

디젤기관에 있어서 에멀전연료 연소특성에 미치는 영향 Effects of Emulsified Fuel on Combustion Characteristics in a Diesel Engine

임재근 · 조상곤 · 황상진 · 유동훈

J. K. Lim, S. G. Cho, S. J. Hwang and D. H. Yoo

Key Words : Specific Fuel Consumption(SFC)(연료소비율), Rate of pressure rise(압력상승률), Rate of heat release(열발생률), Emulsified fuel(에멀전연료), Emulsion ratio(에멀전연료 함수율)

Abstract : A study on combustion characteristics using emulsified fuel in a diesel engine were performed experimentally. In this paper, the experiments were performed at engine speed 1800rpm, emulsion ratios were 0%, 10%, 20%, and main measured items were specific fuel consumption, cylinder pressure, rate of pressure rise, rate of heat release etc.

The obtained conclusions were as follows.

- 1) Specific fuel consumption increased maximum by 19.8% at low load, but was not affected at full load.
- 2) Rate of pressure rise and rate of heat release were about the same in the case of 10% and 20% of emulsion ratio.
- 3) Cylinder Pressure increased 9.6%, rate of pressure rise increased 53.4% in case of emulsion ratio 20% at full load.
- 4) Rate of heat release increased 72.4% in case of emulsion ratio 20% at full load.

1. 서 론

과학의 발달과 산업의 발전은 인간에게 편리한 삶을 주었으나, 자연환경의 훼손을 낳았고, 지구의 온난화 현상과 이상기후 등 여러 가지 나쁜 영향을 주고 있다.

디젤엔진으로 부터 배출되는 여러 가지 배기 배출물 중 환경과 인체에 커다란 해를 끼치는 것의 하나가 NOx로서, NOx의 저감법에는 연소계의 개선, 배기가스 재순환, 물 첨가 및 부실식 연소 등이 있는데, 이 중에서 물 첨가법은 물 전용노즐을 사용하여 실린더 내에 물을 분사시키는 방법¹⁾과 수분을 함유한 혼합공기를 연소실에 공급하는 방법^{2,4)}, 물과 연료를 섞은 에멀전연료를 사용하여 NOx를 저감시키는 방법^{5,6)} 등이 있다. 본 연구에서는 NOx를 저감시키기 위한 하나의 방법으로서 에멀전연료가

직접분사식 4행정 디젤기관의 연소특성에 미치는 영향을 실험을 통하여 밝히고자 한다.

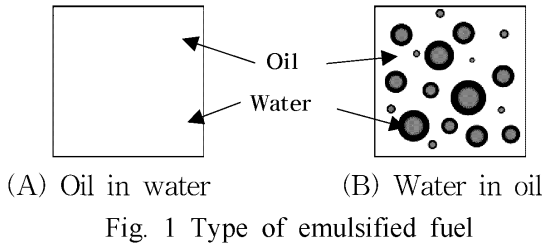
2. 에멀전연료의 특성

2.1 에멀전 유형

Fig. 1과 같이 에멀전에는 수중유적형(oil in water type)과 유중수적형(water in oil type)이 있다. 수중유적형 에멀전연료는 물 안에 기름을 포함하는 형태, 즉 물이 분산매가 되고 기름이 미립자(분산질)로서의 역할을 하는 것을 말하며, 질소 산화물의 생성에 긍정적인 해답을 기대할 수 있으나 기름 액적 둘레를 물이 에워싸고 있는 구조를 갖고 있으므로 기관 각부에 부식의 가능성이 높아 많이 사용되지는 않는다. 반면에 유중수적형 에멀전연료는 물이 분산질로서 기름 가운데에 존재하는 구조를 갖는데, 일반적으로 이러한 유중수적형 에멀전연료는 미세 폭발이 발생하기 쉽고, 연소실 내에서의 연소 시에도 물이 먼저 증발하면서 주위로부터 열을 흡수하기 때문에 연소실의 온도가 낮아지게 되어 질소산화물 생성을 억제하는 탁월한 효과가 있

접수일 : 2007년 1월 20일, 채택확정 : 2007년 2월 22일
임재근 : 군산대학교 동력기계시스템공학전공
E-mail : jklim@kunsan.ac.kr Tel. 063-469-1845
조상곤, 황상진, 유동훈 : 군산대학교 대학원

다. 또한 물이 실린더나 피스톤에 직접적으로 접촉하지 않기 때문에 부식의 염려를 크게 줄일 수 있다⁷⁾.



