

음향방출법에 의한 발전용 밸브내부 누설의 스펙트럼분석 연구

이상국[†]·이선기*·이준신*·손석만*

A Study on the Spectrum Analyzing of Internal Leak in Valve for Power Plant Using Acoustic Emission Method

Sang-Guk Lee, Sun-Ki Lee, Jun-Shin Lee and Seok-Man Sohn

Key Words: Acoustic Emission Method(음향방출법), Valve(밸브), Internal Leak(내부누설), Power Plant(원자력발전소), Spectrum Analyzing(스펙트럼분석)

Abstract

The purpose of this study is to estimate the availability of acoustic emission method to the internal leak of the valves at nuclear power plants. The acoustic emission method was applied to the valves at the site, and the background noise was measured for the abnormal plant condition. From the comparison of the background noise data with the experimental results as to relation between leak flow and acoustic signal, the minimum leak flow rates that can be detected by acoustic signal was suggested. When the background levels are higher than the acoustic signal, the method described below was considered that the analysis the remainder among the background noise frequency spectrum and the acoustic signal spectrum become a very useful leak detection method. A few experimental examples of the spectrum analysis that varied the background noise characteristic were given.

1. 서 론

발전소에는 수많은 밸브가 사용되고 있으며 정기점검시에는 정기적으로 건전성 검사가 수행되고 있다. 이 때문에 발전소의 안전운전에 영향을 주는 밸브 및 안전작업의 대상이 되는 중요한 밸브에 대해서는 동작 건전성검사 및 밸브내부 누설검사가 실시되고 있다[1].

밸브내부에서의 누설은 밀봉부(seal부)인 밸브몸체/밸브하부 시트(seat)면에 이물질 삽입, 빈번한 밸브 개폐에 의한 손상, 밸브몸체/밸브 시트의

균열 등이 원인이 되어 발생하며, 이러한 결과 유량증가 또는 밸브 1차측에서의 압력저하를 초래한다. 밸브내부의 누설검사는 현재까지 압력계를 이용하여 수행하여 왔으나, 음향방출법에 의한 밸브내부 누설검사법은 밸브내부의 누설에 따라 발생하는 음향을 밸브 외부에서 검출하는 간편한 방법으로 실제 발전소 밸브에 실용화하기 위한 개발이 진행되어 왔다[2-6].

본 논문은 실제 발전소의 대형 밸브를 대상으로 음향방출법을 이용하여 밸브내부 누설검출의 현장 실증실험을 수행하고 음향방출법에 의해 밸브내부의 미소누설 검출이 가능한 성능이 있음을 확인하였으며, 또한 실제 발전소 밸브에 있어서 주변환경소음(background noise)가 큰 경우의 누설 검출에 대해서는 주변환경소음을 스펙트럼분석에 의해 소거하는 방법으로 누설검출의 성능을 향상시키는 방법을 검토한 것이다.

[†] 한전 전력연구원

E-mail : sglee@kepri.re.kr

TEL : (042)865-5512 FAX : (042)865-5514

* 한전 전력연구원

2. 스펙트럼분석에 의한 밸브누설 판별법

실제 발전소 밸브의 경우 주변환경소음이 크기와 레벨이 변동하기 때문에 누설시의 음향레벨과 주변환경소음과의 상대비교만으로는 누설검출에 있어서 충분한 신뢰성을 얻을 수 없을 것으로 예상된다. 그 때문에 누설유무의 검출을 음향레벨로부터 판정하는 등 음향신호의 시간영역의 상관해석에 의해 누설음의 도달시간차로부터 판별하는 방법도 곤란하다. 따라서 보다 간편하게 현상이 용이 가능하고 누설유무의 판별에 효과적인 방법으로서, 음향신호의 주파수 스펙트럼의 차를 취하여 주변환경소음의 영향을 제거할 수 있는 방법에 대해 실험적으로 검토하였다.

2.1 실험장치 및 방법

2.1.1 실험장치

실험에 사용된 밸브는 10인치 밸브와 3인치 밸브이며, 3인치 밸브는 PWR 가압기 방출밸브(안전밸브)와 동일한 밸브이다. 실험은 밸브의 1차측과 2차측에 길이 1m의 플랜지 배관을 연결하고, 배관으로부터 주변환경소음을 가진하였으며 누설음의 감쇠를 조사하였다. Fig.1은 실험방법의 블록도를 나타낸 것이다.

