

2025 한국태양에너지학회 추계학술발표대회

2025 KSES Annual Autumn Conference

2025. 11. 5(수)~7(금)

여수 베네치아호텔



주관

한국태양에너지학회 THE KOREAN SOLAR ENERGY SOCIETY | JTP 전남테크노파크 JONNAM TECHNOPARK | RIIA 전남지역산업진흥원

후원

한국에너지공단 | 한국에너지기술연구원 KIER INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH | KITECH 한국에너지기술연구원 | GRANDSUN
SEHAN SOLAR | F2E Energy | 이삭에너지 I-SAK ENERGY CO., LTD. | 한빛테크노파크 HANBIT TECHNOPARK | 한국태양광공사협회
한국태양열융합협회

특별회원사

GRANDSUN | DS | UK (주)원광에스엔티 | (주)이삭에너지 | 비원이티에스(주) | SEHAN SOLAR | McScience | SOLAR PLAY | SR (주)SR에너지 | ILKANG E&I | SUNGROW | KCEN | 한국남동발전 | 한국전력 | SUNSOFTWARE | SC ENERGY | (주)제이아이치에너지 | PROSAVE | H&E | (주)한화 건설부문 | Trimble | 60Hertz | KPSA

전시기업

SC ENERGY | 금정테크 | ZYX | GRANDSUN | KECT | 한국미래카본텍(주) | McScience



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.”



2025 한국태양에너지학회 추계학술발표대회

CONTENTS

■ 초대의 글	5
■ 서문	6
■ 축사	7
■ 2025 한국태양에너지학회 추계학술대회 조직위원회 구성	8
■ 2025 한국태양에너지학회 추계학술대회 프로그램위원회 구성	9
■ 진행 일정	10
■ Special Session	31
■ Oral Session	47
건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)	47
제로에너지건물 Zero Energy Buildings (ZEB)	59
건축환경 Building Environment Engineering (BEE)	69
태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)	79
태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)	99
풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)	105
신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)	113
에너지저장 및 섹터커플링 Energy Storage System & Sector Coupling (ESS&SC)	125
태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)	135
에너지정책 및 기업기술 Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT)	145
■ Poster Session	151
■ 참가 및 등록안내	239
■ 주요 행사일정 및 장소	240
■ 구두 및 포스터 발표 안내	242
■ 좌장 및 발표자 숙지사향	243
■ 발표장 안내도	244
■ 여수 베네치아호텔 오시는 길	245



초대의 글



존경하는 한국태양에너지학회 회원 여러분,

그리고 재생에너지 발전에 함께해주시는 모든 분들께 따뜻한 인사를 드립니다.

전 세계적으로 탄소중립 실현과 기후위기 대응이 인류 공동의 과제로 자리 잡은 지금, 재생에너지의 중요성은 그 어느 때보다 커지고 있습니다. 특히 태양에너지는 기술 발전과 시스템 통합을 통해 전력·산업·건축 부문을 아우르는 핵심 에너지 솔루션으로 자리매김하고 있습니다.

2025년은 우리나라가 「탄소중립 녹색성장 기본법」 시행 3년 차를 맞이하고, 재생에너지 30% 달성을 향한 본격적인 제도 전환기에 있는 시점입니다. 정부의 에너지 전환 로드맵과 신재생 확대 정책이 본격적으로 가시화되면서, 학계와 산업계, 그리고 지자체 간의 협력은 한층 더 긴밀히 요구되고 있습니다.

이에 한국태양에너지학회는 오는 2025년 11월 5일부터 7일까지, 여수 베네치아호텔에서 추계학술대회를 개최합니다. 이번 대회는 태양광·태양열·건축환경·에너지저장·수소 및 열융합 시스템 등 다양한 분야를 아우르는 11개 분야의 학술세션과, 다양한 특별세션으로 태양에너지 기술의 현재와 미래를 폭넓게 조망하는 자리가 될 것입니다.

특히 올해는 정부의 재생에너지 보급 전략 개편, 탄소국경조정제도(CBAM), 산업계의 ESG 경영 강화 등 변화의 흐름 속에서 태양에너지의 역할을 재조명하는 뜻깊은 시기가 될 것입니다. 이번 학술대회가 학문적 교류뿐만 아니라 산업적 협력과 정책적 연계를 강화하는 소중한 계기가 되기를 기대합니다.

학술대회를 위해 애써주신 조직위원회 위원 여러분과, 귀중한 연구 성과를 나누어주실 발표자 여러분, 그리고 바쁜 일정에도 참석해 주시는 모든 참가자 여러분께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

이번 추계학술대회가 지식과 경험을 나누고, 미래 에너지 사회를 향한 새로운 협력의 장이 되기를 바랍니다.

여러분의 적극적인 참여와 성원을 부탁드립니다.

행사장에서 건강한 모습으로 뵙기를 기대합니다.

감사합니다.

2025. 11

2025년 한국태양에너지학회 추계학술발표대회

조직위원장 박 종 성 올림

서 문

한국태양에너지학회 회원 및 특별회원사 여러분,

안녕하십니까. 2025년 한국태양에너지학회 추계학술대회 공동 프로그램위원장 김창현, 신대옥입니다.

아름다운 비경과 다양한 해양 수산 시설을 갖춘 해양도시 여수에서 개최하는 2025년 한국태양에너지학회 추계학술대회에 오신 것을 환영합니다.



이번 학술대회는 태양광에너지, 태양열융합, 풍력에너지, 신재생융합, 에너지저장 및 섹터커플링, 태양수소에너지, 에너지정책 및 기업기술, 건물에너지설비, 제로에너지건물, 건축환경 분과로 구성되어 신재생에너지부터 건축 분야에 이르기까지 태양에너지 관련 다양한 분야가 준비되어 있으며, 신재생에너지 정책 및 지원제도 등 특별세션을 포함하여 약 180여편의 논문이 접수되었습니다. 또한, 한국에너지공단의 박병춘 부이사장님, 일본 환경에너지정책연구소의 Matsubara Hironao 박사님의 초청 강연도 준비하였습니다.

이번 학술대회에서 발표되는 연구들은 기후위기, 탄소중립, RE100, 제로에너지 건축 등 현재 이슈가 되고 있는 미래 재생에너지 및 건축 기술에 관한 내용들이 다양하게 포함되어 있습니다. 다채로운 주제로 토론의 장이 열리는 이번 학술대회를 통해 각 분야의 최신 연구에 대한 충분한 이해는 물론, 타 전공 간 융합 또한 도모할 수 있으시기를 바랍니다.

본 학술대회의 준비를 위해 많은 분께서 지원과 헌신의 노력을 아끼지 않으셨습니다. 특히 프로그램 구성에 힘써주신 프로그램 분과위원장님들과 각 분과위원님들께 감사드리며, 물심양면으로 지원해주신 김의경 회장님, 박종성 조직위원장님을 포함한 조직위원회 위원분들과 사무국의 손희정 국장님께 깊이 감사드립니다.

마지막으로 성공적인 학술대회 개최를 위해 참석 및 후원해 주시는 회원 여러분과 특별회원사, 학회 이사님들께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

2025. 11

2025년 한국태양에너지학회 추계학술발표대회
프로그램위원장 김 창 현, 신 대 옥 올림

축사



한국태양에너지학회 회원 및 과학기술인 여러분께 !

한국태양에너지학회의 2025년도 추계학술대회에 참석해 주신 우리 학회 회원여러분 및 과학기술인 여러분들을 환영합니다.

우리 학회는 매년 춘계와 추계로 나누어 2회의 걸쳐 학술대회를 개최하고 있으며, 이번 추계학술대회는 365개의 아름다운 섬과 낭만가득한 밤바다가 어우러지는 여수 베네치아호텔에서 11월 5일(수)부터 7일(금)까지 3일간의 일정으로 개최하게 되었습니다.

이번 학술대회에서는 건물에너지설비, 제로에너지건물, 건축환경, 태양광에너지, 태양열융합, 풍력에너지, 신재생융합, 자원량평가, 에너지저장 및 섹터커플링, 태양수소 에너지, 에너지정책 및 기업기술 등 11개 분과로 구성되어 진행됩니다. 특히, 금번 학술대회에서는 한국에너지공단과 일본의 태양에너지학회에서 참여하여 국내외의 에너지정책에 대한 기초강연을 실시하며, 한국에너지공단과 전남TP 등에서 참여하여 다양한 특별세션들을 구성하였습니다. 또한, 학술대회를 멋지게 구성하기 위하여 기술개발된 현물을 볼수 있도록 6개 업체에서 전시도 이루어질 것이며, 에너지최적화 디자인 공모전과 아름다운 태양광 사진 전시회 등 연구발표회와 더불어 다양한 볼거리들을 마련하여 가을과 함께 풍성한 학술대회로 준비하였습니다. 본 학술대회를 통하여 태양에너지와 건물에너지를 비롯한 재생에너지에 대한 최신 연구동향과 결과들을 접할 수 있을 것이며, 회원들간의 활발한 소통과 정보교류가 이루어져 폭 넓은 태양에너지에 대한 식견을 얻게 될 것입니다.

금년도에는 국내·외적으로 매우 혼란스러운 상황에 있습니다. 특히, 미국 트럼프대통령의 관세폭탄과 기후변화협약 탈퇴, 재생에너지 보급촉진 중단 등 국제적으로는 어려운 상황이나, 국내적으로는 태양에너지 관련부처가 산업통상자원부에서 기후에너지환경부로의 변화와 재생에너지의 합리적인 보급확대와 탄소중립을 위한 다양한 정책개발 등이 추진되어 다소 분위기가 고조되어 가고 있는 상황입니다. 따라서, 한국태양에너지학회의 회원여러분들과 100만 재생에너지인들이 지혜를 모아 미래를 개척하는데 노력하여야 할 것으로 판단되며, 우리 학회는 그 역할을 감당하는데 앞장설 것을 약속드립니다.

금번 학술대회를 통하여 다양한 분야에서 연구한 결과물들을 논문으로 제출하신 분들과 개발한 기술들에 대한 발표와 전시 등 여러분들의 연구결과를 맘껏 뽐내시고 평가를 받아 보시기를 바랍니다. 아울러, 발표하시는 분들이나 참관하시는 분들 모두 금번 학술대회가 여러분들 모두에게 도움이 될수 있는 기회의 장이 되기를 소망해 봅니다.

2025년 추계학술대회 추진을 위하여 노력해 주신 박종성 조직위원장님을 비롯한 조직위원회 위원님들과 논문모집과 다양한 프로그램들을 구성하시느라 고생하신 신대욱·김창현 프로그램위원장님들을 비롯한 각 분과위원님들께 감사를 드립니다. 또한, 우리 학회의 특별회원사를 비롯하여 후원기업들과 전시기업들의 대표자 및 관계자 여러분들께도 감사를 드립니다.

이제 아름다운 도시 여수에서 유익하고 다양한 프로그램들을 준비하였으니 많은 분들이 참석하시어 즐겁고 유익한 시간들로 채워 좋은 추억을 만드시길 바라며, 여러분들의 삶과 가정, 사업장 등에 탐스러운 열매를 맺는 결실의 계절 가을이 되시기를 기원합니다.

감사합니다.

2025. 11

사단법인 한국태양에너지학회

회장 김 의 경 올림

2025 한국태양에너지학회 추계학술대회 조직위원회 구성

분 과	이 름	소 속
조직위원회장	박종성	경상국립대학교
1) 총무	김홍욱	에이블에너지
2) 재무	박 인	에코다
	김도형	충북대학교
3) 전시/협찬	이재우	한국태양광공사협회
	오원욱	충북테크노파크
	최종민	맥사이언스
	한창순	전남테크노파크
4) 프로그램	김창현	한국광기술원
	신대욱	국립군산대학교
5) 강좌/워크숍	강동원	중앙대학교
6) 홍보/출판	양정엽	군산대학교
	임종철	충남대학교
	이용환	한국전자기술연구원
7) 사무국	손희정	한국태양에너지학회

2025 한국태양에너지학회 추계학술대회 프로그램위원회 구성

분과	이름	소속	역할
1. 프로그램위원회	김창헌	한국광기술원	프로그램위원장
	신대욱	국립군산대학교	프로그램위원장
1) 건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)	정웅준	가천대학교	분과위원장
	박상훈	인천대학교	분과위원
	공민석	가천대학교	분과위원
	김민휘	한국에너지기술연구원	분과위원
2) 제로에너지건물 Zero Energy Buildings (ZEB)	곽영훈	서울시립대학교	분과위원장
	최원준	전남대학교	분과위원
	문선혜	서울시립대학교	분과위원
	조재완	인하대학교	분과위원
3) 건축환경 Building Environment Engineering (BEE)	임현우	건국대학교	분과위원장
	최영진	경기대학교	분과위원
	김주욱	조선대학교	분과위원
	김영수	중앙대학교	분과위원
4) 태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)	오원욱	충북테크노파크	분과위원장
	윤성민	한국생산기술연구원	분과위원
	김규진	한국건설생활환경시험연구원	분과위원
	김수민	한국세라믹기술원	분과위원
	김성탁	한국생산기술연구원	분과위원
	배수현	한국에너지기술연구원	분과위원
5) 태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)	임병주	한국기계연구원	분과위원장
	이도성	한국태양열융합협회	분과위원
	주홍진	한국에너지기술연구원	분과위원
	이가람	한국기계연구원	분과위원
6) 풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)	김용욱	고등기술연구원	분과위원장
	이상길	젠텍이엔씨	분과위원
	김현규	고등기술연구원	분과위원
7) 신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)	최희웅	전남대학교	분과위원장
	강은철	한국에너지기술연구원	분과위원
	김진희	공주대학교	분과위원
	김종현	한국폴리텍대학	분과위원
8) 에너지저장 및 섹터커플링 Energy Storage System & Sector Coupling (ESS)	김민국	한국광기술원	분과위원장
	손명우	한국광기술원	분과위원
9) 태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)	심욱	한국에너지공과대학교	분과위원장
	진경석	고려대학교	분과위원
10) 에너지정책 및 기업기술 Energy Policy & Corporate Technology (EP&CT)	최성우	한국에너지공단	분과위원장
	한영규	한국에너지공단	분과위원

진행 일정

- 일 시 : 2025년 11월 5일(수)~7일(금)
- 장 소 : 여수 베네치아호텔

11월 5일 (수요일)									
Time	컨벤션센터	부라노 I	부라노 II	부라노 III	카프리 I	카프리 II	카프리 III	페스타	
12:30~13:30	학술대회 접수 및 등록								기업체 전시
13:30~15:30		특별세션 (우주에너지플랫폼 연구개발)		특별세션 (지역혁신클러스터 육성사업 역량 강화 세미나)	특별세션 (태양에너지 설비 기술동향)	특별세션 (CEMS)			
15:30~15:40	휴식								
15:40~16:30	개회식 및 초청강연(컨벤션센터) 초청강연 1 : 재생에너지 정책동향(한국에너지공단 박병춘 부이사장) 초청강연 2 : Progress of Regional Decarbonization in Japan and Challenges to Realization (일본 환경에너지정책연구소 MATSUBARA Hironao)								
16:30~16:40	휴식								
16:40~18:00		태양광에너지1 (PVE)-1	태양열융합 (STC)		건물에너지설비1 (BES)-1	에너지저장 및 섹터커플링1 (ESS&SC)-1	건축환경1 (BEE)-1		

11월 6일 (목요일)									
Time	컨벤션센터	부라노Ⅰ	부라노Ⅱ	부라노Ⅲ	카프리Ⅰ	카프리Ⅱ	카프리Ⅲ	페스타	
09:00~10:20		태양광에너지2 (PVE)-2			건물에너지설비2 (BES)-2	태양수소에너지1 (S2H)-1	건축환경2 (BEE)-2	기업체 전시	
10:20~10:40	휴식								
10:40~12:00		태양광에너지3 (PVE)-3	신재생융합1 (REC)-1	에너지저장 및 섹터커플링2 (ESS&SC)-2		태양수소에너지2 (S2H)-1	제로에너지건물1 (ZEB)-1		
12:00~13:30	중식								
13:30~14:50	포스터 발표								
14:50~15:10	휴식			특별세션 (신재생에너지 정책 및 지원제도)	휴식	풍력에너지 (WEC)	휴식		
15:10~16:30	특별행사 (에너지디자인 공모전 발표회)	태양광에너지4 (PVE)-4	신재생융합2 (REC)-2		에너지정책 및 기업기술 (EP&CT)		제로에너지건물2 (ZEB)-2		
16:30~17:30	이사회(부라노Ⅰ)								
18:00~20:00	만찬 및 시상식(컨벤션센터)								
20:00~20:30	폐회식(컨벤션센터)								

11월 7일 (금요일)								
Time	컨벤션센터	부라노 I	부라노 II	부라노 III	카프리 I	카프리 II	카프리 III	페스타
09:00~11:00		한국태양에너지학회 전문위원회 회의 및 토론						기업체 전시

Special Session

일시 : 2025년 11월 5일(수)~6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리I, 카프리II, 부라노III)

11월 5일(수)		
태양에너지 설비 기술동향	여수 베네치아호텔(카프리I) 13:30~15:30	좌장 : 정 재 용(세한에너지)
13:30~13:50	몽골 흙골 지역 PTC 태양열 지역난방 프로젝트의 기술적 및 경제적 타당성 평가 33 정성은 [†] , 강용혁(알이에스 주식회사)	
13:50~14:10	서울 119안전센터에 적용된 유전형 액체식 PVT-공기열 히트펌프 융합시스템의 실증데이터 분석 34 조성구 [†] , 박준호((주)이맥스시스템)	
14:10~14:30	태양광열 에너지를 활용한 제습냉방 시스템 35 김보선 [†] , 추형욱, 김대영, 강윤철(클레네어 주식회사)	
14:30~15:30	협회 총회 이도성(한국태양열융합협회)	

11월 5일(수)		
수요기반 효율화 커뮤니티 에너지관리시스템(CEMS) 개발	여수 베네치아호텔(카프리II) 13:30~15:30	좌장 : 최 형 진(GS건설)
CEMS-1 13:30~13:45	불확실성을 고려한 커뮤니티 마이크로그리드의 시나리오 기반 최적 운영 및 초속응성 예비력 제공 프레임워크 .. 39 신형환, 김민수, 김집 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)	
CEMS-2 13:45~14:00	커뮤니티 내 실시간 순부하 변동 대응을 위한 계층형 Edge 제어 기술 개발 40 고영준, 허재행(라온프렌즈), 최형진(GS건설), 김성열 [†] (한양대학교 전기공학과)	
CEMS-3 14:00~14:15	캠퍼스 부하 운영 최적화를 위한 전차 학습 기반 태양광 발전량 예측 개선 방법 41 이용건(한양대학교 데이터사이언스학과), 오동근(한양대학교 인공지능학과), 노영태 [†] (한양대학교 데이터사이언스학과)	
CEMS-4 14:15~14:30	(CEMS) 수요기반 Power-to-Heat 시스템 구축 연구 42 오한규, 이지원, 김동립 [†] (한양대학교 기계공학부)	
CEMS-5 14:30~14:45	예측 오차를 반영한 다중 에너지 네트워크의 2단계 최적 계획 및 모델예측제어 기반 통합 운전 기법 43 김원호, 이건의 [†] , 노은지((주)인포트몰테크놀로지)	
CEMS-6 14:45~15:00	BTM 자원에 대한 발전량 예측 및 이상진단 알고리즘 연구 44 박해연, 강대호, 박대현 [†] (엔라이트(주))	
CEMS-7 15:00~15:15	5세대 지역난방 시스템의 에너지 자립률 향상을 위한 열 네트워크 및 축열조 최적화 45 최원종(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 건축공학과), 이왕제, 김종규(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 정재원(한양대학교 건축공학과), 김민희 [†] (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
CEMS-8 15:15~15:30	주거형 건물의 복합 에너지 최적 공급 시뮬레이션 설계 46 박용국 [†] , 이민구, 이태훈(한국전자기술연구원)	

11월 6일(목)

신재생에너지정책 및 지원제도

여수 베네치아호텔(부라노III) 14:50~16:30

좌장 : 한국에너지공단 태양광사업실

15:00~15:30	태양광 보급 확대 방안 한국에너지공단 태양광사업실
15:30~16:00	KS 인증제도 안내 추승환(한국에너지공단 신재생지원사업실)
16:00~16:15	신재생에너지 보급지원사업 안내 김영시(한국에너지공단 신재생지원사업실)
16:15~16:30	신재생에너지 금융지원사업 안내 김찬영(한국에너지공단 신재생지원사업실)

11월 6일(목)

제3회 에너지최적화 디자인 공모전

여수 베네치아호텔(컨벤션센터) 15:10~17:10

좌장 : 최 영 진(경기대학교)

15:10~15:20	2025년 제3회 에너지최적화 디자인 공모전 운영 결과 에너지최적화디자인공모전 운영위원회
15:20~15:30	(햇빛건축단) 태양광 발전량 극대화를 위한 건물 매스 및 패널 배치 최적화 시스템 이중현, 장채희, 최승원(한양대학교)
15:30~15:40	(STS) REST+PV 기반 양면형 태양광 발전의 반사열 활용 방안 박소정, 나수민, 박예람(경기대학교)
15:40~15:50	(금리 인하) 건물 피크 부하 관리를 위한 분산 최적 제어: 시뮬레이션 및 구현 최광원, 김지형, 모찬혁(인하대학교)
15:50~16:00	(Solar Builder) 자연광기반 전생애주기 에너지 최적화 파라메트릭 설계 전략 강경민, 이학돈, 윤대민(중앙대학교)
16:00~16:10	(메이커스페이스) 적응형 파사드 시스템을 이용한 사무실 건물의 채광 개선 및 에너지 절감 송광현, 김지우, 이소예(국립한밭대학교)
16:10~16:20	(버섯의 벽) 군사체 기반 건축 단열재의 에너지 성능 분석 및 적합성 검토 이태경, 이상진, 박민규(경기대학교)
16:20~16:30	(GDS) 태양굴뚝과 열미로를 활용한 지중 건물에서의 자연환기 설계 제안 감서현, 김다빈, 김도경(건국대학교)
16:30~16:40	(에너지길라잡이) 서울대학교 중앙도서관 그린리모델링을 위한 우선 적용 기술 연구 장지수, 이채연, 박재진(아주대학교)
16:40~16:50	(Carbon cutter) 탄소중립을 위한 연계 단독주택 전력운영 최적화 시스템 구축 강성윤, 이승현(아주대학교)
16:50~17:00	(I'm Your Energy) 순환여과식 양식장의 에너지 사용량 저감을 위한 EHP의 최적 운영 홍장호, 구자빈, 김내경(서울시립대학교)
17:00~17:10	(DJ_W) 한강수열원 히트펌프 기반 데이터센터 폐열의 급탕 활용과 방류 온도 제어 한지웅, 김동준, 최다정(건국대학교)

Oral Session 건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)

일시 : 2025년 11월 5일(수)~6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리)

11월 5일(수)		
BES Session 1	여수 베네치아호텔(카프리) 16:40~18:00	좌장 : 김 민 휘(한국에너지기술연구원)
BES-O-2 17:00~17:15	현장 실험을 통한 제로에너지건축물 인증등급에 따른 에너지 자가소비율 비교 분석 49 권순범, 박덕준 [†] (한국건설생활환경시험연구원 제로에너지빌딩센터)	
BES-O-3 17:15~17:30	전기차 기반 건물의 전기요금 절감 알고리즘 개발 및 효과 분석 50 권상협, 장규진, 배성우 [†] (한양대학교)	
BES-O-4 17:30~17:45	실내 열쾌적성 기반 차양 및 냉난방 동시 제어 모델에 관한 연구 51 권성진, 이우민(계명대학교 건축학과), 이동석 [†] (계명대학교 건축공학과)	
BES-O-5 17:45~18:00	환형 구조물의 추가에 따른 히트싱크의 방열 성능 향상에 관한 연구 52 강현민, 육세진 [†] (한양대학교 기계공학부)	

11월 6일(목)		
BES Session 2	여수 베네치아호텔(카프리) 09:00~10:40	좌장 : 임 현 우(건국대학교)
BES-I-1 09:00~09:20	건물일체형 태양광열시스템(BIPVT)의 실증과 확산 전략 53 김민휘 [†] (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
BES-I-2 09:20~09:35	XAI를 활용한 건물부하 예측 입력변수의 주요도 분석 방법 54 정웅준(가천대학교 설비소방공학과)	
BES-O-6 09:35~09:50	태양광 패널 설치 조건에 따른 하부 음영이 건물 에너지 성능에 미치는 영향 분석 54 정인서, 김지아, 서지영, 이두영, 박상훈 [†] (인천대학교 도시건축학부)	
BES-O-7 09:50~10:05	프리 필터 대체 용 집진 장치 개발 및 성능 평가 55 황석주, 마수창, 육세진 [†] (한양대학교 기계공학부)	
BES-O-8 10:05~10:20	고체 부착물을 활용한 선형 열관류율 산정 방법 제안 56 김민성, 조경민(가천대학교 설비·소방공학과), 손지혁(가천대학교 대학원 설비·소방공학과), 정웅준 [†] (가천대학교 기계공학부)	
BES-O-9 10:20~10:40	Thermally Driven Adsorption Cycles for Renewable-based Air-conditioning 57 Atsushi Akisawa [†] (Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology)	

Oral Session 제로에너지건물 Zero Energy Buildings (ZEB)

일시 : 2025년 11월 6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리III)

11월 6일(목)		
ZEB Session 1	여수 베네치아호텔(카프리III) 10:40~12:00	좌장 : 정 웅 준(가천대학교)
ZEB-I-1 10:40~11:00	CPM 기반 기축 건축물의 에너지효율 일괄 평가방법 61 지창윤 [†] , 신화석, 윤영란, 조성흠(한국부동산원 녹색건축처)	
ZEB-I-2 11:00~11:20	공공건축물 그린리모델링을 위한 에너지 사용량 기반 성과 평가 체계 구축 62 윤영란 [†] , 지창윤, 신화석(한국부동산원)	
ZEB-O-1 11:20~11:35	순환여과식 양식장의 에너지 사용량 절감을 위한 EHP의 최적 운영 63 홍창호, 김내경, 구자빈(서울시립대학교 건축공학과), 곽영훈, 문선혜 [†] (서울시립대학교 건축학부)	
ZEB-O-2 11:35~11:50	효율적인 바닥복사난방 운전을 위한 최적 ON/OFF 제어 알고리즘 개발 64 최광원, 조재완 [†] (인하대학교 스마트시티공학과), 하상우, 이동윤, 문정수(롯데건설 기술연구원)	

11월 6일(목)		
ZEB Session 2	여수 베네치아호텔(카프리III) 15:10~16:30	좌장 : 조 재 완(인하대학교)
ZEB-O-3 15:10~15:25	캠퍼스 건물군을 대상으로 한 ESS·PV·EV 연계 피크부하 저감 제어전략 연구 65 서정훈, 문선유, 이지석, 조재완 [†] (인하대학교 건축공학과)	
ZEB-O-4 15:25~15:40	온대 기후와 한대 기후 조건에서의 건물 에너지 소비 특성 및 주요 파라미터 비교 연구 66 이유빈, 최미정, 이유진, 신대욱 [†] (국립군산대학교 건축공학과)	
ZEB-O-5 15:40~15:55	모듈러 건물의 결로 및 수밀성 시험방법에 관한 연구 67 배우빈((재)한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터), 문선혜 [†] (서울시립대학교 건축공학과)	
ZEB-O-6 15:55~16:10	제로에너지건축물을 위한 PEMFC 예측 모델의 적용 효과 분석 68 곽영훈(서울시립대학교 건축학부), 조수현, 김지원(서울시립대학교 건축공학과), 문선혜 [†] (서울시립대학교 건축학부)	

Oral Session 건축환경 Building Environment Engineering (BEE)

일시 : 2025년 11월 5일(수)~6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리III)

11월 5일(수)		
BEE Session 1	여수 베네치아호텔(카프리III) 16:40~18:00	좌장 : 곽 영 훈(서울시립대학교)
BEE-O-1 16:40~17:00	강의실에서 천장매입형 히트펌프 난방 운전시 온도성능화 실측 및 DeseignBuilder CFD 검증 71 장여은, 배지원, 임재한 [†] (이화여자대학교 건축도시시스템공학과)	
BEE-O-2 17:00~17:15	열적 특성 기반의 개인 맞춤형 좌석 선택 시스템 제안 72 이현수, 김지영, 임현우 [†] (건국대학교 건축학부)	
BEE-O-3 17:15~17:30	수열원 히트펌프 기반 데이터센터 폐열 활용 급탕과 방류 수온 회복 시스템 73 한지웅, 김동준, 최다정, 임현우 [†] (건국대학교 건축학부)	
BEE-O-4 17:30~17:45	실내 중문 설치에 따른 에너지 효율 성능의 물리적 시험 평가에 관한 연구 74 조영훈, 이승준, 윤태균 [†] ((재)한국건설생활환경시험연구원)	

11월 6일(목)		
BEE Session 2	여수 베네치아호텔(카프리III) 09:00~10:20	좌장 : 최 영 진(경기대학교)
BEE-I-1 09:00~09:20	인간 중심 주광 제어를 위한 비전 기반 빛환경 센싱 시스템 75 김영수 [†] (중앙대학교 건축학부)	
BEE-I-2 09:20~09:40	디지털 증거 기반의 건물외피 성능검증의 필요성 76 임종연 [†] (강원대학교 건축토목환경공학부)	
BEE-O-5 09:40~09:55	모니터링 데이터 기반 건물 외피 열손실 특성 분석 및 단열 성능 정량화 77 김성수(강원대학교 에너지인프라융합학과), 임종연 [†] (강원대학교 건축토목환경공학부)	
BEE-O-6 09:55~10:10	양자 근사 최적화 알고리즘을 이용한 건물 에너지 모델 예측제어 연구 78 전병기 [†] , 김종규, 허재혁, 주홍진, 김득원, 이왕제(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	

Oral Session 태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)

일시 : 2025년 11월 5일(수)~6(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(부라노)

11월 5일(수)		
PVE Session 1	여수 베네치아호텔(부라노) 16:40~18:00	좌장 : 김 수 민(한국세라믹기술연구원)
PVE-I-1 16:40~17:00	국·내외 전력시장 환경에 따른 태양광 기반 비즈니스 모델 분석 81 박대현 [†] , 최성산, 박혜연(엔라이트(주))	
PVE-O-1 17:00~17:15	MAPbBr ₃ 도입을 통한 (FAPbI ₃) 기반 실내용 페로브스카이트 광전소자의 효율 향상 82 김미정(국립군산대학교 물리학과, 국립군산대학교 기초과학연구소), 양정엽 [†] (국립군산대학교 물리학과, 국립군산대학교 에너지공학과, 국립군산대학교 기초과학연구소)	
PVE-O-2 17:15~17:30	IEC TC82 WG2 태양광모듈 국제표준 동향 분석 83 전무이 [†] , 주창기, 황수현(한국기계전기전자시험연구원), 문종필(한국교통대학교 전기공학과)	
PVE-O-3 17:30~17:45	태양광 기반의 통합발전소(VPP) 사업을 위한 Big Data 시스템 및 디지털 O&M 서비스 84 최재형 [†] (주)에너닷)	
PVE-O-4 17:45~18:00	산업단지 적용 태양광 발전 시스템의 성능 분석 85 오원욱 [†] (충북테크노파크 차세대에너지센터)	

11월 6일(목)		
PVE Session 2	여수 베네치아호텔(부라노) 09:00~10:20	좌장 : 윤 성 민(한국생산기술연구원)
PVE-I-2 09:00~09:20	태양광모듈 생산 및 설치 탈탄소화 86 Moonyong Kim [†] , Sisi Wang, Li Wang, Yuchao Zhang, Nathan Chang, Catherine Chan, Brett Hallam(UNSW Sydney)	
PVE-O-5 09:20~09:40	멀티헤드 어텐션과 MLP 융합 기반 태양광 발전량 예측 87 문정민, 김주희, 김창현 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
PVE-O-6 09:40~10:00	국내의 RE100 이행 동향과 시사점 88 지영승 [†] ((사)한국에너지융합협회)	
PVE-O-7 10:00~10:20	실리콘 태양전지의 분극형 Potential Induced Degradation (PID) 연구 89 배수현 [†] (한국에너지기술연구원 태양광연구단)	
PVE Session 3	여수 베네치아호텔(부라노) 10:40~12:00	좌장 : 배 수 현(한국에너지기술연구원)
PVE-I-3 10:40~11:00	대규모 수상 태양광 활성화를 위한 제도화 방안 마련 실증연구 90 조현식 [†] , 이지은, 정준기, 양동건, 최면귀(한국수자원공사 K-water연구원)	
PVE-O-8 11:00~11:20	고주파 공진 기반 원격 가열 기법을 이용한 갈륨 도핑 PERC 태양전지 모듈의 광열화 회복 공정 기술 개발 ... 91 이태규, 제용훈(한국세라믹기술원 AI융합연구단, 부산대학교 재료공학과), 김수민 [†] (한국세라믹기술원 AI융합연구단)	
PVE-O-9 11:20~11:40	I-V 곡선과 합성곱 신경망을 이용한 태양광 고장진단 기술 92 신우균, 이진석, 주영철, 황해미, 고석환 [†] (한국에너지기술연구원, 신재생시스템연구실)	

PVE-O-10 11:40~12:00	페로브스카이트/실리콘 탠덤의 재결합 접합 형성을 위한 은(Ag) 나노결정립 계면 연구 93 최동진(한국생산기술연구원 강원기술실용화본부), 조수진(고려대학교 신소재공학과), 한동운, 김효규(한국생산기술연구원 강원기술실용화본부), 심명섭(고려대학교 신소재공학과), 편도원, 송호영, 남지연, 정석현(고려대학교 에너지기술공동연구소), 이해석(고려대학교 융합에너지공학과), 김성택 [†] (한국생산기술연구원 강원기술실용화본부)
PVE Session 4	여수 베네치아호텔(부라노) 15:10~16:30 좌장 : 김 규 진(한국건설생활환경시험연구원)
PVE-I-4 15:10~15:30	Precursor Solution Engineering for Improved Cation Disorder of Molecular Ink-Derived AgBiS ₂ Solar Cells 94 이다솔(경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원), 서형원(경상국립대학교 에너지공학과), 박종성 [†] (경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원, 경상국립대학교 에너지공학과)
PVE-O-11 15:30~15:50	허니콤 샌드위치 구조체를 백시트로 활용한 경량형 태양광 모듈 95 박민준 [†] , 윤성민, 정채환(한국생산기술연구원 에너지나노그룹)
PVE-O-12 15:50~16:10	BIPV 시스템의 Mock-up 성능 분석: 단일 외벽과 커튼월 비교 96 박진웅(국립공주대학교 건축공학과), 정수빈(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 [†] (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))
PVE-O-13 16:10~16:30	수직 양면형 PV 시스템의 방위 및 알베도에 따른 발전성능 비교·분석 97 김지원(국립공주대학교 건축공학과), 장준원, 정수빈(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 [†] (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))

Oral Session 태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)

일시 : 2025년 11월 5일(수)

장소 : 여수 베네치아호텔(부라노II)

11월 5일(수)		
STC Session	여수 베네치아호텔(부라노II) 16:40~18:00	좌장 : 임 병 주(한국기계연구원)
STC-O-1 16:40~17:00	냉각자켓 기술을 이용한 대량생산용 태양광열(PVT) 복합 모듈 개발 101 주홍진 [†] , 이경호, 안영섭, 이왕제, 김민희, 김득원, 김종규(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)	
STC-O-2 17:00~17:20	산업용 열공급설비 설계플랫폼 개발 102 조성훈 [†] , 임병주, 이가람(한국기계연구원 탄소중립기계연구소), Muhammad Farooq, 권시은(과학기술연합대학원대학교 플랜트기계공학과), 박창대(한국기계연구원 탄소중립기계연구소, 과학기술연합대학원대학교 플랜트기계공학과)	
STC-O-3 17:20~17:40	하프셀 태양광열 복합패널과 열관리시스템 기술 개발 103 박형준 [†] , 유원대(장한기술(주))	
STC-O-4 17:40~18:00	산업공정열 공급을 위한 태양에너지 활용 현황 104 권시은(과학기술연합대학원대학교, 한국기계연구원), 임병주, 조성훈, 이가람(한국기계연구원), Muhammad Farooq, 박창대 [†] (과학기술연합대학원대학교, 한국기계연구원)	

Oral Session 풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)

일시 : 2025년 11월 6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리II)

11월 6일(목)		
WEC Session	여수 베네치아호텔(카프리II) 14:50~16:30	좌장 : 김 용 욱(고등기술연구원)
WEC-I-1 14:50~15:15	해상 풍력 에너지의 주요 도전 과제와 연구 현황 107 김태성 [†] (GIST 기계로봇공학과)	
WEC-O-1 15:15~15:30	원거리 대규모 해상풍력 단지의 경제성 향상을 위한 부유식 에너지 아일랜드 허브 개발 108 김용욱 [†] , 안중은(고등기술연구원 그린시스템융합센터), 이상길((주)젠텍이엔씨), 박미호, 윤상준(고등기술연구원 그린시스템융합센터)	
WEC-O-2 15:30~15:45	국내 해양환경에 적합한 다목적 부유식 에너지 허브의 개념 설계에 대한 연구 109 이상길 [†] , 이동환((주)젠텍이엔씨), 김용욱(고등기술연구원)	
WEC-O-3 15:45~16:00	10 GW급 부유식 해상풍력 허브를 활용한 수소 생산 시스템 개념설계 110 이춘식 [†] (고등기술연구원 에너지환경연구센터), 김용욱(고등기술연구원 그린시스템융합센터)	
WEC-O-4 16:00~16:15	추력계수와 난류강도 변화에 따른 듀얼로터 풍력터빈 후류 특성 비교 연구 111 김현규 [†] , 허치훈, 고동규(고등기술연구원 그린시스템융합센터)	
WEC-O-5 16:15~16:30	초대형 해상풍력터빈 시스템 설계에 대한 예비 연구 112 박미호 [†] (고등기술연구원 그린시스템융합센터)	

Oral Session 신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)

일시 : 2025년 11월 6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(부라노II)

11월 6일(목)		
REC Session 1 여수 베네치아호텔(부라노II) 10:40~12:00		
REC-I-1 10:40~11:00	식물 잎맥 형상 핀이 적용된 흡착식 열에너지 저장시스템 성능 평가 연구 115 김성빈, 김도현, 윤애정 [†] (울산과학기술원 기계공학과)	좌장 : 최 휘 웅(전남대학교)
REC-O-1 11:00~11:15	이중 공기 채널과 열전달 향상 장치를 적용한 공기식 태양광/열 집열기의 성능 평가 116 안건용, 정현석, 최태환(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 최광환(부경대학교 냉동공조공학과), 문광암, 최휘웅 [†] (전남대학교 냉동공조공학과)	
REC-O-2 11:15~11:30	타공 베플 적용 유무에 따른 공기식 PVT 컬렉터의 열 및 전기 성능 비교·분석 117 기혜란(국립공주대학교 건축공학과), 김상명(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 [†] (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	
REC-O-3 11:30~11:45	산업공정용 열공급을 위한 태양열 융합 열공급시스템 개발 및 스마트 O&M시스템 구축 기술개발 118 김윤수, 김덕근(경희대학교 기계공학과 대학원), 송재만, 홍희기 [†] (경희대학교 기계공학과)	
REC-O-4 11:45~12:00	태양열 공기식 집열기 내 와류 생성기 설치에 따른 전열 특성 분석 119 최태환, 정현석, 안건용(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 문광암, 최휘웅 [†] (전남대학교 냉동공조공학과)	
REC Session 2 여수 베네치아호텔(부라노II) 15:10~16:30		
REC-I-2 15:10~15:30	전력 및 열에너지 복합 생산을 위한 다기능성 PVT 방음벽 기술 120 강은철 [†] (한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부)	좌장 : 강 은 철(한국에너지기술연구원)
REC-O-5 15:30~15:45	공동주택 단위세대에 적용된 투광형 BIPV 창호시스템의 건물에너지성능 기여도 분석 121 양진영, 김하영(국립공주대학교 대학원 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 [†] (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	
REC-O-6 15:45~16:00	시뮬레이션을 통한 도서관 건물에 적용된 BIPV 시스템의 ESS 연계 효과 분석 122 이인호, 김상명(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소), 김준태 [†] (국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))	
REC-O-7 16:00~16:15	소규모 ORC 시스템을 위한 초음속 충동형 축류터빈의 최적화 설계 123 박자운, 김영원 [†] (한국생산기술연구원 에너지나노그룹)	
REC-O-8 16:15~16:30	공기식 태양열 가열기 내 사분원 저항체 설치에 따른 전열 성능 평가 124 정현석, 안건용, 최태환(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 문광암, 최휘웅 [†] (전남대학교 냉동공조공학과)	

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

일시 : 2025년 11월 5일(수)~6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리II, 부라노III)

11월 5일(수)		
ESS&SC Session 1 여수 베네치아호텔(카프리II) 16:40~18:00		좌장 : 손 명 우(한국광기술원)
ESS&SC-I-1 16:40~17:00	전기-열 통합 수요유연성 기술을 활용한 재생에너지 출력제한 및 피크부하 완화 방안 연구 127 조장현 [†] , 최원철(신다코리아)	
ESS&SC-O-1 17:00~17:20	상변화 물질의 열전도 프레임 친수성 밀리캡슐 설계와 열적 안정성 평가 128 윤수진, 정영균, 최재우 [†] (한국과학기술연구원 물자순환연구단), 강상우(한국과학기술연구원 지속가능미래기술연구본부)	
ESS&SC-O-2 17:20~17:40	전력망 유연성과 탈탄소화를 위한 산업용 P2H (Power-to-Heat) 실증 129 박태룡 [†] , 한준규, 이원호(GS파워 주식회사)	
ESS&SC-O-3 17:40~18:00	Modeling and Simulation of a Thermal Network Using Power-to-Heat Equipment for Building Clusters 130 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(University of Science and Technology, Korea Institute of Machinery and Materials), Chang-Dae Park [†] (University of Science and Technology, Korea Institute of Machinery and Materials)	

11월 6일(목)		
ESS&SC Session 2 여수 베네치아호텔(부라노III) 10:40~12:00		좌장 : 김 민 국(한국광기술원)
ESS&SC-I-2 10:40~11:00	머신러닝 양상블 모델을 활용한 열수요 예측 알고리즘 개발 및 검증 131 문정민, 손명우 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
ESS&SC-O-4 11:00~11:20	실증데이터 기반 공동주택 PV 잉여전력 활용을 위한 ESS 용량 최적화와 EV 연계 운용 132 이은규 [†] , 남현민, 강기남(현대건설)	
ESS&SC-O-5 11:20~11:40	부유식 태양광과 액화공기를 활용한 데이터센터 냉각시스템 개념설계 133 이춘식 [†] (고등기술연구원 에너지환경연구센터), 윤상준(고등기술연구원 그린시스템융합센터)	
ESS&SC-O-6 11:40~12:00	금속 폼 강화 PCM과 마이크로 채널 플레이트를 이용한 에너지 효율적 전기차 배터리 열관리 134 Muhammad Dail, 김영원 [†] (한국생산기술연구원)	

Oral Session 태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)

일시 : 2025년 11월 6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리II)

11월 6일(수)		
S2H Session 1	여수 베네치아호텔(카프리II) 09:00~10:20	좌장 : 심 옥(한국에너지공과대학교)
S2H-I-1 09:00~09:20	인공지능기반 페로브스카이트 태양전지박막 표면처리물질 탐색 137 박양정 [†] (한국과학기술연구원 계산과학연구센터)	
S2H-O-1 09:20~09:40	고내구성·고활성 MXene 결합형 Ni-Co 황화물 산소발생촉매 개발 138 권수진, 조유진(경상국립대학교 에너지시스템공학과), Komal Patil(경상국립대학교 미래융합기술연구원), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과)	
S2H-O-2 09:40~10:00	Development of Ru Doped NiCoSe Selenide for High Performance OER Catalyst 139 조유진(경상국립대학교 에너지시스템공학과), Komal Patil(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과)	
S2H-O-3 10:00~10:20	Embedding Single-Atom Catalysts in Activated Carbon for Enhancing Zn-I ₂ Battery Capacity ... 140 유지훈, 임윤구, 정경화, 심옥 [†] (한국에너지공과대학교 수소에너지트랙)	
S2H Session 2	여수 베네치아호텔(카프리II) 10:40~12:00	좌장 : 심 옥(한국에너지공과대학교)
S2H-I-2 10:40~11:00	Efficient Photoelectrochemical System for the Production of Green Hydrogen and High Value-Added Chemical 141 이상한 [†] (광주과학기술원 신소재공학과)	
S2H-O-4 11:00~11:20	Fe 도핑을 통한 NiMo 기반 AEM 촉매의 구조 안정화 및 수전해 성능 향상 연구 142 최다임(경상국립대학교 에너지시스템공학과), Komal Patil(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 조유진, 조세연, 권수진(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지공학과, 경상국립대학교 미래융합기술연구소)	
S2H-O-5 11:20~11:40	고성능 Mo-도핑된 NiFeS 촉매를 이용한 고효율 음이온 교환막 수전해 143 Komal Patil(경상국립대학교 미래융합기술연구소), Jongsung Park [†] (경상국립대학교 에너지공학과)	
S2H-O-6 11:40~12:00	Efficient Electrochemical Nitrogen Reduction Utilizing the Wadsley-Roth Structures of TNO@C Microspheres at Ambient Conditions 144 안태용, 임윤구, Subramani Surendran, 심옥 [†] (한국에너지공과대학교)	

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

일시 : 2025년 11월 6(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(카프리)

11월 6일(목)		
EP&CT Session	여수 베네치아호텔(카프리) 15:10~16:30	좌장 : 최 성 우(한국에너지공단)
EP&CT-O-1 15:30~15:50	기후위기 해결에 필요한 IT 기술 최성원 [†] (식스티헤르츠)	147
EP&CT-O-2 15:50~16:10	물-물 히트펌프 및 신뢰성 시험장치 개발과 히트펌프 응용 기술 이형민 [†] , 이용석((주)혁신이앤씨)	148
EP&CT-O-3 16:10~16:30	지붕형 BIPV 기술 동향 및 향후 과제 박지홍 [†] , 윤광일((주)일강이앤아이)	149

Poster Session

일시 : 2025년 11월 6일(목)

장소 : 여수 베네치아호텔(컨벤션센터)

건물에너지설비 Building Energy Systems (BES)

좌장 : 김홍욱(에이블에너지)

BES-P-1	바닥난방 시스템 실증 적용을 위한 강화학습 기반 제어 프레임워크 개발 153 오석준(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부), 박준용(텍사스알링턴대학교 토목공학과), 정영선, 김용기 [†] (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BES-P-2	개별보일러의 급탕온도 제어를 통한 공동주택 세대의 에너지 절감 가능성 평가 154 정영선, 김용기 [†] , 오석준(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BES-P-3	스프링 구조를 적용한 히트싱크의 성능 평가에 관한 연구 155 강현민, 육세진 [†] (한양대학교 기계공학부)
BES-P-4	추가적인 금속판의 사용이 식물공장용 LED 등기구의 방열에 미치는 영향에 관한 연구 156 황석주, 허승민, 육세진 [†] (한양대학교 기계공학부)

제로에너지 건물 Zero Energy Buildings (ZEB)

좌장 : 김홍욱(에이블에너지)

ZEB-P-1	Low-E 코팅 배치에 따른 진공복층창의 에너지 성능평가: 실규모 실측 및 연간 부하 해석 157 이준영, 김재원, 강은호, 김동수, 윤종호 [†] (국립한밭대학교 건축공학과)
ZEB-P-2	유리 컬러 코팅 모듈의 내구성 향상 및 수용성 확보를 위한 필름 삽입형 컬러 BIPV 기술 개발 158 김민규, 윤아영, 정미선, 양연원 [†] ((주)에스케이에스이)

건축환경 Building Environment Engineering (BEE)

좌장 : 김홍욱(에이블에너지)

BEE-P-1	건물 에너지 정책 평가를 위한 준실험설계 방법론 적용 가능성 평가 159 김해기, 추한경, 김덕우 [†] (한국건설기술연구원 건축에너지연구본부)
BEE-P-2	이코노마이저 제어를 위한 혼합 온도 예측 160 이진현(영남대학교 건축연구소), 김효준(비텍), 조영흠 [†] (영남대학교 공과대학 건축학부)
BEE-P-3	철골철근콘크리트구조 외벽 일체형 BIPV 시스템 설계(안) 개발 161 이한술, 최경석 [†] , 엄지영(한국건설기술연구원 건축에너지연구본부), 김영탁(주식회사 대륙건설팅)
BEE-P-4	전기변색유리 창호 제어를 위한 다중노출 이미지 기반 시뮬레이션 예측 모델 개발 162 강은호, 이준영(한밭대학교 건축공학과), 오명환(한국건설생활환경시험연구원), 김동수, 윤종호 [†] (한밭대학교 건축공학과)

풍력에너지 Wind Energy Conversion (WEC)

좌장 : 손명우(한국광기술원)

- WEC-P-1 해상풍력 입지선정 지원을 위한 공간정보 기반 통합시스템 구축 163
김지원, 강성필[†], 김명원((주)지오시스템리서치)

신재생융합 Renewable Energy Convergence (REC)

좌장 : 손명우(한국광기술원)

- REC-P-1 문헌고찰을 통한 전면유리 특성별 BIPV 모듈의 눈부심 및 반사특성 분석 164
김하영(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소),
김준태[†](국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))
- REC-P-2 후면 중공층을 가진 BIPV 시스템의 화재 확산 방지를 위한 설계 제안 및 시뮬레이션 기반 비교·분석 연구 165
정수빈(국립공주대학교 에너지시스템공학과), 김진희(국립공주대학교 그린에너지기술연구소),
김준태[†](국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원))
- REC-P-3 Development of a Durable Separator with PPS Textile Support for Alkaline Water Electrolysis Applications 166
윤영훈[†], 김동권, 임윤지, 김민수(다이텍연구원 부산첨요소재진흥센터)
- REC-P-4 초파리 기반 바이오리칭을 통한 페라툼이온배터리로부터 리튬 코발트 회수 가능성 연구 167
이정재, 송민경, 이인아[†](국립군산대학교 화학과)
- REC-P-5 전략적 행위자를 고려한 인과기반 비용분배를 위한 VCG 통합형 P2P 전력시장 설계 168
김현중[†](국립한밭대학교 전기공학과)
- REC-P-6 Low-GWP 냉매를 이용한 워크인 냉장고의 성능 평가 169
최정(전남대학교 냉동공조공학과 대학원), 최광환(부경대학교 냉동공조공학과), 최희웅[†](전남대학교 냉동공조공학과)

자원량평가 Renewable Energy Resources (RER)

좌장 : 손명우(한국광기술원)

- RER-P-1 태양광 장기 고정가격계약과 모듈 성능 저하를 고려한 국내 태양광 폐모듈 발생량 예측 170
신지현, 김다은, 김나현, 편주원, 백지은[†](국립부경대학교 에너지자원공학과)

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

좌장 : 손명우(한국광기술원)

- ESS&SC-P-1 비정질 V2O5 계면을 통한 아연-이온 전지의 덴드라이트 성장 및 부식 억제 171
장인성, 유근, 이재연, 김서영, 윤기혁, 안건형[†](동국대학교 에너지신소재공학과)
- ESS&SC-P-2 전산유체해석(CFD)을 이용한 배터리 열관리용 수냉식 열교환기 성능 해석 172
선준완, 김영원[†](한국생산기술연구원)
- ESS&SC-P-3 전산 해석 기반 고효율 LED 열화수 챔버 설계 173
최관용(한국생산기술연구원 에너지나노그룹, 한양대학교 융합기계공학과), 김영원[†](한국생산기술연구원 에너지나노그룹)

ESS&SC-P-4	수계 아연 이온 전지용 안정한 아연 금속 음극을 위한 초박막 아연 바나듐 산화물 코팅 174 유근, 장인성, 이재연, 김서영, 윤기혁, 안건형 [†] (동국대학교 에너지신소재공학과)
ESS&SC-P-5	분산형 TES 자원을 활용한 수요관리 기술 개발 175 오성문 [†] (한국전자기술연구원)
ESS&SC-P-6	TES - P2H 통합 아키텍처 기반 지역난방 실증 및 규제 개선 필요성 연구 176 김인수 [†] , 김재화 (가천대학교 산학협력단)
ESS&SC-P-7	전력-열변환(P2H) 시스템 기반 지역난방 사업모델 177 김경민 [†] , 정원철, 정강열, 노태우 (한국지역난방공사 미래사업처)
ESS&SC-P-8	열·전기 통합 실증 사이트의 가상 데이터 기반 M&V 효과 검증 및 응용분야별 에너지 저장장치 비교 178 정대영 [†] , 박민수 (주식회사 베리워즈)
ESS&SC-P-9	열·전기 에너지 기반 건물군의 ADR 기반 수요 반응 제어에 관한 연구 179 문정민, 권대윤 (주식회사 아미텍), 김정욱 [†] (상명대학교)

태양수소에너지 Solar to Hydrogen (S2H)

좌장 : 손명우 (한국광기술원)

S2H-P-1	전기화학적 암모니아 산화 반응을 위한 Sn 시너지를 갖는 FeCoNiCuSn 촉매 개발 180 전민서, 조찬민, 안태용, 정경화, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)
S2H-P-2	전극 위 직접 성장시킨 셀레늄 도핑 니켈-코발트 산화물을 통한 전기화학적 암모니아 합성 181 박성현, 안태용, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)
S2H-P-3	망간 산화물을 지지체로 활용한 리튬 도핑 니켈-철 합금 촉매합성과 촉매의 이중 접합 구조를 통한 전기화학적 암모니아 생산 선택성 향상 182 심준호, 안태용, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)
S2H-P-4	Dynamic Hydrogen Evolution via Ni-MoN@NF Electrocatalyst for Efficient Alkaline Seawater Electrolysis 183 Shivraj Mahadik (전남대학교), Subramani Surendran, 임윤구 (한국에너지공과대학교), 김태훈 (전남대학교), 심욱 [†] (한국에너지공과대학교)
S2H-P-5	Synergistic Fe And Ni Nanostructured Catalysts For Enhanced Electrocatalytic Activity for Alkaline Water Splitting 184 최동인, Subramani Surendran, 임윤구, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)
S2H-P-6	Boosting Electrocatalytic Oxygen Evolution via Metal Valence Control in Binder-Free FeCoNi-LDH on Ni foam 185 김주황, 임윤구, 정경화, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교)
S2H-P-7	고성능 수계 아연-요오드 전지를 위한 MXene 기반 전극 186 임윤구, 유지훈, 정경화, 심욱 [†] (한국에너지공과대학교 에너지공학부)
S2H-P-8	효율적인 음이온 교환막 물 전기분해를 가능하게 하는 이중 기능 Pt-NiFe LDH 187 김태정 (경상대학교 에너지공학과), 이현준 (경상국립대학교 에너지시스템공학과), 최웅 [†] (경상대학교 에너지공학과, 경상국립대학교 에너지시스템공학과)
S2H-P-9	Design of WO ₃ -IrO ₂ Nanocomposite for Minimizing Iridium Loading in Proton Exchange Membrane Water Electrolysis 188 이현준 (경상국립대학교 에너지시스템공학과), 최웅 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과, 경상국립대학교 에너지공학과)
S2H-P-10	Crystalline Phase-Dependent Oxygen Evolution Performance of Cobalt-Based Catalysts in Anion Exchange Membrane Water Electrolysis 189 김정훈, 최웅 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과)

S2H-P-11	수소 전지 성능 개선을 위한 대면적 레이저 간섭 리소그래피 공정 개발	190
	황준식 [†] (경상국립대학교 기계공학과)	

태양열융합 Solar Thermal Convergence (STC)

좌장 : 손명우(한국광기술원)

STC-P-1	유리온실 외피성능에 따른 실내환경 모니터링시스템 설계 및 평가	191
	이왕제, 이경호 [†] (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 김일권, 임희원(다이슨스피어(주)), 황성현((주)이건창호), 홍인상, 신우철(대전대학교 건축공학과)	
STC-P-2	에너지자립형 온실 구현을 위한 실증 연구	192
	이왕제, 이경호 [†] , 안영섭(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실), 황성현((주)이건창호), 임희원, 김일권(다이슨스피어(주)), 박유리나(서울시립대학교 환경원예학과)	

태양광에너지 Photovoltaic Energy (PVE)

좌장 : 윤성민(한국생산기술연구원)

