

선박용 디젤기관에 있어서 스크리버형 배기재순환 시스템의 배기배출물 특성에 관한 연구

임 재 근* · 조 상 곤**

A Study on Exhaust Gas Emissions Characteristics of EGR with Scrubber for Marine Diesel Engine

J. K. Lim* · S. G. Cho**

Key words : Exhaust Gas Recirculation(EGR)(배기재순환), Specific Fuel Consumption (SFC)(연료소비율), International Maritime Organization(IMO)(국제해사기구), Scrubber(매연저감장치).

Abstract

The effects of exhaust gas recirculation(EGR) on the characteristics of exhaust gas emissions, and SFC are experimentally investigated by four-cylinder, four-cycle and direct injection marine diesel engine.

In order to reduce the soot contents in the recirculated exhaust gas to intake system of the engines, a soot removal system of a cylindrical-type scrubber is specially designed and manufactured for the experimental system.

The investigated results in this experimental study as follows.

- (1) SFC is increased in downward convex curve style with increasing excess air ratio, it is increased with increasing EGR rate at the same excess air ratio
- (2) NOx emission is reduced in downward convex curve style with increasing excess air ratio, it is reduced with increasing EGR rate at the same excess air ratio.
- (3) Soot emission is decreased in downward convex curve style with increasing excess air ratio, it is reduced with increasing EGR rate at the same excess air ratio.
- (4) CO emission is increased in nearly straight line style with increasing excess air ratio, it is increased with increasing EGR rate at the same excess air ratio.
- (5) HC emission is not constant tendency with increasing excess air ratio, it is increased with increasing EGR rate at the same excess air ratio.

* 群山大學校 機關工學科(원고접수일 : 99년 6월)

** 群山大學校 大學院

I. 서 론

최근에 해양환경보존에 대한 의식의 확대로 국제해사기구(IMO)^{1),2)}에서 2000년 1월 1일부터 선박기관에서 배출되는 환경오염물질을 규제할 예정이다

그런데 선박기관의 주종을 이루는 디젤기관은 다른 기관에 비하여 값이싼 연료를사용할 수 있고, 열효율이 높으며, 대출력의 기관을 만드는 것이 용이하고, 신뢰성과 내구성이 좋을뿐만아니라, 출력에 비하여 이산화탄소(CO₂) 배출량이 적기 때문에 에너지 절약과 지구온난화 제어의 차원에서 바람직한 열기관이다.

그러나 디젤기관에서는 일산화탄소(CO), 미연탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 매연(Soot)등의 대기오염물질이 배출되고 있으므로 환경보존을 위하여 이들의 저감대책이 절실히 요구되고 있다. 이들 중 HC, CO 및 매연의 저감대책은 연료의 완전연소와 여과장치를 이용하여 저감방법이 용이하나, NOx의 저감대책은 부수적인 악영향 때문에 실용적인 방법의 개발이 간단하지 않다.

질소산화물을 저감시키는 여러 방법들(연소계의 개선, 배기재순환, 물첨가 연료 및 물분사 등)³⁾ 중에서 배기재순환(EGR)방법이 다른 방법에 비하여 시설이 간단하고 비용이 저렴하며, 효율이 높지만, EGR가스중의 매연의 증가로 엔진 흡기계통의 오손, 부품의 마모 및 윤활유 열화 등의 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 선박용 디젤기관의 EGR 시스템에 있어서 EGR가스중의 매연을 효율적으로 저감시킬 수 있는 매연저감장치(Scrubber)를 설계·제작하여, EGR 계통에 그것을 설치한 경우, 배기배출물 생성에 대한 특성을 공기과잉률을 기준으로 하여 분석·고찰하고자 한다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같고, 실험기관은 선박용 디젤기관으로 주요 제원

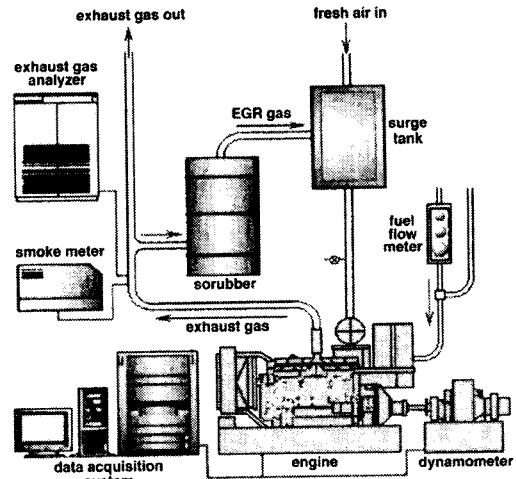


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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

은 Table 1과 같다.

