

상용 트럭의 공압 브레이크 제동 특성에 미치는 인자에 대한 연구

김진택¹, 조병수², 백병준^{1*}

¹전북대학교 기계시스템공학부, ²군장대학교 자동차기계공학부

Analysis of the Effect of the Parameter on the Air Braking Response Time of Heavy duty Truck

Jin-Taek Kim¹, Byoung-Soo Cho² and Byoung-Joon Baek^{1*}

¹Division of Mechanical System Engineering, Chonbuk National University

²Division of Automotive-Mechanical Engineering, Kunjang University

요 약 상용 트럭에서 탑재하고 있는 공압을 이용하는 브레이크 시스템에서 제동시간을 최소화 하기 위해 다양한 인자들에 대한 연구를 진행하였다. 실험 결과와 1차원 유체유동 네트워크 해석코드(FLOWMASTER) 결과와 비교하기 위하여 실험 지그를 제작하였다. 밸브 포트, 파이프 길이, 주변의 열적 환경에 대한 영향에 대해 제동 응답 시간과 압력 감소를 고찰하였다. 또한 탱크 압력에 대한 압력 감소에 대해 상관관계식을 도출하였다.

Abstract The effect of several parameters to minimize the braking response time has been investigated in this study. The experimental rigs were developed and the results of the experiment compared with those of simulation obtained from the net work fluid flow system analysis code (FLOWMASTER). The braking response time and pressure loss were observed at separated braking port and found out that the response time can be reduced by considering the pipe length and environmental thermal conditions. The correlation equation was also presented to predict the pressure loss at various tank pressure.

Key Words : Air brake, Braking response, Braking response time, Computational analysis

1. 서론

운전자의 차량 안전도에 대한 요구증대와 세계적으로 대형차량에 대한 안전법규가 강화되고 있어 대형 차량에서 안전장치에 관한 연구가 더 많이 진행되고 있는 추세이다. 이 일환으로 국내에서도 공압 브레이크에 대한 시스템의 성능을 크게 향상시키기 위해 관련 부품들이 개발되어 장착되고 있다. 공압 브레이크 시스템의 경우 전자제어 시스템이 많이 사용되고 있으나, 물리적인 해석이 기본이 됨으로써 공압만을 이용하는 제동 시스템에 대한 연구가 필요하다. 다수의 연구자들에 의하여 대형차량의 동특성에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 차량의 제

동성에 관한 연구는 아직까지 미진한 상태이다[1-3].

대형 차량에서의 사고는 승용차량에 비해 많은 인적 사고와 물적 자산에 피해를 발생시킨다. 따라서 대형 차량의 경우에는 운전자의 의도대로 빠르게 반응하는 제동 시스템의 설계가 중요하다. 이런 필요성 때문에 대형차량의 수학적 차량 모델을 구성하여 동특성 연구를 수행하고, 제동장치 설계에 시뮬레이션 프로그램이 도입되어 제동 특성에 대한 연구가 진행되고 있다[4].

공압 브레이크 시스템의 제동 성능에 영향을 주는 인자들에 대한 실험과 해석을 통하여 비용과 손실을 줄이고 전륜 제동부와 후륜 제동부의 제동시스템을 연구하고 있다. 공압 시스템에서 제동 시간에 대한 연구는 작동시

*Corresponding Author : Byoung-Joon Baek(Chonbuk National Univ.)

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

Received September 10, 2013

Revised (1st October 4, 2013, 2nd October 23, 2013)

Accepted January 9, 2014

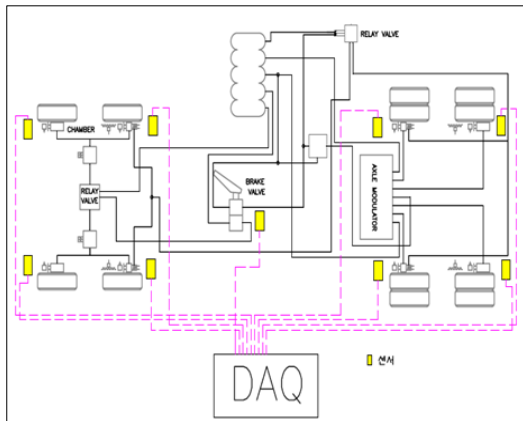
간에 대한 편차를 줄여 균등 제동력을 확보하고, 공압 제동 시스템을 구성하는 부품들에 대한 연구를 통하여 제동 소요시간 단축에 대한 연구를 하고 있다[5].

