

예혼합 압축착화 엔진의 혼합기 형성 및 연소 특성에 관한 연구

김형민¹⁾ · 류재덕¹⁾ · 이기형^{*2)}

한양대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 한양대학교 기계공학과²⁾

A Study on the Characteristics of Mixture Formation and Combustion in the Premixed Charge Compression Ignition Engine

Hyungmin Kim¹⁾ · Jeaduk Ryu¹⁾ · Kihyung Lee^{*2)}

¹⁾Graduate School, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

(Received 17 February 2005 / Accepted 21 February 2006)

Abstract : Recently, there has been an interest in premixed diesel engines as it has the potential of achieving a more homogeneous and leaner mixture close to TDC compared to conventional diesel engines. Because this concept reduced NOx and smoke emissions simultaneously. Early studies are shown that in a HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition) engine, the fuel injection timing and intake air temperature affect the mixture formation. The purpose of this study is to investigate characteristics of combustion and mixture formation according to injection timing and intake air temperature in a common rail direct injection type HCCI engine using an early injection method called the PCCI(Premixed Charge Compression Ignition). From this study, we found that the fuel injection timing and intake air temperature affect the mixture formation and in turn affects combustion in the PCCI engine.

Key words : PCCI(예혼합 압축착화), Cool flame(냉염), Two-stage ignition(2단점화), ROHR(열발생률), IMEP(도시 평균 유효 압력)

Nomenclature

r_d : droplet radius
 N_T : Taylor number ($= Z(We)^{0.5}$)
 Z : Ohnesorge number ($= (We)^{0.5}/Re$)
 We : Weber number
 σ : surface tension
 U_r : relative velocity between ambient and drop
 m_d : droplet mass
 A_d : droplet frontal area
 Sh : Sherwood number

D_{AB} : mass diffusivity
 ρ_v : vapor density
 T : temperature
 D_d : droplet diameter
 $p_{v,s}$: partial pressure at the droplet surface
 $p_{v,\infty}$: partial pressure at the ambient
 $C_{p,d}$: specific heat of liquid
 ρ_d : droplet density
 F_Z : droplet quantity
 N_u : Nusselt number
 κ_m : mixture thermal conductivity
 h_{hg} : latent heat of evaporation

*Corresponding author. E-mail: hylee@hanyang.ac.kr

- T_d : droplet temperature
- We_{in} : Weber number of the impinging droplet
- T_{Leid} : Leidenfrost temperature
- τ_b : life time
- Λ_{KH} : wave length
- Ω_{KH} : frequency
- ASOI : after start of injection
- FSN : filter smoke number

1. 서론

환경문제와 석유자원 부족이 세계적인 문제로 대두되면서 자동차의 배출가스 저감과 열효율의 증가에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 관점에서 열효율이 우수하여 CO₂ 배출물 특성에서 유리한 디젤 엔진이 주목을 받고 있지만, 디젤엔진의 연소 특성인 국부적인 고온 반응 구간에서의 NO_x 생성과 확산연소시의 입자상물질(PM; particulate matter)의 배출 증가와 같은 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 연료와 공기가 충분히 혼합할 수 있도록 예혼합 연료 분사 시스템을 이용하여 흡입 및 압축 행정 초기에 연료를 분사함으로써 연소실내에 희박 균일한 예혼합기를 형성시킨 후, 순간적으로 동시에 자기착화를 시키는 새로운 연소 시스템인 HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition)가 새로운 연구대상이 되고 있다.

HCCI 엔진의 개념은 Noguchi 등¹⁾과 Onishi 등²⁾이 ATAC(Active thermo-atmosphere combustion) 란 이름으로 2행정 기관에 최초로 적용하였고, HCCI 연소의 중요한 특성인 저온 및 고온 연소의 화학반응에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며,³⁻⁵⁾ 최근에는 많은 연구기관, 대학 등에서 HCCI 엔진의 운전범위의 확대와 착화 제어^{5,6)}를 위해 노력하고 있다. 또한, 현재 디젤엔진에서 사용되고 있는 분사시스템을 이용하여 균일 혼합기를 형성하는 것은 디젤연료의 낮은 증발 특성 때문에 어려움이 따르고 있으나, 상용 디젤엔진의 분사시기보다 연료를 조기에 분사함으로써 증발률을 높이고 혼합기 분포를 균일하게 하는 방법⁷⁾이 연구 중에 있다.

본 연구에서는 상용 디젤엔진에서 사용되고 있는 분사시스템을 이용한 예혼합 압축착화 엔진을 구현하기 위하여 연료를 조기분사하고 압축착화하는 방식을 사용하여, 연소실내의 혼합기 형성이 연소 및 배기 배출물에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 분무 수치 해석

