

# 흡기중의 HHO 가스 첨가가 바이오 디젤 혼합연료를 사용한 산업용 디젤기관의 성능에 미치는 영향

박권하<sup>†</sup> · 김주연<sup>1</sup> · 김철정<sup>2</sup> · 이은준<sup>2</sup> · 손권<sup>2</sup> · 박성훈<sup>3</sup>

(원고접수일 : 2011년 7월 7일, 원고수정일 : 2011년 8월 23일, 심사완료일 : 2011년 9월 27일)

## The Effect of HHO Gas on the Performance of Industrial Diesel Engine Using Biodiesel Blended Fuel

Kweon-Ha Park<sup>†</sup> · Ju-Youn Kim<sup>1</sup> · Chul-Jung Kim<sup>2</sup> · Eun-June Lee<sup>2</sup> · Kwon Son<sup>2</sup> · Sung-Hoon Park<sup>3</sup>

**요 약 :** 디젤 엔진은 실린더 안에 공기를 흡입·압축한 후에 액체연료를 분사하여 연소하기 때문에 압축비가 높다. 높은 압축비로 인해 높은 열효율을 가지고 있지만 국부적인 고온 반응 구간에서 NOx 생성과 PM의 배출 증가와 같은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 연구기관, 대학 등에서 많은 연구가 이루어지고 있으며 그 중에서 수소를 흡기 중에 첨가하여 공급하는 기술이 연구되고 있다. 본 연구에서는 HHO가스를 흡기중에 첨가하여 바이오디젤 혼합 연료를 사용한 산업용 디젤기관에 미치는 영향을 분석 하였다. 실험조건은 0%, 50%, 100% 부하에서 엔진속도를 700rpm, 1000rpm, 1300rpm, 1600rpm, 1900rpm으로 구분하였다. 실험결과 최대 토크와 최대압력은 증가하는 경향을 보였으며, 연료소모율은 감소하는 것으로 나타났다. 스모크농도 및 일산화탄소의 농도는 크게 저감되었고 질소산화물의 배출은 유사한 특성을 나타내었다.

**주제어 :** HHO 가스, 디젤 엔진, 엔진성능

**Abstract:** A diesel engine works in high compression ratio due to injection of diesel fuel after compression of air. Therefore the engine has a high thermal efficiency, while nitrogen oxide is produced a lot in high flame temperature regions. In order to solve the problem this study HHO gas is added into the intake air of the industrial diesel engine. The test conditions are loads of 0%, 50% and 100% and engine speeds of 700 to 1900 rpm. The results show the maximum torque and pressure is increased, fuel consumption, smoke and CO emissions are decreased and NOx emission is remained at same level.

**Key words:** HHO GAS, Diesel engine, Engine performance

### 1. 서 론

환경 및 지구온난화에 관심이 증가되면서 화석 연료를 사용하는 기관에 대한 기술개발이 요구되고 있다. 열효율이 높은 디젤기관은 이러한 문제를 해결 할 수 있는 열기관이 될 수 있다. 하지만 디젤엔진은 국부적인 고온 반응 구간에서 질소산화

물(NOx)생성과 확산연소시의 입자상물질(PM : particulate matter)의 배출 증가와 같은 문제점을 가지고 있다.

디젤기관의 국부적인 온도상승 문제를 해결하기 위한 방법으로 균일 예혼합 압축 착화(Homogeneous Charge Com-pression Ignition : HCCI)엔진기술이 도

<sup>†</sup> 교신저자(한국해양대학교 기계에너지시스템공학부, E-mail:khpark@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4367)

1 한국해양대학교 대학원 기계공학과

2 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부

3 (주)위터크린텍

입 되었는데, 디젤의 높은 열효율을 유지하면서 NOx와 PM을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. HCCI 엔진의 개념은 Noguchi 등[1]과 Onishi[2] 등이 ATAC(Active Thermo-Atmosphere Combustions)란 이름으로 2행정 기관에 최초로 적용하였고, HCCI 연소의 중요한 특성인 저온 및 고온 연소의 화학반응에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 최근에는 많은 연구기관, 대학 등에서 HCCI 엔진의 운전범위의 확대와 착화 제어를 위해 노력하고 있다[1-6].