본 연구에서는 상용트럭을 대상으로 공압 브레이크 제동시간에 미치는 인자를 연구하기 위하여 공압 브레이크 시스템을 구성한다. 공기 탱크에서 가압되는 압력에 대해 전륜 제동부 챔버와 후륜 제동부 챔버에 대해 압력을 측정하여 제동시간을 분석하고, 제동시간에 영향을 미치는 각각의 인자들을 분석하여 압력손실과 제동시간을 분석한다. 또한 주변환경에 대한 제동시간을 분석함으로써 원가 절감과 제동 시간을 단축할 수 있는 인자에 대해서 해석하여 공압 브레이크 시스템 구성에서 기초 데이터로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 구성

2.1 공압 브레이크 리그 구성

상용 트럭에서 브레이크 시스템의 작동은 공기 탱크에서 압력이 형성되고, 페달에 의해서 압력이 전달되면 파이프와 밸브를 거치면서 챔버에 압력이 증가하여 제동이 이루어지게 된다. 실험 리그는 상용 트럭에서 사용되는 시스템에 근거하여 구성이 되어져 있고, Fig. 1에서 보여주고 있다. 공기 탱크, 브레이크 페달, 탱크와 챔버 등에 설치된 센서와 데이터 수집장치, 전체 시스템이 구성된 리그를 보여주고 있다.

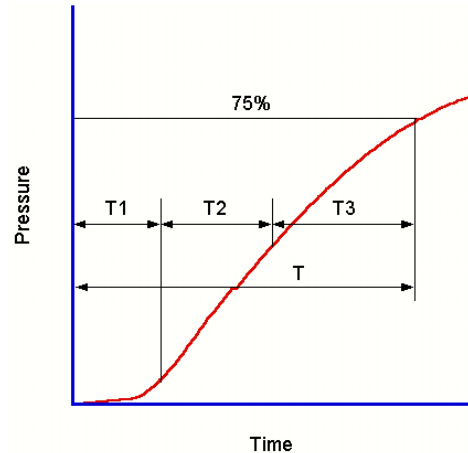


[Fig. 1] Experimental setup of brake system

2.2 공압 브레이크 제동 시간

공압 브레이크 리그에서의 제동 시간은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 공기 탱크 압력에 대해 75% 압력이 브레이크

챔버에 전달될 때를 제동시간으로 정의한다. 전체적인 제동시간은 챔버까지 압력도달시간 T1, 브레이크 라이닝 밀착시간 T2, 제동력 인가시간 T3로 구성된다.



[Fig. 2] Air brake response time

챔버까지 압력이 도달하는 시간 T1은 공기 탱크에서 챔버까지의 소요시간으로, 공기 탱크로부터 브레이크 페달, 밸브, PCV, 커넥터와 챔버까지 이를 연결하는 호스로 이루어져 있는 부분을 통과하는 시간이다. 공기 탱크에서 압력이 연결호스와 각각의 단품에 전달되면서 압력강하가 발생되어 이 압력강하는 브레이크 제동시간에 영향을 미치게 된다. 연결호스와 이음쇠에 의한 압력강하는 원형 직관의 마찰손실식을 사용하고, 단품(페달, 밸브, 챔버)의 압력강하는 부차적 압력손실을 사용한다[7]. 압력손실은 호스의 길이과 관이음쇠의 등가길이에 의한 영향도 고려된다. 또한 탱크에서 챔버까지 연결되는 호스와 단품에서의 마찰손실로 표현되는 유속과 단품을 연결하는 모든 호스의 길이에 의해 계산된다. 압력손실은 단품, 단품과 호스를 연결하는 엘보우와 호스에서의 압력손실로 구성되며 다음과 같은 식으로 표현된다. 리그에서 구성되는 사용되는 엘보우는 0°, 45°, 90°가 다수 사용되며 부차적 압력손실에서 계산된다.

