

# 2026 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회

탄소중립, 태양에너지로 여는 지속가능한 미래  
A Sustainable, Carbon-Neutral Future Powered by Solar Energy

2026. 4. 22(수)  
~ 24(금)  
대구 EXCO



포항 농산물도매시장  
(Photo by 김승진)

### 주관

 한국태양에너지학회  
THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY

### 후원

-  한국에너지공단
-  한국에너지기술평가원
-  KITECH  
한국과학기술연구원
-  한국에너지기술연구원
-  한국조명·전기설비학회
-  한국태양광공사협회
-  한국태양에너지협회
-  한국전기기술사회
-  Flyin Energy
-  kharn
-  SUNPORTAL
-  SUNDA  
신대공과주식회사
-  D&B
-  SI
-  exco

### 특별회원사

-  금강전기산업(주)
-  (주)이삭에너지
-  DS S n B
-  (주)신력에너지
-  (주)신력에너지
-  (주)원광에스앤디
-  비원이티에스(주)
-  SENAR SOLAR
-  GRANDSUN
-  McScience
-  SC ENERGY
-  B&P
-  (주)더블유피
-  HAein
-  (주)한화 건설부문
-  (주)에이스티어



한국태양에너지학회  
THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY

세종특별자치시 한누리대로 249 에스제이타워 804호(나성동)  
·전화: 044-864-1977 ·팩스: 044-864-1978 ·이메일: solar@kses.re.kr



**성실·책임시공**을 기본으로 하는 기업!  
**최고의 기술**로 만족을 드리는 기업!!  
**더 나은 내일**을 추구하는 기업!!!

“ **당신의 든든한 사업파트너**  
**금강전기산업(주)** 는 에너지특화기업 지정업체로  
 정부지원 사업에 전문화 되어 있는 기업입니다. ”



- 사 업 내 역**
- 전기/통신/소방/기계설비/지하수이용 개발시공업/금속창호
  - 태양광/태양열/연료전지/지열/풍력/BIPV/발전사업(RPS)
  - ESCO



# 2026 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회

탄소중립, 태양에너지로 여는 지속가능한 미래  
A Sustainable, Carbon-Neutral Future Powered by Solar Energy

2026. 4. 22(수)  
~ 24(금)  
대구 EXCO

### 주관



### 후원



### 특별회원사



포항 농산물도매시장  
(Photo by 김승진)

 **한국태양에너지학회**  
THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY

세종특별자치시 한누리대로 249 에스제이타워 804호(나성동)  
·전화: 044-864-1977 ·팩스: 044-864-1978 ·이메일: solar@kses.re.kr



“본 사업은 기획재정부의 복권기금 및 과학기술정보통신부의 과학기술진흥기금으로 추진되어 사회적 가치 실현과 국가 과학기술 발전에 기여합니다.”

# CONTENTS

■ 초대의 글	5
■ 서문	6
■ 축사	7
■ 2026 한국태양에너지학회 춘계학술대회 조직위원회 구성	9
■ 2026 한국태양에너지학회 춘계학술대회 프로그램위원회 구성	10
■ 진행 일정	11
■ Special Session	12
■ Oral Session	16
건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)	16
제로에너지건물 Zero Energy Buildings (ZEB)	17
건축환경 Building Environment Engineering (BEE)	18
태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)	19
태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)	21
풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)	22
신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)	23
자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)	24
에너지정책 및 기업기술 Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT)	25
■ Poster Session	26
■ 참가 및 등록안내	270
■ 주요 행사일정 및 장소	271
■ 구두 및 포스터 발표 안내	273
■ 좌장 및 발표자 숙지사항	274
■ 발표장 안내도	275
■ 대구 EXCO 오시는 길	276





## 초대의 글



존경하는 한국태양에너지학회 회원 및 산·학·연 관계자 여러분께,

한국태양에너지학회는 ‘탄소중립 시대, 태양에너지로 여는 지속가능한 미래’라는 시대적 비전을 바탕으로, 기후위기 대응과 에너지 전환을 선도할 태양에너지 기술을 공유하고 실질적인 보급 및 확산 전략을 모색하고자 2026년도 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회를 대구 EXCO에서 개최합니다.

본 학술대회는 2026년 4월 22일(수)부터 24일(금)까지 개최되며, 태양광 및 태양열, 수소 및 에너지 저장기술(ESS), 제로에너지건축 및 분산형 에너지시스템 등 재생에너지 융복합 분야의 최신 연구성과와 산업 동향을 종합적으로 다루는 교류의 장이 될 것입니다. 학술 논문 발표는 물론 산업체와 연계한 심포지엄, 워크숍, 기술 세미나, 공모전 전시, 사진 전시, 포스터 발표 등 다양한 프로그램을 통해 학문과 산업이 유기적으로 연계되는 열린 플랫폼을 제공하고자 합니다.

특히 정부의 2050 탄소중립 정책과 재생에너지 보급 확대 전략에 발맞추어, 이번 학술대회는 태양에너지 기술이 탄소 감축과 지속가능한 에너지 체계 전환의 핵심 수단임을 재조명하고, 학계·산업계·정책 분야가 함께 실천 가능한 미래 전략을 논의하는 자리로 기획되었습니다.

회원 여러분과 관련 전문가 여러분의 적극적인 참여와 성원을 부탁드립니다. 본 학술대회가 저탄소 사회로의 전환을 함께 모색하는 의미 있는 학술 교류의 장이 되기를 기대합니다.

감사합니다.

2026. 4  
2026년 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회  
조직위원장 **임재한** 올림

# 서문

존경하는 한국태양에너지학회 회원 및 특별회원사 여러분께,  
안녕하십니까.

2026년 한국태양에너지학회 춘계학술대회의 공동 프로그램  
위원장 오원욱, 문선혜입니다.

최근 우리나라 에너지 분야는 탄소중립 실현과 에너지안보 확보, 그리고 산업경쟁력 제고를 함께 달성하기 위한 방향으로 새로운 전환점을 맞이하고 있습니다. 분산에너지 활성화 정책의 본격 추진과 재생에너지 보급 확대, 건축 부문의 제로에너지건축물 확산 등은 에너지 기술이 생산·저장·소비 전 영역에서 유기적으로 연결되어야 함을 보여주고 있습니다. 이에 따라 태양에너지를 비롯한 신재생에너지 기술은 발전설비의 고도화를 넘어 건물, 산업, 지역사회, 전력시장과 연계되는 국가 에너지전환의 핵심 기반으로 그 역할이 더욱 확대되고 있습니다. 이러한 시점에 개최되는 이번 학술대회는 관련 분야 전문가들이 한자리에 모여 국내외 연구성과와 정책·산업 동향을 공유하고, 지속가능한 미래 에너지 사회를 위한 협력과 비전을 함께 논의하는 소중한 자리가 될 것입니다.

이번 학술대회는 태양광에너지, 태양열융합, 풍력에너지, 신재생융합, 자원량평가, 에너지저장 및 섹터커플링, 태양수소에너지, 에너지정책 및 기업기술, 건물에너지설비, 건축환경, 제로에너지건물 세션 등 총 11개 분과로 구성되어 있습니다. 또한 P2H 열에너지 수요관리, 재생열 기술 및 정책, 집광채광 기술세미나, 데이터센터와 재생에너지, BIPV 특별 기술세미나, 해양 재생에너지와 해상풍력 에너지 허브, 한국조명·전기설비학회 공동워크숍, 2026 태양광 산업포럼 특별세션 등 다양한 프로그램을 통해 폭넓은 연구 발표와 논의가 이루어질 예정입니다. 더불어 대구 엑스코에서 동시 개최되는 그린에너지 엑스포와의 연계성을 통해 참가자 여러분께서는 학문적 성과뿐 아니라 산업계의 최신 기술과 시장 동향까지 폭넓게 접하실 수 있을 것입니다. 이는 학술과 산업이 서로의 방향을 확인하고 협력의 가능성을 넓히는 좋은 기회가 될 것으로 생각합니다.

이번 학술대회에서 발표되는 연구들은 기후위기 대응, 탄소중립, 재생에너지 보급 확대, 건물에너지 혁신, 차세대 융합기술 등 현재 우리 사회가 직면한 주요 과제와 긴밀히 맞닿아 있습니다. 다양한 전공과 분야의 연구자, 산업계 전문가, 정책 관계자들이 함께하는 이번 자리를 통해 최신 연구 동향에 대한 이해를 넓히고, 서로 다른 영역 간 융합과 협력의 가능성도 더욱 깊이 모색할 수 있기를 기대합니다.

본 학술대회의 성공적인 개최를 위해 많은 분들께서 아낌없는 지원과 헌신을 보내주고 계십니다. 학회 운영과 학술대회 준비를 위해 애써주신 김영원 회장님과 임재한 조직위원장님을 비롯한 조직위원회 및 프로그램위원회 위원 여러분께 깊이 감사드립니다. 특히 프로그램 구성과 발표 준비를 위해 수고해주신 각 분과위원장님들과 위원님들, 그리고 학술대회 운영을 위해 힘써주신 손희정 사무국장님께도 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 이번 학술대회에 참석해 주시는 회원 여러분과 특별회원사, 후원기관 및 학회 이사님들께도 깊이 감사드립니다.

대구에서 개최되는 이번 학술대회가 학문적 성과와 산업적 비전이 함께 어우러지는 뜻깊은 교류와 협력의 장이 되기를 바라며, 여러분 모두에게 유익하고 보람 있는 시간이 되기를 기원합니다.

2026. 4

2026년 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회  
프로그램위원장 오원욱, 문선혜 올림

# 축사



한국태양에너지학회 회원 및 과학기술인 여러분, 안녕하십니까.

우리 학회는 매년 춘계와 추계, 연 2회의 학술대회를 개최하고 있으며, 이번 춘계 학술대회를 대구 EXCO에서 개최하게 된 것을 매우 뜻깊게 생각합니다. 참석해 주신 모든 분들을 진심으로 환영합니다.

최근 탄소중립 실현과 에너지 전환이 중요한 과제로 부각되는 가운데, 정부는 ‘햇빛소득마을’과 같은 주민 참여형 태양광 정책과 전력망 및 에너지 인프라 확충을 통해 에너지 전환을 적극 추진하고 있습니다. 이러한 흐름 속에서 태양에너지 기술은 전력 생산을 넘어 재생열, 에너지저장, 수소 등 다양한 분야와의 융합을 통해 더욱 중요한 역할을 하게 될 것입니다.

이번 춘계학술대회는 태양광, 태양열을 비롯한 다양한 에너지 기술 분야의 최신 연구성과를 공유하고, 연구와 산업, 정책을 연결하는 뜻깊은 자리가 될 것으로 기대합니다. 이를 통해 실질적인 에너지 전환을 위한 방향과 해법을 함께 모색하는 계기가 되기를 바랍니다. 또한 이번 학술대회 기간 동안 대구 EXCO에서는 국제 그린에너지 엑스포가 함께 개최되어, 재생에너지 산업 전반의 흐름을 함께 살펴볼 수 있는 좋은 기회가 될 것으로 생각합니다.

아울러, 학술대회를 준비하는 데에 많은 수고를 해주신 임재한 조직위원장님, 문선혜, 오원욱 프로그램위원장님 등 모든 관계자 여러분께 깊이 감사드리며, 이번 학술대회의 원활한 운영과 내실 있는 프로그램 구성을 위해 기여해주신 헌신과 노력에 깊이 감사드립니다.

우리 학회는 1977년 설립 이래 국내 태양에너지 분야를 선도해온 학회로서, 앞으로도 지속가능한 에너지 사회로의 전환을 위해 중요한 역할을 수행해 나갈 것입니다. 이번 학술대회가 참석하신 모든 분들께 유익하고 뜻깊은 시간이 되기를 바라며, 많은 관심과 적극적인 참여를 부탁드립니다.

아울러 회원 여러분 한 분 한 분의 작은 관심과 참여가 우리 학회의 발전을 이루는 소중한 밑거름이 될 것으로 생각하며, 내년 창립 50주년을 맞이하는 뜻깊은 시점을 앞두고 더욱 의미 있는 성과와 준비가 이어지기를 기대합니다.

감사합니다.

2026. 4  
사단법인 한국태양에너지학회  
회장 김 영 원 올림

# 축사

존경하는 한국태양에너지학회 회원 여러분,  
그리고 오늘 춘계학술발표대회에 함께해 주신 연구자와 산업계 관계자 여러분, 반갑습니다.  
경북대학교 황정하 교수입니다.

먼저, 2026년 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회를 이곳 대구 엑스코에서 개최하게 된 것을 진심으로 축하드립니다.

이번 학술대회를 준비해 주신 학회 임원진과 조직위원회, 그리고 귀중한 연구성과를 발표해 주시는 모든 연구자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

저희 한국태양에너지학회는 1970년대 에너지 위기와 함께 태양에너지 기술의 중요성이 인식되기 시작하던 시기에 창립되어, 지난 수십 년 동안 우리나라 태양에너지 연구와 산업 발전을 선도해 온 대표적인 학술단체입니다. 그동안 학회는 태양열 이용기술, 태양광 발전, 건물에너지와 재생에너지 시스템, 에너지 정책과 산업 등 다양한 분야에서 활발한 연구 교류를 이어오며 우리나라 재생에너지 기술 발전의 학문적 기반을 구축하는 데 중요한 역할을 해왔습니다.

저 역시 2011년 제18대 회장을 맡아 학회를 위해 봉사할 기회를 가졌던 경험이 있습니다. 그 시기를 돌아보면, 학회의 발전은 항상 회원 여러분의 헌신적인 연구와 참여, 그리고 활발한 학문적 교류를 통해 이루어졌다는 것을 다시 한번 느끼게 됩니다. 이러한 전통과 노력들이 모여 오늘날 한국태양에너지학회를 우리나라 재생에너지 분야를 대표하는 학술단체로 성장시켜 왔다고 생각합니다.

특히 이번 학술발표대회는 대구에서 개최되는 “대구 국제그린에너지엑스포”와 함께 진행된다는 점에서 더욱 의미가 크다고 생각합니다. 대구는 국내 태양광 산업을 대표하는 기업과 연구기관들이 모여 있는 지역으로, 우리나라 재생에너지 산업 발전을 이끌어 온 중요한 거점 도시이기도 합니다. 이러한 산업 기반 위에서 개최되는 이번 학술대회는 학문과 산업이 서로 연결되고 협력하는 매우 뜻깊은 자리가 될 것이라 생각합니다.

대구 국제그린에너지엑스포는 국내를 넘어 아시아를 대표하는 재생에너지 산업 전시회로 성장해 왔으며, 태양광을 중심으로 다양한 에너지 기술과 산업이 한자리에서 교류하는 중요한 플랫폼이 되고 있습니다. 이러한 산업 현장의 흐름과 학술 연구가 함께 만나게 되는 이번 학술대회는 태양에너지 기술 발전과 산업 혁신을 더욱 촉진하는 계기가 될 것이라 기대합니다.

최근 전 세계적으로 탄소중립과 에너지 전환이 중요한 시대적 과제가 되면서 태양에너지의 역할은 더욱 확대되고 있습니다. 태양광과 태양열을 비롯한 재생에너지 기술은 이제 단순한 대체에너지를 넘어 건물, 도시, 그리고 국가 전력 시스템과 통합되는 핵심 에너지 기술로 발전하고 있습니다.

이러한 중요한 시기에 한국태양에너지학회는 창립 50주년을 앞두고 있습니다. 지난 반세기 동안 축적된 연구 성과와 학문적 전통은 우리나라 태양에너지 기술 발전의 중요한 자산이며, 동시에 앞으로의 새로운 도약을 위한 든든한 기반이 될 것입니다. 앞으로 우리 학회는 재생에너지 기술 혁신, 에너지 시스템 통합, 기후위기 대응, 그리고 지속가능한 사회 구현을 위한 지식 플랫폼으로서 더욱 중요한 역할을 수행하게 될 것입니다. 특히 학계와 산업계, 정책 분야를 연결하는 협력의 중심에서 태양에너지 기술의 미래를 이끌어 갈 것이라 기대합니다. 이번 춘계학술발표대회가 이러한 미래를 준비하는 뜻깊은 자리가 되기를 바랍니다. 다양한 연구 성과와 아이디어가 활발히 공유되고, 새로운 협력과 혁신의 계기가 마련되기를 기대합니다.

다시 한번 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회의 성공적인 개최를 축하드리며, 학회의 지속적인 발전과 회원 여러분의 건승을 기원합니다.

감사합니다.



2026. 4

사단법인 한국태양에너지학회  
전임회장(제18대) **황 정 하** 올림

## 2026 한국태양에너지학회 춘계학술대회 조직위원회 구성

분 과	이 름	소 속
조직위원장	임재한	이화여자대학교
1) 총무	황혜미	한국에너지기술연구원
2) 재무	임병주	한국기계연구원
3) 기획	김홍욱	에이블에너지
4) 프로그램위원회	오원욱	고려대학교
	문선혜	서울시립대학교
5) 개최식/기조강연	김수민	한국세라믹기술원
6) 폐회식/시상식	김은미	한국생산기술연구원
7) 웰컴파티/만찬	이현영	키엘연구원
8) 특별세션 (포럼, 워크샵, 세미나)	임철현	한국에너지공과대학교
	곽영훈	서울시립대학교
	김진희	공주대학교
9) 전시/협찬	최성우	서울에너지공사
	이진섭	(주)에스지에너지
	이상헌	(주)원광에스앤티
	이도성	한국재생에너지융합협회
10) 홍보/출판	신대욱	군산대학교
	박상훈	인천대학교
	강은철	칸
11) 사무국	손희정	한국태양에너지학회

## 2026 한국태양에너지학회 춘계학술대회 프로그램위원회 구성

분과	이름	소속	역할
1. 프로그램위원회	오원욱	고려대학교	프로그램위원장
	문선혜	서울시립대학교	프로그램위원장
1) 건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)	김동수	한밭대학교	분과위원장
	김철	연세대학교	분과위원
	안형욱	아주대학교	분과위원
	임한솔	한밭대학교	분과위원
2) 제로에너지 건물 Zero Energy Buildings (ZEB)	김영수	중앙대학교	분과위원장
	김현수	서울과학기술대학교	분과위원
	이중원	계명대학교	분과위원
	최연희	강남대학교	분과위원
3) 건축환경 Building Environment Engineering (BEE)	조경주	한국건설기술연구원	분과위원장
	강경모	대진대학교	분과위원
	이동석	인천대학교	분과위원
	정봉찬	세종대학교	분과위원
4) 태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)	이용환	한국전자기술연구원	분과위원장
	배수현	한국에너지기술연구원	분과위원
	김주희	한국광기술원	분과위원
	정인환	한양대학교	분과위원
	김도형	충북대학교	분과위원
	신우균	한국에너지기술연구원	분과위원
5) 태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)	주홍진	한국에너지기술연구원	분과위원장
	안영섭	한국에너지기술연구원	분과위원
	조성구	(주)이맥시스템	분과위원
	임병주	한국기계연구원	분과위원
6) 풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)	김용욱	고등기술연구원	분과위원장
	최정철	국립목포대학교	분과위원
	김진영	한국에너지기술연구원	분과위원
7) 신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)	최취웅	전남대학교	분과위원장
	강은철	한국에너지기술연구원	분과위원
	김진희	공주대학교	분과위원
	김종현	한국폴리텍대학	분과위원
8) 자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)	오명찬	한국에너지기술연구원	분과위원장
	최요순	부경대학교	분과위원
	박성균	서울과학기술대학교	분과위원
9) 에너지저장 및 섹터커플링 Energy Storage System & Sector Coupling (ESS)	김민국	한국광기술원	분과위원장
	손명우	한국광기술원	분과위원
10) 태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)	심욱	한국에너지공과대학교	분과위원장
	진경석	고려대학교	분과위원
	김정규	성균관대학교	분과위원
	박승학	성균관대학교	분과위원
	정성은	수원대학교	분과위원
11) 에너지정책 및 기업기술 Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT)	최성우	서울에너지공사	분과위원장
	우성민	충북테크노파크	분과위원

## 진행 일정

- 일 시 : 2026년 4월 22일(수)~24일(금)
- 장 소 : 대구 EXCO

4월 22일 (수요일)						
Time	322-1호	322-2호	323-1호	323-2호	로비	
9:00~10:00	학술대회 접수 및 등록					
10:00~12:20	특별세션 (데이터센터와 재생에너지)	저탄소모듈 컨소시엄 회의 한국에너지기술연구원		특별세션 (P2H 열에너지 수요관리)	포스터 전시	
12:20~13:50	중식					
13:50~15:10	특별세션 (집광태양 기술 세미나) ※ 대학원생/청년 R&D 사업화 실무	태양광에너지1 (PVE-1)	특별세션 (건물형태양(BIPV) 기술 세미나)			
15:10~15:30	휴식					
15:30~16:20	개회식 및 초청강연(325호) 초청강연: 글로벌 기후위기 시대의 재생에너지 확산 노력 - 태양광 보급 및 산업정책 중심으로 - (한국에너지공단 최재관 이사장)					
16:20~16:40	휴식					
16:40~18:00	건물에너지설비1 (BES-1)	풍력에너지 (WEC)	특별세션 (2026 태양광 산업포럼) ※ 대학원생/청년 R&D 사업화 실무			
18:30~20:30	재생에너지 산업 활성화 간담회					

4월 23일 (목요일)						
Time	322-1호	322-2호	323-1호	323-2호	로비	
09:00~10:20	건물에너지설비2 (BES-2)	태양광에너지2 (PVE-2)	신재생융합1 (REC-1)	에너지정책 및 기업기술 (EP&CT) ※ 대학원생/청년 기업실무	포스터 전시 & 포스터 심사 (13:30~14:50)	
10:20~10:40	휴식					
10:40~12:00	건축환경1 (BEE-1)	태양광에너지3 (PVE-3)	신재생융합2 (REC-2)	자원량평가 (RER)		
12:00~13:30	중식					
13:30~14:50	건축환경2 (BEE-2)	태양광에너지4 (PVE-4)	특별세션 (한국조명-전기설비학회 공동워크숍)	특별세션 (재생열 기술 및 정책1)		
14:50~15:10	휴식					
15:10~16:30	제로에너지건물 (ZEB)	태양열융합 (STC)	특별세션 (해양 재생에너지와 해상풍력 에너지 허브)	특별세션 (재생열 기술 및 정책2)		
16:30~16:50	휴식					
16:50~17:50	시상식 및 폐회식(325호)					
17:50~18:30	이사회(322호)					
18:30~20:30	만찬(325호)					

4월 24일 (금요일)					
Time	322-1호	322-2호	323-1호	323-2호	로비
09:00~11:00	한국태양에너지학회 전문위원회 회의 및 토론				

# 목차

## Special Session

일시 : 2026년 4월 22일(수)~23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-1, 323-1, 323-2)

4월 22일(수)		
<b>데이터센터와 재생에너지</b>		대구 EXCO(322-1) 10:00~12:20
		좌장 : 강 은 철(칸kharn)
09:55~10:00	개회사 한국태양에너지학회 김영원 회장	
DC-O-1 10:00~10:20	분산에너지 활성화 특별법 시행으로 인한 데이터센터산업 입지 변화 ..... 35 한석만(한국에너지공단 분산에너지처)	
DC-O-2 10:20~10:40	재생에너지 기반 데이터센터 기술 현황 ..... 36 허재혁 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 재생에너지연구소)	
DC-O-3 10:40~11:00	데이터센터 재생에너지 사용 Option과 재생열(RE-Heat) 구매 ..... 37 진우삼 <sup>†</sup> (한국RE100위원회, 기업재생에너지재단)	
DC-O-4 11:00~11:20	데이터센터 RE100 실현의 선결과제: 태양광 입지 규제 혁신과 제도적 제언 ..... 38 김다운(기후솔루션 재생에너지인허가팀)	
DC-O-5 11:20~11:40	데이터센터 태양광 활용 RE100 전략 ..... 39 박종수 <sup>†</sup> (신성이엔지 개발사업부)	
DC-O-6 11:40~12:00	녹색채권(Green Bond) 발행을 위한 데이터센터의 친환경 전략 ..... 40 박용진 <sup>†</sup> (KIS자산평가 ESG사업본부)	
DC-O-7 12:00~12:20	데이터센터를 포함한 에너지 그리드 구성기술 ..... 41 이진영 <sup>†</sup> (HIMEC)	
<b>P2H 열에너지 수요관리</b>		대구 EXCO(323-2) 10:00~12:20
		좌장 : 최 원 철(선다코리아(주))
P2H-O-1 10:00~10:14	전기요금제에 따른 대형 히트펌프 경제성 분석 ..... 45 김경민 <sup>†</sup> , 박준연, 정강열, 노태우(한국지역난방공사 에너지전환사업처)	
P2H-O-2 10:14~10:28	전력 및 열에너지 수요예측 AI 모델 개발 및 검증 ..... 46 문정민, 손명우 <sup>†</sup> (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
P2H-O-3 10:28~10:42	지역난방 연계 제로에너지빌딩의 분산형 에너지시스템 운영 고도화 ..... 47 박태룡 <sup>†</sup> , 한준규, 박용성, 김한국(GSP워)	
P2H-O-4 10:42~10:56	장거리 고효율 열 수송을 위한 친수성 다층 구조 센티미터 스케일 열저장 캡슐 ..... 48 조은(한국과학기술연구원 물자원순환연구단, 서울대학교 화학생물공학부), 윤수진, 정영균(한국과학기술연구원 물자원순환연구단), 이창하(서울대학교 화학생물공학부), 강상우(하이리움산업(주)), 최재우 <sup>†</sup> (한국과학기술연구원 물자원순환연구단)	

P2H-O-5 11:56~11:10	Towards Intelligent Thermal Demand Management in Building Energy Systems: TES Control Strategies, TRNSYS Simulation, and Optimization Roadmap ..... 49 Muhammad Farooq(University of Science and Technology, Korea Institute of Machinery and Materials), Byung-Ju Lim, Sung-Hoon Cho, Ga-Ram Lee(Korea Institute of Machinery and Materials), Si-eun Kwon, Chang-Dae Park <sup>†</sup> (University of Science and Technology, Korea Institute of Machinery and Materials)
P2H-O-6 11:10~11:24	P2H 부하자원의 수요반응 기반 주파수 안정도 영향 분석 및 평가지수 개발 ..... 50 최우영 <sup>†</sup> (한국전기연구원), 김고은(한국전기연구원, 전북대학교 전기공학과)
P2H-O-7 11:24~11:38	건물군 수요관리를 위한 열-전기 협조 운영 방안 연구 ..... 51 오성문 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원)
P2H-O-8 11:38~11:52	P2H-TES 기반 열에너지 유연성 자원 시장 도입 및 활성화 방안 연구 ..... 52 김인수 <sup>†</sup> , 김재화(가천대학교 산학협력단)
P2H-O-9 11:52~12:06	열·전기 실시간 수집 데이터 기반 건물 에너지 수요관리 원격제어에 관한 연구 ..... 53 문정민, 권대윤(주식회사 아미텍), 김정욱 <sup>†</sup> (상명대학교)
P2H-O-10 12:06~12:20	TES-P2H 기반 건물군 열에너지 수요관리 및 운영 최적화 기술 실증 ..... 54 최원철 <sup>†</sup> , 조장현(선다코리아)

**집광채광 기술 세미나**

대구 EXCO(322-1) 13:50~15:10

좌장 : 최 민 호(재)한국건설생활환경시험연구원

CD-O-1 13:50~14:10	제로에너지건축물 적용을 위한 실내 집광채광루버 시스템의 국내의 표준 동향 및 시험평가 체계 분석 ..... 57 최민호 <sup>†</sup> (재)한국건설생활환경시험연구원
CD-O-2 14:10~14:30	집광 채광 시스템의 기술·정책적 의미와 제로에너지건축 적용 방안 ..... 58 임재한 <sup>†</sup> (이화여자대학교 건축도시시스템공학과)
CD-O-3 14:30~14:50	집광채광 관련 친환경 제도과 기술동향 ..... 59 신미수 <sup>†</sup> , 박성철, 한태곤(주)선포탈
CD-O-4 14:50~15:10	실내 루버형 집광채광시스템 산업 활성화 방안 연구 ..... 60 김경식 <sup>†</sup> , 박종빈, 이현영, 남혜령, 김서훈, 이동준, 이가혜(KIEL연구원 그린에너지본부 제로에너지팀)

**건물형태양광(BIPV)기술세미나**

대구 EXCO(323-1) 13:50~15:10

좌장 : 황 헤 미(한국에너지기술연구원)

13:30~13:50	참가접수 및 등록
13:50~13:55	개회 및 인사말씀 (BIPV전문위원회 김진희 위원장, 김준태 고문)
13:55~14:15	BIPV 보급 확대를 위한 R&D 및 정책 전략(국내 BIPV R&D 현황, 기존과제의 한계 등) 명승엽(한국에너지기술평가원)
14:15~14:35	BIPV의 CAPEX 구조와 경제성 분석 남춘환(주)알파큐
14:35~14:55	컬러 BIPV 현황과 성능 한계(건축적용 문제점, 컬러구현방식, 신뢰성, 상용제품유형 등) 양계용(주)지앤티)
14:55~15:15	탄소중립을 위한 공동주택 제로에너지화와 BIPV의 역할 이병희(LH토지주택연구원)
15:15~15:30	BIPV 시스템의 건설 표준화 방안(시공감리기준 및 단계별체크리스트) 김진희(공주대학교)

# 2026 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회

<b>2026 태양광 산업포럼</b>		대구 EXCO(323-1) 16:40~18:00	좌장 : 문 신 원(한국에너지기술평가원)
15:40~16:40	접수 및 등록		
16:40~16:45	인사말 (한국태양에너지학회 김영원 회장)		
16:45~16:50	환영사 (한국에너지기술평가원 김봉균 본부장)		
16:50~17:10	국내 태양광 보급정책 및 현황 김성훈(한국에너지공단 태양광기획처)		
17:10~17:25	건물 수명주기를 고려한 장수명 BIPV 모듈 개발 김응룡(주엠플스코어)		
17:25~17:40	강화된 내화성능 확보를 위한 건물형 태양광 모듈 시스템 개발 및 성능 평가 윤석규(아이슬라에너지 주식회사)		
17:40~17:55	전력피크 분산과 이용률이 향상된(15.5%이상) 동서형 고효율 양면 태양광시스템 개발 및 50kW급 실증 정승환(주제이에이치에너지)		
17:55~18:10	질의응답 및 마무리		

## 4월 23일(목)

<b>한국태양에너지학회-한국조명-전기설비학회 공동워크샵</b>		대구 EXCO(323-1) 13:30~14:50	좌장 : 황 헤 미(한국에너지기술연구원)
13:30~13:35	참석자 및 내빈소개		
13:35~13:40	인사말 한국태양에너지학회/한국조명-전기설비학회		
W-O-1 13:40~13:57	자율형 Grid-interactive Efficient Building을 위한 분산형 Edge AI ..... 63 김중훈 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 에너지ICT연구단, 과학기술연합대학원대학교), 류승환(한국에너지기술연구원 에너지ICT연구단), 한광우(한국에너지기술연구원 에너지ICT연구단, 과학기술연합대학원대학교), 최하늘, 이교석, 이슬(한국에너지기술연구원 에너지ICT연구단)		
W-O-2 13:57~14:14	건물 에너지 효율 향상을 위한 인공지능 기반 HVAC 제어 전략 ..... 64 이준희 <sup>†</sup> (한국전자통신연구원 자율형IoT연구실)		
W-O-3 14:14~14:31	다성분계 페로브스카이트의 조성 변화에 따른 광학 상수 예측을 위한 인공지능 기반 초월회귀 모델링 연구 ..... 65 이태규, 제용훈(한국세라믹기술원 AI융합연구단, 부산대학교 재료공학과), 김수민 <sup>†</sup> (한국세라믹기술원 AI융합연구단)		
W-O-4 14:31~14:48	청색광을 고려한 일주기조명시스템 ..... 66 장우진 <sup>†</sup> (한국조명전기설비학회), 박종빈(KIEL)		

<b>재생열 기술 및 정책</b>		대구 EXCO(323-2) 13:30~16:30	좌장 : 주 흥 진(한국에너지기술연구원)
RHE-I-1 13:30~14:00	재생에너지 지원사업 및 추진방향 최석재(한국에너지공단 재생지원사업처)		
RHE-I-2 14:00~14:30	열에너지 탄소중립 혁신 추진방향 전영재(한국에너지공단 열에너지기술처)		

RHE-O-1 14:30~15:00	히트펌프 연계 PVT 융합 시스템 유럽 정책 동향 ..... 69 주홍진 <sup>†</sup> , 안영섭, 이왕제, 김민휘, 김득원, 김종규(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)
RHE-O-2 15:00~15:30	태양에너지 이용 시스템의 경제성 분석 ..... 70 조성구 <sup>†</sup> , 박준호((주)이맥스시스템)
15:30~16:30	한국재생에너지융합협회 총회
<b>해양 재생에너지와 해상풍력 에너지 허브 구축</b> 대구 EXCO(323-1) 15:10~16:30 <b>좌장: 김 용 욱(고등기술연구원)</b>	
ORH-I-1 15:10~15:30	풍력발전 보급확대와 지역경제발전 분석(전남 사례를 중심으로) ..... 73 최정철 <sup>†</sup> (국립목포대학교 기계조선해양공학부)
ORH-O-1 15:30~15:42	원해 대규모 해상풍력 단지의 경제성 향상을 위한 부유식 에너지 아일랜드 허브 개념 및 타당성 ..... 74 김용욱 <sup>†</sup> , 안중은(고등기술연구원 그린시스템인텔리전스센터), 권태중(동양엔지니어링), 이상길(젠텍이엔씨), 신상성(세호엔지니어링), 박미호, 윤상준(고등기술연구원 그린시스템인텔리전스센터), 배준혁(녹색에너지연구원)
ORH-O-2 15:42~15:54	울산 해역 5.7GW 대규모 부유식 해상풍력단지 클러스터의 후류 효과를 고려한 연간 발전량 분석 ..... 75 박미호 <sup>†</sup> , 윤상준, 김용욱(고등기술연구원 그린시스템융합센터)
ORH-O-3 15:54~16:06	HVDC 기반 부유식 에너지 허브의 형식에 따른 모듈화 개념에 대한 연구 ..... 76 이동환 <sup>†</sup> , 이상길, 이찬희((주)젠텍이엔씨)
ORH-O-4 16:06~16:18	15MW급 고정식 해상풍력 구조물의 석션기초 설치를 위한 설치선 안정성 및 부재 강도 수치 해석 ..... 77 윤상준 <sup>†</sup> , 안중은, 손재훈(고등기술연구원 그린시스템융합센터)
ORH-O-5 16:18~16:30	표준화 및 모듈화 설계를 적용한 해상 부유식 태양광 발전 시스템의 사전 경제성 분석 ..... 78 박미호 <sup>†</sup> , 윤상준(고등기술연구원 그린시스템융합센터)

**Oral Session** 건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)

일시 : 2026년 4월 22일(수)~23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-1)

4월 22일(수)		
<b>BES Session 1</b>	대구 EXCO(322-1) 16:40~18:00	좌장 : 김 동 수(국립한밭대학교)
BES-O-1 16:40~16:55	싱글보드 컴퓨터 기반 MPC의 실시간 구동 안정성 및 제어 적용성 평가 ..... 81 최광원, 조재완 <sup>†</sup> (인하대학교 스마트시티공학과)	
BES-O-2 16:55~17:10	건물 외피 신기술 시뮬레이션의 물리 제어 모델 한계에 관한 분석 ..... 82 서정훈(인하대학교 스마트시티공학과), 조재완 <sup>†</sup> (인하대학교 건축공학과)	
BES-O-3 17:10~17:25	폐열회수 기반 바닥 복사 열환경 보정 시스템 개발 및 운영모드 제안 ..... 83 이유진, 이건희, 신대욱 <sup>†</sup> (국립군산대학교 건축공학과)	
BES-O-4 17:25~17:40	정적 공기 혼합 장치를 이용한 AHU 덕트 내 온도 분포 균일화 성능 평가 ..... 84 이준우 <sup>‡</sup> , 정한웅(대진대학교 건축공학과), 정민재(대진대학교 스마트시티건설융합공학과), 강경모(대진대학교 건축공학과)	
BES-O-5 17:40~17:55	사무공간에서의 HVAC 운전 제어를 위한 Physics-Informed Neural Network 기반 강화학습 ..... 85 타립아부, 조재완 <sup>†</sup> (인하대학교 스마트시티공학과)	
4월 23일(목)		
<b>BES Session 2</b>	대구 EXCO(322-1) 09:00~10:20	좌장 : 임 한 슬(국립한밭대학교)
BES-O-6 09:00~09:15	공급열 불균형 해소 및 효율 향상을 위한 지열 히트펌프 시스템의 현장 실증 연구 ..... 86 허승민, 류상범, 강현민, 남학호, 조상현, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)	
BES-O-7 09:15~09:30	공조기 급기 팬 제어 전략에 따른 실내 온열환경 및 팬 에너지 사용량 분석 ..... 87 반창현, 김민호, 이다빈, 하중현, 도성록 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축설비시스템공학과)	
BES-O-8 09:30~09:45	혼합정수선형계획법기반 Power-to-Heat 연계 5세대 지역냉난방 시스템 최적 운영 알고리즘 개발 ..... 88 최원종, 신예빈, 이현민(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 건축공학과), 이왕제, 안영섭(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 정재원(한양대학교 건축공학과), 김민희 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
BES-O-9 09:45~10:00	냉매 총전량 변화에 따른 공기열원 히트펌프의 제상 로직에 관한 실험적 연구 ..... 89 이정우 <sup>‡</sup> , 권순범, 이수민(고려대학교 기계공학과), 김용찬(고려대학교 기계공학부)	
BES-O-10 10:00~10:15	실제 건물 운영 데이터 기반 이코노마이저 제어 방식에 따른 에너지 사용량 평가 ..... 90 김민호, 반창현, 이다빈, 하중현, 도성록 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축설비시스템공학과)	

## Oral Session 제로에너지건물 Zero Energy Buildings (ZEB)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-1)

4월 23일(목)		
ZEB Session	대구 EXCO(322-1) 15:10~16:30	좌장 : 김 영 수(중앙대학교)
ZEB-O-1 15:10~15:25	제로에너지건축물의 에너지 성능 격차 해소를 위한 재실자 중심 연구 동향 고찰 ..... 93 류경민(인천대학교 도시건축학부), 정인서, 홍채민, 허재백(인천대학교 대학원 건축학과), 박상훈 <sup>†</sup> (인천대학교 도시건축학부)	
ZEB-O-2 15:25~15:40	제로에너지건물 성능 격차 해소를 위한 Physical AI Robotics 활용 문헌 고찰 ..... 94 이종원 <sup>†</sup> (계명대학교 건축학과)	
ZEB-O-3 15:40~15:55	모델기반 예측제어를 위한 Grey-box 모델링의 LLM 기법 적용 가능성 검토 연구 ..... 95 여태훈, 서정훈(인하대학교 스마트시티공학과), 모찬혁(인하대학교 데이터사이언스학과), 조재완 <sup>†</sup> (인하대학교 스마트시티공학과)	
ZEB-O-4 15:55~16:10	대규모 공연장의 열 성층화 특성을 고려한 변풍량(VAV) 운영 시나리오별 에너지 절감 효과 분석 ..... 96 김준현(서울시립대학교 건축공학과), 김동원(세종문화회관 시설운영팀), 광영훈, 문선혜 <sup>†</sup> (서울시립대학교 건축학부)	
ZEB-O-5 16:10~16:25	넷제로 건축물 구현을 위한 액티브 융합 외피 기술 개발 ..... 97 배상무, 이준혜, 배민정, 최현중 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)	

**Oral Session** 건축환경 Building Environment Engineering (BEE)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-1)

4월 23일(목)		
<b>BEE Session 1</b>		대구 EXCO(322-1) 10:40~12:00 <span style="float:right">좌장 : 정 봉 찬(세종대학교)</span>
BEE-O-1 10:40~10:55	소규모 도시 지역의 건물 외피 상세 일사량 모니터링 및 시각화 방법 개발 ..... 101 이우민(인천대학교 건축학과), 이동석 <sup>†</sup> (인천대학교 도시건축학부)	
BEE-O-2 10:55~11:10	복층유리 저방사코팅 위치에 따른 동절기 창호 표면온도 및 열환경 평가 ..... 102 송준민, 장효석, 이규남 <sup>†</sup> (국립부경대학교 건축공학과)	
BEE-O-3 11:10~11:25	그린하우스 내 공기질 향상을 위한 공기청정기 및 순환 팬 설치 위치 평가 ..... 103 남학호, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)	
BEE-O-4 11:25~11:40	환기 방식에 따른 사무실 실내공기질 개선 효과 분석 ..... 104 조상현, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)	
BEE-O-5 11:40~11:55	물 충전 적용 축류식 사이클론 집진기의 성능 평가 ..... 105 강현민, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)	
<b>BEE Session 2</b>		대구 EXCO(322-1) 13:30~14:50 <span style="float:right">좌장 : 강 경 모(대전대학교)</span>
BEE-O-6 13:30~13:43	공동주택 수요 제어 환기에 따른 실내공기질 개선 및 팬에너지 절감 효과 분석 ..... 106 정한웅, 강경모 <sup>†</sup> (대전대학교 건축공학과)	
BEE-O-7 13:43~13:56	지능형 건물에너지환경 통합 관리 시스템(iBEEMS)의 실내환경품질 개선 효과 분석 ..... 107 정봉찬 <sup>†</sup> (세종대학교 건축학과), 유기형, 이승민(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부), 박상희(한국건설기술연구원 건축도시연구본부), 김준섭(단국대학교 건축공학과)	
BEE-O-8 13:56~14:09	극한 기상 및 미래 기상 시나리오를 고려한 주거 건물 온열 리질리언스 평가 ..... 108 구자빈, 강동화 <sup>†</sup> (서울시립대학교 건축공학과)	
BEE-O-9 14:09~14:22	유리 온실의 겨울철 제습 방안 및 운영 전략에 따른 에너지 성능 비교 ..... 109 문선혜(서울시립대학교 건축학부), 박상준(서울시립대학교 건축공학과), 홍성민(서울시립대학교 건축학부), 구자빈(서울시립대학교 건축공학과), 곽영훈 <sup>†</sup> (서울시립대학교 건축학부)	
BEE-O-10 14:22~14:35	건축물 공간을 활용한 공기식 BIPVT 시스템의 에너지 성능 분석 ..... 110 오수호, 최영진 <sup>†</sup> , 김상희(경기대학교 건축공학과)	
BEE-O-11 14:35~14:48	공동주택 복층유리 이중창의 열교 부위를 고려한 설계요소별 단열성능 개선 효과 ..... 111 김재림, 배지원, 임재한 <sup>†</sup> (이화여자대학교 건축도시시스템공학과)	

## Oral Session 태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)

일시 : 2026년 4월 22일(수)~23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-2)

4월 22일(수)		
<b>PVE Session 1</b>	대구 EXCO(322-2) 13:50~15:10	좌장 : 신 우 균(한국에너지기술연구원)
PVE-I-1 13:50~14:10	태양광발전설비 O&M을 활용한 효율향상과 사이버 위기대응 정책 개발 ..... 115 고석환 <sup>†</sup> , 신우균, 황혜미, 주영철, 이진석, 전병기(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
PVE-I-2 14:10~14:25	열화상이미지 기반 태양광 발전시스템 고장 진단 및 원인 분석 딥러닝 모델 개발 ..... 116 오민재, 손명우 <sup>†</sup> (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
PVE-I-3 14:25~14:40	양자 영감 기반 조합 최적화를 이용한 태양 일사 예측 모델의 시계열 입력 구조 및 모델 파라미터 동시 최적화 ..... 117 전병기 <sup>†</sup> , 고석환, 황혜미, 주영철, 신우균(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
PVE-I-4 14:40~14:55	실측 태양광 발전소 데이터를 활용한 BiLSTM-Attention 기반 패널 이상 탐지 및 고장 진단 ..... 118 이세훈, 이수천, 우태걸, 박강문 <sup>†</sup> (국립한국교통대학교 전자공학과)	
PVE-I-5 14:55~15:10	Pentacene 기반 바이패스 다이오드를 통한 유연 태양광 모듈 신뢰성 제고 ..... 119 송지원, 송형준 <sup>†</sup> (서울과학기술대학교 안전공학과)	
4월 23일(목)		
<b>PVE Session 2</b>	대구 EXCO(322-2) 09:00~10:20	좌장 : 정 인 환(한양대학교)
PVE-I-6 09:00~09:20	Overcoming Angular Limitations in Light Harvesting: 3D Spherical Organic Devices via Gyroscopic Thermal Evaporation ..... 120 정대성 <sup>†</sup> (포항공과대학교 화학공학과)	
PVE-I-7 09:20~09:40	Crystal Engineering for Large-Area Perovskite Solar Cells ..... 121 서지연 <sup>†</sup> (부산대학교 학부대학 첨단융합학부)	
PVE-O-1 09:40~09:55	수중 산화물 투명 태양전지 ..... 122 김준동 <sup>†</sup> , 고성진(인천대학교 전기공학과)	
PVE-O-2 09:55~10:10	컬러 태양광 모듈의 직사 및 경사각 수광량 향상에 대한 연구 ..... 123 신동윤 <sup>†</sup> (부경대학교 나노융합공학전공)	
PVE-O-3 10:10~10:20	Unravelling the Impact of Texture Size on the Performance and Stability of Silicon-Perovskite Tandem Solar Cells using Kelvin Probe Force Microscope ..... 124 Michael S.A. Kamel(Chungbuk National University, Minia University), Hongjae Shim(University of New South Wales), Jae Sung Yun(University of New South Wales, University of Surrey), Dohyung Kim <sup>†</sup> (Chungbuk National University)	
<b>PVE Session 3</b>	대구 EXCO(322-2) 10:40~12:00	좌장 : 김 주 희(한국광기술원)
PVE-I-8 10:40~11:00	Integrated Hydrometallurgical - Electrochemical Process for High-Purity Ag and Cu Recovery from End-of-Life Photovoltaic Modules ..... 125 김수환 <sup>†</sup> , 조세연, 박종성(경상국립대학교 미래융복합기술연구소 & 에너지시스템공학과)	

PVE-I-9 11:00-11:20	Mapping the Proton Energy-Fluence Landscape for Perovskite Solar Cells: From Fundamental Material Physics to Space Mission Qualification ..... 126 이다솔(경상국립대학교 GNU우주항공방산연구소), 장수성(경상국립대학교 에너지공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 박종성†(경상국립대학교 에너지공학과)
PVE-O-4 11:20-11:35	EL 영상 기반 태양광 모듈 다중 클래스 픽셀 단위 결함 분할 모델 개발 ..... 127 문정민, 김주희, 김창현†, 김용현†(한국광기술원 AI에너지연구센터)
PVE-O-5 11:35-11:50	수상태양광 시스템의 운영 신뢰성 확보를 위한 고장 유형 분석 ..... 128 이지은†, 조현식, 이성현, 양동건(한국수자원공사)
PVE-O-6 11:50-12:00	ECO2 해상도 한계 보안을 위한 양면형 PV의 설치각·방위 고해상도 성능 및 민감도 분석 ..... 129 이준영, 김동수†, 윤중호, 김재원, 이루다(국립한밭대학교 건축공학과), 임한솔(국립한밭대학교 건축설비시스템공학과), 유기형(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
<b>PVE Session 4</b>	<b>대구 EXCO(322-2) 13:30~14:50</b> <span style="float: right;"><b>좌장 : 김 도 형(충북대학교)</b></span>
PVE-I-10 13:30~13:55	페로브스카이트를 활용한 우주용 태양전지 ..... 130 김기환(경상국립대학교 신소재공학부)
PVE-I-11 13:55~14:20	All-Perovskite Tandem Solar Cells ..... 131 Gill Sang Han(Korea Research Institute of Chemical Technology)
PVE-O-7 14:20~14:30	건물 에너지 시나리오 기반 자립률 및 경제성 분석 ..... 132 홍성협, 신지현, 문지훈, 송수원†(한국건설기술연구원)
PVE-O-8 14:30~14:40	저탄소 태양광 모듈을 위한 비불소계 투명 백시트 ..... 133 권다영, 박예량, 한재익, 박노창(한국전자기술연구원 차세대전지연구센터), 배수현, 김경수, 어영주, 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 이용환†(한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)
PVE-O-9 14:40~14:50	태양광 블라인드의 슬랫 및 프레임 음영에 따른 출력 저하 특성의 실험적 평가 ..... 134 김재원, 이루다, 이준영, 윤경, 김동수, 윤중호†(국립한밭대학교 건축공학과)

## Oral Session 태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(322-2)

4월 23일(목)		
STC Session	대구 EXCO(322-2) 15:10~16:30	좌장 : 전 병 기(한국에너지기술연구원)
STC-O-1 15:10~15:30	실증 데이터 기반 산업용 태양열 히트펌프 시스템 성능평가 ..... 137 권시은(과학기술연합대학원대학교 융합기계시스템학과, 한국기계연구원), 임병주, 이가람(한국기계연구원), 박창대†(과학기술연합대학원대학교 융합기계시스템학과, 한국기계연구원)	
STC-O-2 15:30~15:50	열에너지 저장 연계 건물 에너지 운영 문제에서 양자 영감 기반 이산 스케줄링 탐색 구조 분석 ..... 138 전병기†, 김종규, 허재혁, 주홍진, 김득원, 이왕제(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
STC-O-3 15:50~16:10	태양광열 시스템용 상변화물질 적용 축열조의 실험적 성능 분석 ..... 139 신예빈, 최원중, 이현민(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 건축공학과), 김득원(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 정재원(한양대학교 건축공학과), 김민희†(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
STC-O-4 16:10~16:30	건물일체형 태양광열시스템의 전력 및 열 생산 성능 예측 모델 비교 ..... 140 이현민, 신예빈(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 건축공학과), 전병기, 김종규(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 정재원(한양대학교 건축공학과), 김민희†(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	

## Oral Session 풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)

일시 : 2026년 4월 22일(수)

장소 : 대구 EXCO(322-2)

4월 22일(수)		
WEC Session	대구 EXCO(322-2) 16:40~18:00	좌장 : 김 용 욱(고등기술연구원)
WEC-I-1 16:40~17:00	해상풍력 특별법 하위법령 제정을 통한 체계적 절차 마련과 주요 이슈 현황 ..... 143 성진기 <sup>†</sup> (한국풍력산업협회)	
WEC-O-1 17:00~17:15	관측자료 기반 재분석 및 수치모델 자료의 원해 해상 풍속 재현성 평가 ..... 144 오동건, 이민규, 김진영 <sup>†</sup> , 김창기(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소)	
WEC-O-2 17:15~17:30	격자 볼츠만 기반 CFD를 활용한 복잡지형 풍력단지 유동장 및 풍향 해석 기법 개발 ..... 145 김용욱 <sup>†</sup> , 김현규(고등기술연구원 그린시스템인텔리전스센터), 팽충, 소만닉힐(Engineering Software Steyr)	
WEC-O-3 17:30~17:45	WindSim 기반 복잡지형 풍력단지 AEP 예측에서 지표거칠기의 영향 검토 ..... 146 김현규 <sup>†</sup> , 김용욱(고등기술연구원 그린시스템융합센터)	
WEC-O-4 17:45~18:00	해외 사례조사를 통한 풍력발전단지 리파워링시 지지구조물 재사용 가능성 검토 ..... 147 김문욱((주)스펙엔지니어링와이엔피 기술연구소), 김종화 <sup>†</sup> (고등기술연구원 그린시스템/인텔리전스센터), 이규석, 김범식, 정용일((주)스펙엔지니어링와이엔피 기술연구소)	

## Oral Session 신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(323-1)

4월 23일(목)		
<b>REC Session 1</b>	대구 EXCO(323-1) 09:00~10:20	좌장 : 최 휘 응(전남대학교)
REC-I-1 09:00~09:20	박공지붕에 설치된 서향 양면형 PV 시스템의 설치 조건에 따른 발전 성능 분석 ..... 151 김하영, 장준원(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 <sup>†</sup> (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	
REC-O-1 09:20~09:40	간접 증발 냉각기 내 저항체 부착에 따른 공기 냉각 성능 평가 ..... 152 정현석, 안건용(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 최광환(부경대학교 냉동공조공학과), 문광암, 최희웅* <sup>†</sup> (전남대학교 냉동공조공학과)	* 신진과학자
REC-O-2 09:40~10:00	방위 및 알베도 조건이 다른 수직 양면형 PV 시스템의 발전성능 비교·분석 ..... 153 장준원(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김지원((주)건축사사무소 건원엔지니어링), 김하영(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 <sup>†</sup> (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	
REC-O-3 10:00~10:20	고차원 제약 조건 하에서의 적응형 공정 레이아웃 설계를 위한 강화학습 기반 지능형 플래너 연구 ..... 154 김병국(고등기술연구원 AI/DX 센터), 노정신 <sup>†</sup> (고등기술연구원 기계융합시스템센터)	
<b>REC Session 2</b>	대구 EXCO(323-1) 10:40~12:00	좌장 : 김 진 희(공주대학교)
REC-O-5 10:40~11:00	재생에너지 보급 확대를 위한 PVT 방음벽 시스템 ..... 155 강은철 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부)	
REC-O-6 11:00~11:20	이중 공기 채널 및 열전달 향상 장치를 적용한 공기식 PVT의 공기 채널 높이에 따른 성능 분석 ..... 156 안건용, 정현석(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 문광암, 최희웅* <sup>†</sup> (전남대학교 냉동공조공학과)	* 신진과학자
REC-O-7 11:20~11:40	옥외 표준성능시험 기반 컬러 PV 모듈 적용 공기식 PVT 컬렉터의 열 및 전기성능 평가 ..... 157 김상명*(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김민욱(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 <sup>†</sup> (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	* 신진과학자
REC-O-8 11:40~12:00	공기식 태양광열 연계 히트펌프의 연간에너지 분석 ..... 158 문광암(전남대학교 냉동공조공학과), 정현석, 안건용(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 최광환(부경대학교 냉동공조공학과), 최희웅* <sup>†</sup> (전남대학교 냉동공조공학과)	* 신진과학자

## Oral Session 자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(323-2)

4월 23일(목)		
RER Session	대구 EXCO(323-2) 10:40~12:00	좌장 : 오 명 찬(한국에너지기술연구원)
RER-O-1 10:40~10:53	건물 태양에너지와 AI 활용 대한 고찰 ..... 161 오명찬* <sup>†</sup> , 윤창열, 김보영, 김현구, 김창기(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소) * 신진과학자	
RER-O-2 10:53~11:06	업무시설 표준건축모델을 활용한 BIPV 설치 비용 및 경제성 분석 ..... 162 이경선 <sup>†</sup> , 이정현(홍익대학교 건축학과), 김진영(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소), 이재석(한국에너지경제연구원 에너지조사통계연구소), 이승문(한국에너지경제연구원 재생에너지정책연구소), 이지욱(한국제품안전협회 건축물태양광안전센터), 객지혜(한국에너지기술연구원 태양광연구단)	
RER-O-3 11:06~11:19	차량 유형, 주행 패턴, 그림자 효과를 고려한 차량 일체형 태양광 발전 시스템의 운영 효과 평가 ..... 163 김민지*, 백지은 <sup>†</sup> (국립부경대학교 에너지자원공학과) * 신진과학자	
RER-O-4 11:19~11:32	천리안 2A호 기반 단기 구름 궤적 예측을 위한 시공간 적대적 생성 신경망(Spatiotemporal GAN) ..... 164 김상원*, 강용혁(주)지오씨엔아이), 윤창열 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소) * 신진과학자	
RER-O-5 11:32~11:45	에어로졸 유효고도(Scale Height)에 따른 지표 미세먼지와 태양복사 감쇄 간의 상관성 변동 분석 ..... 165 김창기 <sup>†</sup> , 김현구, 오명찬*(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소), 이윤곤(충남대학교 천문우주과학과) * 신진과학자	
RER-O-6 11:45~12:00	격자 기반 공간 데이터를 활용한 태양광 보급 시공간적 확산 분석 ..... 166 윤창열, 오명찬*, 김진영, 김창기(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소), 김용일 <sup>†</sup> (서울대학교 건설환경공학부) * 신진과학자	

## Oral Session 에너지정책 및 기업기술 Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT)

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(323-2)

4월 23일(목)		
EP&CT Session	대구 EXCO(323-2) 09:00~10:20	좌장 : 우 성 민(충북테크노파크)
EP&CT-I-1 09:00~09:20	국내 재생에너지 정책 방향 ..... 169 김성훈(한국에너지공단 재생정책처)	
EP&CT-O-1 09:20~09:40	AI 기반 한국형 기술적 가상발전소(TVPP) 도입을 위한 분산자원 연계 아키텍처 및 대규모 제어 실증 시나리오 연구 ..... 170 조현석 <sup>†</sup> , 김종규, 박혜인, 김홍석, 고영규(식스티헤르츠)	
EP&CT-O-2 09:40~10:00	계통 포화 배전선로 내 접속 지연 태양광 추가 수용을 위한 통합발전소 연계 ESS 운영 기술 ..... 171 김성지 <sup>†</sup> , 권혁길(주식회사 이프)	
EP&CT-O-3 10:00~10:20	철도태양광 방음벽 기술 개발 동향 ..... 172 강선희(㈜더블유피), 이동규(㈜솔에너지), 이상로(㈜더블유피), 김정엽 <sup>†</sup> (전남대학교 기계시스템공학과)	

## Poster Session

일시 : 2026년 4월 23일(목)

장소 : 대구 EXCO(로비)

### 건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)

좌장 : 곽영훈(서울시립대학교), 김홍욱(에이블에너지)

BES-P-1	신축 공동주택이 교육시설 일조권 및 태양광 발전 효율에 미치는 영향 분석 .....	175
	김경모, 박태형(영남대학교 일반대학원 건축학과), 조영흠 <sup>†</sup> (영남대학교 건축학부)	
BES-P-2	저압직류시스템의 절연저항 검출 기술 개선을 위한 분압 저항 선정 방안 연구 .....	176
	임승택 <sup>†</sup> , 오찬혁, 이기연(한국전기안전공사 전기안전연구원)	
BES-P-3	다양한 음영 조건에서 BIPV 시스템용 파워옵티마이저의 실험적 성능 평가 .....	177
	양현모, 이준영, 이소예, 김민서, 윤중호, 김동수 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)	
BES-P-4	3차원 구형 마이크로 태양전지의 성능 평가를 위한 임의 경사면 일사수광량 정밀도 검증에 관한 연구 .....	178
	이소예(국립한밭대학교 건축공학과), 송광현(한국과학기술연구원 차세대태양전지연구센터), 양현모, 김민서, 김동수, 윤중호 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)	
BES-P-5	성당 첨탑 음영에 따른 PV 시스템 발전량 저감 및 파워 옵티마이저의 발전 성능 개선 효과 분석 .....	179
	김민우, 김동수 <sup>†</sup> , 김지우, 김예은, 이루다, 윤중호(국립한밭대학교 건축공학과)	

### 제로에너지 건물 Zero Energy Buildings (ZEB)

좌장 : 곽영훈(서울시립대학교), 김홍욱(에이블에너지)

ZEB-P-1	녹색신산업을 위한 미디어 융합 태양광모듈 기술연구 .....	180
	이세현 <sup>†</sup> ((주)에쓰와트)	
ZEB-P-2	국내 공동주택의 재실자에 따른 공간 이용 및 빌딩시스템 활용특성 분석 .....	181
	김철 <sup>†</sup> (연세대학교 건축공학과)	
ZEB-P-3	건물 온실가스 총량계 실효성 강화를 위한 전문가 인식 기반의 이행 체계 마련 연구 .....	182
	김은환, 조가영 <sup>†</sup> (서울연구원 지속가능연구실)	
ZEB-P-4	건물 에너지 성능평가를 위한 창호 효율 종합지표 제안 .....	183
	서로사, 윤경환(국립부경대학교 대학원 건축·소방공학부), 김중현, 이규남 <sup>†</sup> (국립부경대학교 건축공학과)	
ZEB-P-5	탄소중립도시 실현을 위한 지역단위 탄소배출량 모니터링 시스템 구축 및 건물부문 저감 시나리오 샘플 케이스 도출 .....	184
	진혜선, 정진우, 구보경 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)	
ZEB-P-6	건물 PV-EV 시스템에서 전기차 충전 운영 유형이 에너지 자립률 및 전기요금에 미치는 영향 .....	185
	엄지영, 최경석 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)	
ZEB-P-7	계절별 조건에 따른 외벽 BIPV 시스템의 모듈온도 및 발전 특성 분석 .....	186
	엄지영, 최경석 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)	

## 건축환경 Building Environment Engineering (BEE)

좌장 : 곽영훈(서울시립대학교), 김홍욱(에이블에너지)

BEE-P-1	국내외 녹색건축 인증제도의 음환경 평가항목 비교 분석 ..... 187 신혜경 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축도시연구본부), 조경주(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부), 장대희(한국건설기술연구원 건축도시연구본부)
BEE-P-2	태양광 잉여전력을 히트펌프에 활용한 주택의 온실가스 배출 저감량 분석 ..... 188 정영선 <sup>†</sup> , 김용기, 조경주(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BEE-P-3	동절기 실측실험 기반 창호 열거동 특성 분석 ..... 189 김민서, 윤경, 양현모, 이소예, 김동수, 윤종호 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)
BEE-P-4	ISO 9869에 기반한 고단열 1등급 삼중 창호와 진공 복층 창호의 현장 열관류율 측정 연구 ..... 190 김지우, 이준영, 김민우, 김예은, 김동수, 윤종호 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)
BEE-P-5	나노 방진망 설치에 따른 실내 열환경 개선 효과에 관한 실험적 연구 ..... 191 김예은, 이준영, 김지우, 김민우, 김동수, 윤종호 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)
BEE-P-6	실외 도장용 비산먼지 저감 장치 및 평가 방법 개발 ..... 192 남학호, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)
BEE-P-7	지능형 교통체계 함체 용 집진장치 개발 ..... 193 조상현, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)
BEE-P-8	회전 액면을 이용한 집진장치 개발에 관한 연구 ..... 194 강현민, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)
BEE-P-9	비주거 건축물의 녹색건축인증 점수 취득현황 및 분석 -2017년~2024년 인증현황을 중심으로 ..... 195 조경주 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부), 장대희(한국건설기술연구원 건축도시연구본부)
BEE-P-10	ISO 9869 기반 현장 측정을 통한 그린리모델링 창호 시스템의 열관류율 실험 분석 ..... 196 문주희(국립공주대학교 그린스마트건축공학과), 조경주 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BEE-P-11	필름 삽입형 다중 공기층 유리 적용 그린리모델링 창호 시스템의 열적 성능 실험 분석 ..... 197 임서진(서울시립대학교 건축학부), 조경주 <sup>†</sup> (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BEE-P-12	기후 변화 조건에서 건물 냉방 민감도 평가를 위한 단순화된 열 방정식 도입 ..... 198 강효민 <sup>†</sup> , 안수현, 문우석(국립부경대학교 지구시스템과학부 환경대기과학전공)

## 신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)

좌장 : 손명우(한국광기술원)

REC-P-1	엣지 AI 기반 수열히트펌프 실시간 성능 예측 및 운전 최적화 시스템 개발 ..... 199 이가람, 임병주(한국기계연구원 액체수소플랜트연구센터), 권시은, 박창대 <sup>†</sup> (한국기계연구원 액체수소플랜트연구센터, 과학기술연합대학원대학교 융합기계시스템 전공)
REC-P-2	CFD를 이용한 사다리꼴형 난류촉진체가 적용된 공기식 PV/T 전열 특성 연구 ..... 200 정목호, 안건용, 정현석(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 문광암, 최휘웅 <sup>†</sup> (전남대학교 냉동공조공학과)

**자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)**

좌장 : 손명우(한국광기술원)

RER-P-1	KOSIS 공공데이터 기반 국내 바이오매스 자원 잠재량 산정 ..... 201 박영석 <sup>†</sup> , 이준표, 윤창열(한국에너지기술연구원)
RER-P-2	RE100 기반 수소 시범단지 인프라 기술 개발 ..... 202 강민규 <sup>†</sup> , 김보영, 박영석, 김창기, 박주식, 강성민, 정학근, 강모세, 오석화(한국에너지기술연구원)
RER-P-3	지상 풍속 재현을 위한 WRF 기반 역학적 상세화 성능 검증 ..... 203 이민규 <sup>†</sup> , 오동건, 김진영, 김창기, 김현구(한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소)
RER-P-4	LiDAR 3차원 도심지 지도를 이용한 차량 일체형 태양광 발전 시스템의 발전량 예측 및 검증 ..... 204 이지현, 백지은 <sup>†</sup> (국립부경대학교 에너지자원공학과)

**에너지저장 및 섹터커플링 Energy Storage System & Sector Coupling (ESS&SC)**

좌장 : 손명우(한국광기술원)

ESS&SC-P-1	남향 데이터를 활용한 동·서향 태양광 발전량 예측용 전이학습 기반 도메인 적응 모델 개발 ..... 205 박영아, 김주희, 양해정, 김민국, 김용현 <sup>†</sup> (한국광기술원 AI에너지연구센터)
ESS&SC-P-2	발전량 예측과 부하 이동 전략을 고려한 산업단지 지붕형 태양광 시스템의 LCOE 개선 분석 ..... 206 양해정, 문정민, 김민국 <sup>†</sup> (한국광기술원 AI에너지연구센터)
ESS&SC-P-3	셀 간 열차폐 패드에 따른 배터리 열폭주 지연 특성 분석 ..... 207 허승민, 강현민, 남학호, 조상현, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)
ESS&SC-P-4	식물공장용 LED 조명 용 수동형 방열 구조 개발 ..... 208 허승민, 강현민, 조상현, 남학호, 육세진 <sup>†</sup> (한양대학교 기계공학부)
ESS&SC-P-5	20 Ah NMC 파우치 셀의 열관리를 위한 하이브리드 CPCM - 물 냉각 시스템의 수치적 연구 ..... 209 무하마드 다일, 김영원 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원)
ESS&SC-P-6	CFD 기반 배터리 열관리용 수냉식 열교환기의 열성능 분석 ..... 210 선준완, 김영원 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원)
ESS&SC-P-7	유기 랭킨 사이클 적용을 위한 10kW급 초음속 부분유입 충동 터빈의 공력 설계 ..... 211 박자운, 김영원 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원 에너지나노그룹)

**태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)**

좌장 : 손명우(한국광기술원)

S2H-P-1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 박막을 계면 최적화 층으로 적용한 광전기화학적 수소 발생 반응 ..... 212 박민준 <sup>†</sup> , 윤성민, 이철형(한국생산기술연구원 에너지나노그룹)
S2H-P-2	전기화학적 암모니아 산화 반응을 위한 니켈 구리 기반 다중금속 촉매 개발 ..... 213 전민서, 최동인, 배기호(한국에너지공과대학교 에너지공학부), 심욱 <sup>†</sup> (성균관대학교 나노공학과)
S2H-P-3	Machine Learning-Guided Design of Electrocatalyst for Selective Electrochemical Nitrate-to-Ammonia Conversion ..... 214 심준호(성균관대학교 나노공학과), 최동인, 배기호(한국에너지공과대학교 수소에너지트랙), 심욱 <sup>†</sup> (성균관대학교 나노공학과)

S2H-P-4	Unlocking the Catalytic Potential of Ni Foam: Electrochemically Reconstructed High-Performance Electrode for Sustainable Water Splitting: Toward Solar-Assisted Green Hydrogen Production ..... 215 최동인, 수브라마니 수렌드란(한국에너지공과대학교 수소에너지트랙), 심옥 <sup>†</sup> (성균관대학교 나노공학과)
S2H-P-5	Activation of N <sub>2</sub> on Carbon-Substituted Sulfur Vacancies in Nickel Sulfide Electrocatalysts for Nitrogen Fixation ..... 216 TaeYong An, Dongin Choi, Kiho Bae(Korea Institute of Energy Technology), Uk Sim <sup>†</sup> (NEEL Sciences, INC., Sungkyunkwan University)
S2H-P-6	Single-Atom Cu Sites for Accelerated Iodine Redox in Zn-I <sub>2</sub> Batteries ..... 217 임윤규, 최동인, 배기호(한국에너지공과대학교 수소에너지트랙), 심옥 <sup>†</sup> (성균관대학교 나노공학과)
S2H-P-7	Electrochemical toolkits for versatile chemical transformations ..... 218 진경석 <sup>†</sup> (고려대학교 화학과)

### 태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)

좌장 : 손명우(한국과학기술원)

STC-P-1	도심 열섬 완화를 위한 버스정류장용 태양열 기반 액체식 제습·직접 증발냉각 패키지 개발 ..... 219 박광훈, 문선우, 송현민, 임성우(국립한밭대학교 설비공학과), 임한솔 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축설비시스템공학과)
---------	--

### 태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)

좌장 : 배수현(한국에너지기술연구원), 이용환(한국전자기술연구원)

PVE-P-1	리모넨 기반 용매를 이용한 페c-Si 태양광 모듈의계면 선택적 디캡슐레이션 ..... 220 김준기 <sup>†</sup> (고려대학교 에너지환경정책기술학과), 이해석(고려대학교 융합에너지공학과)
PVE-P-2	약계통 연계 대규모 태양광 발전단지의 저전압 사고 대응을 위한 STATCOM 모델링 ..... 221 부만길, 권도훈 <sup>†</sup> (서울과학기술대학교 전기정보공학과)
PVE-P-3	VSC 기반 AC/DC 하이브리드 전력계통에서 태양광 발전 연계에 따른 전력 흐름 및 DC 링크 전압 특성 분석 ..... 222 박영서, 권도훈 <sup>†</sup> (서울과학기술대학교 전기정보공학과)
PVE-P-4	태양광 발전원의 계통 연계를 위한 HVDC/MVDC 기반 송전 시스템 모델링 및 특성 분석 ..... 223 한예린, 권도훈 <sup>†</sup> (서울과학기술대학교 전기정보공학과)
PVE-P-5	AgBiS <sub>2</sub> 태양전지에서 양이온 무질서를 향상시키는 전구체 순서 설계 분자 잉크 ..... 224 서형원(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 이다솔, 김수환(경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원), 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지시스템공학과, 경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원)
PVE-P-6	Achieving Over 390mV Open-Circuit Voltage in Co-sputtered AgBiS <sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells via Substrate Heating ..... 225 나누리(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융복합기술연구소), 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지시스템공학과, 경상국립대학교 미래융복합기술연구소)
PVE-P-7	스크린프린팅 태양전지 전극의 AI 기반 자동 측정 시스템 개발 및 공정 평가 적용 ..... 226 이명현, 이상희, 배수현, 어영주 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-8	Comparative Investigation of Proton Radiation Resilience in Ultra-wide-bandgap Perovskites with PDAl <sub>2</sub> , EDAl <sub>2</sub> and PEAl for Space Applications ..... 227 강상원(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융복합기술연구소), 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지시스템공학과, 경상국립대학교 미래융복합기술연구소)

PVE-P-9	태양광 발전 시스템의 위험 우선순위 모델의 실증 분석 ..... 228 최진호(충북테크노파크 차세대에너지센터), 오원욱 <sup>†</sup> (고려대학교 에너지기술공동연구소)
PVE-P-10	Compositional Engineering of AgBiS <sub>2</sub> Thin Films via Sequential Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> /Ag <sub>2</sub> S Sputtering and Sulfurization ..... 229 권나영(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환, 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 미래융복합기술연구소)
PVE-P-11	페 페로브스카이트 태양전지로부터의 전해채취 기반 납(Pb) 회수 최적화 ..... 230 조세연(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융복합기술연구소), 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지공학과)
PVE-P-12	Optimization of nc-Si:H Layers for High Efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells ..... 231 김세웅(한양대학교 화학공학과, 한국에너지기술연구원 태양광연구단), 성기준, 조준식(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 고민재(한양대학교 화학공학과), 유진수 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-13	Interfacial Molecular Design for High-Efficiency Inverted Wide-Bandgap Perovskite Solar Cells ..... 232 장수성(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 이다솔(경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원), 김수환(경상국립대학교 미래융복합기술연구소), 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지시스템공학과)
PVE-P-14	TOPCon 태양전지 후면 poly-Si 패시베이션 및 블리스터 형성에 대한 PECVD SiN <sub>x</sub> :H 층 내 수소 농도의 영향 .. 233 임규현(고려대학교 에너지환경대학원, 한국에너지기술연구원 태양광연구단), 이진영(충북대학교 물리학과), 심서우(한국에너지기술연구원 태양광연구단, 충북대학교 물리학과), 김문세(고려대학교 에너지환경대학원, 한국에너지기술연구원 태양광연구단), 김용진, 이상희, 정경택, 송희은, 조운애 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 태양광연구단), 이해석 <sup>†</sup> (고려대학교 에너지환경대학원), 김가현 <sup>†</sup> (충북대학교 물리학과)
PVE-P-15	단결정 MAPbBr <sub>3</sub> 의 결정성에 따른 광검출기 성능 평가와 나노 스케일의 분석 ..... 234 채승현 <sup>†</sup> , 오세영(충북대학교신소재공학과), 조병진, 김도형(충북대학교신소재공학과, 충북대학교도시에너지환경공학과)
PVE-P-16	트라이오드 플라즈마를 이용한 실리콘 이중접합 태양전지용 투명전도성산화물의 스퍼터 손상 최소화 ..... 235 안정호, 홍지은, 조임현(한국에너지기술연구원 울산차세대전지연구개발센터), 정경택, 송희은(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 오준호 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 울산차세대전지연구개발센터), 김가현 <sup>†</sup> (충북대학교 물리학과)
PVE-P-17	Performance Enhancement of Flexible Cigs Thin Film Solar Cells by Temperature Stability ..... 236 윤성민, 이칠형, 박민준 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원 에너지나노그룹)
PVE-P-18	우주 태양광 모듈을 위한 초경량 태양전지 제작 기술 ..... 237 류준, 박예랑, 권다영, 박노창, 이용환 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)
PVE-P-19	페테양광 모듈을 활용한 저탄소 재활용 및 그린 수소 생산 기술 ..... 238 박예랑, 류준, 권다영, 박노창, 이용환 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)
PVE-P-20	고출력 은 저감 제로버스바(ZBB) 태양광 모듈을 위한 태양전지 전극 디자인 설계 ..... 239 김연수 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-21	산 보조 습식 식각을 통한 실리콘 이중접합 태양전지 표면 개질 ..... 240 김형우 <sup>†</sup> , 김용진, 김연수, 조운애, 이상희, 유진수, 정경택, 송희은(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-22	열증착 기반 100도 이하 저온 공정 기반 PIN구조 AgBiS <sub>2</sub> 태양전지 ..... 241 최민호, 박종성 <sup>†</sup> (경상국립대학교 에너지시스템공학과)
PVE-P-23	온도에 따른 결정질 실리콘 태양전지 fill factor 손실 분석 ..... 242 이상희 <sup>†</sup> , 송희은, 정경택(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-24	저탄소 순환 경제를 위한 태양광모듈 제조 기술 개발 ..... 243 어영주, 배수현, 김경수(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 이진석(한국에너지연구원 신재생시스템연구실), 강기환 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-25	180도 회전 가변 운전에서 따른 수직형 영농태양광 시스템의 발전량 특성 분석 ..... 244 임철현 <sup>†</sup> (한국에너지공과대학교), 신주엽(이시시스템), 김근호(녹색에너지연구원), 윤가윤(전남농업기술원), 채희관(HKC)
PVE-P-26	수직형 영농태양광 실증단지 조성을 위한 구조 안정성 및 기초 설계 검토 ..... 245 임철현 <sup>†</sup> (한국에너지공과대학교), 신주엽(이시시스템), 김근호(녹색에너지연구원), 윤가윤(전남농업기술원), 채희관(HKC)

PVE-P-27	작물 생산성 및 발전량 개선을 위한 180도 회전 가변 수직형 영농태양광 시스템 설계 ..... 246 임철현 <sup>†</sup> (한국에너지공과대학교), 신주엽(이시스템), 김근호(녹색에너지연구원), 윤가윤(전남농업기술원), 채희관(HKC)
PVE-P-28	태양광 폐패널 현장 재활용의 환경적, 경제적 효과 검증 ..... 247 이상현 <sup>†</sup> , 노청민, 서광민, 김연주(주)원광에스엔티)
PVE-P-29	태양광 모듈 모니터링을 위한 열전 발전기 기반 자가발전 무선 센서 시스템 ..... 248 권다영, 박노창, 이용환 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)
PVE-P-30	Tailor-Made Buffer Materials: Advancing Uniformity and Stability in Perovskite Solar Cells ..... 249 김명인, 여도영(한양대학교 유기나노공학과), 서지연(부산대학교 나노융합기술학과), 정인환 <sup>†</sup> (한양대학교 유기나노공학과)
PVE-P-31	실리콘 음극용 ROMP 기반 고분자 바인더의 기계적 물성 및 이온 전달 특성의 균형적 설계 ..... 250 신철, 정인환 <sup>†</sup> (한양대학교 유기나노공학과)
PVE-P-32	동서형 양면 태양광발전시스템의 전기적 안전 위험성 고찰 ..... 251 조성구 <sup>†</sup> , 김종민, 오수정, 강해권, 장주희(한국전기안전공사 전기안전연구원)
PVE-P-33	저온 라미네이션 공정을 위한 TPO 봉지재의 특성 평가 ..... 252 김태형, 민용기 <sup>†</sup> , 김충현(신성이엔지 재생에너지사업본부 연구팀)
PVE-P-34	리본과 태양전지 Finger 전극 결합이 반영된 등가회로 모델 개발 ..... 253 백종길, 송형준 <sup>†</sup> (서울과학기술대학교 안전공학과)
PVE-P-35	탄뎀 태양전지에서 페로브스카이트 열화 산포가 모듈 출력 특성에 미치는 영향 분석 ..... 254 박민규, 송형준 <sup>†</sup> , 김충일, 배태상, 박서현, 이수빈, 김찬우(서울과학기술대학교 안전공학과)
PVE-P-36	태양광 모듈 상태 등급 분류 체계 기술 개발 ..... 255 김주희, 문정민, 김용현, 김창현 <sup>†</sup> (한국광기술원 AI에너지연구센터)
PVE-P-37	태양전지 선별 방법에 따른 모듈 출력 편차 변화 연구 ..... 256 배수현(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-38	태양광 모듈 적층 구조별 누설 전류 경로 분석 ..... 257 배수현(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-39	수상 태양광 커넥터의 체결 결함 및 침수 조건이 절연 성능에 미치는 영향 분석 ..... 258 오수정 <sup>†</sup> , 김종민, 조성구, 강해권, 장주희(한국전기안전공사 전기안전연구원)
PVE-P-40	태양광 발전설비 DC 케이블 시공방식에 따른 케이블 도체 온도 분석 ..... 259 장주희 <sup>†</sup> , 김종민, 조성구, 오수정, 강해권(한국전기안전공사 전기안전연구원)
PVE-P-41	페태양광 실리콘의 리튬이온전지 음극재 적용을 위한 공정 개선 ..... 260 손주희(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 일반대학원 신소재공학과), 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 임원빈(한양대학교 일반대학원 신소재공학과), 이진석 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)
PVE-P-42	재활용 태양광 유래 실리콘의 2단계 고온 직접 질화에 의한 고순도 Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 합성 ..... 261 손주희(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 일반대학원 신소재공학과), 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 임원빈(한양대학교 일반대학원 신소재공학과), 이진석 <sup>†</sup> (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)
PVE-P-43	타공 나선형 유로 기반 공식식 PVT 시스템의 열 회수 성능에 대한 수치 및 실험적 분석 ..... 262 최관용(한국생산기술연구원 에너지나노그룹, 한양대학교 기계공학부), 김영원 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원 에너지나노그룹)
PVE-P-44	유연 태양전지의 신뢰성 향상을 위한 실리콘 산화물계 배리어 박막의 수분 차단 특성 연구 ..... 263 김영훈, 김수진, 김은미 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원)
PVE-P-45	철로변 방음벽 차음형 경량 태양광 모듈 개발 ..... 264 이하은 <sup>†</sup> (충북대학교 건축공학과), 정유근(한국교통대학교 건축공학과), 조정제(솔브릿지(주))
PVE-P-46	PHPS 기반 SiO <sub>2</sub> 계면층 기반 우주용 유연 태양광 모듈의 고신뢰성 봉지 기술 ..... 265 류준, 박예랑, 권다영, 박노창 <sup>†</sup> , 이용환 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)

PVE-P-47	계면 산화 반응을 제어한 SiO <sub>2</sub> 배리어 필름의 향상된 투습성 연구 : 태양전지 봉지용 응용 가능성 .....	266
	김수진, 김영호, 김은미 <sup>†</sup> (한국생산기술연구원)	
PVE-P-48	우주용 태양광 모듈의 내구성 향상을 위한 방사선 차폐 AZO 코팅 유리 .....	267
	박예랑, 김다정, 류준, 권다영, 한재익, 박노창 <sup>†</sup> , 이용환 <sup>†</sup> (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)	
PVE-P-49	거치형 태양광 시스템의 다방위·혼합 배치 설치 전략에 따른 발전 성능 및 경제성 분석 .....	268
	이루다, 이준영, 김동수, 윤종호 <sup>†</sup> (국립한밭대학교 건축공학과)	
PVE-P-50	강판 두께 변화에 따른 Glass-to-Steel 태양광 모듈의 옥외 성능 분석 .....	269
	황성호 <sup>†</sup> (고려대학교 에너지기술공동연구소), 서동철(호서대학교 화학공학과), 김영수(포항산업과학연구원)	



# Special Session

데이터센터와 재생에너지



# 분산에너지 활성화 특별법 시행으로 인한 데이터센터산업 입지 변화

## Changes in the Location of the Data Center Industry due to the Implementation of the Distributed Energy Act

한석만\*†

Seokman Han\*†

\*한국에너지공단 분산에너지처

**Abstract :** 분산에너지법은 대규모 발전소 및 송전망 건설 회피, 지역 내 에너지의 생산과 소비 지향, 에너지 공급체계의 저탄소화를 목적으로 2023년 6월에 제정되어 2024년 6월에 시행되었다. 분산에너지법의 시행과 더불어 다양한 제도가 함께 도입되었는데 그 중 전력계통영향평가제도와 분산에너지 특화지역 지정제도는 대규모 전력을 소비하는 데이터센터의 입지에 많은 영향을 주고 있다. 분산에너지법 시행 전 다수의 데이터센터 사업자가 인프라가 잘 갖추어져 있는 수도권에서 사업을 추진하였지만 시행 후에는 더 이상 수도권에서의 사업추진이 어려운 상황이다. 데이터센터의 특성 상 많은 전력을 소비하기에 전력계통영향평가라는 허들을 넘기 어려워졌기 때문이다. 또한 에너지 지산지소 실현을 위해 다양한 규제특례가 적용되는 분산에너지 특화지역도 2025년에 7개가 지정되었다. 그 중 울산과 해남은 각기 다른 지역 특성에 맞는 공급-수요(데이터센터) 조합을 통해 데이터센터의 지방 이전을 추진하고 있다. 국내 전력계통 상황과 정부의 분산에너지 정책을 감안할 경우, 앞으로 수도권 내 데이터센터 사업추진은 극히 희박할 것으로 보인다. 따라서 지역 특성에 적합한 공급-수요 모델이 필요할 것으로 보이며 이를 분산에너지 특화지역과 연계하는 방안이 가장 효과적일 것이라 판단된다.

