

## Acoustic Emission 모니터링 데이터의 Time-Frequency 기법 적용을 통한 처분장 현장암반에서의 소음원 위치추정 분석

김진섭, 이경수, 권상기, 조계춘\*  
 한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045  
 \*한국과학기술원, 대전 유성구 과학로 335  
 kverity@kaeri.re.kr

### 1. 서론

Acoustic Emission(AE)법은 비파괴시험의 일종으로, 균열 발생 시 균열의 위치표정 및 발생한 균열의 파괴모드와 방향성 그리고 구조물의 피해 정도에 대한 정성적·정량적 분석이 가능하다. 이로 인하여 국외의 경우 지하 공간을 활용한 석유 비축기지, 터널, 지열저류암반, 방사성폐기물처분장 등에서 균열 발생과 균열 특성 그리고 이에 따른 구조물의 안정성 평가에 널리 사용되고 있다.

하지만 AE 관련 연구의 실험은 주로 실내실험에 국한되어 있고, 균열발생 위치추정을 위해서는 주로 초기도달 P파의 추출을 통한 시간차(TOAD: Time-of-arrival-difference)를 이용한다. 그러나 현장암반의 경우 필터링을 효율적으로 한다할지라도 초기 도달 P파를 검출하는데 실험자의 주관과 노이즈가 상당부분 포함이 되게 된다. 따라서 본 연구에서는 AE 데이터를 분석하는데 Wigner-Ville Distribution 이란 시간-주파수 신호 분석 기법을 활용하여, 가능한 실험자의 주관과 현장암반의 질리영향을 최소화할 수 있는 위치추정 기법을 시도하였다.

### 2. Time-Frequency 신호분석

#### 2.1 Wigner-Ville Distribution

현장암반 내에서 전파되는 신호는 분산특성(dispersive media)이 존재하므로 계측 신호는 주파수 별로 에너지의 전파속도가 다르기 때문에, 시간 및 이동 거리에 따라 전체 파형이 변화한다. 따라서 파의 전파특성을 정확하게 관찰하기 위해서는 시간에 따른 도달 주파수 성분을 분석할 수 있는 비 정상상태 신호분석 방법이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 방법 중에서 시간 및 주파수 분해능을 동시에 향상시킬 수 있는 위그너-빌 분포(Wigner-Ville Distribution)를 사용하였다.

$$W(t, \omega) \equiv \int z\left(t + \frac{\tau}{2}\right) z^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

$$= \int z^*\left(\omega + \frac{\varphi}{2}\right) z\left(\omega - \frac{\varphi}{2}\right) e^{-j\varphi d} d\varphi \quad \dots\dots\dots (1)$$

### 3. 실험재료 및 장치

암석시료에 대한 위치추정 기법을 적용하기 위하여 화강암 시편(LxWxH: 152x196x503 mm, 단위중량 :2,670 kg/m<sup>3</sup>)을 사용하였다. AE센서(AE603SW-GA: Φ20x20H mm)는 60±20% (kHz)의 공진주파수를 가지며, 민감도가 115 dB이다. 샘플 데이터는 4096개, 그리고 샘플링 간격은 2usec이었다. 소음원으로는 52kHz의 초음파 펄서(Ultracon-2020: Φ37x47H mm)가 사용되었다.

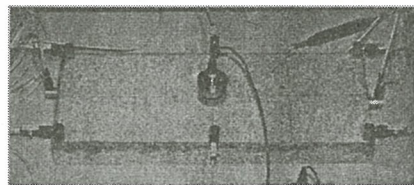


Fig. 1. Test specimen and AE sensor array.

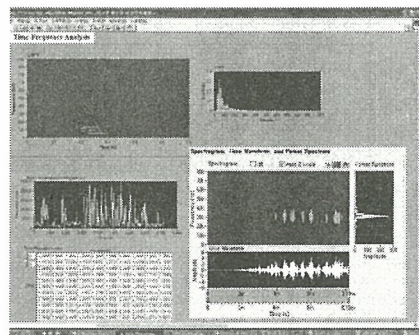


Fig. 2. Signal processing algorithm with LabVIEW.