기관의 출력 측정은 와류형 전기동력계를 사용하였고, 연소실의 압력측정을 위하여 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 첫번째 실린더에 설치하였다. 연료소비율은 용적식 유량계를 사용하였고, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기유량계를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 신선한 공기와 재순환가스의 혼합이 잘 이루어지도록 하였다. 또한 디지털 습도계와 온도계를 설치하여 흡입측 공기의 습도와 온도를 측정하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도를 1400과 1800

Table 2. Compositions & properties of diesel oil

Item	Value
Carbon residue	0.08 wt%
Calorific value	42.8 MJ/kg
Stoichiometric ratio	14.44 kg/kg
Evaporation heat	180 kJ/kg
Cetane number	54
Sulfur	400 ppm
Flash point	49 ℃
Viscosity	2.67 cSt @ 40℃
Water & sediment	0.00 %
Specific gravity	0.8342 @ 4℃

rpm의 2가지 경우에 대해서 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로, EGR율을 0%에서 30%까지 15% 간격으로 변화시키면서, 기관회전속도, 기관부하 및 EGR율의 3개 파라미터중 2개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 하였다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 열발생율 선도 등을 발취하였으며, 각 부위(스크러버 입·출구, 배기관, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기 등)의 온도를 측정하였다.

그리고, EGR율은 일반적으로 많이 사용되고 있는 아래의 식으로 계산하여 사용하였다.

$$\text{EGR율} = \frac{\text{CO}_2(\text{EGR}) - \text{CO}_2(\text{w/o EGR})}{\text{CO}_2(\text{exh})}$$

여기서 CO₂(EGR)는 EGR시 흡기중의 이산화탄소 농도, CO₂(w/o EGR)는 EGR을 하지 않았을 경우 흡기중의 이산화탄소 농도, CO₂(exh)는 EGR시 배기관내의 이산화탄소 농도를 나타낸다.

스크러버내의 물 분사 압력은 1.5 kg/cm²로 고정하여 실험을 하였으며, 실험에 사용된 연료유의 화학적 성분과 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 연료소비율

Fig. 2는 연료소비율을 조사한 결과로 기관회전수, 부하 및 EGR율의 변화에 따라 나타난 값을 공

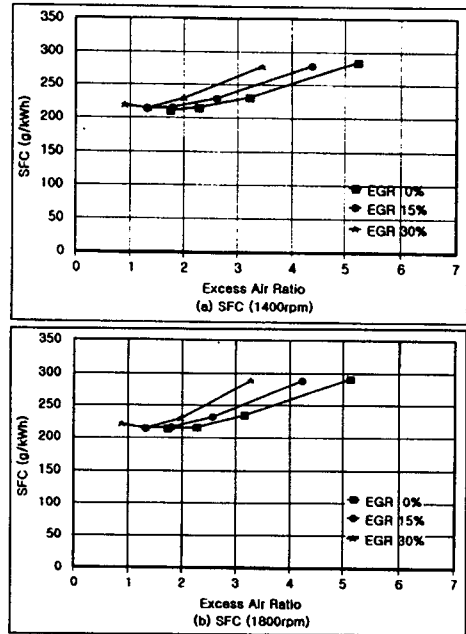


Fig. 2 Specific fuel consumption on effect of EGR according to excess air ratio.

기과잉률을 기준으로 표시한 그림이다.

Nagai 등^[4]은 단기통 소형 디젤기관의 실험에서 EGR율이 증가함에 따라 연료소비율이 약간 증가된다고 했고, Odaka와 Nurusawa 등^[5]은 직접분사식 대형 디젤기관의 실험에서 흡입산소량이 18%이상인 영역에서는 EGR율의 증가에 따라 연료소비율이 약간 떨어지나 큰 감소는 없었다고 했다.

임 등^[3,6]의 연구결과에서도 EGR율의 증가에 따른 연료소비율의 증가 및 감소 경향은 불규칙적이지만, 그 변동율은 아주 작아 EGR하지 않을 때의 3% 미만임을 밝힌 바 있다.

금번 스크러버를 이용한 실험에서는 기관회전수가 높거나 낮은 경우 모두 비슷한 경향으로, 회박연소영역에서는 공기과잉률이 높을수록 아래로 볼록한 곡선 형태로 증가했다. 그리고 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 연료소비량이 증가했는데, 그 이유는 실린더내의 흡입산소량이 상대적으로 감소하고 연소가스 온도가 낮아지며, 혼합가스의 영향이 완전연소에 도움을 주지 못했기 때문으로 생각된다.

