

LPG 및 Gasoline 겸용 차량의 엔진 점화시기 변환 제어시스템 개발

전 봉 준[†] · 양 인 권* · 김 재 국** · 김 성 준***
(원고접수일 : 2002년 9월 23일, 심사완료일 : 2002년 12월 27일)

The Development of the Ignition Spark Timing Conversion System for LPG/Gasoline Bi-fuel Vehicle

Bong-Jun Chun[†] · In-Kwon Yang* · Jae-Kuk Kim** · Sung-Joon Kim***

Key words : LPG(Liquefied Petroleum Gas, 액화석유가스), Ignition Timing(점화시기),
Ignition Coil/Dwell(점화 코일/드웰), Electronic Controller(전자제어), Engine
Back-Fire(엔진 역화), Control Algorithm(제어 알고리즘), Spark Timing
Conversion(점화시기 변환)

Abstract

In a bi-fuel engine using gasoline and LPG fuel, with the current ignition timing for gasoline being used, the effective performance could not be taken in LPG fuel supply mode. The ignition timing in LPG fuel mode must be advanced much more than that of gasoline mode for the compensation of its lower flame speed, due to engine torque drop. This study aims to develop the control system for ignition spark timing conversion which is composed of hardwares and control algorithm for gasoline/LPG engine. We propose the control system which can advance the ignition spark timing in LPG fuel mode more than used in gasoline fuel mode. The advance of ignition timing is achieved by change of the ignition dwell time of coil igniter. The engine torque and F/E(Fuel-Economy) in LPG fuel mode are measured to evaluate the difference of engine performance between before and after changing ignition spark timings. The engine torque and F/E are increased respectively, which proves the developed control system is effective so much for gasoline and LPG bi-fuel engine

† 책임저자(강원대학교 대학원 기계메카트로닉스 공학부), E-mail : bjchun@kopo.or.kr, T : 043)649 - 2873

* 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과

** (주)한국오토가스 시스템기술

*** 강원대학교 공과대학 기계메카트로닉스 공학부

1. 서 론

LPG는 가솔린에 비해 높은 수소와 탄소비를 가지고 있고 이로 인해 공해물질 배출량이 적으며 가격이 저렴한 연료이기 때문에 대체연료로서의 사용이 점차 늘어가고 있다. 따라서 LPG를 사용하는 엔진은 가솔린을 사용하는 엔진에 비해 NOx와 입자상 물질 배출이 매우 적다¹⁾. 특히 LPG는 기존 엔진에서 특별한 구조적 변경 없이도 사용할 수 있고 개조시의 비용도 저렴하여 근래 LPG 연료사용 차량이 급속도로 증가되고 있다²⁾. 그러나 LPG 연료를 가스 상태로 공급받는 현재의 LPG 엔진은 휘발유 연료를 사용하는 엔진 보다 출력이 낮고, 연비가 좋지 않다³⁾. 이와 같이 출력과 연비가 나쁜 이유는 연료 공급시 체적 효율 저하에 기인한 것으로 현재의 LPG 연료 공급 기술로는 아직 이를 해결하지 못하고 있으며 현재에도 별다른 개선 없이 계속 사용되어지고 있다^{4) 5)}.

일반적으로 LPG/가솔린 겸용 차량은 온도가 낮은 동절기의 경우, 휘발유에 의해 시동을 하고 일정 시간이 경과하여 엔진 온도가 상승되면 기화기 내의 LPG 온도와 증기압이 상승되어 정상적으로 기화되고 이 시점에서 LPG 연료로 전환하는 방법이 사용되어지고 있다. 그러나 이와 같이 LPG 연료로 전환하여 엔진을 구동하고는 있지만, 점화시기는 여전히 점화시점이 느린 가솔린의 것을 그대로 사용함에 따라 연소 지연으로 인한 엔진 출력 및 차량 연비 저하는 물론 악성 배출 가스량을 증가시키기도 한다.

특히 LPG/가솔린 겸용 차량은 일반적으로 가솔린 전용으로 사용되어야 할 전자식 무배전기 이중 점화 코일 방식을 공용으로 사용하고 있다. 이 경우 LPG 연료로 엔진이 구동되는 상태에서는 일부 점화 에너지가 배기 행정중에 누설되는 현상이 초래되어 엔진 밸브 오버랩 기간 중 일부의 연소된 가스가 흡기계로 역류하여 흡기관 내에 있는 LPG 연료를 순식간에 연소시키는 역화 현상(engine back-fire)이 발생한다. 특히 가솔린용 점화시기는 LPG용 보다 점화시기가 늦기 때문에 이를 그대로 사용하는 경우는 LPG 연료 상태에서 점화지연이 야기되는 효과로 인해 상기의 문제점들이 더욱 심

각하다.