**Key Words :** 데이터센터(Data center), 분산에너지(Distributed energy), 지방이전(Regional decentralization) 전력계통영향평가(Power system impact assessment), 특화지역(Specialized zone)

† Corresponding author, E-mail: hseokman@energy.or.kr

# 재생에너지 기반 데이터센터 기술 현황

## Technology Status of Renewable Energy-based Data Centers

허재혁\*<sup>†</sup>

Jaehyeok Heo\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 재생에너지연구소

**Abstract :** AI 및 클라우드 산업의 급속한 확산에 따라 데이터센터의 전력소비는 전 세계적으로 빠르게 증가하고 있으며, 이에 따른 전력계통 부담과 탄소배출 저감 요구도 동시에 확대되고 있다. 데이터센터는 이미 주요 전력소비원으로 부상하였으며, 향후에는 전력수요 증가의 핵심 요인으로 작용할 것으로 전망된다. 특히 데이터센터 전력소비의 상당 부분이 서버 운영과 냉각에 집중되어 있어, 고효율 전력공급과 저탄소 냉각기술의 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 글로벌 빅테크 기업들은 RE100 이행과 탄소중립 목표 달성을 위해 재생에너지 전력구매계약(PPA)을 확대하고, 시간대별 탄소중립을 지향하는 24/7 CFE(Carbon-Free Energy) 기반 운영모델을 적극 도입하고 있다. 이에 따라 태양광, 풍력, 에너지저장장치(ESS)를 결합한 하이브리드 전원 시스템이 데이터센터의 안정적이고 친환경적인 전력공급 대안으로 주목받고 있다. 그러나 재생에너지 확대와 데이터센터 집적화는 전력망 혼잡, 계통접속 지연, 지역별 입지 제약 등의 문제를 동반하고 있어, ESS, 열저장, 워크로드 분산 등 유연성 자원의 확보 필요성이 더욱 커지고 있다. 미국은 PPA 기반 재생전력 조달을 중심으로 RE100을 선도하고 있으며, 유럽은 에너지 속성 인종과 실시간 무탄소 전력 매칭 기술 개발에 집중하고 있다. 일본은 분산형 그린 데이터센터의 지방 확산을 추진하고 있고, 싱가포르르는 고온운전 및 액체냉각 기술을 통해 에너지 효율 향상을 도모하고 있다. 또한 유럽연합과 북유럽 국가들은 데이터센터 폐열을 지역난방과 연계하는 에너지허브형 모델을 확산시키고 있다. 본 발표에서는 재생에너지 기반 데이터센터 기술의 국내외 추진 현황과 핵심 기술동향을 종합적으로 검토하고, 재생전력과 재생열을 통합 활용하는 차세대 데이터센터 모델의 필요성을 제시하고자 한다.

**Key Words :** 데이터센터(Data center), 재생에너지(Renewable energy), 재생열(Renewable heat), 전력소비(Electricity consumption), 폐열(Waste heat)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhheo@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 기후에너지환경부의 재원으로 환경산업기술원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025-02213307).

# 데이터센터 재생에너지 사용 Option과 재생열(RE-Heat) 구매

## Renewable Energy Usage Options and Procurement of Renewable Heat (RE-Heat) for Data Center

진우삼\*.\*.\*†

Ousam Jin\*.\*.\*†

\*한국RE100위원회, \*\*기업재생에너지재단

**Abstract :** 최근 Google, Microsoft, Amazon과 같은 글로벌 빅테크 기업들을 중심으로 데이터센터 운영에 사용되는 전력을 재생에너지로 전환하려는 움직임이 가속화되고 있다. 이는 해당 기업들이 2030년에서 2040년 사이 넷제로(Net Zero) 달성을 주요 목표로 설정하고 있기 때문이며, 특히 Scope 2 배출 저감을 위한 전략적 대응의 일환으로 추진되고 있다.

최근 데이터센터는 40MW 이상의 대형 시설로 확대되고 있으며, 인공지능(AI) 수요 증가에 따라 100MW 이상의 하이퍼스케일(Hyperscale) 데이터센터로 급격히 성장하는 추세이다. 이에 따라 전력 수요 또한 기하급수적으로 증가하고 있으며, 전력 사용 구조를 용도별로 구분하면 IT 장비(서버, 스토리지, 네트워크)가 약 60~70%, 냉각 시스템(Cooling/HVAC)이 20~30%, 전력 변환 및 기타 설비가 5~10%를 차지하는 것으로 나타난다.

데이터센터 전력을 100% 재생에너지로 전환하기 위해서는 GHG Protocol과 같은 국제 온실가스 회계 기준에서 제시하는 Scope 2 감축 수단을 준수해야 한다. 이에 따라 재생에너지 조달 방식으로는 태양광 및 풍력 발전소로부터의 직접 전력구매계약(PPA), 재생에너지 인증서(REC) 구매, 온사이트 자가발전(Self-generation) 등이 주요 옵션으로 활용되고 있다.

한편 데이터센터에서 최종적으로 활용되는 에너지가 냉방과 같은 열에너지 형태인 경우, 집단에너지사업자 또는 열공급사업자로부터 재생에너지 기반 냉수의 직접 공급을 받는 방식이 적용될 수 있다. 또한 재생열 인증서(H-REC)와 같은 제도가 도입될 경우, 인증서 구매를 통한 간접적인 재생열 조달이 비용 효율적인 대안으로 고려될 수 있다.

이와 더불어 최근에는 Google을 중심으로 24/7 무탄소 에너지(Carbon-Free Energy, CFE) 달성을 위해 전력 수요와 재생에너지 공급을 시간 단위로 정밀하게 매칭하는 새로운 전력 조달 모델이 시험적으로 도입되고 있으며, 이는 향후 데이터센터 에너지 운영의 중요한 방향성을 제시한다.

**Key Words :** 데이터센터 (Data Center), 전력구매계약 (Power Purchase Agreement, PPA), 넷제로 (Net Zero), 재생열(RE-Heat), 무탄소에너지 24/7 (24/7 Carbon-Free Energy, 24/7 CFE)

† Corresponding author, E-mail: seoultxas@gmail.com

# 데이터센터 RE100 실현의 선결과제: 태양광 입지 규제와 제도적 제언

## Preconditions for Data Center RE100 Implementation: Solar Energy Siting Regulations and Policy Recommendations

김다운\*†

Daun Kim\*†

\*기후솔루션 재생에너지인허가팀

**Abstract :** 데이터센터 산업의 급성장과 함께 RE100 달성이 필수 과제로 부상하고 있으나, 국내 재생에너지, 특히 태양광 에너지의 보급은 여전히 더딘 상황이다. 데이터센터의 RE100 실현을 위해서는 태양광의 보급 확대가 필요하고, 이를 위해서는 태양광 입지 규제의 문제점을 해결해야 한다.

영농형 태양광은 동일 농지에서 농업 활동과 발전이 동시에 가능하여 농가의 소득을 보조하고 재생에너지를 보급을 견인하는 새로운 수단으로 제시되었지만, 영농형 태양광을 활성화하기 위한 제도적 기반은 여전히 미흡한 실정이다. 본 발표에서는 국내 영농형 태양광 관련 현황과 제도적 한계를 조명하고, 관련된 정책적 해결방안을 제시하고자 한다. 또한 데이터센터 업계를 중심으로 한 전기수요자의 역할과 협력 방안을 모색하고자 한다.

The rapid growth of the data center industry has made achieving RE100 a critical imperative; however, the deployment of renewable energy in South Korea, particularly solar energy, remains slow. To realize RE100 in data centers, it is necessary to expand solar power deployment, which requires addressing the challenges in solar power siting regulations.

Agrivoltaics has been presented as a novel approach that enables simultaneous agricultural activities and power generation on the same farmland, supplementing farm income while driving renewable energy deployment. However, the institutional framework for activating agrivoltaics remains inadequate. This presentation illuminates the current status and institutional limitations of domestic agrivoltaics and proposes related policy solutions. Furthermore, we seek to explore the roles and collaborative approaches of electricity consumers, centered on the data center industry.

**Key Words :** RE100(RE100), 데이터센터(Data Center), 태양광(Solar Power), 입지 규제(Siting Regulations), 이격거리(Setback Distance), 영농형 태양광(Agrivoltaics), 재생에너지 정책(Renewable Energy Policy)

† Corresponding author, E-mail: [daun.kim@fourclimate.org](mailto:daun.kim@fourclimate.org)

# 데이터센터 태양광 활용 RE100 전략

## Data Center Solar Power Integration for RE100 Strategy

박종수\*<sup>†</sup>

\*신성이엔지 개발사업부

**Abstract :** Google은 텍사스에 1GW 태양광 PPA를 체결하고 재생에너지 개발사 인수에 47억 5천만 달러를 투자했으며, Microsoft는 전 세계 34GW 재생에너지 계약으로 2025년 100% 매칭을 달성했습니다. Amazon은 700개 이상의 재생에너지 프로젝트를 통해 2023년 전력 100% 매칭을 발표했고, Meta는 텍사스에 600MW 태양광 시설을 구축하며 650MW를 추가 계약했습니다. 2026년부터 공공기관 RE100 이행이 의무화되며, 2030년까지 재생에너지 100GW 보급을 목표로 RPS 제도가 개편됩니다. 새만금 RE100 스마트 그린산단에는 2026년 예산 120억원이 배정되었습니다. 2025년부터는 연면적 1,000㎡ 이상 민간 건축물에 ZEB(제로에너지빌딩) 인증이 의무화되며, 건물에너지효율 1++ 등급(140kWh/㎡·yr 미만) 및 자립률 20% 이상 달성이 필수입니다. GPU 고밀도 서버는 일반 서버 대비 5-10배 전력을 소비하며 랙당 30-80kW의 고밀도 설계가 요구됩니다. 송전선로 용량 한계로 신규 데이터센터의 접속 대기 기간이 24-48개월로 증가했고, PUE 1.3대 규제 강화 속에 냉각 전력이 전체의 30-40%를 차지하는 운영효율 압박이 심화되고 있습니다. 지붕형 태양광과 HVAC 냉각시스템을 통합하여 자립률 20-40% 달성이 가능하며, ESS/EMS 연계로 피크 요금을 절감합니다. 국내에서는 네이버 각 춘천(213MWh/년), 각 세종(300MWh), 카카오 안산(1,000kW)이 선도 사례입니다. 국내기업중에 인도네시아 자카르타에 초기 30MW, 최대 220MW까지 확장 가능한 하이퍼스케일 AIDC를 구축 중이며(2026년 완공, 약 1,000억원 규모), 베트남에서는 VNPT와 협력하여 40MW 이상 규모의 AIDC 개발을 추진합니다. 동남아 데이터센터 시장은 2024년 137억 달러에서 2030년 305억 달러로 연평균 14% 성장이 예상됩니다.

**Key Words :** PV-Driven HVAC - 태양광과 냉각시스템 통합 솔루션, RE100 - 재생에너지 100% 전환 목표, AI 데이터센터 - GPU 고밀도 전력수요 급증, ZEB (제로에너지빌딩) - 건물에너지효율 등급 및 자립률 기준, 하이퍼스케일 - 대규모 데이터센터 (30MW~220MW급)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jongsu.park@shinsung.co.kr

# 녹색채권(Green Bond) 발행을 위한 데이터센터의 친환경 전략

## Sustainable Strategies for Data Centers to issue Green Bonds

박용진\*†

Yongjin Park\*†

\*KIS자산평가 ESG사업본부

**Abstract :** 녹색채권은 친환경 기술 및 친환경 활동을 위한 대규모 자금조달을 촉진하는 금융적 도구이며, 채권발행을 통해 자금조달을 하려는 주체에게 정부 정책에 따라 이자비용의 일부를 보전받는 인센티브가 부여된다. 친환경 기술 또는 활동은 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)에 따라 구분될 수 있으며 현재 ‘저탄소 인터넷 데이터 센터 구축 운영’에 대하여 K-Taxonomy에 따라 녹색 금융의 지원을 받을 수 있다. 그러나 현재의 체계는 과거 인터넷 데이터센터를 기준으로 작성되어 AI데이터센터의 특징을 반영하기 어려운 측면이 있다. 그리고 대규모 에너지 및 물 이용과 그에 따른 지역사회와의 갈등 역시 K-Taxonomy에서 요구하는 DNSH (Do No Significant Harm)원칙과 대립할 수 있어 녹색채권 발행을 통한 저리 자금조달에 어려움이 발생할 수 있다. 본 고에서는 데이터센터 녹색채권 자금조달을 위한 친환경 전략으로 K-Taxonomy에 기반한 지속가능성 이슈 발굴 및 대응, 재생에너지 조달 전략, 폐열이용 또는 액침냉각 등 차세대 기술 적용 시 K-Taxonomy 적용 가능성 검토, 데이터센터 특화 친환경 인증 취득을 제시한다.

**Key Words :** 녹색채권(Green Bond), 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy), 녹색금융(Green Finance), AI데이터센터, 액침냉각(Immersion Cooling)

† Corresponding author, E-mail: yongjin.park@kispricing.com

DC-O-7

# 데이터센터 냉각 설비와 지역 에너지 그리드 연계 기술

## Interconnecting Technology of Data Center Cooling Systems and District Energy Grid

이진영\*<sup>†</sup>Jin Young Lee\*<sup>†</sup>

\*HIMEC

**Abstract :** 고밀도 데이터센터들이 점차 액체 냉각(Liquid cooling) 방식을 사용하기 시작하면서, 40℃ 이상 온수의 형태로 열 방출이 이루어지는 곳들이 많아질 전망이다. 한편, 최근 건설되는 일반 건물들은 과거 증기와 같은 고온의 열원에서 60℃ 이하 저온 수를 활용하는 건물들이 대부분이다. 따라서, 지역 열원 시스템을 데이터센터 등 산업시설에서 배출되는 저온 수를 활용하는 시스템으로 변화시키면, 산업 폐열과 재생에너지 배열의 효율성을 높일 수 있다. 본 고에서는 데이터센터 배열을 사용하는 열 공유 시스템의 구성을 소개하고, 이미 실제 건물군에서 실증하고 있는 해외 사례들을 소개하고자 한다.

**Key Words :** 데이터센터(Datacenter), 액체 냉각(Liquid cooling), 에너지 그리드(Energy grid), 지역 열원(District heat source)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: Jinyoung.lee@himec.co.kr





# Special Session

P2H 열에너지 수요관리



# 전기요금제에 따른 대형 히트펌프 경제성 분석

## Economic Analysis of Large Heat Pumps Based on Electricity Prices

김경민\*<sup>†</sup>, 박준연\*, 정강열\*, 노태우\*

Kyung Min Kim\*<sup>†</sup>, Jun-Yeon Park\*, Kang-Yeol Jeong\*, Tae-Woo Loh\*

\*한국지역난방공사 에너지전환사업처

**Abstract :** 대형 히트펌프는 도시가스 보일러 대비 탄소 배출을 28~35% 줄일 수 있는 친환경 고효율 기기이나, 전기요금 체계에 따라 경제성이 크게 달라진다. 2026년 기준, 일반용 전기요금 적용 시 도시가스 와 유사한 난방비 수준을 보이거나, 요금제 선택과 운영 시간에 따라 경제성을 극대화할 수 있다. 대형 히트 펌프 경제성 절감 요인으로 첫 번째로는 고효율 운전이다. ASHRAE 기준 시뮬레이션 결과, 고효율 히트 펌프 적용 시 연간 약 53%의 에너지 소비량 절감이 예상된다. 두 번째로는 환경 규제 및 지원이다. 유럽 등 주요국에서는 난방비 절감 및 탄소 배출 저감(최대 65% 저감 가능)을 위해 히트펌프 설치를 장려하고 있으며, 한국 정부도 2035년까지 히트펌프 350만 대 보급을 목표로 요금 체계 개편을 추진 중이다. 세 번째로는 P2H(Power to Heat) 활용이다. 전력 생산 과잉 시 히트펌프를 활용해 잉여 전력으로 난방하는 P2H 기술은 운영 비용을 낮추는 경제적 대안이다. 하지만 많은 경제성을 저하시킬 요인이 많다. 그 중 높은 초기 설치 비용이 가장 큰 장벽이다. 그리고 전기요금 인상 전망이다. 2030년까지 kWh당 약 70.8원 수준의 인상 요인이 있어, 장기적인 운영 비용 상승 가능성을 고려해야 한다. 더욱이 외부 온도 영향인데 추운 날씨에는 성능(COP)이 저하될 수 있어 고성능 제품 선정이 필요하다. 결론적으로, 대형 히트펌프는 에너지 효율이 매우 높으나, 일반용 전력 요금 체계 하에서는 높은 전기요금으로 인해 도시가스 대비 드라마틱한 난방비 절감을 즉각 확인하기 어려울 수 있다. 따라서, 심야전력 활용, 시간대별 할인 요금제 적용, 고효율 모델 선택을 통해 초기 투자비를 회수하는 전략이 필수적이다.

**Key Words :** 전기요금(Electricity Prices), 대형 히트펌프(Large Heat Pump), 경제성 분석(Economic Analysis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kimkm@kdhc.co.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00419184)

# 전력 및 열에너지 수요예측 AI 모델 개발 및 검증

## Development and Validation of an Artificial Intelligence Model for Demand Forecating of Power and Heat Energy

문정민\*, 손명우\*†

Jungmin Moon\*, Myungwoo Son\*†

\*한국광기술원, AI에너지연구센터

**Abstract :** 기후 변화와 에너지 사용 패턴의 불확실성 증가로 에너지 수요예측 기술은 에너지 효율성을 높이고, 운영 최적화하는데 필요성이 증대되고 있다. 그러므로 전력 및 열에너지의 수요를 정밀하게 예측하는 기술이 개발되고 있다. 본 연구는 시계열 에너지 데이터를 활용하여 건물 단위의 전력 및 열에너지 소비량을 예측하는 인공지능 모델을 개발하였다. 에너지의 특성 및 데이터를 고려하여 전력 및 열에너지에 적합한 모델을 적용한 수요예측 모델을 설계하였다. 전력에너지 수요예측 모델의 경우 CNN (Convolutional Neural Network)과 LSTM (Long Short-Term Memory), 어텐션 메커니즘을 결합한 딥러닝 모델을 활용하였다. 그리고, 시계열적 특성을 효과적으로 반영하기 위한 시간 정보의 주기함수로 변환하고, 평일 및 주말 여부, 과거 소비 이력(lag), 이동 평균 등의 다양한 파생 변수를 생성하여 시간적 패턴 학습 능력을 향상시켰다. 열에너지 수요예측 모델의 경우 ExtraTrees, RandomForest, HistGradientBoosting, SVR 등 각각의 머신러닝 기법을 적용하고, 예측값을 평균 앙상블하는 모델을 활용하였다. 기존 열에너지 사용량 및 이동통계는 수요예측의 강력한 신호로 활용되기 때문에 설비의 열출력, 유량, 온도차, 외기온도 및 습도 등의 센서 데이터를 시간 순으로 정렬하였고, 열에너지의 이동평균·표준편차·차분·적분 등의 파생변수를 생성하였다. 그리고 시간 주기성 임베딩을 포함한 시간적 맥락을 반영하였다. 그 결과 전력 및 열에너지 수요예측 모델은 각각 26.84% (CVRMSE), 7.28% (MAPE)의 예측 정확도를 달성하였고, 기존 단일 모델 대비 개선된 성능을 보였다. 본 연구로 개발된 전력 및 열에너지 수요예측 AI 모델은 건물 에너지 관리 및 운영에 활용할 수 있으며, 에너지 효율 제고와 탄소 저감에 기여할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 수요예측 (Demand Forecating), 시계열 데이터 (Time-Series Data), 전력 및 열에너지 (Power and Heat Energy), 인공지능 모델 (Artificial Intelligence Modell)

† Corresponding author, E-mail: mwson@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다. (과제번호: RS-2024-00419184)

P2H-O-3

# 지역난방 연계 제로에너지빌딩의 분산형 에너지 시스템 운영 고도화

## Operational Optimization of Distributed Energy Systems for District Heating-Integrated Zero-Energy Buildings

박태룡\*†, 한준규\*, 박용성\*, 김한국\*

Taeryong Park\*, Jungyu Han, Yongsung Park, Hankook Kim\*†

\*GS파워

**Abstract :** 건물 부문의 탄소중립 달성을 위해 제로에너지빌딩(Zero Energy Building, ZEB)과 분산형 에너지 시스템의 도입이 중요한 대안으로 주목받고 있다. 특히 태양광 발전, 히트펌프 및 열저장 시스템을 통합적으로 활용하고 전력 계통 및 지역난방 네트워크와 연계 운영하는 방식은 건물 에너지 효율 향상과 에너지 유연성 확보 측면에서 큰 잠재력을 가진다. 본 연구에서는 태양광, 히트펌프, 열저장 시스템을 포함하는 분산형 에너지 시스템이 적용된 제로에너지빌딩의 운영 최적화 방법을 제안한다. 제안된 시스템은 건물 에너지 관리 시스템을 통해 전력 계통 및 지역난방 네트워크와 연계되어 운영되며, 전력 구매, 태양광 발전 이용, 히트펌프 및 열저장의 운영을 통합적으로 제어한다. 이를 위해 에너지 비용 최소화를 목표로 하는 운영 스케줄링 최적화 모델을 구축하였다. 본 연구에서는 제안된 운영 전략을 통해 건물의 에너지 자립도 향상, 탄소 절감 효과 그리고 에너지 비용 절감 효과를 분석한다. 또한 분산형 열원과 열저장 시스템의 통합 운영이 제로에너지빌딩과 지역난방 시스템의 에너지 운영 효율을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

**Key Words :** ZEB(Zero Energy Building), 집단에너지(District energy), 히트펌프(Heat pump)  
열에너지저장장치(Thermal energy storage), 에너지 최적화(Energy optimization)

† Corresponding author, E-mail: taeryong.park@gspower.co.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00419184)

P2H-O-4

# 장거리 고효율 열 수송을 위한 친수성 다층 구조 센티미터 스케일 열저장 캡슐

## Centimeter-scale Phase Change Capsules with a Hydrophilic Multilayer Structure for Long-distance Heat Transport

조은\*\*\*, 유수진\*, 정영균\*, 이창하\*\*, 강상우\*\*\*, 최재우\*†  
Eun Cho\*\*\*, Su-Jin Yoon\*, Youngkyun Jung\*, Changha Lee\*\*,  
Sang Woo Kang\*\*\*, Jae-Woo Choi\*†

\*한국과학기술연구원 물자원순환연구단, \*\*서울대학교 화학생명공학부, \*\*\*하이리움산업(주)

**Abstract :** 상변화 물질(phase change materials, PCM)은 높은 잠열(225.6 kJ/kg)을 기반으로 장거리 열 수송 소재로 활용 가능성이 크다. 그러나 액-고 상변화 과정에서 관 벽에 부착되거나 응집되어 관로를 막는 문제가 발생할 수 있어 실제 시스템 적용에는 한계가 있다. 한편, 현재 단열재 기반의 열 전달 공정은 효율이 낮기 때문에 건물 및 지역 단위의 열에너지 활용을 위한 열에너지 네트워크(Thermal energy network, TEN) 시스템에서 안정적인 열저장 소재에 대한 수요가 증가하고 있다.

본 연구에서는 친수성 내부 다층구조의 센티미터 스케일 캡슐을 합성하여 구조적 안정성을 확보하고, 반복적인 상변화 과정에서의 물리화학적 안정성을 평가하였다. PCM이 충전된 열저장 캡슐의 잠열은 약 155.6 kJ/kg으로 나타났다. 이는 캡슐을 구성하는 약 30%의 캡슐 질량이 포함된 결과이며, 캡슐 내부 PCM의 고유한 열저장 특성이 잘 유지됨을 의미한다.

또한 열저장 캡슐은 PCM을 적용하지 않은 경우와 비교하여 물의 온도를 약 10배 이상 더 오랜 시간 유지하여 우수한 열저장 성능을 나타냈다. 더불어 1,000회의 반복 상변화 사이클 이후에도 캡슐의 질량, 잠열 및 열전도도에서 유의미한 변화가 관찰되지 않아 내부 PCM의 유실이 없었으며, 우수한 구조적 안정성과 내구성을 확인하였다.

이러한 결과는 본 연구에서 제안한 열저장 캡슐이 우수한 열저장 성능과 반복 상변화에 대한 물리화학적 안정성을 갖는 구조임을 보여준다. 또한 장거리 열수송을 요구하는 TEN 기반 분산형 열저장 시스템 뿐만 아니라 전력피크 저감, 계절 간 축열, 블랙아이스 방지 등 다양한 열에너지 응용 분야에 활용될 수 있음을 시사한다.

**Key Words :** 상변화물질, 열에너지저장, 센티미터스케일캡슐, 장거리 열수송, 물리화학적안정성

† Corresponding author, E-mail: plead36@kist.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : No. RS-2024-00419184, RS-2025-02317972).

# Towards Intelligent Thermal Demand Management in Building Energy Systems: TES Control Strategies, TRNSYS Simulation, and Optimization Roadmap

Muhammad Farooq<sup>\*,\*\*</sup>, Byung-Ju Lim<sup>\*\*</sup>, Sung-Hoon Cho<sup>\*\*</sup>, Ga-Ram Lee<sup>\*\*</sup>, Si-eun Kwon<sup>\*,\*\*</sup>, Chang-Dae Park<sup>\*,\*\*†</sup>

<sup>\*</sup>University of Science and Technology (UST)

<sup>\*\*</sup>Korea Institute of Machinery and Materials, Liquid Hydrogen Technology Research Center, Carbon Neutral Energy Machinery Research Institute

**Abstract :** Power-to-heat (P2H) systems coupled with thermal energy storage (TES) have emerged as practical solutions for absorbing surplus renewable electricity, reducing peak grid demand, and enabling flexible heat supply in building energy systems. This study presents the development and planned evaluation of a TES control strategy for a multi-source P2H system in South Korea, which integrates air-source and high-temperature heat pumps, a fuel cell, and a 32 m<sup>3</sup> stratified thermal storage tank connecting to district heating network. A comprehensive rule-based control strategy has been developed to govern TES operation across all operational scenarios, including normal operation, peak demand, and demand response (DR) events. To evaluate system performance, a site-specific dynamic simulation model is developed in TRNSYS to analyze annual operation in terms of energy consumption, seasonal performance factor (SPF), heat pump coefficient of performance (COP), and peak load reduction. Once the system becomes operational, experimental data from the plant will be collected and used to validate the simulation model, enabling direct comparison of simulated and measured performance. As future work, a mixed-integer linear programming (MILP) optimization framework will be implemented to determine optimal TES operational schedules, followed by the development of an artificial neural network (ANN)-based predictive control model aimed at achieving intelligent thermal demand management in P2H building energy systems.

**Key Words :** Thermal energy storage (TES), Demand response, TRNSYS simulation, Building energy optimization, Power-to-heat (P2H)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: parkcdae@kimm.re.kr

## Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment (MCEE) of the Republic of Korea (20220810100020 and RS-2024-00419184)

# P2H 부하자원의 수요반응 기반 주파수 안정도 영향 분석 및 평가지수 개발

## Impact Analysis of Power-to-Heat Demand Response on Frequency Stability and Development of a Quantitative Performance Index

최우영\*<sup>†</sup>, 김고은\*<sup>\*\*,\*\*\*</sup>

Woo Yeong Choi\*<sup>†</sup>, Go-Eun Kim\*<sup>\*\*,\*\*\*</sup>

\*한국전기연구원, \*\*전북대학교 전기공학과

**Abstract :** 전력계통의 저탄소 에너지 전환 가속화에 따라 인버터 기반 자원(Inverter-Based Resources, IBR)의 보급이 확대되며 계통 관성 감소 및 주파수 응답 역량의 약화가 심화되고 있다. 이러한 환경 변화 속에서 열기반 펌프(Heat Pump, HP)와 같은 열-전력 연계(Power-to-Heat, P2H) 부하자원은 수요반응(Demand Response, DR) 기반의 주파수 지원 서비스 제공 자원으로 주목받고 있으나, 이들의 주파수 안정도 기여 성능을 정량적으로 평가하는 체계적 방법론은 아직 미비한 실정이다. 본 논문은 대규모 전력계통 해석 프로그램을 활용하여 국내 전력계통을 모델링하고, 계통 외란 발생 시 HP 부하자원의 출력 감축 응답 특성이 계통 주파수 안정도에 미치는 영향을 분석한다. 특히, 부하 감축 응답의 개시 시간 및 응답 속도에 따른 주파수 최저점, 주파수 변화율 등 핵심 주파수 지표를 종합적으로 반영하는 성능 평가지수(Composite Performance Index, CPI)를 개발·적용한다. 분석 결과, HP의 부하 감축 응답 속도가 빠를수록 주파수 안정도 개선 효과가 증대되는 경향이 확인되었으며, 전력망의 주파수 안정도 기여효과를 정성적으로 평가함을 확인할 수 있다. 또한, 제안된 평가지수는 본 논문에서 대한 HP의 DR에만 국한된 것이 아니라 다양한 DR 시나리오 간의 주파수 지원 성능을 정량적·비교 가능한 형태로 표현함을 검증하였다. 본 연구의 성과는 향후 전력망에 확대 적용되는 다양한 부하자원의 주파수 응답 성능 평가를 위한 범용적 지표 체계로 확장·활용될 수 있으며, P2H 자원의 보조서비스 시장 참여 기준 수립에 기여할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 열기반 펌프(Heat pump), 열-전력 연계(Power-to-heat), 수요반응(Demand response), 주파수안정도(Frequency stability), 성능 평가지수(Composite performance index)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: choiwy@keri.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00419184).

P2H-O-7

# 건물군 수요관리를 위한 열-전기 협조 운영 방안 연구

## Electro-Thermal Coordinated Operation for Demand Management of Building Clusters

오성문\*†

Seongmun Oh\*†

\*한국전자기술연구원

**Abstract :** 본 연구에서는 단일 건물이 아닌 건물군 집계 수준에서 수요관리를 수행할 수 있는 열-전기 통합 운영 구조를 구성하였다. 제안하는 프레임워크는 건물군의 전력피크를 완화하는 동시에, 운전 조건에 따라 재생에너지 출력 변동 및 잉여전력 상황에 유연하게 대응할 수 있도록 설계되었다. 특히 열수요와 열저장 기능을 수요관리 자원으로 함께 고려함으로써, 기존의 전기 중심 제어에 비해 수요 측 유연성의 활용 범위를 확장할 수 있도록 하였다. 이러한 접근은 건물군 운영자 또는 수요관리 플랫폼이 전기적 자원뿐 아니라 열적 자원까지 포함한 통합적 제어 전략을 수립하는 데 기초가 된다. 사례연구에서는 건물 부하 데이터를 집계한 건물군 시나리오와 재생에너지 조건을 기반으로 시뮬레이션을 수행하고, 자원 구성에 따른 운전 특성을 비교 분석하였다. 분석 결과, 열-전기 협조 운전은 건물군 수요관리 측면에서 피크 부하 완화와 유연성 자원 활용 향상에 기여할 수 있는 가능성을 보였다. 또한 열적 유연성과 전기적 유연성을 함께 활용하는 경우, 재생에너지 변동성이 큰 조건에서도 보다 향상된 운영 성능을 기대할 수 있음을 확인하였다.

**Key Words :** 건물수요관리(Building demand management), 열-전기 협조 운전(Electro-thermal coordinated operation), 유연성 자원(Flexible energy resources), 재생에너지 (Renewable energy), 수요관리(Demand Response)

† Corresponding author, E-mail: sm91@keti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호: RS-2024-00419184)

# P2H-TES 기반 열에너지 유연성 자원 시장 도입 및 활성화 방안 연구

## A Study on the Introduction and Market Activation of P2H-TES-Based Thermal Energy Flexibility Resources

김인수\*<sup>†</sup>, 김재화\*\*

Insoo Kim\*<sup>†</sup>, Jaehwa Kim\*\*

\*가천대학교 산학협력단, \*\*가천대학교 산학협력단

**Abstract :** 재생에너지 보급 확대에 따른 전력계통 변동성 증가와 출력제어 문제를 완화하기 위한 유연성 자원의 확보 필요성이 증가하고 있다. 전력을 열에너지로 전환하여 저장·활용하는 전력-열 전환 기술(P2H)과 축열시스템(TES)은 전력망 유연성 확보와 열 부문 탈탄소화를 동시에 달성할 수 있는 유망한 에너지 전환 기술로 주목받고 있다. 그러나 국내에서는 초기 투자비 부담, 복잡한 인허가 체계, 열 및 전력시장 접근성 제한 등 제도적 장벽으로 인해 기술 확산과 시장 형성이 제한적인 상황이다. 본 연구에서는 P2H-TES 기반 열 에너지 유연성 자원의 시장 도입 및 활성화를 위한 정책·제도적 지원방안을 분석하고, 인센티브(설비 설치 보조금, 금융 및 세제 지원, 요금제 기반 유인)와 패널티 기반 유도 정책을 포함한 시장 활성화 프레임워크를 제안하였다. 또한 심야전력요금, 수요반응(DR), 계시별 요금제(TOU) 등 기존 전력요금 제도가 P2H-TES 운영에 미치는 영향을 검토하고 TES 전용 요금제 설계 방향을 도출하였다. 연구 결과는 전력-열 통합 에너지 시스템 환경에서 P2H-TES 기반 열에너지 유연성 자원의 시장 참여 구조와 제도 개선 방향을 제시하며, 향후 실증 기반 열에너지 유연성 시장 설계 및 정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 전력-열 전환 기술(Power-to-Heat, P2H), 축열 시스템(Thermal Energy Storage, TES), 에너지 유연성 시장(Energy Flexibility Market), 열에너지 정책(Thermal Energy Policy), 수요반응(Demand Response, DR)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: gachon0609@gmail.com

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00419184).

# 열·전기 실시간 수집 데이터 기반 건물 에너지 수요관리 원격제어에 관한 연구

## Research on Remote Control of Building Energy Demand Management based on Real-time Thermal and Electrical Data Collection

문정민\*, 권대윤\*, 김정욱\*\*†

Jeong-Min Mun\*, Dae-Yun Kwon\*, Jeong-Uk Kim\*\*†

\*주식회사 아미텍, \*\*상명대학교

**Abstract :** 현대 건축물에서 에너지 소비의 효율적인 관리는 에너지 비용 상승과 안정적인 전력 시스템 운영의 필요성으로 인해 점점 더 중요해지고 있다. 본 연구에서는 열 부하(예: 냉방·난방 시스템)와 전기 부하(예: EHP, 조명, 설비, 사무실) 그리고 열 공급시설과 전력 공급 설비에서 수집된 실시간 데이터를 활용하는 건물 에너지 수요관리 플랫폼을 연구하였다. 연구 접근 방식은 실시간 모니터링, 부하 예측 및 최적화 기술을 통합하여 시스템 안정성을 유지하면서 운영 효율성을 향상시키며, 열 및 전기 부하 데이터를 다양한 통계 기법으로 분석하여 소비 패턴과 최대 수요 기간을 파악한다. 이러한 데이터를 기반으로 에너지 공급 스케줄링을 최적화하고, 최대 부하를 줄이며, 운영비용을 최소화하는 통합 수요관리 전략을 개발한다. 최적화 프레임워크는 에너지 비용 절감 및 신재생 발전 자원 활용도 향상과 같은 경제적 목표와 전력망 안정성 유지 및 급격한 부하 변동 방지와 같은 안정성 목표를 모두 고려하였다. 원격제어는 OpenADR 표준 기술 기반의 VTN과 VEN 간 상호 통신 기반 감축 목표량 제어 방식을 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 에너지 수요의 균형을 효과적으로 맞추고, 운영비용을 절감하며, 건물 에너지 시스템의 안정성을 향상할 수 있다는 것을 보여준다. 본 연구 결과는 통합 데이터 기반 수요관리가 지속 가능하고 탄력적인 건물 에너지 운영 및 신재생에너지의 잉여전력 흡수에 크게 기여할 수 있음을 시사한다.

**Key Words :** 건물 에너지관리(BEMS), 수요 반응(Demand Response), 열 부하(Thermal Load), 전기 부하(Electrical Load), 경제적 최적화(Economic Optimization), 시스템 안정성(System Stability), 스마트 빌딩(Smart Building),

† Corresponding author, E-mail: jukim@smu.ac.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. RS-2024-00419184)

# TES-P2H 기반 건물군 열에너지 수요관리 및 운영 최적화 기술 실증

## Demonstration of TES-P2H-Based Thermal Energy Demand Management and Operational Optimization for Building Clusters

최원철\*<sup>†</sup>, 조장현\*\*

Won-Chul Choi\*<sup>†</sup>, Jang-Hyun Cho\*\*

\*선다코리아, \*\*

**Abstract :** 본 연구는 건물군 에너지 시스템을 대상으로 히트펌프와 열에너지저장시스템(Thermal Energy Storage, TES)을 활용한 TES-P2H 기반 열에너지 수요관리 기술의 실증과 운영 최적화 방안을 제시한다. 재생에너지 설비와 연계된 열 생산, 저장 및 공급이 가능한 양방향 열네트워크 구조를 구축하고, 실증 환경에서 장기 운전 데이터를 확보하여 열-전기 통합 에너지 운영 특성을 분석하였다. 또한 통합에너지 데이터수집 인프라와 원격 제어 기반 운영 플랫폼을 구축하고, 열 수요와 전력 수요를 동시에 고려한 운영 알고리즘을 적용하여 에너지 운영 효율과 시스템 안정성을 향상시키는 방안을 검증하고, 이를 통해 TES-P2H 기반 유연성 자원의 활용 가능성과 재생에너지 변동성 대응 효과를 분석하며, 건물군 기반 분산 에너지 환경에서 열에너지 중심 수요관리 기술의 적용 가능성과 계통 유연성 확보 측면의 활용 잠재력을 도출한다.

**Key Words :** 양방향 열네트워크(Bidirectional Thermal Network), 열에너지 저장시스템(Thermal Energy Storage), Power-to-Heat, 열·전기 통합 수요관리(Integrated Thermal-Electrical Demand Management), 에너지 운영 최적화(Energy Operation Optimization)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sundakorea@hanmail.net

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(No. RS-2024-00419184)



# Special Session

집광채광 기술 세미나



# 제로에너지건축물 적용을 위한 실내 집광채광루버 시스템의 국내외 표준 동향 및 시험평가 체계 분석

## Analysis of Domestic and International Standard Trends and Performance Evaluation Framework of Indoor Concentrating Daylighting Louver Systems for Zero-Energy Buildings

최민호\*<sup>†</sup>

Minho Choi\*<sup>†</sup>

\*(재)한국건설생활환경시험연구원

**Abstract :** With the proliferation of Zero-Energy Buildings (ZEB), concentrating daylighting systems are gaining significant attention as core renewable energy equipment. This study analyzes the current technical and policy status of these systems and proposes directions for advancing domestic performance verification frameworks. Unlike conventional shading or passive daylighting techniques, concentrating daylighting actively collects and redirects sunlight to directly offset indoor electric lighting loads, and is thus classified as renewable energy equipment. Among various system types, this research focuses specifically on louver-based systems installed within building interiors. The study first reviews global market trends shifting toward dynamic control and smart-façade integrated systems, followed by an examination of domestic standardization efforts centered on building applicability. Focusing on indoor concentrating daylighting louvers, it analyzes the Korea Energy Agency's guidelines for renewable energy equipment and reviews relevant international standards and technical references. Through this, the technical implications of key test parameters—including specular reflectance, average illuminance ratio, and Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)—are derived. Ultimately, this study proposes the necessity of implementing intelligent control systems to simultaneously satisfy visual comfort and energy-saving performance, alongside the importance of establishing a comprehensive performance evaluation system for achieving carbon neutrality. The findings are expected to serve as a reference basis for future domestic standard revisions and the establishment of equipment certification criteria for concentrating daylighting systems.

**Key Words :** 집광채광시스템(Concentrating daylighting systems), 실내 루버(Indoor louver), 시험표준(Testing standards), 신재생에너지(New & renewable energy), 제로에너지건축물(Zero-energy building), 성능평가(Performance evaluation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: choihenry@kcl.re.kr

# 집광 채광 시스템의 기술 · 정책적 의미와 제로에너지건축 적용 방안

## Concentrating Daylighting Systems for Zero-Energy Buildings: Technology, Policy, and Applications

임재한\*†

Jaehan Lim\*†

\*이화여자대학교 건축도시시스템공학과

**Abstract :** Concentrating daylighting systems have emerged as advanced solutions that actively collect, redirect, and deliver sunlight into interior spaces, including deep-plan and underground areas where conventional daylighting is limited. This study investigates the fundamental concepts of daylighting by distinguishing among passive daylight utilization, solar shading strategies, and concentrating daylighting systems. The role of concentrating daylighting is defined as a solar energy utilization technology that directly replaces electric lighting demand by transporting natural light into building interiors. This research further examines various technological approaches, including tubular daylighting devices, fiber-optic daylighting systems, louver-based reflective systems, and active sun-tracking systems. Particular attention is given to system efficiency, visual comfort, glare control, and integration with building envelopes and lighting control systems. Finally, the study reviews policy and regulatory frameworks related to daylighting and concentrating daylighting systems, focusing on their classification within renewable energy and building energy efficiency programs. In the Korean context, concentrating daylighting systems are examined in relation to zero-energy building (ZEB) strategies and renewable energy deployment policies, highlighting their role as solar energy-based lighting substitution technologies. The findings indicate that global trends are shifting toward dynamic, hybrid, and integrated systems that combine daylighting with shading control, electric lighting systems, and building energy optimization. In contrast, domestic developments have focused more on building applicability, performance verification, and system standardization. Based on these observations, the study suggests future research directions, including the development of adaptive control systems, integration with smart façades, and comprehensive performance evaluation methods that simultaneously consider visual comfort, energy savings, and carbon reduction.

**Key Words :** 집광채광시스템(Concentrating daylighting systems), 차양(Shading), 자연채광(Daylighting), 재생에너지(Renewable energy), 제로에너지건물(Zero-energy building)

† Corresponding author, E-mail: limit0@ewha.ac.kr

## 집광채광 관련 친환경 제도와 기술동향

### Eco-Friendly Policies and Technological Trends in Concentrating Daylighting System

신미수\*<sup>†</sup>, 박성철\*, 한태곤\*

Misoo Shin\*<sup>†</sup>, Seongcheol Park\*, Taegon Han\*

\*(주)선포탈

**Abstract :** 본 연구는 태양광을 실내로 유입·전달하여 전기조명 에너지를 대체하는 집광채광기술의 개념, 분류 및 제도적 적용 현황을 종합적으로 고찰하는 것을 목적으로 한다. 집광채광기술은 별도의 에너지 변환 과정 없이 자연광을 직접 활용하는 태양에너지 이용 기술로 정의되며, 시스템 구성 및 작동 방식에 따라 자연형(Passive)과 설비형(Active)으로 구분된다. 자연형 시스템은 광선반 및 집광채광루버와 같이 건물 외피에 인접하여 설치되어 채광을 유도하는 방식이며, 설비형 시스템은 입사부, 전송부, 산광부로 구성되어 태양광을 집광·이송·분배하는 능동적 채광 방식으로 정의된다. 자연형 시스템은 구조가 단순하고 건축적 통합이 용이하나 환경 조건에 따른 성능 변동성이 존재한다. 반면 설비형 시스템은 프리즘, 광덕트, 광섬유 전송, 태양추적 기반 광학 시스템 등 다양한 방식이 존재하며, 집광 효율, 전송 거리, 설치 조건 및 적용 범위 측면에서 차이를 보인다. 특히 장거리 광전송과 능동 제어가 가능하나 시스템 복잡도와 비용 증가가 수반된다. 제도적 측면에서는 집광채광기술이 신·재생에너지 공급의무화 제도, 건축물 에너지 절약설계기준, 제로에너지건축물 인증, 녹색건축인증 등 다양한 정책 및 인증 체계와 연계되어 적용되고 있음을 확인하였다. 그러나 제도별로 신재생에너지 인정 범위와 방식이 상이하여 동일 기술군 내에서도 분류의 불일치가 나타났다. 또한 조명에너지 절감량을 정량적으로 평가할 수 있는 표준 및 인증체계의 부재로 인해 기술의 성능이 충분히 반영되지 못하는 한계가 있다. 집광채광기술은 조명에너지 절감과 냉방 부하 저감을 동시에 달성할 수 있는 태양에너지 기반 조명 대체 기술로 평가되며, 향후에는 조명에너지 절감 효과의 정량적 평가 방법 개발, 스마트 제어 시스템과의 연계, 그리고 건물 에너지 통합 설계 관점에서의 적용 전략이 필요하다.

**Key Words :** 집광채광시스템 (Concentrating Daylighting System), 자연채광 및 조명에너지 절감 (Daylighting & Lighting Energy Saving), 태양광 전송 및 집광기술 (Solar Light Transport & Concentration Technology), 제로에너지건축물 (Zero Energy Building, ZEB), 친환경 건축 인증 및 신재생에너지 (Green Building Certification & Renewable Energy)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: altn58@thesunportal.com

#### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-00556005).

# 실내 루버형 집광채광시스템 산업 활성화 방안 연구

## A Study on Industrial Revitalization Strategies for Indoor Louver Type Daylight Concentrating System

김경식\*<sup>†</sup>, 박종빈\*, 이현영\*, 남혜령\*, 김서훈\*, 이동준\*, 이가혜\*

Kyeongsik Kim\*<sup>†</sup>, Jongbin Park\*, Hyunyoung Lee\*, Hyeryeong Nam\*, Seohoon Kim\*, Dongjun Lee\*, Gahye Lee\*

\*KIEL연구원 그린에너지본부 제로에너지팀

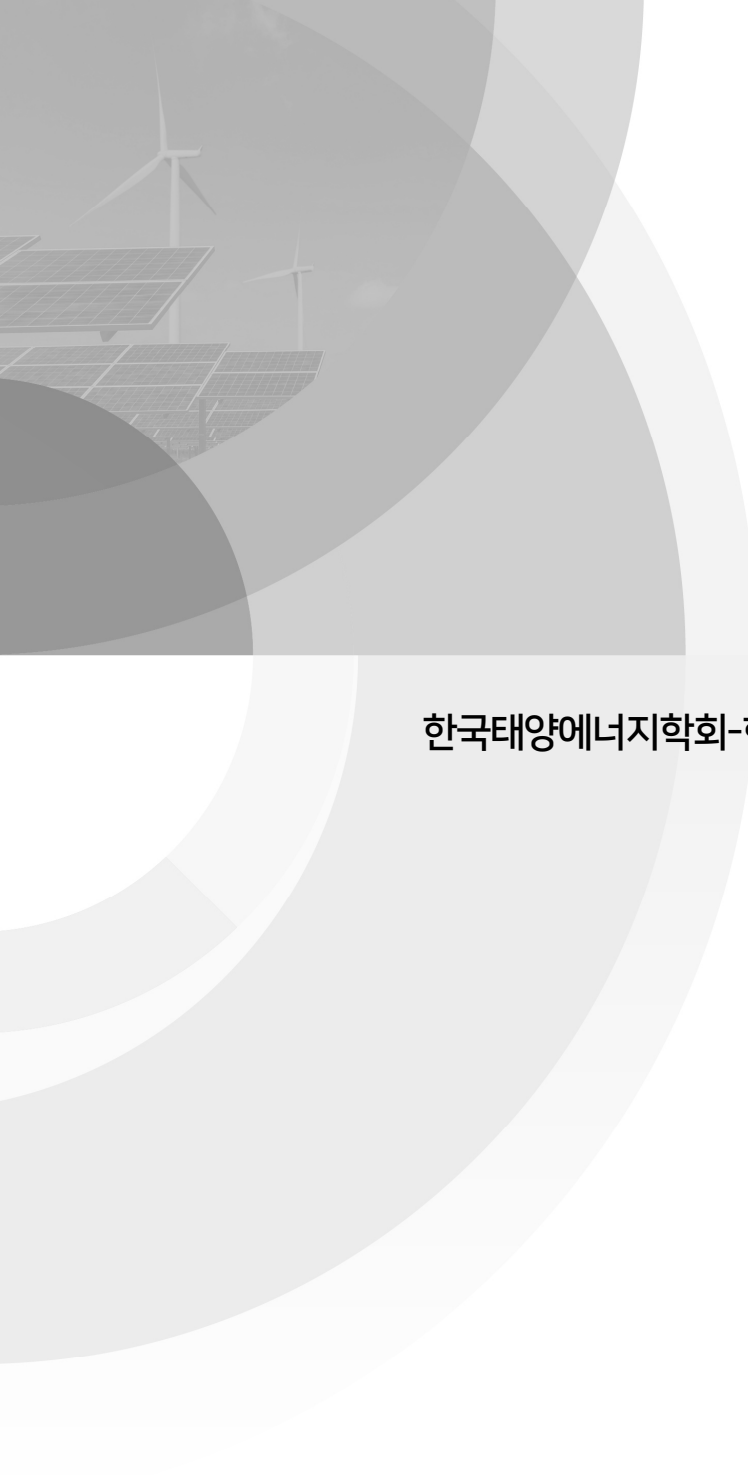
**Abstract :** 최근 제로에너지건축물(ZEB) 인증 의무화가 민간 건축물로 확대됨에 따라 효율적인 신·재생 에너지원에 대한 시장 수요가 급증하고 있다. 실내 루버형 집광채광시스템은 조명 에너지와 냉방 부하를 동시에 절감하는 혁신적인 융복합 기술임에도 불구하고, 현행 인증 체계의 부재와 평가 제도의 경직성으로 인해 시장진입에 난항을 겪으며 산업 생태계 전반이 심각한 정체기에 머물러 있다. 본 연구는 단순한 기술적 성능 검증의 차원을 넘어, 국가 연구개발(R&D) 사업을 매개로 한 실질적이고 정책적인 '산업 활성화 방안'을 도출하는 데 그 목적이 있다. 특히, 기존 KS 표준이나 신재생에너지 시공 기준으로 포괄할 수 없는 인공지능(AI) 기반 동적 제어 등 혁신 루버 시스템의 시장 진출을 위한 전략적 돌파구로서 '산업융합 신제품 적합성 인증' 제도의 적극적인 활용 방안을 제안한다. 산업융합 촉진법에 의해 적합성 인증을 받은 제품은 조달사업법에 따른 '우수조달물품 지정' 심사 시 특례(가점 및 우선 지정)를 받게 되며 이는 단순한 '학술적 제안'을 넘어 법과 제도가 이미 보장하고 있는 혜택이므로 정책 입안자와 심사위원들에게 현실적이고 파급력 있는 활성화 전략 중 하나가 될 수 있을 것이다. 결론적으로 본 연구를 통해 '산업융합 신제품 적합성 인증' 수행이 어떻게 기술 규제를 타파하고 우수조달시장 진입 및 민간 ZEB 투자 촉진으로 이어지는지 그 이점을 증명하며, 집광채광 산업의 지속 가능한 생태계 확장을 위한 정책적 자료로 활용되기를 기대한다.

**Key Words :** AI 기반 공간 에너지(AI-based spatial energy), 실내 루버형 집광채광 시스템(Indoor louver type daylight concentrating system)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kende1@kiel.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 산업통상부의 재원으로 에너지수요관리핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : RS-2024-00441420).



# Special Session

한국태양에너지학회-한국조명·전기설비학회 공동워크샵



# 자율형 Grid-interactive Efficient Building을 위한 분산형 Edge AI

## Decentralized Edge AI for Autonomous Grid-interactive Efficient Buildings

김종훈<sup>\*,\*\*†</sup>, 류승환<sup>\*</sup>, 한광우<sup>\*,\*\*</sup>, 최하늘<sup>\*</sup>, 이교석<sup>\*</sup>, 이슬<sup>\*</sup>

Jonghun Kim<sup>\*,\*\*†</sup>, Seunghwan Yoo<sup>\*</sup>, Gwangwoo Han<sup>\*,\*\*</sup>, Haneul Choi<sup>\*</sup>,  
Kyo-Seok Lee<sup>\*</sup>, Seul Lee<sup>\*</sup>

\*한국에너지기술연구원 에너지ICT연구단, \*\*과학기술연합대학원대학교

**Abstract :** 본 연구는 Grid-interactive Efficient Building(GEB)의 자율운전을 실현하기 위한 분산형 엣지 인공지능(Edge AI) 기반 제어 프레임워크를 제안한다. 기존 건물 에너지 관리 시스템은 중앙집중형 구조와 규칙 기반 제어에 의존하여 실시간성 및 확장성, 그리고 전력망과의 능동적 상호작용 측면에서 한계를 보인다. 이를 극복하기 위해, 본 연구에서는 분전반 수준에 엣지 인공지능을 배치한 분산형 구조를 도입하고, 개별 부하 단위의 에너지 상태 추정 및 예측을 기반으로 자율적 의사결정을 수행하는 시스템을 설계하였다. 또한, 전력망 신호 및 외부 환경 정보를 반영하여 건물 단위의 유연성과 효율성을 동시에 확보하는 Grid-interactive 전략을 검토하였다. 제안된 접근법은 건물의 에너지 비용 절감과 탄소 저감을 동시에 달성할 수 있는 실질적 자율운전 플랫폼으로서의 가능성을 제시한다.

**Key Words :** 그리드 상호작용형 건물 (Grid-interactive Efficient Building, GEB), 분산형 엣지 인공지능 (Decentralized Edge AI), 전력 부하 분해 및 예측 (Power Load Disaggregation and Forecasting), 에너지 유연성 (Energy Flexibility), 자율형 건물 에너지 관리 (Autonomous Building Energy Management)

† Corresponding author, E-mail: jonghun@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국에너지기술연구원 기본사업 연구비 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : C6-2410-33).

# 건물 에너지 효율 향상을 위한 인공지능 기반 HVAC 제어 전략

## HVAC Control Strategies for Improving Building Energy Efficiency Using Artificial Intelligence

이준희\*†

Junhee Lee\*†

\*한국전자통신연구원 자율형IoT연구실

**Abstract :** 에너지 전환과 탄소 저감이 중요한 과제로 부각되면서, 인공지능은 에너지 생산·운영·소비 전반의 효율화를 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 특히 건물 부문은 전 세계 에너지 소비의 약 30%를 차지하는 대표적 에너지 다소비 분야이며, 이 중 난방·환기·공조(HVAC) 시스템은 건물 에너지 소비에서 큰 비중을 차지하며, 그 효율적 운용은 건물 에너지 절감을 위한 핵심 과제로 인식되고 있다. 그러나 기존의 규칙 기반 제어는 복잡한 다중 구역 환경과 시간에 따라 변하는 외기, 점유, 내부발열, 부하 특성을 충분히 반영하기 어렵고, 모델 예측 제어는 높은 성능에도 불구하고 정교한 물리 모델 구축과 유지에 큰 비용이 요구된다. 본 발표에서는 건물 에너지 절감 관점에서, 동적 환경에 대한 적응성과 장기적 운용 최적화가 가능한 강화학습 기반 HVAC 제어 방법론을 소개하고자 한다. 구체적으로는 복잡한 건물 운용 환경에서 에너지 절감과 열쾌적성을 동시에 만족하는 최적 제어 문제의 특성을 바탕으로, 강화학습 적용의 필요성과 방법론적 배경을 설명하고, 상태·행동·보상 설계와 같은 강화학습 문제 정식화, 시뮬레이션 기반 학습 및 성능 검증, 그리고 에너지 절감과 열쾌적성 간의 균형을 고려한 제어 전략을 중점적으로 다룰 예정이다. 또한 실제 적용 관점에서 고려해야 할 제약사항과 함께, 실 건물 배포를 위한 전이학습 기반 환경 적응 방안도 함께 소개하고자 한다. 이를 통해 AI 기반 HVAC 제어가 건물 에너지 효율 향상을 위한 유망한 운용 전략으로서의 가능성과 향후 과제를 제시하고자 한다.

**Key Words :** 건물 에너지(Building energy), 강화학습(Reinforcement learning), 전이학습(Transfer learning), 난방·환기·공조 시스템 (Heating, Ventilation, and Air Conditioning system), 열쾌적성(Thermal comfort)

† Corresponding author, E-mail: aloha@etri.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00441420).

# 다성분계 페로브스카이트의 조성 변화에 따른 광학 상수 예측을 위한 인공지능 기반 초월회귀 모델링 연구

## AI-Enhanced Hyper-regression Modeling for the Prediction of Composition-Dependent Optical Constants in Multi-component Perovskites

이태규<sup>\*,\*\*</sup>, 제용훈<sup>\*,\*\*</sup>, 김수민<sup>\*†</sup>

Taegyung Lee<sup>\*,\*\*</sup>, Yonghun Je<sup>\*,\*\*</sup>, Soo Min Kim<sup>\*†</sup>

\*한국세라믹기술원 AI융합연구단, \*\*부산대학교 재료공학과

**Abstract :** 차세대 태양광 소자인 페로브스카이트는 유기 양이온과 할로겐 원소의 성분비를 최적화하여 효율과 안정성을 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있습니다. 하지만 화학량론적 비율 변화에 따른 물리적 광전 특성의 복잡한 변화를 실험적으로 모두 규명하기에는 시간과 비용 측면에서 한계가 존재합니다. 본 연구에서는 엘립소메트리(Ellipsometry) 측정 기술을 활용하여 다양한 조성을 갖는 페로브스카이트 박막의 광학 데이터를 정밀하게 수집하였습니다. 기존의 통계적 회귀 방식은 변수가 증가함에 따라 발생하는 복잡한 스펙트럼 패턴을 분석하는 데 어려움이 있습니다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 n차원 변수에 대한 비선형 데이터 처리가 가능한 초월회귀(Hyper-regression) 기반의 인공신경망(ANN) 구조를 설계하였습니다. 모델의 입력층에는 물질의 조성비와 파장 정보를 설정하고, 출력층을 통해 굴절률(n)과 흡광계수(k)를 실시간으로 예측하도록 구성하였습니다. 학습된 모델을 검증한 결과, 인공지능이 예측한 광학 상수는 실제 엘립소미터 측정값과 매우 높은 유사성을 나타냈습니다. 특히 일반적인 분석법으로는 파악하기 힘든 조성 변화에 따른 급격한 광학 패턴의 추이를 정밀하게 관찰할 수 있었습니다. 또한, 실험적으로 측정되지 않은 중간 조성 영역에서도 신뢰도 높은 물성 보간(Interpolation) 결과를 도출하였습니다. 본 연구에서 제안한 빅데이터 구축 및 초월회귀 분석 방법론은 다양한 박막 재료의 광학적 특성 예측에 보편적으로 적용될 수 있습니다. 결론적으로, 인공지능 모델링을 통한 물성 예측 기술은 다성분계 소재의 최적 설계와 공정 효율성을 극대화하는 데 크게 기여할 것으로 기대됩니다.

**Key Words :** 인공지능(Artificial Intelligence), 페로브스카이트(Perovskite), 화학양론비(Chemical Stoichiometry), 불규칙 스펙트럼(Random spectrum)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: smkim@kicet.re.kr

### 후 기

This work was supported by the framework of the Research and Development Program of the Korea Institute of Energy Research (C4-2414).

## 청색광을 고려한 일주기조명시스템

### Circadian Lighting System Considered with Blue-Light

장우진\*<sup>†</sup>, 박종빈\*\*

Woojin Jang\*<sup>†</sup>, Jongbin Park\*\*

\*한국조명전기설비학회, \*\*KIEL

**Abstract :** 지구상의 모든 생명체는 생명을 유지하기 위하여 공기, 빛 그리고 물이 필요하다. 시지각은 외부에서 정보를 얻어들이는 중요한 감각 중의 하나이다. 빛은 시지각 활동을 좌우하는 요소로서 작용하는 동시에 생체주기의 신호로서 지구의 24시간 자전에 맞춰 생체 시계를 동기화하는 역할을 하고 있다.

인간은 인위적인 빛을 발명하여 해가 진 후에도 활동을 계속하고 있다. 인공적인 전기 조명이 자연광과 어떤 점이 다른 것인지, 전체 전기에너지의 10% 이상을 소비하는 전기 조명의 어떤 점을 주의하여야 하는지, 에너지 효율을 최우선으로 하는 청색 기반 LED의 광범위한 보급은 값싼 밝은 빛을 제공하고 있지만, 인간의 삶에 어떤 영향을 미치는지 알아본다.

All living organisms on Earth require air, light and water to sustain life. Vision is one of the key senses through which we gather information from the external environment. Light acts as a factor that governs visual perception, and also serving as a signal for the circadian rhythm, synchronising our biological clocks with the Earth's 24-hour rotation.

Humans have invented artificial light, enabling them to continue their activities even after sunset. We examine how artificial electric lighting differs from natural light, what aspects of electric lighting—which consumes over 10% of total electrical energy—require attention, and how the widespread adoption of blue-based LEDs, which prioritise energy efficiency, provides cheap, bright light. In this paper, we explore the impact of LED light on human life.

**Key Words :** 조명에너지(Lighting energy), 야간 조명(Night Lights), 청색광(Blue-Light), 자연광(Daylighting), 일주기조명(Circadian Lighting)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hlight@seoultech.ac.kr



# Special Session

재생열 기술 및 정책



# 히트펌프 연계 PVT 융합 시스템 유럽 정책 동향

## European Policy Trends for Heat Pump-Integrated PVT Convergence Systems

주홍진\*<sup>†</sup>, 안영섭\*, 이왕제\*, 김민휘\*, 김득원\*, 김종규\*

Hong-Jin Joo\*<sup>†</sup>, Young-Sub An\*, Wang-Je Lee\*, Min-Hwi Kim\*,  
Deuk-Won Kim\*, Jong-Kyu Kim\*

\*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실

**Abstract :** 태양광열(PVT) 복합 모듈은 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 고효율 재생에너지 기술로, 히트펌프와 연계할 경우 저온 열원 활용을 통해 시스템 성능 향상과 재생열 보급 확대가 기대된다. 본 발표에서는 유럽 주요국의 히트펌프 연계 PVT 시스템을 대상으로 보조금 구조, 인증 요건, 성능 기반 지원체계 등 국외 정책 동향을 분석하였다. 분석 결과, 유럽에서는 PVT를 단순 발전 설비가 아니라 전기·열을 통합 생산하는 시스템으로 인식하고 있으며, 히트펌프와의 연계를 통해 건물 부문의 탈탄소화와 에너지 효율 향상을 동시에 도모하고 있는 것으로 나타났다. 또한 Solar Keymark 등 공인 인증체계와 시스템 단위 성능 검증이 시장 확산의 핵심 기반으로 작용하고 있음을 확인하였다. 이를 바탕으로, 최근 KS B 8297 제정을 통해 제도적 기반이 마련된 국내에서도 히트펌프 연계 PVT 융합 시스템의 보급 활성화를 위한 성능 평가 체계와 지원정책 정비가 필요함을 제안하고자 한다.

**Key Words :** 태양광열 복합모듈(Photovoltaic-Thermal Module), 히트펌프 연계(Heat Pump Integration), 유럽 정책 동향(European Policy Trends), 시스템 단위 성능 평가(System-level Performance Evaluation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: joo@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국에너지기술연구원의 자체사업(C6-8111)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

RHE-O-2

# 태양에너지 이용 시스템의 경제성 분석

## Cost-Benefit Analysis of Solar Energy Systems

조성구\*<sup>†</sup>, 박준호\*

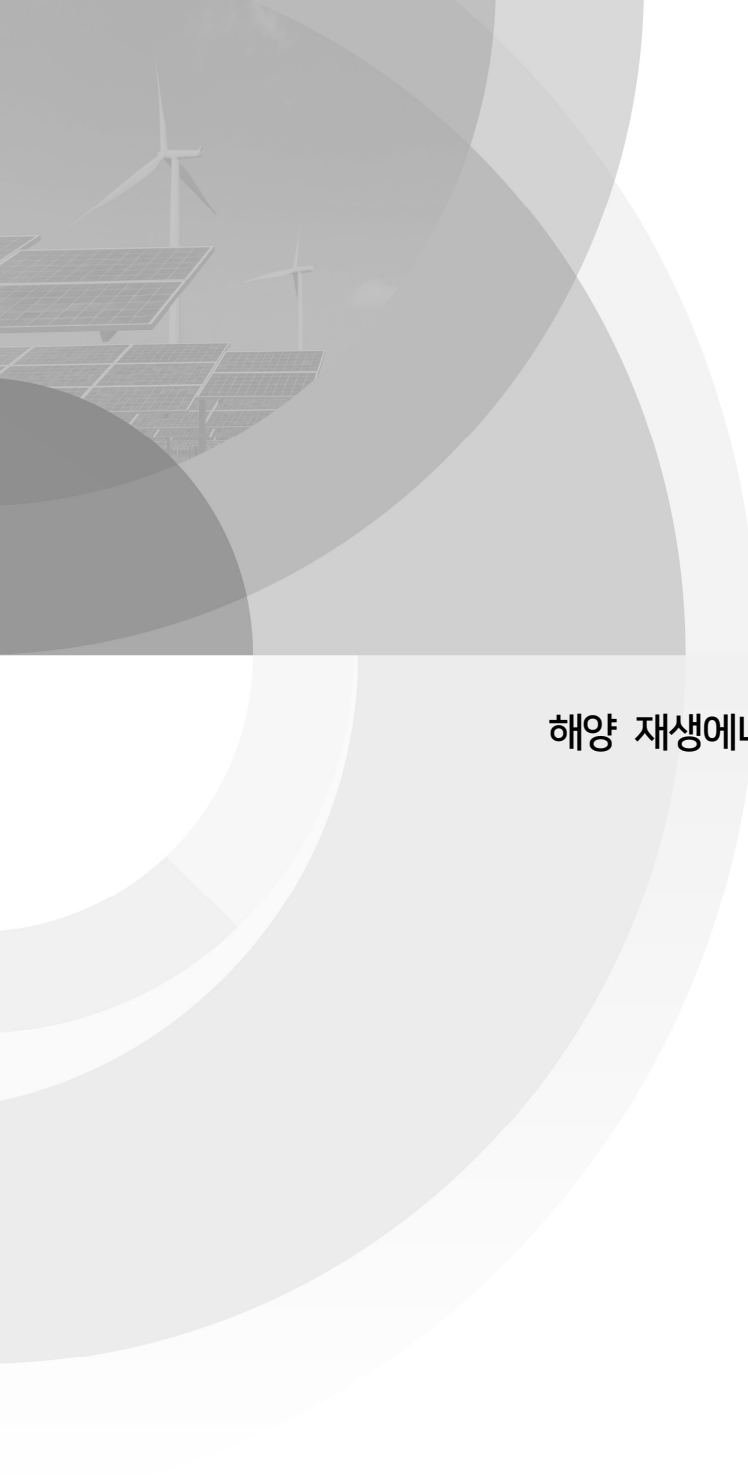
Sung-goo Cho\*<sup>†</sup>, Joon-ho Park\*

\*(주)이맥스시스템

**Abstract :** 현재 전 세계적으로 진행되고 있는 2050년 탄소중립을 위한 에너지전환(Energy transition)의 핵심 에너지원은 바로 태양에너지(Solar energy)이다. 환경에 대한 영향이 가장 적은 에너지인것은 말할 필요 없으며 특히 소음이나 지하수 오염같은 부가적인 환경적인 영향도 매우 긍정적인 에너지원이다. 이 태양에너지는 전기를 생산하는 PV시스템과 열을 생산하는 ST시스템 및 전기와 열을 동시에 생산하는 PVT 융합시스템으로 구분될 수 있다. 특히 PVT융합시스템은 국내외적으로 매우 많은 관심을 받고 있으며, 유럽 시장에서는 매년 보급율이 가파르게 상승하고 있다. 국내에서도 정부차원에서 KS인증기준 제정 등 글로벌 트렌드에 발맞춰 제도도입을 추진하고 있는 실정이다. 탄소중립을 위한 에너지전환의 수단으로서 태양에너지 기기를 사회전반에 폭넓게 적용하기 위해서는 이 각각의 시스템에 대한 경제성 분석이 필수적이다. 시스템을 구매하고자 하는 측에서는 최우선적으로 경제성을 검토한 후 설치여부를 결정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 태양광시스템과 태양열시스템 및 태양광열 융합시스템에 대한 투자비와 에너지생산량, 이산화탄소 저감량 등을 종합적으로 검토하여 초기 투자비에 대한 회수기간을 제시함으로써 시스템 구매자가 용이하게 검토를 할 수 있도록 하고자 한다.

**Key Words :** PV시스템(태양광발전시스템), ST시스템(태양열시스템), PVT복합시스템(태양광열 융합시스템), 에너지전환(Energy transition), 경제성분석(Cost-Benefit Analysis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: solexsgc@gmail.com



# Special Session

해양 재생에너지와 해상풍력 에너지 허브 구축



# 풍력발전 보급확대와 지역경제발전 분석 (전남 사례를 중심으로)

## Analysis of Wind Energy Deployment and Regional Economic Development

최정철\*†

\*국립목포대학교 기계조선해양공학부

**Abstract :** 우리나라는 2025년말 기준으로 2.5GW의 풍력발전을 설치하였으며 그 중 10%에 해당하는 250MW를 2025년 한 해에 보급하였다. 발전사업허가는 2025년 신규 6.01GW, 누적 45.8GW로 현재 보급량에 비해 크게 높다. 정부는 현재 0.3GW 규모의 해상풍력을 2030년에 3GW, 2035년에 25GW로 확대하겠다는 목표를 세우고 있다. 아울러 해상풍력 LCOE도 현재의 340원/kWh에서 2030년에 250원, 2035년에 150원으로 크게 낮추겠다고 발표하였다.

정부는 해상풍력 보급확대와 비용절감을 달성하기 위해 국내 공급망 강화를 유도하려 한다. 특히 해상풍력 발전사업용량(Electrical Business License)의 60% 이상이 집중된 전남지역은 이러한 정책의 수혜를 가장 많이 받을 수 있는 지역으로 꼽힌다. 본 발표는 전남지역에서 현실적으로 가능한 공급망 업종과 예상 효과를 제시한다.

**Key Words :** 풍력발전 (Wind Energy), 보급 (Deployment), 공급망 (Supply chain)

† Corresponding author, E-mail: jungchul.choi@mnu.ac.kr

ORH-O-1

# 원해 대규모 해상풍력 단지의 경제성 향상을 위한 부유식 에너지 아일랜드 허브 개념 및 타당성

## Concept and Feasibility Study of a Floating Energy Island Hub for Far-Offshore Large-Scale Wind Farms

김용욱\*<sup>†</sup>, 안중은\*, 권태중\*\* 이상길\*\*\*, 신상성\*\*\*\*, 박미호\*, 윤상준\*, 배준혁\*\*\*\*\*  
Yong-Yook Kim\*<sup>†</sup>, Jungeun An\*, Taejoong Kwon\*\*, SangGil Lee\*\*,  
Sangsung Shin\*\*\*\*, Miho Park\*, Sangjoon Yoon\*, Joonhyuk Bae\*\*\*\*\*  
\*고등기술연구원 그린시스템인텔리전스센터, \*\*동양엔지니어링, \*\*\*젠택이엔씨,  
\*\*\*\*세호엔지니어링, \*\*\*\*\*녹색에너지연구원

**Abstract :** 원해 해역은 우수한 풍력 자원과 대규모 해상풍력 단지 조성이 가능한 광활한 공간을 제공하지만, 전력 수요지로부터의 장거리 이격, 전력 인프라 구축 비용, 유지보수 향만 접근성 부족 등으로 인해 경제성이 크게 제한되고 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위한 새로운 해상 인프라 개념으로, 부유식 및 고정식 해상풍력 단지 모두와 연계 가능한 부유식 에너지 아일랜드 허브(Floating Energy Island Hub)를 제안한다. 본 허브는 원해 해상풍력 단지 중심부에 설치되어 HVDC 공동접속 노드로서 전력 집전 및 이송 기능을 수행함과 동시에, 해상 유지보수·물류 지원 기능을 통합한 다기능 부유식 플랫폼으로 설계된다. 현재 국내 해역의 수심 및 파랑 조건을 고려하여, 수 GW급 HVDC 변환 모듈 탑재가 가능한 복합재(강·콘크리트) 기반 하이브리드 부유체 개념 설계를 진행 중이다. 또한 본 과제에서는 기술적 타당성과 함께 사업화 가능성을 평가하기 위한 경제성 및 비즈니스 모델 검토를 병행하고 있으며, 향후 원해 대규모 해상풍력 단지의 O&M 효율화와 균등화발전원가(LCOE) 절감, 그리고 “해상 에너지 고속도로(Energy Highway)”로의 확장을 통한 국가 전력망 활용성 제고를 목표로 하고 있다. 본 발표에서는 부유식 에너지 아일랜드 허브의 기본 개념, 설계 방향, 그리고 에너지 고속도로와 접목한 타당성에 대한 초기 검토 내용을 소개하고자 한다.

**Key Words :** Floating Offshore Wind (부유식 해상풍력), Energy Island (에너지 아일랜드), HVDC Joint Connection (HVDC 공동접속), Economic Feasibility (경제성 평가), Operation and Maintenance Optimization (유지보수 효율화), Feasibility Study (타당성 검토)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yongy.kim350@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 기후에너지환경부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP) 신재생에너지핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025-02473000)

# 울산 해역 5.7GW 대규모 부유식 해상풍력단지 클러스터의 후류 효과를 고려한 연간 발전량 분석

## Energy Yield Assessment of a 5.7GW Large-Scale Floating Offshore Wind Cluster in Ulsan Considering Wake Effects

박미호\*<sup>†</sup>, 윤상준\*, 김용욱\*

Miho Park\*<sup>†</sup>, Sangjoon Yoon\*, Yong-Yook Kim\*

\*고등기술연구원 그린시스템융합센터

**Abstract :** 본 연구는 울산 해역에 조성될 5.7GW 규모의 대규모 부유식 해상풍력 집적화 단지를 대상으로 전력 생산량을 가설계하고, 후류 모델(Wake Model) 적용에 따른 발전량 차이를 분석했습니다. 터빈 간의 간섭으로 발생하는 풍속 저하 현상인 후류 손실 평가는 대규모 프로젝트의 경제성과 타당성 확보에 필수적인 요소입니다. 분석의 신뢰도를 높이기 위해 유럽중기예보센터(ECMWF)의 ERA5 기반 30년 장기 풍황 데이터와 EMD-WRF 1년 국지화 데이터를 활용하였으며, 15MW 풍력터빈 385기를 8Dx7D 이격 거리로 배치하여 단지를 구성했습니다. 후류 효과 분석에는 소·중규모 단지에 주로 쓰이는 선형 기반의 업계 표준인 'N.O. Jensen (Park 2018)' 모델과 대형 클러스터 단지에 특화된 가우시안(Gaussian) 기반의 'TurbOPark' 모델을 교차 적용하여 결과를 비교했습니다. 가설계 단지의 이론적 최대 총 발전량(Gross AEP)은 약 25.7 TWh/y로 산출되었습니다. 그러나 터빈 간 간섭을 반영한 순 발전량(Net AEP) 분석에서는 두 모델 간 뚜렷한 차이가 나타났습니다. N.O. Jensen 모델 적용 시 후류 손실은 12.7%, 이용률은 39.3% (Net AEP 약 19.9 TWh/y)로 비교적 양호하게 평가된 반면, TurbOPark 모델 적용 시 후류 손실은 18.9%, 이용률은 36.5% (Net AEP 약 18.5 TWh/y)로 산출되어 에너지 손실이 더 크게 나타났습니다. 결론적으로, 5.7GW 스케일의 초대형 부유식 해상풍력 클러스터에서는 기존 N.O. Jensen 모델이 에너지 손실을 과소 산정할 위험이 존재합니다. 따라서 최종투자결정(FID) 및 보수적이고 합리적인 경제성 분석을 위해서는 TurbOPark와 같은 대기 난류 최적화 모델을 적용하는 것이 권장됩니다. 또한, 분석 결과 특정 풍향(동쪽, 북북서, 동북동)에서 후류 손실이 20% 이상 심화되는 것으로 나타나, 해당 방향의 터빈 이격 거리를 조율하는 등 단지 레이아웃의 재배치 최적화가 요구됩니다.

