



LPG 자동차에서 전자제어엔진용 센서의 고장사례에 관한 연구

김청균 · 이일권

홍익대학교 트리보메카, 에너지기술 연구센터, *대림대학 자동차공학과
(2010년 5월 13일 접수, 2010년 8월 30일 수정, 2010년 8월 30일 채택)

Failure Case Studies of Sensors for Electronic Controlled Engine in LPG Vehicle

Chung Kyun Kim · Il Kwon Lee

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology, Hongik University

**Department of Automotive Engineering, Daelim University College*

(Received 13. May. 2010, Revised 30. August. 2010, Accepted 30. August. 2010)

요 약

본 논문은 LPG 엔진의 전자제어센서에 대한 고장사례를 분석하고 고찰한 연구이다. LP가스의 연료 분사량을 컨트롤 하는 크랭크 각도센서의 기능이상은 불규칙하고 불균일한 파형형태로 나타나고 있다. 크랭크 각도센서의 노이즈에 관련된 파형은 톱니형의 불규칙한 피크형상으로 나타났고, 2.46V 정도의 노이즈 레벨이 간헐적으로 발생하고 있다. 1번 TDC센서의 내부불량으로 인해 발생한 고장사례는 엔진의 출력을 떨어뜨리고 시동을 간헐적으로 꺼지게 하는 문제점을 초래한다. 산소센서의 성능이상은 센서의 배선에서 연결이 단절되었기 때문에 발생한 것으로 차량의 울컥거리는 현상과 엔진의 부조화 현상이 나타나고 있다. 에어 크리너를 이종품으로 사용한 경우는 신기가 정상적으로 공급되지 못했기 때문에 차량의 가속불량과 엔진의 부조화 현상이 발생하는 원인으로 작용하고 있었다.

Abstract - The purpose of this paper analyzes and investigates the failure case studies of electronic control sensors for a LP gas engine. The malfunction of crank angle sensor, which controls a fuel injection volume of LP gas, displays an irregular and non-uniform pulse wave form. The pulse form, which is related to the noise of the crank angle sensor, displays at the rectangular peak with a saw-toothed shape and is intermittently generated with a level of 2.46V noise signal. The malfunction of No. 1 TDC sensor in which is caused from the internal disorder affects to the reduction of engine power and engine stop suddenly. If the malfunction of oxygen sensor is occurred due to a wiring problem of a sensor connector, the LP gas vehicle may produce a shaking and disharmony of an engine because of no signal supply from the oxygen sensor. The air cleaner replica produces the clogging of continuous supply of fresh air. This may cause the retardation of vehicle acceleration and engine disharmony intermittently.

Key words : Sensor, Crank angle sensor, No.1 TDC sensor, O₂ sensor, Air cleaner

1. 서 론

자동차는 사람이나 물건을 이동시키는데 편리한 운반기계로 도로의 포장을 확장하면서 접근성이 나날이 좋아지고 있다. 자동차는 기계식 자동차에서

자동식 자동차로 발전하였고, 최근에는 전자제어 및 반도체 기술, 특히 IT 기술의 급격한 진화로 안전하고 편리하면서 안락감을 만족하는 전자제어 자동차로 변신하였다.

연료를 태우는 과정에 발생하는 열에너지를 기계적인 동력으로 전환하는 장치가 엔진인데, 엔진에 사용하는 연료에 따라 가솔린 엔진, 디젤 엔진, LPG

*주저자:ckkim_hongik@nate.com

엔진, CNG 엔진 등으로 분류할 수 있다[1].

