

매립된 파이프에서 유도초음파의 종파 모드 특성

Mode Characteristics of Longitudinal Guided Waves in Buried Steel Pipes

이 주 원* · 신 성 우** · 나 원 배*** · 김 재 민****

Lee, Juwon · Shin, Sung-Woo · Na, Won-Bae · Kim, Jae-Min

요 약

본 논문에서는 지반에 매립된 파이프에서 전파되는 유도초음파의 종파 모드 특성을 분석하였다. 지상 배관과는 달리 매립 배관에서는 주변 매질로 유도초음파의 누설이 발생할 수 있으며, 이로 인하여 유도초음파의 감쇠가 상대적으로 커질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유도초음파의 여러 특성들 중 종파 모드의 감쇠 특성을 중점적으로 분석하였다. 감쇠에 영향을 미치는 지반의 파동 특성(밀도, 체적종파속도, 체적횡파속도)을 결정하기 위하여 포화도와 다짐을 고려하였다. 포화도가 증가할수록 지반의 체적종파속도와 체적횡파속도는 감소하며, 다짐된 지반은 밀도와 체적종파속도, 체적횡파속도를 증가시킨다. 이와 같은 조건으로 결정된 지반의 파동 특성치와 배관의 물성치를 바탕으로 유도초음파 종파 모드의 감쇠 곡선을 계산하고, 특성을 분석하였다. 결과적으로 포화도가 증가할수록 종파 모드의 감쇠는 감소하는 경향을 나타내었고, 다짐이 증가할 경우 감쇠는 전반적으로 증가하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

keywords : buried steel pipe, guided wave, longitudinal mode, attenuation

1. 서 론

파이프는 물, 석유, 화학제품 등의 수송을 위하여 널리 사용되어진다. 파이프는 매체의 수송을 위하여 긴 거리와 다양한 환경에 걸쳐 설치되며, 이로 인해 파이프의 유지를 위한 주기적인 검사가 필요하다. 유도초음파를 이용한 비파괴검사법은 먼 거리에 걸쳐 전파되는 유도초음파의 특성으로 파이프라인의 검사에 적합하다. 매립된 파이프의 결함 검출과 관련하여, Demma 등(2005)은 매립된 파이프의 결함검출에 대한 실험적 연구를 진행하였으며, Long 등(2003)은 매립된 파이프에서 전파되는 기본 유도파 모드의 감쇠특성을 연구하였다. 이전의 연구에서는 주로 결함의 종류와 위치를 밝히는 것과, 먼 거리를 전파하는 모드에 대한 연구가 이루어졌다. 본 연구에서는 매립된 파이프에서 유도초음파의 종파 모드 특성을 밝히기 위하여 파이프가 매설된 지반의 특성이 고려된 종파 모드의 감쇠 특성을 분석을 중점적으로 수행하였다. 이를 위하여 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다. 1) 파이프가 매립된 지반의 파동 특성(밀도, 체적종파속도, 체적횡파속도)을 포화도와 다짐을 고려하여 결정하였다. 2) 결정되어진 지반의 파동 특성으로 유도초음파의 분산곡선을 구하는 프로그램인 DISPERSE를 사용하여 매립된 파이프에서 전파하는 유도초음파의 감쇠곡선을 구하고 그 특성을 분석하였다.

* 정희원 · 부경대학교 해양공학과 박사과정 i0m0free@pknu.ac.kr

** 정희원 · 부경대학교 안전공학부 조교수 shinsw@pknu.ac.kr

*** 정희원 · 부경대학교 해양공학과 부교수 wna@pknu.ac.kr

**** 정희원 · 전남대학교 해양토목공학부 교수 jm4kim@jnu.ac.kr

2. 연구방법

2.1. 파이프와 지반의 물성치

본 연구에서는 강철 재질의 API 5L-48 규격의 파이프를 대상으로 하였다. 파이프의 치수와 물성치는 표 1에 나타내었다. 또한, 파이프가 매립되어진 지반의 파동 특성을 반영하기 위하여, 그 물성치를 포화도와 다짐을 고려하여 표 2와 같이 결정하였다.

Adamo 등(2010)의 연구에 의하면 포화도가 증가할수록 지반의 체적종파속도와 체적횡파속도는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 포화도의 영향을 고려한 지반의 물성치는 Case 1이 가장 낮은 포화도를 가지며, Case 4가 가장 높은 포화도를 가진다.

