자동차 연료 시스템에 관한 연료 응고, 누설, 불량 휘발유 및 연료 첨가제에 의한 고장 사례 고찰

이일권[†] · 김영규^{*} · 고영배^{**} · 김승철

대림대학교 자동차공학과

^{*}한국가스안전공사

^{**}한국생산기술연구원

Study of Failure Examples for Fuel Coagulation, Leakage, Low Grade Gasoline and Fuel Additives in Automotive Fuel System

IL Kwon Lee[†], Young Gyu Kim^{*}, Young Bae Ko^{**} and Seung Chul Kim

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

^{}Korea Gas Safety Corporation*

^{**}Korea Institute of Industrial Technology

(Received June 1, 2012; Revised June 30, 2012; Accepted June 5, 2012)

Abstracts – The fuel system of a vehicle is a very important component, as it provides the firing resources to the combustion chamber of the engine. However, improper operation of the system can generate bad condition or start-off during engine revolution. This study analyzed several examples of failure that had originated in the field. In the first example, the driver operated a vehicle containing both gasoline and LPG in the fuel tank, but the gasoline fuel remained unused for a few months. Therefore the fuel pump was clogged because of gasoline congelation. The second example, dealt with fuel leakage that occurred from the slightly torn O-ring connecting the fuel lines. The third example, pertained to engine damage and power-down owing to the usage of poor-quality fuel and ingredient. Therefore, it is necessary to take adequate measures to prevent the failure of the fuel system of vehicle.

Keywords – fuel(연료), fuel pump(연료 펌프), fuel filter(연료 필터), injector(인젝터), fuel additive(연료 첨가제), O-ring(O 링)

1. 서 론

초기의 자동차 연료 시스템에서 연료의 공급 방식은 공기를 흡입할 때 생기는 부압을 이용하여 연료를 혼합하는 기화기(carburetor) 방식을 이용하였다. 이 방식은 엔진의 온도, 속도 및 부하의 변화에 따라 기화기의 벤츄리(venturi)부의 압력차에 의해 일정한 혼합비가 정해졌다. 이러한 단점을 보완하기 위해 피드백 기화기 제어(feed back carburetor control)시스템은 전자제어 컴퓨터가 각종 센서로부터 신호를 받아 공기와 연료의

혼합비를 조절하기 위해 기화기에 부착된 솔레노이드 밸브(solenoid valve)에 의해 제어하는 시스템이 개발되었다[1-3]. 이후 흡입계통에 스로틀 보디(throttle body)가 적용되었고[4], 흡기 매니폴드에 하나의 인젝터를 이용하여 분사하는 SPI(single point injection) 시스템이 개발되었다[5]. 분사효율을 높이기 위해 SPI 보다 개선된 MPI(multi-point injection) 방식의 KE-Jetronic 인젝터에 대한 연구 논문도 발표되었다[6]. 운전자가 자동차를 운전할 때 자동차를 보다 안락하고 편리하게 제어하는 전기전자관련 제어 산업이 발전하면서 센서, 컴퓨터 및 액추에이터를 유닛으로 하는 전자제어 방식의

[†]주저자 · 책임저자 : iklee@daelim.ac.kr

연료 분사 시스템이 더욱 발전하여 매우 짧은 시간에도 정확하게 분사할수 있는 제어기술을 확보하게 되었다[7]. 이러한 제어 방식에서 가솔린 연료의 연소 효율을 극대화시키기 위해 디젤의 분사방식인 직접 분사 방식을 적용한 가솔린 직접 분사(gasoline direct injection) 방식의 시스템을 적용하여 연료의 효율을 더욱 향상시키게 되었다[8,9]. 연료의 연비를 향상시키기 위해 연료 탱크를 플라스틱이나 가벼운 소재로 하기 위해 활발하게 연구되었다[10]. 연료 펌프의 성능을 극대화하기 위해 가솔린 직접 분사 엔진에서 사용하는 고압연료 펌프에 대한 연구도 활발하게 진행되었다[11]. 연료 펌프의 내부식성(corrosion resistance)을 개선한 새로운 펌프의 개발[12]과 연료 탱크 내부서 작용하는 연료 펌프의 작동 소음을 감소시키는 연구 결과도 발표되었다[13]. 모든 연료 시스템은 연료를 공급할 때 적절한 압력에 의해 연료를 공급하는 데 이러한 유체의 압력이 누설되거나 압력을 발생시키는 각각의 부품에 내구성이 떨어지게 되면 규정압력을 벗어나게 되어 연료 시스템을 작동하는 데 이상현상이 발생하게 된다. 이러한 내구성을 향상시키기 위한 연구도 진행되었다[14]. 또한, 연료가 잘 공급되지 않거나, 저품질의 연료와 첨가제를 사용하게 되면 엔진의 부조화 현상, 출력부족, 가속불량 현상이 발생되어 연료 소비율이 매우 악화되어 경제성이 떨어지게 된다[15].

