



건설 현장 항타하중에 의한 지중 삼중관 진동 거동 : I. 이격 거리

김문겸 · [†]원종화 · ^{*}최정현 · 유한규^{*}

연세대학교 토목환경공학과, ^{*}한양대학교 건설환경공학과
(2010년 10월 26일 접수, 2011년 6월 28일 수정, 2011년 6월 28일 채택)

Dynamic Response of Underground Three-layered Pipeline Subjected to Pile Driving Loads : I. Distance

Moon Kyum Kim · [†]Jong Hwa Won · Joung Hyun Choi^{*} · Han Kyu Yoo^{*}

Department of Civil Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

^{*}Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791, Korea

(Received October 26, 2010; Revised June 28, 2011; Accepted June 28, 2011)

요약

본 연구에서는 건설 현장에 매설된 삼중관이 항타 진동에 노출되었을 경우에 발생하는 동적 거동을 분석하였다. 항타 에너지는 7tonf의 램이 1.2m에서 낙하하였을 경우로 선정하였으며 이격 거리는 5~30m로 변화하여 연구를 진행 하였다. 관의 길이 방향 중심에서의 진동 속도와 응력을 확인 하였고, 감쇠비를 고려하여 삼중관의 거동을 분석하였다. 매설 심도가 동일한 경우의 진동 속도에 대한 감쇠율은 이격 거리가 증가함에 따라 감소하는 추세를 보이며 내관에서 역시 이격 거리가 증가함에 따라 감소하는 추세를 보인다. 상하부에서 최대 응력값을 보이는 내관과 달리 외관은 불규칙한 응력 분포를 나타내는 것을 확인하였다.

Abstract - This study presents the behavior characteristics of buried three-layered pipeline subjected to pile driving loads. The analysis considered the driving energy caused by 7 tonf of ram weight and 1.2m of stroke. Also the distance from vibration resource to pipeline varies in 5m to 30m. The vibration velocity and stress are investigated at the center of pipeline in longitudinal direction. In the same cover depth, attenuation ratio of vibration velocity and von Mises stresses for distance increment has shown a decreasing trend. The maximum stress occurs at the top and bottom for the inner pipe, however, an irregular stress distribution is found for the outer pipe.

Key words : buried pipe, three layered pipeline, distance, pile driving, attenuation ratio

I. 서론

현재 세계적으로 구조물 진동에 관한 여러 가지 설계기준 또는 진동 속도 규제를 제안하고 있다. 독일의 경우 일반 산업 건물 및 콘크리트 구조물에 대하여는 주파수에 따라 진동 속도를 2~5cm/sec로

규제하고 있으며, 문화재의 경우 0.3cm/sec까지 제한하고 있다[1]. 1980년 Siskind 등의 보고서에 의하면 진동 속도에 대한 진동수의 영향을 고려하여 진동수 40Hz이상의 진동수를 갖는 발파 진동에 대하여 5cm/sec를 허용 값으로 적용하였으나, 40Hz이하의 저주파를 갖는 발파 진동에 대하여는 1.2cm/sec로 낮추어야 할 것으로 권고하고 있다[2]. 국내의 경우 역시 한국 가스공사, 국토해양부 등에서

[†]주저자:exameve@yonsei.ac.kr

진동 속도 및 설계 기준을 규정하여 지중 배관을 관리하고 있다[3,4]. 한국가스공사의 배관 진동 값 기준에서는 최대 진동 속도가 2.0cm/sec 이상일 경우 구조물 운용을 불허하며, 2.0~0.4cm/sec의 진동 속도에서는 무진동 공법 시공 혹은 보강 후 시공을 하여야 한다. 진동 속도가 0.4cm/sec 이하일 경우에는 안전하다고 규정하고 있다[4].

지중 매설관의 경우 지반 진동의 영향에 매우 취약하며 매설 환경 또한 견디지 못한 곳이 대부분이다. 이러한 지중 매설 배관은 예상치 못한 하중에 대한 노출이 빈번하며 특히, 공사 현장과 인접한 경우에는 발파, 항타, 건설 장비 등에 의하여 발생하는 진동 하중에 노출되기 마련이다. 따라서 배관의 부식 및 충격에 의한 파손 등의 단점을 극복하기 위해 국내외로 다중관의 사용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 이러한 지중 다중관에 근접한 공사 현장에서의 항타 진동에 의하여 발생하는 하중의 효율적인 관리와 적절한 대처를 위하여 일정 진동 하중에 대한 배관 진동 해석을 수행하였다. 대상 배관은 국내에서 사용되고 있는 강관(Steel), 완충재(PUR, Poly Urethane Resin) 및 HDPE 외관으로 이루어진 삼중관을 그 대상으로 한다[5].