(A) Oil in water (B) Water in oil
Fig. 1 Type of emulsified fuel

2.2 미세 폭발(Micro-Explosion)

유중수적형 에멀전연료는 미세한 물 입자 주변을 경유가 포함하고 있는 형태를 가지고 있으므로 디젤 기관에 분사 된 후에도 물 입자 표면을 경유가 싸고 있게 된다. 연소실내의 액적은 고온 고압의 연소장의 영향을 받아 연소장과 경유, 경유와 물 액적 사이에 빠른 열의 교환이 이루어지게 되어 물 입자는 급속히 비등점 이상의 상태로 과열되게 된다. 이때 물 입자는 경유보다 빠른 기화를 보이기 때문에 경유의 피막을 뚫고 일거에 기화함으로써 급속히 팽창하게 되는데 이것을 에멀전연료의 2차 미립화 또는 미세폭발(micro-explosion)이라 한다⁸⁾.

이러한 미세폭발은 물 입자를 연소실에 고속으로 비산시킨다. 그 결과 연소실 내에서 연료액적의 크기를 작게 만들어 산소와의 접촉하는 면적을 증가시키고 산소와의 혼합을 촉진시켜 연료를 더욱 완전 연소화 시킴으로서 연소효율을 개선시킨다.

뿐만 아니라 물 입자는 1700배 정도로 팽창함으로써 기관의 평균압력 상승에 도움을 주고 기관의 출력에 영향을 미치게 된다. 한편 물 입자의 증발잠열은 연소장 내부의 온도를 전체적으로 낮추어 고온에서 발생하는 thermal NOx의 생성을 억제하는 역할을 하게 된다.

M. Tsukahara와 Y. Yshimoto⁸⁾는 미세폭발을 유화 연료의 물 입자 크기에 따라 Fig. 2와 같은 3가지 경우로 나누어 설명했다.

(A)는 미세폭발이 일어나지 않는 형태로 동점성 계수가 너무 높거나 물 입자의 직경이 너무 작을 때 발생한다. 이때 puffing현상이 발생하는데 수증기가 비산하지 못하고 작은 분출만을 행한다. (B)는 완전한 미세폭발로 발전하지 못하고 약한 미세폭발의 형태로 유화액적 주변의 온도가 낮을 때나 동 점성 계수가 높을 때 발생한다. (C)는 유화액적 주변의

온도가 고온이고 물 액적의 크기가 적당하며 동 점성 계수 또한 낮아 비산하기 좋은 조건일 경우로서 모든 조건이 적당히 갖추어 졌을 때 발생하는 형태이다.

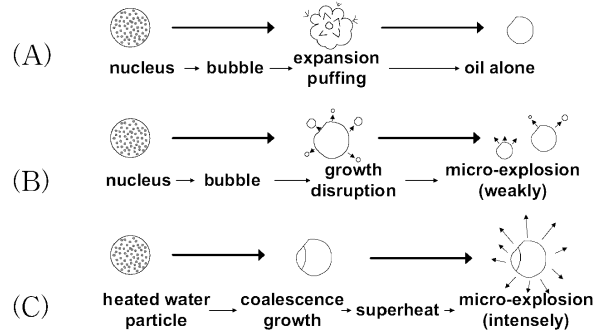


Fig. 2 Creation of micro-explosion

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 실험에 사용된 기관은 산업용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다.

기관의 출력은 와 전류식 동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력 측정을 위하여 첫 번째 실린더에 압전식(piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 연료소비율은 용적식 유량계를 사용하였고, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기 유량계를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하게 하였다.

기존의 에멀전연료를 사용하는 방법은 기름과 유화제를 혼합하고 물과 같이 교반기에 넣어 에멀전 연료를 만든 후 중력탱크로 옮겨 사용하는 방법으로 상당한 시간이 지나면 기름과 물이 분리되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 실험장치에서는 유화제를 사용하지 않고, 기관 운전 중에 연료와 물을 혼합하여 에멀전연료 제조 후 유수 분리현상이 일어나기 전에 기관에 바로 사용하였다. 그런데 에멀전연료를 공급하는데 있어서 연료필터가 연료의 유동저항과 충돌현상 등에 의하여 유·수 분리가 촉진되므로 연료필터를 혼합기 앞으로 옮겨 설치하고, 에멀전연료는 일정한 압력을 가한 상태로 순환시켜 물과 기름이 분리되지 않도록 하였다. 또한 연료의 낭비를 줄이고 정확한 연료 소모량을 측정하기위하여 기관으로 공급되어졌던 에멀

전연료의 남은 양을 mixing unit에 되돌아오게 하였다. 그리고 물과 경유의 정확한 비율을 계측하고 조절할 수 있도록 ECU를 설치하여 컴퓨터로 제어하였다. 또한 제어반의 설정치를 입력한 후 기관을 운전하여 혼합된 에멀전연료를 측정용 실린더에 채취함으로써 실제로 기관내로 공급되어지고 있는 에멀전연료 중의 함유량을 정확하게 확인할 수 있도록 하였다.