따라서 이 논문의 목적은 자동차 연료장치에서 발생하는 연료 시스템의 막힘이나 연료의 누설이 발생하는 고장사례를 발굴하여 이 사례를 조사하고, 분석하여 이에 대한 관리방향을 제시하고자 한다.

2. 연료시스템의 구성

연료는 연료 탱크 내부에 있는 연료 펌프의 전기적인 작동에 의해 연료를 흡입하면, 1차 필터인 스트레이너(strainer)를 지나 2차 필터와 딜리버리(delivery)파이프를 통해 3~4 kg/cm² 정도의 압력으로 공급된다. 이러한 연료의 압력은 규정압력보다 높을 경우에는 압력 조절기에 의해 조절되고, 연료의 압력이 규정값을 초과하였을 때, 연료는 리턴 파이프를 통해 연료 탱크로 되돌아간다. Fig. 1은 연료 시스템의 개념을 보여주는 것이다.

2-1. 연료 펌프

연료 펌프는 연료 탱크 내부에 설치되어 있으며, 연료를 연료라인으로 압송하는 역할을 한다. 연료 펌프

Fig. 1. Mechanism of fuel system.

Fig. 2. Schematic of fuel tank.

는 연료 탱크 내부에서 연료에 잠겨 있기 때문에 펌프 작동 소음 및 베이퍼 록(Vaper lock) 현상을 감소시키는 기능을 가지고 있다.

2-2. 연료 필터

연료 필터는 먼지 등의 여과성능을 높이기 위해 엘리먼트(element)의 형상이 작고, 연료의 압력이 높기 때문에 압력에 대한 내구성이 커야 한다. 또한, 연료 필터는 연료의 증기가 파이프 내부에서 머물러 연료의 흐름을 방해하는 베이퍼 록 현상을 방지하기 위해 파이프 부착부의 단열이나 주위 온도의 저하, 배관의 스트레이트화 등의 배관 설계상의 고려가 요구된다[16].

2-3. 인젝터

인젝터는 엔진컴퓨터(ECU)에 의해 제어되는 솔레노이드를 가진 분사노즐이다. 인젝터의 노즐의 구멍은 일정한 크기이며, 연료분사 압력도 일정하게 제어되므로 연료분사량은 솔레노이드가 자화되어 니들밸브를 열고 있는 시간 즉, 컴퓨터로부터 제어신호의 폭이 분사시간에 해당한다. 인젝터에서 연료 분사량은 분사시간이 길수록 증가한다.

2-4. 연료탱크

연료탱크는 자동차의 연료 시스템에 공급되는 연료를 저장하는 부품으로 승용차의 경우 40~100리터(liter) 정도를 저장한다[17-19]. 연료탱크의 소재는 강재와 플라스틱 등 두 가지가 있다. 최근에는 가볍고 형상의 구성이 쉽다는 장점 때문에 플라스틱 소재가 많이 사용되고 있다. Fig. 2는 연료탱크의 형상을 보여주는 것이다.

3. 연료장치의 고장사례

3-1. 연료 펌프의 고착사례

1) 현상

운전자가 운전을 하기 위해 시동을 걸었을 때 엔진의 크랭킹을 계속하여도 시동이 걸리지 않는 현상이 발생되었다.

