

강판을 사용한 흙막이 벽체공법(SGP) 거동분석 Behavior Analysis of Earth Retaining Wall with S.G.P method

조성하¹⁾, Seong-Ha Cho, 최관우¹⁾, Gwan-Woo, Choi, 유광호²⁾, Kwong-Ho You, 김성덕³⁾, Sung-Duk, Kim, 김영현³⁾, Young-Hyun, Kim

¹⁾ (주)다산이엔지 기술연구소 전무이사, 과장, Technical Div. Dasan Eng.

²⁾ 수원대학교 토목공학과 교수, Professor, Univ. of Suwon, Civil Engineering Dept.

³⁾ (주)영창토건 대표이사, 전무이사, Youngchang Construction Company

SYNOPSIS : In this study, the behavior of retaining wall composed with soldier pile and steel plate is analysed. The steel guided plate(SGP) method is applied to the site near the riverside in which geotechnical condition results in flood and large deformation. Following the concept of preventing infiltration from huge permeability stratum and decreasing deformation with strengthened stiffness simultaneously, this method is discussed its effectiveness with the instrumentation data. Also the differences of behavior between predicted and detected are investigated with numerical methods. It is found that SGP has a good deal of advantages with regard to balancing between control of permeability and deformation. In addition, it is revealed that SGP can give reasonable construction plan for sustaining stiffness for which the sheetpiling method cannot be adopted effectively in waterfront condition.

Key words : earth retaining wall, steel plate soldier pile, instrumentation

1. 서론

1.1 연구목적

흙막이 벽체는 본래 기초 터파기공사에서 토압, 수압 등의 측압에 대한 저항을 목적으로 사용되는 가설구조물이며, 최근 도심지에서 굴착공사가 빈번해짐에 따라 주변지반의 침하와 건물의 보호를 주목적으로 사용되는 등 그 사용목적이 다양하다. 흙막이 공법 중 일반적으로 가장 널리 쓰이는 일반토류벽(H-PILE + 토류판)공법은 지반을 천공하여 H-PILE을 삽입하고 굴착하면서 토류판을 설치하는 방식이다. 이러한 일반토류벽공법의 가장 큰 문제점은 굴착 후 토류판이 설치되므로 초기 벽체변형이 커서 지반의 침하가 유발될 수 있고, 대체로 토류판의 회수가 불가능하다. 아울러, 지하수위가 높은 지반에서는 별도의 차수공정이 필요하다. 또한, 그 대체 공법으로 C.I.P공법이나 S.C.W공법을 적용하나 공사비가 비싸고 공기가 길다는 단점이 있다. 본 연구에서는 일반토류벽공법의 문제점들을 보완한 S.G.P공법을 적용한 사례에 대해서 기술하고자 한다.

1.2 연구내용

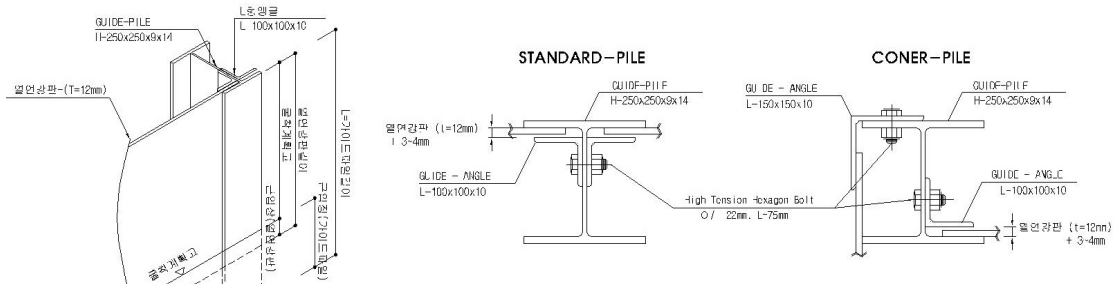
본 연구는 지하수위가 높은 사질토 지반에서 S.G.P공법의 적용성을 파악하기 위해 주변지반 및 지하수거동을 다음과 같은 내용으로 분석하였다.

- 1) 탄소성해석을 통한 일반토류벽공법과 S.G.P공법과의 벽체변위거동, STRUT축력을 비교·분석하였다.
- 2) 침투해석을 통한 일반토류벽공법과 S.G.P공법과의 지하수거동 및 차수성을 분석하였다.
- 3) S.G.P공법의 탄소성해석결과와 현장 계측데이터를 비교·분석하였다.

