

해성퇴적층 지반의 가시설토류벽 수평변위 특성에 관한 연구

Characteristics for Horizontal Displacement of Temporary Earth Retaining Wall on Marine Sediments

김영훈¹⁾ · 김찬기¹⁾ · 최성열²⁾ · 천병식[†]

Kim, Younghun · Kim, Chanki · Choi, Sungyeol · Chun, Byungsik

ABSTRACT : In this study, the value of numerical analysis was compared to the measured value of horizontal displacement during construction. And also, the value was reviewed by comparing with numbers calculated by SUNEX program and EXCAV program. When comparing to suggested values of the maximum horizontal displacement in clayey layer, the displacement caused by the IPS system is larger than one by the Strut girder type system. When comparing the result of SUNEX program to that of EXCAV program, the SUNEX program interprets larger value. It could be concluded the result of SUNEX program is closer to the suggested value, 0.5%H, in clayey layer. The result also shows that the internal friction angle(Φ) is the key factor of developing horizontal displacement rather than type of supporting systems or materials. That means small horizontal displacement occurs in sandy layer having large value of the internal friction angle, whereas vice versa in clayey layer having small value of the internal friction angle. Therefore, the result of EXCAV program is larger in sandy layer and vice versa in clayey layer. When comparing the measured result during construction to the value of 0.5%H, the measured result is 1.4 times greater than the value of 0.5%H. In contrast, the result of SUNEX program is only 78.1% of the value of 0.5%H and the one of EXCAV program is just 18.1% of that. This result shows the calculated value by SUNEX or EXCAV program is smaller than the observed value by measuring during construction. In result, more careful attention is needed to determine the behavior of the ground. To better analyze the behavior of the ground, more precise finite element method is required.

Keywords : Coastal Reclamation, Marine Sediments, Horizontal Displacement, IPS

요 지 : 본 연구에서는 서해안 OO지역에서 IPS 지지방식과 Strut 지지방식으로 시공한 현장의 계측에 의한 수평변위량을 수치 해석상의 예측치와 비교하고, 실무에서 널리 사용되고 있는 탄소성보법 해석 프로그램(SUNEX, EXCAV)을 이용하여 해석치를 상호 비교분석 하였다. 또 최대수평변위에 대한 여러 제안값 중 점토지반에 적용한 제안값과 비교한 결과, IPS 지지 방식과 Strut 지지 방식에 의한 최대 수평변위는 IPS지보형식이 Strut지보형식보다 더 크게 발생하였으며, SUNEX 프로그램 해석치와 EXCAV 프로그램 해석치를 상대 비교했을 때 SUNEX 프로그램이 더 크게 해석되었지만, 점토층에서의 기존 제안값인 0.5%H 에는 더 근접하다는 결론을 얻었다. 이는 SUNEX 프로그램이 해석 시 지보형식이나 사용하는 부재 보다는 토질 정수 중 내부마찰각(Φ)에 의해 수평변위 값이 영향을 받기 때문이라 판단된다. 즉 내부 마찰각이 큰 사질토 지반에서는 수평변위값이 작게 발생하고, 내부 마찰각이 작은 점성토 지반에서는 수평변위가 크게 해석되어 상호 비교 시 사질토 지반에서는 EXCAV가 크게 나타나고 점성토 지반에서 SUNEX가 크게 나타났다고 판단된다. 또한, 기존 제안 값 중 점성토에 적용한 0.5%H와 비교 시 현장계측치는 평균 141%, SUNEX로 예측한 결과치는 평균 78.1%, EXCAV로 예측한 결과치는 평균 18.1% 범주에 분포함을 확인하였다. 따라서, 흙막이 가시설 설계 시 사용하고 있는 해석 프로그램으로 산정한 수평변위량이 실제 현장에서 계측한 변위량을 과소 예측하므로 지반거동을 모사하는데 주의를 요한다. 추후 보다 정밀한 유한요소해석 등을 통하여 실제 거동의 예측 가능성을 평가해야 할 것이다.

주요어 : 해안매립, 해성퇴적층, 수평변위, IPS

1. 서 론

우리나라의 경제가 1960년대 이후 비약적인 발전을 거듭하면서 좁은 국토를 효율적으로 이용하고자 해안 매립을 통해 국토면적을 넓혀 나가며 균형발전 시켜 나가고 있다. 하

지만, 해안 매립지역은 대부분 해성점토의 연약지반이어서 지하 구조물 시공 시 흙막이 벽체 공사가 아니면 시공을 할 수 없는 실정이다. 연약지반에서의 흙막이 벽체 내부 굴착은 굴착저면에서의 보일링과 히빙 등의 발생으로 흙막이 벽체에 수평변위를 유발하여 대형사고의 원인이 되기도 한다.

1) 정희원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

2) 정희원, (주)삼성물산 플랜트엔지니어링 과장

† 정희원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

이러한 사고를 방지하기 위하여 학계 및 학회에서 설계 및 시공 시 안전하게 설계하고 시공관리를 할 수 있는 기준을 마련하여 제시하고 있지만 아직도 기술적 사고는 빈번하게 발생하고 있다.

사고 발생의 원인에는 설계를 위한 지반조사 시 조사공이 대표성을 가지지 못하는 지역이었거나, 시추조사자의 불성실성, 분석의 오류, 잘못된 데이터를 근거로 한 설계, 시공자의 안일한 안전의식, 설계 기준 무시, 계측자료 판단 오류, 계측기의 고장 등이 있다. 그 중 계측의 오류는 사고의 징후를 사전에 포착하지 못하고 충분한 대책을 수립할 수 있는 시간을 놓쳐 더 큰 대형 사고의 원인이 되기도 한다. 또한, 설계 자료로 활용되는 토질 정수는 실내시험 및 현장 시험에 의해 값이 정해지는데 설계 시 가정한 지반조건과 실제 지반조건이 일치하지 않은 경우와 설계 시에는 시공과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황을 반영할 수 없으며 특히, 연약지반에서는 주위 지반의 거동을 예측하기는 불가능하다. 이렇게 불확실한 요인이 많아 설계자는 안전율을 충분히 확보하여 설계하고자 함에 따라 비경제적인 설계가 될 수 있다.

