

ECU HILS를 이용한 실차 주행 조건에서의 인젝터 평가시스템

이충훈*

(논문접수일 2010. 07. 06, 심사완료일 2010. 10. 26)

Evaluating System for Fuel Injector with the Condition of a Driving Vehicle Mode Using an ECU HILS

Choonghoon Lee*

Abstract

A fuel injection system using an ECU HILS as an alternate to a vehicle test for the fuel injectors was developed. The throttle position, vehicle speed, engine speed, crank position, cam position, intake air flow, and several other sensor signals that are supplied to the ECU were measured and recorded as a data file for a vehicle driven in the FTP-75 mode in a chassis dynamometer. Electric signals that are equivalent to the sensor signals from the vehicle are reconstructed from the recorded data file using data acquisition boards, microprocessors, and computers. All sensor signals are supplied to the ECU with synchronized timing using a computer program. The findings show that the cost and time of vehicle experiments can be reduced using the ECU HILS system. Moreover, the repeatability of the generation of sensor signals can enhance the accuracy of a range of experiment related to vehicle testing. An ECU scanner that scans the sensor signals that are input to the ECU through a serial port was used to assess the accuracy of the reconstructed signals. The scanning results show good agreement with the reconstructed input signals. Injectors were connected to the ECU HILS system and were driven by the system to measure the quantity of injected fuel.

Key Words : Fuel injector(연료 인젝터), Signal reconstruction(신호 재구성), Hardware in the loop simulation(HILS), ECU(전자제어 유닛), FTP-75(연방시험절차-75)

* 서울과학기술대학교 자동차공학과 (chlee5@snut.ac.kr)
주소: 서울시 노원구 공릉길 138

1. 서론

가솔린 엔진 혼합기의 공연비는 엔진으로 공급되는 흡입 공기량을 측정하여 운전 조건의 최적값으로 제어될 수 있도록 분사할 연료량을 ECU에서 계산한 후 인젝터가 정확한 양의 연료를 분사함으로써 제어 된다^(1,2). 가솔린 엔진의 공연비는 대부분의 운전 영역에서 공연비가 이론 당량비로 제어되는데 이는 엔진 배기가스의 주요 배출물인 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO)를 삼원 촉매 변환기에서 동시에 제거하기 위함이다⁽³⁾. 공연비 제어⁽⁴⁾를 위해서 인젝터 연료 분사량이 차량 주행 조건에 따라서 매 사이클 마다 변화된다고 볼 수 있다.

인젝터의 분사 특성을 평가는 단발 분사시의 과도 분사량을 측정하는 방법과 반복 분사시 1회 평균 연료분사량을 측정하는 방법이 있다. 단발 분사시 과도 연료 분사율 측정 방법은 Bosch 방법⁽⁵⁾, Zeuch 방법⁽⁶⁾이 주로 사용되며 최근에는 연료가 급속성 센서에 충돌할 때 생기는 전하 대전량을 평가하여 과도 분사량을 측정하는 방법이 제시된 바가 있다⁽⁷⁾.

반복 분사시 인젝터의 연료 분사 특성을 평가하는 방법은 일정한 듀티비의 함수 발생기 신호를 사용하여 인젝터를 구동하고 일정시간 동안 분사되는 연료량을 메스실린더로 측정 후 그 량을 총 분사 회수로 나누어서 1회 평균 분사량을 측정하는 것이다⁽⁸⁾. 일정수의 샘플 인젝터들의 평균 분사량을 측정하여 인젝터 간의 불균율을 평가할 때 자동차 회사에서 가장 많이 사용되는 방법이다. 그러나 차량의 운전 조건은 과도 상태가 대부분이어서 정상 상태에서 인젝터의 평균 분사량을 측정하는 방법으로는 실차 조건에서의 인젝터의 누적 분사량 특성 및 인젝터의 불균율을 평가하기 어려운 문제가 있다. 차량 운전 조건에서 인젝터의 연료 분사 특성

