

밸브트레인용 롤러태핏 하우스의 제작 공정 개발 및 시제품 평가

곽은조¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Production Process Development and Prototype Evaluation for Roller Tappet Housing of Valvetrain

Eun-Jo Gwak¹, Sung-Young Park^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 엔진의 밸브트레인에 적용되는 롤러 태핏 하우스의 냉간단조 공정을 개발하였다. 시제품을 제작하였으며, 태핏 하우스의 내구성 평가를 통하여 작동성을 확인하였다. 소재 시편의 압축시험을 통하여 태핏에 사용되는 소재의 물성을 확보하고 상용 소프트웨어인 Deform-3D을 이용하여 단조해석을 수행하였다. 해석결과를 바탕으로 냉간단조 공정을 설계하였으며, 실제 금형을 제작하고 시제품을 제작하였다. 제작한 시제품의 평가를 위하여 치수정밀도, 표면조도, 평행도, 동심도를 확인하였으며, 목표한 항목에 모두 부합하는 결과를 확인하였다. 또한 제품의 작동성 및 내구성 평가를 수행하기 위하여, 엔진 밸브트레인의 구동을 모사하는 별도의 시험장치 개발을 완료하였다. 디젤엔진의 아이들 상태를 가정하여 작동성을 평가하고, 엔진의 최고 회전수를 가정하여 내구성 시험을 진행하였다. 시험결과 태핏하우스의 마모는 시험 전, 후 외경 치수 0.002 mm 감소로, 미소한 마모를 보였다. 본 연구를 통하여 정밀 냉간단조 기술을 이용한 제품개발 프로세스를 정립하였다. 또한 본 연구에서 개발한 작동성 평가 시험기를 통해 밸브트레인용 부품의 작동성 및 내구성 평가 시험이 가능할 것으로 사료된다.

Abstract In this study, a cold forging process was developed for the roller tappet housing of an engine valvetrain system. A tappet sample was manufactured and subjected to an endurance test. The material properties were obtained from a compression test, and forging analysis was carried out to design a forging process using a commercial program, Deform-3D. The forging process was set up based on the analysis results, and a die set and sample tappet housing were manufactured. To evaluate the sample, the dimensional accuracy, surface roughness, parallelism, and concentricity were measured and confirmed. To evaluate the actuation and durability, a special test rig was developed to simulate the valvetrain system of the engine. An actuation test was performed based on the idle speed of a general diesel engine, and an endurance test was done based on the maximum speed. The results show minor wear of 0.002 mm. The developed test rig will be used to evaluate the actuation and durability of other valvetrain parts.

Keywords : Cold Forging, Forming Analysis, Tappet housing, Process Development, Prototype evaluation

1. 서론

엔진은 실린더 안에서 혼합기가 폭발할 때 생기는 예

너지를 운동에너지로 바꾸는 기능을 한다. 특히 엔진의 출력에 영향을 주는 핵심부품 중에 밸브트레인 부품들이 엔진의 성능과 출력에 직접적인 영향을 미친다[1-2].

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

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

Received August 9, 2016

Revised (1st September 8, 2016, 2nd September 12, 2016)

Accepted November 10, 2016

Published November 30, 2016

밸브트레인의 형태와 구조는 엔진의 연소실에 공기와 연료를 공급하는 중요한 역할을 수행하기 때문에 엔진의 초기 설계에서부터 개발이 진행되는 엔진의 핵심부품군 중의 하나로 많은 연구가 수행되었다[3-4]. 밸브트레인은 엔진의 종류와 규격에 따라 다양하게 분류될 수 있지만, 일반적으로 직동식(Direct Acting Type), 핑거팔로우어(Finger Follower Type), 그리고 Center Pivot OHV의 Roller Follower Type으로 나눌 수 있다. Center Pivot OHV의 Roller Follower Type HLA(Hydraulic Lash Adjuster) 태핏은 롤러, 니들베어링, 체크밸브, 플런저 및 하우스징(혹은 바다)로 구성되어 있으며, Fig. 1.은 롤러 태핏의 구조를 나타낸다.

