

## 점화시기가 LPG 엔진의 배기특성에 미치는 영향

### An effect of ignition timing on exhausting property of LPG Engine

한 덕 수\*    장 영 민\*    전 봉 준\*\*    김 성 준\*\*\*  
Han, Duck-Su    Jang, Young-Min    Chun, Bong-Jun    Kim, Sung-Joon

---

#### Abstract

As an automobile fuel, LPG has many environmental advantages compared to gasoline or diesel. However, current LPG engine which is provided with LPG fuel as gas form has lower power and worse fuel efficiency than gasoline engine. These problems of low power and bad fuel efficiency come from lower volumetric efficiency. Also there is a new rising problem of high failure ratio in an engine emission test. Although there are many factors which affect engine performance of exhaust gas emission, one believes that the fact that ECM of gasoline engine is used for LPG engine when retrofitting gasoline engine to LPG engine is one of the main problems, which lower engine power and emit more noxious gas due to wrong ignition timing. To solve these problems, one studied the effects of ignition timing on the exhaust gas to find out the optimum condition of ignition timing. The experimental results show that noxious exhaust gas is reduced and engine power is increased if the optimum control of ignition timing is applied in accordance to the revolution speed of engine.

키워드 : 액화석유가스, 점화시기, 배기가스  
Keywords : LPG(Liquefied Petroleum Gas), ignition timing, exhaust gas

---

#### 1. 서론

환경부는 '06년부터 적용되는 자동차 배출가스 허용기준을 휘발유자동차는 미국 캘리포니아, 경유 자동차는 유럽연합 수준으로 대폭 강화하는 내용을 주요골자로 하는 대기환경보전법시행규칙을 2003년 12월10일자로 개정·공포하였다. 개정된 시행규칙의 주요내용은 휘발유 및 가스자동차의 배

출가스 허용기준을 세계에서 가장 엄격한 미국 캘리포니아의 초저공해차(ULEV: Ultra Low Emission Vehicle) 수준으로 강화하여 '06년부터 적용하며 현재의 기준 대비 일산화탄소(CO)는 50%, 질소산화물(NOx)은 77%, 탄화수소(HC)는 39% 강화한다는 것이다[1].

최근에 자동차의 개발동향은 성능에 크게 영향을 미치는 엔진의 출력과 연비 향상을 위한 엔진의 효율 그리고 환경오염을 줄이기 위한 유해배출물의 저감이라고 볼 수 있다. 현재는 모든 분야에서 지구의 환경오염을 줄이는 추세에 따라 유해 배출물을 억제시키기 위한 연구를 추진해 나가고 있다[2].

유해 배출물을 줄이기 위한 대체 연료중에서

---

\* 강원대학교 기계공학과 박사과정  
\*\* 세천기능대학 카일렉트로닉스과 교수, 공학박사  
\*\*\* 강원대학교 기계공학과 교수, 공학박사

LPG(Liquefied Petroleum Gas)는 쉽게 구할 수 있는 기체연료로, 옥탄가가 높다는 등의 많은 장점을 갖고 있다. 예를 들면, 60 %의 프로판과 40 %의 부탄을 혼합한 LPG의 옥탄가는 100을 넘게 된다. 가솔린과 비교하여 옥탄가가 높기 때문에 고압축비를 이용할 수 있으며 동시에 열효율의 향상도 기대할 수 있기 때문에 연료에 첨가물 없이도 엔진의 노킹을 방지할 수 있다. LPG 연료의 경우, 가솔린 엔진을 LPG 시스템으로 전환시 구조변경 비용이 필요함에도 불구하고, 저렴한 가격으로 인하여 더 경제적이고 볼 수 있고, 거의 완전연소에 가깝기 때문에 연소생성물의 배출로 인한 환경오염이 적다는 점을 장점으로 들 수 있다. 즉, 연료의 특성상 납이나 유황성분이 적기 때문에 연소시 적은 공해물질이 발생되며, 동시에 배기가스로 인한 엔진 및 배기계통 등 금속부식이 적어 차량수명 또한 연장된다는 장점을 동시에 갖고 있다고 볼 수 있다.

가솔린 기관을 LPG 시스템으로 전환했을 경우의 특성에 관한 과거의 연구를 살펴보면, Lowi Jr.와 Carter는[3] 주요 유해 배출물인 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 및 이산화탄소가 가솔린 기관과 비교하여 20~60 % 정도 감소함을 보여 주고 있으며 이는 탄화수소가 3배가량 증가하는 CNG(Compressed Natural Gas) 보다 좋은 대체연료라고 보고하고 있다.

