

## 실내 난방이 전기 자동차 주행 성능에 미치는 영향 조사

김기범<sup>1</sup>, 이완성<sup>1</sup>, 김용연<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>충북대학교 기계공학부

### Investigation of Electric Vehicle Performance Affected by Cabin Heating

Kibum Kim<sup>1</sup>, Wan-Seong Lee<sup>1</sup> and Yong-Yun Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical Engineering, Chungbuk National University

**요 약** 기존 내연기관에 비해 전기자동차가 가지는 한계 중 하나는 에너지 밀도가 상대적으로 낮은 배터리로 인한 짧은 주행거리이며, 겨울철 실내 난방을 위하여 전기 히터 사용 시, 전기 소모량이 30% 이상 증가하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 전기 히터보다 에너지 효율이 우수한 히트펌프를 이용하여 난방 시, 전기 자동차의 주행성능 변화를 조사하였다. 일차원 해석 프로그램인 AMESim Software를 이용하여 전기자동차의 구동시스템 및 히트펌프의 해석 모델을 개발하였고, 해석 결과 전기 히터를 히트펌프로 대체하면, 배터리 소모량이 약 50% 감소하여 그 만큼의 주행 거리를 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 전기자동차 난방을 위한 히트펌프의 장점을 입증하였으며, 향후 전기 자동차 난방 대책의 비전을 제시하는데 기여할 것으로 사료된다.

**Abstract** Compared with internal combustion engine, the electric vehicle has a limitation of low driving range due to low battery capacity due to relatively low energy density. Moreover, the energy consumption rapidly increases up to 30% during winter season with operating electric heater. In this study, electric vehicle performance was evaluated using heat pump having higher energy efficiency rather than electric heater for cabin heating. Electric vehicle system and heat pump system were developed using 1-D simulation software called AMESim, the simulation result indicated that the energy consumption could be reduced approximately 66% when the electric heating system was replaced with the heat pump system. As a result, the driving range is expected to increase the similar value. This study proved the merit of heat pump for cabin heating in electric vehicle, and it could contribute to developing suitable heating method for electric vehicles.

**Key Words** : Electric Vehicle, Heat Pump, energy consumption

### 1. 서론

현 시대 자동차는 인류의 삶에 있어 편의성을 넘어 필수 요소가 되었다. 하지만, 기존 내연기관의 주 에너지원인 석유의 매장량이 한계점에 다다르면서, 내연기관을 대체할 수 있는 소위 미래형 자동차를 상용화 시켜야하는 문제에 직면하였다. 기존 내연기관을 대체 할 새로운 운송수단으로 현재 하이브리드 자동차가 자동차 시장 점유율 면에서 상승세에 있으며, 향후 플러그인 하이브리드

자동차가 각광을 받고, 중국에는 전기 자동차가 대체를 이룰 것으로 예상된다. 전기 자동차의 대중화를 위해서는 여러 기술적 한계를 극복해야 하는데, 현재 전기자동차의 가장 큰 단점은 배터리의 용적대비 에너지 저장량이 낮아 기존 내연기관에 비하여 주행거리가 상당히 단축된다는 것이다. 이러한 점에서 전기자동차는 아직까지 자동차 시장에서 내연기관에 비해 경쟁력을 갖지 못하고 있다. 짧은 주행거리의 문제는 겨울철 객실 난방 시 더욱 심각해진다. 현재 대부분의 전기자동차에서는 겨울철 난방

\*Corresponding Author : Yong-Yun Kim(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-3353 email: [yykim@chungbuk.ac.kr](mailto:yykim@chungbuk.ac.kr)

Received July 18, 2013 Revised (1st August 9, 2013, 2nd September 10, 2013, 3rd September 27, 2013) Accepted October 10, 2013

