피동형 원자로의 Hydraulic Valve 특성 실험

김상녕* · 김윤석**

(1997년 11월 5일 접수)

The Characteristics of Hydraulic Valve for a Passive Reactor

Sang-Nyung Kim and Yoong-Seock Kim

Key Words: Main Circulation Pump (주순환 펌프) Hydraulic Valve Characteristics(수력 밸브 특성), Natural Circulation(자연순환), Pressure Drop(압력강하), Valve Teeth, Diffuser Model(확산이론형태), Decay Power Cooling(붕괴열 냉각)

Abstract

A kind of three-way check valve, so called hydraulic valve was proposed for the substitute of the density lock of passive reactor such as SPWR(System-Intergrated Pressurized Water Reactor). The function of the valve are the separation of the borated water from main coolant loop for normal operation and the insurge of the water into the loop for shutdown and the removal of the decay power when the main coolant flow rate is not enough. To verify the operability and the characteristics of the valve, experimental works were executed with 1/3 scale model valve. Also a diffuser model was proposed for the theoretical analysis of the valve.

기호 설명

A_1 : 피스톤의 면적 [m^2]
A_2 : 밸브 Throat의 면적 [m^2]
ρ_s : Stem의 밀도 [kg/m^3]
ρ_w : 물의 밀도 [kg/m^3]
ρ_B : 추(Balance)의 밀도 [kg/m^3]
v_G : Teeth사이에서 빠져나가는 유체속도 [m/sec]
v_L : 아래방향으로 손실되는 유체의 속도 [m/sec]
v_P : 원형밸브 유체의 일반속도 [m/sec]
v_M : 모델밸브 유체의 일반속도 [m/sec]
v_S : Stem과 피스톤의 체적 [m^3]
v_B : 추(Balance)의 체적 [m^3]
P_2-P_1 : Gap을 통과하는 유체의 유동에 의한 압력 손실항 [kPa]
P_2-P_3 : 밸브 아래방향으로 빠져나가는 유동에 의한 압력손실항 [kPa]

*회원, 경희대학교 산학협력기술원 원자력공학과
**경희대학교 대학원 원자력공학과

1. 서 론

기존의 발전소와 비교하여 보다 안전하고 경제성 있는 원자로를 건설하기 위해 기존 원자로의 개량으로부터 새로운 차원의 원자로 개념에 이르기까지 수 십 여종의 신형원자로들이 전세계적으로 연구, 개발되고 있다. 이러한 원자로들은 일반적으로 개량형 원자로(Evolutionary Reactor), 피동형 원자로(Passive Reactor), 혁신적 원자로(Innovative Reactor)로 구분되는데 이러한 원자로들 중에서 피동형 원자로에 대한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있다.

이중 피동형 원자로에서는 정상운전시 poison tank(사고시 원자로를 정지시킬 수 있는 보론수 탱크)내의비상붕산수와 냉각재를 분리하고 과도상태에서는 비상붕산수의 노심주입과 자연순환로를 열어주기 위한 Density Lock의 이용을 시도하였

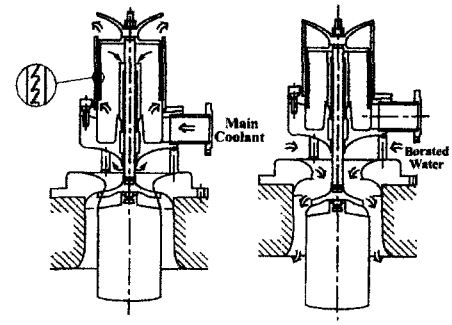
다. Density Lock은 밀도가 높은 유체와 밀도가 낮은 유체의 밀도 경계면을 유체의 정압과 계통의 동압으로 유지하도록 설계되어 있다. 주순환 펌프 고장이나 순환수량이 충분치 못하는 과도상태(동압이 정압보다 작을 때)에서는 경계면의 힘의 균형이 깨지므로 비상수가 노심으로 들어오도록 되어있다. 그러나, 시동시 및 출력변경이나 사고시와 같은 과도상태에서 Density Lock의 밀도 경계가 불안정함이 밝혀졌다. 또한, 분자의 확산 혹은 난류층 혼합에 의해 밀도경계를 통해 질량과 에너지 전달이 일어나게 되는 것이다.

