

# 초음파 에너지 조사 시간과 분사지연에 따른 BD20의 디젤기관 연소특성에 관한 실험 연구

임 석 연<sup>\*1)</sup> · 이 호 길<sup>2)</sup> · 류 정 인<sup>3)</sup>

충남대학교 대학원 기계공학과, BK21 메카트로닉스사업단<sup>1)</sup> · 자동차부품연구원<sup>2)</sup> ·  
충남대학교 기계공학과, BK21 메카트로닉스사업단<sup>3)</sup>

## An Experiment Study on the Combustion Characteristics with BD20 according to Ultrasonic Energy Irradiation Duration and Injection Delay in a Diesel Engine

Seokyeon Im<sup>\*1)</sup> · Hogil Lee<sup>2)</sup> · Jeongin Ryu<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Korea

<sup>2)</sup>Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

<sup>3)</sup>Department of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Korea

(Received 2 August 2007 / Accepted 27 November 2007)

**Abstract** : An object of this study is to understand the correlation between the characteristics of an engine performance and combustion characteristics, applying BD20 fuel reformed by ultrasonic energy irradiation to diesel engines. Before conducting the main experiment, an experiment was performed to determine the optimum injection timing of reformed BD20 by ultrasonic energy irradiation. To control the duration of the ultrasonic energy irradiation, the capacity of an ultrasonic energy fuel supply system was tested with 550cc and 1100cc chambers.

As the result of the analysis of the regular BD20 and reformed BD20 by ultrasonic energy irradiation, the BSFC and the Power of the reformed BD20 was improved 3% and 6%, respectively compared to those of non-irradiated BD20. When the fuel injection timing was delayed by 5°, the engine power was improved by 3%, and the BSFC was improved by 2%. The maximum cylinder pressure of reformed BD20 was improved by a maximum of 6% in comparison to that of regular BD20, and demonstrated a synergistic effect of 3% by delaying the injection timing 5°.

**Key words** : BD(바이오디젤), BD20(경유 80% + 바이오디젤 20%), Injection delay(분사지연), Ultrasonic energy irradiation(초음파에너지 조사), UBD(초음파에너지 조사 바이오디젤)

### 1. 서 론

지구 온난화 방지를 위한 1997년 교토 기후협약 이후 전 세계는 에너지 소비 절감에 고심 했고, 이에 디젤기관은 출력에 비하여 지구온난화의 주범인 이

산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 배출량이 적기 때문에 온난화 대응차원에서 그 적용이 확대되고 있다.

그러나, 디젤기관은 NO<sub>x</sub>나 PM이 과다하게 배출되기 때문에 이러한 유해 물질을 줄이는 것이 큰 문제라 할 수 있다.

디젤기관 배기가스 중 CO<sub>2</sub>나 PM 저감을 위한 대

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

체 에너지의 일환으로 바이오 디젤유(이하 'BD'라 한다.)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. BD는 상용 디젤기관 자체의 어떠한 수정 없이 그대로 적용이 가능하고<sup>1,2)</sup>, 특히 BD20(상용 디젤유와 BD를 체적비 8:2로 혼합한 연료) 연료는 많은 산소(O<sub>2</sub>) 함유로 인해 soot 저감에 매우 효과적이다.<sup>3-5)</sup>

또한, BD를 커먼레일 디젤기관에 적용하여 BD의 높은 세탄가로 인하여 착화지연기간과 연소기간이 짧아지고, 저위발열량이 낮으므로 연소온도 및 연소 압력이 저하된다고 보고되고 있다.<sup>6)</sup>

연료에 미립화 방법 중의 하나인 초음파 에너지 조사 시 초음파 제 인자에 의해 방향족 성분이 지방족 성분으로 바뀌고, 이소파라핀이 노멀파라핀으로 변하여 세탄가와 발열량이 증가할 뿐만 아니라 점도 및 표면 장력이 저감되고 분무입径의 크기가 감소되는 등 물리적, 화학적 변화로 인한 연료개질이 이루어진다.<sup>7-9)</sup> 이것은 연료를 형성하고 있는 탄화수소계 화합물에서 방향족 성분 및 지방족 성분을 구성하고 있는 탄소-탄소 결합, 탄소-수소 결합이 초음파 공동현상으로 인하여 결합에너지가 서로 다르기 때문에 가장 약한 결합의 분열이 먼저 일어나고 강한 결합의 분열이 나중에 일어날 뿐만 아니라 분열된 탄화수소 화합물의 일부가 초음파 에너지의 공동현상에 의하여 연료내부에서 국부적으로 화학적 환경이 변하면서 재결합이 일어나는 등 연료의 화학적 분자구조 중 일부 탄소-탄소, 또는 탄소-수소의 분열과 재결합에 의한 것으로 볼 수 있다.<sup>10,11)</sup>

따라서, 본 논문에서는 초음파 에너지에 의해 개질된 BD(이하 'UBD'라 한다.)의 물리적, 화학적 특성들을 바탕으로 상용 diesel, BD20 및 UBD20을 상용 디젤 기관에 적용함으로써, 초음파 에너지 조사에 의해 개질된 연료의 기관성능 특성과 연소 특성의 상관관계를 확인하는데 그 목적을 두고 있다.

