

엔진 T-JOINT부 거동특성 분석을 통한 누유 개선

이종황¹, 박준식², 심양진³, 정원욱⁴

현대자동차 내구신뢰성팀¹, 가솔린엔진시험팀², 내구신뢰성팀³, 내구신뢰성팀⁴

A Study for Improving the Leakage Problem by Analyzing the Characteristics of T-Joint Part Movement

Lee Jong Hwang¹, Park Jun Sik², Sim Yang Jin³, Jung Won Wook⁴

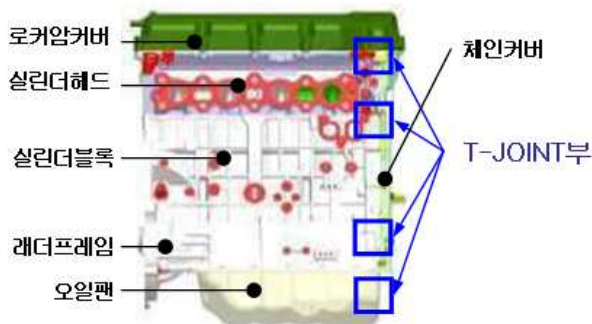
Hyundai Motor Company Durability&Reliability Team¹, Gasoline Engine Team²,
Durability&Reliability Team³, Durability&Reliability Team⁴

Abstract

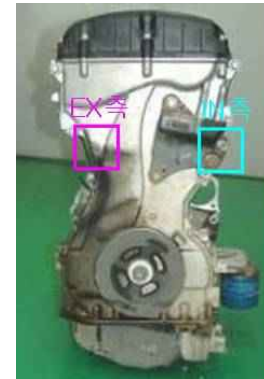
Due to the excellent durability of Timing Chain, it has been widely used for vehicle engine system. Unlike the timing belt, since the timing chain is operated with the metallic sprocket, the lubrication system is absolutely needed to get this system start. As frequently met at the field, the lubricant has a strong tendency to leak out from the engine due to its severe operating environment. In this paper, results of investigation for thermal movement of aluminum chain cover were described to maximize the sealing ability which is desperately needed at the development stage of engine. Based on these results, some ideas for reproducing the leakage phenomenon and solving methods were proposed.

1. 서론

체인커버는 <그림 1>에 도시된 바와 같이 상 방향의 로커 암 커버, 전면의 실린더 헤드 및 블록에 고정되어 크랭크축의 회전력을 일정한 비율로 캠축에 전달하는 타이밍 체인을 보호하는 역할을 한다. 타이밍체인의 원활한 회전을 위해서는 윤활시스템이 필요한데 이 윤활유를 엔진의 외부와 단절시키는 역할을 하기도 한다. 엔진오일은 엔진내구에서 섭동하는 각 부품의 마멸 및 마찰 저항을 최소로 줄이고 최대의 기계적 효율을 보장하는데 주목적이 있으며, 피스톤 및 마찰력이 작용하는 부분을 냉각시키고 베어링과 다른 부품사이의 쇼크를 흡수하여 충격력 완화 및 노이즈를 줄이고 엔진의 수명을 연장시킨다. 또한 엔진오일은 내부를 순환하는 중에 피스톤/링팩 및 흡기밸브 시스템을 거치면서 그 양이 서서히 줄어들게 되며 크랭크 케이스 벤팅시스템에 의해서도 미소하게 소모된다. 체인커버를 엔진본체에 고정할 때에는 일반적으로 접촉면에 액상 가스켓을 도포한 뒤 수개의 볼트로 고정한다.