즉, 피동형 원자로의 본래의 목적을 달성하기 위해서는 일차유로와 Poison Tank사이에 일어나는 밀도 경계면을 통한 질량과 에너지 전달을 제어하면서 안전하게 피동형 기능을 수행할 수 있는 기기의 개발이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 정상상태시 Primary Recirculation Pump에 의해 강제로 순환되는 Primary Coolant를 Poison Tank의 보론수와 분리하고 과도상태시 강제 유동에서 자연유동으로의 경로를 안정적으로 신뢰성 있게 보장하는 피동형 밸브 즉, Hydraulic Valve를 개발하고 이들의 실제 응용시 작동성과 밸브의 특성을 실험적으로 입증, 결정하며 이론적 경험상수를 보정한 상관식 유도에 목적이 있다.

2. Hydraulic Valve의 설계 및 제작

2.1 Hydraulic Valve의 작동원리

원자로의 1차 계통에 설치되는 피동형 수력 밸브는 냉각 펌프의 정지와 같은 사고로 인해 유량(수두)이 일정 수준이하가 되면 1차계통과 Poison Tank와의 미세한 압력차에 의해 개방되는 성능을 가져야 한다. 이러한 성능과 기능을 수행할 수 있는 밸브로 피동수력밸브가 선정되었다. 이 밸브는 3-way check valve의 일종으로 두 개의 유로중 상부의 유로는 정상상태시(주냉각펌프의 수두가 충분할 경우) 1차 계통의 냉각수의 강제유동에 의해 밸브내 피스톤에 압력차가 걸리게 되어 valve stem 무게를 이기고 stem을 끌어올려 자연순환 유로를 잠그게 된다. 이 때 1차 계통의 냉각수는 상방으로 유동하여 밸브의 위부분의 배관을 통하여 빠져나가게 된다. 한편 주냉각 펌프 수두가 감소하는 과도상태의 경우 밸브내 상하에 걸리는 압력차가 감소하여 밸브 무게에 의해 내려갈려는 힘이 더 커지므로 밸브의 피스톤과 stem이 아래방향으로 움직이게 된다. 즉, 피스톤과 stem 그리고 추에 작용하는 힘이 압력차에 의한 힘보다 커지므로 힘의 균형이 무너지게 되어 피스톤이 아래로 움직이므로서 상부유로를 막고 이때 추와 밸브 casing의 접촉부위가 열리게 된다. 밸브가 열림으로서 coolant loop는 잠기고 노심과 수조사이의 자연대류가 열려 붕산수가 유입되므로 원자로가 급정지되고 자연순환에 의해 노심의 잔열이 제거되는 것이다. Fig. 1은 valve의 작동원리를 정상시와 비정상시로 나누어 나타낸 그림이다.



(a) Normal operation state (b) Abnormal operation state

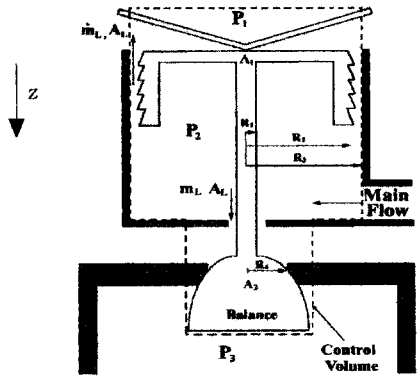
Fig. 1 Scheme of hydraulic valve.

2.2 원형밸브와 모델밸브의 이론적 해석

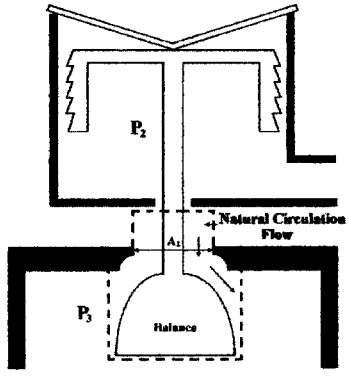
위와 같은 작동원리를 통해 밸브의 작동은 정상상태시 밸브로 들어오는 강제유동의 총압과 빠져나간 후의 차압이 피스톤을 들어올리는 힘으로 작용하게 된다. 100% 유량시에는 충분한 유량이 일정하게 공급되기 때문에 피스톤을 들어올리는 힘이 균형을 유지하게 된다. 밸브의 작동을 위해 밸브에 작용하는 힘의 균형에 대한 z방향의 방정식을 Fig 2.(a)의 검사체적에 대해 세우면 $\sum F=\frac{\partial}{\partial t}\int_{c.v}\rho v d\forall + \int_{c.s}\rho\vec{V}\vec{V}\cdot\hat{n}ds$이고 $\sum F=\sum F_s+\sum F_B$이므로 아래와 같다.

