

## 커먼레일식 디젤기관의 EGR율과 바이오디젤 혼합율에 따른 연소 및 배기 특성

### Effects of Bio-diesel blending rate on the Combustion and Emission Characteristics in a Common Rail Diesel Engine with EGR rate

윤삼기\* · 최낙정\*\*†

Sam-Ki Yoon\*, Nag-Jung Choi\*\*†

(접수일 : 2013년 12월 09일, 수정일 : 2014년 02월 03일, 채택확정 : 2014년 02월 04일)

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the specific characteristics of combustion and exhaust emissions on a 4-cylinder common rail diesel engine as EGR rate and the rate of blended bio-diesel was altered. Bio-diesel fuel which is a sort of alternative fuels can be adapted to diesel engine directly without modifying. This study was performed to 2000rpm of engine speed with torque 30Nm while EGR rate and the rate of blended bio-diesel was changed. Decreasing combustion pressure and increasing the rate of heat were occurred when we had changed the EGR rate on the 20% of bio-diesel blended diesel fuel. The maximum pressure of combustion and the IMEP became higher as the EGR rate and the rate of blended bio-diesel were changed. Exhaust gas temperature was increased the higher rate of the blended bio-diesel under the fixed EGR rate. However, it went down as the EGR rate increased. The amounts of CO and Soot were reduced with increasing the rate of the blended bio-diesel without changing EGR rate and raised with increasing of the EGR rate. On the fixed EGR rate, NOx was increased along with growing the rate of the bio-diesel. On the other hand, it was decreased while EGR rate were going up.

**Key Words :** Combustion Pressure(연소압력), EGR(배기가스재순환), Bio-Diesel(바이오디젤), IMEP(도  
시평균유효압력), Rate of Heat Release(열발생율), Exhaust Emissions(배기배출물)

## 1. 서 론

최근 세계적으로 화석연료의 사용 증가로 인하여 대기 중 온실 가스 농도가 급격히 증가되어 온실 효과로 인한 지구 온난화 현상이 초래 되고있다. 온실가스에 의한 지구 온난화 현상으로 홍수,

폭우, 폭염, 태풍을 포함한 기후 이상 변화 현상이 나타나고 있으며, 이러한 기후 변화에 대응하기 위하여 세계 각국은 온난화 현상의 원인으로 알려진 화석연료를 대체할 신재생 에너지 및 수송 부문 연료에 대하여 많은 관심과 연구를 진행하고 있다.

\*\*† 최낙정(교신저자) : 전북대학교 기계설계공학부

E-mail : njchoi@jbnu.ac.kr, Tel : 063-270-4765

\*윤삼기 : 한국지엠

\*\*† Nag-Jung Choi(corresponding author) : Division of

Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University

E-mail : njchoi@jbnu.ac.kr, Tel : 063-270-4765

\*Sam-Ki Yoon : GM korea Company

이에 따라 세계 각국의 지원 아래 자동차 제작사들은 온실 가스의 주범인 이산화탄소를 저감하고 석연료 사용량을 줄이기 위하여 하이브리드 자동차, 전기자동차, 태양전지자동차 등을 제작하고 있다. 특히나 기관 출력은 더욱 증대 되면서 배기량은 작아지는 다운사이징기관 등을 제작하고 있으며, 소음 및 진동 부분의 단점에도 불구하고 기존의 높은 열효율과 고출력 및 내구성 등에서 우수한 성능을 보여 주고 있는 디젤기관에 대하여 많은 연구를 수행하고 있다.

