

CRDI 방식 디젤기관의 EGR율에 따른 UBD20 적용에 관한 실험 연구

신 서 용¹⁾ · 임 석 연^{*2)} · 정 영 철³⁾ · 최 두 석³⁾ · 류 정 인⁴⁾

충남대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 충남대학교 대학원 기계공학과, BK21 메카트로닉스사업단²⁾ ·
공주대학교 기계자동차공학부³⁾ · 충남대학교 기계공학부, BK21 메카트로닉스사업단⁴⁾

An Experimental Study on Application of UBD20 according to EGR Rate in a CRDI Type Diesel Engine

Seoyong Shin¹⁾ · Seokyeon Im^{*2)} · Youngchul Jung³⁾ · Dooseuk Choi³⁾ · Jeongin Ryu⁴⁾

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²⁾Graduate School of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

⁴⁾Department of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received 24 April 2007 / Accepted 29 June 2007)

Abstract : An object of this study is to understand the application characteristics in accordance with changes of EGR rate, applying BD20 reformed by ultrasonic energy irradiation to common-rail diesel engine. BD containing about 10% oxygen has attracted attention due to soaring crude oil prices and environmental pollution. This oxygen decreases soot by promoting combustion, but it also increases NOx. To make up for this problem, an EGR system is applied so that NOx might be decreased. In that case, engine power is lowered and exhaust gas is raised. However, the reformed fuel by ultrasonic energy irradiation is changed physically and chemically, promotes combustion, and thus solves such a problem. As the results of the experiment, we could identify the optimum EGR rate by investigating the engine performance and the characteristics of exhaust materials in accordance with the EGR rate after ultrasonic energy irradiation to BD20 and applying it to common-rail diesel engine. The optimum EGR rate that can satisfy both engine performance and characteristics of exhaust materials was in the range of 15%.

Key words : Common-rail diesel engine(커먼레일 디젤기관), BD(바이오디젤), UBD(초음파 조사 바이오디젤), EGR(배기가스 재순환), Soot(매연), Combustion pressure(연소압력)

1. 서 론

최근 국제 유가의 급등과 자동차 배출가스 규제의 강화로 인하여 대체에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 그 중 바이오디젤유(이하 'BD'라 한다.)는 많은 대체에너지들 중 현재 가장 주목을 받는 연료로서 식물성 원료를 바탕으로 재생이 가

능하며 경유와 연료 성상이 비슷하고 높은 에너지 밀도를 가지고 있어서 현재의 상용 디젤기관의 구조변경 없이도 사용 가능하다는 장점 때문에 많은 관심을 받고 있다.^{2,3)}

BD를 기관에 적용하게 되면 BD가 약 11%의 산소를 포함하고 있어 연소를 촉진하여 Soot를 저감시키지만, 연소 온도의 상승으로 인하여 NOx를 증가시키는 문제점이 발생한다.^{4,6)}

*Corresponding author, E-mail: imsy95@hotmail.com

이러한 BD의 단점을 극복하기 위한 NOx 제어기술로서 넓게 실용화되고 있는 배기가스재순환(EGR: Exhaust Gas Recirculation)장치는 다른 방법들에 비해 설치가 간단하고 비용이 저렴한 장점이 있지만, EGR율의 증가에 따라 NOx 이외의 다른 배기 배출물이 증가하는 단점이 있고 연료 소비율의 증가와 더불어 매연이 증가하는 등 아직도 해결해야 할 문제점이 남아 있다.^{7,8)}

디젤 연료에 초음파와 에너지를 조사(이하 'UD'라 한다.)할 경우 초음파 인자들에 의해 방향족 성분이 지방족 성분으로 바뀌고, 이소파라핀이 노멀파라핀으로 변하여 세탄가와 발열량이 증가할 뿐만 아니라 점도, 표면장력 및 분무입径의 크기가 감소되는 등 물리적, 화학적으로 변화를 일으켜 연료를 개질 시킴으로서 연소촉진 및 Soot 저감효과를 기대할 수 있다.⁹⁾

