LPG 자동차 엔진의 솔레노이드밸브, 릴레이, 공회전조절장치의 고장사례 연구

김청균* · [†]이일권 · 조승현**

홍익대학교 트리보메카, 에너지기술 연구센터, *대림대학 자동차공학과[†], **동양미래대학 기계공학부
(2011년 2월 14일 접수, 2011년 6월 24일 수정, 2011년 6월 24일 채택)

Study for Failure Examples of Solenoid Valve, Relay and Idle Speed Control Actuator in Liquid Petroleum Gas vehicle Engines

Chung Kyun Kim* · [†]Il Kwon Lee · Seung Hyun Cho**

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

[†]Department of Automotive Engineering, Daelim University College,

**Department of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

(Received February 14, 2011; Revised June 24, 2011; Accepted June 24, 2011)

요 약

이 논문의 목적은 LPG 자동차의 전자제어에 대한 요소의 하나인 액추에이터에 대한 고장사례를 찾아 분석하고 연구하는 것이다. 차량의 연료를 저장하는 봄 내부의 LPG 긴급 차단 솔레노이드 밸브의 필터가 막혀 연료의 공급이 간헐적으로 차단되는 현상이 발생되어 엔진이 작동하는 동안 엔진의 초기시동불량이나 가속이 되지 않는 것을 확인하였다. 엔진 컨트롤 릴레이 부위의 접점부가 가공불량이나 조립불량에 의해 완전한 면접촉이 되지 않아 접촉저항이 발생되어 초기 시동을 걸었을 때 시동이 걸렸으나 재시동을 걸 때 시동이 걸리지 않는 현상을 확인하였다. 공회전 조절장치의 내부에 카본이 퇴적되어 액추에이터가 고착되어 흡입공기의 공급이 감소되어 자동차의 시동이 걸려 공회전 상태일 때 엔진의 회전수가 규정 범위를 벗어나 상승과 하락을 반복하는 불안정 상태를 확인하였다.

Abstract - The purpose of this paper analyzes and studies to seek the failure examples of electronic control actuators for engine in liquified petroleum gas vehicle. The first, it was verified phenomenon for initial starting damage and no-acceleration of engine because of occasionally fuel feeding interception by clogged of emergency cutting solenoid valve filter. The second, the contact resistance produced in the connecting part of engine control relay because of no fully surface contacting by processes and assembly badness. It was displayed phenomenon of re-starting badness. The actuator that idle speed control system was stucked inside because of intake-air decreasing by carbon deposit. As a result, it was verified the phenomenon of disharmony that repeated up and down the engine revolution.

Key words : actuator, solenoid valve, relay, idle speed controller, engine revolution

[†]주저자: iklee@daelim.ac.kr

I. 서 론

최근의 자동차는 인류의 생활을 급속하고 다양하게 변화시키는 데 크게 기여한 대표적인 종합기계 산업으로서 모든 산업의 합성 산업으로서 크게 자리 잡게 되었다. 또한, 서로 멀리 떨어진 인류의 생활을 가깝고 안락하게 만드는데 있어서 중요한 산업으로 자리매김하였을 뿐 만 아니라 세계를 글로벌화하는 데 크게 기여하였다 할 수 있겠다.

자동차는 움직이기 위해 사용하는 석유자원을 연료로 사용함으로써 지구상에 석유자원의 부족이라는 문제를 유발하였으며, 석유자원의 과다한 사용으로 인해 대기환경 오염의 심각한 문제를 일으켜 국제적인 환경보호 대책을 강구하여야 인류의 생존이 가능한 상태에 이르게 되었다. 이러한 환경오염 문제를 최소화시키기 위해 자동차의 연료를 석유에서 나오는 가스를 액화시켜 사용하는 액화석유 가스를 사용하게 되었다. LPG(liquid petroleum gas)를 사용하는 차량의 경우에는 가솔린 차량보다 이산화탄소의 배출량이 7~10% 정도 감소한다는 연구사례도 있다[1].