$$(P_2-P_1)A_1-(P_2-P_3)A_2 = (\rho_s-\rho_w)V_sg+(\rho_B-\rho_w)V_Bg+m_Gv_G+m_Lv_L \quad (1)$$

F_s는 surface force로 밸브 stem 상하의 압력에 의한 힘이고 F_B는 stem의 body force로 물 속에서의 부력을 제외한 하중이 된다. 또한, 우변의 첫번째 항은 정상상태이므로 0이 되고 둘째 항은 유



(a) Normal operation state



(b) Abnormal operation state

Fig. 2 Sketch of hydraulic valve for analysis.

량의 운동량이므로 $m_G v_G + m_L v_L$이된다.

비정상상태로 밸브로 들어오는 유량이 일정유량(40%)이하로 감소하는 경우 자연대류가 되어 압력강하가 발생하게되어 피스톤을 들어올리고 있는 힘의 균형이 깨지게 되면서 추와 Stem에 작용하는 중력항에 의해 피스톤이 아래로 내려가게 된다. 이때 추에 대한 부력(F_P)과 하향방향으로 작용하는 중력(F_d)과의 차이로 피스톤 상하의 압력강하를 구할 수 있다. 이 압력강하식은 아래와 같다.

$$F_P = \rho g V_B,\quad F_d = mg,\quad F_T = F_P - F_d \tag{2}$$

$$\Delta P = \left(\frac{F_P}{A}\right) \tag{3}$$

또한 원자로의 제원들을 이용하여 원형밸브의 유량(m_P)과 속도(v_P)를 구한다.

$$v_P = \frac{Q}{A_G} = \frac{0.05\,m^3/sec}{4.63\times10^{-3}\,m^2} = 10.8\ m/sec$$
$$(m)_P = \rho V A_G = 36.1\ kg/sec \tag{4}$$

여기서 Q는 원형밸브의 체적유량이다. 위에서 구해진 원형밸브의 설계변수를 이용해 동적상사성을 고려한 모델밸브의 설계변수들은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$v_M = \left(\frac{m}{\rho A_G}\right)_M = 3.958\ m/sec \tag{5}$$

$$\Delta P_M = Eu \cdot (\rho v^2)_M = 34.95 kPa \tag{6}$$

2.3 지배무차원수

Hydraulic Valve의 작동성은 유량에 의한 동압과 피스톤상하의 압력차에 따라 결정된다. 또한 밸브를 통과하는 유량에 의한 압력강하는 마찰보다는 유로형태가 주요인이다. 그러므로 지배무차원수는 오일러수이다. 유량과 원형밸브의 피스톤상하에 걸리는 압력차를 이용하여 모델밸브와 원형밸브의 동적상사성을 맞추기 위해 Hydraulic Valve의 지배무차원수인 오일러수를 구하여야 한다.

먼저 이러한 무차원변수 선정의 정당성을 입증하기위해 밸브 gap에서의 유동형태를 알아보기 위해 레이놀즈수를 구하면

$$(Re)_P = \left(\frac{\rho D_e V}{\mu}\right)_P = 8\times10^5 \tag{7}$$

여기서 $D_e = D_3 - D_2 = 2(R_3 - R_2)$이다.

레이놀즈수가 10^5 이상이므로 밸브의 유동형태는 난류임을 알 수 있다. 원형밸브의 지배무차원수인 오일러수를 정상상태(100% 유량)와 사고나 과도상태와 같은 비정상상태시(40% 유량)로 나누어 각각 구하면 아래의 식 (8)과 같다.

$$(Eu_{100})_P = \left(\frac{\Delta P}{\rho V^2}\right)_P = 2.22$$
$$(Eu_{40})_P = \left(\frac{\Delta P}{\rho V^2}\right)_P = 1.87 \tag{8}$$

