

커먼레일 디젤기관에서 바이오디젤유(BDF 5%) 적용시의 내구특성 연구

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택^{*2)}

전북대학교 대학원¹⁾ · 전북대학교 기계항공시스템공학부, 공학연구원 자동차신기술연구센터²⁾

A Study on the Characteristics for Durability with Biodiesel Fuel(BDF 5%) in a Commercial Common Rail Diesel Engine

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh^{*2)}

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Automobile Hi-Technology Research Center, Engineering Research Institute, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 20 March 2006 / Accepted 22 August 2006)

Abstract : Our environment is faced with serious problems related to the air pollution from automobiles in these days. In particular, the exhaust emissions of diesel engines are recognized as main causes of the air pollution. CRDI(common rail direct injection) diesel engine is widely used for the sake of minimization on exhaust emission. Because biodiesel fuel is a renewable and alternative fuel for diesel engine, its usability is expanded. In this study, a common rail diesel engine was run with 5% of biodiesel fuel(BDF 5%) more than 150 hours. Engine dynamometer testing was completed at regularly scheduled intervals to investigate the engine performance and exhaust emissions. The data of engine performance and exhaust emissions was sampled at 1 hour intervals for analysis. When a common rail diesel engine runs on BDF 5% for long time, power and energy consumption of the engine are similar to the case using diesel fuel. The smoke emission of BDF 5% was reduced in comparison with diesel fuel, that is, it was reduced approximately 15% at 4000rpm, and load of 90%. And, CO and CO₂ were reduced, too. On the other hand, NOx emission of biodiesel fuel was slightly increased about 2%, but it was almost same as a commercial diesel fuel.

Key words : Common rail diesel engine(커먼레일 디젤기관), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Durability(내구성), Smoke(매연), Exhaust emissions(배기배출물)

1. 서 론

환경오염에 커다란 영향을 미치는 것으로 인식되는 디젤기관 장착 차량의 배기가스규제가 2006년 EURO IV 기준을 시작으로 점점 엄격해지고 있다. 또한, 석유계 에너지 고갈이 우려되는 상황에서 석유계 에너지를 대체할 수 있는 대체 에너지 개발분야가 전세계적으로 대두되고 있다. 현재 실용가능한 것으로 추정되는 대체 에너지원 중 바이오매스 계

열의 원료로부터 추출 및 재생산이 가능한 대체연료로서 바이오디젤유^{1,2)}의 개발이 독일, 프랑스, 오스트리아 등 유럽국가와 미국 및 일본 등의 선진국을 중심으로 하여 개발 및 실증화가 이루어지고 있다. 기존의 디젤기관 자체의 개조나 수정과정 없이 기존 시스템에 적용 가능한 바이오디젤유는 전세계 어느 곳에서든지 지역 농산물을 이용하여 생산 가능하다는 장점이 있어 관심을 가져왔다.³⁻⁵⁾ 바이오디젤유는 연료의 성상자체에 바이오매스계열 연

*Corresponding author, E-mail: medr@chonbuk.ac.kr

료의 특징인 산소가 포함되어 있음은 물론, 디젤기관의 시동성에 관련된 세탄가가 높다는 특징이 있다. 현재는 각국의 지역 농산품에 따라서 채종유, 대두유, 팜유 등을 이용한 각기 다른 바이오디젤유들이 연구되어 왔다.⁶⁻⁸⁾

국내에서도 환경부 조사에 의하면 대형 경유 차량이 차지하는 비율은 약 15% 정도 이지만 대형 경유 차량에서 배출되는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점으로 인해 전체적인 디젤기관에 의한 환경오염을 저감시켜야 하는 필요성이 절실히 대두되고 있는 실정이다.

국내에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유의 생산 및 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 현재 기계적 분사방식 디젤기관에서는 거의 실용화 단계에 있다. 바이오디젤유는 경유와 성상이 비슷하며, 연료 자체에 다량의 산소를 함유하고 있어 특히, 고부하 및 고회전 속도 영역에서 매연저감에 효과적인 장점을 갖고 있다. 따라서 상용 경유와 바이오디젤유를 혼합하여 사용하는 방법을 선택하고 있으며, 기계적인 분사방식 디젤기관에서는 바이오디젤유 20% 이하의 적용이 안정적이라고 보고되고 있다.⁹⁻¹¹⁾

