

400W급 액티브 스피커의 냉각시스템 특성에 관한 연구

서재형¹, 방유마², 이무연^{2*}
¹엔티에프 테크, ²동아대학교 기계공학과

Study on Cooling System Characteristics of 400W Active Speaker

Jae-Hyeong Seo¹, You-Ma Bang², Moo-Yeon Lee^{2*}

¹R&D Division, NTF Tech Co.

²Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 본 연구의 목적은 앰프 및 우퍼용 히트싱크가 장착된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 방열성능 특성을 파악하기 위하여 엔클로저 내부의 온도 변화 특성을 실험적으로 고찰하였다. 이를 위하여 앰프 및 우퍼용 히트싱크를 설계하여 400W급 자성유체 액티브 스피커에 적용하였다. 결과적으로, 개발된 앰프 및 우퍼용 히트싱크가 장착된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 방열성능은 개선되었고, 외기온도가 25°C에서 29°C로 증가함에 따라 스피커의 내부 온도는 상승하여 정상상태인 120 min경과 후 엔클로저 내부 온도는 31.4°C에서 33.2°C로 1.8°C 증가하였다. 또한, 본 연구에서 개발된 400W급 자성유체 액티브의 음압레벨은 기존의 액티브 스피커의 음압 레벨인 109.9 dB 보다 1.9 dB 향상된 111.8 dB로 우수하게 나타났다.

Abstract The objective of this study is to experimentally investigate the cooling performance characteristics with the consideration of the temperature variations of the enclosure of the 400W ferrofluid active speaker having both woofer and amplifier heat sinks. In order to do this, the heat sinks for both woofer and amplifier was designed and applied to 400W ferrofluid active speaker. As a result, the cooling performance of the developed 400W ferrofluid active speaker was improved and the temperature of the enclosure after 120 min at steady state increased by 2.8°C with the increase of the outdoor temperatures from 25°C to 29°C. In addition, the overall sound pressure level of the developed 400W ferrofluid active speaker showed 111.8 dB and improved 1.9 dB higher than 109.9 dB of the existed speaker.

Keywords : Active speaker, Amplifier, Ferrofluid, Heat sink, Woofer

1. 서론

스피커는 1980년대 독일의 공학자 지멘스가 최초로 혼형 스피커를 개발한 이후 현재까지 구동원리를 동일하게 유지하면서 다분야에서 다양한 목적으로 사용되고 있으며, 삶의 질 향상과 더불어 국내는 물론 전 세계적으로 많이 사용되고 있다[1]. 이러한 스피커의 사용량 증가는 세계 스피커 시장의 성장을 야기하였으며 스피커 제조

회사들은 다양한 연구 및 개발을 통하여 스피커의 외형적 디자인과 더불어 고성능화에 투자하고 있다[2][11]. 음압 레벨 및 음 왜곡률과 같은 스피커의 음질 향상을 위한 다양한 노력들이 경주되고 있으며, 최근의 국내·외 스피커 개발 업체들은 보이스코일의 센터링 확보 및 온도제어 등이 용이한 자성유체를 스피커에 적용하는 연구에도 집중하고 있다[3]. 이러한 자성유체의 사용은 스피커의 생산성을 증가시킬 뿐만 아니라 보이스코일로부터

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과 및 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0200054)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

