

SI가솔린 기관에서 흡기조성에 따른 연소 및 배기특성에 관한 실험적 연구

A Experimental study on combustion and exhaust characteristics by intake composition in SI gasoline engine

최일동*, 김치원**, 윤창식**, 김기복***, 이병호***

Il-Dong Choi*, Chi-Won Kim**, Chang-Sik Yoon**, Gi-Bok Kim***, Byung-Ho Lee***

〈Abstract〉

In this experimental study, it is designed and used the test engine bed which is installed with the exhaust gas recirculation, and in addition to equipped using by oxygen adder.

It has been tested and analyzed the combustion and emission characteristics, cycle variability and engine performance by controlling the oxygen volume fraction, EGR rate, engine speed and equivalence ratio.

Keywords : Exhaust gas recirculation(EGR), Oxygen adder, Emission characteristics (EC), Cycle variability(CV), Oxygen volume fraction, Equivalence ratio(ER)

* 정회원, 경남대학교 첨단공학과

** 정회원, 경남대학교 기계공학과 교수, 工博

*** 정회원, 르노삼성자동차, 工博

*** 정회원, 경남정보대학교 자동차과 교수, 工博

* Dept. of Advanced engineering, kyungnam University

** Prof., School of Mechanical Engineering, Kyungnam

*** Renault Samsung Motors CO., Ltd.

*** Kyungnam College of Information & Technology

1. 서 론

관에 흡입되는 공기중에 산소를 추가하여 배기성능을 개선시킨 연구가 최근 발표되었으나, 그들 연구는 실차 상태에서 배기가스 유해성분 저감만을 목적으로 하였고, 그것도 특수한 운전조건에만 국한되어 있다. 배기가스 중의 유해물질 생성 및 저감에 관한 연구결과는 지금까지 알려진 미연소 물질인 미연탄화수소 배출물의 생성구조는 연료중의 일부가 실린더 벽면에서의 소염(flame quenching), 유힐유층에서의 흡수 및 방출, 퇴적층에서의 흡수 및 방출, 그리고 실린더와 피스톤 틈(crevice) 공간 하에서 미연소 또는 연소과정 불량 등을 통하여 주 연소과정을 겪지 않게 된다. 팽창과정에서의 실린더 내의 압력이 감소하면 연소실 안으로 들어가서 고온의 기연가스와 혼합되고, 팽창 행정말기와 배기과정 중에 연소실이나 배기포트에서 2차 산화과정을 것으로 알려져 있다^{1,2,3)}.

자동차용 기관은 배기가스 저감을 위하여, 생성된 유해물질을 촉매에 의해 산화와 환원반응을 이용한 정화방법을 채택하고 있으며, 연소과정과 후처리과정이 전자제어장치에 의해 제어하고 있다⁴⁾. 스파크 점화기관의 연구분야에서 기관효율 향상과 배기저감을 위한 대책의 필요성이 대두되면서, 연소의 사이클 변동(cycle variation)에 관심을 갖게 되고, 기관의 최적제어와 함께 기관운전의 안전성에 대한 중요성이 부가되고 있다. 가솔린 기관은 특히 예혼합과 스파크 점화로 화염전파되어 연소되는 열기관이므로 혼합기의 농도와 균질성(homogeneous) 연료의 성질, 흡기조건, 기관의 제원과 운전조건 등에 따라 연소특성(combustion characteristics)은 크게 향상될 수 있다.

그러므로 기관의 실린더 내의 연소성능을 향상시키고 연소에 영향을 미치는 인자와 연소특성치

의 사이클 변동성에 미치는 영향 등이 밝혀져 있다^{5,6)}. 따라서 스파크 점화기관에 흡입되는 공기 중의 산소체적분율이 변화하는 경우, 즉 산소체적분율 21 %이상인 경우와 그 이하로 변화시킨 경우에 대하여 기관 연소의 특성, 연소 변동성 및 배기가스 조성에 대하여 성분, 데이터 수집과 분석하는 것을 실험적으로 수행하였다.

2. 혼합기 조성

2.1 산소체적분율

실제의 내연기관뿐만 아니라 대부분의 연소과정은 공기 중의 산소를 산화제로 하여 연소하므로 공기 중의 연소반응을 취급하고 있다. 따라서 흡기의 조성의 연소에 큰 영향을 미친다. 건공기의 조성을 보면 Table 1⁷⁾에 표시한 바와 같이 질소가 체적백분율로 78.09 %를 차지하고, 산소가 20.95 %, 나머지 0.96 %가 기타 성분으로 아르곤(Ar), 이산화탄소(CO₂), 네온(Ne), 헬륨(He) 등이 차지하고 있다⁸⁾.