2.4 자연대류에 대한 이론적 모델링

우선적으로 Hydraulic Valve설계에 필요한 주요변수는 노심에서 발생하는 열량(Q_{el})과 노심에서의 온도차 (ΔT) 및 잔열제거에 필요한 유량(M)이다. Q_{el}을 600 MWe, 잔열제거에 요구되는 열량(Q_{req})을 원자로 정격출력의 2%로, 루프수를 3으로 가정할 때 밸브에 작용하는 주요변수와 무차원수에 대한 해석은 다음과 같다. 열효율 η를 33%라 가정할 때 원자로 열출력 Q_{th}에 대한 식은

$$Q_{thermal} = \frac{Q_{el}}{\eta} = 1820\ MW_{th} \tag{9}$$

따라서 제거하여야 할 잔열량(Q_{req})는 다음과 같다.

$$Q_{req}=MC_P\Delta T=1820\ MW\times 0.02=36.4\ MW \quad (10)$$

그러므로 노심을 통과하는 냉각수의 평균온도를 300℃라 가정하고 노심입구와 출구의 온도차를 30℃라 가정 할 때 냉각수의 비열(C_P)과 온도차(ΔT)는 아래와 같다.

$$C_P=5.73\ kJ/kg℃,\ \Delta T=30.0℃\ (54°F) \quad (11)$$

이로부터 예상자연대류 유량을 구하면

$$M=\frac{Q_{req}}{C_P\Delta T}=211.7\ kg/sec \quad (12)$$

이다. 또한 원형밸브의 3 loop에서의 자연대류 회로의 총유량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_P=(\rho v A)_P\times 3(loop) \quad (13)$$

그러므로 원형밸브의 속도를 구하면

$$v_P=\frac{211.74\ kg/sec}{722\ kg/m^3\times 0.0314 m^2\times 3}=3.11\ m/sec \quad (14)$$

원형밸브와 모델밸브의 오일러수에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Eu=\left(\frac{\Delta P}{\rho v^2}\right)_P=\left(\frac{\Delta P}{\rho v^2}\right)_M \quad (15)$$

여기서 실험의 편의상 $\Delta P_M=\frac{1}{10}\Delta P_P$라고 가정할 때 이를 위 식에 대입하면

$$\rho_M v^2_M=\rho_P v_P\left(\frac{\Delta P_M}{\Delta P_P}\right)=\frac{1}{10}\rho_P v^2_P \quad (16)$$

이 성립한다. 따라서, 모델밸브의 자연대류 속도를 구하면 다음과 같다.

$$v_M=\sqrt{\frac{\rho_P}{\rho_M}}\cdot v_P\sqrt{\frac{1}{10}}=0.83\ m/sec \quad (17)$$

여기서 모델밸브는 원형밸브의 1/3 크기로 제작하였으므로 단면적은 0.0035 m^2을 대입하면 모델밸브의 자연대류에 대한 예상유량은 다음과 같다.

$$M_M=\rho_M v_M A_M=1000\ kg/m^3\times 0.83\ m/sec \times 0.0035\ m^2=2.9\ kg/sec \quad (18)$$

2.4 밸브의 설계제원 및 주요변수

원자로의 설계변수를 바탕으로한 원형밸브의 이론적 해석을 통해 모델밸브를 해석하였다.

모델밸브를 설계하기 위해서는 모델밸브의 주요 제원 및 형태를 결정하여야 한다. 이를 위해 일본의 600 MWe급의 원자로에 대한 Hydraulic valve를 참고하였다. 여기서 무엇보다 중요한 것은 모델밸브를 상사성이 성립하도록 설계하는 것이다. 모델밸브는 원형밸브의 1/3크기로 축소하였으며(Table 1.참조) 그 밖의 유동변수(유량)은 오일러수(ρv^2)를 맞추므로 상사성이 성립하도록 하였다. 여기서 모델밸브의 추의 질량을 5 kg으로 정하였을 때 이 질량에 해당하는 모델밸브의 압력차는 5.82 kPa이다. 작업유체를 20℃의 물이라고 할 때 5.82

Table 1 Specifications of prototype valve and model valve.

	Prototype valve(mm)	Model valve(mm)
Valve port	200	66.7
Piston diameter	290	96.7
Annular space gap	10	3.3
Pipe diameter	108	36
Cylinder diameter	300	100

Table 2 Design parameters of model valve and prototype valve.

