

# 유압 베인 펌프의 캠 링 변형에 관한 연구

## A Study on the Cam Ring Deformation in a Balanced Type Vane Pump

\*한 동 철, \*\*조 명 래, \*\*양 광 식, \*\* 박 제 승

\*서울대학교 기계설계학과

\*\* 서울대학교 대학원

**\*Dong-Chul Han, \*\*Myung-Rae Cho, \*\* Kwang-Sik Yang, \*\*Je-Seung Park**

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

\*\* Graduate Student, Dep. of Mech. Design & Production Engineering, Seoul National University

### Abstract

This paper presents the deformation characteristics of cam ring in a balanced type vane pump. Cam ring is operated in the condition of high pressure. Therefore the local deformation of cam ring affects the characteristics of compression, vane motion and noise and vibration. We analyzed the deformation of cam ring in three types by using the finite element method. As results of analysis, deformed shape of cam ring and the effects of deformation on the compression are presented.

**Key Words:** Cam Ring, Deformation, Vane Pump, Finite Element Method, Compression

## 1. 서 론

유압 베인 펌프의 캠 링은 베인의 원활한 작동을 보장할 뿐 아니라 펌프의 압축 성능에 중요한 역할을 담당한다. 따라서 베인 펌프의 캠 링 특성을 향상 시키기 위한 많은 연구가 이루어 졌다. 그러나 캠 링 자체가 펌프의 성능을 좌우하는 중요한 역할을 담당하므로 Koji[1], Hattori[2], 그리고 Cho 와 Han[3]등의 연구 논문을 제외하고는 곡선 자체의 특성 등에 대한 연구 논문은 잘 발표되지 않고 있다. 따라서

단지 측정 등에 의해 어떤 종류의 곡선이 사용되었을 것이라는 추정 정도 만이 가능한 실정이다.

한편 베인 펌프는 고압에서 작동하고 있으므로 캠 링이 받는 하중은 상당히 가혹하다. 또한 최근 펌프의 개발 추세가 소형 경량화, 고압화 되면서 운전 조건은 더 가혹해지고 있다. 따라서 이러한 운전 조건의 변화에 따라 펌프의 내구성 확보를 위한 많은 연구가 펌프 제작사를 중심으로

이루어 지고 있다. 이 중 캠 링의 변형 특성에 대한 연구는 Nagata[4]의 연구 논문을 제외하고는 거의 발표되지 않고 있다. Nagata는 캠 링 변형 특성에 대한 파악을 통해 펌프에서의 소음 특성에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 캠 링의 변형이 펌프의 압축 특성 등에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 구체적인 결론을 제시하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 유한 요소법을 이용하여 캠 링의 변형 특성을 해석하고 그 결과를 캠 링의 설계 단계에 반영할 수 있는 발판을 마련하고자 한다.

## 2. 이론 해석

### 2.1 펌프실의 변동 압력 해석

Fig.1 에는 본 연구의 해석 대상인 유압 베인 펌프의 개략도를 나타내었고 Fig.2 에는 캠 링을 펼친 개략도를 나타내었다.

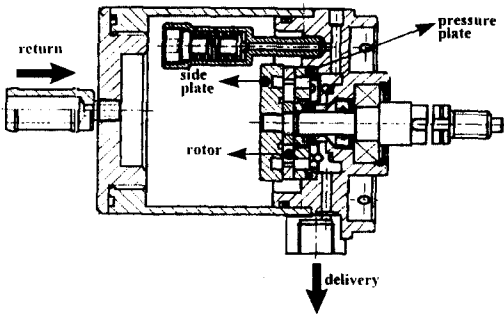


Fig.1 Schematic diagram of balanced type vane pump.

캠 링은 크게 3 개의 곡선으로 구성되어

있다. 영역 A는 소원호 부로 일정한 반경을 가지게 되고, 영역 B, D는 연결 곡선으로 고차의 곡선으로 구성되어 있다. 영역 C는 대원호부로 역류의 영향을 줄이고 예압축을 주기 위해서 일정 비율로 반경이 감소하게 되어 있다.

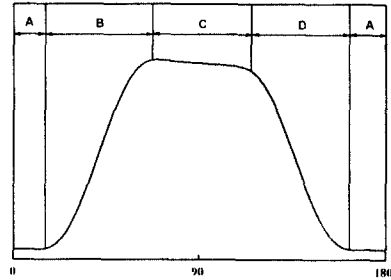


Fig. 2 schematic diagram of cam ring curve.

