

## 바이오 디젤 혼합비에 따른 커먼레일 인젝터의 분사 및 내구특성에 관한 실험 연구

임석연\* · 김태범\*\* · 유상석†

### An Experimental Study on Injection and Durability Characteristics of Common-rail Injector According to mixture Ratio of Bio-diesel

Seokyeon Im, Taebum Kim and Sangseok Yu

**Key Words:** Bio-diesel(바이오 디젤), Common-rail diesel engine(커먼레일 디젤엔진), Injection quantity(분사량), Common-rail injector(커먼레일 인젝터)

#### Abstract

An object of this study is to understand the correlation of injection characteristics and injector dimensions according to biodiesel mixture. The Injection characteristics of different types of common-rail injectors are the number of nozzle holes (5~8), jet cone angle (146°~153°), hydraulic flow rate (830~900 ml/min) injection quantity and response time. Prior to characteristic experiment, the reference injector has been selected in 6 candidates injectors under the investigation of injected quantity according to the biodiesel mixture so that injector type can be determined. The injector is used for the characteristic experiment which varied the various operating conditions including pressure 23 MPa, 80 MPa, 160 MPa, changing in injection duration 0.16 ms~1.2 ms and even mixture ratio. The result shows that the nozzle hole number and cone angle influence the injection quantity much more than nozzle hole diameter at low injection pressure and the nozzle hole diameter at high injection pressure, post injection duration.

#### 1. 서 론

자동차 배출가스 규제의 강화 및 자원 고갈문제로 인하여 합산소 연료인 바이오 디젤은 디젤연료의 대체에너지원으로 주목받고 있다. 동식물성 유지를 에스테르화하여 생성되는 바이오 디젤유는 재생특성을 갖는 바이오매스로부터 생산되므로 에너지 자원의 고갈 문제가 없으며 연료 사용에 의해 배출된 CO<sub>2</sub>는 유지 작물을 생산하는 과정에서 회수되므로 CO<sub>2</sub>의 순 배출량이 적다.

바이오 디젤유 20% 혼합 경유 사용 시 CO<sub>2</sub> 배출량이 534 g/liter로 경유에 비해 약 16% 정도 감소하는 것으로 보고되고 있다<sup>(1)</sup>.

바이오 디젤은 점도가 높아 분사된 연료의 미립화에 불리하지만 높은 세탄가 때문에 착화지연기간(ignition delay)이 짧은 장점을 가지며, 연료에 포함된 약 11%의 산소 때문에 연소가 촉진되어 실린더 헤드, 피스톤, 인젝터 팁 주변에 생성되는 카본이 일반 디젤유보다 크게 감소하는 것으로 알려져 있다<sup>(2)</sup>.

Goering 등<sup>(3)</sup>은 식물성 연료 11개에 대한 연소실험에서 디젤연료로의 가능성을 입증하였고, Ramadhas 등<sup>(4)</sup>은 디젤 엔진에 바이오 디젤유를 적용 후 연소실험을 수행하여 대체연료로서의 가능성을 확인하였다. Suh 등<sup>(5,6)</sup>은 인젝터 통전기간에 따른 바이오 디젤연료의 SMD (sauter mean diameter) 특성을 실험적으로 분석하여, 바

(2011년 2월 16일 접수 ~ 2011년 3월 7일 심사완료, 2011년 3월 15일 게재확정)

\*충남대학교 기계금속공학 교육과

\*\*충남대학교 대학원

†책임저자, 회원, 충남대학교 기계공학과

E-mail : sangseok@cnu.ac.kr

TEL : (042)821-5646 FAX : (042)822-5642

이오 디젤연료는 높은 점도로 인하여 기존 디젤에 비해 분무속도가 낮고, 분무입경은 커지는 분무특성을 확인하였다. 또한, Henein 등<sup>(7)</sup>은 착화지연기간의 단축을 위해 주 분사 전 소량의 연료를 분사하는 파일럿(pilot) 분사 특성을 연구하기 위해 분사율 실험 장치와 단기통 디젤 실험엔진을 이용하여 인젝터의 니들 리프트(needle lift), 커먼레일 연료 압력, 분사율 등에 관한 연구를 수행하였다. 이처럼 바이오 디젤에 대한 많은 연구들이 진행되고 있으나, 분무특성 및 연소특성에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

