방음벽 설치에 따른 역T형옹벽 시공방법 개선과 구조검토

글 | 안 중 길 토목기술부 사원 02-3433-7764 | E-mail : maisan77@ssyenc.com

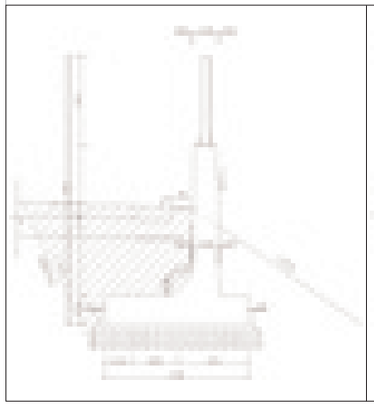
본 내용은 ○○도로 확 · 포장 공사중 기시공된 도로 측면에 민원에 의해 방음벽 및 방음벽 기초구조물(옹벽)이 추가 시공되어야 하는 상황에서 현장여건을 적극 반영함과 동시에 시공성 및 경제성을 최대한 확보할 수 있도록 옹벽형식과 시공 방법을 결정하고 이에 대한 구조검토를 수행한 것이다.

1. 검토 개요

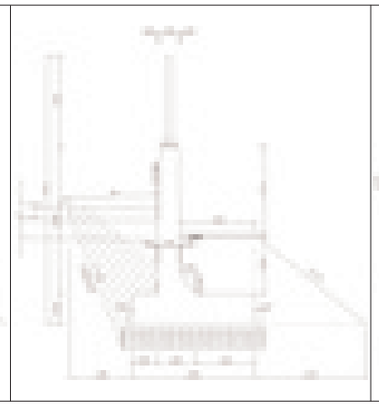
일반적으로 구조물 시공에 있어서는 경제성 뿐만 아니라 설치장소의 지형, 지질, 시공 조건, 주변 조건 등을 고려하여 적절한 형상 및 구조를 선택하는 것이 필요하다. 또한 구조물 자체의 안전성, 시공성, 경제성, 유지관리성, 주변환경에 대한 적합성, 경관성 등의 면에서도 종합적인 검토 · 판단이 이루어져야 하며 이를 위해서는 설계자와 시공자간의 유기적인 정보 교환이 필수적이라 할 수 있다.

본 내용은 OO도로 확 · 포장 공사중 도로포장(성토부)이 완료된 구간에 민원에 의해 방음벽 및 방음벽 기초구조물(옹벽)이 추가 시공되어야 하는 상황에서 현장여건을 적극 반영함과 동시에 시공성 및 경제성을 최대한 확보할 수 있도록 옹벽형식과 시공방법을 결정하고 이에 대한 구조검토를 수행한 것이다.

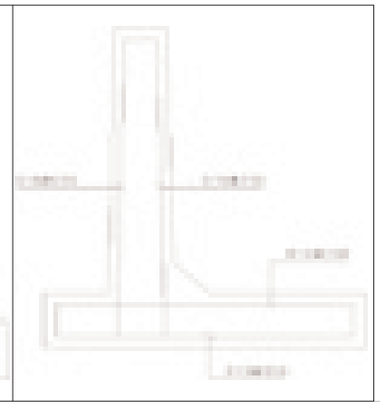
[그림 1] 당초 현장안



[그림 2] 변경안



[그림 3] 주철근 배근도



2. 구조 검토

2.1 현황 및 고려사항

당초 현장안은 〔그림 1〕과 같으며 고속도로 건설공사 표준도의 역T형 옹벽을 적용한 방안이었으나 이미 도로포장(성토부)이 완료된 구간에 적용하기에는 다이크 및 아스콘 포장 철거량이 많아 당 현장에 적용이 곤란한 것으로 판단되었다.

따라서, 기시공된 도로포장 구간의 철거를 최소화시킬 수 있는 방안으로 옹벽 형식을 검토하였으나 이미 당초 안에 따라 철근가공이 상당히 진행된 상황이었기 때문에, 현장 여건을 고려하여 당초 역T형 옹벽을 〔그림 2〕와 같은 형태로 L형 측구에서 약 1.28m 이격시켜 설치하는 것으로 하고 이에 대한 구조검토를 수행하였다.

〔그림 2〕와 같이 옹벽을 시공하면 가공된 철근을 그대로 사용할 수 있고, 기존 포장을 철거할 필요가 없기 때문에 포장 복구로 인한 시간, 비용을 절약할 수 있으므로 시공성, 경제성을 고려할 때 당 현장에 가장 적합한 것으로 판단된다.

