

KS D 3631 배관의 결함검출을 위한 유도초음파 최적조건에 관한 연구

이동훈*, 김지윤*, 조영도*, 이경식*

한국가스안전공사 가스안전연구원

Determination of Optimum Condition for Crack Detection using Ultrasonic Guided waves in KS D 3631 Pipelines.

Dong-Hoon Lee*, Ji-Yoon Kim*, Young-Do Jo*, Kyung-Sik Lee*

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

1. 서론

국내의 도시가스배관은 현재 약 2만5천 킬로미터가 사용 중에 있으며, 많은 부분이 지하에 매설되어 있다. 초기에 설치된 도시가스배관은 현재 20년 이상 경과함으로서 배관의 노후화에 의한 부식 및 급격한 도시화에 따른 지하매설물들의 상호 간섭의 영향을 받고 있다.

현재의 비파괴 탐상 기법(초음파탐상 (UT), 방사선투과시험(RT), 와전류탐상 (ECT), 자속누설탐상(MFL))들은 센서가 위치한 지점만을 검사(point by point inspection)할 수 있기 때문에 시간의 제약과 경비의 문제가 발생하며, 이런 해결점을 도출하기 위한 효과적인 검사방법의 개발이 절실히 요구되는 현실이다.

유도초음파는 구조물의 가하학적인 구조를 따라 길이방향으로 전파하는 파로서 종파와 횡파가 구조물의 벽면사이에 수없이 반사되어 중첩됨으로서 형성된다. 이 때 유도초음파는 고전적인 초음파 검사와는 매우 다른 특성을 가지게 되는데 특히 무한개의 파 모드가 광범위한 주파수 영역에 걸쳐 존재한다는 점과 주파수와 두께에 따라 전파속도가 변화하는 분산 특성을 가진다. 따라서 주어진 주파수 영역에서 존재하는 유도초음파 모드의 분산 특성을 나타내는 분산선도를 계산하고 이를 고려한 검사 조건을 선정해야 한다.

튜브의 유도초음파에 관한 연구는 1960년대에 기초적 연구[1]가 수행되다가 1990년대에 열교환기 튜브나 배관의 비파괴검사에 적용하기 위해서 이론적, 실험적 연구가 활발히 진행되었다[2-11]. 최근 SwRI에서 자왜센서를 이용한 MsSR 장비가 개발되었으며, 현장적용중이다.

본 논문에서는 한국 도시가스배관의 결함탐상을 위하여 유도초음파 방식을 이용하였고 유도초음파의 발생방식은 자왜센서를 이용하여 도시가스배관의 결함탐상을 위한 최적발생 조건을 도출하고자 하였다.

2. 유도초음파 분산선도 도해

유도초음파를 이용한 검사 및 평가를 위해서는 해당 시험편에 대한 분산선도 도해가 필수적이다. 유도초음파는 무수히 많은 모드가 발생하므로 실험조건 선정 및 획득한 신호를 분석할 때 분산선도가 그 기초가 된다. 본 논문에서는 도시가스배관 (KS D 3631)에 대한 분산선도 도해를 위하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 구하였다. 인코넬관의 분산선도를 계산하여 그림 1 위상속도 및 군속도의 분산선도를 보였다. 분산선도 도해를 위한 KS D 3631 배관의 제원 및 음속은 표 1과 같다.

