

직접 구동형 OHC 밸브 트레인 시스템의 태핏 회전에 관한 연구

A Study on the Tappet Rotation in the Direct Acting Type OHC Valve Train System

*한 동 철, **김 형 준, ***조 명 래

*서울대학교 기계설계학과

** 현대자동차 중앙연구소

*** 서울대학교 대학원

***Dong-Chul Han, ** Hyung-Joon Kim, **Myung-Rae Cho,**

*Professor, Dep. of Mech. Design & Production Eng. Seoul National University

** Central Research Center, Hyundai Motor Company

*** Graduate Student, Dep. of Mech. Design & Production Eng., Seoul Nat. University

Abstract

The aim of this paper is to measure the tappet rotation in OHC valve train system. Tappet is eccentric from the cam center to rotate for preventing the partial wear. The experimental system is developed to measure the tappet rotation by using the laser beam and optical fiber. The characteristics of tappet rotation is presented for various operating conditions. Specially, it is observed that tappet is rotated at the base circle.

Key Word : OHC Valve Train System, Tappet Rotation, Optical Fiber Base Circle

1. 서 론

내연 기관의 효율을 높이기 위한 많은 연구가 다양한 방법으로 이루어져 오고 있다. 전체 엔진 마찰 손실의 7.5 ~ 21%에 해당하는 밸브 트레인 시스템의 마찰 저감은 엔진의 효율 증대에 상당한 부분을 차지한다.[1]

밸브 트레인 시스템의 마찰 특성에 대한 연구는 1980년대 Staron[2]에 의해 시작되었다. 초기의 연구는 로커암 형태의 밸브 트레인 시스템에 있어서 각 마찰 부의 마찰 손실의 크기 및 마찰 특성을 예측하는 모델을 개발하는데 주목적을 두었다. 한편

밸브 트레인 시스템의 주요 접촉부에 대한 마찰 특성 해석이 Michael[3]에 의해 수행되기도 하였다. 앞선 연구에 의해 캠과 태핏의 접촉부와 캠과 팔로워(follower)의 접촉부는 고하중 및 기하학적 비순응성(non-conformableness)에 기인한 가혹한 윤활 조건하에 놓여져 있음이 밝혀졌다. 한편 Han과 Cho[4] 캠과 태핏사이의 마찰력을 해석할 수 있는 수정식을 제안하고 실험 결과와 잘 일치한다는 연구 결과를 제시하였다. 따라서 많은 연구 논문들은 마찰, 마모 등에 초점이 맞추어졌다. 그러나 앞선 연구의 대부분은 캠과 태핏 사이의 상대 회전 운동을 고려하지 않은 상태에서

마찰 특성을 고찰함으로써 실제 밸브 트레인 시스템의 마찰 특성을 고찰하는 데는 한계가 있다. 태핏 회전 운동에 관한 연구는 Willemert과 Pieprzak[5]에 의해 본격화되었다. 그들은 실험을 통해 태핏의 회전 속도를 측정함으로써 태핏의 회전 속도가 증가할수록 마찰이 줄어들며, 이러한 효과는 최대 캠 양정 영역에서 두드러진다는 사실을 밝혔다. 그리고 마찰 저감의 요인은 유막 두께의 증가에 의한 것보다는 접촉 표면에서의 부분적인 구름 운동 때문이라는 사실을 밝혔다.[6]

이처럼 태핏 회전 운동의 고찰은 캠과 태핏 회전 운동과 마찰 특성과의 연관 관계 규명을 통해 효과적인 마찰 저감 기법을 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이들의 연구 결과는 태핏의 정 방향 회전만을 측정함으로써 태핏의 회전과 마찰 특성과의 정확한 관계를 파악하기에는 미흡한 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 태핏의 회전 속도 변화를 측정할 수 있는 실험 장치의 개발을 통해 정확한 태핏 회전 운동을 측정하는 것을 목적으로 한다.