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

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

Received November 25, 2015

Revised December 3, 2015

Accepted December 4, 2015

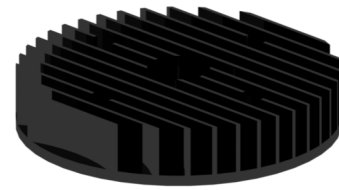
Published December 31, 2015

발생되는 열에 대한 방열성능의 개선으로 보이스코일의 온도상승 억제에 의한 내 과워성을 증대시키는 효과도 가져오게 되었다. 이러한 효과로 인하여 세계의 스피커 개발 선도 기업들은 고출력 스피커의 음질향상과 수명연장을 위하여 자성유체를 적용한 스피커에 관한 다양한 연구를 통하여 자성유체 스피커를 시장에 출시하고 있다. 특히, 자성유체의 사용은 중대형 고출력 스피커에서의 불량률 감소를 통한 생산성 증가를 가능하게 하였고 방열문제를 해결하는데 기여하여 고가의 스피커에 많이 사용되고 있다. 그러나 현재 스피커 산업에서 자성유체의 사용은 자성유체의 열을 효과적으로 제어할 수 있는 열체어 특성을 기반으로 한 연구가 아니라 음질 향상에 기반을 둔 연구에 집중하고 있기 때문에 자성유체의 냉매로서의 효과를 제대로 활용하지 못하고 있다[4]. 또한, 액티브 스피커에서 발생하는 열의 대부분은 엔클로저 내부에 있는 스피커 유닛 및 관련 부품에서 발생하는 열로서, 이러한 발생 열은 제대로 엔클로저 외부로 방열이 이루어져야 한다. 엔클로저 내부의 열이 제대로 방열되지 않고 내부에 축적되면 스피커의 수명감소 및 성능 저하의 원인이 된다[5]. 즉 엔클로저 내부에 발생된 열의 효과적인 방열을 위한 냉각시스템이 필수적으로 요구되고 있으나, 이에 대한 연구 개발은 현재까지는 미흡한 실정이다.

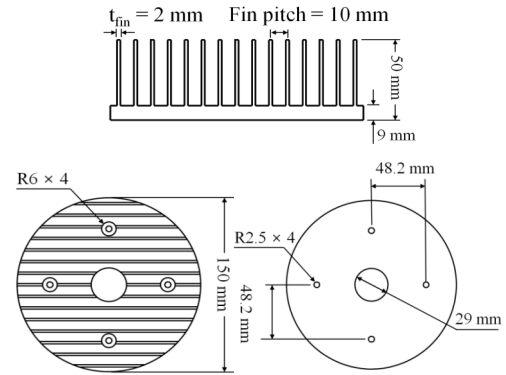
따라서 본 연구에서는 자성유체를 사용하는 기존의 스피커를 대상으로 스피커에서 발생하는 열을 효율적으로 냉각할 수 있는 고효율 스피커 냉각시스템의 성능 특성에 관하여 고찰하고자 한다. 또한, 액티브 스피커의 주요 열 발생원인 우퍼와 앰프의 히트싱크를 독립적으로 설계하여 적용하였으며 온도 특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

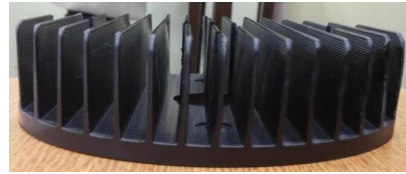
본 연구에서는 자성유체가 삽입된 400W급 액티브 스피커의 냉각시스템인 앰프 및 우퍼용 히트싱크의 설계 및 제작을 하였고 스피커에 장착하여 스피커의 열전달 성능 특성을 고찰하였다. 앰프 및 우퍼용 히트싱크는 설계 프로그램인 CATIA [6][9]를 이용하여 2차원 및 3차원 설계를 진행하였다.



(a) Modeling



(b) Design



(c) Developed sample

Fig. 1. Configurations of the heat sink for woofer speaker (a) 3-D modeling (b) Design (c) Developed sample photo



Fig. 2. Real picture of the woofer device with the developed heat sink

2.1 우퍼용 히트싱크

자성유체가 삽입된 400W급 액티브 스피커는 크게 앰프, 우퍼 및 스피커의 외형이라 할 수 있는 엔클로저로 구성된다. 본 연구에서는 400W급 스피커의 저음부를 출

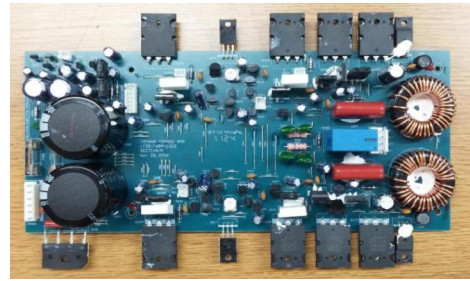
력하는 우퍼에서 발생된 열을 효과적으로 제거하기 위하여 Fig. 1과 같은 우퍼용 히트싱크를 설계 및 제작하였다. 일반적으로 우퍼용 히트싱크는 우퍼와의 접촉성 및 체결방법의 어려움 때문에 많이 적용되지는 않으나 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고 방열성능을 개선하기 위하여 범용으로 사용가능한 히트싱크를 설계하였다. Fig. 1 (b) 에서 보는 것처럼, 우퍼 후면 바텀 플레이트 (Bottom plate) 크기를 고려하여 히트싱크의 형상을 설계하였고, 바텀 플레이트와 결합 가능하도록 나사홀을 생성하였으며 바텀 플레이트와 히트싱크 체결면에 써멀 그리스 (Thermal grease)를 도포하여 공극제거 및 열저항을 최소화하였다. Fig. 1 (c) 는 본 연구에서 제작된 우퍼용 히트싱크의 실물 사진이다.

