

노외용 소형엔진 인젝터의 분무특성에 대한 실험적 연구

염경민¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과

²공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Experimental Study on the Spray Characteristics of a Fuel Injector for a Non-Road Small Engine

Kyoung-Min Yeom¹ and Sung-Young Park^{2*}

¹Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

요 약 최근 배기 규제가 자동차 엔진에 국한되지 않고 노외용 소형엔진 부분에서도 세계적으로 강화됨에 따라, 배기규제에 대응하기 위하여 기존 노외용 소형엔진의 기화기 방식에서 벗어나 전자연료 분무방식으로의 전환이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 400cc 가솔린 엔진용 인젝터의 연료공급 특성을 실험적으로 분석하였으며, 이를 토대로 소형엔진에 적합한 인젝터를 선정하였다. 분무질량분포 측정장치를 통하여 3홀 및 6홀인젝터의 분무질량분포 특성을 분석하였다. 가시화 실험 장치를 통하여 각 인젝터의 분무각, 분무도달거리 및 분무폭을 분석하였다. 분무질량분포 실험 및 분무 가시화 실험을 통하여 분무특성이 우수하고 안정적인 분무를 형성하는 6홀 인젝터를 소형엔진용으로 선정하였다.

Abstract Since recently exhaust gas regulation for a non-road small engine as well as commercial vehicle engine has been enforced, a carburettor of a small engine should be replaced by an electronic fuel injection system. In this study, the spray characteristics of the 400cc gasoline small engine injector has been experimentally analyzed. Based on the experimental results, suitable injector for the small engine has been selected. Through the test rig measuring spray mass distribution, fuel distribution characteristics of 3 hole- and 6 hole-injector has been analyzed. Through the visualization equipment, injector spray angle, penetration length and spray width have been measured and analyzed. Considering spray characteristics and stability, 6 hole-injector is selected for the 400cc gasoline small engine.

Key Words : Small engine, Gasoline injector, Spray characteristics, Spray angle

1. 서론

최근 들어 여가 생활 및 이동의 편의성으로 인한 소형엔진의 사용이 날로 늘어나고 있으며 그 영역을 점점 넓혀가고 있는 실정이다[1]. 그러나 최근 배기 규제가 기존 자동차 엔진에 국한되지 않고 노외용 소형엔진(non-road engine) 부분에서도 세계적으로 강화되고 있으며 선진국 시장 수요의 증대와 배기규제 대응을 위한 노외용 소형엔진의 기술개발 노력이 필요한 시점이다[2-4].

현재 소형엔진의 배기규제에 대응하기 위한 연구에는 기계적인 구조변경에 의한 방법과 연료개선에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 기계적인 구조변경에는 흡기 및 배기포트 개조에 의한 소기효율 개선, 분사방식 적용에 의한 공연비 최적화, 기화기 니들형상 및 트로틀 제어를 통한 공연비 제어 등이 있으며 연료개선에 의한 방법으로 LPG 등과 같은 저공해 연료 적용을 통한 연료 공급 개선에 의한 방법이 있다[5-7].

기존 노외용 소형엔진의 대부분은 기화기 방식으로 엔

*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

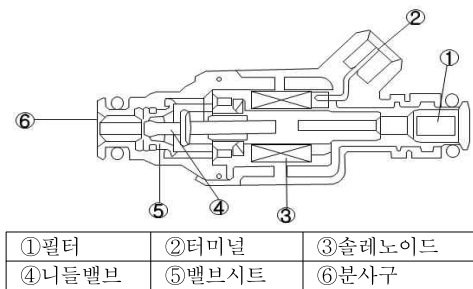
접수일 11년 1월 10일

수정일 11년 03월 05일

게재확정일 11년 05월 12일

진 상태에 따른 공연비 최적화에 한계가 있어 더 이상의 연비개선은 기대하기 힘들다. 전자식 분무방식의 경우 엔진의 상태에 따른 연료의 공급량 제어가 가능하기 때문에 공연비를 최적화 할 수 있어 연비향상 효과 및 배기가스 저감을 이룰 수 있다.

