

진동신호기반 배관감육 측정시스템 개발

Development of Portable Vibration Signal-Based Pipe Wall Thinning Inspection Device

한순우† · 박진호* · 강토* · 손기성**

Soon-Woo Han, Jin-Ho Park, To Kang and Ki Sung Sohn

Key Words : Pipe Wall-Thinning(배관 감육), Portable Inspection Device(휴대용 검사장치), Vibration Signal(진동신호)

ABSTRACT

The portable vibration signal-based pipe wall thinning inspection device was developed in this work. Compared to wall-thinning detection using conventional ultrasonic thickness measurement gauge, the proposed device can estimate average wall thickness of wide range and be applied to in-service pipes. The measurement principle of the device was briefly described and the configurations of hardware and software were explained. It was shown that the device can gauge average wall-thickness of test specimens with high precision.

1. 서 론

발전소 및 산업 설비의 배관은 운영 년수가 경과함에 따라 그 두께가 얇아지는 감육(wall-thinning) 현상을 겪게 된다. 배관 감육을 조기에 검출하고 지속적으로 관리하는 것은 설비의 안전한 운영에 있어 매우 중요하다. 배관 감육을 검사하기 위해 현재 가장 널리 사용하는 방법은 초음파 두께 측정기를 이용한 배관 두께 측정으로, 높은 정밀도로 배관의 감육 정도를 판단할 수 있다. 그러나 이 방법은 한 지점만의 두께를 측정할 수 있어 감육이 의심되는 배관을 검사하기 위해서는 배관의 여러 지점에서 측정을 수행해야 하므로 감육 판단에 많은 시간이 소요된다. 또한 설비 운영에 따른 배관 진동, 내부 유체 흐름 등에 의해 측정 결과가 영향을 받을 수도 있다. 따라서 초음파 두께 측정 방법은 예방정비 등을 위해 설비가 가동되지 않는 기간에 감육 발생 위험

도가 높은 몇몇 배관을 대상으로 적용되고 있다.

초음파 신호가 아닌 진동 대역의 저주파수(십 수 kHz) 신호를 이용한 배관 감육 검사에 관한 연구가 최근 이루어진 바 있다. 이 방법은 배관에서의 진동 전파 속도 또는 고유 진동수가 배관의 두께에 영향을 받는다는 점을 이용하여 배관의 감육을 검사하는 방법이다. 이 방식은 초음파 두께 측정 방식에 비해 측정 정밀도는 떨어지지만 상대적으로 넓은 범위에 걸쳐 배관의 평균 두께를 한번에 추정할 수 있으며, 설비가 가동되고 있는 중에도 적용할 수 있다. 따라서 배관의 감육 여부를 1차적으로 신속하게 판별할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 이 기법을 산업 현장에 효과적으로 적용하기 위해 휴대가 가능한 진동신호기반 배관 감육 검사 시스템을 제작하고, 유동이 존재하는 실구동 설비의 배관에서 성능을 검증하였다. 진동신호기반 배관 감육 검사 기법에 관해 언급하였고, 휴대용 장비의 요구사항 및 하드웨어와 소프트웨어에 관해 간략하게 설명하였으며, 본 장비의 성능을 검증한 결과에 대해 기술하였다.

† 교신저자; 정회원, 한국원자력연구원
E-mail : swhan@kaeri.re.kr
Tel :042-868-2881, Fax :042-868-8313

* 한국원자력연구원

** (주)세안기술

2. 진동 신호 기반의 배관 감육 검사 기법

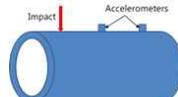
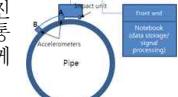
배관의 길이 방향 또는 원주 방향으로 전파하는 탄성파의 속도는 배관의 두께에 영향을 받는다. 예를 들어 굽힘(bending) 탄성파의 속도는 배관의 두께가 얇아질수록 감소한다. 이와 마찬가지로 배관의 고유 진동수, 특히 셸(shell) 모드 고유 진동수도 두께에 따라 변화한다.

$$f_i = \frac{t}{2\pi\sqrt{12}R^2} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \frac{i(i^2-1)}{\sqrt{1+i^2}}$$

(f_i : i 번째 셸모드 고유 진동수, R : 배관 반경, E : 탄성계수, ρ : 밀도, ν : 포와송 (Poisson) 비)

따라서 배관에서 전파하는 진동의 속도 또는 원주 방향 고유 진동수를 측정하여, 감육이 없는 배관에서의 측정값과 비교하면 측정 구간 내 배관의 평균 두께를 추정할 수 있으며, 이를 통해 배관의 감육 발생 여부를 확인할 수 있다. 이 기법을 정리하면 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Summary of vibration signal based pipe wall thinning detection method

감육 감시 방법	개요
배관 길이 방향 국부적 감육검사	<p>배관 길이 방향으로의 진동 전파 속도 추정을 통한 센서 사이 평균 두께 추정</p> 
배관 원주 방향 국부적 감육검사	<p>배관 원주 방향으로의 진동 전파 속도 추정을 통한 센서 사이 평균 두께 추정</p> 
배관 원주 방향 평균 감육검사	<p>배관 셸모드 고유 진동수 추정을 통해 주 방향 전둘레의 평균 두께 추정</p> 

3. 휴대용 진동신호기반 배관감육 검사장치 개발

3.1 하드웨어 개발

본 기법을 적용하기 위해서는 통상의 진동 신호 측정 시와 마찬가지로 가속도계, 가진(excitation) 도구, 데이터 수집 모듈 (DAQ) 및 주파수 분석을 수

행할 수 있는 PC 등이 필요하다. 산업 현장에서 이들을 효율적으로 운용하기 위해서는 이 기능들을 하나의 휴대용 기기로 통합하는 것이 필요하다고 판단하여 이를 개발하였다. Table 2는 휴대용 기기 개발에 필요한 초기 요구사항의 일부를 정리하였다.

