

전기자동차용 승차공간 난방용 디젤 공기 히터의 실차 성능에 관한 연구

방유마¹, 서재형², 이무연^{1*}
¹동아대학교 기계공학과, ²엔티에프 텍

Experimental Study on the Heating Performances of the Air Heater with Diesel for Passenger Cabin Heating of an Electric Vehicle

You-Ma Bang¹, Jae-Hyeong Seo², Moo-Yeon Lee^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

²R&D Division, NTF Tech Co.

요약 본 논문은 전기자동차의 주행 거리 향상을 위한 전기자동차용 연소식 공기 히터를 개발하기 위하여 기존 디젤 연소식 공기 히터의 난방성능에 대한 실험 및 분석을 실시하였다. 본 연구에서 사용된 연소식 공기 히터의 성능 분석을 위하여, 히터의 열용량 계산과 실차 실험을 통한 온도 변화를 고찰하였다. 승차공간으로 공급되는 난방 공기의 온도는 101.3 °C이며 연소식 공기 히터 내부 히트싱크의 표면 온도 편차는 위치에 따라 67.8% 차이를 나타내었고 공기 히터의 난방 열량은 2.0 kW로 산출되었다. 또한 연소식 공기 히터의 실차적용 실험에서 차량 승차공간의 내부 온도는 지속적으로 상승하였고 1800초 후 승차공간의 상부 공기 온도는 42.5 °C이고, 하부 공기 온도는 25.3 °C로 나타났으며 디젤 연소식 공기 히터의 난방 효율은 평균 63.7%로 산출되었다.

Abstract The objective of this study is to experimentally investigate the heating performances of the portable air combustion heater using diesel fuel for auxiliary cabin heating of the battery electric vehicle. In order to evaluate the heating performances of the air combustion heater, the heating capacity was calculated by the temperature at inlet and outlet parts of the considered heater and the inner temperature distribution characteristics of the vehicle were measured during 1600 seconds with an interval of 1 second. The theoretical efficiency of the tested heater was calculated by temperature data of the air of supplying and exhausting to the cabin. As the air passed the heat-sink, the air temperature at the end of heat-sink reached to 101.3 °C and the difference of temperature on heat-sink was 67.8%. The average heating capacity of the air combustion heater showed 2.0 kW. After 1800 seconds, the inner temperature of the vehicle cabin was continuously increased. The temperatures of the top side and the bottom side of the car cabin under consideration were increased upto 42.5 °C and 24.3 °C, respectively, and the theoretical efficiency of the tested heater was on average 63.7%.

Keywords : Air Heater, Cabin Heating, Heating capacity, Electric vehicle, Temperature distribution

1. 서론

전 세계적으로 내연기관 자동차에서 발생하는 CO₂

배출량을 줄이기 위한 범세계적인 자동차 개발 트렌드는 CO₂ 배출을 획기적으로 감소시킬 수 있는 친환경 자동차 개발이 주목받고 있다. 특히 친환경 자동차 중 내연기

*교*본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과입니다 (B5-2401). 본 논문의 내용중 일부는 2015년도 대한기계학회 창립 70주년 기념 학술대회와 한국동력기계공학회 2015년도 춘계학술대회에 발표되었음.

*Corresponding Author : Moo-Yeon Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-51-200-7642 email: mylee@dau.ac.kr

Received October 21, 2015

Accepted November 6, 2015

Revised (1st October 28, 2015, 2nd November 3, 2015)

Published November 30, 2015

관 동력원을 배제한 전기자동차는 주행 중 CO₂ 발생이 전혀 없어 환경규제를 준수해야 하는 완성차 업계의 큰 관심을 받고 있다.

일반적으로 내연기관 자동차의 난방 시스템은 엔진에서 발생하는 폐열을 냉각수를 이용하여 라디에이터로 열을 이송시킨 후 팬을 이용하여 뜨거운 공기를 유입시키는 방식으로 난방 열원을 공급하기 용이하지만, 발열원인 엔진이 없는 전기자동차는 배터리의 전력을 사용하여 난방 열원을 발생시키는 PTC 히터를 사용함에 따라 주행 중 냉난방 시 주행거리가 50%이상 저하되는 요인으로 작용하고 있다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전기자동차의 전력변환모듈 고효율화 및 수명 확보를 위한 배터리 최적 냉난방시스템 개발 등의 연구개발이 진행되고 있으나 원천적인 문제 해결을 위하여 난방에 의한 부가적인 배터리 전력 소모를 없앨 수 있도록 타 에너지원을 이용한 전기자동차용 보조 난방장치 개발이 고려될 필요가 있다.

