◎ 논 문

상류측 교란요소가 스윙형 역지밸브의 성능에 미치는 영향

송석윤* · 유성연**

The Effect of Upstream Disturbances on the Performance of Swing Check Valves

Seok-Yoon Song*, Seong-Yeon Yoo**

KeyWords : Check Valve(역지밸브), Disturbance(교란요소), Disc Oscillation(디스크 진동), Performance(성능)

ABSTRACT

The effect of the upstream flow conditions on the disc stability of the swing check valves was investigated at various upstream flow disturbance sources and distances from the tested check valves. The experimental loop was designed and installed to measure the disc positions, disc back stop load, and differential pressure at flow velocities for 3 inch and 6 inch swing check valves. The selected disturbance sources are elbow and globe valve. The effect of the disc fluctuation is different depending on the type of disturbance and the distance between the disturbance and the check valve. Disturbances generated by elbow and globe valve located upstream from check valve create greater and more violent disc motion than uniform flow.

1. 서 론

일반적으로 역지밸브는 유체계통에 설치되어 펌프가 정지할 때 역류를 막고 펌프의 역회전을 방지하여 펌프의 밀봉장치와 모터를 보호하는 역할을 한다. 또한 밸브 하류측의 탱크 또는 배관 내 유체의 배수를 막는 역할을 하기도 한다. 원자력발전소에서도 설계의 단순성, 낮은 압력손실, 효과적인 시트 밀봉능력, 보수의 편의성과 다양한 활용성 등으로 인하여 스윙형 역지밸브가 많이 적용 되어 왔다. 원자력발전소에 있는 역지밸브 중에서 원자로냉각재 압력경계에 설치된 것은 위와 같은 기본기능 이외에 원자로냉각재 유로에 연결된 배관의 파열이 발생할 경우 원자로 1차 냉각원인 냉각재의 유출을 막고 (Inventory 유지) 원자로냉각재 압력경계를 보호하는 중요한 기능을 수행하고 있다. 또한 증기발생기 급수공급계통 및 보조급수계통에 설치된 역지밸브도 증기발생기 2차측에 연결된 배관의 파열이 발생할 경우 열제거원인 증기발생기 2차측 급수가 상실되는 것을 막고 (Inventory 유지) 증기발생기 압력경계를 보호하는 중요한 기능을 수행한다.

이와 같이 중요한 기능을 수행하는 역지밸브의 유동성능 특성에는 유속에 따른 밸브의 열림 특성[1], 밸브의 안정적 열림을 보장하는 최소요구유속, 설계유량에서의 압력손실, 부분개방상태에서의 디스크 안정성, 상류측

* 한국전력공사 전력연구원
** 충남대학교 기계설계공학과
책임저자 E-mail: sysong@kepri.re.kr

교란요소에 따른 디스크 영향, 디스크의 닫힘 특성, 밀봉능력, 유지보수의 편의성 등이 있다.

역지밸브의 성능 특성에 영향을 미치는 인자 중 밸브 상류측의 교란요소는 배관 내 유동특성, 특히 유속분포를 왜곡시키고 역지밸브 디스크의 거동에 영향을 주어 아주 빠른 유속에서도 밸브가 완전히 열리지 않거나 안정적인 밸브 운전을 보장하지 못할 수도 있다. 따라서 밸브 상류측 교란요소의 형태와 밸브에서의 설치거리는 최소 요구 유속을 포함한 역지밸브의 성능에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 평가가 필요함을 알 수 있다. 또한 역지밸브의 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 미국 전력연구소 (EPRI : Electric Power Research Institute)[2]에서는 스윙형 및 틸팅형 역지밸브의 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, 역지밸브로부터 교란요소가 설치된 지점까지의 거리에 대한 영향을 정성적으로 평가함이 일반적이다[3],[4].

본 논문에서는 3인치와 6인치 스윙형 역지밸브에 대한 성능 특성이 역지밸브 상류측 교란요소의 형태 (엘보우, 글로브밸브)와 밸브에서의 설치 거리에 의해 어떻게 영향을 받는지 살펴보았다.

