

2023년 전자장비냉각/열관리 분야 연구동향

남영석*

1. 서 론

본 연감에서는 2023년 한국유체기계학회 하계/동계 학술대회 및 학술논문집에 발표된 전자장비 및 열관리 분야 관련 연구 결과를 소개·분석하고자 한다. 해당 분과에서는 전자장비 및 열관리 관련 분야에서 62편의 논문이 발표되었다. 기존의 열관리 분야에서 주로 수행되어왔던 전통적인 열유체 공학분야 연구뿐만 아니라 최근 급속히 발전하고 전자장비 및 데이터센터 냉각 관련 연구분야가 새롭게 주목을 받고 있는 것으로 판단된다. 본 연감에서는 지난 1년간의 연구논문을 전자장비냉각 및 열관리, 비등을 이용한 히트파이프 열교환기, 산업계 탄소중립 고도화 유체기기 및 열에너지 이용 기술, 방위산업, P2H(Power to Heat) 분야로 구분하여 소개하고자 한다.

표 1 2023년도 투고형태에 따른 논문 수

투고 방법		논문 수
논문집		2
하계학술대회	일반세션	13
	특별세션	12
	포스터	5
동계학술대회	일반세션	9
	특별세션	15
	포스터	8
합 계		62

2. 전자장비냉각 및 열관리

전자장비의 냉각 및 열관리 기법 개발은 기기의 성능 및 신뢰성 향상을 위한 핵심적인 이슈이다. 본 절에서는 이와 관련된 실험 및 해석 논문을 소개한다.

고한서⁽¹⁾는 상변화물질을 이용한 열관리시스템의 열전달 향상 연구를 진행하였다. 이 연구는 배터리, PVT system, 옥외 디스플레이 열관리 장치 개발을 위해 기포 구동 흐름,

배틀, Trombel wall, 나노 입자 등을 활용하여 열전달 특성이 향상된 상변화물질이 적용되었다.

김백진 등⁽²⁾은 SOFC 단위셀의 균일도 해석을 통해 성능 최적화를 도모하였다. 해석결과는 단일방향 공기 유동 모델에 비해 교차식 공기 유동 모델에서 셀의 온도 편차가 줄어들었고, 유로별 유량 균일도는 단일방향 공기 유동(1 in-1 out)에서 가장 좋았으며, 교차식 공기 유동 모델 네 가지 중 2 in-3 out 형상이 가장 균일한 분포를 나타내었다.

도수윤 등⁽³⁾은 마이크로 두께 구리 폼의 풀비등 열전달에 대한 PPI의 영향을 연구하였다. PPI에 따른 비등 성능 영향도는 모든 실험 결과에서 매끈한 구리 표면에 비해 임계 열유속이 향상되었으며 표면 과열도가 감소하였고, PPI가 두께에 비해 대류 열전달 계수에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.

강창우 등⁽⁴⁾은 마이크로 중력 환경의 유전성 액체에서의 열대류 현상에 대한 연구를 수행하였다. 이는 미세 중력 조건에서 유한한 길이의 동심 환형 관에 갇힌 유전체 액체의 열전 대류에 대한 직접 수치 모사를 수행하였다.

서진혁 등⁽⁵⁾은 국민생활형 폐열회수용 소형 히트파이프 열교환기의 열성능 연구를 통해 주방 후드, 의류용 건조기, 오븐 등 컴팩트 사이즈가 요구되는 다양한 가전 기기의 에너지 회수 및 재사용에 대한 새로운 접근법을 탐색하였다.

정욱철⁽⁶⁾은 전기자동차 전력반도체 모듈 열제어를 위한 루프 히트 파이프 기반 피동형 유연 열수송 소자의 운전 특성에 대해 연구하였다. 이 연구는 판형의 열흡수면 및 유연 열수송 경로를 가지는 판형 증발기 구조 유연 루프 히트 파이프를 제작하여 열수송 성능을 비교·평가하였다.

이석진 등⁽⁷⁾은 지열을 이용한 제설용 Thermosyphon 열성능 연구를 통해 겨울철 도로 유지 및 안전성 향상을 위한 실험실 규모의 제설용 써모사이폰 실험 장치를 제작하고 장치의 열성능을 평가하였다.

홍성빈 등⁽⁸⁾은 자연 대류에 의한 열 특성 강화를 위한 차양판 열 제거 형상의 최적 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이는 굴뚝효과를 통해 자연대류에 의한 카메라 시스템 열 제

* 한국과학기술원 기계공학과 교수(Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)
E-mail : ysnaml@kaist.ac.kr

거 성능 향상에 대해 ANSYS FLUENT를 통해 3D RANS 해석을 수행했으며, 차양판 구조 최적화를 위해 최적 열제거 성능을 도출하였다.

