

# 스윙형 역지 밸브에 미치는 상류측 교란요소 영향에 관한 실험적 연구

송석윤\* · 김양석\* · 박성근\*

## Experimental Investigation of the Effect of Upstream Disturbances on Swing Check Valves

Seok-Yoon Song\*, Yang-seok Kim\*, Sung-keun Park\*

Key Words : Check Valve(역지밸브), Swing Check Valve(스윙형 역지밸브), Disturbance(교란요소), Disc Oscillation(디스크 진동), Performance(성능)

### ABSTRACT

The experimental loop was designed and installed to measure the disc positions, disc back stop load, and differential pressure with flow velocity for 3 inch and 6 inch swing check valves. The tests were performed at various conditions of upstream flow disturbance source and distance from the tested check valves to investigate the effect of the upstream flow conditions on the disc stability of the swing check valves. The selected disturbance sources were elbow, globe valve, and orifice. The experimental results are presented herein.

### 1. 서론

일반적으로 역지 밸브는 유체계통에 설치되어 펌프가 정지할 때 역류를 막고 펌프의 역회전을 방지하여 펌프의 밀봉장치와 모터를 보호하는 역할을 한다. 또한 밸브 하류측의 탱크 또는 배관내 유체의 배수를 막는 역할을 하기도 한다. 원자력발전소에서도 설계의 단순성, 낮은 압력손실, 효과적인 시트 밀봉능력, 보수 편의성과 다양한 활용성 등으로 인하여 스윙형 역지 밸브가 많이 적용되어 왔다. 원자력발전소에 있는 역지밸브 중에서 원자로냉각재 압력경계에 설치된 것은 위와 같은 기본 기능 이외에 원자로냉각재 유로에 연결된 배관의 파열이 발생할 경우 원자로 1차 냉각원

인 냉각재의 유출을 막아 원자로 냉각재 재고량을 유지하고 원자로냉각재 압력경계를 보호하는 중요한 기능을 수행하고 있다. 또한 증기발생기 급수공급계통 및 보조급수계통에 설치된 역지 밸브도 증기발생기 2차측에 연결된 배관의 파열이 발생할 경우 열제거원인 증기발생기 2차측 급수가 상실되는 것을 막거나 증기발생기 압력경계를 유지하는 기능을 수행한다.

이와 같이 중요한 기능을 수행하는 역지 밸브의 유동 성능 특성에는 유속에 따른 밸브의 열림 특성, 밸브의 안정적 열림을 보장하는 최소요구유속, 설계유량에서의 압력손실, 부분개방상태에서의 디스크 안정성, 상류측 교란요소에 따른 디스크 영향, 디스크의 닫힘 특성, 밀봉능력, 유지보수의 편의성 등이 있다. 이와 같이 역지 밸브의 성능 특성에 영향을 미치는 인자중 밸브 상류측의 교란요소는 배관내 유동특성, 특히 유속 분포를 왜곡시키고 역지 밸브 디스크의 거동에 영향을 주어 아주 빠른 유속에서도 밸브가 완전히 열리지 않

\* 한국전력공사 전력연구원  
E-mail : sysong@kepri.re.kr

거나 안정적인 밸브 운전을 보장하지 못할 수도 있다. 따라서 밸브 상류측 교란요소의 형태와 밸브에서의 설치거리는 최소 요구 유속을 포함한 역지 밸브의 성능에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 평가가 필요함을 알 수 있다. 또한 역지 밸브의 선정이나 설치시 교란요소의 영향을 고려하지 않게 되면, 동일한 운전조건에서 상류측 교란요소가 없을 때의 안정적 상태가 디스크 태핑이나 떨림이 발생하는 상태가 될 수 있다. 이와 같은 중요성 때문에 EPRI<sup>1)</sup>에서는 스윙형 및 텀팅형 역지 밸브의 설치위치를 엘보우로부터 거리가 최소 5D 이상으로 할 것을 권고하고 있다. 그러나 상류측 교란요소의 영향을 해석적으로 평가하는 모델은 아직 제시되어 있지 않으며 대부분 실험을 통하여 상류측 교란요소들의 영향을 무시할 수 있는 설치조건을 제시하거나 교란요소의 유형, 밸브 크기 및 유형, 역지 밸브로부터 교란요소가 설치된 지점까지의 거리에 대한 영향을 정성적으로 평가함이 일반적이다<sup>2,3)</sup>.