대체연료기술인 바이오디젤에 대한 연구 또한 배기저감을 위하여 연구되고 있는데, 합 산소 연료로써 배기저감에 큰 효과가 있는 것으로 발표 되고 있다[4-8].

한편 수소는 넓은 가연한계, 빠른 연소속도, 짧은 소염거리, 높은 단열화염온도 등 탄화수소계 연료와는 상이한 연소 특성을 갖고 있다. 이러한 연소 특성은 초회박 연소를 가능하게 하여 저부하 영역에서의 고효율 및 저배기를 실현시킬 수 있는 장점이 있다[7]. 특히, 수소는 입자상 물질과 탄화수소(THC), 일산화탄소(CO) 등의 유해 배기가스의 배출이 없는 청정연료이기 때문에 이를 천연가스에 첨가, 희박 운전함으로써 엔진의 성능향상을 도모할 수 있다[8-10].

본 논문에서는 수소,산소,수산이온으로 구성된 HHO 가스를 흡기중에 공급하여 바이오 디젤혼합연료를 사용하는 산업용 디젤기관에 적용하여 합 산소연료에 의한 배기저감효과와 HHO가스 혼합에 의한 예혼합압축착화(HCCI)연소의 복합작용이 디젤기관 성능에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 조건

본 실험에 사용된 엔진의 사양은 실린더 용량 3.3리터, 4 실린더 산업용 디젤 기관으로 제원은 Table 1과 같다.

Figure 1은 실험장치 구성도이다. 시험엔진과 연료 및 HHO가스 공급 장치, 토크와 엔진속도 제어 장치, 배기측정 장치, 연료 소모율 측정 장치로 구성된다. 토크와 속도는 최대 200PS/6000rpm 급 수동력계에 의하여 제어되며 배기측정은 Testo330 가스분석기와 스모크 미터에 의하여 측정된다.

Table 1: Specification of test engine

Type	Turbo diesel engine(D4AK-C)
Cooling method	Water cooler
No. of cyl. & arrangement	4-IN line
Valve mechanism	Overhead valve
Combustion chamber type	Direct injection
Bore × Stroke	100mm× 105mm
Total piston displacement	3,298cc
Compression ratio	16:1
Rated output(KSR 1004)	58.84/2400(kW/rpm)
Peak torque(KSR 1004)	25.5/1800(kg.m/rpm)
No-load minimum speed	700~750 rpm
NO-load Maximum speed	2640±20rpm
Firing order	1-3-4-2
Injection timing	16°±1° BTDC

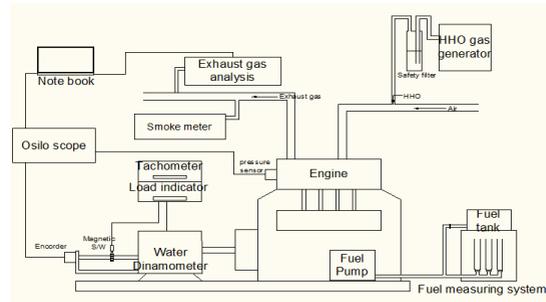


Figure 1: Experimental setup

실험조건은 Table 2와 같이 최대부하와 50%0%에서 엔진 회전수는 700rpm, 1000rpm, 1300rpm, 1600rpm, 1900rpm으로 구분하였으며, HHO가스를 6L/min 공급한 경우와 넣지 않은 경우로 나누어 실험하였다. 여기에서 부하가 50%인 경우의 값은 rpm이 1300인 경우의 최대부하 값을 기준으로 하였다.

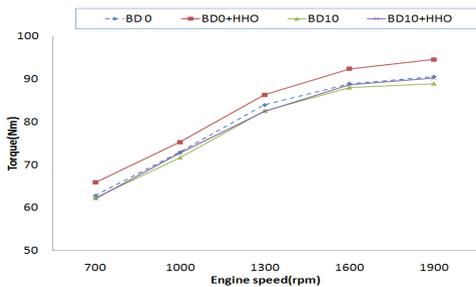
Table 2: Test condition

Cases	Fuel & Hydrogen	Eng. speed (rpm)	Torque
BD0	Diesel	700 1000 1300 1600 1900	0%(idle) 50% at 1300rpm 100%(max)
BD0 +HHO	Diesel+HHO 6L/min		
BD10	Diesel+Biodiesel 10%		
BD10 +HHO	Diesel+Biodiesel 10%+HHO 6L/min		