그러나, 최근 연비개선과 배기배출물 저감측면에서 세계적으로 큰 수요를 보이고 있는 커먼레일 방식의 디젤기관에 대해서는 바이오디젤유의 적용에 대한 연구가 초기단계에 머물러 있다. 특히, 커먼레일 방식 디젤기관의 주요부품 제조사인 BOSCH 사에서는 5% 이상의 바이오디젤유를 커먼레일 디젤기관에 적용한 경우 자사 제품에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다는 제한 조건을 제시하고 있으며, 이는 소비자에게 신뢰성을 줄 수 있는 선행연구들이 적기 때문으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 선행연구된 커먼레일 디젤기관의 출력 성능 및 배기가스 배출특성을 기초로 하여 상용화된 커먼레일 방식 디젤기관에 상용경유 및 바이오디젤유 5% 혼합연료(이하 BDF 5%)를 승용자동차용 커먼레일 방식 디젤기관에 장시간 적용하였을 경우 BDF 5%에 대한 기관 내구성 및 배기배출물 변화 특성을 파악하고 BDF 5%를 장시간 운전시에 대두되는 문제점을 고찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 상용 커먼레일 디젤기관인 수냉식, 4기통, 4행정, 직접분사식 커먼레일 방식의 디젤기관이며, 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에 나타내었다.

Table 2는 실험에 사용된 연료 특성을 나타낸 것이다. 바이오디젤유는 경유에 비해 약간 낮은 발열량을 갖고 있지만, 세탄가는 경우보다 높다. 또한 바이오디젤유는 탄소함량이 경유보다 적어 발열량이 약간 저하되지만, 경유자체에 내포하고 있지 않은 산소를 약 11% 함유하고 있다. 실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유와 바이오디젤유 5%를 체적비율로 혼합한 BDF 5%를 이용하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	D-ENG, D4EA
Number of cylinder	4
Bore × Stroke(mm)	83 × 92
Displacement(cc)	1991
Compression ratio	21
Combustion chamber	Toroidal
Coolant temperature(°C)	80 ± 2
Injection type	Common rail direct
Injection pressure(Max.)(bar)	1350

Table 2 Properties of test fuel

	Diesel fuel	BDF
Calorific value[MJ/kg]	43.96	39.17
Cetane number	51.4	57.9
Sulfur(wt%)	0.05	0
Carbon(wt%)	85.83	76.22
Hydrogen(wt%)	13.82	12.38
Oxygen(wt%)	0	11.03

2.2 실험 방법

장시간 내구성을 시험하기 위하여 엔진 동력계에 장착된 실험용 엔진을 이용하여 워밍업이 끝난 상태에서 엔진의 최대마력을 발생시키는 4000rpm에서 90% 부하로 150시간이상 BDF 5%를 적용하여 운전하였으며, 기관성능 및 배기배출물을 1시간 간격으

로 측정하였다. 실험시 냉각수 온도는 $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하였다. 또한 BDF 5%가 배기가스 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배기다기관으로부터 300mm 하류에 매연측정장치(HBN-1500; Korea)를 사용하여 매연의 농도를 매 1시간마다 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였으며 CO_2 , O_2 , 및 NO_x 의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 전기화학적셀 방식의 배기가스 분석기(Greenline MK 2; Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정¹³⁾하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율($\text{MJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$)로 계산¹⁴⁾하였으며, 전체적인 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

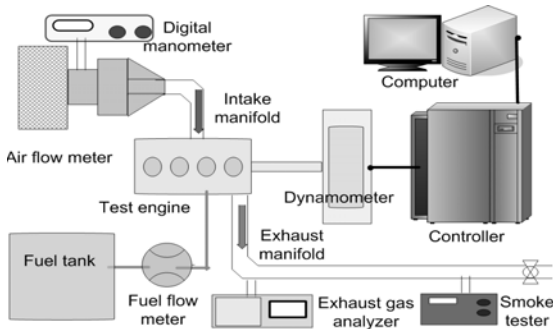


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관성능

일반적으로 기관 성능은 주로 기관 토크와 출력, 제동연료소비율로서 표현되며, Fig. 2는 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용하여 4000rpm, 90% 부하에서 150시간 운전하는 동안 출력특성을 파악하기 위하여 기관 운전 시간대별로 나타난 것이다. BDF 5%를 사용한 경우 경유만을 사용한 경우보다 출력은 바이오디젤유의 발열량에 차이로 인해 약간 낮게 나타나나 경유와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이는 바이오디젤유를 사용할 경우 5%미만일 경우 경유만을 기관에 적용한 경우와 비교하여 기관 출력에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