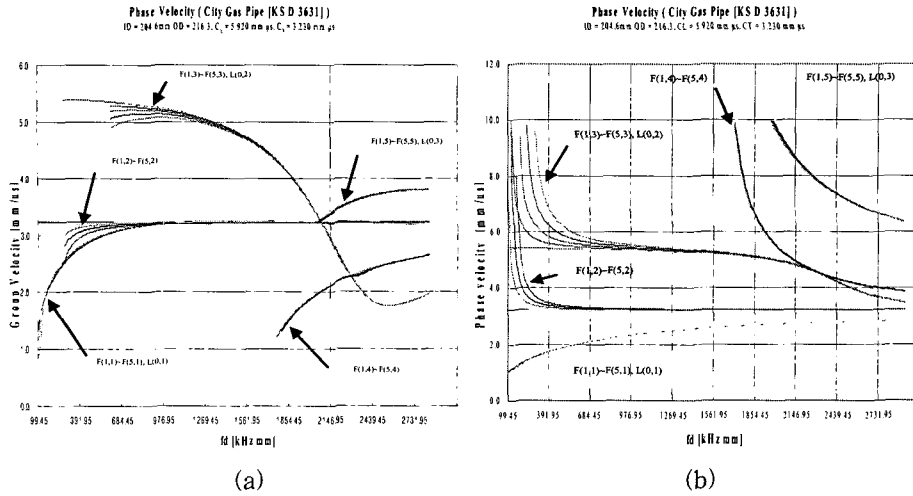


그림 1. KS D 3631 배관의 유도초음파 분산선도
(a) 위상속도 분산선도, (b) 군속도 분산선도

표 1. KS D 3631 배관의 제원 및 초음파 속도

재질	KS D 3631	두께	5.85 mm
내경	204.6 mm	종파속도	5900 mm/μs
외경	216.3 mm	횡파속도	3230 mm/μs

3. KS D 3631(가스배관) 시험편의 제작

도시가스배관으로 사용되는 KS D 3631 배관을 Fig. 3과 같이 각각 3m씩 절단 하고, 결함에 대한 탐지 가능성을 확인 하기 위하여 배관 두께의 80% 결함을 제작 하였다.

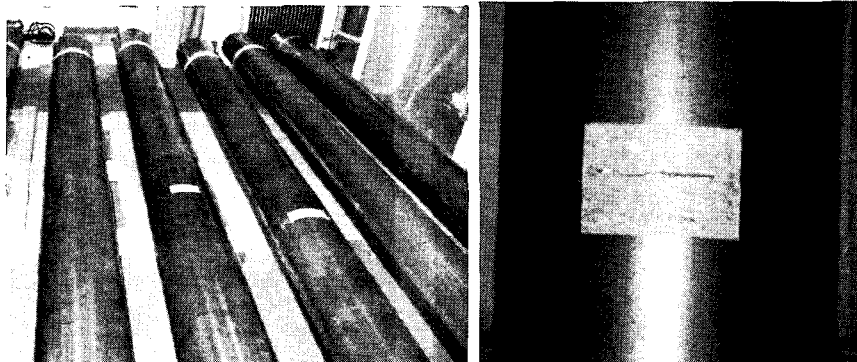


그림 2. 유도초음파 전파 실험을 위한 KS D 3631 배관 및 결함 시험편

4. 도시가스배관에 대한 유도초음파 실험.

4.1 장비 Setting

MsSR을 이용한 도시가스배관의 원거리 유도초음파 탐상을 위한 실험장치 구성도를 그림 3에 나타내었다. 그림 4는 설치된 MsSR 2020 장비를 나타내고 있다.

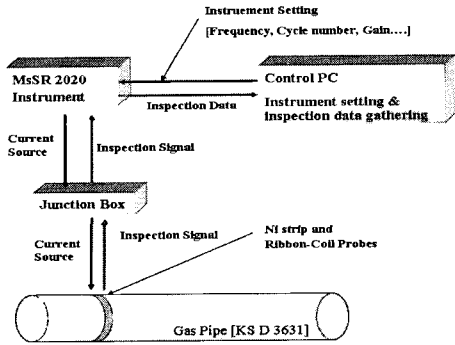


그림 3. KS D 3631 배관의
자외 유도초음파 실험을
위한 장치 구성도

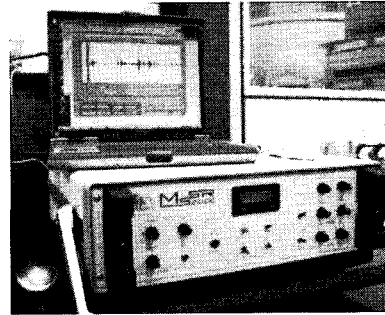
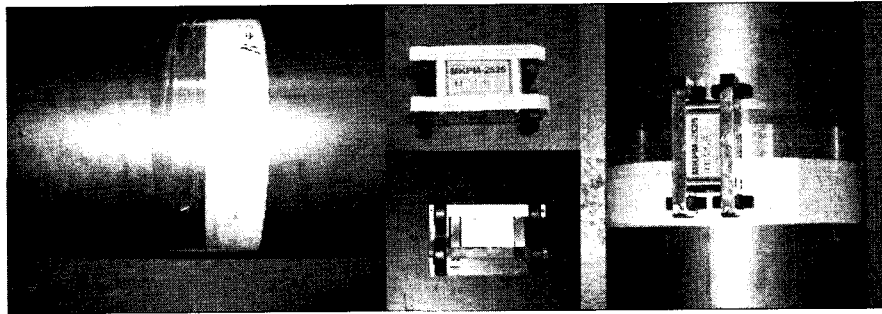


그림 4. MsSR 2020 장비 및
컨트롤 Notebook

KS D 3631 배관에 자외센서를 이용한 유도초음파 탐상을 위하여 Fig 4와 같이 배관주위에 Ni strip을 부착 하였다. 또한 부착된 Ni Strip에 영구자석을 이용하여 Fig 6과 같이 자화를 시켰다.



