

## DME 예혼합 압축착화 엔진에서 질소와 이산화탄소의 영향

장진영·배충식\*

한국과학기술원

### Effect of Nitrogen and Carbon Dioxide on DME Homogeneous Charge Compression Ignition Engine

Jinyoung Jang · Choongsik Bae\*

Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

(Received 27 February 2008 / Accepted 10 April 2008)

**Abstract** : The combustion and exhaust emission characteristics were investigated in an DME fueled HCCI engine. Carbon dioxide, nitrogen and mixed gas, which was composed of carbon dioxide and nitrogen, were used as control parameters of combustion and exhaust emission. As the oxygen concentration in induction air, which was occurred by carbon dioxide, nitrogen and mixed gas, was reduced, the start of auto-ignition was retarded and the burn duration was extended due to obstruction of combustion and reduction of combustion temperature. Due to these fact, indicated mean effective pressure was increased and indicated combustion efficiency was decreased by carbon dioxide, nitrogen and mixed gas. In case of exhaust emission, hydrocarbon and carbon monoxide was increased by reduction of oxygen concentration in induction air. Especially, partial burning was appeared at lower than about 18% of oxygen concentration by supplying carbon dioxide. However it was overcome by intake air heating.

**Key words** : DME(dimethyl ether), HCCI(homogeneous charge compression ignition: 예혼합 압축 착화), EGR (exhaust gas recirculation: 배기가스 재순환), SEGR(simulate EGR: 모사배기재순환), N<sub>2</sub>(nitrogen: 질소), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide: 이산화탄소)

#### Nomenclature

- a : auto-ignition timing
- b : end of combustion
- Q<sub>net</sub> : total heat release

#### 1. 서론

엔진 연소 방법은 스파크 점화와 압축 착화 방식으로 크게 나뉘어 있었으나, 최근에 와서는 예혼합 압축 착화(HCCI: homogeneous charge compression ignition) 방식이 추가되어 그에 관한 연구가 활발히

이루어지고 있다.

예혼합 압축착화는 예혼합된 연료/공기 혼합기를 압축시켜 자발점화 시키는 연소 방법이다. 예혼합 압축착화 엔진은 아주 희박한 혼합기를 연소시킬 수 있어 연료경제성이 뛰어나고 연소온도가 높지 않아 질소산화물(NOx: nitrogen oxides)의 발생량이 낮으며, 예혼합된 연료/공기 혼합기를 사용하기 때문에 국부적으로 농후한 영역이 감소하여 입자상 물질(PM: particulate matter)의 배출량을 저감할 수 있다.<sup>1)</sup> 하지만 자발점화 시기와 연소 기간을 제어하기 힘들다는 단점이 있고, 부하를 늘리기 위해 연료 공급량을 증가시키게 되면 노킹이 발생하여 큰 소

\*Corresponding author, E-mail: csbae@kaist.ac.kr

음이 발생하고, 짧은 순간 동안 발생하는 큰 압력에 의해 엔진이 손상될 가능성이 있다. 또한 낮은 연소 온도로 인하여 압축행정 동안에 실린더 내부에 존재하는 틈새체적(crevice volume)에 들어갔던 연료들이 팽창행정 중 산화반응의 부족으로 인하여 불완전 연소하여 탄화수소(HC: hydro carbon)와 일산화탄소(CO: carbon mono-oxide)의 배출량을 증가시키는 단점이 있다.<sup>2)</sup>

기화와 자발점화 특성이 우수한 dimethyl ether (DME)는 디젤을 대체할 수 있는 연료로 생각되어 이를 기존의 고속직접분사식(HSDI: high speed direct injection)엔진과 예혼합 압축 착화방식의 엔진에 적용하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>3)</sup> DME의 예혼합 압축 착화 엔진 적용시 DME 가지는 우수한 기화 특성 때문에 기존 디젤 HCCI 에서 문제시 되었던 벽면적심 현상 및 국부적으로 농후한 영역에 의해 발생하는 soot 생성이 줄어드는 장점을 가진다. 그러나 DME를 예혼합 압축 착화 엔진에 사용하게 되면 우수한 기화와 자발점화 특성 때문에 조기착화의 문제가 크게 나타난다. 따라서 많은 연구자들이 DME 점화시기와 연소기간을 제어하기 위한 연구를 진행 중이다.