미국의 경우 INPO (Institute of Nuclear Power Operations)에서 원자력발전소의 역지밸브 고장에 대한 조사 보고서인 SOER 86-035을 발행한 이후 EPRI가 중심이 되어 역지밸브에 관한 연구가 지속적으로 수행되었다. INPO는 대부분의 역지밸브의 고장은 역지밸브의 부적합한 설계 및 설치와 예방 정비가 적절하게 이루어지지 못하는 데서 기인하는 것임을 확인하고 NRC (Nuclear Regulatory Commission), 원전 소유주 그룹, NUMARC (Nuclear Utility Management and Resources Council) 등 관련 기관들과 협조하여 역지밸브에 대한 지침서를 발간하였다. 이 지침서에는 다양한 종류의 역지밸브에 대한 특성이 기술되었으며 밸브의 선정과 평가, 유지 정비 및 진단 기법의 이해에 대한 중요성과 이에 관한 일반적인 내용도 제시되어 있다. 산업계에서도 역지밸브 성능 평가의 중요성을 이해하고 성능평가 프로그램의 개발과 비침투적 기술을 이용한 진단 장비를 개발하여 왔으나 고장원인 분석, 성능 평가 및 성능 진단 방법 등이 각기 독자적으로 엔지니어링 회사와 진단 장비 회사에서 개발되어 정확한 성능 평가와 진단을 통한 효율적인 관리는 어려운 실정이다.

ORNL (Oak Ridge National Laboratory) 등 연구소에서는 원전 사업자의 요구에 따라 발전소 운전 중 발생한 역지밸브의 고장 원인 및 유형을 통계적으로 분석하여 예방 정비시에 참조할 수 있는 정보를 제공하였으나[6]~[8] 고장 원인에 대한 해석적 모델은 아직 연구 개발이 미미한 실정이다. 특히 비해체 진단 방법에 대해서는 NIC (Nuclear Industry Check Valve Group)가 역지밸브 진단 기술에 대한 평가를 수행하여 현재 상용화된 진단 기술의 개선이 필요함을 지적하였다. 미국의 NIC는 규제기관에 대한 대응 또는 연구개발 분야에서 주도적으로 전력회사의 입장을 대변하고 있으며, 연 2회의 NIC 미팅과 웹사이트 운영을 통하여 상태감시 수행경험, 역지밸브 진단 및 정비 경험 등을 공유하고 관련 정보를 교환하고 있다. 1999년 NIC 정기 회의에서는 현재의 비침투 진단기술과 관련하여 밸브의 개폐 실패, 정상 · 비정상 마모, 부품 파손 등의 정성적인 예측은 가능하나, 마모 경향에 대한 정량적인 평가기술은 개발되어야 한다고 결론을 내린 바가 있다. 또한 현재 상용화된 진단 장비의 경우 데이터 해석 시 발생할 수 있는 오류들이 지적되었는데 이는 현재의 진단 장비를 사용하기 위해서는 상당한 수준의 신호 분석 전문 기술이 필요하며 장비 자체의 신호 분해 능력이 떨어지면 정확한 결과를 도출하는 것이 어렵기 때문이다.

역지밸브에 대한 종합적인 성능 상태 평가와 관련해서는 미국의 여러 원전에서 역지밸브에 대한 상태감시 프로그램을 수행하여 왔으며 기존의 역지밸브 가동중시험 대신 상태감시프로그램을 적용하고 있는 원전이 늘어가고 있는 추세이다. 상태감시 프로그램의 목적은 허용 가능한 성능이력이 문서화되어 있는 밸브에 대하여 밸브 성능을 개선하고 시험, 검사 및 예방정비 활동을 최적화하는 것이다.

국내에서는 과학기술부 중장기 원자력연구개발사업의 일환으로 지난 2002년 6월부터 2005년 3월까지 3년에 걸쳐 원자력발전소 역지밸브의 성능 예측과 진단 기술 개발을 위한 연구[9]를 수행하여, 역지밸브 고장원인 분석을 통한 고장 모델 도출, 각 고장 모델별로 성능을 예측할 수 있는 방법 개발, 밸브의 비해체 진단기법을 적용한 진단장비 개발 등을 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

