

비 정제 팜유에 대한 분무특성의 실험적 연구

최승훈 오영택

An Experimental Study on Spray Characteristics of Crude Palm Oil

S. H. Choi Y. T. Oh

Abstract

The effect of fuel injection characteristics on engine performance has been known for improving fuel economy and emission reduction. In this study, the spray characteristics of crude palm oil blended fuel with conventional diesel fuel was investigated. The experiments were performed to evaluate the effect of crude palm oil blending ratio and injection pressure on the spray behavior. The droplet size of injected fuel was analyzed through laser diffraction particle analyzer (LDPA). Also, spray atomization characteristics were investigated in terms of Sauter mean diameter (SMD) and droplet distribution at various injection conditions. Fuel containing crude palm oil has different spray pattern on account of the high viscosity. Through those experimental results, we found that the increase of blending ratio made droplet size larger, SMD of biodiesel 100% was increased 30.2% than that of diesel fuel 100% under injection pressure of 60 MPa.

Keywords : Crude palm oil, SMD (Sauter mean diameter), LDPA (Laser diffraction particle analyzer)

1. 서론

석유에너지 매장량의 한계와 자동차의 배기 배출물로 인한 환경오염과 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 억제하기 위한 기후협약 등으로 인하여 대체에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 유럽을 중심으로 이산화탄소를 감소시키기 위한 협약이 진행되고 있고, 한국 또한 2012년 이후 이산화탄소 의무감축국가에 포함이 예정되어 있어 대체에너지 개발의 중요성이 대두되고 있다. 그 중에서도 기존 디젤기관의 구조 변경없이 사용 가능한 바이오디젤유의 연구가 활발히 진행되고 있으며(Choi et al., 2002; Choi and Oh, 2007a), 유럽은 바이오디젤유와 경유의 혼합유 보급률을 2010년까지 12%까지 확대보급 하는 것을 추진 중에 있다(Choi et al., 2009).

바이오디젤유는 연료자체에 산소를 함유하고 있어 기관 내에서 연소를 개선하여 장시간 실험을 하였을 때 기관에 악영

향을 미치지 않고, 매연과 이산화탄소를 저감시키는 효과를 가지고 있다(Choi and Oh, 2008; Kim et al., 2008). 그러나 바이오디젤유는 경유에 비하여 점성계수가 높기 때문에 기관 내에서 저온유동성문제와 분무성능이 저하되는 문제점이 있다(Choi and Oh, 2007b). 고점성의 바이오 디젤유를 적용할 경우 미립화 정도의 차이와 분무선단도달거리 등 연료 물성치에 의한 분무형태의 차이로 인해 연소특성이 분사조건에 따라 다르게 나타나는 것으로 판단된다(Lee et al., 2008).

특히, 본 연구에서 시도하고자 하는 비 정제 팜유는 에스테르화 방법에 의해 생산된 바이오디젤유와는 달리 촉매과정속에서 발생하는 글리세린을 처리하기 위한 비용과 생산단가의 20%를 차지하는 메탄올을 사용하지 않으므로 보다 높은 가격경쟁력과 에스테르화 과정에서 손실되는 자체의 에너지를 기관에 연료로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 상용 경유와 비 정제 팜유(crude palm oil, 이하 CPO)의 혼합율에 따른 분무거동을 분사압력

The article was submitted for publication on 2010-03-11, reviewed on 2010-04-09, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-05-03. The authors are Seung Hun Choi, KSAM member, Professor, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, and Young Taig Oh, Professor, Research Center of Industrial Technology, Chonbuk National University, Dept. of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea. Corresponding author: Y. T. Oh, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 664-14, Korea; Fax: +82-63-270-2315; E-mail: <ohyt@chonbuk.ac.kr>.

의 변화에 따라 LDPA(laser diffraction particle size analyzer, Sympatec, Germany)를 이용하여 비교 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치 및 연료

본 실험에 적용한 연료는 비교기준 연료로서 경유를 사용하였으며, CPO연료는 팜유로부터 추출한 후 90만 볼트의 고전압을 인가한 후에 급속 냉동시키는 방법을 반복함으로써 제조하였다. 그 구체적인 방법은 현재 특허에 출원하였으며 등록 중에 있다. 특히 CPO 생산시 메탄올 사용이 생략되었으며 일반 바이오디젤 생산시 필연적으로 생성되는 글리세린이 배출되지 않아 연료의 순발열량에도 효과적이며, CPO 연료와 경유의 물리적 특성을 표 1에 나타내었다.