을 평가할 수 있는 기술이 HIL 기술이다. 기존의 자동차 관련 HIL 기술은 주로 ECU의 실차 장착에 앞서 ECU 성능 테스트를 하는데 개발되었다⁽⁹⁻¹²⁾. 차량 운전 조건에서의 인젝터 연료 분사의 과도 특성과 관련한 ECU HIL과 관련된 연구는 매우 부족한 형편이다. 이에 본 연구에서는 전술한 문제점을 보완하기 위해 실제 차량 운전 조건과 동일한 조건에서 인젝터를 구동할 수 있는 ECU HILS(hardware in the loop simulation)를 연구하였다. 또한 실차 주행 모드로 FTP-75⁽¹³⁾를 사용하였으며 새시디어나모미터에서 차량을 FTP-75 모드로 운전하여 ECU로 입력되는 크랭크각도 센서(CPS), 상사점(TDC) 센서, 차속 센서(Vss), 흡입공기량 센서, 냉각수 온도 센서, 쓰로틀 위치(TPS) 센서 등의 신호를 DAQ 시스템으로 수집하였다. 수집된 각종 센서 신호를 DAQ 보드, 마이크로프로세서, 포텐시오미터, 그리고 컴퓨터 등을 사용하여 실험실에서 생성하였고 그 신호를 다시 ECU로 입력함으로써 실차 운전하는 조건과 동일하게 인젝터가 연료를 분사하도록 하는 시스템을 연구하였다.

2. ECU HILS 시스템 구성

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 ECU HILS 장치 구성의 개략도를 나타내었다. 장치는 DAQ-보드와 마이크로프로세서로 구성된 신호 생성부, 신호를 입력 받는 ECU, ECU의 출력 신호를 확인할 수 있는 ECU 스캐너로 구성되어 있다. DAQ 보드의 구동 프로그램은 LabVIEW를 사용하였고 마이크로

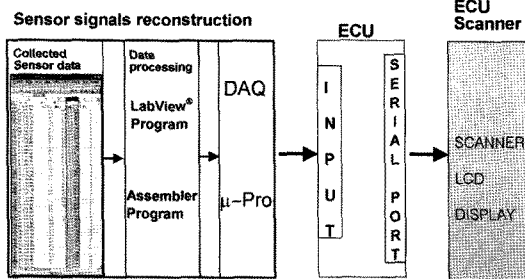


Fig. 1 A schematic diagram of fuel injection system using an ECU HILS simulator

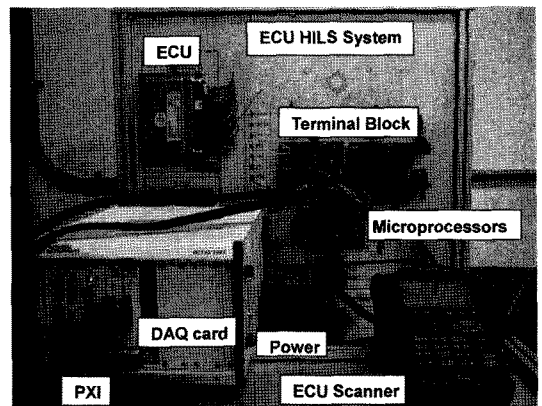


Fig. 2 Photograph of the developed ECU HILS for driving fuel injectors with the real vehicle driven condition

프로세서는 어셈블리로 프로그램 하였다. Fig. 2는 실차 조건에서의 인젝터 분사 특성을 평가하기 위한 ECU HILS 장치 구성을 나타내는 사진이다.

ECU로 입력되는 센서 신호, ECU로부터 출력되는 신호, 그리고 ECU 스캐너 연결용 통신 포트 개념도를 Fig. 3에 나타내었다. 흡입 공기량 및 쓰로틀 위치 센서 신호는 DAQ 보드의 아날로그 출력(analog output) 채널로부터 생성되도록 프로그램 하였다. 흡입공기 온도 및 냉각수 온도센서 신호는 포텐시오미터를 이용하여 생성하였다. 크랭크 각도, 차

속, 상사점 센서 등과 같은 주파수형(frequency type) 신호는 DAQ 보드 및 마이크로프로세서의 카운터 및 타이머 채널을 이용하여 생성하였다. Table 1에 ECU 입력 신호 생성을 위한 DAQ 보드 및 마이크로프로세서 사양을 요약하였다. DAQ 보드 및 마이크로프로세에 의해 생성된 신호를 ECU로 입력하고 그 신호가 정확하게 입력되었는지를 확인하기 위해 ECU 스캐너를 시리얼 포트에 연결한 후 신호를 모니터링 하였다.

