

LPG 액상 고압 분사(LPI) 시스템

LPG LPI(Liquified Petroleum Injection) System



김덕열 / 현대자동차
Deok Ryol Kim / Hyundai Motor Company



박정남 / 현대자동차
Jeong Nam Park / Hyundai Motor Company

1. 서론

현재까지 LPG 엔진의 막서 및 베이퍼라이저를 이용한 차량은 기존에 널리 사용되어 온 기술로서 공연비 정밀제어의 어려움으로 배출가스 저감 기술에 한계가 있으며, LPG 차량의 고질적인 문제점인 겨울철 냉시동성 문제와 액상 연료의 기화 시 발생하는 타르 발생에 의한 연료계 품질 문제 뿐만 아니라 동력 성능 및 연비가 가솔린 차량에 비해 열세였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 LPG 엔진의 신기술이 요구되고 있다.

또한, 전 세계적으로 배기ガス 규제가 더욱 엄격해짐에 따라 가솔린 및 디젤 차량과 더불어 LPG 차량도 이러한 배기ガ스 규제를 대응하기 위해 배기ガ스 저감 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 국내에서도 LPG 차량에 대해 2003년부터 TLEV 수준의 배기ガ스 규제를 만족하도록 환경부가 제시하였다. 이에 현대·기아 자동차는 배기ガ스 저감을 위해 세계 최초의 신기술인 LPI(Liquid Petroleum Injection) 시스템을 개발하여 XG 그랜저 및 오피러스 LPG 차량에 적용하였다. 또한 LPI

시스템은 향후 환경부가 제시한 대기환경보전법의 초저공해자동차(ULEV : Ultra Low Emission Vehicle) 및 극초저공해자동차(SULEV : Super Ultra Low Emission Vehicle) 배기 가스 규제 대응을 위한 필수적인 기술이라 할 수 있다.

현대·기아자동차에서 세계 최초로 개발한 LPI 시스템을 적용한 LPG 차량은 기존 동급 LPG 차량 대비 동력 성능 19%, 연비 9%(60 kph), 배기 가스는 약 70% 향상되었다. 이 LPI 시스템은 동력 성능, 연비 및 배기 가스 향상 뿐만 아니라 겨울철 시동성 불량 및 타르 발생에 의한 품질 문제점을 개선하였으며 일본 및 유럽 등의 해외 선진 자동차 업체보다도 2년 이상의 선행 기술력 확보로 해외 시장 경쟁에도 우위를 선점하게 되었다. 향후 ULEV 및 SULEV 배기 가스 규제 대응에 타 차종 및 타 엔진에 적용하여 그 영역을 확대해 나갈 것이다.

2. 기술 개요

2.1 개발 배경

LPG 차량에 대해 국내 2002EM 규제 강화 대응

을 위해 V6 엔진에서는 기존 박서 시스템의 경우 공연비 정밀제어가 불가능하여 강화 배기 규제 대응이 불가능하였다. 이에 액상 분사 방식의 LPI 시스템은 LPG 연료를 고압 액상으로 유지한 후 엔진전자제어 장치 제어로 인젝터를 통해 기통별로 분사하여 고정밀의 공연비 제어가 가능하였다. 현재 사용하고 있는 가솔린 MPI 방식과 유사하나 연료의 고압화 대응과 시동성능 EMS 매칭 기술이 관건이며 다음과 같은 개발 목표를 설정하였다.

(1) 환경친화성

각 실린더 기통별 연료 분사를 통해 공연비의 정밀 제어로 기존 국내 2000EM 대비 50% 강화된 2002EM 배기 규제치 만족을 할 수 있는 저공해 LPI 시스템을 개발함.

(2) 고성능, 저연비

기존 LPG 차량의 박서 시스템에서의 단점을 개선하여 동급 엔진의 가솔린 엔진 수준의 동력 성능 및 연비 향상을 실현함.

(3) LPG 차량 문제점 개선

기존 LPG 차량에서 발생하고 있는 타르 발생을 없애고 저온에서의 시동성 불량 개선을 위해 -25°C에서의 시동성이 가능하게 하였으며 내구성을 향상함.

(4) 안전성

LPG 연료의 특성상 국내 안전 규제를 만족시키며 고압 연료 시스템에서도 견딜 수 있는 단품 및 연료 시스템을 개발함.