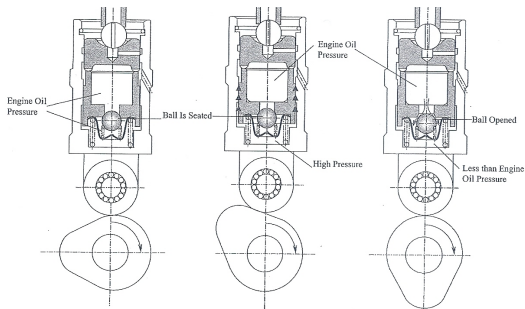


Fig. 1. Roller tappet structure

밸브트레인이에서 태핏은 엔진의 밸브를 작동시키기 때문에 매우 높은 정밀도를 요구하고 있다. 기존의 롤러태핏 하우스징은 CNC와 MCT를 통한 기계 가공공법으로 생산하고 있다. 가공을 통한 제품생산은 시간이 오래걸리며 소재 투입량이 과대한 단점이 있다. 따라서 최근에 밸브트레인 뿐만 아니라 많은 자동차 부품들이 가공을 통한 생산에서 고정밀 냉간단조 공법을 통한 생산으로 전환이 이루어지고 있는 추세이다[5-7]. 본 연구에서는 고정밀냉간단조를 통한 태핏하우스징 생산공법을 개발하고, 시제품의 성능을 확인하였다.

2. 본론

2.1 소재 압축시험

태핏하우스징의 재질은 특수 합금강(16MnCr5)으로 단조재 기초 물성을 파악하기 위하여 압축시험을 수행하였다. Fig. 2.는 압축시험에 사용된 장비와 압축시험 시편

이다. 시험장비는 SHIMADZU사의 압축 및 인장 시험기이며, 최대 25kN까지 시험 가능한 장비이다. 시험장비 파손을 방지하기 위하여 압축시험 시편은 원통형으로 직경 9 mm, 높이 13 mm로 제작하였다. 총 5개의 시편을 8 mm 압축하는 방식으로 시험하여 하중, 응력데이터를 확보하고 소재의 변형특성을 확인하였다.

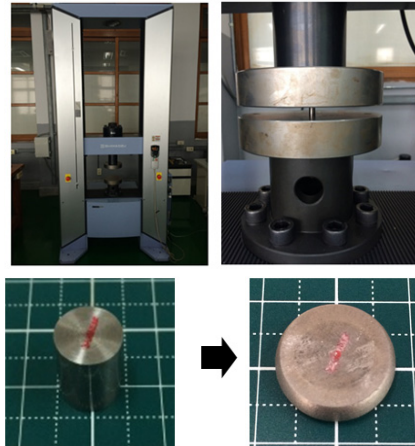


Fig. 2. Compression testing machine and samples

시험결과 시편에 가해지는 압축응력 곡선은 Fig. 3.과 같다. 소재의 항복은 약 380 MPa이었다.

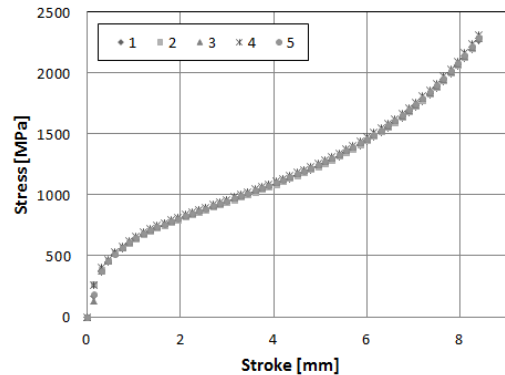


Fig. 3. Compressive stress of the compression test sample

2.2 냉간단조 공정설계 및 CAE 해석

태핏하우스징 제작을 위한 공정설계를 진행하였다. 공정은 태핏의 형상을 고려하여 1차, 2차로 나누어 공정을 진행하였다. 각 공정에 따른 형상 변화는 Fig. 4.와 같다.