본 논문에서는 3인치와 6인치 스윙형 역지 밸브에 대한 성능 특성이 역지 밸브 상류측 유동 교란요소의 형태(엘보우, 글로브 밸브, 오리피스)와 밸브에서의 설치거리에 의해 어떻게 영향을 받는지 살펴보고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1. 실험 장치

Fig. 1에 역지 밸브의 성능실험장치 개략도를 나타내었는데, 폐회로(closed loop)로 구성되어 원자력발전

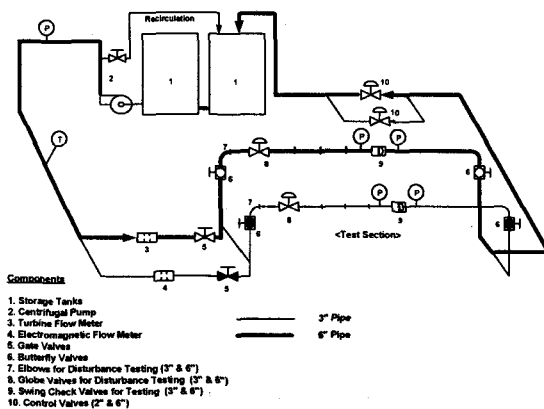


Fig. 1 Schematic diagram of the test loop

Table 1 Test facility equipment list

Equipment	Specifications
Centrifugal Pump	Head : 71.85 m, Flow rate : 5.4 m <sup>3</sup> /min Power : 92.52 kw
Control Valve	Globe valve, 6 inch
	Globe valve, 2 inch
Storage tank	FRP, 2 m <sup>3</sup>
Check valve	3 inch(swing, lift)
	6 inch(swing)
Globe valve	3, 6 inch
Gate valve	3, 6 inch
Butterfly valve	3, 6 inch
Flow Meter	Electromagnetic : 5 ~ 180 m <sup>3</sup> /hr, ±0.5% rate, 4 ~ 20 mAdc
	Turbine : 80 ~ 800 m <sup>3</sup> /hr, ±1% rate, 4 ~ 20 mAdc
Pressure Transmitter	0 ~ 10 bar, 0 ~ 25 bar, 0.15%FS, 1 ~ 5 Vdc
DP Transmitter	1, 0.5 bar, 0.15%FS, 1 ~ 5 Vdc
Load cell	0~200 kg, 4 ~ 20 mAdc
Radial Displacement	Potentiometer type, 4 ~ 20 mAdc
Temperature Transmitter	PT100, Head type, 0 ~ 100 °C, 4 ~ 20 mAdc

소에 있는 역지 밸브의 운전환경에 가깝도록 설계·제작하였다. 실험장치의 주요 기기는 저장탱크, 펌프, 역지 밸브, 공기구동 제어밸브, 글로브 밸브, 게이트 밸브, 버터플라이 밸브와 연결 배관으로 구성되어 있다. Table 1에는 성능 실험장치 각각의 구성요소의 상세 사양을 나타내었다.

원심 펌프의 용량은 3인치 및 6인치 스윙형 역지 밸브의 성능 실험에서 요구되는 전 유량 범위를 거의 일정한 수두(0~7.2 m<sup>3</sup>/min, 72.61~61m)에서 공급할 수 있고, 저 유량에서 펌프 보호를 위해서 재순환관을 설치하였다. 역지 밸브의 실험 유로는 역지 밸브의 크기에 따라 2개(3인치, 6인치)로 구성되어 있고, 배관을 일정 길이의 연결배관(flanged pipe) 형식으로 연결하여 배관 및 밸브의 위치 이동이 수월하도록 제작하여 역지밸브 상류측 교란 요소의 거리에 따른 영향 실험이 가능하다. 또한 각 유로로의 배열은 실험 유로 전·후단에 설치된 버터플라이 밸브를 이용하고, 유량의 제어는 실험유로 하류 측에 설치된 2인치와 6인치

