



LP차량의 주행거리에 따른 스템시일의 누설특성에 관한 실험적 연구

†김청균 · 이일권

홍익대학교 트리보메카 · 에너지기술 연구센터 · 대림대학 자동차공학과
(2008년 4월 24일 접수, 2008년 5월 7일 수정, 2008년 5월 7일 채택)

Experimental Study on the Leakage Characteristics of Stem Seals Depending on the Driving Distance of the LPG Vehicle

†Chung Kyun Kim · Il Kwon Lee

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology, Hongik University
Department of Automotive Engineering, Daelim College

(Received April 24, 2008, Revised May 7, 2008, Accepted May 7, 2008)

요 약

본 논문은 LPG 차량의 주행거리에 따른 스템시일의 오일누설 특성에 대한 실험적 연구결과를 제공하고자 한다. 캠축의 속도와 오일의 온도가 증가하여도 40,000 km 이하의 주행거리를 갖는 스템시일에서는 엔진오일의 누설에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 반면에 주행거리가 50,000 km 이상 100,000 km 정도에서 사용한 스템시일의 경우는 스템시일의 밀봉성에 영향을 미쳐 누설이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 포핏밸브와 스템시일 사이의 미끄럼마찰 접촉면을 따라서 오일이 누설되기 때문에 발생한 것이다. 실험결과에 의하면, 현재 LP차량에서 사용하고 있는 스템시일은 주행거리가 50,000~60,000 km 정도에서 교환하는 것이 누유특성을 고려하면 바람직하다. 따라서 포핏밸브의 누유를 차단하기 위해 사용하고 있는 스템시일은 보다 향상된 내구성과 수명연장을 위해 재설계되어야 한다.

Abstract – This paper presents the experimental results on the oil leakage characteristics of stem seals depending on the driving distance in LPG vehicle. The increased speeds of the camshaft and oil temperatures do not affect to the oil leakage of the seals because of the low level of driving distances less than 40,000 km. But the increased driving distance over 50,000 km to 100,000 km shows a rapid deteriorating the sealing performance, which may increase the oil leakage through the rubbing surfaces between the poppet valves and stem seals. In this result, the stem seal may be exchanged about the driving distance of 50,000 km to 60,000 km with a currently used stem seal in LPG car. Thus, the stem seal for a poppet valve should be resigned for the increased durability and long life.

Key words : LPG vehicle, Stem seal, oil temperature, engine speed, oil leakage, driving distance

I. 서 론

휘발유나 경유는 액상의 연료를 분사하여 연소하지만, LPG 자동차는 LP가스를 직접 태우거나, 또는 액상의 LPG를 분사하여 연소한다. 따라서 LPG 차량은 완전무화에 가까운 상태에서 연소할 수 있기 때문에 휘발유나 경유에 비해 연소효율이 높고, 공해물질을 적게 발생하는 친환경적 자동차라 할 수 있다. 금년부터 LP 경차 판매가 허용되고, 2009년부터 LPG와 휘발유 겸용한 하이브리드 자동차를 출시할 예정이므로 LP차량

에 대한 증가세는 폭발적일 것이다[1,2].

엔진에 시동이 걸리면 부품 상호간의 상대접촉 운동 과정에서 발생하는 마찰력에 의한 에너지 손실과 마찰열에 의한 마찰접촉 운동표면의 강도저하 및 마찰접촉 작동조건의 변화로 동력손실, 성능과 연비, 내구성 등에 영향을 미치게 된다.

엔진 작동부의 성능안전과 내구성을 업그레이드하기 위해서는 최적의 엔진오일을 공급해야 한다. 적합한 점도를 갖는 윤활유를 공급하지 못한다면 엔진은 발생된 마찰열에 의해 국부적인 고착현상이 발생하고, 마찰손실로 인한 연료소모가 증가한다. 엔진의 마찰운동부에 오일을 충분히 공급하면 작동부품은 윤활작용에 의해

†주저자: chungkyunkim@empal.com

원활하게 운전을 하지만, 피스톤-실린더 간극에 형성된 윤활유막과 상부의 포핏밸브(poppet valve) 스템부를 타고 엔진의 연소실로 유입된 오일이 연소가스와 함께 배기밸브를 통해 대기중으로 배출되면서 대기오염에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[3-5].