2. 배기배출물 특성

디젤기관에 있어서 EGR율과 공기과잉률의 변화가 배기배출물 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 실험 조건에서 각종 배기배출물을 측정하여 그래프로 나타낸 것이 Fig. 3~6이다.

본 그림들은 기관회전속도 1400rpm과 1800 rpm에서 기관부하 25%에서 100%까지 25%간격으로, EGR율을 0%에서 15%와 30%로 증가시킨 경우에, EGR율과 공기과잉률의 변화에 따른 각종 배기배출물을 비교한 것이다. Fig. 3은 NOx배출물 특성을 나타낸 그림으로, Watanabe 등⁷⁾은 공기과잉률의 증가에 따라 NOx생성량은 감소했다고 했고, Larsen 등⁸⁾도 공기과잉률이 증가할수록 NOx생성량은 점점 감소하고, EGR율이 증가할수록 그의 감소폭은 줄어들었다고 했으며, Timoney 등⁹⁾도 공연비가 증가할수록 NOx생성량은 점점 감소한다고 했다.

본 실험에서도 회박연소영역에서는 공기과잉률이 증가할수록 NOx생성량은 아래로 볼록한 곡선 형태로 감소하며, EGR율이 증가할수록 곡선 형태

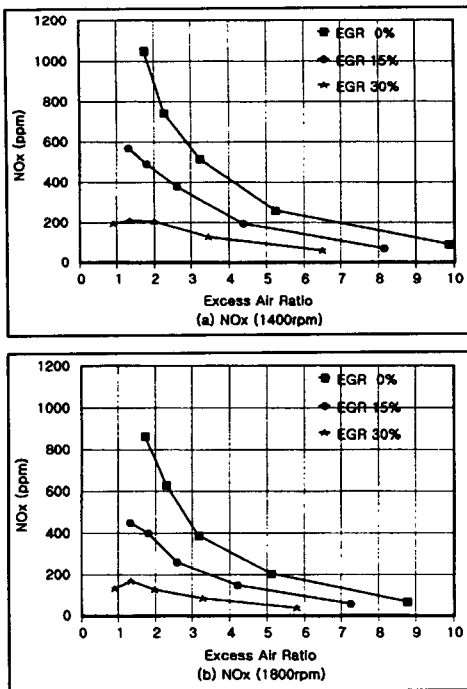


Fig. 3 NOx emission on effect of EGR according to excess air ratio.

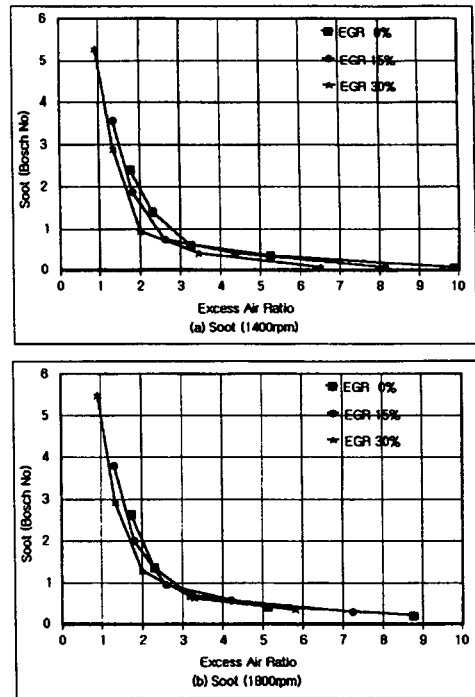


Fig. 4 Soot emission on effect of EGR according to excess air ratio.

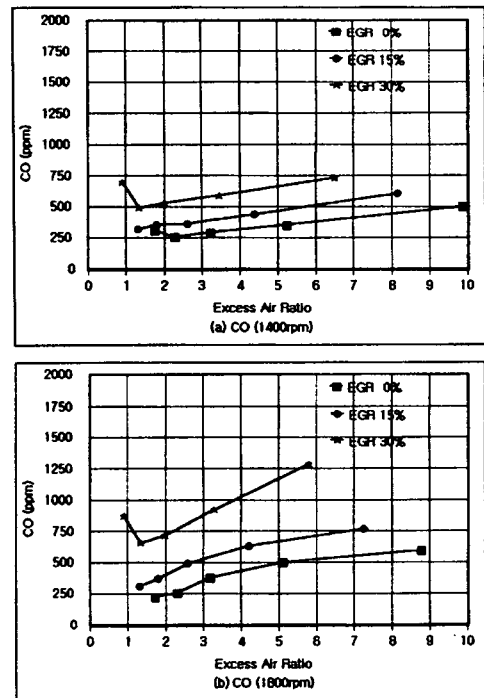


Fig. 5 CO emission on effect of EGR according to excess air ratio.