II. 수치 해석 조건

신뢰성있는 결과를 도출하기 위하여 현장 실험 결과에 기반한 합리적인 수치 해석 모델의 선정은 필수적인 과정이다. 본 연구에서는 유한 요소 해석 기법을 이용하여 모델을 구성하고 실험값을 바탕으로 검증된 유한 요소 모델을 도출하고자 한다. 지반

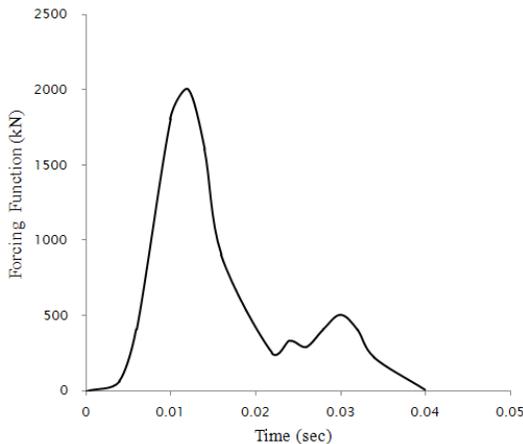


Fig. 1. Pile Driving Load Model[7].

물성값 및 항타 하중 모형의 검증을 위하여 ‘경부고속철도 제3공구 교량 기초 말뚝 항타시의 소음 및 진동 영향 평가 연구’(1995, 한국건설기술연구원)에서 항타 하중에 의한 지반 진동의 계측 결과를 이용하였다[6].

해석대상 지반의 경우, 배관과 항타 하중의 이격 거리 및 배관의 횡방향 거동을 모사하기 위하여 가로 70m, 세로 17m, 폭 120m로 선정하였고, 내관의 직경이 800mm인 삼중관을 사용하였다. 항타 하중의 수치 해석을 위하여 Mounir E.Mabsout가 제안한 항타 에너지와 시간의 상관 관계를 나타낸 그래프를 이용하였다[7].

2.1. 항타하중 모형화

항타 하중은 Mounir E.Mabsout(1999)가 제안한 Force(kN)와 time(sec)의 관계를 나타낸 Fig. 1과 같은 하중 모형을 적용하였다. 항타 직후 0.01초에서 최대 하중인 1800 kN의 하중이 작용되었고, 반발에 의하여 0.03초에 일시적으로 하중이 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 현장에서 사용되는 해머 규격으로는 DHK 3, DHK 5, DHK 7이 있으며, 본 연구에서 사용한 DHK 7의 램 중량, 최대 충돌에너지 등의 사양은 Table 1에 요약하였다. DHK 7의 해머 규격으로 램 중량은 7 tonf이며 램 스트로크는 0.2~1.2m 이고, 최대 충돌 에너지는 낙하거리가 1.2m 일 경우 8400Nm 이다.

DHK 7의 충돌 에너지를 시간에 따른 충돌에너지에 대한 그래프로 환산을 하기 위하여 아래와 같이 식(1)을 적용하였다[8].

$$mv = \int_0^t f(t)dt \quad (1)$$

여기서, m 은 램의 질량, $v = \sqrt{2gh}$ 으로 낙하고(h)에 관한 함수로 표현되며, g 는 중력 가속도로 9.81 cm/sec이다.

Table 1. Hammer Specification[6]

DKH 7	
Ram Weight	7tonf
Ram Stroke	0.2 - 1.2m
Max. Impact Energy	8400Nm
Total Weight of Hammer	11 tonf

2.2. 유한요소 모델

항타 하중에 의하여 발생하는 진동의 해석 대상 모델 경계면의 감소 효과를 위하여 점탄성 경계로 정의하였다. 고유 진동수 해석을 위해서는 탄성 경계를 사용하여 지점 조건을 정의한다. 스프링 상수는 도로교설계기준(하부구조편)의 지반반력계수에 따라 산정하였다[9]. 식 (2)은 연직 지반 반력 계수를 의미하며, 식 (3)은 수평 지반 반력 계수를 의미한다.

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{30} \right)^{-3/4} \quad (2)$$

$$k_h = k_{h0} \left(\frac{B_h}{30} \right)^{-3/4} \quad (3)$$

여기서, $k_{v0} = k_{h0} = \alpha E_0 / 30$, $B_v = \sqrt{A_v}$, 그리고 $B_h = \sqrt{A_h}$, A_v 와 A_h 는 각각 지반의 연직 방향면과 수평 방향면의 단면적이며, E_0 는 지반의 탄성 계수이다. 또한, α 는 평상시 1.0으로 한다. 지반과 같은 반무한체를 모델링할 경우 파의 반사 효과를 차단하기 위하여 본 연구에서는 1969년 Lysmer와 Wass가 제안한 점성경계를 적용하였다[10]. 점성경계를 정의하기 위해서 모델링된 물성 값에 대한 x, y, z방향에 대하여 Damper값을 산정한다. P 및 S파에 대한 Damper값은 다음 식 (4) 및 (5)와 같다.

$$C_p = \rho A \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} = \gamma A \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\gamma g}} = c_p A \quad (4)$$

$$C_s = \rho A \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \gamma A \sqrt{\frac{G}{\gamma g}} = c_s A \quad (5)$$

여기서, E 는 탄성계수, ν 는 포아송비, A 는 모델의 단면적, $\lambda = \nu E / [(1 + \nu)(1 - 2\nu)]$ 그리고 $G = E / 2(1 + \nu)$ 이다. 점성계수 C_p 와 C_s 를 선정된 모델의 경계에 적용하여 해석을 수행한다.