3. ECU 입력 센서 신호 생성

ECU가 실패(fail)없이 작동하기 위해서는 ECU로 반드시 입력해야 하는 센서 신호들 있다. 그들은 크랭크각도센서, 상사점 센서, 차속 센서, 쓰로틀 위치 센서, 흡입공기량 센서, 냉각수 온도 센서 신호들이다. 따라서 이들 센서 신호들을 DAQ 보드 및 마이크로프로세서 단자로부터 생성되어 나오도록 프로그램 하였다.

차량에서 ECU로 입력되는 크랭크각도 센서 신호의 한 예를 Fig. 4에 나타내었다. 플라이휠 하우징 외주면에 장착된 링 기어가 회전하면 센서와 링기어 사이의 자속변화에 의해 이빨수 만큼의 사각파가 생성된다. 일반적으로 피스톤 상사점 마킹을 위해 링기어 하나를 제거(missing tooth) 한다. 플라이 휠이 1회전하면 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 미싱투스 1주기와 58주기의 사각파가 생성된다. 본 연구에서 사용한 차량의 상사점 신호는 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 엔진 2회전당 1주기의 사각파 신호가 생성되도록 하였다.

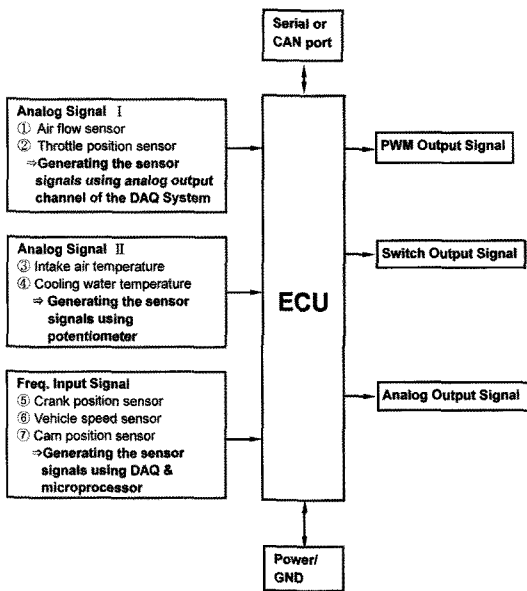


Fig. 3 A schematic diagram of the signal I/O for the ECU used in this experiment

Table 1 Specification of DAQ systems and microprocessor used in this experiment

Simulator	PXI Model	NI PXI-1042
	DAQ Model	NI PXI-6251 (Data Output)
		NI PXI-6220 (Data Input)
	Terminal Block	TBX-68
	Software	National Instruments LabVIEW 7.1
	Microprocessor	PIC16F84

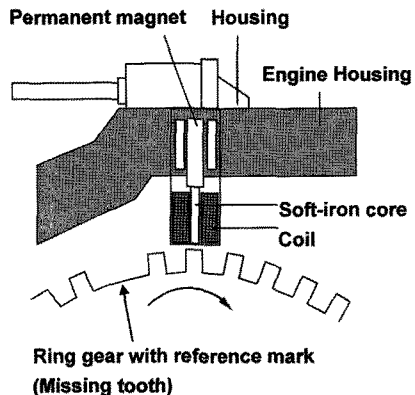


Fig. 4 An inductive-type crank position sensor and a ring gear with a reference mark (1)

