

## 제5장 설계지반정수 산정

5.1 산정 개요

5.2 토사층 및 중화암의 설계지반정수 산정

5.3 기반암 설계지반정수 산정

5.4 수리해석을 위한 투수계수 산정

5.5 연약지반 설계지반정수 산정

5.6 설계지반정수 요약

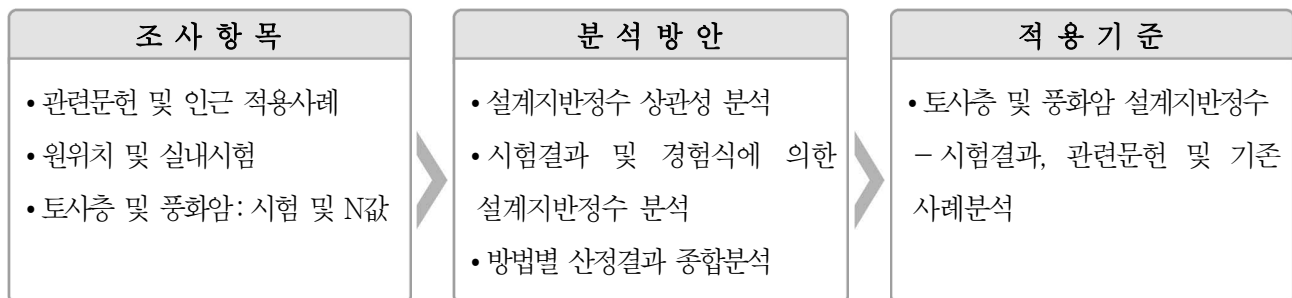
## 제 5 장 설계지반정수 산정

### 5.1 산정 개요

#### 5.1.1 설계지반정수 산정개요

- 설계지반정수 산정에 있어 현장조사 및 시험과 더불어 해석 지반의 지반특성 분석 및 산정은 매우 중요하며 지반 특성치의 적절한 산정은 해석 결과의 신뢰도에 가장 큰 영향을 미친다.
- 기초설계를 위한 설계지반정수는 토사층(매립층, 퇴적층, 풍화토), 풍화암, 연암, 경암으로 구분하여 설계에 적용하였으며, 설계지반정수 결정은 현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 분석하고 시험결과와 경험식 및 관련 문헌, 인근 자료 값을 비교 검토하여 안전측으로 적용하였다.

#### 5.1.2 설계지반정수 산정방향



### 5.2 토사층 및 풍화암의 설계지반정수 산정

#### 5.2.1 쌓기재의 설계지반정수 산정

- 쌓기비탈면의 쌓기재료는 시방서에 따른 쌓기재료 선정기준 및 품질관리 기준을 만족하게 되어 있으므로 쌓기 재료의 특성에 따른 개략적인 토질정수의 추정이 가능하다. 토사와 암벼력의 설계지반강도 정수는 관련문헌 및 적용사례를 참고하여 다음과 같이 결정하였다.

#### ▶ 문헌자료 검토

■ 토공재료의 개략적인 토질정수(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2020)

종 류		재료상태	단위중량(kN/m³)	점착력(KPa)	내부마찰각( ° )	통일분류
흙 쌓 기	자갈 및 자갈섞인 모래	다진것	20	0	40	GW, GP
	모래	입도가 좋은것	20	0	35	SW, SP
		입도가 나쁜것	19	0	30	
	사질토	다진것	19	30 이하	25	SM, SC
	점성토	다진것	18	50 이하	15	ML, CL, MH, CH

## ▶ 관련 문헌자료-암버력 쌓기재

구 분		단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
암버력쌓기	Design of small dam	23	0	45
	Journal of Geotechnical Engineering	20	0	38
	구조물 기초 설계기준	20	0	35

## ■ 다짐토층의 특성(NAVFAC DM 7.2)

흙의 종류 (통일분류법)	최대건조 단위중량 ( $\gamma_{dmax}$ , kN/m <sup>3</sup> )	최 적 함수비 (%)	점착력(C, kPa)		내부마찰각 ( $\phi$ , °)	CBR
			다짐상태	포화상태		
SM	18~20	11~16	51	21	34	10~40
SM-SC	18~21	11~15	51	15	33	—
SC	17~20	11~19	76	11	31	5~20

## ▶ 적용사례 검토

종류		단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
흙 쌓기재	강화 철산교 배수관로 재가설공사	19	15	25
	23-M-강화교회 신축공사	19	15	25
	군도6호선(동촌-대산저수지)	19	15	25
	북도면 지방상수도 배급수관망	19	15	25
암버력 쌓기재	강화 철산교 배수관로 재가설공사	20	0	38
	23-M-강화교회 신축공사	20	0	38
	군도6호선(동촌-대산저수지)	20	0	38
	북도면 지방상수도 배급수관망	20	0	38

## ▶ 쌓기재 설계지반정수 산정결과

종 류		단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
흙 쌓기재	문헌값	19~20	0~30	25~40
	적용사례	19	15	25
	적용값	19	15	25
암버력 쌓기재	문헌값	20~23	0	35~45
	적용사례	20	0	38
	적용값	20	0	38

\* 쌓기재의 단위중량 및 강도정수는 문헌자료의 범위 내에서 적용사례값을 보수적으로 적용

## 5.2.2 원지반 토사의 설계지반정수 산정

- 설계지반정수는 원칙적으로 토질시험에 의해 얻어진 수치를 사용하여야 한다. 각 지층의 강도정수는 토질이나 시험방법에 따라 상당히 다르게 얻어지는 경우도 있고 계산결과의 신뢰도에 큰 영향을 주기 때문에 관련문헌과 적용사례, N값을 이용한 경험식 및 시험결과를 종합 분석하여 산정하였다.

