

# 사판식 피스톤 펌프-관로계에서의 맥동류 해석

최영학\* · 이일영\*\*

## Analysis of Pulsating Flow in a Swash Plate Type Piston Pump and Transmission Line

Young-Hak Choi\*, Ill-Young Lee\*\*

**Key Words :** Pulsating flow(맥동류), Swash plate type axial piston pump(사판식 피스톤 펌프), Hydraulic system(유압 장치), Flow pulsation(유량 맥동)

### ABSTRACT

Vibration and noise problem in a hydraulic system became one of very important factors in evaluating the performance of a hydraulic system. It is known that vibration and noise in a hydraulic system is directly related to flow pulsation in the hydraulic pump in the system. This study investigated a modeling and simulation technique for pulsating flow in a swash plate type axial piston pump. The key design factors of the pump related to flow pulsation phenomenon of the pump are the physical parameters for notches on the valve plate of the pump. By the numerical analysis, effects of the physical parameters of the notch on the flow pulsation was elucidated.

## 1. 서 론

유압 장치는 자동차, 공작기계, 건설기계 등과 같이 산업분야에서 널리 이용되고 있으며, 이러한 유압 장치를 사용하는 시스템들에서 진동·소음 문제는 주요 기술 과제의 하나이다. 유압 장치에서 진동·소음의 주된 원인은 유압 펌프 송출 유량의 맥동에 의하여 발생하는 유압 관로 내의 압력 맥동과 직접적으로 관련되어 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 유압 펌프의 송출 유량 맥동 시뮬레이션 기법을 제안하고자 한다. 대상으로 하는 유압 펌프는 사판식 피스톤 펌프이며, 이 경우 피스톤 펌프는 펌프 자신이 갖는 기구적 특성상 필연적으로 유량 맥

동이 발생하며, 이러한 유량 맥동은 관로계의 유체 임피던스와 상관하여 압력 맥동으로 나타나게 된다. 따라서 유압 관로계의 임의 위치에서 발생하는 압력 맥동 또는 유량 맥동을 정확하게 예측하려면 맥동류의 기진원인 유압 펌프의 동특성을 명확하게 해석할 필요가 있다.

유압 펌프의 송출 유량 관한 식으로는 Kojima<sup>(1)</sup>씨가 제안한 시간 영역에서의 동적 유량 표시 식을 사용하여, 매트랩으로 시뮬레이션 한다.

## 2. 이론 해석

### 2.1. 실제 송출 유량 $Q_s$ .

\* 부경대학교 대학원  
\*\* 부경대학교 기계공학부

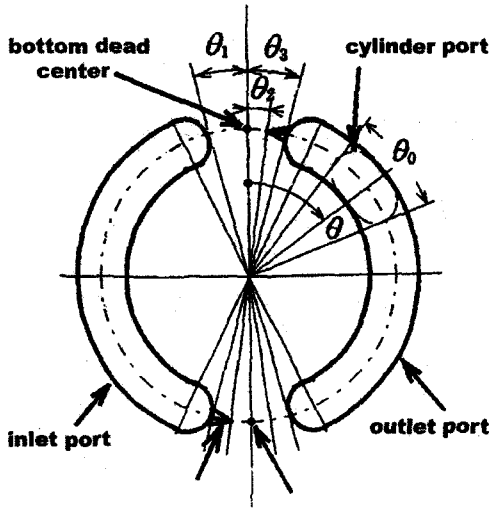


Fig. 1 Valve plate of piston pump<sup>2)</sup>

Table 1

$\theta_0$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
25.0 dge	14.6 deg	6.70 deg	14.3 deg

유압 펌프의 실제 유량  $Q_o$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_o = Q_{th} - \Delta Q_i - \Delta Q_l \quad (2.1)$$

여기서,  $Q_o$  : 실제 유량

$Q_{th}$  : 이론 송출 유량

$\Delta Q_i$  : 비정상 누설 유량

$\Delta Q_l$  : 정상 누설 유량이다.

## 2.2. 이론 송출 유량 $Q_{th}$

Fig. 1은 피스톤 펌프의 밸브 플레이트를 나타내며, Table 1에 Fig. 1의 각 각도 정보를 나타내었다.