특히, LPG 차량은 가솔린 자동차와는 달리 LP연료의 발열량이 높아 엔진의 온도가 상승하는 문제점이 있다. 스템시일(stem seal)의 립선단과 미끄럼마찰 접촉운동을 하면서 밀봉작용을 하는 흡기밸브와 배기밸브의 스템표면에 형성된 표면거칠기가 오일의 누설에 영향을 미치는 것으로 나타났다[6]. 엔진에서 윤활작용을 효율적으로 조장하면서 오일의 누설을 최소화하기 위해서는 스템시일 및 피스톤-실린더의 간극설계를 최적화하는 것이 LPG 차량의 출력상승과 유해 배기가스를 줄이는 지름길이다.

엔진의 운동부품 내구성에 영향을 미치는 핵심요소는 차량의 주행거리이다. 즉, 차량을 많이 운행함에 따라 차량의 운동부품은 마모에 의한 내구성이 나빠진다. 따라서 자동차 메이커는 차량의 보증기간을 차량의 주행거리 또는 출고 후 경과기간으로 산출한다. 엔진이나 변속기의 경우는 60,000 km 또는 3년으로 최소한의 품질보증 기간을 설정한다. 출고 후의 경과기간은 차량이 주행하지 않았다 해도 자연적인 내구성 약화로 볼 수 있다. 결국 차량의 가치는 주행거리와 출고 후의 경과기간에 의해 평가된다 할 수 있다.

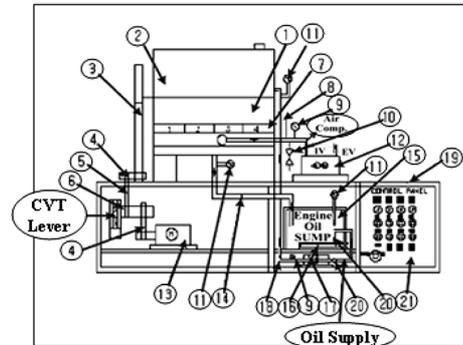
자동차 운동부품의 마찰표면에 반복적인 하중과 속도를 가하면 성능과 내구성은 영향을 받지만, 정지부품은 운행에 따른 진동과 공기와의 마찰작용으로 시간이 경과함에 따라 내구성이 떨어진다. 차량 내구성의 약화는 주행거리에 따른 피로가 누적되면서 예상보다 빠르게 파손될 수 있다. 따라서 차량의 주행거리와 출고 후에 떨어지는 내구성에도 엔진오일 누설제어를 최적화시킬 수 있는 밸브스템계에 대한 설계기술을 확보하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 LPG 차량의 주행거리에 따라 발생하는 스템시일의 누설특성을 오일의 온도와 캐츄의 회전 속도에 따라 누유량을 측정한다. 주행거리에 따라 분석한 누유량 데이터는 밸브스템계의 내구성 향상에 필요한 기본자료로 활용할 수 있도록 현장연구에 집중하고자 한다.

II. 실험적 연구

2.1. 엔진오일 누설 실험장치

스템시일을 통한 엔진오일의 누설은 엔진의 구조와



No	Components	Specifications
1	Cylinder head	Exhaust volume 1,975cc
2	Cam shaft	DOHC 16 valve
3	Timing belt	Rubber
4	V-belt	A 33, A 34
5	Crankshaft	Forged steel
6	CVT	Lever type
7	Combustion chamber	Closed type
8	Air line	Closed type
9	Pressure gage	0~1kg/cm ² , 0~760mmHg
10	Thermometer	0~150℃
11	Press. control valve	1~6kg/cm ²
12	Vacuum pump	Max. 755mmHg
13	Driving motor	3PS(2.2Kw)
14	Oil return line	Pipe
15	Engine oil sump	Volume : 20~50liter
16	Heater	Capacity : 2~3kw
17	Oil pump	Rotary pump
18	Oil supply line	Closed type
19	Control panel	Box type
20	Filter	Strainer type
21	Heater controller	0~150℃

Fig. 1. Engine oil leakage tester for a LPG vehicle.