Table 1 Composition of dry air

Component	volume fraction(%)	mass fraction(%)	molecular weight
N ₂	78.09	75.52	28.0134
O ₂	20.95	23.15	31.9988
Ar	0.93	1.28	39.9480
CO ₂	0.03	0.046	44.0095
Ne	1.8×10 ⁻³	1.25×10 ⁻⁵	20.1797
He	5.24×10 ⁻⁴	7.24×10 ⁻⁵	4.002602

본 연구에서는 연소의 산화제인, 흡입 공기중의 산소체적분율(O₂ volumetric fraction)가 변화하는 경우, 스파크 점화기관의 연소에 미치는 영향을 해석하기 위한 것으로서, 이를 ξ로 표시하고, 다음과 같이 정의한다.

$$\xi = \frac{\text{O}_2 \text{ volume in unit air}}{\text{unit air volume}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V}$$

즉 단위 체적당의 공기 중에 O₂가 차지하고 있는 체적으로 정의한다. 그런데 ξ 의 변화는 Fig. 1에 표시한 바와 같이, 산소체적분율이 감소, 혹은 증가하는 경우, 미소 체적인 기타 성분은 고정되고, 질소의 체적만이 감소, 혹은 증가하는 것으로 가정하여 이론적인 해석을 진행 하였으며, 실험적인 공기 중의 산소체적분비의 변화를 산소와 질소 분배(bombe)를 이용하여, 기관에 흡입되는 공기 중의 산소체적분율을 변화시켜 이론 해석과 일치하도록 하였다.

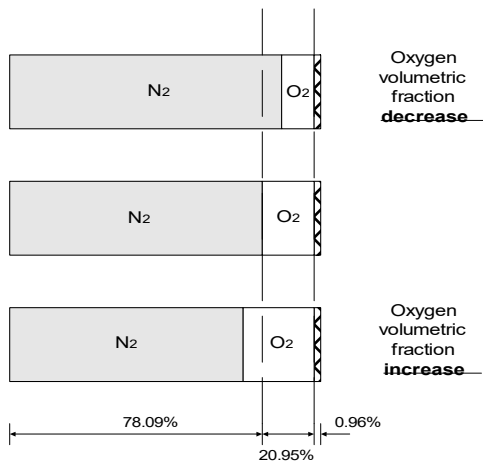


Fig.1 Air composition and the concept of O2 volumetric fraction change.

질소(N₂)와 산소(O₂) 이외의 성분은 불활성 기체로서 연소에는 관여하지 않으므로 통상 질소의 체적분에 포함하여 연소 계산을 하고 있다. 해석의 변수가 되는 산소체적분율은 공기를 완전가스로 취급하는 경우 다음과 같이 몰분율(mole fraction)과 같은 의미로 사용할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치의 설계 및 구성

SI 기술린기관에서 흡입공기 중 산소체적분율의 변화가 연소 및 배기가스 구성에 미치는 영향을 해석하기 위하여 실험 장치를 구성하고 적절한 측정기기를 이용하여 실험하였으며, 본 장에서는 실험 장치와 방법에 대하여 논한다.

전술한 바와 같이 흡입 공기 중의 산소체적분율이 증가하면 연소온도는 상승하고, 연소속도도 증가하는 것을 확인하는 방법으로 연소압력을 측정하였다. 그리고 사이클 평균압력이 아닌 수 개의 사이클 압력을 연속적으로 취득하기 위한 장치를 사용하였으며, 연소의 안정성을 해석하였다.

스파크 점화기관의 본 연구에서와 같이 산소체적분율이 변화하는 경우에는 기관에 관련된 인자와 유동에 관련된 인자들은 동일한 조건이 되므로 산소체적분율 변화시 기관의 압력변화를 이용하여 연소의 특성을 확인하고 해석할 수 있도록 하였다.

기관의 흡기관 내의 산소(O₂) 혹은 질소(N₂)의 공급량을 가감하여, 흡입 공기 중의 산소체적분율 변화에 따른 기관의 각 성능 변화를 규명하기 위해 Fig. 2과 같은 실험 장치를 제작 구성하였다^{9,10}.

측정에 사용된 기관은 SI기술린 엔진으로 기관의 제원은 Table 2에 나타내었다.

즉 4기통 4행정 수냉식 기관으로 1138 cc이다. 연료계통은 ECU(electronic control unit)에 의해 제어되는 다점분사시스템으로 개조되었으며, 피드백 장치(feed-back system)를 채택하였다.

한편 압축행정 시작시의 압력과 체적을 조사하기 위해서는 흡배기 개폐시기(valve timing)가 중요한 인자가 되므로, 흡배기 밸브 개폐시기도 Table 2에 표시하였다. 압축행정이 시작은 흡기밸브가 닫힌 다음이며, 흡기밸브 Single Over Head Camshaft 닫힘시기(closing timing)는 aBDC 45° 02' 이다.

