

디젤기관에 있어서 에멀전연료가 배기배출물 특성에 미치는 영향

임재근† · 조상곤* · 황상진* · 유동훈*

(원고접수일 : 2006년 10월 11일, 심사완료일 : 2006년 11월 14일)

Effect on Characteristics of Exhaust Emissions by Using Emulsified Fuel in Diesel Engine

Jae-Keun Lim† · Sang-Gon Cho* · Sang-Jin Hwang* · Dong-Hoon Yoo*

Abstract : Diesel engines have high thermal efficiency, and they have less CO & HC emissions than another engines, while NOx & Soot emissions are very much, compared with exhaust emission standards. However, the limit level is more and more strengthened yearly due to the importance of environmental protection. So, the optimal countermeasures for the reduction of NOx & Soot emissions below limit level are required.

Therefore, the author has investigated the effects of emulsified fuel on the characteristics of exhaust emissions, using an four-cycle, four-cylinder and direct injection diesel engine because the using of emulsified fuel among various methods for reducing NOx & Soot emissions is simple in installation, low in cost and high in efficiency.

The results of investigation according to various operating conditions are as follows :

- 1) Specific fuel consumption increase maximum 19.8% at low load, but is not affected at full load.
- 2) In case of emulsion ratio 25%, NOx emission decrease 32% at 75% load, 30% at full load.
- 3) In case of emulsion ratio 25%, Soot emission decrease 84% at 75% load, 59% at full load.

Key words : Exhaust emission(배기배출물), Emulsified fuel(에멀전연료), Emulsion ratio(에멀전연료 함수율), Specific fuel consumption(SFC)(연료소비율), NOx(질소산화물), Soot(매연)

† 책임저자(군산대학교 동력기계시스템공학전공), E-mail: jklim@kunsan.ac.kr, Tel: 063)469-1845

* 군산대학교 대학원

1. 서론

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

디젤엔진에서 배출되는 여러 가지 배기배출물 중 환경과 인체에 커다란 해를 끼치는 것중의 하나가 NOx로서, NOx의 저감법에는 연소계의 개선, 배기재순환, 물 첨가 및 부실식 연소 등이 있는데, 이 중에서 물 첨가법은 물 전용노즐을 사용하여 실린더 내에 물을 분사시키는 방법^[1]과 수분을 함유한 혼합공기를 연소실에 공급하는 방법^[2-4], 물과 연료를 섞은 에멀전연료를 사용하여 NOx를 저감시키는 방법^{[5], [6]} 등이 있다.

본 연구에서는 직접분사식 4행정 디젤기관에 있어서 에멀전연료가 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 에멀전연료의 특성

2.1 에멀전 유형

Fig. 1과 같이 에멀전에는 유중수적형(Water in oil type)과 수중유적형(Oil in water 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 포함하고 있는 형태이기 때문에 기관각부에 부식의 위험성 때문에 일반적으로 사용되지 않는다. 반면 유중수적형 에멀전연료는 물이 분산질로서 기름이 물을 포함하고 있는 형태를 말한다. 이러한 유중수적형 에멀전연료는 일반적으로 미세폭발이 발생하기 쉽고, 연소실 내에서의 연소 시에도 물이 먼저 증발하기 때문에 연소실의 온도를 낮출 수 있어 질소산화물의 억제에 탁월한 효과를 나타낸다. 또한 물이 실린더나 피스톤에 직접적으로 접촉하지 않기 때문에 부식의 염려를 크게 줄일 수 있다.

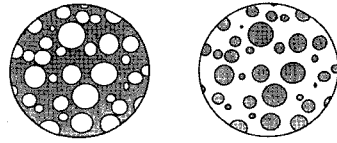


Fig. 1 Water in Oil Type, Oil in Water Type

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 연소장에 영향을 받아 연소장과 경유, 경유와 물 액적사이에 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 한다.