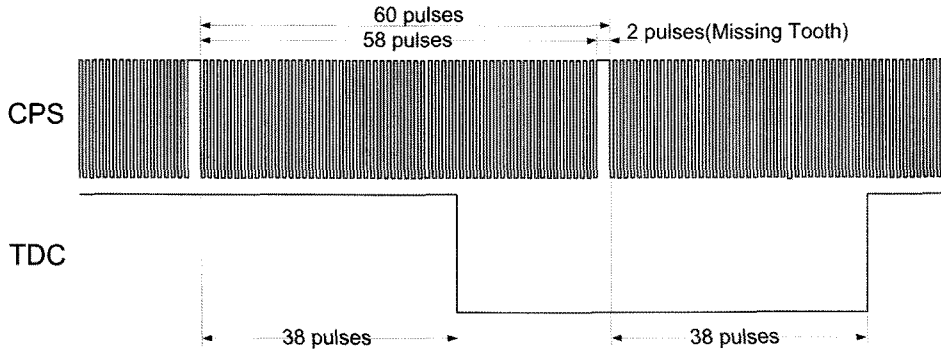


Fig. 5 Pulses generated with CPS and TDC sensors

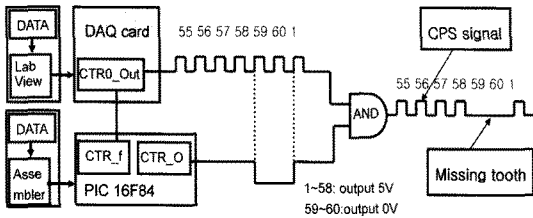


Fig. 6 Conceptual diagram of the reconstruction of the CPS and TDC signals including the reference mark

Fig. 5에 나타난 것과 같은 크랭크각도 센서 신호와 같은 패턴으로 차량 시운전을 하지 않고도 실험실에서 컴퓨터, DAQ 보드와 마이크로프로세서 등의 하드웨어와 프로그램을 사용하여 똑 같은 크랭크각도 및 상사점 센서 신호를 생성하는 개념도 및 하드웨어 구성을 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 것과 같은 크랭크각도 센서 신호를 생성하기 위해서 Fig. 7에 나타난 것과 같이 DAQ 보드의 카운터/타이머 1개 채널과 마이크로프로세서(16F84)의 카운터/타이머1개를 사용하였다. Fig. 5의 CTR0_Out 신호는 이미 측정된 데이터 파일 중 엔진 스피드에 대응하는 크랭크각도 주파수를 계산하여 생성하였다. PIC16F84의 카운터는 CTR0_Out 주파수를 58개 카운트할 때마다 2개 펄스폭 만큼 0V가 되도록 전원을 트랜지스터(TIP41C)를 이용하여 스위칭 하였다. 이와 같이 생성된 CTR0_Out 와 PIC16F84의 생성 신호를 AND 게이트를 통과시키면 상사점 마크를 포함하는 크랭크각도 센서 신호를 생성할 수 있다.

차량의 차속센서(V_{SS})는 변속기 하우징에 장착되어 있으며 바퀴가 1회전 할 때마다 4개의 펄스를 생성한다. ECU HILS에 입력할 차속 센서 신호는 이미 새시다이노미터 설치실험으로부터 수집된 차속 데이터 파일로부터 차속 데이터에 대응하는 펄스 수를 식(1)에 나타난 것과 같이 계산하여 DAQ 보드의 카운터/타이머 채널로부터 차속 신호를 생성하도록 프로그램 하였다.

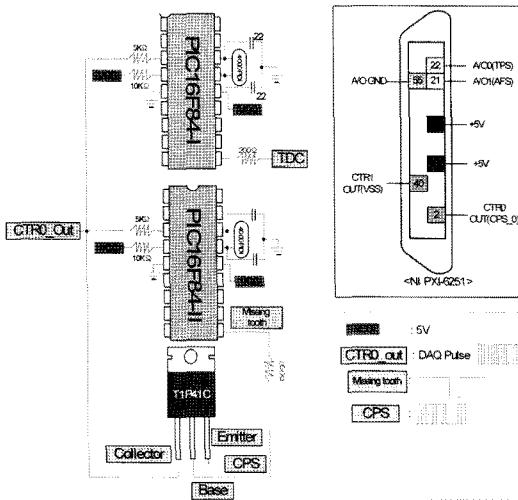


Fig. 7 Hardware setup for the reconstruction of the CPS and TDC signals including the reference mark

$$VSS_Frequency_{DAQ} = \frac{V_{SS} \times 1000000 \times 4}{\pi \times 687.5 \times 3600} \quad (1)$$

쓰로틀 위치 센서 신호 생성은 본 연구에서 사용한 차량의

쓰로틀 위치 센서의 전압과 각도 관계식을 사용하였다. 쓰로틀의 아이들 위치 및 전개 조건(WOT: wide open throttle) 각각에 대응하는 전압 값은 0.525V와 4.475V이다. 측정된 데이터 파일의 쓰로틀 각도에 대응하는 전압을 식(2)의 관계식으로 계산하고 전압신호를 DAQ 보드의 아날로그 출력 단자로 생성되도록 프로그램 하였다.

