

## 상용 트럭의 공압 브레이크 응답 특성에 관한 연구

김진택<sup>1</sup>, 정도균<sup>2</sup>, 최판진<sup>3</sup>, 박원기<sup>4</sup>, 박찬희<sup>5</sup>, 유범상<sup>1</sup>, 백병준<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>전북대학교 기계시스템공학부, <sup>2</sup>전북대학교 대학원, <sup>3</sup>전북대학교 대학, <sup>4</sup>현대자동차,  
<sup>5</sup>전북대학교 자동차부품 금형기술혁신센터

### The Korea Academia-Industrial cooperation Society

Jin-Taek Kim<sup>1</sup>, Do-Gyun Jung<sup>2</sup>, Pan-Jin Choi<sup>3</sup>, Won-Ki Park<sup>4</sup>, Chan-Hee Hong<sup>5</sup>,  
Beom-Sahng Ryuh<sup>1</sup> and Byung-Joon Baek<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical System Engineering, Chonbuk University

<sup>2</sup>Graduate school, Chonbuk University

<sup>3</sup>Undergraduate, Chonbuk University

<sup>4</sup>Hyundai Motor Company, <sup>5</sup>CAMTIC

**요 약** 대형 상용 차량에 사용되는 에어 브레이크 시스템은 제동시 상대적으로 응답 시간이 길고 압력 손실이 크게 발생한다. 제동 시간은 파이프 시스템의 적절한 설계에 의해서 최소화 시킬 수 있다. 제동 시간은 시스템 압력의 증가, 에어 라인의 감소 및 재질의 변화에 대해 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 상용 트럭에 대한 리그를 구성하여 에어 브레이크의 특성에 대해서 고찰하였다. 해석 프로그램에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 실험 값과 비교하였고, 브레이크 시스템에 영향을 미치는 시스템 압력, 파이프의 재질 및 직경, 탱크와 챔버에서 압력에 대한 온도 영향을 검토하였다.

**Abstract** The air brake system used in heavy vehicle is very important from the point of safety due to its weight. In general, air brake system generates relatively long response time and large loss of pressure. It is known that the response time can be decreased by optimal design of brake system, i.e., by increasing the system pressure, minimizing the air line, and material of components. In this study, We developed experimental rigs for the measurement of braking response of heavy duty trucks and compared with the simulated results obtained from the net work fluid flow system analysis code (FLOWMASTER). The effect of several parameters such as, system pressure, diameter of pipe, chamber temperature on the brake response performance have been examined.

**Key Words** : Air brake system, braking time, Response performance, System pressure

### 1. 서론

대형 상용차량은 교통사고 발생시 승용차량에 비해 많은 인명과 재산상의 피해를 초래한다. 이러한 사고 발생의 대처 방안으로 운전자의 의도대로 빠르게 반응하는 차량의 안전장치 설계는 중요하다. 이러한 사고예방 장치에 대하여 차량 동적 거동을 분석하기 위하여 상용차량

의 수학적 차량 모델을 구성하여 동특성 연구를 수행하고, 제동장치 설계에 시뮬레이션 프로그램이 도입되어 제동 특성에 대한 연구가 진행되고 있다[1].

대형 상용차량의 안전장치에 관한 연구는 운전자의 차량 안전도에 대한 요구증대와 대형차량에 대한 안전법규의 강화라는 세계적 추세에 더불어 국내에서도 공기압 브레이크 시스템의 성능을 크게 향상시키기 위해서

본 논문은 2011년 현대기아자동차 산학 협동 연구 사업의 지원으로 이루어진 것임.

\*Corresponding Author : Byung-Joon Baek

Tel: +82-10-9972-2373 email: baekbj@jbnu.ac.kr

접수일 12년 03월 16일

수정일 12년 05월 08일

게재확정일 12년 05월 10일

EBS(Electronically Controlled Brake System)이 개발되어 장착되고 있다[2]. 공기압을 이용하는 브레이크 시스템의 경우 전자제어 외에도 물리적인 해석이 기본이 됨으로써 공기압만을 이용한 제동에 대한 압력변화, 응답시간, 작동조건에 대한 연구가 필요하다. 대형차량의 동특성에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 차량의 제동성에 관한 연구는 미비한 상태이다[3,4].

브레이크 응답 성능에 영향을 주는 인자들에 대한 예측된 설계로 비용과 손실을 줄이고 front와 rear의 작동시간에 대한 편차를 줄여 균등 제동력을 확보하는 노력을 하고 있다[5].