본 연구에서는 서해안 해성점토 지반의 연약지반 현장계측을 통하여 얻어진 수평변위량의 실측치와 굴착현장 및 설계 시 많이 사용하고 있는 탄소성보법 프로그램을 통하여 구해진 구조해석 수평변위량 해석치와 비교 분석하고, 기존 연구에서 제시한 관리 기준치와 비교분석함으로써 서해안 지역 연약지반에서 건설공사 시 안전하고 경제적으로 설계할 수 있는 기준을 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 흙막이벽에 작용하는 측방토압 이론

흙막이벽의 벽체의 변위나 변형의 모양 측방토압에 따라 그 형태가 다르게 된다. 벽체의 변위나 변형에 의해 토압의 형태가 다르다는 것은 토압을 대상으로 하는 벽체의 종류에 의해서 다르게 된다는 것을 의미한다. Bowles(1996)는 버팀

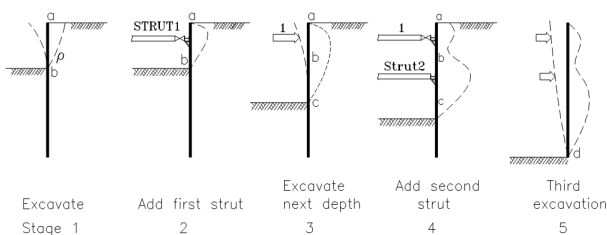


그림 1. 굴착단계별 측방토압의 변화

보로 지지된 흙막이벽의 변형에 따른 측방토압 분포를 그림 1과 같이 나타내었다. 단계별 굴착에 따른 측방토압 분포는 굴착깊이가 깊어질수록 사각형분포를 나타내고 있다. 이때의 측방토압분포는 버팀보의 반력에 직접적인 관계가 있으며 굴착 시 흙막이벽을 굴착면쪽으로 변형시키는 주동토압과는 관계가 거의 없다고 하였다.

2.1.1 Terzaghi와 Peck의 이론

Terzaghi 등(1967)은 버팀보의 반력을 계측하여 흙막이벽에 작용하는 측방토압을 추정하는 방법을 최초로 시도하였다. Peck(1943)은 버팀보로 지지된 흙막이 굴착현장에서 얻은 측정토압으로 벽체와 버팀보의 설계를 위한 측방토압 분포도를 그림 2와 같이 제안하였다. 이러한 토압분포는 점성토 지반의 경우는 시카고 지하철공사의 굴착현장(Peck, 1943)에서, 사질토 지반의 경우는 베를린 지하철공사의 굴착현장에서 버팀보 하중의 계측치를 근거로 하였다. 그 후 더욱 많은 굴착현장에서 측정된 버팀보의 반력을 근거로 하여 그림 3과 같이 수정된 토압분포도(Terzaghi 등, 1967)를 제안하였다.

Bejrnum 등(1952)은 사질토 지반에 대한 실내시험에서 흙막이벽의 변형에 의해 배면 지반의 토립자 사이에 아칭현상이 발생하여, 토압분포는 재분배 된다는 점도 강조하였고 연약내지 중간 정도의 점토 지반의 토압분포에 대해서는 안정계수 $N_b = H/S_u$ 를 도입하였다. $N_b > 6 \sim 8$ 일때 깊은 굴착에서는 굴착 저면 부근에서의 소성영역이 확대되기 때문에 추정하는 값보다 큰 토압이 발생한다고 하여 전단강도의 저감계수 m (통상 $0.4 \sim 10$.)을 고려하여 측압계수(K_u)를 산정하도록 하였다.

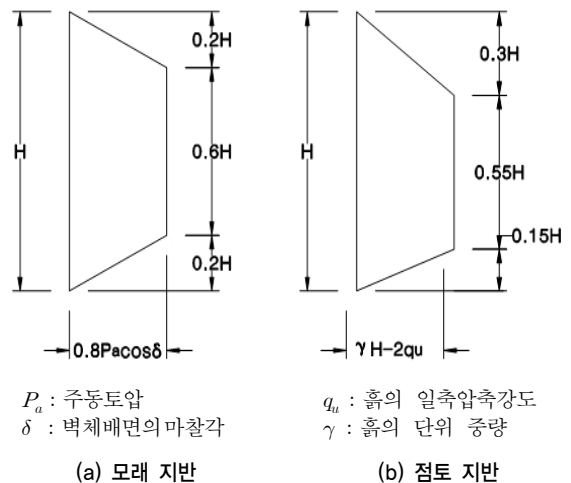
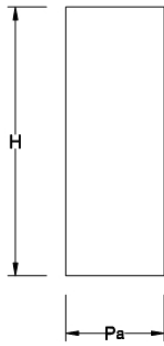
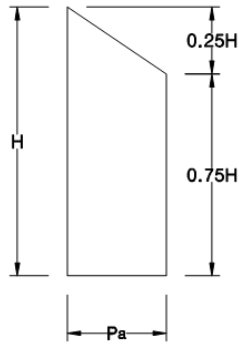


