

유한요소법을 이용한 고속엔진 밸브 메카니즘의 동적해석

임상준*(전북대 대학원 기계공학과), 이기수(전북대 기계공학과)

A Dynamic Analysis of Valve Mechanism of High-Speed Engine Using FEM

S. J. Im(Mech. Eng. Dept., CBNU), K. S. Lee(Mech. Eng. Dept., CBNU)

ABSTRACT

This paper presents the analytical studies on the stress and strain of driven valve system of internal combustion engines. The stress and strain is predict using FEM. The particular interest is the dynamic strain at a specific point of the valve and valve seat. Cam and follower Assuming that one rigid surface. This study forced the effects changing Young's modulus and density of valve and valve seat contact area. It supports that the indirect method using FEM is reliable for prediction the actual displacement, stress and strain in the valve system.

Key Words : FEM (유한 요소법), Dynamic strain (동적 변형률), Contact area (접촉 면적)

1. 서론

우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 캠-밸브 장치는 자동차의 엔진에서 중요한 역할을 하고 있기 때문에 보다 정확하고 신뢰성 있는 구조물의 동적 특성을 규명하여야 한다. 최근 이들 기계의 고속화 경향과 더불어 이에 대한 정확한 해석은 안정적인 캠-밸브 장치의 설계를 위해 중요한 과제가 되고 있다. 특히 내연기관에서 밸브의 접촉력은 엔진의 최대 속도를 결정하기 때문에 밸브의 접촉력 해석은 매우 중요하다. 캠-밸브 장치의 대표적인 예인 내연기관에서 캠-밸브 시스템을 설계할 때 동적 특성은 구성 성분의 마멸, 소음정도, 최대 작동 속도와 관련되어 있다. 그래서 캠이 작용하는 밸브 장치에 동역학적 영향을 유한요소법으로 계산하고 실험으로 증명할 필요가 있다.

일반적으로 밸브 메커니즘에 관한 연구는 수치 해석적인 방법과 실험적인 연구가 수행되고 있다.

수치해석적인 방법의 경우에는 비교적 단순한 동역학적 해석을 수행하였다. 그러나 실제에 있어서는 캠과 종동절 사이의 동적인 접촉 관계이며, 특히 캠이 고속 회전하는 경우에는 캠과 밸브가 서로

분리된 후 재충돌하는 현상이 발생한다. 따라서 Cardona와 Geradin⁽¹⁾은 캠과 종동절 사이에 접촉 조건을 부과하였으며 그 사이에 인위적으로 스프링과 댐퍼가 존재한다고 가정하여 접촉력을 계산하였다. Lee⁽²⁾는 위의 두 해법이 가지는 단점을 보완한 캠과 종동절 사이에 접촉과 분리가 반복되거나 물체의 탄성 변형이 포함되어도 항상 적용할 수 있게 되며 수치적분 오차로 인한 엉뚱한 진동은 발생하지 않는 해법으로 접촉력을 계산하였다.

실험적인 연구는 내연기관의 캠-밸브 시스템을 집중적으로 연구하여 왔는데 Sakai와 Kosaki⁽³⁾는 4자유도 집중 질량 모델의 OHV(overhead valve)형 캠-밸브 시스템에서 고속 작용하의 밸브와 스프링 운동에 집중했다. Pisano와 Freudenstein⁽⁴⁾은 점핑, 바운스 그리고 스프링 써지(surge)의 시작(onset)과 관계되어진 병적인 거동 뿐만 아니라 일반적인 시스템 응답을 예견하기에 적합한 고속 밸브 기구의 동적 모델을 개발했다. Chan과 Pisano⁽⁵⁾는 6자유도 finger follower-type OHC 캠-밸브 시스템 모델을 가지고 캠-밸브 시스템의 불규칙적인 운동에 집중했다. Jeon과 Park⁽⁶⁾는 집중 질량 모델을 캠-밸브 시스템에서 동적 효과를 고려하는 최적 캠 형

상을 설계하는데 적용했다. 대부분의 이전의 연구자들이 고속 캠-밸브 기구 운동을 검사하지 위하여 집중 질량 모델을 사용했다. 마모와 소음에 관계되는 접촉력의 해석은 드물게 연구되어 왔으나 캠-밸브 시스템의 설계에 고려되는 접촉력은 중요하다.

본 연구는 캠의 회전에 따라 밸브가 병진운동을 하면서 밸브와 밸브 시트에 가해지는 응력과 변위 특성을 유한요소법을 이용하여 계산하였다.

