

Mixer-type LPG차량에서 엔진역화에 의한 차량 파손에 관한 연구

A Study on the Damage by Engine Backfire in the Mixer-type LPG Vehicles

전 광 수*·최 성 은**·진 영 옥***·정 진 은***

Kwang-Su Jeon*·Sung-Eun Choi**·Young-Wook Chin***·Jin-Eun Chung***

Abstract

The engine backfire leading to the damage to the intake system is observed in the mixer-type LPG engines. The hot spot flowing back into the intake manifold from the engine cylinder during the valve overlap period is known to give rise to the backfire. This backfire is known to be the main cause of the abrupt stop of the vehicle leading to the accidents on the streets. In this study, the cylinder pressure buildup at the later stage of combustion due to the prolonged burning is presumed to be the main cause of the backflow leading to the backfire. This is experimentally observed by creating the engine misfire using the ill-conditioned ignition systems.

Keywords : Backfire, LPG Engine, Back-flow, Misfire

1. 서 론

차량 주행 중 갑작스런 폭발음에 이어 엔진이 정지하고, 이에 따른 조향장치 및 제동장치의 작동 불능으로 차량 운전자가 위험에 처하는 경우를 종종 볼 수 있다. 이러한 사례는 Mixer 방식의 LPG개조 또는 LPG전용 차량에서 목격된다. 상기의 연료공급방식을 채택한 차량에서 엔진 흡기관은 예혼합 연료로 채워져 있으므로 엔진으로부터 열원만 공급된다면 언제든지 흡기관내 폭발이 가능하다고 할 수 있다[1].

* 대덕대학 자동차학부

** 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

***한국기술교육대학교 기계정보공학과

Fig.1과 같이 Mixer방식의 연료공급을 채택하는 LPG기관에서 액체연료는 Vaporizer를 지나 기체 상태가 된 후 서지탱크 앞단의 Mixer에서 스로틀밸브를 통해 들어오는 공기와 혼합되어 엔진 실린더로 공급된다. 하지만 흡기밸브가 열릴 시점에서 엔진의 연소가 지속되거나 엔진 내 잔류 열원이 존재하는 경우 흡기포트로 역류하여 예혼합 연료에 점화됨으로써 굉음을 내며 폭발하는 역화가 발생할 가능성이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 엔진 실린더 가스의 역류는 Valve Overlap기간에 발생하는데 흡기관 내 예혼합 연료의 점화에 필요한 열원으로 작용한다[2-5]. 흡기포트로 열원이 역류하는 메카니즘을 살펴보면, 첫째 점화장치의 점화에너지가 충분하지 못하여 Valve Overlap기간까지 연소지연이 나타나서 고온가스가 흡기포트로 이동하는 경우, 둘째 직접점화장치(DLI)에서 연소과정 뿐 아니라 가스교환과정에서도 점화플러그에서 에너지가 방출하는 경우, 셋째 가스교환 시 피스톤링과 실린더 틈새에서 고온의 탄소입자가 흡기포트로 이동하는 경우, 그리고 엔진 고부하시 잔류가스 자체의 온도가 상승하는 경우 등으로 대별할 수 있다.

상기 역류 메카니즘으로부터 Mixer 방식 LPG차량의 역화는 점화장치의 이상에 기인함을 알 수 있으며, 본 연구에서는 점화장치의 이상에 따른 엔진 역화를 실험적으로 연구하였다.

