

마이크로폰 어레이를 이용한 배관의 누설 여부 및 누설 위치의 추정 Detection and localization of leak in the pipe line under noisy situation by using the microphone array

서대훈† · 전중훈* · 김양한**

Dae-Hoon Seo, Jong-Honn Jeon, Yang-Hann Kim

1. 서론

원전의 배관 시스템에 누설이 발생하면 누설 부위를 통해 배관 내부의 gas와 유동 소음이 외부로 방사된다. 이 때 누설에 의해 발생하는 소음을 이용하면 누설 여부의 조기 판단과 신속한 누설 위치 추정을 동시에 수행할 수 있는 원전 누설 상태 진단이 가능하다. 즉, 원전 2 차 계통 소음 이용하여 누설이 발생하였는지 감지할 수 있을 뿐만 아니라, 마이크로폰 어레이에 측정된 누설 소음의 공간 분포를 이용하여 누설 발생 위치를 추정할 수 있다.

위의 두 가지 목적을 달성하기 위해서는 우선, 누설음의 시간 및 주파수 특성을 살펴볼 필요가 있다. 이를 근거로 누설 여부 조기 감지에 적합한 방법을 제시할 수 있다. 두 번째로 알고리즘이 간단하여 실시간 신호처리가 가능한 빔형성 방법^[1]을 적용하여 누설 부위의 위치를 추정한다. 빔형성 방법의 경우, 소음원의 모델링을 통해 음원의 위치를 추정하는 방법이므로 이를 적용하기 위한 누설음의 특성 파악을 통한 적합한 모델 선정이 필요하다.

2. 누설 신호의 특성을 이용한 누설 탐지 방법

2.1 실험 장치

누설음의 특성을 파악하기 위하여 Fig.1 (a)와 같이 축소 모형의 증기 발생 장치를 이용하여 실험을 수행하였다. 직육면체 모양의 실험실은 6.5m*3m*3m의 크기를 가지며 탱크에 저장된 물을 온도 및 압력 제어 장치를 이용하여 고온, 고압의 수증기를 발생시킨다. 따라서 Fig.1 (b)와 같이 실제 원전 시스템에서 발생하는 결함의 형태를 고려하여 10mm 크기의 슬릿 형태로 찢어진 파이프를 부착하여 밸브 개방시 고온, 고압의 수증기가 외부로 방사된다.

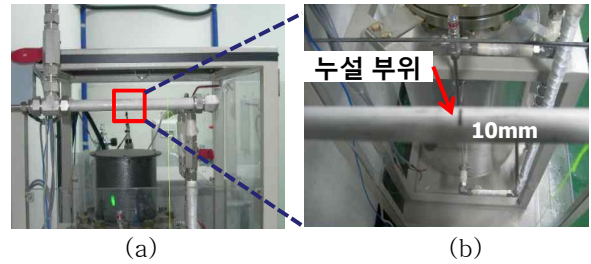


Fig. 1 (a) 증기 발생 장치 (b) 누설 부위

2.2 누설 신호의 시간 및 주파수 특성

실제 원전 내부에서 누설이 발생할 때 측정된 신호는 누설음 뿐만 아니라 원전 내부에서 발생한 작동 소음을 포함한다. Fig. 2는 원전 소음이 존재하는 상황에서 누설음을 측정된 신호를 보여 준다. 배경 잡음으로 사용한 원전 소음은 울진 원자력 발전소에서 레코딩한 신호를 스피커를 이용하여 지속적으로 발생시켰으며, 누설은 4~5 초 사이에 발생한다. Fig.2 (a)에서 알 수 있듯이 시간 영역의 신호만으로는 누설 여부 및 누설이 발생한 시점을 판단하기 힘들다. 반면에 Fig.2 (b)와 같이 원전 소음 및 누설 신호를 주파수 영역에서 살펴 보면 2kHz 이하의 대역에서는 원전 소음이 지배적인 반면에 2kHz 이상 특히 8kHz 이상의 대역에서는 누설음이 원전 소음에 비하여 신호대 잡음비가 20dB 이상임을 알 수 있다.

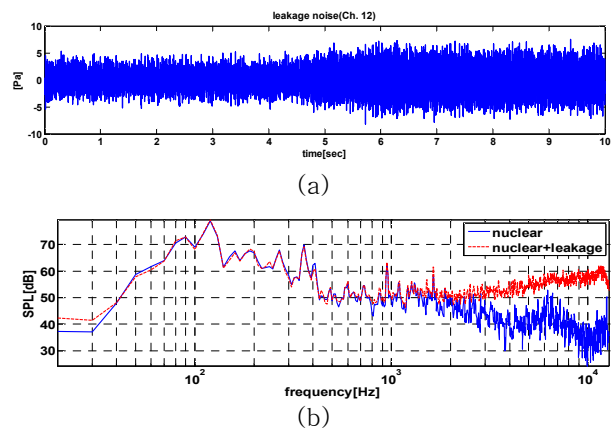


Fig. 2 (a) 누설 전후의 측정신호(SNR=15dB), (b) 누설 전후의 스펙트럼(분해능 1Hz, 50% 오버랩, 7회 평균)

† 교신저자: 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터
E-mail : huny@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3065, Fax : (042) 350-8220

* 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터

** 한국과학기술원 소음 및 진동 제어 연구 센터

2.3 누설 신호의 특성을 이용한 누설 탐지 방법

음압 레벨이 비슷한 누설음과 원전 소음이라도 8kHz 이상의 주파수 영역에서 약 20dB 신호대 잡음비를 얻을 수 있다. 따라서 8kHz 이상의 스펙트럼을 비교하여 누설여부를 효과적으로 판단할 수 있으며 Fig.3 은 이 특성을 이용한 알고리즘을 나타낸다.

