사석 치환층에서의 더돋기 높이 결정

양성호 | 기술개발부토목기술팀대리 | 02)3433-7776 | yang1222@mail.ssyenc.co.kr

1. 개요

○○현장의가설축도공사는다음[그림 1]과같이 사석제체(0.015 ~ 0.03㎥/ea) 상부에는 CON'C BLOCK 및 CAP CON'C를 시공하고, 필터 사석층(0.015㎥/ea이하) 상부에는 콘크리트 포장(폭:3.0m)과 아스팔트 포장(폭:13.0m)이각각 계획되어있다.

일반적으로가설축도공사시발생하는침하는사석제체 자체의 압축 침하와 제체 하부 원지반의 침하로 구분할수 있으며, 사석제체시공에따른 원지반의침하량(약90cm)에대해서는이미설계되어있으나사석층자체의침하에대하여는고려되어있지않았다.

추후 사석층이 침하할 경우 아스팔트 포장면은 덧씌우기로 보수가 가능하지만CAP CON'C는계획고를유지할수없고, 콘크리트구조물이기때문에보수가용이하지않을것으로예상되었다.

따라서, 본고에서는 경험적 방법과 문헌을 참조하여 사석제체 자체의 침하량을 추정하고 적정 더돋기 높이를 결정함으로써 추후 사석제체 침하시 상부 구조물이목표계획고를확보할수있도록하였다.

2. 침하 일반 사항

하중재하시 발생하는 침하는 일반적으로 다음 3가지요소로구성되며, 토질별주요발생침하는<표 1> 과같이구분할수있다.

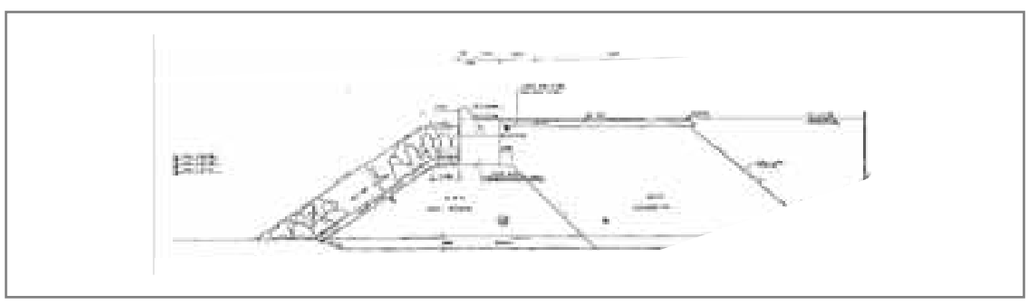
$$S = S_i + S_c + S_s$$

여기서, S = 총침하량(Total Settlement)

S_i = 즉시침하량(Immediate Settlement)

S_c = 압밀침하량(Consolidation Settlement)

S_s = 2차침하량(Secondary Compression)



[그림1] 호안단면도

<표1> 토질별주요발생침하

점토층	사질토층	사석층
즉시침하 1차압밀침하 2차압밀침하	즉시침하	즉시침하 2차침하

1) 1차압밀침하량(S_c)

압밀침하란 외부하중이 가해지면, 흙 입자 사이에 존재하는 물이 빠져나감에 따라 일어나는 침하를 말한다. 이때 발생하는 수압을 과잉간극수압(excess pore water pressure)이라하는데, 이 침하는 간극수압이소산되면서 물이 빠져 나간만큼흙이찌그러들어발생하는침하로써, 물이빠져나가는데필요한시간의함수이다.

압밀침하량은 압밀 대상층이 정규 압밀 점토일 경우다음식에의해산출한다.

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log \frac{P_0 + \triangle P}{P_0}$$

여기서 S_c = 1차압밀침하량(cm)

C_c = 압축지수

e_0 = 초기간극비

H = 침하대상층의두께(cm)

P_0 = 초기유효응력(ton/㎡)

$\triangle P$ = 지반내의증가응력(ton/㎡)

2) 2차압밀침하량(S_s)

2차 압밀침하란 외부하중에 의해 발생한 과잉간극수압이모두 소산된 후에도 발생하는 침하를말한다. 보통의 경우 1차 압밀침하가 완전히 끝난 후 2차 압밀침하가발생한다고가정한다.