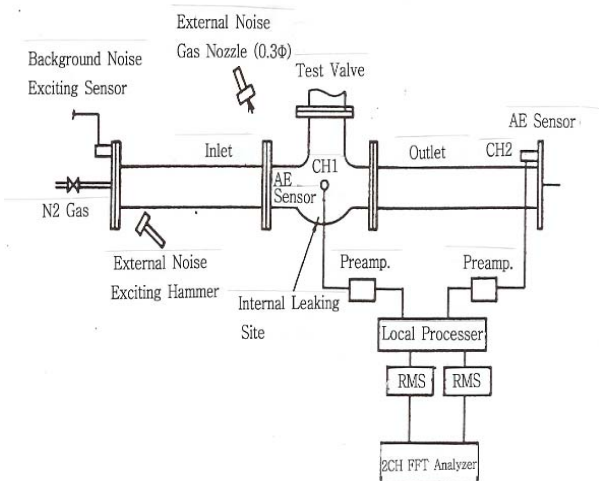


Fig.1 Block diagram of experimental methods

음향센서는 PZT(실리콘산티탄산연자기) 타입의 공진형 AE센서를 사용하였다. 공진주파수는 50kHz와 70kHz의 것이다. 음향센서와 가까이 설치한 전치증폭기의 주파수대역은 100Hz~20MHz이며 이득(gain)은 40dB이다. 또한 로컬 프로세서(주증폭기)의 주파수대역은 1kHz~1MHz로 이득은 20dB이다. 전치증폭기 및 주증폭기의 주파수대역은 누설음의 하한 주파수의 영향을 볼 수 있기 때문에 20kHz이하의 주파수대역에 대해서도 검토하였다. 누설음의 스펙트럼분석은 2ch FFT분석기를 사용하였다. 최대 주파수는 100kHz이다.

시험밸브에 주변환경소음에 상당하는 모의음을 부여하기 때문에, 누설음을 수신하는 것은 별도의 음향센서에 소음발생기(noise generator)와 여파기(filter)를 조합한 신호를 줌으로서 주변환경소음을 만들었다. 소음발생기는 화이트노이즈와 핑크노이즈를 발생시킨다. 여파기(filter)에 의해 피크 주파수가 달라진 주변환경소음을 만들었다. 주변환경소음은 레벨이 거의 안정되어 있는 것으로 생각되며 레벨이 순간적으로 변동하는 외란적인 음으로서, 배관을 타격하는 음 및 타격음에 의해 다소 변동시간이 긴 환경소음을 모의한 음을 부여하였다.

2.1.2 실험방법

밸브 누설 유체는 질소가스를 사용하였다. 밸브의 누설상태는 밸브몸체에 균열결함을 만들었다. 결함의 형상 및 깊이는 미소누설을 미소누설이 발생하는것과 같이 임의로 제작하였다. 누설량은 밸브차압을 변화시켰으며 2차측 압력은 대기압이다.

실험은 밸브에 차압을 만들어 누설을 발생시키고, 밸브(CH1)과 배관(CH2)에 부착된 음향센서에 의해 주변환경소음이 있는 경우 및 외란이 있는 경우의 스펙트럼분석을 행하였다. 스펙트럼분석의 샘플링 포인트는 2,048포인트이며, 약 50회의 데이터 값을 평균하였으며 분석시간으로 약 60sec이나, 이들 분석조건은 더 짧아도 좋다. 스펙트럼 레벨은 데시벨로 표시되며, 밸브(CH1)과 배관(CH2)의 스펙트럼 차를 구할 경우는 스펙트럼 차가 양(+)의 경우만 표시한다. 스펙트럼 차가

음(-)인 경우는 오류(error)가 되는 것으로 디스플레이상에 표시되지 않는다.

또한, 밸브박스과 배관에 음향센서를 부착하여 출력과 스펙트럼을 비교하는 경우, 2개의 음향센서는 거의 동일한 감도와 주파수특성을 가진 것을 선택하는 것이 필요하고, 시판되는 음향센서에 대해서 간이적인 교정을 행하여 사용하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 스펙트럼분석에 의한 누설검출 결과

우선, 누설음에 주변환경소음을 줄 때의 누설음과 음향레벨과의 관계를 조사한 것을 Fig.2에 나타낸다. 주변환경소음이 실험실내의 음향레벨로 있을 때 누설음만의 레벨은 거의 누설량과 함께 증가한다. 주변환경소음을 가진 경우는 주변환경소음에 누설음이 합쳐진 음향레벨이 된다. 음향레벨에 의해 누설음을 검출하는 경우는 음향레벨의 변동에 의해 주변환경소음보다 큰 문턱값(threshold value) 레벨이상에서 누설을 판정할 필요가 있다. 스펙트럼분석에 의한 누설음의 검출은 정성적인 누설유무의 판정법이며, 누설에 의한 음향레벨이 주변환경소음에 가까운 경우에서도 누설유무의 판정이 가능하다.

