

가솔린엔진 인젝터의 벽류 및 분무특성에 관한 실험적 연구

이성원¹, 이상인¹, 박성영^{2*}
¹공주대학교 일반대학원 기계공학과
²공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Experimental Study on the Wall-Wetting Formation and Spray Characteristics of Gasoline Engine Injector

Sung-won Lee¹, Sang-In Lee¹ and Sung-Young Park^{2*}

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

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

요약 본 연구에서는 자동차용 가솔린엔진에 장착되는 인젝터의 연료공급 특성을 실험적으로 분석하였다. 4홀과 12홀 인젝터의 장착각 변화와 포트 마스크의 형상변화에 따른 벽유량을 측정하고 분석하였다. 분무가시화 실험을 통하여 분무성장과정과 분사각, 연료미립화 및 분무도달거리를 분석하였다. 벽류측정 실험 결과, 벽유량은 흡기유동과 인젝터 장착각에 큰 영향을 받으며, 인젝터 장착각이 감소할수록 벽유량은 감소하였다. 마스크의 경우 유동 면적이 감소하여 국소 유속이 증가할때 벽유량 감소에 효과를 보였다. 분무 가시화를 통하여 12홀 인젝터가 압력 변화에 대한 미립화의 강건성 측면에서 우수한 분무특성을 보였다.

Abstract Fuel spray characteristics of the gasoline engine injector has been studied experimentally. Wall wetting fuel stream of the 4-hole and 12-hole injectors has been tested and measured with various installation angle and port masking shapes. Spray visualization has been performed to analyze spray formation, spray angle, and penetration length. Test result shows that wall wetting is greatly influenced by the induction air flow and injector installation angle. Wall wetting amount decreased as injector installation angle decreased. Masking decreased wall wetting amount by increasing local intake-air flow velocity due to the decreased section area. Spray visualization showed that the 12-hole injector has robust performance characteristics compared with the 4-hole injector.

Key Words : Wall Wetting, Gasoline Injector, Spray Characteristics, Spray Angle

1. 서론

최근 들어 지구 온난화에 의한 CO₂ 규제 등 각종 배기 가스 규제와 연비 규제에 따른 친환경, 저연비 구현 기술과 저소음 및 운전안전성의 기본적 성능에 대한 요구가 증가하고 있는 실정이다. 이러한 다양한 요구에 부응하기 위하여 엔진에 대한 기술개발이 더욱 요구된다. 특히 연소 특성을 지배하는 연료의 공급특성 및 미립화는 승용

차용 엔진의 대부분을 이루고 있는 가솔린 엔진에 있어 매우 중요한 성능인자 중의 하나이다. 현재 대부분의 자동차용 엔진에는 전자제어식 포트 연료분사 기구를 사용하고 있는데, 이는 분무 신뢰성 및 가격면에서 여러 장점을 가지고 있기 때문이다[1]. 포트분사 가솔린 엔진의 연소는 분무장치에 의한 미립화 특성 및 포트 벽면에 부착되는 연료인 벽류(wall wetting fuel stream)에 큰 영향을 받는다[2-3]. 또한 마스크 장착과 같이 흡기포트내의 유

본 연구는 지식경제부의 성장동력기술개발사업(10024897-2008-21) 연구비에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

접수일 09년 12월 22일

수정일 10년 03월 10일

계재확정일 10년 03월 18일

동을 변화시킬 경우 분사된 연료와 유동의 간섭에 의하여 벽유량을 변화시킬 가능성을 배제할 수 없다. 이는 많은 벽류 생성에 의한 실린더내의 불안전 연소를 초래할 수 있으므로, 분무장치와 흡기포트의 최적화가 이루어져야 분사시스템이 최적의 성능을 발휘할 수 있다[4]. 따라서 흡입되는 공기유동의 변동에 대한 강건한 설계가 이루어져야하며, 분무의 거동특성이 우수해야 엔진의 성능 향상 및 배기가스 저감의 목적을 이룰 수 있다.

본 연구의 목적은 4홀 인젝터와 12홀 인젝터의 장착각과 포트 마스킹 형상변화에 따른 벽유량을 분석하고, 분무가시화를 통하여 분무발달과정과 분무압력 변화에 따른 분사각, 연료미립화 및 분무도달거리를 비교, 분석하여 인젝터 선정에 위한 기초 데이터를 제공하는데 있다.