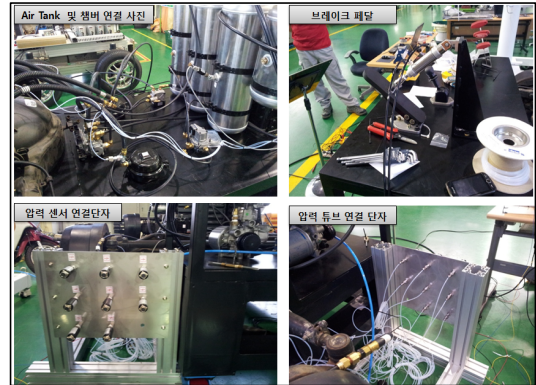
본 연구에서는 상용트럭(8x4)을 대상으로 브레이크 응답시간에 대한 영향인자를 파악하기 위하여 제동시스템을 구성하고, front 챔버와 rear 챔버의 제동시간에 관련된 실험 데이터와 해석 데이터를 비교 분석한다. 또한 자동차 안전기준에 관한 규칙을 만족하는 제동 시간에 영향을 미치는 인자들에 대한 해석을 수행한다. 시스템 압력에 대한 제동 압력 특성을 파악하고, 공압라인의 재질 및 직경 변화 그리고 계절 변화에 대한 제동시간을 해석하여 제동시스템 설계의 구조 단순화 및 원가 절감을 실현하고자 한다.

## 2. 실험장치 구성

### 2.1 브레이크 시스템 구성

상용 차량의 브레이크 시스템은 압축 공기가 에너지원으로 사용되고 브레이크 페달을 작동하면 압축된 공기가 에어라인을 통해 릴레이 밸브에 압력이 전달된다. 전달된 공기 압력은 브레이크 챔버의 피스톤 로드를 작동시켜 드럼과 라이닝을 접촉시켜 제동력을 형성시킨다. 운전자가 일정한 제동력으로 안정성을 확보하기 위해 자동차 안전기준에 관한 규칙에서는 제동에 대해 법규적으로 브레이크 응답시간을 규제하고 있다. 브레이크 응답 시간은 페달을 작동하는 시점부터 일정한 압력이 형성되는 시간까지를 말하는데 브레이크 응답 성능에 영향을 주는 인자는 브레이크 페달 밸브, 에어라인 길이 및 내경, 밸브, 커넥터, 챔버 사이즈등 다양하다

Fig. 1은 대형트럭에 대한 브레이크 제동시스템을 구성을 보여주고 있다. 브레이크 페달에 의한 제동시스템이 작동하게 되면 탱크와 챔버에서 압력센서를 통해 목표 압력에 도달하는 시간으로 제동 시간을 확인하게 된다. 그림은 탱크와 챔버의 연결과 제동 압력을 측정하기 위한 센서, 그리고 브레이크 페달의 작동을 보여주고 있다.



[그림 1] 실험 장치 구성

[Fig. 1] Experimental setup of brake system

### 2.2 브레이크 응답 실험 및 해석 검증

구성된 시스템에서 브레이크 응답 시간 시험은 임의의 요구되는 브레이크 챔버 압력에 도달하는데 걸리는 시간을 측정하기 위해 탱크와 챔버의 입출력 포트에 압력센서가 설치된다. Fig. 2 (a)는 작동과 해제시 브레이크 챔버에 형성되는 압력을 시간에 대한 곡선으로 보여주고 있다. 시스템 압력에 대한 챔버의 압력이 75%에 도달하는 시간을 제동 시간으로 나타내고 있다. Fig. 2 (b)는 시스템 압력에 대한 챔버의 압력 상태를 보여주고 있다. 시스템 압력에 대해 챔버에서 75%에 도달하는 시간은 front가 0.72초고 rear가 0.61초 이다. 본 실험 장치에는 EBS가 설치되어 않아 챔버의 목표 압력에 약 0.2초의 시간차이가 발생한다. 이를 감안하면 본 실험에서 제동 응답 시간에 대한 규제인 0.6초를 만족하고 있다.

