

전산유체해석을 통한 RE엔진 냉각수 코어의 성능 개발

김창수¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과, ²공주대학교 그린카기술연구소

Performance Development of Coolant Core for Range Extender Engine Using CFD Simulation

Chang-Su Kim¹ and Sung-Young Park^{2*}

¹Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University

²Institute of Green-Car Technology, Kongju National University

요약 본 논문에서는 RE엔진에 적용하기 위한 냉각수 코어를 CFD 기술을 활용하여 개발하였다. 개선 모델은 배기 밸브 주위와 사이의 온도를 저감하기 위한 냉각수 우회부를 추가하였다. 2번 실린더 블록 주위와 배기밸브 사이의 유량이 증가하였기 때문에, 베이스 모델대비 개선 모델의 유량 정체가 개선되었다. 결과적으로, 배기밸브 주위에서의 열 전달이 향상되고, 전 유량 구간에서 기존 모델 대비 약 5%의 압력 강하량 저감 효과를 보이는 개선 모델을 얻을 수 있었다. 압력 강하량의 저감은 상응하는 냉각수 펌프의 부하를 저감하고 연비에 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Abstract A Coolant core for Range Extender engine has been developed using CFD technique. Coolant by-pass has been added to the improved model to reduce temperature near and between exhaust valve. Due to the increased coolant flow-rate both around the second cylinder block and between exhaust valves, improved model shows no significant stagnant flow compared with base model. Finally, the improved model shows improved heat transfer coefficients near exhaust valves, and 5% reduced pressure-drop through the coolant core. Reduced pressure-drop may increase the fuel efficiency by reducing the load of a coolant pump.

Key Words : Range Extender, Coolant core, Exhaust port, Heat transfer, Pressure-drop

1. 서론

최근에 출시되는 자동차 모델들은 엔진의 고성능, 고출력 및 경량화 추세로 인해 냉각풍 도입면적은 매우 축소되는 반면, 고속, 과부하 주행에 따른 발열량은 오히려 크게 증가되는 경향이 두드러지고 있다[1]. 고성능, 고출력 및 경량화 엔진을 설계하는 요즘 추세에 따라 엔진의 최적 냉각온도의 제어는 점점 더 어려워지고 있다. 그리고 최근 들어 연비규제와 배기가스 규제가 강화됨에 따라, 연비저감 및 배기가스 저감에 관련된 냉각수 공급기술의 중요성이 증대되고 있다. 이러한 냉각수 최적화 기술의 필요성에 따라 가변 냉각, 전자제어 서모스탯 및 분리냉각 등의 신 냉각기술 개발이 활발히 진행되고 있다

[2-5]. 특히, 냉각수는 엔진의 성능 및 부품의 신뢰성 확보를 위한 중요한 인자로, 엔진의 출력과 운전조건을 고려한 최적의 냉각수 유로 설계는 엔진 성능 증대와 배기가스 저감을 위해 필수적인 엔진 개발의 단계이다[6]. 냉각수 유로의 설계가 잘못되는 경우 엔진에서 발생한 열은 냉각수로 충분히 전달되지 못하게 되어 엔진내부의 온도는 비정상적으로 상승하게 된다. 이는 결과적으로 연소의 불안정과 노킹 등을 초래하여 엔진의 성능 및 내구성에 악영향을 미치게 된다[7]. 냉각수 유로의 설계 개발은 시작 엔진 제작 및 엔진 시험을 수차례 반복하는 장기간 작업을 통하여 최종적으로 완료되게 된다. 이러한 장기간에 걸친 개발 기간을 단축시키기 위하여 CFD 기법을 적용한 냉각수 유로 설계를 검토하고 최적화하는 일

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9275 email: sungyoung@kongju.ac.kr

Received February 22, 2013

Revised (1st April 4, 2013, 2nd May 6, 2013)

