



## 공동주택 단지의 실질 자립률 향상을 위한 태양광 모듈의 배치 프로세스 제안

### *Installation Process Proposal of Apartment PV Modules for Improving Real Energy Self-Sufficiency*

조경주\* · 조동우\*\*

Kyungjoo Cho\* · Dongwoo Cho\*\*

\*Main author, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & Department of Architectural Engineering, Yonsei Univ., Seoul, Korea (kyungjoocho@kict.re.kr)

\*\*Corresponding author, Senior Research Fellow, Department of Living and Built Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea (dwcho@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** An optimal plan process of PV modules was proposed for achieving a practical electricity production to create zero energy apartment complex. **Method:** First, a real site was selected and existing data about apartments were analyzed to determine input data of a standard apartment block in Korea such as the number of floors, a floor area ratio, and the number of apartment units. Second, the primary energy demand for the building energy efficiency rating was calculated by conducting a simulation with standard input data for constructing new buildings. Third, the minimum insolation to collect the PV installation cost within an economic period (economic insolation) was calculated by confirming the installation area. As a result, the economic insolation with 25 year payback was calculated to be 500kWh/m<sup>2</sup>·yr. Using Buildit (AI based complex planning simulation tool) various alternatives were planned with the decided data such as a construction area ratio, a floor area ratio. **Result:** Of the plans, the one with the largest total amount of the economic insulations was decided as the final plan, which can provide about 88.5% of the total primary energy demand of the complex.

#### KEYWORD

태양광모듈  
제로에너지  
공동주택

PV module  
Zero Energy  
Apartment Complex

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 28, 2020  
Final revision received Aug. 20, 2020  
Accepted Aug. 24, 2020

© 2020. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

제로에너지건축 의무화 로드맵에 따르면, 2025년부터 연면적 1000m<sup>2</sup>이상의 민간건축물 및 30세대이상의 공동주택은 녹색건축물 조성 지원법에서 정의하는 '제로에너지 건축물'로 설계되고 시공되어야 한다. 그리고 2030년부터는 연면적 500m<sup>2</sup> 이상의 모든 신축 건축물이 이 제로에너지 건축물 인증 대상이 된다[1]. 이 '제로에너지 건축물'로 인증받기 위해서는 ISO13790에 기반한 시뮬레이션 툴 ECO2 프로그램으로 계산된 1차에너지소요량의 20% 이상을 해당 건축물이 생산(이하 자립률)할 수 있도록 설계되어야 한다[2]. 이를 위해 고려되는 신재생에너지원들 중 태양전지(이하 PV)는 상대적으로 용이하게 설치할 수 있는 것으로 평가받는 시스템 중 하나이다[3].

이 PV의 경우 그 모듈이 설치된 각도에 따라 획득할 수 있는 일사의 양이 달라지고 전력 생산량에 큰 차이가 발생하는 한계를 가지므로 최적의 각도로 설치하는 것이 중요하다. 특히, 건물 외피 등에 설치하는 건물일체형 태양광 발전(Building Integrated Photovoltaic 이하 BIPV)의 경우 수직인 건축벽면 등에 마감재처럼 설치되는 경우가 많아 최적의 각도로 설치하는 것이 용이하지 않고 이에 전력생산량도 평지나 지붕설치 케이스에 비해 많이 줄어드는 한계를 가진다[4]. 특히 초고층 공동주택의 경우 지붕면적은 제한되어 있는데 세대

수가 많아 지붕에 PV를 설치하는 것만으로는 목표 자립률을 달성하는 것이 어려울 수 있다[3].

2020년 3월 제로에너지건축물 인증 현황 자료에 따르면, 현재까지 제로에너지 건축물 예비인증을 취득한 공동주택의 자립률은 상대적으로 소규모인 단 한 건을 제외하고 모두 제로에너지건축물 5등급에 해당하는 20~30% 정도였다[5]. 게다가 PV 모듈을 통한 실제 에너지 생산량은 주변 건물로 인한 그림자 등으로 인해 인증을 위해 계산된 생산량과는 크게 다를 수 있다. 가령 주변 구조물로 인해 그림자가 지는 등 발전효율이 낮은 부위에서는 목표하는 발전량이 생산되지 않을 수 있다. 이런 이유로 해당 공동주택 주동의 어느 부위에 PV 모듈을 설치해야 하는지에 대한 연구는 매우 중요하며 이에 대한 프로세스 제안이 필요한 상황이다. 이에 본 연구에서는 제로에너지 공동주택 단지의 실질적인 자립률 달성을 위한 PV 모듈 설치 최적 부위를 도출하는 태양광 모듈 배치 프로세스를 제안하는 것을 목적으로 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

제로에너지 공동주택 단지의 실질적인 자립률 달성이 가능한 태양광 모듈의 최적배치 프로세스를 제안하기 위해 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행되었다.

