

저온작동 조건에서 자동차용 써모사이폰의 성능특성에 관한 연구

임택규¹, 이호성¹, 원종필¹, 조중원¹, 이무연^{1*}

¹자동차 부품 연구원 열제어시스템 연구센터

Study on the Performance Characteristics of the Thermosyphon Used for the Vehicle Operated at Low Temperature Conditions

Taek-Kyu Lim¹, Ho-Seong Lee¹, Jong-Phil Won¹, Chung-Won Cho¹

and Moo-Yeon Lee^{1*}

¹Thermal Management System Research Center, KATECH

요 약 본 연구의 목적은 심지구조 유무에 따른 자동차에 적용된 써모사이폰의 저온 작동영역에서의 성능 특성을 고찰하는 것이다. 이를 위하여 작동유체로 물을 사용하는 써모사이폰을 제작하였고, 작동유체의 충전량, 심지 적용 유무, 외기온도 변화 그리고 증발부에 열부량 변화에 따른 성능 특성을 파악하였다. 결과적으로 작동유체의 충전량 40%에서 최적의 열전달 성능을 나타내고, 외기온도 증가에 따라 써모사이폰의 열전달 성능이 증가하였다.

Abstract The objective of this study is to investigate low temperature performance characteristics of the thermosyphon with/without wick. Thermosyphons using water as the working fluid are tested with variations of wick, charge amount of the working fluid, outdoor temperature, and heat load for the evaporator section at a low temperature. As a result, the heat transfer of thermosyphon was optimized at the charge amount of 40% and increased with the rise of the outdoor temperatures.

Key Words : Low temperature, Thermosyphon, Thermal resistance, Wick

기호설명

T : 온도, (°C)
 R : 열저항, (°C/W)
 Q : 열량, (W)
wick : 심지

하첨자

evap : 증발부
cond : 응축부

1. 서론

최근 전자, 통신, 컴퓨터 기술의 발전은 지속적으로 발전하는 칩(chip)의 집적능력에 기반을 둔다. 이러한 집적화는 단위 면적 당 발열량을 점점 더 커지게 하여 소형 전자제품에서 칩의 발열은 중요한 문제가 되고 있다. 이러한 현상은 전자제품만이 아닌 자동차의 경우에도 중요한 문제가 될 것으로 사료된다. 최근에 연구되고 있는 자동차는 내연기관이 아닌 전기로 구동되는 자동차이며 자동차의 냉각 및 공조시스템은 전기에너지를 사용하기 때문에 자동차의 연비에 직접적인 영향을 미치게 된다. 더불어 전기로 구동되는 자동차의 주요 구성 부품들인 구동 모터, 고전압 배터리, 인버터 등은 작동 환경이 성능

본 논문은 지식경제부에서 지원하는 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행되었음.

*교신저자 : 이무연 (mylee@katech.re.kr)