Accepted May 9, 2013

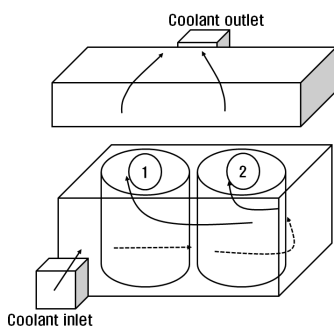
이 필수적인 개발 단계가 되어가고 있다[8]. 본 연구에서는 CFD 기법을 이용하여 RE(Range Extender)엔진의 블록과 헤드에서의 냉각수 유동 특성을 개선하고자 하였다. RE엔진이라는 개념은 미국에서 열린 전기자동차 컨퍼런스에 처음 도입되었으며, 이는 전기자동차에서 엔진을 발전기로 사용하여 주행거리를 연장시키는 엔진이라는 개념으로 사용되고 있다. 현재 RE엔진은 전기자동차의 단점인 주행거리와 비상시 사용동력 등을 보조할 수 있는 중요한 에너지 발생장치로 인식되어 개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구의 목적은 베이스 모델의 온도를 저감하고, 열 집중이 발생하는 배기밸브 사이의 냉각수 유동 특성을 개선하는데 있다.

2. 본론

2.1 냉각수 코어 모델 및 해석 방법

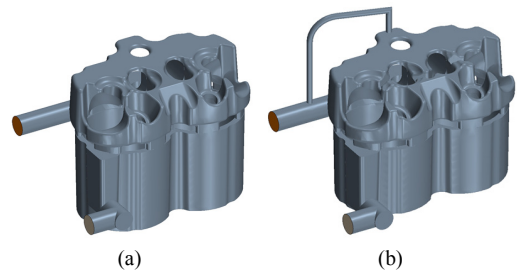
본 연구에서 사용된 엔진의 냉각수 유동패턴은 1번 실린더 블록에 냉각수 입구가 설치되어 있고(Fig. 1), 실린더 블록 좌측을 흘러 2번 실린더 블록에서 U턴을 하여 블록의 우측면을 흐르게 된다. 실린더 블록을 경유한 냉각수는 실린더 블록과 헤드 사이의 개스킷을 통과하여 실린더 헤드로 유입된다. 이러한 실린더 블록과 헤드의 순차적인 냉각수 순환은 냉각수 유량을 최소화하면서 냉각 능력을 극대화하는 방법으로 사용될 수 있다[9].



[Fig. 1] Schematic diagram of coolant flow

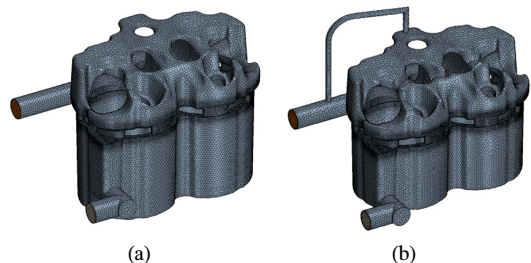
본 연구에 사용된 엔진 모델은 1,000cc급 직렬 2기통 RE엔진으로써, 2개의 실린더가 존재한다. 각 실린더마다 한 개의 흡기밸브와 한 개의 배기밸브가 포함되어 있으며, 냉각수 펌프를 제외한 코어 부분만을 해석의 대상으로 고려하였다. 냉각수 코어의 구조는 출구부와 연결되는 상부의 실린더 헤드의 냉각수 코어, 입구부와 연결되는

하부의 실린더 블록 코어부로 구분되고, 그 사이에는 실린더 헤드부와 실린더 블록을 나누어 주는 개스킷이 존재한다. Fig. 2(a)는 초기 설계되었던 베이스 모델이고, Fig. 2(b)는 베이스 모델에서 헤드 상부의 냉각수 정체 및 과열을 방지하기 위하여 후회 통로를 설치한 개선 모델이다. 이러한 개선 모델의 냉각수 유로 형태는 냉각수가 실린더 블록과 헤드를 순차적으로 흘러감에 따라 냉각수 유로가 길어지고 유동저항이 증가하여 압력 강하량이 증가하는 단점이 있다. 반면에, 열부하가 집중되는 실린더 헤드의 배기밸브 주위의 유량이 증가하여 연소실 벽면의 온도를 저감할 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 2] Coolant core model
(a) Base model (b) Improved model

