SEM파일의 최적설계를 위한 이완영역 검토 연구

A Study on Loosening Region for Optimal Design of SEM-pile

박은형*, 강만호**, 김형규†

Eun Hyung Park*, Man Ho Kang**, Hyeong Gyu Kim†

초 록 지반의 교란 및 이완하중 발생을 최소화 시키기 위해 개발된 SEM공법(Super Equilibrium Method)은 기존의 중대구경 강관 대신 Φ114mm 내외의 소구경 강관을 사용한다. 이 소구경 강관을 SEM파일로 명명하였으며 강관의 선 압입 및 그라우팅 보강을 실시한 후 지반의 침하나 융기없이 지반 내 횡단구조물을 유압잭을 이용하여 압입하게 된다. 이와 같이 SEM공법의 구성 중 지보역할을 하는 SEM파일은 선단부 굴착시 지반의 붕락을 방지하고 상재하중을 지지하기 위한 길이 5m 내외의 Fore poling 파일이며 이 파일의 배치간격, 시공연장, 부재의 강성 등을 산정하기 위해서는 이완영역의 적절한 산정이 필수적이다.

본 논문은 SEM공법의 최적설계를 위하여 SEM파일 압입 시 발생되는 이완하중 산정값을 비교분석하였다. 이완영역 산정에 근거한 주요 이론식 및 경험식들의 영향인자를 고려하여 분석하고 FEM analysis(유한요소 해석)를 수행하여 SEM파일에 적합한 이완하중 산정을 검토하였다.

주요어 : 탄소성 해석, 비개착식 터널, SEM공법, 포어폴링 공법, 이완하중

1. 서 론

SEM공법(Super Equilibrium Method)은 비개착 지하횡단 구조물 시공을 위한 도심지 저토피 구간 굴착 시 상부 변위 발생에 대응할 수 있도록 개발된 공법이다.

본 논문에서 다루는 SEM파일은 Fig. 1과같이 SEM공법을 이루는 구성요소 중 하나이며, 저토피 구간 굴착 시 굴착면의 붕락을 방지하고 지반이완을 최소화 한다. 하단으로부터의 파괴포락선에 따른 영향을 효과적으로 억제할 수 있도록 연장 5m, Φ114mm 내외의 Fore poling 강관을 사용한다.

SEM공법의 상재하중을 산정하기 위해서는 SEM파일 시공 시 발생되는 이완영역의 검토가 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 경험식 및 이론식에 적용하였으며 FEM analysis 반영하여 결과를 비교 분석하였다.

† 교신저자: 특수건설 기업부설연구소 연구소장 (maccan@hanmail.net)

* 특수건설 기업부설연구소 대리

** 동양대학교 일반대학원 건설공학과 박사과정

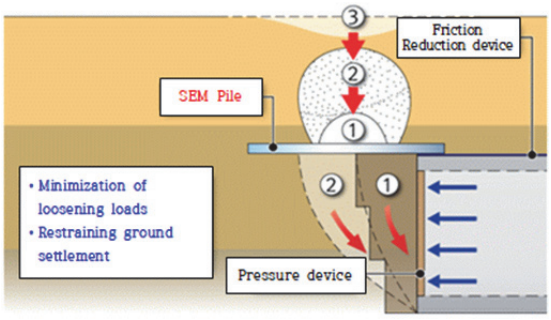


Fig. 1. Construction of SEM method and effect on excavation using SEM-Pile

2. SEM파일 시공 시 이완영역 및 하중 산정

2.1 이론식 적용

SEM파일 시공을 터널의 굴착으로 간주하여 Kommerell, Engesser, Protodyakonov, Terzaghi의 관련 이론식을 선정, 적용하였다.

SEM공법 자체는 저토피 구간의 시공이 목적이지만 소구경 강관인 SEM파일 압입에 따른 이완하중 산정이 목적이므로 심도에 따른 분류가 존재하는 식들은 얕은터널이 아닌 깊은 터널의 경우를 고려하였다. 또한 깊은 터널

의 개념으로써 터널 형상에 의한 영향이 크지 않을 것으로 판단되어 SEM 파일의 형상인 원형 터널로 이완영역을 검토하였다.

또한, Table 1과 같이 국내 터널설계 사례 및 참고문헌을 바탕으로 제시된 풍화토의 물성치를 이론식과 수치해석에 동일하게 적용하였으며 토피고는 2.0m ~ 3.5m로 변화시켜 분석하였다.