Table 2. The requirements for a portable vibration signal-based pipe wall thinning inspection device

Channels	4ch, ICP, AC/DC coupling
Resolution	24 bits/ 200 kHz
Input range	± 10 V (p-p)
CPU/RAM	ATOM 2Core / DDR3 4GB
Display	8.9' LCD touch panel
Power	+9-30VDC, Internal battery
Total mass	< 4.5 kg

이러한 요구사항을 바탕으로 아래와 같이 휴대용 감육 배관 검사 장치의 하드웨어를 개발하였다.

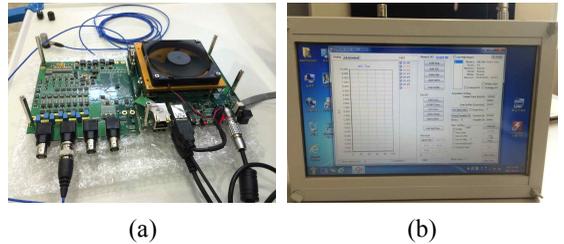
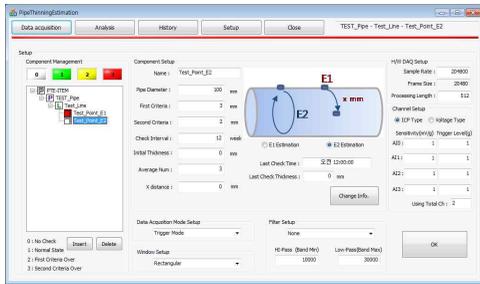


Fig. 1 휴대용 배관감육 검사 장치 (a) 검사 장치 내부 (b) 검사 장치 화면

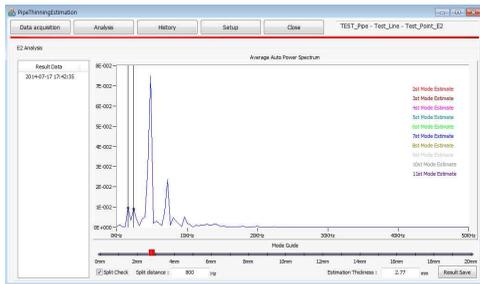
3.2 소프트웨어 개발

이 휴대용 장치를 운용하기 위한 소프트웨어도 개발하여 탑재하였다. 이 소프트웨어는 Table 1에 기술한 바와 같이 배관 길이 또는 원주 방향의 국부적 두께를 추정하거나, 원주 방향 전둘레의 평균 두께를 추정할 수 있다. 국부적 두께를 추정하기 위해서는 두 개의 가속도계로부터 측정된 진동 신호를 시간-주파수 분석(위그너-빌 분포)하여 주된 중심 주파수의 시간 지연 정보로부터 속도를 계산한다. 원주 방향 전체 평균 두께를 계산하기 위해서는 임팩트 해머 신호와 가속도계 신호로부터 주파수 응답 함수를 계산하거나, 가속도계 신호만의 자기파워스펙트럼 신호를 계산하여 고유 진동수를 구하고 정상 두께의 배관 신호와 비교하여 현재 두께를 추정하는 알고리즘을 적용하였다. 또한 배관 두께의 지속적인

모니터링을 위해 배관별 두께 이력 데이터베이스도 마련하였다.



(a)



(b)

Fig. 2 휴대용 배관감육 검사 장치 소프트웨어 (a) 측정 셋업 화면 (b) 원주 방향 전체 평균 두께 측정 기능 화면

3.3 개발 장비의 성능 검증

개발된 장비의 성능을 검증하기 위해 실제 유동이 존재하는 배관의 두께를 추정하고 초음파 두께 측정 결과와 비교하여 그 타당성을 확인하였다.



Fig. 3 진동신호기반 휴대용 감육배관 검사장치 검증 시험

그림에서와 같이 외경 620 mm 및 165 mm 배관에 대해 본 방법을 이용하여 시험을 수행하였으며 그 결과를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Pipe thickness measured by using the suggested method and the ultrasonic thickness meter

배관 외경 (mm)	진동기반 두께 추정치 (mm)	초음파두께 측정치 (mm)
620	7.0 (곡관부)	7.1
	7.0 (직관부)	6.9
165	6.9	7.2

즉 개발된 장비를 이용하여 초음파 두께 측정 결과에 비해서도 큰 오차가 없는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

기존의 초음파 두께 측정 방식을 이용한 배관 감육 검사를 보완하기 위해 제안된 진동신호 기반의 배관 감육 검사 방식을 현장에 적용하기 위해 휴대용 장비의 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하고, 배관 감육 시편을 이용하여 그 성능을 확인하였다. 개발된 장비를 활용할 경우 산업 현장에서 많은 수의 배관을 신속하게 검사할 수 있을 것으로 기대한다.