2. 유한요소 모델

본 연구에서 응력 계산과 동적 변형률 계산에 사용되는 프로그램은 ABAQUS이다. 캠의 회전에 따라 밸브의 변위와 밸브와 밸브시트간의 접촉에 의한 응력을 계산하고, 지정된 점에서 동적 변형률을 계산하기 위해 다음과 같은 요소를 사용한다. CAX4R(2차원 축 대칭 4-node reduce integration 요소)를, rigid surface를 사용하여 모델링 하였다.

캠과 follower 및 tappet를 하나의 rigid surface로 가정하여 보다 간단한 모델링을 하였다. 캠의 회전 운동과 follower의 병진 운동을 하나의 rigid surface의 왕복운동으로 간소화시켰다. 캠-밸브 시스템의 전체적인 모델과 경계조건은 Fig.(1) 같고 유한요소 해석 모듈의 흐름도는 Fig.2와 같다.

밸브, 밸브 스프링 그리고 밸브 시트의 자세한 내용은 Table 1, 2, 3에 나타내었다.

Table 1 Valve data

길 이	90 mm
탄성계수	10E3 kg/mm ²
밀 도	7.8E-6 kg/mm ³
접 촉 각	45°

Table 2 Valve spring data

자 유 간	44 mm
장착 높이	36.5 mm
스프링상수	2.8 kg/mm

Table 3 Valve seat data

탄성계수	10E6 kg/mm ²
밀 도	7.8E-6 kg/mm ³
접 촉 각	45°

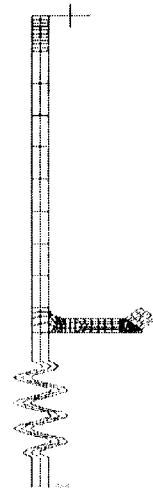


Fig. 1 Finite element modeling for valve system.

3. 해석 방법

밸브 시스템을 해석하기 위하여 두 개의 step으로 나누어서 해석을 하였다. 첫째로 정적인 방법으로 밸브 스프링의 자유고를 장착높이로 바꾸고, 동적인 방법으로 밸브 시스템을 해석하였다. 이때 캠의 회전속도는 3000 rpm 으로 가정하였다. 그러므로 캠으로 가정된 rigid surface의 왕복 시간은 0.02초이다. 밸브 시스템의 응력 및 스트레인 측정을 위한 유한요소 해석 모듈의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

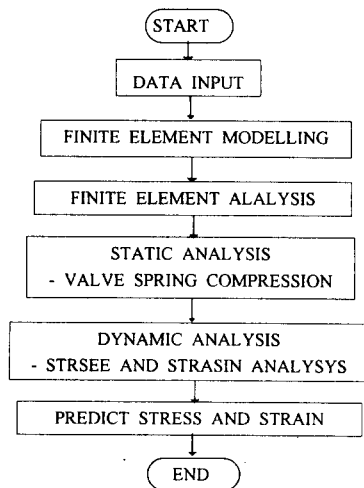


Fig. 2 Flow-chart for prediction of stress and strain

상용 유한 요소 프로그램을 이용하여 접촉조건을 사용한 동적 해석을 할 때 접촉이 시작하면서 대단히 큰 반력이 발생하여 접촉이 계속 유지하지 못하는 현상이 발생한다. 이를 수정하기 위하여 밸브와 밸브 시트의 접촉 지점의 탄성계수와 밀도를 조금 낮추어 줌으로써 이 문제를 해결하였다.

해석 결과 y 방향의 stress 는 Fig. 3과 같고 von misses 응력은 Fig. 4와 같다. x 방향의 stress 는 Fig. 5와 같고 캠과 밸브의 변위는 Fig. 6 와 같다. 캠과 밸브의 간격이 1 mm이므로 캠과 밸브의 변위에는 1 mm의 차이가 난다.