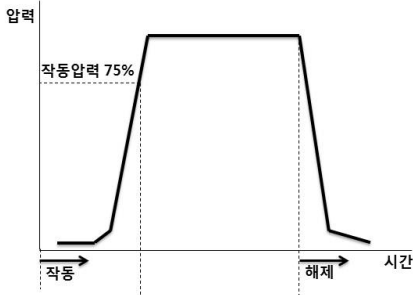
에어 브레이크의 응답 특성에 대한 영향을 고찰하기 위하여 본 연구에서는 영국 FMI(Flowmaster International Ltd.)의 Flowmaster 프로그램을 사용하였다. Flowmaster는 1차원 Network Fluid Flow System Analysis Code로서 배관망, 냉각유로, 윤활유로 그리고 유압회로 등 내부 유동계를 특성 방법을 이용하여 해석할 수 있는 프로그램이다.

Fig. 3은 리그 구성의 front에 대해서 시간에 대한 챔버의 압력을 실험과 해석 결과를 보여주고 있다. Fig. 2 (b)의 전체 시간에서 제동이 이루어지는 1초의 시간에 대해서 챔버의 압력 변화를 보여주고 있다. 대기온도 15°C에서 시스템 압력에 대한 75%의 압력에 이르는 시간이 해석에서 0.75초를 나타내고 있어 실험 결과와 거의 일치함을 보이고 있다. 제동이 이루어지고 0.5초까지는 약간의 압력 차이를 보이고 있으나 그 이후에는 실험과 해석의 압력 결과가 거의 비슷하고 있음을 보이고 있다. 해석은 리그를 구성하고 있는 시스템과 동일하게 구성을 하였고,

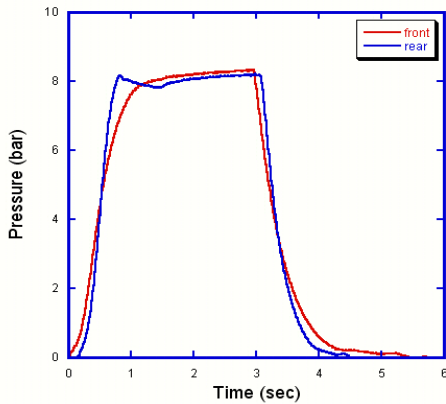
이 시스템에 대한 파이프의 재질 및 직경, 주변의 온도 변화에 대한 제동 특성에 대해서 고찰한다.

### 3. 해석 결과

브레이크 리그 구성을 이루는 파이프의 재질은 스틸과 플라스틱, 그리고 고무 재질이 섞여 있다. 탄성을 가지는 플라스틱과 고무 재질은 챔버에 압력을 전달함에 있어 방해요소로 작용하게 된다. 시스템 압력의 75%에 도달하는 챔버의 압력을 실험과 스틸 그리고 플라스틱으로 이루어졌을 때를 Fig. 4에 도시하였다. 파이프의 재질을 모두 스틸로 대체하였을 때에는 챔버의 압력이 75%에 도달하는 시간이 0.65초로 매우 빨라졌다. 그러나 모든 파이프의 재질을 플라스틱으로 하였을 때는 0.74초를 보이고 있다. 이는 브레이크 시스템에 대해 에어 파이프의 재질이 플라스틱과 스틸 그리고 고무 재질이 같이 사용되고 있는 상황에 대해 스틸 재질로 변경을 하게되면 제동 시간에 대해 기존의 시스템에 비해 10%의 향상된 제동 시간을 얻게 됨을 보여주고 있다.



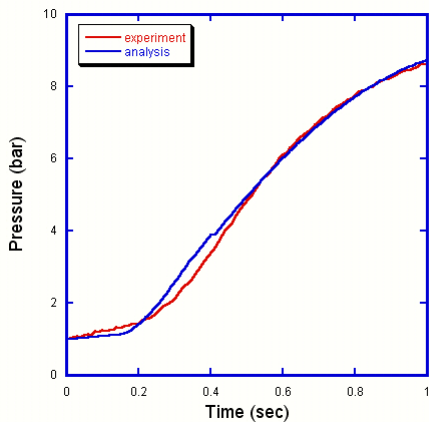
(a) 제동 작동 곡선  
(a) Brake operation curve