PVE-P-1	저탄소 태양광 모듈을 위한 비불소계 투명 백시트	193
	권다영, 박예랑, 한재익, 박노창(한국전자기술연구원 차세대전지연구센터), 배수현, 김경수, 어영주, 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 이용환 [†] (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)	
PVE-P-2	우주용 고내구성 태양광 모듈을 위한 방사선 차폐 AZO 코팅 유리	194
	박예랑, 권다영, 한재익, 박노창, 이용환 [†] (한국전자기술연구원 차세대전지연구센터)	
PVE-P-3	건물형 동·서향 태양광 시스템의 운영 최적화를 위한 방위각별 발전 특성 분석	195
	박영아, 김주희, 양혜정, 김민국 [†] , 김용현 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
PVE-P-4	분산설치 마을 공용 가상발전소 모델 실증 및 운전 특성	196
	류승환, 김선욱 [†] , 정희경((주)에이치에스솔라에너지)	
PVE-P-5	PPA 연계 산단 지붕형 태양광 LCOE 모델 연구	197
	양혜정, 김주희, 박영아, 김민국 [†] , 김용현 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)	
PVE-P-6	VPP플랫폼을 통한 충주지역의 미래에너지 운영방안	198
	우성민 [†] , 문진철, 허재혁(충북테크노파크 차세대에너지센터)	
PVE-P-7	무기 정공수송층 기반의 고효율 메틸암모늄-무함유 주석-납 페로브스카이트 태양전지	199
	이서준(중앙대학교 스마트시티학과), 임한균, 강동원 [†] (중앙대학교 에너지시스템공학과)	
PVE-P-8	Dimethylammonium-Incorporated Wide-Bandgap Tin Perovskite for Efficient and Stable Lead-Free Tandem Solar Cells	200
	Anfal Iftikhar [†] (중앙대학교 에너지시스템공학과), 윤새문(중앙대학교 스마트시티학과), 강동원(중앙대학교 에너지시스템공학과)	
PVE-P-9	진공 증착 시스템을 활용한 무기 페로브스카이트 박막 제작	201
	김민규, Muhammad Adnan, Zobia Irshad, 이원중, 윤시원, 한혜지, 임종철 [†] (충남대학교 에너지과학기술대학원)	
PVE-P-10	레이저 분광분석 기반 페로브스카이트 결정 성장 분석	202
	한혜지, 임종철 [†] (충남대학교 에너지과학기술대학원)	
PVE-P-11	반응매 첨가제의 기능기 방향성 제어를 통한 페로브스카이트 태양전지 광안정성 개선	203
	이원중, 무하마드 어드난, 조비아 이샤드, 김선규, 윤시원, 한혜지, 이민우, 이동규, 손현수, 장효식, 연형 린, 이태경, 윤재성, 임종철 [†] (충남대학교 에너지과학기술대학원)	

PVE-P-12	이온성 염 도입을 통한 페로브스카이트 박막 안정성 향상 204 윤시원, 임종철 [†] (충남대학교 에너지과학기술학과)
PVE-P-13	광대역 주석 기반 페로브스카이트 태양전지의 기록적인 성능을 위한 바이오틴 첨가제 접근법 205 조성원(중앙대학교 스마트시티학과), 강동원 [†] (중앙대학교 에너지시스템공학부)
PVE-P-14	태양광 모듈 소재의 열방출 특성 평가 206 김태형, 민용기 [†] , 박태열, 김충현(신성이엔지 재생에너지사업부문 연구팀)
PVE-P-15	페로브스카이트 물질의 가변 화학양론비별 인공지능 모델을 이용한 무작위 스펙트럼 패턴 예측 207 제용훈, 이태규(한국세라믹기술원 AI융합연구단, 부산대학교 재료공학과), 김수민 [†] (한국세라믹기술원 AI융합연구단)
PVE-P-16	계면 산화 제어를 통한 SiO ₂ 배리어 박막의 내습 특성 향상 및 태양전지 봉지층 적용 가능성 연구 208 김수진, 김영훈, 김은미 [†] (한국생산기술연구원)
PVE-P-17	주기적 증착 공정 기반 SiO _x Cy 박막의 최적화 및 태양전지용 배리어 성능 향상 연구 209 김영훈, 김수진, 김은미 [†] (한국생산기술연구원)
PVE-P-18	이동식 재활용 시스템을 활용한 태양광 폐패널의 현장 처리 및 탄소저감 효과 검증 210 이상현 [†] , 노청민, 서광민, 김연주(주)원광에스앤티)
PVE-P-19	아파트 단지의 배치 및 향에 따른 발코니 태양광 발전량 변화에 관한 연구 211 이상윤 [†] , 지홍섭, 손동욱, 이진섭(에스지에너지 기업부설연구소)
PVE-P-20	고온 반응에 처리법을 이용한 고효율 및 균일한 표면의 페로브스카이트 태양전지 212 이동건(중앙대학교 스마트시티학과), 강동원 [†] (중앙대학교 에너지시스템공학부)
PVE-P-21	효율적인 Sn-할라이드 페로브스카이트 태양전지를 위한 다기능 계면 접근법 213 류준(중앙대학교 스마트시티학과), Padmini Pandey, 강동원 [†] (중앙대학교 에너지시스템공학과)
PVE-P-22	멀티레벨 컨버터의 캐리어 기반 데드타임 보상 기법 214 김도현, 권정민 [†] (국립한밭대학교 전기공학과)
PVE-P-23	태양광 발전 시스템의 고장진단 AI모델 215 오민재, 손명우 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)
PVE-P-24	연막 기반에 적용된 핀타입 DP 기초와 헬리컬 기초의 성능 비교 216 신주엽 [†] (주)이시스템), 최태원, 박진현, 박주상, 노우영(주)유에너지)
PVE-P-25	전극 시트 기반 셀/모듈 일체화 공정에 적용되는 전도성 페이스트의 개발 및 최적화 217 권용준, 김준원, 곽민규, 조성준, 서성덕, 성빈, 임동건 [†] (한국교통대학교 전자공학과)
PVE-P-26	유한요소해석 데이터 기반 고충실도 대체모델을 활용한 태양광모듈의 최적 설계 프레임워크 218 한동운, 김효규, 최동진, 김성탁 [†] (한국생산기술연구원 강원기술실용화본부)
PVE-P-27	페태양광셀을 활용한 소광아연으로부터 아연의 선택적 환원을 위한 회수 연구 219 김창정, 김진성, 임아진, 최민서(부경대학교 금속공학과, BB21 Plus Team), 왕제필 [†] (부경대학교 융합소재공학부, BB21 Plus Team)
PVE-P-28	태양광 폐모듈 재활용 실리콘의 2단계 직접 질화를 통한 고순도 Si ₃ N ₄ 합성 220 손주희(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 한양대학교 신소재공학과), 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 임원빈(한양대학교 신소재공학과), 이진석 [†] (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)
PVE-P-29	태양광 폐모듈로부터 고순도 실리콘 회수를 위한 응집억제 및 TiO ₂ 제거 221 이성표(한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, 충남대학교 에너지과학기술대학원), 강기환(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 장효식(충남대학교 에너지과학기술대학원), 이진석 [†] (한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실)
PVE-P-30	저수지 기반 부유식 태양광-전력가스 변환(FPV-P2G) 시스템의 그린수소 생산 잠재력 평가 222 이준현, 강소연, 김도희(동아대학교 환경-에너지공학부 미래에너지공학전공), 강민경, 박정우, 현창욱 [†] (동아대학교 에너지자원공학과)

PVE-P-31	작물 생산성 및 발전량 개선을 위한 180도 회전 가변 수직형 영농태양광 발전시스템 타당성 검토 223 임철현 [†] (한국에너지공과대학교), 신주엽(이시시스템), 김근호(녹색에너지연구원), 윤가윤(전남농업기술원), 채희관(HKC)
PVE-P-32	동·서향에 따른 태양광 발전시스템의 경제성 평가 224 김주희, 김민국, 박영아, 양해정, 김용현 [†] (한국광기술원 AI에너지연구센터)
PVE-P-33	태양광 전주기 이력관리를 위한 모듈 고장 분류 체계 연구 225 김창현 [†] , 김주희, 문정민(한국광기술원 AI에너지연구센터)
PVE-P-34	산업 적용에 적합한 실리콘 태양전지 소수 반송자 수명 분석 방법 226 이상희 [†] , 송희은, 정경택(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-35	Poly-Si 두께와 인쇄전극 소성 온도가 TOPCon 태양전지의 금속 재결합과 접촉비저항에 미치는 영향 227 이상희 [†] , 송희은, 정경택(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-36	P ⁺ 이미터 상 Ag/Al 접촉 형성의 최적화를 통한 TOPCon 태양전지 성능 향상 228 조윤애 [†] , 박준성, 김용진, 이상희, 정경택, 송희은(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-37	전 공정 진공증착 페로브스카이트 태양전지의 실리콘/페로브스카이트 이중접합 태양전지 229 김기윤, 박지혜(충남대학교 에너지과학기술대학원), 장효식 [†] (충남대학교 에너지과학기술대학원, 충남대학교 에너지공학과)
PVE-P-38	전해채취를 통한 태양광 폐 모듈의 Cu 회수를 향상을 위한 최적화 연구 230 조세연(경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지공학과)
PVE-P-39	기판 가열을 병행한 Co-sputtering 공정을 통한 AgBiS ₂ 박막의 조성 안정성 향상 231 나누리 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과, 미래융합기술연구소)
PVE-P-40	SAM을 활용한 PIN 구조의 열증착된 AgBiS ₂ 박막 태양전지 232 최민호, 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지시스템공학과)
PVE-P-41	Molecular Interface Design for Efficient and Stable Inverted Widebandgap Perovskite Solar Cells 233 장수성(경상국립대학교 에너지공학과), 김수환(경상국립대학교 미래융합기술연구소), 이다솔(경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원), 박종성 [†] (경상국립대학교 에너지공학과, 경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원)
PVE-P-42	제로에너지 건물용 패턴 유리 BiPV 모듈의 장기 실외 성능 연구 234 황성호 [†] (고려대학교 에너지기술공동연구소), 김준기, 이재원, 강윤목, 이해석(고려대학교 KU-KIST)
PVE-P-43	청주산업단지 태양광 발전 잠재력과 탄소감축 효과 분석 235 최진호 [†] , 오원욱(충북테크노파크 태양광산업팀)
PVE-P-44	고효율 실리콘이종접합 태양전지 제작을 위한 투명전극 최적화 236 김세웅(한양대학교 화학공학과, 한국에너지기술연구원 태양광연구단), 성기준, 조준식(한국에너지기술연구원 태양광연구단), 고민재(한양대학교 화학공학과), 유진수(한국에너지기술연구원 태양광연구단)
PVE-P-45	A GIS-based Survey of Solar Power Plant Installations for Domestic Verify of Waste Solar Panel Mobile Recycling Facility 237 최광일, 이재영, 이재춘 [†] ((재)전라남도환경산업진흥원)
PVE-P-46	태양전지 소팅에 따른 모듈 출력 편차 변화 연구 238 배수현 [†] (한국에너지기술연구원 태양광연구단)

Special Session

태양에너지 설비 기술동향



몽골 흙골 지역 PTC 태양열 지역난방 프로젝트의 기술적 및 경제적 타당성 평가

Mongolia Khuvs gul Region PTC Solar District Heating Project: Technical and Economic Feasibility Assessment

정성은*[†], 강용혁*

Sungeun Jung*[†], Kang, Yong-Heack*

*알이에스 주식회사

Abstract : 몽골 흙골 지역에서 추진하고자 하는 50MW급 Parabolic Trough Collector(PTC) 태양열 지역난방 프로젝트의 핵심은 풍부한 일사량(DNI 1,700-2,000 kWh/m²)과 혹한 환경(-30°C 이하)을 극복하는 집중형 태양열 집열 시스템의 적용에 있다. 몽골은 연간 맑은 날씨가 300일 이상으로 신재생에너지 잠재력이 매우 큰 반면, 현재 전력 및 중앙난방 공급은 80% 이상을 석탄 화력에 의존하여 미세먼지와 CO₂ 배출 문제를 야기한다. 본 프로젝트는 HOB(Heat Only Boiler) 방식의 도시 난방체계를 대체하기 위해 50MW급 PTC, 계간축열(Seasonal Thermal Energy Storage/STES), ESS(3MWh) 등 첨단 열전환 및 저장 기술을 조합한다. 설치비는 약 2,200만 달러(EPC 포함)로, EDCF ODA 및 민간자본 결합 PPP 방식으로 인프라를 조달하고자 한다. 사업은 몽골 「2020-2030 대기환경개선 국가프로그램」 및 SDH 로드맵에 따라 2027년 완공되고, 연간 약 25,000톤의 CO₂ 감축과 80명 이상 고용 창출 효과를 기대한다. 또한 아시아개발은행(ADB)·유럽부흥개발은행(EBRD)·UNDP·GCF와 연계되어 몽골 신재생에너지 전환 전략의 실증적 모델 역할을 할 수 있다. 본 연구는 중앙아시아, 강한 계절성의 내륙 국가에서 PTC, 계간축열 기반 태양열 지역난방 사업의 기술적·경제적·환경적 타당성과 정책적 파급효과를 분석해 향후 태양열지역난방 확대 및 그린전력망 연계 가능성까지 시사한다.

Key Words : 태양열 발전 (Solar Thermal Power), 몽골 태양열 (Solar Heating in Mongolia), 집중형 집열 시스템 (Concentrated Solar Collector), 온실가스 감축 (Greenhouse Gas Reduction), 계간축열(Seasonal Thermal Energy Storage/STES)

[†] Corresponding author, E-mail: planojs2@gmail.com

후 기

본 연구는 2025년도 한국플랜트산업협회의 지원을 받아 수행한 해외 플랜트 시장개척조사 지원사업입니다.

서울 119안전센터에 적용된 유창형 액체식 PVT-공기열 히트펌프 융합시스템의 실증데이터 분석

Demonstration Data Analysis of Seoul's 119 Safety Center Using a Covered liquid type PVT-Air Source Heat Pump System

조성구*[†], 박준호*

Sung-goo Cho*[†], Joon-ho Park*

*(주)이맥스시스템

Abstract : 2050년 탄소중립을 실현하기 위한 방안으로 전력부문은 물론 열부문의 신재생에너지로의 에너지 전환이 글로벌 트렌드이며, 최근 국내에서도 열부문의 탈탄소화가 이슈화 되고 있다. 열부문의 탈탄소화는 최종사용처에서의 재생열 에너지 직접 사용과 재생전력을 이용한 열공급의 두가지 방향으로 볼 수 있으며, 특히 열부문 전력화의 핵심은 히트펌프의 사용이라고 볼 수 있다. 이 히트펌프의 에너지원으로서 재생열 또는 폐열을 사용함으로써 열부문 탈탄소화를 실현할 수 있게 된다. 히트펌프는 열과 전기를 모두 필요로 하는 기기이다. 따라서 히트펌프의 구동전력 또한 재생전력을 이용할 경우 탈탄소 효과가 극대화될 수 있다. 이러한 점을 감안할 때 신재생에너지원중 열과 전기를 동시에 생산하는 태양광열(PVT)복합모듈을 이용하는 히트펌프 융합시스템이 그 용도면에서 매우 적합하다고 할 수 있다. 따라서 최근 글로벌 시장에서는 PVT와 히트펌프의 융합시스템을 이용하여 건물의 급탕, 난방은 물론 산업용에 이르기까지 매우 다양하게 응용이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 액체식 유창형 PVT 모듈의 실제 사용성을 검토하기 위하여 서울 강북소방서의 119안전센터에 설치된 PVT-히트펌프 융합시스템의 성능을 분석하고 향후 동일한 시스템의 효과적인 적용을 위한 방안에 대하여 논하고자 한다.

Key Words : 탄소중립(Carbon neutral), 탈탄소화(Decarbonization), 태양광열 복합모듈(PhotoVoltaic Thermal hybrid module), 재생열(Renewable heat), 재생전력(Renewable electric), 폐열(Waste heat)

[†] Corresponding author, E-mail: solexsgc@gmail.com

후 기

본 연구는 2024년도 서울시의 기후변화대응 혁신기술 실증지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

태양광열 에너지를 활용한 제습냉방 시스템

Solar Heat based Dehumidification & Cooling System

김보선*[†] 추형욱*, 김대영*, 강윤철*

Bosun Kim*, Hyungwook Chu*, Daeyeong Kim*, Yunchul Kang*

*클레네어 주식회사

Abstract : 태양광열은 태양광 패널보다 높은 효율에도 불구하고 태양광열에서 생산되는 열에너지를 사용하는 곳이 제한적으로 일부 환경이나 산업에만 적용되고 있음. 특히, 산업, 상업, 주거환경에서 가장 많은 에너지를 차지하는 냉방에너지 절감을 위해 열기반 구동하는 공조 시스템들은 70~80℃이상의 고온을 사용함에 따라 태양광열 및 보조열원이 필요하여 시스템의 복잡성과 투자비용 증가는 해당 시스템의 보급의 가장 큰 장애물 임. 액체식 제습시스템은 60℃의 저온의 열원에서도 우수한 제습성능을 보유하여 태양광열을 여름철 냉방시스템에 적용하기 적합하여 연중 공조에너지 절감에 기여할 수 있음.

Key Words : 태양광열(Solar Heat), 액체식 제습 (Liquid Desiccant), 공조 시스템(HVAC), 에너지 절감(Energy Saving)

[†] Corresponding author, E-mail: bskim@klen-air.com

Special Session

수요기반 효율화 커뮤니티 에너지관리시스템(CEMS) 개발



불확실성을 고려한 커뮤니티 마이크로그리드의 시나리오 기반 최적 운영 및 초속응성 예비력 제공 프레임워크

Scenario-Based Optimal Operation Framework of Community Microgrid for Fast Frequency Response under Uncertainty

신형환*, 김민수*, 김집*[†]

Hyunghawan Shin*, Minsoo Kim*, Jip Kim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : 재생에너지 발전이 확대되면서 전력망의 관성이 감소하고, 이로 인해 주파수 안정 유지가 점차 어려워지고 있다. 이런 변화로 인해 수요 자원의 유연성 확보와 초속응성 예비력(FFR)의 중요성이 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 다양한 부하와 분산 에너지원이 존재하는 여러 건물을 하나의 커뮤니티 에너지 관리 시스템(CEMS)으로 통합하여, FFR 제공과 비용 절감을 동시에 달성하는 최적 운영 프레임워크를 제시한다. 제안된 방법은 하루 전 계획 단계에서 부하 및 태양광 발전량의 확률적 시나리오 기반의 최적화를 수행하여 냉난방 및 공조 시스템(HVAC) 및 에너지저장장치(ESS)의 스케줄과 FFR 예비력을 결정한다. 이때, HVAC 운전은 쾌적도 제약(PMV)을 고려하여 실내 열정 쾌적성을 유지하도록 모델링하였다. 실시간 운전 단계에서는 모델 예측 제어(MPC)를 적용하여 상태 변화에 따라 계획을 동적으로 조정하고, 기준 이상의 주파수 변동 발생 시 즉각적인 FFR 응답을 수행한다. 실제 대학 캠퍼스 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션 결과, CEMS는 개별 건물 최적화(BEMS) 대비 에너지 공유와 HVAC 부하 조절, 그리고 더 유연한 ESS 충·방전을 통한 ToU 대응으로 고가 시간대의 유입전력량을 효과적으로 낮췄다. 이를 통해, 에너지 소비비용이 월평균 약 5% 감소했으며, 일별 최대 약 22% 감소한 효과를 보였다. 본 연구는 실 데이터를 기반으로 재생에너지 발전 및 부하 등 다양한 불확실성 요인 아래에서도 비용 효율성과 FFR 제공 성능을 동시에 확보할 수 있음을 검증하였으며, 향후 재생에너지 확대 상황에서 주파수 안정화에 기여할 수 있는 유망한 대안으로 기대된다.

Key Words : 건물 에너지 관리 시스템 (Building energy management system), 커뮤니티 에너지 관리 시스템 (Community energy management system), 분산 에너지 자원 (Distributed energy resources), 초 속응성 예비력 (Fast Frequency Response)

[†] Corresponding author, E-mail: jipkim@kentech.ac.kr

후 기

본 연구는 산업통산자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2023-00236325).

커뮤니티 내 실시간 순부하 변동 대응을 위한 계층형 Edge 제어 기술 개발

Development of a Hierarchical Edge Control Technology for Responding to Real-time Net Load Fluctuation in a Community

고영준*, 허재행*, 최형진**, 김성열***†

Youngjun Ko*, Jaehang Heo, Hyeongjin Choi, Sungyul Kim***†

*라운프렌즈, **GS건설, ***한양대학교 전기공학과

Abstract : 신재생에너지의 보급 확대는 커뮤니티 에너지 관리 시스템(CEMS, Community Energy Management System) 내 분산에너지 자원 운영의 불확실성을 가중시키고 있다. 그러나 1시간 단위의 중앙 최적화 계획만으로는 급변하는 실시간 변동성에 대응하기 어려워, 예측하지 못한 상황 발생 시 시스템의 안정성과 효율성이 저해되는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 상위 Planner와 하위 Edge 에이전트가 유기적으로 연동하는 계층적 구조의 적응형 Edge 제어 아키텍처를 제안한다.

제안하는 아키텍처는 Edge 단의 복잡한 연산을 최소화하고, 역할 분담을 통한 효율성에 집중한다. 즉, 계산 집약적인 최적화는 상위 Planner가 전담하고, 하위 Edge 에이전트는 신속한 반응성과 안정성 확보에 집중하는 구조이다. 이를 위해 Edge 에이전트는 실시간 편차(deviation)에 대해 세 가지 모드로 동적 대응한다. 첫째, 작은 규모의 편차는 PI 제어 기반의 안정화 모드를 통해 목표값을 신속하게 추종하여 시스템의 안정성을 확보한다. 이는 Edge 단의 연산 부담을 최소화하여 확장성을 높이고, 이미 최적화된 계획을 충실히 이행하는 데 가장 효과적인 방식이다. 둘째, 의미 있는 규모의 편차 발생 시에는 자원 우선순위에 따른 균형 모드로 대응하여 변동성을 흡수한다. 마지막은 재계획 모드로, 편차가 지속적으로 누적되어 현재 계획의 이행이 불가능하다고 판단될 경우, 상위 Planner에 재계획을 요청함으로써 시스템 전체의 운영지속성 보장한다. 제안된 아키텍처의 성능을 검증하기 위해, 계획값과 실제값의 차이가 발생하는 복합적인 시나리오를 설계하여 시뮬레이션을 수행하였다. 해당 시나리오는 일시적 수요 피크, 발전량 예측 실패, 시간 내 변동성 등 복합적인 이벤트를 포함한다. 시뮬레이션 결과, 제안된 아키텍처는 각 상황에 맞춰 안정화, 균형, 재계획 모드를 효과적으로 전환하며 시나리오 전반에 걸쳐 안정적이고 효율적인 자원 운영을 달성함을 확인하였다. 이는 제안된 방식이 동적 불확실성이 높은 실제 분산에너지 환경에 효과적인 해법이 될 수 있음을 시사한다.

Key Words : 커뮤니티 에너지 관리 시스템(CEMS, Community Energy Management System), 엣지 제어(Edge Control), 계층형 제어(Hierarchical Control), 순부하 변동(Net Load Fluctuation), 적응형 제어(Adaptive Control)

† Corresponding author, E-mail: grexerg@hanyang.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 에너지수요관리핵심기술개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 2410007230).

캠퍼스 부하 운영 최적화를 위한 잔차 학습 기반 태양광 발전량 예측 개선 방법

Improving Photovoltaic Power Forecasting for Campus Load Management Optimization via Residual Learning

이용건*, 오동근**, 노영태*

Younggeon Lee*, Donggeun Oh**, Youngtae Noh*[†]

*한양대학교 데이터사이언스학과, **한양대학교 인공지능학과

Abstract : 단기 태양광 발전량 예측은 재생에너지 발전원이 통합된 배전망의 안정적·효율적 운영을 위한 핵심적인 과제이다. 그러나 기상 조건의 급격한 변동으로 인해 발생하는 태양광 발전의 간헐적 특성은 예측 정확도를 높이는 주요 제약으로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 다양한 입력 조건에 따른 오차 패턴을 학습하는 잔차(residual) 학습 기반 태양광 발전량 오차 보정 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 2단계 캐스케이드(cascade) 구조로 설계되었으며, 기저(base) 모델이 태양광 발전량을 예측하고(1단계), 예측값에 대한 잔차를 학습하는 보정 모델을 통해 예측 오차를 개선(2단계)한다. 본 연구에서는 한국에너지공과대학교(KENTECH) 커뮤니티 에너지관리시스템(CEMS) 개발 및 실증을 위한 부하 모델링 연구의 일환으로, 캠퍼스 내 건물 시스템의 전력 수급 현황과 상태를 관제하고 있는 K-BEMS로부터 수집된 약 2년간(2022~2024)의 태양광 발전량 및 기상 실측 데이터를 활용하였다. 방법론 평가를 위해 2단계 구조에 4가지 머신러닝 모델(MLR, SVR, LightGBM, MLP)을 각각 적용하여 총 16가지 모델 조합을 구성하였으며, 평균절대오차(MAE)를 활용하여 예측 성능을 검증하였다. 실험 결과, 잔차 기반 오차 보정 방법론은 기저 모델 대비 최대 약 11.9%의 예측 정확도 개선을 달성하였다. 또한 잔차 분석 결과, 최근 잔차와 차분(difference)과 같이 태양광 발전량의 단기 출력 변동성을 나타내는 특징이 오차 보정 성능 향상에 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 파악되었다. 본 방법론은 머신러닝 모델에 상관없이 데이터 기반으로 단기 태양광 발전의 간헐적 특성 학습이 용이하며(model-agnostic), 이를 통해 캠퍼스 부하 운영 최적화를 위한 태양광 발전 예측의 정확성과 안정성을 향상시킬 수 있는 범용적 해법을 제시한다.

Key Words : 태양광 발전량 예측(Photovoltaic power forecasting), 잔차 학습(Residual learning), 오차 보정(Error correction), 모델 불가지론(model-agnostic), 커뮤니티 에너지관리시스템(CEMS)

[†] Corresponding author, E-mail: youngtaenoh@hanyang.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00236325).

(CEMS) 수요기반 Power-to-Heat 시스템 구축 연구

(CEMS) Study on Developing Demand-Based Power-to-Heat Systems

오한규*, 이지원*, 김동립*[†]

Han Kyu Oh*, Jiwon Lee*, Dong Rip Kim*[†]

*한양대학교 기계공학부

Abstract : 탄소중립 실현을 위해서는 재생에너지전력을 다양한 에너지 형태로 전환하는 기술과 더불어 커뮤니티 단위의 건물에너지 관리를 통한 에너지 효율화와 자립화가 중요한 역할을 담당하고 있다. 열에너지 공급 및 소비는 큰 부분을 차지하고 있고, 잉여 전력을 열에너지로 변환·저장하여 부하를 분산하는 것은 효율적인 에너지 관리 측면에서 핵심적이다. 이에 수요자원을 기반으로한 Power-to-heat (P2H) 기술이 주목받고 있다. 본 연구진은 에너지 효율화 및 자립화 향상을 위해 대학을 에너지 커뮤니티로 형성하는 연구를 수행하는 과정에서 P2H 시스템 구축과 실증 추진에 관한 연구결과를 소개한다. 구체적으로, 대학 기숙사에 공기열원 히트펌프, 축열조, 가스보일러로 구성된 P2H 시스템을 구축하고 시운전을 수행하였다. 이후 각 장치에 설치된 센서를 통해 수집한 수요자원 및 시스템 예비데이터를 확보하였다. 이를 기반으로 실측 데이터를 반영함으로써 시뮬레이션 모델을 고도화하였다. 에너지소비량 변화에 대해서 산출하고 실측 데이터와 비교한 후 향후계획에 대해서도 함께 논의한다. 본 연구는 잉여전력 활용과 연계한 에너지 효율화 및 자립화에 기여하는 것에 의의를 두고 있다.

Key Words : 섹터커플링(Sector coupling), P2H(Power-to-heat), 공기열원 히트펌프(Air source heat pump), 축열조(Energy storage tank)

[†] Corresponding author, E-mail: dongrip@hanyang.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(과제번호: RS-2023-00236325)의 지원을 받아 수행되었음.

예측 오차를 반영한 다중 에너지 네트워크의 2단계 최적 계획 및 모델예측제어 기반 통합 운전 기법

Integrated Operation Method of Multi-Energy Networks Using Two-Stage Optimization and Model Predictive Control Considering Forecast Uncertainty

김원호*, 이건의*[†], 노은지*

Weonho Kim*, Guneui Lee*[†], Eunji Noh*

*(주)인포트롤테크놀로지

Abstract : 본 연구는 커뮤니티 에너지관리시스템(CEMS)에서 다중 에너지 네트워크(열·전기·수소 등)의 효율적 운전을 위한 2단계 최적 계획 및 모델예측제어(MPC) 기반 통합운전 기법을 제안한다. LSTM 기반 수요예측을 통해 기준수요와 통계적 보정수요를 산출하고, 이를 각각 일반·보수적 시나리오로 적용한 MILP 기반 2단계 최적화를 수행한다. 최적 계획 결과는 MIMO MPC의 최적화 타겟으로 실시간 연계되어, 계획-제어 최적운전을 유지한다. 본 기법은 예측 불확실성에 따른 설비 기동 불안정성을 최소화하면서 에너지 비용을 절감하고, 재생에너지 변동성이 높은 커뮤니티 단위 에너지 시스템의 안정적 운영에 효과적이다.

Key Words : 커뮤니티에너지관리시스템(Community energy management system), LSTM(Long short-term memory), 혼합정수선형계획법(Mixed integer linear programming), 모델예측제어(Model predictive control), 섹터커플링(Sector coupling)

[†] Corresponding author, E-mail: guneui.lee@infotrol.co.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00236325).

BTM 자원에 대한 발전량 예측 및 이상진단 알고리즘 연구

A Study on Power Generation Forecasting and Anomaly Detection Algorithms for BTM Resources

박혜연*, 강대호*, 박대현*[†]

Hyeyeon Park*, Daeho Kang*, Daehyun Park*[†]

*엔라이트(주)

Abstract : BTM(Behind The Meter) 자원의 확대에 의해 자원에서 생산된 에너지의 최적 운영을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 최적 운영 연구를 위해서는 BTM 자원의 운영 안전성과 효율성이 함께 고려되어야 하며, 이를 위해 고도화된 자원의 발전량 예측 기술과 설비 고장 대응을 위한 이상진단 기술이 필수적이다. 본 연구에서는 커뮤니티 내에서 BTM 자원 에너지의 효율 개선을 위한 발전량 예측 알고리즘과 설비 특성을 고려한 이상진단 알고리즘을 연구하였다. BTM 자원은 소규모 지붕 태양광을 대상으로 진행 되었으며 CNN 기반 발전량 예측과 발전량 기반의 비지도 학습 이상탐지를 통한 이상진단 알고리즘을 연구하였다.

Key Words : 지붕 태양광(Roof top photovoltaic), 예측(Forecasting), 이상진단(Anomaly detection)

[†] Corresponding author, E-mail: daehyun.park@enlighten.kr

후 기

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

5세대 지역냉난방 시스템의 에너지 자립률 향상을 위한 열 네트워크 및 축열조 최적화

Operational Optimization of Fifth-generation District Heating and Cooling Systems with Thermal Energy Storage for Improved Energy Self-sufficiency

최원종^{***}, 이왕제^{*}, 김종규^{*}, 정재원^{**}, 김민휘^{*†}
 Won-Jong Choi^{***}, Wangje Lee^{*}, Jonggyu Kim^{*},
 Jae-Weon Jeong^{**}, Min-Hwi Kim^{*†}

*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, **한양대학교 건축공학과

Abstract : 탄소중립 달성을 위해서는 단일 기술보다 다양한 에너지원이 통합된 지역단위의 에너지 시스템이 필요하다. 그 중, 지역난방 시스템은 세대를 거치며 열손실을 최소화하고 효율 향상 측면에서 발전해왔으나, 3세대와 4세대 지역난방 시스템은 여전히 중앙 집중형 구조와 고온 공급으로 인한 열손실과 같은 한계를 지닌다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로, 저온 공급과 다양한 재생에너지 통합, 양방향 열교환을 가능하게 하는 5세대 지역냉난방(이하 5GDHC) 시스템이 주목받고 있다. 하지만 기존 연구들 5GDHC 시스템의 기술적 가능성과 기본 성능 분석에만 집중되어 있어, 열 네트워크 변동에 대응하는 축열조 연계 운영 최적화 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 5GDHC 시스템에서 에너지 효율과 열 네트워크 안정성을 향상시키기 위한 최적 운전 전략을 도출하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 시스템 성능의 핵심 변수인 열 네트워크 공급 온도와 축열조 축·방열 스케줄링을 최적화 대상으로 설정하였다. Python 기반의 동적 시뮬레이션 모델을 구축하여, 시간별 부하 변동에 따라 열 네트워크 온도를 유지와 축열조 운전 모드를 제어하는 효과를 정량적으로 분석하였다.

Key Words : 5세대 지역냉난방(Fifth-generation district heating and cooling), 양방향 열 네트워크(Bidirectional thermal network), 축열조(Thermal energy storage), 에너지 자립률(Energy self-sufficiency)

[†] Corresponding author, E-mail: mhkim001@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2023년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(과제번호 : RS-2023-00236325)의 지원과 한국에너지기술연구원의 기본사업(C5-2420)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

주거형 건물의 복합 에너지 최적 공급 시뮬레이션 설계

Design of an Optimal Multi-energy Supply Simulation for Residential Buildings

박용국*[†], 이민구*, 이태훈*

Yongkuk Park*[†], Mingoo Lee*, Taehoon Lee*

*한국전자기술연구원

Abstract : 본 논문에서는 주거형 건물에 대한 복합 에너지 공급 시스템의 통합 최적 운영 시뮬레이터를 제안한다. 기존 건물의 에너지 시스템은 전력 및 열 공급 설비가 개별적으로 제어 되어 전체적인 에너지 효율과 비용 측면에서 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 전기, 열, 수소 에너지원이 상호 연계된 통합 에너지 시스템을 구성하고 비용 최적화를 위한 운영 스케줄을 수립하였다. 시뮬레이션 대상 건물은 냉·난방 부하를 지열 히트 펌프를 통해 공급하고, 급탕 부하는 히트 펌프와 가스 보일러, 축열조 시스템을 조합하여 공급하도록 하고 있다. 또한 태양광 발전, 에너지 저장장치(ESS), 수전해 장치, 수소 저장장치, 연료 전지를 연계하여 전력 부하 및 히트 펌프 구동에 필요한 전기 에너지를 자가 생산하거나 저장 또는 활용하여 에너지 비용을 절감하였다. 제안된 시뮬레이터는 시간대별 부하 변동 및 설비 제약 조건을 반영하여 전체 설비의 운영을 통합적으로 관리함으로써 시스템 효율 및 에너지 비용을 최적화 하였으며, 이를 통해 주거형 건물의 지속 가능한 에너지 운영과 관리 전략 수립에 기여할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : 주거형 건물(Residential building), 복합 에너지(Multi-energy), 히트펌프(Heat pump) 최적 공급 시뮬레이션 (Optimal supply simulation)

[†] Corresponding author, E-mail: ykpark@keti.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제 번호 : RS-2023-00236325).

Oral Session

건물에너지설비

Building Energy Systems (BES) Session 1, 2



현장 실험을 통한 제로에너지건축물 인증등급에 따른 에너지 자가소비율 비교 분석

Experimental Field Studies on Energy Self-Consumption Ratio in Zero Energy Buildings Certification Grade

권순범*, 박덕준**†

SoonBum Kwon*, DukJoon Park**†

*한국건설생활환경시험연구원 제로에너지빌딩센터

Abstract : 건물 부문은 국가 전체 에너지 소비의 상당 부분을 차지하며, 온실가스 배출의 주요 원인으로 지목된다. 따라서 탄소중립 목표 달성을 위해서는 건물 부문의 근본적인 에너지 소비 구조 개선과 탈탄소화가 필수적이다. 제로에너지건축물(Zero Energy Building, ZEB) 인증제도는 에너지 자립률이란 지표를 통해 정책 초기 단계부터 ZEB 개념을 효과적으로 확산하였으나, 현재와 같은 에너지 수지의 총량만을 평가하는 에너지 자립률 지표는 실제 건물 운영 단계에서 에너지의 생산과 소비 시점의 불일치, 즉 시간적 동특성을 고려하지 못하는 한계가 있다. ZEB 보급 확대에 따른 잉여전력의 증가가 전력망의 안정성과 재생에너지 출력제어 등 전력 계통 전체에 부담으로 작용하지 않도록 고려할 필요가 있다.

본 연구는 현행 에너지 자립률 중심의 ZEB 인증 제도가 가진 한계를 검토하고, ZEB가 국가 에너지 시스템에 안정적으로 기여할 수 있도록 하는 기술 정책적 대안 모색을 목적으로 한다. 이를 위해 건물에서 생산된 신재생에너지가 전력망으로 송전되지 않고 건물 내에서 직접 소비되는 비율인 에너지 자가소비율(Energy Self-Consumption Ratio, SCR)을 핵심적인 보완 지표로 제시하고자 한다. 건물 운영 단계에서 제시된 보완 지표를 활용하여 에너지 자립률 목표 달성을 위해 설치된 신재생 설비를 통해 생산된 에너지를 효율적으로 운영, 관리하여 목표 에너지 자가소비율이 달성될 수 있도록 유도할 수 있다. 에너지 자립률과 에너지 자가소비율을 모두 고려하여 ZEB는 전력망에 대한 의존도를 낮추고, 잉여전력 발생을 최소화하며 계통 안정화에 기여하는 프로슈머로서의 역할을 수행함으로써 ZEB 인증 제도의 실효성을 높이고, 건물 부문의 탄소중립 목표 달성에 기여할 것으로 기대된다.

Key Words : 제로에너지건축물(Zero Energy Building), 에너지 자립률(Energy Independence Ratio), 에너지 자가소비율(Energy Self-Consumption Ratio), 평가지표(Evaluation Metric), 운영 단계(Operational Phase)

† Corresponding author, E-mail: djpark@kcl.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : RS-2023-00236325).

전기차 기반 건물의 전기요금 절감 알고리즘 개발 및 효과 분석

Development and Performance Analysis of an Electricity Cost Reduction Algorithm for Buildings with Electric Vehicles

권상협*, 장규진*, 배성우*[†]

Sagnhyeob Kwon*, Kyojin Jang*, Sungwoo Bae*[†]

*한양대학교

Abstract : 본 논문에서는 전기차를 활용하여 건물의 전력요금을 절감하기 위한 스마트 충전 및 V2G (Vehicle-to-Grid) 제어 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 전기차의 수요자원으로서의 효과를 분석하였다. 전기차의 충전 및 방전 특성을 정밀하게 모사하기 위해 2RC 기반의 등가회로 모델을 적용하였으며, 아이오닉 5급 전기차의 배터리를 대상으로 모델링을 수행하였다. 또한 배터리의 전기화학적 특성은 NMC 계열 셀인 INR18650-25R을 기반으로 주요 파라미터를 선정하였으며, 모델의 예측 정확도는 1% 이내로 달성하였다. 전기차의 상태 정보를 실시간으로 수집하기 위해, SOC 구간별 특성에 따라 적응적으로 동작하는 extended kalman filter(EKF) 기반의 SOC 추정 알고리즘을 설계하여 배터리 관리 시스템을 모사하였다. 본 알고리즘은 배터리의 비선형 동특성을 반영하여 각 SOC 구간에서 최적의 파라미터를 적용함으로써 추정 오차를 최소화하도록 구성되었다. 이를 통해 추정된 SOC 값은 스마트 충전 및 V2G 제어 알고리즘의 의사결정 과정에서 핵심 입력 정보로 활용된다. 적응형 EKF 기반 SOC 추정 알고리즘은 실험 및 시뮬레이션을 통해 약 2% 이내의 SOC 추정 정확도를 검증하였다. 또한, 전기차의 SOC 분포와 충전 시간 특성을 기반으로 충전소에 도착하는 차량 상태를 모사하여 충전소에서의 스마트 충전 환경을 구현하였다. 개발된 스마트 충전 및 V2G 제어 알고리즘은 전력요금 절감을 목표로 하며, 시뮬레이션 결과를 통해 요금 적용 전력(Peak Demand)을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 입증하였다.

Key Words : 건물에너지관리(Building Energy Management), 전기차 모델링(Electric Vehicle Modeling), 전기요금 (electricity charge), 배터리관리시스템(Battery Management System)

[†] Corresponding author, E-mail: swbae@hanyang.ac.kr

후 기

본 연구는 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00236325)

실내 열쾌적성 기반 차양 및 냉난방 동시 제어 모델에 관한 연구

A Study on the Simultaneous Control of Shading and EHP Systems Based on Indoor Thermal Comfort

권성진*, 이우민*, 이동석**†

Sung-Jin Kwon*, Woo-Min Lee*, Dong-Seok Lee**†

*계명대학교 건축학과, **계명대학교 건축공학과

Abstract : 현대 건축물은 재실자의 열적쾌적성과 에너지 효율성을 동시에 확보하기 위해 냉난방 시스템, 조명, 차양 등 다양한 설비 시스템이 운용된다. 냉난방 시스템은 실내 공기온도를 주요 제어 지표로 하여 자동 제어 운전이 이루어진다. 그러나 조명과 베네시안 블라인드와 같은 차양 시스템은 여전히 수동 제어나 단순한 스케줄 제어 방식에 의존하는 경우가 많다. 이로 인해 실내 환경 변화나 재실자의 요구에 즉각적으로 대응하지 못하고 일부 시스템은 장기간 방치되어 비효율적으로 운용되기도 한다. 그러나 이러한 시스템들은 모두 동일한 열환경과 빛환경을 제어 대상으로 공유하고 있으며 개별 제어보다는 동시 제어를 통해 열적쾌적성과 에너지 성능을 동시에 향상시킬 수 있다. 본 연구는 냉난방, 조명, 차양 시스템을 연계 제어하여 실내 열적쾌적성을 향상하는 냉난방, 차양, 조명을 동시 제어하는 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다. 리빙랩 환경에서 수집된 실시간 데이터를 기반으로 RC모델 기반 가상센서를 활용해 평균복사온도를 예측하였으며 이를 작용온도(OT), 예상평균온열감(PMV) 산정에 반영하였다. 도출된 열쾌적성 지표와 공기온도(T), 평균복사온도(MRT)를 제어 기준으로 적용하여 냉난방, 조명, 차양 시스템의 동시 제어 알고리즘을 구성하였다. 본 연구에서 제안하는 중앙제어시스템은 기존 독립적으로 운용되던 냉난방, 조명, 차양 시스템을 연계 제어함으로써 실내 열적쾌적성과 에너지 성능을 향상시킬 수 있다. 향후 연구에서는 리빙랩 환경에서의 제어 알고리즘의 장기적 안정성을 검증하고 에너지 성능을 분석할 예정이다.

Key Words : 동시 제어(Simultaneous control), 열쾌적성(Thermal comfort), 평균복사온도(Mean radiant temperature), 베네시안 블라인드(Venetian blind)

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

후 기

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

환형 구조물의 추가에 따른 히트싱크의 방열 성능 향상에 관한 연구

Improved Heat Dissipation Performance of a Heatsink Employing an Annular Structure

강현민*, 육세진*[†]

Hyeon-Min Kang*, Se-Jin Yook*[†]

*한양대학교 기계공학부

Abstract : 전자기기의 발전과 함께 전력 소비가 급격히 증가함에 따라, 전 세계적으로 지구 온난화와 같은 환경 문제가 심각해지고 있다. 이러한 문제를 완화하기 위해 전력 효율 향상이 중요한 과제로 인식되고 있으며, 이에 따라 발생하는 열을 효과적으로 제어할 수 있는 냉각 기술의 필요성이 더욱 커지고 있다. 특히 전자기기에서 발생하는 열은 성능 저하의 주요 원인 중 하나로, 이를 방출하기 위한 대표적인 장치로 히트싱크가 널리 활용된다. LED 조명과 같은 응용 분야에서는 방열 성능의 향상뿐 아니라 제조 단가 절감과 구조적 단순성 확보 또한 요구된다. 이에 본 연구에서는 기존 히트싱크에 간단한 환형 구조물을 추가하여 열 저항을 저감하고 방열 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하였다.

Key Words : 히트싱크(Heat sink), 최적설계(Design optimization), 환형구조물 (Annular structure)

[†] 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).

건물일체형 태양광열시스템(BIPVT)의 실증과 확산 전략

Experimental Investigation of Building-integrated Photovoltaic and Thermal Systems

김민휘*[†]

Min-Hwi Kim*[†]

*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실

Abstract : 최근 건물 부문의 전기화(Electrification)와 재생에너지 자립 요구가 증가함에 따라, 건물 외피를 에너지 생산 요소로 활용하는 건물일체형 태양광열시스템(Building-Integrated Photovoltaic-Thermal System, BIPVT)의 중요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 태양에너지의 전기 및 열을 동시에 활용하기 위한 BIPVT 시스템을 개발하고, 모듈 단위의 광·열 성능, 열전달 특성, 냉각유로 구조, 장기 내구성 등에 대한 실험적 평가를 수행하였다. 이를 바탕으로 실제 건물에 적용 가능한 시스템 설계 및 제어 알고리즘을 구축하여, 한국에너지기술연구원의 KePSH-2 실증건물에 적용·운전하였다. 실증 결과, 연간 전력 및 열에너지 생산량, 시스템 효율, 자가소비율 등 주요 성능지표를 분석하였으며, 건물 부하 특성과 연계된 실시간 제어의 유효성을 검증하였다. 향후 확산 전략으로는, BIPVT 시스템을 5세대 열네트워크(5th Generation Thermal Network)와 통합하는 방안을 제안한다.

Key Words : 건물일체형(Building-integrated), 태양광열(Photovoltaic/thermal), 건물외장재(Building facade), 에너지효율(Building efficiency), 5세대 열네트워크(Fifth generation thermal network)

[†] Corresponding author, E-mail: mhkim001@kier.re.kr

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기본사업(C5-2420)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

태양광 패널 설치 조건에 따른 하부 음영이 건물 에너지 성능에 미치는 영향 분석

Analysis on the Influence on Building Energy Performance according to PV panel Installation Conditions

정인서*, 김지아*, 서지영*, 이두영*, 박상훈*[†]

In-Seo Jeong*, Ji-A Kim*, Ji-Yeong Seo*, Doo-Young Lee*, Sang-Hoon Park*[†]

*인천대학교 도시건축학부

Abstract : 제로에너지건축물 인증 의무화에 따라 에너지 생산량 증대를 위한 옥상 태양광발전시스템의 설치가 확대되고 있다. 태양광발전시스템을 옥상에 설치할 경우, 패널 하부에 음영을 생성하여 냉난방 부하에 영향을 미친다. 하지만 기존 태양광발전시스템의 연구는 주로 발전량에만 집중되어 있어, 태양광발전시스템의 설치 조건에 따른 하부 음영이 냉난방 부하에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구는 인천 소재 교육용 건물을 대상으로 태양광발전시스템의 설치 조건에 따른 하부 음영이 냉난방 부하에 미치는 영향 및 건물 에너지 성능을 시뮬레이션으로 분석하였다. 연구 결과, 냉방 부하는 패널 하부 음영지수와 반비례 관계를 보였으나, 난방 부하는 유의미한 상관관계를 보이지 않았다. 또한 연간 냉난방 부하에서 냉방 부하의 비중이 지배적이므로, 설치 조건에 따른 냉방 부하를 분석한 결과, 경사각이 커짐에 따라 감소하다가 다시 증가하는 비선형적 경향을 보였으며, 높이의 경우 낮을수록 저감되었다. 냉방 부하 저감 및 발전량에 따른 건물 에너지 성능을 분석한 결과, 건물 에너지 성능은 발전량에 주된 영향을 받는다. 또한 냉방 부하 저감에 따라 변동될 수 있다. 이러한 냉방 부하 저감 효과는 옥상 태양광발전시스템 설치 시 옥상 구조물 등 현장 제약으로 발전량 극대화가 어려울 경우 제로에너지건축물 목표 달성에 있어 효과적인 설계 전략이 될 수 있음을 시사한다.

Key Words : 옥상 태양광발전시스템(Rooftop Photovoltaic System), 건물 에너지 성능(Building Energy Performance), 냉방 부하(Cooling Load), 음영(Shading), 설치 조건(Installation Conditions)

[†] Corresponding author, E-mail: shp@inu.ac.kr

후 기

이 성과는 2021년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : 2021R1I1A3050403).

프리 필터 대체 용 집진 장치 개발 및 성능 평가

Performance Assessment of a Dust Collector as a Pre-filter Replacement

황석주*, 마수창*, 육세진*[†]

Seok-Ju Hwang*, Su-Chang Mah*, Se-Jin Yook*[†]

*한양대학교 기계공학부

Abstract : 대형 건물의 공기조화 시스템에서 고성능 필터를 보호하는 전처리 필터는 사용 시간이 경과함에 따라 압력 손실이 상승하여 시스템 효율을 저하시키는 문제를 지닌다. 특히 전문 관리 인력의 부족으로 필터 교체 시기가 지연될 경우, 에너지 소모가 가중되는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이와 같은 기존 소모성 필터의 한계를 극복하고자, 유지보수의 편의성과 내구성을 향상시킨 새로운 집진 장치를 개발하였다. 개발 과정에서 압력 손실은 최소화하면서 집진 효율은 프리 필터와 동등한 수준으로 유지하는 것을 목표로 장치의 구조적 형상을 최적화하였다. 제작된 집진 장치의 실질적인 성능을 검증하기 위해 기존 전처리 필터와의 성능 비교 실험을 진행하였다. 실험 결과, 개발된 집진 장치는 핵심 성능 지표인 압력 손실과 집진 효율 측면에서 그 우수성이 확인되었다. 즉, 기존 필터와 대등한 집진 효율을 보이면서도 압력 손실을 현저히 낮추어, 공기조화 시스템의 에너지 효율 향상과 유지보수 비용 절감에 직접적으로 기여할 수 있음을 입증하였다.

Key Words : 공기조화기(Air Handling Unit), 프리필터(Pre-filter), 최적화(Optimization)

[†] 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).

고체 부착물을 활용한 선형 열관류율 산정 방법 제안

A Method for Estimating Linear Thermal Transmittance Using a Attached Solid Material

김민성*, 조경민*, 손지혁**, 정웅준***†

Minsung Kim*, Kyungmin Cho*, Jihyeok Son*, Woongjune Chung*†

*가천대학교 설비·소방공학과, **가천대학교 대학원 설비·소방공학과, ***가천대학교 기계공학부

Abstract : 건물의 단열성능 강화로 외피의 총 열 손실은 감소했지만, 접합부 열교의 상대적 비중은 증가하고 있어 선형 열관류율의 정확한 측정이 중요하다. 기존의 선형 열관류율 산정 방법은 공기의 시시각각 변화하는 공기의 유동 특성을 고려하지 않은 채 대류 열전달 계수를 가정하기 때문에 열교 부위에서 일어나는 국부적 현상을 정확히 반영하지 못하여 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 열전도율이 알려진 물체를 벽-바닥 열교 부위에 부착하여, 대류 열전달계수의 변동성과 표면과 공기의 작은 온도 차로 인해 커지는 온도 센서 오차의 영향을 줄이는 새로운 선형 열관류율 산정 방법을 제안한다.

새로 제시한 방법의 유효성을 판단하기 위해 본 연구에서는 기존의 방법과 새로 제시한 고체 부착물을 활용한 방법의 오차범위를 다양한 상황을 고려하여 비교 분석하고자 한다. 기존의 방법에서 발생할 수 있는 오차범위를 산정하기 위해 2D 열교 해석 프로그램인 THERM을 통해 열교 부위에서 발생한 온도 차를 ASHRAE 자연대류 상관식에 대입하여 열교 부위의 국부적인 기류와 온도 측정기기의 오차를 고려한 대류 열 전달계수의 오차 범위를 산정하였다. 고체 부착물을 활용한 방법의 오차 범위 산정은 물체의 열전도율 변동값과 온도 측정기기의 오차를 고려하여 선형 열관류율의 오차 범위를 확인하였다.

계산된 오차범위를 반영해 선형 열관류율 범위를 산정한 결과 기존 대류 열전달계수 방법의 선형 열관류율의 오차 범위는 $\pm 12.8\%$, 새로 제시한 고체 부착물 방법의 오차 범위는 $\pm 9.9\%$ 로 나타났다. 이는 기존 방법이 열교 부위의 국부적인 기류와 표면과 공기 간의 작은 온도 차로 인한 것으로 판단되며, 고체 부착물 방법은 알려진 열전도율과 두께를 갖는 특성으로 인한 온도 차의 증가로 센서 오차를 상대적으로 감소시킨 결과로 판단된다. 추후 연구에서는 실측을 통해 제안한 방법을 검증하고 다양한 환경조건에서 적용 가능성과 한계를 추가 평가할 필요가 있다.

Key Words : 선형 열관류율 (Linear Thermal Transmittance), 열교 (Thermal Bridge), THERM, 고체 부착물(Attached Solid Material)

† Corresponding author, E-mail: wjchung@gachon.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 국토교통부의 재원으로 건설 분야 성능기반 표준 실험 절차 개발사업(No. RS-2021-KA163235)의 지원을 받아 수행된 연구임

Thermally Driven Adsorption Cycles for Renewable-based Air-conditioning

Atsushi Akisawa^{*†}

^{*}Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract : Air-conditioning need is increasing especially in urban areas. It is important to satisfy the cooling requirement under the restriction of carbon emissions. Adsorption refrigeration is a technology which produces cooling from low grade heat sources with the temperature of 60-70 degC. It works to utilize discharged heat from co-generation, wasted heat from industrial processes or solar thermal energy. The author joined the development of multi-stage adsorption refrigeration cycles working at the temperature as low as 50-60 degC, which can be easily attained by flat plate solar collectors. The study also investigates the performance of double effect scheme where the adsorption heat is recovered internally and utilized for desorption process. The experimental results reveal that the double effect scheme successfully works, which suggests the COP enhancement is possible with this scheme. Adsorption refrigeration technology is expected to contribute to future air-conditioning based on renewable energy.

Key Words : Thermally driven heat pump, Adsorption refrigeration cycles, Low grade heat source, Renewable energy, Air-conditioning

[†] Corresponding author, E-mail: akisawa@cc.tuat.ac.jp

Oral Session

제로에너지건물

Zero Energy Buildings (ZEB) Session 1, 2



CPM 기반 기축 건축물의 에너지효율 일괄 평가방법

A Method for Bulk Energy Efficiency Assessment of Existing Building Stock Based on Change Point Model

지창윤*[†], 신화석*, 윤영란*, 조성흠*

Changyoon Ji*[†], Hwaseok Shin*, Young Ran Yoon*, Jo Seong-him*

*한국부동산원 녹색건축처

Abstract : 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)에 따라, 건물부문은 2030년까지 32.8%의 온실가스를 감축해야 한다. 제로에너지건축물과 그린리모델링은 각각 신축 건축물과 기축 건축물을 대상으로 하는 대표적인 온실가스 감축 수단으로 언급된다. 특히, 대부분의 건축물이 준공 후 10년을 넘어서는 노후 건축물임을 고려할 때 그린리모델링의 중요성은 더욱 강조되며, 정부는 건물부문의 온실가스 감축목표 달성을 위하여, 2026년부터 공공건축물의 그린리모델링 의무화를 시행할 것을 계획하고 있다. 그린리모델링 의무화 정책의 효과를 높이기 위해서는 에너지성능이 낮아 그린리모델링 이후 큰 온실가스 감축이 가능한 건축물을 선별하여 먼저 시행하는 것이 중요하다. 단위면적당 에너지사용량(EUI, Energy Use Intensity)은 산정이 용이하고 수치화가 가능하여, 많은 정책과 통계의 지표로 사용되었다. 하지만, 건축물의 에너지성능과 관련 없는 취사나 가전기기 사용량을 모두 포함하여 에너지성능을 정확히 반영하지 못한다는 한계를 지적받기도 한다. CPM(Change point model)은 월별 에너지사용량과 월평균 외기온도와의 관계를 바탕으로 건축물의 에너지 소비 특성을 파악하는 방법론으로, 건물의 에너지효율 개선 가능성이나 에너지 절감 잠재량 등을 분석하는데 활용된다. 하지만, CPM의 결과는 파라미터의 개수에 따라 다양한 형태로 나타날 수 있기 때문에, 현재의 CPM 결과를 바탕으로 많은 수의 공공건축물을 일괄 비교하는 것은 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 다수의 공공건축물을 비교하고 그 중 그린리모델링이 우선적으로 요구되는 에너지성능이 열등한 건축물을 선별하는데 활용될 수 있는, CPM을 바탕으로 하는 평가방법을 제안하고자 한다.

Key Words : 기축 건축물(Existing building), 에너지효율(Energy efficiency), 그린리모델링(Green remodeling), 체인지 포인트 모델(Change point model)

[†] Corresponding author, E-mail: k25960@reb.or.kr

후 기

본 연구는 국토교통부의 ‘2025년도 공공건축물 그린리모델링 사업(보조금)’ 지원을 받아 수행하였음.

공공건축물 그린리모델링을 위한 에너지 사용량 기반 성과 평가 체계 구축

Developing an Energy Consumption-Based Performance Evaluation Framework for Public Building Green Remodeling

윤영란*[†], 지창윤*, 신화석*

Young Ran Yoon*[†], Changyoon Ji*, Hwaseok Shin*

*한국부동산원

Abstract : 2026년부터 공공건축물 그린리모델링 의무화 제도 시행이 예정됨에 따라, 제도의 실효성을 높이기 위해서는 체계적이고 객관적인 성과평가 체계 마련이 필요하다. 특히 기존의 설계 단계 시뮬레이션 기반 평가 방식으로는 그린리모델링 완료 후 실제 에너지 절감 효과를 충분히 검증하기 어렵다. 이에 본 연구는 공공건축물 그린리모델링 의무화 제도에 대응하여 실제 에너지 사용량에 기반한 성과평가 체계를 구축하는 것을 목적으로 한다.