이론 송출 유량  $Q_{th}$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{th} = \frac{\pi ND}{2z \sin(\frac{\pi}{2z})} \cos(\theta - \alpha - \frac{\pi}{2z}) \quad (2.2)$$

여기서,  $N$  : 펌프의 회전속도 [ Hz ]

$D$  : 펌프의 배제용적 [  $m^3/rev$  ]

$\alpha$  :  $-(\theta_0/2 - \theta_2) \leq \theta \leq 0$ 일 때,  $\alpha = -1$

$0 \leq \theta \leq \pi/z$ 일 때,  $\alpha = 1$

$\pi/z \leq \theta \leq 2\pi/z - (\theta_0/2 - \theta_2)$ 일 때,

$\alpha = 3$ 이다.

## 2.3. 정상 누설 유량 $\Delta Q_l$

정상 누설 유량  $\Delta Q_l$ 은 펌프 실 간극에서의 누설로서, 맥동 유량에 직접적인 영향을 미치지 않으므로 실제의 계산 과정에서 생략할 수 있다.

## 2.4. 비정상 누설 유량 $\Delta Q_i$

비정상 누설 유량  $\Delta Q_i$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta Q_i = \frac{V_i}{K} \frac{dp_i}{dt} + q_s = -\frac{dV_i}{dt} + q_d \quad (2.3)$$

$$\frac{dp_c}{dt} = K/V_i (-\frac{dV_i}{dt} + q_d - q_s) \quad (2.4)$$

$$q_d = \text{sign}(p_o - p_c) C_d a_d(\theta) \sqrt{2|p_o - p_c|/\rho} \quad (2.5)$$

$$q_s = \text{sign}(p_c - p_{in}) C_s a_s(\theta) \sqrt{2|p_c - p_{in}|/\rho} \quad (2.6)$$

$$V_i = V_{i0} + (D/2z) \cos \theta \quad (2.7)$$

$$\frac{dV_i}{dt} = -D/(2z) \sin \theta \quad (2.8)$$

여기서,  $V_i$  : 폐쇄 공간에 있는 실린더 내의 체적(  $m^3$  )

$D$  : 펌프의 배제용적(  $m^3/rev$  )

$N$  : 펌프의 회전속도( Hz )

$q_d$  : 송출 포트에서 펌프 실로의 누설 유량

$q_s$  : 흡입 포트에서 펌프 실로의 누설 유량

$p_c$  : 펌프실 내 압력

$p_o$  : 송출 포트에서의 압력

$C_d$  : 송출 포트의 유량계수

$C_s$  : 흡입 포트의 유량계수

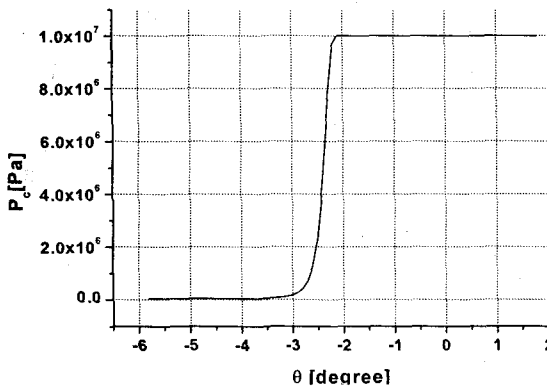
$a_d$  : 송출 포트의 유로 단면적

$a_s$  : 흡입 포트의 유로 단면적이다.

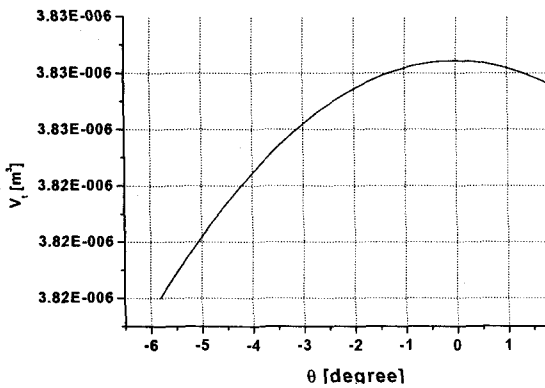
단, 식 (2.7)과 식 (2.8)의  $\theta^*$ 는, 1 번째 실린더에 의한 하사점 부근의 폐쇄 구간  $[\theta_2 - \theta_0/2 \leq \theta \leq \theta_3 - \theta_0/2]$ 에 서는  $\theta^* = \theta$ 가 되고,  $(z+1)/2$  번째(공시 펌프에서는 5 번째)의 실린더에 의한 상사점 부근의 폐쇄 구간  $[\pi/z - (\theta_0/2 - \theta_2) \leq \theta \leq 2\pi/z - (\theta_1 - \theta_0/2)]$ 의 계산에 있 어서는  $\theta^* = \theta + (z-1)\pi/z$ 가 된다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

