

LPG 엔진에서 밸브 스템계의 표면 거칠기에 따른 누설연구
이일권 · 국창호 · 김청균* · 이병관* · 김영규** · 김도현* · 김태환* · 오경석*
대림대학 자동차과, *홍익대학교 기계시스템디자인공학과, **한국가스안전공사

Study on Leakage Characteristics including Surface Roughness of Valve Stem System in the LPG Engines

Il Kwon Lee · Chang Ho Kook · Chung Kyun Kim* · Byung Kwan Lee*
· Young Gyu Kim** · Do Hyun Kim* · Tae Hwan Kim* · Kyoung Seok Oh*

Department of Automotive Engineering, Daelim College,

*Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University,

**Korea Gas Safety Corporation

1. 서론

최근 증가하는 자동차는 우리 생활의 중요한 필수불가결한 과학기술의 결과물로 자리 잡았다. 자동차의 편리함이 우리 생활에 매우 중요한 역할을 하는 긍정적인 측면이 있지만 환경의 오염이라는 역기능 또한 커다란 문제로 우리 인간들이 풀어야 할 숙제가 되고 있다.

자동차는 움직이는 물체로 여러 가지 유체를 매개체로 하여 작동하고 있다. 자동차엔진의 힘을 발생시키는 공기, 자동차 엔진 내부의 작동부를 원활하게 움직이게 하는 엔진오일, 엔진 내부의 연소열을 식혀주는 냉각수 및 기타 시스템의 유체들이 움직이는 물체의 운동을 원활하게 하는 중요한 역할을 하고 있다. 이 가운데서 엔진의 작동부를 원활하게 하는 엔진 오일의 흐름에 문제가 있어 오일이 과다하게 누설되어 배출가스를 통해 유출된다면 대기의 오염에 악영향을 줄 수 있다. 또한 이러한 과다한 오일의 누설은 지구상의 석유 자원의 자원화라는 면에서 본다면 윤활유의 손실과 아울러 흡기계의 막힘(clogging), 연소실의 탄소 퇴적(carbon deposit)에 의한 노킹(knocking) 현상과 조기 점화(pre-ignition)를 발생시키고 배기가스를 정화하는 촉매변환 장치의 독성을 유발하여 엔진을 심각하게 파손(failure)시키는 일이 발생한다[1,2,3,4].

자동차 엔진의 밸브 스템계는 자동차 엔진이 작동할 때 연소실 내부로 공급되는 공기의 흡기구와 연소한 다음에 배출되는 배기가스를 배기구를 여닫는 역할을 한다. 이 때 밸브는 밸브 스템 시일과의 상하운동을 하며 서로 마찰 작용을 한다. 이러한 상호 마찰 작용을 할 때 밸브 스템의 표면 거칠기는 마찰작용에 역할에 의해 밸브와 밸브 스템 사이의 오일 누설에 영향을 준다. 표면 거칠기에 따라 오일의 누설량이 차이가 생기는 것이다. 따라서, 밸브의 표면 거칠기는 밸브스스템계를 설계할 때 적극적으로 고려되어야 한다.

이 논문에서는 LPG 엔진의 차량을 대상으로 밸브 스템의 표면의 거칠기가 상이한 몇 가지 sample을 이용하여 시험하여 오일의 누설량을 실험하였고, 이러한 결과를 가지고 오일의 누설과 표면 거칠기에서 발생하는 연관 관계를 연구하고 분석하는 것이 목적이다.

2. 실험적 해석

2-1. 밸브 스템 시일의 메카니즘

밸브 스템계의 오일 누설에 영향을 주는 주요한 립 디자인 요소(factor)는 Fig. 1에 나타나 있다. 각각의 요소는 편심(offset) ϵ , 오일측 각도(oil side angle) α , 공기측 각도(air side angle) β 와 접촉점 반경(contact point radius) R 이다.