제원에 따라 달라진다. 이러한 이유 때문에 밸브스템계의 오일누설 측정은 실제의 LPG 자동차를 사용하는 것이 보다 양호한 데이터를 확보할 수 있으나, 실제의 누유량을 측정하기가 어렵기 때문에 Fig. 1과 같은 실험장치를 사용하였다. Fig. 1에서 보여준 엔진오일 실험장치는 실린더 헤드의 흡기밸브와 배기밸브에서 누유되는 오일량을 채취할 수 있도록 제작되었다. Fig. 1은 오일펌프에서 공급한 엔진오일을 엔진내부와 상부의 밸브스템계에 충분히 순환할 수 있도록 하였다.

2.2. 누유량 측정

자동차에서 주행거리는 차량의 내구성을 평가하는

중요한 지표이기 때문에 본 연구에서도 스템시일에 대한 누설특성을 나타내는 기준으로 삼았다. 스템시일을 통한 엔진오일의 누유문제를 오일의 온도와 캠축의 회전수를 바꾸어가면서 실험 데이터를 확보하였다. 특히, 오일의 누설은 사용한 스템시일의 주행거리와 사용조건에 따라 큰 영향을 받는 것으로 예상된다. 따라서 본 실험에서는 LPG 차량의 주행거리에 따라 달라지는 누설특성을 다음의 4가지 실험모델에 대하여 고찰하였다.

- ① 시일모델 1 : 11,500 km를 주행한 스템시일 사용
- ② 시일모델 2 : 33,525 km를 주행한 스템시일 사용
- ③ 시일모델 3 : 65,600 km를 주행한 스템시일 사용
- ④ 시일모델 4 : 98,030 km를 주행한 스템시일 사용

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 온도에 따른 누유량 고찰

오일은 엔진의 작동조건에 따른 마찰운동부에 유막 형성을 조장하여 마찰저감과 하중지지를 담당하도록 하고, 마찰열 제거로 인한 탄화 퇴적물 고착도 방지하여 노킹발생을 억제한다.

엔진의 마찰운동부에 유막이 없으면 하중지지는 불가하고, 특히 마찰열로 인한 산화현상, 열화현상, 퇴적층 고착현상으로 인한 동력손실 증가와 접촉표면의 마모가 촉진된다. 이로 인해 차량의 연비가 나빠지고, 엔진의 내구성이 떨어지는 것은 당연하다. 따라서 스템시일의 밀봉간극을 따라서 연소실 내부로 유입하는 엔진오일을 차단하는 것은 대단히 중요하다.

Fig. 2는 엔진오일의 온도가 변화함에 따라 흡·배기 밸브와 스템시일 사이의 마찰접촉 미세간극을 통해 누유되는 미량의 엔진오일을 계량한 실험결과이다. 이 때 크랭크 캠축의 회전수는 1,000 rpm, 오일의 온도는 40~120°C, 압력은 대기압 상태에서 실험을 수행하였다.

시일모델 1은 LPG 차량에 장착하여 실제로 11,500 km를 주행한 엔진에서 스템시일을 탈거하고, 이것을 Fig. 1의 엔진오일 모터링 시험기에 장착한 다음 누유 실험을 수행하는데 사용하였다. 오일의 온도가 40~120°C로 변화할 때 오일의 누설량에는 큰 변화가 일어나지 않았으며, 가장 낮은 누설량을 나타내고 있다. 이것은 10,000 km 정도의 주행거리를 운행한 스템시일의 밀봉성은 아직도 우수하여 오일누설 제어가 효과적으로 작동되고 있다는 것을 의미한다.

시일모델 2는 주행거리 33,525 km를 주행한 차량에서 스템시일을 수거하여 누유실험을 수행하기 위해 사용한 시편이다. 모델 2의 누유특성은 시일모델 1과 거

의 같은 것으로 나타났지만, 모델 1보다는 약간 높은 누유량을 보여준다. 이것은 스템시일의 주행거리가 늘어나면서 특히 립선단(lip edge)의 마모로 인해 접촉특성이 떨어지면서 누유가 약간 증가하는 특징을 나타낸다. 결국 스템시일의 내구성은 30,000~40,000 km, 이것을 사용기간으로 나타내면 약 2년 정도는 누유, 또는 탄화 퇴적물에 의한 윤활문제, 노킹문제 등이 없을 것이라는 의미이다.