## ▶ 문헌자료 검토

■ 토공재료의 개략적인 토질정수(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2020)

종 류		재료의 상태		단위중량 ( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	점착력 ( $c$ , kPa)	내부마찰각 ( $\phi$ , °)	분류기호 (통일분류)
흙 쌓 기	자갈 및 자갈 섞인 모래	다진 것		20	0	40	GW, GP
	모 래	다진 것	입도가 좋은 것	20	0	35	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	0	30	
	사질토	다진 것		19	30 이하	25	SM, SC
	점성토	다진 것		18	50 이하	15	ML, CL, MH, CH
자 연 지 반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	0	40	GW, GP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	0	35	
	자갈섞인 모 래	밀실한 것		21	0	40	GW, GP
		밀실하지 않은 것		19	0	35	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	0	35	SW, SP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	0	30	
	사질토	밀실한 것		19	30 이하	30	SM, SC
		밀실하지 않은 것		17	0	25	
	점성토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)		18	50 이하	25	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도 힘으로 강하게 눌러 조금 들어감)		17	30 이하	20	
		무른 것(손가락이 쉽게 들어감)		17	15 이하	20	
	점토 및 실 트	굳은 것		17	50 이하	20	CH, MH, ML
		약간 무른 것		16	30 이하	15	
		무른 것		14	15 이하	10	

■ 단위중량( $\gamma_t$ ) - 김상규(토질역학)

지 층	상 태	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )		
		건 조	전 체	포 화
모래질 자갈	느 슨	14.0~17.0	18.0~20.0	19.0~21.0
	쫄쫄	19.0~21.0	20.0~23.0	21.0~24.0
거친모래, 중간모래	느 슨	13.0~15.0	16.0~19.0	18.0~19.0
	쫄쫄	17.0~17.0	18.0~21.0	20.0~21.0
균등한 가는 모래	느 슨	14.0~15.0	15.0~19.0	18.0~19.0
	쫄쫄	17.0~18.0	18.0~21.0	20.0~21.0
거친실트	느 슨	13.0~15.0	15.0~19.0	18.0~19.0
	쫄쫄	16.0~17.0	17.0~21.0	20.0~21.0
실 트	연 약	13.0~15.0	16.0~20.0	18.0~20.0
	중 간	16.0~17.0	17.0~21.0	20.0~21.0
	견 고	18.0~19.0	18.0~19.0	18.0~22.0
소성이 작은 점토	연 약	13.0~14.0	15.0~18.0	18.0~20.0
	중 간	15.0~18.0	17.0~21.0	19.0~21.0
	견 고	18.0~19.0	18.0~22.0	21.0~22.0
소성이 큰 점토	연 약	9.0~15.0	12.0~28.0	14.0~18.0
	중 간	15.0~18.0	15.0~20.0	17.0~21.0
	견 고	18.0~20.0	17.0~22.0	19.0~23.0

■ 단위중량( $\gamma_t$ ), 내부마찰각( $^\circ$ ) - M. J. Tomlinson, 1994

Soil Type, Compactness & Consistency	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )		내부마찰각 ( $^\circ$ )
	$\gamma_t$	$\gamma_{sub}$	
모래성분이 거의 없는 느슨한 자갈	16~19	9	28~30
모래성분이 거의 없는 보통조밀한 자갈	18~20	10	30~36
모래성분이 거의 없는 조밀내지 매우조밀한 자갈	19~21	11	36~45
느슨하며 입도가 양호한 모래질 자갈	18~20	10	28~30
보통조밀하고 입도가 양호한 모래질 자갈	19~21	11	30~36
조밀하고 입도가 양호한 모래질 자갈	20~22	12	36~45
느슨하고 점토가 함유된 모래질 자갈	18~20	10	28~30
보통조밀하고 점토가 함유된 모래질 자갈	19~21	11	30~35
조밀내지 매우조밀하고 점토가 함유된 모래질 자갈	21~22	12	35~40

■ 단위중량( $\gamma$ ), 내부마찰각( $^{\circ}$ ) - M.J. Tomlinson, 1994(계속)

Soil Type, Compactness & Consistency	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )		내부마찰각 ( $^{\circ}$ )
	$\gamma_t$	$\gamma_{sub}$	
느슨한 조립내지 세립 모래	17~20	10	28~30
보통조밀한 조립내지 세립 모래	20~21	11	30~38
조밀내지 매우조밀한 조립내지 세립 모래	21~22	12	35~40
느슨하고 세립질 모래와 실트질 모래	15~17	7	28~30
보통조밀한 세립질 모래와 실트질 모래	17~19	9	30~35
조밀내지 매우조밀한 세립질 모래와 실트질 모래	19~21	11	35~40
연약한 소성점토	16~19	6~9	20~40
단단한 소성점토	17.5~20	7.5~11	40~75
견고한 소성점토	18~21	8~11	75~150
연약하고 소성이 적은 점토	17~20	7~10	20~40
단단하고 소성이 적은 점토	18~21	8~11	40~75
견고하고 소성이 적은 점토	21~22	11~12	75~150
견고 또는 매우견고한 점토	20~23	10~13	150~300
유기질 점토	14~17	4~7	—
이 탄	10.5~14	0.5~4	—

■ 변형계수 및 포아송비 - Braja, M. Das, Joseph E. Bowels (1996)

구 분	Braja, M. Das (Principle of Foundation Engineering)		Joseph E. Bowels (1996)	
	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
느슨한 모래	10.35~24.15	0.20~0.40	10~25	0.20~0.35
보통굳기 모래	17.25~27.60	0.25~0.40	—	—
조밀한 모래	34.50~55.20	0.30~0.45	50~81	0.30~0.40
실트질 모래	10.35~17.25	0.20~0.40	5~20	—
연약한 점토	4.1~20.7	0.20~0.50	2~25	0.4~0.5
중간 점토	20.7~41.4		15~50	
견고한 점토	41.4~96.6		50~100	
느슨한 모래섞인 자갈	69.0~172.5	0.15~0.35	50~150	0.3~0.4
조밀한 모래섞인 자갈			100~200	

■ Bowles (Foundation Analysis & Design 5th, p123~125)

흙의 종류	탄성계수(kN/m <sup>2</sup> )	포아송비
느슨한 모래	10 ~ 25	0.20 ~ 0.35
조밀한 모래	50 ~ 81	0.30 ~ 0.40
실트질 모래	5 ~ 20	—
연약한 점토	5 ~ 25	0.40 ~ 0.50
중간 굳기 점토	15 ~ 50	
견고한 점토	50 ~ 100	
느슨한 모래섞인 자갈	50 ~ 150	0.30 ~ 0.40
조밀한 모래섞인 자갈	100 ~ 200	

■ 지반조사편람 (서울특별시, 2006)

지 층	단위체적중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	마찰각(°)
풍화토	17.0~20.0	0.0~100.0	25.0~30.0

■ 도로설계편람 3편 토공 및 배수(국토해양부, 2012)

지 층	단위체적중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	마찰각(°)
풍화토	19	15~20	30

▶ 적용사례 검토

■ 매립층

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
23-M-저탑2반 생활관 신축공사	18	3	21	19	0.38
23-M-강화교회 신축공사	18	5	25	26	0.38
강화 철산교 배수관로 재가설공사	18	3	21	11	0.38
황정-인화 강화해안순환도로	18	15	21	21	0.35
군도6호선(동촌-대산저수지)	18	3	21	10	0.38

■ 퇴적점성토

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
강화 철산교 배수관로 재가설공사	N≤4	17	23	0	4	0.40
	N>4	17.5	30	0	6	0.40
황정-인화 강화해안순환도로		18	30	25	23	0.40
군도6호선 (동촌-대산저수지)	N≤6	17	29	0	5	0.40
	N>6	17.5	42	0	7	0.40

