

공동주택 태양광 발전 능력 향상을 위한 설치 위치 다각화 연구

연구관리 2024-100호

공동주택 태양광 발전 능력 향상을 위한 설치 위치 다각화 연구

지은이 곽병창, 김길태, 황인태, 정상휘
발행인 정창무
발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhi.lh.or.kr>

전화번호 044-902-9135
이메일 byungchang.kwag@lh.or.kr

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구 검토한 기초자료로써 공사나 정부의 공식적인 견해와
관계가 없습니다.

우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

공동주택 태양광 발전 능력 향상을 위한 설치 위치 다각화 연구

Diversification of Installation Locations to Improve Solar Power Generation Capacity
of Apartment Buildings

곽병창·김길태·황인태·정상희

LH 토지주택연구원

참여연구진

연구책임

곽병창 LH 토지주택연구원 수석연구원

연구진

김길태 LH 토지주택연구원 단장

황인태 LH 토지주택연구원 연구원

정상휘 LH 공공주택시설처 과장

연구심의위원

전주영 LH 토지주택연구원 건설기술연구실장(심의위원장)

김동수 한밭대학교 교수

홍주영 충남대학교 교수

이평옥 LH 공공주택시설처 전기사업팀장

신성일 LH 스마트주택기술처 주택기준팀장

자문위원 (가나다순)

이종원 계명대학교 교수

백승효 목원대학교 교수

최현규 MACK건축사사무소 소장

■ 국가 탄소배출 및 에너지 소비 저감을 위해 공동주택의 에너지 성능 향상 필요성 대두
국내 주택 수 중 공동주택은 약 70%로서 국내 대표적인 주거 유형이며, 즉 공동주택의 에너지 성능 향상이 국가 에너지 소비 저감에 직접적인 영향을 줄 수 있는 것으로 나타남

- 건물 부문에서 에너지 소비 저감을 위해 제로에너지건축물 인증제도 시행
- 선행연구에 따라 공동주택 옥상에 설치되는 BAPV 태양광 발전 시스템을 활용해 ZEB 5 등급 달성은 가능하지만, ZEB 등급을 높이기 위해서는 추가 에너지원 검토가 필요함
- 국내외에서 건물의 구성 요소로 기능을 할 수 있는 BIPV 시스템에 대한 관심과 실증 사례가 증가하고 있는 상황임
- 그러나 대부분 벽면 외장재를 대신하는 형태의 BIPV 사례가 많기 때문에, 다양한 형태의 BIPV 시스템의 성능을 파악하기 위한 실증 연구가 필요한 상황임

■ 선행연구와의 차별성

국내외 건축물의 에너지 자립률을 높이기 위한 방안으로 태양광 발전 시스템에 대한 연구 사례는 많이 있는 상황임

- 그러나 공동주택의 에너지 자립률 향상을 위한 방안으로서 BIPV 루버 및 BIPV 난간대 등 다양한 형태의 BIPV 시스템의 성능 검증 연구는 부족한 상황임
- 본 연구는 BIPV 루버 및 BIPV 발코니 난간을 대상으로 실증 모니터링을 진행하여 BIPV 시스템의 적용 가능성을 파악하기 위한 기초 연구 성격임

■ 국내 공동주택 디자인 동향

- 공동주택의 고층화에 따라 동일 지붕 면적을 공유하는 세대가 늘어나게 되어 한정된 옥상 태양광 발전으로는 에너지 자립률이 높아지기 어려운 상황임

- 공동주택의 고층화에 따라 주동 입면 면적은 늘어나게 되어 벽면 BIPV 등의 설치 면적은 늘어날 수 있음
- 그러나 공동주택의 고층화에 따라 근접한 이웃 건물의 음영 부위가 늘어날 수 있기 때문에 실제 태양광 발전 효율을 저해하는 요인으로 작용될 수 있음
- 최근 높은 주동을 단지 안쪽에 배치하고 낮은 주동을 단지 외곽에 배치하는 공동주택 단지가 나타나고 있음
- 이러한 단지 배치는 단지 외곽에 배치된 주동에 의한 음영을 최소화할 수 있기 때문에 단지 전체적인 태양광 발전 성능을 확보하는데 유리하게 작용할 수 있음

■ 실증 실험을 통한 BIPV 시스템 성능 분석

실험용 공동주택에 BIPV 루버와 BIPV 발코니 난간대 설치 후 발전량을 모니터링하였으며, 실증실험동은 세종시에 위치해 있으며 남서향으로 배치된 형태임

- 남서향 배치에 따라 오후가 되면서 발전량이 높아지는 경향을 보였으며, 대체로 정격 발전성능의 약 60% 수준으로 발전 되는 것으로 나타남
- BIPV 루버는 1층, 3층, 5층에 설치되었으며, 1층 세대 앞에 조경에 의한 음영이 발생되어 1층 BIPV 루버의 발전량이 3층과 5층에 설치된 BIPV 루버의 발전량보다 상대적으로 낮은 것으로 나타남

■ 에어컨 가동에 따른 BIPV 루버의 성능 분석

BIPV 루버는 공동주택 에어컨 실외기실 루버를 대체하는 것으로서 태양광 발전 기능과 함께 기본적으로 에어컨 실외기의 배기 성능과 열교환 성능을 지원해야 함

- 에어컨 가동시 토출 공기 온도는 최대 56.7도까지 올라갔으며, 이에 따라 실외기 앞 루버의 뒤쪽 표면 온도는 최대 47.4도로 나타나 에어컨을 가동하지 않은 102호 루버 하단 표면 온도 대비 약 11.8% 높은 것으로 나타남
- 에어컨 가동에 따른 실외기실 루버 중간부분과 상단부 측정점에서의 온도차는 각각 3.9%와 3.6% 정도인 것으로 나타남
- 실험 결과 에어컨 실외기의 토출 공기의 온도가 높아 실외기실 루버 하단부의 온도에 영향을 주지만 루버 중간부와 상단에 끼치는 영향은 크지 않은 것으로 판단됨

■ 방위별 수직 태양광 발전 성능 비교

수직 태양광 발전 모듈의 방위별 발전량 비교를 위해 미국 NREL에서 운영하는 SAM 프로그램을 이용하여 방위별 발전 시뮬레이션을 진행하였고 주택성능연구개발센터 실증실험동 옥상에 설치된 수직 태양광 발전 모듈의 방위별 발전량을 비교함

- 실험결과 정남 방향을 중심으로 남동, 남서 방위는 정남향 발전량의 약 80% 정도였으며, 정동, 정서 방위는 약 60% 정도인 것으로 나타남
- 정북, 북서, 북동 방위에서의 발전량은 정남향 발전량 대비 약 35% 정도인 것으로 확인됨
- 정북 방향은 정남 방향 대비 발전량이 약 1/3 수준인 것으로 나타났으며, 정동 및 정서 방위 발전량은 정남 대비 약 65% 정도인 것으로 나타남

■ BIPV 루버 경제성 분석

본 연구에서 진행한 실험은 BIPV 루버와 BIPV 난간대가 남서향으로 설치되어있으며, 세종시에 국한되었기 때문에, BIPV 시스템의 경제성 분석을 위해 다양한 기후대와 다양한 방위에서의 발전량을 NREL SAM 시뮬레이션을 통해 검토함

- 세종시를 포함하여 총 6개 지역과 총 8개 방위를 대상으로 parametric analysis를 수행한 결과, 세종 지역이 다른 지역보다 BIPV 루버의 발전량이 모든 방위에서 가장 높은 것으로 나타남
- 정남향(180°)을 기준으로 제주의 연간 발전량은 세종 발전량 대비 약 26.7% 정도 낮았으며, 광주세 세종 대비 약 7.1%, 부산은 약 5.4% 발전량이 낮았고, 세종보다 위도가 높은 서울과 강릉은 세종과 발전량 차이가 약 1% 정도에 불과함
- 방위별로 발전량을 비교하면, 모든 지역에서 정북 방향의 발전량이 가장 낮고 정남향 발전량이 가장 높은 자명한 결과가 나타남
- 본 연구에서 사용한 BIPV 실험체의 초기 설치비용은 BIPV 루버와 BIPV 난간대를 구매하는 가격과 설치 비용 및 마이크로 인버터, 모니터링 시스템 등이 포함된 가격이며, 초기 설치 비용을 전체 설치 용량으로 나누어 kW당 초기 비용을 구하였으며,
- 일반적인 BAPV와 다르게 BIPV 시스템은 건축 요소임에 따라, 기존 시스템 설치비용에서의 추가되는 부분을 초기 투자비용으로 간주하고 simple payback period를 계산함
- 초기비용을 수익으로 나누어 simple payback period를 계산한 결과, 발전량이 가장 많은

정남향에서도 simple payback period가 약 60년 이상으로 계산됨

- 이와 같은 결과는 발전량에 비해 초기 투자비가 상대적으로 매우 높기 때문인 것으로 판단됨
- 이와 같은 높은 투자비로 BIPV 경제성이 낮아짐에 따라 국내 다양한 지역에서 태양광 발전에 대한 인센티브를 제공하고 있으며, 인센티브 적용시 BIPV 초기비용이 낮아져 경제적 효과가 높아질 수 있음

■ BIPV 시스템 적용을 위한 고려사항

○ 디자인 측면

- BIPV 시스템은 태양광 발전을 비롯하여 기본적인 건축물 구성 요소로서 역할을 함에 따라 건축물의 미관 및 유지관리를 고려하여 설치되어야 함
- 세대 발코니 난간대를 활용한 태양광 발전 시스템은 태양광 발전 모듈 후면이 세대 내부를 향하기 때문에 기술적인 에너지 생산 능력뿐만 아니라 공간의 미관을 고려하는 것이 필요
- 일반적인 태양광 모듈과 백시트의 검은색 사용을 유지하는 경우 거주자의 시인성을 저해하는 요인이 될 수 있기 때문에, 아래 그림과 같이 백시트 후면 색상을 세대 내부 벽지 또는 창틀 등과 유사하게 하는 것이 필요함
- 최대한 태양광을 잘 받기 위해 주동 근처에 음영을 최소화할 수 있는 단지 배치가 필요하며, 입면의 입체화를 최소화 하는 입면디자인 검토가 필요함
- 세대별 일조권 및 BIPV 발전 효율을 확보를 위해 단지 내 공동주택 이격거리를 적절히 유지하는 것이 필요함
- 공동주택 에너지 자립 성능 향상을 위해 주동 입면에 BIPV를 적용하는 것이 필요함

○ 안전성 측면

- 외장재 또는 건물의 구성요소로서 BIPV 적용하기 위해서는 구조 및 화재 안전성이 확보되어야 함
- BIPV는 수직 형태 적용이 많으며 이에 따라 화재 발생시 수평방향보다 수직방향으로 화재확산속도가 훨씬 빠르기 때문에 화재가 발생되지 않도록 계획, 설치, 관리에 신중해야 함
- 화재가 발생되지 않도록 BIPV 설치 계획, 자재 선정 기준 등을 명확히 하는 것이 필요

- BIPV 화재 발생시 거주자의 피난을 위한 대응 방안 마련이 필요하며, 실내에 BIPV 시스템 주변에 소화 수단 설치를 고려해야 할 필요가 있음
- BIPV 시스템의 안전성을 향상시키고 유지관리 용이성을 높이기 위한 명확하고 체계적인 유지관리 기준 및 가이드 등의 마련이 필요함
- BIPV 모듈의 수직 설치 시 중력에 의한 전선의 처짐 발생과 이로 인한 장력 발생 방지를 위해 전선관 또는 전선 트레이를 설치하는 것이 필요할 것임

○ 경제성 측면

- 일반적으로 BIPV의 발전 효율은 BAPV와 비교하였을 때 더 낮아지게 되지만, BIPV의 설치 가격은 BAPV보다 높은 것이 현실임
- BIPV 보급 확산을 위해서는 가격 경쟁력을 확보하기 위한 방안 마련이 필요
- BIPV 시스템의 보급 확산을 위해서 BIPV의 성능과 경제적 효과 등에 대한 보다 체계적인 후속 연구를 진행하는 것이 필요하며, 특히 실제 공동주택을 대상으로 한 장기 실증 실험 수행도 이와 같은 검토를 위해 필요할 것으로 판단됨

주제어

제로에너지 건축, 태양광 발전, 설치 위치, BIPV 루버, BIPV 난간대

차례 Contents

제1장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	4
2. 연구의 범위 및 방법	4
2.1 연구범위	4
2.2 연구방법	5

제2장 관련 기준 및 선행연구 조사

1. 국내 BIPV 관련 기준	6
1.1 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침	6
1.2 서울시 태양광 설비의 설치와 관리 등에 관한 기준	8
2. 선행연구 동향	9
2.1 LH 선행연구	9
2.2 기타 선행연구	10
2.3 BIPV 적용 사례 조사	13
2.4 소 결	16

제3장 국내 공동주택 디자인 동향

1. 공동주택 단지 디자인 동향	17
1.1 동간 이격거리 완화	17
1.2 공동주택 주동 배치	18
2. 공동주택 주동 디자인 동향	19
2.1 공동주택 평면 디자인 다양화	19
2.2 공동주택 입면 디자인 입체화	20

2.3 공동주택 외벽 재료 다양화	20
2.4 공동주택 옥상 형태 다양화	21
2.5 공동주택 커뮤니티 시설 등 설계 동향	21

제4장 BIPV 시스템 모니터링 실증 실험

1. BIPV 시스템 개요	23
1.1 적용 위치에 따른 BIPV 시스템 분류	23
1.2 BIPV 시스템 구조에 따른 분류	25
1.3 BIPV 시스템 계통 연결 계획	25
2. BIPV 실험체 설치	27
2.1 BIPV 시스템 현장 설치	27
3. BIPV 실험체 발전 성능 모니터링 결과	29
3.1 일사량 데이터 모니터링 결과	29
3.2 층 수에 따른 발전 모니터링 결과	29
3.3 에어컨 가동에 따른 BIPV 루버 성능 영향 실험 결과	33
3.4 방위별 수직 태양광 발전 성능 비교	35
3.5 경제성 분석	38
3.6 소 결	43

제5장 공동주택 BIPV 시스템을 위한 고려사항

1. 디자인 측면	45
2. 안전성 측면	50
3. 경제성 측면	52

참고문헌

참고문헌	54
------	----

표 차례 List of Tables

[표 1-1] 제로에너지건축물 인증 등급	2
[표 1-2] 제로에너지건축물 인증 등급 현황 ('24.1월 기준)	2
[표 1-3] 연도별 제로에너지건축물 본인증 획득 현황 ('24.1월 기준)	3
[표 2-1] 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」 구성	6
[표 2-2] 선행연구 및 시사점	11
[표 2-3] 국내 사례 1	13
[표 2-4] 국내 사례 2	13
[표 2-5] 국내 사례 3	14
[표 2-6] 국내 사례 4	14
[표 4-1] BIPV 발전 성능 모니터링을 위한 실험체 설치 계획	22
[표 4-2] 월 평균 일일 최고 발전량[Wh] 및 에너지 수율[Wh/W]	33
[표 4-3] 월 평균 일일 발전량 합[Wh] 및 에너지수율[Wh/W]	33
[표 4-4] 월별 발전량 합[kWh] 및 에너지수율[kWh/kW]	33
[표 4-5] 예비실험 조건	34
[표 4-6] 예비실험 결과	34
[표 4-7] 본 실험 조건 및 측정점별 최고 온도	34
[표 4-8] Validation analysis 결과 - 실험값과 시뮬레이션 결과 비교	40
[표 4-9] 시뮬레이션 결과 - 연간 에너지 발전량	41
[표 4-10] SPP 계산 결과 - 인센티브 0% 적용	42
[표 4-11] SPP 계산 결과 - 인센티브 90% 적용	43
[표 4-12] SPP 계산 결과 - 인센티브 80% 적용	43

그림 차례 List of Figures

[그림 1-1] 부문별 연간에너지 최종소비량	1
[그림 1-2] 제로에너지건축물 의무화 로드맵	2
[그림 1-3] 연구 추진 방법	5
[그림 2-1] 국외 사례 1	15
[그림 2-2] 국외 사례 2	15
[그림 2-3] 국외 사례 3	16
[그림 3-1] 국토부 주상복합건물 동간 이격거리 산정방법 개정	71
[그림 3-2] 서울시 아파트 동간 간격 조례 개선	17
[그림 3-3] 일조권을 고려한 공동주택 주동 배치 사례	8
[그림 3-4] 공동주택 입면 디자인 입체화 사례	20
[그림 3-5] 공동주택 입면 재료 다양화 사례	21
[그림 3-6] 공동주택 옥상 형태 다양화 사례	21
[그림 3-7] 공동주택 다양한 커뮤니티 시설 사례	22
[그림 4-1] 적용 위치에 따른 BIPV 구분	23
[그림 4-2] 적용 위치에 따른 BIPV 구분	24
[그림 4-3] 적용 위치에 따른 BIPV 구분	24
[그림 4-4] 적용 위치에 따른 BIPV 구분	24
[그림 4-5] BIPV 루버 실험체 계통 계획도	26
[그림 4-6] BIPV 유리난간대 실험체 계통 계획도	28
[그림 4-7] BIPV 철제난간대 실험체 계통 계획도	27
[그림 4-8] 실증실험동 전경 및 실험체별 설치 위치 계획도	28
[그림 4-9] 에어컨 실외기실 루버 설치 전/후 모습	28
[그림 4-10] BIPV 루버 설치 모습	28
[그림 4-11] BIPV 난간대 설치 모습	28
[그림 4-12] 2024년도 시간별 평균 일사량	29

[그림 4-13] BIPV 루버 및 BIPV 난간대 월별 발전량	3
[그림 4-14] BIPV 루버 시간대별 평균 발전량 및 발전효율	2
[그림 4-15] BIPV 난간대 시간대별 평균 발전량 및 발전효율	3
[그림 4-16] 에어컨 가동에 따른 측정점별 온도 변화	35
[그림 4-17] 방위별 수직 태양광 발전 판넬 발전 성능 비교 실험체	63
[그림 4-18] 정남향 대비 방위별 수직 태양광 발전량 비교 실험 결과	63
[그림 4-19] 방위별 연간 수직 태양광 발전 판넬 발전량 시뮬레이션 결과	73
[그림 4-20] 방위별 태양광 발전 시뮬레이션 결과 - 월별 발전량	37
[그림 4-21] 방위별 태양광 발전 시뮬레이션 결과 - 일일 시간대별 발전량	3
[그림 4-22] 시뮬레이션을 위해 선정된 지역	3
[그림 4-23] 기상 데이터 비교 분석 결과	39
[그림 5-1] BIPV 난간대 후면 색상 다양화	46
[그림 5-2] BIPV 적용을 위한 방위별 우선순위	46
[그림 5-3] 주동 입면 돌출에 따른 입면 음영 발생	4
[그림 5-4] 적절한 동별 이격거리 및 저층동 외곽 배치 사례	74
[그림 5-5] 옥상 구조물을 활용한 태양광 발전 설치 사례	84
[그림 5-6] 에어컨 실외기실 BIPV 태양광 루버 제품 예시	84
[그림 5-7] 투과형 BIPV 창문 예시	49
[그림 5-8] BIPV cover glass 특수 코팅을 통한 다양한 색상 발현	94
[그림 5-9] 주동 옥상 및 단지 펜스 적용이 가능한 외부 난간형 BIPV 시스템	05
[그림 5-10] BIPV 천장재 화재 사고 현장	51

