

매설 삼중 보온관에 작용하는 진동 다짐 하중의 수치해석적 적용 및 현장 실험 비교, 분석

Numerical and Experimental Researches on Buried Three-layered Pipeline Subjected to Soil Surface Vibration Compaction Loads

김 문 겸* · 원 중 화** · 김 정 재*** · 최 봉 혁****

Kim Moon Kyum · Won Jong Hwa · Kim Jeong Jae · Choi Bong Hyuck

요약

최근 노후한 기존 구조물의 교체 및 건물 증축으로 인하여, 도심지 내 공사 현장 및 주변 지반에 매설된 지중 배관은 차량 이동 하중 및 건설 장비 하중 등의 진동에 노출이 되어있는 실정이다. 이러한 장비 하중이 매설배관에 미치는 영향을 분석, 예측하기 위하여 실증 실험 결과를 토대로 모델을 검증하고 수치해석을 수행하였다. 그 결과 최대 발생 응력은 외관은 270°에서, 내관은 180°에서 발생 하였으며, 이는 폴리우레탄 보온재의 하중 분산 효과로 설명 할 수 있다.

keywords : 진동다짐, 다중배관, 진동속도, 동해석

1. 서론

현재 지중 매설관은 부식 및 충격에 의한 파손 등에 모니터링이 어려운 실정이다. 또한 공사 현장과 인접한 경우, 차량 이동 하중 및 건설 장비 등에 의하여 발생하는 진동 하중에 쉽게 노출되어 배관의 설계 및 시공 시 예상하지 못했던 거동이 야기될 수 있다. 이에 대한 효율적인 관리와 적절한 대처를 위하여 배관의 역학적 거동 특성 연구는 반드시 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 건설 장비 하중에 대한 거동을 분석, 예측하기 위하여 신뢰성을 갖춘 수치해석 모델을 실증 실험 결과에 적용, 그 사용성을 검증하고 parametric study를 수행하였다. 수치 해석은 지반 전용 유한 요소 해석 프로그램인 Midas GTS ver.2.0.2를 사용하였다.

2. 연구 내용 및 범위

본 논문에서는 건설 장비 중 진동다짐롤러의 매설 배관 상부 진동 및 무진동 거동에 따른 배관의 동적 응답을 검토하기 위하여, 시간이력해석을 통한 매설심도에 따른 배관의 변위와 진동속도를 검토 하였다.

2.1 해석 대상 선정

본 연구를 위한 해석 대상 배관은 현장 실험의 수치해석 결과 검증을 통하여 해당 지반의 진동롤러 하중의 효율을 유추하였으며, 검증된 수치 해석 모델을 바탕으로 Parametric study를 수행하여 다양한 변수에 대한 지중 삼중관의 거동을 검토하였다. 다음 표 1에 지중 배관 거동 분석을 위한 진동 다짐 롤러의 제원을 요약하였다. 그림 1과 같이 지표로부터 표준심도 (0.6m), 1.2 및 1.8m에 위치한 배관위에 10m 구간의 다짐롤러 이동하중에 대해서 수치해석을 수행하였다. 경계조건은 spring과 damper를 이용하여 점탄성 경계조건으로

* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수 applymkk@yonsei.ac.kr

** 학생회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 examve@yonsei.ac.kr

*** 연세대학교 토목공학과 석사과정 lifeiscool@yonsei.ac.kr

**** 한국건설기술연구원 연구원 bhchoi@kict.re.kr

구속하여 해석하였으며, 진동 다짐 롤러는 RX102V 모델을 사용하였다.