그러나 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 배기 배출물 중 입자상물질(Particulate matter)과 질소산화물(Nitrogen oxide) 배출량이 상대적으로 많이 배출된다.<sup>1)</sup> 그러므로 입자상물질(Particulate matter)과 질소산화물(Nitrogen oxide) 배출량을 저감하기 위한 여러 가지 방법 중 후처리 연소 장치인 DPF(Diesel Particulate Filter)등을 사용하여 배출량을 저감하고 있다.<sup>2)</sup> 또한 화석연료인 저유황경유 대신 대체연료를 사용하여 배출물 저감을 모색하고 있으며,<sup>3)</sup> 대체연료중 바이오디젤 연료는 식물성 연료로서 저유황경유에 비하여 높은 세탄가를 가지고 있고, 분자 구조 내에 산소를 포함하고 있어 배기배출량을 저감할 수 있다고 보고하였다.<sup>4-5)</sup>

Yoon<sup>6)</sup> 등은 커먼레일 디젤기관에서 디젤연료를 사용하여 연료 분사시기에 변화를 주었을 때 기관에 미치는 연소 및 배기특성을 실험을 통하여 고찰 하였다.

이상과 같이 디젤기관의 연소 및 배기 특성을 규명하고 분석하기 위한 많은 연구가 진행 되고 있으나, 커먼레일 디젤기관에 대한 출력 및 배기 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 커먼레일 4행정 사이클 4실린더 디젤기관에서 바이오디젤 혼합연료를 사용하여 EGR율을 변화시켰을 때 연소 및 배기 오염 물질 배출 특성을 실험적으로 규명하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에서는 4실린더 커먼레일 디젤기관에서

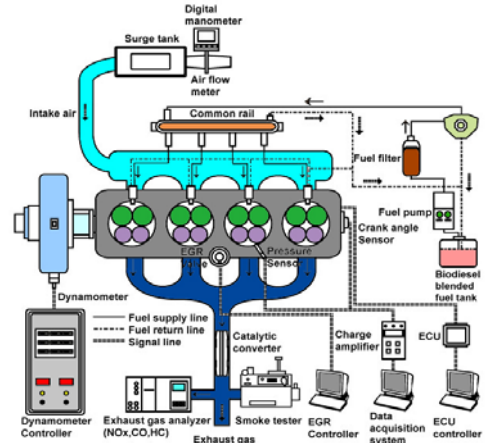


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

EGR율에 변화를 주었을 때 연소 및 배출 가스 특성을 알아보기 위해 Fig. 1과 같은 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 터보차저가 장착된 4실린더 전자 제어식 커먼레일 디젤기관과 220V 전원에 의해서 구동되는 연료펌프를 장착한 연료 공급 장치, 배기가스 성분 분석을 위한 배기가스 분석 시스템, 기관 동력의 제어를 위한 와전류 타입의 EC 동력계(DY-230KW) 등으로 구성하였다. 실험용 기관의 연소 압력은 예열 플러그가 장착된 자리에 압전 소자 방식의 압력센서(Kistler, 6056a)를 장착하여 데이터를 DAQ보드(NI, PCI 6040E)모델을 사용하여 취득하였으며, 실린더 내 연소 압력은 연소 해석 장치를 사용하여 분석하였다.

EGR은 배기가스가 수냉식 냉각기를 통하여 흡기로 들어가도록 하였으며, 가스 흐름 율은 EGR 제어밸브를 컴퓨터로 듀티 제어 하였다.

또한 배기가스 성분 분석을 위해서 그린 라인(Mk2)의 배기가스 측정 장비를 설치하였으며, 매연 검출을 위하여 부분유량 채취 방식인 광투과식 매연 측정기(OPA-102)를 사용하여 측정하였다.

본 실험에 사용된 4실린더 커먼레일 디젤 기관의 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine type	4-Cylinder turbo DI
Bore×Stroke(mm)	81×96
Displacement(cc)	1979
Combustion type	Direct Injection
Injection Procedure	1-3-4-2
Compression Ratio	17.7 : 1
Max.Power(kw/rpm)	82/4000
Max.Torque(Nm/rpm)	260/2000
Max.Speed(rpm)	4500
Fuel injection timing	ECU Control
Fuel Pressure(MPa)	145

## 2.2 실험 방법

본 실험에서 식물성 바이오연료인 카놀라(Canola oil)유와 디젤연료를 2:8 체적비로 혼합하여 사용하였을 때 연소 및 배기 배출에 미치는 영향을 알아보기 위하여 EGR율을 제어할 수 있는 EGR 제어장치를 설치하였다.