본 연구에서는 연소실내의 혼합기 형성에 미치는 분사시기 및 흡기온도의 영향을 연구하기 위하여 3차원 분무 시뮬레이션을 수행하였다. 분무 수치 해석은 Ricardo사의 상용 프로그램인 VECTIS 3.7을 사용하여 계산을 수행하였고⁸⁾ 계산영역은 연소 실험에 사용한 연소실을 모델링하였으며, 계산은 흡배기 밸브가 모두 닫히는 BTDC 220°부터 연소 시작시기인 TDC까지로 하고 엔진 속도 및 스웰비는 실제 엔진에 맞추어 해석을 실행하였다. 또한, 초기값으로 사용한 분사 속도 및 유량계수는 분사율 실험 결과⁹⁾를 사용하였고, 초기 S.M.D.는 노즐 지름으로 가정하였다. 분사된 연료의 분열 모델은 Kelvin-Helmholtz 이론을 사용하였으며, 식 (1), (2)에 과동분열의 과장 및 주파수를 나타내었다.^{10,11)}

$$\Lambda_{KH} = \frac{9.02r_d \{1 + 0.45(Z)^{0.5}\} (1 + 0.4N_T^{0.7})}{(1 + 0.865 We^{1.67})^{0.6}} \quad (1)$$

$$\Omega_{KH} = \frac{(0.34 + 0.385 We^{1.5})}{\{(1 + Z)(1 + 1.4N_T^{0.6})\}} \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_d^3}} \quad (2)$$

생성되는 액적의 크기는 Kelvin-Helmholtz의 과장에 비례하는 것으로 가정하였다.

$$r_{d,stable} = B_0 \Lambda_{KH} \quad (\Lambda_{KH} \leq r_d) \quad (3)$$

$$r_{d,stable} = \min \left[\left(\frac{3\pi r_d^2 U_r}{2\Omega_{KH}} \right)^{1/3}, \left(\frac{3r_d^2 \Lambda_{KH}}{4} \right)^{1/3} \right] \quad (\Lambda_{KH} > r_d) \quad (4)$$

액적의 주기는 아래의 식 (5)에 의하여 구하였다.

$$\tau_b = \frac{3.78 B_1 r_d}{\Omega_{KH} \Lambda_{KH}} \quad (5)$$

상수 B_0 및 B_1 은 0.6과 10을 사용하였다.¹¹⁾

또한 연료의 증발 특성을 고려하기 위하여 열전달 및 온도 계산을 추가하였다. 식 (6), (7)은 역적의 질량 및 온도의 계산식을 나타내었다.¹²⁾

$$\frac{dm_d}{dt} = -A_d Sh \frac{D_{AB}}{D_d} \rho_v \ln \left(\frac{p - p_{v,\infty}}{p - p_{v,s}} \right) \quad (6)$$

$$m_d \frac{dC_{p,d} T_d}{dt} = -A_d Nu (T_d - T) k_m F_z + h_{hg} \frac{dm_d}{dt} \quad (7)$$

연소실 벽면에서의 계산은 Gosman 등이 제안한 분무 충돌 모델을 사용하였고, We_{in} , T_{Leid} 에 따라서 분무가 연소실 벽면 충돌 후 흡착, 바운드, 분열 등의 조건으로 계산을 수행하였다. 또한, 연소실 벽면의 표면조도는 없는 것으로 가정하였다.^{10,12)}

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

본 실험에서는 상용 커먼레일 디젤엔진을 기본으로 예혼합 압축착화 시스템을 구축하였다. Fig. 1에 직접 분사식 예혼합 압축착화 엔진의 개략도를 나타내었고, Table 1에 엔진 제원을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 직접분사식 예혼합 압축착화

Table 1 Specifications of test engine

Engine type	4 stroke single cyl.
Bore×Stroke	91 mm × 96 mm
Displacement volume	622 cc
Compression ratio	17.5
IVO/IVC	BTDC 8°/ ATDC 38°
EVO/EVC	BTDC 52°/ ATDC 8°

를 실현시키기 위하여 분사시기 및 분사량을 제어할 수 있는 시스템과 증발특성을 증가시킬 수 있는 흡기 가열 장치를 구성하였다. 또한 고부하 영역에서는 상용 디젤 분사방법을 사용하기 위하여 기존 엔진의 연소실 형태와 노즐 지름이 0.168 mm인 5공 노즐을 사용하였다. 또한, 별도의 냉각수와 엔진 오일 공급 장치 및 온도 유지기를 시키기 위한 3 kW의 히터를 설치하였으며, 30 kW AC 동력계를 사용하여 엔진을 일정 회전수로 제어하였다. 연소 현상을 파악하기 위하여 연소실에 압력센서를 설치하여 연소 압력을 측정하였고, 배기 성능을 평가하기 위하여 배기 분석계로 NOx, HC, CO, 매연 등을 측정하였다.

3.2 실험 조건 및 방법

본 연구에서는 수치해석 방법을 이용하여 분사시기 및 흡기조건에 따른 혼합기 형성 특성을 파악한 후, 혼합기 분포 특성이 연소에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 연구하였으며, 실험조건은 Table 2와 같다. 성능 실험에서는 냉각수 온도를 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였고, 흡기온도에 대한 영향을 파악하기 위해서 수치해석에서는 500 K까지 증가시켰지만, 실험에서는 충전효율 및 실제적인 실현 가능성을 검토하여 433 K까지 증가시켰다. 또한, 흡기온도 30°C 를 기준으로 연료량을 일정하게 유지한 상태에서 흡기온도를 변화시켰다.