따라서 본 연구에서는 BD20에 초음파와 에너지를 조사(이하 'UBD20'이라 한다.)하여 커먼레일 디젤 기관에 적용하여 기관성능 및 배출물질의 특성들을 분석하고, NOx의 유용한 저감방법으로 잘 알려진 EGR system의 적용 특성들을 분석하여 기관 성능저하의 최소 범위에서 Soot와 NOx의 저감효과를 극대화 할 수 있는 최적의 EGR율을 결정하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 초음파 에너지 연료공급 장치를 나타낸 것으로, 저압연료펌프와 고압연료펌프 사이에 설치하였다. AC 220V로 초음파 발전기(2.4kW)를 작동시키면 초음파는 15kHz로 진동하면서 혼을 통하여 연료에 전달되는 구조로 되어 있다. 초음파 에너지 연료공급장치 상단에 에어홀을 장치하여 초음파 에너지의 공동현상(cavitation)에 의해 발생하는 기포를 배출할 수 있도록 하였고, 초음파 에너지에 의한 연료의 개질효과를 극대화하기 위해 연료는 챔버의 하단으로 유입되어 상부를 통해 기관에 공급되도록 하였다.

기관성능 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같으며, 동력계, 실험용 기관, 측정장치 및 데이터 획득장치로 이루어져 있다. 실험용 기관은 수냉식, 4행정 4기

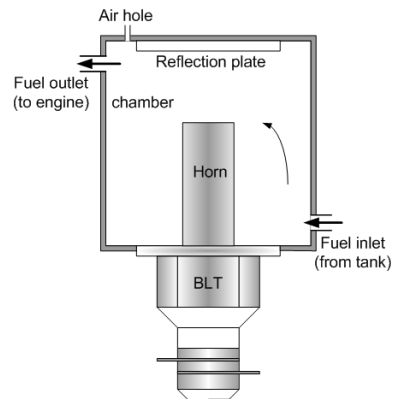


Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic energy fuel supply system

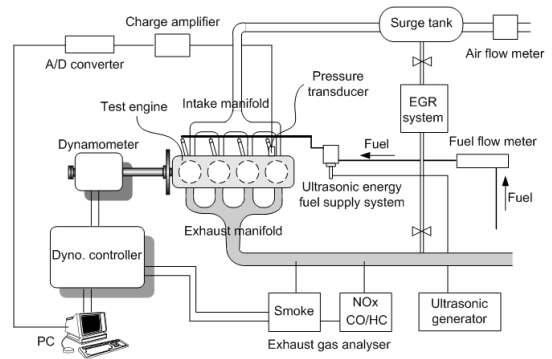


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Combustion chamber	Direct injection
Engine model	4 - stroke/DI
Total displacement (cc)	1979
Bore × Stroke (mm)	81 × 96
Compression ratio	17.7 : 1
Power output (ps/rpm)	111/4000
Peak torque (kg m/rpm)	25.5 / 2000

통 커먼레일형 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다.

실험에 사용한 엔진 동력계는 와전류방식의 Hwanwoong Co. Model DYTEK-130 을 사용하였으며 광 투과식 디젤 매연 분석기는 Eplus Co. Type OP-120를 사용하였다. 배기가스 분석기는 비분산 적외선 방식의 MAHA GmbH & Co. KG Type MGT-5를 사용하였고 연료유량계는 유체의 체적을

Table 2 Properties of test fuel

Items	Biodiesel fuel		Diesel fuel
	BD20	BD100	
Flash point (PM, °C)	48	174	44
Pour point (°C)	-17.5	-2.5	-17.5
Sulfur(Wt. %)	0.018	0.011	0.022
specific gravity (15/4°C)	0.8317	0.8815	0.8211
Cetane number	50.5	57.5	51.8
Kinematic viscosity (40°C, cSt)	2.614	4.255	2.350

측정하는 방식으로 Hwanwoong Co. Model Fuel Consumption Meter를 사용하였다.