본 실험에 적용된 기관 회전속도는 일반적으로 사용빈도가 높은 중속 구간인 2000rpm(부하 30Nm)을 선정 하였으며, 실험의 신뢰도를 확보하기 위해서 기관 냉각수 온도는 343±3K, 흡입 공기 온도는 293±3K로 유지 하면서 실험을 수행하였다. EGR율의 변화는 EGR 프로그램을 제어하는 EGR제어용 컴퓨터에서 주어졌으며, EGR율은 0, 10, 20, 30%로 10%씩 변화를 주었다. 연소 특성인 연소 압력과 열 발생율은 연소 해석 장치를 통하여 취득하였으며, 배기배출물 특성은 배기가스 분석기를 통하여 NO<sub>x</sub> 배출 값을 실시간 확인 하였다. 또한 매연은 부분유량 채취 방식인 광투과식 매연 측정기(OPA-102)를 사용하여 측정하였다. Table 2는 본 연구를 수행하는데 사용된 경유와 바이오디젤의 물리적 특성을 비교한 것이고, Table 3은 실험에 대한 상세 내용을 나타내었다.

Table 2 Property of Diesel and Bio-diesel fuel

Characteristics	Diesel	Bio-diesel
Flash point(K)	342~361	455
Kinetic viscosity(mm <sup>2</sup> /s@313K)	2.8517	4.29
Pour point(K)	-296	-284
Sulfur(%)	0.005	0.001
Specific gravity(288K)	0.8269	0.88
Calorific value(MJ/kg)	43.96	39.17
Oxygen(wt%)	0	11.02

Table 3 Experimental and operating conditions

Engine speed(rpm)	2000
Torque(Nm)	30
Fuel injection timing	ECU Control
Cooling water temp(k)	343 ± 3
Intake air temp(k)	293 ± 3
EGR rate(%)	0, 10, 20, 30
Biodiesel blending rate(%)	20

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 바이오디젤 혼합연료의 연소 특성

Fig. 2는 바이오디젤 혼합율 20%에서 EGR율에

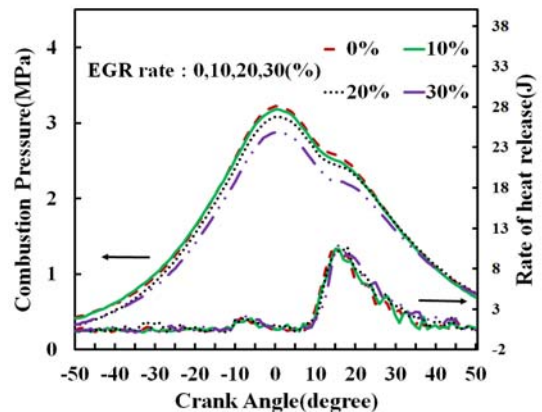
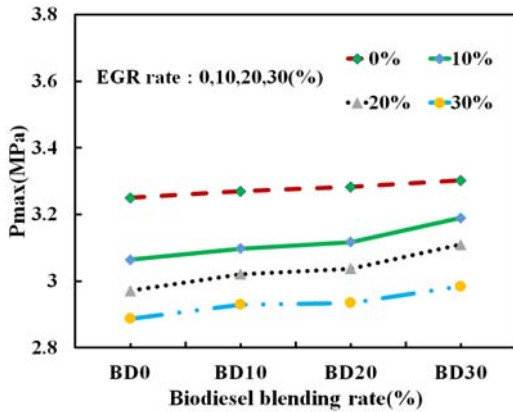
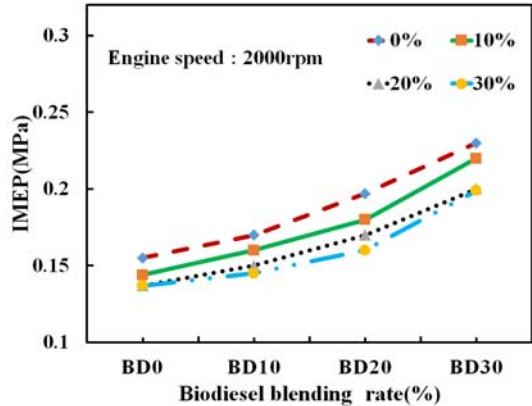