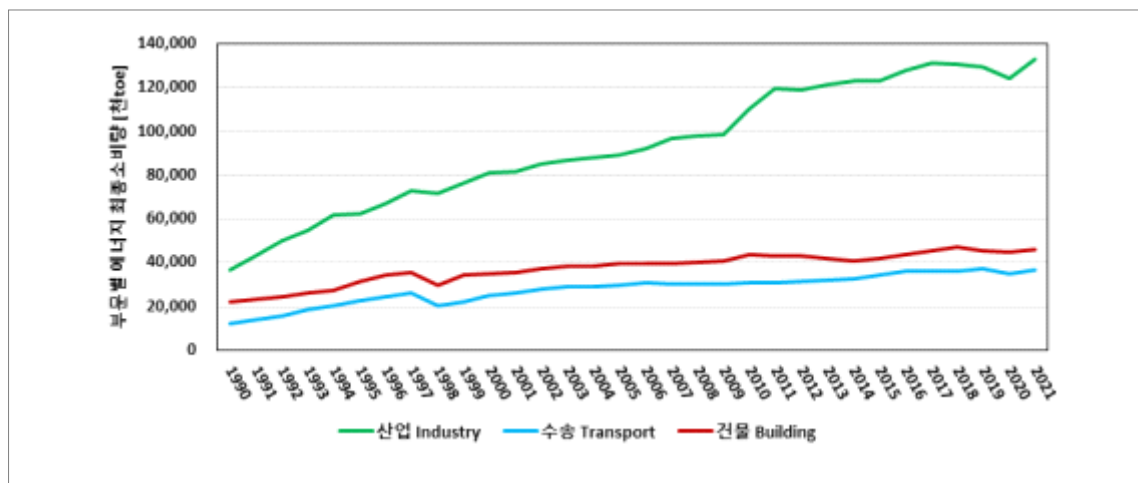
제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1. 1. 연구의 배경

1) 제로에너지건축물 인증 의무화 대응 필요성 대두

- 연간 국가에너지 소비량 중 건물 부문의 에너지 소비의 지속적 증가에 따라, 국가 에너지 소비 및 탄소 배출 저감을 위해 건물 부문에서의 적극적인 에너지 소비 저감이 요구되는 상황임



[그림 1-1] 부문별 연간에너지 최종소비량 [단위: 천 toe] (출처: 에너지경제연구원)

- 정부는 건물 에너지 소비 및 탄소 배출 저감을 위해 제로에너지건축물(이하 ZEB) 인증제도를 도입하고 제로에너지건축물 의무화 로드맵을 통해 인증제도 의무 대상 건물을 단계적으로 확대 추진 중으로서, 공사에서 공급하는 공동주택의 에너지 자립률을 확보하기 위한 다양한 방안을 모색하는 것이 필요한 상황임

구분	2020년	2023년	2024년	2025년	2030년
공공건축물	공공 1,000㎡ 이상 (5등급)	공공 500㎡이상 (5등급) 공공 공동주택 30세대 이상 (5등급)		공공 500㎡이상 (4등급)	공공 500㎡이상 (3등급)
민간건축물			민간 공동주택 30세대 이상 (5등급) (*'25년 유예)	민간 1,000㎡ (5등급)	민간 500㎡이상 (5등급)

[그림 1-2] 제로에너지건축물 의무화 로드맵 (출처: 한국에너지공단 제로에너지건축물)

2) 주거건물 제로에너지건축물 인증 사례

- 제로에너지건축물 인증은 에너지 자립률을 바탕으로 5가지 등급으로 구분

[표 1-1] 제로에너지건축물 인증 등급

ZEB 등급	5	4	3	2	1
에너지 자립률	20% 이상 ~ 40% 미만	40% 이상 ~ 60% 미만	60% 이상 ~ 80% 미만	80% 이상 ~ 100% 미만	100% 이상

- 한국에너지공단 제로에너지건축물 인증 현황에 따르면 현재까지 ZEB 본인증을 획득한 주거 건축사업은 총 20개가 있으며, 이 중 공동주택은 45%, 단독주택은 55%를 차지하는 것으로 나타남

[표 1-2] 제로에너지건축물 인증 등급 현황 ('24.1월 기준)

ZEB 등급	ZEB 1	ZEB 2	ZEB 3	ZEB 4	ZEB 5
공동주택	2	—	1	2	4
	22%	0%	11%	22%	44%
단독주택	4	1	—	3	3
	36%	9%	0%	27%	27%
총합계	6	1	1	5	7
	30%	5%	5%	25%	35%

※ ZEB 1등급을 받은 공동주택 1개 사업은 부산EDC스마트빌리로서 용도 구분은 공동주택이나 타운하우스로서 실제 구성은 단독주택과 동일

- 연도별 현황 데이터에 따르면 ZEB 제도가 시행된 후 ZEB 본인증을 획득한 주거건물의 수가 증가하고 있으며, 상위 등급을 획득한 건물의 수도 점차 증가하는 흐름을 보이고 있음

[표 1-3] 연도별 제로에너지건축물 본인증 획득 현황 ('24.1월 기준)

ZEB 등급	2019	2020	2021	2022	2023	합계
ZEB 1		1		2	3	6
ZEB 2		1				1
ZEB 3					1	1
ZEB 4			3		2	5
ZEB 5	1			3	3	7
합계	1	2	3	5	9	20

- 한국에너지공단에서 제공하는 제로에너지건축물 인증 현황 데이터를 바탕으로 개별 사업에 적용된 신재생에너지 기술을 파악하는 것은 불가능하나, 인증 건물 중 공개정보를 검토하였을 때 지붕 태양광 발전은 기본적으로 적용되며, 벽면 BIPV와 지중열 히트펌프 등을 사용함으로써 에너지 자립률을 높이는 방식을 적용하는 것으로 나타남

※ 부산 에코델타스마트빌리지, 부산EDC 스마트빌리지, 로렌하우스(김포, 오산, 세종), LH 화성남양뉴타운 B11BL, 조치원을 상리 친환경 에너지 자립마을(본동, 별동) 등

3) 연구 필요성

- 제로에너지건축물 인증을 받은 주거건물의 사례에서 나타난 것과 같이 주거 건물의 에너지 자립률을 확보하기 위해 태양광 발전 시스템을 적용하는 것이 필수적임
 - LH 공동주택의 에너지 자립률 확보를 위해서는 태양광 발전 시스템의 적용을 기본적으로 고려해야 함
- 주거건물의 에너지 자립률을 확보하기 위해서는 태양광 발전 모듈의 설치 면적을 많이 확보하는 것이 중요함
 - 중대형 공동주택의 경우 동일 지붕면적을 공유하는 세대 수가 많아짐에 따라 지붕 태양광 발전 능력이 건물 에너지 자립률에 끼치는 영향도가 단독주택 또는 소규모 공동주택 대비 낮음
- 태양광 발전을 활용해 중대형 공동주택의 에너지 자립률 향상을 위해서는 태양광 발전 시스템 설치 면적 증가가 필요하며, 이를 위해 공동주택 지붕을 포함해 주동 및 단지 내 공용시설 등 다양한 설치환경에 태양광 발전 모듈을 설치할 수 있도록 설치 위치를 다각도로 검토하는 것이 필요함

1. 2. 연구 목적

- 본 연구는 공동주택의 에너지 자립률 향상을 위해 기존 옥상 PV 외 다양한 BIPV 시스템을 적용할 수 있는 위치를 다각도로 검토하는 것을 목적으로 함
- 이를 위해 태양광 발전 기술 적용 위치 조사, 실증 실험 등을 수행하고 설치 비용 및 경제적 이점 등을 비교 분석하고자 함

2. 연구의 범위 및 방법

2. 1. 연구범위

1) 공동주택에 적용 가능한 태양광 발전 시스템 조사

- 공동주택 태양광 발전 시스템 적용을 위한 국내 기준 및 제도 등 검토
- 국내외 태양광 발전 기술 조사를 통해 공동주택 주동 및 단지 내 부속 시설에 적용 가능한 태양광 발전 기술 파악

2) 공동주택 주동의 태양광 발전 시스템 적용 가능 부위 조사

- 공동주택 평면 및 입면 분석을 통해 태양광 발전 시스템 설치 가능한 위치 조사
 - 지붕, 외벽, 창문, 난간 등
- 위치별 적용 가능한 태양광 발전 시스템 설치 면적 조사

3) BIPV 루버 및 난간대 발전 모니터링 실증 실험

- 태양광 발전 기술별 성능 비교 분석을 위한 실증 실험 수행
 - 설치 높이, 방위, 부착 부위 등과 같은 영향도 분석
 - 시간대별, 계절별 태양광 발전 능력 분석
- BIPV 설치 방위 및 지역별 예상 발전량 산출 및 경제적 효과 분석
 - BIPV 초기비용 인센티브에 따른 Simple Payback Period 분석

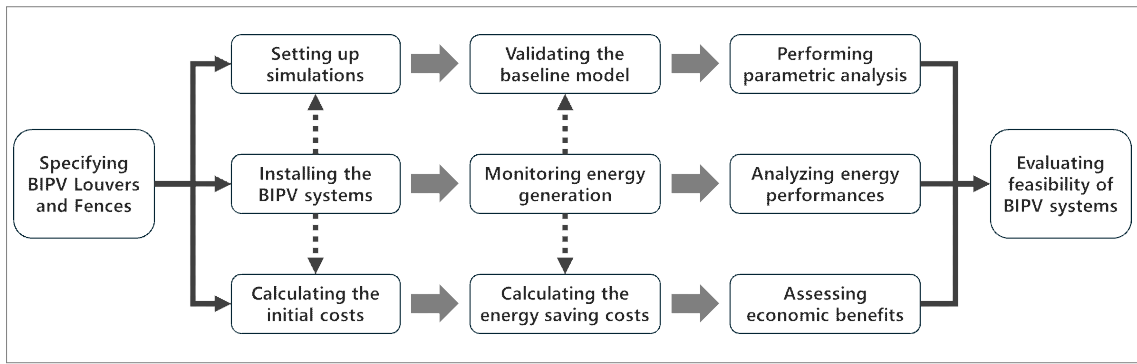
4) 공동주택 태양광 발전 능력 향상을 위한 고려사항

- 디자인 측면

- 안전성 측면
- 경제성 측면

2. 2. 연구방법

- 본 연구는 공동주택의 태양광 발전 능력 향상을 위한 설치 위치 다각화 연구로서 문헌 및 선행 사례 조사, 태양광 발전 기술별 발전 능력 모니터링 및 데이터 분석을 수행함



[그림 1-3] 연구 추진 방법

- 본 실험은 BIPV 루버와 BIPV 난간대를 실험용 아파트에 설치하고 발전량을 모니터링하고, BIPV 루버를 대상으로 에어컨 가동에 따른 영향도를 파악함
- BIPV 실험체의 발전 성능을 살펴보기 위해 시간당 발전량과 일사량을 측정하였고, 이와 같은 데이터를 기반으로 하고 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 에너지 수율과 발전효율을 계산함

$$\text{에너지수율}[\text{kWh/kW}] = \text{측정 발전량} [\text{kWh}] / \text{모듈 발전용량} [\text{kW}] \quad \text{식 (1)}$$

$$\text{발전효율} [\text{kWh}/(\text{kWh}/\text{m}^2)] = \text{측정 발전량} [\text{kWh}] / \text{일사량} [\text{kWh}/\text{m}^2] \quad \text{식 (2)}$$

제2장 관련 기준 및 선행연구 조사

1. 국내 BIPV 관련 기준

1. 1. 신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침 (2024.01.)

- 국내에서 태양광 발전시설 설치와 관련된 기준은 기본적으로 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」을 따름

[표 2-1] 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」 구성

신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침 (2024.01.)			
태양광 발전시설 정의	태양광 발전설비 제품 기준	태양광 발전설비 설치 기준	태양광 발전설비 설치 준수사항

- 건물형 태양광 발전시설 정의
 - 건물설치형 : 건축물 옥상 등에 설치하는 태양광설비의 유형
 - 건물부착형(BAPV, Building Attached PhotoVoltaic) : 건물의 지붕 또는 외벽 등에 밀착하여 설치하는 태양광 설비 유형
 - 건물일체형(BIPV, Building Integrated PhotoVoltaic) : 태양광 모듈을 건축물에 설치하여 건축 부자재의 역할 및 기능과 전력생산을 동시에 할 수 있는 태양광 설비
 - ※ 창호, 스펠드럴, 커튼월, 이중과사드, 외벽, 지붕재 등 건축물을 일부 또는 완전히 둘러싸는 벽, 창, 지붕 형태
 - ※ 태양광 모듈이 제거될 경우 건물 외피의 핵심 기능이 상실 또는 훼손될 수 있어 다른 건축자재로 대체되어야 하는 구조
- 태양광 발전시설 인증 기준
 - 본 지침에서는 태양광발전 모듈은 한국산업표준(KS)에 따른 인증제품이어야 하나, 신제품·융합제품 활성화 등을 위해 신재생에너지센터의 장이 인정하는 경우 예외가 가능함
 - BIPV형 모듈은 신재생에너지센터장이 별도로 정하는 품질기준(KS C 856 또는 8562 일부준용)에 따라 ‘발전성능’과 ‘내구성’ 등을 만족하는 경우 시험성적서를 신재생에

너지센터에 제출할 경우 사용이 가능함

- 태양광 발전용 인버터는 KS 인증제품이어야 하며, 신제품·융합제품 활성화 등을 위해 신재생에너지 센터장이 인정하는 경우 예외 적용 가능

○ 태양광 발전시설 설치 기준

- 태양광 모듈은 원칙적으로 정남향 방향으로 설치되어야 하지만, 정남향 설치가 불가능한 경우 정남 기준으로 동쪽 또는 서쪽 방향으로 45도 이내에 설치해야 하며,
- 건축물의 지붕, 벽체 등과 평행하게 태양광 설비를 설치하는 경우 정남향 기준으로 동쪽 또는 서쪽으로 90도 이내에 설치 가능
- 태양광 모듈은 1일 5시간 이상 발전해야 함

○ 태양광 발전시설 설치 준수사항

• [건물설치형 준수사항]

- 평지붕에 지지대를 설치하기 위하여 앵커를 타공할 경우에는 옥상 방수층이 깨지지 않도록 해야 함
- 건물 옥상 난간대 등으로 인하여 모듈에 음영이 발생하지 않도록 충분한 이격거리를 두는 등의 방법으로 설비를 설치해야 함

• [BAPV형 준수사항]

- 모듈 배면의 배선이 배수 또는 이물질에 노출될 수 있으므로 경사지붕 및 외벽 표면에 전선이 닿지 않도록 견고하게 고정하여야 하며 태양광설비 부착 시 경사지붕 및 외벽 표면에 크랙이 생기지 않도록 하고 방수 등에 문제가 없도록 설치해야 함
- 배면환기를 위해 모듈의 프레임 밀면(프레임 없는 방식은 모듈의 가장 밀면)부터 가장 가까운 지붕면 및 외벽의 이격거리는 10cm이상이어야 하며 배선처리는 바닥에 닿지 않도록 단단하게 고정해야 한다.

• [BIPV형 준수사항]

- 신청자(소유자, 발주처 등을 포함), 설계자 및 시공자는 모듈 온도 상승에 따른 건축물 부자재 파괴방지, 발전량 저감 최소화 방안 및 방수계획을 수립하여 설계하고 시공하여야 하며 감리원은 이를 확인해야 함

• [건물설치형 및 BAPV형 준수사항]

- 3.3kW를 초과하는 태양광설비의 경우 건축구조기준에 따른 안전성과 적정성이 확보되었음을 관계전문기술자로부터 확인 받아야 하며 확인받은 바에 따라 시공해야 함. 다만, 공급인증서 발급대상 설비의 경우 공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규

칙을 적용

- 태양광설비를 주택 및 건물 등 구조물에 설치하고자 할 경우에는 태양광설비의 하중을 지지할 수 있는 콘크리트 또는 철제 구조물 등에 직접 고정하는 것을 원칙으로 함. 다만, 태양광 설비(건축물 등에 고정되는 지지대 등을 포함한 전체 설비)가 현행 건축구조기준에 따라 안전성과 적정성이 확보되었음을 건축법 제67조에 따른 관계전문기술자로부터 확인받은 바에 따라 시공한 경우에는 예외로 함
- 태양광설비를 주택 및 건물 등의 상부에 설치할 경우 태양광설비의 눈·얼음이 보행자에게 낙하하는 것을 방지하기 위하여 모든 모듈 끝선이 건물의 마감선(건축법에 따라 적법하게 설치된 부분)을 벗어나지 않도록 설치해야 함

1. 2. 서울시 태양광 설비의 설치와 관리 등에 관한 기준 (2023.11.)

- 서울시는 기본적으로 「신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침」 내용을 바탕으로 본 기준을 수립하여 태양광설비의 설치와 관련된 사항들을 관리함
- BIPV 발전소에 사용되는 태양전지 모듈, 마이크로 인버터, 모니터링 장치, 거치대 완성품 등은 생산물 배상책임보험에 가입한 제품이어야 함
- 시공기준 외 새로운 방식으로 설치하는 경우와 고정 구조체의 내력 확보가 의심되는 경우에는 구조검토 결과 안정성이 입증되어야 함
- 태양전지 모듈은 불연재를 모듈의 외피에 적용해야 함
- 태양광설비의 설치가 도시경관과 조화될 수 있게 시설물 고유 형태를 고려해 장식적 요소는 최소화하고, 구조적 안정성 확보와 효율성 제고를 위해 디자인 기준을 준수해야 함
 - 도시경관과의 조화 및 도시의 개방감을 고려한 형태의 태양광설비 설치
 - 신소재 활용 및 친환경 재료, 에너지 절약형 제품 권장
 - 빛 반사(눈부심)를 고려하여 무광택 소재를 적용 (다양한 색채 적용을 지양하고 재료 자체의 색채(무채색, 저명도)를 권장
 - 가시형 소재의 시설에 개방형 태양전지 소재(BIPV 적용) 설치 권장
- 공공건축물은 건축물과 일체화된 형태의 태양전지 모듈을 설치하며 상부 설치를 우선으로 적용하며 측면 설치는 최소화로 적용
- 설계 단계에서부터 건축 심의 시 태양광 발전시스템을 반영하고 건축 외장재와 유사한 재질을 적용

2. 선행연구 동향

2. 1. LH 선행연구

1) 제로에너지주택 구현을 위한 태양광발전 대응전략 수립 연구 (공공주택전기처, 2023)

- 태양광 발전을 활용해 공동주택의 에너지 자립률을 확보하기 위한 연구로서, 일조량 분석, 음영 분석, 태양광 발전 능력 분석 등을 위해 LH 기축 공동주택 도면, 전기에너지 소비량, 지역별 태양광 발전량 데이터 및 컴퓨터 시뮬레이션 해석을 활용
- 태양광 발전 패널의 설치 면적 확대를 위해 다양한 PV 및 BIPV 설치위치를 검토하고, 이를 바탕으로 공동주택의 디자인 가이드를 제공
- 공동주택 계획단계에서 활용할 수 있는 에너지 자립률 평가 프로그램을 개발하여 계획단계에서 태양광 발전 설치를 통해 예상 에너지 자립률을 예측할 수 있음
- 난간부 그릴형BIPV, 그릴형 BIPV 등 태양광 설치위치 다변화를 제시

2) 제로에너지건축물 BIPV 단열 외피시스템 제안 (LHRI, 박시현, 2023)

- 시뮬레이션을 기반으로 제로에너지 공동주택 구현을 위해 외장재로서 BIPV의 단열 성능을 평가하고, 열교를 정량적으로 검토
- BIPV 설치시 후면 공기층의 두께에 따른 발열량 해석과, 슬라브 접합부 및 앵커/브라켓 등의 열교 영향을 해석하고, 내외부 단열재 비율에 따른 이중단열 BIPV외피의 단열 성능 분석 진행
- 외피시스템으로서 BIPV 외피시스템의 구조적 안전성있는 시공을 위해 FEM(유한요소법)을 활용해 풍하중에 따른 외피시스템의 구조안전성을 검토

3) 조치원읍 상리 도시재생뉴딜사업 에너지자립마을 기획설계 (LHRI, 김종엽, 2020)

- 세종시 조치원읍 상리 지역을 대상으로 도시재생 사업으로서 진행되는 에너지 자립마을의 목표 에너지 자립률 달성을 위해 다양한 패시브, 액티브 기술 및 에너지 생산 기술을 검토
- ECO2 시뮬레이션을 기반으로 건물의 에너지 부하를 낮추기 위한 기술, 에너지 소비

를 줄이기 위한 기술을 검토하였으며, 대상 건물에 적용가능한 에너지 생산 기술 선정
을 위해 지역 기후 분석 진행

4) 조치원을 상리 에너지자립마을 리빙랩 운영 및 평가 (LHRI, 김길태, 2023)