Table 2 Engine test conditions

Engine performance test	
Engine speed	1400 rpm
Injection quantity	12~26 mm ³
Intake air temp.	300 ~ 433 K
Injection pressure	100 MPa
Injection timing	BTDC 120° ~ 20°
Fuel	Diesel oil

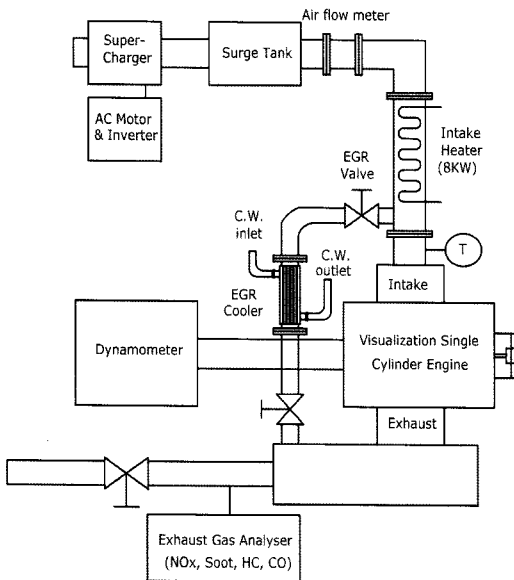


Fig. 1 Schematic diagram of D.I. type HCCI engine system

4. 실험결과 및 고찰

4.1 분사시기에 따른 증발 및 혼합기 특성

Fig. 2는 분사시기에 따른 연료의 증발 특성을 수치해석 결과를 통해 나타낸 그림이다. 분사시기가 BTDC 70° 이전에서 증발률은 분사시기가 빠를수록 연료가 증발을 할 수 있는 시간이 충분하므로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 분사시기 BTDC 70° ~ 40°에서 상대적으로 증발률이 낮은 이유는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 분무와 연소실 충돌 지점이 피스톤과 연소실 라이너 모서리 지점이고 분위기 압력도 높기 때문에 불균일한 연료가 농후하게 분포되어 나타난 결과로 판단된다. 또한, BTDC 40° 이후부터는 연소실의 온도와 압력이 증가하여 증발률이 급격히 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 3은 분사시기에 따른 연료의 벽면 충돌 및 혼합기 형성 특성을 수치해석 결과로부터 나타낸 것

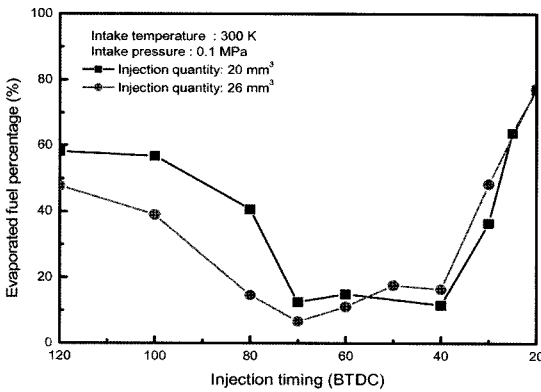


Fig. 2 Characteristics of evaporation according to injection timing

이다. 그림에 나타난 것과 같이 분사시기가 BTDC 80°이전에서는 연료가 실린더 벽에 충돌한 후에 연소실 라이너를 따라 이동하고 피스톤 보울 영역으로 유입되고 있음을 볼 수가 있고, BTDC 80° ~ 60°에서는 연료가 라이너 벽면과 피스톤 상부에 충돌 후에 라이너와 피스톤 모서리에 분포하고 있으며, BTDC 60° 이후에는 피스톤 상면과 보울 영역에 분무가 충돌하여 피스톤 보울 영역에서 불균일한 혼합기가 형성되고 있다. 그러므로 분사시기에 따른 분무 충돌 위치 및 거동은 혼합기 형성에 많은 영향을 주고 있으며, 이러한 혼합기 형성은 연소 특성에 영향을 줄 것이라고 예상된다.

4.2 예혼합 압축착화 엔진의 연소 특성

Fig. 4는 예혼합 압축착화 엔진의 연소 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 예혼합

