

차량주행 모사 조건에서 로드셀을 이용한 인젝터 누적 연료 분사량 측정

조성근 · 이충훈[†]

A Cumulative Injected Fuel Mass Measurement Under a Vehicle Driven Condition using Loadcells

Seung Keun Cho and Choong Hoon Lee

Key Words: Cumulative injected fuel quantity(누적연료분사량), Loadcell(로드셀), Engine part load performance (엔진부분부하성능), Vehicle driving performance(차량주행성능), Engine control unit(ECU)

Abstract

A gasoline injector rig which can measure cumulative injected fuel mass under a vehicle driving condition was developed. The measurement system consists of an engine control unit (ECU), data acquisition (DAQ) and injected fuel collection system using loadcells. By supplying reconstructed sensor signals which simulate the real vehicle's sensor signals to the ECU, the ECU drives injectors as if they were driven in the vehicle. The vehicle's performance was computer simulated by using GT-Suite[®] software based on both engine part load performance and automatic transmission shift map. Throttle valve position, engine and vehicle speed, air mass flow rate et al. were computer simulated. The used vehicle driving pattern for the simulation was FTP-75 mode. For reconstructing the real vehicle sensor signals which are correspondent to the GT-Suite[®] simulated vehicle's performance, the DAQ systems were used. The injected fuel was collected with mess cylinders. The collected fuel mass in the mess cylinder with elapsed time after starting FTP-75 driving mode was measured using loadcells. The developed method shows highly improved performance in fast timing and accuracy of the cumulative injected fuel mass measurement under the vehicle driven condition.

1. 서 론

가솔린 인젝터로부터 분사되는 연료 분사량을 측정하는 방법은 크게 동일 패턴 분사 조건에서 측정하는 방식과 차량 주행 조건에서 측정하는 방식으로 대별할 수 있다. 동일한 패턴으로 인젝터 분사율을 측정하는 방법은 인젝터 단품만을 분사율 측정 리그에 조립하고 동일한 패턴으로 수천회 반복 분사하여 모아진 연료의 전체 무게를 측정하고 총 분사 회수로 나누어 1회 분사량을

계산하는 것이다⁽¹⁾. 이러한 측정 방법으로는 실제 차량의 주행 상태에서 인젝터 연료 분사량을 측정하는 것은 불가능하다.

최근에는 차량을 실제 주행하지 않고서도 ECU와 DAQ 시스템을 사용하여 실험실 수준에서 차량의 주행 상태와 동일한 조건으로 차량 주요 부품을 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다⁽²⁻⁵⁾.

차량 주행 상태 상태에서 인젝터를 구동하여 연료 분사량을 측정하는 것도 인젝터 성능 평가에 중요하다. 실험실 수준에서 차량 주행 조건과 동일하게 연료를 분사하려면 ECU에 차량 주행 조건에서 발생하는 차량의 각종 센서 신호와 동등한 신호를 ECU에 입력하여 ECU가 직접 인젝터를 구동하도록 하여야한다.

차량 주행시와 동등한 조건에서의 인젝터 연료 분사

(Received: 28 Dec 2015, Received in revised form: 18 Feb 2016, Accepted: 19 Feb 2016)

[†]교신저자, 회원, 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과
E-mail : chlee5@seoultech.ac.kr
TEL : (02)970-6393 FAX : (02)979-7032

량 측정과 관련된 연구는 Oh와 Lee⁽⁶⁾가 연구 한 바가 있다. Oh와 Lee⁽⁶⁾는 차량 주행 조건에서 연료 분사량을 측정하기 위해 ECU와 DAQ시스템을 사용하였다. Oh와 Lee⁽⁶⁾는 ECU에 입력할 차량 센서 신호는 DAQ 시스템을 사용하여 생성하였다. 즉, 차량 주행 조건에서의 엔진 속도, 차량 속도, 쓰로틀 밸브 개도량, 흡입 공기량 등의 신호값은 실제 차량을 새시다이어나모미터에서 FTP-75모드로 주행하여 획득하였고 이들 측정값에 대응하는 센서 신호를 DAQ 시스템으로 재생성하여 ECU에 입력하였다. Oh와 Lee⁽⁶⁾는 인젝터로부터 분사되는 연료 분사량 측정을 위해 메스실린더와 캡코더를 사용하였다. 메스실린더로는 분사되는 연료를 모으고 캡코더로는 메스실린더 액면 이미지를 촬영하여 실험 종료 후 이미지를 분석하는 방법으로 분사량을 획득하였기 때문에 측정과 동시에 연료 분사량을 얻는 것은 불가능하였다.

