

# 부산신항 사석층 침하를 고려한 안벽기초의 침하량 분석

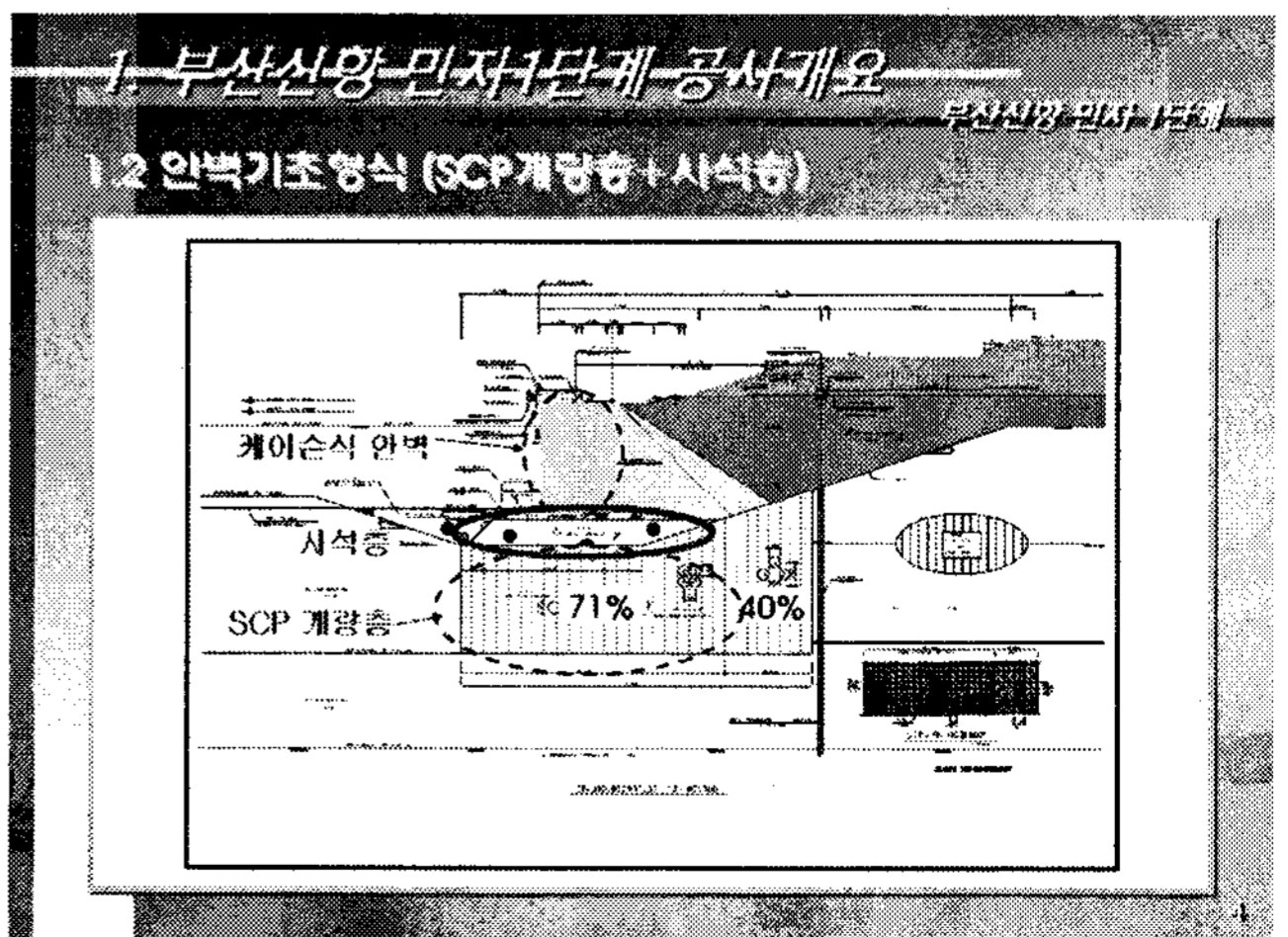