점화시기와 연소기간을 제어하기 위하여 배기가스 재순환(EGR: exhaust gas recirculation)방법을 많이 사용한다. EGR을 통한 산소농도 저감(희석효과: dilution effect)과 열용량 증가(열적효과: thermal effect)를 통하여 연소속도 및 연소온도를 감소시킴으로써 연소상을 제어하게 된다. 배기 가스를 구성하는 주요 성분은 질소(N<sub>2</sub>: nitrogen), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>: carbon dioxide)이고, 이들 가스에 의해 나타나는 EGR 효과인 희석효과와 열적효과에 대한 연구를 위하여 모사 EGR(SEGR: simulate EGR) 가스를 사용하기도 한다.<sup>6)</sup> SEGR이란 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 혼합가스를 EGR 가스 대신 사용하는 것으로, EGR의 각 효과를 분리하여 연구하는데 유용하다.

본 연구에서는 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 흡기관에 강제 공급하는 SEGR을 이용하여 DME를 사용한 예혼합 압축착화 연소에서 나타나는 EGR 효과를 알아보았고, 흡기온도 상승에 의한 배기 저감에 대해 알아보았다.

## 2. 실험 장치 및 방법

실험장치의 계략도는 Fig. 1에서 나타내었다. 본 연구에 사용된 엔진은 4행정 단기통 엔진으로써 예혼합 압축착화 엔진 실험을 위하여 압축비를 13으로 하였다. 자세한 엔진의 제원은 Table 1에 나타내었다. 엔진의 부하와 회전수는 교류동력계(alternating current dynamometer, 82 kW, Unico Co.)를 사용하여 제어하였다. DME 연료는 공기와의 충분히 혼합되어 실린더 내부로 공급될 수 있도록 흡기밸브로부터 약 30 cm 떨어진 곳에서 분사하였다. 짧은 순간동안에 충분한량의 DME 연료를 분사하기 위하여 질소를 사용하여 5 MPa로 DME를 가압하였고, 이에 따라 DME가 액상을 유지하면서 흡기관에 분사됨으로써 기상으로 분사되는 것에 의해 체적효율이 감소하는 것을 방지하였다. DME 연료는 윤활성이 부족하여 연료 공급 장치 및 분사기에 손상을 줄 수 있으므로 이를 방지하기 위해 DME에 윤활 향상제(Infineum, R655)를 500 ppm 첨가하였다.

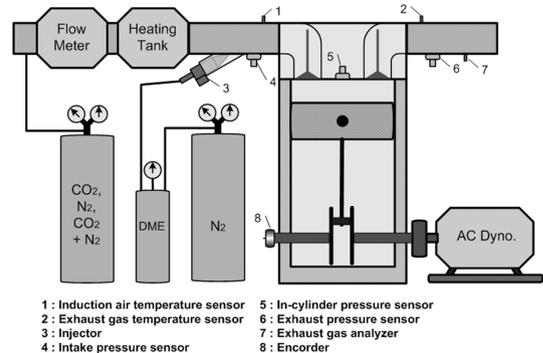


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Engine specifications

Bore (mm)	82	
Stroke (mm)	93.5	
Compression ratio	13	
Displacement (cc)	494	
Intake / Exhaust valve duration (CAD)	228 / 228	
Intake / Exhaust valve lift (mm)	8.5 / 8.4	
Valve timing (CAD)	Intake valve open (BTDC)	1
	Intake valve close (ABDC)	49
	Exhaust valve open (BBDC)	42
	Exhaust valve close (ATDC)	6
DME injection pressure (MPa)	5	

Table 2 Experimental conditions

Engine speed (rpm)	1000
DME injection quantity (mg/stroke)	18.2
(O <sub>2</sub> ) intake (%)	14.5~21.0

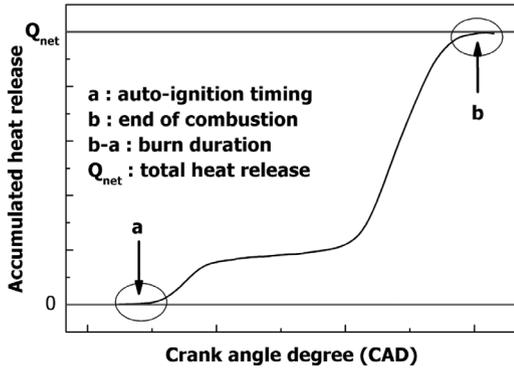


Fig. 2 Definition of auto-ignition timing and burn duration

EGR 조건을 모사하기 위해 99% 이상의 순도를 가지는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>가스 그리고 CO<sub>2</sub> (11.4%)+N<sub>2</sub> (88.6%) 혼합가스를 흡기관 입구에서 공급하였다. 흡입되는 혼합기 중 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 농도와 배기가스 중 HC와 CO 배출물 등은 배기가스 분석기(Horiba, Mexa 1500d)를 이용하여 측정하였다. 흡기온도를 제어하기 위해 가열탱크를 설치하여 흡입되는 공기의 온도를 일정하게 유지시켰다.

