밸브 트레인용 캠 기구 설계 해석에 관한 연구

*김창현[1], 조인영[1],강한성[1],신중호[2], 권순만[2]
[1] 창원대학교 대학원 기계설계공학과, [2] 창원대학교 기계설계공학과

A Study on Design Analysis of Cam Mechanism for Valve Train System

*C. H. Kim[1], I. Y. Cho[1] , H. S. Kang[1] , J. H. Shin[2], S. M. Kwon[2]
(Dept. of Mech. Design. & Manufacturing, Changwon National University)

Key words : Valve Train, Equivalent system, Roller Follower, Cam, Cam Torque

1. 서론

캠 기구는 구동축의 회전에 대해 출력축의 운동을 특정 함수로 구성하는데 매우 용이하므로 고기능화 기계에서 매우 유용하게 응용되고 있는 기계요소이다. 하지만 정확한 형상설계가 요구되며 이러한 요구는 일반적 링크장치 기구에 비해 응용이 어렵고 고비용의 단점이 있다. 그럼에도 캠 기구는 고부가성 기계에 대해 응용성이 날로 증가하고 있으며, 특히 내연기관에 캠 기구가 널리 사용되고 있다.

캠 기구의 설계를 위해서는 종동절의 운동을 목적에 맞게 최적의 특성이 고려된 변위선도로 결정하여야 하며, 다음으로 변위를 정확하게 발생시킬 수 있는 캠의 형상이 설계되어야 한다. 설계되어진 형상에 대해서는 해석을 수행하게 되며 만족할 만한 결과 값을 바탕으로 캠을 가공하게 된다.

본 논문에서는 디젤엔진에서 사용되는 Fig. 1과 같은 밸브 트레인 시스템을 고려한다. 이의 해석을 위하여 동적 등가모델을 구성하고, 내연기관의 캠 설계에서 주로 사용되고 있는 polydyne 캠 다항식을 이용하여 캠 형상을 설계하였다. 또, 최종적으로 얻어진 결과 값을 바탕으로 원호보간법을 사용하여 캠을 직접 가공하고 가공되어진 캠 설계의 정확성을 검증하였다.

2. 등가 시스템 구성

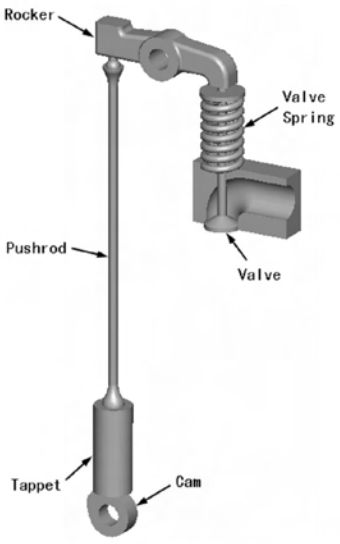

Fig. 1 Valve train system model

Fig.1에는 복합적인 질량, 스프링, 그리고 댐핑 요소들이 결합된 밸브 트레인용 캠 기구를 보여준다. 이 같은 시스템은 질량(m), 스프링 상수(k), 댐핑 계수(c)를 이용하여 다자유도 모델로 표현할 수 있고, 여기서 각각의 하위 시스템들 사이의 질량, 스프링, 댐퍼들의 동적 상호작용을 고려하여 Fig.2와 같이 1자유도 모델로 등가 시킬 수 있다.

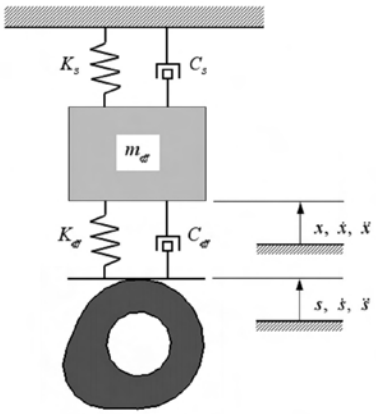

Fig. 2 One-DOF model

본 논문에서 고려한 등가질량(m_{eff})은 1.915kg, 스프링 상수(k_s)는 8.7(N/mm), 감쇠비(ζ)는 0.10, 예비장력은 44.12(N)이다.