Oh와 Lee⁽⁶⁾의 분사량 측정 방법의 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 로드셀을 사용하여 연료 분사량을 측정하였다. 즉, 메스실린더에 모아진 연료 분사량을 로

드셀을 사용하여 실시간으로 측정하였다. 차량 주행 성능 시뮬레이션은 Lee⁽⁷⁾의 방법을 사용하였다.

2. 차량 주행성능 시뮬레이션

Lee⁽⁷⁾는 엔진의 부분 부하 실험 데이터, 2.4리터6기통 엔진을 사용하는 차량의 제원 그리고 자동 변속기

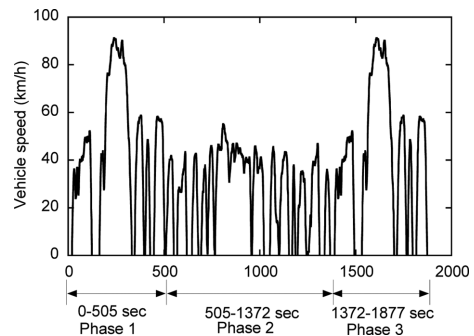


Fig. 1 FTP-75 driving mode

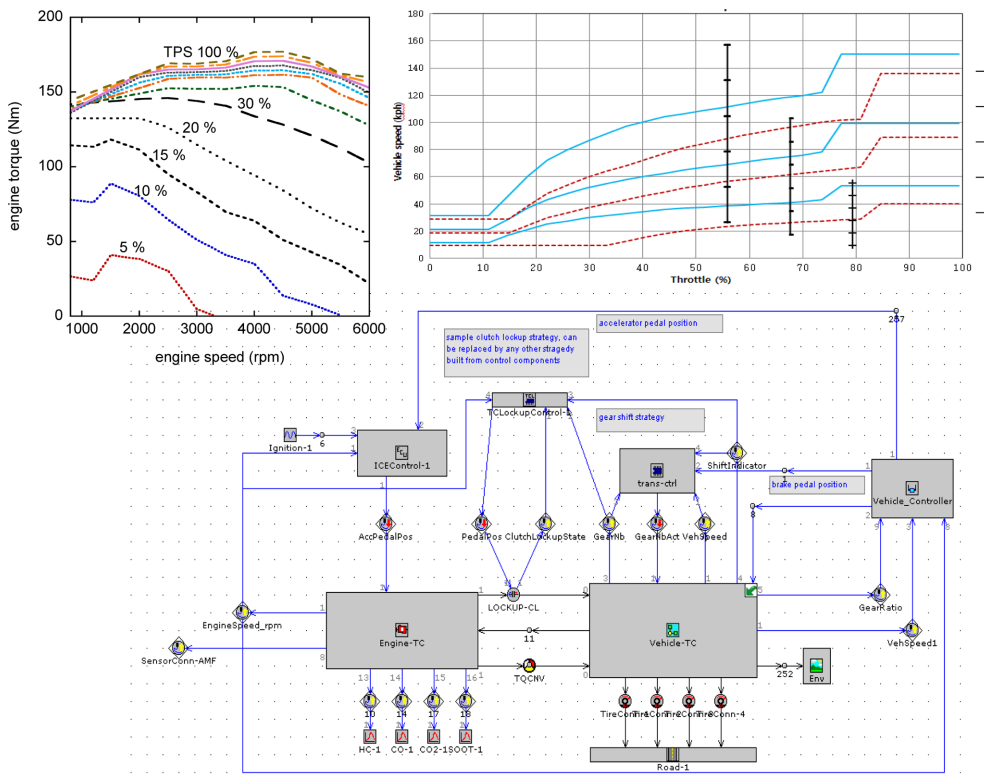


Fig. 2 Vehicle performance simulation using GT-Suite by inputting the engine part load performance, transmission shift map and other vehicle specifications⁽⁷⁾