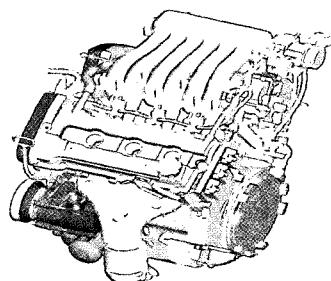
(5) 고신뢰성

내구 신뢰성을 향상시키는 LPI 시스템 개발로 국내 XG 그랜저 및 오피러스 TAXI 차량에 적용함.

다음의 <표 1>은 현대·기아 자동차가 양산한 LPI 시스템 적용 엔진의 주요 인증 제원을 보여준다. 그리고 <그림 1>은 양산화 한 엔진의 외관 형상을 나타내었다.

<표 1> General Engine Specification

항 목	엔진명
Type	2.7 V6 DOHC
Displacement (cc)	6CYL, MPI
Max. Power (ps/rpm)	2,656
Torque (kgm./rpm)	164/5,800
Fuel System	24.8/4,000
EM Target	전자제어
	국내 2002EM



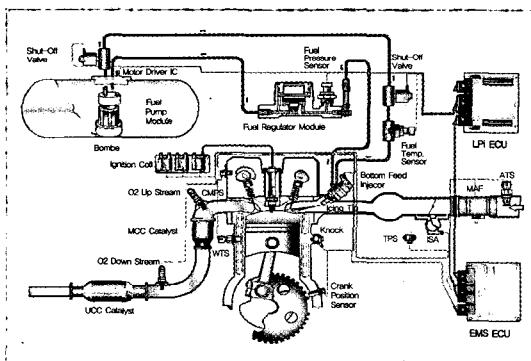
<그림 1> General Engine View

2.2 시스템별 기술적 특징

(1) LPI 시스템

LPI 시스템은 LPG 연료를 액상으로 유지하기 위해 연료 탱크내에 연료 펌프를 장착하여 Bottom Feed 방식의 인젝터와 그 후방에 연료 레귤레이터를 설치하여 연료 분사 압력을 연료 탱크 내의 압력보다 높은 고압을 유지하여 엔진룸의 고온에서도 항

상 LPG 연료가 액상으로 유지되도록 하여 인젝션량을 정밀제어할 수 있다. 엔진전자제어장치는 각종 센서(공기량 센서, 냉각수온 센서, 흡기온도 센서, Crank Position Sensor, Camshaft Position Sensor, Throttle Position Sensor, 연료온도 센서, 연료 압력 센서)로부터 신호를 읽어들여 엔진의 상태를 판단하여 점화시기와 연료 분사량 및 연료 분사 시기를 결정하여 최적의 엔진 상태를 유지하도록 엔진 제어를하게된다. 또한 정밀한 공연비 제어를 위해 산소센서의 신호를 받아서 연료의 Lean/Rich를 판단하고 이를 통해 연료량 제어를 통한 최적의 공연비 제어를 할 수 있다. LPI 시스템에서는 엔진에서 요구하는 연료 공급을 최적화하기 위해서 연료 펌프를 엔진전자제어장치에서 다단으로 제어하고 있다. <그림 2>는 LPI 시스템도를 보여주고 있다.



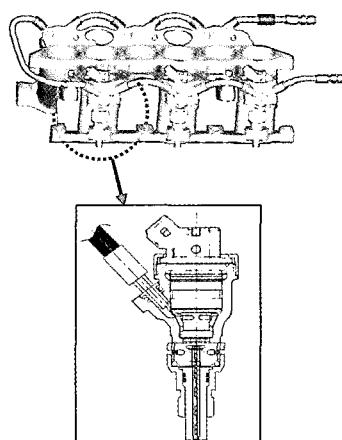
<그림 2> LPI 시스템도

(2) LPI 주요 부품

① Intake Manifold Module

Intake Manifold Module의 구성은 LPG용 인젝터 및 고압 연료라인으로 구성되어 있다. 인젝터는 Bottom Feed 방식으로 연료 입구측의 필터를 거쳐 인젝터 내부의 니들 시트를 통하여 연료를 각 실린더로 공급한다. 그리고 인젝터는 LPG 연료 분사 시

