

# 롤러를 장착한 로커암 타입 밸브트레인 시스템의 동적 거동 해석

\*한 동 철, \*\*신 흥 주, \*\*\*조 명 래

\*서울대학교 기계설계학과

\*\*서울대학교 대학원

\*\*\*서울대학교 터보 동력 기계 연구센터

## An Analytical Study on the Dynamics of Center Pivot Rocker Arm Type Valve Train System with Roller

\*Dong-Chul Han , \*\*Hung-Ju Shin , \*\*\*Myung-Rae Cho,

\* Professor, Department of Mechanical Design & Production Engineering, Seoul  
National University.

\*\* Graduate School, Seoul National University.

\*\*\* Turbo & Power Machinery Research Center, Seoul National University.

---

**Abstract**-An analytical study about dynamic behavior of center pivot rocker arm type valve train system equipped with roller of diesel engine is developed. At first, a mathematical model for the dynamic analysis has been set up using the lumped parameter method. In that model, valve spring is divided as some mass elements so as to simulate spring surging. Then, how the design parameters, such as valve mass, rocker arm inertia, valve spring stiffness, and initial load on valve spring, affect valve dynamic behavior especially in the valve close area is scrutinized.

**Key Words**-Valve train, dynamic simulation, valve bounce

### 1. 서론

디젤 엔진에서 문제점으로 등장하는 것 중의 하나가, 고속에서 밸브기구의 비정상적 작동이다. 시스템 내의 잔류진동, 공진 현상, 마모 및 마멸 등으로 인한 밸브 개폐 시기의 부정확, 누설현상, 밸브의 점프 및 바운스, 과도한 밸브 닫힘 속도, 소음, 더 나아가 구성 요소간의 충격으로 인한 파괴, 밸브와 실린더의 간섭까지도 발생하는 다양한 문제점을 보인다.

현재까지 밸브 트레인 시스템의 동역학적

거동 예측에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔다. Pisano(1)는 집중질량법을 이용하여 밸브트레인 시스템의 거동 해석을 위한 모델을 제시하였고, Ernst(2)는 진동 감소와 제어 성능 향상을 위해 최적화 기법을 사용하여 캠과 밸브 스프링에 관한 연구를 하였다. 이 밖에 많은 연구에서 캠 프로파일 디자인과 소음 감소 등의 동역학적 특성 향상을 위한 연구가 수행되었다.

캠 프로파일은 밸브 시스템의 동역학적 특성에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 캠 프로파일 디자인에 관한 많은 연구가 수행되었

다. 그러나, 본 연구는 캠 프로파일을 제외한 밸브 질량, 로커암 관성 능력, 밸브 스프링 강성, 스프링 초기 장착 하중 등 설계 변수에 따른 밸브 거동에 초점을 맞추었다.

본 연구에서는 롤러를 장착한 로커암 타입 디젤 엔진의 밸브 트레인 시스템의 동역학적 모델링을 수행하고, 해석에 사용된 여러 가지 설계 변수가 밸브 거동에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고 안정된 밸브 거동을 위한 요소를 고찰하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 모델링

Fig.1의 (a)와 같은 롤러 팔로우를 장착한 센터 피봇형 밸브기구의 동적 거동을 시뮬레이션하기 위하여 집중 질량법을 사용하여 Fig.1의 (b)의 등가모델로 모델링하였다. 밸브 트레인의 동적 거동을 해석하기 위하여 많은 수학적 모델들이 제시되어 왔다. 특히, 여기서 사용한 다자유도 집중 질량 모델(Lumped mass model)은 널리 사용되는 방법 중의 하나이다. 이 모델링 방법은 질량 행렬이 항상 대각 행렬이기 때문에 운동방정식의 해를 구하기 위한 수치적 방법이 용이한 반면에, 자유도 수가 증가하면 할수록 여러 파라미터 값(질량, 강성, 감쇠)의 결정이 점점 더 어려워지며 더 많은 계산량이 요구