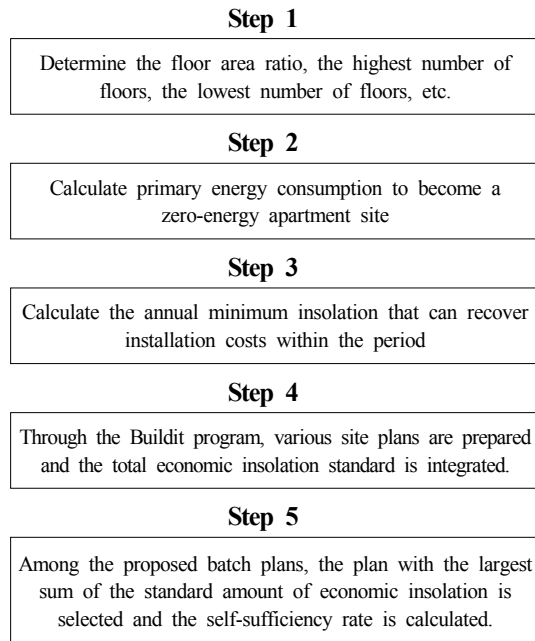


Fig. 1. Research process

① 계획을 수행할 단지를 선택하기 위해 통계 자료 등을 통하여 최근 준공된 신도시 단지의 계획 조건을 조사하고 용적율, 최고 층수, 최저 층수 등을 결정한다.

② 2020년 현재 단열기준에 부합하는 공동주택 단위세대 시뮬레이션을 수행하여 1차에너지소요량을 산출한다. 이를 이전 단계에서 결정한 세대수에 곱하여 제로에너지 단지가 되기 위한 1차에너지생산량을 분석한다.

③ 계획된 단위세대 입면에 PV 모듈 설치 가능면적을 확인하고 설치비를 고려하여 경제적인 기간 내에 설치비용이 회수될 수 있는 연간 최소 일사 기준량(이하 경제적 일사 기준량)을 산정한다.

④ AI 기반 단지계획 시뮬레이션 도구인 Buildit 프로그램을 통해 정해진 용적율과 평면타입으로 다양한 배치안을 작성하고 경제적 일사 기준량을 입력하여 단지 전체 경제적 일사 기준량의 적산을 수행한다.

⑤ 제안된 배치안 중 경제적 일사 기준량의 합계가 가장 큰 안을 선정하고 자립률을 계산한다.

### 1.3. 기존 연구

PV를 공동주택에 적용했을 때 달성가능한 자립률을 분석한 연구는 다수 존재하였다.

2015년에 수행된 한 연구에 따르면, 17% 효율의 PV 모듈을 적용하는 경우 약 10층 규모에서 제로에너지화가 가능한 것으로 분석하였다[6]. 이 연구에서 PV 설치 가능 부위는 창이 있는 부분을 제외한 벽체 4면 모두에 설치하는 것으로 가정하였고, 그 모듈의 사이즈나 경제성이 있는 설치부위 등에 대한 고려는 배제하고 분석을 수행했다는 한계가 있다.

13.5%의 PV 모듈을 적용하고 공용부의 에너지소요량까지 포함한 또 다른 연구의 경우, 공동주택 법적 최저 층수인 5층의 경우도 82%의 자립률을 가지는 것으로 분석하여 공동주택의 100% 에너지

자립은 불가능한 것으로 제시하였다[3]. 이 연구의 경우도 가시성을 고려하여 남측면의 경우 1m 이하만 PV를 설치하는 것으로 하고, 서측의 경우 2m 높이까지 PV를 설치하는 것으로 가정하였다.

PV 모듈만을 이용하여 자립률 100%를 달성할 수 있는 공동주택 층수에 대한 연구도 존재했는데 19.51%의 PV 모듈을 적용했을 때 13층까지 가능한 것으로 분석되었다[7].

실제 사례로는 PV 모듈과 지열히트펌프 등을 사용하여 지상 7층의 공동주택으로 자립률 100%를 달성한 공동주택의 사례가 존재하고[8], PV 모듈만으로 제로에너지인증 1등급을 획득한 8층 공동주택 설계 사례도 존재했다[2].

그 외에도 제로에너지 공동주택을 위한 다양한 기존 연구가 존재하였으나 핵심기술에 관련된 것이거나, 설계변수별 비용효율 등 단일 건물이나 기술에 관한 연구로 분석되었다[9, 10].

## 2. 연구수행

### 2.1. 계획 단지의 조건

먼저 분석 대상이 되는 공동주택 단지 설계를 위한 기초 자료를 수집하였다. 기존 신도시 단지계획 자료를 분석하여 용적율, 최저층, 최고층 등을 결정하였다.

2018년까지 서울 및 경기도에서 준공된 124개의 공동주택 단지를 분석한 결과[11], 용적율은 139%~350%까지로 다양하게 분석되었으나 175%~225% 사이에 약 60%가 분포하여 중간값인 200%를 대상지의 용적율로 설정하였다(Table 1).