(b) 브레이크 응답 곡선  
(b) Brake response curve

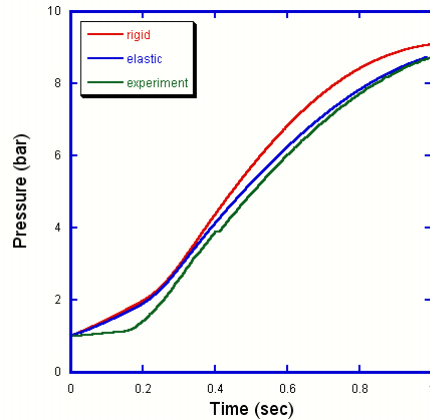
[그림 2] 브레이크 응답 특성

[Fig. 2] Brake response characteristic



[그림 3] 실험과 해석 결과 비교

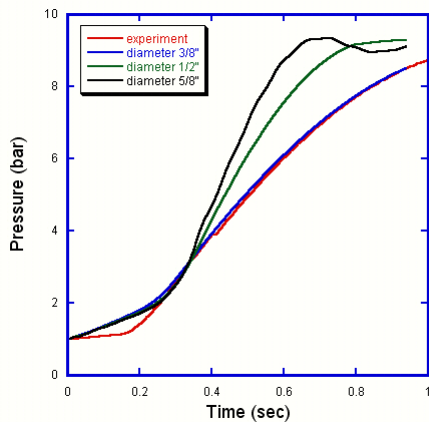
[Fig. 3] Comparison of experimental & simulated result



[그림 4] 재질 변화에 대한 브레이크 응답 특성

[Fig. 4] Brake response with respect to pipe material property

브레이크 시스템에 사용되는 파이프 직경은 3/8", 1/2", 5/8"로 이루어져 있고, 각각 다른 직경으로 탱크, 챔버 그리고 밸브 사이를 연결하고 있다. Fig. 5는 챔버의 압력에 미치는 파이프 직경의 영향을 도시한 것이다. 파이프 직경이 3/8"인 경우에는 시스템 압력의 75%에 도달하는 시간이 0.75초, 1/2"는 0.59초, 5/8"는 0.52초로 나타나고 있다. 파이프의 직경이 작게 됨에 따라 공기 유동 저항의 증가에 따라 제동 시간이 지연됨을 보이고 있다. 실험에서는 세가지의 직경이 임의로 사용되고 있으나 직경을 크게 할 수 있는 부분에 대해서는 유동의 저항을 낮출 수 있게 파이프의 직경에 대해 변화를 주게 되면 빠른 제동 시간을 획득 할 수 있을 것으로 판단된다.

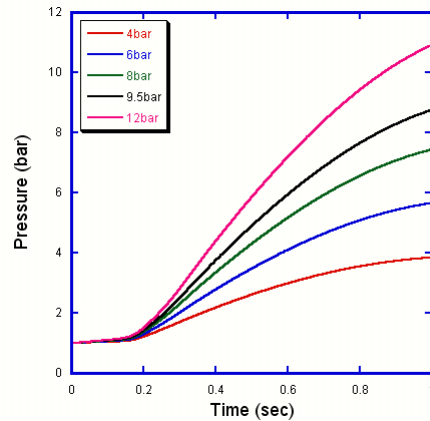


[그림 5] 파이프 직경에 대한 브레이크 응답 특성  
[Fig. 5] Brake response with respect to pipe diameter

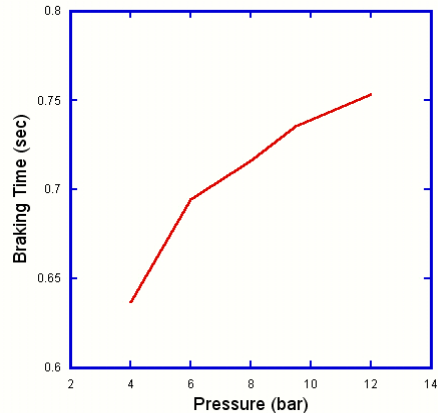
Fig. 6과 Fig. 7은 챔버에서 압력 변화에 미치는 시스템 압력의 영향에 대해서 도시하였다. 시스템의 압력이 커질수록 시스템 압력의 75%에 도달하는 제동 시간도 같이 커짐을 알 수 있다. 현재의 시스템 압력인 9.5bar를 기준으로 75%의 챔버 압력인 7.375bar에 도달하는 시간은 해석에서 0.75초이다. 시스템 압력을 12bar까지 높였을 때 기존 시스템의 챔버 압력에 도달하는 시간은 0.6초이다. 이는 현재의 브레이크 시스템에서 12bar의 압력을 적용할 수 있다면 다른 부품에 대한 교환없이 기존의 제동 시스템에 대해 빠른 응답 성능을 얻을 수 있게 된다.

