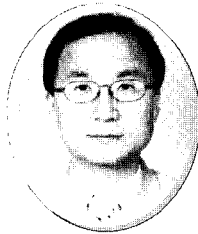
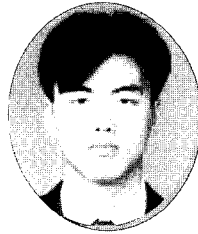


# 해성퇴적토 지반에 시공된 슈트파일 흙막이벽체의 지중경사계 계측관리기준에 대한 고찰



황영철  
(주)유신코퍼레이션 상무  
(ychwang@yooshin.co.kr)



박명렬  
주)유신코퍼레이션 과장  
(y12791@yooshin.co.kr)

## 1. 서언

최근 인천 해안지역을 중심으로 인천국제공항 철도노반건설공사와 송도신도시 지하철건설공사 등 대규모 토목공사가 진행 중에 있으며, 흙막이벽을 이용한 개착공법의 굴착공사현장들이 많다. 이러한 건설지역은 대부분 공유수면을 대규모로 매립하여 조성한 지반이며 풍화대 상부는 해수에 의해 운반 퇴적된 해성퇴적(갯벌)층으로 덮혀 있는 지역이다.

이와 같은 해안매립지반에서 굴착공사시 강성이 큰 CIP나 지중연속벽의 흙막이벽은 토압에 매우 안정적이지만 공사비가 고가인 단점이 있어 설계시에는 현장주변이 아직 개발이 진행중인 주변여건과 지하수가 높고 비교적 연약한 해성퇴적토 지반조건을 감안하여 경제성 측면에서 유리한 슈트파일 흙막이 벽을 선정하게 된다.

공사현장에서는 굴착공사중에 가시설의 안정성

을 확인하기 위하여 도심지 굴착공사와 마찬가지로 버팀보 축력, 지중수평변위, 지하수위 등을 측정하기 위하여 여러 가지 계측기를 설치하여 계측관리를 하고 있다. 이 중에서 가시설 배면지반의 지중수평 변위를 측정하는 지중경사계에 대한 계측관리기준은 현장마다 관리기준치가 상이하고, 서울지하철의 경우 지하철건설 계측관리요령(2003.12)에 관리기준치가 규정되어 있으나 도심지의 양호한 지반조건에서의 관리기준이므로 해성퇴적토지반에 이 기준을 적용하여 시공관리하기에는 어려운 점이 많다.

본 고에서는 해성퇴적토지반에 슈트파일 흙막이 벽으로 시공된 굴착공사 현장에서 지중경사계 관리 기준과 계측자료를 소개하고, 지반엔지니어들이 향후 심도가 깊은 해성퇴적토 지반에서 슈트파일 등의 연성인 흙막이벽을 설계할 때에 합리적인 계측관리 기준을 선정하는데 참고가 되었으면 한다.

## 2. 지중경사계 계측관리기준

### 2.1 구조물 기초설계기준

지중경사계는 배면지반의 수평거동을 측정하기 위하여 설치하며, 계측관리기준은 변위량만이 아니라 변위속도(mm/day) 등에 대하여도 관리기준을 설정하여 검토하여야 한다고 규정되어 있으나 구체적인 관리기준치는 없다. 일례로 표 1과 같이 안전과 위험의 기준치를 설계시의 추정치를 기준으로 하여 안전을 개념을 제시하였다.

### 2.2 서울지하철

지반, 흙막이 벽체형식, 지보재 설치간격에 따라 24개 표준단면을 분류하여 계측항목별로 계측관리 기준을 규정하고 있으며, 이 중에서 지중경사계에 대한 계측관리기준은 표 2와 같다.

### 2.3 해외 문헌

흙막이 벽체의 최대수평변위는 표 3에서 보인 바와 같이 지반조건 및 토류벽체의 종류에 따라 여러 가지 제안값들이 있으며, 이 중에서 NAVFACDM-7.2 에서는 점토지반에 쉬트파일 토류벽체의 경우 최대수평변위량의 범위를  $(0.5\sim 3.0)\%H$ (H:굴착심도)로 규정하고 있다.