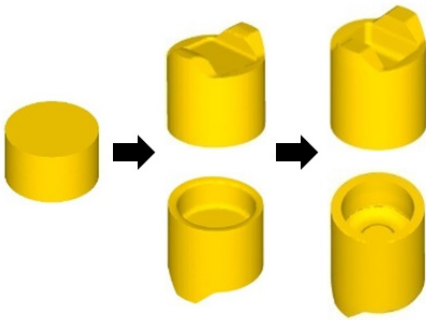


Fig. 4. Cold forging process

냉간단조 성형해석을 위해 상용 소프트웨어인 Deform-3D를 이용하여 해석을 진행하였다[8]. 압축시험을 통하여 확보한 소재물성을 해석프로그램의 소재물성에 적용하여 해석을 수행하였다. 냉간단조 공정 해석은 재질 16MnCr5, 요소수는 약 30,000개이며, 소재를 안착시킨 후 상부금형을 하강시키는 방식의 해석을 진행하였다.

해석결과 평균응력과 주응력은 전방압출 끝단부가 성형되는 다이의 끝부분에서 가장 높은 응력이 발생하였으며, 펀치에 걸리는 최대하중 및 다이에 작용하는 압축응력은 Table 1.과 같다.

Table 1. Result of forging simulation

	1 st Forging	2 nd Forging
Punch load	152 Ton	124 Ton
Compressive stress on top of die	1,470 MPa	1,170 MPa
Compressive stress on bottom of die	1,176 MPa	936 MPa

Fig. 5.는 1차 냉간단조 해석 결과를 보여주고 있다. 해석결과 예비성형체의 최종치수에 만족을 하였으며, 미충진은 발생하지 않았다.

Fig. 6.은 2차 냉간단조 해석 결과를 보여주고 있으며, 해석 결과 최종형상 치수에 부합하였고 미충진 또한 발생하지 않았다.

해석결과를 바탕으로 냉간단조 공정 사이에 열처리 및 피막공정을 추가하여 시제품 제작을 위한 공정도를 확정하였다.

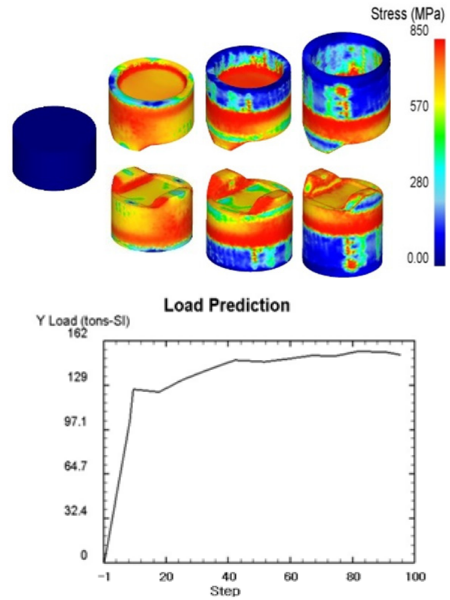


Fig. 5. Analysis result of 1st cold forging process

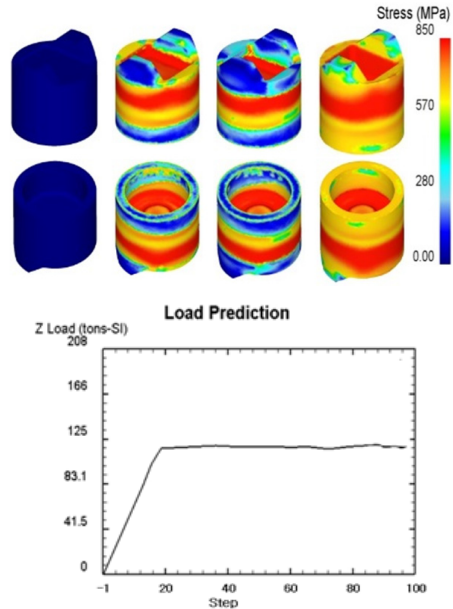


Fig. 6. Analysis result of 2nd cold forging process

2.3 태핏하우스 시제품 제작

금형소재인 AISI-D2의 압축항복강도 확인 결과 물성의 압축 항복강도는 2,200 MPa로[9], 해석결과에 따르면 금형의 파손이 예상되었다. 따라서 실제 금형 제작시

열박음링을 적용하였다. 제작한 금형은 Fig. 7.과 같다.