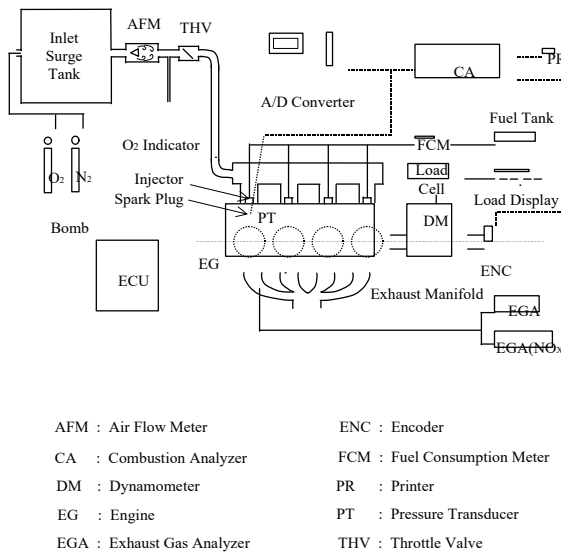


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus.

Table 2 Specification of tested engine

Item	Specification
Model and maker	D11
Classification	Gasoline Engine
Number of cylinder	4 in line
Stroke	4
Bore × Stroke	73 × 68 mm
Displacement	1138 cc
Compression ratio	8.0
Max, output	Power : 31.6/3100(ps/rpm) Torque: 7.7/2200(kg.m/rpm)
Fuel System	MPI(controlled by ECU)
Connecting rod length	0.13 m
Valve position	S ING Over Head Valve
Valve timing	
IVO	BTDC 9°
IVC	ABDC 45° 02 '
EVO	BBDC 43° 31 '
EVC	ATDC 12° 29 '

3.2 실험방법

흡기중의 조성변화에 의한 압력변화, 연소변동성, 배기가스성분 등은 연소특성과 관련이 있으므로, 실린더 내의 연소상태에 관한 거동을 규명하기 위하여 공기와 연료 혼합기의 연소시 실린더 내의 압력 데이터를 획득하는데 그 주안점이 본 연구의 실험에서 오차해석에 관한 고찰은 주로 실린더 압력을 측정하여 이로부터 연소해석과 관련된 제인자의 특성을 분석하고자 하였으므로, 압력 측정과 관련된 문제에 대해서만 국한한다.

시험기관을 난기시킨 후, 기관의 회전수와 부하(engine revolution and load)를 기관 동력계의 제어판에서 기준값을 조정한다. 또한 산소체적분율의 공기유량계 직후에 설치한 산소 인디케이터의 지시값을 확인하면서, O₂ 볼베 혹은 N₂ 볼베의 압력조정기를 서서히 조정한다. 한편 공회전시 실린더 내 압력변화에 대한 데이터를 획득하기 위하여 규정 회전수로 조정하고 필요한 데이터를 기록한다. 이러한 운전조건은 Table 3에 나타내었다.

점화시기는 각 기관회전수에 대하여 MBT를 취하였다. Table 3과 같은 조건에서 기관회전수, 부하조건, 흡입공기량, 연료유량, 점화시기, 대기의 압력과 온도, 습도 등을 데이터 기록지에 기록한다.

Table 3 Engine operating condition

Engine operating	Engine operating variation
Engine speed(rpm)	800, 1,500, 2,500, 3,000
O ₂ volumetric fraction, ξ(%)	19, 20, 21, 22, 24
Load condition	Idling, Full Load
Spark timing	MBT

연소특성 해석 인자로는 연소압력과 배기가스 조성 및 연소의 변동성을 실험하였으며, 기관의 회전수와 부하를 일정하게 유지한 상태에서, 흡입 공기 중 산소체적분을 변화시키면서, Table 3의 각 조건에서 실린더 내 압력과 배기가스 조성 및 연속 사이클 압력 데이터를 측정하였다. 냉각수 온도는 질소산화물의 생성에 큰 영향을 미치므로 70 °C로 정밀하게 설정하였다. 또한 냉각수 온도는 압력 변화기 데이터의 신뢰도를 얻을 수 있게 하기 위하여 세심한 주의를 요한다.

4. 실험결과 및 고찰

스파크 점화기관방식인 왕복형 피스톤기관에서 한 사이클 동안의 실린더 내 압력변화에 관한 데이터는 동작유체의 열역학적 사이클 해석이나 연소특성 및 연소 변동성을 해석하는데 중요한 정보를 제공하게 된다. 특히 기관의 출력성능 변화에 연소해석에 있어서는, 한 사이클이 아닌 약 100사이클 동안의 실린더 내의 압력변화를 연속적으로 취득하여 산술평균한 압력값을 이용하고 있다.

산소체적분을 변수로 하여 취득한 100사이클 평균실린더 내 압력값을 Fig. 3(a)~Fig. 3(c)에 나타내었다. 즉 $P-\theta$ 선도로서 1,500 rpm 전부하, 2,500 rpm 전부하, 3,000 rpm 전부하시의 압력 변화를 크랭크 각도 BTDC 20° 에서 ATDC 70° 까지 나타낸 것이다. 또한 Table 4은 최적 점화시기(MBT)와 기관의 전부하(full engine load)하에서 최대 압력값과 그 발생시기의 크랭크 각도에 대한 데이터를 표로 나타내었다.