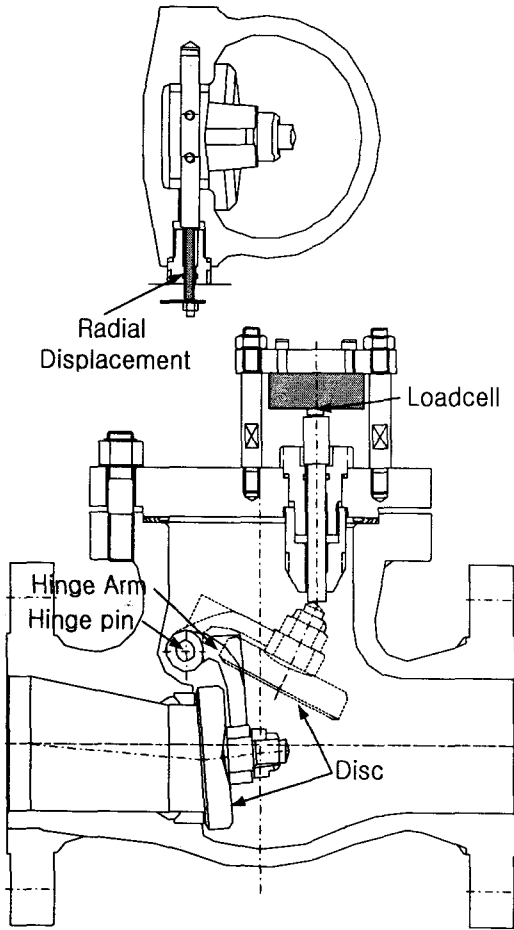


Fig. 2 Swing check valve for testing

공기구동 글로브 밸브를 제어하여 설정된 유량을 맞추었다.

실험유로의 유량을 계측하기 위한 전자기 및 터빈 유량계, 유동 유체의 온도를 계측하기 위한 온도계, 펌프출구와 역지밸브 전·후단에서의 압력을 계측하기 위한 압력계, 역지 밸브에서의 압력강하를 계측하기 위한 차압계 등이 있고, 이들 계측장치로부터 취득된 자료는 자료수집장치(DAS)을 통하여 PC로 수집된다.

Fig. 2는 실험에 사용된 스윙형 역지 밸브의 상세도로서 유속에 따른 디스크 각과 디스크가 열리면서 백스탑에 해당하는 부분에 충격이 가해지는 것을 측정하기 위한 로드 셀이 설치되어 있다. 실험에 사용된 스윙형 역지 밸브의 상세한 사양은 Table 2에 나타내었으며 유동 유체의 유속은 시트 내경을 기준으로 하였다.

Table 2 Swing check valve specifications

Parameter	3 inch	6 inch
Pipe I.D.(mm)	77	143
Seat I.D.(mm)	62	114
Disc Dia.(mm)	82	134
Seat angle(°)	4.574	4.574
Disc angle measured from vertical(°)	64.2	63.59
disc & Hinge Arm Weight(kg)	1.3	4.9
Hinge Pin to Disc center(mm)	62	100.5
Hinge Pin to Disc CG(mm)	25	20
Disc Assy CG Angle(°)	22	11.25
Material	SUS	SUS
Pressure Class	class 300	class 300

## 2.2. 교란요소 유형 선정

역지 밸브의 상류에 설치될 수 있는 교란 요소들은 설치 상태에 따라 배관내 유속분포를 변경시키고 난류강도를 증가시킴으로써 역지 밸브의 열림 특성에 영향을 미친다. 이런 측면에서 축소관은 축방향의 유동변동 또는 난류강도를 오히려 감소시킨다고 알려져 있기 때문에 역지 밸브의 열림 특성에 큰 영향을 미치지 않으며 기존의 실험에서 이미 입증된 바 있다.