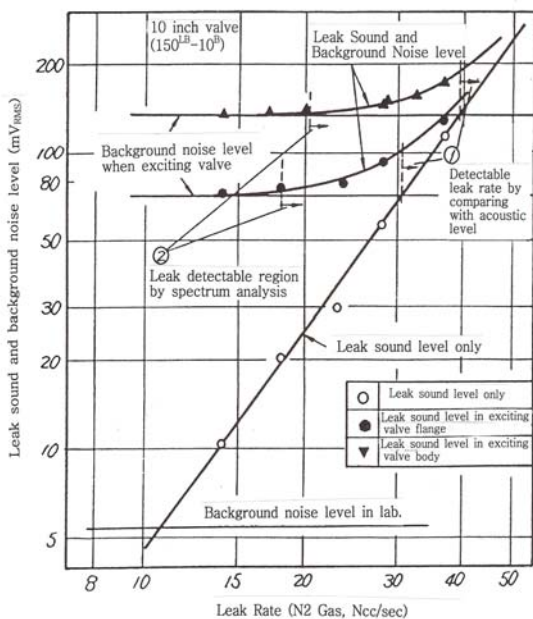


Fig.2 Comparison of acoustic signal by leak and background noise

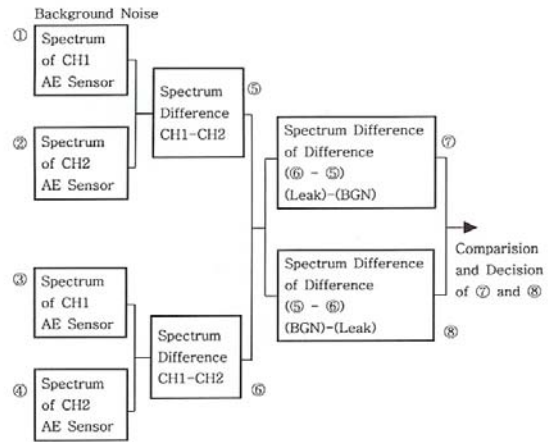


Fig.3 Prediction procedure of leak detection by spectrum analysis

Fig.3은 누설 유무를 스펙트럼분석에 의해 판정하는 순서도이다. 검출방법은 음향센서 1개에 의한 방법에서도 가능하나, 2개에 의한 방법이 주변환경소음의 영향을 최소화할 수 있다. Fig.12는 2개의 센서에 의한 판정 순서를 나타낸다.

우선, 주변환경소음 측정시 밸브(CH1)과 배관(CH2)의 스펙트럼분석을 행하고, 그 스펙트럼 차 ⑤를 플로피 디스크 등에 저장한다. 그 다음 밸브에 차압이 있을 때의 스펙트럼을 행하여 그 스펙트럼 차 ⑥을 취하고, 앞의 스펙트럼 차 ⑤와 서로의 차를 취하여(⑦과⑧) 비교한다. 누설검사시의 스펙트럼에서 주변환경소음 측정시의 스펙트럼을 뺀 스펙트럼이 그 반대 차의 스펙트럼보다 특징적인 스펙트럼을 나타내면 누설이 있는 것으로 판정한다. 음향센서 2개에 의한 검출 예를 이하에 나타낸다.