Fig. 2 Combustion pressure and rate of heat release according to the EGR rate



(a) Peak combustion pressure



(b) Indicated mean effective pressure

Fig. 3 Effect of various bio-diesel blending rate with EGR rate on combustion characteristics

변화를 주었을 때 연소 특성을 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 연소 압력은 EGR을 0%와 비교하였을 때 EGR 크기에 비례하여 EGR을 10%에서는 1.2%, EGR을 20%에서는 4.5%, EGR을 30%에서는 11.4%로 비례하여 감소하는 경향을 보였으며, 열 발생율은 EGR을 10%에서는 3.1%, EGR을 20%에서는 5.5%, EGR을 30%에서는 8.3%로 증가하는 경향을 보였다.

이러한 이유는 혼합유 자체 내에 산소 성분을 함유하고 있다 하더라도 연소 되어진 배기가스를 다시 연소실에 보내어 새로운 혼합 가스와 같이 혼합하여 연소를 하게 되면 재순환되는 가스가 연소 활성화를 저해하는 요인으로 작용하여 연소 확산 촉진을 방해하기 때문에 연소 압력은 감소하고, 열 발생율은 착화 지연으로 인하여 증가된 것으로 판단된다.

Fig. 3은 바이오디젤 혼합율에 따른 연소 최고 압력과 도시 평균 유효 압력을 나타낸 그림이다. 그림 Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 연소 최고 압력은 BD0에 비해서 BD10은 평균 1.18% 증가하고, BD20은 평균 1.63% 증가하며, BD30은 평균 3.4% 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 3(b)는 도시 평균 유효 압력을 나타낸 그래프로서 BD0에 비해서 BD10은 평균 8.98% 증가하고, BD20은 평균 23.18% 증가하며, BD30은 평균 47.95% 증가하는

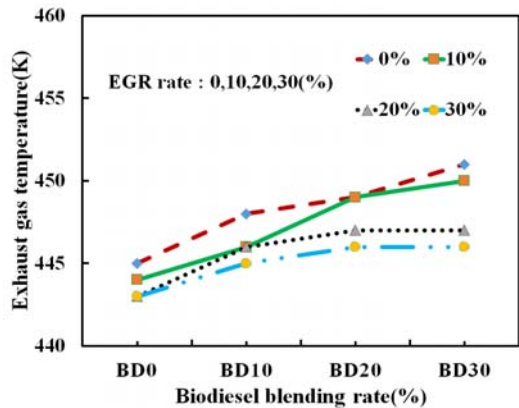


Fig. 4 Exhaust gas temperature on various bio-diesel blending rate with EGR rate

것으로 나타났다.

연소 최고 압력과 도시 평균 유효 압력은 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 동일 EGR을 상태에서 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가하고 있다. 이것은 혼합유 자체 내에 산소 성분을 함유하고 있기 때문에 연소 촉진이 활성화 되어 연소 환경이 개선된 것으로 판단된다. Fig. 4는 EGR율이 주어졌을 때 바이오디젤 혼합율에 따른 배기가스 온도 특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 동일 EGR을 상태에서 바이오디젤 혼합율이 증가하면 배기가스 온도는 증가하

