

바이오디젤유를 사용하는 디젤기관에서 연료분사시기 변화에 따른 기관성능 및 배기배출물 특성

유 경 현* · 오 영 택

전북대학교 기계공학과

Effect of Fuel Injection Timing on the Performance and Exhaust Emissions in IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel

Kyunghyun Ryu* · Youngtaig Oh

Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 29 September 2003 / Accepted 11 December 2003)

Abstract : Biodiesel fuel(BDF) which is easily produced from vegetable oils such as soybean oil and rice bran oil can be effectively used as an alternative fuel in diesel engine. However, BDF can affect the performance and emissions in diesel engine because it has different chemical and physical properties from diesel fuel. To investigate the effects of injection timing on the characteristics of performance and emissions with BDF in IDI diesel engine, BDF derived from rice bran oil was considered in this study. The engine was operated at six different injection timings and six loads at a single engine speed of 2000rpm. When the injection timing was retarded, better results were obtained, which may confirm the advantage of BDF. The reduction of NOx and smoke was observed for a 2° retarded injection timing without any sacrifice of BSEC.

Key words : Biodiesel fuel(바이오디젤유), Diesel engine(디젤기관), Fuel injection timing(연료분사시기), Exhaust emissions(배기 배출물), Smoke(매연)

Nomenclature

BSEC : brake specific energy consumption rate

dP/d θ : pressure rise rate

dQ/d θ : heat release rate

1. 서 론

디젤기관은 열효율이 높고 연료소비율이 낮아 중·대형 수송수단의 동력원으로서 주로 사용되고 있다. 1970년대 석유파동으로 에너지의 수급 불안

에 따른 대체연료의 필요성이 대두되면서, 대체연료에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이러한 대체연료의 하나인 바이오디젤유(BDF, 이하 BDF라 칭함)는 경유와 연료 성상이 비슷하고 높은 에너지 밀도를 가지고 있어서 현재의 상용 디젤기관의 구조변경 없이도 사용 가능하다는 것이 입증되어 왔다.¹⁻⁶⁾ BDF는 재생가능하고 지속적으로 생산 가능한 연료로서, 디젤기관에 사용하였을 때 디젤기관의 큰 문제점인 매연을 크게 저감시킬 수 있는 환경 친화적인 연료로서 많이 인식되고 있다.⁷⁻¹⁰⁾ 또한, BDF를 디젤기관에 이용하게 되면 BDF를 사용하는 디젤기관 자동차에서 배출되는 CO₂가 BDF를 생산

*To whom correspondence should be addressed.
khyu87@hotmail.com

하기 위해 재배되는 식물들에 의해 많이 흡수되기 때문에 온실효과를 저감시키는 장점을 가지고 있다.¹¹⁾ 그러나, BDF가 약 10% 정도의 산소를 함유하고 있어 연소 과정에 연소를 촉진하는 작용으로 나타나 매연의 생성을 억제하지만, 활발한 연소에 의한 연소온도 상승으로 NOx 가 증가하는 단점을 가지고 있기도 하다.¹²⁾

이처럼, BDF는 디젤기관의 연료로서 적당한 성질을 가지고 있어서 디젤기관의 대체연료로 사용 가능하나, 현재 상용화되어 있는 디젤기관은 상용디젤연료인 경유의 성상에 맞게 모든 기관의 시스템이 최적화되어 있어 BDF를 적용할 수 있는 최적의 조건이 성립되어 있지 않은 실정이다. 특히, BDF는 연료 자체의 화학·물리적 특성이 경유와 다르기 때문에 연소과정에 다른 영향들을 미칠 수 있다. 이처럼, 연료의 성분이 변화하면 기관 성능 및 배기 배출물 특성이 변화하기 때문에 연료의 성분에 맞는 최적의 조건을 찾는 것은 매우 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 BDF를 사용할 경우 최적의 기관성능 및 배기배출물 특성이 나타나는 기관의 운전 조건을 파악하기 위하여 디젤기관의 분사시기를 변화시켰을 경우 기관성능 및 배기배출물 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접 분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 다이나모메타에 의해 임의로 조정할 수 있도록 되었다. 실험에 사용된 기관에 대한 주요 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Engine model	HD D4BA
Bore × Stroke	91.1 × 95 (mm)
Displacement	2476 (cm ³)
Compression ratio	21
Combustion chamber	Pre-combustion
Injection timing	Variable
Coolant temperature	80±2 °C

