 세대별, 방위별 일조환경 평가 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집. 2006. 4

2. www.esru.strath.ac.uk

3. 한국전력거래소, 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사, 한국전력거래소 보고서, 2004. 12