된다. 하지만, 국부적인 강성과 감쇠의 변화가 전체 시스템에 어떠한 영향을 끼치는지를 확인할 수 있고, 그 결과로 얻어진 최적화된 강성과 감쇠를 실제 밸브 시스템의 설계에 반영할 수 있는 장점이 있다. 스프링을 각각 다섯 개의 질량요소로 나누었고 그에 따라 여섯 개의 스프링 요소( $K_{s1}, K_{s2}, K_{s3}, K_{s4}, K_{s5}, K_{s6}, K_{s7}, K_{s8}, K_{s9}, K_{s10}, K_{s11}, K_{s12}, K_{s13}, K_{s14}, K_{s15}, K_{s16}$ )에 연결시켜, 스프링 서지(Spring surge) 현상이 밸브 움직임에 미치는 영향을 나타내고자 하였다. 또, 바운스(Bounce)와 밀접하게 연관된 밸브 시트의 강성( $K_{sp}$ )과 감쇠( $C_{sp}$ )를 포함시켰다.

로커암의 회전축은 캠과 밸브로부터 수평 방향의 하중도 받는다. 하지만, 밸브의 운동을 위해 전달되는 하중 중에는 상대적으로 수직 방향의 성분이 크므로 로커암 질량 요소의 수평 방향 운동을 무시하였다.

Fig.1 (b)을 이용해 캠과 로커암, 로커암과 밸브, 그리고, 밸브와 밸브시트의 분리 조건을 고려하여 14개의 질량 요소에 대한 운동방정식을 구할 수 있다. 구하여진 운동방정식을 전개하여 행렬식 형태로 바꾸면 다음과 같이 표현 된다.

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{F\} \quad (1)$$

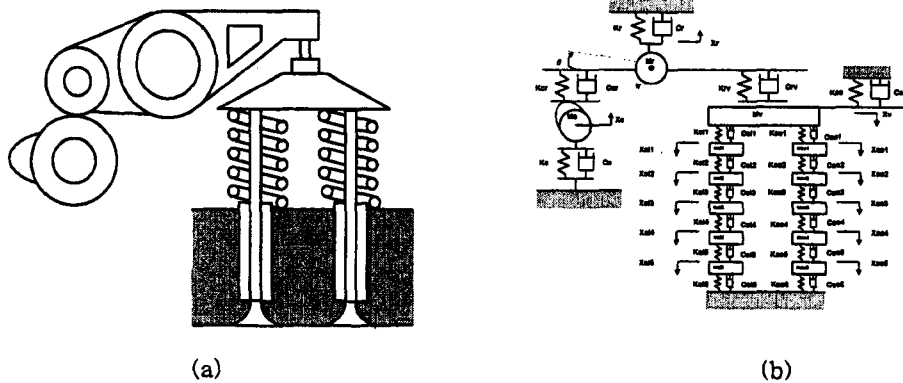
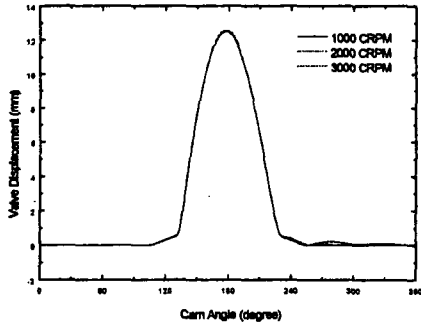


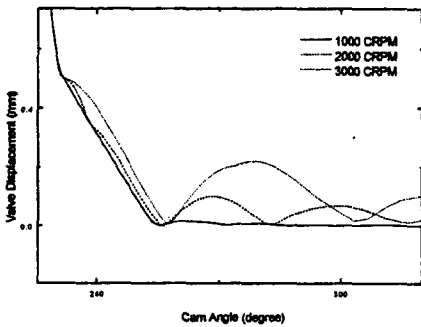
Fig. 1. Modelling of center pivot type valve train system

### 3. 해석 결과

Fig 2. 에서는 캠의 운전 속도에 따른 밸브의 변위를 나타내었다.