Table 2 Properties of test fuel

Item	Diesel fuel	Biodiesel fuel
Gravity(15/4°C)	0.8373	0.8796
Viscosity(50°C, cSt)	3.0	4.2
Lower heating value(MJ/kg)	45.88	39.163
Cetane number	51.4	57.9
Carbon content(wt.%)	85.83	76.22
Hydrogen content(wt.%)	13.82	12.38
Nitrogen content(wt.%)	0.16	0.14
Oxygen content(wt.%)	0	11.24

Table 2는 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸 것으로,¹³⁾ BDF는 경유에 비해 낮은 밀도를 갖고 있지만, 경유보다 세탄가가 높으면서 인화점도 높아 취급하기 용이한 특성을 갖고 있다. 또한, BDF는 경유보다 탄소함량이 약 10%정도 적으며, 경유가 갖고 있지 않은 산소를 약 11% 함유하고 있다.

2.2 실험 방법

실험은 디젤기관에 BDF를 사용할 경우, 분사시기 변화에 따른 기관성능 및 배기ガ스 배출특성을 파악하고 그 원인을 고찰해 보고자 한다. 실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유를 기본으로 하고, 경유에 체적분율로 BDF를 20%, 30%, 50% 혼합한 혼합연료와 순수 BDF 100%로서 기관 회전속도 2000rpm에서 무부하, 25% 부하, 50% 부하, 75% 부하, 90% 부하 및 전부하 상태에서 각각의 특성을 비교·실험하였다. 분사시기는 상사점을 기준으로 2°CA씩 진각하는 방향으로 BTDC 10°CA까지의 범위내에서 실험하였다. 실험조건이 변경될 때마다 냉각수 온도를 80±2°C로 일정하게 유지하였으며, 실험이 끝난 후 연료필터를 교체하고 연료공급라인을 정비하여, 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 기관을 운전한 후 실험을 실시하였다.

BDF가 배기ガ스 배출특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 매연은 배기다기관으로부터 300mm 하류에 설치된 Bosch형 매연측정기(HBN 1500)를 이용하여 측정하였으며, NOx는 전기화학적셀 방식의 배기ガ스분석기(Greenline MK 2)를 이용하여 측정하였다. 또한, 샘플링 중간에 필터를 장착하고 매연 입자를 여과한 후 측정하였으며, 실험조건에 따

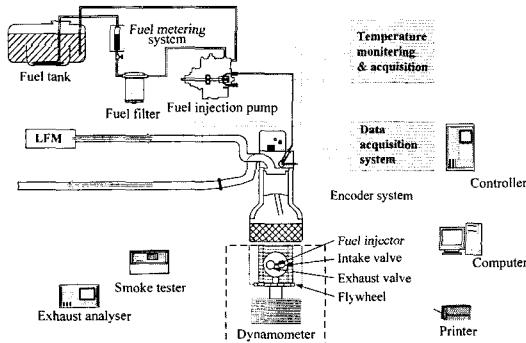


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

라 새로운 필터로 교체하여 샘플링 값의 측정오차를 줄였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 고정된 분사시기에서의 기관성능

Fig. 2는 기관회전속도 2000rpm에서 분사시기를 BTDC 6°CAs로 고정하였을 경우 제동에너지소비율(BSEC)의 특성을 BDF의 혼합량에 따라 나타낸 것이다. BDF를 혼합하여 사용할 경우 모든 부하영역에서 제동에너지소비율이 경유를 사용한 경우보다 감소함을 알 수 있으며, BDF의 혼합량이 증가함에 따라 감소폭도 증가함을 알 수 있다.