연소 해석을 위해 연소실에 압력 센서(Kistler, 6052B)를 장착하였으며, 흡기와 배기 매니폴드의 압력을 계측하기 위해 압력 센서(Kistler, 4045A5)를 장착하였다. 혼합기의 온도와 배기가스의 온도를 측정하기 위해 흡기 매니폴드와 배기 매니폴드에 각각 K-type 열전대(thermocouple)를 장착하였다. 배기가스 배출물은 배기가스 분석기(Horiba, Mexa 1500d)를 이용하여 탄화수소, 질소 산화물, 이산화탄소, 일산화탄소를 측정하였으며 데이터 수집 장치(Io Tech, Wavebook 512H)를 이용하여 수집 저장하였다. 예혼합 압축착화의 빠른 연소상태를 분석하기 위하여 실린더 압력신호는 0.175 CAD(crank angle degree) 간격으로, 100 사이클을 연속으로 취득 후 분석하였다. 자발 점화 시작점과 연소기간의 정의는 Fig. 2에서 정의 한 것처럼 열방출이 시작될 때를 자발점화 시작점(a)으로 하였고, 최고값이 나타날 때

를 연소종료점(b)으로 하였다. 또한 연소기간은 자발점화 시작점부터 연소종료점까지로 하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 SEGR에 의한 자발점화시기 변화

예혼합 압축착화 엔진은 압축과정에서 발생하는 열을 이용하여 예혼합된 공기-연료 혼합기를 자발점화 시키게 되고, 이 때 여러 곳에서 동시에 자발점화가 일어나기 때문에 연소기간이 기존의 스파크 점화기관과 압축 점화기관에 비해 짧다. 공기/연료 혼합기에 첨가된 EGR가스들에 의한 압축열의 흡수와 연소방해에 의해 자발점화시기와 연소기간이 달라지는데, 본 연구에서는 모사 EGR(SEGR: simulate EGR) 가스인 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+ N<sub>2</sub> 혼합가스에 의한 흡기중 산소농도 감소에 따른 자발점화시기변화와 연소기간 변화를 Fig. 3과 5와 같이 도시하였다.

Fig. 3은 SEGR 가스에 의한 흡기농도 감소에 따른 자발점화시기 변화에 대해 나타내고 있다. 자발점화시기 지각에 가장 큰 영향을 주는 요인은 CO<sub>2</sub> 공급량 증가임을 알 수 있다. 또한 N<sub>2</sub> 공급량 증가는 자발점화시기에 거의 영향을 미치지 못 함을 알 수 있다. N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 공급량이 같은 경우 산소농도 감소가 같지만, CO<sub>2</sub>를 사용한 경우에는 열용량(heat capacity)이 N<sub>2</sub>를 사용했을 경우 보다 증가하게 되고, 이 차이에 의해 자발점화시기가 바뀌고 있음을 알 수 있다. 같은 온도 압력 조건에서 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> 혼합가스 공급량 증가에 따른 열용량 변화를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 같은 산소농도 감소에 대하여 N<sub>2</sub>를 사용한 경