CPO의 분무거동을 분석하기 위해 분무시스템을 그림 1과 같이 구성하여 본 연구를 수행하였으며, 실험장치는 인젝터와 인젝터 구동부, 연료공급장치, 분무 입경 측정장치로 구성되었다. 연료공급은 연료탱크에서 연료필터를 통과하여 압축기에 의해 공급되는 공기압력을 이용하여 150:1의 면적비로 가압하는 고압연료펌프(Haskel pump, Korea)에서 분사노즐에 공급하도록 하였다. 분사제어를 위해 인젝터 구동드라이브로서 TDA-3100A(TEMS, Korea)를 적용하였다. 분사된 연료의 분무특성을 분석하기 위해 Sympatec(German)사에서 제작된 KF-Vario모델의 LDPA를 이용하여 분무거동을 파악하였으며, 광원은 632.8 nm의 He-Ne 레이저를 사용하였고

광원부와 수광부로 구성되어있다. LDPA의 원리는 분무 입자에 의해 산란된 빛과 산란되지 않은 빛이 수광부에 입사되고 푸리에 변환렌즈에 의해 산란된 빛이 입자 크기에 따른 회절 각 변화에 따라 31개의 채널에 감지되어 채널별로 수광되는 빛의 강도에 의해 각각의 채널에 해당되는 분무 입경의 체적분율을 측정 및 분석하여 제시된다.

나. 실험방법

본 실험에 사용된 연료인 경유와 CPO의 분무거동을 비교하기 위해 CPO 혼합율을 체적비로 변화하여 경유(diesel), 경유 80%+CPO 20%(CPO 20), 경유 50%+CPO 50%(CPO 50) 및 CPO 100%(CPO 100)로 변화시킨 혼합연료를 실험에 사용하였다. 연료 분사는 상온(20℃)에서 분무압력을 30 MPa부터 60 MPa까지 10 MPa 단위로 변화시켜가며 측정하였으며, 분사제어는 TDA 3100 구동회로를 이용하여 분사 시간을 4 ms로 설정하였다. 분무 입경 측정은 분사 시스템의 특성상 분무입자 공간 밀도가 높아서 광산란 농도가 너무 높게 나타나기 때문에 중복산란측정(multi-scattering)을 방지하기 위해 분무 초기에 LDPA 장비의 광산란 농도 5% 기준으로 1회의 측정결과를 30회 평균 처리하여 분석하였다.

측정된 결과는 체적누적 질량이 10%, 50%, 90%의 대표입경과 SMD(Sauter mean diameter)이며 분무 입경의 분산도는 상대적 분포구간지수인 Span factor를 계산하여 제시하였다. SMD는 분사된 연료가 주위 기체와 표면을 통해 화학반응을 얼마나 잘 일으키는 정도를 나타내는 액적 입경의 척도이다. 식 (1)에 나타난 액적 상대적 분포구간 지수(Relative Span factor)는 분무의 체적 누적분포를 사용하여 나타내는 LDPA 측정에 가장 적합한 척도이다.

Table 1 Properties of test fuels

Items	CPO	diesel
Calorific value [MJ/kg]	34.81	43.96
Kinematic viscosity (40℃) [cm ² /s]	0.809	0.261
Specific Gravity (15℃) [g/cm ³]	0.90	0.83
Hydrogen content [wt%]	12.40	13.82
Oxygen content [wt%]	11.60	-

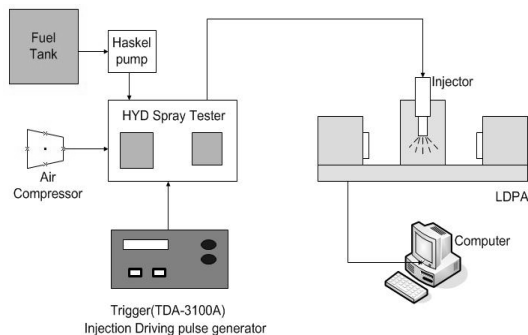


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

$$Span\ factor = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (1)$$

where, D_{10} = Droplet diameter at volume accumulative mass 10%

D_{50} = Droplet diameter at volume accumulative mass 50%

D_{90} = Droplet diameter at volume accumulative mass 90%

3. 결과 및 고찰

그림 2는 CPO의 혼합율에 따른 동점도 특성을 점도계를 사용하여 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 경유에 대한 CPO의 혼합율이 증가함에 따라 점도가 증가되었으나, 80℃이상의 온도에서는 그 차이가 크게 저감

됨을 알 수 있으며, CPO 20의 경우는 연료가 연소실내에 분사되기 직전인 100℃ 정도에서 경유와 거의 유사하였다.

