

## TROUBLE-SHOOTING<sup>2</sup>

# 시공성을 고려한 T형 거더교 설계

인간과 가장 밀접한 관계인 교량은 기능적인 면과 정신적인 면으로 나눌 수 있다. 먼저 기능적인 면이란 교량 위를 지장 없이 통행할 수 있도록 충분한 강도와 사용성과 내구성과 규모를 의미하고, 정신적인면은 주로 교량의 조형미 즉 교량 자체의 형태미와 교량주위 풍경이나 환경과 결합하여 창출하는 경관미를 의미한다. 위 두 조건을 만족하는 교량을 건설하기 위해서는 교량의 계획, 설계, 시공, 유지관리, 폐기의 5단계인 교량 life cycle을 고려하게 된다.

### 1 서론

인간과 가장 밀접한 관계인 교량은 기능적인 면과 정신적인 면으로 나눌 수 있다. 먼저 기능적인 면이란 교량 위를 지장없이 통행할 수 있도록 충분한 강도와 사용성과 내구성과 규모를 의미하고, 정신적인면은 주로 교량의 조형미 즉 교량 자체의 형태미와 교량주위 풍경이나 환경과 결합하여 창출하는 경관미를 의미한다. 위 두 조건을 만족하는 교량을 건설하기 위해서는 교량의 계획, 설계, 시공, 유지관리, 폐기의 5단계인 교량 life cycle을 고려하게 된다.

먼저 교량의 계획에 고려되어야 할 사항이 위치, 규모, 경제성, 시공성을 고려한 교량 형식을 선정하고 그에 적합한 교량공간을 분할하는 과정이고, 이 과정을 교량 경제라고 한다. 설계 단계는 기본계획의 골격에 맞추어 교량을 설계하는 단계이고, 이때 가장 좋은 설계를 이루는 기본원리는 효율성, 경제성, 미적품위이다. 시공을 하기전 계획부터 설계에 이르도록 올바르게 잘되었는지 검토하여 시공에 어려움이 없도록 하여야 할 것이다.

“OO 도로 현장”의 경우 단경간 교량의 상부구조 형식을 RC Slab교에서 경제성 및 시공성을 고려한 T빔교로 변경하여 구조적 안전성을 검토 하였다.

### 2 교량의 분류

교량은 용도, 사용재료, 노면의 위치, 교량의 평면형상, 가설지점, 교량의 가동여부, 내용년수, 설계하중, 구조형식 등에 따라 분류할 수 있는데, 각각 아래의 표와 같다.

분류 기준	교량 종류
용도	도로교, 철도교, 수로교, 보도육교 등
사용 재료	목교, 석교, 콘크리트교, 강교, 복합재료교 등
노면 위치	상로교, 중로교, 하로교
평면 형상	직교, 사교, 곡선교
가설 지점	횡단육교, 고가교, 하천교 등
가동 여부	고정교, 선개교, 승개교, 도개교
내용 년수	영구교, 가설교, 응급교
설계 하중	1등급, 2등급, 3등급
구조 형식	슬래브교, T빔교, 라멘교, 거더교, 현수교, 사장교 등

### 3 T빔교

슬래브교는 교량형식중 가장 많이 이용되는 형태의 교량으로 10-20m의 지간에 적당한 교량이다. 일반적으로 형교에 비

하여 형고가 낮고 미관이 양호하며 형하공간이 필요한 소규모의 하천교량 등에 유리하며 시공이 용이하다. 그러나 주로 동바리공법에 의하여 시공이 되므로 유량이 많은 하천 또는 깊은 계곡을 횡단하는 경우에는 시공이 곤란하다. 이러한 슬래브교의 결점을 개량한 형식 중 하나가 철근콘크리트 T빔교이다.