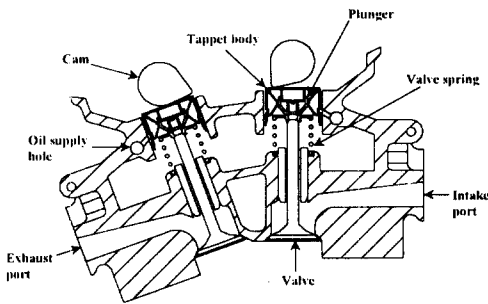


Fig. 1 Schematic diagram of OHC direct acting valve train system

2. 실험 장치의 구성

Fig. 1에는 직접 구동형 밸브 트레인 시스템의 개략도를 나타내었고 Fig. 2에는 캠과 태핏의 접촉 형상을 나타내었다.

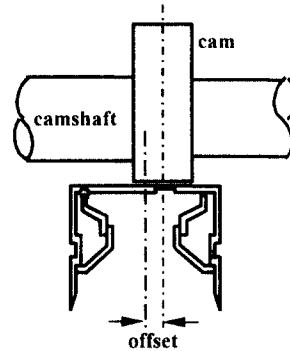


Fig. 2 Cam and tappet contact position

Fig. 2와 같이 실제 엔진에서는 캠의 중심을 태핏의 회전축에서 약간 편심되게 위치시켜 태핏이 회전하도록 장착한다. 이는 캠과 태핏의 접촉에서 태핏 표면에 국부적으로 집중되는 마모를 막고 임의적인 접촉부 변화를 유도하여 유막 감소에 영향을 주는 방향성 표면 형상을 방지하기 위해서이다. Table 1에는 실험에 사용된 밸브 트레인 시스템의 주요 치수를 나타내었다.

태핏 질량	0.058kg
태핏 회전 관성모멘트	$1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ kg}$
기준 편심량	0.002m
태핏 보어 반지름	0.01653m
태핏 반지름	0.0165m
플런저 반지름	0.0065m
태핏 높이	0.030m
캠폭	0.014m
오일 점성	0.0595Pa · s

Table 1 Specification of valve train system

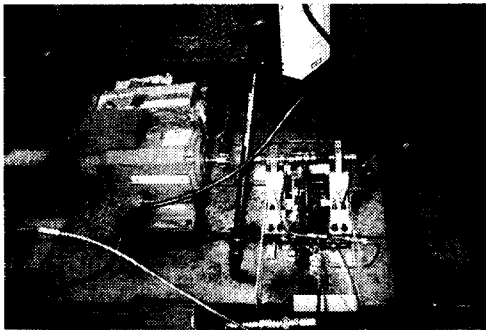
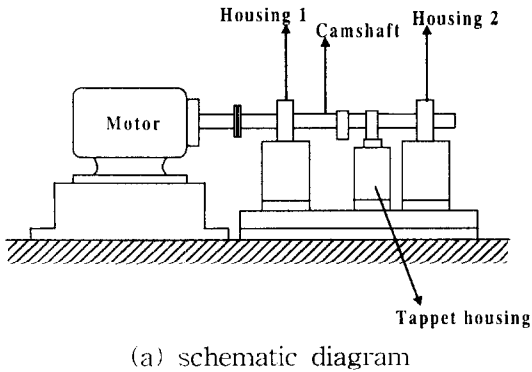


Fig. 3 Schematic diagram and photo of test rig.

Fig. 3에는 본 연구에 사용된 실험 장치의 개략도 및 사진을 나타내었다. 실험 장치는 구동 모터와 두 개의 지지 하우스, 그리고 태핏 하우스로 구성되어 있다.

Fig. 4에는 태핏 하우스의 개략도를 나타내었다.