- 기획설계 내용을 바탕으로 구축된 세종시 조치원을 상리 에너지자립마을은 제로에너지건축물 본인증 심사 결과 본동은 ZEB 3등급(자립률 76%), 별동은 ZEB 1등급(자립률 100% 이상)을 달성
- ZEB 인증 특성상 인증 심사를 받기 위해서는 시뮬레이션을 기반으로 함에 따라, 거주자들의 입주 후 생활환경에서 실질적인 에너지 자립률을 파악하는 모니터링 연구를 진행 중임

5) 공동주택의 에너지 자립 수준 향상방안 연구 (LHRI, 유정현, 2020)

- 공동주택의 제로에너지건축물 인증 의무화에 대응하기 위해 태양광 발전 및 지열, 연료전지 적용에 따른 에너지 자립률 달성률을 분석
- 태양광 발전 판넬의 설치 면적과 건물 부하와의 관계를 검토하고 에너지 자립률에 따른 경제성 분석 수행

2. 2. 기타 선행연구

- 공동주택의 에너지 자립률을 확보하기 위한 연구는 ZEB 인증이 시행된 이후 활발히 이루어지고 있으며, 에너지 부하 및 소비량 저감과 함께 에너지 생산량을 높이기 위한 연구도 진행되고 있음
- 공동주택의 태양광 발전과 관련된 연구는 대체로 옥상 PV 발전 시스템과 벽면 부착형 BIPV 태양광 발전 시스템을 다루고 있으며, 태양광 발전 설비 적용 사례분석 연구, 태양광 발전을 위한 설계 및 시공법 관련 연구, 발전 능력 예측 연구, 거주자 에너지 부하 분석 연구 등과 관련된 연구가 주를 이루고 있는 것으로 나타남
- 국내 게재된 학술연구를 조사한 바에 따르면, 주거건물을 대상으로 기본적으로 태양광 또는 태양열 시스템을 적용하여 건물의 에너지 소비 저감 및 에너지 자립률 향상방안에 대한 연구가 수행되었고, BIPV 시스템에 대한 연구도 수행됨
- 다만, 해당 연구에서 검토된 BIPV 시스템은 공통적으로 BIPV 벽체 형태였으며, 이 외

다른 형태의 BIPV 시스템에 대한 연구는 미비한 것으로 판단됨

[표 2-2] 선행연구 및 시사점

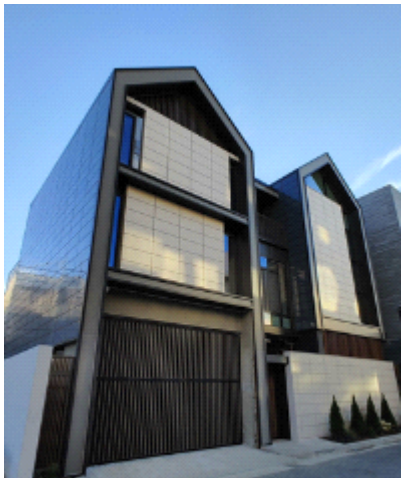
저자	년도	연구명	시사점
이효문	2022	실측을 통한 북향 설치 PV 시스템의 발전성능 평가	<p>■ 국내 지붕형 PV 시스템의 운영 데이터를 분석하여 PV 시스템의 북향 설치에 따른 발전량을 비교 분석하고, 북향 설치 타당성을 평가함.</p> <p>⇒ 본 연구를 통해 남측 방향이 아닌 북측 방향으로 PV 시스템 적용이 가능함을 확인할 수 있음</p>
방선규	2021	공동주택 주거밀도와 난방 방식에 따른 에너지 자립률 달성방안에 관한 연구	<p>■ 공동주택의 에너지 자립률 확보를 위해 주거밀도와 난방 방식에 따른 에너지 자립률 확보 시나리오를 제안함.</p> <p>■ 공동주택의 에너지 자립률 확보를 위해서 PV만으로 달성이 어려움에 따라 연료전지의 사용을 제안함.</p> <p>⇒ 공동주택의 에너지 자립률을 확보하기 위해서는 옥상 및 외벽을 포함한 다양한 PV 설치 위치에 대해 검토가 필요함</p>
원종연	2021	제로에너지건축물 인증을 고려한 공동주택 태양광 발전시스템 적용 방안	<p>■ 공동주택의 에너지 자립률 확보를 위해 대상 건물의 제로 에너지 건축물 인증 등급별 PV 적용 용량을 검토</p> <p>⇒ 일조의 영향을 체계적으로 검토하고 설계에 반영하는 것이 필요함. 특히 주동 배치 계획 시 일조의 영향을 적극적으로 검토해야 할 필요가 있음</p>
문정현	2021	제로에너지 도시를 위한 일조분석을 통한 태양광 설치 유형별 발전용량 및 에너지 자립률 산정 사례 연구	<p>■ 제로에너지 도시 구현을 위해 태양광 발전 설비에 대해 설치방법에 따른 에너지 자립률을 분석함</p> <p>⇒ BIPV는 발전량은 옥상 PV 보다 낮지만, 건물의 전체적인 에너지 자립률을 높이기 위해 필요한 요소이며, 태양광 발전 능력 향상을 위해 일조를 고려한 건물 배치가 필요</p>
이소미	2008	공동주택의 태양광발전설비 적용을 위한 설계방법에 관한 연구	<p>■ 공동주택의 PV 설치 면적 확대를 위해 공동주택 입면 활용을 제안</p> <p>⇒ ZEB가 시행되기 전에 시행된 연구로서 한계가 있으나, 공동주택 입면에 PV 판넬 적용시 음영에 의한 성능 저감을 해결하기 위해 체계적 단지설계 필요함</p>
이상윤	2021	BIPV 설치 용량에 따른 아파트 단지 에너지 자립률 분석	<p>■ 공동주택의 형태와 배치를 분석하여 BIPV 적용에 따른 에너지 자립률을 평가</p> <p>⇒ 세대별로 약 0.32kWp 설치시 공용부하 사용량을 상쇄할 수 있고, 약 2kWp 설치시 전용부하 사용량 상쇄 가능 다만 단지 내 음영으로 인해 발전량 손실 발생이 가능함</p>
조경주	2020	루버일체형 양면형 태양광 모듈의 건축적 활용을 위한 발전성능 평가	<p>■ 실제 자연 태양일사 조건 하에서 루버일체형 양면형 태양광 모듈의 성능 분석 수행</p> <p>⇒ 창호일체형 태양광발전 시스템보다 루버일체형 양면형 태양광 시스템의 건물 에너지 자립률 향상에 효과가 큼</p>
곽병창	2024	Integration of photovoltaic systems for energy self-sufficient low-rise multi-family residential buildings in Republic of Korea	<p>■ 소규모 저층 다세대 공동주택의 에너지 자립률 향상을 위한 태양광 시스템 적용 가능성 분석</p> <p>⇒ 건물의 에너지 자립률을 확보하기 위해 BAPV 지붕과 BIPV 외벽의 통합 적용이 효과적이지만, 대상 건물에서 BIPV 외벽의 초기 비용이 BAPV 지붕 대비 약 62% 이하일 때 비용 효율성이 확보될 수 있음</p>
박보람	2023	Analysis of the additional energy-saving potential of residential buildings after mandatory zero energy buildings to achieve carbon neutrality in South Korea	<p>■ 한국의 탄소 중립 달성을 위해 제로에너지건축물 인증 제도 도입에 따른 추가 에너지 절감 가능성 분석</p> <p>⇒ 제로에너지건축물 인증 제도의 기준 강화를 통해 추가적인 에너지 절감이 가능하며, 에너지 절약을 위한 사용자 행동 변화의 중요성을 강조</p>
엄지영	2018	Applicability analysis of	<p>■ HOMER를 이용하여 주거용 에너지 저장 시스템의 적용</p>

		residential energy storage system (ESS) using Homer in Korea	가능성을 분석 ⇒ESS 가격이 현재보다 약 90% 이상 감소할 때 주거용 ESS의 경제성이 확보될 수 있음
이경호	2014	Annual measured performance of building-integrated solar energy systems in demonstration low-energy solar house	■ 저에너지 태양광 주택에서 건물 일체형 태양광 에너지 시스템의 연간 성능 분석 ⇒건물 일체형 태양광 집열기의 연간 효율은 약 22.8%, 태양광 모듈의 효율은 약 10.9%로 나타남
김진희	2015	Analysis of Photovoltaic Applications in Zero Energy Building Cases of IEA SHC/EBC Task 40/Annex 52	■ 건물 일체형 태양광 시스템의 적용 방법과 에너지 균형을 분석하여 ZEB 사례를 통해 태양광 시스템의 효과를 평가 ⇒ 27개 ZEB 사례 중 14개는 태양광 시스템을 통해 건물의 전기 에너지 수요를 100% 충족시킬 수 있는 것으로 나타남
김성열	2018	Energy-Independent Architectural Models for Residential Complex Plans through Solar Energy in Daegu Metropolitan City, South Korea	■ 태양광 기반의 재생에너지를 활용하여 에너지 자립형 주거 단지 모델을 제안 ⇒ 태양광 패널을 25도 각도로 설치시 최적의 태양광 발전 효율을 얻을 수 있음
정창현	2017	PV시스템 적용 공동주택의 에너지 제로화를 위한 적정 건축-규모 검토	■ 공동주택 에너지 소비량 기준 및 공동주택의 공용부 에너지 소비량을 포함한 전체 에너지 소비량을 기준으로 제로에너지 공동주택의 적정규모 검토 ⇒ PV 시스템만으로 공동주택의 제로에너지화는 어려우며, PV 시스템으로 전력 수요량을 제로화하기에 적절한 규모는 지상 3층 6세대 정도 공동주택이 적절함. 즉 공동주택의 제로에너지화를 위해서는 추가적인 에너지원 적용이 필요함
이효문	2021	Energy performance evaluation of a plus energy house based on operational data for two years: A case study of an all-electric plus energy house in Korea	■ 전전화주택(AEZEH)의 에너지 소비 특성을 2년간의 운영 데이터를 기반으로 분석 ⇒ AEZEH는 다양한 패시브, 액티브 시스템과 PV 시스템을 이용하여 연간 에너지 소비량을 초과하는 전력을 생산하고 있음

2. 3. BIPV 적용 사례 조사

1) 주거용 건물 태양광발전 시스템 국내 적용 사례

[표 2-3] 국내 사례 1

사업명	LG ThinQ Home	
위 치	• 경기도 성남시 분당구 운중동995-33	
세대수	• 단독주택	
건물규모	• 연면적 499.79m ²	
취득인증	• 건축물에너지효율 1+++등급 • 제로에너지건축물인증 1등급(국내최초 본인증) -에너지 자립률121.6%	
적용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 건물일체형 태양광 발전 (BIPV) <ul style="list-style-type: none"> - BIPV 모듈 988장 (모듈 ①가로90x세로70cm, ②가로90x세로35cm) • 에너지 저장시스템(ESS, Energy Storage System) <ul style="list-style-type: none"> - 전기자동차 충전시스템 (V2H) • 직류/교류 하이브리드형 분전반 <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 손실 저감 기술 • 시스템보일러 • 홈에너지관리시스템 (HEMS, Home Energy Management System) • AI기반 거주자 패턴 분석 기반 에너지 발전, 저장, 사용 예측 기술 	



[표 2-4] 국내 사례 2

사업명	세종 로렌하우스	 
위 치	• 세종시 고운동 1112-1201	
세대수	• 60세대	
건물규모	<ul style="list-style-type: none"> • 지상2층, 57개동(전용면적 85m²) <ul style="list-style-type: none"> - 단독주택 54동, 54세대 - 공동주택 2동, 6세대 • 부대복리시설 1동 	
취득인증	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물에너지효율 1+++등급 • 제로에너지빌딩인증 2등급 -에너지 자립률83.13% 	
적용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 외단열 시스템 적용 • 외벽 비드법2종3호 200mm(0.033W/m²K) • 고기밀시공(기밀테이프) (Npa50=0.77) • 열회수환기장치 (풍량400CMH) (전열효율 난방 77%, 냉방 54%) • 3중 로이 창호 (0.767W/m²K) • 외부차양(계절별 일사 유입 조절) • 창면적비 13.88% • 태양광 패널 (세대당 4.235kW, 21.56m²) 	

[표 2-5] 국내 사례 3

사업명	노원 EZ하우스	 
위 치	• 서울시 노원구 하계동 251-9	
세대수	• 121세대	
건물규모	<ul style="list-style-type: none"> • 지상7층, 지하2층 (연면적 17,692,391m²) – 공동주택, 부대복리시설, 근린생활시설 – 문화 및 집회시설 • 총 442억 (건축비 202억, 연구개발비 240억) 	
취득인증	<ul style="list-style-type: none"> • 녹색건축인증 최우수 • 건축물에너지효율 1+++등급 • 제로에너지빌딩인증 1등급 수준 	
적용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 외단열 시스템 적용 ⇒ 발코니열교차단 구조물 (1.107W/ m²K) • 외부 전동블라인드설치 (냉방부하 저감) • 기밀시공- SIGA 기밀테이프 등 ⇒ 기밀성능0.48회/h@50Pa • 고효율 전열교환기(효율 난방 80%, 냉방 68%) • LED조명 (조명밀도5.11W/m²) • 태양광발전 - 지붕+ 외벽 ⇒ 7.4kWh (연간 5,200kWh) • 지열 히트펌프 - 냉방, 난방, 급탕 • 4세대 지역난방 - 난방, 급탕 	

[표 2-6] 국내 사례 4

사업명	조치원 상리 에너지 자립마을 (현 상생마을)	 
위 치	• 세종시 조치원읍 상리 터미널안길 12	
세대수	• 33세대	
건물규모	<ul style="list-style-type: none"> • 본동 : 28세대 – 36m² 4세대, 39m² 16세대 – 43m² 3세대, 48m² 3세대, 49m² 2세대 • 별동 : 5세대 – 48m² 2세대, 49m² 2세대, 50m² 1세대 	
취득인증	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물에너지효율 1+++등급 • 제로에너지빌딩인증 본동 3등급, 별동 1등급 	
적용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 외단열 시스템 적용 (일부 진공단열재 적용) – 열전도율 0.002W/mK • 고성능 무레일 창문 – 열관류 0.8W/m²K, 기밀 0.5m³/m²h, SHGC 0.3이상 • 고기능성 세대 현관문 – 열관류 0.8W/m²K, 기밀 0.6m³/m²h • LED조명 (10W~40W) • 태양광발전 - 지붕 + 외벽 – 옥상 PV (본동) 52kW, (별동) 18kW – 벽면 BIPV (본동) 17.22kW, (별동) 2.95kW 	

2) BIPV 태양광발전 시스템 국외 적용 사례 (출처: IEA 국제에너지기구)



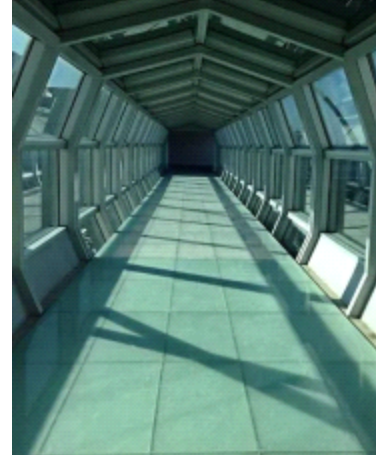
Digital ceramic print on glass/glass BIPV modules with various dimensions developed by ertex solar GmbH. Multi-family building Wohnhaus Solaris, Zurich (CH) (Source: HBF AG)

[그림 2-1] 국외 사례 1



H-glass (former G2E), coloured a-Si modules, charging station in Switzerland

[그림 2-2] 국외 사례 2



*Semi-transparent coloured amorphous silicon BIPV modules used in the refurbishment of the buildings of the Terina Mediterranean Foundation in Calabria (Italy).
(Source: www.onyxsolar.com/mediterranean-foundation-terina).*

[그림 2-3] 국외 사례 3

2. 4. 소 결

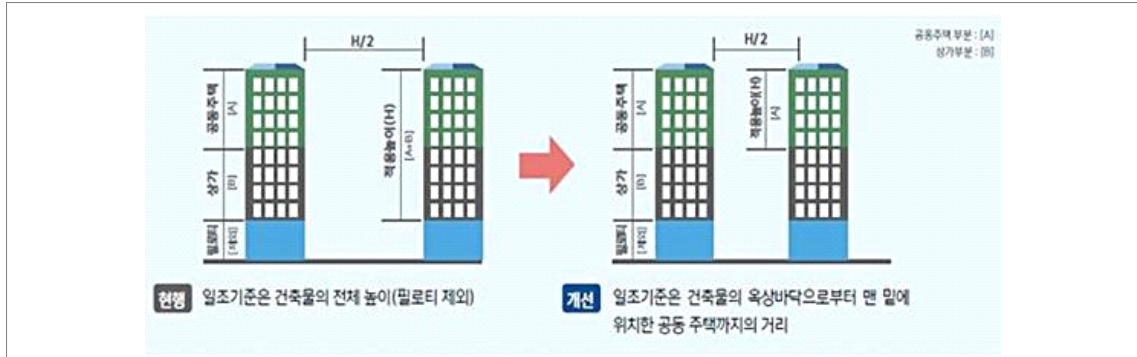
- 국내외 건축물의 에너지 자립률을 높이기 위한 방안으로 태양광 발전 시스템에 대한 연구 사례는 많이 있는 상황임
- 그러나 기존 건물 부착형 태양광 발전시스템 또는 BIPV 벽체 및 지붕에 대한 연구가 대부분이며 루버, 난간대 등 다양한 형태의 BIPV 시스템에 대한 연구는 미비한 상황임
- IEA에 따르면 건물에 적용할 수 있는 다양한 형태의 BIPV 시스템이 있으며 해외에서는 BIPV 시스템 적용을 통해 건물의 경관을 살리면서 에너지를 생산하는 사례가 있음
- 따라서 국내 공동주택을 대상으로 BIPV 적용을 다양하게 검토하는 것이 필요함

제3장 국내 공동주택 디자인 동향

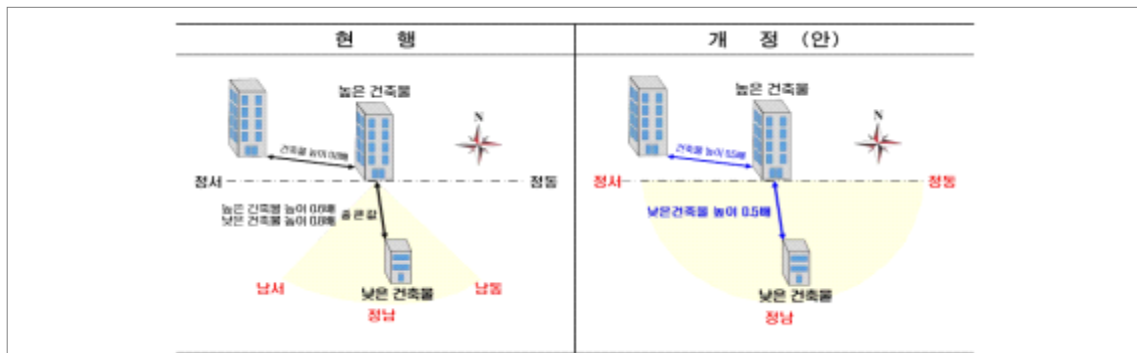
1. 공동주택 단지 디자인 동향

1. 1. 동간 이격거리 완화

- 공동주택과 같이 단지 내 두 동 이상이 위치하는 경우 일조와 채광을 위해 건축물의 높이를 고려해 이격거리를 산정함
- 국토교통부와 서울시는 동간 이격거리 산정 개선을 통해 이격거리 완화를 추진함
 - 국토교통부는(2016.1.) 주상복합건물의 동간 이격거리 산정 시 상업시설을 제외 후 공동주택 부분의 높이만 고려하여 동간 간격을 산정
 - 서울시는(2022.9.) 보다 다양한 형태의 공동주택 단지 조성을 위해 「서울특별시 건축 조례」 개정을 통해 동간 이격거리 기준을 완화함



[그림 3-1] 국토부 주상복합건물 동간 이격거리 산정방법 개정 (출처: 국토부)

