FEM/탄소성보법 해석결과

금번 MIDAS FAQ는 GeoX상에서 해석을 수행한 후 해석된 결과를 살펴보는 기능에 대해서입니다. 가시설 해석에 있어 중요한 것은 복잡한 자연현상을 얼마나 근접하게 모델링하는 것이며, 흙막이벽체와 인접구조물과의 거동을 정확히 예측하여 안전을 확보하는 것입니다. 이런 모델링을 위해 종래에서부터 꾸준히 여러 해석방법이 소개되었고 현재는 탄성 지반상의 보 이론을 확장한 Winkler 해법을 기본으로 토류벽 구조해석에 중점을 둔 탄소성보법들이 개발되었고 사용화가 된 상태입니다. 그러나 여전히 탄소성보법은 흙막이벽체와 지반인접구조물과의 상호거동을 정확히 모사하는데는 한계가 있으며 이를 위한 대안으로 유한요소법의 중요성이 부각되고 있습니다.

본 FAQ에서는 midas GeoX에서 'FEM/탄소성보법 해석결과' 를 살펴보는 기능에 대해 배워보도록 하겠습니다.

1. 흙막이벽의 해석방법

흙막이벽의 구조해석의 경우 과거에는 수계산이 가능한 관용적인 해석법이 주를 이루었지만, 수치해석 기술과 컴퓨터의 발전으로 흙과 구조물의 상호작용을 보다 정밀하게 묘사할 수 있는 유한요소법, 유한차분법이 개발되었습니다. 아래 표는 흙막이 벽의 해석법 종류에 대해서 나타내었습니다.

표 1. 흙막이벽의 해석법 종류

해석 이론	해석 방법	해석 개요
관용적인 해석법	단순보법	- 벽체를 단순보로 가정, 경험적 토압을 적용 - 굴착 및 지지구조 설치 모사 가능 - 흙과 구조물의 상호작용 반영 불가 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 낮음
	연속보법	- 벽체를 지보재 지점에서 지지된 연속보로 가정 - 보 부재력은 단순보법보다 정확도가 높음 - 벽체배면 지반에 대한 변위 추정 불가 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 낮음
토압에 의한 해석법	탄성보법	- 횡방향 변위, 벽체전면 수동영역의 절점토압, 부재력 및 지보재의 지지력 산정이 가능 - 흙막이벽 근입부분의 횡토압이 수동토압을 초과하는 모순이 발생
	탄소성보법	- 흙막이벽은 탄성보로, 흙은 탄소성 스프링으로 모델링하여 탄성보법에서 발생한 모순점을 해결 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 높음 - 해석방법 및 횡방향 지반반력계수에 따라 결과값의 차이가 큼
흙과 구조물의 상호작용에 의한 해석법	유한요소법	- 토압을 작용시켜 흙막이 벽체의 변위를 산정하는 방법이 아님 - 지반의 탄소성 강도특성과 흙막이벽 및 지보재의 탄성강도특성을 입력하여 변위, 응력 결과 산출 - 주변지반과 구조물의 변형을 동시에 해석 가능 - 인접건물이 존재하는 경우, 대규모 모델에서 유용
	유한차분법	

midas GeoX에서는 기존의 상용해석 프로그램에서 제시한 탄소성보해석법 뿐만이 아니라, 흙과 구조물의 상호작용을 고려할 수 있는 유한요소법까지 제공하고 있습니다.

2. 탄소성보법

탄소성보 해석법이란 지반은 수평지반반력계수를 지닌 탄소성 스프링, 지보재는 탄성 스프링, 흙막이 벽체는 보(beam)로 가정하여, 외부의 하중(토압, 수압, 상재하중 등)에 저항하는 거동을 효과적으로 해석하는 방법입니다. 이 방법은 시공단계에 따라 지보재 스프링과 지반 스프링을 실제 굴착단계와 유사하게 모사할 수 있기 때문에 관용적인 해석법에 비해 구조물의 거동을 보다 정확하게 해석할 수 있습니다. 탄소성보법은 지반 모델링 방법과 토압 분포에 대한 가정 및 굴착과정 모사 방법에 따라서 여러 가지 종류로 구분될 수 있으며 대표적인 탄소성보법으로는 야마가타 확장법(Yamagata et al., 1969; Nalamura and Nakazawa, 1972)과 모리시게 방법(森重, 1975)이 널리 활용되고 있습니다.

