

원전 밸브누설 진단을 위한 음향특성 평가 연구

이상국, 이선기, 이준신, 이육륜, 김태룡

한전 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16, sglee@kepri.re.kr

1. 서론

원자력발전소에는 수많은 밸브가 사용되고 있으며 그 중 발전소 안전운전에 큰 영향을 주는 밸브는 동작 건전성 검사, 밸브내부 누설검사가 수행되고 있다[1]. 밸브내부의 누설은 밀봉부(seal)인 밸브 몸체/밸브 시트(seat)면의 이물질 삽입, 빈번한 밸브개폐에 따른 손상, 밸브 몸체/밸브 시트의 균열, 밸브 스템(stem) 패킹(packings) 또는 용접부위 결함 및 피로균열 등에 의해 발생하게 된다. 이러한 밸브누설로 인하여 유량증가나 밸브 1 차측 압력저하, 냉각기능 상실 및 방사선 물질 방출 등 안전계통에 저하를 가 져오게 되는 등 발전소 운전에 막대한 손상 및 사고를 초래하게 된다. 이러한 손상방지를 위하여 측정 정밀도가 높으며 미소 누설상태의 실시간 측정 및 평가가 가능한 음향방출법(acoustic emission method; AE 법) 도입에 의한 밸브누설 감시시스템 개발이 시급히 필요하다. 음향방출법에 의한 밸브내부 누설검사법은 밸브내부의 누설에 따라 발생하는 음향을 밸브 외부에서 검출하는 방법으로 실제 발전소 밸브에 실용화하기 위한 연구가 진행되어 왔다[2-5].

본 논문은 밸브 시트면의 미소누설로부터 발생 하는 음향특성을 분석하기 위한 기초 연구로서, 밸브 시트면의 누설을 모의하기 위하여 밸브시트 누설형상을 다양하게 변화시킨 각종 시험편을 준 비한 실험을 통하여 음향의 발생요인을 조사한 것이다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

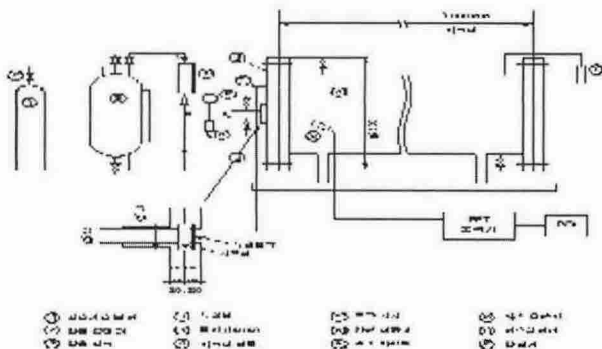


Figure 1. Experimental apparatus

실험장치의 개요도를 Fig.1 에 나타낸다. 압축 탱크는 질소가스로 가압된 물 또는 가압된 질소가스는 $\phi 500$ mm 의 대구경 플랜지(SUS 304)에 고정 설치되는 시험편의 누설구로부터 방출된다. 가 압수를 수중에 방출하는 경우는 플랜지에 아크릴 통을 부착하여, 누설구로부터 유체흐름을 가시화 할 수 있도록 하였다. 가압수 및 질소가스를 대기 중에 방출하는 경우는 아크릴 원통을 제거했다. 누설구 출구쪽 압력은 대기압이다.

2.2 실험방법

Fig.2 는 수중 마이크로폰의 주파수특성과 비교 하기 위해 측정용 음향센서와 거의 동일특성의 가 진용 음향센서를 플랜지에 부착하고 화이트 노이즈(white noise)를 가진 할 때의 주파수응답이다. 즉, (1)은 화이트 노이즈의 원신호, (2)는 측정용 음향센서의 주파수응답으로, 20 kHz와 60 kHz 부근 에서 피크를 나타낸다. (3)은 아크릴 원통중의 수 중 마이크로폰의 주파수 응답으로, 거의 평탄한 특성이지만, 가진용 음향센서의 주파수특성인 20 kHz와 60 kHz의 성분이 부분적으로 피크치를 가지는 주파수특성을 나타내고 있다

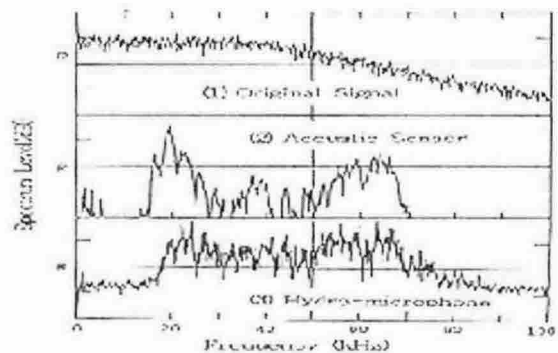


Figure 2. Frequency response AE sensor caused by whitenoise signal

음향센서로부터의 출력은 차증폭기(pre-amplifier)에서 40 dB 증폭되며, 다시 주증폭기(main amplifier: local processor)에서 20 dB 증폭시켰다. 음향출력은 실내공조에 의한 4 kHz이하의 저주파의 주변잡음을 여파(filtering)시키고, 4 kHz~100 kHz의 주파수범위의 실효치 출력전압(mV rms)을 교류전압계로 읽은 다음 2 채널 FFT 분석 기에서 스펙트럼분석을 행하였다.