2) 분석

이 자동차는 배기량이 1800 cc이며, 주행거리는 101,500 km를 운행한 것으로 확인되었다. 이 자동차는 연료를 사용할 때 가솔린 연료와 LPG 연료를 복합적으로 사용할 수 있는 겸용 자동차로 확인되었다. 따라서, 운전자가 초기에 시동을 걸 때는 초기 시동성 향상을 위해 가솔린 연료를 사용하여 시동을 걸고, 워밍업이 되면 액화석유가스(liquefied petroleum gas)로 전환하여 사용하였다. 그러나 운전자가 액화석유가스의 기화온도인 15°C 이상이 되는 3월경 초기 시동성이 양호하여 연료비용을 줄이고자 액화석유가스를 연료로 사용하여 시동을 걸고 운행하였다. 즉, 운전자는 연료비용을 절약하기 위해 몇 개월간을 가솔린 연료를 사용하지 않은 것으로 확인되었다. 이후 어느 시점에 운전자가 가솔린 연료를 사용하여 시동을 걸기 위한 점검을 할 목적으로 가솔린으로 시동위치를 변환하여 시동을 걸었을 때 시동이 걸리지 않았다. 몇 번의 크랭킹을 하였으나 시동이 걸리지 않아, 자동차의 연료 시스템을 점검한 결과 연료의 펌프 작동음이 전혀 들리지 않았다. 또한, 가솔린 연료라인과 연료 탱크를 분해하여 확인한 결과 연료 펌프가 고착되었고, 연료펌프 어셈블리가 심하게 부식된 것을 확인하였다. 즉, 이 사례의 원인은 엔진이 작동할 때 액화석유가스를 사용하고 가솔린 연료를 몇 개월 정도 사용하지 않은 상태에서 내부의 가솔린연료 특성상 모두 증발되어 연료 펌프부가 고착되어 부식된 것으로 판단된다. Fig. 3은

Fig. 3. Damage example of pump clogging by fuel adherence.

연료 펌프에 연료가 고착되어 펌프의 흡입부가 막힌 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

연료펌프의 성능이 좋지 않으면 시동을 걸었을 때 시동이 걸리지 않거나 운행을 할 때 어느 순간에 시동이 꺼졌다가 엔진의 관성에 의해 다시 시동이 걸리는 경우도 있다. 또한, 장기간 연료를 사용하지 않을 때는 연료를 제거하여 연료의 응고현상이 발생되어 연료 펌프의 고착으로 인해 자동차의 시동이 걸리지 않는 일이 발생할 수 있으므로 시스템이 손상되지 않도록 철저히 관리하여야 한다.

3-2. 연료라인에서의 누설

1) 현상

운전자가 자동차를 운전하던 중 고속에서 자동차가 갑자기 울컥거리는 현상이 발생되었다.

2) 분석

이 자동차는 82,500 km를 주행한 차량으로 시운전을 하여 확인한 결과 주행을 할 때 차량이 전후로 울컥거리는 현상이 발생되었다. 특히, 이러한 현상은 부하를 받지 않을 때는 엔진의 울컥거림 현상을 확인할 수 없었으나, 큰 부하를 받을 때는 울컥거림을 크게 느낄 수 있었다.

자기 진단기를 이용하여 엔진 상태를 확인하였으나, 정상으로 확인되었다. 또한, 점화장치를 확인하였으나 점화장치도 정상으로 확인되었다. 연료 누설을 확인하였으나, 육안으로 확인이 어려워, 연료의 라인을 정확하게 확인하기 위해 연료 라인을 분해하여 O-링을 확

Fig. 4. Fuel leakage example by o-ring damage of delivery pipe connecting parts.

인한 결과 O-링의 미소부분이 미세하게 찢어진 것을 확인하였다. 이 사례는 육안으로 보아서는 찢어진 것을 확인하기가 매우 어려웠다. 왜냐하면, 정상적인 상태에서는 O-링의 장력에 의해 O-링의 찢어진 미소부분에는 누설이 생기지 않았으나, 급가속을 하거나 120 km/h 정도의 고속 주행을 하였을 때 연료의 압력 변화가 생겨, 누설이 생기는 것을 확인하였다. 찢어짐 확인은 O-링을 잡고 당겨 늘려보았을 때 미세하게 찢어진 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4는 연료 라인과 딜리버리 파이프 연결부의 O-링 불량으로 인해 연료가 누유되는 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

일반적으로 연료의 배관 라인은 연료 탱크, 연료 필터, 연료 펌프 및 연료 공급 장치를 연결하는 배관으로 구성되어 있다. 연료 라인은 보통 철 파이프나 고무호스가 사용되고, 플라스틱 계통의 튜브도 적용되고 있다. 관의 지름은 6~8 mm 정도이다[16]. 연료라인을 연결하는 연결부에는 연료의 누설을 방지하기 위해 O-링이 끼워진다. 그러나 이 O-링의 불량, 찢어짐 또는 내구성의 저하가 생기면 이곳을 통하여 연료의 누설이 생기게 된다. 따라서, 연료라인에서의 누설이 생기지 않도록 기밀부품을 세밀하게 관리하여야 한다.

3-3. 불량 저급 연료 사용에 의한 고장사례

1) 현상

자동차를 운전하던 중 가속을 할 때 자동차의 소음기가 막힌 것 같은 느낌이 들었으며, 자동차의 가속력이 크게 떨어지는 현상이 발생되었다.