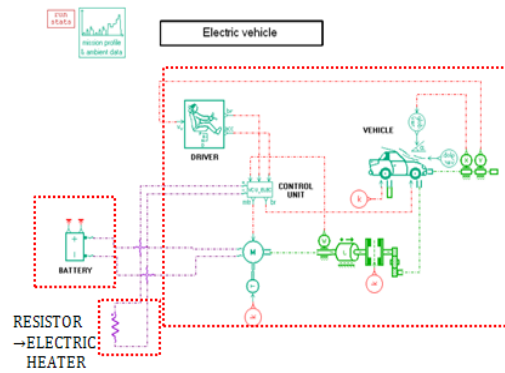
을 위하여 전기히터를 사용하고 있는데, 전기히터의 과도한 전력소모량으로 인하여 자동차의 주행가능거리가 운전모드에 따라 30~60%까지 감소한다고 알려져 있다 [1-3]. 따라서 배터리 기술 등 에너지 저장장치의 개선만큼 난방 시스템의 성능 개선 또한 시급한 문제이다.

해결 방안으로 모터나 배터리의 방열을 이용한 전기차용 난방 시스템 개발이나 냉난방 성능이 우수한 Heat pump가 제안되어 많은 연구가 수행되었다[3-6]. 이러한 연구들은 주로 실험적 연구들로서 Heat pump 시스템의 난방성능 및 소비전력 평가 등을 리그 실험을 통하여 수행되었다. Heat pump 시스템을 전기 자동차와 같은 수송용 시스템에 적용하기 위해선 시스템의 무게 및 부피 저감이 필수적이며, 실차에 적용하여 다양한 운전조건 시 전기자동차의 주행가능거리를 평가해 보는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 전기히터 대신에 히트펌프를 사용하여 전기 자동차 난방 시 주행가능거리를 다양한 운전 모드에 대하여 조사하였다.

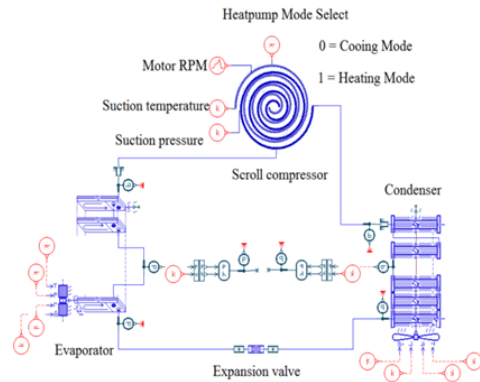
## 2. 모델링

본 연구를 위하여 1-D 수치해석 프로그램인 AMESim을 사용하여 전기자동차 시스템 및 히트펌프에 사용되는 압축기를 모델링하였다. Fig. 1은 전기히터를 사용하는 전기자동차의 시스템 모델을 보여준다. 본 연구에서 궁극적으로 알고자 하는 목표는 전기히터와 히트펌프 간의 전력소모량을 비교해 보는 것이기 때문에 간단하게 전기히터를 모사하기 위하여 전기히터만큼 전력을 소모하는 저항체로 대체하였다. 전기히터는 2.4 kW의 전력을 소모하는 것으로 설정하였다[6].

Fig. 2는 본 연구를 위하여 개발한 히트펌프 모델로 Fig. 1의 전기히터 대신에 전기자동차 모델과 결합하여 해석을 수행하였다. Fig. 2에서 보여 지는 것같이 압축기는 일반 사판식 압축기보다 효율이 좋은 스크롤 형 압축기를 사용하였다. 이 스크롤 압축기를 구동하기 위한 회전력은 전기모터와 결합하여 얻어낼 수 있고, 이 모터가 전기자동차의 배터리와 연결되어 전기를 소모할 수 있도록 모델링 하였다. 전기 히터의 전력이 난방을 위한 열로 변환되는 효율을 약 70%정도이며, 히트 펌프가 유사한 난방 용량을 가질 수 있는 조건에서 본 연구를 수행하였다. 본 연구에 사용된 히트펌프의 모델에 관한 제원을 Table 1과 Table 2에 정리하였으며, 해석 조건을 Table 3에 정리하였다.