태핏 회전은 레이저빔과 광섬유를 이용하여 측정한다. 엔코더를 지나 광섬유에 감지되는 빛의 세기에 따라 회전 여부를 판정한다. 광섬유를 통해 감지된 빛은 증폭 회로를 통해 아날로그 신호로 바뀐다. 즉 빛이 감지되면 on 상태가 되고 빛이 감지되지 않을 때는 off 상태가 된다. 광섬유는 모두 세 개를 사용하여 태핏의 정방향 및 역방향 회전 여부를 판정하게 된다. 즉 각 광섬유로부터 신호가 순차적으로 발생하면

정방향 회전을 하게 되는 것이고 만약 신호의 발생 순서가 바뀌면 역회전을 하게 되는 것이다.

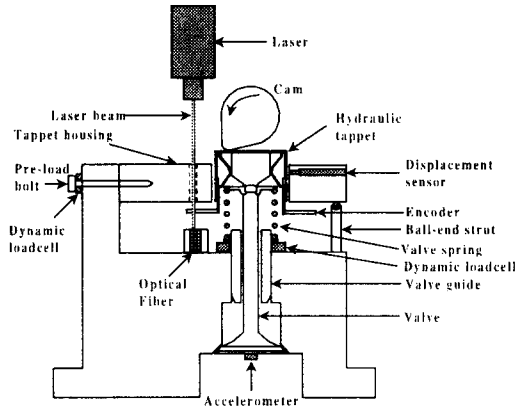


Fig. 4 Section view of tappet housing

Fig. 5에는 정방향과 역방향 신호의 개략도를 나타내었다. 엔코더는 만약 태핏이 1 회전을 하면 총 30개의 신호가 들어오도록 제작되었다.

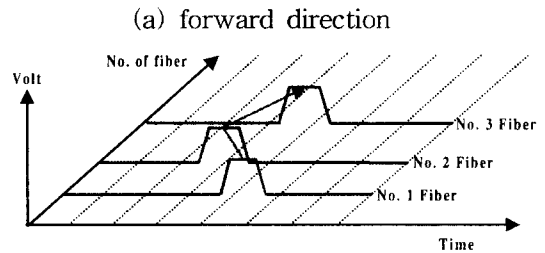
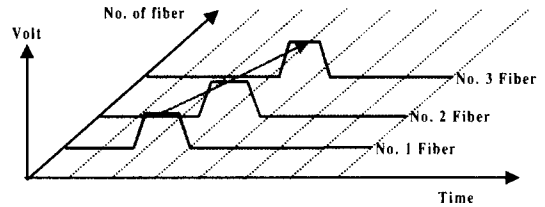


Fig. 5 Example of tappet rotation signal

3. 결과 및 토의

Fig. 6에는 캠 축이 2000 RPM으로 회전하고 있을 때 광섬유를 통해 측정된 신호 및 통계 처리를 한 신호의 예를 나타내었다.

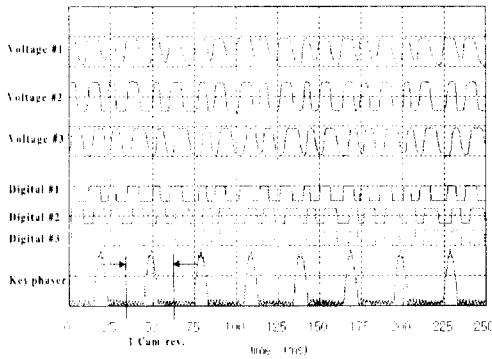


Fig. 6 Measured and modified signal for tappet rotation(2000 RPM)