시스템 압력이 4bar에서 12bar까지 변할 때 탱크와 챔버사이의 압력 차이를 Fig. 8에서 보여주고 있다. 시스템 압력이 챔버에 도달하는 시간은 압력이 커질수록 약간의 차이를 보이나 전체적으로 비슷함을 알 수 있다. 이 시간에는 시스템 압력과 챔버의 압력 차이가 거의 발생하지 않음을 보이고 있다. 그러나 이후의 챔버의 압력 변화는 시스템 압력이 커지면서 기울기가 급격하게 변한다. 제동이 이루어지고 약 1초가 흐르게 되면 챔버의 압력과 시스템 압력의 차이가 거의 0bar에 접근하여 챔버의 압력이 탱크의 압력과 거의 같아짐을 알 수 있다.

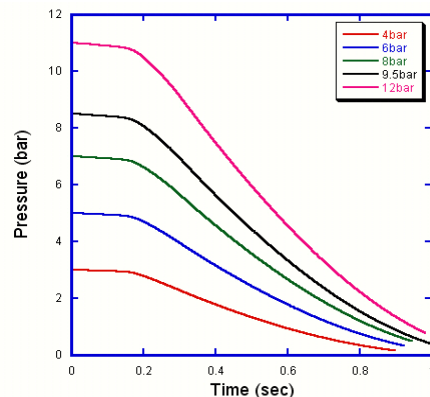
브레이크 시스템의 탱크와 챔버에서의 압력과 온도의 관계에 대해서 알아보기 위하여 각각 제동이 진행되는 과정에서 온도와 압력을 그림 9와 그림 10에 도시하였다. 초기 온도는 15℃로 탱크에서는 압력의 감소가 크게 발생하지 않아 압력 감소로 인한 온도 강하는 3℃ 하락하였다. 그러나 챔버에서는 압력의 상승이 급격하게 발생하여 130℃의 온도 상승을 가져왔다. 이는 탱크와 챔버사이의 불륨이 크게 차이를 보여 챔버에서의 온도가 크게 상승하는 요인이 된다.



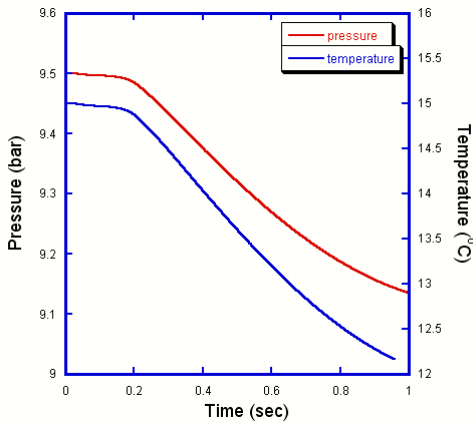
[그림 6] 시스템 압력에 대한 챔버의 압력 특성  
[Fig. 6] Chamber pressure characteristic with respect to system pressure



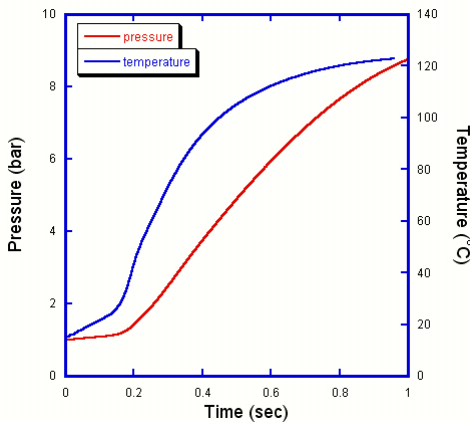
[그림 7] 시스템 압력에 대한 브레이크 응답 특성  
[Fig. 7] Brake response characteristic with respect to system pressure



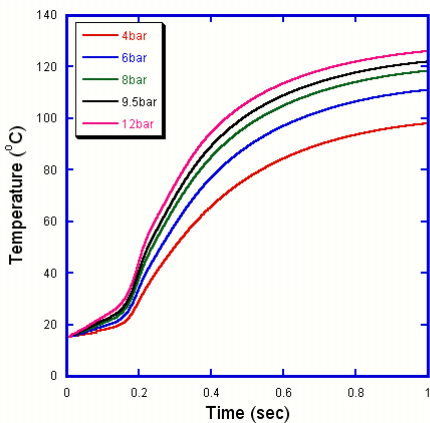
[그림 8] 시스템 압력에 대한 탱크의 압력 특성  
[Fig. 8] Tank pressure characteristic with respect to system pressure



[그림 9] 탱크에서 압력과 온도 변화  
[Fig. 9] Pressure & temperature change in tank



[그림 10] 챔버에서 압력과 온도 변화  
[Fig. 10] Pressure & temperature change in chamber



[그림 11] 시스템 압력에 대한 챔버의 온도 변화  
[Fig. 11] Chamber temperature curve with respect to system pressure