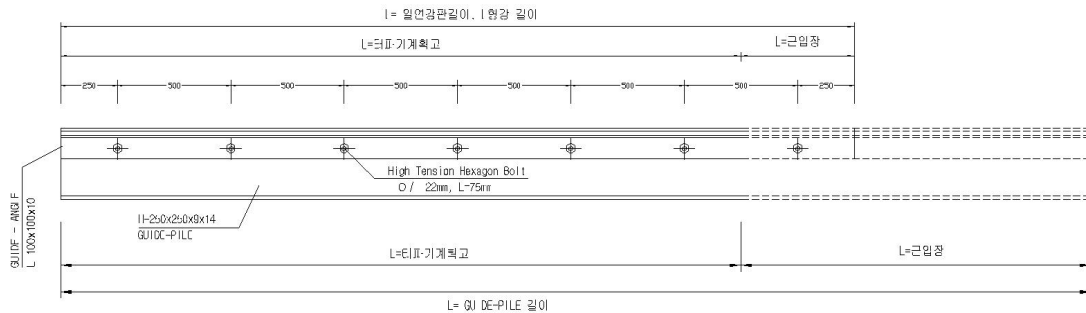
2. S.G.P공법

2.1 공법의 개요

S.G.P공법이란 가시설 계획면에 등간격(C.T.C 1,280 혹은 1,300)으로 강성을 확보할 수 있는 소정의 깊이까지 GUIDE-PILE(H-pile)을 근입시킨 후 GUIDE-PILE의 사이에 계획 근입장에 알맞은 열연강판을 근입시켜 흙막이 벽체를 터파기에 앞서 완성하는 공법이다<사진1참조>.



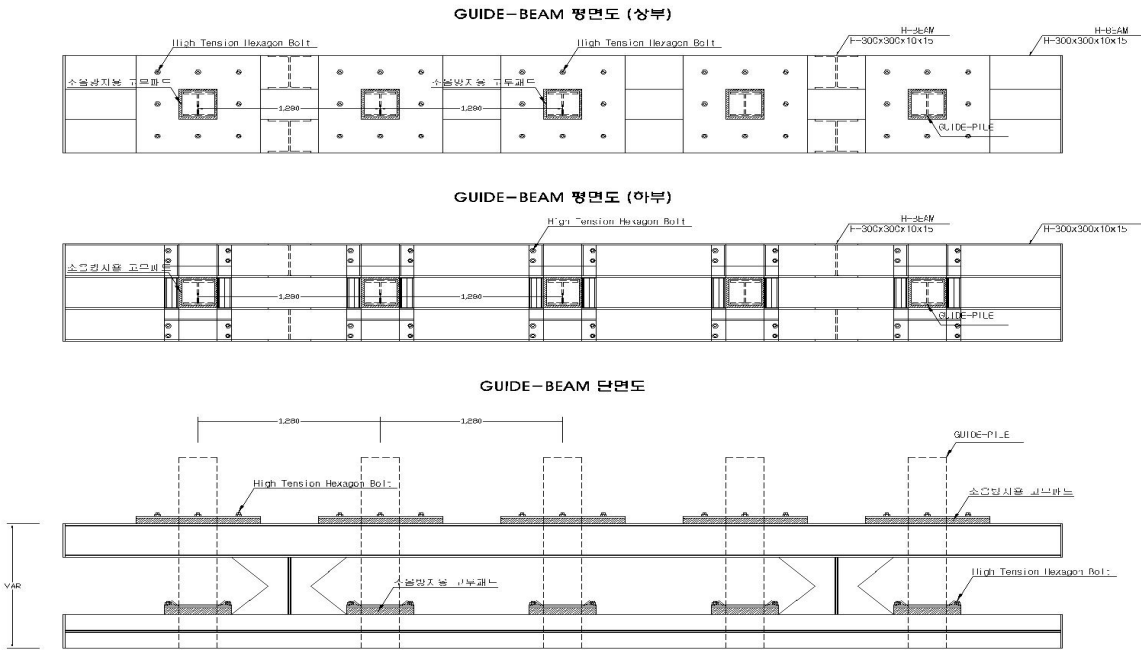
<그림1> 공법개요 및 상세



<그림2> L-형강설치상세

그림1 및 그림2에서 보는바와 같이 가이드파일 제작은 H형강과 L-형강을 임시로 용접후 H형강과 L-형강을 천공하여 고장력 볼트로 체결함으로써 이루어진다. 이렇게 제작된 가이드홈의 폭은 17mm ~20mm 이내이며, 12mm의 열연강판이 H형강과 L-형강 사이로 근입되기 때문에 GUIDE-PILE과 열연강판의 일체식 구조물이 시공된다.

