# 전기자동차 충전기 쿨링시스템에 적용할 열흡수 장치의 축열 및 방열 특성에 관한 실험적 연구

최두한<sup>1</sup>, 김명준<sup>2</sup>, 유직수<sup>2</sup>, 홍대선<sup>3\*</sup> <sup>1</sup>창원대학교 메카트로닉스공학부, <sup>2</sup>국립군산대학교 기관공학과, <sup>3</sup>창원대학교 기계공학부

## Experimental Study on the Heat Charging and Discharging Characteristics of a Heat Absorption Device Applied to the Cooling System of Electric Vehicle Chargers

Doo-Han Choi<sup>1</sup>, Myoung-Jun Kim<sup>2</sup>, Jik-Su Yu<sup>2</sup>, Dae-Sun Hong<sup>3\*</sup> <sup>1</sup>School of Mechatronics Engineering, Changwon National University <sup>2</sup>Department of ship engine engineering, Kunsan National University <sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Changwon National University

**요 약** 에너지의 효과적인 활용을 위해 다양한 에너지 저장 기술이 개발되어 왔으며, 그 중 열에너지 저장 기술은 에너지 저장 기술 중에서도 중요한 부분을 차지한다. 상변화물질은 열에너지 저장 밀도가 크고 등온적 저장 과정을 가지는 특성 이 있어 열에너지 저장에 효과적이다. 상변화물질은 열에너지를 잠열 형태로 저장하므로 현열에 비해 많은 열에너지를 흡수 및 방출할 수 있어 열에너지 저장 시스템에 많이 적용되고 있다. 전기자동차의 급속충전시 충전케이블에 발생되는 열을 효과적으로 제거하기 위하여 상변화물질이 적용된 열흡수 장치를 급속충전기 쿨링시스템에 적용하고자 한다. 본 연구에서는 지방산인 팔미트산과 스테아르산을 혼합하여 제작한 혼합 상변화물질을 제작된 열흡수 장치에 적용하고, 축 열 및 방열 실험을 통하여 상변화물질의 열전달 특성 및 열적 거동을 고찰하였다. 축열량은 2.4 ~ 3.2 MJ, 방열량은 2.0 ~ 3.0 MJ로 나타났으며, 축열 과정에서의 평균 열전달률은 0.4 kW ~ 0.8 kW, 방열 과정에서의 평균 열전달률은 1.2 kW ~ 1.5 kW로 나타났다.

**Abstract** Various energy storage technologies are being developed for effective energy utilization, with thermal energy storage playing a significant role. Phase change materials (PCMs) have a high thermal energy storage density and isothermal storage characteristics, making them effective for thermal energy storage. PCMs have been widely applied in thermal energy storage systems because they store thermal energy as latent heat, allowing them to absorb and release a greater amount of thermal energy compared to sensible heat. PCM-based heat absorption devices are being integrated into rapid charger cooling systems to dissipate efficiently the heat generated in charging cables during the rapid charging of electric vehicles. In this study, a mixed PCM composed of palmitic acid and stearic acid was applied to a fabricated heat absorption device, and its thermal transfer characteristics and thermodynamic behavior are to be investigated through charging and discharging experiments. The heat storage capacity ranged from 2.4 to 3.2 MJ, while the heat dissipation capacity was between 2.0 and 3.0 MJ. The average heat transfer rate during the charging process ranged from 0.4 kW to 0.8 kW, while it ranged from 1.2 kW to 1.5 kW during the discharging process.

Keywords : Cooling System of EV Chargers, Differential Scanning Calorimetry, Finned-Tube Heat Exchanger, Heat Absorption Device, Phase Change Material