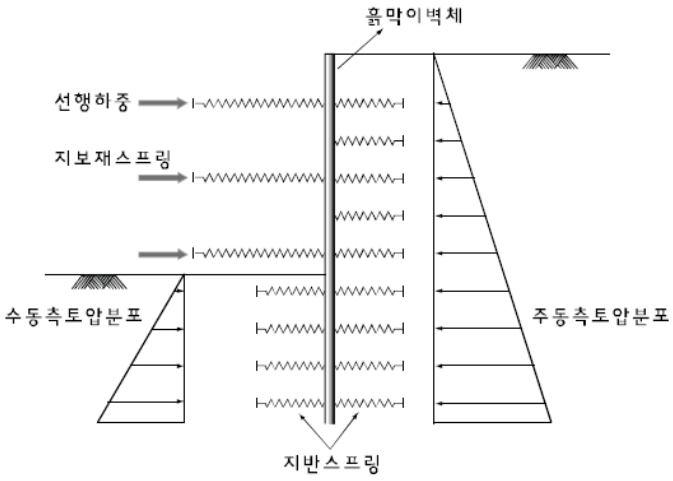


그림 1. 탄소성보법 해석시 기본 모델

탄소성보법 해석결과는 시공단계탭을 통하여 흙막이벽체의 시공단계별 토압, 변위, 전단력, 모멘트를 확인할 수 있습니다. 단계별 Table을 통하여 각 시공단계의 절점에서 발생되는 깊이별 변위, 회전각, 지보재 반력을 알 수 있으며 요소항목을 통하여 흙막이벽체에 작용하는 깊이별 토압, 전단력, 모멘트를 확인할 수 있습니다. 또한 요약 table을 통하여 시공단계에 따른 부재력의 최대값을 쉽게 파악할 수 있습니다. 단계별 table과 요약 table에서 제공하는 결과는 excel과 호환이 가능하며 ctrl + c 키를 통해 값을 복사할 수 있습니다.

또한 흙막이벽체에 굴착이 일어날 경우 배면측과 굴착측의 측압차가 발생하게 되며 이 때 배면측의 주동토압과 굴착측의 수동토압간의 관계가 안정성을 확보할 수 있는 충분한 근입깊이확보가 필요합니다. 일반적으로 자립식인 경우 지반의 특성값을 이용하여 안정성을 검토하며, 자립식이 아닌 경우 최하단의 버팀보를 중심으로 한 수동토압에 의한 저항모멘트와 주동토압에 의한 회전모멘트의 비로써 근입깊이의 적정성을 판단할 수 있습니다. geox에서는 최하단과 최하단 직전 시공단계에서의 버팀보를 중심으로 한 수동토압에 의한 저항모멘트와 주동토압에 의한 회전모멘트의 비로서 근입깊이의 안정성을 산정하고 있습니다.

지반침하는 인접 구조물의 기초, 지하매설물 등의 침하를 유발시켜 안정성을 저해하거나 사용성에 문제를 일으킬 뿐만 아니라 심지어 구조물의 붕괴 위험까지 가져올 수 있습니다. 굴착에 따른 지반의 침하를 예측하는 방법은 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔으며, 탄소성보법에서는 연구된 많은 지반 침하의 관련된 식 중에서

Caspe(1996)의 방법, Peck(1969)의 곡선, Bauer(1984)의 반경험식, Clough & O' Rourke(1990) 방법을 고려할 수 있습니다. 이러한 방법들은 흙막이 벽체의 수평변위로부터 지반의 침하를 경험적으로 추정하는 방식으로 실제 지반의 거동을 정확히 반영하는 것은 아니므로 참고치로 활용할 필요가 있으며, 엄밀한 해석을 위해서는 FEM해석으로 산출된 지반침하량을 적용하는 것이 바람직합니다.

