

실내 모형실험을 통한 무지보 흠막이 공법 거동 연구

Model Test Study for the Behavior of the Truss Tower System

김낙경¹⁾, Nak-Kyung Kim, 김성규²⁾, Sung-Kyu Kim, 백민기³⁾, Min-Ky Baek, 김주형⁴⁾, Ju-Hyung Kim, 주용선⁵⁾, Yong-Sun Joo

- 1) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ
- 2) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ
- 3) 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil, Architecture and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan Univ
- 4) 한국건설기술연구원 국토지반연구부 선임연구원, Senior Researcher, Department of Geotechnical Engrg., Korea institute of Construction Technology
- 5) 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : Model test was performed for new earth retention system that is a kind of truss tower with non-supported excavation. For the model test, a dimensional analysis of the full-scaled truss tower system was performed. The horizontal displacement of the wall, bending stress acting on TTS system were measured during construction simulation. From the measurements, the performance of the truss tower system was investigated.

Keywords : Model Test, Truss Tower System, Finite Element Analysis, Demenisional Analysis

1. 서론

무지보 흠막이 공법(TTS: Truss Tower System)은 6개의 강관말뚝을 트러스 형태로 연결한 복합 구조물로 측방토압을 지지하는 개념의 공법이다. TTS 공법은 도심지 굴착 공사에 적합한 흠막이 공법을 선정하기 위해 제안 되었으며 굴착 깊이가 10m 이하인 중저층 건물의 보수 및 증개축 공사에 활용을 목표로 개발 되었다. 기존의 강재 Strut을 이용한 공법은 굴착면적이 증가할 경우 Strut의 길이가 증가함에 따라 시공비용이 증가하고 작업공간을 확보하는데 어려움이 발생하였다. Anchor를 지보재로 사용한 흠막이 공법은 굴착 면적이 넓은 경우 Strut를 사용한 경우보다 효율적이지만 사유지 침범 및 지하 구조물에 손상을 줄 우려가 있다. TTS 공법은 작업공간의 확보가 용이하며 인근 사유지의 침범 우려가 없다. TTS 공법의 흠막이 공법의 안정성을 검증하고 실제 시공시 고려사항, 현장 적용시 적합한 설계 기준을 제시하기 위해 모형실험을 실시하였다. 모형실험에 사용된 축소 모형은 평면변형율(Plain Strain) 조건으로 수행한 유한요소해석(FEM)을 통해 산출된 물리량을 상사 법칙에 의해 축소하여 제작되었으며 근입 깊이와 상대밀도를 변화시켜 다양한 조건에서 모형실험을 실시하였다. 축소된 모형에 굴착을 통해 가해지는 토압에 따른 흠막이 구조물의 변위, 수평지지 말뚝의 거동, 트러스 부재의 안정성, 실제 트러스-강관말뚝의 토압편차에 의한 강축과 약축에서의 안전성 등을 검토한다.

2. 무지보 흙막이 모형실험 개요

2.1 평면변형을 조건의 등가 EI 산정

무지보 흙막이 시스템의 굴착시 안전성 분석을 위하여 복합 구조물로 구성된 시스템을 단순화하였다. 트러스 구조물 같이 복잡한 단면을 직사각형의 벽체로 단순화 하여 모형시험을 하기 위해서는 트러스 수평지지말뚝의 단면을 등가 휨강성의 직사각형으로 환산할 수 있는 EI를 산정하여야 한다. 트러스 수평지지말뚝은 트러스와 기둥의 복합 구조체이므로 단순한 수계산을 거치 환산 EI를 산정하기 난해하므로 무지보 흙막이 시스템의 거동을 유한요소해석(FEM)을 이용한 수치해석을 이용하여 산정하였다. 범용 유한요소 해석 프로그램인 Midas Civil을 이용하여 유한요소 해석을 수행 하였고, 환산 EI는 산정 절차는 그림 1과 같이 휨을 받는 트러스 부재가 탄성거동을 한다는 가정하에 휨모멘트가 최대가 되는 위치에서의 처짐을 FEM을 통하여 결정한 후 그 처짐량을 통하여 환산 EI를 산정 하였다.