화석연료를 사용하는 자동차에서 가장 중요하게 다루는 것은 출력과 연비, 특히 공해물질 배출량을 어느 차량이 최저로 유지하느냐가 최대의 관심사항이다. 따라서 최근에 많은 주목을 받는 것은 LPG와 CNG 같은 청정연료를 사용한 차량이지만, 출력을 높이면서 배출가스를 더 줄이기 위해 전자제어 시스템을 도입하고 있다. 따라서 현재의 차량은 기계식 연료장치를 탑재한 엔진이 아니고 LPI, LPLi, CRDI와 같은 전자제어 시스템을 탑재하여 효율적으로 제어하는 전자제어 엔진이라 할 수 있다[2]. 결국은 자동차의 편의성, 안전성, 효율성, 연비와 배기가스를 제어하는데 필요한 핵심기술을 전자제어 기술에 의존하고 있다.

기존의 기계식 엔진은 전자제어 시스템을 도입하면서 엔진의 출력을 높이고, 연비를 향상되는 계기를 제공하였다. 저렴한 8비트 컴퓨터에 의한 제어기술의 지속적인 발달은 엔진에 다양한 센서의 적용으로 출력을 높이면서 배출가스를 줄이는 기술로 나타났다[2-4].

전자제어 엔진기술이 발전하면서 센서에 대한 설계는 전자제어의 핵심으로 ECU 시스템의 네트워크에 중요한 역할을 담당한다[5]. 그러나, 전자제어 요소의 전기적인 신호불량, 센서의 배선에서 접촉불량, ECU 등에서 고장이 발생하면 LPG 차량을 포함한 모든 자동차는 전혀 작동하지 못하는 문제점이 있다[6].

따라서, 본 논문에서는 LPG 자동차 엔진의 전자제어 시스템을 제어하는 센서에서 발생할 수 있는 주요 고장사례를 조사하고, 이를 분석한 연구를 수행하고자 한다.

II. 전자제어 엔진시스템

2.1 전자제어 엔진개요

전자제어유닛(Electronic Control Unit : ECU)은 엔진을 포함한 새시에 설치된 여러 센서로부터 신호를 받아 최적조건으로 처리한 결과를 믹서에 부착되어 있는 솔레노이드 밸브와 연료 차단 밸브를 작동시켜 공연비를 조절함으로써 출력과 연비를 높이고, 배출가스를 낮추는 역할을 한다[7].

또한, 엔진의 부하변동에 따라 과도한 연료가 소모되지 않도록 최적의 연비를 설정하여 성능을 높이면서 오염물질 발생을 최소로 낮추는데 큰 기여를 하고 있다.

전자제어 시스템은 엔진의 핵심기술로 자리를 잡았고, LPG 차량에 탑재된 대표적인 전자제어 엔

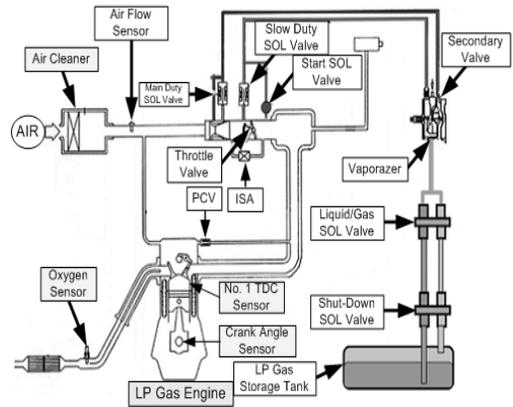


Fig. 1. Schematic diagram of LP gas engine control system.

진구동 시스템을 Fig. 1에서 보여주고 있다.

2.2 전자제어 시스템의 구성요소

엔진에서 전자제어 연료 분사장치는 회전속도, 흡입 공기량, 냉각수 온도, 흡입공기의 온도 등에 관련된 데이터를 각종 센서에서 측정하여 ECU로 보내지고, 이들 데이터는 연산되어 엔진의 운전조건에 가장 적합한 혼합기를 공급하는 역할을 한다. 이들 엔진시스템을 효과적으로 제어하기 위해 센서, ECU, 액추에이터의 3가지 구성요소가 적절하게 연동되어 작동함으로써 전자제어 자동차는 최고의 출력과 연비, 오염물질 발생량을 최저로 유지하는 설계조건을 만족하게 된다.