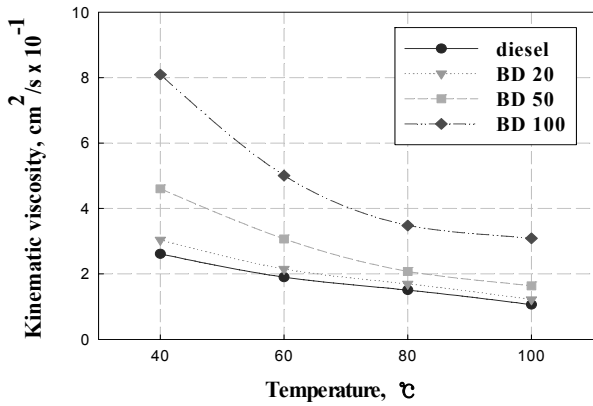


Fig. 2 Kinematic viscosity of CPO.

가. CPO의 혼합율에 따른 입경분포

그림 3, 4, 5 및 6은 각각의 분사압력을 달리하였을 때 CPO의 혼합율에 따른 체적누적분포(Q3)와 체적빈도분포(q3)를 나타내고 있다. CPO의 혼합율이 증가함에 따라 누적 체적분포가 큰 액적방향으로 이동하였고, 일정한 혼합율에서 분사압력이 증가할 경우 누적체적분포가 작은 액적으로 이동하였다. 이는 혼합율이 증가하면서 점도와 표면장력의 증가를 야기시켜 액적의 미립화를 방해하여 액적의 입경이 커진 것이다.

그리고 분사압력이 증가함에 따라 체적빈도분포는 모든 압력에서 9~11 μm의 액적 입경과 20~25 μm의 액적 입경에서 입경빈도 분포 곡선에서 발생빈도가 높은 입경을 나타내는 피크(peak)를 보이고 있으며, 그 중에서 9~11 μm의 액적 입경의 발생빈도가 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 체적빈도분포는 분사압력의 증가에 따라 작은 액적피크의 빈도가 증가

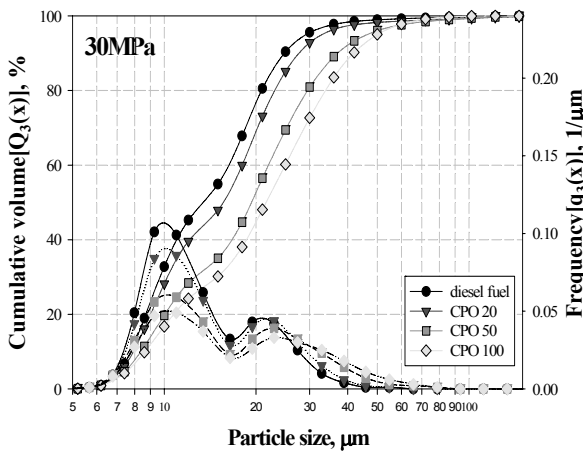


Fig. 3 Droplet size distribution at various blending ratio (Injection pressure:30 MPa).

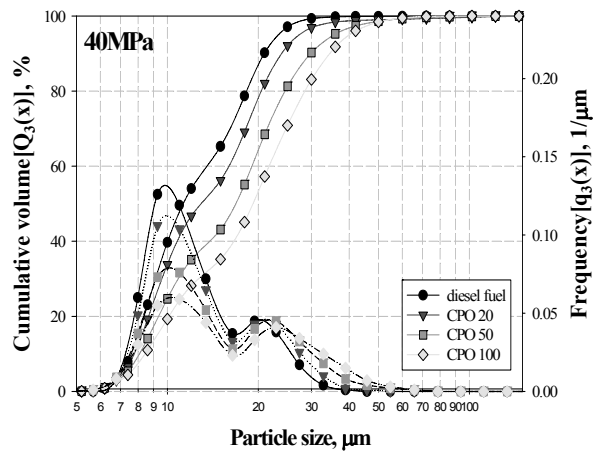


Fig. 4 Droplet size distribution at various blending ratio (Injection pressure:40 MPa).