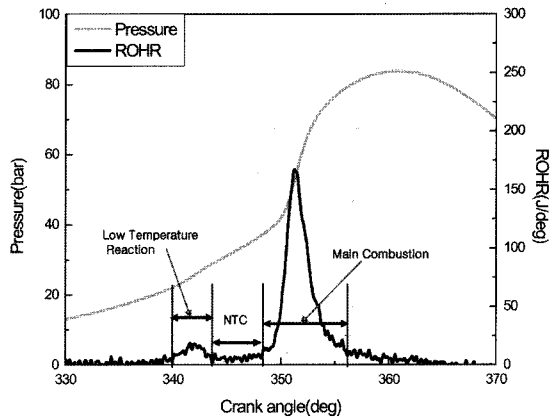


Fig. 4 Characteristics of combustion in the PCCI

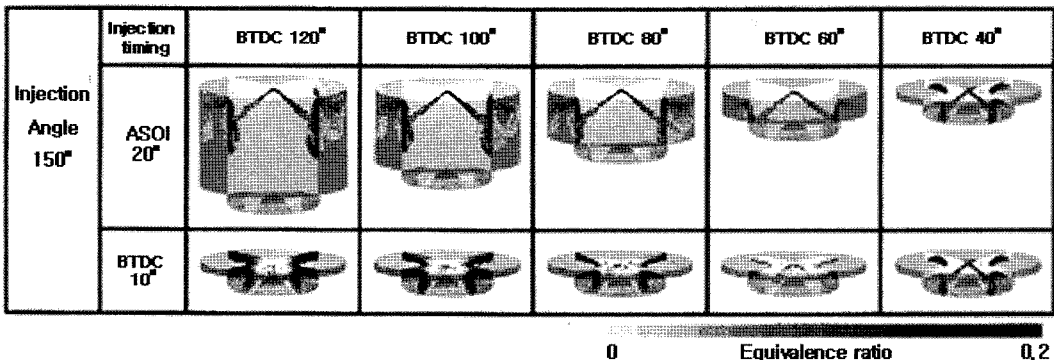


Fig. 3 Mixture formation according to injection timing (Injection quantity: 20 mm³, Intake condition : 300 K, 0.1 MPa)

연소는 냉염(cool flame) 및 열염의 2단 연소 특성을 가지며 확산연소가 없는 것을 특징으로 한다. 이때 발생하는 냉염은 메탄과 에탄을 제외한 알킨(파라핀)계열 연료의 연소에서 주연소 이전에 700 K 이하의 저온 연소반응으로서 청염(blue flame) 형태를 보는 것¹³⁾으로 알려져 있고, 이를 이용한 예혼합 연소 엔진에 착화제어에 관한 연구¹⁴⁾들이 수행되고 있다. 또한, 냉염반응 이후에 압력 증가에 의해 연소실 온도가 증가함에도 불구하고 착화가 지연되는 NTC (Negative Temperature Coefficient) 영역을 보이며, 이후 엔진의 성능에 영향을 주는 주연소 구간을 갖는다. 예혼합 압축착화 엔진의 착화는 TDC 이전에 발생되며, 연소가 TDC 이전에 전부 발생됨을 알 수 있었고, 이로 인해 엔진의 성능 면에서 나쁜 결과를 초래할 것이 예상된다.

4.2.1 분사시기에 따른 연소 및 배기 특성

Fig. 5는 분사시기 및 분사량에 따른 예혼합 엔진의 IMEP 특성을 나타낸 그림이다. 분사시기가 BTDC 80° 이전에서는 분무가 연소실 벽면과 충돌하여 많은 벽류가 형성되며, 혼합기의 분포는 실린더 벽 주변에 희박하게 존재하기 때문에 IMEP가 낮게 나타난다. 또한, 분사시기가 BTDC 80° ~ 60°에서는 분무가 연소실 모서리와 피스톤 상면에 충돌하여 혼합기가 연소실 모서리에 비교적 농후한 상태로 존재하여 BTDC 80° 이전의 분사시기보다 IMEP는 약간 증가한다. 농후한 혼합기가 보울 영역에 존재하는 분사시기인 BTDC 40° 정도에서는 강한 노킹

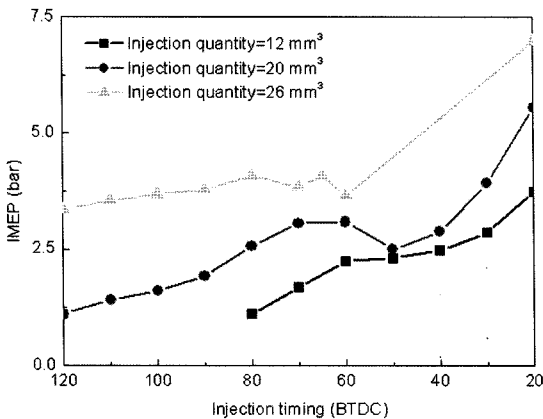


Fig. 5 IMEP characteristics according to injection timing and injection quantity

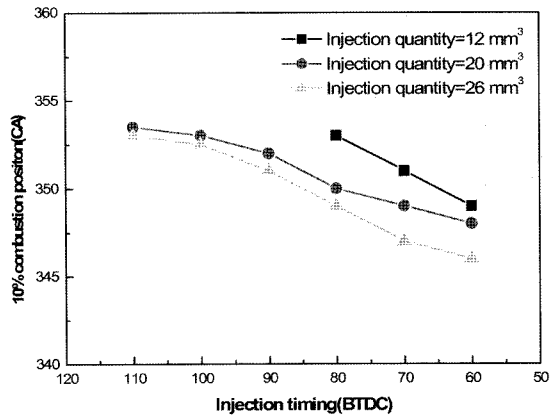


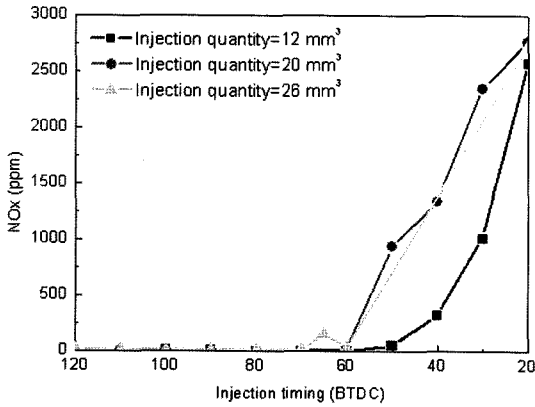
Fig. 6 Combustion characteristics according to injection timing in PCCI combustion region

현상과 함께 IMEP가 급격히 증가하며, 분사량이 26 mm³인 경우에는 강한 노킹으로 인하여 측정할 수 없었다.