Fig. 2는 본 연구에서 개발된 우퍼용 히트싱크를 400W 급 자성유체 액티브 스피커의 우퍼에 장착한 형상을 나타낸다.

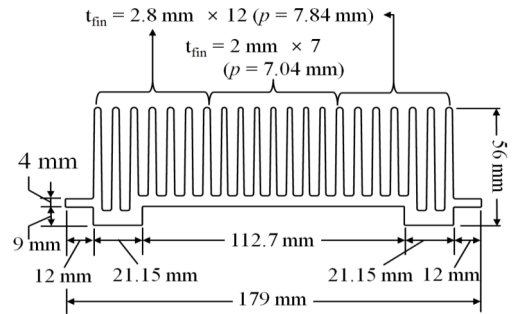
2.2 앰프용 히트싱크

자성유체가 삽입된 400W급 액티브 스피커에 내장된 앰프는 GP Electronics Co.의 MAX 400W 앰프를 선정하였고, 2-Way주파수 대역을 제어할 수 있는 능동 필터 (Active filter)가 있다. Fig. 3 (a) 에서 보듯이 일반적으로 앰프는 코일 및 다양한 전기/전자 칩으로 구성되어 있기 때문에 스피커가 소리를 생성하기 시작하면 앰프가 구동하게 되고 이때 앰프를 구성하는 다양한 전기/전자 부품들에서 열이 발생한다. 따라서 Fig. 3 (b) 와 같이 이러한 열을 효과적으로 제거하기 위하여 앰프 크기 및 조립성을 고려하고 방열성능을 극대화하기 위하여 가로 179.0 mm 및 세로 56.0 mm 크기의 히트싱크를 제작하였다. 히트싱크의 핀수는 21개이며, 외곽 핀피치는 2.8 mm와 중심 2.0 mm를 혼용하여 방열성능을 극대화 하였다. Fig. 3 (c) 는 본 연구에서 제작된 앰프용 히트싱크의 실물 사진이다. Fig. 4는 본 연구에서 개발된 앰프용 히트싱크를 400W급 자성유체 액티브 스피커의 앰프에 장착한 형상을 나타낸다.

Fig. 5는 본 연구에서 개발된 우퍼용 히트싱크 및 앰프용 히트싱크를 엔클로저 내부에 결합하여 완성된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 사진이다. 일반적으로 스피커의 외곽인 엔클로저는 스피커 내부의 부품들을 보호할 뿐만 아니라 전면부로 음을 발산하고 후면으로는 내부에서 발생된 열이 효과적으로 방열할 수 있는 구조이어야 한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Configurations of the amplifier and heat sink for woofer speaker (a) Photo of the amplifier (b) Design (c) Developed sample photo

