

분사조건변환기에 따른 인젝터 성능 분석 시스템 개발

이중순[†] · 손일문^{*}

A Development of Injector Performance Analysis System by Injection Condition Converter

joong soon Lee and il moon Son

Key Words: Injection condition converter(분사조건변환기), Return system(리턴 시스템), Returnless system(리턴리스 시스템), Real time injection(실시간 분사)

Abstract

There are two types of electric controlled fuel injection system in the gasoline engines of common vehicles. One is fuel return system and the other is fuel returnless system according to the methods of controlling injection pressures. It is important to understand the characteristics of these system in learning and studying of engine, but it is very difficult without a special equipment in reality. The purpose of this paper is to develop the emulation system that can be compensated with the amount of injection fuel according to various driving conditions, battery voltage, cooling water temperature, and engine speed, may be appeared in real driving, and especially can analyze the difference between the electric signal controlling the amount of injection fuel and its result, and nullity injection duration. With the developed system, we can conveniently set various and completed driving condition and so can acquire the useful information such as non-uniformity rate and mass of injection fuel using waveform analysis and measurement modules. It must be a very useful and sophisticated system to instruct and learn the features and operating states of injection system, and to study for improving the performance of it.

기호설명

- A : 독립분사 (independence injection)
- B : 그룹분사 (group injection)
- C : 동시분사 (simultaneous injection)
- # : 인젝터 번호 (number of injector)
- Δ : 인젝터의 저항변동률(resistance fluctuation rate)

1. 서 론

시대적 요구에 빠르게 발전하는 엔진전자제어시스템을 이해하고 연구하기 위해서는 구성부품에 대한 응답성 및 신뢰성, 그리고 체계적이고 정확한 제어알고리즘의 파악과 개선이 이루어져야 한다. 이러한 요구를 수용할 수 있는 효과적인 시스템을 갖춘 계측 장치의 개발을 위해서는 엔진의 운전영역에 상응하는 조건변화를 적용할 수 있는 시스템을 개발하는 것이 중요하다. 즉, 자동차에 적용되는 전자제어시스템의 로직제어와 운전 조건변화를 줄 수 있는 조건변환기에 대하여 실제 자동차의 가솔린 연료분사장치를 구성하는 각 구성요소들의 특성 및 원리를 파악하고, 데이터의 취득과 동시에 파형을 분석할 수 있는 제어시스템을 개발하여 자동차의 분사 관련 요소기술을 학습에 적용할 수 있는 공학용 기

(2006년 10월 23일 접수 ~ 2006년 11월 30일 심사완료)

*동명대학교 자동차공학과

†책임저자, 회원, 동명대학교 자동차공학과

E-mail : jslee@tu.ac.kr

TEL : (051)620-3396 FAX : (051)625-7862

자재는 물론, 연구 분야에 활용할 수 있는 기술 집약형 지능형 장치를 개발하고자 한다.

본 연구에서는 자동차의 분사조건 변화(배터리 전압, 냉각수 온도 변화, 엔진 회전수 변화 등)에 따른 연료의 보정이 가능한 분사조건 가변시스템의 개발과 함께 실제 구동되는 인젝터에서의 분사량과 무효분사기간의 차이를 분석할 수 있도록 하였다. 또한, 두 가지의 시스템을 가변 모듈형으로 구성하여 분사조건 및 분사방식을 선택하고 파형분석 프로그램, 인젝터의 불균를 및 체적, 질량 측정 등을 통한 연료 분사량을 계측하여 인젝터의 성능 및 동작 상태를 파악할 수 있도록 하여, 엔진 전자제어 시스템의 효과를 극대화 시키는 방안을 모색하고자 한다⁽¹⁻⁴⁾.

2. 실험장치 및 방법

2.1 연료분사시스템

Figure 1은 전체 시스템의 구성도를 나타내었다. 분사 조건 가변기, 분사시스템을 선택할 수 있는 리턴타입과 리턴리스 타입, 구동시스템으로 크랭크축과 캠축을 같이 연동하기 위한 구동 풀리 시스템으로 구성되어 있다. 회전수 및 분사타이밍을 확인하기 위해 CMP(camshaft position sensor), CPS(crankshaft position sensor)를 설치하여 조건에 맞는 분사를 실행할 수 있다.