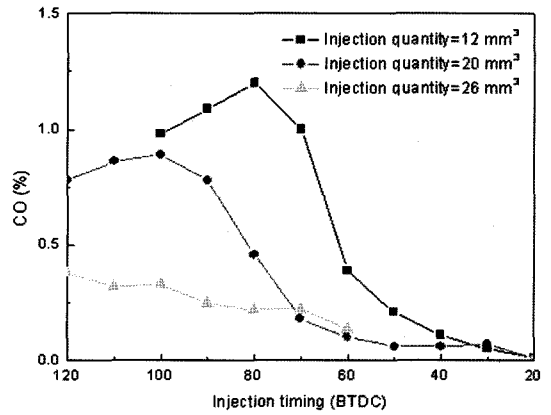
Fig. 6은 분사시기가 BTDC 110° ~ 60°에서의 분사시기 및 연료량에 따라 연소의 10%가 되는 지점을 나타낸 그림이다. 분사시기가 TDC에 가까워질수록 착화시기가 빨라짐을 볼 수 있다. 이는 분사시기가 진각되면 연료의 미립화 및 증발할 수 있는 시간의 증가로 인하여 급격한 열발생이 나타나지 않았기 때문에 나타난 결과이다. 그러므로 분사시기의 진각은 급격한 열발생을 억제하여 NOx의 발생을 저감하는 효과를 가지고 있다.¹⁵⁾

Fig. 7은 분사시기에 따른 NOx 및 매연 배출물 특성을 나타낸 그림이다. NOx는 분사시기가 BTDC 20° 이후에서 최고값을 가지며, 분사시기의 진각에 따라 감소하여 분사시기가 BTDC 60° 보다 진각된 경우에는 거의 발생되지 않음을 볼 수 있고 이러한 경향은 연료량에 따라 차이가 나지 않는다. 이는 Zeldovich의 NOx 생성 메커니즘¹⁵⁾에서 알 수 있는 바와 같이 화염의 온도가 증가하면 비례하여 증가하는데, 분사시기가 BTDC 20° 근처에서는 노킹으로 인하여 급격한 열발생 때문에 최대값을 가지며 분사시기가 BTDC 60° 보다 진각된 경우에는 예혼합 연소로 인하여 NOx는 감소된다.

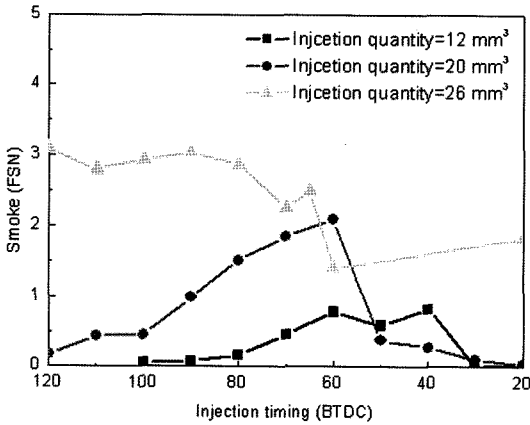
분사시기에 따른 매연 배출물은 분사시기가 BTDC 30° 보다 진각된 경우에 가장 적게 나타나며, 분사시기가 BTDC 60° 보다 진각된 경우에는 분사



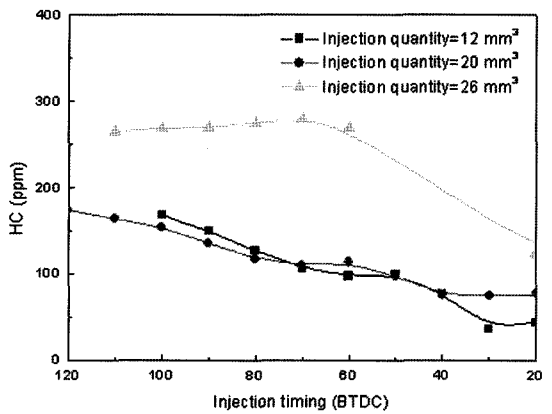
(a) NOx emissions



(a) CO emissions



(b) Smoke emissions



(b) HC emissions

Fig. 7 NOx and smoke characteristics according to injection timing and injection quantity

Fig. 8 CO and HC characteristics according to injection timing and injection quantity

시기가 빨라짐에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 분사량이 많을 경우에는 분사시기가 BTDC 60°를 제외하고 매연은 많이 발생됨을 알 수 있다. 이는 NOx 배출물 경향과는 반대로 BTDC 20° 이후에서는 급격한 연소로 인해 매연의 발생이 감소되었으나, 분사시기가 BTDC 80° ~ 60°에서는 연료의 벽류량 증가로 인하여 기대만큼의 매연은 감소하지 않았다. 이러한 결과로부터 완전한 예혼합 연소를 성공시키기 위해서는 디젤 연료의 증발특성을 향상시키는 흡기가열이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 8은 분사시기에 따른 CO와 HC 배출물 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 CO와 HC는 분사시기가 빨라질수록 대체적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 분사시기가 빨라지면

