

디젤 및 바이오디젤 연료의 분무특성에 관한 연구

김재덕[†] · 구리 아이눌¹ · 송규근² · 정재연² · 김형곤³

(원고접수일 : 2010년 12월 16일, 원고수정일 : 2011년 1월 19일, 심사완료일 : 2011년 1월 24일)

An Experimental Study on Spray Characteristics of Diesel and Bio-diesel Fuel

Jae-Duk kim[†] · Ghurri Ainull¹ · Kyu-Keun Song² · Jae-Yeon Jung² · Hyung-Gon kim³

요약 : 디젤기관은 세계적으로 연료의 경제성 때문에 사용이 증가할 것이다. 그러나 NO_x, 매연 등과 같은 배기가스를 배출한다. 본 연구는 커먼레일 연료분사 시스템에서, 연료온도, 분사 압력, 분사시간, 연료 점성에 따른 분무 특성을 실험하였다. 커먼레일 시스템에서, 디젤 연료는 분사 압력, 분사 시간에 따라 분무 형상이 다르다. 필터 압력은 연료 유동과 관련이 있는 연료 점성을 변화시키는 연료 온도에 영향을 받는다. 분무와 무화특성에 미치는 바이오 디젤 연료의 혼합율의 영향에 대해 많은 실험 조건에서 실험하였다. 바이오디젤 연료의 미립화 특성은 바이오 디젤 혼합비율이 증가하면 높은 점성 때문에 악화되는 것을 알았다.

주제어 : 바이오디젤, 분무선단관통거리, 커먼레일 분사 시스템, 고속비디오카메라

Abstract: The using of diesel engine will be increased in the world for fuel economy. But diesel engine emits harmful emissions such as much NO_x, smoke etc. In this study, experiments were performed to investigate the spray characteristics of diesel spray in a common-rail system according to fuel temperature, injection pressure, injection period and fuel viscosity etc. using a high speed video camera. Diesel oil has different spray patten due to injection pressure and injection period in a common-rail system. A Filter pressure was influenced by fuel temperature which was turned to fuel viscosity related to a fluid flowing. The effect of the bio-diesel fuel mixing ratio on the spray and atomization characteristics was also investigated at various experimental conditions. It shows that the droplet atomization characteristics of bio-diesel fuel showed deteriorated results as the mixing ratio of biodiesel increased because of the high viscosity.

Key words: Biodiesel, Spray tip penetration, Common rail injection system, High speed video camear

1. 서 론

디젤엔진은 연소효율 및 연료 경제성이 우수하여 많이 사용되고 있으며, 특히 우리나라에서는 그 보급비율이 다른 선진국에 비해 높은 편이다. 그러나 공해 물질인 PM, NO_x 등 대기오염의 주범이 되고 있어 이를 위한 대체연료 등 다양한 효율적인 대기

저감대책이 요구되고 있다[1-2].

바이오디젤은 식물성오일이나 동물성지방과 같은 재생 가능한 자원으로 환경적으로 유익하고 미생물을 안전하게 분해하며 재생성이 좋고, 화석 연료보다 대기오염이 적은 것이 특징이다. 또한 바이오디젤연료는 경유와 물성이 유사하여 경유를 대

[†] 교신저자(전북대학교 정밀기계시스템공학과, E-mail:neiver@hanmail.net, Tel: 063-270-4267)

1 전북대학교 정밀기계시스템공학과

2 전북대학교 자동차 신기술 연구소

3 (주)캠스텍

체 또는 혼합하여 기존 디젤엔진을 수정 없이도 사용할 수 있다. 또 디젤 엔진의 장점인 고효율을 그대로 살릴 수 있고, 기존 주유소의 인프라도 그대로 활용할 수 있는 장점이 있다. 배출가스 측면에서도 바이오디젤연료는 대기오염 개선 효과의 장점이 있다. 그러나 바이오디젤연료는 분무미립화의 불량 및 연료계통의 막힘 등의 문제점이 있다.

커먼레일 분사 엔진은 연료의 분사압력과 분사 과정을 분리하여 자유로이 설계할 수 있으며, 엔진의 운전조건에 따라서 연료 압력과 분사시기 등을 조정 할 수 있기 때문에 엔진의 낮은 회전에서도 고압분사가 가능해 연소면에서도 유리한 장점이 있다.

결국 커먼레일(Common-Rail) 시스템으로 인해 디젤엔진은 획기적으로 배기가스를 저감하고, 연비를 향상시킬 수 있는 장점이 있어 저공해와 고연비로 차세대 엔진으로 각광받고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[3-6].