현재 바이오 디젤은 상용 디젤엔진에 적용 가능성이 확인되고 있어 전 세계적으로 혼합율 10% 이하로 사용되고 있으며, 단계적으로 혼합율을 증가시켜 나가는 추세이다. 그러나 이러한 바이오 디젤의 혼합율 증가에 있어서는 혼합 디젤유의 물성 변화에 따른 문제점이 발생한다. 바이오 디젤은 상용 디젤보다 점도가 높기 때문에 기존의 상용 인젝터를 사용하면 혼합율을 높게 되면 인젝터의 분무 특성이 영향을 받아 연료 분사량이 작아지며 인젝터 분사 응답 특성이 변화하게 되어 기존 연료 공급시스템에 적용 시 분사시스템의 내구특성이 다르게 나타날 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 바이오 디젤 혼합비에 따른 인

젝터 분사 및 내구 특성을 검토하기 위해 분사특성이 다른 6종의 상용 인젝터를 선정 후 실험을 수행하였다. 실험은 크게 기준 조건 선정 실험과 특성 실험으로 나뉘며, 기준 조건 선정에서는 바이오 디젤 20% 혼합유(이하 'BD20'이라 한다.)를 적용하여 6종의 인젝터 분사량을 측정해 기준 인젝터를 선정하였으며, 선정된 인젝터를 이용해 바이오 디젤 혼합비에 따른 분사량, 응답 시간, 백리크 유량 및 온도 등을 측정하여 인젝터의 분무 및 내구특성을 파악하고, 인젝터의 분공수, 직경 및 분사각과의 상관관계를 검토하여 인젝터의 분사 및 내구 특성을 파악하도록 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

바이오 디젤 혼합비에 따른 커먼레일형 고압 디젤 인젝터의 분사량, 백리크 유량 및 온도, 응답시간을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 커먼레일 시스템과 연료압력 및 연료분사 제어장치가 설치되어 있는 테스트 벤치(AVM-PC, Hartridge 社)가 사용되었으며, 응답시간은 별도의 피에조 센서(piezo sensor)를 설치하여 측정하였다. 실험 장치는 고압연료 공급시스템 부, 펄스 발생기

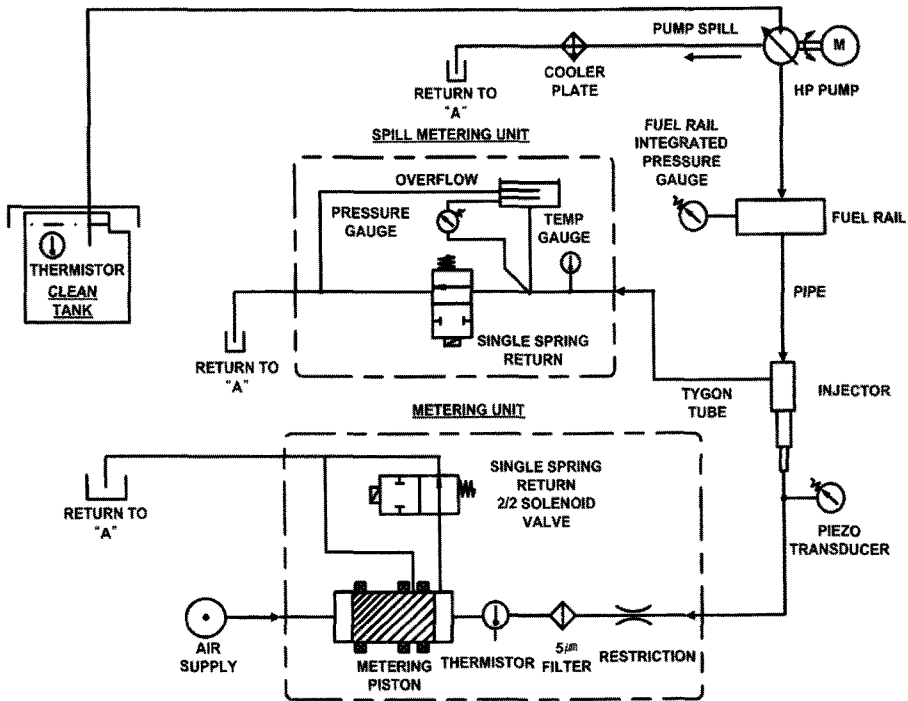


Fig. 1 Schematic diagram of hydraulic circuit of experimental system

Table 1. Specifications of measurement equipment

Items	Specifications
Power	15KW(20HP)
Max torque	150 Nm
Speed range	30 to 4000 rpm
Speed control	Full closed loop control by digital input
Acceleration rate	Selectable up to 400 rpm/second
Metering capacity	0-500 mm <sup>3</sup> /stroke
Software	Ocres 2000 (developed DDS contractor)