제안된 평가체계는 에너지 사용량 기반의 정량적 평가와 현장조사를 통한 운영 특성을 반영한 정성 평가를 결합한 통합 평가 방식이다. 정량적 평가는 M&V(Measurement & Verification)를 통해 절대 절감량을 산출하는 절대평가, 유사 그룹 군 내 상대적 성능을 비교하는 상대평가(점수형/등급형), CPM(Change Point Model)을 활용한 냉·난방 외기 민감도 분석 등으로 구성된다.

본 연구는 설계 성능이 아닌 운영 실적 기반의 객관적 평가체계를 제시함으로써, 공공건축물의 에너지 절감성과를 명확히 규명하고 제도적 신뢰성을 강화할 수 있다. 또한 평가 체계를 표준화하고 민간에 공개함으로써, 향후 민간건축물에도 적용할 수 있는 기반을 마련하여 국가 탄소중립 목표 달성을 위한 건물부문 감축정책의 실효성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 그린리모델링(Green remodeling), 건물 에너지 사용량(Building energy consumption), 성능평가 체계(Performance evaluation framework),

[†] Corresponding author, E-mail: yryoon81@gmail.com

후 기

본 연구는 2025년도 국토교통부의 ‘공공건축물 그린리모델링 사업(보조금)’ 지원을 받아 수행하였음.

순환여과식 양식장의 에너지 사용량 절감을 위한 EHP의 최적 운영

Optimal Operation of EHP for Reducing Energy Consumption in Recirculating Aquaculture Systems

홍장호*, 김내경*, 구자빈*, 곽영훈**, 문선혜**†

Jangho Hong*, Naekyung Kim*, Jabin Goo*, Younghoon Kwak**, Sunhye Mun**†

*서울시립대학교 건축공학과, **서울시립대학교 건축학부

Abstract : 순환여과식 양식장은 다양한 설비를 지속적으로 가동하기 때문에 에너지 소비량이 높다. 특히 온수 어종을 양식하는 곳에서는 겨울철 낮은 공기 온도로부터 적정 수온을 유지하기 위해 보일러 부하가 증가하게 된다. 이를 보완하기 위해 공조기로 공기 온도를 높임으로써 보일러 부하를 줄일 수 있지만, 상대습도의 감소로 수조의 수분 증발량이 증가하고 증발량만큼 지하수가 유입되어 수온이 낮아지는 문제가 발생할 수 있다. 이처럼 양식장의 에너지 사용량은 수조의 환경 상태와 양식장의 실내 환경 상태를 모두 복합적으로 고려하여 분석되어야만 한다.

본 연구는 순환여과식 양식장을 대상으로 겨울철 에너지 사용량 절감을 위한 방안으로써 EHP 적용과 운영을 검토하였다. 이를 위해 우선적으로 비공조 양식장을 대상으로 선정하고, 에너지 해석을 위해 EnergyPlus를 활용하여 모델링을 실시하였다. 다음으로 초기 모델의 검증에 대해 대상 공간의 실내 온도, 수조 온도 및 용존산소 그리고 전력사용량 등을 수집하여 M&V를 수행하였다. 그 결과 MBE -0.37%, Cv(RMSE) 11.9%의 정확도를 갖는 것을 확인하였다. 마지막으로 검증된 베이스 모델에 EHP를 추가한 후, 실내 온도에 따른 EHP의 최적 운영 방안을 도출하였다.

본 연구는 에너지 다소비 건축물 중 하나인 실내 양식장에서의 공조를 통한 에너지 절감 가능성을 분석한 연구로써, 생산성을 유지함과 동시에 에너지 사용을 절감할 수 있도록 실내 양식장의 지속 가능한 운영 지침 마련에 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 순환여과식 양식장(Recirculating Aquaculture Systems), 건물 성능 시뮬레이션(Building performance simulation), 전기히트펌프(Electric Heat Pumps), 최적 제어(Optimal control), 에너지 사용량(Energy consumption)

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

후 기

본 연구는 2025년도 해양수산과학기술진흥원의 재원으로 해양수산 딥테크 전환 기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2025-07502971).

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 ICT융합산업원천기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 202412172014)

효율적인 바닥복사난방 운전을 위한 최적 ON/OFF 제어 알고리즘 개발

Development of an Optimal ON/OFF Control Algorithm for Efficient Radiant Floor Heating Operation

최광원*, 조재완*[†], 하상우**, 이동윤**, 문정수**

Kwangwon Choi*, Jaewan Joe*[†], Sangwoo Ha**, Dongyun Lee**, Jungsoo Mun**

*인하대학교 스마트시티공학과, **롯데건설 기술연구원

Abstract : 본 연구에서는 주거용 바닥복사난방(Radiant Floor Heating, RFH) 시스템의 효율적 운전을 위해 모델기반 예측 제어(Model-based Predictive Control, MPC)의 예측 성능을 유지하면서도 계산 부담을 줄인 경량형 규칙 기반 최적 ON/OFF 제어 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 24R-8C 구조의 grey-box 열 모델을 구축하고, 다양한 점유 패턴과 겨울철 기상 조건을 고려한 MPC 시뮬레이션을 수행하였다. 이후 생성된 최적 제어 데이터를 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)으로 학습하여, 실시간 최적화 과정 없이도 예측형 제어가 가능한 구조를 구현하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 알고리즘은 기존 ON/OFF 제어 대비 난방 에너지를 최대 17.9% 절감하고, 온열 쾌적도 위반 시간을 90% 이상 감소시켰으며, 제어 시점 오차는 약 8-29분 수준으로 나타나 실용성을 입증하였다. 본 연구는 복잡한 연산이 어려운 주거환경에서도 적용 가능한 지능형 바닥난방 제어 기술로서, 향후 스마트홈 및 에너지 최적화 분야로의 확장 가능성을 제시한다.

Key Words : 모델기반 예측 제어(Model-based predictive control, 바닥복사난방 시스템(Radiant floor heating system), 주거용 건물(Residential building), 규칙기반 최적 제어(Rule-based optimal control)

[†] 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).

캠퍼스 건물군을 대상으로 한 ESS · PV · EV 연계 피크부하 저감 제어전략 연구

A Study on Integrated ESS-PV-EV Control Strategies for Peak Load Reduction in Campus Building Groups

서정훈*, 문선유*, 이지석*, 조재완*[†]

Jeonghun Seo*, Sunyu Moon*, Jiseok Lee*, Jaewan Joe*[†]

*인하대학교 건축공학과

Abstract : 본 연구는 스마트 시티 내 건물군을 대상으로 피크 부하 저감 및 냉방 비용 절감을 위한 ESS(Energy Storage System) 제어전략을 개발하는 것을 목표로 하였다. 현재 대한민국의 전기요금 제도는 계약전력 기반으로 운영되며, 계약전력을 초과할 경우 패널티 요금이 부과되는 구조를 가지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 ESS, PV(Photovoltaic), EV(Electric Vehicle)를 통합 적용하여 계약전력 초과를 방지하고, 전기요금이 낮은 시간대로 부하를 이동시키는 전략을 수립하였다. 연구 대상은 인천시 대학 캠퍼스 건물군으로 설정하였으며, 각 건물의 열적 거동을 표현하기 위해 RC 회로 기반의 그레이박스(Gray-box) 모델을 구축하였다. 실외온도, 일사량, 전기에너지 사용량 데이터를 이용하여 상태공간방정식을 구성하였다. 모델 검증 결과, 예측 냉방부하가 실제 측정값과 유사한 추세를 보여 신뢰성이 확보되었으며, 이를 기반으로 건물별 특성에 맞춘 ESS 제어전략을 적용하였다. ESS 제어 알고리즘은 전력 요금이 저렴한 경부하 시간대에 그리드 충전을 수행하고, PV 발전 전력은 상시 충전이 가능하도록 설정하였다. 방전은 피크전력이 발생하는 06:30~19:30 구간으로 제한하였다. 그 결과, 제어전략 적용 시 전력 피크가 완화된고, 계약전력이 감소하여 약 3개월간 3개 건물의 전력 요금이 약 7.2%(약 1억 원) 절감되는 효과를 확인하였다.

본 연구는 ESS의 제어전략을 중심으로 수행되어 화재 위험성, 설치비용 및 공간 제약 등의 현실적 요인을 고려하지는 않았다. 향후 연구에서는 이러한 제약조건을 반영하고, 캠퍼스 및 도시 단위의 에너지 최적화 체계로 확장 적용할 수 있는 통합 제어전략을 개발할 예정이다.

Key Words : 모델 기반 예측 제어(Model-based Predictive Control, MPC) 그레이박스(Grey-box), 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS), 태양광발전시스템(Photovoltaic System, PV), 전기자동차(Electric Vehicle, EV)

[†] 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-2024-00397794).

온대 기후와 한대 기후 조건에서의 건물 에너지 소비 특성 및 주요 파라미터 비교 연구

Comparative Study of Building Energy Consumption and Major Parameters in Temperate and Polar Climates

이유빈*, 최미정*, 이유진*, 신대욱*[†]

Yubin Lee*, Mijeong Choi*, Yujin Lee*, Daeuk Shin*[†]

*국립군산대학교 건축공학과

Abstract : 기후 변화와 에너지 사용량 증가로 인해 건물의 에너지 효율 향상에 대한 연구의 중요성이 높아지고 있다. 건물의 에너지 성능을 개선하기 위해서는 우선 현재 건물의 에너지 소비량을 정확히 파악해야 한다. 실제 건물을 대상으로 한 시험은 정확도가 높으나 시간과 비용이 많이 소요된다. 따라서 시뮬레이션을 이용한 건물 에너지 성능 평가가 많이 사용되고 있으나, 실제 조건을 완벽하게 반영하기 어려워 실제 데이터와 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차를 최소화하기 위해 민감도 분석을 통해 건물 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 주요 파라미터를 도출하고, 이를 기반으로 모델 보정을 수행하는 연구가 진행되고 있다. 특히 외기 온도는 건물의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치는 주요 입력값 중 하나이므로, 기후대에 따라 에너지 소비에 영향을 미치는 주요 파라미터가 상이할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 온도, 강수량 및 식생을 기준으로 구분되는 쾨펜의 기후대 중 온대 기후인 대한민국 서울과 한대 기후인 세종과학기지를 대상으로, 각 기후 조건에서의 에너지 소비 특성을 비교하고자 한다. 이를 위해 각 지역의 기후 조건에 적합한 파라미터 범위를 기존 문헌을 통해 검토하였으며, EnergyPlus 시뮬레이션을 수행하여 기후대별 에너지 소비량을 분석하였다. 동일한 단일 건물 모델을 대상으로 기상 데이터와 파라미터 범위만을 변경하여 민감도 분석을 수행하였으며, 이를 통해 기후대별 주요 파라미터를 비교하였다. 향후 열대, 건조, 냉대 기후와 같은 다양한 기후대에 대한 추가적인 분석을 수행하여, 기후대별 건물 에너지 성능에 영향을 미치는 주요 파라미터를 체계적으로 비교하고자 한다. 본 연구의 결과는 건물 에너지 성능 평가 시뮬레이션의 정확도 향상과 극지 건물의 에너지 성능 평가 연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 건물 에너지 시뮬레이션 (Building energy simulation), 극지방 (Polar region), EnergyPlus, 민감도 분석 방법 (Sensitivity analysis methods)

[†] Corresponding author, E-mail: daeuk.shin@kunsan.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : RS-2021-KA163235)

모듈러 건물의 결로 및 수밀성 시험방법에 관한 연구

A Study on the Test Methods for Condensation and Watertightness of Modular Buildings

배우빈*, 문선혜**†

Woo-Bin Bae*, SunHye Mun**†

*(재)한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터, **서울시립대 건축공학과

Abstract : 모듈러 건축은 공장에서 제작된 모듈을 현장으로 운송·조립하는 공법으로, 공사 기간 단축, 품질관리 용이성, 친환경성 등의 장점을 바탕으로 주거·공공·교육시설 등 다양한 분야로 빠르게 확산되고 있다. 그러나 모듈 간 접합부와 개구부 등에서 결로 및 수밀성 취약 부위가 빈번히 발생하면서 품질 신뢰도 저하, 유지관리 비용 증가, 재실자 건강 악화 등의 문제가 지속적으로 제기되고 있다.

특히 모듈러 건물은 동일한 자재와 공법으로 다수의 모듈을 공장 내에서 반복 생산하는 특성상, 단일 모듈에서 발생한 결로나 수밀성 결함이 여러 모듈에 동일하게 발생할 가능성이 높다. 이에 따라 설계 및 제작 단계에서 사전 검증이 이루어지지 않으면, 준공 후 대규모 하자로 확산될 우려가 크다.

그러나 현재 모듈러 건물의 결로와 수밀성을 직접 시험할 수 있는 표준화된 방법은 부재하며, KS F 2295 (창호의 결로 방지 성능 시험방법)와 KS F 2293(창호의 수밀성 시험방법) 역시 창호 단품 시험에 국한되어 있어 건물 단위의 종합적 성능 검증이 어렵다.

이에 본 연구에서는 기후환경시험실을 활용하여 모듈러 건물의 결로 및 수밀성 성능을 평가할 수 있는 새로운 시험방법을 제안한다. 제안된 방법은 창호 등 개구부뿐만 아니라 벽체, 모듈 간 접합부 등 실제 건물의 공간적 특성을 반영하여, 부재 단위가 아닌 모듈러 건물 단위의 실규모 평가를 가능하게 한다.

이러한 시험방법이 표준으로 제정될 경우, 제작 단계에서 동일한 조건과 절차로 성능을 검증할 수 있어 품질 편차를 최소화하고, 준공 전 하자 예방 및 분쟁 감소, 장기 유지관리 비용 절감에 기여할 것으로 기대된다. 또한 공공·민간 프로젝트 전반에 걸쳐 일관된 품질 검증 체계를 확립함으로써, 모듈러 산업의 신뢰성 강화와 시장 확산을 뒷받침하는 중요한 기반이 될 것으로 사료된다.

Key Words : 모듈러 건물(Modular buildings), 결로(Condensation), 수밀성(Watertightness), 기후환경시험실(Climatic environment chamber)

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

후 기

본 연구는 2025년도 국토교통부의 재원으로 건설분야 성능기반 표준실험절차 개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : 2610000348).

제로에너지건축물을 위한 PEMFC 예측 모델의 적용 효과 분석

Analysis of the Application Effectiveness of a PEMFC Prediction Model for Zero Energy Buildings

곽영훈*, 조수현**, 김지원**, 문선혜*[†]

Younghoon Kwak*, Suhyun Cho**, Jiwon Kim**, Sunhye Mun*[†]

*서울시립대학교 건축학부, **서울시립대학교 건축공학과

Abstract : 화석 연료를 대체할 수 있는 경제적이고 실현 가능한 재생에너지 시스템의 개발은 현재 가장 중요한 연구 분야 중 하나이다. 수소는 이러한 녹색 에너지원 중 하나로, 최근 수소 기반 에너지 기술의 발전이 빠르게 이루어지고 있다. 연료전지(Fuel Cell, FC)는 이러한 기술 중 대표적인 사례이며, 다양한 응용 분야에 적합한 여러 형태의 연료전지가 개발되고 있다. 그중에서도 고분자 전해질막 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)는 높은 전력 밀도, 낮은 작동 온도, 우수한 효율 등 여러 장점을 지닌다. 특히, 비교적 낮은 작동 온도로 인해 기존의 화석연료 기반 설비를 대체할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 소규모 건축물에 적용하기에 적합한 기술로 평가받고 있다. 그러나 주거용 건축물의 에너지 자립 실현을 위해 PEMFC를 실제로 적용하고, 그 효과를 정량적으로 분석한 연구는 아직 부족한 실정이다. 한편, 연료전지의 경우 상용화 이후에는 성능 예측에 필요한 세부 파라미터를 실시간으로 모니터링하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 기존 연구의 결과를 기반으로, 단순화된 접근법을 활용하여 부분부하율(Part Load Ratio)에 따른 PEMFC의 에너지 생산 성능 및 연료 소비량을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다.

또한, 본 연구에서는 최근 제로에너지건물 실현을 목표로 소형 PEMFC가 설치된 주거용 건축물에서 운영 데이터를 수집하였다. 이를 바탕으로 실제 건축물의 전력 및 열 에너지 사용 특성을 분석하고, 앞서 개발한 PEMFC 예측 모델을 적용하여 그 적용 효과를 분석하였다.

Key Words : 제로에너지건축물(Zero energy buildings), 고분자 전해질 연료전지(Polymer electrolyte membrane fuel cell), 예측 모델(Prediction model), 부분 부하율(Part load ratio), 적용 효과(Application effectiveness)

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

후 기

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부(한국연구재단)의 재원으로 중견연구(창의연구형)사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (과제번호 : RS-2025-23324202).

Oral Session

건축환경

Building Environment Engineering (BEE) Session 1, 2



강의실에서 천장매입형 히트펌프 난방 운전시 온도성층화 실측 및 DesignBuilder CFD 검증

Temperature Stratification Measurement of Ceiling-Mounted Heat Pump Heating Operation in Lecture Rooms and DesignBuilder CFD Verification

장여은*, 배지원*, 임재한*[†]

YeoEun Jang*, Ji-Won Bae*, JaeHanLim*[†]

*이화여자대학교 건축도시시스템공학과

Abstract : Ceiling-mounted cassette-type electric heat pumps (EHPs) have gained widespread use due to their unobtrusive installation and flexible air distribution characteristics. However, during heating operation, buoyancy effects often cause the supply air to remain confined to the upper zone, resulting in pronounced vertical temperature stratification. Consequently, the occupied zone tends to be underheated, leading to cold-foot discomfort and thermostat offset. This study investigates the characteristics of thermal stratification in a campus office room equipped with ceiling-mounted EHP units operating under steady-state heating conditions. Field measurements were conducted using a dense sensor array positioned at five vertical levels (0.1–2.0 m above the floor) to capture vertical profiles of air temperature, relative humidity, and air velocity. The measured data were analyzed to evaluate vertical and horizontal non-uniformities in the indoor thermal environment. A three-dimensional computational fluid dynamics (CFD) model was developed using DesignBuilder and validated against the experimental data, showing satisfactory agreement in reproducing the observed thermal distributions. The results confirm that appropriate design and control strategies for indoor unit configurations can effectively mitigate thermal stratification, thereby enhancing heating performance and occupant comfort.

Key Words : 히트펌프(Ceiling-mounted heat pump), 현장 실측(Field measurement), 검증(Verification), 디자인빌더 CFD(DesignBuilder CFD), 온도 성층화(Temperature stratification)

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

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP). (2023R1A2C2007911)

열적 특성 기반의 개인 맞춤형 좌석 선택 시스템 제안

Development Personalized Seat Reservation System based on Thermal Characteristic

이현수*, 김지영*, 임현우**†

Hyeonsu Lee*, Jiyoung Kim*, Hyunwoo Lim**†

*건국대학교 건축대학 건축학부, **건국대학교 건축대학 건축학부

Abstract : 현재 대부분의 좌석 배치 시스템은 좌석 간 온열환경의 차이를 반영하지 못해 개인의 열적 쾌적성을 고려하지 못하는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 대표적인 열적 쾌적성 지표인 PMV (Predicted Mean Vote)가 활용되고 있으나, 기존 PMV는 대사율 지표인 MET (Metabolic Rate)를 표준화하여 사용함으로써 개인별 열적 특성 차이를 충분히 반영하지 못한다. 이에 본 연구는 개인별 MET를 산정하여 PMV를 개인화하고, 이를 기반으로 맞춤형 좌석 선택 시스템을 제안하였다. 시스템은 재실자의 열적 불만족을 최소화하고, 직관적인 사용자 인터페이스를 통해 좌석 선택의 편의성을 향상시키는 것을 목표로 한다. 개인화된 MET는 키, 몸무게, 성별, 나이를 변수로 하는 계산식을 통해 산정되었으며, PMV 입력변수 중 건구온도와 상대습도는 좌석별 센서 설치의 물리적 제약을 고려하여 MLP (Multi-Layer Perception) 기반 가상센서로 대체하여 사용하였다. 가상센서는 CV(RMSE) 10% 이내의 오차율로 높은 신뢰성을 확보하였고, 기류속도, 의복량, 평균복사온도는 실제 측정 데이터를 활용하였다. 이를 종합해 좌석별 개인화된 PMV를 산출하였다. 모의 실험 결과, PMV를 고려하지 않은 기존 좌석 배치의 불만족도는 최대 78%에 달했으나, 개인화된 PMV를 적용한 경우 11%로 감소하여, 약 67%의 개선 효과를 보였다. 또한, 최적 좌석을 실시간으로 제시하는 사용자 인터페이스를 구현하여 시스템 접근성과 활용성을 높였다. 본 연구는 개인별 열적 특성을 반영한 좌석 배치 시스템의 실현 가능성을 입증하였으며, 향후 실내 환경 제어 및 HVAC 운영의 최적화, 나아가 사용자 중심 스마트 환경 제어 시스템 개발의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 대사율(Metabolic Rate), 열적쾌적성(Thermal Comfort), 예상 평균 온열감(Predicted Mean Vote), 가상센서(Virtual Sensor), 개인 맞춤형 좌석(Personalized Seat Reservation)

† Corresponding author, E-mail: hyunwoolim@konkuk.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)에너지인력양성사업의 지원 (No. RS-2023-00237035)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (RS-2024-00342048)을 받아 수행된 연구임.

수열원 히트펌프 기반 데이터센터 폐열 활용 급탕과 방류 수온 회복 시스템

Water-Source Heat Pump System for Data Center Waste Heat Recovery and Discharge Temperature Restoration

한지웅*, 김동준*, 최다정*, 임현우**†

Jiung Han*, Dongjun Kim*, Dajeong Choi*, Hyunwoo Lim**†

*건국대학교 건축대학 건축학부, **건국대학교 건축대학 건축학부

Abstract : 인공지능과 클라우드 컴퓨팅의 확산으로 데이터센터는 현대사회의 핵심 인프라로 부상하고 있다. 데이터센터의 급격한 증가에 따라 냉각 과정에서 발생하는 폐열의 활용은 건물 부문 탈탄소화를 위한 핵심과제로 떠오르고 있다. 특히, 수열원 히트펌프(WSHP)는 공기열원 히트펌프(ASHP)에 비해 연중 안정적인 열원 온도를 유지할 수 있어 효과적인 대안 기술로 주목받고 있다. 하지만 기존 연구들은 주로 수열원의 이용 가능성과 성능에 초점을 맞추었을 뿐, 데이터센터 폐열을 방류할 때 발생하는 온도 상승과 환경적 영향에 대한 검토는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 한강을 열원으로 활용하여 데이터센터의 폐열을 공동주택 급탕에 재이용하는 통합 시스템을 제안하고, 방류수의 온도 변화와 수환경 영향을 분석하였다. 이를 위해 폐열을 활용한 WSHP 시스템과 일반 수열원을 이용한 시스템의 급탕 에너지 성능을 비교하였으며, 나아가 폐열 기반 WSHP를 가스보일러 및 지역난방 시스템과 비교하여 이산화탄소 배출 절감 효과를 평가하였다. TRNSYS 시뮬레이션 과정에서는 기존 히트펌프 컴포넌트가 열량 입력 기능을 지원하지 않아, 이를 보완한 새로운 컴포넌트를 개발하여 적용하였다. 분석 결과, 방류수의 수온 변화는 최대 0.051 °C, 평균 0.013 °C로 매우 미미하여 수환경에 미치는 영향이 적음을 확인하였다. 또한, 폐열을 이용할 경우 기존 WSHP 대비 12.6 %의 에너지를 절감하였고, 가스보일러 및 지역난방 대비 각각 72.3 %와 63.2 %의 이산화탄소를 배출 저감 효과를 나타냈다. 결과적으로, 본 연구는 폐열 활용 WSHP 시스템이 에너지와 탄소 저감 효과를 달성함과 동시에, 열량 기반 제어를 통해 한강수를 원래 온도로 회복시켜 수환경 영향을 최소화할 수 있음을 입증하였다.

Key Words : 데이터센터 폐열(Data center waste heat), 폐열 재이용(Waste heat recovery), 수열원 히트펌프(Water source heat pump), 급탕(Domestic hot water), 수온 회복(Hydro temperature recovery)

† Corresponding author, E-mail: hyunwoolim@konkuk.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP) 에너지인력양성사업의 지원 (No. RS-2023-00237035)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (RS-2024-00342048)을 받아 수행된 연구임.

실내 중문 설치에 따른 에너지 효율 성능의 물리적 시험 평가에 관한 연구

A Study on the Experimental Evaluation of Energy Efficiency Performance according to the Installation of Indoor Entrance Doors

조영훈*, 이승준*, 윤태균*[†]

Younghoon Cho*, Seungjun Lee*, Taegyun Yun*[†]

*(재)한국건설생활환경시험연구원

Abstract : 실내 중문은 단순한 공간 분리 및 인테리어 요소를 넘어, 현관을 통해 실내로 유입되는 외기를 차단함으로써 에너지 손실을 저감하고 실내 에너지 효율을 향상시키는 역할로 주목받고 있다. 본 연구는 실내 중문을 대상으로 에너지 효율 성능 평가 방법을 구체적으로 제시하기 위해, 중문의 개폐 여부 및 계절별 온도 조건을 고려한 물리적 시험을 수행하였다. 시험은 동절기(실내 25.0 ℃, 전실 10.0 ℃)와 하절기(실내 20.0 ℃, 전실 30.0 ℃) 조건으로 설정하고, 정상 상태 도달 후 90분간의 데이터를 취득하여 설치 여부에 따른 온도 특성을 분석하였다. 그 결과, 동절기 조건(실내 기준 25 ℃)에서 중문을 설치한 경우 실내 온도는 23.3 ℃로 유지되었으나, 중문을 개방하면 18.4 ℃로 감소하였다. 하절기 조건(실내 기준 20 ℃)에서는 중문 설치 시 실내 온도가 21.4 ℃였으며, 중문 개방 시 26.6 ℃로 상승하였다. 즉, 중문의 설치 여부에 따라 온도 변화율은 동절기 약 21 %, 하절기 약 25 %로 나타났다. 이러한 결과는 실내 중문이 열전달을 제어하여 에너지 효율을 개선할 수 있음을 실험적으로 입증하며, 향후 실내 중문에 대한 표준화된 에너지 효율 평가 방법 정립 및 데이터베이스 구축의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Key Words : 실내 중문(Indoor entrance door), 에너지 효율(Energy efficiency), 열전달(Heat transfer), 성능평가(Performance evaluation), 물리적 시험(Physical test)

[†] Corresponding author, E-mail: tg81@kcl.re.kr

인간 중심 주광 제어를 위한 비전 기반 빛환경 센싱 시스템

Vision-Aided Sensing Technologies Towards Human-Centric Daylighting in Buildings

김영수*[†]

Michael Kim*[†]

*중앙대학교 공과대학 건축학부

Abstract : This lecture explores human-centric daylighting controls, addressing the critical challenge of maintaining visual comfort while maximizing the benefits of natural light in buildings. It proposes a shift from traditional illuminance-based sensors to a more sophisticated vision-based approach that better aligns with human perception. The presentation introduces the use of High Dynamic Range (HDR) imaging as a tool to capture detailed luminance maps, which serve as the foundation for evaluating the visual environment. Key topics include the application of this data for advanced glare assessment and the development of a non-intrusive monitoring system capable of estimating an occupant's visual experience from a remote viewpoint. Ultimately, this research provides a framework for creating intelligent and responsive lighting environments that prioritize the comfort of building occupants.

Key Words : 자연채광 (Daylighting), HDRI(High Dynamic Range Imaging), 주광현휘 (daylight glare), 컴퓨터비전 (Computer vision)

[†] Corresponding author, E-mail: myk127@cau.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 개인기초연구사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : RS-2025-24535284).

디지털 증거 기반의 건물외피 성능검증의 필요성

Challenges of Digital Evidence-based Commissioning for Building Enclosure

임종연*[†]

Jongyeon Lim*[†]

*강원대학교 건축토목환경공학부

Abstract : 건물 외피 커미셔닝(Building Enclosure Commissioning, BECx)은 계획, 설계, 운영 단계에서는 방법론이 비교적 잘 정립되어 있으나, 시공 단계에서 심각한 방법론적 단절이 존재한다. 현재 시공 단계의 품질 관리는 전통적인 서류 기반의 규정 준수 확인에 그쳐, 설계 성능과 실제 성능 간의 '성능 격차'를 유발하는 시공 결함을 근본적으로 예방하지 못한다. 전문가 주도의 물리적 성능 시험이 대안이 될 수 있지만, 높은 비용과 공정 지연 문제로 전면적인 도입이 쉽지 않다. 본 논문은 이러한 공백을 메우기 위해 예방적 성격의 '디지털 증거 기반 커미셔닝(Digital Evidence-based Commissioning, DECx)' 프레임워크를 제안한다. DE-Cx의 핵심은 시공 과정에서 타임스탬프 사진, 주석이 달린 문서, 데이터 로그 등 검증 가능한 디지털 증거를 체계적으로 생성하고 축적하는 과정이다. 이 기록들은 단순한 문서를 넘어, 성능 측면의 투명성을 보장하고 결함 은폐를 방지하는 지속 가능한 '디지털 자산'으로 기능할 수 있다. 최근 많은 논의가 이루어지고 있는 운영단계에서 취득되는 데이터에 기반한 커미셔닝(Monitoring-based Commissioning, MBCx)이 문제가 발생한 뒤 원인을 찾는 사후 대응적 방식인 점과 달리, 증거 생성 과정 자체를 품질을 통제하는 '예방적 메커니즘'으로 활용한다는 점에서 커미셔닝의 본질에 보다 가깝다고 할 수 있다. 시공자는 정해진 절차에 따라 증거를 남겨야 하므로 자연스럽게 시공 품질에 대한 책임감이 높아지고 표준 준수를 유도할 수 있다. 결론적으로 DE-Cx는 자원 집약적인 물리적 테스트를 최소화하면서도 시공 품질의 신뢰성을 확보하고, 설계 의도가 최종 성능으로 온전히 이어지도록 보장하는 실용적인 대안이 될 수 있다. 이를 통해 플라이프사이클 빌딩 커미셔닝 전 과정의 단절을 잇고 건물의 장기적 성능을 극대화하는 데 기여할 수 있다.

Key Words : 건물외피성능(Building enclosure performance), 빌딩커미셔닝(Building commissioning), 단열(Insulation), 기밀(Air tightness)

[†] Corresponding author, E-mail: jongyeon.lim@kangwon.ac.kr

모니터링 데이터 기반 건물 외피 열손실 특성 분석 및 단열 성능 정량화

Evaluation of Building Enclosure Insulation Performance using Heat Loss Signature Derived from Monitoring Data

김성수*, 임종연**†

Sungsu Kim*, Jongyeon Lim**†

*강원대학교 에너지인프라융합학과, **강원대학교 건축토목환경공학부

Abstract : 현재 국내 건축물 에너지 성능 평가는 주로 설계 단계에 집중되어 있어 실제 준공 후 실제 성능과 설계 성능 사이의 성능 격차가 발생하는 문제가 있다. 성능 격차 해소를 위해 준공 후 실제 성능을 정확히 진단하는 것이 중요하지만, 기존의 에너지 시그니처 분석은 건물의 전반적인 에너지 소비 특성을 보여줄 뿐 단열과 기밀성능을 명확히 분리하지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 기존 에너지 시그니처 분석의 한계를 보완하고자 건물의 장기 에너지 사용량 데이터를 활용하여 건물의 실제 외피 성능을 정량적으로 검증하는 열손실 시그니처(Heat Loss Signature) 분석과 기밀성능 측정값을 통해 3차원 지표인 단열성능을 추출 및 분리하는 방법을 제안하였으며, 기존의 에너지 시그니처 분석과의 결과 차이를 분석하였다. 제안된 분석 방법이 실제 단열 성능을 완벽히 대변하는지에 대한 추가적인 검증이 필요하지만, 기존 에너지 시그니처 분석 방법과의 결과 차이는 성능 진단 정확성에 대한 재고가 필요함을 시사하며, 건물 기밀과 단열성능의 문제 파악을 통해 향후 건물 리모델링 및 건물 온실가스 총량제 이행계획 수립에 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

Key Words : 에너지 시그니처(Energy signature), 열손실 시그니처(Heat loss signature), 기밀성능(Building infiltration performance), 단열성능(Building enclosure insulation performance)

† Corresponding author, E-mail: jongyeon.lim@kangwon.ac.kr

후 기

본 연구는 국토교통부의, 산업통상자원부의 재원(과제번호 : RS-2025-02314098)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

양자 근사 최적화 알고리즘을 이용한 건물 에너지 모델 예측제어 연구

A Study on Building Energy Model Predictive Control Using the Quantum Approximate Optimization Algorithm

전병기*[†], 김종규*, 허재혁*, 주홍진*, 김득원*, 이왕제*

ByungKi Jeon*[†], JongKyu Kim*, JaeHyeok Heo*, HongJin Joo*, DeukWon Kim*,
WangJe Lee*

*한국에너지기술연구원 신재생시스템 연구실

Abstract : 건물 에너지 제어는 예측 부하와 외기 조건에 따라 장비의 운전 상태를 최적으로 조정해야 하는 고차원의 최적화 문제로, 모델 예측 제어(Model Predictive Control, MPC)가 대표적으로 활용되고 있다. 그러나 제어 대상이 복잡해지고 예측 구간이 길어질수록 계산량이 급격히 증가하여, 기존의 결정론적(MILP) 또는 휴리스틱(PSO) 기반 접근법은 실시간 운용에 한계가 있다.

본 연구는 이러한 계산 복잡도 문제를 완화하기 위한 대안으로 양자 근사 최적화 알고리즘(Quantum Approximate Optimization Algorithm, QAOA)을 적용하였다. QAOA는 양자 중첩(superposition)과 간섭(interference)을 활용해 방대한 조합 공간을 병렬적으로 탐색할 수 있어, 제어 변수의 수가 증가하더라도 계산 안정성을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 외기 조건과 부하 예측 정보를 바탕으로 일정 예측 구간 동안 총 에너지 소비를 최소화하면서 실내 쾌적도 제약을 만족하는 제어입력 조합을 결정하는 MPC 문제를 정의하고, 이를 MILP, PSO, QAOA 세 가지 방식으로 해결하여 계산 특성과 탐색 구조를 비교하였다.

QAOA는 제어 입력을 이산적 변수로 변환하여 QUBO(Quadratic Unconstrained Binary Optimization) 형태로 구성함으로써, 탐색 공간이 확장되는 상황에서도 효율적인 수렴 특성을 보였다. 본 연구는 양자 기반 최적화가 건물 에너지 제어의 새로운 계산 패러다임이 될 수 있음을 제시하며, 향후 대규모 시스템 제어 및 실시간 최적화로의 확장 가능성을 시사한다.

Key Words : 모델 예측 제어(MPC), 양자 근사 최적화 알고리즘(QAOA), 혼합정수선형계획(MILP), 입자군집최적화(PSO), 건물에너지제어(Building Energy Control)

[†] Corresponding author, E-mail: bgjeon@kier.re.kr

후 기

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

Oral Session

태양광에너지

Photovoltaic Energy (PVE) Session 1, 2, 3, 4



국·내외 전력시장 환경에 따른 태양광 기반 비즈니스 모델 분석

PV Business Models: An Analysis Across Domestic and International Electricity Market Contexts

박대현^{*†}, 최성산^{*}, 박혜연^{*}

Daehyun Park^{*†}, Sungsan Choi^{*}, Hyeyeon Park^{*}

^{*}엔라이트(주)

Abstract : 본 연구는 실제 미국 캘리포니아 및 호주 등 해외에서 확산 중인 태양광 자원을 중심으로 고객에게 플랫폼 서비스로 제공되는 비즈니스 모델을 조사 및 분석한다. 가상발전소, 구독형 판매, 수요반응 연계와 같은 운영 방식과 NEM3.0 등 정책·소매요금·시장참여 제도가 이러한 서비스 확산을 가능케 한 배경을 규명한다. 대표적인 해외사례를 기반으로 비즈니스별 수익구조를 비교하고, 아울러 국내외 도매전력시장과 전력산업 구조 차이를 반영해 해외 모델의 국내 적용 가능성과 적용 시 경제성을 정량 평가한다.

Key Words : 태양광(Photovoltaic), 에너지저장장치(Energy Storage System), 통합발전소(Virtual Power Plant), 도매전력시장(Wholesale Electricity Market), 소매요금(Tariff)

[†] Corresponding author, E-mail: daehyun.park@enlighten.kr

후 기

본 연구는 2024년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3431526].

MAPbBr₃ 도입을 통한 (FAPbI₃) 기반 실내용 페로브스카이트 광전소자의 효율 향상

Efficiency Enhancement of Indoor Perovskite Photovoltaic Devices through MAPbBr₃ Incorporation

김미정^{*,***}, 양정엽^{*,**,*†}

Mijoung Kim^{*,***}, JungYup Yang^{*,**,*†}

*국립군산대학교 물리학과, **국립군산대학교 에너지공학과, ***국립군산대학교 기초과학연구소

Abstract : 유-무기 하이브리드 페로브스카이트는 높은 광흡수계수, 우수한 전하 수송 특성과 조절 가능한 밴드갭으로 인해 차세대 실내광 발전(Indoor photovoltaics) 소자로 주목받고 있다. 본 연구에서는 MAPbBr₃의 몰비($x=0-30$ mol%)를 조절한 (FAPbI₃)_{1-x}(MAPbBr₃)_x 페로브스카이트 박막을 제작하여, 1-sun 및 저조도(LED, 1000 lux) 조건에서의 광전 성능을 체계적으로 비교·분석하였다. MAPbBr₃ 도입은 결정 품질을 향상시키고 비방사성 재결합을 억제하여 전하 수송 특성을 개선하였으며, 특히 5 mol% 조성에서 가장 우수한 성능을 보여, LED(6500 K, 1000 lux) 조건에서 전력변환효율(PCE) 약 33%를 달성하였다. 또한 DLCP(Drive-Level Capacitance Profiling) 분석을 통해 전하 트랩 밀도 감소와 캐리어 수명 향상을 확인하였다. 본 연구는 MAPbBr₃ 조성 제어를 통한 결정 품질 및 전하 수송 특성 개선이 실내광 조건에서 효율 향상에 중요한 역할을 하고 있음을 제시하며, 자가구동형 IoT 디바이스용 실내 하베스팅 전원소자 개발에 유용한 설계 방향을 제시한다.

Key Words : 페로브스카이트 태양전지(Perovskite Solar Cell), 조성 제어(Compositional Engineering), FAPbI₃-MAPbBr₃, 저조도(Indoor Light), 실내광 발전(Indoor Photovoltaics)

[†] Corresponding author, E-mail: jungyup.yang@kunsan.ac.kr

후 기

본 연구성과는 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2024-00451918)

IEC TC82 WG2 태양광모듈 국제표준 동향 분석

IEC TC82 WG2 PV Module Global Standard Trends Analysis

전무이*[†], 주창기*, 황수현*, 문종필**

Mu-Yi Jeon*[†], Chang-Ki JU*, Soo-Hyun Hwang*, Jong-Fil Moon**

*한국기계전기전자시험연구원, **한국교통대학교 전기공학과

Abstract : 본 연구는 태양광 셀 및 모듈의 국제 표준을 담당하는 IEC TC 82 WG2(International Electrotechnical Commission Technical Committees 82 Working Group 2)의 표준화 동향을 분석한다. 태양광 기술은 발명 이후 수십 년간 발전해 왔으며, 최근 환경 문제 개선을 위한 국제 정세로 인해 태양광 에너지에 대한 수요가 가속화되고 있다. 이는 태양광 기술의 발전 속도를 급격히 증가시키는 원인이 되고 있다. 이로 인해 다양한 신기술들이 산업계에 쏟아져 들어오고 있으며, 이에 따라 국제표준 또한 신 표준제안 및 기존표준 개정을 통해 발 빠르게 맞춰가고 있다. 국제 표준은 곧 글로벌 시장의 틀이자 트렌드이며, 이를 파악하고 적용하는 것은 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 선택이 아닌 필수이다. 본 연구의 목적은 국제 표준 동향 분석 및 전달을 통해 국내 시장의 기술력을 확보하고 더 나아가 글로벌 시장에서의 신뢰성을 확보하기 위함이다.

Key Words : IEC TC(International Electrotechnical Commission Technical Committees), KS인증(Korea Standard), 부합화(Harmonization), 태양광 모듈(Photovoltaic Module), TS(Technical Specification)

[†] Corresponding author, E-mail: jeonmy55@ktrc.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 국가표준 기술개발 및 보급사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 06092976/첨단산업 국가 표준화 전략 달성을 위한 청정에너지 태양광 국제표준화 기반조성).

태양광 기반의 통합발전소(VPP) 사업을 위한 Big Data 시스템 및 디지털 O&M 서비스

Big Data System and Digital O&M Service for PV-based VPP Business

최재형*[†]

Jaehyung Choi*[†]

*(주)에너닷

Abstract : 2025년 현재 대한민국의 태양광 발전 설비용량은 약 27.89GW에 이르며, 정부는 2038년까지 이를 122GW로 확대할 계획을 추진하고 있다. 그러나 급격히 증가한 태양광 발전소의 계통 연계로 인해 국내 전력망 인프라의 수용 한계가 나타나고 있으며, 이에 따라 전력시장 운영 및 관리 비용 또한 급증하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 2024년부터 가상발전소(Virtual Power Plant, VPP) 시범시장을 개설하였다. 해당 시장은 전력 생산 예측 데이터를 기반으로 한 일일 및 실시간 경매 시스템으로 운영되며, 이에 따라 대규모 데이터 기반의 태양광 설비 운영·관리(O&M) 및 인공지능(AI)을 활용한 발전량 예측 기술이 핵심 요소로 부상하고 있다.

이에 ENERDOT(에너닷)은 태양광 발전 자산의 전주기 관리 과정에서 생성되는 정형 및 비정형 데이터를 실시간으로 수집·통합하기 위한 빅데이터 표준 시스템을 구축하고 고도화를 진행 중이다. 에너닷의 태양광 설비 빅데이터 표준은 발전소의 입지, 설계, 구성 기기, 센서, 기상 데이터 등 다양한 데이터 소스를 통합하여 품질 관리와 데이터 활용 효율성을 극대화하며, 이를 통해 VPP 사업자들이 발전량 예측 및 자산 관리 최적화를 효율적으로 수행할 수 있도록 지원한다.

또한 에너닷은 데이터 수집 및 관리를 위한 전용 플랫폼 기술을 개발하고, 현장에서 데이터를 직접 수집·활용할 수 있는 디지털 자산 관리(Digital Asset Management, DAM) 서비스를 설계·운영하고 있다. 해당 플랫폼은 발전소의 성능 진단, 예측 모델 학습, 실시간 모니터링, 이상 탐지 등 주요 기능을 통합 제공하여, 분산형 전원 기반의 안정적 전력계통 운영을 위한 기술적 기반을 마련하고 있다.

본 연구에서는 에너닷의 데이터 표준화 구조와 플랫폼 아키텍처를 소개하고, 이를 VPP 시장 내 실제 적용 사례와 함께 분석함으로써 향후 대규모 재생에너지 통합 관리체계의 발전 방향을 제시한다.

Key Words : 가상발전소(Virtual Power Plant), 재생에너지 빅데이터(Renewable Energy Big Data), 디지털 자산관리(Digital Asset Management)

[†] Corresponding author, E-mail: patrick@enerdot.co.kr

산업단지 적용 태양광 발전 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Solar Power Generation Systems Applied to Industrial Complexes

오원욱*[†]

Wonwook Oh*[†]

*충북테크노파크 차세대에너지센터

Abstract : 최근 정부는 2030년까지 산업단지에 총 6GW 이상의 태양광 발전 시스템의 보급을 목표로 하고, RE100 산업단지 조성을 위한 다양한 정책을 발표하고 있다. 산업단지 태양광은 산업단지 내 공장 지붕, 주차장 등 유휴부지를 활용하여 태양광 발전 시스템을 설치하는 모델이다. 본 발표에서는 청주산업단지에 적용중인 에너지자급자족 인프라 구축 사업의 일환으로 9개소 산단 태양광 약 3MW 규모의 발전소의 성능을 분석하였다. 최신 태양광 모듈은 대부분 양면 모듈을 사용함으로 성능비율의 경우 단면 태양광 모듈보다 10~20% 이상의 높은 값을 나타낸다. 그 외에도 자가소비형 태양광을 설치한 경우 내부 부하에 의한 발전 차단 등의 이슈 등, 산업단지 태양광을 설계, 설치, 운영 및 유지관리에 대한 다양한 이슈에 대해 다룰 예정이다. 향후 산단 태양광 발전 시스템의 확대를 위해서 표준화된 정책과 기준 등이 필요하다.

Key Words : 산업단지(Industrial complex), 태양광 발전 시스템(PV power system), 성능분석(Performance analysis), 양면 태양광 모듈(Bifacial PV modules), 미스매치(Mismatch)

[†] Corresponding author, E-mail: wwoh@cbtp.or.kr

태양광모듈 생산 및 설치 탈탄소화

Pathways to Decarbonise Emissions of PV Deployments

Moonyong Kim^{*†}, Sisi Wang^{*}, Li Wang^{*}, Yuchao Zhang^{*}, Nathan Chang^{*}, Catherine Chan^{*}, Brett Hallam^{*}

^{*}School of Photovoltaic and Renewable Energy Engineering, UNSW Sydney

Abstract : Global cumulative photovoltaic (PV) installed capacity has reached over 2 terawatt last year with over 600 GW annual installation. Emissions from the manufacturing process and the raw materials needed to make them contribute to a carbon footprint. For PV to become a significant global power source, the entire industrial chain should be decarbonised to support sustainable expansion. The amount of electricity generated by a solar panel varies according to the installed location and chosen mounting structure. This changes the effective material consumption and the associated effective carbon emissions of electricity produced by each solar panel. This study investigates the impact of different PV mounting systems on energy yield and carbon emissions, focusing on the key configurations of Fixed Tilt (FT), East-West (EW), and Single Axis Tracking (SAT) systems. We demonstrate that the material consumption can vary, along with the impact on carbon emissions in terms of both tCO_2/Wp and tCO_2/kWh . Pathways to reduce the global warming potential are also discussed, including incorporating green steel, decarbonised concrete, recycled materials and using green electricity to manufacture the materials.

Key Words : Sustainability, crystalline silicon solar cells, green steel, green concrete, decarbonisation

[†] Corresponding author, E-mail: moonyong.kim@unws.edu.au

멀티헤드 어텐션과 MLP 융합 기반 태양광 발전량 예측

Short-Term PV Forecasting with Multi-Head Attention and MLP Fusion

문정민*, 김주희*, 김창헌*[†]

Jungmin Moon*, Ju-Hee Kim*, Changheon Kim*[†]

*한국광기술원 AI에너지연구센터

Abstract : 태양광 발전량은 운량과 일사량의 급변으로 짧은 시간에도 크게 요동한다. 실시간 운영과 저장 장치 스케줄링의 효율을 높이려면 단기 예측의 정밀도가 필수적이다. 본 연구는 공개 태양광 발전 데이터를 바탕으로, 서로 다른 신호를 포착하는 다중 백본을 병렬로 구성한 하이브리드 모델을 제안한다. 융합 단계는 두 가지 경로로 수행한다. 첫째, 브랜치 잠재벡터를 단순 연결한 뒤 다층 퍼셉트론으로 통합하는 MLP 융합. 둘째, 멀티헤드 어텐션을 이용해 시점마다 유효한 브랜치에 가중을 싣는 MHA 융합이다. 데이터 주기는 30분으로 구성되어 있으며, 훈련 데이터는 연속 3년치를 사용하고 테스트에서는 각 파일에 7일 데이터를 입력한 뒤 이어지는 2일, 총 96개 시점을 예측해 성능을 평가한다. 전처리 단계에서는 시계열 정렬과 중복 관측의 평균화, 중앙값 보간으로 데이터 일관성을 확보하였다. 시·분 주기는 사인·코사인 임베딩으로 표현하고, 발전량과 기상 변수에 대해 다중 래그와 이동 평균·이동 표준편차를 부여하여 시간적 맥락을 강화하였다. 예측 안정성을 위해 전일 같은 시각과 전주 같은 시각 정보를 결합해 기준선을 구성한 뒤, 구간의 밝기에 따라 잔차 정의를 달리했다. 즉, 일사량이 충분한 밝은 구간에서는 기준선 대비 비율 잔차를 학습하여 스케일 변화에 유연하게 대응하고, 약광·야간에서는 값 자체의 차이를 보는 덧셈 잔차를 학습해 분모가 작은 상황에서도 안정성을 확보했다. 추론 단계에서는 학습된 잔차를 기준선과 결합해 최종 발전량을 복원하며, 물리적 타당성을 위해 음수 값은 0으로 제한했다. 모델 구조는 DLinear가 추세 성분을, LSTM이 순차 의존을 담당한다. TCN은 팽창 합성곱으로 넓은 수용영역을 확보한다. PatchTST는 패치 단위 트랜스포머 인코더로 전역 문맥을 학습한다. 평가에는 시간 순서를 보존하는 TimeSeries-Split을 적용하였으며, 분할 경계에는 윈도우 길이와 동일한 공백을 두어 특성 누수를 방지하였다. 실험 결과, 제안된 하이브리드 모델은 단일 백본 대비 예측 오차(MAE)가 DLinear 9.88, PatchTST 10.34에 비해 9.46으로 향상되어 복합 구조의 효과를 입증하였다. 본 연구는 태양광 발전량의 단기 변동성을 정밀하게 예측함으로써, 실시간 에너지 운영과 저장장치 제어 효율을 높이는 데 기여할 수 있다.

Key Words : 태양광 발전량 예측 (Photovoltaic power forecasting), 하이브리드 딥러닝 (Hybrid deeplearning), 멀티헤드 어텐션 (Multi-Head Attention), MLP 융합 (MLP fusion)

[†] Corresponding author, E-mail: chkim@kopti.re.kr

후 기

본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 신재생에너지핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00358809).

국내외 RE100 이행 동향과 시사점

Recent Trends and Implications of RE100 Implementation in Korea and Abroad

지영승*[†]

Young-Seung Jee*[†]

*(사)한국에너지융합협회

Abstract : This study aims to analyze recent trends in corporate implementation of RE100 (Renewable Energy 100%) under the increasingly stringent global climate trade environment and to derive strategic and policy implications for the Korean industrial sector.

Based on the RE100 Technical Criteria and annual disclosure reports, this study compares and analyzes the membership status of global and Korean RE100 participants, the utilization ratio of various procurement methods, and the overall level of renewable energy supply. In addition, case studies of major global and domestic corporations were reviewed to identify institutional limitations and propose improvement directions for Korea's RE100 implementation framework.

The analysis shows that, due to the limited supply and high procurement cost of renewable energy in Korea, most companies rely on short-term compliance through the Green Premium scheme. However, Korean companies participating in the global RE100 initiative tend to prioritize implementation at their overseas operations, where renewable energy is more readily available and less expensive. In contrast, advanced economies such as those in Europe and the United States have established market-based RE100 systems that integrate various procurement mechanisms, including long-term Power Purchase Agreements (PPAs), Renewable Energy Certificates (RECs), and green tariff programs.

The study concludes that, for Korea to maintain competitiveness within global supply chains, it is essential to (1) expand renewable energy supply and reform the power market structure, (2) provide policy support to reduce RE100 compliance costs, and (3) strengthen the infrastructure of the domestic power industry.

[†] Corresponding author, E-mail: mark@koeca.or.kr

실리콘 태양전지의 분극형 Potential Induced Degradation (PID) 연구

Polarization Type of Potential Induced Degradation (PID) in Crystalline Silicon Solar Cell

배수현*[†]

Soohyun Bae*[†]

*한국에너지기술연구원 태양광연구단

Abstract : 태양광 모듈은 서로 직렬로 연결되며 시스템 단위의 약 1000V 이상의 전압이 발전됨. 안전 이슈로 접지된 프레임과 발전을 진행하는 태양전지 간 전위차로 인해 고 전위차가 양 단에서 발생함에 따라 태양광 모듈의 고전압 열화 (Potential induced degradation, PID)이 발생할 수 있음. 과거 p-type 기반 태양전지의 경우 유리 내부 Na 이온에 의한 병렬저항, 즉 Fill factor (FF) 감소가 주 원인으로 지목되었으나, 최근 가장 많이 설치되는 양면형 PERC 혹은 TOPCon 구조 태양전지를 적용한 모듈에서는 분극형 (Polarization type) PID가 보고되고 있음. 이러한 분극형 PID가 발생하는 원인에 대해 양면형 n-PERT 태양전지를 기준으로 그 원인을 실험적으로 분석함. 이를 통해 FF 위주의 감소로 인한 PID 현상이 아닌 표면 패시베이션 특성 저하로 인한 출력 저하가 분극형 PID의 주요 원인임을 확인함.

Key Words : 고전압 열화(Potential induced degradation), 태양광 모듈(Photovoltaic module)

[†] 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).

대규모 수상 태양광 활성화를 위한 제도화 방안 마련 실증연구

Demonstration Study on Establishing Institutionalization Arrangement to activate Large-scale Floating PV

조현식^{*†}, 이지은^{*}, 정준기^{*}, 양동건^{*}, 최면귀^{*}

Hyunsik Jo^{*†}, Jieun Lee^{*}, Jungi Jeong^{*}, Donggeon Yang^{*}, Myeongwi Choi^{*}

^{*}한국수자원공사 K-water연구원

Abstract : 수상태양광은 설치면적의 제한, 산림훼손 및 산사태 등 환경의 영향을 끼칠 수 있는 육상태양광의 한계를 극복하고, 유휴 수면을 사용하는 국토의 효율적 활용과 수면의 냉각 효과 등에 의한 발전량 향상까지 취할 수 있어 2011년 합천댐에 500kW급 수상태양광 발전소가 세계 최초 상용화 이후 많은 연구와 사업이 활발하게 진행되고 있다. 최근에는 국내 제1호 신재생에너지 집적화단지인 임하댐 수상태양광 47.2MW가 준공되어 상업 발전을 시작하였다. 하지만, 수상태양광의 규모가 커질수록 수상위에서 생산된 직류 전력을 육상에 설치된 인버터로 송전하는 수중케이블의 거리 및 회선 수가 증가함에 따라 설치비가 증가하고 1,500V의 저압 케이블 사용에 따라 전압강하에 의한 발전손실이 증가하여, 수상태양광의 LCOE(Levelized Cost of Energy)가 상승하는 문제가 수반된다. 이에 따라 생산된 에너지를 전력계통에 효율적으로 연계할 수 있는 발전성능 향상 및 송전설비 최적화 기술이 요구되고 있으며, 대표적인 돌파 기술로 배전급의 전기실을 수면 위에 부유식으로 설치하는 방안이 전 세계적으로 제시되고 있다. 이처럼 대규모 수상태양광을 활성화하기 위해서는 기술개발도 중요하지만 개발된 기술의 상용화가 가능하게 하는 제도적인 뒷받침 또한 매우 중요하다. 본 논문에서는 대규모 수상태양광 활성화를 위해 필수적인 부유식 변전소 기술개발, 실증, 기술기준(안)까지 개발하는 실증연구에 대해 서술한다.

Key Words : 수상태양광(Floating PV), 재생에너지(Renewable Energy), 부유식 변전소(Floating substation)

[†] Corresponding author, E-mail: hsjo@kwater.or.kr

후 기

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00459289)

고주파 공진 기반 원격 가열 기법을 이용한 갈륨 도핑 PERC 태양전지 모듈의 광열화 회복 공정 기술 개발

Development of Recovery Process on Light-induced Degradation for Gallium-doped PERC Solar Cell Modules using Remote Heating Techniques Based on High Frequency Electromagnetic Field Resonance

이태규^{*,**}, 제용훈^{*,**}, 김수민^{*†}

Taegyu Lee^{*,**}, Yonghun Je, Soo Min Kim^{*†}

*한국세라믹기술원 AI융합연구단, **부산대학교 재료공학과

Abstract : The photovoltaic sector is driven by the demand for high-efficiency solar cells, with p-type PERC cells currently dominating the market at 22–23% efficiency. A significant performance bottleneck is Light-Induced Degradation (LID), which is particularly critical in advanced devices. While the performance lost to LID can be restored via a regeneration process involving light and heat, this regenerative state is often nullified during module fabrication. Consequently, LID reoccurs after outdoor deployment. To address this, we developed a non-destructive, in-situ regeneration method for the fully assembled module. The technique selectively heats the solar cells using an inductive magnetic field, thereby inducing recovery without damaging the module's polymeric materials. A half-bridge resonant circuit was employed for magnetic field generation, with current regulation ensuring precise thermal control. Temperature mapping was conducted using an IR camera and other sensors. Real-time open-voltage measurements facilitated the observation of dynamic minority carrier lifetime changes. Furthermore, kinetic simulations were utilized to determine the photothermal activation energy necessary for module-level regeneration. This research thus provides a foundation for renewable state accreditation and the extraction of critical kinetic parameters. In summary, this work introduces a practical, anti-deterioration technology applicable at the module level, substantially enhancing the long-term reliability of solar power systems.