## 2. 실험 장치 및 방법

실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같고, 동력계, 실험용 기관, 초음파 연료공급장치, 측정장치, 데이터 획득장치로 이루어져 있다. 실험용 기관은 수냉식, 4행정 4기통 배기량 2,476cc의 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다.

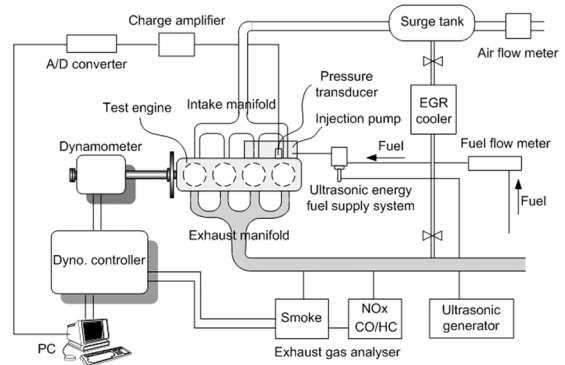


Fig. 1 Schematic diagram of test engine equipment

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Engine type	Water cooled 4 stroke cycle 4 cylinder diesel engine
Combustion chamber type	Swirl combustion chamber
Valve mechanism	O.H.V (Over Head Cam shaft)
Bore×Stroke	91.1×95mm
Total displacement	2.476cc
Max. power	77ps/4,200rpm
Max. torque	15.5kgf · m/2,000rpm
Fuel ignition timing	ATDC 4°
Coolant temperature	80±2°C

기관성능을 실험하기 위한 동력계는 맥동하는 자장의 저항을 제동력으로 변환시키는 수냉식 와전류 동력계(Eddy current dynamometer : Hwanwoong co. Ltd, 130kw)를 사용하였다. 본 실험은 KSRISO 2534의 시험기준에 준하여<sup>12)</sup>수행되었으며 기관의 회전속도를 고정시킨 후에 엔진 부하를 가변시키는 방법을 사용하였다. 즉, 분사시기 BTDC 11°, 16° 및 21° 조건에서 기관의 회전속도를 1000 ~ 3500rpm까지 500rpm 간격으로, 기관부하는 각 회전속도에 대하여 BD20 사용 시의 최대 토크를 기준으로 하여 25%, 50%, 75% 및 100%로 변화시켰다.

초음파 연료공급장치의 챔버 용량이 너무 작으면 초음파 에너지 조사의 영향이 적어 그 효과가 미비하고, 너무 크게 되면 공급되는 연료의 온도가 너무 상승되어 오히려 기관에 악영향을 주기 때문에 조사시간을 고려하여 2 경우(550cc, 1100cc)에 대하여

Table 2 Specifications of measuring equipment

Items	Specifications
Dynamometer	Hwanwoong Co. Model HE-130 Absorption torque : 35kgf · m
Pressure transducer	Kistler Co. type 6052B Piezo electric pressure transducer
Charge amplifier	Kistler Co. type 5011B
Oscilloscope	Tectronic Co. type DS360
A/D-D/A converter	National Ins. Co. type PCI-6024E
Personal computer	Pentium II 500MHz, 4Gbyte
Rotary encoder	Omron Co. type E6B2-CW3E
Load cell	Jungwoo Co. type JW-U2SB
Fuel flow meter	AND Co. type HF-2000GD Capacity : 2100g, Resolution : 0.01g
Smoke meter	Su Kwang precision Co. type Gold 707 Measurable range : 0~100% ± 2% F.S
NOx analyzer	HORIBA KOREA Ltd. MEXA -554JKNOX Chemical method Measurable range : 0~5,000ppm ± 20ppm
CO analyzer	BOSCH ETT 008.55 Non-Dispersive Infrared Method Measurable range : 0.00~10.00% vol ± 0.06% vol

실험을 수행하였다.

연료는 초음파 에너지 조사를 극대화하기 위해 초음파 연료공급장치 챔버의 하단으로 공급되고 상단으로 나가도록 하였고, 초음파 연료공급장치는 연료 소비량계와 분사펌프 사이에 설치하여 초음파 에너지에 의해 개질된 연료가 엔진으로 공급되도록 하였다.

실험조건이 변경될 때마다 기관의 냉각수 온도를 80±2°C로 일정하게 유지하였다.

기관성능, 연소특성 및 배기가스 측정에 필요한 장치의 목록은 Table 2와 같다.