열연강판의 설치를 용이하게 하고 차수성을 높이기 위해서는 H-PILE과 강판사이의 이격을 최소화 하여야 하며, 그러기 위해서는 시공된 GUIDE-PILE의 수직도가 중요하다. GUIDE-PILE의 수직도를 높이기 위하여 그림3과 같은 GUIDE-PILE 시공전에 GUIDE-BEAM을 GUIDE-PILE 시공위치에 설치하고 GUIDE-PILE을 시공하기 때문에 GUIDE-PILE의 수직도를 높일수 있으며, GUIDE-PILE이 들어가는 위치에 소음방지용 고무밴드를 부착한 후 GUIDE-PILE을 시공함으로써 시공시 GUIDE-BEAM과 GUIDE-PILE의 접촉에 의한 소음을 방지 할 수 있다.



〈그림3〉 GUIDE-BEAM 상세

2.2 공법의 특징

S.G.P공법의 특징은 첫째, 열연강관은 목재토류관보다 강성이 크고, 지반굴착전에 먼저 근입시키므로 지반굴착에 따른 벽체변위저감효과를 얻을 수 있으며, 근입방법은 사진2에서 보는바와 같이 자주식크레인 및 Vibro hammer를 사용하여 근입시킨다. 하부에 전석층이나 풍화대가 있어 일반근입이 어려운 경우에는 Water-jet를 사용하기도 한다.



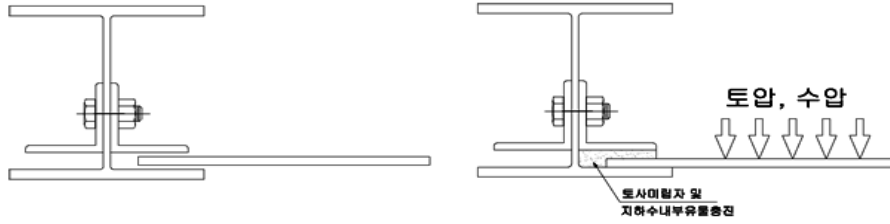
〈사진1〉 열연강판 시공상황



〈사진2〉 열연강판 근입(water jet 병행)

둘째, 계획심도이하까지 연속된 열연강관이 설치되고 지반굴착이 시작되면 그림4와 같이 굴착면이 토압으로부터 해방이 이루어지고 열연강관은 배면부의 토압과 수압의 작용을 받게 되어 가이드파일과 열연강관의 밀착이 이루어져 S.G.P 벽면으로부터 지하수 유입은 차단되어 별도의 차수공정이 필요 없다.

또한, Vibro Hammer를 이용한 열연강관의 근입시 열연강관 주변토사는 간극이 채워져 차수효과를 높게 된다.



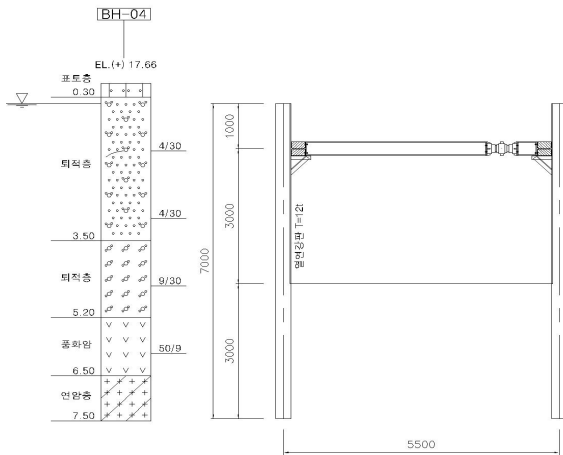
〈그림4〉 S.G.P 차수개념도

셋째, 토류관은 회수시 지반침하가 추가적으로 유발되고 합벽시공되는 경우에는 회수가 불가능하여 지중에 잔류하여 지반오염을 야기시킨다. 반면, S.G.P공법은 퇴메우기가 완료된 후 강관이 회수가 되기 때문에 지반침하 요인이 없고, 재사용이 용이하여 지중에 잔여물이 없다.