이러한 물 입자의 미세폭발은 고속으로 비산하게 되고 연소실 내에서 연료액적의 크기를 작게 만들어 산소와의 접하는 면적을 향상시키며 산소와의 혼합을 도와 연료를 좀더 완전연소화 시킴으로서 연소효율을 개선시킨다.

뿐만 아니라 물 입자 자신 또한 1700배 정도의 팽창을 함으로서 기관의 평균압력 상승에 도움을 주고 기관의 출력에 영향을 미치게 된다. 또한 물 입자의 증발잠열은 연소장 내부의 온도를 전체적으로 낮추어 고온에서 발생하는 Thermal NOx의 생성을 억제하는 역할을 하게 된다.

M. Tsukahara와 Y. Yshimoto^[7]는 미세폭발을 유화 연료의 물 입자 크기에 따라 Fig. 2와 같은 3가지 경우로 나뉘었다.

(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 미세폭발만을 갖는 형태로 유화액적 주변의 온도가

낮을 때나 동점성 계수가 높을 때 발생한다. (C)는 유화액적 주변의 온도가 고온이고 물액적의 크기가 적당하며 동점성 계수 또한 낮아 비산하기 좋은 조건일 경우로서 모든 조건이 적당히 갖추어 졌을 때 발생하는 형태이다.

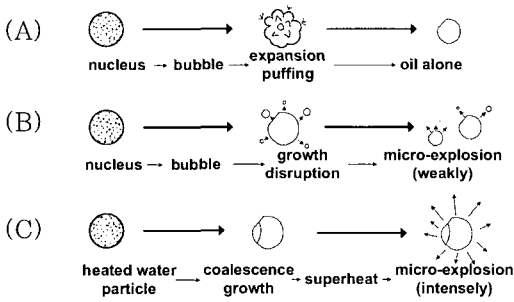


Fig. 2 Creation of micro-explosion

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 구성도는 Fig. 3과 같으며, 실험기관은 선박용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다.

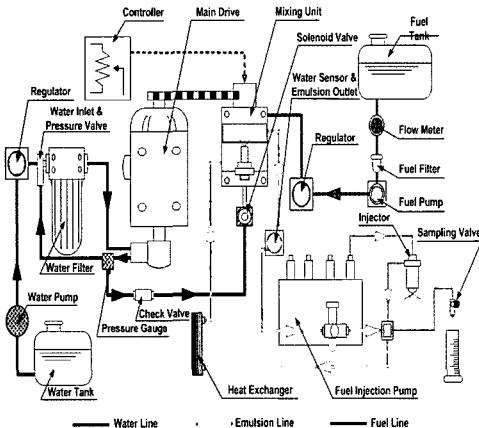


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력측정을 위하여 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기

를 설치하였다. 연료소비율은 용적식 유량계를 사용하였고, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기 유량계를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하여 지도록 하였다. 또한 배기배출물은 배기 분석기(Signal emirak rag4873)와 보쉬(Bosch)형 매연측정기를 사용하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Cylinder number	4
Cooling type	Water-cooled
Cycle	4
Injection type	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°
Fire order	1 - 3 - 4 - 2

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. 그러나 본 실험장치에서는 유화제를 사용하지 않고, 기관 운전 중에 연료와 물을 혼합하여 에멀전연료 제조 후 유·수 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 측정하기 위하여 기관으로 공급되어졌던 에멀전연료의 남은 양을 Mixing unit에 Return 되어지게 하였다. 그리고 물과 경유의 정확한 비율을 계측하고 조절할 수 있도록 ECU를 설치하였으며, 컴퓨터를 통하여 제어

할 수 있도록 하였다. 또한 제어반의 설정치를 입력한 후 기관을 운전하여 혼합된 에멀전연료를 Measuring cylinder에 채취함으로써 실제로 기관내로 공급되어지고 있는 에멀전연료 중의 함수량을 정확하게 확인할 수 있도록 하였다.

