

## 액상분사방식 엔진 구동을 위한 제어기의 개발

이중현\*(선문대학교 기계 및 제어공학), 고국원(선문대학교),  
박정호(선문대학교 기계 및 제어공학)

### A Study on the development of Engine Controller for Liquid Phase LPG Injection

J. H. Lee, J. H. Park (Control & Measurement Eng. SunMoon Uni.),  
K. W. Ko (SunMoon Uni.)

#### ABSTRACT

The research and development for LPLI system to replace the conventional LPG fuel supply system has been processed with a view to enhancing the environmental status and the efficiency for LPG cars. Part of the small sized cars are under commercialization with the LPLI application already.

And yet, most of the technologies are relied upon the advanced countries and as part of the application for large scaled engines, many researches are on the increase.

This study shows the technology development to make use of LPLI system for those large engines and reviews the controllers, which were manipulated through experiments for their work, reliability and possibility for commercialization.

**Key Words** : Liquid Phase LPG Injection(액화석유액상분사:LPLI), ECU(전자제어장치), Fuel Pump(연료펌프)

#### 1. 서론

##### 1.1 연구배경

최근 산업의 발전과 에너지 사용량의 증가에 따른 환경오염 및 지구 온난화 현상의 심각성이 대두되고 있으며, 그 원인 중 한가지인 자동차 배기가스의 비중이 높아지고 있다. 그에 따라 세계적으로 자동차 배기가스의 규제가 강화되고 있으며 이에 대한 방안으로 대체연료 및 구동방식의 개발에 관심이 집중되고 있다.

특히 디젤엔진으로 부터 발생하는 배출가스로 인한 환경오염 비중이 증가됨에 따라 디젤연료를 대체하는 가스연료의 개발에 관심이 높아지고 있다.

현재 대체연료로 부각되고 있는 가스연료는 천연가스(Compressed Natural Gas : CNG), 액화 석유가스(Liquefied Petroleum Gas : LPG) 등이 있으며 LPG는 다른 가스연료에 비해 상대적으로 저압에서 액화가 가능하고, 옥탄가가 높으므로 차동차용 연료로서 사용량이 증가되고 있으며 많은 연구와 상용화가 이루어져 있다.

LPG를 연료로 하는 엔진시스템은 크게 3가지로

구분할 수 있으며, 제1세대는 개회로제어의 기체연료 공급방식으로 공연비 조절곤란, 배기가스 개선곤란 및 출력감소와 역화 가능성이 있었다. 제2세대는 1세대에 비해 시스템 피드백제어와 정밀한 공연비 제어는 가능해 졌으나 정밀 제어곤란, 출력감소 및 역화 가능성은 여전히 남아있었다. 제3세대는 초기 기상분사 방식에서 액상분사 방식으로 변화되었으며 연료의 액체상태분사로 흡기 냉각효과로 흡입 효율이 증가되어 엔진 출력이 향상되며, 체적효율증가 및 정확한 공연비 제어가 가능해졌으나, 액상연료가 인젝터에서 분사될 때 인젝터 끝단의 기화 잠열에 의한 결빙현상 및 연료라인에서 발생하는 기포제거의 문제점이 남아있다.

LPG 연료시스템의 가장 발전된 기술로는 실린더 내로 액상연료를 직분사하는 방식으로 초 회박 연소가 가능하여 연비를 높일 수 있으며 기존의 기체연료 공급방식에 비해 연료의 청정성을 충분히 이용 가능하지만 연료의 액상유지를 위한 연료 시스템 및 연료탱크, 펌프 시스템이 필요하며 고압화로 인한 비용의 증가 및 내구성 등의 기술적 문제가 뒤따른다.

연료시스템	특징	문제점
제1세대 연료시스템	• 간단한 구조, 초기방식	• 공연비 조절 곤란, 배기가스 개선 곤란 • 흡력 감소 및 역행 가능성
제2세대 연료시스템	• 시스템 미드액제어 가능 • 정밀한 공연비 제어 가능	• 1세대 시스템보다 양호, 정밀 제어는 곤란 • 흡력 감소 및 역행 가능성
제3세대 연료 시스템	기상 분사	• 기상연료 시공으로 역상에 비해 제각 • 흡력 저하 • 연료 온도 및 압력 정보 필요
	액상 분사	• 연료의 액화상태 분사 • 흡기 냉각 효과, 제각 흡력 증대 • 정밀한 공연비 제어 가능

Table 1. Classification of LPG fuel supply system for vehicle

현재 소형자동차 중 일부는 이러한 LPLI(Liquid Phase LPG Injection) 방식을 채택하여 상용화하기 시작하였다. 그러나 대형차량에 적용하기 위해서는 아직 많은 곳에서 연구 개발 중에 있으며, 현재의 LPLI 시스템의 많은 부분을 외국 기술에 의존하고 있다.