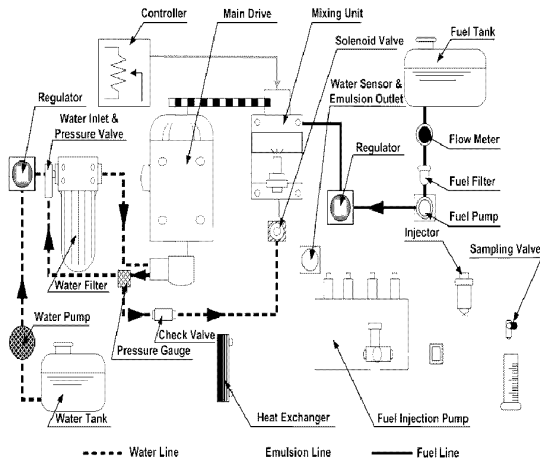


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Number of Cylinder	4
Type of Cooling	Water-cooled
Cycle	4
Type of Fuel Injection	Direct injection
Bore×Stroke (mm)	102 × 100
Piston displacement (cc)	3,268
Max. output	43 PS / 1800 rpm (31.63 kW / 1800 rpm)
Compression ratio	17 : 1
Fuel Injection Timing	BTDC 18° CA
Firing Order	1 - 3 - 4 - 2

3.2 에멀전연료 제조장치

유화제의 사용 여부와 관계없이 에멀전연료 제조 방법에는 크게 나누어 기계식, 초음파 식으로 나눌 수 있는데, 기계식 중에서 가장 대표적인 것은 교반익을 이용한 방법이다. 교반 장치(mixing unit) 내의 교반익은 외부로부터 동력을 전달받아 회전함으로써 서로 다른 두 유체 사이에 전단과 혼합을 반복하고 마지막으로 연료유에 물 액적을 분산시키는 방법이다.

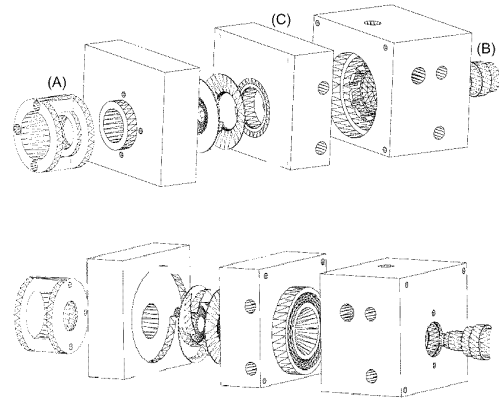


Fig. 4 Emulsified fuel manufacturing equipments

이러한 교반익을 사용한 에멀전연료의 제조 방식은 조밀한 판을 설치하여 강한 압력으로 물과 기름을 통과하게 함으로써 판내의 난류로 인한 유체 전단력을 이용하여 2가지 유체를 혼합하는 방법이나 초음파를 사용하여 제조 하는 방법과 다르게 대용량의 에멀전연료를 제조할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 본 실험에서는 교반익을 가진 교반 장치를 채택하였다.

Fig. 4는 교반 장치의 입체도로서 (A)는 main drive에서 발생된 동력이 교반 장치의 축에 연결되는 부분으로 미끄럼 방지 고무벨트를 사용하여 동력전달이 확실하게 되도록 하였으며, (B)부분은 물 분사 노즐로서 노즐의 선단을 120°의 각도로 3개의 구멍을 뚫어 물의 양을 적절히 조절할 수 있게 하였다. (C)는 (A)와 (B)를 연결하는 부분으로 분해조립할 수 있게 제작하여 날개의 개수 및 변위를 줄 수 있게 하였고 몸체 사이에는 경유나 물, 제조된 에멀전연료가 밖으로 유출되지 못하도록 기밀 유지재를 사용하였다

3.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도를 1800rpm의 경우에 대하여, 기관부하를 0%에서 100%까지 25%간격으로, 물의 체적백분율로 0%부터 20%까지 10%간격으로 변화시키면서 실험하였는데, 3개의 파라미터 중 2개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였다. 동일한 조건하에서 기관회전수의 변동율은 ± 0.5%이고 기관부하의 변동율은 ±1.5% 이하이다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 연소실 압력상승률 선도, 열 발생률 선도

등을 취득하였으며, 각부(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다.