Key Words : 광열화(LID), 고주파 공진 전자기장(High frequency resonance electromagnetic field), 원격가열(Remote heating), PERC(PERC)

[†] 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) and the Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology (KICET, KFB25002-0-01) grant funded by the Korean government (MSIT, MOTIE).

I-V 곡선과 합성곱 신경망을 이용한 태양광 고장진단 기술

Convolution Neural Network Approach for Fault Diagnosis of PV Strings Using I-V Curves

신우균*, 이진석*, 주영철*, 황혜미*, 고석환*[†]

Woogyun Shin*, Jinseok Lee*, Youngchul Ju*, Hyemi Hwang*, Sukwhan Ko*[†]

*한국에너지기술연구원, 신재생시스템연구실

Abstract : Countries worldwide are expanding the adoption of renewable energy to achieve carbon neutrality by 2050. Among the renewable sources, solar energy has experienced the fastest growth and largest deployment. As the number of photovoltaic (PV) plants increases, the operation and maintenance market expands, along with fault-diagnosis technologies that integrate traditional methods with artificial intelligence. This study proposes a fault-diagnosis technique that utilizes normalized current-voltage (I-V) curves of PV strings and a convolutional neural network (CNN). Measured I-V curves were normalized using a simulation model considering irradiance, module temperature, and degradation rate. The normalized curves were labeled as normal or as one of six fault types based on patterns and electrical parameters. A CNN trained with these data achieved training and validation accuracies of 99.34% and 99.39%, respectively.

Key Words : 태양광 스트링(Photovoltaic strings), I-V 곡선(I-V curves), 합성곱 신경망(Convolution Neural Networks), 수학적 모델(Mathematical model), 혼동 행렬(Confusion matrix)

[†] Corresponding author, E-mail: korea19@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 한국에너지기술연구원 주요 사업(C5-2427)의 지원을 받아 수행한 연구과제의 결과입니다.

페로브스카이트/실리콘 탠덤의 재결합 접합 형성을 위한 은(Ag) 나노결정립 계면 연구

Nano-Ag Crystallite Interface Engineering for Recombination-Junction Formation in Monolithic Perovskite/Silicon Tandems Solar Cells

최동진*, 조수진**, 한동운*, 김효규*, 심명섭**, 편도원***, 송호영***, 남지연***,
정석현***, 이해석****, 김성탁*[†]

Dongjin Choi*, Sujin Cho**, Dongwoon Han*, Hyo Kyu Kim*, MyeongSeob Sim**,
Dowon Pyun***, Hoyoung Song*, Jiyeon Nam*, Seok-Hyun Jeong***,
Hae-Seok Lee****, Seongtak Kim*[†]

*한국생산기술연구원 강원기술실용화본부, **고려대학교 신소재공학과,
고려대학교 에너지기술공동연구소, *고려대학교 융합에너지공학과

Abstract : Commercial deployment of monolithic perovskite/silicon tandems requires high efficiency and compatibility with standard production lines. Device efficiencies above 30% have been reported. In Photovoltaic(PV) market, TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact, TOPCon) is the dominant single-junction silicon structure and tolerates high-temperature steps that, on standard lines, enable formation of a transparent conductive oxide (TCO) layer at the recombination junction. We study the recombination junction in TOPCon-based tandem solar cells but, instead of a TCO layer, exploit commercial TOPCon metallization (Ag contact formation) to generate nano-Ag crystallites on n+ poly-Si. A short firing during Ag metallization forms a compact Ag/Ag-oxide/Si interlayer that preserves optical transmission and electrical coupling. Structure and chemistry are verified by SEM (scanning electron microscopy), TEM (transmission electron microscopy), and XPS (X-ray photoelectron spectroscopy); device behavior by I-V (current-voltage) analysis and UV-Vis (ultraviolet-visible) spectroscopy. XPS identifies Ag₂O/AgO within the interlayer. This interlayer concept offers a TCO-free, manufacturing-ready route to constructing the recombination junction in monolithic perovskite/Si TOPCon tandems.

Key Words : 페로브스카이트/실리콘 탠덤(Perovskite/Silicon tandem), 재결합층(Recombination layer), 계면 연구 (Interface engineering), 나노 은 결정립(Nano-Ag crystallites), 광 투과도(Optical transmittance)

[†] Corresponding author, E-mail: seongtak@kitech.re.kr

Precursor Solution Engineering for Improved Cation Disorder of Molecular Ink-Derived AgBiS₂ Solar Cells

이다슬*, 서형원**, 박종성*,**†

Da Seul Lee*, Hyeong Won Seo**, Jongsung Park**,†

*경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원, **경상국립대 에너지공학과

Abstract : Silver bismuth sulfide (AgBiS₂) is a promising, non-toxic, and earth-abundant photoabsorber with an appropriate bandgap for sustainable photovoltaic applications. A comprehensive understanding of solvent interactions within precursor chemistry is essential for optimizing film quality and enhancing the photovoltaic performance of solution-based AgBiS₂ devices. In this study, we investigate the coordination behavior within the Bi(NO₃)₃·5H₂O-thiourea-DMSO-AgNO₃ system, emphasizing the effects of precursor sequence engineering. While the coordination between thiourea and metal ions is well established, we report for the first time the coordination of dimethyl sulfoxide (DMSO) to metal ions in this system. Additionally, we examine how such coordination influences film morphology and photovoltaic efficiency. The introduction of Ag⁺ ions prior to Bi³⁺ ions (Sequence 2) promotes homogeneous cation disorder, mitigates excessive Bi-S coordination, and enhances film quality, contrasting with the Bi³⁺-first addition approach (Sequence 1), which results in inferior photoelectric properties. Devices fabricated using Sequence 2 and Sequence 1 shows significantly different photovoltaic performance. These findings underscore the critical role of solvent coordination modulated by precursor mixing order as a key parameter in the design of high-quality films for solution-processed metal chalcogenide and halide photovoltaic systems.

Key Words : Silver bismuth sulfide, Precursor engineering, Cation disorder, Solar cells

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

허니콤 샌드위치 구조체를 백시트로 활용한 경량형 태양광 모듈

Lightweight PV Modules with Integrated Honeycomb Sandwich Structures as Backsheets

박민준^{*†}, 윤성민^{*}, 정채환^{*}

Min-Joon Park^{*†}, Sungmin Youn^{*}, Chaehwan Jeong^{*}

^{*}한국생산기술연구원 에너지나노그룹

Abstract : The rapid expansion of the photovoltaic (PV) market has accelerated the demand for module designs tailored to diverse applications. Among these, lightweight PV modules have garnered significant attention, particularly those utilizing polymer films in place of conventional front glass. However, the reduced mechanical strength of front-film-based modules necessitates the incorporation of structural reinforcements. In this study, we address this challenge by integrating a honeycomb sandwich structure as a substitute for conventional PV backsheets, enhancing both rigidity and structural integrity. This was achieved through a simple one-step lamination process, streamlining fabrication. Furthermore, we successfully implemented a shingled cell layout, allowing for a denser packing of solar cells within a confined area, resulting in a module with a conversion power of 205.80 W over an area of 1.034 m². The final module exhibited a lightweight profile of 6.2 kg/m² and passed standard reliability tests, confirming its potential for practical deployment in applications requiring both high efficiency and reduced weight.

Key Words : 결정질 실리콘 태양광 모듈(c-Si solar modules), 경량(Lightweight), 허니콤 샌드위치 구조체(Honeycomb sandwich structure), 백시트(Backsheet),

[†] Corresponding author, E-mail: pk5659@kitech.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 에너지기술평가원의 재원으로 차세대 박막 태양광 모듈 개발 및 실증사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2024-00457537).

BIPV 시스템의 Mock-up 성능 분석: 단열 외벽과 커튼월 비교

Performance Analysis of a BIPV System Mock-up: Comparison Between Insulated Wall and Curtain Wall

박진웅*, 정수빈**, 김진희***, 김준태****†

Jinwoong Park*, Subin Jeong**, Jinhee Kim***, Juntae Kim****†

*국립공주대학교 건축공학과, **국립공주대학교 에너지시스템공학과,

***국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

****국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : BIPV(Building Integrated Photovoltaics)는 전기를 생산하는 동시에 지붕, 외벽, 창문 등 건물의 외피 역할을 하는 신재생에너지 시스템이다. 도시의 제로에너지건축물 달성을 위해, 건물의 넓은 입면을 주요 발전 공간으로 활용하는 입면형 BIPV 시스템의 역할이 중요해지고 있다. BIPV는 태양광 모듈이므로 온도가 상승하면 발전 효율이 감소하는 특성을 갖는다. 동시에 건물 외피로 사용되기 때문에, 외벽의 구조는 모듈의 온도 환경을 좌우하는 직접적인 요인이 된다. 단열 외벽 시스템은 BIPV 후면에 단열재가 시공되며, 커튼월 시스템은 BIPV가 복층화된다. 이러한 구조적 차이가 BIPV의 열 및 발전 성능에 구체적으로 미치는 영향에 대한 규명이 필요하다. 따라서 본 연구는 실물과 동일한 설치환경으로 구성되는 BIPV 시스템을 설계 및 시제작하였다. 그리고 G/B 단열 외벽과 G/G 커튼월로서 외피 실험 모델이 적용된 Mock-up 실험을 통해 열 및 발전 특성을 분석하였다.

Key Words : 건물일체형 태양광(Building Integrated Photovoltaics), mock 실험(Mock-up Test), 열 및 발전 특성(Thermal and Power Characteristics), 단열 외벽(Insulated Wall), 커튼월(Curtain Wall)

† 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)

수직 양면형 PV 시스템의 방위 및 알베도에 따른 발전성능 비교 · 분석

Comparative Analysis of Power Generation Performance of Vertical Bifacial PV Systems according to Azimuth and Albedo

김지원*, 장준원**, 정수빈**, 김진희***, 김준태****†

Jiwon Kim*, Junwon Jang**, Subin Jeong**, Jinhee Kim***, Juntae Kim****†

*국립공주대학교 건축공학과, **국립공주대학교 에너지시스템공학과,

***국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

****국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 탄소중립을 위한 노력의 일환으로 신재생에너지 보급 확대 및 의무화가 이루어지면서 태양광 발전(Photovoltaic; PV) 시스템의 설치 규모가 지속적으로 증가하고 있다. 일반적으로 국내 PV 시스템은 발전량을 극대화하기 위해 설치 지역의 위도에 따른 최적 경사각을 설정하고 정남향으로 설치된다. 그러나 국내의 제한된 대지 면적으로 인해 남향 PV 시스템 설치에 한계가 있으며, 이에 대한 대안으로 수직 양면형 PV 시스템이 주목받고 있다. 양면형 모듈은 전면뿐만 아니라 후면으로 입사되는 반사광까지 활용하므로 동일 조건에서 단면형 모듈 대비 더 높은 발전량을 기대할 수 있다. 또한 모듈을 수직으로 설치할 경우 도로 방음벽, 영농형, 건물 난간 등 다양한 분야에 적용 가능성이 높으며, 방위에 따라 피크 발전 시간대가 분산되는 효과를 기대할 수 있다. 수직 양면형 PV 시스템의 발전 성능은 전·후면의 방위각, 지면 반사율 등 설치 환경에 크게 영향을 받으므로, 제한된 공간에서 발전량을 극대화하기 위해서는 이러한 환경적 요인을 종합적으로 고려한 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 옥외 실험을 통해 수직 양면형 PV 시스템의 방위 및 지면 반사율에 따른 발전효율 및 발전량을 비교·분석하였으며, 시뮬레이션 모델링을 통해 연간 발전량을 분석하였다.

Key Words : 수직형 PV 시스템(Vertical PV System), 양면형 PV 모듈(Bifacial PV System), 방위각(Azimuth Angle), 지면반사율(Albedo), 발전량(Power Generation)

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

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2023-002 66248, RS-2023-00243098)

Oral Session

태양열융합

Solar Thermal Convergence (STC) Session



냉각자켓 기술을 이용한 대량생산용 태양광열(PVT) 복합 모듈 개발

Development of A photovoltaic-thermal (PVT) Module Applicable to Mass Production Using Cooling-jacket Technology

주홍진*[†], 이경호*, 안영섭*, 이왕제*, 김민휘*, 김득원*, 김종규*

Hong-Jin Joo*[†], Kyoung-Ho Lee*, Young-Sub An*, Wang-Je Lee*, Min-Hwi Kim*,
Deuk-Won Kim*, Jong-Kyu Kim*

*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실

Abstract : 본 연구는 태양광열(PVT) 복합 모듈의 국내 도입 촉진과 가격 경쟁력 향상을 목표로, 대량생산을 통한 저가화가 가능하면서도 KS 표준(안)에 명시된 사용 온도 범위(0℃~80℃)에서의 열평균 출력 기준을 만족하는 PVT 모듈을 개발하고자 수행되었다. 이를 위해 대량생산이 용이하고 열효율이 우수한 냉각자켓 방식의 PVT 전용 열회수 장치를 설계·제작하였다. 개발된 열회수 장치는 현재 국내 시장에 보급 중인 600W급 상용 PV 모듈에 적용되었으며, KS B 8295 및 ISO 9806 시험 규격에 따라 성능 평가를 수행하였다. 평가 결과, 냉각자켓이 적용된 PVT 모듈은 사용 온도 범위 0℃~80℃에서 열평균 출력 160 W/m² 이상을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

Key Words : 태양광열 복합 모듈(Photovoltaic Thermal Module), 열 및 전기 성능(Thermal and electrical performance), 냉각자켓(Cooling Jacket), 대량생산(Mass Production)

[†] Corresponding author, E-mail: joo@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 한국에너지기술연구원의 자체사업(C5-8102)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

산업용 열공급설비 설계플랫폼 개발

Development of Industrial Thermal Energy Optimization Platform

조성훈*[†], 임병주*, 이가람*, Muhammad Farooq**, 권시은**, 박창대***

*한국기계연구원 탄소중립기계연구소, **과학기술연합대학원대학교 플랜트기계공학과

Abstract : 전 세계 최종 에너지 소비량의 약 49%는 열에너지로 소비되며, 이 중 75%가 화석 연료를 통해 공급되고 있다. 특히, 산업 부문은 전체 에너지 소비의 33%를 차지하며, 국내에서는 61.7%에 달해 온실가스 배출 저감의 핵심 대응 분야로 지목되고 있다. 산업 부문의 탈탄소화를 위해 고온 히트펌프(HTHP: High-Temperature Heat Pump)가 주목받으나, 60℃ 이상의 안정적인 열원 확보는 여전히 과제이다. 이러한 열원 확보 한계를 극복하기 위해서는 태양열을 활용한 산업용 태양열 히트펌프 시스템(SoHProTES: Solar-Heat Pump Industrial Process Thermal Energy Supply System)과 같은 열공급설비가 열공급 공정설계에 반영 될 수 있어야 한다. 본 논문은 산업 공정의 다양한 수요 조건들을 반영하여 열공급설비들을 조합, 시뮬레이션, 경제성 분석함으로써 최적의 열공급설비 구성을 도출하는 산업용 열공급설비 설계플랫폼(iTOP: Industrial Thermal Energy Optimization Platform)에 대해 기술한다. iTOP의 열공급설비 구성에는 기존 열공급 설비뿐만 아니라 SoHProTES를 포함하므로, 친환경 열공급설비의 효율적인 설계와 최적화가 가능하다.

Key Words : 산업 탈탄소화(Industrial Decarbonization), 설계플랫폼(Design platform), 산업공정(Industrial process), 태양열 융합 히트펌프(Solar thermal heat pump), 열공급설비 최적화(Thermal energy supply optimization)

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

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : 20220810100020, RS-2024-00419184).

하프셀 태양광열 복합패널과 열관리시스템 기술 개발

Development of Half-Cell Solar PVT and Thermal Balance of System

박형준*[†], 유원대*

Hyounghoon Park*[†], Wondae Ryu*

*장한기술(주)

Abstract : 일반적인 태양광 패널은 태양 에너지의 약 20%만을 전기로 변환하고 나머지는 대부분 열로 손실된다. 태양광 패널은 온도가 오를수록 효율이 떨어지는 특성이 있어 손실되는 열이 패널의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 태양광열 복합패널은 태양광 모듈 뒤에 열교환기를 설치해 버려지는 열에너지를 회수한다. 이 메커니즘은 열에너지를 회수해 유용한 온수를 생산하고 태양광 모듈의 작동 온도를 크게 낮추어 사용 환경과 조건에 따라 전기를 5-15%까지 더 생산한다. 현대 건축과 도시 환경에서 공간은 점점 더 귀중한 자원이 되고 있고 태양광열 복합 패널은 태양광 패널과 태양열 집열기를 각각 설치하는 것에 비해 최대 40% 더 적은 공간으로 같은 양의 재생에너지를 생산할 수 있어, 옥상 면적이 제한된 도시의 건물에 큰 이점을 제공한다.

본 논문에서는 출력 정격(630W)이 높고 안정적인 하프셀 태양광 패널을 적용한 복합패널에서 생산된 열에너지를 효율적으로 관리하고 활용하기 위한 열관리시스템 기술을 제시 하였다. 열관리시스템 기술은 태양광 복합패널에서 생산한 열에너지를 저장하고, 이를 건물의 부하에 활용할 수 있도록 연결하는 열관리 장치이다. 열에너지를 저장하는 드레인백 탱크를 중심으로 열매체를 순환시키기 위한 펌프, 건물의 부하와 연결하기 위한 코일형 열교환기, 그리고 이를 제어하는 컨트롤러로 구성되어 있다. 모든 구성요소를 하나의 패키지로 통합하여 설계와 설치 과정을 간소화하여 현장의 시공 기간을 단축해 비용을 절감하고 안전 관리 부담을 경감한다.

Key Words : 태양광열복합패널(Photovoltaic Thermal Panel), 폴리머집열기(Polymer Solar Collector), 축열조(Thermal Energy Storage), 급탕시스템(Hot Water Supply System), 열관리시스템(Thermal Balance of System)

[†] Corresponding author, E-mail: hjpark@janghan.co.kr

산업공정열 공급을 위한 태양에너지 활용 현황

Current Status of Solar Energy Utilization for Industrial Process Heat Supply

권시은^{*,**}, 임병주^{**}, 조성훈^{**}, 이가람^{**}, 파룩^{*,**}, 박창대^{*,**†}

Si-Eun Kwon^{*,**}, Byung-Ju Lim^{**}, Sung-Hoon Cho^{**}, Ga-Ram Lee^{**},
Muhammad Farooq^{*,**}, Chang-Dae Park^{*,**†}

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

Abstract : 국내 제조업의 에너지 소비 중 약 65%는 산업공정에서 발생하며, 이 중 60% 이상이 공정열 생산에 사용된다. 따라서 산업 부문의 높은 화석연료 의존도는 탄소중립 달성을 위한 핵심 과제이며, 열공급 체계를 재생에너지로 전환할 필요가 있다. 태양에너지는 탈탄소화를 위한 주요 대체 에너지원으로 주목받고 있으나, 태양열 시스템은 직접 열 공급이 가능하지만 고온열 공급을 위해 추가 설비가 필요하고 설치비용이 높다. 반면 태양광 기반 P2H(Power-to-Heat) 시스템은 설치비용이 낮지만, 에너지 변환 과정에서 효율 손실이 발생한다. 태양에너지의 종류와 시스템 구성에 따라 다양한 장단점이 존재함에도, 산업공정열 공급을 위한 시스템 간의 구체적인 비교 분석은 아직 충분히 이루어지지 않았다. 본 연구는 국내외 선행연구를 중심으로 산업공정열 공급을 위한 태양에너지 시스템의 기술 발전 현황을 검토하고, 주요 시스템의 성능지표 및 경제성을 비교 분석하여 향후 시장 확대를 위한 개선 방향을 제시하고자 한다.

Key Words : 태양열 에너지(Solar thermal energy), 산업공정(Industrial process), 열 공급(Thermal energy supply), 태양광발전시스템(Photovoltaic system), P2H(Power to heat)

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

후 기

본 연구는 산업통산자원부의 재원으로 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(과제번호 : 202400419184).

Oral Session

풍력에너지

Wind Energy Conversion (WEC) Session



해상 풍력 에너지의 주요 도전 과제와 연구 현황

Grand Challenges and Current Research Activities of Offshore Wind Energy

김태성*[†]

Taeseong Kim*[†]

*GIST 기계로봇공학과

Abstract : 전 세계적으로 풍력에너지 기반 전력 비중이 빠르게 증가하는 가운데, 유럽연합(EU)은 2030년까지 전체 발전량의 45%를 풍력에너지로 공급한다는 목표를 제시하였다. 이를 위해서는 약 425 GW 규모의 누적 풍력발전 설비가 구축되어야 하며, 이 중 해상풍력은 약 158 GW 수준이 요구되는 것으로 전망된다. 그러나 2025년 현재 EU에 설치된 풍력발전기는 육상 215 GW, 해상 21 GW 총 236 GW에 불과하여, 향후 6년간 최소 136 GW의 해상풍력 개발이 추가로 필요하고 이는 연평균 약 23 GW 규모의 신규 해상풍력단지 조성이 수반됨을 의미한다. 우리나라 역시 정부가 2030년 풍력발전 목표를 35 GW에서 78 GW로 상향 조정함에 따라 대규모 해상풍력 공급 확대가 국가 전략으로 부상하였다. 이러한 목표 달성을 위해서는 단위 면적 대비 발전량을 비약적으로 높일 수 있는 초대형 해상풍력발전기의 적용이 필수적이며, 최근 글로벌 발전기 제조사들은 15-20 MW급을 넘어 25 MW급 개발 목표를 제시하고 있다.

그러나 발전기 및 발전 단지의 대형화는 경제적 효율성을 제공하는 동시에 복잡적이고 다면적인 기술적 및 운영적 도전과제를 동반한다. 주요 난제로는 극한 해양 환경 하중(태풍, 파랑)에 대한 시스템의 구조적 신뢰성 확보, 초대형 블레이드 및 하부구조물의 운송·설치·유지보수(O&M) 인프라 구축, 수백 MW급 전력의 안정적인 계통 연계 및 변동성 제어 문제가 꼽힌다. 특히, 최근 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)이 제시한 풍력 에너지의 Grand Challenge 영역(Atmosphere, Turbine, Plant & Grid, Environmental Co-Design, Social Science)은 이러한 복합적인 난제들이 해상 풍력의 성공적인 대전환을 위해 반드시 해결되어야 함을 시사한다.

본 발표는 이러한 배경 아래, (1) 전 세계 및 국내 해상 풍력 확대 정책 및 설치 목표 현황을 정량적으로 정리하고, (2) 초대형 해상풍력 발전기의 개발 트렌드와 대형화가 제공하는 이점 및 동반 리스크를 언급하고, 마지막으로 (3) NREL Grand Challenge의 구체적 내용을 바탕으로, 이들 도전과제에 대응하기 위한 IEA Wind TCP 산하의 IEA Task들이 수행하고 있는 다양한 최신 연구 및 핵심 기술개발 동향에 대해서 발표하고자 한다.

Key Words : 해상풍력 (offshore wind energy), 초대형 풍력발전기 (ultra-large wind turbine system), 도전과제 (grand challenge)

[†] Corresponding author, E-mail: tkim@gist.ac.kr

후 기

이 논문은 2024년도 광주과학기술원 글로벌 선도대학 육성의 지원을 받아 수행된 연구임.

원거리 대규모 해상풍력 단지의 경제성 향상을 위한 부유식 에너지 아일랜드 허브 개발

Development of a Floating Energy Island Hub for Enhancing the Economic Feasibility of Far-Offshore Large-Scale Wind Farms

김용욱*[†], 안중은*, 이상길**, 박미호*, 윤상준*

Yong Yook Kim*[†], Jungeun An*, SangGil Lee**, Miho Park*, Sangjoon Yoon*

*고등기술연구원 그린시스템융합센터, **(주)젠텍이엔씨

Abstract : 원해 해역은 우수한 풍력 자원과 대규모 해상풍력 단지의 집적이 가능한 광활한 공간을 제공하지만, 전력 수요지로부터의 원거리 이격, 전력 인프라 구축의 높은 비용, 유지보수 항만까지의 접근성 부족 등으로 인해 경제성이 크게 제한된다. 본 연구에서는 이러한 제약을 근본적으로 완화하기 위해, 부유식 및 고정식 해상풍력 단지 모두와 연계 가능한 부유식 에너지 아일랜드 허브(Floating Energy Island Hub) 개념을 제안하였다.

본 허브는 원해에 설치되어 HVDC 공동접속구(joint connection node)로서 원거리 전력 이송 기능을 수행함과 동시에, 해상 유지보수와 물류 지원이 가능한 항만 기능을 겸하도록 구상되었다. 이를 통해 기존의 해상변전소, 유지보수선, 육상항만 인프라에 분산되어 있던 기능을 해상풍력 단지 군 중심에 집약함으로써, 향후 장기 O&M 비용 절감과 계통 연계 효율 향상을 동시에 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 본 과제에서는 국내 해양환경 및 수심 조건을 고려하여 수 GW급 HVDC 모듈 탑재가 가능한 선박형 하이브리드 부유체 개념 설계를 진행 중이며, 철강과 콘크리트를 복합 적용하여 10ha 이상의 상부 데크 면적을 확보할 수 있는 구조 대안을 검토하고 있다. 또한, 기술적·경제적 타당성 평가를 통해 부유식 에너지 아일랜드 허브가 장기적으로 ‘U자형 에너지 고속도로(Energy Highway)’와 연계되어 원해 대규모 해상풍력 단지의 균등화 발전원가(LCOE) 절감과 전국적인 재생에너지 전력망 활용성 향상에 기여할 수 있는 가능성을 탐색하고 있다.

Key Words : 부유식 해상풍력 허브(Offshore Floating Wind Hub), 에너지 아일랜드(Energy Island), HVDC, 에너지 고속도로(Energy Highway), 유지보수 항만(O&M Port), 해상풍력단지(Offshore Wind Farm)

[†] Corresponding author, E-mail: yongy.kim350@iae.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었음. (No. RS-2025-02473000)

국내 해양환경에 적합한 다목적 부유식 에너지 허브의 개념 설계에 대한 연구

A Concept Design Study on a Multipurpose Floating Energy Hub Suitable for Korea Offshore Environment

이상길*[†], 이동환*, 김용욱**

Sang-Gil Lee*[†], Dong-Hwan Lee*, Yong-Yook Kim**

*(주)젠텍이엔씨, **고등기술연구원

Abstract : The rapid growth of the offshore wind industry and the shift toward floating offshore wind turbine (FOWT) technology present new economic and logistical challenges. Specifically, the high costs and complex management of distributed export cables from individual FOWT farms pose a significant hurdle to maximizing the efficiency and economic viability of offshore wind power. To address these issues, a centralized, multi-purpose energy hub is essential, serving as both a central collection point for power transmission and a crucial maintenance and operation base.

While Gravity-Based energy hubs are primarily being developed overseas for relatively benign environments and shallow waters, the geographical characteristics of Korea, with its deep waters and extremely harsh marine conditions, necessitate a floating hub solution. This presents a unique challenge that requires a **world-first floating energy hub design concept** rather than a simple imitation.

Therefore, this study develops two conceptual designs for a floating energy hub with a large 400m * 400m deck to fulfill its diverse functional roles. The proposed designs, both based on technologies proven in the Oil & Gas industry, are a hybrid type that Semi-submersible and Spar concepts, and a Tension Leg Platform type. These modular concepts are developed with a focus on survivability, as well as fabrication, transportation, and installation feasibility.

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

[†] Corresponding author, E-mail: afluid@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).

10 GW급 부유식 해상풍력 허브를 활용한 수소 생산 시스템 개념설계

The Conceptual Design of a Hydrogen Production System Utilizing a 10 GW Scale Floating Offshore Wind Hub

이춘식*[†], 김용욱**

Chunsik Lee*[†], Yong Yook Kim**

*고등기술연구원 에너지환경연구센터, **고등기술연구원 그린시스템융합센터

Abstract : 100기 이상의 풍력타워를 효율적으로 운영하고 유지보수 하기 위한 해상풍력 허브는 거대한 부유식 구조물이 요구된다. 10 GW급 허브의 경우 Top Side 면적은 150,000 m², 무게는 100,000 ton 이상으로 추정되며, 구조물의 하부는 수심 100m 이상으로 예측된다. 해상 풍력의 특성상 4~10 m/s 풍속에서 발생하는 간헐성이 큰 전력은 전력망 송출이 어려우므로 에너지저장시스템(ESS)을 필요로 하며, 이를 위해 Top Side 면적 중 10~20% 수준의 할당이 필요한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 10 GW급 풍력 허브에서 간헐성이 큰 전력은 10%인 1 GW 수준이라고 가정하고, 1 GW의 폐전력을 활용한 컴팩트한 수소 생산 시스템 설계를 목표로 한다. 간헐성이 큰 전력을 통해 수소 생산을 하기 위해서는 배터리가 필수적으로 요구되고 배터리 활용에 따른 전력변환 및 부차적 손실을 고려할 때 실제로 활용 가능한 전력은 800 MW 이하이다. 약 800 MW 전력을 활용하여 해수 담수화, PEM 방식 수전해, 수소 압축, 수소 저장 과정을 순차적으로 거치는 수소 생산 시스템을 개념적으로 설계하였다. 그 결과 생산 가능한 고순도 수소는 시간당 8 ton, 1일 192 ton 수준인 것으로 분석되었다.

Key Words : 부유식(Floating), 수소 생산(Hydrogen Production), 해상풍력 허브(Offshore Wind Hub)

[†] Corresponding author, E-mail: sufaltus@iae.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었음. (No. RS-2025-02473000)

추력계수와 난류강도 변화에 따른 듀얼로터 풍력터빈 후류 특성 비교 연구

Comparative Study on Wake Characteristics of Dual-Rotor Wind Turbines under Varying Thrust Coefficient and Turbulence Intensity

김현규^{*†}, 허치훈^{*}, 고동규^{*}

Hyungyu Kim^{*†}, Chihoon Hur^{*}, Dongkyu Ko^{*}

^{*}고등기술연구원 그린시스템 융합센터

Abstract : 본 연구에서는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 기법을 이용하여 듀얼로터 (Dual-Rotor) 풍력터빈의 후류 특성을 단일로터(Single-Rotor) 풍력터빈과 비교·분석하였다. 블레이드의 공력 해석에는 Actuator Line Method(ALM)를 적용하였으며, 사용된 공력 데이터는 IEA 10MW 풍력터빈의 특성을 기반으로 구성하였다. 시뮬레이션은 추력계수(C_T)의 변화를 반영하기 위해 두 가지 풍속 조건 (8 m/s, 12 m/s)과 두 가지 난류 강도 조건(약 10%, 14%)에서 수행하였다. 이를 통해 다양한 운용 환경에서의 후류 특성을 평가하였다. 해석 결과, 동일한 환경 조건에서 멀티로터 시스템에서 발생한 후류 강도가 더 높은 것으로 확인되었다. 또한, 듀얼로터에서 발생한 후류의 풍속 결손(velocity deficit)은 추력계수와 난류강도에 따라 변화하였으며, 각 로터의 위치에 따라 그 변화 양상이 다름을 확인하였다.

Key Words : 후류(Wake), 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics), 멀티로터 풍력터빈(Multi-Rotor Wind Turbine), 액추에이터 라인(Actuator Line)

[†] Corresponding author, E-mail: khg@iae.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “국제공동기술개발사업 (2410008095_LCOE 저감을 위해 다중 터빈 시스템을 적용한 고밀집 부유식 풍력발전단지 설계 기술 개발 (2025))”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

초대형 해상풍력터빈 시스템 설계에 대한 예비 연구

Preliminary Study on System Design of Ultra-Large Offshore Wind Turbine

박미호^{*†}

Miho Park^{*†}

*고등기술연구원 그린시스템융합센터

Abstract : 본 연구에서는 경량화를 위해 저유도 로터(low induction rotor) 개념을 적용하여 가늘고 긴 세장형 블레이드를 설계했다. 이 경량화 설계 접근법은 터빈 하중을 줄이고 시스템 비용 효율성을 극대화하는 것을 목표로 한다. 연구 수행을 위해 NREL의 통합 시스템 설계 및 엔지니어링 모델인 WISDEM(Wind Plant Integrated System Design and Engineering Model) 툴이 핵심적으로 활용되었다. WISDEM은 균등화 발전비용(LCOE)을 핵심 목적 함수로 설정하여, 공력, 구조, 비용 등 다분야 해석 및 최적화를 수행하는 강력한 프레임워크이다. 최적화 과정은 308미터에 달하는 초대형 로터 직경과 335 W/m²의 낮은 비출력(specific power)을 특징으로 하는 저유도 로터 설계에 집중되었다. 이러한 낮은 비출력 설정은 개별 터빈의 최대 효율(Cp-max)보다는 단지 전체의 에너지 생산량과 시스템 하중 저감을 우선하는 저유도 설계 철학을 반영한다. 설계의 주요 제약 조건으로 평균해수면(MSL) 기준 최소 30미터의 블레이드 팁 간극(tip clearance)과 308m 로터 직경 확보를 위한 184m의 허브높이가 있다. 추가로, NREL FLORIS(FLOW Redirection and Induction in Steady-state) 툴을 이용한 풍력단지 후류(wake) 해석이 병행되었다. 분석 결과, 개발된 저유도 로터는 최대출력계수(Cp-max) 달성을 목표로 설계된 전통적인 로터 대비 현저히 낮은 추력(thrust)을 발생시키는 것으로 확인하였다. 이는 낮은 축방향 유도 계수(axial induction factor)로 운용되는 저유도 로터의 고유 특성이다. 낮은 추력은 터빈 후방에 생성되는 후류의 강도를 약화시키고 더 빠른 풍속 회복을 촉진시키게 된다. 개발된 저유도 로터에 대한 후류 해석 시뮬레이션 결과, 풍력 단지 내 하류 터빈들이 겪는 후류 손실(wake loss)이 크게 감소하는 것으로 확인되었다. 결론적으로, 저유도 로터 개념이 Cp-max를 적용하는 기존 설계보다 더 조밀한 터빈간 이격거리(inter-turbine spacing)를 가능하게 하며, 단위 면적당 에너지 생산량을 극대화하고, 풍력단지의 LCOE를 절감할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : 해상풍력터빈(Offshore wind turbine), 시스템 최적화(System optimization), 경량화 설계(Lightweight design), 후류손실(Wake loss)

[†] 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

신재생융합

Renewable Energy Convergence (REC) Session 1, 2



식물 잎맥 형상 핀이 적용된 흡착식 열에너지 저장시스템 성능 평가 연구

Performance Evaluation of Sorption Energy Storage System with Leaf-vein Fins

김성빈*, 김도현*, 윤애정*[†]

Seongbhin Kim*, Dohyun Kim*, Aejung Yoon*[†]

*울산과학기술원 기계공학과

Abstract : 흡착식 열에너지 저장시스템은 흡착제에 흡착 질이 흡착될 때 발생하는 반응열을 이용하여 열 에너지를 저장 및 사용하는 시스템입니다. 기존 흡착식 열에너지 저장시스템은 흡착제의 낮은 열전도도로 인해 흡착 성능이 떨어지는 문제점이 있었습니다. 따라서, 본 연구에서는 흡착식 열에너지 저장시스템에 흡착제와 열전달유체 간의 열전달을 향상하기 위한 잎맥 형상 구조 핀을 적용하였으며, 이를 CFD 해석을 통해 성능을 평가하였습니다. 식물 잎맥 형상 핀은 시스템 내 반응기의 흡착제 충전층 내부에 있는 구리관에 부착되었으며, 흡착제로는 제올라이트가 사용되었고 수증기와와의 조합을 통해 작동 쌍을 형성하였습니다. 시뮬레이션 모델은 기존의 실험 및 수치해석 결과와 비교하여 검증하였으며 잘 일치하는 것을 확인하였습니다. 검증된 모델을 기반으로, 잎맥 핀의 형상 적용에 따른 성능을 평가하였으며, 핀의 형상에 따른 성능 또한 비교하고자 핀의 개수(0-3개), 각도(45°-120°), 두께(0.5-2.0 mm)를 변화시키며 비교하였습니다. 결과적으로, 식물 잎맥 형상 핀의 부착으로 작동유체와 흡착제 충전층간의 열전달을 향상시켜 시스템의 효율을 증가시킴을 확인하였으며, 그 중 핀 2개, 120° 각도, 1.0 mm 두께의 조합에서 최대 효율 39.5%를 나타냈으며, 이는 핀이 없는 경우와 비교할시 59.3% 향상 되었습니다. 본 연구로부터 식물 잎맥 형상 핀의 부착 및 형상 조건에 따른 흡착식 열에너지 저장 시스템의 성능 변화를 평가하였으며, 향후 식물 잎맥 형상 핀 구조 최적화를 위한 기초 데이터를 제시하고자 합니다.

Key Words : 열에너지 저장(thermal energy storage), 흡착식 열에너지 저장 시스템(Sorption thermal energy storage system), CFD(Computational fluid dynamics), 잎맥 형상 핀(Leaf-vein fins), 제올라이트(zeolite)

[†] Corresponding author, E-mail: ajyoon@unist.ac.kr

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00412170)

이중 공기 채널과 열전달 향상 장치를 적용한 공기식 태양광/열 집열기의 성능 평가

Performance Evaluation of a PVT Collector with Double Air Channel and Heat Transfer Enhancement Devices

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

Geonyong An*, Hyeonseok Jeong*, Taehwan Choi*, Kwanghwan Choi**,
Kwangam Moon***, Hwiung Choi***†

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

Abstract : 태양에너지의 응용 분야 중 하나인 태양광/열(Photovoltaic-Thermal, PVT) 시스템은 PV 모듈에서 전력을 생산함과 동시에 공기와 물과 같은 유체를 활용하여 발생하는 열 에너지를 회수하고 건축물 난방 및 급탕, 농산물 건조기, 열구동 냉동사이클 등 타 시스템과 연계 가능한 시스템이다. 이 중 공기식 PVT 시스템은 공기의 낮은 열전도율로 열효율이 낮아 열변환 효율을 증가시키기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 대표적으로 저항체를 설치하여 열전달 계수를 향상시키는 방법과 하부 채널에 핀을 배치하여 열전달 면적을 넓히는 방법이 있다. 이외에도 공기 유로를 바꿔주는 방식 등이 존재하나 이러한 방법들을 통합한 시스템에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 이중 공기 채널로 구성된 PVT 패널의 하부 채널에 앞선 열전달 향상 장치를 결합한 시스템을 제안하고 실제 실험을 통해 에너지 효율을 평가하였다.

Key Words : 태양에너지(Solar energy), 태양광/열 시스템(Photovoltaic/Thermal system), 열효율(Thermal efficiency), 에너지 절감(energy savings)

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

후 기

이 논문은 전남대학교 학술연구비(과제번호: 2024-0504-03) 지원에 의하여 연구되었음

타공 베플 적용 유무에 따른 공기식 PVT 컬렉터의 열 및 전기 성능 비교 · 분석

Comparative Analysis of Thermal and Electrical Performance of Air-type PVT Collectors with and without Perforated Baffles

기혜란*, 김상명**, 김진희***, 김준태****†

Hye-ran Ki*, Sang-myeong Kim**, Jin-hee Kim***, Jun-tae Kim****†

*국립공주대학교 건축공학과, **국립공주대학교 에너지시스템공학과,

***국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

****국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 2025년부터 제로에너지건축물(ZEB) 인증 의무화 정책이 공공 부문을 넘어 민간 부문까지 확대되면서 건물에서 신재생에너지를 활용한 에너지 자립은 선택이 아닌 필수 요소가 되고 있다. 현재 국내 건축물에서는 주로 전력을 생산하는 태양광발전(PV) 시스템이 적용되고 있으나, 냉·난방 및 급탕 등 주요 열에너지 수요를 충족하기에는 한계가 존재한다. 이에 따라 동일한 설치 면적에서 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 태양광·열 복합발전(PV-T) 기술이 주목받고 있으며, 전력뿐만 아니라 열 공급 측면에서도 건물의 에너지 자립률을 향상시킬 수 있는 유망한 대안으로 평가되고 있다.

PVT 컬렉터는 열매체의 종류에 따라 공기식과 액체식으로 구분되며, 이 중 공기식 PVT 컬렉터는 구조가 단순하고 겨울철 동파 위험이 적다는 장점을 가진다. 공기식 PVT 컬렉터 내부에는 열교환 효율을 향상시키기 위한 흡열판(베플)이 설치되며, 이는 PVT의 열 성능에 직접적인 영향을 미치는 주요 구성 요소 중 하나이다. 흡열판은 PV 모듈 후면에 위치하여 모듈에서 발생한 열을 공기와의 열교환을 통해 전달하는 역할을 한다. 특히 타공형 흡열판은 다수의 구멍을 통해 내부 공기 유동에 난류를 형성함으로써 열전달을 촉진하고, 공기 흐름을 보다 균일하게 분포시켜 시스템의 열 성능을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 타공 베플 유무에 따른 공기식 PVT 컬렉터의 열 및 전기 성능을 비교·분석하였다. 실험은 ISO 9806 표준에 따라 옥외 환경에서 수행되었으며, 일사량 700 W/m^2 이상의 조건에서 세 가지 유량(50, 100, $150 \text{ m}^3/\text{h}$)으로 측정하였다.

Key Words : 공기식 PVT 컬렉터 (Air-type PVT collector), 열 특성(Thermal performance), 전기 특성(Electrical performance), 타공형 흡열판(Perforated absorber plate), ISO 9806

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

후 기

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

산업공정용 열공급을 위한 태양열 융합 열공급시스템 개발 및 스마트 O&M시스템 구축 기술개발

Development of Solar Thermal Convergence System and Smart O&M System for Industrial Process Heat

김윤수*, 김덕근*, 송재만**, 홍희기**†

Yoonsu Kim*, Deokgeun Kim*, Jaeman Song**, Hiki Hong**†

*경희대학교 기계공학과 대학원, **경희대학교 기계공학과

Abstract : 태양열-히트펌프 융합 시스템은 재생에너지를 활용하여 안정적이고 지속적인 열에너지를 생산하는 것을 목표로 한다. 그러나 태양열시스템은 기상 조건의 변화, 일사량의 불규칙성 그리고 장비 노후화 등으로 인한 성능 저하 및 고장이 발생할 수 있다. 이로 인한 경제적 손실을 최소화하기 위해서는 오작동의 신속한 감지와 복구가 가능한 지속적 모니터링 체계의 구축이 필수적이다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 IoT 기술 기반의 스마트 O&M(Operation and Maintenance) 시스템을 태양열-히트펌프 융합 시스템에 적용하였다. 센서를 통한 실시간 데이터 수집과 분석을 통해 시스템의 운전 상태를 상시 모니터링하며, 고장 발생 시 신속한 대응이 가능하도록 설계되었다. 이를 통해 유지보수 비용 절감과 운영 효율성 향상을 동시에 달성할 수 있었다. 제안된 스마트 O&M 시스템은 주요 설비의 상태 정보를 실시간으로 수집·분석하여 고장 정보 및 정비 이력 데이터베이스를 구축하고, 이를 바탕으로 장기적인 성능 관리와 예측 유지보수를 지원한다. 또한 축적된 운영 데이터를 통합운영센터(TOC, Total Operation Center)와 연계하여 시스템 관리의 효율성을 극대화하고, 향후 웹 기반 관리·운영 플랫폼을 구축하여 사용자 접근성과 관리 편의성을 향상시킬 예정이다. 태양열-히트펌프 융합 시스템의 운영 안정성과 효율성을 크게 개선하며, 산업공정용 재생에너지 열공급 시스템의 상용화 및 확산에 기여할 것으로 기대된다.

Key Words : 산업공정열(Industrial process heat), 열공급시스템(Thermal energy supply system), 에너지 자립(Energy independence), 히트펌프(Heat pump), 태양열(Solar energy)

† Corresponding author, E-mail: hhong@khu.ac.kr

후 기

본 연구는 2024년도 에너지기술평가원의 재원으로 산업공정용 열공급을 위한 태양열 융합 열공급시스템 개발 및 스마트 O&M시스템 구축 기술개발 과제의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2022-KP002831).

태양열 공기식 집열기 내 와류 생성기 설치에 따른 전열 특성 분석

Analysis of Heat Transfer Characteristics in a Solar Air Heater with a Vortex Generator

최태환*, 정현석*, 안건용*, 문광암**, 최휘웅**†

Taehwan Choi*, Hyeonseok Jeong*, Geonyong An*,

Kwangam Moon**, Hwiung Choi**†

*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, **전남대학교 냉동공조공학과

Abstract : 공기식 태양열 집열기는 열매체인 공기를 이용하여 태양에너지를 활용하는 기술로, 액체식 태양열 집열기에 비해 별도의 대용량 설비 없이 건물 난방 등에 활용 가능하다. 하지만 공기의 낮은 열전도율로 열변환 효율이 적어 열전달 성능 향상이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 효율 향상 방안 중 하나로 핀이 설치된 태양열 공기식 집열기 내부에 와류 생성기를 적용하여 와류 생성기 설치에 의한 열전달 성능 향상 정도를 평가해 보고자 하였다. 이를 위해 ANSYS Fluent를 활용하여 와류 생성기의 설치 위치와 배치를 변경해가며 각 인자가 전열 성능에 미치는 영향을 분석하였고, 위치 및 배치별로 전열 성능 향상이 다양하게 이뤄짐을 확인하였다. 또한 핀 채널을 갖는 태양열 공기식 집열기에 와류 생성기 설치 시 효과적인 시스템 효율 향상을 이룰 수 있음을 확인하였고, 향후 좀 더 다양한 형상조건에서 열전달 및 압력강하 특성 분석에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

Key Words : 태양열 공기식 집열기(Solar Air Collector), 와류 생성기(Vortex Generators), 전산유체해석(Computational Fluid Dynamics), 에너지 절약(Energy Saving)

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

후 기

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 전라남도의 재원으로 전라남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. 또한 저자들은 본 과제를 위한 (주)이삭에너지의 기술적 지원에 감사드립니다. (2025-RISE-14-007)

전력 및 열에너지 복합 생산을 위한 다기능성 PVT 방음벽 기술

Multi-functional PVT Sound Barrier Technology for Combined Power and Heat Energy Production

강은철*[†]

Eunchul Kang*[†]

*한국에너지기술연구원, 에너지효율연구본부

Abstract : 국내 재생에너지 보급 확대와 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위해 다양한 융합형 에너지 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 태양광 발전(PV)과 태양열 집열(Thermal)을 결합한 PVT(Photovoltaic & Thermal) 기술을 교통 방음벽에 접목하여, 소음 저감과 함께 전력 및 열 에너지의 복합 생산이 가능한 다기능성 PVT 방음벽 기술을 개발하였다. 이 기술은 기존 방음벽의 기본 기능인 소음 차단·흡수 성능을 향상시키는 동시에, PV 모듈의 온도 저감을 통해 발전 효율을 개선하고, 잉여 열을 회수하여 활용할 수 있다. 본 기술의 실험 결과, 개발된 PVT 방음벽 모듈은 차음성능과(기준치 30 dB 이상) 흡음성능(기준치 0.7 이상) 모두 도로 소음 저감 기준치를 크게 상회하였다. 그리고 동일 외기 조건에서 기존 PV 대비 발전효율이 약 6% 이상 향상되었으며, 단위 면적당 약 400 Wt 이상의 열에너지를 생산할 수 있음을 확인하였다. 또한, 충남 계룡시에 3 kWe급 PVT 방음벽 실증 테스트베드를 구축하여 시스템 운전, 자동화 제어 기술을 적용하였으며, TRL 6 이상 수준의 현장 적용 가능성을 확보하였다. 특히, 국내 방음벽 총 설치 길이 중 최소 1,000 km 이상에서 적용이 가능할 것으로 전망된다. 본 연구 성과는 교통 인프라의 소음 관리와 함께 신재생에너지 자립형 공공시설 구축에 기여할 수 있는 효과적인 대안으로 제시된다.

Key Words : 태양광열(PVT; Photovoltaic & thermal), 방음벽(Soundproof), PVT 모듈(PVT module), 재생에너지 융합(Renewable energy convergence), 효율 향상(Efficiency improvement)

[†] Corresponding author, E-mail: kec8008@kier.re.kr

후 기

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

공동주택 단위세대에 적용된 투광형 BIPV 창호시스템의 건물에너지성능 기여도 분석

Analysis of Building Energy Performance Contribution of Semi-Transparent BIPV Window Systems Applied to Apartment Units

양진영*, 김하영*, 김진희**, 김준태***†

Jinyoung Yang*, Hayoung Kim*, Jinhee Kim**, Juntae Kim***†

*국립공주대학교 대학원 에너지시스템공학과, **국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

***국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 우리나라는 2030년까지 2018년 대비 온실가스 배출량을 35% 감축하기 위해 건축 부문에서 건물에너지 절감 및 온실가스 감축을 위해 제로에너지건축물(ZEB) 의무화를 추진하고 있다. 이에 따라 2025년부터는 30세대 이상의 신축 공동주택이 제로에너지건축 의무대상으로 지정되며, 건축물 외피 역할과 전력 생산이 동시에 수행할 수 있는 건물일체형 태양광(BIPV; Building-Integrated Photovoltaic) 시스템의 설치사례가 증가하고 있다. 그러나 국내 주거용 건축물은 높은 창면적비로 외벽형 BIPV 시스템 설치만으로는 제로에너지건축물 인증에 필요한 에너지자립률을 확보하기 어렵다. 이에 따라 창호 전면 투광형 PV 모듈이 적용한 BIPV 창호시스템에 대한 관심이 대두되고 있다. 투광형 PV 모듈은 전력 생산 뿐만 아니라 일사 차단을 통해 여름철 냉방부하를 저감할 수 있으나, 일반 창호에 비해 가시광선 투과율(VLT; Visible Light Transmittance)과 태양열 취득률(SHGC; Solar Heat Gain Coefficient)이 낮아 겨울철 난방부하를 증가시킬 수 있다. 따라서 공동주택에 적용된 투광형 BIPV 창호시스템이 건물에너지성능에 미치는 영향에 대한 규명이 필요하다.

본 연구에서는 공동주택 단위세대를 대상으로 투광형 BIPV 창호시스템 적용에 따른 건물에너지 성능 변화를 분석하였다. DesignBuilder 프로그램을 활용하여 일반 창호와 BIPV 창호시스템 적용 부위에 따른 냉·난방부하 변화를 비교 분석하였으며, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 BIPV 창호시스템의 발전량에 따른 에너지기여도를 분석하였다.

Key Words : 공동주택(Apartment Building), BIPV 창호시스템(BIPV Window System), 디자인빌더(DesignBuilder), 냉난방부하(Heating and Cooling load), 에너지 기여도(Energy contribution), 시뮬레이션(Simulation)

† 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-2024-00394769, RS-2023-00266248)

시뮬레이션을 통한 도서관 건물에 적용된 BIPV 시스템의 ESS 연계 효과 분석

Simulation-Based Analysis of ESS with a BIPV System in a Library Building

이인호*, 김상명*, 김진희**, 김준태***†

Inho Lee*, Sangmyung Kim*, Jinhee Kim**, Juntae Kim***†

*국립공주대학교 에너지시스템공학과, **국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

***국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 정부는 2017년 제로에너지건축물인증제를 시행하여, 연면적 1000m² 이상의 공공건물을 시작으로 모든 신축 또는 개축하는 건물에 대한 제로에너지 의무화를 단계적으로 추진하고 있다. 이에 따라 건물의 에너지 자립률을 달성하기 위해 건물 외장재 역할을 수행하면서 에너지 생산까지 가능한 건물 일체형 태양광(BIPV: Building-Integrated Photovoltaic)시스템의 설치 및 수요가 증가하고 있다. BIPV 시스템은 일사에 따른 발전 변동성이 크며, 건물의 전력 소비와 시간적 불균형이 발생하여 균일한 전력공급에 한계가 발생한다. 이때 건물의 전력소비 보다 BIPV 시스템의 발전이 많이 생산될 시 잉여전력이 발생하게 된다. 과도하게 발생한 잉여전력이 연계된 계통으로 역송될 경우, 계통 안정성이 저하되어 BIPV 시스템의 가동정지 조치가 취해질 수 있다. 이로 인해 태양광에서 생산된 전력이 건물에 공급되지 못하는 문제로 자가소비 전력이 줄어들어 결과적으로 건물의 에너지 자립률 향상에 문제가 발생한다. 따라서 계통의 안정성과 건물의 자립률 및 자가소비율 향상을 위해 BIPV 시스템에서 발생하는 잉여전력을 저장하고 발전량이 부족한 시간에는 이를 활용할 수 있는 ESS(Energy Storage System)의 연계가 필요하다.

본 연구는 BIPV 시스템이 적용된 도서관 건물의 실증 데이터를 바탕으로 DesignBuilder 프로그램을 활용하여 ESS 연계 시 잉여전력 활용 및 건물의 자립률과 자가소비율 향상 효과를 분석하였다. 또한 계절별 부하 특성과 BIPV 시스템의 발전량 변화를 고려하여 ESS 적용 전후 성능을 비교하였다.

Key Words : BIPV(Building-integrated photovoltaic), 실증연구(Demonstration study), 잉여전력(Surplus power), DesignBuilder, ESS(Energy Storage System)

† 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)

소규모 ORC 시스템을 위한 초음속 충동형 축류터빈의 최적화 설계

Optimized Design of a Supersonic Axial Impulse Turbine for Small-Scale ORC Systems

박자운*, 김영원*[†]

Ja Woon Park*, Young Won Kim*[†]

*한국생산기술연구원 에너지나노그룹

Abstract : 유기 냉매 발전 시스템(Organic Rankine Cycle, ORC)은 다양한 산업 공정이나 열기관에서 발생하는 폐열로부터 전력을 생산할 수 있는 대표적인 재생에너지 기술이다. ORC 시스템에서 팽창기의 선택과 설계는 전체 성능 및 효율에 직접적인 영향을 미치며, 특히 소규모 저온 열원의 조건에서는 고효율·고신뢰성의 팽창기 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 소규모 ORC 시스템에 적용 가능한 초음속 충동형 축류터빈(axial impulse turbine)의 최적화 설계 방법을 제시하였다. 설계 과정은 1차원 평균선(mean-line) 설계, CFD 분석, 공학적 성능 해석을 종합하여 터빈의 성능을 최적화하였다. CFD 해석 결과, 설계 회전속도 35,000 rpm, 압력비 7.5 조건에서 작동유체로 R1233zd(E)를 사용할 경우, 터빈의 등엔트로피 효율이 80% 이상에 도달할 것으로 예측되었다. 해당 터빈은 자기결합(magnetic coupling)이 적용된 터보발전기 프로토타입의 핵심 요소로 설계되었으며, 정격 11 kW의 전력 생산이 가능하다. 본 연구의 결과는 소형 ORC 시스템의 고효율화 및 분산형 에너지 활용 확대에 기여할 것으로 기대된다.

Key Words : 유기냉매발전(Organic Rankine Cycle), 축류터빈(Axial turbine), 폐열(Waste Heat), 신재생 에너지(Renewable energy), 에너지 하베스팅(Energy harvesting), 소규모 발전(Small-scale power generation)

[†] 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) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea

공기식 태양열 가열기 내 사분원 저항체 설치에 따른 전열 성능 평가

Heat Transfer Performance of a Solar Air Heater with Quarter Circle Obstacle

정현석*, 안건용*, 최태환*, 문광암**, 최휘웅**†

Hyeonseok Jeong*, Geonyong An*, Taehwan Choi*,

Kwangam Moon**, Hwiung Choi**†

*전남대학교 냉동공조공학과 대학원, **전남대학교 냉동공조공학과

Abstract : 공기식 태양열 가열기는 태양에너지를 유용한 열에너지로 변환하는 시스템으로 공간난방, 건조 공정, 냉난방 기기의 열원 공급 등 다양한 분야에 활용될 수 있으며 타 시스템에 비해 구조가 간단하여 초기투자비가 적으며 유지관리가 수월한 장점이 있다. 하지만, 공기의 낮은 열전도율로 인해 열효율의 개선을 필요로 한다. 이를 위해 태양열 공기가열기 흡열부에서 유동 공기로의 전열 성능 향상을 위한 다양한 연구가 이뤄져왔다. 본 연구에서는 이러한 연구의 일환으로 공기 채널 내 상하부에 사분원 형상의 저항체가 설치되었을 때 전열 특성을 분석하였다. 해석은 상용열유체 해석 프로그램인 ANSYS Fluent를 활용하였고, 저항체 높이 및 설치 간격을 변화시키며 열적 특성과 압력강하 특성을 살펴보았다. 또한 열 및 압력강하를 동시에 고려한 성능계수를 확인하고 실제 집열기 적용에 적합한 구조를 모색하고자 하였다.

Key Words : 태양에너지(Solar energy), 태양열시스템(Solar thermal system), 공기식 태양열 가열기(Solar air heater), 에너지 절감(energy savings)

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

후 기

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 전라남도의 재원으로 전라남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. 또한 저자들은 본 과제를 위한 (주)이삭에너지의 기술적 지원에 감사드립니다. (2025-RISE-14-007)

Oral Session

에너지저장 및 섹터커플링

Energy Storage System & Sector Coupling (ESS&SC) Session

1, 2



전기-열 통합 수요유연성 기술을 활용한 재생에너지 출력제한 및 피크부하 완화 방안 연구

A Study on Renewable Curtailment and Peak Load Mitigation Using Power-to-Heat Integrated Demand Flexibility Technology.

