

# 임피던스 측정 센서 노드를 이용한 배관 설비 진단

## Diagnosis of Pipe Structures using Impedance Measurement Sensor nodes

장인환\*, 정연욱\*\*, 송병훈\*\*\*  
In-Hwan Jang, Yeon-wook JEONG, Byunghun Song

### Abstract

본 논문은 저전력 무선 임피던스 기반 구조물 건전성 감시 USN 시스템을 활용하여 electro-mechanical impedance 센서의 일종인 PZT 센서를 부착한 배관 구조물의 건전성을 진단하는 방법과 그 실험 결과에 대해 소개 한다. 기존에는 건설구조물에 가해지는 전기적인 입출력비에 해당하는 임피던스를 계측하기 위해서 비교적 고가의 대형 계측 장비가 필요로 했으며, 구조물에 설치된 센서를 계측장비에 연결하기 위한 유선의 케이블 작업 역시 추가로 필요했었다. 대형 배관 구조물의 경우에는 이러한 문제점 때문에 임피던스를 이용한 능동형 센서가 제대로 활용되지 못하고 있고 비정기적인 비파괴검사에만 국한되어 사용되어 왔다. USN기술은 저전력 소출력 무선통신을 통해 기존의 계측시스템과는 다른 상시모니터링의 장점을 가지고 있는 기술로서 최근 토목/건설 분야에서 적극적으로 활용이 되는 융합기술이다. 본 논문에서 구조물 건전성 감시 분야와 저전력 무선 계측 기술의 통합을 통해 얻어진 최적화된 배관 건전도 진단 센서 노드의 효용성을 정량적 실험 데이터를 통해 입증하고, 앞으로의 연구 방향에 대한 제안으로 끝을 맺는다.

**Keywords :** USN, PZT 센서, 배관 건전도 진단

## I. 서 론

본 연구에서는 중요 배관 시설물의 안전성을 실시간 상시 검사하여 이상 유무를 사고 이전에 판단하고 이를 USN기술을 통해 전달 할 수 있는 PHM(Pipe Health Monitoring)[1] 시스템을 구성하여 PHM 대한 효용성을 입증하고 배관 시스템 파손부위 판단 여부에 대한 실증적 실험 데이터를 축적하여 진단에 필요한 기반 작업을 하는데 집중 하였다.

## II. 관련 연구

### 1. 압전센서

어떤 종류의 결정에 응력을 걸었을 때 전기 분극을 일으켜 응력에 비례한 전압을 발생하거나, 또한 반대로 전압을 걸었을 때에는 그 크기에 비례한 변형이 생기는 현상을 압전효과라고 하며, 이러한 압전효과를 이용한 센서가 압전소자이다.[2] 배관구조물에 건전도 해석을 위해서 본 연구에서는 액티브 컴포지트인 MFC를 사용하여 임피던스 신호 측정 방식으로 건전도를 판단하였다. MFC센서에 의한 건전도 해석은 회당 1volt rms와 1 mA급의 소규모 전원 소모로 저전력 USN시스템에 적절하다.

### 2. 주파수 영역에서의 손상 검색

구조물에 발생한 손상에 의해 그 구조물에 부착된 압전 센서에서 계측되는 주파수 영역에서의 임피던스 신호가 바뀌게[3] 되는데 이 변화 정도를 알 수 있어야 한다. 주어진 주파수 대역에서 전체 응답의 변화를 알아내기 위해서 RMSD(root mean square deviation)을 적용할 수 있다.

Z1은 비교 기준값인 reference 신호이며 Z2는 원하는 시점에 비교가 될 임피던스 신호이다. 일반적으로, 온도의 증가는 임피던스 신호의 실수부에서 크기의 감소와 왼쪽으로의 평행이동을 야기한다. 따라서 구조물의 손상을 검색하기 위해서는 온도 보상 기법이 고려되어야 한다. 위의 센서 노드는 온도 변화 하에서 상시 계측된 임피던스 신호들과 기준온도에서의 임피던스 신호 사이에서 최대의 CC(Cross Correlation)값을 갖는 유효 주파수 이동(EFS, effective frequency shift)를 계산하여 각각의 신호들에서 얻어진 유효 주파수 이동을 판단 할 수 있다.

## III. 개발 환경 및 실험 결과

### 1. 실험 환경

SUS 50A 배관을 가지고 실험을 진행하였다. MFC부착 상태는 그림 2과 같고 연결부의 것(오른쪽)이 세라믹타입이다. 실험결과는 연결부의 MFC 임피던스 측정결과를 사용하였다.

