

Vibrometer와 고속카메라를 이용한 Valvetrain 동 특성 분석에 관한 연구

서준협^{*1)}·박재형¹⁾·박태식¹⁾·김종혁¹⁾

쌍용자동차 디젤엔진시험개발팀

Study on Valvetrain Dynamic Characteristics Analysis by Using Vibrometer and High Speed Camera

Junhyeop Seo ^{*1)} · Jaehyung Park ¹⁾ · Taesik Park ¹⁾ · Jonghyuk Kim ¹⁾

¹⁾ Diesel Engine Test Development Team, Ssangyong Motor Co., 150-3, Chilgoi-dong, Pyungtaek-si, Gyeonggi-do 459-711, Korea

Abstract : Valvetrain play an essential part in suction of air and emission of exhaust gas in Internal Combustion Engine and need to maintain stable behavior. Especially, because of about 40% of engine friction loss at low speed, friction reduction for reducing fuel efficiency is the most important factor. For this reason, many experts study improving valvetrain system in order that valvetrain operate stable while valve spring load decrease. Especially, Experts have made many attempts to improve contact loss, valve bounce and jumping in high speed. This paper would like to introduce a verification process of valvetrain, by measuring displacement, velocity and rotation of valve using laser doppler vibrometer system and high speed camera.

Key words : Automotive Engine(자동차 엔진), Valvetrain(밸브구동장치), Hydraulic Lash Adjuster(유압식 간극 조정기), Vibrometer(진동계), High Speed Camera(고속 카메라)

1. 서 론

밸브 트레인(Valvetrain)은 캠 샤프트의 회전 운동을 밸브의 직선 운동으로 변화시켜 연소실 내에 공기의 흡입과 배기가스의 배출을 제어하는 장치로 엔진의 유동 효율과 밀접한 관련이 있어 엔진성능에 중요한 영향을 준다. 엔진의 성능 향상을 위한 밸브 유동 면적의 확대는 큰 밸브 가속도를 유발하여, 이는 밸브 트레인 내부의 관성력으로 인해 비정상적인 거동을 유발하는데 대표적으로 서징과 콘택

트 로스가 있다. 서징은 밸브 스프링이 고유진동수 영역에서 내부진동을 일으키는 현상으로 서징이 발생하면 유효 스프링 힘의 감소로 인해 밸브의 개폐 시기가 불안정해지고, 기밀이 불량해져 출력에 직접적으로 영향을 준다. 콘택트 로스는 캠 샤프트에서 밸브까지 여러 부품으로 이루어진 밸브 트레인은 서로 접촉한 형태로 동적 거동을 해야 하나 고속에서 서로 접촉이 유지되지 않고 떨어지는 현상이다. 서징과 콘택트 로스는 소음, 내구성 등에 영향을 영향을 주기 때문에 안정적인 동적 거동을 유지하기 위해 캠 프로파일에서 밸브까지 밸브 트레인 시스템 개선을 위해 여러 검토를 하고 있다.¹⁾

본 논문에서는 Laser Doppler Vibrometer System과 고속 카메라를 이용해 밸브의 변위, 속도 및 밸브 회전을 측정하여 밸브 트레인 시스템의 검증과정을 소개하고자 한다.