수평 배관에 설치되어 있는 역지 밸브의 상류측에 있는 엘보우는 엘보우내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되거나 아래에서 위쪽으로 형성되도록 설치되어 있는 두 가지 경우가 있는데, 두 경우 모두 역지 밸브로부터의 설치 거리에 따라 열림 특성에 영향을 미친다. 엘보우가 수평방향으로 설치되어 있는 경우에는 축소관과 유사하게 밸브의 열림특성이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 그러나, 엘보우내 유동 방향이 아래에서 위쪽으로 형성되어 있는 경우가 디스크 변동각이 더 크며 디스크 태핑이 시작되는 유속이 낮아 태핑 영역이 더 넓다. 디스크 완전 열림각이 큰 역지 밸브는 엘보우가 바로 인접해서 설치되어 있는 경우 안정적인 밸브 열림이 보장되지 않을 수 있다. 즉 유속을 아무리 증가시켜도 디스크 태핑이 거의 없는 안정적 백시팅은 일어나지 않는다. 이러한 현상은 밸브 크기가 작을수록 더 민감하다. 따라서 본 실험에서는 상류측 교란요소의 유형으로 유동 방향이 아

래에서 위쪽으로 형성되는 엘보우를 선정하였고 교란 요소 유형에 따른 영향을 살펴보기 위하여 글로브 밸브와 오리피스스를 추가로 선정하였다.

### 2.3. 실험 방법

스윙형 역지 밸브의 성능을 평가하기 위해서는 유동 유체의 평균유속에 따른 디스크 위치(수직으로부터 각도), 디스크의 떨림의 크기, 디스크 백스탑에 가해지는 힘의 정도를 나타내는 로드 셀 부하, 밸브에서의 압력강하 등이 필요하다.

3인치와 6인치 스윙형 역지 밸브를 대상으로 실험을 수행하였으며, 앞에서 기술한 바와 같이 유동교란 요소로서 엘보우는 엘보우내 유동 방향이 아래에서 위쪽으로 형성되도록 설치되어 있고, 3인치 스윙형 역지 밸브의 시험유로에 설치된 제어밸브는 전행정 5/15 열림 상태에서, 6인치 스윙형 역지 밸브의 시험유로에 설치된 제어밸브는 전행정의 4/10.5 열림 상태에서 수행하였다. 3인치 밸브 실험에 사용된 오리피스는 3-hole 오리피스 (hole 직경 20mm, 두께 10mm)와 37-hole 오리피스 (hole 직경 5mm, 두께 10mm)이고, 6인치 밸브 실험에서는 사양이 다른 3-hole 오리피스 (hole 직경 40mm, 두께 10mm) 및 37-hole 오리피스 (hole 직경 10mm, 두께 10mm)가 사용되었다.

유동교란요소로부터 역지 밸브 입구까지의 거리는 2D, 4D, 6D, 8D, 10D 로 변경하여 가며 실험을 수행하였으며, 상류측 유동이 완전히 발달된 균일유동 상태를 나타내기 위한 실험에서는 상류측 교란요소로부터의 역지 밸브의 설치 거리를 12D로 하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3에 3인치와 6인치 스윙형 역지 밸브에 대하여 균일 유동과 L/D = 2인 상류측 지점에 엘보우, 글로브 밸브, 그리고 오리피스스가 있을 경우의 유속에 따른 디스크 위치 측정값을 나타내었다. Fig. 3을 보면 평균 유속에 따른 디스크 위치 변화는 상류측 교란요소의 영향이 거의 없는 것처럼 보인다.

Fig. 4와 Fig. 5는 3인치 및 6인치 밸브에 대하여 유체가 밸브를 통과할 때의 압력강하 값과 디스크 백스탑에 가해지는 힘을 각각 나타낸 것이다. 유동 교란 요소의 영향이 가장 클 것으로 예상되는 L/D = 2인