표 1. 흙막이벽공사의 안전 시공관리를 행한 기준의 일례

측정항목	안전-위험의 판정 기준치	판 정 표			
		지표(관리기준)	위험	주의	안전
벽체변형	설계시의 추정치	$F_2 = \frac{\text{설계시의 추정치}}{\text{실측의 변위량(예측)}}$	$F_2 < 0.8$	$0.8 \leq F_2 \leq 1.2$	$F_2 > 1.2$

표 2. 지중경사계 계측관리기준(서울지하철)

흙막이 벽체	계측관리 기준			비 고
	1차 관리	2차 관리	3차 관리	
연성 벽체	1/500	1/300	1/200	쉬트파일, H-Pile+토류판

표 3. 흙막이 벽체의 최대수평변위

제안자	지반 조건	토류 벽체	제안값(최대)
Peck (1969)	조밀한 모래 또는 잔적토	Sheet Pile / H-Pile+토류판	$d=1.0\%H$
Goldberg 등 (1976)	연약~단단한 점토	-	$d=0.5\%H$
NAVFAC DM-7.2(1982)	단단한 균열 점토	-	$d=0.5\%H$ (사공성에 따라 그 이상)
	연약 점토	-	$d=(0.5\sim 3.0)\%H$
Clough 등 (1990)	단단한 점성토, 잔적토, 모래	강성이 대-소	$d=0.2\%H$ (평균) $d=0.5\%H$ (상한)
Ou 등 (1993)	실트질 모래와 점토의 혼합지반	지하연속벽과 버팀보 지지	$d=(0.2\sim 0.5)\%H$

표 4. 국내 현상 지중경사계 계측관리기준 사례

현장		계측관리 기준			비고
		1차 관리(안정)	2차 관리(주의)	3차 관리(위험)	
인천공항철도 A공구	당초	0.3%H	0.4%H	-	H : 굴착심도
	변경	1.5%H	2.0%H	2.5%H	
인천공항철도 B공구		2.0%H	(2~3)%H	3%H 이상	

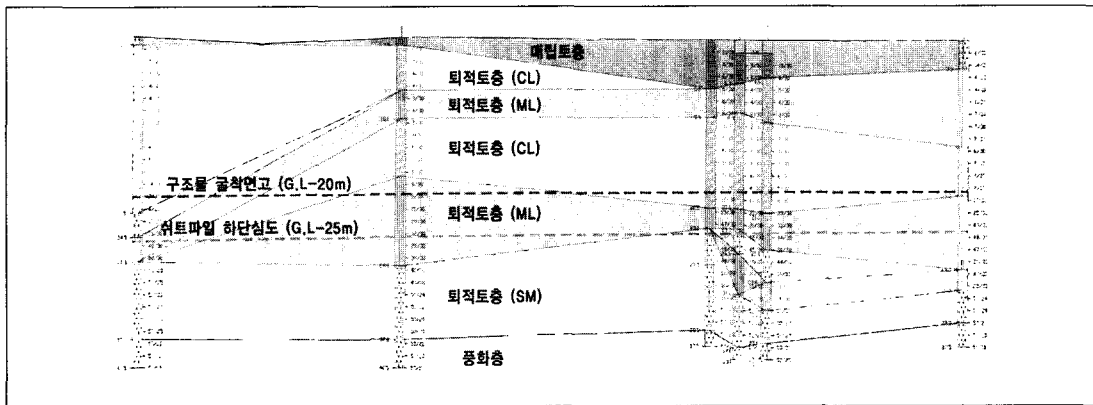


그림 1. 인천지하철 1호선 B공구 지층상태

## 2.4 국내 현장사례

해성퇴적토 지반이 깊게 분포하고 있는 인천국 제공항 철도노반공사 현장에서 토공작업 도중에 유사지반조건에서의 시공실적을 참조하여 설계서 상에 제시한 계측관리기준을 변경 적용하였으며, 현장에서 적용한 지중경사계의 계측관리기준은 표 4와 같다.