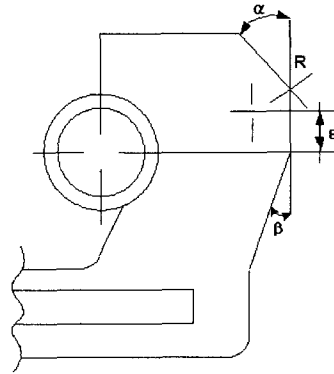
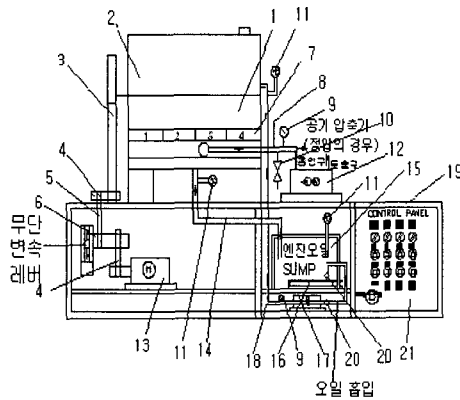


Fig. 1 Factors of the lip design

2-2. 밸브 스템 시일의 메카니즘

밸브 스템 시일의 오일 누설은 엔진의 구조와 제원에 따라서 크게 변화한다. 이러한 이유 때문에 오일 누설 측정에 대한 가장 정확한 방법은 실제 사용하는 실린더를 사용하는 것이다. 실린더 헤드는 각 밸브에서 오일을 채취할 수 있도록 구성하였다. Fig. 2는 실린더 헤드 방식의 오일 공급 모터링 테스터와 각 부의 규격을 보여 주는 것이다.



품번	품명	규격
1	실린더 헤드	배기량 1,975cc
2	캠축	DOHC 16Valve
3	타이밍 벨트	실차와 동일한 것 사용
4	V 벨트	A 33, A 34
5	크랭크 축	실차와 동일한 것 사용
6	무단변속기	변속방식 : 레버식
7	연소실	완전밀폐형
8	에어라인	완전 밀폐형
9	압력계	0~1kg/cm ² , 0~760mmHg
10	온도계	0 ~ 150℃
11	압력 조절밸브	1 ~ 6kg/cm ²
12	진공 펌프	Max 755mmHg
13	구동 모터	3마력(2.2 Kw)
14	오일 리턴 라인	파이프
15	엔진오일 sump	체적 : 20 ~ 50리터
16	히터	열량 : 2 ~ 3Kw
17	오일 펌프	토터리 펌프
18	오일공급라인	완전밀폐형(파이프 사용)
19	Control Panel	박스 내장형
20	필터	strainer type
21	히터 컨트롤러	0 ~ 150℃

Fig. 2 Oil feeding motoring tester of cylinder head method

2-3. 누설량 측정방법

실험에서 캠축의 회전수는 1500rpm, 엔진 오일의 온도는 80℃, 압력은 대기압에 고정하였다. 또한 밸브의 표면 거칠기에 따라 오일의 누설량이 큰 영향을 받기 때문에 다음과 같은 4가지 시험편 모델을 사용하였다.

- 1) sample 1 : 표면거칠기 0.2644 μ m의 밸브와 신품 밸브 스템 시일
- 2) sample 2 : 표면거칠기 0.3330 μ m의 밸브와 신품 밸브 스템 시일
- 3) sample 3 : 표면거칠기 0.4528 μ m의 밸브와 신품 밸브 스템 시일
- 4) sample 4 : 표면거칠기 0.6895 μ m의 밸브와 신품 밸브 스템 시일

2-4. 표면 거칠기 측정방법

본 실험은 밸브 스템의 표면 거칠기에 따른 오일 누설량을 측정하는 것으로 각각의 표면 거칠기를 다르게 가공하여 거칠기에 따른 누설량을 측정하였다. Fig. 3은 밸브 스템의 표면 거칠기 측정 부위를 나타낸 것으로 실제 엔진에서 장착된 밸브 스템의 표면 상태의 운동부를 측정하여 나타낸 것이다.