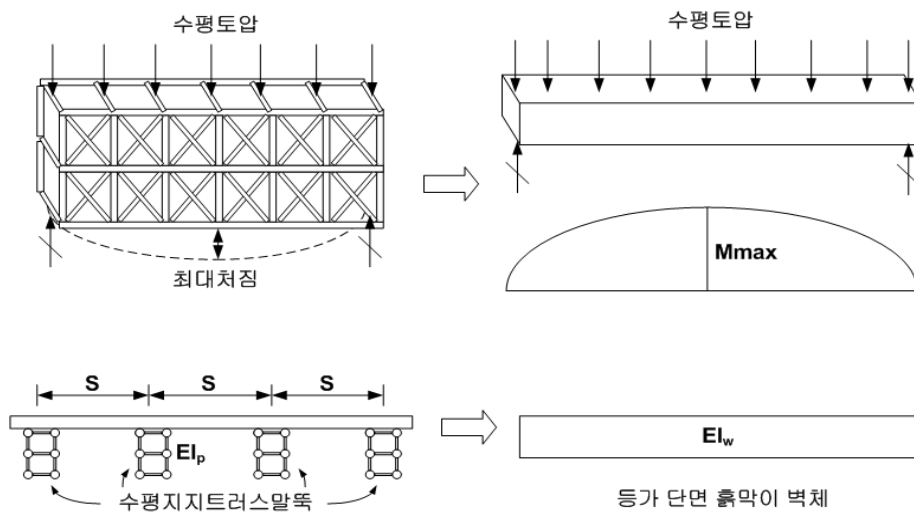


그림 1. 등가 EI 산정 개념도

2.2 상사 법칙에 의한 축소 모형 제작

흙막이 모형은 구조물의 전체적인 수평 변위를 보기 위한 등가 EI 벽체 모델(글로벌 패러다임 A형)과 각각의 트러스 타워의 독립적 거동을 보기 위한 트러스 타워 모델(로컬 패러다임 B형)으로 제작 되었다. 마이다스프로그램을 통해 구한 Prototype의 등가 환산 EI를 이용하여 횡방향 말뚝의 지배방정식으로 부터 모형의 기하학적 축소비를 구하여 Plain strain 조건의 Model의 단면을 결정하였다(식 1). 등가 EI 단면(A형)은 근입 깊이를 변화시킨 (1H, 1.5H, 1.8H, H=굴착깊이(280mm)) 3가지 모델과 동일 근입 깊이에서 비교를 위해 단면의 두께가 다른 모델 3가지를 추가로 제작하여 총 6가지 모델을 제작 하였다. 트러스 타워 모델(B형)은 상사비로 축소한 등가 EI 단면과 같은 거동을 하는 트러스 모델의 단면을 Midas Civil 프로그램을 이용하여 산정하였고 등가 EI 벽체와 동일하게 근입 깊이를 변화시킨 3가지 모델을 제작 하였다.

$$\frac{EI_m}{EI_p} = \left(\frac{K_m}{K_p}\right) \times \left(\frac{z_m}{z_p}\right) \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^4 \quad (1)$$