캠 링 설계의 핵심은 연결 곡선을 어떻게 선정하고 반경 감소율을 어느 정도를 주느냐에 있으나 본 연구의 목적은 캠 링 변형 특성에 있으므로 캠 링의 연결 곡선 및 반경 감소율에 대한 것은 저자들의 기존 연구 논문[3,5]을 참조하기 바란다.

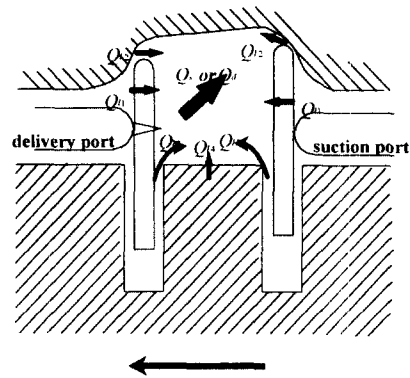


Fig. 3 Schematic diagram of pumping chamber

Fig. 3 에는 베인실의 변동 압력을 구하기 위한 개략도를 나타내었다. 검사 체적은 2 개의 베인과 로터 그리고 캠 링으로 구성되어 있다. 베인실 내의 압력 변동은 다음과 같은 유량 평형식과 V 형 그루브에서의 미소 유량 변동식을 통해 구할 수 있다.

$$\frac{dP_p}{d\theta} = \frac{B_c}{V} \left( -\omega \frac{dV}{d\theta} + Q_d + Q_c + Q_l \right) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_c = \frac{\left( \frac{\Delta P_p}{\rho} - \frac{\dot{Q}_s^2}{2C_k^2 A_k^2} \right)}{\int \frac{1}{a(x)} dx} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 동시에 풀면 로터의 회전에 따른 베인실 내의 압력 변동을 구할 수 있다. Fig. 4 에는 베인실의 압력 변동 해석 결과를 나타내었다. 회전 속도의 증가에 따라 압력 상승이 지연되고, 최대 상승 압력은 다소 증가함을 알 수 있다.

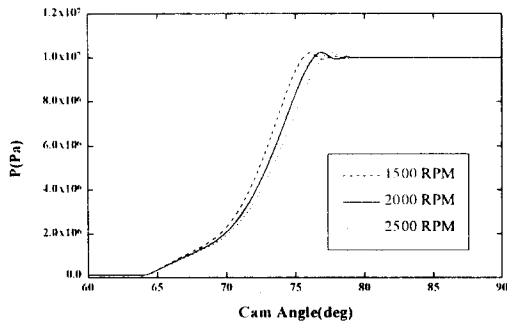


Fig.4 Example of compression chamber pressure variation. ( $P_d=10\text{Mpa}$ )

Fig. 4 에서 구한 로터 회전 위치에 따른 베인실의 변동 압력은 캠 링의 변형 해석

을 위한 경계 조건으로 이용된다.

## 2.2 캠 링 변형 해석

Fig.5 에는 본 연구에 사용된 캠 링의 개략도를 나타내었다.

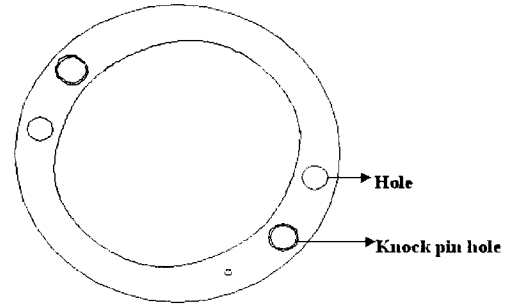


Fig. 5 Schematic diagram of cam ring

본 연구에서는 Fig. 5 의 그림에서 구멍 (hole)의 위치에 따라 세가지 경우의 캠 링에 대한 변형 해석을 하였다.

Fig. 6 에는 캠 링의 변형 해석을 위한 3 차원 유한 요소 해석 모델 중 구멍이 없는 경우를 나타내었다

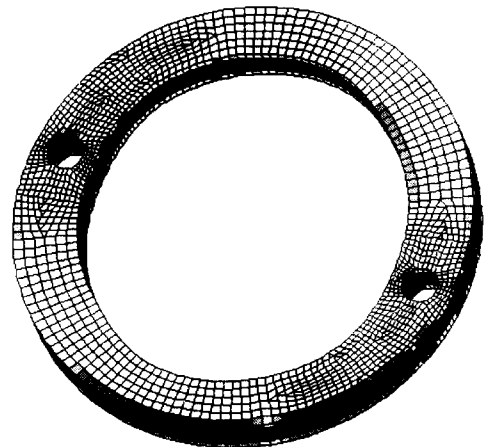


Fig. 6 Finite element model of cam ring.