현재 보조 난방 장치의 경우 매우 다양한 열원을 이용하여 개발 및 연구가 진행 중이다. 요즘 새롭게 두각을 올리고 있는 전기 자동차용 히트 펌프 시스템의 경우 Choi et al. (2012)의 연구에서 히트 펌프 시스템이 PTC 히터와 동등한 난방성능을 출력 가능할 뿐만 아니라 전력소비량을 최소 877 Wh 절감 할 수 있다고 보고하였다[2][9]. Park (2012)은 자동차용 난방장치에 장착한 적외선램프 히터의 난방 성능에 관한 연구를 수행하였고, 기존의 PTC 히터와 적외선램프의 성능을 비교할 경우 대류를 통한 공기의 온도는 PTC 히터가 높았으나 적외선램프 히터는 복사열을 이용하여 물체의 온도를 높이는 방식을 이용하여 적은 에너지 소비로 PTC히터 보다 높은 열 쾌적성을 나타내었다[3].

또한 Park et al. (2012)은 전기자동차 전력변환부품에서 발생하는 폐열을 이용한 보조가열 온수히터를 PTC 히터 전방에 장착하여 PTC 히터의 사용량을 줄이는 연구가 진행하였다. 기존의 폐열만 이용할 경우 PTC 히터만을 이용한 경우보다 난방 효율을 4.8%로 향상시켰다[4].

보조 난방 시스템에 관련된 연구로서 Choi et al. (2013)는 바이오에탄올을 사용하는 연소식 히터를 적용한 난방시스템을 제시하였다. 바이오에탄올 연소 히터의 전기 소모율의 경우 기존 보조 난방 시스템과 비교하여 매우 미미하였으나 난방 용량이 부족하여 난방 용량 증

가를 위한 개선이 필요하다. 또한 기존 연구의 경우 연소식 히터에서 발생하는 열을 수냉식으로 열을 이동시켜 라디에이터 및 팬을 이용하여 난방 열량을 얻기 때문에 구조적으로 복잡한 단점이 있다[5].

앞서 설명한 기존 보조 히터들의 경우 전기 소모율이 기존 PTC 히터에 비해 적지만 복잡한 구조, 난방용량의 부족 등의 문제점이 존재하며, 이를 보완할 수 있도록 간단한 구조를 지니며 전기 자동차의 전기 소모량을 줄일 수 있는 전기 자동차용 연소식 공기 히터의 개발이 필요하다. 현재 해외의 경우 대형 트럭용 디젤 연소식 공기 히터가 개발되어 상용화되고 있으며 국내에도 디젤 연소식 공기 히터에 대한 연구개발이 진행되고 있다[6].

따라서 본 연구에서는 전기자동차의 주행거리 향상을 위한 전기 자동차용 연소식 공기 히터 개발을 위하여 기초 연구 자료를 확보하기 위한 기존 디젤 연소식 공기 히터의 난방성능에 관한 실험적 연구를 실시하였으며 실차 적용 실험을 통하여 시간에 따른 차량 승차공간 내부 온도분포 특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 단품실험 장치 및 방법

본 연구에서는 2 kW급 디젤 연소식 공기 히터를 실험 대상으로 상세 제원은 Table 1에 나타내었다[7]. 실험 데이터 측정 및 분석을 위하여 내부 온도를 측정하기 위하여 T-type 열전대를 사용하였고 연소식 공기 히터 내부 연소부의 화염 온도를 측정하기 위하여 K-type 열전대를 사용하였다. 데이터 로거 (GRAPHTEC社 GL820)를 이용하여 온도값을 기록하였으며, 데이터 로거의 정확도는 0.1% (rdg +0.5)이고 T-type, K-type 열전대의 정확도는 ± 0.1 °C이다. 공기 히터의 난방성능 특성을 분석하기 위하여 공기 히터 유입 공기 및 토출 공기 온도를 측정하였고 히트싱크 표면 위치에 따른 온도를 분석하였다. 실험은 1800초 동안 수행하였고 공기 히터의 난방용량은 공기 히터의 입/출구 측 공기 온도로 산출하였으며 아래 식(1)을 이용하였다.

