



LPI 시스템 자동차의 인젝터, 공회전 액추에이터 및 개스킷 고장사례 연구

†이일권 · 조승현* · 김한구** · 김승철

대림대학교 자동차공학과 · *동양미래대학교 · **코다코
(2012년 5월 1일 투고, 2012년 6월 27일 수정, 2012년 6월 27일 채택)

Study for Failure Examples of Injector, Idle Speed Actuator and Gasket in LPI System Vehicle

† Il Kwon Lee · Seung Hyun Cho* · Han Goo Kim** · Seung Chul Kim

Department of Automotive Engineering, Daelim University College,
**Department of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University,*
***KODACO co., Ltd R & D Center*

(Received May 1, 2012; Revised June 27, 2012; Accepted June 27, 2012)

요약

이 논문의 목적은 LPG 자동차의 액상 분사시스템에 관련된 고장사례를 연구하는 것이다. LPI 분사시스템인 인젝터를 점검한 결과, 인젝터에 카본이 누적되어 운전 중에 간헐적으로 연료를 분사하는 인젝터의 미세한 홀을 막아 연비를 5% 정도 떨어뜨리는 것으로 확인되었다. 엔진의 공회전을 조절하는 시스템인 공회전 조절장치 부품과 엔진에 공기를 공급하는 시스템인 스로틀 보디에 카본이 퇴적되어 공기의 흐름을 간섭함으로써 연비가 7% 악화된 것을 확인되었다. 엔진의 흡기 매니폴드 개스킷의 일부가 찢어져, 실린더 헤드와 실린더 블록의 밀착성이 약화되어 흡기행정에서 외부의 공기가 이 틈새로 간헐적으로 유입되면서 증가된 공기량만큼 연료량의 증가를 가져와 엔진의 회전수가 증가하여 부조화 현상이 발생되어 정상적인 상태보다 연비가 3% 정도 악화된 것으로 확인되었다. 이러한 고장사례는 운전중에 엔진의 출력 성능을 떨어뜨리고, 자동차의 연비를 악화시키는 요인이 된다. 따라서 품질확보에 철저하게 대처하여 고장현상을 최소화 하여야 할 것으로 판단된다.

Abstract - The purpose of this paper studies the failure cases including with system of liquefied phase injection in liquified petroleum gas vehicle. The first case, resulting with inspection the injector of LPG, it occasionally certified the injection damage phenomenon that the fuel efficiency(km/ l) was decreased to 5% by carbon deposit with injector hole when the driver operates the vehicle. The second case, it certified the interference phenomenon of air flow with carbon deposit in ISA system control for idle speed of engine and throttle body suppling air into engine. As a result, the fuel efficiency was decreased 7%. The third case, the outer air during intake stroke was intermittently flowed in this gasket gap because of weaken adhesion power phenomenon for cylinder block by intake manifold gasket tearing. Consequentially, it certified the decrease for fuel efficiency to 3% by risen the amount of fuel injection as the air inflow quantity. These failure examples reduced the power performance of engine and the fuel efficiency of vehicle. It have to minimize of failure phenomenon preparing through quality management.

Key words : LPI system, injector, carbon, ISA system, intake manifold, sticking

†주저자:iklee@daelim.ac.kr

I. 서론

최근의 자동차 제작사들은 지구의 온난화 현상과 동력원인 원유의 고갈 문제에 긍정적으로 대처하기 위해 연료를 절약하는 신 시스템의 자동차를 경쟁적으로 개발하고 있다. 이러한 지구온난화를 최소화하고, 자동차에 의해 배출되는 배기가스를 줄이기 위해 사용하는 자동차 시스템이 액화석유가스(liquid petroleum gas) 자동차이다. 현재 LPG 자동차는 실용화된 대표적인 저공해자동차로 각광받고 있다[1].