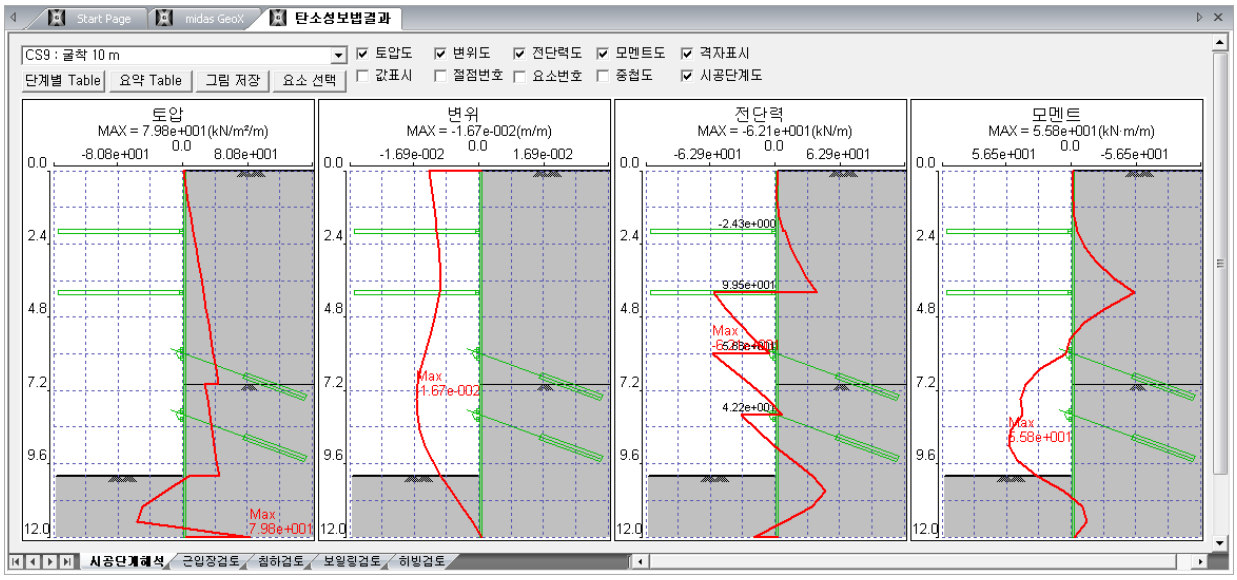
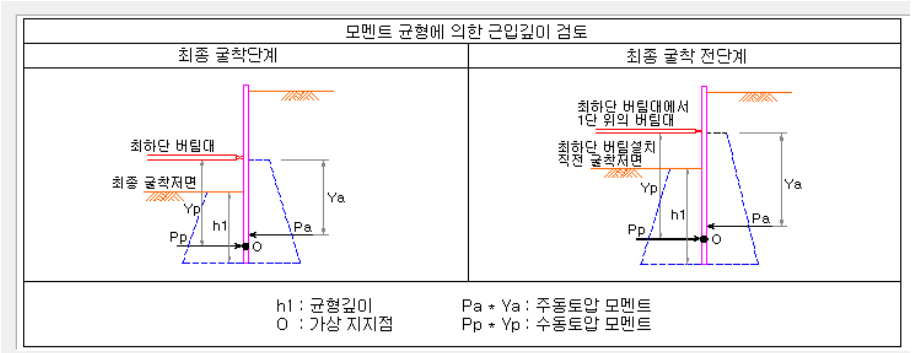


그림 2. 시공단계해석 결과



구분	균형깊이 (m)	적용 근입깊이 (m)	주동토압 모멘트 (kN·m)	수동토압 모멘트 (kN·m)	근입부 안전율	적용 안전율	판정
최종굴착단계	0.68	2.00	159.66	586.10	3.67	1.20	OK
최종굴착전단계	0.82	3.00	326.08	1753.39	5.38	1.20	OK

그림 3. 근입장 검토결과

또한 사질토 지반에서 수위차에 의해 굴착저면에서 물이 끓어오르는 듯한 현상인 보일링을 검토할 수 있으며, 연약한 점토지반을 굴착하는 경우 굴착배면토의 중량과 재하중이 지반의 전단강도보다 크게 되어 배면지반이 침하되고 굴착면이 부풀어 오르는 히빙에 대한 검토도 수행할 수 있습니다.

3. 유한요소법(FEM)

유한요소법은 흙막이가시설 해석에 있어서 재료자체의 불확실성에 중점을 두고 지반 내부의 물리적 상태를

최대한 반영하도록 모델링하고 재료의 다양한 비선형성, 이방성 및 원지반 응력상태를 고려하는 해석법입니다. 최근에 대규모의 굴착공사와 도심지 굴착의 빈도가 높아짐에 따라 흙막이벽 자체의 안정성 뿐만 아니라 인접지반 및 인접구조물에 대해서도 안정성 확보가 요구되고 있습니다. 탄소성보법으로 흙막이벽과 인접지반의 상호거동을 정확하게 모사하기에는 한계가 있으며, 이에 대한 대안으로 유한요소법이 주목받고 있습니다.

유한요소법은 실제 현장을 최대한 반영할 수 있는 자유로운 모델링, 고차요소의 적용, 다양한 재료모델을 통해 가시설 부재 뿐 아니라 인접지반 및 인접구조물에 미치는 영향을 정밀하게 파악할 수 있습니다.

