

해안의 연약지반개량공사 시공관리 유의사항 (부산신항 북컨테이너 터미널 배후부지를 중심으로)

김형석¹⁾, 조현모²⁾, 최인걸³⁾, 김학곤⁴⁾, 임기남⁵⁾

- 1) (주)유신코퍼레이션 부산신항 북컨테이너 터미널 배후부지 침하안정관리용역단 차장
- 2) (주)유신코퍼레이션 부산신항 북컨테이너 터미널 배후부지 침하안정관리용역단 이사
- 3) (주)유신코퍼레이션 지반공학부 상무이사, 부산신항 터미널배후부지 침하안정관리 용역단 사업책임기술자
- 4) 부산도시공사 개발사업팀 처장
- 5) 부산도시공사 개발사업팀 과장

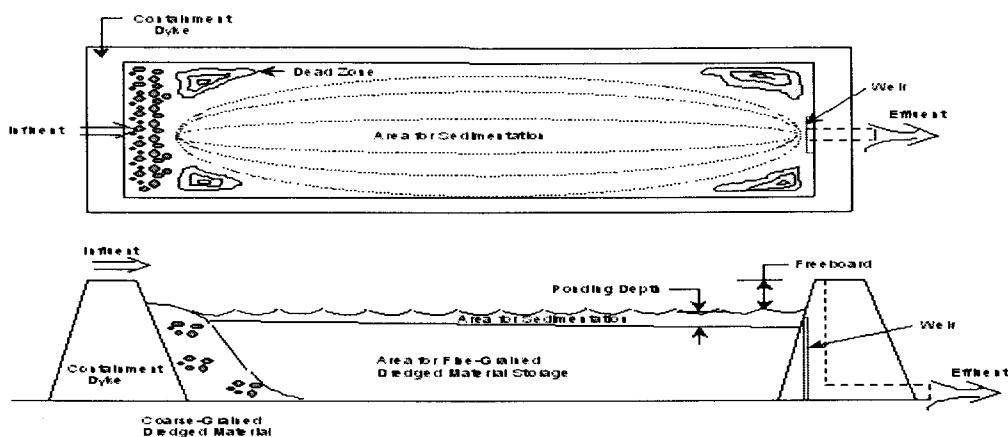
1. 준설매립시 관리방안

1) 개요

해상으로부터 준비된 토사를 매립부지에 투기하는 경우

- (1) 토출구의 위치
- (2) 투기장내 유속
- (3) 준설지역의 차이 등에 따라 부지내 매립토의 압밀특성이 차이를 보인다.

따라서, 이러한 부지매립시의 시공방안과 대책에 대하여 토의한다.