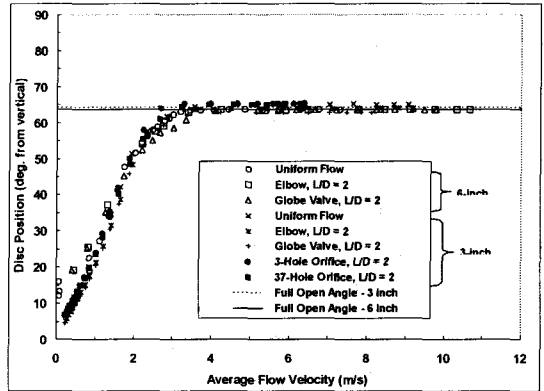
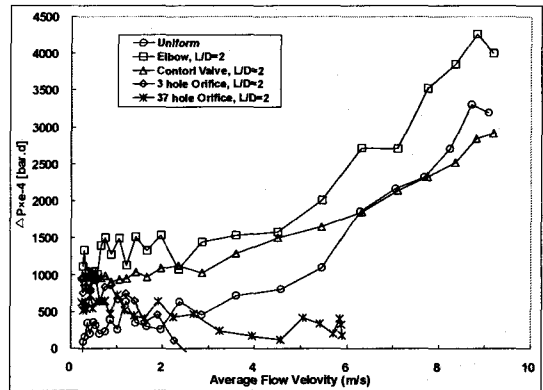
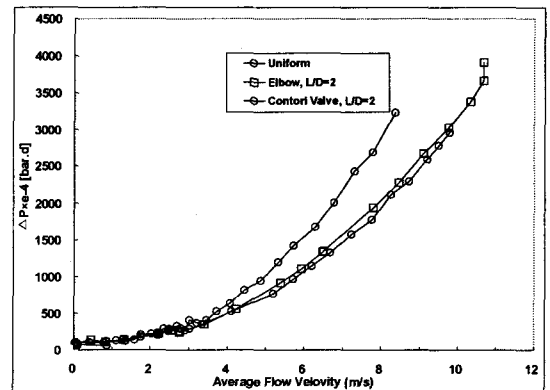


Fig. 3 Measured disc position with average flow velocity for 3- & 6-inch swing check valves



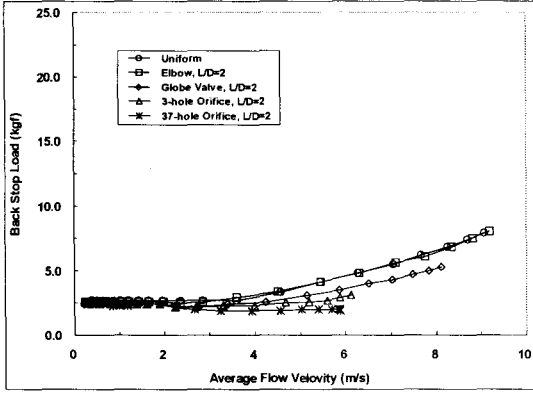
(a) 3-inch swing Check Valve



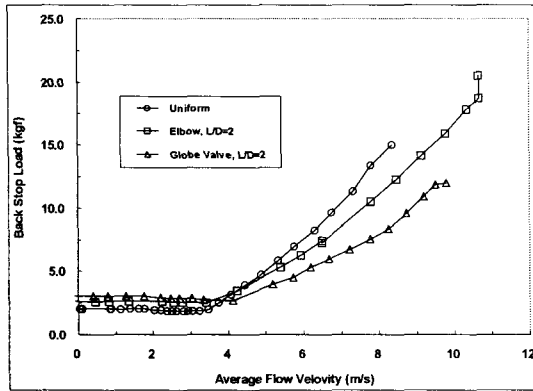
(b) 6-inch swing check valve

Fig. 4 Pressure drop with average velocity

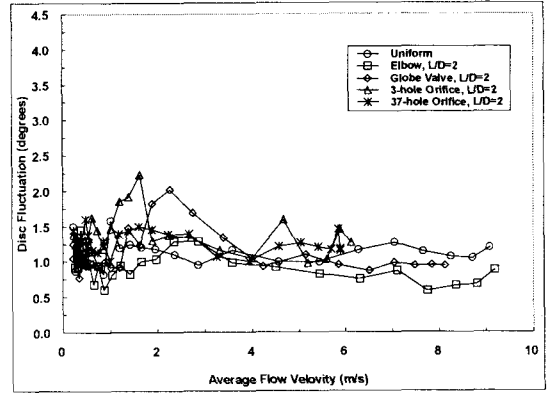
지점에 유동교란요소가 있을 경우와 균일 유동조건에서 측정된 값을 함께 나타내었는데, 글로브 밸브와 엘보우 등 유동교란요소의 형태와 상관없이 역지 밸브가