### 3. 연료분사시기 결정

BD20 연료의 분사시기를 결정하기 위해 표준분사시기 BTDC 16°를 기준으로 5°씩 진각 및 지연시켰을 때의 제동연료소비율에 대한 그림을 부하별로 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연료 분사시기를 진각시켰을 경우 초음파 에너지 조사유무에 상관없이 사용연료의 제동연료소비율은 표준 연료 분사시기 BTDC 16°에 비해 향상된 반

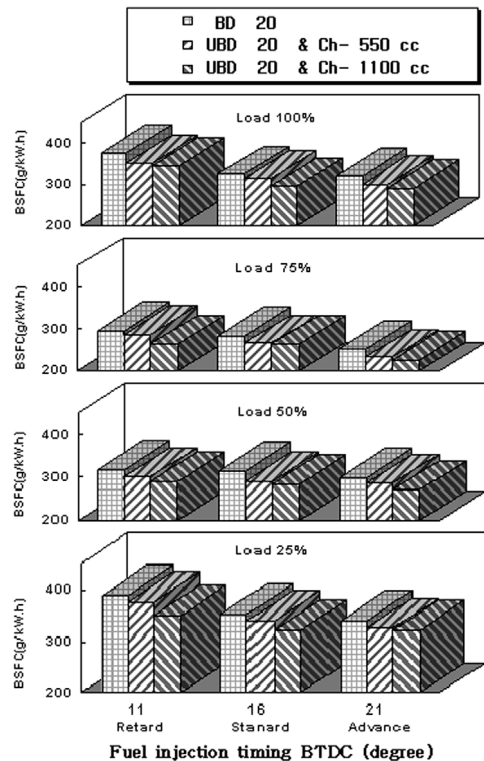


Fig. 2 Comparison of BSFC under fuel injection timing at engine speed 2,000rpm and load 75%

면, 지연시켰을 경우에는 악화되었고, UBD20가 BD20보다 제동연료소비율이 양호하였다.

Fig. 3은 기관회전속도 2000rpm에 대하여, BD20에 최적화되어 있는 표준 연료 분사시기 BTDC 16°를 기준으로 5°씩 진각 및 지연시켰을 때의 NOx를 부하별로 나타낸 것이다. 본 실험의 모든 연료 분사시기에서 BD20에 비해 UBD20의 NOx가 더 많이 배출되는 것을 볼 수 있다. 한편 부하 75%에서 표준 연료 분사시기 BTDC 16°일 때의 BD20의 NOx 배출에 비해 BTDC 16°의 초음파 연료공급장치의 용량 550cc인 경우는 5%, 용량 1100cc인 경우는 10.9% NOx 배출이 증가한 반면, 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°의 초음파 연료공급장치의 용량 550cc인 경우에는 16.7%, 용량 1100cc인 경우는 6.8%로 NOx 배출이 저감되었다.

상기 기초실험 내용을 종합해 볼 때, 기초실험의 운전범위 내에서 BD20 적용 시에 초음파 에너지를 조사하였을 경우 BD20의 연료에 비해 제동연료소

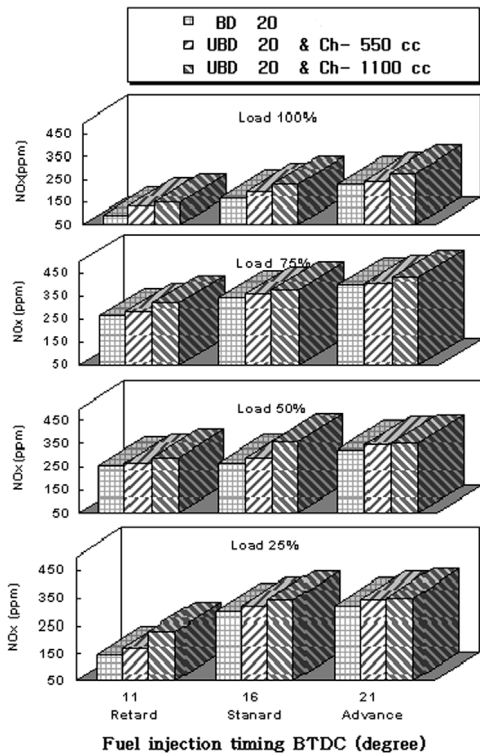


Fig. 3 Comparison of NOx under fuel injection timing at engine speed 2,000rpm and load 75%

비율의 저하를 최소화하면서 NOx 저감 효과를 극대화 할 수 있는 연료 분사 시기는 기존 상용 디젤 연료의 최적 점화시기에 비해 지연시키고, 초음파 에너지 조사시간을 길게 하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 실험에서는 초음파 연료공급장치의 챔버용량 550cc 및 1100cc를 가지고 표준 연료 분사시기 BTDC 16°와 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°에 대하여 모든 운전범위 내에서 BD20 및 UBD20에 대하여 실험을 수행하여, 기관성능특성 및 연소특성을 파악하였다.