그림 2. 버팀보지지벽의 측방토압분포



$$P_a = 0.65 K_a \gamma H$$

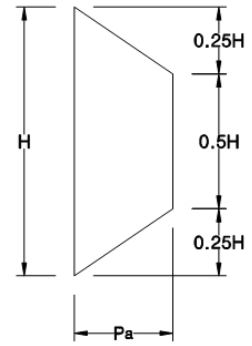
(a) 모래 지반



$$P_a = \gamma H \left(1 - \frac{4C_u}{\gamma H}\right)$$

또는 $0.3\gamma H$ 중 큰 것 $N_b > 4$

(b) 연약~중간 점토 지반



$$P_a = 0.2\gamma H \sim 0.4\gamma H$$

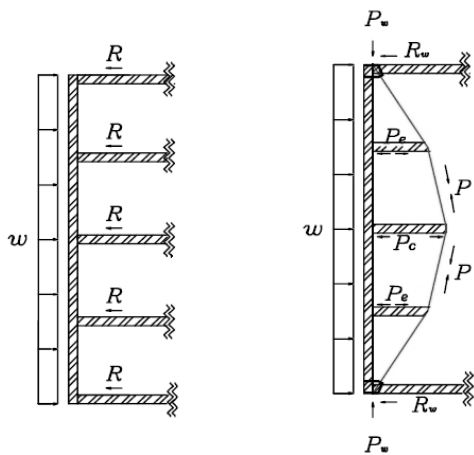
$N_b \leq 4$

(c) 견고한 점토 지반

그림 3. 버팀보지지벽의 수평축방토압분포

2.2 IPS공법의 기본개념

IPS(Innovative Prestressed Scaffolding) 공법은 띠장과 버팀보의 단면력을 이용하여 굴착 지반의 토압을 지지하는 기존 흠막이 공법과는 달리, 받침대(H형강), 띠장과 강선으로 구성된 IPS 시스템과 강선에 가해지는 긴장력을 이용하여 토압을 지지하는 공법이며, 그림 4는 IPS 공법의 기본 개념도이다. 기존의 버팀보를 이용한 흠막이 가시설 공법은 그림 4(a)와 같이 굴착 지반의 토압을 지지하기 위하여 5개의 버팀보를 이용한다. 그러나 IPS는 그림 4(b)와 같이 띠장에 받침대를 위치시키고 강선에 받침대를 지나게 한 후 강선에 긴장력을 유발시켜 지반 굴착으로 인하여 발생하는 토압을 지지하도록 한다. 그림 5는 엄지말뚝과 띠장 및 주형보에 프리스트레스를 도입한 IPS 흠막이 가시설의 개념도이며 주요 구성요소는 HPS(Horizontal Prestressed Scaffolding), VPS



(a) 기존의 흠막이 가시설 공법(평면도)

(b) IPS 흠막이 가시설 공법(평면도)

그림 4. IPS 흠막이 가시설의 기본원리(박종식 등, 2003)

(Vertical Prestressed Scaffolding), UPS(Upper Prestressed Scaffolding)를 표현하였다.

2.2.1 IPS공법의 메커니즘

지반 굴착으로 인하여 유발되는 토압(W)을 지지하는 IPS 시스템의 기본모델을 그림 6과 같이 표현하였으며, 그림 7은 굴착 지반의 토압을 지지하는 IPS시스템의 메커니즘을 나타낸 것이다.

제시된 식 (1)~식 (6)의 평형방정식을 통하여 토압에 의해 유발된 IPS 시스템 각 부재의 부재력과 메커니즘의 상관 관계를 알 수 있다.

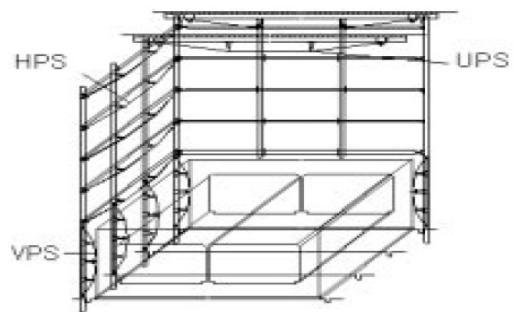


그림 5. IPS 흠막이 가시설의 개념도(박종식 등, 2003)

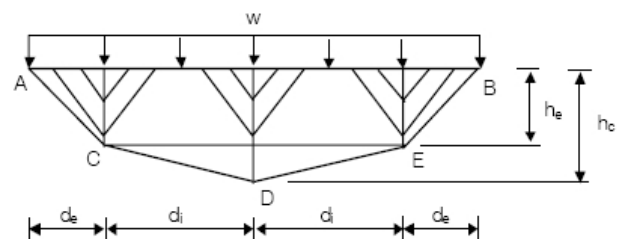


그림 6. IPS시스템의 기본모델(박종식 등, 2003)

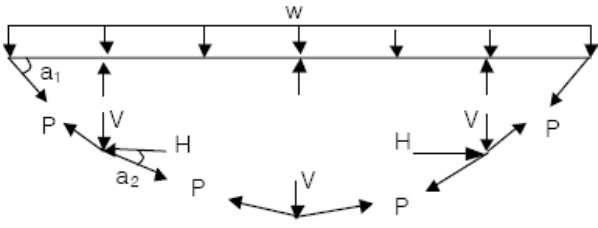


그림 7. IPS 시스템의 자유물체도(박종식 등, 2003)

$$3V = wL \quad (1)$$

$$\text{Joint D: } 2P\sin a_2 - V = 0 \quad (2)$$

$$\text{Joint C: } P\sin a_2 - P\sin a_1 + V = 0 \quad (3)$$

$$P\cos a_2 - P\cos a_1 - H = 0 \quad (4)$$

$$\sin a_1 = 3\sin a_2 \quad (5)$$

$$\text{따라서, } P = \frac{wL}{2\sin a_1} \quad h_c = h_e + d_i \tan(\sin^{-1}(\frac{\sin a_1}{3})) \quad (6)$$

3. 굴착 및 가시설 토류벽 공법 적용

3.1 현장개요 및 지반조건

3.1.1 현장개요

본 연구에 적용된 굴착지역은 서해안 바닷가에 인접해 있어 대심도, 대규모 굴착 시 지반의 침하, 지지력 손실, 측방 이동 등으로 인해 주변지반에 심각한 피해를 일으킬 수 있는 현장이다. 그림 8과 같이 본 연구 지역은 벽체 지지공법으로 Sheet Pile 벽체에 버팀대를 적용한 지역과 IPS공법이 적용되었다.