2.3. 해석 대상 지반 선정

Fig. 2는 본 연구를 위한 유한 요소 모델이며, 삼중관을 매설하기 위하여 trench규격은 표준 시방을 참조하였으며 Fig. 3과 같다[11].

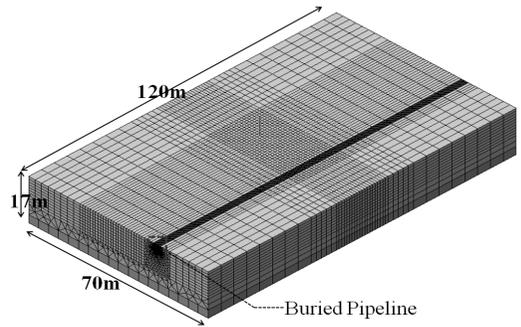


Fig. 2. FEA Model.

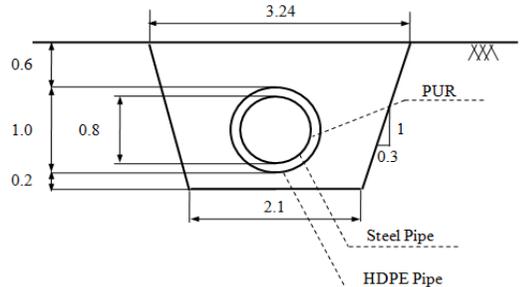


Fig.3. Standard of Trench^[11].

Table 2. Properties of Soils and Pipeline [5-6]

	탄성계수, E (tonf/m ²)	단위중량, γ (tonf/m ³)	포아송비, ν	마찰각, Φ (°)	점착력, C (tonf/m ²)	두께, t (m)
Outer Pipe (HDPE)	8.16×10^4	0.94	0.4	-	-	0.0176
Inner Pipe (Steel)	2.14×10^7	7.86	0.3	-	-	0.0095
PUR	5.10×10^4	0.03	0.3	-	-	-
Filler (Sand)	3.50×10^3	1.36	0.45	30.75	0.1×10^4	
Alluvial layer	900	1.6	0.3	23	0	
Weathered Soil	6500	1.95	0.35	31	3.5	
Weathered Rock	7500	2.05	0.35	33	5.5	

본 연구에서는 지반의 물성값과 항타 에너지를 검증하기 위하여 앞서 언급한 바와 같이 '경부고속철도 제3공구 교량 기초 말뚝 항타시의 소음 및 진동 영향 평가 연구'(1995, 한국건설기술연구원)에서 실험한 지반 물성값(Table 2)을 대상으로 해석을 실시하였다[6].

해당 연구에서 지반 조사를 위하여 실시한 시추 주상도를 근거로 해석에 사용되는 각 지층의 두께를 선정하였다. 지반의 각층은 충적층, 풍화토, 풍화암으로 구성되어 있으며 시추 주상도를 근거로 충적층은 10m, 풍화토는 4m, 풍화암은 3m로 선정하였다. 또한, 기존 실험을 고려하여 말뚝의 길이는 거리를 고려하여 14m로 선정하였으며, 강관의 직경은 609.89mm, 두께는 12mm 이다. 기존 연구에서 관입된 말뚝의 길이가 10m이며 이격 거리가 20m일 경우에 발생하는 진동 속도 0.6502 cm/sec를 반영하여, 본 연구에서는 연구의 신뢰성을 확보하기 위하여 기존의 연구와 동일 조건에서 지표 진동 0.6771 cm/sec (error = 4%)를 보이는 유한 요소 모델을 선정하였다. 이를 바탕으로 보정된 지반 물성값 및 삼중관의 물성값을

Table 2에 정리하였다. 또한, 이격거리는 본 연구의 핵심적인 인자로서 5, 10, 15, 20, 25, 30m로 변경하며 6 Case로 구성하여 해석을 실시하였다.

III. 하중 이격 거리에 따른 배관 거동

외부에서 발생하는 항타 진동에 의해 야기되는 진동에 대한 응답으로 외관에서 발생하여 내관으로 전달되는 파의 역학적 특성을 진동 속도, 유효 응력을 통하여 각 배관의 상호 작용을 검토하고자 한다.

내·외관에 대하여 Fig. 4와 같이 배관 중앙부의 상부 (0°), 양측부 (90°, 270°) 그리고 하부 (180°), 네 지점을 고려하여 분석하였으며 하중 재하 지점은 배관의 좌측부이다. 또한, 항타 지점으로부터 관이 매설된 위치까지의 이격 거리가 5, 10, 15, 20, 25, 30m일 경우에 따라 지중에 매설된 삼중관의 거동을 확인하였으며 기존의 연구의 이격 거리 20m일 경우를 reference case로 선정하여 타 이격 거리에서 진동 특성과의 비교 대상으로 고려하였다.