조장현*[†], 최원철*

Jang-Hyun Cho*[†], Won-Chul Choi*

*선다코리아

Abstract : 재생에너지 비중 확대와 전력수요의 계절·시간대 편중은 출력제한과 피크부하 관리의 난제를 동시에 심화시키고 있다. 본 연구는 전기-열 전환(P2H)과 열에너지저장(TES)을 결합한 수요유연성(Demand-Side Flexibility) 아키텍처를 제안하여, 잉여 전력의 흡수·저장과 피크 시 열부하 전가를 통해 계통 안정화와 탄소감축을 동시에 달성하는 전략을 제시한다. 운영 측면에서는 디지털 트윈 기반 최적화로 열·전력 간 연성 제약을 고려한 스케줄링을 수행하며, 열 수요를 가상의 전력자원(thermal VPP)으로 묶어 용량·보조서비스·수요반응 시장에 참여하는 운용 모델을 설계한다. 본 연구는 전력망 중심의 공급 측 투자 대신, 전기-열 부문의 저장·전환·제어를 통합해 비용효율적으로 계통유연성을 확장하는 실용적 수요 관리 로드맵을 제시한다.

Key Words : 열에너지(Thermal energy), 수요관리(Demand-side management), 열네트워크(Thermal network), 섹터커플링(Sector coupling), 축열시스템(Thermal energy storage system)

[†] Corresponding author, E-mail: sundakorea@hanmail.net

후 기

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

상변화 물질의 열전도 프레임 친수성 밀리캡슐 설계와 열적 안정성 평가

Development and Thermal Stability of Hydrophilic Phase-change Millicapsules with Radial-conductive Frameworks

윤수진*, 정영균*, 최재우*[†], 강상우**[†]

Su-Jin Yoon*, Youngkyun Jung*, Jae-Woo Choi*[†], Sarng Woo Karng**[†]

*한국과학기술연구원 물자원순환연구단, **한국과학기술연구원 지속가능미래기술연구본부

Abstract : 지속가능한 에너지 전환을 위한 열에너지 네트워크(Thermal Energy Network, TEN)의 활용이 확대되고 있으나, 열손실과 상변화 물질(Phase Change Material, PCM)의 누출, 반복적 열사이클에서의 구조적 열화가 성능과 안정성을 저해한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 친수성 상변화 고분자 밀리캡슐(Hydrophilic Phase-changing Polymeric Millicapsules, HPPMs)을 설계·제조하였다. HPPMs는 방사형 열전도 프레임워크와 약 80%의 다공성을 갖춘 고분자 젤로 PCM을 안정적으로 캡슐화하며, clinoptilolite (CT) 나노입자를 도입하여 열전도도와 기계적 내구성을 동시에 향상시켰다. 또한 진공 보조 캡슐화 공정을 통해 PCM 침투 균일성을 확보하고 누출을 효과적으로 억제하였으며, 열이력(thermal hysteresis)은 3.1°C에서 3.7°C로 소폭 증가하는 수준으로 유지되어 우수한 열적 안정성을 확인하였다. 열적·구조적 신뢰성은 1,000회 이상의 상변화 열사이클에서도 손상 없이 유지되었고, 잠열 저장 용량과 빠른 열응답 특성이 검증되었다. 본 연구는 HPPMs가 TEN 기반 대규모 열에너지 저장 시스템에서 고효율·고내구성 열관리 소재로 실질적 적용 가능성을 지남을 입증하였다.

Key Words : 상변화 물질(PCM), 밀리캡슐, 열에너지 저장, 열전달 향상, 내구성

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

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 에너지수요관리핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : No. NRF RS-2024-00419184).

전력망 유연성과 탈탄소화를 위한 산업용 P2H (Power-to-Heat) 실증

Industrial P2H (Power-to-Heat) Demonstration for Power-Grid Flexibility and Decarbonization

박태룡^{*†}, 한준규^{*}, 이원호^{*}

TaeRyong Park^{*†}, Jungyu Han^{*}, Wonho Lee^{*}

^{*}GS파워 주식회사

Abstract : 본 연구에서는 히트펌프와 열저장 시스템을 구축하여 냉열과 온열을 동시에 생산, 저장하고, 심야전기 및 출력제어 전기를 활용하는 산업용 Power-to-Heat(P2H) 기술을 실증한다. 히트펌프를 중심으로 한 열저장·회수 시스템을 구축하여 냉수와 온수를 동시에 생산하고, 보일러 배기가스 열을 회수함으로써 에너지 효율을 높이고 탄소배출을 저감 할 수 있다. 히트펌프로 심야전기나 출력제어 전기를 열에너지로 전환해 저장, 활용함으로써 전력 계통에 유연성을 부여하는 동시에 경제성 있는 열생산이 가능하다. 또한 열에너지 저장 장치와 연계하여 열 수요와 공급 매칭이 가능하며, 원격 운영 플랫폼 및 최적제어 기술을 적용하여 실시간 운영 최적화와 경제성을 확보한다. 본 연구를 통해서 전력망 유연성 확보와 산업 단지 탈탄소화를 동시에 달성할 수 있는 P2H 기술의 실현 가능성을 제시하며, 향후 대규모 사업화를 위한 표준 모델을 제시한다.

Key Words : P2H(Power-to-Heat), 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 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00419184).

Modeling and Simulation of a Thermal Network Using Power-to-Heat Equipment for Building Clusters

Muhammad Farooq^{*,**}, Byung-Ju Lim^{**}, Sung-Hoon Cho^{**}, Ga-Ram Lee^{**},
Si-eun Kwon^{*,**}, Chang-Dae Park^{*,**†}

^{*}University of Science and Technology (UST),

^{**}Korea Institute of Machinery and Materials, Liquid Hydrogen Technology Research
Center, Carbon Neutral Energy Machinery Research Institute

Abstract : The rapid expansion of renewable energy systems poses challenges for grid stability and energy balance due to their intermittent nature. To address these challenges, integrating reliable heat and electricity storage with power-to-heat technologies has become essential for building energy networks. This study focuses on the development and demonstration of a thermal demand management system for building clusters that integrates heat pumps, thermal energy storage (TES), and electric energy storage to absorb variability, shave peak demand, and enable gridresponsive operation. The system operates under multiple modes — including TES charging/discharging, direct load supply, parallel or cascade operation — depending on load conditions, TES state, and demand response signals. Operation modes, control logic, and operational scenarios have been defined, and a validated TRNSYS simulation model has been developed. Ongoing work will involve year-long simulations to align electric and thermal scenarios, optimize operating strategies, and identify the most efficient and flexible demand management approaches. The outcomes are expected to contribute the development of optimal, grid-responsive, and economically efficient control strategies for electrified building energy systems.

Key Words : Power-to-heat, Demand response, Energy storage, Heat pump

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

Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology and Planning (KETEP) and by financial resources granted by the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (20220810100020 and RS-2024-00419184)

머신러닝 앙상블 모델을 활용한 열수요 예측 알고리즘 개발 및 검증

Development and Validation of a Heat Demand Forecasting Algorithm Using Machine Learning Ensemble Models

문정민*, 손명우*[†]

Jungmin Moon*, Myungwoo Son*[†]

*한국광기술원 AI에너지연구센터

Abstract : 기후 변화와 에너지 사용 패턴의 불확실성이 커짐에 따라, 단기 열수요를 정밀하게 예측하는 기술의 필요성이 증대되고 있다. 본 연구는 열출력, 유량, 온도차, 외기온도, 습도 등 분 단위 센서 데이터를 활용하여 1시간 선행 열수요를 예측하는 알고리즘을 개발하고 그 성능을 검증하였다. 에너지 수요의 변동성은 설비 운영의 효율성과 안정성에 직접적인 영향을 미치며, 이를 고려한 예측은 에너지 절감과 탄소 저감에 중요한 역할을 한다. 제안된 방법은 원시 데이터를 시간 순으로 정렬하고 중복 관측을 평균 처리하여 데이터의 일관성을 확보하였으며, 운전 상태를 분류해 상태별 이상치를 제거하고 중앙값 보간으로 결측을 보완하였다. 또한 이동평균·표준편차·차분·적분 등의 파생변수를 생성하였다. 외기온도와 습도의 래그, 누적 난방도, 시간 주기성 임베딩을 포함시켜 기상 및 시간적 맥락을 반영하였으며, 직전 1시간 에너지 사용량과 그 이동통계는 강력한 예측 신호로 활용되었다. 모델링 단계에서는 ExtraTrees, RandomForest, HistGradientBoosting, SVR 등 각각의 머신러닝 기법을 적용하고, 예측값을 평균 앙상블하여 안정적인 출력을 확보하였다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 MAPE 7.28%의 예측 정확도를 달성하였다. 이는 단순 기준 모델 대비 의미 있는 개선을 보였으며, 열수요 예측의 신뢰성을 높이는 데 효과적임을 확인하였다. 본 연구는 물리 기반 특징과 데이터 기반 통계 기법을 융합해 일반화 성능을 확보하고, 다양한 모델의 앙상블로 단일 모델의 한계를 보완하였으며, 실제 운영 데이터 기반 검증을 통해 현장 적용 가능성을 입증하였다. 따라서 제안된 기법은 건물 에너지 관리 및 지역난방 시스템 운영에서 실질적 가치를 가지며, 향후 재생에너지 연계형 열공급 시스템으로 확장되어 에너지 효율 제고와 탄소 저감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 열수요예측 (Heat demand forecasting), 머신러닝 앙상블 (Machine learning ensemble), 에너지 관리시스템 (Energy management system), 분단위 센서데이터 (Minute-level sensor data)

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

후 기

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

실증데이터 기반 공동주택 PV 잉여전력 활용을 위한 ESS 용량 최적화와 EV 연계 운용

Data-Driven Optimization of ESS Capacity and EV-Integrated Operation for Utilizing Surplus PV in Multi-Family Buildings

이은규^{*†}, 남현민^{*}, 강기남^{*}

Eunkyu Lee^{*†}, Hyunmin Nam^{*}, Kinam Kang^{*}

^{*}현대건설

Abstract : Stricter greenhouse-gas regulations are driving a growing requirement for on-site renewable generation in new buildings, most notably accelerating the deployment of rooftop photovoltaic (PV) systems. While modest PV capacity poses little challenge, large installations can create periods of over-production due to the intermittent nature of solar energy. An energy-storage system (ESS) is therefore essential to utilise surplus PV power more effectively; however, the high capital and maintenance costs of ESSs often undermine their economic viability. This study analyses one year of hourly electricity-demand and PV-generation data from the common facilities of a multi-family residential complex, quantifies the resulting surplus energy in a real-world setting, and determines the optimum ESS capacity under these conditions. In addition, electric vehicles (EVs) are treated as mobile distributed resources to explore strategies for minimising building electricity costs.

Key Words : 건물 에너지(Building Energy), 에너지 저장 장치(ESS, Energy storage system), 전기자동차(Electric Vehicle), 전기요금(Electricity cost), 잉여전력(Surplus electricity)

[†] Corresponding author, E-mail: ekleee@hdec.co.kr

부유식 태양광과 액화공기를 활용한 데이터센터 냉각시스템 개념설계

The Conceptual Design of a Data Center Cooling System Utilizing Floating Photovoltaics and Liquefied Air

이춘식*[†], 윤상준**

Chunsik Lee*[†], Sangjoon Yoon**

*고등기술연구원 에너지환경연구센터, **고등기술연구원 그린시스템융합센터

Abstract : AI 기술이 발전하고 데이터의 중요성이 부각됨에 따라 2020년대 이후 데이터센터는 전세계적으로 급속하게 증가되고 있다. 기존 검색엔진 대비 10배의 전력을 사용하는 Chat GPT 등 상용 AI 프로그램 보급 확대에 국제에너지기구(IEA)에서는 2030년 세계 데이터센터 전력소비량이 기존 예측을 크게 상회하여 7933 TWh에 이를 수 있다고 전망하였다. 따라서 데이터센터 사용 전력 중 약 40% 이상을 차지하는 냉각에 기술혁신이 중요한 시점이다. 본 연구에서는 80 MW급 데이터센터를 표준으로 40 MW_{th}의 냉각효과를 얻기 위한 비전력기반 냉각시스템 개발에 초점을 두었다. 이를 위해 부유식 태양광을 에너지원으로 액화공기를 생산하여 운송한 다음 극저온의 액화공기를 직접 활용한 냉각시스템의 공정 특성을 분석하였다. 그 결과 열교환 방식에 의해 40 MW_{th}의 냉각효과를 얻기 위해서는 설계마진을 고려할 때 250 ton/h의 액화공기가 필요한 것으로 계산되었다. 그리고 액화공기를 얻기 위한 전력은 LNG 냉열을 일부 활용하더라도 50 MW 이상으로 RTE(Round Trip Efficiency)는 80% 가 되지 않았다. 결과적으로 부유식 태양광과 같은 재생에너지를 연계하여 액화공기를 생산할 때 비전력기반 데이터센터 냉각이 실현될 수 있는 것으로 분석되었다.

Key Words : 데이터센터 냉각(Data Center Cooling), 부유식 태양광(Floating Photovoltaics), 액화공기(Liquefied Air)

[†] Corresponding author, E-mail: sufaltus@iae.re.kr

후 기

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

금속 폼 강화 PCM과 마이크로 채널 플레이트를 이용한 에너지 효율적 전기차 배터리 열관리

Energy-Efficient EV Battery Thermal Management Via Metal-Foam-Enhanced PCM And Micro Channel Plate

무하마드 다일*, 김영원*[†]

Muhammad Dail*, Young Won Kim*[†]

*한국생산기술연구원

Abstract : Previous studies on hybrid battery thermal management systems (BTMS) combining phase change material (PCM) and liquid cooling have largely been limited to small-capacity cells and low C-rates. In this study, a real scale 20 Ah NMC pouch cell is investigated under practical operating conditions of 1C, 2C, 3C, 5C, and 10C discharge at an ambient temperature of 25°C. Experimental characterization provides heat generation input for a conjugate heat-transfer CFD model to evaluate cell temperature rise, spatial non-uniformity (ΔT), PCM melt fraction, and coolant dynamics. The results show that PCM alone can effectively regulate temperature at low C-rates, but at higher C-rates it fully melts, losing heat absorption capacity and allowing hotspots to develop. Water-based cooling improves high-rate performance, but strong thermal gradients across the cell lead to increased ΔT and local hotspots. To overcome these limitations, a hybrid PCM-Water system is examined, where PCM buffers transient heat and water flow controls steady-state rise, resulting in reduced peak temperature and ΔT . However, due to the low thermal conductivity of PCM, local non-uniformities persist. To address this, Copper Foam-Embedded PCM is applied, significantly enhancing thermal conductivity, lowering both maximum temperature and ΔT , and ensuring more uniform thermal distribution. These results demonstrate that the combined PCM-Water-Copper foam strategy provides a compact and energy-efficient approach for real-time EV-scale pouch cell thermal management under practical high C-rate conditions.

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)

[†] 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).

Oral Session

태양수소에너지

Solar to Hydrogen (S2H) Session 1, 2



인공지능기반 페로브스카이트 태양전지박막 표면처리물질 탐색

AI-driven Exploration of Surface Treatment Materials for Perovskite Solar Cells

박양정*[†]

Yang Jeong Park*[†]

*한국과학기술연구원 계산과학연구센터

Abstract : 태양에너지 활용을 위한 차세대 전기화학 소자의 개발은 복잡한 다중 물리 현상과 방대한 설계 변수로 인해 전통적인 연구 방법론의 한계에 직면하고 있으며, 이를 극복하기 위해 AI 기반 자율 발견 (AI-driven autonomous discovery) 패러다임이 부상하고 있습니다. 본 연구에서는 재료 설계부터 소자 운전까지 아우르는 최신 연구들을 통합합니다. 이 발표에서는 페로브스카이트 태양전지의 데이터를 학습하여 조성-공정-성능의 복잡한 관계를 모델링하고, 안정성과 효율을 극대화하는 재료 및 소자 구조를 예측합니다. 이를 포함하여 재료의 설계와 소자의 운전에 걸친 다양한 인공지능 응용 기술을 소개합니다.

Key Words : 페로브스카이트 태양전지(Perovskite solar cells), 인공지능(AI), 표면처리물질(Surface treatment materials)

[†] Corresponding author, E-mail: yangjeongpark@kist.re.kr

고내구성 · 고효율 MXene 결합형 Ni-Co 황화물 산소발생촉매 개발

MXene-Integrated Hierarchical Ni-Co Sulfide Catalyst for Durable and High-Performance Oxygen Evolution

권수진*, 조유진*, 파틸코말**, 박종성*[†]

Soojin Kwon*, Yujin Jo*, Komal Patil**, Jongsung Park*[†]

*경상국립대학교 에너지시스템공학과, **경상국립대학교 미래융합기술연구원

Abstract : The development of efficient and stable catalysts for the oxygen evolution reaction (OER) is critical to enhancing the performance of water electrolysis systems. Although noble metal catalysts such as IrO₂ and RuO₂ exhibit excellent activity, their high cost and scarcity hinder large-scale applications. Transition metal-based compounds, particularly sulfides, have emerged as promising alternatives due to their abundance and intrinsic redox activity; however, they often suffer from poor conductivity and limited durability. In this study, a hierarchical Ni₃S₂/Co₃S₄@Mo₂CT_x@NF catalyst was engineered through a multi-step hydrothermal process. The Mo₂CT_x MXene, known for its outstanding conductivity and strong metal-ion adsorption capacity, was first anchored on nickel foam (NF) to form a conductive backbone. Subsequently, a NiCo-layered double hydroxide (LDH) precursor was uniformly grown and converted via sulfurization into a nanostructured Ni₃S₂/Co₃S₄ composite with a three-dimensional porous, flower-like morphology. This architecture provided a large electrochemically active surface area, facilitated charge transport, and minimized interfacial resistance, leading to enhanced OER kinetics. The optimized catalyst achieved an overpotential of 270 mV at 10 mA cm⁻² and 310 mV at 50 mA cm⁻², maintaining stable activity over 50 hours of continuous operation. These results highlight the synergistic integration of MXene and transition metal sulfides, offering a rational design strategy for high-efficiency, non-noble metal OER catalysts suitable for anion exchange membrane (AEM) and alkaline water electrolysis applications.

Key Words : 맥신(MXene), 니켈·코발트 황화물(Ni₃S₂/Co₃S₄), 산소발생반응(Oxygen Evolution Reaction, OER), 음이온교환막(Anion Exchange Membrane, AEM), 수전해(Water Electrolysis)

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

고성능 OER 촉매를 위한 Ru 도핑 NiCoSe 전이금속 셀레나이드 개발

Development of Ru Doped NiCoSe Selenide for High Performance OER Catalyst

조유진*, Komal Pati**, 박종성*[†]

TYujin Cho*, Komal Patil**, Jongsung Park*

*경상국립대학교 에너지시스템공학과, **경상국립대학교 미래융복합기술 연구소

Abstract : Hydrogen energy is considered a vital component for sustainable energy systems because of its environmentally friendly characteristics. Among the various hydrogen production techniques, electrochemical water splitting stands out as a promising method. However, its large-scale implementation is impeded by the slow oxygen evolution reaction (OER). To overcome this challenge, we have developed Ru-doped NiCoSe (Ru-NiCoSe/NF) catalysts, which are grown on nickel foam using a straightforward hydrothermal process, followed by the incorporation of Ru.

The addition of Ru significantly modifies the electronic properties and enhances the interaction with OER intermediates, leading to better intrinsic catalytic activity. The Ru-NiCoSe/NF catalyst demonstrates excellent performance in OER, with a low overpotential of 285 mV at 50 mA cm⁻² and 360 mV at 100 mA cm⁻². Additionally, it features a low Tafel slope (230 mV dec⁻¹), a high electrochemical surface area ($C_{dl} = 17.2$ mF cm⁻²), and minimal charge transfer resistance. It also shows stable operation at different current densities.

This study emphasizes the significant potential of Ru doping in enhancing multi-metal selenide catalysts and provides valuable insights for the design of next-generation electrocatalysts aimed at achieving energy-efficient water oxidation.

Key Words : 조수소에너지(Hydrogen Energy), 산소발생반응(Oxygen Evolution Reaction,OER), 과전압(Overpotential), 다중 전이금속 셀레나이드(Multi-Transition Metal Selenides)

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

Zn-I₂ 배터리의 용량 향상을 위한 활성탄소 내 단일원자 촉매도입

Embedding Single-Atom Catalysts in Activated Carbon for Enhancing Zn-I₂ Battery Capacity

유지훈*, 임윤구*, 정경화*, 심욱*[†]

Jihun Yoo*, Yoongu Lim*, Gyoung Hwa Jeong*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 수소에너지트랙

Abstract : Aqueous zinc–iodine batteries (Zn–I₂ batteries) have garnered increasing attention owing to their utilization of water-based electrolytes, which greatly mitigate the risks of fire and explosion. In addition, their components are composed of earth-abundant and cost-effective materials. Nevertheless, during the charge–discharge process, iodine undergoes conversion to polyiodide species that diffuse toward the zinc anode driven by a concentration gradient. This diffusion induces self-discharge and capacity decay through undesired side reactions with the zinc metal. To overcome this challenge, we developed a transition metal single-atom catalyst (SAC) via a facile solvothermal synthesis followed by post-treatment, and employed it as a cathode material. The introduced SAC accelerates the redox kinetics of iodine and efficiently suppresses the iodine shuttle effect, thereby mitigating zinc anode corrosion. Consequently, the optimized cell exhibited a remarkable enhancement in electrochemical performance, delivering a specific capacity of up to 316 mAh g⁻¹ and maintaining a high coulombic efficiency of approximately 90%. This study highlights a rational catalyst-design strategy for improving both the performance and long-term stability of aqueous Zn–I₂ batteries.

Key Words : 에너지저장시스템(Energy storage system), 아연요오드 배터리(Zn-I₂ battery), 단일원자촉매(Single atom catalyst)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

그린 수소 및 고부가가치 화학물질 생산을 위한 고효율 광전기화학 시스템

Efficient Photoelectrochemical System for the Production of Green Hydrogen and High Value-Added Chemical

이상한*[†]

Sanghan Lee*[†]

*광주과학기술원 신소재공학과

Abstract : Solar-driven photoelectrochemical (PEC) systems have emerged as a promising platform for producing green hydrogen and enabling sustainable chemical upcycling, offering solutions to pressing environmental challenges such as global warming and resource imbalances. Among various materials, organo-metal halide perovskites (OHPs) and organic semiconductors (OSs) have attracted growing attention due to their excellent optoelectronic properties, low-temperature processability, and tunable functionality. However, their vulnerability to moisture, heat, and photodegradation presents major hurdles for long-term PEC operation. In this talk, two advanced PEC systems based on OHP and OS photoelectrodes will be introduced, each demonstrating breakthroughs in stability, efficiency, and functional versatility. First, highly stable and efficient OHP-based photoelectrodes were developed using eutectic gallium-indium (EGaIn) alloy encapsulation, which offers complete protection from external degradation while enabling efficient charge transport. These photoelectrodes delivered a high photocurrent density of 21.2 mA cm^{-2} with minimal voltage losses between photovoltaic and PEC modes, maintaining excellent operational stability over 100 hours in acidic electrolyte. Building on this, a dual OHP photoelectrode system was fabricated, achieving the highest reported solar-to-hydrogen (STH) efficiency among OHP-based PEC systems. Second, a bias-free PEC upcycling platform was developed to simultaneously valorize biodiesel byproducts—nitrate and glycerol—into ammonia and formate. This system integrates a bifunctional Ni-Fe-P electrocatalyst with OS-based photoanodes and photocathodes, employing a metal-foil encapsulation approach for long-term stability under continuous solar illumination. The dual-photoelectrode configuration exhibited a high reaction current density of 11.04 mA cm^{-2} and >95% Faradaic efficiencies with excellent selectivity. These results collectively highlight the potential of next-generation PEC systems, combining material innovations with device engineering, to achieve stable, efficient, and bias-free solar-driven hydrogen production and selective chemical upcycling.

Key Words : 광전기화학(Photoelectrochemical), 광전극(Photoelectrodes), 고부가가치화학물질(High value-added chemicals)

[†] Corresponding author, E-mail: sanghan@gist.ac.kr

Fe 도핑을 통한 NiMo 기반 AEM 촉매의 구조 안정화 및 수전해 성능 향상 연구

Structural Stabilization and Performance Enhancement of NiMo-Based Catalyst via Fe Doping for AEM Water Electrolysis

최다임**, Komal Patil***, 조유진**, 조세연**, 권수진**, 박종성**,*†

Daim Choe*, Komal Patil***, Yujin Cho**, Seyeon Cho**,

Soojin Kwon**, Jongsung Park***†

*경상국립대학교 에너지공학과, **경상국립대학교 에너지시스템공학과,

***경상국립대학교 미래융합기술연구소

Abstract : Anion exchange membrane (AEM) water electrolysis offers a promising route toward efficient hydrogen production using non-precious materials. Nevertheless, the severe alkaline environment and high operational voltage often lead to catalyst degradation. Herein, we report the development of an Fe-doped NiMo catalyst supported on nickel foam (NF) via a facile hydrothermal synthesis combined with an immersion process. The catalyst presents a nanorod structure that provides a large electrochemical surface area, resulting in improved activity and structural robustness. Electrochemical analyses revealed that partial Mo leaching during the oxygen evolution reaction (OER) facilitates the generation of active Ni(OH)₂ species, enhancing catalytic efficiency. The Fe-doped NiMo@NF catalyst delivered an overpotential of 1.526 V at 100 mA cm⁻² and exhibited exceptional stability, with a degradation rate as low as 75 μV h⁻¹ over 50 hours. When integrated into an AEM single cell with a PiperION membrane, it achieved a high current density of 1.6 A cm⁻² at 2.0 V. Overall, this study highlights the potential of Fe-doped NiMo@NF as a durable and high-performance catalyst for next-generation AEM water electrolysis systems.

Key Words : AEMWE(Anion Exchange Membrane water electrolysis), NiMoO₄, Nanorod catalyst

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

고성능 Mo-도핑된 NiFeS 촉매를 이용한 고효율 음이온 교환막 수전해

High-performance Mo-doped NiFeS Catalyst-enabled High-efficiency Anion Exchange Membrane Water Electrolysis

Komal Patil*, Jongsung Park**†

*경상국립대학교 미래융복합기술연구소, ** 경상국립대학교 에너지공학과

Abstract : In this study, a Mo-doped $\text{Ni}_3\text{S}_2/\text{FeNi}_2\text{S}_4$ hybrid nanocomposite featuring a nanosheet architecture was engineered as a highly active and durable anode electrocatalyst for anion exchange membrane water electrolysis (AEMWE). The optimized catalyst exhibited remarkable oxygen evolution reaction (OER) activity, achieving a current density of 50 mA cm^{-2} at 1.45 V vs. RHE, together with excellent stability over 50 hours in alkaline medium. Moreover, integration of the Mo-doped NiFeS anode with a Pt/CC cathode in a complete AEMWE cell delivered industrial-level performance, maintaining 0.5 A cm^{-2} current density for 100 hours of continuous operation. These findings underscore the robust structural stability and practical viability of the Mo-doped hybrid system, paving the way for scalable, energy-efficient, and cost-effective hydrogen production technologies.

Key Words : Mo doping, nanocomposite, anion exchange membrane, nickel-iron sulfide, AEM single cell, piperion

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

Wadsley-Roth 구조의 TNO@C 마이크로스피어를 활용한 고효율 상온 전기화학적 질소 환원

Efficient Electrochemical Nitrogen Reduction Utilizing the Wadsley-Roth Structures of TNO@C Microspheres at Ambient Conditions

안태용*, 임윤구*, 수브라마니 수렌드란*, 심욱*[†]

Tae-Yong An*, Yoongu Lim*, Subramani Surendran*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교

Abstract : The electrochemical nitrogen reduction reaction (NRR) is an attractive approach for sustainable ammonia production, which is anticipated as a potential carbon-neutral hydrogen carrier. However, compared to the competing HER, the NRR suffers from a significant drawback of low selectivity and conversion efficiency due to the high negative potential driving the NRR. Therefore, developing optimal electrocatalysts that inhibit HER and promote the NRR is crucial for the electrochemical synthesis of ammonia. In this study, we demonstrated that $\text{TiNb}_2\text{O}_7@\text{C}$ (TNO@C) microspheres with Wadsley-Roth crystal structure are efficient NRR electrocatalysts. The prepared TNO@C microspheres were calcined at controlled temperatures, and their electrochemical performances were investigated in different electrolytes. The cationic size effects and the pH of the electrolytes were analyzed to actively influence the NRR activity. The prepared TNO@C electrocatalyst exhibits high faradaic efficiency (13.11%) and ammonia yield ($0.62 \mu\text{mol h}^{-1} \text{cm}^{-2}$). The prepared TNO@C microspheres, featuring Lewis acid sites from the Nb cations and oxygen vacancy (V_o)-coupled Ti cations, can effectively enhance the NRR performance of TNO@C electrocatalysts. Furthermore, the in situ and theoretical analyses reveal the associative NRR pathway, and the purity and source of the produced ammonia were carefully verified.

Key Words : 전기화학 촉매 (Electrocatalyst), 질소 환원 (Nitrogen reduction), 암모니아 생산 (Ammonia production), 와이즈리-로스 (Wadsley-Roth)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

Oral Session

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



기후위기 해결에 필요한 IT 기술

IT Solutions for the Climate Crisis

최성원*[†]

Seongwon Choi*[†]

*식스티헤르츠

Abstract : 본 발표는 기후위기 해결을 위한 IT 기술의 역할, 특히 재생에너지 확산에 따른 전력망 안정성 확보 방안을 다룬다. UN이 선언한 "지구 끓음(Global Boiling)" 시대에 탄소중립 달성을 위해서는 에너지 부문의 온실가스 배출 감소가 필수적이며, 이를 위해 재생에너지 확산이 가속화되고 있다. 그러나 재생에너지의 간헐성, 변동성, 예측 불확실성과 소규모 분산자원이라는 특성은 전력망 안정성에 새로운 도전과제를 제시한다.

Key Words : 기후위기(Climate Crisis), 탄소중립(Net Zero), 발전량 예측(Power Generation Forecasting), 인공지능(AI), 전력망 안정성(Grid Stability)

[†] Corresponding author, E-mail: sw.choi@60hz.io

물-물 히트펌프 및 신뢰성 시험장치 개발과 히트펌프 응용 기술

Development of Water to Water Heat Pump and Reliability Testing Equipment and Heat Pump Application Technology

이형민*[†], 이용석*

Hyungmin Lee*[†], Yongseok Lee*

*(주)혁신이앤씨

Abstract : 본 연구는 물-물 히트펌프(Water-to-Water Heat Pump)의 성능확보, 제조 기술의 개발과 이의 성능 및 신뢰성을 정량적으로 평가할 수 있는 시험장치 개발을 주요 목표로 한다. 또한 히트펌프 시스템의 응용 기술로서 복합열원 히트펌프, 복합열원을 이용한 히트펌프 시스템, 고효율 성능확보를 위한 추가 기술의 가능성을 검토하였다. 물-물 히트펌프는 냉난방 및 급탕 시스템 등 다양한 건물 및 산업용 에너지 절감 솔루션 응용이 가능하며, 특히 온수 저장 시스템과 연계하여 연중 높은 에너지 효율을 유지할 수 있다. 본 연구에서는 히트펌프의 주요 구성요소인 열교환기, 압축기, 팽창밸브, 냉매 배관 등의 설계 최적화와 함께, 운전 조건을 모사할 수 있는 시험장치를 자체 개발하였으며 시험장치는 온도, 유량, 압력 등 핵심 운전 변수에 대한 정밀 제어 및 실시간 데이터 수집이 가능하도록 구성하였다. 또한 히트펌프의 장기 운전 신뢰성, 성능 저하 요인 분석, 정격 및 부분 부하 성능 평가 등이 가능하다. 혁신이앤씨는 본 연구를 통해 공기열, 폐열 등 다양한 열원을 활용하는 히트펌프 시스템의 고효율화 및 상용화를 위한 기술적 기반을 마련할 계획이다.

Key Words : 히트펌프(Heat pump), 신뢰성 시험장치(Reliability testing equipment), 열원(Heat source), 효율 향상(Improved efficiency), 상용화(Commercialization)

[†] Corresponding author, E-mail: skypalace15@naver.com

지붕형 BIPV 기술 동향 및 향후 과제

Roof-type BIPV Technology Trends and Future Challenges

박지홍*[†], 윤광일*

Chihong Park*[†], Gwangil Yun*

*(주)일강이엔아이

Abstract : 신재생에너지 적용 확대를 위하여, 국가적으로 공공기관 설치 의무화 및 제로 에너지빌딩 인증 의무화 등의 여러 정책이 시행되고 있는 환경에서, BIPV는 점차 그 중요성이 강조되고 있다. 특히 BIPV 중 지붕형 BIPV 시장은 강당, 체육관, 전시장, 공장 등을 중심으로 그 적용 범위를 넓히며, 신재생에너지 확산을 위한 효율적인 대안으로 주목받고 있다. 본 발표에서는 기본적인 단열 및 누수 방지 기능을 포함 하면서 태양광 모듈을 지붕재 최외곽 자재로 사용하는 지붕형 BIPV의 기술 동향과 향후 나아갈 방향을 제시하고자 한다.

Key Words : 건물일체형 태양광발전장치(Building-Integrated Photovoltaics, BIPV), 특수 지붕재(System Roof)

[†] Corresponding author, E-mail: pch0329@ilkang.co.kr

Poster Session

건물에너지설비	Building Energy Systems (BES)	153
제로에너지 건물	Zero Energy Buildings (ZEB)	157
건축환경	Building Environment Engineering (BEE)	159
풍력에너지	Wind Energy Conversion (WEC)	163
신재생융합	Renewable Energy Convergence (REC)	164
자원량평가	Renewable Energy Resources (RER)	170
에너지저장 및 섹터커플링	Energy Storage System & Sector Coupling (ESS&SC)	171
태양수소에너지	Solar to Hydrogen (S2H)	180
태양열융합	Solar Thermal Convergence (STC)	191
태양광에너지	Photovoltaic Energy (PVE)	193

바닥난방 시스템 실증 적용을 위한 강화학습 기반 제어 프레임워크 개발

Development of a Reinforcement Learning-based Control Framework for Field Application in Radiant Floor Heating Systems

오석준*, 박준용**, 정영선*, 김용기*[†]

Sukjoon Oh*, June Young Park**, Youngsun Jeong*, Yongki Kim*[†]

*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부, **텍사스 알링턴 대학교 토목공학과

Abstract : 건물의 난방, 급탕, 환기 및 공조(HVAC) 시스템은 건물에서 주요 에너지 소비원이며, 부적절한 제어 및 운영은 에너지 비용을 증가시킨다. 기존의 온/오프(뱅뱅제어) 혹은 규칙기반 제어 방식은 복잡한 다중 목표 제어 문제를 최적화하지 못하고, 예측 능력이 부족하여 외부 요인(예: 기상 조건) 및 내부 요인(예: 실내 온도)에 동적으로 적응하지 못하는 한계가 있다. 특히 한국의 공동주택에서 널리 채택되는 바닥복사난방(Floor Radiant Heating)은 저온 열공급에 유리한 조건이지만, 높은 열 관성(Thermal Inertia)을 가지는 특성 때문에 제어가 복잡하며 과냉각 또는 과열 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 극복하고 에너지 효율성과 실내 쾌적성을 동시에 최적화하기 위해 강화학습(Reinforcement Learning)이 유망한 접근 방식으로 부상하고 있다. 본 연구는 복잡한 빌딩 시뮬레이션 모델링(Building Energy Modeling) 대신 실측 데이터로 보정된 단순화된 RC 모델을 활용하여 공동주택 실증에 적용하기 위한 바닥복사난방 시스템의 최적 제어 전략을 모색한다. 이 프레임워크는 건물 에너지 RC 모델링, 실측 데이터를 활용한 모델 보정(Calibration), 보정된 모델을 시뮬레이터로 사용하는 오프라인 RL 훈련, 그리고 실시간 제어 시스템 배포, 실증 세대들에서 적용되는 온라인 RL 훈련의 다섯 단계로 구성되기 위한 기초연구이다. 최소 실증 데이터를 고려한 RC 모델 기반의 오프라인 강화학습 훈련 결과 온/오프 제어 방식보다 취침시간을 고려한 강화학습 제어 방식이 약 9~10%의 난방에너지를 절감하는 효과를 보였다.

Key Words : 강화학습(Reinforcement learning), 바닥복사난방(Floor radiant floor), 최적 제어(Optimal control), 난방에너지 절감(heating energy saving), 실증 적용(Field Application)

[†] Corresponding author, E-mail: kimyk@kict.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호: RS-2024-00398693, 과제명: 세대부 15%, 공용부 10% 에너지 절감이 가능한 기축 공동주택 사용 용도별 맞춤형 무자각 무구속 자율제어 기반 에너지 수요 최적화 서비스 개발 및 실증)

개별보일러의 급탕온도 제어를 통한 공동주택 세대의 에너지 절감 가능성 평가

Hot Water Heating Energy Saving by Hot Water Temperature Control of Gas Boiler in Apartment Units

정영선*, 김용기*[†], 오석준*

Youngsun Jeong*, Yongki Kim*[†], Sukjoon Oh*

*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

Abstract : Hot water energy consumption accounts for about 31.9% of total energy consumption in apartment units. The importance of hot water energy in residential buildings is expected to continue increasing because of the upcoming mandatory of zero-energy building. This study proposes a control method for saving domestic hot water energy in individual heating systems using gas boilers. To evaluate the potential for hot water energy savings through this control method, a mock-up test was conducted. In the housing, occupants use the high-temperature hot water supplied from the boiler at the faucet or showerhead terminal, mixing it with cold water to adjust it to a warm temperature suitable for user comfort. In this study, the hot water temperature control algorithm is a control method that lowers the set hot water temperature to a predetermined lower value when external conditions are met, or gradually lowers it at regular intervals. The external conditions addressed are outdoor temperature, room heating operation status, air conditioner operation status for cooling, and indoor temperature. The mock-up test was conducted in an 84m² apartment unit. Hot water usage schedules were defined as scenarios, and hot water energy consumption was measured based on actual usage to analyze potential savings.

Key Words : 급탕온도(Hot water temperature), 급탕(Domestic hot water), 급탕에너지 절감(Hot water heating energy saving), 가스보일러(Gas-fired boiler), mock업 테스트(Mock-up test), 온도 제어 알고리즘(Temperature control algorithm)

[†] Corresponding author, E-mail: kimyk@kict.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호: RS-2024-00398693, 과제명: 세대부 15%, 공용부 10% 에너지 절감이 가능한 기축 공동주택 사용 용도별 맞춤형 무자각 무구속 자율제어 기반 에너지 수요 최적화 서비스 개발 및 실증)

스프링 구조를 적용한 히트싱크의 성능 평가에 관한 연구

Investigation of the Performance of a Heatsink Employing a Spring Structure

강현민*, 육세진*[†]

Hyeon-Min Kang*, Se-Jin Yook*[†]

*한양대학교 기계공학부

Abstract : 본 연구에서는 자연대류 기반 열관리 기술의 새로운 접근으로, 히트싱크 상단의 일부 핀을 스프링 형상으로 치환한 결합형 구조를 제안하였다. 제안된 모델의 열전달 성능은 수치해석과 실험을 통해 검증되었으며, 주요 설계 변수(직경, 높이, 피치)에 대해 반응표면법(RSM)을 적용하여 최적의 구조를 도출하였다. 최적화 결과, 예측값과 해석값의 차이는 매우 작아 모델의 신뢰성이 확인되었다. 스프링 끝단 각도를 변화시켜 성능을 비교한 결과, 90° 조건에서 기준 모델 대비 열저항이 감소하고 무게가 경감되어 성능 향상과 경량화를 동시에 확보할 수 있음을 확인하였다. 아울러 설치 각도 변화에 따른 방열 특성을 분석한 결과, 90°에서 가장 우수한 성능을 나타낸 반면 180°에서는 유동 발달이 제한되어 성능 저하가 발생하였다. 이러한 결과는 스프링 구조가 단순한 형상 변형만으로도 방열 성능을 효과적으로 개선할 수 있음을 보여주며, 경량화와 고효율 열관리가 요구되는 응용 분야에서의 적용 가능성을 제시한다.

Key Words : 히트싱크(Heat sink), 최적 설계(Design optimization), 열저항(Thermal Resistance)

[†] 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).

추가적인 금속판의 사용이 식물공장용 LED 등기구의 방열에 미치는 영향에 관한 연구

Effect of an Additional Metal Plate on the Heat Dissipation Performance of LED Fixtures for Plant Factories

황석주*, 허승민*, 육세진*[†]

Seok-Ju Hwang*, Seung-Min Heo*, Se-Jin Yook*[†]

*한양대학교 기계공학부

Abstract : LED 조명의 안정적인 성능 유지를 위해서는 LED 소자에서 발생하는 열을 효과적으로 방출하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 식물공장용 LED 등기구의 방열 성능을 향상시키기 위해 금속판을 적용하는 새로운 열 관리 방안을 제안하고, 그 효과를 실험과 수치해석을 통해 검증하였다. 수치해석 모델은 실험 결과와 3% 이내의 오차를 보여 높은 신뢰도를 확보했다. 금속판의 적용 방식에 따른 총 세 가지의 개선 방안을 기준 모델과 비교 분석한 결과, 등기구의 내외부에 걸쳐서 금속판을 서로 연결한 구조에서 방열 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이 설계는 방열판의 평균 표면 온도를 5% 이상 낮추고, 등기구 전체의 온도 분포를 가장 균일하게 유지시켰다. 이는 금속판이 국부적인 열점을 분산시키고 자연 대류를 촉진하여 방열 성능이 개선되기 때문이다.

Key Words : LED 조명(LED lighting), 히트 싱크(Heat sink), 식물 공장(Plant factory)

[†] 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).

Low-E 코팅 배치에 따른 진공복층창의 에너지 성능평가: 실규모 실측 및 연간 부하 해석

Energy Performance Evaluation of Vacuum-Insulated Glazing with Low-E Coating Layouts: Full-Scale Field Measurements and Annual Load Analysis

이준영*, 김재원*, 강은호*, 김동수*, 윤종호*[†]

Junyoung Lee*, Jaewon Kim*, Eunho Kang*, Dongsu Kim*, Jongho Yoon*[†]

*국립한밭대학교 건축공학과

Abstract : 건물 에너지 소비의 34%를 차지하는 건물 부문에서 창호의 고성능화는 필수적이다. 기존 삼중창의 한계를 극복하기 위해 진공층을 적용한 창호(진공창)가 주목받고 있다. 진공창은 유사한 단열 성능의 삼중창 대비 열관류율은 우수하면서 일사확득계수(SHGC)가 높아, 난방 위주의 건물에는 유리하지만, 냉방 부하가 큰 상업/공공 건물에서는 오히려 불리할 수 있다는 평가가 지배적이다. 이러한 배경에서 본 연구는 유사한 단열 및 일사 성능을 갖는 진공창과 일반 삼중창의 냉방기 성능을 정량적으로 비교 평가하고, 코팅 위치에 따른 열 거동을 규명하여 냉·난방기 최적 진공창 구성 방안 수립의 기초 자료를 마련하고자 한다. 연구는 초기 동등 조건을 검증한 정남향의 실규모 Test Cell 3개를 활용하였다. 기준창으로 2면 Low-E 삼중창(B실)을 설정하고, 비교 대상으로 '단창 + 공기층 + 진공창' 구성의 진공복층창 2가지 유형(A, C실)을 적용하였다. A실(유형 1)은 2면 Low-E 코팅을, C실(유형 2)은 1면 Low-E 코팅을 적용하여 하절기 냉방 조건 실측을 수행하였다. 단기간 측정의 한계를 보완하고 동절기 성능을 예측하기 위해 Test Cell 모델을 EnergyPlus로 신뢰성 검증 후 연간 해석을 진행하였다. 해석 결과, 기준 모델 대비 진공복층창 모델은 냉방 부하가 증가(유형 1: 0.26kWh/m² · year 증가)한 반면, 난방 부하는 모두 감소(유형 1: 1.46kWh/m² · year 감소)하였다. 결론적으로, 진공창의 냉방 부하 증가 위험성에도 불구하고, 적절한 저방사 코팅 배치(유형 1)를 통해 냉방 부하 증가를 최소화하며 난방 성능을 크게 개선할 수 있음을 입증하였다. 본 연구는 향후 건물 용도 및 목적에 따른 최적의 로이 코팅 위치, 개수, 색유리 조합 등 진공창의 구성을 수립하기 위한 첫 단계의 중요한 실증 및 해석 결과이다.

Key Words : 진공창(Vacuum Glazing), 저방사 코팅(Low-Emissivity Coating), 시뮬레이션(Simulation), 냉·난방부하(Heating and Cooling Load)

[†] Corresponding author, E-mail: jhyoon@hanbat.ac.kr

후 기

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제 번호 : RS-2023-00266248).

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “월드클래스플러스(R&D, P0024373)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

유리 컬러 코팅 모듈의 내구성 향상 및 수용성 확보를 위한 필름 삽입형 컬러 BIPV 기술 개발

Development of Film-embedded Color BIPV Technology to Improve Durability and Secure Acceptance of Glass Color Coating Modules

김민규*[†], 윤아영*[†], 정미선*[†], 양연원*

Mingyu Kim*[†], Ayoung Yoon*[†], Miseon Jeong*[†], Yeonwon Yang*

*(주)에스케이에스이

Abstract : 본 연구는 고내구성 컬러 디자인 건물형 태양광 모듈(BIPV)의 개발을 목표로 기존의 유리 코팅 기반 컬러 모듈의 성능 및 수용성을 개선하고, 실용적인 사업화 가능성을 증대시키기 위한 기술적 성과를 다룬다. 기존 컬러 BIPV는 색상에 따른 출력 편차가 심할 때 15~20% 이상으로 커서 미스매치 발생 확률이 높고, 투과 균일도도 낮아 외관과 발전 성능 모두 불리하다는 한계를 지닌다. 이를 해결하기 위해 브라운관 레스터 방식을 적용한 필름 삽입형 BIPV 모듈 기술을 개발하여, 컬러 및 디자인의 다양성을 확보하였다. 9종(RED, GREEN, BLUE, DARK BLUE, BROWN, YELLOW, LIGHT GREEN, LIGHT GREY, DARK GREY)의 컬러 BIPV 모듈을 제작하여 색상에 따른 출력 편차를 측정된 결과, 최대 3% 이내의 낮은 출력 편차가 측정되었으며, 이들은 다양한 색상과 디자인 옵션을 제공한다. 필름 투과율을 2번 분석한 결과, 동일하게 84.8%로 측정되었으며, 목표치인 85%에 근접하였다. Pull/Peel 테스트에서는 평균 89.23N의 성능을 달성하였다. 또한 컬러 BIPV 모듈의 장수명 확보를 위해 KS C 8577 기반 UV(45kWh/m²), 온도 사이클(200cycle), 고온·고습(온도85℃, 습도 85%) 환경에서 전/후 내구성 시험을 진행한 결과, 출력 변화량은 2.59% / 3.78% / 2.35%로 각각 목표치인 4% 이하를 달성하였다. 본 연구에서는 기존 컬러 BIPV와는 차별화된 색상에 따른 출력 편차 최소화 기술과 열적·광적 환경에서의 고내구성 기술을 확보하였다. 또한 심미성, 발전 효율을 동시에 갖춘 차세대 건축형 태양광 모듈의 가능성을 제시하며, 건축자재로서의 활용성을 확보하고 건축물의 에너지 효율을 향상할 수 있는 잠재력을 지닌다. 우수한 색 구현과 다양한 디자인 선택을 통해 고객 맞춤형 솔루션을 제공하고, 국내 태양광 산업의 활성화 및 고용 창출에 이바지할 것으로 기대된다. 본 연구는 향후 태양광 시장의 발전성과 국가 에너지 정책에 부합하는 중요한 기술적 진전을 이루었다.

Key Words : 건물형 태양광(BIPV), 컬러 건물형 태양광(Color BIPV), 내구성 확보(Ensured durability), 신뢰성 확보(Securing reliability), 디자인형 건물형 태양광(Design BIPV)

[†] Corresponding author, E-mail: yyw@skse1.com

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : P0027918).

건물 에너지 정책 평가를 위한 준실험설계 방법론 적용 가능성 평가

Evaluating Data Adequacy for Quasi-Experimental Analysis of Building Energy Policy Impacts

김혜기*, 추한경*, 김덕우*[†]

Hyegi Kim*, Hangyeong Chu*, Deukwoo Kim*[†]

*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부

Abstract : 정부 플랫폼의 건물 에너지 빅데이터는 다년간 축적된 대규모 건물군의 에너지 사용 이력을 담고 있어 정책 전후 효과를 비교·분석할 수 있는 이상적인 조건을 갖추었다. 하지만 현재는 이러한 데이터의 잠재력을 살리지 못한 채 단순 통계 제공에 그치고 있으며, 그린리모델링이나 건물에너지총량제 같은 주요 정책의 효과를 객관적으로 입증하지 못하고 있다. 또한, 전 세계적으로 근거기반정책(EBP)에 대한 요구가 강화되면서 정책의 인과적 효과를 엄밀히 검증해야 할 필요성이 증가하고 있다.

건물 에너지 정책은 무작위 실험이 현실적으로 불가능하여 이미 시행된 정책의 효과를 관찰 데이터로 평가해야 한다. 이러한 상황에서는 의학, 경제학, 행정학 분야에서 널리 활용되는 준실험설계 방법론이 유용하나, 건물 에너지 데이터의 특성을 고려한 체계적인 적용 기준이 부재한 실정이다.

본 연구는 건물 에너지 정책 평가에 준실험설계 방법론을 적용하기 위해 데이터셋의 적합성을 사전에 판단할 수 있는 평가 프레임워크 개발을 목표로 한다. 구체적으로 이중차분법(DiD), 성향점수매칭(PSM), 회귀불연속설계(RDD), 단절적 시계열 분석(ITS) 등 여러 준실험설계 방법론에 대한 적용가능성 평가 기준을 제시한다.

평가 프레임워크는 데이터 구조 적정성, 방법론 적용가능성, 데이터 요구사항 충족도, 구현 실행가능성의 4가지 핵심 차원에 걸쳐 데이터셋을 체계적으로 평가한다. 이를 통해 연구자들은 보유한 데이터가 어떤 준실험설계 방법론에 적합한지 사전에 판단할 수 있다.

본 연구에서 제시하는 프레임워크는 정책의 전반적인 효과를 파악하기 어려웠던 기존의 개별 시설 중심 평가가 아닌 전체 건물군을 대상으로 정책의 인과적 효과를 분석할 수 있는 방법론 선택을 지원한다. 본 연구 결과는 향후 건물 에너지 빅데이터를 활용한 정책 효과 분석 연구의 방법론 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

Key Words : 인과추론(Causal inference), 준실험설계(Quasi-experimental design), 건물에너지정책(Building energy policy), 빅데이터분석(Big data analysis), 적용가능성평가(Applicability assessment)

[†] Corresponding author, E-mail: deukwookim@kict.re.kr

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업) 사업으로 수행되었습니다. (과제 번호 20250291-001, Beyond XAI: 건물에너지 정책 및 기술의 효과 평가를 위한 인과추론 적용 연구)

이코노마이저 제어를 위한 혼합 온도 예측

Mixed air Temperature Prediction for Economizer Control

이진현*, 김효준**, 조영흠***†

Jinhyun Lee*, Hyojun Kim**, Younghum Cho***†

*영남대학교 건축연구소, **비텍, ***영남대학교 공과대학 건축학부

Abstract : 이코노마이저 제어는 냉방 에너지 절감을 위해 외기상황에 따라 외기도입량을 조절하여 외기를 도입하는 것으로 외기와 환기의 공기 상태에 따라 혼합온도 설정값을 만족하기 위해 외기도입량이 조절된다. 이때 활용되는 혼합 온도 센서는 공조기에 1개소 설치되어 있어 혼합 챔버 내의 온도를 대표하는데 한계가 있으며 이코노마이저 제어 시 혼합 온도 센서 오차에 따라 에너지 소비량이 증가할 수 있다. 이처럼 건물 자동화 및 제어 시 센서 오차는 건물 에너지 소비에 영향을 미칠 수 있으며 이에 이코노마이저 제어를 위해서는 혼합 온도 센서의 높은 정확도가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 이코노마이저 제어를 위한 혼합 온도 예측 모델을 도출하였다. 공조시스템 운전 시 혼합 공기는 공급 팬을 지나면서 온도 상승이 발생한다. 팬에서의 온도 상승은 팬 상사 법칙에 따라 팬 전압에 영향을 받으며, 전압에 영향을 미치는 변수를 변화시키며 급기팬에서 발생하는 온도 상승을 분석하였다. 실험 결과를 통해 팬에서의 온도 상승을 고려한 혼합 온도 예측 모델을 개발하였으며, 혼합 온도 측정값과 비교하였을 때 0.02~4.04%의 상대 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 이에 개발한 혼합 온도 예측 모델을 통해 이코노마이저 제어 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되며 센서의 부정확성으로 인해 발생하는 냉방 코일 에너지 낭비를 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 이코노마이저 제어(Economizer control), 혼합 온도 예측(Mixed air temperature prediction), 공조기(AHU), 센서 오차(Sensor error)

† Corresponding author, E-mail: yhcho@ynu.ac.kr

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00214493).

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1C1C2010251).

철골철근콘크리트구조 외벽 일체형 BIPV 시스템 설계(안) 개발

Design Development of an SRC Integrated BIPV System

이한솔*, 최경석*[†], 엄지영*, 김영택**

Hansol Lee*, Gyeong-Seok Choi*[†], Ji-Young Eum*, Young-Tag Kim**

*한국건설기술연구원 건축에너지연구본부, **주식회사 대륙건설팅

Abstract : 본 연구는 철골철근콘크리트(SRC, Steel-Reinforced Concrete) 구조체에 일체화되는 BIPV (Building-Integrated Photovoltaic) 시스템의 설계(안)를 제시하고, 초기 설계 단계에 필요한 적용 범위·전제조건·산출도서의 체계를 정리하였다. 설계 범위는 (1) 모듈-프레임-브래킷으로 구성되는 시스템 레이아웃과 부품 체계, (2) 외벽 배면 통기층 형성과 상·하부 통기구 배치 개념, (3) 프로젝트 조건에 따른 오픈/클로즈드 조인트 적용(안), (4) 주요 접합부(층간 슬래브, 파라펫 등)의 연결 방식(안)을 포함한다. 설계 과정에서는 진공단열재 두께, PV 모듈 치수, 통기층 두께 범위 등을 설계 전제 및 경계조건으로 명시하고, 설계 입력 항목을 목록화하여 각 값의 범위와 단위를 명시하였다. 산출도서는 표준 단면·상세도 세트로 구성하였다. 본 논문은 상기 설계(안)의 설계 산출도서(표준 단면·상세도 세트 등)를 제시하며, 전열·유동 해석에 기반한 성능 검토, 시제품 제작 및 공인시험, 목업 테스트와 실증 모니터링은 후속 검증 단계로 수행할 계획이다. 제안한 설계(안)는 SRC 외벽 일체형 BIPV 시스템의 구현을 위한 기초 자료로서, 향후 검증 결과와 연계하여 접합부 세부 디테일 및 적용 기준의 정교화와 표준화 가능한 설계 지침 수립에 기여할 것으로 판단된다.

Key Words : BIPV 시스템(BIPV system), 철골철근콘크리트구조(SRC, Steel-Reinforced Concrete), 통기층(Ventilated cavity), 조인트 체계(Jointing scheme), 접합부 상세(Connection details)

[†] Corresponding author, E-mail: bear717@kict.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제 번호: RS-2024-00459594).

전기변색유리 창호 제어를 위한 다중노출 이미지 기반 시쾌적성 예측 모델 개발

Development of a Visual Comfort Prediction Model Based on Multiple Exposure Images for Electrochromic Glass Window Control

강은호*, 이준영*, 오명환**, 김동수*, 윤종호*[†]

Eunho Kang*, Junyoung Lee*, Myunghwan Oh*, Dongsu Kim*, Jongho Yoon*[†]

*한밭대학교 건축공학과, **한국건설생활환경시험 연구원

Abstract : 최근 전기변색유리 기반 스마트창호를 활용함으로써 재실자들의 시쾌적성을 개선하고자 하는 사례가 증가하고 있다. 하지만 시쾌적성을 판단하는 정량적인 기준 없이 무분별하게 전기변색유리를 작동시키면 난방부하 증가 및 외부와의 시각적 개방감을 저하시킬 수 있다. 이러한 이유로 전기변색유리 창호를 효율적으로 제어하기 위해서는 시쾌적성의 정량적인 관측이 필요하다. 이에 본 연구에서는 다중노출(Multi-exposure) 이미지 기반의 실내 휘도 분포 정량 관측 및 눈부심 지수(Glare Index) 평가 모델을 개발하였다.

