

기술검토건명	연약지반 계측기 설치 타당성 검토 (제 1공구)		
공 구	중부내륙고속도로(여주~구미) 제 1공구	검토구분	토 질
검토기간	'98. 9. 14 ~ '98. 9. 15	검 토 자	김 진 홍
근거공문	중건공 15204-536호	회신공문	한석(중)제98-109호

I. 검토개요

중부내륙고속도로(여주~구미간) 건설공사 제 1공구 연약지반 구간(STA.9+440~790)에 대해 연약지반 심도등을 감안해 타당성을 검토코져 함.

II. 연약지반 분포현황

본 공사구간내 STA.9+440~STA.9+790(350m)구간에 연약지반이 분포하며, 연약층 두께는 최대 6.3m로 모래질 실트(ML) 및 실트질 점토(CL,CH)로 구성되어 있다. 연약층이 깊고 성토고가 높은 대표지점의 연약지반 분포현황은 다음과 같다.

위 치	공 번	심 도 (m)	두 개 (m)		N치	총 일 분 류	지하수위 (-m)	계획성토고 (m)
STA.9+526	SB-1	0.0 ~ 3.4	3.4	5.2	6 ~ 7	CL	0.2	8.81
		3.4 ~ 5.2	1.8		8	CL		
STA.9+645	SB-2	0.0 ~ 0.7	0.7	4.2		ML	1.3	9.25
		0.7 ~ 4.2	3.5		9 ~ 23	CL		
STA.9+755	SB-3	0.0 ~ 0.8	0.8	6.3		ML	0.4	9.97
		0.8 ~ 3.5	2.7		4 ~ 5	CL		
		3.5 ~ 6.3	2.8		5 ~ 8	CH		

III. 연약지반의 토질특성

1. 물리적 특성

물성시험결과 연약지반의 물리적특성은 다음과 같다.

공 번	심 도 (m)	함수비 (%)	비 중	액성한계 (%)	소 성 지 수	간극비	단위체적중량 (γ/m^3)	통 일 분 류	비 고
SB-1	0.0~3.4	35.9	2.71	35.1	14.1	0.950	1.841	CL	
	3.4~5.2	28.7	2.72	37.3	14.0	0.873	1.904	CL	
SB-2	0.7~4.2	26.6	2.73	46.3	21.9	0.745	1.987	CL	
SB-3	0.8~3.5	32.4	2.72	43.3	19.4	1.114	1.851	CL	
	3.5~6.3	60.1	2.73	73.9	44.1	1.666	1.602	CH	

2. 역학적 특성 및 압밀 특성

일축압축시험, 삼축압축시험, 압밀시험결과 연약지반의 비배수강도 및 압밀특성은 다음과 같다.

공 번	심 도 (m)	점착력 (kg/cm^2)	일축압축강도 qu (kg/cm^2)	압 밀 특 성			비고
				P_c (kg/cm^2)	C_c	C_v (cm^2/s)	
SB-1	0.0~3.4	0.17	0.327	1.150	0.276	2.56×10^{-3}	
	3.4~5.2	0.67	1.108	0.790	0.233	5.48×10^{-3}	
SB-2	0.7~4.2	2.07	3.121	1.100	0.146	5.85×10^{-3}	
SB-3	0.8~3.5	0.29	0.510	0.810	0.332	1.17×10^{-3}	
	3.5~6.3	0.31	0.587	0.705	0.503	2.98×10^{-3}	

IV. 연약지반 처리공법 검토

현 지반에서 도로 계획고까지 성토시공시 연약지반에 대한 침하, 지지력, 사면활동
을 예측·분석하여 연약지반 처리 유·무를 판단하고 적절한 연약지반 처리 대체공
법을 수립하고자 한다.

1. 침하예측

본 연약지반 구간중 모래질 실트(ML) 층은 실내시험을 실시하지 않아 압밀특성을
알 수 없고, 또한 성토구조물 재하 즉시 침하가 완료될 것으로 예상되므로 침하검
토를 실시하지 않았다.

따라서, 본 침하검토는 실트질 점토(CL, CH)층의 압밀침하에 대하여 검토하기로 한
다.