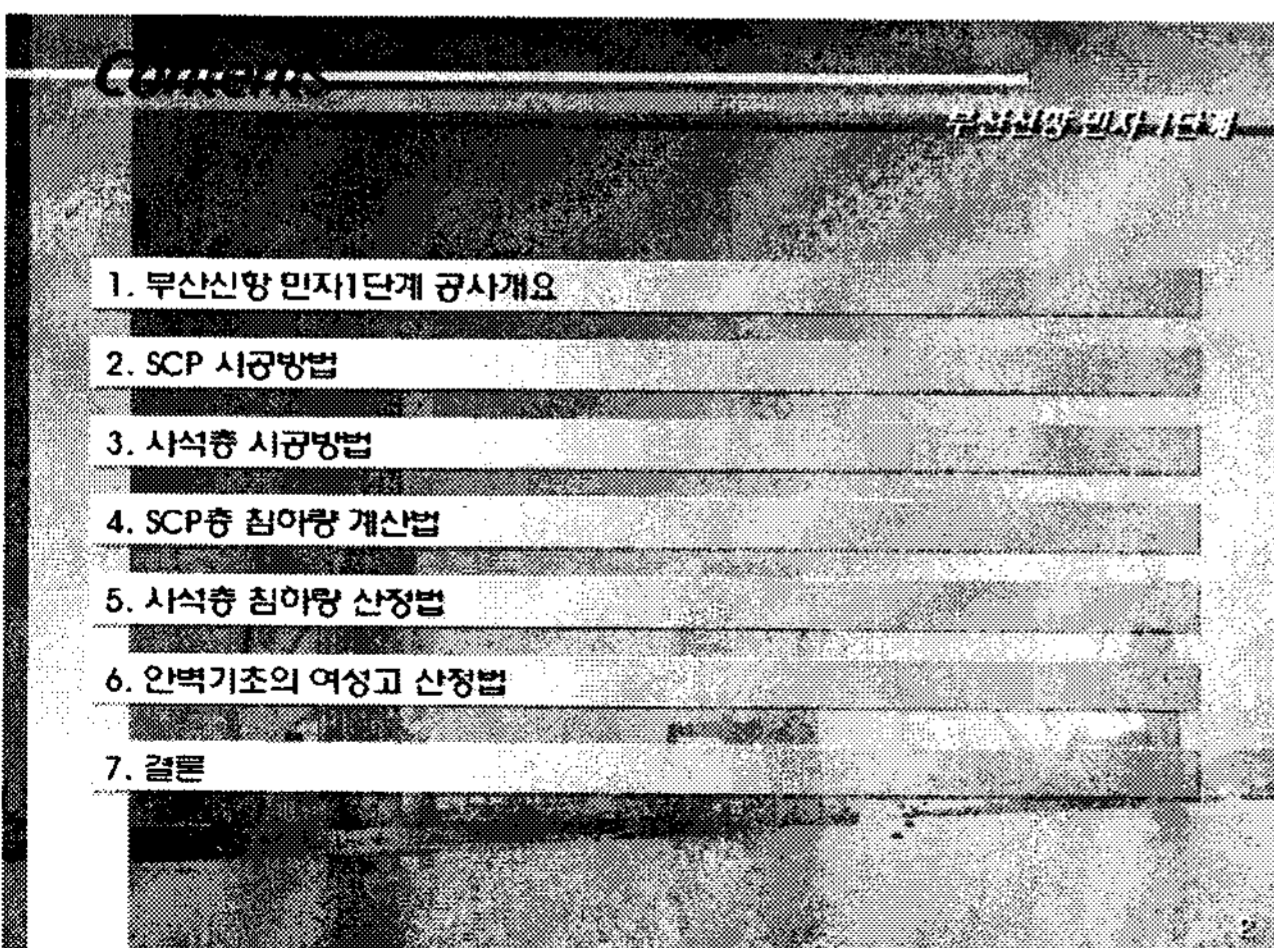