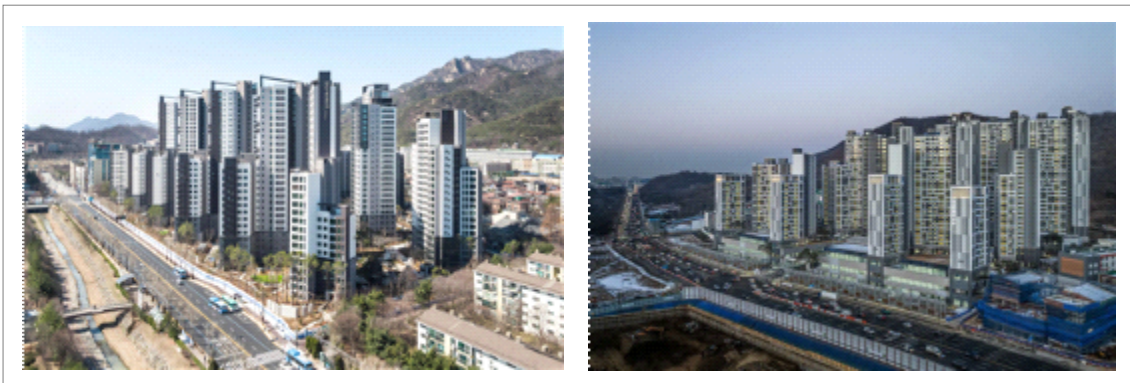


[그림 3-3] 서울시 아파트 동간 간격 조례 개선 (출처: 서울시)

- 국토부는 ‘특별건축구역’ 지정시 일조 영향 분석 결과와 동지 기준 일조량이 연속 2시간 이상 확보 등 조건을 만족하는 경우에는 건축법 제61조(일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이 제한)에 대해 적용배제가 가능함

1. 2. 공동주택 주동 배치

- 2010년 이후 공동주택 단지의 설계 다변화에 대한 요구가 늘어나면서 공동주택을 분산형으로 배치함
 - ※ 분산형 배치 : 커뮤니티 시설의 접근성을 고려하여 공동주택을 배치한 유형으로 두 공간을 연결하는 산책로가 복잡하게 얹혀있는 것이 특징임
- 최근에는 일조권 및 조망권 확보를 위해 저층동을 단지 바깥쪽에 배치하고 고층동을 단지 중앙에 배치하는 계획도 나타나고 있음
 - 저층동의 단지 바깥쪽 배치를 통해 단지 중앙까지 일사를 유입할 수 있는 효과 발생
- 2020년 4월에 완공된 과천 씨밋 푸르지오의 경우, 대지경계선 외측에 배치되는 공동주택은 저층으로 설계하고 중심부에 위치한 공동주택의 경우 고층으로 설계함
- 2022년 12월에 완공된 인천 포레나 루원시티의 경우, 도로변과 가까울수록 공동주택의 높이가 점차 낮아지도록 계획하였음



[그림 3-4] 일조권을 고려한 공동주택 주동 배치 사례 : (좌) 과천 씨밋 푸르지오 전경 (출처: 한국경제), (우) 인천 포레나 루원시티 전경 (출처: 나무위키)

2. 공동주택 주동 디자인 동향

2. 1. 공동주택 평면 디자인 다양화

- 2000년대 이전에 시공된 공동주택의 평면은 대부분 판상형으로 설계되었으며, 이러한 형태는 남향 배치를 고려한 평면 디자인으로 판단됨
- 1990년대 공동주택 공급 수가 급증하면서¹⁾ 판상형과 유사한 형태의 비중이 2022년 기준, 국내 공동주택 전체의 69.1%를 차지하게 됨.²⁾
- 그러나, 획일화된 평면 디자인으로 인해 거주자의 미적 기준을 충족하지 못할 수 있으며 주동 배치에 의해 일부 세대는 충분한 조망권을 확보하지 못할 수 있음
- 2000년대에 접어들면서, 건설 기술의 향상과 더불어 협소 부지 내에 최대한의 효율을 내기 위한 건설업체의 노력으로 타워형 구조가 개발되어 적용되기 시작함
- 타워형 평면으로 인해 판상형과 달리 각 세대가 다양한 방위의 조망을 확보할 수 있게 됨
- 타워형 평면은 협소한 부지에서 초고층 공동주택을 시공하기 용이하다는 장점이 존재하며, 이러한 초고층 건축물은 해당 지역의 랜드마크 요소로 작용할 수 있음
- 그러나, 전 세대가 남향을 바라볼 수 없는 구조를 띄기 때문에 판상형보다 주거에 있어서 쾌적성이 떨어질 수 있다는 단점이 존재함
- 2010년 이후부터는 다양한 평면 계획이 이루어져 판상형과 타워형의 구조를 결합한 혼합형 구조가 나타남
- 혼합형 구조는 세대 일부는 타워형으로 계획하고, 나머지 세대는 판상형으로 계획한 평면 구조를 의미함

1) <https://data.si.re.kr/data/지표로-본-서울-변천-2003/384>

2) 고승일. "국내 공동주택 단지의 주동형태 및 배치 분석을 통한 표준 단지모델 제시 및 바람길 해석." 국내석사학위논문 동아대학교 대학원, 2023. 부산

2. 2. 공동주택 입면 디자인 입체화

- 국토교통부는 2009년 공동주택의 미관 증진을 위해 [공동주택 디자인 가이드라인]을 마련함³⁾
- 해당 가이드라인은 공동주택의 형태와 단지 환경의 획일화 방지, 거실 및 침실 배치, 외부 면적, 주동 길이 등 입면 디자인에 영향을 주는 요소에 대한 가이드를 제시하였으며, 이로 인해 공동주택의 입면은 다양한 색상 활용과 더불어 입체적인 형태를 띄게 되었음



[그림 3-5] 공동주택 입면 디자인 입체화 사례 : 래비안 원베일리 (출처 : MTN뉴스, 매일경제)

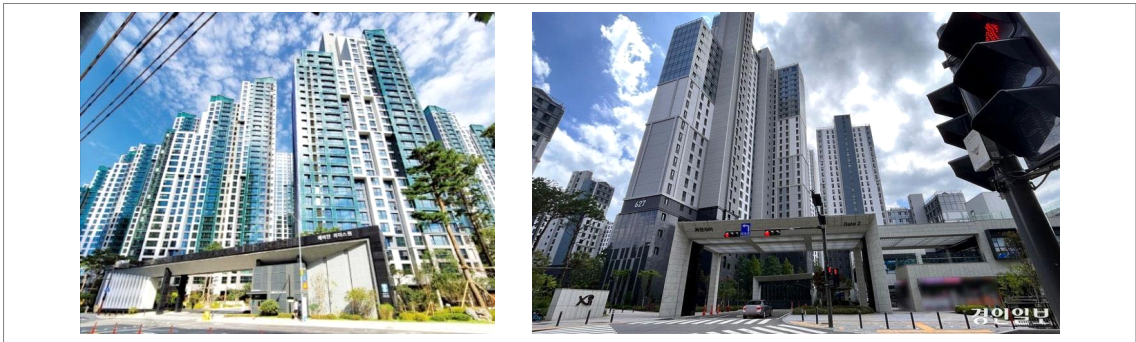
2. 3. 공동주택 외벽 재료 다양화

- 외벽 마감 재료는 주로 중·고층부엔 콘크리트 위에 페인트와 같은 도장재로 마감을 하는 것으로 나타났으며, 부분적으로 저층부에는 석재를 사용하여 심미적 안정감을 주고 지붕 및 옥탑엔 장식적인 요소로 금속재를 사용함⁴⁾.
- 최근에는 유리로 외벽을 마감하는 커튼월록을 사용함으로써 보다 더 세련되고 고급스러운 이미지를 구축함

3)

https://www.molit.go.kr/USR/I0204/m_45/dtl.jsp?gubun=4&search=&search_dept_id=&search_dept_nm=&old_search_dept_nm=&psize=10&search_regdate_s=&search_regdate_e=&srch_usr_nm=&srch_usr_num=&srch_usr_year=&srch_usr_titl=&srch_usr_ctnt=&lcmspage=755&idx=6822

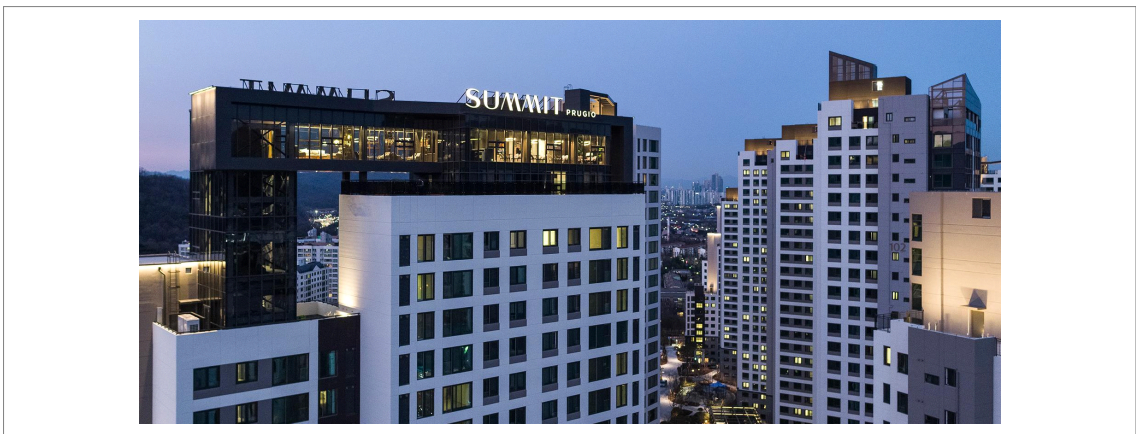
4) 이몽건. (2019). 2010년 이후 준공된 경남지역 아파트 외관의 분석연구 : 창원시를 중심으로. 석사학위논문, 창원대학교.



[그림 3-6] 공동주택 입면 재료 다양화 사례 : (좌) 래비안 리더스원 (출처 : 한국경제), (우) 과천 자이 (출처 : 경인일보)

2. 4. 공동주택 옥상 형태 다양화

- 일반적으로 평지붕의 형태가 가장 많이 나타나며 박공지붕의 경우도 드물게 적용됨
- 최근엔 옥상에 스카이라이프, 옥상 가든, 스카이라운지 등의 커뮤니티 시설을 조성하여 만남과 휴식의 장소를 제공함

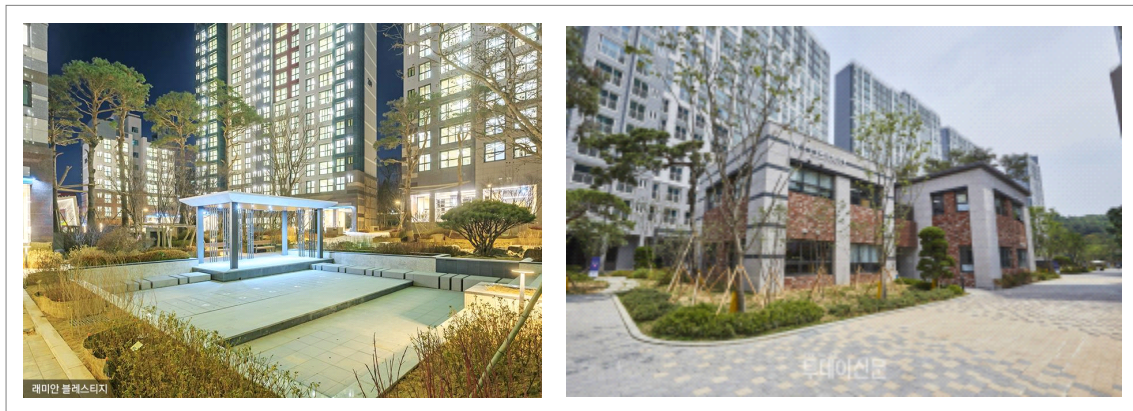


[그림 3-7] 공동주택 옥상 형태 다양화 사례 : 과천 푸르지오 씨밋 (출처 : 푸르지오 씨밋)

2. 5. 공동주택 커뮤니티 시설 등 설계 동향

- 배치 관점 (단지 내 주동 및 커뮤니티 시설 배치)
 - 최근 공동주택 단지 내 배치되는 커뮤니티 시설의 분류 기준은 크게 4가지로, 주민화합 공간, 문화교육 공간, 자연 휴양 공간, 건강증진 공간으로 나뉜.⁵⁾

- 또한, 이들의 평면 배치는 위치에 따라 크게 4가지, 단지 집중배치, 주동 분포 배치, 분산 배치, 복합커뮤니티 배치로 구분될 수 있음
- 분산형으로 배치된 커뮤니티 시설의 대표 사례로, 2016년 완공된 고덕 래미안 힐스테이트가 있으며, 단지 북쪽에는 고덕산, 한강이 위치하며, 동남쪽에는 3개의 근린공원이 존재해 자연 생태계와 밀접하다는 특징이 있음. 따라서, 해당 단지에서는 이들을 연결하는 산책로가 조성되어 있음.
- 단지 중심에는 클럽하우스(주민들 간의 소통을 위한 카페, 피트니스센터 등이 모여있는 종합시설)가 위치해있으며, 소규모 커뮤니티 시설(공원, 북카페 등)이 단지 곳곳에 분포되어 있음
- 결과적으로, 내부에 순환하는 산책로와 중심부 및 외각에 배치되어있는 커뮤니티 시설들을 고려하여 공동주택 배치가 이뤄졌음
- 최근에 시공되는 공동주택 단지 내 적용되는 커뮤니티 시설의 종류는 다양함. 또한, 공동주택과 결합하는 형태가 아닌, 일정 규모의 부지 내에 시공된 건물로서 기능을 담당함



[그림 3-8] 공동주택 다양한 커뮤니티 시설 사례 (좌) 매리안 블레스티지 단지 내 공원 시설 (출처 : 래미안) (우) 동탄 반도유보라 아이비파크 10 별동학습관 (출처 : 투데이신문)






5) 서유현, 박종현 (2022). 국내 공동주택 커뮤니티 시설의 프로그램 및 공간 배치에 관한 연구. 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집.4p.

제4장 BIPV 시스템 모니터링 실증 실험

1. BIPV 시스템 개요

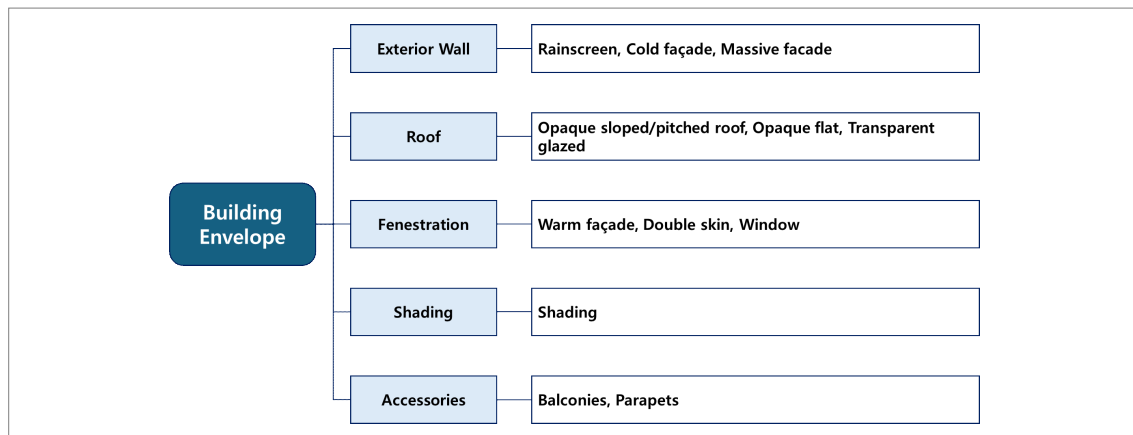
1. 1. 적용 위치에 따른 BIPV 시스템 분류

- BIPV는 건축물의 구성요소로서 지붕, 차양, 외벽 등 다양한 형태로 적용 가능하며, 본 연구에서는 BIPV 루버와 BIPV 발코니 난간대를 실증주택에 설치하고 발전 성능을 모니터링하여 건축물 적용성을 검토하고자 함
- IEA는 BIPV 적용 부위에 따라 Category A부터 Category E로 구분하고 있으며 BIPV 루버와 난간대는 Category E에 해당됨
- BIPV 루버와 발코니 난간대는 US Building Envelope Design Guide와 Italian Standard UNI 8290에 따르면 건축물의 Accessories로 분류됨

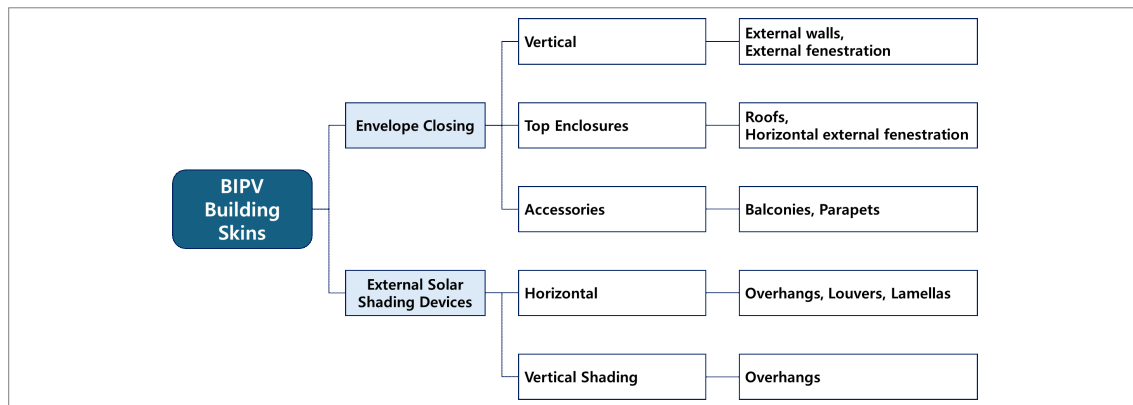
Category A	Sloping, roof-integrated, not accessible from within the building The BIPV modules are installed at a tilt angle between 0° and 75° from the horizontal plane [0°, 75°], with another building product installed underneath (see NOTE).	
Category B:	Sloping, roof-integrated, accessible from within the building The BIPV modules are installed at a tilt angle between 0° and 75° from the horizontal plane [0°, 75°].	
Category C:	Non-sloping (vertically) envelope-integrated, not accessible from within the building The BIPV modules are installed at a tilt angle between 75° and 90° from the horizontal plane [75°, 90°], with another building product installed behind (see NOTE).	
Category D:	Non-sloping (vertically), envelope-integrated, accessible from within the building The BIPV modules are installed at a tilt angle between 75° and 90° from the horizontal plane [75°, 90°].	
Category E:	Externally-integrated, accessible or not accessible from within the building The BIPV modules are installed to form an additional functional layer that provides a building requirement as defined in 4.1. E.g. balcony balustrades, shutters, awnings, louvers, brise soleil etc.	

NOTE: A BIPV module is considered to be "not accessible" when another building product (represented by a dashed line in the pictograms) is present, which among other functions prevents: (i) the interior surface of the module from being touched and (ii) large pieces falling onto adjacent accessible areas within the building.