**Key Words :** 부유식 해상풍력(Floating Offshore Wind), 후류 효과(Wake Effect), 후류모델(Wake Model), 연간발전량 (Annual Energy Production)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mihopark@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2025-02473000)

ORH-O-3

# HVDC 기반 부유식 에너지 허브의 형식에 따른 모듈화 개념에 대한 연구

## A Study on the Conceptual Modularization based on the Type of Floating HVDC Energy Hub

이동환\*<sup>†</sup>, 이상길\*, 이찬희\*

Dong-Hwan Lee\*<sup>†</sup>, Sang-Gil Lee\*, Chan-Hee Lee\*

\*(주)젠텍이엔씨

**Abstract :** 대규모 해상풍력 개발이 확대됨에 따라 발전 전력을 장거리로 송전하기 위한 해상 전력 인프라의 중요성이 증가하고 있다. 특히 대용량 해상풍력 전력의 장거리 송전을 위해 HVDC 기반 송전 시스템의 적용이 확대되고 있으며, 해상에서 생산된 전력을 집적하고 HVDC 변환 설비를 수용할 수 있는 해상 전력 플랫폼의 필요성이 증가하고 있다.

그러나 HVDC 변환 설비는 기존 HVAC 설비 대비 면적과 중량이 크게 증가하며, 국내 해역은 깊은 수심과 가혹한 해양환경을 가지므로 기존 해외에서 적용되는 고정식 또는 중력식 기반 해상 변전 플랫폼을 적용하기에는 기술적·경제적 제약이 존재한다. 따라서 대규모 HVDC 설비를 수용할 수 있는 부유식 에너지 허브 플랫폼의 적합한 구조 형식과 설계 개념에 대한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 해상풍력 전력의 집적과 HVDC 송전을 수행하기 위한 초대형 부유식 에너지 허브 플랫폼 개념을 제안하고, HVDC 설비 탑재에 적합한 부유식 형식을 검토하였다. 제안된 플랫폼 형식은 해상 석유·가스 산업에서 검증된 부유식 구조 기술을 기반으로 하여 최대 10 GW 규모의 HVDC 설비를 수용할 수 있도록 설계 되었으며, 극한 해양환경에서의 구조적 안정성과 설치 및 운영의 실현 가능성을 고려하였다. 또한 해상풍력 단지의 단계적 개발에 대응하여 HVDC 설비 용량을 점진적으로 확대할 수 있도록 플랫폼 형식에 따른 모듈화 설계 방안을 제시하였다. 이를 통해 초기 단계에서는 소규모 모듈로 운영을 시작하고, 이후 발전단지 확장에 따라 모듈을 추가하여 전체 송전 용량을 점진적으로 증가시킬 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제안된 모듈화 부유식 에너지 허브 개념은 대용량 HVDC 설비를 단계적으로 확장 할 수 있는 해상 전력 허브 플랫폼 설계의 새로운 접근 방식을 제시한다.

**Key Words :** 부유식 HVDC 에너지 허브(Floating HVDC energy hub), 모듈형 부유체(Module type floater), 스파형식(Spar type), 반잠수식(Semi-submersible type), 인장각형 형식(TLP type)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dh56@zentechenc.com

### 후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 신재생에너지 핵심기술개발사업 ‘모듈 타입 확장형 10GW 스케일 부유식 해상풍력 허브 설계 및 타당성 검토’의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025-02473000).

# 15MW급 고정식 해상풍력 구조물의 석션기초 설치를 위한 설치선 안정성 및 부재 강도 수치 해석

## Numerical Analysis of Installation Vessel Stability and Structural Strength for the Installation of 15MW Fixed Offshore Wind Suction Bucket Foundations

윤상준\*<sup>†</sup>, 안중은\*, 손재훈\*

Sangjoon Yoon\*<sup>†</sup>, Jungeun An\*, Jaehoon Son\*

\*고등기술연구원 그린시스템융합센터

**Abstract :** 본 논문은 한국 남해 일대의 가상 해상풍력 단지 개발을 위한 고정식 해상풍력 구조물의 해상 설치 관련 수치해석 결과의 일부를 다루고 있다. 설치 해역의 수심은 40 m이며, 설치 대상 구조물은 15MW급 해상풍력 발전 터빈을 설치하기 위한 자켓 구조물이다. 수치해석에서는 RNA 및 타워 구조물을 제외한 하부 자켓 구조물 및 석션버킷 기반의 기초 구조물의 설치를 다루고 있다. 설치를 위해 동원되는 선박은 3,000톤급 해상크레인이 탑재된 설치선을 선정하였다. 설치해역의 파랑, 바람 및 조류 해상환경 자료를 입수한 후 통상적 해양크레인 작업절차를 감안한 작업조건을 반영하여 해석을 수행하였다. 안정성 해석 검토는 제한된 해양 환경 조건에서 작업이 진행되고, 크레인의 JIB 각도 및 선박 평형수 변동을 포함한 권상 하중 조건이 변하지 않는 것을 감안하여 최고 권상 높이에서의 동적 해석 수행을 통해 평가하는 것으로 단순화하였다. 강도 평가의 경우는 해상크레인의 후크에 걸리는 장력의 최대값을 산출하여 검토하였다. 검토 결과 석션버킷 구조물의 운동 가속도 및 변위는 매우 안정적인 것으로 판단되었다. 해상크레인의 후크 장력 역시 허용범위 이내 매우 안정적인 수준임을 확인하였다.

**Key Words :** 해상풍력 자켓 구조물(Offshore wind jacket), 석션 버킷 기초(Suction bucket foundation), 해상크레인 (Floating crane), 설치선 안정성(Installation vessel stability), 부재 강도(Structural strength)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sjyoon@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다 (RS-2024-004 56423).

# 표준화 및 모듈화 설계를 적용한 해상 부유식 태양광 발전 시스템의 사전 경제성 분석

## Preliminary Economic Analysis of Offshore Floating Solar Photovoltaic Systems Applying Standardization and Modularization Design

박미호\*<sup>†</sup>, 윤상준\*

Miho Park\*<sup>†</sup>, Sangjoon Yoon\*, Yonguk Kim\*, Chunsik Lee\*

\*고등기술연구원 그린시스템융합센터

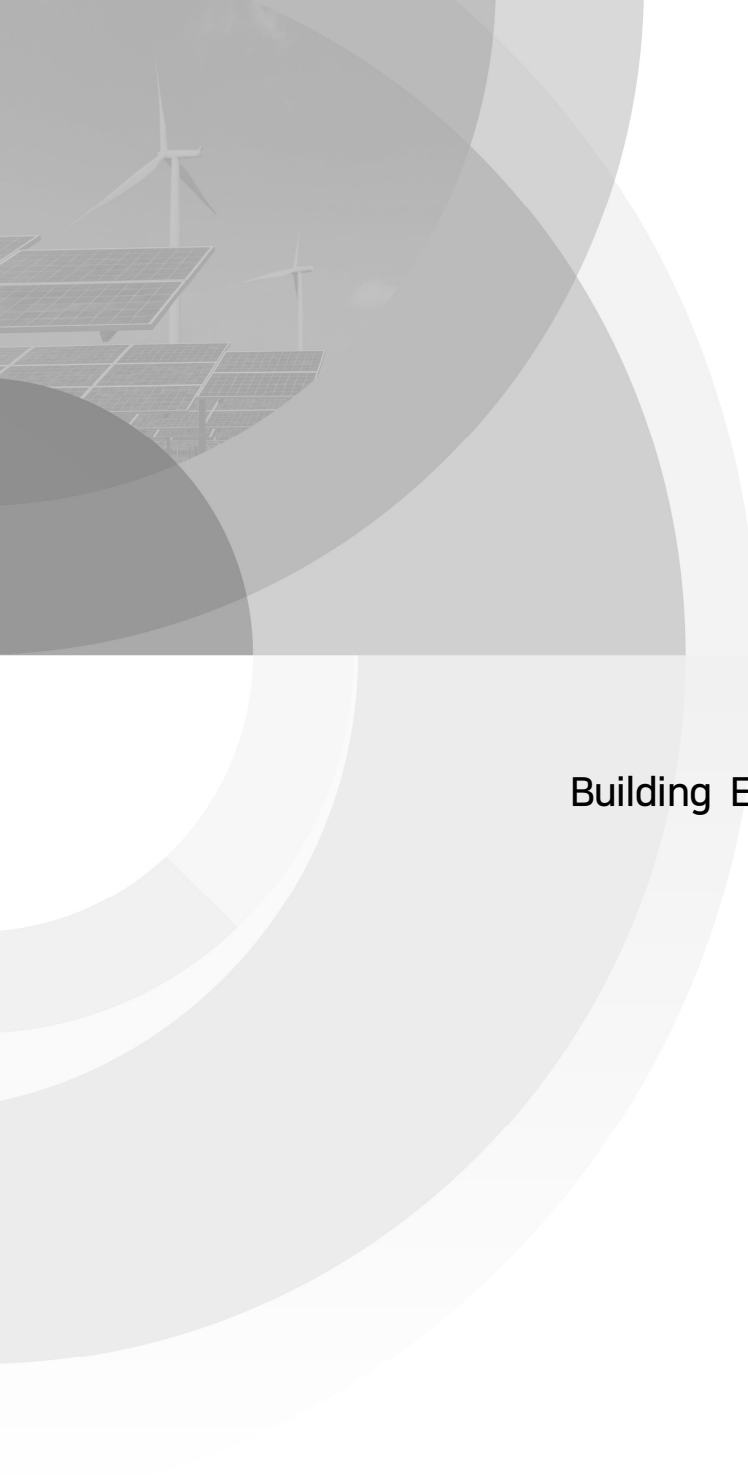
**Abstract :** 본 연구는 육상 신재생에너지의 입지 한계를 극복하기 위한 대안으로 주목받는 해상 부유식 태양광 발전 시스템(OFPVS)의 경제적 타당성을 분석하였다. 특히, 스페인 BlueNewables사가 제안한 컨테이너 기반의 표준화 및 모듈화 플랫폼인 'PV-bos' 모델을 중심으로, 글로벌 물류 혁신이 초기 자본지출(CAPEX) 및 균등화발전단가(LCOE)에 미치는 영향을 고찰하였다. 연구 결과, PV-bos의 분할 적재 및 볼트 체결 방식은 기존 조선소 기반 대형 구조물 대비 물류 부문 CAPEX를 약 83% 절감하며, 현장 시공 기간을 획기적으로 단축시키는 것으로 나타났다. 경제성 시뮬레이션에 따르면, 1MW 파일럿 규모에서 200.1 유로/MWh였던 LCOE는 규모의 경제가 실현된 100MW 상업 단지이자 설계 수명이 30년으로 연장된 장기 시나리오에서 68.5 유로/MWh까지 약 65% 이상 하락하였다. 나아가 일사량이 풍부한 동남아시아 시장에 본 모델을 적용할 경우, 발전량 증대에 따른 추가적인 단가 하락으로 그리드 패리티(Grid Parity) 달성이 가능함을 확인하였다. 다만, 지상 태양광 수준의 경쟁력 확보를 위해서는 아시아 권역 내 제조 및 조립 공급망(Supply Chain)의 현지화가 필수적임을 제언한다. 본 연구는 해상 태양광의 상용화를 위한 기술적·정책적 가이드라인을 제공하며, 향후 실해역 실증 데이터를 통한 모델 정밀화의 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

**Key Words :** 해상 부유식 태양광 (Offshore Floating PV), 표준화 및 모듈화 (Standardization and Modularization), 균등화발전단가 (LCOE)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: mihopark@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT) 산업기술국제협력사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : P0027945)



# Oral Session

건물에너지설비  
Building Energy Systems (BES) Session



# 싱글보드 컴퓨터 기반 MPC의 실시간 구동 안정성 및 제어 적용성 평가

## Evaluation of Real-time Operational Stability and Control Application of MPC on a Single-board Computer

최광원\*, 조재완\*<sup>†</sup>

Kwangwon Choi\*, Jaewan Joe\*<sup>†</sup>

\*인하대학교 스마트시티공학과

**Abstract :** 모델기반 예측 제어(Model-based predictive control, MPC)는 건물 및 설비 제어 분야에서 에너지 절감과 운전 최적화 등을 위한 효과적인 기법으로 활용되어 왔다. 그러나 실제 설비에 적용하기 위해서는 일반적으로 고성능 컴퓨팅 장비가 요구되며, 제어 신호를 설비에 전달하기 위한 별도의 통신 및 연동 체계가 필요하므로 현장 적용에 어려움이 따른다. 이에 본 연구에서는 소형 싱글보드 컴퓨터(Single-board computer, SBC) 상에서 구동 가능한 MPC 및 최적화 알고리즘을 구현하고, 외부 데이터 수집과 제조사 API 기반 제어 신호 전달을 통합한 실시간 시뮬레이터 연동 시험(Hardware-in-the-loop simulation, HILS) 환경을 구축하였다. 이를 바탕으로 1~2일 규모의 단기 실험을 수행하여 최적화 연산의 실시간 구동 안정성, 통신 신뢰성, 그리고 실제 에어컨 시스템에 대한 제어 적용 가능성을 평가하였다. 그 결과, SBC 환경에서도 MPC의 실시간 구동과 실제 설비 제어가 안정적으로 수행될 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 향후 임베디드 기반 MPC 제어기의 장기 실증 및 제품화 가능성 검토를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words :** 싱글보드 컴퓨터(Single-board computer), 실시간 시뮬레이터 연동 시험(Hardware-in-the-Loop simulation) 모델기반 예측 제어(Model-based predictive control),

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jjoe@inha.ac.kr

### 후 기

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. RS-2025-25409762).

# 건물 외피 신기술 시뮬레이션의 물리·제어 모델 한계에 관한 분석

## Analysis of Physical and Control Model Limitations in Advanced Building Envelope Technology Simulation

서정훈\*, 조재완\*\*†

Jeonghun Seo\*, Jaewan Joe\*\*†

\*인하대학교 스마트시티공학과, \*\*인하대학교 건축공학과

**Abstract :** 건물 부분의 에너지 소비 저감을 위해 건물일체형 태양광(BIPV), 동적 창호(Electrochromic, Thermo-chromic, Photochromic), 동적 차양(Motorized Louvers, Kinetic/Adaptive Facade), 상변화물질(PCM) 외피, 외피 일체형 히트펌프 등 첨단 외피 기술에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 이러한 기술들은 열적·광학적·전기적 특성이 결합된 복합 거동을 보이며 외부 환경 조건에 따라 성능이 동적으로 변화하는 특징을 가진다. 그러나 EnergyPlus, TRNSYS 등 현재 널리 사용되는 건물 에너지 시뮬레이션(BES) 도구는 이러한 복합적 동적 거동을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가지며, 이는 설계 단계에서의 에너지 성능 예측 신뢰도 저하로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 주요 첨단 외피 기술의 시뮬레이션 모델을 물리 모델과 제어 모델로 구분하고, EnergyPlus 및 TRNSYS에서 구현된 대표 모델을 대상으로 지배 방정식과 경험식을 분석하였다. 이를 통해 모델링 과정에서 누락되거나 과도하게 단순화된 물리 현상을 도출하였다. 분석 결과, 다양한 외피 기술에 공통적으로 나타나는 모델링 한계로 전용 시뮬레이션 모듈 부재, 지배 방정식의 과도한 단순화, 동적 거동의 정적 처리의 세 가지 문제 패턴이 확인되었다. 본 연구는 첨단 외피 기술의 시뮬레이션 모델 한계를 기술 간 비교 관점에서 정리하고, 향후 BES 기반 첨단 외피 모델의 물리적 정밀도 및 동적 거동 표현을 향상시키기 위한 모델 고도화 연구의 방향을 제시한다.

**Key Words :** 건물 에너지 시뮬레이션(Building Energy Simulation, BES), 건물 일체형 태양광(Building Integrated Photovoltaics, BIPV), 상변화물질(Phase Change Material, PCM), 전기변색 유리(Electrochromic Glazing), 적응형 외피(Adaptive Building Envelope)

† Corresponding author, E-mail: jjoe@inha.ac.kr

### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25481686).

# 폐열회수 기반 바닥 복사 열환경 보정 시스템 개발 및 운영모드 제안

## Development and Operation Modes of a Waste Heat Recovery-based Radiant Floor Thermal Environment Conditioning System

이유진\*, 이건희\*, 신대욱\*<sup>†</sup>

Yujin Lee\*, Gunhui Lee\*, Dae Uk Shin\*<sup>†</sup>

\*국립군산대학교 건축공학과

**Abstract :** 국내 주거 건물에서는 여름철 냉방 전용 에어컨디셔너 또는 냉난방 겸용 히트펌프로 냉방을 수행하며, 겨울철에는 보일러 기반 바닥 복사 시스템을 통해 난방을 수행하고 있다. 덥고 습한 여름철에 대류 냉방 시스템과 바닥 복사 시스템을 동시 운전한다면, 대류 냉방으로 인해 바닥 표면에 가라앉은 차가운 공기를 국부적으로 가열시켜 바닥 표면의 습도를 낮추고 발바닥에 닿는 표면온도를 상승시켜 열적 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 이때 냉방 과정에서 발생하는 폐열을 회수하여 바닥 복사 시스템의 열원으로 활용하면 기존 보일러 기반 시스템에 비해 에너지 절감 효과가 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 대류 냉방과 바닥 복사 시스템이 결합된 폐열회수 기반 바닥 복사 열환경 보정 시스템 개발의 예비 단계로서, 시스템 개략도를 도출하고 이에 따른 운전 모드를 제안하였다. 기존 시스템은 냉방용 냉매식 히트펌프와 난방용 보일러 기반 바닥 복사 시스템으로 구성되어 있으며, 제안하는 시스템은 냉매-물 열교환기와 교환된 폐열을 저장하기 위한 온수탱크를 추가하였다. 냉방 운전 시 응축기로 배출되는 폐열을 회수하여 냉매와 물 사이에서 열교환을 수행하고, 이를 바닥 복사 시스템의 열원으로 활용하기 위해 온수 탱크에 저장한다. 저장된 열로 국부적 난방을 수행하여 열적 쾌적성을 높이고, 폐열을 재활용함으로써 히트펌프와 보일러를 개별적으로 작동시키는 기존 시스템 대비 에너지 사용량을 감소시킬 수 있다. 냉방 제어 프로세스는 실내 공기 온도 및 탱크 내 온수량에 따라서 폐열을 응축기로 배출하는 Cooling mode 1, 열교환기를 통해 폐열을 회수하는 Cooling mode 2, 그리고 시스템을 정지하는 Off mode의 세 가지로 구성된다. 난방 제어 프로세스는 바닥 표면온도 및 탱크 내 온수 온도를 기준으로 작동하며, 탱크 내부 온수 그대로 난방에 활용하는 Heating mode 1, 보일러를 보조로 작동하는 Heating mode 2, 그리고 시스템을 정지하는 Off mode의 세 가지로 구성된다. 두 제어 프로세스는 독립적으로 작동하여 총 9가지 조합으로 운영되며, 냉난방 운전 상태에 따라 동시 냉난방 모드, 냉방 전용 모드, 난방 전용 모드, 비운전 모드로 분류된다. 향후 연구에서는 제안된 시스템을 시뮬레이션 모델링하여, 다양한 조건에서의 에너지 성능과 열적 쾌적성을 정량적으로 평가하고자 한다.

**Key Words :** 폐열회수(Waste heat recovery) 동시 냉난방 시스템(Simultaneous heating and cooling system), 바닥 복사 난방(Radiant floor system), 열 쾌적(Thermal comfort), 에너지 절감(Energy saving)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: daeuk.shin@kunsan.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025- 16071789).

# 정적 공기 혼합 장치를 이용한 AHU 덕트 내 온도 분포 균일화 성능 평가

## Performance Evaluation of Temperature Distribution Uniformity in AHU Duct Using Static Air Mixer

이준우\*<sup>†</sup>, 정한웅\*, 정민재\*\*, 강경모\*

Junwoo Lee\*<sup>†</sup>, Hanung Jeong\*, Minjae Jeong\*\*, Kyungmo Kang\*

\*대진대학교 건축공학과, \*\*대진대학교 스마트시티건설융합공학과

**Abstract :** 공조 시스템에서는 서로 다른 온도의 외기(Outdoor Air, OA)와 환류 공기(Return Air, RA)가 혼합되면서 덕트 내부의 온도 및 유속 분포가 불균일하게 형성될 수 있으며 이는 에너지 효율 저하와 장비 성능 감소 등의 문제를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 AHU 덕트 내 공기 온도 분포의 불균일을 개선하기 위해 정적 공기 혼합 장치(static mixer)를 적용하고 공기 혼합 성능과 압력 손실 특성을 평가하였다. 실험은 경기도 안성의 공장 실내 환경에서 수행되었으며 Warm air는 덕트 내부 히터로 가열하고 Cold air는 외기를 유입하여 혼합 조건을 형성하였다. 풍속, 압력, 온도를 측정하여 공기 혼합 특성을 평가하였으며 풍속은 덕트 단면 3포인트 평균값을 사용하였다. 온도는 K-type 열전대를 이용하여 덕트 단면을 4×4 grid로 나누어 총 16개 지점을 측정하였으며, mixer로부터 0.75 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m 위치에서 온도 분포를 측정하였다. 또한 유입 공기 조건을 정의하기 위해 inlet 단면에서도 동일한 방법으로 측정을 수행하였으며, Warm air와 Cold air 영역에서 각각 8개 지점의 온도를 측정하였다. 실험 조건은 None, Straightener, Baseline louver mixer, Orthogonal mixer의 네 가지 case로 구성하였다. 혼합 성능은 온도 표준편차 기반 혼합 효율로 계산하였으며 압력 손실과 함께 혼합 효율 지수를 비교하였다. 실험 결과 Baseline louver mixer는 None 대비 혼합 효율이 약 24~40% 향상되었으며 가장 높은 혼합 성능을 나타냈다. Orthogonal mixer는 혼합 효율 향상이 5~8% 수준에 그쳤으며 압력 손실이 크게 나타났다. 또한 1.5 m 위치 기준 혼합 효율 지수는 Orthogonal mixer 0.14, Baseline louver mixer 0.45로 나타나 Baseline louver mixer가 더 우수한 성능을 보였다. 따라서 Baseline louver mixer는 공조 시스템의 공기 온도 분포 불균일을 효과적으로 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

**Key Words :** 정적 공기 혼합장치(Static air mixer), 지공기 혼합 성능(Air mixing performance), 혼합 효율(Mixing effectiveness), 압력 손실(Pressure drop), 공조 덕트 시스템(HVAC duct system)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: junwoolee3352@gmail.com

### 후 기

본 연구는 2026년도 국토교통부의 재원으로 DNA 인력양성사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : RS-2023-00250434)

# 사무공간에서의 HVAC 운전 제어를 위한 Physics-Informed Neural Network 기반 강화학습

## Physics-informed Neural Network-based Reinforcement Learning Control for HVAC Operation in office Spaces

타립아부\*, 조재완\*<sup>†</sup>

Abu Talib\*, Jaewan Joe\*<sup>†</sup>

\*인하대학교 스마트시티공학과

**Abstract :** Building operations account for nearly 37% of global energy consumption and process-related greenhouse gas emissions. Among building subsystems, heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems constitute a major share of total energy demand because of their role in maintaining indoor thermal comfort. For instance, HVAC systems account for up to 61% of building energy use in the European Union, 45% in the United States, 39% in China, and 16.6% in South Korea. Therefore, improving the energy efficiency and reducing the operating costs of HVAC systems are of significant importance. To address this challenge, this study proposes a physics-informed neural network (PINN)-based reinforcement learning (RL) framework for HVAC operation in office spaces. A PINN integrating a convolutional neural network and long short-term memory network was developed to predict zone temperature, while a grey-box model was incorporated to capture the building's physical thermal behavior. Unlike purely data-driven approaches, the proposed framework explicitly embeds building thermal physics into the learning process, thereby improving the physical consistency and reliability of temperature prediction for control-oriented applications. The model was trained using real-world data collected from a single-zone experimental testbed located in a university building in Incheon, South Korea. Furthermore, an RL agent based on the soft actor-critic algorithm was trained in a PINN-based environment to minimize HVAC operating costs. Through continuous interaction with the environment, the agent learned an optimal control policy for HVAC setpoints by maximizing a reward function that balances reduced electrical energy consumption with the maintenance of occupant thermal comfort within comfort bounds.

**Key Words :** 강화학습 (Reinforcement learning), 에너지 절약 (Energy saving), HVAC system, Soft actor-critic, Physics-informed neural network.

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jjoe@inha.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.RS-2026-25481686).

# 공급열 불균형 해소 및 효율 향상을 위한 지열 히트펌프 시스템의 현장 실증 연구

## In-situ Performance Evaluation of a Hybrid Ground Source Heat Pump System for Resolving Thermal Imbalance and Enhancing Efficiency

허승민\*, 류상범\*, 강현민\*, 남학호\*, 조상현\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Seungmin Heo\*, Sang-Bum Ryu\*, Hyeon-Min Kang\*, Hak-Ho Nam\*,  
Sang-Hyun Cho\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 본 연구는 기존 지열 히트펌프(GSHP) 시스템의 에너지 효율 개선 및 열 불균형 문제를 해결하기 위해 하이브리드 지열 히트펌프 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 개방형 및 밀폐형 지중 열교환기를 열회수 축열조와 통합하여 구성되었다. 특히, 축열조 내 상변화물질(PCM) 캡슐을 활용하여 히트펌프의 입구 온도를 5°C 이상으로 유지함으로써 시스템의 성능 저하를 방지하도록 설계되었다. 또한, 다양한 부하 조건에서 운전 효율을 향상시키기 위해 순환 펌프에 간헐적 운전 전략을 적용하였다. 제안된 시스템을 실증 건물에 설치하고 현장 실험을 수행하여 열 성능, 전력 사용량, 성적계수(COP) 및 경제적 타당성을 평가하였다. 실험 결과, 시스템의 평균 COP는 냉방 시 3.18, 난방 시 3.08을 기록하였다. 히트펌프 및 순환 펌프의 전력 소비량은 각각 최대 48.1% 및 78.8%까지 감소하였다. 연간 전기 요금은 71.7% 절감되었으며, 투자 회수 기간은 10.6년 이내인 것으로 예측되었다. 환경적 측면에서는 연간 CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 배출량이 67% 이상 감소하는 것으로 추산되었다. 결론적으로 제안된 하이브리드 GSHP 시스템은 에너지 성능, 경제성 및 환경적 영향을 효과적으로 개선하였으며, 향후 탄소중립 건물, 스마트팜 및 지역 에너지 시스템에 적용될 수 있다.

**Key Words :** 지열 히트펌프(Ground source heat pump), 열회수 저장장치(Thermal recovery storage), 상변화물질(Phase change material)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

# 공조기 급기 팬 제어 전략에 따른 실내 온열환경 및 팬 에너지 사용량 분석

## Analysis of Indoor Thermal Environment and Fan Energy Consumption by Implementing AHU Supply Fan Control Strategy

반창현\*, 김민호\*, 이다빈\*, 하종현\*, 도성록\*<sup>†</sup>

Changhyun Ban\*, Minho Kim\*, Dabeen Lee\*, Jonghyun Ha\*, Sung Lok Do\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축설비시스템공학과

**Abstract :** 건물 부문 에너지 소비는 전체 에너지 소비의 약 30%를 차지하고 있다. 특히 기축 건물의 공조 시스템은 장비 노후화 및 운영 환경 변화로 인해 초기 설계 의도와 상이 한 비효율적인 운전이 발생할 수 있으며, 이에 따라 불필요한 에너지 소비가 증가할 가능성이 있다. 따라서 건물 부문 에너지 소비를 절감하기 위해 기축 건축물의 공조 시스템이 설계 의도에 부합하도록 운전되고 있는지를 검증하고 운전 조건을 개선하는 커미셔닝이 필요하다. 이에 본 연구는 서울시에 위치한 기축 건물의 공조 시스템 운영 데이터를 이용 하여 커미셔닝을 수행하였다. 수행 결과, 비재실 시간 동안 불필요한 팬 가동과 과도한 급기 풍량이 공급되고 있었다. 이를 해결하기 위해 본 연구는 팬 가동시간(1시간 단축) 및 급기 풍량 조정(10% 하향)을 기반으로 한 팬 제어 커미셔닝 전략을 제안하였고, 커미셔닝 전략 적용에 따른 영향 평가를 목적으로 하였다. 이를 위해 제안된 커미셔닝 전략을 실제 건물 운전 에 적용하였으며, 이에 따른 실내 온열환경, 급기 팬 에너지 사용량, 그리고 난방 공급열량을 분석하였다. 분석 결과, 실내 온도는 ASHRAE Standard 55-2017에서 제시하는 권장 난방온도 범위를 유지하는 것을 확인하였다. 급기 팬 총 에너지 사용량은 4층과 16층에서 각각 약 32.2%와 24.4%의 절감률을 보였다. 총 난방 공급열량은 4층과 16층에서 각각 약 13.7%와 13.2%의 절감률을 보였다. 이러한 결과는 팬 가동시간 및 급기 풍량 조정을 기반으로 한 커미셔닝 전략이 실내 온열환경을 유지하면서 급기 팬 에너지 사용량을 효과적으로 절감할 수 있음을 보여준다.

**Key Words :** 커미셔닝(Commissioning), 공조 시스템(HVAC System), 운영 데이터(Operation data), 팬 가동시간(Fan operating time), 급기 풍량(Supply airflow rate)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: sunglokdo@hanbat.ac.kr

BES-O-8

# 혼합정수선형계획법기반 Power-to-Heat 연계 5세대 지역냉난방 시스템 최적 운영 알고리즘 개발

## Development of an MILP-based Optimal Operation Algorithm for a Power-to-heat Integrated Fifth-generation District Heating and Cooling System

최원종<sup>\*,\*\*</sup>, 신예빈<sup>\*,\*\*</sup>, 이현민<sup>\*,\*\*</sup>, 이왕제<sup>\*</sup>, 안영섭<sup>\*</sup>, 정재원<sup>\*\*</sup>, 김민휘<sup>\*†</sup>  
Won-Jong Choi<sup>\*,\*\*</sup>, Ye-Bin Shin<sup>\*,\*\*</sup>, Heon-Min Lee<sup>\*,\*\*</sup>, Wangje Lee<sup>\*</sup>,  
Youngsub An<sup>\*</sup>, Jae-Weon Jeong<sup>\*\*</sup>, Min-Hwi Kim<sup>\*†</sup>,  
<sup>\*</sup>한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, <sup>\*\*</sup>한양대학교 건축공학과

**Abstract :** 탄소중립 달성을 위해서는 건물 중심의 에너지 공급 방식에서 벗어나 다양한 에너지원이 통합된 지역단위 에너지 시스템이 요구된다. 이러한 흐름 속에서 저온 열네트워크와 분산형 히트펌프를 기반으로 재생에너지와 폐열을 통합할 수 있는 5세대 지역냉난방 시스템(Fifth-generation district heating and cooling, 5GDHC)이 주목받고 있다. 특히 5GDHC 시스템은 저온 열네트워크를 기반으로 하므로 잉여 재생에너지를 열에너지로 전환하여 저장할 수 있는 P2H(Power-to-heat) 운전이 유리한 구조를 가진다. 그러나 기존 연구들은 주로 시스템 구조나 기술적 가능성에 초점을 맞추고 있으며, 실제 운영 과정에서 요구되는 열네트워크 운전 및 축열조 연계 운영 전략에 대한 정량적 비교 연구는 제한적으로 이루어져 왔다. 본 연구에서는 5GDHC 시스템의 효율적인 운영 전략을 도출하기 위해 혼합정수선형계획(Mixed integer linear programming, MILP)기반 최적화 운전 알고리즘을 개발하였다. Python 기반 동적 시뮬레이션 모델을 구축하여 열네트워크 공급온도와 축열조 축·방열 스케줄을 주요 제어 변수로 설정하였다. 개발된 모델에 대한 성능을 분석하기 위해, 규칙 기반 제어(Rule-based control, RBC) 알고리즘과 비교 분석하였다. RBC는 열네트워크 공급온도 25 °C 유지와 축열조 상태에 따른 단계적 공급온도 전환 규칙을 적용하였으며, MILP는 전력 비용 최소화과 자가소비율 증가를 목표로 하는 최적화 문제로 구성하였다. 동일 부하 조건과 요금 체계에서 두 전략의 운전 성능을 비교한 결과, MILP 기반 운전 전략은 RBC 제어 대비 총 운영 비용과 그리드 전력 사용량을 감소시키는 효과를 정량적으로 확인하였다.

**Key Words :** 5세대 지역냉난방(5th-generation district heating and cooling), P2H(Power-to-heat), TES(Thermal energy storage), MILP(Mixed integer linear programming)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mhkim001@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2023년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(과제번호 : RS-2023-00236325)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

# 냉매 충전량 변화에 따른 공기열원 히트펌프의 제상 로직에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Defrost Control of an Air-Source Heat Pump under Various Refrigerant Charge Conditions

이정우\*<sup>†</sup>, 권순범\*, 이수민\*, 김용찬\*\*

Jungwoo Lee\*<sup>†</sup>, Soonbum Kwon\*, Soomin Lee\*, Yongchan Kim\*\*

\*고려대학교 기계공학과, \*\*고려대학교 기계공학부

**Abstract :** Frost formation on the outdoor heat exchanger significantly degrades the heating performance of air-source heat pumps (ASHPs) operating under cold and humid conditions. This phenomenon causes a reduction in heating capacity and coefficient of performance (COP), resulting in unstable system operation and decreased defrosting period. Although numerous studies have addressed defrost control strategies, the influence of refrigerant charge level on frosting behavior and overall system performance has not been sufficiently clarified. In this study, the performance characteristics of an inverter-driven ASHP are experimentally investigated under various refrigerant charge conditions. An image-based frost monitoring method is applied, and a defrost control strategy based on the blockage ratio (BR) was evaluated. The results show that refrigerant charge level significantly affects evaporating temperature, frost accumulation rate, and cycle stability. Undercharged conditions accelerate frost formation and increase defrosting duration, degrading energy efficiency. The proposed image-based control strategy improved operational stability and heating performance compared to conventional control strategies, indicating its applicability for cold-climate operations.

**Key Words :** 공기열원 히트펌프(Air-source heat pump), 냉매 충전량(Refrigerant charge level), 제상 로직(Defrost control), 차폐율(Blockage ratio), 난방 성능(Heating performance)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: ltejungwoo@gmail.com

BES-O-10

# 실제 건물 운영 데이터 기반 이코노마이저 제어 방식에 따른 에너지 사용량 평가

## Evaluation of Energy Consumption by Varying Economizer Control Methods based on Actual Building Operation Data

김민호\*, 반창현\*, 이다빈\*, 하종현\*, 도성록\*<sup>†</sup>

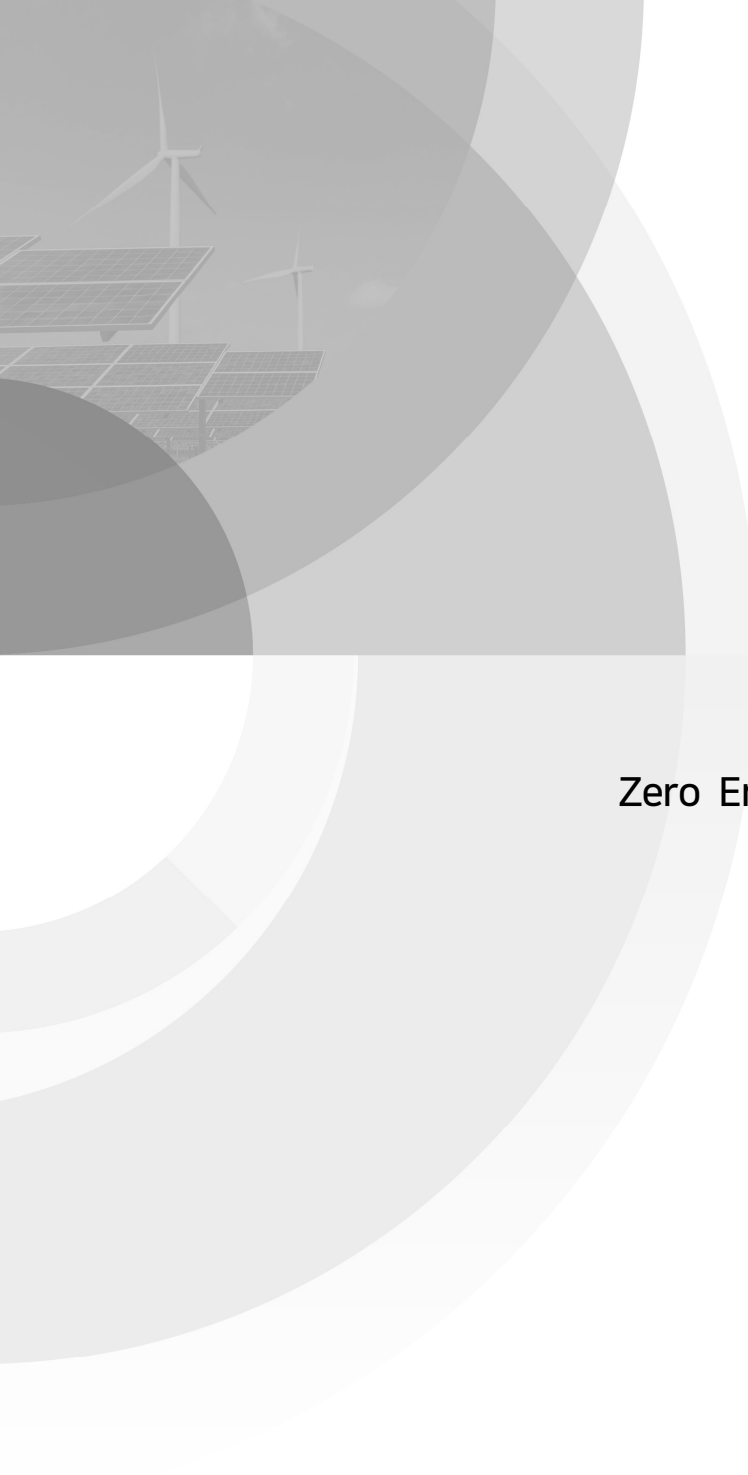
Minho Kim\*, Changhyun Ban\*, Dabeen Lee\*, Jonghyun Ha\*, Sung Lok Do\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축설비시스템공학과

**Abstract :** 건물 부문의 탄소중립 달성을 위해서는 기축 건축물 운영 단계에서의 에너지 절감이 중요하며, 이를 위한 대표적인 방안 중 하나로 이코노마이저 제어가 이용되고 있다. 이코노마이저는 환기 및 미리 설정된 기준 대비 낮은 상태인 외기의 도입량을 증가시켜 냉방 부하를 저감하는 제어이다. 그러나 실제 기축 건축물에서는 설계 의도와 실제 운전 조건 간의 차이로 인해 이코노마이저가 부적절하게 운전될 수 있으며, 이에 따라 불필요한 냉방 에너지 사용이 발생할 수 있다. 따라서 실제 운영 데이터를 기반으로 이코노마이저 시스템 운영 적정성을 평가하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 서울시에 위치한 사무용 건물의 공기조화기 운영 데이터를 기반으로 이코노마이저의 운영 적정성을 평가하고, 이코노마이저 제어 방식에 따른 에너지 사용량을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 이코노마이저 제어 방식에 따라 시뮬레이션 케이스를 분류하였고 각 케이스별 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과, 이코노마이저를 적용한 경우 외기 상태와 설정된 기준에 따라 외기도입률이 체계적으로 제어되었다. 이로 인해 혼합공기 온도는 전반적으로 하강하였으며, 냉각 코일 부하는 중간기와 하절기에서 각각 최대 약 9.8%와 2.8% 감소하였다. 이러한 결과는 이코노마이저 제어 적용을 통해 냉방 에너지 절감 효과를 확보할 수 있음을 보여준다.

**Key Words :** 이코노마이저(Economizer), 운영 데이터(Operation data), 외기 상태(Outdoor air conditions), 에너지 사용량(Energy consumption), 에너지 절감(Energy savings)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sunglokdo@hanbat.ac.kr



# Oral Session

제로에너지건물  
Zero Energy Buildings (ZEB) Session



# 제로에너지건축물의 에너지 성능 격차 해소를 위한 재실자 중심 연구 동향 고찰

## A Review of Occupant-Centric Approach for Closing the Energy Performance Gap in Zero Energy Buildings

류경민\*, 정인서\*\*, 홍채민\*\*, 허재백\*\*, 박상훈\*<sup>†</sup>  
 Kyeongmin Ryu\*, Inseo Jeong\*\*, Chaimin Hong\*\*,  
 Jaebaek Heo\*\*, Sanghoon Park\*<sup>†</sup>

\*인천대학교 도시건축학부, \*\*인천대학교 대학원 건축학과

**Abstract :** 최근 탄소중립 정책에 따라 제로에너지건축물(ZEB, Zero Energy Buildings) 목표 달성은 건축 환경설비 분야의 중요 과제이며, 이에 복합 에너지 시스템(MES, Multi - Energy Systems) 등의 도입이 확대되고 있다. 시스템의 효율적인 운용을 위한 AI 기반 에너지 소비 최적화 연구가 활발히 수행되고 있으나, 초기 설계 단계에서의 예측 에너지 소비량과 운영 단계에서의 실제 에너지 소비량 사이의 에너지 성능 격차(EPG, Energy Performance Gap)는 해결해야 할 문제로 남아있다. 이에 본 고찰은 예측 시의 정적 스케줄이 재실자의 실시간 쾌적성 요구에 따른 에너지 소비 특성을 충분히 반영하지 못한다는 점에 주목하였다. 따라서 재실자의 쾌적성 확보와 실질적인 에너지 소비량 절감을 동시에 달성할 수 있는 해결책으로서 재실자 중심(Occupant-Centric) 연구의 최신 동향을 파악하고 향후 방향성을 제시하는 데 목적이 있다. 이를 위해 최근 3년간 게재된 문헌을 수집하였으며, 에너지 성능 격차의 원인을 우선적으로 분석하였다. 재실자 중심 연구를 분석한 결과, 기존의 정적 스케줄 대신 실시간 재실자 행동을 동적 변수로 시뮬레이션에 적용하는 방안이 에너지 성능 격차를 효과적으로 해소한다는 것을 관련 문헌을 통해 확인하였다. 이러한 분석 결과는 향후 예측 에너지 소비량의 오차를 줄이고 에너지 성능 격차를 해소하기 위한 재실자 중심 연구의 흐름을 파악하는 기초 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words :** 제로에너지건축물(Zero Energy Buildings), 에너지 소비량(Energy Consumption), 에너지 성능 격차(Energy performance Gap), 재실자 쾌적성(Occupant Comfort), 재실자 중심(Occupant-Centric)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: shp@inu.ac.kr

### 후 기

이 성과는 2021년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : 2021R1H1A3050403).

# 제로에너지건물 성능 격차 해소를 위한 Physical AI Robotics 활용 문헌 고찰

## A Literature Review on the Application of Physical AI Robotics for Closing Zero-Energy Building Performance Gap

이종원\*†

Jongwon Lee\*†

\*계명대학교 건축학과

**Abstract :** Zero-energy buildings (ZEBs) exhibit energy performance gaps (EPGs) of +14% to +30% between design predictions and actual operations. This study reviews 40 publications (2022–2025) across three domains—Physical AI robotics, physics-informed neural networks (PINNs), and building digital twins—to analyze the applicability of emerging Physical AI technologies to ZEB performance gap closure. The review identifies that while individual technologies for robotic inspection (TRL 7–8), physics-informed diagnostics (TRL 4–6), and digital twin integration (TRL 4–7) have matured rapidly, no prior study integrates them under a unified ZEB performance management framework. Based on the review findings, a five-stage closed-loop framework, ZEB-PAR (Zero Energy Building–Physical AI Robotics), is derived: Perceive, Diagnose, Update, Optimize, and Verify. Technology readiness level (TRL) analysis reveals an asymmetry between the Perceive–Verify axis (mean TRL 7) and the Diagnose–Optimize axis (mean TRL 5), indicating that robotic data collection and re-inspection are near deployment-ready, whereas physics-informed AI and LLM-based optimization require further building-domain adaptation.

**Key Words :** 제로에너지건물(Zero-Energy Building), 에너지성능격차(Performance Gap), Physical AI, Robotics (Robotics), 디지털트윈(Digital Twin), 물리정보신경망 (Physics-Informed Neural Network, PINN)

† Corresponding author, E-mail: leejw@kmu.ac.kr

# 모델기반 예측제어를 위한 Grey-box 모델링의 LLM 기법 적용 가능성 검토 연구

## A Feasibility Study on Applying LLM-Based Techniques to Grey-Box Modeling for Model Predictive Control (MPC)

여태훈\*, 서정훈\*, 모찬혁\*\*, 조재완\*<sup>†</sup>

Taehun Yeo\*, Jeonghun Seo\*, Chanhyuk Mo\*\*, Jaewan Joe\*<sup>†</sup>

\*인하대학교 스마트시티공학과, \*\*인하대학교 데이터사이언스학과

**Abstract :** 본 연구는 모델기반 예측제어(MPC) 지향 건물 응용을 위한 그레이박스 열모델링 과정에서 대규모 언어모델(LLM) 보조의 적용 가능성을 검토하였다. 본 연구는 LLM을 공학적 판단을 대체하는 수단 이 아니라, 모델 구조화, 코드 생성, 실험 자동화를 지원하는 워크플로 보조 도구로 설정하였다. 이를 위해 동일한 데이터 조건에서 hand-coded grey-box, AI-generated grey-box, AI-generated artificial neural network (ANN)의 세 가지 모델링 경로를 비교하였다. 또한 입력 정보의 풍부도 변화에 대한 반응을 확인하기 위해 복수의 정보 수준(Level)을 정의하여 평가를 수행하였다. 비교 기준은 예측 정확도뿐 아니라 해석 가능성, 재현성, 제어 지향 적합성을 함께 포함하였다. 그 결과, AI-generated grey-box는 준별 및 정보 수준별 비교에서 가장 균형 잡힌 성능을 보였으며, ANN 경로는 데이터 조건에 따라 성능 변동성이 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 결과는 LLM의 실질적 활용 가치가 물리 모델을 단순한 black-box 예측기로 대체 하는 데 있기보다, 구조적 해석이 가능하고 재현 가능한 grey-box 모델링 워크플로를 지원하는 데 있음을 시사한다.

**Key Words :** 그레이박스 모델(grey-box model), 대규모 언어모델(large language model), 인공신경망(artificial neural network), 건물 열모델링(building thermal modeling), 모델기반 예측제어(model predictive control), 예측 정확도(prediction accuracy)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jjoe@inha.ac.kr

### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25481686).

ZEB-O-4

# 대규모 공연장의 열 성층화 특성을 고려한 변풍량(VAV) 운영 시나리오별 에너지 절감 효과 분석

## Analysis of Energy Saving Effects of VAV Operational Scenarios Considering Thermal Stratification in a Large-scale Auditorium

김준현\*, 김동원\*\*, 곽영훈\*\*\*, 문선혜\*\*\*\*†

Junhyun Kim\*, Dongwon Kim\*\*, Younghoon Kwak\*\*\*, Sunhye Mun\*\*\*\*†

\*서울시립대학교 건축공학과, \*\*세종문화회관 시설운영팀, \*\*\*서울시립대학교 건축학부

**Abstract :** 대공간 건물은 높은 층고로 인한 열성층화와 부하 변동으로 공조 에너지 최적화에 어려움이 존재한다. 특히 대규모 공연장은 상부 조명과 내부 열원에 의한 부력 효과로 상층부에 열기가 집중되며, 일률적 난방 시 최상층 과열과 저층부 온도 불균형이 심화된다. 본 연구는 이러한 열 축적 특성을 고려하여 상층부 과난방 방지를 위한 '구역 및 시간대별 변풍량(VAV) 제어 시나리오'에 따른 난방에너지 소요량을 비교·분석하고자 하였다. 이를 위해 시뮬레이션 모델의 신뢰성을 확보하고 대공간 내 열적 거동을 정밀하게 파악하기 위해 실측 기반 M&V를 수행하였다. 수직으로 개방된 중앙 공간의 일반적인 열성층화 현상과는 별개로, 발코니 구조로 인해 반폐쇄적 특성을 갖는 각 층의 객석 구역(Occupied zone) 내에서도 열성층화가 실제로 형성되는지 확인하고자 객석 내 벽면 및 객석 내부 난간 지점에 온도 센서를 설치하여 온도 구배를 실측하고 보정 모델을 구축하였다. 구축된 보정 모델을 활용하여 대상 공간의 현재 운영 방식(A)을 기준으로, 공연 시간을 고려하여 상층부 공급 풍량을 60% 또는 50%로 조정하는 구역별 제어 시나리오(B), 전 층 풍량을 65% 또는 60%로 조정하는 시간대별 제어 시나리오(C), 그리고 이를 결합한 복합 제어 시나리오(D)를 설정하여 시나리오별 에너지 해석을 시행하였다. 분석 결과, 시나리오 B와 C의 비교를 통해 에너지 소요량 측면에서 효과적인 풍량 제어 방식을 검토하였으며, 이와 함께 시나리오별 제어 방식의 적정 범위 내 실내 온도 유지 여부를 확인하여 실내환경 측면에서 유효함을 확인하였다. 이를 통해 대공간 열 특성을 고려한 정밀 제어의 유효성을 입증하였다. 이는 풍량 미세 조정을 통해 실내 온도를 적정 수준 내에서 유지하면서도 추가적인 에너지 절감이 동시에 가능함을 시사한다. 본 연구는 실무적 적용이 가능한 운영 스케줄을 도출하였으며, 향후 GenOpt를 활용한 최적화 연구의 기초 자료로 활용될 예정이다.

**Key Words :** 대공간 건물(Large space building), 공연장(Auditorium), 열성층화(Thermal stratification), 변풍량(Variable air volume), 건물 에너지 시뮬레이션(Building energy simulation)

† Corresponding author, E-mail: msh@uos.ac.kr

# 넷제로 건축물 구현을 위한 액티브 융합 외피 기술 개발

## Development of Active Integrated Building Envelope Systems for Net-Zero Energy Building Realization

배상무\*, 이준혜\*, 배민정\*, 최현중\*<sup>†</sup>

Sangmu Bae\*, June Hae Lee, Minjung Bae, Hyun-Jung Choi\*<sup>†</sup>

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** The building envelope is a key factor that determines the heating and cooling loads of buildings. However, due to its long service life, improving energy performance through individual component technologies alone has structural limitations. In order to overcome this limitation, integrating multiple technologies into the building envelope system is an important approach to improving energy efficiency and economic feasibility. On the other hand, conventional building systems still configure heating and cooling functions as separate systems. This approach often results in higher installation and maintenance costs, and fails to account for the interactions between envelope performance and mechanical systems. In response, recent studies have proposed integrated building systems that combine passive and active technologies to respond flexibly to various load characteristics. Based on this need, this study aims to develop an active integrated building envelope system that address both envelope performance and building energy systems in a unified framework. This system is designed to integrate energy generation, cooling, heating, and ventilation functions within the building envelope to improve overall building energy performance, providing a practical and extensible solution for next-generation building envelope design.

**Key Words :** 건축 외피(Building envelope), 액티브 융합 외피 시스템(Active integrated building envelope system), 에너지 성능(Energy performance), 에너지 생산(Energy generation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mingineu@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20260240-0001, 2026년 전략연구사업).





# Oral Session

건축환경

Building Environment Engineering (BEE) Session



# 소규모 도시 지역의 건물 외피 상세 일사량 모니터링 및 시각화 방법 개발

## Development of a Method for Monitoring and Visualizing Detailed Solar Irradiance on Building Envelopes in Small Urban Areas

이우민\*, 이동석\*\*†

Woo-min Lee\*†, Dong-seok Lee\*\*

\*인천대학교 대학원 건축학과, \*\*인천대학교 도시건축학부

**Abstract :** 건물 모델링 및 해석 기술과 계산 성능의 발전으로 건물 시스템에 대한 상세한 분석이 가능해졌다. 그러나 실제 건물 운영 단계에서는 이에 필요한 수준의 외기 데이터가 충분히 제공되지 않고 있다. 특히 태양 일사량은 건물의 열적 거동에 큰 영향을 미치는 주요 변수이지만, 기상 관측은 주로 개활지의 도시 대표 지점에서 측정된 수평면 전일사량(GHI)만을 제공한다. 이로 인해 국부적인 일사 변동성과 수평면이 아닌 다양한 방향의 건물 표면에 입사하는 일사 특성을 세밀히 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 기존 연구에서 개발된 다방향 일사계 CUBE-i를 활용하여 방위각과 경사각을 각각 1° 간격으로 구분한 총 32,400개 방향 조합에 대해 상세 일사량을 히트맵 형태로 시각화하였다. 성능 검증을 위해 남동향(방위각 135°) 및 경사각 45° 조건으로 설치된 센서를 기준으로, 동지를 포함한 3일간 측정된 1분 단위 일사량과 계산 결과를 비교하였다. 비교 결과, 본 연구 방법은  $R^2 = 0.99$ ,  $RMSE = 27.95 \text{ W/m}^2$ ,  $nRMSE = 8.42\%$ 의 성능을 나타냈다. 본 연구 결과는 기존 기상 데이터로는 파악하기 어려운 다양한 방위와 경사를 갖는 건물 입면의 일사 특성을 파악하는 데 활용될 수 있다.

**Key Words :** 태양 일사량(Solar irradiance), 건물 외피(Building envelope), 모니터링(Monitoring)

† Corresponding author, E-mail: ds.lee@inu.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (RS-2022-NR072332)

# 복층유리 저방사코팅 위치에 따른 동절기 창호 표면온도 및 열환경 평가

## Evaluation of Window Surface Temperature and Thermal Environment with Low-emissivity Coating Position in Winter

송준민\*, 장효석\*, 이규남\*<sup>†</sup>

Junmin Song\*, Hyo Seok Jang\*, Kyunam Rhee\*<sup>†</sup>

\*국립부경대학교 건축공학과

**Abstract :** 건물의 에너지 절감 및 재실자의 열쾌적 증대를 위한 방안으로, 건물 외피 중 열손실에 취약한 창호 시스템의 성능개선이 우선적으로 고려될 필요가 있다. 창호의 성능 개선은 주로 열관류율을 낮추고 장파복사를 억제할 수 있는 로이코팅에 의한 방법이 널리 적용되고 있다. 일반적으로 오피스와 같은 냉방 부하 지배적인 건물에는 외측유리에, 주택과 같이 난방부하 지배적인 건물에는 내측유리에 로이코팅을 하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있으나, 로이코팅 위치에 따른 창호의 실내측 표면온도 및 열환경에 대한 실증적인 평가는 미흡한 상황이다. 또한, 로이코팅의 효과가 창호의 구성(단창, 이중창)에 따라 어떻게 변화하는지에 대해서도 평가될 필요가 있다고 판단된다. 이에 따라, 본 연구는 실제 오피스에서 창호의 구성 및 로이코팅 위치(2면 및 3면)가 동절기 실내측 표면온도에 미치는 영향을 분석하고, DesignBuilder에 실제 환경과 동일한 오피스를 모델링하여 시뮬레이션을 통해 건물의 열쾌적에 미치는 영향을 확인하였다. 현장 측정 결과, 이중창의 경우 3면 로이코팅을 적용하였을 때 2면 이중창 로이코팅에 비해 실내측 창호 표면 최고온도가 3.7℃ 높게 나타났고, 단창의 경우 3면 로이코팅을 적용하였을 때 2중 로이코팅에 비해 12.9℃ 높게 나타나 동절기 열환경 개선에 유리한 것으로 나타났다. 시뮬레이션 분석 결과, 이중창의 경우 3면 로이코팅이 2면 로이코팅보다 PMV가 약 0.3 높게 나타났으며, 단창의 경우 3면 로이코팅이 2면 로이코팅에 비해 PMV가 약 0.5 높게 나타남에 따라 동절기 열환경 개선에 유리함을 확인하였다. 또한, 측정된 창호의 표면온도와 시뮬레이션 결과인 PMV 간의 상관관계를 분석한 결과, 모든 케이스(로이코팅 위치, 창호 구성)에서 유의미한 양의 상관관계( $R^2=0.85\sim0.95$ )가 확인되어, 창호 표면온도가 재실자의 온열감에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 창호의 로이코팅 위치선정은 열관류율 저감 뿐만 아니라 재실자의 쾌적감에 직접적으로 영향을 미치는 변수임을 확인하였고, 특히 겨울철 3면 로이코팅 사용은 재실자의 열쾌적에 유리함을 확인하였다. 본 연구의 결과는 동절기 표면온도 저하 방지뿐만 아니라 계절에 따른 로이코팅 위치 선정 가이드라인 구축을 위한 기초 자료로 활용할 수 있다.

**Key Words :** 현장 측정(Field study), 에너지 시뮬레이션(Energy simulation), 로이코팅(Low-e coating), 표면온도(Surface temperature), 열쾌적(Thermal Comfort)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: knrhee@pknu.ac.kr

### 후 기

이 연구는 2022년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. (과제번호:NRF-2022R1A2C2011667)

# 그린하우스 내 공기질 향상을 위한 공기청정기 및 순환 팬 설치 위치 평가

## Effect of Air Purifier and Circulation Fan Placement on Air Quality in a Greenhouse

남학호\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Hak-Ho Nam\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 플라스틱 그린하우스는 낮은 비용과 유연성으로 농업에 널리 사용되고 있지만, 자연 환기에 의존하는 경우가 많다. 그린하우스 내 공기 중에 병원균 혹은 유해 가스가 존재하면 그린하우스 내부에 축적되어 작물의 생장에 지장을 줄 수 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 CFD 시뮬레이션을 이용하여 공기청정기와 순환 팬의 설치 높이 및 운전 계획이 그린하우스 내 공기질에 미치는 영향을 파악하였다. 공기 순환 장치들의 설치 높이와 운전 조건을 다양하게 설정하였으며, 평가를 통해 그린하우스 내 온도 성층화를 억제하면서 양호한 실내 공기질을 유지할 수 있었다. 주간에는 두 장치를 모두 운전하고 야간에는 공기청정기만 운전하는 전략을 도출함으로써 플라스틱 그린하우스에서 운전비용을 낮춤과 동시에 실내 공기질을 효과적으로 관리할 수 있는 방법을 제시하였다.

**Key Words :** 실내 공기질(Indoor air quality), 그린하우스(Plastic greenhouse), 공기나이(Age of air)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

# 환기 방식에 따른 사무실 실내공기질 개선 효과 분석

## Comparison of Ventilation Methods for Improving Indoor Air Quality in an Office

조상현\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Sang-Hyun Cho\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 겨울철 난방 조건에서의 사무실 공간에서는 환기 방식에 따라 실내 공기 분포와 공기질이 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서는 사무실 환경을 대상으로 혼합식 환기와 변위식 환기 시스템을 적용하였을 때의 실내공기질 개선 정도를 비교하였다. 특히 변위식 환기 시스템에 바닥형 공기청정기를 연계하여 온열 환경과 공기 정화 기능을 동시에 고려한 운전 방안을 제안하였다. 실험 및 전산유체해석을 통해 공기 교환 특성을 분석하였으며, 평가 지표로는 공기 체류 특성을 나타내는 공기나이를 사용하였다. 분석 결과 변위식 환기 방식을 적용한 경우 호흡 영역에서의 공기나이가 최대 약 19% 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 신선 공기의 공급 효율이 향상되었음을 의미한다. 또한 공기청정기의 위치와 토출 방향을 조정함으로써 공기 정체 영역을 줄이고 실내 온도 분포를 보다 균일하게 유지할 수 있음을 확인하였다. 본 연구 결과는 기존 사무실 공간에서 비교적 간단한 설비 구성 변경과 공기청정기 보조 적용만으로도 실내 환경의 공기질과 쾌적도를 개선할 수 있는 가능성을 제시한다.

**Key Words :** 실내공기질(Indoor air quality), 환기방식(Ventilation method), 공기나이(Age of air)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This study has been performed for 'Development Project for One-stop Platform Technology of Atmospheric Environmental Monitoring UAV System' (SN: RS-2025-02213909) funded by the ROKG.

# 물 충전 적용 축류식 사이클론 집진기의 성능 평가

## Performance Analysis of an Axial-flow Cyclone Separator with Water Filling

강현민\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Hyeon-Min Kang\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 축류식 사이클론 집진기는 비교적 단순한 구조와 낮은 유지관리 비용으로 인해 다양한 산업 현장에서 전처리 집진장치로 널리 사용되고 있다. 그러나 집진기 하부 먼지통에 포집된 입자의 재비산과 제한적인 포집효율은 여전히 개선이 필요한 요소로 지적되고 있다. 본 연구에서는 기존의 축류식 사이클론 집진기의 형상을 변경하지 않으면서도 성능을 향상시킬 수 있는 방안으로 먼지통에 물을 충전하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼지통에 물을 채운 경우와 채우지 않은 경우에 대해 실험과 수치해석을 수행하여 포집효율과 압력강하 특성을 비교하였으며, 먼지통에 물을 충전한 경우 절단직경이 약 0.25-0.77  $\mu$ m 감소하며 전체적인 포집효율이 향상되는 것으로 나타났다. 반면 압력강하는 소폭 증가하는 경향을 보였다. 또한 먼지통에 일정 높이로 포집된 건식 입자층이 존재하는 경우 깨끗한 공기 유입 시 입자의 재비산이 뚜렷하게 발생하였으나, 물과 입자가 혼합된 슬러리 상태로 존재할 경우 재비산이 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 먼지통에 물을 충전하는 방식이 기존 장치의 구조적 변경 없이 포집 성능을 향상시키고 재비산 문제를 효과적으로 저감할 수 있는 실용적인 개선 방안이 될 수 있음을 시사한다.

**Key Words :** 축류식 사이클론(Axial cyclone separator), 절단직경(Cutoff size), 포집효율(Collection efficiency)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20217010100110).

BEE-O-6

# 공동주택 수요 제어 환기에 따른 실내공기질 개선 및 팬 에너지 절감 효과 분석

## Analysis of Indoor Air Quality Improvement and Fan Energy Saving Effects by Demand Controlled Ventilation in Residential Buildings

정한웅\*, 강경모\*<sup>†</sup>

Hanung Jeong\*, Kyungmo Kang\*<sup>†</sup>

\*대전대학교 건축공학과

**Abstract :** 본 연구는 공동주택의 실내공기질 최적화 및 팬 에너지 소비량 절감을 달성하기 위해 이산화탄소 농도 기반의 각실 환기 제어 전략을 수립하였고 실물 실험을 통해 그 효과를 검증하였다. 최근 건축물의 고기밀화로 환기설비 의존도가 높아졌으나, 기존의 일괄 정풍량 환기 방식은 비재실 공간까지 공기를 공급하여 불필요한 팬 에너지 소모를 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 레귤레이터를 활용하여 재실자의 호흡에 의한 오염물질 발생을 모사하였고, 오염물질 농도 변화에 따라 재실 공간에는 환기량을 집중 공급하고 비재실 공간은 환기를 최소화하는 제어 로직을 적용하였다. 실물 공동주택 기반 실험 결과, 제안된 제어 로직은 오염물질 발생 시 해당 실의 환기량을 즉각 증가시켜 정풍량 방식 대비 공기질 개선 속도를 유의미하게 향상시켰다. 특히, 비재실 공간의 불필요한 환기를 차단하는 제어를 통해 환기장치의 운전 부하를 최소화함으로써 팬 에너지 소비량을 기존 방식 대비 최대 59.1% 저감하는 결과를 얻었다. 이는 실별 제어 기반의 스마트 환기 시스템이 NZEB 구현을 위한 에너지 저감 기술임을 입증한다.

**Key Words :** 조명에너지절감(Lighting energy saving), 수요 제어 환기(Demand controlled ventilation), 이산화탄소 농도(CO<sub>2</sub> concentration), 팬 에너지(Fan energy), 현장 측정(Field measurement), 제로 에너지 건축물(Net zero energy building)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kyungmo@daejin.ac.kr

### 후 기

이 논문은 국토교통부 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임 (과제 번호 : RS-2023-00250434)

# 지능형 건물에너지환경 통합 관리 시스템(iBEEMS)의 실내환경품질 개선 효과 분석

## Analysis of the Effects of Intelligent Building Energy and Environment Management System (iBEEMS) on Indoor Environmental Quality Improvement

정봉찬\*<sup>†</sup>, 유기형\*\*, 이승민\*\*, 박상희\*\*\*, 김준섭\*\*\*\*  
Bongchan Jeong\*<sup>†</sup>, Ki-Hyung Yu\*\*, Seung-Min Lee\*\*,  
Sang Hee Park\*\*\*, Junsub Kim\*\*\*\*

\*세종대학교 건축학과, \*\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부,  
\*\*\*한국건설기술연구원 건축도시연구본부, \*\*\*\*단국대학교 건축공학과

**Abstract :** 본 연구는 자율운전 기반의 지능형 건물에너지환경 통합 관리 시스템(iBEEMS) 적용에 따른 실내환경품질(IEQ) 개선 효과를 실증적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 시스템 적용 전후의 실내 환경 물리량 데이터와 거주자 대상 설문조사 결과를 비교 분석하였다. 구체적으로는 iBEEMS 가동 시 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 미세먼지 농도, 조도 등 주요 실내 환경 인자들이 사전에 설정된 표준 쾌적 범위 내에서 어느 정도의 정밀도로 유지되는지를 정량적으로 평가하고, 거주자의 주관적 쾌적성 만족도 변화를 조사하였다. 본 연구를 통해 iBEEMS의 에너지 절약 성능뿐만 아니라 실제 거주자의 체감 환경 개선 및 쾌적성 확보 측면에서의 유효성을 검증하고자 하며, 향후 지능형 건물 관리 시스템의 고도화 및 보급 확산을 위한 기초 실증 자료로 활용될 것으로 기대된다.

**Key Words :** 지능형 건물에너지환경 통합 관리 시스템(iBEEMS), 실내환경품질(Indoor environmental quality), 자율운전(Autonomous Operation), 거주자 만족도 조사(Occupant satisfaction survey)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: bjeong@sejong.ac.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 (MOTIE) 와 한국에너지기술평가원(KETEP) 의 지원을 받아 수행한 과제입니다 . (No. RS-2021-KP002461, KICT-20260198-001)

BEE-O-8

# 극한 기상 및 미래 기상 시나리오를 고려한 주거 건물 온열 리질리언스 평가

## Assessment of Thermal Resilience in Residential Buildings Under Extreme Weather and Future Weather Scenarios

구자빈\*, 강동화\*<sup>†</sup>

Jabin Goo\*, Dong Hwa Kang\*<sup>†</sup>

\*서울시립대학교 건축공학과

**Abstract :** 기후변화로 인해 폭염과 한파와 같은 극한 기상의 발생 빈도, 강도 및 지속시간이 증가하고 있으며, 이러한 변화는 건물 내부의 온열 환경과 재실자의 열적 쾌적성에 직접적인 영향을 미친다. 특히 폭염과 같은 극한 고온 현상은 냉방 부하 증가와 전력 수요 급증을 유발하며, 이로 인해 전력 공급 제한이나 정전과 같은 연쇄적인 교란 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황에서 건물이 실내 온열 환경을 유지하고 시스템 성능을 회복할 수 있는 능력은 리질리언스 관점에서 평가될 필요가 있다. 리질리언스 기반 접근은 환경 변화에 대해 시스템이 사전에 대응하고 교란을 흡수하며 이후 성능을 회복할 수 있는 능력을 의미한다. 이에 본 연구에서는 주거 건물을 대상으로 온열 리질리언스 기반 건물 성능 평가 방법을 제안한다. 온열 리질리언스 평가는 한국토지주택공사(LH)의 15층 규모 공공 임대주택을 기반으로 한 아파트 표준건물을 대상으로 하였다. 건물 연식에 따른 성능 차이를 고려하기 위해 현재, 2013년, 1987년 열관류율 기준을 적용한 건물 모델을 구축하였다. 최근 10년간 기상 데이터 분석을 통해 극한 기상의 발생 특성을 분석하고, 이를 기반으로 극한 기상 데이터를 구축하였다. 또한 표준 기상 데이터를 바탕으로 SSP2-4.5 시나리오를 적용한 2050년 미래 기상 조건을 함께 고려하였다. 건물 성능 평가는 EnergyPlus를 활용한 시뮬레이션을 통해 수행되었으며, 온열 리질리언스는 Standard Effective Temperature (SET)를 기반으로 평가하였다. 교란 발생 이후 건물 성능 저하와 회복 과정은 리질리언스 곡선으로 표현되며, 성능 손실은 리질리언스 사다리꼴 개념을 이용하여 정량화하였다. 제안된 방법론은 극한 기상 및 미래 기후 시나리오 조건에서 건물의 온열 리질리언스를 정량적으로 평가하기 위한 분석 기반을 제공하며, 향후 리질리언스 지표 기반 건물 운영 및 다목적 최적 제어 전략 연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words :** 온열 리질리언스(Thermal resilience), 극한 기상(Extreme weather events), 미래 기상 시나리오(Future weather scenarios), 폭염(Heatwave), 표준유효온도(Standard effective temperature)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dhkang@uos.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(박사과정생연구장려금지원사업)임(과제번호 : RS-2025-25415899).

# 유리 온실의 겨울철 제습 방안 및 운영 전략에 따른 에너지 성능 비교

## Comparison of Energy Performance by Dehumidification Methods and Operating Strategies for Glass Greenhouse in Winter Season

문선혜\*, 박상준\*\*, 홍성민\*, 구자빈\*\*, 곽영훈\*<sup>†</sup>

Sunhye Mun\*, Sangjun Park\*\*, Seongmin Hong\*, Jabin Goo\*\*, Younghoon Kwak\*<sup>†</sup>

\*서울시립대학교 건축학부, \*\*서울시립대학교 건축공학과

**Abstract :** As the demand for stable agricultural production systems grows in response to recent climate change, the government has established a goal to convert 35% of the nation's greenhouse area into smart farms capable of precision environmental control. In particular, glass greenhouses are regarded as the most suitable facilities for smart farming compared to other structures. However, high humidity within these greenhouses not only reduces photosynthetic efficiency but also triggers various pests and diseases, such as gray mold. While ventilation is a fundamental solution to this humidity issue, it has the limitation of causing significant heating loads by discharging internal thermal energy. Therefore, it is essential to establish dehumidification methods and operational strategies that consider energy efficiency. In this study, building energy simulation was utilized to apply forced ventilation (exhaust only), heat recovery ventilation systems, and standalone dehumidifiers, proposing operational strategies based on four different humidity setpoints. The results indicated that while forced ventilation was most effective in terms of energy efficiency for improving high-humidity winter environments, it resulted in a drop in indoor temperature. In contrast, the heat recovery ventilation system demonstrated balanced energy performance between humidity control and temperature maintenance. Standalone dehumidifiers showed relatively low energy efficiency, suggesting they are more suitable for localized control or as a supplementary measure.

**Key Words :** 건물 에너지 시뮬레이션(Building energy simulation), 제습 방안(Dehumidification methods), 유리온실 (Glass greenhouse), 에너지 성능(Energy performance), 겨울철(Winter season)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: [ikyh2@uos.ac.kr](mailto:ikyh2@uos.ac.kr)

### 후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(RS-2025- 23324202)이며, 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(RS-2025-07502971).

# 건축물 공간을 활용한 공기식 BIPVT 시스템의 에너지 성능 분석

## Energy Performance Analysis of Air-Based BIPVT System Using Building Space

오수호\*, 최영진\*<sup>†</sup>, 김상희\*

Suho Oh\*, Youngjin Choi\*<sup>†</sup>, Sanghee Kim\*

\*경기대학교 건축공학과

**Abstract :** 2050년 탄소중립을 목표로 사회의 여러 분야에서 탄소 배출을 저감하기 위한 노력이 지속되고 있다. 건축 분야에서는 신재생에너지의 적극적인 도입과 활용을 통하여 건물의 에너지 효율을 제고하는 것을 목표로 다양한 연구가 진행되고 있다. 건물일체형 태양광열(BIPVT) 시스템은 건물의 외장재를 대체하여 적용될 수 있는 기술로, 태양에너지를 통해서 열과 전기 에너지를 생산할 수 있다. 기존의 전기 에너지만을 생산할 수 있었던 건물일체형 태양광(BIPV) 시스템과 비교했을 때 에너지 생산량에 관한 측면에서 BIPVT 시스템이 어느 정도의 이점을 갖는지에 대한 연구는 이미 진행된 사례가 있다. 하지만 동일한 기상 조건 아래 실험을 통하여 두 시스템의 성능을 동시에 비교한 연구는 충분하지 않은 실정이다. 본 연구에서는 공간 자체를 하나의 열 회수 장치로 활용할 수 있는 새로운 구조의 공기식 BIPVT 시스템 실험 모델과 동일한 구조의 BIPV 시스템 실험 모델을 제작하였다. 그 후 동시에 실험을 진행하여, 겨울철 공기식 BIPVT 시스템의 열적·전기적 성능을 BIPV 시스템에 대조해 정량적으로 평가하였다.

**Key Words :** 건물일체형 태양광열(BIPVT, Building integrated photovoltaic thermal), 건물일체형 태양광(BIPV, Building integrated photovoltaic), 일사량(Solar radiation), 발전량(Power generation), 집열효율(Solar thermal efficiency)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yjchoi@kyonggi.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

# 공동주택 복층유리 이중창의 열교 부위를 고려한 설계요소별 단열성능 개선 효과

## Thermal Performance Improvement by Design Factors Considering Thermal Bridge in Double-Window System with Insulating Glass Units of Apartment Building

김재림\*, 배지원\*, 임재한\*<sup>†</sup>

Jae-rim Kim\*, Ji-won Bae\*, Jae-han Lim\*<sup>†</sup>

\*이화여자대학교 건축도시시스템공학과

**Abstract :** 최근 공동주택의 에너지절약 설계기준이 강화되면서 공동주택 외피의 열손실 저감과 에너지 성능 향상 요구가 지속적으로 증대되고 있으며, 이로 인해 고성능 창호 시스템의 적용이 확대되고 있다. 특히 거실에서 복층유리 이중창은 외피 열손실 저감에 중요한 요소로, 창유리뿐 아니라 창틀 및 창짝 프레임의 열교 특성이 전체 단열 성능에 큰 영향을 미친다. 본 연구는 2차원 전열해석 프로그램 Physibel BISCO를 활용하여 공동주택용 복층유리 이중창의 단열 성능을 정량적으로 평가하였다. 창유리의 로이(Low-E) 코팅 적용 위치 및 방식에 따른 열적 특성 변화를 분석하고, 창틀 및 창짝 프레임에서 스펀지 형태의 기밀재 적용 효과, 금속 구조 보강재를 단열 보강재로 대체한 경우의 성능 개선 정도를 비교하였다. 평가 지표로는 열관류율(U-value)과 선형 열관류율( $\Psi$ -value)을 적용하여 설계 요소별 열교 저감 효과를 분석하였다. 전열 해석 결과, 로이 코팅의 위치 최적화와 프레임 내 단열 보강재 적용이 가장 큰 단열 성능 개선 효과를 나타냈으며, 기밀재 보강은 단열성 향상을 통해 추가적인 열손실 저감에 기여하는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과는 공동주택 창호의 고단열 설계 전략 수립 및 성능 기반 설계 개선을 위한 기초 자료로 활용 가능할 것이다.

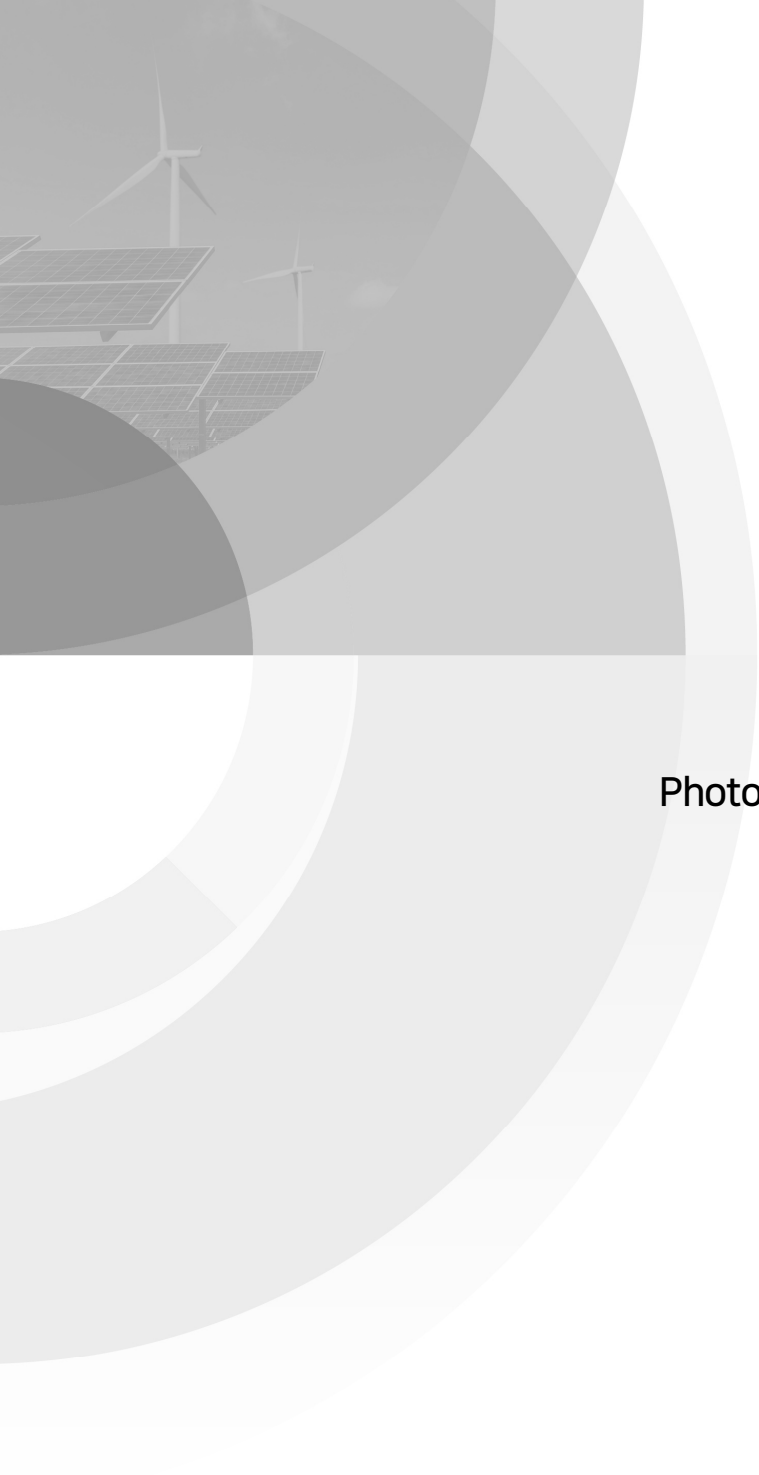
**Key Words :** 복층유리 이중창(Double-window system with insulating glass units), 열교(Thermal bridge), 선형 열관류율(Linear thermal transmittance), 고성능 창호 설계(High-performance window design)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: limit0@ewha.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업(중견연구자지원사업)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : NRF-2023R1A2C2007911)





# Oral Session

태양광에너지  
Photovoltaic Energy (PVE) Session



# 태양광발전설비 O&M을 활용한 효율향상과 사이버 위기대응 정책 개발

## Enhancing Solar Power Plant Efficiency and Developing Cyber Crisis Response Policies for Solar Inverters through O&M

고석환\*<sup>†</sup>, 신우균\*, 황혜미\*, 주영철\*, 이진석\*, 전병기\*  
 Sukwhan Ko\*<sup>†</sup>, Woogyun Shin\*, Hyemi Hwang\*, Youngchul Ju\*,  
 Jinseok Lee\*, Byunggi Jeon\*

\*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실

**Abstract :** The rapid expansion of photovoltaic (PV) power plants has increased the importance of efficient operation and maintenance (O&M) as well as cybersecurity in PV infrastructure. In Korea, the cumulative PV capacity is expected to reach 121.9 GW by 2038, emphasizing the need for systematic O&M strategies to improve system performance and reliability. Meanwhile, the growing digitalization of PV systems, including remote monitoring, firmware updates, and power control functions, has introduced new cybersecurity risks associated with inverters and monitoring networks. This study investigates global trends in PV O&M technologies and cybersecurity incidents and proposes policy strategies to enhance system efficiency, safety, and cyber resilience. In particular, inverter-based diagnostic technologies such as I-V curve analysis and AI-based fault detection are reviewed to improve operational efficiency. Based on the analysis, this research proposes policy measures including mandatory inverter diagnostic functions, AI-based national monitoring platforms, IoT security certification for communication devices, and whitelist-based access control for inverter-server communication. The proposed framework aims to improve PV system performance while strengthening cybersecurity governance and supporting the expansion of domestic inverter technologies and O&M service industries.