동력계는 표준 중량의 추(5kg)를 사용하여 압축 인장 보정실험을 하여 정확한 토크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 연료소비율

에멀전연료 비율에 따른 연료소비율의 값을 Fig.5에 나타냈다. 결과를 고찰해 보면, 1800rpm에서는 저부하시 연료소비율(최대19.8%)이 증가하였으나, 고 부하 영역으로 가면서는 연료소비율(최대 0.2%)이 거의 변하지 않았다.

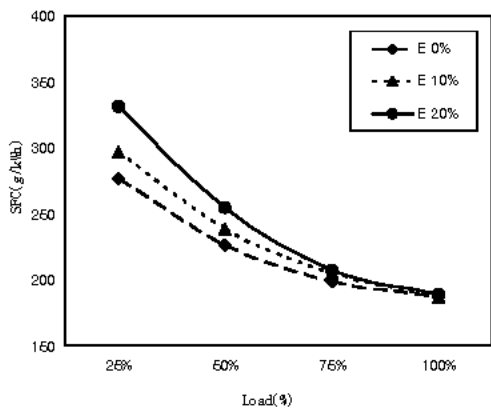


Fig. 5 Comparison of Specific fuel consumption at 1800rpm

이러한 현상은 에멀전연료의 미세폭발의 영향이라고 생각할 수 있다. 기관이 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 같은 연소실 온도와 압력을 필요로 하는데 저 부하 영역에서의 기관은 물 첨가로 인해 연소실 온도와 압력의 저하가 발생하여 온도와 압력을 유지하기 위해 더 많은 연료가 소비되었고, 연소실 온도가 높지 않기 때문에 수분에 의한 미세폭발 또한 그다지 활발히 전개되지 못했으며, 고 부하 영역으로 갈수록 연료소비량의 증가로 발열량이 증가하여 실린더 내의 온도와 압력이 상승되며, 따라서 미세폭발이 활발하게 진행된 것으로 생각된다⁷⁾ 이러한 미세폭발이 고 부하 영역에서 발생할 경우, 에멀전연료에 가해지는 물리적 화학적 변화는 경유의 액적을 부피는 작지만 개체 수는 더욱 많게 하여 산소 분자와 접촉하는 면적을 증가시키고, 물 액적의 폭발과 증발에 따른 산소 분자 운동의 활성화로

연소상태가 개선되는 것으로 추측되며, 물 분자의 증발에 따른 부피 팽창 역시 연소실 내의 압력상승에 영향을 미쳐, 경유만을 연소시켰을 경우와 비슷한 연료소비율을 나타내는 것으로 사료된다.

4.2. 연소실 압력 및 압력상승율

Fig. 6은 크랭크 각도에 대한 실린더 압력과 압력상승률을 나타낸 그림이다. 실린더내의 연소실 압력이 물을 첨가함으로써 증가되었고, 압력상승율도 증가되었다. 전 부하 1800rpm에서 에멀전연료 함유율 10% 및 20%의 경우에 실린더 최고압력은 6.9% 및 9.6% 상승되었고, 압력상승률은 46.5% 및 53.4% 상승되었다. 그리고 에멀전연료를 사용하면 착화시기가 늦어짐을 알 수 있는데, 이는 분사된 연료가 증발하여 착화에 필요한 농도의 혼합기를 형성함과 동시에 착화온도에 도달하기 까지 가열되는 동안의 물리적 지연과 화학적 지연으로 이루어지며, 이는 연료분사시 연소실 내의 상태, 연료의 세탄가, 압축비, 분사시기, 기관회전속도, 연소실온도 및 압력과 관련이 있다⁹⁾. 또한 확산연소의 활성화로 연소실 압력이 급격히 상승하는 것을 보여주는데 그 이유는 유액적 중에 함유되어 있는 물 액적이 급격하게 증발하여 가스화 될 때 급격한 체적 팽창과 액적의 비산으로 산소와 접촉하기 쉬운 상태로 되고, 따라서 확산연소기간이 짧아지기 때문이다.