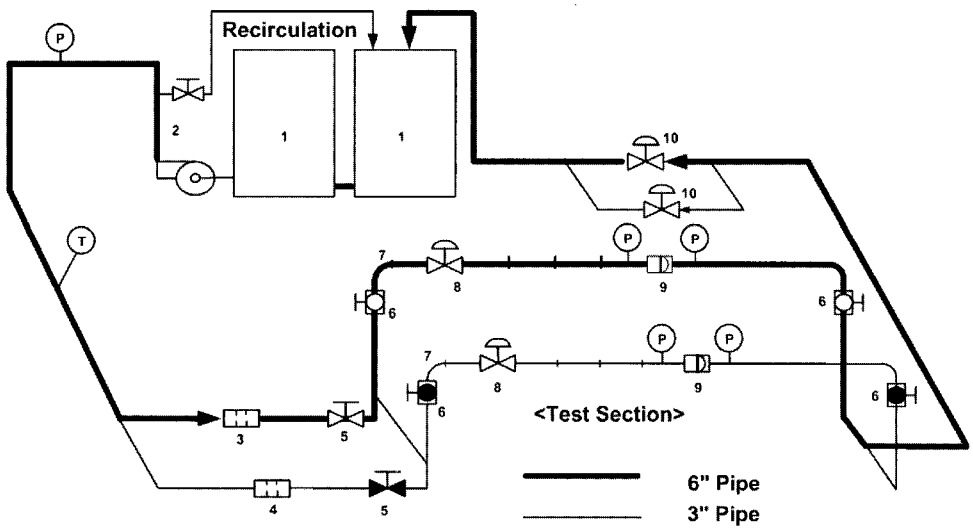
Figure 1에 역지밸브의 성능실험장치 개략도를 나타내었는데, 폐회로 (closed loop)로 구성하여 원자력발전소에 있는 역지밸브의 운전환경에 가깝도록 설계·제작하였다. 실험장치의 주요 기기는 저장탱크, 펌프, 역지밸브, 공기구동 제어밸브, 글로브 밸브, 게이트 밸브, 버터플라이 밸브와 연결 배관으로 구성되어 있다. Table 1은 성능 실험장치 각각의 구성요소의 상세 사양을 나타내었다.

원심펌프의 용량은 3인치 및 6인치 스윙형 역지밸브의 성능 실험에서 요구되는 전 유량 범위를 거의 일정한 수두 (0~7.2 ㎥/min, 72.61~61 m)에서 공급할 수 있고, 저유량에서 펌프 보호를 위해서 재순환관을 설치하였다.

역지밸브의 실험 유로는 역지밸브의 크기에 따라 2개 (3인치, 6인치)로 구성되어 있고, 배관을 일정 길이의 연결배관 (flanged pipe) 형식으로 연결하여 배관 및 밸브의 위치 이동이 수월하도록 제작하여 역지 밸브 상류측 교란 요소의 거리에 따른 영향 실험이 가능하다. 또한 각 유로로의 배열은 실험 유로 전·후단에 설치된 버터

Table 1 Specification of equipments for test facility

Equipments	Specification
Centrifugal pump	Head : 71.85 m, Flow rate : 5.4 ㎥/min Power : 92.52 kw
Control valve	Globe valve, 6 inch
	Globe valve, 2 inch
Storage tank	FRP, 2 ㎥
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 ㎥/hr, ±0.5% rate, 4~20 mAdc
	Turbine : 80~800 ㎥/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 ℃, 4~20 mAdc



1. Storage Tanks
2. Centrifugal Pump
3. Turbine Flow Meter
4. Electromagnetic Flow Meter
5. Gate Valves
6. Butterfly Valves
7. Elbows for Disturbance Testing (3" & 6")
8. Globe Valves for Disturbance Testing (3" & 6")
9. Swing Check Valves for Testing (3" & 6")
10. Control Valves (2" & 6")

Fig. 1 Schematic diagram of the test loop

플라이 밸브를 이용하고, 유량의 제어는 실험유로 하류측에 설치된 2인치와 6인치 공기구동 글로브 밸브를 제어하여 설정된 유량을 맞추었다.

실험유로의 유량을 계측하기 위한 전자기 및 터빈유량계, 유동 유체의 온도를 계측하기 위한 온도계, 펌프 출구와 역지밸브 전 · 후단에서의 압력을 계측하기 위한 압력계, 역지밸브에서의 압력강하를 계측하기 위한 차압계 등이 있고, 이들 계측장치로부터 취득된 자료는 자료수집장치 (DAS)을 통하여 PC로 수집된다.

Figure 2는 실험에 사용된 스윙형 역지밸브의 상세도로서 유속에 따른 디스크 각을 측정하기 위한 각도 측정장치 (radial displacement)와 디스크가 열리면서 백스탑에 해당하는 부분에 충격이 가해지는 것을 측정하기 위한 로드 셀이 설치되어 있다. 실험에 사용된 스윙형 역지밸브의 상세한 사양은 Table 2에 나타내었으며 유동

Table 2 Specification of swing check valves

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

유체의 유속은 시트 내경을 기준으로 하였다.