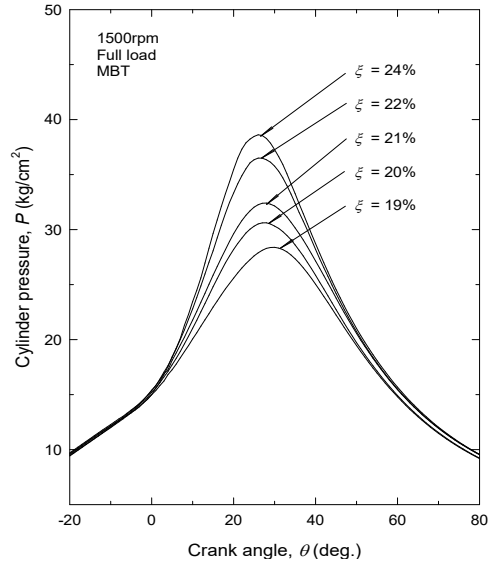


Fig. 3(a) Cylinder pressure (P)-crank angle(θ) diagram for O₂ volumetric fraction at engine speed 1,500 rpm.

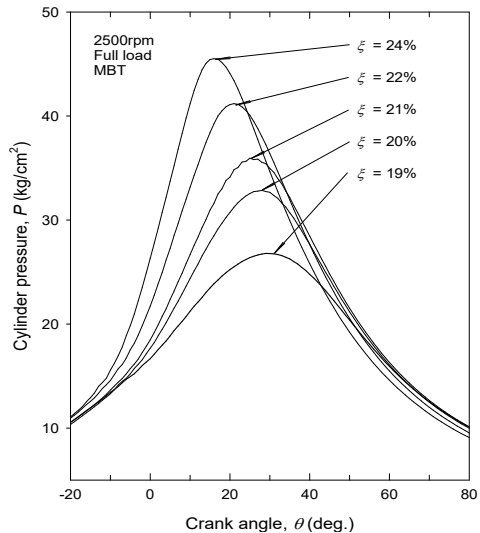


Figure. 3(b) Cylinder pressure (P)-crank angle (θ) diagram for O₂ volumetric fraction at engine speed 2,500 rpm.

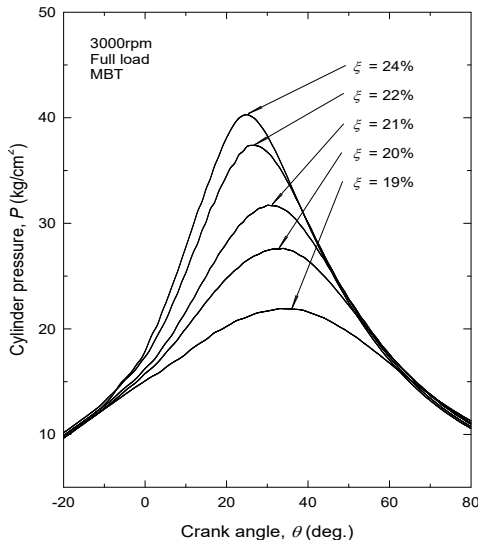


Figure. 3(c) Cylinder pressure (P)-crank angle(θ) diagram for O₂ volumetric fraction at engine speed 3,000 rpm.

Table 4 The change of Pmax, dPmax and dQmax with O₂ volumetric fraction(ξ)

	ξ	19 %	20 %	21 %	22 %	24 %
1,500 rpm	Pmax (θ°)	28.39 (30°)	30.62 (28°)	32.27 (26°)	36.50 (26°)	38.62 (26°)
	dPmax (θ°)	0.595 (12°)	0.770 (12°)	0.830 (14°)	1.178 (16°)	1.369 (13°)
	dQmax (θ°)	3.98 (25°)	4.27 (22°)	4.59 (22°)	5.53 (21°)	6.37 (20°)
2,500 rpm	Pmax (θ°)	26.79 (29°)	32.85 (28°)	35.85 (25°)	41.19 (21°)	45.51 (16°)
	dPmax (θ°)	0.503 (10°)	0.734 (10°)	0.898 (9°)	1.200 (6°)	1.548 (7°)
	dQmax (θ°)	3.43 (28°)	4.27 (21°)	4.58 (21°)	5.04 (16°)	5.21 (9°)
3,000 rpm	Pmax (θ°)	21.92 (33°)	27.58 (32°)	31.7 (30°)	37.38 (26°)	40.30 (25°)
	dPmax (θ°)	0.335 (10°)	0.531 (14°)	0.733 (13°)	1.068 (11°)	1.198 (12°)
	dQmax (θ°)	3.23 (32°)	3.96 (29°)	4.58 (25°)	5.39 (20°)	5.81 (19°)