안성진 등⁽⁹⁾은 고성능 루버핀 열교환기의 기하학적 형상 변화가 유동 및 열전달 특성에 미치는 영향에 대한 수치적 연구를 진행하였다. 이 연구는 루버핀 열교환기의 3차원 수치해석을 진행하였으며 기하학적 형상 변수(La, LP, FP, Lh)가 열전달 및 압력강하 특성에 미치는 영향을 분석하고 무차원수(j , f)를 통한 열교환기 성능을 평가하였다.

김준석 등⁽¹⁰⁾은 다양한 채널 형상에 따른 진동형 히트파이프의 열전달 특성에 관한 연구를 통해 기존의 PHP에 다양한 채널 형상 적용에 따른 수치해석적 연구를 진행하였다. 해석 결과를 바탕으로 PHP의 유동 패턴 및 열전달 성능 변화에 관해 고찰하였다. 채널 변수로는 Tesla valve, asymmetric, interconnecting 채널을 적용하여 진행하였다.

정종민 등⁽¹¹⁾은 3차원 구조의 진동형히트파이프의 열전달 성능에 대한 해석적 연구를 수행하여, 서로 다른 가열 조건에서 진동형 히트파이프의 열전달 특성을 해석적으로 연구하였다.

조현호 등⁽¹²⁾은 칩렛 반도체 패키지용 제트 어레이 충돌 기반 냉각 모듈의 성능 최적화를 위한 능동 학습 접근법을 연구하였다. 이 연구는 불균일 열유속 조건을 가지는 칩렛 패키지의 에너지 효율적인 열관리를 위해 단상 제트 어레이 충돌 기반 냉각 모듈을 설계하고, 제트 노즐의 지름과 분포에 따른 기관의 온도차와 압력 강하를 동시에 최소화하는 다목적 설계 최적화를 수행하였다.

오훈교 등⁽¹³⁾은 격자 볼츠만 방법을 활용한 단면 열부하 냉각 성능 시뮬레이션 연구를 하였다. 유동 비등 현상 시뮬레이션 결과, 열속 부하 영역을 포함하는 Kim 상관식과 32% 오차 내에서 일치하는 결과를 보였으며, 이를 통해 열속 부하 면적이 열전달 계수에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

이정길 등⁽¹⁴⁾은 히트펌프를 적용한 감압 건조 시스템 사이클 시뮬레이션 연구를 통해, 이차전지 재활용 공정 중 배출되는 피 건조물 건조용 감압 건조 공정에 적용할 수 있는 히트펌프 사이클을 설계하고 세 가지의 Low GWP 냉매를 적용하여 최적 냉매를 찾는 연구를 수행하였다.

지형용 등⁽¹⁵⁾은 단열용기 성능시험을 위한 항온챔버 온도 분포에 관한 연구를 진행하여, 단열용기 온도성능시험을 위하여 1,000L 내부용량을 갖는 항온시험챔버를 제작하여 실험하고, 균일한 온도분포를 위하여 수치해석을 통해 기류를 제어하는 방법에 대하여 검토하였다.

정동열 등⁽¹⁶⁾은 잠열/현열 충전 비율에 따른 방열 특성 연구를 통해, 축열 모듈 내 잠열재와 여과사(sand)가 혼합된 복합 축열재의 방열과정에서 방열온도 및 유량에 따른 방열 특성에 대해 파악하였다.

국명철 등⁽¹⁷⁾은 디지털 트윈 기반 대한민국 2050 탄소중립

시나리오 에너지 생산저장분배 최적화 연구를 통해, 디지털 트윈 기술을 활용하여 탄소 중립 시나리오의 실현 가능성을 확인하고, 그에 따른 문제점을 파악하고 해결 방법을 찾는 것에 초점을 두었다.

황준호 등⁽¹⁸⁾은 청록수소 생산을 위한 마이크로파 및 열-촉매 기반 메탄 열분해 시스템 설계 연구를 진행하여, 메탄을 청록수소로 분해하기 위해 마이크로파 열-촉매 분해 기술을 사용하고, 에너지 효율, 메탄 전환율, 수소 선택성을 최대화함을 목표로 하였다.

정승수 등⁽¹⁹⁾은 배열 칩의 방열을 위한 공기 제트 충돌/유출 냉각시스템에 대해 연구하였다. 이 연구는 공기를 사용한 채널 충돌/유출 냉각 시스템에서 유출홀의 배열을 달리하여 3차원 수치해석을 진행하였다.

김민준 등⁽²⁰⁾은 Flat heat pipe를 적용한 ESS 배터리의 공랭식 냉각 해석을 진행하여, 배터리의 안정적인 성능 유지를 위해서 공기의 속도가 3 m/s 이상의 조건에서 배터리의 성능 유지를 위한 적절한 온도 범위로 유지되는 것을 확인하였다.

최준영 등⁽²¹⁾은 공극률에 따른 마이크로 두께 구리폼의 풀비등 성능에 대한 연구를 수행하여, 열저항이 낮은 200 μm 두께 구리폼을 사용하여 공극률의 변화에 따른 비등 열전달 성능을 실험하고, 이에 대한 영향을 분석하였다.