## 1.2 연구목적

본 연구는 LPLI 연료시스템을 대형 차량의 엔진에 적용하기 위해 실행하였으며 기존의 디젤 엔진을 LPG엔진으로 개조한 엔진에 LPLI 연료시스템을 위한 기구 및 제어기의 개발과 더불어 LPLI 방식으로 엔진을 구동하기 위한 엔진 제어기를 개발하고자 하였다.

## 2. 제어기의 구현 및 실험

LPLI 연료시스템은 LPG를 인젝터까지 액상상태로 유지하기 위해 연료탱크 내에 연료펌프가 있고, 배관 내의 연료 압력을 유지하기 위한 레귤레이터와 배관 내에 발생한 기포의 제거 및 과잉연료의 재순환을 위한 배관이 구성되어 있으며, 연료 분사를 위한 인젝터와 엔진제어장치인 ECU등으로 구성되어 있다.

그림 1은 LPLI 시스템의 구조를 나타낸다.

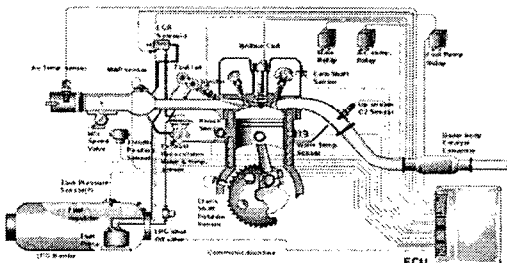


Fig. 1 Diagram of the Liquid Phase LPG Injection system

설치되어 있는 센서는 가스압력센서(GPS : Gas Pressure Sensor), Throttle 밸브 개도량 측정을 위한 TPS(Throttle Position Sensor) 및 연료 온도 측정을 위한 센서 및 공연비 제어를 위한 램파센서 등으로 구성되어 엔진상태 모니터링 및 제어를 위해 사용되고 있다.

## 2.1 연료펌프 제어기의 구현

연료인 LPG를 엔진의 실린더 내로 직분사하기 위해서는 연료 탱크에서 인젝터까지 LPG를 액상상태로 유지하기 위한 배관과 적정 압력 유지를 위한 레귤레이터 그리고 연료 수송 및 연료 압을 위한 연료펌프가 필요하며 연료펌프는 엔진의 연료 소모량에 따라 적정 회전수로 구동하여야 한다.

연료 펌프의 구동이 적정 수준으로 미만일 경우 연료배관 내의 연료 압의 저하로 인하여 배관 내에 기포가 발생하게 되어 출력 감소 및 공연비제어가 부정확해 지며 심할 경우 엔진을 구동이 불가능하게 된다. 또한 적정수준 이상일 경우 단시간 동안은 엔진구동엔 큰 영향은 없으나 장시간 운행 시 관련된 기구의 수명 단축 및 배관내의 맥동현상 발생의 원인이 된다.

따라서 설계된 연료펌프 제어기는 엔진의 회전수 및 TPS(Throttle Position Sensor)와 GPS(Gas Pressure Sensor)의 신호를 측정하여 엔진에서의 연료 소모량에 따라 연료펌프를 적정 RPM으로 구동하게 되며, 또한 사용된 펌프의 회전수에 따른 유량 특성에 따라 적정한 RPM영역을 단계별로 나누어 회전수를 제어하게 된다. 그림 2는 사용된 Pump unit의 성능 특성도를 나타낸다.