시프트 맵을 입력 데이터로 사용하여 차량이 FTP-75 주행 모드로 운전될 때, 스로틀 밸브 포지션, 엔진흡입 공기량, 엔진 속도, 연료소모량 등을 GT-Suite® 소프트웨어를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. 본 연구에서는 Lee⁽⁷⁾와 동일한 방법으로 차량 주행성을 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. GT-Suite® 시뮬레이션으로 얻어진 차량 주행시의 엔진 속도, 차량 속도, 스로틀 밸브 개도량, 흡입 공기량 등의 데이터를 이용하여 각각의 데이터에 대응하는 센서 신호들을 DAQ 시스템으로 생성하였다. Fig. 1에는 차량 주행 성능 시뮬레이션에 사용된 FTP-75 모드의 차량 주행 속도를 나타낸 것이다. 총 3개의 phase로 구성되며 본 연구에서는 phase1의 0-505초 운행 구간에 대해서 시뮬레이션 하였다.

Fig. 2에는 GT-Suite®를 이용한 차량 주행 성능 컴퓨터 시뮬레이션 개념도를 나타내었다. 엔진 부분부하 데이터 세트, 차량 변속기 맵, 엔진의 부분 부하 성능 데이터와 자동변속기 시프트 맵 그 밖에 토크 컨버터의 K-factor와 토크비 데이터, 변속기 기어비를 포함하는 차량 제원을 GT-Suite® 프로그램의 입력데이터로 사용하여 차량 주행 성능을 시뮬레이션 하였다. Fig. 2에 나타난 차량 주행 성능 시뮬레이션을 위한 GT-Suite® 프로그램을 실행하면 차량이 FTP-75 phase 1 구간의 차속에 따라 주행했을 때, 엔진속도, 흡입공기량, 스로틀 밸브 개도량 등의 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다. 본연구에서는 이러한 시뮬레이션 결과를 사용하여 ECU에 입력되는 차량 센서 신호를 생성하였다.

Fig. 3은 스로틀 밸브 개도량(Fig. 3a), 엔진속도(Fig. 3b), 흡입 공기량(Fig. 3c)의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 스로틀 밸브 개도량에 연동하여 엔진 속도 및 흡입 공기량이 변화함을 알 수 있다. Lee⁽⁷⁾는 GT-Suite®에 의한 차량 주행시의 엔진속도, 흡입공기량, 스로틀 밸브 개도량 등의 시뮬레이션 결과와 새시 다이나모미터에서 직접 차량을 주행하여 얻어진 실험 결과들을 비교하는 연구를 수행하였으며 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 비교적 잘 일치함을 보여 주었다. 따라서 임의의 차량 주행 패턴을 GT-Suite®으로 컴퓨터 시뮬레이션하고 그 결과와 DAQ 시스템이 결합하면 차량 주행시의 각종 센서 신호를 생성하여 ECU에 입력할 수 있으며 실험실 수준에서 차량 주행시에 인젝터를 구동할 수 있다.