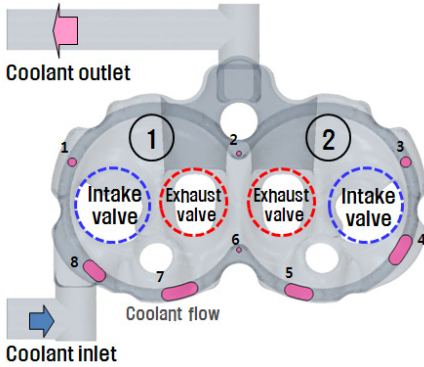
Fig. 3은 유동해석을 위해 계산 격자를 생성한 모습이다. 두 모델 모두 50만개 이상의 poly-hedral 격자로 구성되었으며, 유동해석은 상용 소프트웨어인 Star-CCM+[10]를 사용하였다. 해석을 위한 난류 모델로는 Standard K-Epsilon Turbulence model을 적용하였다. 냉각수 펌프를 포함하지 않는 평균 냉각수 체적 유량을 계산하여 입구 경계조건으로 부여하였으며, 입구의 냉각수 온도는 353K 으로 설정하여 해석을 수행하였다.



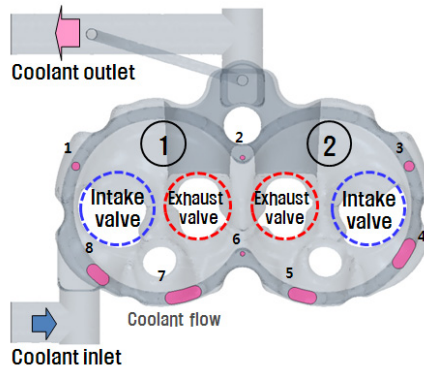
[Fig. 3] Calculation grid
(a) Base model (b) Improved model

Fig. 4는 개스킷을 통한 냉각수 유로를 보여주고 있다. 냉각수 입구를 기준으로 1번 실린더와 2번 실린더가 있

으며, 개스킷에는 총 8개의 냉각수 유로가 존재한다. 또한, 분석의 편의성을 위해 냉각수 출구로부터 시계방향으로 냉각수 유로의 번호를 지정하였다. 베이스 모델과 개선 모델의 냉각수 유로의 유동 패턴과 모델 전체에서의 대류열전달계수 분포 및 배압 등을 분석하였다.



(a)

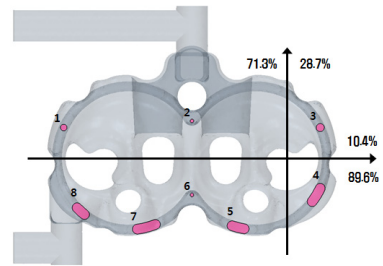
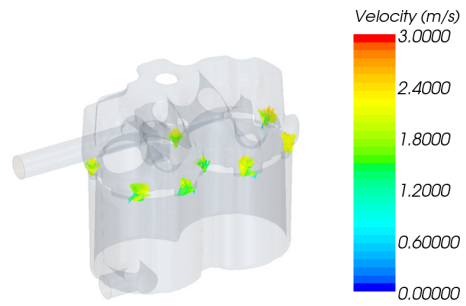


(b)

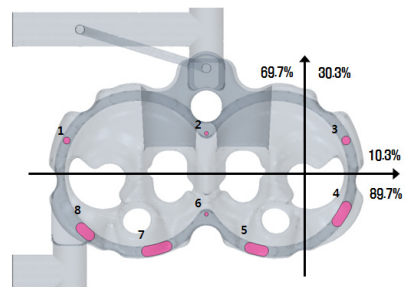
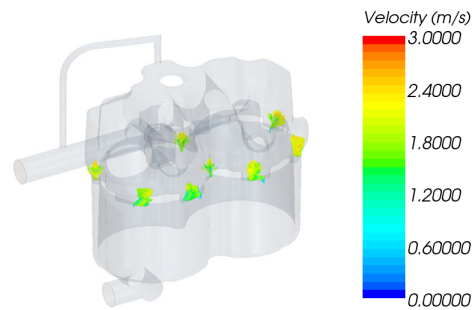
[Fig. 4] Coolant flow with a gasket
(a) Base model (b) Improved model