2. 실험 방법 및 장치

2.1 인젝터

본 연구에 사용된 인젝터는 2400cc 가솔린 엔진에 적용하기 위한 전자제어 방식의 인젝터로 4홀 또는 12홀로 분무되며 그림 1과 같다. 4홀 인젝터는 분무홀이 인젝터 중앙에 2*2형태로 위치하고, 12홀 인젝터는 10개의 원형 분무홀과 2개의 중앙 분무홀로 이루어져 있다. 또한 분무홀당 면적차이는 4홀 인젝터가 12홀 인젝터 대비 3배 크며, 동일한 질량유량으로 분무하기 위하여 전체 홀의 면적합은 두 인젝터가 동일하다.



4홀 인젝터



12홀 인젝터

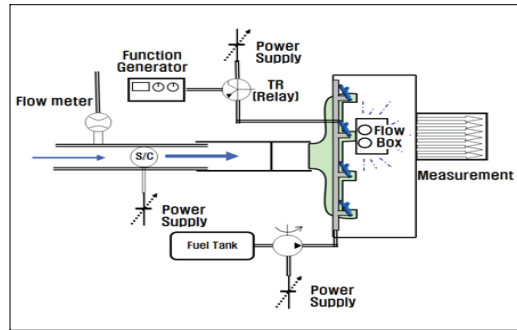
[그림 1] 인젝터 사진

2.2 벽류측정 실험장치

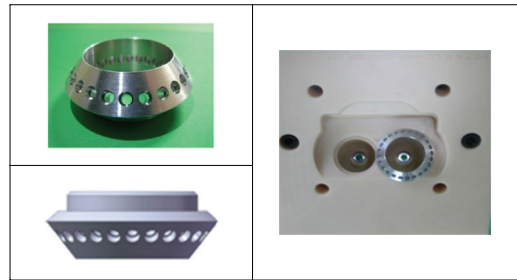
벽유량은 인젝터의 분사각, 미립화 정도, 흡기속도 및 마스킹의 형상 등에 많은 영향을 받는다. 각 인젝터의 흡기속도, 인젝터의 장착각 및 마스킹 형상에 따른 벽류를 측정하기 위해서 벽류 실험장치를 그림 2(a)와 같이 구성

하였다. 벽류측정의 편의를 위하여 흡기포트 성능 실험용으로 제작된 플로우 박스를 흡기매니폴드에 장착하였으며, 벽류 측정을 위해 제작된 특수한 밸브시트링을 그림 2(b)와 같이 장착하였다. 밸브시트링은 24개의 벽류포집관이 장착될 수 있도록 홀이 가공되었다. 벽류포집관을 통하여 24개의 실험관에 연료를 포집하고, 전자저울로 질량을 측정하였다.

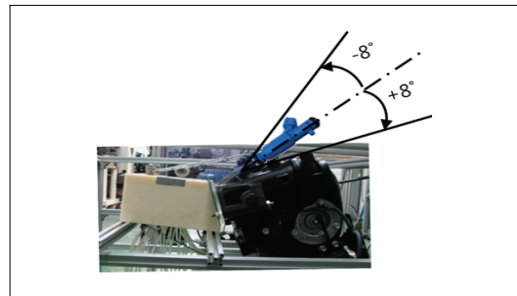
또한 인젝터 장착각의 변화에 따른 벽유량을 측정하기 위해서 그림 2(c)와 같은 실험장치를 구성하였다. 인젝터 장착각의 변화에 따른 벽유량을 측정하기 위해 벽류측정 리그에 -8° ~ $+8^{\circ}$ 까지 2° 간격으로 변화할 수 있도록 인젝터를 장착하고 벽유량을 측정하였다.