III. 센서의 고장사례

3.1 센서의 측정

LPG 차량에 대한 시험평가에서 엔진에 장착된 센서의 파형은 엔진용 진단기를 사용하여 측정한다. 각각의 센서에서 측정된 파형은 엔진의 정상과 이상여부를 판단하는 중요한 데이터가 된다.

자동차에 관련된 센서의 단자는 입력단자인 전원단자, 접지단자, 그리고 센서의 출력 전압을 검출할 수 있는 출력단자로 구성된다[6]. Photo 1은 엔진튜닝(engine tune-up) 진단기를 사용하여 센서의 파형을 측정한 사례를 보여주고 있다.

3.2 크랭크 각도센서의 고장사례

(1) 현상

주행하던 차량을 정차한 다음 엔진을 공회전하면



Photo 1. Engine tune-up tester for engine sensors.

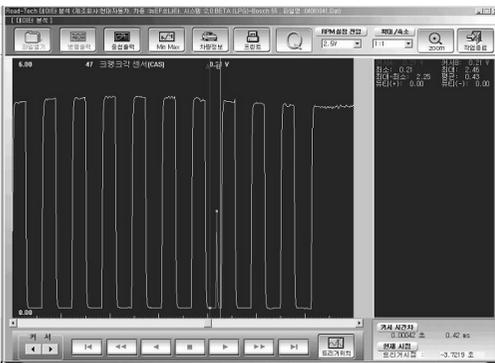


Fig. 2. Failure pulse signal due to a noise of crank angle sensor.

엔진에서 10~15sec의 간격으로 부조화 현상이 발생하지만, 차량의 속도를 높이기 위해 가속을 하면, 엔진의 작동상태는 정상을 유지하였다.

(2) 분석

본 연구에서는 27,800km를 주행한 LPG 차량에 대해 실험을 수행하였다. 이 차량은 고장이 발생되어 엔진의 ECU, 솔레노이드 밸브, 믹서 및 점화코일을 교환한 차이다.

Fig. 2는 엔진튜업 진단기로 측정된 크랭크 각도 센서에서 노이즈가 발생한 사례를 보여준 데이터이다. Fig. 2에서 직사각형의 파형을 비교하면 수평 방향으로 형상자체가 일정하지 않고 약간 울퉁불퉁한 불규칙 형태를 나타내고 있다. 또한, 파형의 상단부는 크랭크 각도센서의 신호불량에 의해 노이즈가 유입됨으로 마치 톱니형 모양으로 변화하

는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2에서 녹색으로 표시된 부분의 전압은 2.46V이고, 이 지점에서 노이즈가 발생하고 있음을 알 수 있다.

(3) 고찰

크랭크 각도센서는 엔진의 회전수에 따라 연료의 분사시기를 결정하는 중요한 역할을 하기 때문에 크랭크의 회전위치, 즉 피스톤의 위치를 정확하게 감지하는 것이 연비나 출력 측면에서 매우 중요하다[8].

엔진이 작동할 때 크랭크 각도센서의 내부불량으로 인해 출력신호를 ECU에 정상적으로 전달하지 못하거나, 접촉불량 현상이 간헐적으로 나타나면 정확한 출력값을 공급하지 못하게 되므로 LPG 자동차는 간헐적으로 부조화 현상을 일으키게 된다. 따라서, 차량의 부조화 현상은 엔진튜업 진단기를 사용하여 파형을 분석함으로써 엔진의 문제점을 찾으면 해결할 수 있다.

3.3 1번 TDC센서의 고장사례

(1) 현상

차량은 주행할 때 엔진의 출력이 부족하여 가속되지 않거나, 또는 엔진을 시동하였을 때 엔진에 시동이 잠시 걸렸다가 몇 초가 지나면 시동이 순간적으로 꺼지는 현상이 발생하였다.