Fig. 3과 4는 Fig. 2와 동일한 조건에서의 연소실 압력과 압력상승률, 그리고 실린더내의 온도와 열발생률을 나타낸 것으로, Fig. 3에서 알 수 있듯이 BDF를 사용한 경우 최고 연소압력이 작아짐을 알 수 있으며, 압력상승률과 열발생률에서처럼 BDF의 세탄가가 경유의 경우보다 큼에도 불구하고 착화시키는 비슷하게 나타남을 알 수 있으나, 압력상승률 및 열발생률의 기울기와 초기 피크는 작게 나타났다. 이는 연소실이 예연소실식 간접분사 방식이고 BDF의 에너지밀도가 경유보다 낮기 때문에 나타난 것으로 생각된다. 또한, 연소실내의 온도 분포를 살펴보면 BDF를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 연소초기에는 낮은 온도 분포를 보이지만, 연소후반부에 높게 나타나는 특성을 보이고 있다. 이는 공기 이용률이 부족한 연소후반부에 BDF가 함유한 산소가 연소를 촉진시켰기 때문으로

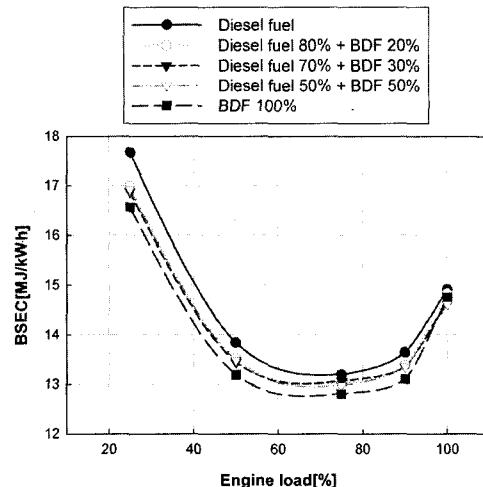


Fig. 2 BSEC versus engine load at a injection timing of BTDC 6°CAs and a speed of 2000rpm

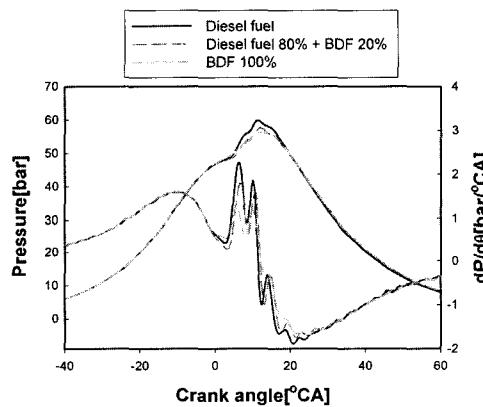


Fig. 3 Pressure and pressure rise rate at a injection timing of BTDC 6°CAs and a speed of 2000rpm

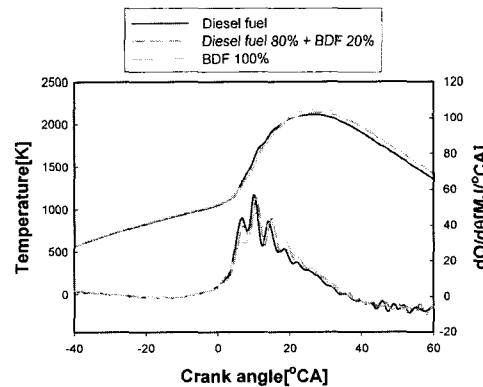


Fig. 4 Temperature and heat release rate at a injection timing of BTDC 6°CAs and a speed of 2000rpm

생각된다.

3.2 분사시기 변화에 따른 기관성능 및 배기배출물 특성

Fig. 5는 경유만을 사용할 경우 2000rpm에서 분사시기가 변화함에 따른 부하별 제동에너지소비율, 매연, 그리고 NOx의 배출 특성을 나타낸 것이다. 전부하조건에서 분사시기를 상사점에서 점진적으로 진각시킴에 따라 제동에너지소비율은 감소하다가 증가하는 특성을 보여 최대 기관성능을 위한 최적의 분사시기가 BTDC 6°C에서 나타남을 알 수 있다. 그러나, 매연과 NOx의 경우에는 분사시기를 진각시킴에 따라 전체적으로 증가하는 특성을 나타내었다.