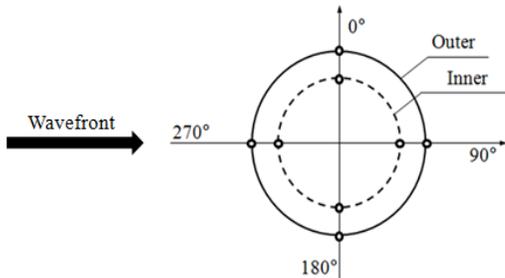


Fig. 4. Three-layered Pipe Section.

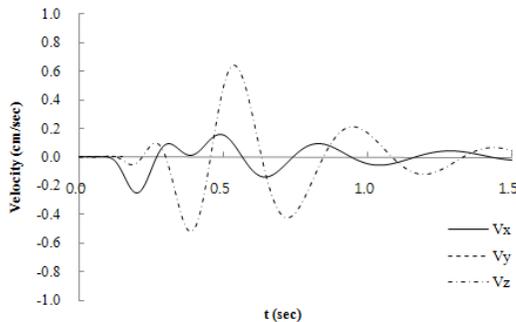
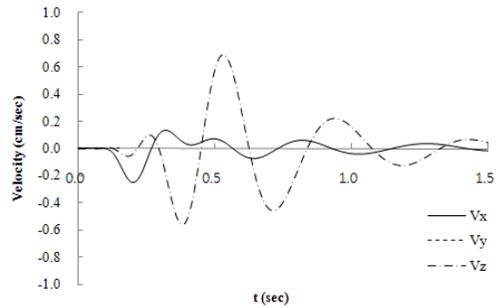
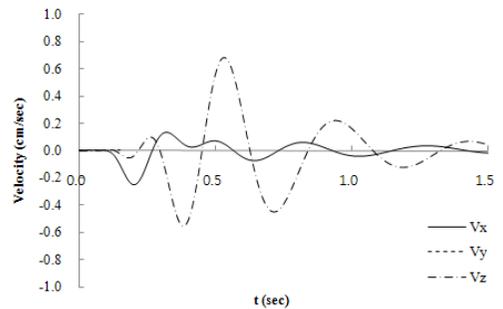


Fig. 5. Vibration Velocity of Outer at 0° (D=20m, d=0.6m, Vsum=0.689cm/sec).



(a) Outer (D=20 m, Vsum=0.735cm/sec)

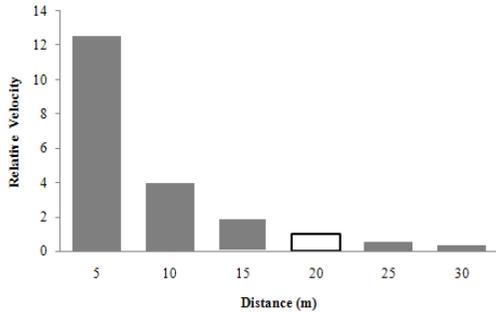


(b) Inner (D=20m, Vsum=0.727cm/sec)

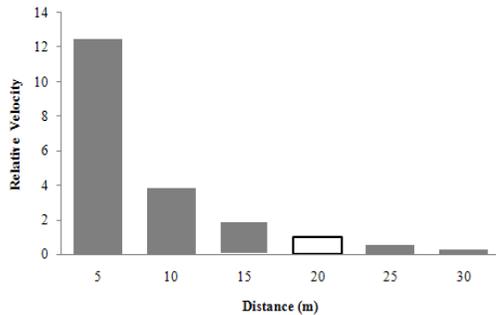
Fig. 6. Vibration Velocity of Outer and Inner at 270°.

Table 3. Vibration Velocity of Outer and Inner Pipe at each Point(D=20m)

	0°		90°		180°		270°	
	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner
Vibration Velocity (cm/sec)	0.689	0.689	0.654	0.659	0.691	0.690	0.735	0.728



(a) Outer



(b) Inner

Fig. 7. Relative Velocity at 270°.

3.1. 삼중관의 진동 속도 분석

항타 지점으로부터의 이격 거리가 20m이고 매설 심도가 0.6m일 경우 관의 외관 0°지점에서의 각 성분별 진동 속도는 Fig. 5와 같으며, 각 성분의 최대 진동 속도 성분의 벡터합은 0.689cm/sec이다. 속도 성분 중, 지표면과 수직을 이루는 z방향 성분이 지배적으로 나타났으며 이는 x방향 성분의 2.5배에 해당하는 값이다. y방향 성분은 모든 구간에서 진동 속도가 0cm/sec에 가까운 값을 나타내었다. 외관이 내관보다 0.03cm/sec 큰 값을 나타내었다.

0°, 90°, 180°, 270° 관의 방향 중에서 파의 진행 방

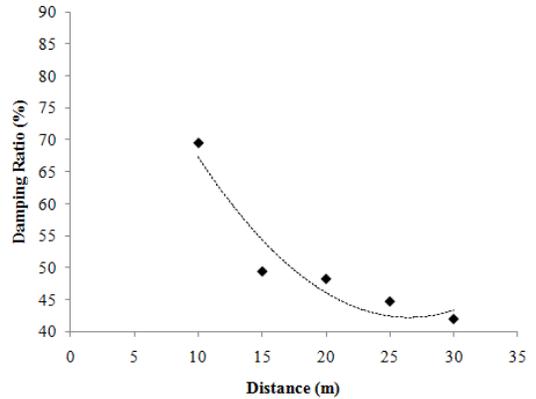


Fig. 8. Vibration Velocity Attenuation of Inner Pipe.