Fig. 5. Ingredient variation example of fuel by a alien substance mixing in fuel.

2) 분석

이 차량은 14,250 km를 주행한 차량으로 확인되었다. 운전자가 연료비를 절약하고자 정상적인 휘발유가 아닌 저급의 불량 휘발유를 사용한 것으로 확인되었다. 연료 시스템을 확인한 결과 불량 휘발유 사용으로 인하여 연료 탱크 내부가 부식되고, 다량의 침전물이 퇴적되어 있는 것을 확인하였다. 또한, 연료필터와 인젝터 끝에 회색의 카본이 다량 발생하여 고착된 것을 확인하였다. 이 연료의 연료 압력은 규정압력보다 낮은 2.4 kg/cm^2 으로 측정되었으며, 연료 펌프를 분해하여 육안으로 점검하였을 때 불량연료를 사용한 것으로 확인되었으며, 연료의 성분에 다량의 이물질이 혼입되어 있는 것을 확인하였다.

따라서, 이 사례의 경우는 운전자가 시동을 걸면 인젝터에서 분사할 때 불량휘발유의 성분으로 인해 연료의 입자가 커지고 연료의 유동성이 악화되어 분사가 잘 되지 않고, 인젝터의 분사홀을 막는 현상에 의해 정상적인 상태와 비교하였을 때 분사각도도 불량해지고, 분사량이 정상적인 분사때보다 적어져 자동차의 가속능력이 매우 악화된 것을 확인하였다. 이 연료는 수거하여 확인한 결과 연료가 붉은 오렌지 색상의 형태로 변질된 것을 확인하였다. Fig. 5는 연료에 이물질이 혼입되고 변질되어 붉은 오렌지색을 나타낸 연료의 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

정상적으로 엔진을 작동시키기 위한 최적의 조건은 분사할 때 미립자 형태로 분사되어 공기와 잘 섞여 이러한 혼합기가 연소실로 유입되어 연소를 하게 되면 완전 연소에는 매우 유리하다. 엔진에서 연료를 분사

할 때 불순물이 함유되지 않은 고품질의 연료를 사용하는 것이 연료의 효율을 최적화시키는 데 매우 중요하다. 따라서, 자동차의 연료에는 정상적인 연료를 주입하여야만 자동차 기능을 최적의 상태로 유지할 수 있으므로 자동차의 연료 관리를 철저하게 하여야 할 것으로 판단된다.

3-4. 연료 첨가제 사용으로 인해 인젝터 막힘 고장사례

1) 현상

운전자가 자동차의 시동을 걸었을 때 엔진의 떨림이 심하게 발생하는 현상이 발생되었다.

2) 분석

이 차종은 42,775 km를 주행하였으며, 이 차량을 시운전한 결과 운전하는 중에 정지하거나 공회전 상태에서 부조화 현상이 발생한 사례이다. 특히, 에어컨을 작동시켰을 때와 같이 공회전 보정을 해 줄 때 엔진의 부조화 현상이 더욱 크게 발생되었다. 가속을 하기 위하여 가속페달을 밟았을 때 차량이 정지 상태였다가 가속되는 느낌, 엔진의 출력이 부족하여 차량의 속도가 잘 나지 않는 등의 현상도 나타났다. 확인한 결과 인젝터 막힘 현상에 의해 연료분사가 잘 되지 않는 것이 원인이었다.

일반적으로 운전자가 자동차의 엔진을 어느 정도 주행한 후에 정지시키면, 인젝터 내부의 연료 라인에는 엔진의 연소실로 분무되지 못한 연료가 미소량 남아 있다. 이 때 불량 첨가제를 혼합한 연료는 엔진의 열에 의해서 증발한다. 그러나 연료 성분들 중에서 잘 증발이 일어나지 않는 성분이 남아서 탄소 형태의 타르로 남게 되는 데, 이런 일이 반복되면 증발되지 않고 그대로 인젝터의 통로에 남아서 엔진 열에 의해 건조된 퇴적물이 쌓여서 통로를 막아 노즐 홀이 막히게 된다. 또한 연료라인 중에 있는 미세한 불순물, 먼지 등이 침적물의 생성을 진전시킬 수도 있다.

이 자동차의 경우 분해하여 확인한 결과 Fig. 6에서 보면 인젝터의 분사 노즐부에 분사 퇴적물이 많이 퇴적된 것을 확인할 수 있다. 즉, 연료 라인에 퇴적된 연료의 성분 중 일부가 불량 연료 첨가제 사용에 의해 변화된 성분으로 인해 퇴적물(deposit)을 생성한 때문으로 확인되었다. Fig. 6은 연료에 첨가제를 사용하여 인젝터의 분사 홀이 막힌 사례를 보여주는 것이다.