(a) 벽류측정 개략도



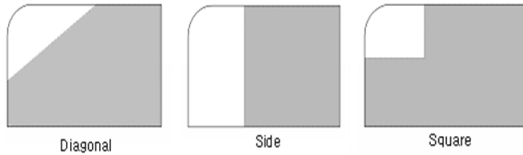
(b) 밸브 시트링



(c) 인젝터 장착각

[그림 2] 벽류측정 실험장치

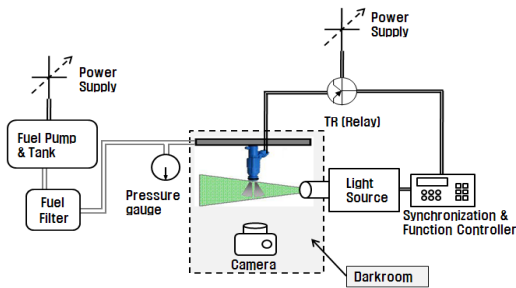
흡기유동의 제어를 위하여 장착되는 마스크는 흡기유량계수와 유속에 변화를 주어 벽유량에 큰 영향을 미친다. 마스크 형상에 따른 벽유량의 변화량을 측정하기 위하여 그림 3과 같이 Diagonal, Side, 및 Square 형상의 마스크를 제작하여 장착하였다. 인젝터에서 분사되는 연료와 마스크가 직접 충돌하는 것을 피하기 위하여 인젝터 전단 10mm에 마스크를 장착하였다.



[그림 3] 벽류측정용 마스크 형상

2.3 가시화 실험장치

각 인젝터의 분무압력에 따른 분무발달과정과 분사각 및 분무도달거리의 변화량을 측정하기 위해서 그림 4와 같은 가시화 실험장치를 구성하였다. 촬영은 암실에서 분무영상을 취득하였으며 각 인젝터의 분무발달과정을 확인하기 위하여 주 분무 방향 0.5ms 간격으로 촬영하였다.



[그림 4] 분무 가시화 개략도

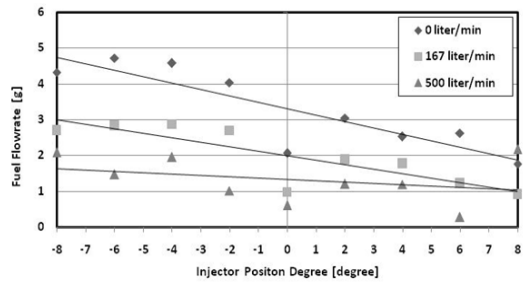
3. 실험결과 및 고찰

3.1 벽유량 분포 특성

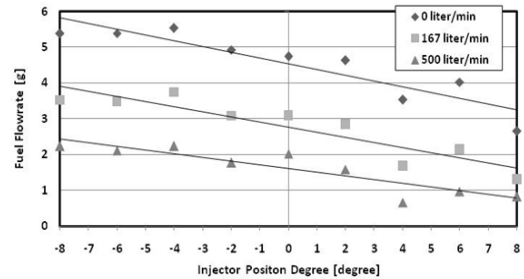
3.1.1 인젝터 장착각도별 벽유량 분포특성

인젝터 장착각은 흡기포트 벽면에 분사된 연료의 충돌 면적 변화에 직접적인 영향을 주기 때문에 벽유량에 큰 영향을 미친다. 그림 5는 30초 동안 연료를 분무하였을 경우에 4홀과 12홀 인젝터의 장착각과 흡기유량에 따른 벽유량 측정결과를 보여주고 있다. 인젝터 장착각이 감소

하고 흡기유량이 증가할수록 벽유량이 감소하는 것을 알 수 있다. 4홀 인젝터는 인젝터의 장착각이 감소함에 따라 최대 43% 벽유량이 감소하였으며, 12홀 인젝터는 최대 28%까지 감소하였다. 또한 흡기유량의 영향에 의해서는 4홀 인젝터는 최대 75%, 12홀 인젝터는 최대 57% 감소하였다. 그림 5와 같이 장착각과 흡기유량에 따른 벽유량의 변화량을 선형화한 그래프를 통하여 최적의 장착각을 선정할 수 있을 것이라 사료된다.