Fig. 6과 7은 BDF 20%와 BDF 100%를 각각 사용할 경우 2000rpm에서 분사시기변화에 따른 제동에

너지소비율, 매연, 그리고 NOx의 배출 특성을 나타낸 것이다. BDF를 혼합하여 사용하거나 순수 BDF를 사용한 경우가 모든 부하조건에서 경유만의 경우보다 매연과 NOx가 동시에 저감되는 것을 알 수 있었다. 이는 Fig. 3과 Fig. 4에서 살펴본 것처럼 NOx가 주로 생성되는 연소 초기에는 낮은 온도분포를 보이고, 매연이 주로 생성되는 연소후반부에 공기이용율이 좋은 BDF의 영향으로 연소후반부의 온도를 상승시켰기 때문으로 생각된다.

또한, 경유를 사용한 경우와는 다르게, BDF 20%를 사용할 경우 분사시기가 진각됨에 따라 제동에너지소비율은 저부하를 제외하고는 점점 감소함을 보이고 있으며, 매연은 저부하에서는 증가하는 특성을 보이나 고부하에서는 감소하다가 증가하는 특성을 보이고 있다. 그러나, NOx의 경우에는 분사시기의 진각과 함께 점진적으로 증가하는 특성을

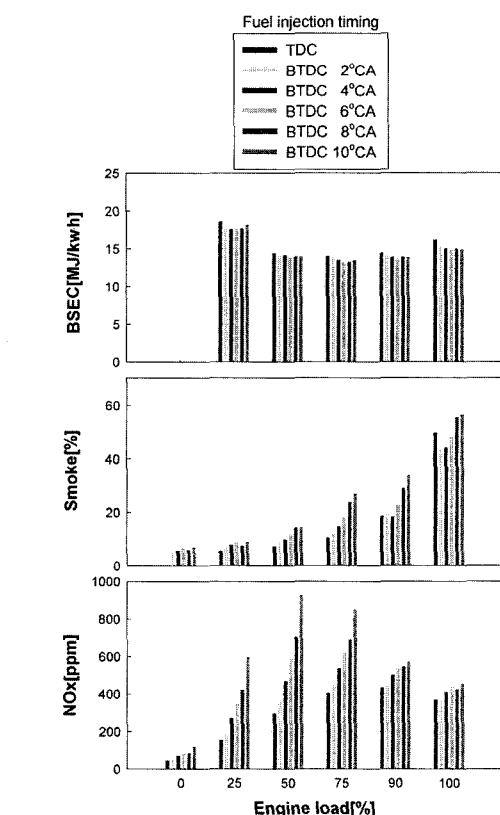


Fig. 5 BSEC, smoke, and NOx with diesel fuel versus engine load at various fuel injection timings and a speed of 2000rpm

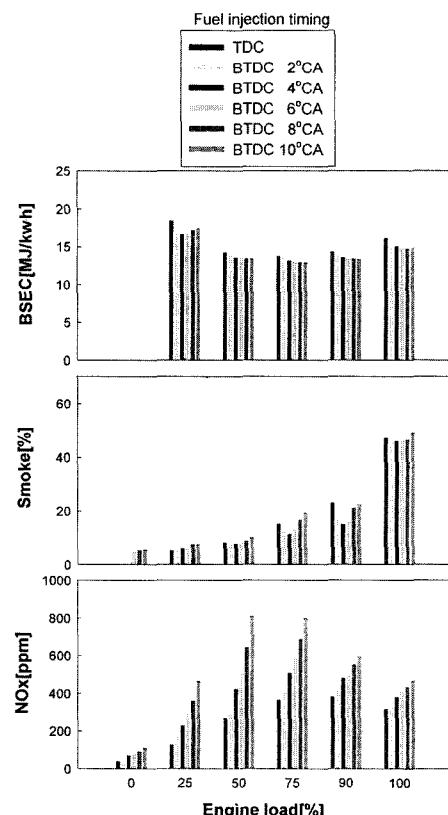


Fig. 6 BSEC, smoke, and NOx with BDF 20% versus engine load at various fuel injection timings and a speed of 2000rpm