$C_{p,air}$ 은 공기의 비열, ρ_{air} 은 공기의 밀도, V_{air} 은 공기 히터에 들어오는 공기 유입량, $T_{air,inlet}$ 은 공기 히터로 들어오는 공기의 온도이고 $T_{air,outlet}$ 은 가열되어 차량 승차공간 내부로 들어가는 가열된 공기 온도이다.

$$Q_{heat} = C_{p,air} \rho_{air} V_{air} (T_{air,outlet} - T_{air,inlet}) \quad (1)$$

Table 1. Specifications of the tested unit

Component	Specification
Heating capacity	0.9 ~ 2.0 kW
Fuel	Diesel
Rated Voltage	12 Volts / 24 Volts
Power consumption	9 ~ 24 W
Size	300(L) × 120(W) × 120(H) mm
Weight	2.6 kg

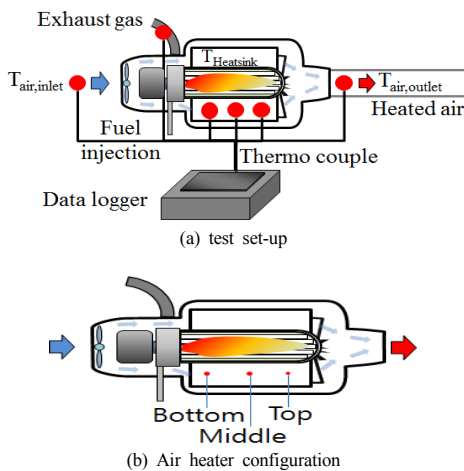


Fig. 1. Experimental set-up

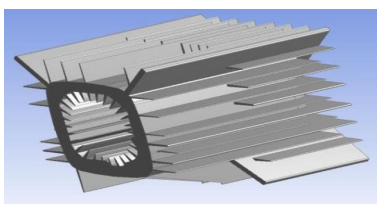


Fig. 2. Single of the heat-sink for the air heater

2.2 실차시험 장치 및 방법

본 연구에서 디젤 연소식 공기 히터의 차량 난방 성능을 확인하기 위하여 준중형급 승용차를 개조하여 실험을 실시하였다. 본 실험을 실시하기 위하여 디젤 연소식 공기 히터는 트렁크의 후방부에 설치하였고 배관을 통하여 내부로 가열된 공기를 유입시켜 차량 내부 공기 온도를 상승 시켰다. 실차 실험을 위한 시험조건 및 승차공간 내부 제원은 Table 2에 나타내었다. 또한 승차공간 내부

온도 분포를 확인하기 위하여 T-type 열전대를 이용하여 내부 온도 및 공기 온도를 측정하였고 화염 온도는 K-type 열전대를 이용하여 측정하였다. 온도 측정 위치는 Fig. 3에 나타내었으며 Table 3에 차량 승차공간 내 공기 온도 측정 포인트를 나타내었다. 실험을 통하여 계산된 공기 히터 난방효율은 기술표준원 보고서를 참고 [8]하여 식(2)~(4)를 이용하여 계산하였다.

$$Q_{in} = Q_{heat input} - Q_{exh} \quad (2)$$

Q_{in} 은 난방 공급열로 입열($Q_{heat input}$)과 배기 열손실(Q_{exh})의 차이로 계산된다.

$$Q_{exh} = V_{air,burn} C_{p,air} (T_{air,exh} - T_{air,inlet}) \quad (3)$$

Q_{exh} 의 경우 연소공기량, 공기의 비열, 배출 가스 온도와 유입되는 외부 공기의 온도차의 곱으로 계산된다.

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{heat input}} \quad (4)$$

이를 통하여 식(4)를 통하여 난방 공급열을 입열로 나눈 값을 효율로 계산할 수 있다.