■ 퇴적모래

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
23-M-강화교회 신축공사	18	0	27	30	0.37
강화 철산교 배수관로 재가설공사	18	0	27	13	0.37
황정-인화 강화해안순환도로	19	10	30	20	0.35
군도6호선(동촌-대산저수지)	18	0	27	16	0.37

## ■ 퇴적자갈

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
23-M-강화교회 신축공사	19	0	27	17	0.35
황정-인화 강화해안순환도로	20	0	35	35	0.35

## ■ 풍화토

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
23-M-저탑2반 생활관 신축공사	19	10	30	29	0.35
23-M-강화교회 신축공사	19	16	27	32	0.35
강화 철산교 배수관로 재가설공사	19	10	30	29	0.35
황정-인화 강화해안순환도로	19	15	30	40	0.35
군도6호선(동촌-대산저수지)	19	15	30	36	0.35

## ▶ 경험식에 의한 추정

■ N값을 이용한 강도정수(C,  $\phi$ ) 추정 방법

구 분	점착력(c, t/m <sup>2</sup> ) 산정식	내부마찰각( $\phi$ , °) 산정식	비 고
Dunham	$q_u = \frac{N}{0.77},$ $\phi = 0 \text{ 이므로 } C = \frac{q_u}{2}$	$\phi = \sqrt{12N} + 15$	등근입자 입도불량
		$\phi = \sqrt{12N} + 20$	모난입자 입도불량/ 등근입자 입도양호
		$\phi = \sqrt{12N} + 25$	모난입자 입도양호
Peck	$q_u = \frac{N}{0.6}, C = \frac{q_u}{2}$	$\phi = 0.3N + 27$	< 45°, N > 4
Osaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}, C = \frac{q_u}{2}$	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	—
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{0.82}, C = \frac{q_u}{2}$	—	—
Meyerhof	—	$\phi = 0.25N + 32.5$	—
도로교시방서	—	$\phi = \sqrt{15N} + 15$	—

## ■ N값을 이용한 변형계수(E, MPa) 추정 방법

구 분	산 정 식	
Schmertmann(1978)	$E = \alpha \cdot N$ $(\alpha : \text{토질 종류에 따른 상수})$	실트, 실트질 모래 : 0.4
		세립 또는 중립 모래 : 0.7
		조립모래 : 1.0
		자갈질 모래 또는 자갈 : 1.2~1.5
구조물설계기준 (Bowles)	$E = 0.5(N + 15)$	모래
	$E = 0.32(N + 15)$	점토질 모래
	$E = 1.2(N + 6)$	자갈섞인 모래, 자갈
	$E = 0.3(N + 6)$	실트, 모래질 실트, 점토질 실트
Hisatake	$E = 0.5 N + 7$	—
도로교표준시방서	$E = 2.8 N$	—
지반공학회	$E = 1.2 N$	—



## ▶ 지층별 대표 N값 산정

구 분	매립층 (SM)	퇴적점성토 (N≤4)	퇴적점성토 (N>4)	퇴적모래 (SP)	퇴적자갈 (GC)	풍화토 (SM)
N값 범위	9/30~33/30	2/30~4/30	5/30~14/30	3/30~37/30	37/30~50/14	10/30~50/11
대표 N값	18/30	3/30	9/30	18/30	44/30	40/30

## ■ 점착력(kPa) 추정 결과

구 분	Dunham	Terzaghi	Ohsaki
퇴적점성토(N≤4)	19.5	18.8	27.5
퇴적점성토(N>4)	58.4	56.3	42.5

## ■ 내부마찰각(°) 추정 결과

구 분	Dunham	Meyerhof	Ohsaki	Peck	도로교표준시방서
매립층(SM)	29.7	37.0	34.0	32.4	31.4
퇴적모래(SP)	29.7	37.0	34.0	32.4	31.4
퇴적자갈(GC)	38.0	43.5	44.7	40.2	40.7
풍화토(SM)	36.9	42.5	43.3	39.0	39.5

## ■ 변형계수(MPa) 추정 결과

구 분	Schmertmann	Bowles	Hisatake	도로교표준시방서	지반공학회
매립층(SM)	12.6	16.5	16.0	50.4	21.6
퇴적점성토(N≤4)	1.2	2.7	8.5	8.4	3.6
퇴적점성토(N>4)	3.6	4.5	11.5	25.2	10.8
퇴적모래(SP)	12.6	16.5	16.0	50.4	21.6
퇴적자갈(GC)	66.0	60.0	29.0	123.2	52.8
풍화토(SM)	40.0	27.5	27.0	112.0	48.0

## ▶ 일축 및 삼축(UU)강도시험 결과

공 번	심 도 (GL.-m)	단위중량 (kN/m³)	q <sub>u</sub> (kPa)	q <sub>u</sub> /2 (kPa)	q <sub>ur</sub> (kPa)	St	C <sub>uu</sub> (kPa)	통일 분류
BH-1	2.0~2.8	16.62~16.93	55.97	27.99	15.80	3.54	26.91	CL
BH-2	2.0~2.8	17.32~17.44	53.16	26.58	12.26	4.33	24.91	CL
BH-3	3.0~3.8	16.57~17.37	57.54	28.77	11.92	4.83	27.94	ML

▶ 토사층의 설계지반정수 산정결과

구 분		문헌값	경험식	적용사례	시험결과	적 용
매립층 (SM)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	17~19	—	18	—	18
	점착력(C, kPa)	0~30	—	3~15	—	3
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	25~30	29.7~37.0	21~25	—	21
	변형계수(E, MPa)	10.35~20	12.6~50.4(16.7)	10~26	—	10
	포아송비( $\nu$ )	0.20~0.40	—	0.35~0.38	—	0.38
퇴적 점성토 (N≤4)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	17	—	17~18	16.62~17.44	17
	점착력(C, kPa)	30 이하	18.8~27.5	23~30	14.91~28.77	27
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	20	—	0~25	—	0
	변형계수(E, MPa)	2~25	1.2~8.5(4.0)	4~23	—	4
	포아송비( $\nu$ )	0.20~0.50	—	0.40	—	0.40
퇴적 점성토 (N>4)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	17~18	—	17.5~18	—	17.5
	점착력(C, kPa)	50 이하	42.5~58.4	30~42	—	42
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	20~25	—	0~25	—	0
	변형계수(E, MPa)	2~25	3.6~25.2(7.6)	6~23	—	7
	포아송비( $\nu$ )	0.20~0.50	—	0.40	—	0.40
퇴적 모래 (SP)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	18	—	18~19	—	18
	점착력(C, kPa)	0	—	0~10	—	0
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	30	29.7~37.0	27~30	—	27
	변형계수(E, MPa)	10.35~20	12.6~50.4(16.7)	13~30	—	16
	포아송비( $\nu$ )	0.20~0.40	—	0.35~0.37	—	0.37
퇴적 자갈 (GC)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	18~20	—	19~20	—	19
	점착력(C, kPa)	0	—	0	—	0
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	35~40	38.0~44.7	27~35	—	30
	변형계수(E, MPa)	50~200	29.0~123.2(52.0)	17~35	—	52
	포아송비( $\nu$ )	0.15~0.40	—	0.35	—	0.35
풍화토 (SM)	단위중량( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	17~20	—	19	—	19
	점착력(C, kPa)	0~100	—	10~16	—	15
	내부마찰각( $\Phi$ , °)	25~30	36.9~43.3	27~30	—	29
	변형계수(E, MPa)	34.5~81	27.0~112.0(35.6)	29~40	—	35
	포아송비( $\nu$ )	0.30~0.45	—	0.35	—	0.35