#### 4. 기관성능특성

Fig. 4와 Fig. 5는 연료 분사시기 BTDC 11° 및 BTDC 16°일 때 챔버 용량 550cc, 1100cc 변화에서 연료는 BD20의 조건으로 기관회전속도에 따른 기관출력의 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 기관출력은 상용 diesel, BD20 및 UBD20 모두 실험 기관의 표준 연료 분사

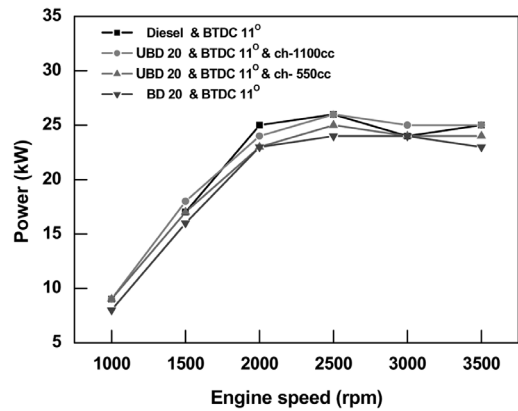


Fig. 4 Comparison of engine power under varying engine speed at engine load 75% and fuel injection timing BTDC11°

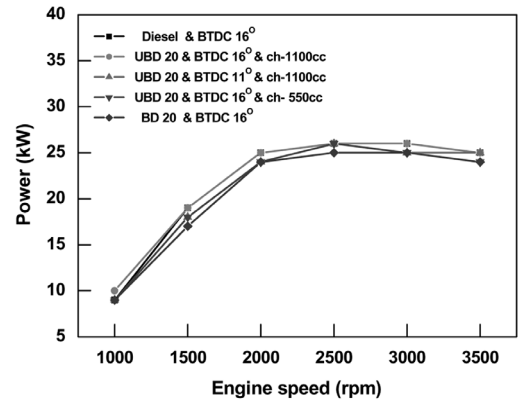


Fig. 5 Comparison of engine power under varying engine speed at engine load 75%

시기 BTDC 16°를 기준으로 볼 때 연료 분사시기를 BTDC 11°로 지연시켰을 경우 출력이 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있다.

연료 분사시기 BTDC 11°의 경우, 기관출력은 BD20에 비해 상용 diesel은 0~4% 정도 증가하였으며, UBD20은 챔버 용량이 550cc인 경우, 본 실험의 모든 운전범위에서 0%~1% 증가, 챔버 용량 1100cc인 경우, 1%~4% 증가하였다. 이는 연료가 초음파 연료공급장치를 통과할 때 챔버 용량이 클수록 초음파 에너지조사 시간이 충분히 확보됨으로 인해 초음파 제 인자가 연료개질에 보다 더 큰 영향을 주었기 때문에 기관출력이 향상된 것으로 판단할 수 있었다.

Fig. 5의 연료 분사시기가 BTDC 16°일 때 기관출력은 BD20에 비해 diesel은 0~3% 정도 증가하였으며, UBD20은 챔버 용량 550cc일 때 0%~2% 증가, 챔버 용량이 1100cc인 경우, 1%~6% 증가하였다.

즉, 초음파 에너지를 조사한 경우가 기관출력이 가장 향상되었으며, 초음파 에너지 조사와 더불어 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°의 경우가 BD20에 비해 기관출력이 전 기관회전속도 영역에서 거의 비슷하게 나타났다. 이는 비록 UBD20의 최적의 연료 분사시기를 확보하기 위해 연료 분사시기를 지연시켜 출력감소가 이루어졌지만 초음파 조사시간을 충분히 확보함으로써 초음파 제 인자로 인한 보다 나은 연료개질 효과가 기관출력 향상을 촉진시켜 전체적으로 UBD20의 기관출력이 BD20의 기관출력과 비슷한 정도를 유지하였다. BD20의 전 회전범위에 걸쳐 나타난 기관출력 특성은 상용 diesel을 사용한 경우와 UBD20은 거의 비슷함을 알 수 있었으며, 특히 연료 분사시기 BTDC 16°일 때 BD20의 챔버 용량 1100cc에서 초음파 에너지조사 시 출력향상을 보였다.

즉, BD의 발열량이 경유보다 낮지만, BD의 함산소 성분의 영향에 기인한 열효율의 향상과 초음파 에너지 조사시간을 충분히 확보함으로써 보다 나은 연료개질 효과의 영향으로 판단된다.

Fig. 6, Fig. 7은 연료 분사시기 BTDC 11° 및 BTDC 16°일 때 챔버 용량 550cc, 1100cc 변화에서 BD20의 조건으로 기관회전속도에 따른 기관 제동 연료소비율의 관계를 나타낸 것이다.

연료 분사시기 BTDC 11°의 경우, 제동연료소비율은 BD20에 비해 diesel은 0~1% 증가하였고, UBD20은 챔버 용량이 550cc인 경우, 본 실험의 모든 운전범위에서 1%~2% 감소하였으며, 1100cc인 경우, 1%~4% 감소하였다.

이것 역시 연료가 초음파 연료공급장치를 통과할 때 초음파 챔버 용량이 클수록 초음파 에너지조사 시간이 충분히 확보되어 초음파 제 인자에 의한 연료개질 효과로 연소가 촉진되어 제동연료소비율이 향상된 것으로 판단할 수 있다.