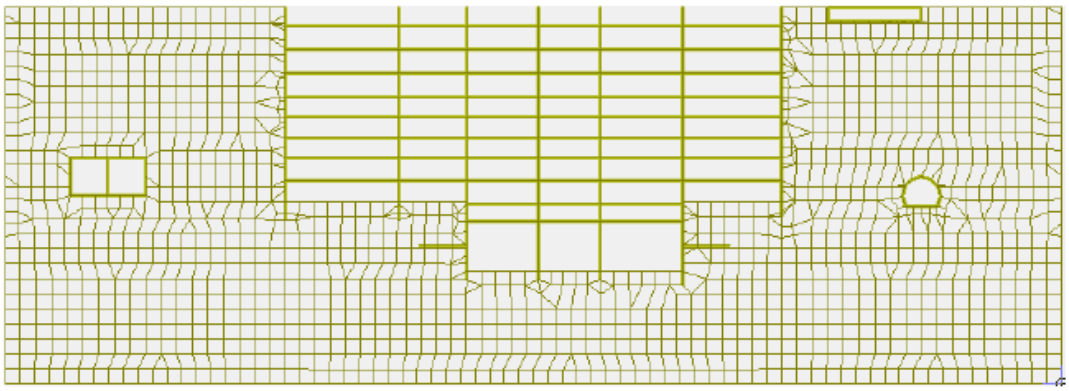


그림 4. 프로그램 내부에서 자동으로 FEM 모델 구성

해석이 종료되면 결과를 확인하여 실제 설계에 필요한 각종 수치 데이터를 정리하게 됩니다. GeoX에서는 시공단계해석 결과를 다양한 그래픽 처리기능, ms-excel과 호환되는 결과 테이블 및 그래프 작성 기능 등을 통해 제공하고 있습니다. 결과를 확인할 수 있는 방법으로는 '결과항목'창을 통해 각 단계별 지반의 변위 및 응력, 지보재의 부재력을 확인할 수 있습니다. 세부적으로 '그룹별 해석'을 통해 흙막이벽과 지보재에 작용하는 부재력 및 배면과 흙막이벽, 굴착면의 변위를 table로 확인할 수 있습니다.

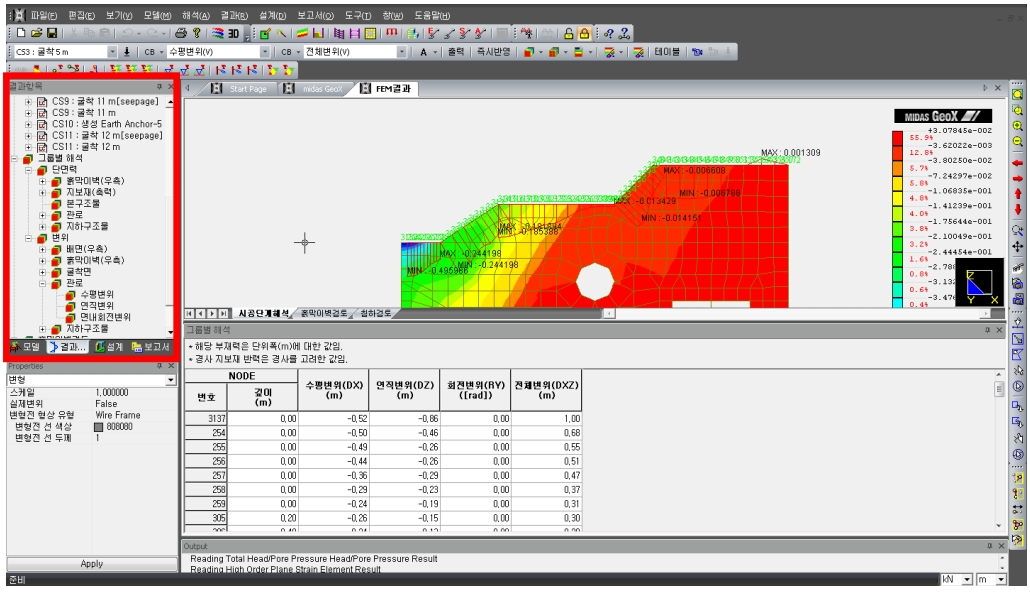


그림 6. 그룹별 해석

이 밖의 다른 임의의 지점이나 요소에서의 결과값을 확인하고 싶은 경우 '결과 > 결과태그' 항목을 통해 'probe tag'를 부착하여 결과를 모델상에서 확인할 수 있으며 '결과 > 결과추출' 항목을 통해 table로 쉽게 확인하실 수 있습니다.