최저층 동의 경우, 7층을 최저층 동으로 하는 단지가 20%로 제일 많았으며 그 다음이 18%인 15층이었다. 최고층 동의 경우, 25층이 20%로 제일 많았으며 그 다음이 19%를 차지한 15층이었다.

최저층의 경우 7층과 15층이 약 38%로 다수를 차지하며 비슷한 비율로 존재하고 있기 때문에 7층과 15층의 중간값인 12층을 대상지의 최저층 동으로 하였다.

최고층의 경우 25층과 15층이 약 39%로 다수를 차지하고, 역시 비슷한 비율로 존재하나 층이 높을수록 목표 자립률 달성이 어려워지는 제로에너지 공동주택 단지의 특성상 중간 값이 아닌 25층을 최고층으로 결정하고 일사를 획득하기 가장 합리적인 스카이라인으로 동을 배치하도록 하였다.

계획 대지의 경우 일반적인 신도시 부지와 비슷한 사각형 형태의 실제 공동주택 단지를 선정하였다(Fig. 2.).

Table 1. Analysis of apartment sites in Seoul and Gyeonggi

	Floor area ratio	The lowest number of floors	The highest number of floors
Minimum	139%	-	-
Maximum	350%	-	-
Dominant	145~225%	7F	25F
Determined	200%	12F	25F

2.2. 단위세대의 1차에너지소요량

서론에서 언급한 것과 같이 자립률 산정을 위해서는 1차에너지 소  
요량의 계산이 선행되어야 한다. 이 1차에너지소요량의 계산을 위해  
공동주택 세대 평면계획을 실시하였다.

Fig. 3.에서 확인할 수 있듯이 기준이 되는 본 세대는 주택법에 의  
한 국민주택 규모인 85㎡ 타입[12]이며, PV 모듈에 의한 전력생산량  
을 극대화하기 위해 남향의 판상형 4bay(침실 4개 + 거실 1개)로 계  
획하였다.

단열재를 구조재 외부에 설치하는 외단열 공법이 열교 등으로 인  
한 에너지손실을 막을 수 있는 이상적인 방법이나 현재까지 고층 공  
동주택은 내단열 공법이 지배적이며[13], BIPV 모듈 부착시 후면 단  
열재 등이 손상되는 문제가 발생할 수 있어 본 기준 평면의 경우 내단  
열로 계획하였다. 그 다음 단계로 Table 2.에서 볼 수 있듯이 ECO2  
프로그램의 인풋 데이터를 위한 건물 외피와 설비 등에 대한 계획을  
실시하였다.

외벽의 열관류율은 에너지절약형 친환경주택 건설기준의 중부1  
기준을 따랐으며, 조명밀도 역시 동 기준에 따라 설정하였다[14]. 침  
기울의 경우, 2010~2014년 준공된 487세대 공동주택의 ACH50값  
을 실측한 평균이 2.59였다는 기존 문헌의 결과를 참고하여 2.59로  
입력하였다[15].

열원설비의 경우 ‘효율관리기자재 운용규정[16]’에 따른 소비효  
율 1등급 가스보일러의 최소효율 91%를 적용하였고, 열회수형 환기  
장치의 경우 ‘건축물의 에너지절약설계기준[17]’에 의해 배점 가능  
한 최소 기준인 70% 효율을 가지는 열회수 환기장치의 실제 제품 사  
양을 입력하였다.

단, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준  
에 따라 냉방설비가 설치되지 않는 주거용 건물의 경우 냉방에너지  
에 대한 평가는 제외할 수 있으므로 본 연구에서는 냉방설비에 대한  
평가는 제외하였다[18].



Fig. 2. Aerial photograph of the selected site

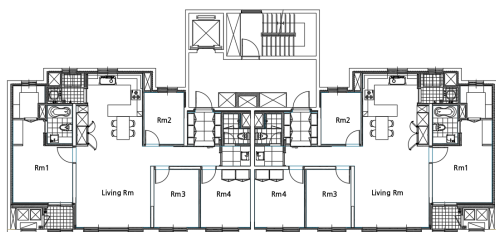


Fig. 3. Zero-Energy Apartment unit plan

Table 2. Input data of Zero-Energy Apartment units

Items		Value
U-Value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Wall	0.15
	Window	0.9
	Bottom	0.15
ACH50	-	2.59
Heat Recovery Ventilation Unit	Heat Recovery Efficiency(%)	70%
	Power(W)	50
	Air flow rate(m <sup>3</sup> /h)	150
Heating	Boiler Efficiency	91%
	Fuel Type	Natural Gas
Lighting	-	8W/m <sup>2</sup>

ECO2로 계산한 등급용 단위면적당 1차에너지소요량을 900세대  
전체의 1차에너지소요량으로 계산하기 위해 식(1)을 적용하였다. 계  
산결과 단지 전체의 자립률이 100%가 되려면 PV는 3,358,800kWh  
의 전력을 생산해야하는 것으로 분석되었다.