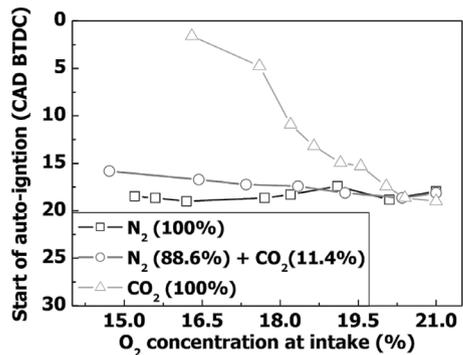


Fig. 3 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gases on SOA

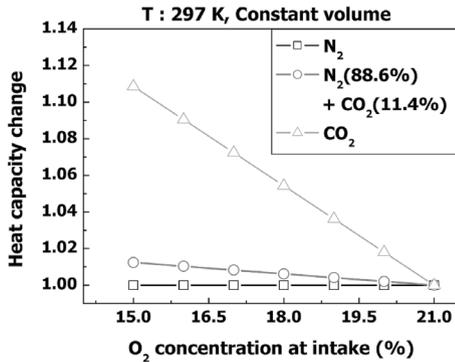


Fig. 4 Comparison of heat capacity

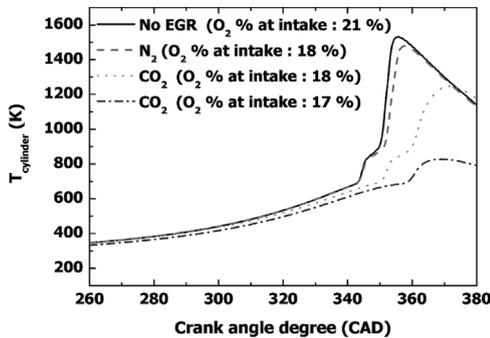


Fig. 5 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gases on T<sub>cylinder</sub>

우는 열용량의 변화가 없지만 CO<sub>2</sub>가 포함된 가스를 이용한 경우에는 열용량이 지속적으로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. CO<sub>2</sub> 공급량 증가에 의한 실린더 내부 혼합기의 온도 감소가 증가하게 되고, 온도 감소에 의해 자발점화시기가 지각되는 것이라 판단된다.

이를 확인하기 위해 EGR을 적용하지 않은 경우와 N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 이용하여 흡기중 산소농도를 감소시킨 경우의 실린더 내부 온도를 Fig. 5에 도시하였다. 실린더 내부 온도를 계산하기 위하여 점화시기 이전까지는 식 (1)을 이용하고, 점화이후에는 식 (2)를 이용하였다.

$$T_i = T_{i-1} \left( \frac{V_{i-1}}{V_i} \right)^{(\gamma_i - 1)} \quad (1)$$

$$T_i = \frac{p_i V_i}{mR} \quad (2)$$

여기서 T<sub>i</sub>는 i번째에서의 실린더 내부온도, V<sub>i</sub>는 i

번째에서의 실린더 내부 체적, p<sub>i</sub>는 실린더 내부압력, m은 혼합기질량, R은 기체상수, γ<sub>i</sub>는 i번째에서의 비열비를 나타낸다.

자발점화가 나타나는 시기까지의 실린더 내부온도 변화를 살펴보면 N<sub>2</sub>를 사용하여 흡기중 산소농도를 감소시킨 경우에는 자발점화가 나타나는 부분까지 EGR이 없는 경우와 같은 궤적을 가지고 있다. 하지만 CO<sub>2</sub>를 사용한 경우에는 실린더 내부온도가 다른 경우에 비해 낮은 것을 확인 할 수 있다. 이는 앞서 설명한 것과 같이 열용량이 큰 CO<sub>2</sub>에 의해 실린더 내부온도가 감소했기 때문이다.

### 3.2 SEGR에 의한 연소기간 변화

N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 사용한 SEGR에서 나타나는 희석효과와 열적효과가 연소기간 변화에 미치는 영향에 대하여 Fig. 6과 같이 알아보았다. Fig. 6은 SEGR 가스에 의한 흡기중 산소 농도변화에 따른 연소기간을 나타낸 그래프이다. SEGR 공급에 의해 흡기중 산소 농도가 감소할수록 연소기간이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 N<sub>2</sub>만을 사용하였을 때 보다 CO<sub>2</sub>가 첨가되었을 때의 연소기간 증가가 더 크고, 이보다는 CO<sub>2</sub>만을 사용하였을 경우의 연소기간 증가가 더 큼을 알 수 있다. SEGR 공급에 의한 산소량 부족으로 인하여 반응율이 감소하면서 연소기간이 증가하게 되고, 열용량이 큰 CO<sub>2</sub> 첨가에 의해 연소온도가 감소되기 때문이다. 이때 CO<sub>2</sub> 만을 이용한 SEGR에서 흡기중 산소농도가 18% 이하에서는 급격한 연소기간 감소가 나타나는데, 이것은 Fig. 3의 결과에서 자발점화시기가 계속적으로 지각되는 것

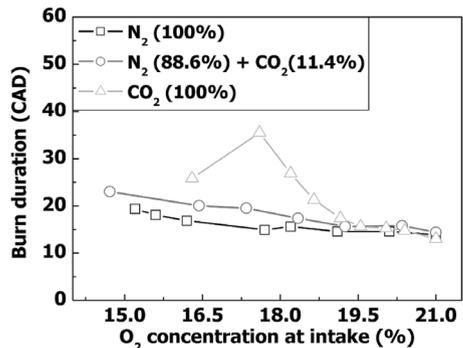


Fig. 6 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gases on burn duration