3.2 에멀전연료 제조장치

유화제의 사용여부와 관계없이 에멀전연료 제조 방법에는 크게 나누어 기계식, 초음파 식으로 나눌 수 있는데, 기계식 중에서 가장 대표적인 것은 교반익을 이용한 방법이다. Mixing unit 내의 교반익은 외부로부터 동력을 전달받아 회전함으로써 서로 다른 두 유체사이에 전달과 혼합을 반복하고 급기야 연료유에 물 액적을 분산시키는 방법이다. 이러한 교반익을 사용한 에멀전연료의 제조 방식은 조밀한 판을 설치하여 강한 압력으로 물과 기름을 통과하게 함으로써 관내의 난류로 인한 유체전단력으로 두 유체를 혼합하는 방법이나 초음파를 사용하여 제조 하는 방법과 다르게 대용량의 에멀전연료를 제조할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 본 실험에서는 교반익을 가진 Mixing Unit을 채택하였다.

사용하여 동력의 전달이 확실하도록 하였으며, (B)부분은 물 분사 노즐로서 노즐의 선단을 30°의 각도로 3개의 구멍을 뚫어 물의 양을 적절하게 조절할 수 있게 하였다. (C)는 (A)와(B)를 연결하는 부분으로 분해조립 할 수 있게 제작하여 날개의 개수 및 변위를 줄 수 있게 하였고 몸체 사이에는 경유나 물, 제조된 에멀전연료가 밖으로 유출되지 못하도록 기밀 유지제를 사용하였다.

3.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800RPM의 경우에 대하여, 기관부하를 0%에서 100%까지 25%간격으로, 물의 양을 0%부터 25%까지 5%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, 열발생량 선도 등을 취득하였으며, 각 부위(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다.

또 배기가스 분석기와 매연측정기의 "0"점 조정과 표준가스(측정범위의 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였고, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 압축 인장 보정실험을 하여 정확한 토크값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

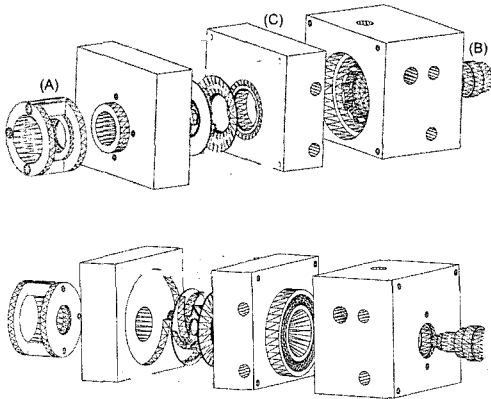


Fig. 4 Emulsion manufacturing equipments

Fig. 4는 Mixing unit의 입체도로서 (A)는 Main drive에서 발생된 동력이 Mixing unit의 축에 연결되는 부분으로 미끄럼 방지 고무벨트를

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 연료소비율

에멀전연료 비율에 따른 연료소비율의 값을 Fig.5에 나타냈다. 결과를 고찰해 보면, 1800rpm에서는 저부하시는 연료소비율(최대19.8%)이 증가하였으나, 고부하 영역으로 가면서는 연료소비율(최대0.2%)이 거의 변하지 않았다.