Holleman 등[4~5]은 유해 배기가스 저감의 효과와 혼합기의 단위체적당 발열량이 적기 때문에 냉각손실이 감소하며 기관의 열효율이 증가한다고 발표하였다.

또한, Gerini 등[6]은 LPG를 증발시켜 가스의 상태로 공급하는 시스템에서는 출력저하를 가장 큰 문제점으로 지적하였는데, 고부하 영역에서 5~10 % 출력저하가 발생하는 이유는 혼합기의 단위질량당 발열량은 높지만 단위체적당 발열량이 가솔린에 비하여 5 % 정도 작고 연료가 가스 상태로 공급되어 충전효율이 저하되기 때문이라고 지적하였다. 동시에, 착화온도가 높아 점화지연기간이 길기 때문에 배기량이 큰 기관에는 적용하기 어려우며, 비중이 공기보다 크기 때문에 누설시 밀폐장에서의 폭발 위험성 또한 지적하였다. 그리고 고압용기를 연료 탱크로 사용하기 때문에 차량무게는 증가하지만, 고부하 영역에서의 출력저하는 고압축비와 액체 LPG 공급을 통하여 가솔린 기관과 동일한 출력을 얻을 수 있음을 시사하였다.

이상의 연구를 종합하면, LPG 연료는 경제적이고 청정한 연료이며, 탄소퇴적이 없기 때문에 엔진수명을 향상시킨다고 사료된다.

현재 국내의 기술수준은 청정연료로 알려져 있는 LPG를 연료로 사용하는 차들이 오히려 오염물질을 더 많이 배출하고 있다. LPG 전용 엔진과 부

품을 개발해 사용하지 않고 가솔린 엔진을 개조해서 사용한다는 것이 문제다. LPG 연료가 저렴한 가격으로 경제적 혜택을 주는 반면 청정연료로서의 기능은 제대로 수행하지 못했다는 게 많은 전문가들의 일치된 견해다. 무연휘발유에 비해 LPG가 성분상 탄소와 수소의 함량이 적어 오염물질을 덜 배출할 수 있기는 하나 LPG 엔진 기술이 한참 뒤떨어져 연료의 청정성을 100% 소화할 수 없는 현실이다. 특히 휘발유와 LPG를 겸용하는 자동차의 경우 전용 휘발유 엔진에 비해 최고 30%가 넘는 오염물질을 배기가스로 배출하고 있어 심각한 대기오염을 일으킬 수 있다고 경고한다. 시중에서 휘발유와 LPG 겸용으로 개조차의 배기가스는 심각한 수준이다. 불법은 아니지만 비용 절감을 이유로 전용 부품의 장착을 외면하고 있기 때문이다 [7].

## 2. 이론적 배경

유해배출가스 저감과 출력향상을 위해 제시할 수 있는 방법으로 크게 두가지로 나눌 수 있다.

첫째는 Fig. 1에서 각종 연료의 당량비와 종류 연소속도[8]를 보면 LPG의 경우 화염전파속도(flame speed), 즉 연소속도(burning velocity)는 가솔린과 비교하여 빠르며 둘째로 Table 1[9]에서 보는 바와 같이 착화온도가 높기 때문에 상대적으로 점화시기가 진각되어야 한다. 그럼에도 불구하고 옥탄가가 높기 때문에 점화시기의 진각에 의한 노킹이 잘 일어나지 않는다. 가솔린기관 전용 전자제어 ECM(Engine Control Module)을 LPG 연료 전용 전자제어 ECM으로 점화시기를 진각시켜 MBT(Minimum advance for the Best Torque) 제어를 통한 출력향상을 예로 들 수 있다. 즉, 본 연구는 점화시기의 제어를 통하여 유해한 배기가스의 특성에 미치는 영향을 파악하는데 연구목적이 있다.