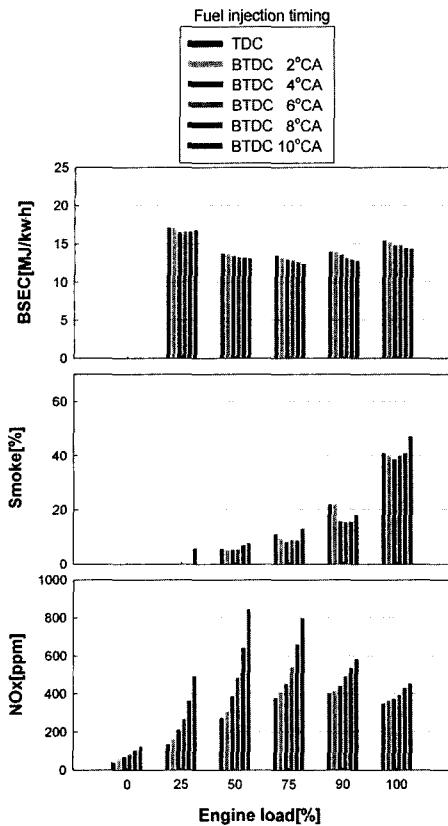


Fig. 7 BSEC, smoke, and NOx with BDF 100% versus engine load at various fuel injection timings and a speed of 2000rpm

나타내었다. BDF 100%의 경우에는 매연은 저부하인 경우 분사시기의 변화에 상관없이 전혀 배출되지 않음을 알 수 있으며, 고부하인 경우에서도 경유나 BDF 20%를 사용한 경우보다 크게 감소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 분사시기를 BTDC 6°CA로 고정하였을 경우 경유, BDF 20%, 그리고 BDF 100%에 대한 제동에너지소비율, 매연, 그리고 NOx의 배출 특성을 나타낸 것이다. 모든 부하조건에 있어서 BDF를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 에너지소비율은 감소하였으며, 매연과 NOx도 동시에 저감되는 것을 알 수 있다. 또한, BDF의 함량이 증가함에 따라 매연과 NOx의 감소율도 증가하였다. 에너지소비율도 약간 감소함을 알 수 있다. 즉, 이것은 디젤기관의 대체연료로 BDF를 사용할 경우 경유의 조건에 맞춰진 기관의 특성들을 전혀 변경하지 않

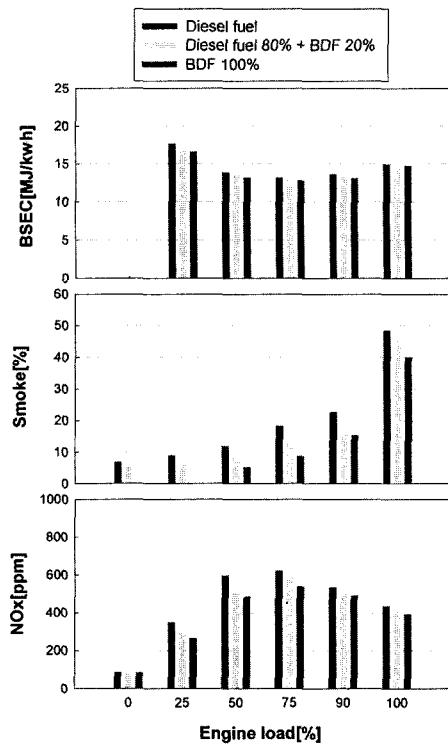


Fig. 8 BSEC, smoke, and NOx versus engine load at a injection timing of BTDC 6°CA and a speed of 2000rpm

고도 경유만을 사용한 경우보다 에너지소비율도 개선되고, 매연과 NOx도 동시에 저감시킬 수 있다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 매연과 NOx의 동시에 저감 폭을 증가시킬 수 있는 방안을 모색하고자 BDF를 사용한 경우 분사시기를 BTDC 4°CA로 고려한 경우의 제동에너지소비율, 매연, 그리고 NOx의 배출 특성을 경유를 사용한 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Fig. 8에서와 같이 모든 부하조건에서 경유만을 사용한 경우보다 제동에너지소비율, 매연, NOx가 모두 감소하는 경향을 나타냈으나, 분사시기가 BTDC 6°CA인 경우와 비교하였을 때 매연은 저부하와 전부하에서 약간 감소하였고, NOx의 경우에는 모든 부하조건에서 더 큰 감소를 나타내었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, BDF를 디젤기관의 연료로 사용할 경우, 현재의 상용 디젤기관의 큰 변경없이도 경유의 경우보다 개선된 성능 및 배기