**Key Words :** 운영관리(Operation & Management), 태양광 인버터(PV Inverter), 사이버보안(Cybersecurity), 인공지능 고장진단(AI-based Fault Diagnosis), 효율 향상(Enhancement for efficiency)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: korea19@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 기후에너지환경부의 재원으로 전력정보화 및 정책지원 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025-KP900006).

# 열화상이미지 기반 태양광 발전시스템 고장 진단 및 원인 분석 딥러닝 모델 개발

## Thermal Image-based Deep-Learning Model for Fault Diagnosis and Classification in Photovoltaic Systems

오민재\*, 손명우\*<sup>†</sup>

Min-Jae Oh\*, Myungwoo Son\*<sup>†</sup>

\*한국광기술원, AI에너지연구센터

**Abstract :** 태양광 발전 시스템(photovoltaic, PV)은 운영 과정에서 다양한 고장 요인이 발생하며, 고장은 발전 효율 저하와 시스템 안정성의 문제를 초래하므로 태양광 모듈의 고장을 조기에 진단하여 사고를 예방하는 기술이 중요하다. 기존 인공지능을 활용한 태양광 모듈의 고장을 진단하는 기술은 고장 여부를 판별하기 때문에 다양한 고장 원인에 의한 문제를 해결하는데 한계를 보인다. 그러므로 본 연구에서는 태양광 모듈의 열화상이미지 데이터를 기반으로 고장 유·무 판별뿐만 아니라 고장 원인을 분석할 수 있는 AI 모델을 개발하였다. 열화상이미지 데이터는 정상과 세가지 고장 유형(누설, 지락, 음영)의 태양광 모듈을 실외 환경에서 수집하였다. AI 모델 개발을 위해 열화상이미지 데이터는 고장 유형별 모듈 이미지를 추출하는 RoI (Region of Interest) 기법으로 모듈 영역의 이미지를 개별적으로 추출하고, 크기 축소 및 정규화 기법으로 전처리를 수행하였다. 그리고 합성곱 신경망(convolutional neural network, CNN) 기반의 딥러닝 기법을 활용하여 고장 유·무 판별과 고장 원인 분석이 가능한 모델을 설계하였다. 그 결과, 개발된 AI 모델은 정상과 고장(누설, 지락, 음영)을 판별하였으며 90% 이상의 정확도를 보였다. 또한 유형별 고장 원인 분석 정확도는 최대 99% 수준으로 나타나 우수한 성능을 보였다.

**Key Words :** 고장진단 AI 모델(Fault Diagnosis AI Model), 고장원인 분석(Fault Classification), 합성곱 신경망(CNN), 열화상이미지(Thermal Image Data), 태양광 발전 시스템 (PV Power Generation System)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mwson@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다. (과제번호: RS-2024-00419184)

# 양자 영감 기반 조합 최적화를 이용한 태양 일사 예측 모델의 시계열 입력 구조 및 모델 파라미터 동시 최적화

## Quantum-Inspired Combinatorial Optimization for Joint Optimization of Temporal Input Structure and Model Parameters in Solar Irradiance Forecasting

전병기\*<sup>†</sup>, 고석환\*, 황혜미\*, 주영철\*, 신우균\*

ByungKi Jeon\*<sup>†</sup>, Sukwhan Go\*, Hyemi Hwang\*, YoungChul Joo\*, WooGyun Shin\*

\*한국에너지기술연구원 신재생시스템 연구실

**Abstract :** 태양 일사량 예측은 태양광 발전 운영 및 에너지 관리에 있어 중요한 요소이며, 최근에는 시계열 데이터의 장기 의존성을 효과적으로 반영할 수 있는 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반 딥러닝 모델이 널리 활용되고 있다. 그러나 기존 연구에서는 LSTM 모델의 입력 시계열 길이와 모델 구조 및 하이퍼파라미터 설정이 주로 연구자의 경험이나 제한적인 탐색을 통해 결정되는 경우가 많아, 데이터 특성에 따른 최적 조합을 체계적으로 도출하기 어렵다는 한계가 있다. 특히 입력 시계열 길이와 모델 구조 파라미터는 예측 성능에 동시에 영향을 미치는 조합적 탐색 문제로, 탐색 공간이 급격히 증가하여 기존의 그리드 서치나 단순 휴리스틱 기반 접근으로는 효율적인 최적화가 어려울 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 양자 영감 기반 조합 최적화(Quantum-inspired combinatorial optimization)를 활용하여 LSTM 기반 태양 일사 예측 모델의 시계열 입력 구조와 모델 파라미터를 동시에 탐색하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 다양한 입력 시계열 길이와 LSTM 모델 구조 파라미터의 조합을 탐색 공간으로 정의하고, 이를 조합 최적화 문제로 구성하여 효율적으로 탐색한다. 이를 통해 데이터 특성에 적합한 시계열 입력 구조와 모델 구성을 동시에 도출할 수 있으며, 기존 경험적 모델 설계 방식 대비 보다 체계적인 예측 모델 설계가 가능하다. 실험에서는 태양 일사 시계열 데이터를 활용하여 다양한 시계열 입력 길이와 LSTM 구조 조합에 따른 예측 성능을 비교 분석하고, 제안된 방법의 적용 가능성을 평가하였다.

**Key Words :** 열에너지 저장 (Thermal Energy Storage), 건물에너지 운영(Building Energy Operation), 이산 스케줄링 (Discrete Scheduling), 양자영감 최적화 (Quantum-Inspired Optimization)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: bgjeon@kier.re.kr

### 후 기

이 연구는 환경부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-02308939)

# 실측 태양광 발전소 데이터를 활용한 BiLSTM-Attention 기반 패널 이상 탐지 및 고장 진단

## BiLSTMAttention-Based Panel Anomaly Detection and Fault Diagnosis Using Real-World Data from a Photovoltaic Power Plant

이세훈\*, 이수천\*, 우태걸\*, 박강문\*<sup>†</sup>

Se-hun Lee\*, Su-cheon Lee\*, Tae-geol Woo\*, Kang-moon Park\*<sup>†</sup>

\*국립한국교통대학교 전자공학과

**Abstract :** 최근 태양광 발전 시스템의 보급 확대와 함께 발전 손실을 최소화하고 유지관리 효율을 높이기 위한 고장 조기 탐지 기술의 중요성이 커지고 있다. 그러나 기존의 규칙 기반 진단 방법은 계절 변화, 운전 조건, 일사량 변동 등에 따라 나타나는 복잡한 시계열 패턴을 충분히 반영하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 태양광 패널 모니터링 데이터의 시간적 의존성과 중요 구간을 효과적으로 학습할 수 있는 BiLSTM-Attention 모델을 태양광 패널 고장 진단에 적용하고, 실제 발전소 데이터에서의 성능과 활용 가능성을 평가하였다. 실험에는 국내 태양광 발전소에서 수집된 15분 단위 시계열 데이터 5,170,800행과 349개 패널 데이터를 사용하였다. 고장 클래스는 Normal, LowPower, Overheat의 3개로 구성하였으며, 발생 빈도가 매우 낮은 일부 고장 유형은 LowPower로 통합하였다. 모델은 48 타임스텝(12시간) 슬라이딩 윈도우와 15개 입력 피처를 기반으로 학습되었고, 클래스 불균형 대응과 예측 불확실성 정량화를 함께 수행하였다. 실험 결과, BiLSTM-Attention 모델은 테스트셋 129,319개 시퀀스에서 Macro-F1 0.9876, Multi-class AUC 0.9995를 달성하였으며, 이진 고장 탐지 기준으로 Binary-F1 0.9633, AUC 0.9994의 우수한 성능을 보였다. 이는 시계열 딥러닝 모델이 실제 태양광 발전소 환경에서도 패널 이상 상태를 효과적으로 탐지할 수 있음을 보여주며, 향후 실시간 운영 및 유지관리 시스템에 활용될 가능성을 시사한다.

**Key Words :** 고장 진단(Fault diagnosis), 이상 탐지(Anomaly detection), 딥러닝(Deep learning), 시계열 분류(Time-series Classification), 태양광 인버터(Photovoltaic inverter)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kmpark@ut.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : RS-2025-02308939).

# Pentacene 기반 바이패스 다이오드를 통한 유연 태양광 모듈 신뢰성 제고

## Enhancing the Reliability of Flexible Photovoltaic Modules with Pentacene-based Bypass Diode

송지원\*, 송형준\*<sup>†</sup>

Jiwon Song\*, Hyung-jun Song\*<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 안전공학과

**Abstract :** 건축물 외벽, 소형 유연 소자, 자동차와 같이 곡면을 포함한 표면에 태양광 패널의 적용이 확대되고 있다. 이에 대응하여 Perovskite 기반 유연 태양전지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 전지 효율 역시 빠르게 향상되고 있다. 이러한 유연 태양전지를 모듈로 구성할 경우, 부분 음영 시 효율 향상과 안전성 확보를 위해 셀과 병렬로 연결되는 바이패스 다이오드 또한 유연 기판에 적용 가능한 구조로의 전환이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 Pentacene과 금속을 이용한 단순 구조의 유연 바이패스 다이오드를 제작하고, 기존 연구에서 보고된 Perovskite 기반 바이패스 다이오드와 역전압 조건에서의 전기적 특성을 비교하였다. 일반적으로 바이패스 다이오드는 음영이 없는 정상 동작 환경에서도 지속적으로 역전압이 인가되기 때문에, 역전압 안정성은 태양광 모듈의 신뢰성 확보에 매우 중요한 요소이다.

Pentacene 기반 다이오드와 Perovskite 기반 다이오드를 대상으로, 실제 모듈 적용 후 장기간 운용 상황을 가정한 반복적 역전압 I-V 시험을 수행하였다. 그 결과, 단위 다이오드에 -3 V 수준의 역전압을 수십 회 인가한 경우 Pentacene 기반 다이오드는 Perovskite 기반 다이오드에 비해 항복전압 감소 및 역전류 증가가 현저히 적게 나타났다. 이는 다양한 기상 조건에서 장기간 운용되는 태양광 모듈의 특성을 고려할 때, Pentacene 기반 바이패스 다이오드가 내구성 측면에서 유리함을 의미한다. 또한, 실험 결과를 기반으로 시뮬레이션을 수행한 결과 Perovskite 기반 다이오드를 적용한 모듈은 역전압 하에서 항복전압 감소로 인해 효율 저하 및 다이오드 가열 등 신뢰성 문제가 발생할 가능성이 높은 것으로 예측되었다. 반면 Pentacene 기반 다이오드는 비교적 높은 역전압 내구성으로 인해 이러한 문제를 크게 완화할 수 있을 것으로 나타났다. 특히 바이패스 다이오드에 병렬로 연결되는 태양전지 개수가 많아질수록 이러한 성능 차이는 더욱 커지므로, Pentacene 기반 다이오드가 유연 기판 태양광 모듈에 보다 적합하다는 결론을 도출하였다.

**Key Words :** 신뢰성(Reliability), 바이패스 다이오드(Bypass diode), 펜타센(Pentacene), 페로브스카이트(Perovskite), 핫스팟(Hot-spot)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hj.song@seoultech.ac.kr

# 자이로스코프 열 증착 공정을 통한 전방위 광수확 3차원 구형 유기 소자

## Overcoming Angular Limitations in Light Harvesting: 3D Spherical Organic Devices via Gyroscopic Thermal Evaporation

정대성\*†

Dae Sung Chung\*†

\*포항공과대학교 화학공학과

**Abstract :** 기존 평면형 광전자 및 에너지 수확 소자는 입사각 증가에 따른 투영 면적 감소( $I = I_0 \cos\theta$ )와 계면에서의 프레넬 반사로 인해 극심한 광학적 손실을 겪는다. 이러한 각도 의존성을 극복하고 전방위 광수확 효율을 극대화하려면 구형 또는 3차원 곡면 소자 아키텍처의 도입이 필수적이다. 그러나 유기 소자 제작의 표준인 진공 열 증착(VTE) 공정은 직진성(line-of-sight)이라는 한계로 3D 곡면 새도잉 현상과 다공성 주상 성장(columnar growth)을 유발하여 기관 적용에 제약이 컸다. 본 강연에서는 이 기하학적 한계를 극복할 혁신적 '고정-소스, 회전-타겟(Fixed-Source, Rotating-Target)' 제조 패러다임인 자이로스코프 열 증착(GTE) 시스템을 소개한다. GTE는 비대칭 질량 분포의 다축 짐벌 메커니즘을 통해 타겟 기관에 예측 불가능한 혼돈 운동을 유도한다. 이를 통해 고정된 증기 플럭스에 구형 기관 전체를 수학적으로 균일하게 노출시켜 경사각 증착 시 발생하는 자가 그림자 효과를 완전히 억제하고, 평면 소자와 동일한 수준의 분자 배열 및 계면 특성을 성공적으로 유지하였다. 이 공정으로 제작된 160도 광각 구형 소자는 코사인 의존성을 탈피한 안정적인 광흡수 성능을 입증했으며, 나아가  $4\pi$  스테라디안 전방위 수용성을 구현해 산란광 및 주변 반사광 수집 효율을 크게 향상시켰다. 특히, 본 연구는 GTE 플랫폼이 광센서(OPD)뿐만 아니라 계면 에너지 정렬과 두께 변화에 민감한 구형 유기 태양전지(OSC) 제작에도 성공적으로 적용되어 효율적인 전하 생성에 필수적인 형태학적 무결성을 완벽히 보존함을 증명했다. 나아가 3D 소자와 신경망(NNF)을 결합해 복잡한 렌즈 없이 공간 내 광원의 움직임을 실시간 추적하는 시스템을 시연함으로써, 본 기술이 차세대 3D 에너지 수확 아키텍처 및 자율형 로봇틱 비전을 위한 범용적이고 확장 가능한 제조 플랫폼임을 제시하고자 한다.

**Key Words :** 자이로스코프 열 증착 (Gyroscopic Thermal Evaporation, GTE) 전방위 광수확 (Omnidirectional Light Harvesting) 3차원 구형 소자 (3D Spherical Devices) 유기 태양전지 (Organic Solar Cells, OSCs) 코사인 손실 극복 (Overcoming Cosine Loss)

† Corresponding author, E-mail: dchung@postech.ac.kr

# 대면적 페로브스카이트 태양전지를 위한 결정 공학

## Crystal Engineering for Large-Area Perovskite Solar Cells

서지연\*<sup>†</sup>

Ji-Youn Seo\*

\*부산대학교 학부대학 첨단융합학부

**Abstract :** The transition from small-area laboratory devices to commercially viable, large-area perovskite solar modules is a critical hurdle in the field of photovoltaics. While high efficiencies are common at the micro-scale, maintaining this performance across large substrates remains a significant challenge due to the complexities of film uniformity and crystallization kinetics. In this work, we present a novel crystal engineering method, seed-primed, vacuum-assisted crystallization (S-VAC) strategy designed for scalable and sustainable production. By introducing functional molecular additives—specifically oleylamine—into the precursor solution, we induce the formation of stable alpha-phase nanocrystal seeds. These seeds act as templates that dictate uniform, vertical crystal growth during a vacuum-driven process, effectively bypassing the need for conventional, often toxic, antisolvent treatments. Advanced in situ and molecular-level characterizations confirm that this "seeding effect" leads to monolithic perovskite films with superior crystallinity and highly oriented (100) texture over large areas. Applying this strategy, we successfully demonstrate high-performance devices, achieving a Power Conversion Efficiency (PCE) of 23.2% for sub-modules and a certified 19.1% efficiency for large-area (15 x 15 cm<sup>2</sup>) mini-modules. Furthermore, the long-term operational stability is validated through outdoor testing, with encapsulated modules retaining over 94% of their initial performance after one year.

**Key Words :** 결정공학 (Crystal engineering), 페로브스카이트 태양전지 (Perovskite solar cells), 대면적화 (Scaling-up)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: j-y.seo@pusan.ac.kr

## 수중 산화물 투명 태양전지

### Transparent Metal Oxide Photovoltaics in Water

김준동\*<sup>†</sup>, 고성진\*

Joondong Kim\*<sup>†</sup>, Seongjin Ko\*\*

\*인천대학교 전기공학과

**Abstract :** Transparent metal-oxide semiconductors are foundational to transparent photovoltaics (TPVs) due to their wide bandgaps, high optical transmittance, chemical robustness, and tunable carrier densities. Extending TPV operation beyond air, aqueous environments provide unique opportunities for self-powered marine sensing, communication, and exploration. In this study, we present a water-coupled TPV module based on a wide-bandgap oxide heterojunction that achieves efficient underwater energy harvesting while preserving high visible transparency.

Water modifies TPV performance through coupled optical, interfacial, and thermal effects. Its refractive index (~1.33) reduces Fresnel reflection at oxide interfaces, enhancing light coupling and stabilizing photocurrent under immersion. Simultaneously, wavelength-dependent absorption in water selectively attenuates ultraviolet and near-infrared components, reshaping the incident spectrum for ultrawide-bandgap and defect-engineered oxides such as ZnO, SnO<sub>2</sub>, and Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. At the semiconductor-electrolyte interface, adsorbed H<sub>2</sub>O/OH<sup>-</sup> species induce interfacial dipoles and ionic screening, modulating band bending and junction barrier heights, particularly in NiO-based p-n heterostructures. Furthermore, the high thermal capacity of water enables effective passive cooling, mitigating thermally induced degradation in flexible transparent devices.

These synergistic effects establish water as an active functional medium that enhances optical coupling, interfacial energetics, and thermal stability, advancing the design of next-generation transparent and underwater photovoltaic systems.

**Key Words :** 투명 태양전지 (Transparent photovoltaics); 금속 산화물 (Metal oxides); 수중 에너지 발전 (Underwater energy harvesting);

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: joonkim@inu.ac.kr

# 컬러 태양광 모듈의 직사 및 경사각 수광량 향상에 대한 연구

## Study on Methods to Enhance Normal and Oblique Incidence Light Harvesting in Coloured Solar Modules

신동윤\*<sup>†</sup>

\*부경대학교 나노융합공학전공

**Abstract :** Industrial and architectural demand for coloured solar modules has surged in recent years; nevertheless, optical losses arising from opaque colour layers, coupled with diminished light harvesting under oblique solar incidence, constitute a principal impediment to power generation performance. Whilst vacuum deposition techniques have facilitated the development of coloured front glass exhibiting structural coloration via multilayer thin films—thereby mitigating reductions in light intake—the exorbitant costs associated with such vacuum processes preclude widespread commercialisation. Accordingly, this study proposes an innovative pattern design that not only effectively curbs light harvesting deficits induced by coloration, but also substantially augments incident light capture under oblique angles prevalent in urban settings; moreover, we delineate a cost-effective methodology for fabricating the corresponding coloured front glass. The efficacy of these advancements is substantiated through rigorous comparative analysis of electrical output characteristics between prototype modules and reference counterparts, with concomitant discussion of their viability for integration within zero-energy buildings.

**Key Words :** 컬러 태양광 모듈(Coloured solar module), 수광(Light harvesting), 경사각(Oblique incidence)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dongyoun.shin@gmail.com

# Unravelling the Impact of Texture Size on the Performance and Stability of Silicon-Perovskite Tandem Solar Cells using Kelvin Probe Force Microscope

Michael S.A. Kamel<sup>\*,\*\*</sup>, Hongjae Shim<sup>\*\*\*</sup>, Jae Sung Yun<sup>\*\*\*\*,\*\*\*\*\*</sup>, Dohyung Kim<sup>\*†</sup>

<sup>\*</sup>Advanced Energy Research Institute, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea

<sup>\*\*</sup>Physics Department, Faculty of Science, Minia University, P.O. Box 61519, Minia, Egypt

<sup>\*\*\*</sup>Australian Centre for Advanced Photovoltaics (ACAP), School of Photovoltaic and Renewable Energy Engineering, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

<sup>\*\*\*\*</sup>School of Computer Science and Engineering, Advanced Technology Institute (ATI), University of Surrey, Guildford, Surrey GU2 7XH, United Kingdom

**Abstract :** Silicon-perovskite tandem solar cells (TSCs) have attracted significant attention due to their high power conversion efficiency (PCE) exceeding the Shockley-Queisser limit of single-junction Si devices. Textured interfaces are effective for reducing optical losses and enhancing light harvesting; however, texture size must be optimized for high performance and stability. Herein, Kelvin probe force microscopy (KPFM) was used to investigate the impact of texture size on TSC performance. Devices with smaller textures (~500 nm) achieved a PCE exceeding 32%, with an open-circuit voltage (VOC) of ~1.95 V and a fill factor (FF) above 0.8, whereas larger textures (1–2 μm) resulted in lower PCE (~28%) due to reduced VOC (~1.82 V) and FF (~0.73). KPFM analysis revealed that smaller textures exhibit lower surface work function and higher surface photovoltage, indicating more efficient charge extraction and suppressed non-radiative recombination. Additionally, degradation under thermal stress (85 °C, inert atmosphere) and controlled humidity (RH 65%, 20 °C) was examined, with KPFM providing insights into both optoelectronic changes and surface morphology evolution. This study highlights the critical role of texture size in device performance and stability, offering guidance toward the commercialization of Si-perovskite TSCs.

**Key Words :** Silicon-perovskite tandem solar cells, Kelvin probe force microscopy (KPFM), Texture size optimization, Surface photovoltage, Device degradation

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dohyungkim@chungbuk.ac.kr

## 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 해외우수과학자유치사업(Brain Pool)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2025132322). 본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2410013773)

# 폐 태양광 모듈에서 고순도로 은 및 구리를 회수하기 위한 통합 습식야금-전기화학 공정

## Integrated Hydrometallurgical-Electrochemical Process for High-Purity Ag and Cu Recovery from End-of-Life Photovoltaic Modules

김수환\*<sup>†</sup>, 조세연\*, 박종성\*

Suhwan Kim\*<sup>†</sup>, Seyeon Cho\*, Jongsung Park\*

\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소 & 에너지시스템 공학과

**Abstract :** The transition to multi-busbar (MBB) photovoltaic modules utilizing silver-coated copper wires complicates the selective recovery of high-purity metals from end-of-life (EoL) waste. To address this, we developed an integrated hydrometallurgical-electrochemical process for the selective, chemical-saving recovery of Ag and Cu. The method involves nitric acid leaching followed by selective Ag electrowinning using an inert stainless-steel anode, achieving >99% recovery without Cu contamination. Subsequently, the electrolyte is converted to a sulfate system for Cu electrowinning using a dimensionally stable anode. Optimization at 2 V yielded >86% Cu recovery with a specific energy consumption of 4.42 kWh/kg. Comparative technoeconomic and life-cycle assessments demonstrate that this sequential strategy increases profitability by 4.7% (USD 707.37/ton) and reduces global warming potential by 26.4% (397.4 kg CO<sub>2</sub>eq/ton) compared to conventional methods. The elimination of hazardous reductants like hydrazine and optimized energy demand highlight the process's sustainability. This work presents a closed-loop, economically viable solution for PV waste recycling.

**Key Words :** 태양광 재활용(Photovoltaic recycling), Heterojunction (HJT) solar cells, 순차 전해 채취 공정(Sequential electrowinning), 은 및 구리 회수(Silver and copper recovery)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 기후에너지환경부의 재원으로 신재생에너지핵심기술개발의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-0030745).

# 페로브스카이트 기반 태양전지의 양성자 에너지-플루언스 특성 분석 가이드라인

## Mapping the Proton Energy-Fluence Landscape for Perovskite Based Solar Cells

이다슬\*, 장수성\*\*, 김수환\*\*\*, 박종성\*\*†

Da Seul Lee\*, Suseong Jang\*\*, Suwhan Kim\*\*\*, Jongsung Park\*\*†

\*경상국립대학교 GNU우주항공방산연구소, \*\*경상국립대학교 에너지공학과,

\*\*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소

**Abstract :** Perovskite solar cells (PSCs) are emerging as pivotal next-generation photovoltaics for the New Space era, attributed to their exceptional specific power and intrinsic radiation tolerance. However, the lack of standardized guideline for space radiation testing has led to profound inconsistencies, hindering reliable cross-study comparisons. This review systematically categorizes existing literature to clarify the physical significance of irradiation parameters, focusing on the distinct roles of Total Ionizing Dose (TID) and Displacement Damage Dose (DDD). The intrinsic radiation tolerance at material level of PSCs does not translate directly into device stability. In other words, performance degradation under proton irradiation is governed not only by material failure but also by the vulnerability of the device structure. Based on energy-fluence reliability maps, we propose a standardized testing framework: a two-way approach for fundamental material physics and for practical mission-life prediction. Furthermore, we demonstrate that this two-way energy framework is directly extensible to perovskite-based tandem solar cells, where energy-selective Bragg peak positioning enables targeted damage analysis at the individual sub-cell level. This framework aims to provide a rigorous baseline for qualifying both single-junction and tandem PSCs in complex space radiation environments.

**Key Words :** Perovskite Solar Cells, Proton irradiation, Radiation resistance, Space photovoltaics, Perovskite based tandem

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

# EL 영상 기반 태양광 모듈 다중 클래스 픽셀 단위 결함 분할 모델 개발

## Development of a Pixel-Wise Multi-Class Defect Segmentation Model for Photovoltaic Modules Based on EL Images

문정민\*, 김주희\*, 김창현\*<sup>†</sup>, 김용현\*<sup>†</sup>

Jungmin Moon\*, Ju-Hee Kim\*, Changheon Kim\*<sup>†</sup>, Yonghyun Kim\*<sup>†</sup>

\*한국광기술원 AI에너지연구센터

**Abstract :** 태양광 모듈의 내부 결함은 발전 효율 저하와 장기 신뢰성 저하로 이어질 수 있어 조기 검출이 중요하다. Electroluminescence(EL) 영상은 이러한 내부 결함을 비파괴적으로 확인할 수 있는 대표적 검사 방식이지만, 실제 결함은 미세하고 정상 셀 구조와 복합적으로 나타나기 때문에 육안 판독이나 단순 분류 기반 방법만으로는 정밀한 식별에 한계가 있다. 특히 산업 현장에서는 결함의 유무뿐 아니라 위치와 형상을 함께 제시할 수 있는 정량적 검사 기술이 요구되므로, EL 영상 기반 픽셀 단위 결함 분할 기술의 필요성이 크다. 이에 본 연구에서는 EL 영상을 대상으로 다중 클래스 픽셀 단위 결함 분할이 가능한 AI 모델을 개발하였다. 제안한 방법은 밝기 정규화, 조명 보정, CLAHE 기반 대비 향상을 적용하여 입력 영상을 보정한 뒤, 이를 조합한 pseudo-RGB 입력을 생성하여 학습에 활용하였다. 모델은 ConvNeXtV2-tiny 인코더와 U-Net 디코더를 결합한 구조로 설계하였으며, 메인 세그멘테이션 헤드와 함께 crack 보조 헤드 및 boundary 보조 헤드를 추가하여 미세 결함과 경계 정보의 표현력을 강화하였다. 또한 crack 후보 영역에 대해 연결성, 길이, 가늘기 등의 형상 특성을 반영한 후처리를 적용하여 오검출을 줄이고 결함다운 구조를 유지하도록 하였다. 오픈 데이터셋 Benchmark EL Images을 이용한 실험 결과, 테스트 데이터에서 pixel accuracy 94.80% 달성하였다. 또한 테스트 데이터에 실제로 존재하는 클래스 기준으로 present-class mIoU 54.16%, present-class mF1 64.01%를 나타내어 다중 클래스 결함 분할 성능의 유효성을 확인하였다. 이러한 결과는 제안한 모델이 EL 영상 내 복합 결함의 위치와 형상을 효과적으로 분할할 수 있음을 보여주며, 향후 태양광 모듈 자동 검사 및 품질 진단 시스템에 활용 가능성을 시사한다.

**Key Words :** EL 영상 (EL Image), 태양광 모듈 (Photovoltaic Module), 결함 분할 (Defect Segmentation), 다중 클래스 세그멘테이션 (Multi-Class Segmentation), 인공지능 모델 (Artificial Intelligence Model)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: chkim@kopti.re.kr, yonghyun@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00358809).

# 수상태양광 시스템의 운영 신뢰성 확보를 위한 고장 유형 분석

## Analysis of Failure modes in Floating Photovoltaic Systems for Improving Operational Reliability

이지은\*<sup>†</sup>, 조현식\*, 이성현\*, 양동건\*

Jieun Lee\*, Hyunsik Jo\*, Sung Hyun Lee\*, Donggeon Yang\*

\*한국수자원공사

**Abstract :** 수상태양광(Floating Photovoltaic, FPV) 시스템은 기존 육상 태양광 설비에 비해 비교적 최근에 도입된 기술로, 전 세계적인 탈탄소화 및 청정에너지 확대에 중요한 역할을 하고 있다. 태양광 발전의 보급이 확대됨에 따라 수상태양광 시스템의 안정적인 운영과 유지관리의 중요성이 점차 증가하고 있다. 수상태양광 시스템은 부유형 모듈, 지지 구조물, 부력체(pontoon), 수중 케이블 등 육상 태양광과는 다른 추가적인 구성요소를 포함하고 있으며, 이들 구성요소는 수환경에 지속적으로 노출되어 다양한 환경적 영향을 받는다. 이러한 환경적 조건은 생물 부착(biofouling), 부식(corrosion), 파랑에 의한 기계적 마모, 수분 침투(moisture ingress) 등과 같은 고유한 고장 메커니즘을 유발할 수 있으며, 이는 시스템의 성능 저하와 장기적인 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 수상 환경의 특성상 점검, 유지보수 및 수리 작업이 상대적으로 어려워 운영 신뢰성 확보에 추가적인 어려움이 존재한다. 그러나 전 세계적으로 수상태양광 기술의 보급이 확대되고 있음에도 불구하고 실제 운영 경험을 보유한 기관이 제한적이기 때문에 고장 유형 및 대응 전략에 대한 체계적인 이해는 아직 충분하지 않은 상황이다. 따라서 주요 열화 메커니즘을 규명하고 설계, 재료 선정 및 유지관리 전략을 최적화하기 위한 체계적인 연구와 현장 데이터 축적이 필요하다. 본 논문에서는 수상태양광 시스템에서 발생할 수 있는 주요 고장 유형을 분석하고 이를 예방하기 위한 대응 방안을 제시함으로써 수상태양광 시스템의 내구성, 안전성 및 경제성 향상에 기여하고자 한다.

**Key Words :** 수상태양광(Floating Photovoltaic), 운영관리(Operation&Management), 고장(Field Failure), 진단(Diagnosis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jelee@kwater.or.kr

### 후 기

이 논문은 한국수자원공사의 재원을 지원받아 수행된 연구임(No. G250152).

# ECO2 해상도 한계 보완을 위한 양면형 PV의 설치각 · 방위 고해상도 성능 및 민감도 분석

## High-Resolution Performance and Sensitivity Analysis of Bifacial PV by Tilt and Azimuth to Complement ECO2 Resolution Limitations

이준영\*, 김동수\*<sup>†</sup>, 윤종호\*, 김재원\*, 이루다\*, 임한솔\*\*, 유기형\*\*\*

Junyoung Lee\*, Dongsu Kim\*<sup>†</sup>, Jongho Yoon\*, Jaewon Kim\*, Ruda Lee\*,

Hansol Lim\*\*, Kihyung Yu\*\*\*

\*국립한밭대학교 건축공학과, \*\*국립한밭대학교 건축설비시스템공학과,

\*\*\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 최근 양면형 태양광 시스템의 개발 및 적용이 확대되고 있으나, 현재 국내 건물에너지성능평가 틀을 활용한 정량적 분석에는 여전히 한계가 존재한다. 일반 단면형 모듈과 달리, 양면형 태양광 모듈은 전·후면 일사에 동시에 노출되며, 경사각과 방위각뿐 아니라 지면 반사율, 모듈 배열 형상, 이격 높이 등의 요소를 종합적으로 고려해야 발전성능을 합리적으로 평가할 수 있다. 따라서 초기 설계 단계에서 활용 가능한 체계적인 성능 기준을 마련하기 위한 연구가 요구된다. 이에 본 연구는 건물에너지성능평가 틀(ECO2)의 양면형 태양광 시스템 분석 기능과 해상도를 보완하기 위한 기초 데이터를 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 한국 기후 조건에서 양면형 PV의 연간 발전량을 설치각과 방위에 대해 고해상도로 정량화하고, 지면 반사율과 배열 조건을 포함한 민감도 분석을 수행하였다. 특히 이러한 분석을 통해, 실제 설계자가 ECO2 평가 과정에서 반영하기 어려운 다양한 설치 조건과 배열 형상에 따른 발전량 효과를 간접적으로 고려할 수 있는 지역별 성능 기준을 제시하였다. pvlib과 2009-2023년 관측자료 기반 대표 기상연도 데이터인 TMYx를 활용하여 한국 16개 대표 도시의 연간 에너지 생산량을 시뮬레이션하였으며, 경사각 0°-90°와 방위각 0°-360°를 5° 간격으로 변화시키고 알베도 0.2와 0.8 조건을 비교하였다. 또한 다열 배열 조건에서 모듈 하단 이격 높이 0-3 m와 지면피복비를 변화시키는 민감도 분석을 수행하였다. 분석 결과, 알베도를 0.2에서 0.8로 증가시킬 때 모든 도시에서 연간 발전량이 증가했으며 평균 증가량은 368.33 kWh로 나타났다. 최적 설치 조건은 알베도에 따라 변화하여 알베도 0.2에서는 최적 경사각이 30°에 주로 분포한 반면 알베도 0.8에서는 25°로 이동하는 경향을 보였고, 최적 방위각은 남향 부근에 집중되면서 약 165°에서 170°-175° 범위로 소폭 이동하였다. 배열 형상 측면에서는 기존 다열 구성에서 이격 높이가 증가에 따른 발전량 이득이 약 1 m 이후부터 미미하였으며, 지면피복비 증가는 전면 및 후면 배열면 일사량을 일관되게 감소시켰다. 또한 지면피복비에 대한 민감도는 동절기에는 전면, 하절기에는 후면에서 상대적으로 지배적으로 나타났다. 이러한 결과는 ECO2 기반 평가에서 충분히 반영되기 어려운 연속적 설치각·방위 영향과 배열 형상 민감도를 정량적으로 제시하여, 한국 기후 및 도시 조건을 반영한 양면형 PV의 설치 조건 선정에 활용 가능한 참고 기준을 제공한다.

**Key Words :** 양면형 태양광(Bifacial photovoltaic), 설치각(Tilt angle), 방위각(Azimuth angle), 지표면 반사율(Albedo), 지상피복률(Ground Coverage Ratio, GCR)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dongsu.kim@hanbat.ac.kr

### 후 기

이 논문은 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00266248, 건물형 태양광산업 생태계 대응 전문 인력 양성)

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2025-02316198)

# 페로브스카이트를 활용한 우주용 태양전지

## Space Solar Cells Application with Perovskite Materials

김기환\*<sup>†</sup>

Gi-Hwan Kim\*<sup>†</sup>

\*경상국립대학교 신소재공학부 고분자공학전공

**Abstract :** Perovskite solar cells have emerged as promising candidates for next-generation space photovoltaics owing to their tunable bandgap, high defect tolerance, and solution-processable fabrication compatible with lightweight device architectures. In this work, additive engineering is employed as a central strategy to optimize crystal growth, phase distribution, and interface energetics in perovskite thin films, resulting in improved charge transport and significantly reduced non-radiative recombination losses. The additive-assisted materials optimization yields high-efficiency perovskite solar cells with enhanced thermal and environmental stability under conditions relevant to low-Earth-orbit (LEO) space environments. Systematic evaluation of device performance under extreme thermal cycling and continuous illumination demonstrates that the additive-engineered perovskite absorbers exhibit markedly improved tolerance to these harsh operational stresses compared to reference devices. The results highlight the feasibility of perovskite solar cells as lightweight, high-efficiency photovoltaic systems for LEO space applications, offering a compelling alternative to conventional III-V-based space solar cells. This study provides important insights into the design principles for radiation-tolerant and thermally stable perovskite photovoltaics, advancing their potential deployment in CubeSat platforms and other space energy systems.

**Key Words :** 태양전지(Solar cells), 우주용(Space), 페로브스카이트(Perovskite), 안정성(Stability), 고효율(High efficiency)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ghkim@gnu.ac.kr

## All-perovskite Tandem Solar Cells

Gill Sang Han\*<sup>†</sup>

\*Photoenergy Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT)

**Abstract :** All-perovskite tandem solar cells offer a highly promising strategy for overcoming the efficiency limitations of conventional single-junction solar cells, enabling improvements in both power-conversion efficiency (PCE) and weight-specific power. Owing to the exceptional bandgap tunability of halide perovskite materials, it is possible to design an optimized tandem architecture consisting of a wide-bandgap (WBG, ~1.8 eV) top subcell and a narrow-bandgap (NBG, ~1.25 eV) bottom subcell. This combination allows more efficient utilization of the solar spectrum and provides significant potential for next-generation high-performance photovoltaic devices. In this lecture, we will present our recent efforts to develop high-power all-perovskite tandem solar cells, with particular emphasis on material design, device engineering, and performance enhancement strategies. In addition, several recent and noteworthy results on all-perovskite tandem solar modules will be briefly introduced to highlight their progress and future potential for practical applications.

**Key Words :** All-perovskite tandem solar cells, Bandgap tunability, Weight-specific power, Power conversion efficiency,

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: gshan@kRICT.re.kr

PVE-O-7

# 건물 에너지 시나리오 기반 자립률 및 경제성 분석

## Analysis of Energy Independence Rate and Economic Feasibility Based on Building Energy Scenarios

홍성협\*, 신지현\*, 문지훈\*, 송수원\*<sup>†</sup>

Sunghyup Hong\*, Jihyun Shin\*, Jihoon Moon\*, Suwon Song\*<sup>†</sup>

\*한국건설기술연구원

**Abstract :** 탄소중립 실현과 건물부문의 에너지 효율 향상에 대한 요구가 증가함에 따라, 건물의 에너지 소비 특성과 신재생에너지 생산 특성을 통합적으로 분석하여 최적 운영방안을 도출하는 연구의 중요성이 커지고 있다. 특히 공공건축물은 에너지 절감과 신재생에너지 활용의 실증적 모델로서 활용 가능성이 높아, 실측 데이터를 기반으로 한 운영 시나리오 평가가 필요하다. 이에 본 연구에서는 서울시에 위치한 E센터를 대상으로 건물의 에너지 사용량과 태양광 발전량 데이터를 수집·분석하고, 이를 바탕으로 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 기반 예측모델을 구축하였다. 구축된 모델은 기상조건 및 시간정보와 과거 에너지 사용 패턴, 태양광 생산 패턴을 입력변수로 활용하여 대상 건물의 에너지 수요 및 태양광 발전량을 예측하도록 구성하였다. 또한 예측 결과를 기반으로 운영조건 및 에너지 활용방식에 따른 복수의 시나리오를 설정하고, 각 시나리오별 에너지자립률과 전력구입량, 전기요금 및 절감효과를 비교·평가하였다. 이를 통해 서울에너지드림센터에 적용 가능한 우수 시나리오를 선정하고, 예측기반 에너지 운영전략이 건물의 자립성 및 경제성 향상에 미치는 영향을 정량적으로 제시하고자 한다. 본 연구는 실측 데이터와 예측기법을 연계한 건물 에너지 운영 의사결정 방법론을 제안한다는 점에서 의의가 있다.

**Key Words :** 인공신경망(ANN), 태양광 발전량(Photovoltaic generation), 에너지자립률(Energy independence rate), 경제성 평가(Economic feasibility)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: swsong@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 20260240-001).

# 저탄소 태양광 모듈을 위한 비불소계 투명 백시트

## Fluorine-Free Transparent Backsheets for Low-Carbon Footprint Photovoltaic Modules

권다영\*, 박예랑\*, 한재익\*, 박노창\*, 배수현\*\*, 김경수\*\*, 어영주\*\*, 강기환\*\*, 이용환\*<sup>†</sup>  
 Dayoung Kwon\*, Yerang Park\*, Jae-ik Han\*, Nochang Park\*, Soohyun Bae\*\*,  
 Kyung-Soo Kim\*\*, Young-Joo Eo\*\*, Gi-Hwan Kang\*\*, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>  
 \*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터, \*\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** Fluorine-free transparent photovoltaic backsheets were fabricated by dip-coating polyethylene terephthalate (PET) films with perhydropolysilazane (PHPS), which was subsequently transformed into a SiOxNy-based inorganic coating layer on the PET surface. Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy verified the formation of Si-O, Si-N, and Si-OH bonds, demonstrating the effective conversion of the PHPS precursor into a stable SiOxNy network. UV-Vis spectroscopy showed that the coated films preserved high optical transmittance (>88%), confirming their optical suitability for transparent photovoltaic backsheet applications. Water vapor transmission rate (WVTR) analysis revealed a significant decrease in moisture permeability (<2 g/m<sup>2</sup>·day) compared with bare PET films, while adhesion evaluations indicated strong interfacial bonding between the SiOxNy-coated PET film and the encapsulant. Moreover, even after accelerated aging under pressure cooker test (PCT) conditions and UV exposure, the films maintained high transparency and excellent moisture barrier properties, demonstrating their durability and environmental reliability. Overall, these findings suggest that SiOxNy-coated PET films provide a sustainable, transparent, and high-performance alternative to conventional fluorine-based backsheets for low-carbon photovoltaic modules.

**Key Words :** 저탄소 소재(low-carbon material), 태양광 모듈(photovoltaic module), 비불소계(fluorine-free), 투명 백시트(transparent backsheet)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ylee@keti.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통산자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. RS-2023-00303745).

# 태양광 블라인드의 슬랫 및 프레임 음영에 따른 출력 저하 특성의 실험적 평가

## Experimental Analysis of Power Loss caused by Slat-to-slat and Frame Shading in Photovoltaic Blinds

김재원\*, 이루다\*, 이준영\*, 윤경\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>  
Jaewon Kim\*, Ruda Lee\*, Junyoung Lee\*, Gyeong Yun\*,  
Dongsu Kim\*, Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

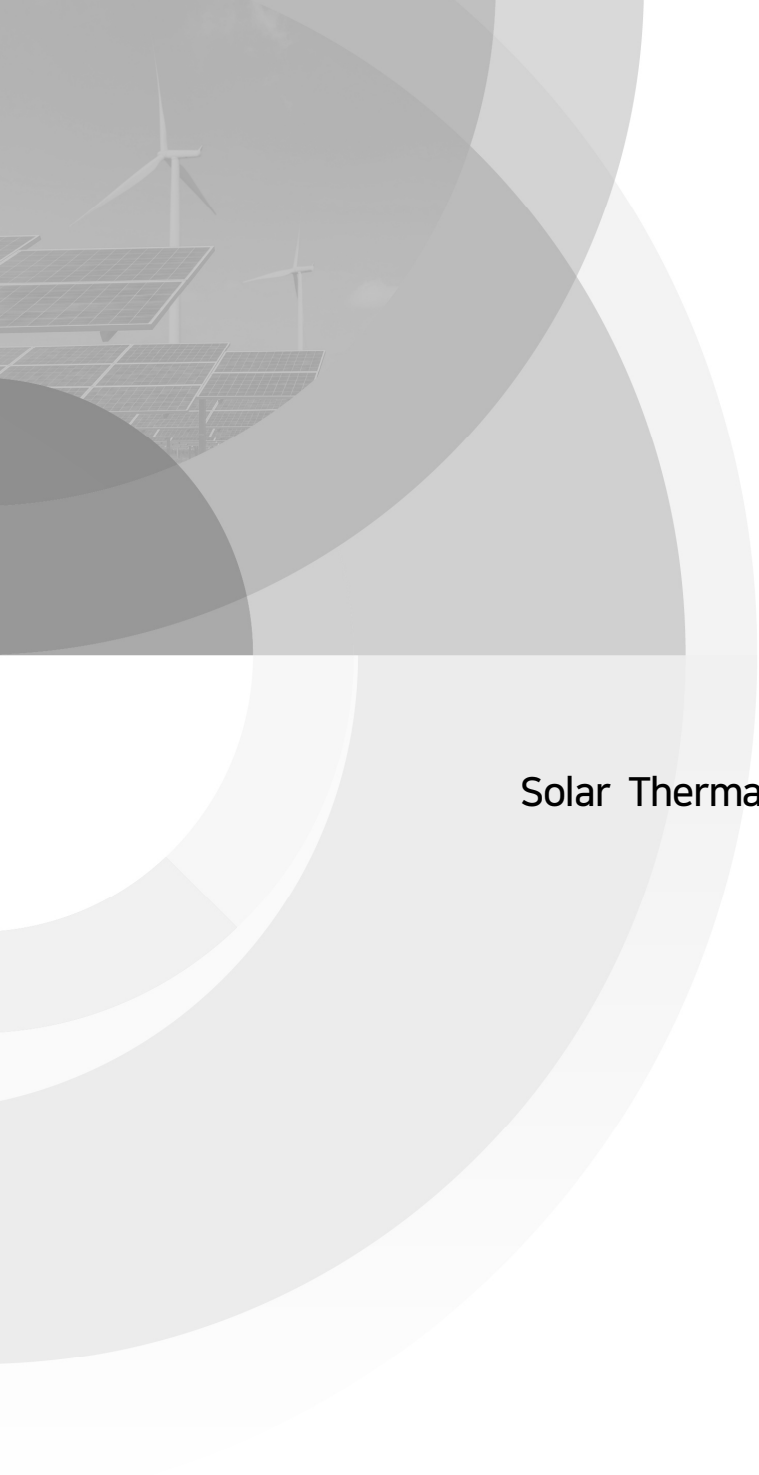
**Abstract :** 최근 공동주택의 실외기실 개구부에 태양광 블라인드(Photovoltaic blinds)를 설치하여 태양광 설비의 적용 면적을 확대하려는 시도가 이루어지고 있다. 각도 조절이 가능한 태양광 블라인드는 기존 입면에 고정 설치되는 태양광 시스템에 비해 태양 입사각에 능동적으로 대응할 수 있어 발전 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 실제 적용되는 태양광 블라인드 시스템은 상단 슬랫에 의해 발생하는 음영과 상부 및 측면 프레임에 의해 형성되는 구조적 음영의 영향으로 인해 발전 성능이 저하되는 문제가 있다. 이러한 구조적 음영은 태양광 모듈의 유효 수광 면적을 감소시켜 발전량 감소를 유발할 수 있음에도 불구하고, 슬랫 간 상호 음영 및 프레임 음영이 발전 성능에 미치는 영향을 실험적으로 규명한 연구는 아직 제한적인 실정이다. 이에 본 연구에서는 태양광 블라인드에서 발생하는 슬랫 간 음영 및 프레임 음영이 발전 성능에 미치는 영향을 실험적으로 평가하고자 하였다. 실험은 야외 태양광 시험시설에서 1월부터 3월까지 수행되었으며, 상단 슬랫의 존재 여부, 슬랫 각도(0°, 30°, 90°), 그리고 프레임 존재 여부를 주요 변수로 설정하였다. 이에 따라 총 12가지 실험 조건을 구성하고 각 조건에서 발생하는 음영 영향과 발전 성능 변화를 비교·분석하였다. 분석 결과, 프레임이 없는 조건에서는 상단과 하단 슬랫 모듈 간 발전량 차이가 대체로 약 3~24% 범위에서 나타났으며, 태양 고도가 증가하는 시기로 갈수록 그 차이가 확대되는 경향을 보였다. 반면 프레임이 존재하는 조건에서는 슬랫 간 음영 영향이 더욱 크게 나타나 상단과 하단 모듈 간 발전량 차이가 최대 약 60%까지 증가하는 것으로 확인되었다. 특히 일부 조건에서는 초기 기간에 두 모듈 간 차이가 거의 나타나지 않았으나, 태양 고도가 높아지는 시기에는 약 20~35% 수준까지 증가하는 경향이 관찰되었다. 이러한 결과는 태양광 블라인드 시스템에서 슬랫 간 음영뿐만 아니라 프레임에 의해 발생하는 구조적 음영이 발전 성능에 상당한 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 따라서 태양광 블라인드의 설계 및 적용 과정에서는 슬랫 배치, 각도 제어, 그리고 프레임 구조에 따른 음영 영향을 최소화할 수 있는 설계 전략을 고려할 필요가 있음을 시사한다.

**Key Words :** 태양광 블라인드(Photovoltaic blinds), 음영 영향(Shading effect), 실험 기반 성능 평가(Experimental performance evaluation), 발전 성능 저하(Power performance degradation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2025-02316198)



# Oral Session

태양열융합

Solar Thermal Convergence (STC) Session



STC-O-1

# 실증 데이터 기반 산업용 태양열 히트펌프 시스템 성능평가

## Performance Evaluation of Solar Thermal Heat Pump System for Industrial Applications based on Demonstration Data

권시은<sup>\*,\*\*</sup>, 임병주<sup>\*\*</sup>, 이가람<sup>\*\*</sup>, 박창대<sup>\*,\*\*†</sup>

Si-Eun Kwon<sup>\*,\*\*</sup>, Byung-Ju Lim<sup>\*\*</sup>, Ga-Ram Lee<sup>\*\*</sup>, Chang-Dae Park<sup>\*,\*\*†</sup>

\*과학기술연합대학원대학교(UST) 융합기계시스템학과, \*\*한국기계연구원(KIMM)

**Abstract :** 산업 부문의 탈탄소화를 위해 히트펌프는 핵심 기술로 부상하고 있으며, 유럽에서는 건물·산업·산업분야 사용 열의 50% 이상을 히트펌프로 전환하는 목표가 제시되고 있다. 이에 태양열로 히트펌프의 열원을 공급하는 태양열 히트펌프 시스템이 건물 및 산업 분야를 중심으로 활발히 연구되고 있으나, 국내 산업공정에 적용된 사례에 대한 실증 기반 성능 분석은 아직 충분히 이루어지지 않은 상황이다. 따라서 본 연구에서는 산업공정 열 공급을 목적으로 설치 및 운영 중인 태양열 히트펌프 시스템의 실증 운전 데이터를 평일·주말 및 계절별로 비교 분석하였다. 이를 통해 계절별 태양에너지 기여율 등 주요 성능 지표를 평가하여, 향후 태양열 히트펌프 시스템의 실용화 및 보급 확대를 위한 성능 정보를 제시하고자 한다.

**Key Words :** 태양열 에너지(Solar thermal energy), 산업공정(Industrial process), 열 공급(Thermal energy supply), 히트 펌프(Heat pump), 실증연구(Field Demonstration)

† Corresponding author, E-mail: parkcdae@kimm.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00419184, RS-2022-0810100020).

# 열에너지 저장 연계 건물 에너지 운영 문제에서 양자 영감 기반 이산 스케줄링 탐색 구조 분석

## Analysis of a Quantum-Inspired Exploration Framework for Discrete Scheduling in Building Energy Operation with Thermal Energy Storage

전병기\*<sup>†</sup>, 김종규\*, 허재혁\*, 주홍진\*, 김득원\*, 이왕제\*  
ByungKi Jeon\*<sup>†</sup>, JongKyu Kim\*, JaeHyeok Heo\*,  
HongJIn Joo\*, DeukWon Kim\*, WangJe Lee\*  
\*한국에너지기술연구원 신재생시스템 연구실

**Abstract :** 건물 에너지 시스템의 효율적 운영을 위해서는 시간에 따라 변화하는 부하, 전력 요금, 열저장 상태 등을 동시에 고려한 운영 전략 수립이 필요하다. 특히 히트펌프와 열에너지저장시스템이 결합된 시스템에서는 시간대별 운전 결정이 이후 상태에 영향을 미치는 시간 결합 이산 스케줄링 문제가 발생한다. 이러한 문제는 제어 변수의 조합 수가 급격히 증가하기 때문에 기존 휴리스틱 기반 최적화 기법에서 탐색 편향 또는 계산 부담이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 건물 냉방 시스템을 대상으로 시간 결합 이산 스케줄링 문제를 정의하고, 양자 영감 기반 탐색 알고리즘인 QAOA-inspired 접근법의 적용 가능성을 분석하였다. 단일 존 건물 모델과 히트펌프 및 TES가 결합된 시스템을 대상으로 시뮬레이션 환경을 구성하고, 시간대별 히트펌프 운전 상태를 이산 제어 변수로 설정하였다. 또한 기존 탐색 방법인 Grid Search 및 Particle Swarm Optimization(PSO)과 비교하여 알고리즘의 탐색 특성과 계산 성능을 분석하였다. 분석 결과, 단순 문제에서는 모든 알고리즘이 유사한 최적 운전 해에 수렴하였으나 시스템 규모와 시간 결합 특성이 증가하는 확장 문제에서는 탐색 특성에 차이가 나타났다. 특히 QAOA-inspired 접근법은 비용-쾌적도 공간 전반에 걸친 탐색을 유지하며 다양한 Pareto 해를 안정적으로 도출하는 특성을 보였다. 이러한 결과는 확률적 중첩 기반 탐색 구조가 시간 결합 이산 스케줄링 문제에서 전역 탐색 능력을 유지하는 데 기여할 수 있음을 시사한다. 본 연구에서 제시한 접근법은 특정 열원 기술에 국한되지 않으며, 향후 태양열, 수열 등 다양한 재생열 기반 건물 에너지 시스템의 운영 최적화 문제로 확장 적용될 수 있다.

**Key Words :** 열에너지 저장 (Thermal Energy Storage), 건물에너지 운영(Building Energy Operation), 이산 스케줄링 (Discrete Scheduling), 양자영감 최적화 (Quantum-Inspired Optimization)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: bgjeon@kier.re.kr

### 후 기

이 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-02213307)

# 태양광열 시스템용 상변화물질 적용 축열조의 실험적 성능 분석

## Experimental Performance Analysis of Phase Change Materials based Thermal Energy System for Photovoltaic Thermal System

신예빈<sup>\*\*\*</sup>, 최원종<sup>\*\*\*</sup>, 이헌민<sup>\*\*\*</sup>, 김득원<sup>\*</sup>, 정재원<sup>\*\*</sup>, 김민휘<sup>†</sup>,  
Ye-Bin Shin<sup>\*\*\*</sup>, Won-Jong Choi<sup>\*\*\*</sup>, Heon-Min Lee<sup>\*\*\*</sup>, Deuk-Won Kim<sup>\*</sup>,  
Jae-Weon Jeong<sup>\*\*</sup>, Min-Hwi Kim<sup>†</sup>,

\*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, \*\*한양대학교 건축공학과

**Abstract :** 태양광열(Photovoltaic thermal system, PVT) 시스템은 건물에 설치하여 전기와 열을 동시에 생산할 수 있다. 이를 공동주택과 같은 실생활에 적용할 때는 축열조 설치 공간이 제한적이어서, 축열조의 소형화가 필수적이다. 이에 따라 본 연구는 한국에너지기술연구원의 KePSH-2 건물에 설치된 PVT에 수축열조가 설치된 환경에서 잠열로 열을 저장하여 단위부피 당 높은 열 저장 성능을 가진 PCM(phase change material)을 적용한 PCM 기반 축열조를 추가로 설치하여, WTES와의 성능을 비교했다. 실제 PVT 운영 시스템에서 PVT의 집열량이 실시간으로 변하는 환경에서 저장용량이 500L의 수축열조와 각 11.51L, 7.71L인 두 종류의 PCM 기반 축열조를 설치하여 축열량의 변화를 관찰했다. 2025년 4월 18일부터 6월 30일까지 3개월에 걸쳐 실험이 진행되었으며, PVT 모듈을 통해 집열된 열을 수축열조와 PCM 기반의 축열조와 상호 비교하여 축열 밀도를 포함한 축열조의 실제 운영 성능을 평가했다. 그 결과, PCM CASE 1의 평균 축열 밀도는 14.1 kWh/m<sup>3</sup>, 수축열조는 18.7kWh/m<sup>3</sup>로 TES 축열조가 PCM에 비해 단위부피 당 24.6% 더 많은 열을 저장할 수 있는 것으로 분석되었다. PCM CASE 2는 PCM CASE 1 대비 높은 축열밀도를 얻을 수 있도록, 내부 배관 구성 및 갯수를 수정하여 구성하였다. 그 결과, PCM CASE 2의 축열 밀도는 47.4 kWh/m<sup>3</sup>로 수축열조 대비 153.4% 높은 축열 성능 가지는 것으로 분석되었다. 본 실험을 통해, PCM 축열조가 높은 축열 밀도를 확보하기 위해서는 PCM 자체의 특성뿐만 아니라, 이에 최적화된 내부 설계 개선이 필수적임을 확인할 수 있었다.

**Key Words :** PCM(Phase change materials), PVT(photovoltaic Thermal system), WTES(Water based thermal energy system)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mhkim001@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2023년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(과제번호 : RS-2023-00236325)의 지원과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 RS-2025-02316198)의 지원으로 수행되었음

STC-O-4

# 건물일체형 태양광열시스템의 전력 및 열 생산 성능 예측 모델 비교

## Comparison of Predictive Models for Electrical and Thermal Energy Production Performance of Building-integrated Photovoltaic Thermal System

이헌민<sup>\*\*\*</sup>, 신예빈<sup>\*\*\*</sup>, 전병기<sup>\*</sup>, 김종규<sup>\*</sup>, 정재원<sup>\*\*</sup>, 김민휘<sup>\*†</sup>,  
Heon-Min Lee<sup>\*\*\*</sup>, Ye-Bin Shin<sup>\*\*\*</sup>, ByungKi Jeon<sup>\*</sup>, Jongkyu Kim<sup>\*</sup>,  
Jae-Weon Jeong<sup>\*\*</sup>, Min-Hwi Kim<sup>\*†</sup>,

\*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, \*\*한양대학교 건축공학과

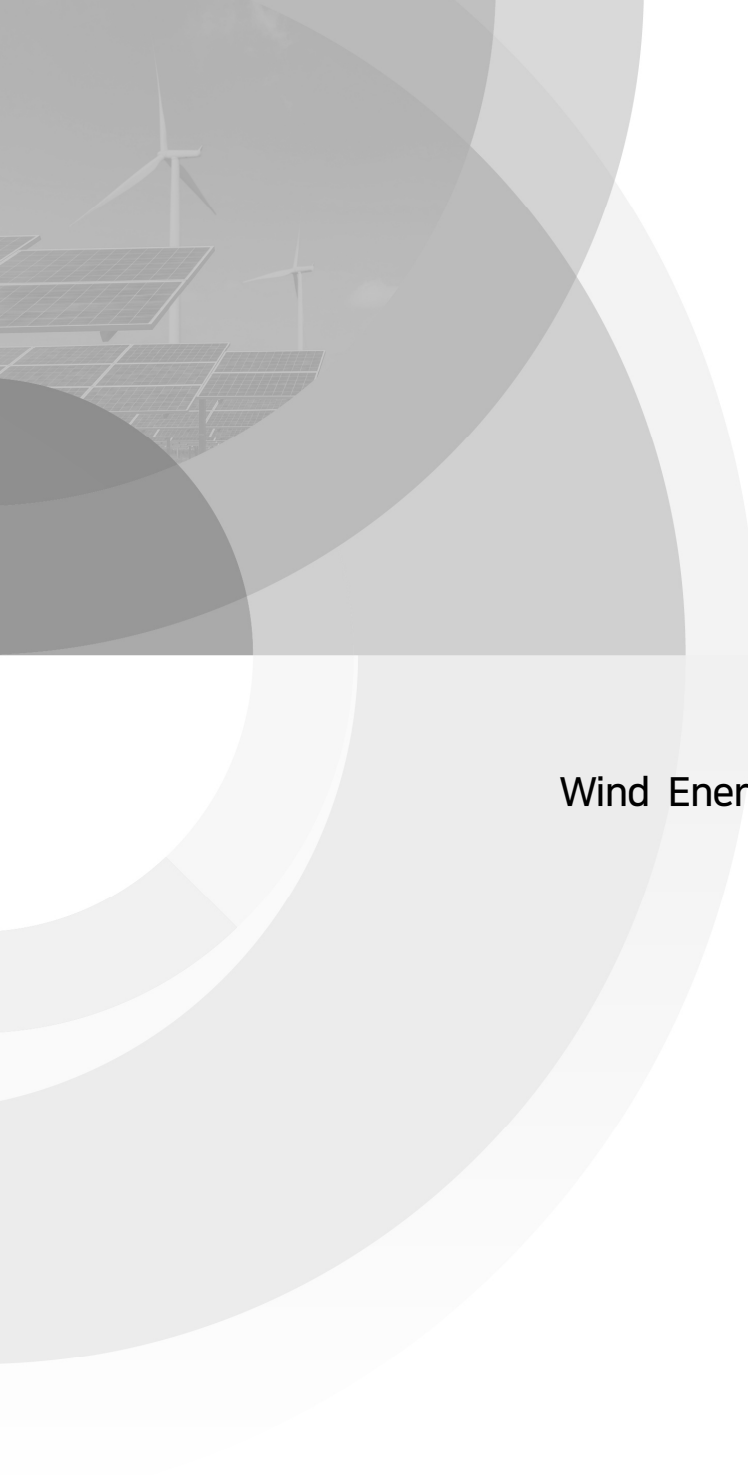
**Abstract :** 본 연구는 프레임리스 커튼월형 액체식 건물일체형 태양광열(BIPVT, Building-integrated photovoltaic thermal)시스템을 대상으로 전력 및 열에너지 생산 성능에 대한 실험 분석과 실험을 기반으로한 예측 모델 개발을 수행하였다. 실험은 대전광역시에 위치한 한국에너지기술연구원의 KePSH-1에서 총 8개의 모듈을 설치해 2025년 9월 1일부터 11월 8일까지 수행되었다. 전력 생산 성능은 인버터를 통해 발전량을 측정하였으며, 열생산 성능은 유체의 입출수 온도 및 유량을 측정하여 분석하였다. BIPVT 시스템의 발전량을 예측하기 위한 모델로 NOCT 기반 선형 셀 온도 모델을 포함하여, Faiman, Sandia 등 다양한 모델을 비교 분석하였다. 집열량을 예측하기 위해 무손실 효율과 1차 열손실계수를 적용한 Hottel-Whillier 모델과 F-Chart 모델을 비교 분석하였다. 또한, 본 연구에서는 발전량과 집열량을 동시 예측하기 위해 BIPVT 모듈의 다층 구조와 관-유체 간 열교환을 반영한 열전달 메커니즘을 활용한 물리 기반 모델을 제안하였다. 그 결과, 제안된 물리 기반 모델은 전체 기간 누적 발전량과 집열량 예측에서 각각 -0.5%와 3.4%의 오차를 보였으며, 예측 출수 온도는 0.96의 R<sup>2</sup> 값을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 BIPVT 시스템에서 발전과 집열의 동시 성능 예측 시, 다층 전도와 관-유체 열전달을 물리적으로 반영하는 접근이 기존 경험식 기반 모델보다 더 높은 예측 정확도를 제공할 수 있음을 의미한다. 검증된 결과는 향후 BIPVT 시스템을 건물에 적용 시 발전량 및 집열량 예측, 시스템 용량 산정, 에너지 자립률 분석을 위한 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words :** BIPVT(Building Integrated Photovoltaic Thermal), Predictive modeling, Physics-based model, Heat transfer mechanism, Performance analysis

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mhkim001@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2023년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(과제번호 : RS-2023-00236325)의 지원과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 RS-2025-02316198)의 지원으로 수행되었음



# Oral Session

풍력에너지

Wind Energy Conversion (WEC) Session



# 해상풍력 특별법 하위법령 제정을 통한 체계적 절차 마련과 주요 이슈 현황

## Establishment of Systematic Procedures and Status of Major Issues through the Enactment of Sub-laws of the Special Act on Offshore Wind Power

성진기\*<sup>†</sup>

Jin Ki Sung\*<sup>†</sup>

\*한국풍력산업협회

**Abstract :** 정부는 2025년3월26일 제정되어 2026년3월26일 시행되는 해상풍력 보급촉진 및 육성에 관한 특별법의 하위법령(시행령, 시행규칙)을 2026년3월24일 제정하였다. 하위법령의 제정을 통해 기존 해상풍력 추진 방식의 구조적 한계를 극복하고 정부 주도의 계획입지제도 도입을 통해 체계적이고 계획적인 해상풍력 입지를 발굴하고자 제정하였다. 하위법령은 예비지구 지정, 기본설계 수립 확정, 발전지구 지정 및 사업자 선정, 실시계획의 승인 및 사전 환경성 평가, 공사계획 인가 등에 관한 세부적인 내용과 절차를 담았다. 하위법령 시행에 따라 예비지구 지정은 정부 주도하에 입지 적정성에 대한 사전 검증이 가능하여 사업 초기 불확실성 감소가 기대된다. 또한 지자체 주도의 민관 협의회 구성 운영을 통해 주민 수용성 확보와 절차적 정당성 강화를 통해 어업 갈등, 지역 민원의 조기 조정 그리고 해상풍력과 수산업의 상생 기반 마련이 기대된다. 다만, 입지적정성, 환경성 및 수용성을 기존 법률에 따라 진행 되어온 104개소 35GW규모의 기존 발전사업자를 어떻게 정부 주도 사업으로 편입을 시킬 수 있을지 그리고 편입할 경우 편입 기준에 대한 세밀한 논의가 필요한 상황이다. 정부는 2026년3월26일부터 법령의 본격적인 운영을 위해 해상풍력발전위원회 및 실무위원회의 구성, 예비지구 후보지 발굴, 환경성 평가 세부 기준 마련 등 후속 조치에 착수하였다. 기존 사업자 편입, 입지 적정성, 환경성 평가 등에 대해서 기후환경부의 고시로 제도화를 준비하고 있으며, 이에 대한 해상풍력 산업계의 다양한 의견 수렴이 필요한 시점이다.

**Key Words :** 해상풍력특별법(Special act on offshore wind power), 특별법 하위법령(Sub-laws of the special act on offshore wind power), 입지발굴(Excavation of a location), 예비지구(Reserve district), 기본설계(Basic design), 발전지구(Power generation district), 실시계획(Implementation plan), 기존 사업자 편입(Incorporation of existing business operators)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: windpower@kweia.or.kr

# 관측자료 기반 재분석 및 수치모델 자료의 원해 해상 풍속 재현성 평가

## Observation-Based Evaluation of the Reproducibility of Offshore Wind Speed in Reanalysis and Numerical Model Datasets

오동건\*, 이민규\*, 김진영\*<sup>†</sup>, 김창기\*

Donggun Oh\*, Minkyu Lee\*, Jin-Young Kim\*<sup>†</sup>, Chang Ki Kim\*

\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실

**Abstract :** Accurate representation of offshore wind characteristics is essential for reliable offshore wind resource assessment. This study evaluates the reproducibility of offshore wind speed in reanalysis and numerical model datasets by comparison with observations from the Sinan-Gageocho Ocean Research Station and the Ongjin-Socheongcho Ocean Research Station around the Korean seas. The analyzed datasets include ERA5 reanalysis data, the dynamically downscaled wind dataset produced by the Korea Institute of Energy Research (KIER) using the WRF model, and the reconstructed wind field generated by the Korea Meteorological Administration (KMA) using numerical model data and observation-based data assimilation. The analysis was conducted for the period from September to December 2024, during which all datasets were available.

The evaluation was performed using statistical indicators including mean wind speed, the wind power density proxy  $E[U^3]$ , probability density functions, Wasserstein distance, and upper quantile statistics. The results show that the KIER dataset reproduced offshore wind speed more consistently than the KMA and ERA5 datasets in most comparisons. In particular, the KIER dataset showed better agreement with observations in terms of mean wind speed, wind speed distribution, and high-wind quantiles, whereas ERA5 tended to underestimate high-wind conditions. These results highlight the importance of observation-based evaluation and suggest that dynamically downscaled high-resolution wind datasets can provide more reliable information for offshore wind resource assessment in offshore regions.

**Key Words :** 풍력 자원 평가(Wind Resource Assessment), 해상 풍력(Offshore Wind Power), 바람 지도(Wind Map), 수치 기상 예보 모델(Numerical Weather Prediction Model), 풍속 분포(Wind Speed Distribution), 풍속 재현성(Wind Speed Reproducibility)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jinyoung.kim@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-202300301792)

# 격자 볼츠만 기반 CFD를 활용한 복잡지형 풍력단지 유동장 및 풍황 해석 기법 개발

## Development of a Lattice Boltzmann-Based CFD Method for Wind Resource Assessment in Complex-Terrain Wind Farms

김용욱\*<sup>†</sup>, 김현규\*, 팽충\*\*, 소만 닉힐\*\*

Yong-Yook Kim\*<sup>†</sup>, Hyungyu Kim\*, Chong Peng\*\*, Nikhil Soman\*\*

\*고등기술연구원 그린시스템인텔리전스센터, \*\*Engineering Software Steyr

**Abstract :** 본 연구는 중소-중견기업의 기술개발 방법을 혁신적으로 개선하기 위하여 오스트리아 ESS사의 리드로 AUDI와 그 외 7개 기관이 연구개발을 진행하고 있는 비용을 낮춘 클라우드 기반 CFD 해석 플랫폼 개발 프로젝트에 참여하여 국내의 풍력 분야의 중소-중견기업의 인력과 예산 등 제한된 개발 환경에서도 전문적인 결과를 얻는 데 유용하게 사용할 수 있는 프레임워크를 함께 개발하고자 하는 연구로서, 산악지형 육상풍력단지에서의 난류강도(turbulence intensity, TI)와 후류 상호작용을 해석하기 위하여 격자 볼츠만 기법(Lattice Boltzmann Method, LBM) 기반의 CFD 프레임워크를 개발하였다. 기존 Navier-Stokes 방정식 기반 CFD 기법은 복잡지형 및 대규모 풍력단지 해석에서 높은 계산비용과 격자 생성의 어려움이 있으나, LBM은 GPU 가속 기반의 높은 병렬 효율성과 계산 속도를 바탕으로 고해상도 비정상 유동 해석에 유리한 대안이 될 수 있다. 본 연구에서는 D3Q19 격자 구조와 Smagorinsky 아격자 모델을 적용한 LBM 해석기법을 이용하여 복잡지형 풍력단지의 유동장과 난류강도를 예측하였으며, 국내 풍력단지 지형 및 운전 조건을 반영한 해석을 수행하였다. 해석 결과, 주요 유동 박리와 전단층 발달 특성을 합리적으로 재현하였고, 여러 관측 지점에서의 난류강도 분포 또한 전반적으로 실측 경향과 양호한 일치를 보였다. 또한 상용 CFD 소프트웨어인 WindSim과의 비교를 통해 개발된 LBM 해석기의 적용 가능성과 신뢰성을 확인하였다. 나아가 본 TI 해석 모듈은 COA-CFD 클라우드 플랫폼에 통합되어 전처리, 계산, 후처리의 자동화를 지원함으로써 풍력단지 배치 최적화와 운영 모니터링을 위한 차세대 해석 기반으로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다.

**Key Words :** 풍력발전(Wind energy), 난류 강도(Turbulence intensity), 해상풍력(Offshore wind energy), 격자 볼츠만 기법(Lattice-Boltzmann Method), 파티클 기법(Particle method)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: yongy.kim350@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT) 산업기술국제협력사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : P0026321)

# WindSim 기반 복잡지형 풍력단지 AEP 예측에서 지표거칠기의 영향 검토

## Assessment of Surface Roughness Length Effects on AEP Prediction for Wind Farm in Complex Terrain

김현규\*<sup>†</sup>, 김용욱\*

Hyungyu Kim\*<sup>†</sup>, Yongyook Kim\*

\*고등기술연구원 그린시스템융합센터

**Abstract :** 본 연구는 LBM(Lattice Boltzmann Method) 기반 CFD 솔버의 복잡지형 풍력자원 해석 결과 검증에 위한 레퍼런스 데이터 생성을 목적으로 수행되었다. 레퍼런스 데이터 생성에는 상용 풍력자원 해석 프로그램인 WindSim이 활용되었으며, 지표거칠기(Surface Roughness) 미적용 조건에서 해석을 수행하였다. 해석 결과의 신뢰성 평가는 지형 복잡도가 높은 국내 운영 중인 풍력단지의 SCADA 실측 발전량 데이터와의 비교를 통해 수행되었다. 지표거칠기 미적용 조건에서의 AEP 예측 정확도를 확인하였으며, 이를 통해 해당 결과의 LBM 기반 CFD 솔버 검증용 레퍼런스 데이터로서의 활용 가능성을 검토하였다.

**Key Words :** 풍력자원 해석(Wind Resource Assessment), 지표거칠기(Surface Roughness), 복잡지형(Complex Terrain), 연간발전량(Annual Energy Production), 격자 볼츠만 기법(Lattice Boltzmann Method)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: khg@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “국제공동기술개발사업(P0026321\_클라우드 기반 CFD 응용 플랫폼 및 에너지-수자원 분야 서비스 개발(2023))”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.(과제번호 : P0026321).

# 해외 사례조사를 통한 풍력발전단지 리파워링시 지지구조물 재사용 가능성 검토

## Feasibility of Support Structure Reuse in Wind Farm Repowering Based on International Cases

김문옥\*, 김종화\*\*†, 이규석\*, 김범식\*, 정용일\*

Moonok Kim\*, Jonghwa Kim\*\*†, Kyusuk Lee\*, Beomsik Kim\*, Yongil Jung\*

\*(주)스펙엔지니어링와이엔피 기술연구소, \*\*고등기술연구원 그린시스템/인텔리전스센터

**Abstract :** 전 세계적으로 육상풍력발전단지의 노후화가 진행됨에 따라 설계수명에 도달한 풍력터빈의 리파워링 및 해체 수요가 증가하고 있다. 이 과정에서 기존 풍력터빈의 타워와 기초를 포함한 지지구조물의 재사용 여부는 사업성, 시공성 및 환경성에 직접적인 영향을 미치는 핵심 요소이다. 본 연구에서는 해외 풍력발전단지의 리파워링 및 지지구조물 재사용 사례를 조사하고, 이를 바탕으로 지지구조물 재사용의 가능성과 적용성을 검토하였다.

조사 결과, 유럽은 리파워링 확대와 함께 일부 프로젝트에서 기존 타워 및 기초를 재사용한 사례가 확인되었으며, 미국은 제도적 인센티브를 기반으로 기존 지지구조물을 활용한 부분 리파워링이 활발히 적용되고 있는 것으로 나타났다. 이는 지지구조물 재사용이 개념적 수준에 머무르지 않고 실제 사업에 적용 가능한 전략임을 보여준다. 다만 재사용의 적용성은 구조물의 잔존수명, 피로하중, 구조건전성, 보강 필요성 및 경제성 검토를 전제로 판단되어야 한다. 특히 구조상태가 양호하고 하중 증가폭이 제한적인 경우, 지지구조물 재사용은 신규 건설 및 철거 대비 비용 절감, 공기 단축, 폐기물 저감 측면에서 유리한 대안이 될 수 있다. 따라서 풍력발전단지 리파워링에서 지지구조물 재사용은 조건부로 적용성이 높은 현실적 전략이며, 향후 국내 리파워링 추진 시 유의미한 대안으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

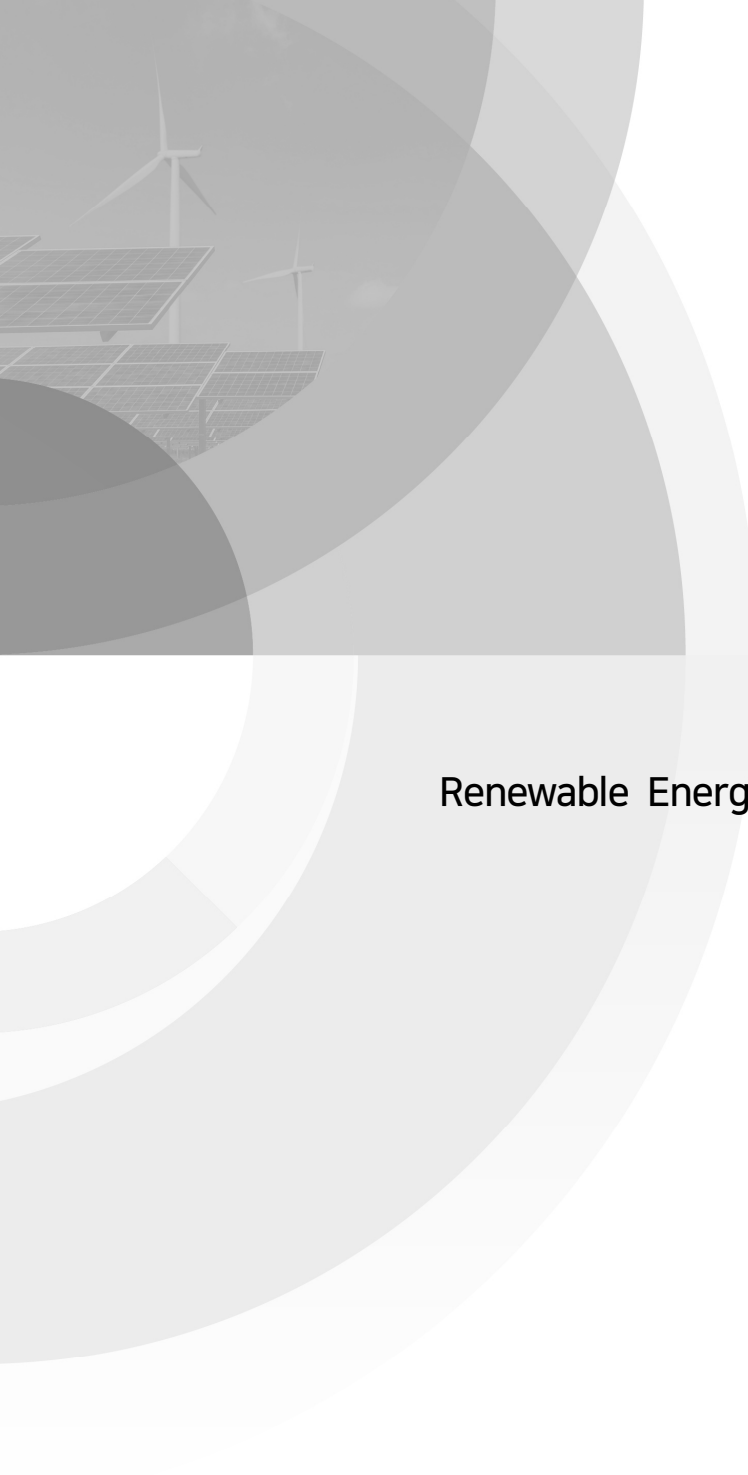
**Key Words :** 풍력발전단지 리파워링(Wind farm repowering), 지지구조물 재사용(Support structure reuse), 부분 리파워링(Partial repowering), 구조건전성 평가(Structural integrity assessment)

† Corresponding author, E-mail: jh.kim@iae.re.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 중소벤처기업부/중소기업기술정보진흥원(과제번호 : RS-2025-02362982) 및 2024년도 산업통상자원부/한국산업기술진흥원(과제번호 : P0027945)의 지원으로 수행되었습니다.