Fig. 7. Cold forging molds

금형의 구조는 크게 펀치홀더, 펀치, 펀치하우징, 펀치 가이드, 다이, 카운터 펀치, 수압판 등으로 이루어지며, 금형의 수명 및 치수정밀도와 동심도를 개선하기 위하여 금형의 경도를 HRC 60 이내로 관리하였다.

태핏하우징 냉간단조 공정은 아래 Table 2. 과 같다. 소재절단 후 열처리, 피막작업을 진행하고 1차 냉간단조 수하였으며, 2차 단조 전 예비성형체의 열처리와 피막작업을 수행하였다. 단조작업 완료 후 가공을 통하여 태핏하우징의 완제품을 제작하였으며 시제품은 Fig. 8.과 같다.

Table 2. Process order

Process	Substance
Material	16MnCr5
Heat treatment / Shot blast	Annealing / Decarbonization / Scale removing
Film	Phosphate coating + Metallic soap lubrication
1st Cold forging	Forming preform
Heat treatment / Shot blast	Annealing / Decarbonization / Scale removing
Film	Phosphate coating + Metallic soap lubrication / Coating thickness control
2nd Cold forging	Simultaneous forging / Dimension control
1st Lathe turning	Rough machining
Hole fabrication	Hole fabrication
Heat treatment	Carburization
Grinding	Tolerance control
Finishing products	Assembly

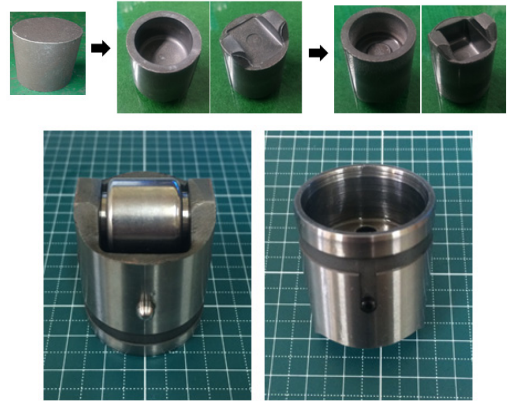


Fig. 8. Produced tappet housing sample

2.4 태핏하우징 시제품 평가

제작된 시제품 평가를 위하여 표면조도, 치수 정밀도, 평행도, 동심도, 피막두께를 측정하였다. 표면조도는 일본 Mitutoyo사의 Surftest SJ-400 장비를 사용하였고, 치수정밀도와 평행도, 동심도는 CNC Coordinate Measuring M/C를 이용하여 치수를 측정하였다. 시제품 평가결과는 Table. 3 에 정리하였으며, 평가결과 목표한 항목 모두에 만족하는 결과를 보였다.

Table 3. Result of prototype evaluation

Evaluation	Target	Result
Dimensional accuracy	Less than 0.06 mm	0.021 mm
Surface roughness	Less than 12 Rmax	10.2 Rmax
Parallelism	Less than 0.05 mm	0.01 mm
Concentricity	Less than 0.2 mm	0.135 mm

2.5 시제품 작동성 및 내구성 평가

태핏 하우징의 작동성 평가를 위한 시험장치는 동력부, 윤활부, 밸브 작동부로 구성되며, 실제 엔진에서 밸브트레인의 작동을 모사하는 장비이다. 작동성 평가 시험기는 원활한 작동을 위하여 별도의 오일펌프를 통해 내부 윤활을 수행하며 카트리지 내부에 오일을 분사하여 윤활조건을 만족한다. Fig. 9.는 작동부의 내부구조를 나타내고 있다.