Table 2는 실험에 사용한 연료의 물성치를 나타낸 것으로, 상용연료인 경유에 체적비율로 BD를 20% 혼합하여 초음파 에너지를 조사하여 EGR율 변화에 따라 실험한 후 비교하여 분석하였다. BD20은 탄소 함유량도 경유보다 적으며, 산소를 약 11% 함유하고 있다. 또한, 경유보다 세탄가가 높은 반면 낮은 발열량과 인화점이 높아 취급이 용이한 특성을 가지고 있다.

EGR system은 마노미터 타입 유량계로 흡입유량을 측정 후 EGR 밸브를 이용하여 EGR율을 조정하였다. EGR율은 식 (1)을 이용하여 계산되었으며, 15%, 20% 및 25%로 조정하여 실험하였다.

$$EGR\text{율}(\%) = \frac{V_0 - V_a}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, V_0 는 EGR을 하지 않았을 경우의 흡입공기량(m^3/h)이고, V_a 는 EGR을 수행했을 경우의 흡입공기흡입량이다.

본 실험은 BD20에 초음파 에너지를 조사하여 EGR율에 따라 기관회전수 1000rpm~3500rpm까지 500rpm 간격에 기관부하 25%, 50%, 75% 및 100% 조건에서 실험하였다. 실험 중 엔진의 운전 상태를 일정하게 유지하기 위하여 냉각수 온도를 80~85°C로 일정하게 유지하고 상용경유와 초음파 에너지에 의해 개질된 경유를 사용하여 기본 데이터를 획득하였고, EGR율에 따른 UBD20의 기관 성능 및 배출가스 특성을 분석하였다. 실험 조건이 변경 될 경우 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 기관의 예비운전을 충분히 하였으며, 3회 반복 측정하고

평균값을 최종데이터 획득하여 정리 하였다. 배출가스의 측정은 배기 대기관에서부터 500mm 하류에서 채취하여 설치된 매연측정기로 분석 하였다. NOx의 측정은 배기가스 채취용 튜브 중간에 필터를 장착하여 매연 입자를 여과 후 측정하였고, 실험 조건의 변경시마다 측정기의 0점 조정을 새로하여 측정오차를 줄였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관성능 특성

Fig. 3은 각 실험연료의 EGR율에 따른 기관출력을 기관회전수 및 기관부하에 따라 나타낸 것이다.

상용 경유와 초음파에너지가 조사된 경유에서는 초음파가 조사된 경유의 출력이 1~5% 상승효과가 전 운전 범위에서 나타났다. 이것을 UBD20과 UBD20에서 EGR을 적용했을 경우 출력은 UBD20보다 UBD20, EGR을 15%에서 출력이 전 부하영역에서 1~3kW정도 낮게 나타났고, UBD20, EGR을 20%에서는 2~5kW가 낮았으며, UBD20, EGR을 25%에서는 4~10kW의 출력저하가 나타났다. 또한 기관의 주 운전범위인 1500~2500rpm에서 EGR을 15%, 20% 및 25% 때의 출력은 2~3kW차이로 점점 감소하였다. 이는 연소실에 배기가스의 재순환되는 공기량의 증가로 인한 불완전 연소로 연소압력이 낮아졌기 때문이다. 또한 부하 75%, 100%에서 UBD20과 UBD20, EGR을 25%에서는 기관의 주 운전(1500~2500rpm) 구간에서 평균 4kW의 출력차가 나타났다. 출력관계에 있어서 회전수와 부하가 높을수록 높은 분사압력으로 인하여 초음파의 연료개질효과가 미비한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 커먼레일 디젤기관의 최고출력구간인 2000rpm 구간에서의 부하별 연소 압력을 나타낸 것이다. 부하 50%에서는 UBD20이 상용경유의 연소 최고 압력 보다 5% 낮게 나타났으며, UBD20, EGR을 적용시켰을 경우 연소 최고 압력은 10%~20%까지 낮아짐을 볼 수 있었다.