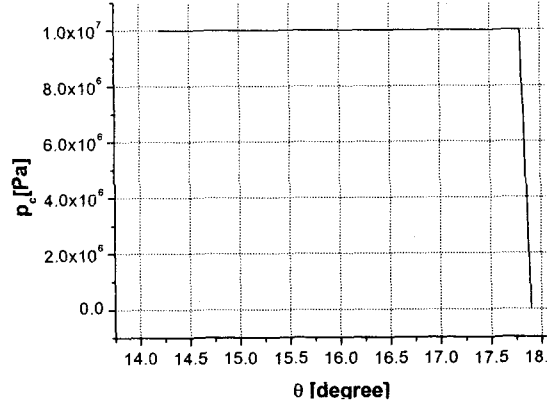
##### 4.1. 시뮬레이션 결과



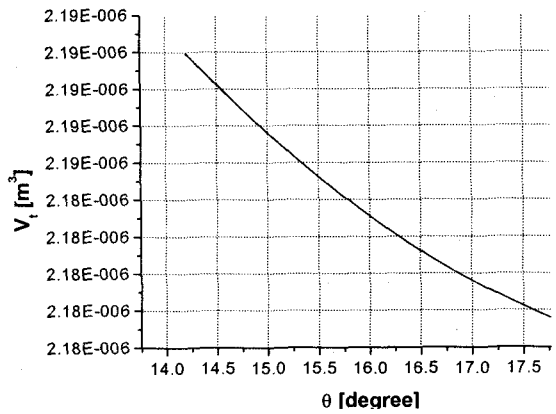
(a) computed  $p_c$  in cylinder number 1



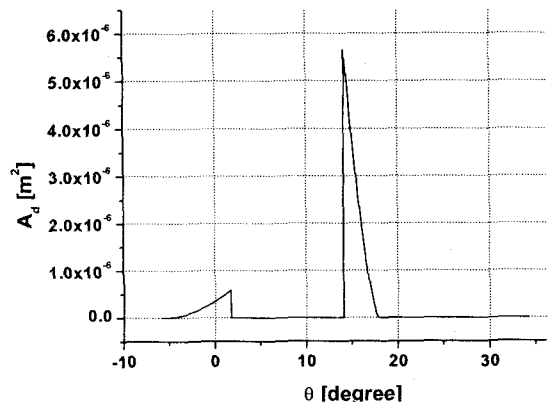
(b) computed  $V_t$  in cylinder number 1



(c) computed  $p_c$  in cylinder number 5

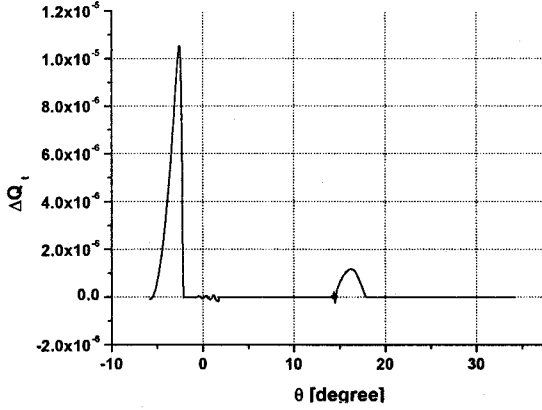


(d) computed  $V_t$  in cylinder number 5

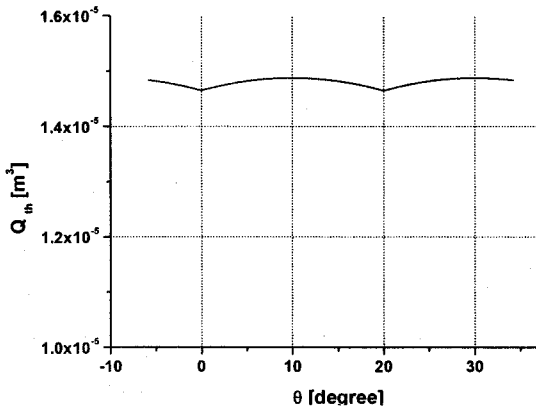


(e) area of flow passage in cylinder number 1, 5

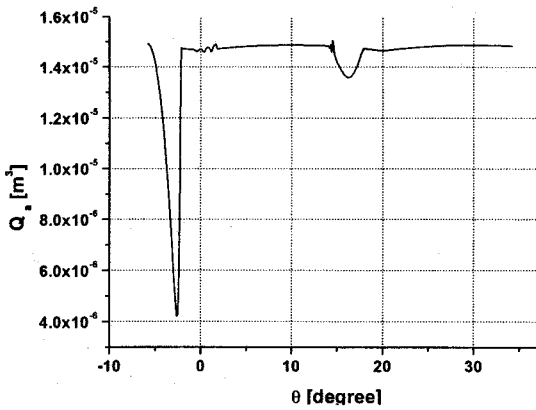
Fig. 2 result of simulation (continued)