분위기 온도와 압력이 낮기 때문에 분무도달거리의 증가로 인하여 연료가 벽에 부착되는 양이 많아지기 때문으로 나타난 결과로 사료된다. 또한 연료량이 증가하면 HC는 증가하고 CO는 감소한다. 그러나 CO와 HC의 증가는 현재의 산화촉매 기술로 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 흡기온도에 따른 혼합기 및 연소 특성

4.3.1 흡기온도에 따른 혼합기 분포 및 증발 특성

Fig. 9는 분사시기와 흡기온도에 따른 증발률 특성을 나타낸 결과이다. 분사시기에 따라서는 흡기온도에 관계없이 비슷한 경향을 보이며, 흡기온도가 증가될수록 증발률이 증가함을 보이고 있다.

Fig. 10은 분사시기 및 흡입 공기의 온도에 따라

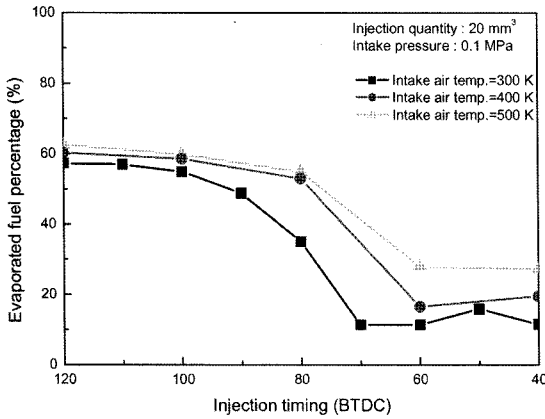


Fig. 9 Characteristics of evaporation according to intake temperature and injection timing

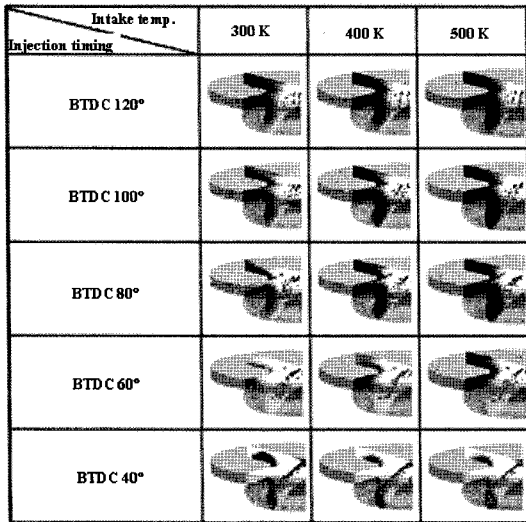


Fig. 10 Mixture formation according to int. temp. (Injection quantity=20 mm³, Intake condition : 300 K, 0.1 MPa)

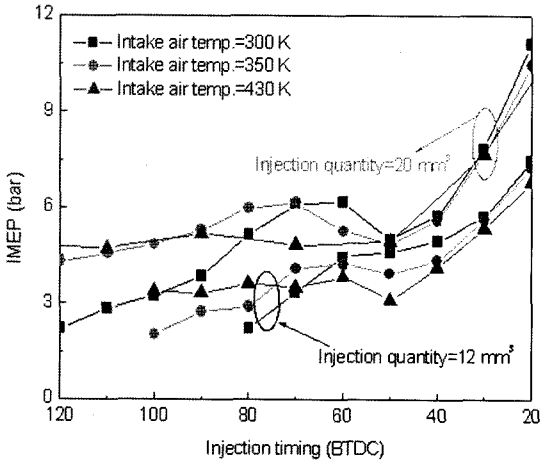
BTDC 10°에서 혼합기 분포 특성을 비교한 결과이다. 분사시기가 압축행정 초기인 BTDC 120° ~ 100°에서는 전반적으로 연료 분포가 피스톤 벽면에 충돌 후, 증발과정을 거치므로 혼합기 분포가 실린더 벽면에 집중되고, 압축행정 말기에는 보울 영역으로 기화된 연료가 집중되고 있음을 보이고 이러한 경향은 흡기온도가 증가할수록 증가된다. 또한, 분사시기가 BTDC 80° ~ 60°에서 초기온도가 낮을 경우는 연료가 충분히 기화되지 못하여 연소실 전체의 혼합기는 희박하지만, 흡기 온도를 상승시키면 연료의 기화 및 확산이 증가됨으로 피스톤 보울 영

역의 혼합기가 증가함을 볼 수 있다. 그러나 분사시기가 BTDC 40°인 경우는 연소실내에 온도와 압력이 상승해 있으므로 흡기온도가 혼합기 분포에 미치는 영향은 미약한 것을 알 수 있다. 이상과 같이 흡기온도가 혼합기 분포에 미치는 영향은 분사시기가 BTDC 80° ~ 60°에서 가장 크다는 것을 알 수 있다.