<그림 1> 엔진의 주요부 명칭



<그림 2> 문제 현상

체인커버에서 나타날 수 있는 주요 문제로는 엔진의 열적거동 및 액상가스켓의 열화로 인하여 <그림 2>와 같이 엔진오일의 누유가 발생할 수 있다는 것이다. 엔진커버의 접합부(이하 T-JOINT부)를 통한 오일 누유는 엔진이 필요로 하는 정상적인 오일량을 감소시켜 엔진의 Failure를 유발시킬 수 있으므로 이에 대한 적절한 대책을 요구한다. 체인커버와 관련된 연구분야로는 경량화, 강성 최적화 및 엔진 개발 단계에서 윤활 시스템의 안정성을 평가할 수 있는 방법 등이 있으며, 최근의 급격한 적용추세와 더불어 활발하게 진행되고 있다.

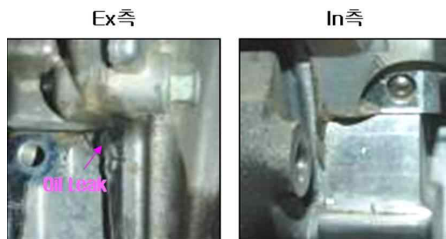
본 연구에서는 체인커버의 T-joint부에서 발생하는 누유의 주요 원인을 규명코자 T-Joint부를 구성하고 있는 체인커버, 실린더 헤드 및 블록 등의 열적 거동이 관찰되었으며 이를 통한 개선대책이 제시되도록 시도 되었다.

2. 본론

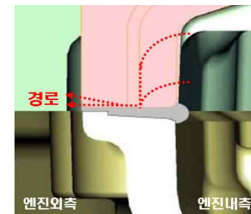
체인커버에는 엔진의 각 요소에 동력을 전달하는 V벨트, 아이들러 및 , 벨트 텐셔너 등이 장착되어 있으며, 기 기술한 바와 같이 엔진 타 부품과의 체결부가 많고, 열적거동이 활발함에 기인하여 오일 누유의 가능성을 지니고 있다. 이에 대한 주요 원인은 체인커버와 엔진 본체에 도포되는 액상 가스켓의 열화이다. 액상 가스켓의 열화는 자체적인 내구력 저하뿐만 아니라 엔진본체의 상대적인 열적거동에 따라 열화가 가속되어 나타날 수 있는 것으로 조사되었다.

2.1 고장 형태 연구

엔진 개발 당시 T-JOINT부 누유 문제점에 대한 고품분석을 실시한 결과, 누유 위치는 <그림 3>과 같이 배기매니폴드측에서 누유가 진행되고 있었으며, 누유 원인은 T-JOINT부를 구성하는 각 부품의 열적거동 차이에 기인한 액상가스켓의 열화로 추정되었으며, 누유 경로는 <그림 4>에 도시된 바와 같이 관찰되었다.



<그림 3> 엔진 T-JOINT부 누유 사진

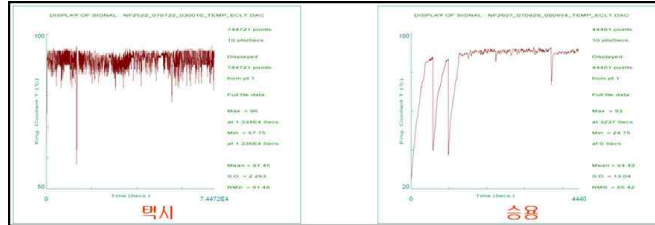


<그림 4> 누유 경로

2.2 환경 Stress 인자 결정

엔진 T-JOINT부 누유의 원인을 분석하기 위하여 관련 고장품에 대한 분석이 실시되었다. 분석결과 액상 실린트의 열화정도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 실린트의 열화로 실링 성능이 악화될 경우 T-Joint에서의 오일 누유가 발생할 수 있는 것으로 추정되어 이에 대한 상세분석이 실시되었다. 분석결과, T-Joint를 구성하고 있는 각 부품별 열적 거동 특성의 차이에 따른 액상 실린트 열화가 실제로 발생할 가능성이 있으며, 이 경우 오일 누유의 원인으로 작용할 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 가시화를 목적으로 액상 실린트의 열화 원인을 가속화 개념에 접목하여 시험실적 방법으로 재현될 수 있는 시험방법을 검토하였으며, 중요 인자로 열적 상대거동량을 적용하기로 결정하였다. 실제 엔진에서 상대거동량을 측정하기 위해서는 냉각수의 공급온도가 중요함으로 이에 대한 측정이 실시되었으며, 결과는 <그림 5>에 도시된 바와 같다. 측정된 90℃ 조건과 더불어 가혹한 운전시 나타날 수 있는 가혹조건을 감안하여 110℃ 조건에서도 시험이 진행될 수

있도록 검토되었다.

