

LPG차량에서 배기가스 특성에 관한 연구

백두성^{1*}

A Study on Emission Characteristics in A LPG Vehicle

Doo-Sung Baik^{1*}

요 약 본 논문에서는 현재 많은 관심을 모으고 있는 연료 중의 하나인 액화석유가스를 사용하는 1800cc LPG 자동차에 새로운 연료공급 및 제어장치를 적용하여 제어로직을 개발하였으며 또한 ECM(Electronic control module)을 장착한 자동차와 장착하지 않은 자동차의 배출가스특성을 비교하여 배기가스의 저감효과를 파악하였다.

Abstract This research presented experimental results obtained from the bench test of a 1800cc LPG vehicle, fitted with ECM for fuel supplying controlled system. The comparison study was made with non-ECM-equipped in terms of performances and emission characteristics. CVS-75 emission tests was conducted in order to meet emission regulations.

Key Words : Module, LPG, 대체연료, Vaporizer, ECM (Electronic Control Module), LPG, Vaporizer

1. 서 론

복잡화된 세계 각국에서는 자동차에 의한 환경오염이 점점 심각해지는 것에 대처하기 위해서 자동차에 의한 배출가스 규제를 강화하고 있다. 미국에서는 1990년 대기정화법을 통해 본격적인 환경문제의 해결에 나서고 있으며, 유럽이나 일본도 1990년대 후반부터 청정연료를 위한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우도 1990년 초부터 무연가솔린의 사용 등 연료의 품질에 대한 관심이 확대되고 있으며, 환경에 미치는 유해성 문제가 점차 증가하면서 가솔린 및 경유의 대체연료로서 LPG 및 CNG 등 청정연료의 사용이 점차 확대되고 있는 실정이다 [1-3].

환경오염과 화석연료의 고갈의 두 가지 문제를 해결하는 측면과 점점 강화되는 배기가스 규제에 대응하기 위해서 대체연료이면서 청정연료인 천연가스를 사용하는 방안이 계속 연구되고 있다.

LPG 차량은 가솔린 기관과 달리 압력연료탱크, 증기압조절기, 연료공기혼합기 및 연료량 조절시스템 등으로 구성되어 있으며, 현재 국내의 LPG 차량은 대부분 소형 가솔린기관을 LPG로 대체하고 있다. 그러나 현재 국내의

LPG차량은 믹서를 사용함에 따라 가솔린차량에 비하여 공연비 제어가 정밀하지 못하여 가솔린 기관에 비하여 배기가스 저감효과가 크지 못하며, 인젝터를 흡기관이나 연소실 내에 직접 설치하여 연료를 공급하는 시스템 도입이 요구되고 있다. 따라서 현재 많은 관심을 모으고 있는 연료 중의 하나인 액화석유가스를 사용하는 LPG 자동차에 새로운 연료공급 및 제어장치를 적용하여 기관 성능 및 배기가스에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

봄베(Bombe)에서 보내져온 고압의 액체연료를 감압하여 기체연료로 기화시켜 기관의 출력 및 연료소비량을 동시에 만족하도록 하기 위하여 본 연구에서 사용한 배이퍼라이저의 사양은 표 1과 같다.

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부

*백두성(dsbaik@kut.ac.kr)

표 1. 베이퍼라이저의 제원

Item		Details
Size	Diameter	135 mm
	Depth	167 mm
	Width	100 mm
	Height	160 mm
General Specification	Weight	1.20 kg
	Vaporizer Type	Reduced Pressure
	Fuel Cut	Solenoid Type
2nd Diameter	Voltage	7.0~15.0 V
	Diameter	131 mm
	Stroke	10 mm
	Type	Metal Cover
1st Room Diameter		Sealing Type
1st Room Pressure Adjustment		Possible
1st Room Pressure		0.4 kg/cm2 ± 0.03
Outlet Diameter		φ 14.5 mm
1st Stage out Diameter		φ 7 mm

본 연구에서는 배출가스를 최소한으로 줄이고 적절한 최적공연비로 운전하기 위해 배기가스 중의 산소량을 감지하여 ECU(Electric Circuit Unit)에 보내면 ECU에서는 공연비를 판정하여 최적공연비가 되도록 연료주입구에 설치된 피드백 솔레노이드밸브를 구동하여 제어하는 전자제어 믹서를 사용하였다.