## 1. 서론

에너지의 효과적인 활용을 위해 다양한 에너지 저장 기술이 개발되어 왔으며, 그 중 열에너지 저장 기술은 에너지 저장 기술 중에서도 중요한 부분을 차지한다 [1-3]. 열에너지의 전통적인 저장 방식은 에너지의 형태 를 변화시키는 과정을 거치지 않고 열을 저장하는데, 현 열에 의한 저장과 잠열에 의한 저장으로 구분할 수 있 다. 잠열은 상변화물질(Phase change material)을 이 용하여 저장이 가능하며, 열에너지 저장 밀도가 크고 등 온적 저장 과정을 가지는 특성이 있는 상변화물질은 열 에너지 저장에 효과적이다[4]. 상변화물질은 열에너지 저장이 가능한 특성으로 인하여 열에너지 저장 시스템 에 적용되고 있으며, 최근 열에너지의 효율적인 사용을 위하여 상변화물질을 열교환기에 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다. Medrano 등[5]은 5종의 열교환기 실험 을 통하여 열교환기가 잠열을 저장하는 열저장시스템으 로 작동하는 동안 열전달 과정에 대하여 연구하였다. Barz 등[6]은 소형 플레이트 핀 열교환기에 충전된 세 가지 상업용 파라핀의 상변화 거동에 대하여 실험 및 모 델 기반 연구를 수행하였다. Elkezza 등[7]은 지열 에너 지 기초와 벽으로 구성된 상변화물질 열교환기를 두 가 지 유형으로 제작하고, 제작된 열교환기의 열 성능을 실 험하였다. Zhang 등[8]은 냉난방장치에 핀 튜브 열교 환기 상변화물질 열교환기를 적용시켜 열전달 성능을 위한 실험을 수행하였으며, 성능 개선을 위한 CFD 모 델을 개발하였다. Herbinger 등[9]은 상변화물질 열에 너지 저장 시스템의 열교환기 설계 규칙을 결정하기 위 하여 다양한 열교환기를 구성하였으며, 이를 통하여 다 양한 조건에서의 실험 연구를 수행하였다. Nematpour Keshteli 등[10]은 열저장시스템의 열전도도 성능 향상 을 위해 연구를 수행하였으며, PCM이 내장된 Triplex-Tube 열교환기에 금속 폼 및 나노 입자를 추 가하거나 핀 형상을 고려하는 등 여러 케이스의 실험을 실시하였다. Kareem 등[11]은 증발 냉각 시스템에 상 변화물질 열에너지 저장 시스템을 적용하여 배출 공기 온도의 안정성 향상에 대해 연구하였다. 이와 같이 상변 화물질은 열에너지의 효율적 사용을 위해 다양하게 적 용되고 있으며, 전기자동차 급속충전기의 쿨링시스템에 적용하여 충전케이블 발열 제거에 효과가 있을 것으로 기대된다.

전기자동차 충전시 발생되는 열을 효과적으로 제거하



Fig. 1. Schematic diagram of a heat absorption device applied to the cooling system of an electric vehicle charger

기 위하여 Fig. 1과 같이 상변화물질이 적용된 열흡수 장 치를 전기자동차 급속충전기의 쿨링시스템에 적용하고자 한다. 본 연구에서는 열흡수 장치를 쿨링시스템에 적용 하기 전에 축열 및 방열 실험을 통하여 열전달 특성 및 열적 거동을 고찰하였다. 본 연구 결과는 전기자동차 급 속충전기의 쿨링시스템 개발 및 최적화를 위한 연구 자 료로 활용할 예정이다.

## 2. 연구 방법

#### 2.1 상변화물질의 선정

열흡수 장치는 전기자동차 충전케이블 내부에 흐르는 냉각유의 열을 흡수하기 위한 것으로 열흡수 장치에 적 용되는 상변화물질의 융점은 냉각유의 최대 허용 온도에 따라 결정된다. 충전케이블 내부에 흐르는 냉각유의 최 대 허용 온도는 케이블 제조사에 따라 차이가 있으나 일 반적으로 65 ℃ 이하를 요구하고 있다. 열흡수 장치에 적 용할 상변화물질은 냉각유의 최고 허용 온도를 고려하여 상변화 구간이 65 ℃ 이하에 있으며, 200 kJ/kg에 가까 운 잠열량(Latent heat)을 가지는 물질로 선정하였다. 열흡수 장치에 적용될 상변화물질은 저자의 이전 논문에 서 발표한 바와 같이 상변화물질의 혼합을 통해 개발하 였다[12]. 열흡수 장치에 적용한 혼합 상변화물질은 지방 산인 팔미트산(Palmitic acid)과 스테아르산(Stearic acid)의 혼합물(이하 PA-SA혼합물)이며, 혼합비는 Table 1과 같다. 단일 물질의 제조사에서 제공하는 열적 특성은 Table 2와 같다.