브레이크 라이닝 밀착시간 T2는 챔버에서의 유속과 압력, 관마찰손실 등에 의해서 표현되는 속도와 탱크에서 챔버까지의 길이에 의해 표현된다.

제동력 인가시간 T3는 탱크에서 챔버까지의 길이와 챔버의 체적에 의해 계산된다.

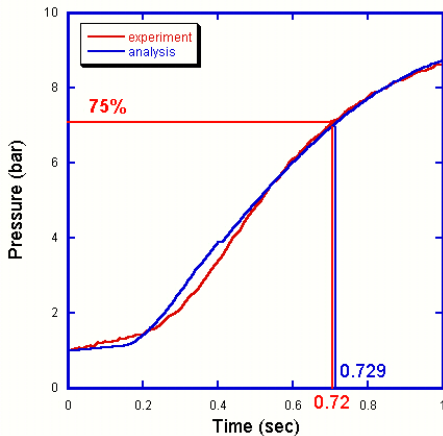
해석은 리그를 구성하고 있는 시스템과 동일하게 구성을 하였고, 이 시스템에 대한 파이프의 재질 및 직경, 주변의 온도 변화에 대한 제동 특성에 대해서 고찰한다.

3. 해석결과

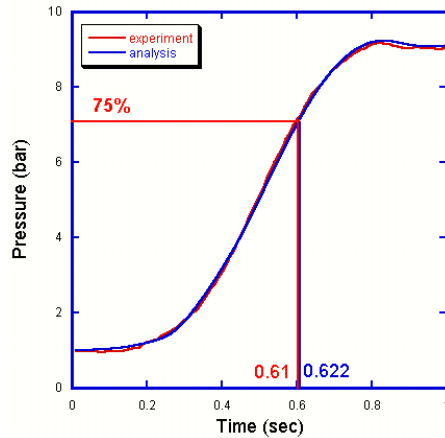
공압 브레이크의 응답 특성에 대한 영향을 고찰하기 위하여 본 연구에서 사용한 수치해석용 프로그램은 영국 FMI(Flowmaster International Ltd.)의 Flowmaster 프로그램을 사용하였다. Flowmaster는 1차원 유체유동 네트워크 해석코드(Network Fluid Flow System Analysis Code)로서 배관망, 냉각유로, 윤활유로 그리고 유압회로 등 내부 유동계를 특성해석(characteristic method)을 이용하여 해석할 수 있는 프로그램이다.

3.1 해석 타당성 검증

Fig. 3은 공압 브레이크 리그 구성에 대해서 전륜 제동부와 후륜 제동부에서 시간에 대한 챔버의 압력을 실험과 해석 결과를 보여주고 있다. 공압 브레이크 리그를 구성하고 있는 시스템과 온도, 압력, 파이프 직경등 동일한 조건에서 해석을 수행하여 리그의 챔버 압력 변동과 비교하였다. 대기온도 15°C에서 공기 탱크 압력에 대한 75%의 압력에 이르는 시간이 전방 챔버에서는 0.72초후에 도달되고, 후방 챔버에서는 약간 빠른 0.61초후에 도달되며 0.8초후에는 압력이 거의 일정함을 실험 값과 해석 값에서 보여주고 있다. 전륜 제동부 그림에서 압력 변동이 0.5sec까지는 약간의 압력 차이를 보이고 있으나 이 기간이 지난 이후에는 실험과 해석의 압력 결과가 거의 비슷하고 있음을 보여주고 있다. 후륜 제동부에서는 전반적으로 실험값과 해석값 사이에서 고른 분포를 볼 수 있으며, 전체적으로 사용하는 프로그램의 타당성을 보여주고 있다.