1) 지반물성치

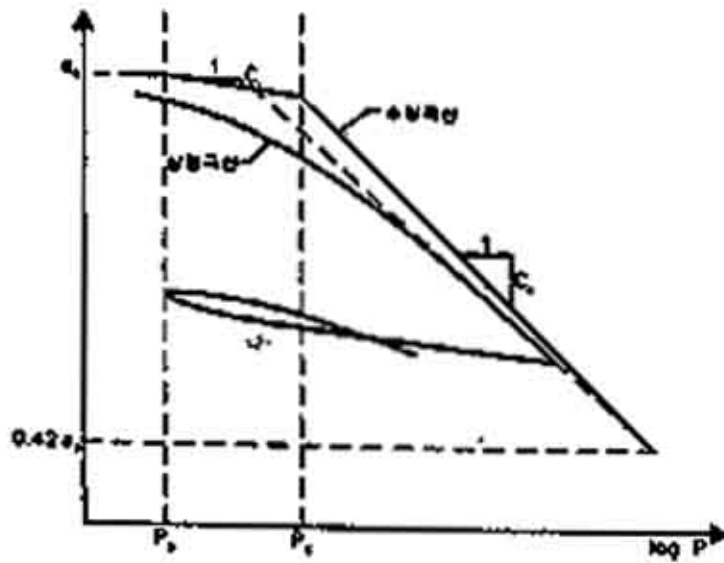
공 번	심도 (m)	간 측 비 e_0	압축지수 C_c	재압축지수 C_r	단위체적중량 (γ_m)	비고
SB-1	0.0~3.4	0.950	0.276	0.024	1.841	CL
	3.4~5.2	0.873	0.233	0.022	1.904	CL
SB-2	0.0~0.7				1.900	ML
	0.7~4.2	0.745	0.146	0.024	1.987	CL
SB-3	0.0~0.8				1.700	ML
	0.8~3.5	1.114	0.332	0.025	1.851	CL
	3.5~6.3	1.666	0.503	0.099	1.602	CH
성 토 재					1.800	

2) 침하량 산정

공 번	심 도 (m)	H (m)	Pc (t/m ²)	Po (t/m ²)	△P (t/m ²)	최종침하량		비고
SB-1	0.0~3.4	3.4	11.5	1.630	17.358	14.0	241	과압밀
	3.4~5.2	1.8	7.9	3.873	17.011	10.1		과압밀
SB-2	0.7~4.2	3.5	11.0	3.587	18.150	11.0		과압밀
SB-3	0.8~3.5	2.7	8.1	2.149	19.446	19.9	49.8	과압밀
	3.5~6.3	2.8	7.05	4.141	19.251	29.9		과압밀

● 침하량 산정 공식 (과압밀점토)

$$S_c = \frac{H}{1+e_0} \cdot [C_r \cdot \log \frac{P_c}{P_0} + C_c \cdot \log (\frac{P_0 + \Delta P}{P_c})]$$



여기서 S_c : 압밀침하량 (cm)

C_c : 압축지수

C_r : 재압축지수

e_0 : 초기 간극비

H : 압밀층 두께 (cm)

P_c : 선행압밀응력 (t/m^2)

P_0 : 원지반의 유효응력 (t/m^2)

ΔP : 성토하중에 의한 증가 (t/m^2)

3) 압밀 소요시간 산정

가. 압밀계수 및 배수거리 보정

공번	보정압밀계수	보정배수거리	비고
SB-1	4.020×10^{-3}	2.9	
SB-3	2.075×10^{-3}	3.0	

● 압밀계수 보정 공식

$$\overline{C_v} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{vi}}{n}$$

여기서 C_{vi} : 각층의 압밀계수 (cm^2/sec)

n : 층수

● 배수거리 보정 공식

$$\overline{H} = \sum_{i=1}^n H_i \sqrt{\frac{C_v}{C_{vi}}}$$

여기서 H_i : 각층의 배수거리(m)

나) 압밀 소요시간 산정

(단위 : 개월)

압밀도 (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	비고
공 변 Tv	0.008	0.031	0.071	0.126	0.197	0.287	0.403	0.567	0.848	1.127	
SB - 1	0.1	0.3	0.6	1.0	1.6	2.3	3.3	4.6	6.8	9.1	
SB - 2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	1.1	1.7	2.3	
SB - 3	0.1	0.5	1.2	2.1	3.3	4.8	6.7	9.5	14.2	18.9	

◎ 압밀 소요시간 산정 공식

$$t = T_v \cdot \frac{\bar{H}^2}{C_v}$$

여기서 t : 압밀 소요시간 (개월)

Tv : 시간계수

$\bar{H}$: 보정배수거리 (cm)

C_v : 보정압밀계수 (cm²/sec)

