

지하 배관의 상태 감시를 위한 음향방출 기반 결함 진단 기법 연구

염기욱¹, 강민성¹, 임순현¹, 손동구², 김종면^{1,*}

¹울산대학교 전기전자컴퓨터공학과, ²한국전자통신연구원

duarldnr@gmail.com, kangms9104@gmail.com, lsh0981@gmail.com, sdk@etri.re.kr,
*jongmyon.kim@gmail.com

A Study on Acoustic Emission-Based Defect Diagnosis for Condition Monitoring of Underground Pipelines

Yeom Gi Uk¹, Kang Min Seong¹, Lee Soon Hyon¹, Shon Dongkoo², Kim Jong Myon^{1,*}

¹Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan, ²ETRI

요약

본 연구는 수소 혼입이 예정된 노후 지하배관의 부식 및 결함 발생을 사전에 탐지하기 위한 AE(음향방출) 기반 비파괴검사 기법의 적용 가능성을 검토하였다. 수소취성에 취약한 기존 배관의 안전성 확보를 위해, AE 센서(R6i, R15i)를 이용하여 수소 혼입 조건을 모사한 테스트베드 실험을 수행하였다. 총 8개의 시편을 대상으로 이틀간 시험을 진행하였으며, AE 데이터는 초고속 샘플링을 통해 수집되었다. 기존의 RMS 및 ASL 분석 기법은 데이터 해석에 한계가 있어, 본 연구에서는 임계값 기반의 Hitcount 분석 기법을 도입하여 시간에 따른 신호 발생 빈도를 정량화하였다. 분석 결과, R15i 센서가 R6i에 비해 미세한 부식의 진행 상황을 보다 정확하게 탐지할 수 있었으며, 6시간 이후부터의 부식 발생 및 15~16시간 구간에서의 급격한 신호 변화는 초음파 측정 결과와도 일치하였다. 이를 통해 AE 기반 Hitcount 기법이 수소 혼입 배관의 결함 사전 감시에 효과적임을 입증하였다. 본 연구는 향후 장기 모니터링 시스템 개발 및 현장 적용의 기초 자료로 활용될 수 있다.

I. 서론

산업에서 배관은 다양한 종류의 유체 운송을 담당하는 중요한 설비로서 한국의 경우 1970년대부터 수많은 지하배관이 설치되어왔고 초기에 매설된 배관을 유지·보수하여 지금까지 사용하고 있는 경우가 대다수이다[1]. 현재 정부는 온실가스 감축을 위해 2026년도까지 혼입 비율을 20%를 목표로 배관에 수소를 혼입하는 정책을 추진 중이나, 대상 배관은 상당수가 노후화가 진행된 기존 배관으로 수소 혼입 시 발생하는 수소취성 현상에 취약한 상황이다. 따라서 수소가 혼입된 배관의 상태를 지속적으로 감시하여 결함이 발생하기 전 미리 조치를 취함으로써 경제적·인명적 사고를 사전에 방지할 필요성이 있다.[2-3]. 그러나 지하에 매설돼 있는 특성상 육안으로 확인이 불가능하므로 본 논문에서는 수소취성에 의한 결함에 대해서 배관을 직접 드러내지 않는 비침습적 방법으로 비교적 넓은 범위에서 비파괴검사가 가능한 AE가 적용 가능한지 확인한다.

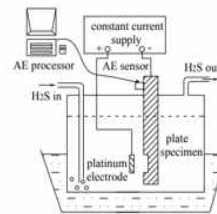
II. 본론

본 논문에서의 실험은 수소 혼입 배관을 모사한 테스트베드에서 진행하였다. 금속시편에 AE센서[4]를 부착하여 수소취성 발생 신호가 들어오는 지를 확인하였고, 이를 통해 수소 혼입 배관의 상태 감시에 AE를 사용할 수 있는지를 실험결과로 확인하였다.