일반적으로 2차 압밀침하는 유기질토와 이탄에서는많이발생하지만무기질점토일경우에는2차압축지수가대단히작아실제로는무시하는경우가많다.

2차압밀침하량의계산은다음식을이용하여결정한다.

$$S_s = C_\alpha \cdot H \cdot \log \frac{t_2}{t_1}$$

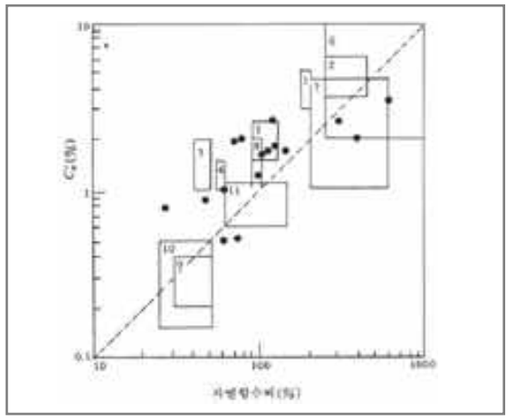
여기서, S_s = 2차압밀침하량(cm)

C_α = 2차압축지수

H = 침하대상층의두께(cm)

t_1 = 1차압밀완료시간

t_2 = 20년(포장사용연한)



[그림2] 자연퇴적토에대한C_d(Mesri,1973)

3) 즉시침하량(S_i)

■모래지반의즉시침하

사질토의침하량은점성토의침하량보다작기때문에 점성토와 사질토로 이루어진 지반에 있어서는 통상 사질토의 침하량은 고려하지 않으나, 모래층이 두껍고 큰 하중이 작용할 경우에는 이를 고려한다. B.K.Hough는 모래층에서 N치에 따른 압력과 간극비의 관계를 [그림 3]과 같이 제시하였으며, 이로부터 모래층의 침하량은 다음과 같이 개략적으로 산출할수있다.

$$S_i = \frac{e_0 - e_1}{1+e_0} \times H_s = \frac{C_s}{1+e_0} \cdot \log \frac{P_0 + \triangle P}{P_0} \cdot H_s$$

$$e = e_s - C_s \cdot \log \frac{P}{0.1}$$

여기서, S_i = 즉시침하량(cm) e_o = 모래층의초기간극비

e_1 = 재하후모래층의간극비

e = 임의의압력P에서의간극비

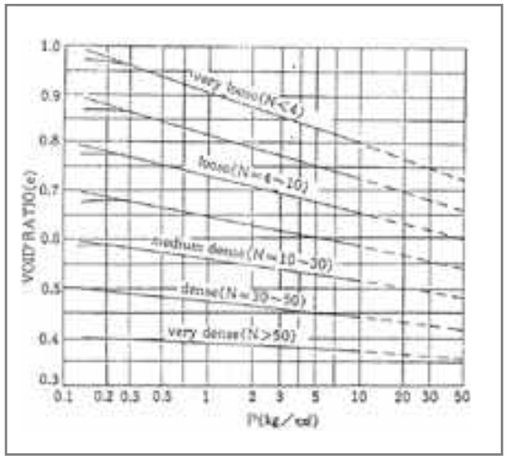
e_s = e-logP 곡선의절편 C_s = e-logP 곡선의기울기

p_o = 초기유효응력(t/㎡)

△P = 지반내의증가응력(t/㎡)

<표2> N값과즉시침하계수의관계표

No	N-value	C_s	e_s
1	0 ~ 4	0.104	1.005
2		0.090	0.905
3	4 ~ 10	0.076	0.803
4		0.06	0.705
5	10 ~ 30	0.04	0.600
6	30 ~ 50	0.03	0.500
7	> 50	0.016	0.405



[그림3] e - logP 관계곡선

■점성토지반에서의즉시침하량

점토지반에구조물하중이재하될때미소한순간침하가발생한다. 이때발생하는순간침하량은두가지요소를가지고 있다. 포화토나불포화토의경우에 즉시침하는 입자의 뒤틀림이나 점토의 형상변화에 의해서 발생된다. 또한 불포화토의 경우에는 체적변화가즉시침하의원인이된다. 그러나 포화토의경우 체적변화는 배수에 의해서 발생하기 때문에 비배수 상태에서는거의즉시침하는발생하지않는다.