4) 시간별 압밀도

(단위 : %)

개 월 공 변	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SB - 1	39.7	56.0	67.6	76.1	82.4	87.1	90.5	93.0	94.8	96.2	97.2	97.9	98.5	98.9	99.2
SB - 2	76.1	93.0	97.9	99.4	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
SB - 3	27.6	39.0	47.8	55.1	61.2	66.5	71.1	75.1	78.5	81.4	84.0	86.2	88.1	89.7	91.1

5) 잔류 침하량 검토

공 번	최종침하량 (cm)		압밀도 90%일때의 압밀도 소요시간(개월) (공기 24개월)		압밀도 90%일때의 잔류침하량 (cm)		허 용 잔류침하량 (cm)	비 고
	당 초	검토결과	당 초	검토결과	당 초	검토결과		
SB-1	67.7	24.1	4	6.8	6.8	2.4	10.0	O.K
SB-2	32.0	11.0	-	1.7	3.2	1.1	10.0	O.K
SB-3	89.1	49.8	7	14.2	8.9	5.0	10.0	O.K

2. 지지력 검토

성토시공에 따른 연약지반 지지력 검토결과는 다음과 같다.

검 토 단 면		지 반 지 자 력		상 재 하 중		비 고
위치	공번	점착력 (t/m ²)	허용지지력 (t/m ²)	성토고 (m)	성토하중 (t/m ²)	
STA.9+526	SB-1	1.7	5.825	8.81	15.858	N.G
STA.9+645	SB-2	20.7	70.932	9.25	16.650	O.K
STA.9+755	SB-3	2.9	9.937	9.97	17.946	N.G

◎ 허용지지력 산정공식 ($\phi = 0^\circ$)

$$q_a = \frac{5.14 \times C}{F_s}$$

여기서 q_a : 허용지지력 (t/m²)

C : 점 착 력 (t/m²)

F_s : 안 전 율 (1.5)

3. 활동예측

1) 지반물성치

사면안정 해석시 적용된 지층별 지반물성치는 실내시험 결과 및 기존문헌을 참조하여 다음과 같이 선정·적용하였다.

(당초/변경)

구 분		습윤단위중량 (γ_1 (t/m^3))	포화단위중량 (γ_{sat} (t/m^3))	점 착 력 C (t/m^2)	마 찰 각 ϕ (°)	심 도 (m)	비 고
성 토 재		1.800	2.000	0.5 / 1.5	30.0 / 25.0		
풍화토층		1.900	1.900	5.0	30.0		
연 약 점 토	SB-1	1.841	1.841	1.7	0.0	0.0~3.4	CL
		1.904	1.904	6.7	0.0	3.4~5.2	CL
	SB-2	1.9 / 1.7	1.9 / 1.8	1.0 / 0.0	0.0 / 20.0	0.0~0.7	ML
		1.987	1.987	20.7	0.0	0.7~4.2	CL
	SB-3	1.9 / 1.7	1.9 / 1.8	1.0 / 0.0	0.0 / 20.0	0.0~0.8	ML
		1.851	1.851	2.9	0.0	0.8~3.5	CL
		1.602	1.602	3.1	0.0	3.5~6.3	CH

※ 참 조 : 도로설계요령(P.41,42) 및 도로실무편람(P.8,9)

2) 사면안정 해석

사면안정 해석은 "SLOPE/W Program"을 사용하여 해석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

검 토 단 면		성 토 고 (m)	최소안전율		허용안전율	비 고
위 치	단 면		당 초	검토결과		
STA.9+526	SB-1	8.81	0.777	0.823	1.3	N.G
STA.9+645	SB-2	9.25	1.404	1.378	1.3	O.K
STA.9+755	SB-3	9.97	0.945	1.020	1.3	N.G

4. 검토결과

본 연약지반에 대한 침하, 지지력, 사면활동 검토결과 침하는 전 구간에 걸쳐 안정하게 분석되었으나 SB-1 및 SB-3 지역에서 지지력 및 활동에 대하여 불안정하게 나타나 연약지반 처리 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

검 토 단 면		침 하	지지력	사면활동	연약지반 처리 유·무	비 고
위 치	공 번					
STA.9+526	SB-1	안 정	불안정	불안정	○	
STA.9+645	SB-2	안 정	안 정	안 정	×	
STA.9+755	SB-3	안 정	불안정	불안정	○	

(○ : 처리필요, × : 불필요)

V. 연약지반 처리공법

1. 개 요

본 연약지반 구간은 4점의 검토결과 침하에 대해서는 안정하나 지지력 및 활동에 대해서는 불안정하게 나타나 이에 대한 대책이 필요한 것으로 분석되었다.