부, 데이터 취득 및 제어시스템 부, 압력 센서 및 고압 파이프 등으로 구성되며, Table 1에 상세한 재원을 나타내었다.

커먼레일 분사시스템에 의해 고압 연료는 압력 센서와 측정파이프로 이루어진 시스템으로 공급되며, 이 때 고압 인젝터는 구동 회로 신호에 따른 분사와 압력 및 분사량 측정에 필요한 각종 데이터가 취득되어 처리시스템에서 분석된다. 각종 데이터는 OCRES 2000(developed DDS contractor) 소프트웨어를 통해 취득하였다.

백리크(backleak)량 및 온도는 별도의 장치(HK 901, Hartridge 社)를 이용하여 인젝터의 백리크 회로에서 발생된 상승 압력을 압력 센서로 측정하여 백리크량을 파악하였고, 온도센서를 이용하여 백리크의 온도를 측정하였다.

인젝터의 응답시간을 파악하기 위해서는 피에조 스택을 분사된 부분에 설치하여 분사된 액적의 진동파를 피에조 센서(piezo sensor)를 이용하여 측정하였다.

실험에 사용된 연료는 대두유(soybean oil)로부터 제조된 바이오 디젤유로서 바이오디젤과 상용 디젤과의 혼합비를 0%, 10%, 20%, 100%(이하 '디젤', 'BD10', 'BD20' 및 'BD100'으로 한다.)로 하여 사용하였으며, 각각의 동점도와 표면장력은 Table 2에 나타내었다.

본 연구에 사용된 인젝터는 delphi社의 Euro-IV 대응 상용 솔레노이드 구동식 Mini-sac 타입으로 분사공수가 5~8개, 분사각도(jet cone angle)는 146~153°, 연료유량은 830~900 ml/min의 특성을 가진 서로 다른 6종의 상용 인젝터가 사용되었으며, 상세한 재원은 Table 3에 나타내었다.

인젝터의 유량(hydraulic flow rate)은 커먼레일 인젝터의 솔레노이드 구동부를 제거하고 노즐부분에 1분 동

Table 2. Kinematic viscosity and surface tension of test fuels

Test fuels	Kinematic viscosity (40°C, cSt)	Surface tension (N/s)
Diesel	2.860	0.02552
BD10	2.933	0.02635
BD20	3.018	0.02769
BD100	4.066	0.03113

Table 3. Specifications of experimental injectors

Injector number	Hole No.	Jet cone angle(deg.)	Hydraulic flow rate (ml/min)
1	7	153	830
2	5	146	840
3	6	148	880
4	7	148	880
5	6	150	890
6	8	153	900

Table 4. Experimental conditions

Injector type	Solenoid-driven type
Injection pressure (MPa)	23, 80, 160
Injection duration (ms)	0.16 to 1.2
Input current of solenoid-driven injector (A)	20, 7
Fuel supply temperature	40°C
Fuel type	Diesel, BD10, BD20, BD100

안 흐른 유량으로 하였으며, 실험조건은 Table 4와 같이 바이오 디젤 혼합비에 따라 분사압력을 23 MPa, 80 MPa, 160 MPa로 하고, 분사시간은 0.160 ms~1.2 ms 까지 단계적으로 하였다. 연료의 온도를 일정하게 유지하기 위해 장치내에는 열교환기가 장착되었으며, 실험의 정확도를 높이기 위해서 각각의 실험은 5회 반복 실험하였다.