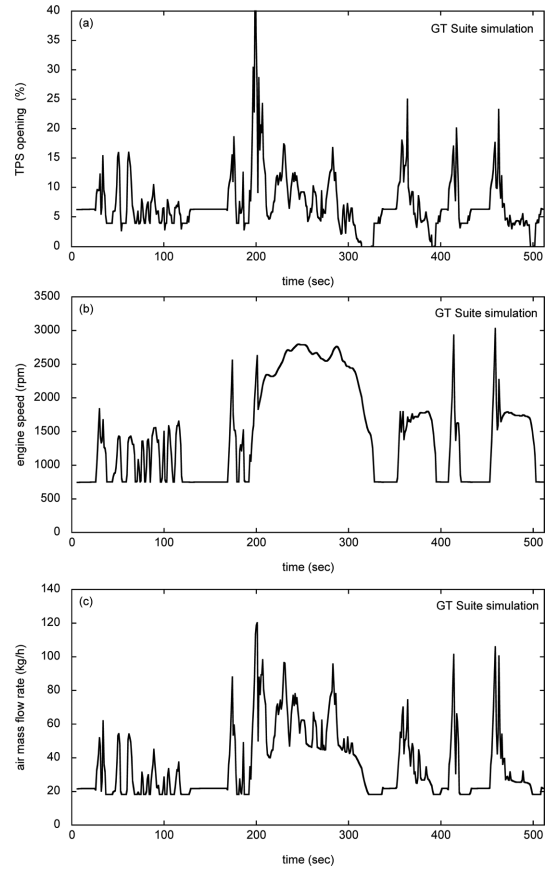


Fig. 3 GT-Suite simulation results of (a) TPS opening angle, (b) engine speed and (c) air mass flow rate⁽⁷⁾

3. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 GT-Suite®에 의한 차량 주행시 엔진속도, 흡입공기량, 스로틀 밸브 개도량 등의 시뮬레이션 데이터에 대응하는 각각의 차량 센서 신호를 만들어 ECU에 입력하였고 ECU로부터 출력되는 인젝터 구동 신호를 6개의 인젝터에 공급함으로써 FTP-75 주행 모드에서 각각의 인젝터로부터 연료가 분사되도록 하였다. 이 때 각각의 인젝터로부터 분사된 연료를 메스실린더에 수집하였으며 각각의 메스실린더의 무게를 로드셀로 측정하는 실험 장치를 구성하였다.

차량 주행 성능 컴퓨터 시뮬레이션으로 구한 흡입공기량 ($\dot{m}_{air\ flow}$), 차량 속도 (V_{ss}), 엔진 속도 (N), 스로틀 밸브 개도량 ($TPS_{open\ angle}$) 등의 데이터에 대응하는 각각의 센서 신호를 National Instrument사의 PXI 장치와 DAQ

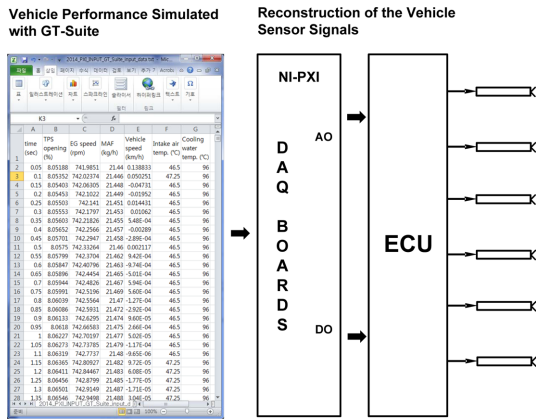


Fig. 4 Schematic diagram supplying various sensor signals which are generated by DAQ boards based on the GT-Suite® simulation data

Table 1 Summary of DAQ system used

PXI model	NI PXI-1042
DAQ board	NI PXI-7833R
	NI PXI-6220
Software	LabView®

보드를 사용하여 생성하였다. 주로 보드의 AO(analog output) 채널을 사용하여 센서 신호를 생성하였으며 Fig. 4에는 센서 신호 생성의 개념도를 나타내었다. Table 1에는 사용된 DAQ 보드들의 사양을 요약하였다. 소프트웨어는 LabView®를 사용하였다. GT-Suite® 획득한 시뮬레이션 데이터로 ECU에 입력할 각종 센서신호 생성 관계식 (1)~(3)을 구성하는 과정은 Oh와 Lee⁽⁶⁾가 사용한 방법과 동일하다.

차속 센서는 차량 변속기 하우징에 장착되어 있으며 차량회전이 1회전할 때마다 4주기의 펄스가 생성된다. GT-Suite®으로 구한 차속(V_{ss}) 시뮬레이션 데이터에 대응하여 DAQ 보드가 생성하여야 할 차속 센서 펄스수 ($Freq_{DAQ\ for\ vss}$)는 식 (1)로 계산할 수 있다.

$$Freq_{DAQ\ for\ vss} = \frac{V_{ss} \times \left(\frac{km}{h}\right) \times 1000000 \left(\frac{mm}{km}\right) \times 4}{\pi \times 647.5(mm) \times 3600 \left(\frac{sec}{h}\right)} \quad (1)$$

여기서 차량 타이어의 지름은 687.5 mm이다.