LPG 실험차량에는 전자식 연료분사 인젝터를 사용하여 LPG의 연료분사량을 조절할 수 있게 하였으며, 공기량센서 및 기타 센서를 이용하여 기관의 운전상태에 적합한 연료분사량의 실시간 계산이 가능하게 하여 연료의 효율적인 제어가 가능하게 하였다. 그림 1은 연료분사시스템을 나타낸 것이며 공연비 제어시스템의 소프트웨어 구성은 그림 2에 나타내었다.

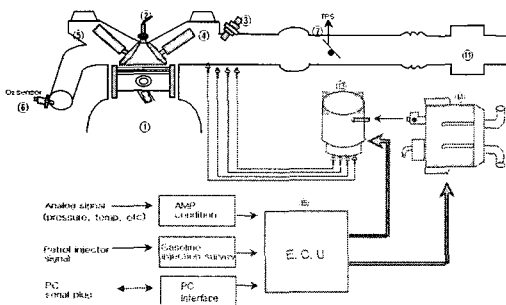


그림 1. LPG 다점 인젝터 시스템

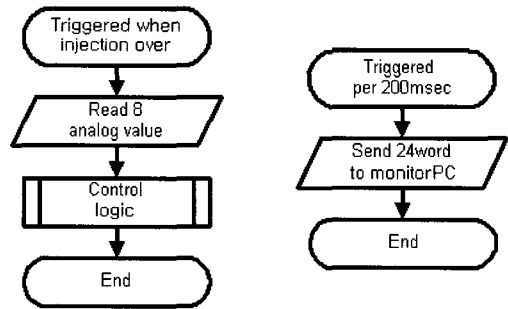


그림 2. 공연비 제어시스템의 소프트웨어 구성도

2.1.1 Vaporizer

LPG-가솔린 겸용자동차에 전자제어장치와 연료분사시스템을 장착하여 배출가스특성 측정 및 ECU모니터링 상태를 감시하기 위한 전체적인 실험장치 개략도를 그림 3과 4에 나타내었다.

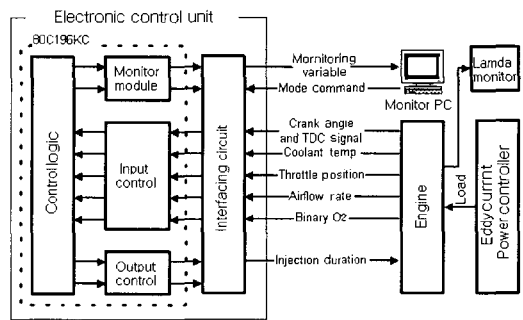
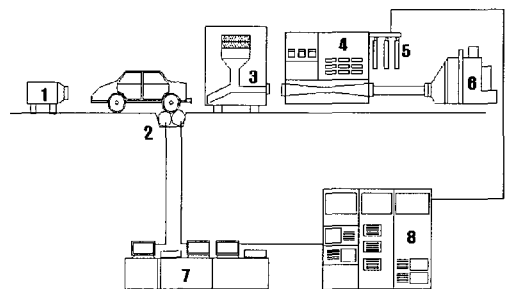


그림 3. 엔진 제어시스템의 구성도



- 1. Cooling fan
- 2. Chassis dynamometer
- 3. Air filter trap
- 4. Constant volume sampler
- 5. Sample bag
- 6. Exhaust blower
- 7. Control system
- 8. Exhaust emission analyzer

그림 4. 배기가스 측정 장치 구성도

실험기관은 국내에서 많이 사용되고 있는 표 2와 같은 시방을 가진 1800cc급 가솔린기관을 LPG-가솔린 겸용 기관으로 개조하여 사용하였다.