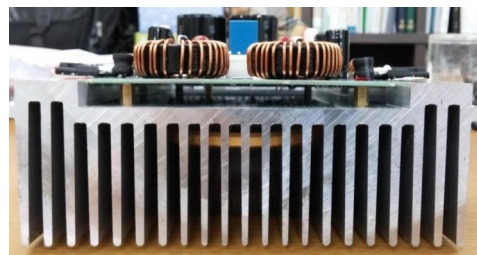


Fig. 4. Real picture of the amplifier device with the developed heat sink

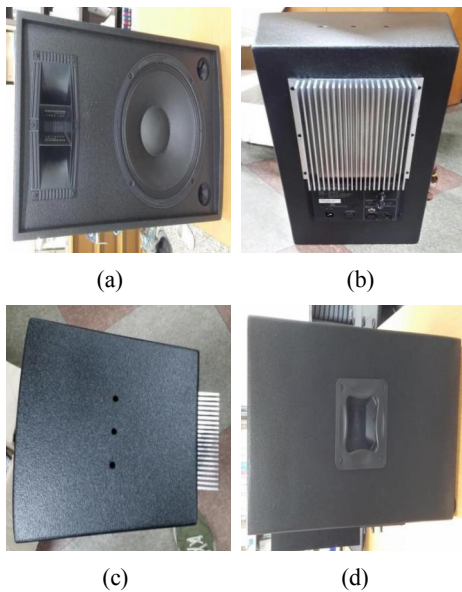
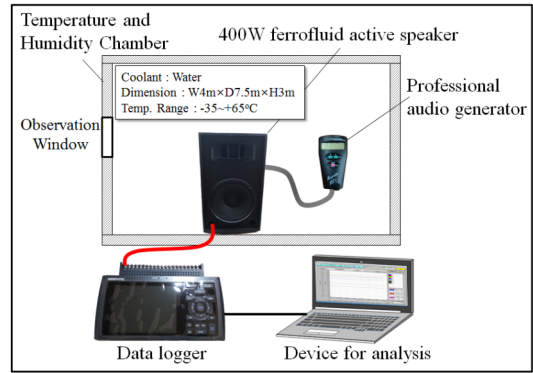


Fig. 5. Photos of the assembled 400W active speaker
(a) Front view (b) Back view (c) Top view (d) Side view

따라서 본 연구에서는 Fig. 5 (c) 에서 보듯이 스피커 내부의 우퍼에서 발생된 열이 엔클로저 내부에서 외부로 효과적으로 방출하기 위하여 상단부에 공기 홀(Air hole) 3개를 형성하였으며, Fig. 5 (b) 와 같이 내장형 앰프는 엔클로저 후면 외부에 위치하고 있고 앰프용 히트 싱크가 외부 공기와 접촉하도록 설치하여 방열 효과를 극대화 하였다.

2.3 실험장치 및 방법

본 연구에서 개발된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 방열성능 특성을 실험적으로 고찰하기 위하여, Fig. 6 과 같이 온도실험을 수행하였다. Fig. 6 (a) 는 본 연구에서 온도 실험을 위하여 준비한 실험 구성도이며, 구체적인 실험 장치의 사양 및 실험에서 사용된 온도 조건은 Table 1과 같다. 스피커 실험 시 외부 온도는 25°C, 29°C 로 유지하였고 데이터 로거(Data logger) 및 T-type 열전대를 사용하여 온도를 측정하였다. Fig. 6 (b) 는 스피커에 음향신호 및 주파수를 입력하는 장치인 오디오 제너레이터(Professional Audio Generator)를 나타내며, 입력신호로서 일반적으로 스피커 음향성능 분석용으로 사용하는 1kHz 정현파(Sine)신호를 인가하여 실험하였다 [10].



(a) Test set-up



(b) Professional Audio Generator



(c) Temperature and Humidity Chamber

Fig. 6. Schematic diagrams of test set-up

Fig. 6 (c) 는 본 연구에서 제작한 스피커를 실험할 수 있는 항온 항습챔버(Chamber)의 실제 사진으로 챔버 내부의 공기 온도 및 습도를 일정하게 유지할 수 있도록 공기순환 팬과 냉난방기가 구비된 설비이다.

본 연구에서 스피커에 적용된 자성유체는 일반적으로 스피커에 많이 사용되고 있는 APG L11 (Ferrofluid)을 이용하였다[7]. 본 연구에서 사용한 자성유체의 물성치는 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Specifications of test set-up

Components		Specifications
Chamber	Size	W4m×D7.5m×H3m
	Temp. Range	: -35°C~+65°C
Professional Audio Generator (NEUTRIK, Minirator MR1)	Waveform	
	: Sine(20Hz~20kHz), Square, White Noise, Sweep	
Data logger (GRAPHTEC, GL820)	Accuracy : ±0.1% of reading +0.5°C	
Thermal couple (T-type)	Accuracy : ±0.1°C	
Test temperature		25°C, 29°C

Table 2. Properties of ferrofluid

Properties	Proportion (%)
Iron oxide	4~6
Oil soluble dispersant	16~20
Synthetic ester	73~80
Oil soluble additives	0~1