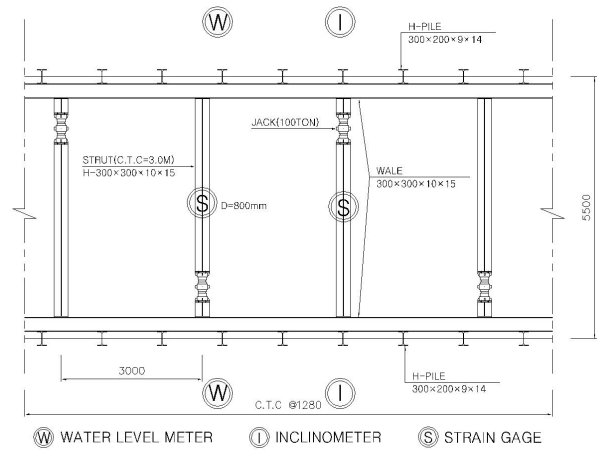
3. 지반특성 및 계측계획

3.1 지반특성

대상 지역은 OO현장 차집관로공사의 일환으로 제외지내 하천제방에 인접하여 있으며, 지층 구성은 지표로부터 표토층, 퇴적층1, 퇴적층2, 풍화암, 연암의 순서로 구성되어 있다<그림5참조>. 최종 굴착심도는 4m 정도이고, 굴착바닥면은 퇴적층2에 위치한다. 실내시험은 현장여건상 굴착심도에 위치하는 퇴적층2에 대해서만 실시하였으며, 나머지 지층에 대해서는 문헌제안 값을 사용하였다. 본 연구에 적용된 실내시험결과 및 각 지층별 지반정수는 표1과 표2에 나타내었다.



〈그림5〉 토층단면



〈그림6〉 계측평면

<표 1> 실내시험결과

Depth	MC	Density	Atterberg L.	Permeability	Grain Size Distribution %, Finer than				USCS
					No.4	NO.10	NO.40	NO.200	
-	-	ρ_s	LL	K	No.4	NO.10	NO.40	NO.200	-
m	%	g/cm^3	%	cm/sec	%				-
4.0	20.8	2.632	NP	5.92×10^{-3}	83.4	65.4	21.5	6.2	SW-SM

<표 2> 지층별 지반정수

지 층	단위중량 ($tonf/m^3$)	점착력 ($tonf/m^2$)	내부마찰각($^\circ$)	투수계수 k(cm/sec)	수평지반반력계수 ($tonf/m^3$)	비 고
표토층	1.7	0.0	20	1.0×10^{-3}	1000	
퇴적층1	1.7	0.0	25	1.0×10^{-2}	1213	
퇴적층2	1.8	0.0	28	5.92×10^{-3}	1686	
풍화암	2.0	3.0	30	1.0×10^{-4}	5000	
연암	2.3	5.0	35	1.0×10^{-5}	6000	

3.2 계측개요

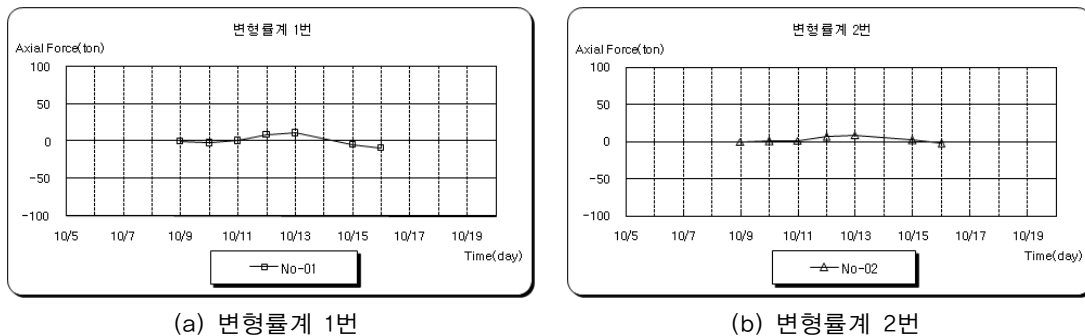
본 연구에서는 대표단면 1개소를 선정하여 본굴착 이전에 계측기를 매설하고 시공된 굴착면에서 측정된 계측자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 굴착에 따른 흙막이벽체의 안정성 및 지반의 수평변위는 지중경사계를, S.G.P시공에 따른 지하수거동 및 차수성분석은 지하수위계를 흙막이벽체 배면에 설치하여 측정하였다. 지보재에 작용하는 축력은 변형률계를 설치하여 측정하였다. 일반적으로 계측은 시공전·중·후에 걸쳐서 2주정도 기간동안 평균 1회/일 간격으로 실시하였고 계측기 배치상황은 그림6과 같다.