따라서 LPG 연료 상태에서도 엔진 출력 및 차량 연비를 향상시킬 수 있음은 물론 엔진 역화를 방지하기 위한 방법으로 점화시기를 가솔린 연료 사용 때 보다 앞당기는 것이 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 LPG 연료 사용시 점화시기를 제어하는 시스템을 개발하고자 한다.

2. 점화시기 제어 시스템 개발

2.1 시스템의 개략도

본 실험에 사용된 LPG엔진의 점화시기 제어를 위한 실험 장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

휘발유용 엔진 제어 콘트롤러에서 점화코일로 전달되는 점화시기 펄스 신호 배선을 절단하여 임출력 회로를 구성하고, 이것을 점화시기 펄스 변환 제어기에 연결한다.

이 때, 엔진 부하를 측정하기 위하여 스로틀 포지션 센서(Throttle Position Sensor : TPS)의 배선을 병렬로 분기하여 입력신호로 사용하였다. 엔진 부하를 판단하기 위한 또 다른 하나의 변수인 엔진 속도(RPM)는 입력회로로 사용되고 있는 점화시기 펄스 신호를 사용하였다.

점화시기 변환 크기량 선택용 스위치는 계절적(여름/겨울)인 환경 요인에 따라 점화시기 변환량을 조절할 수 있도록 시스템 외부에서 손쉽게 조정하도록 하였으며, 그 밖의 전원 및 접지는 점화시기 펄스 변환제어기 및 스위치의 구동용으로 사용하였다.

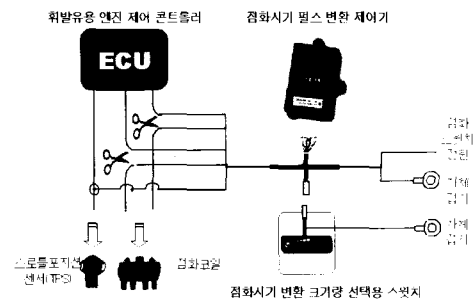


Fig. 1 System of composition.

Fig. 2는 엔진 점화시기를 변환하기 위한 시스템 구성을 나타낸 것으로 휘발유 엔진 제어 컨트롤러 (Electronic Control Unit : ECU)에서 발생된 점화 시기 제어 신호가 점화시기 펄스 변환기(Timing Conversion Module : TCM)로 입력된 후 변환된 펄스가 출력되어 점화 코일내의 파워 TR로 전달되는 과정이다. 엔진 부하별로 펄스 변환량을 결정하기 위한 TPS 출력값 및 LPG 연료선택 신호가 입력되며, 또한 엔진 속도(RPM)는 이미 휘발유용 ECU로부터 전달받고 있는 점화 신호 펄스 주기의 계산 값에 의하여 결정되는데, 이는 점화 코일 형식에 따라 계산 방법이 다르므로 이의 계산 기준을 설정하기 위하여 점화 코일 형식 선택 신호가 사용되었다. 이와 더불어 TCM에 이미 저장된 각기 다른 운전 영역별 점화시기 변환량을 계절별(여름/겨울)로 그 크기를 다르게 외부에서 선택할 수 있도록 한 펄스 변환량 선택 신호가 사용되었다.

Fig.3은 TCM 내의 각 회로부에 대한 블록 다이

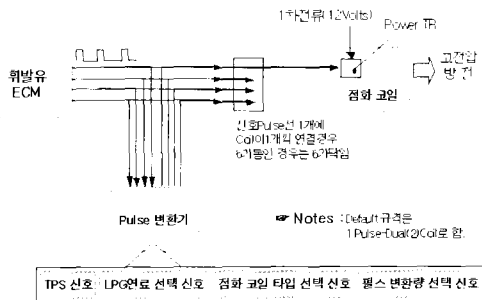


Fig. 2 System for ignition timing conversion.

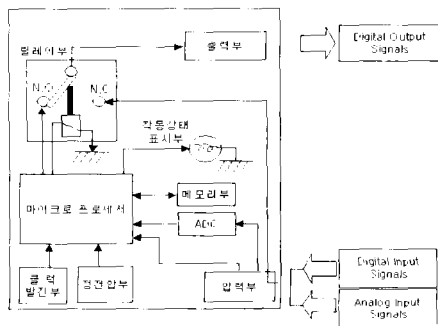


Fig. 3 Block diagram of TCM.