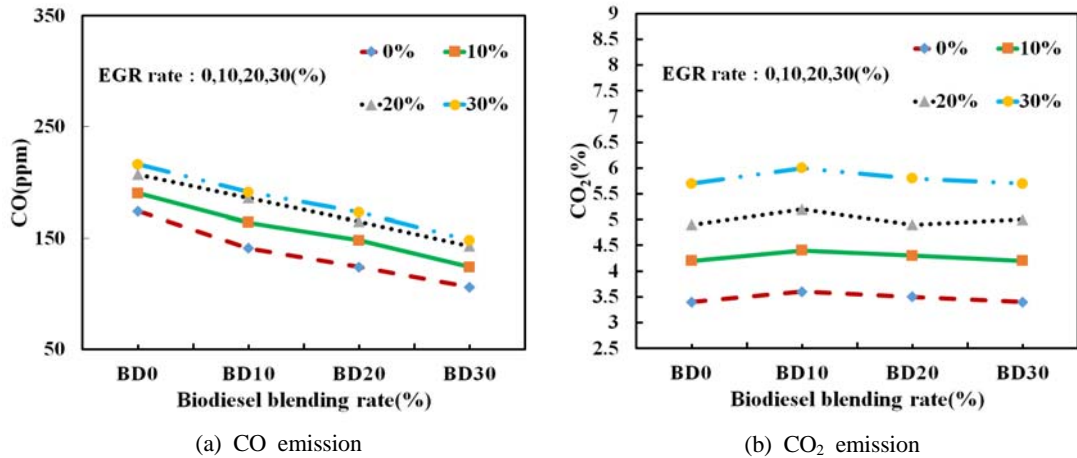


Fig. 5 Effect of bio-diesel blending rate with EGR rate on CO and CO<sub>2</sub> emission

는 경향을 나타내고 있다. 이는 바이오디젤유 자체가 세탄가가 높고 함산소 성분을 포함하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 동일한 바이오디젤 혼합물에서는 EGR율이 증가할수록 배기가스의 온도는 낮아지는 경향을 보여주고 있다.

### 3.2 바이오디젤 혼합연료의 배기 특성

Fig. 5(a)는 일산화탄소 배출가스 특성을 나타낸 그래프로서 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 동일 EGR율에서는 낮아지는 경향을 보여주고 있으며, 동일 바이오디젤 혼합물에서는 EGR율이 커질수록 증가되는 형태를 보여주고 있다. 이는 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 연료 내에 포함되어 있는 함산소 성분의 증가로 연소 환경이 개선되어 일산화탄소 배출이 감소된 것으로 판단되며, 배기가스가 재순환 하면 새로운 공기의 부족으로 혼합가스의 농도가 농후해져 불완전 연소로 인한 일산화탄소 배출량이 증가한 것으로 보여진다. Fig. 5(b)는 이산화탄소 배출가스의 배기특성을 나타낸 그래프로서 이산화탄소 배출량은 EGR율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 배기 배출가스 내에 포함되어 있는 이산화탄소의 재순환으로 연소실 배출량이 증가한 것으로 판단된다.

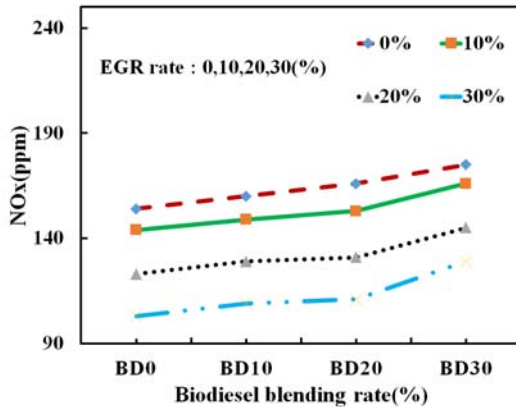
Fig. 6(a)는 질소산화물의 배출 특성을 나타낸

그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 EGR율 상태에서 바이오디젤 혼합율이 증가할수록, 연소 환경이 개선되어 고온 고압의 연소 조건으로 인하여 배출량이 증가하고, EGR율이 증가할수록, 배기가스 재순환으로 연소실 연소 환경이 악화하여 감소하고 있다. Fig. 6(b)는 매연의 배출 특성을 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 매연의 배출량은 큰 폭으로 감소되는 경향을 보이고 있는데, 이는 함산소 성분의 증가로 확산 연소가 활성화되어 배출량이 낮아진 것으로 판단된다. 한편, EGR율이 증가할수록 매연 배출량은 점차 높아지는 경향을 보이고 있는데, 이는 배기가스 재순환으로 인하여 혼합 가스의 농도가 농후해져 연소 확산이 저하되어 연소가 활성화 되지 못하기 때문인 것으로 보인다.