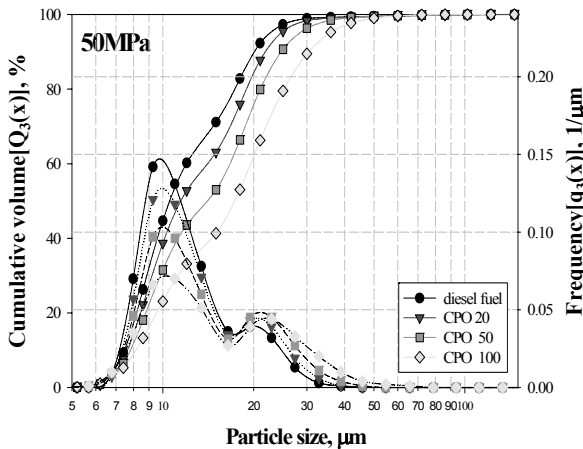


Fig. 5 Droplet size distribution at various blending ratio (Injection pressure:50 MPa).

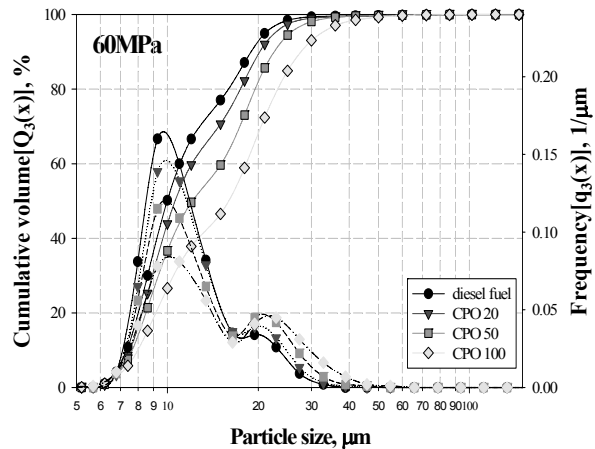


Fig. 6 Droplet size distribution at various blending ratio (Injection pressure:60 MPa).

하는 것을 확인할 수 있으며, 30 MPa에서 CPO 20의 경우 경유와 근접한 체적빈도분포를 보이는 반면 CPO 50과 CPO 100의 체적빈도분포는 경유의 작은 액적피크 보다 각각 9.3%와 23.5% 감소하였다. 이는 점도의 영향으로 발생빈도가 높은 액적의 입경의 수가 감소하고 큰 입경의 수가 증가하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 경유의 미립화가 CPO에 비해 잘 이루어지는 것은 그림 2의 동점도와 관련이 있다고 사료된다. 즉, 비정제 팜유의 높은 점도가 미립화를 방해하고, 인젝터 내 유동속도 저하로 동일한 분사 압력에서 분사유량이 감소하는 결과이다.

그림 7은 CPO의 혼합율에 따른 누적체적이 50%인 질량중심입경(mass median diameter, MMD)를 나타낸 것이다. 그림 3~6에서 언급된 CPO의 혼합율의 증가에 따라 큰 액적의 빈도가 증가하고 작은 액적의 빈도가 감소한 영향으로 CPO 혼합율이 증가함에 따라 질량중심 입경이 증가한 것을 확인하였다. 그리고 CPO 20의 경우 60 MPa에서 경유와 비슷한 입경을 보였으며, CPO 50은 분사압력이 증가함에 따라 질량중심 입경이 크게 감소하는 것을 확인하였다.

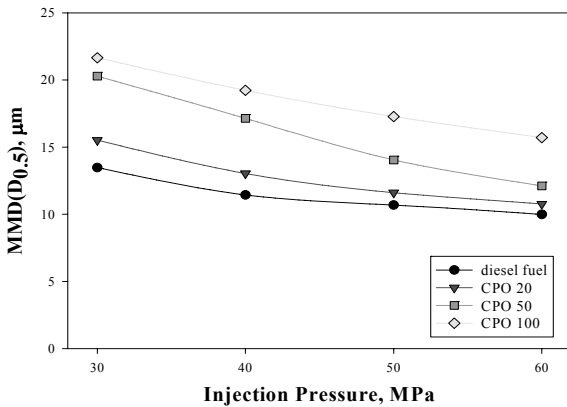


Fig. 7 Variation of MMD with blending ratio of CPO.