Janbu(1956)은 포아송비가 0.5인 포화 점토지반에대하여유연성 기초의즉시침하량을구하는방법을 [그림 4]와 같이 제시하였는데, 이 결과는 탄성론에근거하여구하였다.

$$S_i = A_1 \cdot A_2 \cdot \frac{q_o + B}{E_s}$$

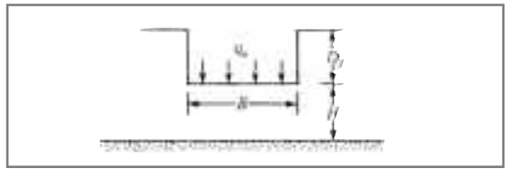
여기서, S_i = 즉시침하량(평균값)

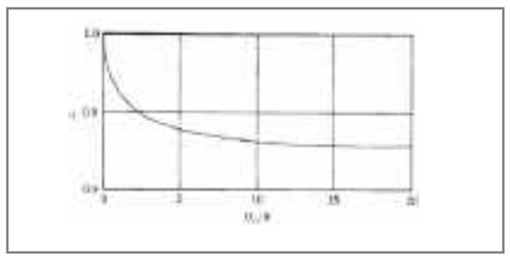
q_o = 지반반력

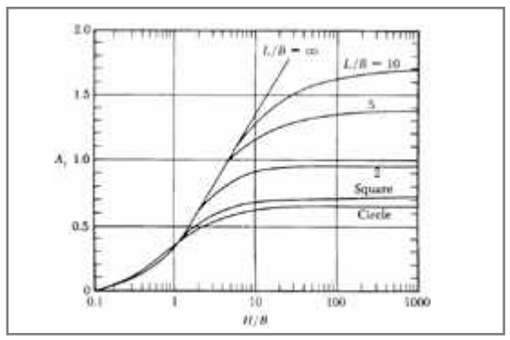
B = 기초폭

E_s = 탄성계수

A_1, A_2 = 침하영향계수







[그림4] 탄성침하량산정을위한계수A_1,A_2

<표3> 현장시험결과와탄성계수(Es)

Soil	SPT (kPa)	CPT (kPa)
Sand (normally consolidated)	E_s = 500(N+15) E_s = (15200 ~ 22000)lnN E_s = (35000 ~ 50000)logN	Es = (2 ~ 4)q_c Es = 2(1+Dr2)q_c
Sand (saturated)	E_s = 250(N+15)	
Sand (overconsolidated)	E_s = 18000+750N $E_s(OCR) = E_{(nc)}\{OCR\}_{1/2}$	Es = (6~30)q_c
Gravelly sand and gravel	E_s = 1200(N+6) E_s = 600(N+6) N(15 E_s = 600(N+6)+2000 N>15	
Clayey sand	E_s = 320(N+15)	Es = (3 ~ 6)q_c
Silty sand	E_s = 300(N+6)	Es = (1~2)q_c
Soft clay	-	Es = (3~8)q_c
Clay	I_p > 30, or organic I_p < 30, or stiff $E_{s(OCR)} = E_{s(nc)}\{OCR\}_{1/2}$	Es = (100~500)S_u Es = (500~1500)S_u

주) SPT (Standard Penetration Test : 표준관입시험, N)

CPT(Cone Penetration Test : 콘관입시험, q_c)

OCR(OverConsolidation Ratio : 과압밀비)