현재의 LPG/가솔린 겸용 차량은 온도가 낮은 동절기의 경우, 휘발유에 의해 시동을 걸고, 일정 시간이 경과하여 엔진 온도가 상승되면 기화기내의 LPG 온도와 증기압이 상승되어 정상적으로 기화되고 이 시점에서 LPG 연료로 전환하는 방법이 사용되고 있다. 이와 같이, LPG 연료로 전환하여 엔진을 구동하고는 있지만, 점화 시기는 여전히 점화 시점이 느린 가솔린의 것을 그대로 사용하고 있기 때문에 연소지연으로 인한 엔진 출력 및 차량 연비 저하는 물론 악성 배출 가스량을 증가시킨다고 볼 수 있다.

LPG/가솔린 겸용 차량은 일반적으로 가솔린 전용으로 사용하는 점화장치를 사용하기 때문에 가솔린용 점화시기는 LPG용 보다 점화시기가 지연되어 있기 때문에 이를 그대로 사용하는 경우는

점화시기가 LPG 엔진의 배기특성에 미치는 영향

LPG 연료 상태에서 점화지연이 야기되는 효과로 인해 상기의 문제점들이 더욱 심각해진다고 볼 수 있다[10].

LPG 연료 상태에서도 엔진 출력 및 차량 연비를 향상시킬 수 있음은 물론 엔진 역화를 방지하기 위한 방법으로 점화시기를 가솔린 연료 사용 때 보다 좀 더 진각시키는 것이 효과적이라 볼 수 있다. 엔진의 MBT는 엔진의 회전수와 부하에 따라 변화하는데, 연료의 특성상 LPG는 가솔린과 비교하여 착화온도가 높기 때문에[9] 상대적으로 점화시기가 빨라져야 한다고 사료된다. 그럼에도 불구하고, 점화진각에 의한 노킹이 잘 일어나지 않는 이유는 옥탄가가 높다는 연료로서의 장점을 갖고 있기 때문이다. 점화시기는 엔진의 회전속도와 부하에 따라 제어하여야 한다.

따라서 본 연구는 LPG 연료가 가솔린 엔진에서 기체상태로 적용되기 위한 엔진 제어 시스템의 주요 구성요소와 제어, 소프트웨어와 하드웨어의 구성에 대하여 각종자료를 수집·분석하였다.

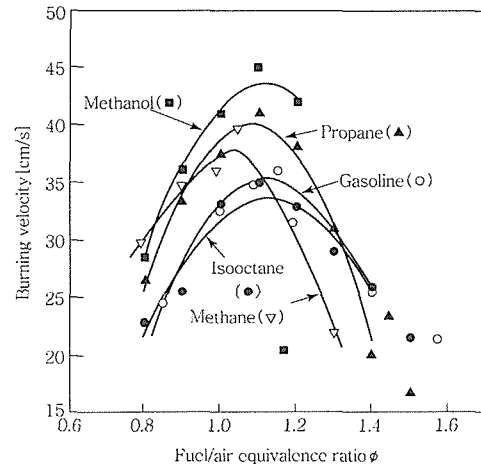


Fig. 1 Burning velocity of various fuels[8]

Table 1 Chemico-physical characteristics of LPG[9]

Item	LPG				Petr-ol
	Prop-ane	Prop-ylene	n-Bu-tane	i-But-ane	
Molecular formula	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Boiling point(°C)	-42.1	-47.7	-0.5	-11.7	128
Vapor pressure (kPa, 20°C)	785	961	196	289	-
Ignition temperature(°C)	481	458	441	544	210~330
Octane rating (RON)	125	85	91	99	87
Highest flame speed(m/s) (in 1" tube)	0.81	1.01	0.83	0.83	0.83
Air required for complete combustion(kg/kg)	15.7	14.8	15.5	15.5	14.7

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 기관은 상용 3,000cc SI기관을 LPG 기관으로 구조변경하여 사용하였고, 기관의 전체적인 구성은 Fig. 2에 나타내었다.

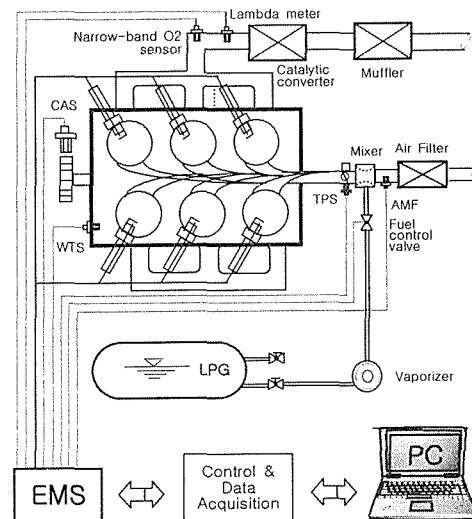


Fig. 2 Schematic diagram of LPG engine

기관의 제원은 Table 2 에 표시하였다. 배기량은 2,972 cc, 4행정 6실린더 DOHC 기관이다. 압축비는 10.0:1이고, 연소실 형상은 펜트루프 타입이다.