Table 2. Specifications of the test condition

Component	Specification
Inner area	2,500(L) × 167(W) × 1,395(H) mm
Initial inner temperature	20 °C
initial outdoor temperature	20 °C
Test time	1800 seconds

Table 3. Point of thermocouple

Thermocouple Point	Location
$T_1 \sim T_{11}$	Cabin temperature
$T_{air,outlet}$	Heated air temperature
$T_{air,exh}$	Exhaust air temperature
$T_{air,inlet}$	Inlet air temperature

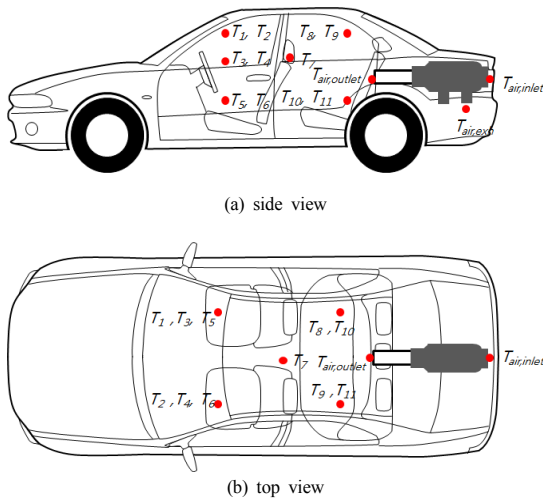


Fig. 3. Points of the thermal couple in vehicle

3. 결과 및 고찰

3.1 단품실험 결과 및 고찰

디젤 연소식 공기 히터의 성능을 분석하기 위하여 연소부 내 화염온도, 공기 토출부의 가열된 공기 온도, 배기 가스 온도, 외기 온도를 측정하여 그래프로 나타내었다. 실험 결과 공기 히터 가동 후 235초 동안 시스템 각 부분의 온도가 급격하게 상승하였다. 연소부 내 화염 온도의 경우 약 1035 °C에 도달하게 되며 가열된 공기 온도 및 배기 가스 온도의 경우 최대 104.3 °C, 344.4 °C에 도달하였다. 화염 온도의 증가와 함께 배기 가스 공기 온도가 함께 증가하였고 기기 효율을 높이기 위하여 배기 가스 온도를 감소시킬 필요성이 있으며, 공기 히터의 배기 가스 열을 재활용 할 수 있도록 구조적 시스템 개선을 고려해 볼 필요가 있다.

Fig. 5에서 연소식 공기 히터의 히트싱크 표면 세 지점에서 최대 온도는 공기 토출부에서 가까운 지점(Top point)부터 각각 195.8 °C, 175.3 °C, 106.8 °C로 나타내었으며 1600초 후 각각 185.4 °C, 167.3 °C, 103.6 °C에 도달하였다. 히트싱크의 온도는 Fig. 4의 화염온도의 변화에 따라서 온도가 달라지며 화염온도가 하강하면 히트싱크 온도 또한 감소하였다.

또한 히트싱크 표면 온도 분포의 경우 공기 유입부에 가까워질수록 히트싱크의 온도는 낮았다. 이러한 결과는 히트싱크 상부(Top point)인 연소부의 가장 안쪽 부분에

서 내부 화염이 직접 접촉되어 높은 온도를 발생시키고 연소 가스는 화염과 반대 방향으로 연소부 내부 벽을 타고 배기됨으로서 히트싱크 하부(Bottom point)의 온도가 비교적 낮은 것으로 판단된다. 더불어 향후 연구에서는 히트싱크의 열전달 효율을 촉진할 수 있는 형상 변수를 변경하면서 실험을 진행할 예정이다.

또한 히트싱크 하부의 연소부 입구로 외부의 차가운 공기가 유입되어 외부 공기에 의한 냉각으로 인하여 히트싱크 중단부(Middle point)에 비해 하부의 온도가 낮아지게 된 것으로 판단된다.

단품실험 동안 사용된 연료 소모량은 0.18 L/h 이었고 식(1)에 의하여 연소식 공기 히터의 난방용량은 1600초에서 2.0 kW이며, 최대 2.1 kW의 난방용량이 산출되었다.