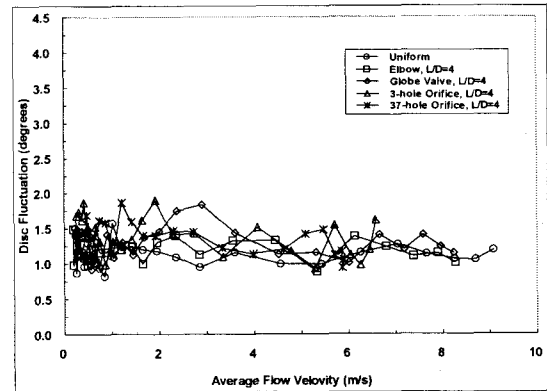
(a) 3-inch swing check valve



(b) 6-inch swing check valve  
Fig. 5 Back stop load



(a) L/D = 2



(b) L/D = 4

Fig. 6 Disc fluctuation vs. average flow velocity for 3-inch swing check valve

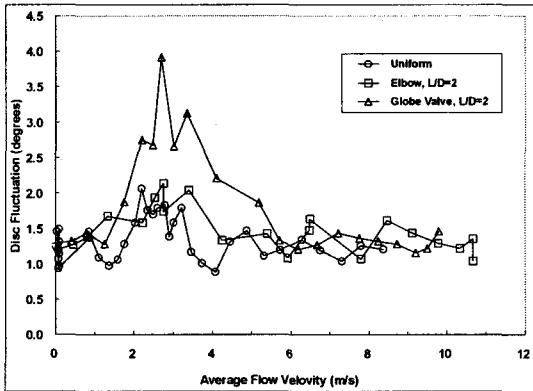
열리는 동안에는 압력강하 값, 디스크 백스탑에 가해지는 힘은 거의 일정하다가 밸브가 완전히 열린 후부터 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 평균유속에 따른 밸브 디스크 위치를 보여주는 Fig. 3과 비교하여 보면 확인할 수 있다.

Fig. 6은 3인치 스윙형 역지 밸브로부터 상류측 유동 교란요소의 설치 위치가  $L/D = 2, 4$ 일 경우, 평균유속에 따른 디스크의 변동 각을 나타낸 것인데 비교를 위하여 균일유동조건에서의 측정값도 함께 나타내었다. 상류측 유동 교란요소로서 글로브 밸브가 설치되어 있을 때가 엘보우보다 디스크의 변동 각이 더 크며, 디스크 떨림 영역과 태핑 영역이 뚜렷하게 구별되고 있다. 또한 밸브의 상류에 유동 교란요소로서 오리피스(3-Hole 및 37-Hole)가  $L/D = 2$ 인 위치에 설치되어 있을 경우에는 유속을 아무리 증가시켜도 안정적인 디스크 열림 상태가 유지되지 못하고 디스크 태핑이

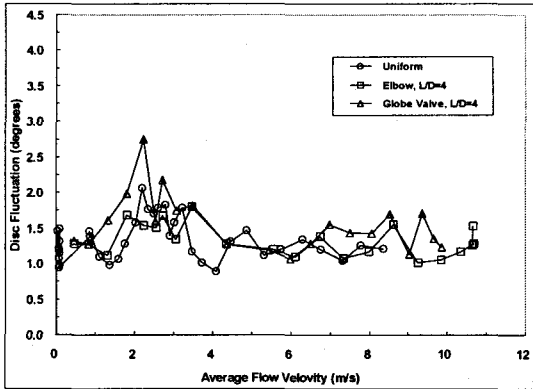
지속적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 6인치 밸브에 대한 실험 결과를 나타낸 것인데, 여기에서도 디스크 변동 각에 대한 영향은 엘보우에 의한 영향보다 글로브 밸브에 의한 영향이 더 큼을 알 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7을 보면, 3인치 밸브인 경우에는 저유량에서의 디스크 떨림이 큰 반면, 6인치 밸브인 경우에는 완전 열림 위치에 가까울수록 디스크 변동 각이 더 크게 측정되었음을 알 수 있다. 또한 Fig. 8에도 나타내었듯이 최대 디스크 변동 각은 3인치 밸브보다는 6인치 밸브가 더 크게 나타났다.