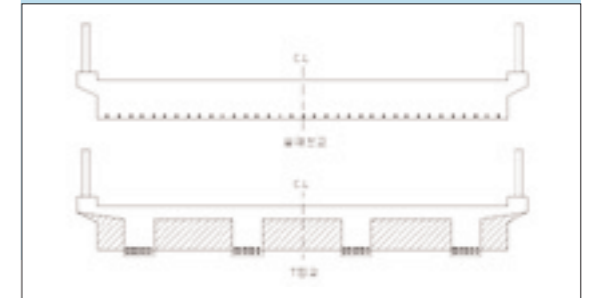
콘크리트 단면은 압축력에 강하고 인장력에는 약한 결점을 가지며 이 때문에 인장력에 대해 철근을 보강하지만 일반적으로 인장축의 콘크리트는 무시되기 때문에 전단면이 유효하게 사용되지 않는다.

따라서 전하중에 대한 자중이 차지하는 비율이 높고 지간길이가 길어지면 질수록 슬래브교의 불필요한 인장력부분이 차지하는 부분의 자중이 더욱더 커지게 된다.

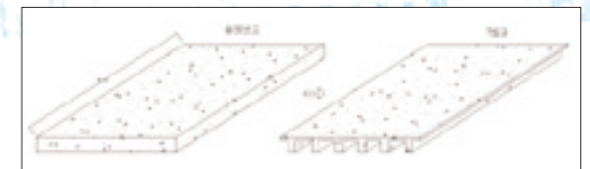
이 때문에 전체단면을 유효하게 이용하여 자중을 경감하는 방법으로 T형빔이 고려된다. (그림 1) 슬래브교의 주철근을 수용하고 전단력에 필요한 너비를 남기고 기타 불필요한 부분의 콘크리트단면을 깎아내는 것이 T빔교이다.

또한 당현장의 경우는 슬래브교의 동바리공법을 적용할 수 없는 계곡을 횡단하여 T빔교의 복부 거더부분을 선 시공하여 거치한 후, 플랜지 부분을 후 시공하는 방법으로 설계한다.

■ 그림 1. 슬래브교와 T빔교



### 4 현장적용 사례



“OO현장에 위치하고 있는 단순지지 T형교를 설계 검토하였다.

### 4.1 설계조건

#### 1) 재료특성

- 콘크리트 단위중량 : 0.0025 kgf/cm<sup>3</sup>
- 콘크리트 강도 : 300 kgf/cm<sup>2</sup>
- 철근의 항복 강도 : 4,000 kgf/cm<sup>2</sup>

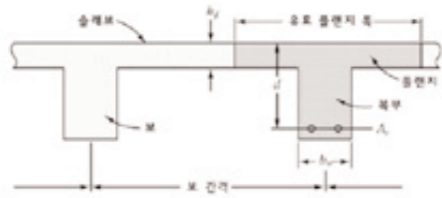
#### 2) 하중

- 차량하중 : DB 24
- $P_r = 9,200 \text{ kgf}$       $P_f = 4,800 \text{ kgf}$
- 충격하중

$$I = \frac{15}{L+40} \leq 0.3$$

- 하중조합 : 1.3 D + 2.15(L + I)

### 4.2 바닥판의 설계



바닥판은 원래 주형과 일체거동을 하므로, 그 계산 지간은 주형과 주형 사이의 순경간을 사용한다.

- 주형의 복부 폭 : 0.5 m
- 순경간 : 1.1 m , 거더간격 : 1.6 m
- 바닥판의 두께 : 0.2 m

#### 1) 자중

$$w_d = 0.2 \text{ m} \times 2,500 \text{ kgf/m}^3 = 500 \text{ kgf/m}^2$$

$$M_d = \frac{1}{10} \times w_d \times l^2 = \frac{1}{10} \times 500 \times 1.1^2 = 60.5 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

#### 2) 활하중

슬래브의 주철근이 차량 진행방향에 직각이고, 3개 이상의 지점을 가지는 슬래브 이므로 정·부모멘트 크기 앞에 0.8을 곱한다.

$$M_L = 0.8 \left( \frac{S+0.6}{9.6} \right) P_r$$

$$= 0.8 \times \left( \frac{1.6+0.6}{9.6} \right) \times 9.6 = 1,760 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