본 실험은 커먼레일(Common-Rail) 시스템을 바탕으로 바이오디젤연료의 혼합비율, 연료온도변화에 따른 연료필터 양단의 압력 변화 및 분무특성을 분석하였고, 분무가시화 장치를 이용한 분무 거동을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치는 크게 연료분사시스템, 온도조절 시스템 및 가시화시스템으로 구성되어 있다. 연료 분사시스템은 상용화되어 있는 디

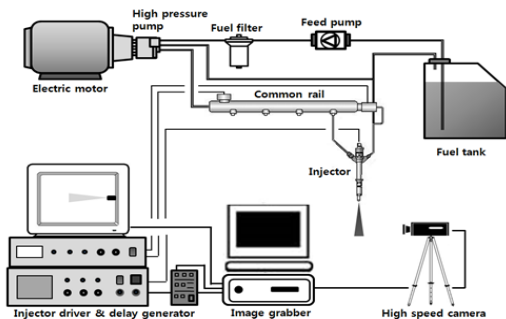


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

젤 커먼레일 시스템과 연료분사를 제어하기 위한 인젝터 드라이버를 사용하였다. 또 가시화를 위하여 고속비디오 카메라와 구동 제어 장치를 사용하여 형상을 가시화하였다. Figure 1은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도이다.

2.2 실험방법

연료 분사에 있어 커먼레일 연료분사 제어는 인젝터 드라이버(TEMS, TDA3200)의 구동회로를 이용하였으며, 연료 분사시간, 분사 압력을 제어하면서 실험을 수행하였다. 분무가시화는 고속비디오 카메라를 사용하였다. 가시화에 있어서는 초당 18,000 프레임의 속도로 촬영하였고, 각 연료 및 온도에 따른 분무각 및 분무도달거리를 측정, 비교 분석하였다.

연료온도는 연료탱크의 온도가 일정하게 유지되도록 제어하면서 연료 온도 변화에 대한 실험을 하였다. 또한 본 실험에서는 시판되고 있는 디젤유와 바이오디젤유를 사용하였다. 실험에 사용한 혼합유는 디젤유와 바이오디젤유를 중량비(%)로 혼합하여 사용하였고, Table 1에 디젤유 및 바이오 디젤 연료의 물성치를 나타내었다.

Table 1: Test fuel properties

Fuel Property	Diesel	Bio Diesel (BD100)
Lower Heating Value, MJ/kg	43.2	39.6
Kin. Viscosity, at 40°C	2.49	4.21
Density, kg/m ³ , at 15°C	821.1	875.4
Carbon, wt %	85.8	76.2
Hydrogen, wt %	13.8	12.4
Oxygen, wt %	0	11
Cetane Number	51.8	57

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 디젤커먼레일을 사용하여 디젤유 및 바이오디젤유에 대해 필터 전후에서의 온도 및 압력, 분무 형상, 분무 도달거리, 분무각을 연료의

종류, 연료온도, 분사압력 및 분사기간의 변화에 따라 측정, 분석하였다.

3.1 분무 형상

Figure 2는 고속비디오카메라를 사용하여 공급 연료 온도 -4℃, 커먼레일 압력 600bar, 연료분사 시간 1100μs 조건에서 대기 중에 분사하였을 때의 각 연료에 대한 분무 형상을 0.27ms간격으로 가시화한 사진이다.