I_p : 소성지수, S_u : 비배수전단강도, D_r : 상대밀도

· Joseph E. Bowles『Foundation Analysis and Design』4th. pp.266

<표4> 흙의종류별E_o (kg/cm) 0.15

흙의종류	E_o/N
실트, 모래질실트	4
가는모래, 약간굵은모래	7
굵은모래	10
모래질자갈, 자갈	12 ~ 15

· 대한토목학회(1999)『철도설계기준』pp.523

<표5> 지반의포아송비(Poisson's ratio, ν)Type of soil

Clay, saturated	0.4 ~ 0.5
Clay, unsaturated	0.1 ~ 0.3
Sandy clay	0.2 ~ 0.3
Silt	0.3 ~ 0.35
Sand, gravelly sand	0.1 ~ 1.00
Commonly used	0.3 ~ 0.4
Rock	0.1 ~ 0.4
Loess	0.1 ~ 0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15

· Joseph E. Bowles『Foundation Analysis and Design』4th. pp.100

3. 사석층에서의 침하 원인

1) 사석층의침하원인

사석층의침하는암편간의접촉부위는적으나상대적으로 전달되는 응력이 높을 때 접촉부위의 암편이 부서지거나혹은하중재하시인접석재들간에발생하는 미끄럼 등으로인하여석재내부의구조가점진적으로재조정됨으로써발생된다.

사석층의침하원인은다음과같이분류할수있다.

· 즉시침하: 상재하중재하즉시사석공극감소에의함

· 2차침하: 사석입자간접촉부의풍화진행및Creep 변형에따른 사석입자간 자리바꿈으로인한체적감소

· 세굴침하: 장기간조류영향에의한세립자유출

2) 사석층의침하인자

기초 사석층의 침하는 다음과 같은 사항들에 의하여영향을받는다.

· 상재하중의크기

· 사석의투하방법, 투하고, 다짐방법

· 사석의입도및세립분함유량

· 사석의강도와형상등의물리적특성과규격

<표6> 침하시간별사석층의압밀도

침하시간(월)	0.5	1	1.5	2	3	5	7	9	10	영구
압밀도(%)	17.9	33.9	44.6	53.6	64.3	75.0	82.1	89.3	91.1	100

사석층의침하는상기복합적인요소에의해발생하므로정량적인침하량및침하시간산정이곤란하다.

3) 침하시간별사석층의압밀도

○○현장 방파제 기초사석 침하 실적 적용사례를 보면 침하시간별 압밀도는 다음 <표 6>과 같으며, 1년 정도 경과하면 사석층은 안정될 것으로 판단된다.

4. 사석층의 침하량 추정

사석층의 침하량은 다음의 3가지 방법으로부터 추정할수있다.

· 시공실적을감안한경험적방법
· 항만시설물설계기준서의제안값
· 연약지반대책공법총기술의제안값

1) 시공실적을감안한경험적방법

(1) 일반식

현재 사석층 침하량 산정방법으로 이용되고 있는 시공실적을 감안한 경험적 방법에 의한 변형 Terzaghi식을적용하여다음과같이계산한다.

$$S = \alpha \cdot H \cdot \log_{10} \frac{P_0 + \triangle P}{P_0}$$

여기서, S = 침하량
α = 사석층침하계수
H = 사석층두께
P_0 = 사석층중앙부에서의유효상재토압(ton/㎡)
$\triangle P$ = 사석층중앙부에서의응력증분(ton/㎡)

(2) 침하량계산

· 사석층침하계수 α= 0.05

사석층의 침하계수는 0.05 ~ 0.108 정도이나 빈도가 높은 0.05 값을적용함.