표 2. 실험기관의 제원

Type		Gasoline, 4cycle	
Displacement		1800cc	
Compression Ratio		9.2 : 1	
Compression pressure	Standard	1,294kPa - 250rpm	
	Minimum	981kPa - 250rpm	
Valve Timing	Intake	Open	BTDC 10°
		Close	ABDC 55°
	Exhaust	Open	BBDC 55°
		Close	ATDC 10°
Idle Speed		800 ± 50 rpm	
Firing order		1-3-4-2	

실차적용시험을 위한 차대동력계는 직류동력계로 관성휠(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있으며 차대동력계 제원은 표 3에 나타내었다.

표 3. 새시동력계의 제원

Item	Specifications
Power Absorption	150HP
Inertia range	1000 to 6000 pounds
Maximum roll speed	65 mph
Roll size	48 inch

전자제어 LPG자동차 배기관에서 배출되는 CO, HC 및 NOx 등 가스상물질질을 측정하기 위한 배기가스 분석장치는 자동배기가스분석기로서 그 제원은 표 4와 같다.

표 4. 배기가스 분석기의 제원

Items	Specifications				
Component of interest	CO	CO2	NO	THC	NOx
Measuring principle	NDIR	NDIR	NDIR	HFID	CLD
Measuring concentration range	0 ~3000 ppm	0~20 %	0 ~5000 ppm	0 ~50000 ppmC	0 ~10000 ppm
Repeatability	With ±1% of Fuel Scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C)				

Zero drift	With ±1% of Fuel Scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C)	
Span drift	With ±1% of Fuel Scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C)	
Noise	Within ±1% of Fuel Scale	
Linearity	With ±1% of F. S	
90% Response	Approx. 1.5~3 sec	Approx. 1.5sec
Ambient temperature	Temperature 5~35°C, relative humidity : less than 80%	

2.2 실험방법

본 실험에서는 국내 소형자동차 시험모드인 CVS 75 모드에서 자동차를 온도 조건이 20±5°C로 조절된 실험실에 12시간 이상 안정화 시킨 후 CVS-75 실험방법에 의하여 실험하였다. CVS-75 모드의 운전조건은 그림 5와 같고 실험순서는 그림 6에 나타내었다.

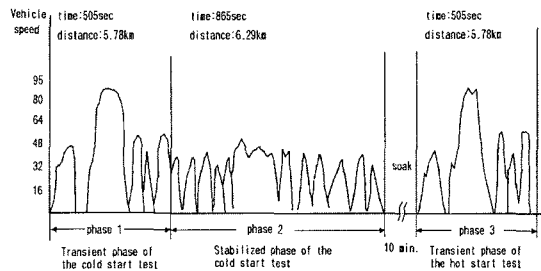


그림 5. CVS-75 테스트 과정에서의 운전 사이클

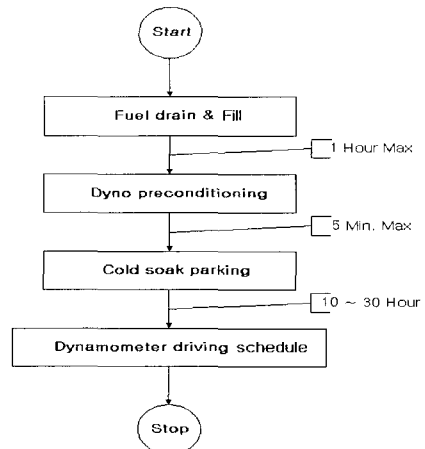


그림 6. CVS 75 모드 과정

3. 결과 및 고찰

3.1 기관성능 특성

그림 7-9는 ECM적용유무에 따른 LPG자동차의 출력, Torque 및 연료소비율을 기관회전속도에 따라 측정한 결과를 나타낸 것으로 체적효율저하에 따른 흡입공기온도 및 압력의 최적제어로 인하여 출력 및 torque가 향상되었으며, ECM 적용시 최적공연비제어와 Vaporizer의 연료 증발잠열과의 열교환의 향상으로 전체적인 기관성능이 향상되었다.