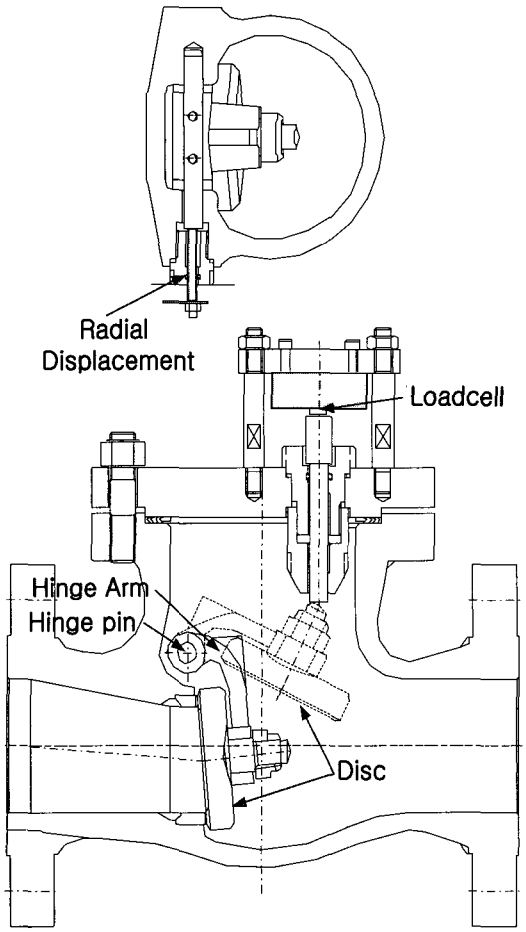


Fig. 2 Schematic diagram of swing check valve

2.2 실험 방법

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

3인치와 6인치 스윙형 역지밸브를 대상으로 실험을 수행하였으며, 앞에서 기술한 바와 같이 교란요소로서 엘보우는 엘보우 내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되도록 설치되어 있고, 3인치 스윙형 역지밸브의 시험유로에 설치된 글로브밸브는 전행정의 5/15 열림 상태에서, 6인치 스윙형 역지밸브의 실험유로에 설치된 글로브밸브는 전행정의 4/10.5 열림 상태에서 수행하였다.

교란요소로부터 역지밸브 입구까지의 거리는 2D, 4D, 6D, 8D, 10D로 변경하여 가며 실험을 수행하였으며, 상류측 유동이 완전히 발달된 균일 유동 상태를 나타내기 위한 실험에서는 상류측 교란요소로부터 역지밸브까지의 설치 거리를 12D로 하였다.

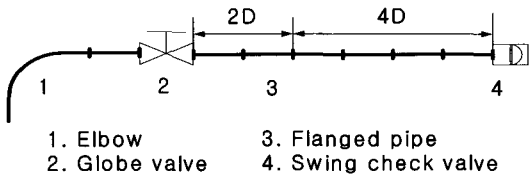


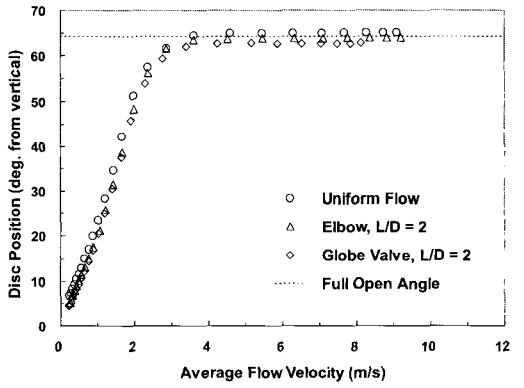
Fig. 3 Schematic diagram of test section

3. 실험결과 및 고찰

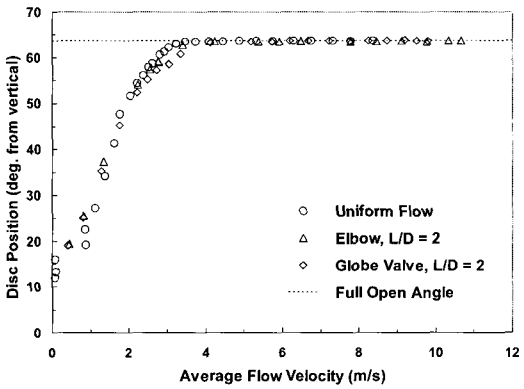
역지밸브의 상류에 설치될 수 있는 교란 요소들은 설치 상태에 따라 배관 내 유속분포를 변경시키고 난류 강도를 증가시킴으로써 역지밸브의 열림 특성에 영향을 미친다. 이런 측면에서 축소관은 축방향의 유동변동 또는 난류강도를 오히려 감소시킨다고 알려져 있기 때문에 역지밸브의 열림 특성에 큰 영향을 미치지 않으며 기존의 실험에서 이미 입증된 바 있다[2].