\* 단위중량 : 지층별 문헌자료의 중간값 적용, 퇴적점성토(N≤4)는 시험결과와 평균값 적용

\* 점착력 : 매립층은 실트질 모래로 세립성분이 포함되어 적용사례값인 “3kPa” 적용, 퇴적점성토(N≤4)는 시험결과와 평균값 적용, 퇴적점성토(N>4)는 경험식 최소값 적용, 퇴적모래, 자갈 및 풍화토는 적용사례 최소값과 중간값을 적정값으로 적용

\* 내부마찰각 : 지층별 경험식과 적용사례 중 최소값과 중간값을 적정값으로 적용

\* 변형계수 : 지층별 경험식의 평균값(최대값 제외)을 적용, 매립층은 적용사례 최소값 적용

\* 포아송비 : 문헌자료의 범위 내에서 적용사례의 최대값을 보수적으로 적용

## 5.2.3 풍화암의 설계지반정수 산정

- 풍화암층은 기반암이 Highly Weathered~Completely Weathered 된 상태로 N치에 의한 강도정수, 문헌 및 기존설계자료, 현장시험결과 등을 비교·검토하여 풍화암층의 강도정수를 산정하였다.

## ▶ 문헌자료 검토

■ 도로설계요령 제2권 토공, 한국도로공사, 2000

구 분	암반파쇄상태(NX 시추)		암반의 강도정수	
	TCR	RQD	점착력(KPa)	내부마찰각(°)
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 심한 경우	20% 이하	10% 이하	100	30.0

■ 도로설계편람 3편 토공 및 배수(국토해양부, 2012)

지 층	단위체적중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	마찰각(°)
풍화암	21	50	33

■ 지반조사편람, 서울특별시, 2006

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
풍화암	20~22	100~300	30~35	100~200	0.30~0.40

■ 포아송비 - Roy E. Hunt(1984), Braja M. Das(1995)

구 분	Roy E. Hunt(1984)	Braja M. Das(1995)
포아송비( $\nu$ )	0.30~0.40	0.30~0.45

■ 한국지반공학회 학술발표회 자료

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각( ° )	비 고
사면안정 학술발표회	1996	21	30	35	－
	2001	20	30	35	－
	2003	19.5	20	36	사암, 셰일 등
		20	10	30	편암
학술발표회	2003	21	30	35	편마암
범 위		19.5~21	10~30	30~36	－

## ▶ 적용사례 검토

구 분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비( $\nu$ )
23-M-저담2반 생활관 신축공사	21	30	32	180	0.31
23-M-강화교회 신축공사	21	30	32	180	0.30
강화 철산교 배수관로 재가설공사	21	30	32	180	0.31
황정-인화 강화해안순환도로	22	30	33	200	0.30

## ▶ 풍화암의 설계지반정수 산정결과

구 분	문헌값	적용사례	경험식	적 용
단위중량( $\text{kN/m}^3$ )	20~22	21~22	—	21
점착력( $\text{kPa}$ )	30~100	30	—	30
내부마찰각( $^\circ$ )	30~36	32~33	$> 39.5$	32
변형계수( $\text{MPa}$ )	100~200	180~200	32.0~140.0	180
포아송비( $\nu$ )	0.30~0.35	0.30~0.31	—	0.31

\* 단위중량은 문헌자료 중간값 적용, 강도정수, 변형계수 및 포아송비는 적용사례값을 보수적으로 적용

## 5.3 기반암 설계지반정수 산정

- 문헌 및 기존설계자료, 인근자료 등을 비교·검토하여 기반암의 정수를 산정하였다.
- 문헌자료는 서울시 지반조사편람 및 한국도로공사의 도로설계실무편람을 참고하였다.

## ▶ 문헌자료 검토

## ■ 서울시 지반조사편람, 2006

구 분	단위중량( $\text{kN/m}^3$ )	점 착 력( $\text{kPa}$ )	내부마찰각( $^\circ$ )	변형계수( $\text{MPa}$ )	포아송비
풍화암	20 ~ 22	100 ~ 300	30 ~ 35	100 ~ 200	0.30 ~ 0.40
연 암	23 ~ 25	300 ~ 600	30 ~ 40	200 ~ 400	0.25 ~ 0.30
보통암	24 ~ 26	600 ~ 1,500	35 ~ 40	400 ~ 1,000	0.25
경 암	25 ~ 27	1,500 ~ 2,000	35 ~ 45	1,000 ~ 4,000	0.20
극경암	26 ~ 27	2,000 ~ 5,000	40 ~ 45	4,000 ~ 8,000	0.20

## ■ 도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 한국도로공사, 2020

구 분	암반파쇄상태(NX 시추)		암반의 강도정수	
	TCR	RQD	점착력( $\text{KPa}$ )	내부마찰각( $^\circ$ )
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 심한 경우	20% 이하	10% 이하	100	30.0
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20 ~ 40%	10 ~ 25%	130	33.0
	40 ~ 60%	25 ~ 50%	150	35.0
	60% 이상	50% 이상	200	40.0

## ▶ 적용사례 검토

## ■ 연 암

구 분	단위중량( $\text{kN/m}^3$ )	점착력( $\text{kPa}$ )	내부마찰각( $^\circ$ )	변형계수( $\text{MPa}$ )	포아송비( $\nu$ )
23-M-저탑2반 생활관 신축공사	24	200	34	2,000	0.28
23-M-강화교회 신축공사	24	200	34	2,000	0.28
강화 철산교 배수관로 재가설공사	24	200	34	2,000	0.28
황정-인화 강화해안순환도로	24	200	34	5,000	0.27