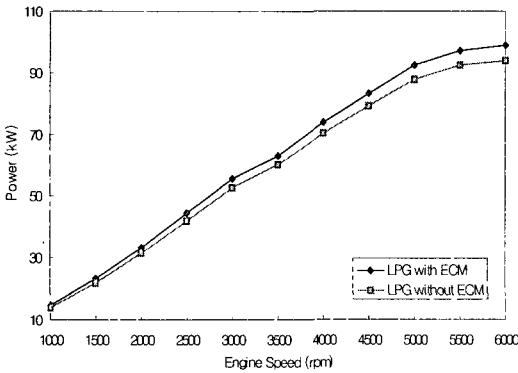


그림 7. 기관 동력의 비교

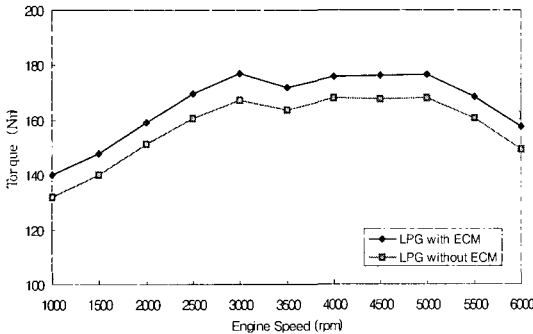


그림 8. 기관 토크의 비교

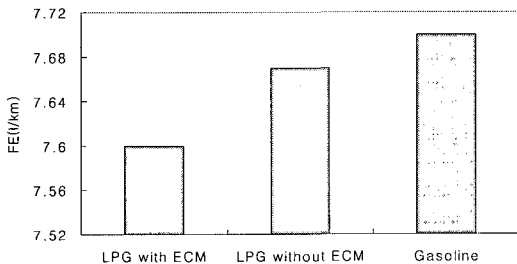


그림 9. LPG와 가솔린 자동차 간의 연비의 비교

3.2 배기가스 특성

3.2.1 질소산화물

LPG기관에서의 질소산화물 생성은 화염이 예혼합기 속을 통과하면 온도가 급변하여 Thermal NO가 주로 화염 뒤쪽인 후화염에서 발생한다. 그림 10은 ECM 장착전후의 LPG자동차에서 배출되는 NOx배출량과 비교하여 나타낸 것으로 그림에서 보여주듯이 ECM를 장착하지 않은 LPG분사방식에 비해 약 0.05% 정도 질소산화물이 저감되었다. 또한 2002년도까지의 국내 및 미국의 규제치와 비교할 때 국내 질소산화물의 규제는 만족했으나 미국의 규제치는 만족을 하지 못했다.

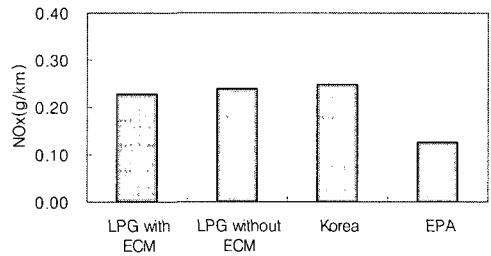


그림 10. ECM이 NOx 저감에 미치는 효과

3.2.2 일산화탄소

그림 11은 ECM를 사용한 LPG자동차의 CO측정결과와 비교한 것으로서 ECM을 사용한 경우 ECM을 사용하지 않은 경우보다 약 9.9%정도가 저감되었다. 일반적으로 일산화탄소(CO)는 농후한 공연비일수록 산소부족에 의한 불완전연소로 급격히 증가한다. 그림에서 보여주듯이 ECM을 사용하지 않은 방식보다 낮은 CO 배출특성을 보여주고 있는데 이는 ECM기능에 의해 보다 더 정밀한 공연비제어에 기인한 결과로 사료된다.

