

## 음향방출을 이용한 발전용 밸브 누설 진단 현장 적용 연구

### In-Situ Application Study on the Power Plant Valve Leak Diagnosis Using Acoustic Emission Technology

이상국

Sang-Guk Lee

초 록 발전소 밸브는 장시간 동안 고온고압하의 가혹한 조건으로 운전됨에 따라 밸브 시트(seat)면의 이물질 삽입, 시트의 균열, 스템(stem) 패킹(packaging) 또는 용접부위 결함 및 피로균열 등에 의해 누설손상이 발생하고 있다. 이러한 밸브 내부누설 상태를 정밀하게 진단하고 평가하기 위해서는 음향방출기술의 적용이 필요하며, 본 논문은 현장적용이 가능한 연구를 수행하고 그 결과를 소개하고자 한다. 또한 실제 발전소에서 운전되는 다양한 밸브 조건을 토대로 실험실 실험에 의해 주변잡음, 밸브누설시의 음향레벨 및 스펙트럼 특성을 분석하고, 발전소 현장실험 결과와의 비교분석을 통하여, 밸브 누설상태에 따른 주변잡음, 음향신호 및 측정 가능한 최소 누설검출량 등의 평가방법에 대해 고찰하였다. 실험실 실험 및 현장적용 연구결과로부터 밸브누설 여부를 포함한 상태 평가와 최소 측정가능 누설검출량 평가가 가능하였으며, 향후 본 연구는 발전설비 안전운전과 밸브누설로 인한 에너지 손실 예방에 크게 기여할 것으로 기대된다.

주요용어: 발전용 밸브, 누설진단, 음향방출, 발전소, 스펙트럼분석, 주변잡음

**Abstract** Valves in power plants are leaking internally by various damages including insertion of foreign objects on seat, seat crack, defects and fatigue crack of stem packing or welds etc. due to severe operating conditions such as high temperature and high pressure for extended period time. Acoustic emission(AE) technology should be applied in order to diagnose precisely and evaluate these valve internal leak. In this paper, results of studies which have accomplished in actual power plant are presented. We have analyzed background noise, AE signal level and frequency spectrum through laboratory tests on the basis of various actual conditions in power plant, and also have considered evaluation methods on the background noise, AE properties and the detectable minimum leak rate according to valve leak conditions through comparing with results of field tests in power plant. As a result of these studies, we conformed that evaluation of internal leak conditions including discrimination of leak or not, and the detectable minimum leak rate is possible, and also it is expected to contribute to safe operation and prevention of energy loss in power plants.

**Keywords:** Power Plant Valve, Leak Diagnosis, Acoustic Emission, Power Plant, Spectrum Analysis, Background Noise

#### 1. 서론

운전 중인 원자력발전소 밸브 내부누설을 진단

및 평가함으로써 밸브의 신뢰성 확보, 열손실의 극소화 및 설비의 안정적인 운전 확보, 불필요한 정비감소로 인한 경비절감 및 운전/보수계획에 대한

기준 제시 등을 기할 수 있다. 현재까지 이러한 손상방지를 위한 누설검사에는 레벨 감소 체크, 압력계를 이용한 입출구 압력차, 온도 및 습도측정, 내압(가압) 시험 및 진공(감압) 시험 등을 이용하여 왔으나, 미량의 누설상태(누설유무, 누설율, 누설속도 및 누설형상 등)의 정보에 대한 실시간 측정이 불가능하고 측정 신뢰도면에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 따라서 측정이 신속하고 측정 정밀도가 높으며 미량의 누설상태를 실시간 평가 및 감시(on-line monitoring)할 수 있는 음향방출(acoustic emission; AE) 기술의 적용이 필요하다[1].

발전용 밸브내부에서 발생하는 유체누설은 발전소 효율저하로 인한 출력손실로 막대한 경제적 손실을 일으킬 뿐만 아니라 밸브 시트(seat)면의 이물질 삽입, 시트의 균열, 스템(stem) 패킹(packaging) 또는 용접부위 결함 및 피로균열, 캐비테이션(cavitation), 플래싱(flashing) 및 침식(erosion) 등에 의해 밸브 및 트랩의 핵심 부품이 쉽게 손상되어 기기 성능 저하를 초래하게 되므로 이를 조기에 탐지하고 정량화하여 해당기기의 상태정보 제공을 통한 누설을 최소화하거나 예방하는 기술의 개발이 요구된다[2-6]. 고에너지 유체기기의 누설 또는 손상은 발전소 운전 및 정비 과정에서 반복적으로 발생되는 것으로 확인되었으며 이는 국내 원자력발전소 성능(출력)평가 과정에서도 재확인(출력 손실 3~7 MWe)된 바 있다. 이와 같이 고에너지 유체기기의 누설 및 손상은 유체누설을 조기에 탐지하고 감시함으로써 예방 또는 최소화가 가능할 것이다. 발전소 밸브에 음향방출법을 적용하기 위해서는, 적용 밸브의 주변잡음을 파악하고 실험실 실험 결과 및 방법에 대한 적정성 여부를 평가하는 것이 필요하다[7,8]. 따라서, 본 논문은 원자력발전소 정기점검시에 현장실험을 통하여 주변잡음(background noise), 음향신호 분석 및 측정가능 최소 누설 검출량 등의 누설상태 평가를 수행함으로써,