리턴타입은 인젝터가 분사하고 남은 연료를 압력 조정기를 거쳐 연료 탱크로 리턴 되지만, 연료 라인을 통해 지속적으로 유동되는 연료는 연료 탱크 내의 온도를 상승시키고 포화된 증발가스를 대기 중으로 방출시킴으로 인해 차량 내 발생하는 CO가스 주요 원인으로 알려져 있다. 그런 단점에 대응하기 위한 리턴리스 타입은

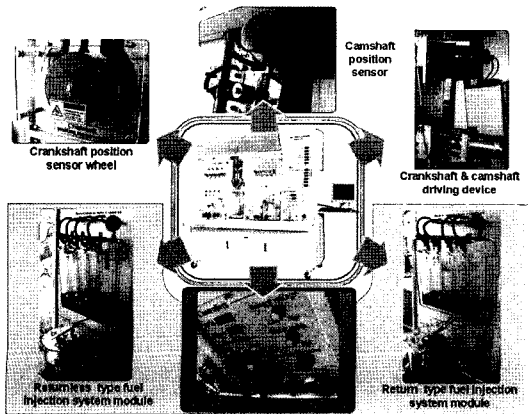


Fig. 1 System composition

Table 1 Experiment condition

INJECTOR TYPE	TYPE	CONDITION
*new injector ■ coil resistance 14.5±0.7Ω(20°C) ■ electric magnetism type ■ high-ohmic injector	return	① injection method A : independence injection B : group injection C : simultaneous injection
	returnless	
*old injector ■ coil resistance 15.1±0.7Ω (20°C) ■ electric magnetism type ■ high-ohmic injector	return	② condition change *battery voltage change (10.5V~15V) *coolant water temperature (0°C~95°C)
	returnless	
		③ injection times : 2,000 times, 4,000 times

연료 압력 조절기를 탱크 내에 두어 기존 연료 장치에 비해 증발가스의 발생을 20~60%까지 저감할 수 있다고 보고되고 있다.

본 연구의 조건을 Table 1에 나타내었다. 사용된 인젝터는 1500cc급 실차에 적용된 것으로 리턴과 리턴리스 타입으로 크게 구분하였다.

Figure 2는 각각의 분사방식에 따라 구동되는 한사이클당 분사하는 인젝터의 작동순도를 나타낸 것이다.

2.2 분사조건가변장치

Figure 3은 본 연구를 통하여 개발한 분사조건 변환장치를 나타낸 것으로, 이는 배터리 전압 가변 컨트롤 장치, 냉각수 온도 컨트롤 장치, 엔진 회전수 컨트롤 장치, 분사 횟수 제어 장치 등으로 구성되어 있다.

Figure 4는 개발된 장치의 유효성 확인을 위하여 엔진 회전수, 배터리 전압, 냉각수 온도에 따라 변화되는 분사기간을 그래프로 나타낸 것이다.