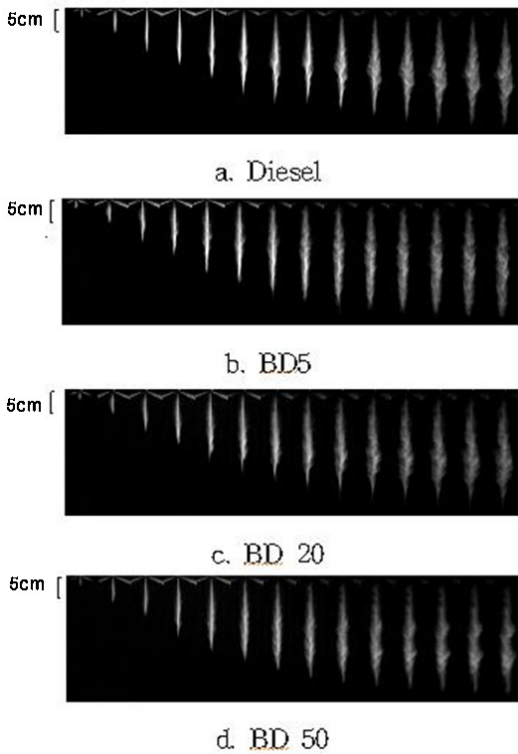


Figure 2: Spray Characteristics of Bio-Diesel Fuel

전반적으로 분무 형상은 시간이 경과할수록 점점 발달하고 있음을 알 수 있다. 즉, 각 연료는 처음에는 분무도달거리가 빠르게 발달하다가 분무가 완전히 발달한 후에는 분무도달거리가 완만히 증가하여 분무도달거리의 경사가 급격히 감소하는 경향을 보이고 있고, 반경방향으로의 분무도 발달하고 있다. 이는 초기에는 액적상태로 발달되다가, 어느 시간 경과 후 무화가 이루어지기 때문에 분무 진행이 완만해지고, 반경 방향으로의 분무 형상도 발달한다

고 판단된다. 이 분무형상 사진으로부터 분무도달거리 및 분무각 등 분무특성을 분석하였다.

3.2 필터 전·후 온도

바이오디젤유는 저온에서의 분사 막힘 등 분무에 있어 문제점이 발생되고 있다. 이를 밝히기 위해 본 연구에서는 연료공급필터의 전·후의 온도 및 리턴 온도를 측정, 분석하였으며, 결과는 Figure 3과 같다.

그림에서 실험조건은 커먼레일 압력을 600bar로 일정하게 하고, 공급 연료온도 및 연료 종류를 변화시켜가면서 필터 전·후 온도와 연료탱크로 리턴되는 온도를 측정된 결과이다.

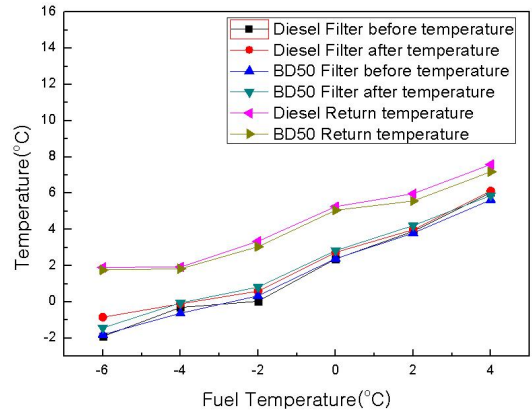


Figure 3: Filter former and latter, fuel tank return temperatures characteristic on Common-rail system according to supply fuel temperatures and injection period (injection pressure: 600bar)

연료공급필터 전의 온도는 연료 탱크의 온도보다 디젤유 및 바이오디젤유 모두 약 5℃ 정도 상승하고 있고, 필터 후에서의 온도는 필터 전에서의 온도보다 약 2℃ 정도 상승하고 있다. 이것은 연료 펌프의 압력으로 인하여 연료온도가 상승하는 것으로 판단된다.

또한 리턴되는 연료온도는 공급연료보다 5~6℃ 정도 높게 나타나고 있으며, 이는 연료 라인을 통과하면서 압력상승, 마찰 및 주위 온도의 영향 때문인 것으로 판단된다.

3.3 필터 전·후 압력

Figure 4는 디젤과 BD50의 커먼레일 시스템에서 연료 공급 온도에 따른 연료공급필터 전·후단 압력의 값을 나타내었다.

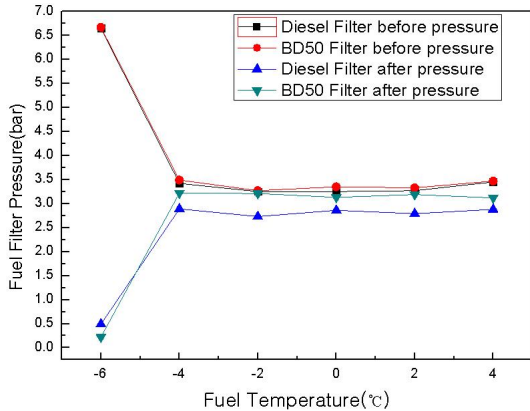


Figure 4: Filter former pressures, filter latter pressure characteristics of Bio diesel and diesel according to supply fuel temperatures (injection pressure: 600 bar, injection period: 1100μs)

연료공급필터 전 압력은 연료온도가 낮을 때 높고 이후 연료온도가 높아짐에 따라 낮아져서 연료온도가 -4°C 이후에는 거의 일정한 압력을 보이고 이 경향은 각 연료에서 거의 같게 나타나고 있다. 이것은 연료온도가 -4°C 이하에서는 연료의 점도가 커져 유동저항이 커지기 때문으로 판단된다.