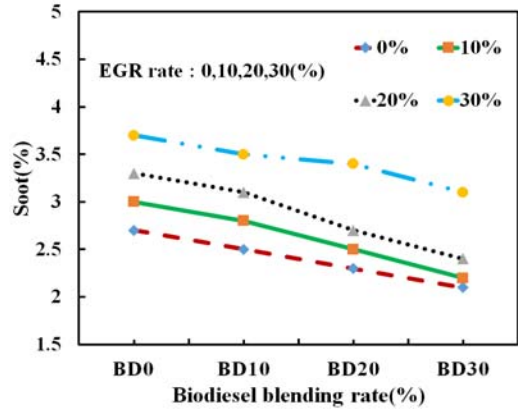
## 4. 결 론

본 연구는 4행정 사이클 4실린더 커먼레일식 디젤기관에서 바이오디젤 혼합율과 EGR율의 변화가 기관의 연소 특성 및 배기배출량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 바이오디젤 혼합율 BD20에서 EGR율에 변화



(a) NOx emission



(b) Soot emission

Fig. 6 Effect of bio-diesel blending rate with EGR rate on NOx and Soot emission

를 주었을 때, 연소 압력은 EGR율 0%와 비교하여 EGR율 10%에서는 1.2% 감소하고, EGR율 20%에서는 4.5% 감소하며, EGR율 30%에서는 11.4% 감소됨을 확인 하였으며, 열 발생율은 EGR율 0%와 비교하여 EGR율 10%에서는 3.1% 증가하고, EGR율 20%에서는 5.5% 증가하며, EGR율 30%에서는 8.3% 증가됨을 확인 하였다.

2) 바이오디젤 혼합 율이 증가 할수록 연소 최고 압력은 BD0에 비해 BD10은 평균 1.18%, BD20은 평균 1.63%, BD30은 평균 3.4%로 약간 증가하는 경향을 보였으며, 도시 평균 유효 압력은 BD0에 비해 BD10은 평균 8.98%, BD20은 평균 23.18%, BD30은 평균 47.95% 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다.

3) 배기가스의 온도는 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 동일 EGR율에서 증가하는 경향을 나타내고, EGR율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

4) 일산화탄소와 매연은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였으며, 질소산화물은 동일한 바이오디젤 혼합율에서 EGR율이 증가할수록 감소하였다. 이산화탄소는 EGR율이 증가 할수록 증가하였다.

## Reference

1. R. L. McCormic, C. J. Tennant, Hayes, S. Black, and Sharp, 2005, "Regulated Emissions from Biodiesel Tested in Heavy Duty Engines Meeting 2004 Emission Standards", SAE 2005-01-2200.
2. H. Yongsheng, B. B. David, L. Shuguang, J. P. Micheal and L. Jianwen, 2009, "Opportunities and Challenges for Cleaned 2-Way SCR/DPF Aftertreatment Technologies", SAE 2009-01-0274.
3. M. Y. Kim, S. H. Yoon, J. W. Hwang and C. S. Lee, 2008, "Characteristics of Particulate Emissions of Compression Ignition Engine Fueled with Biodiesel Derived from Soybean", Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 130, No. 5, pp. 052805-1-052805-7.
4. D. Y. Chang, V. Gerpen and J. H, 1998, "Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines fueled with Biodiesel", SAE Paper, Vol. 78, pp. 1303-1317.
5. J. P. Cha, S. H. Yoon, S. W. Park and C. S. Lee, 2009, "Combustion and Nano-particle

Emissions of a Compression Ignition Engine Fuled with Biodisel According to EGR ratio”, KSAE Annual Conference proceeding, pp. 528~533.

6. S. K. Yoon and N. J. Choi, 2013, “The Effects of Partially Premixed Pilot Injection Timing on the Combustion and Emission Characteristics in a Common Rail Diesel Engine”, KSPSE Vol. 17, No. 6, pp. 18~24.