# Oral Session

신재생융합

Renewable Energy Convergence (REC) Session



# 박공지붕에 설치된 서향 양면형 PV 시스템의 설치 조건에 따른 발전 성능 분석

## Power Generation Performance Analysis of West Oriented Bifacial PV Systems on Gable Roofs under Different Installation

김하영\*, 장준원\*, 김진희\*\*, 김준태\*\*\*†

Hayoung Kim\*, Junwon Jang\*, Jinhee Kim\*\*, Juntae Kim\*\*\*†

\*국립공주대학교 에너지시스템공학과, \*\*국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

\*\*\*국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

**Abstract :** 전 세계적으로 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 태양광 발전의 보급이 확대되고 있다. 그러나 태양광 발전 시스템은 일사량과 기온 등 다양한 외부 환경 조건의 영향을 받아 출력 변동성이 크며, 설치 비중이 증가할수록 전력 계통의 안정성에 영향을 준다. 특히 국내 태양광 발전 시스템은 발전량 극대화를 위해 대부분 정남향으로 설치되어 발전량이 정오 시간대에 집중되는 경향이 나타난다. 이에 따라 발전 시간대의 집중을 완화할 수 있는 동·서향 PV 시스템에 관한 관심이 증가하고 있으며, 최근 건물 지붕에서는 심미성 확보를 위해 박공지붕과 동일한 경사각을 갖는 동·서향 설치 사례가 증가하고 있다. 그러나 기존 연구는 주로 평지붕에 설치된 양면형 PV 시스템을 중심으로 수행되어 왔으며, 박공지붕 조건에서의 발전 성능을 분석한 연구는 부족한 실정이다. 또한 양면형 PV 모듈은 전·후면에서 입사하는 일사량을 모두 활용할 수 있어 설치 조건에 따라 발전 성능이 크게 달라질 수 있다.

이에 본 연구에서는 옥외 실험을 통해 박공지붕에 설치된 서향 양면형 PV 시스템의 설치 조건에 따른 발전 특성을 분석하였다. 지붕면 알베도, 모듈 간 이격거리, 모듈-지붕면 이격거리를 변수로 설정하고 전·후면 입사 일사량과 모듈 발전 특성을 측정하여 성능 변화를 비교 분석하였다. 분석 결과, 지붕면 알베도와 모듈-지붕면 이격거리가 양면형 PV 시스템의 성능 향상에 중요한 영향을 미치는 요소로 나타났으며, 모듈 간 이격거리는 상대적으로 작은 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

**Key Words :** 동·서향 태양광 발전 시스템(Ease-West oriented PV system), 양면형 태양광 모듈(Bifacial PV module), 박공지붕(Gable roof), 발전 성능(Power generation performance), 옥외 실험(Outdoor experiment)

† Corresponding author, E-mail: jtkim@kongju.ac.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2023-00266248, RS-2024-00394769)

REC-O-1

# 간접 증발 냉각기 내 저항체 부착에 따른 공기 냉각 성능 평가

## Air-cooling Performance of an Indirect Evaporative Cooler with an Obstacle

정현석\*, 안건용\*, 최광환\*\*, 문광암\*\*\*, 최휘웅\*\*\*†

Hyeonseok Jeong\*, Geonyong An\*, Kwanghwan Choi\*\*,

Kwangam Moon\*\*\*, Hwiung Choi\*\*\*†

\*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, \*\*부경대학교 냉동공조공학과, \*\*\*전남대학교 냉동공조공학과

**Abstract :** 빌딩 에너지 중 약 45% 이상이 냉난방 열원설비에 사용되며, 이에 따라 냉난방 시스템의 에너지 절감이 필요하다. 따라서, 저전력 냉방 시스템 개발의 일환으로 물의 증발을 이용한 증발 냉각 시스템과 관련된 연구가 진행되고 있다. 이 중 간접증발냉각 시스템의 내부는 물의 증발이 일어나는 습식채널과 물과 접촉하지 않고 냉각만 이루어지는 건식채널로 구성된다. 이러한 이중 채널 구조를 통해 공급 공기는 벽면을 사이에 두고 열교환을 통해서 냉각되므로, 공기 중 절대 습도가 증가하지 않는다는 장점을 가진다. 하지만 물의 증발이 습식채널에서만 발생하므로, 직접식보다 열전달 성능이 낮다는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 건식채널에서의 냉각 성능 향상을 위해 냉각기 내부에 저항체 설치에 따른 성능 향상 정도를 실험을 통해 평가하였고, 그 결과 저항체를 부착할 경우 유의미한 성능 향상이 이뤄지는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 결과는 추후 간접증발 냉각기를 냉방 시스템 활용뿐만 아니라 다양한 산업 분야 연계를 위한 기초 데이터로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Key Words :** 간접증발냉각기(Indirect evaporative cooler), 저항체(obstacle), 냉방시스템(Cooling system), 건식채널(Dry channel), 습식채널(Wet channel)

† Corresponding author, E-mail: choihu@jnu.ac.kr

# 방위 및 알베도 조건이 다른 수직 양면형 PV 시스템의 발전성능 비교·분석

## Comparative Analysis of Power Generation Performance of Vertical Bifacial PV Systems with Different Orientation and Albedo Conditions

장준원\*, 김지원\*\*, 김하영\*, 김진희\*\*\*, 김준태\*\*\*\*†

Junwon Jang\*, Jiwon Kim\*\*, Hayoung Kim\*, Jinhee Kim\*\*\*, Juntae Kim\*\*\*\*†

\*국립공주대학교 에너지시스템공학과, \*\* (주)건축사사무소 건원엔지니어링,

\*\*\*국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

\*\*\*\*국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

**Abstract :** 기후변화 대응과 탄소중립 달성을 위한 국제적 노력에 따라, 정부는 2023년 3월 발표한 국가 온실가스 감축 목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 통해 2018년 대비 2030년 건물 부문 온실가스 배출량을 약 33% 감축하는 것을 목표로 설정하였다. 태양광 발전은 탈탄소화를 위한 대표적인 재생에너지 기술로, 최근 전 세계적으로 설치 용량이 빠르게 증가하고 있다. 그러나 일반적인 태양광 발전 시스템은 발전량을 극대화하기 위해 남향 설치가 주로 적용되며, 이로 인해 발전량이 정오 시간대에 집중되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 발전 피크 집중 현상은 전력 수급의 불균형과 계통 안정성 저하를 유발할 수 있으며, 발전 시간대 분산을 위한 대안으로 동·서향으로 배치된 태양광 발전 시스템이 주목받고 있다. 또한, 동·서향으로 설치된 태양광 발전 시스템의 성능 향상을 위해 양면형 PV(Photovoltaic) 시스템, 알베도(Albedo, 지면반사율), 방위각, 설치 높이 등 요인으로부터의 영향에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 방위각과 알베도 조건이 양면형 PV 시스템의 발전 성능에 영향을 미치는 주요 인자로 알려진 반면, 기존 연구에서는 이러한 변수들이 발전 성능에 미치는 영향을 실험과 시뮬레이션을 통해 종합적으로 분석한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수직 양면형 PV 시스템의 옥외 실험을 통해 방위각 및 알베도 조건에 따른 발전 특성을 분석하고, 실험 결과를 기반으로 PVsyst 시뮬레이션 모델을 구축하여 연간 발전량을 예측하였다. 이후 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교분석하여 수직 양면형 PV 시스템의 발전특성을 평가하였다.

**Key Words :** 수직 양면형 PV 시스템(Vertical bifacial PV system), 방위각(Azimuth), 표면반사율(Albedo), 시뮬레이션(Simulation), 발전성능(Power generation performance)

† Corresponding author, E-mail: jtkim@kongju.ac.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : RS-2023-00266248, RS-2023-00243098).

# 고차원 제약 조건 하에서의 적응형 공정 레이아웃 설계를 위한 강화학습 기반 지능형 플래너 연구

## Reinforcement Learning-Based Intelligent Planner for Adaptive Process Layout Design under High-Dimensional Constraints

김병국\*, 노정신\*\*†

Byung Kook Kim\*, Jung-Hun Noh\*\*†

\*고등기술연구원 AI/DX 센터, \*\*고등기술연구원 기계융합시스템센터

**Abstract :** 산업 설비의 복잡도가 증가함에 따라 공간 효율성과 운영 안정성을 동시에 확보할 수 있는 적응형 설계 기술의 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 실시간 시뮬레이션 환경 내에서 복잡한 물리적 제약 조건을 스스로 학습하고 최적의 배치를 생성하는 강화학습 기반의 공간 배치 알고리즘을 제시한다. 다수의 구성 요소를 독립적인 학습 주체로 정의하여 3차원 공간 내에서의 협력적 배치를 유도하였으며, 정밀한 충돌 감지 기술을 통해 설계의 신뢰도를 확보하였다. 제안된 모델은 보상 함수 설계를 통해 물리적 점유 면적과 연결 경로 길이를 최소화하는 방향으로 수렴하였으며, 다양한 초기 조건 및 부분적 위치 제약 하에서도 일관된 최적화 성능을 보였다. 본 연구의 결과는 복잡한 공정 환경을 가진 다양한 산업 시설의 레이아웃 설계 자동화 및 의사결정 지원 도구로서의 활용 가능성을 시사한다.

**Key Words :** 강화학습(Reinforcement learning), 레이아웃 최적화(Layout optimization), 디지털 트윈(Digital twin), 다중 에이전트 시스템(Multi-agent systems), 자율 설계(Autonomous design)

† Corresponding author, E-mail: junghunnoh@iae.re.kr

### 후 기

이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구입니다 (20026413).

# 재생에너지 보급 확대를 위한 PVT 방음벽 시스템

## PVT Sound Barrier System for Renewable Energy Deployment

강은철\*<sup>†</sup>

Eunchul Kang\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원, 에너지효율연구본부

**Abstract :** 정부의 탄소중립 정책 강화와 재생에너지 보급 확대 요구에 따라, 기존 인프라를 활용한 고효율 에너지 생산 기술의 필요성이 증가하고 있다. 특히 도로 및 철도 주변에 광범위하게 설치된 방음벽은 추가 부지 확보 없이 재생에너지 설비를 도입할 수 있는 유망한 플랫폼으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 태양광과 태양열을 동시에 활용하는 PVT(Photovoltaic & Thermal) 기반 방음벽 기술을 대상으로, 재생에너지 보급 확대를 위한 PVT 방음벽 시스템 기술을 제시하였다.

PVT 방음벽은 기존 방음 기능을 유지하면서 전력과 열을 동시에 생산할 수 있어, 단위 면적당 에너지 생산량을 극대화할 수 있는 장점을 가진다. 또한 PV 모듈 대비 온도 저감을 통해 발전 효율을 향상시키며, 공공 인프라의 에너지 자립화 및 운영비 절감에도 기여할 수 있다. 국내 방음벽 시장은 지속적인 신규 설치 및 노후 교체 수요가 존재하며, 이를 기반으로 PVT 방음벽의 잠재 시장은 약 1,000 km 이상의 규모로 추정된다.

본 연구에서는 시장 및 수요기업 분석, 기술 수준 진단, 적용 시나리오 도출을 통해 PVT 방음벽의 사업화 가능성을 체계적으로 검토하였다. 특히 공공기관, 방음벽 시공 기업, 신재생에너지 기업 간 협력 모델을 기반으로 실증 및 확산 전략을 제안하였다. 아울러 기술 중심에서 시장 중심으로의 접근 전환을 통해, 실제 사업화 과정에서의 기술적·제도적 장애요인을 도출하고 이를 해결하기 위한 후속 R&D 방향을 제시하였다.

결론적으로, PVT 방음벽 기술은 기존 단일 기능의 방음벽을 고부가가치 다기능 인프라로 전환할 수 있는 핵심 솔루션으로서, 국내 재생에너지 확대 및 향후 해외 공공 인프라 시장 진출에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광열(PVT; Photovoltaic & thermal), 방음벽(Sound barrier), 재생에너지(Renewable energy), 공공 인프라(Public infrastructure), 분산 에너지(Distributed energy)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kec8008@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2021년도 국토교통부의 재원으로 국토교통기술촉진연구사업의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (과제번호 : 21CTAP-C152061-03).

# 이중 공기 채널 및 열전달 향상 장치를 적용한 공기식 PVT의 공기 채널 높이에 따른 성능 분석

## Performance Analysis of Air-based PVT System with Dual Air Channels and Heat Transfer Enhancement Devices Under Various Air Channel Height

안건용\*, 정현석\*, 문광암\*\*, 최휘웅\*\*<sup>†</sup>

Geonyong An\*, Hyeonseok Jeong\*, Kwangam Moon\*\*, Hwiung Choi\*\*<sup>†</sup>

\*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, \*\*전남대학교 냉동공조공학과

**Abstract :** 태양광/열(Photovoltaic-Thermal, PVT) 시스템은 기존 PV 시스템에서 발생하는 높은 패널 온도로 인한 발전 효율 감소 문제를 완화하기 위해 공기나 물과 같은 유체를 이용하여 열에너지를 회수함과 동시에 전력을 생산하는 시스템이다. 그중 공기식 PVT 시스템은 상대적으로 낮은 열효율을 보이며, 이를 개선하기 위해 열전달 면적 증가를 위한 핀 설치, 난류 발생을 촉진하기 위한 저항체 설치, 공기 유로 변경 등 다양한 성능 향상 연구가 수행되어 왔다. 다만, 덕트 구성 중 성능이 우수하다고 보고된, 이중 공기 채널 PVT 시스템에서 열전달 향상 장치가 적용된 시스템에 대한 연구는 아직 부족하다. 따라서 저자는 이전 연구에서 이중 공기 채널과 열전달 향상 장치가 적용된 PVT 시스템에 대한 실험을 수행하였으나, 아직 열적 성능의 주요 변수인 공기 채널 높이 변화에 따른 성능 변화에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제 실험에 사용된 PVT 시스템을 기반으로 수치 모델링을 수행하고 공기 채널 높이에 따른 시스템의 에너지 효율을 평가하였다. 본 연구에서 도출된 성능 데이터는 공기식 PVT 시스템의 공기 채널 설계 및 성능 최적화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 관련 시스템 설계 및 연구에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광/열 시스템(Photovoltaic/Thermal system), 공기 채널 높이(Air channel height), 에너지 효율(energy efficiency), 매개변수 연구(Parametric study), 에너지 절감(energy savings)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: choihu@jnu.ac.kr

# 옥외 표준성능시험 기반 컬러 PV 모듈 적용 공기식 PVT 컬렉터의 열 및 전기성능 평가

## Performance Evaluation of an Air-Type PVT Collector with a Colored PV Module under Outdoor Standard Test Conditions

김상명\*, 김민욱\*\*, 김진희\*, 김준태\*\*\*†

Sangmyung Kim\*, Minwook Kim, Jinhee Kim\*, Juntae Kim\*\*\*†

\*국립공주대학교 그린에너지기술연구소, \*\*국립공주대학교 에너지시스템공학과

\*\*\*국립공주대학교 그린스마트건축공학과/ 에너지시스템공학과(대학원)

**Abstract :** 제로에너지건축물(ZEB) 의무화 정책의 점진적 확대에 따라 건물 부문에서의 신재생에너지 적용 중요성이 크게 증가하고 있다. 특히 건물 외피에 직접 적용되는 건물일체형 태양광(BIPV, Building Integrated Photovoltaic) 시스템은 건물의 에너지 자립률 향상과 동시에 외장재 기능을 수행할 수 있으며, 별도의 설치 공간이 필요하지 않다는 장점이 있다. 그러나 기존 PV 모듈은 제한된 색상과 외관으로 인해 건축물의 심미성 저해 문제가 지속적으로 제기되어 왔으며, 이를 해결하기 위한 대안으로 다양한 색상을 구현할 수 있는 컬러 PV 모듈의 적용이 점차 확대되고 있다. 다만 컬러 PV 모듈은 색상 구현 과정에서 광 투과율 감소 등의 영향으로 발전 성능 저하가 발생할 가능성이 있어 이에 대한 정량적 평가가 요구된다. 한편, PVT(Photovoltaic/Thermal) 시스템은 PV 모듈에서 발생하는 열을 회수하여 열에너지로 활용함으로써, 기존 BIPV 시스템에서 나타나는 온도 상승에 따른 전기 효율 저하 문제를 완화할 수 있다. 또한 회수된 열에너지는 건물의 열원으로 활용 가능하여 에너지 이용 효율을 향상시킬 수 있는 기술로 주목받고 있다. 따라서 컬러 PV 모듈을 PVT 시스템에 적용할 경우, BIPV 시스템의 단점을 보완함과 동시에 심미성 개선이 가능한 대안으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 그레이 계열의 컬러 PV 모듈이 적용된 컬러 PVT 컬렉터를 설계·제작하고, 표준성능 시험을 통해 열 및 전기 성능을 평가하고자 한다. 표준성능시험은 국제 표준(ISO 9806 등)을 준용하여 수행되었으며, 또한 동일 조건에서 수행된 기존 공기식 PVT 컬렉터의 실험 결과와의 비교를 통해 컬러 PV 모듈 적용에 따른 성능 특성 변화를 정량적으로 분석하고자 한다.

**Key Words :** 컬러 PV 모듈(Colored PV module), 공기식 PVT 컬렉터(Air-type PVT collector), 컬러 PVT 컬렉터(Colored PVT collector), 표준성능시험(Standard performance test)

† Corresponding author, E-mail: jtkim@kongju.ac.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2023-00266248, RS-2024-00394769)

## 공기식 태양광열 연계 히트펌프의 연간에너지 분석

### Annual Energy Analysis on the Heat Pump Coupled with Air-type Photovoltaic/Thermal System

문광암\*, 정현석\*\*, 안건용\*\*, 최광환\*\*\*, 최희웅\*<sup>†</sup>

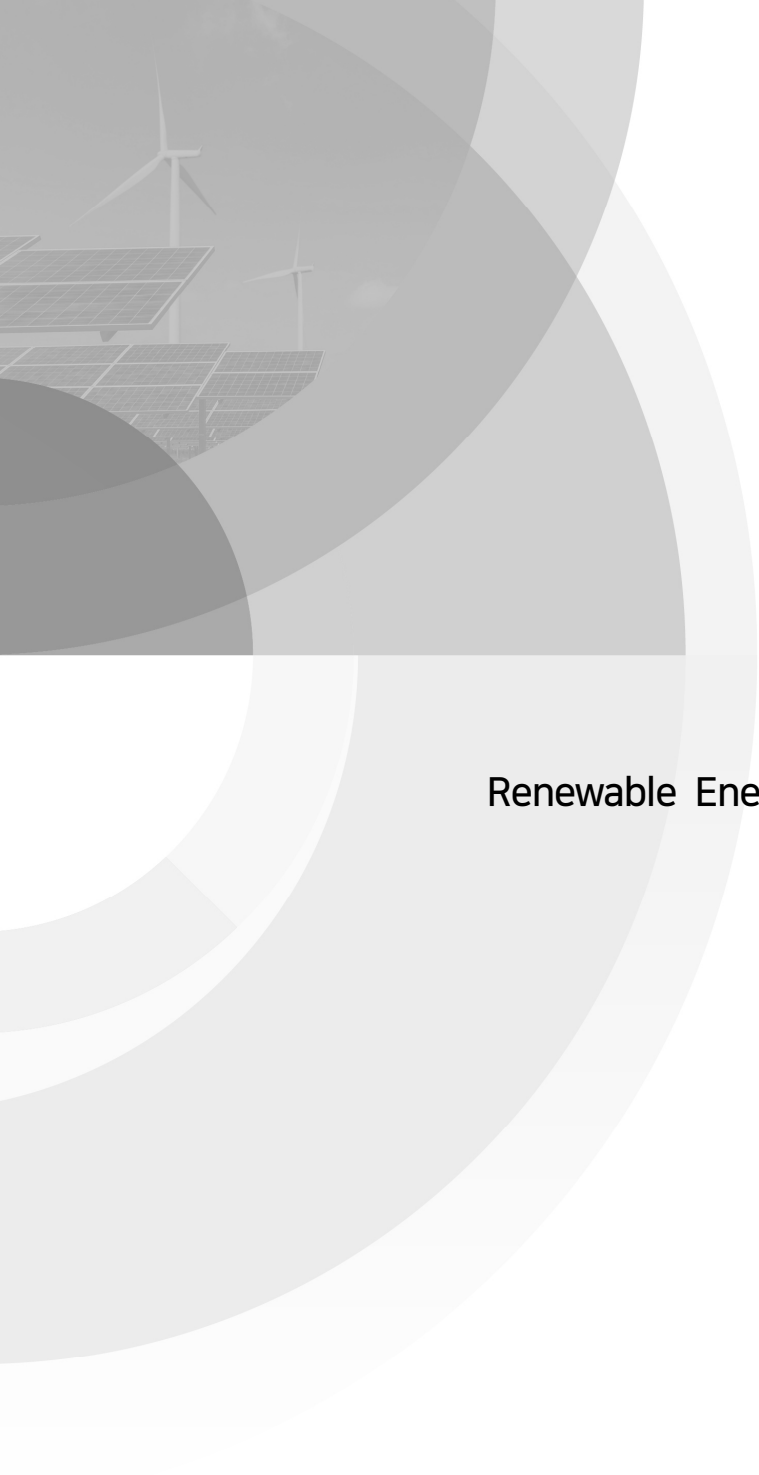
Kwangam Moon\*\*\*, Hyeonseok Jeong\*\*, Geonyong An\*\*,  
Kwanghwan Choi\*\*\*, Hwiung Choi\*\*<sup>†</sup>

\*전남대학교 냉동공조공학과, \*\*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, \*\*\*부경대학교 냉동공조공학과

**Abstract :** 전 세계 에너지에서 건축물의 냉난방에너지가 차지하는 비중은 약 40% 수준이며, 이 중 냉난방 에너지에 대부분의 에너지가 사용되고 있다. 또한 해당 분야의 에너지 소비는 지속적으로 증가할 것으로 전망되나, 아직 대부분의 난방 및 급탕 열원이 화석연료를 이용하여 생산되고 있어, 해당 부분에서의 에너지 효율화 및 신재생에너지 활용 증진은 에너지 자원 의존도 감소와 탄소중립 시나리오 달성을 위한 중요한 요소로 작용한다. 태양광열 히트펌프는 이러한 건축물의 난방 및 급탕 에너지를 절감할 수 있는 주요 시스템 중 하나로 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로 본 연구에서는 공기식 태양광열 연계 히트펌프의 급탕 성능을 분석하였다. 또한 태양광열이 연계되지 않은 기존 공기식 히트펌프와 에너지 생산량 및 소모량을 비교하고 태양광열 연계에 따른 에너지 절감 및 해당 시스템의 유용성 등을 평가하였다.

**Key Words :** 태양광/열 시스템(Photovoltaic/thermal system), 히트펌프(Heat pump), 급탕(hot water supply), 에너지 분석(Energy analysis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: choihu@jnu.ac.kr



# Oral Session

자원량평가

Renewable Energy Resources (RER) Session



# 건물 태양에너지와 AI 활용 대한 고찰

## A Study on Building Solar Energy and the Application of AI

오명찬\*<sup>†</sup>, 윤창열\*, 김보영\*, 김현구\*, 김창기\*

Myeongchan Oh\*<sup>†</sup>, Changyeol Yun\*, Boyoung Kim\*,

Hyun-Goo Kim\*, Chang Ki Kim\*

\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실

**Abstract :** 건물에 태양에너지를 보급하고 활용하고자 하는 연구는 지속적으로 많은 사람들이 관심을 가졌었고 다양한 결과를 제시하였다. 탄소중립을 달성하기 위해서는 가능한 부지를 최대한 활용해야 하며 전력망 문제를 고려하면 에너지 수요처와 가까운 곳에 많은 에너지를 생산할 수 있어야 한다. 이에 최적화 된 부지가 바로 도심지이며 당연히 건물에서 직접 에너지를 생산하는 것은 매우 매력적인 제안이다. 최근에는 이러한 분야에 인공지능(AI)을 활용하고자 하는 경향이 추가되어 많은 새로운 시도를 추구하고 있다. 특히 많은 연산을 필요로 하는 그림자 연산을 AI를 활용하여 우회하고자 하는 연구들이 다수 제시되고 있다. 본 연구에서는 이러한 건물 태양에너지와 AI를 활용한 사례들을 분석하고 새로운 방향을 제시하고자 한다. 기존 연구들을 사용 데이터, 방법, 목적 등 다양한 측면에서 분류해보고 그 특징을 파악한다. 도시 형태 (도시 통계) 기반의 대규모 연구, 그래프신경망 기반 연구, 비전 기반 연구, 하이브리드 연구 등을 사례와 함께 정리하였다. 또한 이러한 AI 연구에 기반이 되는 물리 모델의 특징 및 이를 기반으로 한 AI 연구의 활용성에 대해서도 토의해본다. 본 연구를 바탕으로 향후 국내 건물 태양에너지의 새로운 연구 방향성이 수립될 수 있기를 기대한다.

**Key Words :** 태양에너지(Solar energy), 태양광(Photovoltaic), 인공지능(Artificial intelligence), 일사량(Irradiance), 도심지(Urban)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: amir117@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(C6-2403-15)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

RER-O-2

# 업무시설 표준건축모델을 활용한 BIPV 설치 비용 및 경제성 분석

## Cost And Economic Analysis of Building-Integrated Photovoltaics Systems Based on Reference Office Building Models

이경선\*<sup>†</sup>, 이정현\*, 김진영\*\*, 이재석\*\*\*, 이승문\*\*\*\*, 이지욱\*\*\*\*\*, 곽지혜\*\*\*\*\*  
Kyungsun Lee\*<sup>†</sup>, Junghyun Lee\*, Jin-young Kim\*\*, Jaeseok Lee\*\*\*,  
Seungmoon Lee\*\*\*\*, Jiwook Lee\*\*\*\*\*, Jihye Gwak\*\*\*\*\*

\*홍익대학교 건축학과 \*\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실,  
\*\*\*한국에너지경제연구원 에너지조사통계연구실, \*\*\*\*한국에너지경제연구원 재생에너지정책연구실,  
\*\*\*\*\*한국제품안전협회 건축물태양광안전센터, \*\*\*\*\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** Building-integrated photovoltaics (BIPV) have attracted increasing attention as systems that integrate electricity generation with building-envelope functions. However, a standardized framework for assessing their cost and economic feasibility in office buildings remains underdeveloped. This study analyzes the installation cost and long-term economic feasibility of façade- and rooftop-type BIPV systems in reference mid-rise and high-rise office building models using a cost-estimation program and PVsyst simulation. The results indicate that, in both mid-rise and high-rise office buildings, the 25-year cumulative electricity cost-saving benefits of both façade- and rooftop-type BIPV systems exceed the additional costs over conventional stone finish. In particular, façade-type BIPV shows greater economic potential as a building-envelope component when the replacement of conventional exterior materials is considered. These findings highlight that BIPV should be evaluated not simply as a power-generation system, but as a building-envelope component that replaces conventional stone finish while generating electricity.

**Key Words :** 건물일체형태양광(Building-integrated photovoltaic, BIPV), 표준건축모델(Reference building model), 업무시설(Office building), 외장재 대체(Exterior cladding substitution), 경제성 분석(Economic analysis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ksunlee@hongik.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 한국에너지기술연구원의 지원을 받아 수행한 연구입니다(BIPV 표준건축모델 설정 및 비용 조사 연구).

# 차량 유형, 주행 패턴, 그림자 효과를 고려한 차량 일체형 태양광 발전 시스템의 운영 효과 평가

## Operation Performance Evaluation of Vehicle-Integrated Photovoltaic Considering Vehicle Type, Driving Patterns, and Shadow Effects

김민지\*, 백지은\*<sup>†</sup>

Minji Kim\*, Jieun Baek\*<sup>†</sup>

\*국립부경대학교 에너지자원공학과

**Abstract :** 본 연구에서는 차량 일체형 태양광 발전(Vehicle-Integrated photovoltaics, VIPV) 시스템의 차량 유형, 주행 패턴, 주행 경로상의 그림자 효과를 고려하여 주행 시뮬레이션을 통해 VIPV의 운영 효과를 정량적으로 평가하였다. 시뮬레이션을 위해 세 가지 주행 시나리오를 설정하였다. 시나리오는 서울 청와대 A01 자율주행 셔틀 노선, 서울 도심을 순환하는 서울 101번 전기버스 노선, 부산 용당동-문현동을 출퇴근 주행하는 세단 전기차 노선으로 구성하였다. 주행 경로상의 위·경도 좌표와 주행 속도 사이클을 1초 단위로 수집하였다. Google street view 이미지를 활용하여 주행 경로상의 그림자에 의한 일사량 저하량을 계산하였고, python의 PVlib 오픈소스 라이브러리를 통해 주행 중 태양광 발전량을 예측하였다. Simulink 소프트웨어를 활용하여 전기차 주행모델과 배터리 모델을 구축하였고 주행 시 배터리에 출입 되는 전류 데이터를 생성하였다. 태양광 전기차의 주행 중 배터리 사용량과 PV 발전량을 종합적으로 고려하여 최종 배터리 출입 전류를 계산하였다. 세 시나리오에서 VIPV를 운영했을 때 전비(km/kWh)가 향상되고 배터리 등가 완전 충전 횟수(EFC/year)가 감소하는 것을 알 수 있었다. 특히, 일사량이 높은 여름에서 효과가 가장 높게 나타났다. VIPV가 일정 시간 주차했을 때 태양광 발전으로 인한 배터리 SOC가 향상될 수 있었고, 그림자 영향을 고려했을 때 실제 태양광 발전량을 잘 반영할 수 있음을 검증할 수 있었다. 본 연구를 통해 다양한 주행 상황에 VIPV 시스템을 적용했을 때 배터리의 사용 부담을 완화할 수 있고 보다 효율적인 에너지 운용이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 VIPV 시스템이 일반적인 전기 세단 주행 환경뿐만 아니라, 전기버스 및 자율주행 셔틀과 같은 공공 운행 환경에서도 에너지 효율 향상에 기여할 수 있음을 알 수 있었다.

**Key Words :** 태양광 전기차(Solar electric vehicle), 차량 일체형 태양광 발전(Vehicle-integrated photovoltaics), 배터리 시뮬레이션(Battery Simulation), 재생에너지(Renewable energy), 탄소중립(Carbon neutrality)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: jebaek@pknu.ac.kr

### 후 기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2022R1C1C2011947).

# 천리안 2A호 위성영상을 활용한 시공간 GAN 기반 단기 구름 궤적 예측

## Short-Term Cloud Motion Prediction using a Spatiotemporal Generative Adversarial Network with GK2A Satellite Imagery

김상원\*, 강용혁\*, 윤창열\*\*†

Sangwon Kim\*, Yong Heack Kang\*, Chang-Yeol Yun\*\*†

\*(주)지오씨엔아이, \*\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구소

**Abstract :** 태양광 발전량과 직결되는 일사량을 정밀하게 예측하기 위해서는 일사량 변화의 주요 원인인 구름의 시공간적 변화를 정확히 예측하는 기술이 필수적이다. 본 연구에서는 천리안 2A호(GK2A) 위성 영상을 활용하여 60분 이후의 구름 궤적과 형태를 예측하는 시공간 적대적 생성 신경망(Spatiotemporal GAN) 적용방안을 제안한다. 기존 영상 예측 모델에서 발생하는 형태 흐려짐(Blurring)과 초기 GAN 모델의 격자 무늬(Checkerboard) 노이즈 문제를 극복하기 위해, 제안 모델은 RRDB(Residual-in-Residual Dense Block)를 적용하여 구름의 미세 질감을 정보 손실 없이 보존하고 CoreTVAM(Core Triple-View Attention Module)을 통해 시공간적 이동 벡터를 효과적으로 학습하도록 설계하였다. 또한 3D-CNN 기반 PatchGAN 판별자를 도입하여 시간적 연속성을 유지하면서 국소적 픽셀 노이즈를 억제하였다. 실험 결과, 제안 모델은 현재 상태가 유지된다고 가정하는 지속성 기법(Persistence) 대비 위치 적중률과 구조적 유사도 등 다양한 평가 지표에서 우수한 예측 성능을 보였다. 본 연구에서 제안된 모델은 형태적 왜곡을 최소화하면서 물리적으로 타당한 구름 예측 영상을 생성함으로써 향후 고정밀 일사량 예측 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 구름 예측(Cloud prediction), 천리안 2A호 (GK2A), 딥러닝 (Deep learning), 적대적 생성 신경망 (GAN; Generative Adversarial Network), 일사량 예측 (Solar irradiance forecasting)

† Corresponding author, E-mail: yuncy@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국산업기술기획평가원의 산업기술개발사업(RS-2024-00431821)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

# 에어로졸 유효고도(Scale Height)에 따른 지표 미세먼지와 태양복사 감쇄 간의 상관성 변동 분석

## Analysis of Variations in Correlation Between Surface Particulate Matter and Solar Radiation Attenuation According to Aerosol Scale Height

김창기\*<sup>†</sup>, 김현구\*, 오명찬\*, 이윤곤\*\*

Chang Ki Kim\*<sup>†</sup>, Hyungoo Kim\*, Myeongchan Oh\*, Yun Gon Lee\*\*

\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실, \*\*충남대학교 천문우주과학과

**Abstract :** 태양광 발전량의 핵심 결정 요인인 지표 도달 일사량은 대기 기둥 전체의 에어로졸 광학 두께 (Columnar Aerosol Optical Depth)에 의해 정량화된다. 그러나 많은 선행 연구는 데이터 확보가 용이한 지표 미세먼지(Particulate Matter) 농도를 이용하여 일사량 감쇄 현상을 분석하였다. 본 연구는 대기 수직 구조에 따라 지표 PM과 AOD간의 상관성이 극명한 차이를 보임을 실측 데이터를 통해 입증하고자 한다. 대전 지역에서 3년간 관측된 POM-02 스카이라디오미터(Columnar AOD)와 CS-125 시정계(Surface Extinction) 데이터를 분석한 결과, 에어로졸이 지표 부근 경계층 내에 갇혀 있는 'Trapped' 유형의 경우 에어로졸 유효고도(Scale Height,  $H_a$ )가 낮게 유지되며 지표 PM과 일사량 감쇄 사이에 높은 상관관계가 형성되었다. 반면, 황사나 상층 연무(Elevated smoke/dust)와 같이 자유 대기(Free Atmosphere)를 통해 에어로졸이 유입되는 사례에서는 지표 PM 농도의 변화와 무관하게 높은 AOD가 관측되어 일사량이 급격히 감소하는 양상을 보였다. 이러한 사례에서는 에어로졸 유효고도가 크게 상승하며 '지표 PM-일사량' 간의 상관성이 작은 것으로 확인되었다. 그러므로 지표 PM 자료만을 활용한 기존의 태양광 발전량-미세먼지 상관관계를 설명하는 데는 한계가 있음을 알 수 있다. 본 연구는 정확한 일사량 예측 및 발전량 산정을 위해 단순 지표 농도가 아닌 AOD와 유효고도 정보의 결합이 필수적임을 시사하며, 특히 광역 수송 입자의 영향을 받는 기상 조건에서의 모델링 개선 방향을 제시하고자 한다.

**Key Words :** 지표 미세먼지(Surface Particulate Matter), 태양복사 감쇄(Solar Radiation Attenuation), 상관성 변동(Correlation Variability), 에어로졸 유효고도(Aerosol Scale Height)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: cckim@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원 주요사업(C6-2403-15)으로 수행한 결과입니다.

RER-O-6

# 격자 기반 공간 데이터를 활용한 태양광 보급 시공간적 확산 분석

## Spatiotemporal Diffusion Analysis of Photovoltaic Adoption Using Grid-Based Spatial Data

윤창열\*, 오명찬\*, 김진영\*, 김창기\*, 김용일\*\*†

ChangYeol Yun\*, MyeongChan Oh\*, JinYoung Kim\*, ChangKi Kim\*, Yongil Kim\*\*†

\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실, \*\*서울대학교 건설환경공학부

**Abstract :** 태양광 보급의 시공간적 추세를 예측하기 위해서는 기술적 잠재량, 경제적 조건, 토지 이용 제약 등 다양한 태양광 도입 여건을 종합적으로 고려하고, 공간적 확산 특성을 함께 반영할 필요가 있다. 본 연구에서는 다양한 공간 데이터를 기반으로 실제 태양광 보급 통계를 격자 단위로 매핑하여 태양광 보급의 공간적 경향을 분석하고, 이를 기반으로 시공간적 보급 예측 방법을 제시하였다. 격자 단위로 일사량, 지가, 토지 이용 배제 조건 등 다양한 인자를 통합하여 태양광 설치의 물리적 가능성과 경제적 매력도를 정량적으로 표현하였다. 또한 공간 확산 효과를 명시적으로 반영하기 위해 인접 격자 간의 공간적 상관성을 활용하여 동조 효과(peer effect)와 공간적 파급 효과(spillover effect)를 고려하였다. 모델은 과거 태양광 설치 통계를 기반으로 보정되어 이론적인 결과물을 실제 보급 궤적(adoption trajectory)으로 변환할 수 있도록 설계하였다. 예측 알고리즘은 토지 이용 제약 및 경제 조건 변화 등을 반영한 다양한 시나리오 하에서 태양광 보급의 공간적 분포 특성을 도출한다. 이러한 접근법은 태양광 잠재량의 이질적 분포뿐 아니라 군집적 확산 패턴까지 분석할 수 있으며, 실제 보급 통계 기반의 태양광 보급 예측 방법론을 제시한다. 본 연구 결과는 지역 단위 태양광 계획 수립, 정책 평가 및 인프라 개발을 지원할 수 있는 활용 가능한 분석틀을 제공한다.

**Key Words :** 태양광 보급 (Photovoltaic Adoption), 시공간 분석 (Spatiotemporal Analysis), 공간 확산 (Spatial Diffusion), 격자 기반 공간 데이터 (Grid-Based Spatial Data), 동조 효과(Peer Effect)

† Corresponding author, E-mail: yik@snu.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국산업기술기획평가원의 산업기술개발사업(RS-2024-00431821)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.



# Oral Session

에너지정책 및 기업기술  
Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT) Session



# 국내 재생에너지 정책 방향

## Policy Directions for Korea's Renewable Energy

김성훈\*†

Sung-hoon Kim\*†

\*한국에너지공단 재생정책처

**Abstract :** 2030년 재생에너지 100GW 보급으로 에너지 대전환 실현

태양광, 풍력 등 재생에너지 중심 에너지 대전환을 위해 신에너지와 재생에너지를 분리하는 등 관련법을 정비하는 한편, 태양광 이격거리 규제 개선을 위한 재생에너지법 개정(공포 '26.3.17, 시행 '26.9.18)하고 하위 규정을 정비할 예정이며, 영농형 태양광 활성화를 위한 특별법을 제정하여 보급을 확대해 나갈 계획, 범부처 협업을 통해 농지, 간척지, 수상 등 신규 부지를 발굴 하고, 학교, 주차장, 전통시장 등 생활 주변에서 에너지를 생산할 수 있도록 지원을 강화

에너지 생산이 마을 소득으로 이어지는 “햇빛소득마을”을 전국 38천여개 행정리를 대상으로 2026년부터 500개 이상 조성하고 이를 위해 용자 등 자금 지원 확대

풍력은 2035년까지 육상풍력 12GW, 해상풍력 25GW를 목표로 발전허가시 풍황계측기 대신 기상청의 풍황 데이터를 허용하는 규제를 합리화하고, 범정부 윈스톱 지원체계를 구축하여 인허가를 밀착 지원

또한, RPS제도의 한계점(이행비용 증가, 체계적 설비 진입관리 어려움)을 개선하는 고정가격계약방식의 RPS 제도 개편을 통해 비용을 인하하면서 체계적 보급으로 산업육성과 함께 공공주도의 재생에너지 보급을 확대

RE100 관련 공공기관 RE100을 통해 공공보급을 확산하면서도, 민간에서는 급격히 증가하는 RE100 수요를 고려 REGO 도입 등을 통해 민간주도 자발적 재생에너지 활성화도 유도

**Key Words :** 재생에너지, 2030년 100GW 보급, 햇빛소득마을, RPS 개편, RE100, 태양광, 풍력 등

† Corresponding author, E-mail: kimsh@energy.or.kr

EP&CT-O-1

# AI 기반 한국형 기술적 가상발전소(TVPP) 도입을 위한 분산자원 연계 아키텍처 및 대규모 제어 실증 시나리오 연구

## Design of Distributed Energy Resources Integration Architecture and Large-Scale Control Demonstration Scenarios for the Introduction of AI-based Korean Technical VPP (TVPP)

조현석\*<sup>†</sup>, 김종규\*, 박혜인\*, 김홍석\*, 고영규\*

Hyunseok Cho\*<sup>†</sup>, Jongkyu Kim\*, Hyein Park\*, Hongseok Kim\*, Youngkyu Kim\*

\*식스티 헤르츠(60Hertz)

**Abstract :** 재생에너지가 급증하면서 전력망의 불확실성이 커지고 있다. 이제는 분산에너지자원(DER)을 단순히 모니터링하는 것을 넘어, 계통 혼잡을 능동적으로 해결하는 자원으로 활용해야 할 시점이다. 그러나 현재 국내에 도입된 가상발전소(VPP)는 대부분 발전량을 예측하거나 전력시장에 입찰하는 상업적 목적(CVPP)에 머물러 있어, 실제 전력망의 물리적 제약을 해소하는 데는 뚜렷한 한계가 존재한다. 이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 계통 안정화에 직접 기여할 수 있는 '기술적 가상발전소(TVPP)' 개념을 도입했다.

구체적으로는 계통운영자(ISO)와 배전운영자(DSO), 그리고 VPP가 실시간으로 데이터를 주고받으며 제어할 수 있는 새로운 통신 아키텍처를 설계했다. 설계 과정에서 유럽의 송전망과 배전망 운영자(TSO-DSO) 간 유연성 자원 협력 모델을 시범적으로 구현한 CoordiNet 프로젝트와 독일 Redispatch 3.0 체계, 미국의 IEEE 2030.5 통신 표준 등 해외 선진 모델을 분석하여 국내 전력시장 규제와 환경에 맞게 최적 적용하고자 했다. 아키텍처를 설계후, 실제 한국의 전력망체계에 적용 가능성을 검증하기 위해 500MW 규모의 다중 분산자원(태양광, 풍력, ESS 등)을 통합 관리하는 기존 플랫폼(E-Max)과 연계한 대규모 제어 시나리오도 함께 수립했다. 이 시나리오의 핵심은 경부하 시기에 발생하는 재생에너지 출력 과잉 문제를 해결하는 것이다. 특히, 인공지능(AI) 기술인 그래프 신경망(GNN) 기반의 최적 급전 알고리즘을 적용해 연산 소요시간을 줄였으며, 이를 통해 각 자원의 출력을 실시간으로 감발하거나 증발시키는 과정을 모사했다. 이번 연구는 다양한 분산자원 간의 상호운용성을 기술적으로 확보했다는 점에서 큰 의미가 있다. 앞으로 한국형 유연성 시장이 열리고 배전망 운영이 고도화될 때, 본 연구에서 제안한 아키텍처와 AI 알고리즘이 기술적 가이드라인 역할을 할 것으로 기대한다.

**Key Words :** 인공지능(Artificial intelligence), 기술적 가상발전소(Technical VPP), 상호운용성(Interoperability), 분산에너지자원(Distributed energy resources), 전력계통 안정화(Power grid stabilization)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hs.cho0212@60hz.io

### 후 기

본 연구는 2024년도 정부(기후에너지환경부)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 에너지국제공동연구사업의 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00509239)(한국-독일 공동연구를 통한 적응형 AI 기반 분산전원 급전운영 기술개발 및 한국형 VPP 대규모 실증)

This work was supported by Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korea government(MCEE) (과제번호 : RS-2024-00509239)(Korea-Germany joint research to develop adaptive AI-based distributed energy system technology and large-scale demonstration for Korean VPP project)

# 계통 포화 배전선로 내 접속 지연 태양광 추가 수용을 위한 통합발전소 연계 ESS 운영 기술

## VPP-linked ESS Operation Technology for Expanding the Hosting Capacity of Delayed-Interconnection Solar Power in Grid-Saturated Distribution Lines

김성지\*<sup>†</sup>, 권혁길\*

Sung JI Kim\*, Huck Gil Kwon\*

\*주식회사 이프

**Abstract :** 재생에너지 보급 확대에 따라 배전선로의 혼잡, 전압 변동 및 역조류로 인한 계통 제약이 심화되면서, 접속 대기 중인 태양광의 추가 수용을 위한 비배전망 증설 대안(NWAs)의 중요성이 커지고 있다. 본 연구는 계통 포화 배전선로에서 접속 지연 태양광의 수용성을 높이기 위한 방안으로서, 통합발전소(VPP)와 연계되는 배전망 연계형 ESS의 기술 요건과 운영기술을 제시하고, 이에 대한 실증 결과를 소개한다.

배전망 연계형 ESS는 계통지원 자원으로 활용되기 위해 형식승인시험을 통해 계통 연계 적합성과 기본 성능을 검증하였으며, 현장시험에서는 유효전력 및 무효전력 제어 기반의 계통지원기능을 중심으로 배전망 연계 성능을 검증하였다. 특히 배전선로 운전조건을 고려한 충·방전 운전, 전압 안정화 지원, 유·무효전력 제어 응답 특성을 확인함으로써, 배전망 제약 완화에 필요한 ESS 운영기술의 현장 적용 가능성을 검토하였다. 또한 VPP 연계를 통해 해당 ESS를 통합운영 자원으로 구성하고, 상위 운영체계와의 연계 운전 가능성을 함께 확인하였다.

실증 결과, 배전망 연계형 ESS는 배전선로의 운전 제약을 완화하고 전압 안정화에 기여하였으며, 계통 안정성을 유지하면서도 접속 지연 태양광의 추가 수용 여력을 확보할 수 있는 유효한 수단임을 확인하였다. 본 기술은 향후 NWAs 기반의 태양광 수용성 확대와 분산에너지 통합운영을 위한 핵심 운영기술로 활용될 수 있다.

**Key Words :** 계통 포화 배전선로(Grid-Saturated Distribution Line), 통합발전소(VPP), 에너지저장장치(ESS), 배전망 연계 시험(Distribution Grid Interconnection Test), 계통 지원 기능(Grid Support Functions), 태양광 수용성 확대(Expansion of Solar Hosting Capacity)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sjkim@ef-ems.com

### 후 기

본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 에너지기술개발사업 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00237679).

## 철도태양광 방음벽 기술 개발 동향

### Technical Trends of Railway Photovoltaic Noise Barrier Systems

강선희\*, 이동규\*\*, 이상로\*, 김정엽\*\*\*†

Seonheui Kang\*, Dongkyu Lee\*\*, Sangro Lee\*, Chungyoub Kim\*\*\*†

\*㈜더블유피, \*\*㈜솔에너지, \*\*\*전남대학교 기계시스템공학과

**Abstract :** 탄소중립 정책 강화 및 RE100 확산에 따라 철도 인프라를 활용한 재생에너지 적용 필요성이 증가하고 있으며, 철도 선로변 방음벽은 추가 부지 확보 없이 태양광 발전이 가능한 유망한 적용 대상으로 주목받고 있음. 그러나 철도 환경은 풍하중, 진동, 유지관리 제약 등으로 인해 일반 태양광 시스템 대비 높은 수준의 구조 안정성과 내환경성이 요구되며, 이에 따른 기술적·제도적 한계가 존재함.

이에 본 발표에서는 철도태양광 방음벽의 보급 확산을 위한 기술 동향을 중심으로, 경량화 및 구조 안정성 확보 기술, 양면수광 기반 발전 효율 향상 기술, 철도 환경 대응 설계 및 유지관리 기술 등을 종합적으로 검토하고자 함. 또한 국내외 적용 사례 및 기술 발전 방향을 비교·분석하여 향후 확산을 위한 핵심 기술 요소를 도출하고자 함.

이를 통해 철도태양광 방음벽의 기술적 발전 흐름을 정리하고, 철도 기반 분산형 에너지 인프라로의 확장 가능성을 제시하고자 함.

**Key Words :** 철도 태양광 방음벽(Railway Photovoltaic Noise Barrier), 탄소중립(Carbon Neutrality), 분산에너지(Distributed Energy), 녹색기술 인증(Green Technology Certification)

† Corresponding author, E-mail: kimcy@jnu.ac.kr

#### 후 기

본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2022-KP002801, 소음저감과 탄소중립을 위한 철도적합 태양광 실증).



# Poster Session

건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)	175
제로에너지 건물 Zero Energy Buildings (ZEB)	180
건축환경 Building Environment Engineering (BEE)	187
신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)	199
자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)	201
에너지저장 및 섹터커플링 Energy Storage System & Sector Coupling (ESS&SC)	205
태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)	212
태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)	219
태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)	220



BES-P-1

# 신축 공동주택이 교육시설 일조권 및 태양광 발전 효율에 미치는 영향 분석

## Analysis of the Impact of New Residential Developments on Sunlight Access and Photovoltaic Efficiency in Educational Facilities

김경모\*, 박태형\*, 조영흠\*\*†

Kyungmo Kim\*, Taehyung Park\*, Younghum Cho\*\*†

\*영남대학교 일반대학원 건축학과, \*\*영남대학교 공과대학 건축학부

**Abstract :** 최근 고층 주거단지 개발은 교육시설의 일조권 침해 문제를 야기하며, 이는 학생들의 건강뿐만 아니라 학교의 에너지 자립을 위한 태양광 발전 성능 저하로 이어진다. 본 연구는 도심 내 신축 공동주택 건설이 인접한 기존 초등학교의 일조 환경과 옥상 태양광 발전 설비의 효율에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 대구에 위치한 초등학교와 인근 가상의 신축 공동주택을 대상으로 일조 및 태양광 발전 효율 및 성능 저하를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 일조 분석은 동지를 기준으로 하였고 건설 전후의 누적 일사량과 태양광 발전량을 비교 분석하였다. 분석 결과, 신축 공동주택 건설 후 태양광 발전 시스템의 연간 발전량은 기존 대비 약 5.6%(약 11,120kWh) 감소하는 것으로 나타났다. 또한 시스템의 성능비가 약 0.53% 감소하였다. 본 연구를 통해 건축 계획 단계에서 교육시설의 일조권 확보와 태양광 발전 효율 유지를 위한 사전 음영 분석 및 정책적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

**Key Words :** 일조권(Sunlight access), 태양광 시스템(Photovoltaic system), 태양광 발전 효율(PV Power generation efficiency), 교육시설(Educational facilities), 건축계획(Architectural planning)

† Corresponding author, E-mail: yhcho@ynu.ac.kr

### 후 기

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : RS-2025-00561486).

# 저압직류시스템의 절연저항 검출 기술 개선을 위한 분압 저항 선정 방안 연구

## Research on Voltage Divider Resistor Selection Methods for Improving Insulation Resistance Detection Technology in Low-Voltage DC Systems

임승택\*<sup>†</sup>, 오찬혁\*, 이기연\*

Seung-Taek Lim\*<sup>†</sup>, Chan-Hyeok Oh\*, Ki-Yeon Lee\*

\*한국전기안전공사 전기안전연구원

**Abstract :** 최근 직류 전기설비의 확대를 위하여 다양한 분야의 산학연에서 노력이 지속되고 있다. 직류 설비의 대표적 부하로는 컴퓨터, 가전기기 등이 존재하며, LED와 같은 조명 또한 직류 설비이다. 조명 산업에서는 고효율화를 위하여 스마트 조명설비의 필요성이 나타나고 있으며, PLC, PoE와 같은 통신 시스템의 적용이 필요해지고 있다. 이중 PoE는 IEEE 802.3에 따라 최대 52V 내외의 낮은 전압을 활용하여 전력전송과 통신을 함께 활용할 수 있다. 현재는 해당 케이블에 대한 절연 보호 및 감시는 이루어지지 않고 있다. 이를 보호하기 위해서는 현재 절연저항 모니터링 장치와 같은 보호설비를 필요로 하지만, 저압 전기설비에 대한 적용성은 확인되지 않아 이에 대한 검토를 필요로 한다.

내부 AD컨버터 사양을 만족하기 위하여 전압 분압을 활용하는 직류 절연저항 검출장비는 저압시스템 활용을 위하여 내부 소자에 대한 적절한 선택을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 특별저압 직류시스템에 대한 절연저항 검출 개선을 위하여 내부 저항 선정에 따른 검출 민감도에 대한 검토를 진행하였다. 검토 결과 AD컨버터 활용을 위한 분압용 저항 성분을 최소화하고, 검출용 저항을 주 측정 범위로 설정하는 것이 절연저항 검출에 대한 민감한 반응이 가능한 것을 확인하였다. 향후 지속적인 연구를 통하여 PoE 시스템 뿐만 아니라 특별저압 직류를 활용하는 시스템의 전기 안전성 향상이 가능할 것으로 예상된다.

**Key Words :** 저압직류시스템(LVDC system), 특별저압(Extra low voltage), 절연저항(Insulation resistance), 전기안전(Electrical Safety), 검출 민감도(Detection Sensitivity)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jstyim@kesco.or.kr

### 후 기

본 논문은 2026년도 정부(기후에너지환경부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00421)

# 다양한 음영 조건에서 BIPV 시스템용 파워옵티마이저의 실험적 성능 평가

## Experimental Performance Evaluation of Power Optimizers for Low-Voltage BIPV under Shading Conditions in BIPV Systems

양현모\*, 이준영\*, 이소예\*, 김민서\*, 윤종호\*, 김동수\*<sup>†</sup>

Hyunmo Yang\*, Junyoung Lee\*, Soye Lee\*, Minseo Kim\*,

Jongho Yoon\*, Dongsu Kim\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 도심 지역 건물 밀집 환경에서 발생하는 음영은 BIPV(Building Integrated Photovoltaic) 시스템의 발전 효율을 저하시키는 주요 요인이다. 이를 완화하기 위한 기술 중 하나로, 모듈 단위 최대전력점추종(MPPT) 기능을 갖는 파워옵티마이저(Power optimizer)가 주목받고 있다. 그러나 기존 연구는 이론 중심의 시뮬레이션 기반 분석에 집중되어 있어, 실제 옥외 환경에서 다양한 음영 조건을 반영한 실측 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 옥외 실험 목적을 활용하여 다양한 음영 조건에서 파워옵티마이저 적용 성능을 실측 기반으로 평가하였다. 실험을 위해 총 4개의 스트링과 2개의 어레이로 구성된 BIPV 시스템을 구축하였다. 옵티마이저는 스트링별 1대씩 연결하였다. 시스템 구성은 다음과 같다: Array 1: String 1(3직렬)+String 4(2직렬), Array 2: String 2(3직렬)+String 3(2직렬). 음영 조건은 차양막을 모듈 표면에 직접 설치하여 구현하였다. 음영 실험 진행 시 Array 1은 옵티마이저 작동, Array 2는 비작동 상태이다. 실험은 다음의 3개 Case로 구성하여 진행하였다. Case 1(Ref.): 비차광 및 Array 1,2 옵티마이저 on, Case 2: Array 별 음영 40%(모듈 2장), Case 3: Array 별 음영 60%(모듈 3장). 분석 결과, Case 1의 Array 1과 Array 2의 누적 발전량은 각각 39.86 kWh, 39.89 kWh로 초기 실험 결과를 확인하였다. Case 2는 String 3, 4 음영 상태 실험으로, 2가지 패턴이 확인되었다. 인버터 최소 동작 전력 값인 70W 출력값 이상 확보된 경우, Array 1이 성능이 2.42% 향상되었으나 70W 이하가 될 경우, 2.20% 성능 감소를 보였다. 일정 수준의 전류 및 전압이 확보될 경우 옵티마이저의 기능이 효과적으로 작동됨을 확인하였다. Case 3은 모든 스트링에 음영이 발생되어 최소 출력 전력 확보가 불가능한 조건으로, 분석 결과 Array 1의 누적 발전량은 14.87 kWh, Array 2는 17.05 kWh로 약 12.76% 발전량 손실을 확인하였다. 이는 저출력 조건에서 옵티마이저가 MPPT 동작 임계 구간에 머무르며 변환 손실 및 내부 소비전력 증가 등의 영향이 복합적으로 작용한 결과일 가능성을 시사한다. 이는 저전압 BIPV 환경에서 옵티마이저 적용 시 전압 조건을 고려한 설계의 중요성을 시사하며, 추후 본 현상을 명확히 규명하기 위한 추가 실험을 진행할 계획이다.

**Key Words :** 건물 일체형 태양광(BIPV, Building-Integrated Photovoltaic), 파워 옵티마이저 (Power Optimizer), 최대 전력점 추종 (Maximum Power Point Tracking), 음영 조건 (Shading Conditions)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dongsu.kim@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2025-02316198)

BES-P-4

# 3차원 구형 마이크로 태양전지의 성능 평가를 위한 임의 경사면 일사 수광량 정밀도 검증에 관한 연구

## A Study on the Accuracy Validation of Solar Irradiance Reception on Arbitrarily Inclined Surfaces for Performance Evaluation of 3D Spherical Micro Solar Cells

이소예\*, 송광현\*\*, 양현모\*, 김민서\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>  
Soye Lee\*, Kwanghyun Song\*\*, Hyunmo Yang\*, Minseo Kim\*,  
Dongsu Kim\*, Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과 \*\*한국과학기술연구원 차세대 태양전지 연구센터

**Abstract :** 최근 3차원 구형 마이크로 태양전지(이하 구형 태양전지) 모듈의 발전 성능을 예측 연구가 진행되었으나, 시뮬레이션을 통한 발전 성능 예측의 신뢰성을 확보하기 위해서는 해석 모델의 일사량 계산 로직과 곡면 모사 방법에 대한 정량적 검증이 선행되어야 한다. 이에 본 연구는 3차원 구형 마이크로 태양전지의 수광 성능 평가에 앞서, 시뮬레이션 해석 모델의 임의 경사면 일사 수광량 예측 정밀도를 검증하고 최적의 표면 면분할(Subdivision) 조건을 도출하고자 하였다. Rhino-Grasshopper 환경의 Honeybee를 활용하였다. 일사량 해석 모델이 임의의 경사면에서 갖는 예측 정확도를 검증하기 위해 실측 데이터를 활용한 비교 분석을 수행하였다. 표준 기상 파일(EPW)에 단기간 측정된 실제 데이터(수평면 전 일사량 및 확산 일사량 등)를 입력하여 시뮬레이션을 구동하였으며, 이를 통해 도출된 수평면(0°) 및 임의의 경사면(30°) 일사량 결과값을 동일 기간의 측정값과 비교하여 계산 모델의 오차율을 분석하였다. 그 결과, 수평면(NMBE 1.3%, CV(RMSE) 3.5%)과 남측 30° 경사면(NMBE 0.6%, CV(RMSE) 12.7%) 모두 ASHRAE Guideline 14 기준의 허용 오차 범위를 만족하였고, 본 연구에 적용된 일사량 계산 모델이 임의 경사면 조건에서도 충분한 신뢰성을 확보함을 확인하였다. 더 나아가, 3차원 구형 표면을 모사하기 위한 최적의 면분할 개수를 평가하였다. 태양전지 표면의 면분할 개수를 10~10,000개(10, 25, 36, 49, 100, 225, 400, 900, 2,500, 10,000) 범위에서 단계적으로 증가시키며 해석 정밀도를 평가한 결과, 400개 이상에서 결과값이 수렴하여, 추가 분할에 따른 결과값의 변화가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 3차원 곡면 해석 모델의 수광률이 안정화되는 400개를 최적 면분할 조건으로 도출하였다. 결론적으로 본 연구에서 검증된 일사 해석 모델과 최적 면분할 조건은, 향후 자체 음영을 고려한 구형 태양전지의 피치 간격 조절 및 배열 변화 연구의 핵심 기반으로 활용될 것이다.

**Key Words :** 3차원 구형 태양전지 (3D spherical solar cell), 일광 해석 모델 (solar analysis model), 면분할(Subdivision), 일사 수광량 (solar reception)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. RS-2024-0045948)

# 성당 첨탑 음영에 따른 PV 시스템 발전량 저감 및 파워 옵티마이저의 발전 성능 개선 효과 분석

## Analysis of PV Power Generation Reduction due to Church Spire Shading and the Performance Improvement Effect of Power Optimizers

김민우\*, 김동수\*<sup>†</sup>, 김지우\*, 김예은\*, 이루디\*, 윤종호\*

Minwoo Kim\*, Dongsu Kim\*<sup>†</sup>, Jiwoo Kim\*, Yeeun Kim\*, Ruda Lee\*, Jongho Yoon\*

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 건축물 부문의 탄소 중립 실현을 위해 최근 도심 건축물을 대상으로 태양광 시스템 도입이 지속적으로 확대되고 있다. 건물부문 에너지 사용 측면에서 주거, 업무, 교육, 판매 시설이 큰 비중을 차지하지만, 도심 내 종교시설 또한 탄소 중립 달성을 위한 에너지 전환 노력의 일환으로 태양광 시스템 도입과 에너지 효율 개선을 적극적으로 추진하고 있다. 예를 들어, 불휘햇빛발전협동조합은 대전·충청권역의 성당을 중심으로 태양광 발전 시스템 구축이 지속적으로 확대되고 있으며, 성당 건물의 에너지 성능 향상을 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 성당 건물의 첨탑과 같은 고유의 차폐 요소를 포함하고 있어, 태양광 모듈에 불규칙한 부분 음영을 유발한다. 이러한 음영은 동일 스트링 내 모듈 간 전기적 출력 불균형을 초래하여 불일치 손실(Mismatch loss)을 발생시키며, 결과적으로 태양광 시스템 전체의 성능과 운영 효율을 저하시킬 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 성당 첨탑에 의해 발생하는 음영이 태양광 발전량에 미치는 영향을 실측 데이터를 기반으로 분석하고, 파워 옵티마이저(Power optimizer) 적용에 따른 불일치 손실 저감 효과를 평가함으로써 성당 적용 태양광 시스템의 운영 개선방안을 도출하는 데 있다. 이를 위해 대전 소재 성당의 2년간(2024~2025) 운영 데이터를 활용하여 다음 세 단계 분석을 수행하였다. (1) 음영 발생 및 미발생 모듈 간 출력 차이를 비교하여 직접적인 발전 손실을 분석하였다. (2) 파워 옵티마이저 작동 여부에 따른 어레이 출력 변화를 통해 순간 출력을 비교 분석하였다. (3) 옵티마이저 적용 시와 미적용 가상 시나리오를 비교하여 연간 누적 발전량 변화를 분석하였다. 분석 결과, 동지 정오 기준 완전 차폐 모듈의 출력은 정상 모듈 대비 약 8.5% 수준으로 급감하였다. 그러나 파워 옵티마이저 적용 시 어레이 전체 출력은 미적용 가상 시나리오 대비 최대 9.3배 향상되었으며, 연간 누적 발전량 또한 약 28.4% 증가하였다. 본 연구는 대규모 음영이 발생하는 특수 환경에서 파워 옵티마이저가 스트링 내 불일치 손실을 완화하고 태양광 시스템의 발전 성능을 향상시킬 수 있음을 실증적으로 확인하였다. 이는 향후 복잡한 도심 지형 내 태양광 시스템 설계 시 파워 옵티마이저가 발전량 확보를 위한 필수적 대안임을 시사한다.

**Key Words :** 태양광 발전(PV system), 첨탑 음영(Spire shading), 파워 옵티마이저(Power optimizer), 불일치 손실(Mismatch loss)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dongsu.kim@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2025-02316198)

ZEB-P-1

# 녹색신산업을 위한 미디어 융합 태양광모듈 기술연구

## Study on Media-Integrated Photovoltaic Module Technology for Green New Industry

이세현\*†

Sehyun Lee\*†

\*(주)에쓰와트

**Abstract :** 최근 탄소중립 정책과 제로에너지 건축 의무화 확대에 따라 건물일체형 태양광(BIPV) 기술은 친환경건축의 핵심 요소로 주목받고 있다. 특히 기존 태양광 시스템은 발전 기능 중심으로 적용되어 건축 물과의 융합성, 환경 개선 기능 및 도시 경관 기여 측면에서 한계가 존재하였다. 이에 본 연구에서는 에너지 생산과 도시 환경 개선 기능을 동시에 구현할 수 있는 GTG형 미디어 태양광(Media-BIPV) 모듈을 제안하고, 녹색신산업관점에서의 기술적·사업화 가능성을 분석하였다. 제안된 시스템은 태양전지와 LED 기반 미디어 기술을 융합한 구조로, 주간에는 태양광 발전을 통한 청정에너지 생산, 야간에는 건물 외벽을 활용한 미디어 디스플레이 기능을 제공한다. 이를 통해 건물 외장재 자체가 에너지 생산 설비이자 정보 전달 매체로 활용되며, 기존 구조물의 추가 점유 없이 재생에너지 생산을 극대화할 수 있다. 또한 본 연구는 저온 레진 공정을 적용한 저탄소공정을 도입하여 제조 단계에서의 에너지 소비 및 탄소 배출을 저감하고, 모듈의 환경적 지속가능성을 확보하였다. 더불어 빛공해 1,000 cd/m<sup>2</sup> 이하의 설계를 통해 도시 야간 환경에 미치는 영향을 최소화하면서, 산업단지 및 공공시설의 야간 경관 개선 및 안전성 향상에도 기여할 수 있다. 성능 측면에서는 모듈 정격용량 120W 이상, 모듈 효율 10% 이상을 확보하고, 내구성을 확보하도록 설계하였으며 이러한 기술적 특성은 장기 운용 안정성과 유지관리 비용 절감 측면에서 경쟁력을 제공한다. 본 기술은 재생에너지 확산을 통한 탄소배출 저감뿐만 아니라, 스마트시티, 디지털 미디어, 건축 외장재 산업과의 융합을 통해 새로운 시장을 창출할 수 있는 녹색신산업 기술로 평가된다. 특히 기존 태양광 설비의 환경적 한계를 보완하면서, 도시 미관 개선과 공공 안전성 향상이라는 환경개선 효과를 동시에 제공할 수 있는 점에서 차별성이 있다. 결론적으로 GTG형 미디어-BIPV 모듈은 에너지 생산, 저탄소 제조, 환경 개선 기능을 통합한 차세대 친환경 건축 기술로서, 탄소중립 사회 구현 및 지속가능한 도시 환경 조성에 기여할 수 있는 핵심 솔루션임을 확인하였다.

**Key Words :** 건물태양광(BIPV), 미디어태양광(Media-BIPV), 녹색신산업(Green New Industry and Innovation), 저탄소공정(Low-carbon Process and Manufacturing), 친환경건축(Eco-friendlyArchitecture)

† Corresponding author, E-mail: gazazip@gmail.com

### 후 기

본 연구는 한국환경산업기술원의 재원으로 2025년도 중소기업 사업화 지원사업지원의 녹색신산업 사업화 지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RQ2025010766).

# 국내 공동주택의 재실자에 따른 공간 이용 및 빌딩시스템 활용특성 분석

## Characteristics of Space Usage and Building System Operation based on Occupant Behaviors in Multifamily Residential Buildings

김철\*†

Chul Kim\*†

\*연세대학교 건축공학과

**Abstract :** 최근 정부는 세계적인 기후변화 정책에 대응하기 위해 건축부문에서 에너지 효율 개선과 온실가스 감축을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 지난 2010년 이후 국내에서 가장 대표적인 주거유형인 공동주택은 건축물의 에너지절약설계기준 강화에 따라 외피 및 냉난방시스템 성능에서 많은 개선이 이루어왔으며 1차에너지 소비량 측면에서 상당한 절감을 이루어 왔다. 현행 제도에서 공동주택의 설계과정에서 성능적으로 건축물의 최소 에너지 성능을 충족하기 위한 방법은 시뮬레이션에 기반한 제로에너지 건축물 인증제도를 충족하는 것으로 시뮬레이션 과정에서 재실자 및 공조시스템 운영을 위한 용도 프로파일을 사용한다. 하지만 이러한 용도 프로파일은 공간 이용의 단순화된 형태로 건물의 동적 운영환경을 반영하는데 한계가 있으며, 국내 공동주택에 적합한 대안적인 용도 프로파일에 대한 연구는 선행 연구에서도 매우 제한적인 실정이다. 따라서 본 연구는 국내 공동주택의 제도적 성능평가 개선을 위해 실사용에 기반한 용도프로파일 개발을 목표로 전국 아파트 거주자 450명을 대상으로 규모 및 지역별 공간이용, 조명, 냉난방 시스템 운영 전반에 대한 설문조사를 수행함으로써 국내 공동주택 이용현황을 파악하고 국내 총량기반 평가제도를 위한 기준 준수 시뮬레이션(code-compliant simulation)용 스케줄 개발에 기여하고자 한다.

**Key Words :** 공동주택(Multifamily residential building), 이용프로파일(Usage profile), 재실자행동(Occupant behavior), 공조시스템(HVAC system)

† Corresponding author, E-mail: chulkim@yonsei.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2025년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: RS-2024-00391692).

ZEB-P-3

# 건물 온실가스 총량제 실효성 강화를 위한 전문가 인식 기반의 이행 체계 마련 연구

## Enhancement of Implementation Mechanisms for Building GHG Emission Caps based on Expert Perception

김은환\*, 조가영\*†

Eunhwan Kim\*, Gayoung Cho\*†

\*서울연구원 지속가능연구실

**Abstract :** 건물부문에서 배출되는 온실가스 감축 이행 및 관리를 위한 건물 온실가스 총량제는 탄소중립 정책 이행의 핵심 수단으로 주목받고 있으나, 정부 부처 간 데이터 사일로(Data Silo) 현상과 객관적 평가 기준의 부재가 정책 이행의 장애요인으로 지적되고 있다. 최근 서울특별시 등 주요 지자체를 중심으로 실 에너지 사용량 기반의 탄소 관리 체계가 도입되고 있으나, 데이터의 분산과 출처 간 불일치, 정책사업 관련 데이터 간의 연계 부족, 활용 체계의 미흡 등으로 인해 실효성이 저하되는 한계가 존재한다. 이에 본 연구는 건물에너지 데이터 기반 정책 지원 플랫폼 도입에 앞서, 각 시·도 전문가 그룹을 대상으로 심층 인터뷰를 수행하여 지자체별 현행 체계의 한계를 진단하고 실무 중심의 실행 기제를 분석함으로써 실효성 있는 이행 체계 고도화 방안을 제시하였다. 분석 결과, 총량제의 실효성 강화를 위해서는 국가 건물에너지 DB와의 데이터 연계를 통한 자동화된 관리 체계 구축과 국가-지자체 간 역할 분담에 기반한 실행 체계 마련이 필요한 것으로 나타났다. 국가 차원에서는 분산된 건물·행정·에너지 데이터의 통합 및 표준화, 객관적인 평가 기준 마련, 정책 데이터 연계 및 플랫폼 운영에 대한 제도적 기반 구축이 핵심 과제로 확인되었다. 지자체 차원에서는 지역 특성을 반영한 정책 이행 전략 수립과 실행 역량 확보가 중요하며, 이를 위해 정책 담당자의 실무 활용성을 고려한 표준 업무 매뉴얼 구축과 시각화 기반 행정 지원 도구 도입이 요구된다. 종합적으로 본 연구는 전문가 인식에 기반한 실증적 분석을 통해 데이터 연계 및 활용 중심의 정책 실행 체계 구축이 탄소중립 목표 달성을 위한 핵심 기반임을 확인하고, 데이터 통합 기반 정책 지원 플랫폼과 국가-지자체 간 역할분담형 실행체계를 중심으로 이행 체계 고도화 방안을 제시하였다. 이러한 이행 체계 고도화는 향후 데이터 기반 정책 의사결정을 지원하고, 실측 데이터에 근거한 선순환적 탄소중립 환류 체계를 확립하는 데 기여할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 탄소중립 (Carbon Neutrality), 건물에너지 (Building Energy), 전문가인터뷰 (Focus Group Interview, FGI), 건물 온실가스 총량제 (Building GHG Emission Caps), 이행 체계 고도화 (Implementation Mechanism Enhancement)

† Corresponding author, E-mail: bestornggy@gmail.com

### 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : RS-2023-00244769).

# 건물 에너지 성능평가를 위한 창호 효율 종합지표 제안

## Proposal of a Composite Metric of Window Efficiency for Assessing Building Energy Performance

서로사\*, 윤경환\*, 김종현\*\*, 이규남\*\*†

Rosa Seo\*, Kyunghwan Yoon\*, Jonghyun Kim\*\*, Kyunam Rhee\*\*†

\*국립부경대학교 대학원 건축소방공학부, \*\*국립부경대학교 건축공학과

**Abstract :** 건물 에너지 절감을 위해서는 우선적으로 외피의 열성능을 개선하는 것이 필요하므로, 일반적인 벽체의 단열성능 외에 창호의 열성능에 대한 개선도 지속적으로 요구되고 있다. 불투명 외피인 벽체의 경우 열관류율이라는 하나의 지표로 단열 효율을 평가할 수 있는 반면, 투명 외피인 창호는 단열성능 외에 일사 및 가시광선 조절 성능을 포함하여 그 효율을 평가할 필요가 있다. 창호의 효율을 나타내는 성능 지표로서 열관류율, 태양열획득계수(SHGC), 가시광선투과율(VLT)이 활용되고 있으나, 각각의 성능을 종합한 단일지표는 도입되지 않은 상황으로 판단된다. 통상적인 복합지표로 LSG (Light to Solar Gain ratio=VLT/SHGC)가 활용되고 있는데, 이는 일사 및 가시광선 투과 측면만 고려되어 냉방에너지 예측에는 유용하게 활용될 수 있으나, 난방에너지에 대한 설명력은 다소 부족할 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 새로운 복합지표인 LSGU (Light to Solar Gain and U-value=VLT/(SHGC\*U))를 제안하고, 파라메트릭 시뮬레이션을 통해 해당 지표와 건물 에너지 사용량 간의 상관성을 규명하였다. 우선 서로 다른 U-value, SHGC, VLT 값을 갖는 210개의 글레이징을 WINDOW 시뮬레이션으로 제작하고, 이를 소규모 사무소 건물을 모사한 jEPlus 시뮬레이션 모델에 입력하여 냉방, 난방, 조명에너지를 포함한 에너지 사용량(EUI)을 산출하였다. LSG, LSGU와 EUI 간의 상관성을 분석한 결과, LSG의 상관계수는 0.57, LSGU의 상관계수는 70.3으로 나타나, LSGU로 건물의 에너지 사용량을 좀 더 정확하게 평가할 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 열관류율이 큰 창호를 적용할 때 난방에너지 사용량이 증가하는 경향을 LSGU 지표로써 보다 정밀하게 포착할 수 있기 때문으로 판단된다.

**Key Words :** 창호(Window), 열관류율(U-value), 일사열취득계수(Solar heat gain coefficient: SHGC), 가시광선투과율(Visual light transmittance: VLT), LSG(Light to solar gain)

† Corresponding author, E-mail: knrhee@pknu.ac.kr

### 후 기

이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : RS-2026-25495317).

# 탄소중립도시 실현을 위한 지역단위 탄소배출량 모니터링 시스템 구축 및 건물부문 저감 시나리오 샘플 케이스 도출

## Development of a District-scale Carbon Emission Monitoring System for Carbon-neutral Cities and a Sample Case of Building-sector Reduction Scenarios

진혜선\*, 정진우\*, 구보경\*<sup>†</sup>

Hye-Sun Jin\*, Jin-Woo, Jeong\*, Bo-Kyoung, Koo\*<sup>†</sup>

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** This study aims to develop a district-scale carbon emission monitoring system that can integratively manage and analyze carbon emissions from buildings and road transportation, and to derive a sample case of building-sector reduction scenarios for carbon-neutral city implementation. The system estimates energy consumption and greenhouse gas emissions by linking building energy use, building characteristics, traffic volume, and vehicle information, and visualizes the results on a spatial-information-based platform to identify regional emission status, temporal changes, and scenario application results. For the building sector, reduction scenarios were established based on green remodeling of aged buildings, including improvements in insulation performance and equipment efficiency, electrification of gas-based equipment, and improvement of the electricity emission factor through renewable energy expansion. Application of these scenarios to residential and non-residential buildings showed a sample case in which district-scale carbon emissions in the building sector could be reduced by about 5%. The study proposes a spatial framework for carbon emission monitoring and scenario evaluation reflecting regional characteristics, and can be used as a basis for local carbon-neutral strategies.

**Key Words :** 지역단위 탄소배출량 모니터링 시스템(District-scale carbon emission monitoring system), 탄소중립도시(Carbon-neutral city), 건물부문 저감 시나리오(Building-sector reduction scenario), 그린리모델링(Green remodeling), 시나리오 평가(Scenario evaluation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: koo.bok@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국건설기술연구원의 주요사업으로 연구비 지원을 받아 수행하나 연구 결과의 일부입니다.  
(과제번호 : 2026173-001, 과제명 : 탄소중립도시 실현 건설 디지털 플랫폼 기술 개발).