따라서 본 검토는 지지력 확보 및 활동에 대한 대책으로 우선 단계성토공법 적용
· 검토하여 만족하지 못할 경우에는 고강도 MAT공법 (P.E.T MAT)을 적용하여 대책을 수립하고자 한다.

2. 침하대책(표층처리공법)

본 연약지반 구간은 특별한 침하대책이 필요없는 구간으로서 연약지반과 원지반의 분리 및 시공장비의 주행성 확보를 위해 P.P mat(5t/m)를 부설한 후 성토에 의한 압밀배수층 역할을 할수 있도록 Sand mat(50cm)를 포설한다.

3. 활동대책 (①단계성공법)

1) 강도증가율(c/p)

실내시험 결과 Atterberg 한계에서 구한 소성지수(PI) 및 액성한계(LL) 를 이용하여 강도증가율을 산정·적용하였다.

위 치	공 번	심 도 (m)	소성지수 (%)	액성한계 (%)	강도증가율		적 용
					①	②	
STA.9+526	SB-1	0.0~3.4	14.1	35.1	0.16	0.16	0.16
		3.4~5.2	14.0	37.3	0.16	0.17	
STA.9+755	SB-3	0.8~3.5	19.4	43.3	0.18	0.19	0.18
		3.5~6.3	44.1	73.9	0.27	0.33	0.30

● 강도증가율 산정 공식

$$\textcircled{1} : c/p = 0.0037 \times PI + 0.11$$

$$\textcircled{2} : c/p = 0.0045 \times LL$$

2) 단계별 성토관리

사면안정해석 Program(SLOPE/W)을 이용하여 기준 안전율을 1.3으로 할때 지반 강도 증가에 따른 단계별 성토고를 구하여 단계성토를 계획·검토하였다.

가) STA.9+525(SB-1) 지역

단 계	성토고 (m)	누 계 성토고 (m)	성 토 기 간 (개월)	대 기 기 간 (개월)	압밀도 (%)	증 가 점착력 (t/m ²)	사 면 안전율	누 계 침하량 (cm)	총소요 기 간 (개월)	비 고
1	3.5	3.5	1.75	4.5	79.5	$\frac{1.7}{6.7}$	1.425	3.0	6.25	
2	2.5	6.0	1.25	4.5	79.5	$\frac{2.5}{7.5}$	1.354	8.1	5.75	
3	2.0	8.0	1.0	4.5	79.5	$\frac{3.1}{8.0}$	1.314	15.2	5.5	
4	0.81	8.81	0.5	5.0	82.4	$\frac{3.5}{8.5}$	1.349	17.9	5.5	
계	8.81								23.0	O.K

나) STA.9+755(SB-3) 지역

단 계	성토고 (m)	누 계 성토고 (m)	성 토 기 간 (개월)	대 기 기 간 (개월)	압밀도 (%)	증 가 점착력 (t/m ²)	사 면 안전율	누 계 침하량 (cm)	총소요 기 간 (개월)	비 고
1	3.5	3.5	1.75	4.5	58.2	$\frac{2.9}{3.1}$	1.506	3.5	6.25	
2	2.5	6.0	1.25	4.5	58.2	$\frac{3.5}{4.2}$	1.485	17.4	5.75	
3	2.0	8.0	1.0	4.5	58.2	$\frac{4.0}{5.0}$	1.395	22.9	5.5	
4	1.97	9.97	1.0	12.0	86.2	$\frac{4.4}{5.6}$	1.328	42.8	12.5	
계	9.97								30.0	N.G

◎ 증가점착력 (C')

$$C' = C_0 + \Delta P \cdot U \cdot (c/p)$$

3) 검토결과

단계성토공법 검토결과 사면안전율은 1.314~1.506으로 허용안전율(1.3) 이상으로 나타나 안전한 것으로 해석되었으나 허용잔류침하량(10cm)을 만족하기 위한 총 소요기간이 CB-1지역은 23개월인 반면 CB-3지역은 30개월로 나타나 공사기간 24개월 내에 성토를 완료하지 못하는 것으로 분석되었다.