Fig.4는 배관에 주변환경소음이 가진되고 있는 경우에 밸브에 미소 누설이 발생한 경우의 음향레벨이다. 파형①과 ②는 각각 밸브에 누설이 발생하고 있지 않을 때의 주변환경소음에 의한 음향레벨이다. 다음으로 밸브에 미소누설이 발생하였을 경우인 CH1과 CH2의 음향레벨은 각각 파형③과 ④와 같이 되고, CH1의 음향레벨은 55mV에서 59mV로 증가하였다. CH2의 음향레벨은 밸브로부터 떨어져 있기 때문에 그 증가율은

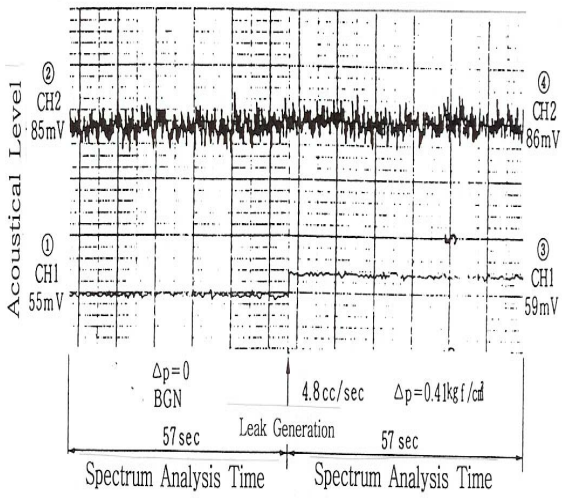


Fig.4 Acoustic signal by gas leak with background noise

CH1에 비해 작다. CH1과 CH2의 음향레벨 증가율로부터 누설발생을 판정하는 것은 곤란하다. 따라서, 음향출력의 스펙트럼분석에 의한 판정절차에 따라 누설을 판정한 결과를 Fig.5에 나타낸다. Fig.5에 있어서, CH1의 주변환경소음에 대한 스펙트럼 ①과 누설발생시 ③의 스펙트럼을 직접 비교해서도 누설발생 판정은 용이하지 않다. 주변환경소음과 누설발생시의 CH1에서 CH2의 스펙트럼 차를 뺀 스펙트럼이 ⑤와 ⑥이며, 또한 그 스펙트럼 차의 차를 취한 스펙트럼이 ⑦과 ⑧이다. 이 ⑦과 ⑧의 양쪽 스펙트럼을 비교함으로써 누설유무의 판정을 행한다. ⑦의 스펙트럼은 ⑧의 스펙트럼과 비교하여 화살표로 표시한 20kHz와 60kHz 부근에서 피크를 나타낸 성분이 남아있다. 따라서 누설은 발생하고 있다고 판정할 수 있다. ⑦과 ⑧ 양쪽의 스펙트럼을 비교함으로써 파형의 대칭성을 잘 파악할 수 있으며,