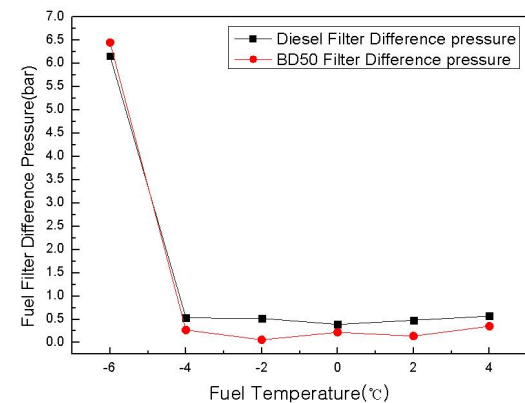


Figure 5: Filter difference pressures characteristics of Bio diesel and diesel according to supply fuel temperatures (injection pressure: 600 bar, injection period: 1100μs)

또한 연료온도에 대한 연료필터 후에서의 압력은 연료 전부 저온일 때는 낮게 나타나고 있다. 연료온도가 높아짐에 따라 점점 압력이 증가하다가 연료온도 -4°C 이후에는 거의 비슷한 압력을 보인다.

Figure 5는 필터 전·후에서의 연료 차압을 보이고 있다. 전 연료에 있어 전반적으로 연료온도가 낮을 때는 차압이 크게 나타나고, 연료온도가 점점 높아짐에 따라 차압이 작아지다가 -4°C 이하에서는 거의 비슷한 경향을 보이고 있다.

또한 차압이 약 0.5bar 이상이 되면 커먼레일에서 분사가 불가능 하였다. 이는 연료필터가 막혀 커먼레일에서 분사 할 수 있는 압력이 형성되지 못하기 때문이라 판단된다. 이로써 차압의 측정결과를 가지고 연료분사 가능여부를 판단할 수 있다고 생각된다.

3.4 분무각

Figure 6은 연료 종류가 분무각에 미치는 영향을 실험한 결과이다. 실험은 디젤과 바이오디젤유 (BD20, BD50), 커먼레일 시스템에서 압력 600bar, 분사기간 1100μs 연료의 온도는 269K 조건 하에서 하였다.

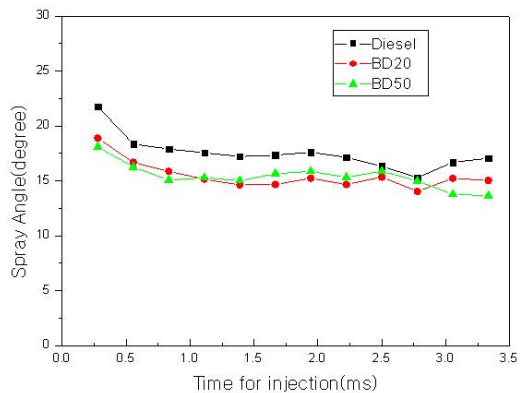


Figure 6: Spray angles for diesel and BD20, BD50 (Injection pressure 600bar, Spray time 1100μs, T=269k)

연료종류에 따른 분무각의 성향은 크게 차이 나지 않았다. 전체적인 분무성향은 분무각의 경향이 초

기에는 약간 크게 나타났으나, 시간이 흐름에 따라 분사초기의 큰 액적이 분열하면서 분무각은 보통 15°~17°로 일정함을 유지하고 있었고, 바이오디젤유의 분무각이 디젤유의 분무각에 비해 조금 작았다.

Figure 7은 분무각에 미치는 분사압력의 영향을 실험한 결과이다.

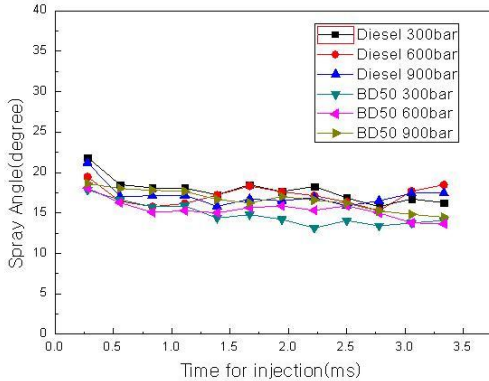


Figure 7: Spray angles for diesel, BD50 (Injection pressure: 300, 600, 900bar, Injection period: 1100 μ s, T=269k)

저압 분사와 고압 분사시, 디젤 및 바이오디젤유에 있어 분무 초기에는 분무각이 크게 나타나다 분사후 약 0.5ms 이후부터는 거의 일정한 분무각을 보이고 있다. 이는 분무초기에는 액적 상태로 분무되어 증가하다가, 이 후에 액적분열이 일어나면서 압력의 영향이 적어져서 거의 일정한 분무각을 유지한다고 판단된다.