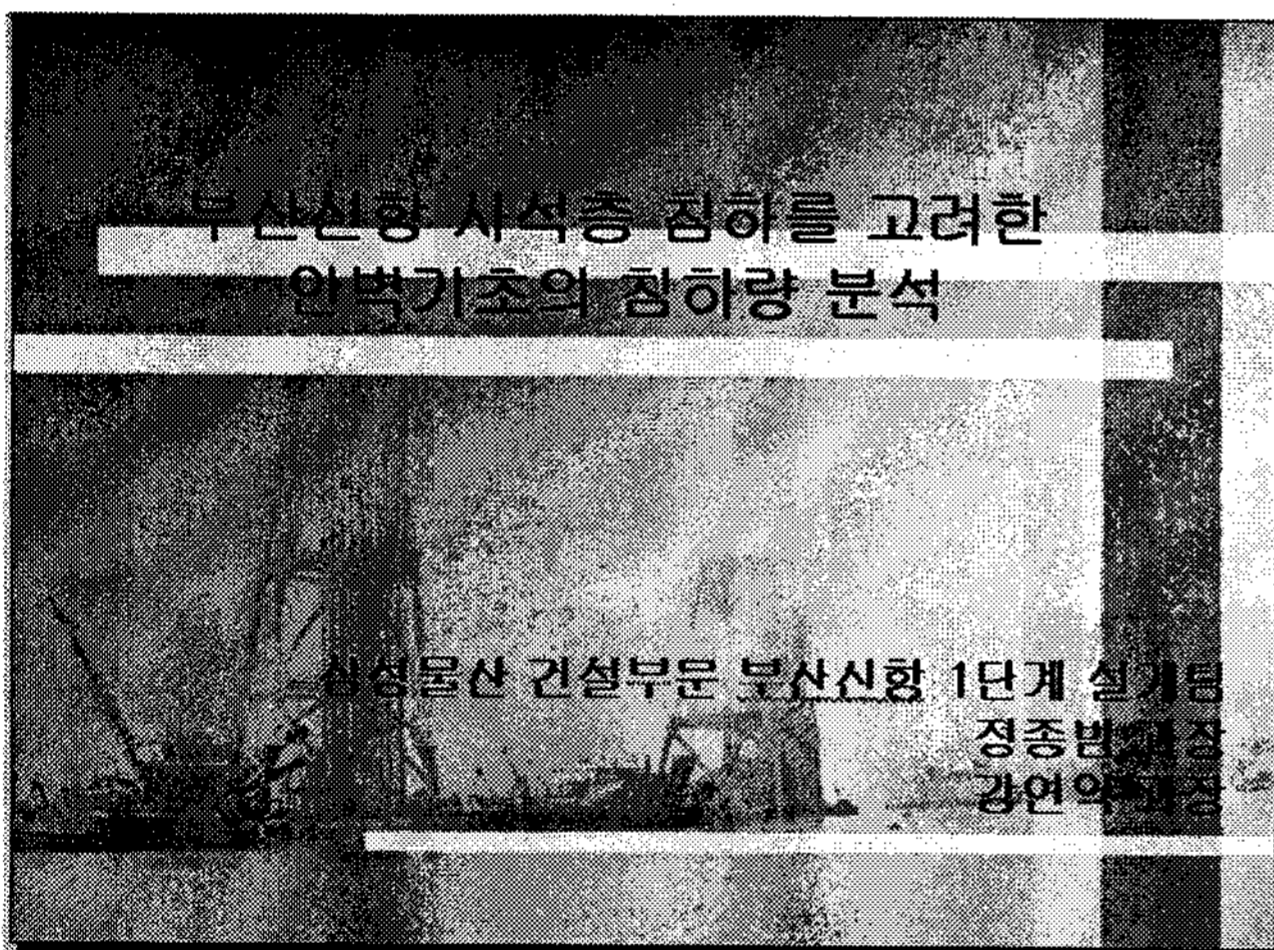
† 강 연익\* · 정 종범\* · 양 상용\*\*