향인 270°에서 진동 속도가 가장 크게 발생하였다. Fig. 6은 이격 거리가 20m이고 매설 심도가 0.6m일 경우, 관의 270° 부근 외관과 내관의 진동 속도를 나타낸 것이다. 동일한 이격 거리에서의 270°와 0°에서의 진동 속도는 약 1.78%의 차이를 보인다.

Table 3에 표준 매설 심도, 0.6m, 이격 거리가 20m일 경우의 0°, 90°, 180°, 270°에서의 내관과 외관의 진동 속도를 요약하였다. Table 3에서 확인할 수 있듯이 0°, 180°, 270°지점에서는 외관에서의 진동 속도가 큰 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7(a)는 이격 거리에 따라 발생하는 wavefront 도달부의 외관의 상대 속도를 나타낸 것이다. 이격 거리가 20m일 경우를 기준으로 1로 치환하였을 경우, 이격 거리가 5m인 경우는 약 12.5배의 진동 속도를 보이며, 이격 거리가 10m일 경우는 이격 거리가 20m일 경우 보다 진동 속도가 4배 큰 것으로 나타났다. 이격 거리가 15m일 경우는 약 2배, 이격 거리가 25m, 30m에서는 각각 0.6배와 0.3배의 값을 나타낸다. Fig. 7(b)는 이격 거리에 따라 발생하는 wavefront 도달부의 내관의 상대 속도를 나타낸 것이며 외관의 상대 속도 분포 양상과 큰 차이를 보이지 않았다. 이격 거리가 5m일 경우 기준 이격 거리가 20m보다 12.5배 큰 값을 보이며, 이격 거리가 10m일 경우에는 상대

속도가 3.8배를 나타낸다. 이격 거리가 20m보다 작은 경우는 감쇠 효과가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 이격 거리가 25m와 30m일 경우는 상대 속도가 각각 0.6배와 0.3배의 값을 나타낸다.

이격 거리가 변하면서 진동 속도의 감쇠율 역시 변화하게 되며, Fig. 8에 내관의 이격 거리에 따른 감쇠율과 감쇠율에 따른 추세를 나타내었다. 이격 거리가 상대적으로 가까운 5~10m 사이에서는 70%의 비교적 높은 감쇠율을 나타내고 있다. 이격 거리가 15m로 변화될 경우 49%이고 이격 거리가 20, 25, 30m 일 경우 대략 47%의 감쇠율을 나타낸다.

3.2 삼중관의 응력 분포 분석

관의 응력 분포를 비교하기 위하여 관의 중앙부의 원주 방향 응력을 검토하였으며, 관 상단(top) 0°에서부터 15°간격으로 360°까지 분포 경향을 확인하였다.

Fig. 9~11에 각 이격 거리에 해당하는 외관에서의 응력을 나타내었다. 이격 거리가 비교적 짧은 경우에는 응력 분포가 상대적으로 정적상태와 유사하게 규칙적으로 발생하였지만, 이격 거리가 증가함에 따라 파의 간섭에 의하여 불규칙한 응력 분포를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 9를 확인하면, 이격 거리가 5m일 때 배관의 바닥부에서 최대 응력 $8.058 \times 10^{-2} MPa$ 이 나타난다. 또한, 최소 응력은 배관의 측부에서 나타나며 1.041

$\times 10^{-2} MPa$ 을 나타낸다. 앞서 언급한 바와 같이 배관의 상하부에서 최대 응력이 발생하는 정적상태와 유사한 응력 분포를 보이거나 상대적으로 매우 큰 값이 나타난다. 이는 항타 하중이 지반에서 이동한 거리가 짧기 때문에 파의 간섭이 거의 발생하지 않은 상태에서 상하 진동이 발생한 결과로 해석할 수 있다. 이격 거리가 10m일 경우의 응력 분포를 확인하면 최대 응력은 $1.675 \times 10^{-2} MPa$ 이고, 최소 응력은 $0.532 \times 10^{-2} MPa$ 을 나타내고 있다.

Fig. 10에서 이격 거리가 15m인 경우 최대 응력은 195°지점에서 나타나며 그 값은 $0.658 \times 10^{-2} MPa$ 이다. 반대로 최소는 240°지점에서 $0.149 \times 10^{-2} MPa$ 이 나타나며 이격 거리 5m 경우와 달리 진동이 반시계 방향으로 약 60°도 틀어져서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 항타 진동의 특성상 수직 성분이 수평 성분보다 지배적인 성향을 보임을 나타낸다. 이격 거리가 20m인 외관의 응력 분포 역시 동일한 양상을 보인다.