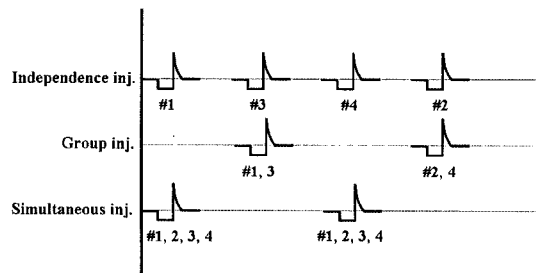


Fig. 2 Injector drive by injection method

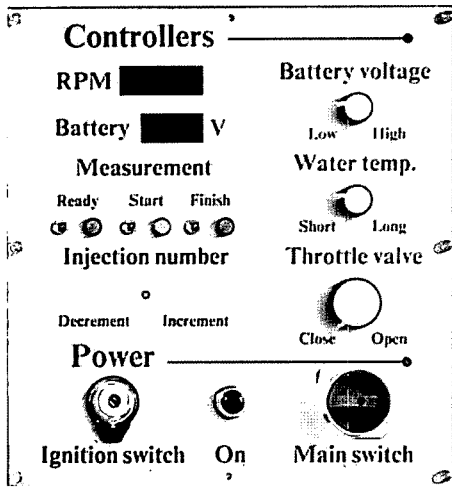


Fig. 3 Injection condition converter

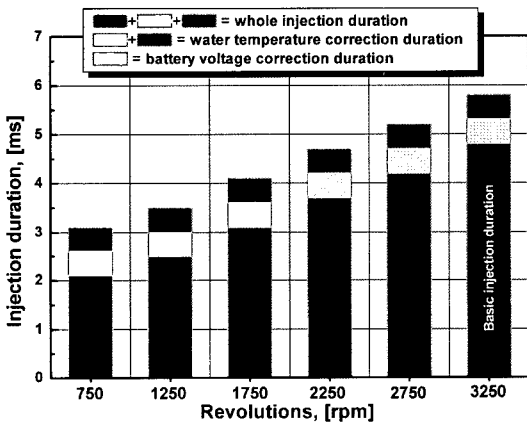


Fig. 4 Characteristics analysis by condition change

엔진의 상태 중에서 배터리 전압과 냉각수 온도, 조건변화에 따른 기본분사기간과 각 조건에 따라 보정되어지는 분사기간의 변화를 나타내었다.

본 연구에서는 배터리 전압과 냉각수 온도, 회전수변화를 조건으로 나타내었으며, 배터리 전압변화(23%)에 비해서 냉각수 온도 변화(47%)에 더 많은 영향을 받고 있는 연료 분사 최적조건 보정특성을 알 수 있다. 또한 회전수가 빨라질수록 분사기간이 19~20%로 늘어남을 알 수 있다. 회전수의 변화는 기본 분사량을 결정하는 요소이며, 배터리 전압과 냉각수 온도는 보정분사기간의 요인으로 구분되어 나타내었다.

2.3 유효분사기간 측정 장치

자동차에서 ECU를 통해 나오는 연료분사 입력 신호

에 의해 작동되는 인젝터에서의 연료 분사량은 니들의 행정, 인젝터 분사구멍의 면적, 분사장소의 압력과 연료 압력과의 차이 및 인젝터에 전류가 흐르는 통전시간에 의해 연료 분사량은 결정된다. 따라서 유효분사기간 측정 장치를 통해 ECU에서 나오는 구동펄스와 실제 인젝터의 니들이 작동되는 구동펄스와의 시간지연은 분사과형의 측정을 통하여 계산할 수 있다.

유효분사량 및 무효분사량의 측정을 위한 장치를 구성할 때 선정된 포토 트랜지스터는 최초 몰드형(mold type)을 사용하였는데, 이는 양산성과 저가적인 측면에는 장점이 있지만, 최대 동작 정격온도(-20~70°C)가 낮고 내습성이 나쁜 결점이 있다. 따라서 신뢰성이 있고 최대 동작 정격온도(-30~125°C)인 메탈형(metal type)을 최종적으로 선정하여 사용하였다.

Figure 5와 6은 본 연구에 사용된 다이오드와 트랜지스터의 특성을 나타낸 것이다. 설치된 발광 다이오드는 EL-1KL3를 사용하였고, 포토 트랜지스터는 좁은 배광 특성을 가지면서 내구성과 순방향 전류값이 큰 ST-1KL3A를 사용하였다. 또한 동작 정격온도범위가 -30~100°C 영역이기 때문에 넓은 온도 범위에 대응되지만 측정 시 rising time과 초기 전압레벨의 불안정이 되는