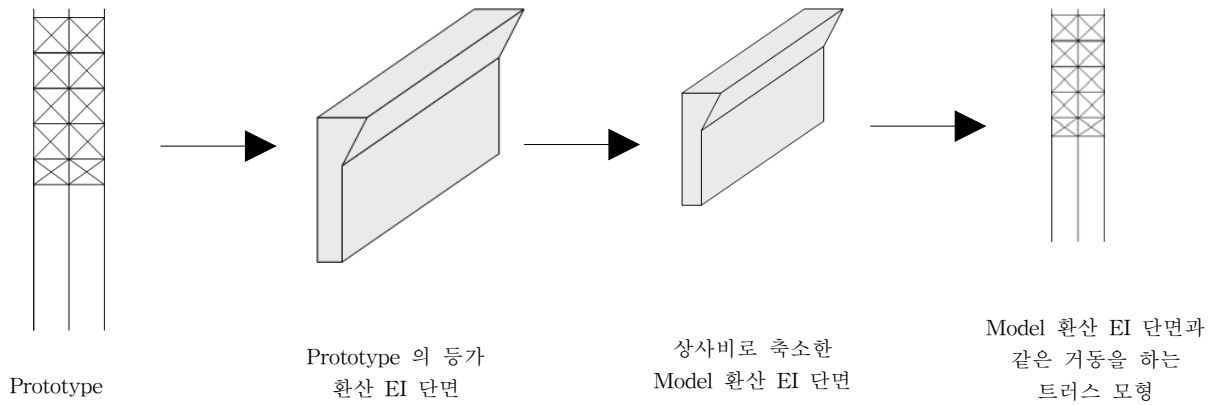


그림 2. 축소 모델 제작 순서도

3. 실내 모형실험

3.1 실험 장비 및 지반 조성

실내 모형토조 실험은 성균관대학교 지반공학 실험실에서 수행하였다. 아크릴로 제작된 A, B 패러다임 모형에 대하여 사질토의 상대밀도를 3단계로 변화시켜($D_r=40\%$, 60% , 80%) 모형토조실험을 실시하였고 주문진 표준사를 사용하여 지반을 조성 하였다. 시험에 사용된 모형 토조의 재원은 그림 3과 같다. 흙막이 구조물의 변위는 LVDT로 측정하였으며 굴착 시 흙막이 벽체에 작용하는 응력을 Strian Gauge를 부착하여 측정 하였다. TDS-303 Data Logger를 이용하여 측정 데이터를 취합 하였다. 굴착에 따른 주변 지반 침하영향범위는 Clough와 O'Rourke(1990)에 따르면 사질토 지반의 경우 굴착 깊이의 2배 정도로 본 모형실험에서는 굴착 깊이(280mm)의 2배인 560mm 보다 큰 영향범위를 확보하였다.

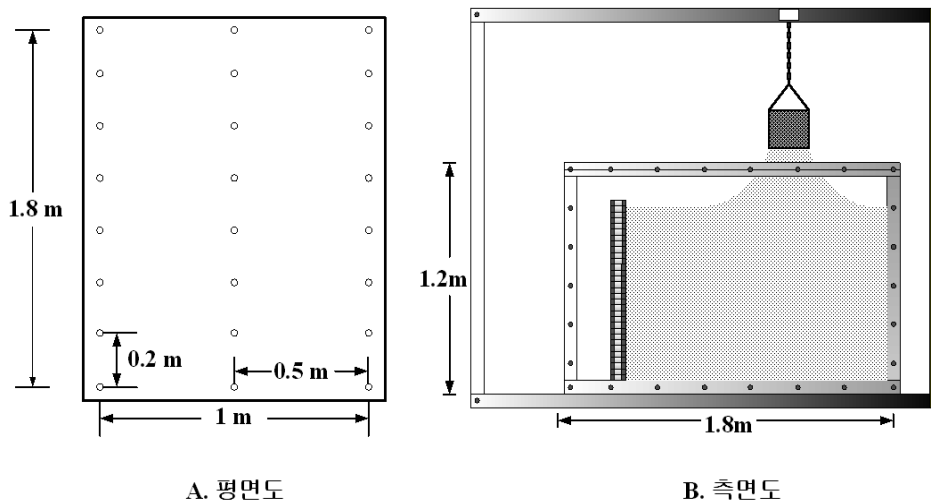


그림 3. 모형 토조 재원

모형 지반의 상대밀도 조성은 Raining Method를 이용하였다. 지반의 상대밀도(D_r)은 낙하 높이와 유사량에 따라 변화하며 유사량은 강사장치의 직경과 체의 개수 등에 의해 변화한다. 본 모형실험에서는 낙하고는 Lift 장비를 이용하여 지반의 높이의 1m 20cm 위 낙하고를 유지하였으며 강사구의 직경을 변화시켜 상대밀도를 조절 하였다.

3.2 실험순서 및 종류

A, B형 9가지의 모델을 상대밀도를 변화시켜($D_r=40, 60, 80\%$) 실험을 수행하였다. 실험 진행 순서는 1)바닥 지반 조성 2)벽체 거치, 3)계측기 설치, 4)강사 5) 굴착 및 계측 순으로 진행되었다.