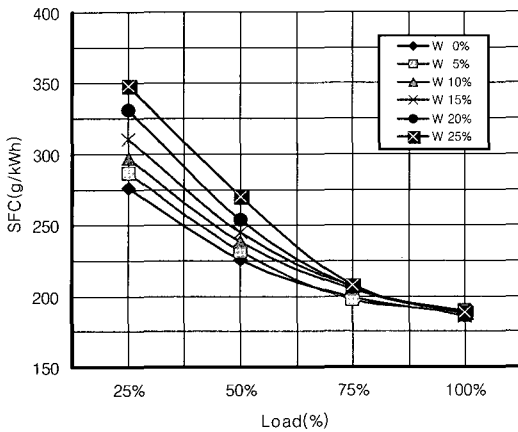


Fig. 5 Comparison of Specific fuel consumption at 1800rpm

이러한 현상은 에멀전연료의 미세폭발의 영향이라고 생각할 수 있다. 기관이 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 같은 연소실 온도와 압력을 필요로 하는데 저부하 영역에서 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, 고부하 영역으로 갈수록 미세폭발의 조건에 부합한 온도상승이 있었기 때문에 활발하게 진행되었다. 이러한 고부하 영역에서의 미세폭발은 경유의 액적을 작게 만들어 산소와 접촉면적을 넓힘으로서 완전연소에 좀더 가깝게 하였다는 것과 물 액적 폭발에 의한 산소의 움직임이 활발해 졌다고 판단되어지며, 수분 분자의 증발에 따른 부피 팽창도 연소실 내의 압력상승에 영향을 미쳐 고부하 영역에서는 경유만을 연소시켰을 경우와 비슷한 연료소비율을 나타냈다고 판단되어진다.

저부하 영역에서의 열발생율의 저하에 따른 연료 소비율의 증가는 세탄가 향상제를 사용하여 해결할 수 있는데, 이러한 세탄가 향상제도 고부하 영역에서는 마이너스 요인이 될 수 있다.^[8]

4.2. 질소산화물(NO_x)

NO_x의 측정값은 Fig. 6에 나타내었는데 NO_x

는 부하가 증가할수록 함께 증가하는 경향을 보였다. 또한 에멀전연료 비율이 5%씩 증가할수록 감소하는 경향이 나타났으며, 에멀전연료 비율 25% 경우 NO_x 감소량은 부하 75%에서는 32%, 전부하에서는 30%였다.

착화시기 지연, 연소실 압력상승에도 불구하고 NO_x가 저감되는 것은 강한 흡열반응으로서 발생하는 Thermal NO가 물 첨가에 의하여 연소실 온도를 낮추어 Thermal NO의 생성을 저지하였고 미세 폭발 및 공기 유동의 활성화에 의한 국부적 온도상승의 억제에 의한 것으로 판단된다.

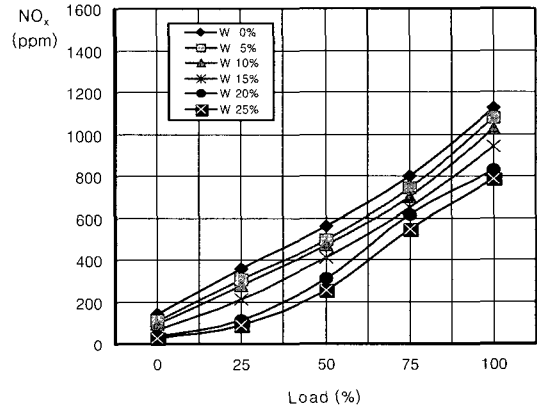


Fig. 6 NOx emission characteristics at 1800rpm

4.3. 매연(Soot)

Fig. 7에서 매연은 부하가 증가할수록 고 부하 영역에서 증가되었고, 에멀전연료 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 저 부하에서는 연소온도가 낮아서 수분의 미세폭발 효과가 활발하지 못했기 때문에 영향이 크지 않지만, 부하가 높아질수록 감소량이 현저하게 증가하며, 에멀전연료 25% 경우 75%부하에서는 84%감소, 전부하에서는 59%가 감소되었다. 그 이유는 에멀전연료의 사용에 따라 화염과 액적표면 사이의 열전달에 의하여 과농한 연료 중심부의 수증기 농도가 증가하고 급기야 미세폭발 현상이 발생하며 이에 따라 2차미립화가 진행됨으로서 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 양호한 연소가 일어나기 때문으로 생각된다.