(a) 4홀 인젝터

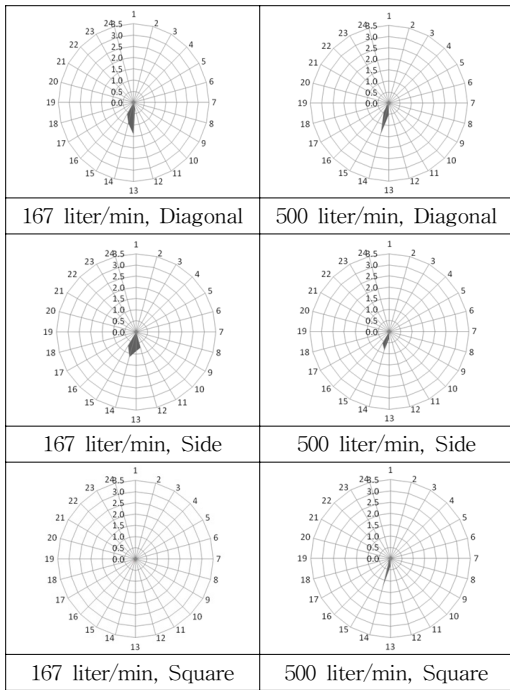


(b) 12홀 인젝터

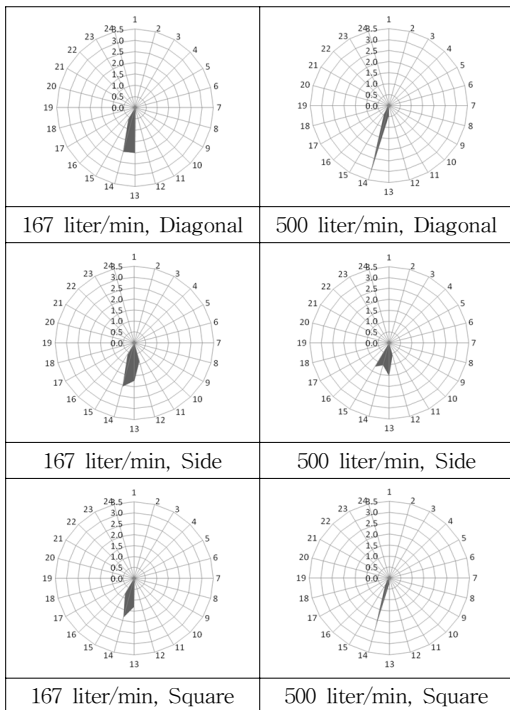
[그림 5] 인젝터별 장착각 변화에 따른 벽유량 변화

3.1.2 마스크 형상에 따른 벽유량 분포특성

그림 6은 마스크 형상별, 흡기유량별 벽유량을 보여주고 있다. 흡기가 0 liter/min의 경우는 마스크 유무실험에서 제외하였다. 전체적으로 흡기유량이 많아지고, 마스크의 유동 면적이 작아질수록 흡기속도가 증가하여 벽유량이 감소하는 것으로 나타났다. 흡기유동 제어를 위해 장착된 마스크는 벽유량 감소에 긍정적인 방향으로 작용하지만 흡기의 유량계수 측면에서는 유동저항으로 작용하여 엔진 성능의 저하를 유발할 것으로 판단된다.



(a) 4홀 인젝터



(b) 12홀 인젝터

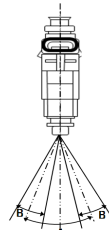
[그림 6] 인젝터별 마스크형상에 따른 벽유량 [g]

3.2 인젝터별 분무특성 및 가시화 분석

분무 압력별 각 인젝터의 분사각과 비교결과를 표 1, 표 2, 그림 7에 나타내었다. 4홀 인젝터는 3bar이하에서 분무각이 크게 증가되는 반면 12홀 인젝터는 3bar이상의 분무압력에서 분무각이 크게 증가함을 보이고 있다. 4홀 인젝터의 측면 분무각은 각 분무압력에서 일정하나 12홀 인젝터는 4bar의 분무압력에서 분무각이 증가하고 있다.