2) 현장현황

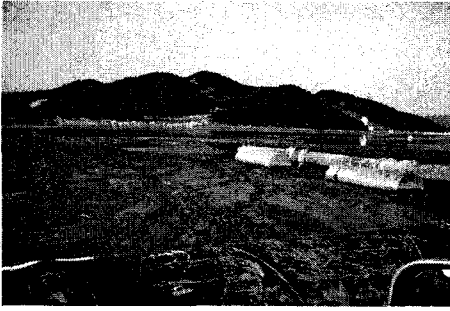


그림1. 준설토 토출구 전경

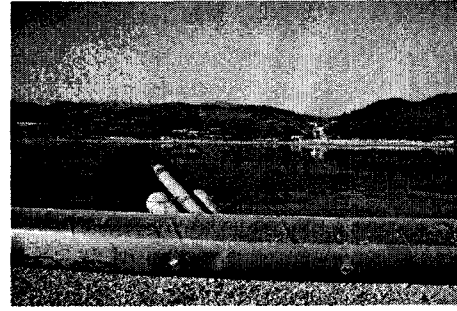


그림2. 준설토 투기



그림3. 토출구 주변 Clay ball

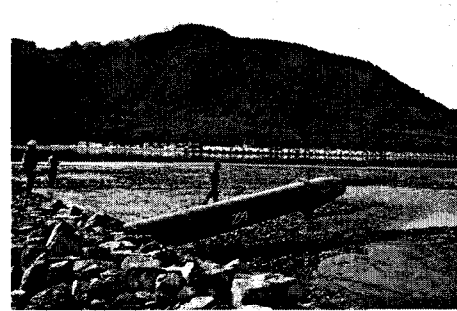
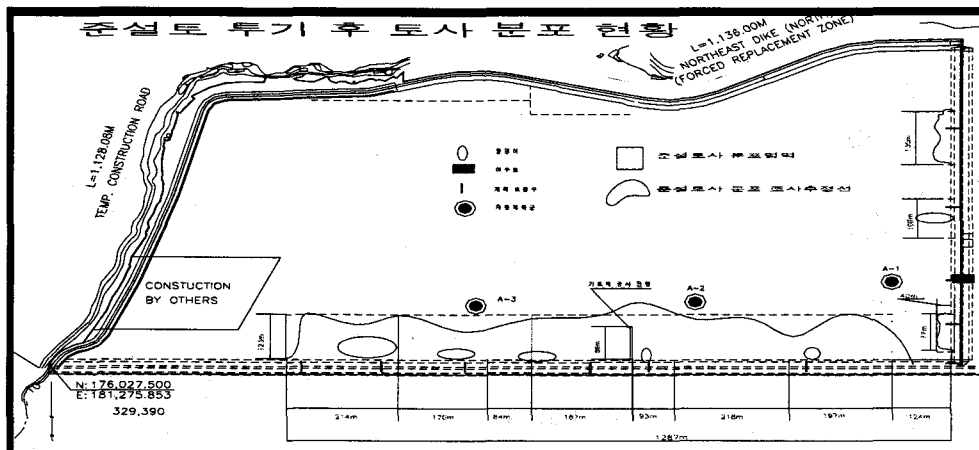


그림 4. 투기직후 형성된 Pocket

3) 현황 및 문제점

- (1) 매립재료(준설토)의 성분에 따라 압밀특성이 달라지고, 매립의 불규칙한 분포로 인해 현장 압밀정수 산정시 주의를 요한다. 또한 실측결과에 따른 압밀도 평가시 신뢰성 검증이 필요하다.



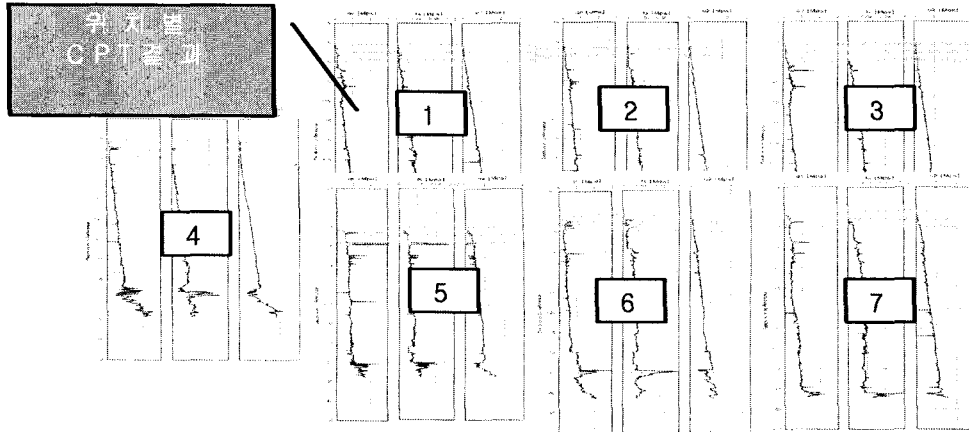
(2) 투지지역내 토층분류

- 입도, 강도 등에 따른 준설토 구역을 구분한 지반개량여부 판단이 어렵다.

(3) 준설토 침하량 추정방법

4) 개선 내용 및 토의

- (1) 준설토를 유속관리 할 경우 매립 조건에 따른 지반개량이 용이하다.
- (2) 평면상 준설토층 분포를 조사하고, 단면별로 피조콘을 이용하여 토층을 분류하여 침하량 결과와 비교한다.