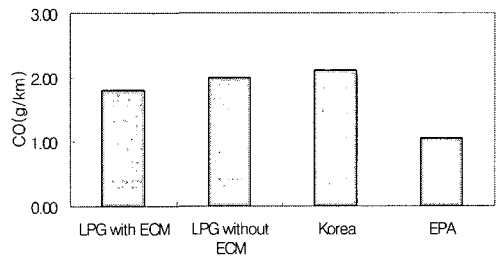


그림 11. ECM이 CO 저감에 미치는 효과

3.2.3 탄화수소

엔진의 연소는 화염전파에 의하여 연소가 진행된다.

그러나 화염이 마지막까지 진행되지 않는 부분이 있으면 그 혼합기 부분은 미연상태로 남게 되고 이것이 배기중의 탄화수소가 발생하게 된다. 그림 12는 국내와 미국 EPA 규제치를 비교한 것으로 ECM의 적정 공연비제어로 미연상태로 존재하는 혼합기의 감소로 HC이 저감되는 것을 알 수 있었다.

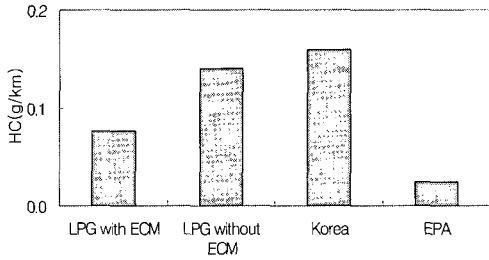


그림 12. ECM이 HC 저감에 미치는 효과

4. 결론

LPG자동차에 연료공급장치 및 ECM 제어장치 적용에 따른 기관성능 및 배기가스 특성을 파악하기 위하여 각종 제어장치의 설계와 실제차량시험을 통하여 얻은 결과를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) LPG기관의 출력, 토크 및 연료소비량을 비교해 본 결과 ECM을 사용한 LPG기관의 성능이 우수하게 나타났으며, 이는 ECM의 최적 공연비 제어와 배이퍼라이저 성능향상에 기인한 것으로 생각된다.
- (2) LPG공급을 위한 액츄에이터의 성능을 확인하기 위하여 밸브개폐 및 듀티비를 조절하여 실험한 결과 연료의 온도와 압력만으로 연료량이 제어됨을 알 수 있었다.
- (3) LPG자동차에서 ECM을 장착한 자동차와 장착하지 않은 자동차의 배출가스특성을 비교한 바 ECM을 장착한 LPG자동차가 장착하지 않은 경우보다 CO, HC 및 NOx가 각각 9.9%, 45% 및 5.4% 정도 저감되는 배출특성을 알 수 있었다. 그러나 향후 SULEV 기준에 대응하기 위해서는 보다 정밀한 제어의 ECM 개발이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Toshio Iroue, "Improvement of Higher efficient Hybrid vehicle and Integrating Super Low Emissions", SAE paper 2000-01-2930, 2000.
- [2] Goto, S., Lee, D., Shakai, J., Harayama, N., Honjyo, F. and Veno, H. "Performance and emission of an LPG Lean-burn engine Heavy duty vehicle", SAE paper 1999-01-1513, 1999.
- [3] Chiu J and Matthew R, The Texas project: part2 control system characteristics of After market CNG and LPG conversion for light duty vehicle, SAE 962099, 1996.
- [4] Latuser, J. P., R. w. Burrahm, "Conversion of two small utility engine to LPG fuel", SAE paper 912364, 1993.
- [5] 장영준, 전충환, 이춘우, "디젤기관의 LPG 혼합에 의한 오염 배출물 저감 특성", 한국자동차공학회지 15-2, pp. 44-52, 1993.
- [6] 정동수, '천연가스 기관의 성능 향상에 관한 연구', 대한기계학회논문집 16-1, pp.175-179, 1992.

백 두 성(Doo-Sung Baik)

[정회원]



- 1983년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : Univ. of Cincinnati 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 5월 : Wichita State Univ. 항공우주공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 대우교수

<관심분야>

에너지와 환경, 자동차환경기술, 대체에너지기관, 미세열유체, 항공기추진시스템, 초음속공기역학