2.2 검토 조건

(1) 옹벽 형식

역T형 옹벽은 "고속도로건설공사 표준도"(한국도로공사, 1997) 도면번호 5.115-1, 반사형 1을 사용하였다.

(2) 사용 재료

사용한 콘크리트는 γ_c = 2.50 tonf/㎥ , f_{ck} = 240 kgf/㎠이며, SD_{30} 철근 (f_y = 3,000 kgf/㎠)을 사용하였다.

(3) 토질 및 지반조건

도로설계요령(한국도로공사, 2001)에서는 밀실한 사질토에 대해서 γ_s = 1.90 tonf/㎥, 내부마찰각 ϕ = 30.0°를 제시하고 있으며, 이를 채움토 및 상재토의 토질 정수로 결정하였다. 내부마찰각 δ는 상시 단면검토시 $\frac{1}{3}\phi$, 이외의 경우에는 0° 로 한다. 또한 기초 저면의 마찰계수 $\mu = (\frac{2}{3}\phi) = 0.364$로 하였다.

(4) 하중조건

DB-24와 같은 중차량에 의한 활하중 q_L = 1.30 tonf/㎡ 과 풍하중 q_W = 0.15 tonf/㎡ 을 적용하였고, 현장 지역 특성을 고려하면 가속도계수 A = 0.110이고 수평지진계수 K_h = 0.5 · A = 0.055이다.

(5) 하중조합

RC구조물을 설계할 때에는 다음에 제시된 하중계수와 하중조합을 모두 고려하여 해당구조물에 작용하는 최대 소요강도에 대해 만족하도록 설계해야 한다.

(사용하중 검토시 하중계수 = 1.0)

가) 1.4 고정하중 + 1.7 활하중 + 1.8 토압

나) 0.75 (1.4 고정하중 + 1.7 활하중 + 1.8 토압 + 1.7 풍하중)

다) 0.75 (1.4 고정하중 + 1.7 활하중 + 1.8 지진하중)

(6) 안정조건

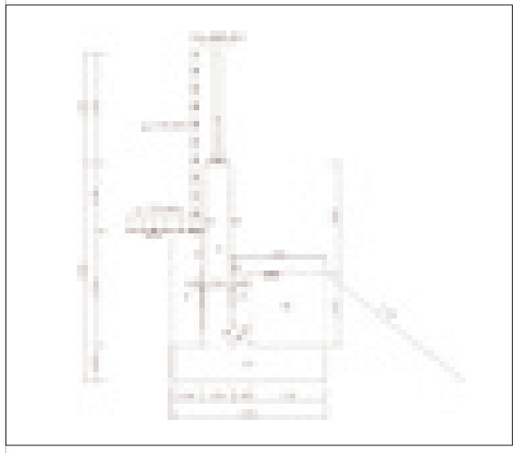
옹벽에서 활동에 대한 안전율은 1.5(지진시 1.2) 이상, 전도는 2.0 이상이 되어야 하며, 하중의 합력 작용위치는 평상시 저판 폭의 1/6, 지진시 1/3 이내에 위치해야 한다.

또한 도로설계편람(건설교통부, 2001)에서는 조밀한 사질토지반에서의 허용지지력 q_a를 30.0 tonf/m^2(상시), 45.0 tonf/m^2(지진시)로 제시하고 있으며 옹벽 기초면에 작용하는 반력은 이 값 이하가 되어야 한다.

2.3 검토단면

(1) 역T형 옹벽

[그림 4] 역T형 옹벽



〈표 1〉 역T형 옹벽 자중

구분	연직력 V (tonf)	수평력 H (tonf)	팔길이 x (m)	팔길이 y (m)	V · x (tonf · m)	H · y (tonf · m)
콘크리트	6.069	0.334	1.485	0.934	9.014	0.312
흙	4.303	0.237	1.269	1.111	5.460	0.263
합계	10.372	0.570	1.396	1.007	14.474	0.575

(2) 방음벽 자중

현장에서 사용하는 방음벽의 자중 N = 0.0371 tonf/m이다.