쓰로틀 포지션 센서 (TPS)의 전압(V_{TPS})과 각도 (throt-

tle opening angle) 관계는 선형적인 특성을 가진다. 쓰로틀 밸브의 위치가 아이들인 경우 센서 전압은 0.525V이고 쓰로틀 밸브가 완전히 열렸을 때 (WOT: wide open throttle)의 센서 전압은 4.4V이다. 쓰로틀 밸브 위치와 전압의 관계는 식 (2)로 나타낼 수 있으며 DAQ 보드로 전기 신호가 생성되도록 프로그램 하였다.

$$V_{TPS} = 0.043 \times TPS_{opening\ angle} + 0.525 \quad (2)$$

흡입 공기량 센서 신호는 실제 차량의 흡입공기량과 흡입공기량 센서 전압으로부터 관계식을 추정 (curve fitting) 하여 식 (3)을 얻었으며 쓰로틀 밸브 포지션 센서 신호와 유사하게 DAQ 보드의 아날로그 출력 단자로 전압 신호를 생성하였다.

$$V_{AFS} = 2.3895 \times \log(\dot{m}_{air\ flow}) - 2.023 \quad (3)$$

냉각수 온도와 흡입 공기 온도는 DAQ 보드의 아날로그 출력 단자 채널수 부족으로 인해 포텐시오 미터를 사용하여 일정온도 20.3°C에 대응하는 일정 전압으로 유지하였다.

인젝터 연료압은 3 kg/cm²의 일정압력을 유지하였다. 실제 차량에서 연료 분사는 포트인젝션하기 때문에 분사시 주위압력이 MAP(manifold absolute pressure)압 조건이나 본 연구에서는 연료를 메스실린더에 분사하기 때문에 실제 조건과는 약간 다를 수 있다. 본 연구에서는 인젝터로부터 연료 분사시 주위 조건은 대기압, 상온 (20°C)이며 경유를 사용하였기 때문에 연료 비산에 의한 손실은 거의 없다.

Fig. 4에 나타난 것과 같이 DAQ로 생성된 각종 센서 신호들을 LabView® 프로그램으로 동기화시켜 ECU에 입력하였다. 또한 ECU에 있는 시리얼 포트에 스캐너 (scanner) 장치를 연결함으로써 ECU에 입력된 각종 센서 신호들 (DAQ 생성 신호)을 모니터링 할 수 있었다. 이를 통해 각종 센서 신호들이 실제 입력된 센서 신호와 일치함을 확인하였다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이 각종 차량 주행시 각종 성능파라미터에 대응하는 센서 신호들을 ECU에 입력하여 인젝터를 구동하면 분사된 연료는 메스실린더로 수집된다. 실시간으로 각 기통별로 수집된 연료의 무게를 로드셀로 측정하는 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 메스실린더는 원형 디스크 위에 설치되고 원형 디스크는 로드셀 위에 설치되어 각각의 메스실린더에 수집된 연료무게를 측정할 수 있다.

본 연구에서 사용한 ECU는 6기통 엔진용으로 총 6개

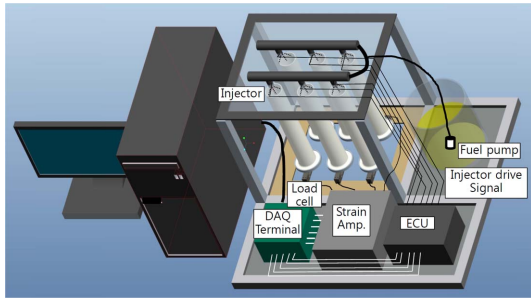


Fig. 5 Experimental setup for measuring injected fuel mass in driving the vehicle with FTP-75 mode