	Mass flow rate		Flow velocity	Differential pressure drop (ΔP)	Lifting force
Prototype valve	40%	13.2 kg/sec	3.97 m/sec	25.22 kPa	170 kg
	100%	36.1 kg/sec	10.8 m/sec	0.2 MPa	1.26 ton
Model valve	40%	0.88 kg/sec	1.73 m/sec	5.82 kPa	5 kg
	100%	2.02 kg/sec	3.958 m/sec	34.95 kPa	26 kg

kPa에 해당하는 모델밸브의 속도는 1.73 m/sec가 된다. 이 때의 모델밸브의 질량유량은 아래와 같다.

$$(m_G)_M=\rho v_G A_G=0.88\ \text{kg/sec} \tag{19}$$

따라서 원형밸브와 모델밸브에 대한 이론적 해석을 수행한 결과 설계중인 모델밸브의 설계변수는 다음의 Table. 2와 같다.

2.5 Teeth에 대한 모델링 및 제원결정

Table 2에서 알 수 있듯이 모델밸브의 추무게를 5 kg으로 했을 때 피스톤 상하에 걸리는 압력차가 5.82 kPa이 되도록 모델밸브를 설계하여야 한다. 모델밸브의 압력강하는 피스톤의 Teeth에서의 압력강하에 의존한다. 그러므로 Teeth에서의 압력강하를 구하는 것이 매우 중요하다. Teeth의 각도를 Fig. 3과 같이 70도로 정할 때 Fig. 4와 같이 Teeth 하나하나를 각각의 Diffuser형태로 모델링 할 수 있다. Teeth를 Diffuser형태로 모델링 할 때 Fig. 3으로부터 Diffuser의 사잇각은 40도이고 D_2/D_1의 비는 3임을 알 수 있다. 이 때의 이론수두손실계수 K (Loss Coefficient)를 0.82로 하고 N개의 teeth에 의한 수두손실은 한 개의 수두손실의 N배라고 가정하여 수두손실을 계산한다.

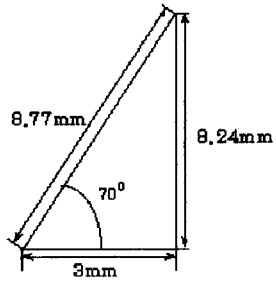


Fig. 3 Teeth at an angle of 70 degree.

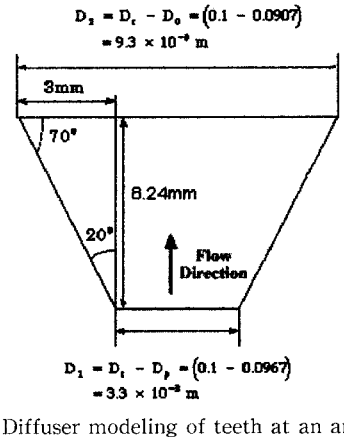


Fig. 4 Diffuser modeling of teeth at an angle of 70 degree.

$$H_L=KN\frac{64}{81}\frac{v_1^2}{2g}=0.09893\ \text{Nm} \tag{20}$$

모델밸브의 수두손실을 알고 있으므로 40%유량에서 압력차가 5.82 kPa이 되게 하는 밸브의 Teeth수는 약 7개 정도가 되고 모델밸브의 피스톤 총 길이는 6 cm이다. 이러한 모델밸브의 이론적 해석을 바탕으로 Gap의 유량에 따른 모델밸브의 작동성을 이론적으로 예상할 수 있다.

2.6 모델밸브 및 실험장치의 제작

원형밸브와 모델밸브의 동적상사성을 바탕으로 Fig. 5와 같은 모델밸브를 설계, 제작하였다. Hydraulic Valve는 크게 5가지 주요부분으로 구성되어있다.

(1) 피스톤상부 : 위로 Gap을 통한 유량이 통과하는 36mm의 직경을 가지고 있는 유로가 있고 차압계를 설치하기 위한 탭이 옆에 설치되어 있다.

(2) 밸브 Stem : 밸브내에서 상하로 추를 연결해주는 부분이고 무게는 2kg이다.

(3) 밸브 Throat : 밸브의 하단부분으로 자연순환시 유동의 저항을 감소하기 위해 유선형으로 제작되었다. 또한 닫힌 경우 valve seat와 밸브케이싱의 접촉부위에서의 누설을 방지하도록 제작되었다.