3. 캠 설계 및 해석

본 논문에서는 Thoren, Engemann 과 Stoddart(TES)[1]가 제안한 다항식을 이용하여 캠형상을 설계하였다.

$$s = h[1 + C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_p\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^p + C_q\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^q + C_r\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^r + C_s\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^s] \quad (1)$$

여기서

$$C_2 = \frac{-pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)}$$

$$C_p = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)}$$

$$C_q = \frac{-2qrs}{(q-2)(q-p)(r-q)(s-q)}$$

$$C_2 = \frac{2pqs}{(r-2)(r-p)(r-q)(s-r)}$$

$$C_s = \frac{-2pqr}{(s-2)(s-p)(s-q)(s-r)}$$

본 논문에서 고려한 변위 다항식은 2-10-20-30-40 다항식을 사용하였고, h를 9mm로 설정하여 캠 형상을 설계하였다. Fig. 3 ~ Fig. 6에 변위, 속도, 가속도, 저크 곡선을 각각 나타내고 있다.

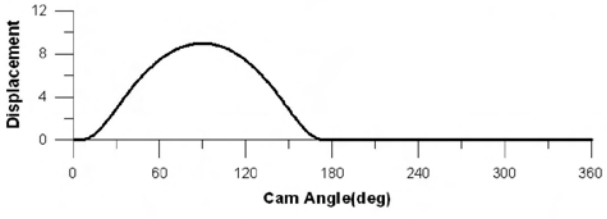

Fig. 3 Displacement curve

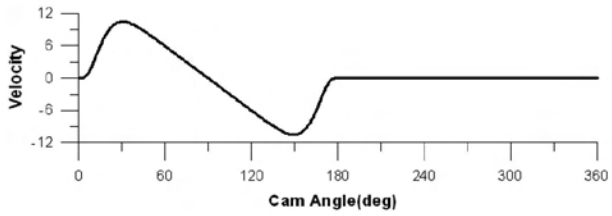

Fig. 4 Velocity curve

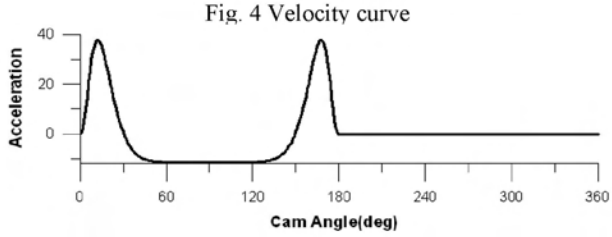

Fig. 5 Acceleration curve

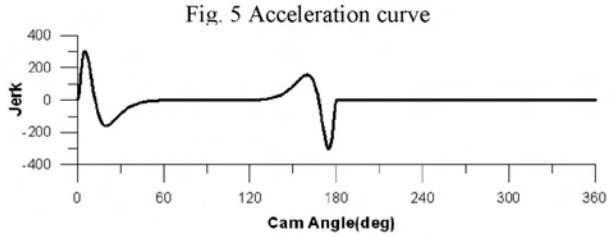

Fig. 6 Jerk curve

위 결과를 바탕으로 기초원 지름을 30mm, 롤러 반경을 15mm로 하여 캠을 설계하고, 설계된 형상은 Fig. 7과 같다.