시일모델 3은 65,600 km를 주행한 LPG 차량의 스템시일을 사용하여 엔진오일의 누설특성을 실험한 것으로, 35,000 km 이하의 모델 1과 모델 2에 비교할 때 3배 이상의 오일이 더 누설된 것으로 나타났다. 이것은 차량의 주행거리를 1년에 약 20,000 km 주행한다고 가정할 때 자동차를 3년 정도 운행하면 오일의 누설량은 급격하게 증가한다는 것을 의미한다. 즉, 스템시일 립선단의 지속적인 마모진행과 내구성 저하로 인해 누유량은 증가하고, 연소실로 유입된 누유에 의한 퇴적물과 이로 인한 노킹과 국부적 열화는 우려할 정도라는 것을 예고하는 징후이다. 따라서 자동차의 안전한 운행을 위해 엔진오일에 대한 점검주기를 보다 짧게 하고 오일부족으로 인한 차량의 열손상과 수명감소를 예방해야 한다. 가장 좋은 방법은 스템시일을 빨리 교체하여 누유를 차단하는 것이다.

시일모델 4는 98,030 km를 주행한 차량의 스템시일을 사용하여 누유실험을 수행하기 위해 사용한 시편이다. 이 결과를 기존의 시일모델 1, 2, 3과 비교할 때 오일의 누설량이 크게 증가하였고, 엔진오일의 온도가 높아짐에 따라 누유량이 급격하게 증가한다는 것이다. 엔진오일의 작동온도가 낮은 40°C에서는 시일모델 3에 비해 4배나 높은 누유량을 보여주지만, 120°C의 작동 온도에서는 5.2배나 더 높은 누설유량을 나타내고 있다. 이것은 스템시일의 누유차단 성능이 크게 약화되었다는 것을 의미한다. 즉, 엔진의 스템시일을 약 5년 사용하면 밀봉기능 저하로 오일소모량은 급격하게 증가하고, 엔진의 마찰운동 부품의 마찰력 및 마모량 증가, 퇴적물 생성으로 인한 노킹발생, 오일과 연소가스의 혼합으로 인한 배기가스 오염도 증가 등 엔진의 성능에 극히 부정적인 영향을 나타내고 있다.

따라서 주행거리가 높은 차량의 스템시일을 적절한 시기에 교체하거나, 내구성이 우수한 스템시일을 신차 때부터 사용하는 것이 자동차의 밀봉성 및 내구성 향상, 대기오염 물질 방출저감에 기여하게 된다. Fig. 2에서 제시한 실험결과에 의하면 차량의 주행거리가 스템시일의 내구성에 영향을 미치지만, 35,000 km 이하에서는 온도에 따른 문제점은 없다. 그러나 60,000 km 정도

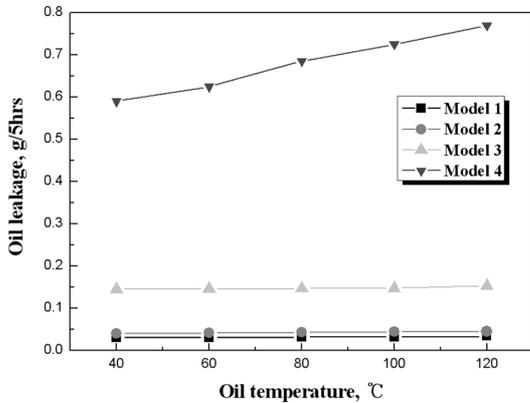


Fig. 2. Oil leakage as a function of the temperature for various valve stem seal models.