3.1.2 지반조건

지질은 선캄브리아기의 서산층군에 속하는 변성암류(석

영편암, 규암, 편마암, 편마상 석회질암)가 주를 이루고 있으며, 제4기의 층적층이 부정합으로 덮여있고 자갈, 모래, 실트 및 점토의 형태로 깊은 심도를 이루고 있다. 상부층을 이루고 있는 토층은 금강에서 운반된 하천퇴적토와 바다에서 형성된 해성퇴적토로 인하여 세사질 실트 및 실트질 세사의 형태로 깊은 심도를 이루고 있다. 당 부지의 조성표고와 기존 부지의 표고는 육상표고 기준으로 기존 부지는 EL.(+) 4.80m이고 시공 조성부지는 EL.(+) 5.80m 이다. 지하수위는 EL.(+) 1.00m~3.80m 로 대부분 퇴적층 및 매립층에 분포하며 지질 표토 1~2m의 성토층, (-)3~(-)26m의 연약지반으로 구성되어 있다. 조위(인천항 MSL 기준)는 평균만조위(H.W.O.M.T: 2.236m)와 평균간조위(L.W.O.M.T:(-)2.296m)가 약 4.4m의 조수 간만의 차가 발생하며, 조수 간만의 차이가 지하수위에 영향을 미칠 수 있는 지역이다.

3.2 가시설 및 계측현황과 수평변위 관리기준

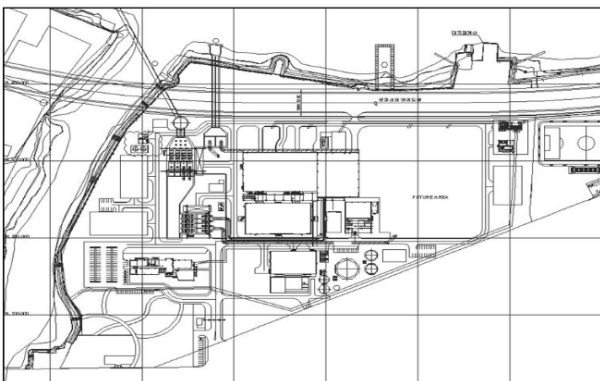
3.2.1 가시설 토류공법 및 계측 적용 현황

본 부지에 적용한 흙막이 벽체 공법과 지지공법 및 지중 경사계 설치 현황은 표 1과 같다.

그림 9는 각 시공지역별 평면도를 나타내고 있다. A지역은 슈트 파일 벽체에 스트러트와 IPS 지지방식으로 굴착심도는 EL -13.8m이고 굴착 면적은 1,142m²이며, 지층은 매

표 1. 현장 적용 가시설토류공법 현황

구 분	벽체공법	지지공법	지중 경사계
A	Sheet Pile	IPS+Strut	6
B	Sheet Pile	IPS	4
C	Sheet Pile+H Pile	IPS	7
D	Sheet Pile+H Pile	Strut	6
E	Sheet Pile+H Pile	Strut	14
F	Sheet Pile+H Pile	Strut	7