(a)



(b)

Fig. 2. Valve displacement

밸브가 밸브 스프링 서어지와 잔류 진동의 영향으로 밸브 시트에 밀착하지 못하고 되튀어 오르는 현상인 밸브 바운스는 Fig.2 (b)의 결과에 반영되었으며 캠의 회전 속도가 증가함에 따라 캠 열림 구간에서의 점핑 현상과 밸브 닫힘 구간에서의 바운스 현상이 증가함을 볼 수 있다.

Fig.3와 Fig.4 에서는 각각 밸브의 질량과 로커암의 관성능률이 밸브 바운스에 미치는 영향을 나타내었다. 밸브의 질량과 로커암의 관성능률이 증가함에 따라 바운스가 증가함을 볼 수 있다. 이는 밸브의 질량이 증가할수록 밸브의 닫힘 구간에서 밸브가 밸브 시

트에 되 튀긴 후 다시 밸브 시트에 밀착하는 것에 대한 저항이 증가하기 때문이다. 로커암의 관성 능률이 증가함에 따라 캠 양정 곡선의 가속도가 급격히 변하는 구간에서 캠과 로커암의 분리 현상이 발생하는데 이 현상이 밸브의 바운스 현상을 증가시키는 원인이 된다. 그러므로, 로커암의 관성이 증가할수록 바운스 현상이 증가하게 된다.

Fig.5는 밸브 스프링 강성의 밸브 거동에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다. 밸브 스프링의 강성이 증가함에 따라 바운스 현상이 감소함을 볼 수 있다. 이는 밸브가 밸브 시트에 되 튀긴 후 밸브 강성에 의해 원상태로 돌아오게 되므로 당연한 결과이다. 그러나, 본 연구의 해석 시스템에서는 큰 영향이 없음을 볼 수 있다.

Fig.6은 밸브스프링의 초기 장착력의 영향을 나타낸 그래프이다. 초기 장착력이 클수록 밸브 닫힘 구간에서 밸브와 밸브 시트가 분리가 되었을 때 밸브가 제자리로 돌아가게 하는 힘이 커지게 된다. 그러나, 장착력이 커지면 밸브 시트의 초기 변형량이 커지게 되므로 밸브와 밸브 시트의 분리 현상이 줄어들게 된다. 따라서, Fig.6과 같이 초기 장착력의 영향이 상대적으로 크지 않음을 볼 수 있다. 초기 장착력의 영향은 Fig.7에서 보듯이 밸브의 열림 구간에서 점핑 현상을 막아 주는데 더 큼을 볼 수 있다.

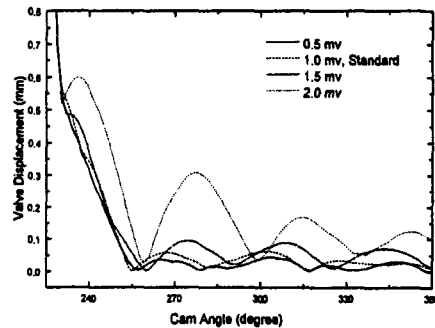


Fig. 3. Valve mass effect on valve bounce (2000 CRPM)

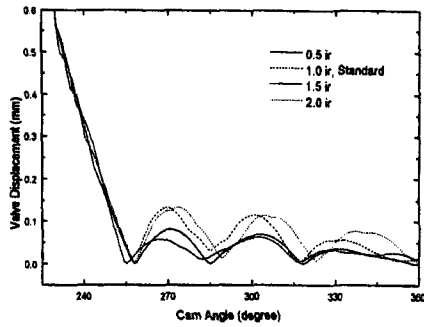


Fig. 4. Rocker arm inertia effect on valve bounce (2000 CRPM)