(3) 토압

가) 상시

① 안정검토시(Rankine 토압)

$$K_{ah} = K_a = \frac{1-\sin\varnothing}{1+\sin\varnothing} = \frac{1-\sin 30^\circ}{1+\sin 30^\circ} = 0.3333$$

$$P_{ah} = \frac{1}{2} K_{ah} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2}\, 0.3333 \times 1.9 \times 2.06^2$$
$$= 1.344 \text{ tonf/m}$$

② 단면검토시(Coulomb 토압)

$$K_a = \frac{\cos^2(\varnothing-\theta-\beta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\theta+\delta) \cdot \left[1+\sqrt{\frac{\sin(\theta+\delta)\cdot\sin(\varnothing-\alpha)}{\cos(\theta+\delta)\cdot\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2} = 0.3164$$

$$K_{ah} = K_a \cdot \cos(\theta+\delta)$$
$$= 0.3164 \times \cos(1.15^\circ + 10^\circ) = 0.3104$$

여기서, $\varnothing$: 흙의 내부마찰각

α : 지표면과 수평면이 이루는 각

θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각

$$P_{ah} = \frac{1}{2} \cdot K_{ah} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2}\, 0.3104 \times 1.9 \times 1.56^2$$
$$= 0.718 \text{ tonf/m (벽체 하단 검토)}$$
$$P_{ah} = \frac{1}{2} \cdot K_{ah} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2}\, 0.3104 \times 1.9 \times 0.31^2$$
$$= 0.028 \text{ tonf/m (벽체 중앙 검토)}$$
$$P_{ah} = \frac{1}{2} \cdot K_{ah} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2}\, 0.3104 \times 1.9 \times 2.06^2$$
$$= 1.251 \text{ tonf/m (기초 검토)}$$

나) 지진시

① 안정검토시(Mononobe-Okabe의 의사정적해석법)

$$K_a = \frac{\cos^2(\varnothing-\theta-\beta)}{\cos^2\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\delta+\theta+\beta) \cdot \left[1+\sqrt{\frac{\sin(\theta+\delta)\cdot\sin(\varnothing-\alpha-\theta)}{\cos(\beta+\delta+\theta)\cdot\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$
$$= 0.3667$$

$$K_{ah} = K_a \cdot \cos(\beta+\delta)$$
$$= 0.3667 \times \cos 0^\circ = 0.3667$$

여기서, $\theta = \left[\frac{K_h}{1-K_v}\right]^{-1}$

K_h : 수평지진계수, K_v : 수직지진계수

$\varnothing$: 흙의 내부마찰각

i : 뒷채움흙의 경사각

β: 벽배면의 수직에 대한 각

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각

$$P_a = \frac{1}{2} K_{ahe} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times 0.3667 \times 1.9 \times 2.06^2$$
$$= 1.478 \text{ tonf/m}$$

② 단면검토시(Mononobe-Okabe의 의사정적해석법)

$$K_a = \frac{\cos^2(\varnothing-\theta-\beta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\delta+\theta+\beta) \cdot \left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varnothing+\delta)\cdot\sin(\varnothing-\alpha-\theta)}{\cos(\beta+\delta+\theta)\cdot\cos(\beta-\alpha)}}\right]}$$
$$= 0.3744$$

$$K_{ah} = K_a \cdot \cos(\beta+\delta) = 0.3744 \times \cos(1.15^\circ + 0^\circ)$$
$$= 0.3744$$
$$P_{ahe} = \frac{1}{2} K_{ahe} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times 0.3744 \times 1.9 \times 1.56^2$$
$$= 0.866 \text{ tonf/m (벽체 하단 검토)}$$
$$P_{ahe} = \frac{1}{2} K_{ahe} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times 0.3744 \times 1.9 \times 0.31^2$$
$$= 0.034 \text{ tonf/m (벽체 중앙 검토)}$$
$$P_{ahe} = \frac{1}{2} K_{ahe} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times 0.3744 \times 1.9 \times 2.06^2$$
$$= 1.509 \text{ tonf/m (기초 검토)}$$

(4) 안정검토

본문에서는 다음 하중조합에 대한 계산만 나타내도록 한다.