그림 1은 일반적인 인젝터의 내부모습이다. 인젝터의 작동원리는 다음과 같다. 솔레노이드에 전류가 인가되지 않는 동안 스프링과 시스템 압력은 니들 밸브를 밸브 시트부로 눌러 인젝터 내부에서의 연료 누설을 방지한다. 솔레노이드에 전류가 인가되면, 형성된 자력은 밸브 시트부에 밀착되어 니들밸브를 상승시키고, 연료는 밸브 시트부를 지나 분사구를 통하여 외부로 분사된다. 솔레노이드부에 전류가 차단되면 니들 밸브와 시트는 스프링에 의하여 작동전의 상태로 되돌아오게 된다.



[그림 1] 일반적인 인젝터의 내부모습

가솔린 엔진의 경우 연소특성이 엔진 성능에 많은 영향을 끼친다. 연소특성은 연료 분무의 미립화 상태와 연료 수송과정에 의하여 큰 영향을 받는다. 연소특성을 향상시키기 위해서는 충분히 미립화된 연료를 적절한 시기에 분무하여, 최적 혼합기 분포를 형성한 후 연소가 이루어지면 엔진성능 향상 및 배기가스를 저감시킬 수 있다. 이러한 이유로 연료 분무의 시각적, 공간적인 변화를 파악하는 것이 매우 중요하다[8].

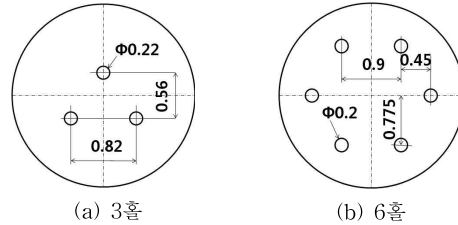
본 연구의 목적은 3홀 인젝터와 6홀 인젝터의 분무특성을 비교, 분석하여 가솔린 소형엔진에 적용할 인젝터를 선정하기 위한 기초 데이터를 제공하는데 있다. 분무특성을 비교하기 위하여 분무질량 분포를 측정하고, 분무발달과정, 분무각 및 분무도달거리를 가시화하고 분석하였다.

2. 본론

2.1 인젝터

본 연구에 사용된 인젝터는 400cc급 소형 가솔린 엔진

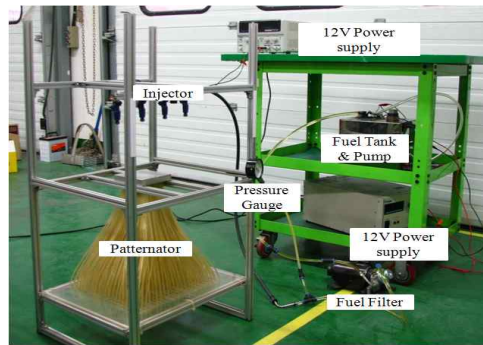
용으로 3홀 및 6홀의 분무홀을 가지고 있다. 그림 2와 같이 3홀 인젝터의 분무홀은 중앙에 정삼각형으로 배치되어 있으며, 6홀 인젝터의 분무홀은 외곽에 정육각형 형태로 배치되어 있다. 분무압력 3bar에서, 3홀 인젝터의 분당 최대 연료 분무량은 90g이며, 6홀 인젝터의 분당 최대 연료 분무량은 150g이다. 3홀 인젝터 분무홀의 직경은 0.22mm이며, 6홀 인젝터 분무홀의 직경은 0.2mm이다.



[그림 2] 인젝터홀의 위치(Unit = mm)

2.2 분무질량분포 실험장치

3홀 인젝터와 6홀 인젝터의 분무특성을 파악하기 위하여 분무질량분포 측정장치(patternator)를 구성하였다. 분무질량분포 측정장치는 직경이 4mm인 원형 셀을 400(20×20)개 가공한 측정판에 분무된 연료가 포집되도록 제작하였고, 포집판과 포집시험관 사이는 내경 3mm인 무색 플라스틱 튜브를 이용하여 연결하였다. 연료의 분무압은 그림 3과 같이 별도의 전원공급장치를 구성하여 제어하였다[9].