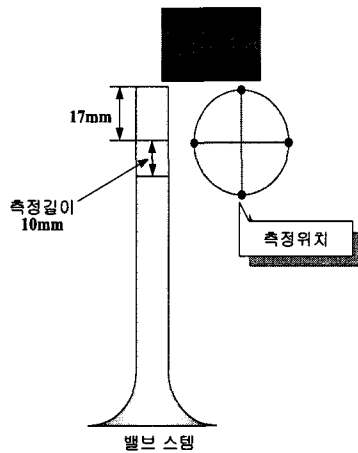


Fig. 3 Measuring position of the surface roughness

3. 결과 및 고찰

3-1. 밸브 스템의 표면 거칠기에 따른 누설량

실제의 차량에 장착되는 밸브를 연삭 가공한 다음 5시간 동안 엔진에 장착하여 실험한 다음 오일의 누설량을 측정하는 것이다. 오일의 누설량에 영향을 끼칠 수 있는 표면 거칠기는 측정된 결과 밸브의 번호 순서대로 각각 0.2644 μm , 0.3330 μm , 0.4528 μm , 0.6895 μm 로 확인되었다. Fig. 4는 이 값을 거칠기 형상으로 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보면, 일반적으로 표면 거칠기의 파라미터는 단면곡선에서 구하는 것과 조도곡선에서 구하는 두 가지 방법이 있다. 즉, P 프로파일(profile)은 표면 거칠기를 단면 곡선의 형태로 표현한 것이고, F 프로파일(profile)은 표면 거칠기를 조도 곡선의 형태로만 나타낸 것이다.

밸브의 표면 거칠기는 밸브 스템계의 왕복 회수가 증가할수록 표면의 거칠기는 향상된다고 볼 수 있다. 왜냐하면 밸브와 밸브 스템 시일의 반복적인 접촉으로 인하여 밸브 스템의 표면이 마찰에 의해 밸브 스템의 거스러미가 제거되기 때문이다. 그러나 밸브와 밸브 스템 시일의 상호 마찰작용에 의해 표면 거칠기가 급격하게 증가하지는 않는다. 밸브 스템 시일과 밸브 스템의 소재가 서로 다르고, 상호 마찰작용에 의해 연삭작용은 미미하기 때문이다. 다만, 차량이 노후되거나 밸브 스템 시일이 경화된 경우 또는 엔진오일에 이물질이 혼입되어 밸브의 마찰 증대 작용을 하는 경우 표면 거칠기는 크게 변화할 수는 있다.

Fig. 5에서 1번의 경우 표면 거칠기를 0.2644 μm 로 연삭 가공한 다음 모터링 테스터기에 장착하여 실험한 sample의 경우이다. 이것은 Fig. 5에서와 같이 오일의 누설량이 가장 큰 것으로 확인되었다. 이에 반하여 표면 거칠기는 가장 고운 상태를 나타낸다. 이것은 오일의 표면조도는 좋은 상태이나 오일의 누설이 가장 크다는 것은 밸브와 밸브 스템 시일 사이로 오일이 많이 빠져나가 누설이 가장 크다는 것을 보여 주는 것이다. 이것은 표면 거칠기의 향상이 오히려 오일의 누설 제어 효과를 감소시키는 결과를 보여 준다고 할 수 있다.

2번은 표면 거칠기를 0.3330 μm 로 연삭 가공한 다음 실험한 sample의 경우이다. 1번의 오일 누설량과 비교하여 보면 누설량이 오히려 감소하는 것을 알 수 있다. 1번의 표면 거칠기와 비교하여 보면 표면 거칠기는 더 거친 것을 알 수 있다. 이것은 표면 거칠기가 더 거친 것이 오일의 누설량과 연관성이 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 1번의 밸브 스템 표면의 거칠기의 영향에 의해 오일 차단효과가 있어 오일이 밸브 스템 시일과 밸브 스템 사이로 덜

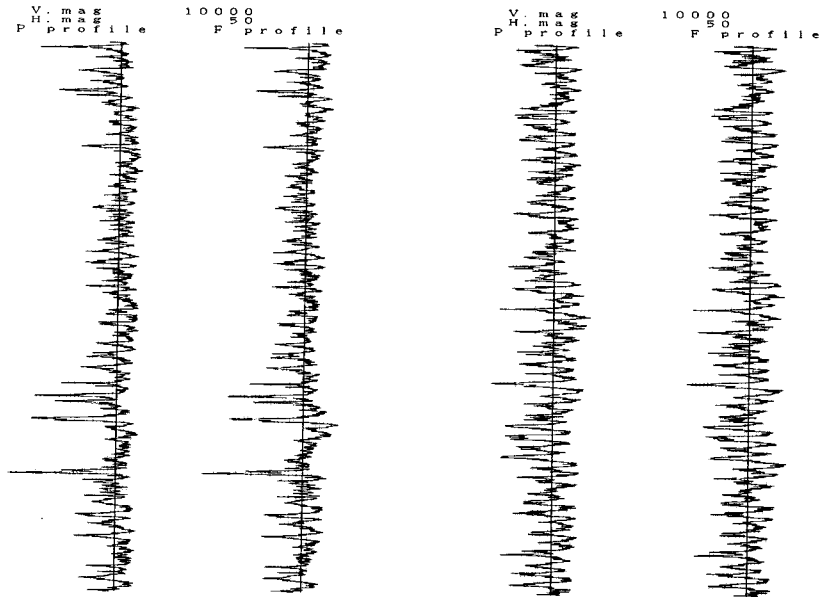
빠져나가 오일의 누설이 감소한 것으로 판단할 수 있다.