를 운행하게 되면 누설정도가 크게 증가하고, 특히 100,000 km 정도를 운행하면 심각한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.2. 주행거리 변화에 따른 누유량 고찰

Fig. 3은 주행거리 변화에 따른 엔진오일의 누설특성을 보여주고 있다. 본 실험에서는 엔진오일의 온도를 80°C, 작동압력은 대기압으로 설정하고 스템시일에 의한 누유특성을 실험하였다. 주행거리가 11,500 km, 33,525 km, 65,600 km, 98,030 km인 차량에서 수거한 스템시일에 대한 오일누설 실험결과를 Fig. 3에서 제시한다. 실험결과에 의하면, 약 40,000 km 이하를 운행한 차량에 설치하였던 스템시일의 밀봉성은 엔진의 회전속도가 2,000 rpm 이하일 경우는 비교적 우수하다. 그러나 주행거리가 60,000 km 정도를 넘어서게 되면 오일 누설량은 완만하게 증가하고, 특히 70,000 km 정도를 넘어서면 누유량이 급격하게 증가하면서 엔진의 회전수에 대한 영향을 어느 정도 받는 것으로 나타났다. 스템시일의 수명이 다했다 할 수 있는 주행거리 100,000 km에 도달하면 누유량은 급격하게 증가하고, 회전속도에 의한 누유량 영향도 크게 달라지는 것으로 나타났다. 이것은 차량의 성능저하, 노킹발생, 오일의 열화현상을 심각하게 진행시킬 것으로 예상된다. 따라서 스템시일의 성능저하로 인한 엔진의 성능과 내구성 저하, 오일의 열화로 인한 조기교환 등 많은 문제점을 제기할 것으로 예상된다.

Fig. 3의 실험결과에 의하면, 주행거리 50,000 km 이상에서는 오일누설에 의한 소모량 관리를 통해 엔진의 성능과 연비, 내구성 저하에 대비해야 하고, 가능하면 스템시일을 빨리 교환하는 것이 바람직하다.

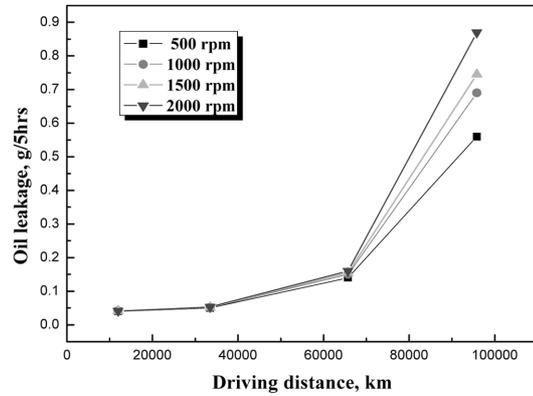


Fig. 3. Oil leakage as a function of the driving distance.

3.3. 흡·배기밸브의 누유량 비교

Fig. 4는 흡기밸브와 배기밸브에 설치된 스템시일의 스템부를 타고 연소실 내부로 유입하는 누유량을 비교한 것이다. 이때 캠축의 회전수는 1,000 rpm이고, 압력은 대기압 조건에서 실험을 수행하였다. 엔진오일의 작동온도가 낮은 40°C의 경우, 주행거리가 40,000 km 이하일 때 흡기밸브와 배기밸브에서 발생한 누유량은 거의 같으나, 주행거리가 더 많아지면 배기밸브에 의한 누유량이 약간씩 증가하는 현상을 보여준다.

요약하면, 엔진의 작동온도가 상승함에 따라 오일의 누설량은 증가하고, 특히 배기밸브의 누유량은 흡기밸브에 비해 약간 많아진다는 것을 알 수 있다. 본 연구처럼 엔진에서 연소하지 않고 모터로 구동할 경우는 흡기밸브가 배기밸브에 비해 크고 무겁기 때문에 왕복운동을 하는 밸브의 특성상 흡기축이 배기축보다 누설량이 더 많아진다. 그러나 본 실험은 실제로 운행하던 차

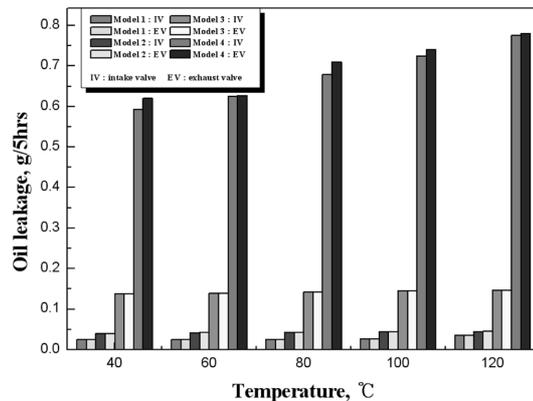


Fig. 4. Oil leakage depending on the oil temperature for an intake and exhaust valve stem seals.