Fig. 8은 3인치 스윙형 역지 밸브의 상류측에 유동 교란요소로서 엘보우, 글로브 밸브, 오리피스가 설치되어 있는 경우와, 6인치 스윙형 역지 밸브의 상류에 유동 교란요소로서 엘보우, 글로브 밸브가 설치되어 있는 경우, 역지 밸브와 설치위치까지의 거리에 따른 디스크의 최대 변동 각을 나타낸 것이다. 교란요소 유형

과 역지 밸브로부터의 설치 거리에 따른 영향을 살펴 보면, 3인치와 6인치 스윙형 역지 밸브로부터의 유동



(a) L/D = 2



(b) L/D = 4

Fig. 7 Disc fluctuation vs. average flow velocity for 6-inch swing check valve

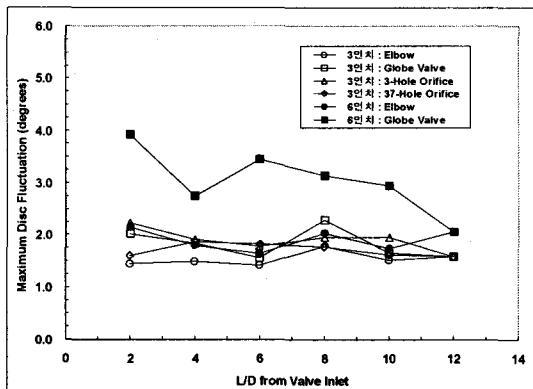


Fig. 8 Maximum Fluctuation of Disc with Distance from Check Valve Inlet

교란요소의 설치 거리가 2D일 때보다 4D로 멀어 질수록 디스크의 최대 변동 각이 감소함을 나타내고 있다. 상류측 유동 교란요소의 형태에 따른 디스크 안정성에 미치는 정도는 3인치 밸브인 경우, 오리피스, 글로브 밸브, 엘보우, 균일유동 순으로 디스크의 변동각의 크기가 감소함을 나타내고 있다. 이는 Fig. 6에서도 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

스윙형 역지 밸브에서 상류측 교란 요소의 영향을 받는 정도는 유동 교란 요소의 유형과 설치 상태, 그리고 역지 밸브와 설치위치까지의 거리에 따라 달라지는데, 본 논문에서는 이러한 인자들이 역지 밸브의 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

3인치와 6인치 스윙형 역지 밸브의 상류측 유동 교란요소가 밸브 디스크의 변동 각에 영향을 미치는 정도는 오리피스, 글로브 밸브, 엘보우 순으로 작아지나 균일한 유동보다는 크게 나타났다. 또한 유동 교란요소와 역지 밸브와의 설치 거리가 멀어질수록 영향은 점차적으로 감소하나 오리피스 등 유동 흐름을 강하게 교란시키는 요소는 거리가 멀어도 완전 열림 상태의 디스크가 계속적으로 불안정한 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 및 한국과학기술기획평가원의 지원을 받아 2004년도 원자력연구개발사업을 통해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) EPRI, 1993, Application Guidelines for Check Valves in Nuclear Power Plants, EPRI NP-5479, Rev. 1, EPRI.
- (2) W.J. Rahmeyer, 1983, "The Effect of Upstream Piping on Swing-Check Valves," Management and Operation, Journal AWWA, pp. 553-555.
- (3) Y.S. Kim, D.W. Kim, S.K. Park, S.Y. Hong, 2003, "The Effect of Upstream Disturbances on Swing Check Valve Performance," Proceedings of Korean Nuclear Autumn Meeting, pp. 553-555.