어그램을 표현한 것으로, 점화시기 제어용 펄스 신호 및 LPG 선택 신호, 점화 코일 형식 선택 신호, 펄스 변환량 선택 신호와 같은 디지털 입력 신호와 아날로그 입력신호인 TPS 신호가 TCM으로 입력되는데, 이 때 TPS 신호는 아날로그/디지털 변환기(ADC)를 통해 신호변환 된 후 마이크로 프로세서로 전달되어 엔진 부하영역 측정용으로 사용된다.

엔진 속도(RPM)와 함께 TPS 신호에 의해 엔진 부하 영역이 측정되면 마이크로 프로세서는 메모리부와 데이터 통신을 통하여 이미 입력된 점화시기 제어용 펄스 신호를 변환시킨 후 릴레이부로 전달시킴과 동시에 별도로 릴레이 구동용 전원과 사용자(작업자)에게 시스템 작동 상태를 알리기 위한 램프 또는 부저 등의 구동 용 전원을 공급 제어한다.

릴레이부는 점화시기 펄스 변환이 이루어지지 않을 때에는 N.C측이 출력부와 직접 연결되도록 함으로써 본래의 점화시기 제어용 펄스 신호가 점화 코일로 전달되도록 하고, 점화시기 펄스 변환이 이루어졌을 때에만 마이크로 프로세서에서 변환된 펄스가 출력부를 통하여 점화 코일로 전달되도록 하는 기능을 수행한다.

2.2 입력 신호

엔진 부하 조건을 판단하기 위하여 차량에 이미 장착되어 있는 TPS를 사용하였으며, 사각과 형태로 발생되는 점화 신호 펄스의 수량을 감지하여 엔진 회전수를 판단하도록 하였으며, 점화 코일의 형식과 사용 연료의 종류, 점화 펄스의 크기에 따라 펄

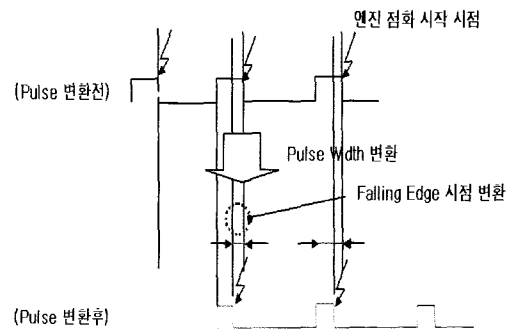


Fig. 4 Diagram of signal pulse conversion.

스 변환량이 선택적으로 적용될 수 있도록 하였다.

ECU로부터 발생되는 점화 펄스 신호 배선에 TCM의 입·출력 단자를 연결하여 크랭크축 1회전마다 발생하는 상승 에지(rising edge)와 하강 에지(falling edge)가 분명하게 나타나는 사각파 형태의 디지털 점화 입력 신호를 검출하였으며, TCM의 마이크로 프로세서를 통해 파형의 길이를 각 엔진 부하 조건에 알맞게 변환시킴으로써 엔진 점화 시기를 전각(lead) 또는 지각(lag)으로 할 수 있게 하였다.

TPS의 입력 신호를 검출하여 공회전 조건 여부를 판별하며, 공회전시에는 점화 시기가 변환되지 않도록 하여 엔진 RPM이 불안정해지는 현상을 방지하였고, 공회전이 아닌 엔진 부분 부하시일지라도 엔진 회전수가 일정 수준 이상일 경우에만 점화 시기가 변환되도록 하였다.

Fig. 4에서와 같이 ECU에서 발생하는 상승 에지와 하강 에지 형태의 사각파 신호는 상승 에지 지점은 변환전 펄스와 동조되지만, 하강 에지 지점은 마이크로 프로세서에서 각 운전영역별로 필요한 만큼 앞서서 발생되므로 점화시기를 앞당길 수 있으며, 파형의 길이 즉 드웰(dwell) 시간을 줄임으로써 고속 회전시 불필요한 전류 여자(excite)시간을 줄일 수 있었다.