# 건물 PV-EV 시스템에서 전기차 충전 운영 유형이 에너지 자립률 및 전기요금에 미치는 영향

## Effects of EV Charging Operation Types on Energy Self-Sufficiency Rate and Electricity Cost in Building PV-EV Systems

엄지영\*, 최경석\*<sup>†</sup>

Ji-Young Eum\*, Gyeong-Seok Choi\*<sup>†</sup>

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 제로에너지건축물(ZEB) 의무화와 전기자동차(EV, 이하 전기차) 보급 확대가 동시에 진행되면서 건물 태양광(PV) 시스템과 전기차 충전 인프라의 운영 유형이 건물 에너지 자립률에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다. 국내 건물 내 전기차 충전 인프라는 ZEB 인증 체계와 별개의 정책 경로로 보급되어 왔으며, 현행 ZEB 인증 체계에서는 전기차 충전 부하와 콘센트 부하가 건물 에너지 사용량 산정에서 제외되어 있어 실제 전력 수급과 ZEB 인증 기준 에너지 자립률 간의 차이가 발생할 수 있다. 또한 현행 전기차 충전용 전력요금제는 태양광 발전이 집중되는 주간 시간대에 최대부하 요금을 적용하고 있어 PV 발전을 전기차 충전에 직접 활용하는 경제적 유인이 제한된다. 본 연구는 전기차 충전 운영 유형을 분리형, 통합형, 개인형으로 구분하고, 국내 업무용 가상 건물을 대상으로 분리형과 통합형에 따른 일간 전력 수급 패턴, 에너지 자립률 및 전기요금을 분석하였다. 에너지 자립률은 전기차 충전 부하를 포함한 전력 수급 관점에서 산정하였다. 분석 결과, 동일한 설비 조건에서도 운영 유형에 따라 에너지 자립률과 전기요금 부담 구조의 차이가 확인되었다. 분리형은 충전 비용이 차주에게 전가되는 구조인 반면, 통합형은 건물주가 PV 발전과 충전 부하를 직접 관리하여 연계 운영이 가능하다. 본 연구의 결과는 ZEB 인증 체계와 전기차 충전 정책의 연계 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

**Key Words :** 건물 PV-EV 시스템(Building PV-EV system), 전기차 충전 운영 유형(EV charging operation type), 에너지 자립률(Energy self-sufficiency rate), 제로에너지건축물(Zero energy building), 전기차 충전 전력요금(EV electricity tariff)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: bear717@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00459594, 과제명 : 건물 수명주기를 고려한 장수명 BIPV 모듈 개발)

ZEB-P-7

# 계절별 조건에 따른 외벽 BIPV 시스템의 모듈온도 및 발전 특성 분석

## Analysis of Module Temperature and Power Characteristics for Façade BIPV Systems under Seasonal Conditions

엄지영\*, 최경석\*<sup>†</sup>

Ji-Young Eum\*, Gyeong-Seok Choi\*<sup>†</sup>

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 탄소중립 목표 달성을 위해 건물 부문에서 제로에너지건축물 의무화와 신재생에너지 활용이 강조됨에 따라 건물일체형 태양광발전(Building-integrated photovoltaics; BIPV) 시스템이 주목받고 있다. BIPV 시스템은 건물 외벽을 활용하여 옥상 외에 추가적인 발전 면적을 확보할 수 있다. 그러나 외벽 BIPV 시스템은 일반적으로 모듈이 외벽과 일체화된 밀폐형 구조이므로 열 배출이 제한되어 모듈온도 상승에 따른 발전효율 저하가 우려된다. 본 연구는 동일한 구성의 외벽 BIPV 시스템이 설치된 3개 사이트를 대상으로 계측 데이터를 활용하여 계절별 모듈온도와 발전 특성을 분석하였다. 대상 사이트는 경상북도 영주시(18.05 kW, 남향), 전라북도 군산시(1.29 kW, 남향), 충청남도 서산시(1.36 kW, 다방향)에 위치하며, 일사량, 외기온도, 모듈온도, 발전출력을 1분 단위로 2024년 3월부터 2025년 9월까지 계측하였다. 분석 결과, 외벽 BIPV 시스템의 모듈온도는 -20℃에서 60℃까지 분포하였으며, 발전 시간대에는 모듈온도가 외기온도보다 월평균 기준 최대 약 20℃ 높았고, 비발전 시간대에는 외기온도와 유사하거나 낮게 나타났다. 발전출력은 계절별 일사량 차이에 따라 변화하였으며, 동일 일사량 구간에서 모듈온도가 상승할수록 발전출력이 감소하는 경향을 보였다. 향후 환기 등 모듈온도 저감을 통한 외벽 BIPV 시스템의 발전출력 향상 방안 연구를 수행할 예정이다.

**Key Words :** 건물일체형 태양광발전(Building-integrated photovoltaics), 외벽(Façade), 모듈 온도(Module temperature), 발전 특성(Power characteristics), 계절별 조건(Seasonal conditions)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: bear717@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00459594, 과제명 : 건물 수명주기를 고려한 장수명 BIPV 모듈 개발)

# 국내외 녹색건축 인증제도의 음환경 평가항목 비교 분석

## Comparative Analysis of Acoustic Environment Evaluation Items in Domestic and Overseas Green Building Certification Systems

신혜경\*<sup>†</sup>, 조경주\*\*, 장대희\*

Hye-kyung Shin\*<sup>†</sup>, Kyungjoo Cho\*\*<sup>†</sup>, Daehee Jang\*

\*한국건설기술연구원 건축도시연구본부, \*\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** This study conducts a comprehensive comparative analysis of the fundamental acoustic environment evaluation frameworks and items between the Korean Green Standard for Energy and Environmental Design (G-SEED) and leading international certification systems, specifically US LEED v5 and UK BREEAM. The analysis reveals a significant divergence in evaluative philosophy: while G-SEED is primarily centered on the application of sound-reducing materials and technical construction standards, international systems prioritize the actual lived experience of occupants. Currently, G-SEED evaluates acoustic performance through a quantitative grading system (Grades 1 to 4) for specific physical noise sources, including lightweight and heavyweight floor impact sound, boundary wall insulation, and traffic noise from roads and railways. This approach focuses on the "input" stage—assessing whether reduction materials or specific construction methods are implemented during the design and construction phases. In contrast, international systems emphasize the "output," focusing on the actual environment occupants are exposed to post-construction. US LEED v5 adopts a Path-based approach that focuses on mapping "Acoustic Expectations" from the early design stage. It categorizes spaces into noise exposure zones, acoustic comfort levels, and privacy requirements (e.g., high speech security to no privacy), requiring that at least 75% of occupied spaces meet these defined expectations. Similarly, the UK's BREEAM system emphasizes post-construction performance and requires verification by Suitably Qualified Acousticians (SQA). BREEAM evaluates detailed criteria such as indoor ambient noise levels and room acoustics (reverberation time) tailored to diverse building uses, such as offices, classrooms, and hotel bedrooms. The study concludes that while G-SEED ensures technical performance through a material-oriented checklist, LEED and BREEAM offer more flexible, occupant-centered frameworks that consider the integrated acoustic quality of the space. These findings suggest that for G-SEED to fully realize the objectives of its "Living Space and Health" category, it must gradually shift from a material-based assessment toward an outcome-oriented evaluation that reflects the actual acoustic environment experienced by residents.

**Key Words :** G-SEED), Acoustic environment, LEED v5, BREEAM, Living space and health

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hkshin@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년 녹색건축인증 지원을 위한 기술연구사업의 지원을 받아 수행되었음(No.20260040-001)

BEE-P-2

# 태양광 잉여전력을 히트펌프에 활용한 주택의 온실가스 배출 저감량 분석

## An Analysis on the Reduction of Greenhouse Gas Emissions of House Using Photovoltaic Surplus Power in Heat Pump

정영선\*<sup>†</sup>, 김용기\*, 조경주\*

Youngsun Jeong\*<sup>†</sup>, Yongki Kim\*, Kyungjoo Cho\*

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 기후변화에 대응하고 탄소중립을 달성하기 위해서는 화석연료의 사용을 줄이고, 필요한 에너지는 신재생에너지 시스템을 통해 공급받도록 하는 에너지 전환 정책과 기술이 필요하다. 건축물에서 난방 및 급탕의 공급을 위해 소비되는 에너지의 50% 이상이 화석연료를 통해 공급되고 있다. 우리 정부는 건물에서 소비되는 에너지원의 탈탄소화를 추진하기 위해 재생에너지 시스템 및 고효율 히트펌프를 통해 청정열 네트워크를 추진하고자 하고 있다. 이에 에너지원으로 화석연료를 사용해야만 하는 지역을 대상으로 태양광을 설치하여 전력을 공급하고 남은 잉여전력으로 히트펌프를 효율적으로 가동하여 온수를 공급하는 기술에 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 태양광 발전 시스템의 잉여전력을 활용하는 공기열 히트펌프를 적용하여 화석연료 보일러 대신 주택에 온수를 공급하고 이를 통해 얻어지는 화석연료 사용의 저감에 따른 온실가스 배출량 저감을 분석하였다. 콘텐츠싱 가스보일러(용량: 50kW, 효율: 90.3%)를 통해 난방 및 급탕을 공급하고, 9.9kW의 태양광이 이미 설치되어 운영되는 나주시에 위치한 단독주택을 연구 대상으로 하였다. 본 연구에서 건물의 에너지 부하와 태양광 발전량을 검토하고 공기열 히트펌프 12kW<sub>th</sub>와 100L 축열조를 설치하여 효율적 운영을 통한 온실가스 배출량 저감을 산출하였다. 분석 결과, 난방시점인 1월의 가스 사용량이 전년 대비 55.4% 감소하였고, 온실가스 배출량 601.7 kg CO<sub>2</sub>e가 저감됨을 확인하였다.

**Key Words :** 태양광 발전(Photovoltaic power), 잉여전력(Surplus power), 히트펌프(Heat pump), 온실가스 배출 (Greenhouse gas emissions), 그린리모델링(Green remodeling)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sunj74@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업으로 연구비 지원(과제명: 2050 건축·도시 탄소중립 구현을 위한 기반 구축 연구)을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 20260105-001)

# 동절기 실측실험 기반 창호 열거동 특성 분석

## Experimental Analysis of Window Thermal Behavior under Winter Conditions

김민서\*, 윤경\*, 양현모\*, 이소예\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>  
 Minseo Kim\*, Gyeong Yun\*, Hyunmo Yang\*, Soye Lee\*,  
 Dongsu Kim\*, Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 건축물에서 창호는 전도, 대류, 복사 및 일사 투과 등 복합적인 열전달 메커니즘이 동시에 작용하는 부위로, 외부 기상 조건의 영향을 크게 받는다. 그러나 기존 연구는 모델 기반의 가정 조건에 의존하고 있어 실제 환경의 열적 성능을 충분히 반영하지 못할 가능성이 있다. 따라서 창호 열성능 분석 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실측 데이터를 기반으로 한 검증이 필요하다. 이에 본 연구는 시뮬레이션 기반 창호 단열 성능 분석 결과의 신뢰성을 검증하기 위한 기초 실측 데이터베이스 구축을 목적으로 한다. 이를 위해 복층창과 삼중창을 대상으로, 창호의 중공층 구성 및 Low-E 필름 부착 여부에 따른 열적 성능 비교를 분석하기 위해 실측 기반 실험을 수행하였다. 실험을 위해 아이소핑크를 활용한 Down Scale Mock-up 4개를 제작하였으며, 외기 노출 조건이 동일한 환경에서 비교 실험을 수행하였다. 창호는 복층창, 삼중창 및 각 창호에 Low-E 코팅을 적용한 총 4가지의 조건으로 구성하였다. 실험은 동절기 중 4일간 진행되었으며, 특히 저온 환경에서의 변별력을 확보하기 위해 검은색 물감을 섞은 생수 500ml 8개를 창호 직후면에 얹혀 배치하여 내부 축열 성능을 보완하였다. 이를 바탕으로 유리 표면 및 실내 온도 변화를 측정하여, 열 취득 특성 및 주·야간의 온도 변화 패턴을 집중 분석하였다. 분석 결과, 복층창과 삼중창의 일평균 실내온도 차이는 1.47 °C로 나타났다. Low-E 코팅을 적용한 경우에는 평균 실내온도는 비코팅 조건 대비 약 5 °C 이상 낮게 나타났다. 복층창은 주간 일사 유입에 의해 실내온도가 크게 상승하였으나, 야간에는 열손실이 빠르게 발생하는 경향을 보였다. 반면, Low-E 코팅이 적용된 조건에서는 야간 시간대의 온도 저하 속도가 완만해졌으며, 특히 삼중창이 가장 안정적인 온도 유지 패턴을 보였다. 이는 동절기 조건에서 창호의 중공층 구조와 Low-E 코팅이 주야간 열손실 및 단열 성능에 중요한 영향을 미치는 것을 보여준다. 분석 결과는 창호 열성능 시뮬레이션을 통해 도출한 열적 거동을 평가하여 결과의 타당성을 검증하기 위한 기초 참조 데이터로 활용될 수 있다. 또한, 본 연구는 짧은 기간 동안 수행된 동절기 예비 실험 단계로, 향후 장기 실험을 통해 다양한 계절 및 외기 조건을 반영한 실측 기반 데이터베이스를 구축할 필요가 있다.

**Key Words :** 다중 mock-up 실험(Multi-Mock-up Test), 열환경(Thermal Environment), 로이코팅(Low-emissivity coating), 창호 유형(Glazing Type)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. RS-2022-NR069948)

BEE-P-4

# ISO 9869에 기반한 고단열 1등급 삼중 창호와 진공 복층 창호의 현장 열관류율 측정 연구

## Field Measurement Study on the Thermal Transmittance of High-Performance Grade 1 Triple Glazing and Vacuum Double Glazing Based on ISO 9869

김지우\*, 이준영\*, 김민우\*, 김예은\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>

Jiwoo Kim\*, Junyoung Lee\*, Minwoo Kim\*, Yeeun Kim\*, Dongsu Kim\*, Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 열관류율은 창호 열성능 평가와 건물 에너지 성능 분석에 있어 중요한 지표 중 하나이며, 일반적으로 외부 환경이 통제된 시험 환경 또는 표준 계산 프로그램(THERM, WINDOW 등)을 통해 산정된다. 그러나 이러한 산정 방식은 규정된 조건에서 도출된 설계·시험 값으로, 실제 건물에서의 설치 상태와 운용 환경을 충분히 반영하지 못할 가능성이 있다. 이에 본 연구는 벽체의 현장 열관류율 평가에 활용되어 온 ISO 9869 방법을 고단열 창호에 확장 적용하여, 현장 열관류율을 산정하고 창호 평가에 대한 적용 한계와 보완 필요성을 검토하는 것을 목적으로 한다. 실험은 대전시에 위치한 Full-scale Mock-up을 통해 수행되었으며, 시험체로는 Low-E 1면 진공복층창, Low-E 2면 진공복층창, 아르곤 가스가 충전된 Low-E 2면 삼중창을 적용하였다. 실내·외 공기 온도와 열유속을 측정하기 위해 열전대와 열류계를 활용하였다. 하지만, 이러한 열류계를 통한 측정 방식은 창호 전면의 열전달 특성을 연속적으로 파악하는 데 한계가 있으므로, 본 연구에서는 창호의 부위별 열전달 특성을 반영하기 위하여 중앙부(Center), 가장자리부(Edge), 모서리부(Corner)를 선정하여 열류계를 설치하였다. 일사 영향을 배제하기 위해 야간 시간대(21:00-04:00)의 측정 데이터를 활용하였으며, 이 중 실내·외 온도차가 20℃ 이상 유지된 구간만을 분석 대상으로 선정하였다. 해당 방식으로 산정된 열관류율은 LBNL에서 개발한 WINDOW 프로그램의 계산값과 비교하여 타당성을 검토하였다. 1월부터 28일간 수집된 현장 데이터를 분석한 결과, 창호 중앙부 열관류율은 삼중창 0.66 W/m<sup>2</sup>·K, Low-E 1면 진공복층창 0.29 W/m<sup>2</sup>·K, Low-E 2면 진공복층창 0.23 W/m<sup>2</sup>·K로 산정되었다. 그러나 가장자리 및 모서리 부위에서는 중앙부 대비 최대 약 4배 높은 열관류율이 나타나, 고성능 창호에서도 주변부 열교가 전체 열성능에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한 실측 기반의 산정값은 WINDOW 계산값과 비교할 때 최대 약 56%의 차이가 발생하였다. 이러한 결과는 ISO 9869에 기반한 고단열 창호의 현장 열관류율 평가에서 중앙부 단일 측정값만으로는 실제 열성능을 충분히 반영하기 어렵고, 부위별 열관류율과 면적비를 반영한 면적 가중 평균 산정 방식이 필요함을 시사한다.

**Key Words :** 진공유리(Vacuum Glazing), 열관류율(U-value), 일사획득계수(Solar Heat Gain Coefficient), 실증실험(Experimental Study)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “월드클래스 플러스(R&D, P0024373)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

# 나노 방진망 적용에 따른 실내 열환경 개선 효과에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Improvement of Indoor Thermal Environment by Applying Nano Dust-Proof Screens

김예은\*, 이준영\*, 김지우\*, 김민우\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>

Yeeun Kim\*, Junyoung Lee\*, Jiwoo Kim\*, Minwoo Kim\*,

Dongsu Kim\*, Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 최근 실내 공기질 관리의 중요성이 증대됨에 따라 미세먼지 유입을 차단하는 나노 방진망에 대한 관심이 높아지고 있다. 나노 방진망은 초미세 섬유 기반의 치밀한 구조로 입자 차단 성능은 검증되었으나, 이것이 창호의 일사 투과 및 열성능에 미치는 영향에 관한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 실측 실험을 통해 나노 방진망의 실내 열성능 개선 및 외피 장치로서의 활용 가능성을 검토하였다. 실험을 위해 3개의 축소 모형(Mock-up)을 제작하여 ‘망 미설치(Reference)’, ‘일반 방충망’, ‘나노 방진망’ 설치 조건에 따른 비교 실험을 수행하였다. 실험은 세 가지 케이스로 진행되었다: (Case 1) 기본 일사 차단 특성 비교, (Case 2) 야간 단열 효과 측정, (Case 3) 발열기를 이용한 난방 에너지 소비량 비교. 실험 결과, Case 1에서 나노 방진망은 주간 실내 최고 온도를 Reference 대비 최대 16.04℃, 일반 방충망 대비 최대 8.75℃ 낮게 유지하여 우수한 일사 차단 효과를 보였다. Case 2의 야간 실내 최저 온도 측정 결과, 나노 방진망 적용 시 5.36℃로 나타나 Reference(-0.58℃) 및 일반 방충망(4.87℃) 대비 높은 보온 성능을 확인하였다. Case 3의 난방 에너지 소비량은 Reference 대비 일반 방충망은 2% 증가한 반면, 나노 방진망은 5% 감소하여 열손실 저감 효과가 입증되었다. 본 연구를 통해 나노 방진망이 주간에는 일사 차단 차양으로, 야간에는 열손실을 완화하는 단열 장치로 기능할 수 있음을 확인하였다. 향후 장기적인 실측을 통해 다양한 기상 조건에서의 정밀한 데이터 확보 및 경제성 분석을 수행할 예정이다.

**Key Words :** 나노 방진망 (Nano dustproof net), 온도 (Temperature), 발열기 (Heat generator), 축열체 (Heat storage body)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. RS-2022-NR069948)

BEE-P-6

# 실외 도장용 비산먼지 저감 장치 및 평가 방법 개발

## Evaluation Approach for Paint Particle Dispersion Reduction Devices Applied to Outdoor Painting

남학호\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Hak-Ho Nam\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 호흡기 질환 등 인간의 건강에 치명적인 영향을 미치는 미세먼지 발생을 억제하기 위해 미세먼지 저감에 대한 연구개발이 증가하고 있다. 특히, 건물의 외벽 도장 시 에어리스 스프레이의 사용에 따라 비산되는 페인트 입자는 인체에 유해한 성분인 휘발성 유기 화합물(VOCs)과 Pb, Fe, Ni 등의 중금속 이온이 많이 포함되어 있다. 이는 만성 노출 시 폐질환, 신경계 장애, 피부질환 등을 유발할 수 있는 문제가 있다. 본 연구에서는 실외 도장 시 발생하는 페인트 비산 먼지 발생을 줄이고 동시에 도장 작업을 효율적으로 진행할 수 있도록 하는 장치의 성능을 평가할 수 있는 방법을 개발하였다.

**Key Words :** 페인트 입자(Paint dust), 도료분사장치(Airless paint sprayer), 입자 저감(Dust reduction)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This study has been performed for ‘Development Project for One-stop Platform Technology of Atmospheric Environmental Monitoring UAV System’ (SN: RS-2025-02213909) funded by the ROKG.

# 지능형 교통체계 합체 용 집진장치 개발

## Development of a Dust Collection Device for Intelligent Transportation System Enclosures

조상현\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Sang-Hyun Cho\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 도로변에 설치되는 Intelligent Transportation System (ITS) 합체에는 외부 먼지 유입으로부터 전자 장비를 보호하기 위해 필터 기반의 환기 시스템이 적용되고 있으나 필터의 오염과 막힘으로 인해 유지관리 부담이 증가하는 문제가 있다. 본 연구에서는 기존 필터 방식의 한계를 개선하기 위하여 ITS 합체에 적용 가능한 집진장치를 설계하고, 집진 성능과 유동 특성을 고려한 최적 설계를 수행하였다. 집진장치 내부 유동 구조와 입자 포집 특성을 분석하기 위해 전산유체해석을 수행하였으며 주요 설계 변수에 따른 집진 효율과 압력 강하 특성을 평가하였다. 제안된 집진 구조는 가상임팩터 방식의 장점을 활용한 기술로 기존 필터 방식 대비 유지관리 부담을 줄이면서 안정적인 입자 제거 성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제안한 집진장치 설계 방법은 도로 ITS 합체와 같은 전자 장비 보호 시스템에서 필터 대체 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 집진장치(Dust collector), 지능형 교통체계(Intelligent transportation system), 도로먼지(Road dust)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Expressway Corporation Research Institute (KECRI).

## 회전 액면을 이용한 집진장치 개발에 관한 연구

### Development of a Dust Collection Device using a Rotating Liquid Surface

강현민\*, 육세진\*†

Hyeon-Min Kang\*, Se-Jin Yook\*†

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 발전 플랜트 등 다양한 산업 시설에서는 배출되는 입자상 물질을 제거하기 위해 여러 형태의 집진장치가 활용되고 있다. 이 중 입자의 관성을 이용하여 분리하는 관성 집진장치는 비교적 큰 입자를 제거하기 위한 전처리 장치(Pre-separator)로 널리 적용된다. 이러한 관성 집진장치는 적용 목적과 운전 조건에 따라 다양한 크기와 형상을 가지며, 일반적으로 절단직경(cutoff size)은 수  $\mu\text{m}$ 에서 수십  $\mu\text{m}$  범위에 걸쳐 분포한다. 본 연구에서는, 하단에 설치된 임펠러를 이용하여 액면을 회전시키고 이를 통해 일반적인 사이클론과 유사한 콘 형상의 액체 유동 구조를 형성하였다. 또한 다양한 회전 속도 및 유입 유량 조건에서 절단직경 변화를 분석하여 액체 사이클론의 분리 성능을 평가하였다. 수치해석에는 Reynolds Stress Model (RSM)과 Volume of Fluid (VOF) 기법을 적용하여 자유표면을 포함한 유동 특성을 예측하였으며, 이를 기반으로 기존 기체 사이클론과의 포집효율을 비교 분석하였다.

**Key Words :** 사이클론 분리기(Cyclone separator), 절단직경(Cutoff size), 포집효율(Collection efficiency)

† Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

#### 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00346834).

# 비주거 건축물의 녹색건축인증 점수 취득현황 및 분석 -2017년~2024년 인증현황을 중심으로

## Analysis of Green Building Certification Score Attainment in Non-Residential Buildings: Focused on Certification Results from 2017 to 2024

조경주\*<sup>†</sup>, 장대희\*\*

Kyungjoo Cho\*<sup>†</sup>, Daehee Jang\*\*

\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부, \*\*한국건설기술연구원 건축도시연구본부

**Abstract :** The Green Standard for Energy and Environmental Design (G-SEED) classifies assessment targets into two major categories: residential buildings and non-residential buildings. Non-residential buildings include all building types other than residential buildings and are further categorized into five groups: office buildings, school facilities, retail facilities, accommodation facilities, and general buildings that do not fall into the previous four categories.

The dataset analyzed in this study consists of newly constructed non-residential buildings that obtained G-SEED preliminary certification between 2017 and 2024. A total of 5,884 cases were initially identified, including 3,540 general buildings, 1,377 office buildings, 804 school facilities, 24 retail facilities, and 139 accommodation facilities. Among these, three cases with missing certification item scores—two general buildings and one office building—were excluded from the analysis. Consequently, a total of 5,881 buildings were included in the statistical analysis, comprising 3,538 general buildings, 1,376 office buildings, 804 school facilities, 24 retail facilities, and 139 accommodation facilities.

The statistical analysis examined certification acquisition trends by region, gross floor area, public and private sectors, certification grade, and total score. In addition, score distributions by specialized assessment categories and the proportional composition of total scores across evaluation categories were analyzed. The results of this study are expected to provide useful evidence for future revisions of the G-SEED certification criteria.

**Key Words :** Non-residential buildings, G-SEED certification score attainment

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kyungjoocho@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년 녹색건축인증 지원을 위한 기술연구사업의 지원을 받아 수행되었음(No.20260040-001)

# ISO 9869 기반 현장 측정을 통한 그린리모델링 창호 시스템의 열관류율 실험 분석

## Experimental Evaluation of the Thermal Transmittance of a Green Remodeling Window System Using ISO 9869 In-situ Measurements

문주희\*, 조경주\*\*†

Juhee Moon\*, Kyungjoo Cho\*\*†

\*국립공주대학교 그린스마트건축공학과, \*\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 기존 건축물의 에너지 성능 개선은 건물 부문 온실가스 감축을 위한 중요한 과제로 인식되고 있으며, 이에 따라 그린리모델링의 중요성이 확대되고 있다. 건축물 외피 구성 요소 중 창호는 다른 구성 요소에 비해 열관류율이 높아 건물의 열 손실에 큰 영향을 미치는 요소로 창호의 단열 성능 개선은 건물 에너지 절감 측면에서 중요한 전략으로 평가된다. 이에 본 연구에서는 필름 삽입형 삼복층유리를 적용한 그린리모델링 창호 시스템을 제안하고, 본 시스템의 열적 거동을 비교 분석하기 위해 실제 기후 조건이 반영된 테스트베드에서 현장 열관류율 측정을 실시하였다. 이를 위해 동일한 조건의 두 테스트베드를 구축한 후 각 테스트베드의 전면 창호를 각각 복층유리 창호와 그린리모델링 창호 시스템으로 구성하여 난방 실험을 수행하였다. 이때, 두 창호 유리의 열관류율은 ISO 9869에서 제시하는 평균법을 적용하여 산정하였으며, 동시에 실내·외 유리 표면온도와 난방 에너지 사용량을 측정하여 열관류율 차이가 실내 열환경 및 난방 에너지 소비에 미치는 영향을 추가적으로 분석하였다.

분석 결과, 그린리모델링 창호 시스템의 유리 열관류율은 약  $0.36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 나타났으며, 이는 기존 복층 유리의  $1.74 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 에 비해 약  $1.38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  낮은 값이다. 또한 난방 운전 시 실내 유리 표면온도는 그린 리모델링 창호 시스템 유리가 복층유리에 비해 평균 약 2 K 높은 수준을 유지하였으며, 실외 유리 표면온도는 약 2.5 K 낮은 수준으로 나타났다. 이는 그린리모델링 창호 시스템이 기존 창호 대비 더 낮은 열손실 특성을 보이는 것으로 해석된다. 한편 동일한 실험 기간 동안 측정된 난방 에너지 사용량은 그린리모델링 창호 시스템이 약 11.4% 낮은 것으로 나타났다. 본 연구는 동적인 환경 조건에서 수행된 현장 측정 기반 평가를 통해 그린리모델링 창호 시스템의 열적 성능을 분석했다는 점에서 의의를 가진다.

**Key Words :** 필름 삽입형 다복층 유리(Suspended-film multi-layer glazing), 창호 리트로핏(Window retrofit), 현장 기반 검증(In-situ validation)

† Corresponding author, E-mail: kyungjoocho@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년 국토교통부의 재원인 국토교통 기술사업화를 위한 이어달리기 사업의 지원을 받아 수행된 연구과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00412149)

# 필름 삽입형 다중 공기층 유리 적용 그린리모델링 창호 시스템의 열적 성능 실험 분석

## Experimental Analysis of the Thermal Performance of a Green Remodeling Window System Using Suspended-film Multi-Cavity Glazing

임서진\*, 조경주\*\*†

Seojin Lim\*, Kyungjoo Cho\*\*†

\*서울시립대학교 건축학부, \*\*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

**Abstract :** 다복층 유리는 창호의 단열성능 향상에 보편적으로 적용되어온 자재이나 기존 건축물에 활용하기 위해서는 고중량 등 여러 현실적인 문제가 존재한다. 이에, 본 연구에서는 필름 삽입형 삼복층 유리를 활용한 그린리모델링 창호 시스템을 제안하고 현장 적용을 위한 실물 실험을 실시하였다. 먼저, 기존 복층 창호를 현재 단열 수준까지 향상시키기 위해 필름 삽입형 삼복층 유리를 추가한 그린리모델링 창호 (GR 창호 시스템)의 열관류율을 Window 7.8을 활용하여 분석하였다. 시뮬레이션을 활용한 결과, 복층 창호 시스템의 열관류율은  $2.36\text{W/m}^2\text{K}$ , GR 창호 시스템의 열관류율은  $1.60\text{W/m}^2\text{K}$ 인 것으로 나타났다. 이후 GR 창호 시스템을 기존 건물에 적용했을 경우 기존 건물의 에너지소요량 절감량을 분석하기 위해 ECO2-OD 프로그램을 활용하였고 시뮬레이션 결과, 기존 복층 유리 창호 건축물 대비 GR 창호 시스템을 적용한 건축물의 연간 난방 에너지 소요량이 약 13% 저감되는 것으로 분석됐다. 이후, 실물 실험을 위해 두 개의 실험실을 동일한 조건에 구축하고, 기존 복층 유리 창호를 적용한 실험실과, GR 창호를 적용한 실험실로 구분하였다. 이후 동일한 조건에서 난방기를 활용하여 8시간 난방을 실시하였으며 3일간 표면 온도 센서와 에너지 사용량 측정 로거를 이용한 실측 실험을 통해 실험 분석을 실시하였다. 분석 결과 GR 창호 시스템 실험실의 유리 표면 온도가 복층 창호 시스템 실험실의 온도보다 평균  $2.32\text{K}$  높았으며 외부측 표면온도는 GR 창호 시스템 실험실이  $1.6\text{K}$  낮은 것으로 분석되었다. 에너지 절감률의 경우 GR 창호 시스템을 적용한 실험실 기존 복층유리 대비 평균 약 11.05%의 난방 에너지 절감률을 보였다. 본 연구는 필름 삽입형 다복층 유리를 활용한 기존 건물 GR 창호 시스템의 적용을 통해 기존 건축물의 탄소배출량 절감 효과 예측 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Key Words :** 그린리모델링(Green remodeling), 필름 삽입형 다복층 유리(Suspended-film multi-layer glazing), 창호 성능(Window performance), 에너지 절감(Energy saving)

† Corresponding author, E-mail: kyungjoocho@kict.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년 국토교통부의 재원인 국토교통 기술사업화를 위한 이어달리기 사업의 지원을 받아 수행된 연구과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00412149)

# 기후 변화 조건에서 건물 냉방 민감도 평가를 위한 단순화된 열 방정식 도입

## A Simplified Thermal Equation for Assessing Building Cooling Sensitivity Under Changing Climate Conditions

강효민\*<sup>†</sup>, 안수현\*, 문우석\*

Hyomin Kang\*<sup>†</sup>, Soohyun Ahn\*, Woosok Moon\*

\*국립부경대학교 지구시스템과학부 환경대기과학전공

**Abstract :** Due to the intensification of climate change, electricity consumption in the building sector is steadily increasing. Extreme high-temperature events, such as heat waves, in particular, trigger a sharp increase in cooling demand, threatening the stability of electricity supply and demand. This increase in demand is closely related not only to rising average temperatures but also to the dynamic thermal response of buildings to external thermal forcing. Therefore, an approach capable of efficiently analyzing building cooling sensitivity under changing climate conditions is necessary.

Existing studies often rely on high-resolution building energy simulations such as EnergyPlus or large-scale experiments, which require high computational costs for repeatedly analyzing various climate scenarios. This study proposes a simplified heat equation system comprised of three domains: Indoor, Wall, and Outdoor. Wall temperature and indoor air temperature are defined as key state variables, time-dependent heat fluxes based on outdoor temperature are considered as external forcing, and heat removal due to cooling is included in the indoor energy balance equation.

The proposed equations can produce piecewise analytical solutions, and comparisons with EnergyPlus simulations performed under identical climate input conditions demonstrate their ability to account for key characteristics of indoor temperature changes and cooling operation trends. Rather than aiming for precise reproduction, this approach provides a conceptual analytical framework for understanding the dynamic response of buildings to external thermal forcing. It can be utilized for analyzing cooling demand characteristics according to changes in key thermophysical parameters and assessing building energy sensitivity based on climate scenarios.

**Key Words :** 건물 열역학(Building thermal dynamics), 단순화 식(Simplified equation), 냉방 수요 민감도(Cooling demand sensitivity), 기후에 따른 열적 반응(Climate-driven thermal response)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: tngus787@gmail.com

# 엣지 AI 기반 수열히트펌프 실시간 성능 예측 및 운전 최적화 시스템 개발

## Development of an Edge AI-Based System for Real-Time Performance Prediction and Control Optimization of Water-Source Heat Pumps

이가람\*, 임병주\*, 권시은\*\*\*, 박창대\*\*\*†

Ga-Ram Lee\*, Byung-Ju Lim\*, Si-Eun Kwon\*\*\*, Chang-Dae Park\*\*\*†

\*한국기계연구원 액체수소플랜트연구센터, \*\*과학기술연합대학원대학교 융합기계시스템 전공

**Abstract :** 태양열, 수열, 공기열 등 기상 조건에 따라 온도가 시시각각 변동하는 열원을 사용하는 히트펌프는 수요측에서 목표 온도 및 열량을 안정적으로 공급받기 어려운 문제가 발생한다. 이러한 열원 변동성에 대응하기 위해서는 다변수 운전 환경에서 높은 적응성과 예측력을 갖춘 AI 기반 제어 모델이 적합하다. 또한, 열원 온도 변화에 즉각 반응해야 하는 특성상 클라우드 기반 처리의 통신 지연은 제어 신뢰성을 저하시킬 수 있어 현장 엣지 디바이스에서의 실시간 추론이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 열원 변동성에 능동적으로 대응하기 위해 엣지 AI 기반 히트펌프 실시간 운전 최적화 시스템을 개발하였다. 히트펌프를 대상으로 계측·제어 인프라를 구축하고, 열원 및 부하 온도, 압축기와 펌프의 인버터 주파수 등 다양한 운전 변수 조건에서 실험을 수행하여 성능 데이터를 확보하였다. 수집된 데이터를 전처리한 후 Polynomial Ridge Regression 기반 경량 AI 예측 모델을 개발하였다. 이를 Grid Search 최적화 알고리즘을 통해 목표 온도 달성, 열량 만족, COP 최대화를 동시에 추구하는 다목적 최적 운전을 구현하였다. 검증 결과, AI 운전은 정격 운전 대비 목표 온도 미달성 구간을 절반 수준으로 감소시키고 평균 공급 열량을 15.9% 향상시켰다. 또한, 클라우드 없이 엣지 디바이스 단독으로 실시간 제어가 가능함을 실증하였다.

**Key Words :** 히트펌프(Heat pump), 엣지 AI(Edge AI), 제어 최적화(Control Optimization), 성능 예측(Performance prediction)

† Corresponding author, E-mail: parkcdae@kimm.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국기계연구원 자체 사업과 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00419184).

REC-P-2

# CFD를 이용한 사다리꼴형 난류촉진체가 적용된 공기식 PV/T 전열 특성 연구

## A CFD Study on the Heat Transfer Characteristics of an Air-type PV/T Collector with Trapezoidal Turbulator

정목호\*, 안건용\*, 정현석\*, 문광암\*\*, 최휘웅\*\*†

Mukho Jeong\*, Geonyong An\*, Hyeonseok Jeong\*,  
Kwangam Moon\*\*, Hwiung Choi\*\*†

\*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, \*\*전남대학교 냉동공조공학과

**Abstract :** 공기식 태양광열 집열기는 구조가 단순하고 유지관리가 용이하다는 장점이 있으나, 내부 유로에서의 열전달 향상과 압력강하 저감이 동시에 요구된다. 특히 집열 유로 내부에 배플을 적용할 경우 유동 교란을 통한 열전달 성능을 향상되지만, 동시에 큰 압력 손실이 발생할 가능성이 있다. 이러한 특성으로 인해 단순 돌출형 형상부터 웨이브형과 같은 복합 형상에 이르기까지 다양한 전열 향상 구조에 대한 연구가 수행되어 왔다. 그러나 사다리꼴 구조를 갖는 난류촉진체를 적용한 공기식 태양광열 집열기에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 공기 유로 내부에 사다리꼴형 난류촉진체가 적용된 공기식 태양광열 집열기를 대상으로, 내부 유동 및 열전달 특성을 전산유체해석을 통해 분석하고자 하였다. 기존 연구들에서는 난류촉진체의 설치 위치, 형상, 높이, 간격 및 배열 방식이 전열 성능에 유의한 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있으며, 본 연구는 이러한 형상 인자 연구의 연장선에서 사다리꼴형 구조의 적용 가능성을 검토하는데 목적을 두었다.

해석 대상은 공기 유입부, 사다리꼴형 난류촉진체가 적용된 내부 유로, 공기 유출부로 구성하였으며, 작동 유체는 공기로 가정하였다. 해석을 위해 상용 전산유체해석 프로그램인 ANSYS Fluent를 사용하여 정상상태 조건에서 해석을 수행하였고, 집열판 상부에는 동일한 열유속 조건을 부여하였다. 또한 해석 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 최적 난류 모델 선정하고 격자 수 적정성 검토 과정을 진행하였다. 최종 선정된 해석 조건을 바탕으로 사다리꼴형 난류촉진체의 높이와 유입 유속 조건에 따른 전열특성을 분석하였다.

**Key Words :** 사다리꼴형 난류촉진체(Tapered type turbulator), 공기식 태양광열 집열기(Air type PV/T collector), 전산 유체해석(Computational fluid dynamics), THPP(Thermal-hydraulic performance parameter)

† Corresponding author, E-mail: choihu@jnu.ac.kr

# KOSIS 공공데이터 기반 국내 바이오매스 자원 잠재량 산정

## Assessment of Biomass Resource Potential in South Korea Based on KOSIS Public Statistical Data

박영석\*<sup>†</sup>, 이준표\*, 윤창열\*

Youngseok Bak\*<sup>†</sup>, Joon-pyo Lee\*, Chang-yeol Yun\*

\*한국에너지기술연구원

**Abstract :** 국내 바이오매스 자원 잠재량은 신재생에너지 보급 정책 수립의 기초 자료로서, 정기적인 업데이트가 요구된다. 본 연구에서는 2017년 기준으로 산정된 기존 바이오매스 자원 잠재량 평가 결과를 최신 국가 통계로 갱신하고, 카테고리별·지역별 변화 양상을 분석하였다.

평가 대상 바이오매스는 임산(임목축적량), 농산(작물부산물 17종), 축산(한우·육우·젓소·돼지·닭·오리 6축종), 도시폐기물(음식물류폐기물, 하수슬러지)의 5개 카테고리이며, 공간 단위는 17개 시도 및 약 230개 시군구를 포함한다. 기초 통계는 통계청 KOSIS API를 활용하여 농산·축산(2024년), 임산(2020년, 5년 주기), 도시폐기물(2023년) 기준 최신 데이터를 수집하였다. 시군구 단위에서 KOSIS 상세 데이터가 부재한 항목(돼지, 오리, 음식물폐기물 등)은 시도 통계 대비 기존 시군구 비율을 적용하여 배분하였으며, 하수슬러지의 경우 KOSIS 도단위 데이터와 지역통계(서울·울산) 및 원시자료(기타 광역시)를 병합하여 약 200개 시군구 데이터를 구축하였다.

자원 잠재량 산출에는 기존 보고서(2017)의 산식 체계를 그대로 적용하되, 임산 부문의 연간 체적 성장률은 2021년 산림청 고시(제2021-130호)에 따라 갱신하였다.

분석 결과, 전국 바이오매스 이론적 잠재량은 22,366천 TOE/년(2017)에서 17,206천 TOE/년(2025)으로 약 23.1% 감소한 것으로 나타났다. 전체 감소분의 96.5%는 임산 자원의 성장률 하향 조정이 주된 원인으로 나타났다. 농산은 작물 생산량 감소로 14.4% 줄었다. 반면, 축산은 사육두수 증가에 따라 14.7%, 음식물폐기물은 발생량 증가로 18.5% 각각 상승하였다. 시도별로는 전 지역에서 감소 추세를 보였으나, 임산 비중이 높은 제주, 전북 등에서 감소폭이 크게 나타났고, 임산 비중이 낮은 대도시 지역에서는 상대적으로 소폭 감소하였다.

본 연구는 공공 통계 API를 활용한 체계적인 바이오매스 자원량 업데이트 방법론을 제시하였으며, 시군구 단위의 공간적 상세 분석을 통해 지역별 바이오에너지 정책 수립에 활용 가능한 기초 자료를 제공하였다.

**Key Words :** 바이오매스(Biomass), 자원 잠재량(Renewable Energy Potential), 신재생에너지(Renewable Energy)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yuncy@kier.re.kr

RER-P-2

# RE100 기반 수소 시범단지 인프라 기술 개발

## Development of Hydrogen-based Energy Infrastructure for RE100

강민구\*<sup>†</sup>, 김보영\*, 박영석\*, 김창기\*, 박주식\*, 강성민\*, 정학근\*, 강모세\*, 오석화\*  
Min Gu Kang\*<sup>†</sup>, Boyoung Kim\*, Youngseok Bak\*, Chang Ki Kim\*, Chu-sik Park\*,  
Sungmin Kang\*, Hak-geun Jeong\*, Mo Se Kang\*, Seok Hwa Oh\*

\*한국에너지기술연구원

**Abstract :** 본 연구는 재생에너지 100%(RE100) 달성을 목표로 하는 수소 기반 에너지 자립형 시범단지 인프라 구축 기술을 제안한다. 대상 지역은 제주 행원 풍력단지와 용암해수 산업단지로 설정하였으며, 풍력발전을 기반으로 산업단지 내 오리온 공장의 전력 수요를 안정적으로 공급하는 통합 에너지 시스템을 개발하고자 한다.

제안 시스템은 변동성이 큰 풍력발전의 출력 특성을 보완하고 RE100 달성을 실현하기 위해 에너지 저장 및 변환 설비를 포함한다. 구체적으로, 3MW/8MWh 규모의 에너지저장장치(ESS)를 도입하여 풍력 발전 출력의 시간적 불균형을 완화하고, 잉여 전력을 활용한 1MW급 수전해 시스템을 통해 수소를 생산하도록 구성하였다. 생산된 수소는 저장 후 필요 시 700kW급 연료전지 시스템을 통해 전력으로 재변환되어 산업단지의 부하에 공급된다.

이와 같은 전력-수소 연계(Power-to-Hydrogen-to-Power) 구조는 재생에너지의 간헐성 문제를 해결함과 동시에 장기 저장 수단을 확보할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 풍력발전과 산업 수요 간의 공간적 분리를 고려한 계통 연계 및 운영 전략을 포함하여 실증 가능성을 높였다.

본 연구는 제주 지역의 풍부한 풍력 자원을 활용한 RE100 기반 수소 인프라 모델을 제시함으로써, 향후 산업단지의 탄소중립 달성 및 재생에너지 확대 적용을 위한 기술적·정책적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** RE100(RE100), 수소 시범단지(Hydrogen-based energy infrastructure), 전력-수소 연계(Power-to-hydrogen-to-Power), 재생에너지 간헐성(Renewable Energy Intermittency)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mgkang@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제 번호 : RS-2022-00143582).

# 지상 풍속 재현을 위한 WRF 기반 역학적 상세화 성능 검증

## Evaluation of WRF-based Dynamical Downscaling Performance for Surface Wind Reproduction

이민규\*<sup>†</sup>, 오동건\*, 김진영\*, 김창기\*, 김현구\*

Minkyu Lee\*<sup>†</sup>, Donggun Oh\*, Jin-Young Kim, Chang Ki Kim, Hyun-Goo Kim

\*한국에너지기술연구원 신재생빅데이터연구실

**Abstract :** 기후 변화 대응 및 정밀한 풍력 자원 평가를 위해서는 고해상도의 연속적인 지상 풍속 데이터 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 남한 전역을 대상으로 ERA5 재분석자료를 초기, 경계장으로 활용하여 2km 격자 해상도의 WRF (Weather Research and Forecasting) 모델 기반 역학적 상세화 (Dynamical Downscaling)를 수행하여, 2015년부터 2024년까지 10년 기간의 고해상도 지상 풍속 데이터셋을 구축하였다. 모델의 신뢰성 검증을 위해 전국 ASOS (Automated Synoptic Observing System) 관측망 중 10년간 위치 및 고도가 고정된 지점만을 선정하여 비교 분석을 수행하였다. 분석 결과, 10년 장기 모의 측면에서 WRF 모델과 ERA5 재분석 자료의 전반적인 풍속 모의 성능은 유사한 수준으로 나타났으나, 지점별 위치 특성(해안, 고고도 등)에 따라 오차 편차가 존재함을 확인하였다. 본 연구에서 산출된 고해상도 풍속 자료는 재분석 자료의 시공간적 한계를 보완하여, 향후 정밀한 풍력 에너지 잠재량 산정 및 기상 역학 분석을 위한 핵심적인 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

**Key Words :** 역학적상세화(Dynamical downscaling), WRF(Weather Research and Forecasting), 고해상도 모의(High-resolution simulation), 풍력자원평가(Wind resource assessment),

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mklee@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(C6-2403-15)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

# LiDAR 3차원 도심지 지도를 이용한 차량 일체형 태양광 발전 시스템의 발전량 예측 및 검증

## Power Generation Prediction and Validation for Vehicle-Integrated Photovoltaic System Using 3D LiDAR-based Urban Map

이지현\*, 백지은\*<sup>†</sup>

Jihyun Lee\*, Jieun Baek\*<sup>†</sup>

\*국립부경대학교 에너지자원공학과

**Abstract :** 최근 태양광 모듈을 차량의 지붕이나 차체에 통합하여 차량이 직접 태양에너지로 전기를 생산하는 차량 일체형 태양광 발전(Vehicle-Integrated Photovoltaics, VIPV) 기술이 발전하고 있다. 본 연구에서는 LiDAR(Light Detection and Ranging) 3차원 도심지 지도를 이용하여 VIPV의 주행 중 태양광 발전량을 예측하고 이를 검증하였다. 도로 주변의 건물, 나무와 같은 장애물 구조를 LiDAR로 스캔하여 3D 도심지 지도를 생성하고 주행 경로 지점의 위치 좌표(x, y, z)를 획득하였다. Python 오픈소스 라이브러리인 PVlib를 이용하여 3D 도심지 지도상의 장애물 구조와 시간별 태양 위치를 고려하여 태양광 모듈에 형성되는 그림자 형상을 분석하였다. 태양광 모듈 각 셀에 그림자 발생 유무를 분석하여 주행 중 태양광 발전량을 예측하였다. 부경대학교 대연캠퍼스 주행 경로를 따라 30개 실험 지점을 설정하여 태양광 발전량을 예측하였고, 10시, 13시, 16시에 주행 실험을 통해 실제 측정값과 예측값을 비교하였다. 그 결과 각각 19.1W, 21.2W, 12.2W의 낮은 평균 절대 오차를 보이며 높은 정확성의 태양광 발전량 예측이 가능함을 알 수 있었다. 기존의 반구형 이미지 기반의 태양광 발전량 예측 방식이 아닌 LiDAR 3차원 지도를 이용함으로써 태양광 모듈 셀 단위의 그림자 변화를 분석하여 보다 정확한 태양광 발전량 예측이 가능하였다. 본 연구의 방법은 나무, 건물과 같은 지형지물이 많은 도심지 도로 환경에서 차량 일체형 태양광 발전 시스템의 발전량 예측을 위한 효율적인 도구로 활용할 수 있을 것이다.

**Key Words :** 태양광 전기차(Solar electric vehicle), 차량 일체형 태양광 발전(Vehicle-integrated photovoltaics), 라이다(LiDAR), 발전량 예측(Power Generation Prediction), 태양광 모듈(Solar Module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jebaek@pknu.ac.kr

### 후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2022R1C1C2011947).

# 남향 데이터를 활용한 동·서향 태양광 발전량 예측용 전이학습 기반 도메인 적응 모델 개발

## Development of a Transfer Learning-Based Domain Adaptation Model for East- and West-Facing Photovoltaic Power Forecasting Using South-Facing Data

박영아\*, 김주희\*, 양혜정\*, 김민국\*, 김용현\*<sup>†</sup>  
Young-Ah Park\*, Ju-Hee Kim\*, Hye-Jeong Yang\*,  
Minkook Kim\*, Yong Hyun Kim\*<sup>†</sup>

\*한국광기술원 에너지연구본부 AI에너지연구센터

**Abstract :** 태양광 발전 시스템은 설치 방위에 따라 확보 가능한 학습 데이터의 양이 상이하며, 특히 동·서향 시스템은 남향 시스템에 비해 발전 데이터 축적량이 상대적으로 부족하다. 이러한 데이터 희소성은 인공지능 기반 발전량 예측 모델 학습 시 과적합을 유발하고, 결과적으로 예측 성능 저하의 주요 원인이 된다. 기존 연구 역시 데이터 확보가 용이한 남향 시스템을 중심으로 수행되어 왔으며, 동·서향 시스템의 방위 특성을 반영한 예측 모델 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 데이터가 풍부한 남향 태양광 발전 데이터를 활용해 예측 모델을 사전학습하고, 이를 동·서향 데이터로 미세조정함으로써 방위 차이에 따른 도메인 차이를 완화하는 전이학습 기반 태양광 발전량 예측 모델을 제안한다. 특히 데이터가 부족한 동·서향 환경에서 하위 레이어는 동결하고 상위 레이어만 재학습하는 방식으로 모델을 구성하여, 제한된 데이터 조건에서도 일반화 성능을 확보하고자 하였다.

모델 개발 및 검증을 위해 한국광기술원 건물 옥상에 총 12 kW급 태양광 시스템(남향 6 kW, 동향 3 kW, 서향 3 kW)을 구축하고, 방위별 시계열 데이터를 수집하였다. 비교 실험은 (1) 남향 학습 모델을 동·서향 데이터에 직접 적용하는 방법, (2) 동·서향 데이터만으로 개별 모델을 학습하는 방법, (3) 남향 사전학습 모델을 동·서향 데이터로 미세조정하는 제안 방법의 세 가지 시나리오로 구성하였다. 예측 성능은 RMSE, MAE, MAPE 지표를 이용하여 평가하였다.

연구 결과, 제안한 전이학습 기반 미세조정 방법은 데이터가 부족한 동·서향 조건에서 과적합을 완화하고 예측 정확도를 향상시키는 데 효과적인 것으로 나타났다. 이를 통해 방위 조건별 데이터 불균형 환경에서도 전이학습을 활용한 태양광 발전량 예측 모델의 적용 가능성을 확인하였다. 향후에는 사계절 데이터를 추가 확보하여 계절 변동성을 반영한 모델로 고도화하고, 실증 단지 운영 데이터를 활용해 현장 적용성을 검증할 예정이다.

**Key Words :** 전이 학습(Transfer Learning), 다중 방위각 태양광 시스템(Multi-Azimuth Photovoltaic System), 도메인 적응(Domain Adaptation), 태양광 발전량 예측(Photovoltaic Power Forecasting), 데이터 희소성(Data Scarcity)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yonghyun@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00398351, RS-2024-00459594).

# 발전량 예측과 부하 이동 전략을 고려한 산업단지 지붕형 태양광 시스템의 LCOE 개선 분석

## LCOE Improvement Analysis of Industrial Rooftop Solar Systems Considering Power Generation Prediction and Load Shifting Strategy

양혜정\*, 문정민\*, 김민국\*<sup>†</sup>

Hye-Jeong Yang\*, Jungmin Moon\*, Minkook Kim\*<sup>†</sup>

\*한국광기술원 에너지연구본부 AI에너지연구센터

**Abstract :** RE100 확산과 탄소중립 정책 강화에 따라 산업단지의 재생에너지 도입 필요성이 커지고 있으나, 가용부지의 제약으로 재생에너지 설비 구축에는 한계가 있다. 이에 유휴 지붕을 활용한 Onsite 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA)은 현실적인 탄소중립 이행 모델로 주목받고 있으며, 송배전망 이용 부담이 상대적으로 적고 인허가 절차가 비교적 간소하다는 장점이 있다. 그러나 태양광 발전 시간대와 산업체의 전력 소비 시간대가 일치하지 않을 경우, PPA를 통해 조달한 전력 외에 추가적인 계통 전력 구매가 필요해 비용이 증가할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 태양광 발전량 예측 정보를 활용하여 산업체의 전력 소비를 태양광 발전 시간대로 이동시키는 부하 이동을 가정하고, 이에 따른 소비자 관점의 균등화 발전비용(Levelized Cost of Energy, LCOE) 변화를 분석하고자 한다.

Onsite PPA 기반 산업단지 지붕형 태양광 시스템의 경제성을 평가하기 위해, ESS가 없는 500kW 규모의 태양광 설비를 기준 분석대상으로 설정하였다. 또한 산업체의 전력 소비 특성에 따른 영향을 비교하기 위해, 주간 피크형과 24시간 균일형의 두 가지 수요 시나리오를 구성하였다. 아울러 발전량 예측과 부하 이동의 적용 수준에 따른 영향을 분석하기 위해, 예측과 부하 이동을 모두 적용하지 않은 Baseline, 부분적 부하 이동을 적용한 시나리오 A, 발전량 예측 정보를 활용하여 최적 부하 이동을 적용한 시나리오 B의 분석 환경을 설정하였다.

본 연구는 태양광 발전 예측 정보와 산업체의 부하 유연성을 함께 고려한 운영 방식을 전제로, Onsite PPA 기반 태양광 시스템의 경제성을 분석하고 그 시사점을 도출하고자 한다. 분석 결과는 향후 산업단지 내 효율적인 재생에너지 조달 방안을 검토하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 균등화 발전비용(LCOE), 태양광 발전량 예측(Solar Generation Forecasting), 부하 이동(Load Shifting), 전력구매계약(PPA), 산업단지 지붕형 태양광(Industrial Rooftop Solar)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: mkkim@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2025-02314925, RS-2024-00398351).

# 셀 간 열차폐 패드에 따른 배터리 열폭주 지연 특성 분석

## Effect of Inter-cell Thermal Barrier Pads on Thermal Runaway Delay in Batteries

허승민\*, 강현민\*, 남학호\*, 조상현\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Seungmin Heo\*, Hyeon-Min Kang\*, Hak-Ho Nam\*,

Sang-Hyun Cho\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 환경 및 에너지 문제 해결을 위해 리튬 이온 배터리를 탑재한 전기차 보급이 가속화되고 있다. 배터리 셀에서 발생한 열폭주는 가스 배출과 화재를 일으켜 인접 셀로 열을 전이시키고, 결국 시스템 전체에 심각한 피해를 초래할 수 있다. 본 연구는 리튬 이온 배터리 모듈 내에서 셀 사이에 설치되는 열차폐 패드 유형에 따라 열폭주 전이가 지연되는 특성을 분석하였다. 다양한 소재 조합을 적용해 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과, 열차폐 패드의 적용은 모듈 전체로 열폭주가 확산되는 속도를 효과적으로 늦추는 것으로 확인되었다. 또한, 패드 두께, 소재 등에 따른 열폭주 지연 시간을 비교하여 열폭주 전이를 유의미하게 지연시킬 수 있는 방안을 도출하였다. 본 연구의 결과는 전기차나 에너지 저장 장치와 같은 대형 배터리 시스템에서 화재 확산을 늦추어, 초기 비상 대응을 위한 설계에 중요한 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

**Key Words :** 열폭주(Thermal runaway), 열차폐 패드(Thermal barrier pad), 리튬 이온 배터리(Li-ion battery), 배터리 모듈 (Battery module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00346834).

# 식물공장용 LED 조명 용 수동형 방열 구조 개발

## Development of a Passive Cooling Structure for LED Lighting in Plant Factories

허승민\*, 강현민\*, 조상현\*, 남학호\*, 육세진\*<sup>†</sup>

Seungmin Heo\*, Hyeon-Min Kang\*, Sang-Hyun Cho\*,

Hak-Ho Nam\*, Se-Jin Yook\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 기계공학부

**Abstract :** 본 연구는 식물공장용 발광다이오드(LED) 조명 시스템의 열적 한계를 극복하고 냉각 성능을 극대화하기 위해, 히트파이프(Heat pipe)와 사각 핀(Rectangular fin) 배열을 통합한 독창적인 수동형 방열 모듈을 제안하고 그 효율성을 실험적으로 규명하였다. 방열 성능의 정량적 평가를 위해 기준 모델, 스위칭 전원 공급 장치(SMPS) 상단 방열 금속판 적용 모델, SMPS 인접부 단일 히트파이프-핀 적용 모델, SMPS 및 조명 양단 복합 히트파이프-핀 적용 모델 등 총 4가지 형상에 대한 비교 분석을 수행하였다. 실험 결과, 제안된 방열 구조는 히트파이프의 고속 열 수송과 사각 핀의 대류 열전달 촉진 메커니즘을 통해 방열판 표면 온도를 기준 모델 대비 최대 7.2 °C 저감하는 우수한 냉각 성능을 입증하였다. 특히, 양단 복합 방열 모델의 경우 시스템의 총 열저항을 30.3% 획기적으로 감소시키는 결과를 도출하였다. 본 연구에서 패시브형 방열 설계안은 무동력 기반의 경제적이고 직관적인 구조를 지니면서도 고효율 LED 조명의 장기적인 열적 안정성 및 구동 신뢰성을 대폭 향상시킬 수 있어, 향후 첨단 식물공장 및 스마트 농업 시스템의 핵심 열관리 기술로 적극 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 식물공장(Plant factory), 방열(Heat dissipation), 히트파이프(Heat pipe), LED 조명(LED Lighting)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ysjnuri@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

# 20 Ah NMC 파우치 셀의 열관리를 위한 하이브리드 CPCM-물 냉각 시스템의 수치적 연구

## Numerical Investigation of a Hybrid CPCM-Water Cooling System for Thermal Management of a 20 Ah NMC Pouch Cell

무하마드 다일\*, 김영원\*<sup>†</sup>

Muhammad Dail\*, Young Won Kim\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원

**Abstract :** Conventional studies on combined latent-heat and liquid-based battery cooling have generally emphasized small-format cells and limited discharge intensities. This study extends the investigation to a practical 20 Ah NMC pouch cell subjected to 1C, 2C, 3C, 5C, and 10C discharge conditions at 25 °C ambient temperature. A conjugate heat transfer CFD model, driven by experimentally derived heat-generation data, is developed to assess temperature rise, thermal non-uniformity, melting progression, and the effect of coolant flow on thermal management performance. The results reveal that PCM by itself is capable of delaying temperature increase under mild operating conditions; however, at elevated C-rates its full melting reduces the available latent heat capacity, causing thermal control to deteriorate and hotspots to emerge. Incorporation of copper foam into the PCM matrix enhances internal heat diffusion and improves both peak temperature suppression and temperature uniformity. Building on this, a hybrid system integrating copper foam composite PCM with water cooling is investigated to combine transient heat absorption with continuous heat rejection. In addition, a thicker 3 mm composite PCM layer is explored in the water-cooled arrangement and is found to further improve thermal stability. Overall, the proposed hybrid composite PCM-water design demonstrates strong potential as a practical BTMS solution for large-format pouch cells under aggressive discharge operation.

**Key Words :** 지속가능한 배터리 열관리(Sustainable battery thermal management), 구리 폼 강화 (Copper-foam-enhanced PCM), 재생에너지 연계 에너지 저장(Renewable-integrated energy storage), 열 에너지 저장 (Thermal energy storage), 고 C-레이트 전기차 파우치셀(High C-rate EV pouch cell)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ywkim@kitech.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제번호 : RS-2024-00441895).

# CFD 기반 배터리 열관리용 수냉식 열교환기의 열성능 분석

## Thermal Performance Analysis of a Water-Cooled Heat Exchanger for Battery Thermal Management Using CFD

선준완\*, 김영원\*<sup>†</sup>

Jun Wan Seon\*, Young Won Kim\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원

**Abstract :** 본 연구에서는 공냉식 배터리 열관리 시스템의 한계를 개선하기 위하여 수냉식 열교환기를 적용한 냉각 성능 분석을 수행하였다. 기존 공냉식 방식은 구조가 단순하고 유지보수가 용이하다는 장점이 있으나, 배터리의 온도 특성상 주변 환경 온도에 따라 냉각 성능이 크게 변하는 한계가 있다. 특히 드론과 같이 외부 환경의 영향을 직접적으로 받는 시스템에서는 주변 온도 변화에 따른 열관리 성능 편차가 크게 나타날 수 있다.

이에 본 연구에서는 공냉식 시스템을 대체할 수 있는 수냉식 열교환기를 적용하고, 전산유체해석(CFD)을 활용하여 열교환기의 열전달 특성과 냉각 성능을 분석하였다. 해석 조건은 열교환기 입구 유체 온도를 30 °C로 설정하고 질량유량을 일정하게 유지한 상태에서, 주변 공기 온도를 변화시키며 출구 온도와 냉각 용량의 변화를 비교·분석하였다.

해석 결과, 주변 공기 온도가 감소할수록 열교환기 출구 온도가 점진적으로 낮아지는 경향을 보였으며, 이에 따라 냉각 성능 또한 향상되는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 향후 실제 배터리 열관리 시스템(BTMS)에 수냉식 열교환기를 적용하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 추가적인 시스템 해석을 통해 보다 효율적인 열관리 설계 방안을 도출하고자 한다.

**Key Words :** 전산유체해석(Computational fluid dynamics), 수냉식 열교환기(Water cooled heat exchanger), 배터리 열관리 시스템(Battery thermal management system)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ywkim@kitech.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제번호 : RS-2024-00441895).

# 유기 랭킨 사이클 적용을 위한 10kW급 초음속 부분유입 충동 터빈의 공력 설계

## Aerodynamic Design of a 10 kW Supersonic Partial Admission Impulse Turbine for Organic Rankine Cycle

박자운\*, 김영원\*<sup>†</sup>

Ja Woon Park\*, Young Won Kim\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원 에너지나노그룹

**Abstract :** 본 연구에서는 ORC 시스템에 적용하기 위한 10kW급 초음속 부분 유입 충동 터빈의 최적화 설계를 수행하였다. ORC 시스템은 저온 열원을 활용한 발전에 적합하나, 소형 시스템에서 높은 출력 밀도와 효율을 확보하기 위해서는 고속 회전 및 초음속 유동을 효과적으로 활용할 수 있는 터빈 설계가 필수적이다. 이를 위해 노즐은 작동유체의 압력에너지를 초음속 운동에너지로 효율적으로 변환할 수 있는 라발 노즐을 적용하였으며, 로터는 충동형 구조를 채택하여 로터 내부에서의 압력 강하를 최소화하고 고속 유동 조건에서의 손실을 줄이고자 하였다. 또한 소형 터빈에서 발생하는 구조적 제한과 유동 손실을 고려하여 부분유입률을 70%로 설정하였으며, 설계 회전속도는 35,000 rpm으로 선정하였다. 이러한 부분유입 충동 터빈 구조는 전단력 및 누설 손실을 감소시키고, 제작 용이성과 기계적 안정성을 확보하는 동시에 고속 운전에 적합한 장점을 갖는다. 터빈의 공력 설계는 평균선 설계 기법 및 MOC 기법을 기반으로 수행되었으며, 주요 설계 변수를 고려하여 최적화하였다. 또한 설계된 터빈의 유동 특성 및 성능을 검증하기 위해 CFD 해석을 수행하였으며, 이를 통해 노즐에서의 초음속 가속 과정과 로터 내부의 유동 분포, 충격파 발생 특성, 속도 및 압력 분포를 분석하여 터빈의 출력 및 효율 특성을 평가하였다.

**Key Words :** 유기랭매발전시스템(Organic Rankine Cycle), 초음속 부분유입 충동 터빈(Supersonic Partial Admission Impulse turbine)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ywkim@kitech.re.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korean government (MOTIE) (20222020800130, Development and demonstration of hybrid power system using ORC (Organic Rankine Cycle) and TEG (Thermoelectric Generator) for low and medium temperature industrial waste heat recovery).

S2H-P-1

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막을 계면 최적화 층으로 적용한 광전기화학적 수소 발생 반응

## Enhanced Photoelectrochemical Hydrogen Evolution Reactions using thin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Film on p-Si as Interface Modifications

박민준\*<sup>†</sup>, 윤성민\*, 이철형\*

Min-Joon Park\*<sup>†</sup>, Sungmin Youn\*, Chil-hyoung Lee\*

\*한국생산기술연구원 에너지나노그룹

**Abstract :** A large amount of externally over-potential is normally required to split water using p-type silicon (p-Si) due to the insufficient driving force between the conduction band-edge and the hydrogen evolution level. We demonstrate how inserting an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> interlayer between p-Si and the electrolyte mitigates the requirement of over-potentials. Since the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film decreased the number of interface defect states, electrons were observed to migrate into the Si surface so that negative charges accumulated at the band-edge of silicon. This resulted in band bending enhancement and a reduction of the over-potential requirement. In our result, the over-potential of ~150 mV was reduced at a current density of 20 mA/cm<sup>2</sup>, and the onset voltage of ~70 mV was also reduced at the 1.4 nm thickness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> interlayer.

**Key Words :** 광전기화학(Photoelectrochemical), 수소 발생(Hydrogen evolution), 물분해반응(Water splitting), 결정질 실리콘(Crystalline silicon), 원자층 증착(Atomic layer deposition)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: pk5659@kitech.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 산업통산자원부 에너지기술평가원의 재원으로 차세대 박막 태양광 모듈 개발 및 실증사업(과제 번호 : RS-2024-00457537)과 한국생산기술연구원 연구개발적립금사업의 재원으로 화재·질식 사고 조기 대응을 위한 보급형 고성능 가스 센서 시스템 및 지능형 화재감지기 플랫폼 개발 사업 (KITECH UR-26-0001)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

S2H-P-2

# 전기화학적 암모니아 산화 반응을 위한 니켈 구리 기반 다중금속 촉매 개발

## NiCu-based Multimetallic Catalysts for Electrochemical Ammonia Oxidation Reaction

전민서\*, 최동인\*, 배기호\*, 심욱\*\*†

Minseo Jeon\*, Dongin Choi\*, Kiho Bae\*, UK Sim\*\*†

\*한국에너지공과대학교 에너지공학부, \*\*성균관대학교 나노공학과

**Abstract :** Achieving carbon neutrality requires reducing CO<sub>2</sub> emissions, and hydrogen has emerged as a key alternative energy source. Water electrolysis is a promising method for producing green hydrogen. However, its efficiency is limited by the slow reaction kinetics and high overpotential of the oxygen evolution reaction (OER). As an alternative, the electrochemical ammonia oxidation reaction (AOR) presents promising prospects because it requires a much lower theoretical potential (0.77 V) compared to OER (1.23 V), thus significantly reducing the overall energy consumption of water electrolysis by up to 95%. In addition, ammonia is a high-density hydrogen carrier and can be directly utilized in fuel cells. However, most of the research on AOR has focused on noble metal catalysts such as Pt and Ir, which often suffer from poor durability and severe catalyst poisoning. To address these limitations, this study designs a NiCu-based multimetallic catalyst by increasing the number of constituent metals to enhance configurational entropy. Nickel and Copper have been widely investigated as promising catalysts for the AOR. Nickel is effective and stable in AOR, while Copper promotes electron transfer due to high electrical conductivity. The incorporation of additional transition metals enables the formation of diverse active sites and improves catalytic performance. As a result, The NiCuFeCoSn catalyst demonstrated excellent performance in alkaline media, achieving 100 mA cm<sup>-2</sup> at a low potential of 1.43 V (vs. RHE). This study presents a promising strategy for developing low-cost, high-performance alternatives to noble metal catalysts, thereby enhancing the sustainability and efficiency of ammonia-based hydrogen production.

**Key Words :** Ammonia electro-oxidation reaction, electrocatalysis, high entropy catalysts, assisted water electrolysis, electrochemistry.

† Corresponding author, E-mail: usim@skku.edu

## Machine Learning-Guided Design of Electrocatalyst for Selective Electrochemical Nitrate-to-Ammonia Conversion

Junho Shim\*, Dongin Choi\*\*, Kiho Bae\*\*, Uk Sim\*<sup>†</sup>

\*성균관대학교 나노공학과, \*\*한국에너지공과대학교 수소에너지트랙

**Abstract :** Ammonia Growing interest in sustainable ammonia synthesis stems from the dual importance of NH<sub>3</sub> as a cornerstone of fertilizer production and as a potential medium for hydrogen storage and transport in future energy systems. Nevertheless, current large-scale NH<sub>3</sub> production still depends on the Haber-Bosch process, whose harsh operating conditions impose high energy demands and a substantial carbon footprint [1]. These challenges have driven growing interest in developing more sustainable routes for ammonia production under mild conditions. Electrochemical nitrate reduction (NO<sub>3</sub>RR) offers a decentralized approach under ambient conditions while simultaneously valorizing nitrate-containing streams, yet achieving both high activity and high selectivity with earth-abundant catalysts remains challenging due to complex multistep intermediates and competition from the hydrogen evolution reaction (HER). Herein, we report a machine learning-guided design of a highly efficient electrocatalyst composed of Li-rich NiFe nano-alloys supported on MnO<sub>2</sub>. An AI-driven screening framework was employed to rationally tune the electronic structure of NiFe through lithium doping, thereby strengthening the adsorption/activation of nitrate-derived intermediates and improving reaction kinetics. When integrated onto porous Ni foam, the catalyst forms a multiscale heterostructured interface that increases the density of accessible active sites and establishes rapid charge-transfer pathways, enabling efficient mass/electron transport across the electrode. In alkaline media, the optimized catalyst exhibits outstanding NO<sub>3</sub>RR performance, delivering high Faradaic efficiency toward NH<sub>3</sub> across a wide potential window. The enhanced selectivity is attributed to intrinsic suppression of HER, consistent with computational predictions based on intermediate adsorption energetics. This work demonstrates an AI-assisted, composition-structure co-optimization strategy for next-generation, sustainable nitrate-to-ammonia conversion technologies towards the solar-assisted green hydrogen production.

**Key Words :** 전기화학 촉매(Electrocatalyst), 암모니아 생산(Ammonia Production), 머신러닝(Machine Learning)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: usim@skku.edu

S2H-P-4

## Unlocking the Catalytic Potential of Ni Foam: Electrochemically Reconstructed High-Performance Electrode for Sustainable Water Splitting: Toward Solar-Assisted Green Hydrogen Production

Dongin Choi\*, Subramani Surendran\*, Uk Sim\*\*†

\*한국에너지공과대학교 수소에너지트랙, \*\*성균관대학교 나노공학과

**Abstract :** Water splitting, comprising the hydrogen evolution reaction (HER) and the oxygen evolution reaction (OER), is central to clean hydrogen production and the transition to sustainable energy systems. A significant challenge lies in developing efficient, low-cost, and scalable electrode materials. Commercial nickel foam (Ni foam) is widely used as a conductive scaffold due to its high porosity and stability, but its intrinsic catalytic activity is limited. In this study, we present a facile electrochemical reconstruction method to enhance the performance of Ni foam using an aqueous  $\text{NH}_4\text{F}/\text{NaOH}$  electrolyte. This treatment induces amorphous-nanocrystalline composite regions that introduce  $\epsilon$ -based microstrain, reconstructs the surface morphology while retaining bulk porosity, and forms catalytically active  $\text{NiOOH}/\text{Ni}(\text{OH})_2$  heterojunctions coated with a Ni-O-F surface layer. X-ray diffraction (XRD) analysis reveals that the induced microstrain can modulate the electronic structure without requiring peak position shifts. X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) confirms an increased  $\text{Ni}^{3+}$  fraction and evidence of Ni-O-F bonding, both linked to enhanced electrocatalytic activity. Among the engineered samples, EMNF(1.5) demonstrates the best overall performance, with a lower OER overpotential than Bare NF, ATNF, and other EMNF variants. EMNF(1.5) also shows the lowest Tafel slope, the highest double-layer capacitance, and the highest turnover frequency (TOF), indicating both faster reaction kinetics and higher intrinsic activity. Overall, this time-efficient, low-cost, and scalable approach offers valuable insights into structure chemistry performance relationships and provides a practical pathway for upgrading commercial Ni foam into high-efficiency electrodes for alkaline water electrolysis.

**Key Words :** 전기화학 촉매(Electrochemical Catalyst), 물 분해 반응(water splitting reaction), 표면공학(surface engineering)

† Corresponding author, E-mail: usim@skku.edu

S2H-P-5

# 탄소가 치환된 황 결손을 활용한 니켈 황화물 전기촉매의 질소 환원 반응

## Activation of N<sub>2</sub> on Carbon-Substituted Sulfur Vacancies in Nickel Sulfide Electrocatalysts for Nitrogen Fixation

TaeYong An\*, Dongin Choi\*, Kiho Bae\*, Uk Sim\*\*.\*†

\*Hydrogen Energy Technology Laboratory, Korea Institute of Energy Technology (KENTECH), Naju 58330, Republic of Korea

\*\*Research Institute, NEEL Sciences, INC., Naju 58326, Republic of Korea

\*\*\*SKKU Advanced Institute of Nanotechnology (SAINT), Sungkyunkwan University (SKKU), Suwon 16419, Republic of Korea

**Abstract :** Ambient ammonia electrosynthesis via nitrogen reduction reaction (NRR) offers a sustainable alternative to the energy-intensive Haber-Bosch process, yet discriminating genuine catalytic activity from experimental artifacts remains a critical bottleneck. This study uncovers the paradoxical dual role of thiourea (TU), a common sulfur precursor, in shaping the NRR performance of nickel sulfide (NiS) catalysts. TU-derived surface residues were found to simultaneously generate false-positive ammonia signals and genuinely promote catalytic activity. TU-synthesized NiS exhibited an apparent ammonia yield of  $86.91 \pm 9.29 \mu\text{g h}^{-1} \text{cm}^{-2}$  with a Faradaic efficiency of  $57.17 \pm 4.14\%$ , yet rigorous controls revealed that a substantial fraction stemmed from electrochemical reduction of residual surface thiocyanates. After excluding this artifactual contribution, the catalyst retained an intrinsic yield of  $52 \pm 5.57 \mu\text{g h}^{-1} \text{cm}^{-2}$ , far surpassing TU-free NiS ( $1.45 \mu\text{g h}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ). Theoretical calculations attribute this enhancement to reactive carbon sites (C\*) generated in situ at sulfur vacancies during residue reduction, which significantly lower the N<sub>2</sub> activation barrier owing to their reduced valence electron count. These findings establish precursor-mediated surface doping as an effective strategy for designing high-performance NRR electrocatalysts.

**Key Words :** Nitrogen Reduction Reaction, Nickel Sulfide, Nano-catalysts, Electrochemical method

† Corresponding author, E-mail: usim@skku.edu

S2H-P-6

## Single-Atom Cu Sites for Accelerated Iodine Redox in Zn-I<sub>2</sub> Batteries

Yoongu Lim\*, Dongin Choi\*, Kiho Bae\*, Uk Sim\*\*†

\*한국에너지공과대학교 수소에너지트랙, \*\*성균관대학교 나노공학과

**Abstract :** Aqueous zinc-iodine (Zn-I<sub>2</sub>) batteries are attracting attention as next-generation energy storage systems based on their excellent safety and economic feasibility. However, due to the slow iodine conversion rate and the polyiodide shuttle effect, the electrochemical reaction efficiency and cyclability are limited. This study attempted to address this problem by applying the Cu-N<sub>3</sub>@AC electrode, which contains a single-atom copper (Cu) catalyst in activated carbon (AC). The Cu-N<sub>3</sub> coordination structure serves as dual-functional active sites that strongly immobilize iodine species and simultaneously promote reversible oxidation and reduction reactions. As a result, the Cu-N<sub>3</sub>@AC electrode showed a high capacity of 416.17 mAh g<sup>-1</sup> at 5A g<sup>-1</sup>. It maintained a capacity of 203.4 mAh g<sup>-1</sup> and a Coulombic efficiency of 99.36% even after 30,000 cycles of a high current density of 10 A g<sup>-1</sup>. This excellent performance is attributed to the Cu-N<sub>3</sub> coordination structure, which promotes charge transfer and effectively suppresses polyiodide diffusion. This study demonstrates that electronic structure control of Cu-based single-atom catalysts plays a key role in improving the speed and stability of iodine conversion reactions and provides practical design guidelines for the development of a high capacity and stable Zn-I<sub>2</sub> battery.

**Key Words :** 전기화학 촉매(Electrochemical Catalyst), 요오드 변환(Iodine Conversion), 수계 전지(Aqueous Battery)

† Corresponding author, E-mail: usim@skku.edu

S2H-P-7

## Electrochemical Toolkits for Versatile Chemical Transformations

Kyoungsuk Jin\*<sup>†</sup>

\*고려대학교 화학과

**Abstract :** Over several decades, electrochemistry has played an imperative role in synthetic chemistry. Starting from the Kolbe reaction, developed in 1848, a lot of effort has been devoted to synthesizing target products with the use of electrochemistry. However, although electrochemical organic synthesis can be driven with environmentally-friendly sources of electricity, only a small number of commodity chemicals have been produced via electrochemical reactions; namely, anthraquinone, some perfluorinated hydrocarbons (PFCs), and adiponitrile, a key intermediate for the polymer Nylon 6,6. Most research into these synthetic approaches is just at the laboratory or pilot scale. The fact that such minimal attention has been paid to the commercialization of these methods has been attributed to high energy costs due to the required large overpotential values and poor selectivity toward desired products. In this regard, we should focus on addressing challenging electro-organic synthesis problems through engineering efficient catalysts and gaining a deeper understanding of reaction mechanisms on those catalysts. In this talk, I will present our recent studies about electro-organic synthesis.