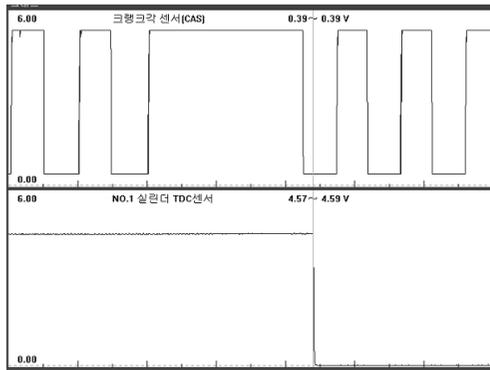
(2) 분석

본 연구에서는 주행거리가 65,250km인 LPG 자동차에 대해 실험을 수행하였다.

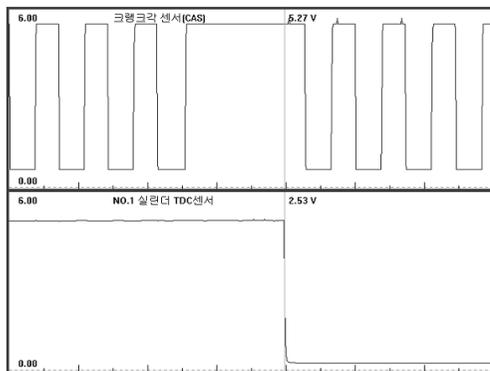
1번 TDC센서에서 출력한 디지털 신호는 0과 5V의 2가지이고, 이 값은 듀티(duty) 값으로 출력하여 엔진의 ECU에 입력된다. 엔진의 점화시기는 차량의 용량에 따라 달라지지만, 4기통 엔진의 경우는 1번 실린더, 3번 실린더, 4번 실린더, 2번 실린더의 순서로 점화가 진행된다.

Fig. 3(a)에서는 고장이 발생한 차량의 크랭크 각도센서와 1번 TDC 센서의 디지털 파형을 보여주고 있다. 크랭크 각도센서의 회전각을 감지하는 톤 휠(tone wheel)은 60개의 톱니형 회전축으로 구성되어 있다. 60개의 이빨을 정확하게 감지하기 위해 2개의 이빨은 기준점(missing-tooth)으로 사용하고, 이 기준점은 1번 TDC센서의 시작점이 된다. 따라서, 1번 TDC센서의 위치는 크랭크 각도센서의 기준점을 기준으로 엔진의 연료 분사량이 결정된다[9].

Fig. 3(a)의 크랭크 각도센서에 대한 파형을 보면, 기준점을 약간 벗어난 지점에서 1번 TDC센서의 신



(a) Failure pulse pattern



(b) Non-failure pulse pattern

Fig. 3. Pulse signal of crank angle sensor and TDC sensor.

호가 발생하였다. 이러한 현상이 발생하면, 차량의 출력은 떨어지고 시동이 꺼지는 현상이 나타난다.

Fig. 3(b)에서는 크랭크 각도센서의 기준점(missing-tooth)과 1번 TDC센서의 신호가 겹치는 부위에서 1번 TDC센서의 신호가 시작하는 것이다. 이것은 1번 TDC센서를 교체한 다음 파형을 측정할 결과로 정상상태에 도달하였을 때의 파형을 보여주는 것이다.

(3) 고찰

크랭크 각도센서와 1번 TDC센서의 디지털 파형을 함께 출력하여 비교함으로써 엔진의 출력이 떨어지거나 시동이 꺼지는 현상에 대한 원인을 찾아내기가 용이해졌다. 본 연구에서는 이들 2가지 신호를 모두 출력하여 비교함으로써 각 센서의 불량상태를 쉽게 파악할 수 있었다. Fig. 3의 출력결과를 통해 1번 TDC센서의 내부적인 신호불량을

확인할 수 있었다. 문제가 된 센서를 교체하여 작동한 엔진에서는 출력이 떨어지거나 시동이 꺼지는 현상이 없어졌다.

3.4 산소센서의 고장사례

(1) 현상

차량을 운전하는 도중에 차량이 울컥거리는 현상과 엔진의 부조화가 발생하였다.

