

가속도 센서를 이용한 CR-DI 인젝터 연료 분사 시작 타이밍 측정

현승훈 · 안정훈 · 김정기 · 이충훈*

서울과학기술대학교 기계 · 자동차공학과

Fuel injection timing measurement of CR-DI injector using an accelerometer

Seunghun Hyun · Jeonghoon Ahn · Junggi Kim · Choonghoon Lee*

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Key words : common rail (커먼레일), fuel injection timing (연료분사식), accelerometer(가속계)

* Corresponding Author, E-mail: chlee5@seoultech.ac.kr

1. 서론

디젤 엔진에서 연료분사 타이밍은 토오크, 파워, 연비 등의 엔진 성능에 큰 영향을 미치는 인자이다. 디젤 엔진에서 매연과 NO_x 배출 특성은 연료 분사 타이밍의 trade-off 관계이다. 최근에는 디젤 엔진에 커먼레일과 솔레노이드 인젝터를 도입하면서 연료 분사의 전자제어가 가능하게 되었다. 기계식 연료 분사 시스템에서는 일정 패턴의 연료 분사 타이밍만 가능하였으며 다중 분사는 거의 불가능하였다. 디젤엔진에서 전자 제어 적용은 연료 분사량과 분사 타이밍 제어에 있어서 제약이 완전히 없어졌다는 것을 의미한다. 일반적으로 디젤 엔진은 운전 조건(engine speed and load)에 따라 최적의 분사 타이밍이 다른데 전자제어가 도입이 되면서 엔진 운전 조건에 따라 최적의 분사 타이밍 제어가 가능하게 되었다. 또한 엔진 운전 조건에 따라 최적의 성능이 나올 수 있도록 pilot injection, split injection 등과 같은 multiple injection 분사 패턴의 구현이 가능하게 되었다.

디젤 엔진에서 연료 분사 타이밍을 가장 정확하게 측정하려면 인젝터의 needle lift량을 측정하여야 한다. Needle이 lift 되는 순간이 연료 분사 시작을 의미하고 needle lift가 zero가 되면 연료 분사 차단을 의미한다. 연료 분사시기를 알 수 있는 또 다른 방법은 연료 분사율을 측정하는 것이다. 연료 분사율 패턴을 분석함으로써 분사량과 분사 타이밍을 알 수 있다. 디젤 인젝터의 연료 분사율의 측정 방법은 Bosch 방법, Zeuch 방법이 주로 이용되어 왔으며 최근에는 연료가 금속성 센서에 충돌할 때 생기는 전하 대전량을 평가하여 분사량을 측정하는 방법이 제시된 바 있으며, 다공 노즐 각각의 홀(hole)로부터 분사되는 연료의 분사율을 측정하는 방법도 있다.

디젤 엔진 성능에 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나인 연료의 분사율과 분사타이밍 계측은 매우 중요하다. 본 연구에서는 Bosch방법을 이용한 커먼레일 디젤 인젝터 분사율 측정 장비를 제작하였다. 연료 분사 타이밍 측정에 있어서 가속도 센서의 적용 가능성을 평가하기 위하여 가속도 센서를 인젝터에 부착하여 needle이 lift 되는 순간과 되돌아 가서 연료 차단 순간의 충격과 신호를 측정하였다. 가속도 센서에 의한 연료 분사 타이밍 측정 방법은 인젝터 외부에 간단하게 부착하여 측정하기 때문에 매우 간편한 방법이다. 가속도 센서에 의한 분사 타이밍 측정과 관련된 기존의 연구는 거의 없는 실정이다. 가속도 센서 신호에 의한 연료분사 시작과 종료 타이밍과 연료 분사율 신호에 의한 연료 분사 시작과 종료 타이밍 신호를 비교하였다.

2. 실험 및 분석

실험 장치는 AC motor로 구동되는 고압 연료펌프, 커먼레일, 커먼레일 인젝터, BOSCH 분사율 측정 장치 등으로 구성되어 있다. 측정 시스템은 압력센서, 가속도 센서, 차지 앰프, 디지털 오실로스코프 등으로 구성되어 있다. AC 모터의 속도를 일정한 속도로 제어하여 고압 펌프를 구동한다. 이 때 인젝터로 공급되는 연료 라인의 압력을 목표값으로 일정하게 제어하기 위해 커먼레일 압 컨트롤러에 공급되는 PWM 펄스의 듀티비를 제어하였다. 제어에 필요한 PWM 펄스는 마이크로프로세서 PIC16F917과 high current용 트랜지스터 2N3055를 사용하여 구현하였다. 커먼레일 압력은 레일에 부착된 레일압 센서로 모니터링 하였다. 커먼 레일의 압력이 목표압력에 도달하여 일정하게 유지되는 조건이 되면 연료 분사를 위해 인젝터를 구동하였다. 인젝터를 구동은 Peak & Hold 방식에 의한 전류제어 방식을 사용하였다. 인젝터 구동 장치는 80V/20A 파워서플라이, high current 제어용 TR MJ11016, peak & hold 제어 신호 생성용 마이크로프로세서 등으로 구성하였다. Peak & hold 신호는 총 1ms 분사 기간 중 초반 일부는 듀티비 100% 파형, 나머지 일부는 듀티비를 크게 낮춘 파형으로 구성하였다.

Bosch 방법에 의한 연료 분사율 측정 및 가속도 센서에 의한 분사 타이밍 측정 과정은 다음과 같이 요약할 수 있다. 연료 분사시 발생하는 반사파의 영향을 제거하기 위해 부착된 Brass tube 내에 연료를 가득 채우고 pressure relief valve로 back pressure를 조절한다. 연료 분사를 하면 이 때 발생하는 압력파를 압력센서로 감지하여 디지털 오실로스코프에 기록한다. 동시에 인젝터에 부착된 가속도 센서가 needle이 lift되는 순간과 되돌아 가는 순간에 발생하는 충격파를 감지하여 디지털 오실로스코프에 기록한다. 이러한 연료 분사과정을 수천회 반복하여 overflow 되는 연료량을 scale로 측정하면 1회 평균 연료 분사량을 계산할 수 있다. 1회연료분사량을 측정한 연료 압력과 신호에 맞추어 분배하면 time resolved 된 연료 분사량을 구할 수 있다. 본 연구에서는 압력 파 신호, 가속도 신호, 인젝터 구동 펄스 신호 분석에 집중하였다. 연료는 경유를 사용 했으며, 연료분사 압력은 60, 100, 150 MPa을 유지하였다.

3. 결과요약

Common rail diesel injector의 fuel injection rate를 Bosch 방법을 사용하여 측정하였다. Injector 외부에 가속도 센서를 부착하여 연료 분사 시작과 종료 시점을 측정하였다. Single injection 방식으로 분사하였으며 PWM 파형의 듀티비를 제어하여 다양한 패턴으로 분사하였을 때 센서들의 신호를 측정 및 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 가속도 센서 신호로는 연료 분사 시작 time은 비교적 정확하게 catch 할 수 있으나 연료 분사 종료 시점은 catch 할 수 없었다.
- (2) Peak & Hold에 의한 마이크로프로세서 인젝터 구동 신호 입력 후 연료 분사의 지연 시점을 가속도 센서 신호로 확인이 가능하였다.
- (3) Peak & Hold 신호의 여러 조합에 따른 연료 분사량 패턴을 측정하여 최적의 신호 조건을 평가하였다.