접수일 11년 12월 27일

수정일 12년 01월 13일

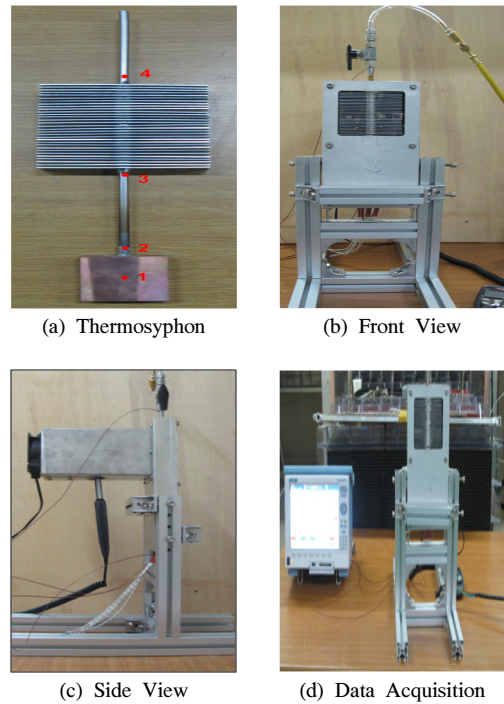
게재확정일 12년 02월 10일

및 수명에 중요한 영향을 미치게 되어 최적의 작동환경을 만들어 주어야 한다. 즉 이러한 고발열 부품들은 고온 작동환경에서는 고효율 냉각기술이 필요하며 저온 작동환경에서는 적절한 히팅 기술이 필요하다. 따라서 전기로 구동되는 친환경 무공해 자동차가 향후 상용화 단계에 이루기 위해서는 기존의 내연기관 자동차와는 다른 해결해야 할 냉각 및 히팅 관련 기술들이 존재한다.⁽¹⁻⁴⁾ 이러한 핵심 기술들 중 겨울철 외기온도가 영하로 떨어졌을 경우의 전기구동 자동차의 냉시동 문제는 해결해야 할 중요한 과제로 대두되고 있다.^(5,6) 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 순간적으로 고발열을 얻을 수 있는 써모사이폰에 대하여 빙점 이하 저온에서의 작동 및 열전달 특성을 고찰하고 빙점 이하에서의 작동 실패의 요인을 분석하여 냉시동 문제를 해결하는 기초적인 자료를 제공하고자 한다. 이를 위하여 심지의 적용 유무에 따른 써모사이폰에서 작동유체의 유량 변화 및 증발부에 가해지는 열부하량 변화에 따른 써모사이폰의 빙점 이하에서의 성능 특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

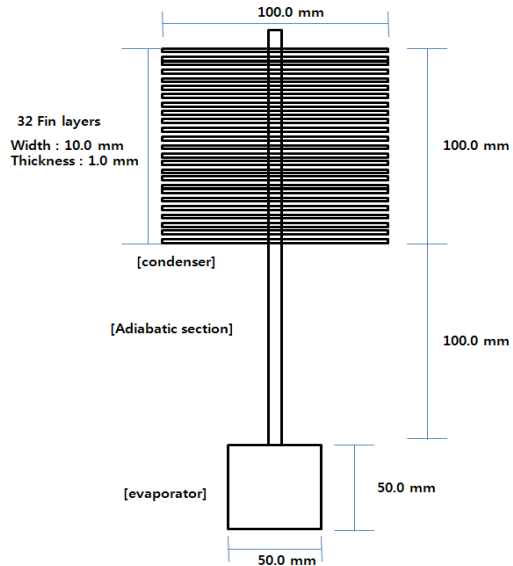
2.1 실험장치

그림 1은 본 연구에서 사용된 실험 장치의 사진이다. 써모사이폰의 총 길이는 250 mm이며, 증발부는 구리를 사용하여 사각 블록 형태로 제작되었다. 써모사이폰의 외부 튜브는 스테인레스 스틸로 제작되었고, 외경은 9.5 mm, 내경은 7.3 mm 이다. 응축부는 가로/세로의 길이가 각각 100 mm 인 정사각형 형태로 알루미늄을 이용하여 제작 하였다. 응축부에 설치된 핀은 총 32개가 사용되었으며, 길이는 100.0 mm이고 두께는 1.0 mm 이며 폭은 10.0 mm이다. 단열부는 100.0 mm이다. 그림 1 (a)에서 보는 것처럼, 써모사이폰의 열적 특성을 고찰하기 위하여 4개의 T-Type 열전대를 증발부, 단열부, 응축부 및 핀에 부착하였고, 그림 1 (b)는 써모사이폰 내부의 진공 및 작동유체 삽입을 편리하게 하기 위하여 상부에 on/off 개폐형 밸브를 이용하여 호스를 연결하였다. 그림 2는 본 연구에서 개발된 써모사이폰의 개략도이며 각각의 수치를 개략적으로 삽입하였다. 또한, 써모사이폰의 작동유체로 물을 사용하였다.



[그림 1] 써모사이폰 실험장치 사진

[Fig. 1] Pictures of the test set-up for thermosyphon



[그림 2] 개발된 써모사이폰의 개략도

[Fig. 2] Schematic diagram of the thermosyphon

[표 1] 실험 조건

[Table 1] Test conditions

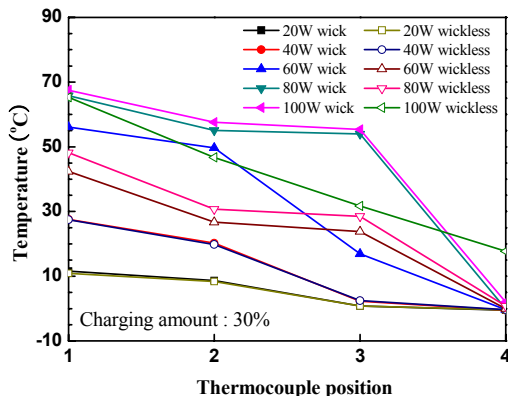
Component	without wick	with wick
Volume concentration (%)	10/ 20/ 30/ 40/ 50	
Heat load (W)	20/ 40/ 60/ 80/ 100	
Temperature (°C)	-20/ 0	