액화석유 가스 자동차는 연료를 고압으로 액화시킨 LPG를 사용하기 때문에 기화기(vaporizer)라는 부품을 이용하여 액상 상태의 가스의 압력을 감압하여 기체화시켜 엔진의 연소실로 공급하여 태우는 방식이다. 그러나 대기의 온도가 기화온도보다 낮은 온도일 때는 시동성이 떨어지거나 기화를 통해 흐르는 가스의 찌꺼기에 의해 타르라는 물질이 형성되어 기화기에 축적되어 연료 가스의 흐름을 악화시킨다. 이러한 시스템의 불안정성을 제거하기 위해 베이퍼라이저를 거치지 않고 가솔린 엔진과 같이 인젝터를 이용하여 연소실로 연료를 직접 분사하는 LPI(liquified petroleum injection) 시스템에 대한 연구 논문이 발표되었다[2,3]. 또한, 액상에서 직접분사를 하는 데 있어서 인젝터 동결현상의 문제를 해결하기 위한 연구[4], 엔진의 성능을 향상하고 배출가스의 유해성분을 줄이기 위해 LPG를 분사할 때 액상의 가스를 효과적으로 성층화 시키기 위한 연구[5], 또한, 공회전 상태에서 엔진 성능 향상에 대한 LPG 액상 분사 엔진의 연소변화에 대한 연구[6]과 배출가스를 효과적으로 감소시키기 위해 액상 LPG 엔진의 인젝터 위치를 변화시켜 분사하는 연구도 꾸준히 진행되었다[7]. 그리고 터빈형의 펌프를 이용하여 여러 가지 성분비에 따른 LPG 연료에 대한 유동율을 비교하는 연구도 진행되었다[8]과 LPG 분사 시스템에서 엔진 속도에 대한 정확한 제어를 위해 엔진의 갑작스런 부하의 변화에 따라 정확하게 제어할 수 있는 컨트롤러에 대한 연구도 꾸준히 진행되어 왔다[9].

일반적으로 액상 LPG에 의한 연료를 사용하는 자동차는 높은 엔진 토크와 출력에 대한 대응과 친환경 배출가스시스템과 저연비 및 에너지 절감을 위해 큰 용량의 펌프 구동모터에 대한 연구 결과도 발표되었다[10]. 액상 LPG 다점분사(multi-point injection) 방식은 가스상태의 분사방식보다는 체적효율이 증가한다. 즉, 액상 시스템은 연료를 입구에서 증발시키기 때문에 실린더에 들어가는 공연비는 가스상태의 방식보다 더 농후하다[11].

LPG 자동차의 연비 효율을 높이기 위해 LPG 하이

브리드 자동차에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다[12]. 이러한 액화석유가스 LPI 시스템에 대한 연구는 연료의 절감과 배기가스 향상을 위해 크게 기여할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 액화석유 가스 자동차 엔진의 LPI 시스템과 관련된 부품에서 발생하는 현장 고장사례를 조사하고, 이를 분석하여 이에 대한 개선하고자 하였다.

II. 이론적 배경

2.1. LPG 엔진시스템의 개요

LPG는 압력을 가하거나 냉각하게 되면 부피가 1/250로 줄어든다. 이러한 LPG 가스는 자동차에 사용할 경우 성능, 연비, 저온 시동성, 역화 및 타르 등이 발생하는 문제가 있다. 특히 믹서와 베이퍼라이저를 사용함으로써 온도가 낮은 겨울철에는 시동성이 떨어지고, 베이퍼라이저에 타르와 같은 찌꺼기가 생겨 시스템의 시동성에 문제가 생긴다. 이러한 시동성과 효율을 개선하기 위한 시스템으로 개발된 것이 LPI 시스템이다. 이 시스템은 연소실로 직접 연료를 분사하므로 기존의 시스템보다 시동성과 엔진의 출력이 개선된 시스템이다[13]. Fig. 1은 액화석유 가스 차량의 LPI 시스템의 구성을 보여주는 것이다.

2.2. LPI 시스템의 구성부품

연료 펌프 모듈은 멀티밸브와 펌프로 구성되어 있으며, LPG 용기 내부의 LPG를 펌프에 의해 액상으로 고압 송출한다. 즉, 엔진의 컴퓨터 신호에 의해 연료 및 부하 조건에 따라 펌프를 단계적으로 1~5단까지

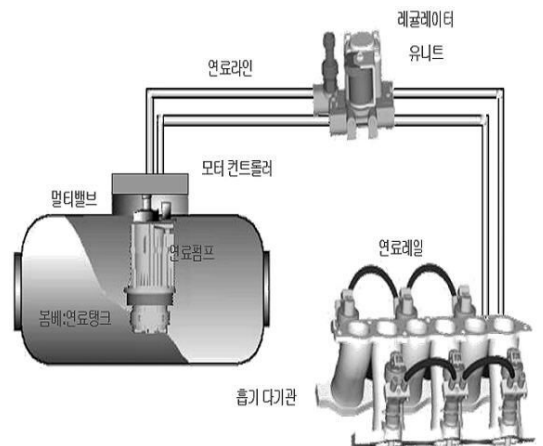


Fig. 1. Schematic of liquid petroleum injection.