현장 밸브에 음향센서를 부착하는 방법 및 계측방법의 문제점 등에 대한 검토 및 실험실 실험의 결과와 비교하여 음향방출법의 검출능력을 평가한 결과를 서술하고자 한다.

## 2. 음향신호 검출방법

밸브누설진단을 위한 음향방출 신호검출은 원자력발전소 정기점검중에 수행하였으며, 대상밸브는 모두 12개 밸브이었으나, 본 논문에서는 그 중에 대표적인 A 밸브에서 F 밸브의 6개 밸브의 측정결과에 대해 설명하고자 한다. 현장밸브에 대한 밸브크기, 종류 및 실험방법을 Table 1에 나타내었으며 밸브종류 및 밸브크기가 각각 다른 밸브들을 선정하였다. 이중에 A 밸브와 B 밸브에 대해서는 밸브의 1차측(입구측)과 2차측(출구측)에 차압이 작용하고 있는 상태에서 정기검사 항목인 압력계에 의한 누설점검과 함께 음향방출 신호검출을 수행하였다. C 밸브에서 F 밸브에 대해서는 정기점검시 주변잡음을 측정하였다. 또한 B, C, D, E 및 F 밸브에 대해서는 주변잡음의 스펙트럼분석을 행하였다. 현장 밸브에 대한 누설검출방법을 Fig. 1에 나타낸다.

Table 1 Specifications and type of the test valve

Valve symbol	Size (inch)	Type	Test method
A	10	Check valve	Leak test by AE
B	10	Check valve	Leak test by AE
C	2	Check valve	Background noise measuring
D	3/4	Gate valve	Background noise measuring
E	1	Safety valve	Background noise measuring
F	6	Check valve	Background noise measuring

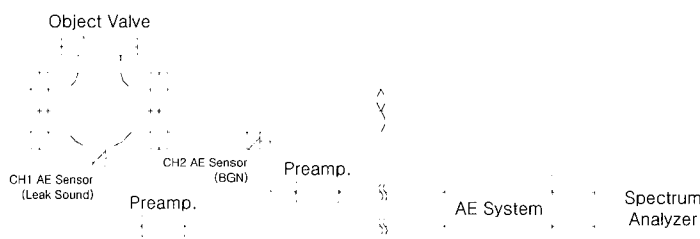


Fig. 1 Measuring method of leak sound and background noise

음향센서는 1개 밸브의 측정에 2개를 사용하였으며, 누설검출을 목적으로 하는 음향센서(CH1)는 밸브 디스크에 가까운 밸브몸체(valve body)에 부착하고, 다른 1개의 음향센서(CH2)는 주변잡음(background noise)을 검출할 목적으로 밸브로부터 떨어진 위치인 배관부에 부착하였다.

