

# 고유음향 신호 분석을 통한 내압 및 잔압 파이프와 탱크의 안전 진단 시스템 설계에 관한 연구

송제호\*, 박의준\*\*

\*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학), 스마트 그리드 연구 센터

\*\*전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

## A Study on the design of safety diagnosis system for internal pressure and residual pressure pipes and tanks using analysis of unique acoustic signals

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

\*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Smart Grid Research Center, Chonbuk National University

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

### 요약

본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 안전 진단 시스템을 제안한다. 내압 및 잔압이 있는 파이프와 탱크 안전 진단 시스템은 고유 음향 신호를 활용하여 파이프와 탱크 내부의 상태를 감지하고 진단함으로써 사고 발생 가능성을 줄이는 것을 목표로 한다. 음향 발생 기술과 웨이블릿 알고리즘, 음향 에너지 파라미터, LPC, RLCR, 유클리드 거리 알고리즘 등 다양한 알고리즘을 활용하여 파이프와 탱크의 상태를 분석하고 진단한다. 이러한 안전 진단 시스템은 진단 및 모니터링 S/W를 통하여 설비의 이상이 감지되었을 때 사용자에게 경고 메시지를 전달하고 대응 조치를 안내함으로써 작업 환경의 안전성을 높일 수 있다. 따라서, 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 안전 진단 시스템은 설비의 이상 여부를 효과적으로 진단·모니터링하여 작업 환경의 안전성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

감시와 설비 자체의 균열·파손 등의 확인을 위하여 설비의 점검이 수시로 필요하다.

하지만, 이러한 파이프와 탱크 설비의 점검 시, 설비 내부에 고온·고압의 가스, 물, 증기 등이 남아 있다면 누출이나 폭발 등의 사고 위험이 있으며 사고가 발생할 경우, 인명 피해나 재산 피해가 발생할 수 있기 때문에 안전 대책이 강구된다.

따라서, 본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 점검 시 내부에 잔여물이 남아있는지 판별하여 점검자의 안전을 확보하고 진단할 수 있는 파이프와 탱크 안전 진단 시스템을 제안한다. 파이프와 탱크 안전 진단 시스템은 설비에 진동을 주어 고유 음향을 발생시키고, 발생된 고유 음향 신호를 센서에서 수신한다. 수신한 고유 음향 신호를 측정하여 내부 상태를 진단하고자 한다.

측정된 고유 음향 신호는 웨이블릿 알고리즘과 음향 에너지 파라미터, LPC(Linear Prediction Coefficient) 및 RLCR(Relative Level Crossing Rate) 알고리즘, 유클리드 거리 알고리즘(Euclidean Distance) 등 다양한 알고리즘을 통하여 분석한다. 분석한 데이터와 내압과 가스가 없는 정상 상태의 데이터와 비교·분석하여 설비의 이상 상태를 진단하고자

## 1. 서론

현대 사회에 접어들어, 사람들은 안전에 대한 경각심이 더욱 커져가고 있다. 사고가 나거나 건강이 나빠질 위험 부담 때문에 위험한 환경에서의 근무를 회피하고, 개인 건강에 대한 관심이 증가하고 있다.[1]

근로자의 인식의 변화뿐 아니라 중대재해법 등의 시행에 따라 관리자도 작업장의 위험 요소를 고려하고, 안전한 근무 환경을 조성할 필요성을 느끼고 있다.

이처럼, 사람들의 인식과 사회적 제도의 변화에 따라 안전 관리 요소의 증가로 인한 체계적인 관리의 필요성이 대두되고 있다. 각종 산업 현장에서 설비의 이상 징후가 발생하였을 경우, 설비의 이상 현상의 내용에 대한 관리자 및 근로자의 교육과, 안전사고에 대한 대책이 강조된다.

내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크는 제강·제철소를 포함하여 다양한 산업 현장에 폭넓게 사용되는 산업 설비이다. 이러한 산업 현장에는 물, 가스, 증기 등이 흐르는 파이프와 탱크가 곳곳에 설치되어 있고, 파이프와 탱크 내부 물질의 유출

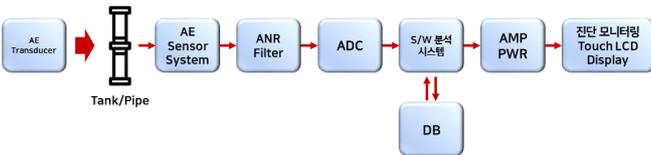
한다.

## 2. 본론

내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크 안전 진단 시스템은 파이프와 탱크 설비의 진단 시, 내부에 가스, 물, 증기 등 잔여물이 남아 있을 경우 유출이나 폭발의 가능성이 있어 큰 사고로 이어질 수 있기 때문에 이를 예방하기 위함이다.

기존의 진단 방식은, 사람이 직접 파이프나 탱크를 망치 등의 장비로 두드려 소리를 발생시키고, 이를 청음봉이나 청진기를 이용하여 직접 소리를 듣고 상태를 점검하였다. 하지만, 이러한 방식은 고도로 숙련된 기술자들만이 가능하지만, 질소와 같이 위험한 가스가 남아있을 경우에는 생명에 치명적인 위험을 초래 할 수 있다. 그러므로 점검 과정에서 사고의 위험성이 있어 접근성과 안전성 측면에서 한계를 지니고 있다.