### 3. 결과 및 고찰

바이오 디젤 연료는 합산소 연료로서 연소시 여러 개 선효과를 기대할 수 있지만, 상용 디젤연료에 비해 점도

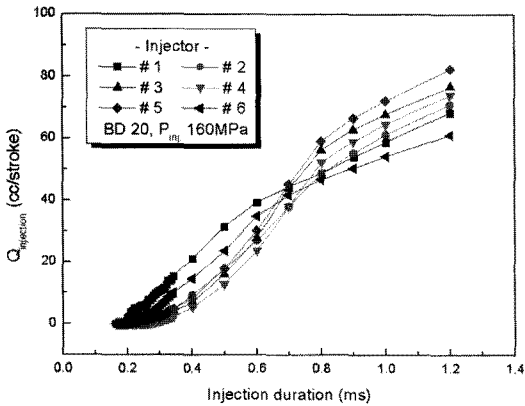


Fig. 2 Comparison of injection quantity according to injector type

가 높아 연료의 분사시 미립화가 잘되지 않는 특성이 있다. 그러므로 상용 디젤기관에 바이오 디젤 혼합유를 적용할 경우 연료분사장치의 개선과 함께 분사특성의 최적화가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 각기 다른 분무특성을 지닌 6종의 상용 커먼레일형 인젝터를 사용하여 BD20의 분무 특성을 확인하여 분사특성이 우수한 인젝터를 선정하여 바이오 디젤유 적용에 따른 분사 응답성 및 내구특성을 확인하도록 하였다.

Fig. 2는 BD20을 사용하여 연료 분사압력 160 MPa의 경우 분사시간에 따른 각각의 인젝터 분사량을 비교한 것이다. 분사시간 0.6 ms에서 #1, #2 인젝터는 분사율이 감소하였으나, #5 인젝터는 분사율의 급격한 증가를 보이고 있다. 이는 노즐의 홀수, 직경 및 분사각의 변화에 의한 것으로 볼 수 있으며, 초기 분사특성은 노즐의 직경이 클수록 후기 분사특성은 노즐의 홀수가 많을수록 우수함을 확인할 수 있었다. 또한, 분사각이 클수록 분사율 특성은 우수함을 볼 수 있었으며, 상기 결과를 토대로 초기 분사시간에서는 #1 인젝터, 후기 분사시간에서는 #5 인젝터가 분사율이 우수함을 확인할 수 있었다. 일반적으로 인젝터의 최소 분사율은 상용 디젤엔진의 noise 및 emission 에 유리하게 작용한다. 따라서 실험결과로 볼 때 초기 분사율이 크고, 0.8 ms 이후 분사량이 가장 작은 #1 인젝터가 BD20 적용시 분사량 측면에서 볼때 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

상용 디젤기관의 실제 작동조건은 전부하 조건이 아닌 부분부하 조건하에서 주로 형성되기 때문에 연료 분사압력이 다양한 변화가 발생하게 된다. 또한, BD의 함유량에 따라 연료의 유동에 영향을 주는 점도특성이 변

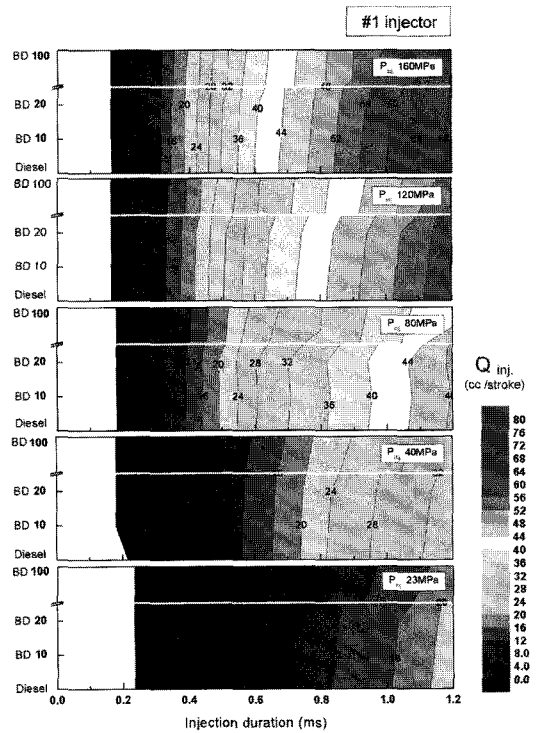


Fig. 3 Comparison of injection quantity according to injection pressure and Biodiesel mixture ratio using #1 injector