$$(PEC \times FA \times UN) / CFE = 3,358,800kWh \quad (1)$$

PEC : Primary energy consumption (93.3kWh/m<sup>2</sup>)

FA : Floor area with expansion (110m<sup>2</sup>)

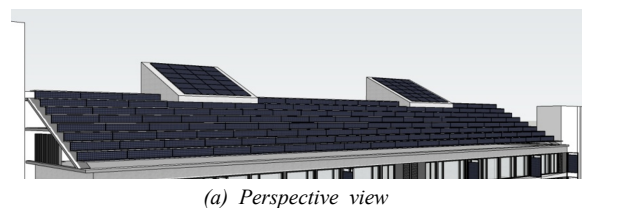
UN : The number of Units (900)

CFE : Primary energy conversion factor for electric energy (2.75)

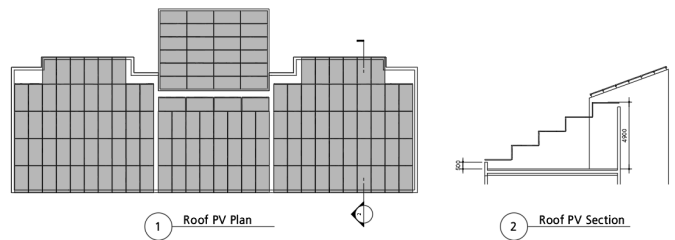
지붕에 설치되는 PV 모듈은 Fig. 4.와 같이 전력생산을 최대하  
기 위해 코아 부위를 제외한 지붕 부위의 경우 계단식으로 배치하는  
것으로 가정하였다. 수평과 수직의 모듈이 번갈아가며 배치가 되게  
하였고 남향으로 설치된다. 이를 ECO2로 계산한 결과 14개 동의 지  
붕에서 생산가능한 전력은 1,736,378kWh/yr로 계산되었다.

2.3. 경제적 일사 기준량 산정

기존 문헌[19]에 따라 PV 성능 보증기간을 25년으로 하고 동 기간  
동안 절감되는 전기요금만으로 설치비가 회수될 수 있는 경제적 일  
사 기준량을 산정하였다.



(a) Perspective view



(b) Plan and Section

Fig. 4. PV installation for the roof



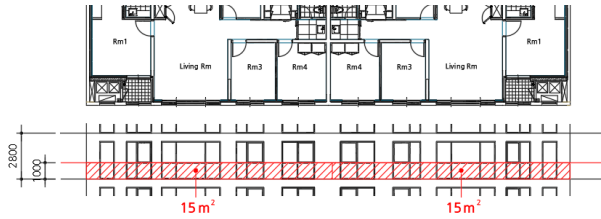


Fig. 5. The area of PV installation available

제작되는 PV 모듈의 세로 폭이 일반적으로 1m 내외인 것을 감안하여 각 층 바닥 레벨에서 1m 아래 입면 창, 벽 부위는 PV 모듈 설치가 가능한 것으로 가정하였다. Fig.5와 같이 각 세대 입면의 전면 길이는 15m이고 국내에서 많이 적용되는 제품 중의 하나인 국내 H사 제품 1,670 X 1,000mm 제품(효율 18%)을 적용할 경우 9장의 배치가 가능하였다. 이에 세대당 9장을 벽면과 평행하게 설치하는 것으로 가정하였다.

세대별로 9장의 PV 모듈을 설치하기 위한 시공비는 PV 업체 세 군데의 견적을 받아본 결과 300W급 모듈 9장의 재료 및 설치비로 280~320만원 정도가 제안되었다.

BIPV의 시공비는 일반 PV 모듈에 비해 일반적으로 큰 편이기는 하나 이는 시공 난이도에 따라 편차가 크고, 신축의 경우 입면 마감재 대신 적용되어 마감재 설치를 위한 비용이 대체될 수 있는 점 등을 고려하여 위의 견적 결과를 그대로 활용한 중간값인 300만원을 최종 설치비로 적용하였다.

본 분석은 경제적 적산 일사량의 선정을 위한 간략 계산이므로, 이 300만원을 전기요금 절감만으로 회수하기 위한 연간 적산 일사량 계산은 25년 단순회수로 약식 계산하였다. 주택용 전력 요금은 요금 규

정에 따라 단계별로 누진세가 적용되어 태양광 모듈에 의해 생산된 전력량이나 세대의 전력사용 특성에 따라서도 다를 수 있다. 하지만, 제로에너지 공동주택이라는 특성상 누진세가 적용되는 2단계까지 에너지를 소모하지 않을 것으로 분석되어 1단계인 93.3원/kWh를 계산 근거로 적용하기로 하였다[20].

- 1)  $3,000,000\text{원} / 25\text{yr} = (120,000\text{원}/\text{yr})$
- 2)  $(120,000 / 93.3(\text{원}/\text{kWh})) = 1286.2(\text{kWh}/\text{yr})$
- 3)  $(1286.2 / 15\text{m}^2) / (0.18(\text{PV}\text{효율}) * 0.95(\text{변환손실}))$

위와 같은 순서로 계산한 결과 약 500kWh/m<sup>2</sup>·yr의 일사를 받는 면 부위의 경우 25년에 시공, 설치비가 회수될 수 있는 것으로 분석되었다.