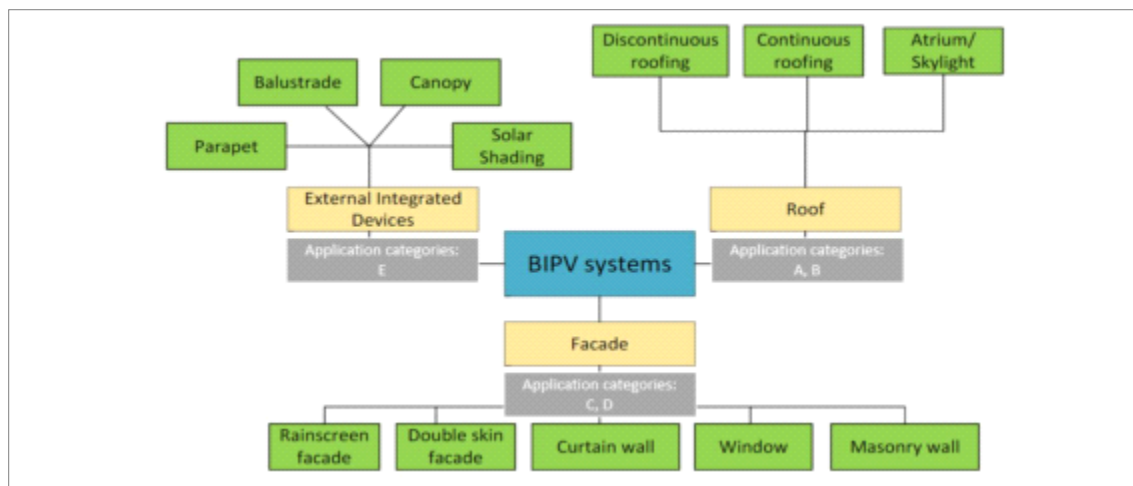
[그림 4-1] 적용 위치에 따른 BIPV 구분 (출처 : BIPV Standard IEC 63092-1)



[그림 4-2] 적용 위치에 따른 BIPV 구분 (출처 : US building skin design guide)



[그림 4-4] 적용 위치에 따른 BIPV 구분 (출처 : Italian Standard UNI 8290)



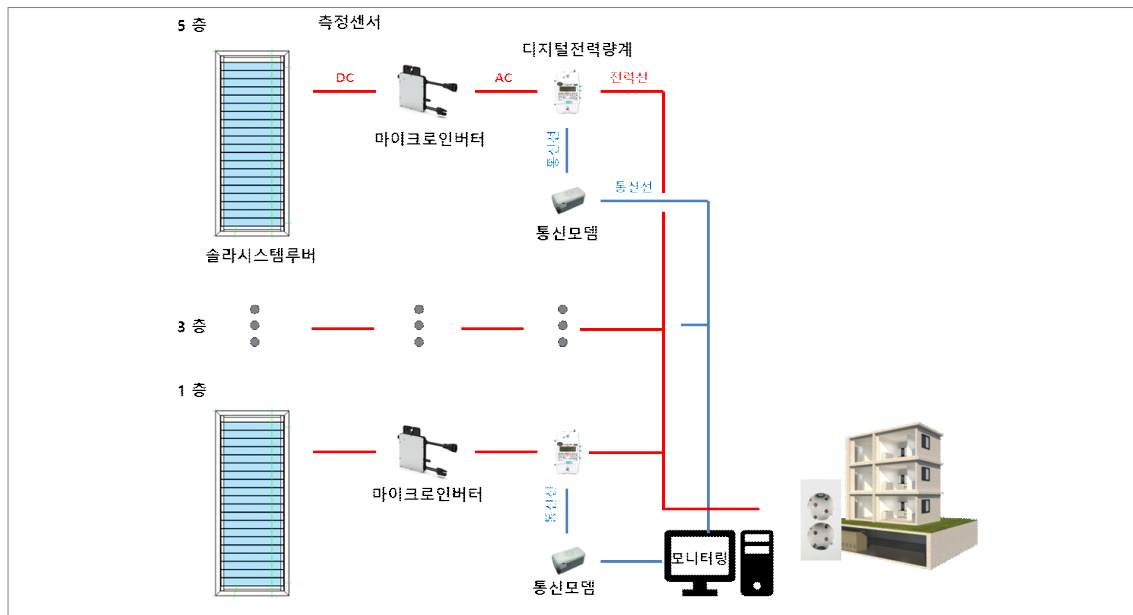
[그림 4-6] 적용 위치에 따른 BIPV 구분 (출처 : IEA PVPS Task 15 : Categorization of BIPV applications)

1. 2. BIPV 시스템 구조에 따른 분류

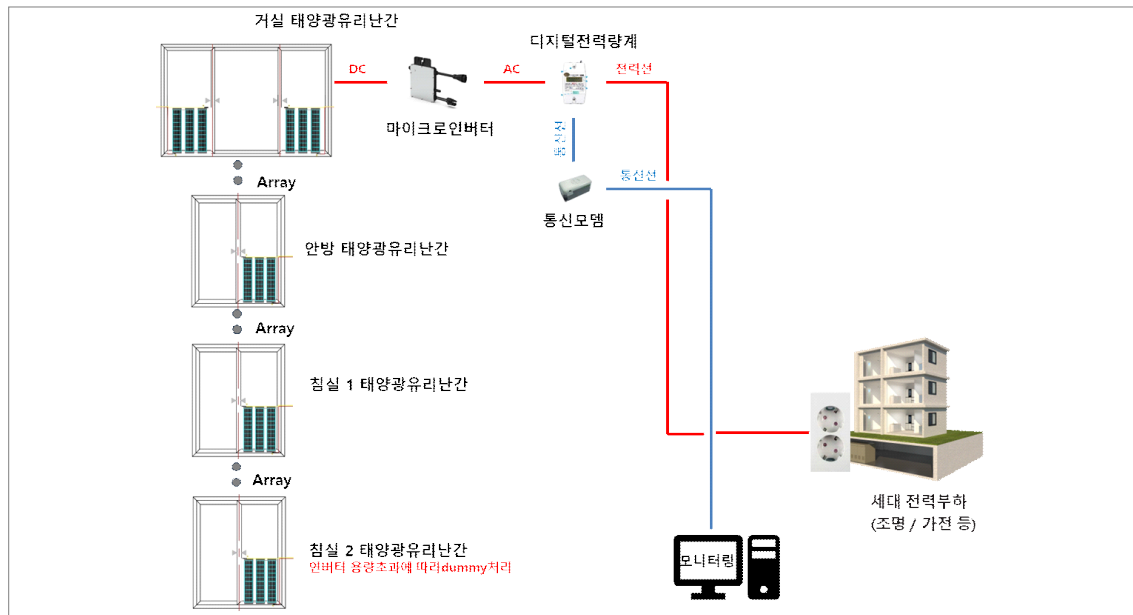
- 일반적으로 BIPV 제품은 구조에 따라 GtoG와 GtoB로 구분됨
 - G to G (Glass to Glass) : 강화유리와 강화유리 사이에 태양광 모듈을 배치하는 형태로써 태양광 모듈이 없는 영역에서는 빛 투과가 가능해 건물의 천장이나 커튼월 등에 활용이 가능
 - G to B (Glass to Backsheet) : 강화유리와 Backsheet 사이에 태양광 모듈을 배치하는 형태로써 건축물의 외벽 마감재로 사용이 가능
- 본 연구에서 실증에 사용하는 BIPV 구조는 적용형태에 따라 다음과 같이 구분됨
 - BIPV 루버 : G to B 타입
 - BIPV 난간대 : G to G 타입

1. 3. BIPV 시스템 계통 연결 계획

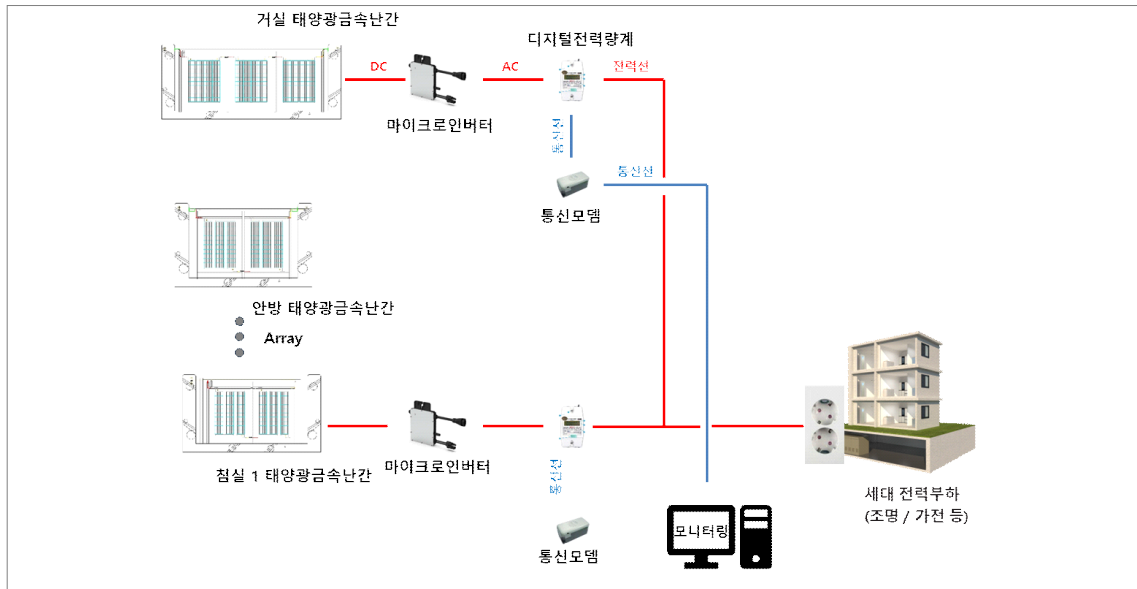
- 일반적으로 공동주택 옥상에 설치되는 태양광 발전은 공용부 전기 수용처에서 사용이 되는 형태이지만, 본 연구에서 검토하는 BIPV 루버 및 발코니 난간대가 전기 수용처가 됨
- 즉, BIPV 루버와 발코니 난간대에서 생산된 전기는 공용부에서 사용되지 않고 세대 내에서 사용이 되는 형태임
- 아래 그림과 같이 BIPV 루버는 마이크로 인버터와 디지털 전력량계에 연결되며 세대 내부에 위치한 전기 콘센트에 직접 물리는 형태임
- BIPV 유리 난간대는 거실과 침실쪽 BIPV 유리 난간대에서 발전된 전기가 마이크로 인버터 및 디지털 전력량계 1개에 연결되며, 세대 내 전기 콘센트에 연결되는 형태로 계획함
- BIPV 철제 난간대는 거실과 침실쪽 BIPV 난간대로 구분하였으며, 각각 마이크로 인버터와 디지털 전력량계에 연결하고 세대 내 전기 콘센트에 직접 연결하는 형태로 계획함



[그림 4-7] BIPV 루버 실험체 계통 계획도



[그림 4-9] BIPV 유리난간대 실험체 계통 계획도



[그림 4-11] BIPV 철제난간대 실험체 계통 계획도

2. BIPV 실험체 설치

2. 1. BIPV 시스템 현장 설치

- 현 장 위 치 : LH 주택성능연구개발센터 실증실험동 A동 (세종시 라온로 66)
- 시스템 구성 : 태양광 난간대, 태양광 실외기실 루버, 마이크로인버터, 모니터링 시스템

[표 4-1] BIPV 발전 성능 모니터링을 위한 실험체 설치 계획

시스템	설치 위치	설치 용량
실외기실 루버	1층, 3층 1호 및 2호 세대 실외기실	240W
	5층 1호 및 2호 세대 실외기실	200W
발코니 난간대 (유리형)	5층 1호(84타입)	296W (77W * 4장)
발코니 난간대 (철제형)	5층 2호(59타입)	거실 297W (99W * 3장)
		침실 296W (74W * 4장)



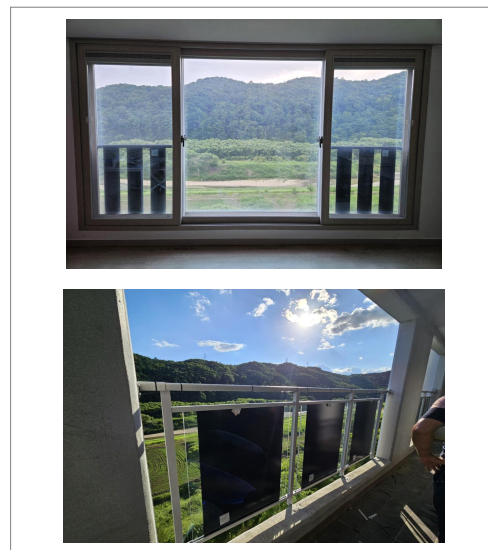
[그림 4-13] LH 주택성능연구개발센터 실증실험동 A동 전경(좌) 및 실험체별 설치 위치 계획도(우)



[그림 4-14] 에어컨 실외기실 루버 설치 전/후 모습



[그림 4-15] BIPV 루버 설치 모습

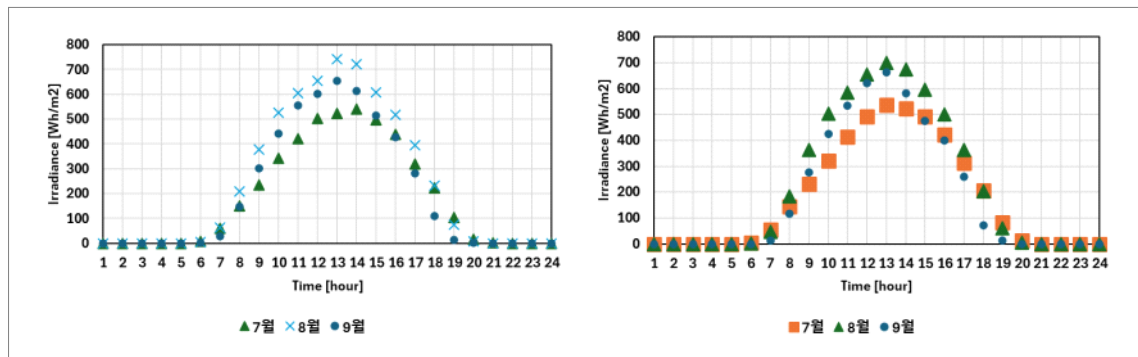


[그림 4-18] BIPV 난간대 설치 모습

3. BIPV 실험체 발전 성능 모니터링 결과

3. 1. 일사량 데이터 모니터링 결과

- 실험용 공동주택에 BIPV 루버와 BIPV 발코니 난간대 설치 후 발전량 모니터링 진행
- 실험체 및 모니터링 설치가 6월 중순에 완료되고 모니터링 시스템 조정작업으로 인해 실제 정상적인 측정은 8월부터 진행
- 실험이 진행된 7월~8월 사이 현장에서 측정한 일사량 값과 기상청 일사량 데이터가 유사한 경향을 보이는 것을 확인함
- 시간별 평균 일사량이 8월이 가장 높았으며, 7월이 가장 낮은 것으로 나타남



[그림 4-21] 2024년도 시간별 평균 일사량 (좌) 일사량 측정값, (우) 기상청 일사량 데이터

3. 2. 층 수에 따른 발전 모니터링 결과

- 실증실험동 전면부가 서향임에 따라 BIPV 루버 및 BIPV 난간대도 서향으로 설치되었고, 이에 따라 발전량이 오전보다 오후에 높은 경향을 보임
- 실험체가 설치된 후 안정적으로 모니터링이 이루어진 8월과 9월 발전량과 에너지 수율에 따르면 BIPV 루버의 경우 음영이 발생하는 1층 대비 3층과 5층의 에너지 수율이 높은 것으로 나타남
- BIPV 난간대는 유리난간대와 철제난간대의 일 최고 에너지수율이 8월과 9월 평균 0.369, 0.378로 유사한 것으로 나타났으며, 이는 난간대 형태만 다르고 같은 종류의 태양광 모듈을 사용함에 따라 비슷한 에너지수율이 나타난 것으로 판단됨

[표 4-2] 월 평균 일일 최고 발전량[Wh] 및 에너지 수율[Wh/W]

월평균 일일 발전량 최고값		101 루버	102 루버	301 루버	302 루버	501 루버	502 루버	501 유리난간	502 침실난간	502 거실난간
정격발전량[W]		240	240	240	240	200	200	296	296	297
7월	발전량 [Wh]	40	45	52	52	47	47	72	74	72
	수율 [Wh/W]	0.165	0.188	0.216	0.216	0.234	0.237	0.243	0.248	0.242
8월	발전량 [Wh]	61	69	77	78	69	70	103	110	105
	수율 [Wh/W]	0.253	0.288	0.321	0.325	0.345	0.352	0.347	0.371	0.353
9월	발전량 [Wh]	66	64	83	85	76	63	115	120	114
	수율 [Wh/W]	0.274	0.268	0.344	0.353	0.378	0.317	0.390	0.404	0.384

[표 4-3] 월 평균 일일 발전량 합[Wh] 및 에너지수율[Wh/W]

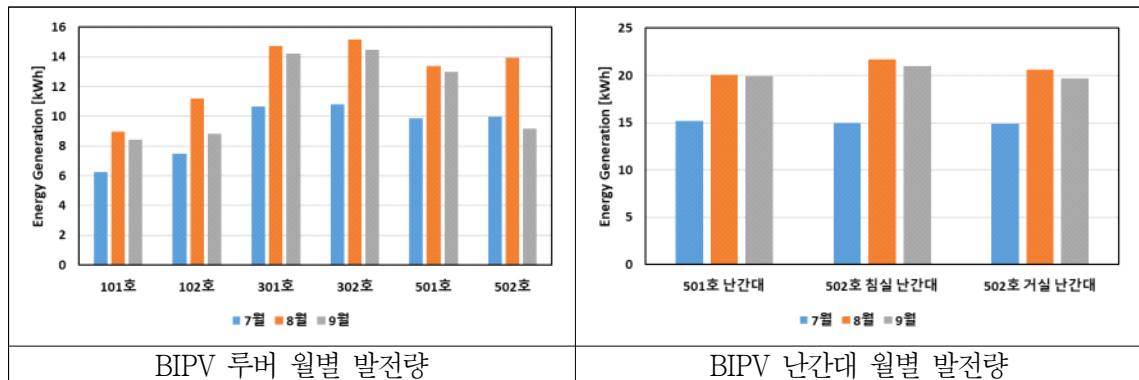
월평균 일일 발전량 합		101 루버	102 루버	301 루버	302 루버	501 루버	502 루버	501 유리난간	502 침실난간	502 거실난간
정격발전량[W]		240	240	240	240	200	200	296	296	297
7월	발전량 [Wh]	202	241	344	349	319	322	490	483	480
	수율 [Wh/W]	0.841	1.005	1.433	1.456	1.595	1.608	1.654	1.631	1.617
8월	발전량 [Wh]	289	362	475	489	432	449	648	706	666
	수율 [Wh/W]	1.204	1.509	1.978	2.038	2.158	2.245	2.190	2.387	2.243
9월	발전량 [Wh]	281	294	474	482	432	307	664	701	655
	수율 [Wh/W]	1.172	1.225	1.974	2.008	2.162	1.533	2.244	2.369	2.205

- 101호와 102호 태양광 루버의 에너지 수율에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 1층 외부 음영 영역의 차이에 의해 발생된 것으로 판단되며, 3층과 5층과 같이 외부 장애물의 영향이 미미한 경우에는 에너지 수율이 거의 같은 것으로 나타남
- 1층 실외기실 루버의 에너지 수율은 3층 대비 101호 59.7%, 102호 68.0% 정도였으며, 5층 대비 101호 54.2%, 102호 79.9% 정도인 것으로 나타남

- 9월에 502호 실외기실 루버를 완전 개방(개방각도 90°)함에 따라 에너지 수율이 501호 대비 70.9% 정도로 발전량이 약 29% 낮아진 것으로 나타남

[표 4-4] 월별 발전량 합[kWh] 및 에너지수율[kWh/kW]