## ■ 경 압

구 분	단위중량( $\text{kN/m}^3$ )	점착력( $\text{kPa}$ )	내부마찰각( $^\circ$ )	변형계수( $\text{MPa}$ )	포아송비( $\nu$ )
23-M-저탑2반 생활관 신축공사	26	500	40	12,000	0.24
23-M-강화교회 신축공사	26	500	40	12,000	0.24
황정-인화 강화해안순환도로	25	500	40	35,000	0.24

## ▶ 기반암 설계지반정수 산정결과

구 분			단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
연 암	문헌 자료	서울시	23~25	300~600	30~40	200~400	0.25~0.30
		도로공	—	130~150	33~35	—	—
	인근자료		24	200	34	2,000~5,000	0.27~0.28
	적 용		24	200	34	2,000	0.28
경 암	문헌 자료	서울시	25~27	1,500~2,000	35~45	1,000~4,000	0.20
		도로공	—	200	40	—	—
	인근자료		25~26	500	40	12,000~35,000	0.24
	적 용		26	500	40	12,000	0.24

\*단위중량은 문헌자료 중간값, 강도정수와 변형계수 및 포아송비는 설계사례값을 보수적으로 적용

## 5.4 수리해석을 위한 투수계수 산정

- 과업구간의 수리특성을 파악하기 위하여 각종 문헌자료를 검토하고 기존사례와 비교하여 산정하였다.

## ▶ 문헌자료 검토

■  $D_{20}$ 에 따른 투수계수(Creager, 1985)

$D_{20}(\text{mm})$	$k(\text{cm/sec})$	토질분류	$D_{20}(\text{mm})$	$k(\text{cm/sec})$	토질분류
0.005	$3.00 \times 10^{-5}$	점 토	0.18	$6.85 \times 10^{-3}$	세립 모래
0.01	$1.05 \times 10^{-5}$	세립 실트	0.20	$8.90 \times 10^{-3}$	
			0.25	$1.40 \times 10^{-2}$	
0.02	$8.50 \times 10^{-5}$	조립 실트	0.30	$2.20 \times 10^{-2}$	중립 모래
0.03	$8.50 \times 10^{-5}$		0.35	$3.20 \times 10^{-2}$	
0.04	$1.75 \times 10^{-4}$		0.40	$4.50 \times 10^{-2}$	
0.05	$2.80 \times 10^{-4}$		0.45	$5.80 \times 10^{-2}$	
			0.50	$7.50 \times 10^{-2}$	
0.06	$4.60 \times 10^{-4}$	매 우 세립 모래	0.60	$1.10 \times 10^{-1}$	조립 모래
0.07	$6.50 \times 10^{-4}$		0.70	$1.60 \times 10^{-1}$	
0.08	$9.00 \times 10^{-4}$		0.80	$2.15 \times 10^{-1}$	
0.09	$1.40 \times 10^{-3}$		0.90	$2.80 \times 10^{-1}$	
0.10	$1.75 \times 10^{-3}$		1.00	$3.60 \times 10^{-1}$	
0.12	$2.60 \times 10^{-3}$	세립 모래	2.00	1.80	잔자갈
0.14	$3.80 \times 10^{-3}$				
0.16	$5.10 \times 10^{-3}$				

■ 흙의 종류에 따른 일반적인 투수계수(J. Ratrick Powers, 1992)

흙의 종류	투수계수(cm/sec)	흙의 종류	투수계수(cm/sec)
Open Work Gravel(GP)	$1 \leq$	실트질 모래 (SM)	$(1.0 \sim 5.0) \times 10^{-3}$
균등한 자갈(GP)	$0.2 \sim 0.1$	점토질 모래 (SC)	$(1.0 \sim 10.0) \times 10^{-4}$
입도가 양호한 자갈(GW)	$(0.5 \sim 0.3) \times 10^{-1}$	실트 (ML)	$(0.5 \sim 1.0) \times 10^{-4}$
균등한 모래(SP)	$(0.05 \sim 2.0) \times 10^{-1}$	점토 (CL)	$(0.1 \sim 1.0) \times 10^{-4}$
입도가 양호한 모래(SW)	$(0.01 \sim 1.0) \times 10^{-1}$	—	—

■ 여러 흙에 대한 투수계수 범위(Principles of Foundation Engineering; BRAJA M. DAS, 2001)

흙의 종류	투수계수(cm/sec)	흙의 종류	투수계수(cm/sec)
중간~굵은 자갈	$10^{-1}$ 이상	실트, 점토질 실트	$10^{-4} \sim 10^{-6}$
굵은 모래~잔모래	$10^{-1} \sim 10^{-3}$	실트질 점토	
잔모래, 실트질 모래	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	점 토	$10^{-7}$ 이하

■ 입경에 따른 투수계수의 값(토질역학, 김상규, p86)

10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>
← 균질점토			실 트			모 래			자 갈 →	
			균열점토 및 풍화점토							
불투수			투수불량						투수 양호	

■ 여러 재료에 대한 전형적인 투수계수 값(층류), 지반공학핸드북, 엔지니어즈

구 분	입자크기		유효입경	투수계수 (k)
	mm		$D_{10}$ (mm)	cm/sec
	$D_{max}$	$D_{min}$		
균등한 조립모래	2	0.5	0.6	0.4
균등한 중간모래	0.5	0.25	0.3	0.1
깨끗하고 입도가 양호한 실트질 모래와 자갈	10	0.05	0.1	0.01
균등한 세립모래	0.25	0.05	0.06	$40 \times 10^{-4}$
입도양호 실트질 모래 및 자갈	5	0.01	0.02	$4 \times 10^{-4}$
실트질 모래	2	0.005	0.01	$10^{-4}$
균등한 실트	0.05	0.005	0.006	$0.5 \times 10^{-4}$
모래질 점토	1.0	0.001	0.002	$0.05 \times 10^{-4}$
실트질 점토	0.05	0.001	0.0015	$0.01 \times 10^{-4}$
점토(점토입자가 0~50%)	0.05	0.0005	0.0008	$0.001 \times 10^{-4}$
콜로이드( $-2\mu \leq 50\%$ )	0.01	$10 \text{ \AA}$	$40 \text{ \AA}$	$10^{-9}$

## ■ 암석/암반의 투수계수(암반역학의 원리 2판, 이인모, 2013)

암 석	투수계수(cm/sec)	
	실내시험	현장시험
사암	$3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-8}$
셰일	$10^{-9} \sim 3 \times 10^{-13}$	$10^{-8} \sim 10^{-11}$
셰일	$5 \times 10^{-12}$	$2 \times 10^{-9} \sim 5 \times 10^{-11}$
석회석, 백운석	$10^{-5} \sim 10^{-13}$	$10^{-3} \sim 10^{-7}$
현무암	$10^{-12}$	$10^{-2} \sim 10^{-7}$
화강암	$10^{-7} \sim 10^{-11}$	$10^{-4} \sim 10^{-9}$
편암	$10^{-8}$	$2 \times 10^{-7}$
미세균열을 띄는 편암	$1 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$	—