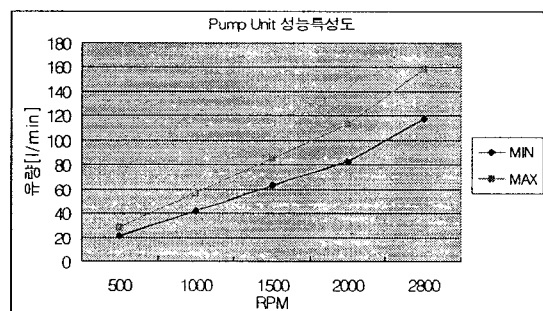


Fig. 2 Specification of fuel pump unit

엔진의 초기구동 시 연료배관 내의 연료 압은 요구수치 보다 매우 저하되어 있는 상태이므로 초기 시동 시에 시동불량의 원인이 된다. 또한 구동중의 배관내의 평균압력이 요구 압력에 비해 약간 낮은 상태를 유지하게 된다. 따라서 연료펌프 모터의 전체적인 구동RPM을 상향 조정 하여야 하며 이로 인

해 시스템의 효율저하를 야기하게 된다. 이를 방지하기 위해 엔진 초기 구동 전 배관내의 압력을 충분히 상승 시켜야 배관내의 압력 저하를 방지할 수 있다.

연료펌프 제어기는 그림 3의 순서에 따라 연료펌프의 RPM제어를 하게 된다.

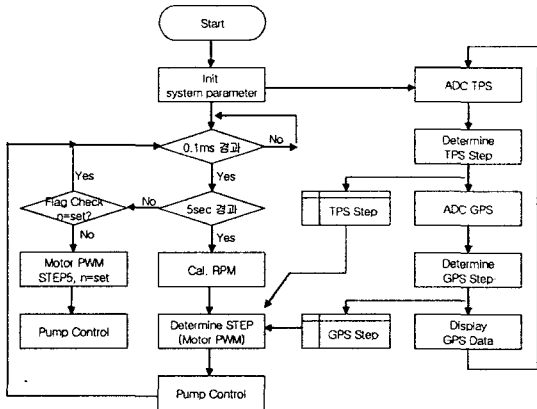


Fig. 3 Flow chart of the pump control unit for LPLI engine system

## 2.2 엔진 제어기의 구현

LPLI엔진은 기존 LPG엔진과 달리 액체상태의 LPG연료를 실린더 내로 직접분사 하므로 엔진의 최적상태의 구동을 위해서 그에 맞는 연료 분사량 제어 및 점화시기의 제어가 필요하다. 본 연구에서는 상기 기술한 제어의 알고리즘을 개발하여 개발하였으며, 기존 LPG 엔진의 ECU(Electronic Control Unit)에 개발한 알고리즘을 적용하여 LPLI엔을 구동하였다.

그림 4와 그림 5는 ECU에 설정된 점화시기와 연료 분사량의 MAP을 보여준다.

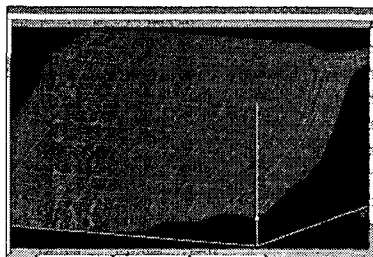


Fig. 4 Data map of injection for LPLI engine

LPG연료의 점화 시기는 특성상 가솔린 엔진보다 연소 속도가 느리기 때문에 점화속도를 빨리하여야

한다. 또한 흡기온도 저감에 따라 점화시기의 진각에 대한 노킹의 발생이 적으며, BTDC 5 정도의 진각에서 MBT(Minimum spark advance for Best Torque)를 갖는다.

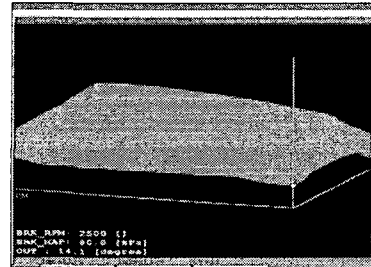


Fig. 5 Data map of ignition for LPLI engine

## 2.3 공연비 설정

공연비의 설정은 엔진의 회전수에 따른 특성을 분석한 후 각 RPM의 특성 범위에 따른 제어 이득값들을 설정하였다. 그림 6은 설정된 lamda 값의 그래프를 나타낸다.