일반적으로 연료 분사시기를 지연시키면 기관 출력 감소로 인해 제동연료소비율이 악화된다. 초음

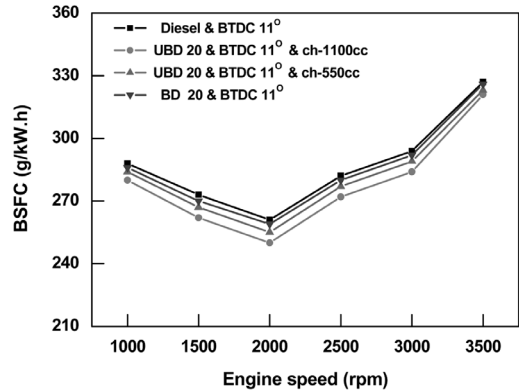


Fig. 6 Comparison of BSFC under varying engine speed at engine load 75% and fuel injection timing BTDC11°

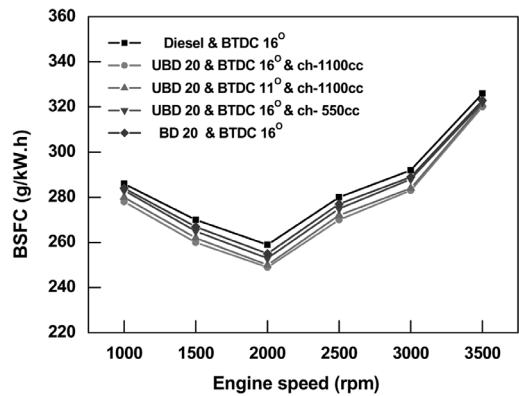


Fig. 7 Comparison of BSFC under varying engine speed at engine load 75%

파 개질 BD20의 경우, 최적의 연료 분사시기는 BD20의 연료 분사시기보다 지연되기 때문에 제동 연료소비율 역시 악화될 것으로 판단된다.

Fig. 7은 연료 분사시기 BTDC 16°일 때 제동연료 소비율은 BD20에 비해 상용 diesel은 1%~2% 정도 증가하였고, 전 회전수 영역에서 UBD20은 챔버 용량이 550cc일 때 1%~2% 감소, 1100cc인 경우, 1%~3% 감소하였다.

즉, 초음파 에너지를 조사한 경우가 제동연료 소비율이 가장 향상 되었으며, 초음파 에너지조사와 더불어 연료 분사시기를 지연시킨 경우, BD20에 비해 제동연료소비율이 전 기관회전속도 영역에서 1%~2%로 좋게 나타났다. 이것 또한, 전술한 바와 같이 비록 UBD20의 최적 연료 분사시기를 확보하기 위해 연료 분사시기를 지연시킴으로써 제동연료

소비율 악화가 예상되었지만 충분한 초음파 에너지 조사시간 확보로 인해 보다 나은 연료개질이 이루어져 전반적으로 제동연료소비율 향상으로 나타난 것으로 판단할 수 있다.

또한, 제동연료소비율은 경유를 사용한 경우보다 BD를 사용하였을 때와 초음파 에너지를 조사하였을 때 점점 감소함을 알 수 있다. 이는 BD가 연료 자체에 산소를 함유하고 있어 활발한 연소를 촉진시켜 연소효율의 향상에 기인하였기 때문으로 판단된다.

연료 분사시기 변화에 따른 BD20와 초음파 에너지 조사 연료의 모든 회전영역에서 제동연료소비율은 개선됨을 알 수 있었으며, 특히 2000rpm 영역에서 제동연료소비율이 뛰어남을 보이고 있다. 이와 같은 성향은 선행연구의 경향과도 일치되는 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 연소특성

BD20 및 UBD20의 디젤기관 적용 시 연소특성을 파악하기 위하여 본 연구의 기관회전속도에서 실린더내의 연소압력을 측정하여 열발생율과 질량연소율을 계산하였다. Fig. 8은 기관회전속도 2,000rpm 부하율 75%에서 연료 분사시기 BTDC 11° 및 BTDC 16°일 때 BD20과 UBD20에 대한 지압선도와 열발생 및 질량연소율을 나타낸 것이다.

BD20에 비해 UBD20는 챔버 용량에 상관없이 지압선도와 열발생 및 질량연소율과 같은 연소특성이 향상된 것을 볼 수 있다. 지압선도의 경우, 크랭크 각도 -50도에서 상사점(TDC)까지는 압축과정으로 BD20과 UBD20 모두 연소실내의 압력은 거의 일치함으로 보이고 있으나 상사점 이후에는 UBD20이 BD20에 비해 연소실 최고압력이 약 3~4kg/cm<sup>2</sup> 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 챔버 용량 1100cc가 챔버 용량 550cc에 비해 약간 더 높게 나타났다. 또한, 열발생율 곡선의 경우에도 상사점 직후 UBD20는 BD20보다 열발생율이 최고 약 5~9J/degree 정도 높게 나타났으나 이후 감소하며, 이는 지압선도와 유사한 경향을 보이고 있을 뿐만 아니라 챔버 용량 550cc에 비해 챔버 용량 1100cc의 열발생량이 약간 더 많이 나타남을 알 수 있었다.

