

## 액체 금속로 소듐-물 반응 탐지를 위한 자동 회귀 모델 기반 음향 신호 스펙트럼 추정 방법

이 명 균,<sup>a</sup> 백 제 인,<sup>a</sup> 허 섭,<sup>b</sup> 성승환,<sup>b</sup> 김 성 오<sup>b</sup>  
<sup>a</sup> 한남대 정보통신공학과, <sup>b</sup> 한국 원자력 연구소  
 mkice@hannam.ac.kr

### 1. 서론

액체 금속로 증기 발생기의 소듐 영역 내로 2 차측의 고압의 물이 누설되면 소듐과 물이 격렬히 반응하여 수소와 부식성 화합물을 생성한다.[1] 사고가 더욱 진행될 경우 온도 및 압력의 증가로 인해 플랜트의 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 사고의 진행을 막기 위해 물 누출 조기 탐지 방법이 다양하게 연구되었다.[2] 조기 탐지 방법은 전통적인 수소 탐지 방법을 들 수 있으나 설치성과 응답시간 측면에서 단점을 지닌다. 최근에는 전자기술의 발달로 음향 탐지 방법이 대두되어 많은 연구가 진행되고 있다.[3][4] 본 논문은 음향 탐지에 필요한 기본적인 신호 처리 방법인 스펙트럼 추정 방법에 대해 기술한다.

### 2. 음향 신호의 특성

본 논문에서 사용된 데이터는 두 가지 종류로서 하나는 실험 설비에서 물 영역으로 아르곤 주입에 의한 누출 데이터 이고, 다른 데이터는 영국의 액체 금속 실험로인 PFR 에서의 배경 잡음이다. 전체 데이터에서 몇 개의 대표적인 데이터를 통해 통계적인 정보를 획득하기 위해서 프로세스가 stationary 함을 확인하는 것이 중요하다.

데이터 파일은 8192 개 단위의 작은 데이터 파일로 나누어서 살펴본 결과, 음향신호의 양상불 평균은 근사적으로 상수임을 보였고, 음향신호에 대하여 자기 상관함수를 계산한 결과(그림 1) 일정시간 지연 하에서 동일한 자기 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 그림 2 는 아르곤 주입에 의한 신호 데이터와 배경 잡음 데이터를 8192 개 단위로 나눈 10, 30, 50, 70 번째의 데이터에 대한 FFT 를 결과를 나타내고 있다. 이 결과 주파수 스펙트럼 특성이 유사함을 볼 수 있다.

위의 두 결과를 통해 이 프로세스가 stationary 함을 확인하였다.

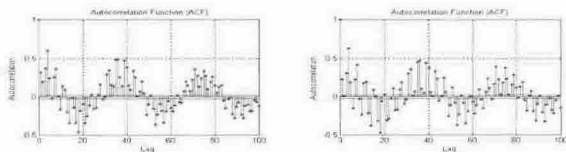


그림 1 배경 잡음의 자기 상관 관계

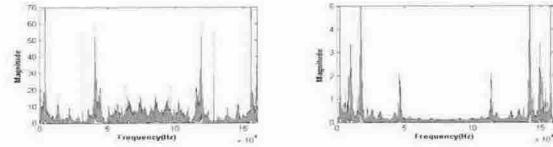


그림 2 배경 잡음(왼쪽)과 누출 신호(오른쪽)의 데이터 블록별 FFT 결과

### 3. AR 방법을 이용한 스펙트럼 추정

프로세스의 모델링을 위해서는 모델의 선택과 차수 선택이 중요하다. 여러 모델 중에서 AR (autoregressive) 모델을 많이 사용한다. 이유는 MA (moving average)나 ARMA 에 비해 계산량이 적고, 또한 AR 의 차수가 충분히 크다면 이 모델로 MA, ARMA 모델을 나타낼 수 있기 때문이다.

#### 3.1 AR 모델차수 선정

만약 AR 차수가 낮게 선정되면 스펙트럼이 평탄해 지고 해상도가 나빠진다. 반대의 경우 의사 피크를 가지게 되고 최악의 경우 스펙트럼 분리 현상이 발생한다. 본 논문에서는 차수 선택을 위해 FPE 와 AIC, MDL 방법을 사용했다. 그림 4 는 FPE 와 AIC 의 결과를 나타낸다. 이를 통해서 최적의 모델 차수는 22 차임을 확인했다.