밸브 시트면에서의 누설형상은, 시트면에서 밸브 몸체/밸브시트가 합쳐져 있으므로 간극 단면 형상으로 비교하여 유로가 긴 것이다. 기본적인 형상으로서 시트면에 이물질이 삽입된 경우는 슬릿(slit) 형상, 밸브몸체/시트에 손상이 있을 경우는 원형 혹은 삼각의 누설형상으로 예상 된다. 또한 누설유로가 길기 때문에 도중에 단면 형상이 변화하는 것도 고려해 볼 수 있다. 또한 밸브 몸체/시트의 합체부 출구로부터의 누설은 수 직단면에서의 누설은 아니고, 밸브몸체 혹은 시트에 인접하여 유체가 흐르고 음향발생에 물체의 영향을 받게 된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 누설형상과 누설량

Fig.3 은 형상비(aspect ratio)에 대한 누설량의 관계이다. 형상비가 큰 만큼 누설량은 감소한다. 밸브 시트면이 이물질을 삽입한 경우, 누설형상은 슬릿상이 되는 것이 예상되어 밸브 크기가 클수록 형상비가 커지므로 동일한 밸브 차압에서 누설량은 감소한다.

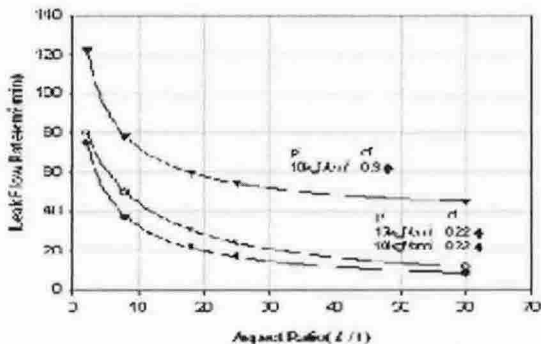


Figure 3. Relation between aspect ratio and leak flow rate

누설량은 두께가 1 mm~20 mm 인 경우는 구경과 함께 증가한다. 두께가 40 mm 의 경우는 두께 10 mm, 20 mm 의 경우와 비교하여 누설량이 적으며, 압력손실이 큰 것으로 생각된다.

3.2 누설시의 음향특성

누설음은 거의 유속과 함께 증가한다. 누설음 증가를 시작하는 유속은 구경에 대한 두께의 비(w/d)가 작을수록 빨라지는 경향이 있다. 유속과 누설음의 크기와의 관계를 회귀분석하여 구한 유속의 멱(누승)지수는 약 2.8~4.1 의 범위에 있다. 유속을 증가시키면 누설음의 크기가 포화하는 경우가 있으며, 포화된 경우는 유속의 증감으로 누설음의 크기에 이력(hysteresis)이 있다.

또한 유속의 감소에 대해서 누설음의 크기가 전체적으로 분산되는 경향이 있다. 유속이 작아도 누설음이 큰 경우이다.

두께 10 mm 로 구경을 변화시킨 경우, 구경이 클수록 누설음이 크다. 또한 구경이 일정하고 두께를 변화시킨 경우, 두께가 두꺼울수록 누설음이 작아지는 경향이 있다. 두께가 1 mm 인 경우 10 m /s 부근의 유속에서 누설음은 불안정하게 크다. 슬릿 시험편 경우의 누설음 크기이다. 수직구멍의 경우와 같이 어떤 유속에서도 증가한다. 누설음의 크기를 보면, 거의 동일한 단면적의 누설음의 크기와 비교해 유속에 대한 증가율이 크다. 유속에 대한 멱(누승)지수는 각각 5.5 및 5.8 이다. 단면적이 작으나, 형상비도 작기 때문에 누설음이 커지는 것으로 생각된다.

4. 결론

상온수가 수중으로 누설할 때의 분류를 관찰한 결과, 출구에 케비테이션 기포가 관찰되고 수중으로 누설할 때의 누설음은 출구에 있어서 제트소음의 전파에서는 없으며 주로 입구분리에 의한 케비테이션 노이즈가 지배적인 것이 명확하게 되었다. 케비테이션 기포의 발생은 누설부의 단면적 및 깊이에 따라 다르다. 수직공으로부터 수중으로 누설하는 경우, 누설음이 증가하기 시작하는 유속은 구경으로 달라지며, 유속에 대한 누설음의 증가는 구경에 관계없이 유속의 약 3.5 승에 비례 한다. 구경이 크면, 누설음도 커진다. 어떤 유속에서 누설음은 포화하며, 그때의 케비테이션 기포가 명확하다. 유속의 증감에 대해서 누설음에 히스테리시스가 있다. 또한 누설부가 깊으면 누설음은 작아지는 경향이 있다. 슬릿의 누설음은 수직공의 누설음보다 큰 경향이 있으나, 형상비 (aspect ratio) 와 단면적의 크기가 영향을 준다.

참고문헌

- [1] Hartman, W. F., Acoustic Monitoring of Relief Valve Position, EPRI NP-1313, p.1-42, 1980.
- [2] Allen, J. W., Hartman, W. F. and Robinson, J. C., Acoustic Monitoring of Power Plant Valves, EPRI NP-2444, p. 22-30, 1988.
- [3] Kumagai, H. and Suzuki, A., The Evaluation for Application of the Detection Method of Internal Valve Leak Using Acoustic Method, CREIPI Report No. T89 011, p.1-12, 1990.
- [4] Kumagai, H., Suzuki, A., Kitazima, A., Fukada T. and Tashiro, H., The Availability of the Detection Method of Internal Valve Leakage Using Acoustic Method, CREIPI Report No. T87112, p.1-42, 1988.
- [5] Kitazima, A., Monitoring of Valve Operation Conditions by Acoustic Method, CREIPI Report No. 285089, p.1-33, 1986.