## ▶ 적용사례 검토

구 분	23-M-저탐2반 생활관 신축공사	23-M-강화교회 신축공사	강화 철산교 배수관로 재가설공사	황정-인화 강화해안순환도로	군도6호선 (동촌-대산저수지 )
매립층	$1.7 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$
퇴적점성토	—	$3.4 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-7} \sim 3.4 \times 10^{-5}$
퇴적모래	—	$8.5 \times 10^{-3}$	$8.5 \times 10^{-3}$	$7.1 \times 10^{-3}$	$8.5 \times 10^{-3}$
퇴적자갈	—	$8.5 \times 10^{-3}$	—	$7.1 \times 10^{-3}$	—
풍화토	$5.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$
풍화암	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	—
연 암	$4.4 \times 10^{-5}$	$4.4 \times 10^{-5}$	$4.4 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$	—
경 암	$8.3 \times 10^{-6}$	$8.3 \times 10^{-6}$	—	$1.0 \times 10^{-6}$	—

## ▶ 현장투수시험 결과

공 변	심 도 (m)	지 층	구성상태	N값 (회/cm)	투수계수 (cm/s)	지하수위 (GL.(-)m)
BH-1	11.0~12.0	풍화토	실트질 모래	27/30	$2.83 \times 10^{-4}$	1.5
BH-2	8.0~9.0	퇴적층	실트섞인 점토	9/30	$2.11 \times 10^{-5}$	1.4
BH-3	12.0~13.0	퇴적층	자갈섞인 모래	31/30	$5.73 \times 10^{-3}$	1.7



## ▶ 표준압밀시험 결과

구 분	심 도 (GL.-m)	압밀계수 $c_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)		투수계수 $k_v$ (cm/sec)		통일 분류
		$\sqrt{t}$ 법	log t 법	$\sqrt{t}$ 법	log t 법	
BH-1	2.0~2.8	$2.30 \times 10^{-3}$ ~ $7.30 \times 10^{-3}$	$1.17 \times 10^{-4}$ ~ $4.98 \times 10^{-3}$	$2.30 \times 10^{-8}$ ~ $1.40 \times 10^{-6}$	$1.99 \times 10^{-9}$ ~ $6.03 \times 10^{-7}$	CL
BH-2	2.0~2.8	$2.86 \times 10^{-3}$ ~ $7.97 \times 10^{-3}$	$2.13 \times 10^{-4}$ ~ $1.81 \times 10^{-3}$	$2.86 \times 10^{-8}$ ~ $1.07 \times 10^{-6}$	$2.13 \times 10^{-9}$ ~ $1.29 \times 10^{-7}$	CL
BH-3	3.0~3.8	$4.74 \times 10^{-3}$ ~ $7.91 \times 10^{-3}$	$6.86 \times 10^{-4}$ ~ $2.44 \times 10^{-3}$	$3.31 \times 10^{-8}$ ~ $8.18 \times 10^{-7}$	$1.01 \times 10^{-8}$ ~ $1.50 \times 10^{-7}$	ML

## ▶ 투수계수 설계지반정수 산정결과

구 분	적용사례	문헌값	시험결과	적용(cm/sec)
흙 쌓기재	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3} \sim 1.8 \times 10^{-3}$	—	$1.0 \times 10^{-3}$
매립층(SM)	$4.3 \times 10^{-3} \sim 1.7 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-4} \sim 9.0 \times 10^{-4}$	—	$1.7 \times 10^{-2}$
퇴적점성토( $N \leq 4$ )	$2.1 \times 10^{-7} \sim 1.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4}$	$1.99 \times 10^{-9}$ ~ $1.40 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-7}$
퇴적점성토( $N > 4$ )	$1.3 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4}$	$2.11 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-5}$
퇴적모래(SP)	$7.1 \times 10^{-3} \sim 8.5 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-2}$	$5.73 \times 10^{-3}$	$5.7 \times 10^{-3}$
퇴적자갈(GC)	$7.1 \times 10^{-3} \sim 8.5 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-1}$ 이상	—	$8.5 \times 10^{-3}$
풍화토(SM)	$5.9 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-4} \sim 9.0 \times 10^{-4}$	$2.83 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-4}$
풍화암	$1.0 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-4}$	—	—	$1.5 \times 10^{-4}$
연 암	$1.0 \times 10^{-5} \sim 4.4 \times 10^{-5}$	—	—	$4.4 \times 10^{-5}$
경 암	$1.0 \times 10^{-6} \sim 8.3 \times 10^{-6}$	—	—	$8.3 \times 10^{-6}$

※ 지층별 투수계수는 시험결과 평균값을 우선적용 하였으며, 문헌자료의 범위 내에서 적용사례의 최대값을 보수적으로 적용

## 5.5 연약지반 설계지반정수 산정

- 연약지반 설계지반정수 산정은 조사결과를 종합적으로 분석하여 기준을 설정하였으며, 실내시험 결과를 통한 연약지반의 물리적, 역학적 특성을 파악하여 최종적으로 설계지반정수를 산정하였다.

### 5.5.1 실내시험 결과

#### ■ 기본물성시험

공 변	심 도 (m)	함수비 (%)	비중	Atterberg Limits(%)		Grain Size Distribution (%)						US CS
				LL	PI	#4	#10	#40	#100	#200	—	
						4.75mm	2.0mm	0.42mm	0.15mm	0.075mm	0.005mm	
BH-1	2.0~2.8	43.3	2.67	45.2	22.8	100	100	100	100	97.3	33.1	CL
BH-2	2.0~2.8	36.0	2.62	41.8	19.8	100	100	100	100	96.6	33.7	CL
BH-3	3.0~3.8	37.6	2.67	36.4	10.5	100	100	100	97.7	93.0	22.9	ML

#### ■ 일축 및 삼축(UU)강도시험

공 변	심 도 (GL.-m)	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	q <sub>u</sub> (kPa)	q <sub>u</sub> /2 (kPa)	q <sub>ur</sub> (kPa)	St	C <sub>uu</sub> (kPa)	통일 분류
BH-1	2.0~2.8	16.62~16.93	55.97	27.99	15.80	3.54	26.91	CL
BH-2	2.0~2.8	17.32~17.44	53.16	26.58	12.26	4.33	24.91	CL
BH-3	3.0~3.8	16.57~17.37	57.54	28.77	11.92	4.83	27.94	ML