1) 실험 환경

실험은 2일에 걸쳐 진행되었으며 1일차에 2개 2일차에 6개로 총 8개의 시편으로 진행하였다. 시편은 모두 동일한 재질이고 최적의 센서를 확인하기 위해 R6i, R15i 두 가지 AE 센서를 사용하였다. R6i의 경우 60kHz 까지 탐지하며 R15i 는 그 보다 높은 150kHz 까지 탐지가 가능하다[5]. 테스트베드 구성은 [그림1] 과 같이 물이 들어있는 수조에 시편을 장입 후 황화수소를 지속적으로 공급하여 수소혼입 상황을 모사하였다. 각 시편마다 센서 종류별 1개씩 총 2개의 센서를 부착 후 진행되었으며 1일차에는 총 8시간동안 시험을 진행하였고 4시간, 8시간에 순차적으로 시편을 하나

씩 제거하여 결함 발생 이전의 데이터 및 시편을 확보하였다. 2일차부터는 결함 발생 이후 시점으로 총 18시간 동안 실험을 진행하였고 13시간부터 1시간간격으로 18시간까지 6개의 시편을 하나씩 순차적으로 시편을 제거하였다.

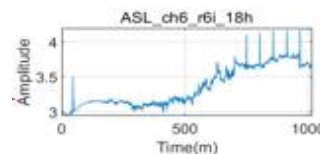


[그림 1] 테스트베드 구성도

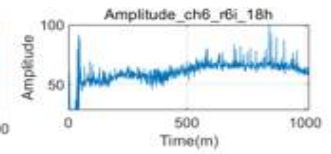


[그림 2] 실험 구성 완료

실험 종료 후 제거된 시편은 KTR (한국화학융합시험연구원) 측 도움을 받아 배관 표면을 초음파로 측정 후 분석을 진행하였다. 수집된 데이터는 AE 센서 특성상 높은 샘플링레이트로 인해 방대한 데이터량을 지니 일반적인 특징 값 검출 기법(RMS, ASL 등)으로는 [그림 3], [그림 4]에서 알 수 있듯이 분석 시 정확한 결함 발생 시점을 추정하기에 어려움이 존재한다..



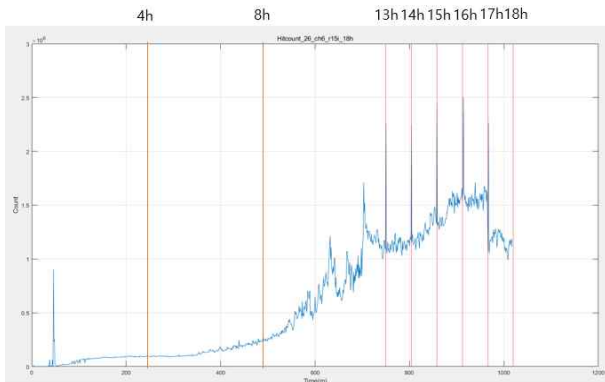
[그림 3] ASL 분석결과



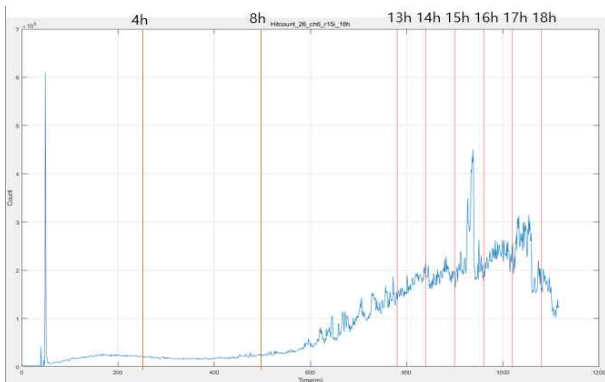
[그림 4] Amplitude 분석결과

이에 본 논문은 Hitcount 기반 분석 기법을 활용하여 데이터 분석을 진행하였다. 해당 기법은 취득한 데이터를 dB로 변환하여 사용자가 설정한 임의의 임계값을 변환된 데이터가 초과할 경우 count 하여 결과를 산출하는 기법이다. 정밀한 분석을 위해 초 단위와 분 단위 각각으로 분석을 진행하였고 논문에서는 분 단위 결과로 서술하였다.