<표7> 사석층침하계수경험값

공사명	사석층침하계수 α
북컨테이너터미널실시설계	0.05
군산외항3부두시멘트전용부두축조공사	0.05
울산동방파제침하사계분석	0.108
일본항만설계기준	0.05
울산신항방파제1단계(1공구) 축조공사	0.079

· 사석층두께 H = 6.90m
· 사석층중앙부에서의유효상재토압

$P_0 = \gamma_{sub} \cdot (H/2) = 1.0 \times (6.90/2) = 3.45$ ton/㎡

· 사석층중앙부에서의응력증분

콘크리트블록과필터사석층에의한추가하중은$(1 + P/P_0)$에 대한대수값에크게영향을미치지않으므로, 분산각에의한제체중앙부의 응력감소를 고려치 않고 제체 상부에 작용하는추가하중을 등분포하중으로재하하였다.

$\triangle P$ = 2.35t/㎥ × 3.90m = 9.35t/㎡

· 사석층침하량

$$S_c = 0.05 \times 6.90 \times \log \left(\frac{3.45 + 9.35}{3.45} \right) = 0.196\text{m} \fallingdotseq 200\text{m}$$

2) 문헌에의한제안값

"항만및 어항설계기준"에는 매립토의 침하량과 더돋기에대하여다음과같이제시하고있다

(1) 매립토의침하량

침하량의 산출은 원지반의 침하량에 매립토사의 침하량을 합산하며 원지반의 침하량은 원지반 흙의 역학적 성질에 따른 침하율을 산정하고 매립토사의 침하량은 매립토사의 두께에 다음의 율을 적용하는 사례가많다.

<표8> 매립토사의침하량산정

매립토사의종류	매립토사의침하량
사질토	층두께의5% 이하
점성토	층두께의20% 이상
사질토와점성토의혼합	층두께의10 ~ 15% 정도

(2) 더돋기

더돋기는 토질조건에 차이가 있으나 일반적으로 10 ~ 15cm 정도로한다.

3) 문헌에의한경험값

"연약지반 대책공법 총 기술"에는 사석두께와 더돋기와의관계를다음<표9>와같이제시하고있다.

<표9> 사석두께와더돋기

설계사석두께	더돋기
2.5m 미만	10cm
2.5 ~ 3.5 m	15cm
3.5 ~ 4.5 m	20cm
4.5 m 이상	설계사석두께의5% 정도

더돋기두께는사석두께6.90m ×5% = 0.345m = 35cm가된다.

5. 검토 결과

1) 사석 제체의 압축침하량은 경험값과 문헌값을 참고하여추정하였으며, 그결과는다음<표10>과같다.

<표10> 추정침하량집계표

적용기준	추정침하량	비고
시공실적을감안한경험적방법	20cm	
문헌에의한제안값[1]	10 ~ 15 cm	
문헌에의한경험값[2]	35 cm	

주1) 해양수산부(1999),"항만및어항설계기준(상권)",pp.680
2) 藤田圭一,"연약지반대책공법총기술",동화기술, pp.1070

2) 상기 검토 결과로부터 기초사석의 추정 침하량은 10 ~ 35cm정도이나, 사석층의침하는투하고, 투하방법, 사석의입도및규격, 사석의강도등복합적인 요소에 의해 발생하므로 정량적인 침하량 및 침하시간산정이곤란하다.

3) 또한, 침하를 크게 예측할 경우 소정의 침하가 일어나지않을때콘크리트블록의계획고를조정할수없는 문제가 발생하기 때문에 더돋기 높이는 중앙값에 해당하는 20cm로 시공하고, 침하의 변동은 사석제체상부공시공시대응하기로하였다.

참고문헌

1. 해양수산부(1999),"항만및어항설계기준(상변)",PP 690
2. 대한토목학회(1999),"철도설계기준",PP 523
3. 藤田圭一,"연약지반대책공법총기술",동화기술, PP 1090
4. (사)한국지반공학회(1997),"얕은기초",구미서관, PP 690
5. Joseph E. Bowles,"Foundation Analysis and Design",4th, PP 266, PP 110
6. Braja M. Das,"Principles of Foundation Engineering",4th, PP 240~256
7. Roy E. Hunt,"Geothechnical Engineering Analysis and Evaluation," PP 287~294
8. NAVFAC DM-7.1,"Soil Mechanics Design Manual,"PP 206~256