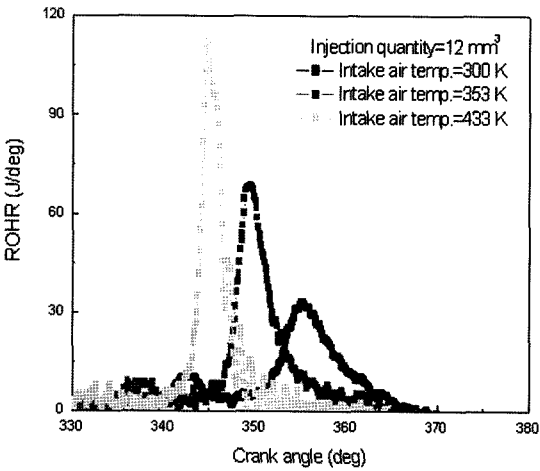
4.3.2 분사시기에 따른 연소 및 배기 특성

Fig. 11은 분사시기와 흡기온도의 증가에 따른 예혼합 연소의 IMEP 및 열발생률을 나타낸 그림이다. IMEP는 분사시기가 TDC에 가까워질수록 흡기온도에 관계없이 증가하는 경향을 보이며, 흡기온도가 증가하면 분사시기가 BTDC 70° ~ 20°에서는 착화시기가 빨라지기 때문에 IMEP가 감소하나, 분사시기가 BTDC 70°보다 빨라지면 연료의 증발 특성이 좋아지기 때문에 IMEP가 증가한다. 따라서 흡기온도의 증가는 분사시기 BTDC 70° 이전에서 운전 영역을 증가시킬 수 있다. 또한, 예혼합 연소에서 IMEP가 최대인 지점의 흡기온도 증가에 따른 열발생률 특성은 Fig. 11의 (b)에 나타난 것과 같이, 냉염 및 열염의 발생시기를 진각시키고 냉염 발생의 크기는 감소되고 열염의 최대값은 증가된다. 이러한 결과로부터 예혼합 연소 엔진의 착화는 흡기온도에 많은 영향을 받고,¹³⁾ 연료 증발특성의 향상을 위한 흡기가열은 착화시기를 진각시키는 문제점¹³⁾이 야기되었다.

Fig. 12는 IMEP가 최대인 지점에서 흡기온도 및 분사시기에 따른 NOx 및 매연 배출물 특성을 나타낸 그림이다. 흡기온도가 증가될수록 NOx는 증가되고 매연은 감소하는 경향을 보인다. 또한, 분사시기에 따른 NOx는 흡기온도에 관계없이 분사시기가 BTDC 70°보다 빨라지면, NOx는 거의 발생되지 않는다. 그러나 매연은 흡기온도가 증가되면, 분사시기 BTDC 70° ~ TDC에서는 감소하였으나, BTDC 70° 이전의 분사에서는 증가되었다. 이는 흡기온도의 증가로 인해 분무도달거리가 증가하여 많은 연료가 벽류를 형성하기 때문에 나타난 결과로 사료되고, 이를 해결하기 위해서는 다단분사를 통한 분무 거리를 짧게 만드는 방법¹⁶⁾과 분사각을 줄이는 방법¹⁷⁾ 등이 제시된다.



(a) Indicated mean effective pressure



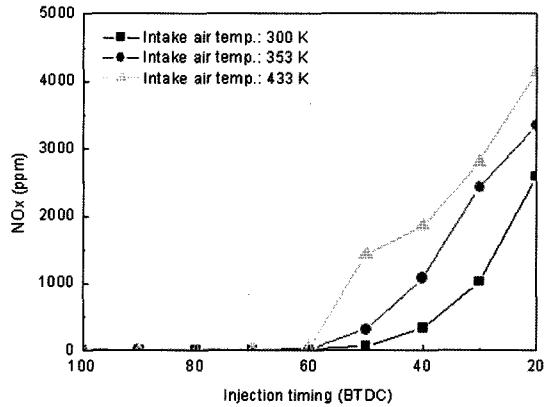
(b) Rate of heat release

Fig. 11 Characteristics of IMEP and ROHR according to intake air temperature

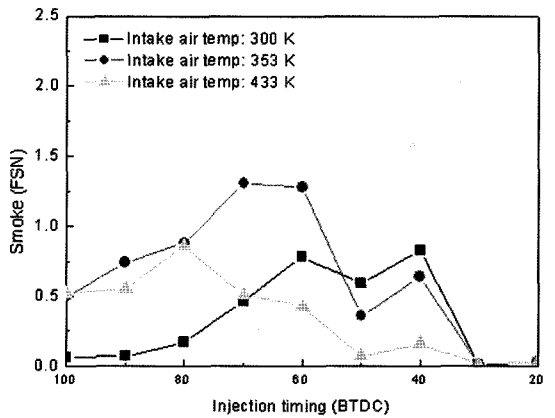
5. 결론

본 연구에서는 고압 디젤분사 시스템을 이용하여 예혼합 압축착화 엔진을 구현하고, 예혼합 연소에서 혼합기 분포가 연소 및 배기 특성에 미치는 영향을 연구한 결과, 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 고압 디젤분사 시스템을 이용한 예혼합 압축착화 엔진의 착화는 TDC 이전에 발생되며, 냉염과 열염의 2단 점화(two-stage ignition) 형태의 특징을 보이고 확산 연소 구간이 존재하지 않았다.
- 2) 분사시기가 BTDC 80°이전에서는 증발특성이