표 1은 본 연구에서 사용한 실험 조건이다. 본 연구에서는 써모사이폰의 작동유체 충전율을 10%에서 50%로 10% 씩 증가하면서 실험을 진행하였고, 각각의 충전율에서 공급 전력 변화에 따른 열전달 성능을 평가하고자 증발부의 공급 전력을 20 W 에서 100 W 까지 총 5가지 경우에 대하여 실험을 진행 하였다. 또한 본 연구에서는 심지 구조가 없는 일반적인 써모사이폰과 원통형 튜브 내부의 철사모양의 심지를 추가한 써모사이폰에 대하여 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 충전량 변화에 따른 성능 비교

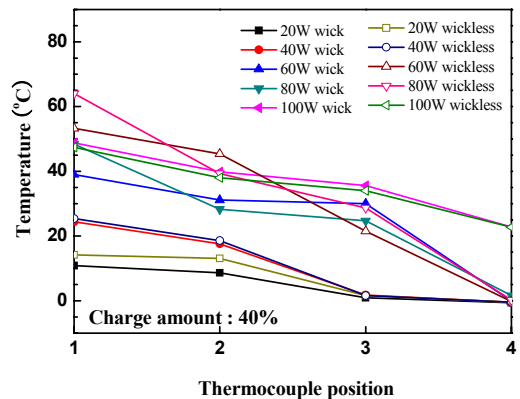
그림 3에서 5는 외기온도 -20°C의 조건에서 충전량을 30%에서 50%로 변화시키고, 열부하는 20 W에서 100 W로 변화시켜가면서 써모사이폰의 온도 및 열전달 특성을 고찰하였다.



[그림 3] 심지 유무에 따른 써모사이폰의 온도 특성 비교 실험장치 개략도(-20°C/30%)

[Fig. 3] Comparison of the temperatures between thermosyphons with wick and without wick (-20°C/30%)

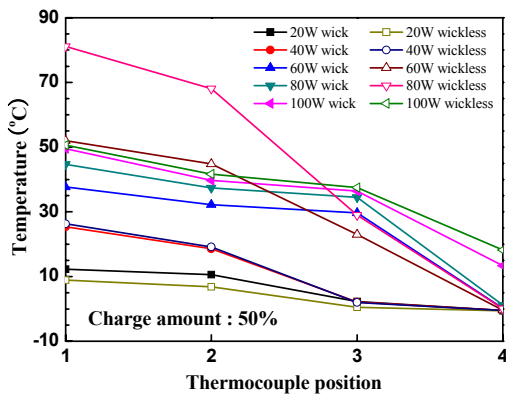
그림 3은 작동유체 충전량 30% 경우 써모사이폰의 열전달 성능을 나타내고 있다. 열부하 20 W 및 40 W에서는 심지구조에 상관없이 써모사이폰의 온도 특성이 비슷하게 나타났으며, 열부하 60 W 이상에서는 써모사이폰의 열전달 특성이 심지구조를 갖는 써모사이폰에 비하여 전반적으로 우수하게 나타났다. 하지만 열부하 20 W 및 40 W는 써모사이폰의 증발부에 열원을 공급하기에는 충분하지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 나머지 충전량 실험에서도 동일하게 나타났다. 결과적으로 열부하 100 W에서 써모사이폰의 경우 심지구조를 갖는 써모사이폰보다 우수한 열전달 성능을 나타내었다. 이러한 이유는 써모사이폰의 응축부 전 구간에서 심지구조를 갖는 써모사이폰에 비하여 열전달이 활발하게 이루어졌기 때문이다. 충전량 30% 및 열부하 100 W에서 심지가 없는 써모사이폰이 냉시동 문제를 해결할 수 있는 방열부의 가장 좋은 성능을 보여주고 있다.