2.3. 센서 신호처리 부분

아날로그 신호인 TPS 신호는 노이즈를 제거하기 위한 저역 필터와 클램핑 회로를 거쳐 A/D부로 입력된다. TPS 신호 출력값은 ECU와 TCM에 공용으로 사용되므로 발생 전압값이 회로내 내부저항에 따른 전압 강하로 인한 센서값의 오차를 방지하기 위하여 OP Amp를 사용하였다. 또한 TPS 센서는 주로 스로틀 개도에 따라 전압값이 커지는 정특성과 반대로 전압값이 작아지는 역특성의 2가지 종류가 사용되고 있는데, 이를 자동으로 판별할 수 있도록 하기 위하여 엔진 최초 시동시의 센서값을 검출하여 규정값 이상 또는 이하 여부에 따라 센서 특성이 판별되도록 프로그램하였다. Fig. 5는 최초 전원이 인가되면 TPS의 특성을 자동으로 감지되는 알고리즘이다.

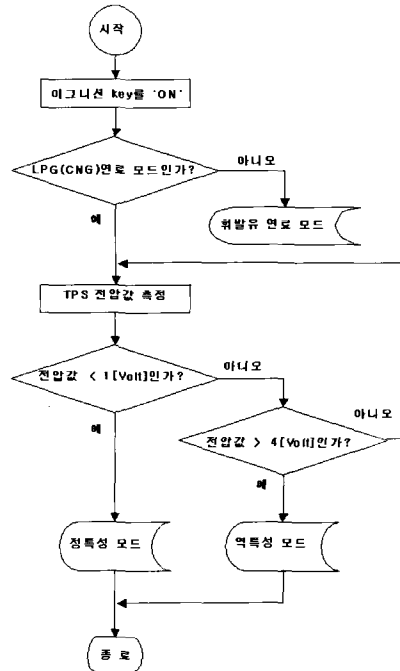


Fig. 5 Automatic detecting algorithm for TPS mode.

2.4. 마이크로 프로세서

마이크로 프로세서는 Microchip사의 8 bit PIC16C72A 마이크로 콘트롤러를 사용하였으며, 데이터와 프로그램의 저장을 위하여 외부 RAM과 ROM을 설치하였다.

주된 기능으로는 serial communication interface, 8 bit A/D converter, 28 general purpose I/O pin 등을 가지고 있다.

2.5. 제어신호 부분

마이크로 콘트롤러에서 나오는 제어신호는 작은 전류 출력이므로 액츄에이터를 작동시킬 수 없어 트랜지스터 등을 사용하여 점화 코일을 구동하며, 제어신호 부분은 노이즈가 많이 발생되므로 마이크로 프로세서와 그라운드를 분리하였다. 점화 모듈로 공급되는 점화신호 부분은 점화 모듈에서 발생하는 노이즈를 방지하기 위하여 photo isolator를 사용하였다.

또한 시스템이 정상적으로 작동하여 펄스 폭이

변환될 때에는 LED(light emission diode)가 점등되어 사용자가 시스템 작동상태가 정상적임을 알 수 있도록 하였다.

3. 점화시기 변환 제어 알고리즘

엔진의 MBT(Minimum Spark Advance for Best Torque)는 주로 엔진의 회전수와 부하에 따라 변화한다. 연료의 특성상 LPG는 가솔린에 비하여 연소속도가 느리기 때문에 상대적으로 점화시기를 빠르게 하여야 한다. 하지만 옥탄가가 높기 때문에 점화시기의 진각에 대한 노킹(knocking)의 발생은 일어나기 힘들다. 일반적으로 가솔린 엔진의 MBT는 질량연소율 50% 지점이 ATDC 10°에 발생할 때이며, LPG 엔진의 MBT는 질량연소율 50% 지점이 ATDC 7~8°에 발생할 때로 알려져 있으며, 점화시기의 진각에 따른 엔진 연소실의 온도는 과도하여 실화가 발생되지 않는 한, 상대적으로 낮아지기 때문에 NOx의 배출량이 저감되는 것으로 알려져 있다.¹⁹⁾

일반적으로 공회전에서는 이미 기존 ECU에서 가장 안정된 토크가 구현되도록 결정된 값으로 작동되기 때문에 별도로 점화시기를 앞당기는 경우는 오히려 엔진 부조를 유발시킬 수 있어 가속기를 밟는 영역, 즉 엔진 부분 부하 영역에서만 점화시기를 변환하는 것이 바람직하다. 이를 감지하기 위한 수단으로 TPS 출력값과 점화 시기 입력 신호용으로 사용되는 펄스를 이용하여 계산되는 엔진 회전수에 따라 각각의 다른 변환량으로 점화시기를 앞당기도록 하였다.