● 하중조합 : 고정하중 + 활하중 + 토압 + 풍하중

〈표 2〉 역T형 옹벽 안정검토

구분	연직력 V (tonf)	수평력 H (tonf)	팔길이 x (m)	팔길이 y (m)	V · x (tonf · m)	H · y (tonf · m)
콘크리트	6.069		1.485		9.014	
흙	4.303		1.269		5.460	
방음벽	0.037		1.750		0.065	
토압		1.344		0.687		0.923
활하중	0.691	0.893	2.234	1.030	1.543	0.919
풍하중		0.366		3.280		1.200
합계	11.100	2.602	1.449	1.169	16.082	3.043

가) 편심거리 e

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma V \cdot x - \Sigma H \cdot y}{\Sigma V} = \frac{2.5}{2} - \frac{16.082-3.043}{11.100} = 0.075 \text{ m}$$

$$e < \frac{B}{6} = 0.417 \text{ m} \qquad \therefore OK$$

나) 활동 검토

$$F.S = \frac{\Sigma V \cdot \mu}{L \cdot B} = \frac{11.100 \times 0.364}{2.602} = 1.55 > 1.5 \qquad \therefore OK$$

다) 전도 검토

$$F.S = \frac{\Sigma V \cdot x}{\Sigma H \cdot y} = \frac{16.082}{2.602} = 5.29 > 2.0 \qquad \therefore OK$$

라) 지지력 검토

$$q_{max,min} = \frac{\Sigma V \cdot x}{L \cdot B} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{11.100}{2.5} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.075}{2.5}\right)$$
$$= 5.242 \text{ tonf/m}^2,\ 3.638 \text{ tonf/m}^2 \qquad \therefore OK$$
$$q_{max} = 5.242 \text{ tonf/m}^2 < q_a = 30.0 \text{ tonf/m}^2 \qquad \therefore OK$$

같은 방법으로 모든 하중조합에 대해 안정검토를 수행한 결과는 다음과 같다.

〈표 3〉 역T형 옹벽의 안정검토 결과

구분	상시	지진시	판정
활 동	1.55 > 1.5	7.06 > 1.2	OK
전 도	5.29 > 2.0	e = 0.146 m < B/3 = 0.833 m	OK
지지력	q = 5.242 tonf/m^2 < q_a = 30.0 tonf/m^2	q = 6.000 tonf/m^2 < q_a = 45.0 tonf/m^2	OK

(5) 사용하중에 의한 단면력

본문에서는 다음 하중조합에 대한 계산만 나타내도록 한다.

● 하중조합 : 고정하중 + 활하중 + 토압 + 풍하중

[그림 5] 단면 검토

〈표 4〉 벽체 하단 검토(단면 A-A′)

구분	H (tonf)	y (m)	H·y (tonf · m)
토압	0.718	0.520	0.373
활하중	0.629	0.780	0.491
풍하중	0.366	2.780	1.017
합계	1.713	1.098	1.882

〈표 5〉 벽체 중앙 검토(단면 B-B′)

구분	H (tonf)	y (m)	H·y (tonf · m)
토압	0.028	0.103	0.003
활하중	0.125	0.155	0.019
풍하중	0.366	1.530	0.560
합계	0.519	1.121	0.582

〈표 6〉 기초 검토

구분	연직력 V (tonf)	수평력 H (tonf)	팔길이 x (m)	팔길이 y (m)	V · x (tonf · m)	H · y (tonf · m)
콘크리트	6.069		1.485		9.014	
흙	4.303		1.269		5.460	
방음벽	0.037		1.750		0.065	
토압		1.251		0.687		0.859
활하중	0.691	0.831	2.234	1.030	1.543	0.856
풍하중		0.366		3.280		1.200
합계	11.100	2.449	1.449	1.191	16.082	2.916

가) 편심거리 e

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma V \cdot x - \Sigma H \cdot y}{\Sigma V} = \frac{2.5}{2} - \frac{16.082 - 2.916}{11.100} = 0.064\ m$$

$$e < \frac{B}{6} = 0.417\ m \qquad \therefore \text{사다리꼴반력분포}$$

나) 단면력

$$q_{max,min} = \frac{\Sigma V}{L \cdot B} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{11.100}{2.5} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.064}{2.5}\right)$$

$$= 5.120\ tonf/m^2,\ 3.760\ tonf/m^2$$

$$q_1 = 3.760 + \frac{5.120 - 3.760}{2.5} \times 0.50 = 4.032\ tonf/m^2$$

$$q_2 = 3.760 + \frac{5.120 - 3.760}{2.5} \times 1.00 = 4.304\ tonf/m^2$$

$$q_3 = 3.760 + \frac{5.120 - 3.760}{2.5} \times 1.200 = 4.413\ tonf/m^2$$

① 앞굽 (단면 C-C′, 단면 D-D′)