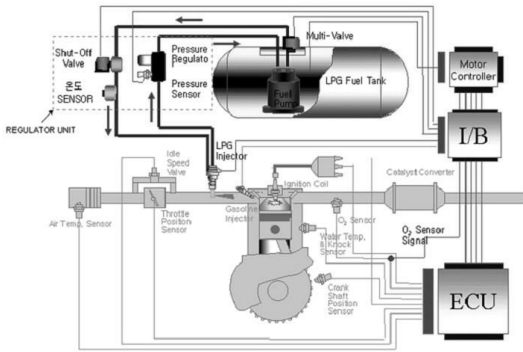


Fig. 2. Mechanism of fuel flow in the LPI.

작동한다[14]. 레귤레이터 유닛은 연료탱크에서 공급된 고압의 연료가 내부의 다이어프램과 스프링의 밸런스 작용으로 인해 연료 라인내의 압력을 용기 압력보다 5 bar 높게 유지시키는 기능을 한다. Fig. 2는 LPI 시스템의 연료흐름 구성을 보여주는 것이다.

III. LPI 시스템의 고장사례 분석

3.1. 측정

Fig. 3은 엔진튜닝(engine tune-up)테스터를 이용하여 자동차 센서부의 파형을 측정하는 예를 보여주는 것이다. 이 시험장비는 자동차 전자제어 시스템을 진단하고 이를 파형으로 출력하여 고장의 원인을 찾는 장비이다. 이것은 자동차에 관련된 센서와 액추에이터에 입력되는 전기적인 신호를 파형으로 표현해주는 것으로서 고장진단을 하는 데 있어 매우 신뢰성이 있다. 측정된 파형의 상태를 분석하여 차량의 고장원인을 찾는 역할을 한다[15].

3.2. 현상 및 고찰

3.2.1. 엔진작동시 인젝터의 막힘현상으로 인해 간헐적인 부조화 현상

1) 현상

운전자가 운전을 하다 제동할 필요가 있어 자동차가 정지하였을 때 또는 정지한 다음 출발할 때 엔진의 회전수가 떨어지면서 엔진이 약하게 흔들리는 부조화 현상이 발생하였다.

2) 분석

이 자동차의 운행거리는 88,500 km로, 운전자가 운전하는 동안 발생한 현상에 대한 모니터링 결과, 엔진의 부조화 현상은 1개월 전부터 발생하였다. 엔진의 부조화 현상을 확인하기 위하여 자동차를 시운전하여



Fig. 3. Engine tune-up tester for pulse form on vehicle engine room.

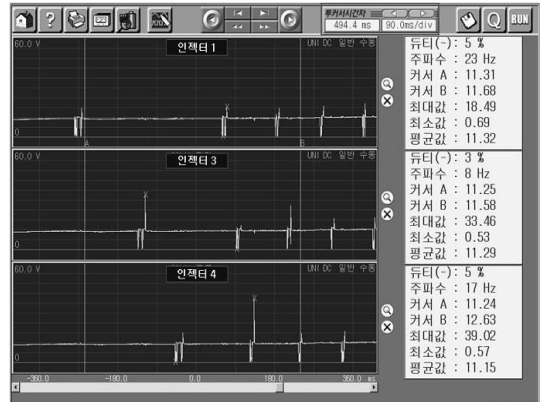


Fig. 4. Pulse form example of injector.

확정한 결과, 동일 현상이 발생되었다. 엔진의 점화장치와 엔진의 기계적인 각부의 연결부를 확인하였으나 정상으로 확인되었다. 또한 엔진의 전자제어 진단기를 이용하여 점검하였으나 정상으로 확인되었다.

Fig. 4는 진단기에서 출력된 정상적인 파형을 보여주는 것이고, Fig. 5는 인젝터의 막힘 사례를 보여주는 것이다. 그러나 연료장치와 연료라인과 펌프 등은 점검한 결과, 이상이 없었으나, LPI 분사 시스템인 인젝터를 점검한 결과, 미세하게 인젝터에 카본이 누적된 현상을 확인하였다. 이렇게 누적된 카본이 인젝터가 분사할 때 인젝터의 미세한 홀을 막아 연료의 분사가 균일하게 이루어지지 못해 엔진의 부조화 현상이 발생되었으며, 이 현상으로 인해 엔진의 부조화 현상이 발생하였을 때와 수리한 후 정상적인 상태를 비교하였을 때 연료소비율이 5% 정도 증가된 것을 확인하였다.



Fig. 5. Clogging example of injector.