점화시기 최대 변환량 선택을 하기 위한 디지털 입력 신호는 계절별로 점화시기 변환량을 선택적으로 사용할 수 있도록 한 것으로 봄, 여름과 같은 계절에는 습도 및 온도 등의 대기 환경 조건이 엔진 노킹을 발생시킬 우려가 있으므로 점화시기 변환량을 상대적으로 가을, 겨울보다 적게 함으로써 4계절 언제나 엔진 노킹이 없이 최상의 엔진 출력을 내도록 하였다.

Fig. 6은 이러한 내용의 알고리즘을 표현한 플로차트이다.

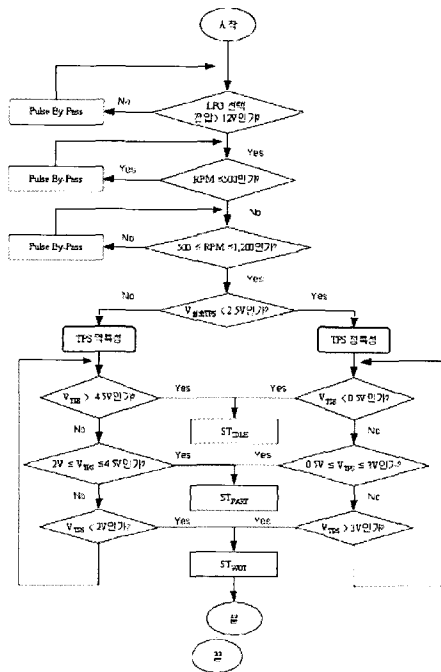


Fig. 6 Flow chart for ignition timing conversion.

3.1. 사용 연료에 따른 점화시기의 선택

운전자가 LPG(CNG) 연료 모드를 선택하였을 때는 엔진 냉각수온이 소정 온도 이하이면 가솔린용 점화시기 제어용 펄스가 점화 1차 코일로 전달되게 하고, 엔진 냉각수온이 소정 온도 이상이 되었을 때에만 각 운전 영역에 적합한 양으로 점화시기가 진각되도록 가솔린용 점화 시기 제어 펄스를 변환한다.

운전자가 가솔린 연료 모드를 선택하였을 때는 엔진 냉각수온에 관계없이 가솔린 본래의 점화 시기 제어 펄스가 점화 1차 코일로 전달되도록 하였다.

3.2. 여자 시간을 이용한 점화시기의 진각

휘발유/LPG(CNG) 겸용 차량에 있어서 LPG(CNG) 연료용 점화시기는 기존의 가솔린 점화시기 펄스의 전류 여자시간을 단축하는 방법으로 점화시기를 진각시켰다.

특히 점화 시기 제어 펄스가 공급되는 과정에서 펄스 공백이 발생되지 않도록 점화 시기제어 펄스 입력 신호가 언제든지 바이패스(by-pass)될 수 있

도록 마이크로프로세서와 병렬로 연결되는 구조가 되도록 릴레이를 사용하였다. 연료 모드 전환시 또는 TCM의 고장시에는 기존 본래의 휘발유용 점화시기 제어 펄스가 1차 점화 코일로 그대로 전달되어 백업(back-up) 기능이 수행되도록 함으로서 주행중 엔진이 정지되는 것을 방지하는 기능을 갖도록 하였고, 이러한 릴레이 구동 신호는 마이크로프로세서가 제어하게 하였다.

3.3. 운전 영역의 감지 방법

Fig. 6에서와 같이 TPS 출력특성은 엔진 시동시의 초기 TPS 출력값이 2.5V 이상에서는 역특성으로 감지되고, 2.5V 이하에서는 정특성으로 감지된다.

엔진 회전수를 감지하는 방법은 ECU에서 발생하는 점화 시기 제어 펄스 신호가 TCM으로 입력될 때, 마이크로프로세서에서 펄스 주기를 계산함으로써 측정된다. 그러나 엔진 점화 장치종류에 따라 점화 코일 1개당 사용되는 점화 플러그의 수량이 다를 수 있으므로 이에 따라 엔진 1회전에 대한 펄스의 주기와 수량도 다르게 된다. 따라서 이러한 각기 다른 점화 장치들에 있어서도 소정의 외부 입력 신호에 의해서 엔진 1회전시의 펄스 주기 및 수량에 대한 기준을 설정한 후 엔진회전수를 산출하는 방법을 사용하였다.

LPG(CNG) 연료 모드시 점화 시기 제어용 펄스가 변환되고 있을 때 LED 램프 또는 버저 등으로 작동 상태를 표시하여 간단히 시스템의 고장 여부를 표시하도록 하였다.