밸브 몸체와 배관부 2개의 음향센서의 출력은 음향센서와 가까이 설치한 전치증폭기(preamplifier)로 증폭하여 음향방출 측정시스템에 의해 양 센서의 출력레벨의 상대적인 증가비율로부터 누설유무를 판정하였다. 음향센서는 공진형 압전센서로 공진주파수 50 kHz와 70 kHz 이며, 전치증폭기는 주파수대역이 20 kHz~2 MHz로 이득(gain) 40과 60 dB중에 선택하도록 되어있다. 음향방출 측정시스템은 입력 채널수는 4개이며 주파수대역은 20 kHz~20 MHz이다. 측정치의 음향레벨로부터 누설량을 추정하는 방법은 동일한 형식의 밸브에 의해 누설시의 음향출력에 대한 실험실 실험이 없기 때문에 다른 동일한 크기 밸브의 시험결과를 적용하였다. 측정기중에서 전치증폭기의 내부 필터(filter)는 20 kHz~2 MHz이다. 또한 이득(gain)은 40 dB이다. 음향방출 측정시스템의 이득은 20 dB을 사용하였다. 스펙트럼분석기는 4채널 FFT방식이며 최대주파수는 100 MHz이다. 현장 밸브에 사용한 음향센서는 실험실 시험시 사용한 것과 동일한 센서를 사용하였다. 실험실 밸브에 영향을 주는 주변잡음은 현장밸브에 미치는 주변잡음에 상당하는 소음을 모의하였다. 실제 현장밸브 주위에 발생하는 주변잡음은 배관계통에서 전파되는 소음과 대기중으로 전파되는 공조소음 등의 돌발적인 외란이 있으며, 이와 같이 두 가지 형태의 주변잡음 모두를 음향센서가 감지하도록 하였다. 배관계통 소음은 노이즈 제네레이터(noise generator)와 필터(filter)를 조합시킨 신호로 배관의 한쪽 끝부분으로부터 가진센서(pulser sensor)를 이용하여 주변잡음을 발생시켰다. 노이즈 제네레이터는 화이트 노이즈(white noise)와 핑크 노이즈(pink noise)를 발생하게 되며, 필터에 의해 피크(peak) 주파수가 변화하는 주변잡음을 만들 수 있었다. 대기중을 전파하여 음향레벨에 영향을 주는 돌발적인 외란은 누설음이 가까운 고주파 스펙트럼을 나타내는 0.3φ 노즐에서 분류되는 소음을 밸브 주변에 생성시켜 외란을 만들었다. 주변잡음은 레벨이 거의 안정되게 유지시켰으며 주변잡음 레벨이 순시적으로 변동하는 외란

적인 주변잡음의 경우도 포함시켜 주변잡음을 모의하였다.

밸브에 음향센서 부착은 현장밸브에는 부착 치구를 용접 가공할 수 없기 때문에 Fig. 2에 나타난 것과 같이, 납(臘)상의 왁스(wax)로 부착하였다. 납땜의 가열정도로 녹혀 용점이 약 80 °C인 왁스는 정기점검시 대부분 밸브가 상온이므로 냉각되어 즉시 고착되어 중량이 약 150 g인 음향센서가 누설측정시의 단시간에 탈락하는 일은 없었다. 또한 납상이기 때문에 밸브 표면을 특별히 평편하게 할 필요는 없고, 음향적으로도 전파특성에 문제가 없음을 확인하였다. 그리고 왁스의 주성분은 천연 송진이며 왁스가 밸브소재에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

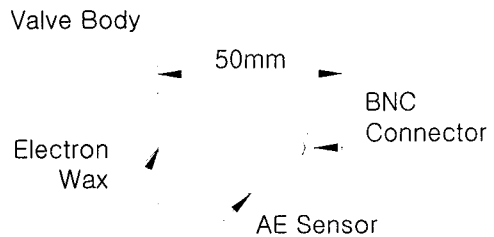


Fig. 2 Attachment method of AE sensor

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. A밸브의 누설진단 결과

발전소 정기 점검시의 밸브 누설진단은 밸브 완전 닫힘상태(full closing)에서 밸브 1차측과 2차측에 차압을 만들어 1차측에 압력저하가 없음을 버돈관식(Bourdon tube type) 압력계에 의해 육안으로 확인하였다. Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 A, B, D 및 E 밸브에 대한 음향센서 부착위치를 각각 나타낸다. 밸브 몸체의 음향센서가 CH1, 개방 선단(유체 출구측) 부분의 음향센서가 CH2이다. A 밸브의 경우, CH1과 CH2의 음향센서의 주파수특성과 감도가 서로 다를 수 있음을 확인하였다.

Fig. 6은 A 밸브누설 점검시에 있어서 1차측(유체 입구측) 압력과 2차측(유체 출구측) 압력의 시간경과에 따른 음향레벨의 변화이다. 누설점검 개시(③의 시각: 압력계확인의 화살표 위치) 전의 밸브 차압은 거의 동일하고 개시후의 밸브 차압은 약