4. 활동대책(②단계성토공법 + P.E.T MAT)

1) 고강도 MAT공법 (P.E.T MAT)

고강도 토목섬유(P.E.T MAT)로 보강된 사면안정해석은 먼저 보강된 성토사면에서 임계활동(Critical Failure)에 저항할 수 있는 MAT의 인장강도를 결정한 후 저항모멘트를 고려하여 해석한다.

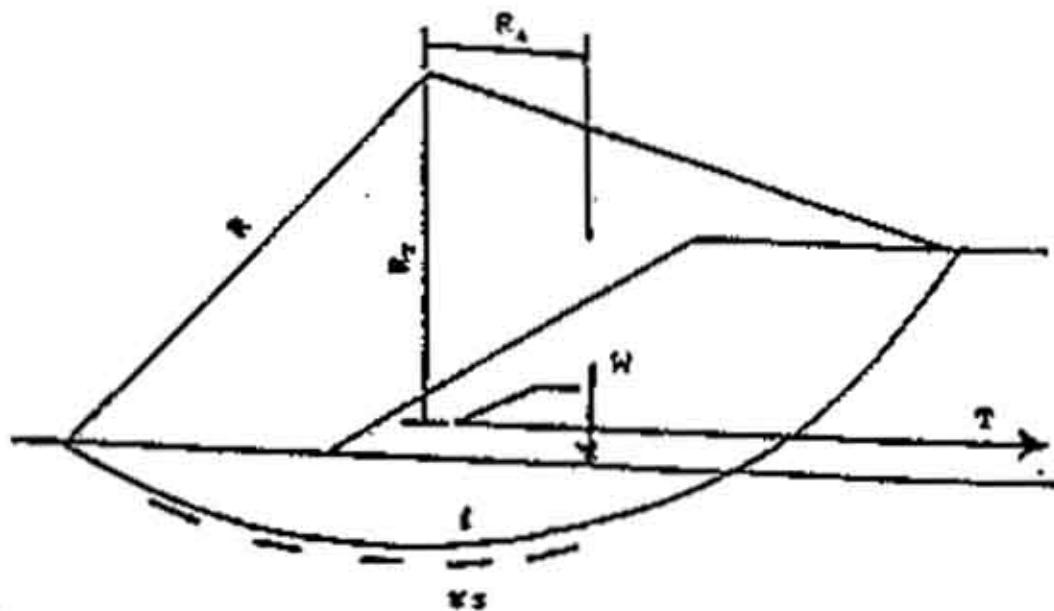
$$\therefore F_s = \frac{Mr + T \cdot Ry}{Md}$$

여기서, Mr : 저항모멘트

Md : 활동모멘트

T : MAT의 인장강도

Ry : 모멘트 팔거리



고강도 MAT는 설계시 MAT 인장강도의 2/3적용 ($30\text{t/m} \times 2/3 \Rightarrow 20\text{t/m}$)

2) 한계성 토고

사면안정해석 Program(SLOPE/W)을 이용하여 기준 안전율 1.3으로 할 때 P.E.T MAT 보강에 따른 한계성토고를 구하였다.

위 치	공 번	한계성토고(m)	비 고
STA.9+526	SB - 1	6.0	P.E.T MAT(1EA)
STA.9+755	SB - 3	8.0	P.E.T MAT(1EA)

3) 단계별 성토관리

가) STA.9+526(SB-1) 지역

단 계	성토고 (m)	누 계 성토고 (m)	성 토 기 간 (개월)	대 기 기 간 (개월)	압밀도 (%)	중 가 점착력 (t/m ²)	사 면 안전율	누 계 침하량 (cm)	총소요 기 간 (개월)	24개월후 잔류침하량 (cm)
1	6.0	6.0	3.0	3.5	72.2	1.7 6.7	1.395	7.4	6.5	
2	2.81	8.81	1.5	7.0	90.5	2.95 7.9	1.463	19.6	8.5	
계	8.81								15.0	2.5

나) STA.9+755(SB-3) 지역

단 계	성토고 (m)	누 계 성토고 (m)	성 토 기 간 (개월)	대 기 기 간 (개월)	압밀도 (%)	중 가 점착력 (t/m ²)	사 면 안전율	누 계 침하량 (cm)	총소요 기 간 (개월)	24개월후 잔류침하량 (cm)
1	6.0	6.0	3.0	3.5	51.6	2.9 3.1	1.783	15.3	6.5	
2	3.97	9.97	2.0	14.5	90.4	3.9 4.8	1.558	42.5	16.5	
계	9.97								23.0	6.7

4) 검토결과 (단계성토공법+P.E.T MAT)

고강도 MAT공법(P.E.T MAT)을 적용하여 단계성토를 검토한 결과 사면안전율이 1.395~1.783으로 허용안전율(1.3) 이상으로 안정하게 나타났고, 또한 공사기간 24개월후의 잔류침하량이 각각 2.5cm, 6.7cm로 허용잔류침하량(10cm)을 만족하는 것으로 분석되었다.