Fig. 7 에는 캠 링에 작용하는 압력의 위치를 결정하기 위해 베인과 캠 링의 위치 관계를 나타내었다. 캠 링에서 가장 큰 압력을 받는 부분은 토출 포트 영역으로 로터의 회전 위치에 따라 Fig. 7 처럼 토출 포트에 물리는 베인실의 개수는 2 개 또는 3 개가 된다. 이 중 토출 포트에 베인실이 2 개 물리는 경우가 캠 링에 작용하는 압력이 더 크므로 본 연구에서는 Fig. 7 의 (a)의 경우에 대해 변형 해석을 수행하였다.

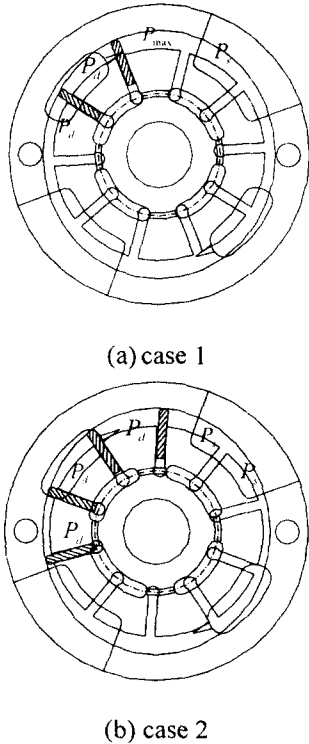


Fig. 7 Chamber pressure variation with vane rotating position.

Fig. 8 에는 유한 요소 해석을 위한 하중 조건 및 경계 조건을 나타내었다. 고정 핀

(knock pin)은 고정된 것으로 경계 조건을 주었다.

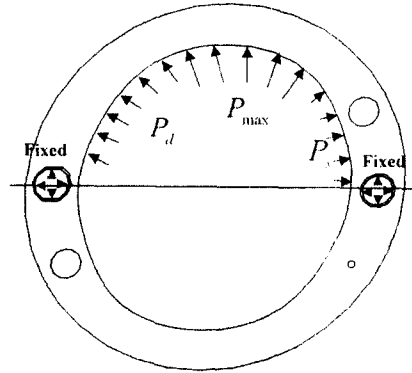


Fig. 8 Boundary condition of cam ring.

유한 요소 해석은 상용 유한 요소 해석 프로그램인 ABAQUES[6]를 이용하여 수행하였다. 해석에 사용된 운전 조건은 최대 토출 압력 10MPa, 주 사용 회전수인 2000RPM 이다.

Table 1 에는 본 연구에 사용된 캠 링의 재질인 소결재의 주요 물성치를 나타내었다.

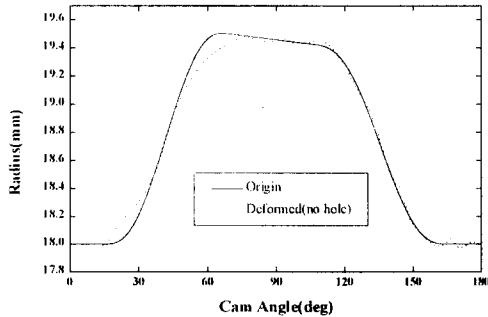
Young's Modulus	120 GPa
Poisson's Ratio	0.25

Table 1 Property of pressure plate material.

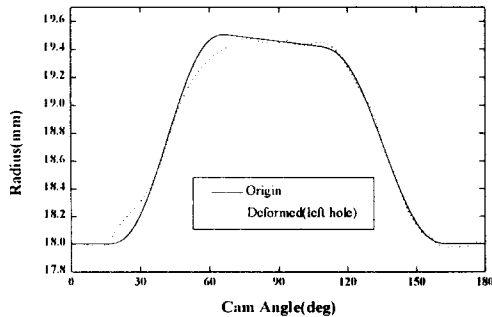
### 3. 해석 결과

Fig. 9 에는 변형 해석 수행 후의 캠 링의 반경 변화를 원래 캠 링 곡선과 비교하여 나타내었다. 그림에서 실선으로 표현된 부분은 원래 캠 링을 나타내고 점선으로 표시된 부분은 변형 후의 캠 링 반경을 나

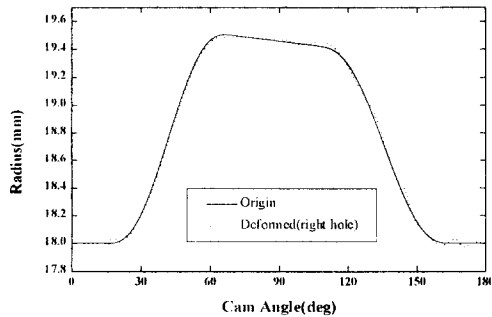
타낸다.