하게 된다. 따라서 분사압력의 변화에 따라 분사량 특성을 확인하기 위해 초기 분사시간에서 분사량 특성이 우수한 #1 인젝터와 후기 분사시간에서 분사량 특성이 우수한 #5 인젝터의 선정하여, 분사시간에 따른 BD 함유량과 연료 분사압력에 따라 인젝터의 분사량을 확인하여 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

초기 분사시간의 분사특성이 우수한 #1 인젝터를 나타낸 Fig. 3을 보면, 분사압력이 증가할수록 분사량이 증가하였으며, BD 함유량이 증가할수록 분사량은 감소하였다. 이는 BD 함유량 증가로 점도가 증가하기 때문에 연료의 유동 특성이 악화되었기 때문으로 판단된다. 또한 Fig. 4에서 나타낸 후기 분사시간의 분사특성이 우수한 #5 인젝터를 보면, #1 인젝터와 마찬가지로 연료 분사압력이 증가할수록 BD 함유량이 적을수록 분사량이 증가하는 경향을 보였다. Fig. 3과 Fig. 4를 비교해 볼 때 연료 분사압력 80MPa를 기준으로 분사량은 #1 인젝터 보다 #5 인젝터가 더 많게 됨을 확인할 수 있다. 이것은 동일한 인젝터 사양에서 낮은 분사압력 조건일 경우 노즐분공수와 분사각이 분사량에 더 큰 영향을 주

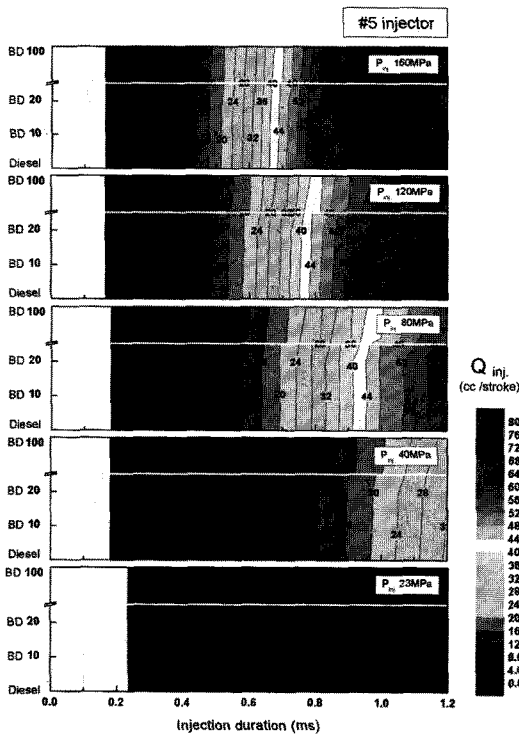


Fig. 4 Comparison of injection quantity according to injection pressure and Biodiesel mixture ratio using #5 injector

지만, 고압의 연료 분사압력과 후기 분사기간에는 노즐 홀 직경이 더 크게 영향을 미치는 것으로 상기 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 BD 혼합유 적용시 혼합비에 따라 적용 인젝터의 홀 직경, 분공수 및 분사각의 적절한 구성이 분사량 측면에서 볼 때 아주 중요한 사양이라 판단된다.

바이오 디젤은 상용 디젤과 다른 물성치를 지니고 있다. 이로 인한 내부 부품의 내구 특성을 파악하기 위해 백리크 온도 및 유량을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 분사압력 160 MPa에서 분사시간을 0.25 ms에서 1.2 ms 까지 변화하였다. 전체적으로 보면 분사압력과 분사시간이 길어질수록 백리크 온도가 증가하는 경향을 보였으며, 분사시간 1.2 ms에서 상용디젤에 비해 BD10 및 BD20은 크게 차이를 보이지 않았으나, BD100에서는 3°C 정도 높게 나타났다.