연료에 따른 차이의 결과는 바이오디젤유(BD50)에 비해 디젤유의 분사각이 크게 나타나고 있다. 이는 바이오디젤유가 점성이나 표면장력이 디젤유에 비해 높아 분무각이 작아진다고 판단된다.

또한 분사 압력이 작을 때는 디젤유와 바이오디젤유(BD50)의 분무각 차이가 크게 나타나고, 분사압력이 커짐에 따라 분무각의 차이가 작아지고 있다. 이것은 분사압력이 낮을 때는 연료의 점성의 영향이 크게 나타나고, 압력이 클 때는 상대적으로 압력의 영향이 크기 때문으로 판단된다.

3.6 분무도달거리

Figure 8은 디젤유와 바이오디젤유(BD20, BD50)를 커먼레일 시스템에서 압력 600bar, 분사시간1100 μ s로 분사 하였을 때의 분무도달거리의 결과이다.

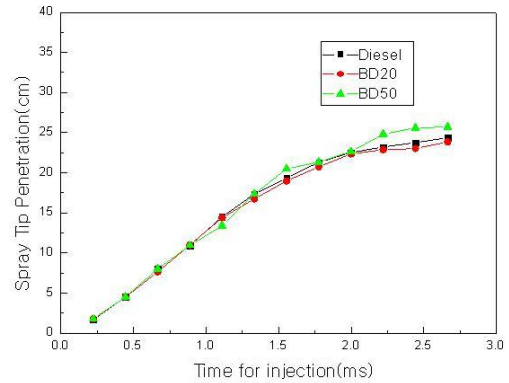


Figure 8: Spray tip penetrations for diesel, BD20, BD50 (Injection pressure: 600 bar, Injection period: 1100 μ s, T=269k)

디젤과 혼합유(BD20, BD50)의 분무도달거리를 비교했을 때, 분사 후 시간에 따른 분무 도달거리는 디젤유 및 바이오디젤유 모두 2ms 이전에는 일정한 속도로 증가하다가 약 2ms 후에는 완만하게 증가하고 있다. 이는 2ms 전후로 해서 분무의 미립화가 발달되기 때문이라 판단된다.

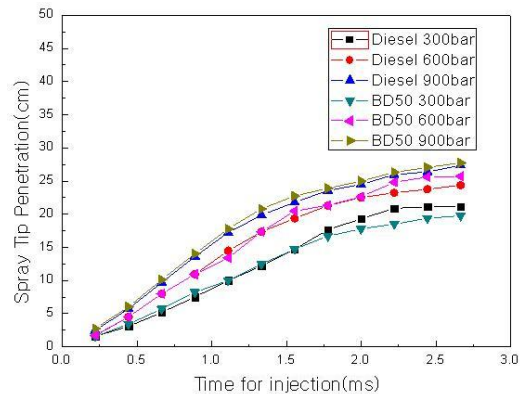


Figure 9: Spray tip penetrations for diesel, BD50 (Injection pressure: 300, 600, 900 bar, Injection period: 1100 μ s, T=269k)

또한 연료 종류에 따른 분무도달거리의 차이는 거의 보이지 않았다. 연료의 점성이나 밀도에 의한 차이보다는 고압 분사압력의 영향이 지배적으로 도달거리에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Figure 9는 디젤과 바이오디젤유(BD50)에 있어 분사 압력이 분무도달거리에 미치는 영향을 실험한 결과이다.

디젤유 및 바이오디젤유에 있어 분무도달거리는 분사시간 초기에는 약간 급격히 증가하고 있고, 어느 시간 이후부터는 약간 완만하게 분무가 진행되고 있다. 이것은 미립화가 되면서 분무가 완전히 발달한 후에는 분무거리가 완만하게 증가하는 것이라고 판단된다. 또한 같은 연료에 있어, 분사압력에 따른 영향을 보면, 분사압력이 증가할수록 분무도달거리는 증가하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 커먼레일 고압분사시스템을 사용하여 디젤유와 바이오디젤유에 대한 필터 전-후단의 온도와 압력, 그리고 분무각 및 분무도달거리의 분무특성 실험을 진행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연료의 온도에 따른 연료공급필터 전-후단 압력은 연료의 점도에 의해 연료 온도가 -4°C 이후에는 거의 일정한 압력을 보이고 이 경향은 각 연료에서 거의 같게 나타나고 있다.