Table 2. Specifications of experimental engine

Engine Type	4-Stroke, 6-Cylinder	
Bore * Stroke	91.10 * 76 mm	
Displacement	2972 cc	
Valve type	DOHC 4 Valve	
Compression ratio	10.0 : 1	
Combustion chamber type	Pent-roof	
Max. Power	185 ps / 6000 rpm	
Max. Torque	24.6 kg · m / 4500 rpm	
Intake	open	BTDC 16.5°
	close	ABDC 55.5°
Exhaust	open	BBDC 48.5°
	close	ATDC 15.5°

전체 실험장치의 구성은 기관 (DOHC 기관), 기관 연료 공급장치 (LPG Vaporizer), 압력제어 레귤레이터, 기관 구동장치 (구동모터 컨트롤러) 및 제어장치, 기관 점화 제어장치 (MOTEC M800 EMS), 기관 성능 측정장치 (동력계; 130kW Eddy current type 및 동력계 컨트롤러), 냉각수 · 기관오일 제어장치, 공연비 측정 장치 (Lambda meter (ETAS LA4), Exhaust gas analyzer (HORIBA MEXA-554JK), Combustion pressure (KISTLER 6052B1), Rotary encoder (OMRON E6A2.C) 및 제어 센서 (MAP, TPS, Fuel pressure, O<sub>2</sub>) 등이고, 전체적인 개략도는 Fig. 3과 같다.

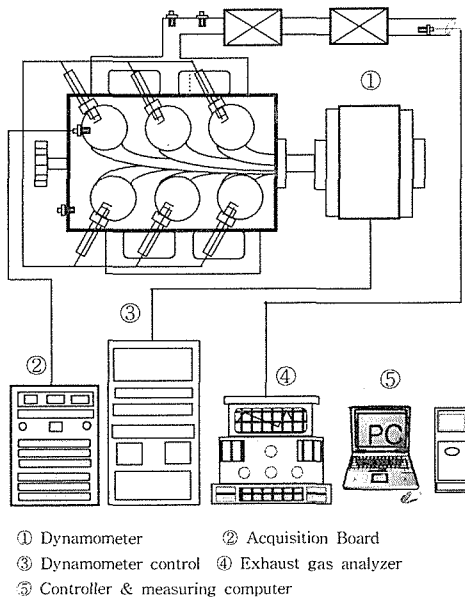


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

### 3.2 실험방법

실험용 DOHC 기관의 크랭크축을 동력계에 직렬로 연결하여 부하를 제어하고 토크를 측정하였으며, 반대편의 동력계 축에 제어 모터를 장착하여 초기에 기관을 구동시킨다. 스파크 플러그 타입의 압력센서를 이용하여 연소실내 압력을 계측하였고, 냉각수 온도 센서, TPS, 공기온도 및 유량센서, 흡기관 절대압력 센서, 광대역 산소센서 등을 기관을 제어하기 위하여 설치하고 기관 각 부의 상태를 파악하였다. 또한 이러한 센서들로부터 정보를 수집하고 점화시기를 조절해 줄 수 있는 컨트롤러를 사용하여 기관을 제어하였다. 취득한 데이터는 데이터 취득보드를 통해 PC에 저장하였다. 배기관에는 CO, HC, NOx, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 등의 농도를 측정할 수 있는 배기가스 분석기를 사용하여 배기가스농도를 계측하였다.

점화시기를 제어하기 위하여 기존의 자료를 바탕으로 Fig. 4, Fig. 5에서처럼 가솔린 전자제어 시스템의 점화시기를 이용하여 LPG 연료 사용시 점화시기 제어를 목적으로 진각장치를 이용하여, 기관동력계에서 특성실험을 하고 엔진의 회전수와 진각에 대하여 비교 분석하였다.

각각의 기관 운전조건에 따라 먼저 가솔린 연료를 사용하여 기관의 성능 및 운전특성, 연소특성, 배출가스특성 등을 파악하였고, 연료를 LPG 연료로 바꾸어 같은 실험을 수행하였다.