(4) 추 : 자연순환시 자연순환 유로를 열어주기 위한 추는 고정추(2kg)와 조정 가능한 추로 이루

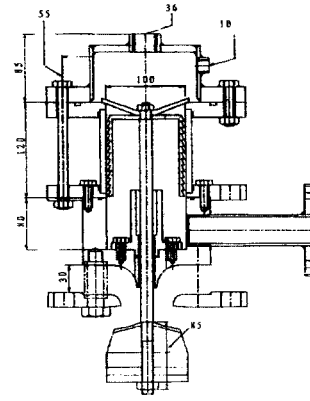


Fig. 5 A dimension of hydraulic valve.

Table 3 Specifications of piston.

Teeth number	8	10	13	16
Piston diameter(mm)	97	97	97	97
Piston thickness(mm)	5	5	5	5
Piston length(mm)	63	106	106	106

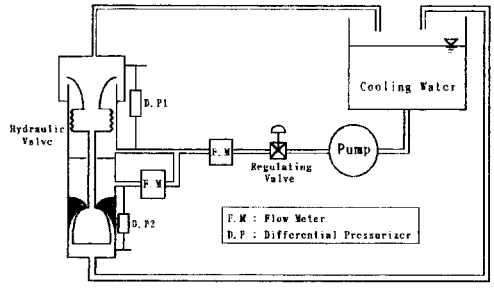


Fig. 6 A scheme of experimental rig.

어졌다. 조정추는 1kg 2개와 2kg 1개를 제작하여 필요시 하부에서 볼트와 너트로 고정하므로 무게조절이 가능토록 하였다.

(5) 피스톤 : 피스톤의 길이와 Teeth의 각도 및 개수에 따른 압력강하를 알아보기 위해 Table 3과 같은 제원으로 제작된 4개의 피스톤에 대해 각도를 각각 70°, 60°, 45°로 가공하였다.

위와 같은 Hydraulic Valve의 작동성확인과 특성곡선을 개발하기 위한 실험장치는 실험용 밸브와 냉각수를 공급하는 물탱크, 탱크에서 밸브로 냉각수를 강제순환시켜 주는 원심펌프(13.7 kW, 1735 rpm), 2개의 유량계(70 L/min, 150 L/min)와 차압계(수은을 이용한 Manometer)등으로 구성되었다. 이 모든 부분은 직경이 36mm의 배관으로 연결되어 있다. (Fig. 6 참조)

2.6 실험 방법 및 수행

아래와 같은 절차에 의해 실험이 수행되었다.

1) 차압계와 유량계가 실험 범위에 맞도록 보정한다.

2) 상부의 냉각수 탱크에 냉각수를 채운다.

이 때 냉각수로는 상온의 물을 사용한다.

3) 냉각수를 흘려 밸브 및 모든 배관에 냉각수를 채운다.

4) 공기제거 밸브를 열어 펌프에 기체가 남지 않도록 한다. 기체가 남아 있으면 펌프가 공 회전함은 물론 밸브에 기체가 채워지므로 밸브 특성이 부정확해질 가능성이 있다.

5) 펌프를 작동시키고 유량을 조절하면서 유량에 따른 밸브내의 차압을 기록한다.

6) 반복 실험을 수행하고 이들 평균치를 계산 하여 밸브의 특성곡선을 그린다.

7) 이론적 특성곡선과 실험적 특성곡선을 비교하여 이론식이 실험값과 일치하도록 보정계 수를 정한다.

8) Teeth의 수와 각도 등을 변화시켜 실험을 반복 한다.

3. 결 론

3.1 연구 결과

본론에서 언급한 바와 같이 Hydraulic Valve와 실험장치를 설계 및 제작하여 아래와 같은 4가지 실험을 수행하였다.

1) 정상상태의 압력강하 상관식

이론적인 Modeling에서 Diffuser 형태에 의해 정의되었던 K(Pressure Drop Coefficient) 값(0.82)은 단순한 Diffuser를 통해 얻은 K값이므로 실제 Teeth의 제원(각도, 개수, Pitch의 길이)이 다양하게 변화하면서 얻은 실험식에 적용하기는 어렵다. 그러므로 실험식을 통한 K값을 구하고 이에 대한 상관방정식을 유도하는 것이 중요하다. 밸브내 흐르는 유량으로 인한 차압은 아래와 같다.

$$\Delta P = H_L \rho g = K_1 \cdot \frac{1}{2} \rho v_i^2 \qquad (21)$$

실험을 통해 얻은 각 변수를 이용하여 K1값을 구하면 Teeth의 각도와 개수의 함수라는 것을 알 수 있다. 그러므로, K_1값을 개수와 각도의 함수로 표시하면 다음과 같은 상관식을 도출해 낼 수 있다.