또한, 기관 부하75%, 100%에서도 최고 압력이 기관 부하 50% 경우와 유사하고 착화 지연이 된 것을 볼 수 있었다. 그러나 부하가 증가할수록 연소 속도가 증가되고 연소기간이 짧아짐을 볼 수 있었다.

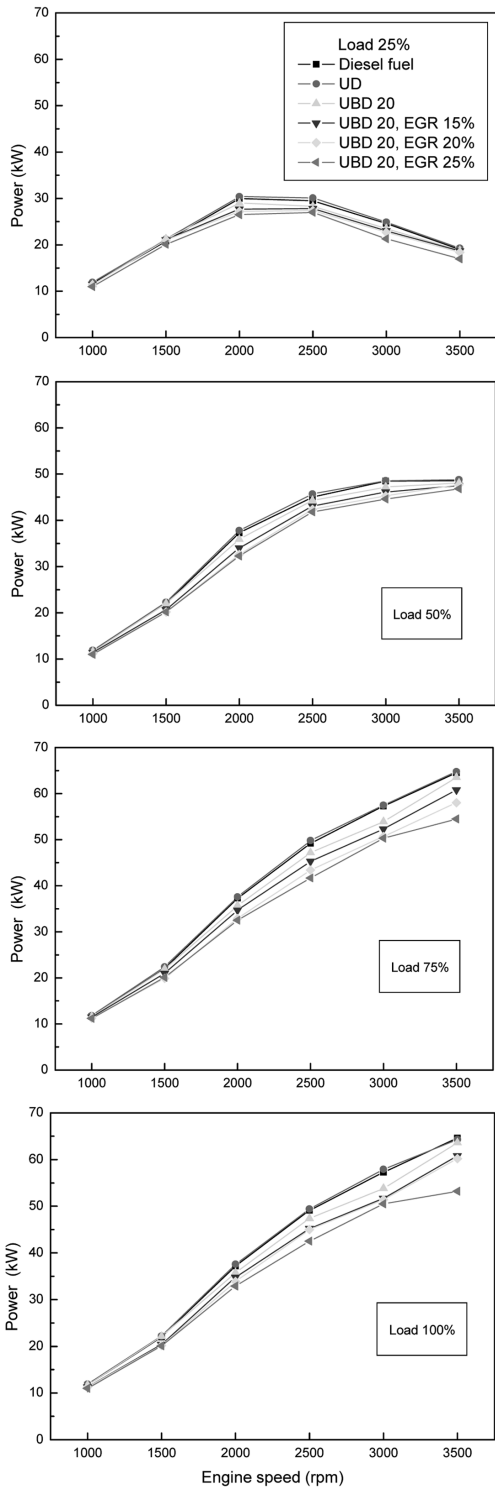


Fig. 3 Comparison of Power under Various engine speed at engine load (25%, 50%, 75%, 100%)