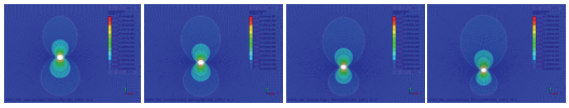
Table 1. Application of soil properties

Division	Unit Weight (kN/m^3)	Friction Angle (°)	Cohesion (kPa)	Poisson's ratio	lateral pressure
Weathered Soil	20	30	20	0.35	0.5

2.2 FEM Analysis (2D)

SEM파일의 형상을 Beam요소로 모델링하는 해석기법 도입을 통해 2차원 해석을 수행하였다. 원지반은 구속조건에 의한 영향을 최소화 하고자 천공경 수평방향으로 20배 이상, 연직방향으로 18배 이상인 3m×2.25m로 모델링 하였으며 지반의 재료 모델로는 Mohr-Coulomb모델을 사용하였고 해석 프로그램으로는 MIDAS GTS NX를 사용하였다.

이완영역 검토의 목적은 SEM파일 시공 시 발생되는 상부지반의 이완하중을 고려한 지보설계이므로 굴착면 바닥을 기준으로 하부에 발생된 이완영역은 고려하지 않았으며 변형발생의 범위의 선택은 산정된 이론식들의 결과값에 비추어 보아 10-4mm이하의 미소변위를 보이는 구간을 제외한 관경 150mm 굴착면적의 0.026%의 발생변위를 범위로 선택하는 것이 적합할 것으로 판단하였다.

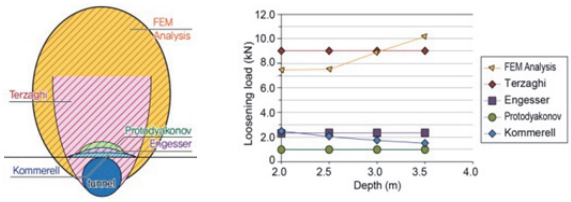


(a) 2.0m (b) 2.5m (c) 3.0m (d) 3.5m

Fig. 2. FEM analysis result(Cover of depth)

2.3 이완영역 및 이완하중 비교검토

Kommerell 외 3개의 이론식과 유한요소 2차원 단면해석(FEM Analysis)을 수행하여 SEM파일 압입 시 상부지반 이완영역 및 이완하중에 대한 비교는 다음과 같다.



(a) Loosening Region model (b) Loosening loads graphs

Fig. 9. Comparison model and graphs

이완영역의 범위는 FEM Analysis, Terzaghi가 가장 넓은 영역을 보였으며 이완하중 역시 이에 비례한 양상을 보였다. Kommerell, Protodyakonov, Engesser의 이론은 그 차이가 크지 않았다. Terzaghi의 이론식은 비교적 과다하게 이완하중이 산정되었으나 지반고려 인자가 다수 반영되는 FEM analysis결과가 이와 유사한 결과를 보임으로써 신뢰성 있는 하중영역의 값으로 판단되었다.

3. 결 론

각 모델에 의한 이완영역 및 이완하중이 발생되는 양상은 상당한 차이를 보인다. 매개변수의 선택과 적용방법이 각기 달라 이론식을 근거로 지반의 이완영역을 명확히 규명하는 것은 불가능하며 토질조건 및 토피별 실험을 수행하여 분석이 이루어져야 할 필요가 있다. 향후 연구로는 이론식의 결과와 수치해석의 결과를 토대로 이완영역이 크게 작용할 것으로 예상되는 영역에 계측 센서를 설치 후 실제 발생하는 이완영역 및 하중을 산정하여 SEM파일 설계에 반영할 계획이다.

참고문헌

[1] Cheon, B.S., Shin, Y.W., (2001), "A Study on the Design Loads of NATM Tunnel Concrete Lining", TUNNEL AND UNDERGROUND SPACE , Vol. 11, No.2, pp. 96-108.,

[2] Geothechnical Principles of Tunnels

[3] International Tunnelling Association(2000), Guidelines for the design of shield tunnel lining, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.15, No.3, pp.303~331.

[4] Park, S.H., (2003), "Study about reconsideration of Terzaghi Tunnel Earth Pressure", Tunnel technology, Vol.5, No.3, pp. 261-268.,