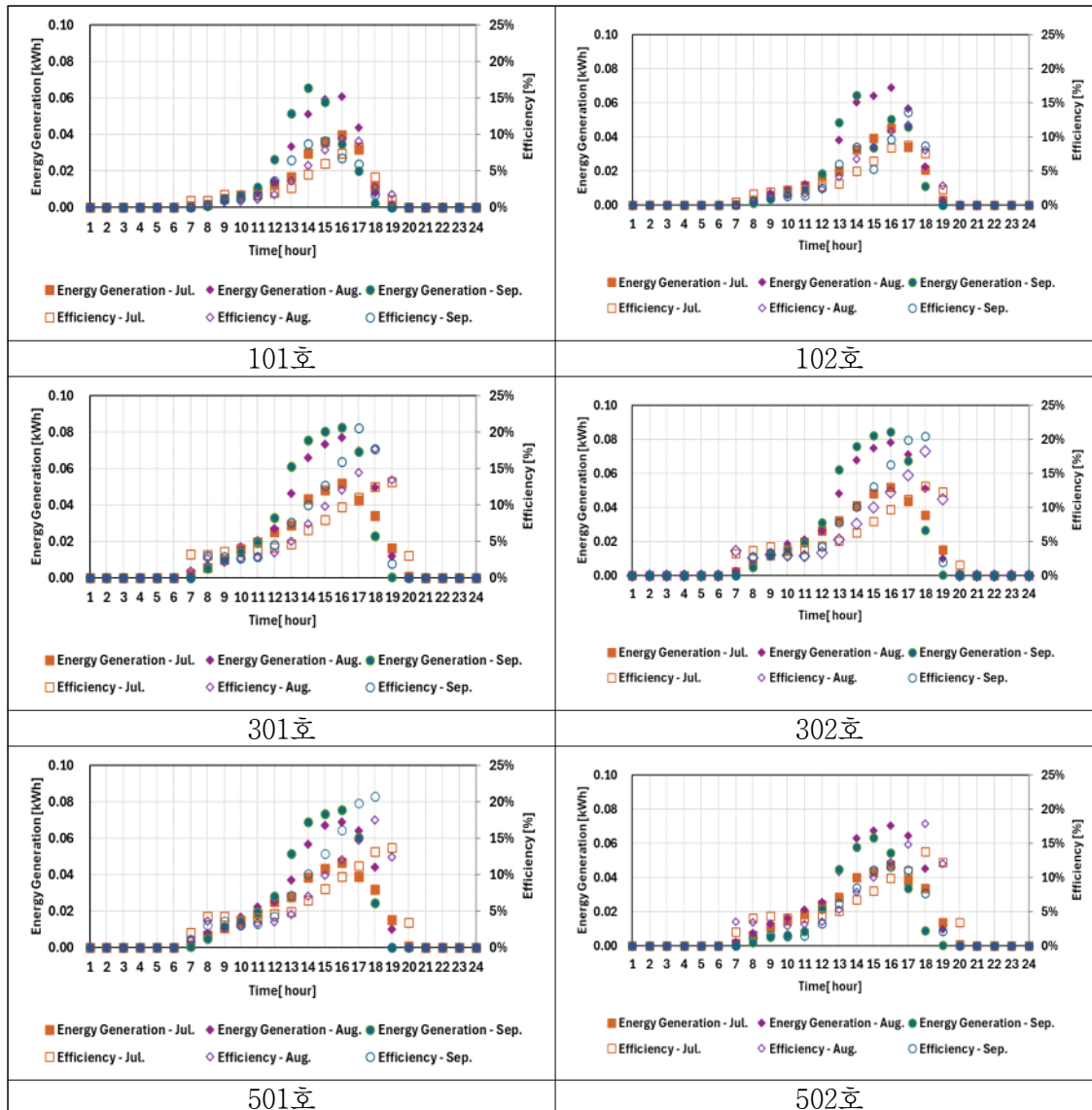
월별 발전량 합	101 루버	102 루버	301 루버	302 루버	501 루버	502 루버	501 유리난간	502 침실난간	502 거실난간
정격발전량[kW]	0.24	0.24	0.24	0.24	0.20	0.20	0.296	0.296	0.297
7월	발전량 [kWh]	6.26	7.48	10.66	10.83	9.89	15.18	14.97	14.89
	수율 [kWh/kW]	26.08	31.17	44.42	45.13	49.45	51.28	50.57	50.13
8월	발전량 [kWh]	8.96	11.23	14.72	15.16	13.38	20.1	21.9	20.65
	수율 [kWh/kW]	37.33	46.79	61.33	63.17	66.90	67.91	73.99	69.53
9월	발전량 [kWh]	8.44	8.82	14.21	14.46	12.97	19.93	21.04	19.65
	수율 [kWh/kW]	35.17	36.75	59.21	60.25	64.85	67.33	71.08	66.16



[그림 4-22] BIPV 루버 및 BIPV 난간대 월별 발전량

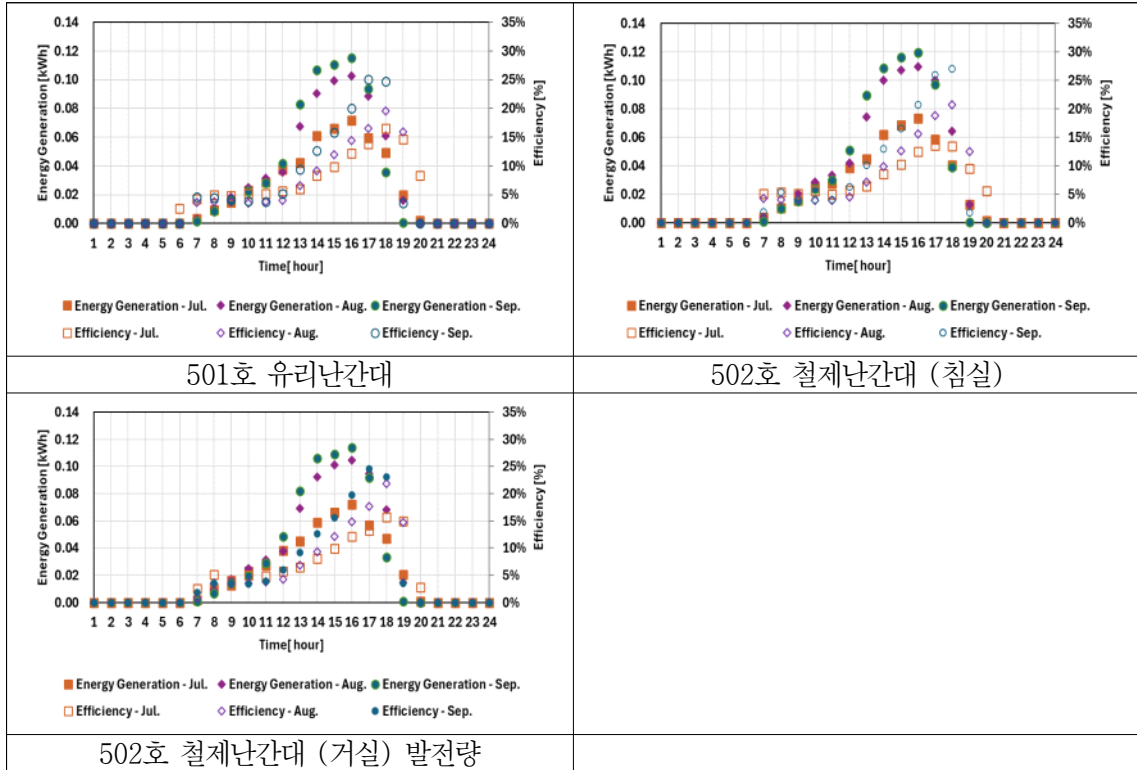
- 월평균 시간당 발전량을 보았을 때 실증실험동 전면부가 남서향임에 따라 BIPV루버와 난간대의 발전량이 오전보다 오후에 높게 나타나는 것으로 나타남
- 1층에 비해 3층과 5층의 시간대별 발전량이 더 높게 나타났으며, 301호, 302호, 501호와 같이 전면 장애물의 영향도 없고 루버를 작동하지 않고 닫힌상태에서는 7월과 8월, 9월의 시간대별 발전량이 변화하는 형태는 유사하였음
- 그런데 비록 일사량은 8월이 9월 보다 높았으나, 실험 결과 8월의 발전량이 9월 보다 높은 것으로 나타남

- 또한 9월에 루버를 완전 개방한 101호, 102호, 502호의 시간대별 발전량 변화 경향을 보면 루버를 닫았을 때와 다른 양상을 보이는 것으로 나타남. 루버를 닫은 상태에서는 16시가 가장 높은 발전량을 보였으나, 루버를 개방한 경우 14시 또는 15시에 가장 높은 발전량을 보임
- 시간대별 평균 발전 효율을 보았을 때, 외부 음영의 영향이 없고 루버 각도 변화가 없었던 301호와 302호의 경우 7월~9월 사이 15시부터 18시까지 발전 효율이 10% 이상 나오는 것으로 나타남



[그림 4-23] BIPV 루버 시간대별 평균 발전량 및 발전효율

- 아래 그림과 같이 BIPV 난간대의 발전량과 발전효율도 BIPV 루버의 발전 양상과 유사한 형태로 나타남
- BIPV 난간대의 발전효율은 7월~9월 사이 동안 14시부터 18시까지 발전효율이 10% 이상 나오는 것으로 확인됨



[그림 4-24] BIPV 난간대 시간대별 평균 발전량 및 발전효율

3. 3. 에어컨 가동에 따른 BIPV 루버 성능 영향 실험 결과

- BIPV 루버는 공동주택 에어컨 실외기실 루버를 대체하는 것으로서 태양광 발전 기능과 함께 기본적으로 에어컨 실외기의 배기 성능과 열교환 성능을 지원해야 함
- 본 절에서 수행한 실험은 에어컨 가동시 에어컨 토출 공기가 루버 뒷판 표면 온도에 끼치는 영향 또는 루버의 온도에 의한 실외기 흡입부 온도에 끼치는 영향을 파악하는 것을 목적으로 함
- 예비실험으로서 2024/8/29부터 2024/9/19까지 에어컨 가동은 없는 상태에서 101호와 102호의 루버의 개폐여부를 동일하게 설정 후 각 측정점별 온도를 비교함

- 예비실험 결과, 동일 실험이 이루어진 날 101호와 102호의 각 측정점 온도 차이는 루버를 완전 개방(예비 1)하였을 때 최대 5.0% 이하였으며, 루버를 완전 닫은 상태(예비 2)에서는 최대 2.1%인 것으로 나타나 에어컨을 가동하지 않았을 때 측정점별 온도는 유사한 것으로 나타남

[표 4-5] 예비실험 조건

구분	예비 1	예비 2
실험기간	2024/8/29-9/4	2024/9/10-9/19
실외온도	20.9℃~32.8℃	23.9℃~34.9℃
101호	에어컨 Off / 루버 완전 개방	에어컨 Off / 루버 완전 닫힘
102호	에어컨 Off / 루버 완전 개방	에어컨 Off / 루버 완전 닫힘

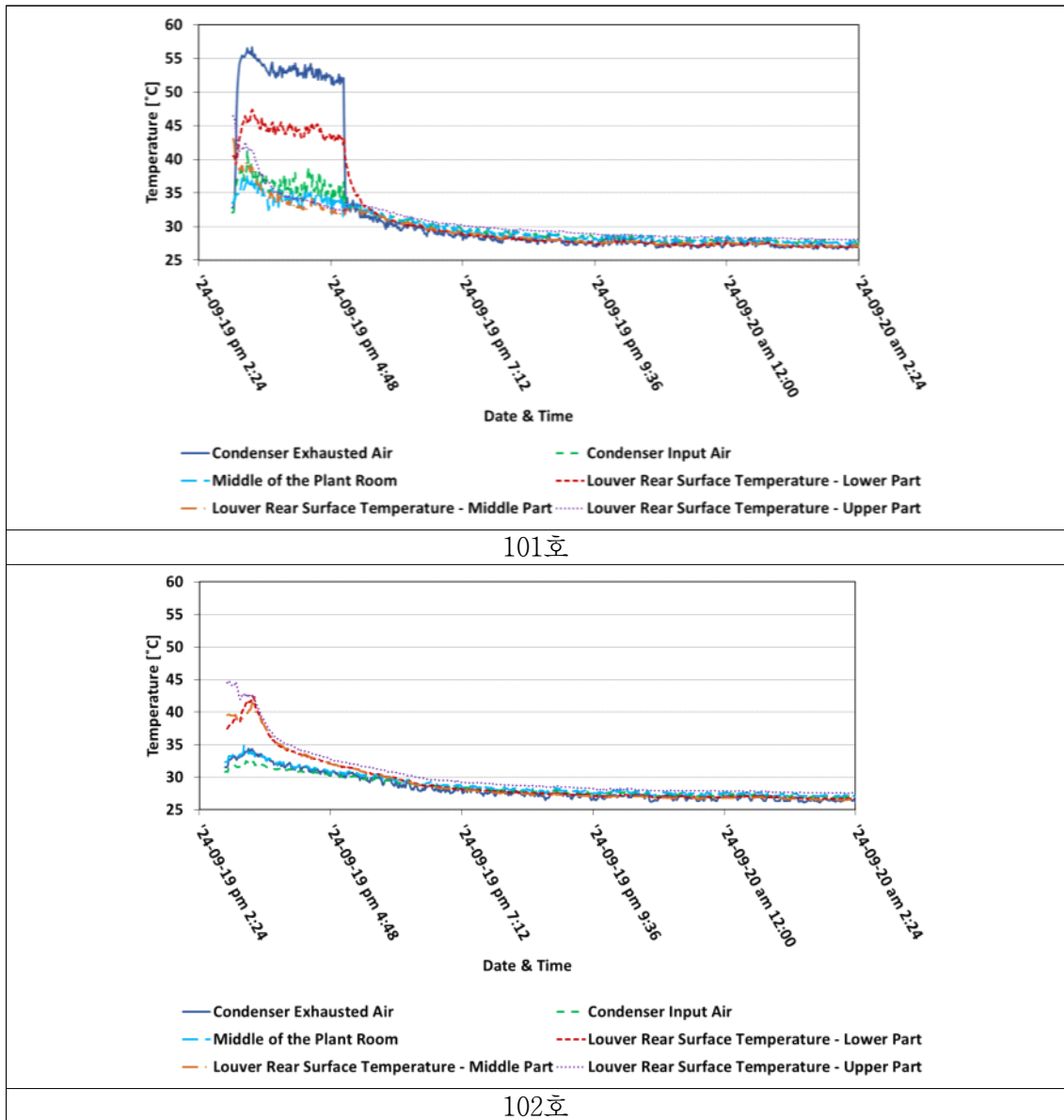
[표 4-6] 예비실험 결과

구분	예비 1					예비 2				
측정위치	A/C 토출부	A/C 흡입부	루버 하단	루버 중간	루버 상단	A/C 토출부	A/C 흡입부	루버 하단	루버 중간	루버 상단
101호	37.4℃	35.1℃	46.7℃	47.6℃	47.4℃	37.1℃	35.8℃	52.2℃	51.8℃	58.7℃
102호	38.4℃	34.9℃	47.7℃	50.1℃	46.8℃	37.9℃	35.8℃	52.9℃	52.6℃	59.0℃
Percent Difference	2.6%	0.6%	2.1%	5.0%	1.3%	2.1%	0.0%	1.3%	1.5%	0.5%

- 본 실험은 아래 표와 같이 에어컨 가동 여부에 따라 각 측정점에서의 온도 변화 및 최고 온도를 비교한 결과, 에어컨 가동시 토출 공기 온도는 최대 56.7도까지 올라갔으며, 이에 따라 실외기 앞 루버의 뒤쪽 표면 온도는 최대 47.4도로 나타나 에어컨을 가동하지 않은 102호 루버 하단 표면 온도 대비 약 11.8% 높은 것으로 나타남
- 그러나 에어컨 가동에 따른 실외기실 루버 중간부분과 상단부 측정점에서의 온도차는 각각 3.9%와 3.6% 정도인 것으로 나타남
- 실험 결과 에어컨 실외기의 토출 공기의 온도가 높아 실외기실 루버 하단부의 온도에 영향을 주지만 루버 중간부와 상단에 끼치는 영향은 크지 않은 것으로 판단됨

[표 4-7] 본 실험 조건 및 측정점별 최고 온도

구분	실험조건	측정점별 최고 온도				
실험조건	(실험기간) 2024/9/19-9/22 (외부온도) 17.7℃~33.1℃	A/C 토출부	A/C 흡입부	루버 하단	루버 중간	루버 상단
101호	에어컨 On / 루버 완전 개방	56.7℃	41.4℃	47.4℃	43.0℃	46.4℃
102호	에어컨 Off / 루버 완전 개방	34.4℃	32.5℃	42.4℃	41.4℃	44.8℃
Percent Difference		64.8%	27.4%	11.8%	3.9%	3.6%



[그림 4-25] 에어컨 가동에 따른 측정점별 온도 변화

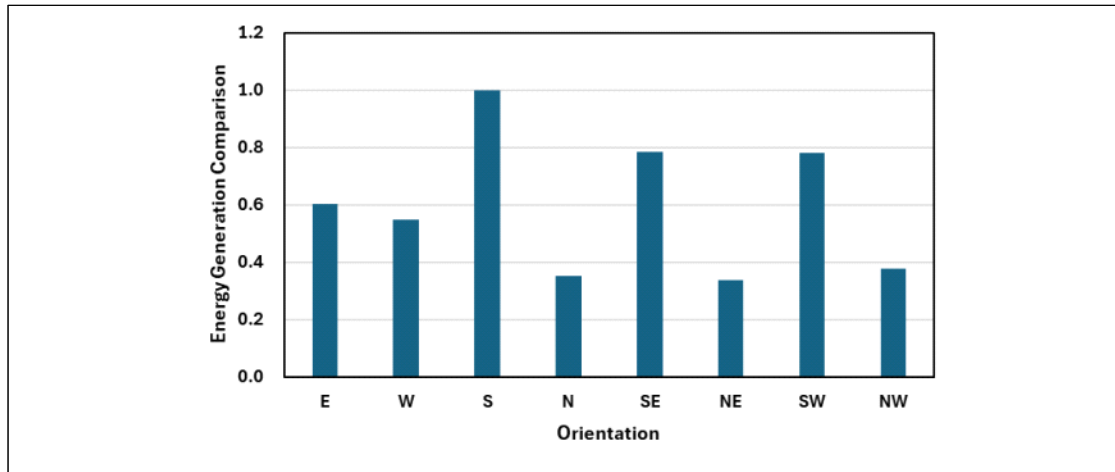
3. 4. 방위별 수직 태양광 발전 성능 비교

- 본 연구는 수직 태양광 발전 모듈의 방위별 발전량을 비교하였으며, 이를 위해 미국 NREL에서 운영하는 SAM 프로그램을 이용하여 방위별 발전 시뮬레이션을 진행하였고 주택성능연구개발센터 실증실험동 옥상에 설치된 수직 태양광 발전 모듈의 방위별 발전량을 비교함



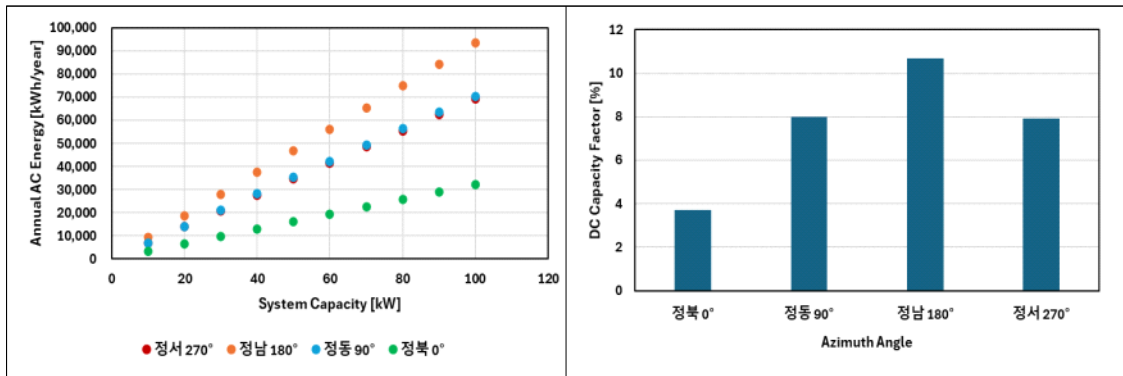
[그림 4-26] 방위별 수직 태양광 발전 패널 발전 성능 비교 실험체

- 실험은 2024/10/1~10/15까지 각 방위별로 측정된 발전량을 정남 방향 발전량과 비교함
- 실험결과 정남 방향을 중심으로 남동, 남서 방위는 정남향 발전량의 약 80% 정도였으며, 정동, 정서 방위는 약 60% 정도인 것으로 나타났으며, 정북, 북서, 북동 방위에서의 발전량은 정남향 발전량 대비 약 35% 정도인 것으로 확인됨