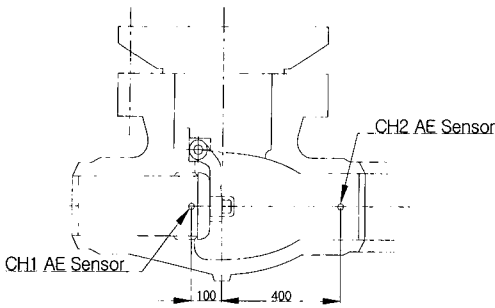


Fig. 3 Attachment method of AE sensor for A and B valve

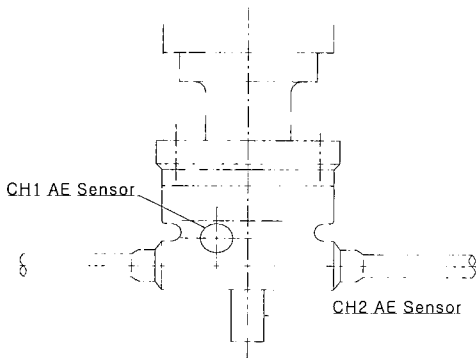


Fig. 4 Attachment method of AE sensor for D valve

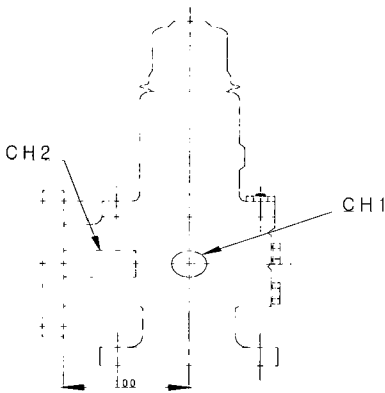


Fig. 5 Attachment method of AE sensor for E valve

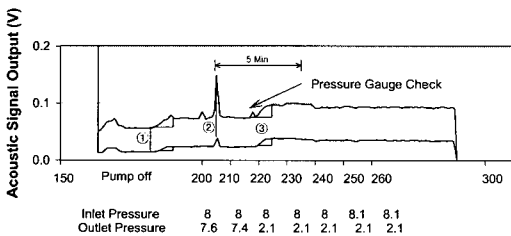


Fig. 6 AE level obtained from A valve

6 kg/cm<sup>2</sup>으로 된다. 누설점검 개시전의 CH1과 CH2의 음향레벨은 달라져 CH2의 레벨이 크다. 이는 센서의 부착장소가 달라도 음향센서의 감도가 서로 달라짐을 알 수 있다. 누설점검 개시후는 밸브에 차압이 생김과 동시에 CH1, CH2 둘 다 레벨이 증가한다. 밸브에 차압이 생기기 전후의 CH1과 CH2의 음향레벨의 변화로부터 누설유무를 판단하거나 CH1 레벨과 CH2 레벨의 상대비교로부터 증가하는 경향이 없는 것으로부터 누설은 발생하고 있지 않다고 판단하였다. 밸브에 차압이 생김과 동시에 주변잡음이 증가하는 것을 확인하였으며, 또한 차압이 생김으로서 음향레벨이 상승하여 거의 안정되기까지의 시간은 약 1분이 소요되는 것으로부터 밸브누설이 발생할 경우, 음향레벨의 상승시간이 길어지는 점을 알 수 있었다.

차압이 생긴 시점에서의 주변잡음의 증가이유는 명확하지 않았으나, 차압이 생기기 전인 ①의 시각에서도 CH1과 CH2에 동일한 형태의 음향레벨 증가가 있고, ③ 시각의 음향레벨의 증가비율도 동일하다. ②의 시각에 있어서 음향레벨의 증가는 돌발적인 외란에 의한 것으로 생각할 수 있었다. 또한 차압이 생김과 동시에 주변잡음 증가에 의해 작은 음향레벨의 누설이 발생한 경우는 주변잡음의 레벨중에 누설시의 음향레벨이 포함되어 누설검출은 가능하지 않았다. 이와 같은 경우는 누설시의 음향과 주변잡음의 스펙트럼 차의 비교에 의해 분리 또는 음향신호 도달시간차 분석에 의해 누설시의 음향신호와 주변잡음을 분리해내는 방법의 적용이 필요하다.

그리고 압력계에 의한 누설점검에서도 누설은 확인되지 않았다. CH1과 CH2의 센서간격은 실험실 실험의 경우와 같은 간격으로 하였으며 CH1의 누설음 레벨이 CH2에서는 약 1/2로 감쇠하지만 주변잡음 레벨보다는 훨씬 높은 크기의 레벨을 나타내므로, CH1의 누설음 레벨과의 상대비교가 가능한 정도로 감쇠하는 위치로 적합함을 알 수 있다. A밸브 및 B밸브의 CH1과 CH2의 센서간 거리가 충분히 취할 수 없었던 것은 밸브 위치와 배관보온의 관계 때문이다. A밸브의 센서간 최적거리의 대한 결정은 동일 밸브에 의한 모의 누설시험이 필요하지만, 거리 감쇠의 경향은 A밸브와 실험실 밸브에서 큰 차이가 없음을 판단하여 실험실 실험시의 동일한 센서간격으로 현장실험을 수행하였다.

