

예혼합 압축 착화 디젤 엔진의 연소 및 배기 특성

허성근* · 김대식* · 이창식**

Combustion and Emission Characteristics of Premixed Charge Compression Ignition Diesel Engine

Seong Geun Heo, Dac Sik Kim, Chang Sik Lee

Key Words: Premixed Charge Diesel Combustion(예혼합 압축 착화 디젤 연소), Premixed ratio(예혼합비), Combustion Characteristics(연소 특성), EGR(배기가스 재순환)

Abstract

A homogeneous premixed charge compression ignition engine is experimentally investigated for the reduction of exhaust emissions in diesel engines. In this study, the premixed fuel is injected into the intake manifold to form homogeneous pre-mixture in the combustion chamber and then this pre-mixture is ignited by small amount of diesel fuel directly injected into the cylinder. In the premixed charge compression ignition engine, NO_x and smoke concentration of the exhaust emissions were reduced simultaneously as compared with the conventional diesel engine. But HC and CO emissions were increased with the increase of premixed ratio. The combustion characteristics of premixed charged diesel engine such as the power output, the rate of heat release, and the other characteristics are discussed.

1. 서 론

지금까지 디젤 엔진에서는 입자상 물질(P.M.)과 질소 산화물(NO_x)의 저감을 위하여 고압 연료 분사 기술과 분사 시기의 지연, 미세 분공 노즐의 사용에 의한 여러 가지 방법이 적용되어 왔다⁽¹⁾.

그러나 이러한 여러 가지 대책에도 불구하고, NO_x 농도는 크게 저감되지 않는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 현상의 원인은 균일한 혼합기가 형성되지 못하고 국부적으로 농후한 혼합기의 연소에 의하여 NO_x가 생성되기 때문이다⁽²⁾. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 기존의 디젤 엔진에 균일 희박 예혼합기가 형성되도록 예혼합 연료 분사 시스템을 부가하여 연소실내에 균일 희박 예혼합기를 형성시킴과 동시에 자기 착화를 위한 점화원으로서 소량의 연료를 직접 분사하여 압축 착화시킴으로써 실린더 전

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 한양대학교 기계공학부

체의 희박 연소에 의한 NOx 생성 억제와 예혼합 연소에 의한 입자상 물질의 저감을 동시에 이룰 수 있는 새로운 연소 기술이 균일 예혼합 압축 착화 방식이다^{(3),(4)}.

따라서 본 연구에서는 균일 예혼합 압축 착화 디젤 엔진의 연소 및 배기 특성을 규명하기 위하여 단기통 디젤 엔진에 예혼합기 공급 장치를 장착한 예혼합 압축 착화 기관을 구성하고 엔진의 연소 및 배기 특성을 실험적으로 구하여 그 결과를 기존의 직분식 디젤 엔진의 연소 및 배기 특성을 비교하여 예혼합 압축 착화 디젤 기관의 연소 성능을 여러 가지 예혼합 비율에 대하여 비교 검토하였다. 또한 NOx저감에 효과적인 방법으로 알려져있는 EGR시스템을 병행하여 실험하고 각각의 연소 및 배기 특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

실험에 적용한 단 실린더 기관은 배기량이 1425cc인 직립형 4사이클 수냉식 디젤 기관으로서 연소실 형식은 직접 분사식(M-연소실식) 기관을 적용하였다. Table 1은 실험용 기관의 주요 제원을 나타낸 것이다.

실험용 엔진의 구성은 베이스 엔진에 연료 공급 장치 및 연료 분사 시스템을 수정하여 예혼합기 공급이 가능한 예혼합 연료 공급 장치를 부가하고, 엔진으로 공급되는 디젤 연료 공급을 부분적으로 제어하도록 하였다.