(a) no hole



(b) left hole



(c) right hole

Fig. 9 Comparison between origin and deformed shape of cam ring.

Fig. 9를 보면 구멍의 유·무, 그리고 구멍의 위치에 따라 다양한 변형 특성을 보이

고 있음을 알 수 있다. 우선 전체적인 변형 특성을 살펴 볼 때, 세 경우 모두 최대 압력이 걸리는 대원호 끝 부분에서 변형이 발생하는 공통점을 가지고 있다. 그러나 구멍이 없는 경우와 구멍이 왼쪽에 있는 경우의 변형 특성은 오른쪽에 있는 경우와는 다른 변형 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉 흡입 영역인 소원호 영역에서 구멍이 없는 경우와 왼쪽에 있는 경우의 변형이 큼을 알 수 있고 또한 압축이 시작되는 대원호 시작부의 반경이 구멍이 오른쪽에 있는 경우에 비해 오히려 줄어들고 있음을 알 수 있다. 대원호 끝 부분에서의 반경이 늘어나는 것은 베인실의 체적 증가를 유발하여 압축되는 유체가 팽창되도록 하는 기능을 수행한다. 이는 과도 압축에 의한 오버슛(overshot)을 방지하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 그러나 대원호 시작부의 반경 감소는 압축 시작부의 체적을 줄여들게 만들어 적절한 예압축을 위해 주는, 대원호부의 반경 감소율의 기능을 저해하는 역할을 수행할 것으로 보인다. 즉 예압축이 불충분하게 일어나게 되므로 토출 포트로부터 유입되는 역류의 영향이 커져서 압력 맥동 등이 심하게 될 것으로 판단된다.

## 결론

이상과 같은 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 캠 링에서 변형이 주로 발생하는 부분

은 소원호부와 대원호의 시작 및 끝부분임을 알 수 있었다.

2. 구멍의 유·무, 그리고 구멍의 위치에 따라 다양한 변형 특성을 보이고 있음을 알 수 있었고 구멍에 상관없이 최대 압력이 작용하는 대원호 끝부분에서 변형이 관찰되었다.
3. 구멍이 없는 경우와 구멍이 왼쪽에 있는 경우 소원호의 반경이 반경이 늘어나는 대신 대원호 시작부의 반경이 크게 줄어들음을 알 수 있었다. 이는 예압축을 지체하여 백동을 증가 시키는 역할을 할 것으로 생각된다.
4. 구멍이 오른쪽에 있는 경우가 다른 경우에 비해 캠 링의 압축 성능이 우수할 것으로 생각된다.
5. 이상과 같은 방법을 통해 압축 특성에 유리하게 캠 링이 변형되도록 하는 캠 링 설계가 가능할 것으로 생각된다.

### 참고 문헌

1. Koji, T. and Yoneaki, T., "Effect of the cam profile of a vane pump on the noise level", JHPS, Vol.9, No.2, pp.46-54, 1978.
2. Hattori, K., Suzuki, H., and Hasegawa, J., "Design Method of Small-Ripple Vane Pump", SAE871681, pp.83-90, 1987.
3. Cho, M. R., Han, D. C., et al., "A Study on the Pressure Rising Considered Fluid Inertial in the Notch Area of Balanced Type Vane Pump", J. of KSTLE, Vol.13, No.1, pp.14-20,

1997.

4. Nagata, K., "Simulation of Internal Pressure in a Vane Pump with Consideration Given to the Effects of the Cam Ring Deformation," JHPS, Vol.26, No.6, pp811-917, 1994.
5. Kim, K. D., Cho, M. R., Han, D. C., Choi, S. H., and Moon, H. J., "A Study on the Role of Notch and Radius Reduction Ratio in the Balanced Type Vane Pump," J. of KSPE, Vol15, No.1, pp87-93, 1998.
6. ABAQUES USER'S MANUAL, Ver. 5.4, 1994.

### 기호 설명

$A_i$	: orifice area at vane position $x_i$
$a(x)$	: groove orifice area at vane position $x$
$B_c$	: bulk modulus of working fluid
$C_c$	: orifice flow coefficient
$P_d$	: delivery pressure
$P_p$	: pumping chamber pressure
$P_s$	: suction pressure
$Q_d$	: delivery flow
$Q_c, \dot{Q}_c$	: flow and flow variation through the groove
$Q_l$	: total leakage flow
$Q_i$	: inlet flow
$V$	: pumping chamber volume
$x_1, x_2$	: position of vane and end of the fluid jet
$\theta$	: angular position of vane
$\omega$	: rotational speed