

새로운 무지보 흙막이 공법의 안정성 평가

Stability Evaluation of Earth Retaining Structure using Tower Truss System

김영석¹⁾, YoungSeok Kim, 김주형¹⁾, Ju-Hyong Kim, 김영남²⁾, Young-Nam Kim, 김성환³⁾, Seong-hwan Kim, 이성열⁴⁾, Sung-Reol Lee

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 동명기술공단종합건축사사무소 부설연구소 책임연구원, Principal Researcher, Research Institute, DongMyeong Engineering & Consultant

³⁾ 동명기술공단종합건축사사무소 부설연구소 선임연구원, Senior Researcher, Research Institute, DongMyeong Engineering & Consultant

⁴⁾ 동명기술공단종합건축사사무소 부설연구소 연구원, Researcher, Research Institute, DongMyeong Engineering & Consultant

SYNOPSIS : Needs for underground space development and utilization have been increasing in urban area. The conventional strutting method in excavation is effective to restrain the ground movements and displacements of earth structures but inefficient for workers because of small working space. The conventional earth reinforcement methods such as earth-anchor and soil-nailing also have limitation to apply in urban area due to threats to stability of adjacent buildings around excavation boundaries. Recently, many types of earth retaining structures are being developed to overcome disadvantages of conventional excavation methods in urban area. In this study, a series of numerical analyses were performed with MIDAS GTS, geotechnical analysis program and MIDAS Civil, structural analysis design program to evaluate behavior and stability of the new type of non-supporting earth retaining structure, called Temporary Tower System (TTS), consisting of tower truss structures with much economical and spatial advantage.

Keywords : Earth Retaining Structure, Tower Truss System, Stability Evaluation

1. 서론

최근 도심지에서는 지하공간의 유효활용이 증가함에 따라 노후화된 도심지 건축물의 증·개축에 있어서 지하건축면적의 확보를 위한 굴착 및 토류 가시설의 수요는 꾸준히 증가하고 있다. 도시재생사업의 특성상 구조물 주변의 여유 공간이 매우 협소하고 주변지역에 대한 변위발생 억제, 장비 및 인력투입의 제약을 극복하여 지반을 굴착하기 위해서는 새로운 흙막이 공법의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 무지보 형태의 새로운 흙막이 공법을 제안하고 있다. 새로운 무지보 흙막이 공법(Tower Truss System, 이하 TTS 공법)은 버팀보로 인하여 작업공간 확보에 불리한 기존 흙막이 공법의 버팀보를 제거하여 지보가 없는 형태의 가설 토류공법으로, 경제성 및 공간 활용성 면에서 이점을 갖는다. 즉, 작업공간이 협소하고 인접건물이 다양하게 존재하여 민원 발생 여지가 높은 국내의 도심지 환경에서 작업 시 매우 유리한 공법이라고 할 수 있다. 또한, 본 논문에서는 수치해석을 통하여 TTS 공법의 거동 및 안정성을 평가하였으며, TTS 공법의 표준형태(단면)를 결정하였다.

2. 새로운 무지보 흙막이 공법의 개발

무지보 흙막이 공법의 초기 제안형태는 프리스트레스트 강선을 도입한 가시설 기술(TPS: Temporary Prestressed System)이었으나 프리스트레스트 강선 도입 공정 제외, 가시설 시공공정의 간소화, 공기단축 및 시공성의 향상을 고려하여 TTS 공법으로 최적화하였다. 그림 1과 2는 초기제안 된 무지보 모델 및 TTS 공법 제안까지의 최적화 과정을 나타내고 있다.