2) 실험 결과

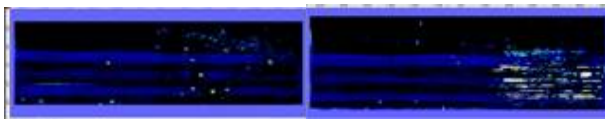


[그림 5] R6i Hitcount 결과



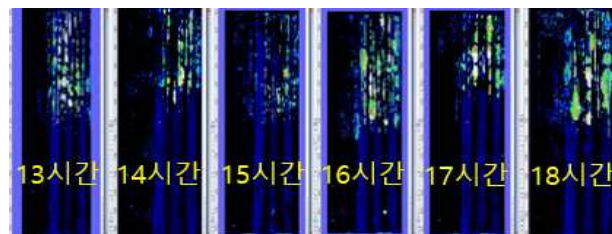
[그림 6] R15i Hitcount 결과

결합 발생 전 시편인 4시간 8시간의 경우 R6i R15i 두 센서 모두 신호가 서서히 상승하고 있음이 확인된다. 이후 10시간 이후부터 신호의 증가폭이 점차 늘어나다가 R6i 센서의 경우 10시간 이후 신호에 큰 변화가 확인되었고 이후 서서히 상승하다 17시간 이후 급격히 신호가 감소하였다. 반면에 R15i 센서는 15시간 까지 큰 변화없이 꾸준히 신호가 상승하다 15~16시간 사이에 급격한 신호 상승이 확인되었고 이후 17시간 이후 또한 소폭 상승하였다.



[그림 7] 4시간 초음파 촬영 사진

[그림 8] 8시간 초음파 촬영 사진



[그림 9] 13~18시간 초음파 촬영 사진

[그림 7-9] 초음파 사진으로 확인한 결과 15시간에서 16시간의 부식 정도의 차이가 다른 시간대보다 큰 양상이 확인된다. 이는 해당 구간에서 영구적 변형이 일어나 부식이 심화되었음을 확인된다. 이후 17시간 시편의 경우 큰 변화가 없고 18시간 시편 또한 크게 변형된 것이 확인된다. 이는 R15i 센서로 분석한 Hitcount 결과와 동일한 패턴이 확인된다.

III. 결론

실험을 통해 수소가 혼입되는 배관의 부식을 Hitcount 기법을 사용한 음향방출 기술로 효과적이게 탐지 할 수 있음이 확인되었다. 이때 사용되는 센서는 R6i 보다 R15i 가 더 정확한 상태감시가 가능했다. 소재에 부식이 심화되면 내구성이 약해지고 변형이 일어나 더욱 많은 부식이 유도되는 현상이 존재한다[6]. [그림 5-9]을 통해 본 논문의 실험에서도 같은 현상이 발생했음을 알 수 있다. 이는 변형이 일어나기 전에 미리 신호를 분석하여 유지·보수를 수행하는 것이 더 큰 결함이 발생하는 것을 방지할 수 있음이 배관 상태 감시의 핵심 요인이라는 것을 파악할 수 있었다. 추후 연구로서 본 논문에서 연구한 기법을 토대로 시스템을 구축하여 실제 현장 및 모사 테스트베드 에 적용하여 장기간 모니터링으로 결함 모니터링을 수행 할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 울산시-ETRI 2차 공동협력사업의 일환으로 수행되었음 [25AB1600, 제조 혁신을 위한 주력산업 지능화 기술 개발 및 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발]. 또한 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (‘RS-2023-00232515’, ‘수소혼입 도시가스 배관 수소취성 평가 및 수명예측 안전기술 개발/실증’)

참 고 문 헌

- [1] 한국가스공사, “가스공사,천연가스 배관 내 수소 혼입 실증,” 2022 (<https://www.kogas.or.kr/site/koGas/bbs/View.do?cbIdx=41&Key=1010202000000&boardIdx=43978>).
- [2] 김병무, “[전문가칼럼] 김병무 박사의 석유화학설비 안전교실-15,” 2021 (<http://www.sanupin-news.kr/news/articleView.html?idxno=2273>).
- [3] 한국가스기술공사, “회사소개 브로슈어,” 2020 (https://www.kogas-tech.or.kr/kor/pdf/KOGAS-tech_bro_under_kor.pdf).
- [4] N. K. Banjara, S. Sasmal, and S. Voggu, “Machine learning supported acoustic emission technique for leakage detection in pipelines,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 188, p. 104243, 2020.
- [5] A. Nair, C. S. Cai, F. Pan, and X. Kong, “Acoustic emission monitoring of damage progression in CFRP retrofitted RC beams,” *Structural Monitoring and Maintenance*, vol. 1, no. 1, pp. 111–130, 2014.
- [6] M. Nagumo, *Fundamentals of Hydrogen Embrittlement*, vol. 921. Singapore: Springer, 2016.