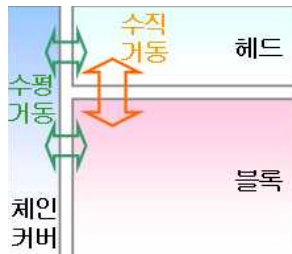


<그림 5> 택시와 승용에서의 냉각수 온도 소비자 실사용 조건 계측 결과

2.3 상대거동 확인시험

2.3.1 시험준비 및 시험조건

T-JOINT부 누유에 대한 원인 분석 결과를 바탕으로 액상가스켓의 주변온도 및 거동특성의 상대적인 변화가 계측되었는데, 일단 실제 엔진에서 흡기매니와 배기매니폴드쪽에 수평과 수직거동을 측정하기 위해 각2개씩의 Gap Sensor를 장착하고 체인커버 T-JOINT부 온도측정을 위해 온도센서가 삽입되었다. 엔진 다이내모 장치에서 엔진이 가동되었을 때 Gap Sensor에 의한 상대 거동량과 삽입한 온도센서를 이용한 Metal온도를 계측하여 그 결과 값을 비교하는 방식으로 시험 방법이 검토되었다.



<그림 6> 상대거동 개략도



<그림 7> Gap Sensor 장착 위치

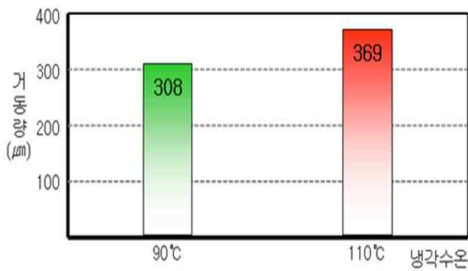
2.3.2 시험방법

엔진 다이내모장비에서 약 5분간 엔진이 가동되었으며, 이때 냉각수는 70℃~110℃온도 구간에서 약 10℃ 간격으로 투입될 수 있도록 하였으며, 냉각수온에 대한 수평거동과 수직거동의 값이 기록될 수 있도록 시험이 진행되었다.

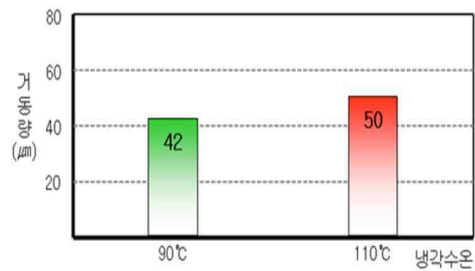
2.3.3 시험결과

냉각수 공급온도별 수직거동량은 <그림 8>에, 수평거동량은 <그림 9>에 도시된 바와 같

으며, 엔진 T-JOINT부의 수직 거동량이 수평 거동량 대비 약 7배정도 큰 것으로 나타났다. 또한 냉각수 공급온도를 90℃로 하였을 때 수직거동량은 약 308 μm 이나 공급온도를 110℃로 20℃ 상승시켰을 경우에는 수직거동량이 369 μm 로 약 60 μm 크게 나타났다. 이는 냉각수 공급온도가 높을수록 수직 및 수평방향의 상대거동량이 증가하며 엔진 T-JOINT부의 누유문제는 냉각수 온도 상승에 따른 수직거동량이 증가하여 발생한다는 결론을 얻을 수 있었다.