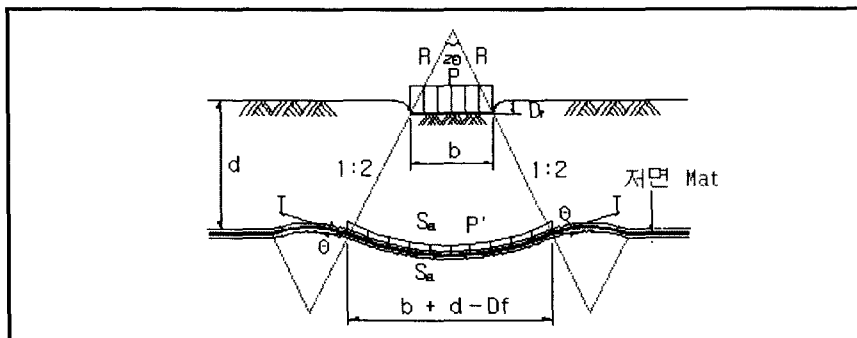
- (3) 지구통계학적 방법을 이용한 zoning (GIS시스템 이용)
- (4) 기존 분석기법(쌍곡선, Asaoka 등)을 이용하거나 개선방안 필요

2. 준설토 상부의 표층처리공법의 적용

1) 개요

연직배수재 타설장비의 설치를 위해 표층처리공법을 적용한다. 표층처리공법은

- (1) 자연건조 및 PTM
- (2) 토목섬유보강
- (3) 대나무매트 보강 등이 있다. 현장에서는 표층강도 보강(대나무+저면매트 15ton)을 실시하였으나 연직배수재타설 중 준설토가 연약하여 표층부 유동이 발생하여 추가 보강을 실시하게 되므로, 저면매트가 수평각과 이루는 각(θ)을 적정하게 적용하여야 한다.



2) 현장상황



그림 1. PTM공법

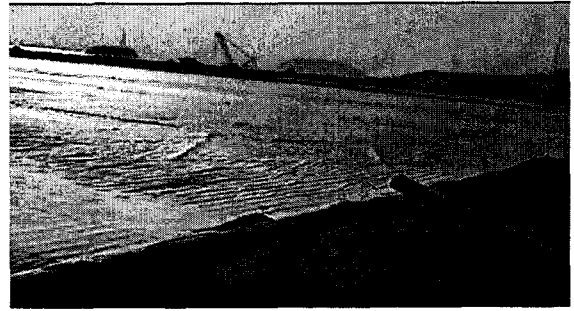
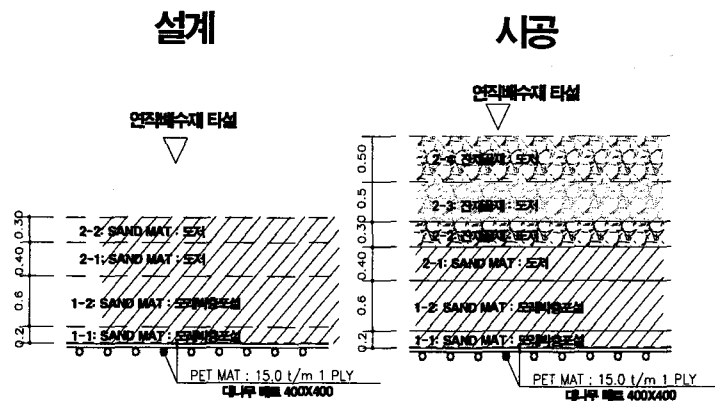


그림 2. 토목섬유보강 PET Mat 15.0t/m,

(Progressive Trenching Method) 대나무 보강(400×400mm) 소요인장력 29.3t

3) 현황 및 문제점

- (1) 지반지지력산정에 따라 표층보강을 실시하였으나 표층(준설토)부에서 장비의 국부적인 침하로 인하여 추가적인 SANDMAT 추가성토(0.5 ~ 1m) 보강 후 연직 배수재 타설을 실시하게 되었다.

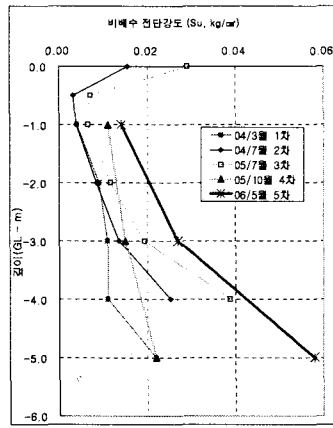


- (2) 보강재의 현장발현강도가 시공여건에 따라 차이를 보이지만, 현장시공중 정량적 강도 파악이 어렵다.