**Key Words :** 유기전기합성 (electro-organic synthesis), 전기촉매 (Electrocatalysis), 전기화학 (Electrochemistry)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kysjin@korea.ac.kr

STC-P-1

# 도시 열섬 완화를 위한 버스정류장용 태양열 기반 액체식 제습·직접 증발냉각 패키지 개발

## Development of Solar-Assited Liquid Desiccant-Direct Evaporative Cooling Packaged System for Bus Shelters to Mitigate Urban Heat Island

박광훈\*, 문선우\*, 송현민\*, 임성우\*, 임한솔\*\*†

Kwanghoon Park\*, Sunwoo Moon\*, Hyeon-Min Song\*,

Seongwoo Lim\*, Hansol Lim\*\*†

\*국립한밭대학교 설비공학과, \*\*국립한밭대학교 건축설비시스템공학과

**Abstract :** 본 연구는 고온다습화가 가속되고 있는 한국의 여름 기후 조건에 대응하여 도시 열섬 완화를 위한 버스 정류장용 태양열 기반 액체식 제습-직접 증발냉각(Liquid Desiccant assisted Direct Evaporative Cooling, LD-DEC) 패키지 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 도시 환경에서 증가하는 잠열부하 특성을 고려하여 액체식 제습과 직접 증발냉각을 통합함으로써 버스 정류장 주변의 국소적인 온열환경을 완화 하도록 설계되었다. 또한 액체식 제습 시스템의 재생부 열원을 태양열로 공급하는 방식을 적용하여 여름철 냉방 운전 시 전력 의존도를 저감하고자 하였다. 외기 조건 및 태양열 이용 가능량을 고려하여 재생부 열수요와 태양열 공급 가능성을 시뮬레이션을 통해 분석하고, 태양열이 재생열 요구량을 충당할 수 있는 수준과 운전 가능 시간을 평가하였다. 아울러 실제 버스 정류장 규모를 반영한 Pre-fab 구조로 시스템을 설계하고 기존 스마트쉼터 및 쿨링포그 시스템과 비교하여 열적 쾌적성 개선 가능성과 에너지 절감 잠재성을 검토하였다. 본 연구는 고온다습 기후에 적합한 태양열 기반 분산형 친환경 냉방 기술의 도시 인프라 적용 가능성을 제시한다.

**Key Words :** Liquid desiccant dehumidification, Direct evaporative cooling, Urban heat island mitigation), Prefabricated modular system, Solar thermal energy

† Corresponding author, E-mail: hansollim@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2025-02316198)

PVE-P-1

# 리모넨 기반 용매를 이용한 폐c-Si 태양광 모듈의 계면 선택적 디캡슐레이션

## Interface-Selective Decapsulation of End-of-Life c-Si Photovoltaic Modules Using a Limonene Biphasic Solvent

김준기\*<sup>†</sup>, 이해석\*\*

Junkee Kim\*<sup>†</sup>, Hae-Seok Lee\*\*

\*고려대학교 에너지환경정책기술학과, \*\*고려대학교 융합에너지공학과

**Abstract :** The accelerating accumulation of end-of-life (EoL) crystalline-silicon (c-Si) photovoltaic (PV) modules has emerged as a critical energy–environment convergence challenge. Conventional recycling approaches relying on high-temperature pyrolysis or caustic wet etching inevitably compromise either material integrity or process sustainability, underscoring the urgent need for interface-directed, low-damage separation strategies.

To address this gap, we present a novel limonene-based biphasic solvent system that achieves component-level decapsulation of glass, Si cells, and metals (Ag/Cu/Al) at the interface level without bulk polymer degradation or metallic corrosion. The biphasic bath operates through cooperative dual-phase action: the limonene continuous phase induces viscoelastic swelling of ethylene-vinyl acetate (EVA), reducing interfacial debonding resistance, while a dispersed micro-aqueous phase (0.1–0.3 wt%, Karl Fischer basis; pH 8.5–9.2, carbonate-buffered) drives localized hydrolysis of glass–EVA Si–O–Si siloxane linkages while preserving the bulk C–C crosslinked network. Under optimized operating conditions (60–90°C, 40 kHz ultrasound, 50% duty cycle), interfacial peel loads were reduced to  $\leq 1.0 \text{ N cm}^{-1}$  (glass–EVA, 90° geometry) and  $\leq 0.25 \text{ N cm}^{-1}$  (EVA–backsheet, T-peel), with gel-fraction deviation maintained within  $\pm 3$  percentage points, confirming interface-selective weakening over bulk degradation. Process selectivity was rigorously validated through WCA/OWRK surface-energy analysis, hexadecane contact angle ( $\theta_{\text{hex}}$ ), ATR-FTIR/XPS interfacial chemistry characterization, and closed-loop solvent distillation–reuse cycles with confirmed mass balance closure.

The recovered fractions are directly compatible with established electrowinning/electrorefining pathways, enabling downstream high-purity Si ( $\geq 98 \text{ wt\%}$ ) and Ag ( $>99\%$  recovery,  $\sim 99.4\%$  purity) production. This work establishes a quantitative, scalable framework for interface-directed PV recycling, offering a mechanistically grounded alternative to thermochemical decapsulation and a standardized metrological basis for industrial technology transfer.

**Key Words :** End-of-life photovoltaics, Interface-selective decapsulation, Limonene biphasic bath solvent, Carbonate micro-aqueous phase, Peel mechanics

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: lhseok@korea.ac.kr

# 약계통 연계 대규모 태양광 발전단지의 저전압 사고 대응을 위한 STATCOM 모델링

## STATCOM Modeling for Low Voltage Ride-Through Enhancement of Large-Scale Solar PV Plants Connected to Weak Grids

부만길\*, 권도훈\*<sup>†</sup>

Mangil Bu\*, Dohoon Kwon\*<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 전기정보공학과

**Abstract :** 탄소중립 정책에 따라 대규모 태양광 단지가 급증하고 있으나, 신재생에너지 비중의 증가로 계통 관성이 감소함에 따라 계통은 점차 약계통화되고 있다. 이러한 상황에서 대규모 태양광 단지의 계통 연계 시 전압 불안정 문제가 주요한 운영 이슈로 대두되고 있다. 일반적인 소규모 태양광 발전소의 경우 인버터의 자체 제어 기능을 활용하여 전압을 제어할 수 있으나, 계통에 미치는 영향이 큰 대규모 발전단지에서는 기존 인버터 제어만으로는 저전압 사고 시 신속한 전압 회복이 어려워 발전기 탈락 및 광역 정전으로 확산될 위험이 존재한다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 고속 무효전력 보상이 가능한 STATCOM(Static Synchronous Compensator) 연계 모델을 설계하고, 약계통 특성을 반영한 시뮬레이션 환경을 구축하였다. RMS(Root Mean Square) 기반 전력계통 해석 프로그램인 PSS/E (Power System Simulator for Engineering)의 IEEE 9-Bus 시스템을 EMT(Electro-Magnetic Transient) 기반의 MATLAB/Simulink 환경에서 모델링하였다. 또한, PSS/E와 동일한 여자기 및 조속기 모델을 적용하여 EMT 기반 IEEE 9-Bus 시스템을 구현함으로써 RMS 해석 결과와의 정합성을 확보하였다. 더 나아가 약계통 환경에서의 재현을 위해 해당 시스템에 대규모 태양광 발전원과 STATCOM을 연계하였다. 태양광 발전원은 인버터 기반 자원으로 모델링하였으며, STATCOM은 고속 무효전력 보상을 통해 계통 전압을 안정화하는 역할을 수행하도록 구성하였다. 이를 통해 약계통에서 대규모 태양광 연계 시 발생할 수 있는 전압 불안정 문제와 STATCOM의 전압 지원 효과를 EMT 수준에서 정밀하게 분석할 수 있는 시뮬레이션 환경을 구축하였다.

**Key Words :** 약계통(Weak Grid), 대규모 태양광 단지(Large-scale Solar PV Plants), LVRT(Low Voltage Ride-Through), STATCOM(Static Synchronous Compensator)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: dohoonkwon@seoultech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00359150)과 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2019-NR040071)

PVE-P-3

# VSC 기반 AC/DC 하이브리드 전력계통에서 태양광 발전 연계에 따른 전력 흐름 및 DC 링크 전압 특성 분석

## Analysis of Power Flow and DC-Link Voltage Characteristics in a VSC-Based AC/DC Hybrid Power System with Photovoltaic Integration

박영서\*, 권도훈\*<sup>†</sup>

Yeongseo Park\*, Dohoon Kwon\*<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 전기정보공학과

**Abstract :** 본 연구는 전압형 컨버터(Voltage Source Converter, VSC)를 기반으로 한 AC/DC 하이브리드 전력계통에서 태양광(Photovoltaic, PV) 발전원을 연계한 전력변환 시스템을 모델링하고, PV 출력이 계통에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 기존 DC 배전 시스템에 태양광 발전원을 추가하여 분산형 에너지 연계 구조를 구성하였다. 시스템은 AC 계통과 DC 계통을 연계하는 VSC 기반 인터페이스 컨버터를 중심으로 DC 링크를 형성하고, 태양광 발전원은 DC/DC 컨버터를 통해 DC 링크에 연결된다. 또한, PV 시스템에는 발전 효율 향상을 위해 최대 전력점 추적(Maximum Power Point Tracking, MPPT) 기법을 적용하였다. 구성된 전체 시스템은 PSCAD 기반 EMT 시뮬레이션 환경에서 구현하였으며, 다양한 운전 조건에 따른 동작 특성을 분석하였다. 태양광 발전의 출력 변동 특성에 따라 DC 링크 전압 및 계통 내 전력 흐름의 변화를 분석하고, 이에 따른 시스템 응답을 평가하였다. 특히 일사량 변화 조건을 고려하여 PV 출력 변동이 DC 링크 전압 안정성과 AC 계통으로의 전력 전달에 미치는 영향을 중점적으로 검토하였다. 시뮬레이션 결과, PV 출력 변화에 따른 전력 흐름과 DC 링크 전압 변동 특성을 확인하였으며, VSC 기반 AC/DC 하이브리드 전력계통에서의 태양광 발전 연계의 안정적 운영 가능성을 검증하였다.

**Key Words :** 태양광 발전(Photovoltaic System), AC/DC 하이브리드 계통(AC/DC Hybrid Power System), 전압형 컨버터(VSC), 최대 전력점 추적(MPPT), DC 링크 전압(DC-Link Voltage)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dohoonkwon@seoultech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00359150)과 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2019-NR040071)

# 태양광 발전원의 계통 연계를 위한 HVDC/MVDC 기반 송전 시스템 모델링 및 특성 분석

## Modeling and Characteristic Analysis of HVDC/MVDC-Based Transmission Systems for Grid Integration of Photovoltaic Generation

한예린\*, 권도훈\*<sup>†</sup>

YeLeen Han\*, Dohoon Kwon\*<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 전기정보공학과

**Abstract :** 최근 재생에너지 보급 확대에 따라 대규모 태양광 발전원의 안정적인 계통 연계와 장거리 송전 기술의 중요성이 증가하고 있다. 특히 태양광 발전원은 수요지와 이격된 지역에 설치되는 경우가 많아 효율적인 전력 전달을 위한 HVDC 및 MVDC 기반 송전 방식의 적용 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 태양광 발전원의 계통 연계를 목적으로 PSS®E 환경에서 VSC-HVDC 기반 VSCDCT 모델을 활용하여 HVDC 및 MVDC 송전 시스템을 모델링하고 적용 가능성을 분석하였다. 모델링된 시스템을 통해 태양광 발전원의 출력이 계통으로 전달되는 과정에서의 전압 특성 및 전력 전달 특성을 비교 분석하였다. HVDC 시스템은 장거리 송전 환경에서 안정적인 전압 특성과 효율적인 전력 전달 성능을 보였으며, MVDC 시스템은 배전계통 연계 환경에서 분산형 태양광 발전원의 계통 수용성 향상에 효과적인 구조임을 확인하였다. 본 연구 결과는 태양광 발전원의 설치 위치 및 송전 거리 조건에 따른 HVDC 및 MVDC 송전 방식의 적용 가능성을 제시하며 향후 태양광 기반 계통 연계 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광 발전(Photovoltaic), HVDC, MVDC, 계통 연계(Grid integration), 장거리 송전(Long-distance transmission)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: dohoonkwon@seoultech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00359150)과 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(RS-2019-NR040071)

PVE-P-5

# AgBiS<sub>2</sub> 태양전지에서 양이온 무질서를 향상시키는 전구체 순서 설계 분자 잉크

## Precursor Sequence-Engineered Molecular Inks Enabling Improved Cation Disorder in AgBiS<sub>2</sub> Solar Cells

서형원\*, 이다슬\*\*, 김수환\*\*, 박종성\*\*\*

Hyeongwon Seo\*, DaSeul Lee\*\*, Suhwan Kim\*\*, JongSung Park\*\*\*

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과, \*\*경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원

**Abstract :** Silver bismuth sulfide (AgBiS<sub>2</sub>) is a promising, non-toxic, and earth-abundant photoabsorber with a suitable bandgap for sustainable photovoltaic applications. Optimizing the film quality and device performance of solution-processed AgBiS<sub>2</sub> solar cells requires a thorough understanding of solvent-precursor interactions within the precursor chemistry. In this study, we systematically investigate the coordination behavior in the Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O-thiourea-DMSO-AgNO<sub>3</sub> system, with a particular focus on precursor sequence engineering. Spectroscopic analysis reveals that the dynamic coordination environment strongly governs nucleation and growth during film formation. While the coordination between thiourea and metal ions is well established, we report for the first time the coordination of dimethyl sulfoxide (DMSO) with metal ions in this precursor system and elucidate its influence on film formation and photovoltaic performance. Introducing Ag<sup>+</sup> ions prior to Bi<sup>3+</sup> ions (Sequence 2) promotes homogeneous cation disorder, suppresses excessive Bi-S coordination, and leads to improved film morphology compared to the Bi<sup>3+</sup>-first addition approach (Sequence 1), which results in inferior optoelectronic properties. This controlled coordination balance facilitates more uniform crystallization and reduced defect formation in the AgBiS<sub>2</sub> films. Devices fabricated using Sequence 2 achieve a power conversion efficiency (PCE) of 2.11%, significantly outperforming the 1.12% PCE obtained from Sequence 1, accompanied by enhanced current density and more efficient charge transport. These results highlight the critical role of solvent coordination modulated by precursor mixing order as a key design parameter for achieving high-quality films and improved performance in solution-processed metal chalcogenide and halide photovoltaic systems, providing a general strategy applicable to other molecular ink-based photovoltaic materials.

**Key Words :** AgBiS<sub>2</sub>, solution

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

# 기판 가열을 통한 공동 스퍼터링 AgBiS<sub>2</sub> 박막 태양전지에서 390mV 이상의 개방전압 달성

## Achieving Over 390mV Open-Circuit Voltage in Co-sputtered AgBiS<sub>2</sub> Thin-Film Solar Cells via Substrate Heating

나누리\*, 김수환\*\*, 박종성\*.\*.\*†

Nuri Na\*, Suwhan Kim\*\*, Jongsung Park\*.\*.\*†

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과, \*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소

**Abstract :** In this study, the absorber layer of AgBiS<sub>2</sub> solar cells was fabricated using a co-sputtering process combined with substrate heating. The co-sputtering process is advantageous for mitigating localized atomic composition inhomogeneity, and since the process occurs in a vacuum environment, it enables the formation of relatively high-purity thin films. Substrate heating can contribute to reducing grain size increase and composition deviation during thin film growth. The AgBiS<sub>2</sub> solar cells fabricated by this process exhibited a relatively high open-circuit voltage (Voc), and the grain size of the absorber layer was observed to be in the range of approximately 300–400 nm. Furthermore, EDS analysis confirmed an Ag:Bi:S ratio of approximately 28:28:42, verifying the formation of a film with reduced compositional variation. These results demonstrate the feasibility of fabricating AgBiS<sub>2</sub> absorber layers under co-sputtering and substrate heating conditions, suggesting potential for efficiency enhancement through further optimization of process parameters and device structure control.

**Key Words :** AgBiS<sub>2</sub> Solar cell(태양전지), Substrate heating(기판가열), Co-Sputtering(진공 증착법)

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

PVE-P-7

# 스크린프린팅 태양전지 전극의 AI 기반 자동 측정 시스템 개발 및 공정 평가 적용

## AI-Based Automated Measurement System for Screen-Printed Solar Cell Electrodes

이명현\*, 이상희\*, 배수현\*, 어영주\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** 태양전지 스크린프린팅 전극에서는 finger 단선과 전극 가장자리로 페이스트가 번지는 bleeding 현상이 대표적인 품질 문제이며, 이는 광차폐 증가에 따른 수광 면적 감소와 전극 형상 정밀도 저하로 이어져, 셀 성능 및 공정 안정성에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 공정변수에 따른 전극 morphology 변화를 빠르고 객관적으로 정량화할 수 있는 평가 기술이 필요하다. 본 연구에서는 광학현미경 이미지를 기반으로 전극 선폭과 단선 밀도를 자동 측정하는 AI 시스템을 구축하였다. U-Net 기반 단선 검출과 profile gradient 기반 폭 측정 알고리즘을 적용하여 전극의 블리딩 포함 선폭, 블리딩 미포함 선폭 및 끊긴 전극 영역을 산출하였으며, 이를 통해 스크린프린팅 품질을 정량적으로 비교할 수 있도록 하였다. 검증 결과, KRISS 측정과 99.5% 일치하였고, 기존 manual 측정 대비 평균 90% 이상의 일치도를 보여 선폭 평가 자동화의 가능성을 확인하였다. 본 시스템은 기존 수작업 측정의 한계를 줄이고, bleeding 및 단선과 같은 전극 결함을 신속하고 일관되게 평가하여 공정 조건 최적화를 위한 정량적 피드백을 제공한다는 점에서 의미가 있다. 나아가 태양전지 전극 품질 평가의 표준화와 제조 공정의 데이터 기반 자동화 기술로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 스크린프린팅 (Screen printing), 태양전지 전극 (Solar cell electrode), 인공지능 기반 측정 (AI-Based measurement), 전극 morphology (Electrode morphology), 핑거 단선 검출 (Finger break detection)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yjeo@kier.re.kr

## Comparative Investigation of Proton Radiation Resilience in Ultra-wide-bandgap Perovskites with PDAI<sub>2</sub>, EDAI<sub>2</sub> and PEAI for Space Applications

강상원\*, 김수환\*\*, 박종성\*\*\*†

Sangwon Kang\*, Suwhan Kim\*\*, Jongsung Park\*\*\*†

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과, \*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소

**Abstract :** Ultra-wide-bandgap (UWBG) perovskites have attracted significant attention as promising candidates for space photovoltaic applications due to their high specific power and lightweight characteristics. However, Br-rich compositions suffer from severe structural and electronic instabilities in high-energy radiation environments. Although proton-induced mitigation of organic cation damage using propane-1,3-diammonium iodide (PDAI<sub>2</sub>) has recently been reported, systematic comparative studies on the radiation resilience of diverse passivation molecules, such as ethane-1,2-diammonium iodide (EDAI<sub>2</sub>) and phenethylammonium iodide (PEAI), remain scarce.

In this study, we incorporate PDAI<sub>2</sub>, EDAI<sub>2</sub>, and PEAI into  $\approx 1.8$  eV UWBG perovskite thin films and systematically compare their structural, chemical, and electronic responses before and after proton irradiation. As a result, PDAI<sub>2</sub>-treated films maintained structural, chemical, and electronic stability under irradiation, whereas EDAI<sub>2</sub>- and PEAI based films exhibited pronounced degradation accompanied by organic cation loss, halide ion migration, and phase instability. The superior radiation resilience is attributed to the bifunctional ammonium groups in PDAI<sub>2</sub> that strongly anchor to the Pb-I framework, thereby suppressing organic cation loss and halide migration. In contrast, EDAI<sub>2</sub> provides limited bulk stabilization due to its short molecular backbone, while PEAI predominantly forms surface-confined passivation layers, failing to suppress bulk ionic degradation.

**Key Words :** Ultra-wide-bandgap, Perovskite, radiation resilience, space applications

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

PVE-P-9

# 태양광 발전 시스템의 위험 우선순위 모델의 실증 분석

## Empirical Validation of the Risk Prioritization Model of Photovoltaic Systems

최진호\*, 오원욱\*\*†

Jinho Choi\*, Wonwook Oh\*\*

\*충북테크노파크 차세대에너지센터, \*\*고려대학교 에너지기술공동연구소

**Abstract :** 태양광 발전 시스템의 운영 효율성 및 안전 관리 향상을 위한 위험 우선순위 (RPN) 모델의 적용 가능성을 실험적으로 검증합니다. 고장 모드 및 영향 분석(FMEA)에서 널리 사용되는 기존 RPN 방법을 대한민국 진천군에 위치한 공공 태양광 발전소에 적용했습니다. 운영 성능, 고장 이력, 유지보수 기록 등 현장 데이터를 수집 및 분석하여 주요 고장 모드에 대한 RPN 값을 산출했습니다. 산출된 RPN 값을 기반으로 고장 모드의 우선순위를 정하고, 실제 고장 발생률과의 상관관계를 분석했습니다. 연구 결과, RPN 기반 우선순위는 인버터, 태양광 모듈, 보조 시스템 등 주요 구성 요소의 상대적 위험 수준을 합리적으로 반영하는 것으로 나타났습니다. 특히, RPN 값이 높은 고장 모드는 현장에서 고장 발생률과 운영 부담이 증가하는 경향을 보였습니다. 모델의 타당성을 더욱 검증하기 위해 RPN 값과 실제 고장 지표 간의 통계적 상관관계 분석을 수행했습니다. 분석 결과, RPN 값과 성능 저하 사이에는 중간 정도의 양의 상관관계(피어슨 상관계수  $r = 0.489$ )가 나타났으며, 고장 빈도와는 더 강한 상관관계( $r = 0.618$ )가 관찰되었습니다. 반면, 가동 중지 시간과의 상관관계는 상대적으로 약했습니다( $r = 0.220$ ). 이는 RPN이 고장 지속 시간보다는 고장 발생을 더 효과적으로 포착한다는 것을 시사합니다. 이러한 결과는 RPN 모델이 태양광 발전 시스템에서 고위험 자산을 식별하는 주요 선별 도구로서 효과적임을 의미합니다. 또한, 본 연구 결과는 RPN 모델이 실제 태양광 발전소 데이터에 적용될 수 있으며, 위험 기반 유지보수 의사결정을 지원할 수 있음을 확인시켜 줍니다. 제안된 접근 방식은 실제 현장 데이터를 기반으로 유지보수 전략의 우선순위를 정하는 실용적인 프레임워크를 제공하여 시스템 신뢰성, 안전성 및 운영 효율성 향상에 기여합니다.

**Key Words :** 장모드 및 영향 분석(Failure mode effective analysis), 운영 및 유지 관리( Operation & maintenance), 위험 평가(Risk assessment), 위험우선순위(Risk priority number), 태양광 시스템(Photovoltaic system)

† Corresponding author, E-mail: wonwook@korea.ac.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (RS-2024-00358809).

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지공단의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(RS-2025-kp900012).

# 순차적 $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{Ag}_2\text{S}$ 스퍼터링 및 황화 공정을 통한 $\text{AgBiS}_2$ 박막의 조성 균일성 및 공정 재현성 향상

## Compositional Engineering of $\text{AgBiS}_2$ Thin Films via Sequential $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{Ag}_2\text{S}$ Sputtering and Sulfurization

권나영\*, 김수환\*\*, 박종성\*\*†

Nayeong Kwon\*, Suhwan Kim\*\*, Jongsung Park\*\*†

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과, \*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소

**Abstract :**  $\text{AgBiS}_2$  has attracted attention as an environmentally benign semiconductor composed of non-toxic elements, exhibiting a bandgap and a high optical absorption coefficient. However, difficulties in composition control and film-to-film variability have been repeatedly reported as factors limiting the reproducibility of  $\text{AgBiS}_2$  based solar cell performance. In this study, a sputtering-based fabrication approach was employed to improve compositional uniformity and process reproducibility of  $\text{AgBiS}_2$  thin films. Ag-Bi-S stacked layers were prepared via sequential sputter deposition using  $\text{Bi}_2\text{S}_3$  and  $\text{Ag}_2\text{S}$  targets. The Ag:Bi ratio was systematically adjusted by varying the deposition sequence, individual layer deposition times, and substrate temperature. This process strategy enables an expanded compositional control window compared to conventional single-step deposition routes. Post-deposition sulfurization was subsequently carried out in a tube furnace to promote elemental redistribution and phase formation within the films. Depending on the sulfurization conditions, compositional inhomogeneity originating from the stacked structure was alleviated, accompanied by grain growth and enhanced crystallinity of the  $\text{AgBiS}_2$  absorber layers. The resulting films were incorporated into solar cell devices with an NIP architecture, and their photovoltaic characteristics were analyzed as a function of processing conditions. Variations in open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) and short-circuit current density ( $J_{sc}$ ) were observed to correlate with changes in film composition and crystallinity. Structural, chemical, and optical properties of the films were examined using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and UV-visible spectroscopy. These results indicate that sputtering-derived  $\text{AgBiS}_2$  thin films offer a viable absorber platform for thin-film solar cell applications where process reproducibility is required.

**Key Words :**  $\text{AgBiS}_2$  Thin film, Sputtering, Stack layers, Sulfurization

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

# 폐 페로브스카이트 태양전지로부터의 전해재취 기반 납(Pb) 회수 최적화

## Optimization of Electrowinning-Based Lead (Pb) Recovery from Waste Perovskite Solar Cells

조세연\*, 김수환\*\*, 박종성\*\*\*†

Seyeon Cho\*, Suhwan Kim\*\*, Jongsung Park\*\*\*†

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과, \*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소,

\*\*\*경상국립대학교 에너지공학과

**Abstract :** While tandem solar cells are rapidly approaching commercialization, research on their end-of-life (EoL) management remains insufficient. This lack of recycling technology is a critical barrier to a sustainable solar industry, particularly regarding the environmental and health risks posed by lead (Pb) in perovskite layers. This study proposes an integrated recovery process using nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) as an oxidative lixiviant to leach lead iodide ( $\text{PbI}_2$ ) into a lead nitrate ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) solution, followed by lead reclamation via electrowinning. During the electrowinning stage, low pH levels were found to exacerbate the parasitic hydrogen evolution reaction (HER) at the cathode, significantly degrading current efficiency. To mitigate this, the electrolyte pH and applied voltage were systematically modulated to optimize the recovery yield. Furthermore, the influence of various electrode substrates; SUS 304, Titanium (Ti), and Dimensionally Stable Anodes (DSA) on the deposition behavior was investigated. Our results indicate that the oxidation state of the recovered lead is highly substrate-dependent, forming either lead(II) oxide ( $\text{PbO}$ ) or lead(IV) oxide ( $\text{PbO}_2$ ). From a techno-economic perspective, the formation of  $\text{Pb}^{4+}$  ( $\text{PbO}_2$ ) is unfavorable as it requires an additional reduction step for resynthesis into the  $\text{Pb}^{2+}$  precursor ( $\text{PbI}_2$ ). Consequently, this research identified specific electrode combinations to suppress  $\text{PbO}_2$  and facilitate the selective recovery of  $\text{PbO}$ . The reclaimed  $\text{PbO}$  can be readily converted back into high-purity  $\text{PbI}_2$ , establishing a closed-loop resource ecosystem for the next-generation perovskite solar industry.

**Key Words :** 폐페로브스카이트 태양전지 (waste perovskite solar cells), 납 회수 공정 (lead recovery process), 전해재취 (electrowinning),  $\text{PbO}$ , pH,  $\text{PbI}_2$

† Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

### 후 기

This work was supported by Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korea government(MOTIE) (RS-2025-25450823)

# 고효율 실리콘 이종접합 태양전지를 위한 nc-Si:H 박막 최적화

## Optimization of nc-Si:H Layers for High Efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells

김세웅<sup>\*,\*\*</sup>, 성기준<sup>\*\*</sup>, 조준식<sup>\*\*</sup>, 고민재<sup>\*</sup>, 유진수<sup>\*\*†</sup>

Saewoong Kim<sup>\*,\*\*</sup>, Ki Joon Seoung<sup>\*\*</sup>, Jun-Sik Cho<sup>\*\*</sup>, Min Jae Ko<sup>\*</sup>, Jinsu Yoo<sup>\*\*†</sup>

\*한양대학교 화학공학과, \*\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** Silicon heterojunction (SHJ) solar cells are noted for high open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) and energy conversion efficiency. However, the parasitic absorption and high resistance of the p-a-Si:H layer remain challenges that limit  $J_{sc}$  and FF. In this study, p-a-Si was replaced with p-nc-Si, which offers superior transmittance and electrical conductivity. Using PECVD, the  $H_2/SiH_4$  gas ratio was systematically varied to control the phase transition. Raman spectroscopy confirmed that increasing  $H_2$  dilution beyond a critical threshold significantly promotes silicon nanocrystal formation and increases  $X_c$ . While high  $H_2$  dilution can cause plasma damage and lower  $V_{oc}$ , the deposition process was meticulously optimized. QSSPC measurements verified that the implied  $V_{oc}$  was maintained without degradation. The optimized p-nc-Si layer exhibits superior electrical resistivity compared to conventional p-a-Si, providing a significant enhancement in overall solar cell efficiency.

**Key Words :** Silicon heterojunction (SHJ), Nanocrystalline silicon (nc-Si:H), Raman spectroscopy.

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jsyoo@kier.re.kr

## Interfacial Molecular Design for High-Efficiency Inverted Wide-Bandgap Perovskite Solar Cells

장수성\*, 이다슬\*\*, 김수환\*\*\*, 박종성\*<sup>†</sup>

Suseong Jang\*, Da Seul Lee\*\*, Suhwan Kim\*\*\*, Jongsung Park\*<sup>†</sup>

\*경상국립대학교 에너지시스템 공학과, \*\*경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원,

\*\*\*경상국립대학교 미래융복합기술연구소

**Abstract :** Wide-bandgap (WBG) perovskite solar cells with bandgaps in the range of 1.6–1.7 eV were developed using an ITO/Me-4PACz/PDAI<sub>2</sub>/C60/BCP/Ag architecture. Device performance was improved by implementing molecular-level interface control at both the hole-selective contact and the perovskite/electron transport layer (ETL) junction.

The Me-4PACz self-assembled monolayer establishes strong phosphonate–metal interactions with the ITO surface, leading to favorable energy level alignment and promoting homogeneous nucleation and growth of the perovskite layer. Meanwhile, propane-1,3-diammonium iodide (PDAI<sub>2</sub>) was incorporated at the perovskite/ETL interface to passivate defects, particularly at grain boundaries, thereby reducing nonradiative recombination pathways.

Through this interfacial molecular strategy, the optimized device exhibited a power conversion efficiency (PCE) of 20.7% with a 1.68 eV bandgap absorber. The performance enhancement is mainly attributed to improved crystalline quality of the perovskite film and suppressed interfacial recombination, highlighting the effectiveness of molecular interface engineering in achieving high-efficiency and stable inverted WBG perovskite solar cells.

**Key Words :** Wide-bandgap, P-i-n structure, Perovskite, Me-4PACz, 4PADCB

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

# TOPCon 태양전지 후면 poly-Si 패시베이션 및 블리스터 형성에 대한 PECVD SiN<sub>x</sub>:H 층 내 수소 농도의 영향

## Effect of Hydrogen Concentration in PECVD SiN<sub>x</sub>:H Layer on poly-Si Passivation and Blister Formation in TOPCon Solar Cells

임규현<sup>\*,\*\*</sup>, 이진영<sup>\*\*\*</sup>, 심서우<sup>\*\*\*,\*\*\*</sup>, 김문세<sup>\*,\*\*</sup>, 김용진<sup>\*\*</sup>, 이상희<sup>\*\*</sup>, 정경택<sup>\*\*</sup>, 송희은<sup>\*\*</sup>,  
조윤애<sup>\*\*†</sup>, 이해석<sup>\*†</sup>, 김가현<sup>\*\*\*†</sup>

Kyuhyeon Im<sup>\*,\*\*</sup>, Jin Young Lee<sup>\*\*\*</sup>, Seo Woo Sim<sup>\*\*\*,\*\*\*</sup>, Munse Kim<sup>\*,\*\*</sup>,  
Yong-Jin Kim<sup>\*\*</sup>, Sang Hee Lee<sup>\*\*</sup>, Kyung Taek Jeong<sup>\*\*</sup>, Hee-eun Song<sup>\*\*</sup>,  
Yunae Cho<sup>\*\*†</sup>, Hae-Seok Lee<sup>\*†</sup>, Ka-hyun Kim<sup>\*\*\*†</sup>

\*고려대학교 에너지환경대학원, \*\* 한국에너지기술연구원 태양광연구단, \*\*\*충북대학교 물리학과

**Abstract :** This research explores how the hydrogen concentration within the SiN<sub>x</sub>:H passivation layer influences the structural and electrical properties of the rear poly-Si passivating contact in TOPCon solar cell. To modulate the initial hydrogen incorporation, SiN<sub>x</sub>:H films were grown via PECVD across a temperature range of 350°C to 530°C. Subsequent firing processes induced blister formation, the morphological characteristics of which were systematically evaluated to determine their detrimental effects on overall device efficiency. The microstructural evolution and topography of these blisters were characterized utilizing optical microscopy, SEM and AFM. Furthermore, electrical performance, specifically carrier lifetime and contact resistivity, was quantified through QSSPC and TLM analyses. Moreover, FT-IR and exodiffusion measurements were applied to monitor the dynamics of hydrogen bonding states and out-diffusion kinetics pre- and post-firing. Ultimately, these findings elucidate the critical role of SiN<sub>x</sub>-derived hydrogen management in optimizing the passivation efficacy and mitigating physically induced degradation in TOPCon.

**Key Words :** 패시베이션 (passivation), 기공 (blister), 접촉 저항 (contact resistance), 실리콘 질화막 (Silicon nitride)

† Corresponding author, E-mail: yacho@kier.re.kr, lhseok@korea.ac.kr, kahyunkim@chungbuk.ac.kr

# 단결정 MAPbBr<sub>3</sub>의 결정성에 따른 광검출기 성능 평가와 나노 스케일의 분석

## Nanoscale Evaluation of MAPbBr<sub>3</sub> Single Crystals from Different Crystallinity for Photodetectors

채승현\*<sup>†</sup>, 오세영\*, 조병진\*\*\*, 김도형\*\*\*

Seunghyeon Chae\*<sup>†</sup>, Seyoung Oh\*, Byundjin Cho\*\*\*, Dohyung Kim\*\*\*

\*충북대학교 신소재공학과, \*\*충북대학교 도시에너지환경공학과

**Abstract :** Metal halide perovskites, particularly methylammonium lead bromide (MAPbBr<sub>3</sub>), have attracted significant attention due to their excellent optoelectronic properties, making them promising candidates for photodetector applications. Among various forms, MAPbBr<sub>3</sub> single crystals (SCs) offer superior charge transport and reduced defect density compared to their polycrystalline counterparts.

In this study, we synthesized MAPbBr<sub>3</sub> SCs using different approaches: (1) conventional solution growth and (2) low-temperature-assisted crystallization. To evaluate the optoelectronic performance, photodetectors were fabricated under identical conditions using each type of crystal, with Au/Cr electrodes deposited via thermal evaporation. The device based on high-quality SCs demonstrated a photocurrent approximately three times higher than that of the conventionally grown counterpart, as shown by the On/Off current ratio. To investigate the origin of this performance difference, we performed nanoscale characterization using electrostatic force microscopy (EFM) and Kelvin probe force microscopy (KPFM), which revealed notable differences in charge carrier distribution and surface photovoltages. In addition, X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed improved crystallinity and reduced lattice disorder in the low-temperature-grown crystals, supporting the observed enhancements in device performance.

**Key Words :** 광검출기(Photodetectors), 단결정 할라이드 페로브스카이트(Metal halide single crystals perovskite), 나노 스케일 분석(Nanoscale evaluation), 광반응(Photoresponse), 광전류(Photocurrent)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: DohyungKim@Chungbuk.ac.kr

# 트라이오드 플라즈마를 이용한 실리콘 이종접합 태양전지용 투명전도성산화물의 스퍼터 손상 최소화

## Minimization of Sputter Damage during Deposition of Transparent Conductive Oxides for Silicon Heterojunction Solar Cells Using a Triode Plasma

안정호\*, 홍지은\*, 조임현\*, 정경택\*\*, 송희은\*\*, 오준호\*<sup>†</sup>, 김가현\*\*\*<sup>†</sup>  
Jeong-Ho An\*, Ji-Eun Hong\*, Yimhyun Jo\*, Kyung Taek Jeong\*\*,  
Hee-eun Song\*\*, Joon-Ho Oh\*<sup>†</sup>, Ka-Hyun Kim\*\*\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 울산차세대전지연구개발센터, \*\*한국에너지기술연구원 태양광연구단,  
\*\*\*충북대학교 물리학과

**Abstract :** Transparent conducting oxides (TCOs) are integral to various optoelectronic devices applications including carrier-selective passivating contacts solar cells, owing to their exceptional properties of transparency and conductivity. Conventional deposition methods using diode-configured sputtering often result in sputter damage, adversely affecting the surface passivation quality of a-Si:H/c-Si silicon heterojunction (SHJ) solar cells. This damage arises from the bombardment of highly energetic oxygen ions, leading to partial irreversible degradation, even after thermal annealing. In this presentation, we propose a triode plasma configuration that incorporates a mesh electrode into the conventional diode-configured sputtering system. This setup significantly mitigates the oxygen ion bombardment, thereby considerably reducing effective carrier lifetime degradation of SHJ from 96% with conventional diode configuration to only 7% with triode configuration with negative bias on the mesh electrode. In this presentation, we compare conventional diode-configured sputtering of Sn-doped indium oxide (ITO) with our triode-configured approach, where a negatively biased mesh electrode effectively minimizes the O<sup>-</sup> ion bombardment effects. Our findings show that ITO films deposited using the triode configuration exhibit higher carrier mobilities, higher refractive indices, and lower extinction coefficients. Additionally, the suppression of oxygen ion bombardment is manifested in a change in the preferred crystal orientation of the ITO films from the (400) plane to the (222) plane.

**Key Words :** Crystalline silicon solar cells (결정질 실리콘 태양전지), silicon heterojunction (실리콘 이종접합), transparent conductive oxide (투명전도성산화물), sputter damage (스퍼터 데미지)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jh.oh@kier.re.kr, kahyunkim@chungbuk.ac.kr

# 온도 안정성을 통한 유연 CIGS 박막 태양전지의 성능 향상

## Performance Enhancement of Flexible Cigs Thin Film Solar Cells by Temperature Stability

윤성민\*, 이철형\*, 박민준\*<sup>†</sup>

Sungmin Youn\*, Chil-hyoung Lee\*, Min-Joon Park\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원 에너지나노그룹

**Abstract :**  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  thin films solar cells reaching as high as 23.4 % efficiency have attracted attention as promising solar cells due to their high performance, flexibility, light-weight modules for BIPV, MIPV, etc. There is a gap (~3 %) of CIGS solar cells, depending on the substrate type, e.g., a soda-lime glass (SLG) and stainless steel (STS). Because of the diffusion of impurities and the absence of alkali elements, the efficiency decrease is inevitable. Although there is a lot of research to solve these problems, the efficiency difference has not been reduced even when the solutions are applied. This phenomenon implies that there is another problem with the degradation of efficiency, depending on substrates.

To enhance the performance of CIGS thin films on STS, we verified the temperature profile of the STS substrate, using a pyrometer to compare the temperature profile of the CIGS on STS to another. It took a long time to reach the thermal stability with the set value of the SiC heater in the 2nd stage, which suggests that at the early 2nd, deposition temperature is lower than set temperature so that the plenty of ODC phase like the intrinsic defects might be generated in the CIGS on STS [1]. In order to solve this problem, we set the higher temperature of SiC heater to increase the STS's temperature rapidly, and then the set value was adjusted slightly decreasing to reach the stability.

**Key Words :** Thin films, Solar cells, Flexible substrates, Energy conversion, Temperature stability

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: pk5659@kitech.re.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 산업통산자원부 에너지기술평가원의 재원으로 차세대 박막 태양광 모듈 개발 및 실증사업(과제 번호 : RS-2024-00457537)과 한국생산기술연구원 연구개발적립금사업의 재원으로 화재·질식 사고 조기 대응을 위한 보급형 고성능 가스 센서 시스템 및 지능형 화재감지기 플랫폼 개발 사업 (KITECH UR-26-0001)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

# 우주 태양광 모듈을 위한 초경량 태양전지 제작 기술

## Ultra-Lightweight Solar Cell Fabrication Technology for Space Photovoltaic Modules

류준\*, 박예랑\*, 권다영\*, 박노창\*, 이용환\*<sup>†</sup>

Jun Ryu\*, Yerang Park, Da Young Kwon, Nochang Park\*, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>

\*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

**Abstract :** 초박형(<100  $\mu\text{m}$ ) 태양전지 제조 기술은 초경량 우주용 태양광 모듈 구현을 위한 핵심 기반 기술로 여겨진다. 본 연구에서는 균열 기반 박리 기술(crack-assisted layer transfer)을 이용하여 단결정 반도체 기판의 웨이퍼링 과정에서 발생하는 재료 손실(kerf-loss)을 최소화하면서 두께 100  $\mu\text{m}$  이하의 초박형 반도체 기판을 제작할 수 있는 초경량 유연 기판 제조 기술을 제시한다. 제안된 균열 기반 분리 기술을 통해 두께가 10-80  $\mu\text{m}$  범위로 제어된 초박형 단결정 반도체 웨이퍼를 실험적으로 제조할 수 있음을 확인하였다. 또한 제조된 초박형 반도체 웨이퍼의 결합 특성 분석과 결합 저감 방법을 제시하고, 해당 초경량 반도체 기판을 활용한 고효율 태양전지 제작 가능성을 검증하였다. 본 연구 결과는 궁극적으로 우주용 초경량 태양전지 및 태양광 모듈 구현을 위한 핵심 기반 기술로 활용될 것으로 기대된다.

**Key Words :** 초박형 태양전지 (Ultra-thin solar cells), 균열 기반 박리 기술 (Crack-assisted layer transfer), 초경량 반도체 기판 (Ultra-lightweight semiconductor substrate), 우주용 태양전지 (Space solar cells), 우주용 태양광 모듈 (Space photovoltaic modules)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ylee@keti.re.kr

### 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2022-NR068563).

# 폐태양광 모듈을 활용한 저탄소 재활용 및 그린 수소 생산 기술

## Low-Carbon Recycling and Green Hydrogen Production Technology Using End-of-Life Photovoltaic Modules

박예랑\*, 류준\*, 권다영\*, 박노창\*, 이용환\*<sup>†</sup>

Yerang Park\*, Jun Ryu\*, Da Young Kwon\*, Nochang Park\*, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>

\*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

**Abstract :** 실리콘 기반 태양광 모듈은 전 세계적으로 효율적이고 환경 친화적인 에너지 전환 기술로 널리 사용되고 있다. 이와 함께, 수명을 다한 태양광 모듈의 처리 및 재활용은 중요한 과제로 떠오르고 있다. 본 연구는 폐태양광 모듈을 재활용하여 다양한 형태의 에너지를 생성할 수 있는 시스템을 제안한다. 연구 결과, 재활용된 태양광 모듈은 600 nm 파장에서 약 92%의 에너지를 흡수하여 74°C까지 온도를 상승시키며, 이를 열 에너지로 변환할 수 있었다. 또한, 40mm x 40mm 크기의 재활용 모듈을 이용한 열전 발전기 (TEG) 기반 하이브리드 장치가 1 sun 조사(AM1.5G) 조건에서 최대 2.14 mW의 전력을 생성함을 확인했다. 더불어, 이 하이브리드 장치는 알칼리 수전해 시스템 및 DC/DC 컨버터를 통합하여 외부 전력 없이 친 환경적인 그린 수소를 생산할 수 있음을 입증하였다. 본 연구는 폐태양광 모듈을 다목적 재생 에너지 시스템으로 활용하는 새로운 가능성을 제시한다.

**Key Words :** 폐태양광 모듈(end-of-life photovoltaic module), 광흡수체(solar absorber), solar-thermal conversion(광-열 전환), 수소 생산(hydrogen generation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ylee@keti.re.kr

### 후 기

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00303745,탄소배출이 적고 재활용이 용이한 모듈 소재 및 공정 기술개발)

# 고출력 은 저감 제로버스바(ZBB) 태양광 모듈을 위한 태양전지 전극 디자인 설계

## Electrode Design for High-Performance and Low-Ag Consumption Zero-Busbar (ZBB) Photovoltaic Modules

김언수\*

Unsoo Kim\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** 급격한 태양광 모듈의 보급에 따라 태양광 분야의 은 수요는 최근 10년 간 289.3%가 증가하였으며, 같은 기간 은 가격은 100%가 증가하였다. 기하급수적으로 증가하는 태양광 보급량의 증가에 대응하고, 특정 국가가 독과점하고 있는 태양광 시장에서 가격 경쟁력을 통해 점유율을 확보하기 위해서는 은 저감 태양광 모듈의 개발이 필수적이다. 은 사용량(mg/W)은 필연적으로 태양전지 셀의 전극 디자인 및 전극 페이스트의 조성에 영향을 받으며, 은 저사용 모듈 제작을 위한 전극 디자인을 수행하기 위해서는 전극 디자인에 따른 은 사용량 및 셀 출력 계산을 수행하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 전극 디자인에 따른 손실 분석(loss analysis)를 통해 셀의 출력과 은 사용량을 계산하여 최종적으로 은 사용량 5 mg/W 이하의 태양광 모듈을 제작할 수 있는 전극 디자인을 설계한다. 설계 과정을 통해 은 저감 태양광 모듈을 위한 리본 개수, 리본 직경, 핑거 선폰 설계에 대한 기준을 세운다.

**Key Words :** 은 저감(Low-Ag consumption), 전극 설계(Electrode design), 시뮬레이션(Simulation), 태양광 모듈 (Photovoltaic Module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: tjckus92@kier.re.kr

# 산 보조 습식 식각을 통한 실리콘 이종접합 태양전지 표면 개질

## Surface Modification of Silicon Heterojunction Solar Cells via Acid-assisted Wet Etching Process

김형우\*<sup>†</sup>, 김용진\*, 김언수\*, 조윤애\*, 이상희\*, 유진수\*, 정경택\*, 송희은\*  
Hyungwoo Kim\*<sup>†</sup>, Yongjin Kim\*, Unsoo Kim\*, Yunae Cho\*, Sang Hee Lee\*,  
Junsu Yoo\*, Kyung Taek Jeong\*, Hee-Eun Song\*

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** Tandem solar cells have emerged as a key technology for next-generation photovoltaics, demonstrating power conversion efficiencies (PCEs) that surpass the theoretical limit of single-junction crystalline silicon solar cells. Among them, perovskite/silicon tandem solar cells have achieved remarkable PCEs of up to 34.9%. A widely studied configuration is the 2-terminal structure, which integrates a bandgap-tuned perovskite solar cell with a silicon heterojunction (SHJ) cell in a p-i-n architecture. For optimal device performance, precise control over the interfacial morphology between the two sub-cells is crucial. In this work, we modulated the surface morphology of silicon solar cells through wet chemical processes using nitric acid, acetic acid, and hydrofluoric acid, enabling control over surface features such as size and roughness. This surface engineering significantly improved the electrical properties of the stacked layers, including amorphous silicon (a-Si:H) and transparent conducting oxides (TCOs). Our results not only enhance the efficiency of silicon bottom cells, but also suggest the enormous potential of surface engineering to drive significant performance improvements in perovskite/silicon tandem solar cells.

**Key Words :** 이종접합 태양전지(Heterojunction solar cells), 비결정 실리콘(Amorphous silicon), 마이크로구조 (Micro-structure), 산보조 습식식각(Acid-assisted wet etching)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hwkim@kier.re.kr

PVE-P-22

# 열증착 기반 100도 이하 저온 공정 기반 PIN구조 AgBiS<sub>2</sub> 태양전지

## PIN Structured AgBiS<sub>2</sub> Solar Cells Fabricated at $\leq 100^{\circ}\text{C}$ via Thermal Evaporation

최민호\*, 박종성\*<sup>†</sup>Minho Choi\*, Jongsung Park\*<sup>†</sup>

\*경상국립대학교 에너지시스템공학과

**Abstract :** Low-temperature processing of lead-free thin-film photovoltaics is essential for enabling flexible and lightweight energy-harvesting technologies with lower environmental burden. Here, we present the first AgBiS<sub>2</sub> PIN solar cells based on MeO-2PACz as the hole-selective contact, fabricated by direct thermal evaporation of Ag, Bi, and S. Through in-situ sulfur deposition during film growth, sulfurization-free processing is achieved, allowing stable phase formation at only 100 °C, well below the temperatures generally required for conventional AgBiS<sub>2</sub> thin-film fabrication. The best device achieves a Jsc of 29.38 mA cm<sup>-2</sup>, a Voc of 282 mV, and a PCE of 4.15%. This low-temperature evaporation approach not only streamlines the fabrication process but also provides a viable and scalable platform for flexible, stable, and efficient lead-free chalcogenide solar cells.

**Key Words :** AgBiS<sub>2</sub>, Low-temperature, PIN, Sulfurization-free, Thermal evaporation

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: j.park@gnu.ac.kr

# 온도에 따른 결정질 실리콘 태양전지 fill factor 손실 분석

## An Analysis of Fill Factor Loss Depending on the Temperature for the Crystalline Silicon Solar Cells

이상희\*<sup>†</sup>, 송희은\*, 정경택\*

Sang Hee Lee\*<sup>†</sup>, Hee-eun Song\*, Kyung Taek Jeong\*

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** Since the temperature of a PV module is not consistent as it was estimated at a standard test condition, the thermal stability of the solar cell parameters determines the temperature dependence of the PV module. Fill factor loss analysis of crystalline silicon solar cell is one of the most efficient methods to diagnose the dominant problem, accurately. In this study, the fill factor analysis method and the double-diode model of a solar cell was applied to analyze the effect of  $J_{01}$ ,  $J_{02}$ ,  $R_s$ , and  $R_{sh}$  on the fill factor in details. The temperature dependence of the parameters was compared through the passivated emitter rear cell (PERC) of the industrial scale solar cells. As a result of analysis, PERC cells showed different temperature dependence for the fill factor loss of the  $J_{01}$  and  $J_{02}$  as temperatures rose. In addition, we confirmed that fill factor loss from the  $J_{01}$  and  $J_{02}$  at elevated temperature depends on the initial state of the solar cells. The verification of the fill factor loss analysis was conducted by comparing to the fitting results of the injection dependent-carrier lifetime.

**Key Words :** Fill factor 손실 분석(Fill factor loss analysis), 이중 다이오드 모델(Double diode model), PERC(PERC), 온도 의존도(Temperature dependence), 재결합 전류 밀도(Recombination current density)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: lshee@kier.re.kr

# 저탄소 순환 경제를 위한 태양광모듈 제조 기술 개발

## PV Module Technology for Low-carbon Circular Economy

어영주\*, 배수현\*, 김경수\*, 이진석\*\*, 강기환\*<sup>†</sup>  
 Young Joo Eo\*, Soohyun Bae\*, Kyung-Soo Kim\*,  
 Jin-Seok Lee\*\*, Gi-Hwan Kang\*\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단, \*\*한국에너지연구원 신재생시스템연구실

**Abstract :** To mitigate climate change and to obtain global carbon neutrality, the expansion of renewable energy sources is of paramount importance. PV modules are widely regarded as one of the most promising technologies to lead the transformation towards decarbonized energy systems. However, the manufacturing of PV modules is associated with initial greenhouse gas emissions linked to the procurement of PV components. Therefore, this study focuses on minimizing initial emissions to improve the overall environmental performance of PV systems as well as its recycling process.

In this study, it is shown that PV module manufacturing with low CO<sub>2</sub> emission is feasible. And also, the module efficiency, energy requirements, silicon consumption and electricity mix used at the production location are significant factors for the reduction of environmental impacts.

Future research will focus on realizing strong mechanical properties without compromising the resistance to weathering-induced degradation. Moreover, extensive testing methods, which are typically applied for PV module testing (e.g. damp heat tests and thermo cycling), should be conducted to ultimately determine the performance of those modules.

**Key Words :** Renewable energy, Carbon neutrality, PV Module

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ghkang@kier.re.kr

### 후 기

This work was also partly supported by Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government (MOTIE) (grant no. RS-2023-00303745)

# 180도 회전 가변 운전에 따른 수직형 영농태양광 시스템의 발전량 특성 분석

## Analysis of Power Generation Characteristics of a Vertical Agrivoltaic System under 180-Degree Rotary Variable Operation

임철현\*<sup>†</sup>, 신주엽\*\*, 김근호\*\*\*, 윤가윤\*\*\*\*, 채희관\*\*\*\*\*  
Cheolhyun Lim\*<sup>†</sup>, Juyoup Shin\*\*, Geunho Kim\*\*\*,  
Gayoon Yoon\*\*\*\*, Heegwan Chae\*\*\*\*\*

\*한국에너지공과대학교, \*\*이시스템, \*\*\*녹색에너지연구원, \*\*\*\*전남농업기술원, \*\*\*\*\*HKC

**Abstract :** 수직형 태양광 시스템은 기존 일반 태양광 대비 발전량이 20~30% 낮을 것이라는 한계를 극복하기 위해 능동적인 각도 가변 제어가 요구된다. 본 연구에서는 180도 회전 가변 운전을 적용한 수직형 시스템의 실증을 위해 총 70kW 규모(동서 가변/고정 30kW, 남북 가변/고정 20kW, 대조군 20kW)의 실증단지를 조성하고 하루에 가을배추 5,200주를 정식하여 통합 모니터링을 수행하였다. 2026년 실증 데이터를 분석한 결과, 수직형 동서 가변(시간별) 시스템의 비발전량은 122.6 kWh/kWp로, 동일 방향 고정식(96.4 kWh/kWp) 대비 27.2%의 비약적인 효율 상승을 기록하였다. 또한, 계통 기여도를 평가하는 피크 이동지수 분석에서 일반 루프탑 신규 모듈은 0.28(발전량의 약 72%가 낮 시간에 집중)에 불과했으나, 수직형 동서 가변 시스템은 0.54를 기록하였다. 이는 수직형 가변 제어가 전체 발전량을 일반 루프탑 이상으로 확보하면서도 발전 시간을 오전과 오후로 효과적으로 분산시켜 전력 계통 안정화에 핵심적으로 기여할 수 있음을 정량적으로 입증한다.

**Key Words :** 발전량 특성 (Power Generation Characteristics), 수직 영농형 태양광 (Vertical Agrivoltaic System), 180도 회전 운전 (180-Degree Rotary Operation), 양면형 모듈 (Bifacial Module), 전산 모사 (Simulation)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: chlim@kentech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2024년 중부발전 현장기술개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 재2024-현장-05호).

# 수직형 영농태양광 실증단지 조성을 위한 구조 안정성 및 기초 설계 검토

## Review of Structural Stability and Foundation Design for Constructing a Vertical Agrivoltaic Demonstration Site

임철현\*<sup>†</sup>, 신주엽\*\*, 김근호\*\*\*, 윤가윤\*\*\*\*, 채희관\*\*\*\*\*  
 Cheolhyun Lim\*<sup>†</sup>, Juyoup Shin\*\*, Geunho Kim\*\*\*,  
 Gayoon Yoon\*\*\*\*, Heegwan Chae\*\*\*\*\*

\*한국에너지공과대학교, \*\*이시스템, \*\*\*녹색에너지연구원, \*\*\*\*전남농업기술원, \*\*\*\*\*HKC

**Abstract :** 수직형 영농태양광 시스템은 강풍 시 구조물에 가해지는 인발력과 풍하중(목표 45m/s)이 커서 농지 환경에 적합한 구조 안정성과 기초 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 100kW급 180도 회전 가변 수직형 실증단지를 대상으로 구조물 구성과 하부 기초 공법을 비교 검토하였다. 기초 공법으로 가지식과 헬리컬(Helical) 스크류 방식을 비교한 결과, 헬리컬 기초가 32kN의 우수한 예상 인발력을 확보하면서도 단가가 개당 103,000원으로 가지식(181,150원) 대비 약 43% 저렴하여 시공 경제성이 뛰어난 것으로 분석되었다. 상부 하중 저감을 위해 모듈 어셈블리에 경량 고강도 알루미늄 부재를 도입하여 세트당 중량을 48.51kg으로 낮추고, 주 구조물 1열의 총중량을 203.8kg 수준으로 최적화하였다. 설계된 알루미늄 프레임에 대해 모듈 자체 하중(638N)과 폭설 조건(설하중 0.5kN/m<sup>2</sup>)을 결합한 총 1,198N의 복합 구조해석을 수행한 결과, 최대 응력  $1.966 \times 10^7$  및 최대 변위 0.46mm가 산출되어 1mm 미만의 완벽한 구조적 안정성을 입증하였다.

**Key Words :** 구조 안정성 (Structural Stability), 기초 설계 (Foundation Design), 헬리컬 파일 (Helical Pile), 수직 영농형 태양광 (Vertical Agrivoltaic System), 구조 해석 (Structural Analysis)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: chlim@kentech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2024년 중부발전 현장기술개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 재2024-현장-05호).

# 작물 생산성 및 발전량 개선을 위한 180도 회전 가변 수직형 영농태양광 시스템 설계

## Design of a 180-Degree Rotary Variable Vertical Agrivoltaic System for Improving Crop Productivity and Power Generation

임철현\*<sup>†</sup>, 신주엽\*\*, 김근호\*\*\*, 윤가윤\*\*\*\*, 채희관\*\*\*\*\*  
Cheolhyun Lim\*<sup>†</sup>, Juyoup Shin\*\*, Geunho Kim\*\*\*,  
Gayoon Yoon\*\*\*\*, Heegwan Chae\*\*\*\*\*

\*한국에너지공과대학교, \*\*이시스템, \*\*\*녹색에너지연구원, \*\*\*\*전남농업기술원, \*\*\*\*\*HKC

**Abstract :** 영농형 태양광은 농업과 발전의 병행을 지향하지만, 기존 시스템은 농지 내 차광률이 15~23%에 달해 작물 생산성 저하가 우려된다. 본 연구에서는 차광률을 9% 이하로 낮추고 감수율 10% 이하, 균등화 발전비용(LCOE) 150원/kWh 달성을 목표로 하는 100kW급 180도 회전 가변 수직형 영농태양광 시스템의 설계 개념을 제안하였다. 제안된 시스템은 고효율 양면형 모듈(625W) 112장과 33kW급 인버터 3대를 적용하여 동서향 및 남북향 구조로 배치되었다. 연약지반인 농지 특성과 45m/s의 풍하중을 견디기 위해 지중에 파이프를 교차 삽입하는 기초 보강 기술을 적용하였으며, 하부 농기계 작업 공간을 확보하기 위해 지상에서 1m 이상 이격된 세로 기둥 구조를 채택하였다. 본 설계안은 웬기어 기반의 단순화된 구동 메커니즘을 통해 유지보수 편의성을 높이고, 기존 수직 고정식의 발전 손실(약 20%)을 극복하기 위한 최적의 시스템 구성 원칙을 제시한다.

**Key Words :** 수직 영농형 태양광 (Vertical Agrivoltaic System), 180도 회전 가변형 (180-Degree Rotary Variable System), 시스템 설계 (System Design), 차광 저감 (Shading Reduction), 작물 생산성 (Crop Productivity)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: chlim@kentech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 2024년 중부발전 현장기술개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 재2024-현장-05호).

# 태양광 폐패널 현장 재활용의 환경적, 경제적 효과 검증

## Assessment of the Environmental and Economic Effects of On-site Recycling for End-of-Life Modules

이상헌\*<sup>†</sup>, 노청민\*, 서광민\*, 김연주\*

Sanghun Lee\*, CheongMin Noh\*, KwangMin Seo\*, YeonJu Kim\*

\*(주)원광에스엔티

**Abstract :** 기후위기에 대응하기 위한 탄소중립 정책이 강화되면서 재생에너지 중심의 전력 전환이 가속화되고 있다. 특히 태양광 발전은 2023년 기준 연간 신규 설치량 약 456 GW, 누적 설비 용량 1,642GW를 기록하며 급성장하고 있으며, 향후 수년 내 연간 1TW 설치 시대에 진입할 것으로 전망된다. 이러한 설비 보급 확대는 필연적으로 태양광 폐패널 발생량의 급증을 동반한다. IRENA의 전망에 따르면, 전 세계 누적 폐패널 발생량은 2030년 약 400만 톤에서 2050년에는 2억 톤 이상으로 확대될 것으로 예측된다.

현재 대부분의 폐패널은 집하 후 장거리 운송을 거쳐 고정식 재활용 시설에서 처리되지만, 부피와 중량으로 인한 운송 비효율과 2차 파손·오염으로 인한 재활용 효율 저하 등의 한계가 있다. 또한 장거리 운송 과정에서 발생하는 물류비 상승과 탄소배출 증가는 저탄소사회로의 전환 취지에도 역행하고 있다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고자 현장 처리가 가능한 이동식 폐패널 재활용 설비인 ‘SolreBorn’을 구축하였다. 본 설비는 에너지저장장치(ESS)를 탑재하여 외부 전원 연결 없이도 현장에서 독립적인 구동이 가능하도록 설계되었다. 현장에서는 알루미늄 프레임과 정선박스를 해체하고 전면 유리를 1차로 분리·회수하며, 부피가 대폭 축소된 잔여 샌드위치 시트만을 고정식 공장으로 이송한다. 이후 파·분쇄 및 선별 공정을 거쳐 실리콘 메탈 파우더, 구리 합금 등의 유가소재로 자원화한다.

해당 설비의 효용성을 검증하기 위해 강원도 양구의 14MW급 태양광 발전소 해체 시나리오를 분석하였다. 그 결과, 기존 고정식 처리 방식 대비 운송 차량 운행 횟수가 175회에서 27회로 약 84% 감소하였다. 이에 따라 운송 비용은 약 85% 절감되었으며, 운송 과정의 이산화탄소 배출량 또한 28.3톤에서 4.37톤으로 획기적으로 저감됨을 확인하였다. 결론적으로, 본 연구는 이동식 설비를 활용한 현장 1차 해체 및 분리 공정 도입만으로도 폐패널의 중량과 부피를 대폭 줄여, 물류비 절감 및 탄소 배출 최소화를 동시에 달성할 수 있음을 확인하였다.

**Key Words :** 태양광 폐패널(End of Life Photovoltaic Modules), 현장 재활용(On-site Recycling), 탄소배출 저감 공정 (Low Carbon PV Module's Recycling Process), 이동식 재활용 처리(Mobile Recycling Process),

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: lsh4085@wksnt.com

### 후 기

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 태양광 패널 재활용 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (RS-2025-02223005)

# 태양광 모듈 모니터링을 위한 열전 발전기 기반 자가발전 무선 센서 시스템

## Self-Powered Wireless Sensor System Using a Thermoelectric Generator for Photovoltaic Module Monitoring

권다영\*, 박노창\*, 이용환\*<sup>†</sup>

Dayoung Kwon\*, Nochang Park\*, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>

\*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

**Abstract :** Real-time monitoring systems are essential for the efficient operation and maintenance of photovoltaic (PV) modules. In this study, we propose a self-powered wireless sensor system that utilizes a thermoelectric generator (TEG) to convert residual thermal energy from PV modules into electrical power. By integrating the TEG with a heat sink and coupling it with the PV module, we achieved a maximum output power of 0.981 mW under 1 sun conditions, successfully powering a microcontroller, infrared temperature sensor, and Bluetooth communication module. This system enables real-time wireless transmission of PV module temperature data without requiring an external power supply, reducing maintenance costs and eliminating the need for battery replacements. Our findings introduce an innovative energy harvesting solution to enhance PV module performance and highlight the potential for self-powered IoT sensor systems.

**Key Words :** 결정질 반도체(Monocrystalline Semiconductor), 균열(Cracking), 박형 웨이퍼(Thin Wafer), 광전기화학전지(Photoelectrochemical Cell), 물분해(Water-Splitting)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ylee@keti.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. RS-2023-00303745).

## Tailor-Made Buffer Materials: Advancing Uniformity and Stability in Perovskite Solar Cells

Myeong In Kim\*, Doyeong Yeo\*, Ji-Youn Seo\*\*, In Hwan Jung\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 유기나노공학과, \*\*부산대학교 나노융합기술학과

**Abstract :** Along with the growing popularity of the *p-i-n* structure, bathocuproine (BCP) is increasingly recognized as a crucial buffer layer between the electron transport layer and electrode with the role of mitigating Schottky contact and enhancing performance. However, the chemical structure and role of its functional groups have not been thoroughly elucidated. This study introduces a novel modification of BCP in perovskite solar cells (PSCs) by altering functional groups to optimize their geometrical molecular structures and electronic properties. The substitution of aromatic phenyl and p-tolyl groups to 2,9-position on the BCP is highly effective in increasing the planarity of the conjugated backbone and protecting the reactive nitrogen atoms of the phenanthroline core, thereby improving charge transport and device stability. Experimental analyses, including electrostatic force microscopy, impedance spectroscopy, and photoluminescence, reveal that the modified BCP significantly enhances charge transport, reduces recombination losses, and markedly improves the structural stability of PSCs, leading to prolonged device lifetimes. The findings highlight the potential of structurally optimized BCP derivatives as a critical component in advancing high-efficiency and durable PSCs.

**Key Words :** Perovskite solar cell, Tailor-made buffer materials, Bathocuproine, Functional group

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: inhjung@hanyang.ac.kr

### 후 기

This work was supported by the Technology Innovation Program (RS-2024-00422305) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea).

# 실리콘 음극용 ROMP 기반 고분자 바인더의 기계적 물성 및 이온 전달 특성의 균형적 설계

## ROMP-Derived Polymer Binders with Balanced Mechanical Robustness and Ion Transport for Silicon Anodes

신철\*, 정인환\*<sup>†</sup>

Cheol Shin\*, In Hwan Jung\*<sup>†</sup>

\*한양대학교 유기나노공학과

**Abstract :** Lithium-ion batteries are widely used in portable devices, electric vehicles, and energy storage systems because of their high energy density and long-term cycling stability. Silicon is regarded as a promising anode material owing to its theoretical capacity ( $\sim 3,579 \text{ mAh g}^{-1}$ ), which is close to ten times higher than conventional graphite anodes. However, the volume expansion of silicon during lithiation process has hindered the commercial application of silicon anodes and various polymeric binders have been investigated to solve this problem. In this study, a novel polymer binder was synthesized by ring-opening metathesis polymerization (ROMP) with functional groups on the side chain. We controlled the ratio of carboxylic acid to polyethylene glycol to strike a balance between tensile strength and elongation, and identify an optimized point between ionic transport and adhesion properties. As a result, the silicon anode with optimized ROMP-derived polymeric binder showed a high discharge capacity of  $2495 \text{ mAh g}^{-1}$  and superior cycling stability with a retention of 72.8% after 250 cycles. This result demonstrates that the ROMP-derived polymer has the strong potential as a binder for silicon anodes by optimizing the mechanical and chemical characteristics.

**Key Words :** 에너지 저장 시스템(Energy storage system), 리튬이온전지(Lithium-ion battery), 실리콘 음극(Silicon Anode), ROMP(Ring-opening metathesis polymerization), 바인더(Binder)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: inhjung@hanyang.ac.kr

### 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 한국연구재단(NRF)의 연구비 지원(No. RS-2023-00304936 및 RS-2024-00349600)으로 수행되었습니다.

# 동서형 양면 태양광발전시스템의 전기적 안전 위험성 고찰

## A Review on Electrical Safety Hazards of Vertical East-West Bifacial Photovoltaic Systems

조성구\*<sup>†</sup>, 김종민\*, 오수정\*, 강해권\*, 장주희\*

Sung-Koo Cho\*<sup>†</sup>, Chong Min Kim\*, Su-Jeong Oh\*,

Hae-Gweon Kang\*, Juhee Jang\*

\*한국전기안전공사 전기안전연구원

**Abstract :** 동서 수직형 태양광 발전시스템은 부지 이용 효율 개선뿐만 아니라 오전 및 오후 시간대의 발전량을 증대시켜 계통 출력의 변동성을 완화하는 특성을 가진다. 동서 수직 배치가 생성하는 이중 피크 (Dual-peak) 발전 특성은 기존 남향 시스템 발전 출력을 물리적으로 분산시킴으로써 ESS 적용 없이 출력 평활화 기능을 보완하거나 대체할 수 있는 기술적 대안으로 주목받고 있다. 하지만 이러한 동서 수직형 태양광발전시스템 구성은 전·후면이 시간대에 따라 교번하여 수광하는 구조적 특성으로 인해 기존 정남향 고정 시스템과는 근본적으로 다른 전기적 특성을 나타낸다. 수직 동서형 시스템에서는 고알베도 극한 환경에서의 예측하기 어려운 전류 상승 문제, 수직 설치에 따른 고도별 수광량 차이로 인한 전류 불균형 문제, 저온 환경에서의 전압 상승 문제 등 다양한 전기적 안전 위험 요소가 고려될 수 있다. 또한 최근 태양광 모듈 시장은 기존 PERC 기술에서 높은 변환 효율과 우수한 양면율(bifaciality)을 갖춘 HJT(Hetero-junction Technology) 모듈로의 전환이 가속화되고 있으며, 이는 직류 전로를 구성하는 케이블·커넥터·보호 장치 등 모든 구성 요소의 열적 내구성 측면에서 기존 설계 기준으로는 충분히 검토되지 않은 전기적 안전 문제를 야기할 수 있다. 나아가 국내 전기설비 관련 기술기준(KEC, KESC 등)은 양면형 모듈의 과전류 보호 설계에 정남향 수평 설치를 전제로 한 BNPI 시험 조건을 준용하고 있어, 수직 동서형 배치 환경을 충분히 반영하지 못할 가능성을 배제하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 수직 동서형 양면형 시스템의 전기적 안전 위험 요소와 현행 보호 설계 기준의 적합성을 이론적으로 고찰하고, 향후 실증 연구 및 기준 개선을 위한 방향을 제시하고자 한다.

**Key Words :** 양면형 태양광(Bifacial Photovoltaic), 수직 동서형(Vertical East-West), 고알베도(High Albedo), 열적 내구성(Thermal Durability), 전기안전(Electrical Safety)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: chosk@kesco.or.kr

# 저온 라미네이션 공정을 위한 TPO 봉지재의 특성 평가

## Characterization of TPO Encapsulant for Low-Temperature Lamination Process in Photovoltaic Modules

김태형\*, 민용기\*<sup>†</sup>, 김충현\*

Tae-Hyung Kim\*, Yongki Min\*<sup>†</sup>, Chung-Hyun Kim\*

\*신성이엔지 재생에너지사업본부 연구팀

**Abstract :** 지구 온난화와 기후변화 대응을 위한 주요 대책 중 하나로 태양광 발전의 보급이 빠르게 확대되고 있으며, 이 과정에서 모듈의 효율 향상을 위한 기술로 이종접합(HJT, Heterojunction technology), 제로버스바 구조, 페로브스카이트/실리콘 텐덤 등의 기술이 주목받고 있다. 이러한 기술들은 열에 민감한 구조적·재료적 특성을 지니는 것으로 알려져 있어, 기존 결정질 실리콘 모듈 대비 저온 라미네이션 공정이 요구된다. 이에 따라 기존 EVA 중심의 고온 가교 공정으로는 대응에 한계가 있으며, 저온 공정에 적합한 봉지재에 대한 필요성이 제기되고 있다. 기존 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 봉지재는 우수한 공정성과 경제성으로 널리 적용되고 있으나, 장기 사용 시 아세트산 생성, 황변, 금속 전극 부식 등 다양한 신뢰성 문제가 보고되고 있다. 또한 가교를 위한 비교적 높은 라미네이션 온도가 요구되어, 저온 공정 대응 측면에서 제약이 존재하는 것으로 평가된다. 그래서 비가교 열가소성 특성을 갖는 TPO(Thermoplastic Polyolefin) 봉지재가 낮은 수분 흡수율, 우수한 화학적 안정성, 저온 공정 적용 가능성을 바탕으로 대안 소재로 주목받고 있다. 따라서 본 연구에서는 태양광 모듈용 봉지재로 널리 사용되는 EVA 및 POE (Polyolefin Elastomer)와 TPO 봉지재를 대상으로 겔 함량(Gel content), 접착력(Adhesion), 수분투과도(WVTR), 점도(Viscosity)에 대해 특성 평가하였다.

**Key Words :** TPO 봉지재(TPO encapsulant), 저온 라미네이션(Low-temperature lamination), 겔 함량(Gel content), 접착력(Adhesion), 수분투과도(WVTR), 점도(Viscosity)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: minyk@shinsung.co.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2025-02317319)

# 리본과 태양전지 Finger 전극 결합이 반영된 등가회로 모델 개발

## Equivalent Circuit Model for Photovoltaic Cells Considering the Resistance between Ribbon and Finger Electrode

백종길\*, 송형준\*<sup>†</sup>

Jong-gil Baek\*, Hyung-Jun Song\*<sup>†</sup>

\*서울과학기술대학교 안전공학과

**Abstract :** 태양전지를 생산하기 위해 사용되는 은의 사용량은 전 세계 은 사용량의 20% 이상의 비중을 차지하게 되면서 제한적인 은 생산량의 문제로 은의 가격의 상승으로 인하여 태양전지 생산 문제에 차질이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 버스바를 생략하고 태양전지의 Finger 전극과 리본이 바로 결합하는 구조를 제안하여 은 사용량을 급격하게 저감하는 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 태양전지의 Finger 전극과 Ribbon 사이의 결합 특성이 반영된 등가회로 모델을 구현하고 이를 기반으로 발전량을 예측하는 시스템을 구현하고자 한다. 기존의 모델과 달리 단위 태양전지를 하나의 모델이 아닌 병렬로 연결된 다수의 모델로 상세화 하여 리본과 Finger 전극의 접합부의 저항이 시스템에 미치는 영향을 직렬저항으로 체계화 하였다. 다수의 연결 부위가 제대로 되지 않은 경우를 실험을 통해 측정하고 이에 맞는 모델들을 개발하였다. 본 모델링을 통해 셀 단위부터 모듈 및 어레이 단위로 확장하여 발전량을 예측할 수 있으며, 기존 태양전지의 열화 손상 및 버스바 및 핑거바의 손상으로 인해 발전량이 저하되는 것을 파악할 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 은 사용량을 줄이기 위해 버스바가 없는 태양전지에서 개별 연결부위의 결합 여부가 모듈 및 셀 스트링에 미치는 영향을 파악하는 평가 도구로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

**Key Words :** 태양전지(Photovoltaic), 등가회로 (Equivalent circuit), 핑거전극 (Finger electrode), 직렬 저항 (Series resistance)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hj.song@seoultech.ac.kr

### 후 기

연구는 한국에너지기술평가원의 지원을 받아서 진행되었습니다. (과제번호 : RS-2025-02317319).

# 탄뎀 태양전지에서 페로브스카이트 열화 산포가 모듈 출력 특성에 미치는 영향 분석

## Analysis of the Impact of Perovskite Degradation Variability on Output Characteristics of Tandem Solar Modules

박민규\*<sup>†</sup>, 송형준\*, 김충일\*, 배태상\*, 박서현\*, 이수빈\*, 김찬우\*

Min-gyu Park\*<sup>†</sup>, Hyungjun Song\*, Chungil Kim\*, Taesang Bae\*, Seohyun Park\*,  
Subin Lee\*, Chanwoo Kim\*

\*서울과학기술대학교 안전공학과

**Abstract :** 탄뎀 태양전지는 실리콘과 페로브스카이트를 적층한 구조를 통해 단일 접합 태양전지의 효율 한계를 극복할 수 있는 차세대 고효율 태양전지로 주목받고 있다. 그러나 두 소재 간의 열화 거동 차이, 특히 페로브스카이트 소재의 높은 열화율 및 열화 산포는 탄뎀 태양전지 모듈의 장기 신뢰성과 출력 안정성에 중요한 영향을 미친다. 기존 연구에서는 평균 열화율을 기반으로 동작 기간동안 발전량을 예측하는 연구가 많았으나, 실제 모듈에서는 셀 간 열화 불균일성이 필연적으로 발생하며 이는 전기적 불일치(current mismatch)를 유발한다. 본 연구에서는 페로브스카이트 셀의 열화율 분포가 탄뎀 태양전지 모듈의 전기적 출력 특성에 미치는 영향을 LTspice를 활용한 회로 모델을 통해서도 출하였다. 특히 열화율은 평균값을 기준으로 정규분포를 따르도록 모델링하여 실제 제조 편차 및 열화 산포 특성을 반영하였다. 결과, 열화 산포가 증가할수록 셀 간 전류 불일치가 심화되며, 일부 셀에서는 역전압이 발생하였다. 이러한 현상은 모듈 전체의 최대 출력(Pmax)을 감소시키는 동시에 출력 변동성을 증가시키며, 특정 조건에서는 국부적인 전력 손실 및 열 집중(hot-spot) 가능성을 증가시키는 것으로 확인되었다. 또한 동일한 평균 열화율 조건에서도 열화율 산포의 크기에 따라 최대 출력이 크게 달라지는 결과를 보였으며, 이는 평균값 기반 평가만으로는 실제 모듈 성능을 정확히 예측하기 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 탄뎀 태양전지의 성능 평가 및 신뢰성 설계에 있어 열화의 평균값뿐만 아니라 분포 특성을 함께 고려하는 접근이 필수적이다. 한편 바이패스 다이오드는 단락전류가 낮은 셀 또는 스트링을 우회함으로써 열화로 인한 전류 불일치를 완화하는 역할을 수행할 수 있으나, 기존의 설계와 같이 다수의 전지에 1개의 바이패스가 제공되는 경우 전류 불균일에 의한 효율 저하를 충분히 보상할 수 없다는 것을 모델을 통해서도 출하였다. 열화율의 산포가 높은 경우 적어도 셀 단위의 개별 바이패스 다이오드를 적용하여야지만 전류 불일치에 의한 출력 저하를 효과적으로 완화할 수 있음을 확인하였다. 따라서 탄뎀 태양전지의 성능 평가 및 신뢰성 설계에 있어 열화의 평균값뿐만 아니라 분포 특성을 함께 고려하는 접근이 필수적이며, 열화 산포를 최소화하는 공정 개선 또는 셀 단위 바이패스 다이오드 적용과 같은 설계 전략이 요구된다.

**Key Words :** 탄뎀태양전지(Tandem solar cell), 페로브스카이트열화(Perovskite degradation), 열화산포(Degradation variability), 역전압(Reverse bias), 바이패스다이오드(Bypass diode)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: hj.song@seoultech.ac.kr

### 후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원을 받아서 진행되었습니다. (과제번호 : RS-2025-02317319).

# 태양광 모듈 상태 등급 분류 체계 기술 개발

## A Study on Condition Grading Classification System for Photovoltaic Modules

김주희\*, 문정민\*, 김용현\*, 김창현\*<sup>†</sup>

Ju-Hee Kim\*, Jungmin Moon\*, Yong Hyun Kim\*, Changheon Kim\*<sup>†</sup>

\*한국광기술원 AI에너지연구센터

**Abstract :** 태양광 모듈의 장시간 운용 시 온도, 습도, 자외선 및 오염 등 다양한 환경 스트레스 요인에 의해 열화가 발생하며, 이는 성능 저하와 함께 화재 및 감전과 같은 안전 문제를 유발할 수 있다. 이에 따라 노후 모듈의 재사용 및 재활용 여부를 판단하기 위한 체계적인 상태 평가 기준의 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 태양광 모듈의 상태 평가를 위해 정량적 및 비정량적 정보를 통합한 상태 등급 분류 체계를 제안하였다. 정량 데이터는 I-V 특성 기반의 전기적 파라미터( $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $R_s$ ,  $R_{sh}$  등)를 활용하여 성능 저하를 평가하고, 비정량 데이터는 육안검사, EL IR 등을 통해 구조적 및 내부 결함을 진단하도록 구성하였다. 또한, 모듈의 결함 유형, 개수 및 심각도를 반영하기 위해 안전 지수와 성능지수를 정의하고, 이를 기반으로 Failure Score 산정 모델을 구축하였다. 해당 모델은 결함의 누적 영향을 반영할 수 있도록 설계되었으며, 점수 범위에 따라 모듈 상태를 Level A~E로 등급화하였다.