Fig. 7은 실험실 실험에서 얻은 누설량에 대한 누설음 레벨과의 관계로, A 밸브의 CH1의 주변잡음 레벨을 겹쳐서 표시한 것이다. A 밸브의 주변잡음 측정결과로부터, A 밸브의 누설검출 조건을 실험실 실험과의 비교로부터 추정하였다. 실험실 밸브는 게이트 밸브이며 A 밸브와 형식이 다르다. 다만 밸브크기는 10인치, 압력등급이 1500 LB, 밸브 몸체 재료가 SCS14로 동일하다. 음향센서를 부착한 밸브몸체 위치의 밸브몸체 두께는 실험실 밸브가 약 58 mm, A 밸브는 56 mm이다. 또한 실험실 밸브의 모의누설상태는 밸브 시트면에 V노치 손상을 만들어 V노치 손상에 0.32 mmφ의 와이어를 끼워 넣어 밸브를 체결한 상태이다. 실험실 실험의 결과에서는 밸브 시트면에 이물질이 끼워진 슬릿상의 누설상태에서 밸브 크기에 따라 누설량에 대한 음향레벨이 다르다. 그러나, 실험실 밸브와 A 밸브에서는 밸브 형식이 달라 누설상태가 동일한 상태인 경우에서도 밸브의 구조적인 차이에 의해 누설음의 전파특성은 달라지는 것으로 생각되며, A 밸브의 검출조건은 추정조건으로 나타낼 수 있다. 또한 실험실 밸브와 A밸브에 사용한 음향센서는 감도가 다른 것이므로 A밸브에 사용한 센서의 감도를 실험실밸브의 감도에 맞추어 보정하였다.

Fig. 7에 있어서, A밸브의 주변잡음 이상의 누설음 레벨은 밸브 차압이 20 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 경우이고, 이 때의 누설량은 50 cc/min 이상이 된다. A밸브에 누설이 있었던 경우, 검출된 레벨은 A밸브의 주변잡음에 누설음 레벨이 합산된 레벨로 되므로 그림중의 일점쇄선과 같은 레벨이 된다. 따라서 실제로는 50 cc/min 이하의 누설량도 검출 가능한 것

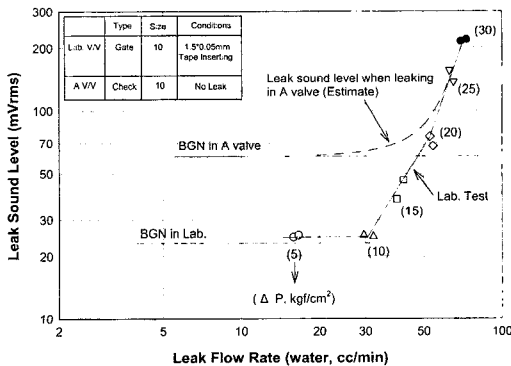


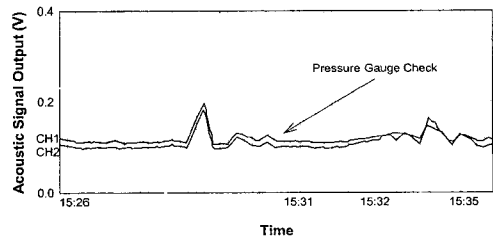
Fig. 7 Leak sound level for A valve(comparison of back-ground noise between lab. and site)

으로 생각된다. 다만 A밸브의 누설량 검출조건은 전술한 바와 같이 밸브 형식이 다른 실험실 밸브로부터의 추정한 결과이다. 밸브 누설을 장기적으로 감시하는 경우, 현재까지는 실제 현장에 있어서의 주변잡음의 변동을 고려하여, 주변잡음의 1.5배 크기를 한계값(threshold level)으로 하여 그 레벨이상이 검출 되었을 때 누설검출이 가능한 조건으로 설정하였으나, 본 연구를 통한 실험결과로부터, 정기 점검시의 누설진단시에는 단시간에 주변잡음이 변화하지 않는다면 주변잡음보다 조금 큰 레벨에서도 누설검출이 가능할 것으로 판단된다.

3.2. B밸브의 누설진단과 스펙트럼

Fig. 8은 B밸브에 있어서 누설점검시의 음향레벨을 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 CH1과 CH2의 음향센서 주파수특성과 감도는 거의 동일함을 알 수 있다. A밸브의 경우와 같이, 밸브에 차압이 걸린 후의 음향레벨의 변화를 보면, CH1과 CH2의 레벨이 밸브에 차압이 걸린 시점에서 증가하는 경향은 볼 수 없으므로 주변잡음 이상의 밸브 누설은 없다고 생각된다. 단 레벨이 변동하고 있으나 정상적인 증가경향이 아닌 외란적인 요인인 것으로 생각된다. 또한 CH2의 음향레벨도 주변잡음에 영향을 받고 있는 레벨을 나타내지만, 누설음이 발생할 경우에 CH1의 음향레벨과 상대비교가 가능한 정도의 레벨임을 알 수 있다.