\*삼성물산 건설부문 부산신항 민자부두 1단계 설계팀

\*\* 삼성물산 건설부문 P.M.

**요 약 :** 부산신항 북컨테이너터미널 민자부두 1단계 공사에 적용된 안벽기초는 하부 대심도 연약점토층 개량을 위한 SCP(Sand Compaction Pile) 개량층과 그 상부에 약 6m정도의 사석층으로 구성되어 있다. 안벽은 케이슨식으로 상부의 크레인 등의 공용하중 작용시에 발생이 예상되는 안벽기초의 과도한 지반침하 방지를 위해 근고블럭에 의한 Preloading공법이 적용되었다. 따라서, 프리로딩에 의한 하부기초지반의 침하관리가 중요 공사관리 포인트가 된다. 그러나, SCP층이나 사석층에 대한 침하량 예측은 반경험적 방법에 의존하기 때문에 실제와 상당한 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서는 사석층의 진동다짐에 의한 시공 특성을 반영하기 위해 굴착치환구간의 사석층에 대한 실측값을 이용하여 Terzaghi 변형식의 침하계수  $\alpha$ 를 재산정하여 SCP개량구간에 적용함으로써 보다 합리적인 안벽기초의 침하량을 분석하였고, 이를 사석층의 여성고 산정에 이용하였다.

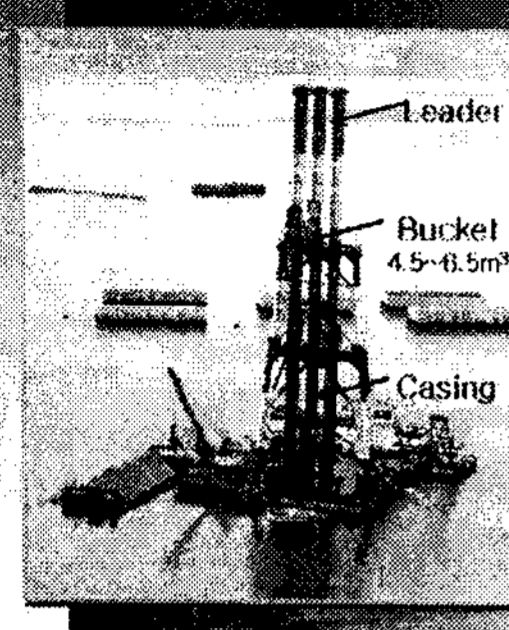
**핵심용어 :** 안벽기초, SCP공법(Sand Compaction Pile), 사석층 침하, 여성고



† 교신저자 : 강 연익 yeounike.kang@samsung.com

## 2. SCP-시공방법

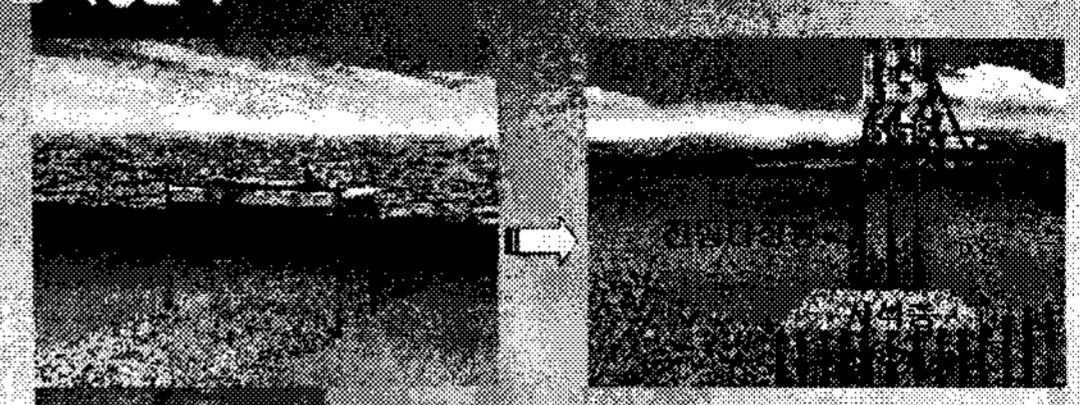
### 2.1 시공 장비 (장비 특징)