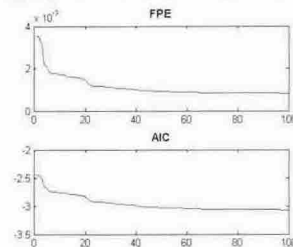


그림 3 자동 회귀 모델링의 차수 선택 기준

#### 3.2 스펙트럼 추정 방법의 비교

AR 모델을 기반으로 하는 전력스펙트럼밀도(PSD) 추정에는 여러 가지 방법이 있다. 모델 차수가 22 차인 AR 모델을 이용 Yule-Walker, Burg, Covariance, Modified-Covariance 방법으로 스펙트럼 추정한 결과 음향신호에 대해서는 성능의 차이가 거의 없음을 확인했다. 그림 5 는 Periodogram 과 AR 모델 기반 스펙트럼 추정 결과를 보여준다. AR

모델에 의해 추정된 PSD의 해상도가 우수함을 알 수 있다.

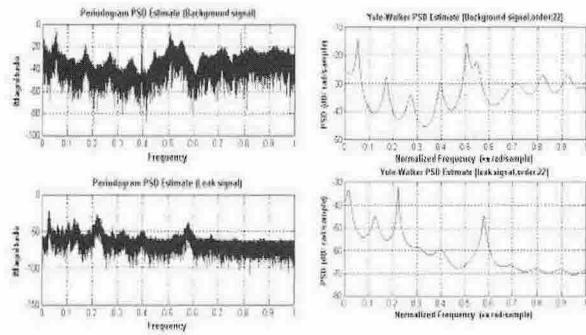


그림 4 배경 잡음(위)과 누출 신호(아래)에 대한 PSD; Periodogram(좌), AR 모델 기반(우)

### 3.3 AR 모델의 유효성 평가

선정된 모델이 프로세스의 실제 데이터와 일치 여부, 정확한 신호 생성 시스템인지 여부, 설계 프로세스의 초기화 문제를 해결할 수 있는가를 확인하기 위해 모델의 유효성 검사가 필요하다. 유효성 검사의 방법으로는 자기 상관 테스트, 전력 스펙트럼 밀도 테스트, 부분 자기 상관 테스트가 있다. 그림 6을 통해 22차 AR 모델링의 유효함을 확인할 수 있다.

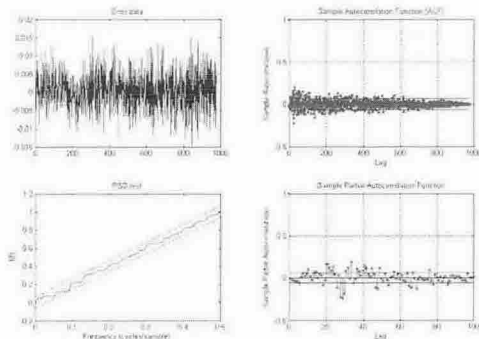


그림 5 유효성 테스트 결과 : (좌하) PSD test, 자기상관테스트(우상), 부분자기상관테스트(우하)

### 3.3 AR 이용 추정 스펙트럼의 적용성

실제 누출탐지 로직에의 적용성을 살펴 보기 위해 SNR의 변화에 따른 PSD의 특성변화를 분석하였다. 그림 7은 SNR에 따른

PSD의 피크, 그리고 피크의 기울기 등에 대한 데이터로서 약 -3dB의 SNR에서 누출 신호가 판별 가능한 것으로 나타났다. 따라서 본 스펙트럼 추정방법은 물 누출 탐지 로직의 일부로서 활용 가능할 것으로 사료된다.

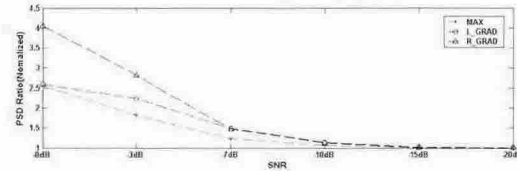


그림 6 신호 대 잡음비에 따른 특성 주파수의 PSD 관련 특성변화

## 4. 결론

소듐-물 반응의 조기 탐지를 위한 음향 신호처리에 있어 기본적으로 사용되는 스펙트럼 추정 방법에 대하여 기존의 FFT 기반이 아닌 AR 기반 방법을 제안하였다. 누출 및 배경 잡음은 AR 모델을 적용하기에 충분한 신호 특성을 가진 것을 확인하였다. 적용된 AR 모델의 유효성을 분석한 결과 문제가 없는 것으로 나타났으며, 실제로 SNR 별로 PSD 특성을 살펴본 결과 -3dB 정도에서 누출 징후를 포착할 수 있는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었음을 알립니다.

## REFERENCES

- [1] M. Hori: Sodium/Water Reaction in Steam Generators of Liquid Metal Fast Bleed
- [2] D. H. Han et al. KALIMER Conceptual Design Report, KAERI/TR-2203/2002, 2003.
- [3] Acoustic Signal Processing for Detection of Sodium Boiling or Sodium-Water Reaction in LMFBRs, IAEA-TECDOC-946, 1997.
- [4] S. Hur, D.H. Kim, S. H. Seong, S.O. Kim, Measurement Strategy of Water Leakage into Low Pressure Boundary for Liquid metal Reactor, APCNDT-2003, Jeju, Korea, 2003