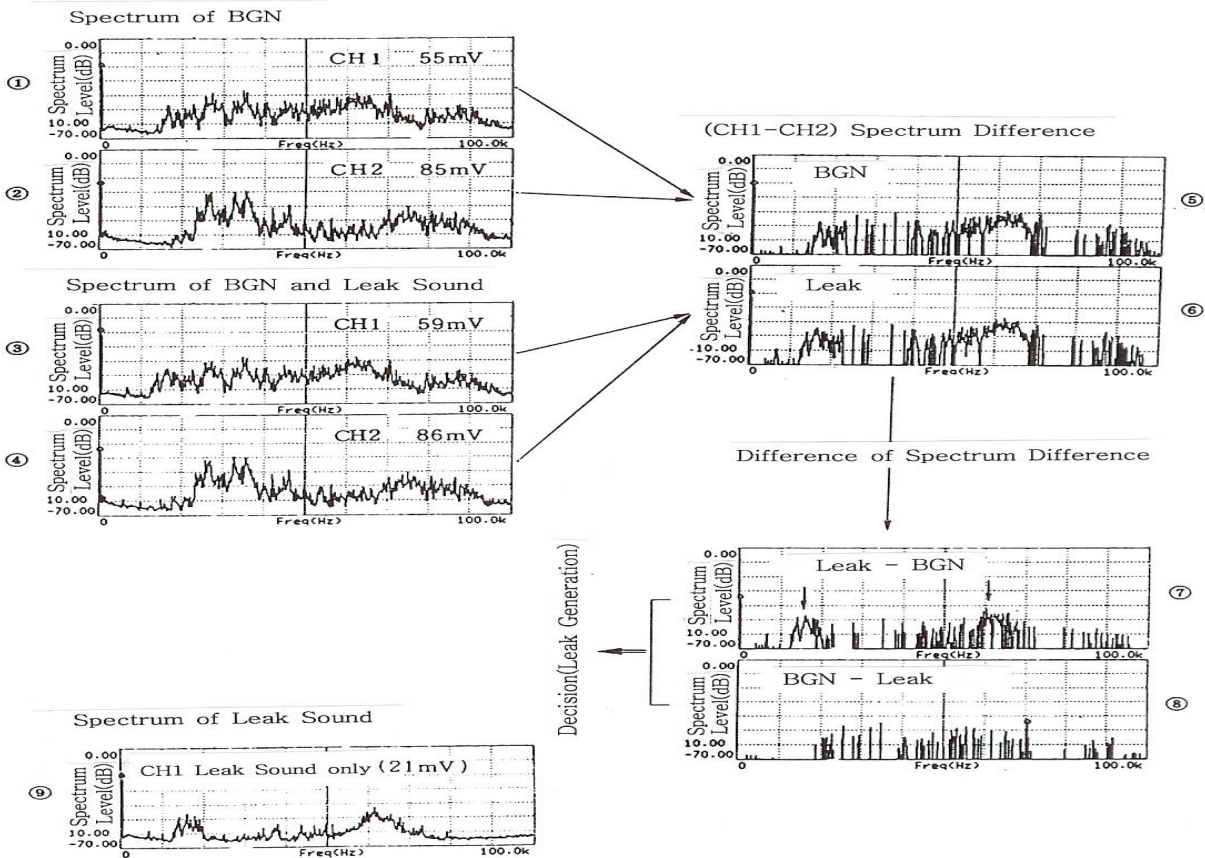


Fig.5 Leak detection by spectrum analysis

비로소 누설발생 판정이 가능해진다. 또한 ⑦과 ⑧ 양쪽의 스펙트럼에 있어서 선 스펙트럼이 많은 주파수대역은 누설이 있어도 변화하지 않고 주변환경소음과 거의 동일한 레벨이기 때문에 주변환경소음의 시간경과에 따라 변동하는 선스펙트럼으로 표시되고 있다. 또한 주변환경소음을 가진하지 않고서 CH1에 있어서 누설음 만의 스펙트럼을 본 것이 ⑨이다. 실제로는 주변환경소음에 숨겨져 보이지 않는 스펙트럼이 있으나, ⑦의 스펙트럼 즉, 누설발생시의 스펙트럼 차에서 주변환경소음의 스펙트럼 차를 뺀 것과 거의 동일한 스펙트럼이며, 본 방법에 의해 주변환경소음의 영향이 제거되고 있음을 알 수 있다.

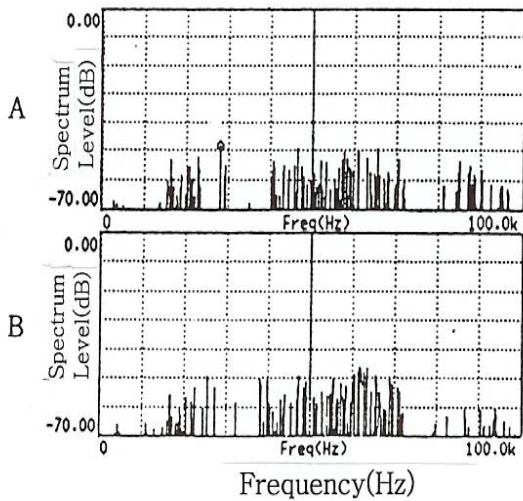


Fig.6 Leak sound detection by spectrum analysis

Fig.4에 있어서 누설이 없었던 경우의 스펙트럼차의 차(⑦과 ⑧)를 나타낸 것이 Fig.6이다. Fig.5의 결과와 비교하여 알 수 있듯이 스펙트럼에 누설음의 특징이 나타나지 않는다.

2.2.2 외란이 있는 경우의 누설검출결과

실제 밸브의 밸브누설검사시에 있어서 밸브를 포함한 배관계의 주변환경소음에는 배관을 두들기는 음이나 공기중을 전파하는 공조소음 등이 있으며, 이와 같은 외란적인 음도 음향센서는 감지

한다. 따라서, 공기중을 전파하여 음향레벨에 영향을 주는 돌발적인 외란으로서, 누설음에 가까운 고주파 스펙트럼을 나타내는 0.3 Φ 노즐에서 분류음을 준 경우의 검출 예를 나타내었다.