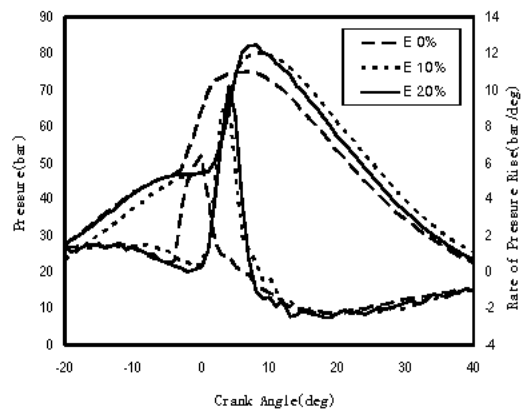


Fig. 6 Cylinder pressure and Rate of pressure rise at 1800rpm

4.3. 열발생률

Fig. 7에서 열발생률은, 에멀전연료 함유율이 10%에서는 66.4%가 증가되고, 20%에서는 72.4%가 증가되었다. 그 이유는 에멀전연료의 사용에 따라 화염과 액적 표면 사이의 열전달에 의하여 과농한

연료 중심부의 수증기 농도가 증가하고 급기야 미세폭발 현상이 발생하게 되고 이에 따라 2차 미립화가 진행되어 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 완전연소가 일어나기 때문인 것으로 보인다.

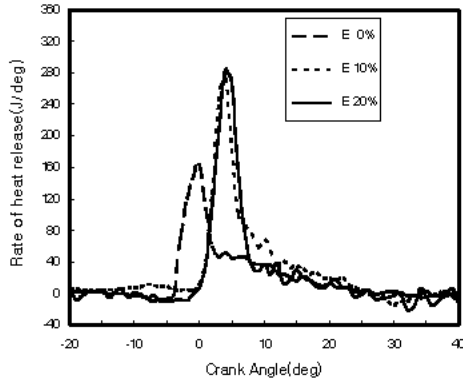


Fig. 7 Rate of heat release at 1800rpm

5. 결 론

직접분사식 4행정 디젤기관에 있어서 기관회전속도를 일정히 유지하고 부하와 에멀전연료 함수율이 연소특성에 미치는 영향을 요약하면 아래와 같다.

1. 에멀전연료 함수율을 증가시켰을 때, 연료소비율은 저 부하 영역에서는 최대 19.8%가 증가하였고, 고 부하영역에서는 거의 변함이 없다.
2. 실린더 최고압력은 에멀전연료 함수율이 10%와 20%인 경우, 전 부하 영역에서 6.9%와 9.6%가 증가되고, 압력상승율은 46.5%와 53.4%가 증가되었다.
3. 열발생율은 에멀전연료 함수율이 10%와 20%인 경우, 전 부하 영역에서 66.4%와 72.4%가 증가되었다.

참고 문헌

1. S. Kohketsu, K. Mori, K. Sakai and H. Nakagawa, 1996, "Reduction of Exhaust Emission with New Water Injection System in a Diesel Engine," SAE paper 960033.
2. M. Ishida, H. Ueki D. Sakahuchi, 1997, "Prediction of NOx Reduction rate due to Port Water Injection in a DI Diesel Engine," SAE paper 972961.
3. M. A. Psota, W. L. Easley, T. H Fort, and A.

- M. Mellor, 1997, "Water Injection Effects on NOx Emission for Engines Utilizing Diffusion Flame Combustion," SAE Paper, 971657.
4. R. J. Crookes, M. A. Nazha, M. S. Janota, and T. Storey, 1980, "Investigation into the Combustion of Water/Kiesel Fuel Emulsions," SAE Paper, 80094.
5. Y. Yoshimoto, T. Kuramoto, Ziyu Li, M. Tsukahara, 1998, "Influence of Water Content Ratio on Combustion Fluctuation of Diesel Engine Using Emulsified Fuel," Journal of MESJ, Vol. 26 NO. 1, pp. 16~23,
6. O.N. Lebedev, 1976, "Special characteristics of the combustion of water-fuel emulsions in diesels," Fizika Goreniya, vol. 14, no. 2, pp. 142~145.
7. 광인석, 2002, 에멀션 연료를 적용한 디젤기관의 내구성 및 연소특성에 관한 연구. 석사학위논문, 한국해양대학교.
8. 吉本唐文, 村上正, 1989, "유화연료의 미세폭발에 관한 연구," 일본기계학회논문집, Vol 55, No. 519.
9. 박권하, 1997, 박태인, 김기형, 물혼합 연료 및 EGR의 조합에 의한 디젤기관의 질소산화물과 매연미립자 동시저감 기술에 관한 연구. 한국박용기관학회지, 제21권 제4호.