### 3) 충격계수

$$\frac{15}{1.1+40} = 0.365 > 0.3$$

$$I = 0.3$$

### 4) 극한하중 계산

$$M_u = 1.4M_d + 1.7(M_L + M)$$

$$= 1.4 \times 60.5 + 1.7 \times (1.3 \times 1,330.267)$$

$$= 3,024.590 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$= 3.025 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

### 5) 철근량 계산

$$f_{ck} = 300.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_y = 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.836 \quad \phi_f = 0.85 \quad \phi_v = 0.80$$

$$p_b = (0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} / f_y) * (6000 / (6000 + f_y))$$

$$= 0.03313$$

$$p_{max} = 0.75 \times p_b = 0.02485$$

$$p_{min} = \max(0.80 \sqrt{f_{ck}} / f_y, 14 / f_y) = 0.00359$$

$$M_u = 3.025 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad V_u = 0.000 \text{ tonf}$$

$$H = 20.000 \text{ cm} \quad B = 100.000 \text{ cm}$$

$$D = 16.000 \text{ cm} \quad D_c = 4.000 \text{ cm}$$

$$a = 1.168 \text{ cm} \text{ 로 가정하면}$$

$$A_s = M_u / \{ \phi_f \cdot f_y \cdot (D-a/2) \} = 7.637 \text{ cm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 1.168 \text{ cm} \quad \text{O.K}$$

$$P_{req} = \{ M_u / \{ \phi_f \cdot f_y \cdot (D-a/2) \} \} / (B \cdot D) = 0.00477$$

$$\therefore \text{req.} A_s = P_{req} \times (B \cdot D) = 7.637 \text{ cm}^2$$

**Used A<sub>s</sub> = H19 @ 20.00 cm (D<sub>c</sub> = 4.00 cm)**

$$= 14.325 \text{ cm}^2 > 7.637 \text{ cm}^2$$

$$P = A_s / (B \cdot D) = 0.00895$$

$$P_{min} \leq P \leq P_{max} \quad \text{O.K}$$

### 6) 배력철근량 검토

주철근이 차량진행방향에 직각인 경우

$$: \frac{120}{\sqrt{S}} < \text{maximum } 67\%$$

$$\frac{120}{\sqrt{1.6}} = 94.86\% > 67\%$$

필요철근량 : 7.442 cm<sup>2</sup> / m

배력철근량 : 0.67 × 7.442 cm<sup>2</sup> = 4.986 cm<sup>2</sup>

∴ H16 @ 200 = 9.930 cm<sup>2</sup> > 4.986 cm<sup>2</sup>     O.K

### 4.3 주형 설계

#### 1) 주형 단면



교량 지간 길이 : L = 12.0m

거더 간격 : S = 1.6m

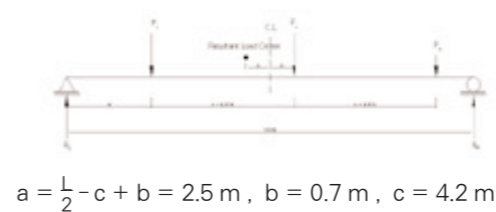
#### 2) 고정하중 모멘트

$$w_d = 500 \text{ kgf/m}^2 \times 1.6 \text{ m} + 0.5 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} \times 2,500 \text{ kgf/m}^3 = 1,800 \text{ kgf/m}$$

$$V_d = \frac{1}{2} \times w_d \times L = \frac{1}{2} \times 1,800 \text{ kgf/m} \times 12.0 \text{ m} = 10,800 \text{ kgf}$$

$$M_d = \frac{1}{8} \times w_d \times L^2 = \frac{1}{8} \times 1,800 \text{ kgf/m} \times 12.0^2 \text{ m} = 32,400.0 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

#### 3) 활하중 모멘트



$$a = \frac{L}{2} - c + b = 2.5 \text{ m}, \quad b = 0.7 \text{ m}, \quad c = 4.2 \text{ m}$$