Fig.7과 Fig.8은 각각 음향레벨의 변화와 스펙트럼 비교에 의한 누설유무의 판정결과를 나타낸다. Fig.7에 있어서, 평균적인 주변환경소음 레벨의 상에 레벨변화가 다른 분류음에 의한 외란이 들어 있다. 밸브의 미소누설발생에 의해 CH1의 음향레벨은 57mV에서 58mV로 증가하였다. CH2의 음향레벨은 87mV에서 변화하지 않았다. Fig.8에 나타낸 스펙트럼 비교에 의한 누설유무의 판정결과에 있어서, ⑦과 ⑧의 스펙트럼의 비교로부터 ⑦에 있어서 피크성분이 많고 또한 외란이 없는 경우의 미소누설검출 결과와 같아 주변환경소음에 가까운 누설에 의한 음향이 발생하고 있는 경우에도 누설검출이 가능하다.

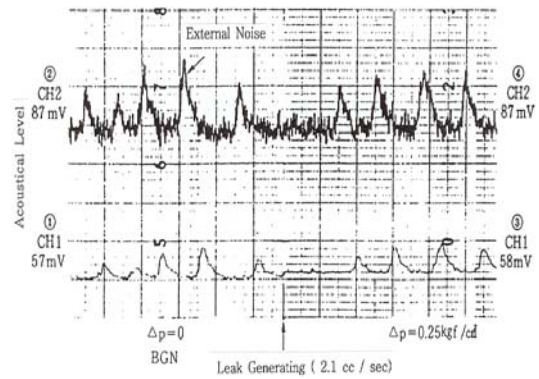


Fig.7 Acoustic signal by gas leak with background noise

3. 결 론

발전소에 있어서 음향방출법에 의한 밸브내부 누설검사법의 개발을 목적으로 실제 밸브를 이용하여 밸브내부 누설시 음향특성을 파악하고, 그것에 기초한 검사법의 적용성을 검토하였다. 이와 아울러 실제 발전소 밸브의 주변환경소음이 문제가 되는 것을 파악하였다. 주변환경소음이 큰 경우의 누설 검출에 대해서 주변환경소음을 스펙트럼분석에 의해 소거하는 간편한 방법을 검토함으

로서 음향방출법에 의한 밸브내부 누설검사법의 실용성을 확인하였다.

CREIPI Report No. 285089, pp.1-33

(6) Kitazima, A., 1988, "Acoustic Leak Detection in Piping System(Part 1)", CREIPI Report No. 277059, pp.21-32

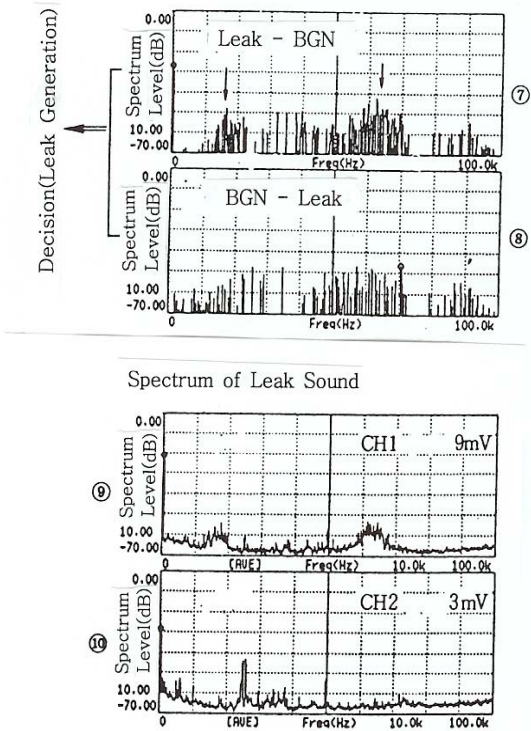


Fig.8 Leak detection by spectrum analysis

참고문헌

- (1) Hartman, W. F., 1980, "Acoustic Monitoring of Relief Valve Position", EPRI NP-1313, pp.1-42
- (2) Allen, J. W., Hartman, W. F. and Robinson, J. C., 1988, "Acoustic Monitoring of Power Plant Valves", EPRI NP-2444, pp.22-30
- (3) Kumagai, H. and Suzuki, A., 1990, "The Evaluation for Application of the Detection Method of Internal valve Leak Using Acoustic Method", CREIPI Report No. T89011, pp.1-12
- (4) Kumagai, H., Suzuki, A., Kitazima, A., Fukada T. and Tashiro, H., 1988, "The Availability of the Detection Method of Internal Valve Leakage Using Acoustic Method", CREIPI Report No. T87112, pp.1-42
- (5) Kitazima, A., 1986, "Monitoring of Valve Operation conditions by Acoustic Method",