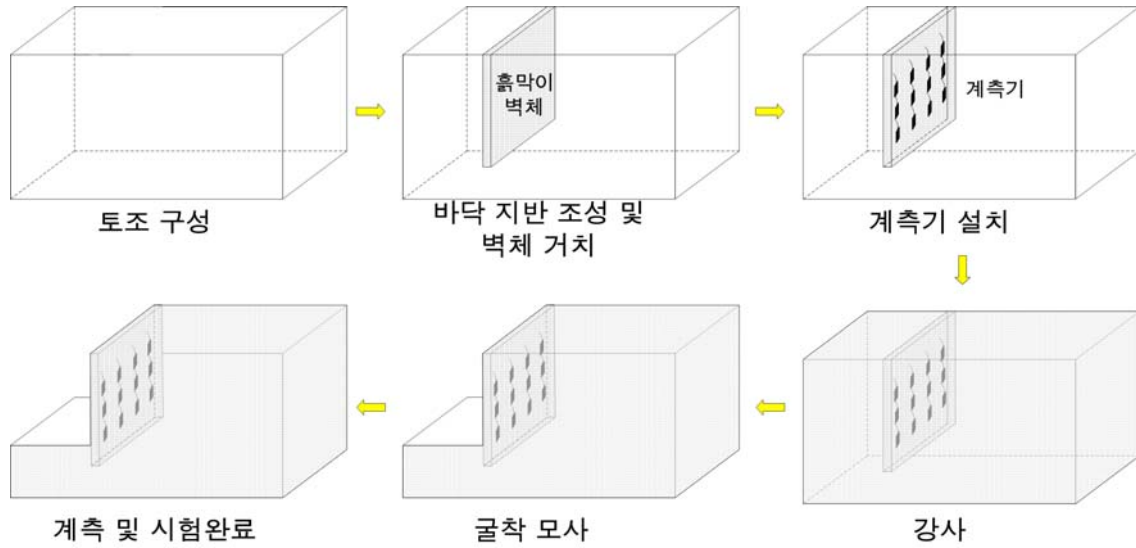


그림 4. 실험 진행 순서



그림 5. 모형실험 사진

4. 모형실험 결과

4.1 무지보 흙막이 모델 수평 변위(δ)

측방토압으로 인한 아크릴 벽체의 변위는 3개의 트러스 타워의 사이 2 곳에서 측정 하였으며 굴착 깊이가 280mm 근입깊이가 504mm일 때 아크릴 벽체의 평균 변위는 그림 6과 같다.

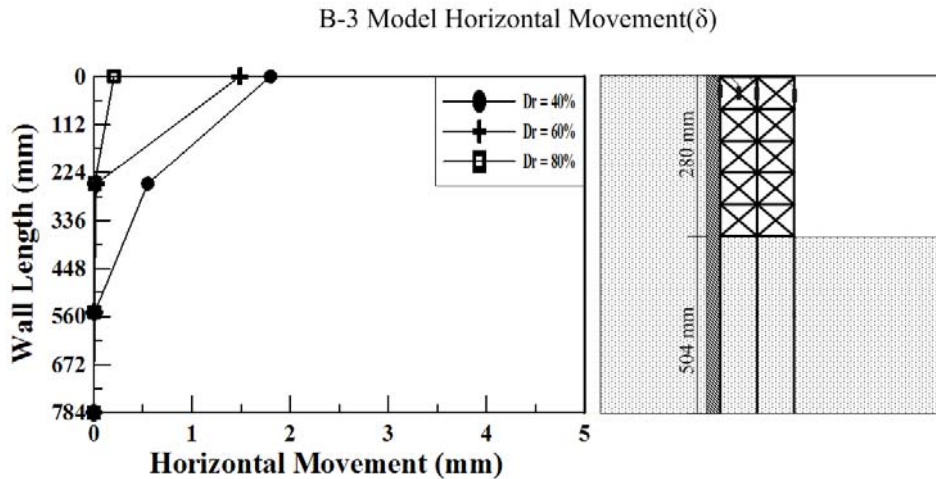


그림 6. 상대밀도 (D_r)의 변화에 따른 벽체 수평변위(δ)

4.2 트러스 부재에 작용하는 휨 응력

Strain Gauge를 수평부재와 말뚝 부분에 부착하였다. 아크릴 벽체와 맞닿은 수평부재와 중앙 연결 부분, 외측 수평부재에 작용하는 휨 응력을 측정하고, 수평말뚝에 작용하는 휨 응력을 구하여 깊이별 트러스 타워에 작용하는 휨 응력을 산출 하였다. 그림 7은 근입 깊이가 504mm 일 때 트러스 타워에 작용하는 휨 응력을 보여준다.