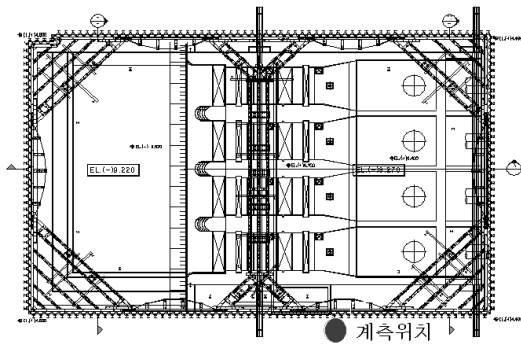


(a) 현장 평면도

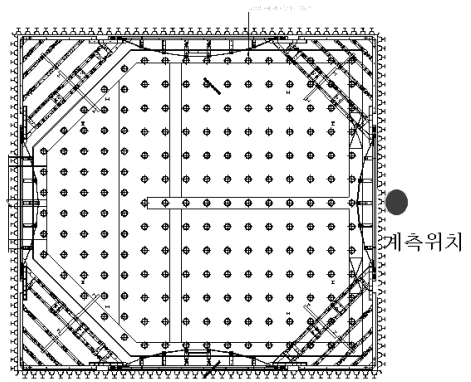


(b) 가시설 전경

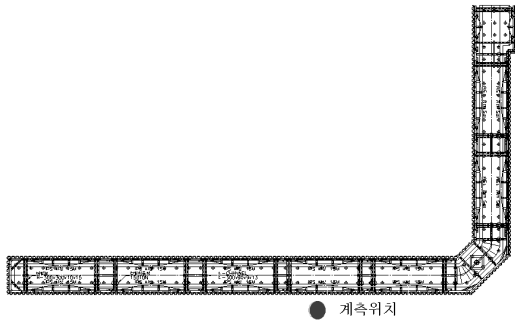
그림 8. 현장 평면 및 가시설 전경



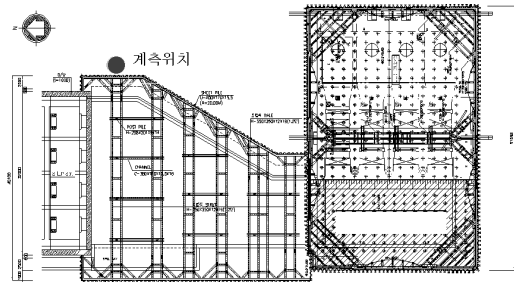
(a) A지역



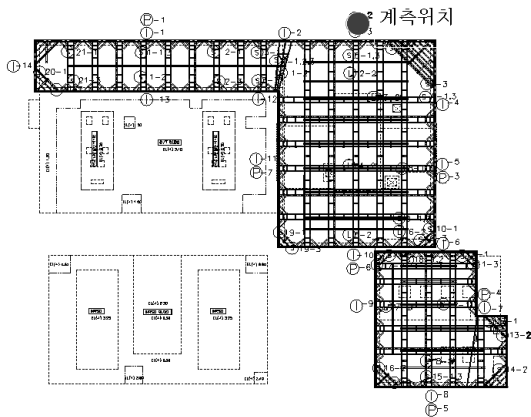
(b) B지역



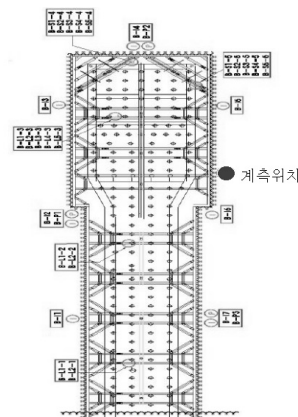
(c) C지역



(d) D지역



(e) E지역



(f) F지역

그림 9. 시공지역별 평면도

립토, 점토질실트, 실트질모래, 조립질모래, 실트질모래, 모래 섞인 자갈 등으로 구성되었고, 지중경사계 6개소를 설치하여 수평변위를 계측하였다. B지역은 슈트 파일 벽체에 IPS 지지방식으로 굴착심도는 EL -12.6m이고 굴착 면적은 985m²이며, 지층은 매립토, 실트질 점토, 실트질모래, 중립질 모래, 실트질모래, 모래 섞인 자갈 등으로 구성되었고, 지중경사계 4개소를 설치하여 수평변위를 계측하였다. C지역은 슈트 파일 벽체에 IPS 지지방식으로 굴착심도는 EL -7.3m이고 굴착 면적은 2,232m²이며, 지층은 매립토, 실트, 세립질 모래, 중립질 모래, 실트질모래, 모래 섞인 자갈 등으로 구성되었고, 지중경사계 7개소를 설치하여 수평변위를 계측

하였다. D지역은 슈트 파일 벽체에 스트리트 지지방식으로 굴착심도는 EL -6.3m이고 굴착 면적은 2,100m²이며, 지층은 매립토, 실트 섞인 점토, 실트 섞인 모래, 중립질 모래, 실트 및 모래 섞인 점토 등으로 구성되었고, 지중경사계 6개소를 설치하여 수평변위를 계측하였다. E지역은 슈트 파일 벽체에 스트리트 지지방식으로 굴착심도는 EL -8.7m이고 굴착 면적은 16,624m²이며, 지층은 매립토, 실트 섞인 점토, 실트질 섞인 모래, 중립질 모래, 실트 섞인 점토 등으로 구성되었고, 지중경사계 14개소를 설치하여 수평변위를 계측하였다. F지역은 슈트 파일 벽체에 스트리트 지지방식으로 굴착심도는 EL -11.8m이고 굴착 면적은 410m²이며, 지

층은 매립토, 점토섞인 실트, 모래 섞인 점토, 모래, 실트 섞인 점토 등으로 구성되었고, 지중경사계 7개소를 설치하여 수평변위를 계측하였다.

3.2.2 현장적용 수평변위 관리기준과 제안 값의 비교

본 연구지역에서 시공 시 적용한 수평변위 관리기준은 인천광역시 중구 영종도와 용유도 사이의 갯벌지역에 건설된 전용철도 예정부지를 토대로 관리 기준치의 경험식을 제안하여 적용하였다(김형석, 2001). 또한 기존 연구에서 제안한 여러 경험식 중 점성토에 관련된 제안 값을 본 연구에 적용 시 기준으로 하였다. 관련 내용은 표 2와 같다.

본 연구에서는 표 3과 같은 여러 제안 값 중 모든 제안 값에 포함되어 있는 0.5%H를 기준으로 하여 비교하였다.

4. 수치해석 및 고찰

4.1 탄소성보법에 의한 수치 해석

그림 10은 흙막이 구조물에서 발생한 변위와 보정된 토

압관계를 보여준다. 본 연구에서는 국내 설계사들이 많이 사용하고 있는 탄소성 지반상 연속보법 해석 프로그램인 SUNEX(Ver. 5.73)와 EXCAV(Ver. 3.3)를 사용하였다.

해석 시 사용된 토질정수는 표 4와 같이 현장에서 실시된 표준관입시험 결과인 N치에 의한 경험식, 문헌자료 등을 이용하

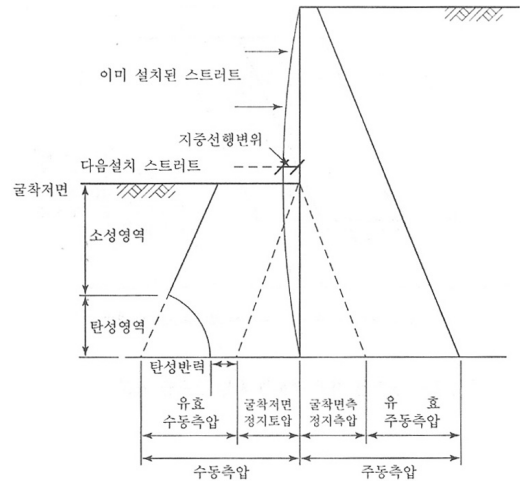


그림 10. 탄소성보법에서 변위와 토압

표 2. 현장 적용 계측관리 기준

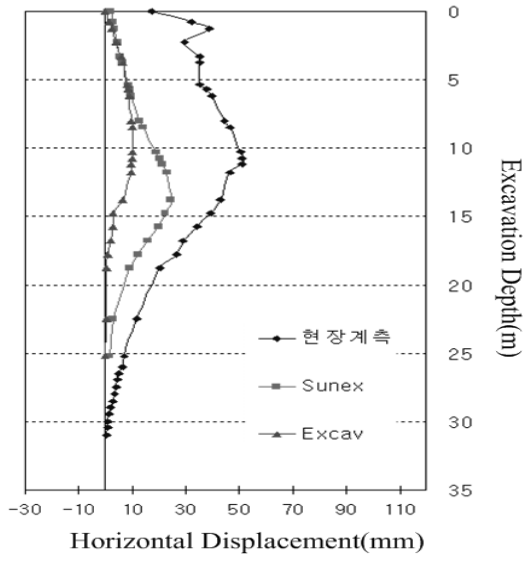
계측관리 기준			비고
1차관리 기준치 $\delta_{Hm}/H1$	2차관리 기준치 $\delta_{Hm}/H2$	3차관리 기준치	
측정치 < 2%	측정치 < 3%	2차 관리 기준치 초과 예상 시 별도 설정	δ_{Hm} : 최대수평변위(mm) H : 굴토깊이 H2 : 굴토계획고