3. 결과 및 고찰

Fig. 7은 본 연구에서 개발한 우퍼 및 앰프용 히트싱크를 장착한 400W급 자성유체 액티브 스피커의 방열 성능을 평가한 결과이다. 외기온도 29°C 및 상대습도 80%에서 스피커의 내부 공기온도 변화를 측정된 결과이며, 스피커의 작동 조건은 시험 평가전 1분 동안 시운전 한 후, 1kHz 정현파 신호를 인가하여 180 min 동안 스피커의 내부 공기온도를 측정하였다[8]. 그 결과, 본 연구에서 개발된 앰프 및 우퍼용 히트싱크를 장착한 액티브 스피커의 엔클로저 내부 온도는 실험 경과 180 min에서 기존 스피커의 내부 공기온도 53°C보다 40.7% 낮은 31.4°C로 크게 개선되었다. 따라서 본 연구에서 개발한 스피커는 앰프 및 우퍼에서 발생한 열을 앰프용 히트싱크를 이용하여 엔클로저 뒷면으로 적절히 방열하였으며 엔클로저 내부의 열은 상부의 공기 흡출을 이용하여 외부로 방출되었다.

Fig. 8은 외부온도 변화에 따른 400W급 자성유체 액티브 스피커의 내부 온도 변화를 고찰한 결과이다. 외기온도가 25°C에서 29°C로 증가함에 따라 스피커의 내부 온도는 상승하였으며 정상상태인 120min 경과 후의 스피커의 엔클로저 내부 온도는 31.4°C에서 33.2°C로 1.8°C 증가하였다.

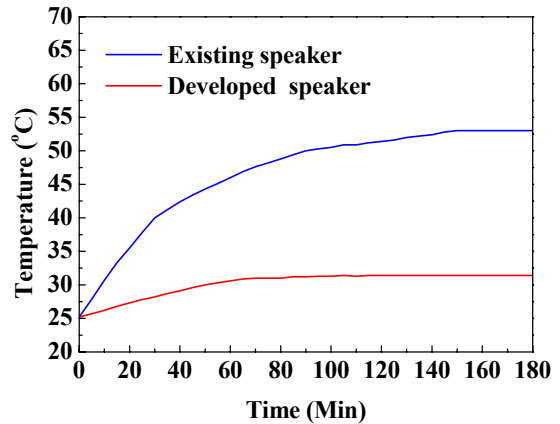


Fig. 7. Temperatures of the developed 400W active speaker

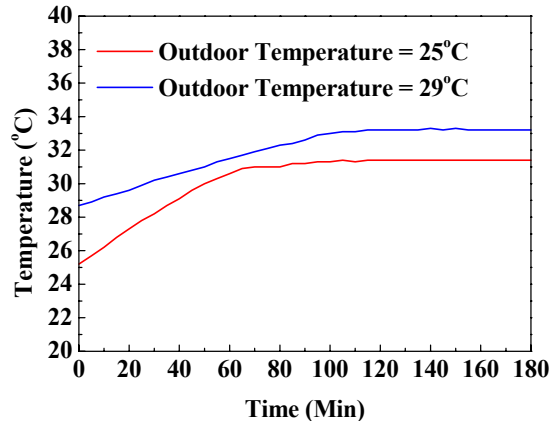


Fig. 8. Temperatures of the developed 400W active speaker with outdoor temperatures

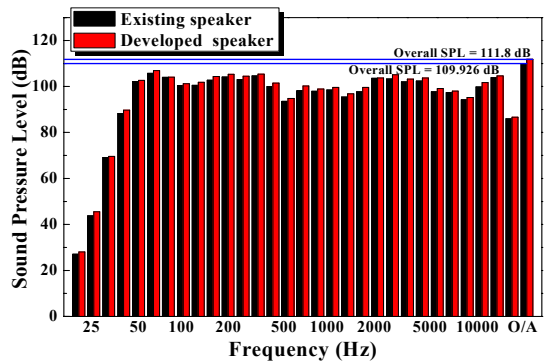


Fig. 9. Sound pressure level

Fig. 7과 Fig. 8의 결과에서 보듯이, 앰프 및 우퍼용 히트싱크를 적용하여 400W급 자성유체 액티브 스피커 내부의 방열 성능을 개선할 수 있었으며, 이러한 결과는 향후 고효율의 고음질/고성능 자성유체 액티브 스피커 개발 및 상용화에 기초 자료로 활용될 것이다.