(2) 분석

본 연구에서는 주행거리가 91,00km인 LPG 자동차에 대해 실험을 수행하였다. 이 차량에 대한 점검결과는 공회전 상태에서 엔진의 부조화 현상을 나타냈다. 또한, 엔진의 자기진단을 한 결과 산소센서의 전압값은 450mv로 고정되었고, 공연비는 13~45%로 많은 변동을 나타내었다.

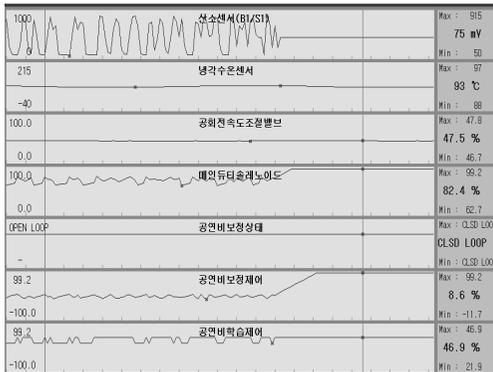
또한, 베이퍼라이저의 압력을 측정할 결과는 0.3kg/cm^2 로 정상이었고, SAS(slow duty adjust screw)를 사용하여 조정할 다음 4km/h의 저속으로 주행할 때도 동일한 현상을 나타내었다. 여기서 산소센서가 이중폼으로 장착되었는지 확인하였으나 정상이었다. 다만, 센서의 출력부를 분리한 결과 배선의 밀림현상으로 접촉불량이 발생되었기 때문에 고장으로 이어진 것으로 판단된다.

Fig. 4(a)는 산소센서에서 고장이 발생하였을 때 나타나는 대표적인 불량파형을 보여주고 있다. 산소센서는 연소실로 유입된 혼합기가 연소되었을 때 연소가스의 산소농도를 측정한다. 이 데이터를 기준으로 혼합기가 연소실에서 적절하게 연소되었는지, 또한 적절한 연료량이 분사되었는지를 확인할 수 있다[10].

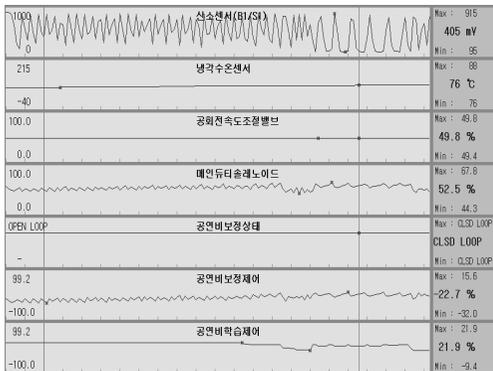
산소센서에서 연소된 배기가스 중의 산소농도가 높으면 전압은 낮게 나타나지만, 산소농도가 낮으면 출력전압은 높게 나온다. 일반적으로 출력전압은 0~1V로 변화하고, 아날로그 형태의 파형으로 출력된다.

Fig. 4(a)에서 산소센서의 출력파형은 불규칙하고, 어느 정도는 진행하다가 산소센서와 연결되어 있는 출력단자의 커넥터 핀이 이탈되어 배기가스 중의 산소농도를 측정하지 못하기 때문에 파형이 출력되지 않는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4(b)는 산소센서의 커넥터 핀을 수정한 다음 파형을 측정할 상태를 보여주고 있다. 이것은 엔진의 배기가스 농도의 정도를 농후와 희박상태를 주기적으로 보여주는 것을 알 수 있다.



(a) Failure pulse pattern



(b) Non-failure pulse pattern

Fig. 4. Oxygen sensor pulse signal.

(3) 고찰

산소센서 커넥터에서 접촉부의 배선 핀이 밀려서 산소센서의 측정값이 엔진의 ECU로 입력되지 않아 발생한 현상으로 생각된다. 따라서 배선 핀을 수정하고 운전을 한 경우의 차량에서는 울컥거리는 현상과 엔진의 부조화 현상 모두가 제거되었다.