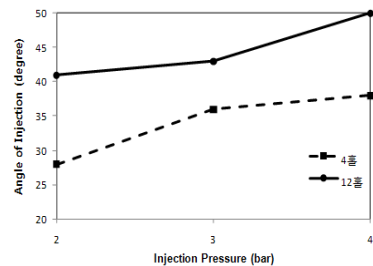
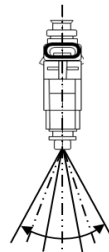
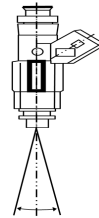
[표 1] 정면 분무각

분무압력 (bar)	홀	4홀		12홀	
		분무각	분무속도	분무각	분무속도
2bar	A	16°	29.9 mm/ms	A	19°
	B	6°	29.9 mm/ms	B	11°
3bar	A	16°	29.9 mm/ms	A	19°
	B	10°	29.9 mm/ms	B	12°
4bar	A	16°	29.9 mm/ms	A	20°
	B	11°	29.9 mm/ms	B	15°



[표 2] 측면 분무각

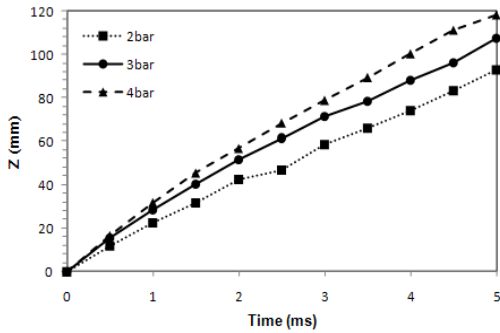
분무압력 (bar)	홀	측면 분무각	
		4홀	12홀
2bar		10°	12°
3bar		10°	12°
4bar		10°	14°



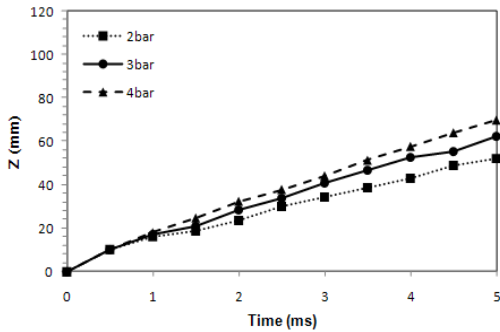
[그림 7] 분무압력별 분무각 변화

그림 8은 분무 도달시간과 분무 축 방향의 거리를 연료분무 압력별로 보여 주고 있다. 분무압력이 커짐에 따라 입자이동 속도가 증가하며, 도달거리가 분사시간에 따라 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 분무압 3bar, 분무 시작후 3ms에서 4홀 인젝터의 분무속도는 29.9mm/ms로

12홀 인젝터의 13.5mm/ms보다 76% 높은 것으로 나타났다.