[그림 4] 심지 유무에 따른 써모사이폰의 온도 특성 비교 실험장치 개략도(-20°C/40%)

[Fig. 4] Comparison of the temperatures between thermosyphons with wick and without wick (-20°C/40%)

그림 4는 작동유체 충전량 40% 경우 써모사이폰의 열전달 성능을 나타내고 있다. 열부하 100 W에서는 심지유무에 상관없이 써모사이폰의 열전달이 잘 이루어졌다. 심지구조가 있는 써모사이폰의 경우 증발부와 응축부의 온도차가 26.0°C로 나타났고, 써모사이폰의 경우 24.7°C로 나타났다. 그림 5는 작동유체 충전량 50% 경우 써모사이폰의 열전달 성능을 나타내고 있다. 열부하 100 W에서 써모사이폰이 심지구조를 갖는 써모사이폰에 비하여 열전달이 우수하게 나타났다. 이러한 이유로는 심지구조가 있는 써모사이폰의 경우 증발부와 응축부의 온도차이가 36.1°C이고, 써모사이폰의 경우 32.4°C로 나타났기 때문이다.



[그림 5] 심지 유무에 따른 써모사이폰의 온도 특성 비교
실험장치 개략도(-20℃/50%)

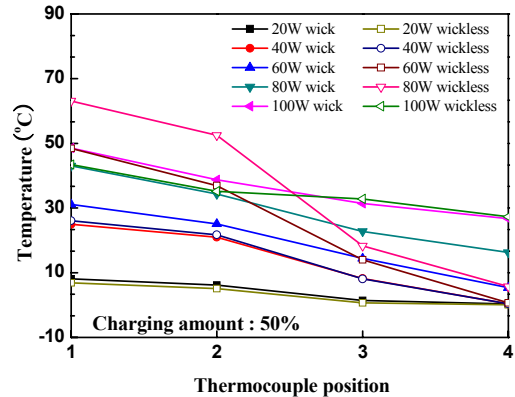
[Fig. 5] Comparison of the temperatures between thermosyphons with wick and without wick (-20℃/50%)

그림 3과 4의 결과에서 보면, 열부하 100W에서 심지 구조에 상관없이 써모사이폰의 증발부와 응축부의 온도차가 충전량 40%에서 평균 25.4℃로 충전량 50%에서 34.3℃보다 35.1% 온도 차이가 감소하였다. 따라서 본 연구에서 사용한 써모사이폰은 충전량 40%에서 가장 우수한 열전달 성능을 나타내었다.

3.2 외기온도 변화에 따른 성능 비교

그림 6은 외기온도 0℃ 및 작동유체 충전량 50% 일 때 써모사이폰의 온도 특성을 나타내고 있다. 그림 5의 외기온도 -20℃인 경우와 비교하여 외기온도 변화에 따른 써모사이폰의 열전달 특성 변화를 고찰하였다. 외기온도 변화에 따라 써모사이폰의 증발부 온도는 영향을 받지 않았지만 외기온도가 -20℃에서 0℃로 증가함에 따라 써모사이폰의 증발부와 응축부 사이의 온도차이는 감소함으로써 써모사이폰의 열전달 성능이 향상되었다는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 언급하였듯이, 열부하 100 W 및 외기온도 -20℃에서 증발부와 응축부의 온도 차이가 써모사이폰 및 심지구조를 갖는 써모사이폰의 경우 각각 24.7℃ 및 26℃이다. 그러나 열부하 100 W 및 외기온도 0℃에서는 증발부와 응축부의 온도 차이가 각각 16.1℃ 및 21.8℃로 감소하였다. 따라서 열부하 100 W 및 충전량 50%에서, 외기온도 -20℃에서 0℃ 증가함에 따라 써모사이폰의 열전달 성능은 25.3% 증가하였다. 즉 외기온도가 작동유체의 빙점보다 낮아질 경우 써모사이폰의 열전달 성능이 상대적으로 감소하여 써모사이폰의 작동 효율에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 이를 통하여 써모사이폰을 전기구동 자동차의 냉시동 문제를 해결하기 위하여 사용할 경우 정상 작동 및 우수한 열전달 성능을 유지하