(a)

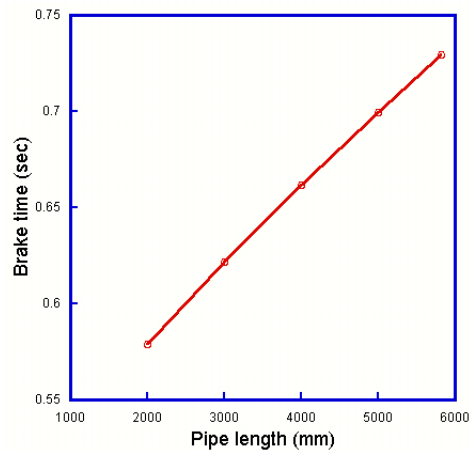


(b)

[Fig. 3] Comparison of experimental & simulated result (a) front (b) rear

3.2 파이프 길이에 대한 영향

Fig. 4는 전륜 제동부 앞단에서의 파이프 길이가 제동 시간에 미치는 영향에 대해서 도시한 그림이다. 파이프 길이는 제동시간의 T1에 매우 중요한 영향을 미치는 인자로서, 탱크 압력이 파이프 길이를 변화시킴으로서 발생하는 압력손실이 제동시간에 미치는 영향을 보여준다. 파이프의 길이가 2000mm일때는 0.579sec, 5000mm일때는 0.7sec의 제동시간이 소요되어, 자동차에서 제동시간의 단축을 위해서는 단품을 연결하는 파이프의 연결길이를 최대 줄이는 설계가 필요함을 인식하였다.

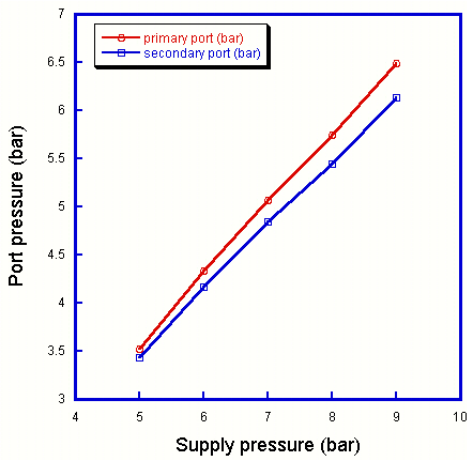


[Fig. 4] Brake response time with respect to pipe length

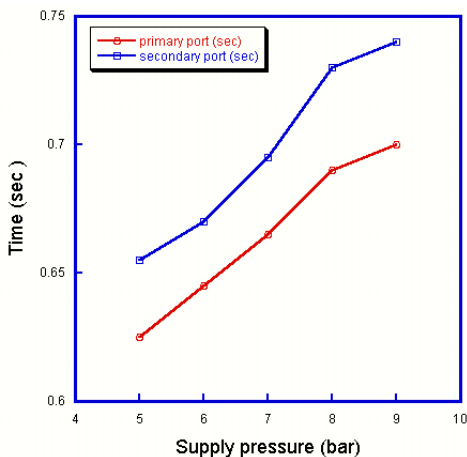
3.3 포트 변화에 대한 제동 특성 변화

브레이크 페달을 밟아 압력이 전해지게 되면, 압력이

진행하는 방향에 따라 1차측과 2차측으로 나뉘게 된다. Fig. 5는 2중 브레이크(dual brake)에서 1차측(primary port)과 2차측(secondary port)에서 브레이크 페달을 밟았을 때 측정되는 압력, 시간차에 대해 나타낸 그림이다. Fig. 5(a)는 1차측과 2차측에 공기 탱크의 압력 75%가 가해질 때 발생하는 압력을 보여주고 있다. 공급압력이 증가함에 따라서 1차측과 2차측 사이의 압력차이가 크게 발생함을 볼 수 있다. Fig. 5(b)는 에어탱크에서 보내는 압력이 챔버 75%의 압력에 도달까지의 시간을 보여주고 있다. 1차측과 2차측에 대한 port에서의 압력은 1차측의 압력이 2차측보다 크기 때문에 75%의 압력에 도달하는 시간이 빠르다는 결과를 볼 수 있다. 실험의 결과로써 공급압력이 9bar일 때 0.04sec 차이가 발생함을 볼 수 있다.



