

소형 및 대형 강관을 이용한 비개착 공법이 지표면 침하에 미치는 영향에 대한 연구

전영진*, 박병수**

*강원도립대학교 스마트건설토목과 연구원

**강원도립대학교 스마트건설토목과 교수(교신저자)

e-mail:claynsand@hanmail.net

A Study on the Effects of Trenchless Construction Using Small-Diameter Steel Pipes on Ground Surface Settlement

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

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

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

요 약

본 연구는 비개착 공법 적용 시 강관 직경 변화가 지반 침하 거동에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이를 위해 직경 76.3 mm 및 152.4 mm의 강관을 대상으로 실내 모형실험을 수행하고, 예비 수치해석을 통해 지반 변형 특성을 분석하였다. 연구 결과 강관 직경이 커질수록 강관 상부 크라운(Crown) 부위에서 침하가 집중되는 경향을 보였으며, 최대 침하량은 약 2.3 mm로 일반적인 허용 기준을 만족하였다. 또한 침하는 강관 상부를 중심으로 지표면까지 확산되었으나 깊이가 증가할수록 감소하여 변형은 주로 지표면 인근에 집중됨을 확인할 수 있었다. 이는 강관 직경과 배치 조건이 지반 침하 특성에 중요한 영향을 미치며, 설정된 토피고와 경계조건에서 비개착 공법 적용 시 추가적인 지반 보강이 필요하지 않을 가능성을 나타낸다. 따라서 본 연구는 도심지에서 비개착 강관 공법을 적용할 경우 설계 및 시공의 합리적인 기준을 제시하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

최근 급격한 도시화로 인한 신도시 및 택지개발의 확대에 따라 도로, 철도, 상하수도 등 다양한 지하 구조물의 건설이 증가하고 있다. 이러한 과정에서 기존 시설물(고속도로, 철도, 지하철 등)과의 교차 및 간섭이 불가피하게 발생하며, 개착식 공법 적용 시 교통 혼잡, 소음, 진동, 지반 변형으로 인한 문제들이 빈번하게 나타나고 있다. 이에 따라 기존 지상 및 지하 시설물의 안정성 확보와 더불어 시공 중 사회적·경제적 피해를 최소화할 수 있는 비개착공법(Trenchless Method)의 활용이 점차 확대되고 있다. 특히, 강관을 이용한 추진공법은 도심지 내에서 교통 흐름을 유지하면서 기존 지장물과의 간섭을 줄일 수 있는 효과적인 시공 방식으로 주목받고 있으며, 공동구 및 전력구 등 다양한 지하 시설물 설치에 폭넓게 적용되고 있다.

강관의 직경은 지반 거동 특성을 좌우하는 핵심 설계 인자로 직경이 커질수록 지반의 수평 변위와 침하 거동이 달라져 시공 안정성에 큰 영향을 미친다. Choi et al. (2012)은 강관 관입 시 연직 변위가 두드러지게 발생함을 확인하였으며, Lee et al. (2008)은 수치해석을 통해 강관이 지반 안정성 확보에 일정 부분 기여할 수 있음을 제시하였다. 더 나아가 Kim et al. (2015)은 다양한 해석 방법을 적용하여 강관 추진 시 발생하는 지반 침하를

예측할 수 있는 기법을 제안한 바 있다.

본 연구는 소형 및 대형 직경의 강관을 대상으로 실내모형실험을 실시하고, 예비 수치해석을 수행함으로써 직경 변화가 지표면 침하에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 설계 시 기준을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험개요 및 경계조건

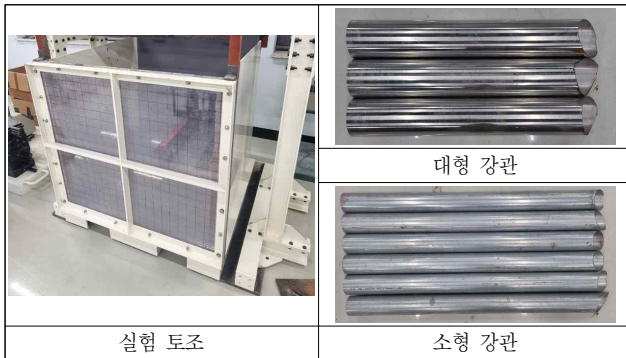
[표 1] 실험에 적용된 강관, 토피고 및 단면 제원

소형 강관 직경 (mm)		76.3
소형 강관 두께 (mm)		1.8
대형 강관 직경 (mm)		152.4
대형 강관 두께 (mm)		1.5
소형 및 대형 강관 길이 (mm)		1,000
토피고 (mm)		70
단면	L (m)	1,000
	B (m)	1,000
	H (m)	1,000

