

# 강관을 활용한 비개착 공법에서 강관의 직경이 지반거동에 미치는 영향에 대한 연구

전영진\*, 박병수\*\*

\*강원도립대학교 스마트건설토목과 연구원

\*\*강원도립대학교 스마트건설토목과 교수(교신저자)

e-mail:claynsand@hanmail.net

## A Study on the Effect of Steel Pile Diameter on Ground Deformation in Trenchless Construction Using Steel Pipes

Young-Jin Jeon\*, Byung-Soo Park\*

\*Dept. of Civil Eng., Gangwon State Univ. Researcher

\*\*Dept. of Civil Eng., Gangwon State Univ. Professor

### 요약

본 논문에서는 비개착 공법에서 사용되는 강관의 직경 변화가 주변 지반거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행되었다. 강관 추진은 지하 구조물 시공에서 필수적인 공법 중 하나로, 이 과정에서 발생하는 지반의 침하 및 변형은 인근 구조물의 안정성에 중요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 다양한 직경을 갖는 강관을 대상으로 수치해석 기법을 적용하여 지반의 변위 및 침하량을 정량적으로 분석하였다. 강관의 직경이 클수록 주변 지반의 수평 변위 및 침하량이 증가하는 경향을 보였으며, 직경 증가에 따른 영향은 토피고 및 지반 조건에 따라 상이하게 나타났다. 이러한 결과는 비개착 시공 시 강관 직경 선정에 있어 중요한 설계 인자로 활용될 수 있으며, 안전하고 경제적인 시공 방안을 마련하는 데 기여할 수 있다.

### 1. 서론

도시지 개발로 인해 지하 구조물의 비개착 공법 활용이 증가하고 있으며, 특히 강관을 이용한 추진공법은 지상 교통 흐름을 유지하고 기존 지장물과의 간섭을 최소화할 수 있는 효과적인 시공 방식으로 주목받고 있다. 이에 따라 도심지 내 공동구 및 전력구 등의 설치에 폭넓게 적용되고 있으며, 시공 중 소음과 진동을 줄일 수 있다는 점에서도 장점이 크다. 그러나 강관 추진 시 주변 지반의 침하와 변형은 인근 구조물의 안정성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로, 이에 대한 정밀한 분석과 체계적인 연구가 필요하다.

강관의 직경은 지반 거동에 직접적인 영향을 주는 중요한 설계 변수로, 직경 증가에 따른 지반의 수평 변위와 침하량의 변화는 시공 안정성과 직결된다. Choi et al. (2012)은 강관 관입 시 연직 변위가 크게 나타남을 보였고, Lee et al. (2008)은 강관이 지반 안정성에 기여함을 수치해석으로 확인하였다. 또한 Kim et al. (2015)은 다양한 해석 기법을 통해 강관 추진 시 지반 침하 예측법을 제안하였다.

본 연구는 다양한 직경의 강관을 대상으로 수치해석을 실시하고, 직경 변화가 지반 침하 및 변위에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 설계 시 기준을 제시하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 유한요소해석 개요 및 경계조건

본 연구에서는 비개착 강관 삽입에 따른 지반의 침하 거동을 분석하기 위해 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 수치해석 모델에 적용된 강관의 직경(D)은 0.5, 1.0, 및 1.5 m이며, 길이(L)는 15 m, 두께(t)는 38 mm로 가정하였다. 비개착 공법의 시공 조건을 모사하기 위해 강관 상단(Crown)으로부터 지표면까지 2 m 깊이의 토피층을 모사하였으며, 지반 조건은 지표면으로부터 하부 20 m까지 풍화토층이 분포하는 것으로 설정하였다.

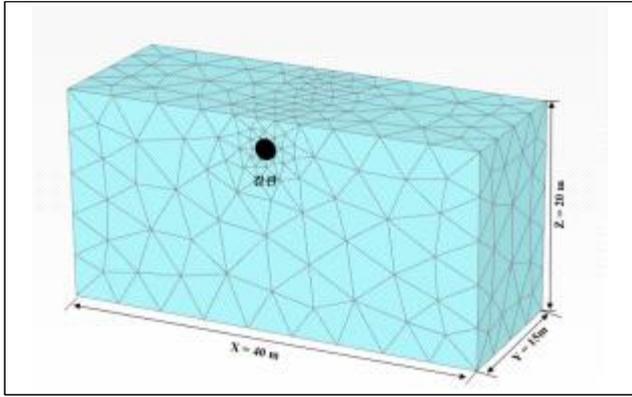
해석 모델의 경계조건은 강관 삽입 시 발생할 수 있는 지반 거동의 간섭효과를 최소화하기 위해 X축 방향 40 m, Y축 방향 15 m, Z축(심도) 방향으로 20 m로 설정하였다[그림 1]. 이러한 경계 범위는 강관 주위의 변형이 경계면에 영향을 받지 않도록 충분한 폭과 깊이를 확보한 것이다.