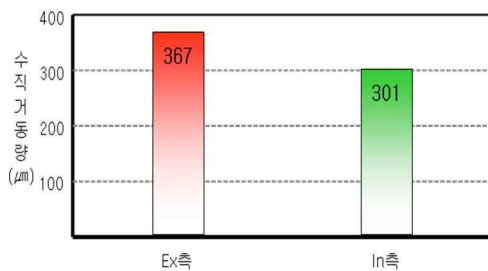


<그림 8> 수직 거동량

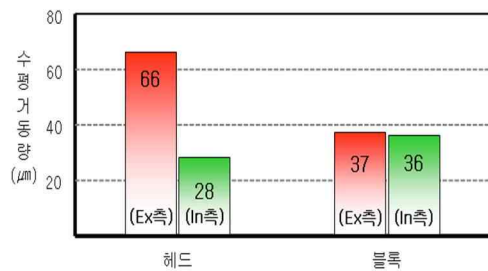


<그림 9> 수평 거동량

또한, 흡기측 대비 배기측의 상대 거동량이 큰 것으로 분석되었는데, 이러한 결과는 액상 가스켓의 손상을 통한 배기측의 누유현상과 관련이 깊은 것으로 판단되었다. 냉각수온 100℃에서의 흡기측과 배기측의 거동량 차이를 비교한 결과는 <그림 10> 및 <그림 11>에 도시된 바와 같았다.

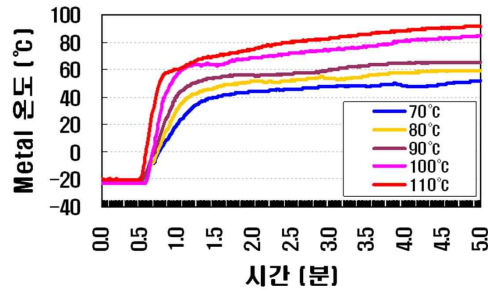


<그림 10> In/Ex측 수직거동량 비교

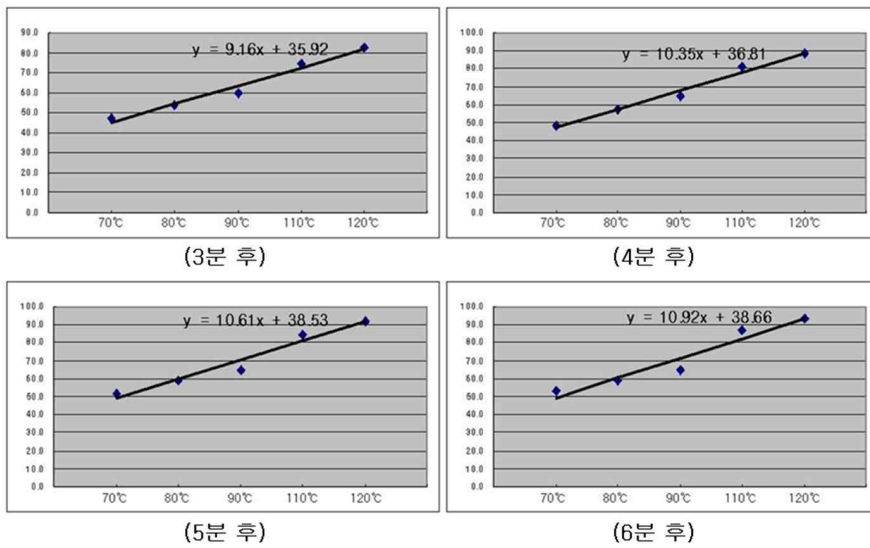


<그림 11> 헤드/블록측의 수평거동량 비교

<그림 10>에서는 냉각수가 공급되는 방향인 Ex측의 수직거동량과 수평거동량이 In측보다 크게 나타났으며, <그림 11>에서는 블록측 대비 헤드측의 수평 거동량이 크게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 냉각수 공급온도가 클수록 헤드/블록/체인커버의 온도 구배가 증가함으로 인해 헤드/블록/체인커버의 수직거동량과 수평거동량이 크게 상승하는 것으로 분석되었다. 또한 냉각수 공급온도를 달리하며 체인커버의 Metal온도를 측정한 결과는 예상대로 냉각수 공급온도를 10℃ 상승시킴에 따라 Metal의 온도가 비례해서 증가하는 것을 확인할 수 있었는데 그 결과는 <그림 12>에 나타난 바와 같았다.