## 2.4. 다양한 배치안의 검토

건축물의 형태를 결정하는 여러 기준들을 설정하면 그것을 반영하여 다양한 배치안을 계획하는 컴퓨터 시뮬레이션 툴 Buildit[21]을 사용하여 단지계획을 실시하였다.

Buildit은 지형공간정보 위에 설정된 조건을 기준으로 공동주택 배치안을 자동 생성하는 도구이다. Buildit을 활용한 B구역 배치계획안이 2019년 서울시 건축심의위원회에서 통과되는 등 실무에서 그 활용성이 검증된 프로그램으로 생성된 배치안에 대하여 주변 지형과 건물을 반영하여 일조, 조망에 대한 정량적인 분석을 도출한다[22]. 가령, 건폐율, 용적률 등의 법적 제한사항과 층수(최저, 평균, 최고 등), 스카이라인, 정복일조, 채광사선, 인동간격, 측벽 이격거리, 대지

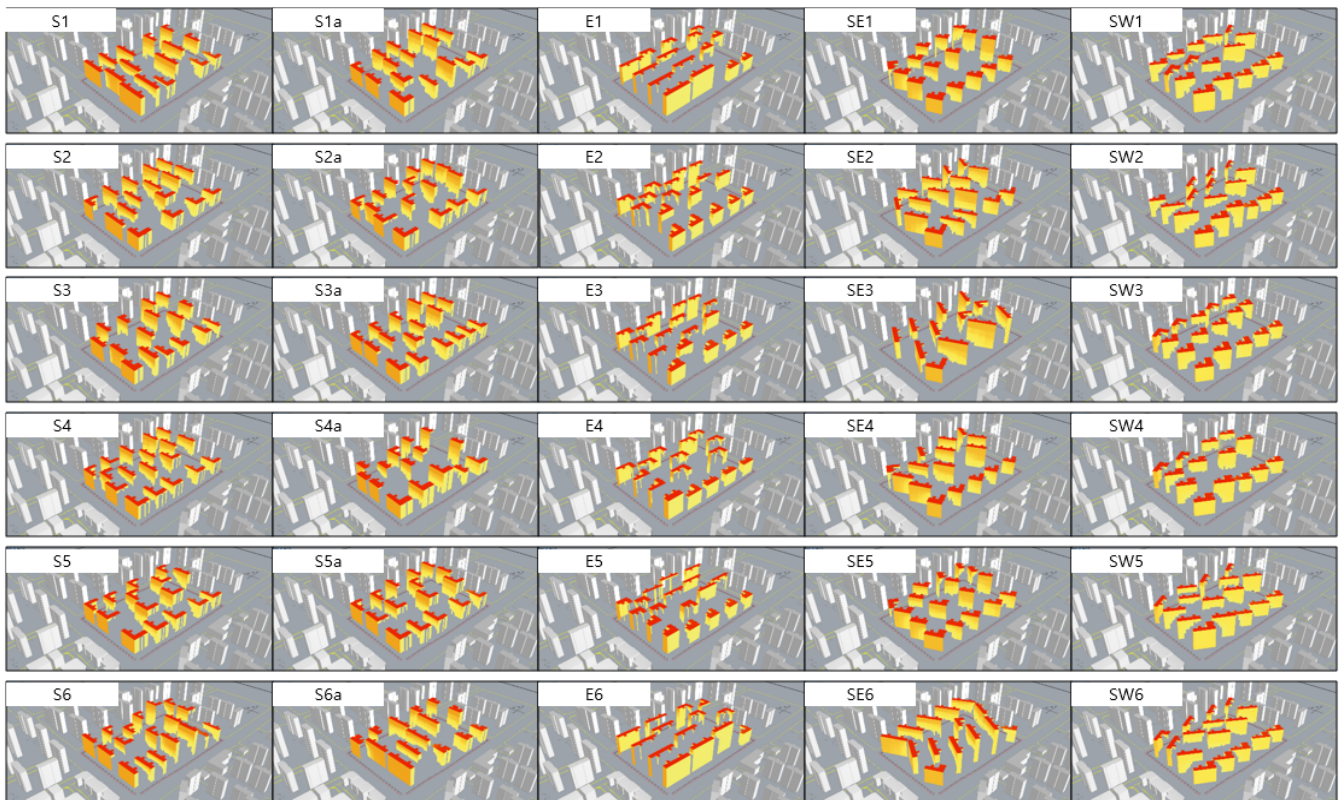


Fig. 6. Recommended PV installation parts analysed by Buildit

안의 공지 등 건축물의 형태를 결정하는 여러 기준들을 설정하면 그것을 반영하여 가능한 최대의 용적률과 일조시간을 가지는 배치안을 계획한다.