가 점점 직선 형태로 변화되며, 그의 감소율은 작게 나타났다. 그 이유는 공기과잉률이 증가하면 공기에 대한 연소연료량이 감소하여 실린더내의 연소가스 온도가 낮아지기 때문이며, 또 EGR율이 증가하면 EGR 가스의 열용량이 공기의 열용량보다 크므로 실린더내의 연소가스 온도가 낮아지기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 매연배출물 특성을 나타낸 그림으로, Timoney 등¹⁰⁾은 저속에서는 공연비가 증가할수록 매연 생성량은 거의 직선적으로 감소되고, 고속에서는 아래로 볼록한 곡선형태로 감소한다고 했다.

그러나 본 실험에서는 공기과잉률이 증가할수록 매연 생성량이 아래로 약간 볼록한 곡선형태로 감소하는 경향을 보였으며, EGR율이 증가할수록 동일 공기과잉률에서는 그 값이 더욱 작게 나타났다. 그 이유는 공기과잉률이 증가할수록 공기에 대한 연소연료량이 상대적으로 감소되어 매연이 적게 생성되며, EGR율이 증가되면 역시 산소량이 줄어 그에 상응하는 연소연료량도 적게 되어 매연 생성량이 감소된다고 생각된다.

Fig. 5는 CO배출물 특성을 나타낸 그림으로, Kort 등¹⁰⁾은 동일회전수에서 부하가 증가함에 따라 CO배출량이 감소한다고 했고, Plee등은 EGR율이 0에서 50%까지 증가됨에 따라 연소가스 온도는 1570K에서 1540K 정도로 감소하고, 흡기산소 몰농도는 0.149에서 0.074정도로 감소하는데, 이러한 산소농도와 연소가스온도 감소가 CO농도 증가의 원인이 된다고 했다. 본 실험에서도 거의 직선 형태로 증가하였으며, 동일 공기과잉률에서 EGR율이 높을수록 CO배출물이 많이 나타났다.

Fig. 6은 HC배출물 특성을 나타낸 그림으로, Walder¹¹⁾는 직접분사식 디젤기관에서 EGR율을 증가시키에 따라 HC배출량이 약간 증가한다고 했고, Narusawa 등¹²⁾도 같은 경향이라고 했는데, HC배출량이 증가한 것은 배기배출량 증가속도가 HC배출량 증가속도에 비해 낮은값으로 억제되기 때문이라고 했다. Kort 등¹⁰⁾은 1500rpm에서 공기과잉률이 변하여도 HC배출량은 항상 50~100ppm의 범위를 벗어나지 않는다고 했다.

본 실험에서는 HC배출량이 1400rpm과 1800 rpm에서 모두 130~240ppm의 범위안에 있어서 Kort 등¹⁰⁾의 주장보다 약간 배출량 범위가 넓게 나타났다으며, 공기과잉률이 증가함에 따라 1400rpm에서는 HC배출량이 약간 감소하나, 1800rpm에서는 약간 증가하는 경향을 보이고 있어 증가·감소의 경향이 일정치 않았다. 또한 EGR율이 증가함에 따라 HC배출량도 증가하는 경향을 보이고 있는데, 그 이유는 전체 산소농도가 낮아지므로 국부적인 산소결핍영역이 증가하여, 불완전연소로 인한 미연탄화수소의 연료분자가 많이 남기 때문으로 생각된다.

IV. 결 론

선박용 디젤기관의 EGR 시스템에 있어서 EGR 가스중의 매연을 효율적으로 저감시킬수 있는 스크러버를 설계·제작하여, EGR계통에 그것을 설치한 경우, 배기배출물 생성에 대한 특성을 공기과잉률을 기준으로 분석·고찰하였다.