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 최대토크

**Figure 2**는 HHO가스 공급 전후의 엔진회전수별 최대 토크의 변화를 나타낸 그래프이다. 바이오디젤을 10% 혼합한 연료인 BD10의 경우 경유만을 사용하는 BD0과 비교할 때 엔진회전속도가 낮은 700rpm에서는 거의 유사한 값을 나타내지만 속도가 증가하면서 최대토크가 1.8%까지 낮아짐을 알 수 있다. 경유에 HHO가스를 공급한 경우인 BDO+HHO의 경우 모든 엔진회전속도에서 최대토크가 증가되며 평균 4.5%의 증가를 나타낸다. 이 값은 공급되는 수소 6L/min의 저위발열량이 디젤 유 평균공급열량의 1.3%임을 감안할 때 HHO가스 첨가가 연소활성화에 미친 영향은 3.2%임을 의미한다. BD10에 HHO가스를 공급한 BD10+HHO의 경우 BD10에 비해 전체적으로 증가 되지만 순수경유에 HHO가스를 혼합한 경우인 BDO+HHO에 비하면 큰 효과가 없는 것을 알 수 있다. 이는 합 산소연료인 바이오디젤의 경우는 연료중에 산소를 포함하고 있어 농후한 영역에서 이미 연소의 활성화가 이루어졌기 때문에 HHO가스가 연소활성화에 추가로 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

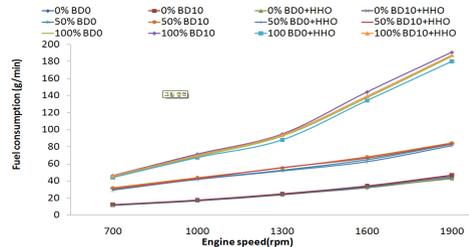


**Figure 2:** Maximum torque variation with hydrogen at 700rpm to 1900rpm

#### 3.2 연료소모율

**Figure 3**은 분당 연료소모량의 변화를 나타낸다.

경유에 HHO가스를 첨가한 BDO+HHO의 경우 무부하에서는 1.2~1.4%의 연료소모율 저감을 나타내며 50%부하에서는 0.5~2.5%의 저감을 보이고 최대토크에서는 2.9~3.4%의 저감을 나타낸다. 공급되는 수소의 열량을 고려할 때 50% 부하 이하의 희박연소에서는 수소공급의 영향이 없고 최대토크에

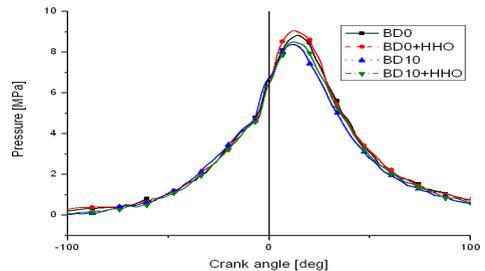


**Figure 3:** Comparison of fuel consumption rate at torque of 0%, 50%, 100%

서 1.9% 정도의 연료소모율 저감효과가 있다. 바이오디젤에 HHO가스를 혼합한 경우는 무부하의 경우 1.8~4.1%의 저감을 나타내고 50%의 경우 0.8~3.8%, 최대부하에서 1.7~4.4%의 저감을 나타낸다. 경유에 HHO가스를 혼합한 경우와 비교할 때 저부하에서 저감효과가 다소 증가한 것을 알 수 있지만 공급되는 HHO가스의 열량을 고려할 때 50% 이하에서는 큰 저감효과가 없고 최대부하에서만 1%의 저감효과가 있다.

#### 3.3 p-θ선도

**Figure 4**는 700rpm에서 최대토크 일때 BD0과 BD0에 HHO가스를 첨가한 경우와 BD10과 BD10에 HHO가스를 첨가한 경우의 크랭크 각도에 대한 실린더 압력을 나타낸 선도이다. 바이오 디젤을 첨가하지 않은 BDO의 경우 전형적인 고 부하 디젤 압력변화를 나타낸다. HHO가스를 공급한 경우 착화후의 압력상승이 공급하지 않은 경우보다 빠르게 이루어지며 최대압력 또한 더 높게 나타난다. 바이오디젤의 경우 경유만을 사용한 경우보다 전반적으로 낮은 압력분포를 보이지만 HHO가스를 첨가하면 역시 더 높은 압력을 나타낸다.