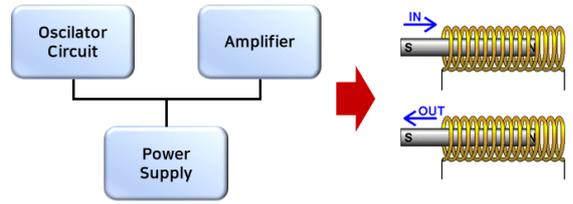
따라서, 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크 안전 진단 시스템은 파이프와 탱크 설비에 진동을 주어 음향을 발생시키고, 발생한 고유 음향 신호를 측정하여 내부 상태를 진단하고자 한다. 파이프와 탱크 내부의 잔여물의 유무에 따라 발생한 음향 신호의 주파수 특성이 다르게 나타날 것이고, 이러한 점을 이용하여 내부의 상태를 판단하고자 하였다.[2] 그림 1은 파이프와 탱크 안전 진단 시스템의 블록도를 나타낸 것이다.



[그림 1] 파이프와 탱크 안전 진단 시스템 블록도

음향 신호의 측정을 위한 음향 센서부는 음향 발신기와 음향 수신부로 구성한다. 음향 발신기는 진동자 등을 이용하여 파이프 또는 탱크에 진동을 주어 음향을 발생시키고, 음향 수신기에서는 발생한 신호를 측정한다.

음향을 발생시키는 음향 발생 진동자는 솔레노이드를 이용하여 구현한다. 그림 2는 음향 발생 진동자 회로 구성도를 나타낸 것이다. 발진 회로와 증폭 회로를 이용하여 솔레노이드 진동자를 구성하여 솔레노이드의 움직임에 따라 음향을 발생시킨다.[3]



[그림 2] 음향 발생 진동자 회로 구성도

수집된 신호는 ANR 필터를 거쳐 잡음을 제거하고 디지털 신호로 변환하여 데이터를 처리한다. 변환된 음향 신호는 분석 소프트웨어를 통해 정상 상태 데이터베이스와 비교하여 설비의 잔여물 유무를 판별한다.

내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 내부 상태 진단을 위한 알고리즘은 웨이블릿 알고리즘과 음향 에너지 파라미터, LPC 및 RLCR 알고리즘, 유클리드 거리 알고리즘을 사용한다. 음향 신호를 웨이블릿 함수를 통해서 시간축 방향으로 이동시켜가며 원본 신호와의 상관계수를 계산하고, 웨이블릿 스케일(Wavelet scale)을 조정해서 상관계수를 계산하는 과정을 반복하여 음향 신호를 분석한다.[4,5]

또한, 입력되는 신호와 기준으로 설정한 참조(Reference) 신호와의 거리(Euclidean Distance)를 계산하여 최소의 거리에 근접하는 신호의 매칭에 의하여 음향 신호를 분석한다. 즉, 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크가 빈 상태일 때의 신호를 기준이 되는 참조 신호로 설정하고, 입력 신호를 이와 비교하여 파이프와 탱크의 내부 상태를 진단한다.

위에 언급한 외의 다른 알고리즘을 이용하여 음향 신호를 분석하고, 각각의 결과 값을 비교·분석하여 내압 및 잔압이 있는 파이프와 탱크의 상태 진단에 최적화된 알고리즘을 찾아가 한다.

이러한 분석 결과는 Windows 운영 체제에서 동작하는 진단 및 모니터링 S/W를 통하여 수집된 음향 신호를 분석·진단하고 이상이 검출되었을 때 대응 조치를 안내한다. 또한, DB를 구성하여 정상 상태(Normal state) 데이터와 이상 데이터(Abnormal state)를 비교하며, 월별, 날짜, 시간에 따라 데이터를 모니터링(monitoring)할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 안전 진단 시스템을 제안한다. 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크 안전 진단 시스템은 고유 음향 신호를 활용하여 파이프와 탱크 내부에 잔여물 존재 여부를 진단하는 것을 목표로 한다.

내압 및 잔압이 있는 파이프와 탱크 설비에 진동을 주어 음향을 발생시키고, 발생한 고유 음향 신호를 웨이블릿 알고리즘, 음향 에너지 파라미터, LPC, RLCR, 유클리드 거리 알고

리즘을 이용하여 분석하고 상태를 진단한다.

음향 신호의 측정을 위한 음향 센서부는 솔레노이드를 이용하여 구현한 음향 발신기와, 발생한 고유 음향 신호를 수집할 음향 수신기로 구성한다.

앞서 언급한 알고리즘 외에 다양한 알고리즘을 사용하여 내압 및 잔압이 있는 파이프와 탱크의 고유 음향 신호를 분석하고 비교하여 최적의 진단 알고리즘을 구현하고자 한다.

수집된 음향 신호는 진단 및 모니터링 S/W를 통하여 분석되고 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크의 상태를 진단한다. 진단 결과를 바탕으로 설비의 이상이 검출되었을 때는 이를 사용자에게 알리고, 대응 조치를 안내한다.

따라서, 본 논문에서 제안한 시스템은 내압과 잔압이 있는 파이프와 탱크 설비의 이상 여부를 진단하여 사고 발생 가능성을 낮춰 안전한 작업 환경 조성에 기여할 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] 중소기업 기술개발사업 종합관리시스템(SMTECH), 중소기업 기술로드맵, 2023
- [2] 진성민, “소리 물리학의 기본 개념”, 대한음성언어의학회지, Vol.22, Issue 2, pp.99-102, 2011
- [3] TechForum, Solenoid [Internet], Availabe From: <https://forum.digikey.com/t/topic/16723>(accessed April 1, 2024)
- [4] 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
- [5] 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