Fig. 11의 이격 거리 25m에 위치한 외관의 응력 분포를 확인하면 300°지점에서 $0.118 \times 10^{-2} MPa$ 의 최대 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있으나 응력 분포가 산발적이기 때문에 최소 응력의 위치는 거동의 양상에 큰 의미를 갖지 못한다. 최소 응력은 165°지점에서 $0.043 \times 10^{-2} MPa$ 값을 나타내고 있다. 이격 거리가 30m인 경우 역시 wavefront가 도달하는 좌측

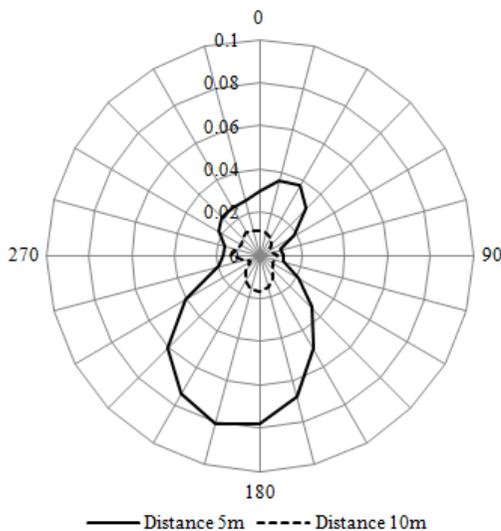


Fig. 9. von-Mises Stresses on Outer Pipe at D= 5, 10m (MPa).

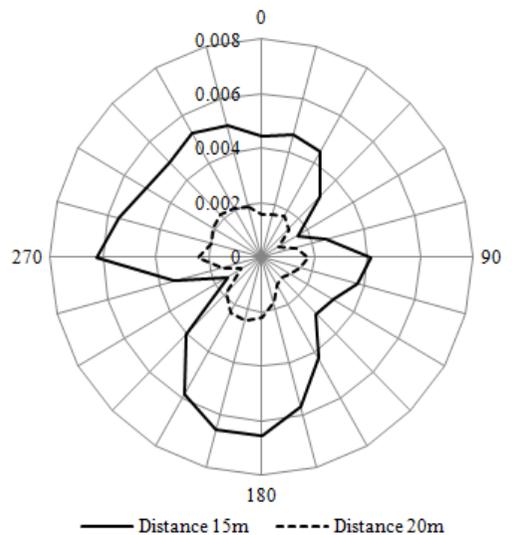


Fig. 10. von-Mises Stresses on Outer Pipe at D= 15, 20m (MPa).

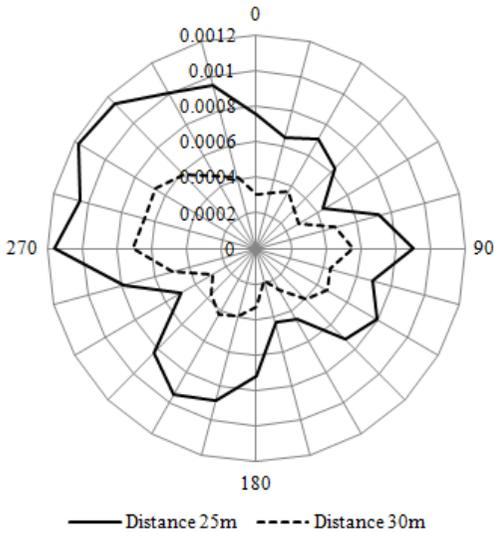


Fig. 11. von-Mises Stresses on Outer Pipe at D= 25, 30m (MPa)

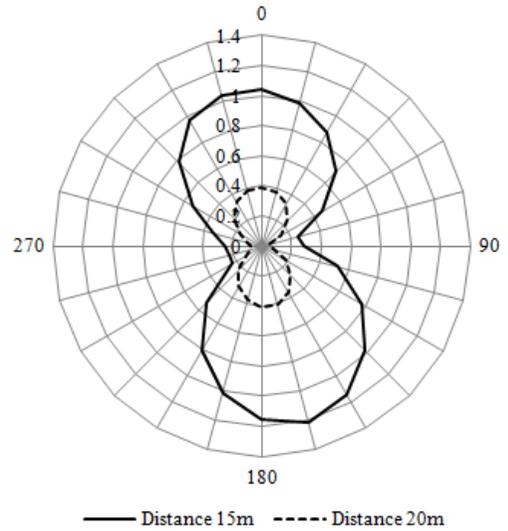


Fig. 13. von-Mises Stresses on Inner Pipe at D= 15, 20m (MPa)

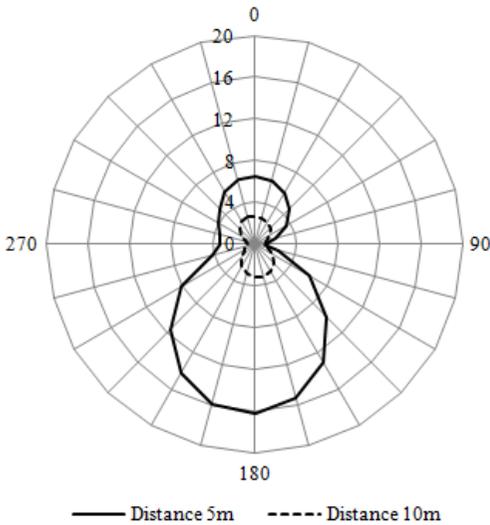


Fig. 12. von-Mises Stresses on Inner Pipe at D= 5, 10m (MPa).