Zhiqu 등(2004)은 다짐이 지반에서 전파되는 체적파의 속도에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이 연구에서 체적파의 속도는 다짐이 증가할수록 증가하며, 그 증가 정도는 포화되지 않은 지반이 포화도가 높은 지반보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 포화도가 가장 낮은 Case 1과 포화도가 가장 높은 Case 4의 밀도와 체적파 속도를, Case 5와 6과 같이 결정하였다.

2.2. 해석방법

이전 단계에서 결정되어진 물성치로 DISPERSE를 사용하여 L(0,1) 모드와 L(0,2) 모드의 감쇠를 계산하여 결과를 정리하였다. 먼저 포화도의 영향을 확인하기 위하여 Case 1~Case 4를 한 그림으로 나타내어 그 결과를 비교하였고, 다짐 전과 후의 감쇠 변화를 확인하기 위하여 Case 1과 Case 5, Case 4와 Case 6을 한 그림으로 나타내어 그 결과를 분석하였다.

표 1 파이프의 치수와 물성치

Dimensions		Material Properties		
Outside diameter	Wall thickness	Density	Longitudinal wave velocity	Shear wave velocity
114.3mm	6.4mm	7932kg/m ³	5960m/sec	3260m/sec

표 2 지반의 물성치

No.	Density	Longitudinal wave velocity	Shear wave velocity
Case 1	1500kg/m ³	1000m/sec	100m/sec
Case 2	1500kg/m ³	750m/sec	75m/sec
Case 3	1500kg/m ³	500m/sec	50m/sec
Case 4	1500kg/m ³	250m/sec	25m/sec
Case 5	1650kg/m ³	1700m/sec	170m/sec
Case 6	1650kg/m ³	325m/sec	32.5m/sec

3. 결과

3.1. 포화도의 영향

포화도가 감쇠에 미치는 영향을 그림 1에 나타내었다. 그림 1.(a)의 L(0,1) 모드와 그림 1.(b)의 L(0,2) 모드 모두, 포화도가 증가함에 따라 감쇠가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3.2. 다짐의 영향

다짐이 감쇠에 미치는 영향을 그림 2와 3에 나타내었다. 포화되지 않은 지반의 경우, 그림 2.(a)와 같이 L(0,1) 모드의 감쇠는 감소하는 반면, L(0,2) 모드는 그림 2.(b)와 같이 감쇠가 증가하였다. 포화된 지반의 경우, L(0,1) 모드와 L(0,2) 모드 모두 감쇠가 증가하였다. 전반적으로 다짐이 가해질 때 감쇠가 증가하지만, 그림 2.(a)와 같이 감쇠가 감소하는 경우가 발생한다. 이는 포화되지 않은 지반에 가해진 다짐은 체적종파속도와 체적횡파속도를 크게 증가시키며, L(0,1) 모드가 이에 민감하게 반응하기 때문으로 판단된다.