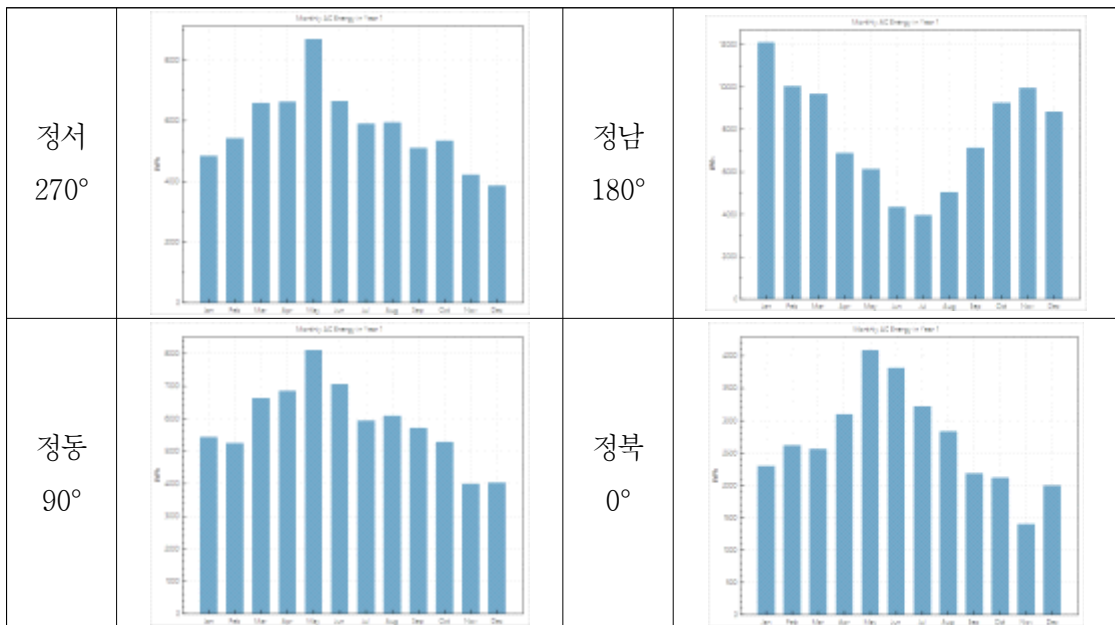


[그림 4-27] 정남향 대비 방위별 수직 태양광 발전량 비교 실험 결과

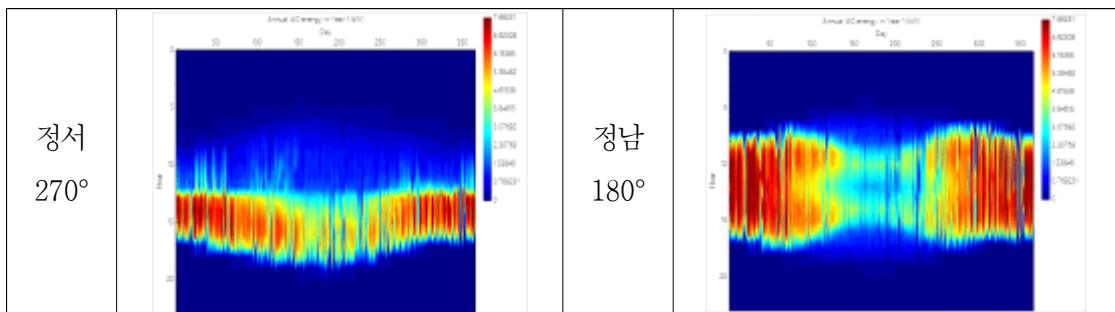
- 본 실험결과와 유사하게 SAM 시뮬레이션 해석에서도 정북 방향은 정남 방향 대비 발전량이 약 1/3 수준인 것으로 나타났으며, 정동 및 정서 방위 발전량은 정남 대비 약 65% 정도인 것으로 나타남

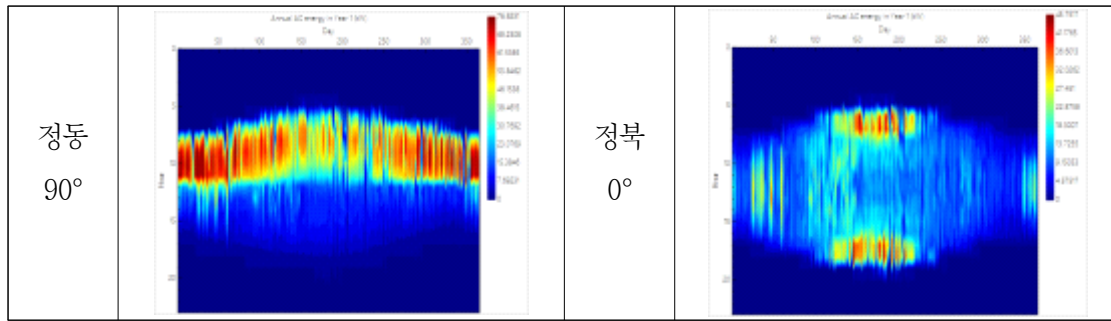


[그림 4-28] 방위별 연간 수직 태양광 발전 판넬 발전량 시뮬레이션 결과



[그림 4-29] 방위별 태양광 발전 시뮬레이션 결과 - 월별 발전량

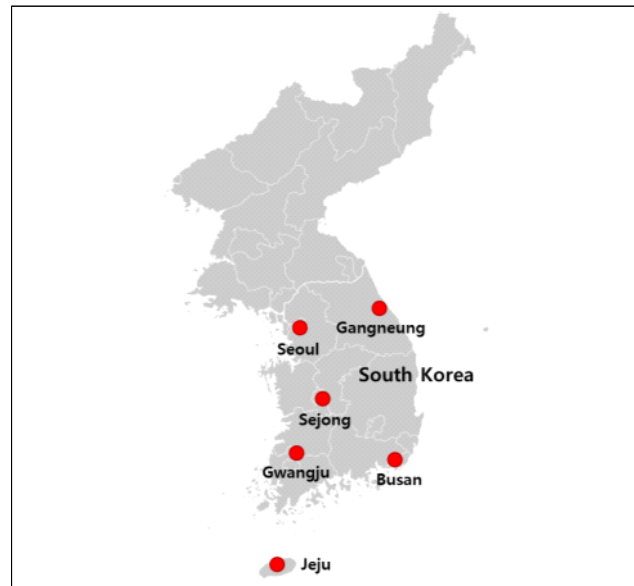




[그림 4-30] 방위별 태양광 발전 시뮬레이션 결과 - 일일 시간대별 발전량

3. 5. 경제성 분석

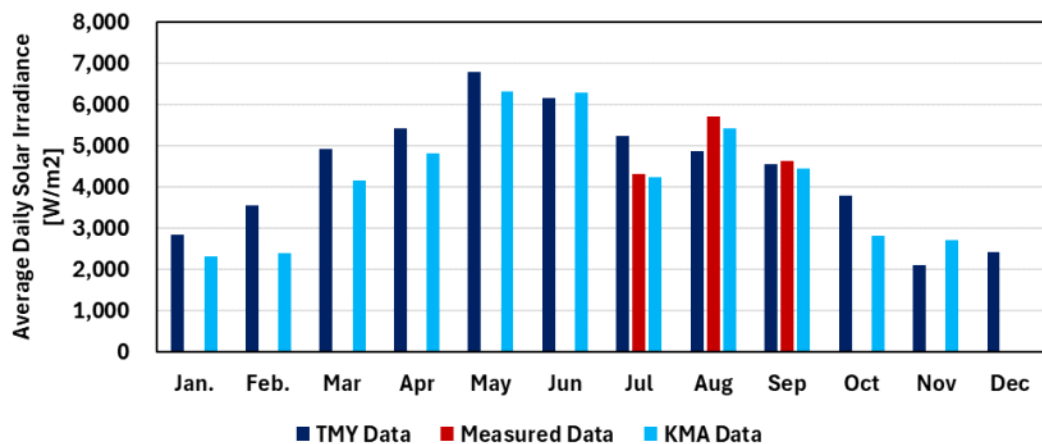
- 본 연구에서 진행한 실험은 BIPV 루버와 BIPV 난간대가 남서향으로 설치되어있으며, 세종시에 국한되었기 때문에, BIPV 시스템의 경제성 분석을 위해 다양한 기후대와 다양한 방위에서의 발전량을 검토함
- BIPV 시스템에 의한 에너지 생산의 경제적 효과를 분석하기 위해 NREL SAM 시뮬레이션을 활용하여 Parametric analysis를 수행함



[그림 4-31] 시뮬레이션을 위해 선정된 지역

- 실험 결과값을 이용하여 baseline 모델을 검증하였으며, 검증된 모델을 활용하여 한국의 여러 기후 지역을 대상으로 시뮬레이션을 진행함

- Baseline 시뮬레이션을 위해 한국 세종시의 위도와 경도를 이용하여 SAM에서 TMY 기상 data를 다운받아 시뮬레이션을 진행하였으며, TMY 기상 데이터와 2024년도 측정 데이터와 한국 기상청 데이터를 비교한 결과 global horizontal irradiance의 전반적인 경향은 비슷한 것으로 나타남
- 그러나 TMY 데이터는 5월 이후로 일사량이 줄어드는 경향을 보이고 있으나, 2024년도 측정된 일사량은 7월이 TMY 데이터보다 18% 정도 낮은 것으로 나타났으며, 8월 측정 데이터는 TMY 데이터보다 약 17% 정도 높은 것으로 나타남
- 이와 같은 기상 데이터의 차이로 인해 실험이 진행되었던 7월부터 9월 사이 시뮬레이션 결과와 실제 측정 값과 비교하였을 때 차이가 발생하는 것으로 판단됨
- 즉, 7월 실험에서 측정한 일 평균 발전량은 시뮬레이션 결과값보다 5.8% 정도 낮았으나 8월에는 실험 측정값이 약 18% 정도 높게 나타났고, 9월에는 실험과 시뮬레이션 결과값의 차이는 약 0.4%에 불과할 정도로 매우 유사한 결과를 보임



[그림 4-32] 기상 데이터 비교 분석 결과

[표 4-8] Validation analysis 결과 - 실험값과 시뮬레이션 결과 비교

구 분	Category	Jul.	Aug.	Sep.	Sum
301호	Experiment Data	10.66	14.72	14.21	39.59
	Simulation Data	11.37	12.24	14.39	37.99
	Percent Difference [%]	6.7%	16.9%	1.2%	4.0%
302호	Experiment Data	10.83	15.16	14.46	40.45
	Simulation Data	11.37	12.24	14.39	37.99
	Percent Difference [%]	5.0%	19.3%	0.5%	6.1%
Average	Experiment Data	10.745	14.94	14.335	40.02
	Simulation Data	11.37	12.24	14.39	37.99
	Percent Difference [%]	5.8%	18.1%	0.4%	5.1%

- 세종시를 포함하여 총 6개 지역과 총 8개 방위를 대상으로 parametric analysis를 수행한 결과, 세종 지역이 다른 지역보다 BIPV 루버의 발전량이 모든 방위에서 가장 높은 것으로 나타남
- 정남향(180°)을 기준으로 제주의 연간 발전량은 세종 발전량 대비 약 26.7% 정도 낮았으며, 광주는 세종 대비 약 7.1%, 부산은 약 5.4% 발전량이 낮았고, 세종보다 위도가 높은 서울과 강릉은 세종과 발전량 차이가 약 1% 정도에 불과함
- 방위별로 발전량을 비교하면, 모든 지역에서 정북 방향의 발전량이 가장 낮고 정남향 발전량이 가장 높은 자명한 결과가 나타남
- 그러나 보통 정북 방향은 BIPV가 발전이 안된다고 생각할 수 있지만, 실험 결과 정남 방향 대비 약 30% 이상 발전이 가능한 것을 확인할 수 있었으며, 특히 제주에서는 정남 대비 약 43% 수준으로 발전할 수 있는 것으로 나타남
- 정북에서 북동 또는 북서향으로 갈수록 발전량은 더욱 높아졌으며, 정서와 정동 방향으로 설치된 BIPV 루버의 성능은 정남향 대비 약 70% 이상 나오는 것을 확인할 수 있었음
- 정남향과 차이가 가장 적은 곳은 제주였으며, 정남향과 차이가 가장 큰 곳은 부산으로 나타남

[표 4-9] 시뮬레이션 결과 - 연간 에너지 발전량

연간 발전 예측량 [kWh/year]		방 위							
		North	North East	East	South East	South	South West	West	North West
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
지역	서울	58.75	84.16	135.94	174.47	183.95	172.24	134.00	83.61
	세종	65.51	90.78	140.77	177.20	186.41	175.90	138.90	89.49
	강릉	64.35	87.72	136.73	175.86	188.33	174.76	134.61	86.00
	광주	62.82	88.21	134.99	167.40	173.26	165.29	132.33	86.43
	부산	55.93	79.55	128.85	165.73	176.30	165.26	128.37	79.42
	제주	58.64	80.39	115.96	136.01	136.72	138.57	118.54	81.57

- 본 연구에서 사용한 BIPV 실험체의 초기 설치비용은 BIPV 루버와 BIPV 난간대를 구매하는 가격과 설치 비용 및 마이크로 인버터, 모니터링 시스템 등이 포함된 가격이며, 초기 설치 비용을 전체 설치 용량으로 나누어 kW당 초기 비용을 구함
- 계산 결과 초기비용은 8,763,000원/kW로 추산될 수 있었으며, 이 가격을 이용하여 240W BIPV 루버의 초기비용을 2,103,120원으로 계산함
- 일반적인 BAPV와 다르게 BIPV 시스템은 건축 요소임에 따라, 기존 시스템 설치비용에서의 추가되는 부분을 초기 투자비용으로 간주하고 simple payback period를 계산함
- 본 연구에서 사용한 BIPV 루버와 비슷한 사이즈의 실외기실 루버의 LH 설치가격은 약 500,000원임에 따라, BIPV 루버로 인해 증가된 초기 비용은 1,603,120원으로 계산됨

$$\begin{aligned}
 \text{SPP} &= \text{Initial Investment} / \text{Annual Cash Flow} \\
 &= \text{Additional Investment to the baseline} / \text{Annual Energy Cost Savings}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

- 한국의 한국전력거래소 (Korea Power Exchange, KPE)에 따르면 2024년도 태양광 발전 전력거래 평균 단가는 135.1원/kWh 이었으며, 태양광에서 생산한 발전량에 이 단가를 적용하여 발전에 따른 수익을 계산함
- 초기비용을 이 수익으로 나누어 simple payback period를 계산한 결과, 발전

량이 가장 많은 정남향에서도 simple payback period가 약 60년 이상으로 계산됨

- 이와 같은 결과는 발전량에 비해 초기 투자비가 상대적으로 매우 높기 때문인 것으로 판단됨
- 이와 같은 높은 투자비로 BIPV 경제성이 낮아짐에 따라 국내 다양한 지역에서 태양광 발전에 대한 인센티브를 제공하고 있음
- 서울 노원구, 용인시 및 화성시와 같이 지역에 따라 BIPV 초기비용의 약 90% 또는 80%를 지원하고 있으며, 이용자는 초기 비용 중 10% 또는 20%를 지불함

[표 4-10] SPP 계산 결과 - 인센티브 0% 적용

SPP 결과 (인센티브 0%)		방 위							
		North	North East	East	South East	South	South West	West	North West
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
지역	서울	202	141	87	68	65	69	89	142
	세종	181	131	84	67	64	67	85	133
	강릉	184	135	87	67	63	68	88	138
	광주	189	135	88	71	68	72	90	137
	부산	212	149	92	72	67	72	92	149
	제주	202	148	102	87	87	86	100	145

- 아래 표와 같이 인센티브를 적용하여 초기 설치비의 90%를 지원하게 되면 남향에서는 payback period가 7년 이내로 계산되며, 정북향에서는 약 20년 정도로 나타남
- 인센티브를 통해 초기 설치비의 80%를 지원하는 경우에는 정남향에서는 약 13~14년 정도로 계산할 수 있으며, 정북향에서는 약 40년 정도로 계산됨
- 따라서 BIPV 루버의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 인센티브 제공을 통해 초기 투자비를 낮추는 것이 필요함을 확인할 수 있었음

[표 4-11] SPP 계산 결과 - 인센티브 90% 적용

SPP 결과 (인센티브 90%)		방 위							
		North	North East	East	South East	South	South West	West	North West
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
지역	서울	20.2	14.1	8.7	6.8	6.5	6.9	8.9	14.2
	세종	18.1	13.1	8.4	6.7	6.4	6.7	8.5	13.3
	강릉	18.4	13.5	8.7	6.7	6.3	6.8	8.8	13.8
	광주	18.9	13.5	8.8	7.1	6.8	7.2	9.0	13.7
	부산	21.2	14.9	9.2	7.2	6.7	7.2	9.2	14.9
	제주	20.2	14.8	10.2	8.7	8.7	8.6	10.0	14.5

[표 4-12] SPP 계산 결과 - 인센티브 80% 적용

SPP 결과 (인센티브 80%)		방 위							
		North	North East	East	South East	South	South West	West	North West
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
지역	서울	40.4	28.2	17.5	13.6	12.9	13.8	17.7	28.4
	세종	36.2	26.1	16.9	13.4	12.7	13.5	17.1	26.5
	강릉	36.9	27.1	17.4	13.5	12.6	13.6	17.6	27.6
	광주	37.8	26.9	17.6	14.2	13.7	14.4	17.9	27.5
	부산	42.4	29.8	18.4	14.3	13.5	14.4	18.5	29.9
	제주	40.5	29.5	20.5	17.4	17.4	17.1	20.0	29.1

3. 6. 소 결

- 본 실험은 BIPV 루버와 BIPV 발코니 난간대가 공동주택에 적용 가능성이 있는지를 알아보기로 실험체를 설치하고 발전량을 모니터링 함
- 실험 결과, 식재로 인해 음영이 발생되어 1층 BIPV 루버 발전량이 3층과 5층 대비 약 60~80% 정도인 것으로 나타남
- 전반적으로 건물의 서향 배치로 인해 태양광 발전 가능 시간이 오후에 집중된 것을 감안하면, BIPV의 방향이 남향인 경우 더 높은 발전량을 기대할 수 있을 것임
- 또한 방위별 태양광 발전 성능 비교 실험 및 시뮬레이션 결과 BIPV가 북향으로 설치되는 경우 정남 방향 대비 약 30% 수준으로 발전할 수 있을 것으로 예상됨
- 따라서 공동주택의 에너지 생산량을 높여 에너지 자립률을 높이는 방법으로

BIPV 루버와 BIPV 난간대가 기여할 수 있을 것으로 예상되며, 직사 일사가 닿지 않는 북향에도 BIPV 시스템을 설치하면 정남대비 약 30% 수준의 발전량을 기대할 수 있을 것으로 판단됨

- BIPV 루버를 대상으로 초기 투자비와 발전에 따른 경제적 효과를 이용하여 경제성 평가를 하였을 때, 인센티브가 없으면 payback period가 매우 높게 계산이 되어 경제성이 없는 것으로 나타남
- 하지만, 인센티브를 제공하여 초기 투자비를 낮추게 되면 BIPV 시스템의 경제적 효과를 높이는데 도움이 되는 것으로 나타남

제5장 공동주택 BIPV 시스템을 위한 고려사항

1. 디자인 측면

1. 1. BIPV 적용을 위한 공동주택 디자인 방향

- BIPV 시스템은 태양광 발전을 비롯하여 기본적인 건축물 구성 요소로서 역할을 함에 따라 건축물의 미관 및 유지관리를 고려하여 설치되어야 함
- 「서울시 녹색건축물 설계 기준」(2024.1.1.)의 [별표 2]에서도 태양광 설비를 설치할 때 도시 경관 및 건축물의 미관을 고려하여 종합적으로 계획하도록 제시됨

「서울시 녹색건축물 설계 기준」(2024.1.1.)

[별표 2] 건축물의 태양광 설비 설계 기준

1. 공통사항

가. 태양광 설비는 발전효율을 고려하여 위치와 배치 형태를 결정하고, 색상과 디자인은 도시 경관 및 건축물의 미관을 고려하여 종합적으로 계획한다.

나. 태양광 설비는 ① PV(최대) → ② BIPV → ③ BAPV 순으로 설치한다.

다. 모듈의 일조시간은 1일 5시간[춘계(3~5월) · 추계(9~11월) 기준] 이상이어야 한다.

2. 옥상 및 지붕 설치 등 수평형

나. 도시경관을 고려하여 지면의 eye-level에서 차폐하고 모듈 청소 등 유지관리가 용이하도록 계획한다.

라. 평지붕 형태의 모듈 어레이 설치 시 경사각도, 단면각도, 모듈 어레이 별 이격거리 등 발전효율을 고려하여 설치한다.

마. 관리자가 점검 및 유지관리 시 추락할 위험이 없도록 점검통로 등의 점검공간을 확보한다.

바. 태양광 발전과 연계하여 옥상녹화 및 쿨루프 계획 등을 설치할 것을 권장한다.