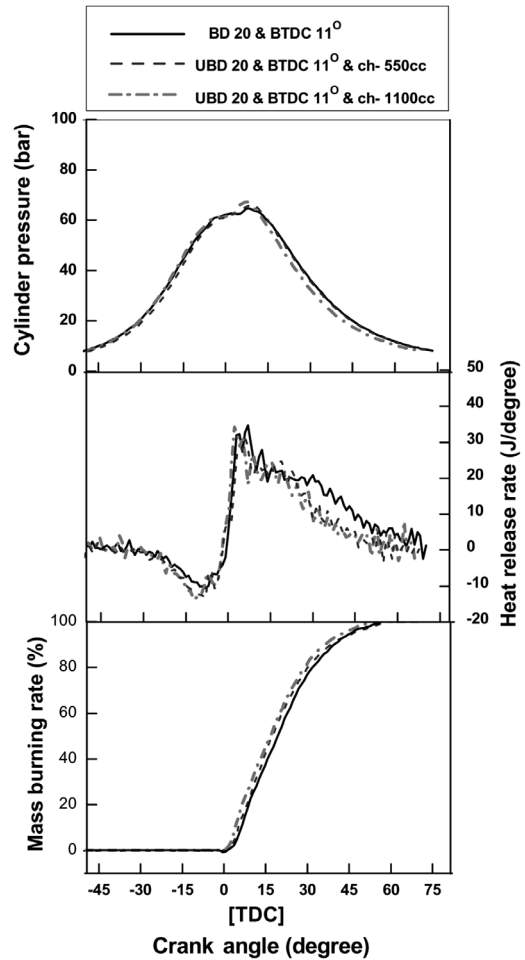


Fig. 8 Comparison of cylinder pressure, heat release rate and mass burning rate under the engine speed 2,000rpm, load 75%, BD20 and fuel injection timing BTDC11°

질량연소율의 경우, UBD20이 BD20에 비해 연소 시작점을 포함하여 화염핵이 형성되는 0~10% 구간의 연소율이 약간 일찍 나타나고, 주연소 구간인 90% 까지는 연소율의 기울기가 급격해지고 연소속도가 빨라져 연소가 일찍 종료되어 연소기간이 단축되는 경향을 보이고 있으며, 챔버 용량 550cc인 UBD20에 비해 챔버 용량 1100cc의 UBD20의 질량연소율도 전반적으로 연소속도가 빨라져 착화시간이 짧고 연소가 보다 일찍 종료되는 것을 볼 수 있다.

이것은 연료에 초음파 에너지 조사 시 공동현상, 방사압 및 지향성 등과 같은 초음파 주요 지배인자들의 영향으로 인한 방향축 성분 감소나 이소파라

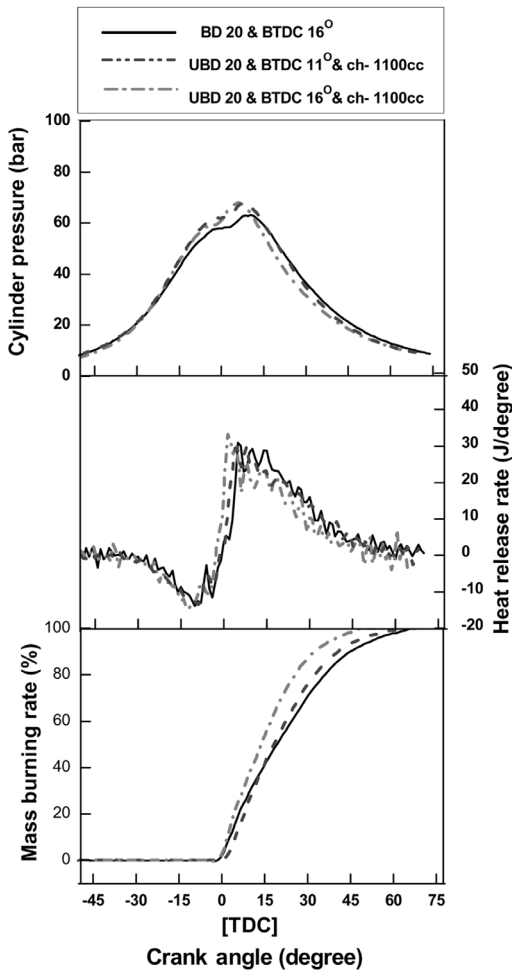


Fig. 9 Comparison of cylinder pressure, heat release rate and mass burning rate under the engine speed 2,000rpm, load 75% and BD20

핀 성분 저감과 같은 연료의 화학적 특성변화 및 발열량 증가와 세탄가 향상과 같은 연료의 개질효과의 영향으로, BD20에 비해 분사된 연료의 평균분무입경이 작아지고 분무각이 커지는 여러가지 요인으로 인해 착화성이 향상되어 연소가 보다 일찍 시작되고 연소가 활발히 이루어져 연소실 최고압력이 상승하고 연소도 일찍 종료된 것으로 판단할 수 있었다.