각 광섬유로부터 들어오는 증폭된 신호가 on/off 상태를 반복하고 있음을 알 수 있고, 각 신호별로 시간 간격을 가지고 on/off 상태를 반복하고 있음을 알 수 있는데, 이는 태핏이 회전하고 있음을 나타낸다. Fig. 6에서 디지털 신호는 on된 상태를 1로 그리고 off된 상태를 0으로 처리한 신호를 나타낸다. 만약 태핏이 회전하지 않는다면 0 또는 1이 지속될 것이다. 그리고 on/off 상태가 광섬유의 순서에 따라 반복되는 것을 볼 때 태핏이 정방향으로 회전하고 있다는 것을 나타낸다. 한편 캠의 기준원(base circle)을 나타내는 위치에서도 on/off 상태가 반복되는 현상이 관측되고 있음을 알 수 있다. 이는 캠의 기준원 영역에서도 태핏이 회전한다는 증거이다. 일반적으로 이론 해석시 캠의 기준원 지점은 마찰력이 0인 지점으로 태핏이 회전한다는 것은 이 영역에서의 마찰력이 존재한다는 것으로 이 영역에서 마찰력 해석을 위한 새로운 모델이 개발되어야 할 것으로 생각된다. 실제로 캠과 태핏 사이의 마찰력을

측정한 Han과 Cho[4]의 실험 결과를 보면 기준원 영역에서 마찰력이 존재하고 있음을 알 수 있다. 한편 Fig. 6에서 캠 1회전 동안 약 세 번의 on/off가 반복되는 것으로 보아 캠 1회전 동안 태핏이 돌아간 각도는 대략 36° 전 후가 될 것으로 추정된다.

Fig. 7에는 캠 1회전 동안의 순간 속도 변화를 나타내었다. 측정된 데이터의 개수가 제한된 관계로 캠 1회전 동안의 자세한 태핏 순간 속도 변화는 살펴 볼 수 없으나 개략적인 태핏의 순간 속도 변화를 살펴 볼 수가 있다. 기준원 영역에서도 태핏 회전이 발생함을 알 수 있고 특히 캠의 노우즈(nose)부분을 지날 때 속도 변화가 크게 발생함을 알 수 있다.

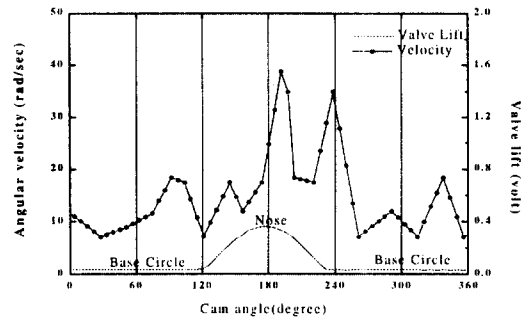


Fig. 7 Experimental results of instant velocity variation of tappet.(2000RPM)

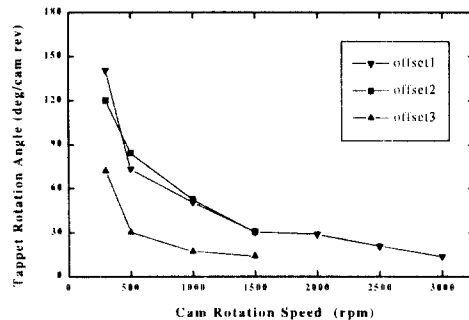


Fig. 8 Tappet rotation angle as a function of cam rotational speed for the

various offset.

Fig. 8에는 캠 회전 속도에 따라 캠 과 태핏의 각 옵셋(offset)양에 따른 캠 1회전 당 태핏의 회전 각도에 대한 측정 결과를 나타내었다. 옵셋양은 1에서 3으로 갈수록 커진다.

회전 속도가 증가할수록, 옵셋이 커질수록 태핏의 회전 각도는 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9에는 캠 회전 속도에 따라 캠 과 태핏의 각 옵셋(offset)양에 따른 캠 1회전 당 태핏의 평균 회전 속도에 대한 측정 결과를 나타내었다. 캠 회전 속도 변화에 따른 태핏 회전 속도 변화는 거의 없으나 옵셋 양에 따라 회전 속도 변화가 심하게 남을 알 수 있다. 옵셋 증가에 따라 태핏 회전 속도는 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있는데 이는 옵셋 양이 너무 커질 경우 태핏이 태핏 보어 내에서 기울어지면서 벽면 마찰력이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 경향은 옵셋의 변화에 따라 회전각도 및 회전 속도를 나타낸 Fig. 10과 Fig. 11을 보면 명확해진다.