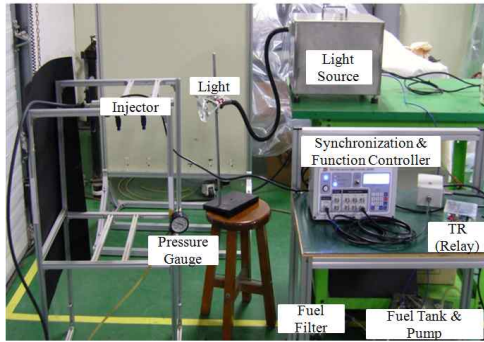


[그림 3] 질량분포 실험장치

2.3 가시화 실험장치

각 인젝터의 분무압력에 따른 분무발달과정, 분무각 및 분무도달거리의 변화량을 측정하기 위해서 그림 4와 같은 가시화 실험장치를 구성하였다. 촬영은 암실 조건에서 분무영상을 취득하였으며 각 인젝터의 분무발달과정

을 확인하기 위하여 분무 개시후 0.5ms 간격으로 촬영하였다.

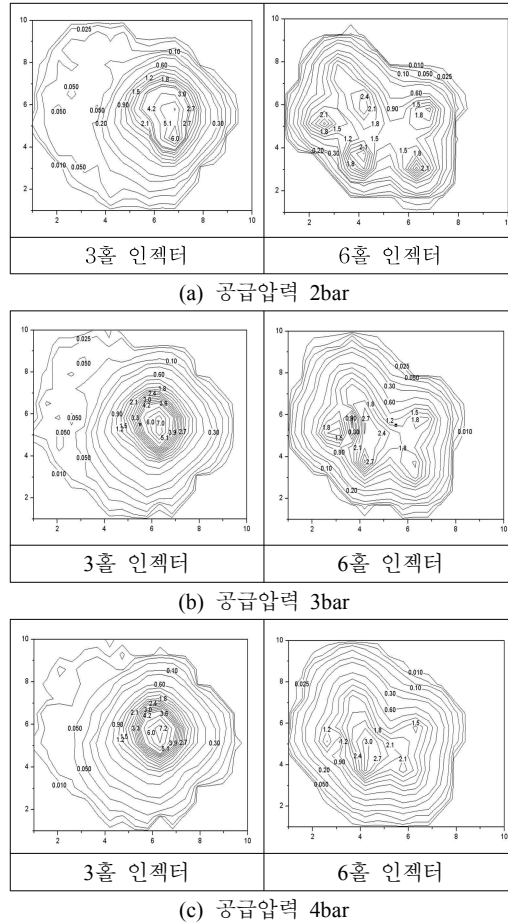


[그림 4] 분무 가시화 실험장치

3. 결과 및 고찰

3.1 분무질량분포 측정결과

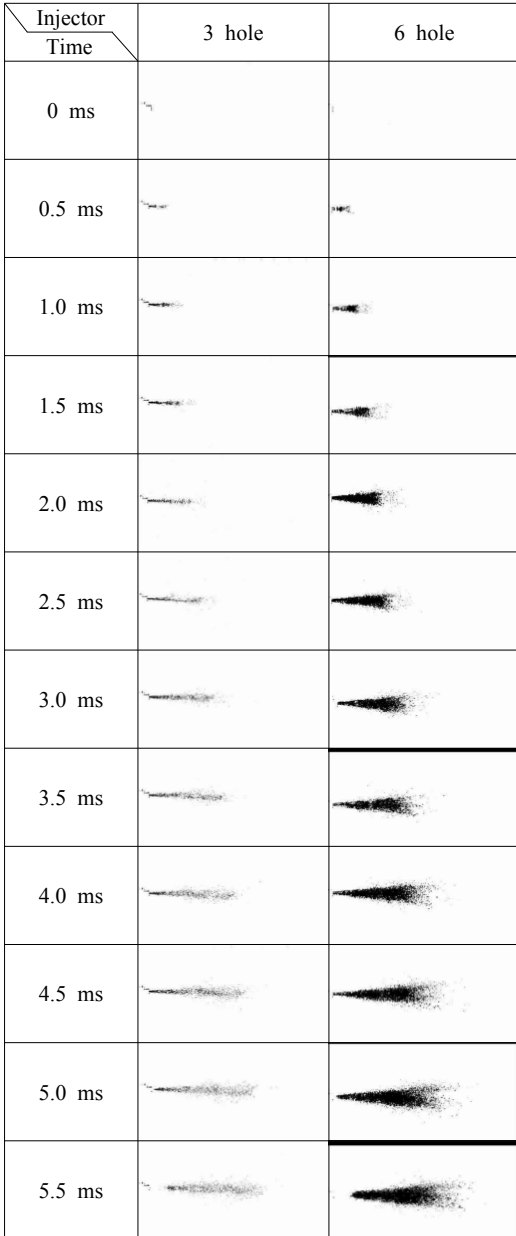
동일 조건에서 분무질량분포 특성을 분석하기 위하여 인젝터 끝단과 포집판의 거리를 150mm로 설정하였으며 분무시간은 30초 동안 분무하였다. 분무 압력은 게이지 압력으로 2 bar, 3 bar 및 4 bar로 가압하여 실험을 진행하였다. 그림 5는 분무질량분포 측정결과를 보여주고 있다. 등분포선의 구성은 전체 셀에 포집된 총량 대비 각 셀의 포집량을 계산하여 구성하였다. 분무질량분포의 측정결과 3홀 인젝터의 경우 큰 원형 형태로 분포가 형성됨을 확인 할 수 있다. 그러나 중심을 제외한 외곽 지역의 분포는 극히 미량이고, 측정포집판 중심으로 분무가 집중됨을 알 수 있다. 