아이싱 문제를 해결할 수 있는 구조로 이루어져 있다. 아이싱 방지를 위해 인젝터 끝단에 아이싱팁을 적용하여 연료 분사 시 기화 잠열로 인한 주위의 수분을 빙결시켜 엔진 성능 및 배기 가스에 미치는 영향을 제거하였다. 고압 연료라인은 LPI 시스템의 고압에서도 견딜 수 있도록 Polyamide 합성의 3중 재질을 사용하였다. 또한 외기의 열의 영향을 최소화하여 연료라인 내에 존재하는 연료에 열이 전달되지 않도록 설계되었다. 본 LPI 시스템은 Delivery Pipe를 사용하지 않았기 때문에 연료라인을 인젝터 사이에 연결되어 각각의 인젝터로 연료를 분배하며 남은 연료는 봄베로 보낼 수 있는 구조로 되어있다. <그림 3>은 Intake Manifold Module의 외관도와 인젝터의 상세 구조도를 보여주고 있다.



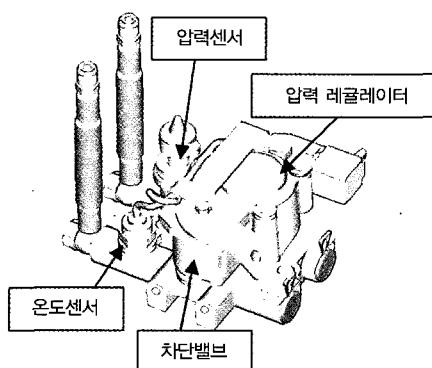
<그림 3> Intake Manifold Module & Injector

② Regulator Unit

Regulator Unit은 연료 압력센서, 연료 온도센서, 연료차단 밸브 및 압력 레귤레이터로 구성되어 있다.

S C E A L A D S C E A L A D

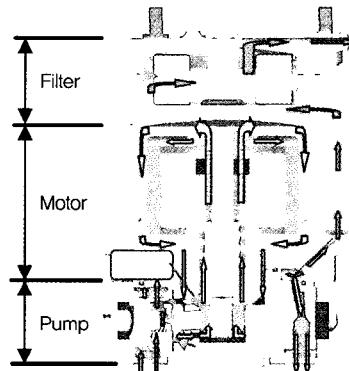
연료 압력센서와 온도센서는 엔진룸의 연료 상태를 알기 위해 사용되고, 연료차단 밸브는 IG Off 시 엔진룸의 연료 차단을 목적으로 적용되었으며, 압력 레귤레이터는 엔진룸의 연료 시스템 압력을 일정하게 유지하기 위한 것이다. 압력 레귤레이터는 연료 펌프에서 공급되는 고압의 연료가 압력 레귤레이터의 다이어프램과 스프링의 밸런스에 의해 연료 통로내의 연료 압력을 항상 설정된 시스템 압력으로 유지시켜 준다. 설정 연료압력이 초과되면 다이어프램이 밀려 올라가게 되어 연료는 레귤레이터 출력통로를 통해 연료탱크로 복귀된다. 연료 압력센서는 내부의 CSE(Capacitive Sensing Element)가 시스템 압력에 따라 정전용량값(Capacitance)을 변화시켜준다. 내부 전자회로는 CSE의 정전용량값을 전압으로 출력시키며 이때의 출력전압은 압력에 비례하여 선형적으로 출력됨으로써 엔진전자제어장치로 입력된다. 연료 온도센서는 써미스트 소자가 내장되어 연료온도에 반비례하여 저항값을 출력하여 엔진전자제어장치로 입력된다. <그림 4>는 Regulator Unit의 구조를 보여주고 있다.