**Figure 4:** Cylinder pressure and Crank angle at 700rpm

Figure 5는 1300rpm에서 일 때 100% 엔진 부하를 걸었을 때 크랭크 각도에 따른 압력을 나타낸 그래프이다. 700rpm의 경우와 유사한 특성을 나타내지만 명확한 변화를 보인다. 착화 후 예혼합급속 연소기간 동안의 압력상승이 HHO가스를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 급격한 것을 알 수 있다.

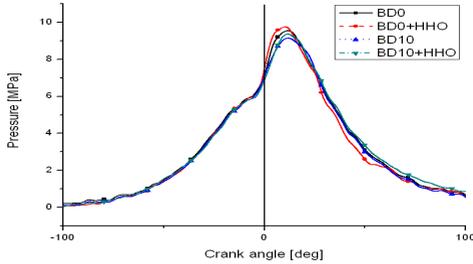


Figure 5: Cylinder pressure and Crank angle at 1300rpm

Figure 6은 1900rpm에서 최대토크 일 때 BD0과 BD0에 HHO가스를 첨가한 경우와 BD10과 BD10에 HHO가스를 첨가한 경우의 크랭크 각도에 대한 실린더 압력을 나타낸 선도이다. 낮은 엔진속도의 경우들과 유사한 변화를 보이고 있는데, 1900rpm에서는 착화지연기간 동안의 압력변화가 큰 차이를 나타낸다.

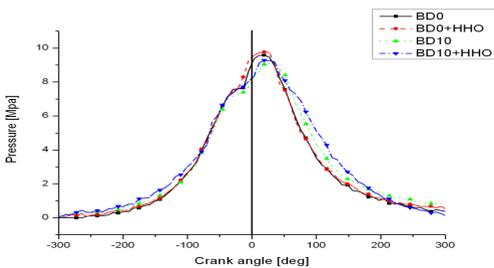


Figure 6: Cylinder pressure and Crank angle at 1900rpm

BDO이나 BD10의 경우 연료가 분사된 후에 오랜 기간 동안 착화가 발생되지 않고 압력이 낮아지고 있지만 HHO가스를 추가한 경우에는 압력저하 구간이 매우 짧은 것을 알 수 있다.

이상의 분석 결과 HHO가스를 공급하는 경우 연소시작반응을 활성화하여 착화지연기간을 단축시키며 연소반응을 활성화하여 주 연소기간 동안 빠른 연소실 압력상승을 나타낸다. 그러나 HHO가스를 바이오디젤에 공급하는 경우는 큰 영향을 미치지 못하고 있다.

3.4 배기성분

3.4.1 스모크

Figure 7은 속도변화 및 부하 0%, 50%, 100%에서 스모크 변화량을 나타낸다. 부하가 낮은 경우 1%이하의 매우 낮은 스모크농도를 나타내며, 모든 경우에 큰 차이가 없다. 50% 부하의 경우 디젤만을 사용하는 BDO에서는 700rpm에서 5.17%의 농도를 나타내며 엔진속도가 증가함에 따라 3.27%까지 낮아진다. HHO가스를 공급한 경우 2.6%정도에서 유지하며 바이오디젤의 경우 700rpm에서 1.8%의 농도를 나타내며 1000rpm에서 5%를 나타낸 후 엔진속도가 증가함에 따라 2.1%까지 낮아지며, HHO가스를 추가한 경우 1.8%정도에서 유지한다. 부하 100%의 경우 BDO에서는 700rpm에서 36.2%의 농도를 나타내며 엔진속도가 증가함에 따라 24%까지 낮아진다. HHO가스를 공급한 경우는 평균 17.76%의 농도를 나타내며, 바이오 디젤의 경우는 700rpm에서 34.2%의 농도를 나타내고 엔진속도가 증가함에 따라 23.4%까지 낮아지며 HHO가스를 추가한 경우 700rpm에서 24.2%의 농도를 나타낸 후에 엔진속도가 증가함에 따라 7.7%까지의 감소를 볼 수 있다.