$$K_1 = 1.1 \cdot K_0 (N)^{-0.26} (A)^{-0.78} \qquad (22)$$

여기서, K_0 : 이론적으로 계산된 K값

N : Teeth의 개수

A : Teeth의 각도 (단위 : Degree)

2) 자연순환 실험

주냉각수 펌프의 작동이상이나 계통내의 비정상 상태로 유량의 감소를 가져오면 즉, 0.96kg/sec 이하로 유량이 감소하게 되면 피스톤의 하강으로 인해 냉각수는 밸브의 아래방향으로 자연순환 하게된다. 자연순환시 K2값은 아래의 식에 의해 구할 수

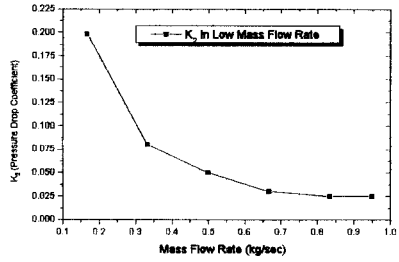


Fig. 7 Pressure drop coefficient(K) at natural circulation.

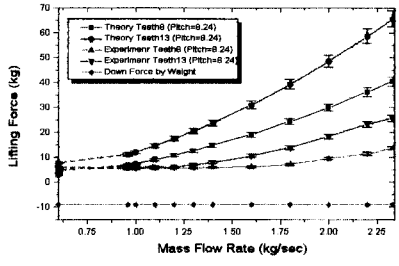


Fig. 8 Changes of differential pressure due to the number of teeth.

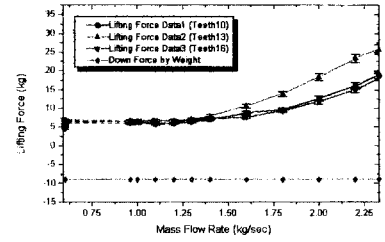


Fig. 9 Changes of differential pressure due to Length of teeth pitch.

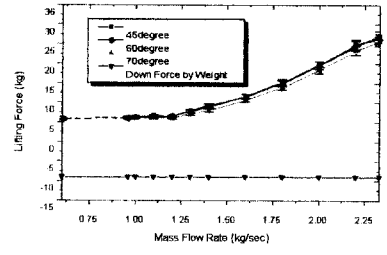


Fig. 10 Changes of differential pressure due to the angle of teeth.

있다.

$$P_2-P_3=\frac{1}{2}K_2\rho u_2^2 \tag{23}$$

식 (23)에 의해 자연순환시 K값을 구하면 Fig. 7과 같은 결과를 얻을 수 있다.

3) Teeth의 개수 변화에 따른 차압의 변화

Teeth의 Pitch는 8.24 mm로 같고 개수를 8개와 13개 두 가지로 변화를 주어 실험을 수행한 결과 Fig. 8에서와 같은 결과를 얻을 수 있다. 밸브 내 유량이 약 0.96 kg/sec에 도달했을 때 밸브는 개방되기 시작하고 강제순환이 이루어진다. 그 이하(Fig. 8의 점선부분에 해당)에서는 자연순환이 이루어지게 되므로 밸브의 상부를 통해 흐르는 유량은 없게 된다. 차압은 Teeth의 개수가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다.

4) Teeth간의 Pitch 변화에 의한 차압의 변화

피스톤의 Teeth Pitch간의 길이를 3)실험에서 사용했던 8.24 mm보다 긴 10.8 mm와 보다 짧은 6.5 mm 두 가지로 변화를 주어 실험을 수행하였다. 처음 시도한 8.24 mm 보다 Pitch길이가 길어지거나 더 짧아지면 Teeth의 개수가 증가하더라고 차압의 효과는 오히려 감소함을 볼 수 있다(Fig. 9 참조).

밸브 상하에 걸리는 차압은 피스톤 Teeth의 Diffuser 형태에 의해 결정되므로 Pitch가 일정길이 (8.24 mm)보다 길어지거나 짧아지면 차압의 효과는 감소한다. 처음 시도한 Pitch가 이론상 최적으로 설계됐기 때문이다. 이는 전체 주어진 피스톤 길이에 대한 최적(최대 ΔP)의 Pitch가 있음을 의미한다.