- 콘크리트 거더 횡방향으로 활하중 분배

$$\frac{S}{1.65} = \frac{1.6}{1.65} = 0.970$$

후륜하중 :  $P_r = 0.970 \times 9,600 \text{ kgf} = 9,312.0 \text{ kgf}$

전륜하중 :  $P_f = 0.970 \times 2,400 \text{ kgf} = 2,328.0 \text{ kgf}$

$$R_R = \frac{9,312 \times 2.5 + 9,312 \times 6.7 + 2,328 \times 10.9}{12.0}$$

$$= 9,253.8 \text{ kgf}$$

$$M_{Lmax} = R_R \times \left( \frac{L}{2} - b \right) - P_f \times c$$

$$= 9,253.8 \times \left( \frac{12.0}{2} - 0.7 \right) - 2,328.0 \times 4.2$$

$$= 39,267.5 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

#### 4) 충격계수

$$\frac{15}{12.0+40} = 0.288 < 0.3$$

$$I = 0.288$$



$$V_{Lmax} = R_L = \frac{9,312.0 \times 12.0 + 9,312.0 \times 7.8 + 2,328.0 \times 3.6}{12.0}$$

$$= 16,063.2 \text{ kgf}$$

### 5) 극한하중 계산

$$M_u = 1.3 M_d + 2.15 (M_L + M)$$

$$= 1.3 \times 32,400.0 + 2.15 \times (1.288 \times 39,267.5)$$

$$= 150,859.6 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 150.860 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$V_u = 1.3 V_d + 2.15 (V_L + V)$$

$$= 1.3 \times 10,800 + 2.15 \times (1.300 \times 16,063.2)$$

$$= 58,936.6 \text{ kgf} = 58.937 \text{ tonf}$$

### 6) 주철근량 계산

$$f_{ck} = 300.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_y = 4,000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.836 \quad \phi_f = 0.85 \quad \phi_v = 0.80$$

$$p_b = (0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} / f_y) * (6000 / (6000 + f_y)) = 0.03198$$

$$p_{max} = 0.75 \times p_b = 0.02398$$

$$p_{min} = \max(0.80 \sqrt{f_{ck}} / f_y, 14 / f_y) = 0.00350$$

$$M_u = 150.860 \text{ tf} \cdot \text{m}, \quad V_u = 58.937 \text{ tonf}$$

$$H = 90.000 \text{ cm}, \quad B = 160.000 \text{ cm}$$

$$T_f = 20.000 \text{ cm}, \quad B_w = 50.000 \text{ cm}$$

$$D = 78.485 \text{ cm}, \quad D_c = 11.515 \text{ cm}$$

$$A_s = 72.304 \text{ cm}^2$$

$$a = A_s \cdot f_y / 0.85 f_{ck} \cdot B = 7.089 \text{ cm} \leq T_f$$

$$= 20.000 \text{ cm} \quad \therefore \text{사각형 보로 해석}$$

$$a = 5.753 \text{ cm} \text{ 으로 가정}$$

$$A_s = M_u / \{ \phi_f \cdot f_y \cdot (D-a/2) \} = 58.685 \text{ cm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 5.753 \text{ cm} \quad \text{O.K}$$

$$P_{req} = \{ M_u / \{ \phi_f \cdot f_y \cdot (D-a/2) \} \} / (B \cdot D)$$

$$= 0.00467 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00623$$

$$\therefore \text{req.} A_s = P_{req} \times (B \cdot D) = 58.685 \text{ cm}^2$$

Used A<sub>s</sub> = H25 × 8.00 EA + H25 × 4.00 EA

$$= 72.304 \text{ cm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00576$$

$$P_{min} \leq P \leq P_{max} \quad \text{O.K}$$

$$\phi Mn = \phi f \cdot fy \cdot As \cdot (D-a/2) = 18,422,960.0 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$= 184.230 \text{ tf} \cdot \text{m} \geq Mu = 150.860 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad \text{O.K}$$