Fig. 1은 실험 장치의 계통도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 엔진과 동력계 시스템, 예혼합기 공급 시스템, 연료 및 냉

각수 제어 장치, 연소 해석 장치로 구성하였다. 기관 동력계 시스템은 와전류식 전기 동력계와 동력 제어 시스템으로 구성되며 동력계는 150kW 와전류식 동력계를 사용하였고, 기관의 연소 해석 장치는 압력 변환기로부터의 압력 신호와 크랭크축에 연결된 엔코더로부터의 펄스 신호를 받아 신호 처리하여 가스의 압력, 열발생을 등을 구할 수 있도록 하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Type	Vertical 4 cycle water cooled diesel engine
Combustion chamber	Direct injection
Output(PS)	10
Engine speed (rpm)	1,200
Number of cylinder	1
Bore×Stroke (mm)	110×150
Compression ratio	17.4

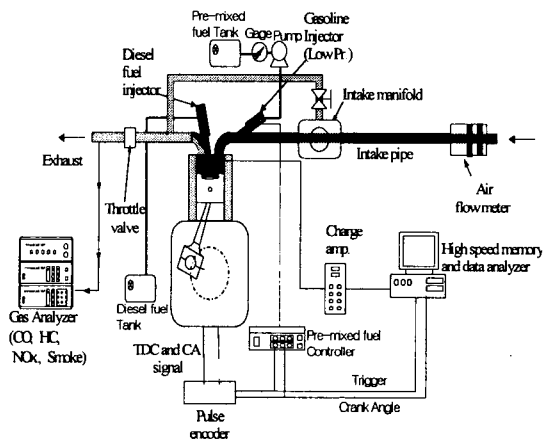


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

예혼합기 공급 시스템은 흡기관에 예혼합용 가솔린 인젝터를 설치하여 엔진의 TDC센서로부터 구동 신호를 받아 연료를 분사하여 실린더 내로 흡입되는 구조로 제작하였고, 흡기 온도를 일정하게 제어하기 위하여 흡기관에는 흡기 가열기를 설치였다. 예혼합기 공급을 위한 연료 공급 시스템은 디젤 연료 공급 장치와 예혼합용 연료 공급 장치로 구성하며 이들의 연료 공급량은 각각 디젤 연료 분사량 제어 기구와 가솔린 인젝터 구동 회로로부터 보내지는 분사 신호 의하여 제어하도록 구성하였다.

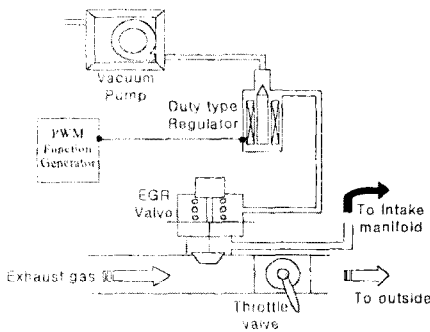


Fig. 2 Schematic diagram of EGR system

Fig. 2는 본 실험에서 채택한 EGR 시스템의 개략도이다. 본 실험에서는 Duty type의 기계식 EGR 시스템을 채택하였다. EGR 밸브의 개폐 정도에 따라 흡기관으로 흡입되는 EGR 가스의 양이 결정되고, 이를 제어하기 위한 조정기를 장착하였다. EGR이 이루어지기 위해서는 배기쪽의 배압이 흡기쪽보다 높아야 하므로 배압을 발생시키기 위한 스톱 밸브를 배기 파이프에 장치하였다.

2.2. 실험 방법

예혼합용 연료인 가솔린과 점화원으로서는 연소실에 직접 분사되는 디젤 연료의

비를 나타내기 위해 예혼합비(MR)로 정의하고 다음의 식과 같이 나타내었다.

$$MR = \frac{Q_g}{Q_g + Q_d} \quad (1)$$

$$Q_g = m_g LHV_g$$

$$Q_d = m_d LHV_d$$

여기서, m_g 는 가솔린 분사량, m_d 는 디젤 분사량, LHV_g 는 가솔린의 저발열량이고, LHV_d 는 디젤 연료의 저발열량이다.