3) 고찰

LPI 차량의 인젝터는 매우 정밀한 부품이다. 연료의 분사 조건이 되었을 때 LPI 인젝터 내부의 니들 밸브가 열리면 연료펌프에 의해 공급된 고압 형태의 액체 상태의 연료는 연소실로 분사된다. 그러나 인젝터에 이물질이 고착되어 막히게 되면 액상의 LPG가 잘 분산되지 않는다. 따라서, LPI 시스템의 인젝터는 세심한 품질 관리가 되어야 하며, 불량연료에 의해 홀의 막힘이나 조립시 가스의 누설원인이 될 수 있는 O링의 손상 등에 주의해야 한다.

3.2.2. ISA 카본 퇴적현상으로 차량정지 시 엔진 정지 현상 사례

1) 현상

이 자동차는 운전자가 차량을 운전하던 중 신호등에서 정지하였을 때나 자동차를 선회할 때 엔진의 회전수가 떨어지면서 시동이 꺼지려는 현상이 발생하였다.

2) 분석

이 자동차는 59,391 km를 주행한 차량으로 엔진의 자기진단기를 이용하여 자동차의 고장상태를 점검한 결과 이상이 없는 것으로 확인되었다. 자동차의 엔진룸을 확인한 결과 엔진의 공회전을 조절하는 시스템인 공회전 조절 액추에이터(Idle speed actuator) 부품과 엔진에 공기를 공급하는 시스템인 스톨 볼디(throttle body)에 카본이 퇴적된 현상을 확인하였다.

Fig. 6은 카본이 퇴적된 ISA 시스템의 사례를 보여주는 것이다. Fig 7은 카본이 퇴적된 스톨 볼디를 보여주는 것이다. 일반적으로 유체가 흐르는 부위에 퇴적물이 축적되면 유체는 퇴적물에 간섭에 의해 흐름에 방해를 받게 된다. 이 사례의 경우에는 시동꺼짐 발생하였을 때와 시동꺼짐 현상이 제거된 후의



Fig. 6. Carbon deposit of ISA.



Fig. 7. Carbon deposit of throttle body inside.

연료 소비율이 약 7% 정도 차이가 나는 것을 확인하였다. 즉, 이러한 현상은 운행 중인 자동차의 성능을 떨어뜨려 시동 꺼짐 현상을 발생시키고 연비를 악화시키는 것으로 판단된다.

3) 고찰

자동차의 공회전 시스템은 엔진의 시동을 걸었을 때 엔진의 공회전상태에서나 기타의 운전조건에서 부하를 증가시켰을 때 엔진에 적절한 흡입 공기량을 조절해 주는 시스템이다. 운전을 하는 동안에 이 시스템이 고장이 생기면 시동이 꺼지거나 엔진의 회전수가 불규칙하게 변화하여 연료소비를 증가시키는 원인이 된다.

일반적으로 자동차 메이커의 엔진 설계자들은 공회전의 수를 낮은 상태에서 시동이 꺼지지 않고 유지되는 시스템을 최적화시키려고 한다. 그렇게 함으로써 연소실로 공급되는 연료를 최소화함으로써 연

료의 효율을 극대화시킬 수 있다[15]. 또한 이와 아울러 자동차를 관리할 때 공기의 흡입구에 퇴적물에 의한 유체의 흐름을 최적화하여 엔진의 사용효율성을 향상시켜야 할 것으로 판단된다.

3.2.3. 흡기매니폴드 조립부 개스킷 손상으로 인한 엔진 부조화 사례

1) 현상

운전자가 차량의 시동을 걸고, 시속 60 km/h로 운행하다가 신호를 받고, 신호에서 대기중 엔진의 회전수가 간헐적으로 불규칙하게 부조화 현상이 발생하였다.

2) 분석

이 차량은 58,000 km를 주행한 차량으로 시운전한 결과, 공회전 상태의 회전수에서 1,500 rpm까지 불규칙하게 부조화 현상이 발생하고, 이 현상은 엔진의 상태가 워업(warm-up)이 된 엔진의 열간 상태에서 더 자주 발생하는 것으로 확인되었다. 엔진의 상태를 확인하기 위하여 자기 진단한 결과, 이상 없음으로 확인되었다.

차량의 엔진실의 점화플러그, 인젝터 등을 모두 점검하였으나 정상이었고, 엔진의 흡기 매니폴드를 분해하여 확인한 결과 Fig. 8과 같이 엔진의 흡기 매니폴드 개스킷의 일부가 미세하게 찢어져 있는 것을 확인하였다. 즉, 흡기 매니폴드 면과의 밀착성이 약화되어 흡기시 외부의 공기가 유입되면서 엔진의 부조화 현상이 발생된 것으로 판단된다.