도수윤 등⁽²²⁾은 비등 기반 열전달판의 내부 유동 및 열전달 특성에 관한 연구를 통해, 비등 기반 열전달판의 작동 매커니즘을 가시화 장치를 통해 다양한 작동방향에서 확인하였다.

조현호 등⁽²³⁾은 능동 학습 및 계층적 탐색을 이용한 칩렛 패키지용 직접 액체 냉각 모듈의 열관리 성능 최적화 연구를 하였다. 이 연구는 불균일한 열유속 분포를 가지는 칩렛 패키지 내부 기관의 온도 차이와 압력 강하를 동시에 최소화하는 최적의 노즐 배치를 찾기 위해 유한요소법 기반의 수치해석 모델을 구축하고, 합성곱 신경망 기반의 대리모델과 유전 알고리즘을 사용하여 다목적 최적화를 수행하였다.

이정호⁽²⁴⁾는 데이터센터 열관리 기술 현황 및 전망에 대해 연구하였다. 이 연구는 데이터센터의 높은 발열량 및 반도체 칩의 집적도 증가에 따른 고효율 열관리의 중요성 및 관련 기술동향을 제시하였다. 또한 이러한 열관리를 위한 개선된 냉각 솔루션의 개발 전망을 제시하였다.

이석진 등⁽²⁵⁾은 충전비에 따른 제설·방빙용 Thermosyphon 열성능 연구를 통해, 지열을 열원으로 하는 제설용 써모사이폰을 제작하고, 작동유체의 충전비에 따른 열 성능을 평가하여 최적 운전조건을 제시하였다.

황준호 등⁽²⁶⁾은 LAMD 내 T/R모듈과 외부 케이싱 간 열저항에 따른 온도 특성 분석을 통해, 냉각 모듈의 추가 이전 모듈의 온도에 영향을 미치는 열저항 요소를 선정하여 지배적인 요소를 확인하였다.

정찬훈 등⁽²⁷⁾은 파우치형 리튬이온 전지의 열적 모형 개발에 관한 연구를 수행하여, 파우치형 리튬이온 전지의 1 RC 모델을 개발하고 열용량을 측정하여 연립 미분방정식 형태의 열적 모형을 개발하였다.

이동영 등⁽²⁸⁾은 PAL-EUV 가속기 터널 공조 환경 정밀 제어에 대한 연구를 진행하여, PAL-EUV의 안정적인 운영을 보장하기 위한 기술적 측면을 탐구하였다.

최민철 등⁽²⁹⁾은 4GSR 다목적방사광가속기 LCW 냉각시스템 설계 연구를 통해, 고에너지 물리 실험에서 요구되는 정밀한 온도 제어 솔루션을 제시하였다.

전주원 등⁽³⁰⁾은 유동 균일성 개선을 위한 다중 평행 미니 채널의 채널 길이 효과에 대한 수치적 연구를 수행하여, 채널 길이 증가 및 헤더 내부에 돌기형 흰 설치에 따른 채널 내 유동 특성, 압력강하 및 유량 불균일도의 변화를 수치해석을 통해 분석하였다.

최재훈 등⁽³¹⁾은 전동기 End-winding 및 내부 권선에 관한 Water jacket의 열전달 및 냉각 성능에 관한 연구를 통해, 전동기의 발열량과 냉각 유량을 변수로 설정하여, 냉각시스템 구조에 의한 열전달과 냉각성능에 대하여 분석하였다.

박찬우 등⁽³²⁾은 serpentine 냉각판 내부유로에 적용한 난류발생기의 냉각 성능 효과에 대해 연구하였다. 이 연구는 다양한 유량과 발열량에 따른 온도, 압력, 유동 특성 등을 측정하고 결과를 분석하였다.

이대규 등⁽³³⁾은 방열조건이 잠열 축열모듈의 열전달 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구를 통해, 방열조건 변화가 잠열 축열모듈의 열전달 특성에 미치는 영향을 확인하고자 해석을 통한 연구를 수행하였다.

정동열 등⁽³⁴⁾은 폐열 활용을 위한 현열/잠열 복합 축열모듈 성능평가 연구를 진행하여, 염색공정에서 발생하는 폐열을 현열/잠열 형태로 저장하여 히트펌프 증발열원으로 공급하기 위한 현열/잠열 복합 축열모듈에 대한 열성능을 평가하고자 하였다.

최영호 등⁽³⁵⁾은 PLS-II 선형가속기 냉각수(LCW) 온도 정밀 제어에 대한 연구를 수행하여, 선형가속기 냉각수 정밀 온도 제어를 위한 시스템설계 및 운전 성능을 소개하였다.

윤세진⁽³⁶⁾은 확산접합으로 제작된 냉각판 내부 채널의 변형에 의한 압력손실 및 열전달 성능 영향 연구를 하였다.