Mixtures	Phase change materials	Composition [wt%]
PA-SA mixture	Palmitic acid - Stearic acid	3:7

Table 1. Composition of the fatty acid mixture

Table 2. Properties of the phase change materials

Properties	Palmitic acid Stearic acid	
Melting point [°C]	62.49	67 ~ 69
Boiling point [°C]	351.5	361
Flash point [°C]	205	196
Specific gravity	0.85	0.84
Purity [%]	95 ~ 100	95 ~ 100

#### 2.2 실험장치 및 방법

#### 2.2.1 실험장치의 구성

PA-SA혼합물의 융해 피크온도(Peak temperature) 와 잠열량을 측정하기 위하여 시차주사열량계를 사용하 였으며, TA Instruments사의 DSC 250 모델을 이용하 여 측정하였다.

열흡수 장치의 축열 및 방열 특성을 확인하기 위한 실 험장치는 항온수조, 데이터 로거 시스템, 열전대, 유량계 등으로 Fig. 2와 같이 구성하였다. 열흡수 장치는 상변화 물질을 담을 수 있도록 480 mm (W) × 259 mm (L) × 170 mm (H) 크기의 용기로 내부에는 핀과 튜브로 구성되어 있다. 열흡수 장치 내부에는 상변화물질인 PA-SA혼합물을 채웠다. 열흡수 장치의 외벽은 단열재를 통하여 단열처리를 하였다.



Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup

#### 2.2.2 실험 조건 및 방법

본 연구에서는 PA-SA혼합물의 열적 특성 분석을 위 해 융해 피크온도와 잠열량을 측정하였다. DSC를 사용 하여 측정하였으며, DSC 분석 조건을 20 ℃ ~ 90 ℃ 범 위에서 5 K/min의 승온 및 냉각 속도로 설정하여 측정 하였다.

열흡수 장치의 축열 및 방열 특성을 확인하기 위하여 열흡수 장치 용기 내부에 상변화물질을 채워 축열 및 방열 특성을 분석하였다. 열전달 유체(HTF: Heat Transfer Fluid)를 통하여 열흡수 장치에 열 에너지를 전달하였으 며, 열전달 유체로는 물을 사용하였다. 열전달 유체는 항 온수조를 통하여 일정한 온도를 유지하도록 하였으며, 상변화물질 내부로 연결된 열흡수 장치의 튜브에 흐르게 하여 상변화물질과 열 에너지를 교환하도록 하였다. 실 험 조건은 Table 3과 같이 열흡수 장치 튜브 내부로 흐 르는 물의 온도를 다양하게 설정하여 실험하였다. 열전 대를 열흡수 장치 튜브의 입구와 출구, 상변화물질 내부 에 설치하여 온도를 측정하였으며, 열전대 설치 위치는 Fig. 3과 같다. 1번부터 9번까지의 열전대는 상변화물질 내부 온도, 10번은 입구 온도, 11번은 출구 온도를 측정 하였다. 열전대를 통해 측정된 온도 데이터는 연결된 데 이터 로거 시스템에 의해 저장된다.

Parameter		Unit	Value
Water temperature	melting	Ċ	60/65/70
in bath	solidification		25
PCM weig	kg	9.6	
Flow rate of heat th	l/min	1	



Fig. 3. Location of thermocouple position in the heat absorption device

열전달 유체와 상변화물질 사이의 열전달률은 열전달 유체의 온도 차를 이용하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T \tag{1}$$

Where, Q [W] denotes heat transfer rate, m [g/s] denotes mass flow rate of the HTF,  $C_p$  [J/g·C] denotes specific heat capacity of the HTF,  $\Delta T$  [C] denotes temperature difference between the inlet and outlet

열흡수 장치의 축열량 및 방열량은 열전달 유체의 온 도차를 이용하여 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$Q = \int_{0}^{t} \dot{m} C_{p} \Delta T dt$$
<sup>(2)</sup>

Where, Q [MJ] denotes amount of heat stored

## 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 DSC 측정 결과

PA-SA혼합물의 DSC 측정 결과를 Fig. 4에 나타냈으 며, PA-SA혼합물의 융해 피크온도는 57.06 ℃, 잠열량 은 199.26 kJ/kg으로 나타났다.