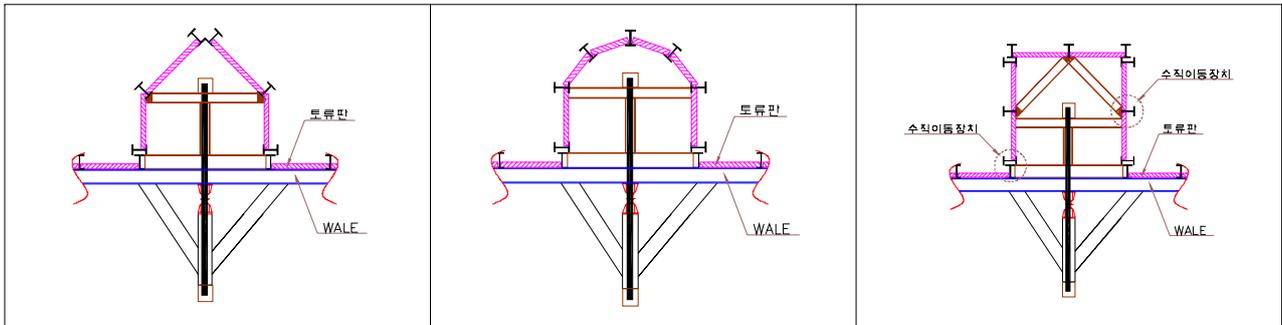
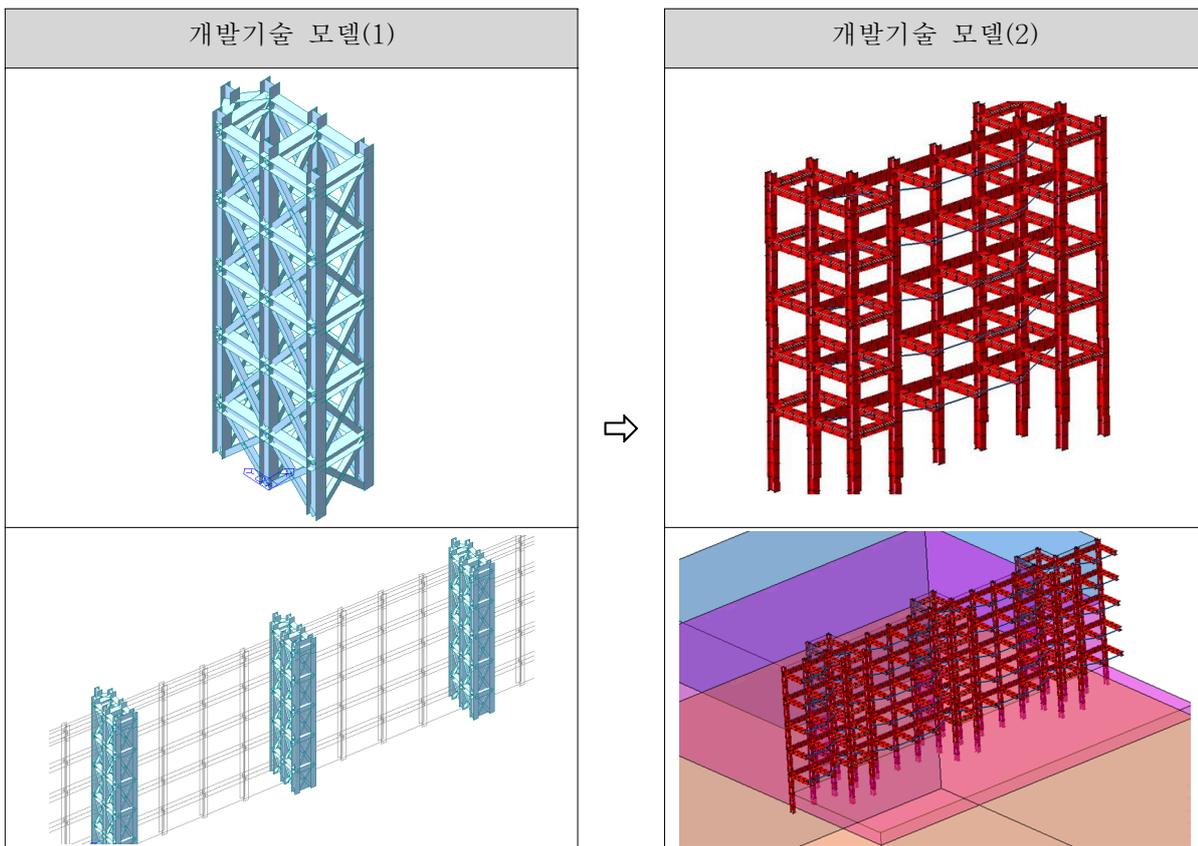