4. 결 론

가솔린 엔진의 ECU에서 발생하는 점화 시기 제어 펄스를 이용하여 가솔린/LPG(CNG) 겸용 차량의 점화 시기 변환 제어 시스템을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 엔진 점화 코일의 1차 전류여자시간 변환을 통하여 각 연료 모드에 적합한 점화시기를 제어할 수 있게 하였다. 이렇게 함으로서 연료 모드가 서로 다른 상태에서도 엔진 출력 및 연비가 향상되고, LPG(CNG)연료 모드 사용시에는 점화코일의 내구성을 증가시킬 수 있었다.

2. 본 개발품의 자가 인식 프로그램에 의해 가솔린용 점화장치 및 센서를 그대로 사용할 수 있어 별도의 LPG(CNG)용 점화 장치 및 센서가 필요 없게 되어 원가를 절감할 수 있었다.

3. LPG(CNG) 연료에 부적합한 경우이거나 제어 모듈의 고장 또는 오동작시에도 기존 가솔린용 점화시기 제어 기능이 자동적으로 동작되도록 함으로써 엔진 시동 꺼짐 또는 엔진 부조 등의 문제점을 방지하여 시스템이 안정적으로 작동할 수 있도록 하였다.

4. 외부 표시장치를 내장하여 점화시기변환/절환 제어와 관련된 장치의 정상 작동 여부를 운전자나 작업자에게 제공함으로써 고장수리 및 시스템 점검의 편리성을 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 임희성, "직접분사식 액체 LPG 분무특성에 관한 연구", 한국해양대학교 기계공학과대학원 석사학위논문, 2001
- [2] 지덕립, "LPG 자동차 연료장치의 구조기준(I/II)", 가스안전, pp.39, 1999
- [3] R. Sierens, "An Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection", SAE paper 922363, 1992
- [4] E. Bass, B. Bailey and S. Jaeger, "LPG Conversion and HC Emissions Specification of a Light-duty Vehicle", SAE paper 932745, 1993
- [5] R.F. Webb and P.J. Delmas, "New Perspectives on Auto Propane as a Mass-scale Motor Vehicle Fuel", SAE paper 911667, 1991
- [6] 김석주, "FBM방식 LPG엔진의 전자제어에 관한 연구", 한양대학교 기계공학과대학원 석사학위논문, 1997
- [7] 신광수, "F/B 제어 시스템을 이용한 LPG 엔진의 연소특성과 LPG 연료의 화염전파 특성에 관한 연구", 한양대학교 기계공학과대학원 석사학위논문, 1997
- [8] 윤재건, 이창수, 한태식, "LPG 자동차 연료공급장치의 위험요인 분석", 한국산업안전학회 96 기계학술연구 발표, pp.49~59, 1996
- [9] B. Hollemans, "Technical Reference Paper", TNO Road Vehicle Research Institute, 1999.

저 자 소 개



양인권(梁仁權)

1958년 2월생. 1980년 부산대학교 기계설계학과 졸업(공학사). 1982년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1985-현재 인천/서울정수/제천기능대학 자동차과 근무. 2001-현재 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 박사과정.



김재국(金在國)

1962년 10월생. 1987년 인하대학교 기계공학과 졸업(공학사). 1986년 대우자동차(주) 기술연구소 엔진개발담당 발령. 1998년 한국오토가스 시스템 기술(주) 설립. 1999년 중국 LPG 프로젝트 참여(길림성 'J' 자동차사). 2000년 폴란드 대우-FSO 휘발유/LPG 연료장치 개발참여. 2000년 중소기업 신기술 벤처기업 선정. 2001년 엔진 점화시기 변환장치 개발.



전봉준(全鳳俊)

1953년 10월생. 1992년 한밭대학교 기계공학과 졸업(공학사). 1995년 서울산업대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1991-현재 서울정수/인천/제천기능대학 자동차과 근무. 1999-현재 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 박사과정.



김성준(金聖準)

1952년 4월생. 1974년 서울대학교 공과대학 공업교육과 졸업. 1983년 워싱턴주립대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1985년 워싱턴주립대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1985년-현재 강원대학교 공과대학 기계메카트로닉스 학부 정교수 재직. 강원대학교 산업기술연구소 소장(2000.3-2002.2). (주)삼호보일러 자문교수(2000.11-현재). (주)테크노코리아 기술고문(2001-현재). 동력자원부 전문위원(1988-1991). 국립기술표준원 NT, EM Mark 심사위원.