의 인젝터로부터 분사되는 누적 연료 분사량을 6개의 로드셀을 사용하여 측정하였다. 로드셀은 큐리텍사의 CBCL-1L로 무게 측정 범위는 0-1 kg 이다. 로드셀 신호를 증폭하기 위해 신호 증폭기(strain amplifier)를 사용하였는데 Measurements group사의 signal conditioning amplifier 2300 시스템을 사용하였다. 로드셀 신호는 정밀 분동을 사용하여 캘리브레이션하였다. 한편 연료 공급은 연료 펌프를 사용하여 일정한 연료 레일압을 유지함으로써 가능하다. 실험의 안전을 고려하여 연료는 경유를 사용하였다. 컴퓨터에서 차량 주행시의 각종 센서 신호가 DAQ 터미널을 통해 ECU로 공급되며 ECU로부터는 6개의 인젝터를 구동하게 된다. 로드셀 신호는 신호 증폭기를 거쳐 DAQ를 통해 컴퓨터로 입력된다.

4. 결과 및 검토

ECU에 FTP-75 주행 모드에 대응하는 차량 센서 신호들을 공급하였을 때 ECU는 차량 주행 상태와 동일하게 6개의 인젝터를 구동하였다. ECU에 공급되는 동기된 차량 센서 신호들은 0.05초 간격으로 변화한다.

FTP-75 차량 주행 모드 중 phase 1 구간인 0-512초 구간에서 측정 시스템을 가동하여 메스실린더에 수집된 분사 연료의 누적 무게를 실시간으로 측정하고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 연료 무게 측정 간격은 0.05초이다. 0-200 초 주행 구간에서는 분사 연료의 누적 무게가 선형적으로 증가하는 경향이 나타났으며 200-300초 주행 구간에서도 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈으나 기울기가 0-200초 구간보다 증가하였다. 0-300 주행 구간에서 누적 연료 분사량 기울기가 2단계로 변하는 특성을 보이는 것은 Fig. 3(c)에 나타난 흡입 공기량 변

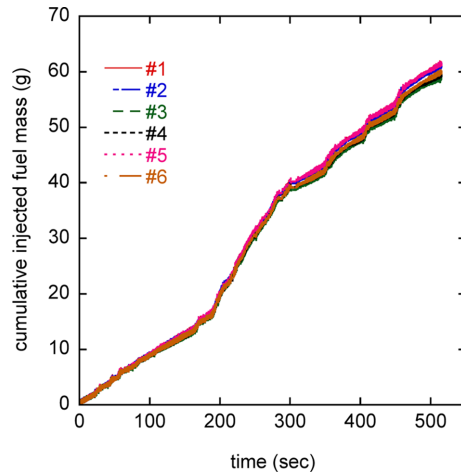


Fig. 6 Cumulative injected fuel mass according to elapsed time after start to drive the vehicle

화와 관련이 있다. ECU가 출력하는 인젝터 구동 기본 펄스 폭(base pulse width)은 흡입공기량을 기초하여 결정되기 때문이다. 0-200초 구간에서는 흡입 공기량의 변화가 200-300초 구간에 비교해 상대적으로 크지 않다. 흡입 공기량의 크기도 200-300초 구간에서 0-200초 구간에 비해 거의 2배에 가깝다. 300-512초 주행 구간에서는 흡입공기량 곡선이 3개의 피크를 보이고 있으며 이들 피크에 연동하여 누적 연료 분사량이 3개의 계단(step) 형태로 증가하는 경향을 보이고 있다.

누적 연료 분사량을 측정하기 위해서 전체 실험 종료 후 캠코더에 촬영된 메스실린더 연료 액면 이미지에서 액면레벨 높이를 측정하는 방법을 사용한 Oh와 Lee⁽⁶⁾의 결과와 비교하여 본 연구에서 사용한 로드셀에 의한 실시간 누적 연료 분사량 측정 방법은 측정 시간 간격이 현저히 빠르다. 로드셀에 의한 누적 연료 분사량 측정은 0.05초 간격으로 실시간이 이루어진 반면에 Oh와 Lee⁽⁶⁾의 방법은 5초 간격의 이미지 분석을 통하여 측정이 이루어 졌다. 따라서 로드셀에 의한 누적 연료 분사량 측정 방법이 신속하며 시간 변화에 따른 누적 연료 분사량의 실시간 측정이 가능하였다.