2.2 해석 결과

Fig. 5는 개스킷을 통한 냉각수 유로의 속도 및 유량비를 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 냉각수 유로의 속도는 베이스 모델과 개선 모델이 변화 없이 유사한 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 반면, 유량비의 경우 베이스 모델 대비 개선 모델이 3번과 4번 유로의 합이 1.5% 정도 증가하면서 2번 실린더 끝단으로 흐르는 유량이 증가하여 실린더 블록에서의 유량 정체 및 정체로 인한 과열이 개선될 것으로 판단된다.



(a)

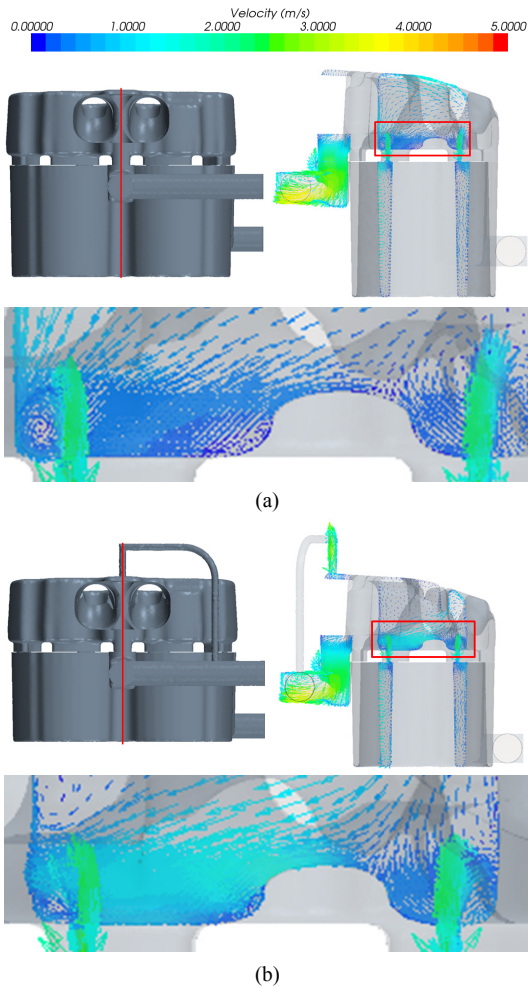


(b)

[Fig. 5] Velocity and mass flow ratio through gasket
(Mass flow rate = 53.5L/min)
(a) Base model (b) Improved model

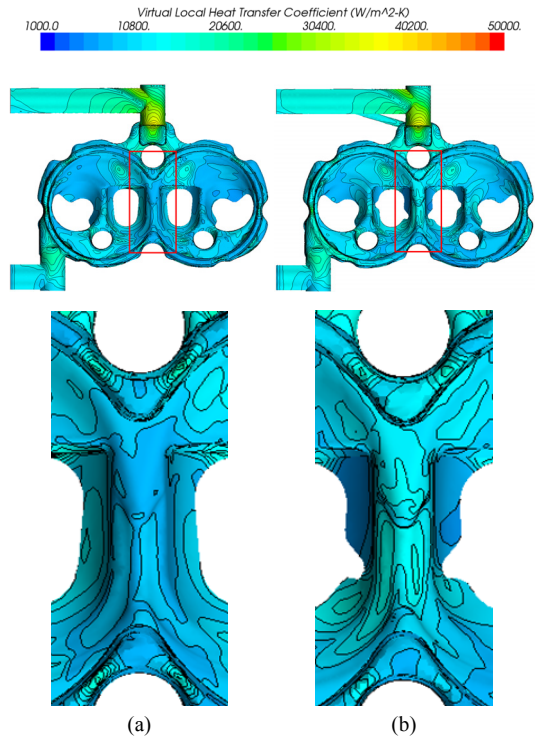
Fig. 6은 베이스모델과 개선 모델헤드 냉각수 코어 하부의 유선 및 속도 분포를 보여주고 있다. 베이스 모델에서 배기밸브 주위의 유동 속도가 작아 정체되는 부분이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 실린더 헤드 배기