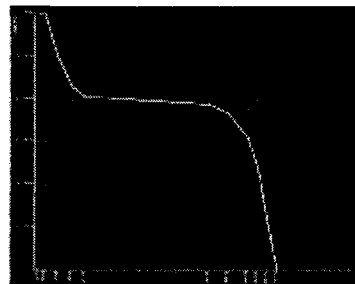


Fig. 6 Setting actuator of target lamda

## 3. 설치 및 실험

### 3.1 제어기 설치

개발된 제어기는 2.5톤 봉고 123마력 디젤엔진을 LPLI 엔진으로 개조한 엔진에 장착하였으며 성능 실험은 차량 다이노 및 실제 도로 주행을 수행하였다. 또한 엔진의 동작 상태 모니터링을 위해 ECU로부터 CAN 데이터를 이용하여 실시간으로 PC에서 모니터링 및 저장 하였다.

그림 7과 그림 8은 개발된 연료펌프 제어기의 설치 및 ECU와 엔진의 각 센서간의 배선을 상황을 보여준다.

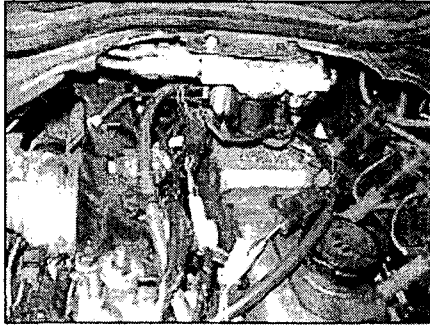


Fig. 7 Construction in the engine room for LPLI system

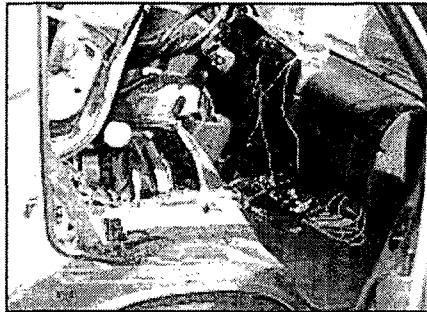


Fig. 8 Pump controller and wiring between engine and ECU

#### 4. 결론

본 연구에서는 LPG 연료 시스템 중 가장 발전된 LPLI방식을 대형 차량의 엔진에 적용 및 국내 기술로 개발하기 위해 엔진 제어기 및 LPLI 연료 시스템의 연료펌프 제어기를 개발하였으며, 2.5톤 123마력의 엔진에 실장 하여 차량 다이노 및 실제 도로 주행을 통하여 개발된 제어기의 성능을 검사하였다.

LPLI방식의 엔진은 실린더내로 직접 분사된 액상연료의 기화열로 인하여 혼합기의 온도가 낮아지는 효과가 있으며 이로 인해 믹서방식의 엔진에 비해 약 10% 정도의 출력 상승효과가 있었으며, 노킹 현상 등의 감소 효과가 있었다.

설계된 제어기 및 대형 LPLI 엔진의 특성 및 내구성 등을 더 검증하기 위해서는 더 많은 실 주행 및 여러 계절적 환경 하에서의 성능실험이 수행되어야 할 것이다.

#### 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 선문대학교 공조 기술 연구센터(RRC)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

#### 참고문헌

1. 액상분사식 LPG 연료공급방식의 아이싱현상에 관한 연구 (Investigation of Icing Phenomenon in Liquid Phase LPG Injection System) / 김창업 오승목 강건용 (한국액체비립화학회지, Vol.8 No.1, [2003])
2. 대형 액상분사식 LPG엔진 인젝터의 아이싱 특성 연구 (Characteristics of Icing Phenomenon on Injector in a Liquid Phase LPG Injection SI Engine) / 김창업 오승목 강건용 (한국액체비립화학회지, Vol.8 No.2, [2003])
3. EGR이 LPLi 엔진 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향에 관한 연구 = Effect of EGR in Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics in LPLi Engine/ 곽호철, 고려대학교 [2002]
4. 대형 액상분사식 LPG 엔진의 희박연소특성에 관한 연구 = Lean Burn Characteristics in a Heavy Duty Liquid Phase LPG Injection SI Engine/ 오승목, 한국과학기술원 [2003]
5. 저공해 LPG 엔진용 연료제어장치 및 ECU 에 관한 연구 (A Study on the Fuel Control System and ECU for Low Emission LPG Engines) / 선우명호 ([1999])
6. 석유액화가스 엔진의 운전영역 따른 공연비 제어 (Air/Fuel Ratio Control for Operating Range of an Liquid Petroleum Gas(LPG) Engine) / 심한섭 차필남 (논문집, Vol.47 No.1, [1998])
7. 공연비 실시간 제어에 관한 연구 / 하중률 이중순 ([1997])