그림 8은 CPO의 혼합율의 변화에 따른 누적체적이 90%인 입경을 나타낸 것으로 그림 7과같이 CPO 20은 경유와 비슷한 입경을 나타냈으며, CPO 50은 30 MPa과 비교하였을 때 60 MPa에서 입경이 43% 감소되었고, 높은 분사압력으로 인해 미립화가 촉진된 것으로 판단된다. CPO 20은 연료의 점도를 감소시켜주는 연료첨가제를 혼합할 경우 경유의 분무특성과 유사한 입경분포특성을 나타낼 것으로 판단된다.

그림 9는 CPO 혼합율에 따른 액적의 상대적 분포구간 지수(Span factor)를 나타낸 것으로 Span factor의 값이 작을수록 액적크기 분포가 상대적으로 평균입경과 편차가 작고 좁은 입경범위에서 분포하는 것을 의미한다. 높은 혼합율로 혼합된 연료의 span factor가 높게 나타났으며, 분사압력이 증

가함에 따라 Span factor가 경유 값과 비슷해지는 것을 볼 수 있다. 이는 경유의 액적의 분포가 평균값을 갖는 액적에 근접하여 분포되었고, 혼합율이 증가할수록 미립화가 잘 되지 않아 액적의 크기가 상대적으로 범위가 넓고, 평균크기와 편차가 크게 분포되는 것으로 판단된다.

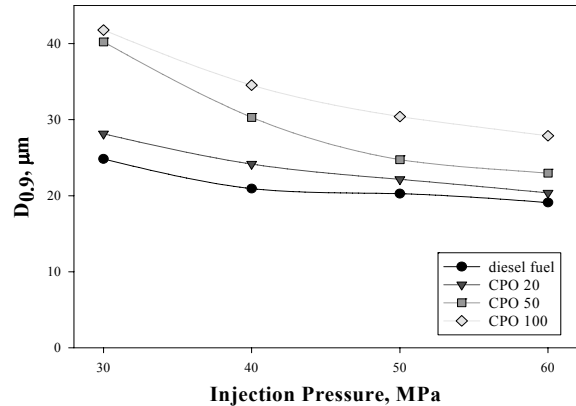


Fig. 8 Variation of D90 with blending ratio of CPO.

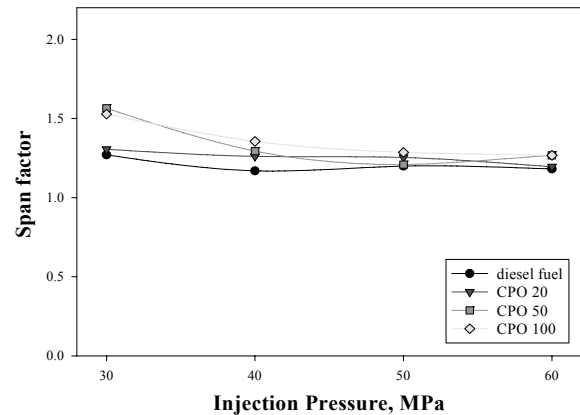


Fig. 9 Variation of Span factor with blending ratio of CPO.

나. CPO 혼합율에 따른 SMD

그림 10은 CPO의 혼합율과 분사압력에 따른 전체 액적의 SMD를 나타내고 있다. 분사압력이 증가함에 따라 모든 혼합율의 SMD가 감소하는 것을 확인하였으며, 이는 고압으로 갈수록 미립화가 촉진되어 작은 액적들의 빈도가 증가한 영향으로 보인다. 그리고 60MPa에서 CPO 50과 CPO 100의 SMD는 점도의 영향으로 경유보다 각각 14.3%, 30.2% 증가한 것을 확인하였다. 연료액적의 분열과 미립화는 점도와 표면장력에 큰 영향을 받는데 상대적으로 높은 CPO의 점도가 연료의 미립화에 영향을 주어 SMD가 커진 것이다. 또한 CPO의 경우에는 일반경유보다 노즐내부에서의 높은 마찰력으로 인해 분사속도가 상대적으로 낮고, 이로 인해 일반경유

가 상대적으로 빠른 속도로 인한 미립화 촉진으로 SMD가 작은 것으로 판단된다.