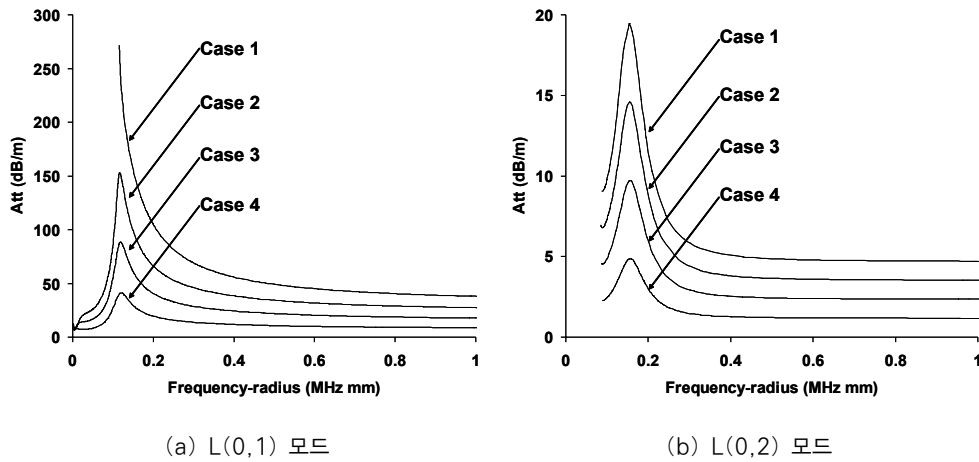


그림 1 포화도에 따른 종파 모드의 감쇠 변화

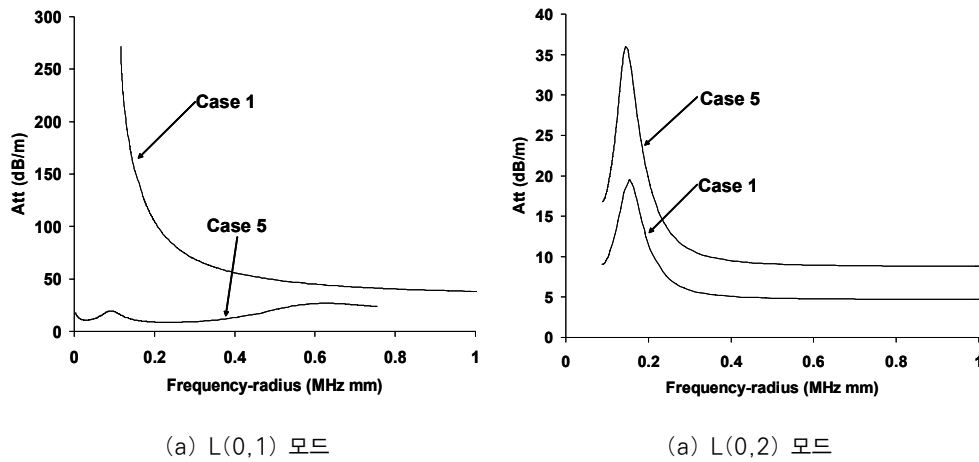
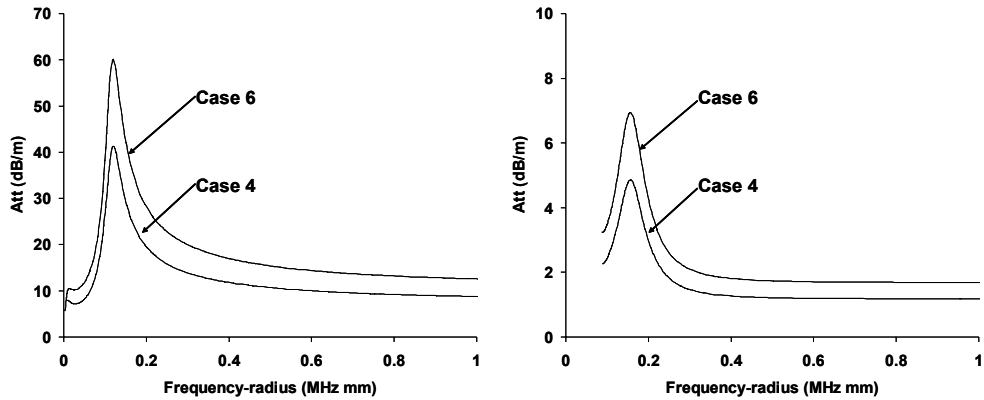


그림 2 포화되지 않은 지반에서 다짐에 의한 종파 모드의 감쇠 변화



(a) L(0,1) 모드

(a) L(0,2) 모드

그림 3 포화된 지반에서 다짐에 의한 종파 모드의 감쇠 변화

4. 결론

1. 포화도의 증가는 종파 모드의 감쇠를 감소시키며, 모든 모드가 동일한 경향을 보인다.
2. 다짐은 감쇠를 증가하게 만들지만 반대되는 경향을 보이는 경우(포화되지 않은 지반에서의 L(0,1) 모드)가 존재한다.

이상과 같이 매립된 파이프에서 유도초음파의 종파 모드의 감쇠는 지반의 특성에 큰 영향을 받는다. 본 연구에서 사용되어진 포화도와 다짐에 따른 지반의 특성(밀도, 체적종파속도, 체적횡파속도)은 그 일반적인 경향만을 고려하여 결정되어 현장에서의 결과와는 차이를 보일 수 있다. 따라서 매립되어져 있는 지반의 환경을 고려한 지반특성의 결정이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지정 전남대학교 중화학설비안전진단센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- Adamo, F., Attivissimo, F., Fabbiano, L., Giaquinto, N., Spadavecchia, M. (2010) Soil moisture assessment by means of compressional and shear wave velocities: Theoretical analysis and experimental setup, *Measurement*, 43, pp.344~352.
- Demma, A., Alleyne, D., Pavlakovic, B. (2005) Testing of Buried Pipelines Using Guided Waves, *3rd MENDT*.
- Long, R., Lowe, M., Cawley, P. (2003) Attenuation characteristics of the fundamental modes that propagate in buried iron water pipes, *Ultrasonics*, 41, pp.509~519.
- Zhiqu, L., Craig, J.H., James, M.S. (2004) Effects of Compaction on the Acoustic Velocity in Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 68, pp.7~16.