본 연구에서는 강관 직경에 따른 비개착 공법을 모사함으로써 지표면 침하를 분석하기 위해 실내모형실험을 수행하였다. [표 1]에 나타나 있듯이 실험에 적용된 소형 및 대형 강관의 직경(D)은 각각 76.3 및 152.4 mm이며, 두께(t)는 각각 1.8 및 1.5 mm,

길이(L)는 1,000 mm로 동일하다. 비개착 공법의 시공 조건을 모사하기 위해 강관 상단(Crown)으로부터 지표면까지 70 mm 깊이의 토피층을 모사하였으며, 지반 조건은 지표면으로부터 하부 695 mm 까지 규사6호를 사용하여 단일 지층으로 구성하였다.

실험에 사용된 토조의 경계조건은 강관 삽입 시 발생할 수 있는 지반 거동의 간섭효과를 최소화하기 위해 X축 방향 1,000 mm, Y축 방향 1,000 mm, Z축(심도) 방향으로 1,000 mm로 설정하였다[그림 1]. 이러한 경계 범위는 강관 주위의 변형이 경계면에 최대한 영향을 받지 않기 하기위해 확보한 것이다.

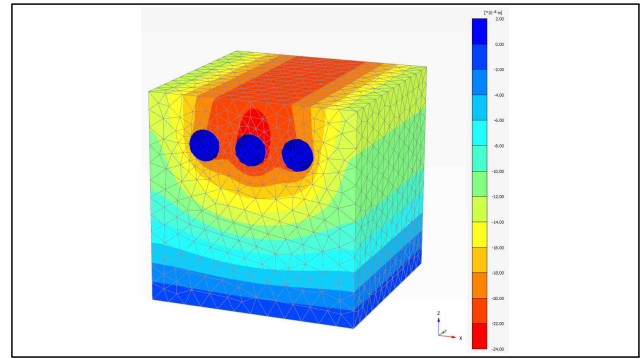


[그림 1] 실험에 적용된 토조 및 강관

2.2 예비 수치해석

[그림 2]는 실내 모형실험에 앞서 수행한 예비 수치해석 결과로, 직경 150 mm 강관에 대한 수직 침하 등고선을 나타낸 것이다. 본 수치해석에서는 총 3본의 강관 근입 상황을 모사하였다. 해석 결과 최대 침하량은 약 2.3 mm로 분석되었으며, 이는 일반적인 허용 기준 이내의 값으로 시공 안정성이 충분히 확보되는 수준으로 나타났다. 특히 강관 크라운(Crown) 부근에서 침하가 집중적으로 발생하는 경향을 보였으며, 3본의 강관 중 중앙에 위치한 강관 상부 지표면에서 가장 큰 침하가 발생하였다. 침하는 강관 상부를 중심으로 지표면까지 확산되는 양상을 나타냈으며, 깊이가 증가함에 따라 침하량은 점차 감소하여 지반 변형이 주로 상부 영역에 집중됨을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 강관 배치 형상과 근입 조건이 지반 침하 거동에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

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.



[그림 2] 강관 직경 150 mm 에 대한 수직침하 등고선

3. 결론

본 연구는 강관 직경에 따른 비개착 공법의 지반 침하 거동을 모사하고, 이에 따른 안정성 및 시공 조건을 분석하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

예비 수치해석 결과 강관 상부 크라운 부위에 침하가 집중되는 경향이 나타났다. 이는 강관 배치 형상 및 간격이 지반 침하 분포에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 최대 침하량은 약 2.3 mm로 이는 일반적인 허용 기준을 충족하는 수준으로 나타났으며, 비개착 공법 적용 시 추가적인 지반 보강이 필요하지 않을 수 있는 것으로 조사되었다. 또한 시공에 따른 인접 구조물 및 지반 안정성에 미치는 영향은 제한적일 것으로 판단된다.

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*, 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.