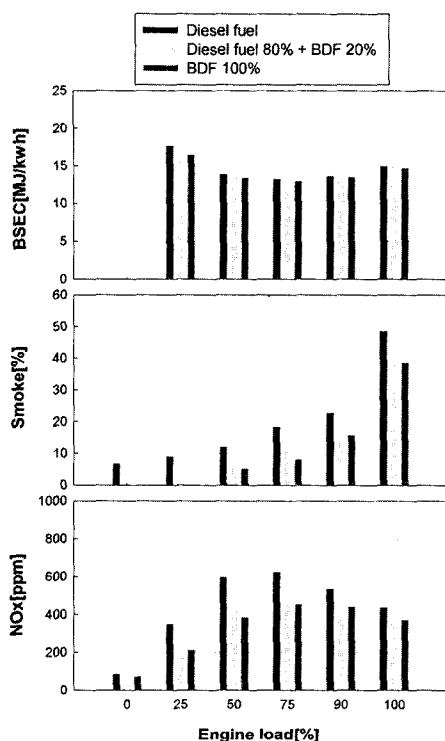


Fig. 9 BSEC, smoke, and NOx versus engine load at optimum fuel injection timings and a speed of 2000rpm

배출물 특성을 나타내면서 사용될 수 있지만, 연료의 분사시기를 경유를 사용하는 경우보다 2°CA 정도 지각시킨다면 더 큰 감소 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

간접분사식 디젤기관에서 BDF를 사용할 경우 분사시기 변화에 따른 기관성능 및 배기 배출물의 특성을 경유만을 사용한 경우와 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) BDF의 에너지소비율은 경유보다 감소함을 알 수 있었다.
- 2) 경유를 사용할 경우 최적의 기관성능을 위한 분사기는 BTDC 6°CA로 나타났으며, 분사시기가 진각됨에 따라 매연과 NOx가 증가하는 특성을 나타내었다.
- 3) BDF를 사용할 경우 분사시기를 경유를 사용한

경우보다 2°CA 지각시켰을 때 더 큰 매연과 NOx의 저감을 이룰 수 있었다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단에서 지원하는 대체에너지 실용화평가사업의 일환으로 수행되었으며, 관계기관에 감사를 드립니다.

References

- 1) K. W. Scholl, S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
- 2) L. G. Schumacher, W. G. Hires, S. C. Borgelt, "Fueling a Diesel Engine with Methylester Soybean Oil", Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceedings of an Alternative Energy Conference, 1992.
- 3) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt, W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE 93-6523, 1993.
- 4) K. H. Ryu, Y. J. Yun, Y. T. Oh, "The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel," Proceeding of the KSAE Gwangju·Honam Branch 2002 Spring Conference, pp.9-16, 2002.
- 5) F. Neto da Silva, A. S. Prata, J. R. Teixeira, "Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilisation in Diesel Bus Engines," Energy Conversion and Management, Vol.44, pp.2857-2878, 2003.
- 6) M. A. Kalam, M. Husnawan, H. H. Masjuki, "Exhaust Emissions and Combustion Evaluation of Coconut Oil-Powered Indirect Injection Diesel Engine," Renewable Energy, Vol.28, pp.2405-2415, 2003.
- 7) Y. F. Lue, Y. Y. Yeh, 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) K. Lang, J. Higgins, P. Nazzaro, S. Howell, G. Johnson, "Biodiesel : On The Road to Fueling

- the Future," National Bioiesel Board, 2001.
- 9) O. M. I. Nwafor, "Emission Characteristics of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester," Renewable Energy, Vol.29, pp.119-129, 2004.
- 10) K. H. Ryu, Y. J. Yun, Y. T. Oh, "The Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," Transactions of the KSAE, Vol.11, No.1, pp.72-78, 2003.
- 11) V. Makareviciene and P. Janulis, "Environmental Effect of Rapeseed Oil Ethyl Ester," Renewable Energy, Vol.28, pp.2395-2403, 2003.
- 12) K. H. Ryu, Y. T. Oh, "A Study on the Usability of Biodiesel Fuel Derived from Rice Bran Oil as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," KSME International Journal, Vol.17, No.2, pp.310-317, 2003.
- 13) Korea Petroleum Quality Inspection Institute, Requested Test Results, No.17(Chonbuk 28450-36), 2002.