표 3. 최대수평변위 제안값

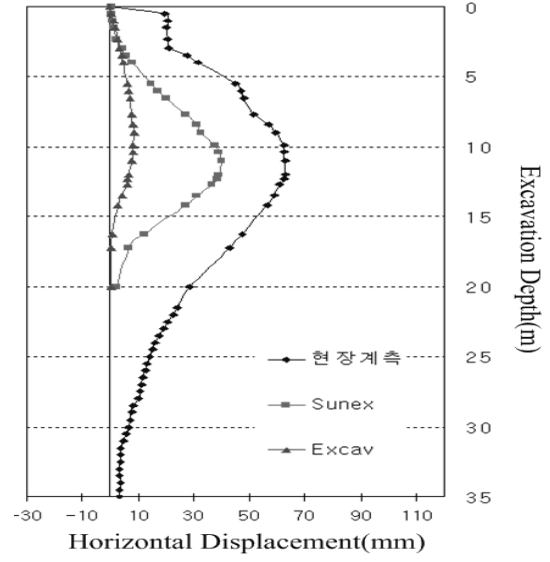
제안자	지반조건	토류구조물	제안값
NAVFAC(1982)	연약점토	-	(0.5~3)%H
Clough 등(1990)	단단한 점성토 잔적토, 모래	강성에 무관	평균:0.2%H 상한:0.5%H
Ou 등(1993)	실트질모래와 점토의 혼합 지반	지하연속벽 버팀보지지	(0.2~0.5)%H

표 4. 해석 시 사용된 토질정수

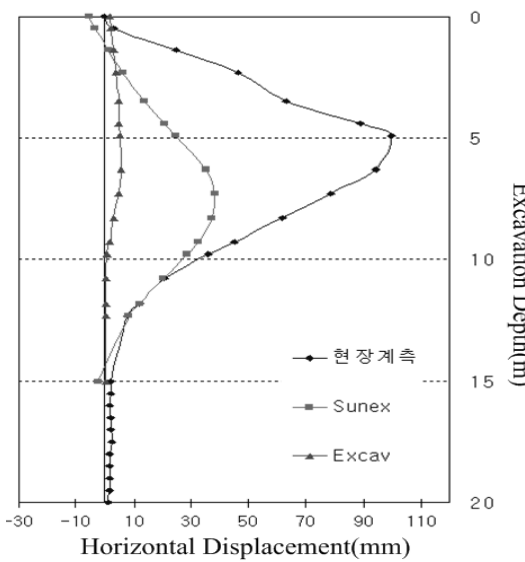
구 분 (A지역)	심도 GL.(-) (m)	습윤 단위중량 (MN/m ³)	수중 단위중량 (MN/m ³)	점착력 (MPa)	내부마찰각 (°)	k _n (MN/m ³)
매립층	2.3	0.018	0.009	0.005	26	9.8
점토질실트	5.4	0.017	0.008	0.01	5	4.9
실트질모래	11.8	0.018	0.019	0.005	26	9.8
조립질모래	22.5	0.018	0.009	0	32	19.6
실트질모래	29.5	0.018	0.009	0.005	29	14.7
모래섞인자갈	38.7	0.019	0.01	0	40	39.2
풍화암층	41.8	0.02	0.011	0.02	35	39.2
연암층	46.8	0.021	0.012	0.049	40	58.8