(a) NOx emissions



(b) Smoke emissions

Fig. 12 NOx and smoke emissions according to intake air temperature

중고, 연료가 연소실 벽면 주위에 희박하게 존재하여 NOx와 매연 감소하지만, CO와 HC가 증가되고 IMEP는 감소되었다. 그리고 분사시기가 BTDC 80°~ 60°에서는 연료의 분포가 비교적 농후하게 분포하여 매연은 증가하나, IMEP가 증가되고 NOx는 감소되었다. 또한 BTDC 60° 이후에서는 노킹이 발생하여 NOx와 IMEP가 증가하나, 매연은 감소한다.

- 3) 흡기온도의 증가는 분사시기가 BTDC 70° 보다 진각되면 연료의 혼합 및 증발 특성이 좋아지기 때문에 IMEP를 증가시켰으며 매연은 감소시켰다. 그러나 BTDC 70°~ 20°에서는 착화시기가 빨라짐으로 인해 IMEP와 매연은 감소되고, NOx는 증가되었다.

후 기

본 연구는 자동차부품연구원에서 지원하는 “예혼합 압축 착화 엔진용 연료분사 조건의 최적화” 과제의 일환으로 수행되었으며, 관계기관에 감사드립니다.

References

- 1) M. Noguchi, Y. Tanaka, T. Tanaka and Y. Takeuchi, “A Study on Gasoline Engine Combustion by Observation of Intermediate Reactive Products During Combustion,” SAE 790840, 1979.
- 2) S. Onishi, S. H. Jo, K. Shoda, P. D. Jo and S. Katao, “Active Thermo-atmosphere Combustion (ATAC) - A New Combustion Process for Internal Combustion Engines,” SAE 790501, 1979.
- 3) P. M. Najt and D. E. Foster, “Compression-ignited Homogeneous Charge Combustion,” SAE 830264, 1983.
- 4) G. Shibata, K. Oyama, T. Urushihara and T. Nakano, “Correlation of Low Temperature Heat Release with Fuel Composition and HCCI Engine Combustion,” SAE 2005-01-0138, 2005.
- 5) M. Sjoberg and J. E. Dec, “Effects of Engine Speed, Fueling Rate, and Combustion Phasing on the Thermal Stratification Required to Limit HCCI Knocking Intensity,” SAE 2005-01-2125, 2005.
- 6) A. Upatnieks and C. J. Mueller, “Clean, Controlled DI Diesel Combustion Using Dilute, Cool Charge Gas and a Short-Ignition-Delay, Oxygenated Fuel,” SAE 2005-01-0363, 2005.
- 7) S. Shiga and H. Nakamura, “Effect of Combustion Ratio on Characteristics of PCCI Diesel Combustion with a Hollow Cone Spray,” SAE 2005-01-2130, 2005.
- 8) Ricardo Co., Vectis Theory Manual, pp.1-261, 2003.
- 9) J. D. Ryu, H. M. Kim, K. H. Lee and H. M. Cho, “A Study on the Spray Structure and Evaporation Characteristic of Common-rail Type High Pressure Injector in Homogeneous Charge Compression Ignition Engine,” The 9th Annual Conference on ILASS-ASIA, pp. 265-272, 2004.
- 10) A. B. Liu, D. Mather and R. D. Reitz, “Modeling the Effects of Fuel Spray Characteristics on Diesel Engine Combustion and Emission,” SAE 930072, 1993.
- 11) B. Chengxin and A. D. Gosman, “Development of Methodology for Spray Impingement Simulation,” SAE 950283, 1995.
- 12) K. P. Nandha and J. Abraham, “Dependence of Fuel-Air Mixing Characteristics on Injection Timing in an Early-Injection Diesel Engine,” SAE 2002-01-0944, 2002.
- 13) S. Tanaka, F. Ayala, J. C. Keck and J. B. Heywood, “Two-stage Ignition in HCCI Combustion and HCCI Control by Fuels and Additives,” Combustion and Flame, Vol.132, pp.219-239, 2003.
- 14) K. H. Lee, H. M. Kim, J. D. Ryu and C. S. Lee, “An Experimental Study on the Two Stage Ignition of Cool Flame and Hot Flame in HCCI Engine according to Fuel Composition,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp. 17-24, 2004.
- 15) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, New York, pp. 586-592, 1988.
- 16) W. Su, H. Wang and B. Liu, “Injection Mode Modulation for HCCI Diesel Combustion,” SAE 2005-01-00117, 2005.
- 17) G. A. Lechner, T. J. Jacobs, C. A. Chryssakis, D. N. Assanis and R. M. Siewert, “Evaluation of Narrow Spray Cone Angle, Advanced Injection Timing Strategy to Achieve Partially Premixed Compression Ignition Combustion in a Diesel Engine,” SAE 2005-01-0167, 2005.