(a) (b) (c)
그림 5. 영구자석을 이용한 KS D 3631 배관에 부착한 Ni Strip 자화
(a) 테이프를 이용하여 KS D 3631 배관에 Ni Strip 부착
(b) 영구자석 (c) 영구자석을 이용한 Ni Strip 자화

MsSR 2020 장비는 8 KHz부터 최대 256 KHz 까지 의 검사주파수를 발생 시킬 수 있으며 본 연구에서는 배관의 탐상에 적합한 주파수를 찾아내기 위하여, 32 KHz, 64 KHz, 128 KHz, 256 KHz의 주파수를 사용하여 실험을 수행하였으며, 이러한 주파수를 사용하기 위하여 각각의 주파수에 맞는 Ribbon Cable를 이용하였다. 그림 6은 실험에 사용된 주파수에 따른 Ribbon Cable과 배관에 Ribbon Cable을 설치한 모습을 나타내고 있다.



그림 6. 자외 유도초음파 발진을 위한 주파수별 Ribbon Cable 및 부착모습

4.2 무결함 시험편에서의 주파수에 따른 탐상

재해센서를 이용한 도시가스배관의 원거리 탐상을 위하여 주파수를 변화시켜 가면서 최적의 발생조건을 결정하고자 하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 사용한 주파수는 32kHz, 64kHz, 128 kHz, 256 kHz 이다. MsSR 2020 장비를 이용하여 유도초음파를 발생 시킬때에는 주파수 외에도 Time Delay, Cycle Number등에 따라 신호의 양상이 변화하나, 이는 신호분석을 통하면 유사한 결과를 도출한다. 특히 Cycle Number를 높이면, 펄스가 단번에 가진하는 횟수가 증가하게 됨으로 신호의 최대 Peak 수가 늘어나게되어 신호해석에 혼선을 초래할 우려가 있다. 그러나 반대로 Cycle 수가 낮으면 가진되는 에너지가 작아져서 신호의 수신 감도가 떨어지기도 한다. 본 논문에서는 결함탐상을 위한 최적조건을 검출하기 위하여 모든 Cycle Number(1~8)에 대해 실험을 수행하였으며, 그중 가장 적절한 것으로 판단된 Cycle Number 2 일때의 신호에 대하여 고려를 하였다.

주파수에 따른 무결함 시험편의 실험을 통하여 KS D 3631 배관에 가장 잘 전파하는 탐상주파수를 결정하고자 하였으며, 주파수에 따른 노이즈도 고려의 대상이었다.

Fig. 7은 주파수에 따른 결함이 없는 배관의 탐상 결과를 나타내고 있다.