본 연구의 실험조건은 Table 3 과 같다. 실험은 먼저 기관을 충분히 가열하여 기관의 냉각수와 윤활유의 온도가 일정 온도 (80 ± 2 °C)로 되었을 때 실험을 수행하였다. 실험조건은 무부하와 부분부하 상태에서 일정 회전수로 동력계를 설정한 후 정속 모드 상태에서 실험하여 부하의 변동을 관찰하였고, 전 사이클 범위에 걸쳐 점화시기를 변화시키면서 성능 인자들의 변화를 측정하였다. 이 때 기관에 흡입되는 공기의 체적유량을 일정하게 유지시키고 각각의 점화시기를 변경시키면 기관의 회전수 변동과 부분연소의 영향으로 기관의 부하에 변화가 생긴다. 부하의 변동이 ±3% 미만인 될 때 조건과 연소 안정성의 한계가 5% 미만인 될 때 데이터를 취득하였다. 부하의 변동이 이보다 증가하게 되면 점화의 실패나 부분연소 등과 같은 현상이 기관에 교란을 주어 사이클 변동이 심하게 되며 기관이 불안정한 상태로 운전되는 것으로 판단하여 데이터를 취득하지 않았다.

여기서 점화시기는 기관의 MBT(Minimum Spark Advance for Best Torque)를 KEFICO ECM으로부터 Hi-scan을 사용하여 구한 후 MBT로부터 각각 진각 5°, 10° 지각 5°, 10° 씩 점화시기를 MOTEC EMS 800으로 변경하면서 HORIBA MEXA-554JK(NOx) 배기가스 분석기로 취득하였다. 공연비는 실제 기관이 작동되는 상태에서 (λ

1.03~1.40) 실험을 하였다.

Table 3 Experimental condition for engine test

Engine speed	850, 1000, 1500 2000, 2500, 3000rpm
Spark timing	Advanced 5, 10° MBT Retarded 5, 10° (5° BTDC 간격)
Fuel control	LPG gas(Mixer& Vaporizer)
Lambda value	Variable ( $\lambda$ 1.03~1.40)
Load	no Load

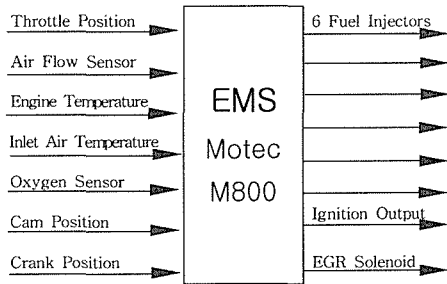


Fig. 4 Schematic diagram of system composition for experimental

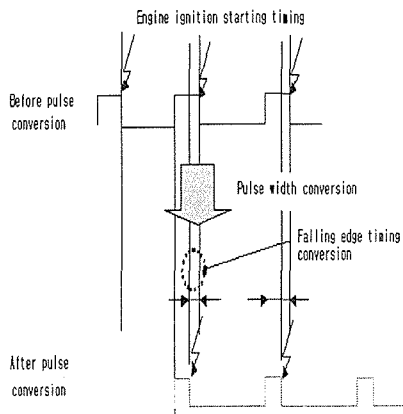


Fig. 5 Diagram of signal pulse

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 점화시기별 진각, 지각의 배기가스 특성

Fig.6 은 LPG 연료를 가스 상태로 공급하였을 경우 점화시기에 따른 DOHC 6기통 LPG 구조변경 기관의 배기 배출가스 특성을 나타내고 있다.

기관회전수가 850rpm일 경우 MBT 값은 BTDC 19°이다. 1000rpm에서는 22°, 1500rpm에서는 35°, 2000rpm에서는 41°, 2500rpm에서는 48°, 3000rpm에서는 48° 이다.

HC의 배출량은 850, 1000rpm에서는 MBT를 기준으로 점화시기를 늦추었을 경우는 HC가 2배정도 급증하였는데 이것은 기관의 부조로 원활한 연소가 이루어 지지 않은 것으로 판단되며 실험할 때 기관이 정지되는 경우도 있었다. 점화시기를 MBT를 기준으로 진각하였을 경우에는 미소량씩 감소하였으며 1500, 2000, 2500, 3000rpm에서는 30ppm 이하로 극히 적게 배출되었다.