(a)



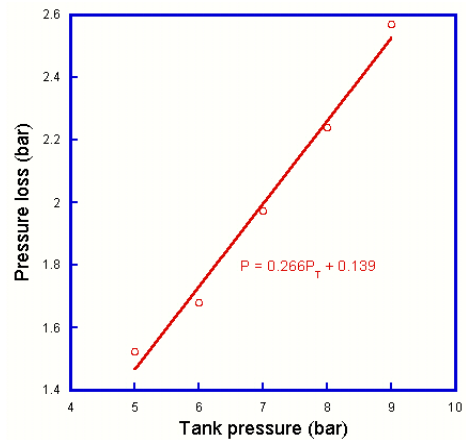
(b)

[Fig. 5] Dual brake port Pressure
(a) port pressure (b) time of 75% pressure

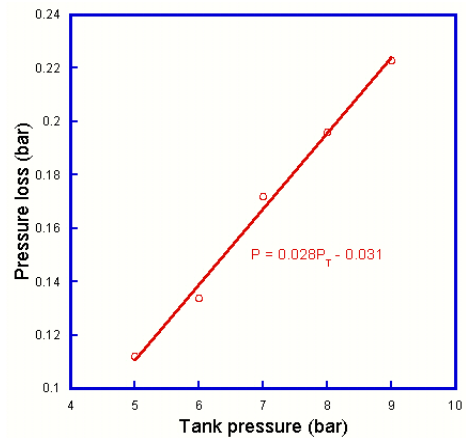
3.4 밸브에 대한 제동 특성 변화

공기 탱크에서 챔버로의 압력이 전달되면서 공기 압력을 제어하기 위하여 비례형릴레이밸브 (proportional relay valve)와 압력조절용밸브(pressure control valve)가 사용된다. Fig. 6은 비례형릴레이밸브(proportional relay valve)와 압력조절용밸브(pressure control valve)에 대해 공기 탱크의 압력이 작용하여 valve를 통과하면서 발생하는 최대 압력손실을 나타내었다. 손실압력은 출구에서의 압력과 출구압력 75% 지점에 도달하는 압력의 차로 계산하였다.

손실압력은 공기 탱크에서의 공급압력이 클수록 증가하게 되는데 이 현상은 다음과 같이 탱크 압력과 손실압력에 대해 선형화 관계식을 도출할 수 있다.



(a)



(b)

[Fig. 6] Pressure loss with respect to air tank pressure
(a) proportional relay valve
(b) pressure control valve

Fig. 6 (a)의 비례형릴레이밸브에서는

$$P=0.266P_T + 0.139$$

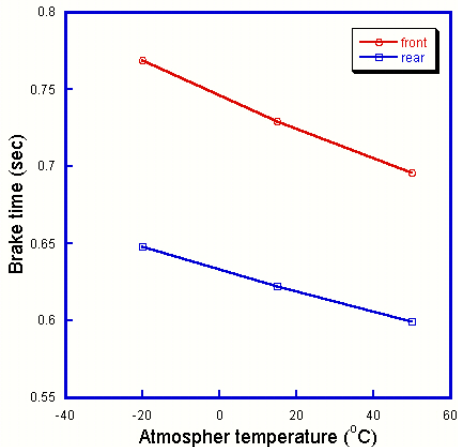
Fig. 6 (b)의 압력조절용밸브는

$$P=0.028P_T - 0.031$$

로 선형화 할 수 있어서, 이 식들을 활용하여 공급압력에 대한 손실을 예측 할 수 있다.

3.5 주변환경 변화에 대한 제동 특성

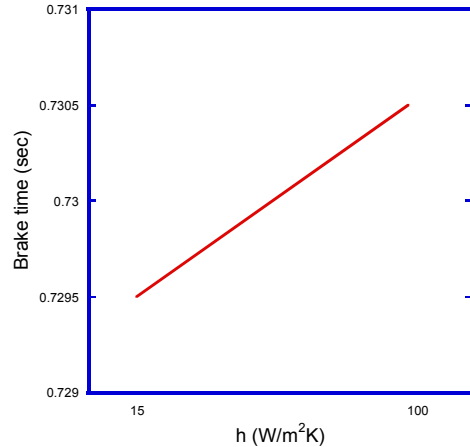
Fig. 7은 대기 온도에 반응하는 제동시간을 도시하였다. 리그 실험은 15°C에서 진행이 되었고, 리그의 조건을 기준으로 하여 대기 온도가 -20°C인 극한 영역과 50°C인 열대지역에서의 제동시간에 대해서 계산한 결과를 도시하였다. Fig. 7의 결과로부터 주변 온도가 증가함에 따라 차량에서의 제동시간도 따라서 단축되고 있음을 보여주고 있다. 이것은 공압 브레이크의 제동이 공기를 사용하고 있으며, 사용되는 공기는 온도에 따라 밀도의 변화가 발생하여 제동압력에 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다. 챔버의 제동압력은 밀도에 영향을 받고, 밀도는 온도에 영향을 받아 주변환경에 대해 영향을 받음을 보여주고 있다. 리그의 조건에서 극한지방과 열대지역에서의 제동시간차는 약 0.05sec가 발생하고 있음을 나타내고 있어서, 사용하는 지역에 따른 제동력의 편차를 고려하는 설계가 필요함을 알 수 있다.