정재호⁽³⁷⁾는 자연대류에 의한 열 특성 강화를 위한 차양판 열 제거 형상 최적 설계를 하였다.

3. 비등을 이용한 히트파이프 열교환기

비등을 이용한 히트파이프 열교환기는 다양한 산업분야에서 많이 사용되고 있으며, 폐열의 효율적인 활용 및 열교환과정에서의 엔트로피 증가를 위해 매우 중요한 핵심 요소기술이다. 본 절에서는 이와 관련된 실험 및 해석 논문을 소개한다.

김규일 등⁽³⁸⁾은 흰-관 써모사이폰 열교환기 열성능 예측 프로그램의 개발 및 검증에 관한 연구를 수행하였다.

신동환 등⁽³⁹⁾은 구리 흰 튜브 히트파이프 열교환기 시작품의 열성능 시험을 한국기계연구원에서 진행하였다. 이 연구는 히트파이프의 효율적인 열전달 성능을 입증하며, 열교환기 기술의 발전에 기여한다.

이승재 등⁽⁴⁰⁾은 다공성 모델을 이용한 히트파이프 열교환기의 열 성능 해석 연구를 수행하였다. 이 연구는 히트파이프의 최적 설계를 위한 중요한 이론적 기반을 제공하였다.

김준수 등⁽⁴¹⁾은 고내구성 및 확장성을 지닌 초발수 표면에 의한 응축 열전달 성능 향상에 대해 연구하였다. 이는 코팅된 표면의 내구성 및 셀프 리키빌리티를 테스트하여 코팅 내구성 향상을 위한 솔루션을 제시하였다.

김규창 등⁽⁴²⁾은 전기증착 친소수성 구리 표면의 산화에 의한 폴 비등 열전달 성능에 대해 연구하였다. 이 연구는 열전달 향상을 위한 새로운 표면 처리 기술의 효과를 검증한다.

강성경 등⁽⁴³⁾은 Sandblasted 표면이 써모사이폰 열성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이는 표면 처리 방법이 히트파이프 성능에 미치는 영향을 이해하는 데 중요한 기여를 한다.

서진혁 등⁽⁴⁴⁾은 이상 밀폐 써모사이폰 내 가이저 비등 현상 가시화 및 열성능 연구를 진행하였다. 이 연구는 써모사이폰의 열성능을 향상시키기 위한 중요한 인사이트를 제공한다.

신동환 등⁽⁴⁵⁾은 구리 흰 튜브 히트파이프 열교환기 시작품의 열성능 시험 및 계획에 관한 연구를 수행하였다. 추가적인 성능 검증 및 최적화 방안을 탐색하였다.

이승재 등⁽⁴⁶⁾은 다공성 모델을 이용한 히트파이프 열교환기의 열 성능 해석을 수행하였다. 이는 열전달 계수 및 열저항을 최적화 방법을 통해 해석하였으며 실험적 방법과 해석적 방법을 비교/분석하였다.

김준수 등⁽⁴⁷⁾은 고열전도도 및 고내구성 액적 응축 표면에 관한 연구를 진행하였다. 이 연구는 열교환기의 응축 열전달 성능을 극대화하는 새로운 표면 코팅 기술을 탐색하였다.

4. 산업계 탄소중립 고도화 유체기기 및 열에너지 이용 기술

탄소 중립에 대한 이슈가 대두되면서 산업계 탄소중립 고도화 유체기기 및 열에너지 이용 기술의 중요성이 높아지고 있다. 본 절에서는 이와 관련된 실험 및 해석 논문을 소개한다.

김인관 등⁽⁴⁸⁾은 염색공정 폐열을 활용하는 히트펌프 시스템과 모의부하 유틸리티 설계에 대한 연구를 진행하였다. 이는 현재 염색공정에서 사용되는 보일러를 가열용 하트펌프 시스템으로 대체하여 발생하는 폐열을 재활용하여 열 수요의 약 60%까지 공급하며, 이산화탄소 저감에 크게 기여가

능할 것으로 기대된다.

김민준 등⁽⁴⁹⁾은 고온수 히트펌프 시스템 설계를 통해 염색 공정 산업용 보일러를 대체할 수 있는 가능성을 탐구하였다. 이 연구는 대구시에 위치한 섬유산업 수요기업의 염색공정에서 수세기에 대한 기기 운전데이터를 이용한 산업용 히트펌프 시스템 적 용 및 설계 방법에 관하여 검토하였다.

이대규 등⁽⁵⁰⁾은 반도체 칩 테스트 챔버의 내부 온도 균일도를 향상시키기 위한 가이드 베인 형상 최적화 연구를 수행하였다. 이는 시험챔버 내부의 온도 분포 균일도 향상을 위해 시험챔버 내부에 2개의 가이드베인을 장착하였으며, CFD를 이용한 수치해석 연구를 통해 가이드베인의 최적형상 설계를 수행하였다.