자동차 엔진은 컴퓨터로 제어되는 전자회로의 출력 신호를 이용하여 직접 구동할 수는 없다. 이러한 전자제어를 위한 신호를 변환하거나 증폭(Amplify) 신호를 주는 액추에이터가 필요하다. 이러한 전자제어 시스템에 작동 장비에 대한 연구가 꾸준히 진행되어져 왔다[2,3]. 자동차 엔진의 전자제어 시스템에 고장이 발생되었을 때 자기진단 기능에 의해 고장진단을 할 수 있는 새로운 자기진단 시스템에 대하여 액추에이터를 적용하는 연구도 발표되었다[4]. 액추에이터의 위치에 따른 진동의 영향을 받아 엔진의 제어에 영향을 줄 수 있다는 연구논문도 발표되었다[5]. 엔진의 밸브 트레인(Valve train) 시스템에 적용되는 액추에이터는 센서의 신호를 받지 않고(Sensorless) 제어하는 연구사례도 발표되고 있다[6,7]. 자동차 엔진의 성능을 향상하기 위한 기술의 하나가 밸브 타이밍(Timing)을 변화시키는 것이다. 밸브 타이밍을 엔진 크랭크 각도에 의해 결정되며, 이러한 문제를 개선하기 위해 액추에이터가 적용된다[8]. 액추에이터는 낮은 비용의 변환기(Transducer) 설계가 요구되며, 이러한 목적을 위해 저 비용의 변환기 개발에 대한 연구가 되고 있다[9]. 배출가스 규제에 대응하기 위해 비접촉식(Contactless type) BLDC(Brushless direct motor)의 개발에 대한 연구도 활발하게 되고 있다[10]. 자동차는 여러 가지 구성품의 조합에 의한 결정체이다. 그러나 이러한 여러 가지 구성품

들이 합치되어 제작되면 부품의 내구성 부족 또는 조립할 때의 품질관리 누락에 의해 고장현상이 발생될 수 있다[11]. 특히, 액추에이터 시스템에서 고장현상이 발생하게 되면 시스템은 작동불량이 된다. 특히, 최근에는 정밀 전자제어의 작동부에 해당하는 액추에이터에 대한 연구가 매우 활발한 상태이다. 자동차의 전자제어는 시스템마다 이루어지는 추세이므로 시스템마다 제어를 하는 액추에이터가 장착된다. 이 부품은 작동부가 매우 민감하고 제어작동조건에 따라 세심한 관리와 철저한 품질의 확보가 되어야 하고, 최적 설계 시스템을 구성해야 한다. 그렇지 않은 경우 시스템에 대한 신뢰도가 떨어져 고장이 발생하게 된다.

이 논문은 액화석유 가스 자동차 엔진의 전자제어 시스템을 제어하는 각종 액추에이터에서 발생하는 고장사례를 조사하고 이를 분석하여 이에 대한 개선 및 연구방향을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 액추에이터의 개요

LPG 엔진의 전자제어 시스템은 엔진에서 유입되는 공기의 양에 따라 공기와 연료의 비율이 15.5:1에 해당되는 공연비에 의해 연소실에 혼합기가 공급된다[12]. 이러한 혼합기가 연소실로 유입될 때 액추에이터는 제어되는 공기의 온도, 공기량 및 대기의 온도 등의 측정값을 센서에서 받은 컴퓨터에서 명령에 의해 작동한다. 이러한 액추에이터는 각 시스템의 특성에 맞게 작동하도록 함으로써 운전자의 기능을 전자적으로 대신하여 수행하게 하여 전자제어 시스템을 완성하게 된다.

2.2 액추에이터의 종류

출력요소인 LPG 시스템의 액추에이터는 시스템을 원활하고 안전하게 작동시키는 솔레노이드 밸브, 공회전을 가능하게 하는 공회전 조절 액추에이터, 각종 액추에이터를 제어하는 릴레이, 시스템을 구동하게 하는 모터 등의 유니트가 있다. 액추에이터는 컴퓨터에서 보내는 전기적인 신호를 받아 기계적인 작동상태로 변화시켜주는 요소를 말한다. 컴퓨터가 이상적인 제어 연산 결과를 보낸다 해도 이 신호를 정확하게 기계적으로 변환하는 액추에이터가 없다면 제어는 이루어 질 수 없다.