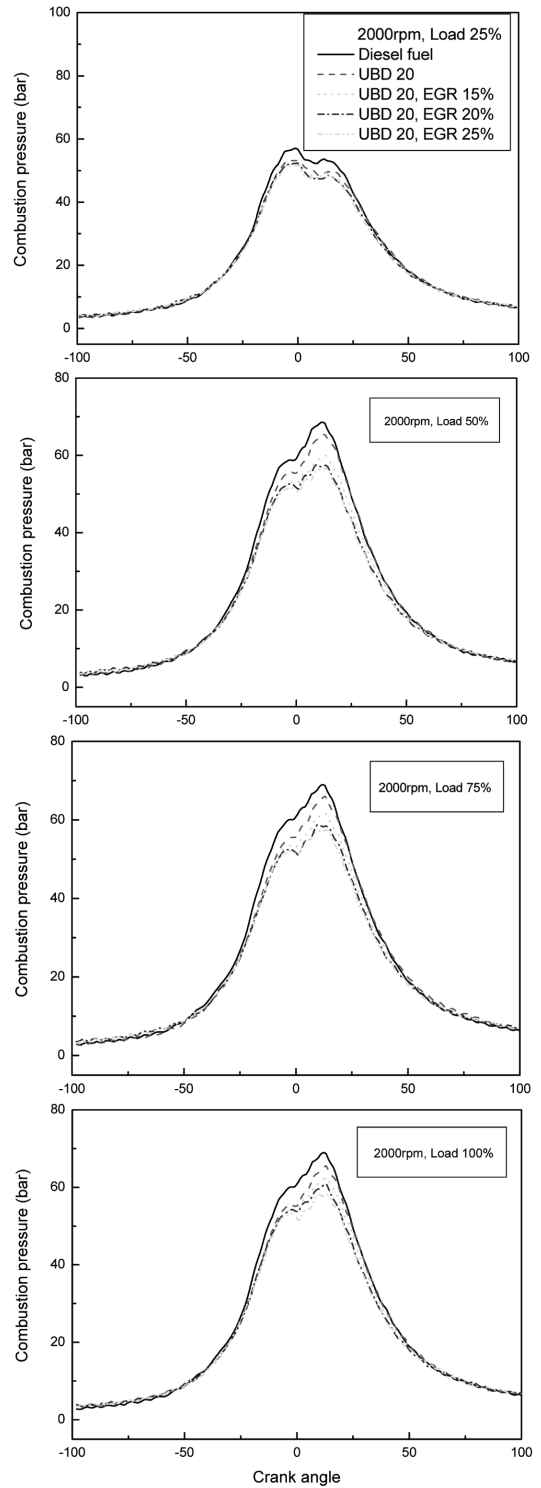


Fig. 4 Comparison of the combustion pressure at engine load (25%, 50%, 75%, 100%)

Fig. 5는 제동연료소비율(BSFC)을 나타낸 것으로, UD가 상용경유보다 전 부하와 회전수에서 최소 1%에서 최대10% 낮게 나타났다. 이것은 초음파의 개질로 인한 연료의 점도와 표면장력이 감소되어 나타난 것으로 판단된다.

UBD20에 EGR을 적용하였을 때 BSFC는 증가하였으며 기관의 주 운전(1500~2500rpm) 구간에서 EGR을 25%에서는 UBD20보다 최대 20%의 BSFC가 증가한 것으로 나타났다. 이유로는 엔진의 미연소 가스의 흡입으로 인한 불완전 연소로 ECU에서 연료 분사량을 높인 것으로 판단된다.

3.2 배기성능 특성

Fig. 6은 각 실험 연료의 EGR율에 따른 질소산화물(NOx)을 나타낸 것이다. UD가 상용 경유보다 NOx가 증가하였는데, 이는 초음파가 조사된 경유의 경우 연료의 개질효과로 인한 연소축진으로 인하여 연소효율이 향상된 것을 알 수 있었다. UBD20의 경우는 NOx 배출량이 상용경유보다 부하가 증가할수록 2%에서 최대 10%까지 높게 측정되었다. 이것은 바이오 디젤유가 함 산소 연료이기 때문에 연소실의 산소량이 증가되고 연소가 촉진되어 NOx가 증가한 것으로 판단된다. 그러나 UBD20에 EGR을 적용 했을 때 NOx의 저감은 상용경유와 UBD20보다도 낮게 측정되었다. EGR을 15%에서는 부하가 증가할수록 NOx는 상용경유와 UBD20보다 2배정도 저감되는 효과를 확인할 수 있었다. EGR율을 20%, 25% 증가시키고, 부하가 증가할수록 NOx는 최대 120%의 저감을 보였다. 이유로는 배기가스의 재순환으로 인하여 산소농도가 감소하고 연소실 온도가 낮아졌기 때문이다.