산소체적분율은 증가와 더불어 최대압력값이 전 영역에서 상승하고, 그 발생 시기도 상사점쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 1,500 rpm에서는 산소체적분율이 22 % 와 24 % 증가함에 따라 약 13 % 및 20 % 정도 압력상승이 나타나며, 산소

체적분율이 20 %, 19 %로 감소하면 약 5 % 와 12 % 정도 감소하고 있다. 2,500 rpm에서는, 산소체적분율이 증가함에 따라 각각 약 15 % 와 27 % 정도 상승하고, 감소시에는 약 9 % 와 25 % 정도 최고 압력이 낮아지고 있다. 또한 3,000 rpm에서 증가시에는 18 %, 27 % 정도 상승하며, 감소시에는 약 13 %와 31 % 정도 최고 압력이 낮아진다. 이것은 산소체적분율이 증가함에 따라, 연소속도가 빨라지고, 더욱 완전한 연소를 하는데 기인한다고 판단된다.

산소체적분율 증가 효과는 높은 회전수가 될수록 그 열량이 크며, 산소체적분율이 약 2 % 감소시에는 최고압력이 급격히 낮아짐을 알 수 있다.

$$\frac{dP}{d\theta} = \frac{1}{12} [P_{(\theta-2)} - 8P_{(\theta-1)} + 8P_{(\theta+1)} - P_{(\theta+2)}] \quad (1)$$

식(1)에 의해, 실린더 내 압력 값으로부터 계산한 압력상승율($\frac{dP}{d\theta}$)도 비슷한 경향을 나타내며, 그 변화 추이는 Fig. 4(a) ~ Fig. 4(c) 및 Table 4에 나타내었다. 즉 산소체적분율이 19 %에서 24 %까지 증가함에 따라 압력상승율도 증가하므로, 압력상승이 급격함을 알 수 있다. 또한 압력이 최대가 되면 압력상승율($\frac{dP}{d\theta}$)의 값이 0이 되고, 그때의 크랭크 각도가 최대 압력이 발생하는 시기를 의미한다. 따라서 최대압력의 발생시기가 상사점으로 이동하고 있음을 모든 회전수 영역에서 확인할 수 있다. Fig. 5은 실린더 압력과 체적의 관계를 보이는 P-V선도로서, 기관회전수 1,500 rpm에 대해서만 예로서 표시한 것이다. 그림에서 산소체적분율이 증가함에 따라 사이클의 면적이 증가하므로 평균유효압력(indicated mean effective pressure)도 증대되는 것을 알 수 있으며, 따라서 기관 출력도 향상되게 한다. 이러한 일련의 결과를 볼 때, 흡기중의 산소체적분율 증가에 따라 연

소 반응율(reaction rate)이 높아지고, 또한 연소 속도의 증가에 기인한 것으로 판단할 수 있다.

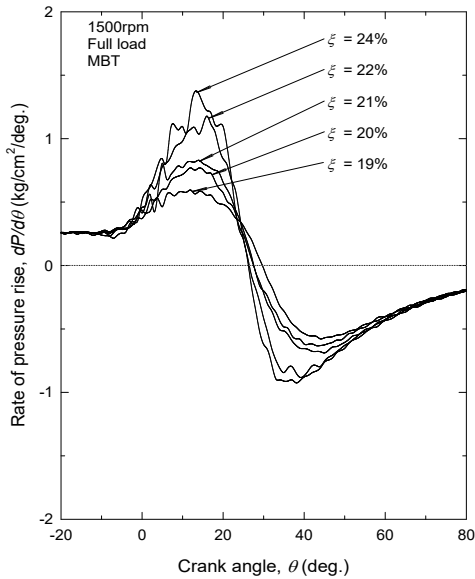


Figure. 4(a) Rate of pressure rise ($\frac{dP}{d\theta}$)-crank angle(θ) diagram for O₂ volumetric fraction at according to engine speed

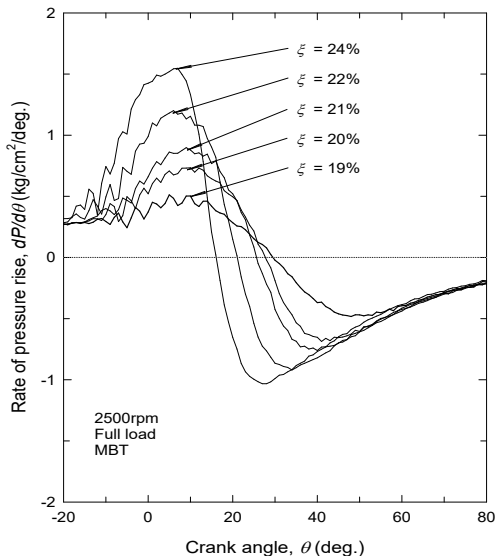


Fig. 4(b) Rate of pressure rise ($\frac{dP}{d\theta}$)-crank angle (θ) diagram for O₂ volumetric fraction at according to engine speed