표 1. 진동 다짐 롤러의 제원

롤러하중	차량총하중	: 10.2 tonf
	구심력 / 회전수	: 21 tonf / 1800 rpm
	효율	: 17 % (무진동), 3.6 % (진동)
	주행속도	: 10 km/h

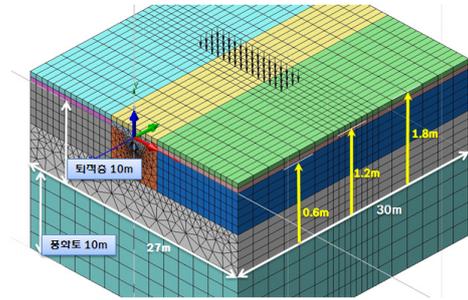


그림 1. 건설장비하중 적용 수치해석 모형

2.2 차량 주행 하중 모형

본 연구에서 고려되어진 진동 롤러는 차륜을 통하여 하중을 전달하는 하중원으로서, 그 원리는 차량 이동 하중과 유사하나, 롤러에서 진동이 발생할 경우 회전수 및 회전 속도를 고려한 구심력이 고려되어야 한다. 본 연구에서 롤러 하중은 10 tonf 롤러의 각 바퀴가 절점을 지나가는 짧은 시간동안 선형으로 가감되는 삼각과 하중(symmetrical triangular pulse force) 형태를 선택하였고, 차량의 주행 속도와 유한 요소 모형에 사용된 요소의 절점간격에 따라 해석 시간 간격이 결정된다. 그림 2와 같이 이동하중으로 이상화 시키면, 차량 총 축간거리 3.00m를 0.75m로 나누어 0.27초 간격의 총 4구간 삼각형 이동 하중을 나타낼 수 있다. 이동 방향은 그림 3과 같고, 이에 대한 삼각형 이동하중과 구심력을 고려한 진동하중을 그림 4에 나타내었다. 다짐 롤러의 진동 메카니즘은 그림 5와 같이 도식화 할 수 있으며 이와 같은 관계는 다음 식 1과 같다.

$$(m_f + m_d)g + m_0 e_0 \Omega^2 \cdot \cos(\Omega \cdot t) = E_{vib} \quad (1)$$

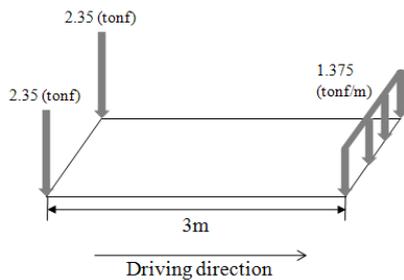


그림 2. 롤러하중 분포 모형

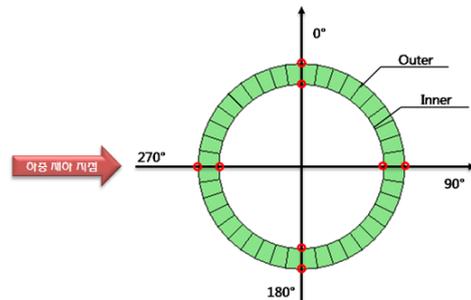


그림 3. 진동롤러의 내·외관 거동 분석 위치

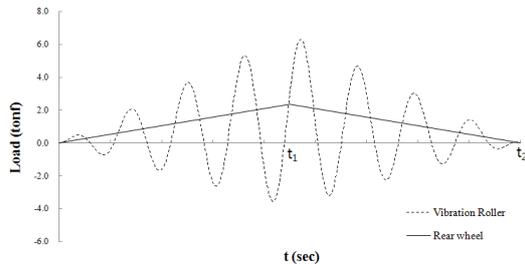


그림 4. 삼각형 하중으로 이상화된 차량하중

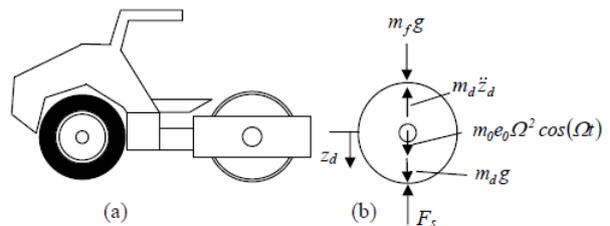


그림 5. 진동 롤러 하중 모식도

여기서 m_f 는 드럼에 작용하는 차량 무게, m_d 는 드럼의 무게, g 는 중력 가속도이며 m_0 는 편심질량, e_0 는 편심거리, 그리고 Ω 는 각속도이다.