5) Teeth의 각도 변화에 의한 차압의 변화

Teeth의 각도를 70°, 60°, 45°세 가지의 형태로 변화를 주어 실험한 결과는 Fig. 10과 같다. 밸브가 개방되기 전의 저유량 (< 0.96 kg/sec)에서는 차압의 차이가 크지 않지만 유량이 증가하면서 Teeth의 각도가 작아짐에 따라 약 1 kPa ~ 2 kPa 정도가 증가한다.

3.2 결 론

(1) Hydraulic Valve의 작동성이 입증되었다. 정해진 유량을 기준으로 밸브의 개폐가 가능함을 입증하였고 이는 피동형 원자로의 Hydraulic Valve의 성능요건을 만족하고 있다.

(2) 밸브의 개폐를 결정하는 밸브 피스톤에서의 압력차는 Teeth의 각도와 개수, 길이의 함수이다. 개수와 길이는 Pitch로 나타낼 수 있으며 개수가 증가하면 차압 역시 증가한다. 하지만 Pitch는 일정값(8.24 mm) 이상이거나 이하가 되면 오히려 그

효과가 감소하므로 최적의 피스톤 길이당 Teeth의 개수를 결정지을 수 있다. Teeth의 각도는 일정값 이상이면 더 이상의 차압의 효과는 나타나지 않는다.

3.3 토 의

(1) Stem Clearance 문제

실험수행에 있어서 Stem과 Stem 접촉부위 사이의 Clearance는 매우 중요하다. 그 부분에 이물질로 인해 오염이 되면 밸브의 개폐에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 실제 원자로계통내에는 붕산의 침전이나 온도변화에 의한 팽창차이, 부식, Crud 등으로 인해 Stem 작동이 방해받기 때문이다.

(2) 자연순환 Loop의 차압측정시 계측기의 위치

본 실험장치에서 자연순환 Loop의 유로는 여러 제작상의 이유로 그 면적이 증가했다가 다시 감소하는 형태를 지니고 있다. 이 때 자연순환 Loop의 차압측정을 위한 계측기의 위치가 중요하며 Main Flow가 Fully Developed Flow가 되는 지점에 설치해야 한다.

후 기

본 연구는 한국원자력연구소의 원자력 중, 장기개발 계획 중 신형원자로 안전성확보를 위한 기반기술 연구의 세부과제입니다.

참고문헌

(1) Murata H., Anoda Y., Tasaka K., and Kukita Y., "Small scale thermohydraulic experiment of a PIUS-type reactor," Proc. of 1st JSME/ASME Joint Int. Conf. on Nucl. Eng. Vol. 1 ; pp 341~346. 1991

(2) Tasaka K., Tamaki M., Haga K., Murata H., Anoda Y., and Kukita Y., "Feedback control of primary pump by using midplane temperature of lower density lock for a PIUS-type reactor," Proc. of 2nd JSME/ASME Joint Int. Conf. on Nucl. Eng., Sanfrancisco. Vol. 1 ; pp 301~306. 1993

(3) James H. Rust, "Nuclear Power Plant Engineering," Haraison Publishing Company, 1979

(4) Robert W. Fox and Alan T. McDonald, "Introduction to fluid mechanics," John Wiley & Son, Inc. 1985

(5) Frank M. White, "Fluid Mechanics," McGraw-Hill Book Company, 1986

(6) 양계형, "다목적 연구로용 플랩밸브 종류의 다양화에 관한 연구," 한국원자력연구소, 원 자력연구소 책임급 승격심사 논문(1993)

(7) 효성 중공업 주식회사, "효성 펌프 편람," 정문 출 판주식회사, 1989

(8) 文將, 金子, "수동적 안전성을 높인 일체형 가압경 수로인 SPWR의 일부하추종특성에 대한 원자력선 의 엔지니어링 시뮬레이터에 의한 예비해석," 일본 원자력연구소(JAERI), -M91- 075, 1991.4.

(9) 村田, 秀南 etc., "PIUS형로에 있어서의 순환펌 프에 대한 Feed Back Control," 일본원자력연구소, (JAERI) -M91- 076, 1991.4.

(10) 염학기, "수평관내 열성층현상에 관한 비정상 2차원 수치해석 연구," 경희대학교 석사 확위논문, 1991

(11) Hunter Rouse, "Engineering Hydraulics," John Wiley & Son, Inc., 1949