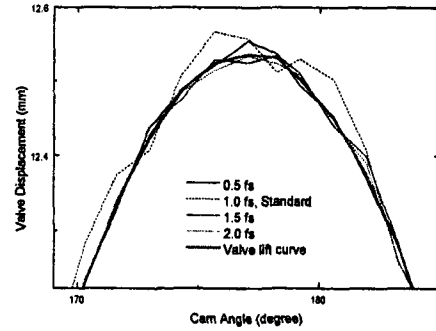


Fig. 7. Initial load of valve spring effect on valve behavior (2000 CRPM)

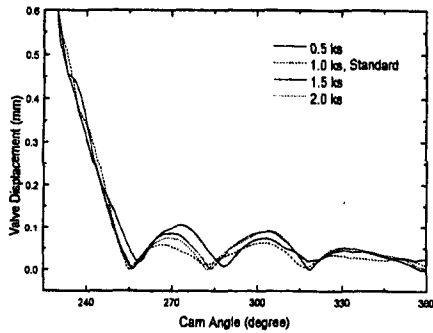


Fig. 5. Spring stiffness effect on valve bounce (2000 CRPM)

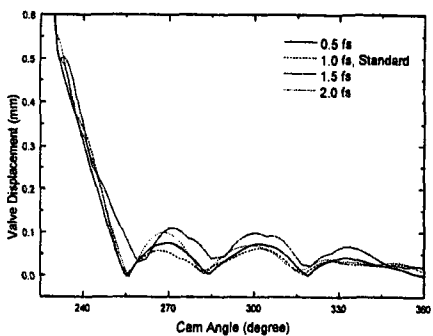


Fig. 6. Initial load of valve spring effect on valve bounce (2000 CRPM)

#### 4. 결론

롤러를 장착한 로커암 타입 밸브트레인 시스템의 동적 거동을 예측할 수 있는 해석 모델을 수립하였고, 설계 변수에 따른 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 캠의 회전 속도가 증가함에 따라 밸브의 점핑 현상과 바운스 현상이 나타남을 볼 수 있었다.
2. 밸브 스프링의 초기 장착력과 강성은 밸브의 바운스 이후 밸브를 원 상태로 복귀시키는 작용을 하여 장착력과 강성이 크면 바운스 현상이 줄어들어야 하나, 본 해석 시스템의 경우 그 영향이 미비하였다.
3. 밸브의 질량 및 로커암의 관성 모멘트는 각각 밸브와 로커암의 분리 현상과 로커암과 캠의 분리 현상이 발생할 경우 분리 현상을 유지시키려는 작용을 하므로 관성이 커 질수록 밸브 바운스 현상이 증가함을 볼 수 있었다. 그리고, 본 시스템에 있어서 밸브의 질량이 밸브 바운스 현상의 지배적인 설계변수임을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. A.P. Pisano, F. Freudenstein, "An Experimental and Analytical Investigation of the Dynamic Response of a High-Speed Cam Follower System. Part 1: Experimental

Investigation", Transactions of the ASME, Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, Vol.105, pp.692 ~ 698, 1983

2. Roland Ernst, Andreas R. Schamel, Jürgen Meyer, "Advanced Optimization Techniques in Valvetrain Design", SAE932004

3. Steve Seidlitz, "An Optimization Approach to Valve Train Design", SAE901638

4. H.S. Jeon, K.J. Park, Y.S. Park, "An Optimal Cam Profile Design Considering Dynamic Characteristics of a Cam-Valve System", Experimental Mechanics, December, pp.357 ~ 363, 1989

5. H.J. Kaiser, R. Deges, D. Schwarz, J. Meyer, "Investigations on Valve Train Noise in Multi-Valve Engines", SAE911062

6. Hirofui Tani, Hiroharu Tokoro, and Kauo Yoshikawa, "Measurement and Simulation of Valve Motinon" SAE No.930615, 1993