3.3 계측결과

흙막이시공의 품질확인 및 지하수거동을 확인하기 위하여 흙막이 시공전 계측기를 설치하여 흙막이벽체의 변위, 지하수거동, 지보재에 작용하는 축력을 측정하였다.

3.3.1 변형률계에 의한 지보재의 축력

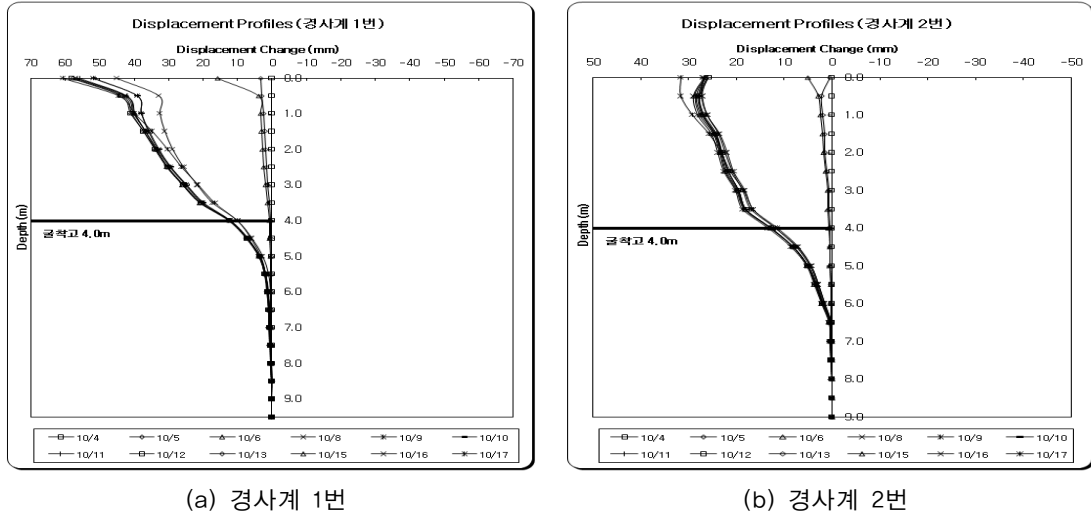
지보재에 작용하는 축력을 측정하기 위해서는 지보재에 설치된 변형률계를 이용하여 축력을 판단하게 된다. 변형률계는 지중경사계 및 지하수위계가 설치된 동일단면에서 2개소의 지보재를 선택하여 각각 1개소씩 설치하였다. 그림7에서와 같이 지보재에 작용하는 축력은 지보재 시공후 증가하다가 어느 지점부터는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 각각의 변형률계에서 최대 축력은 변형률계 1번에서 11.26tonf, 변형률계 2번에서 8.52tonf를 나타내었다<그림7참조>.



<그림7> 변형률계 측정결과

3.3.2 벽체 주변지반의 최대 수평변위

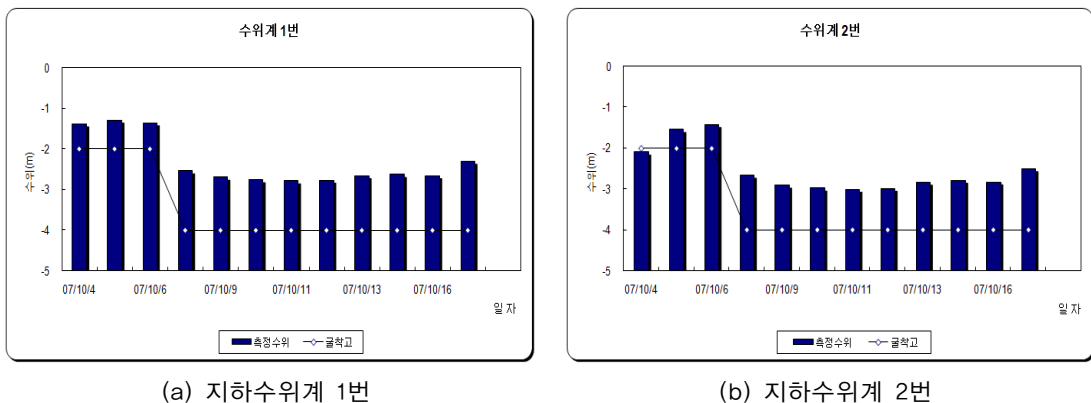
일반적으로 흙막이 벽체의 안정성은 굴착배면에 설치되는 지중경사계(inclinometer)를 이용하여 변위를 측정하여 판단하게 된다. 경사계는 벽체에서 1.0m정도 떨어진 거리에 설치하였다. 본 연구에서는 대표적인 1단면에 대해서 좌·우 한 개소씩 2개소에 대하여 측정된 지반의 변위에 대하여 분석을 실시하였다. 그림8에서 보는바와 같이 지보재 설치 후 4m 굴착즉시 변위가 크게 증가하였으며, 이후 시간이 지나면서 수렴형태를 보이고 있다. 최대변위는 경사계 1에서 40.95mm, 경사계 2에서 29.17mm를 나타내었다<그림8참조>.