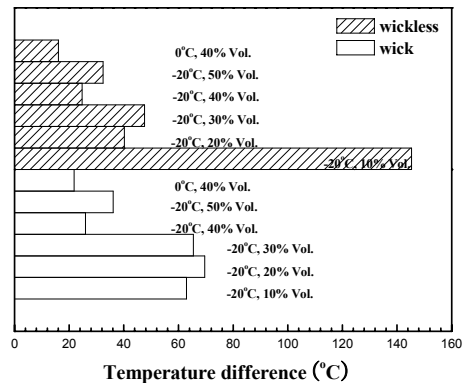
기 위해서는 사용 환경에 따라 써모사이폰의 작동유체를 적절히 선정해야 함을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 개발된 써모사이폰은 전기구동 자동차의 배터리 주변에 설치 가능하며 -20℃와 같은 저온에서 배터리의 순간 작동성 개선에 도움을 줄 수 있다.



[그림 6] 심지 유무에 따른 써모사이폰의 온도 특성 비교
실험장치 개략도(0℃/50%)

[Fig. 6] Comparison of the temperatures between thermosyphons with wick and without wick (0℃/50%)

3.3 증발기와 응축부의 온도차에 의한 결과

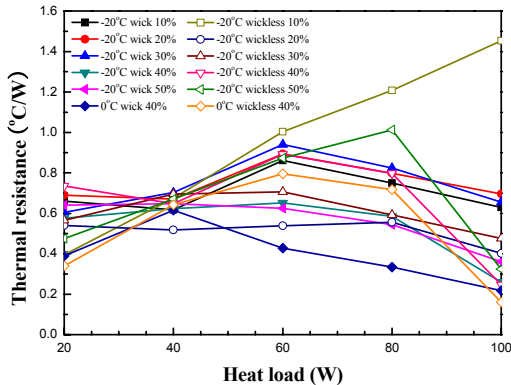


[그림 7] 써모사이폰의 증발부와 응축부 사이의 온도차
[Fig. 7] Temperature difference of the tested thermosyphons between evaporator and condenser (100W)

그림 7은 증발부의 열부하 100 W에서 써모사이폰의 외기온도, 충전량, 그리고 심지구조에 따른 증발부와 응축부의 온도 차이를 통하여 써모사이폰의 열전달 성능을 나타내는 그래프이다. 외기온도 0℃가 외기온도 -20℃보다 심지 유무에 상관없이 써모사이폰의 증발부와 응축부의 온도 차이가 전체적으로 낮게 나타남으로서 우수한

열전달 성능을 가짐을 확인하였다. 또한 써모사이폰의 열전달 성능을 향상시키기 위하여 삽입한 철사 모양의 심지는 본 연구에서는 별다른 효과가 없음을 확인할 수 있었다.

3.4 열저항 비교



[그림 8] 심지구조 유무에 따른 써모사이폰의 열저항 비교
[Fig. 8] Comparison of the thermal resistance of thermosyphons with/without wick

그림 8은 써모사이폰에서 열부하에 따른 열저항 변화를 나타내고 있다. 충전량 40% 이상에서 써모사이폰에 가해진 열부하가 증발부에 따라 증발부에서 응축부로 열전달 성능이 증가하여 시스템에서의 열저항이 감소함을 확인하였다. 또한, 써모사이폰에서 열저항은 열부하 100 W, 외기온도 0°C, 그리고 작동유체 충전율 40%에서 가장 작게 나타났으며, 써모사이폰의 열저항은 심지구조를 갖는 써모사이폰에 비하여 26% 감소하여 0.161 °C/W로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 심지구조를 갖는 써모사이폰의 열전달 성능은 심지구조가 없는 써모사이폰에 비하여 오히려 감소함을 확인하였다. 써모사이폰의 열저항은 식 (1)과 같이 증발부와 응축부의 온도 차이 및 공급된 열부하를 통하여 계산하였다. 결론적으로 본 연구에서 계산한 열저항의 물리적 의미는 개발된 써모사이폰의 열전달 성능과 밀접한 관련이 있으며, 열저항의 증가는 써모사이폰의 증발부에 공급된 열량의 전달 효율이 감소함을 의미한다.