3. 매설심도 및 진동, 무진동에 따른 영향

진동 및 무진동에 따른 거동을 평가하기 위하여, 매설심도 0.6, 1.2, 1.8m에 작용하는 앞, 뒤축 및 구심력을 고려한 진동, 무진동 롤러의 수치해석을 수행하였다. 그림 6은 매설심도 0.6m에 위치한 배관에 진동 롤러 하중에 의해 발생하는 내관의 각 성분별 진동 속도와 변위이다. 롤러하중의 경우 수직하향으로 직접적으로 하중이 발생하기 때문에 수직성분의 값이 가장 크게 발생한다. 외관과 내관 모두 과의 진행방향 속도인 v_z 가 가장 컸으며 다음으로 수직 속도 성분인 v_x 가 컸고 수평방향 성분 중 진행방향과 수직방향인 v_y 가 가장 작았다. 변위 또한 진동속도와 같은 결과를 보였으며 수직방향 성분인 v_y 는 거의 0에 가까웠다.

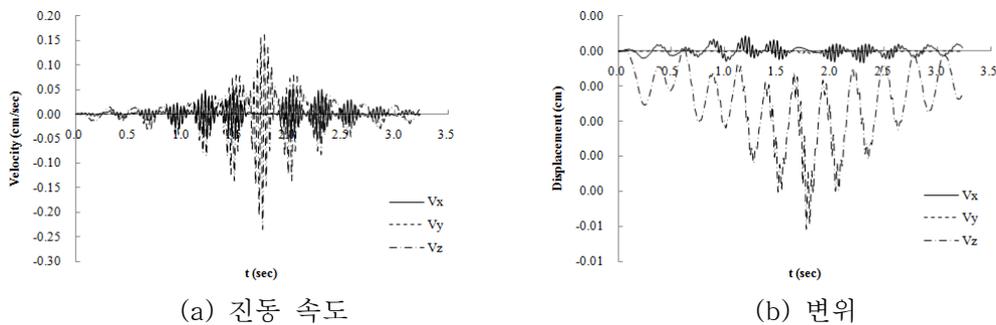


그림 6. 내관(Steel) 상단부 진동속도 및 변위 (d=0.6, 진동)

이러한 성분들을 이용하여 그림 7에 배관의 중심부에서 발생하는 최대 진동 속도 및 발생 응력을 진동, 무진동 하중 및 매설심도에 대하여 요약하였다. 최대 진동 속도는 매설 심도가 깊어질수록 작아지는 것을 확인할 수 있으며, 수직성분 변위 및 압력에 의하여 매설 깊이와 진동 속도는 반비례 한다는 것을 알 수 있다. 또한 최대 발생 응력은 매설 심도가 깊어질수록 작아지는 것을 알 수 있다.