2) 연료온도에 따른 연료공급필터 전-후의 차압으로 커먼레일 연료분사의 여부를 판단 할 수 있으며, 본 실험의 경우 차압이 약 0.5bar 이상이 되면 분사가 일어나지 않았다.

3) 연료별 분무각은 압력의 차이에 관계 없이 분무초기에는 조금 큰 분무각을 가지다가 분무가 발달된 후에는 거의 일정한 분무각을 형성하였고, 혼합유가 점성과 표면장력에 의해 조금 작았다.

4) 각 연료별 분무 성장속도는 거의 같으며, 분무도달거리는 약 2ms까지 일정한 속도로 증가하다가 약 2ms 이후에는 미립화가 되면서 분무가 거의 증가하지 않는다.

5) 분무도달거리는 점성이나 밀도에 의한 차이보다는 분사압력의 영향을 지배적으로 받았다.

참고문헌

- [1] 김규보, 조승환, "The measurement of soot particle size from the exhaust pipe of a common-rail direct injection diesel engine by TIRE-LII", 대한기계학회, 제30권, 제10호, pp. 973-981, 2006.
- [2] 임재근, 최순열, "Effects of biodiesel fuel on characteristics of specific fuel consumption and exhaust emissions in DI diesel engine", 해양환경안전학회, 학술 발표대회 논문집, pp.133-137, 2007.
- [3] V. Schwarz, G. Koing, P. Dittrich, and K. Binder, "Analysis of mixture formation, combustion and pollution formation in HD diesel engines using modern optical diagnostics and numerical simulation", SAE Paper 1999-01-3647, 1999.
- [4] L.W. Jaeger, K. Boulouchos, and M. Mohr, "Analysis of factors influencing particulate matter emissions of a compression-ignition direct-injection engine", SAE Paper 1999-01-3492, 1999
- [5] 배명옥, 정재우, "A study on the injection rate characteristics of a rail type diesel injection with injection conditions", 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문1호, pp 467-473, 2002.
- [6] 이진우, 민경덕, "3가지 니들구동방식별 CRDi 디젤엔진용 고압 인젝터의 거시적 분무특성 비교해석", 한국마린엔지니어링학회지, 제30권, 3호 pp.352-353, 2006.

저 자 소 개



김재덕(金載德)

2002년 전북대학교 정밀기계시스템공학과 (공학사), 2009년 전북대학교 정밀기계시스템 공학과(공학석사), 관심분야: 기계공학, 용접, 유체역학, 내연기관, 열역학



Ainul Ghurri

received the B.S. degree in mechanical engineering from Brawijaya University, Indonesia in 1995 and master degree in mechanical engineering from Indonesia University, Indonesia in 1998, respectively. He is a lecturer at mechanical engineering department of Udayana University, Indonesia. He is currently a Ph.D. student in Precision Mechanical Engineering Department of Chonbuk National University, Jeonju, South Korea. His research interests are in the area of fuel spray characteristics, biodiesel fuel, and its engine performance and emissions characteristics.



송규근(宋圭根)

1974년 전북대학교 기계공학과(공학사), 1981년 전북대학교 기계공학과(공학석사), 1984년 일본 북해도대학 기계공학과(공학박사), 1987년 전북대학교 공과대학 시간강사, 1990년 전북대학교 정밀기계공학과 조교수, 1994년 전북대학교 정밀기계공학과 부교수, 관심분야: 연소공학, 내연기관, 자동차공학, 엔진 및 기타



정재연(鄭材鍊)

1977년 전북대학교 기계공학과(공학사), 1980년 전북대학교 기계공학과(공학석사), 1989년 일본 동경공업대학 생산기계공학과(공학박사) 전북대학교 정밀기계공학과 교수 관심분야: 유압, 윤활공학, 펌프, 모터설계 및 성능개선



김형곤(金亨坤)

1995년 전북대학교 정밀기계공학과(공학사), 1997년 전북대학교 정밀기계공학과(공학석사), 2006년 일본 가고시마대학 이공학연구과(공학박사), 2006년 - 현재 (주)캠스텍(대표이사). 관심분야: 열·유체공학, 미립자 시스템, 농업용 기계