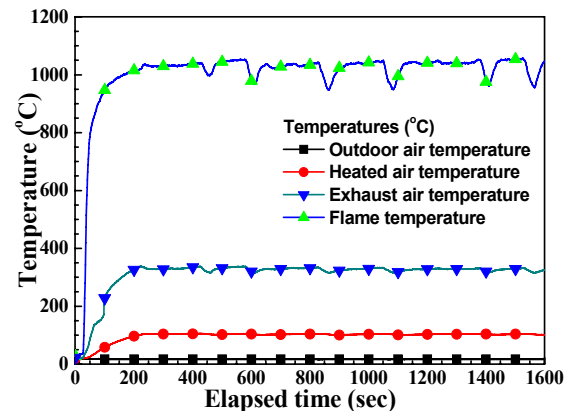


Fig. 4. Temperature characteristics of the air and exhaust

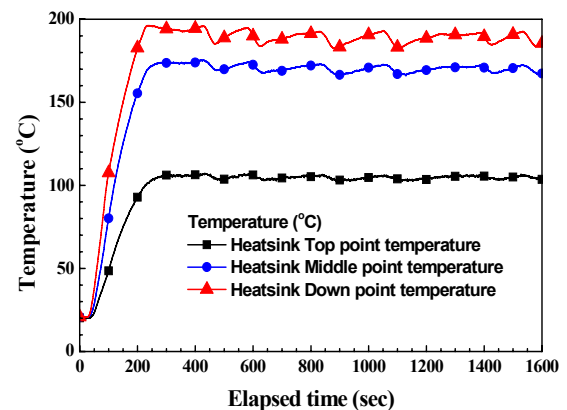


Fig. 5. Temperature distribution characteristics of the heat sink

Table 4. Experimental results

Experimental time	1600 seconds
Wind speed	16.2 (Max 16.4) m/s
Temperature of heated air	101.3 (Max 104.3) °C
Temperature of heat sink	Top point : 185.4 °C Middle point : 167.3 °C Bottom point : 103.6 °C
Temperature of exhaust gas	324.7 (Max 344.3) °C
Fuel consumption	0.18 L/h
Heating capacity	2.0 (Max 2.1) kW

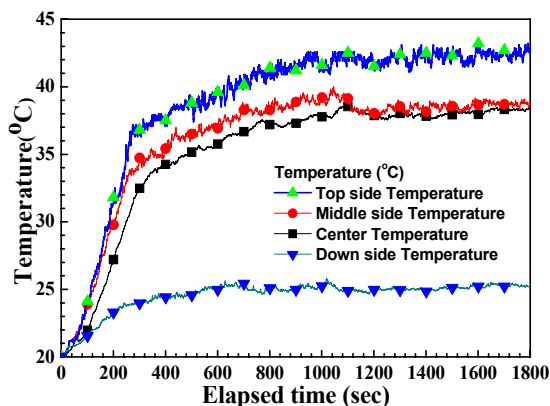


Fig. 6. Temperature distribution characteristics in the vehicle

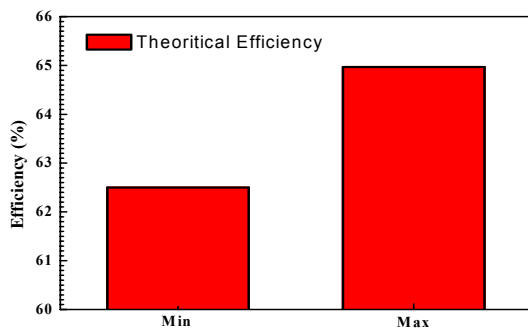


Fig. 7. Theoretical efficiency of the air heater

3.2 실차실험 결과 및 고찰

디젤 연소식 공기 히터의 실차실험을 위하여 차량의 승차공간 내부를 상부, 중부, 하부로 나누어 공기 온도를 측정하였다. Fig. 6은 공기 히터 구동 후 차량 승차공간 실내 각 측정위치별 시간에 따른 공기온도 변화를 나타낸다. 실험 초기 270초간 급격한 온도 상승으로 승차공

간 상부는 35.0 °C, 중부는 31.6 °C, 하부는 23.9 °C로 상부 공기온도에 비하여 하부 공기온도가 약 68.2% 정도 낮았다.

이러한 이유로는 공기 히터가 설치된 위치 보다 높은 부분의 경우 공기 히터에서 가열된 공기가 공급되어 고온 공기가 상부로 유동하고 하부로 공기 순환이 부족하여 상대적으로 상/중부 공기에 비하여 낮은 온도를 나타내었다.