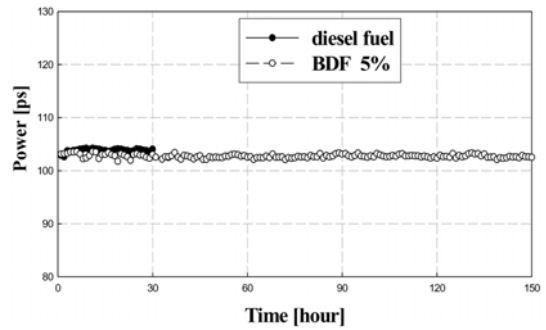


Fig. 2 Power versus time variation

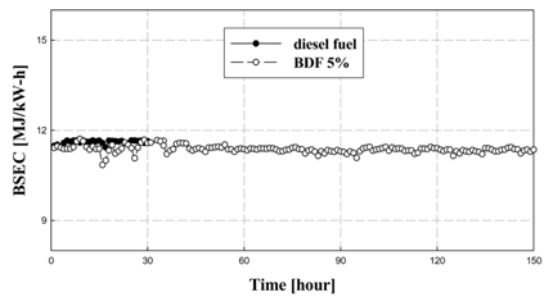


Fig. 3 BSEC versus time variation

Fig. 3은 Fig 2와 동일한 조건에서 에너지소비율(BSEC; brake specific energy consumption)을 시간대별로 나타낸 것으로, BDF 5%를 사용한 경우 경유만을 사용한 경우보다 약간 개선되거나, 유사한 경향을 나타내고 있다. 이는 바이오디젤 혼합연료가 연소시에 비록 미량의 혼합을이지만 혼합유 내에 함유된 산소성분의 기여에 의한 연소개선 효과가 나타난 것으로 생각되며, 이 결과로 비록 발열량이 약간 적은 BDF 5%를 사용하였을 경우 에너지소비율 또한 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 배기 배출물 특성

Fig. 4는 BDF 5%를 사용할 경우 매연 배출 농도를 시간대별로 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 사용한 경우보다 매연배출농도가 작게 나타남을 알 수 있으며, BDF 5%를 사용하여 장시간 운전하여도 매연 농도는 증가하지 않으며, BDF 5% 정도의 적은 혼합율에도 매연 저감율이 상당히 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 BDF 5%를 사용할 경우 연료속에 함유하고 있는 산소성분에 기인하여 연소를 촉

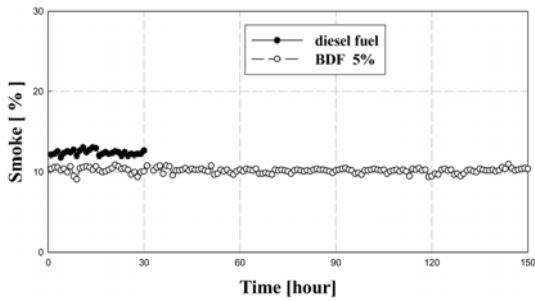


Fig. 4 Smoke versus time variation with BDF 5%

진시켜 매연 농도는 경유만을 사용한 경우에 비해 약 15% 정도 저감됨을 알 수 있다.

Fig. 5는 BDF 5%를 사용한 경우 NOx의 배출특성을 시간대별로 나타낸 것이다. NOx 배출량은 BDF 5%를 사용할 경우 경유만을 사용한 경우보다 전체적으로 약간 상승하였으나, 경유에 비해 2% 미만의 상승률을 보였다. 이는 BDF 5%에 포함된 산소함유량에 인하여 경유만을 사용한 경우보다 연소속도 및 연소온도의 증가로 NOx의 생성이 약간 더 촉진되었기 때문으로 사료되지만, 바이오디젤유의 혼합율이 소량이므로 전체적인 NOx 배출특성에서 NOx의 배출량은 경유와 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 BDF 5%를 사용하여 운전한 경우 CO₂의 배출특성을 시간대별로 나타낸 것이다. 경유만을 사용한 경우보다 CO₂의 배출량이 약 2% 이상 적게 나타남을 알 수 있다. BDF 5%를 사용하였을 경우 탄소의 함유량이 경유의 경우보다 적고, 연소효율 개선 때문에 나타난 것으로 생각된다. BDF 5%를 사용하였을 경우 적은 혼합에도 불구하고 CO₂의 배출량을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 바이오매스 연료의 재배시 발생가능한 CO₂ 저감효과까지 고려하면 교토의정서에 의거한 국내의 지구온난화현상 방지에도 효과적임을 알 수 있다. 더불어, 바이오디젤유의 원료인 바이오매스 계열의 식물 재배시에 광합성 작용을 통한 CO₂의 저감효과까지 고려하면 그 효과가 크다고 할 수 있다.