밸브 주위의 냉각수 정체 및 과열을 초래할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개선 모델에서는 우회로를 설치하였다. 이러한 우회 통로는 열집중이 발생하는 배기밸브 주위의 냉각수 흐름을 원활하게 하고 열전달을 촉진시키기 때문에 과열을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

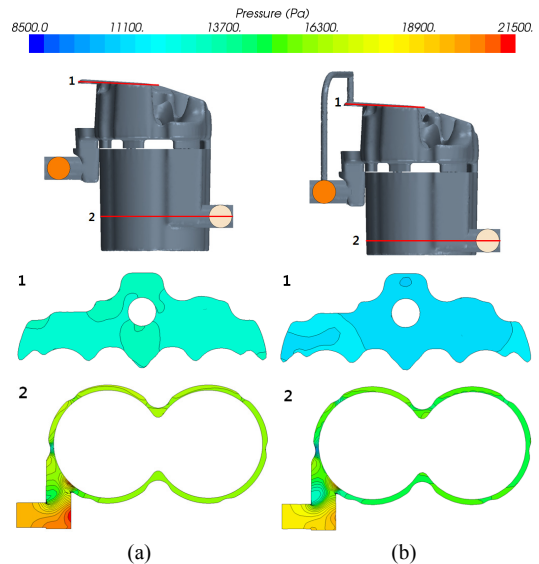


[Fig. 6] Velocity distribution and streamline
(Mass flow rate = 53.5L/min)
(a) Base model (b) Improved model

Fig. 7은 냉각수 코어의 대류 열전달계수 분포를 보여 주고 있다. Fig. 6에서 설명한 바와 같이 베이스 모델에서는 배기밸브 사이의 유동 속도가 작고, 대류 열전달 계수도 열악한 것을 확인할 수 있다. 우회로를 설치해 냉각수의 유동 흐름을 원활하게 한 개선모델은 베이스 모델 대비 대류 열전달 계수가 개선되었다.



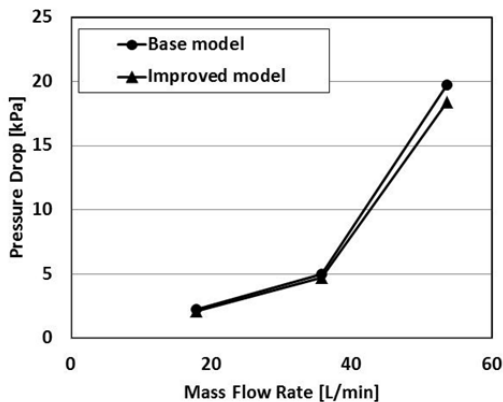
[Fig. 7] Heat transfer coefficient
(Mass flow rate = 53.5L/min)
(a) Base model (b) Improved model



[Fig. 8] Pressure distribution
(Mass flow rate = 53.5L/min)
(a) Base model (b) Improved model

Fig. 8은 헤드 상부와 출구부에서의 압력 분포를 보여 주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 헤드 상부의 압력 분포가 우회로를 설치한 개선 모델에서 양호하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 출구부의 압력분포에서도 개선 모델에서의 압력 최대치가 20,000Pa이하로 저감되며 압력 최대치가 21,000Pa이상을 기록하던 베이스 모델 대비 양호한 압력분포를 보여주고 있다.

Fig. 9는 베이스 모델과 개선 모델의 압력강하량을 보여주고 있다. 최대 유량과 최저 유량 및 평균값을 가지는 유량에 대해 해석을 진행하였다. 해석 결과 평균 유량인 35.7L/min까지 압력 강하량이 미미하게 증가하다 최대 유량까지 기울기가 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 압력 강하량이 증가할 것이라는 예상과는 달리 베이스 모델 대비 개선 모델이 전 유량 구간에서 약 5%의 압력 강하량 저감효과를 가져오는 것을 확인할 수 있었다.