이석구⁽⁵¹⁾는 산업계의 탄소중립 고도화를 위한 이산화탄소 초월임계 액화사이클의 최적화에 관한 연구를 진행하였다. 이 연구는 포집된 상압, 상온의 이산화탄소를 액화시키는 사이클 설계를 제안하고 냉각수 온도가 변하는 경우에 대하여 사이클 전체의 소비동력을 최소화 할 수 있는 운전조건을 제시하였다.

김영득 등⁽⁵²⁾은 이차전지 양극재 건조를 위한 감압 유동층 건조기의 성능을 평가하였다. 이 연구는 이차전지 양극재의 건조를 위한 감압 유동층 건조기를 개발하였으며, 이를 통해 황산망간 1수화물의 건조 특성 및 성능을 평가하였다. 또한 피건조물(황산망간 1수화물)의 평형함수율은 피 건조물의 온도와 상대습도에 대하여 평가하였다. 이를 기반으로 감압 유동층 건조기의 수학적 모델을 개발하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 모델을 검증하였다.

오준호⁽⁵³⁾는 상변화 열전달을 이용한 첨단 열관리 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 이는 열부하 집중부 냉각 및 첨단 열부하 관리 기술에 대한 인사이트를 제공한다.

김한기 등⁽⁵⁴⁾은 전기화학적 열에너지 전환을 통한 해수 온도차 발전 기술에 대한 연구를 진행하였다. 이 기술은 전기화학적 해수온도차발전은 약 8%의 열효율을 가지며, 국내 해수온도차 환경에서도 적용이 가능하고, Pt/Ti Foam 전극에 비하여 Cu Foam 전극이 양의 Seebeck 계수를 가지며, 출력밀도 및 열효율 모두 우수하다는 것을 보였다.

5. 방위산업

최근 고밀도 에너지를 방출하는 레이저 무기 혹은 그와 상응한 에너지를 방출하는 방위장비들의 냉각이 중요해지고 있다. 본 절에서는 이와 관련된 실험 및 해석 논문을 소개한다.

탄소 중립에 대한 이슈가 대두되면서 이연수 등⁽⁵⁵⁾은 고발열 소자의 온도 평준화를 위한 차등적 방열경로 설계에 대한 연구를 진행하였다. 이는 수냉방식 적용 장비를 소개하며 온도 상승에 따른 HPA 소자의 출력 성능이 하락함을 설명하였으며, 시뮬레이션을 통해 방열면적 제어를 하여 대류열전달

경로가 차단된다는 것을 확인하였다.

장수진 등⁽⁵⁶⁾은 HPA 소자의 성능 향상을 위한 냉각수 선정 및 온도 균일화 연구를 수행하였다. 이는 기존 모델과 비교하여 junction temperature 및 최대-최소 온도차 감소, 채널 간 속도 균일화를 통해 튜닝 없는 방열 구조 확보를 확인하였다.

최슬범 등⁽⁵⁷⁾은 전자장비를 휴대하기 위한 가방의 형상이 방열 성능에 미치는 영향을 연구하였다. 이는 수치해석 분석 결과를 통해 자연대류 방열 구조의 전자장비를 휴대하기 위한 가방 구조가 방열 특성에 미치는 영향을 실험적 분석과 수치해석 분석을 통해 알아보았고, 장비 보호 목적의 가방의 피복이 전자장비 표면을 가릴수록 장비 방열 효과가 저하되므로 온도 마진 확보 또는 가방 면적 축소를 고려해야함을 확인하였다.

강인한 등⁽⁵⁸⁾은 냉방 시스템의 조건 변화에 따른 군사 셀터 내에서의 PMV, PPD 계산을 통한 열적 쾌적도 최적화 연구를 진행하였다. 이 연구는 군사용 시설의 환경 품질을 향상시키기 위한 중요한 데이터인 열쾌적성에 대해 분석하였다.

박진이 등⁽⁵⁹⁾은 중첩격자기법을 이용한 항공용 다중무장 장착장비 장착 외부장착물 공력특성 해석에 대한 연구를 진행하였다. 이는 다중무장장착장비 및 외부장착물과 유사한 임의의 모델을 대상으로 조사하였으며, 외부장착물의 자유류 공력특성을 해석/비교하였다.

6. P2H

(P2H)Power to Heat 분야는 에너지 전환 분야의 하나로써, 재생에너지의 잉여전력을 건물(냉난방), 수송, 산업, 발전 등 다양한 분야에 연결하는 시스템을 말한다. 이는 출력 제한 발생 시 전력수요를 증가시켜 수소, 열 생산의 이점을 볼 수 있으며, 가정, 건물, 산업, 농가 등에서 사용하고 있는 등유, LPG, 경유 등을 모두 전기로 전환하여 전전화로 전력 수요가 증대될 것으로 기대된다.