항 목	일반 구간	대심도 구간
SCP선 크기	길이 55m 3본 동시 타설	길이 88m 3본 동시 타설
엔진	600HP 다궤연진	800HP 다궤연진
공기압축기	6kaf/cm, 6대	10kaf/cm, 14대
발전기	125kW : 1대 500kW : 3대	50kW : 1대 125kW : 3대 500kW : 9대
케이싱 길이	55m	70m
진동해머	3대(기전력 4000kg·cm급)	3대(기전력 5500kg·cm급)
케이싱 환어머	두께 34mm, 길이 550m	두께 38mm, 길이 750m

## 3. 사석층 시공방법

### 3.2 시공순서



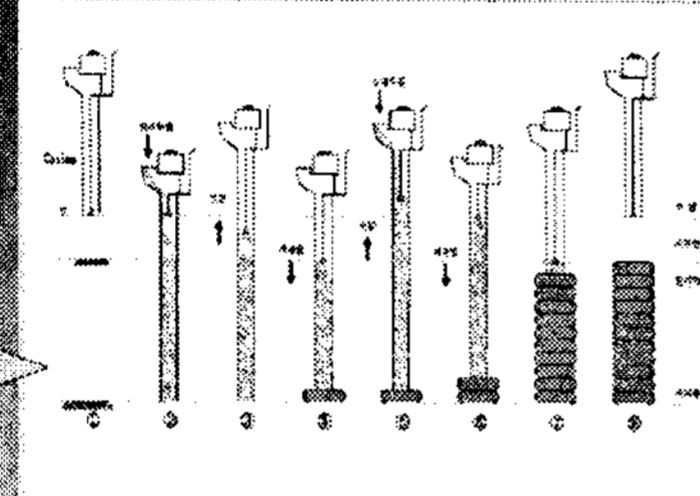
예상부하

2) 진동에 의한 층다짐

- ① 1단 다짐고르기
  - 다짐레벨: DL(-)22.5 ~ (-)18.0M(다짐고:4.5M)
  - 다짐여상고: 50±30cm
- ② 2단 다짐고르기
  - 다짐레벨: DL(-)18 ~ (-)16.6M(다짐고:1.4M)
  - 다짐여상고: 30±15cm

## 2. SCP-시공방법

### 2.2 시공 순서



- 1) SCP 작업선 위치 선정
- 2) 케이싱 관입 및 모래투입
- 3) 케이싱 인발 및 모래배출
- 4) 진동다짐
- 5) 모래투입
- 6) 계획고까지 3), 4), 5)번 과정 반복

## 4. SCP층 침하량 산정법

### 4.1 개요

Terzaghi 일차원 응력이론

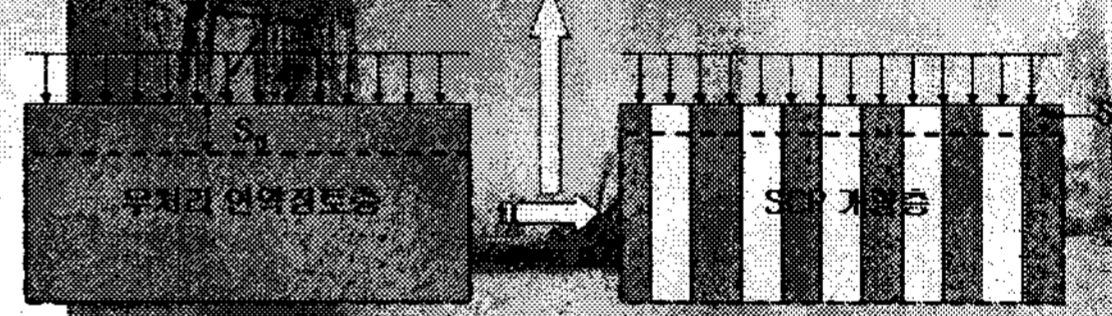
$$S_0 = \frac{C_c \cdot H}{1+e} \log\left(\frac{P_b + \Delta P}{P_0}\right)$$