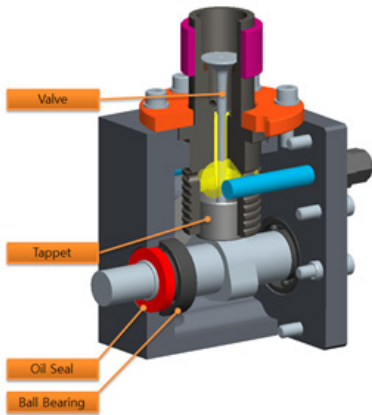


Fig. 9. Structure of endurance testing machine

시험기는 모터동력을 통하여 캠을 구동하는 방식으로, 모터 회전수는 인버터를 통하여 제어하며 60 Hz에서 1500 rpm으로 구동된다. 모터와 캠은 2:1 기어비를 가지며 벨트를 통하여 회전력을 전달한다. 시험기 캠의 최대 회전수는 분당 3000 rpm 이다. 본 시험을 위해 작동부에 적용될 카트리지와 캠을 설계하였으며, 카트리지에 밸브 및 태핏이 설치된다. Fig. 10.은 카트리지의 도면과 제작된 카트리지를 보여주고 있다.

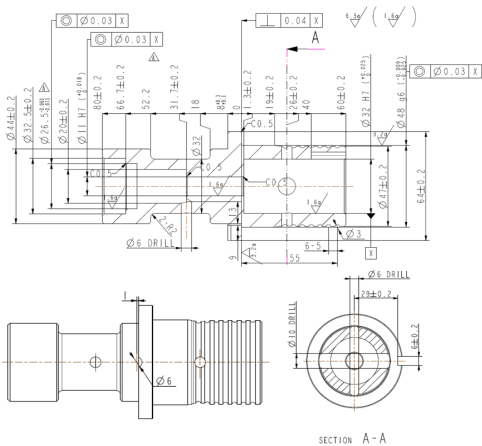


Fig. 10. Endurance test cartridge design

설계한 캠의 프로파일은 Fig. 11.와 같고, 캠의 최대 양정은 2 mm를 가지며, 최고속도는 약 0.052 mm/deg, 최고 가속도는 약 0.0056 mm/deg²를 가진다. 설계한 캠의 도면과 제작한 캠은 Fig. 12.와 같다.

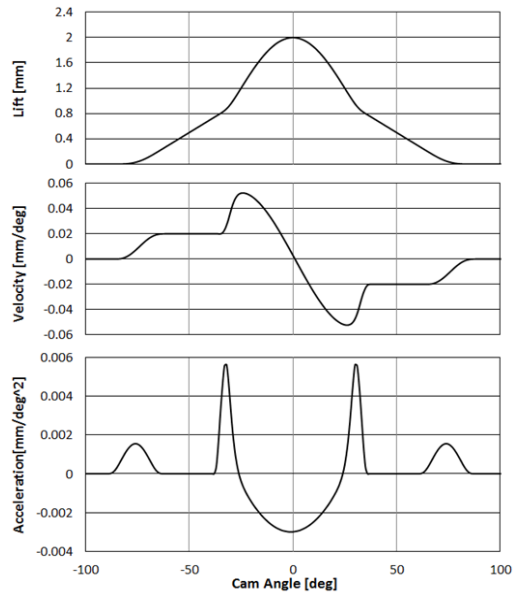


Fig. 11. Cam profile for the endurance test

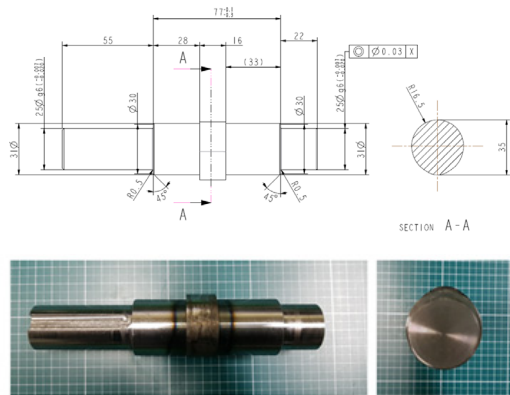


Fig. 12. Endurance test cam design

Fig. 13.은 제작한 카트리지와 캠을 시험기에 장착한 사진이다. 작동성 평가 방법은 엔진의 아이들 상태인 1000 rpm을 가정하여, 캠 회전수 기준 500 rpm 으로 2 분간 작동성을 확인하였다. 시험결과 태핏의 원활한 작동이 가능하였으며, 시제품의 파손이나 굽힘이 발견되지 않았다.