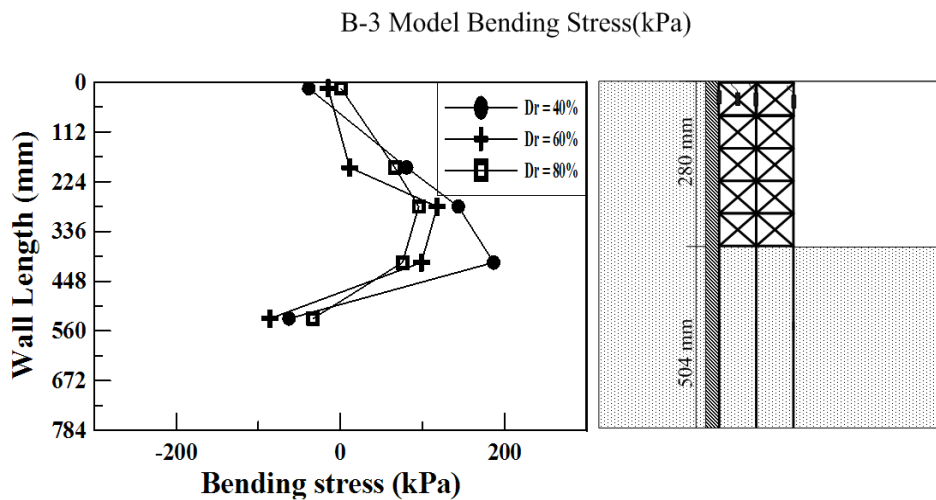


그림 7. 트러스 타워에 작용하는 휨 응력

5. 결 론

본 연구에서는 무지보 흠막이 트러스 구조물의 안정성을 확인하기 위해 실시한 모형실험의 실시하였다. 트러스 타워를 등가의 휨 강성을 갖는 평면변형율 조건의 단순벽체로 변형하여 유한요소 해석을 실시하였다. Midas Civil 프로그램을 통해 유한 요소 해석을 실시하여 등가 EI를 산출하고 상사법칙에 의해 축소모형을 제작하였다. 모형 실험은 굴착 시 흠막이 벽체에 작용하는 측방토압으로 인해 발생하는 수평변위와 휨 응력을 측정 하였다.

- 1 복합 구조물인 무지보 흠막이 시스템을 단순화하기 위해 Midas Civil 프로그램을 이용하여 등가 EI 산출하였다.
- 2 굴착 후 측방 토압이 작용할 때 조밀한 지반의 경우에는 최상단에서 굴착 깊이의 0.111 ~ 0.73%의 변위가 발생하였다. 굴착 시 발생하는 휨 응력은 근입부 부근에서 최대값이 측정되었다.
- 3 본 모형실험은 무지보 흠막이 공법 중 부벽식 공법을 대상으로 실시 하였다. 트러스 타워와 흠막이 벽체간의 부착 방식과 시공 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술평가원에서 진행 중인 첨단도시 개발사업과제(07도시재생B04)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박종식, 김낙경, 한만엽, 김종우 (2004). "IPS(Innovative Prestressed Wale System) 흠막이 공법의 개발", '04 한국지반공학회 봄 학술대회 논문집, 한국지반공학회, pp. 293-300.
2. Bowles, J. E.(1988), "Foundation Analysis and Design" , 5th Edition, MGH
3. Peck, R. B. (1969). "Deep excavations and tunneling in soft ground." Proc., 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State-of-the-Art Vol., 225-290.
4. Gregory P. Tschebotarioff(1978) "Foundations, retaining and earth structures" , 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc.
5. Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice, 2nd Ed., Wiley, New York.
6. Bowles, J. E.(1988), "Foundation Analysis and Design" , 5th Edition, MGH