Fig. 7은 매연(Soot)을 나타낸 것으로서 전 부하영역에서 UD와 UBD20은 상용경유보다 매연이 1~10%감소하였다. 이것은 초음파 에너지 조사로 인하여 연료가 개질되어 연소가 촉진되고 BD20에 함유된 산소 성분으로 인하여 연소 효율이 향상된 것으로 판단된다. UBD20 EGR을 15%, 20% 및 25%에서 초기 저 부하, 저 회전수 영역에서는 매연배출이 높게 나타났다. 이것은 미연소 가스로 인해 산소 농도가 감소하고 기관의 불완전 연소를 유발시켜

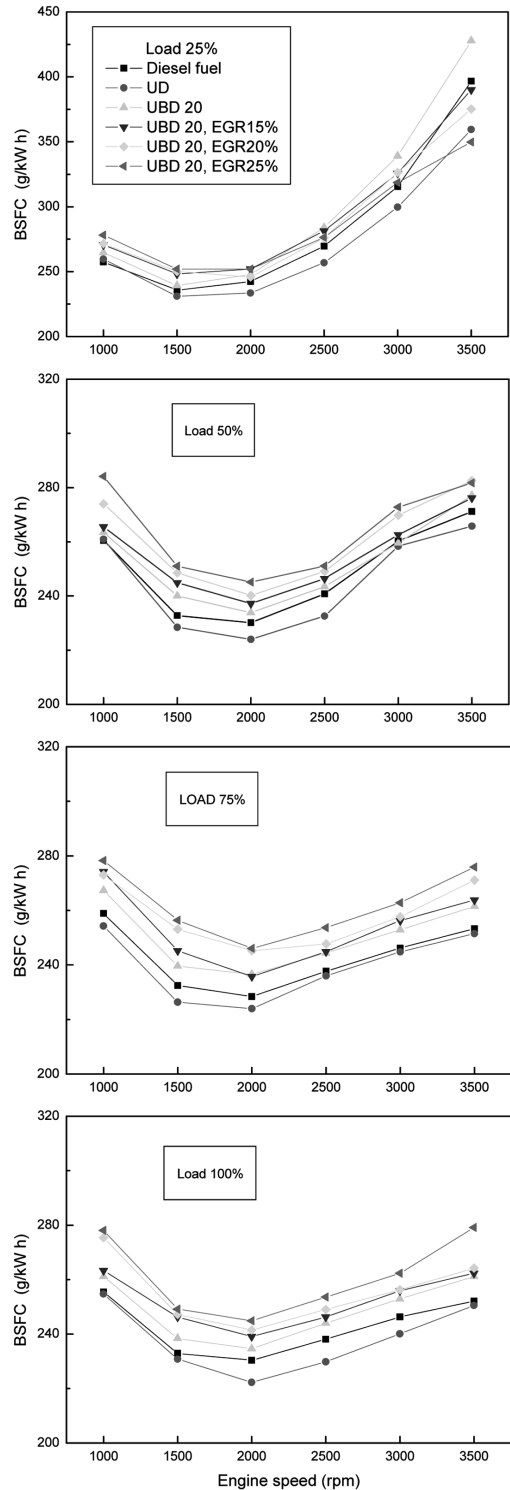


Fig. 5 Comparison of BSFC under Various engine speed at engine load (25%, 50%, 75%, 100%)