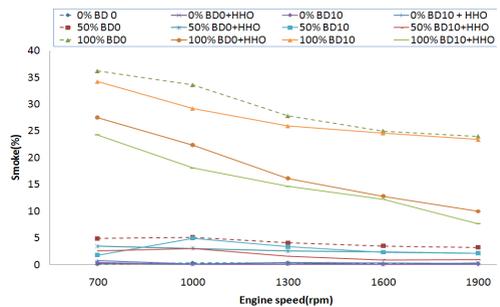


Figure 7: Comparison of smoke emissions at torques of 0%, 50%, 100%

이상의 분석결과 경유에 HHO가스를 첨가한 경우 저부하에서는 큰 영향이 없지만 최대부하의 경우 41%의 저감효과가 있으며 바이오디젤과 HHO가스를 복합사용하는 경우 49%의 큰 저감효과를 나타낸다.

3.4.2 일산화탄소

Figure 8은 배기가스 중 일산화탄소의 배출량을 나타낸다. 무 부하와 50%부하의 경우 일산화탄소 배출량이 매우 적으며 HHO가스의 영향이 크지 않았다. 부하 100%의 경우 디젤만을 사용하는 BD0에서는 700rpm에서 2416ppm을 나타내며 1900rpm에서 809ppm으로 감소하며 HHO 가스를 첨가하면 700rpm에서 2316ppm을 나타내며 1900rpm에서 701ppm으로 감소한다. 바이오 디젤인 BD10 일때는 700rpm에서 2165ppm이며 1900rpm에서 720ppm으로 감소하며 HHO가스를 첨가하면 700rpm에서 222.66ppm을 나타내며 1900rpm에서 692ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다. 일산화탄소배출에 미치는 영향은 경유에 HHO가스만을 적용한 경우 평균 6.4% 저감효과가 있었으며, 바이오디젤과 HHO가스를 동시에 적용한 경우 11.0%의 저감효과가 있었다.

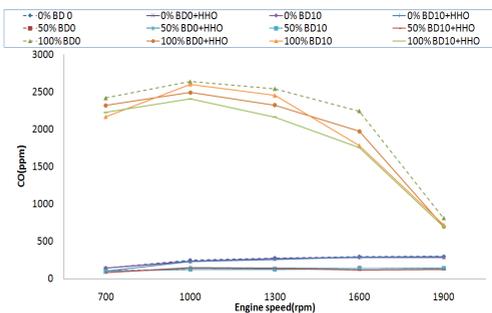


Figure 8: Comparison of CO emissions at torques of 0%, 50%, 100%

3.4.3 질소산화물

Figure 9는 토크와 엔진회전속도 변화에 따른 질소산화물 배출농도 변화를 나타낸다. 엔진 부하 0%일때 BD0에 비해 BD0에 HHO 가스를 첨가하면 평균 1.8%증가, BD10에 HHO가스를 첨가하면 7.4% 증가 하였다. 50%부하인 경우는 BD0에 HHO

가스 첨가일때 2%증가, BD10에 HHO가스 첨가일 때 2.1%증가 하였다. 최대부하인 경우는 BD0에 HHO가스 첨가하였을때 1.2%증가하였고, BD10에 HHO가스 첨가일 때 2.1% 증가하였다.

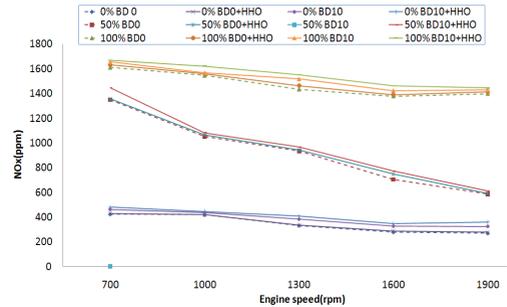


Figure 9: Comparison of NOx at torques of 0%, 50%, 100%

이는 바이오 디젤 첨가에 따른 산소 농도의 증가와 HHO가스 공급으로 인한 연소의 활성화로 연소온도가 상승하는 효과에 의한 것으로 사료 된다.