#### 3.2 축열 특성

열흡수 장치에 공급되는 열전달 유체 온도(T<sub>HTF</sub>)를 입 력 변수로 하는 열흡수 장치의 축열 특성을 확인하였다. Fig. 5는 열흡수 장치 튜브로 열전달 유체를 흐르게 하여



Fig. 4. DSC analysis result for the PA-SA mixture

시간 경과에 따른 열흡수 장치의 출구 온도 변화를 나타 낸 것으로, T<sub>HTF</sub>를 60 ℃, 65 ℃, 70 ℃로 변화시키면서 실험하였다. 시간이 경과함에 따라 출구 온도가 상승하 고, THTF가 높을수록 최종 도달 온도가 더 높은 것을 보 여준다. THTF가 70 ℃인 경우 시간 경과에 따라 출구 온 도가 증가하였으며, 15분이 지나는 시점부터 온도 증가 가 둔화되는 것을 보여준다. 이후 30분이 지나는 시점부 터 52분까지 다시 온도가 증가하다가 52분 이후부터 최 종 도달 온도까지 출구 온도는 증가가 둔화되는 것을 보 여준다. T<sub>HTF</sub>가 65 ℃와 60 ℃인 경우 출구 온도는 실험 시작과 동시에 급격히 증가하다가, 각각 16분, 20분 이 후 증가가 둔화되어 최종 도달 온도까지 출구 온도는 미 미한 변화를 보였다. Fig. 6은 시간에 따른 상변화물질의 평균온도 변화를 나타낸 것으로 열전대 1번부터 9번까지 의 온도 측정값을 평균한 값이다. 상변화물질 온도는 시 간이 지남에 따라 증가하며, THTF가 높을수록 상변화물 질 평균온도가 더 빨리 증가되는 것을 보여준다. 상변화 물질의 온도가 약 54 ℃가 넘어 가는 시점부터 약 64 ℃ 까지 온도 변화가 정체되는 상변화 구간이 나타났다. 실 험 시작과 동시에 상변화물질은 약 54 ℃까지 고체 상태 의 현열변화가 나타났으며, 약 64 ℃가 되는 시점 이후부 터 액체 상태의 현열변화가 나타났다. T<sub>HTF</sub>가 70 ℃인 경우 최종 도달 온도가 상변화 구간의 온도보다 높아 상 변화 구간을 명확히 보여주지만 T<sub>HTF</sub>가 65 ℃와 60 ℃ 인 경우에는 최종 도달 온도가 상변화 온도와 거의 동일 하거나 상대적으로 낮아 상변화 종료 지점이 명확하게 나타나지 않는다. 식 (1)과 식 (2)를 통하여 열전달률과 축열량을 각각 구하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타냈 다. 왼쪽 Y축은 축열 과정에 서의 열전달률을 나타내며, 오른쪽 Y축은 누적 축열량을 나타낸다. 열전달률은 실험 초반에 높게 나타나다가 상변화 구간을 지남에 따라 감 소하는 것을 보여준다. 평균 열전달률은 THTF가 60 ℃일 때 0.4 kW, 65 C일 때 0.4 kW, 70 C일 때 0.8 kW로 나타났다. 축열량은 T<sub>HTF</sub>가 60 ℃일 때 2.4 MJ, 65 ℃일 때 3.2 MJ, 70 ℃일 때 3.2 MJ로 나타났으며, T<sub>HTF</sub>가 높 을수록 축열량이 더 높은 것을 알 수 있다. Fig. 8은 T<sub>HTF</sub>가 70 ℃일 때의 열흡수 장치 내부의 사진으로 상변 화물질이 융해되는 과정을 보여주고 있다. 실험 초반인 10분이 경과된 시점은 상변화물질이 고체 상태인 흰색으 로 응고되어 있는 것을 보인다. 시간이 경과될수록 상변 화물질이 고체에서 액체로 서서히 녹는 모습을 보이며, 50분이 경과되었을 때는 투명색의 액체 상태를 띄고 있 음을 보이고 있다.



Fig. 5. Outlet temperature during the charging process



Fig. 6. Average temperature in the PCM during the charging process



Fig. 7. Heat transfer rate and amounts during the charging process



Fig. 8. Melting behavior of the PCM during charging with HTF at 70  $\ensuremath{^{\circ}\text{C}}$ 