[표 1] 수치해석에 적용된 물성치

재료	Model	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$K_0$	$\nu'$	$E'$ (kPa)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
풍화토	M-C	20	0.75	0.35	80,000	5	30
강관	Elastic	78	-	0.40	210×10 <sup>6</sup>	-	-

Note :  $\gamma_t$ (흙의 단위중량),  $K_0$ (정지토압계수),  $\nu'$ (포와송비),  $E'$ (탄성계수),  $c'$ (점착력),  $\phi'$ (내부마찰각)

[표 1]은 수치해석에 적용된 물성치를 정리한 것이다. 풍화토의 경우 비관련흐름법칙(non-associated flow rule) 및 Mohr-Coulomb의 파괴기준(failure criterion)을 따르는 탄-소성 모델을 적용하였으며, 강관-지반 경계면에서의 전단강도 상수( $c'_{int}$ ,  $\phi'_{in}$ )가 감소되는 것을 고려하기 위해 강도감소계수(strength reduction factor)  $R_{int}=0.7$ 를 적용하였다.



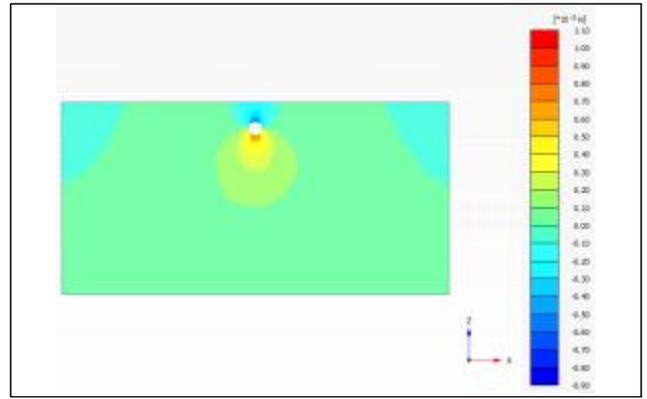
[그림 1] 수치해석에 적용된 유한요소해석 대표 mesh

## 2.2 유한요소해석 결과

[그림 2]는 강관 직경 1.5 m에 대한 대표적인 수치해석 결과 등고선을 보여주고 있다. 해석 결과 최대 지반 침하량은 약 1.2 mm로 분석되었으며, 이는 일반적인 허용 기준 이내의 값으로 시공 안정성이 충분히 확보되는 수준으로 나타났다. 침하는 주로 강관 크라운 상부에 집중되는 경향을 보였으며, 특히 강관 상단 중심부 주변에서 가장 큰 침하가 발생하였다. 침하 분포는 전체적으로 좌우 대칭적인 양상이며, 국부적인 과도한 변형은 관찰되지 않았다.

이러한 결과는 비개착 강관 삽입에 따른 지반 거동이 예측 가능한 범위 내에서 발생함을 의미하며, 별도의 지반 보강이 요구되지 않을 가능성이 크다는 것을 보여준다. 추가적으로 강관 삽입 방식 및 해석된 변형 양상을 종합적으로 살펴보았을 때, 시공에 따른 인접 구조물 및 지장물에 대한 영향은 미미할 것으로 판단된다.

추가적으로 강관 직경 0.5 m인 경우 최대 침하량은 약 2.5 mm로 나타났으며, 침하 분포가 좌우 대칭적이고 예측 가능한 범위 내에서 변형이 발생하여 시공 안정성에는 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다. 또한, 강관 직경 1.0 m는 최대 침하량이 약 1.8 mm로, 허용 기준 이내의 안정적인 수치를 보였다. 침하 발생 위치 및 분포 특성은 강관 직경 0.5 m 경우와 유사하게 크라운 상부 중심에 집중되었고, 좌우 대칭적인 형태를 유지하였다.



[그림 2] 강관 직경 1.5 m에 대한 수직침하 등고선

## 3. 결론

본 연구는 비개착 공법에 적용되는 강관의 직경 변화에 따른 지반 침하 거동을 수치해석을 통해 분석한 것이다. 해석 결과, 최대 침하량은 1.2 mm로 허용 기준 이내였으며, 침하는 주로 강관 크라운 상부 중심에 집중되고 좌우 대칭적인 분포를 보였다. 이는 지반 거동이 예측 가능한 범위 내에 있으며, 별도의 지반 보강 없이도 시공 안정성이 확보될 수 있음을 의미한다. 또한 인접 구조물에 대한 영향도 미미할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구 결과는 비개착 공법 설계 시 강관 직경 결정과 지반 안정성 평가에 기초자료로 사용될 수 있으며, 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

### 감사의 글

이 성과는 강원도립대학교 신산업(스마트건설)사업단 산학공동기술개발과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

### 참고문헌

- [1] Choi, S. W., Park, Y. T., Chang, S. H., Bae, G. J., Lee, K. T., & Baek, Y. K. (2012). Numerical analysis of ground behavior caused by trenchless construction using rectangular steel pipes. *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, 14(5), 469-484.
- [2] Lee, J. H., Shin, H. S., Park, M. K., Park, J. H., & Kwak, K. S. (2008). Numerical analysis of the supporting effect of steel pipe installed in cast-in-place piles of domestic offshore bridges. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers C*, 28(3), 149-158.
- [3] Kim, H. S., Lee, J. H., & Choi, J. Y. (2015). A study on surface settlement prediction methods for trenchless steel pipe jacking method. *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, 16(2), 5-13.