(f) computation of  $\Delta Q_t$



(g) computation of  $Q_{th}$



(h) Computation of  $Q_a$  between  $-5.8^\circ$  and  $34.2^\circ$   
Fig. 2 result of simulation

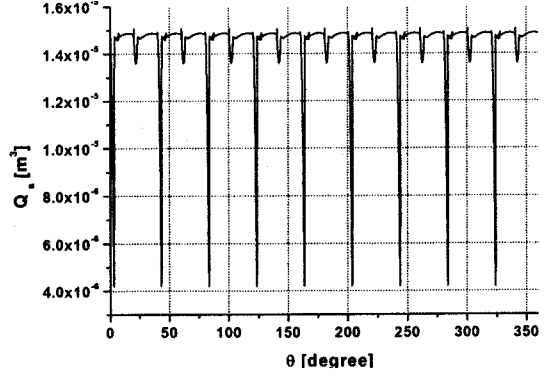


Fig. 3 Computed flow rate  $Q_a$  during one rotation of the pump

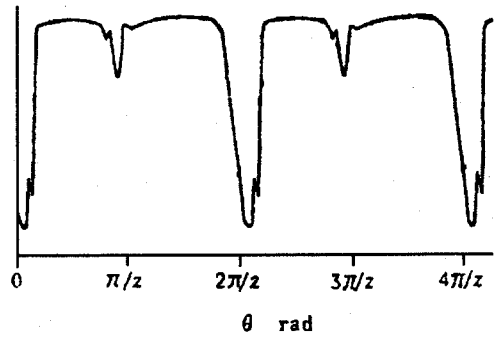


Fig. 4 Computed result of discharge flow rate by Kojima<sup>1)</sup>

## 4.2. 시뮬레이션 결과의 고찰

Fig. 4는 고지마씨가 계산한 송출 유량 결과 그래프이다. 본 연구에서의 송출 유량 시뮬레이션 결과 그래프(Fig. 3)와 Fig. 4는 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 결과로부터 본 연구에서 제안한 시뮬레이션의 신뢰성을 확인할 수 있다. 또, 본 연구에서는 피스톤 펌프에 설치된 노치의 각도를 시뮬레이션의 주된 변수로 하여, 이 노치의 각도 변화가 펌프의 송출 유량에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

노치 각도가 커지면 실린더 내 압력 변화(실린더 내의 압력이 저압에서 고압으로 변할 때 혹은 고압에서 저압으로 변할 때)는 Fig. 4.2의 (a), (b)와 같이 압력

곡선의 구배가 완만하게 되지만, 그에 반해 비정상 누설 유량은 증가한다. 따라서, 펌프의 노치 각도를 선정할 때에는 실린더 내 압력 변화와 비정상 누설 유량의 관계를 적절하게 고려하여 선정하여야 한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 피스톤 펌프의 메카니즘을 수식적으로 모델링하였고, 이 수식적 모델링을 이용하여 송출 유량 맥동을 구하는 시뮬레이션 기법을 제안하였다. 시뮬레이션에서는 밸브 플레이트에 가공되는 노치에 관련된 수치들의 변화가 펌프의 송출 유량 맥동에 미치는 영향을 상세히 조사하였다.

이상과 같은 본 연구에서 제안한 시뮬레이션 기법을 사용하여 구한 펌프의 송출 유량 신호는 유압 관로계에서의 압력 맥동 해석에 효과적으로 이용될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- (1) Eiichi Kojima, Masaaki Shinda, “油壓ポンプの流體伝ば騒音に関する研究(第4報, 油壓伝動装置の壓力脈動特性)”, 日本機械學會論文集(B編), 52卷, 476号, pp.1480~1487
- (2) Junji Fukmori, Takayoshi Muto, Hirano Yamada, Takayuki Sugiura, “油壓ポンプ・管路系の壓力脈動シミュレーション”, 日本油空壓學會志(特集), 第29卷, 第4号, pp.107~111