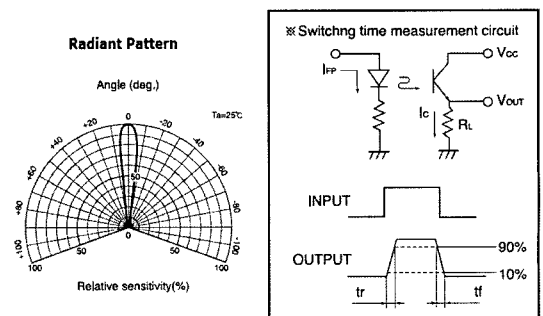


Fig. 5 Switching time measurement circuit of photo transistor⁽⁵⁾

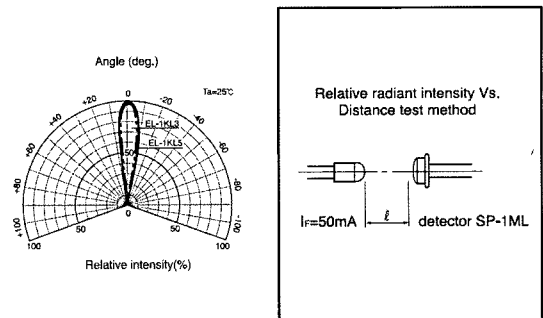


Fig. 6 Light-emitting diode and establishment method⁽⁵⁾

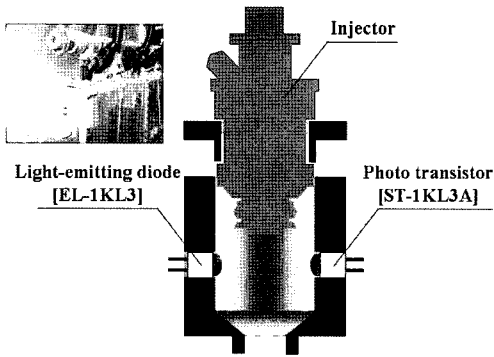


Fig. 7 Real injection volume and invalid injection volume measuring unit

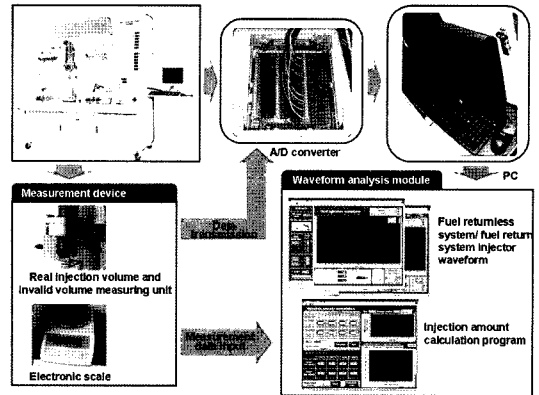


Fig. 9 Data acquisition and analysis system

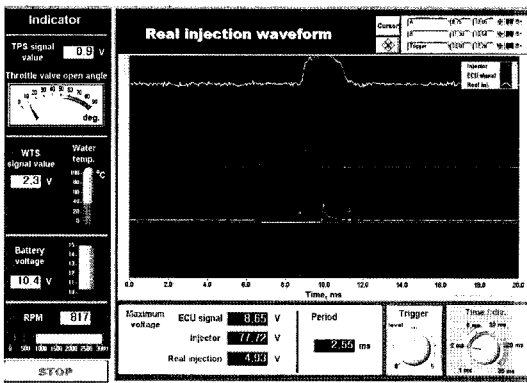


Fig. 8 Real injection waveform

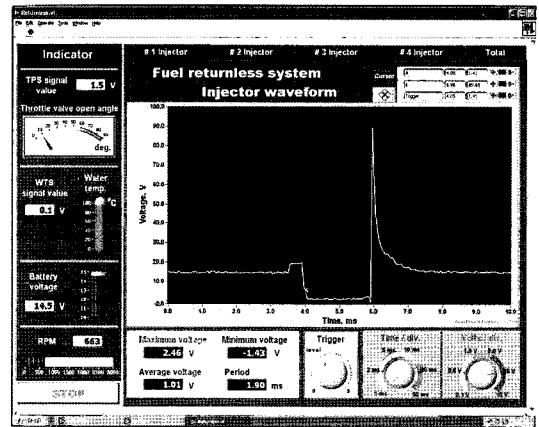


Fig. 10 Fuel injection waveform

문제가 발생한다. 이는 측정부의 표면 전도에 의한 영향 및 장시간 인젝터가 작동되면서 분사밸브선단부의 열적 원인에 의한 영향으로 광전류에 암전류가 상승되는 원인으로 보인다⁵⁾.

Figure 7은 유효분사시간 측정장치를 나타낸다.

인젝터 분사면 선단에서 발광다이오드와 포토다이오드와의 거리는 실험적으로 최적조건인 8 mm로 설치되었다.

Figure 8은 데이터의 저장과 각각의 동작 파형을 계속할 수 있는 프로그램의 구현 상태를 나타낸 것으로, 본 프로그램을 이용하여 실제 분사파형과 ECU 동작신호 및 인젝터 동작파형 등이 측정가능하다.

3. 데이터 저장 및 분석 시스템

3.1 데이터 저장

각종 액추에이터 및 센서로부터 발생되는 디지털 및

아날로그 신호를 처리하기 위해서 PCI(NI6220, NATIONAL INSTRUMENTS Co., Ltd.)타입의 보드를 사용하였다.

각각의 센서에서 출력되는 데이터 취득용 전압값을 취득하기 위해 범용 connector block과 8채널 PCI보드를 사용하여 신호처리를 하였고, 입력값을 실제값 및 물리량으로 변환하기 위해 LabVIEW 7.0을 사용하였다.

LabVIEW는 NI사에서 개발한 프로그래밍 언어로 데이터 수집 및 분석과 인스트루먼트 제어 등 광범위한 분야에서 사용되는 언어이다.