Fig. 7은 실차 실험에서 공기 히터의 난방 효율로 최대 64.9%, 최소 62.5%이고 평균 63.7%로 산출되었다. 배기 가스 온도는 공기 히터의 배기열 손실로 계산되며, 난방효율 저하에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 절감하는 효율 향상 기술 및 시스템 개선에 대한 연구가 보완될 필요가 있다. 또한, 승차공간 내부의 상하부의 온도편차가 크게 나는 것을 개선하기 위하여 향후 연구에서는 고내의 상하부가 원활하게 순환할 수 있도록 강제대류를 이용하여 실험을 진행할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 전기자동차용 연소식 공기 히터 개발을 위한 기초 연구로서 기존 디젤 연소식 공기 히터의 난방성능에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 또한 연소식 공기 히터를 실제 차량에 장착하여 시간에 따른 차량 승차공간 내부 공기 온도 측정 및 공기 히터의 난방효율을 분석하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 외기 온도가 17.0 °C에서 연소식 공기 히터 가동 후 각 부분의 온도는 235초간 급격히 상승하였으며 연소부 내 화염 온도는 1035 °C, 가열된 공기온도는 104.3 °C, 배기 가스 온도는 344.4 °C로 배기 가스 열손실이 매우 높음을 알 수 있었다.
- 2) 공기 히터 내부 히트싱크의 표면 온도분포 특성은 1600초 이후 히트싱크 하부와 상부 각각의 표면 온도가 103.6 °C, 185.4 °C로 약 68.2% 차이가 발생하였다.
- 3) 연소식 공기 히터는 구동 시 0.18 L/h의 디젤 연료를 소비하였고 평균 2.0 kW, 최대 2.1 kW의 난방용량을 나타내었다.
- 4) 실차 승차공간 내부 온도 실험의 경우 초기 온도가 급격히 상승하는 270초에서 승차공간 상부 공기

온도가 하부 공기 온도에 비하여 68.2% 더 높은 온도를 나타내었으며 1800초에서는 승차공간 상부 공기온도가 67.8% 더 높았다.

- 5) 실차 실험에서 디젤 연소식 공기 히터 효율은 평균 63.7%로 산출되었다.

References

- [1] S. M. Park, S. D. Kim, C. S. Jung, C. W. Lee, J. W. Kim, S. W. Jung, "Development of intelligent-controlled high voltage PTC for Eco-Friendly EV," Proc. of KSAE Spring Conference on Energy or Power Engineering, pp. 144-147, 2011.
- [2] Y. C. Choi, W. S. Lee, O. Y. Kwon, M. H. Park, Y. H. Choi, "Development of High Efficiency Heatpump System for Battery Electric Vehicle," Proc. of KSAE Annual Conference and Exhibition, pp. 1056-1061, 2012
- [3] T. Y. Park, "A Study on the Adaptability of Infrared Lamp Heater for Vehicle Heating System," master's thesis of General graduate school of Chungnam National University, 2012.
- [4] H. S. Park, B. C. Lee, Y. S. Chang, S. J. Lee, "Development of High Efficient heating system using waste heat source," Proc. of KSAE Annual Conference and Exhibition, pp. 1050-1055, 2012.
- [5] D. Y. Choi, W. S. Lee, C. M. Kim, Y. C. Choi, H. R. Shin, "Development of Heating System on Battery Electric Vehicle for Range Enhancement by Using Bio-Ethanol Fire-Operating Heater", Proc. of KSAE Annual Conference, pp. 683-688, 2013
- [6] S. U. Park, B. C. Na, J. Y. Kim, J. H. Seo, H. C. Kim, B. H. Lee, K. H. Seok, S. B. Choi, "Research about method of low temperature start-up test for fuel pre heater through exhaust gas analysis," Proc. of KSAE Annual Autumn Conference, pp. 692-697, 2006.
- [7] [Online] <http://www.yeky.co.kr/>
- [8] S. M. Kim, S. J. Park, J. I. Lee, Y. G. Kang, W. S. Park, "Standardization of condensing gas hot water boiler," Korean Agency for Technology and Standards, pp. 1-101, 1999.
- [9] Jung-Ho Lee, Jae-Ung Cho, Durability Study by Heat at Vehicle Steering Wheel Hot Wire, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol.5 No.2, April (2015), pp.231-239
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2015.04.04>

방 유 마(Yu-Ma Bang)

[준회원]



- 2015년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사졸업)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

열/물질전달, 나노유체, 히트 파이프

서 재 형(Jae-Hyeong Seo)

[정회원]



- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학박사수료)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 엔티에프텍 연구개발부 과장

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 열/물질 전달, 나노유체

이 무 연(Moo-Yeon Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 자동차부품 연구원 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수
- 2014년 3월 ~ 현재 : 엔티에프텍 대표

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체