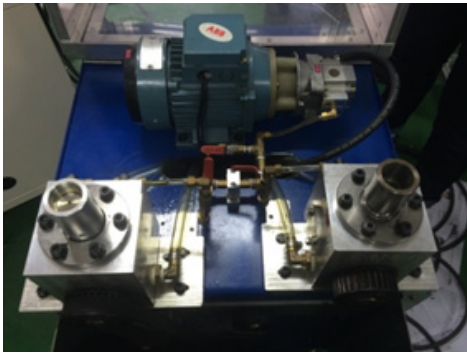


Fig. 13. Endurance testing machine

내구성 평가 방법은 일반적인 디젤엔진의 최고 회전수 4800 rpm에서 100만번 작동하였다. 시험시간은 약 7 시간 동안 진행하였으며, 시험 전, 후 태핏 외경치수를 3 개 지점에서 측정하여 마모를 확인하였다. 외경치수는 최대 0.002 mm 감소하여 미소한 마모가 발생한 것을 확인하였다. 시험 결과 태핏 하우징 시제품에서 파손이 발견되지 않았다. Fig. 14.는 시험 전, 후의 태핏을 보여주고 있다.



Fig. 14. Endurance test result of tappet housing

3. 결론

본 연구에서는 롤러태핏 하우징의 제작공정과 시제품을 개발하였다. 본 연구에 적용된 태핏하우징은 승용 디젤엔진의 밸브트레인과 가솔린 직접분사방식의 펌프에 주로 사용되는 사양이다. 성형해석을 통하여 냉간단조

공정을 개발하고, 시제품의 작동성 및 내구성 평가를 진행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구를 통하여 롤러태핏하우징 개발 시 소재의 물성평가에서 공정개발 및 시제품 제작까지의 개발 프로세스를 정립하였다. 특히, 실제 엔진 밸브트레인의 구동을 모사할 수 있는 롤러태핏 시험기를 제작하고, 내구성 및 작동성 실험을 수행하였다.
2. 시제품의 평가 결과 표면조도 10.2 Rmax, 치수정밀도 0.021 mm, 평행도 0.01 mm, 동심도 0.135 mm 로 목표 치수에 부합함을 확인하였다.
3. 태핏하우징의 작동성 및 내구성 평가를 수행한 결과, 외경치수가 0.002 mm 이하로 감소하여 허용 가능한 마모량을 보였다. 또한 100만번의 작동시험에서 제품의 파손 부위가 없었으며, 양호하게 작동되었다.
4. 본 연구를 통하여 개발한 시제품 개발 프로세스와 내구성 시험장치는 유사한 밸브트레인을 태핏 하우징의 기초성능 및 작동성능 개발에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] J. T. Staron, P. A. Willermet, "An Analysis of valve Train Friction in Terms of Lubrication Principles", SAE Trans., Vol. 1, pp. 1625-1639, 1983. DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/830165>
- [2] C. M. Taylor, "Engine Tribology", Elsevier Science Publishers. Tribology Series 26, 1993.
- [3] M. E. Crane, R. C. Meyer, "A Process to Predict Friction in an Automotive Valve Train", SAE 901728, 1990. DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/901728>
- [4] D. C. Han, M. R. Cho, "The Characteristics of Friction in Direct Acting OHC Valve Train System", J. of KSTLE, vol. 14, no. 1, pp 23-27, 1998.
- [5] J. H. Nam, S. H. Jung, T. W. Jung, Y. S. Lee, "Study on New Process for Precision Forging of Helical Gear", Transaction of the Korean Society For Technology of Plasticity, pp 107-110, 2010.
- [6] B. H. Lee, S. Y. Park, "Development of E-100 Fuel Pump lower Housing Using Cold Forging Process", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 13, no. 1 pp. 14-20, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.1.14>
- [7] B. H. Lee, S. Y. Park, "Development of LPI Vehicle Fuel Filter Housing", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 15, no. 2

pp. 653-659, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.653>

[8] DEFORM User's Manual V11.0, Scientific Forming Technologies Cooperation., 2016.

[9] MatWeb, Material Property Data: AISI 1045 Steel, <http://www.matweb.com>., 2016.

곽 은 조(Eun-Jo Gwak)

[정회원]



- 2014년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



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

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발