3번의 표면 거칠기는 $0.4528\mu\text{m}$ 로 연삭 가공한 다음 실험한 밸브의 sample 예이다. 이것은 4개의 sample에서 보면 오일의 누설이 가장 작은 것을 확인할 수 있다. 또한 밸브의 표면 조도는 2번과 비교하면 더 거친 것을 알 수 있다. 이것은 표면 조도가 어느 정도 유지하는 것이 오일 누설 제어에 유리하다는 것으로 볼 수 있다.

4번의 표면 거칠기는 $0.6895\mu\text{m}$ 로 연삭 가공한 다음 실험한 예이다. 이것은 오일의 누설량이 증가하는 것을 보여 주며, 표면 거칠기 또한 가장 거친 상태이다. 즉, 이 sample의 경우는 표면 거칠기의 거친 정도로 너무 커 밸브 스템과 밸브 스템 시일의 갭이 커져 오일이 많이 빠져 나오는 것으로 판단된다. 즉, 4번의 표면 거칠기 영역에서는 오히려 표면의 거스러미가 오일의 누설 제어를 하는 것이 아니라 오일이 더 빠져나가게 되는 현상으로 판단된다.

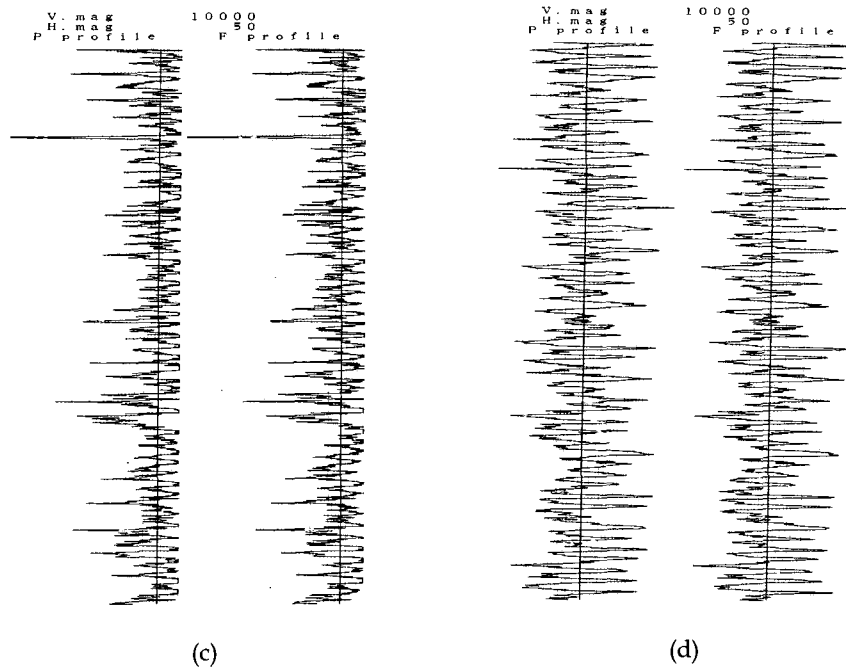
여기서 누설량이 증가하는 것은 밸브의 표면 거칠기가 곱다고 오일의 누설량을 억제하는 것이 아니라 적정 거칠기를 유지해야만 한다는 것을 보여주는 것이다. 일반적으로 밸브의 표면 조도는 오일의 누설량을 제어하는 내구성과 관련이 있으며 적정한 밸브 표면 거칠기는 $0.35\sim 0.55\mu\text{m}$ 라고 하였다[5].