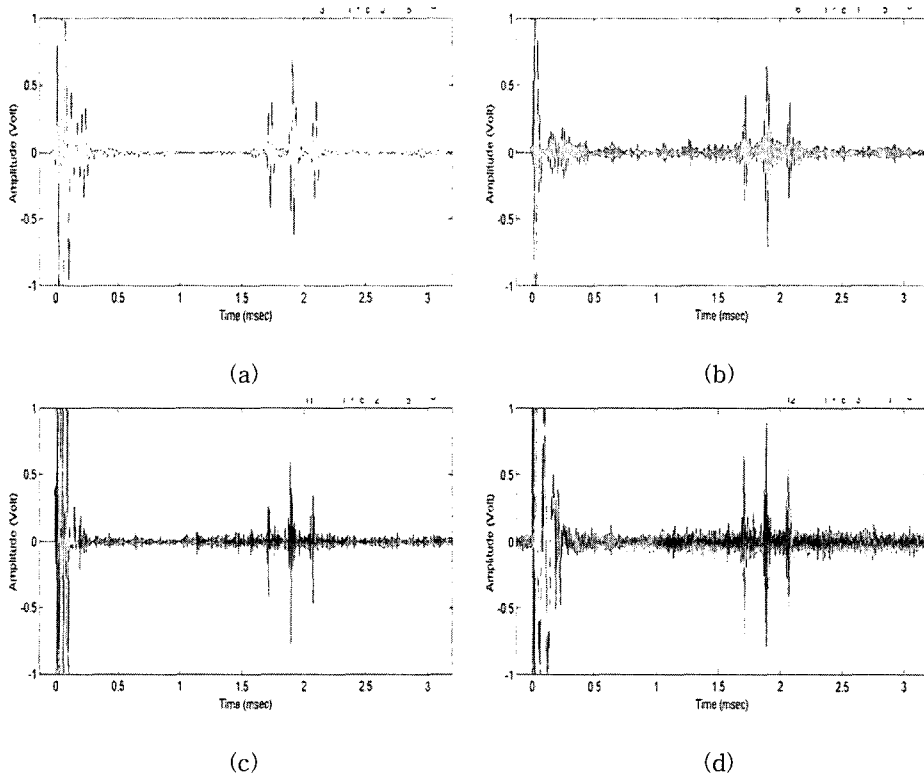


그림 7. 무결함 시험편에 대한 주파수별 탐상결과

(a) 32 KHz, (b) 64 KHz, (c) 128 KHz, (d) 256 KHz,

그림 7의 무결함 시험편에 대한 주파수별 탐상결과에 나타나는 바와 같이 가진 주파수가 32 KHz 일때는 S/N 비가 가장 좋으며, 발생신호 역시 매우 양호하게 수신됨을 알 수 있다. 64 KHz와 128 KHz도 S/N 비는 32 KHz에 비하여 좋지는 않으나 매우 양호한 편임을 알 수 있다. 그러나 256 KHz는 노이즈의 크기가 매우 커서, 만일 결함이 존재할 경우에 256 KHz의 주파수로 탐상 실험을 하는 경우 결함을 찾지 못할 가능성이 매우 큰 것으로 판단

된다. 따라서 본 실험결과 256 KHz는 결함탐지를 고려하였을 때 사용이 적절하지 않은 것으로 사료된다.

4.3 결함 시험편에서의 주파수에 따른 탐상

앞 절의 무결함 시험편에 대한 결과를 바탕으로 결함시험편에 대한 실험을 수행하였다. 결함시험편은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 원주방향으로 가공하였으며 크기는 표 2와 같다.

표 2. KS D 3631 배관에 가공한 결함 사양

길이	5 mm
폭	1 mm
깊이	2 mm ($\approx 30\%$ t)
센서로부터의 거리	1.5 m

그림 8은 결함이 있는 시험편에 무결함 시험편에서 선택된 주파수(32 KHz, 64 KHz, 128 KHz)별 실험 결과를 나타내고 있다.

