

시간-주파수기법을 이용한 구조물 진단 감시 적용사례

Structural Integrity Condition Monitoring by using Time-Frequency Analysis

박진호† · 윤두병* · 최영철* · 신성환*

Jin-Ho Park, Doo-Byoung Yoon, Young-Chul Choi and Sung-Hwan Shin

1. 서론

비정상상태 신호분석 방법인 시간-주파수 분석 기법으로서 STFT(Short Time Fourier Transform), 연속 웨이블릿 변환 (CWT; Continuous Wavelet Transform) 및 위그너-빌 분포(Wigner-Ville distribution)가 있다.

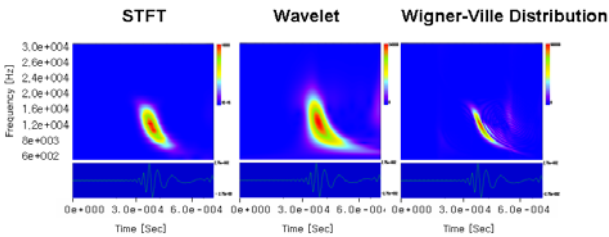


그림 1 시간-주파수분석 기법의 비교

그림 1에서 볼 수 있듯이 연속 웨이블릿 변환의 경우 저 주파수 영역에서는 시간 분해능이 저하되어 도달시간차 추정 시 오차가 클 가능성이 있다. 반면에 위그너-빌 분포는 STFT(Short-Time Fourier Transform)와 웨이블릿 변환에 비하여 계산시간이 상대적으로 오래 걸리는 단점은 있으나, 시간 분해능과 주파수 분해능이 상대적으로 높은 장점이 있으므로, 충격파가 센서에 도달하는 시간과 중심주파수 성분을 타 방법에 비하여 상대적으로 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다.

2. 금속파편감시시스템 적용 사례

원자로 압력경계 구조물 내부에서 금속파편의 발생을 감시할 경우 시간-주파수 방법의 적용 예를 살펴보기로 한다.

2.1 금속파편 충격 위치 추정

† 교신저자; 한국원자력연구원
E-mail : pjh213@kaeri.re.kr
Tel : (042) 868-2915, Fax : (042) 868-8313
* 한국원자력연구원

기존의 금속파편 충격 위치 추정은 단순히 시간역역에서 센서간의 도달지연시간차이를 구하여 충격 위치를 추정한다. 따라서 신호분석자에 따라 많은 오차를 포함하게 되는데, 시간-주파수 영역에서 분산커브를 구한다음 주파수별 도달 시간지연을 계산한다면 그림 2와 같이 정확하게 충격 위치를 추정할 수 있다.

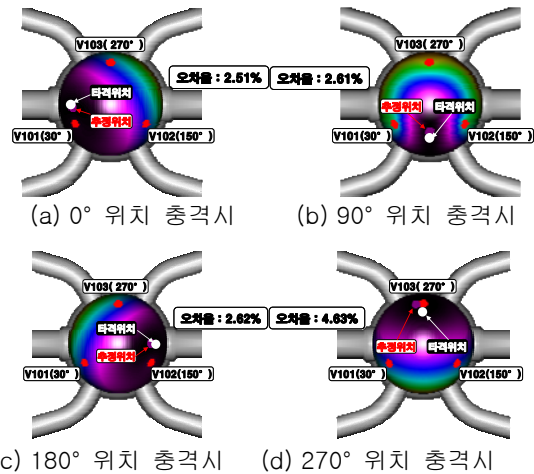


그림 2 위그너-빌 분포를 이용한 원자로 하부 충격위치 추정 결과

2.2 금속파편의 충격 질량 추정

금속파편의 질량을 추정하는 방법으로 중심주파수 방법(center frequency method)과 스펙트럼비를 이용한 방법(Frequency ratio method)이다. 하지만 이 방법 모두 충격에 의한 영향만을 포함한 스펙트럼이 있어야 정확하게 질량을 추정할 수 있다. 그림 3의 시간 주파수 결과에서 볼 수 있듯이 일반적인 스펙트럼만을 본다면 약 11.2kHz가 중심주파수 처럼 보이지만, 실제 시간-주파수 영역에서 본다면 충격에 의한 에너지는 약 8.5kHz임을 알 수 있다. 따라서 질량을 추정할 때에서 시간-주파수 분석을 적용한다면 오차를 많이 줄일 수 있음을 쉽게 알 수 있다.