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

흡입 공기량 센서 신호는 실제 차량의 흡입공기량과 센서 전압의 관계식(3)으로부터 흡입공기량 센서 전압값을 계산하고 DAQ 보드의 아날로그 출력 단자에서 출력되도록 하였다.

$$V_{AFS} = \log(\dot{m}_{air_flow}) - 2.023 \quad (3)$$

냉각수 온도와 흡입공기 온도는 포텐시오미터를 이용하여 일정 온도 값에 대응하는 전압 신호를 공급하였다.

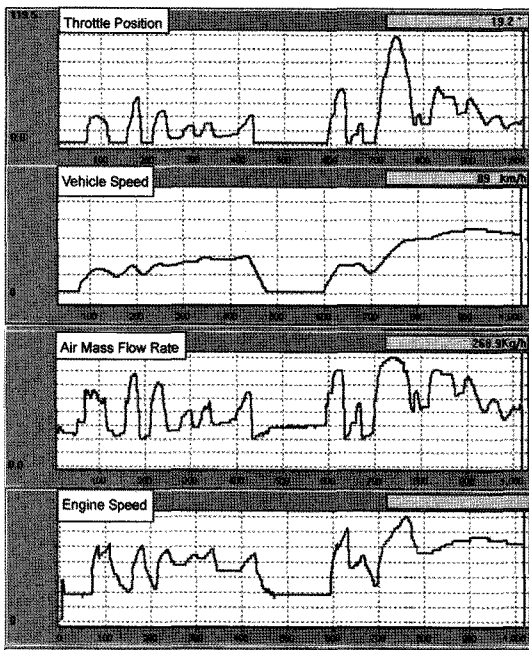


Fig. 8 Captured screen displays of the TPS, vehicle speed sensor, air flow sensor, and engine speed signal from the ECU scanner

4. 동기화된 센서 신호 ECU 입력 결과 확인

컴퓨터, 데이터파일, DAQ 보드, 마이크로프로세서 등을 이용하여 차량이 FTP-75 모드로 주행할 때의 크랭크각도 센서, 상사점 센서, 차속센서, 공기량 센서, 냉각수 온도, 흡입공기 온도 센서들의 신호를 생성하여 ECU로 동기화 시켜 입력하였다. 동시에 ECU의 직렬포트와 신호 모니터링용 ECU 스캐너를 연결하여 입력된 센서 신호들이 정상적으로 인식되었는지를 확인하였다. Fig. 8은 ECU 스캐너로 읽어낸 쓰로틀 위치 센서, 차속센서, 흡입공기량 센서, 엔진스피드 신호를 나타낸 것이다. 신호들이 차속 주행 시의 센서 신호 패턴과 일치한다는 것을 확인할 수 있었다.

차량이 FTP-75 모드로 주행하는 조건에서 컴퓨터, 데이터파일, DAQ 보드 등을 이용하여 입력된 차속 센서 신호와 ECU 스캐너로 획득한 차속 신호를 비교하여 나타낸 것이 Fig. 9이다. Fig. 9a는 컴퓨터, 데이터파일, DAQ 보드 등을 사용하여 생성된 신호이고 Fig. 9b는 ECU 스캐너로 확인한 결과이다. 거의 일치됨을 알 수 있다.