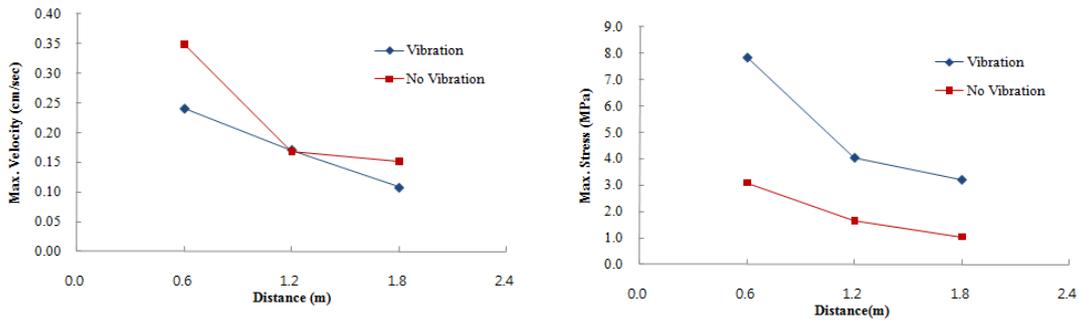


그림 7. 매설심도에 따른 내관(Steel) 중심부 최대 진동속도 및 발생응력

롤러 하중에 의해 발생하게 되는 진동에 대한 응답으로 외관(HDPE)에서 발생하여 내관(Steel)으로 전달되는 역학적 특성을 토압(P), 변위(δ), 및 유효응력(von-Mises stress, MPa)을 사용하여 각 배관의 상호작용을 검토하였다. 내·외관에 대하여 그림 3과 같이 배관 중심부의 상부(0°), 양측부($90^\circ, 270^\circ$), 그리고 하부(180°) 각 8점을 고려하여 검토하였으며 하중 재하 지점은 배관의 좌측부방향이다. 매설심도에 따라 진동 및 무진동 롤러하중에 의하여 발생하는 내·외관의 유효응력을 표 2에 정리 하였다. 매설심도 0.6m에 대하여 진동인 경

우 외관의 최대발생응력은 $0.006MPa$ 이며, 무진동인 경우는 $0.017MPa$ 로 외관과 내관의 응력은 진동인 경우보다 무진동인 경우가 높게 나타났으며 마찬가지로 내관의 경우에는 매설심도가 0.6m, 진동일 경우가 180° 에서 $0.330MPa$ 이고, 동일한 조건에서 무진동의 경우 $1.160MPa$ 를 보이며 외관과 마찬가지로 무진동일 경우 더 높은 응력을 보였다.

표 2. 정·동적 하중을 고려한 지중 배관 발생 응력

무진동		0°		90°		180°		270°	
		외관	내관	외관	내관	외관	내관	외관	내관
동해석 (MPa)	d=0.6m	0.005	0.748	0.012	0.147	0.005	1.160	0.017	0.149
	d=1.2m	0.002	0.403	0.007	0.096	0.004	1.012	0.008	0.098
	d=1.8m	0.002	0.319	0.005	0.125	0.003	0.898	0.007	0.129
진동		0°		90°		180°		270°	
		외관	내관	외관	내관	외관	내관	외관	내관
동해석 (MPa)	d=0.6m	0.002	0.310	0.005	0.068	0.002	0.330	0.006	0.068
	d=1.2m	0.001	0.166	0.003	0.055	0.001	0.274	0.003	0.047
	d=1.8m	0.001	0.105	0.002	0.045	0.001	0.228	0.002	0.046

4. 결론

본 연구에서는 현장 실험을 통하여 검증된 롤러 하중에 따른 매설 삼중 보온관의 거동을 검토하기 위하여 진동/무진동 하중(2 case), 매설심도 0.6, 1.2, 1.8m (3 case)에 대한 수치해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 수직성분 변위 및 압력에 의하여 매설깊이와 진동속도는 반비례 한다는 것을 알 수 있다. 또한 최대 발생 응력은 매설심도가 깊어질수록 낮아지는 것을 알 수 있다.
2. 최대 발생 응력은 외관은 270° 에서, 내관은 180° 에서 발생 하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 하중 재하 지점에 따른 영향으로 롤러하중이 이동함에 따라 최대 발생 응력 지점이 달라지는 것을 알 수 있다.

감사의글

본 연구는 한국건설기술연구원의 지원으로 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Michael Mooney, A.M. ASCE and Dietmar Adam (2007). "Vibratory Roller Integrated Measurement of Earthwork Compaction : An Overview", Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics 2007.
- Robert V. Rinehart, Michael A. Mooney, "Instrumentation of a Roller Compactor to Monitor Vibration Behavior during Earthwork Compaction", ISARC (2005)
- Ake Sandstrom, "Numerical Simulation of a Vibratory roller on cohesionless soil", SIMVIB2.DOC 1994.
- 김재민, 이중건, 이익효, 이두화, "터널내 교량의 이동차량하중 작용시 충격계수에 대한 사례연구", 한국암반공학회 (1999) pp. 185-193
- 김기철, 한덕진, "차량 이동하중을 받는 바닥판 구조물의 효율적인 진동해석", 대한토목학회(2005) 21권 4호(통권 198호)