#### ■ 표준압밀시험

공 변	심 도 (GL.-m)	초기간극비 e <sub>0</sub>	선형 압밀하중 P <sub>c</sub> (kPa)	유효 상재하중 P <sub>o</sub> (kPa)	과압밀비 OCR	압축지수 C <sub>c</sub>	수정 압축지수 C <sub>c</sub> '	팽창지수 C <sub>s</sub>	통일 분류
BH-1	2.0~2.8	1.310	136.77	32.50	4.21	0.36	0.48	0.076	CL
BH-2	2.0~2.8	0.999	238.23	31.80	7.49	0.36	0.41	0.071	CL
BH-3	3.0~3.8	1.097	130.92	41.70	3.14	0.25	0.29	0.051	ML

구 분	심 도 (GL.-m)	압밀계수 c <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /sec)		투수계수 k <sub>v</sub> (cm/sec)		통일 분류
		√t 법	log t 법	√t 법	log t 법	
BH-1	2.0~2.8	2.30×10 <sup>-3</sup> ~7.30×10 <sup>-3</sup>	1.17×10 <sup>-4</sup> ~4.98×10 <sup>-3</sup>	2.30×10 <sup>-8</sup> ~1.40×10 <sup>-6</sup>	1.99×10 <sup>-9</sup> ~6.03×10 <sup>-7</sup>	CL
BH-2	2.0~2.8	2.86×10 <sup>-3</sup> ~7.97×10 <sup>-3</sup>	2.13×10 <sup>-4</sup> ~1.81×10 <sup>-3</sup>	2.86×10 <sup>-8</sup> ~1.07×10 <sup>-6</sup>	2.13×10 <sup>-9</sup> ~1.29×10 <sup>-7</sup>	CL
BH-3	3.0~3.8	4.74×10 <sup>-3</sup> ~7.91×10 <sup>-3</sup>	6.86×10 <sup>-4</sup> ~2.44×10 <sup>-3</sup>	3.31×10 <sup>-8</sup> ~8.18×10 <sup>-7</sup>	1.01×10 <sup>-8</sup> ~1.50×10 <sup>-7</sup>	ML

### 5.5.2 물리적 특성분석

- 연약지반의 물리적 특성에는 함수비, 비중, 입도 및 Atterberg Limit, 간극비, 단위중량 등이 있으며, 그 특성값은 그 자체의 결과도 중요하나, 그 특성값으로부터 흙의 역학적 성질 (전단강도 및 압밀특성 등)을 추정하는데 중요한 의미가 있다.

#### ▶ 물리적 특성 분석결과

구 분	단위중량( $\text{kN/m}^3$ )	초기간극비( $e_0$ )	자연함수비(%)	액성한계(LL)	소성지수(PI)
실내시험	16.62~17.44 (평균 17.04)	0.999~1.310 (평균 1.135)	36.0~43.3 (평균 39.0)	~36.445.2 (평균 41.1)	10.5~22.8 (평균 17.7)
적 용	17.0	1.135	39.0	41.1	17.7

### 5.5.3 강도특성 분석

#### ▶ 비배수전단강도

- 전단특성은 흙의 배수상태(배수조건)에 따라 달라지므로 재하로 인한 과잉간극수압의 소산정도에 따라 그 특성을 달리 평가하여야 할 것이다. 본 과업에서는 시추조사 시 채취된 연약 점성토의 불교란시료에 대해 비배수전단강도를 파악하기 위하여 일축압축강도시험, 삼축압축강도(UU)시험을 수행하였고, 시험결과에 따른 연약지반의 강도특성 분석결과는 다음과 같다.

#### ■ 개요

- 일축압축시험은 그 시행방법이 간단하나 시험의 특성상 삼축압축시험(UU)보다 작게 평가되며, 특히 실트를 많이 함유한 점성토에서는 그 영향이 더욱 크며 조립분을 다량 함유할 경우 그 영향은 지대하다. 강도정수 산정 시 각 시추공별 강도정수를 적용하기보다는 전체적인 지반의 강도정수를 선정하여 설계하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 삼축압축강도는 일반적으로 흙의 전단강도 상수를 구하기 위한 시험으로 공시체에 구속압력을 가하여 놓고 여기에 상하 방향에 축압을 가하여 압축하고 응력변형 및 극한 강도를 측정하는 것이다. 본 시험의 특성은 직접전단시험에 비하여 시험 도중 공시체 내부의 응력이나 변형율의 분포가 일정한 모양을 하며, 또한 배수조건을 제어 할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 실내시험을 시행하였을 경우 시료가 교란되면, 압밀 비배수나 압밀 배수 시험결과와는 실제보다 작게 나타난다. 점성토 지반상에 축조된 구조물의 설계 및 안정해석은 비배수 조건으로 해석하며, 점성토의 비배수강도는 시료가 교란될수록 작게 평가된다.

#### ■ 비배수전단강도 분석결과

구 분	실내시험	적 용
비배수전단강도( $\text{kN/m}^2$ )	14.91~28.77 (평균 27.18)	27

### ▶ 강도증가율

- 연약 점성토 지반에 선행재하 또는 단계 성토 등의 하중에 의해 압밀이 진행된다면 처음에는 상재하중을 간극 중의 간극수가 부담하다가 시간이 경과함에 따라 점차 흙입자가 부담하게 되어 결국 전단강도가 증가하게 된다. 이러한 전단강도의 증가를 나타내는 강도증가율을 결정하는 방법은 Skempton과 Hansbo 등이 제안한 경험적인 방법과 일축/삼축압축 등 실내시험 결과에 의해 결정하는 방법이 있다.

### ■ 강도증가율 산정방법

Atterberg 한계에 의한 경험적 산정	실내전단시험에 의한 산정
- Skempton 제안식 $\alpha = S_u / p' = 0.11 + 0.0037PI \quad (PI > 10)$	- 일축압축시험을 이용한 방법 $\alpha = S_u / p' = \frac{qu/2}{Z} \cdot \frac{1}{\gamma'} = \frac{K}{\gamma'}$
- Hansbo 제안식 $\alpha = S_u / p' = 0.0045LL \quad (LL > 40)$	- 삼축압축시험(CU)을 이용한 방법 $\alpha = S_u / p' = \frac{\sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$