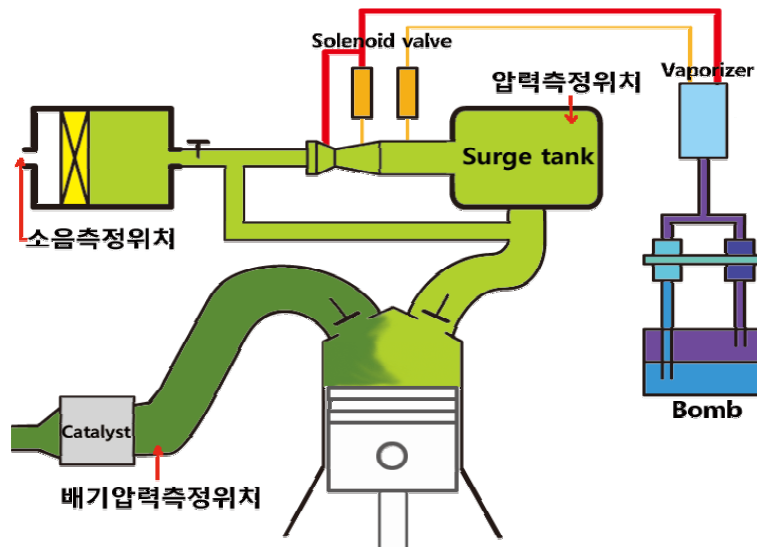


Fig. 1 Schematic

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 연료공급방식이 Mixer방식의 상용 2000cc SI기관 LPG엔진을 대상으로 실차에서 Idle 상태에서 가속페달을 밟으면서 흡기압, 배기압, 점화과형, 소음, 사진 촬영을 통해 실화와 역화의 발생여부를 확인하며 실험하였다.

실화란 엔진의 실린더 내에서 비정상적인 연소가 일어나는 현상을 말한다. 즉 실린더 내로 주입된 연료가 제시간 내에 다 연소되지 못하고 배기계로 배출된다. 실화가 발생할 경우 정상상태보다 빠르게 또는 느리게 연소가 일어나거나 연소가 이루어지지 않는다. 엔진에 기계적인 문제점이 없고 점화 타이밍이 정확한 경우 실화의 원인으로 점화장치 이상과 연료 문제를 들 수 있다. 화염이 전파되는 속도는 초기에 가해진 전기에너지의 크기에 비례하기 때문에 점화장치 이상으로 점화에너지가 충분치 못한 경우 실화가 발생할 수 있다. 또한 실린더로 유입된 연료의 양이 너무 많거나 적을 경우 정상적인 연소가 진행되지 못한다.

따라서 정상적으로 작동하는 LPG 차량에서 배전시스템과 점화플러그에 인위적인 불량을 야기하여 점화장치의 이상에 의한 실화가 역화현상에 미치는 영향을 분석하였다. 배전시스템의 차이에 따라, 배전기식 점화장치에서 중심전극이 소손된 경우와 고압케이블의 연결 불량을 실험하였으며, 전자식 점화장치(DLI)의 점화코일의 절연불량과 고압케이블에 대해 실험을 하였고, 직접 점화방식(DIS)의 점화코일의 불량을 실험하였다. 또한 점화플러그의 간극과대, 절연체 불량에 의한 코로나방전, 회분누적 불량에 대하여 실험하였다.

실화 발생은 HI-DS 파형 분석기를 이용하여 점화 1차 및 점화 2차 회로의 전압파형 형상을 상황별로 비교하여 확인하였으며, 역화는 소음과 흡·배기압, 사진을 통하여 확인하였다.

3. 실험 결과

배전기식 점화장치, 전자식 점화장치, 직접 점화장치의 구성부품 불량과 스파크 플러그 불량에 대하여 점화 파형을 측정하였다. 피크전압 크기, 점화시간과 파형 형상 등의 점화파형의 분석을 통해 실화를 예상할 수 있었으며, 이를 이용하여 실화가 역화에 미치는 영향을 파악할 수 있었다. Fig. 2와 Fig. 3은 점화시스템 불량에 기인한 역화발생과 그 결과를 보여준다.



Fig. 2 Backfire



Fig. 3 Damages by engine backfire

3.1 배전기식 점화장치

배전기식 점화장치의 중심전극이 소손된 경우배전기 캡의 중심전극과 로타 사이의 에어 갭이 과다하여 점화2차 라인에 과대한 저항이 발생하여 점화에너지가 정상적으로 분배되지 못하고 Fig. 4와 같이 전체적인 피크전압이 높게 검출된다. 고압 케이블이 접촉 불량인 경우에도 Fig. 5와 같이 특정 점화라인에서 피크전압이 높고 점화시간이 짧은 파형이 나타난다.