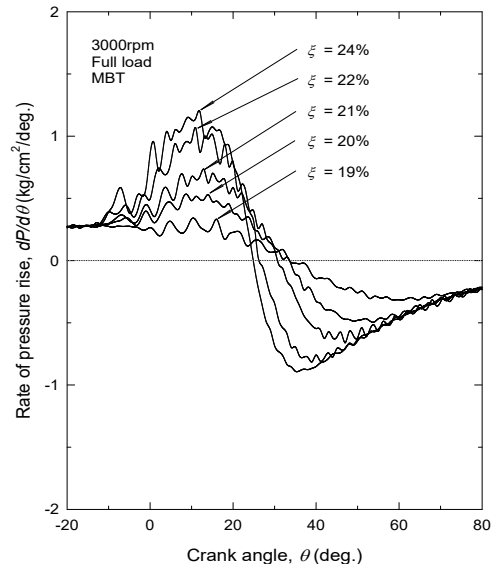


Figure. 4(c) Rate of pressure rise ($\frac{dP}{d\theta}$)-crank angle (θ) diagram for O₂ volumetric fraction at according to engine speed

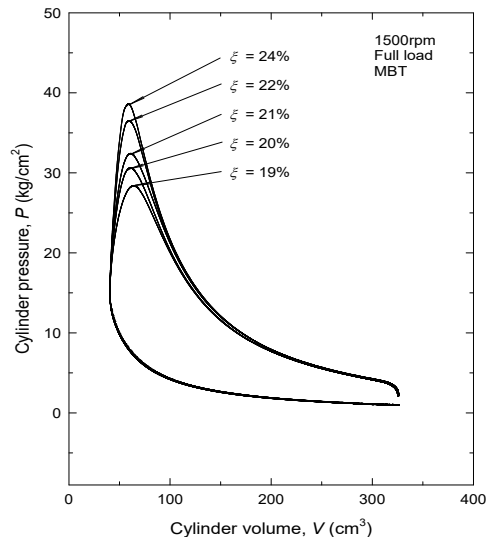


Fig. 5 Cylinder pressure(P)- volume(V) diagram for O₂ volumetric fraction at engine speed 1,500 rpm, engine full load and MBT.

5. 배기생성특성

스파크 점화기관에서 배출되는 배기가스 중 유해성분이 생성되는 원인은 혼합기 조성 및 밀접한 관계가 있다. 흡기 중 산소체적분율이 변화하면 혼합기 조성에 따라 연료-공기 당량비가 변화되고 배기가스의 조성이 영향을 받는다. 그러므로 흡기 중 산소체적분율이 변화함에 따라 일산화탄소(CO), 미연탄화수소(UHC), 질소산화물(NOx)의 배출특성을 해석하여, 후처리 방법에 의한 종래의 배기가스 유해성분 저감의 한계를 극복하기 위한 선처리 방법을 제안하여 향후 엔진의 설계의 자료를 제시하고자 한다.

5.1 일산화탄소

스파크 점화기관의 전부하 운전에서 기관회전수에 따라 합성가스 첨가비와 점화시기 변경에 따라 일산화탄소의 배출특성은 연소가스 온도 및 압력과 밀접한 관계가 있는 열해리의 영향은 감소하고 추가된 산소의 영향을 더욱 크게 받은 결과로써 일산화탄소는 감소하는 경향을 갖게 된다. 그 결과 엔진회전수 1,500 rpm에서 산소체적분율이 21 %에서 24 %로 증가함에 따라 일산화탄소는 13 % 정도 감소하고, 19 %로 감소하면 10 % 정도 일산화탄소가 증가한다.

산소체적분율의 변화에 대하여 배기가스 조성의 변화를 나타낸 결과를 표로 나타낸 것이 Table 5이다. 엔진회전수 2,500 rpm에서는 각각의 경우에 대해 20 % 감소 및 25 % 증가하며, 엔진회전수 3,000 rpm에서는 17 % 감소와 12 %의 증가를 Fig. 6 같이 나타내고 있다.