7) 전단철근량 계산

$$\phi_v \cdot V_c = \phi_v \cdot 0.53 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot B_w \cdot d / 1000 = 28.891 \text{ tonf}$$

$$V_u > \phi_v \cdot V_c \dots \therefore \text{전단철근 필요}$$

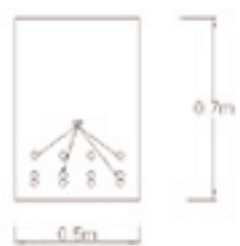
$$\text{Used } A_v = H19 \times 2.00 \text{ ea/m} = 5.730 \text{ cm}^2$$

$$\phi_v \cdot V_s = \phi_v \cdot A_v \cdot fy \cdot D / (s \times 1000) = 143.910 \text{ tonf}$$

$$s = 10 \text{ cm} \leq \text{Min}(30, 0.25D) = 19.6 \text{ cm} \quad \text{O.K}$$

$$\phi_v \cdot V_n = \phi_v \cdot V_c + \phi_v \cdot V_s = 172.730 \text{ tonf} \geq V_u \quad \text{O.K}$$

4.4 거더시공시 최대철근비 검토



교량의 일체화를 위해 슬래브와 동시에 타설하여야 하나 시공상 여건이 부적합하여 거더를 선시공하므로, 거더의 최대철근비 검토가 수행되어야 한다.

$$f_{ck} = 300.0 \text{ kgf/cm}^2 \quad fy = 4000.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.836 \quad \phi_f = 0.85 \quad \phi_v = 0.80$$

$$p_b = (0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} / fy) \times (6000 / (6000 + fy)) = 0.03198$$

$$p_{max} = 0.75 \times p_b = 0.02398$$

$$p_{min} = \max(0.80 \sqrt{f_{ck}} / fy, 14 / fy) = 0.00350$$

$$\text{Used } A_s = H25 \times 8.00 \text{ EA} + H25 \times 4.00 \text{ EA}$$

$$= 60.804 \text{ cm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.02050$$

$$P_{min} \leq P \leq P_{max} \quad \therefore \text{O.K}$$

4.5 처짐 검토

교량구조물의 휨부재는 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제 사용에 해로운 영향을 주지 않도록 충분한 강성을 갖게 설계되어야 한다. 처짐계산에 의해 좀더 작은 두께를 사용할 수 있는 경우를 제외하고는 상부 구조물의 최소두께는 표 1와 같다. 또한, 처짐을 계산할 경우에는 단순 또는 연속경간을 갖는 부재일 경우 사용하중과 충격으로 인한 처짐이  $\frac{1}{800}$  을 초과하지 않아야 한다. 다만 부분적으로 보행자에 의해 사용되는 도시지역의 교량에 대해서는 이 처짐의 비가  $\frac{1}{1,000}$  을 초과해서는 안된다.

■ 표 1. 깊이가 일정한 부재의 최소두께

상부구조의 형식	최소두께		비 고
	단순경간	연속경간	
교량 슬래브	1.2(S+3)/30	(S+3)/30	S : 교량 지간 길이
T형 거더	0.070S	0.065S	
박스형 거더	0.060S	0.055S	
보행구조거더	0.033S	0.033S	

교량지간길이 : S = 12.0 m

작업하중 : 150 kgf/m<sup>2</sup>

$$w = (500 + 150) \text{ kgf/m}^2 \times 1.6 \text{ m} + 0.5 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} \times 2,500 \text{ kgf/m}^3 = 1,915.0 \text{ kgf/m} = 19.15 \text{ kgf/cm}$$

$$E_c = 10,500 \sqrt{f_{ck}} + 70,000 = 10,500 \times \sqrt{300} + 70,000 = 251,865.335 \text{ kgf/cm}^2$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{50 \times 70^3}{12} = 1,429,166.667 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{max} = \frac{5wl^4}{384E_c I_g} = \frac{5 \times 19.15 \times 1200^4}{384 \times 251,865.335 \times 1,429,166.667} = 1.369 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = 1.437 \text{ cm} < \delta_a = \frac{l}{800} = \frac{1,200}{800} = 1.5 \text{ cm} \quad \text{O.K}$$