Fig. 7은 BDF 5%를 사용할 경우 O₂의 배출특성을 운전 시간대별로 나타낸 것이다. BDF 5%를 사용하여 장시간 운전하였을 경우 경유를 사용한 경우보다 O₂의 배출량은 약간 증가하는 경향을 보이고 있

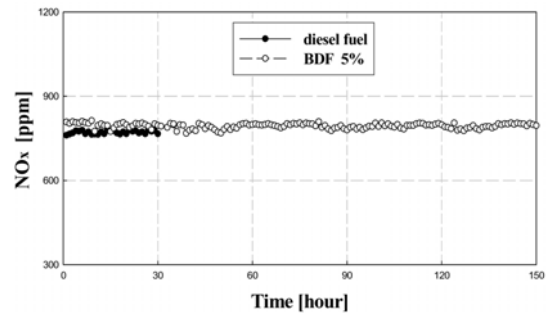


Fig. 5 NOx versus time variation with BDF 5%

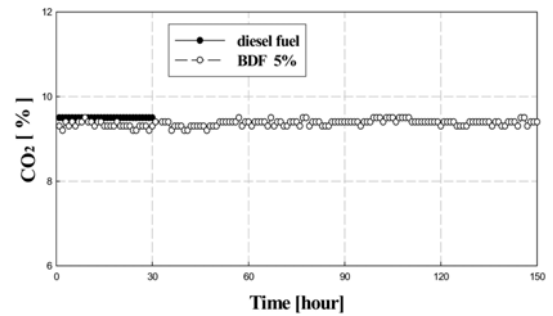


Fig. 6 CO₂ versus time variation with BDF 5%

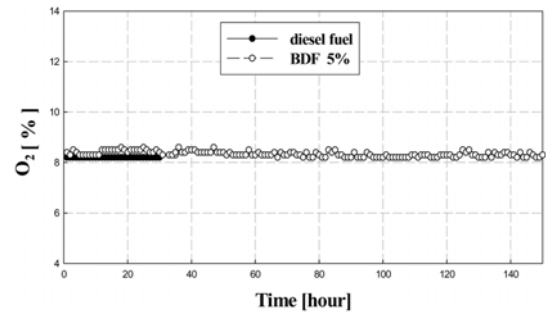


Fig. 7 O₂ versus time variation with BDF 5%

다. 이는 BDF 5% 속에 함유된 산소의 영향과 경유에 비하여 C/PH의 차이에 의하여 희박하게 연소되었기 때문으로 생각된다.

3.3 기관 부품의 변화

Fig. 8은 BDF 5%로 장시간 운전한 후 인젝터 팁(injector tip)의 상태를 파악하기 위하여 실험이 끝난 후 분사노즐을 분리하여 연료 배출구멍이 위치한 인젝터 팁 상단부를 50배 확대하여 찍은 사진들이다. 그림에서 나타난 것과 같이 BDF 5%를 사용한 결과 인젝터 팁주위에 형성된 카본은 다른 연구결

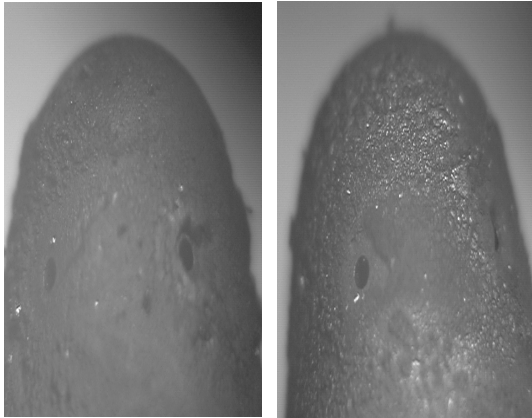


Fig. 8 Photography of injector tip after durability test

과¹³⁾에서와 같은 카본의 고착현상은 없었다. 따라서, 기관 출력 및 배기가스 배출 특성이 BDF 5%로 장시간 운전하여도 경유를 사용한 경우와 유사한 경향을 보인 것은 통상 인젝터 팁 부분에 형성되는 카본의 양이 적어 분무의 미립화에 영향을 미치지 않았기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 조건에서 기관의 부품 특성을 파악하기 위하여 기관을 분해 후 촬영한 실린더와 실린더 헤드 사진을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤을 비롯한 각 밸브들을 조사하여 본 결과 연소상태는 양호하였으며, 연소실내에는 전반적으로 카본의 퇴적현상은 나타나지 않았음을 확인하였다.