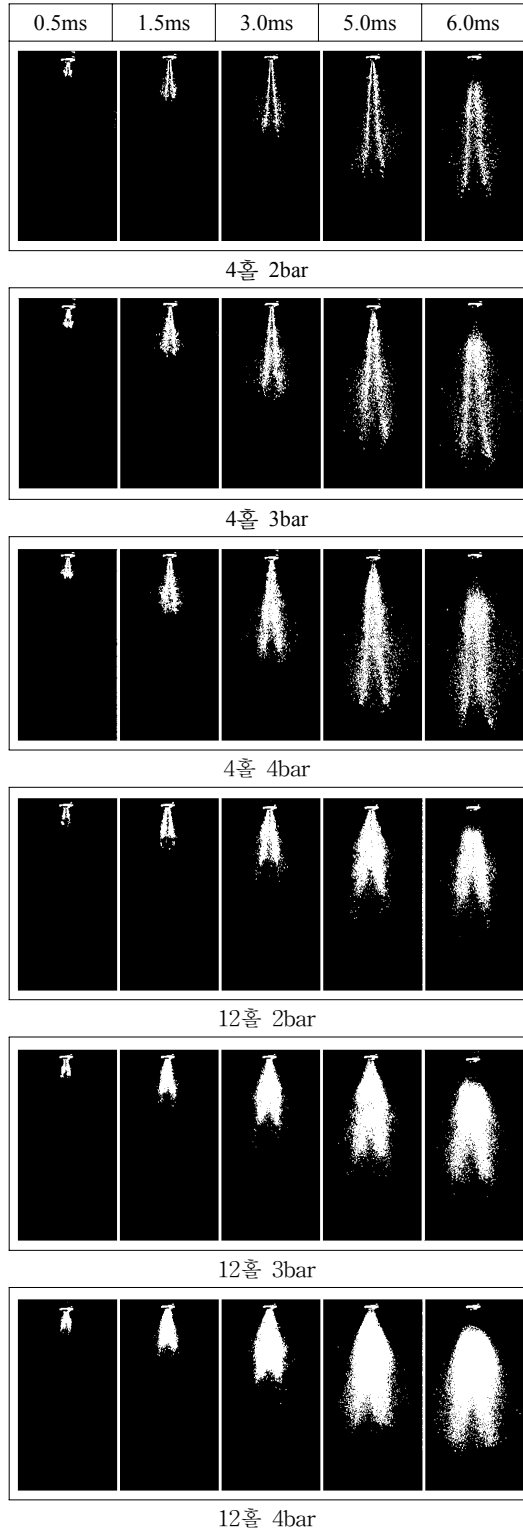
(a) 4홀



(b) 12홀

[그림 8] 분무 도달거리

그림 9는 4홀과 12홀 인젝터의 분무압력과 시간에 따른 분무 발달과정 가시화 사진이다. 4홀 인젝터는 분무 분리각이 두 방향으로 분리되면서 분무가 발달하지만 12홀 인젝터는 분무초기부터 미립화가 진행되며 분무가 발달하고 있다. 또한 분무압력이 증가함에 따라 4홀 인젝터와 12홀 인젝터 모두 분무된 연료의 미립화가 활발히 진행된다. 이러한 분무가시화를 통한 분무특성 실험결과는 흡기포트 설계와 인젝터 장착위치 및 각도 선정에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.



[그림 9] 분무압력별 분무 가시화 사진

4. 결론

본 연구를 통하여 인젝터 장착각과 마스크 효과에 의한 벽유량 및 분무 가시화실험을 통하여 다음과 같은 결론 및 효과를 얻을 수 있었다.

- 1) 벽류측정 실험 결과, 벽유량은 흡기유동과 인젝터 장착각에 큰 영향을 받는다. 인젝터 장착각을 감소시킬수록 벽유량은 4홀 인젝터는 최대 43%, 12홀 인젝터는 최대 28%까지 감소하였다. 마스크를 적용하면 유동면적의 감소로 유속이 증가하여 벽유량 감소에 효과를 보였다. 하지만 흡기의 유량계수 측면에서는 저항으로 작용할 것으로 판단된다.
- 2) 분무압력 변화를 통해 분사각, 분무도달거리, 연료의 미립화 변화특성을 분석하였으며, 12홀 인젝터가 압력 변화에 대한 미립화의 강건성 측면에서 우수한 분무특성을 보였다. 12홀 인젝터는 주어진 분무압력에서 연료의 미립화가 활발히 일어났으며 분무압력에 의한 분사각과 분무도달거리의 변화량은 미소하였다.

참고문헌

- [1] 이기형, 이창식, 정재우 “변동 공기류에 분사된 흡기 관내 연료 거동 특성에 관한 연구”, 한국 자동차공학 회 논문집 제 7 권 제 1 호, pp.50-58, 1998.
- [2] 윤면근, 이재성, 류정인 “6 hole 가솔린 인젝터의 분무특성에 관한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp. 3-9, 2001.
- [3] 김봉규, 이기형, 이창식, 강건용 “가솔린 엔진 흡기포트내의 연료거동 및 벽류생성 가시화 방법에 관한 연구”. 한국자동차공학회 1997년도 춘계학술대회 논문집, pp 47-52, 1997.
- [4] 이기형, “전자제어식 가솔린 엔진의 연료거동 특성에 관한 연구”, KOSEF 961-1005-039-2, 1998.
- [5] 이상인, 이성원, 박성영 “하이브리드 자동차용 가솔린 엔진 연료공급 특성연구”, 한국산학기술학회 2009년도 춘계학술발표논문집, pp.539-542, 2009.
- [6] 이상인, 이성원, 박성영 “가솔린엔진 인젝터 분무특성”, 한국산학기술학회 2009년도 추계학술발표논문집, pp.526-530, 2009.

이 성 원(Sung-won Lee)

[준회원]



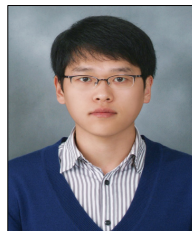
- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발

이 상 인(Sang-In Lee)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발

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