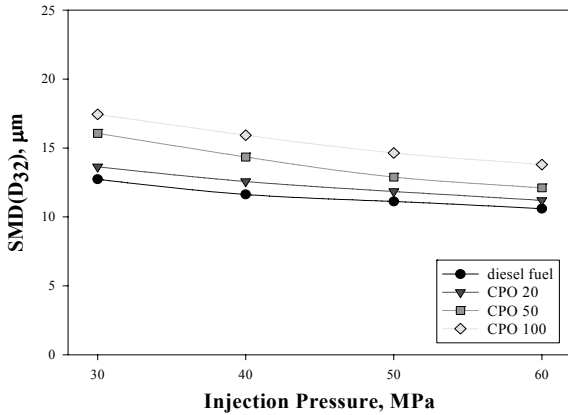


Fig. 10 Variation of SMD with blending ratio of CPO.

4. 요약 및 결론

비정제 팜유의 분무거동을 파악하기 위하여 일반경유를 기본연료로 하여 비정제 팜유 혼합율과 분무압력을 변화시키면서 분무실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) CPO 혼합율이 증가함에 따라 체적빈도분포의 작은 액적 피크가 감소하는 것을 확인하였고, 분무압력이 증가할 때 체적빈도 분포 피크가 증가하는 것을 확인하였다. 즉, 30 MPa에서 CPO 20의 경우 경유와 근접한 체적빈도분포를 보이는 반면 CPO 50과 CPO 100의 체적빈도분포는 경유의 작은 액적피크 보다 각각 9.3%와 23.5% 감소하였다. 이는 점도의 영향으로 발생빈도가 높은 액적의 입경의 수가 감소하고 큰 입경의 수가 증가한 것으로 판단된다. 그리고 혼합율 증가로 인하여 체적누적분포가 큰 액적 방향으로 이동한 것을 확인하였다.
- (2) CPO의 혼합율이 증가할수록 SMD와 MMD, span factor의 수치가 증가하였으며, 이는 CPO의 높은 점도가 미립화를 방해한 것으로 생각된다. 특히, SMD의 경우 60 MPa에서 CPO 50과 CPO 100의 SMD는 점도의 영향으로 경유보다 각각 14.3%, 30.2% 증가한 것을 확인하였다. CPO 20의 경우 SMD와 MMD 그리고 체적빈도분포에서 전체적으로 경유와 유사한 수치를 보였으며, CPO 20에 점도를 낮춰주는 연료첨가제

를 첨가할 경우 액적의 크기와 빈도분포가 경유와 더욱 유사해져 디젤기관 자체의 변경을 고려하기 않아도 경유의 대체연료로서 사용이 가능할 것이다.

- (3) 분사압력이 30 MPa에서 60 MPa로 증가함에 따라 노즐 출구에서 연료의 운동에너지가 증가하여 미립화가 촉진된 영향으로 SMD와 MMD가 감소하였다.

사 사

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No. 2010-0015917), 관계제위께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Choi, B. C., C. H. Lee and H. J. Park. 2002. Power and emission characteristics of DI diesel engine with a soybean bio-diesel fuel. Journal of the Korea Society for Power System Engineering 6(3):11-16.
2. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2007a. A study on the characteristics for durability with biodiesel fuel (BDF 5%) in a common rail diesel engine. Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 15(2):22-27.
3. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2007b. A study on characteristics for emission characteristics and durability with biodiesel fuel(20%) in a commercial common rail type diesel engine. Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 15(4): 61-66.
4. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2008. The characteristics of exhaust emission by durability test with biodiesel fuel (20%) in a commercial CRDI diesel engine. Journal of Biosystems Engineering 33(6):379-383.
5. Choi, S. H., Y. T. Oh and J. W. Byeon. 2009. The emission characteristics on blending ratios of biodiesel fuel and diesel fuel in a common rail type diesel engine. Journal of Biosystems Engineering 34(2):77-81.
6. Kim, Y. J., Y. K. Kang, K. C. Kang and Y. S. Ryou. 2008. Facilities for bio-production and environmental engineering ; fuel qualities of different biodiesels in the Gun Type Burner. Journal of Biosystems Engineering 33(2):124-129.
7. Lee, S. W., J. S. Lee and Y. J. Park. 2008. An experimental study on combustion characteristics when applied Bio-Diesel fuel at low temperature. Journal of ILASS-KOREA 13(4): 206-211.