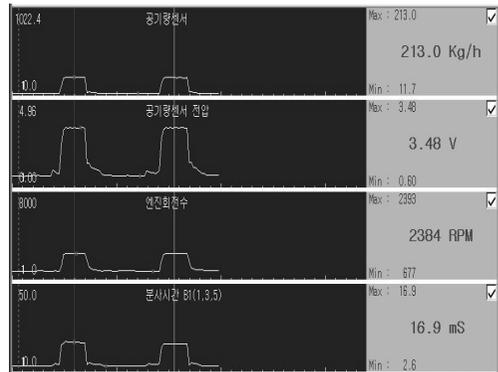
3.5 에어 크리너의 고장사례

(1) 현상

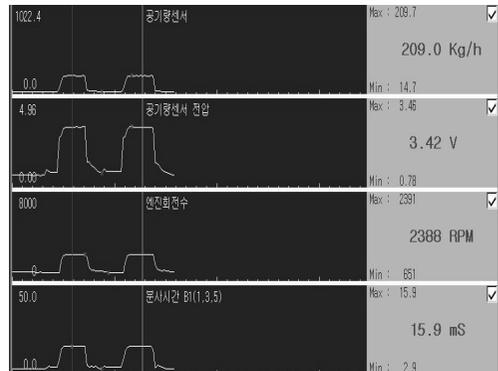
본 시험용 차량은 처음 출고되어 운전을 할 때와 운전자가 가속하였을 때 차량이 무겁게 느껴지고 가속이 되지 않는 현상이 발생하였다. 또한, 차량을 가속할 때 응답성이 매우 떨어지고, 변속으로 인해 차량의 울컥거림 현상이 가끔 발생하였다.

(2) 분석

본 시험에 사용한 차량의 주행거리는 10,100km



(a) Pulse pattern with air cleaner replica



(b) Pulse pattern with regular air cleaner

Fig. 5. Pulse signal of air flow sensor.

이다. 이 차량의 상태를 확인하기 위해 시운전을 수행한 결과, 공회전 상태에서 가속을 할 때는 상기의 현상이 완벽하게 재현되지 않았다. 즉, 엔진과 변속기에 대해 자가진단을 실시하였을 때는 정상이고, 자동변속기의 스톨테스트(stall test)를 실시하였을 때는 D(Drive)와 R(Reverse)에서 2,400rpm 정도로 나타났기 때문에 모두 정상으로 나타났다.

그러나, 주행시험을 할 때는 차량의 당김현상이 발생하였고, 변속할 때는 이러한 현상이 빈번하게 발생하였다. 공기유량센서(air flow sensor)를 분리하였을 때의 가속성능은 양호하지만 출력값은 정상치보다 약간 낮게 출력되었다. 공기유량센서의 커넥터를 다시 장착한 다음 에어 크리너(air cleaner)의 필터를 분리하였을 때의 가속성능은 양호하였다. 그러나, 차량에 장착된 에어 크리너는 이종품으로 문제의 원인이 될 수 있다.

Photo 2에서 좌측의 에어 크리너가 차량에 설치

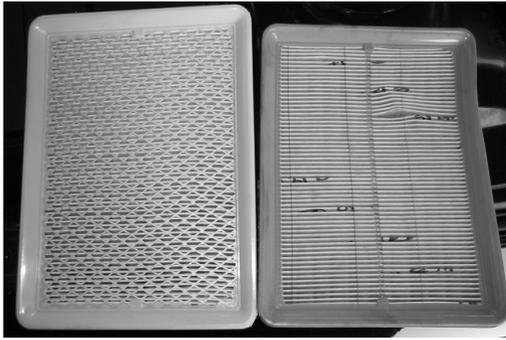


Photo 2. Air cleaner sample.