수평 배관에 설치되어 있는 역지밸브의 상류측에 있는 엘보우는 엘보우 내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되거나 아래에서 위쪽으로 형성되도록 설치되어 있는 두 가지 경우가 있는데, 두 경우 모두 역지밸브로부터의 설치 거리에 따라 열림 특성에 영향을 미친다. 엘보우가 수평방향으로 설치되어 있는 경우에는 축소관과 유사하게 밸브의 열림특성이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다[2]. 그러나, 엘보우 내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되어 있는 경우가 디스크 변동각이 더 크며 디스크 태핑이 시작되는 유속이 낮아 태핑 영역이 더 넓다. 디스크 완전 열림각이 큰 역지밸브는 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. 본 실험에서 상류측 교란요소의 유형으로 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되는 엘보우를 선정하였고 교란요소 유형에 따른 영향을 살펴보기 위하여 글로브 밸브를 추가로 선정하였다.

Figure 4에 3인치와 6인치 스윙형 역지밸브에 대하여 균일 유동인 경우와 L/D = 2인 상류측 지점에 교란요소

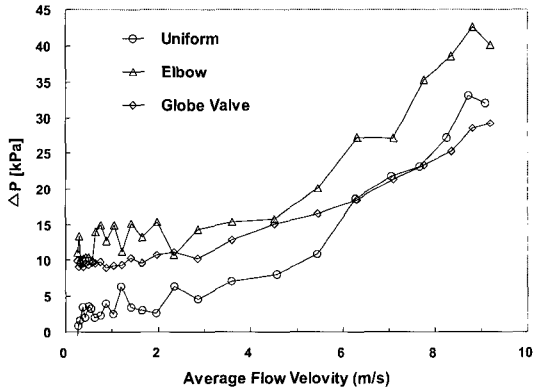


(a) 3-inch valve

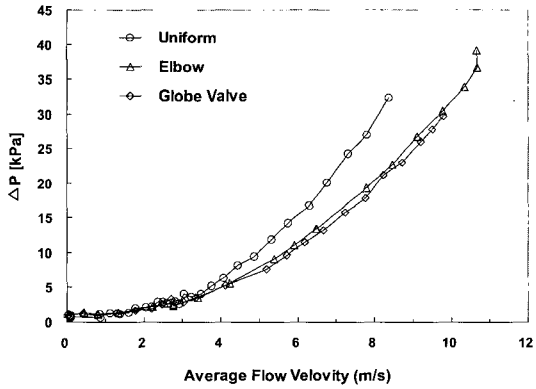


(b) 6-inch valve

Fig. 4 Variation of disc position with average flow velocity



(a) 3-inch swing check valve



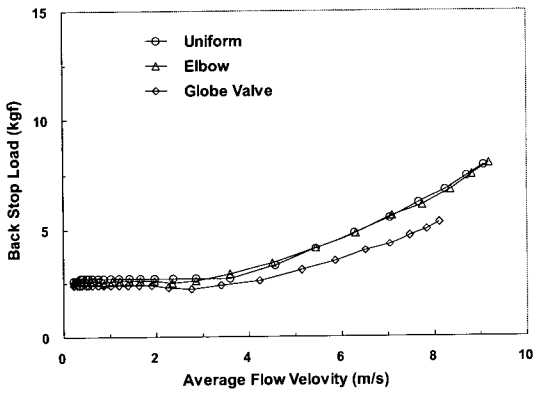
(b) 6-inch swing check valve

Fig. 5 Variation of pressure drop with average velocity for L/D=2

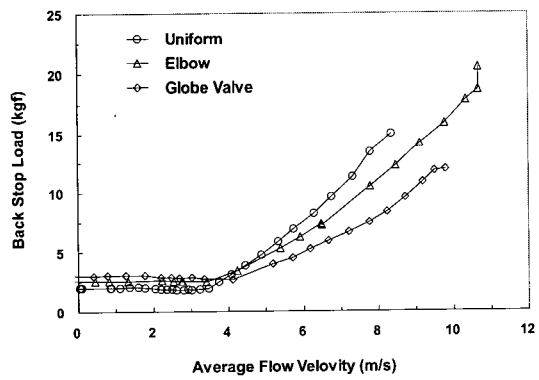