홀 인젝터의 경우 질량분포 특성의 경우 3홀 인젝터의 보다 중심에서 벗어나 한쪽으로 치우쳐 분포가 이루어짐을 알 수 있으며, 3홀 인젝터의 대비 넓은 지역에 고른 분포특성을 보이고 있다. 3홀 인젝터의 압력에 따른 분포의 변화는 전체 분무량을 제외하고는 미소하였으며, 6홀 인젝터의 압력에 따른 분포의 변화는 저압의 분포에서는 5곳으로 분포가 집중되었으나, 분무압을 높임에 따라 5곳으로 집중되던 분포가 사라지고 큰 원형으로 넓은 지역에 걸쳐 고른 분포가 이루어졌다.



[그림 5] 분무 질량분포 실험결과

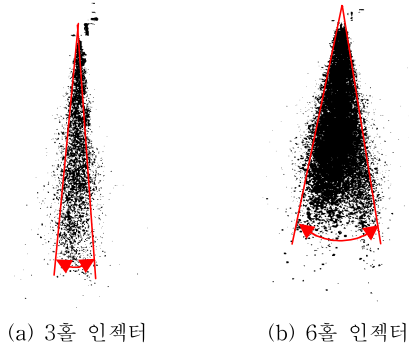
3.2 인젝터별 분무특성 및 가시화 분석

동일한 연료공급압력에서 시간에 따른 3홀과 6홀 인젝터의 분무 발달과정을 가시화하여 그림 6에 보여주고 있다. 실험된 인젝터 모두 하나의 분무각을 가지고 진행됨을 알 수 있다. 3홀 인젝터의 분무 도달거리는 6홀 인젝터 대비 더 긴 것을 확인하였다.



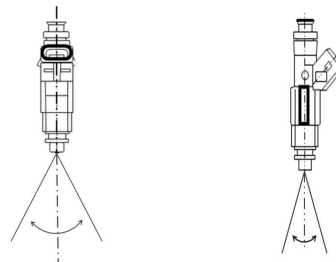
[그림 6] 분무 가시화

그림 7은 실제 인젝터의 분무각을 가시화 한 모습이다. 분무 압력별 인젝터의 분무각을 표 1에 나타내었다. 3홀 인젝터 대비 6홀 인젝터는 정면 분무각과 측면 분무각이 9° 이상 크게 나타났다. 3홀인젝터 및 6홀 인젝터는 분무압이 증가함에 따라 정면 분무각은 증가하나, 측면 분무각의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.