## 4. 결 론

상용 트럭에 대한 리그를 구성하여 에어 브레이크의 특성에 대해서 고찰하였다. 해석 프로그램에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 실험 값과 비교하였고, 브레이크 시스템에 영향을 미치는 시스템 압력, 파이프의 재질 및 직경, 탱크와 챔버에서 압력에 대한 온도 영향에 대해서 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 브레이크 시스템의 재질을 스틸로 변경하게 되면 제동 시간이 10% 향상 됨을 알 수 있다. 이로서 파이프의 재질이 플라스틱이나 고무로 이루어져 있는 부분에서 제동 시간에 저항으로 작용함을 알 수 있었다.
2. 브레이크 시스템 압력 9.5bar에 대한 75% 도달 압력을 기준으로 하였을때 시스템 압력을 12bar로 증가하였을때 제동 시간이 0.295초 단축됨을 보이고 있다. 이는 현재의 리그 시스템에 대해 시스템 압력을 증가시켜 제동 시간의 단축을 적용할 수 있음을 알 수 있다.
3. 탱크와 챔버에서의 온도는 압력의 상승과 하락에 영향을 받았으며, 시스템 압력이 상승함에 따라 챔버의 온도 또한 상승함을 알 수 있다. 이는 브레이크 시스템을 구성함에 있어 시스템 압력이 높아질 경우 냉각의 필요성이 있음을 보여주고 있다.

## References

- [1] M.Elwell, S.Kimbrough, "An Advanced Braking and Stability Controller for Tow-Vehicle and Trailer Combinations", SAE 931878, 1993
- [2] F.Hecker, S.Hummel, O.Jundt, K.D.Leimbach, I.Faye, H.Schramm, "Vehicle Dynamics Control for Commercial Vehicles", SAE 973284, 1997
- [3] Shankar Vilayannur Natarajan, "Modeling The Pneumatic Relay Valve of an S-Cam Air Brake System", Texas A&M University, May 2005
- [4] W.K.Park, L.H.Li, S.D.Mun, H.K.Lee, G.E.Yang, "The Study on the Performance of Air Brake Response", KSPE Spring Conference, pp. 1069-1070, 2010.
- [5] Myngwon Sug, Yoonki Park and Seongjin Kwon, "A Simulation Program for the Braking Characteristics of 8x4 vehicles", Transactions of Korea society of automotive engineers, Vol.9, No.6, pp.119-128, 2001.
- [6] Limpert, R. "Brake Design and Safety", Society of Automotive Engineers, pp.233-239, 1992.

[7] Flowmaster International Ltd., Flowmaster Reference Help Version 7.7, 2011

**김진택(Jin-Taek Kim)**

[정회원]



- 1994년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학부 (공학석사)
- 2001년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학박사)

<관심분야>

풍력발전기 공력향상, 전자장비 방열

**정도균(Do-Gyun Jung)**

[정회원]



- 2011년 8월 : 전북대학교 기계시스템공학부 (공학사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 대학원

<관심분야>

공압시스템, 연소시스템

**최판진(Pan-Jin Choi)**

[준회원]



- 2003년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 재학중

<관심분야>

공압시스템

**박원기(Won-Ki Park)**

[정회원]



- 2000년 2월 : 전북대학교 기계공학 (공학석사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 현대자동차

<관심분야>

공압시스템

**박찬희(Chan-Hee Park)**

[정회원]



- 2012년 2월 : 전북대학교 바이오시스템공학과(공학박사)
- 2002년 12월 ~ 2009년 4월 : 한국내쇼날인스트루먼트(주) 대리 (LG 전자 Account Manager)
- 2009년 5월 ~ 현재 : (사)전북대학교자동차부품금형기술혁신센터 연구개발실 선행기술팀 선임연구원

<관심분야>

기계 시스템분야 개발, 바이오나노분야 제어계측 시스템 개발

**유범상(Boem-Sahng Ryuh)**

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학석사)
- 1989년 5월 : Univ. of Purdue 기계공학 (공학박사)
- 1993년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>

로보틱스, 농업용로봇, 자동차생산자동화

백 병 준(Byung-Joon Baek)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1990년 12월 : Univ. of Missouri-Rolla 기계공학 (공학박사)
- 1983년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>

마이크로유동 열제어, LED 열제어, 반도체장비 최적설계 위한 CFD기법, 반도체장비 냉각