Fig. 9는 본 연구에서 개발된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 음향성능을 확인하기 위하여 음압레벨을 평가한 결과이다. 정확한 음압레벨 시험을 수행하기 위하여 무향실에서 마이크로폰, Pulse 음향분석 프로그램, Multifunction acoustic calibrator 등을 사용하였으며 오디오 제너레이터로 스피커에 1kHz 정현파 신호를 입력시켜 음압레벨을 측정하였다. 그 결과 본 연구에서 개발된 스피커의 Overall 음압 레벨은 기존의 액티브 스피커의 Overall 음압 레벨 109.9 dB보다 1.9 dB 향상된 111.8 dB로 나타났다. 이로 인하여 내부의 방열 성능 개선을 통하여 스피커의 음압 레벨이 향상되어 궁극적으로 스피커의 음질이 향상되는 결과를 도출하였다.

4. 결론

본 연구는 우퍼 및 앰프용 히트싱크가 장착된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 엔클로저 내부의 방열 성능 특성을 파악하기 위하여 엔클로저 내부의 온도 변화 특성 평가를 실험적으로 진행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 앰프 및 우퍼에서 발생한 열을 앰프용 히트싱크를 이용하여 엔클로저 뒷면으로 적절히 방열하였으며 엔클로저 내부의 열은 상부의 공기 흡을 이용하여 외부로 방출되었다.
2. 본 연구에서 개발된 400W급 자성유체 액티브 스피커는 외기온도가 25°C에서 29°C로 증가함에 따라 스피커의 내부 온도는 상승하였으며 정상상태인 120min경과 후의 스피커의 엔클로저 내부 온도는 31.4°C에서 33.2°C로 1.8°C 증가하였다.
3. 본 연구에서 개발된 400W급 자성유체 액티브 스피커의 음압 레벨은 기존의 액티브 스피커의 음압 레벨인 109.9 dB 보다 1.9 dB 향상된 111.8 dB로 나타났다.

References

- [1] M. Y. Lee, H. J. Kim, W. Y. Lee, "Numerical Analysis on Temperature Characteristics of the Voice-Coil for Woofer Speaker Using Ferrofluid", Journal of The Korean Magnetic Society, Vol. 23, No. 5, pp. 166-172, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2013.23.5.166>
- [2] H. J. Kim, D. W. Kim, M. Y. Lee, "Experimental study on the heat transfer characteristics of woofer speaker unit", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 5, pp. 2623-2627, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.5.2623>
- [3] Ferrotech (USA) Corp., Material safety data sheet, USA, pp. 1-5, 2009.
- [4] H. J. Kim, J. H. Seo, W. Y. Lee, J. K. Yeom, L. S. Seo, M. Y. Lee, "Numerical Analysis on Performance Characteristics for Woofer Speaker Using Effective Cooling Technique", Proc. of the KMS Summer Conference, pp. 66-67, 2013.
- [5] S. G. Koh, K. J. Lee, J. H. Kang, G. H. Oh, K. H. Sung, C. J. Kim, "Development of a temperature prediction tool for voice-coils in loudspeakers using CFD analysis", Proc. of the KSME Spring Annual Meeting, pp. 41-44, 2008.
- [6] [Online]
<http://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/>
- [7] [Online]
https://ferrofluid.ferrotec.com/index.php?id=audioFluid&vfp_id=53
- [8] M. Y. Lee, H. J. Kim, "Heat Transfer Characteristics of a Speaker Using Nano-Sized Ferrofluid", Entropy, Vol. 16, No. 11, pp. 5891-5900, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/e16115891>
- [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, pp. 231-239, April 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2015.04.04>
- [10] Chan Jun Chun, Seok Hee Jeong, Hong Kook Kim, Usability Evaluation of a User Interface for Mono-to-Stereo Audio Extension Applied to Portable Multimedia Devices, *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 5, No. 3, pp. 1-9, June 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2015.06.05>
- [11] O-Beom Kim, Ilho Yang, "An Analysis of Cognitive Artifacts on Pre-service Teachers' Engineering Design Activity : a Distributed Cognition Perspective," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 4, No. 2, pp. 257-270, Dec. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2014.12.28>

이 무 연(Moo-Yeon Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체

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

방 유 마(You-Ma Bang)

[준회원]



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

<관심분야>

열/물질전달, 나노유체, 히트 파이프