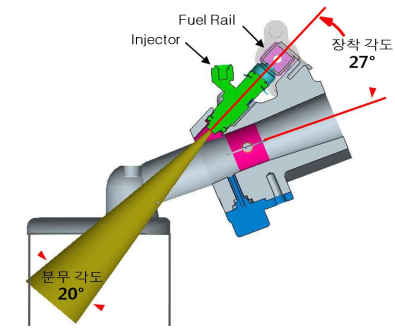
[그림 7] 인젝터의 분무각 비교

[표 1] 인젝터 분무각
정면 분무 측면 분무

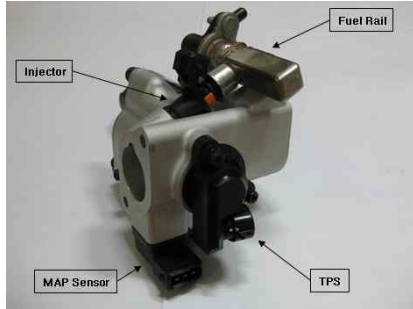


홀 bar	3 hole		6 hole	
	정면 분무각	측면 분무각	정면 분무각	측면 분무각
2 bar	10.5°	10°	19°	19°
3 bar	11.5°	10.5°	20°	19°

그림 8(a)는 소형엔진의 새롭게 설계하여 적용될 흡기 포트 3D 모델링을 나타낸 그림이며, 흡기포트에 인젝터 장착 후 유효한 분무각을 보여주고 있다. 그림 8(a)를 통해 새롭게 설계된 포트에 적용될 인젝터의 유효 분무각은 20°로 설정하였으며, 표 1 에서와 같이 3홀, 6홀 인젝터 모두 새롭게 설계한 포트에 유효함을 확인하였다. 그림 8(b)는 실제 제작된 흡기포트에 인젝터가 장착된 모습이다.

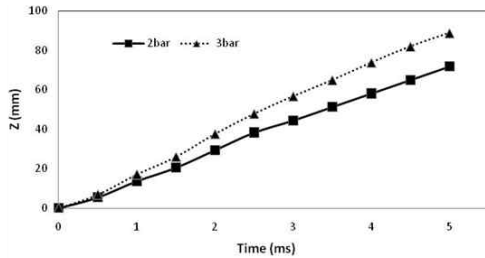


(a) 3D 모델링

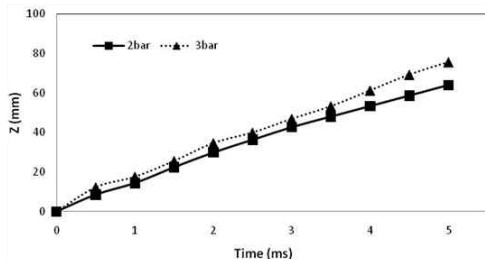


(b) 실제흡기포트

[그림 8] 인젝터를 장착한 흡기포트



(a) 3홀 인젝터



(b) 6홀 인젝터

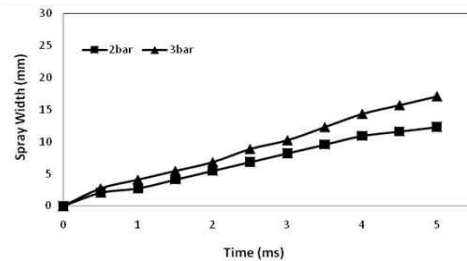
[그림 9] 인젝터의 분무도달 길이

그림 9는 분무 도달시간과 분무 중심축 방향의 거리를 연료분무 압력별로 분류한 그림이다. 3홀과 6홀 인젝터 모두에서 분무압력이 커짐에 따라 입자이동 속도가 증가

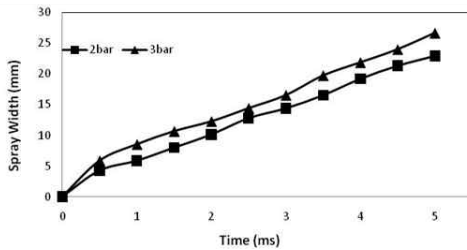
하였으며, 도달거리가 분무시간에 따라 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 분무압력 3bar, 분무 개시후 3ms에서 3홀 인젝터의 분무속도는 18.9m/s로 6홀 인젝터의 15.6m/s 보다 21% 빠른 것으로 나타났다. 이는 동일 분무압력 조건에서, 분무홀이 큰 3홀 인젝터의 연료입자 모멘텀이 6홀의 모멘텀 대비 크기 때문이다.