우선 배치안의 생성을 위해 2.1 계획단지의 조건에서 정한 용적을 200%, 12층~25층 등의 법적 설계 요소를 반영하여 실제 900세대가 배치된 경기도의 한 공동주택 부지에 다양한 배치안을 도출하였다.

남향에 PV를 배치하는 것이 가장 이상적이긴 하나 인근 주동의 그림자 등을 고려하게 되면 분석은 달라질 수 있다. 즉, 경제적 일사 기준량의 합계가 제일 큰 안이 실질적으로 가장 많은 양의 전력을 생산할 수 있을 것이다.

Table 3. Solar radiation analysis

	(a)Total Insolation1 (kWh)	(b)Total Insolation2 (kWh)*	(c)Total Area1 (m <sup>2</sup> )*	(d)Total Area2 (m <sup>2</sup> )*	Sunlight hour (min/day)
S1	48003710	28738645	38027	28869	272
S1a	44410883	29478091	38902	29800	305
E1	48965085	24881477	35973	27454	210
SE1	48931808	29539167	38451	29696	329
SW1	45930875	28410891	38025	29097	301
S2	46043623	28717408	38962	29564	283
S2a	49458657	30058903	40053	30472	294
E2	48132290	23745323	33539	24173	206
SE2	44910893	27664360	35684	26337	349
SW2	45576570	26588092	36023	27676	330
S3	<b>49834107</b>	29219857	38950	29772	274
S3a	42850745	28304873	38850	30282	354
E3	45280164	23637433	34396	26087	216
SE3	44814886	27189671	35228	26492	317
SW3	42603475	24877754	32884	24070	269
S4	45115223	29398986	39493	30538	330
S4a	47099836	<b>30533703</b>	<b>41074</b>	<b>31665</b>	297
E4	46514434	24956919	35424	26306	209
SE4	44933052	28907960	37525	29805	323
SW4	45714713	26242929	34600	25034	225
S5	47825946	29818981	40310	31490	295
S5a	47324927	29312344	39290	30291	318
E5	46615719	25859048	36678	27632	187
SE5	44873441	26960634	35972	28018	314
SW5	46312321	26912524	36888	28310	279
S6	47582912	30503670	39895	30472	276
S6a	46271112	30028525	40022	31248	322
E6	47258224	25527005	36566	27747	218
SE6	42440023	26314297	34170	25117	<b>365</b>
SW6	46665427	26512680	35150	26170	258

(a) Total Insolation1 : Sum of insolation reaching all the buildings' surface  
 (b) Total Insolation2 : Sum of insolation over 500kWh/m<sup>2</sup>·yr reaching all the building's surface  
 (c) Total Area1 : Sum of buildings' surface with insolation over 500kWh/m<sup>2</sup>·yr (roofs + walls)  
 (d) Total Area2 : Sum of total area1 - Sum of the roof's area

분석을 위해 남향, 동·서향, 남동·남서향의 총 5가지 변수를 두어 배치안을 시뮬레이션하였고 총 30가지의 배치안을 도출하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과

다양한 배치안 중 경제적 일사 기준량인 500kWh/m<sup>2</sup>·yr가 넘는 부위의 일사량 합계가 가장 큰 배치안을 최적 배치안으로 결정하기로 하였다.

Fig. 6.은 경제적 일사 기준량을 가지는 부위만 출력한 결과를 보여준다. 남향인 전면의 경우 패널을 배치할 수 있는 면적이 큰 편이며 주변 건물로 인한 그림자 등 때문에 뒤에 배치되거나 가운데 끼인 건물 경우 패널을 배치할 수 있는 면적이 작아지는 것을 볼 수 있다.

Table 3.은 각 배치안의 동, 서, 남, 북 입면 및 지붕에서 획득하는 총일사량과 경제적 일사 기준량을 넘는 입면부위만 합계한 면적 등 시뮬레이션 결과를 정리한 표이다.

경제적 일사 기준량을 넘는 입면 면적이 가장 큰 배치안은 S4a 배치안으로 해당 조건을 가지는 부위의 총 입면 면적은 31,665m<sup>2</sup>, 입면과 지붕에서 수집될 수 있는 총 일사량의 합계는 47,099,836 kWh/yr로 계산되었다. 건물에 도달하는 총 일사량 합계가 가장 큰 안은 남향의 S3였으나 경제적 일사 기준량의 합계가 가장 큰 안은 S4a(Fig. 7.)였다. 또한 일일 일조시간 평균이 가장 큰 안은 SE6로 분석되었다.

경제적 일사 기준량의 합계가 가장 큰 안이 총 일사량의 합계가 가장 큰 안과 일치하지 않았고, 일조시간의 합계가 가장 큰 안과도 일치하지 않는 것으로 확인되었다. 이 결과는 아래와 같은 두 가지 이유로 분석된다.