<그림8> 지중 경사계 측정결과

3.3.3 벽체 주변지반의 지하수위 거동

흙막이 벽체의 지하수거동은 굴착 배면에 설치된 지하수위계를 이용하여 지하수위를 측정 후 판단하게 된다. 설치단면은 지중경사계와 같이 지중경사계로부터 종방향으로 2.6m 정도 떨어진 거리에 설치하였다. 그림9에서 보는 바와 같이 4m 굴착후 지하수위 저하가 발생하였으며, 이후 일정한 값으로 수렴 형태를 보이고 있다. 지표면으로부터 최종 지하수위는 지하수위계 1번에서 G.L(-)2.3m, 지하수위계 2번에서 G.L(-)2.5m를 나타내었다<그림9참조>.



<그림9> 지하수위계 측정결과

4. 거동분석

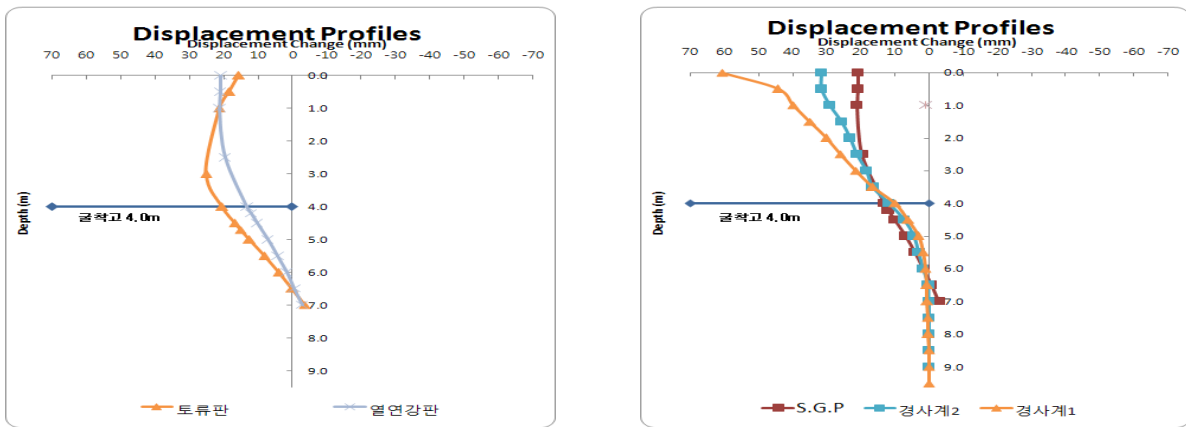
4.1 흙막이 벽체거동 분석

S.G.P공법과 일반토류벽공법의 벽체거동을 비교·분석하기 위하여 탄소성해석프로그램인 SUNEX프로그램을 사용하였다. 본 고에서는 S.G.P공법을 모사하기 위하여 일반토류벽공법에서 토류판을 열연강판으로 대체하고 지층조건 및 하중조건은 동일하게 적용하여 검토하였다.

4.1.1 벽체 변위 분석

벽체 변위 분석 결과 굴착 최상부는 일반토류벽공법이 15.6mm, S.G.P공법이 20.77mm로 S.G.P공법의 벽체변위가 5.17mm 더 크게 나타났으나, 굴착고 1.0m부터는 S.G.P공법의 벽체변위가 일반토류벽공법보다 작아지기 시작하여 굴착고 3.5m정도에서 최대가 되며 이후부터 벽체 선단으로 갈수록 그 차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 변위발생형태를 비교하여 보았을 때 S.G.P공법이 적용되는 경우에는 일반토류벽에 비해 곡률이 큰 원호형태를 보이고 있다. 이는 토류판을 열연강판으로 대체한 강성증대효과로 볼 수 있다. 실제 현장에서는 초기거동시 토류판설치를 위해 굴착하는 과정에서 상당한 변위가 발생되나 S.G.P공법에서는 이러한 과정이 생략되므로, 전체 변위 양상을 지배하는 초기 캔틸레버 거동을 효과적으로 제어할 수 있다. 또한, S.G.P공법 적용시 최상부 변위가 일반토류벽보다 크게 나타난 이유는 사용프로그램의 입력값상의 차이에 인한 것으로 판단된다<그림10(a)>.

