

# 이상 진단을 위한 왕복동식 펌프 모델링 Reciprocating pump modeling for diagnosis

이종겸 † · 채장범\* · 이진우 †

Jong Kyeom Lee, Jang bom Chai and Jin Woo Lee

**Key Words:** Reciprocating Pump(왕복동식 펌프), Pump Modeling(펌프 모델링), Failure Diagnosis(이상 진단)

## ABSTRACT

A mathematical model is suggested for diagnosis on a reciprocating pump. To the end, kinematic, thermodynamic and fluidic analyses are carried out for a simplified reciprocating pump model. The pressure inside the cylinder is expressed as a function of the rotation angle of a crank axle. The mathematical model consists of one cylinder with suction and discharge valves and an accumulator. The effect of valve leakage on the discharge angle is investigated. The discharge angle difference between normal state and leakage state increases with the leakage extent.

수 있다.

## 1. 서 론

원자력 발전소의 안전을 보장하기 위해 발전소 시스템의 구성품(component)에 대한 이상진단(diagnostics)과 예측 진단(prognostics)에 대해 관심이 증대되고 있다. 정확한 진단과 예측을 위해서 시스템의 상태를 정확히 기술하는 방법을 알맞게 사용하는 것이 중요하다. 그 방법 중 수학적 모델을 이용하는 방법은 시스템이 정상적으로 작동할 때의 데이터뿐만 아니라 고장 상태의 데이터를 잘 기술할 수 있어야 한다.

원자력 발전소에서는 다양한 종류의 펌프가 사용된다. 이도환과 박성근 등<sup>(1)</sup>은 한국표준형 원자로의 주요 펌프의 종류 및 펌프의 고장 원인에 대한 연구를 진행하였다. 원자력 발전소에서는 원심형 펌프 뿐만 아니라 왕복동식 펌프를 사용하고 있지만, 현재까지 진행된 이상 진단 연구에서는 주로 원심형 펌프를 다루었다. 따라서, 왕복동식 펌프의 모델링은 펌프 이상 진단에 크게 기여할 것으로 예상할

본 연구에서는 왕복동식 펌프의 이상 진단을 위한 수학적 모델을 얻고자 한다. 이를 위해 기구학적 해석, 열역학과 유체역학적 해석을 수행하여, 실린더 내의 압력을 크랭크 축의 회전 각도의 함수로 표현한다. 이를 기반으로 정상 상태와 이상 상태의 압력 변화를 비교한다. 또한, 토출 밸브의 누설(leakage) 정도에 따라 왕복동식 펌프의 토출 밸브가 열리는 시점에 미치는 영향에 대해서도 살펴본다.

## 2. 펌프 모델링

### 2.1 단일 실린더 모델링

실린더의 유량은 아래의 식 (1) 과 같이 피스톤 운동에 의한 유량, 흡입 유량과 토출 유량으로 구성된다<sup>(2)</sup>.

$$Q_{cyl}(\theta) = Q_{piston}(\theta) - Q_{in}(\theta) + Q_{out}(\theta) \quad (1)$$

흡입 유량과 토출 유량은 실린더 내부와 외부의 압력차에 의한 유량으로 각각 식 (2) 와 식 (3) 으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{in} = A_{in} C_{in} \sqrt{2(P_{in} - P_{cyl}(\theta)) / \rho} \quad (2)$$

$$Q_{out} = A_{out} C_{out} \sqrt{2(P_{cyl}(\theta) - P_{out}) / \rho} \quad (3)$$

† 교신저자; 정희원, 아주대학교

E-mail : jinwoolee@ajou.ac.kr

Tel : 031)219-3659 , Fax : 031)219-1611

‡ 발표자; 학생회원, 아주대학교

\* 공동저자 소속; 정희원, 아주대학교

실린더 내부의 압력은 체적 탄성계수의 정의(식 (4))를 이용하여 구할 수 있다.

$$\beta = -V_p(\theta) \frac{dP_{cyl}(\theta)}{dV_p(\theta)} \quad (4)$$

## 2.2 어큐뮬레이터 모델링

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_a}{V_a} Q_a \quad (5)$$

식 (5) 는 어큐뮬레이터내의 압력과 체적 유량의 관계식을 나타낸 것이다. 이 때  $dP/dt$  는 토출 압력의 변화를 나타내며, 토출 압력의 변화에 따라 어큐뮬레이터로 들어가거나 나가는 유량( $Q_a$ )이 변화된다.

## 2.3 토출 밸브의 누수 모델링

정상적인 작동의 경우에는 토출 과정을 제외한 과정에서 실린더의 내부 압력이 외부 압력보다 낮아서 토출 밸브는 항상 닫혀 있고, 토출 밸브를 통한 유량은 없다 그러나, 토출 밸브에 누수가 발생한다면, 토출 매니폴드에서 실린더로 유체가 유입된다. 이 때의 유체의 유입량은 파손 계수( $\alpha$ )를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{leak}(\theta) = -\alpha Q_{out}(\theta) \quad (6)$$

## 2.4 시뮬레이션 결과

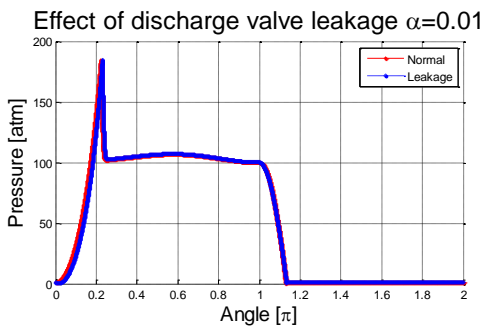


Fig. 1 Effect of discharge valve leakage ( $\alpha=0.01$ )

앞서 제시된 수식을 이용하여 정상상태와 토출 밸브에 누수가 있는 경우에 대해 실린더 내부 압력을 계산한 결과를 Fig. 1에서 비교한다. 토출 밸브에 누수가 있는 경우에는 토출 밸브가 늦게 열리는 경

향을 보이고 있다. Fig. 2는 정상상태와 토출 밸브에 누수가 존재하는 경우의 밸브가 열리는 각도의 차이를 나타내는 그래프 이다.  $\alpha$  가 커질수록 밸브가 열리는 각도의 차이가 증가하는 것을 알 수 있다.

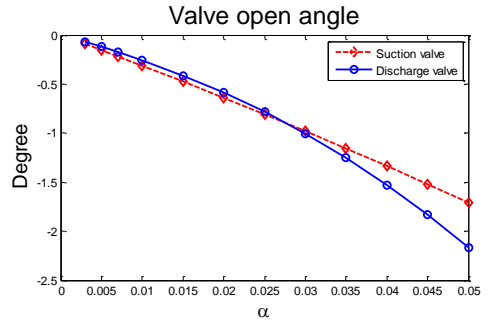


Fig. 2 Valve open angle

## 3. 결 론

본 연구는 왕복동식 펌프의 이상진단을 하기 위해 펌프의 수학적 모델링을 수행하였다. 토출 밸브가 파손되어 누수가 일어난다면 토출 밸브가 열리는 시점은 늦어지게 된다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20128540010020)

## 참 고 문 헌

- (1) Lee, D. H., Park, S. G., Hong, S.D. and Lee, B. H., 2008, Degradation characteristics of pumps in nuclear power plants, *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 593~598.
- (2) Shu, J-J, Burrows, C. R. and Edge, K. A., 1997, Pressure pulsations in reciprocating pump piping systems Part 1 : modelling, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part 1: Journal of Power and Energy* May 1, pp. 229~235.