그림 1. 초기 제안된 무지보 모델



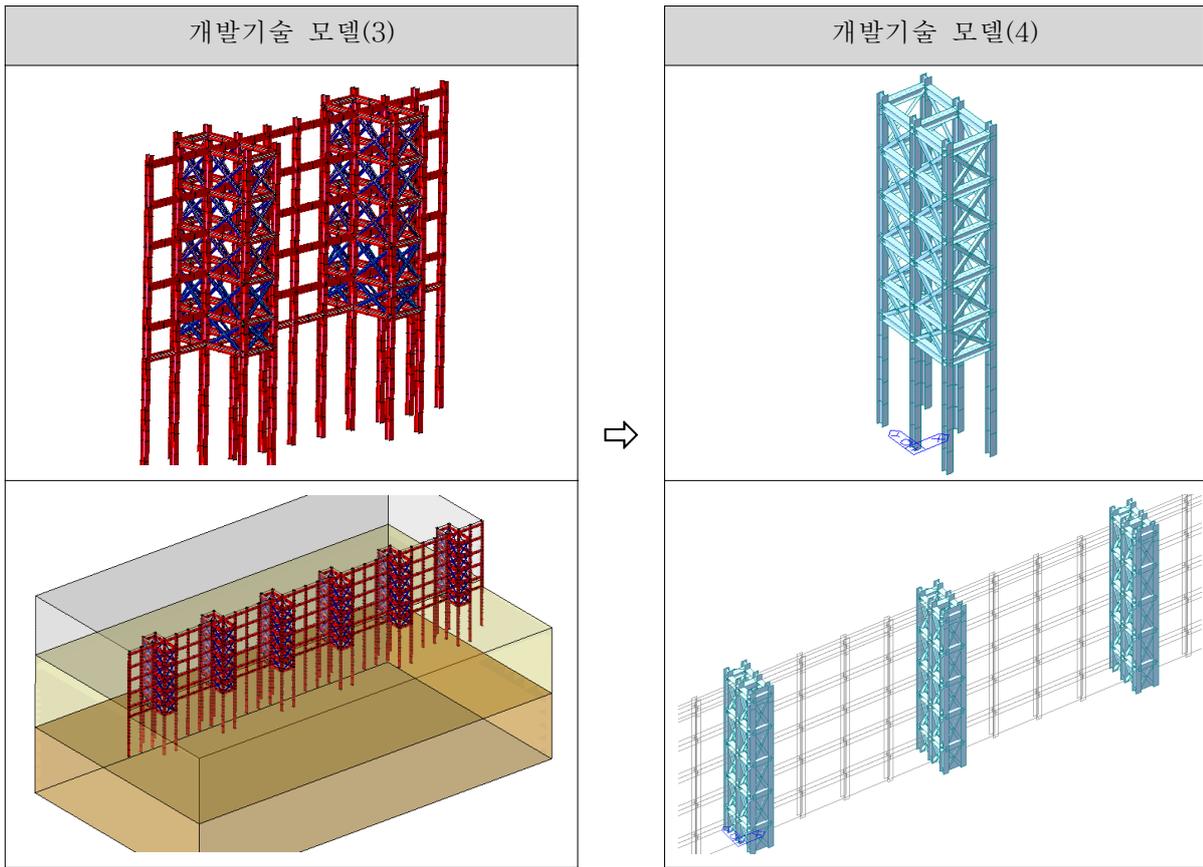


그림 2. 무지보 흙막이 공법 최적화 과정 (TTS 공법 도출 과정)

3. 수치해석을 통한 TTS 공법의 안정성 검토

TTS 공법의 모델링 및 표준형태 결정은 터널 및 지반 해석 프로그램인 MIDAS GTS 및 구조해석 설계 프로그램인 MIDAS Civil을 이용한 수치해석을 통하여 검토하였다. 지반의 다양한 격자해석 모델링 및 굴착단계별 해석이 가능한 MIDAS GTS를 이용하여 개발기술이 적용될 지반을 모델링한 후, 지반조건의 변화에 일반적인 적용이 가능한 무지보 흙막이 구조물의 형태를 결정하였다. 지반은 매립토, 풍화토, 풍화암층으로 구성하였으며, 각 토층의 지반 물성치는 표 1과 같다. 토층 깊이의 변화와 지반 물성치의 변화, 구조물의 변화를 통하여 개발기술인 TTS 공법의 형태를 결정하였다 (그림 2참조).