B밸브의 누설검출 조건을 추정하기 위하여 작성한 그림을 Fig. 9에 나타낸다. Fig. 9에서 알 수 있듯이, 주변잡음 이상의 누설음 레벨은 약 110 mV 이상의 경우이며, 실험실 밸브와의 비교에 의한 검출 가능한 누설량은 약 60 cc/min 이상이 될 때이다. B밸브는 A밸브와 동일한 타입의 밸브이지만



Inlet Pressure 7K 7K 7K 7K  
 Outlet Pressure 7K 7K 1.5K 1.5K

Fig. 8 AE level obtained from B valve

밸브의 설치위치 또는 주변잡음의 시간변화에 의해 A밸브와 비교하여 주변잡음이 크기 때문에 검출 가능한 누설량은 A밸브보다 약 10 cc/min 정도 증가한다.

Fig. 10은 B밸브의 누설점검시 누설음의 스펙트럼을 분석한 결과를 나타낸다. Fig. 10에서 알 수 있듯이, 밸브에 차압이 없을 때와 5 kgf/cm<sup>2</sup>까지 변화시켰을 때 CH1과 CH2의 스펙트럼이다. 차압이 작용하기 전후의 스펙트럼의 특징은 거의 변화가 없는 것으로부터 스펙트럼의 비교로부터도 B밸브에는 누설이 발생하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 11은 B밸브와 동일한 밸브를 대상으로 밸브에서 누설이 발생하지 않을 때 취득한 음향신호의 스펙트럼을 분석한 실험실 실험결과이다. Fig. 10의 누설발생이 없는 B밸브에 대한 스펙트럼과 비교하면

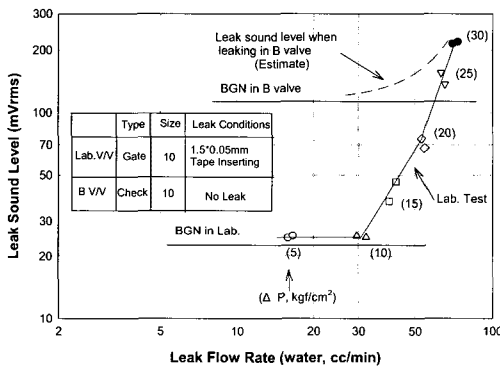


Fig. 9 Leak sound level for B valve(comparison of back-ground noise between lab. and site)

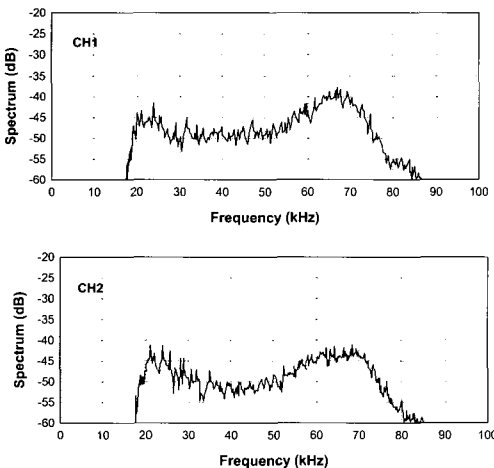


Fig. 10 Frequency spectrum of B valve ( $\Delta P = 0$  and  $5 \text{ kgf/cm}^2$ )

면, B밸브에서는 약 25 kHz와 60 kHz~70 kHz에서 피크성분을 나타내며 실험실 밸브에서는 약 20 kHz와 55 kHz~65 kHz에서 각각 피크성분을 나타내어 상호 유사한 주파수분포를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 12는 차압이 5 kgf/cm<sup>2</sup>이 작용하고 있는 상태에서 누설이 발생하는 실험실 밸브에서 취득한 음향신호의 스펙트럼을 분석한 실험실 실험결과이다. Fig. 10의 누설발생이 없는 B밸브에 대한 스펙트럼과 Fig. 12의 누설이 발생하는 실험실 밸브에 대한 스펙트럼을 서로 비교하면, 누설발생이 없는 B밸브에서는 20 kHz~30 kHz와 60 kHz~70 kHz에서 피크성분을 나타내는 반면, 누설이 발생하는 실험실 밸브에서는 15 kHz~40 kHz와 55 kHz~70 kHz에서 피크성분을 나타내며 85 kHz~95 kHz에서도 다소 높은 진폭의 주파수성분을 나타내고 있다. 따라서 Fig. 12에서와 같이 누설이 있을 경우는 피크성분이 고주파수대역으로 이동하며, 85 kHz~95 kHz의 고주파 성분을 나타내고 있는 것으로부터 누설여부에 대한 식별이 가능하며 이러한 결과를 활용한다면 실험실과 현장밸브간의 스펙트럼 분석 결과를 비교분석함으로써 누설상태를 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