Fig. 6은 백리크 유량 특성을 나타낸 것으로서, 분사압력을 160 MPa로 하고, 분사시간 1.2 ms로 하여 동적 백리크 유량을, 정적 백리크의 유량은 인젝터의 작동을 멈추고 분사압력만 가하면서 유량을 측정하였다. 실험

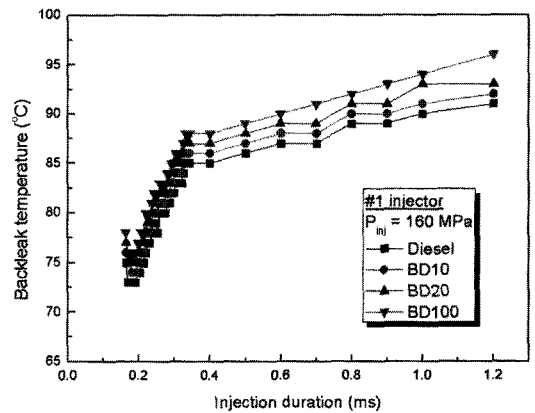


Fig. 5 Comparison of backleak temperature according to blending ratio (#1 injector,  $P_{inj}=160$  MPa)

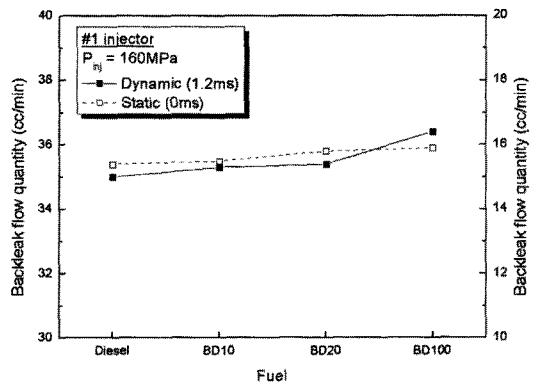


Fig. 6 Backleak flow quantity (#1 injector,  $P_{inj}=160$  MPa)

결과와 같이 혼합비에 따른 백리크 유량 특성은 상용 디젤과 비교하였을 때, 큰 차이를 보이지 않았다.

따라서 백리크 온도 및 유량 특성 실험 결과를 볼 때 BD 혼합비에 따른 연료 물성치의 변화는 내구특성에는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

바이오 디젤 혼합에 따라 인젝터의 니들 거동 및 분사 속도에 영향을 주므로 바이오 디젤의 적용을 위해서는 분사량 특성뿐만 아니라 응답시간 특성을 정확하게 파악하는 것도 중요하기 때문에 피에조 센서를 사용하여 응답시간을 측정하였다.

Fig. 7은 바이오 디젤 혼합비에 따른 응답시간을 분사압력 및 분사시간에 따라 나타낸 것이다. 분사시간 1.2 ms에서 상용디젤에 비해 BD10은 11  $\mu$ s 정도, BD20에서는 22  $\mu$ s 정도, BD100에서는 70  $\mu$ s 정도 응답시간이 지연되었으며, 분사압력 80 MPa, 분사시간 1.2 ms에서 상용디젤에 비해 BD10은 8  $\mu$ s 정도, BD20은 16  $\mu$ s 정도,