또한, 가솔린 엔진보다는 LPG 엔진의 내부연소 온도가 높기 때문에 오일의 점도변화가 가솔린 엔진의 내부 연소 온도가 높기 때문에 오일의 점도변화가 가솔린 보다 더 심해 표면 거칠기가 조금 더 거친 것이 오일제어 효과에 좋은 것으로 판단된다. 따라서 오일을 제어하는 데 있어 밸브의 표면 조도는 영향을 줄 뿐만 아니라 립 시일의 마찰에 따른 마멸 효과와도 영향을 주기 때문에 설계 시 최적 제어를 할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다[6].



(a)

(b)



- (a) P and F profile distributions measured for the No. 1 valve after grinding , V. mag. : 10,000,H. mag. : 50, Ra=0.2644 μ m
- (b) P and F profile distributions measured for the No. 2 valve after grinding , V. mag. : 10,000,H. mag. : 50, Ra=0.3330 μ m
- (c) P and F profile distributions measured for the No. 3 valve after grinding , V. mag. : 10,000, H. mag. : 50, Ra=0.4528 μ m
- d) P and F profile distributions measured for the No. 4 valve after grinding , V. mag : 10.000, H. mag : 50 Ra=0.6895 μ m

Fig. 4 Surface roughness of the valve stem by the grinding

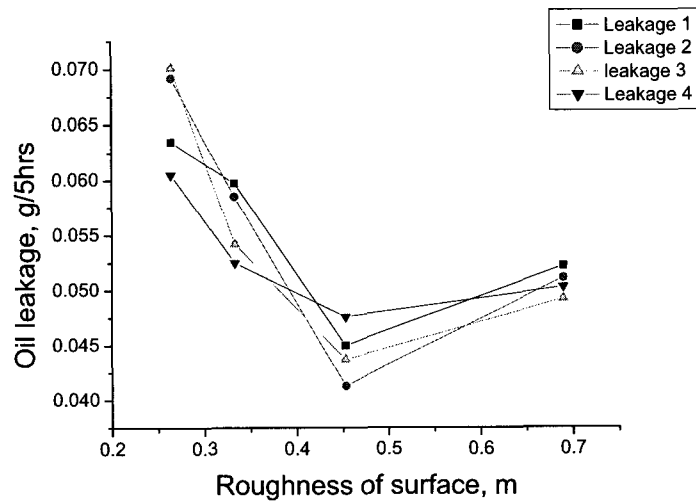


Fig. 5 주행거리에 따른 밸브 스템의 표면 거칠기에 따른 오일 누설량

4. 결론

- 1) 본 실험에서 사용한 밸브 스템의 표면 적정 거칠기의 범위는 4개의 sample 가운데 0.4528 μ m의 거칠기 영역에서 가장 유리하다는 것을 실험을 통하여 확인하였다.
- 2) LPG 엔진의 밸브 스템의 표면거칠기는 엔진 내부의 연소열이 가솔린 엔진보다 높기 때문에 점도 변화에 의해 오일의 유동성이 증가하여 더 잘 누설되는 것으로 확인되었다.

5. 참고문헌

1. Il Kwon Lee, Yoonsoo Chun, "Case study on functions of engine oils and oil related failures" KSAE paper 199851
2. Juergen Netzer, Karl-Heinz Maus, "Improvements of Valve Stem Seals to meet Future Emission Requirments " , SAE paper 980581
3. Esaki Yasuo, Tomoji Ishiguro, Noritomo Suzuki, Masahiko Nakada , " mechanism of Intake-Valve Deposit Formation Part I Characterization of Deposits", SAE paper 1990151
4. Nomura Yoshihiro, Katsuyuki Ohsawa , Tomoji Ishiguro, Masahiko Nakada, " Mechanism of Intake-Valve Deposit Foemation Part II Simulator Tests", SAE paper 900152
5. Il Kwon Lee, Yungkyu Kim, etc " Study on the leakage characteristics including surface roughness of valve stem system ", KSAE autumn Conference 2002, pp141~146
6. Il Kwon Lee, Chung Kyun Kim, etc, "Experimental Study on the Leakage Characteristics of Valve Stem System in LPG Engines", 2006년도 에너지·가스·기후 변화학회 연합 춘계학술대회 , 2006. pp226~