첫째, 총 일사량은 입면 부위의 일사량 편차를 반영하지 못하기 때문이다. S3가 S4a보다 총 일사량은 많지만 경제적 일사 기준량 이상의 일사량을 가지는 면적의 합계가 적다. 이는 S4a에 일사량의 합계가 높은 부위가 더 많기 때문으로 분석된다.

둘째, 태양광의 입사각은 일사량에 영향을 미치는 요소이지만 일조시간에는 영향을 미치지 못하기 때문이다. 입사각이 낮은 시간대에 일조시간이 크다면 일사량은 높지 않을 수 있다.

벽체부위에서의 경제적 일사 기준량 합계는 23,539,214kWh/yr 이고 여기서 생산가능한 전력은 4,025,206kWh/yr (효율 18%, 변환 손실 5%)로 계산되었다. 실제 모듈은 전면 가시성을 고려하여 시야를 가리지 않는 바닥레벨에서 1m 까지만 설치하는 것으로 가정했으므로 이를 고려한 1,436,999kWh/yr(35.7%)가 생산가능하며 이는 자립률 88.5%로 계산된다.

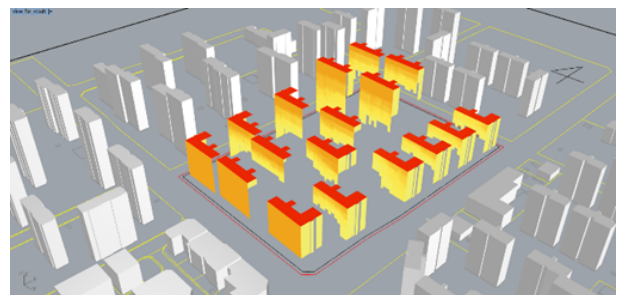


Fig. 7. Area Total 1 of S4a

#### 4. 결론

본 연구에서는 제로에너지 공동주택 단지의 실질적인 자립률 달성이 가능한 태양광 모듈의 최적배치 프로세스를 제안하였으며 아래와 같이 진행되었다.

1. 계획 대지를 선정하고 기존 자료를 분석하여 표준이 될 수 있는 층수, 용적율, 세대수 등을 결정하였다. 그 결과, 용적율 200%, 최저층 12층, 최고층 25층, 총 900세대를 계획 공동주택 단지의 조건으로 선정하였다.

2. 법정 허가 기준을 충족하는 공동주택 단위세대를 계획 후, ECO2 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 건축물에너지효율등급용 1차에너지소요량은 93.3kWh/m<sup>2</sup>로 계산되었다.

3. 계획된 단위세대 입면에 태양광패널 설치 가능면적을 확인하고 설치비를 산정하여 경제적인 기간 내에 설치비용이 회수될 수 있는 연간 최소 일사 적산 기준량을 산정하였다. 그 결과 PV의 성능보증기간인 25년 이내에 설치비용을 회수할 수 있는 경제적 기준 일사량은 500kWh/m<sup>2</sup>·yr로 분석되었다.

4. AI 기반 단계계획 시뮬레이션 도구인 Buildit을 이용하여 1단계에서 정한 계획조건으로 다양한 안을 계획하였다.

5. 계획된 배치안들 중 경제적 기준 일사량의 합계가 가장 큰 안을 최종 PV 모듈 배치안으로 선정하고 모듈을 배치하였다.

그 결과, PV 모듈 설치비가 회수되는 부위에만 PV를 설치하는 프로세스를 거쳤음에도 88.5%의 자립률을 달성하는 것으로 계산되었으며, 본 계획 단지는 제로에너지 2등급 수준의 자립률을 획득할 수 있는 것으로 분석되었다.

이후 연구로 위의 프로세스에 PV 모듈의 전력생산효율이 향상되는 전략적 배치를 조합한 자립률 100% 제로에너지 단지를 제안할 예정이다.

#### Acknowledgement

This study is a part of the research result conducted with research fund supporting in 2020 of Ministry of Science and ICT. The project code : 20200037-001. The simulation with Buildit was carried out by TENELEVEN Inc.

#### Reference

[1] 관계부처합동, 2019, 제2차 기후변화대응 기본계획. // (Interagency Committees, 2019, The 2nd Climate Change Response Basic Plan.)  
 [2] 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 국토교통부 고시 제2018-675호 // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MLIT), Criteria for Building Energy Efficiency Certification and Zero Energy Building Certification, MLIT, 2018.)  
 [3] 정창현, PV시스템 적용 공동주택의 에너지 제로화를 위한 적정 건축규모 검토. 한국건축환경설비학회 논문집, 제11권 제2호, 2017, pp.113-120. // (C.H. Jeong, Appropriate Size of a Net Zero-Energy Multi-Family Housing using PV System, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(2), 2017, pp.113-120.)