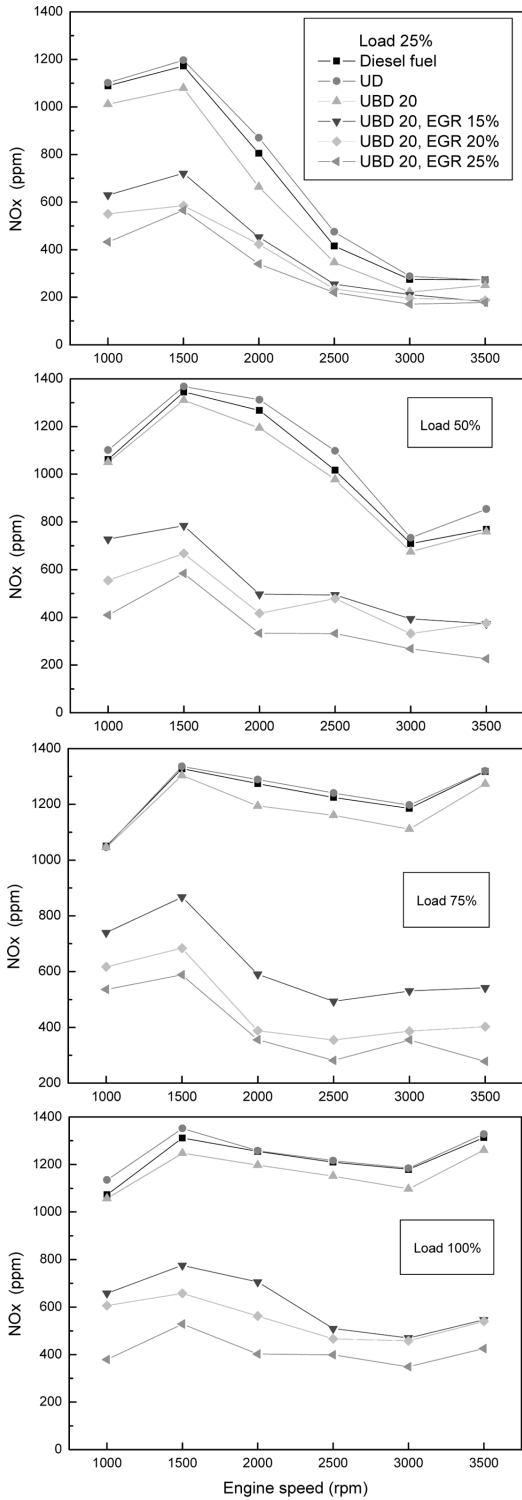


Fig. 6 Comparison of NOx under Various engine speed at engine load (25%, 50%, 75%, 100%)

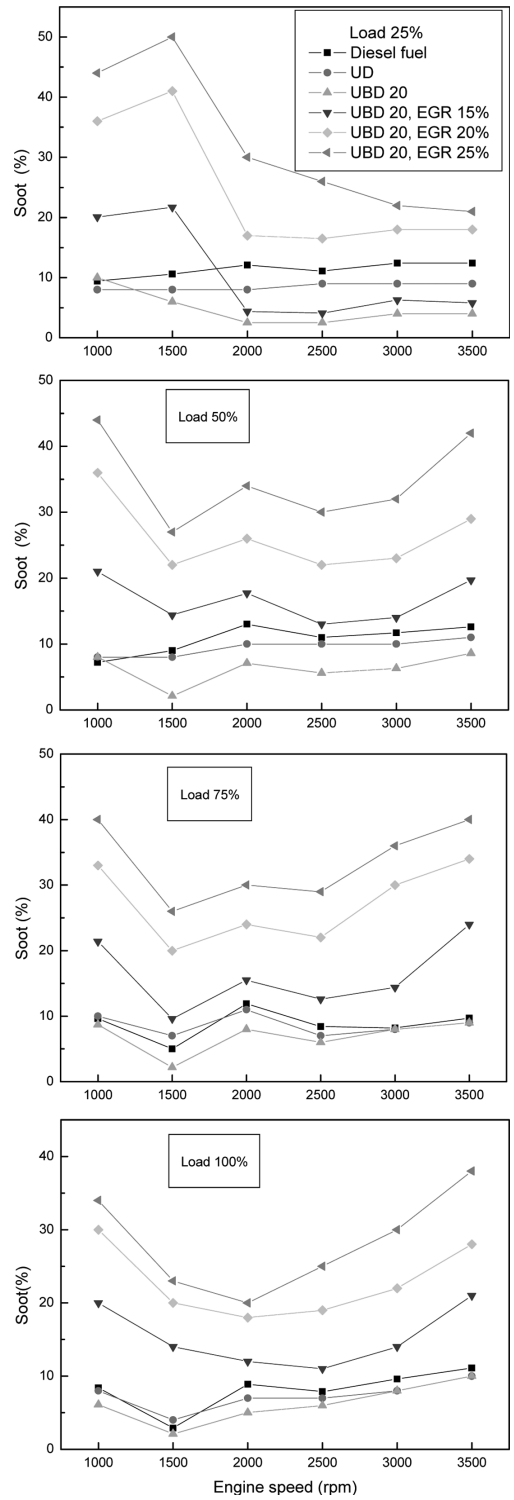


Fig. 7 Comparison of Soot under Various engine speed at engine load (25%, 50%, 75%, 100%)