이 차량의 경우 출고된 다음 수리된 이력은 없었으나 이러한 현상이 발생된 것을 분석하여 보면, 초기 차량이 생산될 때 개스킷 부의 미세한 균열현상이

있어서, 이것이 조금씩 진행되어 개스킷이 손상이 확대되어 이 사례와 같은 고장현상이 발생된 것으로 판단된다. 이 사례를 분석하여 연료 소비를 비교한 결과, 개스킷을 교환하기 전의 연료소비율이 개스킷을 교환한 후의 연료 소비율보다 3% 정도 많은 것으로 확인되었다.

3) 고찰

일반적으로 개스킷은 유체가 흐르는 두 개의 연결부에 삽입되어 유체가 흐를 때 유체의 누설을 방지하기 위하여 사용되는 기밀을 유지하기 위한 부품의 하나이다. 따라서 자동차 엔진에서 두 개의 어셈블리 부품을 조립할 때는 개스킷을 삽입하여 유체의 기밀을 제어한다. 개스킷을 삽입할 때 설계규정에 맞지 않는 부품을 끼우거나, 조립할 때 오조립을 하게 되면 자동차는 원래의 기능을 하지 못해 고장현상으로 나타나게 된다.

IV. 결 론

액화석유가스 자동차의 LPi 시스템의 고장사례를 사례별로 분석하고, 이를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LPi 분사 미세하게 인젝터에 카본이 누적된 현상에 의해 운전중에 간헐적으로 연료를 분사하는 인젝터의 미세한 홀을 막아 연비를 5% 정도 떨어뜨리는 것으로 확인되었다.
- 2) 엔진의 공회전 조절장치 부품과 스로틀 보디에 카본이 퇴적되어 공기의 흐름을 간섭함으로써 연비가 7% 정도 악화되는 것을 확인하였다.
- 3) 엔진의 흡기 매니폴드 개스킷의 일부가 찢어져 엔진의 부조화 현상이 발생되어 정상적인 상태보다 연비가 3% 정도 악화된 것을 확인되었다.

참고문헌

- [1] 테이크 산업연구소, 그린카 시장의 실태와 전망, (2009)
- [2] R. Sierens, "An Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection", SAE paper 922363
- [3] I. T. Kim, S. H. Lee et al., "Development of HMC IPI Mono-Fuel Vehicle", SAE paper 2012-01-1314
- [4] C. U. Kim, S. M. Oh, Y. K. Lee, K. Y. Kang and D. U. Lee, "Characteristics of Icing Phenomenon on Injection in a Liquid Phase LPG Injec-



Fig. 8. Damage of intake manifold gasket.

- tion SI Engine", SAE paper 2003-01-1919
- [5] Y. M. Woo, K. T. Yeom, C. S. Bae et al., "Effects of Stratified EGR on the Performance of a Liquid Phase LPG Injection Engine", SAE paper 2004-01-0982
- [6] C. Manzie and H. C. Watson, "Modelling combustion Variability in LPG Injected Engines for Improved Engine Performance at Idle", SAE paper 2004-01-0420
- [7] M. Flekiewicz and B. Flekiewicz, "Influence of LPG Injector Location on Engine Emissions and Performance", SAE paper 2007-01-3530
- [8] K. J. Lee, Ju-Woon Kim, C. L. Myung and S. S. Park, "Experimental Investigation on Flow Rate performance and LPLi Engine Application of Turbine Pump with Various Composition Ratio of LPG Feul", SAE paper 2007-01-3629
- [9] U. Sawul, B. Takigawa, G. Konagai, H. Yasukawa and T. Tsuji, "Modeling and Engine Speed Control of LPG Injection System", SAE paper 2008-01-1020
- [10] U. Sawul, S. Yamaguchi, G. Konagai and T. Tauji, "Liquid LPG Injection System with Variable Fuel Injection Pressure Control", SAE paper 2010-01-0159
- [11] D. Agostinelli, N. Carter, G. Faug and F. Hamori, "Optimization of a Mono-fuel Liquid Phase LPG MPI Fuel System", SAE paper 2011-01-0382
- [12] I. T. Kim, J. G. Choi, Y. J. Nam et al., "A Study on Fuel Economy and Low Emission Development of LPI HEV(SULEV) to Meet Stringent Emission Regulations", SAE paper 2011-01-0869
- [13] 현대기아자동차, LPI 정비교육교재, (2006)
- [14] 현대기아자동차, 전자제어 LPI 시스템, (2003)
- [15] 현대기아자동차, HI-DS Manual, (2011)
- [16] 현대기아자동차, 정비지침서, (2011)