SCP 개량지반 침하량

$$S_{SCP} = \beta \cdot S_0$$

SCP 지지에 의한 침하 감소 반영

- 지하수 50% 이하  $\beta = 1 + (n-1) \cdot \alpha_i$
- 지하수 50% 이상  $\beta = 1 - \alpha_i$



## 3. 사석층 시공방법

### 3.1 장비

안장다짐 : 3,500TON (L58M×B23M×H4M)  
 @ LEADER 높이 : 72M, 기동각(θ) : 0° ~ 3°  
 @ 배아보로 폼피  
 - 전기식 VM 40,000 KG·cm (300KW)  
 - 중량(램머 + 케이싱 + 다짐편) : 60 TON  
 @ 다짐편 : 사판 (크기 : 0.5M×3.0M×3.0M)  
 @ 위치확인장치 : GPS



## 4. SCP층 침하량 산정법

### 4.2 문제점

• 침하량 분석결과 •

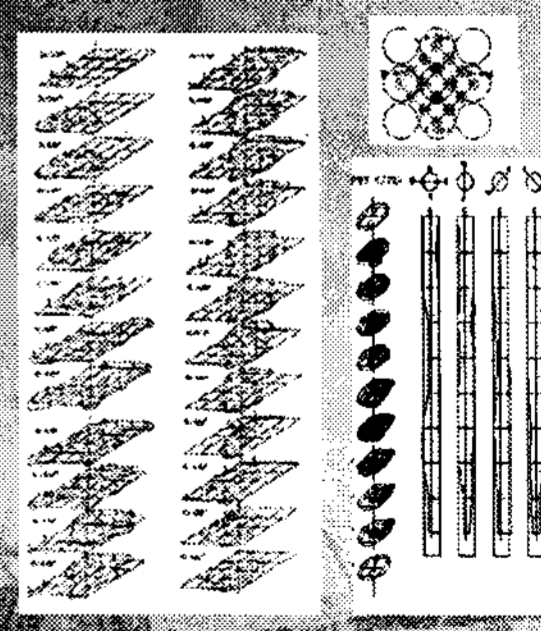
a. 이론적인 단계 (교지환을 SCP 지반)

단순히 침하량을 지반층의 함수로만 규정함에 따라 이론적인 단계가 존재함

$$S_{xp} = \beta \cdot S_0 \quad \beta = 1 - \alpha_i$$

b. 시공상의 문제 (교지환을 SCP 지반)

이론상으로 원주형으로 가정된 SCP 말뚝의 형상은 실제 이매비형으로 매우 불규칙적으로 형성됨



(의본) (본원형)

(SCP 개량지반 조사 예)

### 5. 사석층 침하량 계산법

부산신앙 인자 1단계

#### 5.1 개요

- 이론적 예측이 어려워 Terzaghi의 변형식을 주로 사용
- 영향인자 : 하중의 크기, 사석투하 및 다짐방법, 사석의 형상, 크기, 잇물림 상태 등

Terzaghi의 변형식

$$S = \alpha \times \log \left( 1 + \frac{\Delta p}{P_0} \right) \times H$$

여기서, S: 사석층 침하량  
 $\alpha$ : 사석층 침하계수  
 H: 사석층 두께  
 $P_0$ : 유효상재압  
 $\Delta p$ : 사석층 중앙부의 응력증가분  
 H: 상재하중폭