본 연구에서 기관의 회전 속도는 900rpm으로 운전하였으며 예혼합기의 미립화를 위하여 흡입 공기의 온도는 40℃로 가열하였고, 냉각수의 온도는 70℃로 유지시켰다. 또한 예혼합비는 0에서 0.9까지, EGR률은 0%에서 30%까지 각각 변화시키면서 압력, 열발생을 및 열효율 등의 연소 특성과 NOx와 Soot 등의 배기 특성을 동시에 측정하여 기존의 직분식 디젤 엔진과의 비교 실험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 예혼합 비율에 따른 연소 특성 해석

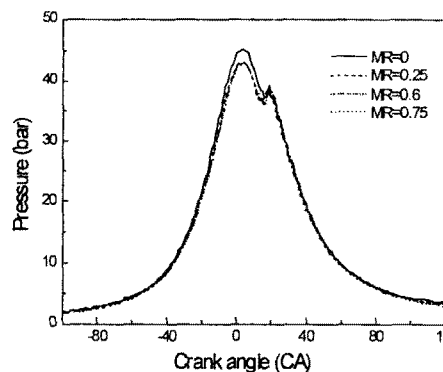


Fig. 3 Effect of premixed ratio on the gas pressure

Fig. 3은 실험에 적용한 단기통 직분식 디젤 기관의 예혼합비에 따른 연소 압력을 기존의 디젤 기관의 결과와 비교한 것으로서 연료 분사 시기는 상사점 전 22° 이고, 기관의 회전 속도는 900rpm일 때이다. 실린더내 연소압력은 예혼합율이 증가할수록 그 최고치가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이 압력 데이터를 이용하여 연소실 내의 열발생율을 비교하면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보이듯이 예혼합비가 증가함에 따라 초기 연소 시작 시기는 다소 늦춰졌으나 열발생율의 최고치의 위치가 앞당겨지고 있음을 알 수 있다. 이는 점화원으로 사용되는 디젤 연료의 감소로 인해 초기 착화는 늦어졌으나 예혼합된 가솔린 연료에 의해 급격히 연소가 진행된 것으로 생각된다.

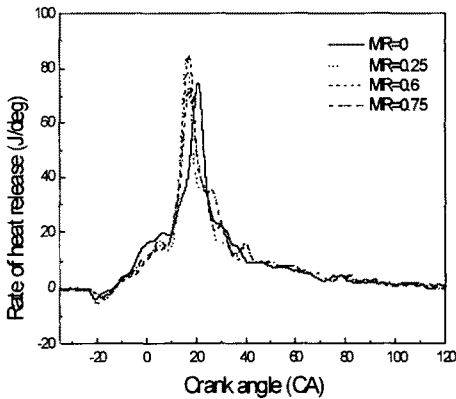


Fig. 4 Effect of premixed ratio on the ROHR

Fig. 5는 예혼합비에 대한 질량 연소율의 결과를 비교 검토한 것이다. 열발생율의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 예혼합 비율이 증가함에 따라 열발생율 곡선에서 보이듯이 연소 기간이 단축되는 것으로 나타났다.

이러한 열발생율 곡선과 질량 연소율 곡선으로부터 예혼합 압축 착화 기관에

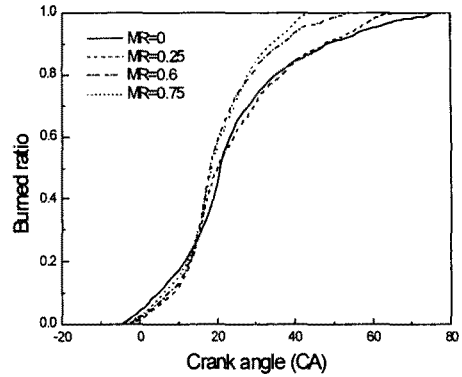


Fig. 5 Effect of premixed ratio on the fuel burned ratio

있어서 고온 연소시간의 단축은 NO_x 의 저감에 기여할 것으로 보이며 또한 후연소시간의 단축은 smoke의 저감에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