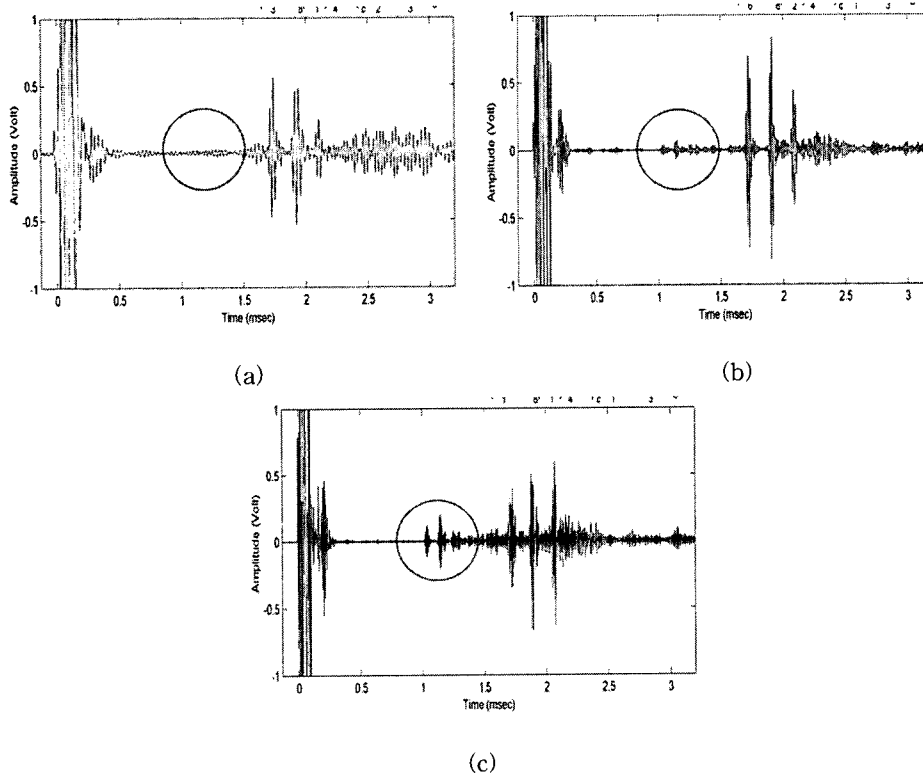


그림 8. 주파수별 결함시험편 탐상 결과

(a) 32 KHz, (b) 64 KHz, (c) 128 KHz

그림 8에서 보이는 바와 같이 센서로부터 1.7m 떨어진 부분에 위치하는 결함을 주파수 32 KHz로 실험하였을 때에는 탐상하지 못함을 알 수 있다. 또한 64 KHz로 실험하였을 때에는 미약하지만 결함신호가 수신됨을 확인할 수 있다. 그리고 128 KHz로 탐상하였을 때에는 결함신호를 매우 뚜렷하게 잡아 낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 MsS를 이용하여 도시가스배관의 결함 탐지에 대한 타당성을 검토 하고자 하였다. 그리고, 결함 탐지를 위한 최적의 조건을 고려하기 위하여, 32 KHz, 64 KHz, 128 KHz, 256 KHz의 실험결과에 대하여 비교 분석 하였으며, 그 결과 S/N 비의 문제로 256 KHz는 적합하지 않음을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 결함검출 가능성 및 최적 주파수를 선정하기 위하여 센서로부터 1.5 m 떨어진 배관으로부터 다시 32 KHz, 64 KHz, 128 KHz에 대하여 실험을 수행하였으며, 그 결과 32 KHz는 결함을 탐지하지 못함을 확인하였다. 따라서 도시가스배관으로 사용되는 KS D 3631 배관의 자왜 유도초음파를 이용한 결함검출을 위해서는 64~128 KHz의 주파수가 적절함을 확인 하였다.

본 연구에서는 시험편 길이가 3m에 불과하였으나, 유도초음파의 발생 및 결함의 최적 신호 도출을 위하여서는 보다 더 긴 관에서 추가적 실험이 필요할 것으로 판단되며, S/N 비의 향상을 위하여 다른 재질의 Strip도 고려하여야 할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

1. D. C. Gazis, "Three dimensional investigation of propagation of waves in hollow circular cylinders. I. Analytical foundation", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 31 (5), pp.568-573, (1959)
2. D.H Lee, "A study on scaledetection in water piping using guided waves", MS. Thesis, Sungkyunkwan University, (2002)
3. D.H Lee, "Application of GuidedWaves for Detection of Scale Inside Water Supply Pipes", Key EngineeringMaterials Vols. 270-273(2004)
4. Sensor System and NDE Technology Department "Operating and Technical Instruction Manual for Magnetostrictive Sensor(MsS) Instrumentation System", SwRI (2002)
5. Sang Y. Kim, "Guided Wave Inspection of Gas Transmission Line", GTI Conference, (2005)
6. Y.M Cheong, "Optimization of the ultrasonic guided wave parameters for crack detection in a feeder pipe of the PHWR power plants", Ultrasonic International '03 (2003)
7. J. L. Rose, Ultrasonic Waves in Solid Media, Cambridge University Press, (1999)
8. J. J. Ditri and J. L. Rose, "Excitation of guided elastic wave modes in hollow cylinders by applied surface tractions", J. Appl. Phys. Vol. 72 (7), pp.2589-2597, (1992)
9. J. J. Ditri, "Utilization of guided elastic waves for the characterization of circumferential cracks in hollow cylinders", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 96, pp.3769-3755, (1994)
10. H. Kwun and K. A. Bartels, "Experimental observation of elastic-wave dispersion in bounded solids of various configurations", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 99 (2) pp.962-968, (1996)
11. H. J. Shin and J. L. Rose, "Guided wave tuning principles for defect detection in tubing", J. NDE, Vol. 17 (1), pp.27-36, (1998)
12. Y. M. Cheong, D. H. Lee and H. K. Jung, "Ultrasonic guided wave parameters for detection of axial cracks in feeder pipes of PHWR nuclear power plants", Ultrasonics, Vol. 42, pp.883-888 (2004)