LabVIEW는 보통의 프로그래밍 언어와 달리 도식적 프로그래밍 언어를 사용하며, 블록 다이어그램과 프론트 패널로 구성된다. 즉 블록다이어그램에서는 그래픽 형태의 코드로 되어 있고, 프론트 패널에서는 VI 코드 인터페이스로 이루어져 있다.

인젝터의 동작 신호는 Fig. 9와 같이 16-bit, 250 kS/s

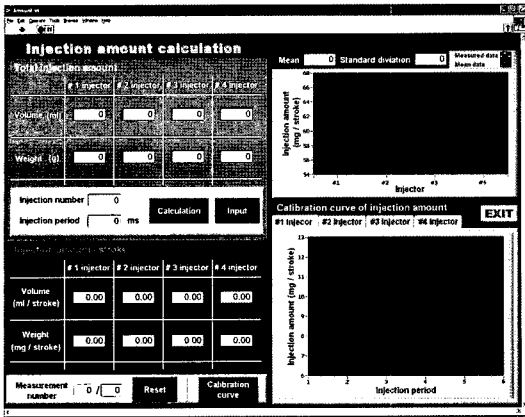


Fig. 11 Calibration tool of injection amount

로 DAQ board를 거쳐 입력되고 PCI보드를 통해 컴퓨터로 통해 저장된다.

Figure 10은 실시간 데이터의 측정 결과의 한 예를 나타낸 것이다. 파형을 계속할 경우에는 각각의 운전조건 상태 및 피측정 인젝터의 번호를 선택할 수 있고, 서지 전압, 분사시간, 배터리 전압을 분석할 수 있다.

3.2 인젝터의 불균를 분석을 통한 인젝터 성능 확인

Figure 11은 인젝터의 분사량 결과를 분석하는 프로그램을 나타낸 것이다. 각 인젝터의 분사량을 조건 변화에 따라 입력하여 각 인젝터의 평균 분사량과 표준편차를 계산할 수 있는 분석 프로그램이다. 이 프로그램을 사용

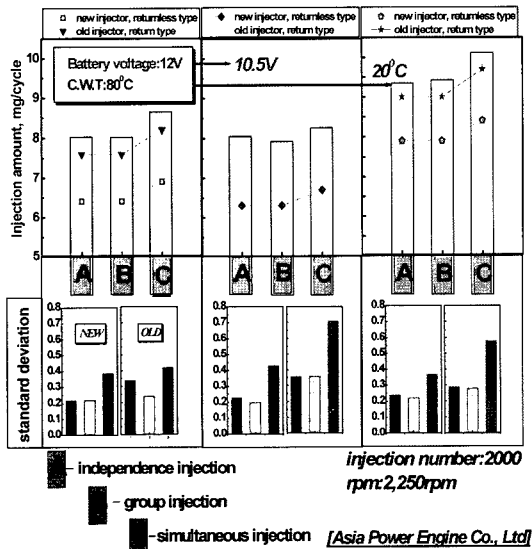


Fig. 12 Injection amount and standard deviation

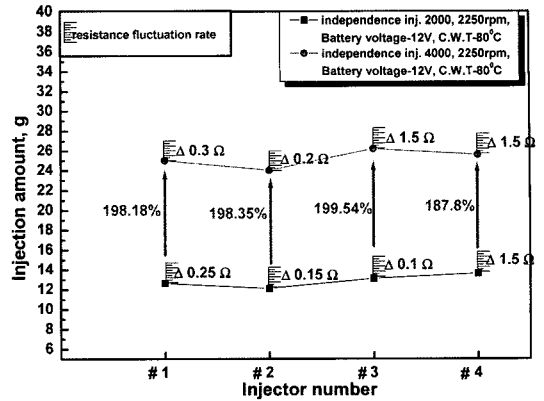


Fig. 13 Resistance fluctuation of injector by injection number of times and injection amount fluctuation

하여 각 인젝터의 분사량 불균를을 확인할 수 있고 인젝터의 분사량 변화를 그래프로 구현이 가능하다.

Figure 12는 신형인젝터와 구형인젝터를 각각의 운전 조건에 따라 사이클당 분사된 질량값을 평균하여 나타낸 것이다. 배터리전압이 낮아지면서 늘어나는 분사시간(0.2 ms)으로 보정된 연료분사량의 차이는 나지 않지만, 동시분사의 경우는 다른 분사방식에 비해 분사량의 증가 및 분사량의 편차율이 상대적으로 높고 각 인젝터에 대한 불균율이 크게 나타남을 알 수 있다.