Fig. 9는 기관회전속도 2,000rpm, 기관부하 75%에서 표준 연료 최적분사시기 BTDC 16°에서의 상용 BD20과 챔버 용량이 1100cc인 UBD20 및 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°, 초음파 챔버 용량이

1100cc인 UBD20의 지압선도와 열발생을 및 질량연소율을 나타낸 것이다.

연료 분사시기를 BTDC 11°로 지연시켜 UBD20를 기관에 공급하였을 때 BD20에 비해 연소가 약간 늦게 시작되었으나 초음파 제 인자에 의한 연료개질 효과로 보다 완전연소가 일어나 연소실 최고압력과 열발생량이 거의 비슷하고 연소가 일찍 종료되는 등 BD20와 거의 유사한 성능을 보이고 있다.

또한, BD 성분 중 세탄가의 영향으로 착화지연기간이 단축되어 열 발생 개시시기가 점점 진각됨으로 인하여 연소후반부에는 연소압력의 피크가 증가하는데, 이는 BD가 함유하고 있는 약 10% 정도의 산소가 연소 후반부에 연소를 활발히 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

연소실 최고압력에 대해 좀 더 자세히 살펴보기 위하여 기관회전속도 2,000rpm,에서 상용 diesel, BD20의 조건에서 각 엔진부하 변화에 대해, 연료 분사시기 BTDC 11°의 경우는 Fig. 10에, Fig. 11에는 연료 분사시기 BTDC 16°와 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°에서의 초음파 에너지 조사 및 미조사의 경우 연소실 최고압력을 나타낸 것이다.

연료 분사시기 BTDC 11°의 Fig. 10을 보면, 연소실 최고압력은 BD20에 비해 diesel은 2%~5% 정도 증가하고, UBD20는 챔버 용량이 550cc인 경우 약 2% 정도 증가하였으며, 1100cc인 경우 약 2%~3% 정도 상승하였다.

Fig. 11에는 표준 연료 분사시기 BTDC 16°에서

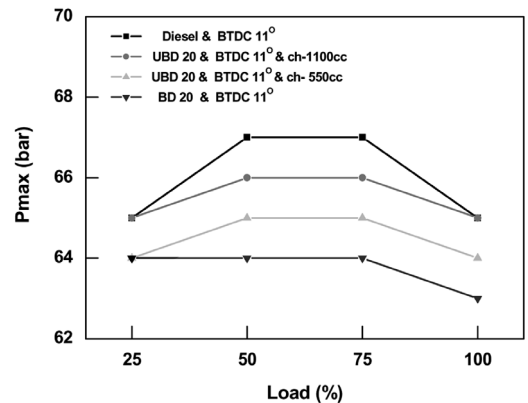


Fig. 10 Comparison of Pmax under varying load at engine speed 2,000rpm and fuel injection timing BTDC11°

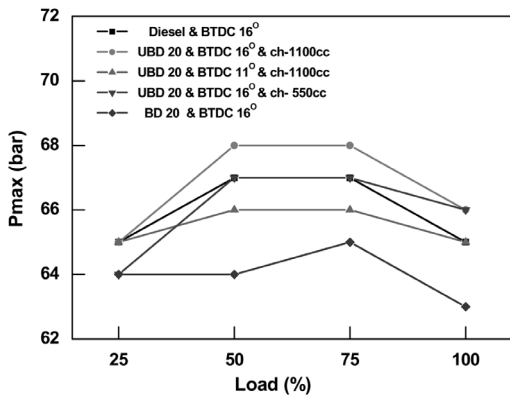


Fig. 11 Comparison of Pmax under varying load at engine speed 2,000rpm

BD20에 비해 UBD20은 챔버 용량이 550cc일 때 약 5% 증가하였으며, 1100cc인 경우에는 약 2%~6% 정도 상승하였다. 또한, BD20에 비해 연료 분사시기를 지연시킨 BTDC 11°에서 챔버 용량이 1100cc인 UBD20은 연소실 최고압력이 약 2%~3% 정도 상승한 것을 알 수 있다. 이것은 전술한 바와 같이 초음파 에너지 조사에 의해 연료가 개질됨으로써 BD20에 비해 분사된 연료의 평균분무입경 감소에 따른 연료의 증발을 촉진과 착화성 향상으로, 완전연소가 이루어져 연소실 최고압력이 상승한 것으로 판단할 수 있다.

UBD20의 최적의 연료 분사시기는 전술한 바와 같이 BD20의 연료 분사시기보다 지연되기 때문에 연소실 최고압력은 줄어들게 되지만 Fig. 10, Fig. 11에서와 같이 초음파 에너지 조사시간이 길수록, 챔버 용량이 크면 연소실 최고압력은 어느 정도 상승하게 된다.