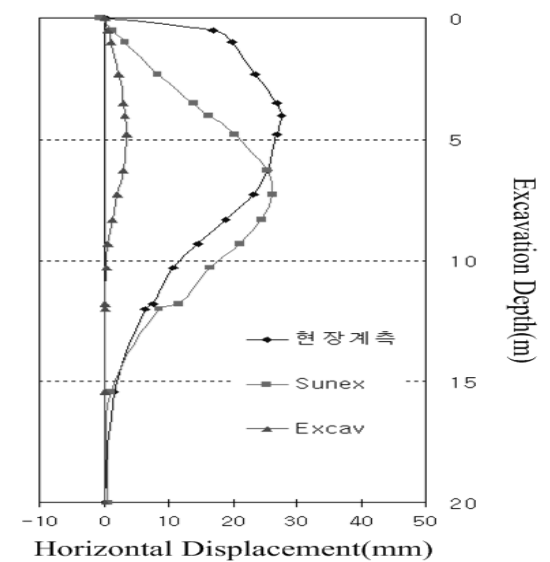
(a) A지역



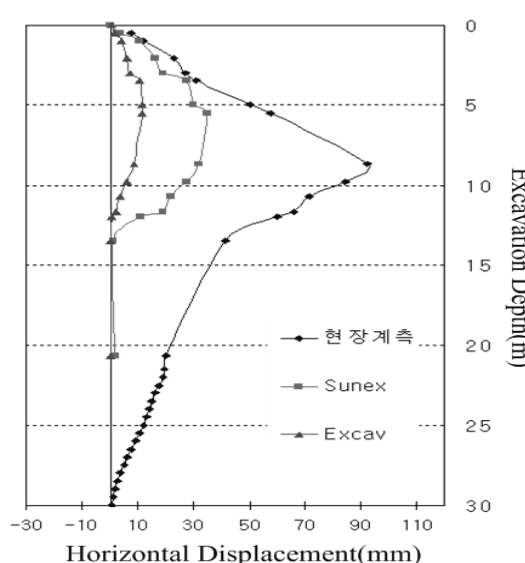
(b) B지역



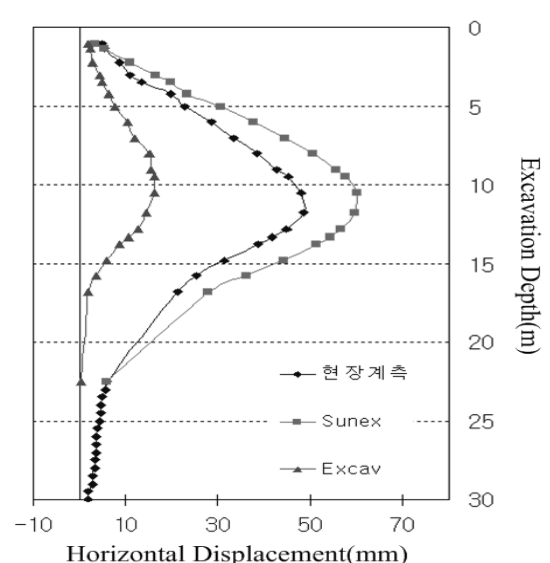
(c) C지역



(d) D지역



(e) E지역



(f) F지역

그림 11. 굴착배면 지반의 최대 수평변위량 비교

여 결정하였다. 흙의 단위중량 및 점착력은 건설교통부 도로 설계편람II 및 경험에 의한 참고수치를 기초로 산정하였으며, 내부마찰각은 N치를 근거로 Dunham제안식 $\sqrt{12 \times N + 20}$ 과 Peck제안식 $0.3 \times N + 27$ 중 작은 값을 사용하되 40이하를 사용하였으며, 횡방향 지반반력계수는 N치를 근거로 하여 후쿠오카법 $K_h = 1000 \times 0.691N^{0.406}$ 과 쏘레땅쉬법을 이용하여 적용하였다.

4.2 계측 및 해석치에 의한 배면지반의 수평변위비교

계측을 통한 실측에 의해 구한 굴착배면의 최종 굴착 시 최대 수평변위량과 흙막이 구조해석 탄소성 프로그램을 이용하여 구한 최종굴착단계에서 해석된 최대 수평 변위량을 비교하여 그림 11에 나타내었다. 그림에서 두 프로그램을 이용한 수평변위는 형태와 변위량에서 상이한 결과를 보이고 있으며, 계측치와 해석치의 차이가 많이 발생한다는 결

론이 도출되었다. 이는 논문(정상국 등, 1999) 중 “국내에 적용되고 있는 흙막이구조물의 관리기준치에 대한 신뢰도 분석”에서 언급한 바와 같이 계측관리 기준치에 대하여 현장 기술자들의 신뢰도가 낮아 보완 및 수정해야 한다는 응답이 86%라는 사실과도 연관되며, 추후 지역별로 데이터 베이스를 구축하여 보다 신뢰도 높은 기준을 수립하여야 하겠다. 각 지역별 배면 지반의 최대 수평변위를 비교하여 그림 11과 같이 나타내었다.

최대수평변위에 대해 현장실측치와 탄소성보법에 의한 해석치를 상호 비교한 결과 대부분의 지역에서 실측치가 해석치보다 크게 해석되었으며, Sunex프로그램으로 해석한 결과치가 Excav로 해석한 결과치보다 크게 해석되었다.