## 3. 해성퇴적토 지반에서의 현장계측사례

### 3.1 인천도시철도 1호선 연장

인천도시철도 1호선 연장 현장은 인천 송도신도 시에 위치하고 있다. 이 지역의 기반암은 흑운모 화

강암이며 기반암 상부에는 풍화암 및 풍화토가 있고 풍화대 상부에는 해수에 의해 운반 퇴적된 해성퇴적 (갯벌)층이 약 30m 두께로 분포하고 있다.

그림 1과 같이 매립층 하부의 해성퇴적토층은 모 래질 실트(ML)층, 실트질 점토(CL)층, 실트질 모래 (SM)층이 교호하면서 호층을 이루고 있으며, 본 지 역의 퇴적토 지층특성은 하부의 모래질 실트가 상부 의 모래질 실트에 비해 매우 단단하며, 하부 모래층 은 지하수(해수에 가까움)를 풍부하게 함유하고 있 어 피압대수층으로 작용할 가능성이 있다.

인천도시철도 1호선 연장구간은 전구간 개착Box 구조물로 계획되어 있으며, 흙막이 가시설공법은 쉬 트파일+버팀보 공법이 적용되었으며 굴착심도는 평균 20m이다. 그림 2는 대표적인 흙막이 가시설 단 면를 나타낸다.

B공구 현장의 당초 설계서상의 지중경사계 관리

해성퇴적토 지반에 시공된 슈트파일 흙막이벽체의 지중경사계 계측관리기준에 대한 고찰

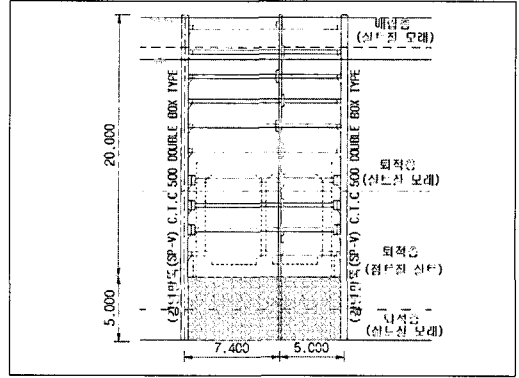


그림 2. 공사 전경 및 흙막이 가시설 대표단면도

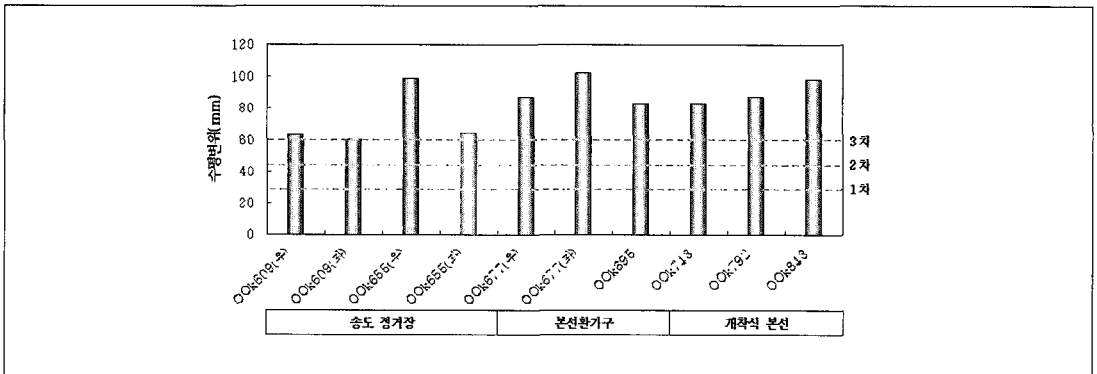


그림 3. 15m굴착중 지중경사계 계측치(B공구)