3) 고찰

자동차에서 인젝터는 엔진에 연료를 공급하는 연료

Fig. 6. Clogging example of injector hole by fuel additives.

공급 파이프에 나란히 조립되어 실린더의 수만큼 조립되어 컴퓨터의 신호에 의해 연료를 분사하는 중요한 부품이다. 일반적으로 인젝터의 노즐 홀은 워낙 홀이 작은 정밀부품이므로 미세하게 막혀도 연료의 분사가 잘 되지 않아 해당 실린더에서 실화(misfire)가 발생할 수 있다. 또한, 연료 첨가제를 사용할 경우 연료의 화학적인 변화로 인해 인젝터의 불량, 엔진의 노킹현상, 출력부족 현상 등이 발생할 수 있다.

4. 결 론

연료 장치의 고장을 사례별로 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가솔린과 LPG 연료를 겸용으로 사용하는 자동차에서 가솔린을 일정기간 사용하지 않았을 때 연료의 응고현상으로 인해 연료펌프 고착현상이 발생한 것을 확인하였다.
- 2) 연료라인과 연결되는 기밀 누설부품이 O-링이 미세하게 손상되어 연료 누설에 의한 연료압력이 떨어지는 것을 확인하였다.
- 3) 불량연료를 사용하여 연료의 탱크가 부식되고 연료의 성상이 변화된 것을 확인하였다.
- 4) 엔진의 출력을 높이기 위해 사용한 연료의 첨가제가 오히려 퇴적물을 과다 발생시켜 인젝터의 연료 분사 홀을 차단함으로써 엔진의 출력을 떨어뜨리는 현상을 확인하였다.

참고문헌

1. Kenji Masaki, Shigeo Aono, Mikio Akaeda and Hidehiro Minami, Development of the Nissan Elec-

- tronically Controlled Carburetor System, SAE paper 780204.
2. Shigeo Aono, Akio Hosaka and Misumasa Inoue, "An Electronic Carburetor Controller", SAE paper 790743.
3. Norihiko Nakamura, Takaaki Itoh and toshi haru Morino, "Development of a New Variable Venturi Carburetor", SAE paper 830617.
4. Lauren L. Bowler, "Throttle body Fuel Injection (TBI) - An Integrated Engine Control System", SAE paper 800164.
5. T. Fukui, N. Endo, T. Sasaki and T. Ishida, "A New Type Electronically Controlled Fuel Injection System", SAE paper 811418.
6. HansjOrg Manger, "Electronic Fuel Injection", SAE paper 820903.
7. Robert E. Hetrick and Michael H. Parsons, "Electro-spray for Fuel Injection", SAE papre 972987.
8. Y. Iwamoto, K. Noma, O. Nakayama, T. Yamauchi and H. Ando, "Development of Gasoline Direct Injection Engine", SAE papre 970541.
9. Shinji Ueda, Yukio Mori, Eiji Iwanari, Yoshitomo Oguma and Yousuke Minoura, "Development of a New Injector in Gasoline Direct Injection System.
10. Ismal A. Abu-Isa, Sabiha Khalid, Gabriel DeBarr and Sam Zhi, "Mechanical, Thermal and Rheological Properties of Polymers Used in Plastic Fuel Tanks", SAE paper 2006-01-0333.
11. Kenji Hiraku, Kenichirou Tokuo and Hiroyuki Yamada, "Developement of High Pressure Pump by Using Hydraulic simulator", SAE paper 2005-01-0099.
12. Takahiro Nozu, Youichi Murakami et al., "Development of Sintered Bearing Material with Higher Corrosion Resistance for Pumps", SAE paper 2007-01-0415.
13. Victor R.Lake, "Noise measurements of Electric In-Tank Fuel Pumps", SAE paper 870982
14. C. Harrison and A. Stevenson, "Accelerated Life Testing of Push Fit Coupling for Climate Control and Fuel Line Application", SAE paper 981083
15. Il Kwon Lee, et al., "Automotive Failure Diagnosis", Sun Hak, 2002
16. Korea society automotive engineering, "Handbooks of automotive technology", 1996.
17. Maintenance manual of Hyundai Motors, 2012.
18. Maintenance manual of Kia Motors, 2012.
19. Maintenance manual of GM Daewoo Motor, 2012.