[Fig. 9] Pressure-drop of coolant core

3. 결론

본 논문에서는 최근 개발이 활발히 진행되고 있는 RE엔진에 적용하기 위한 냉각수 코어를 개발하고자 하였다. CFD 기법을 이용하여 RE엔진의 블록과 헤드에서의 냉각수 유동 특성을 분석하고 개선하였다. 개선 사양은 배기포트 부근의 온도를 저감하기 위한 냉각수 우회부를 포함한 사양으로, 열집중이 발생하는 배기밸브 사이의 냉각수 유동을 중심으로 유동 특성을 개선하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 베이스 모델 대비 개선 모델이 개스킷의 냉각수 유로 3번과 4번에서 1.5%정도 증가한 유량을 나타내

며 이러한 결과는 2번 실린더 끝단으로 흐르는 유량이 증가하여 실린더 블록에서의 유량 정체 및 과열이 개선될 것으로 사료된다.

- 2) 베이스 모델에서 실린더 헤드 배기포트 사이의 유동이 원활하지 못하고 정체되는 것을 확인하였다. 열집중이 발생하는 배기포트 사이의 유동개선을 위하여, 개선 모델에 우회로를 추가하였다. 설치된 우회로는 열전달을 촉진시켜 과열을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 유량이 증가할수록 압력 강하량도 증가하였으며, 베이스 모델 대비 개선 모델이 전 작동 구간에서 약 5%의 압력 강하량 저감 효과를 보였다. 압력 강하량의 저감은 상응하는 냉각수 펌프의 부하를 저감하고 연비에 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

References

- [1] C. H. Shin, S. H. Lee, W. G. Park, G. L. Jang, "The Study about the Performance-Analysis of a Automotive Engine Cooling System", Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 2, pp.39-48, 2006.
- [2] S. W. Wei, Y. D. Min, J. T. Lee, "Coolant Flow Characteristics and Cooling Effects in the Cylinder Head with Coolant Flow System and Local Water Passage," Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 1, pp. 32-41, 2003.
- [3] D. K. Lee, K. S. Lee, J. H. Lee, "Numerical Analysis of 3-D Flow Field in the Engine Block Coolant Passage", Transactions of KSAE, Vol. 7, No. 2, pp. 134-152, 2003.
- [4] K. W. Baek, S. H. Lee, N. H. Cho, "Numerical Optimization of the Coolant Flow Rates through Cylinder Head Gasket Holes by applying CFD Techniques," Transactions of KSAE, Vol. 8, No. 5, pp. 121-128, 2000.
- [5] C. S. Oh, J. H. Lee, T. Y. Ryu, S. Y. Shin, W. T. Kim, "An Experimental Study on Improved Fuel Economy and Lower Exhaust Emissions of New Automotive Engine Adopting Split Cooling System," KSAE 2002 Spring Conference Proceedings, pp. 118-123, 2002.
- [6] S. S. Kim, "Characteristics of HC Emissions by Starting Conditions in an SI Engine," Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 3, pp. 1-9, 2004
- [7] K. U. Baek, B. H. Lee, S. H. Lee, N. H. Cho, "CFD Simulation of Coolant Flow in a Large Diesel Engine", Transactions of KSAE, pp.270-274, 1999.

- [8] S. I. Lee, S. Y. Park, "Computational Approach to Improve Coolant Flow Characteristics for the SI Engine", KAIS, Vol. 10, No. 12, pp. 3553-3558, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.12.3553>
- [9] Shoji Adachi, Kimihide Horio, Yoshikatsu Nakamura, Kazuo Nakano and Akihito Tanke, "Development of Toyota 1ZZ-FE Engine", SAE-981087, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/981087>
- [10] CD-adapco, "Star-CCM+ V5 User's Manual", 2010.

김 창 수(Chang-Su Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자
동차공학부 (공학사)
- 2011년 2월 : 공주대학교 기계공
학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교
기계공학과 박사과정

<관심분야>

열유체 해석, 재생에너지, 내연기관 성능개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 1993년 2월 : 충남대학교 기계공
학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 기계공
학과 (공학석사)
- 2002년 5월 : Texas A&M Univ.,
기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교,
기계자동차공학부, 부교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발