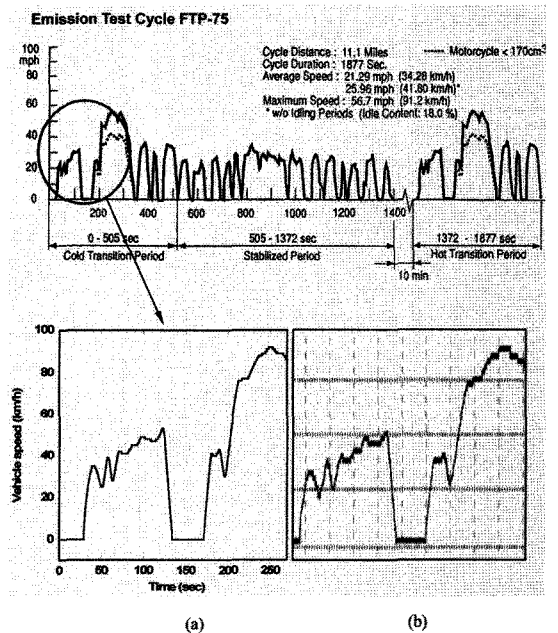


Fig. 9 Comparison of (a) the reconstructed vehicle speed signal from the experimental data and (b) the scanned vehicle speed signal from the ECU scanner

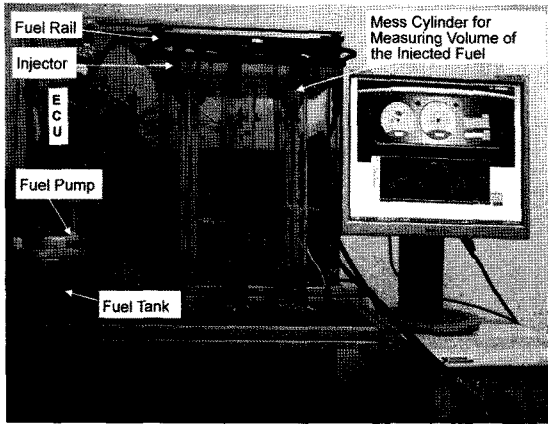


Fig. 10 Photograph of the injector testing rig using the ECU HILS system

5. ECU HILS를 이용한 차량 주행 조건에서의 인젝터 평가 시험

ECU HILS 시스템을 차량 주행 조건에서의 인젝터 연료 분사 패턴을 평가하는데 적용하였다. 가솔린 차량에서 사용되는 것과 동일한 연료 공급 시스템, 6개의 인젝터, 두 개의 연료 레일을 사용하여 인젝터 평가시스템을 제작하였다. Fig. 10은 ECU HILS를 이용한 인젝터 평가 장치를 나타낸 것이다. 차량 주행 모드는 Fig. 9에 나타난 것과 같이 FTP-75 주행 모드 중 저온과도 구간인 차량 시동 후 505초 까지 ECU HILS 인젝터 평가 시스템을 운전하였다. FTP-75 차량 주행 모드 중 인젝터에서 분사된 연료는 메스 실린더로 30초 간격으로 사진을 찍어 누적 연료 분사량을 기록하였다. Fig. 11은 ECU HILS 작동이 시작된 후 시간 변화에 따른 메스실린더에 수집된 누적 연료 분사량의 변화를 나타낸 것이다. 그래프의 사각형 안에 나타난 심볼(symbol)과 숫자는 각각 실험 데이터와 실린더 번호를 의미한다. ECU HILS 구동에 의한 차량 주행 조건에 의한 인젝터 연료 분사량의 정확도를 평가하기 위해, Fig. 11의 최종 누적 연료 분사량과 새시다이노미터에서 차량 주행시 측정된 흡입 공기량에 대응한 이론 당량비를 만족하는 누적 연료량을 계산하였다. ECU HILS에 의한 연료 누적 분사량과 흡입공기량에 의한 계산된 연료 누적 분사량 간의 차이 값은 5% 정도로 비교적 장치가 정확하게 작동하였음을 확인하였다.

Fig. 11의 6개 인젝터 각각의 누적 연료 분사량을 보면

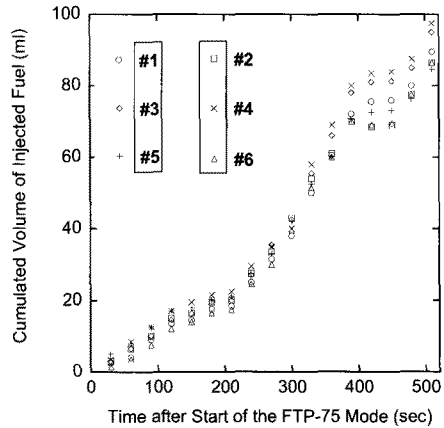


Fig. 11 The injected fuel quantity according to the elapsed time after the driving of the vehicle in the FTP-75 mode had commenced