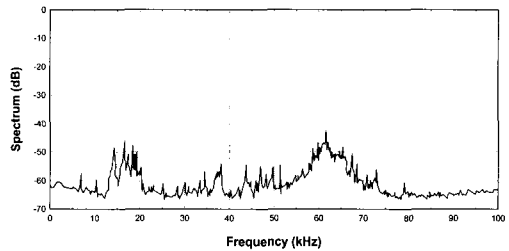


Fig. 11 Frequency spectrum of laboratory valve ( $\Delta P = 5 \text{ kgf/cm}^2$ , no leak condition)

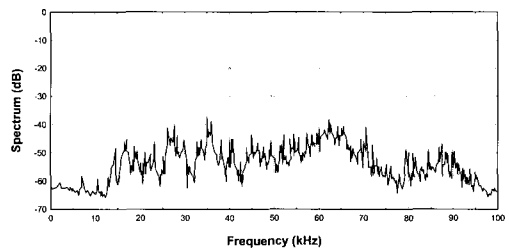


Fig. 12 Frequency spectrum of laboratory valve ( $\Delta P = 5 \text{ kgf/cm}^2$ , leak condition)

3.3. 주변잡음의 측정결과

Table 2는 발전소 현장밸브 C, D, E 및 F 밸브에서 측정된 주변잡음의 전압레벨과 스펙트럼분석에 의한 피크주파수를 측정된 결과를 나타낸다. C 밸브의 주변잡음은 CH1에서의 레벨은 약 118 mV이며 CH2에서의 레벨은 약 170 mV이었다. CH2의 레벨이 큰 것은 CH2의 음향센서가 배관부에 부착되어 있기 때문에 배관진동에 따른 공진, 밸브구동 모터 및 전자파 등의 잡음이 전파되기 쉬운 상태인 것으로 판단된다.

Fig. 13은 C밸브에서 취득한 주변잡음의 스펙트럼분석 결과를 나타낸다. CH1과 CH2 모두 20 kHz ~30 kHz에서 피크성분을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이들 결과는 향후 누설진단시 주변잡음 기준 주파수성분으로 참고할 수 있다. 그리고 D밸브는 3/4인치의 소형밸브이기 때문에 CH2 음향센서는 배관에 부착하지 않고 밸브 상부 플랜지에 부착

하였다. CH1과 CH2의 레벨은 0 mV로 되지만, 이는 음향방출 측정시스템의 아날로그/디지털변환기(A/D converter)에 따른 검파회로특성의 비직선성에 의한 것이며 거의 0 mV에 근접한 값을 의미한다. E밸브는 탱크상부에 설치되어 있는 안전밸브(safety valve)로써, 음향레벨은 0 mV로 측정되었다. 배관계에 설치되어 있지 않으므로 주변잡음이 작은 것으로 생각된다. 스펙트럼 분석결과, 20 kHz ~30 kHz 부근과 조금 작은 60 kHz~70 kHz 부근에서 피크성분을 나타내었다.

F밸브의 CH1의 레벨은 약 72 mV이며 CH2의 레벨은 약 40 mV를 나타내었다. F밸브의 스펙트럼 측정결과, 20 kHz~30 kHz 부근과 60 kHz~70 kHz 부근에서 피크성분을 나타내며 60 kHz~70 kHz 부근의 성분이 더 높게 나타내었다. 이상과 같이 주변잡음의 크기는 밸브 종류, 밸브 계통 및 주변설비의 소음특성에 따라 다르며, 또한 정기점검시므로 측정일시가 다르면 레벨도 변화하는 경우가 있다. 밸브에 따라서는 1000 mV 이상의 큰 주변잡음 레벨이 측정되어 음향방출법의 적용이 불가능한 밸브도 있었다. 따라서 주변잡음 크기의 평가는 밸브에 누설이 있는 경우의 누설음 크기와의 상대적인 비교에 의해 결정되므로, 주변잡음이 있는 밸브에서 미량의 누설을 검출하는 경우는 사전에 밸브 종류, 밸브 계통 및 주변설비의 소음특성 및 누설음 특성을 충분히 파악해 둘 필요가 있다.

