

구조안전성능 자료 _ 중대교

자료 _ 중대교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력평가

5.1 PCS Beam Girder

5.1.1 검토 조건

안전성평가에 사용한 구조해석 프로그램은 MIDAS/Civil 8.3.1을 사용하였으며, 구조개산서상에 정리된 교량제원, 사용재료 및 허용응력, CASE별 설계하중에 따른 응력 비교 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 구조물 제원

교량명	중대교		
형식	PCS Beam Girder	교량등급	1등급
연장	L = 3@35.00 = 105.000 m	교량폭원	B = 12.455 m

나. 사용재료

1) 콘크리트

바닥판	fc _k = 27 MPa Ec = 2.55E+04 MPa	PSC Beam	fc _k = 40 MPa Ec = 3.14E+04 MPa
-----	---	----------	---

2) P.S 강재

종류	KS D 7002, SWPC 7B ϕ 12.7mm 7연선 A = 1185mm ² (Strand 1개소당 단면적)
탄성계수	E _p = 2.00E+05 MPa
f _{py}	1600 MPa
f _{pu}	1900 MPa
곡률 마찰계수	0.25/Radian
파상 마찰계수	0.005/m
슬립량	6.000 m

3) 철근

철근	f _y = 400 MPa Ec = 2.00E+05 MPa
----	---

5.1.3 하중산정

가. 고정하중

구분	콘크리트	강재	포장
단위중량(kN/m ³)	25.00	78.50	23.50

: PSC 거더 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

- 1) 합성된 바닥 타설하중 (PSC 거더 적용)
- 2) 합성후 고정하중(방호벽, 포장하중)
 - ① 좌측방호벽 = $(0.322 \times 25.00) / 0.42 = 19.167 \text{ kN/m}^2$
 - ② 포장 = $0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$

나. 활하중

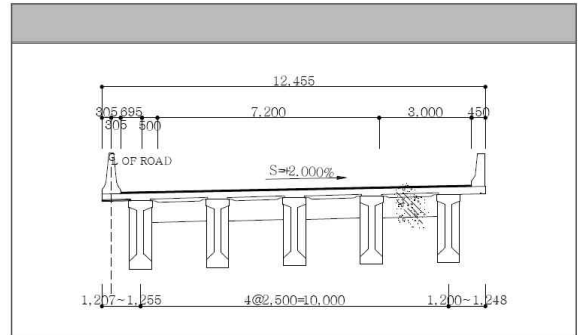
- 1) 설계차로폭 및 차로수
 - 일반구간 : 연석간 교폭 : W_c = 11.340 m
 - 설계차로수, N = 3 (9.1m ≤ W_c < 12.8m)
 - 설계차로폭 : W = W_c / N = 11.340 / 3 = 3.780 > 3.600m ∴ 3.600m
- 2) 하중강도와 충격계수
 - ① 차선하중 (DL-24) : W_L = 12.7 kN/m, P_m = 108 kN, P_s = 156 kN
 - ② 차관하중 (DB-24) : 전관하중, P_f = 24.0kN, 후관하중, P_r = 96.0kN
 - ③ 제하차량

④ 충격계수

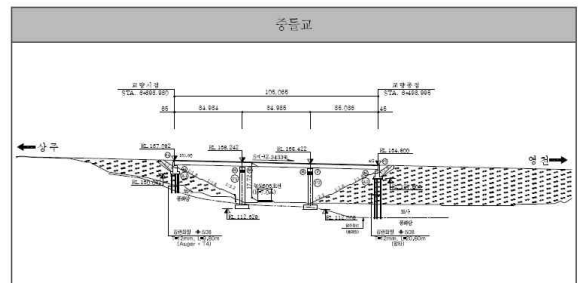
구분	지간장, L(m)	충격계수, 1.5/(40+L)
1경간	35.00	0.200
2경간	35.00	0.200
지점부	35.00	0.200

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도



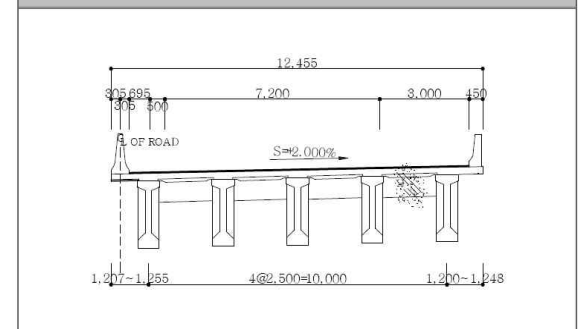
나. 종단면도



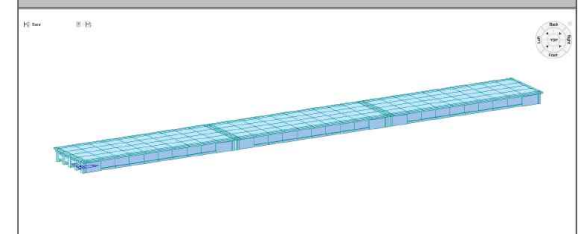
5.2 PCS Beam Girder 구조해석

5.2.1 모델링

구조해석 모델링 [횡단면도]



구조해석 모델링 [종단면도]



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 중대교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

가. 작용하중에 의한 응력(외측거더)