강병찬 등⁽⁶⁰⁾은 탄소중립을 위한 재생에너지 출력제한을 활용한 P2H 기술 개발 사업에 참여하였다. 이 프로젝트는 친환경 멀티소스 열원하이브리드 시스템 개발, P2H기반, 고효율 열생산 및 저장 기술개발, P2H기반, 열에너지공급 및 소비네트워크 기술개발, 출력제한 대응 P2H 플랫폼 및 표준화 기술 개발을 하였다.

허재혁 등⁽⁶¹⁾은 P2H 적용을 위한 열에너지 생산 및 저장 시스템의 적합성 분석 및 설계를 수행하였다. 이 연구는 P2H 적용을 위해 제주지역 내 다양한 사이트를 대상으로 실증 적합성분석을 진행하였으며 해당 분석을 토대로 예비설계를 진행하였다.

오승진 등⁽⁶²⁾은 재생에너지 잉여전력을 활용한 농업용 P2H 시스템의 연간 성능 분석을 진행하였다. 이는 P2H 시

시스템을 농업 부문에 적용했을 때의 연간 성능 및 경제성을 수치적 방법으로 연구하고, 이를 통해 P2H 기술의 타당성을 분석하였다.

이재욱 등⁽⁶³⁾은 출력제한에 대응하는 열 이용 시뮬레이터 개발에 참여하였다. 이 연구는 출력제한 예측정보 연계 열 이용 시뮬레이터 개발을 통해 초과전력 및 출력제한 대응 열 이용 알고리즘을 개발하였으며, 열공급 모델 축열/방열 시뮬레이터 개발을 하였다.

오상울 등⁽⁶⁴⁾은 재생에너지 출력제한을 이용한 P2H용 플러스DR 플랫폼 개발에 관한 연구를 수행하였다. 이는 플러스DR 플랫폼 적용을 위한 부하예측 모듈 설계/개발을 하였다.

7. 결 론

본 연감에서는 2023년에 한국유체기계학회에 발표된 전자장비 및 열관리 분야 연구에 대해 소개 및 설명하였다. 전자장비냉각 및 열관리, 비등을 이용한 히트파이프 열교환기, 산업계 탄소중립 고도화 유체기기 및 열에너지 이용기술, 방위산업, P2H 등의 연구가 이루어지고 있으며, 향후 해당 연구분야의 발전이 기대된다.

References

- (1) Ko, H. S., 2023, "A study on heat transfer enhancement for thermal management system using phase change material," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11506.
- (2) Kim, B. J., Shin, Y. H., Kang, S. W., 2023, "Uniformity analysis on a unit cell of SOFC," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11507.
- (3) Doh, S. Y., Lim, H. M., Lee, J. H., 2023, "Effect of PPI on pool boiling heat transfer of micro-thick copper foam in saturated water," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11508.
- (4) Kang, C. W., Mutabazi, I., 2023, "Thermal convection in a dielectric liquid under microgravity," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11509.
- (5) Seo, J. H., Kang, S. K., Kim, K. I., Lee, J. H., 2023, "Study on thermal performance of compact heat pipe heat exchanger for water heat recovery of appliance," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11510.
- (6) Joung, W. C., 2023, "Operating characteristics of a loop heat pipe-based passive flexible heat transport device for thermal control of a power electronics module of electric vehicles," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11511.
- (7) Lee, S. J., Kang, S. K., Lee, J. H., 2023, "Thermal performance of geothermal thermosyphon for snow melting," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11512.
- (8) Hong, S. B., Park, A. M., Lee, J. H., Jeong, J. H., 2023, "Thermal shape optimization of canopy structure for enhancing heat transfer characteristics due to natural circulation," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11513.
- (9) Ahn, S. J., Park, S. M., Bang, S. H., Choi, W. W., Kim, S. M., 2023, "Numerical study on flow and heat transfer characteristics of high performance louvered fin heat exchangers with geometrical variations," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11514.
- (10) Kim, J. S., Jeon, Y. S., 2023, "A study on heat transfer performance of pulsating heat pipe according to various channel designs," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11515.
- (11) Jung, J. M., Jeon, Y. S., 2023, "Numerical study on the heat transfer performance of a three-dimensional pulsating heat pipe," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11516.
- (12) Cho, H. H., Lee, I. S., Kim, S. W., Bang, S. S., Kim, J. C., Nam, Y. S., 2023, "An active learning approach to performance optimization of jet array impingement-based cooling module for chiplet semiconductor package," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11517.
- (13) Oh, H. G., Jo, H. J., 2023, "Numerical simulation of one-side heating flow boiling using lattice boltzmann methods," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11518.
- (14) Lee, J. G., Kim, J. M., Lee, C. K., 2023, "Cycle simulation study of the decompress-drying system with heat pump," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11528.
- (15) Ji, H. Y., Lee, D. G., Kim, W. D., Kim, J. Y., 2023, "A study on the temperature distribution of test chamber for the performance test of insulated container," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11529.
- (16) Chung, D. Y., Lee, D. G., Park, D. H., Kang, C. D., 2023, "The study on discharging characteristic for thermal storage module on charging ratio of latent/sensible heat," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11530.
- (17) Kook, M. C., Park, S. W., 2023, "Optimization of energy production, storage, and distribution based on digital twin for South Korea's 2050 carbon neutrality scenario," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11531.
- (18) Hwang, J. H., Park, S. W., 2023, "Microwave and