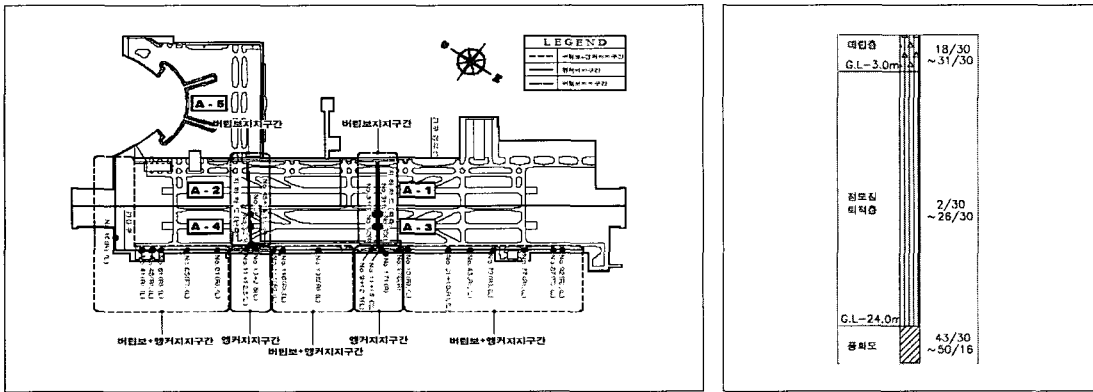
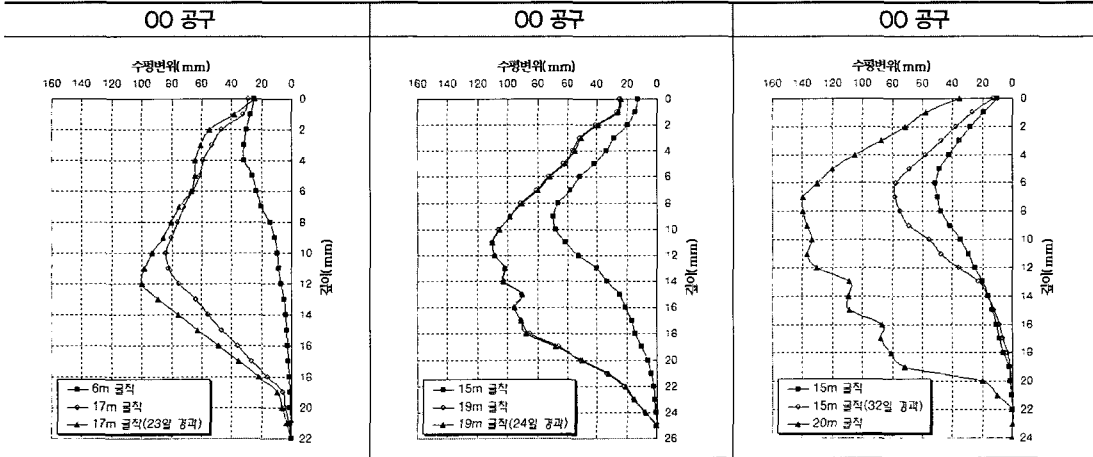
표 5. B공구 지중경사계 계측관리기준

흙막이 벽체	1차 관리기준치(안정)	2차 관리기준치(주의)	3차 관리기준치(위험)	비 고
당 초	0.2% $H$	0.3% $H$	0.5% $H$	$H$ : 굴착심도
변 경	0.5% $H$ 미만	(0.5~1.0)% $H$	1.0% $H$ 이상	

기준은 지반조건이 양호한 도심지 굴토현장의 계측 관리기준이 적용되어 있었으나, 15m 굴착결과 당초의 지중경사계 관리기준을 적용하면 그림 3에서 보인 바와 같이 많은 구간에서 3차 관리기준을 상회하게 되었고, 인접 타공구와 지중조건이 유사한 인천 공항공사의 시공실적을 참조하여 지중경사계의 계측관리기준치를 표 5와 같이 변경하였다.

최종 굴착심도에서의 슈트파일 수평변위 계측결과 표 5와 같으며, 대심도 해성퇴적토 지반에 설치된 흙막이벽을 고려하여 변경된 1차 관리기준치(0.5% $H$ )를 상회하는 변위를 나타내고 있다. 굴착에 따라 발생하는 수평변위량 중 최대값은 굴착심도에 따라 발생위치가 그 값이 다르게 나타났으며 일정한 패턴으로 나타내지는 않았다.