액추에이터의 최종적인 출력의 형태는 전기 신호를 힘이나 변위 등의 물리량으로 변환하는 것으로 센서와는 상반되는 기능을 한다. 액추에이터는

대상이 되는 기계부품과 구조 및 기구적으로 일체화되어 기능을 하는 것이 필요하며, 자동차의 온도, 진동, 충격, 오염, 침수 노이즈 등의 가장 열악한 조건에서 오랜 기간 사용되어야 하므로 내구성, 신뢰성 및 안정성 등이 크게 요구된다[13].

2.2.1 솔레노이드 밸브(solenoid valve)

솔레노이드는 전기적인 신호를 기계적인 직선 운동으로 바꾸어주는 요소이며, 원통형의 자성체의 코어에 코일이 감겨있다. 배터리 전압은 솔레노이드의 한 단자에 작용하고 있으며, 컴퓨터는 솔레노이드의 접지쪽 단자를 스위칭함으로 해서 제어작용을 하게 된다.

2.2.2 릴레이(relay)

릴레이는 자기적으로 작동되는 스위치 접점이다. 작동되는 원리는 솔레노이드와 유사하지만, 솔레노이드는 일반적으로 큰 힘을 작용하여 기계적인 움직임을 제어할 때 주로 사용되고, 릴레이는 다른 회로를 제어할 때 단지 스위치로서 사용되는 것이 다르다. 릴레이는 고정된 코어와 아마추어라는 가동접점을 가지고 있다. 릴레이 코일에 전류가 흐르면 코어는 자화되고, 아마추어는 코어 쪽으로 끌려가 접점을 연결시켜 회로를 닫는다. 또한, 전류가 흐르지 않으면 접점이 열리게 되고 회로는 열린다. 릴레이는 작은 전류의 흐름으로써 큰 전류의 흐름을 제어할 수 있으므로 접점을 작게 할 수 있다는 장점으로 인해 자동차의 릴레이에 많이 이용되고 있다[14].

2.2.3 DC 모터 (direct current motor)

DC 모터는 자동차에서 가장 많이 사용되는 액추에이터이다. DC 모터는 동력원으로써 사용되는 경우와 제어 밸브를 열고 닫는 서보 기구로서 사용되는 경우가 있다. 동력원으로써 사용되는 경우는 큰 전력을 공급하여 일을 하도록 하기 위해 사용하는 것으로 페라이트 자석식 모터가 많이 사용된다. 자동차에 사용되는 DC 모터는 연료 모터와 시동모터 외에 많은 모터가 사용되고 있다.

2.2.4 공회전 조절 장치(Idle speed control system)

자동차에서는 공회전 속도를 제어하는 데 있어 스텝모터(step motor) 방식과 공회전 조절 액추에이터(idle speed actuator; ISA) 방식을 사용하고 있다. 두 가지 방식 모두 스로틀 밸브를 바이패스(by-pass)하는 흡입 공기량을 제어하여 엔진의 공회전 속도를 제어하는 역할을 한다.

III. 액추에이터의 고장사례

3.1 측정

고장진단은 자동차를 개발한 다음 자동차의 품질을 향상시키고, 내구성을 유지하기 위해 매우 필요한 기술이다[15]. Fig.1은 엔진튜업(Engine tune-up)테스터기를 이용하여 자동차 액추에이터의 파형을 측정하는 예를 보여주는 것이다.

3.2 현상 및 고찰

3.2.1 연료차단 솔레노이드 밸브의 고장사례

1) 현상

운전자가 차량의 시동을 걸었을 때 초기에 시동이 잘 걸리지 않았으며, 자동차를 운행하는 동안 가속을 하기 위해 가속 페달을 밟았을 때 가속이 잘 되지 않는 현상이 발생하였다.