그림10(b)에서 보는 것과 같이 S.G.P공법의 탄소성해석결과 최대 수평변위가 20.97mm로 나타났고, 계측결과 값은 경사계 1에서 40.95mm, 경사계 2에서 29.17mm로 계측값이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 시공상의 오차, 지층분포의 상이함 등에 의한 것으로 판단되며, 탄소성해석결과와 계측결과 값의 변위값의 차이가 있으나 깊이별 변위 경향은 유사한 것으로 나타났다.



(a) 일반토류벽공법 과 S.G.P공법

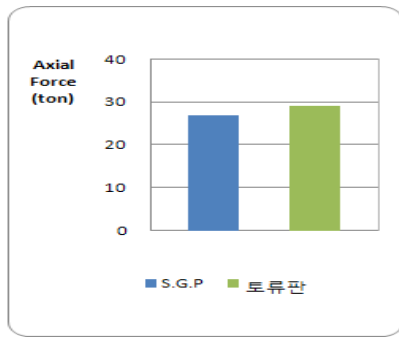
(b) S.G.P공법(탄소성해석)과 계측결과

<그림10> 흙막이벽체 변위 검토결과

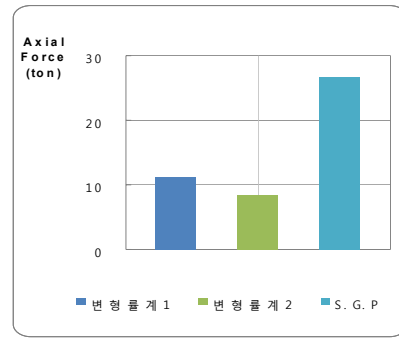
4.1.2 지보재 축력 분석

지보재 축력 검토 결과 일반토류벽공법이 29.2tonf, S.G.P공법이 26.8tonf로써, S.G.P공법을 적용할 경우 일반토류벽공법에 비하여 지보재에 작용하는 축력은 91.2%정도인 것으로 나타나 토압지지능력이 약간 더 큰 것을 알 수 있다.<그림11(a)>

변형률계 계측결과를 지보재에 작용하는 최대축력이 각각 11.26tonf와 8.52tonf로 탄소성 해석 결과 값이 크게 나타났다<그림11(b)>. 이는 벽체변위분석의 경우와 같이 시공상의 오차, 지층분포의 상이함 등에 의한 것으로 판단된다.



(a) 일반토류벽공법 과 S.G.P공법



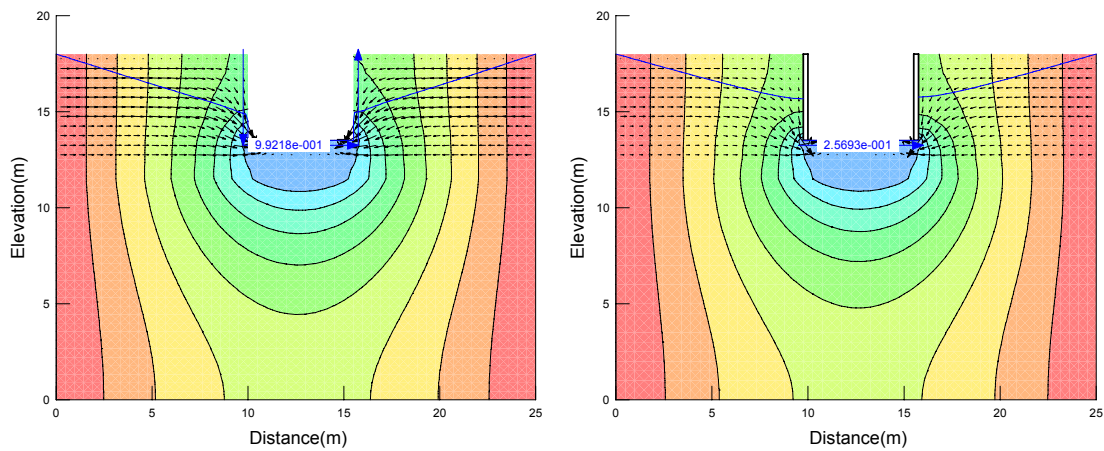
(b) S.G.P공법(탄소성해석)과 계측결과

〈그림11〉 지보재 축력 검토결과

4.2 지하수거동 및 차수성 분석

S.G.P공법과 일반토류벽공법의 지하수거동을 비교·분석하기 위하여 침투해석프로그램인 Seep/W 프로그램을 사용하였다. 일반토류벽공법은 투수성으로 벽체를 모델링하였고 S.G.P공법은 불투수 또는 난투수로 모델링 하여 비교·검토 하였다<그림12>. 지층조건 및 하중조건은 벽체거동분석과 동일하게 적용하였다. 그 결과는 일반토류벽공법은 지하수위 저하가 3.1m, S.G.P공법은 2.2m 정도로 나타났다<그림13(a)참조>.