Figure 12에서 제시한 바와 같이 동시분사방식의 경우에 표준 편차가 상대적으로 높은 원인을 분석하기 위하여 Fig. 13과 14에 독립분사방식과 불균율이 높은 동시분사방식을 신형 인젝터가 장착된 리턴리스 시스템에 적용하여 인젝터 작동에 따른 인젝터 저항 변동률과 분사횟수의 증감에 따른 분사량의 비고를 나타내었다.

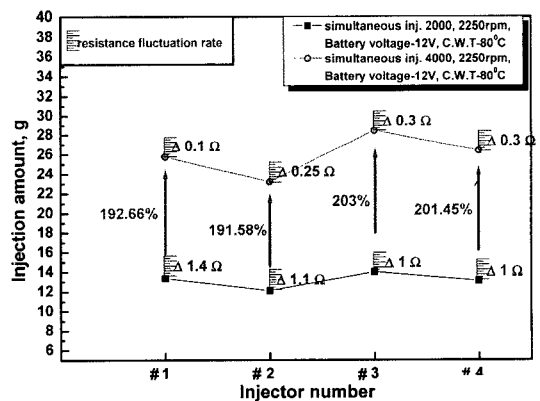


Fig. 14 Resistance fluctuation of injector by injection number of times and injection amount fluctuation

그래프에서 볼 수 있는 바와 같이 독립분사의 경우에는 저항값의 변동이 각 인젝터에서 일정한 경향을 보이는 반면, 불균류가 높은 동시분사의 경우에는 상대적으로 저항값의 변동을 차이가 큼을 알 수 있다. 이는 독립분사의 경우에는 사이클당 각각의 인젝터가 휴지시간(rest time)을 가지면서 구동되어 상대적으로 저항값과 저항 변동률이 적으나 동시분사방식에서는 구동횟수가 많아짐에 따라 인젝터의 저항값이 클 뿐만 아니라 저항 변동률 차이도 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 분사횟수 2,000에서의 변동 비율보다 4,000인 경우에서의 변동 비율이 감소된 결과를 보인다. 이러한 원인은 초기 구동시 높은 전류소모를 보이고 점차 소전류로 인젝터를 구동 시키는 고저항 인젝터의 특성에 기인한 현상임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 분사시스템의 신뢰성 확보와 인젝터의 성능을 분석할 수 있는 분사조건변환기를 적용하여, 분사시스템의 연료보정 특성과 성능분석이 가능한 시스템의 개발 및 분석 데이터의 처리기술을 수립하였다.

또한 본 연구를 통하여 개발한 분사조건변환기를 이용하여 실제 차량의 운전조건변화에 대응하는 인젝터의 구동 특성을 파악할 수 있는 시스템을 구성하여 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있었다.

본 연구를 통하여 확보한 시스템과 제어 및 분석용 프로그램을 바탕으로 엔진의 다양한 보정인자를 수용할 수 있는 분사조건변환기의 개발과 연구를 통하여 데이

터 저장과 처리 및 분석이 가능한 성능 분석 시스템을 개발할 계획이다.

후 기

이 논문에 사용된 시스템의 개발과 연구에 적극적으로 도와주신 (주)아시아파워엔진 기업부설연구소 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 신영진, 이중순, 윤수한, 정성식, 하종률, "Effects of Ambient Conditions on the Atomization of Direct Injection Inject," 부산·울산·경남지방 학술대회 논문집, 2001, pp. 54~63.
- (2) 김영석, 이중순, 윤수한, 정성식, 하종률, "The effect of the Air Temperature and Air-assisted Pressure on the Fuel Droplet Atomization," 한국액체미립화학회지, Vol. 3, No. 4, 1998, pp. 16~24.
- (3) 윤수한, 이중순, 김현지, 배종용, 하종률, "A Study on the Control of a Constant Pressure Fuel Injection System Using Solenoid," 한국자동차공학회논문집, Vol. 4, No. 1, 1996, pp. 229~237.
- (4) Jeff Kotowski, Alex Korol, Mary Bellemare, John Parry, and Rich Davis, "Control of Sequential Fuel Injection and Distributors Ignition for Modern SI Engine," SAE Transaction No. 930854, 1993.
- (5) Engineering data of KODENSH, <http://alldatasheet.com/>