현장암반에서의 시간-주파수 분석을 통한 소음원 위치추정을 위하여 지하처분연구시설(KURT)를 대상으로 현장실험을 수행하였다(Fig. 3). 소음원으로는 임팩트 해머를 이용하였으며 암반 시추공 깊이 별로 타격을 하였다.

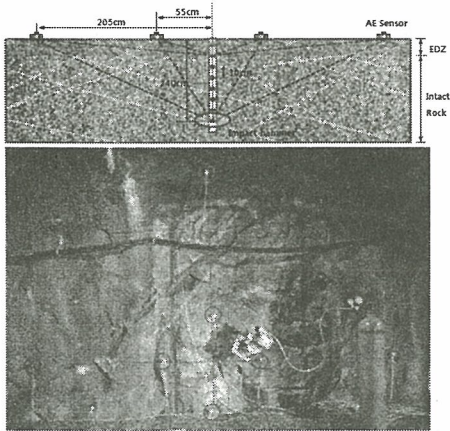


Fig. 3. Field application of Time-Freq. analysis.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 실내실험을 통한 소음원 위치추정

실내실험을 통해 측정된 신호의 위치표정 결과를 아래의 Table. 1에 나타내었다. TOAD 방법을 이용한 위치추정을 수행한 결과 최대 오차가 1.5cm이었으며, WVD를 통한 위치추정 최대오차는 2.9cm이었다.

전반적으로 TOAD 방법을 통한 위치추정 결과가 WVD에 비해 더 정확한 결과를 도출하였다. 이는 신호발생 장치로 사용한 초음파 펄서의 직경이 47mm로 AE 센서(25mm)에 비해 2배 가량 크고, 상대적으로 시료의 크기가 작아 탄성파의 전파시 source directivity가 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 1. Comparisons of source location data measured from TOAD and WVD methods.

Source position	Real position (cm)			TOAD (cm)			WVD (cm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Center	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	0.0	0.0	1.8	0.0
Right-center	7.6	0.0	25.1	6.6	1.0	24.9	7.6	0.0	22.2
Center-upper	0.0	9.8	25.1	0.0	9.7	23.6	0.0	9.8	23.4

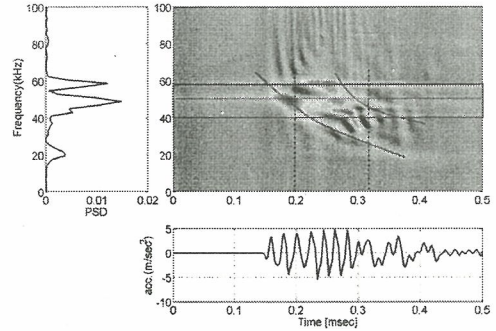


Fig. 4. Time-frequency analysis by using WVD at Ch.7

##### 4.2 현장암반의 소음원 위치추정

현장암반의 소음원 위치추정 결과를 아래의 Fig. 4에 나타내었다. 현장실험 결과 대부분의 위치표정은 0.6m 이내의 정확도를 보였으며, 암반손상 구간에서는 상대적으로 큰 오차가 발생하였다(1.1m).

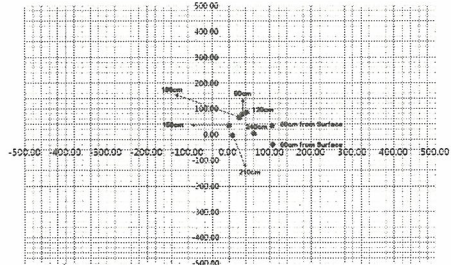


Fig. 5. Field application of AE source localization with the time-frequency signal processing.

#### 5. 결론

WVD 알고리즘을 이용한 신호의 시간-주파수 분석을 통해 AE의 위치표정 적용가능성을 확인할 수 있었다. 현재로서는 WVD의 정확도를 더욱 높이고, 신호처리시 혼신성분(cross term)의 효율적인 제거가 과제로 남아있다. 본 기술의 확립을 통해 주파수 별로 현장암반의 감쇄계수를 추정(spectral ratio 기법)할 수 있으며, 이는 균열 발생위치에서의 정량적인 균열 에너지를 추정하는데 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 6. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.