[4] 신현만 외 3인, 태양광 발전시스템의 월별 일사량과 전력량 분석. 대한전기학회 학술대회 논문집, 2009, pp.40-42. // (H.M. Shin et. al, Analysis of Irradiation and Power per Each Months of Photovoltaic Systems, Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2009, pp.40-42.)  
 [5] 제로에너지빌딩, 제로에너지건축물 인증현황 (2020년 3월 기준), <https://zeb.energy.or.kr>, 2020.06.30. // (Zero Energy Building, Zero Energy Building Certification Status (March, 2020), <https://zeb.energy.or.kr>, 2020.06.30.)  
 [6] S.W. Cho, J.J. Kim, Zero Energy Potential of High-Rise Residential Buildings. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14(3), 2015, pp.641-648.  
 [7] 이용신, 허다운, 이명주, 태양광 전지판 설치를 통한 제로에너지 가능 공동주택 층수에 관한 연구. 대한건축학회 논문집, 제32권 제11호, 2016, pp.37-44. // (E.S. Lee, D.W. Hur, M.J. Lee, A Study on the Impacts of Number of Story to Obtain Zero Energy Apartment by Installing Solar Panels - Focused on apartment in Seoul, Journal of the architectural institute of Korea, 32(11), 2016, pp.37-44.)  
 [8] 아시아경제, 가성비 갑 '제로빌딩' 대중화, <http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2018082815401782971>, 2020.06.25. // (Asian Economy, Popularization of Cost-efficient Zero Energy Building, <http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2018082815401782971>, 2020.06.25.)  
 [9] 원종서, 제로에너지 공동주택을 위한 건설사 기술 개발 방향, 태양에너지, 제14권 제1호, 2016, pp.33-39. // (J.S. Won, Direction of Construction Company Technology Development for Zero-energy Apartments, The Magazine of Korean Solar Energy Society, 14(1), 2016, pp.33-39.)  
 [10] 송승영 외 3인, 제로에너지 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석. 대한건축학회 논문집, 제28권 제8호, 2012, pp.207-216. // (S.Y. Song et. al., Cost Efficiency Analysis of Design Elements for a Zero Energy Apartment Building, Journal of the architectural institute of Korea, 28(8), 2012, pp.207-216.)  
 [11] 건축물통계, 국가통계포털, <http://kosis.kr/index/index.do>, 2020.05.20 // (Architecture Statistics, National Statistics Portal, <http://kosis.kr/index/index.do>, 2020.05.20.)  
 [12] 국토교통부, 주택법, 법률 제16870호. // (MLIT, Law for Apartment Housing, MLIT, 2020.)  
 [13] 김태호, 이종성, 공동주택 외단열시스템 적용을 위한 평가방안. 건축환경설비, 제13권 제2호, 2019, pp.45-53. // (T.H. Kim, J.S. Lee, Evaluation Plan for External Insulation System of Multi-family Houses, External Insulation System, Building Environment Equipment, 13(2), 2019, pp.45-53.)  
 [14] 국토교통부, 에너지절약형 친환경주택의 건설기준, 국토교통부 고시 제 2020-355호. // (MLIT, Construction Standards for Energy-saving Eco-friendly Housing, MLIT, 2020.)  
 [15] 조재훈, 국내 공동주택 단위세대의 기밀성능 Data, 건축환경설비, 제9호 제3호, 2015, pp.40-48. // (J.H. Cho, Airtightness data of Apartment housing unit in Korea. Building Environment Equipment, 9(3), 2015, pp.40-48.)  
 [16] 산업통상자원부, 효율관리기자재 운용규정, 산업통상자원부 고시 제 2020-83호. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Regulations for Management of Equipment Efficiency, MTIE, 2020.)  
 [17] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부고시 제2017-881호. // (MLIT, Energy-saving Design Criteria for Buildings, MLIT, 2017.)  
 [18] 국토교통부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 국토교통부 고시 제2020-574호. // (MLIT, Building Energy Efficiency Rating Certification and Zero Energy Building Certification Criteria, 2020.)  
 [19] 최두성, 안준호, 도진석, 공동주택에서 PV모듈에 따른 태양광발전시스템의 경제성 평가, 건설환경연구소 논문집, 제10권 제2호, 2015, pp.135-143. // (D.S. Cho, J.H. An, J.S. Do, Economic Evaluation of Photovoltaic Power Generation Systems depending on PV Modules in Apartments, Journal of Construction and Environment Research Institute, 10(2), 2015, pp.135-143.)  
 [20] 한국전력공사, 주택용 전력(저압) 전기요금표, <http://cyber.kepco.co.kr>, 2020.07.10. // (KEPCO, Residential power(Low pressure) Electric charge, <http://cyber.kepco.co.kr>, 2020.07.10.)  
 [21] Buildit, Artificial Intelligence Program for Architectural Design, [www.buildit.co.kr](http://www.buildit.co.kr), 2020.06.02.  
 [22] 건설경제, AI 건축설계사 재개발 시장 첫 선, <https://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=201904121528420930799>, 2020.05.23. // (Construction Economy, AI Architectural Design Office's First Business of Building Remodelling, <https://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=201904121528420930799>, 2020.05.23.)