<그림 12> 냉각수 공급온도별 Metal온도변화



<그림 13> 시간에 따른 냉각수 공급온도별 Metal온도변화 상관관계

냉각수 온도가 일정하게 안정화 된 후 냉각수 온도 변화에 따른 Metal 온도 변화 관계를 확인하기 위하여 식 1과 같은 관계식이 도출되었으며, 이로부터 냉각수 공급온도가 10℃ 상승시킴에 따라 Metal온도도 비례해서 10℃씩 상승하는 것을 알 수 있다.

3 분후 : $y = 0.91x + 35.92$
 4 분후 : $y = 1.03x + 36.81$
 5 분후 : $y = 1.06x + 38.53$
 6 분후 : $y = 1.09x + 38.66$

$y = 1.02x + 37.48$
 (x=냉각수공급온도, y=체인커버 Metal온도)

<식 1> 냉각수 공급온도와 체인커버 Metal온도 상관식

엔진의 T-JOINT부 누유 문제와 관련해서는 액상가스켓의 손상에 의한 것이 중요한 원인 중의 하나이며, 액상가스켓의 손상을 최소화 하기 위해서는 체인커버의 수평, 수직거동량을 최소화하는 것이 중요한 해결요소 중에 하나가 될 것이다. 체인커버의 거동량은 Metal온도와 밀접한 상관관계에 있으며 Metal온도는 냉각수 공급온도와 비례하여 증가하는 것에서 알 수 있듯이 엔진 T-JOINT부 누유에 대한 가속시험법을 개발시에는 냉각수의 공급온도의 설정이 무엇보다 중요한 인자가 된다. 본 연구에서는 추후 엔진 T-JOINT부 누유의 가속시험법을 개발함에 있어 원인분석을 통한 중요인자를 찾아가는 과정을 기술하였으며, 추후 가속시험법을 개발하여 그 시험을 바탕으로 체인커버의 거동량을 최소화 할 수 있는 개선안을 수립하는 방향의 추가 연구가 필요할 것이다.

3. 결론

본 연구에서는 엔진 T-JOINT부의 냉각수 공급온도별 수평, 수직거동량과 체인커버의 Metal온도를 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 냉각수의 공급온도에 따른 수평, 수직거동량을 비교한 결과, 냉각수 공급온도가 클수록 헤드/블록/체인커버의 온도 구배가 커짐을 알 수 있었다.
- (2) 헤드/블록/체인커버의 온도 구배가 증가할수록 헤드/블록/체인커버의 수직/수평거동이 증가함을 확인하였다.
- (3) 시험엔진의 경우 냉각수가 공급되는 방향은 Ex측의 수평, 수직거동량이 크게 나타났다.
- (4) 블록대비 헤드측의 수평 거동량이 큼을 확인하였다.
- (5) 본 연구를 토대로 액상 가스켓이 도포되어 밀폐성을 유지하는 타 부품에서도 누유를 개선하는데 좋은 방법이 될 수 있고, 내구 가속시험법을 개발함에 있어 좋은 자료가 될 수 있으리라고 본다.

참고문헌

- [1] Pedro Bastias 외 5명(2004) Air/Oil Separation in Cylinder Head Covers
- [2] Rodney Clover 외 2명(2006) Timing Gear Whine Noise Reduction Methodology Application in Super Chargers
- [3] Warrendale 외 1명(2007) Power Cylinder Oil Consumption ; Transport Mechanism