이것으로 볼 때 UBD20의 최적의 연료 분사시기를 확보하기 위해 연료 분사시기를 지연시켜 연소실 최고압력이 약간 감소하였지만 초음파 조사시간을 충분히 확보함으로써 초음파 제 인자에 의한 보다 나은 연료개질 효과로 연소가 향상되어 연소실 최고압력이 BD20(BTDC 16°)과 거의 비슷하게 나타난 것으로 판단할 수 있었다.

## 6. 결론

초음파 에너지 조사 바이오 디젤연료(UBD)의 디

젤기관 성능특성과 연소특성의 상관성에 관한 연구를 수행하기 위해 초음파 에너지 조사 바이오 디젤 연료의 최적의 연료 분사시기를 결정한 다음, 기관 출력, 제동연료소비율과 같은 기관성능특성과 연소실내 압력을 이용하여 열발생율, 질량연소율, 연소실 최고압력과 같은 연소특성을 구하였다. 이를 토대로 다음과 같이 BD20과 UBD20에 대하여 디젤기관의 성능특성과 연소특성 및 이들의 상관성을 상호 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) NOx를 증가시키는 합산소연료인 바이오 디젤유의 NOx 저감측면에선 초음파 개질 연료의 최적의 연료분사 시기는 상용 디젤연료의 분사 시기에 비해 지연시켜야 하며, 제동연료소비율 향상 측면에선, 초음파 에너지 조사시간이 길수록, 챔버 용량이 1100cc일 경우가 효과적이었다.
- 2) 본 실험의 모든 운전 범위 내에서 BD20에 비해 UBD20의 기관 출력, 제동연료소비율은 각각 최고 6%, 3% 향상되었다.
- 3) 모든 운전 범위 내에서 BD20(BTDC 16°)에 비해 5° 지연 분사시킨 UBD20의 기관출력, 제동 연료 소비율은 각각 최고 3%, 2% 향상되었다.
- 4) 연소실 최고압력은 기관회전속도 2,000rpm, 전 부하에서 BD20에 비해 UBD20이 최고 6% 정도 상승하였고, UBD20을 5° 지연 분사시킨 경우에는 최고 3% 정도 상승하였다.

본 실험을 통해 기관의 NOx 저감 측면에선 연료 분사시기를 다소 지연시키는 것이 최상이라 여겨지지만, 기관 성능 향상과 배출물질 저감을 동시에 만족시키기 위해서는 정확한 분사시기와 초음파에너지 조사시간의 정밀한 제어가 필요하다는 것을 확인할 수 있었고, BD20 연료에 대한 실제 상용디젤기관 적용 가능성을 확인할 수가 있었다.

## References

- 1) K. H. Ryu, Y. J. Yun and 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.
- 2) F. Neto da Silva, A. S. Prata and J. R. Teixeira,



- “Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilization in Diesel Bus Engines,” *Energy Conversion and Management*, Vol.44, pp.2857-2878, 2003.
- 3) D. S. Baik, 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.
  - 4) K. H. Ryu and Y. T. Oh, “A Study on the Usability of Biodiesel Fuel Derived from Rice Bran Oil as Alternative Fuel for DI Diesel Engine,” *KSME International Journal*, Vol.17, No.2, pp.310-317, 2003.
  - 5) M. W. Bae, C. S. Ryu, T. Y. Ha, J. O. Kim and H. M. Kim, “Effect of Intake Mixture Temperature on Exhaust Emissions in Diesel Engine with Scrubber EGR System,” *Spring Conference Proceedings, KSAE*, pp.373-379, 2002.
  - 6) S. H. Yoon, M. K. Kim, J. J. Whang, H. S. Jeon and C. S. Lee, “Combustion Characteristics of Biodiesel with Injection Parameters in a Common-rail Diesel Engine,” *Fall Conference Proceedings, KSAE*, pp.516-521, 2006.
  - 7) D. S. Choi, A Study on the Automization Characteristics and the Engine Performance Characteristics of the Ultrasonic-Energy-Added Diesel Fuel, Chungnam University, Ph. D. Dissertation, 1996.
  - 8) M. J. Jeong, G. S. Cho and J. I. Ryu, “The Performance Improvement of the Diesel Engine by the Ultrasonic Vibrations,” *Transactions of KSAE*, Vo.13, No.6, pp.65-71, 1991.
  - 9) B. H. lee and J. I. Ryu, “A Study on Relationship between Fuel Characteristics and Combustion Characteristics of Reformed Diesel Fuels by Ultrasonic Energy Irradiation (Ⅱ)-Relationship between Chemical Structure and Cetane Number-,” *Transactions of KSAE*, Vol.11, No.1, pp.64-71, 2003.
  - 10) K. K. Kuo, *Principles of Combustion*, John Wiley & Sons, pp.42-45, 1986.
  - 11) K. T. Kim, B. R. Lee, K. H. No, D. J. Chu, K. H. Park, S. K. Choi, S. E. Park and M. H. Hyun, *Principles of Organic Chemistry*, Jayu Academy, pp.110-116, 1998.
  - 12) KSRISO 2534, Load Vehicle - Engine Test Method - Gross Shaft Power, KATS, 2003.