## 3.3 방열 특성

방열 실험을 통하여 열흡수 장치의 방열 특성을 확인 하였다. Fig. 9는 앞서 실시한 축열 실험에 이어서 실시 한 것으로 열흡수 장치 튜브로 열전달 유체를 25 ℃로 흐 르게 하여 시간 경과에 따른 열흡수 장치의 출구 온도 변 화를 나타냈다. THTF가 60 ℃인 경우의 축열 실험에 이 어서 진행한 방열 실험은 25 ℃에 도달하는데 26분이 소 요된 것을 보여준다. THTF가 65 ℃와 70 ℃인 경우 각각 30분, 31분에 출구 온도가 25 ℃에 도달하였다. Fig. 10 은 상변화물질의 평균온도 변화를 시간에 따라 나타낸 것으로 상변화물질 온도는 시간이 지남에 따라 감소하는 것을 보여준다. 상변화물질의 온도는 열흡수 장치의 출 구 온도 변화와 거의 유사하게 나타나는데 열전달 유체 와상변화물질 사이 열교환이 잘 되고 있음을 알 수 있다. 열흡수 장치에 충전된 상변화물질의 시작 온도에 따라 응고 시간의 차이를 보여주는데, 상변화물질의 시작 온 도가 높을수록 상변화물질이 응고되어 25 ℃에 도달하는 데 소요되는 시간이 증가하는 것을 보여준다. 또한 앞서 실시한 축열 실험과 동일하게 54 ℃부터 64 ℃까지는 시 간에 따른 온도의 변화가 정체되는 상변화 구간을 보여 준다. Fig. 11은 방열 실험을 통해 구한 열전달률의 결과 를 나타냈다. 왼쪽 Y축은 열전달률을 나타내며, 오른쪽 Y축은 누적 방열량을 나타낸다. 평균 열전달률은 T<sub>HTF</sub>가 60 ℃인 경우의 축열 실험에 이어서 진행한 실험에서 1.2 kW, 65 ℃일 때 1.5 kW, 70 ℃일 때 1.4 kW로 나 타났으며, 상변화 구간을 지나면서 열전달률이 급격히 감소하는 것을 보여준다. 방열량은 THTF가 60 ℃인 경우 의 축열 실험에 이어서 진행한 실험에서 2.0 MJ, 65 ℃ 일 때 2.9 MJ, 70 ℃일 때 3.0 MJ로 나타났다. Fig. 12 는 T<sub>HTF</sub>를 70 ℃에서 25 ℃로 변경했을 때의 열흡수 장 치 내부의 사진으로 상변화물질이 응고되는 과정을 보여



Fig. 9. Outlet temperature during the discharging process



Fig. 10. Average temperature in the PCM during the discharging process



Fig. 11. Heat transfer rate and amounts during the discharging process

5 minute	15 minute	30 minute

Fig. 12. Solid fication behavior of the PCM during discharging with HTF at 25  $\ensuremath{^\circ\!C}$ 

주고 있다. 시간이 경과될수록 상변화물질이 액체에서 고체로 응고되는 모습을 보이고 있으며, 30분이 경과되 었을 때 고체 상태인 흰색을 띄고 있음을 보이고 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 열흡수 장치의 축열 및 방열 특성을 확 인하기 위하여 열교환 성능 시험을 실시하였다. 열흡수 장치에 공급되는 T<sub>HTF</sub>를 입력 변수로 하여 실험을 진행 하였으며, 실험을 통하여 열흡수 장치의 출구 온도와 내 부에 충전된 상변화물질의 온도 거동을 확인하였다. 본 연구의 실험 결과를 토대로 연구 내용을 요약하면 다음 과 같다.

- PA-SA혼합물의 DSC 측정 결과 융해 피크온도는 57.06 ℃, 잠열량은 199.26 kJ/kg으로 나타났다.
- (2) 열흡수 장치에 적용된 PA-SA혼합물은 54 ℃ 이하 의 온도와 64 ℃ 이상의 온도에서 현열구간을 확 인할 수 있었으며, 54 ℃부터 64 ℃까지는 상변화 구간을 확인하였다.
- (3) 열흡수 장치의 평균 열전달률은 축열 과정에서 T<sub>HTTF</sub>가 60 ℃일 때 0.4 kW, T<sub>HTTF</sub>가 65 ℃일 때 0.4 kW, T<sub>HTTF</sub>가 70 ℃일 때 0.8 kW로 나타났으 며, 방열 과정에서 T<sub>HTTF</sub>가 60 ℃일 때 1.2 kW, T<sub>HTTF</sub>가 65 ℃일 때 1.5 kW, T<sub>HTTF</sub>가 70 ℃일 때 1.4 kW로 나타났다.
- (4) 열흡수 장치의 축열량 및 방열량은 T<sub>HTF</sub>가 60 ℃
  일 때 2.4 MJ 및 2.0MJ, T<sub>HTF</sub>가 65 ℃일 때 3.2
  MJ 및 2.9 MJ, T<sub>HTF</sub>가 70 ℃일 때 3.2 MJ 및 3.0
  MJ로 나타났다.