4.3 흙막이벽의 안정성과 수평변위 관계

일반적으로 흙막이벽체의 수평변위에 대한 안정성을 평

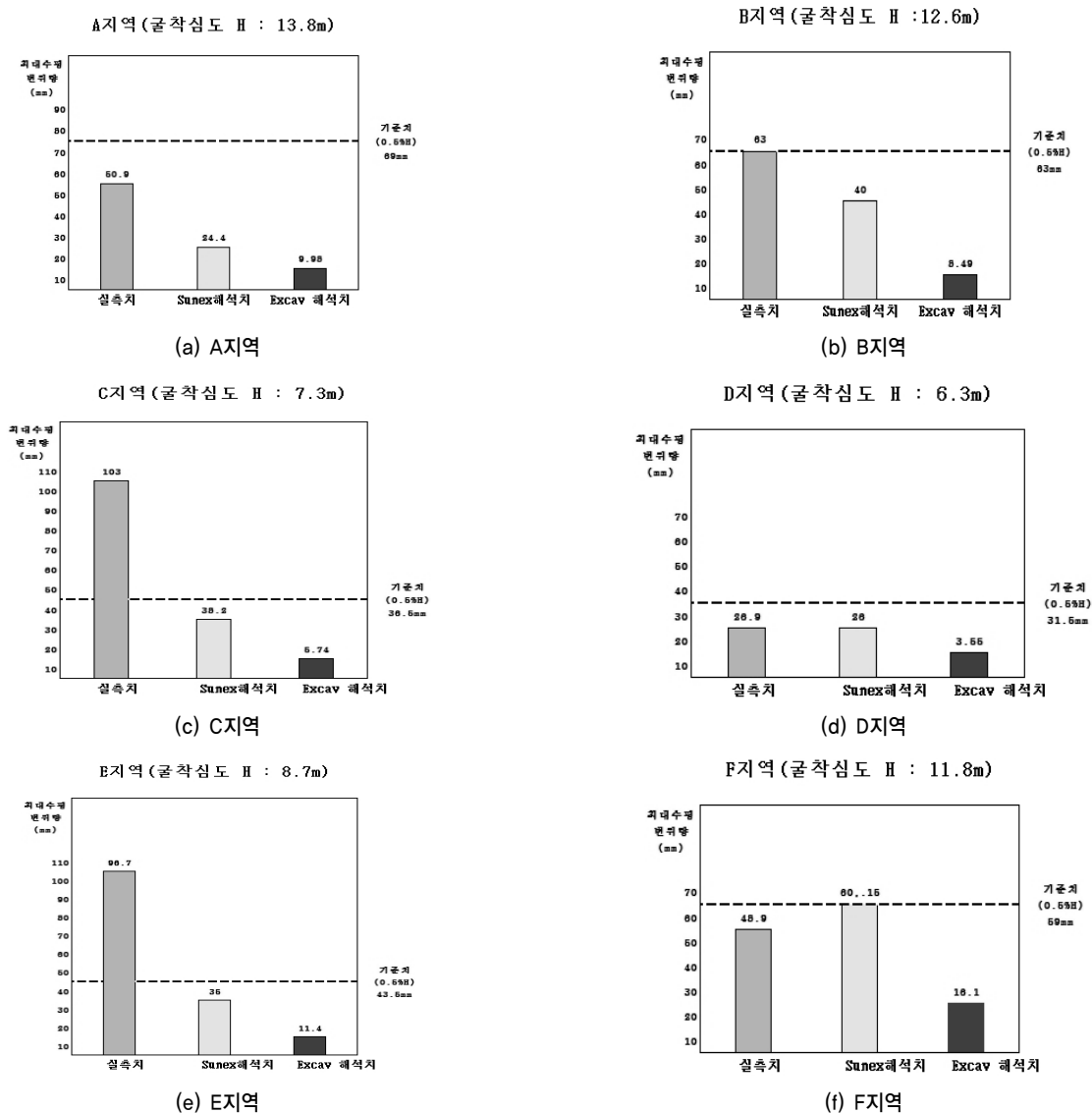


그림 12. 계측기준치와 수평변위량의 상관관계 비교

가하는 방법으로 굴착깊이의 1/200이나 0.3~0.5%H의 설계치 이하로 절대관리치를 규정하고 있다. 이에, 본 연구에서는 각 연구지역들의 실측치의 흙막이벽체의 수평변위를 종합하여 그림 12와 같이 흙막이벽체의 최대 수평변위에 대한 여러 가지 제안 값 중 점성토에 적용한 제안 값 0.5%H와 비교한 결과 0.5%H와 대비하여 실측치는 평균 141%, SUNEX로 예측한 결과치는 평균 78.1%, EXCAV로 예측한 결과치는 평균 18.1% 범주에 분포하였으며, 흙막이 가시설 설계시 사용하고 있는 해석 프로그램으로 산정한 수평변위량이 실제 현장에서 계측한 변위량을 과소 예측하므로 지반거동을 모사하는데 주의가 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 해성퇴적층 지역에 시공된 6개소의 현장 계측치와 수치해석을 통한 예측변위량과의 차이점과 연관성을 분석하고 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 해성퇴적층에서 IPS 지보형식과 Strut 지보형식에 따른 최대 수평변위량을 기존 제안식(0.5%H, H:굴착심도)과 비교한 결과, IPS(Innovative Prestressed Scaffolding) 지보형식이 Strut 지보형식 보다 14.4% 큰 것으로 나타났다. IPS 공법은 배면 지반의 토압을 띠장 등에 Prestress를 도입하여 탄성의 원리를 이용하는 공법인데 지반이 느슨하거나 연약할 경우 지반의 유동성이 크므로 사전에 Prestress를 도입한 강선의 이완 등의 사유라고 판단된다.
- (2) 해성퇴적층 지반인 당 부지에서의 분석 결과 SUNEX에 의한 결과치가 EXCAV에 의한 결과치 보다 60% 더 크게 해석되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 SUNEX가 해석 시 지보형식이나 사용하는 부재보다는 토질 정수 중 내부마찰각(ϕ)에 의해 수평변위값에 영향이 있음을 확인할 수 있었다. 즉 내부 마찰각이 큰 사질토 지반에서는 수평변위값이 작게 발생하고, 내부 마찰각이 작은 점성토 지반에서는 수평변위가 크게 해석되어 EXCAV와 비교 시 사질토 지반에서는 EXCAV가 크게 나타나고

점성토 지반에서 작게 나타남을 알 수 있었다. 또한, SUNEX가 본 연구에서는 기존연구에서 제안한 겉보기 측압 제안식과 더 근접하다는 결론을 얻었다.

- (3) 해성퇴적층 6개 지역의 현장계측결과와 수치해석을 통한 예측결과를 지반조건, 흙막이벽체의 종류별로 분류한 여러 가지 기존 제안 중 점성토에 적용한 제안값 0.5%H 대비 실측치는 평균 141%, SUNEX로 예측한 결과치는 평균 78.1%, EXCAV로 예측한 결과치는 평균 18.1% 범주에 분포하였다. 따라서 흙막이 가시설 설계시 사용하고 있는 해석 프로그램으로 산정한 수평변위량이 실제 현장에서 계측한 변위량을 과소 예측하므로 지반거동을 모사하는 데 주의를 요한다.

참 고 문 헌

1. 김형석(2001), *연약지반에 설치한 흙막이 벽체에 작용하는 측방토압 연구*, 석사학위논문, 아주대학교, pp. 20~32.
2. 박종식, 김중우, 김낙경, 이영생, 한만엽(2003), *IPS 흙막이 공법 I-기본원리, 2003 정기학술대회논문집*, 대한토목학회, pp. 3775~3779.
3. 정상국, 전제성, 이송, 심태섭(1999), 국내적용되고 있는 흙막이구조물의 관리기준치에 대한 신뢰도 분석, *대한토목학회 논문집*, Vol. 19, No. 1-3, pp. 479~487.
4. Bjerrum, L., Clausen, C. J. F. and Duncun, J. M.(1952), Earth Pressure on Flexible Structure, Proceeding State of the Art Report, *Proceeding of 5th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paros, Vol. 2, pp. 169~225.
5. Bowles, J. E.(1996). *Foundation Analysis and Design, 5th Edition*, McGraw-Hill, pp. 644~681.
6. Clough G. Wayne, O'Rourke Thomas D.(1990), *Construction induced Movements of In-situ Walls*, Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication, No. 25, ASCE, pp. 439~470.
7. NAVFAC(1982), *Design Manual for Soil Mechanics*, Dept. of the Navy, Naval Facilities Engineering Command, pp. 85~116.
8. Ou, C. Y., Hsieh P. G., and Chiou D. C.(1993), Characteristics of Ground Surface Settlement During Excavation, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 30, pp. 758~767.
9. Peck, R. B.(1943), *Earth Pressure Measurements in Open Cuts*, ASCE, Vol. 108, pp. 1008~1058.
10. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, pp. 394~413.

(접수일: 2010. 7. 6 심사일: 2010. 8. 18 심사완료일: 2010. 10. 13)