* 서준협, E-mail: junhyeop.seo@smotor.com

2. 본 론

- 1) 실린더 헤드를 밸브의 움직임에 가시화 할 수 있는 더미 블록 위에 설치하여 밸브의 동적 거동을 파악할 수 있도록 제작하였다.
- 2) 변위 및 속도 측정은 Laser Doppler Vibrometer를 사용하였다. 두 센서의 전압 차로 변위를 측정하는 장치이다. 또한 고속 카메라를 사용하여 밸브의 회전을 분석하였다.
- 3) 오일의 온도는 120℃, 압력은 2.5bar로 엔진의 전 부하 조건으로 맞추고 엔진의 회전 속도를 변화 시켜 각 속도에서 20Cycle의 데이터를 취득하였다.
- 4) 최종 평가는 콘택트 로스, 밸브 점핑, 밸브 바운싱, 시팅 속도, 밸브 회전을 분석하였다.
- 5) 밸브 변위로 밸브 점핑 여부를 간접적으로 판단하였다. 측정 결과 밸브 트레인의 거동에 치명적인 영향을 미치는 과도한 점핑 현상은 발견되지 않았으며, 미세한 점핑 여부는 로커 암 하중 측정으로 판단 가능하지만 현 결과에서는 필요하지 않다고 판단된다.
- 6) Opening/Closing lift loss는 캠의 램프가 작동하는 지점에서 이론 변위와 실제 측정 변위의 차이이다. 실험 결과 설계 기준 Guideline을 만족했다. 램프가 제대로 작동하지 않으면 밸브가 열릴 때 급격하게 열려 콘택트 로스가 일어나고 시팅 시 급격히 닫히면서 바운싱이 생길 가능성이 있지만 현 결과에서는 램프가 정상적으로 작동했기 때문에 밸브 트레인에 동적 거동을 영향을 줄만한 특별한 징후는 보이지 않았다.
- 7) 베이스 서클 부분은 밸브 변위가 0mm로 닫혀 있는 부분이다. 실험 결과 Guideline을 만족하며, HLA 성능과 캠 프로파일의 베이스 서클 부분의 공차 수준은 만족스러운 것으로 판단된다.
- 8) 이상 거동이 일어날 경우 시팅 속도도 높아지기 때문에 최종적으로 시스템 검증에 위해 평가해야 할 항목이다. 실험 결과 과도한 충격 속도는 발생하지 않았으며, 전 운전 영역에서 램프는 정상적으로 작동되는 것으로 판단되며 고속으로 갈수록 속도가 증가하지 않

고 비슷한 경향을 보이는 것은 고속으로 갈수록 관성이 증가하면서 HLA에 하중을 덜 받아 HLA가 쿠션 역할을 해주는 것으로 판단 된다.

- 9) 3000rpm부터 밸브가 회전하는 것을 확인 할 수 있었다. 밸브의 회전 방향이 혼재되면 회전이 느려지거나 불규칙해 질 수 있는데 실험결과 순방향으로 잘 회전하여 전체 시스템의 하중이 적절하다는 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 Laser Doppler Vibrometer와 고속 카메라를 이용해 밸브의 동적 거동 특성을 파악하기 위해 테스트 리그 장치의 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 캠 프로파일의 Opening / Closing 램프 구간은 잘 작동되기 때문에 밸브 트레인에 영향을 주는 거동은 없을 것으로 판단된다.
- 2) 밸브 시팅 속도 분석 결과 설계 기준인 1m/s를 만족했기 때문에 소음, 진동에 있어서 안정적인 것으로 판단된다.
- 3) 밸브가 적절하게 회전하는 것을 볼 수 있었으며, 밸브의 내구성에 영향을 주는 국부적 과열 현상은 없을 것으로 판단된다.
- 4) 실제 엔진에서는 연소압력, 입자상 물질, 오일 에어레이션 등에 의해 밸브 트레인의 관성, 마찰 등에 영향을 미쳐 거동에 차이가 있을 수 있다. 때문에 밸브에 센서를 장착하는 방법을 통해 실제 엔진에서의 거동과 리그 실험의 차이점을 분석할 필요가 있다.²⁾

References

- 1) R. S. Paranjpe, "Dynamic Analysis of a Valve Spring with a Coulomb Friction Damper", Journal of Mechanical Design, Vol. 112, pp509-513, December 1990
- 2) Robert Kerres, Dominik Schwarz, Matthias Bach, Andreas Eichenberg and Johannes Wust, "Overview of Measurement Technology for Valve Lift and Rotation on Motored and Fired Engines", SAE, 2012-01-0159