2) 분석

시운전을 해 본 결과 자동차를 운전할 때 가속이 잘 되지 않았다. 특히 80km/h 이상의 운행 속도에서 이러한 현상이 더욱 심하게 나타났다. 이 차량의 주행거리는 162,600km를 운행한 것으로 확인되었다. 고장 원인을 확인하기 위해 엔진의 진단기를 이용하여 파형(pulse)을 확인하였다. Fig.2는 연료 차단 밸브의 필터가 막혀 차량이 가속이 되지 않는 현상이 발생되어 파형을 측정한 사례를 보여주는 것이다.

일반적으로 자동차의 연료는 차량의 화재로 인한 사고나 고속주행으로 인해 대형사고가 발생할 상황에 대비하여 차량의 연료를 공급하지 못하도록

Fig. 1. Engine tune-up tester for pulse form on vehicle engine actuators.

연료를 차단하는 기능이 있다. 이 밸브는 차량이 고속주행중이나 어떤 돌발적인 상황이 발생하여 차량이 급격하게 감속을 하였을 때는 차량의 안전 제어를 위해 연료를 차단하여 연비를 향상하거나 배출가스를 감소하기 위해 급격하게 연료의 공급을 차단한다. 이 때 감속 조건은 공회전 스위치 작동상태 정상, 엔진의 회전수가 1,800rpm 이상이 되었을 때 연료를 차단하는 솔레노이드 밸브를 열어 흡입관의 부압이 믹서에 장착되거나 LPG 연료 탱크(Fuel tank)에 장착된 연료차단 밸브에 전달되어 주 통로가 차단됨과 동시에 피드백 솔레노이드를 닫아 연료를 차단하는 기능을 한다[16,17].

그러나 Fig. 2의 상단 첫 번째 파형에서는 밸브

Fig. 2. Badness pulse example of oxygen sensor.

Fig. 3. Clogging example of valve filter.

의 필터가 막힘에 의해 긴급 차단 밸브가 닫혀, 연료가 공급되지 못하는 현상이 발생되었다. 이 현상으로 인해 산소센서의 파형은 3회 정도 비정상적인 형태로 반복되다가 파형이 전혀 나타나지 않는 현상을 보여주고 있다. 즉, 이 구간에서는 연료의 공급이 차단되어 파형이 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한 Fig.2의 상단 세 번째 파형에서 보면 차량의 속도가 초기에는 증가하다가 감소하는 상태를 보여준다. 이것은 실제로 연료의 차단이 되는 조건이 아니나, 필터의 막힘에 의해 이러한 현상이 발생되어 속도가 감소한 것으로 판단된다. Fig. 3은 LPG 봄 내부의 LPG 긴급 차단 솔레노이드 밸브의 필터가 막힌 것을 보여주는 것이다.

3) 고찰

이 사례의 경우에는 긴급차단 밸브의 고장이 아니라, 솔레노이드 밸브 내부의 필터에 의한 막힘으로 인해 연료의 긴급차단 현상이 간헐적으로 생겨 가속이 되지 않는 현상이 발생된 것이다. 따라서 이러한 사례는 고장 원인을 찾아내기가 쉽지 않기 때문에 철저한 분석과 진단을 통해 내부의 고장 원인을 찾아야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 엔진 컨트롤(control) 릴레이의 고장사례

1) 현상

이 차량은 차량이 출고된 다음 운전자가 자동차의 운전을 시작해 2시간이 경과된 이후 시동을 중지하였다. 30분 정도 경과한 다음 다시 재시동을 하였으나 시동이 걸리지 않는 현상이 발생되었다.

2) 분석

이 차량은 225km 정도를 주행한 차량으로 엔진의 자기진단기를 이용하여 차량의 고장상태를 점검한 결과 이상이 없는 것으로 확인되었다. 자동차에서 릴레이를 사용하는 목적은 작은 전류를 이용하여 큰 전류를 제어하기 위함이다. 엔진을 제어하는 엔진 컨트롤 릴레이는 시동 스위치(ignition switch)의 신호에 따라 연료 펌프를 구동하고 엔진의 컴퓨터, 인젝터 및 센서 등에 전원을 공급하는 액추에이터이다. 이 사례에서는 엔진 컨트롤 릴레이의 전원을 확인하였을 때 릴레이 내부의 점접불량으로 인해 전원이 공급되지 않는 것을 확인하였다. 자동차에서 릴레이를 사용하지 않고 스위치를 사용하여 작동과 비작동을 반복하게 되면 스위치의 접점부에서 서지(Surge) 전압이 발생한다. 이로 인해 접점부에는 아크(Arc)방전이 발생하게 되어

Fig. 4. Contact damage example of relay.