한 것이고, 우측의 것은 다른 차종에 설치한 것이다. 차량에 장착하여 운전중에 가속불량 및 울컥거림 현상이 발생한 것은 이종품 에어 크리너를 사용하기 때문인 것으로 판단된다. 에어 크리너의 공기의 흐름상태는 공기의 통기저항(flow resistance)으로 표시하고, 통기저항은 덕트내의 공기의 흐름을 어렵게 하는 것으로 좌측의 이종품은 통기저항이 낮은 것으로 판단된다. 연료의 분사량은 차량에 적합하도록 분사되어야 하지만, 이종품이 장착된 차량에서는 통기저항이 낮기 때문에 에어 크리너를 통해 공기가 너무 많이 유입되므로 그만큼 공연비의 변화가 생겨 실제보다 공기가 더 많이 공급되어 희박조건이 형성되므로 가속할 때 가속이 잘 되지 않는 현상이 발생한 것이다.

Fig. 5(a)는 이종품의 에어 크리너를 장착한 차량의 공기유량센서에 대한 파형을 측정된 것으로 통기저항이 작아 공기량이 Fig. 5(b)에서 측정된 것보다 더 많아진 것을 알 수 있다.

(3) 고찰

엔진에 혼합기를 공급하는데 공기의 유동성은 대단히 중요한 요소이다. 흡입구로 공기를 공급할 때 흡입저항이나 에어 크리너의 막힘현상으로 인해 공기의 공급이 원활하지 못하면 엔진을 작동하는데 가속불량과 엔진의 부조화 현상이 발생될 수 있다. 따라서, 흡기측에 공급되는 에어 크리너의 흡입 안정성에 문제가 없도록 정상품을 사용하여야 한다.

IV. 결론

LPG 자동차의 전자제어 엔진에 설치된 센서의 고장사례를 분석하고, 고찰한 결과를 요약하면 다

음과 같다.

1) 크랭크 각도센서에서 파형의 상단부는 신호 불량에 의한 노이즈가 유입됨으로써 톱니형으로 출력되고, 2.46V의 노이즈가 간헐적으로 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

2) 1번 TDC센서에서 내부불량이 발생하였을 때는 크랭크 각도센서의 기준점을 약간 벗어난 지점에서 신호 데이터가 발생하였다. 이런 경우는 차량의 출력부족과 시동꺼짐 현상이 발생한다는 것을 확인할 수 있었다.

3) 산소센서 커넥터 접촉부의 배선 핀이 밀리면서 센서의 감지기능이 상실되어 차량의 울컥거림 현상과 엔진의 부조화 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

4) 이종품의 에어 크리너를 장착할 경우는 공기의 공급이 원활하지 못하여 엔진의 가속불량과 부조화 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김청균, “자동차엔진공학”, 복두출판사 (2004)
- [2] 김청균, “자동차 전기전자제어공학”, 복두출판사 (2005)
- [3] L.M, Sweet, “Automotive Applications of Modern Control Theory”, SAE paper 820913 (1982)
- [4] Ahmed A. Abdel-Rehim and Ed VanDyne, “Impact of A/F Ratio on Ion Current Features using Spark Plug with Negative Polarity”, SAE paper 2008-01-1005 (2008)
- [5] Manuel Alba, “A System Approach to Smart-Sensors and Smart-Actuators Design”, SAE paper 880554 (1988)
- [6] Il Kwon Lee, et al., “Automotive Failure Diagnosis”, Sun Hak (2002)
- [7] 기아자동차, “정비교육교재-LPG” (2008)
- [8] Shinji Nakagawa and Kozo Katogi, “Cold Start HC Reduction with Feedback Control using a Crank Angle Sensor”, SAE paper 2008-01-1010 (2008)
- [9] Emiliano Pipitone, Alberto Beccari and Stefano

Beccari, "The Experimental Validation of a New Thermodynamic Method for TDC Determination", SAE paper 2007-24-0052 (2007)

[10] Vincent Hackel, Claus Schnabel and Andy Tiefenbach, "Wide Band Oxygen Sensor Electronic Control Unit", SAE paper 2005-01-0061 (2005)