인 엘보우, 글로브 밸브가 있을 경우의 평균 유속에 따른 디스크 위치 측정값을 나타내었다. 교란요소의 영향이 가장 클 것으로 예측되는 밸브에서 거리가 가장 가까운 지점에서의 평균 유속에 따른 디스크 열림각은 상류측 교란 요소의 유형에 상관없이 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. 이것으로 교란요소의 종류, 상류측 교란요소와 역지밸브에서의 거리가 디스크의 열림 각을 결정하는 요소가 아니고, 밸브 내부를 통과하는 유속에 의해 디스크의 위치가 결정됨을 알 수 있다.

Figure 5는 3인치 및 6인치 스윙형 역지밸브에 대하여 유체가 디스크를 통과할 때의 밸브 전 · 후단에서 강하 값을 평균 유속에 따라서 나타낸 것이다. 낮은 유속에서는 유속이 증가함에 따라 디스크가 열리면서 압력강하 값은 거의 변화가 없다. 이 때는 유동에너지의 거의 전부가 디스크를 여는데 소모되므로 디스크 전 · 후단의 압력강하는 거의 일어나지 않는 것으로 판단된다. 글로브밸브, 엘보우 등 유동교란요소의 형태와 상관없이 역지밸브가 열리고 있는 동안에는 압력강하 값은 거의 일정하다가 밸브가 완전히 열린 후부터 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 밸브의 디스크가 다 열린 후부터 압력강하 값이 크게 증가하고 있고, 같은 유속에서 균일유동보다 엘보우, 글로브밸브 순으로 압력강하 값이 작아짐을 알 수 있다. 3인치 역지밸브에서는 상류측 교란요소의 종류별로 뚜렷한 변화를 보여주지 못하고 있지만, 6인치 역지밸브에서는 디스크가 완전히 열린 후부터 압력강하 값은 같은 유속에서 균일 유동일 경우가 가장 크고, 엘보우나 글로브밸브에서는 비슷한 값을 나타내고 있다.

Figure 6은 3인치와 6인치 밸브에 대하여 유체가 밸브를 통과할 때의 평균 유속에 따라서 디스크의 압력백

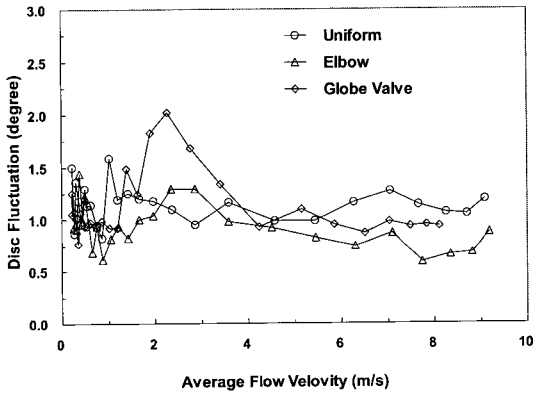


(a) 3-inch swing check valve

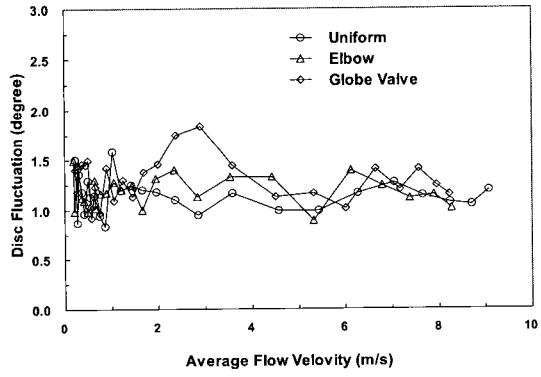


(b) 6-inch swing check valve

Fig. 6 Variation of back stop load with average velocity for L/D=2



(a) L/D = 2



(b) L/D = 4

Fig. 7 Variation of disc fluctuation with average flow velocity for 3-inch swing check valve