이를 위해 저자들은 카메라 응답함수(Camera Response Function, CRF)를 기반으로 실내 이미지로부터 복사휘도(luminance)를 복원할 수 있는 모델을 수립하였으며, 저가형 카메라 모듈을 이용해 획득한 다중노출 이미지를 활용하여 실내 휘도 분포를 관측하는 실험을 수행하였다. 실험 종료 후, 개발된 모델의 정확성을 검증하기 위해 관측된 휘도값과 전문 측정장비(예: 휘도계)로 측정된 참조 휘도값을 비교하였다. 비교 결과, 두 값 간의 상대 오차는 10% 이내로 나타나, 제안된 모델이 실내 시각적 쾌적성 평가에 활용될 수 있을 만큼 충분한 신뢰성을 확보한 것으로 판단되었다. 향후 연구에서는 본 모델을 기반으로 실시간 시쾌적성 피드백을 반영한 전기변색유리 제어를 설계하고, 실환경 적용 가능성을 검토할 예정이다.

Key Words : 전기변색유리(Electrochromic glazing), 시각적 쾌적성(Visual comfort), 다중노출 이미지(Multi-exposure image), 휘도분포(Luminance distribution)

[†]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)
이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호:RS-2023-00266248, 과제명:건물형 태양광 산업 생태계 대응 전문 인력 양성)

해상풍력 입지선정 지원을 위한 공간정보 기반 통합시스템 구축

A GIS-Based Integrated Platform for Offshore Wind Farm Site Selection

김지원*, 강성필*[†], 김명원*

Ji Won Kim*, Seong Pil Gang*[†], Myung Won Kim*

*(주)지오시스템리서치

Abstract : 2026년 상반기 「해상풍력 보급 촉진 및 산업 육성에 관한 특별법」(이하 ‘해상풍력법’) 시행으로 정부 주도의 해상풍력 입지 지정이 예고됨에 따라, 공공기관 생산의 해양공간정보를 신뢰성 있게 통합·활용하는 시스템이 요구된다. 본 연구는 350종 이상의 공간정보(기본지도, 공간정보, 분석정보 등)를 수집 및 가공하여 품질관리하고, 이를 토대로 GIS 기반 입지선정 통합시스템을 구축하였다. 시스템의 주요 기능으로는 1)지도 서비스(공간정보 조회, 면적 분석, 사용자 기반 배제 분석 후보지 도출 등 사전 스크리닝 기능제공)와 2)일반 서비스(용어사전, 해상풍력 동향, 공간정보의 법령근거 및 이력을 포함한 자료실)로 구성된다. 모든 공간정보는 분기별 변경 이력 관리로 최신성과 추적성을 확보했으며, 향후 누적 데이터를 시계열로 가공하여 규제·환경 조건의 변화가 후보지 적합도에 미치는 영향을 정량 비교할 수 있다. 본 시스템은 이해관계자(정부·지자체·사업자·어업인 등)간의 입장차이를 과학적·객관적 근거 기반의 의사결정이 가능하도록 도울 것으로 기대한다. 향후 고도화를 통해 「해상풍력법」상 입지정보망 운영의 프로토타입으로 기능할 수 있으며, 예비지구·발전지구 지정 과정의 투명성과 재현성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words : Offshore Wind Farm(해상풍력 발전단지), Site Selection(입지선정), Spatial Analysis(공간분석), , System(시스템)

[†] Corresponding author, E-mail: spgang@geosr.com

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00301792)

문헌고찰을 통한 전면유리 특성별 BIPV 모듈의 눈부심 및 반사특성 분석

Review on Glare and Reflective Characteristics of BIPV Modules Depending on Front Glass Properties

김하영*, 김진희**, 김준태***†

Hayoung Kim*, Jinhee Kim**, Juntae Kim***†

*국립공주대학교 에너지시스템공학과, **국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

***국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 BIPV(Building-Integrated Photovoltaic) 시스템의 설치 비중이 증가하면서, BIPV 모듈의 반사광에 의한 눈부심 문제가 새로운 도시 시각 환경 문제로 대두되고 있다. 이를 해결하기 위해 일부 국가는 건물 외장재의 반사율을 제한하는 법적 규제를 시행하고 있으나, BIPV 모듈은 발전 성능 향상을 위해 반사율을 저감한 표면 기술이 적용됨에도 불구하고 $100,000 \text{ cd/m}^2$ 이상의 절대 눈부심 한계를 초과하는 사례가 보고되고 있다. 특히 외벽형 BIPV 모듈은 대면적으로 고정 설치되므로 눈부심 발생 시 지속시간이 길어지는 문제가 있다. 이에 따라 단순 반사율 규제만으로는 눈부심 현상을 방지하기 어려우며, 눈부심의 발생 여부와 강도는 휘도뿐 아니라 태양의 위치, 모듈 방위, 전면 유리의 표면 특성 등 다양한 요인에 의해 결정된다. 특히 전면 유리의 재질 및 표면 처리 방식에 따라 입사각별 반사특성이 상이하므로, 이에 따른 눈부심 특성 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존 문헌을 중심으로 BIPV 모듈의 전면 유리 특성에 따른 눈부심 특성을 비교·분석하였다. 선행 연구에서 제시된 전면 유리 유형별 반사특성과 휘도 기반 눈부심 평가 결과를 분석하여, BIPV 모듈 적용 시 유리 표면 특성이 눈부심 강도에 미치는 영향을 고찰하였다.

Key Words : 건물형 태양광(Building-Integrated Photovoltaic), 눈부심(Glare), 반사특성(Reflectance), 휘도(luminance)

† 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).

후면 중공층을 가진 BIPV 시스템의 화재 확산 방지를 위한 설계 제안 및 시뮬레이션 기반 비교·분석 연구

A Design Proposal and Simulation-Based Comparative Study on Fire Spread Resistance in BIPV Systems with Rear Ventilation Gaps

정수빈*, 김진희**, 김준태***†

Subin Jeong*, Jinhee Kim**, Juntae Kim***†

*국립공주대학교 에너지시스템공학과, **국립공주대학교 그린에너지기술연구소,

***국립공주대학교 그린스마트건축공학과/에너지시스템공학과(대학원)

Abstract : 건물 일체형 태양광(BIPV, Building Integrated Photovoltaic)시스템은 독립적으로 설치되는 태양광 시스템과 달리 건물 외장재의 역할을 겸하므로 건물 외장재로서의 성능 기준을 충족해야 한다. 그러나 최근 BIPV 시스템의 화재 확산 방지 성능에 대한 문제가 대두되고 있다. 일반적으로 BIPV 시스템은 발전 효율 증진을 위해 모듈 후면에 중공층을 두고 후면 환기가 이루어지도록 구성되는데, 이 중공층은 일반적인 조건에서는 문제가 없으나 건물에서 화재가 발생하는 경우 화재 확산의 통로로 이용되어 확산을 가속할 수 있는 위험성을 내재하고 있기 때문이다. 이를 해결하기 위한 기존의 연구 및 제품 개발은 주로 중공층을 밀폐하여 화재 확산을 억제하는 방향으로 진행되고 있으나, 이는 일반적인 조건에서 PV 모듈의 과열 및 효율 저하를 야기하는 또 다른 문제점을 안고 있다.

이에 본 연구에서는 발전 효율 저하를 최소화함과 동시에 화재 확산을 방지할 수 있는 구조 설계안을 제안하였다. 또한, 시뮬레이션 분석을 통해 설계안의 화재 확산 방지 성능을 평가하였으며, 이를 후면 중공층이 개방된 환기 구조 BIPV 시스템과 비교·분석하여 설계안의 유효성을 검증하였다.

Key Words : 건물 일체형 태양광(Building integrated photovoltaic), 화재 확산 방지 성능(Fire spread resistance performance), 건물 외피 시스템(Building facade system), 수치해석(Numerical analysis)

† 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).

알칼라인 수전해 시스템의 내구성 분리막을 위한 PPS 섬유 지지체 개발

Development of a Durable Separator with PPS Textile Support for Alkaline Water Electrolysis Applications

윤영훈*[†], 김동권*, 임윤지*, 김민수*

Younghoon Yoon*[†], Dongkwon Kim*, Yoonji Yim*, Minsoo Kim*

*다이텍연구원 부산섬유소재진흥센터

Abstract : Hydrogen is increasingly recognized as a crucial energy source for achieving carbon neutrality, and alkaline water electrolysis is emerging as a key technology for producing environmentally friendly hydrogen. The system primarily consists of electrodes, separators, and gaskets, with the separator playing a critical role. Typically, the separator is a porous membrane composed of ceramic materials and polymer resins. For the successful operation of alkaline water electrolysis, the system requires highly concentrated alkaline solutions, necessitating the use of materials with excellent resistance to harsh alkaline environments. One of the major challenges is ensuring the separator's durability under pressure differentials that arise during system operation. To address this, a textile support structure is needed to enhance the mechanical strength of the separator. In this study, polyphenylene sulfide (PPS), an engineering plastic with exceptional resistance to alkaline conditions, was used to develop a textile support material aimed at reinforcing the separator's mechanical properties. The mechanical and surface properties of the developed support material were analyzed, and the mechanical performance of the resulting porous composite membrane was evaluated. To fabricate the PPS support, PPS polymer resin was processed into mono filaments of varying thicknesses, and their mechanical properties were examined. These mono filaments were then woven into a mesh fabric, which was subsequently coated with zirconia on both sides to produce a separator suitable for alkaline water electrolysis.

Key Words : 알칼라인 수전해(Alkaline water electrolysis), 다공성 분리막(diaphragm), 지지체(Support materials), 고선택성(High selectivity), 저저항(Low resistance)

[†] Corresponding author, E-mail: yyh89@dyetec.or.kr

Acknowledgement :

This work was supported by the Materials & Components Technology Development Program (RS-2024-00509581 & 20022449) funded By the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea)

초파리 기반 바이오리칭을 통한 폐리튬이온배터리로부터 리튬 코발트 회수 가능성 연구

Exploring the Potential of *Drosophila melanogaster*-Assisted Bioleaching for Lithium and Cobalt Recovery from Spent Lithium-ion Batteries

이정재*, 송민경*, 이인아*[†]

JeongJae Lee*[†], MinGyeong Song*, InA Lee*[†]

*국립군산대학교 화학과

Abstract : 전기차 보급 확대에 따라 폐리튬이온배터리 발생량이 급격히 증가하면서, 금속 자원 회수 및 환경 문제 해결을 위한 새로운 기술 개발이 요구되고 있다. 기존의 바이오리칭 연구는 주로 산성 대사 미생물에 집중되어 있으나, 본 연구에서는 곤충 모델인 *Drosophila melanogaster*를 이용한 금속 용출 가능성을 탐구하였다. 초파리는 장내 미생물군 및 대사 산물을 통해 다양한 유기산(예: 젖산, 초산)을 생성할 수 있으며, 이는 금속 이온의 용출을 촉진할 수 있는 환경을 제공한다. 본 연구에서는 폐리튬이온배터리 양극재(LiCoO)를 분쇄한 후, 초파리 배양액 및 장내 미생물 혼합액과 접촉시켜 리튬(Li⁺)과 코발트(Co²⁺) 이온의 용출을 유도하였다. ICP-MS 분석 결과, 96시간 반응에서 Li와 Co의 용출이 각각 96% 및 94% 수준으로 나타났으며, SEM/TEM 분석을 통해 표면 부식과 산성 대사 산물에 의한 구조 변화가 확인되었다. 이러한 결과는 초파리 및 그 대사 산물이 새로운 유형의 바이오리칭 매개체로 활용될 수 있음을 시사하며, 기존 미생물 기반 공정을 보완하는 생물다양성 활용 전략으로 기여할 수 있다.

Key Words : 폐리튬이온배터리(Spent lithium-ion battery), 바이오리칭(Bioleaching), 초파리(*Drosophila melanogaster*), 금속 용출(Metal leaching)

[†] Corresponding author, E-mail: leeinah@kunsan.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 국립군산대학교의 재원으로 국립대학육성사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

전략적 행위자를 고려한 인과기반 비용분배를 위한 VCG 통합형 P2P 전력시장 설계

Integrating the Vickrey-Clarke-Groves Mechanism into Causality-Based Cost Allocation for Strategy-Proof P2P Electricity Markets

김현중*[†]

Hyunjoong Kim*[†]

*국립한밭대학교 전기공학과

Abstract : Causality-based cost allocation has been widely explored for peer-to-peer (P2P) electricity trading, as it quantifies each participant's physical impact on the distribution network through voltage, power flow, and loss sensitivities. Although this approach provides fair cost allocation under cooperative assumptions, it fails to ensure incentive compatibility when peers behave strategically. In practical P2P markets, prosumers may misreport costs, manipulate traded quantities, or falsify their locations to reduce their network charges, which distorts the causality-based pricing signals and degrades social welfare. To address these issues, this paper develops a Vickrey-Clarke-Groves (VCG)-based P2P trading algorithm that integrates causality-based network pricing with externality-driven taxation. The proposed algorithm first determines the welfare-maximizing energy dispatch under network constraints, and then calculates an individualized VCG tax that represents the external cost each participant imposes on the system. By internalizing these externalities, the mechanism ensures that truthful reporting becomes each peer's dominant strategy and aligns individual incentives with overall social welfare. Simulation results on the IEEE 33-bus test system demonstrate that the proposed VCG-integrated P2P market effectively mitigates strategic manipulation, restores fairness in cost allocation, and achieves near-optimal welfare performance under information asymmetry. This work provides both theoretical and computational foundations for designing incentive-compatible and network-aware P2P electricity trading mechanisms in decentralized energy systems.

Key Words : 분산 에너지(Distributed energy resources), 개인간 전력거래(Peer to peer energy trading), 계통비용(Network cost), 원인자 부담원칙(Causality principle), 계통제약(Network violation)

[†] Corresponding author, E-mail: hyunjoongkim@hanbat.ac.kr

Low-GWP 냉매를 이용한 워크인 냉장고의 성능 평가

Performance Evaluation of a Walk-in Cooler Using a Low-GWP Refrigerant

최정*, 최광환**, 최희웅***†

Jeong Choe*, KwangHwan Choi*, Hwiung Choi***†

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

Abstract : 워크인 냉장고는 음료나 식품 보관을 위해 소매점뿐만 아니라 중대형 마트 등에서 다양하게 활용되고 있는 장치이다. 현재 워크인 냉장고는 R22와 R404의 대체 냉매로 오존층 파괴지수가 0인 R410A 냉매를 주로 활용하고 있다. 하지만 높은 GWP인해 향후에는 냉매의 대체가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치해석을 통해 워크인 냉장고에 다양한 냉매가 사용되었을 때 해당 시스템의 성능을 부하 조건에 해당하는 여러 증발온도 조건에서 확인해보았다. 그 결과 조사된 냉매 중 R600이 동일 조건에서 가장 높은 COP를 나타내었다. 또한 R290과 R1234yf가 R410A보다 대부분 높은 COP를 보여 해당 냉매로 전환 시 성능 향상이 가능할 것으로 판단되었다. 다만 높은 성능을 보인 냉매들이 모두 가연성이므로 안전성에 대한 대책이 수반되어야 하고, 좀 더 다양한 냉매에 대한 추가적인 해석도 필요할 것으로 판단되었다.

Key Words : 워크인 냉장고(Walk-in cooler), 친환경 냉매(Low-GWP refrigerant), 지구온난화(Global warming), 성능 계수(Coefficient of performance)

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

태양광 장기 고정가격계약과 모듈 성능 저하를 고려한 국내 태양광 폐모듈 발생량 예측

Prediction of Photovoltaic Module Waste in Korea under the Long-term Fixed Price Contracts and Module Performance Decline

이지현*, 김다은*, 김나현*, 편주원*, 백지은*[†]

Jihyun Lee*, Daeun Kim*, Nahyun Kim*, Juwon Pyeon*, Jieun Baek*[†]

*국립부경대학교 에너지자원공학과

Abstract : 국내 태양광 신규 보급 설비량은 2023년 기준 약 3.7 GW으로 발전차액지원제도(Feed-in Tariff, FIT)가 개시된 2002년 이래 신규 보급 설비량이 꾸준히 증가하고 있다. FIT 보증 연도인 15년이 도래하면서 재생에너지 발전 사업자들은 보급설비를 교체하여 리파워링한 후 신규 고정가격계약을 체결하려는 사례가 늘고 있다. 이에 따라 많은 양의 태양광 모듈이 재활용 업체를 통해 폐기되거나 재사용 모듈로 해외 수출되고 있다. 태양광 폐모듈은 그 자체로 재사용되거나 알루미늄, 은, 구리 등의 광물 자원으로 회수될 수 있기 때문에 국내 자원 순환을 위해 폐모듈 발생량을 예측하고 관리하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 태양광 장기 고정가격계약과 모듈 성능 저하를 고려하여 국내 태양광 폐모듈 발생량을 예측하였다. 태양광 폐모듈이 발생한 22건의 사례를 조사하여 폐모듈 발생 주기와 패턴을 분석하고 고정가격계약과의 연관성을 분석하였다. 태양광 모듈의 성능을 저하하는 기상 요인을 결정하고 10년간의 지역별 기상 통계를 수집하였다. 태양광 폐모듈 발생 주기를 고려하여 고정가격계약 사업에 의한 폐모듈 발생 확률 모델을 형성하였고, 모듈 기대 수명을 고려하여 성능 저하에 의한 폐모듈 발생 확률 모델을 생성하였다. 태양광 폐모듈은 2030년부터 급증하여 2040년에 약 29만 톤으로 가장 많이 발생할 것으로 예측되었다. 특히 태양광 모듈이 가장 많이 보급된 전라남도, 전라북도, 경상북도에서 많은 양의 태양광 모듈이 발생할 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 국내 태양광 자원 순환 정책 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Key Words : 태양광(Photovoltaics), 태양광 폐모듈(Photovoltaic module waste), 고정가격계약(Fixed price contracts), 발전차액지원제도(Feed-in tariff), 확률 모델(Probability model)

[†] Corresponding author, E-mail: jebaek@pknu.ac.kr

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2022R1C1C2011947).

비정질 V_2O_5 계면을 통한 아연-이온 전지의 덴드라이트 성장 및 부식 억제

Suppressing Dendrite Growth and Corrosion In Zinc-Ion Batteries via Amorphous V_2O_5 Interphase

장인성*, 유근*, 이재연*, 김서영*, 윤기혁*, 안건형*[†]

Insung Jang*, Geun Yoo*, Jaeyeon Lee*, Seoyeong Kim*, Kihyuk Yun*,
Geon-Hyoung An*[†]

*동국대학교 에너지신소재공학과

Abstract : 현재 지구의 열대화로 인해 화석 연료의 사용을 줄이고, 신재생에너지를 통한 전력 생산이 전 세계적으로 추진되고 있다. 그러나 신재생에너지 기반 발전은 간헐적인 에너지 공급 문제를 지니고 있어, 이를 보완하기 위한 에너지저장시스템(ESS)의 중요성이 커지고 있다. 현재 ESS의 주요 저장 장치로 사용되는 리튬이온전지(LIB)는 높은 에너지 밀도를 가지지만, 폭발 및 화재 위험으로 인해 대규모 저장 시스템에는 한계가 있다. 이에 따라, 안전성과 경제성을 동시에 확보할 수 있는 차세대 이차전지의 개발이 필요하다. 그중 아연이온전지(Zn-ion battery, ZIB)는 수계 전해질 기반의 높은 안전성, 저비용성, 그리고 우수한 재활용성으로 주목받고 있다. 그러나 아연 금속 음극은 약산성 수용액 환경에서 수소 발생 반응(HER)과 비균일한 아연 석출에 의한 수지상(dendrite) 성장 문제로 인해 수명과 안정성에 제약이 존재한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 아연 음극 표면에 비정질 V_2O_5 보호층(AVO-Zn)을 도입하였다. 본 코팅층은 간단한 과산화수소(H_2O_2) 산화법과 유리섬유 지지체 공정을 통해 합성되었으며, 전해질 습윤성을 향상시키고 균일한 핵 생성(nucleation)을 유도하여 수지상 형성 및 부식을 효과적으로 억제하였다. 전기화학적 분석 결과, AVO-Zn은 42 mV의 낮은 과전압에서 대칭 셀 기준 500 시간 이상의 안정적인 사이클 성능을 나타냈다. 또한, MnO_2 양극과 결합한 완전 전지는 200 사이클 후에도 136 mAh g^{-1} 의 높은 용량과 함께, 270 W kg^{-1} 의 전력밀도에서 236 Wh kg^{-1} 의 에너지밀도를 달성하였다. 임피던스 분광법(EIS)과 접촉각 분석을 통해 이온 확산 속도 및 표면 친수성이 향상되었음을 확인하였으며, SEM, XPS, XRD 분석 결과 균일한 비정질 코팅층 형성 및 Zn 부식 억제가 명확히 관찰되었다.

따라서 본 연구는 Zn 음극의 다기능 보호 계면으로서 비정질 V_2O_5 의 유효성을 입증하였으며, 이는 차세대 고안전성 에너지저장시스템의 핵심 기술로 활용됨을 기대한다.

Key Words : 아연-이온 전지(Zinc-ion battery), 아연 음극(Zinc anode), 초박막 코팅(Ultrathin coating), 아연바나듐산 화물(ZVO), 보호층(Protective layer)

[†] Corresponding author, E-mail: high@dongguk.edu

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00342112). 또한, 연구개발특구진흥재단의 '지역혁신 메가프로젝트' 사업으로 수행되었습니다.(과제명: 수소연료전지 기반 하이브리드 분산 전기추진 시스템을 활용한 커뮤터기 기술, 과제번호: 2023-DD-UP-0026)

전산유체해석(CFD)을 이용한 배터리 열관리용 수냉식 열교환기 성능 해석

CFD-Based Performance Analysis of a Water-Cooled Heat Exchanger for Battery Thermal Management

선준완*, 김영원*[†]

Jun Wan Seon*, Young Won Kim*[†]

*한국생산기술연구원

Abstract : 본 연구에서는 기존 공냉식 배터리 열관리 시스템의 한계를 보완하기 위해 수냉식 열교환기를 적용한 냉각 성능 해석을 수행하였다. 기존의 공냉식 시스템은 유지보수가 용이하다는 장점이 있으나, 배터리의 특성상 주변 온도 변화에 따라 성능이 크게 달라지는 문제가 있다. 특히 드론과 같이 외부 환경 영향을 크게 받는 시스템에서는 주변 온도에 의한 성능 편차가 두드러진다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 공냉식 대신 수냉식 열교환기를 적용하였으며, 전산유체해석(CFD)을 이용하여 열교환기의 열성능을 평가하였다. 해석 조건은 열교환기 입구 온도를 30 °C, 질량유량을 일정하게 유지한 상태에서 주변 공기 온도를 변화시켜 출구 온도와 냉각 용량의 변화를 분석하였다.

연구 결과, 주변 공기 온도가 낮아질수록 열교환기 출구 온도는 일정하게 감소하였으며, 이에 따라 냉각 성능이 향상되는 경향을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 실제 배터리 열관리 시스템(BTMS)에 수냉식 열교환기를 적용하여 효율적 열제어 성능을 확보하기 위한 추가 해석을 수행할 예정이다.

Key Words : 전산유체해석(Computational fluid dynamics), 수냉식 열교환기(Water cooled heat exchanger), 배터리 열관리 시스템(Battery thermal management system)

[†] 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).

전산 해석 기반 고효율 LED 열회수 챔버 설계

Design of a High-Efficiency LED Heat Recovery Chamber Based on Computational Analysis

최관용^{***}, 김영원^{*†}

Gwan Yong Choi^{***}, Young Won Kim^{*†}

*한국생산기술연구원 에너지나노그룹, **한양대학교 융합기계공학과

Abstract : 전 세계적으로 탄소 중립에 대한 요구가 높아짐에 따라, 탄소 배출을 저감하면서 동시에 에너지를 재활용할 수 있는 기술에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 최근에는 한정된 공간에서도 식물을 안정적으로 생산할 수 있는 식물공장 기술이 활발히 발전하고 있다. 본 연구에서는 식물공장의 핵심 요소 중 하나인 발광다이오드(LED) 조명의 열회수율 향상을 목표로, 전산해석(CFD)을 통해 발열 챔버의 열적 성능을 시뮬레이션하였다. 이를 위해, 일반적인 식물생장용 LED와 방열 챔버를 적용한 LED 시스템 간의 온도 분포와 열 회수율을 비교 분석하여 성능 향상 효과를 정량적으로 평가하였다.

Key Words : 전산 유체 역학(Computational fluid dynamics(CFD)), LED 열 관리(LED Thermal Management), 유동 챔버(flow chamber), 식물공장(Plant Factory)

[†] 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) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895)

수계 아연 이온 전지용 안정한 아연 금속 음극을 위한 초박막 아연 바나듐 산화물 코팅

Ultrathin Zinc Vanadium Oxide Coating for Stable Zinc Metal Anodes in Aqueous Zinc-Ion Batteries

유근*, 장인성*, 이재연*, 김서영*, 윤기혁*, 안건형*[†]

Geun Yoo*, Insung Jang*, Jaeyeon Lee*, Seoyeong Kim*, Kihyuk Yun*,
Geon-Hyoung An*[†]

*동국대학교 에너지신소재공학과

Abstract : 수계 아연 이온 전지(ZIBs)는 아연 금속 음극의 낮은 산화환원 전위(-0.762 V vs SHE), 높은 이론 용량(820 mAh g^{-1}), 우수한 안전성 및 환경 친화성으로 인해 리튬 이온 전지를 대체할 차세대 에너지 저장 장치로 주목받고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고, 수계 전해질에서 발생하는 아연 덴드라이트 성장과 부식 문제는 실제 응용을 제한하는 주요 요인으로 작용한다. 이로 인해 단락, 수소 발생, 용량 저하 등의 문제가 발생하며, 특히 표면의 불균일성과 수계 환경에서의 아연 불안정성이 이러한 현상을 더욱 악화시킨다. 이러한 한계를 극복하기 위해 계면 보호층 형성, 전해질 조성 설계, 고도화된 전극 구조 개발 등 다양한 접근법이 시도되고 있다. 그중에서도 초박막 보호 코팅은 덴드라이트 성장을 억제하고 부식을 방지함과 동시에, 사이클 수명 및 쿨롱 효율을 향상시키는 효과적인 전략으로 주목받는다. 본 연구에서는 간단한 표면 코팅 공정을 통해 아연 금속 표면에 초박막 아연 바나듐 산화물(ZVO) 층을 형성하였다. 이렇게 제작된 ZVO@Zn 음극은 부식 억제와 균일한 아연 도금을 동시에 실현하여 수계 아연 이온 전지의 안정성과 성능을 현저히 향상시켰다. 이러한 성능 향상은 (i) 습윤성을 증진시키는 치밀한 나노입자 구조, (ii) 부식 저항성을 강화하는 풍부한 산소 결합, (iii) 균일한 아연 성장과 덴드라이트 억제를 유도하는 강한 아연 친화성에 기인한다. 그 결과, ZVO@Zn 대칭 셀은 2 mA cm^{-2} 의 전류 밀도 조건에서 1,000시간 이상 안정적인 아연 도금/박리 거동을 유지하였으며, 이는 기존 아연 전극 대비 현저히 우수한 성능을 나타냈다. 본 연구에서 제시한 전략은 부반응을 최소화하면서 수계 아연 이온 전지의 실용화를 앞당길 수 있는 효과적인 접근법으로 기대된다.

Key Words : 아연-이온 전지(Zinc-ion battery), 아연 음극(Zinc anode), 초박막 코팅(Ultrathin coating), 아연바나듐산화물(ZVO), 보호층(Protective layer)

[†] Corresponding author, E-mail: high@dongguk.edu

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00342112). 또한, 연구개발특구진흥재단의 '지역혁신 메가프로젝트' 사업으로 수행되었습니다.(과제명: 수소연료전지 기반 하이브리드 분산 전기추진 시스템을 활용한 커뮤터기 기술, 과제번호: 2023-DD-UP-0026)

분산형 TES 자원을 활용한 수요관리 기술 개발

Development of TES-Based Demand Management for Sector Coupling

오성문*[†]

Seongmun Oh*[†]

*한국전자기술연구원

Abstract : 신재생에너지의 보급 확대와 야간·주간 부하 불균형 심화에 따라 전력망의 안정적 운영이 중요한 과제로 대두되고 있다. 본 연구에서는 다수의 심야전력용 축열식 열저장장치(TES)를 활용하여 건물 부문의 에너지 수요를 능동적으로 조정하는 수요관리 기반 건물에너지 최적운영 기술을 개발한다. TES는 심야시간대 저렴한 전력을 이용해 열을 저장하고, 주간 피크시간대에는 저장된 열을 활용하여 냉난방 부하를 대체함으로써 부하이동(load shifting)과 피크저감 효과를 동시에 달성할 수 있다. 본 연구에서는 TES의 운전 스케줄을 최적화하기 위한 시뮬레이션 모델을 구축하고, 열·전력 연계 부하 모델을 기반으로 에너지 절감 및 계통 기여 효과를 분석한다. 향후에는 분산된 TES를 가상발전소(VPP) 형태로 통합 제어하여 신재생에너지 변동 완화 및 수요반응 자원으로의 확장 가능성을 평가할 예정이다. 본 연구를 통해 건물 부문의 수요자원을 활용한 섹터 커플링 기반 계통 안정화 방안을 제시하고자 한다.

Key Words : 수요관리(Demand-side management), 건물에너지관리(Building energy management), 섹터커플링(Sector coupling), 축열식열저장장치(Thermal energy storage, TES), 부하이동(Load shifting), 시뮬레이션(Simulation)

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

후 기

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

TES-P2H 통합 아키텍처 기반 지역난방 실증 및 규제 개선 필요성 연구

Demonstration of District Heating and Regulatory Framework Enhancement Based on an Integrated TES-P2H Architecture

김인수*[†], 김재화**

Insoo Kim*[†], Jaehwa Kim**

*가천대학교 산학협력단, **가천대학교 산학협력단

Abstract : 본 연구는 재생에너지의 변동성에 대응하고 전력-열 시스템 간 유연성을 확보하기 위해 P2H (Power-to-Heat), TES(Thermal Energy Storage), BESS(Battery Energy Storage System)를 통합 운영하는 아키텍처와 실증사업의 필요성을 제시한다. 우선, 미국 DOE의 연합형(federated) 아키텍처와 국제 표준 지침을 참조하여 상호운용성, 보안성, 거래 가능성, 실시간 제어를 핵심 요건으로 하는 통합 설계 방안을 마련하였다. 주요 구성요소는 △분산 자원 관리 레이어 △양방향 열에너지 거래 엔진 △배전망 운영 연계 모듈 △보안-데이터 교환 계층으로 제시되며, 운영 시나리오로 시간대별 최적 운전, 수요반응 참여, 계통 보조서비스 연계 방안이 포함된다. 또한, 태양광·연료전지·히트펌프·축열조 등과 연계된 지역난방 실증 사업을 통해 약 25억 원 투자 대비 5.8년의 회수기간, 12.3% 내부수익률, 연간 350톤 CO₂ 감축, 재생에너지 활용률 35% 향상 등의 효과가 분석되었다. 그러나 현행 전기사업법, 집단에너지사업법, 고압가스안전관리법 등 부문별 분리 규제는 통합 사업 추진에 제약을 주고 있어, 열거래 허용, 신규 사업자 분류, 복합 저장시설 안전기준 완화, 허가체계 통합 등 규제특례가 필요하다. 본 연구는 기술·경제·환경적 타당성을 기반으로 정책입안자와 유틸리티, 산업계에 P2H-TES 기반 에너지 전환 로드맵을 제공한다.

Key Words : P2H, TES, BESS, 연합 아키텍처(Federated Architecture), 규제특례(Regulatory Sandbox), 에너지 전환(Energy Transition)

[†] Corresponding author, E-mail: gachon0609@gmail.com

전력-열변환(P2H) 시스템 기반 지역난방 사업모델

A District Heating Business Model using Power-To-Heat Systems

김경민*[†], 정원철*, 정강열*, 노태우*

Kyung Min KIM*[†], Won Cheol JEONG*, Kang-Yeol JEONG*, Tae-Woo LOH*

*한국지역난방공사 미래사업처

Abstract : 전력-열(P2H) 시스템을 활용한 지역난방(DH) 사업모델은 재생에너지 및 원자력 전력을 활용하여 온수를 제공하는 데 중점을 두고 있으며, 대규모 전극보일러나 히트펌프를 지역난방 열수송관망에 통합하여 건물에 온수를 공급하는 시스템이다. 이 사업모델의 핵심 요소는 재생에너지 및 원자력 전력의 생산 및 구매, 이 전력을 열로 변환하는 P2H 장치 운영, 열 수송 및 분배를 위한 열네트워크 관리, 그리고 요금제를 통한 고객 열판매이다. 사업모델의 목표는 에너지 공급과 수요의 균형을 맞추고, 시스템 조합 및 열저장시스템을 활용하여 가변적인 재생에너지 공급을 관리하고, 인프라 구축을 위한 자금을 확보하고, 고객이 시스템에 더 많은 참여와 상호 작용을 할 수 있는 적극적인 "공동 창조" 모델로 전환하는 것이다.

Key Words : 전력-열변환(Power-to-Heat Conversion), 지역난방(District Heating), 사업모델(Business Model), 열저장 시스템(Thermal Energy System)

[†] Corresponding author, E-mail: kimkm@kdhc.co.kr

후 기

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

열·전기 통합 실증 사이트의 가상 데이터 기반 M&V 효과 검증 및 응용분야별 에너지 저장장치 비교

Validation of M&V Effectiveness Using Virtual Data from an Integrated Thermal and Electrical Demonstration Site and Comparative of Energy Storage Devices by Application

정대영*[†], 박민수*

Daeyoung Jung*[†], Minsoo Park*

*주식회사 베리워즈

Abstract : 최근 재생에너지 보급 확대와 분산형 에너지 자원의 확산에 따라, 안정적인 수요관리와 성과 검증 체계의 필요성이 강조되고 있다. 그러나 실증 데이터는 계절적 변동성, 부하 불확실성, 시계열 확보 지연 등의 한계가 존재하여, 초기 단계에서의 객관적 성과 분석이 어렵다. 이에 본 연구는 Virtual M&V 접근을 도입하여 이러한 제약을 보완하였으며, IPMVP, ISO 50006 및 (G)SEP MV Protocol 등 국제 표준을 준용한 회귀분석과 통계적 검증 절차를 수행하였다. 분석결과, 총 전력사용량 기준에서는 TES·BESS의 기여도가 제한적으로 나타났으나, 최대 피크 부하 저감과 부하 이동(shaving/shifting) 효과에서는 통계적으로 유의한 성과가 확인되었다. 구체적으로 연간 전력사용량은 약 532 MWh(13.6%) 절감되었으며, 최대 피크부하는 147 kW(17.6%) 감소하였다. 특히 주요 피크 시간대(11-13시, 18-21시)에서는 TES 및 BESS 변수의 기여도가 뚜렷하게 검증되어 설비 효과의 실질적 유용성이 입증되었다. 또한 변동성에 대응하기 위하여 장기 에너지 저장장치(Long Duration Energy Storage, LDES)로서의 정의에 따른 현황을 조사하였다. 많이 사용되는 리튬이온배터리는 단주기 배터리로 분류되고 있으며, 일간저장과 주간저장에 고려되고 있는 배터리로는 열저장배터리가 10 ~ 100 시간 저장이 가능한 수준으로 리튬이온 배터리 대비 10배 이상의 저장시간을 가지게 된다. 용도에 맞춘 에너지 저장장치의 설정은 시스템 설치비용 및 유지/관리 비용에 영향을 미치며 그에 따라 에너지저장비용의 효율에도 많은 영향을 미침에 따라 용도에 맞는 적절한 에너지 저장장치의 설정이 중요하다. 본 연구는 저장시간별 경제성이 달라짐에 따라, P2H 시스템의 적절한 용도설정을 위하여 해당 시스템의 장점을 분석하고 그에 따른 경제성 분석시 활용한다.

Key Words : Thermal Energy Storage (TES), Battery Energy Storage System (BESS), 장기에너지저장장치 (LDES, Long Duration Energy Storage), P2H (Power to Heat), Virtual M&V (Measurement & Verification), Energy Demand Management

[†] Corresponding author, E-mail: dyjung@verywords.com

후 기

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

열·전기 에너지 기반 건물군의 ADR 기반 수요 반응 제어에 관한 연구

Study on ADR-based Demand Response Control of Thermal and Electrical Energy-based Building Complexes

문정민*, 권대윤*, 김정욱**†

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

*주식회사 아미텍, **상명대학교

Abstract : 최근 국가 탄소중립을 실현하기 위해 배출권거래제 유연성, 친환경 기술지원, 공공부문 바이오 가스 생산 의무화 등 다양한 정책들과 함께 수열에너지 공급 확대와 산업 활성화에 초점을 맞춰 다양한 냉난방 기술개발과 보급 사업이 추진될 전망이다. 하지만 재생에너지 비중의 증가로 발전예측의 어려움과 잉여전력 문제 등에 대한 해결 방안으로 열에너지와 전기 에너지 간 섹터 커플링 및 실시간 수요 반응(Demand Response) 기술 적용도 함께 추진되어야 에너지 효율 문제와 탄소배출 감소 목표를 동시에 달성할 수 있을 것으로 판단하여 본 연구의 주제를 ADR 기반의 열·전기 에너지 수요 반응제어에 대한 기술적 방법론으로 정하고, 그 효과 검증을 위한 시스템 설계 방안을 함께 제시하였다.

본 연구에서는 OpenADR 2.0 국제표준으로 재생에너지가 혼합된 건물군에서 열에너지와 전기 에너지의 저장과 상태변환, 그리고 에너지 소비의 최적 운영을 위해 자동 수요 반응(Auto Demand Response) 구현과 대상 건물군의 에너지 모델을 분석하여 열·전기 에너지 설비의 출력과 부하 요소 제어를 VTN(Virtual Top Node)과 VEN(Virtual End Node)로 구성하고 연구된 제어 알고리즘을 표준 통신 프로토콜을 통해 실시간 감시와 제어를 할 수 있는 방안을 제시하였고 결론에서는 몇 가지 시나리오 기반 시뮬레이션을 통해 운영 효율성에 대한 검증을 확인하였다.

Key Words : 수요 반응(Demand response), 열에너지 저장(Thermal energy storage), 섹터 커플링(Sector coupling), ADR(Auto Demand Response), VTN(Virtual Top Node), VEN(Virtual End Node)

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

후 기

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

전기화학적 암모니아 산화 반응을 위한 Sn 시너지를 갖는 FeCoNiCuSn 촉매 개발

FeCoNiCuSn High-Entropy Catalyst with Sn Synergy for Electrochemical Ammonia Oxidation Reaction

전민서*, 조찬민*, 안태용*, 정경화*, 심욱*[†]

Minseo Jeon*, Chanmin Jo*, Tae-Yong An*, Gyoung Hwa Jeong*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : To achieve carbon neutrality, hydrogen has emerged as a key alternative energy source. However, conventional green hydrogen production via water electrolysis is limited by the high overpotential and slow reaction kinetics of the oxygen evolution reaction (OER). As an alternative, the ammonia oxidation reaction (AOR) offers a lower theoretical potential (0.77 V). Most of the research on AOR has focused on noble metal catalysts such as Pt and Ir. However, they often suffer from poor durability and severe catalyst poisoning. To overcome these limitations, this study designs a FeCoNiCuSn (FCNCS) high-entropy Catalyst (HER). The HEC leverages lattice distortion and cocktail effects. In addition, the incorporation of Sn introduces a crucial synergistic effect by providing strong oxophilicity suppressing competing reaction (OER), and enhancing structural stability. Synthesized via wet chemical reduction, the FCNCS catalysts demonstrated excellent performance in alkaline media, achieving 100 mA cm^{-2} 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 : 전기화학(Electrochemistry), 보조 수전해(Assisted water electrolysis), 고엔트로피 촉매(High entropy catalysts), 전기화학적 암모니아 분해(Electrochemical ammonia electrolysis)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

전극 위 직접 성장시킨 셀레늄 도핑 니켈-코발트 산화물을 통한 전기화학적 암모니아 합성

Selenium-doped Nickel Cobalt Oxide as a Binder-free Electrocatalyst for Nitrate Reduction Reaction to Ammonia

박성현*, 안태용*, 심욱*[†]

Seonghyeon Park*, Tae-Yong An*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : Ammonia (NH_3) is a key chemical feedstock widely used in fertilizer production, hydrogen energy storage, and emerging clean energy technologies. However, the conventional Haber-Bosch process for NH_3 synthesis is energy-intensive and environmentally detrimental due to high CO_2 and NO_x emissions. As a sustainable alternative, the electrochemical nitrate reduction reaction (NO_3RR) offers a promising pathway for decentralized ammonia production under ambient conditions, while simultaneously addressing nitrate pollution in water systems.

Herein, we present a binder-free Se-doped NiCo oxide (Se-NiCoO_x) catalyst for efficient electrochemical NH_3 production via NO_3RR . The binder-free electrode configuration eliminates the need for insulating polymeric binders, thereby reducing interfacial resistance, enhancing charge transfer, and improving long-term catalytic stability. Additionally, the intimate contact between the catalyst and current collector facilitates efficient electron transport and mass diffusion.

Selenium doping in the NiCo oxide lattice modulates the electronic structure, enhances nitrate adsorption, and promotes NO_3RR selectivity while suppressing the competing hydrogen evolution reaction (HER). As a result, the Se-NiCoO_x catalyst delivers a significantly higher ammonia yield rate and Faradaic efficiency compared to undoped or control samples under ambient conditions.

This study highlights the promise of Se-doped transition metal oxides as cost-effective and scalable electrocatalysts for sustainable nitrate-to-ammonia conversion.

Key Words : 질산염 환원 반응(Nitrate reduction reaction), 암모니아 합성(Ammonia synthesis), 도핑(Doping), 전기화학(Electrochemistry)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

망간 산화물을 지지체로 활용한 리튬 도핑 니켈-철 합금 촉매합성과 촉매의 이중 접합 구조를 통한 전기화학적 암모니아 생산 선택성 향상

A Li-Rich Nickel-Iron Alloy on Manganese Oxide Heterostructure as a Highly Selective Electrocatalyst for Nitrate-to-Ammonia Conversion

심준호*, 안태용*, 심욱*[†],

Junho Shim*, Tae-Yong An*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : Ammonia (NH₃) is a key chemical feedstock, vital for fertilizer production and emerging as a carbon-free energy carrier. However, the conventional Haber-Bosch process for its synthesis is energy-intensive and environmentally detrimental due to its reliance on fossil fuels and significant CO₂ emissions. As a sustainable alternative, the electrochemical nitrate reduction reaction (NO₃RR) offers a promising pathway for decentralized ammonia production under ambient conditions, while simultaneously valorizing nitrate-containing wastewater into a valuable product. Nevertheless, the development of cost-effective, earth-abundant electrocatalysts that exhibit both high activity and selectivity at low operating potentials remains a significant challenge. Herein, we introduce an advanced electrode fabricated by first synthesizing a composite of Li-rich NiFe nanoalloys on a MnO₂ support, which was then simply coated onto porous Ni-foam. This unique architecture creates a multi-scale heterostructure interface, which is critical as it generates a high density of active sites for nitrate adsorption and facilitates rapid charge transfer pathways. As a result, the catalyst exhibits exceptional performance for the NO₃RR in alkaline media, achieving a high Faradaic efficiency for ammonia production across a broad potential window due to the intrinsic suppression of the competing hydrogen evolution reaction (HER). This work highlights a promising design strategy for advanced electrocatalysts, paving the way for efficient and sustainable nitrate-to-ammonia conversion technologies.

Key Words : 도핑(Doping), 이중 접합구조 (Heterstructure), 촉매(Catalyst), 선택성(Selectivity)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

효율적인 알칼라인 해수 전기분해를 위한 Ni-MoN@NF 전기촉매 기반의 동적 수소 발생

Dynamic Hydrogen Evolution via Ni-MoN@NF Electrocatalyst for Efficient Alkaline Seawater Electrolysis

시브라지 마하딕*, 수브라마니 수렌드란**, 임윤구**, 김태훈*, 심욱**[†]

Shivraj Mahadik*, Subramani Surendran**, Yoongu Lim**,
Tae-Hoon Kim*, Uk Sim**[†]

*전남대학교, **한국에너지공과대학교

Abstract : Hydrogen production by electrocatalysis and hydrogen energy use have generated a lot of interest in recent years due to the development of high-performance and affordable non-noble electrocatalysts. Transition metal nitride has had tremendous interest over the past decades and shows excellent electrocatalytic performance. Still, synthesizing metal nitrides remains challenging due to lacking a general and simple strategy. However, seawater, a plentiful natural resource, has enormous potential for electrolysis-based seawater desalination and clean hydrogen production. Nevertheless, a robust and effective electrocatalyst that can tolerate the chlorine oxidation reaction (ClOR), especially at the anode, is necessary for the successful use of seawater electrolysis. In this study, we present a novel Ni foam-based metal nitride catalyst composed of Ni-MoN@NF nanorods. It exhibits outstanding durability and activity towards the oxygen evolution reaction (OER) and hydrogen evolution reaction (HER) of alkaline seawater electrolysis. The AEM electrolyzer assembled from Ni-MoN@NF electrocatalyst achieved a high current density of 100 mA cm^{-2} at a significantly low voltages of 1.7 and 1.74 V in 1 M KOH and alkaline seawater, respectively. This study paves the way for further innovations in seawater-based electrolysis technologies, ultimately contributing to the global transition toward clean and renewable energy sources.

Key Words : 해수 수전해 (Seawater electrolysis), 전기화학 촉매 (Electrocatalyst), 염소 산화 반응 (Chlorine oxidation reaction)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

알칼리 수전해의 전기촉매 활성 향상을 위한 시너지형 Fe-Ni 나노구조 촉매

Synergistic Fe And Ni Nanostructured Catalysts For Enhanced Electrocatalytic Activity for Alkaline Water Splitting

최동인*, 수브라마니 수렌드란*, 임윤구*, 심욱*[†]

Dongin Choi*, Subramani Surendran*, Yoongu Lim*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : Hydrogen is widely regarded as a clean and sustainable energy carrier with the potential to decarbonize various sectors. Among hydrogen production methods, electrochemical water splitting is one of the most promising due to its environmental friendliness and compatibility with renewable energy sources. However, the overall efficiency of water electrolysis is hindered by the sluggish kinetics of the oxygen evolution reaction (OER) at the anode, which demands high overpotentials and limits system performance. To address this challenge, we report the development of Fe- and Ni-based transition metal electrocatalysts with controlled nanostructured morphology for efficient water splitting in alkaline media. Both iron and nickel are earth-abundant, cost-effective, and environmentally benign, making them excellent candidates for sustainable catalyst design. By engineering the surface structure and tuning the electronic properties of these catalysts, we enhance the availability of active sites and facilitate rapid charge transfer, resulting in improved OER and hydrogen evolution reaction (HER) performance. The synthesized catalysts exhibit vigorous electrocatalytic activity, low overpotentials, and high durability under operating conditions, demonstrating their potential for integration into practical water-splitting devices. The synergistic effect between Fe and Ni plays a key role in modulating the electronic environment and accelerating reaction kinetics. This work provides valuable insights into the rational design of high-performance, non-precious metal electrocatalysts for overall water splitting. It contributes to the advancement of clean hydrogen production technologies and supports the global transition toward a sustainable, carbon-neutral energy future.

Key Words : 이원 금속 나노구조 전기촉매(Bimetallic nanostructured electrocatalysts), 알칼리 수전해(Alkaline water splitting), 산소발생반응(Oxygen evolution reaction), 수소발생반응(Hydrogen evolution reaction), 시너지 전기촉매작용(Synergistic electrocatalysis)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

금속 원자가 제어를 통해 니켈 폼에 바인더 프리 합성한 FeCoNi-LDH의 전기화학적 산소 발생 촉매 활성 증진

Boosting Electrocatalytic Oxygen Evolution via Metal Valence Control in Binder-Free FeCoNi-LDH on Ni Foam

김주황*, 임윤구*, 정경화*, 심욱*[†]

Juhwang Kim*, Yoongu Lim*, Gyoung Hwa Jeong*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교

Abstract : Hydrogen production via water splitting relies on the efficiency of oxygen evolution reaction (OER). However, non-precious metal based catalysts experience high overpotentials and limited durability due to the sluggish kinetics of OER, which involves four-electron transfer process. Layered double hydroxides (LDH) have higher activity and durability for OER due to their layered structure and abundant active sites. Here, we synthesize a binder free FeCoNi-LDH on Ni foam (FeCoNi-LDH@NF) by co-precipitating Co, Fe and Ni transition metal precursors in alkaline solution. The synthesis method utilizes the unique electronic properties of transition metals to boost electrocatalytic activity in alkaline conditions. Our findings demonstrate that the control of the ratio of metal valence states ($M^{2+}/3^{+}$) and utilizing a binder-free method to directly grow LDH on NF enhances the active sites in FeCoNi-LDH@NF. FeCoNi-LDH@NF exhibits a low overpotential of 203 mV at 10 mA cm^{-2} for OER in 1M KOH electrolyte and exhibits high durability maintaining 200 mA cm^{-2} current density over 24 hours. Further, the simple synthesis method and LDH structure can be adapted under different electrocatalyst strategies like heterostructure engineering and defect engineering to achieve higher efficiency of water splitting performances.

Key Words : 수전해(Water splitting), 산소 발생 반응(Oxygen Evolution Reaction), 층상 이중 수산화물(Layered Double Hydroxides), 바인더 프리(Binder free), 전기화학촉매(Electrocatalyst)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

고성능 수계 아연-요오드 전지를 위한 MXene 기반 전극

MXene-based Electrode for High Performance Aqueous Zinc-Iodine Battery

임윤구*, 유지훈*, 정경화*, 심욱*[†]

Yoongu Lim*, Jihun Yoo*, Gyoung Hwa Jeong*, Uk Sim*[†]

*한국에너지공과대학교 에너지공학부

Abstract : The aqueous rechargeable zinc-based batteries have gained attention as promising energy storage devices due to their safety and cost-effectiveness. Amongst various system, zinc-iodine (Zn-I₂) batteries have shown high specific capacity and high energy density. However, poor cycling stability due to the shuttling and sluggish kinetics of iodine reaction remains a challenge to be addressed. To enhance the cycling performance and the strength of the aqueous iodine batteries, the cathodes with the capability of fast conversion kinetics are needed. A high performance Zn-I₂ system have been investigated with MXene-based (Ti₃C₂X₂) material as the promising cathode candidate. With their unique structure and physiochemical properties, MXene-based materials have been studied in various electrochemical applications such as electrocatalysis, and supercapacitors. Additionally, MXenes have shown facile substitutions reaction with halides, such as iodine, bromine, which allows improved reaction kinetics towards the Zn-I₂ system. Halide treated MXene was applied as an efficient cathode materia for the Zn-I₂ system showing enhanced electrochemical properties.

Key Words : 에너지 저장 (Energy storage), 수계 전지 (Aqueous battery), 맥신 기반 전극 (MXene-based electrode)

[†] Corresponding author, E-mail: usim@kentech.ac.kr

효율적인 음이온 교환막 물 전기분해를 가능하게 하는 이중 기능 Pt-NiFe LDH

Bifunctional Pt-NiFe LDH Electrode Enabling Efficient Anion Exchange Membrane Water Electrolysis

김태정*, 이현준**, 최웅***†

Taejeong Kim*, HyeonJun Lee**, Woong Choi***†

*경상대학교 에너지시스템공학과, **경상대학교 에너지공학과

Abstract : Anion exchange membrane water electrolysis (AEMWE) has emerged as an attractive pathway for sustainable hydrogen production owing to its operation under alkaline conditions, which allows the replacement of precious noble metals with earth-abundant catalysts. Despite this advantage, the development of catalysts that are simultaneously efficient for both the hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER) remains a key bottleneck for practical AEMWE implementation. Nickel-iron layered double hydroxide (NiFe LDH) exhibits excellent OER activity but suffers from sluggish HER kinetics, limiting overall cell performance.

Here, we introduce a bifunctional electrode architecture that integrates trace platinum (Pt) species through a simple dip-coating process, followed by the deposition of NiFe LDH on nickel foam. This Pt-NiFe LDH electrode simultaneously enhances HER and OER activities while maintaining a minimal Pt loading. Under 1.0 M KOH conditions, the electrode exhibits overpotentials of 0.08 V at 10 mA cm⁻² for HER and 0.10 V at 10 mA cm⁻² for OER, comparable to commercial Pt/C and IrO₂ catalysts, respectively. This study demonstrates a facile and scalable strategy to design low-PGM, bifunctional catalysts, paving the way toward cost-effective and durable AEMWE technology for green hydrogen production.

Key Words : 음이온 교환막 물 전기분해(AEMWE), NiFe LDH(Nickel-ion layered double hydroxide), 이중기능성 촉매 (Bifunctional catalyst), 수소와 산소 발생 반응(HER & OER)

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

후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) of the Republic of Korea. (과제번호 : RS-2024-00437030).

양이온 교환막 수전해에서 이리듐 사용량을 최소화하기 위한 $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ 나노복합체 설계

Design of $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ Nanocomposite for Minimizing Iridium Loading in Proton Exchange Membrane Water Electrolysis

이현준*, 최웅***†

HyeonJun Lee*, Woong Choi***†

*경상국립대학교 에너지시스템공학과, **경상국립대학교 에너지공학과

Abstract : Proton exchange membrane water electrolysis (PEMWE) has been recognized as an energy-efficient technology for green hydrogen production. However, its large-scale deployment is limited by the high cost and scarcity of iridium, which remains the most active and stable oxygen evolution reaction (OER) catalyst under acidic conditions. To overcome this limitation, we designed a mesh-like nanostructured WO_3 with a large surface area as a supporting material for IrO_2 loading. $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ nanocomposites containing different IrO_2 loadings (20, 40, and 60 wt%) were synthesized via a simple polyol-assisted growth of IrO_2 on WO_3 supports. In acidic OER tests using a rotating disk electrode (RDE), the $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ composites with 40 and 60 wt% IrO_2 exhibited low overpotentials of 280 mV at 10 mA cm^{-2} . When applied to a PEMWE single cell, the 40 wt% $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ catalyst achieved a high current density of 2 A cm^{-2} at a cell voltage of 1.75 V with an extremely low Ir loading of 0.25 mg cm^{-2} . Furthermore, the $\text{WO}_3\text{-IrO}_2$ nanocomposite maintained stable PEMWE performance over 450 hours of continuous operation at a fixed current density of 2 A cm^{-2} . Compared to previously reported PEMWE catalysts, this performance was achieved with substantially lower Ir loading while maintaining comparable or superior activity and durability. This study provides a practical strategy for reducing noble metal usage without compromising cell efficiency, offering significant implications for the cost-effective commercialization of PEMWE technology.

Key Words : 양이온교환막수전해(Proton exchange membrane water electrolysis), 나노복합체(Nanocomposite)

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

후 기

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) of the Republic of Korea (NO. RS-2024-00437030)

음이온 교환막 수전해에서 결정상에 따른 코발트 기반 촉매의 산소 발생 반응 성능

Crystalline Phase-Dependent Oxygen Evolution Performance of Cobalt-Based Catalysts in Anion Exchange Membrane Water Electrolysis

김정훈*, 최웅*[†]

Jenghuun Kim*, Woong Choi*[†]

*경상국립대학교 에너지시스템공학과

Abstract : Anion exchange membrane water electrolysis (AEMWE) is gaining attention as a promising and cost-effective route for green hydrogen production. Its alkaline operating conditions enable the use of earth-abundant transition metal catalysts for the oxygen evolution reaction (OER), replacing expensive Ir-based materials. Cobalt (Co)-based catalysts stand out owing to their low cost and favorable OER activity. Nevertheless, the influence of the crystalline phase of Co-based catalysts on their intrinsic activity and AEMWE performance remains poorly understood. In this study, we systematically investigate the phase-performance relationship of Co-based catalysts by preparing α -Co(OH)₂, β -Co(OH)₂, and Co₃O₄ with controlled crystalline phases without nanostructural changes. The β -Co(OH)₂ catalyst exhibits the highest current density, surpassing α -Co(OH)₂ while Co₃O₄ demonstrates significantly inferior activity. These findings reveal that the initial crystalline phase of Co-based catalysts critically determines OER kinetics and overall AEMWE efficiency, offering key insights for the rational design of high-performance, non-precious OER catalysts.

Key Words : 음이온 교환막 수전해(Anion exchange membrane water electrolysis), 코발트 기반 촉매(Cobalt-based catalyst), 결정상(Crystalline phase)

[†] Corresponding author, E-mail: wchoi@gnu.ac.kr

수소 전지 성능 개선을 위한 대면적 레이저 간섭 리소그래피 공정 개발

Large-Area Laser Interference Lithography Process for Fuel Cell Performance Improvement

황준식*[†]

June Sik Hwang*[†]

*경상국립대학교 기계공학과

Abstract : 고분자 전해질 막 연료전지(PEMFC)의 성능 향상을 위해 나피온(Nafion) 멤브레인의 나노 패터닝이 효과적인 방법으로 보고되어 왔다. 나노구조화된 나피온 표면은 전극-전해질 계면의 접촉 면적을 증가시키고, 수소 이온 전달 경로를 최적화하여, 전지의 출력 밀도와 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 기존의 나노 패터닝 기술인 전자빔 리소그래피(E-beam lithography)나 나노임프린트 리소그래피(NIL)는 고가의 장비와 복잡한 공정이 요구되며, 특히 처리 속도가 느리고 대면적 적용이 어려워 상용화에 제약이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 레이저 간섭 리소그래피(Laser Interference Lithography, LIL) 기술을 활용한 대면적 나피온 나노 패터닝 공정을 개발하였다. LIL은 두 개 이상의 레이저 빔의 간섭 패턴을 이용하여 주기적인 나노구조를 형성하는 기술로, 마스크가 필요 없고 대면적 패터닝이 가능하며 공정 비용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 최적의 레이저 파장, 입사각, 노광 에너지 등의 공정 변수를 도출하여 나피온 표면에 균일한 주기의 나노 라인을 구현하였다. 해당 결과를 바탕으로 향후 나피온 나노 패터닝을 통한 연료 전지 성능 개선 정도를 파악하고, 실용적인 방법으로 적용 가능할 것이라 예상된다.