상단의 응력이 가장 크게 나타났으며 $0.071 \times 10^{-2} \sim 0.018 \times 10^{-2} MPa$ 의 응력 분포를 보인다.

Fig. 12~14에 각 이격 거리에 해당하는 내관에서 응력을 나타내었다. 내관은 외관에 비해 탄성 계수가 매우 크기 때문에 동일 진동 및 변위에 대하여

발생하는 응력은 상당히 크게 발생한다. 응력이 불규칙하게 발생한 외관과 달리 내관은 배관 상하부에서 응력이 크게 발생하는 경향을 균일하게 나타낸다. 이는 배관과 내관 사이에 채워진 PUR에 의하여 진동이 고르게 흡수, 전파되었음을 의미한다.

Fig. 12에서 파의 진행 방향인 배관의 270°와 90°에서 상대적으로 작은 값을 보이며 0°와 180°부분에서 상대적으로 큰 값을 보이고 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 정적 상태의 배관 응력 분포와 유사한 형태의 분포이다. 이격 거리가 5m, 매설 심도 0.6m일 경우의 응력 분포는 90°에서 최소 $94.346 \times 10^{-2} MPa$, 180°지점에서 최대 $1621.694 \times 10^{-2} MPa$ 의 값을 갖는다. 관의 응력 분포를 90°와 270°지점을 기준으로 상부와 하부로 나누었을 경우 상부보다 하부에서의 응력 값이 비교적 더 큰 것으로 나타난다. 또한 이격 거리 10m, 매설 심도 0.6m일 경우 역시 90°와 270°지점에서 상대적으로 작은 값을 보이며 0°와 180°지점에서 최대값을 보인다. 270°지점에서 최소 $69.929 \times 10^{-2} MPa$ 값을 보이며 180°지점에서 최대 $321.830 \times 10^{-2} MPa$ 의 값을 갖는다. 이격 거리가 5m일 경우의 최대 응력과 비교하여 80%의 감쇠율을 보인다.

이격 거리가 15m인 경우(Fig. 13) 최대 응력값은 165°지점에서 $121.59 \times 10^{-2} MPa$ 를 나타내며 최소 응력값은 $22.22 \times 10^{-2} MPa$ 의 값을 255°지점에서 보이고 있다. 이격 거리 10m일 경우에 비해 64%의 감

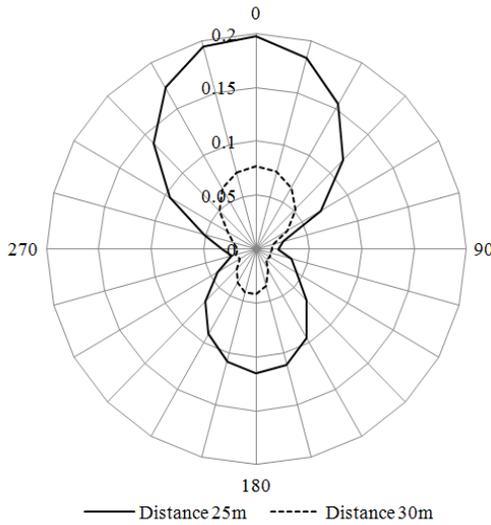


Fig. 14. von-Mises Stresses on Inner Pipe at D= 25, 30m (MPa).

쇠율을 보인다. 이격 거리가 20m일 경우, 그래프의 양상은 이격 거리가 타 이격 거리의 내관의 응력 분포와 매우 유사한 형태를 보인다. 75°지점에서 최소 $4.456 \times 10^{-2} MPa$ 을 나타내며 180°지점에서 최대 $40.940 \times 10^{-2} MPa$ 의 응력을 나타낸다. 이격 거리가 10m, 15m일 경우의 내관 응력 분포와 유사하게 나타나는 경향을 보이며 이격 거리 15m일 경우의 내관 발생 응력에 비해 66%의 감쇠율을 확인하였다.

이격 거리 25 및 30m의 경우에 발생하는 내관의 응력 분포를 Fig. 14에 나타내었다. 90°지점에서는 $2.051 \times 10^{-2} MPa$ 의 최소 응력이 발생하며 최대 응력은 0°지점에서 $19.741 \times 10^{-2} MPa$ 값을 나타낸다. 90°지점과 270°지점을 기준으로 상부와 하부로 나누어 볼 경우 상부의 응력이 하부의 응력보다 약 1.7 배 더 큰 것을 확인할 수 있다. 이격 거리가 20m일 경우의 내관에서 발생하는 응력에 비해 52%의 감쇠율을 나타낸다. 최소 응력은 75°지점에서 발생하며 $1.499 \times 10^{-2} MPa$ 의 값을 보인다. 240°지점에서의 응력값은 $1.889 \times 10^{-2} MPa$ 이다. 최대 응력값은 0° 지점에서 180°지점의 약 1.8배에 해당하는 $7.705 \times 10^{-2} MPa$ 이 나타나는 것으로 확인하였다. 90°지점과 270°지점을 기준으로 상부와 하부로 나누어 보면 이격 거리가 25m인 내관의 응력 분포와 유사한 양상을 보이며 이격 거리가 25m인 내관의 발생 응력과 비교하여 60%의 감쇠율을 확인하였다.