4) 개선내용 및 토의

- (1) Sandmat포설전 표층강도를 확인 ($0.04 \rightarrow 0.14 \text{ tonf/m}^2$) 하여 설계시 준설토강도와 비교하고 실제 시공 중국부침하 발생지역에서 Sandmat상부에 재하토 추가시공 실시

수질도
FVT결과



Terzaghi 지지력 검토시 저면 mat가 수평면과 이루는 각(θ)을 현장에 맞게 조정하여 검토

(2) 보강재 시공방법에 따른 설계강도 적용방안 검토필요

3. 연약지반 개량공사 중 수위관리

1) 개요

연약지반 개량공사 중 발생하는 압밀수의 배수관리를 위해 일반적으로 집수정을 통한 강제 배수를 실시한다.

본 현장은 배수를 원활히 하기 위해

- (1) 수평배수재 설치
- (2) 집수정 배수
- (3) 스프링클러를 통한 표층증발 유도를 실시하고 있으나 성토체내의 수위변화에 따라

- ① 재하하중의 변화
- ② 과잉간극수압의 변화
- ③ 배수저항 등이 문제가 발생하므로 연약지반개량 중 적절한 지하수위 관리개념을 정립할 필요가 있다.

2) 현장현황

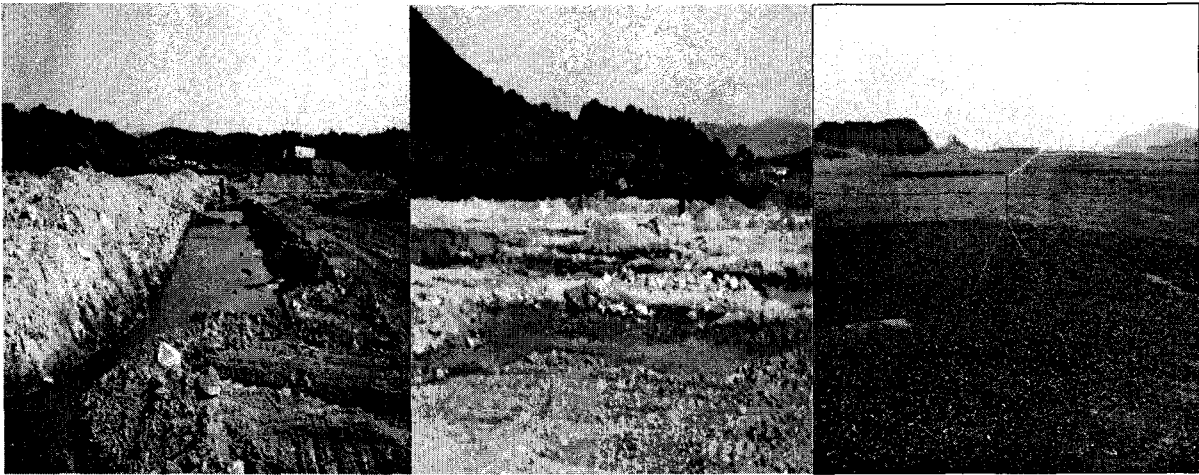


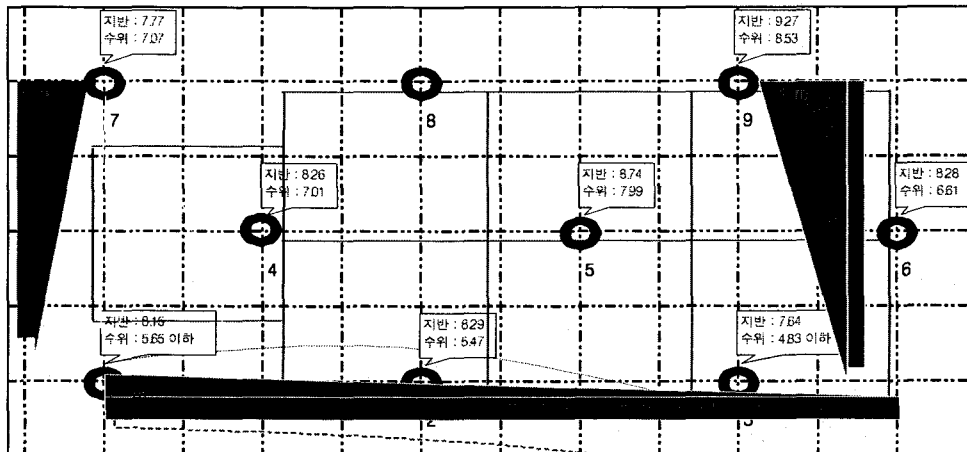
그림1. 수평배수재설치
(50m 십자형배치)