Key Words : 고분자 전해질 막 연료전지(polymer electrolyte membrane fuel cell), 나피온 나노 패터닝(Nafion nano patterning), 레이저 간섭 리소그래피 (laser interference lithography)

[†]Corresponding author, E-mail: js.hwang@gnu.ac.kr

유리온실 외피성능에 따른 실내환경 모니터링시스템 설계 및 평가

Design and Evaluation of an Indoor Environment Monitoring System for Glass Greenhouses According to Envelope Performance

이왕제*, 이경호*[†], 김일권**, 임희원** 황성현***, 홍인상****, 신우철****

Wangje Lee*, Kyoung-ho Lee*[†], Ilkwon Kim**, Heewon Lim**, Seonghyeon
Hwang***, Insang Hong****, U-cheul Shin****

*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, **다이슨스피어(주), *** (주)이건창호,
****대전대학교 건축공학과

Abstract : 본 연구에서는 유리온실의 외피성능에 따른 실내환경을 비교/평가할 수 있도록 일반적인 (단판)유리 적용된 온실과 (복층)진공 유리가 적용된 유리온실 2개소를 대상으로 평가하였다. 대상 온실의 크기는 10 x 8m(냉난방 공간 면적 8 X 8 m)이며, 높이는 6 m, 측고는 3.8 m로 이루어진 소규모 유리온실로 외피(유리)를 제외한 모든 사양은 동일하다.

온실에서 재배작물에 있어 온도와 광량(일사)은 가장 많은 영향을 미치는 인자 중 하나으로써, 온실 외피성능 변화(차이)에 따라 가장 크게 영향을 받을 것으로 예상된다. 이에 실증 온실 내부온도 분포와 내부 일사량을 주요 평가 대상으로 하였다. 각 온실별 온도센서는 수직/수평방향으로 총 7개(습도 5개, CO₂ 5개 포함), 일사계 1개를 설치하였다. 일사계의 경우 외부 일사와 비교를 위해 외부일사계도 추가 설치하였다. 모니터링시스템은 저전력 및 저비용, 높은 단말 수용력을 갖는 장점이 있는 장거리 무선통신(LoRaWAN) 방식으로 구축하였으며, 센서 노드의 배치 및 설치 용이성을 확보하였다.

모니터링 측정 결과, 전일사량을 비교해 보면 외부 설치 일사량 대비 일반 단판유리 온실의 일사량은 73~78 % 수준이며, 복층(진공) 유리 온실은 48~52% 수준의 일사량을 보이는 것으로 확인되었다. 향후에는 광학분광계를 추가 설치하여 가시광선 영역에서의 일사량 및 PPFD 등 온실의 세부 광환경 특성을 비교/평가할 계획이다.

Key Words : 유리온실(Glass Greenhouse), 외피성능(Envelope performance), 온도센서(Temperature sensor), 저전력광역 네트워크(Long range wide area network, LoRaWAN), 전일사(Global irradiance)

[†] Corresponding author, E-mail: khlee@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업의 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다. (과제번호 : RS-2005-02215659).

에너지자립형 온실 구현을 위한 실증 연구

A Demonstration Study on the Implementation of an Energy Self-Sufficient Greenhouse

이왕제*, 이경호*[†], 안영섭*, 황성현**, 임희원***, 김일권***, 곽유리나****
Wangje Lee*, Kyoung-ho Lee*[†], Youngsub An*, Seonghyeon Hwang**, Heewon Lim**, Ilkwon Kim***, Yurina Kwack****

*한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, ** (주)이건창호, ***다이슨스피어(주),
****서울시립대 환경원예학과

Abstract : 2050 탄소중립에 대응하기 위해 시설원에 분야의 감축수단으로 온실의 냉난방 에너지 소비 효율화 및 저탄소 에너지 활용기술 등에 대한 개발이 요구되고 있다. 국내의 온실의 에너지절감을 위한 선행연구를 살펴보면 지열 및 공기열, 태양열, 수열 등을 활용한 농업시설용 히트펌프 연구와 작물체 국소 냉방 및 재배배지 가온/냉각기술, 에너지절감기술 2종 이상을 패키지화한 농업에너지절감 모델 연구 등 많은 연구가 수행되었으나 개별 연구에 한정된 것으로 조사되었다.

이에 본 연구에서는 에너지자립형 온실 구현을 위해 먼저 온실의 냉난방 부하를 감소시키는 온실 외피기술(목표 성능 : $1.0\text{W/m}^2\text{K}$ 이하, 가시광선 투과율 78% 이상)개발과 함께 고효율 냉/난방 기기인 이중열원 히트펌프(Water to water)적용, 냉/난방 에너지를 효율적으로 활용하기 위한 국부 냉/난방 기술 적용, 에너지를 생산할 수 있는 융합형 태양에너지(PV, ST) 기술 개발 등을 실증하고자 한다.

실증대상 온실은 기존에 구축되어 있는 동일한 소규모(약 $10 \times 8\text{m}$, 약 80m^2) 유리온실 2개동을 대상으로 하며, 기존 유리온실 1개동 리모델링을 통해 에너지자립형온실의 에너지 자립률(도)을 평가한다. 또한 기존 유리온실과의 냉/난방에너지 및 실내환경(온도 및 습도, CO_2), 재배작물의 생산량 등을 비교/평가하기 위해 지능형 통합 모니터링시스템 구축을 포함한다.

Key Words : 에너지자립형온실(Energy self sufficient greenhouse), 유리온실(Glass Greenhouse), 냉난방에너지(Cooling and heating energy), 최적화(Optimized), 태양에너지(Solar energy)

[†] Corresponding author, E-mail: khlee@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2025년도 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업의 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다. (과제번호 : RS-2005-02215659).

저탄소 태양광 모듈을 위한 비불소계 투명 백시트

Fluoropolymer-Free Transparent Backsheets for Low-Carbon Footprint Photovoltaic Modules

권다영*, 박예랑*, 한재익*, 박노창*, 배수현**, 김경수**, 어영주**, 강기환**, 이용환*[†]
 Da Young Kwon*, Yerang Park*, Jae-Ik Han*, Nochang Park*, Soohyun Bae**,
 Kyung-Soo Kim**, Young-Joo Eo**, Gi-Hwan Kang**, Yonghwan Lee*[†]
 *한국전자기술연구원 차세대전지연구센터, ** 한국에너지기술연구원 태양광연구단

Abstract : In this study, fluoropolymer-free transparent photovoltaic backsheets were developed by dip-coating polyethylene terephthalate (PET) films with perhydropolysilazane (PHPS), which was subsequently converted into a SiOxNy-based inorganic coating layer on the PET surface. Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy confirmed the successful formation of Si-O, Si-N, and Si-OH bonds, indicating effective conversion of the PHPS precursor into a robust SiOxNy network. UV-Vis measurements revealed that the coated films maintained high optical transmittance (>88%), ensuring optical suitability for photovoltaic transparent backsheet applications. Water vapor transmission rate (WVTR) tests demonstrated a significant reduction in moisture permeability (<2 g/m²·day) compared with bare PET films, while adhesion tests showed strong interfacial bonding between the SiOxNy coated PET film and silicon substrate. Furthermore, even after accelerated aging under Pressure Cooker Test (PCT) conditions and UV irradiation, the films retained high transparency and excellent moisture barrier performance, confirming their durability and environmental stability. Overall, these results demonstrate that SiOxNy-coated PET films offer a sustainable, transparent, and high-performance alternative to conventional fluoropolymer-based backsheets for low-carbon photovoltaic modules.

Key Words : 저탄소 (low carbon footprint), 태양광 모듈 (photovoltaic module), 비불소계 (fluoropolymer-free), 투명 백시트 (transparent backsheet), 폴리실라잔 (perhydropolysilazane)

[†] 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)

우주용 고내구성 태양광 모듈을 위한 방사선 차폐 AZO 코팅 유리

Radiation-Shielding AZO-Coated Glass for Durable Space Photovoltaic Modules

박예랑*, 권다영*, 한재익*, 박노창*, 이용환*[†]

Yerang Park*, Da Young Kwon*, Jae-Ik Han*, Nochang Park*, Yonghwan Lee*[†]

*한국전자기술연구원 차세대전지연구센터

Abstract : 우주 환경에서 인공위성의 전력 공급을 위해 사용되는 태양전지는 극한 조건에 지속적으로 노출되며, 특히 전자선 방사선에 의해 결함이 유발되어 성능 저하가 가속화된다. 이를 완화하기 위해 본 연구에서는 III-V 다중접합 우주 태양전지용 방사선 차폐용 투명 차폐막으로서 AZO(Al-doped ZnO) 박막이 코팅된 유리를 개발하였다. 차폐 성능 향상을 위해 자외선(UV) 처리와 열처리를 비교한 결과, 열처리 공정이 AZO 박막의 결정성을 개선하고 전자선 차폐 성능을 효과적으로 향상시키는 것을 확인하였다. 다음으로, 1.2 MeV, $1 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15} \text{ e}^-/\text{cm}^2$ 조건의 전자선 조사 후, 열처리된 AZO 코팅된 유리 기판이 일반 유리 기판 대비 우수한 방사선 차폐 성능을 보여주었다. 이를 4-junction III-V 태양전지 (4G32C, AZURE Space社)를 적용한 자체 제작 우주용 모듈에 적용한 결과, electron radiation 시험후 효율 저하율이 4.18%에서 2.37%로 감소하였다. 본 결과는 적절한 후처리를 거친 AZO 박막이 우주 태양광 모듈의 장기 내구성과 동작 안정성 향상에 유효한 방사선 차폐층으로 활용될 수 있음을 보여준다..

Key Words : 투명 방사선 차폐막(transparent radiation shield), 알루미늄 도핑 산화아연 (Al-doped zinc oxide (AZO)), 후처리 공정 (post-treatment), 전자선 방사 (electron radiation), 우주용 태양광 모듈 (space photovoltaic module)

[†] Corresponding author, E-mail: ylee@keti.re.kr

후 기

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2022-NR068563)

건물형 동·서향 태양광 시스템의 운영 최적화를 위한 방위각별 발전 특성 분석

A Study on the Azimuth-Dependent Power Generation Characteristics for Operational Optimization of Building-Type East-West Photovoltaic Systems

박영아*, 김주희*, 양혜정*, 김민국*[†], 김용현*[†]

Young-Ah Park*, Ju-Hee Kim*, Hye-Jeong Yang*, Minkook Kim*[†], Yong Hyun Kim*[†]

*한국광기술원 에너지연구본부 AI에너지연구센터

Abstract : 태양광 발전 시스템의 부하 분산 및 계통 안정성 고려의 필요성이 커지면서 다양한 방위각별 설치 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 동·서향 배치는 시간대별 발전 피크를 분산시켜 계통 부하 평준화에 효과적이며, 제한된 부지에서도 설치 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 따라서 동·서향 배치의 효과를 확인하기 위해 남향 배치와 비교하여, 기상 조건(맑음, 흐림, 강우)별 시간대 발전량 및 일사량 특성과 방위각별 발전 패턴 변화를 분석하고자 한다.

방위각 및 기상 조건에 따른 영향 분석을 위하여 한국광기술원 내 건물 옥상에 총 12 kW의 태양광 시스템(남향 3kW x 2, 동향 3kW x 1, 서향 3kW x 1)을 구축하였다. 태양광 발전 시스템 데이터 수집은 1분, 1시간, 1일 단위로 진행하였으며, 수집 데이터는 발전량, 일사량 및 환경 센서(대기 온도, 습도)데이터를 포함한다. 본 논문에서 활용하는 데이터는 2025년 8월 한 달 간 취득한 데이터를 활용하였으며, 이 중 기상 조건으로 맑음(8월 1일), 흐림(8월 7일), 강우(8월 6일) 조건별 대표일을 선정하였다.

8월 1일(맑음)에는 단봉형(Single-peak) 형태의 발전량 곡선을 나타냈으며, 남향 패널은 약 13시경 시간당 발전량 2.3~2.4 kWh로 최대치를 기록하였다. 동향 패널은 7시경 발전이 시작되어 약 2.4 kWh의 최대 발전량을 나타냈고, 서향 패널은 16시경 약 2.1 kWh의 최대 시간당 발전량을 기록하며 남향 대비 약 20% 낮은 일일 총 발전량을 보였다. 8월 6일(강우)에는 전체 발전량이 맑은 날의 약 40% 수준으로 감소하였고, 일사량은 400 W/m² 이하에서 짧은 시간대의 이중 피크(Double-peak) 특성을 나타냈다. 8월 7일(흐림)에는 발전 곡선이 완만해지고, 동·서향의 발전량이 각각 남향의 약 95% 및 92% 수준으로 나타나 방향별 총 발전량 차이가 10% 이내로 감소하는 경향을 보였다. 결론적으로 남향 시스템은 일일 최대 발전량 확보에 유리한 효과가 있으며, 동·서향 시스템은 시간대별 발전 분포를 균등화하여 부하 분산 및 계통 안정성에 기여할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 2025년 8월 여름 한 달 데이터를 기반으로 수행되어, 계절적 특성 반영 및 방위각별 발전 효율 분석에 한계가 있다. 향후 연간 데이터를 확보하여 계절변화를 반영한 AI 기반 발전량 예측 시스템과 연계를 통해 태양광 시스템의 방위각 최적화 및 피크 저감 개선에 활용할 예정이다.

Key Words : 태양광 발전 시스템(photovoltaic power generation system)방위각별 발전 특성(Azimuth-Dependent Power Generation Characteristics), 부하 분산(Load Distribution), 기상 조건별 발전 패턴(Weather-Dependent Generation Pattern)

[†] Corresponding author, E-mail: mkkim@kopti.re.kr, yonghyun@kopti.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00398351)

분산설치 마을 공용 가상발전소 모델 실증 및 운전 특성

Demonstration and Operational Characteristics of Distributed Community Virtual Power Plant Model

류승환*, 김선욱*[†], 정희경*

Seunghwan Ryu*, Sunwook Kim*[†], Hoekyeong Jeong*

*(주)에이치에스솔라에너지

Abstract : 최근 태양광 발전 보급 확대에 따라 폐모듈 발생량이 급증하면서 환경오염 및 자원 낭비 문제가 심화되고 있다. 이에 따라 태양광 모듈의 재사용 및 재활용을 통한 순환경제 실현이 새로운 과제로 대두되고 있다. 본 연구는 분산전원 통합관리형 마을 공용발전소 실증을 통해 재사용 태양광 모듈의 발전 성능과 경제성을 분석함으로써 지역 단위 에너지 자립모델의 실현 가능성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 연구 대상은 충북 음성군 A대학교 강의동 50kW급 발전소와 B마을의 8개소 76kW급 분산형 발전소로 구성되었으며, 사용 후 철거된 모듈을 선별하여 Photovoltaic Refurbishment Process(PVRP)를 거친 후 재사용 모듈로 설치하였다. 대조군으로는 동일한 조건의 신규 모듈 발전소(A대학교 기숙사동 50kW, C마을 150kW)를 설정하였으며, 발전량 모니터링은 2024년 8월 1일부터 2025년 7월 31일까지 1년간 수행되었다. 실증 결과, 재사용 모듈의 평균 발전효율은 신규 모듈 대비 약 92% 수준으로 유지되었으며, 설치비 절감을 통해 단위발전당 투자비용이 개선되는 것으로 분석되었다. 이를 통해 분산전원 통합관리형 발전소를 mVPP 모델이라고 명명하고, 이는 지역 단위의 분산형 전력망 구축 및 공동체 기반의 에너지자립 실현을 위한 유효한 방안으로 평가되었다.

Key Words : 분산전원 통합관리형 마을발전소(Distributed power integrated community power plant), 재사용 태양광 모듈(Reused photovoltaic modules), PVRP 공정(Photovoltaic Refurbish Process), 발전성능 및 경제성 분석(Performance and Economic Analysis)

[†] Corresponding author, E-mail: skim@hsse.co.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 MW급 산단 지붕 태양광 가상발전소(VPP) 위험방지 고도화 기술개발 과제에 지원을 받아 수행되었습니다.(과제번호 : RS-2024-00398351).

PPA 연계 산업 지붕형 태양광 LCOE 모델 연구

A Study of LCOE Model for PPA-Linked Rooftop Solar Power System in Industrial Complexes

양혜정*, 김주희*, 박영아*, 김민국*[†], 김용현*[†]

Hye-Jeong Yang*, Ju-Hee Kim*, Young-Ah Park*, Minkook Kim*[†], Yong Hyun Kim*[†]

*한국광기술원 에너지연구본부 AI에너지연구센터

Abstract : 최근 산업단지 내 지붕형 태양광 발전 시스템은 탄소중립 정책과 재생에너지 3020, RE100 이행 확대에 따라 빠르게 확산되고 있다. 특히 공장 등 소비 기업과 발전사업자 간의 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA) 모델이 활성화되면서, 기존의 발전사업자 중심의 균등화발전비용(Levelized Cost of Energy, LCOE) 모델만으로는 지붕형 태양광 발전 사업 확대에 필요한 확산 모델의 경제성 평가가 어렵다는 한계가 있다. 기존의 LCOE 산정 방식은 발전원의 기술적 단가 산정에 초점을 두고 있어, 산업 공장 등 소비자가 지붕을 활용해 가상발전소(Virtual Power Plant, VPP)를 설치/운영할 때 발생하는 정책적 또는 운영상의 구조적 복잡성이나 PF 이자율 및 세제 혜택과 같은 금융조달비용 등 현실적인 재무·정책 요인을 충분히 반영하지 못한다.

본 연구에서는 PPA 유형에 따라 발전사업자·소비자 관점을 고려하여 설치비용(CAPEX), 운영비용(OPEX), 금융비용, 세금 및 정책 인센티브를 포함한 종합적 경제성 평가가 가능하도록 설계하였다. 이는 기존 모델의 한계를 보완한 산업단지 지붕형 태양광의 PPA 연계 사업구조에 특화된 LCOE 모델로서, 향후 LCOE 모델 검증 단계에서 설비 열화율과 계통한계가격(SMP) 변동성 등 주요 불확실성 인자를 반영하여 분석이 가능하도록 설계하였다.

본 연구에서 제시한 신규 PPA 연계 LCOE 모델은 기존의 기술단가 중심 접근을 넘어, 사업구조와 금융 요인을 통합적으로 고려한 새로운 경제성 평가 관점을 제안한다. 본 모델은 산업단지 지붕형 태양광의 투자 타당성 평가 및 금융기관의 사업성 검증(IRR 등) 기준으로 활용될 수 있을 것으로 생각한다. 향후에는, AI를 활용해 발전량 변동성을 추정함으로써 발전량 변화에 따른 LCOE 변동을 분석할 계획이다.

Key Words : 산업단지 지붕형 태양광, 전력구매계약(PPA, Power Purchase Agreement), 균등화발전비용(LCOE, Levelized Cost of Energy), 재무적 LCOE, 금융지원 타당성(Bankability)

[†] Corresponding author, E-mail: mkkim@kopti.re.kr, yonghyun@kopti.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00398351)

VPP플랫폼을 통한 충주지역의 미래에너지 운영방안

Future Energy Management Plan for the Chung-ju Area through the VPP Platform

우성민^{*†}, 문진철^{*}, 허재혁^{*}

Sungmin Woo^{*†}, Jinchel Moon^{*}, Jaehyeok Heo^{*}

^{*}충북테크노파크 차세대에너지센터

Abstract : 에너지자립률이 낮은 충주지역의 에너지자립률을 높이기 위해서, 기존에 보급되어 있으나 관리가 부족한 산단 및 건물을 기반으로 전환된 분산에너지설비들을 다시 자원화하고, 지자체와 민간기업이 상생할 수 있는 win-win사업모델발굴이 필요하다.

이를 통하여 유휴재생에너지원의 변동성과 간헐성문제를 해결하고, 지역산업단지에 입주한 수출기업의 RE100달성하고, AI기반대량의 소규모분산자원들을 체계적으로 관리해서 유용한 자원으로 재자원화하는 방안을 모색하였다.

이에 본 연구에서는 지역의 예산이 투입된 분산 전원 자원들의 지속적인 유지관리를 통해 공공형신재생 에너지 설비 보급사업과 지원사업의 신뢰도를 높일 수 있으며, 장기적으로는 소형 자원 및 기타 자원을 연계하여 직접 거래가 가능한 자체 플랫폼을 개발하였다.

따라서 지역 참여 기업의 지속적인 설비 유지관리와 고용 창출을 유도하고, 지역 경제 활성화와 선순환 구조를 도출할 수 있도록 하였다.

Key Words : VPP(Virtual Power Plant), PPA(Power Purchase Agreement), PV system(Photo-Voltatic system), 잉여전력 (surplus electricity),

[†] Corresponding author, E-mail: ywoosm@cbtp.or.kr

후 기

본 연구는 2025년도 기후에너지부의 재원으로 미래지역에너지활성화지원사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

무기 정공수송층 기반의 고효율 메틸암모늄-무함유 주석-납 페로브스카이트 태양전지

Highly Efficient Methylammonium-free Sn-Pb Perovskite Solar Cells with Inorganic Hole Transport Layer

이서준*, 임한균**, 강동원**†

Seojun Lee*, Han-Gyun Lim**, Dong-Won Kang**†

*중앙대학교 스마트시티학과, **중앙대학교 에너지시스템공학과

Abstract : High-efficiency Sn-Pb mixed perovskite solar cells (PSCs) have largely relied on PEDOT:PSS as a hole transport layer (HTL). However, its intrinsic drawbacks such as acidic corrosion, poor long-term stability, and low near-infrared (NIR) transmittance limit their practical application, particularly in tandem or infrared-targeted architectures. These issues have led to suboptimal device performance and hindered the development of stable, methylammonium (MA)-free Sn-Pb PSCs employing inorganic HTLs. To overcome these limitations, we introduce a combined strategy utilizing Al-doped NiO_x (ANO) nanocrystalline HTLs and GeI₂ additives in MA-free Sn-Pb perovskites. Through interface-selective GeO_x formation derived from GeI₂, Ni³⁺ states in NiO_x are effectively passivated, Sn²⁺ oxidation is suppressed, and the energy-level alignment between the perovskite and HTL is optimized. This interfacial stabilization is further supported by reduced trap density, improved crystallinity, enhanced carrier dynamics, and suppressed non-radiative recombination. The resulting MA-free Sn-Pb PSCs achieve a power conversion efficiency of 23.34% with a high open-circuit voltage (V_{OC}) of 0.88 V and a fill factor over 81%. The devices also demonstrate robust operational durability, retaining over 95% of their initial PCE after 4320 hours. This work highlights the critical role of targeted interfacial engineering in enabling scalable, efficient, and stable MA-free Sn-Pb PSCs.

Key Words : 주석-납 페로브스카이트(Sn-Pb perovskite), 게르마늄 산화물(Germanium oxide), 메틸암모늄-무함유(Methylammonium-free), 페로브스카이트 태양전지(Perovskite solar cell), 전력변환효율(power conversion efficiency)

† Corresponding author, E-mail: kangdwn@cau.ac.kr

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00217270, RS-2023-00212744, 2023K2A9A2A08000151).

디메틸암모늄 도입을 통한 넓은 밴드갭 주석 페로브스카이트의 안정화 및 고효율 무연 탠덤 태양전지 구현

Dimethylammonium-incorporated Wide-bandgap tin Perovskite for Efficient and Stable Lead-free Tandem Solar Cells

안팔이프티카르^{*†}, 윤새몬^{**}, 강동원^{*}

Anfal Iftikhar^{*†}, Saemon Yoon^{**}, Dong-Won Kang^{*}

^{*}중앙대학교 에너지시스템공학과, ^{**}중앙대학교 스마트시티학과

Abstract : Tin-based perovskite solar cells (TPSCs) have emerged as promising lead-free alternatives to conventional lead halide perovskites. However, achieving efficient wide-bandgap (WBG) TPSCs remains challenging due to phase segregation and crystallization issues associated with halide composition tuning. Here, we introduce a compositionally stable approach by incorporating dimethylammonium (DMA) at the A-site of the perovskite lattice, enabling bandgap widening from 1.63 eV to 1.72 eV without additional bromine content. This strategic substitution induces lattice expansion, enhances crystallinity, and reduces structural strain, resulting in improved film morphology. We further employ a dielectric/metal/dielectric (DMD) transparent electrode to fabricate high-performance semi-transparent TPSCs (ST-TPSCs), achieving a power conversion efficiency (PCE) of 10.37% while maintaining excellent near-infrared transmittance. These properties make the ST-TPSCs ideal top cells for tandem integration. By stacking them with a narrow-bandgap (NBG) TPSC, we demonstrate a four-terminal (4T) lead-free perovskite tandem solar cell, reaching a combined PCE of 15.02%. This represents a significant advancement in fully lead-free perovskite tandem photovoltaics. Our findings highlight the potential of DMA incorporation as a powerful strategy to stabilize WBG TPSCs, offering a new pathway for high-efficiency, environmentally friendly solar cells. The development of transparent, stable, and efficient lead-free tandem architecture paves the way for next-generation photovoltaic applications.

Key Words : 주석 페로브스카이트 태양전지 (Tin-based perovskite solar cell), 넓은 밴드갭 (Wide-bandgap), 디메틸암모늄 (Dimethylammonium, DMA), 무연 (Lead-free), 탠덤 태양전지 (Tandem solar cell)

[†] Corresponding author, E-mail: kangdwn@cau.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00217270, RS-2023-00212744, RS-2024-00436187, RS-2025-00519847).

진공 증착 시스템을 활용한 무기 페로브스카이트 박막 제작

Fabrication of Inorganic Perovskite Thin Film Using Vacuum Deposition System

김민규*[†], Muhammad Adnan*, Zobia Irshad*, 이원종*, 윤시원*, 한혜지*, 임종철**
Minkyu Kim*[†], Muhammad Adnan*, Zobia Irshad*, Wonjong Lee*, Siwon Yun*, Hyeji Han*, Jongchul Lim**

*충남대학교 에너지과학기술대학원

Abstract : Perovskite thin-film solar cells (PSCs) have garnered significant attention as promising candidates for next-generation photovoltaic devices due to their remarkable power conversion efficiency (PCE), and low cost. However, the commercialization of perovskites is hindered by their low thermal stability. In contrast, inorganic perovskite thin films offer greater thermal stability, driving increased research interest in this area. Among fabrication techniques, vacuum deposition has proven highly effective, producing solvent-free thin films with superior coverage, purity, and reproducibility compared to solution-based processes. Furthermore, vacuum deposition supports continuous deposition, a critical advantage for manufacturing multilayer thin-film solar cells. As a result, this technique has become a cornerstone in the production of high-purity, thermally stable inorganic perovskite thin films.

Key Words : 페로브스카이트 태양전지(Perovskite solar cell), 진공 증착(Vacuum deposition system), 무기 페로브스카이트(Inorganic perovskite), 박막 증착(Thin film deposition, 광전자분광학(Optoelectronics))

[†] Corresponding author, E-mail: jclim@cnu.ac.kr

레이저 분광분석 기반 페로브스카이트 결정 성장 분석

Elucidating the Perovskite Crystallization via Optoelectronic analysis

한혜지*[†], 임종철**

Hyeji Han*[†], Jongchul Lim**

*충남대학교 에너지과학기술학과, **충남대학교 에너지과학기술학과

Abstract : Metal halide perovskite materials have attracted significant attention in the field of photovoltaics due to their excellent optoelectronic properties. In this study, we investigated the crystallization kinetics of perovskites using in situ light-scattering measurements. This technique enables real-time monitoring of optical scattering behavior within the perovskite precursor solution. Moreover, the layered structure of PbI_2 interacts with the A-site cations, leading to a phase transition into an ABX_3 perovskite lattice through corner-sharing PbI_6 octahedra. By controlling parameters such as temperature, solubility, concentration, and purity, we demonstrated the critical influence of crystal quality and grain orientation on the overall optoelectronic performance.

Key Words : 페로브스카이트 (Perovskite), Crystallization (결정 성장), In-situ (실시간), Optical Scattering (광학 산란), Optoelectronics (광전기분석)

[†] Corresponding author, E-mail: jclim@cnu.ac.kr

반용매 첨가제의 기능기 방향성 제어를 통한 페로브스카이트 태양전지 광안정성 개선

Functional-Group-Oriented Anti-Solvent Additives for Photostable Perovskite Solar Cells

이원종*[†], 무하마드 어드난*, 조비아 이샤드*, 김선규*, 윤시원*, 한혜지*, 이민우*,
이동규*, 손현수*, 장효식*, 옌헝 린*, 이태경*, 윤재성*, 임종철*
Wonjong Lee*[†], Muhammad Adnan*, Zobia Irshad*, Sunkyu Kim*, Siwon Yun*,
Hyeji Han*, Minwoo Lee*, Dong Gyu Lee*, Hyeonsu Son*, Hyo Sik Chang*,
Yen-Hung Lin*, Tae Kyung Lee*, Jae Sung Yun*, Jongchul Lim*

*충남대학교 에너지과학기술대학원

Abstract : Metal-halide perovskite solar cells (PSCs) achieve high power-conversion efficiencies but remain susceptible to photo-induced degradation caused by mobile ions and phase segregation. Here, we introduce positional isomers of pyridine-carboxylic acid, namely pyridine-2-carboxylic acid (2-PC) and pyridine-4-carboxylic acid (4-PC), as ultra-dilute anti-solvent additives and use a suite of structural, optical, and electrical probes to track their impact on film quality and device stability. Both additives enlarge grain size and lower trap density, yet 4-PC, which features the carboxyl group opposite the pyridine nitrogen, delivers the strong passivation, reducing trap density by $\approx 27\%$, suppressing light-induced red-shift behavior in photoluminescence, and enabling unencapsulated devices to preserve over 90% of their initial efficiency after 1,000 hours of 1-sun exposure. Spectroscopic and transient measurements reveal that 4-PC simultaneously passivates Pb-related defects and halide vacancies, inhibiting ion migration and halide phase segregation under operation. These results establish functional-group orientation as a powerful, easily implemented design rule for molecular passivators that substantially extend the operational lifetime of perovskite photovoltaics.

Key Words : 페로브스카이트 태양전지 (perovskite solar cells), 반용매 첨가제 (Anti-solvent additive), 패시베이션 (passivation), 광안정성 (photostability), 분광분석 (spectroscopy)

[†] Corresponding author, E-mail: jclim@cnu.ac.kr

이온성 염 도입을 통한 페로브스카이트 박막 안정성 향상

Bication Thiocyanate Salt for Stable Perovskite Thin Film

윤시원*, 임종철*[†]

Siwon Yun*, Jongchul Lim*[†]

*충남대학교 에너지과학기술학과

Abstract : Organic-inorganic lead halide perovskites have emerged as frontrunners in next-generation optoelectronic technologies due to their exceptional optoelectronic properties. Despite remarkable advancements, their commercialization is hindered by poor intrinsic stability and suboptimal charge-carrier dynamics. In this work, we introduced thionate-based additives, 1-butyl-3-methylimidazolium thiocyanate (BMIM-SCN) and 1-butyl-3-methylimidazolium lead thiocyanate (BMIM-Pb(SCN)₃), as effective chemical modulators to simultaneously enhance the crystallinity, surface quality, and environmental resilience of hybrid perovskite films. Incorporation of these additives facilitates the formation of dense, uniform crystal grains with improved surface coverage and significantly reduced surficial and interfacial trap states. The modified films exhibit superior charge transport behavior and demonstrate remarkable resilience under humid, thermal, and light stress, outperforming their pristine counterparts. Specifically, BMIM-Pb(SCN)₃ proves particularly effective, synergistically enhancing both charge-carrier mobility and long-term film stability. This dual-functional additive strategy not only passivates defects but also regulates the structural evolution of the perovskite layer, leading to improved optoelectronic performance. These findings present a viable route for stabilizing hybrid perovskites and advancing their practical deployment in photovoltaic and optoelectronic applications.

Key Words : Stability of perovskite, Additives, Perovskite thin film, Perovskite analysis

[†] Corresponding author, E-mail: jclim@cnu.ac.kr

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2023R1A2C2005172 and RS-2024-00408917). Moreover, 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-2023-00236664)

광대역 주석 기반 페로브스카이트 태양전지의 기록적인 성능을 위한 바이오틴 첨가제 접근법

Biotin Additive Approach for Record Performance in Wide-bandgap Tin-based Perovskite Solar Cells

조성원*, 강동원**†

SungWon Cho*, Dong-Won Kang**†

*중앙대학교 스마트시티학과, **중앙대학교 에너지시스템공학부

Abstract : Achieving high efficiency and long-term stability in wide-bandgap (WBG) tin-based (Sn-) perovskite solar cells (PSCs) remains a major challenge due to rapid crystallization, Sn^{2+} oxidation, and defect passivation. Recent advances in additive engineering have shown that multifunctional additives can simultaneously address multiple bottlenecks by regulating crystallization kinetics, passivating deep-level defects, and suppressing Sn^{2+} oxidation.

In this study, we focus on the role of naturally derived Biotin complex as a representative multifunctional additive. Biotin interacts with Sn^{2+} through Ureido ($\text{C}=\text{O}$, $-\text{NH}$), $-\text{COO}^-$, and S-C groups, to allow controlled crystal growth, defect passivation, and chemical stabilization. As a result the Biotin-1.0 device achieved a record efficiency of 12.84% (certified at 12.50%) and maintained 77% of its initial performance after 1460 hours in ambient air.

By identifying the multifunctional roles of Biotin, this study opens a new path for eco-friendly, lead-free tandem photovoltaic power generation, with industrial relevance.

Key Words : 화학적 배위(Chemical coordination), 주석 페로브스카이트 태양전지(Tin perovskite solar cells), 결함 패시베이션(Defect passivation), 비타민 H 바이오틴 복합체(Vitamin H Biotin complex)

† Corresponding author, E-mail: kangdwn@cau.ac.kr

태양광 모듈 소재의 열방출 특성 평가

Evaluation of Thermal Emission Characteristics for Photovoltaic Module Materials

김태형*, 민용기*[†], 박태열*, 김충현*

Tae-Hyung Kim*, Yongki Min*[†], Taeyoel Park*, Chung-Hyun Kim*

*신성이엔지 재생에너지사업부문 연구팀

Abstract : 지구 온난화와 기후변화에 대응하기 위해 전 세계적으로 탄소 중립을 선언하였고, 탄소 중립 로드맵에 맞춰 태양광 모듈 보급이 빠르게 확산되고 있다. 특히 건물일체형 태양광 모듈(BIPV: Building-Integrated Photovoltaics)은 태양광 발전이 가능할 뿐만 아니라 심미성도 우수하여 건축물의 외장재로 많은 각광을 받고 있다. 그러나 최근 건축물 화재 사고가 증가함에 따라 건축 자재의 화재 안전성이 중요한 이슈로 부상되고 있으며, 이에 따라 건축물 외장재로 적용되는 BIPV 또한 일정 수준의 내화 성능이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 태양광 모듈의 주요 소재에 대한 열방출 특성을 분석하기 위해 콘칼로리미터(Cone Calorimeter) 실험을 수행하였으며, 이를 통해 태양광 모듈의 내화 성능을 확보하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 건물일체형 태양광 모듈(BIPV, Building-Integrated Photovoltaics), 콘칼로리미터(Cone Calorimeter), 화재 안전성(Fire safety), 열방출률(Heat release rate)

[†] 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)

페로브스카이트 물질의 가변 화학양론비별 인공지능 모델을 이용한 무작위 스펙트럼 패턴 예측

Artificial Intelligence Model-Based Random Spectrum Pattern Prediction for Variable Chemical Stoichiometry in Perovskite Materials

제용훈^{*,**}, 이태규^{*,**}, 김수민^{*†}

Yonghun Je, Taegyu Lee^{*,**}, Soo Min Kim^{*†}

*한국세라믹기술원 AI융합연구단, **부산대학교 재료공학과

Abstract : Numerous research papers have explored the fabrication of solar cells using organic-inorganic lead halide perovskite compounds. Significant investigation focuses on quaternary perovskite solar cells by varying the ratios of methylammonium, formamidinium, I3, and Br3 to enhance efficiency and stability. However, changing stoichiometric ratios leads to vastly different photoelectric properties, complicating the study of the quaternary perovskite's characteristics. In this research, the optical characteristics of perovskite materials with varying stoichiometric ratios were assessed using ellipsometry and analyzed through an optical simulation model. The trained AI model predicted optical properties closely matching ellipsometry measurements, revealing trends in refractive index and extinction coefficient that align with specimen color variations. This innovative approach not only enhances understanding of perovskite materials, but also lays the foundation for future developments in solar cell technology.

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

[†] 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) and the Korea Institute of CeramicEngineering and Technology (KICET, KFB25002-0-01) grant funded by the Korean government (MSIT, MOTIE).

계면 산화 제어를 통한 SiO₂ 배리어 박막의 내습 특성 향상 및 태양전지 봉지층 적용 가능성 연구

Interfacial Oxidation-Controlled SiO₂ Barrier Films with Improved Moisture Resistance for Potential Application in Solar Cell Encapsulation

김수진*, 김영훈*, 김은미*[†]

Su-Jin Kim*, Younghoon Kim*, Eun Mi Kim*[†]

*한국생산기술연구원

Abstract : Maintaining airtightness and moisture resistance without increasing material thickness is a key challenge in achieving high energy efficiency in zero-energy buildings (ZEBs). In this study, we propose a plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD)-based approach to fabricate thin, durable SiO₂ moisture-barrier coatings applicable to building envelopes and energy-saving window systems. The process integrates interfacial oxidation-reaction layers (ORLs) during cyclic deposition of organosilicon precursors. These ORLs promote removal of carbon-containing residues and enhance the Si-O network cross-linking, resulting in improved film density and mechanical stability. Optimized oxidation conditions increase refractive index, reduce residual stress, and suppress micro-porosity, providing excellent long-term reliability under humid and thermal cycling conditions. Spectroscopic and microscopic analyses confirm the formation of strong Si-O-Si bonding and uniform Si/O distribution. This interfacial-oxidation strategy enables thin, high-integrity SiO₂ coatings that contribute to enhanced moisture resistance and overall energy efficiency in ZEB applications, while maintaining low processing cost and scalability.

Key Words : Interfacial oxidation, SiO₂ thin films, Moisture barrier, PECVD, Zero-energy building (ZEB)

[†] Corresponding author, E-mail: kimeunmi@kitech.re.kr

주기적 증착 공정 기반 SiO_xCy 박막의 최적화 및 태양전지용 배리어 성능 향상 연구

A Study on the Optimization of Cyclically Deposited SiO_xCy Films and the Improvement of Barrier Performance for Solar Cell Applications

김영훈*, 김수진*, 김은미*[†]

Young-Hoon Kim*, Su-Jin Kim*, Eun Mi Kim*[†]

*한국생산기술연구원

Abstract : With the commercialization of next-generation flexible solar cells, the importance of high-performance barrier films that can protect photoactive layers and electrodes from external moisture and oxygen is increasing. In particular, low-temperature-processed perovskite and organic solar cells are highly susceptible to moisture-induced degradation, requiring encapsulation technologies that ensure both low-temperature compatibility and long-term stability.

In this study, SiO_xCy thin films were deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) at temperatures below 100 °C using hexamethyldisiloxane (HMDSO) as a precursor. Although SiO_xCy films have attracted attention as promising barrier materials for flexible electronics, performance improvements in single-layer PECVD structures are limited by thickness, and excessive film thickness leads to residual stress accumulation. To overcome these limitations, we defined the “effective thickness” as the minimum unit thickness at which a single oxygen reaction during film growth achieves sufficient inorganic conversion and densification, and proposed a cyclic deposition strategy based on this concept.

As a result, the optimized effective-thickness condition simultaneously enhanced water vapor barrier performance, film density, and chemical stability, confirming the formation of a denser inorganic Si-O-Si network. This study provides new process guidelines for achieving both stability and performance in SiO_xCy barrier films and demonstrates their potential as high-functional encapsulation layers for next-generation flexible solar cells.

Key Words : Solar cells, Encapsulation, Water Vapor Transmission Rate, HMDSO, Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition

[†] Corresponding author, E-mail: kimeunmi@kitech.re.kr

이동식 재활용 시스템을 활용한 태양광 폐패널의 현장 처리 및 탄소저감 효과 검증

On-site Recycling and Carbon Reduction Assessment of End-of-Life Modules Using a Mobile Recycling System

이상헌*[†], 노청민*, 서광민*, 김연주*

Sanghun Lee*, CheongMin Noh*, KwangMin Seo*, YeonJu Kim*

*(주)원광에스앤티

Abstract : 기후위기에 대응하기 위한 탄소중립 정책이 강화되면서 재생에너지 중심의 전력 전환이 가속화되고 있다. 특히 태양광 발전은 설치 용이성과 기술 성숙도를 바탕으로 주요 에너지원으로 자리 잡으며, 설치 규모가 매년 급격히 확대되고 있다. 이와 함께 태양광 폐패널의 발생량 또한 지속적으로 증가하고 있는 상황이다. 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 문제를 해결하기 위해 현장 중심 이동식 재활용 기술을 연구·개발하였다. 태양광 폐패널을 현장에서 분리·처리함으로써 운송 시 발생하는 장애요인을 원천적으로 차단하고, 비용 절감과 탄소배출 저감효과를 실현할 수 있는 기술 확립을 목표로 하였다. 유리, 알루미늄 프레임, 정선박스, 셀 등 주요 구성요소를 효율적으로 분리하기 위한 소형화·저에너지화 공정 연구를 진행하였고, 이를 바탕으로 13톤급 트레일러 기반의 이동식 실증 장비를 구축하였다. 해당 장비는 일일 2.5톤 처리 규모, 무화학·저에너지 공정 적용, 전력 사용량의 약 17%를 자체 재생에너지로 보충하는 구조로 설계하였다. 현장에서는 알루미늄 프레임, 정선박스 해체 후 전면 유리를 분리·회수하고, 잔여 태양전지시트는 고정식 파·분쇄 및 선별 공정을 거쳐 실리콘 메탈 파우더와 구리합금 등 유가물로 전환된다. 알루미늄과 유리가 모듈 질량의 대부분을 차지하므로, 1차 해체·분리만으로도 운송 중량과 부피를 크게 줄여 물류비 및 탄소배출을 효과적으로 저감할 수 있다. 본 연구를 통해 현장처리 적용 전·후의 탄소배출량 저감 효과와 경제적 이점을 비교·분석함으로써, 이동식 재활용 기술의 실효성을 검증하고 향후 상용화 가능성을 제시하고자 한다.

Key Words : 태양광 모듈(Photovoltaic Module), 태양광 폐패널(End of Life Photovoltaic Modules), 재활용(Recycling), 탄소배출 저감 공정(Low Carbon PV Module's Recycling Process), 이동식 재활용 처리(Mobile Recycling Process),

[†] Corresponding author, E-mail: lsh4085@wksnt.com

후 기

본 결과물은 기후에너지환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 태양광 패널 재활용 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2025-02223005)

아파트 단지의 배치 및 향에 따른 발코니 태양광 발전량 변화에 관한 연구

Analysis of Balcony PV Power Variation by Layout and Orientation of Apartment Complexes

이상윤*[†], 지홍섭*, 손동욱*, 이진섭*

Sangyoon Lee*[†], Hongsub Jee*, Dongwook Shon*, Jinseob Lee*

*에스지에너지 기업부설연구소

Abstract : 건물의 에너지 사용량이 지속적으로 증가함에 따라, 이를 저감하기 위해 고기밀·고단열 등 패시브 기술을 적용하여 에너지 손실을 최소화하고, 신재생에너지를 활용해 건물 내에서 직접 에너지를 생산하는 등 다양한 노력이 이루어져 왔다. 정부 또한 ‘재생에너지 3020 정책’과 ‘한국판 그린뉴딜’ 등 제로에너지 건물 관련 정책과 제도를 추진하며, 건물 부문의 신재생에너지 보급을 확대해 왔다.

이러한 정책의 일환으로 아파트 발코니에 태양광 모듈을 설치하는 ‘발코니 태양광’이 지자체를 중심으로 보급되었다. 그러나 설치 위치나 음영 영향을 고려한 발전량 예측 등 체계적인 분석은 아직 충분히 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 시뮬레이션 프로그램(Energy Plus)을 활용하여 아파트 입면의 발코니에 태양광 모듈을 적용할 경우, 단지 내 건물의 배치 및 형태에 의한 음영 발생 및 이로 인한 발전량 차이를 분석했다. 이를 위해 2010년대 지어진 동일 지역의 실제 아파트 단지 11개를 대상 단지로 선정하여, 지도를 활용한 맵핑과 해당 지역 표준 기상 데이터를 사용한 연간 발전량 분석을 통해 대상 단지 내 건물의 향과 배치에 의한 음영 영향을 분석했다.

먼저 정남향 위주의 단지에서, 단지 내 정동향 건물의 배치에 따른 차이를 분석하기 위해 단지 내 전체 건물 수와 정동향 건물의 수가 동일한 2개 단지를 선정했다. 두 단지의 음영에 의한 발전량 손실을 비교·분석한 결과, 정동향 건물이 단지 내 서측에 있는 단지가 정동향 건물이 단지 동측에 있는 단지보다 발전량이 5.2% 낮은 것을 확인할 수 있었다. 특히, 최저층의 경우 10.4%의 큰 차이를 보여 정동향 건물이 단지의 서측에 있는 것이 동측에 있는 것보다 발전량 손실이 큰 것을 알 수 있었다.

또한, 단지 내 동향 건물의 비율에 따른 발전량 차이를 분석하기 위해 동향 건물이 1개 있는 단지와 4개 있는 단지를 선정하여 발전량을 비교 분석했다. 동향 건물이 4개 있는 단지의 경우 동향 건물이 1개 있는 단지와 비교할 때 단지 내 동향 건물의 비율이 2.5배였는데, 동향 건물 비율의 증가로 인해 단지 전체의 입면 발전량은 15.9% 감소했으며, 특히 최저층만 비교할 경우, 19.2%까지 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

단지 내 건물의 배치 및 향에 따른 발코니 태양광 발전량 분석을 통해 단지 내의 정동향 건물 수 및 비율이 발전량 저하에 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있었으며, 발코니 태양광의 적용 확대를 위해서는 정남향 중심의 단지뿐 아니라 다양한 배치와 형상을 고려한 추가적인 분석이 필요하다.

Key Words : 발코니 태양광(Balcony Photovoltaics), 아파트 태양광(Apartment Photovoltaic System), 태양광발전 시스템(Photovoltaic System), 음영 분석(Shading Analysis), 발전량 분석(Power Generation Analysis)

[†] Corresponding author, E-mail: lsy@senergy1.com

고온 반응매 처리법을 이용한 고효율 및 균일한 표면의 페로브스카이트 태양전지

Heated Antisolvent-assisted Pre-annealing Strategy for Efficient and Uniform Perovskite Solar Cells

이동건*, 강동원**†

Dong-Gun Lee*, Dong-Won Kang**†

*중앙대학교 스마트시티학과, **중앙대학교 에너지시스템공학부

Abstract : Recently, perovskite solar cells have received substantial attention, because of their attractive characteristics such as tunable bandgap, flexible material property, low fabrication cost. In order to improve perovskite film quality, there have been many efforts up to now. Especially, antisolvent treatment during perovskite film formation has been the most widely used method for facile formation of pinhole-free and uniform perovskite film.

In this work, we studied a more effective antisolvent treatment method for much more uniform and pinhole-free perovskite film using heated antisolvent. We observed poor coverage of intermediate phase perovskite film after room-temperature antisolvent treatment. After annealing on a hot plate, the poor coverage induced some pinholes and craters on the final perovskite film. On the other hand, the heated antisolvent treatment was able to help forming full-covered intermediate phase by pre-annealing effect. The full-covered intermediate film easily formed pinhole-free and uniform perovskite film after final annealing. Consequently, power conversion efficiency was enhanced from 15.53% to 16.72%. We further analyzed characteristics of the heated antisolvent treated perovskite solar cells by electrochemical impedance spectroscopy, space-charge-limited current, etc. This method will further improve antisolvent engineering methods, and contribute fabricating much more high quality perovskite films.

Key Words : Perovskite solar cells, Antisolvent engineering, Heated antisolvent, Semitransparent solar cells

† Corresponding author, E-mail: kangdwn@cau.ac.kr

효율적인 Sn-할라이드 페로브스카이트 태양전지를 위한 다기능 계면 접근법

A Multifunctional Interfacial Approach Toward Efficient Sn-based Perovskite Solar Cells

류준*, 패드미니 판데이**, 강동원**†

Jun Ryu*, Padmini Pandey**, Dong-Won Kang**†

*중앙대학교 스마트시티학과, **중앙대학교 에너지시스템공학과

Abstract : Sn-halide perovskites offer a lead-free route to efficient photovoltaics but suffer from rapid crystallization, deep defects, and unstable contact with PEDOT:PSS. In this work, we present a simple interfacial strategy in which diethyl-methyl-octadecanoyloxymethyl-ammonium iodide (DMOAI) is inserted between PEDOT:PSS and the perovskite. The ammonium and carbonyl groups of DMOAI coordinate with Sn-halide to delay crystallization in the perovskite, passivate defects, and suppress nonradiative recombination. The long alkyl chain of DMOAI interacts with PEDOT:PSS and lowers the surface energy, which leads to lower nucleation density and reduced interfacial strain in the perovskite. Consequently, DMOAI induces the formation of a compact and uniform perovskite film free of pinholes. In addition, DMOAI makes the PEDOT:PSS energy level deeper and reduces the valence band offset with the perovskite, which results in faster hole extraction and lower nonradiative losses. After introducing DMOAI, the power conversion efficiency increases from 10.42% to 13.39%, while unencapsulated cells retain 85% of their initial efficiency after about 2500 hours. This multifunctional interfacial modifier delivers concurrent improvements in the performance and stability of Sn-based perovskite solar cells and provides a promising pathway toward the rapid commercialization of lead-free perovskite photovoltaics.

Key Words : 페로브스카이트 태양전지(Perovskite solar cells), 비납(lead-free), 주석 기반(Sn-based), 다기능 계면 제어기 (multifunctional interface modifiers)

† Corresponding author, E-mail: kangdwn@cau.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00217270, RS-2023-00212744, RS-2024-00436187, RS-2025-00519847).

멀티레벨 컨버터의 캐리어 기반 데드타임 보상 기법

Carrier-Based Dead-Time Compensation Method for Multilevel Converters

김도현*, 권정민*[†]

Dohyeon Kim*, Jungmin Kwon*[†]

*국립한밭대학교 전기공학과

Abstract : 멀티레벨 컨버터의 스위칭 구간에서 발생하는 데드타임은 출력 전압의 왜곡과 전류 불연속을 유발하여 시스템의 성능을 저하시킨다. 특히 5레벨 능동 중성점 클램프(ANPC, Active Neutral-Point Clamped) 컨버터의 경우, 데드타임으로 인해 기준 전압과 실제 출력 전압 간의 불일치가 크게 나타나며, 이는 고조파 성분 증가와 전압 품질 저하로 이어진다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 기준 캐리어 비교 신호를 조정하여 데드타임 영향을 보상하는 새로운 제어 기법을 제안한다. 제안된 방법은 데드타임 구간에서 캐리어 신호의 방향을 반전시켜 한 레벨씩 전환되는 전압 상태를 보장함으로써 출력 전압 오차를 최소화하고, 동시에 스위칭 횟수를 줄여 전력 손실 측면에서도 이점을 제공한다. 본 기법은 추가적인 하드웨어 변경 없이 소프트웨어적으로 구현이 가능하다. 시뮬레이션과 실험 결과, 제안된 방식이 기존 제어 방법에 비해 전압 왜곡률(THD, Total Harmonic Distortion)을 크게 감소시키고 전체 출력 파형 품질을 향상시킴을 확인하였다.

Key Words : 멀티레벨 컨버터(Multilevel converter), 데드타임 보상(Dead-time compensation), 캐리어 기반 PWM (Carrier-based PWM)

[†] Corresponding author, E-mail: jmkwon@hanbat.ac.kr

태양광 발전 시스템의 고장진단 AI모델

A study on Artificial Intelligence Fault Diagnosis Model for Photovoltaic Systems

오민재*, 손명우*[†]

Min-Jae Oh*, Myungwoo Son*[†]

*한국광기술원, AI에너지연구센터

Abstract : 본 연구는 전력 데이터 기반 태양광 발전 시스템의 고장판별 및 유형을 분석 기능의 인공지능 모델을 개발하였다. 태양광 모듈의 데이터 수집을 위해 정상 및 고장(누설, 지락, 단선, 음영)을 설계하고, 실내·외에서 시스템을 구축하였다. 실내에서는 시뮬레이션 챔버를 통해 다양한 온도(5-25 °C)와 일사량(500-900 W/m²) 조건에서 데이터를 수집하였다. 실외에서는 실제 태양광 발전 환경에서 인버터 데이터를 수집하였다. 정상 및 고장 태양광 시스템의 전력 데이터를 기반으로 K-fold 교차 검증을 적용하여 고장 진단 모델을 개발하였으며, 시뮬레이션 데이터를 활용한 AI 모델은 고장 유형 분석 정확도는 약 88% 이상이고, 실외 발전 환경으로 수집된 데이터를 활용한 모델은 약 90%의 정확도를 나타냈다. 그리고, 고장 진단에 대한 재현율, 정밀도 및 F1-score는 각각 98.1%, 97.7%, 98.0%의 신뢰도를 보였다. 그 결과 제안된 고장진단 모델은 태양광 발전 시스템의 고장 예측 및 지능형 모니터링에 효과적으로 활용될 수 있으며, 유지보수 비용 절감과 복구 시간 단축에 기여할 수 있다.

Key Words : 고장진단 알고리즘(Fault diagnosis algorithm), 고장 원인 분석 모델(Fault types analysis model), 인공지능(Artificial intelligence), 태양광 발전 시스템(Photovoltaic system)

[†] Corresponding author, E-mail: mwson@kopti.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 (RS-2024-00419184)..

연약 지반에 적용된 핀타입 DP 기초와 헬리컬 기초의 성능 비교

Performance Comparison of Pin-type DP and Helical Foundations Applied to Soft Ground

신주엽*[†], 최태원**, 박진현**, 박주상**, 노우영**

Juyeop Shin*[†], Teawon Choi**, Jinhyun Park**, Jusang Park**, Uyeong Noh**

*(주)이시스템, **(주)유에너지

Abstract : 영농형 태양광 발전의 확산에 따라 하부 영농 활동을 저해하지 않는 효과적인 기초 공법이 중요해졌으나, 기존 방식들은 명확한 한계를 보이고 있다. 대표적인 콘크리트 기초는 구조물의 정렬을 맞추기 용이하지만, 넓은 범위의 토지를 굴착해야 하므로 표토층을 교란시키고 원상복구가 어렵다. 이를 보완하는 파일 기초 방식 역시 대부분 중장비를 동원하므로, 토양 다짐 현상을 유발해 작물 성장을 방해하는 요인이 된다. 연약 지반의 대안으로 쓰이는 헬리컬 기초마저 시공 중 날개 손상 및 중장비로 인한 지반 교란 가능성이 여전히 단점으로 지적된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해, 본 연구에서는 소형 장비나 인력으로 시공하여 지반 교란을 최소화하는 핀타입 DP 기초를 대안으로 제시하고자 한다.

본 성능 비교 연구는 주 토질이 미사질양토(Silt Loam)인 고흥군 간척지에서 현장 실증 시험으로 수행될 예정이다. 동일한 지반 조건에 4주식(4-post) 태양광 구조물 3세트를 설치하고, 각 구조물에는 핀타입 DP 기초(핀 길이 1.5 m, Φ 48.3 mm, T 4.0 mm 4개)와 헬리컬 기초(길이 2.5 m, Φ 114.3 mm, T 4.5 mm, 블레이드 3개, Φ 350.0 mm, T 4.0 mm)를 각각 12개씩 적용한다. 기초 설치 완료 후, 각 타입에 대해 수직 및 수평 인발 시험을 실시하여 최대 지지력과 하중에 따른 변위 특성을 정밀하게 측정하고, 이를 통해 두 공법의 구조적 안정성과 성능을 정량적으로 비교 분석하고자 한다.

본 연구는 핀타입 DP 공법이 기존 헬리컬 공법을 대체할 수 있는 대안인지, 혹은 특정 조건에서 상호 보완적인지 판단할 공학적 근거를 마련하는 데 의의가 있다. 연구 결과는 향후 연약 지반의 설치 한계를 극복하고, kW당 단가 절감을 통해 경제성과 구조적 안정성을 동시에 확보하는 최적의 기초 설계에 중요한 자료로 활용될 것이다.