침투유량분석결과 표3에서 보는바와 같이 S.G.P공법은 6.17 m³/day/m로써 일반토류벽공법의 23.81 m³/day/m 비해 침투유량이 25.9%로 작게 나타났다. 또한, 그림13(b)에서 보듯이 지하수위 계측값이 G.L(-)2.3m~G.L(-)2.5m보이므로 S.G.P공법의 침투해석 결과는 계측결과치와 유사하게 나타났다.



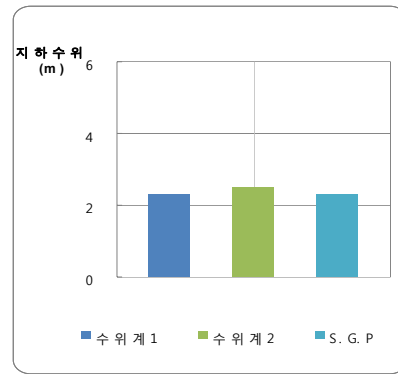
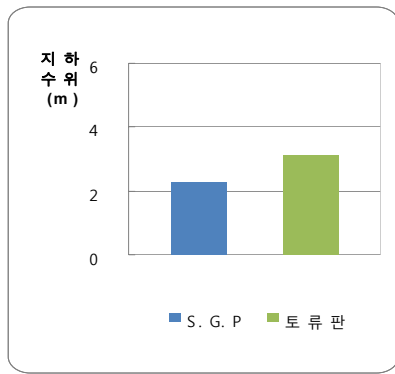
(a) 일반토류벽공법

(b) S.G.P공법

〈그림12〉 Seep/W 해석 결과

〈표 3〉 침투해석결과 비교표

구 분	일반토류벽	S.G.P
차수성변화(Q)	23.81 m ³ /day/m	6.17 m ³ /day/m



(a) 일반토류벽공법 과 S.G.P공법

S.G.P공법(탄소성해석)과 계측결과

〈그림13〉 침투해석 결과 비교

5. 결론 및 추천사항

본 연구는 OO현장 차집관로 공사의 일환으로 계획된 S.G.P공법의 벽체거동 분석 및 지하수거동을 탄소성해석 및 침투해석을 통해 파악하고, 계측결과와 비교 하여 그 결과를 토대로 대상지반 토질에서의 S.G.P공법의 적용성을 검증하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 대상지반에서 S.G.P공법과 일반토류벽공법의 벽체변위분석결과 굴착 최상부는 S.G.P공법이 일반토류벽공법보다 벽체변위가 5.17mm 더 크게 나타났으나, 전체적인 경향을 볼 때 벽체변위 저감효과는 있는 것을 알 수 있었다.
- (2) 탄소성해석결과 목재토류판보다 강성이 큰 열연강관을 사용함으로써 지보재에 작용하는 축력은 S.G.P공법을 적용할 경우 일반토류벽 공법에 비하여 91.2%정도인 것으로 나타났다.
- (3) 지하수거동분석결과 S.G.P공법 적용시 지하수위 저하는 일반토류벽공법 적용시보다 71%정도로 작게 나타났다.
- (4) 유량분석결과 S.G.P공법은 일반토류벽 공법에 비해 침투유량이 25.9%로 차수효과는 큰 것으로 나타났다.
- (5) 지하굴토시 S.G.P공법을 적용할 경우 일반적으로 사용되는 일반토류벽 공법에 비하여 변위 및 차수 등의 측면에서 우수성이 확인되었으나, 본 연구 대상지역은 강변에 위치한 관로공사 현장으로써 향후 토질별, 현장조건등 다양한 사례를 통하여 자료의 축적 및 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 천병식(2002), “지반공학-이론과실제”, 구미서관
2. 김상규(1999), “토질역학-이론과 응용”, 청문각
3. 한국지반공학회(2002), 굴착및 흙막이 공법(개정판). 구미서관