[Fig. 1] Computational model of an electric vehicle combined with an electric heater



[Fig. 2] Computational model of a heat pump

[Table 1] Item Unit Specification

Item	Unit Specification
Heater Conversion Efficiency (%)	70
Compressor Isentropic Efficiency	1
Compressor Input Power (kW)	0.38
Compressor speed (rpm)	600
Torque (Nm)	6
Heat Pump COP	5

본 해석 모델의 장점은 전기 자동차의 주행 가능 거리 및 전력 소모율을 다양한 운전조건 및 운전 모드에서 평가할 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 자동차 주행 시험을 위해 가장 일반적으로 사용되는 NEDC(New European driving cycle) 운전모드와 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서 경차의 연비 측정을 위해 개발된 HWFET (Highway Fuel Economy Test) 사이클을 사용하여 평가하였다. Fig. 3과 4는 각각 NEDC 운전 모드와 HWFET 운전 모드를 보여준다.

[Table 2] Specifications of heat exchangers

Tube	Condenser	Evaporator
Length (mm)	525	175
Number	31	19
Periodicity	13	11.6
Height (mm)	2.5	3.16
Width (mm)	15	32.55

[Table 3] Simulation conditions

	Condenser	Evaporator
Temperature (°C)	30	30
Pressure (bar)	1	1
Rel. Humidity (%)	40	40
Mass rate (kg/s)	0.5556	0.111

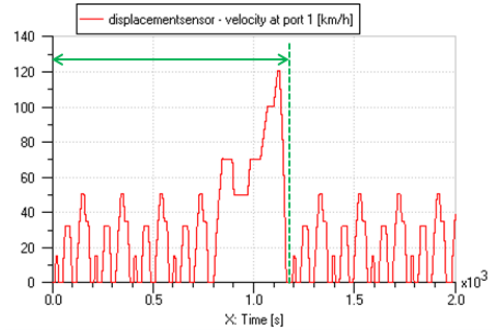
NEDC 운전 모드는 사이클 주기가 1180초이며 자동차의 평균속도는 약 33.7 km/hr로 저속 시가주행을 모사하기에 적합한 운전 모드이며, 반면에 HWFET 운전 모드는 사이클 주기가 765초에 평균속도가 77.7 km/hr로 고속도로 주행을 모사하기에 적합한 운전조건이다. 또한 NEDC 운전 모드에 정지와 출발을 반복하는 구간이 많은 것에 비하여 HWFET 운전 모드에는 비교적 고속 주행을 꾸준히 하는 것을 Fig. 3과 4로부터 알 수 있다. 기타 시스템에 관한 제원으로 배터리의 용량은 60.3 Ah 이고, 배터리의 Terminal voltage는 310 Voltage로 설정하였다.

### 3. 해석 결과

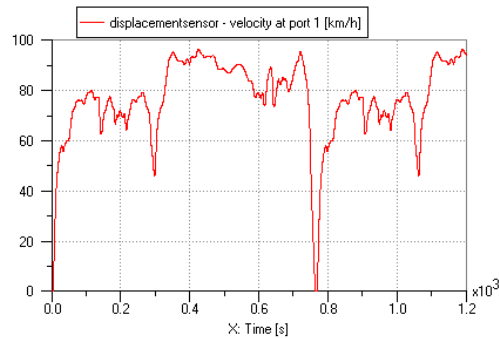
개발된 모델을 이용하여 난방 없이 주행하는 경우, 전기 히터를 사용하여 난방 시 주행, 히트 펌프를 사용하여 난방 시 주행하는 경우 배터리의 전력이 모두 소비되는데 걸리는 시간과 전기 자동차가 최대 주행 할 수 있는 거리를 계산하였다. 앞서 설명한 것과 같이 히트펌프에 사용된 스크롤 압축기의 회전수는 히트 펌프의 성능계수를 고려하여 전기 히터의 난방 용량과 동일하도록 설계하였다.

Fig. 5은 전기 자동차가 NEDC 운전 모드로 운행 시 앞서 얘기한 세 가지 운전 조건에 따른 배터리의 전력 소모량을 시간에 대해 나타낸 결과이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 난방 시스템을 사용하지 않는 상태로 주행 시 배터리가 완전히 방전되는데 약 4시간정도 걸리는 것을 알 수 있다. 하지만, 배터리의 전기 용량이 30%미만으로 떨어지면 전력이 너무 낮아져서 자동차 운행에 사용할 수