Key Words : 영농형 태양광(Agrivoltaic system), 핀타입 DP 기초(Pin-type DP foundation), 헬리컬 기초(Helical foundation), 연약 지반(Soft ground), 인발 시험(Pullout test)

[†] Corresponding author, E-mail: sjy@esystem339.co.kr

후 기

본 연구는 2024년 중부발전 현장기술개발 사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 재2024-현장-05호)
본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00459428)

전극 시트 기반 셀/모듈 일체화 공정에 적용되는 전도성 페이스트의 개발 및 최적화

Development and Optimization of Conductive Paste for Electrode Sheet-Based Cell/Module Integration Processes

권용준*, 김준원*, 박민규*, 조성준*, 서성덕*, 성빈*, 임동건*[†]

Yong Joon Kwon*, Jun Won Kim*, Min Gyu Kwak*, Sungjun Cho*,

Sung Deok Seo*, Bin Seong*, Donggun Lim*[†]

*한국교통대학교 전자공학과

Abstract : 결정질 실리콘 태양전지는 효율이 이론적 한계에 근접함에 따라 추가 효율 향상을 위한 비용이 급증하고 있다. 이에 셀과 모듈을 통합하는 셀-모듈 일체화 공정은 생산 단가 절감의 좋은 대안으로 제시된다. 본 연구에서는 모듈 적층 공정에서 전극 역할을 수행할 수 있는 전극 시트 기반 모듈 제조 기술을 제안하였다. 전극 시트 기반 모듈은 버스바가 없는 셀을 사용하며, 셀과 전극 시트는 라미네이션 공정에서 200°C 이하에서 완전 경화되어 접착된다. 이를 위해 은(Ag) 입자와 에폭시 또는 열가소성 수지를 이용한 전도성 페이스트를 개발하였으며, 70% 이상의 은 함량과 미세 입자화를 통해 저항률을 최소화하였다. 또한 에폭시계 및 열가소성 수지의 조성을 최적화하여 상호 보완적 특성을 확보하였다. 전극 시트는 PET와 EVA 필름에 미세 홈을 형성하고 페이스트를 충전·경화하는 방식으로 제작되었으며, 이를 적용한 모듈은 17% 이상의 효율을 달성하였다. 다만, 전극 저항으로 인한 추가 효율 향상은 제한되었으며, 이는 향후 페이스트 조성 및 공정 최적화를 통해 개선 가능할 것으로 기대된다. 신뢰성 시험(85°C, 85%RH, 1,000시간) 결과 출력 감소 없이 오히려 증가하는 현상이 나타났으며, 이는 라미네이션 과정에서의 불완전 접촉이 신뢰성 시험에서 오히려 개선된 것으로 판단된다. 본 연구는 향후 셀-모듈 일체형 구조의 공정 단순화 및 원가 절감을 위한 핵심 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : 전극시트(Electrode sheet), 셀/모듈 일체화 공정(Cell/module integration process), 라미네이션(Lamination), 전도성페이스트(Conductive paste)

[†] Corresponding author, E-mail: dglim@ut.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년 국립한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

유한요소해석 데이터 기반 고충실도 대체모델을 활용한 태양광모듈의 최적 설계 프레임워크

Optimal Design Framework for Large Scale PV Modules Using High-fidelity Surrogate Model

한동운*, 김효규*, 최동진*, 김성탁*[†]

Dongwoon Han*, Hyokyu Kim*, Dongjin Choi*, Seongtak Kim*[†]

*한국생산기술연구원 강원기술실용화본부 기능성소재부품그룹

Abstract : This study presents an advanced optimal design framework for photovoltaic (PV) module frames by employing a deep learning-driven surrogate model trained on finite element analysis (FEA) data. Conventional PV modules have retained standardized frame structures for decades, leading to limited design variation. However, the growing size of PV cells, the rise of building-integrated PV systems with diverse geometries, and the industry's movement away from aluminum frames for carbon reduction demand more tailored design solutions. To meet these challenges, a high-fidelity deep learning surrogate model with over 99% prediction accuracy is developed and applied to frame optimization. The proposed method enables the creation of lighter frames while maintaining or improving structural performance compared to traditional designs.

Key Words : 태양광모듈(Photovoltaic module), 유한요소해석(Finite element analysis), 고충실도(High-fidelity), 대체 모델(Surrogate model), 딥러닝(Deep learning)

[†] Corresponding author, E-mail: seongtak@kitech.re.kr

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 연구개발적립금사업 및 중소·중견기업생산기술실용화및기술지원사업의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 : UR-25-0068, JC-24-0015, JC-25-0018)

폐태양광셀을 활용한 소광아연으로부터 아연의 선택적 환원을 위한 회수 연구

A Study on the Selective Reduction of Zinc from Calcine Using Waste Solar Cells

김창정^{*,***}, 김진성^{*,***}, 임아진^{*,***}, 최민서^{*,***}, 왕제필^{**,****†}

Changjeong Kim^{*,***}, Jinseong Kim^{*,***}, Ajin Im^{*,***},

Minseo Choi^{*,***}, Jeipil Wang^{**,****†}

*부경대학교 금속공학과, **부경대학교 융합소재공학부 금속공학전공, ***BB21 Plus Team

Abstract : 아연(Zn)은 도금, 합금, 전자소자 등 다양한 산업 분야에서 필수적으로 사용되는 핵심 금속이지만, 천연 자원의 매장량이 한정되어 있어 폐자원으로부터의 Zn 회수 기술 개발이 점차 중요해지고 있다. 또한 기존의 탄소계 환원 공정은 높은 에너지 소비와 온실가스 배출을 수반하므로, 비탄소계 환원제를 활용한 친환경 제련 공정의 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 폐태양광셀(Waste Photovoltaic Cells, W-PCs)에 함유된 비탄소계 환원제 성분인 실리콘(Si)을 이용하여 소광아연(Zn Calcine)으로부터 금속 아연을 회수하기 위한 건식 환원 공정을 수행하였다. ZnO와 W-PCs의 혼합비는 몰비 기준으로 1:1, 1:2, 1:3으로 조정하였으며, 반응 온도와 유지시간은 각각 1000 °C, 1 h로 고정하였다. 환원 반응 후 응축부에서 생성물을 회수하여 XRD와 SEM 분석을 통해 상 변화와 미세구조를 확인하였고, 잔존물은 XRF와 ICP 분석을 통해 Zn 함유량을 정량화하였다. SEM 분석 결과, 높은 아연 함유량과 약 38 µm 수준의 입도를 확인할 수 있었으며, 이는 환원 반응 중 생성된 금속 Zn이 미세하게 응축했음을 시사한다. 실험 결과, W-PCs 첨가량이 증가할수록 Zn의 환원 및 응축 효율이 향상되었으며, ZnO : W-PCs = 1 : 3 (몰비) 조건에서 가장 높은 반응성과 금속상 형성을 나타냈다. 최종적으로, 해당 조건에서 약 96 %의 Zn 회수율과 높은 순도의 금속상이 확보되었으며, 이는 폐태양광셀 내 Si이 ZnO 환원 반응을 촉진하는 효과적인 비탄소계 환원제임을 입증하였다.

Key Words : 폐태양광셀(Waste Photovoltaic Cells), 소광아연(Zn Calcine), 실리콘(Silicone), 비탄소계 환원제(Non-Carbon Reductant), 건식 환원(Pyrometallurgical reduction)

† Corresponding author, E-mail: jpwang@pknu.ac.kr

후 기

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원과 ('RS-2024-00448329')부산광역시 및 (재)부산테크노파크의 BB21plus 사업으로 지원된 연구임

태양광 폐모듈 재활용 실리콘의 2단계 직접 질화를 통한 고순도 Si_3N_4 합성

Rapid Synthesis of High-Purity Si_3N_4 through Two-Step Direct Nitridation of Recycled Silicon from End-of-Life Photovoltaic (EoL PV) Modules

손주희^{*,***}, 강기환^{**}, 임원빈^{***}, 이진석^{*†}

Juhee Son^{*,***}, GiHwan Kang^{**}, Wonbin Im^{***}, Jinseok Lee^{*†}

^{*}한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, ^{**}한국에너지기술연구원 태양광연구단,

^{***}한양대학교 일반대학원 신소재공학과

Abstract : 전 세계적으로 에너지 전환과 탄소중립 실현을 위한 노력이 강화되면서, 태양광 발전은 대표적인 청정에너지로서 그 보급이 급속히 증가하고 있다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면, 최근 몇 년간 태양광 발전의 신규 설치 용량은 꾸준히 증가하여 전 세계 전력 생산에서 차지하는 비중이 지속적으로 확대되고 있다. 그러나 이와 같은 급격한 보급 확산은 가까운 미래에 대량의 폐태양광 모듈 발생을 초래할 것으로 예상되며, 이에 따른 환경적 문제와 자원 순환의 중요성이 새롭게 대두되고 있다. 본 연구에서는 폐태양광 모듈에서 회수한 재활용 실리콘(recycled silicon, r-Si)을 에칭 공정을 통해 고순도로 정제한 후, 이를 원료로 질화규소(Silicon nitride)를 합성하였다. 진공 상태에서 질소-수소 혼합 분위기를 조성하여 질화 반응을 수행하였으며, 질소와 실리콘이 반응하는 1350°C에서 장시간 질화 공정을 진행했음에도 불구하고 질화율은 낮게 나타났다. 이에 먼저 1350°C에서 실리콘 표면에 질화 피막을 형성한 뒤, 실리콘의 용점 이상으로 온도를 올려 추가 질화를 진행하는 2단계 질화 공정을 적용하였다. 그 결과, 짧은 공정 시간에도 높은 질화율을 보이는 것을 XRD 분석을 통해 확인하였으며, SEM, PSA 분석을 통해 최적 공정 조건을 도출하였다. 또한, 각 온도 단계에서의 반응을 포함한 2단계 질화 공정에서의 상 형성 메커니즘을 고찰하였다. 본 연구는 폐태양광 모듈로부터 회수한 실리콘의 고부가가치 활용 가능성을 입증함과 동시에, 질화 규소 원료의 국산화 및 자원순환형 소재 개발의 기반을 마련하는 데 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

태양광 폐모듈로부터 고순도 실리콘 회수를 위한 응집억제 및 TiO_2 제거

High-Purity Silicon Recovery from Waste Photovoltaic Modules via Aggregation Control and TiO_2 Removal

이성표^{*,***}, 강기환^{**}, 장효식^{***}, 이진석^{*†}

Seong-Pyo Lee^{*,***}, Gi-Hwan Kang^{**}, Hyo-Sik Chang^{***}, Jin-Seok Lee^{*†}

^{*}한국에너지기술연구원 신재생시스템연구실, ^{**}한국에너지기술연구원 태양광연구단,

^{***}충남대학교 에너지과학기술대학원

Abstract : 태양광발전은 전 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 지속 가능한 에너지원 중 하나로, 기후변화 대응에 핵심적인 역할을 하고 있다. 이에 따라, 2000년대 초에 설치된 태양광 발전설비들이 25-30년의 수명을 다하는 시기가 도래하며 태양광 폐모듈의 발생량이 급증할 것이 예상되기에 폐모듈 재활용 기술의 중요성이 부각되고 있다. 태양광 폐모듈 내에는 핵심 원료인 실리콘을 포함하여, 알루미늄, 은, 구리 등의 유가 금속이 포함되어 있다. 이 중 실리콘을 재활용하는 것은 에너지 집약적인 실리콘 정제공정을 회피할 수 있기에 환경영향을 최소화하고, 순환 경제를 실현하는 핵심 요소가 될 것이다. 본 연구에서는 태양광 모듈에 포함되는 불순물의 함량을 최소화하고 고순도 실리콘을 회수하기 위한 효율적인 공정을 제시한다. 실리콘 웨이퍼를 파쇄할 때, 파쇄장비의 높은 RPM은 분말의 응집을 유발하며, 이후 산 에칭 과정에서 금속불순물 제거 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서 분쇄장비의 RPM을 최적화된 낮은 수준으로 제어하여, 분말간의 응집을 최소화하였다. 조건별 분말의 응집도를 PSA, SEM 분석을 통해 확인하였으며, 최종적으로 염산에칭을 적용하여 타겟물질인 Al의 제거효율을 확인하였다. 한편, 화학적으로 안정하여 에칭으로 제거되지 않는 산화불순물인 TiO_2 는 에칭 후에도 분말에 잔류하여 최종제품에 순도를 저하시킨다. TiO_2 는 실리콘 입자보다 현저히 작은 크기를 갖는 것에 착안하여, 본 연구에서는 에칭 후 분말들이 액상에 부유된 상태에서 선택적 침강을 적용하여 분말에서 TiO_2 를 분리하였다. 5분의 침강시간을 적용하여 입자크기가 큰 실리콘은 90%이상 회수하면서 미세한 TiO_2 분말은 70%이상 제거하였다. 해당 두가지 최적 조건을 적용하여 3N(99.9%)이상 순도의 실리콘을 확보하였으며, 이러한 순도는 배터리음극재, 세라믹합성 다양한 고부가가치 산업공정의 원료로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다.

Key Words : 태양광 폐모듈(Waste photovoltaic modules), 실리콘 재활용(Silicon recycling), 응집제어(Aggregation control), 입자 크기 분리(Particle size separation)

[†] Corresponding author, E-mail: jslee@kier.re.kr

저수지 기반 부유식 태양광-전력가스 변환(FPV-P2G) 시스템의 그린수소 생산 잠재력 평가

Assessment of Green Hydrogen Production Potential of Reservoir-Based FPV-P2G Systems

이준현*, 강소연*, 김도희*, 강민경**, 박정우**, 현창욱**†

Junhyun Lee*, Soyeon Kang*, Dohee Kim*, Minkyong Kang**, Jeongwoo Park**,
Chang-Uk Hyun**†

*동아대학교 환경·에너지공학부 미래에너지공학전공, ** 동아대학교 에너지·자원공학과

Abstract : 저수지는 주변 구조물이 적고 수면의 냉각 효과로 인해 태양광 모듈의 온도를 낮출 수 있어 육상보다 발전 효율이 높은 특징을 가진다. 이러한 특성은 부유식 태양광 발전(floating photovoltaic, FPV) 설비와 전력가스 변환(power-to-gas, P2G) 시스템을 연계할 경우 안정적인 재생에너지 생산과 수소로의 전환을 가능하게 한다. 본 연구는 부산광역시 내 저수지를 대상으로 FPV 기반 P2G 시스템을 적용하여 그린 수소를 생산하고 이를 수소버스의 연료로의 활용을 평가하고자 하였다. 이를 위해 PlanetScope 위성영상에 정규수분지수(normalized difference water index)를 적용하여 저수지의 수역 면적을 정량화하고 시기별 수위 변동을 반영하여 FPV 설치에 적합한 저수지 영역을 선정하였다. 태양광 발전량 산정을 위해 ArcGIS 소프트웨어의 공간분석 기반 태양광 발전 잠재력을 평가하고 이 과정에서 일사량 데이터를 함께 활용하여 발전량을 계산하였다. 계산된 발전량을 바탕으로 생산 가능한 수소량을 산출한 뒤 부산시 수소 전기버스의 연간 연료 수요와 비교하여 공급 대체 가능성을 분석하였다. 분석 결과 FPV 기반 P2G 시스템으로 생산된 수소는 도시형 무공해 교통체계의 연료로 공급 가능한 것으로 나타났다.

Key Words : 부유식 태양광 발전(Floating Photovoltaic), 전력-가스 변환(Power-to-Gas), 수소 생산(Hydrogen Production), NDWI (Normalized Difference Water Index), 저수지 활용(Reservoir Utilization)

† Corresponding author, E-mail: cuhyun@dau.ac.kr

후 기

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 부산시의 재원으로 부산RISE혁신원의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2025-RISE-02-003).

작물 생산성 및 발전량 개선을 위한 180도 회전 가변 수직형 영농태양광 발전시스템 타당성 검토

Feasibility Review of 180-Degree Rotary Variable Vertical Agrivoltaic System for Improving Crop Productivity and Power Generation

임철현*[†], 신주엽**, 김근호***, 윤가윤****, 채희관*****

Cheolhyun Lim*[†], Juyoup Shin**, Geunho Kim***, Gayoon Yoon****, Heegwan Chae*****

*한국에너지공과대학교, **이시스템, ***녹색에너지연구원, ****전남농업기술원, *****HKC

Abstract : 기존 분산고정식 영농형 태양광 시스템의 높은 차광률(15~23%) 문제를 해결하기 위해 수직 설치(90°)를 채택하면 차광률을 9% 이하로 낮출 수 있어 작물 생산성 개선이 기대된다. 그러나 수직 고정식(E-W 방위)은 기존 30° 고정 설치 대비 발전량이 ~10% 저하되며, 특히 정오 시간대(10시~14시)에 발전 효율이 취약해지는 근본적인 한계를 갖는다. 본 연구는 수직형의 낮은 차광률 장점은 유지하면서 발전 효율을 획기적으로 개선하고 작물 생육에 최적화된 광환경을 능동적으로 제공하기 위한 180° 회전 수직 가변형 시스템을 설계하고 Solar Pro 5.0 전산 모사를 통해 성능을 정량적으로 분석하였다.

전산 모사 결과, 발전량 우선 180° 회전 방식을 적용했을 때 수직 고정식(E-W) 대비 34.6%의 획기적인 발전량 향상을 달성하였으며, 이는 연간 에너지 수율 측면에서 표준 남향 고정식 대비 11.7% 높은 성능에 해당한다. 더욱이, 180° 풀 추적 모드는 양면성 계수(Bifaciality, 0.5~0.9) 변화에 상관없이 약 124%의 매우 안정적인 에너지 이득을 확보하여 전천후 고효율 운영 가능성을 입증하였다. 또한, 설치 높이를 0.5m에서 2m까지 증가시켰을 때 발전량이 약 1% 상승하는 것을 확인하여 시스템 설계 최적화 요소를 도출하였다. 작물 생육 우선 모드(90°/90° 회전) 운영 시에도 수직 고정식 대비 5.9%의 추가 발전량을 확보하여, 작물 생육 단계에 따른 광환경 능동 제어의 기반을 마련하였다.

시스템의 고신뢰성 확보를 위한 설계 결과로서, 모듈의 풍하중에 대한 구조적 안전성을 극대화하는 웹 기어의 자가 잠금 특성을 활용하였으며, 농지 환경에 최적화된 무원활 플라스틱 베어링 및 루트 타입(PIN) 지지 공법을 적용하여 시스템의 운영비용(OPEX) 및 유지보수(O&M) 부담을 최소화하였다. 현재 전남 나주 농업기술원 내 2,000m² 규모의 실증단지 구축을 완료하고, 전산 모사 결과를 바탕으로 현장 검증을 추진 중이다.

Key Words : 수직 영농형 태양광 (Vertical Agrivoltaic System), 180도 회전형 태양광 (180-Degree Rotary PV), 발전량 향상(Energy Yield Improvement), 차광 제어(Shading Control), 고신뢰성 구동부(High-Reliability Actuator)

[†] 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).

동·서향에 따른 태양광 발전시스템의 경제성 평가

An Economic Feasibility Analysis of East-West Oriented Solar Photovoltaic Systems

김주희*, 김민국*, 박영아*, 양혜정*, 김용현*[†]

Ju-Hee Kim*, Minkook Kim*, Young-Ah Park*, Hye-Jeong Yang*, Yong Hyun Kim*[†]

*한국광기술원 AI에너지연구센터

Abstract : 탄소 중립 실현과 재생에너지 확대 정책이 가속화됨에 따라 태양광 시스템은 대표적인 분산형 에너지원으로 주목받고 있다. 그러나 기설치된 산업단지나 건물 옥상의 경우, 배치에 따라 남향 설치 방식(예: 피크 타임 전력 공급 집중으로 인한 전력 차단 발생 등)의 한계가 존재한다.

동·서향 태양광 발전시스템은 태양광 모듈을 동쪽과 서쪽으로 배치함으로써, 아침과 저녁 시간대의 일사량을 효율적으로 활용할 수 있다. 이러한 구조는 태양광 발전량의 평탄화, 계통 부하 곡선의 일관성 향상, 옥상 공간 활용 효율 증대 등의 장점이 있다. 그러나 태양광 피크 출력 감소 및 일일 총발전량의 감소로 인해 경제성 측면에서 불리할 수 있어, 균등화발전비용(LCOE)과 같은 정량적 경제성 평가가 필요하다.

본 연구에서는 동·서향 태양광 발전시스템의 경제성 분석을 위하여, 동향 3 kW, 서향 3 kW, 남향 6 kW로 태양광 발전시스템을 각각 구축하였으며, 남향 태양광 발전시스템의 경우, 3 kW 태양광 발전시스템 두 대를 병렬로 구성하여 총 6 kW 용량으로 설계하였다. 발전량 데이터는 모니터링 시스템을 통하여 실시간으로 수집되며, 1일 간격으로 전처리하여 시계열 분석 및 LCOE 산출에 활용하였다. LCOE의 경우, 초기 설치비, 유지보수비, 발전량, 시스템 수명 등을 고려하여 경제성을 평가하였다. 25년 8월 약 한 달간의 발전량 분석 결과, 남향 태양광 발전시스템의 월간 발전량은 731.89 kWh, 동·서향 태양광 발전시스템의 월간 발전량은 672.01 kWh로 동·서향 태양광 발전시스템의 발전량이 남향 대비 약 8.2% 낮은 수준으로 확인되었다. 이 결과를 기반으로 본 연구는 동·서향 태양광 발전시스템의 LCOE 분석을 통한 경제성 평가를 수행하고, 이를 토대로 산업단지 내 동·서향 태양광 발전시스템의 실용화 및 확산 가능성을 제시하고자 한다.

Key Words : 동·서향 태양광 발전시스템(East-West oriented PV system), 경제성 타당성(Economic Feasibility), 균등화 발전비용(LCOE, Levelized Cost of Energy), 산업지붕 태양광(Rooftop Solar in Industrial Complexes), 탄소중립(Carbon Neutrality)

[†] Corresponding author, E-mail: yonghyun@kopti.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00398351)

태양광 전주기 이력관리를 위한 모듈 고장 분류 체계 연구

Study on a Classification System for Photovoltaic Module Life Cycle Management

김창현*[†], 김주희*, 문정민*

Changheon Kim*[†], Ju-Hee Kim*, Jungmin Moon*

*한국광기술원 AI에너지연구센터

Abstract : 지속가능한 에너지 전환이 전 세계적으로 가속화되면서, 태양광 발전은 대표적 재생에너지로 확고히 자리매김하고 있다. 정부의 제도적 지원과 기술 혁신을 바탕으로 태양광 발전소 보급이 빠르게 확대되고 있으며, 이는 전력 부문의 탈탄소화와 에너지 자립을 견인하는 핵심 수단으로 기능한다. 다만 설비 규모가 커질수록 운영·유지보수의 효율성을 제고하는 과제가 동시에 부상하고 있다. 태양광 모듈의 성능 열화와 고장은 발전 효율 저하 및 경제적 손실로 직결된다. 이러한 이상은 기후·환경 조건(온도, 습도, 오염·먼지), 제조 단계의 결함, 설치상의 오류, 운전 중 발생하는 물리적 손상 등 복합적 요인으로부터 발생할 수 있다. 따라서 모듈 이상을 조기에 탐지하고 신속히 대응하는 체계를 갖추는 것은 발전소의 안정적 운영과 수익성 확보를 위해 필수적이며 태양광 모듈의 장주기 신뢰성 확보를 위해서는 미약한 성능 저하부터 잠재 결함까지 조기에 가시화하고, 고장 심각도와 잔여수명을 정량화하는 통합 프레임워크가 필요하다.

본 연구에서는 모듈 고장 진단의 체계화를 위해, 고장 분류에 대한 선행 연구를 바탕으로 향후 모듈 고장 및 수명에 대한 예측 알고리즘 개발 등 효과적인 진단 기법을 제시하고자 한다. 또한 고장 유형을 분류하고 최신 진단 기술(예: 열화상 이미지 분석, 머신러닝 기반 진단 알고리즘, IoT 기반 실시간 모니터링 등)의 적용 가능성을 검토하여 태양광 발전소 운영 최적화를 위한 방향성을 모색한다.

Key Words : 태양광모듈(Photovoltaic Module), 인공지능(Artificial intelligence, AI), 수명주기(Life cycle), 가속 시뮬레이션(Acceleration simulation), 재활용(Recycling)

[†] Corresponding author, E-mail: chkim@kopti.re.kr

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (RS-2024-00358809)

산업 적용에 적합한 실리콘 태양전지 소수 반송자 수명 분석 방법

A Minority Carrier Lifetime Analysis Method of Silicon Solar Cells for Industrial Application

이상희*, 송희은*, 정경택*

Sang Hee Lee*, Hee-eun Song*, Kyung Taek Jeong*

*한국에너지기술연구원 태양광 연구단

Abstract : In the past few years, the silicon photovoltaic industry has been competing for technology to reduce the cost of cost/ W_{peak} by improving the conversion efficiency of solar cells. However, as silicon solar cell efficiency approaches the theoretical limit it has become important to increase the efficiency distribution of cells by managing the loss factors existing in the production process. Even though some companies are managing the efficiency distribution through the in-line analysis equipment, preventive action for reducing process defects are not yet accomplished. For preventing process defects in advance, big data management is required to correlate the process conditions and solar cells parameters. Hence, an analysis method, which can simply evaluate detail properties of completed solar cells will be a key technique in future PV industries. In this paper, we introduced an advanced injection-dependent carrier lifetime analysis logic that can subdivide detail recombination factors by fitting the carrier lifetime graph obtained by the Suns- V_{oc} measurement with a theoretical graph. In order to verify this analysis method, 160 solar cells, which were commercially manufactured, were evaluated. At the end of the paper, we summarize the quantitatively evaluated gains for the low efficiency cells.

Key Words : 소수 캐리어 수명(Minority carrier lifetime), 재결합 전류밀도(Recombination current density). PERC 태양 전지(PERC solar cells)

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

Poly-Si 두께와 인쇄전극 소성 온도가 TOPCon 태양전지의 금속 재결합과 접촉비저항에 미치는 영향

Effect of Poly-Si Thickness and Firing Temperature on Metal Induced Recombination and Contact Resistivity of TOPCon Solar Cells

이상희*, 송희은*, 정경택*,

Sang Hee Lee*, Hee-eun Song*, Kyung Taek Jeong*

*한국에너지기술연구원 태양광 연구단

Abstract : Advances in screen printing technology have been led to development of high efficiency silicon solar cells. As a post PERx structure, an n-type wafer-based rear side TOPCon structure has been actively researched for further open-circuit voltage (Voc) improvement. In the case of the metal contact of the TOPCon structure, the poly-Si thickness is very important because the passivation of the substrate will be degraded when the metal paste penetrates until substrate. However, the thin poly-Si layer has advantages in terms of current density due to reduction of parasitic absorption. Therefore, poly-Si thickness and firing temperature must be considered to optimize the metal contact of the TOPCon structure. In this paper, we varied poly-Si thickness and firing peak temperature to evaluate metal induced recombination (Jom) and contact resistivity. Jom was evaluated by using PL imaging technique which does not require both side metal contact. As a results, we realized that the SiNx deposition conditions can affect the metal contact of the TOPCon structure.

Key Words : TOPCn 태양전지(TOPCon solar cell), 금속 재결합(Metal induced recombination), 광발광 이미징 (Photoluminescence imaging), 접촉비저항(Contact resistivity)

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

P⁺ 이미터 상 Ag/Al 접촉 형성의 최적화를 통한 TOPCon 태양전지 성능 향상

Optimizing Ag/Al Contact Formation on P⁺ Emitters for Improved TOPCon Solar Cell Performance

조윤애*[†], 박준성*, 김용진*, 이상희*, 정경택*, 송희은*

Yunae Cho*[†], June Sung Park*, Yong Jin Kim*, Sang Hee Lee*, Kyung Taek Jeong*, Hee-eun Song*

*한국에너지기술연구원 태양광연구단

Abstract : 고효율 실리콘 태양전지 구현을 위해서는 패시베이션층과 금속 접촉층의 최적화가 필수적이다. 터널 산화막 패시베이트드 콘택트(TOPCon) 구조는 우수한 계면 패시베이션과 낮은 접촉 저항을 동시에 달성할 수 있어 차세대 고효율 태양전지로 주목받고 있다. 본 연구에서는 TOPCon 태양전지의 전면부 p⁺ 보론 이미터 위에 형성된 SiNx/Al₂O₃ 이중 패시베이션층과 Ag/Al 금속 페이스트 간의 접촉 형성 과정을 조사하였다. 특히, 소성(firing) 공정의 burn-out 구간 및 피크 온도 변화가 금속화 특성과 소자 성능에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 소성 프로파일의 변화를 통해 형성된 금속 접촉의 구조적·물리적 특성은 X선 회절(XRD)과 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석하였으며, Ag/Al 합금상의 형성 메커니즘을 규명하였다. 또한, 비저항(specific contact resistance)과 셀 효율의 상관관계를 비교함으로써 최적의 소성 조건을 도출하였다. 본 연구는 Ag/Al 금속 접촉 형성 과정에 대한 이해를 심화시키고, TOPCon 태양전지의 고효율화를 위한 최적 공정 설계에 기여할 것으로 기대된다.

Key Words : c-Si solar cells(결정질 실리콘 태양전지), 전극공정(Metallization), 은/알루미늄 페이스트(Ag/Al paste)

[†] Corresponding author, E-mail: yacho@kier.re.kr

전 공정 진공증착 페로브스카이트 태양전지의 실리콘/페로브스카이트 이중접합 태양전지

All-vacuum Process Silicon/perovskite Tandem Solar Cells

김기륜*, 박지혜*, 장효식*^{**,†}

Giryun Kim*, Jihye Park*, Hyo Sik Chang*^{**,†}

*충남대학교 에너지과학기술대학원, **충남대학교 에너지공학과

Abstract : This study introduces a fully vacuum-processed fabrication approach using atomic layer deposition (ALD) and thermal evaporation. ALD provides atomic-scale precise control over layer thickness, enabling the fabrication of thin films tailored to optimize the perovskite layer. By adjusting deposition parameters and fine-tuning layer thicknesses, we achieved growth of surface-chemistry-optimized layers with excellent electrical and optical properties, while minimizing interlayer interferences. This method facilitates the formation of uniform, high-quality, and defect-minimized multilayer structures on textured substrates. Structural and optical characterizations including X-ray diffraction (XRD), UV-Vis spectroscopy, and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) confirm the crystallinity, surface chemistry, and reduced defect density of the films. The wide bandgap perovskite layer was deposited via thermal evaporation, followed by the formation of recombination and interfacial layers under controlled vacuum conditions. Interface integrity and uniformity were verified through characterization, underscoring their importance for device performance.

ALD NiOx was deposited with self-assembled monolayers (SAMs) to enhance charge extraction efficiency and stability at the interfaces. The resulting devices demonstrated a power conversion efficiency (PCE) of up to 28%, with notable improvements in open-circuit voltage (Voc), fill factor (FF), and reduced recombination losses. This scalable vacuum process facilitates the fabrication of high-quality, multilayered tandem devices with minimized interlayer interference, paving the way for scalable production of large-area, high-performance photovoltaic modules.

Key Words : 탠덤 태양전지(Tandem solar cell), 진공 박막 증착(Vacuum thin-film deposition), 페로브스카이트(Perovskite), 결정질 실리콘 태양전지(Crystallin Si solar cell), 원자층증착법(ALD)

[†] Corresponding author, E-mail: hschang@cun.ac.kr

후 기

본 연구는 2023년도 KETEP 신재생에너지핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 00236664).

전해채취를 통한 태양광 폐 모듈의 Cu 회수율 향상을 위한 최적화 연구

Optimization of Copper Recovery from Waste Photovoltaic Modules Via Electrowinning

조세연*, 김수환**, 박종성***†

Seyeon Cho*, Suhwan Kim**, Jongsung Park***†

*경상국립대학교 에너지시스템공학과, **경상국립대학교 미래융복합기술연구소,

***경상국립대학교 에너지공학과

Abstract : The rapid growth of solar energy is generating increasing amounts of end-of-life(EOL)voltaic panel waste, expected to rise significantly in the coming decades. The recoverable materials from this waste stream are projected to be worth USD 450 million by 2030 and USD 15 billion by 2050, highlighting strong economic incentives for recycling. Copper (Cu) recovery from photovoltaic (PV) panels is essential due to its presence in both crystalline silicon panels and copper-indium-gallium-selenide (CIGS) panels, which constitute significant portions of the solar market. Cu accounts for approximately 1% of PV panel weight, primarily found in electrical components of crystalline silicon panels and as a key semiconductor element in CIGS panels. Efficient recovery of Cu not only enhances the economic viability of recycling but also addresses the complex separation challenges unique to different PV technologies, enabling resource conservation and reducing environmental burdens associated with primary metal production. Copper recovery from photovoltaic panels employs physical, chemical, and electrochemical methods. Electrochemical recovery offers precise extraction and purification, achieving up to 88.5% recovery and >99% purity, thus improving recycling efficiency and metal quality. This study aims to optimize electrochemical conditions for electrowinning to achieve high copper recovery (>99%) and purity (Cu 99.9%). Residual copper nitrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) is chemically converted to copper sulfate (CuSO_4) by adding sulfuric acid (H_2SO_4), which serves as the electrolyte in the electrowinning process. Current measurements were performed to evaluate the effect of sulfuric acid concentration on copper recovery performance and electrochemical behavior.

Key Words : 구리 회수(Copper recovery), 전해채취(Electrowinning), 태양광폐모듈(waste photovoltaic modules), 황산 구리(copper sulfate, CuSO_4)

† 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-2023-0030745)

기판 가열을 병행한 Co-sputtering 공정을 통한 AgBiS₂박막의 조성 안정성 향상

Enhanced Compositional Stability of AgBiS₂ Thin Films through Co-sputtering with Substrate Heating

나누리*[†], 김수환**, 박종성*^{**,}

Nuri Na*[†], Suwhan Kim**, Jongsung Park*^{**,}

*경상국립대학교 에너지시스템공학과, **미래융복합기술연구소

Abstract : AgBiS₂ is a promising light-absorbing material for next-generation solar cells owing to its suitable bandgap of approximately 1.3 eV and high absorption coefficient. However, solution-based processes often cause local atomic compositional inhomogeneity, leading to degraded light absorption performance.

To address this issue, a co-sputtering process with substrate heating applied during deposition was introduced in this study (Fig. 1). Substrate heating effectively suppressed sulfur evaporation and minimized compositional deviation during film growth, enabling the formation of uniform and stable AgBiS₂ thin films without any post-treatment.

Even after post-deposition annealing, the sulfur composition remained nearly unchanged (Table 1), indicating that temperature control during the sputtering process plays a crucial role in maintaining compositional stability. These results demonstrate that substrate-heating-assisted co-sputtering is a practical approach for improving the compositional stability of AgBiS₂ thin films.

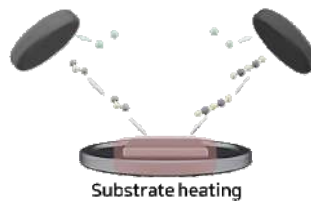


Figure 1. Co-sputtering structure with substrate heating

Table 1. Changes in Sulfur Composition Ratio

	Before Annealing	After Annealing
S	50.26	50.25
Ag	23.23	22.80
Bi	26.51	26.95

Key Words : AgBiS₂박막(AgBiS₂Thin Film), 공동 스퍼터링(Co-sputtering), 기판 가열(Substrate heating)

[†] Corresponding author, E-mail: 220153103@gnu.ac.kr

SAM을 활용한 PIN 구조의 열증착된 AgBiS₂ 박막 태양전지

Thermally Evaporated AgBiS₂ Thin Film Photovoltaic Device via PIN Structure with a Self-Assembled Monolayer

최민호*, 박종성*[†]

Minho Choi*, Jongsung Park*[†]

*경상국립대학교 에너지시스템공학과

Abstract : Developing efficient, lead-free thin-film photovoltaics is essential for enabling flexible, lightweight, and environmentally friendly energy technologies. AgBiS₂ is particularly attractive as an absorber because it is earth-abundant and non-toxic, exhibits a high absorption coefficient ($\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$), and offers a near-ideal band gap ($\sim 1.3 \text{ eV}$) for single-junction solar harvesting. Here, we report the first PIN-structured AgBiS₂ solar cells employing MeO-2PACz as a hole-selective self-assembled monolayer, in which the AgBiS₂ absorber is grown by thermal co-evaporation using Ag₂S and Bi₂S₃ sources. The MeO-2PACz contact promotes favorable band alignment and interfacial passivation within the PIN stack, enabling stable and reproducible operation. The optimized devices exhibit a short-circuit current density (J_{sc}) of $20.773 \text{ mA cm}^{-2}$, an open-circuit voltage (V_{oc}) of 249 mV , and a power conversion efficiency (PCE) of 1.77% ; furthermore, the devices show enhanced external quantum efficiency (EQE), consistent with improved charge selectivity and reduced interfacial losses. This MeO-2PACz-enabled, vacuum-processed PIN platform establishes a scalable pathway toward stable, high-performance, and environmentally sustainable chalcogenide photovoltaics.

Key Words : AgBiS₂, PIN structure, Self-Assembled Monolayer, MeO-2PACz

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

Molecular Interface Design for Efficient and Stable Inverted Widebandgap Perovskite Solar Cells

장수성*, 김수환**, 이다슬***, 박종성*,**†

Suseong Jang*, Suhwan Kim**, Da Seul Lee***, Jongsung Park*,**†

*경상국립대학교 에너지공학과, **경상국립대학교 미래융복합기술연구소

***경상국립대학교 경남우주항공방산과학기술원

Abstract : We fabricated a wide bandgap (WBG) perovskite tandem solar cell with a bandgap of 1.6–1.7 eV. Focusing on interface control to enhance thin-film quality, we fabricated an inverted WBG perovskite device with an ITO/2-PACz/perovskite/PEAI/C₆₀/BCP/Ag structure. Since carrier loss in WBG perovskites primarily originates from interfacial recombination, this study focused on improving charge extraction and suppressing defects by enhancing i) hole selectivity and ii) the surface passivation layer. The 2-PACz self-assembled monolayer is anchored to ITO via phosphonate-metal bonds, improving surface energy characteristics and promoting uniform crystallization.

The PEA layer passivates surface defects and suppresses interfacial recombination at the perovskite top interface. This device achieved 17.57% efficiency at 1.63 eV absorber, demonstrating improved crystallinity and reduced recombination losses. These results show that the interfacial process effectively minimizes recombination and enhances the stability of WBG perovskite.

Key Words : Wide Bandgap, Perovskite, Passivation, Inverted solar cell, Self-assembled monolayer

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

제로에너지 건물용 패턴 유리 BIPV 모듈의 장기 실외 성능 연구

Long-Term Outdoor Performance Analysis of Patterned Glass BIPV Modules

황성호*[†], 김준기**, 이재원**, 강윤묵**, 이해석**

Sungho Hwang*[†], Junkee Kim**, Jaewon Lee**, Yoonmook Kang**, Hae-seok Lee**

*고려대학교 에너지기술공동연구소, **고려대학교 KU-KIST

Abstract : Building-integrated photovoltaics (BIPV) are promising candidates for zero-energy buildings (ZEB) because they can be seamlessly integrated into buildings without requiring additional installation space. For BIPV to gain wider market adoption, it is essential to balance aesthetics and electrical performance, two factors that typically exhibit a tradeoff. In this study, we present a BIPV module designed to achieve both visual appeal and stable output performance by incorporating patterned glass with a 5 mm thickness. The module was installed vertically, reflecting typical BIPV applications, at a 60° westward deviation from true south, and its performance was monitored over a full year under Korea's four-season climate. The daily average energy yield (EY) in 2024 was measured at 1.33 kWh/kWp, with the output showing a notable decrease during summer. In contrast, PVsyst simulation using standard BIPV modules with non-patterned 3.2 mm glass predicted an EY of 1.75 kWh/kWp, indicating a 24.1% decrease in BIPV output. This decline was primarily attributed to the reduced Voc caused by thermal retention due to the thicker patterned glass. These findings highlight key seasonal trends in BIPV performance under real-world Korean conditions and offer practical implications for improving the energy output of visually enhanced PV modules.

Key Words : 건물형태양광(Building Integrated PVs), 패턴유리(Patterned glass), 에너지수율(Energy Yield), 옥외 실증 (Outdoor performance)

[†] Corresponding author, E-mail: sungho_hwang@korea.ac.kr

청주산업단지 태양광 발전 잠재력과 탄소감축 효과 분석

Analysis of Solar Power Potential and Carbon Reduction Effects in Cheongju Industrial Complex

최진호*[†], 오원욱*

Jinho Choi*[†], Wonwook Oh*

*충북테크노파크 태양광산업팀

Abstract : 청주산업단지는 중소·중견·대기업으로 구성되어 있으며, 연료 소비와 전력 사용을 통해 지역 탄소배출의 주요 원인이 되고 있다. 본 연구는 탄소배출량을 전력 사용량으로 환산하고, 연료 사용에 따른 배출량을 통합하여 RE100 달성 가능성을 평가하였다. 또한 기업별 토지 이용 데이터를 활용하여 단위 면적당 태양광 발전(PV) 설치 잠재용량을 산정하고, 이를 통해 산업단지 전체의 설치 가능 발전용량을 계산하였다. 분석 결과, 이러한 감축 효과가 전력소비를 상쇄하거나 중립화할 수 있는지를 검토하여 RE100 달성을 위한 현실적 경로를 제시한다. 아울러 가용 토지 자원 대비 최대 태양광 설치 잠재력을 추정하기 위한 체계적 방법론을 제안하였다. 이러한 이중적 접근 ‘현재의 탄소배출과 재생에너지 통합을 연계한 분석’은 청주산업단지가 지속가능하고 저탄소적인 발전으로 나아가기 위한 전략에 중요한 시사점을 제공한다.

Key Words : 청주산업단지(Cheongju Industrial Complex), 태양광 발전(Photovoltaic), 탄소배출(Carbon Emissions), RE100(RE100)

[†] Corresponding author, E-mail: jhchoi@cbtp.or.kr

고효율 실리콘이종접합 태양전지 제작을 위한 투명전극 최적화

TCO Optimization for High-efficiency Si Heterojunction Solar Cell

김세웅***, 성기준**, 조준식**, 고민재*, 유진수**

Saewoong Kim***, Ki Joon Seong**, Jun-Sik Cho**, Min Jae Ko*, Jinsu Yoo**

*한양대학교 화학공학과, **한국에너지기술연구원 태양광연구단

Abstract : As carbon neutrality has become a global issues, research about eco-friendly energy harvesting technologies has become increasingly active. Among these, silicon heterojunction (SHJ) solar cells have drawn considerable attention due to their high efficiency. In SHJ solar cells, the transparent conductive oxide (TCO) layer plays a critical role, directly influencing the fill factor (FF) and short-circuit current density (Jsc). Therefore, optimizing the electrical and optical properties of the TCO is essential to improving the overall device performance. In this study, indium tin oxide (ITO) thin films were deposited using RF sputtering physical vapor deposition (PVD). Process parameters such as process pressure and plasma power density were optimized to achieve low sheet resistance and high transmittance. The deposited films were characterized by spectroscopic ellipsometry, four-point probe measurements, and UV-Vis spectroscopy . The optimized ITO layer exhibited low sheet resistance and high optical transparency, confirming its suitability for high-efficiency SHJ single cells. This work provides useful insights into TCO optimization strategies for enhancing the performance of SHJ solar cells.

Key Words : 투명전극(TCO), 실리콘 이종접합 태양전지(SHJ), ITO

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

태양광 폐패널 이동식 전처리 설비 국내 실증을 위한 GIS 기반 태양광 발전소 설치 현황 조사

A GIS-based Survey of Solar Power Plant Installations for Domestic Verify of Waste Solar Panel Mobile Recycling Facility

최광일*, 이재영*, 이재춘*[†]

Kwang-il Choi*, Jae-young Lee*, Jae-choon Lee*[†]

*JeollaNam-do Environmental Industries Promotion Institute

Abstract : The international community's efforts to address climate change are leading to policies promoting renewable energy toward carbon neutrality, and many countries are adopting renewable energy policies to promote solar power generation. As demand for renewable energy expands, solar power generation capacity has rapidly increased, and in this situation, the disposal of discarded solar panels after their end of life has emerged as a major problem. Not only domestically, but solar power generation is on the rise worldwide, and the amount of solar waste panels generated is expected to continue to increase. At a time when companies around the world are attempting and operating recycling businesses, it is essential to develop a global, customized mobile recycling preprocessing technology that can drastically reduce transportation costs, which account for the largest portion of recycling costs, in order to secure global competitiveness.

However, the current on-site collection method, which is mainly handled by the cooperative association (e-circulation governance), has limitations in securing a stable demand source. Therefore, in this study, a GIS-based installation status map was created based on the installation status data of solar power plants in 22 cities and counties in Jeollanam-do, which was previously managed in CSV format, in order to visualize the integrated management data. In the future, we plan to enhance the GIS-based Jeollanam-do solar power plant installation status map created through this study by adding detailed information such as installation history and module information.

Key Words : Waste solar panel, Mobile recycling facility, Geographic information system, Domestic verify, Solar power plant

[†] Corresponding author, E-mail: jakichun@jeipi.or.kr

Acknowledgment

This work was supported by Korea Environment Industry & Technology Institute(KEITI) through R&D project for recycling solar panel, funded by Korea Ministry of Environment(MOE)(RS-2025-02223005)

태양전지 소팅에 따른 모듈 출력 편차 변화 연구

Module Power Variation with Solar Cell Sorting

배수현*[†]

Soohyun Bae*[†]

*한국에너지기술연구원 태양광연구단

Abstract : 태양전지 기술의 발전으로 태양광 모듈의 출력이 점차 높은 수준으로 표준화되고 있음. 그러나 제조 과정에서 여전히 모듈 출력의 변동이 발생하여 제품 등급이 세분화되고, 이는 판매 과정에서 경제적 제약을 초래함. 태양전지는 모듈 내에서 직렬로 연결되므로, 모듈의 전체 성능은 조립된 셀 중 가장 낮은 성능을 가진 셀에 의해 지배적으로 결정됨. 따라서 개별 셀의 특성을 고려하여 모듈 조합 시 출력 편차를 최소화하는 방법을 기술적으로 검증하는 것이 중요함. 본 연구에서는 먼저 개별 태양전지의 특성을 분석하고, 이러한 셀들을 모듈로 조립했을 때 출력 변동 및 모듈 전체 출력의 편차가 어떻게 변화하는지를 계산을 바탕으로 검증함. 또한 특정 셀 특성에 기반한 다양한 조합 조건에서 모듈 성능의 변화를 검토함.

Key Words : 태양전지 선별(Solar cell sorting), 태양광 모듈(Photovoltaic module), 출력 편차(Power variation)

[†] Corresponding author, E-mail: soohyunbae@kier.re.kr

후 기

본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : RS-2023-00303745, RS-2025-02317319).

참가 및 등록안내

등록비 안내

- 학술대회 등록
사전 등록: 2025년 9월 15일(월) - 10월 24일(금)
현장 등록: 2025년 11월 5일(수) - 11월 7일(금)
- 참가비(학술대회: 11월 5일(수) - 7(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		

등록비 결제 안내

카드결제	<ul style="list-style-type: none"> • 학술대회홈페이지 학술행사 → 온라인등록 → 결제페이지 연결 • 초록 등록 및 온라인등록 완료 후 마이페이지 → 결제 → 결제 대기 목록에서 결제
계좌이체	<ul style="list-style-type: none"> • 은행명 : 우리은행 • 계좌번호 : 126-433275-01-005 / 예금주 : 사단법인 한국태양에너지학회 <p>* 기관명의로 입금할 경우 반드시 학회 이메일로 관련 정보를 알려주시기 바랍니다. (solar@kses.re.kr)</p>

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 : 2025년 11월 5일(수) 15:40-16:30
- 장소 : 컨벤션센터
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

한국태양에너지학회 이사회

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 16:30-17:30
- 장소 : 부라노
- 대상 : 한국태양에너지학회 이사진

특별세션-1(우주에너지플랫폼 연구개발 - 경상국립대학교 우주에너지플랫폼연구센터)

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30-15:30
- 장소 : 부라노
- 형태 : Closed session

특별세션-2(지역혁신클러스터 육성사업 역량 강화 세미나 - (재)전남지역산업진흥원, (재)전남TP)

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30-15:30
- 장소 : 부라노III
- 형태 : Closed session

특별세션-3(태양에너지 설비 기술동향 - 한국태양열융합협회, 태양열융합전문위원회)

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30-15:30
- 장소 : 카프리
- 형태 : Open session

특별세션-4(CEMS - CEMS 연구단(GS건설))

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30-15:30
- 장소 : 카프리II
- 형태 : Open session

특별세션-5(신재생에너지 정책 및 지원제도 - 한국에너지공단)

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 14:50-16:30
- 장소 : 부라노III
- 형태 : Open session

특별행사(제3회 에너지최적화 디자인 공모전 수상작 발표회)

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 15:10-17:10
- 장소 : 컨벤션센터
- 형태 : Open session

기업체 전시 및 상담

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30 - 11월 7일(금) 11:00
- 장소 : 페스타
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

제3회 에너지최적화 디자인 공모전 수상작 전시회

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30 - 11월 6일(목) 20:30
- 장소 : 컨벤션센터
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

제7회 자연과 어우러진 아름다운 태양광 사진 공모전 수상작 전시회

- 일시 : 2025년 11월 5일(수) 13:30 - 11월 6일(목) 20:30
- 장소 : 컨벤션센터
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

학회등록자 중식

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 12:00-13:30
- 장소 : 피렌체 레스토랑(1층)
- 대상 : 2025년 추계학술발표대회 등록자

만찬 및 시상식

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 18:00-20:00
- 장소 : 컨벤션센터
- 대상 : 한국태양에너지학회 임원, 2025년 추계학술발표대회 등록자

폐회식

- 일시 : 2025년 11월 6일(목) 20:00-20:30
- 장소 : 컨벤션센터
- 대상 : 한국태양에너지학회 회원 및 일반인

구두 및 포스터 발표 안내

INVITED SESSION

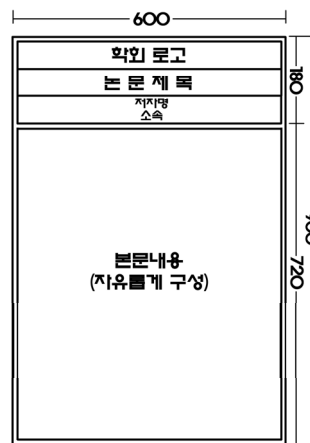
- 발표 시간 : 20분(발표 15분, 질의·응답 5분) ※ 분과별로 발표시간은 조정될 수 있음.
- 시청각 기자재 : 빔 프로젝트
- 요청 사항 : 발표자는 발표파일을 USB메모리로 지참하여 해당 발표세션 전 휴식시간에 발표장 컴퓨터에 파일을 복사한 후, 정상적으로 화면에 보이는지 확인 요망

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 : 컨벤션센터
- 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) :
- 11월 5일(수) 13:00 ~ 11월 6일(목) 12:00 / 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) : 11월 6일(목) 13:30~14:50
※ 지정된 포스터 발표자가 배석하여 연구자들과 질의응답을 진행함.
- Poster removal(포스터 제거) : 11월 6일(목) 16:00 ~ 11월 6일(목) 20:30까지
※ 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.

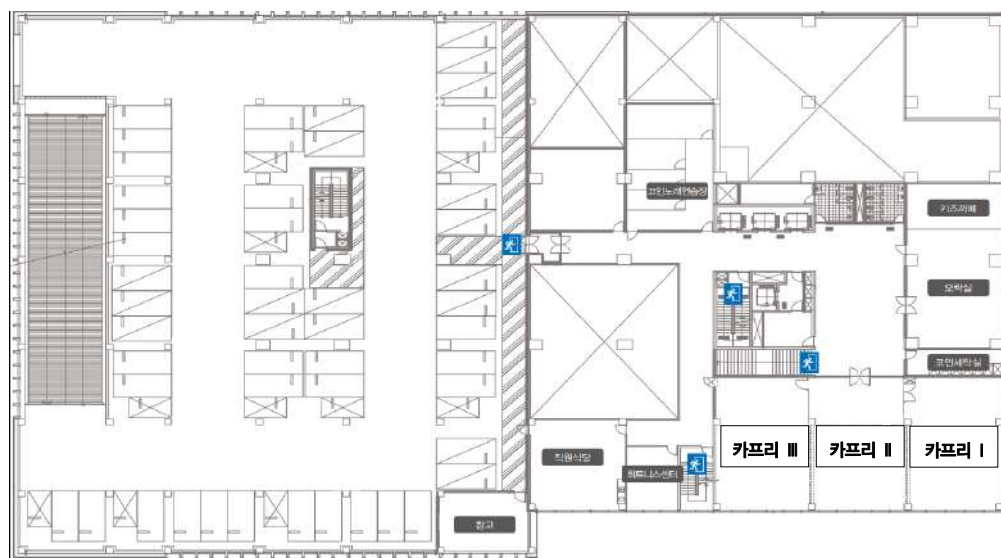
Oral 발표자

- 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 컨벤션센터이며, 11월 5일(수) 13:00 ~ 11월 6일(목) 12:00 사이에 포스터 부착을 완료하여주시기 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

- 컨벤션센터(3층) : 개회식 및 초청강연, 디자인 공모전 전시회, 태양광 사진전 전시회, 포스터발표, 특별행사, 만찬 및 시상식, 폐회식
- 부라노Ⅰ~Ⅲ(3층): 특별세션, 구두발표
- 카프리Ⅰ~Ⅲ(2층): 특별세션, 구두발표
- 페스타(3층): 기업체 전시 및 상담

여수 베네치아호텔 오시는 길



주소	전남 여수시 오동도로 61-13 (수정동 774-4)
전화	061-664-0001
홈페이지	https://www.yeosuvenezia.com/

자동차편

출발지	도착지	예상소요시간
서울	여수	서울시청 출발 기준 3시간 55분 서울 > 천안JC > 논산JC > 익산JC > 완주JC > 동순천IC > 여수
대전	여수	대전시청 출발 기준 2시간 40분 대전 > 익산JC > 완주JC > 동순천IC > 여수
광주	여수	광주시청 출발 기준 1시간 20분 서광주 > 순천IC > 여수
부산	여수	부산시청 출발 기준 2시간 10분 부산 > 냉정JC > 진주JC > 옥곡IC > 여수
목포	여수	목포시청 출발 기준 1시간 30분 목포 > 죽림JC > 도룡IC > 여수

철도이용

출발지	도착지	예상소요시간
서울역+용산역	여수엑스포역	2시간 50분(KTX)
수서	여수엑스포역	3시간 15분(SRT)
대전권	여수엑스포역	2시간 40분(ITX)
전주권	여수엑스포역	1시간 30분(KTX)

항공편

출발지	도착지	예상소요시간
김포	여수	55분
제주	여수	45분

여수공항 → 여수 베네치아호텔

- 버스약 60분소요 시내버스 32,33,35번 > "시외버스터미널" 하차 > 333번 시내버스 환승 > 박람회장(한화아쿠아리움) 정류장에서 하차
- 공항버스약 40분 소요 공항버스 탑승 > "이순신광장"에서 하차 > 2번 시내버스 환승 > 박람회장(한화아쿠아리움) 정류장에서 하차
- 택시약 18분소요 요금 약 17,000원

2025 한국태양에너지학회

추계학술발표대회

2025 KSES Annual Autumn 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 : 2025년 11월 5일

발행인 : 김의경

인 쇠 : (주)에이퍼브

전화 : 02-2274-3666 팩스 : 02-2274-4666

2025 한국태양에너지학회 추계학술발표대회

2025 KSES Annual Autumn Conference

2025. 11. 5(수)~7(금)

여수 베네치아호텔

주최

(사)한국태양에너지학회

주관

(사)한국태양에너지학회

(재)전남테크노파크

전남지역산업진흥원

후원

한국에너지공단

(주)그랜드썬기술단

충북테크노파크

한국에너지기술연구원

세한에너지(주)

한국태양광공사협회

한국생산기술연구원

(주)플로우에너지

한국태양열융합협회

특별회원사

(주)그랜드썬기술단

(주)맥사이언스

(주)에스케이에스이

(주)세진엔지니어링

(주)무한에너지

(주)제이에이치에너지

(주)라씨

(주)슬라플레이

(주)프로세이브

(주)직스테크놀로지

(주)에스알에너지

(주)해인기술

금강전기산업(주)

(주)일강이엔아이

(주)한화 건설부문

(주)대신에스앤비

선그로우파워코리아(유)

(주)트림블솔루션즈코리아

(주)원광에스앤티

한국남동발전(주)

식스티헤르츠 주식회사

(주)아삭에너지

(주)건강전력

(사)한국제품안전협회

비원이티에스(주)

선소프트웨어

세한에너지(주)

(주)에스지에너지

전시기업

(주)에스지에너지

(주)그랜드썬기술단

금정테크

한국미래카본텍(주)

(주)직스테크놀로지

(주)맥사이언스



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