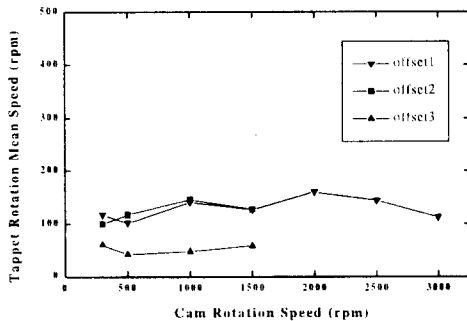


Fig. 9 Tappet mean rotation speed as a function of cam rotational speed for the various offset.

Fig. 10과 Fig. 11에서 옵셋의 증가에 따라 회전각도 및 회전 속도가 증가하다 감소하

는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

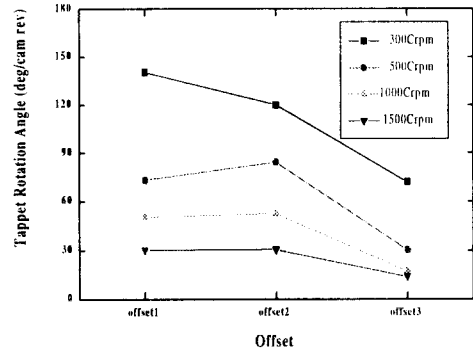


Fig. 10 Tappet rotation angle as a function of cam offset for the various cam rotational speed.

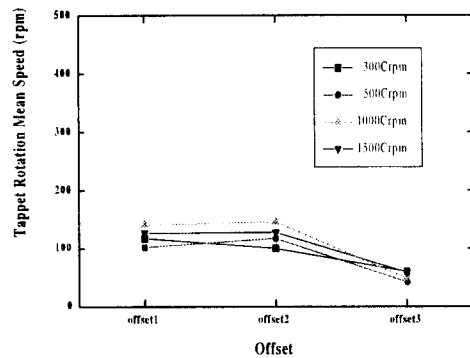


Fig. 11 Tappet mean rotational speed as a function of cam offset for the various cam rotational speed.

4. 결론

광섬유를 이용하여 태핏의 회전 속도 변화를 측정할 수 있는 실험 장치를 개발하고 이를 이용하여 태핏의 회전 속도 변화를 측정하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 캠의 기준원 영역에서도 태핏의 회전이 발생함을 알 수 있었다.
2. 캠 노우즈 영역에서 순간 속도의 변화가 급격히 발생함을 알 수 있었다.
3. 태핏의 회전각도 및 평균 회전 속도는 캠 회전 속도의 증가에 따라 감소함을 알 수 있었고 캠과 태핏의 읍셋 양에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 보임을 알 수 있었다.
4. 태핏 회전 운동에 미치는 영향은 캠의 회전 속도보다는 캠과 태핏의 읍셋이 지배적인 인자임을 알 수 있었다.

Tribology, pp.655~661, Vol.112,
October 1990

Reference

1. C. M. Taylor, "Engine Tribology", Tribology Series 26, Elsevier Science Publishers, 1993
2. J. T. Staron, P. A. Willermet, "An Analysis of Valve Train Friction in Terms of Lubrication Principles", SAE 830165
3. Michael E. Crane, Roy C. Meyer, "A Process to Predict Friction in an Automotive Valve Train", SAE 901728
4. Han, D. C, and Cho, M. R., "The Characteristics of Friction in Direct Acting OHC Valve Train System", J. of KSTLE, Vol.14, No.1, pp,23-27, 1998.
5. J. M. Pieprzak, P. A. Willermet, and D. Klassen, "A Tappet Rotation Monitor Based on Light Reflectance - Development and Functional Testing", SAE 890722
6. P. A. Willermet, J. M. Pieprzak, and D. P. Dailey, "Tappet Rotation and Friction Reduction in a Center Pivot Rocker Arm Contact", Journal of