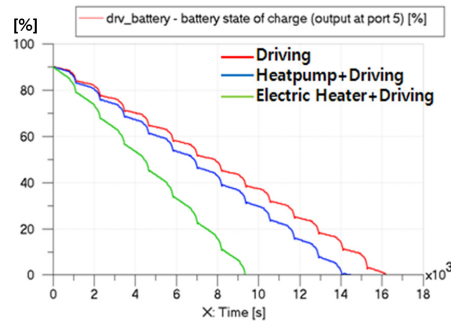
없기 때문에 실제로는 최대 약 3시간미만 밖에 사용할 수 없다. 한편, 주행 시 전기히터를 사용한 경우, 배터리가 방전되는 시간이 약 41% 정도 빨라지며, 이는 미쯔비시에서 수행한 실험 결과와 잘 일치한다[1]. 전기히터를 히트펌프로 대체하면 방전 시간이 약 12.5% 정도만 빨라지는 것을 알 수 있다.



[Fig. 3] NEDC driving mode in terms of vehicle speed as a function of time

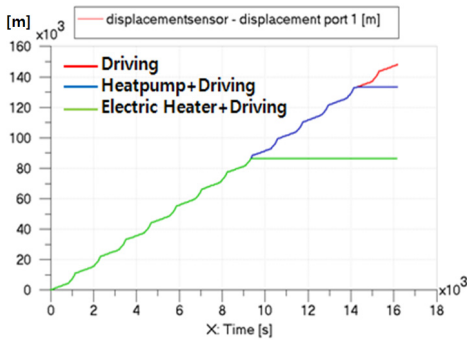


[Fig. 4] HWFET driving mode in terms of vehicle speed as a function of time

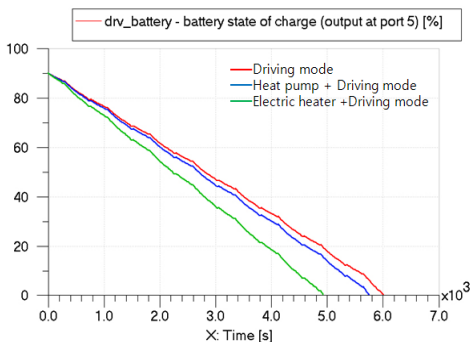


[Fig. 5] Electricity consumption rate of battery as a function of time for three different driving conditions under NEDC driving mode (Average vehicle speed of 30 km/hr)

Fig. 6은 세 가지 운전 조건에 따른 주행 가능 거리를 보여준다. 방전 시간이 빠른 만큼, 기존 전기히터 난방 시 주행 가능 거리가 90 km에 못 미치는 것을 알 수 있다. 반면 히트펌프를 사용하여 난방을 수행한 경우 주행 가능 거리가 난방 없이 주행 했을 경우보다 10%정도만 줄어든다. 이는 전기히터를 이용하면서 주행 시 주행 거리가 약 40%정도 줄어드는 것을 고려할 때, 50%까지 향상된 수치이며, 전기 자동차가 NEDC 운전 모드에서 1시간 이상 더 운행할 수 있게 되는 것이다.



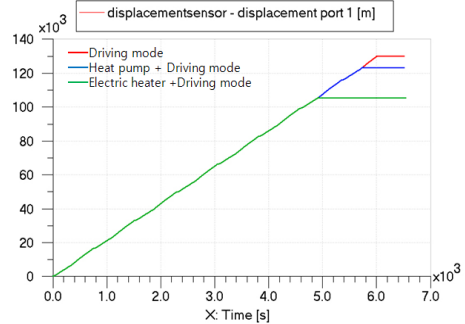
[Fig. 6] Maximum driving range of the electric vehicle for three different driving conditions under NEDC driving mode



[Fig. 7] Electricity consumption rate of battery as a function of time for three different driving conditions under HWFET driving mode (Average vehicle speed of 78 km/hr)

같은 방법으로 HWFET 운전 모드에 대해 수행한 해석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. HWFET 운전 모드로 운행 시 평균 속도가 NEDC 운전 모드보다 약 2배 빠르며, 그로 인해 전력 소모 시간도 2배정도 빠르다. NEDC 운전 모드에서 나타난 경향성과 마찬가지로 난방 운행 시 배터리의 전력 소모량이 증가하며, 전기 히터 대신 히트 펌프를 사용하여 난방을 하게 되면 전력 소모량을 저감할

수 있다. HWFET 운전 모드에서는 주행 시 전기 히터를 사용하면 전력 소모량이 약 25% 증가하는 것으로 나타났다. 히트 펌프를 사용하면 약 10%의 증가량만 나타나는 것으로 판단된다.