$$M = \left[\frac{1}{2} \times (5.120 + 4.304) \times 1.50 \times 0.772\right]$$

$$-1.00 \times (0.113 \times 0.100 + 1.875 \times 0.750 + 0.399 \times 0.150 + 0.0855 \times 0.2 + 2.280 \times 0.90) = 1.907\ tonf \cdot m$$

$$V = \left[\frac{1}{2} \times (5.120 + 4.304) \times 1.50\right]$$

$$-1.00 \times (0.013 + 1.625 + 0.133 + 0.009 + 2.280)$$

$$= 3.089\ tonf$$

② 뒷굽 (단면 E-E′)

$$M = -\left[\frac{1}{2} \times (4.032 + 3.760) \times 0.50 \times 0.247\right]$$

$$+1.00 \times (0.625 \times 0.250 + 1.482 \times 0.250 + 0.650 \times 0.250) = 0.208\ tonf \cdot m$$

$$V = \left[\frac{1}{2} \times (4.032 + 4.304) \times 0.50\right] - 1.00 \times (0.625 + 1.482 + 0.650) = -0.809\ tonf$$

(6) 계수하중에 의한 단면력

본문에서는 다음 하중조합에 대한 계산만 나타내도록 한다.

● 하중조합 : 0.75 (1.4 고정하중 + 1.7 활하중 + 1.8 토압 + 1.7 풍하중)

〈표 7〉 벽체 하단(단면 A-A′)

구분	H (tonf)	y (m)	H·y (tonf · m)
토압	0.969	0.520	0.504
활하중	0.850	0.780	0.663
풍하중	0.467	2.780	1.297
합계	2.285	1.078	2.464

〈표 8〉 벽체 중앙(단면 B-B′)

구분	H (tonf)	y (m)	H·y (tonf · m)
토압	0.038	0.103	0.004
활하중	0.169	0.155	0.026
풍하중	0.467	1.530	0.714
합계	0.674	1.104	0.744

〈표 9〉 기초 검토

구분	연직력 V (tonf)	수평력 H (tonf)	팔길이 x (m)	팔길이 y (m)	V · x (tonf · m)	H · y (tonf · m)
콘크리트	6.372		1.485		9.465	
흙	4.518		1.269		5.733	
방음벽	0.039		1.750			0.068
토압		1.689		0.687		1.160
활하중	0.880	1.122	2.234	1.030	1.967	1.156
풍하중		0.467		3.280		1.531
합계	11.810	3.278	1.459	1.173	17.233	3.846

가) 편심거리 e

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma V \cdot x - \Sigma H \cdot y}{\Sigma V} = \frac{2.5}{2} - \frac{17.233 - 3.846}{11.810} = 0.116\ m$$

$$e < \frac{B}{6} = 0.417\ m \qquad \therefore \text{사다리꼴반력분포}$$

나) 단면력

$$q_{max,min} = \frac{\Sigma V}{L \cdot B} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) = \frac{11.810}{2.5} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.116}{2.5}\right)$$

$$= 6.045\ tonf/m^2,\ 3.404\ tonf/m^2$$

$$q_1 = 3.404 + \frac{6.045 - 3.404}{2.5} \times 0.50 = 3.932\ tonf/m^2$$

$$q_2 = 3.404 + \frac{6.045 - 3.404}{2.5} \times 1.00 = 4.460\ tonf/m^2$$

$$q_3 = 3.404 + \frac{6.045 - 3.404}{2.5} \times 1.200 = 4.671\ tonf/m^2$$

① 앞굽 (단면 C-C′, 단면 D-D′)

$$M_u = \left(\frac{1}{2} \times (6.045 + 4.460) \times 1.50 \times 0.788\right)$$

$$-1.05 \times (0.118 \times 0.100 + 1.969 \times 0.750 + 0.419 \times 0.150 + 0.090 \times 0.2 + 2.394 \times 0.90) = 2.482\ tonf \cdot m$$

$$V_u = \left[\frac{1}{2} \times (6.045 + 4.671) \times 1.50\right]$$

$$-1.05 \times (0.013 + 1.625 + 0.133 + 0.009 + 2.280)$$

$$= 3.774\ tonf$$

② 뒷굽 (단면 E-E′)

$$M_u = -\left[\frac{1}{2} \times (3.932 + 3.404) \times 0.50 \times 0.244\right]$$

$$+1.05 \times (0.625 \times 0.250 + 1.482 \times 0.250) + 1.275 \times (0.650 \times 0.250) = 0.313\ tonf \cdot m$$