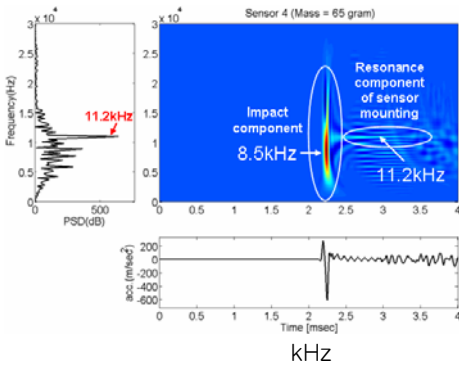


그림 3 시간-주파수 분석 기법을 이용한 질량 추정 결과

3. 배관두께 감시

원자력 발전소 및 화력발전소 등 이차냉각계통에는 수 많은 배관들로 이루어져 있다. 이러한 배관들 속으로 고온 고압의 유체들이 매우 빠른 속도로 유동하기 때문에 유체 가속 부식(FAG) 등에 의해 감속이 발생한다.

배관의 건전성을 진단하기 위한 비파괴 평가기법이 활발하게 연구되어 왔으며, 특히 유도 초음파(guided wave)의 적용이 배관의 결함 검출에 널리 사용되어 왔다. 초음파방법은 많은 점들을 측정해야 하기 때문에 많은 시간과 인력이 소요된다. 최근에 이러한 문제점을 해결하기 위해 배관의 굽힘과 전파속도를 이용하여 배관의 두께를 예측하는 방법이 제시되었다.

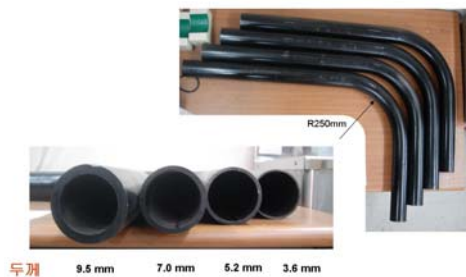


그림 4 외경은 75mm 이고 두께가 각각 9.5mm, 7.0mm, 5.2mm, 그리고 3.6mm 인 테스트 배관

이 방법은 감속현상에 의해 배관의 두께가 감소하면 배관의 굽힘강성이 감소하며, 이에 따라 굽힘파의 전파속도가 감소한다는 점에 착안하였다. 그림 4와 같이 외경은 같고 두께만 다른 4 개의 배관에 대해 시간-주파수 방법을 적용함으로써 균속도를 측정된 결과를 그림 5 에서 보여주고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 배관의 두께가 작아질수록 균속도가 줄어듦을 알 수 있다.

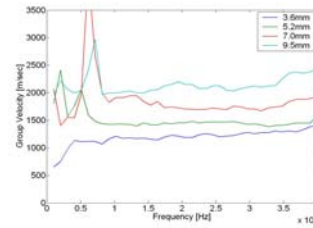


그림 5 시간-주파수 방법을 사용하여 계산된 두께가 9.5mm, 7.0mm, 5.2mm, 3.6mm 인 배관의 주파수별 균속도

4. 구조물 물성치 추정

구조물은 시간에 지남에 따라 재료의 특성이 바뀌게 된다. 특히 원자력발전소일 경우 고온 및 방사선에서 장시간 가동하게 되면 재료의 경년열화(aging degradation)현상이 심화 된다. 재료의 물성치를 알기 위해서는 굽기가 고른 시편을 제작한 다음 인장시험기에서 측정하는데, 많은 경우 구조물에서 시편을 떼어 낼 수 없는 상황이 많다. 따라서 최근에 시편을 제작하지 않고 가속도계를 구조물에 부착함으로써 직접적으로 재료의 물성치인 영계수를 측정하는 방법이 개발되었다.

이 방법은 배관두께 감시방법과 유사하게 재료의 물성치와 균속도의 관계를 이용하여 측정하는 방법이다. 두 개의 가속도계를 이용하여 굽힘파의 전파속도를 이용하여 그림 6 과 같이 영계수를 측정하게 된다.

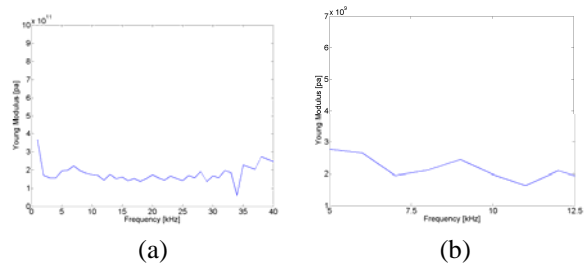


그림 6. 2 개의 가속도계를 이용하여 예측한 영계수. (a) 측정된 SUS 304 plate 의 영계수 약 200GPa(실제 영계수 205GPa), (b) 측정된 아크릴 판의 영계수 약 2.3GPa(실제 아크릴의 영계수 2.2~3.8 GPa)

5. 결 론

시간-주파수 분석기법을 적용함으로써 구조물의 이상상태 진단 및 재료 물성치의 추정에도 다양하게 활용할 수 있음을 알 수 있다.