### References

- A. Vecchi, Y. Li, Y. Ding, P. Mancarella, "Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives", *Advances in Applied Energy*, Vol.3, Aug. 2021. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100047</u>
- [2] H. Mahon, D. O'Connor, D. Friedrich, B. Hughes, "A review of thermal energy storage technologies for seasonal loops", *Energy*, Vol.239, Jan. 2022. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122207</u>
- [3] E. Guelpa, V. Verda, "Thermal energy storage in district heating and cooling systems: A review", *Applied Energy*, Vol.252, Oct. 2019. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113474</u>
- [4] A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.13, pp.318-345, Feb. 2009. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.007</u>
- [5] M. Medrano, M. O. Yilmaz, M. Nogués, I. Martorell, J. Roca, L. F. Cabeza, "Experimental evaluation of commercial heat exchangers for use as PCM thermal storage systems", *Applied Energy*, Vol.86, pp.2047-2055, Oct. 2009. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.014</u>
- [6] T. Barz, J. Emhofer, "Paraffins as phase change

material in a compact plate-fin heat exchanger - Part I: Experimental analysis and modeling of complete phase transitions", *Journal Energy Storage*, Vol.33, Jan. 2021.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102128

- [7] O. Elkezza, M. Alhawat, M. Mohamed, Amir Khan, "Experimental investigation on the use of PCM heat exchangers in Geo-energy piles and walls", *Geothermics*, Vol.119, May 2024. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/i.geothermics.2024.102950</u>
- [8] X. Y. Zhang, Y. T. Ge, Burra, P. Y. Lang, "Experimental investigation and CFD modelling analysis of finned-tube PCM heat exchanger for space heating", *Applied Thermal Energy*, Vol.244, May 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122731
- [9] F. Herbinger, D. Groulx, "Experimental comparative analysis of finned-tube PCM-heat exchangers' performance", *Applied Thermal Engineering*, Vol.211, July 2022. DOI: <u>https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118532</u>
- [10] A. NematpourKeshteli, M. Iasiello, G. Langella, N. Bianco, "Enhancing PCMs thermal conductivity: A comparison among porous metal foams, nanoparticles and finned surfaces in triplex tube heat exchangers", *Applied Thermal Engineering*, Vol.212, July 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118623
- [11] B. E. Kareem, A. M. Adham, B. N. Yaqob, "Experimental analysis of air-multiple pcm heat exchanger in evaporative cooling systems for supply air temperature stabilization", *Journal of Building Engineering*, Vol.82, April 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108269
- [12] D. H. Choi, T. W. Kim, M. J. Kim, J. S. Yu, D. S. Hong, "Experimental Study on the Thermal Characteristics and Melting Behavior of Phase Change Materials Applied to the Cooling System of Electric Vehicle Chargers", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.25, No.1, pp.349-356, Jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.1.349

#### 최 두 한(Doo-Han Choi)

[정회원]



- 2019년 8월 : 부경대학교 기술경 영협동과정 (공학석사)
- 2023년 2월 : 창원대학교 메카트 로닉스공학부 (박사수료)

김 명 준(Myoung-Jun Kim)

#### [정회원]



1998년 2월 : 한국해양대학교 대학원 기관공학 (공학석사)
2002년 3월 : (일본)오카야마대학 대학원 열공학전공 (공학박사)
2003년 9월 ~ 현재 : 국립군산대 학교 기관공학과 교수

<관심분야> 열전달, 축열분야, 열에너지 회수

#### 유 직 수(Jik-Su Yu)



2008년 2월 : 국립군산대학교 대 학원 해양산업공학전공 (공학석사)
2012년 9월 : (일본)오카야마대학 대학원 열공학전공 (공학박사)
2016년 10월 ~ 현재 : 국립군산대 학교 책임연구원

<관심분야> 열전달, 축열분야, 열에너지 회수

홍 대 선(Dae-Sun Hong)

[정회원]

[정회원]



1986년 2월 : 한국과학기술원 대학원 생산공학 (공학석사)
1995년 8월 : 한국과학기술원 대학원 생산공학 (공학박사)
1982년 1월 ~ 1997년 2월 : 삼성 항공산업(주) 수석연구원
1997년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 기계공학부 교수

〈관심분야〉 생산자동화, 인공지능응용

〈관심분야〉 생산자동화, 인공지<del>능응용</del>, 열전달