매연 배출이 높은 것으로 판단된다. 그러나 기관 회전수가 증가할수록 커먼레일 방식의 디젤기관은 ECU에 의해 분사시기와 분무량을 제어하기 때문에 매연은 점점 감소하여 안정화된 것으로 판단된다. UBD20, EGR율15% 적용 시 EGR율 20%보다 20~40% 매연배출이 적었고, EGR율 25% 적용 시 보다는 60~80% 정도의 매연이 감소되었다.

EGR율을 증가시킬수록 매연 발생량은 증가하였고, EGR율에 대한 Soot와 NO_x는 상반되는 특징을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

커먼레일 디젤기관에 상용 경유, 초음파 에너지를 조사한 연료와 초음파 에너지 조사 바이오디젤유(UBD20)에 EGR율 15%, 20% 및 25%를 적용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 초음파 에너지를 조사한 경유는 상용경유보다 기관출력(Power)과 제동연료소비율(BSFC) 및 매연(Soot)은 향상되었으나 질소산화물(NO_x)은 연소촉진으로 인하여 악화되었다.
- 2) 초음파조사 바이오 디젤유(UBD20)에 EGR율 15%, 20% 및 25%를 적용 하였을 경우, EGR율 증가에 따라 상용 경유와 초음파 에너지가 조사된 경유(UD) 그리고 UBD20보다 모든 실험 조건에서 기관출력(Power)은 감소하고, 제동연료소비율(BSFC)과 매연(Soot)은 증가하였다. 그러나 질소산화물(NO_x)에서는 70%이상 저감 효과를 볼 수 있었다.

위와 같이 커먼레일 디젤기관에서 기관성능과 배기 배출물 저감을 위해 바이오 디젤유 적용과 초음파에너지를 조사 한 연료의 Soot와 NO_x의 동시 저감을 위한 최적의 EGR 율은 대략 15%구간임을 상기 실험을 통해 확인할 수 있었다.

References

- 1) T. V. Johnson, "Diesel Emission Control in Review," SAE 2001-01-0184, 2001.
- 2) K. H. Ryu and Y. T. Oh, "Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel," Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.32-38, 2004.
- 3) Y. T. Oh and S. H. Choi, "Exhaust Emission Characteristics by Alteration of MTBE Contents in D.I. Diesel Engine," Transactions of KSAE(B), Vol.26, No.5, pp.724-732, 2002.
- 4) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, Soydiesel/Biodiesel Blend Research, ASAE, pp.93-6523, 1993.
- 5) Y. S. Song, B. O. Lee and J. I. Ryu, "Effects of the Ultrasonic Energy on Smoke Reduction of Diesel Engine," Spring Conference Proceedings, Vol.I, KSAE, pp.222-227, 2003.
- 6) D. S. Bail, "Combined Effects of BD20, Low Sulfur Diesel Fuel and Diesel Oxidation Catalyst in a HD Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology. Vol.7, No.6, pp.653-658, 2006.
- 7) Y. F. Lue, Y. Y. Yeh and C. H. Wu, "The Emission Characteristics of a Small D.I. Diesel Engine Using Biodiesel Blended Fuels," Journal of Environmental Science and Health, Vol.36, No.5, pp.845-859, 2001.
- 8) Y. Y. Ham and K. M. Chun, "Parametric Study for Reducing NO and Soot Emissions in a DI Diesel Engine by Using Engine Cycle Simulation," Transactions of KSAE, Vol.10, No.5, pp.35-44, 2002.
- 9) Y. S. Song, The Characteristics of Performance and Exhaust in Diesel Engine of Ultrasonic Irradiation Bio-diesel Blended Fuel, Ph. D Dissertation, Chungnam University, 2005.