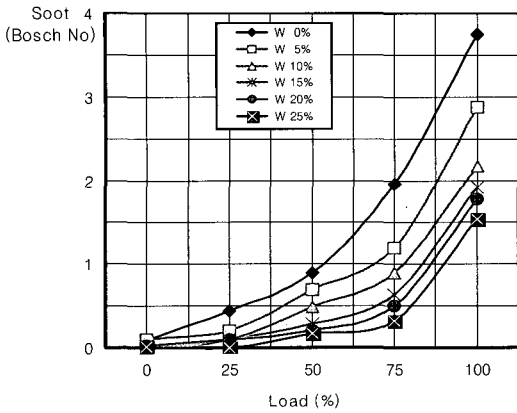


Fig. 7 Soot emission characteristics at 1800rpm

5. 결 론

직접분사식 4행정 디젤기관에 있어서 기관회전 속도를 일정히 유지하고 부하와 에멀전연료 비율이 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 에멀전연료 비율을 증가시켰을 때, 연료소비율은 저 부하 영역에서는 최대 19.8%증가하였고, 고부하 영역에서는 거의 변함이 없다.
2. 질소산화물(NOx)은 에멀전연료 25%일 때 부하 75%에서 32%감소, 부하 100%에서 30% 감소된다.
3. 매연(Soot)은 에멀전연료 25%일 때 부하 75%에서 84%감소, 부하 100%에서 59%가 감소 된다.

참고문헌

[1] Susumu Kohketsu, Kazutoshi Mori, Kenji Sakai and Hiroshi Nakagawa, "Reduction of Exhaust Emission with New Water Injection System in a Diesel Engine", SAE paper 960033, 1996.
 [2] Masahiro Ishida, Hironobu Ueki Daisaku Sakahuchi, "Prediction of NOx Reduction rate due to Port

Water Injection in a DI Diesel Engine", SAE paper 972961, 1997.

[3] M. A. Psota, W. L. Easley, T. H. Fort, and A. M. Mellor, "Water Infection Effects on NOx Emission for Engines Utilizing Diffusion Flame Combustion", SAE Paper, 971657, 1997.
 [4] R. J. Crookes, M. A. Nazha, M. S. Janota, and T. Slorey, "Investigation into the Combustion of Water/Kiesel Fuel Emulsions", SAE Paper, 80094, 1980.
 [5] Yasufumi Yoshimoto, Toshinori Kuramoto, Ziyi Li, Minoru Tsukahara, "Influence of Water Content Ratio on Combustion Fluctuation of Diesel Engine Using Emulsified Fuel", Journal of MESJ, Vol. 26 NO. 1, pp. 16~23, 1998.
 [6] Lebedev, O.N., "Special characteristics of the combustion of water-fuel emulsions in diesels", Fizika Goreniya, vol. 14, no. 2, pp. 142~145, 1976.
 [7] 吉本唐文, 村上 正, "유화연료의 미세폭발에 관한 연구", 일본기계학회논문집, Vol 55, No. 519.
 [8] 박인석, "에멀션 연료를 사용한 디젤기관의 내구성 및 연소특성에 관한 연구", 석사학위논문, 한국해양대학교, 2002.

저 자 소 개



임재근(林載根)

1950년 4월생. 1972년 한국해 양대학교 기관학과 졸업, 1983년 조선대학교 기계공학과 졸업(공학석사), 1993년 동대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 군산대학교 동력기계시스템공학전공 교수.



조상곤(趙相坤)

1965년 5월생. 2000년 군산대학교 대학원 기관공학전공 졸업(공학석사), 군산대학교 대학원 기관공학전공 수료(공학박사), 현재 군산대학교 직원.



황상진(黃相軫)

1974년 8월생. 2001년 군산대학교, 기관공학과 졸업, 군산대학교 대학원 기관공학전공수료(공학석사), 현재 군산대학교 직원.



유동훈(柳東勳)

1977년 8월생. 2003년 군산대학교 기관공학과 졸업, 2006년 군산대학교 대학원 기관공학전공 졸업(공학석사). 현재 일본 고베대학 재학중.