3.2. EGR 비율에 따른 연소 특성 해석

Fig. 6과 Fig. 7은 예혼합율을 0.6으로 일정하게 유지하였을 경우 각각 EGR율의 증가에 따른 열발생율과 질량 연소율 특성을 비교한 것이다. 이 선도에서 EGR율이 증가할수록 실린더 내에 배기 가스의 유입으로 인한 연소 약화로 인해

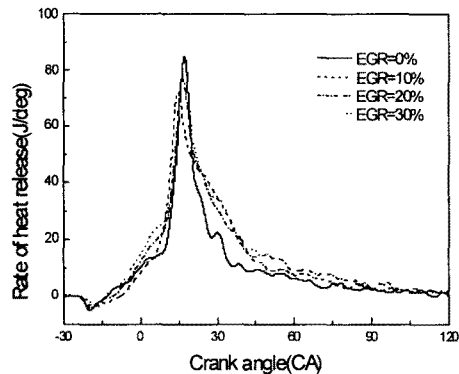


Fig. 6 Effect of EGR ratio on the ROHR at 0.6 premixed rate

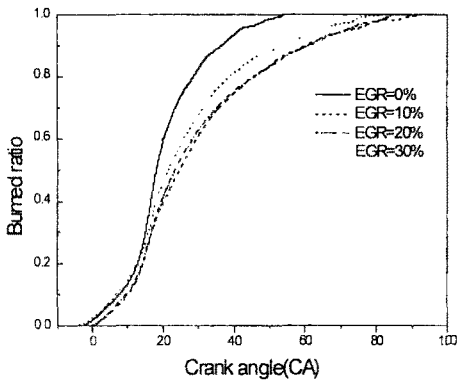


Fig. 7 Effect of EGR ratio on the mass burned fraction at 0.6 premixed rate

열발생율의 최고치가 감소하고, 또한 연소 기간이 기존의 디젤 엔진에 비해 길어지고 있음을 볼 수 있다.

3.3. 배기 가스 분석

기관으로부터 배출되는 배기 가스의 분석을 위하여 NOx 분석기(Best, BCL-511)와 매연 측정기(DBC-1000)와 HC, CO분석기(Horiba, MEXA-554JK)를 사용하였다. 측정은 부부하에서 실시하였으며 동일 조건에서 측정하여 그 평균값을 취하였다.

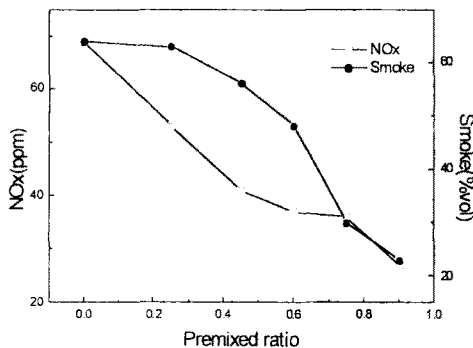


Fig. 8 Effect of premixed ratio on NOx and smoke emission

Fig. 8은 예혼합 비율의 변화에 따른 배기 가스 중의 NOx와 매연의 측정 결과를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 배출물 중의 NOx는 예혼합비가 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 예혼합 화염 구간의 압력과 온도의 저하로 인하여 NOx 생성이 억제되고 있는 것으로 생각된다. 또한 예혼합 비율의 증가에 따라 스모크 배출 농도 역시 감소하는 경향이 나타났다. 이와 같은 주된 원인으로는 예혼합 비율의 증가에 따라 균일한 예혼합기가 생성되고 매연 생성요인이 되고 있는 디젤 엔진의 불균일한 공연비 분포를 개선하기 때문인 것으로 생각된다.