- thermal catalyst-based methane pyrolysis system design for turquoise hydrogen production,” Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11532.
- (19) Jeong, S. S., Choi, W. W., Kim, S. M., 2023, “Air jet impingement/effusion cooling system for heat dissipation of chip array,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21520.
- (20) Kim, M. J., Kim, K. Y., 2023, “Analysis of air-cooling ESS battery using flat heat pipe,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21521.
- (21) Choi, J. Y., Doh, S. Y., Lim, H. M., Lee, J. H., 2023, “Effect of porosity on pool boiling heat transfer of micro-thick copper foam,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21522.
- (22) Doh, S. Y., Lim, H. M., Lee, J. H., 2023, “A study of the internal flow and heat transfer characteristics of boiling-driven heat spreader,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21523.
- (23) Cho, H. H., Lee, I. S., Kim, S. W., Bang, S. S., Kim, J. C., Nam, Y. S., 2023, “Optimization of thermal management performance of direct liquid cooling module for chiplet packages using active learning and hierarchical exploration,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21524.
- (24) Lee, J. H., 2023, “Data center thermal management technology status and outlook,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21511.
- (25) Lee, S. J., Kang, S. K., Lee, J. H., 2023, “Thermal performance of thermosyphon for snow melting and anti-icing by filling ratio,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21512.
- (26) Hwang, J. H., Park, J. S., 2023, “Translation of temperature characteristic analysis according to thermal resistance between LAMD’s T/R module and external casing,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21513.
- (27) Jeong, C. H., Park, B. W., Lee, J. H., 2023, “Study of developing lithium ion pouch cell’s thermal model,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21514.
- (28) Lee, D. Y., Choi, Y. H., Mok, I. S., Yang, J. M., Kim, Y. S., Choi, M. C., 2023, “Precision air conditioning for PAL-EUV synchrotron tunnel,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21525.
- (29) Choi, M. C., Choi, Y. H., Kim, S. H., Kim, Y. S., Lee, D. Y., Lee, H. S., 2023, “Low conductivity water cooling system design of 4GSR,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21526.
- (30) Jeon, J. W., Kim, S. M., 2023, “Numerical study on the effect of channel length in multiple parallel mini-channels for improving flow uniformity,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21527.
- (31) Choi, J. H., Park, H. S., 2023, “A study on heat transfer and cooling performance of water jacket for electric motor end-winding and internal windings,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM 2023-21528.
- (32) Park, C. W., Ali, E., Park, H. S., 2023, “Cooling performance effect of turbulence generator applied to internal flow path of serpentine cooling plate,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21529.
- (33) Lee, D. G., Chung, D. Y., Kang, C. D., Kim, J. Y., 2023, “A numerical study on the heat transfer characteristics of latent heat storage module according to heat release conditions,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21530.
- (34) Chung, D. Y., Lee, D. G., Park, D. H., Kang, C. D., Kim, J. Y., 2023, “The performance test of sensible and latent heat thermal storage module for waste heat utilization,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21531.
- (35) Choi, Y. H., Lee, D. Y., Choi, M. C., Kim, Y. S., Hur, B., Yang, J. M., 2023, “Precision control of cooling water temperature for PLS-II LINAC,” Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21532.
- (36) Yoon, S. J., Heo, J. H., Kwak, D. H., Bae, J. I., 2023, “Pressure drop and heat transfer performance effects due to deformation of channels in cold plate after diffusion bonding,” The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 5, No. 10, pp. 89~98.
- (37) Hong, S. B., Park, A. M., Lee, J. H., Jeong, J. H., 2023, “Thermal shape optimization of canopy structure for enhancing heat transfer characteristics due to natural circulation,” The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 5, No. 11, pp. 99~104.
- (38) Kim, K. I., Kang, S. K., Seo, J. H., Lee, J. H., 2023, “Development and validation of fin-tube thermosyphon heat exchanger design program,” Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-10801.
- (39) Shin, D. H., Kim, W. K., Moon, S. Y., Kim, H. U., 2023, “Thermal performance test of prototype for Cu-Cu fin tube heat pipe heat exchanger,” Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11502.
- (40) Lee, S. J., Kim, Y. S., Geum, G. H., Kang, S. K., Shin, D. H., Lee, S. H., Lee, J. H., Lee, H. S., 2023, “Thermal performance analysis of heat pipe heat exchanger using porous media approach,” Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11503.
- (41) Kim, J. S., Shim, J. H., Nam, Y. S., 2023, “Enhancing condensation heat transfer performance by robust and scalable superhydrophobic surface,” Proceedings of the

- KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11504.
- (42) Kim, G. C., Lee, S. H., Kim, M. G., Kim, Y. I., Lee, J. S., 2023, "Pool boiling heat transfer performance via oxidation of electro-deposited bi-philic copper surface," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11505.
- (43) Kang, S. K., Lee, S. J., Seo, J. H., Lee, J. H., 2023, "Effect of sandblasted surface on the thermal performance of two-phase closed thermosyphon," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21501.
- (44) Seo, J. H., Kang, S., K., Lee, J. H., 2023, "Visualization and thermal performance of geyser boiling in two-phase closed thermosyphon," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21502.
- (45) Shin, D. H., Kim, W. K., Moon, S. Y., Kim, H. U., Shim, J. H., Jung, Y. J., 2023, "Thermal performance test of prototype for Cu-Cu fin tube heat pipe heat exchanger and plan," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21503.
- (46) Lee, S. J., Kim, Y. S., Geum, G. H., Kang, S. K., Shin, D. H., Lee, S. H., Lee, J. H., Lee, H. S., 2023, "Thermal performance analysis of heat pipe heat exchanger using porous media approach," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21504.
- (47) Kim, J. S., Ryu, C. W., Nam, Y. S., 2023, "Thermally conductive and robust dropwise condenser surface," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21505.
- (48) Kim, I. G., Kim, H. G., Feng, Y., Kim, M. J., 2023, "35kW heat pump system using waste heat from dyeing process and simulated load utility design," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11519.
- (49) Kim, M. J., Kim, S. M., Seo, J. S., Kim, I. G., 2023, "Design on high water temperature heat pump system of alternative of industrial boiler for dyeing process," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11520.
- (50) Lee, D. G., Chung, D. Y., Kang, C. D., Kim, J. Y., 2023, "Numerical study on the optimal design of guide vane shape for improvement of temperature uniformity inside the semiconductor chip test chamber," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11521.
- (51) Lee, S. G., 2023, "Optimization of trans-critical CO₂ liquefaction cycle to accelerate industrial neutrality," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11524.
- (52) Kim, Y. D., Ham, M. G., Lim, Y. G., Im, J. H., Oh, S. H., Bak, C. U., Lee, Y. N., 2023, "Performance evaluation of a decompression fluid bed dryer for dring cathode material of a secondary battery," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM 2023-11525.
- (53) Oh, J. H., 2023, "Advanced thermal management system using phase change heat transfer," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023 -11526.
- (54) Kim, H. K., Lee, D. G., Seo, B. S., 2023, "Ocean thermal energy conversion using thermally regenerative electrochemical cycle," Proceedings of the KSFM 2023 Summer Annual Meeting, KSFM2023-11527.
- (55) Lee, Y. S., Lee, J. H., Jeong, E. B., 2023, "An analytical study on the design of differential heat dissipation paths for temperature leveling of high-power devices," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21506.
- (56) Jang, S. J., Lee, Y. S., Lee, J. H., Jeong, E. B., 2023, "Study on the selection of coolant and temperature uniformity for the performance improvement of HPA devices," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21507.
- (57) Choi, S. B., Lee, S. H., Kang, I. H., 2023, "A study on the effect of portable equipment bag shape on heat dissipation performance," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21508.
- (58) Kang, I. H., Choi, S. B., Lee, S. H., 2023, "Optimization of thermal comfort in military shelters through PMV and PPD calculations under varying air conditioning system conditions," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21509.
- (59) Park, J. Y., Jang, J. Y., Kim, J., 2023, "Analysis of aerodynamic characteristics of multiple weapon carriage equipment for aircraft mounted external store using the overset mesh technique," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21510.
- (60) Kang, B. C., Park, S. K., Kim, T. H., Kim, Y. M., 2023, "Project on development of P2H technology utilizing renewable curtailment for carbon neutrality," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM 2023-21515.
- (61) Heo, J. H., Kim, D. W., Lee, D. W., Kim, M. W., Kwak, H. Y., Chang, K. C., Kim, K. B., 2023, "Feasibility analysis and design of thermal energy production and storage system for P2H," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21516.
- (62) Oh, S. J., Song, T. H., Ko, E. J., Ko, J. W., 2023, "Annual performance analysis of an agricultural P2H system utilizing renewable energy surplus power," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21517.
- (63) Lee, J. W., Kim, Y. S., Oh, S. B., Lee, D. S., Hyun, M.

- T., 2023, "Development of heat utilization simulator in response to curtailment," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023- 21518.
- (64) Oh, S. Y., Lee, H. S., Jeong, M. Y., Park, J. G., Lee, Y. M., 2023, "Development of PlusDR platform for P2H with renewable energy output limits," Proceedings of the KSFM 2023 Winter Annual Meeting, KSFM2023-21519.