표 5. B공구 지중경사계 계측 결과



인천국제공항 공사 현황

지반 조건

그림 4. 공사 현황 및 지반조건

### 3.2 인천국제공항 공사

본 고의 대상지역은 인천국제공항 4개의 활주로 구간 및 여객계류장구간으로 공사현황 및 지반조건은 그림 4와 같다. 지반조건은 매립층이 지표면으로부터 약 3m 정도까지 분포, 해석되적층은 10~40m의 두께로 분포하고 있으며, 주로 실트, 점토, 가는모래이고 최하부에서는 중간 내지 굵은모래가 분포되어 있다. 지하수위는 GL(-)3~6m정도이며 굴착이

진행됨에 따라 미소하게 감소하지만 굴착이 완료된 이후에는 거의 변화 없는 것으로 나타났다.

흙막이 가시설 공법은 구조물 규모, 지반조건, 지형여건 등을 고려하여 버팀보지지 슈트파일, 앵커지지 슈트파일, 복합지지 슈트파일 형식으로 계획하였고, 각 형식별 흙막이 공법 시공단면도는 그림 5와 같다.

계측결과 표 5에서 보인 바와 같이 버팀보지지 슈트파일 흙막이벽의 최대수평변위는 최종굴착 깊이의

해성퇴적토 지반에 시공된 슈트파일 흠막이벽체의 지중경사계 계측관리기준에 대한 고찰

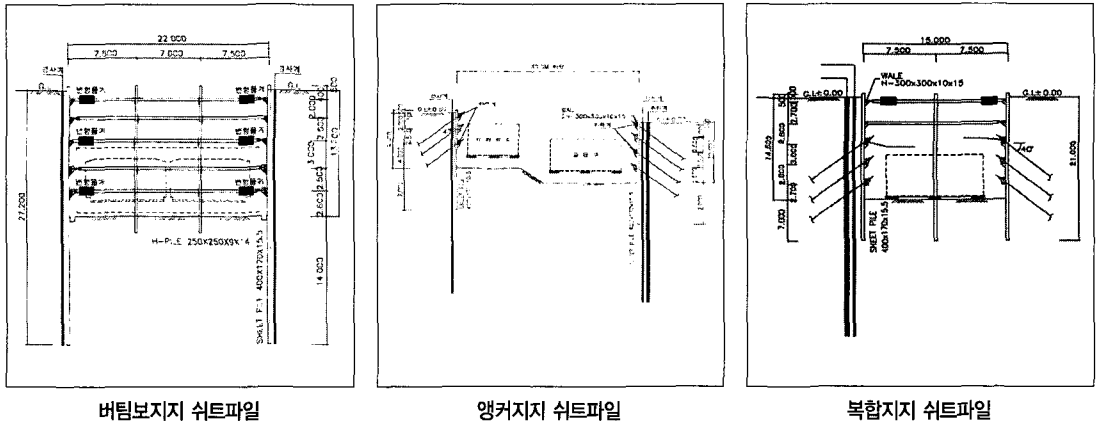
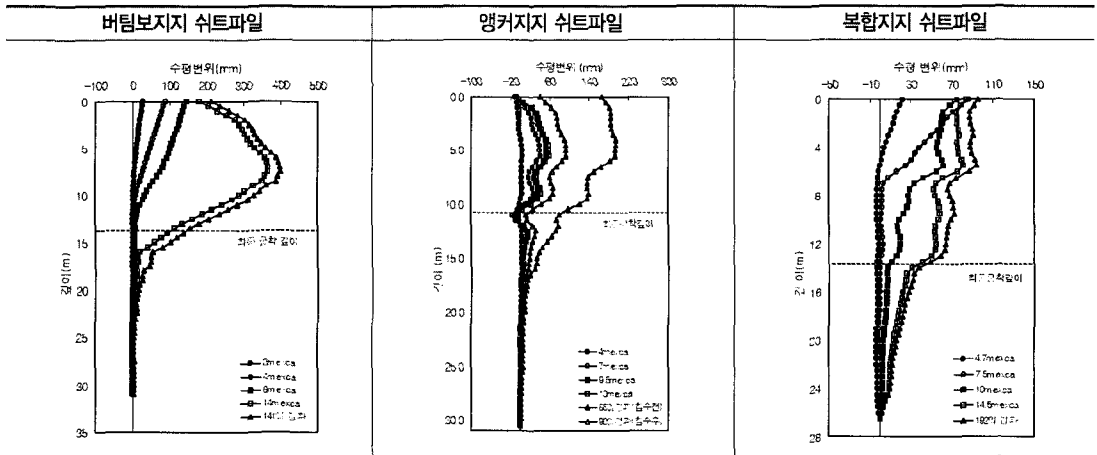