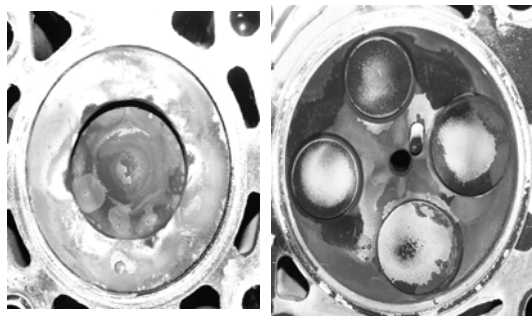


Fig. 9 Photography of cylinder and valves after durability test

4. 결론

디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유를 상용 경유와 혼합하여 상용 커먼레일 방식의 디젤기관에

장시간 적용하였을 경우 기관성능 및 배기가스 배출특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) BDF 5%를 사용하여 장시간 운전한 결과 혼합량이 크지 않음에도 불구하고 상용경유를 사용한 경우 출력은 1% 정도 저하됨을 알 수 있었다.
- 2) BDF 5%를 사용하여 장시간 운전한 결과 발열량이 낮음에도 불구하고 에너지소비율은 경유와 거의 유사하거나 약간 개선되는 경향을 알 수 있었으며, 이는 고부하 및 고회전속도 영역에서 연료내의 산소성분에 의한 연소효율 개선 때문으로 생각된다.
- 3) BDF 5%를 사용한 경우 매연이 경유를 사용한 경우보다 15% 감소하여, 적은 혼합량임에도 매연의 저감은 현저함을 알 수 있으며, 장시간 운전하여도 매연의 저감 경향은 동일하였다.
- 4) BDF 5%를 적용하였을 경우 NO_x의 배출특성은 경유의 경우보다 2% 정도 증가하였으나, CO 및 CO₂는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 감소하였다.

이상에서와 같이 BDF 5%를 상용 커먼레일방식 디젤기관에 적용할 경우 기관 출력 및 에너지소비율에 영향을 미치지 않고 사용할 수 있으며, 매연을 현저하게 저감시킬 수 있는 저공해 대체연료로서 타당함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2004년도 대체에너지 기술개발 및 실용화 평가사업(2004-N-B110-P-01-3-010-2004)의 지원으로 수행되었으며, 관계 제위께 깊이 감사드립니다.

References

- 1) Y. T. Oh and S. H. Choi, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)," Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.15-22, 2002.
- 2) B. C. Choi, C. H. Lee and H. J. Park, "Power and Emission Characteristics of DI Diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel,"

- Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16, 2002.
- 3) K. W. Scholl and S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
 - 4) M. Ziejewski, K. R. Kaufman, A. W. Schwab, and E. H. Pryde, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion," Journal of the American Oil Chemists Society, Vol.61, No.10, pp. 1620-1626, 1984.
 - 5) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE 936523, 1993.
 - 6) D. L. Reece and C. L. Peterson, "A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel," ASAE 935018, 1993.
 - 7) W. F. Marshall, Effects of Methyl Esters of Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L10 Engine, Itt Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research, 1993.
 - 8) Y. T. Oh, "Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes," Journal of Korea Society of Mechanical Engineers, Vol.18, No.2, pp.72-92, 1996.
 - 9) K. H. Ryu, Y. J. Yun and Y. T. Oh, "A Study on the Usability of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," Proceedings of the KSME 2002 Spring Annual Meeting, pp.2025-2030, 2002.
 - 10) K. H. Ryu, Y. J. Yun and Y. T. Oh, "The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel," Spring Conference Proceeding of the KSAE Gwangju-Honam Branch, KSAE, pp. 9-16, 2002.
 - 11) K. H. Ryu, C. Y. KIM and Y. T. Oh, "Durability of IDI Diesel Engine with Biodiesel Fuel," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.426-431, 2002.
 - 12) Y. T. Oh, S. H. Choi, K. S. Kwon and N. H. Kim, "A Study of Characteristics on Blending Rates of Biodiesel Fuel in a Common-Rail Diesel Engine," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.776-781, 2005.
 - 13) 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.
 - 14) S. H. Choi and Y. T. Oh, "Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a DI Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.3, pp.197-203, 2005.