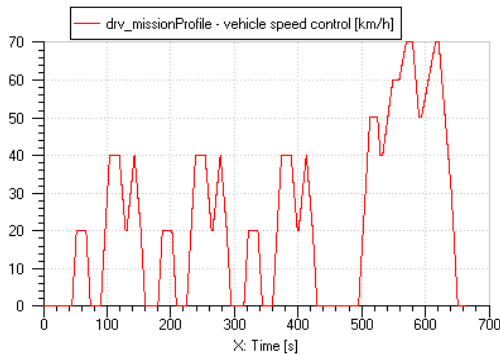


[Fig. 8] Maximum driving range of the electric vehicle for three different driving conditions under HWFET driving mode

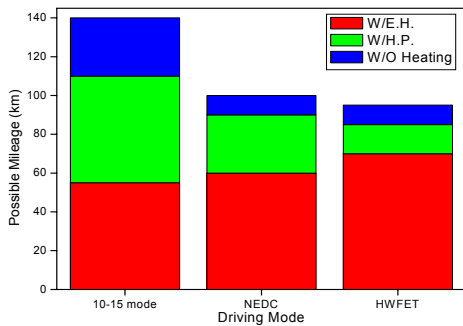
Fig. 8은 전기 자동차가 HWFET 운전 모드로 운행 시 세 가지 운전 조건에 따른 주행 가능 거리를 보여준다. 이 운전 모드에서는 자동차의 평균 주행 속도가 빠른 만큼 최종 주행 가능 거리는 NEDC 운전 모드와 비슷하며, 세 가지 운전 조건에 따른 주행 가능 거리의 감소 경향도 NEDC 운전 모드에서 본 경향과 유사함을 알 수 있다. 다만 HWFET 운전 모드에서는 고속 주행을 위하여 모터의 토크 및 rpm의 증가가 불가피하여 이는 더 많은 동력을 소모하는 원인이 된다. 따라서, 난방 없이 주행하는 경우 및 주행 시 히트 펌프를 사용하여 난방하는 경우 배터리의 전력 소모량 증가로 인하여 주행 가능 거리가 NEDC 운전 모드에 비해 평균 약 5%정도 감소하였다. 하지만, 전기히터를 사용하여 난방 시 고속 주행(HWFET 운전 모드)이 저속 주행(NEDC 운전 모드)보다 전력 소모량이 적어 주행 가능 거리는 약 10 km정도 증가함을 알 수 있다. 그 이유는 고속 주행 시 유사한 거리를 운행하는 시간이 단축되어 난방에 필요한 에너지 소비가 줄게 되며, 그 만큼의 에너지가 자동차 주행에 사용되었기 때문인 것으로 사료된다. 이를 검증하기 위하여 Fig. 9에 보이는 것과 같이 NEDC 운전 모드보다 평균 주행 속도(약 22.2 km/h)가 적은 10-15 driving mode를 사용하여 해석을 수행하였다. 이는 일본에서 자동차의 연비 테스트를 위해 사용되는 운전 모드이다.

해석 결과, 주행 시 전기 히터를 사용하는 경우 주행 가능 거리가 NEDC 운전 모드로 운행 시보다 약 10% 감소하는 경향을 보였으며, 히트 펌프를 사용한 경우는 약 22% 증가하였다. Fig. 10은 세 가지 다른 운전 모드에 대

하여 전기 자동차의 주행 가능 거리를 보여준다. 배터리의 용량이 30% 남아 있을 때를 기준으로 도출한 결과이다. 결론적으로 저속 운전 모드에서 전기 자동차의 난방을 위하여 전기 히터를 히트 펌프로 대체하는 것은 약 50% 이상의 전력 소모량을 저감하고 주행 가능 거리를 향상시킬 수 있는 효과가 있는 반면, 고속 주행 시 (HWFET 운전 모드)에는 약 22%의 대체 효과가 있는 것으로 사료된다.