표 1. 입력 데이터 (지반의 물성치)

Material	매립토	풍화토	풍화암
Model Type	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Modulus of Elasticity(E) [kN/m ²]	10,000	50,000	150,000
Poisson's Ratio(ν)	0.2~0.35	0.2~0.33	0.3
Unit Weight (γ) [kN/m ³]	18	19	20
Unit Weight (Saturated) [kN/m ³]	19	20	21
Cohesion(c) [kN/m ²]	5~10	10~30	15~50
Friction Angle (°)	25	30	35
K ₀	0.58	0.5~0.67	0.36~0.43

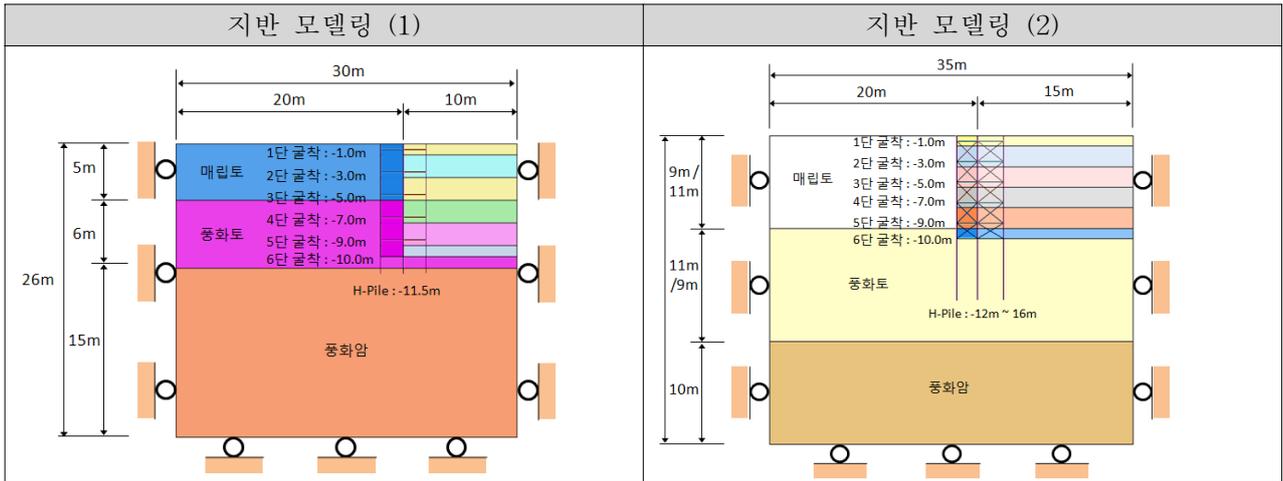


그림 3. 지반 모델링 예

표 2. TTS공법의 구조물 조건변화에 따른 안정성 검토 결과

조건변화	평면형상	설계검토		변위 최대값 (타워사이 /타워)
		모멘트 최대	축력최대	
수직부재 H400x408 적용		OK	지지력 NG	6.0cm /4.4cm
수직부재 Φ 508 강관 적용		OK	합성응력, 지지력 NG → 그라우팅 적용 OK	9.9cm /9.6cm
수직부재 Φ 508 강관 + S.C.W 적용			지지력 NG → 그라우팅 적용 OK	6.6cm /6.4cm
굴착면 최내측에 강관 1개 추가설치			합성, 지지력 NG → 그라우팅 적용 OK	5.5cm /5.3cm
굴착면 쪽으로 Tower 2m이동 Tower 사이즈: 2@(2mx2m)			합성, 지지력 NG → 그라우팅 적용 OK	4.5cm /4.2cm
굴착 배면쪽 Tower 제거 Tower 사이즈: 2mx3m			그라우팅 적용 → 합성 NG	9.8cm /9.5cm
굴착 배면쪽 Tower 제거 Tower 사이즈: 2mx4m			그라우팅 적용 OK	7.3cm /7.0cm