그림2. 집수정 설치
(직경 600mm, 140×140m간격)

그림3. 스프링클러 및 강제배수

3) 현황 및 문제점

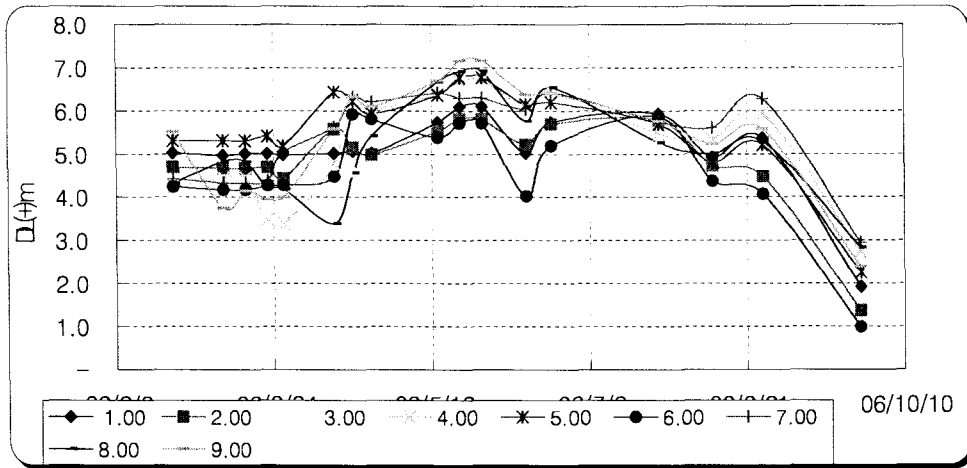
- (1) 부지면적이 넓은 지역의 지반개량은 구역별로 진행되므로 개량 지역에 따라 수위차가 발생하고, 수위의 영향은 개량지역외에 인접지역의 배수조건 영향을 받는다.



- (2) mat resistance 발생시 압밀지연이 되므로 부지내 수위에 따른 mat resistance 영향을 평가할 필요가 있다.

4) 개선내용 및 토의

- (1) 현장내 집수정 밖 유도수로를 통해 부지외각으로 강제 배출하여 수위 저하를 유도한다.



(2) 개량완료된 부지로내의 압밀수 유입, 장거리 배수경로에 따른 압밀 지연등 대규모 단지 공사시 최적의 수위관리 방안이 필요하다.

4. 연약지반 개량공사 후 발생침하량 관리

1) 개요

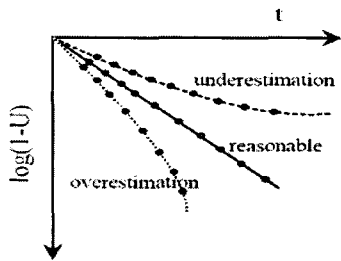
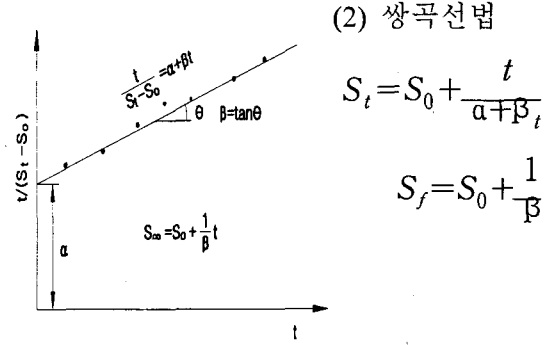
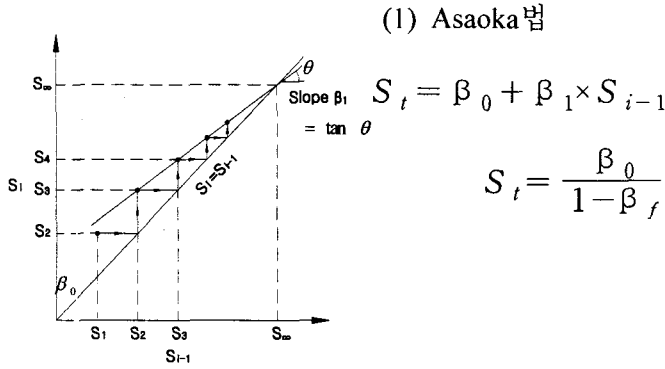
연약지반현장의 관리침하량을 개량층 1차압밀 침하량에 한정 할 경우 개량(여성토제거)후 발생하는 침하량 및 장기침하량으로

- (1) 리바운드발생에 따른 침하량
- (2) 1차압밀에 대한 잔류침하량
- (3) 2차압밀 침하량 등이 있다.