실험기관으로는 수냉식 4기통 직접분사식 4행정 선박용 디젤기관을 사용하여, 기관회전속도, 부

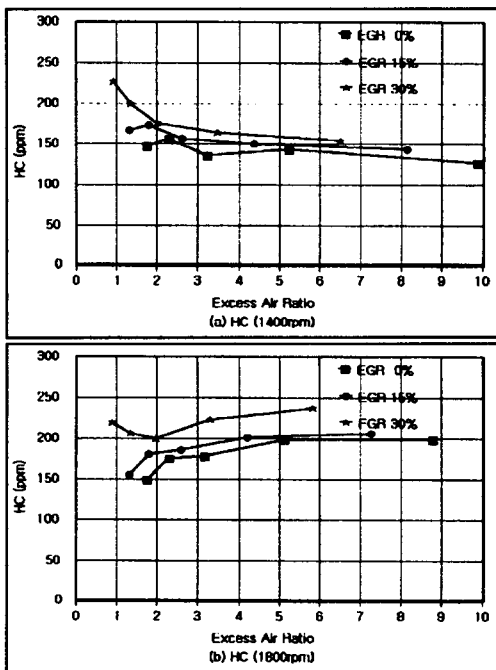


Fig. 6 HC emission on effect of EGR according to excess air ratio.

하올 및 EGR율의 3가지 요소중 하나의 파라미터를 바꾸어 가면서 실험하여 얻은 연료소비율 및 배기배출물 특성에 관한 결과는 다음과 같다.

- (1) 연료소비율은 공기과잉률의 증가에 따라 아래로 볼록한 곡선 형태로 증가하며, 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 증가한다.
- (2) NOx배출량은 공기과잉률의 증가에 따라 아래로 볼록한 곡선 형태로 감소하며, 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 감소한다.
- (3) 매연배출량은 공기과잉률의 증가에 따라 아래로 볼록한 곡선형태로 감소하며, 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 감소한다.
- (4) CO배출량은 공기과잉률의 증가에 따라 거의 직선 형태로 증가하며, 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 증가한다.
- (5) HC배출량은 공기과잉률의 증가에 따라 증가·감소의 경향이 일정치 않으며, 동일 공기과잉률에서는 EGR율이 높을수록 증가한다.

7. Tetsu Watanabe, Takeshi Takahashi, Hiroshi Sami, Akinori Saito, Kiyomi Nakakita and Katsuyuki Ohsawa, "A Study on Effects of High Pressure Injection for D.I. Diesel Combustion," Symposium('90) 日本自動車技術會, pp.10~13, 1990.
8. Chris Larsen and Yiannis A. Levendis, "An Integrated Diesel Engine ART-EGR System for Particulate/NOx Control Using Engine Sensory Inputs, SAE 97047, pp.183~198.
9. David J. Timoney, Barry Brophy, and William J. Smith, "Heat Release and Emissions Results from a D.I. Diesel with Special Shrouded Intake Valves," SAE 970900, pp183~190, 1997.
10. Raja T. Kort, S. Hossein Mansoun, John B. Heywood, and Agop Ekchiaie, "Divided-Chamber Diesel Engine, Part 2, Experimental Validation of a Predictive Cycle-Simulation and Heat Release Analysis," SAE 820274, pp.121~130, 1982.
11. Walder, C. J. "Reduction of emissions from diesel engines," SAE 730214.

참고문헌

1. International Maritime Organization, "Technical code on control of emission of nitrogen oxides from marine diesel engine," 1997.
2. 전효중, "선박용디젤기관의 환경문제." 한국박용기관학회지, 제20권 제3호, pp.187~205, 1996.
3. 임재근, "선박용 고속 디젤기관의 배기재순환율이 배기배출물에 미치는 영향에 관한 연구," 박사학위논문, 조선대학교, 1992.
4. Nagai, T., Kawakami, M. "Reduction of NOx emission in medium-speed diesel engines," SAE 891917.
5. Narusawa, K., Odaka, M., Koike, N., Tsukamoto, Y., Yoshida, K., "An EGR control method for heavy-duty diesel engine under transient operations," SAE 900444.
6. 임재근, 배명환, 김종일, "소형 고속 디젤기관의 배기배출물에 미치는 배기 재순환율의 영향에 관한 실험적 연구," 한국박용기관학회지, 제16권 제4호, pp.60~77, 1992.

저자 소개



임재근(林載根)

1950년 4월 3일생. 한국해양대학교 기관공학과 졸업(1972년). 조선대학교 대학원 기계공학과 석사(1983). 동대학원 박사(1993년). 현재 군산대학교 기관공학과 교수. 한국 박용기관학회 상임 연구이사.



조상곤(趙相坤)

1965년 5월 24일생. 군산대학교 대학원 석사(2000년). 현재 군산대학교 실습선 2기 사.