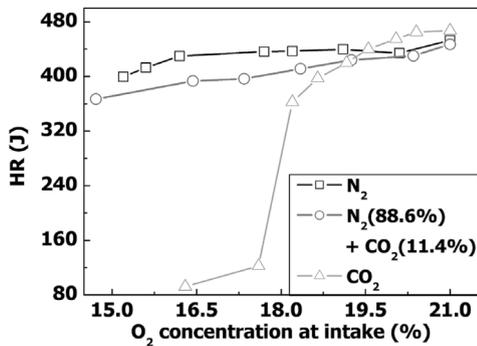


Fig. 7 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gases on HR

을 미루어 보아 연소가 다시 활발해져서 나타는 현상이 아닌 부분연소에 의한 것으로 판단된다. 이에 대한 확인을 위하여 열방출량을 Fig. 7과 같이 계산하여 도시하였다.

열방출량(HR: heat release)을 계산하기 위하여 열방출률을 식 (3)을 이용하여 계산한 후 적분하였다.

$$dQ = \frac{\gamma}{\gamma-1} p \Delta V + \frac{1}{\gamma-1} V \Delta p + dQ_{ht} \quad (3)$$

여기서  $dQ$ 는 열방출률,  $\gamma$ 는 비열비,  $\Delta V$ 는 부피의 변화,  $\Delta p$ 는 실린더 내부압력의 변화,  $dQ_{ht}$ 는 열전달을 나타낸다.

Fig. 7은 흡기중 산소농도 감소에 따른 열방출량을 나타내고 있다. 산소농도 감소에 따라 열방출량이 점점 감소하고 있음을 확인 할 수 있으며, 이는 CO<sub>2</sub> 첨가에 의해 더욱 감소되고 있음을 알 수 있다. 또한 CO<sub>2</sub> 공급량 증가에 의해 산소농도가 18% 이하로 되는 경우에 부분연소에 의한 갑작스런 열방출량 감소가 나타나고 있음을 알 수 있다. 부분연소가 나타난 것은 CO<sub>2</sub> 공급량 증가에 의한 연소온도 감소가 주원인이다. DME 예혼합 압축착화 연소의 경우 보통 700 K 부근에서 저온산화반응이 시작되고, 저온산화반응에 의한 열발생에 의해 실린더 내부온도 상승이 1000 K 부근 까지 이르게 되면 고온산화반응이 시작된다.<sup>6)</sup> 하지만 당량비가 낮은 경우 온도 상승이 충분치 못해 고온산화반응이 나타나지 않는 경우도 있다.<sup>8)</sup> Fig. 5에서 도시하였듯이 CO<sub>2</sub>를 사용하여 흡기중 산소농도를 17%로 감소시킨 경우의 실린더 내부온도를 확인하여 보면 고온산화반응이 발생하는 1000 K 이하에서 연소가 진행된 것을 확인

할 수 있다. 따라서 고온산화반응이 일어나지 않고 저온산화반응만 발생한 부분연소임을 알 수 있다.

### 3.3 도시평균유효압력과 도시연소효율 변화

N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>를 사용한 SEG에 의한 연소상태 변화가 출력 및 효율에 미치는 영향을 알아보기로 도시평균유효압력(IMEP<sub>gross</sub>: gross indicated mean effective pressure)과 연소효율( $\eta_c$ : combustion efficiency)을 Fig. 8과 9에 도시하였다.

IMEP<sub>gross</sub>는 실측된 실린더 내부압력을 이용하여 압축행정과 팽창행정에서 발생한 일을 계산한 후 행정체적으로 나누어 계산하였다.  $\eta_c$ 의 경우 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

$$\eta_c = 1 - \frac{\sum x_i Q_{HV_i}}{[\dot{m}_f / (\dot{m}_a + \dot{m}_f)] Q_{HV_f}} \quad (4)$$

여기서  $\eta_c$ 는 연소효율,  $x_i$ 는 CO, H<sub>2</sub>, HC의 질량분율,  $Q_{HV_i}$ 는 각 조성의 저위발열량,  $\dot{m}_a$ 는 공기유량,  $\dot{m}_f$ 는 연료유량을 나타낸다.