HC의 생성은 연소실내의 혼합기가 연소하기 어려운 조건에서 발생되는데 희박공연비에서 점화지각으로 인하여 실화나 부분연소 등이 생겨 다량으로 HC가 배출된 것으로 사료된다[11].

HC의 배출특성에 영향을 미치는 인자는 점화시기외에 공연비가 있으며 공연비를 희박하게 할수록 그에 따라 감소하고 공연비가 농후할수록 급격하게 증가하는데 이것은 실화나 부분연소에 의한 HC의 증가이다. 공연비의 희박화에 의한 HC의 감소경향은 소염층 내의 연료량의 감소, 열효율의 향상에 의한 배출가스량 저감과 배기행정이나 배기 포트에서의 산화가 진행되기 때문이다. 본 실험에서의 공연비는 공기과잉률이 대부분 희박측( $\lambda$  1.03~1.40)에서 운전되었기 때문에 고려하지 않았다.

NOx는 850rpm에서는 극히 미소량이 배출되었고 rpm과 점화시기가 증가할수록 배출량이 증가하였다. NOx 생성을 지배하는 큰 인자는 O<sub>2</sub> 농도 및 연소가스 최고온도이므로 연소가 정상적으로 이루어져 발열량이 일정하면 연소가 빠르고 열손실이 적을수록 연소가스 최고온도가 높아지므로 NOx 배출농도가 증가되었다고 사료되며 역으로 잔류가스 등에 의하여 연소가 늦어지게 되면 NOx는 저감된다. 이것은 기관이 저속상태에서는 연소실의 온도가 높지 않기 때문이며 고속으로 갈수록, 진각될수록 연소가 활발히 이루어져 연소실의 온도가 높기 때문이라고 사료된다.

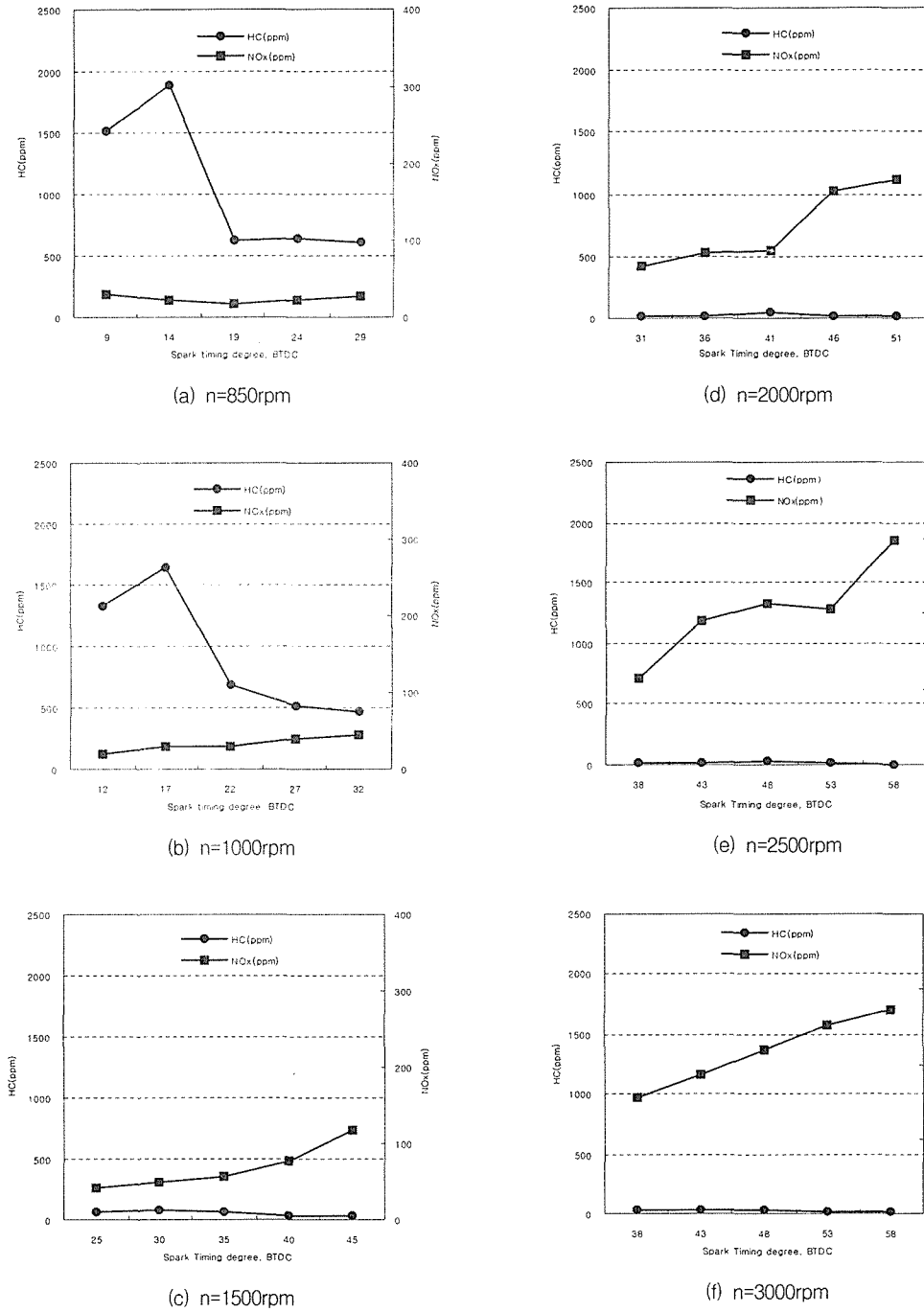
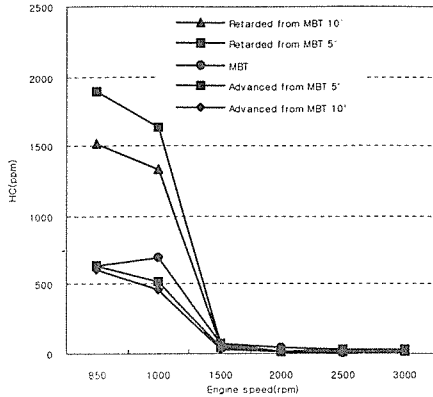