접점부의 손상이 생겨 수명이 단축되거나 작동부품의 파손 또는 다른 전기장치에 영향을 주는 문제가 발생된다[14]. Fig.4는 릴레이 부위의 접점부가 가공불량이나 조립불량에 의해 완전한 면접촉이 되지 않아 접촉저항이 발생되어 간헐적으로 시동불량 현상이 발생된 사례를 보여주는 것이다. 이 사례는 엔진 컨트롤 릴레이를 신제품으로 교환한 다음 시동을 걸었을 때 정상적으로 시동이 걸렸으며 시동불량 현상이 제거되었다.

3) 고찰

시스템이 최적의 내구성을 확보하기 위해서 제어할 때 정확하고 신속하게 제어를 하여야 한다. 그렇지 않고 릴레이의 접촉상태가 불량하여 제어를 할 수 없을 경우에는 엔진의 작동이 멈추게 되어 자동차가 고장이 나는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 엔진의 정밀제어를 하는 릴레이를 철저히 검사하여 릴레이의 내구성이 떨어지지 않도록 신뢰성을 확보하여야 한다.

3.2.3 공회전 조절 액추에이터(Idle speed actuator)의 고착으로 인한 고장사례

1) 현상

운전자가 차량을 운전하기 위해 시동을 걸었을 때 간헐적으로 엔진의 회전수가 불규칙하게 상승과 하락을 반복하는 현상과 주행하다가 정지하였을 때 엔진의 회전수가 불규칙하게 상승과 하락을 반복하는 현상을 확인하였다.

2) 분석

이 차량은 30,000km를 주행한 차량으로 시운전한 결과 초기 시동을 걸었을 때나 주행한 후 정지

Fig. 5. Pulse measurement result of ISA system using engine tune-up tester.

하였을 때 간헐적으로 엔진의 회전수가 상승과 하락을 반복하는 것을 확인하였다. 일반적으로 자동차는 흡기 측에 스로틀밸브(throttle valve)라고 하는 도어에 의해 운전자가 가속페달을 밟은 양에 비례하여 열려 공급되는 공기에 의해 연료의 양이 공급된다. 공회전 상태에서는 스로틀밸브가 아닌 바이패스 통로를 만들어 연소실에 공기를 공급하는 시스템이 장착되어 있다. 이 시스템이 공회전 조절 장치(idle speed actuator)이다. 이 시스템은 또한 공회전할 때나 운전하는 동안에 변속작용, 에어컨 작동, 헤드램프, 블로워 모터, 열선, 냉각팬 등의 전기적인 부하에 의해 엔진의 힘이 필요할 때는 엔진의 회전수를 높여 부하를 보정해주는 기능을 해야 엔진의 상태가 정상으로 유지된다. Fig.5는 공회전 조절장치의 파형사례를 보여주는 것이다.

Fig. 5에서 보면 공회전 속도조절밸브의 파형은 열림량이 점차 증가하다가 50% 열림에서 고정되는 현상이 발생되었다. 이와 동시에 엔진의 회전수도 공회전 속도조절밸브의 열림량에 따라 회전수도 엔진의 공회전 상태에서 2232rpm까지 증가하는 현상이 발생된 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 ISA를 제어하는 배선이 단선되거나, 커넥터의 이탈 또는 ISA 밸브 내부에 카본 누적으로 인해 밸브가 작동안함으로 인해 생기는 현상으로 판단된다. 이 차량의 경우에는 공회전 조절장치를 확인한 결과 내부에 카본이 퇴적되어 고착된 것을 확인하였다.