[Fig. 9] 10-15 driving mode in terms of vehicle speed as a function of time



[Fig. 10] Possible mileage of an electric vehicle that could be driven for three different driving mode

마지막으로 전기히터의 구조적 간결함과 경량성에 비하여 히트펌프의 구조적인 복잡성으로 인한 시스템의 무게 증가와 가격 상승을 본 기술의 상용화에 앞서 고려해야 한다. 이는 히트펌프가 가지는 단점으로 초기 판매 가격 상승이나 주행가능거리에 영향을 미칠 수 있다. 아직 전기자동차용 히트펌프가 상용화되지 않아서 정확한 가격 및 무게에 대한 정확한 수치 비교는 용이하지 않다. 다만, 현재 하이브리드형 승용차에 사용되고 있는 냉방장치를 고려했을 때, 전체적인 중량의 증가량은 10kg 정도 미만일 것으로 사료되며, 따라서 무게 증가로 인한 주행

거리에 미치는 영향은 미비할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전기자동차의 난방을 위하여 스크롤 압축기를 사용하는 히트펌프와 전기히터를 사용 시 배터리 방전 시간과 전기자동차의 주행 가능 거리를 해석 연구를 통하여 조사하고 비교하였다. 난방은 운전을 시작하는 시점으로부터 배터리가 방전되는 시점까지 계속된다는 가정으로 진행 하였으며, 전기 자동차가 NEDC 운전 모드로 운행 시 전기히터를 사용하여 난방한 경우는 난방 없이 주행했을 경우보다 주행 가능 거리가 약 40%가량 감소되는 것으로 나타났으며, 히트펌프를 최대 출력으로 가동했음에도 불구하고 전기히터보다 약 50 km를 더 주행할 수 있다는 것은, 히트펌프가 전기히터를 대체 할 수 있는 훌륭한 전기자동차의 난방 대책임을 시사한다. HWFET 운전 모드 및 10-15 driving mode에서도 유사한 경향을 관찰하였다. 본 연구 결과 및 모델은 향후 전기자동차용 heat pump 시스템을 설계하고 제작하는데 있어 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] K. Umezu, H. Noyana, "Air Conditioning System for Electric Vehicles, i-MiEV", JSAE 2010 annual conference, 2010.
- [2] H. Noyana, "Joint On-Road Monitoring of i-MiEV New Generation Electric Vehicle with Power Companies", Mitsubishi Motors Technical Review No. 21, pp. 22-29, 2010.
- [3] Y. Choi, W. Lee, M. Park, Y. Choi, "Heating Performance Evaluations for Development of Heat Pump System on Battery Electric Vehicle", KSAE Vol(11), pp. 559-563, 2011
- [4] K. Kim, S. Kim, M. Kim, "Experimental studies on the heating performance and efficiency for electric vehicle", KSAE Vol(5), pp. 1871-1876, 2010
- [5] I. Choi, J. Song, Y. Kim, J. Choi, K. Lee, " Evaluation of the Cooling and Heating Capacity of a CO 2 Heat Pump System for Electric Vehicles" KSAE Vol(5), pp. 435-439, 2012
- [6] H. Park, B. Lee, Y. Chang, S. Lee, "Development of High Efficient Heating system using waste heat source", KSAE Conference, pp. 1050-1055, 2012

**김 기 범(Ki-Bum Kim)**

[정회원]



- 2000년 2월 : 충남대학교 선박해양공학과 (공학사)
- 2003년 8월 : University of Florida, 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : University of Florida, 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충북대학교, 기계공학부, 조교수

<관심분야>

친환경 에너지 시스템

---

**이 완 성(Wan-Seong Lee)**

[준회원]



- 2009년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 기계공학부

<관심분야>

친환경 에너지 시스템

---

**김 용 연(Yong-Yun Kim)**

[정회원]



- 1982년 8월 : 연세대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 12월 : University of Toledo, 기계공학과 (MSME)
- 1993년 6월 : University of Cincinnati, 항공공학과 (Ph.D)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 충북대학교, 기계공학부, 교수

<관심분야>

탄성파동 및 음-초음파 신호처리