스탑에 가해지는 힘을 각각 나타낸 것이다. 교란요소의 영향이 가장 클 것으로 예상되는 L/D = 2인 지점에 교란요소가 있을 경우와 균일 유동 조건에서 측정한 값을 함께 나타내었다. 낮은 유속에서는 글로브 밸브와 엘보우 등 교란요소의 형태와 상관없이 역지밸브가 열리는 동안에는 디스크 백스탑에 가해지는 힘은 거의 변화가 없다. 이 때는 밸브의 디스크가 백스탑에 태핑이 일어나지 않는 것으로 판단된다. 그러나 밸브의 디스크가 완전히 열린 후부터 교란요소에 따른 백스탑에 가해지는 힘은 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 백스탑에 가해지는 힘이 클수록 밸브의 디스크는 안정적으로 운전되고 있음을 나타낸다. 또한 같은 유속에서 교란요소 별로 백스탑에 가해지는 힘이 다름을 알 수 있다. 3인치 역지밸브에서는 상류측 교란요소의 종류별로 균일유동과 엘보우는 거의 같고, 6인치 역지밸브에서는 교란요소에 따라서 같은 유속에서 균일 유동일 경우가 가장 크고 엘보우, 글로브밸브 순으로 작아짐을 알 수 있다. 따라서 상류측의 교란요소는 배관 내 유동특성, 특히 유속분포를 왜곡시켜 역지밸브 디스크 거동에 영향을 주어 아주 빠른 유속에서도 밸브가 안정적인 밸브 운전을 보장하지 못할 수도 있음을 나타낸다.

Figures 7, 8은 3인치와 6인치 스윙형 역지밸브로부터 상류측 교란요소의 설치 위치가 L/D = 2, 4일 경우, 평균 유속에 따라서 디스크의 변동 각을 나타낸 것인데 비교를 위하여 균일 유동 조건에서의 측정값도 함께 나타내었다.

밸브의 디스크가 완전히 열리기 전의 변동 각이 완전히 열린 후의 변동 각보다 큼을 알 수 있다. 밸브로부터 상류측 교란요소의 설치 위치가 증가함에 따라 디스크 변동 각의 크기는 감소하고, 평균 유속의 증가에 따라 비슷한 경향을 보이고 있다. 3인치 밸브인 경우에는 저유량 영역에서 디스크 떨림이 많이 발생하고, 떨림 영역과 태핑 영역이 뚜렷이 구별되지는 안는다. 반면에 6인치 밸브인 경우에는 특정 유속에서 디스크의 변동 각이 크고, 밸브가 열린 후부터는 유속의 증가에 따라서 디스크 변동각이 감소함을 알 수 있다.

Figure 9는 스윙형 역지밸브 상류측에 교란요소로서 엘보우, 글로브밸브가 설치되어 있을 경우, 교란요소와 역지밸브 설치위치까지의 거리에 따른 디스크 최대 변동 각을 나타낸 것이다. 역지밸브 상류측 교란요소와의 거리가 가까울수록 디스크 변동 각이 커지며 거리가 멀어질수록 디스크의 최대 변동 각이 감소함을 보이고 있다. 그러므로 상류측에 교란요소가 있는 역지밸브는 교란요소에 의한 유동의 교란을 회복하기 위해 교란요소

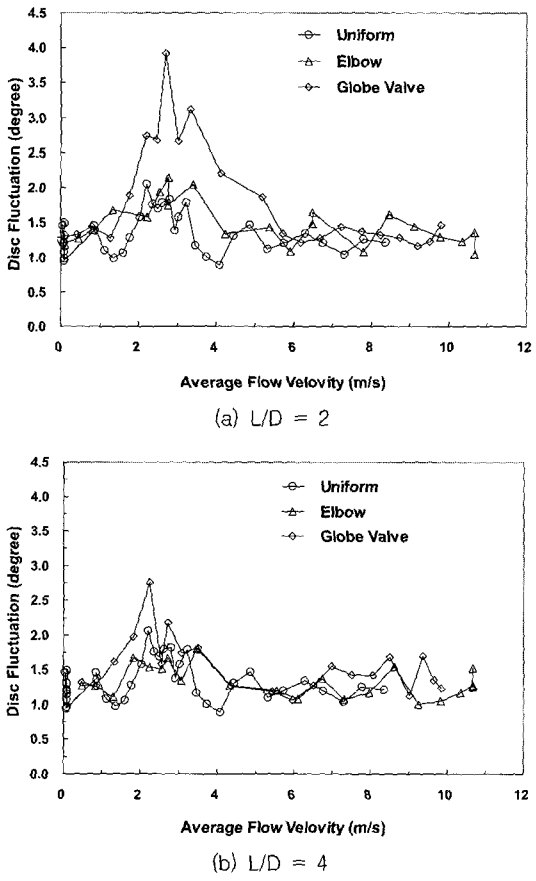


Fig. 8 Variation of disc fluctuation with average flow velocity for 6-inch swing check valve