3) 고찰

공회전 조절 장치는 차량의 시동성과 관련되어 차량의 성능 및 안전에 매우 중요한 요소이다. 이

시스템은 주기적으로 철저하게 점검하고 시스템 작동에 문제가 없도록 철저한 관리가 되어야 한다 [18-21].

IV. 결 론

액화석유 가스 자동차의 액추에이터의 고장 사례를 사례별로 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LPG 봄 내부의 LPG 긴급 차단 솔레노이드 밸브의 필터가 막혀 연료의 공급이 간헐적으로 차단 되어 엔진이 작동하는 동안 엔진의 초기시동불량이나 가속이 되지 않는 것을 확인하였다.
- 2) 엔진 컨트롤 릴레이 부위의 접점부가 가공불량이나 조립불량에 의해 완전한 면접촉이 되지 않아 접촉저항이 발생되어 초기 시동을 걸었을 때 시동이 걸렸으나 재시동을 걸 때 시동이 걸리지 않는 현상을 확인하였다.
- 3) 공회전 조절장치의 내부에 카본이 퇴적되어 액추에이터가 고착되어 흡입공기의 공급이 감소 되어 자동차의 시동이 걸려 공회전 상태일 때 규정 범위를 벗어나서 상승과 하락을 반복하는 불안정 상태를 확인하였다.

참고문헌

[1] Harry C. Watson, David Gowdie, "The Systematic Evaluation of Twelve LP Gas Fuels for Emissions and Fuel Consumption", SAE paper 2000-01-1867

[2] Frank Berger, "Actuating Devices for Electronic Controlled Systems", SAE paper 740016

[3] William G. Wolber, "An Overview of Automotive Control Actuators", SAE paper 840306

[4] Stefan Joseph and James McCarney, "A New Engine Analysis System for Sensor and Actuator Related Problem", SAE paper 891726

[5] Yin-Tsan Shin, David J. Tarnowski and Daryoush Allaei, "Influence of Confined Vibration on Sensor and Actuator Optimization", SAE pa-

per 971890

[6] S. Butzmann, J. Melbert and A. Koch, "Sensorless Control of Electromagnetic Actuators for Variable Valve Train", SAE paper 2000-01-1225

[7] R. Uhlenbrock and J. Melbert and G. Lugert, "Smart Actuator for Sensorless Electromagnetic Variable Valve Actuation

[8] Yohji Okada, Yoshiaki Marumo and Mitsuru Konno, "Electromagnetic Valve Actuator for Automobile Engine", SAE paper 2004-01-1387

[9] Neville McNeill, Stephen Burrow, George Iordanidis, Derrick Holliday and Philip Mellor, "A Low-Cost Current Transducer for Automotive Actuators", SAE paper 2006-01-1594

[10] Didier Angleviel, Jean-Daniel Alzingre, Lionel Billet and Didier Frachon, "Development of a Contactless Brushless DC Actuator for Engine Management", SAE paper 2006-01-1596

[11] Maroco Antonio Colosio, Arnaldo Homobono Paes De Andrade and Jose Carlos Dos Santos, "Overview of Automotive Component Failures", SAE paper 200-01-3231

[12] 신원향, 박병일, 조용범, "LPG 자동차 시스템", 골든벨, (1999)

[13] 성백규, "자동차전자제어 기관", 골든벨, (2000)

[14] Il Kwon Lee, et al., "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, (2002)

[15] Kazuhide Togai, Kazuo Kido, Hiroki Yamaura, Zhenchun Xia and Guozhong Wang, "Model Based Diagnosis Failure Detection and Isolation by State comparison with Model Behaviors", SAE paper 2007-01-2077

[16] 현대자동차, "정비교육교재-전자제어엔진", (2001)

[17] 기아자동차, "LPG 시스템", (1999)

[18] Maintenance manual of Hyundai Motors, (2010)

[19] Maintenance manual of Kia Motors, (2010)

[20] Maintenance manual of GM Daewoo Motor, (2010)

[21] 김청균, "자동차엔진공학", 복두출판사, (2004)