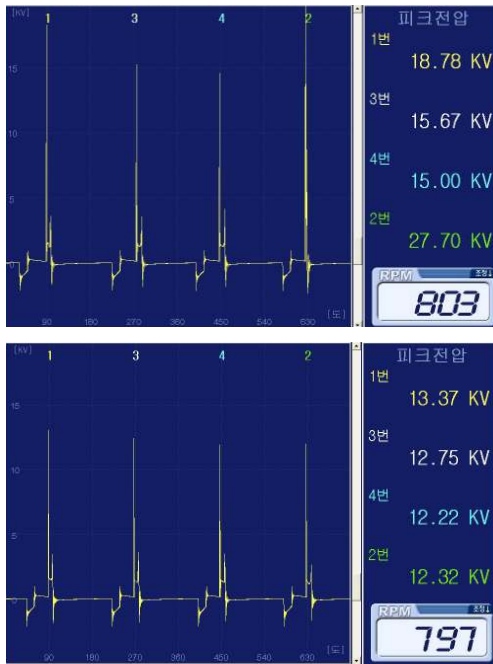


Fig. 4 Electrode burn-out
(Top: abnormal, Bottom: normal)

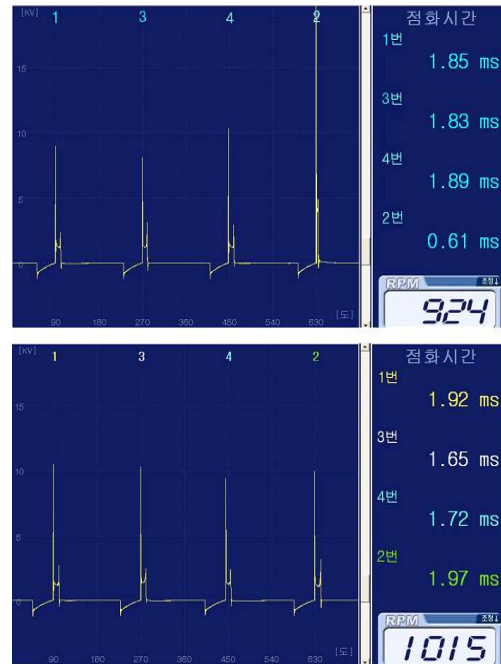


Fig. 5 Connection of High tension cable
(Top: abnormal, Bottom: normal)

3.2 전자식 점화장치

전자식 점화장치의 점화코일이 절연불량인 경우 점화에너지가 점화플러그까지 도달하지 못하고 중간에서 누전되어 Fig. 6과 같이 피크전압은 발생하나 점화시간이 없어진다. 고압 케이블이 연결 불량인 경우에는 배전기식 점화장치의 고압 케이블 연결 불량과 마찬가지로 Fig. 7과 같이 특정 점화라인에서 피크전압이 높고 점화시간이 짧은 파형이 나타난다.

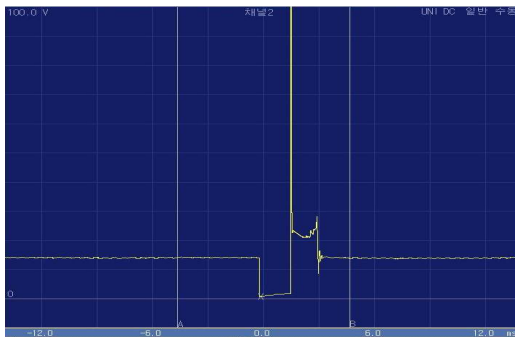
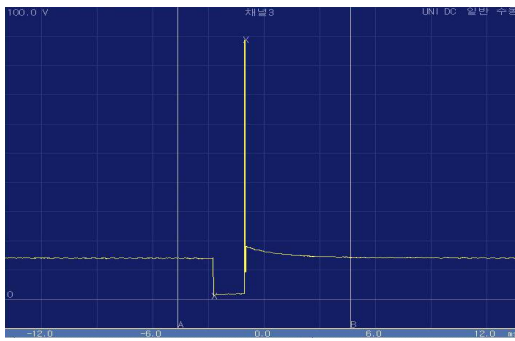