비교적 규칙적인 응력 분포를 나타내는 내관의

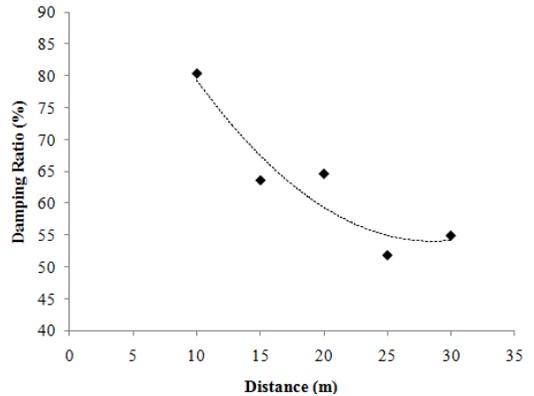


Fig. 15. Attenuation Ratio of von-Mises Stress on Inner Pipe.

감쇠비와 감쇠비에 따른 추세를 Fig. 15에 나타내었다. 이격 거리가 5~10m 사이에서 80%의 높은 감쇠율을 보이고 있으며 이격 거리가 10~20m 사이에서는 63~64%의 감쇠율을 보이고, 20~25m 사이에서 51%로 가장 낮은 감쇠율을 보인다.

IV. 결론

본 연구에서는 수치해석을 통하여 지중매설관의 거동 예측 및 분석을 위한 모델을 제시하고 다양한 변수에 대하여 수치해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 각 지점에서의 내관 및 외관의 진동 속도를 비교하면 외관이 내관 보다 큰 값을 나타내며 이는 배관 HDPE 외관 및 steel 내관 사이에 존재하는 완충재 (PUR)에 의한 것으로 판단된다. 그러나 진동의 위상으로 볼 때 다중 배관은 일체 거동함을 확인할 수 있다. 배관에 발생하는 진동은 항타 하중의 특성상 수직 성분의 진동이 가장 크게 나타나는 경향을 보인다. 배관과 진동원의 이격 거리가 5m에서 10m로 변하면서 69%의 감쇠율을 보이며, 15~30m 사이에서는 44~49%의 감쇠율을 확인할 수 있었다. 자유면에 수직하는 방향으로 발생하는 항타 진동의 특성상 이격 거리가 증가함에 따라 급격한 감쇠를 보이며 15m 이상의 구간에서는 거의 유사한 감쇠율을 나타낸다.

2. 내, 외관에 발생하는 응력 분포는 각 배관에서 유사한 양상으로 발생하는 진동 속도의 분포와 달리 내,외관 사이에 큰 차이를 나타낸다. 경향성 없이 발생하는 외관의 응력 분포에 비해 내관은 배관 상하부에서 최대 응력이 발생하는 정적 상태와 유사한

응력 분포를 보인다. 이는 지반에 의해 불규칙하게 왜곡된 파에 의하여 변형이 발생하는 외관과 달리 연질의 완충재에 의하여 외부에서 발생한 하중이 고르게 분산되어 내관에서는 이격 거리와 상관없이 일정한 응력 분포를 보인다. 이격 거리에 따른 내관의 응력 감소율은 진동 속도와 유사한 경향을 보이며 5m에서 10m로 변화하면서 80%의 감소율을 보인다.

참고문헌

- [1] DIN 4150-3, "Structure Vibration part 3 : Effects of vibration on structure.", (1999)
- [2] Siskind, D. E., Stagg. M. S, "Structure Response and Damage Produced by airblast from Surface Mine Blasting", (1980)
- [3] 대한토목학회, "도로교 설계기준 해설 (하부 구조편)", pp.104-107, (2001)
- [4] 한국가스공사 연구개발원, "도로, 철도 및 하천 통과배관의 건전성 평가 방안 확립", (2006)
- [5] 한국지역난방공사, "열배관 기자재 기술편람 [이중보온관 편]", (2003)
- [6] 한국건설기술연구원, "경부고속철도 제3공구 교량 기초 말뚝 항타시의 소음 및 진동 영향 평가 연구", (1995)
- [7] Mounir E.Mabsout, Salah M.Sadek, Toufic E.Smayra, "Pile Driving by Numerical Cavity Expansion", (1999)
- [8] 유한규, "수치해석기법을 이용한 이중보온관 진동 평가기법 연구", (2009)
- [9] Midasit, "Midas/GTS Online Manual", (2007)
- [10] Lysmer. J. and Kuhlemeyer. R. L, "Finite dynamic model for infinite media", ASCE, Vol. 95, pp 859-877, (1969)
- [11] 한국가스공사, "한국가스공사 표준 주배관 설계 기준", (2003)
- [12] 구자갑, 김운학, 최정호, 유영화, 정양규, "국내 다층지반의 지반물성치 및 토압에 관한 고찰", (2004)