량에 장착하여 사용하던 스템시일을 탈거하여 Fig. 1의 실험장치에 설치하고 누유실험을 수행하였기 때문에 다른 결과를 예측할 수 있다. 즉, 배기밸브에 장착되었던 스템시일은 흡기밸브에 장착되어 사용하였던 스템시일에 비해 연소열과 전도열에 의해 더 많은 손상을 받았기 때문에 신포과는 달리 누유량이 많아지는 것으로 생각된다.

이러한 누유특성은 특히 100,000 km 정도를 주행한 스템시일의 누유량 실험에서 나타난다. 즉, 배기측 밸브에 장착하였던 스템시일의 누유량이 월등하게 많아진 실험결과를 보면 명확해진다. 결국, 차량의 주행거리 증가가 스템시일 립선단의 경화와 마모에 영향을 미쳤고, 이것은 밸브의 상하왕복운동에 대한 마찰접촉 응답성 부족으로 이어져 누유량을 촉진하는 계기를 제공하였다.

정상적으로 작동하는 흡기밸브는 상온에서 부압이 걸리고, 배기밸브는 고온에서 고압의 연소가스를 배출한다. 따라서 흡기밸브와 미끄럼마찰 접촉운동을 하는 스템시일은 상온에서 밀봉작용을 하기 때문에 비교적 밀봉효과가 우수하지만, 배기밸브는 고온, 고압에서 밀봉작용을 해야 하기 때문에 누유 가능성이 상대적으로 높다.

IV. 결 론

본 연구에서는 LPG 차량의 흡기밸브와 배기밸브에 장착되어 누유량을 차단하기 위해 사용하였던 스템시일의 누유특성을 오일의 온도, 캠축의 회전수, 차량의 주행거리에 대하여 측정하였다.

엔진의 작동온도가 높아도 주행거리가 40,000 km 이하일 경우 스템시일에서 발생한 누유량은 작지만, 50,000 km를 넘어서면 스템시일의 누유량은 눈에 띄게

증가하고, 100,000 km 정도에서는 주행거리뿐만 아니라 오일의 온도에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 스템시일의 밀봉성은 주행거리가 50,000~60,000 km를 넘어서면서 빠르게 나빠졌고, 캠축의 회전수에 의한 누유량은 급격하게 증가하는 것으로 나타났다.

또한 흡기밸브와 배기밸브 상호간의 누유량 특성을 비교한 실험결과에 의하면 오일의 온도가 높아지고, 주행거리가 많아지면서 흡기밸브보다는 배기밸브에서 누유량이 더 높게 나타났다.

결국 현재의 차량에서 스템시일에 의한 누유량은 주행거리가 50,000 km 정도를 넘어서면 증가할 우려가 높으므로 조기에 스템시일을 교체하는 것이 바람직하다. 보다 좋은 해결책은 신차에 밀봉성과 내구성이 우수한 스템시일을 장착하는 것이다.

참고문헌

- [1] 조대인, “경차·하이브리드카 LPG경차 허용”, 한국가스신문, (2008)
- [2] 조대인, “LPG하이브리드카 2009년 양산”, 한국가스신문, (2008)
- [3] Netzer, J. and M. Karl-Heinz, *Improvements of Valve Stem Seals to Meet Future Emission Requirements*, SAE paper 980581
- [4] Yasuo, E., I. Tomoji, S. Noritomo and N. Masahiko, *Mechanism of Intake-Valve Deposit Formation Part : Characterization of Deposits*, SAE paper 1990151
- [5] Yoshihiro, N., O. Katsuyuki, I. Tomoji and N. Masahiko, *Mechanism of Intake-Valve Deposit Formation Part: Simulator Tests*, SAE paper 900152
- [6] 이일권, 김청균 외, “LPG 엔진에서 밸브스템계의 표면거칠기에 따른 누설연구”, *한국가스학회 “07춘계 학술발표회 논문집*, 18-23, (2007)