IMEP<sub>gross</sub>는 압축행정에 발생하는 음의 일과 팽창행정에서 발생하는 양의 일의 합이므로 압축행정동안의 일을 감소시키고, 팽창행정에서의 일을 증가시키면 증가하게 된다. Fig. 2와 6을 통하여 확인한 바와 같이 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급에 의한 산소농도 감소에 의해 자발점화시기가 지각되고 연소기간이 증가한다. 이에 의해 압축행정에서 발생하는 음의 일이 감소하고 팽창행정에서 발생하는 양의 일이 증가하여 Fig. 8에서 확인할 수

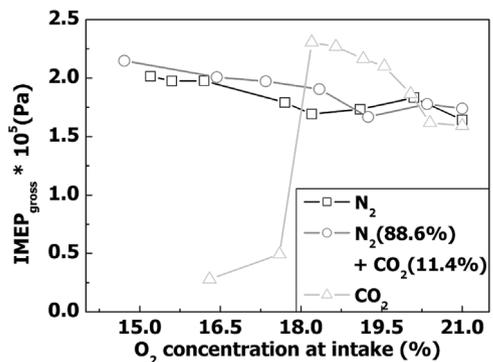


Fig. 8 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> on IMEP<sub>gross</sub>

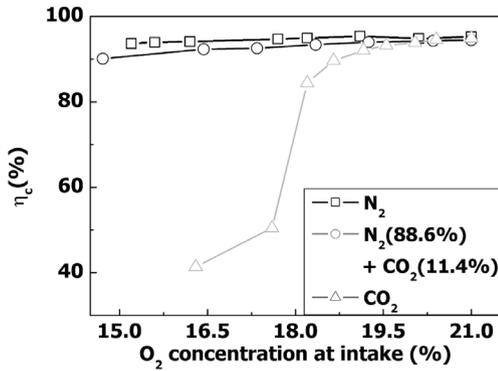


Fig. 9 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> gases on  $\eta_c$

있듯이 IMEP<sub>gross</sub>가 증가하고 있음을 확인할 수 있다. N<sub>2</sub> 만을 사용하여 산소농도를 감소시키는 경우 보다 CO<sub>2</sub>와의 혼합가스 또는 CO<sub>2</sub> 가스에 의한 IMEP<sub>gross</sub> 값 증가가 더 큰 것은 CO<sub>2</sub>에 의한 자발점화시기 지각과 연소기간 증가가 더 크기 때문이다. 그러나 앞서 설명하였듯이 CO<sub>2</sub> 만을 사용한 경우 산소 농도 감소가 18% 이상인 경우에 부분연소가 나타나게 되어 급격한 IMEP<sub>gross</sub> 감소가 나타나는 것을 알 수 있다. N<sub>2</sub>만 공급한 경우나 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스를 공급한 경우에는 지속적인 IMEP<sub>gross</sub> 증가를 확인할 수 있다.

$\eta_c$ 를 나타내고 있는 Fig. 9에서 확인 할 수 있듯이 산소 농도 감소에 따라 연소효율이 감소하고 있다. 이는 산소농도 감소에 의한 연소를 감소와 연소 온도 감소에 의해 HC와 CO의 산화 반응이 제대로 일어나지 않기 때문인 것으로 판단된다. 또한 부분연소에 의해 연소효율이 50% 이하로 감소하고 있다.

### 3.4 배기배출물 변화

예혼합 압축착화 엔진은 연소온도가 낮기 때문에 HC와 CO의 산화반응이 활발히 일어나는 온도조건을 만들어 주기 어렵고 예혼합된 혼합기가 압축행정 중 틈새영역으로 유입되고 팽창행정 중 유출되면서 HC와 CO의 배출량이 기존의 스파크 점화기관과 압축 점화기관에 비해 증가한다. 따라서 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급에 의해 연소방해와 연소온도 감소가 나타날 때의 HC와 CO 배출에 대한 비교를 Fig. 10, 11과 같이 흡기 중 산소 농도에 대하여 도시하였다.