### 2. 실험 결과

사전에 SUS의 공진주파수(resonant frequency) 영역을

접수일자 : 2009년 08월 04일

최종완료 : 2009년 08월 04일

\*인하대학교 컴퓨터공학부

교신저자, E-mail : newklus@nate.com

\*\*국민대학교 컴퓨터공학부

\*\*\*전자부품연구원 RFID/USN융합연구센터

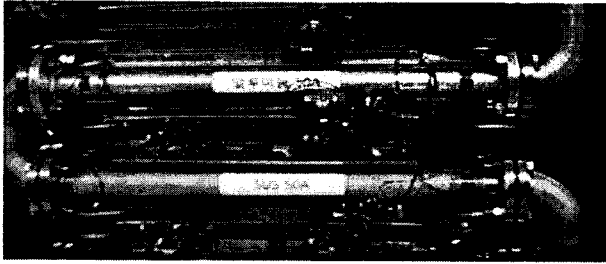


그림 1. 실험에 사용된 배관 구조물

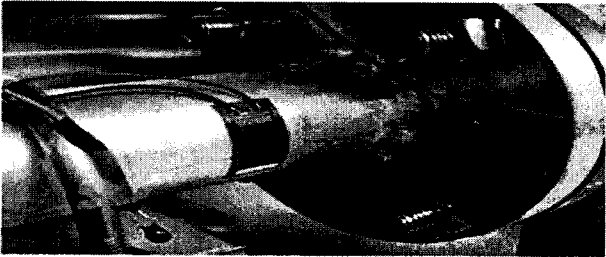


그림 2. MFC 부착상태

탐색하여 Peak이 가장 잘 측정되는 구간(그림의 30kHz~31kHz)을 구하여 실험을 진행하였다. 위의 그림은 시작 주파수에서 주파수 2hz를 증가시켜가면서 임피던스 신호를 측정된 결과이다. 청색 그래프는 정상값의 기준이 되는 reference 신호이며 적색 그래프는 비교가 될 임의의 시간에 측정된 임피던스 신호이다. 그림 3은 하단부 볼트, 그림 4는 상단부 볼트를 풀었을 때를 나타낸다. 결과를 보면 reference신호에 비해 볼트 풀림신호는 Peak위치에 변화가 있음을 알 수 있다. 안정성을 판단하는 기준값의 임계값은 배관의 재질과 주변환경에 따라 변화가 있다. 따라서 반복 계측된 값을 기준으로 임계값을 결정해야 한다.

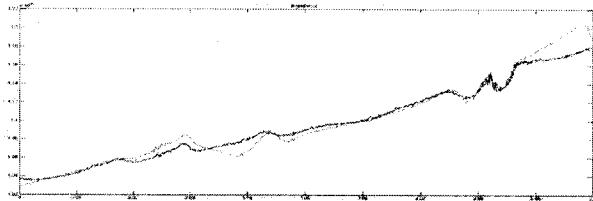


그림 3. 하단 볼트 풀림

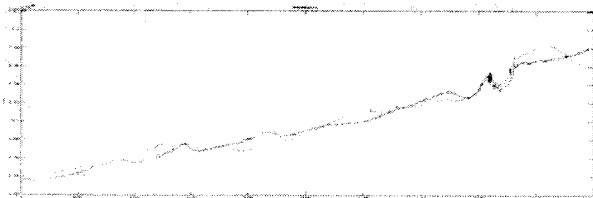


그림 4. 상단 볼트 풀림

#### IV. 결 론

기존에는 건설 구조물에 가해지는 전기적인 입출력 비에 해당하는 임피던스를 계측하기 위해서 비교적 고가의 대형 계측장비가 필요로 했으며, 구조물에 설치된 센서를 계측장비에 연결하기 위한 유선의 케이블 작업 역시 추가로 필요했었다. 대형 배관 구조물의 경우에는 이러한 문제점 때문에 임피던스를 이용한 능동형 센서가 제대로 활용

되지 못하고 있고 비정기적인 비파괴검사에만 국한되어 사용되어 왔다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 고안된 스마트 센서를 이용한 저전력 무선 PHM 시스템에 배관 구조물의 국부 손상 진단 기법을 사용하여 실제 배관 진단 테스트베드에 적용하고, 그 효용성에 대해 실험을 통해 확인해 보았다.

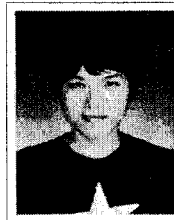
PHM 시스템을 이용한 배관 구조물 안전성검사는 충분히 가능해 보이지만 앞으로 과제도 많이 남아 있다. USN 센서노드의 정량적인 데이터를 축적하고, USN 센서노드 상에서 손상 진단에 필요한 임계값을 찾는 데에 많은 노력이 필요하며, 파손부위 진단을 위한 배관을 구성하는 매질의 특성에 따른 상태변화의 패턴 분석과 실시간 진단에 따른 센서노드의 최적화에 대한 연구가 필요하다는 것을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비 지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

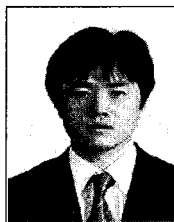
#### [참고 문헌]

- [1] Mascarenas, D. L., Todd, M. D., Park, G., and Farrar, C. R., "A Miniaturized Electromechanical Impedance-based Node for the Wireless Interrogation of Structural Health", *Proceeding of SPIE's 13th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials*, 6177, 2006.
- [2] Fraden, J. 『Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications, 2nd Edition (New York, NY: Springer-Verlag)』, 2000.
- [3] Park, G., Sohn, H., Farrar, C.R., and Inman, D.J. "Overview of Piezoelectric Impedance-based Health Monitoring and Path Forward," *The Shock and Vibration Digest*, 35(6), 451-463, 2003.



#### 장인환

2009년 인하대학교 컴퓨터 공학과 재학  
2009년 전자부품연구원  
<관심분야> 센서네트워크, 임베디드, OS  
<e-mail> newklus@nate.com



#### 정연욱

2009년 국민대학교 컴퓨터공학과 재학  
2009년 전자부품연구원  
<관심분야> 센서네트워크, 신호처리  
<e-mail> mokuzin@gmail.com



**송 병 훈**

1998년 광운대학교 전자계산학과 졸업

2000년 광운대학교 전자통신학과(공학석사)

2004년 광운대학교 전자통신학과(공학박사)

2004년~현재 전자부품연구원 선임연구원

<관심분야> USN, Underground Facility

Sensor Network

<e-mail> [bhsong@keti.re.kr](mailto:bhsong@keti.re.kr)