

웨이블릿 분석과 주파수 영역 알고리즘을 이용하여 파이프 규격에 따른 파이프 내압 및 잔압 이상 여부 진단 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 박의준**

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of a System for Diagnosing Abnormal Internal Pressure and Residual Pressure in Pipes based on Pipe Specifications using Wavelet Analysis and Frequency Domain Algorithms

Je-Ho Song*, Eui-Jun Park**

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Chonbuk National University

**Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프의 이상 여부 진단 시스템을 제안한다. 산업 시설에서 사용되는 파이프는 고온·고압의 물, 증기, 가스 등의 유체를 운반하며, 내부에 잔여물이 남아 있을 경우 누출이나 폭발 등의 위험을 초래할 수 있다. 따라서, 파이프 설비의 안전한 점검을 위해서는 내부 상태를 정확히 진단하는 것이 필수적이다. 제안된 시스템은 인위적으로 발생한 고유 음향 신호를 웨이블릿 분석과 주파수 영역의 알고리즘(LPC, LCR, 주파수 스펙트로그램)을 이용하여 분석하여 파이프 내부 상태를 진단한다. 이상 여부 진단 시스템 구성 후 서로 다른 직경의 파이프(30 mm, 50 mm, 140 mm)를 사용하여 파이프가 빈 상태와 가득 찬 상태를 비교하였다. 파이프가 빈 상태에서 10회 고유 음향 신호를 발생시켜 이를 기준값으로 설정하고, 실험값을 기준값과 비교하여 파이프 내부 상태를 진단하였다. 실험 결과, LCR 평균값과 LPC Distance는 파이프의 직경에 따라 값의 차이를 확인할 수 있었고, 파이프가 빈 상태일 때는 기준 LCR 평균값의 $\pm 5\%$ 이내의 값을, 파이프가 가득 찬 상태일 때는 기준값의 $\pm 5\%$ 범위를 초과함을 확인하였다.

1. 서론

파이프는 전반적인 산업 시설과 일반 가정(보일러, 수도) 등 다양한 곳에 사용되는 설비이다. 이러한 파이프는 상태를 유지하기 위하여 주기적인 점검이 필요하다. 하지만, 산업 시설에서 사용되는 파이프는 내부에 고온·고압의 물, 증기, 가스 등이 흐르기도 한다. 그리고, 이러한 파이프 내부의 잔여물은 설비의 점검 시 누출이나 폭발 사고 등으로 이어질 가능성이 있다.[1]

따라서, 본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프의 이상 여부 진단 시스템을 제안한다. 본 시스템은 파이프에 진동 또는 충격을 주어 고유 음향 신호를 발생시키고, 그 신호를 측정하고 분석하여 파이프 내부의 잔여물 유무를 판단하고자 한다.

파이프는 규격이 통일되지 않고, 그 크기가 다양하기 때문

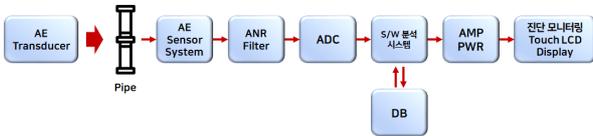
에 본 논문에서는 서로 다른 크기의 파이프로 실험을 진행하였다. 내압과 잔압이 있는 파이프의 규격에 따라 내압과 잔압의 음향이 다른 시간영역의 파형을 웨이블릿 몰렛(Morlet) 함수를 적용하여 파이프 내의 내압이나 잔압이 있는 경우, 내압의 존재 여부(비어 있는 상태와 차있는 상태)를 확인 하는 진단 시스템이다.

측정된 고유 음향 신호는 웨이블릿 알고리즘뿐만 아니라, LPC(Linear Prediction Coding) 알고리즘과 LCR(Level Crossing Rate) 알고리즘, 유클리드 거리 알고리즘(Euclidean Distance), 주파수 스펙트로그램 등 다양한 알고리즘을 통하여 분석한다. 이때, 파이프 내부가 빈 상태(Empty)와 가득 찬 상태(Full)일 때 고유 음향 신호를 측정하여 기준값으로 설정하고, 실험을 통해 측정된 데이터를 이 기준값과 비교하여 파이프 내부 상태를 진단한다.