Table 2 Level and peak frequency of background noise according to distance between sensors

Valve symbol	Background noise level		Spectrum (peak frequency) (kHz)	Distance between sensors (mm)
	CH1 (mV)	CH2 (mV)		
C	120	172	20	400
D	~0	~0	20	100
E	~0	~0	20, 65	100
F	72	40	30, 65	400

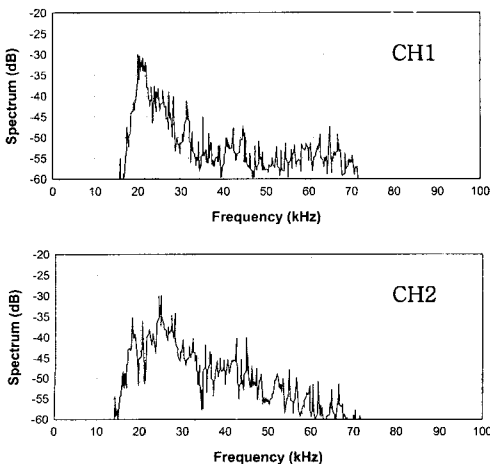


Fig. 13 Frequency spectrum of C valve

4. 결론

실제 발전소의 다양한 밸브 운전조건을 토대로 하여 밸브 운전중의 주변잡음, 밸브누설시의 음향레벨 및 스펙트럼 특성분석을 실험실 모의실험으로 수행하고, 그 결과를 발전소 현장실험 결과와 비교 분석하는 현장적용 연구를 통하여 밸브 누설상태에 따른 주변잡음, 음향신호 및 측정 가능한 최소 누설검출량 등의 평가방법에 대해 고찰하고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 발전소 진단대상 밸브에 상응하는 현장조건을 이용하여 동일한 실증밸브에 대해 실험실 실험을 수행하고, 그 결과를 발전소 현장밸브와 비교 분석함으로써 누설진단의 정확도를 향상시킬 수 있다.

- 2) 누설검사 대상밸브의 주변잡음의 측정은 측정가능한 대상밸브를 선정하고 최소 누설검출량을 결정하는 매우 중요한 과정으로, 누설진단 이전에 대상밸브에 대한 주변잡음 레벨 평가가 반드시 필요하다.
- 3) 누설발생에 따라 주파수 피크성분이 고주파대역으로 이동함을 확인하였으며, 이러한 결과로부터 검출된 주변잡음 및 누설신호에 대한 음향신호의 레벨분석을 수행함과 함께 스펙트럼 분석에 의해 주파수성분을 상호 비교함으로써 누설유무의 검출능력을 높일 수 있다.
- 4) 발전소 현장의 주변잡음 레벨을 기준으로 실험실 모의누설시험을 수행하여 주변잡음, 밸브의 차압 및 음향방출 신호레벨을 측정하는 방법을 이용함으로써 밸브 내부누설 유무, 누설검출 조건 및 누설량 평가가 가능하였다. 본 연구에 있어서, 현장밸브와 동일한 실증시험 밸브를 이용한 실험실 실험 결과와 발전소 현장밸브와의 비교로부터, 발전소 현장밸브의 검출가능한 누설량은 밸브 차압이  $20 \text{ kg/cm}^2$  이상일 때 약  $50 \sim 60 \text{ cc/min}$  이상의 누설이 발생할 때 검출가능한 것으로 평가되었다.
- 5) 발전소 현장의 열악한 환경에서 신호취득을 위한 음향센서의 최적 부착 방법 및 계측방법을 확인하였다.
- 6) 실험실 데이터와 현장 밸브별로 운전조건, 주변잡음 및 음향신호 데이터취득 및 이력관리 등을 통하여 특성을 활용한다면, 대상밸브에 대한 실시간 누설유무 감시가 가능하며 적용 대상밸브의 범위를 확대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Joseph G. Dimmick et al., "Acoustical valve leak detector for fluid system maintenance," Naval Eng. Journal, pp. 71-83, (1979)
- [2] W. F. Hartman : Acoustic Monitoring of Relief Valve Position, EPRI Report, NP-1313, pp. 1-42, (1980)
- [3] A. A. Pollock and S. Y. S. HSU, "Listening to leaks," Noise & Vibration Control Worldwide, Vol. 13, No. 9, pp. 374-376, (1982)
- [4] H. Wichmann and D. Phillips, "Acoustic emission techniques for locating internal leakage of redundant components," Journal of Spacecraft, Vol. 21, No. 1, pp. 36-40, (1984)
- [5] Anon, "Acoustic emission for detection of leakage in pipelines," Noise & Vibration Control Worldwide, Vol. 17, No. 2, pp. 66-67, (1986)
- [6] A. Kitazima, "Acoustic leak detection in piping system(Part1)," CREIPI Report No. 277059, pp. 21-32, (1988)
- [7] 이상국, "음향방출기술에 의한 발전설비 비파괴 검사 및 응용", 비파괴검사학회지, Vol. 24, No. 4, pp. 396-409, (2004)
- [8] 이상국, 이준신, 손석만, 이육륜, "음향방출기술에 의한 밸브누설진단기술의 현장적용 연구," 비파괴검사학회 추계학술대회 논문집, KSNT/FC0008, pp. 64-69, (2005)