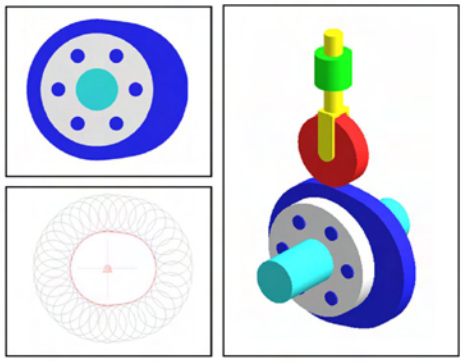

Fig. 7 Translating Roller Follower Cam Design

또, 캠과 롤러에 작용하는 최대 작용력은 194.6(N)이고, 작용력선도 및 토크선도는 Fig. 8, Fig. 9와 같다.

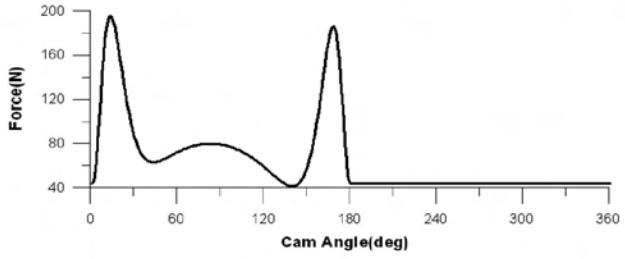

Fig. 8 Force Curve

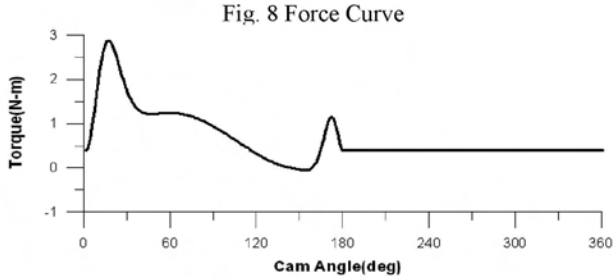

Fig. 9 Torque Curve

위 결과 값을 바탕으로 최대 압축응력을 계산하면 183.06Mpa(@425rpm)로 설계조건에 만족할 만한 결과 값임을 확인 할 수 있었다.

4. 캠 가공

캠을 가공하기 위해 원호보간법[2]을 사용하였고 임의의 평면 캠 형상 중에 연속하는 3개의 좌표를 이용하여 공구중심좌표를 Fig. 10과 같이 얻을 수 있다. 이때 생성된 NC-code는 Fig. 11과 같다.

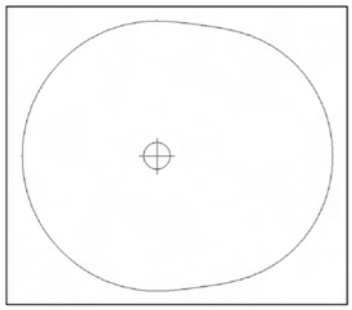

Fig. 10 Shape of cam mechanism

Fig. 11 NC-code

원호보간법을 이용하여 평면 캠의 가공정보를 분석하면 캠의 형상좌표가 매우 부드러운 곡선의 연결로 인하여 가공오차가 매우 미세함을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

현재의 고속, 고기능 기계 및 장치들은 매우 높은 생산성을 요구하고 있다. 따라서 캠 기구의 회전속도가 증가함으로써 진동, 소음, 충격 또는 접촉 분리 등의 이상 현상이 발생하여 목적하는 운동에서 벗어나는 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 밸브 트레인 시스템용 캠을 설계하였고, 등가집중매개변수 모델을 이용하여 설계된 캠을 해석하여 캠 설계의 신뢰성을 확보하였다. 최종적으로 원호보간법을 통한 가공 데이터를 생성하여 캠의 설계에서 가공까지를 일괄적으로 처리할 수 있게 하였다.

후기

이 논문은 산업자원부의 지역특화기술개발사업과 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업의 지원 사업을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. R. L. Norton. "Cam Design and Manufacturing Handbook", Industrial Press, Inc., 2002.
2. 조인영,신중호,권순만,김봉주,김종찬, “원호보간법을 이용한 평면 캠 가공 정보 분석에 관한 연구,” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 1678-1681, 2005.