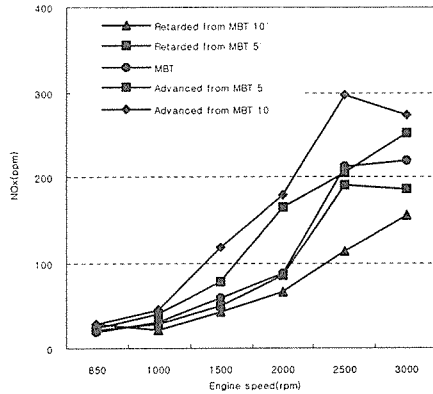
Fig. 6 The effect of spark timing on Exhaust emissions (HC, NOx) (LPG fuel)

점화시기가 LPG 엔진의 배기특성에 미치는 영향

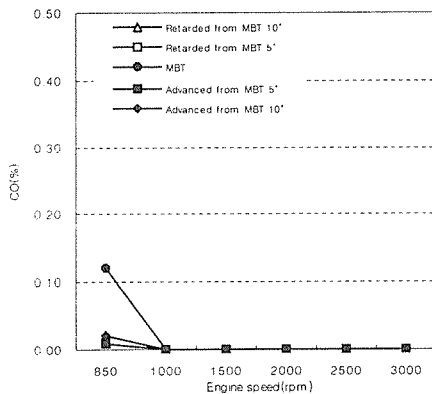
4.2 기관 회전수별 진각, 지각의 배기가스 특성



(a) HC



(b) NOx



(c) CO

Fig. 7 The effect of spark timing on exhaust emissions (HC, NOx / Engine speed)

Fig. 7은 기관 회전수별 점화시기 진각, 지각에 따른 배출 배기가스의 특성으로 점화시기와 HC, NOx는 공연비의 일정한 조건하에서 HC, NOx 공히 점화시기를 늦추는데 따라 저감된다. HC의 감소되는 주요인은 점화시기를 늦춤으로써 배기온도가 상승하고 배기행정 중의 연소실 내 및 배기포토에서의 HC의 산화반응이 촉진되게 된다. 그러나 본 실험에서 HC는 점화시기가 늦어졌을 때 HC는 증가 했는데 원인은 공연비가 희박한 상태이고 늦추어 질수록 연소자체가 불안정했던 것으로 사료된다.