Table 5 Carbon monoxide formation engine speed and oxygen volume fraction

	ξ (%)	19	20	21	22	24
1,500 rpm	CO (%)	6.08	5.95	5.54	5.31	4.83
2,500 rpm	CO (%)	7.82	7.14	6.27	5.67	5.00
3,000 rpm	CO (%)	8.57	8.03	7.65	7.06	6.22

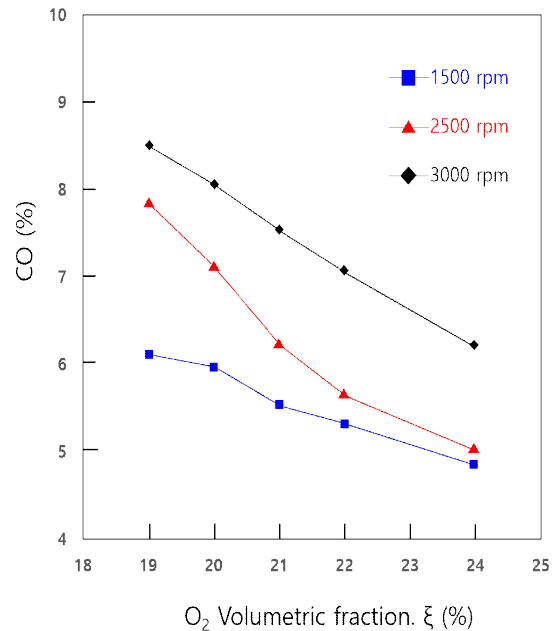


Fig. 6 Carbon monoxide variation with O₂ Volumetric fraction change according to engine speed.

위의 실험결과로 합성가스 연료를 EURO6 이상의 배기규제에 만족시키기 위해서 합성가스 연료를 생산할 수 있는 개질기의 개발이 요구되며, 냉간 시동시에 이용할 수 있는 합성가스의 저장 공간에 대한 연구도 이루어져야 한다.

5.2 미연탄화수소

미연탄화수소는 산소체적분율이 증가함에 따라 Table 6 와 같으며 Fig. 7과 같이 감소하고 있는데 이는 미연탄화수소가 추가된 산소와 결합되어 H₂O와 CO₂로 변화되었기 때문이다. 또한 연소속도가 증대되고, 연소가스 온도도 상승된 결과이며, 이것으로 인한 소염층의 두께가 감소된 영향에 기인한다.

그 결과 산소체적분율이 21 %에서 24 %로 증가하면, 전 운전영역에서 대략 28 % 정도 감소가 나타나고, 19 %로 감소하면 40 % 정도의 미연탄화수소 증가를 나타내고 있다.

Table 6 Unburned hydrocarbon formation for engine speed and oxygen volume fraction

rpm	ξ(%)	19	20	21	22	24
1,500 rpm	UHC (%)	285	242	203	198	125
2,500 rpm	UHC (%)	305	261	216	206	136
3,000 rpm	UHC (%)	360	296	255	242	155

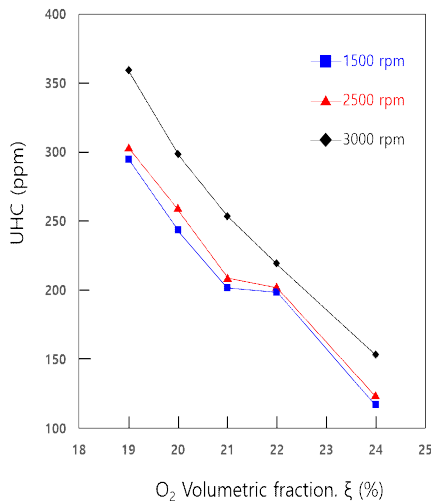


Fig. 7 Unburned hydro carbon variation with O₂ volumetric fraction change according to engine speed.

5.3 질소산화물

질소산화물은 대부분 일산화질소(NO)이며, 미소의 이산화질소(NO₂)이며, 산소체적분율이 증가함에 따라 Table 7과 같으며, 그 결과 산소체적분율이 21 %에서 24 %로 증가되면, 1,500 rpm에서 약 80 % 질소산화물이 증가되었고, 2,500 rpm 때에는 140 %, 3,000 rpm에서는 약 3배 정도 증가하였다. 또한 산소체적분율이 21 %에서 19 %로 감소되면 전 운전영역에서는 80 % 정도의 질소산화물이 감소가 Fig. 8과 같이 나타났다.

Table 7 Nitric oxides formation engine speed and oxygen volume fraction

rpm	ξ(%)	19	20	21	22	24
1,500 rpm	NO _x (%)	280	372	830	1267	1520
2,500 rpm	NO _x (%)	130	260	650	1294	1560
3,000 rpm	NO _x (%)	83	153	282	606	1131

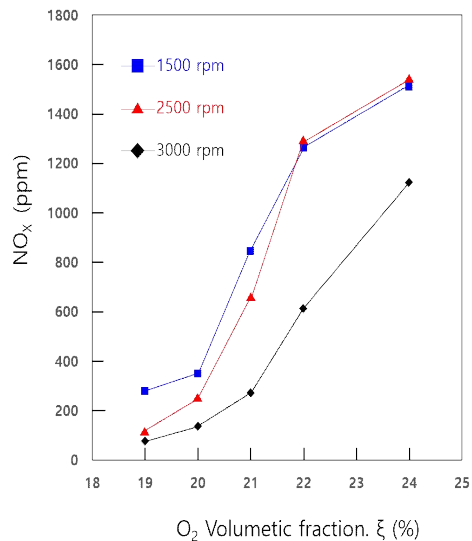


Figure. 8 NO_x variation with O₂ volumetric fraction change according to engine speed.