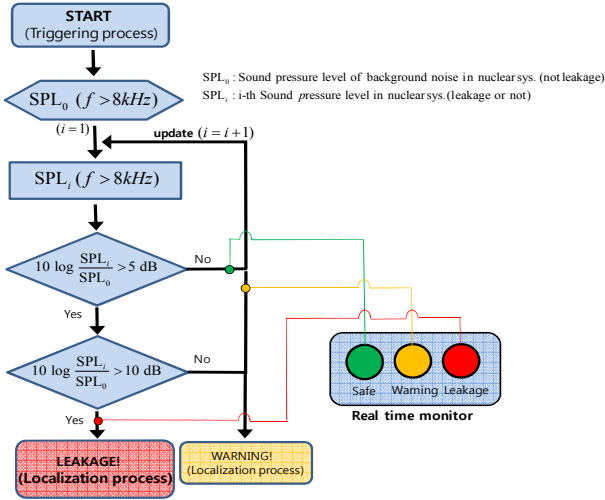


Fig. 3 누설 여부 판단을 위한 알고리즘

3. 빔형성 방법을 이용한 누설 발생 위치 추정

3.1 누설 위치 추정 알고리즘

누설 부위에서 발생한 소음은 공기를 통해 공간상으로 전파하게 되고 이 소리는 측정 위치 사이에 시간 지연을 유발한다. Fig.4 는 이전 단계에서 누설이 발생한 경우, 누설 이후 측정된 신호 사이의 시간 지연을 이용하여 음원의 위치를 추정하는 빔형성 방법을 나타낸다. 여기서 스캔 벡터는 구형과 모델로 8kHz 이상의 주파수 영역에서 최대의 신호대 잡음비를 가지는 주파수(f_{max})를 이용한다.

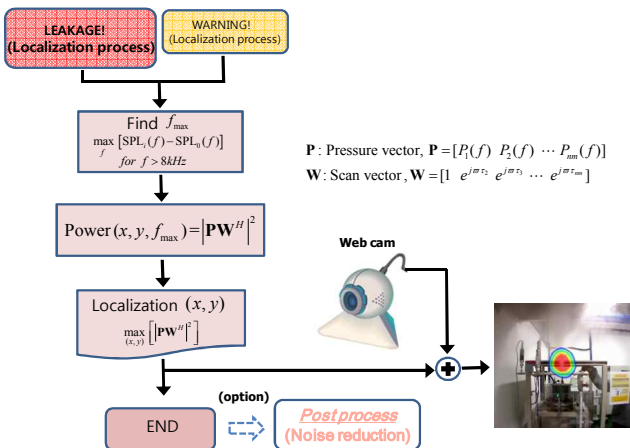


Fig. 4 실시간 누설 위치 추정을 위한 알고리즘

3.2 누설 위치 추정 실험 결과

Fig.5 는 누설이 발생한 이후에 구부러진 바퀴형 마이크로폰 어레이^[2]에 측정된 신호를 이용하여 3.1 절에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다. 이 결과 실시간으로 누설의 위치 추정이 가능하며 이 때 누설위치 이외에 발생하는 부엽의 영향을 줄이기 위하여 다수의 마이크로폰이 필요하다.

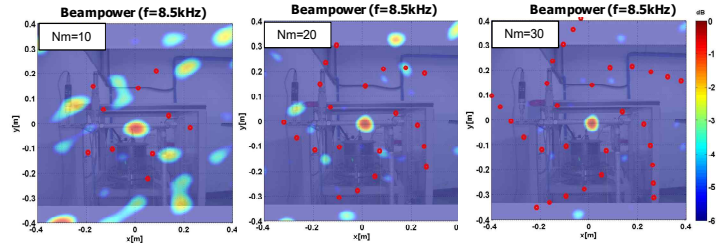


Fig. 5 마이크로폰 개수에 따른 누설음 위치 추정 결과(SNR=2.5dB, 측정면과 누설부 사이의 거리=1m)

4. 결론

본 연구에서는 원전 시스템의 작동 소음에 의한 측정 잡음이 있는 경우에 누설음을 이용하여 조기에 누설 여부를 파악하고 누설 위치를 추정하는 방법을 제안하고 실험적으로 검증하였다. 누설음이 원전 소음에 비해 8kHz 이상의 영역에서 지배적인 점을 이용하여, 주파수 영역에서 누설 여부를 판단하는 방법을 제안하였다. 각 구간별로 스펙트럼을 구한 후, 배경 잡음에 비해 8kHz 이상의 성분이 10dB 이상 크게 발생하는 구간을 누설 발생 구간으로 추정하였다. 이 때 유한 푸리에 변환을 취하는 간격을 0.01 초로 하여 누설 발생 시간을 예측하였으며, 그 결과 누설 발생 후 0.1 초 내에 누설 여부를 판단할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다. 또한 누설 발생 추정 시간 이후의 신호를 이용하여 주파수 영역 빔형성 방법을 적용한 결과와 영상 이미지와의 결합을 통하여 실시간으로 누설 여부 및 누설 위치를 추정할 수 있는 시스템을 구축하였다.

후 기

본 연구는 두뇌 한국 21(BK21) 프로그램 및 한국원자력연구원(KAERI)의, 한국연구재단(NRF) 국방과학연구소(ADD)의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, 1993, *Array Signal Processing : Concepts and Techniques*, P T R Prentice-Hall, Inc,
- (2) SM Instruments (<http://www.sm-ins.co.kr>)