Fig. 3 Normal stress of FEM model

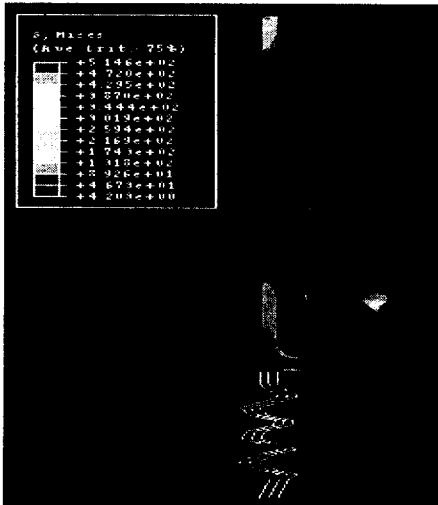


Fig. 4 Von Misses stress of FEM model

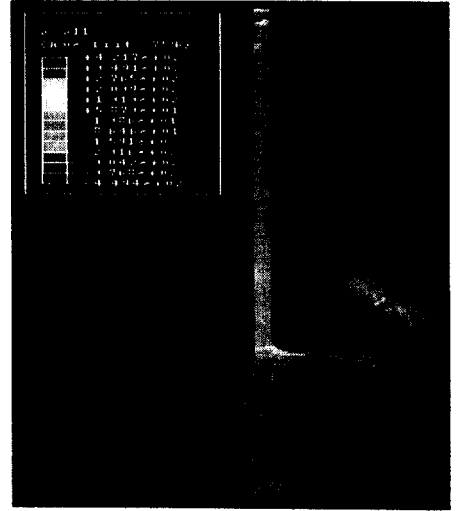


Fig. 5 Tangential stress of FEM model

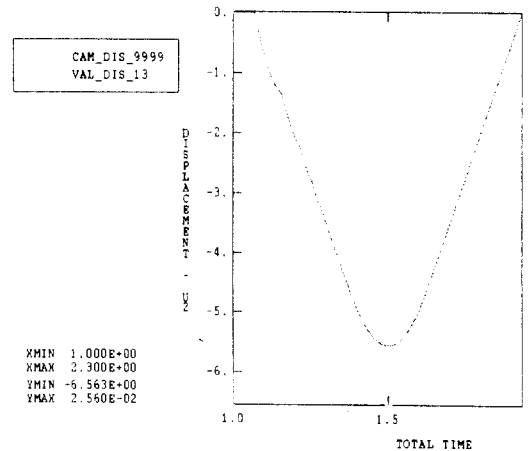


Fig. 5 Cam and valve displacement

4. 결론

본 연구에서 상용 유한요소 프로그램을 이용하여 밸브 시스템의 동적 해석을 수행하는데 있어서 접촉이 발생하는 순간에 대단히 많은 반력이 발생하여 실제로 일어나지 않는 현상이 발생하는 것을 수정하기 위하여 접촉 영역의 탄성계수와 밀도를 줄임으로써 보다 실제 현상과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

상용 유한요소 프로그램을 이용하여 접촉 조건이 포함된 동적 해석을 수행할 때 접촉 부분의 탄성계수와 밀도의 조정으로 실제 현상과 비슷한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Cardona, Alberto and Geradin, Michel, 'Kinematic and Dynamic Analysis of Mechanisms with Cams', computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol.103, pp.115-134, 1993.
- [2] Lee, K., '충격 분리 및 탄성 변형을 포함한 캠-종동절 기구의 동역학적 해석을 위한 수치해석적 방법', 대한기계학회논문집 A권 제22권 제3호, pp.1999-2000, 1998.
- [3] Sakai, H., and Kosaki, K., "Analysis of Valve Motion in Overhead Valve Linkages-Roles of Valve Spring Surge in Valve Motion," Journal. Faculty of Eng., The University of Tokyo(B), 33(4), pp.441-446, 1976.
- [4] Pisano, A. P. and Freudenstein F., 'An Experimental and Analytical Investigation of the Dynamic Response of a High-speed Cam Follower System', ASME Journal of Mechanisms, Transmission, and Autoamtion in Design., Vol. 109, pp.356-363, 1983..
- [5] Chan, C. and Pisano, A., 'Dynamic Model of a Fluctuating Rocker-Arm Ratio Cam System', ASME Journal of Mechanisms, Transmission, and Autoamtion in Design., Vol. 109, pp.356-365, 1987.
- [6] Jeon, H. S., Park, K. J. and Park, Y. S., 'An Optimal Cam Profile Design Considering Dynamic Characteristics of Cam-Valve System', EXPERIMENTAL MECHANICS, pp.357-363, 1989.
- [7] Paranjpe, R. S., 'Dynamic Analysis of a Valve Spring With a Coulomb-Friction Damper' Journal of Mechanical Design Vol.112, pp.509-513, 1990.
- [8] Kim, W. J., Jeon, H. S. and Park, Y. S., 'Contact Force Prediction and Experimental Verification on an OHC Ringer-follower-type Cam-Valve System', EXPERIMENTAL MECHANICS, pp.150-156, June 1991.
- [9] Mathew, G. K. and Tesar, D., 'The Design of Modeled Cam Systems Part I and Part II', 'ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.97, pp.595-602, 1975.
- [10] Lee, K. 'A Numerical Method for Dynamic Analysis of Vehicles Moving on Flesible Structures Having Gaps', Internal Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.40, pp.511-531, 1997.
- [11] Taylor, Rovert L. and Papadopoulos, Panayiotis, 'On A Finite Element Method for Dynamic Contact/Impact Problems', International journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.36, pp.2123-2140, 1993.
- [12] Willermet, P. A., Pieprak, J. M. and Dailey, D. P., 'Tappet Rotation and Friction Reduction in a Center Pivot Rocker Arm Contact', Journal of Tribology, Vol.112, pp.655-661, 1990.