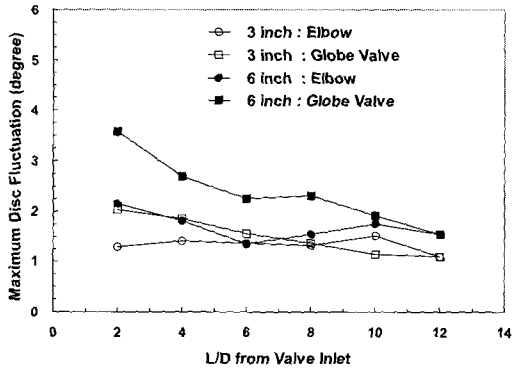


Fig. 9 Maximum fluctuation of disc at variations distances from check valve

와 밸브와의 거리가 필요함을 알 수 있다.

상류측 교란요소의 형태에 따른 최대 디스크 진동의 진폭은 글로브밸브가 엘보우 보다 크고, 거리에 따라서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 교란요소에 의해 발생된 난류 유동으로 인하여 디스크 변동 각이 같은 유속에서 글로브밸브, 엘보우, 균일 유동 순으로 작아짐을 볼 수 있다.

4. 결 론

상류측에 교란요소가 설치되었을 때의 스윙형 역지밸브의 성능에 영향을 받는 정도를 알아보기 위하여 교란요소로서 글로브밸브와 엘보우를 선택하고, 교란요소와 밸브까지의 거리는 2D~10D 사이를 2D 간격으로 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 밸브가 열리는 동안에는 밸브 내부를 통과하는 유속에 의해 디스크의 위치가 결정되며, 디스크 전 · 후단의 압력강하와 백스탑에 걸리는 힘은 거의 변화가 없고, 밸브가 다 열리고부터 유속의 증가에 따라서 압력강하와 백스탑에 걸리는 힘이 증가됨을 알 수 있었다.
2) 밸브 디스크가 완전히 열린 후부터 교란요소에 따른 백스탑에 가해지는 힘과 압력강하 값은, 같은 유속에서 균일 유동일 경우가 가장 크고 엘보우, 글로브밸브 순으로 작아짐을 알 수 있다.
3) 역지밸브 상류측 교란요소와의 거리가 가까울수록 디스크 변동 각이 커지며 거리가 멀어질수록 디스크의 최대 변동 각이 감소함을 보이고 있다. 상류측 교란요소의 형태에 따른 최대 디스크 진동의 진폭은 글로브밸브가 엘보우보다 크고, 거리에 따라서도 비슷한 경향을 보이고 있다.
4) 역지밸브 상류측에 설치된 교란요소는 배관 내 유동특성, 특히 유속분포를 왜곡시켜 역지밸브 디스크 거동에 영향을 주어 안정적인 밸브 운전을 보장하지 못할 수도 있다.

후 기

본 논문은 과학기술부의 원자력 중장기사업 "원전 역지밸브 고장원인 분석 및 성능진단 관리기법 개발" 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) S. Y. Song, S. Y. Yoo, 2005, "Analyes of Failure Causes and an Experimental Study on the Opening Characteristics of Swing Check Valves", Journal of Fluid Machinery, Vol. 8, No. 6, pp. 15~25.
(2) EPRI, 1993, Application Guidelines for Check Valves in Nuclear Power Plants, EPRI NP- 5479, Rev. 1, pp. 3-14~3-52.
(3) W. J. Rahmeyer, 1983, "The Effect of Upstream Piping on Swing-Check Valves," Management and Operation, Journal AWWA, pp. 553~555.
(4) 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. 1~11.
(5) INPO SOER 86-03, 1986, "Check Valve Failures or Degradation".
(6) NUREG/CR-4302, 1985, "Aging and Service Wear of Check Valves Used in Engineered Safety-Feature Systems of Nuclear Power Plants," Vol. 1.
(7) NUREG/CR-5944, 1993, "A Characterization of Check Valve Degradation and Failure Experience in the Nuclear Power Industry".
(8) NUREG/CR-5944, 1995, "A Characterization of Check Valve Degradation and Failure Experience in the Nuclear Power Industry," Vol. 2, 1991 Failures.
(9) S. K. Park, I. H. Kim, Y. S. Kim, D. W. Kim, D. H. Lee, S. C. Kang, 2005, "Development of Diagnostic Method for Check Valve Performance and Failure Cause Analysis annual report".