5. 연약지반 처리공법 검토결과

1) 침하대책(표층처리공법) 검토결과

본 구간은 특별한 침하대책이 필요없는 구간으로서 연약지반과 원지반의 분리 및 시공장비의 주행성 확보를 위해 P.P mat(5/m)를 부설한 후 성토에 의한 압밀 배수층 역할을 할 수 있도록 Sand mat(50cm)를 포설한다.

2) 본 검토는 지지력 확보 및 활동에 대한 대책으로 ①단계성토공법 및 ②단계성토공법+고강도 MAT공법에 대해 검토한 결과 ①의 경우 단계성토(4단계성토) 소요기간이 30개월로 공사기간 24개월내에 성토를 완료할 수 없는 것으로 분석되었으며, ②의 경우는 성토 소요기간이 23개월이고, 사면활동 및 잔류침하량(최대 6.7cm) 모두 안정한 것으로 분석되었다.

VI. 결론

1. 상기와 같이 검토한 결과 시추 위치 SB-3지점이 가장 취약한 것으로 나타났으나 (설계시) 시공을 위한 확인 시추결과를 중앙부 (SB-2-1)지점이 오히려 연약층이 깊은 것으로 나타났다. 이 시추 결과로 미루어 당초 설계시 시추한 깊이보다 더 악조건은 없을 것으로 판단되며, 전반적으로 연약층 깊이가 4.0m이내로 단계 성토시 당초 시추에 의한 변화량 안정 해석결과도 아주 안정하게 나타났다.
2. 연약지반의 심도가 깊지 않고 (4m이내) 안정해석 결과도 변화량이 작고 안정하므로 계속기는 지표침하판 설치만 당초 설계(4개소)대로 설치하는 것이 타당하다고 판단되며,
3. 계속은 상기 검토한 내용의 침하량과 비교 확인하는 것이 좋을 것임.

<계측기 설치 개소 >

구 분	설 계	제 1안	제 2안	제 3안	비 고
지표침하판	4	1	2	4	34,500/EA
경 사 계	6	2	4	2	3,654,000/EA
지하수위계	4	1	2	1	1,363,000/EA
충별침하계	3	1	2	1	2,192,000/EA
간극수압계	3	1	2	1	3,837,000/EA
설치위치	· 100m마다 설치	· 당초 토질 조사시 제 일 연약층 이 깊은곳 1군데 설치 (도면 1안 참조)	· 당초 토질 조사시 제 일 연약층 이 깊은곳 2군데 설치 (도면 2안 참조)	· 당초 토질 조사와 시 공사추비교 시 연약층 이 가장 깊 은곳 1군데 설치 (도면 3안 참조)	
공 사 비	67백만원	22백만원	44백만원	22백만원	

4.2 참고문헌

1. 방음벽 타당성 검토 (제 1, 2, 11~15공구)
→ 도로 설계요령 (한국도로공사)
2. 터널절토사면 안정성 검토
→ 암반사면공학 (엔지니어즈)
3. 농어촌 도로(리도) 이설계획 수립
→ 도로설계 요령 (한국도로공사)
도로설계구조 기준 (건교부)
4. 절취사면 안정성 검토
→ 도로설계 요령 (한국도로공사)
5. 신설교량 설치에 따른 설계 검토 (2공구)
→ 설계기준 (한국도로공사)
배수구조물 설계법 (한국도로공사)
6. 배수계획 검토 (제12공구)
→ 설계기준 (한국도로공사)
배수구조물 설계법 (한국도로공사)
7. 배수계획 검토 (제15공구)
→ 설계기준 (한국도로공사)
배수구조물 설계법 (한국도로공사)
8. 교량 재설계 검토 (제15공구)
→ 도로교 표준시방서 (건교부)
콘크리트 표준시방서 (건교부)
9. 통로 BOX 철근규격 검토
→ 도로교 표준시방서 (건교부)
콘크리트 표준시방서 (건교부)
10. 안전점검 실시
→ 고속도로 공사장 교통관리 기준 (한국도로공사)