$$R = \frac{T_{\text{evap}} - T_{\text{cond}}}{Q} \quad (1)$$

4. 결론

본 연구에서는 전기로 구동되는 자동차의 냉시동 문제를 해결하기 위하여 심지 유무에 따른 써모사이폰에서 작동유체 유량 변화 및 증발부에 가해지는 열부하량 변화에 따른 써모사이폰의 빙점 이하에서의 성능 특성을 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 증발부에 가해지는 열부하 100 W에서 작동유체 충전율 30% 이상이 되면 써모사이폰의 열전달이 활발히 이루어짐을 확인하였다.
- (2) 본 연구에서 사용한 써모사이폰은 충전량 40% 및 열부하 100 W에서 심지구조 여부에 상관없이 가장 우수한 열전달 성능을 나타내었고, 심지구조가 있는 써모사이폰의 경우 증발부와 응축부의 온도차가 26.0°C로 나타났고, 써모사이폰의 경우 24.7°C로 나타났다.
- (3) -20°C에서 0°C로 외기온도의 증가는 써모사이폰 증발부에 미치는 영향은 미비하였으나 써모사이폰의 열전달 성능이 향상되어 증발부와 응축부의 온도차이가 감소하였다.
- (4) 열부하 100 W 및 충전량 40%에서 외기온도가 0°C에서 -20°C로 감소함에 따라 써모사이폰의 열저항은 증가하였다.
- (5) 열부하 100 W 및 충전량 50%에서, 외기온도가 -20°C에서 0°C 증가함에 따라 써모사이폰의 열전달 성능은 25.3% 증가하였다.

References

- [1] C. W. Cho, M. Y. Lee, H. S. Lee, J. H. Mo, S. T. Oh, J. P. Won, "Heating Performance Characteristics of a Coolant Source Heat Pump using Wasted Heat of Electric Devices for an Electric Bus", Int. J. Automotive Technology, In Review, 2011.
- [2] M. Y. Lee, C. W. Cho, H. S. Lee, D. Y. Lee, Y. C. Park, J. P. Won, "Performance Characteristics of a Simultaneous Hybrid Heat Pump using Coolant and Air Sources for an Electric Bus", Int. J. of Refrigeration, In Review, 2011.
- [3] M. Y. Lee, J. P. Won, D. Y. Lee, C. W. Cho, "Study on the Performance Characteristics of the Roof Mounted Electrical Air Conditioning System Using Inverter Scroll Compressor", Journal of the KAIS, Vol. 12, No. 10, pp. 4308-4313, 2011.

- [4] H. S. Lee, J. P. Won, C. W. Cho, M. Y. Lee, Y. C. Jung, H. B. Jeon, Y. C. Kim, "A Study on the Performance Characteristic of CO₂ Mobile Air Conditioning Bench Tests with the Variation of Driving Conditions on the Road", Proceeding of KSAE 2011, 2011.
- [5] S. E. Hong, "A study on the characteristics of a frozen start up for a variable conductance heat pipe", Proceeding of the SAREK 2006 Summer Annual Conference, pp. 339-345, 2006.
- [6] B. K. Park, G. O. Kim, M. G. Kim, "Analysis of transient thermal characteristics in a gas-loaded heat pipe", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 514-524, 2001.

임택규(Lim, Taek-Kyu)

[정회원]



- 2006년 8월 : 충북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 충북대학교 기계공학과 (박사수료)
- 2009년 4월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 연구원

<관심분야>

히트파이프, 열관리, CFD, 히트펌프, 열전달

이호성(Ho-Seong Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 선임연구원

<관심분야>

자동차 냉각시스템 해석 및 평가, 자동차 열관리

원종필(Won, Jong-Phil)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 열제어시스템 연구센터 책임연구원

<관심분야>

자동차 냉각장치, 열교환기, 연료전지

조중원(Cho, Chung-Won)

[정회원]



- 1999년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 : 두산중공업 신재생에너지 개발팀
- 2008년 5월 : 에너지기술연구원 고분자 연료전지 연구단

- 2008년 7월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 열제어시스템 연구센터

<관심분야>

친환경 자동차 열관리 시스템, 연료전지 및 BOP

이무연(Lee, Moo-Yeon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2007년 2월 : LG연구소(연구원)
- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 선임연구원

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환시스템, 열/물질전달, 연료전지 열관리 시스템, 히트파이프