Fig. 6 Insulation of ignition coil
(Top: abnormal, Bottom: normal)

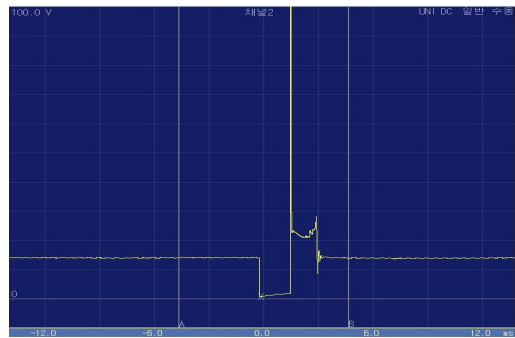
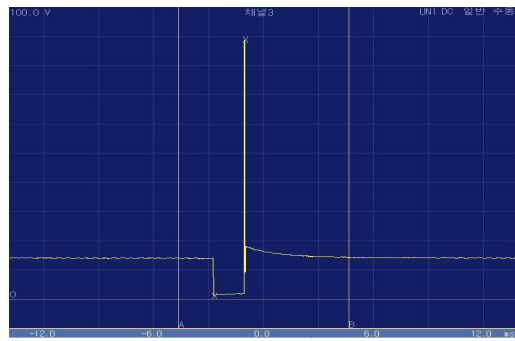


Fig. 7 Insulation of ignition coil
(Top: abnormal, Bottom: normal)

3.3 직접 점화장치

직접 점화방식에서 점화코일이 절연불량인 경우에는 전자식 점화장치의 점화코일이 불량일 때와 달리 점화1차전압 파형 측정 시 역기전력이 발생하지 못하여 2차 유도전압 자체가 발생하지 못하고 Fig. 8의 파형처럼 피크전압 및 점화지속 시간이 없어진다.

3.4 점화플러그

점화플러그의 간극이 과대해진 경우 점화플러그의 양단전압은 불꽃이 발생하기 전까지는 공기의 절연을 깨기위해 큰 전압이 필요하여, 방전에너지가 높게 요구되어 Fig. 9에 나타난 것처럼 피크전압이 정상치보다 높게 나타난다.

또한 절연체 불량에 의해 코로나 방전이 일어나게 되면 플러그 애자에서 점화에너지가 누전되어 Fig. 10과 같이 점화피크전압은 발생하나 플러그의 중심전극까지 점화에너지가 도달하지 못하고 절연 애자에서 소멸되어 점화시간이 존재하지 않게 된다.

또한 회분누적으로 인해 불량이 발생한 경우에는 자기청정기능을 상실하여 탄소찌꺼기의 부착으로 중심전극의 간극이 줄어들어 Fig. 11에 나타난 것과 같이 점화피크전압이 발생하지 않아 정상연소가 이루어지지 않는다.

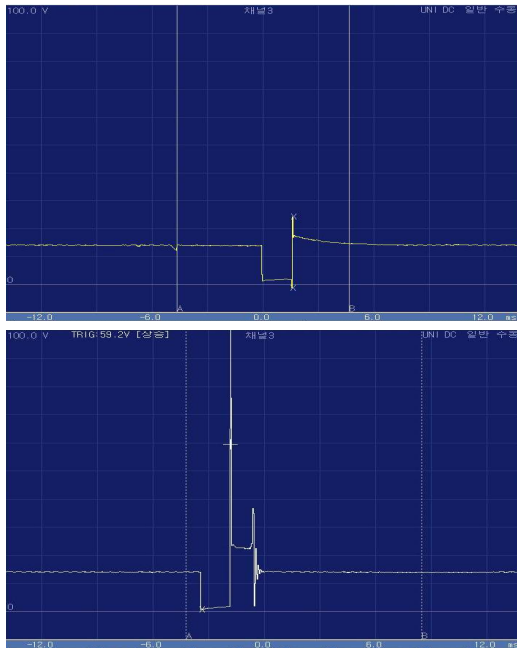


Fig. 8 Insulation of ignition coil
(Top: abnormal, Bottom: normal)