MIDAS GTS를 이용한 무지보 흙막이 구조물의 형태는 대상 굴착 깊이인 10m를 기준으로 하였을 경우 평면 형상이 2@2.0m x 2.0m인 타워 트러스 형태의 격자형 구조물로 선정되었다. 단면의 형상은 띠장의 각 단을 따라 수평방향의 H-Pile이 연결되어 있으며 수평부재와 수평부재 사이는 L형강에 의한 브레이싱으로 보강 되어 있다. TTS 구조물의 형태를 바탕으로 MIDAS Civil을 이용하여 대상 구조물을 간략화하여 구조물 종류, 위치, 크기 등 다양한 조건을 고려한 무지보 흙막이 구조물의 표준 형태를 결정하였다. 이때 토압은 보수적 설계 개념을 적용하여 전층 매립토인 경우로 가정하였으며, 해석결과는 표 2와 같다.

TTS 공법은 굴착배면에서 작용하는 토압의 대부분을 타워 트러스에서 부담하게 되는데, 트러스 구조물 특성상 외력인 토압은 대부분 구조물의 축력으로 발생하게 되고 이는 타워 트러스 하단의 지지력 및 합성 응력상태에 불리한 영향을 주게 된다. 따라서 구조물 조건의 변경을 통하여 다양한 구조물의 단면 검토를 수행한 결과, 단면력 발생에 유효한 최적의 표준형태는 타워 트러스 구조물이 일부 굴착면 쪽으로 매립되는 일부매립식과 굴착전면으로 설치되는 부벽식 형태인 것으로 나타났다 (표 2 음영부분, 그림 4 참조). 무지보 흙막이 구조물 배면에 작용하는 토압은 토류판, 엄지말뚝, 띠장의 순으로 전달된 후 타워트러스에 이르게 되는 구조로 타워 트러스 구조물에서 굴착배면 토압의 대부분을 지지하도록 되어있다. 또한, 타워트러스의 안정성을 높이기 위한 보조 공법으로 그라우팅 공법과 차수 공법을 도입하였다. 트러스 구조물의 특성상 토압의 대부분은 타워 트러스 구조물에서의 축력으로 발현되는데, 하부지반이 연약할 경우 강관파일 내부를 통한 하부지반 그라우팅으로 지지력을 확보하였으며, 지하수 유입 등을 막기 위한 S.C.W 차수공법을 병행함으로써 굴착시 타워 트러스 매립부의 굴착영역 확보를 위한 가이드 역할 및 토압의 분산, 차수효과를 동시에 얻고자 하였다.