### ■ 강도증가율 산정

공 번	Skempton 제안식	Hansbo 제안식
BH-1	0.194	0.203
BH-2	0.183	0.188
BH-3	0.149	—

### ■ 강도증가율 분석결과

구 분	실내시험	적 용
강도증가율(m)	0.149~0.203 (평균 0.184)	0.184

## 5.5.4 압밀특성 분석

### ▶ 선행압밀하중(Pc)와 과압밀비(OCR)

- 흙은 응력 · 변형거동에 있어서 완전한 탄성체가 아니고 시간에 의존하므로 과거에 작용했던 하중에 대해 일종의 기억능력을 소유하고 있는데, 과거에 경험한 최대하중을 선행압밀하중(Pc)이라 하며, 현재 작용하고 있는 하중을 유효상재하중(Po)이라고 한다. 선행압밀하중이 현재 흙이 받고 있는 유효상재하중과 같으면 정규압밀점토, 유효상재하중보다 작으면 압밀 진행중 또는 미압밀점토, 유효상재하중보다 크면 과압밀점토라고 한다. Po에 대한 Pc의 비를 과압밀비(OCR)라고 하며, 다음과 같이 정의된다.

$$OCR = \frac{P_c}{P_o}$$

여기서,

Pc : 선행압밀하중, Po : 유효상재하중

OCR = 1 : 정규압밀 점토, OCR > 1 : 과압밀 점토, OCR < 1 : 압밀진행 중 점토

- 문헌자료에 의하면 Clemence & Finbarr(1980)는 과압밀비가 0.8~1.5 범위에 있는 경우 정규압밀 영역으로 제안하였다.

구 분	실내시험	적 용
선행압밀하중(Pc)	130.92~238.23 (평균 168.64)	168.64
과압밀비(OCR)	3.14~7.49 (평균 4.95)	4.95

## ▶ 압축지수

- 압축지수(Compression index)란  $e-\log P$ 곡선에 나타나는 직선부분의 기울기를 말하며, 흙이 연약할수록 크고 견고할수록 작다. 압축지수는 시험실에서 평가한 값보다 현장에서 측정된 값이 크며, 그 이유는 시험실에서는 시료가 다소 교란되어 있으며, 압밀시험 시 수평방향이 구속되어 있고 원지반의 경우에는 실제로 수평방향으로 유동이 발생하기 때문에 현장 측정값이 크게 측정되므로 이를 고려하여 압축지수를 선정할 필요가 있다.

## ■ 점토 종류에 따른 압축지수

점토종류	압축지수	점토종류	압축지수
NC Clay(중간정도의 예민비)	0.2~0.5	Mexico 점토(MH)	7.0~10.0
Chicago 실트질 점토(CL)	0.15~0.3	유기질 점토(OH)	> 4
Boston Blue 점토(CL)	0.3~0.5	Peat(Pt)	10.0~15.0
Vicksburg buckshot 점토(CH)	0.5~0.6	유기질 실트, 점토질 실트(ML, MH)	1.5~4.0
Swedish 점토(중간정도 예민비)	1.0~3.0	San Francisco Bay Mud(CL)	0.4~1.2
Canadian Lead 점토(CL, CH)	1.0~4.0	Bankok Clay(CH)	0.4

■ 수정압축지수( $C_c'$ ) 및 팽창지수 ( $C_s$ )

구 분	실내시험	적 용
압축지수 ( $C_c$ )	0.25~0.36 (평균 0.32)	0.32
수정압축지수 ( $C_c'$ )	0.29~0.48 (평균 0.39)	0.39
팽창지수 ( $C_s$ )	0.051~0.076 (평균 0.066)	0.066

▶ 압밀계수( $C_v$ )와 투수계수( $K_v$ )

- 압밀계수는 지반의 압밀침하에 소요되는 시간을 측정하는 계수로서 압밀하중이 증가함에 따라 감소하며, 선행압밀하중을 넘어선 정규압밀 영역에서는 거의 일정한 값을 나타낸다. 압밀계수산정은 압밀시험결과로부터 연직방향 압밀계수(Coefficient of Consolidation Vertical Direction)를 압밀하중별로 도식화하여 적정 값을 선정하며, 압밀계수 평가 시 압밀하중 적용은 다음과 같다.

$$P = P_0 + \Delta P / 2 \quad \text{여기서, } P_0 : \text{유효상재압(kPa), } \Delta P : \text{하중증가량(kPa)}$$

- 압밀침하가 예상보다 빨리 발생하는 점을 고려하여 적용 압밀하중 범위에서 압밀계수의 평균값을 관용적으로 적용한다.

구 분	실내시험	적 용
수직압밀계수( $C_v$ , $\text{cm}^2/\text{s}$ )	$1.17 \times 10^{-4} \sim 7.97 \times 10^{-3}$ (평균 $3.49 \times 10^{-3}$ )	$3.4 \times 10^{-3}$
수직투수계수( $k_v$ , $\text{cm/s}$ )	$1.99 \times 10^{-9} \sim 1.40 \times 10^{-6}$ (평균 $2.33 \times 10^{-7}$ )	$2.3 \times 10^{-7}$

\* 압밀계수는 전체 평균값을 적용하였으나, 실제 설계 시 압밀계수 값은 성토하중을 고려하여 설계자가 재판단할 필요가 있다.

## 5.6 설계지반정수 요약

## ▶ 연속체 설계지반정수

구 분	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 ( $\nu$ )	투수계수 (cm/s)
흙 쌓기재	19	15	25	—	—	$1.0 \times 10^{-3}$
암버력 쌓기재	20	0	38	—	—	—
매립층(SM)	18	3	21	10	0.38	$1.7 \times 10^{-2}$
퇴적점성토(N≤4)	17	27	0	4	0.40	$2.3 \times 10^{-7}$
퇴적점성토(N>4)	17.5	42	0	7	0.40	$2.1 \times 10^{-5}$
퇴적모래(SP)	18	0	27	16	0.37	$5.7 \times 10^{-3}$
퇴적자갈(GC)	19	0	30	52	0.35	$8.5 \times 10^{-3}$
풍화토(SM)	19	15	29	35	0.35	$2.8 \times 10^{-4}$
풍화암	21	30	32	180	0.31	$1.5 \times 10^{-4}$
연 암	24	200	34	2,000	0.28	$4.4 \times 10^{-5}$
경 암	26	500	40	12,000	0.24	$8.3 \times 10^{-6}$

## ▶ 연약지반 설계지반정수

구 분	단위중량 ( $\gamma_t$ )	초기간극비 ( $e_0$ )	자연함수비 ( $W_n$ )	액성한계 (LL)	소성지수 (PI)	비배수전단 강도(kN/m <sup>2</sup> )	강도증가율 (m)
연약점성토 (N≤4)	17.0	1.135	39.0	41.1	17.7	27	0.184

구 분	선행압밀하중 ( $P_c$ )	과압밀비 (OCR)	수정압축지수 ( $C_c'$ )	팽창지수 ( $C_s$ )	수직압밀계수 ( $C_v$ , cm/s)	수직투수계수 ( $k_v$ , cm/s)
연약점성토 (N≤4)	168.64	4.95	0.39	0.066	$3.4 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-7}$