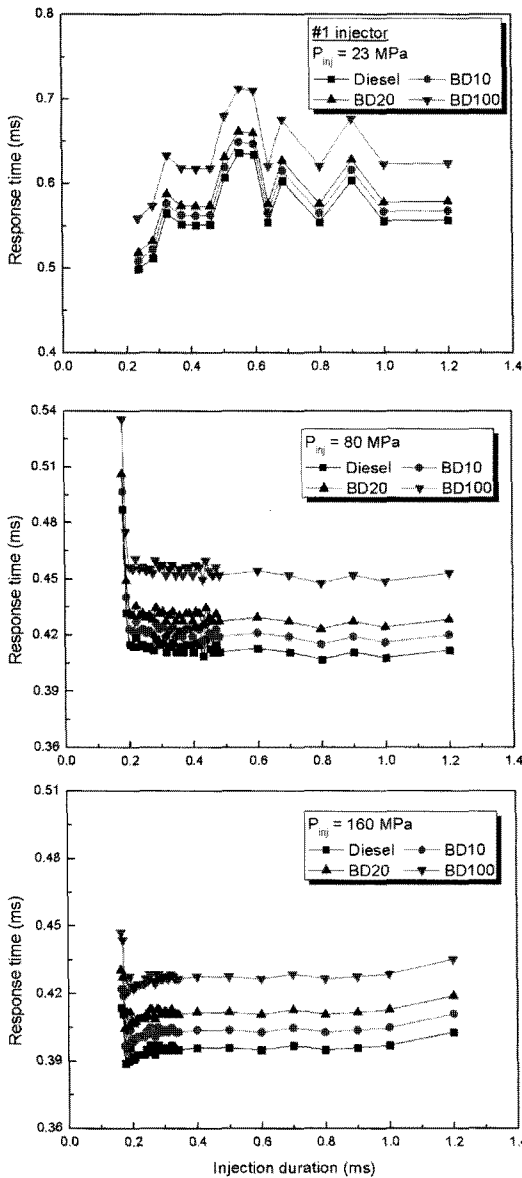


Fig. 7 Comparison of response time according to blending ratio

BD100에서는 42  $\mu\text{s}$  정도 지연되었다. 또한, 분사압력 160 MPa, 분사시간 1.2 ms에서 상용디젤에 비해 BD10은 8  $\mu\text{s}$  정도, BD20은 16  $\mu\text{s}$  정도, BD100에서는 33  $\mu\text{s}$  정도 응답시간이 지연되었다.

이상의 결과로 볼 때, BD100에서는 연료 공급압력에 관계없이 상용디젤에 비해 응답시간이 크게 지연되는 것으로 나타났으며, 특히 분사압력이 160 MPa 경우 보다 23 MPa에서 응답시간 지연이 크게 나타났다. 이는

급격한 점도의 증가로 인해 노즐과의 마찰력이 커지게 되며, 분사속도가 낮아지고 니들의 거동 저하로 액적 운동량이 감소하였기 때문으로 사료된다.

상기 실험결과로 볼 때 BD10 및 BD20 인 경우 응답시간이 크게 지연되지 않아 적용이 가능 하지만, BD100 인 경우 인젝터 및 분사압력의 적절한 개선이 필요할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 분무 특성이 서로 다른 커먼레일 인젝터의 바이오 디젤 혼합비에 따라 분사량을 측정하여 최적 인젝터를 선정하여 연료 분사압력에 따른 분사량, 내구특성 및 응답시간 특성을 확인하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분사압력이 낮을 경우 노즐의 직경에 비해 노즐의 분공수와 분사각이 인젝터 분사량에 더 큰 영향을 미치지만, 고압의 연료 분사압력과 후기 분사기에는 노즐 홀 직경의 영향이 더 크게 나타났다.
- 2) 인젝터 노즐의 분공수와 분사각이 증가할수록 연료 분포 확장에 의해 응답 시간이 빠르게 나타났다.
- 3) 인젝터의 백리크 온도는 바이오 디젤 함유량이 증가할수록 높게 나타났다.
- 4) 상용 디젤 대비 BD100일 경우, 인젝터의 응답지연은 분사압력 23 MPa에서 70  $\mu\text{s}$ , 80 MPa에서는 42  $\mu\text{s}$ , 160 MPa에서는 33  $\mu\text{s}$  응답이 지연되었다.

#### 후 기

이 연구는 2010년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

#### 참고문헌

- (1) J. S. Lee, "Production & usage situation of bio-diesel fuel as vehicle fuel", ETIS, pp. 1~10, 2003.
- (2) S. M. Oh and Y. G. Lee, "Resent Biofuel Engine Technology for Transportation", Auto Journal, Vol. 32, No. 7, pp. 29~35, 2010.
- (3) C. E. Gpering, A. Schwab, M. Dougherty, M. Pryde

- and A. Heakin, "Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils", Transactions of the ASAE, Vol. 25, pp. 1472~1482, 1982.
- (4) A. S. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, "Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review", Renewable energy, Vol. 29, pp. 727~742, 2004.
- (5) H. K. Suh, S. H. Park and C. S. Lee, "Effect of injector energizing duration on the atomization characteristics of biodiesel fuel", Journal of ILASS-Korea, Vol. 12, No. 2, pp. 108~114, 2007.
- (6) H. K. Suh, S. W. Park, S. I. Kwon and C. S. Lee, "Macroscopic behavior and atomization characteristics of biodiesel fuel", Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 6, pp. 23~29, 2004.
- (7) N. A. Henein, M. C. Lai, I. P. Singh, L. Zhong and J. Han, "Characteristics of a common rail diesel injection system under pilot and post injection modes", SAE technical paper, 2002, 2002-01-0218.