현장관리 침하분석은

- ① ASAOKA법
- ② 쌍곡선법/호시노법
- ③ 문전법 등을 통해 실시하며, 이중 쌍곡선법/호시노법은 시간이 무한대이므로 2차압밀 영역을 포함하는 것에 대한 개념으로 볼 수 있다.

2) 현장현황



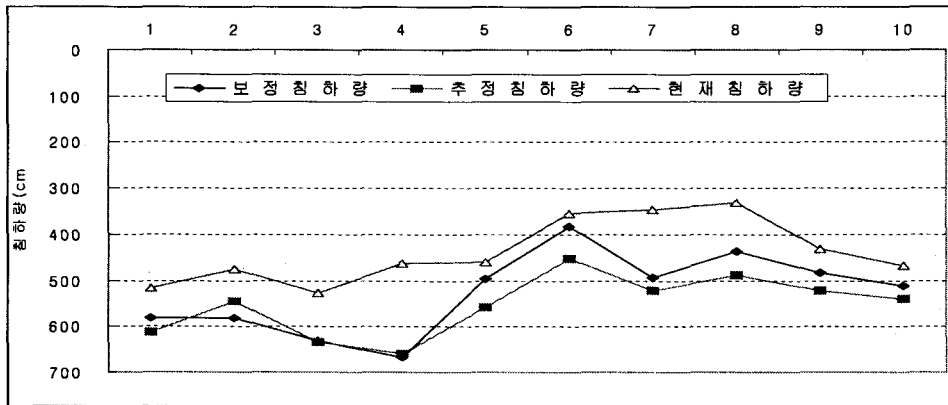
(3) 문전법

$$\log(1-U)T$$

$$U = [1 - \exp(-\frac{8T_h}{F(n)})]$$

3) 현황 및 문제점

(1) 연약층심도는 약 30 ~ 70m이고, 개량층 약 50m이내에서 시공 중이며, 예상 침하량은 4 ~ 7m로 추정된다.



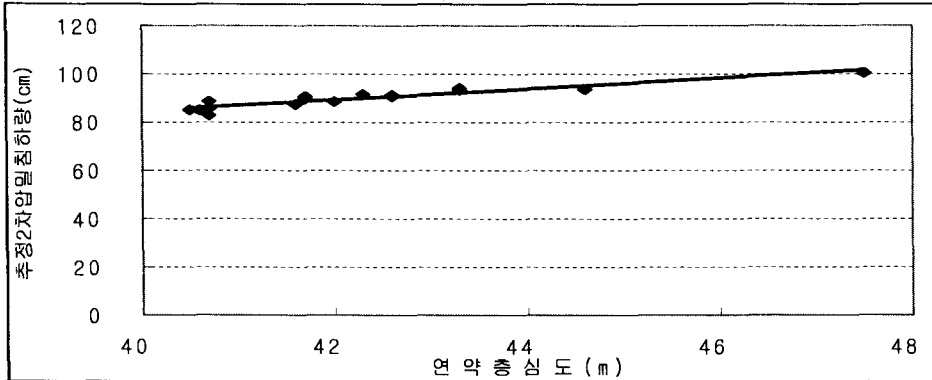
(2) 개량완료된 부지의 여성토제거 후 발생된 Rebound량은 약 20cm내외로 부지개량 후 구조물 시공중 리바운드 침하량에 대한 발생기간 검토가 필요하다.

- Rebound
- 적용 $C_r = 0.1 C_c$

(3) 연약층 층후가 약 40m이상 일때 추정된 압밀계수를 이용하여 산정한 2차 압밀침하량은 80 ~ 100cm추정된다.