CO의 배출량은 모든 영역에서 무시할 만큼 극히 미소량, 또는 검출 되지 않았는데 이것은 이론 공연비보다도 희박측( $\lambda \geq 1$ )에서는 생성되지 않고 농후한 측( $\lambda \leq 1$ )에서 대부분 생성된다는 이론을 뒷받침해주고 있다. 실험에서의 Lambda value는 대부분 희박측( $\lambda$  1.03~1.40)에서 운전되었기 때문에 희박한 공연비로 공기의 양이 충분하기 때문에 배출되지 않은 것으로 사료된다. 따라서 CO 생성은 공연비(혹은 공기과잉률)에 의하여 확립적으로 정해지는 것으로 생각하여도 좋으나  $\lambda \geq 1$ 에서도 약간의 배출된다. 이것은 국소에  $\lambda \leq 1$ 인 부분이 존재하는 것과 배기행정 중 불완전연소하여 생성되는 것으로 사료된다.

MBT 조건에서 배출가스를 보면 전체적인 부분에서 HC, CO는 안정적이었고 점화시기가 진각 될수록 NOx는 급격히 증가하고 있는데 이것은 직선적으로 연소가스 온도가 상승되기 때문이라고 사료된다.

이 결과로부터 기관 특성에 따른 운전을 정교하게 제어함으로써 LPG 연료의 사용에 따른 HC와 CO의 배기 배출물 감소라는 본 연구의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

5. 결론

가솔린엔진을 개조하여 가스 상태의 LPG 연료를 사용하는 LPG엔진은 점화시기를 정교하게 제어하지 않는 한 엔진출력이 지나치게 떨어지고 질소산화물 등의 유해한 배출가스가 기준치 이상으로 배출되어 대기환경오염에 큰 지장을 주고 있다.

때문에, LPG 연료의 특성에 따라 정교하게 점화시기가 제어되어야 한다. 본 실험의 경우 개조한 LPG엔진의 점화시기를 진각 시킬수록 엔진 출력은 증가하였으나 중, 고속 회전수에서 NOx의 발생이 증가되었다. 중, 고속회전에서 NOx의 발생을 줄이기 위해서는 정교한 공연비 제어와 EGR(exhaust-gas recirculation) 제어가 필요했다. 대기환경오염에 문제가 많은 LPG 개조자동차의 배기배출가스 문제점을 파악하고, 이를 개선하기 위한

실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 가스 상태의 LPG 연료는 공회전과 중속상태에서 MBT를 기준으로 지각할수록 연소불안정으로 HC가 급격하게 증가하였으며 진각 할수록 감소하였으며 고속으로 운전될수록 HC는 급격히 감소되었다.
- 2) NOx 는 공회전과 중속상태에서는 MBT를 기준으로 변화가 극히 적었으며 고속으로 운전될수록 연소실의 연소가스온도 증가로 급격히 증가되었다.
- 3) CO의 배출량은 모든 영역에서 무시할 만큼 극히 미소량, 또는 검출 되지 않았는데 이것은 희박한 공연비로 공기의 양이 충분하기 때문에 배출되지 않은 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 환경부 대기보전국 보도자료, 2003. 12.
- [2] 박경석, "MPI엔진 제어를 위한 실시간 유량측정과 흡기유동 특성 해석", 서울대학교 박사학위 논문, pp.2-5, 1995
- [3] A. Lowi Jr. and W.P.L. Carter, "A Method for evaluating the atmospheric ozone impact of actual vehicle emissions", *SAE paper 900710*, 1990.
- [4] B. Hollemans, *Technical Reference Paper*, TNO Road Vehicle Research Institute, 1999.
- [5] R. Sierens, "An Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG injection", *SAE paper 922363*, 1992.
- [6] A. Gerini, G. Monnier and R. Bonetto, "Ultra low emissions vehicle using LPG engine fuel", *SAE paper 961079*, 1996.
- [7] 자동차신문, "LPG 배기가스의 진실(2001. 12. 5일자 발췌)", 2001
- [8] 한국자동차공학회, "자동차 기술 핸드북", pp.31, 1996
- [9] 海田健次, *LP 가스 자동차 構造取扱基準*, 昭和 55年 3月 1日
- [10] 전봉준, 양인권, 김재국, 김성준, "LPG 및 Gasoline 겸용 차량의 엔진 점화시기 변환 제어시스템 개발", *박용기관학회*, pp.9, 2003
- [11] 조진호, "내연기관공학", 학연사, pp. 652-655, 1993