그림 10는 인젝터별 연료분무압력에 따른 분무폭을 시간에 따라 보여주고 있다. 3홀과 6홀 인젝터 모두에서 연료분무압력이 증가함에 따라 분무폭이 증가하였다. 2bar에서 3bar로 분무압력을 증가하였을 경우에, 3홀 인젝터의 분무폭은 분무 개시후 5ms에서 39%가 증가하였으며, 6홀 인젝터의 분무폭은 16% 증가하였다. 분무압력이 변화함에 따라 6홀 인젝터보다 3홀 인젝터가 분무폭 증가율이 높음을 알 수 있다.

결과적으로 분무압력에 따른 분무도달 거리 및 분무폭의 안정성은 6홀 인젝터가 3홀 인젝터 대비 우수한 것으로 판단된다. 소형엔진은 부하 변동이 크므로 안정적인 연료분무 확보를 위하여 6홀 인젝터가 적정할 것으로 판단된다.



(a) 3홀 인젝터



(b) 6홀 인젝터

[그림 10] 인젝터의 분무폭 변화

4. 결론

본 연구에서는 전자제어 연료분사식 소형엔진에 적용하기 위한 3홀 및 6홀 인젝터의 분무 질량 분포 실험 및

분무 가시화 실험을 수행하였다. 획득된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분무질량분포 실험 결과, 3홀 인젝터 대비 6홀 인젝터의 분무가 질량분포 및 분무폭 변동 측면에서 우수한 특성을 보였다. 특히 분무폭 변동에 있어 2bar에서 3bar로 분무압력을 증가시키면, 분무 개시후 5ms에서 3홀 인젝터의 분무폭은 39%가 증가하고, 6홀 인젝터의 분무폭은 16% 증가하였다. 이는 6홀 인젝터가 연료공급압력 변동에 대하여 분무폭 증가율이 안정적인임을 나타낸다.
- 2) 분무 가시화 실험 통하여 3홀 인젝터와 6홀 인젝터의 분무각이 새롭게 설계된 소형엔진의 흡기 포트에 적용 가능함을 확인하였으며, 분무질량실험 및 분무가시화 실험결과를 토대로 소형엔진의 적용할 인젝터는 분무압력 변화에 대하여 분무도달거리 및 분무폭의 안정성이 우수한 6홀 인젝터를 선정하였다.

참고문헌

- [1] W.A. Schuster, "Small Technology", Delmar Publishers, 1999.
- [2] T. Tokui and J. Shirahata, "Small Engine Catalyst for US Emission Regulations", SAE 2002-32-1837, 2002.
- [3] J. Bin, L. Manqun, Y. Xicheng and Sun Yaqin, "Emission Control Strategy and Technologies on Chinese-Made Four-stroke Non-Road Small Spark-Ignition Engines", SAE 2005-32-0052, 2005
- [4] P. Stuecke, C. Egbers and W. Geyer, "A Two-Stroke Chain Saw Engine to Fulfil Current Tier Emission Levels", SAE 2005-32-0101, 2005
- [5] B. Kobayashi, T. Sawada, R. Zama, N. Ogura and S. Wada, "Investigation of Port Design for Small Air-Head Stratified Scavenging Two-Stroke Cycle Engine", SAE 2005-32-0012, 2005.
- [6] M. Yoshida, T. Suzuki, Y. Oguri. W. Bin, Z. Dasen, S. Shuying and L. Xinghu, "Study on Electronic control of Air-Fuel Ration and Ignition Timing for Small Gas-oline Engine", SAE 2001-01-1861, 2001.
- [7] M. Sivakumar and V. Balasubramanian, "Flow Field Analysis of a Carburettor Using CFD", SAE 2005-26-058, 2005.
- [8] K. H. Lee, C. S. Lee, C. H. Lee and J. S. Lee, "Measurement of Spray Characteristics for Gasoline

Injector Using the Image Processing Technology", ILASS-Korea, Vol.5, No.2, pp.68-74, 2000.

- [9] Sang-In Lee, Sung-Won Lee and Sung-Young Park, "Study on the Spray Characteristics of a Port Fuel Injector for a Gasoline Engine", ILASS-Korea, Vol.15, No.2, pp.61-66, 2010.

염 경 민(Kyoung-Min Yeom)

[정회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 졸업
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동, 기관 성능

박 성 영(Sung-young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학 박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부, 조교수

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발