<그림 4> Regulator Unit

③ Fuel Pump Unit

Fuel Pump Unit은 연료탱크내부에 설치되어 있으며, 크게 Pump Sub Assy, BLDC Motor와 Filter로 구성되어 있다. Fuel Pump Unit은 연료탱크 안의 연료에 잠겨져 있기 때문에 펌프의 작동 소음이 적고, 베이퍼 롤 억제에 탁월한 기능을 가지고 있다. Pump Sub Assy는 다이아프램 운동에 의해 연료를 흡입 및 토출 시켜준다. 펌프부를 구동하는 동력원으로서 BLDC Motor를 사용하며, 편심축으로 되어 있는 축 끝단부가 펌프부 다이아프램에 회전 운동을 Stroke 운동으로 변환 시켜준다. 또한 엔진에서 요구되는 연료 요구량에 따라 모터 컨트롤러에 의해 다단으로 회전한다. 엔진의 상태를 판단하여 필요한 연료량을 공급할 수 있도록 엔진전자제어장치가 다단제어를 하고 있다. Filter는 펌프부 내에 있을 수 있는 이물질을 차단시키는 기능을 한다. <그림 5>는 Fuel Pump Unit을 보여준다.

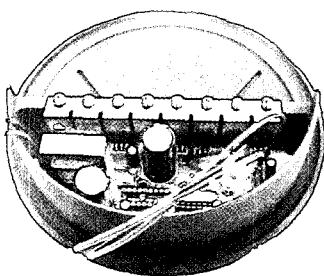


<그림 5> Fuel Pump Unit

④ BLDC Motor Driver

연료 펌프내의 BLDC Motor 구동을 위한 제어기

로 엔진 조건에 따라 PI 제어를 통하여 연료 펌프를
다단으로 제어하고 엔진전자제어장치와 BLDC
Motor Driver간에 연료 펌프의 정상적인 동작 여부
를 자기 진단하는 기능을 가지고 있다. <그림 6>은
BLDC Motor Driver를 나타낸다.

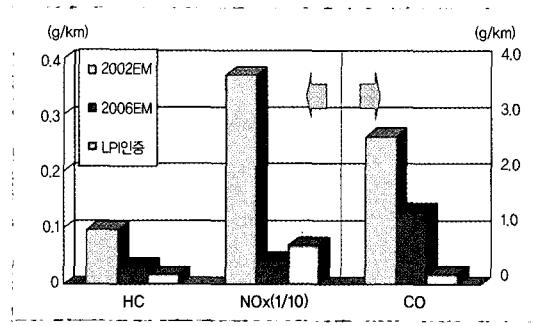


<그림 6> BLDC Motor Driver

3. 결론

LPI 시스템은 LPG Mono-Fuel로서는 세계 최초로 양산 적용하여 해외 선진 자동차 업체보다도 최소 2년 이상의 선행 기술력 확보하게 되었고 기존의 LPG 차량의 문제점을 동시에 해결함과 동시에 국내 2002EM 배기 규제를 대응하였고 향후 2006EM 대응에 초석을 마련하게 되었다. 본 기술은 LPG 연료의 청정성을 100% 발휘하여 대기환경 개선에 큰 효과가 있으며 차량 성능 및 연비 향상으로 에너지 절약뿐만 아니라 수입대체과 수출효과 기대 및 신 부품개발에 따른 자동차 산업의 발전으로 경제적 파급

효과를 발생시켰다. <그림 7>은 LPI 시스템 적용한 XG 그랜저 택시 차종의 배기ガ스 인증치와 국내 배기ガ스 규제치를 보여준다. 그리고 <표 2>는 기존 LPG 시스템 대비 LPI 시스템의 주요 장·단점을 비교하였다.



<그림 7> 배기ガ스 규제치 및 인증치

<표 2> LPG 시스템 대비 LPI 시스템의 주요 장·단점 비교

항 목	LPG (액서 방식)	LPI (액상분사 방식)
EMISSION	불리 (연소 및 후처리 특성 포함)	유리 (LPG 대비 약 70% 저감 효과)
동력 성능	열세 (가솔린 MPI 대비 약 80% 수준)	우세 (가솔린 MPI 대비 약 95% 수준)
연비	열세	동등 우세 (LPG 대비 약 9% 유리 : 60 kph 정속)
저온 시동성	불리 (LPG 특성상 저온 기화 불리)	우세 (-25°C 까지 가능 : 가솔린 동등)
타르 발생	발생 (훈합기 유입 경로상 불리)	거의 발생 없음 (가솔린 동등)
기타 사항	타르등에 의한 내구 성능 등 FIELD 문제점 다수 발생	연료시스템 고압으로 안전 관리 주의 필요

(김덕렬 엔진제어설계팀 : drkim21@hyundai-motor.com)