종합해서 보면, 산소체적분율이 증가할수록 일산화탄소와 미연탄화수소는 감소하지만, 연소가스 상승에 의한 질소산화물 생성은 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다.

6. 결론

SI가솔린 기관에서 다점분사방식이 적용된 기관에서 혼합기가 연소실에 유도되는 과정에서 배기재순환 가스 및 블로바이가스와 오일 혼합가스 등에 의해 연소 중에 발생하는 문제점을 개선하기 위하여 엔진 전부하에 따라 흡입되는 공기 중 산소체적분율을 증가시키는 실험방법과 그 이론에 대하여 본 실험을 수행하여 다음과 같이 4행정 4기통 실험기관에서 해석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실린더 내의 혼합기에 산소체적분율의 증가와 같이 최대압력값이 전영역에서 상승하고, 그 발생시기가 상사점쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있었다. 기관회전수 1,500 rpm에서는 산소체적분율이 22 %와 24 %로 증가함에 따라 약 13 % 및 20 % 정도 압력 상승이 나타나며, 산소체적분율이 20 %, 19 %로 감소하면 약 5 %와 12 % 정도 감소하고 있다.

따라서 기관회전수가 높아지면 최대압력값이 상승정도가 크게 되는 것을 알 수 있었다.

2. 일산화탄소 발생은 산소 부족에 의한 불완전 연소와, 고온에서 이산화탄소의 열해리에 의해 생성된다. 따라서 연소가스 온도 및 압력과 밀접한 관계가 있는 열해리의 영향은 감소하고 추가된 산소의 영향을 더욱 크게 받은 결과로 일산화탄소는 감소하는 경향을 갖게 된다. 그

결과 엔진회전수 1,500 rpm에서 산소체적분율이 21 %에서 24 %로 증가함에 따라 일산화탄소는 13 % 감소되고, 19 %로 감소하면 10 % 정도 일산화탄소가 증가되었다. 기관회전수가 높아지면 배기생성의 상승정도가 크게 되는 것을 알 수 있었다.

3. 미연탄화수소도 산소체적분율이 증가함에 따라 감소하고, 추가된 산소와 결합되어 H₂O 와 CO₂ 변화된다. 그 결과 산소체적분율이 21 %에서 24 %으로 증가하면, 전 운전영역에서 28 % 정도 나타났다. 19 %로 감소하면 40 % 정도의 미연탄화수소가 생성이 높게 나타남을 알 수 있었다.

4. 질소산화물 가스 생성은 고온에서의 체류시간과 산소의 농도가 주요한 변수이며, 젤도비치 기구에 의해 배기가 생성된다. 그 결과 산소체적분율이 21 %에서 24 %로 증가시 1,500 rpm에서 80 %, 2,500 rpm에서 140 %, 그리고 3,000 rpm에서 3배 정도 높게 발생되었다. 또한 산소체적분율이 증가할수록 일산화탄소와 미연탄화수소는 감소하지만, 연소가스 상승에 의한 질소산화물 생성은 크게 증가하고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] John B. Heywood : Internal combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, pp. 567~660, (1988).
- [2] V.R. Burns, et al. : "Description of Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program", SAE 912320, (1991).
- [3] J.I. Ramos : "Internal Combustion Engine Modeling", Hemisphere Publishing Corporation, pp. 290~ 304, (1989).
- [4] H. Manger, : "LH-Jetronic : A New Gasoline Injection System with a Hot Wire Air Mass Meter and μ -processor Controlled ECU", IMechE C180/81, pp. 137~141, (1981).
- [5] John B. Heywood : "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, pp. 413~423, (1988).
- [6] Michael B. Young : "Cyclic Dispersion in the Homogeneous-Charge Spark-Ignition Engine - A Literature Survey", SAE 810020, (1981).
- [7] 李成烈 : "內燃機關", 普成閣, p.138, (1994).
- [8] 김기복, 윤창식, "가솔린 기관의 혼합기 조성 과 연소 특성에 관한 연구", 한국산업융합학회 제18권 4호, pp.197~206, (2015)
- [9] 김기복, 진석준, 김치원, 윤창식, 한성현, "SI 가솔린 엔진의 과급 및 흡기가 엔진 성능에 미치는 영향에 대한 연구", 한국산업융합학회 제18권 2호, pp.110~118, (2015)
- [10] 김기복, 김치원, 윤창식, 한성현, "압축착화 디젤기관의 흡기조성에 따른 연소 및 배기배출물 특성에 대한 연구", 한국산업융합학회 제18권 4호, pp.207~215, (2015)

(접수:2017.02.06. 수정: 2017.03.03. 게재확정: 2017.03.08.)