Fig. 9 Spark-plug gap
(Top: abnormal, Bottom: normal)

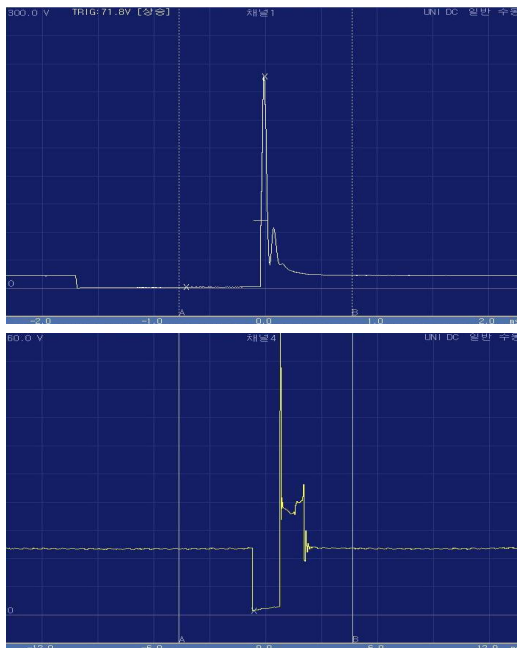


Fig. 10 Corona discharge at the spark plug
(Top: abnormal, Bottom: normal)

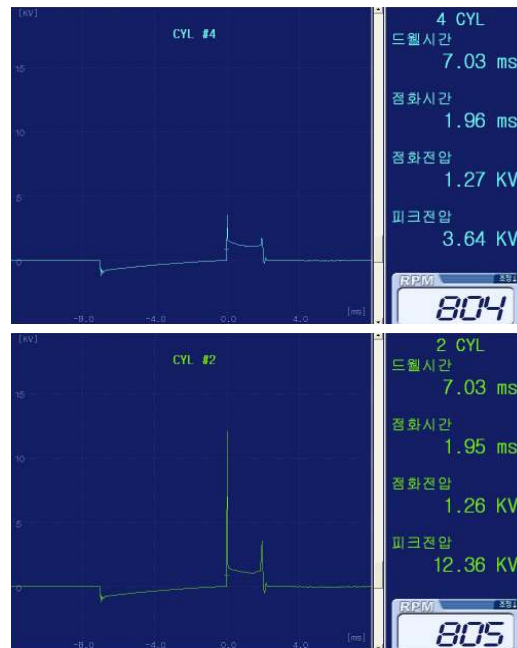


Fig. 11 Ash deposit at the spark plug
(Top: abnormal, Bottom: normal)

4. 결 론

점화장치의 전압파형 측정과 소음 및 육안에 의한 관찰을 통해 불충분한 점화에너지가 실화의 원인이 됨을 확인 할 수 있었다. 역화 발생율은 약 90% 정도였으며 이를 통해 실화와 역화의 발생에 높은 관련성이 있음을 확인 할 수 있었다. 통상 실화의 가장 큰 원인이 점화계통의 불량이므로 정기적인 점검 및 정비를 통해 역화 발생율을 낮출 수 있을 것으로 사료된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] J.B.Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill Book Co., Newyork, 1988
- [2] S.M.Oh, J.S.Hwang et. al, "The Effect of Valve Timing on Backflow during Valve Overlap in a Gasoline Engine", KSAE paper 96380136, 1996
- [3] Kwangyeon Kim, Byoungkyu Choe et. al, "Parametric Study of Engine Operating Conditions Affecting on Backfire of LPG Vehicle", KSAE 추계학술대회 논문집 , No.1, 512-517, 2001
- [4] C.S.Kim, H.B.Song et. al, "Effect of Valve Timing on Residual Gas Fraction and Combustion Characteristics at Part Load Condition in an SI Engine", KSAE No. 2003-03-0063, 2003
- [5] Junemo Koo, Choongsik Bae, "A Numerical Study on the Reversing Flow in Intake System", KSAE 99380146, 1999