3. 벽면 및 발코니 설치 등 수직형

가. 일조환경이 적정할 경우 건물일체형 태양광설비(BIPV)를 최대한 설치할 것을 권장한다.

나. 발전효율 및 입면 디자인을 고려하여 경사를 주는 경우에는 건축물의 미관 및 주변 경관을 고려하여 계획한다.

다. 공동주택 등 집합건물은 건축물 전체를 대상으로 계획하여 설치할 수 있다.

다만, 단위세대별로 개별 설치하는 불가하며, 동별로 설치하는 가능하다.

라. BIPV, BAPV 모듈 색상 등은 건축물 디자인에 어울리는 것을 선택하고 설계시공 시 구조 검토 등을 통해 패널 및 부속물의 탈락이 발생하지 않도록 한다.

- 세대 발코니 난간대를 활용한 태양광 발전 시스템은 태양광 발전 모듈 후면이 세대 내부를 향하기 때문에 기술적인 에너지 생산 능력뿐만 아니라 공간의 미관을 고려하는 것이 필요
- 일반적인 태양광 모듈과 백시트의 검은색 사용을 유지하는 경우 거주자의 시인성을 저해하는 요인이 될 수 있기 때문에, 아래 그림과 같이 백시트 후면 색상을 세대 내부 벽지 또는 창틀 등과 유사하게 하는 것이 필요함



[그림 5-1] BIPV 난간대 후면 색상 다양화

1. 2. BIPV 적용을 위한 공동주택 단지 디자인 방향

- 일반적으로 태양광 발전 시스템은 일사량 증가에 따라 발전량이 증가하기 때문에 낮 시간에 음영이 잘 생기지 않은 환경에 BIPV 모듈을 우선적으로 설치하는 것이 필요
- 방위별 수직형 태양광 모듈 발전량 모니터링 및 시뮬레이션 해석 결과 정동방향의 발전량이 정서방향보다 약간 높았으나 거의 같은 수준이었고, 정북 방향 및 북서, 북동 방향은 정남 방향에 비해 발전량이 30% 수준으로 낮지만 발전이 가능한 환경임을 확인함
- 따라서 아래와 같이 방위별 발전량을 고려하여 수직형 BIPV 태양광 모듈 적용 우선순위를 검토하는 것이 필요함



[그림 5-2] BIPV 적용을 위한 방위별 우선순위

- 그러나 최대한 태양광을 잘 받기 위해 주동 근처에 음영을 최소화할 수 있는 단지 배치가 필요하며, 입면의 입체화를 최소화 하는 입면디자인 검토가 필요함



[그림 5-3] 주동 입면 돌출에 따른 입면 음영 발생 (좌) 경기 하남 미사역효성해링턴타워, (우) 노원EZ하우스 (출처 : 노원EZ센터)

- 세대별 일조권 및 BIPV 발전 효율을 확보를 위해 단지 내 공동주택 이격거리를 적절히 유지하는 것이 필요함
 - 저층동은 단지의 바깥쪽에 배치하고 고층동은 단지의 가운데에 배치하여 인접동에 의한 음영 발생을 최소화할 수 있음
 - 주동과 함께 BIPV를 적용할 수 있는 공용시설도 일사를 받을 수 있도록 단지 외부에 배치하고 단지 안쪽에는 단지 내 공원 및 놀이시설 등을 배치하는 것도 고려할 수 있음



[그림 5-4] 적절한 동별 이격거리 및 저층동 외곽 배치 사례 (출처 : 한신공영(주))

1. 3. BIPV 적용을 위한 공동주택 주동 디자인 방향

- 에너지 생산량 측면에서 거주동 옥상 공간 및 구조물을 활용하여 BIPV 설치

면적을 확보하는 것이 가능할 것임

- 옥상을 정원으로 계획 시, 태양광 발전 시스템을 캐노피 형태로 옥상 정원에 설치함으로써 캐노피 하부 옥상 공간은 주민들의 커뮤니티 장소로 활용하는 동시에 캐노피 상부에서는 발전을 할 수 있음
- BIPV 옥상 캐노피 적용시 G to G 방식 등의 적용을 통해 캐노피 하부에 자연채광을 유입하여 쾌적한 커뮤니티 공간 창출이 가능할 것임



[그림 5-5] 옥상 구조물을 활용한 태양광 발전 설치 사례 (좌) 태양광 발전 캐노피, (우) 태양광 옥상 지붕

○ 공동주택 에너지 자립 성능 향상을 위해 주동 입면에 BIPV를 적용하는 것이 필요함

- 외벽면에 BIPV 모듈 설치 시 음영 여부, 태양광 발전 설비 설치 가능 여부, 디자인 측면 등 다양한 측면에서 검토가 이루어져야 함
- 벽면 BIPV를 비롯해 발코니 난간대 형태, 에어컨 실외기실 루버, 차양 등 다양한 형태의 BIPV 시스템을 공동주택 주동 또는 커뮤니티 시설에 적용할 수 있을 것임

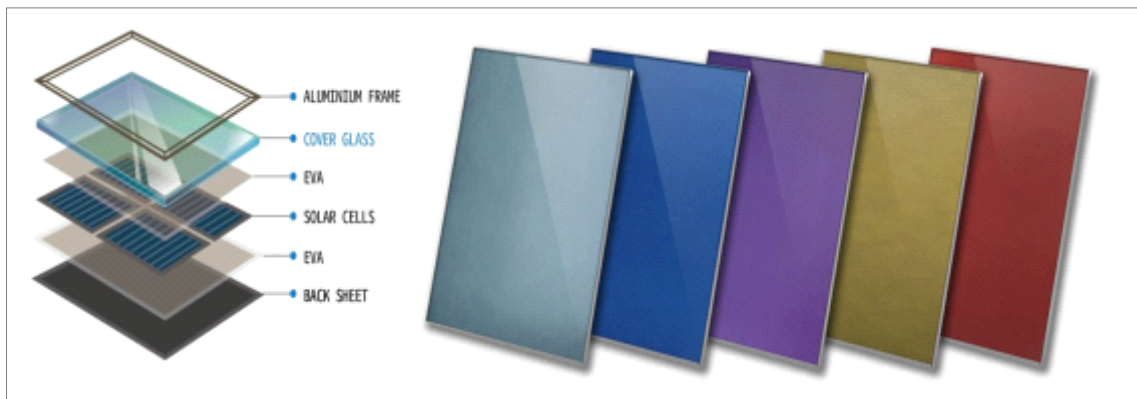


[그림 5-6] 에어컨 실외기실 BIPV 태양광 루버 제품 예시 (출처 : (좌) 에스케이솔라에너지, (우) LX하우시스)



[그림 5-7] 투과형 BIPV 창문 예시 (출처 : (좌) ALU Enc, (우) ㈜메카로에너지)

- 주동 창과 창 사이 벽면에 태양광 발전 시스템의 설치가 가능하므로 적절한 크기의 태양광 모듈의 선정이 필요함
 - 공동주택 단지별 외벽 색상 또는 커튼월록 디자인을 고려하여 태양광 모듈의 색상을 적절히 선정하는 것이 필요함
- ※ 일반적으로 태양광 모듈의 색상이 검은색에 가까울수록 발전효율이 높아지지만, 특수 코팅 기법을 적용하여 높은 일사 투과율을 유지하여 발전효율 저하는 줄이면서 원하는 색상 발현이 기술적으로 가능한 상황임



[그림 5-8] BIPV cover glass 특수 코팅을 통한 다양한 색상 발현 (출처 : ㈜에스제이신소재)

- 1.2m 높이 외부난간을 활용한 BIPV 설치가 가능하며, 주동의 측벽을 활용한 BIPV 설치도 가능



[그림 5-9] 주동 옥상 및 단지 펜스 적용이 가능한 외부 난간형 BIPV 시스템

- 커튼월 형태로 BIPV 설치시 통풍구조에 대한 검토가 필요하고, BIPV의 발열로 인한 화재발생여부를 확인하여 진행 필요
- 테라스주택 등 디자인특화를 통해 지어지는 공동주택의 경우, 테라스의 차양이나 파라펫을 활용한 BIPV 설치 가능

2. 안전성 측면

2. 1. 화재 안전성 측면

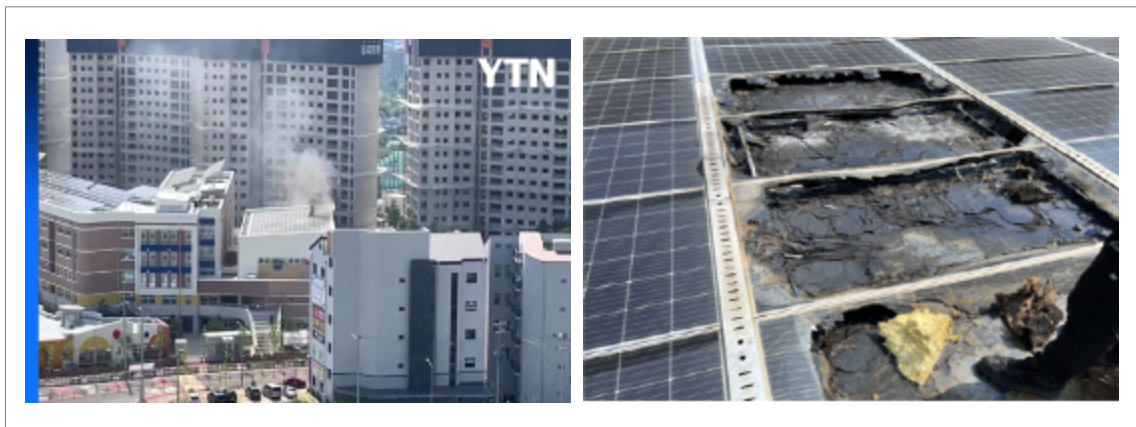
- 외장재 또는 건물의 구성요소로서 BIPV 적용하기 위해서는 구조 및 화재 안전성이 확보되어야 함
- 신재생에너지원으로서 태양광 발전 시스템 보급 확산과 함께 태양광 발전시설 화재건수도 증가하는 추세임
- 화재 발생 요인으로 전기적 요인(77.9%) >> 기계적 요인(9.9%) > 미상(3.7%) > 자연적 요인(2.9%), 기타(2.9%) > 부주의(2.7%) 순으로 나타나 전기적 요인에 의한 화재 발생이 압도적이었음⁶⁾
- BIPV는 수직 형태 적용이 많으며 이에 따라 화재 발생시 수평방향보다 수직 방향으로 화재확산속도가 훨씬 빠르기 때문에⁷⁾ 화재가 발생되지 않도록 계

6) 출처 : 소방청 국가화재정보시스템

7) 최정민, 여한승, 이길용, 박계원, 2021, “건물일체형 태양광 모듈(BIPV) 외장재에 대한 화재안전성 시험방법 제안 및 국제표준화 필요성”, 2021년 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제41권 제2호

획, 설치, 관리에 신중해야 함

- BIPV 패널과 건축물 사이 공기층은 화재발생시 가연물에 산소 공급, 부력에 의한 연돌효과 발생으로 화재 및 연기 확산에 기여하여 화재 성장을 가속화하는데 역할을 할 수 있음
- 화재 발생 시 BIPV 시스템의 생산 전류에 의해 화재 진압시 감전 위험 발생 가능
- 화재가 발생되지 않도록 BIPV 설치 계획, 자재 선정 기준 등을 명확히 하는 것이 필요⁸⁾
 - 화재위험성을 고려하여 결정질 모듈은 G2G 방식을 사용하고, 박막형 BIPV 모듈은 후면에 불연재를 적용해야 함
 - 태양전지의 모듈, 전선, 개폐기 및 기타 구성품은 충전 부분이 노출되지 않도록 설치해야 함
 - 태양광설비의 고장이나 계통 연계 문제 발생 시 회로를 분리할 수 있는 안전장치를 설치해야 함
 - 태양광설비의 최대 출력전류 이상의 허용전류를 고려한 전선 굵기를 선택해야 함
 - 모듈 및 기타 기구에 전선을 접속하는 경우 기계적·전기적으로 안전하게 접속해야 하며, 접속점에 장력이 가해지지 않도록 설치해야 함
- BIPV 화재 발생시 거주자의 피난을 위한 대응 방안 마련이 필요하며, 실내에 BIPV 시스템 주변에 소화 수단 설치를 고려해야 할 필요가 있음



[그림 5-10] BIPV 천장재 화재 사고 현장 (진주 초등학교 화재, 2023.6.) (출처 : YTN뉴스, 소방방재신문)

8) 신형두, 2024, “건축물에 설치되는 태양광설비의 방호기준 (KFS-414) 제정”, 화재보험협회

2. 2. 유지관리 측면

- 일반적인 BAPV 태양광 발전 시스템과 달리 BIPV 시스템은 태양광 발전 기능과 함께 건축 요소로서의 기능도 수행해야 함에 따라 BIPV 구성 요소가 건물의 외벽, 지붕 등에 통합되어 설치되는 경우가 있음
- 이와 같은 여건으로 인해 BAPV보다 상대적으로 BIPV의 설치 및 유지관리 용이성이 낮을 수 있으며, 이로 인해 BIPV 시스템 운영 중 고장, 파손 등과 같은 문제가 발생하는 경우 수리 등 조치가 용이하지 못할 수 있음
- 또한 태양광 전지 특성상 상시 옥외 노출로 인해 바람, 우박, 비·눈, 낙뢰 등에 의한 위험 발생 가능성도 있음
- 따라서 BIPV 시스템의 안전성을 향상시키고 유지관리 용이성을 높이기 위한 명확하고 체계적인 유지관리 기준 및 가이드 등의 마련이 필요함⁸⁾
 - 상시 점검, 정기 점검 등 점검 계획을 세부적으로 수립하고 실시해야 함
 - 열충격으로 인한 모듈 손상 방지를 위해 태양광 어레이의 온도를 확인해야 하며, 온도가 높은 경우 차가운 물을 뿌려서 청소하면 안됨
 - 접속함 및 인버터 내부에는 먼지가 적치되지 않도록 관리해야 함
- BIPV 모듈의 수직 설치 시 중력에 의한 전선의 처짐 발생과 이로 인한 장력 발생 방지를 위해 전선관 또는 전선 트레이를 설치하는 것이 필요할 것임

3. 경제성 측면

- BIPV는 대체로 건물의 지붕, 외벽, 난간, 창문 등을 대체하여 적용될 수 있기 때문에 BAPV와 비교하였을 때 태양광 모듈의 설치 각도가 제한적인 상황임
- 보통 건축물에 적용되는 BIPV 태양광 모듈의 각도는 수평 또는 수직방향임에 따라 태양광 발전 효율이 BAPV보다 낮게됨
- 또한 일반적인 BAPV 태양광 모듈은 건축물의 미관보다 기능에 보다 초점이 맞추어져 있어 색상 선택에서 보다 자유로운 측면이 있으나, BIPV는 건축물의 외장재 또는 구조물로서의 역할을 함에 따라 미적인 부분을 고려해 건축 디자인에 적합한 색상을 선택해야 함

- 이로 인해 일반적으로 BIPV의 발전 효율은 BAPV와 비교하였을 때 더 낮아지게 되지만, BIPV의 설치 가격은 BAPV보다 높은 것이 현실임
 - 한국에너지공단의 신재생에너지 에너지원별 단가 정보에 따르면 BIPV의 가격은 BAPV 보다 약 2.5배~3배 정도 높은 것으로 판단됨
- 따라서 BIPV 보급 확산을 위해서는 가격 경쟁력을 확보하기 위한 방안 마련이 필요
 - BIPV 초기 투입 비용 저감을 위해 정부 및 지자체 지원금 등 인센티브 도입 검토가 필요할 것임
 - BIPV는 BAPV와 비교하였을 때 태양광 모듈이 표준화되지 않아 공장자동화 진행이 어려운 환경으로, 이에 초기 투입 비용이 높을 수 있음
 - 따라서 BIPV 모듈의 표준 사이즈 개발 등과 같은 방법을 통해 BIPV 시스템의 공장자동화 도입 및 초기 비용 저감을 이루는 것이 필요할 것임
- BIPV 시스템의 보급 확산을 위해서 BIPV의 성능과 경제적 효과 등에 대한 보다 체계적인 후속 연구를 진행하는 것이 필요하며, 특히 실제 공동주택을 대상으로 한 장기 실증 실험 수행도 이와 같은 검토를 위해 필요할 것으로 판단됨
 - BIPV 설치 지역의 기후 및 환경 여건을 고려한 인센티브 개발을 위해 국내 다양한 기후대에 위치한 공동주택을 대상으로 한 장기 모니터링

참고문헌 Reference

- 신형두(2024), “건축물에 설치되는 태양광설비의 방호기준 (KFS-414) 제정”, 화재보험협회, Webzine Vol. 107
- 최정민, 여한승, 이길용, 박계원(2021), “건물일체형 태양광 모듈(BIPV) 외장재에 대한 화재안전성 시험방법 제안 및 국제표준화 필요성”, 2021년 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 제41권 제2호
- 이효문, 배상순, 최민주, 김동수, 윤종호(2022), “실측을 통한 북향 설치 PV 시스템의 발전 성능 평가”, 한국태양에너지학회, Vol. 42, No. 5, pp. 1-12
- 방선규, 유정현, 김가연, 윤인환(2021), “공동주택 주거밀도와 난방방식에 따른 에너지 자립률 달성방안에 관한 연구”, 한국건축친환경설비학회, Vol. 15, No. 6, pp. 636-645
- 원종연, 태영란(2021), “제로에너지건축물 인증을 고려한 공동주택 태양광 발전시스템 적용 방안”, 한국건축친환경설비학회, Vol. 15, No. 3, pp. 279-288
- 문정현, 김재철(2021), “제로에너지 도시를 위한 일조분석을 통한 태양광 설치유형별 발전 용량 및 에너지자립률 산정 사례 연구”, 조명·전기설비학회논문지, Vol. 35, No. 1, pp. 43-50
- 이소미, 윤철, 이용호(2008), “공동주택의 태양광발전설비 적용을 위한 설계방법에 관한 연구”, 한국신·재생에너지학회 2008년도 추계학술대회논문집, pp. 98-101
- 이상운, 이루다, 윤종호, 김동수(2021), “BIPV 설치 용량에 따른 아파트 단지 에너지 자립률 분석”, 한국태양에너지학회, Vol. 41, No. 3, pp. 25-37
- 조경주, 조동우(2020), “루버일체형 양면형 태양광 모듈의 건축적 활용을 위한 발전성능 평가”, 한국건축친환경설비학회, Vol. 20, No. 5, pp. 129-134
- 곽병창, 김길태, 황인태(2024), “Integration of photovoltaic systems for energy self-sufficient low-rise multi-family residential buildings in Republic of Korea”, Buildings, MDPI, Vol. 14, pp. 2522

- 박보량, 정민희(2023), “Analysis of the additional energy-saving potential of residential buildings after mandatory zero-energy buildings to achieve carbon neutrality in South Korea”, *Building and Environment*, Vol. 228, pp. 109908
- 엄지영, 김용기(2018), “Applicability analysis of residential energy storage system (ESS) using HOMER in Korea”, *Grand Renewable Energy 2018 Proceedings*, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan, June 17–22, 2018
- 이경호, 이진국, 윤응상, 주문창, 이순명, 백남춘(2014), “Annual measured performance of building-integrated solar energy systems in demonstration low-energy solar house”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 6, No. 4, pp. 042013
- 김진희, 김하연, 김준태(2015), “Analysis of Photovoltaic Applications in Zero Energy Building Cases of IEA SHC/EBC Task 40/Annex 52”, *Sustainability*, MDPI, Vol. 7, pp. 8782–8800
- 김성열, 최호순, 엄정희(2018), “Energy-Independent Architectural Models for Residential Complex Plans through Solar Energy in Daegu Metropolitan City, South Korea”, *Sustainability*, Vol. 10, No. 2, pp. 1–20
- 정창현(2017), “PV시스템 적용 공동주택의 에너지 제로화를 위한 적정 건축-규모 검토”, *한국건축친환경설비학회*, Vol. 11, No. 2, pp. 113–120
- 이효문, 최민주, 이루다, 김동수, 윤종호(2021), “Energy performance evaluation of a plus energy house based on operational data for two years: A case study of an all-electric plus energy house in Korea”, *Energy and Buildings*, Vol. 252, pp. 111394