4.5 전단연결재 계산

거더와 슬래브거동의 일체화를 위해 전단연결재를 설치한다.



$$V_u = 58.937 \text{ tonf}$$

$$\text{Area } A = 50 \times 90 + 110 \times 20 = 6,700 \text{ cm}^2$$

$$\text{Neutral Axis } C_2 = \frac{50 \times 90 \times 45 + 110 \times 20 \times 80}{6700} = 56.493 \text{ cm}$$

$$C_1 = 90 - 56.493 = 33.507 \text{ cm}$$

$$Q = 160 \times 20 \times (33.507 - 10.0) = 75,222.4 \text{ cm}^3$$

$$I = \frac{1}{3} \times 160 \times 90^3 - \frac{1}{3} \times 110 \times 70^3 - 6,700 \times 56.493^2 = 4,920,557.705 \text{ cm}^4$$

$$\tau_{max} = \frac{V_u \cdot Q}{I \cdot b} = \frac{58.937 \times 75,222.4}{4,920,557.705 \times 50} = 18.02 \text{ kgf/cm}^2$$

$$3.8 + 38p \sqrt{300} \geq \tau_{max} = 18.02 \text{ kgf/cm}^2$$

$$p \geq 0.022$$

$$A_{s,req} = 0.022 \times 50 \times 100 = 110.0 \text{ cm}^2$$

1) 전단 연결철근량

배근된 전단철근 : H19×2EA, spacing = 10 cm  
 추가배근 전단연결철근량 : H19×2EA, spacing = 10 cm

$$A_s = 2.865 \times 2ea \times 10ea + 2.865 \times 2ea \times 10ea = 114.6 \text{ cm}^2 > 110.0 \text{ cm}^2 \quad \text{O.K}$$

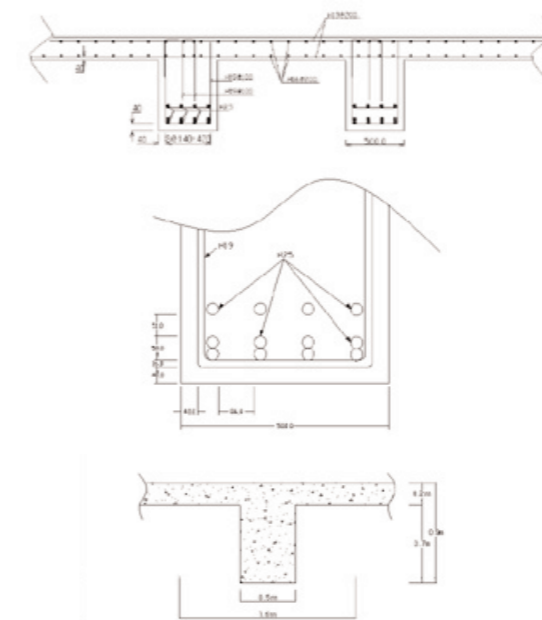
5 결론

T빔교를 설계한 계산 결과는 아래와 같다

1) 철근량

	주철근	배력철근	전단철근	추가배근 전단연결철근
Slab	H19 @ 200	H16@200	-	-
T-Beam	H25×12ea	-	H19×2ea Spacing=10cm	H19×2ea Spacing=10cm

2) 배근도



◎ 참고문헌

1. 도로교 설계기준 해설, 2003, KSCE
2. 토목구조물 설계계산 예, 1988, 건설도서
3. 철근콘크리트, 2000, 동명사
4. www.doowoeng.co.kr
5. 교량공학, 2004, 동명사

교량구조물의 휨부재는 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제 사용에 해로운 영향을 주지 않도록 충분한 강성을 갖게 설계되어야 한다.