#### 5.2 문제점

- 테르자키의 변형식의 침하계수( $\alpha$ )를 경험지에 의존
- 실제 발생하는 침하량이 예측치보다 작게 발생

### 6. 안벽기초 여성고 산정법

부산신앙 인자 1단계

#### 6.3 SCP 계량구간 (SCP층+사석층) 침하량 검토

##### 1) 사석층 침하량 계산

\*침하계수  $\alpha = 0.010$  적용

사석층 두께 (cm)	사석층 침하량 (cm)		사석층 총침하량 (cm)
	계산식 적용시	재하능력 거치시	
9.0	4.0	5.0	9.0

##### 2) SCP층+사석층 침하량 계산

\*\*예측 값 / 실적 값

구분	사석층 침하량 (cm)	SCP층 침하량** (cm)	총 침하량** (cm)
STA 15+25	9.0	22.5 / 29.7	31.5 / 38.7
STA 15+80	9.0	42.9 / 31.4	51.9 / 40.4
STA 16+00	9.0	61.2 / 51.2	70.2 / 60.2

### 6. 안벽기초 여성고 산정법

부산신앙 인자 1단계

#### 6.1 여성고 산정 흐름도

```

    검토시작
      |
      v
    굴착지원구간 / SCP계량구간
      |
      v
    사석층 10m이하 / 기초사석층 / SCP 계량층
      |
      v
    Terzaghi 변형식으로부터 침하계수 α 재산정 / 기초사석층 침하량 산정 / SCP층 침하량 산정
      |
      v
    α계수 적용 / Terzaghi 변형식 적용 / 재하능력+선도 재차시
      |
      v
    기초사석층 여성고 산정 / 기초사석층 침하량 산정
      |
      v
    재하능력 시험시공 구간 침하량 분석 / SCP층 침하량 산정
      |
      v
    기초사석층 여성고 재산정
  
```

2차 calibration (SCP층 침하특성 파악)

### 6. 안벽기초 여성고 산정법

부산신앙 인자 1단계

#### 6.4 추가 여성고 산정

여성고는 예상 총침하량 범위 중 최소값 적용 → 30 cm  
 과다침하의 경우 : leveling concrete 적용

### 6. 안벽기초 여성고 산정법

부산신앙 인자 1단계

#### 6.2 굴착지원구간의 사석층 침하량 검토

Terzaghi의 변형식

$$S = \alpha \times \log \left( 1 + \frac{\Delta p}{P_0} \right) \times H$$

침하계수  $\alpha$  계산

구분	침하량 (cm)	침하계수 $\alpha$
1	0.007	0.007
2	0.005	0.005
3	0.003	0.003
4	0.002	0.002
5	0.010	0.010
6	0.008	0.008
7	0.003	0.003
8	0.003	0.003
9	0.010	0.010
10	0.012	0.012
11		

평균값  $\alpha = 0.010$  적용

적용범위  $\alpha = 0.01 \sim 0.05$  중 일반적으로 0.05 주로 적용

### 7. 결론

부산신앙 인자 1단계

- SCP층에 대한 침하량 예측은 이론적 한계와 시공적 한계에 의해 실제 침하량과 많은 차이가 발생
- 사석층에 대한 침하량 예측 또한 경험적 방법(침하계수)에 의존
- 사석층의 침하량 산정시 사석투하 및 다짐방법의 특성을 반영하기 위한 실적데이터의 활용이 중요
- 침하량에 대한 예측의 불확실성이 가중되는 복합층(e.g. SCP층+사석층)의 경우, 합리적인 침하량 예측을 위해 시험시공 결과를 이용한 역해석이 필요
- 사석층에 대한 적절한 여성고 관리는 향후 상치크리트 시공시 발생가능한 과도한 침하발생 방지를 위해 중요