인젝터간 변동(injector to injector variation)이 있음을 알 수 있다. 연료 레일의 중간에 있는 인젝터 #3과 #4 연료 분사량이 다른 인젝터와 비교해 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 실제 인젝터 간의 연료 분사량 변동을 실차 주행 조건에서 찾아 낼 수 있다는 것이 ECU HILS에 의한 연료 인젝터 구동 시스템의 주목할 만한 점이다. 또한 실제 차량 운전을 하지 않고도 특정 주행 모드에서의 여러 파라미터 변동에 의한 연료 분사량 패턴을 평가할 때 본 시스템을 적용할 수 있다는 것을 보여 주었다.

6. 결론

차량 주행 조건에서 인젝터의 연료 분사 패턴을 측정할 수 있는 ECU HILS를 개발하였다. 실험실에서 실제 차량이 구동하는 것과 동일한 조건에서 ECU 구동을 하기 위해 ECU에 필수적으로 입력하여야 하는 크랭크각도 센서, 상사 점 센서, 쓰로틀 위치 센서, 흡입공기량 센서, 차속 센서, 냉각수온도 센서 그리고 흡입공기량 온도 센서 등의 동기화된 신호를 컴퓨터, 새시다이노미터에서 수집된 센서 데이터 파일, DAQ 보드, 마이크로프로세 등을 사용하여 성공적으로 생성하였다. FTP-75 주행 모드로 차량을 주행하였을 때의 6기 통 차량 엔진의 인젝터로부터 분사되는 연료량을 측정하였고 그 결과 ECU HILS에 의한 차량 주행 조건에서의 인젝터 누적 분사량 측정이 5%의 정확도로 이루어질 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Robert Bosch GmbH, 2006, *Gasoline Engine Management, 3rd Edition*, John Wiley & Sons Ltd, USA, pp. 68-83.
- (2) Robert Bosch GmbH, 2007, *Automotive Handbook 7th Edition*, John Wiley & Sons Ltd., USA, pp. 654-671.
- (3) Heywood, J. B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGRAW-HILL Book Co., USA, pp. 649-657.
- (4) Lee, T. Y. and Sim, H. S., 1999, "Air-Fuel Ratio Control Characteristics of an LPG Engine at Idle," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 8, No. 5, pp. 30-35.
- (5) Bosch, W., 1966, "The Fuel Rate Indicator: A New Measuring Instrument for Display of the Characteristics of Individual Injection," *SAE Paper*, No. 660749.
- (6) Zeuch, W., 1961, "Neue Verfahren zur Messung des Einspritzgesetzes und Einspritz-Regelmässigkeit von Diesel-Einspritz-pumpen," *MZT*, Jahr. 22 Heft 9.
- (7) Marčič, M., 1990, "A New Method for Measuring Fuel-Injection Rate," *SAE paper*, No. 980804.
- (8) Robert Bosch GmbH, 2005, *Diesel Engine Management*, 4th Edition, Bentley Publishers Co. Ltd, USA, pp.450-459.
- (9) Caraceni, A., Cristofaro, F. D., Ferrara, F., Scala, S., and Philipp, O., 2003, "Benefits of using a real-time engine model during engine ECU development," *SAE paper*, No. 2003-01-1049.
- (10) Gehring, J. and Schütte, H., 2002, "A Hardware-in-the-loop test bench for the validation of complex ECU Networks," *SAE Paper*, No. 2002-01-0801.
- (11) Hunt, G., Truscott, A., and Noble A., 2004, "An in-cycle hardware in the loop (HIL) simulator for future engine control strategy development," *SAE paper* No. 2004-01-0418.
- (12) Tsai, G. L., Wu, Y. Y., Chen, B. C., and Chuang, H. F., 2004, "Rapid prototyping ECU of a SI engine with fuel injection and ignition control," *SAE paper* No. 2004-01-0419.
- (13) Robert Bosch GmbH, 2007, *Automotive Handbook*, 7th Edition, John Wiley & Sons Ltd., USA, pp. 582-287.