이러한 결과로부터 예혼합 압축 착화 디젤 엔진은 기존의 디젤 엔진이 가지고 있는 배출 가스 중의 유해물질이 되고 있는 입자상 물질 및 질소산화물을 저감시킬 수 있는 효과적인 방법의 하나라고 생각된다

Fig. 9는 예혼합비율에 따른 HC와 CO 배출량의 관계를 나타낸 것이다. 예혼합비가 증가함에 따라 HC와 CO의 배출량이 선형적으로 증가하였다. 이러한 증가 요인으로는 다량의 가솔린 연료의 분사로 인한 미연 가스의 배출 및 기존의 디

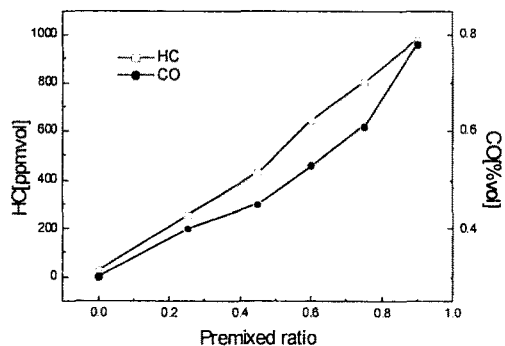


Fig. 9 Effect of premixed ratio on HC and CO emission

젤 엔진에 비하여 농후한 공연비 환경속에서의 불완전 연소 등에서 기인한 것으로 분석된다.

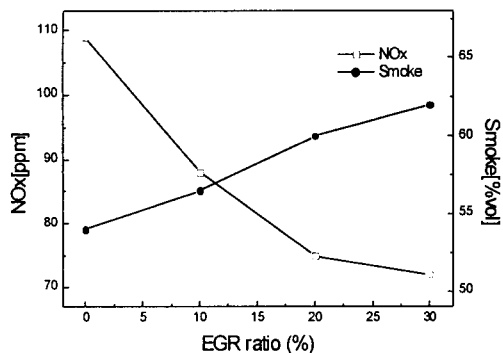


Fig. 10 Effect of EGR ratio on NOx and smoke emission of 0.6 premixed rate

Fig. 10은 EGR율에 따른 NOx와 smoke의 배출량을 비교한 것이다. Fig. 6 과 Fig. 7에서 살펴본 바와 같이 EGR가스의 주입으로 인하여 최고 열발생율이 낮아지고 후연소기간이 길어지는 연소특성으로 인하여 EGR율이 증가함에 따라 NOx는 선형적으로 감소하지만 smoke는 다소 증가하는 경향을 보인다.

4. 결 론

직접 분사식 디젤 기관에 예혼합기 공급 시스템을 적용한 예혼합 압축 착화 디젤 기관의 연소 및 배기 특성을 실험적으로 구한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 예혼합 비율의 증가에 따른 연소실 내의 압력의 최고치는 감소하고, 열발생율이 최고가 되는 시기가 앞당겨지고 있는 경향을 나타내었다.
- (2) 예혼합비의 증가에 따라 초기 연소 구간에서는 연소의 시작이 늦어지고, 또한 후연소 구간이 단축됨이 확인되

었다.

- (3) EGR율의 증가에 따라 열발생율이 최고치가 다소 감소하고, 연소 기간이 길어지는 경향을 나타내었다.
- (4) 배출 가스중의 NOx와 Smoke 배출 농도는 예혼합비가 증가함에 따라 현저하게 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 EGR율의 증가에 따라 NOx배출 농도가 현저하게 저감되는 경향을 나타내었다.

후 기

본 연구는 BK21핵심사업의 연구지원에 의하여 수행된 연구의 일부로서 연구를 지원하여 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Rosli Abu Baker, and Chang-sik Lee, "The effect of combustion parameter on the nitric oxide emission in direct diesel engine", KSME International Journal, Vol.11, No.6, 1997
- 2) Takeshi Kobayashi, Teiji Yamada, and Kunihide Kayano, "Study of NOx trap reaction by thermodynamic calculation", SP-1248, p63, 1997
- 3) Keiichi Nakagome, and Naoki Shimazaki, "Combustion and emission characteristics of premixed lean diesel combustion engine", SP-1246, p163, 1997
- 4) Rie Takatsuto, Tetsuya Igarashi and Norimasa Iida (1998), Auto ignition and combustion of DME and n-butane/air mixtures in homogeneous charge compression ignition engine, The fourth international symposium COMODIA 98.