[Fig. 7] Brake time with respect to atmosphere temperature

리그의 실험은 대기온도 15°C, 대류열전달계수 $h=15W/m^2k$ 상태에서 진행하였다. 이러한 환경에 대류열 전달계수가 커지는 상황, 즉 주변에서 유동이 발생하여 탱크와 파이프등 압력이 통과하는 부분에 대해 영향을 미치게 될 때 제동시간의 변화를 Fig. 8에 도시하였다. 동일한 환경 조건에서도 대류열전달계수 h 가 $100W/m^2K$ 로

커지게 되면 약 0.001sec 차이가 발생함을 알 수 있다. 이는 대류열전달계수가 커져서 냉각 효과가 발생하면 제동 시간이 커진다는 Fig. 7의 결과와 같은 경향을 보이고 있다.



[Fig. 8] Brake time with respect to convection condition

4. 결 론

공압 브레이크를 사용하는 상용 트럭에 대한 리그를 구성하여 제동인자들에 의한 브레이크의 특성에 대해서 고찰하였다. 해석 프로그램에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 전륜 제동부와 후륜 제동부에 대한 실험 값과 비교하였고, 브레이크 시스템에 영향을 미치는 파이프 길이, 단품들의 압력손실 및 주변 온도에 대한 영향에 대해서 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단품들에 연결되는 파이프는 길이가 2000mm일 때는 0.579sec, 5000mm일 때는 0.7sec가 소요되어 파이프의 길이가 길수록 제동시간이 길어지는 경향을 보이고 있다. 이는 단품들을 연결할 때 불필요한 파이프를 최대한 줄이는 설계가 필요함을 보여주고 있다.
2. 탱크 압력과 손실압력에 대한 상관관계식을 다음과 같이 도출하였다.
비례형릴레이밸브;
 $P=0.266P_T + 0.139$
압력조절용밸브;
 $P=0.028P_T - 0.031$
3. 상용 트럭의 사용 환경이 달라지는 경우, 즉 온도차이가 70°C 차이가 발생하면 제동시간은 0.073sec 차이가 발생함을 보인다.

References

- [1] F.Hecker, S.Hummel, O.Jundt, K.D.Leimbach, I.Faye, H.Schramm, "Vehicle Dynamics Control for Commercial Vehicles", SAE 973284, 1997
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/973284>
- [2] S.V. Natarajan , S.C. Subramanian1, S. Darbha , K.R. Rajagopal, "A model of the relay valve used in an air brake system", Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA
- [3] 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.
- [4] M.Elwell, S.Kimbrough, "An Advenced Braking and Stability Controller for Tow-Vehicle and Trailer Combinatons", SAE 931878, 1993
- [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", pp.233-239, Society of Automotive Engineers, 1992.
- [7] Flowmaster International Ltd., Flowmaster Reference Help Version 7.7, 2011

김 진 택(Jing-Taek Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

풍력발전기 공력향상, 전자장비 냉각

조 병 수(Byoung-Soo Cho)

[정회원]



- 1990년 2월 : 전북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 전북대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 군장대학교 자동차기계공학부 교수

<관심분야>

냉동공조, 열유체공학, 열기기제어, 공유압일반분야, LED 기기냉각

백 병 준(Byung-Joon Baek)

[정회원]



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

<관심분야>

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