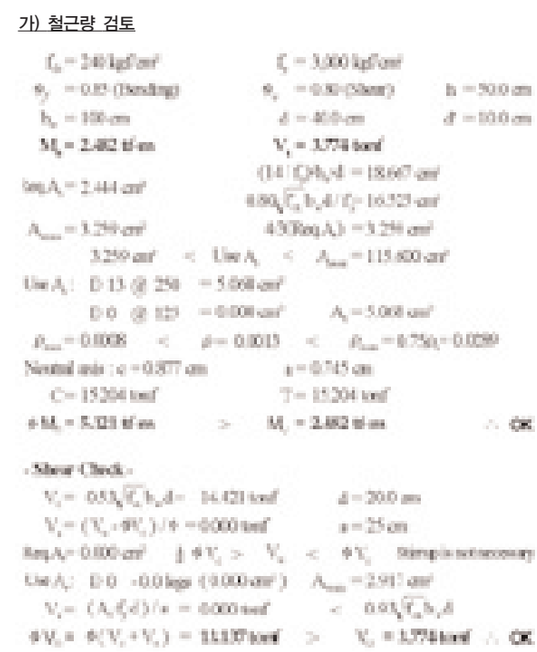
$$V_u = \left[\frac{1}{2} \times (3.932 + 3.404) \times 0.50\right]$$

$$-1.05 \times (0.625 + 1.482) - 1.275 \times 0.650 = -1.207\ tonf$$

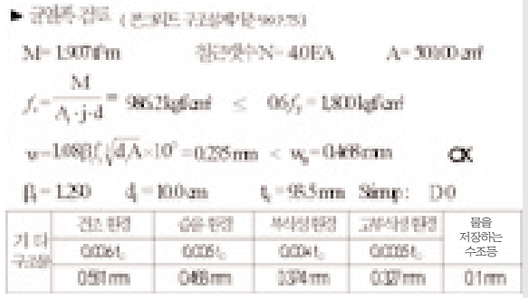
(7) 철근량 및 사용성 검토

본문에서는 가장 큰 하중이 작용하는 기초 앞굽에 대한 검토만 나타내었다.

가) 철근량 검토



나) 사용성 검토



〈표 10〉 단면력 검토 결과

부재		모멘트 (tonf · m) 작용력	모멘트 (tonf · m) 저항력	전단력 (tonf) 작용력	전단력 (tonf) 저항력	철근량 (㎠) 주철근	철근량 (㎠) 전단철근	판정
벽체	하단	2.464	8.491	2.425	27.916	D16@250 (As=7.944)	–	OK
	중앙	0.744	7.547	0.674	24.856	D16@250 (As=7.944)	–	OK
기초	앞굽	2.482	5.121	3.774	13.137	D13@250 (As=5.068)	–	OK
	뒷굽	1.074	7.985	1.207	26.274	D16@250 (As=7.944)	–	OK

같은 방법으로 각 부재에 대해 철근량 및 사용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

〈표 11〉 사용성 검토 결과

부재		모멘트 (tonf · m)	균열폭 (mm)	허용균열폭 (mm)	판정
벽체	하단	1.882	0.109	0.335	OK
	중앙	0.582	0.039	0.335	OK
기초	앞굽	1.907	0.235	0.468	OK
	뒷굽	0.208	0.017	0.460	OK

3. 결론

기시공된 도로 측면에 방음벽 설치시 필요한 옹벽을 시공할 경우 기존 포장의 파손을 최소화 시키는 것이 중요하며 이에 적용 가능한 기초 형식으로 역L형, Pile형 등을 고려해 볼 수 있으나, 당 현장과 같이 당초 역T형 옹벽 형식이 결정된 상태에서 철근 가공이 진행된 상황에서는 현장 여건을 반영하여 기존 옹벽 형식을 그대로 적용할 수 있도록 하는 것도 필요한 방법중 하나라 할 수 있다. 본 검토에서는 당초 역T형 옹벽을 그대로 적용하면서 도로 파손을 최소화 하는 방향으로 검토를 수행하였으며 변경안으로 옹벽을 적용하여도 구조검토결과 안전함을 확인하였다.

참고문헌

건설교통부 (1999), "콘크리트 구조설계기준"

건설교통부 (2001), "도로설계편람(II)"

한국도로공사 (1997), "고속도로건설공사 표준도 제1권"

한국도로공사 (2001), "도로설계요령 제2권"

한국도로교통협회 (2000), "도로교 설계기준"