2. 본론

내압과 잔압이 있는 파이프의 이상 여부 진단 시스템은 파이프 설비를 점검할 때 파이프 내부에 잔여물이 남아 있는지를 확인하기 위함이다. 파이프 내부에 물, 가스, 증기 등이 남아 있다면, 소량이라도 고온·고압의 상태일 경우 유출이나 폭발 등 큰 사고로 이어질 수 있다. 따라서, 파이프 설비의 점검 시 내부 상태가 비었는지 확인하는 과정은 필수적이다.

파이프 이상 여부 진단 시스템은 음향 신호를 인위적으로 발생시키고, 발생한 고유 음향 신호를 분석하여 파이프 내부 상태를 진단하고자 한다. 이때 발생하는 고유 음향 신호는, 파이프의 재질과 규격, 파이프 내부 물질의 종류, 잔여물의 양에 따라 서로 다른 주파수 특성을 가질 것이다.[2] 고유 음향 신호를 발생시키고, 신호를 측정하여 분석하는 과정은 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] 파이프 이상 여부 진단 시스템 구성도

첫째로, 고유 음향 신호를 측정하기 위한 음향 센서부는 음향 발신기와 음향 수신부로 구성한다. 음향 발신기는 발진 회로와 증폭 회로를 구성하여 솔레노이드 진동자를 움직여 소리를 발생시키고, 음향 센서부는 해당 신호를 측정한다. 이후, 잡음을 제거하고 디지털 신호로 변환하여 알고리즘을 적용하고 분석하여 파이프의 내부 상태를 진단한다.

이때 사용되는 알고리즘은 웨이블릿 알고리즘과 음향 에너지 파라미터, LPC 알고리즘과 LCR 알고리즘과 유클리드 거리 알고리즘을 사용한다. 수집된 고유 음향 신호는 웨이블릿 함수를 통해서 시간축 방향으로 이동시키며 원본 신호와의 상관계수를 조정하고, 웨이블릿 스케일(Wavelet scale)을 조정하여 상관계수를 계산하는 과정을 반복하여 신호를 분석한다.[3,4]

내압 및 잔압이 있는 파이프 이상 여부 진단 시스템 H/W 시스템을 구성한 후, 직경이 30 mm, 50 mm, 140 mm인 쇠파이프에 시스템을 설치 후 음향 신호를 발생시켜 수집된 신호를 각각의 알고리즘을 이용하여 분석하는 실험을 진행하였다.

그림 2는 내압 및 잔압이 있는 파이프 이상 여부 진단 시스템을 직경 50 mm의 쇠파이프에 설치한 후에 고유 음향 신호를 발생시키고 측정하는 모습이며, 시험 결과값 일부는 그림 3 (a)와 (b)에 나타내었다. 해당 실험에서 기준으로 사용한 파이프의 빈 상태(Empty)의 기준값은 표 1에 파이프의 직경에 따라서 사용된 알고리즘의 값을 나타내었다.



[그림 2] 내압 및 잔압이 있는 파이프 이상 여부 진단 시스템 설치 모습



(a) 직경 30(mm) 쇠파이프 Empty와 Full 상태 비교



(b) 쇠파이프 직경 50(mm) Empty 상태와 직경 140(mm) Full 상태 비교

[그림 3] 내압 및 잔압이 있는 파이프 Empty와 Full 상태 비교 시험

[표 1] 파이프 직경에 따른 Empty 상태 기준값

		30 mm	50 mm	140 mm
Empty	LCR(avg)	13.7	10.8	8.1
	Energy(avg)	88.1	83.1	86.1
	LPC Distance	14.7	10.9	7.6

시험 결과값을 나타내는 화면은 그림 3의 (a)와(b)에서 볼 수 있다. 화면 상 나타나는 좌측의 값과 파형은 각각의 파이프 종류의 Empty, 또는 Full 상태의 기준이 되는 LCR, Energy, LPC Distance, 그리고 주파수 스펙트로그램 파형을 나타낸 것이다. 그리고 각 파이프의 직경에 따른 기준 상태는 파이프를 10회 두드리 기준을 설정하였으며 표 1은 파이프 직경에 따른 기준값을 Empty 상태일 때 나타낸 것이다.