연료 분사량 측정 외에 인젝터를 평가하는 또 하나의 중요한 평가 요소는 인젝터 간의 분사량 차이이다. 인젝터 간의 분사량이 최소화 되어야 엔진 실린더 간의 연료 분사량이 차이가 최소화되고 엔진 실린더 간의 출력 크기의 차이를 최소화 할 수 있다. Fig. 6의 결과를 보면 짧은 시간동안의 차속 변화가 크지 않은 0-300초 주행

구간에서는 6개 인젝터 간의 누적 연료 분사량 차이는 거의 나타나지 않았으며 300-512초 주행 구간에서는 차속의 변동이 커서 6개 인젝터 간 누적 연료 분사량의 차이가 나타났다. 3개의 인젝터 그룹은 다른 3개 인젝터 그룹과 비교해 누적 연료분사량이 약간 크게 나타났음을 알 수 있다. Oh와 Lee⁽⁶⁾의 방법에 의한 인젝터간 분사량 편차의 결과와 비교하면 로드셀에 의한 결과보다 상대적으로 크게 측정되었으며 인젝터 간 편차의 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이러한 결과는 로드셀에 의한 인젝터 누적 연료 분사량 측정의 정확성이 향상되었음을 의미하고 편차의 경향을 확실히 판별할 수 있어서 6개의 인젝터 중 문제가 있는 인젝터를 쉽게 찾아낼 수 있게 되었다.

5. 결 론

엔진의 부분 부하 성능 데이터, 자동변속기 시프트 맵, 차량 제원 등을 사용하여 차량이 FTP-75 주행 모드로 운전하는 조건에서의 쓰로틀 밸브 열림 각도, 엔진 흡입 공기량, 엔진 속도 등을 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 이들 차량 주행시의 성능 파라미터에 대응하는 센서 신호를 DAQ 시스템으로 생성하여 ECU 입력하여 인젝터를 구동하였으며 분사된 연료의 무게를 로드셀로 0.05초 간격으로 실시간 측정할 수 있는 장치를 구현하였다. 차량 주행 모드 (FTP-75)로 주행하는 조건에서 0.05초 간격으로 누적 연료 분사량을 측정해냄으로써 차량 주행 상태에서 연료 분사량을 실시간으로 측정이 가능한 방법을 제시하였다. 차량 주행 상태에서 인젝터를 구동하였을 때 엔진에 장착된 인젝터 간의 연료 분사량의 편차의 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다

참고문헌

- (1) Bosch, "Diesel-Engine Management", Bentley Publishers, 2007, pp. 450-459.
- (2) A. Caraceni, F. D. Cristofaro, F. Ferrara, S. Scala and O. Philipp, Benefits of using a real-time engine model during engine ECU development, SAE paper No. 2003-01-1049, 2003.
- (3) J. Gehring, and H. Schütte. A Hardware-in-the-loop test bench for the validation of complex ECU Networks, SAE Paper No. 2002-01-0801, 2002.
- (4) G. Hunt, A. Truscott, and A. Noble, An in-cycle hardware in the loop (HIL) simulator for future engine control strategy development, SAE paper No. 2004-01-0418, 2004.
- (5) G. L. Tsai, Y. Y. Wu, B. C. Chen, and H. F. Chuang, Rapid prototyping ECU of a SI engine with fuel injection and ignition control, SAE paper No. 2004-01-0419, 2004.
- (6) D. S. Oh and C. H. Lee, A Study on the Fuel Injection System Simulating a Vehicle Driven with FTP-75 Mode for Cold Transition Period, Journal of ILASS-Korea, Vol. 16, No. 2, pp. 1-16, 2011.
- (7) Lee, A computer simulation of a driving vehicle performance using an set of engine part load performance and a transmission shift map, Journal of ILASS-Korea, Vol. 19, No. 2, pp. 64-68, 2014.