> 2차압밀침하량
$$S_e = C_\alpha \times H_p \times \log\left(\frac{t_p + t}{t_p}\right)$$

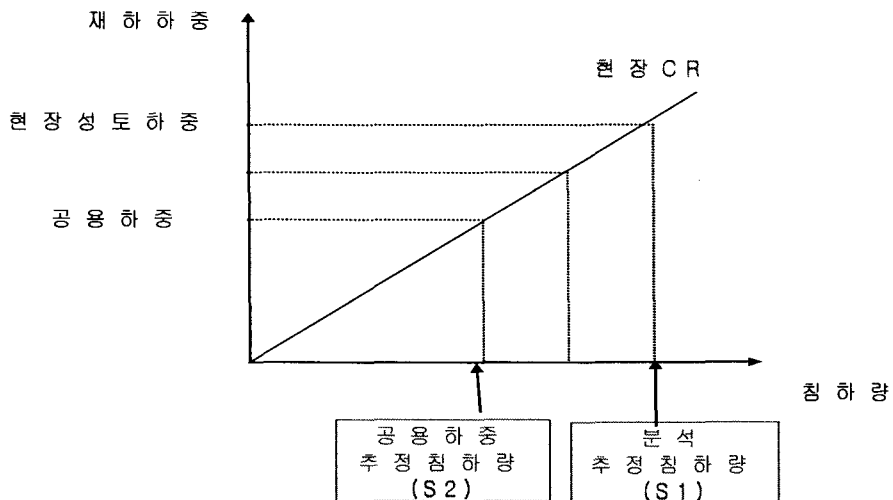
 > 적용 $C_\alpha = 0.033 C_c$ (0.023일 경우)



(4) 침하분석방법에 EKfms 침하량차이가 Data분 산도에 따라 큰 차이를 보이며, 각 방법에 대한 신뢰도 평가방법이 필요하다.

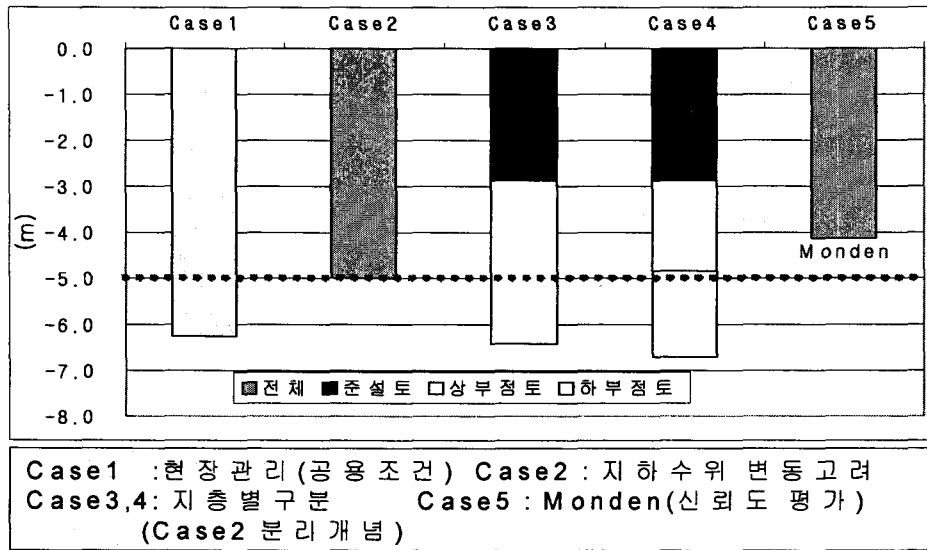
4) 개선내용 및 토의

(1) 현장내 성토하중에 추정된 침하량을 개량 후 공용하중하의 침하량으로 보정하여 여성토를 제거 관리할 수 있다.



(2) 현장여성토 제거후 Rebound량을 측정관리하며, 현장지반정보시스템(GIS)을 이용하여 공사전, 후와 시공전반의 정보관리를 시행 중에 있다.

(3) 각 지층별, 침하분석방법별 추정 침하량의 차이가 발생하므로, 2차 압밀침하량을 포함하는 쌍곡선법은 공사기간 중 2차 압밀침하량을 일부 유발시킨다.



(4) 필요시 현장 추가성토 등을 통한 재하하중 증대를 검토 할 필요가 있다.