이때, 기준값과 실험값의 주파수를 비교해보았을 때, 파이프의 직경과 파이프 내부 상태에 따른 상관 관계는 존재하지만, 주파수만으로 파이프의 내부 상태를 진단하기는 어려움이 있다. 하지만, 표 1을 보았을 때, LCR 평균값과 LPC Distance는 파이프의 직경에 따라 확연한 차이를 보일 것을 알 수 있다.

그림 3 (a)에서 파이프의 내부가 Empty 상태일 때는 LCR(avg) 값이 기준값의 $\pm 5\%$ 이내의 값에서 확인되었으며, Full 상태일 때는 LCR(avg) 값이 15.8, 16.4, 17.8, 18.8 등으로 기준값의 $\pm 5\%$ 를 초과하였다. 그림 3 (b)의 직경 50 mm와 140 mm에 대한 실험에서도 Empty 상태일 때는 기준 LCR 값의 $\pm 5\%$ 이내의 값을 확인할 수 있지만, Full 상태일 때는 Empty 상태의 기준값의 $\pm 5\%$ 범위를 초과함을 확인할 수 있

다.

또한, 실험 결과를 확인하였을 때, 실험값은 기준값과 동일하게(10회) 음향을 발생시키지 않더라도 파이프의 상태 진단에 유의미한 결괏값을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서, 내압과 잔압이 있는 파이프의 이상 여부 진단 시스템은 본 논문에서 제안한 알고리즘들을 통해 파이프의 내부 상태를 정확히 예측함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프의 이상 여부 진단 시스템을 제안한다. 내압과 잔압이 있는 파이프는 내부에 물, 증기, 가스 등이 남아 있을 경우 유출·폭발 사고의 위험이 있기 때문에 설비 점검 시 내부에 잔여물의 여부를 확인해야 한다.

내압 및 잔압이 있는 파이프 이상 여부 진단 시스템은 파이프에 고유 음향 신호를 발생시키고 신호를 측정하여 웨이블릿 알고리즘과 음향 에너지 파라미터, LPC 및 LCR 알고리즘, 유클리드 거리 알고리즘을 통해 상태를 분석한다.

내압 및 잔압 파이프 이상 여부 진단 시스템을 구성 후, 직경이 30 mm, 50 mm, 140 mm로 서로 다른 3종류의 파이프로 내부 상태를 진단하는 실험을 하였다. 각각의 파이프를 빈 상태에서 10회 고유 음향 신호를 발생시켜 이를 기준값으로 설정하고, 실험값은 파이프를 무작위 횡수로 진동시켜 얻었으며, 이를 기준값과 비교하여 파이프 내부의 상태를 진단하였다.

실험 결과를 분석하였을 때, LCR 평균값과 LPC Distance는 파이프의 직경에 따라 확연한 차이를 보였으며, 파이프의 내부 상태와 두드러지는 횡수와 같은 조건을 달리 하였을 때에도 LCR 평균값은 파이프 내부가 기준과 같이 빈 상태라면 기준값의 $\pm 5\%$ 이내, 파이프 내부가 가득 찬 상태라면 $\pm 5\%$ 를 초과하는 값을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 논문에서 제안한 내압과 잔압이 있는 파이프의 내압 및 잔압 이상 여부 진단 시스템은 제안한 알고리즘의 분석에 따라 파이프 내부의 상태를 정확하게 진단함을 확인하였다. 이는, 향후 다양한 산업 현장에서 파이프 설비의 점검 시 안전한 작업 환경 조성에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 송제호, 박의준, “고유음향 신호 분석을 통한 내압 및 잔압 파이프와 탱크의 안전 진단 시스템 설계에 관한 연구”, *한국산학기술학회 학술대회 논문집*, 한국산학기술학회, pp.185-187, 2024
- [2] 진성민, “소리 물리학의 기본 개념”, 대한음성언어의학회

지, Vol.22, Issue 2, pp.99-102, 2011

- [3] M. Vetterli and C. Herley, “Wavelets and filter banks: Theory and design”, *IEEE transactions on signal processing*, 1992, Vol.40, Issue ARTICLE, pp.2207-2232
- [4] S. R. Penedo, M. L. Netto and J. F. Justo, “Designing digital filter banks using wavelets”, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2019, Vol.2019, pp.1-11