그림 5. 지지형식별 흠막이공법 시공단면도

표 6. 지지형식별 지중경사계 계측결과



중간부에서 약 60~400mm 발생하였고, 앵커지지 슈트파일의 경우는 굴착저면으로부터 3~5m 상부에서 약 30~150mm 발생하였다. 또한 복합지지 강널말쪽인 경우는 버팀보로 지지된 부분과 앵커로 지지된 부분의 경계면에서 약 30~180mm 발생하였다.

흠막이벽의 지지형식에 따라 최대수평변위 발생 위치가 서로 다르게 발생하였고 최대수평변위는 굴착심도를 기준으로 약 4%까지 발생하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

지중경사계는 시공중에 발생하는 횡방향 변위를 미리 예측하여 공사의 완급을 조절해서 배면의 지반 침하 및 벽체에 일어나는 응력을 검토하여 공사중 또는 공사후의 안전을 도모하는 목적으로 설치한다.

현장에서 흠막이가시설의 안정성을 판단하기 위해서는 지반조건에 적합한 계측관리기준치가 있어야 하는데, 본 고의 대상지반인 대심도 해성퇴적토

지반에서 연성벽체인 슈트파일 흙막이가시설 설계 시 국내 계측관리기준이 미흡하여 지반엔지니어들이 도심지의 양호한 지반조건에 적용하는 계측관리 기준치를 적용하고 있으며, 현장에서는 설계시 규정한 기준치로는 시공관리에 어려움이 있어 유사지반에서의 계측관리기준을 참조하여 기준치를 변경한 후 시공관리를 하고 있다.

또한 구조물 기초설계기준에서 예시하고 있는 안전율 개념은 현재 국내에서 흙막이가시설 설계시 사용하고 있는 가시설 전용 프로그램에서 산정되는 슈트파일 벽체의 변형량이 실제 현장에서 측정되는 벽체의 변형량보다 작은 값을 나타내므로 가시설 전용 프로그램이 연약한 대심도 해성퇴적토 지반거동을 모사하는데 적합한 지에 대해서 검증한 후에 적용하여야 할 것으로 판단된다.

현재까지 해성퇴적토지반에서 연성벽체인 슈트파일에 대한 지중경사계의 계측관리기준은 국내 설계기준에 규정된 값은 없으나, 향후 대심도 연약 해성퇴적토지반에서 슈트파일 흙막이벽체를 설계할 때는 먼저 흙막이가시설 지지구조에 따른 해성퇴적토지반의 거동특성을 이해하고 본 고에서 기술한 현장 또는 유사 지반에서의 현장계측사례를 참조하여 지중경사계의 계측관리기준을 제시하였으면 한다.

또한, 해성퇴적토지반에서의 현장계측사례로 볼 때, 흙막이가시설의 굴착심도가 10m 이상일 계획 될 때는 지반수평변위가 설계시의 예상치보다 매우 크게 발생하므로 가시설 현장주변에 건물, 도로 등의 중요구조물이 위치할 때는 경제성 보다는 가시설 주변지반의 안정성을 우선하는 토류벽공법 적용에 대해서도 신중히 검토할 필요가 있다.

## 참고 문헌

1. (사)한국지반공학회(2003.2), 구조물 기초설계기준 해설
2. 홍원표, 김동욱, 송영석, (2005), 강널말뚝 흙막이벽으로 시공된 굴착연약지반의 안정성, 한국지반공학회 논문집, 제21권 1호, pp.5~14.
3. 서울시 지하철건설본부(2003), 지하철 건설계측관리요령 (안)
4. 일성건설(주)(2007), 인천도시철도 1호선 송도신도시 연장사업 O공구 계측 월간 보고서
5. 지오넷(2007), 인천도시철도 1호선 송도신도시 연장사업 O공구 계측 월간 보고서
6. 대림산업주식회사(2002), 인천국제공항철도 1-O공구 계측결과에 대한 보고서