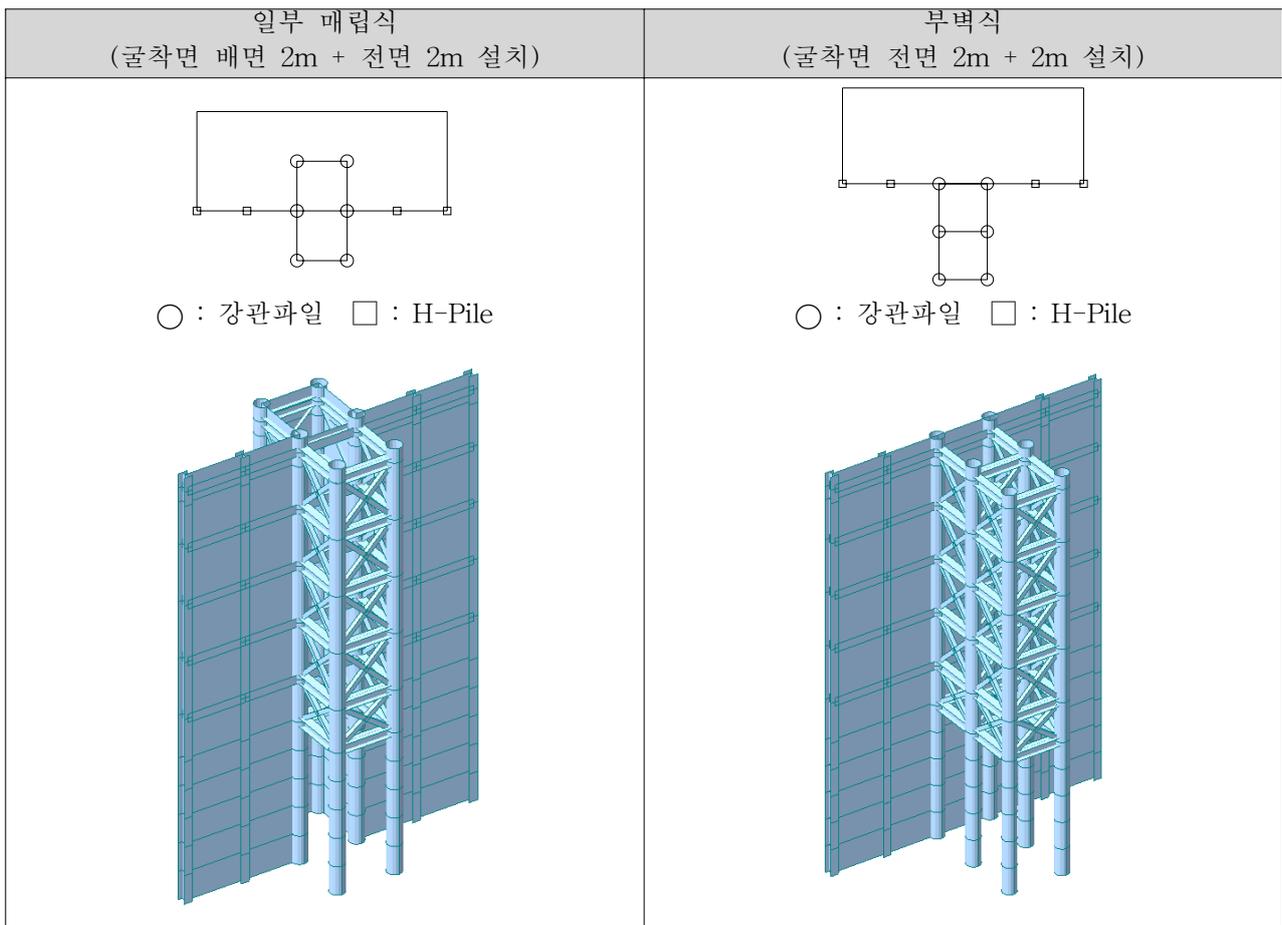


그림 4. 선정된 표준단면(Tower Truss System + S.C.W)

4. 결 론

본 논문에서 제안한 무지보 형태의 새로운 흙막이 공법은 타워 트러스 구조를 이용한 가설 토류벽 (TTS 공법)으로 경제성 및 공간 활용성면에서 많은 이점을 가지고 있다. 즉, 중앙부에 버팀보가 없는 구조로 기존 버팀보 공법보다 작업 공간 확보에 매우 유리하다. 또한, 범용 프로그램을 이용하여 TTS 공법의 표준형태를 결정하였다. TTS 공법은 초기 부재비용 및 투자비용이 높지만, 버팀보가 없어 강재량의 감소효과를 얻을 수 있고 가시설 해체 후 부재의 재활용이 가능하여 시간이 경과한 후에는 상당한 수익이 발생할 것으로 판단된다. 또한, 작업공간 효율 증대는 공기 단축으로 인한 공사비 절감으로 이어지고, 토공사 및 본구조물 시공의 편의성에 의한 추가 경제적 이윤도 발생할 것으로 판단된다.

향후 다양한 조건에서 모형 및 현장시험을 수행하여 TTS 공법의 완성도를 높여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김낙경, 박종식 (2003), “조립식 버팀보로 지지된 흙막이 구조물의 거동 특성에 관한 연구”, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp. 553-560.
2. 신은철, 신동훈, 오영인 (2000), “흙막이 굴착에 따른 인접지반 및 구조물의 거동”, 대한토목학회논문집, Vol.20 No.7. pp.285-288
3. 이송, 김주현 (2002), “지반굴착 흙막이 구조물 설계 및 시공시 중요문제점 분석”, 한국구조물진단학회지, Vol.6 No.2, pp.167-174
4. 한국지반공학회 (2003), “구조물 기초설계기준 해설”, 서울, 건설교통부
5. 한국지반공학회 (2002), “굴착 및 흙막이 공법”, 서울, 구미서관
6. Clough, G. W., and O'Rourke, T. D. (1990), “Construction induced movements of in situ walls”, Proc., Design and Performance of Earth Retaining Structure, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 25, 439-470