4. 결 론

경유와 바이오디젤 혼합연료를 사용하는 산업용 디젤 기관에 HHO가스를 공급한 경우의 엔진성능을 비교분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 최대토크는 HHO가스를 공급한 경우에 디젤의 경우 3.2% 증가하였지만 바이오디젤의 경우는 증가량이 크지 않았다.
- 2) 연료소모율은 저부하에서는 큰 영향이 없었지만 고부하의 경우 경유에 HHO가스를 첨가하면 1.9%의 저감효과가 있었으며 바이오디젤에 첨가한 경우는 1.0%의 저감효과가 있었다.
- 3) 연소실내의 압력변화는 HHO가스를 공급하는 경우 연소시작반응을 활성화하여 착화지연기간을 단축시키며 연소반응을 활성화하여 주 연소기간 동안 빠른 연소실 압력상승을 나타낸다. HHO가스를 바이오디젤에 공급하는 경우는 그 영향이 둔화되었다.
- 4) 스모크 변화량은 저부하에서는 큰 영향이 없었지만 최대부하의 경우 경유에 HHO가스를 첨가하면 41%의 저감효과가 있으며 바이오디젤과 HHO가스를 복합사용하는 경우 49%의 큰 저감효과를 나타냈다.

5) 일산화탄소배출에 미치는 영향은 경유에 HHO가스만을 적용한 경우 평균 6.4% 저감효과가 있었으며, 바이오디젤과 HHO가스를 동시에 적용한 경우 평균 11.0%의 저감효과가 있었다.

6) 질소산화물은 전부하영역에서 증가하였지만 그 영향은 크지 않았다.

### 참고문헌

[1] M. Noguchi, Y. Tanaka, T. Tanaka and Y. Takeuchi, "A Study on Gasline Engine Combustion by Observation of Intermediate Reactive Products During Combustion", SAE 790840, 1979

[2] S. Onishi, S. H. Jo, K. Shoda, P. D. Jo and S. Katao, "Active Thermo-atmosphere Combustion (ATAC) - A New Combustion Process for Internal Combustion Engines", SAE 790501, 1979.

[3] H. S. Rudolf and E. R. Charles, "Homogenous charge compression ignition (HCCI) : Benefits, Compromises and future engine applications," SAE paper, 1999-01-3682, 1999.

[4] P. M. Najt and D. E. Foster, "Compression-ignited Homogeneous Chare Combustion", SAE 830264, 1983.

[5] G. Shibata, K. Oyama, T. Urushihara and T. Nakano, "Correlation of Low Temperature Heat Release with Fuel Composition and HCCI Engine Combustion", SAE 2005-01-0138, 2005.

[6] M. Sjoberg and J. E. Dec, "Effects of Engine Speed, Fueling Rate, and Combustion Phasing on the Thermal Stratification Required to Limit HCCI Knocking Intensity", SAE 2005-01-2125, 2005.

[7] Hupperrich, P, Durnholz, M, "Exhaust Emissions of Diesel, Gasoline and Natural Gas Fueled Vehicles", SAE technical paper 960857, 1996.

[8] Michael, R. S., Mirza, J. Y., Zafer, D, Mattew, N.S., "The Effects of Hydrogen Addition on Natural Gas Engine Operation", SAE technical paper 932775, 1993.

[9] Nagalingam, B, Duebel, F, Schmillen, K, "Performance study using natural gas, hydrogen

supplemented natural gas and hydrogen in AVL research engine", Int. J. of Hydrogen Energy, vol. 8, no. 9, pp. 715-720, 1983.

[10] 박권하, 이진아, 이화순, "흡기중의 수소첨가가 산업용 디젤기관의 성능에 미치는 영향", 한국마린엔지니어링학회지, 제34권, 제8호, pp. 1050-1056, 2010.

### 저 자 소 개



#### 박권하(朴權夏)

1995년 UMIST(맨체스터대학) 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1995 - 1998년 한국기계연구원 엔진환경연구부 선임 연구원, 1998 - 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부(교수), 관심분야: 내연기관



#### 김주연(金周連)

2011년 한국해양대학교 기계정보공학부(공학사), 2011 - 현재 한국해양대학교 대학원 기계공학과 석사 과정, 관심분야: 내연기관



#### 손 권(孫 權)

2011 - 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부  
관심분야: 내연기관



#### 김철정(金澈正)

2011 - 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부  
관심분야: 내연기관



#### 이은준(李殷竣)

2011 - 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부  
관심분야: 내연기관