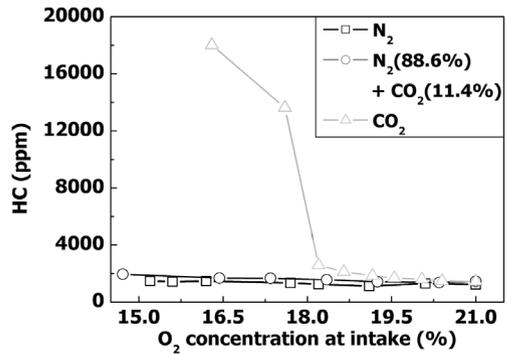


Fig. 10 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> on HC

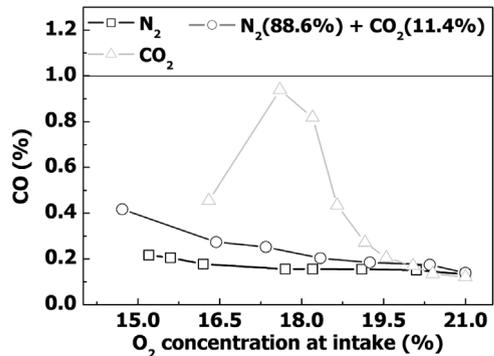


Fig. 11 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> on CO

SEGR 가스 첨가에 의한 흡기 중 산소농도의 감소에 따라 HC와 CO의 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 앞서 설명한 것과 같이 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급에 의한 연소 방해와 연소온도 감소에 의한 것이다. 특히 CO<sub>2</sub>의 공급량이 증가할수록 HC와 CO의 배출량이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 산소농도가 약 18% 이하일 경우 부분연소로 인한 급격한 HC 배출량 증가와 CO의 감소를 확인할 수 있다. 여기서 나타나는 CO의 감소는 CO의 산화에 의해 나타나는 것이 아닌 부분연소에 의해 연소과정중 생성되는 절대적인 CO량 감소에 의해서 나타난 것이다.

연소과정중에 혼합기의 온도가 실린더 벽면 근처에서의 열전달에 의해 떨어지게 되고, 이에 의해 소염현상이 일어나게 됨으로 인하여 HC 배출량이 증가하게 된다. 또한 CO의 경우 연소온도 1500K 이하에서 CO<sub>2</sub>로의 산화율이 급격히 저하되어 CO 배출량이 급증하게 된다.<sup>8)</sup> 이러한 이유에 의해 Fig. 12에

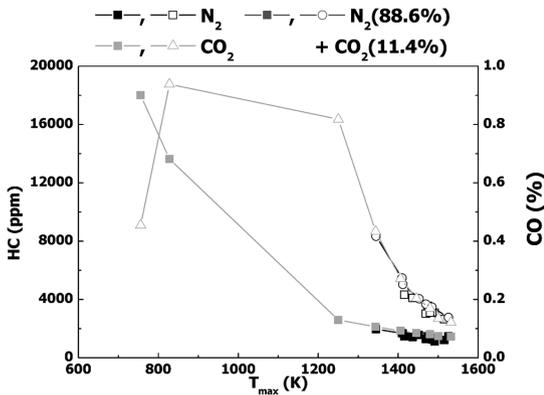


Fig. 12 Effect of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> on T<sub>max</sub>

서와 같이 SEGR 가스에 의해 최고 실린더 내부온도가 감소할수록 HC와 CO의 배출량이 증가하고 있다.

### 3.5 흡기온도 증가의 영향

실제의 EGR은 배기가스를 사용하는 것이므로 흡기온도를 상승시키는 효과를 가지게 되는데 앞서의 실험에서는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급량 변화에 따른 효과를 살펴보기 위하여 흡기온도를 일정하게 유지시키며 실험을 수행하였다. 따라서 CO<sub>2</sub>를 이용한 흡기중 산소농도 감소경우에 대하여 흡기온도를 가열탱크를 이용하여 69°C로 상승시켜 실험을 수행하였다.

흡기온도가 증가하게 되면 자발점화시기가 진각되어 압축행정에서의 음의 일이 증가하여 Fig. 13과 같이 IMEP의 감소가 나타나게 된다. 하지만 흡기온도 상승으로 인하여 압축과정에서의 실린더 내부온도가 상승하게 되어 부분연소가 사라지게 되어 흡기중 산소농도 18% 부근에서 나타나던 IMEP 감소는 나타나지 않았다. 또한 그로 인하여 Fig. 14, 15에 나타난 것과 같이 HC와 CO의 배출량 역시 흡기온도가 낮을 경우에 비해 크게 감소된 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

배기가스 재순환 모사에 따른 예혼합 압축착화 엔진 연소 특성 및 배기배출 특성 변화를 알아보고, 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