제안된 상태 등급 분류 체계는 태양광 모듈의 다양한 열화 특성과 결함 특성을 반영하여 안전성과 성능 저하를 동시에 평가할 수 있도록 하였으며, 결함의 종류와 심각도에 따른 상태 구분이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 상태 등급 분류 체계는 태양광 모듈의 재사용 및 재활용 판단을 위한 정량적 기준으로 활용 가능하며, 향후 수명 예측 및 신뢰성 평가 기술과 연계하여 현장 적용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광모듈(Photovoltaic Module), 상태 평가(Condition Assessment), 등급 분류(Grading Classification), 안전 및 성능지수(Safety & Performance Index), 고장 점수(Failure Score)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: chkim@kopti.re.kr

### 후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE) 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00358809 and RS-2024-00459594)

# 태양전지 선별 방법에 따른 모듈 출력 편차 변화 연구

## Solar Cell Sorting Methods for Reducing Module Power Variation

배수현\*

Soohyun Bae\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** 최근 태양전지 기술의 발전에 따라 태양광 모듈의 출력은 점차 높은 표준화 수준으로 수렴하는 경향을 보이고 있음. 그러나 제조 공정에서 발생하는 개별 셀 성능 편차는 불가피하게 모듈 수준의 출력 분산을 유발하며, 이에 따라 다양한 등급의 제품이 형성되고 상업화 과정에서 경제적 부담을 초래하고 있음. 태양광 모듈은 다수의 태양전지가 직렬로 연결된 구조이므로, 전체 모듈의 전기적 출력은 구성 셀 중 가장 성능이 낮은 셀에 의해 결정되는 특성을 가짐. 따라서 개별 셀의 고유 특성을 반영하여 모듈 출력 편차를 저감할 수 있는 기술적 전략의 수립과 검증이 필수적임. 본 연구에서는 먼저 단일 셀의 전기적 특성을 정밀 분석하고, 이러한 특성 편차가 모듈로 집적될 때 어떻게 전파되는지를 평가하였음. 또한, 특정 셀 특성을 기반으로 한 다양한 셀 선별 및 조합 방식을 적용하여 모듈 성능 변화 양상을 분석하였음.

**Key Words :** 선별(Sorting), 태양광모듈(Photovoltaic module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: soohyunbae@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00303745, RS-2025-02317319).

# 태양광 모듈 적층 구조별 누설 전류 경로 분석

## Leakage Current Analysis of Photovoltaic Modules

배수현\*

Soohyun Bae\*<sup>†</sup>

\*한국에너지기술연구원 태양광연구단

**Abstract :** 고전압 환경에서 운용되는 태양광 모듈에서 발생하는 Potential-Induced Degradation(PID)는 주요 신뢰성 저하 요인 중 하나임. 본 연구에서는 태양광 모듈 내 누설 전류 거동을 분석하여 PID에 의한 출력 저하의 근본 원인을 규명하고자 함. PID는 접지된 모듈 프레임과 내부 태양전지 간의 전위 차이에 의해 발생하며, 절연 재료를 통한 비의도적 전류 흐름을 유발함. 실험 결과, 전면 유리와 태양전지 사이에서 발생하는 누설 전류가 PID 발생에 지배적인 역할을 하는 것으로 나타남. 이러한 누설 전류는 온도, 습도, 인가 전압에 크게 의존하는 특성을 보임. 주요 전류 경로를 규명하기 위해 유리/EVA 및 EVA/백시트 적층 구조를 대상으로 다양한 환경 조건에서 누설 전류와 체적 저항을 체계적으로 측정하였음. 또한, 온도 및 습도 변화에 의해 유도되는 재료 물성 변화가 누설 전류에 미치는 영향을 평가하였음. 활성화 에너지가 가장 낮은 전도 경로를 식별함으로써, PID를 유발하는 주요 전도 메커니즘을 분석하였음.

**Key Words :** 누설전류(Leakage current), 태양광모듈(Photovoltaic module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: soohyunbae@kier.re.kr

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00303745, RS-2025-02317319).

# 수상 태양광 커넥터의 체결 결함 및 침수 조건이 절연 성능에 미치는 영향 분석

## Analysis of the Effects of Connector Tightening Defects and Submersion Conditions on the Insulation Performance of Floating PV systems

오수정\*<sup>†</sup>, 김종민\*, 조성구\*, 강해권\*, 장주희\*  
Su-Jeong Oh\*<sup>†</sup>, Chong-Min Kim\*, Seong-Koo Cho\*,  
Hae-Gweon Kang\*, Ju-Hee Jang\*

\*한국전기안전공사 전기안전연구원

**Abstract :** 탄소중립 실현을 위한 수상 태양광 발전시스템 보급 확대에 따라, 다습 및 침수 등 가혹한 운용 환경에서의 안전성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 수상 태양광 발전소에서 발생할 수 있는 주요 시공 오류인 커넥터 체결 결함이 침수 조건과 복합적으로 작용할 때 시스템의 절연성능에 미치는 영향을 분석하였다. 실험결과, 정상 결합 및 과토크, 이중 커넥터 결합 조건에서는 침수 및 전기적 스트레스 노출 후에도 초기 절연 성능이 안정적으로 유지되었다. 반면, 과소토크 조건으로 결합된 커넥터의 경우, 침수 후 절연저항 값이 급격하게 하락하는 것으로 나타났다. 이는 과소토크로 인한 밀봉 성능 저하가 수상 환경의 수분 침투와 결합하여 시스템의 치명적인 절연 사고를 발생시킬 수 있음을 시사한다. 이러한 절연 파괴는 누설전류에 의한 화재 및 감전 위험을 증대시킬 뿐 아니라, 장기적으로 발전효율 저하 및 시스템 수명 단축의 원인이 될 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 수상 태양광의 안전 운영을 위해 커넥터 토크 관리와 시공 관리 강화를 제안하며, 이를 통해 강화된 안전기준 준수의 중요성을 확인하였다.

**Key Words :** 수상태양광(Floating Photovoltaic), 태양광 커넥터(PV Connector), 체결결함(Tightening Defect), 절연 성능(Insulation Performance), 침수 조건(Submersion Condition)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: krystaloh@kesco.or.kr

# 태양광 발전설비 DC 케이블 시공방식에 따른 케이블 도체 온도 분석

## Thermal Characterization of DC Cable in Photovoltaic Systems Under Various Installation Conditions

장주희\*<sup>†</sup>, 김종민\*, 조성구\*, 오수정\*, 강해권\*  
 Juhee Jang\*<sup>†</sup>, Chong Min Kim\*, Sung-Koo Cho\*,  
 Su-Jeong Oh\*, Hae-Gweon Kang\*

\*한국전기안전공사 전기안전연구원

**Abstract :** 태양광 발전설비의 MW급 대형화로 케이블 선로길이가 증가되고 있다. 태양광 발전설비의 설치 용량이 증가로 태양광 발전설비의 안전성 향상을 위한 고장분석이 이루어졌다. 기존 논문에서는 태양광 발전설비의 모듈의 결함 분석이 주로 이루어졌으며 DC 케이블에서의 아크, 단락 등에 의한 화재 위험성이 논의되어왔다. DC 케이블의 아크 등 결함은 케이블의 절연파괴로 발생할 수 있다. 케이블의 절연은 노후화 및 허용전류 초과 등에 의해 낮아질 수 있다. 따라서, 태양광 발전설비의 안전성 향상을 위해 케이블의 적절한 허용전류의 선정이 중요할 것으로 판단하였다. 본 논문에서는 케이블의 허용전류 선정방법을 이론적으로 분석하고 케이블 시공방식에 따른 케이블 도체의 온도를 시뮬레이션을 통해 분석했다. 케이블 도체는 알루미늄과 구리로 선정하였으며 케이블 시공방식은 덕트, 트레이, 트레이에 덮개가 있는 구조로 선정했다. 덕트와 트레이 시공방식에 따른 허용전류는 표준에 따른 계산식으로 계산된다. 덮개가 있는 트레이는 적합한 선정 기준이 없어 트레이 기준으로 적용된다. 본 연구에서는 덮개가 있는 트레이 기준 온도 분석을 통해 허용전류 선정의 적정성을 평가하였다. 시뮬레이션 결과 덮개 있는 트레이 기준 각 시공기준별 최대 온도 편차는 덕트 3.34℃트레이 -1.41℃로 나타났다. 복층 포설한 경우 덮개있는 덕트 기준 8.54℃ 낮게, 트레이기준 1.51℃ 높게 나타났다. 허용전류는 온도에 영향을 받으며 덮개 있는 트레이는 덕트 보다 트레이의 특성을 따라가는 것으로 확인되었다. 하지만 트레이보다 높은 온도 특성을 보이므로 케이블의 안전성 확보를 위해 보수적인 허용전류의 선정이 필요할 것으로 확인되었다.

**Key Words :** 태양광발전시스템(Photovoltaics systems), 직류케이블(DC cables), 허용전류(Allowable current), 시공방식(installation methods), 도체 온도(Conductors temperature)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: juheejang@kesco.or.kr

### 후 기

본 연구는 2026년도 한국전기안전공사의 재원을 지원받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 2026-0102).

# 폐태양광 실리콘의 리튬이온전지 음극재 적용을 위한 공정 개선

## Process Modification for the Application of Recycled Photovoltaic Silicon as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries

손주희<sup>\*,\*\*\*</sup>, 강기환<sup>\*\*</sup>, 임원빈<sup>\*\*\*</sup>, 이진석<sup>\*†</sup>

Juhee Son<sup>\*,\*\*\*</sup>, Gi-Hwan Kang<sup>\*\*</sup>, Wonbin Im<sup>\*\*\*</sup>, Jinseok Lee<sup>\*†</sup>

<sup>\*</sup>한국에너지기술연구원 신재생 시스템 연구실, <sup>\*\*</sup>한국에너지기술연구원 태양광연구단,

<sup>\*\*\*</sup>한양대학교 일반대학원 신소재공학과

**Abstract :** 태양광 모듈 보급 확대에 따라 폐태양광(PV) 모듈의 발생량이 증가하고 있으며, 이에 따른 자원 회수 및 재활용 기술의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구에서는 폐태양광 모듈로부터 회수한 재활용 실리콘(recycled silicon, *r*-Si)을 리튬이온전지(LIB) 음극 소재로 활용하기 위한 재활용 공정 최적화를 수행하였다. 회수된 실리콘은 HCl 및 HNO<sub>3</sub> 기반의 습식 에칭을 통해 정제되었으며, 밀링 이전에 에칭을 적용하는 공정 전략을 통해 금속 불순물에 의한 입자 응집을 억제하고 효율적인 정제가 가능함을 확인하였다. 그 결과, 금속 불순물은 대부분 제거되었으며 높은 실리콘 회수율을 확보하였다. 또한 불순물 제거 이후 실리콘의 취성이 증가하여 나노 크기로의 미세화와 입자 균일성이 향상되었다. 전기화학적 평가 결과, 은(Ag) 불순물이 포함된 실리콘은 전도성 향상 및 안정적인 계면 형성에 기여하여 초기 용량이 약 1900 mAh/g 수준으로 향상되었다. 또한 입자 크기 및 균일도를 개선한 경우, 사이클 안정성이 향상되어 장기 충방전 특성이 개선되는 경향을 나타냈다. 본 연구는 폐태양광 유래 실리콘의 공정 개선을 통해 고순도화와 전기화학적 성능 향상을 동시에 달성할 수 있음을 보여주며, 에너지 저장 소재로의 고부가가치 활용 가능성을 제시한다.

**Key Words :** 태양광 모듈(Photovoltaic module), 재활용(Recycling), 실리콘(Silicon), 은(Silver), 음극재(Anode material)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jslee@kier.re.kr

### 후 기

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 태양광 패널 재활용 기술개발사업(RS-2025-0222 3005)과 글로벌 탄소규제 대응 통합관리 기술개발사업(RS-2025-02213132)의 탄소중립 기술DB 기반 온실가스 감축량 평가 연구단의 지원을 받아 연구되었습니다.

# 재활용 태양광 유래 실리콘의 2단계 고온 직접 질화에 의한 고순도 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 합성

## Synthesis of High-Purity $\text{Si}_3\text{N}_4$ Through Two-Step High-Temperature Direct Nitridation of Recycled Silicon Recovered from Waste Photovoltaic Modules

손주희<sup>\*,\*\*\*</sup>, 강기환<sup>\*\*</sup>, 임원빈<sup>\*\*\*</sup>, 이진석<sup>\*†</sup>

Juhee Son<sup>\*,\*\*\*</sup>, Gi-Hwan Kang<sup>\*\*</sup>, Wonbin Im<sup>\*\*\*</sup>, Jinseok Lee<sup>\*†</sup>

\*한국에너지기술연구원 신재생 시스템 연구실, \*\*한국에너지기술연구원 태양광연구단,

\*\*\*한양대학교 일반대학원 신소재공학과

**Abstract :** 폐태양광 모듈의 발생 증가에 따라 내부 결정질 실리콘의 고부가가치 자원화는 태양광 산업의 지속가능성을 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 본 연구에서는 수명이 종료된 태양광 모듈로부터 회수한 재활용 실리콘(recycled silicon, *r*-Si)을 질화규소( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) 분말 합성 원료로 활용하고, 고온 직접 질화 공정에서의 반응 특성과 상 형성 거동을 분석하였다. 회수된 실리콘은 습식 에칭을 통해 고순도로 정제한 후 질소·수소 혼합 분위기에서 고온 질화 반응을 수행하였다. 1350°C 단일 온도 장시간 열처리에서는 초기 생성된  $\text{Si}_3\text{N}_4$  표면층이 질소 확산을 저해하여 질화율 증가가 제한되었다. 이를 개선하기 위해 1350°C에서 1차 표면 질화를 유도한 뒤 실리콘 용점 이상으로 승온하는 2단계 질화 공정을 적용하였으며, 이를 통해 질화 반응 속도와 질화 효율이 향상됨을 확인하였다. 질화 전후의 상 변화는 XRD 분석으로 확인하였고, 미세구조 및 입도 특성은 SEM 및 PSA 분석을 통해 평가하였다. 또한 고상·용융·기상 반응을 포함한 단계별 반응 거동을 바탕으로 2단계 질화 메커니즘을 고찰하였다. 본 연구는 폐태양광 모듈 유래 실리콘의 고부가가치 질화규소 전환 가능성을 제시하며, 자원순환 고도화와 질화규소 원료의 국내 공급 기반 확보에 기여할 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광 모듈(Photovoltaic module), 재활용(Recycling), 실리콘(Silicon), 고순도(High-Purity), 질화규소(Silicon nitride), 직접 질화(Direct nitridation)

† Corresponding author, E-mail: jslee@kier.re.kr

### 후 기

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 태양광 패널 재활용 기술개발사업(RS-2025-02223005)과 글로벌 탄소규제 대응 통합관리 기술개발사업(RS-2025-02213132)의 탄소중립 기술DB 기반 온실가스 감축량 평가 연구단의 지원을 받아 연구되었습니다.

# 타공 나선형 유로 기반 공기식 PVT 시스템의 열 회수 성능에 대한 수치 및 실험적 분석

## Numerical and Experimental Analysis of Heat Performance in an Air-Based PVT System with a Perforated Spiral Duct

최관용<sup>\*,\*\*</sup>, 김영원<sup>\*†</sup>

Gwan Yong Choi<sup>\*,\*\*</sup>, Young Won Kim<sup>\*†</sup>

<sup>\*</sup>한국생산기술연구원 에너지나노그룹, <sup>\*\*</sup>한양대학교 기계공학부

**Abstract :** PVT(Photovoltaic Thermal) 시스템은 태양광을 이용하여 전기와 열에너지를 동시에 생산할 수 있는 복합 발전 기술로, 에너지 효율 향상을 위한 유망한 시스템으로 주목받고 있다. 그러나 기존 공기식 PVT 시스템의 유로 구조에서는 유동 분포의 불균일로 인해 열전달 성능이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 공기식 PVT 시스템의 열 회수 성능 향상을 위해 타공 나선형 유로 구조를 적용한 공기 채널을 제안하고 전산해석과 실험을 통해 열 성능을 분석하였다. 전산해석을 Star-CCM+를 이용하여 수행하였으며, 다양한 태양복사 조건에서 유동 및 열전달 특성을 분석하였다. 또한 인공태양광 장치를 이용한 실험을 통해 전산해석 결과를 검증하였다. 연구 결과, 나선형 유로는 유체 체류 시간을 증가시켜 열 전달을 향상시키고, 유로에 적용된 타공 구조는 유동을 재분산시켜 열 회수 성능을 추가적으로 향상시키는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 공기식 PVT 시스템의 열 회수 성능 향상을 위한 유로 설계 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 태양광/열 복합 시스템(Photovoltaic Thermal System, PVT), 공기식 PVT 집열기(Air-based PVT Collector), 나선형 유로(Spiral Duct), 열효율(Thermal Efficiency), 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: ywkim@kitech.re.kr

### 후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 기본사업 “차세대 모빌리티용 AI 융합 자가발전·충전 핵심 요소기술 개발 (KITECH EH-26-0003)” 의 지원으로 수행한 연구입니다.

# 유연 태양전지의 신뢰성 향상을 위한 실리콘 산화물계 배리어 박막의 수분 차단 특성 연구

## Moisture Barrier Characteristics of Silicon Oxide-Based Gas Barrier Thin Films for Enhanced Reliability of Flexible Solar Cells

김영훈\*, 김수진\*, 김은미\*<sup>†</sup>

Young-Hoon Kim\*, Su-Jin Kim\*, Eun Mi Kim\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원

**Abstract :** With the increasing demand for renewable energy, flexible and lightweight solar cells have attracted significant attention as next-generation energy devices with broad application potential. However, organic and thin-film solar cells are highly vulnerable to degradation caused by the penetration of moisture and oxygen, which can oxidize the photoactive layers and lead to significant performance loss and reduced device lifetime. Therefore, the development of effective encapsulation technologies that provide excellent moisture barrier properties while maintaining compatibility with low-temperature processing is essential.

In this study, SiO<sub>x</sub>Cy thin films were deposited on polyethylene naphthalate (PEN) substrates at temperatures below 100 °C using plasma polymerization-enhanced chemical vapor deposition (PPECVD) with hexamethyl-disiloxane (HMDSO) as the precursor. To investigate the effects of deposition conditions on film properties, the physical and chemical characteristics of the films were evaluated in terms of residual stress and water vapor transmission rate (WVTR). In addition, since residual carbon impurities incorporated during low-temperature deposition can adversely affect both barrier performance and the photovoltaic conversion efficiency of solar cells, a low-pressure O<sub>2</sub> plasma treatment was introduced to improve film quality.

O<sub>2</sub> plasma treatment effectively reduced the carbon content within the film and promoted the formation of a denser inorganic Si-O-Si network structure. As a result, the WVTR of the SiO<sub>x</sub>Cy barrier layer improved by approximately 25%, reaching  $4 \times 10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>·day, while maintaining stable film properties. These results demonstrate that oxygen plasma treatment is an effective strategy for enhancing the moisture barrier performance of low-temperature SiO<sub>x</sub>Cy thin films and suggest their strong potential as encapsulation layers for next-generation flexible solar cells.

**Key Words :** 태양전지(Solar cells), 봉지막(Encapsulation), 수분투습률(Water Vapor Transmission Rate), 헥사메틸디실록산(HMDSO), 플라즈마 화학기상증착법(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kimeunmi@kitech.re.kr

# 철로변 방음벽 차음형 경량 태양광 모듈 개발

## Development of Lightweight Soundproof Photovoltaic Modules for Railway Tracks

이하은\*<sup>†</sup>, 정유근\*\*, 조정제\*\*\*

Ha-Eun, Lee\*<sup>†</sup>, Yu-Geun Jeong\*\*, Jeong-Jae Jo\*\*

\*충북대학교 건축공학과, \*\*한국교통대학교 건축공학과, \*\*\*솔브릿지(주)

**Abstract :** 최근 태양광 발전 확대에 따른 부지 부족 문제와 환경적 민원 증가로 인해 기존 지붕형 및 대규모 태양광 발전 방식의 한계가 제기되고 있다. 이에 철도 선로변 및 도로 방음벽과 같은 인프라 구조물을 활용한 태양광 발전 시스템이 새로운 대안으로 주목받고 있다. 특히 철도 인프라의 경우 선로 주변 방음벽, 차량기지, 역사 시설 등 다양한 공간을 활용할 수 있어 추가적인 토지 확보 없이 태양광 발전 설비를 구축할 수 있는 장점이 있다. 국내 철도 태양광 잠재량은 약 1.4GW 수준으로 철도 전력 소비량의 약 25%에 해당하는 것으로 보고되고 있으며, 철도 인프라와 태양광 발전의 융합 기술 개발 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 철도 선로변 방음벽에 적용 가능한 차음 기능을 갖는 경량형 태양광 모듈을 개발하고, 태양광 발전과 소음 저감 기능을 동시에 구현할 수 있는 구조를 제안하였다. 기존 태양광 모듈의 구조를 기반으로 소재 및 구조를 개선하여 모듈 경량화와 방음 성능 향상을 동시에 달성하고자 하였다. 모듈 구조는 기존 Glass+Glass 구조에서 BackSheet 기반 구조로 변경하고, 전면 소재를 Polycarbonate로 대체하여 경량화를 유도하였다. 또한 후면부에 Cooling Sheet를 적용하여 모듈 발열 저감 구조를 추가하였으며, 흡음재(Rubber)와 차음재(Double Frame+PC)를 복층 구조로 적용하여 방음 기능을 강화하였다. 시제품 제작 후 성능 평가 결과, 기존 태양광 모듈 대비 약 35% 이상의 무게 감소 효과를 확인하였다. 또한 차음 및 흡음 소재를 적용한 결과, 기존 태양광 모듈 대비 약 5% 수준의 소음 저감 효과를 확인하였다. 추가적으로 모듈 후면부 발열 저감을 위해 적용한 Cooling Sheet 구조를 통해 기존 모듈 대비 후면 온도가 감소하는 경향을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 모듈은 철도 방음벽뿐만 아니라 도로 방음벽 및 건축 인프라 구조물에도 적용 가능하며, 태양광 발전과 소음 저감을 동시에 구현하는 융합형 에너지 인프라 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words :** 철도 태양광(Railway photovoltaic), 방음벽 태양광 모듈(Noise barrier photovoltaic module), 경량 태양광 모듈(Lightweight photovoltaic module), 차음형 태양광 모듈(Acoustic photovoltaic module)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: pink4650@naver.com

### 후 기

본 과제(결과물)은 교육부와 충청북도 RISE 사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 충청북도 RISE 사업의 연구결과입니다. (과제번호 : 2025-RISE-11-004-02).

# PHPS 기반 SiO<sub>2</sub> 계면층 기반 우주용 유연 태양광 모듈의 고신뢰성 봉지 기술

## Robust Encapsulation Strategy for Flexible Space Solar Modules based on PHPS-derived SiO<sub>2</sub> Interfacial Layers

류준\*, 박예랑\*, 권다영\*, 박노창\*<sup>†</sup>, 이용환\*<sup>†</sup>

Jun Ryu\*, Yerang Park, Da Young Kwon, Nochang Park\*<sup>†</sup>, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>

\*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

**Abstract :** Flexible solar modules for the next-generation space industry must maintain long-term reliability under severe environments characterized by high-energy radiation. However, the standard encapsulant Ethylene Vinyl Acetate (EVA) exhibits significant performance degradation due to radiation-induced yellowing and chemical breakdown. Polydimethylsiloxane (PDMS) offers a promising radiation-resistant alternative; nevertheless, it faces a technical challenge regarding low interfacial adhesion with polymer film covers, posing a risk of delamination in space.

In this study, a SiO<sub>2</sub> layer was formed on PET films via a Perhydropolysilazane (PHPS)-based dip-coating process to significantly enhance interfacial adhesion with the PDMS adhesive. Despite this enhancement, the emission of byproduct gases following the introduction of the SiO<sub>2</sub> thin film caused micro-void formation during PDMS curing, acting as a process limitation that compromised interfacial reliability. To overcome this instability and achieve void-free packaging, a multi-step temperature-controlled curing process was developed to precisely regulate gas evolution and cross-linking reactions.

The effectiveness of the developed process was verified through peel tests to confirm the quantitative improvement in interfacial adhesion, based on which a large-area continuous coating system was established to ensure scalability. Finally, the fabrication of flexible modules using III-V compound solar cells validated both high specific power and mechanical reliability, presenting a key packaging solution for the commercialization of next-generation space-grade power systems.

**Key Words :** Space industry, Flexible solar cells, EVA replacement, SiO<sub>2</sub> coating, PDMS multi-step curing

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ncpark@keti.re.kr, ylee@keti.re.kr

### 후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2022-NR068563).

# 계면 산화 반응을 제어한 SiO<sub>2</sub> 배리어 필름의 향상된 투습성 연구: 태양전지 봉지용 응용 가능성

## Interfacial Oxidation-Controlled SiO<sub>2</sub> Barrier Films with Improved Moisture Resistance for Potential Application in Solar Cell Encapsulation

김수진\*, 김영훈\*, 김은미\*<sup>†</sup>

Su-Jin Kim\*, Younghoon Kim\*, Eun Mi Kim\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원(KITECH)

**Abstract :** Maintaining high moisture resistance and airtightness without increasing material thickness is a critical challenge for improving the long-term reliability and efficiency of solar cells. In this study, we propose a plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) based approach to fabricate thin, durable SiO<sub>2</sub> moisture barrier coatings applicable to solar cell encapsulation and protective layers. The process incorporates interfacial oxidation reaction layers (ORLs) during cyclic deposition of organosilicon precursors. These ORLs effectively remove carbon containing residues and promote the cross linking of the Si-O network, resulting in improved film density and mechanical stability. Optimized oxidation conditions increase the refractive index, reduce residual stress, and suppress micro porosity, thereby enhancing the barrier performance against moisture penetration. Spectroscopic and microscopic analyses confirm the formation of strong Si-O-Si bonding and uniform Si/O distribution throughout the film. The resulting SiO<sub>2</sub> coating exhibits excellent durability under humid and thermal cycling conditions, demonstrating its potential as a thin encapsulation barrier for photovoltaic devices. This interfacial oxidation strategy provides a scalable and cost effective route to high integrity moisture barrier coatings for improving the reliability and operational stability of solar cell systems.

**Key Words :** Interfacial oxidation, SiO<sub>2</sub> thin films, Moisture barrier, PECVD, Solar cell encapsulation

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: kimeunmi@kitech.re.kr

# 우주용 태양광 모듈의 내구성 향상을 위한 방사선 차폐 AZO 코팅 유리

## Radiation-Shielding AZO-Coated Glass for Durable Space Photovoltaic Modules

박예랑\*, 김다정\*, 류준\*, 권다영\*, 한재익\*, 박노창\*<sup>†</sup>, 이용환\*<sup>†</sup>

Yerang Park\*, Dajeong Kim\*, Jun Ryu\*, Da young Kwon\*, Jae-ik Han\*,

Nochang Park\*<sup>†</sup>, Yonghwan Lee\*<sup>†</sup>

\*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

**Abstract :** Photovoltaic (PV) cells used in space applications are exposed to extreme environments, including high-energy electron radiation. To mitigate radiation-induced damage, effective shielding materials must be integrated into space photovoltaic modules. In this study, aluminium-doped zinc oxide (AZO) thin films deposited on quartz glass were investigated as radiation-shielding cover glasses for III-V multi-junction space photovoltaic cells. To enhance the shielding performance, two post-treatment methods—ultraviolet (UV) treatment and thermal annealing—were applied to the AZO films. Structural and radiation-shielding properties were systematically evaluated. Under electron irradiation at 1.2 MeV with fluences ranging from  $1 \times 10^{15}$  to  $3 \times 10^{15} \text{ e}^- \text{ cm}^{-2}$ , thermally annealed AZO-coated quartz glass exhibited superior shielding performance compared to bare quartz glass. These results demonstrate that post-treated AZO thin films can serve as effective radiation-shielding layers, providing a promising strategy for improving the durability and long-term stability of space photovoltaic modules.

**Key Words :** 우주용 태양전지 (Space Photovoltaic Cells), 전자 방사선 차폐 (Electron Radiation Shielding), 알루미늄 도핑 산화아연 (Aluminum-doped Zinc Oxide, AZO), III-V 다중접합 태양전지 (III-V Multi-junction Solar Cells), 후처리 (Post-treatment)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: ncpark@keti.re.kr, ylee@keti.re.kr

### 후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. RS-2025-25450823).

# 거치형 태양광 시스템의 다방위 · 혼합 배치 설치 전략에 따른 발전 성능 및 경제성 분석

## Performance and Economic Analysis of Multi-directional and Mixed-layout Installation Strategies for BAPV System

이루다\*, 이준영\*, 김동수\*, 윤종호\*<sup>†</sup>

Ruda Lee\*, Junyoung Lee\*, Dongsu Kim\* Jongho Yoon\*<sup>†</sup>

\*국립한밭대학교 건축공학과

**Abstract :** 에너지 자립률 향상과 탄소중립 목표 달성을 위해 단위 면적당 태양광 시스템의 설치 용량은 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 특히 도심 지역에서는 설치 가능한 공간이 제한적이므로, 제한된 면적 내에서 발전량을 극대화하기 위한 유연한 설치 전략이 요구된다. 그러나 대부분의 태양광 시스템은 일사량 확보에 유리한 정남향 배치를 중심으로 설치되고 있으며, 기존 연구 또한 정남향 설치를 최적 조건으로 가정된 분석이 주로 수행되어 왔다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 기존의 정남향 중심 설치 방식에서 벗어난 다양한 설치 구성을 제안하고, 이에 대한 기술적 및 경제적 타당성을 정량적으로 분석하였다. 분석 대상은 기준 사례인 정남향 설치를 포함하여 동-서 배치와 남-북 배치 등 총 6가지 설치 사례로 구성하였다. 각 설치 사례에 대해 발전 성능 분석과 투자 회수 기간 분석을 수행하였으며, 설치 방식에 따른 음영 영향을 고려하여 모듈 간 간섭 효과를 정량적으로 평가하였다. 분석 결과, 정남향 배치 외의 설치 방식에서도 충분한 발전 성능과 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 실측 운영 데이터를 활용하여 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하고, 북향 설치의 적용 가능성을 확인하였다. 이러한 연구 결과는 그동안 북향 설치를 제한해 온 국내 태양광 설치 기준에 대한 재검토가 필요함을 시사한다.

**Key Words :** 태양광 시스템(Photovoltaic system), 경제적 타당성 (economic feasibility), 음영 영향(shading effect), 투자 회수 기간(Investment payback periods), 북향 설치(North-facing installation)

<sup>†</sup>Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

### 후 기

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: RS-2025-02316198, 한국형 건축물 에너지 성능평가 고도화 기술개발)과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호:RS-2023-00266248, 과제명:건물형 태양광산업 생태계 대응 전문 인력 양성).

# 강판 두께 변화에 따른 Glass-to-Steel 태양광 모듈의 옥외 성능 분석

## Outdoor Performance of Glass-to-steel PV Modules with Different Steel Thicknesses

황성호\*<sup>†</sup>, 서동철\*\*<sup>†</sup>, 김영수\*\*\*

Sungho Hwang\*<sup>†</sup>, Dongchul Suh\*\*<sup>†</sup>, Young-Su Kim\*\*\*

\*고려대학교 에너지기술공동연구소, \*\*호서대학교 화학공학과, \*\*\*포항산업과학연구원

**Abstract :** This study evaluates the outdoor performance of glass-to-steel (G2S) photovoltaic modules with different steel thicknesses (0.6T, 0.8T, and 1.6T) compared with a conventional glass-to-glass (G2G) module. The modules were installed in a south-facing BIPV configuration, and outdoor monitoring was conducted from February to July 2025.

The results show that the G2G module exhibited the highest module temperature relative to ambient temperature, while G2S modules generally maintained lower operating temperatures. Among the G2S modules, the 1.6T steel module showed the lowest temperature during the test period.

In terms of energy generation, the 1.6T G2S module achieved 2.05% higher cumulative energy yield compared with the G2G module from March to July. These results suggest that the steel thickness of G2S modules influences thermal behavior and outdoor energy performance.

**Key Words :** 유리-강판 태양광 모듈(Glass-to-steel PV module), 건물일체형 태양광(Building-integrated photovoltaics), 옥외 성능(Outdoor performance), 모듈 온도(Module temperature), 강판 두께(Steel thickness)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: sungho\_hwang@korea.ac.kr

## 참가 및 등록안내

### 📦 등록비 안내

- 학술대회 등록  
 사전 등록: 2026년 2월 2일(월) - 4월 3일(금)  
 현장 등록: 2026년 4월 22일(수) - 4월 24일(금)
- 참가비(학술대회: 4월 22일(수) - 24일(금))

구분	학생회원		회원(종신회원, 정회원)		비회원	
	사전등록	현장등록	사전등록	현장등록	사전등록	현장등록
연회비 납부자	120,000원	150,000원	190,000원	240,000원	300,000원	350,000원
연회비 미납자	150,000원	180,000원	250,000원	300,000원		

- 참가비(BIPV 기술세미나: 4월 22일(수))

학회회원 및 일반인	250,000원 (학술대회 등록자 : 150,000원)
학생참가자	150,000원 (학술대회 등록자 : 100,000원)

### 📦 등록비 결제 안내

카드결제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 학술대회홈페이지 학술행사 → 온라인등록 → 결제페이지 연결</li> <li>• 초록 등록 및 온라인등록 완료 후 마이페이지 → 결제 → 결제 대기 목록에서 결제</li> </ul>
계좌이체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 은행명 : 우리은행</li> <li>• 계좌번호 : 126-433275-01-005 / 예금주 : 사단법인 한국태양에너지학회</li> <li>* 기관명의로 입금할 경우 반드시 학회 이메일로 관련 정보를 알려주시기 바랍니다. (solar@kses.re.kr)</li> </ul>

### 📦 연락처와 홈페이지 안내

- (사)한국태양에너지학회 (www.kses.re.kr)
- 주 소 : (우)30127, 세종특별자치시 한누리대로 249, 에스제이타워 804호(나성동)
- 전 화 : 044-864-1977, 팩 스 : 044-864-1978, 전자우편 : solar@kses.re.kr

## 주요 행사일정 및 장소

### 개회식 및 초청강연

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 15:30-16:20
- 장소 : 325호
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

### 한국태양에너지학회 이사회

- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 17:50-18:30
- 장소 : 322호
- 대상 : 한국태양에너지학회 이사진

### 특별세션-1(데이터센터와 재생에너지 - 칸kharn)

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 10:00-12:20
- 장소 : 322-1호
- 형태 : Open session
- 내용: 데이터센터 탄소중립을 위한 재생에너지 활용 방안

### 특별세션-2(P2H 열에너지 수요관리 - 선다코리아)

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 10:00-12:20
- 장소 : 323-2호
- 형태 : Open session

### 특별세션-3(집광채광 기술 세미나 - (재)한국건설생활환경시험연구원) 【대학원생/청년 R&D 사업화 실무】

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 13:50-15:10
- 장소 : 322-1호
- 형태 : Open session
- 내용 : 집광 채광 기술의 국내외 표준·성능평가 동향 및 산·학·연 협력 방안


### 특별세션-4(건물형태양광(BIPV) 기술 세미나 - BIPV전문위원회)

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 13:50-15:10
- 장소 : 323-1호
- 형태 : 유료(학술대회 등록데스크에서 참가신청)


 특별세션-5(2026 태양광 산업포럼 - 한국에너지기술평가원)

**【대학원생/청년 R&D 사업화 실무】**


- 일시 : 2026년 4월 22일(수) 16:40-18:00
- 장소 : 323-1호
- 형태 : Open session

 특별세션-6(한국조명·전기설비학회 공동워크숍)

- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 13:30-14:50
- 장소 : 323-1호
- 형태 : Open session

 특별세션-7(재생열 기술 및 정책 - (사)한국재생열에너지융합협회&태양열융합전문위원회)

- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 13:30-16:30
- 장소 : 323-2호
- 형태 : Open session

 특별세션-8(해양 재생에너지와 해상풍력 에너지 허브 - 해상풍력전문위원회)


- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 15:10-16:30
- 장소 : 323-1호
- 형태 : Open session

 학회등록자 증식

- 일시 : 2026년 4월 22일(수) ~ 2026년 4월 23일(목) 11:00-19:00(입장마감)
- 장소 : 다담뜰(서관 2층)
- 대상 : 2026년 춘계학술발표대회 등록자

 만찬

- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 18:30-20:30
- 장소 : 325호
- 대상 : 한국태양에너지학회 임원, 2026년 춘계학술발표대회 일반 등록자

 시상식 및 폐회식

- 일시 : 2026년 4월 23일(목) 16:50-17:50
- 장소 : 325호
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

## 구두 및 포스터 발표 안내

### INVITED SESSION

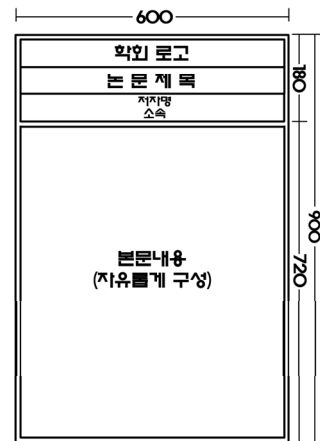
- 발표 시간 : 20분(발표 15분, 질의·응답 5분) ※ 분과별로 발표시간은 조정될 수 있음.
- 시청각 기자재 : 빔 프로젝트
- 요청 사항 : 발표자는 발표파일을 USB메모리로 지참하여 해당 발표세션 전 휴식시간에 발표장 컴퓨터에 파일을 복사한 후, 정상적으로 화면에 보이는지 확인 요망

### ORAL SESSION

- 발표 시간 : 15분(발표 10분, 질의·응답 5분) ※ 분과별로 발표시간은 조정될 수 있음.
- 시청각 기자재 : 빔 프로젝트
- 요청 사항 : 발표자는 발표파일을 USB메모리로 지참하여 해당 발표세션 전 휴식시간에 발표장 컴퓨터에 파일을 복사한 후, 정상적으로 화면에 보이는지 확인 요망
- ※ 구두발표부문 우수발표상 평가 실시

### POSTER SESSION

- 발표 장소 : 로비(학술행사장)
- 포스터 규격 : 600×900(예시를 참조하여 작성)
- Poster 시상 : 정해진 시간내에 게시한 모든 포스터에 대해서 서면평가를 통해 선정·시상함.
  - ※ 포스터발표부문 우수포스터상 평가 실시
- Poster check-in(포스터 체크인 및 부착) :
  - 4월 22일(수) 09:00 ~ 4월 23일(목) 13:00 / 포스터 전시장내
  - ※ 발표자 혹은 공동저자가 체크인데스크에서 확인 후, 포스터를 부착함.
  - ※ 접수번호가 아닌 프로그램북에 배정된 세션별 논문번호를 확인 후 부착함.
  - ※ 부착된 모든 포스터는 제거 시각까지 부착되어 있어야 함.
- Poster presentation(포스터 발표) : 4월 23일(목) 13:30~14:50
  - ※ 지정된 포스터 발표자가 배석하여 연구자들과 질의응답을 진행함.
- Poster removal(포스터 제거) : 4월 23일(목) 15:00 ~ 4월 23일(목) 18:00까지
  - ※ 부착된 모든 포스터를 제거하여야 하며, 기한내에 제거하지 않은 포스터는 임의로 폐기함.



\*포스터 규격 예시

## 좌장 및 발표자 숙지사항

### 좌장

- ① 담당분야의 시간과 발표장을 확인해 주십시오.
- ② 발표시작 10분전까지는 발표장에 입실해 주십시오.
- ③ 발표자들이 모두 참석했는지 발표시간 전에 확인해 주십시오.
- ④ 발표시간은 질의응답 5분 포함 초청강연 총 20분, 일반구두 총 15분입니다.  
(세션별 발표시간이 다를 수 있으므로 프로그램북을 확인해주세요.)
- ⑤ 발표시작 전 채점표를 확인해 주십시오.
- ⑥ 종료시간을 알리는 종은 발표종료 3분 전 한 번, 종료 시 두 번 울리십시오.
- ⑦ 두 번째 종소리 후에는 발표를 종료시켜 주십시오.

### 초청강연자

- ① 발표분야, 발표장 및 시간을 확인해 주십시오.
- ② 발표 시작 10분전까지는 발표장에 입실해 주십시오.
- ③ 발표파일을 USB메모리로 지참하여 해당 발표세션 전 휴식시간에 발표장 컴퓨터에 파일을 복사한 후, 정상적으로 화면에 보이는지 확인하시기 바랍니다. 개인 노트북도 사용 가능하나 휴식시간 중에 미리 연결하여 확인하시기 바랍니다.

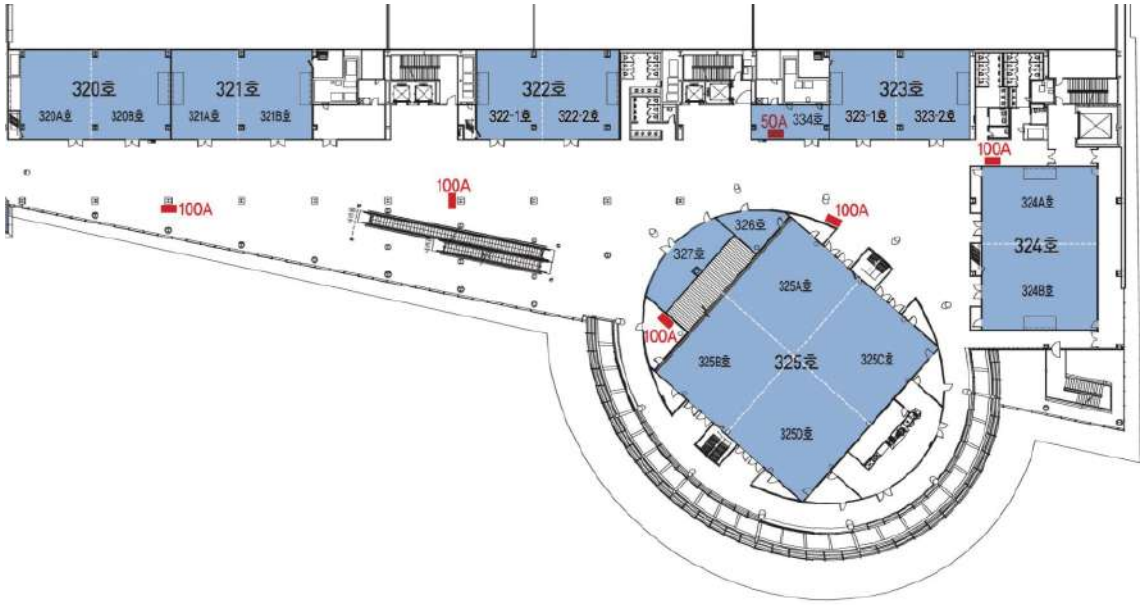
### Oral 발표자

- ① 발표분야, 발표장 및 시간을 확인해 주십시오.
- ② 발표 시작 5분전까지는 발표장에 입실해 주십시오.
- ③ 발표시간은 총 15분이고 10분 발표 5분 질의·응답입니다.  
(세션별 발표시간이 다를 수 있으므로 프로그램북을 확인해주세요.)
- ④ 종료시간을 알리는 종은 발표종료 3분 전 한 번, 종료 시 두 번 울립니다.
- ⑤ 두 번째 종소리 후에는 곧 발표를 종료하여 주십시오.
- ⑥ Oral 발표 기자재는 "빔 프로젝트"와 "레이저포인터"입니다.
- ⑦ 발표파일을 USB메모리로 지참하여 해당 발표세션 전 휴식시간에 발표장 컴퓨터에 파일을 복사한 후, 정상적으로 화면에 보이는지 확인하시기 바랍니다. 개인 노트북도 사용 가능하나 휴식시간 중에 미리 연결하여 확인하시기 바랍니다.

### Poster 발표자

- ① Poster Check-in, Presentation 시간을 확인해 주십시오.
- ② 발표장소는 학술행사장의 로비이며, 4월 22일(수) 09:00 ~ 4월 23일(목) 13:00 사이에 포스터 부착을 완료하여 주시기 바랍니다.
- ③ 포스터 규격(600×900)과 홈페이지에 제시된 양식을 준수해 주시고, 프로그램북에 배정된 세션별 논문번호를 확인 후, 해당되는 판넬에 부착해 주십시오.

## 발표장 안내도



📍 행사장 안내: 322-1호, 322-2호, 323-1호, 323-2호, 325호 (대구 엑스코 서관 3층)

- 325호 : 개회식 및 초청강연, 시상식 및 폐회식, 만찬
- 322-1호~323-2호 : 특별세션, 구두발표
- 322호: 이사회
- 로비: 포스터 전시 및 심사

## 대구 EXCO 오시는 길



주소	대구광역시 북구 엑스코로 10(서관)
전화	053-601-5000
홈페이지	<a href="https://www.exco.co.kr/">https://www.exco.co.kr/</a>

출발지	교통	노선 및 소요시간
대구국제공항 → 대구 EXCO (4km)	버스	719→503, 719→937, 동구2→503, 401→323-1 (약 30분)
	택시	(약 20분)
동대구역 → 대구 EXCO (5km) ▶ 셔틀버스(국제그린에너지엑스포) 이용 가능	버스	413, 순환2-1, 937 (약 30분)
	택시	(약 15분)
대구역 → 대구 EXCO (5.5km)	버스	653, 304 (약 35분)
	택시	(약 15분)
동대구역복합환승센터 → 대구 EXCO (6km) 서울고속버스T→동대구역복합환승센터 : 약 3시간 30분 동서울고속버스T→동대구역복합환승센터 : 약 3시간 30분 부선고속버스T→동대구역복합환승센터 : 약 1시간 10분 광주종합버스T→동대구역복합환승센터 : 약 3시간	버스	413, 순환2-1, 937 (약 30분)
	택시	(약 20분)

**2026 한국태양에너지학회**  
**춘계학술발표대회**  
2026 KSES Annual Spring Conference

**발행처 :** 한국태양에너지학회

주소 : 30127 세종특별자치시 한누리대로 249, 에스제이타워 804호(나성동)

전화 : 044-864-1977      팩스 : 044-864-1978

E-mail : solar@kses.re.kr

**발행일 :** 2026년 4월 22일

**발행인 :** 김영원

**인 쇄 :** (주)에이퍼브

전화 : 02-2274-3666      팩스 : 02-2274-4666

## 주 최



**한국태양에너지학회**  
THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY

## 후원

한국에너지공단

한국에너지기술평가원

한국생산기술연구원

한국에너지기술연구원

한국조명·전기설비학회

한국태양광공사협회

한국재생열에너지융합협회

한국전기기술사회

(주)플로우에너지

칸kham

(주)선포탈

선다코리아

(주)디엔비건축사사무소

(주)선진피앤에스

대구exco

## 특별회원사

금강전기산업(주)

(주)이삭에너지

(주)대신에스앤비

(주)세진엔지니어링

(주)삼덕엔지니어링

(주)원광에스앤티

비원이티에스(주)

세한에너지(주)

그랜드썬기술단에스피

(주)맥사이언스

(주)에스지에너지

(주)비앤피인스트루먼트

(주)해인기술

(주)더블유피

(주)한화 건설부문

(주)에이스티어

## I 회사 소개 I

(주)이삭에너지는 신재생에너지 전문기업으로서 고유가, 지구온난화, 각종 오염에 의한 생태계 위협 등 날로 심각해지는 환경 제약의 요인을 극복하기 위한 필수 산업의 발전에 일익을 담당하고자 노력하고 있으며, 후손들에게 청정한 환경을 물려주기 위해 혼신의 노력을 다하고 있습니다.

화석 연료에 의한 지구 온난화 문제 및 환경문제가 화두가 되고 있는 이때, 자연이 주는 무한 태양, 지열에너지를 이용하는 신재생에너지제품을 설계, 개발, 생산하고 이를 고객의 NEEDS에 만족할 수 있도록 친환경적인 방법으로 설치시공과 사후 관리를 책임지고 있는 신재생에너지 전문기업(주)이삭에너지입니다.

## I 회사 연혁 I

- 2012년 4월 (주)이삭엔지니어링 설립
- 2012년 11월 가스난방공사업 등록
- 2012년 11월 산-재생에너지 설비 설치전문기업 등록
- 2015년 9월 전기공사업 등록
- 2015년 11월 전라남도 도지사 표창(산-재생에너지 보급 유공)
- 2017년 12월 ISO 9001:2015인증 획득
- 2019년 11월 한국에너지공단 표창
- 2019년 11월 전라남도 도지사 표창
- 2020년 12월 산업통상자원부장관 표창
- 2021년 3월 지하수개발 이용사업 등록
- 2013년 ~ 2025년 한국에너지공단 산-재생에너지 보급사업 참여
- 2013년 ~ 2025년 한국에너지공단 산-재생에너지 A/S전문기업 선정
- 2023년 1월 태양열 시스템 특허등록
- 2024년 3월 (주)이삭에너지 법인명 변경 및 신사옥 건립

## I 제품소개\_태양열 I

### 히트파이프 이중진공관 집열기 SOLAR COLLECTOR

국내기술을 적용하여 고효율의 인증을 받은 **국내제작 히트파이프 이중진공관 집열기**

#### 진공관형 태양열 집열기 제품 특징

- 1) 큰 내수가 고온용 10-Bottom (30 000000% 용기)이므로 열손실이 없고 열효율 극대화.
- 2) 집열기는 Cu에 열전도율이 월등함소 (Al-Ni-C) 코팅 마그네트론이아 흡수율 92%이상.
- 3) 영하 -30°C에서도 동파 없고 얼음, 직경 35mm, 오목에도 견딤.
- 4) 120°C의 고온에 도달할 정도의 고성능, 초탄 남에도가용.
- 5) 유리차 금속간은 특히 용원된 열 압축 밀봉기술.
- 6) 높은 진공도를 계속 유지시킬 수 있는 특수물질 Getter 삽입으로 15년간 高진공 보장.
- 7) 특수 열매체가 히트파이프에 진공 밀봉됨.
- 8) 열전달 빈 증대가 물과 밀 고관되어 내구성 우수하며, 유지보수가 간편함.
- 9) 태양열 집열관은 독일산업표준 DIN 4757의 기준에 따름.
- 10) 10 kg/cm<sup>2</sup>의 최대 고압에서도 조적할 수 있음.



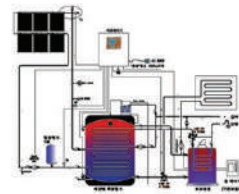
진공관형 태양열 집열기  
최고 효율을 위한  
최적의 구조를  
최적의 구조를  
최적의 구조를



### 제품사양

모델명	D5EC-010	D5HC-002
집열면적 (㎡)	1505 x 1000 x 105	1775 x 1500 x 100
용량 (ℓ)	2.08	3.4
투과율 (%)	190	2.3
단위면적당 흡수율 (%)	208	138
집열관길이 (mm)	92	101
인증번호 (KTL인증번호)	SH-ETC-K0038	SH-ETC-K042
교정일자 (수정일자) 유효기간	2020/09/3	2020/09/09

### 태양열 온수·난방보조 시스템 SOLAR SYSTEM PACKAGE

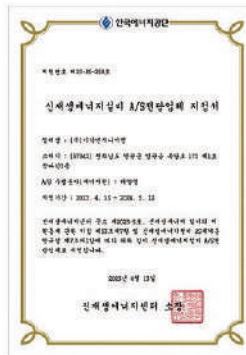
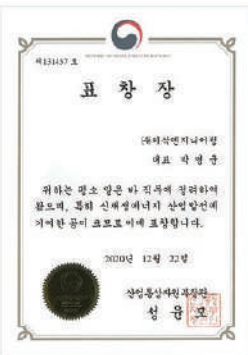


- 1) Solar heat reservoir 태양열 축열조
- 2) Closed expansion tank 밀폐형 팽창 탱크
- 3) Haet medium supplement tank 열매체보충수 탱크
- 4) Haet medium circulation pump 열매체순환펌프
- 5) Solar heat temperature controller 태양열 차온제어기



구분	IS-600SP	IS-1000SP
용량	온수기 전용	온수기 및 난방보조
집열면적(㎡)	136	20.4
집열기 개수	4 SET	6 SET
온수 저장량	600 리터	1000 리터
필요한 방석	동스테인레스 코팅 방석	동스테인레스 코팅 방석
보온 두께	40 T	40 T
노출면적 보호	일루미늄 커버링	일루미늄 커버링

## I 인증서 및 특허 I






# 혁신과 도전으로 국내·외 엔지니어링을 선도하는 신·재생에너지 전문기업




**(주)세진엔지니어링**  
SEJIN ENGINEERING CO.,LTD




**조달우수제품지정**  
(태양광발전시스템)




**20년 연속 선정**  
한국에너지공단  
태양광 참여기업



**융·복합지원사업**  
**40회 참여**  
(태양광, 연료전지, 지열)



**주택·건물지원사업**  
설치의무화



**태양광 발전(RPS)**  
사업 토탈컨설팅



**R&D 지원사업**

**태양광 발전**  
(PV)



전남 영암 | 3.2MW



전남 신안 | 3.2MW



전남 무안 | 3.5MW

**건물일체형**  
**태양광발전**  
(BIPV)



국립낙동강생물자원관 | 121.8kW



광주과학관 신관 | 102kW



루원복합청사 | 410kW

**융·복합지원**  
**지역**  
**지원사업**



**(주)세진엔지니어링**  
SEJIN ENGINEERING CO.,LTD

**본 사** 전남 영암군 덕진면 향월유수동길 101-8  
**사 무 실** 광주광역시 서구 유덕로 50-1

**공 장** 전남 나주시 왕곡면 혁신산단5길 121  
**연 구 소** 전남 나주시 왕곡면 혁신산단5길 121, 2층

☎ 062-384-6333

☎ 062-384-6334

✉ [sjsolar7@daum.net](mailto:sjsolar7@daum.net)



**[ 회사 소개 ]**



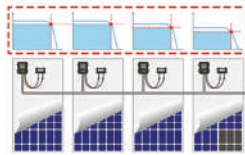
- 1. 국내 선도 태양광 발전장치 제조기술 보유**
  - 법인설립 이래 축적된 태양광 발전 장치 개발 및 설계경험과 특화된 설치, 시공 노하우
  - 태양광 발전 장치 독자 제조 및 Total Solution 보유
    - 기업부설연구소 설립
    - 태양광발전장치, 구조물 설계, 제작 및 공사팀 직영관리
- 2. Key Technology 확보**
  - 태양광 발전 장치 전력보상시스템 기술 보유
  - 독자개발 모니터링 시스템 보유
  - 트래커 및 모듈 효율 저감 방지 장치 특허 보유
  - 수상, 토지, 건물, 영농형 등 설치 환경에 맞춘 시공기술 보유
  - 10종의 특허등록 및 에너지기술연구원 기술 제휴
- 3. 사업다각화와 성장동력의 개척**
  - 태양광 폐모듈 재활용 기술 보유
  - 태양광발전소 철거 및 리파워링 기술 보유
  - 태양광발전장치 조달우수제품 지정

**[ 제품 소개 ]**

태양광발전장치 - 조달우수제품

**“원광에스앤티 태양광 발전 시스템의 차별화 및 최적화 포인트”**

원광에스앤티의 태양광발전시스템은 태양광발전의 가장 큰 이슈인 음영, 모듈 오염 등으로 인한 발전량 감소에 대해 출력을 보상하여 발전량을 상승시켜주는 전력보상시스템을 개발하여 전력보상시스템의 Buck boost, Converter의 전력제어와 MPPT 트래킹의 효과에 기인하여 음영구간의 모듈 출력 값도 이웃한 모듈의 최고 출력 값과 동기화되어 연결된 각 모듈 발전량을 최고점에 도달시키면서 기존 시스템에 비해 발전량 효율이 대폭 상승된 최적의 태양광 발전 시스템이다.



**전력보상 시스템**

〈점의 및 기능〉

- 기능
  - 그늘과 적설, 오염 등으로 인해 발생하는 태양광발전량손실에 대한 전력보상 기술로써 기존 태양광발전시스템 대비 최소 10~25% 이상의 발전효율 상승이 가능한 획기적 시스템(공인 시험기관시험 결과)
  - 태양광 발전 시스템과 ICT 기술을 융합한 MLPE 시스템
  - 신규 설치 태양광발전소 뿐만 아니라 기존 설치된 태양광발전소에도 적용 가능한 뛰어난 호환성의 기술 개발 제품

**[ 자원 순환 ]**

**“폐모듈 재자원화 사업 소개”**

태양광 폐모듈을 수거하여 친환경적인 기술로 해체(분리), 파쇄, 분쇄, 선별하는 과정을 통해 유가 금속을 회수하고, 이를 새로운 산업군의 원료로 재자원화하는 친환경 순환경제 사업입니다. 이를 통해 자원의 낭비와 환경 오염을 최소화하고 탄소 중립에 기여하고 있습니다.

**“국내 유일, 원스톱 솔루션 기업”**

원광에스앤티는 국내에서 유일하게 태양광 리파워링부터 폐모듈 수집, 운반, 재자원화까지 원스톱 서비스를 제공하는 기업입니다. 전 과정 통합 솔루션으로 고객의 시간과 비용을 절감하며, 친환경 자원 순환 체계 구축에 앞장서고 있습니다.

**태양광 폐모듈 재활용 공정 방법 및 효과**

대기오염 및 폐수 발생이 없는 원광에스앤티만의 원천 기술 국가기밀보호사업 공칭 활용



생산 원천 기술을 확보하여 재활용률 99% 이상 달성

양무미질 실리콘, 구리, 은, 지용성 고출력 유리 등을 회수하여 재자원화

폐모듈 1톤 재활용시 CO2 최대 1,200kg 감축 최대로 탄소 중립에 기여

원천 기술 보유 (SPT) Department Life Cycle Engineering (S&E), June 2012

**태양광 폐모듈 재활용 수거 프로세스**



배출자



**[ 시공 사례 ]**



신재생에너지가이드 2025

[ 회사 소개 ]



에너지산업의 미래를 선도하는 **신재생에너지 전문기업**으로  
20여년간의 기술과 경험의 노하우로 컨설팅부터 준공까지  
**ONE-STOP 시스템 및 통합 솔루션 운영**

**RE100** K-RE100 등록사

[ 회사 연혁 ]

- **2019** 09. 비원이티에스(주) 설립 및 전기공사업 등록  
10. (주)케이티 협력사 등록  
11. 철강재구조물, 접속함 제작 공장 설립 및 등록
- **2020** 01. 태양광발전장치 직접생산확인 등록  
07. 난방시공업 제2종 등록  
09. 태양광 발전용 접속함 KS인증 완료  
10. 조달청 MAS 등록.
- **2021** 03. 신재생에너지 보급사업 참여기업 선정  
08. 지붕건축물 조립공사업(BIPV) 등록  
08. 한국에너지공단 A/S전담업체 지정  
11. 한전 배전전문업체 선정(23년~24년)

- **2022** 02. 기업부설연구소 설립  
03. 신재생에너지 보급사업 참여기업 선정  
06. 한국형 RE100 참여 기업 등록  
07. 한국에너지공단 A/S전담업체 지정
- **2023** 01. 기보 A+ 멤버 및 스타벨리 기업 선정  
03. 신재생에너지 보급사업 참여기업 선정  
06. 한국에너지공단 A/S 전담업체 지정  
11. 경상남도 에너지대상 수상
- **2024** 03. G-PASS기업 지정  
05. 한국에너지공단 A/S전담업체 지정  
10. 경영혁신형 중소기업(메인비즈) 등록  
11. 기술혁신형 중소기업(이노비즈) 등록

[ 사업 분야 ]



▲2024년 경남 에너지 행복 나눔 사업(ESG) 참여



▲ 2024 경남에너지대상 수상

[ 인증서 및 특허증 ]



# 20<sup>th</sup> ANNIVERSARY GRANDSUN

20년 업력  
SINCE 2005

2024 대한민국  
재생에너지 대상

11년 연속  
한국에너지공단 참여기업

산업단지의 미래, 변화를 준비할 시간입니다.  
그랜드선기술단은 20년간 전국 산업단지에서  
태양광을 설치하고 운영한 경험과 기술력으로 꼭 필요한 제안을 드리겠습니다.



**D|S|R**  
DSR | 3.6MW



**KCC**  
KCC | 12MW



**농협**  
농협 | 7.5MW



**TK Corporation**  
태광 | 5.3MW



**DENSO**  
덴소코리아 | 1.2MW



**IKEA**  
이케아 | 802.56kW



**금호석유화학**  
금호석유화학 | 3.1MW



**HD현대**  
현대 | 6MW



**HANJIN**  
한진 | 69.85kW



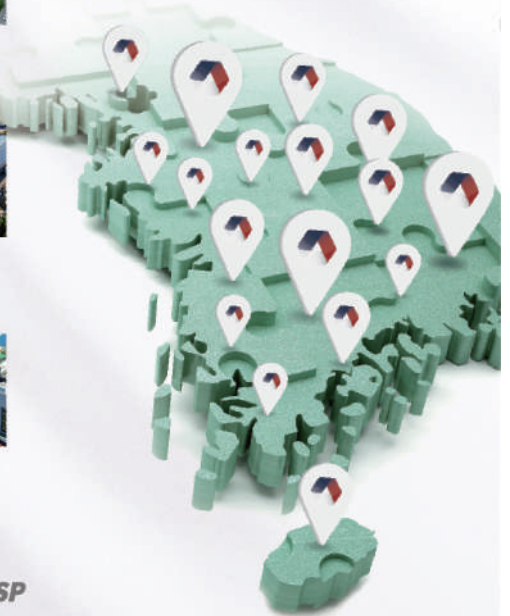
**KORYO**  
고려전선 | 1.5MW



**나라엠앤디**  
나라엠앤디 | 1.4MW



**롯데윌푸드**  
롯데윌푸드 | 1MW



그랜드선기술단 그룹 **GRANDSUN GRANDSUNSE GRANDSUNSP**



SINCE 2005 | 한국에너지공단 공식파트너

중부지사 경기 안성시 삼죽면 삼죽로 205-41

경북지사 경북 봉화군 춘양면 의암로 37

남부지사 부산 강서구 체육공원로6번길 109

경남지사 경남 김해시 주촌면 골든루트로120번길 12-2

☎ 1800-8513

✉ gseng6@gmail.kr

🌐 www.gseng.org





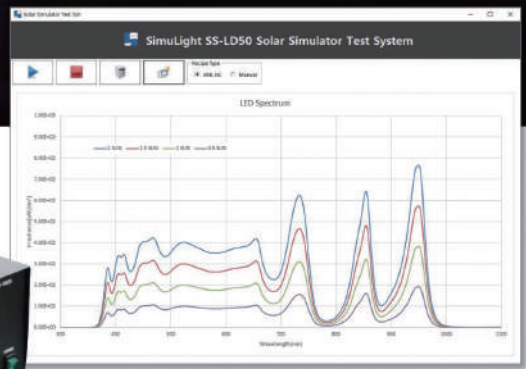
SimuLight LED50 / 150 / 300

# LED Solar Simulator

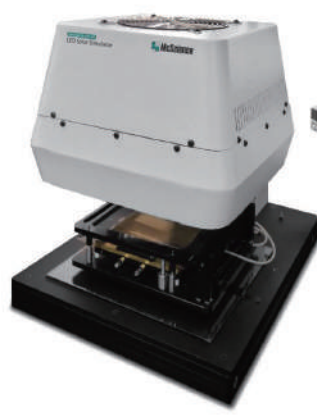
(MPPT 포함)

LED Solar Simulator는 복수의 LED를 광원으로 사용하는 인공 태양광원 제품으로써, IEC 60904-9, ASTM E927 그리고 JIS C8912 등에서 규정하는 인공 태양광원의 국제 품질 규격을 준수합니다. 스펙트럼 일치도, 조사 면적 균일도, 광 안정도의 성능 모두 A 등급을 만족하며, 태양전지의 효율 측정 장시간 신뢰성 평가에 적용할 수 있습니다. 추가적으로, 개별 LED 구동 전류를 제어하는 방식으로 전체 조사 스펙트럼 분포 및 광량을 변경할 수 있는 기능을 제공합니다.

Multi-LED + Class AAA + Controllable + Spectrum + Irradiance



- ✓ Solar Simulator
- ✓ Multiple LED Light Source
- ✓ Class AAA Performance
- ✓ Solar Cell Efficiency Measurement
- ✓ PV Device Long Term Test (MPPT)
- ✓ Controllable Spectrum & Irradiance



LED Solar Simulator(SS-LED150)

LED Solar Simulator(SS-LED300)



국내 BIPV  
시장점유율  
**1위**

GLOBAL **BIPV** No.1  
**(주)에스지에너지**

BIPV(건물일체형 태양광) 업계를 선도하는 기업

나라키움 대전통합청사 | G/B | 일반 BIPV | 42kW

## 건물일체형 태양광 발전 시스템의 혁신을 통해! (주)에스지에너지가 지속 가능한 미래를 열어가겠습니다.

(주)에스지에너지는 BIPV 전문 기업으로 2019년 회사 설립 이후, 우수한 기술력을 바탕으로 8년 연속 국내 BIPV 시장점유율 1위를 유지하고 있으며, 급변하는 환경 속에서도 선제적 대응을 하며 지속적인 성장을 이어가고 있습니다. 앞으로도 미래 성장을 위한 BIPV 혁신을 통해, 업계를 선도하는 글로벌 리더로 도약해 나가겠습니다.



BIPV 모듈  
제조 / 판매 / 시공



신·재생 에너지  
프로젝트 사업



정부 지원 /  
설치 의무화 사업



스마트에너지  
신산업

**(주)에스지에너지의 비교할 수 없는 납품(시공) 실적!**

**누적생산용량 : 19,600kW | 납품현장 : 980개소 (2026. 2. 기준)**



일반 BIPV | 대릉 8차 448kW



일반 BIPV | 대전 보훈병원 170kW



일반 BIPV | 광주과학관 123kW



일반 BIPV | 보타니코 논현 153kW



컬러 BIPV | 영등포 DITTO 427kW



컬러 BIPV | 시흥정수장 76kW



컬러 BIPV | 하남 데이터센터 28kW



컬러 BIPV | 한국동서발전 49kW

일조계  
**CSD3**

스위스의 고르너그라트(Gornergrat) 전망대에 설치

일사계

**SMP10**

마터호른(Matterhorn) 산의 정상에 보일 정도의 높은 고도  
해발 3,089m의 고도에 설치



**I 회사 소개 I**

**탄소중립과 미래가치를 선도하는 기업  
(주)해인기술**

당사는 신재생에너지 보급·A/S·모니터링 전문 기업으로써 2050년까지 탄소 배출량 ZERO를 달성하기 위하여 열심히 달려가고 있습니다. 화석 에너지를 사용하는 발전소가 단계적으로 운영을 멈추게 될 것이며, 이에 앞서 친환경적인 신 재생에너지의 보급은 필수적일 것입니다. 탄소중립과 빅데이터를 활용하여 미래적 가치를 선도할 수 있는 기업이 되도록 노력하고 있습니다. 미래지향적이고 풍족한 삶을 추구하는 당사와 함께 미래로 도약하시길 바랍니다.

**I 제품 소개 I**



▲ 해인기술 모니터링 장치

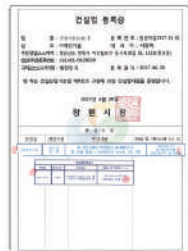
**I 해인기술 인증/특허 I**



【전기공사업 등록증】



【정보통신업 등록증】



【난방시공업 등록증】



【모니터링 KC인증】



【ISO 9001 품질경영시스템(16-Q-2074-00)】



【AS전담업체지정서】



【표창장】



【표창장】



【표창장】



【ISO 45001 안전보건경영시스템(GSR-O-1837)】

**I 사업 분야 I**





**사업명**

2022 신재생에너지 핵심기술개발사업

**과제명** 2022.04.01-2025.03.31

소음저감과 탄소중립을 위한 철도적합 태양광 실증 (과제코드 - 20223030010080)

**최종목표**

- 방음 성능, 유지보수 편의성을 고려하여 MLPE 적용된 양면형 컬러 태양광 방음벽 모듈 개발
- 소음, 진동저감 방음벽 기술 개발
- 100kW 태양광 방음벽 실증을 통한 시공 및 유지 보수 및 방음벽 태양광 화재 안전관리 가이드라인 제시

**실증대상**

토공, 교량용 양면형 태양광 모듈 일체형 방음벽 100kW (전라남도 순천시 인근 철도 부지)

태양광 PR 0.88 이상	소음 저감률 30% 이상	풍하중 안정성 45 m/s 이상
-------------------	------------------	----------------------

(\*Performance Ratio)

**관리기관**

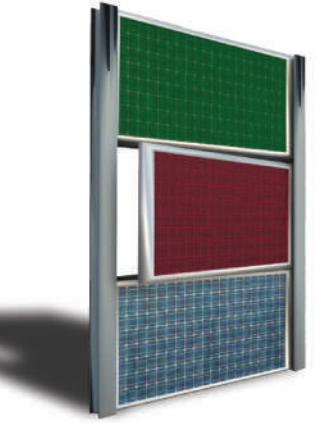
산업통상자원부  
 한국에너지기술평가원  
 순천시

**주관기관**

(주)더블유피

**공동연구 개발기관**

한국철도  
 한국에너지연구원  
 한국광기술원  
 영산대학교  
 한국신기술개발사업  
 에이앤지아이엠  
 한국에너지기술연구원  
 RECON CORPORATION



**양면형 컬러 태양광 모듈 일체형 철도방음벽 기술 개발 및 실증**  
 소음저감과 탄소중립을 위한 철도적합 태양광 실증

**더블유피 WP Co., Ltd**

- 전남 순천시 해룡면 해룡신단 6로 84 (우 58023)
- 061) 905-7913 • 061) 725-1379
- E-mail : rsc@wp-solution.net
- <https://wp-pv.com>

**탄소중립 및 RE100 실현**

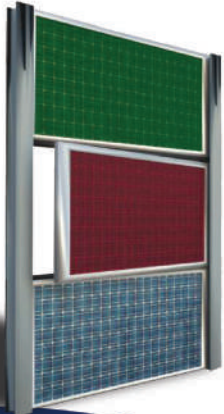
전국 철로 길이 6,500km

양면형 태양광 방음벽 1km

태양광 발전 용량 1.2MW  
 전력 공급 550가구  
 이산화탄소 600톤 감축  
 소나무 256,748그루 효과

**탄소중립 및 RE100 실현**

**철도적합 태양광 방음벽 개발**



- 소음 저감**  
500Hz : 30dB  
1kHz : 35dB
- 철도풍 대응 설계**  
45m/s 이상 풍하중을 견디는 견고함
- 시공성 우수**  
경량 착탈식 모듈 적용
- 심미성 확보**  
컬러 태양광 모듈 적용

**AIoT 기반 원격 모니터링**



**신재생에너지 확산**



**신재생 에너지**  
친환경 철도기술 개발 및 모델 구축 태양광 발전산업의 경쟁력 제고 '저탄소 녹색성장'의 실현


**경제 효과**  
지역 주민들과의 수익 공유 직 간접적인 일자리 창출 효과 연관산업 활성화로 인한 생산성 증대 환원된 수익금을 통한 지역경제 활성화

**지역 공동체**  
재생에너지에 대한 긍정적인 인식 확대 기존 방음벽 개선을 통한 거주 복지 증대 지역 공동체 기반의 전문 운영인력 확보

# 건설의 가치를 높이다

하나의 공간에서  
업무·주거·쇼핑·전시  
모든 걸 경험할 수 있는  
새로운 도시를 만듭니다

건설의 틀을 깨고  
공간의 가치를 높이는  
새로운 건설의 시작

 (주)한화 건설부문





**고반사 알루미늄 슬랫**  
산화피막처리 후 PVD 코팅한 고반사 알루미늄 슬랫으로 구성된 루버형 집광채광 시스템입니다.



**냉방부하 저감**  
전체 또는 하단부 슬랫을 닫아 일사의 실내 유입을 차단하여 하절기 냉방부하를 저감할 수 있습니다.



**조명에너지 사용량 절감**  
자연광을 실내 천장으로 반사시켜 조명에너지 사용량을 절감하는 신재생에너지 설비입니다.

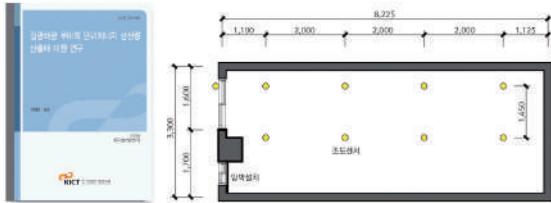


**신재생에너지 설치의무화제도 적용**  
한국에너지공단의 신재생에너지 시공기준을 만족하는 시스템으로 공공 및 민간 건축물의 신재생에너지 설치의무화제도에 적용 가능합니다.

● 조명에너지절감 ●

단위에너지 생산량 184 kWh/m<sup>2</sup> · yr

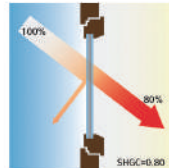
시스템 설치 후, 실내 평균조도 300lx 이상 확보 가능한 연간 시간의 조명전력 절감량



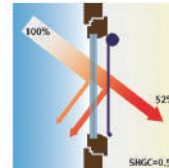
● 냉방에너지절감 ●

태양열 취득률(SHGC) = 0.35

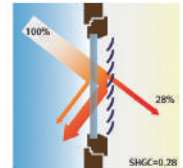
SHGC가 적을 수록 태양열 차단능력이 높아 하절기 냉방부하 저감에 효과적임



차양장치 미설치



롤러라인드 설치

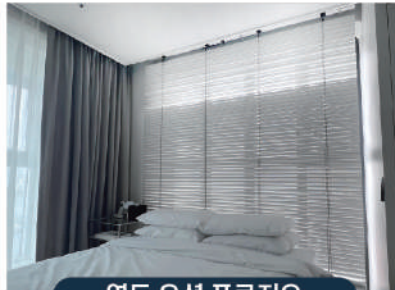


실내 루버형 집광채광 시스템 설치

롤러라인드 대비 약 2배의 냉방 부하 저감 효과



WeWork BIFC



영도 오션 푸르지오



협성 마리나 G7

# 사람과 자연의 공존을 만들어가는 기업 (주)대신에스앤비

안녕하십니까,  
주식회사 대신에스앤비입니다.

화석연료에 의한 지구 온난화 문제 및 환경문제가 이슈화되고 있는 이때, 자연이 주는 무한한 태양에너지를 이용하는 신재생 에너지 제품을 설계, 개발, 생산하고 이를 고객의 Needs에 만족할 수 있도록 친환경적인 방법으로 설치 및 시공과 사후관을 책임지고 있는 신재생에너지 전문 기업 (주)대신에스앤비입니다.

지구 온난화의 주범인 화석연료의 사용을 억제하고, 에너지 절약 및 지구 환경을 살리기 위하여 신재생에너지에 대한 관심이 증대되고 있는 현시점에서 저비용, 고효율의 에너지 이용설비에 대한 설치 계획을 검토하고 있으시다면 당사의 축적된 노하우로 최적의 효율을 보여주는 제품을 제공해 드릴 것을 약속드립니다.

감사합니다.

(주)대신에스앤비 임직원일동 *대신에스앤비*



## 대신에스앤비 연혁

“ 현재 세대와 미래 세대, 모두를 충족시키는 신재생에너지 전문기업 ”

### 2019 - 2014

- 2019 (주)대신에스앤비 법인설립
- 2020 난방 시공업 제1종 (전문건설업 등록) 신재생에너지 전문기업 등록 (지식경제부)
- 2013 KS Q ISO 9001:2009 취득 태양열 집열장치 특허 등록
- 2014 연구개발전담부서 설치 승인 본사 신축 준공 완료, 본사 이전 신재생에너지 설비인증 획득 한국에너지공단 참여기업 선정

### 2015 - 2018

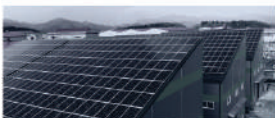
- 2015 본사 태양광 발전소 준공 신재생에너지 설비인증 획득
- 2016 한국에너지 기술연구원 패밀리 기업협약 한국에너지공단 KS인증 (DSPC-001)
- 2017 한국에너지공단 KS인증 (DSHC-001)
- 2018 태양열 집열기 KS인증 (DSHC-002) 한국에너지공단 KS인증 (DSNC-300L) 태양열 진공집열관 디자인 등록 태양열 집열판용 진공집열관 특허 등록

### 2019 - 2022

- 2019 커피링배관형 태양열 집열장치 특허등록
- 2020 한국에너지공단 시행 융복합지원 공모사업 14개소 선정 시행 한국에너지공단 시행 공공태양광 H지구 사업 선정
- 2021 한국에너지공단 시행 융복합지원 공모사업 10개 지자체 사업완료
- 2022 한국에너지공단 시행 융복합지원 공모사업 13개 지자체 사업완료

### 2023 - 2024

- 2023 한국에너지공단 시행 융복합지원 공모사업 14개 지자체 사업완료 (주)무학 5Mw급 MOU체결
- 2024 한국에너지공단 주택, 건물 지원사업 참여기업 11년 연속 선정 한국에너지공단 경남지역 사후관리 전담기업 10년 연속 선정



# 2026 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회

탄소중립, 태양에너지로 여는 지속가능한 미래  
A Sustainable, Carbon-Neutral Future Powered by Solar Energy

2026. 4. 22(수) ~ 24(금)  
대구 EXCO

## 주최

(사)한국태양에너지학회

## 후원

한국에너지공단	(주)플로우에너지
한국에너지기술평가원	칸kham
한국생산기술연구원	(주)선포탈
한국에너지기술연구원	선다코리아
한국조명·전기설비학회	(주)디엔비건축사사무소
한국태양광공사협회	(주)선진피앤에스
한국재생에너지융합협회	대구exco
한국전기기술사회	

## 특별회원사

금강전기산업(주)	그랜드션기술단에스피
(주)이삭에너지	(주)팩사이언스
(주)대신에스앤비	(주)에스지에너지
(주)세진엔지니어링	(주)비엔피인스트루먼트
(주)삼덕엔지니어링	(주)해인기술
(주)원광에스엔티	(주)더블유피
비원이티에스(주)	(주)한화 건설부문
세한에너지(주)	(주)에이스티어



한국태양에너지학회  
THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY

세종특별자치시 한누리대로 249 에스제이타워 804호 (나성동)  
전화: 044-864-1977 · 팩스: 044-864-1978 · 이메일: solar@kses.re.kr