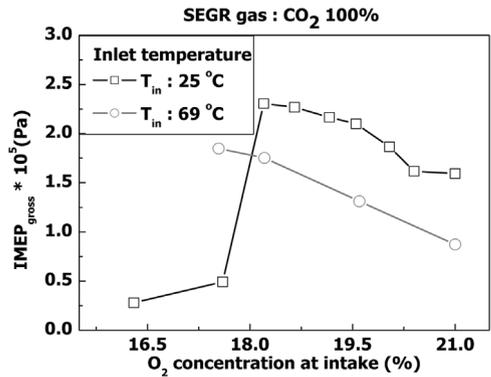


Fig. 13 Comparison between different tin effect of IMEP<sub>gross</sub>

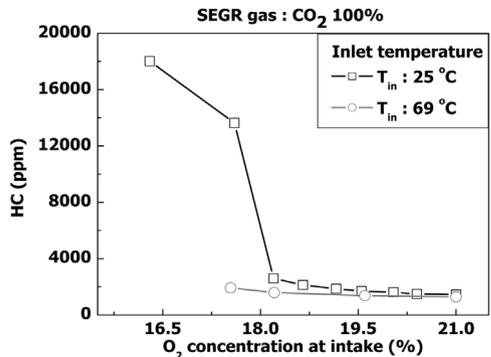


Fig. 14 Comparison between different tin effect of HC

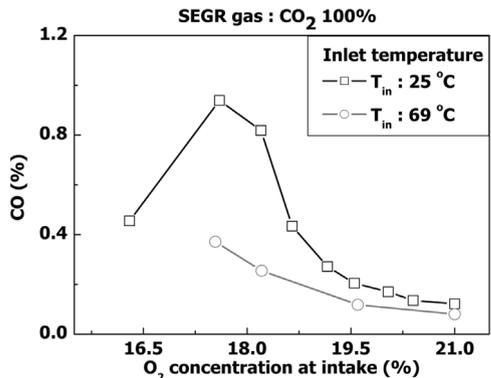


Fig. 15 Comparison between different tin effect of CO

- 1) CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급에 의해 희석효과와 열적효과에 의해 연소가 방해되고 연소온도가 낮아지는 현상에 의해 자발점화시기가 지각되고, 연소기간이 증가한다.
- 2) CO<sub>2</sub>의 높은 열용량으로 인하여 실린더 내부온도 감소가 N<sub>2</sub>사용 시 보다 더 커지게 되어 자발점화

시기와 연소기간 변화에 큰 영향을 미친다.

- 3) 자발점화시기 지각과 연소기간 증가에 의해 팽창행정기간 중에 발생하는 일의 증가로 인해 도시평균유효압력의 증가한다.
- 4) CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub> 그리고 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub> 혼합가스 공급에 의해 연소가 방해되고 연소온도가 낮아지는 현상에 의해 손실되는 열량이 증가하여 연소효율이 감소되고, HC와 CO의 배출량이 증가한다.
- 5) CO<sub>2</sub> 공급증가로 인해 흡기중 산소농도가 약 18% 이하가 될 경우 연소방해가 심각해져 부분 연소가 나타난다.
- 6) CO<sub>2</sub> 공급에 의한 부분연소는 흡기온도가 상승되면 실린더 내부온도가 상승하게 되어 HC 및 CO의 배출량이 감소하게 되지만 자발점화시기 지각 및 연소기간 단축으로 인하여 도시평균유효압력이 감소한다.

## 후 기

본 연구는 에너지관리공단의 지원 아래 “중소형 LPG승용차 개발사업”의 과제로써 수행되었으며, 이에 관계 기관에 감사의 뜻을 표합니다.

## References

- 1) S. Kook, C. Park, W. Choi and C. Bae, “Effects of Two-stage Injection on Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a HCCI Engine,” Transactions of KASE, Vo.12, No.5, pp.32-39, 2004.
- 2) J. E. Dec, “A Computational Study of the Effects of Low Fuel Loading and EGR on Heat Release Rates and Combustion Limits in HCCI Engines,” SAE 2002-01-1309, 2002.
- 3) V. I. Golovitchev, N. Nordin and J. Chomiak, “Neat Dimethyl Ether: Is It Really Diesel Fuel of Promise?,” SAE 982537, 1998.
- 4) H. Teng, J. C. McCandless and J. B. Schneyer, “Thermochemical Characteristics of Dimethyl Ether-An Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines,” SAE 2001-01-0154, 2001.
- 5) H. Teng, J. C. McCandless and J. B. Schneyer, “Compression Ignition Delya (Physical + Chemical) of Dimethyl Ether-An Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines,” SAE 2003-01-0759, 2003.
- 6) W. Sahashi, A. Azetsu and C. Oikawa, “Effects on N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Mixing on Ignition and Combustion in a Homogeneous Charge Compression Ignition Engine Operated on Dimethyl Ether,” IJER, Vol.6 pp.423-431, 2005.
- 7) T. Shudo, Y. Ono and T. Takahashi, “Influence of Hydrogen and Carbon Monoxide on HCCI Combustion of Dimethyl Ether,” SAE 2002-01-2828, 2002.
- 8) S. Sato and N. Iida, “Analysis of DME Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion,” SAE 2003-01-1825, 2003.