구분		모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m³)	콘크리트단면 휨응력(MPa)				P.S강선 (MPa)
				슬래브	P.S.C BEAM			
					상연	상연	하연	
고정 하중	BEA M자중	3054.8	412792		7.401			
			-430423			-7.097		
			-488478				-6.254	
	합성전	2803.8	426653		6.572			
			-483761			-5.796		
			-552334				-5.076	34.651
	합성후	2192.9	1545449		1.419			
			-676765			-3.240		
			1137858	1.927				
			-738553				-2.969	20.268
활하중	2615.4	1545449		1.692				
		-676765			-3.865			
		1137858	2.299					
		-738553				-3.541	24.173	
합계		10667.1		4.226	17.084	-19.998	-17.840	79.092

나. 허용응력 검토 결과(외측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	6.267	7.401	1.134	17.600	-O.K-	
	하 연	21.069	7.097	13.972	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	5.560	17.084	11.524	16.000	-O.K-	
	하 연	18.690	19.998	1.308	3.200	-O.K-	
슬 레 브	-	-	4.226	4.226	11.000	-O.K-	

5.2.3 PSC 거더 부재검토

가. 외력에 의한 계수 모멘트

구 분	고정하중(D) (kN · m)	활하중(L+i) (kN · m)	비 고
외측거더	8051.684	2615.481	
내측거더	5867.694	2892.872	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 16090.473 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\sigma M_u = \sigma \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}}))$$

$$= 19593.510 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 16090.473 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 13847.677 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\sigma M_u = \sigma \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}}))$$

$$= 19589.074 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 13847.677 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	Φ (kN · m)	M_u (kN · m)	M_d (kN · m)	M_i (kN · m)	비 고
외측거더	19593.510	16090.473	8051.684	2615.481	
내측거더	19589.074	13847.677	5867.694	2892.872	

다. 작용하중에 의한 응력(내측거더)

구 분		모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m³)	콘크리트단면 휨응력(MPa)			P.S강선 (MPa)	
				슬래브	P.S.C BEAM			
					강선 도심	강선 도심		강선 도심
		상 연	상 연	하 연	강선 도심	강선 도심	강선 도심	
고정 하중	BEA M자중	3054.8		412792		7.400		
				-430423			-7.100	
				-488478				-6.250
	합성전	2605.0		426653		6.110		
				-483761			-5.380	
				-552334			-4.720	32.190
	합성후	207.7		1541520		0.130		
				-676494			-0.310	
				1135411	0.180			
				-738301			-0.280	1.920
활 하 중	2892.8		1541520		1.880			
			-676494			-4.280		
			1135411	2.550				
			-738301			-3.920	26.750	
합 계		8760.5		2.730	15.520	-17.070	-15.170	60.860

라. 허용응력 검토 결과(내측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	6.267	7.400	1.133	17.600	-O.K-	
	하 연	21.069	7.100	13.969	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	5.440	15.520	10.080	16.000	-O.K-	
	하 연	18.280	17.070	1.210	16.000	-O.K-	
슬 레 브	-	-	2.730	2.730	11.000	-O.K-	

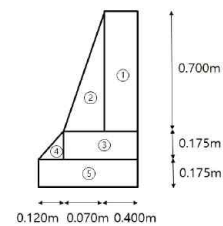
5.2.4 바닥판 부재검토

가. 캔틸레버부의 단면력 검토

1) 바닥판의 최소 두께 : 바닥판의 최소두께는 220mm < 240mm(사용두께) O.K.

2) 하중의 산정

- 고정하중 산정



구 분	고정하중(kN)	거리(m)	모멘트(kN.m)
연식	① $0.230 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	4.025	0.784
	② $1/2 \times 0.07 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	0.613	0.646
	③ $0.300 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.312	0.749
	④ $1/2 \times 0.120 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	0.263	0.559
	⑤ $0.420 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.837	0.689
포 장	⑥ $0.05 \times 0.419 \times 1.0 \times 23.5 =$	0.492	0.209
바닥판	⑦		2.268
방음벽	⑧	1.000	0.000
계			8.319

- 활하중 산정

$$\cdot X = 0.119$$

$$\cdot i = 15 / (0.119 + 40) = 0.374 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3$$

$$\cdot E = 0.8X + 1.14 = 1.235$$

$$\cdot M_i = \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.235} \times 0.119 \times (1+0.3) = 12.025 \text{ kN.m}$$

자료 _ 중대교(초기안전점검 보고서)

나. 최대 계수 모멘트 계산 (켄틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 36.668 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{25.349}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 36.668 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

다. 중앙부의 단면력 검토

1) 바닥판의 최소 두께 : 바닥판의 최소두께는 $220\text{mm} < 240\text{mm}$ (사용두께) O.K.

2) 하중의 산정

- 고정하중에 의한 발생력 산정

$$\begin{aligned} \cdot \text{지 간} &: 2.500\text{m} \\ \cdot \text{포 장} &: 0.050 \times 23.5 = 1.175\text{kN/m} \\ \cdot \text{콘크리트} &: 0.240 \times 25.0 = 6.000\text{kN/m} \\ \cdot \text{합 계} &: 7.175\text{kN/m} \\ \cdot M_d &= \frac{W_d l^2}{10} = \frac{7.175 \times 2.500^2}{10} = 4.484\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- 활하중 산정

$$\begin{aligned} \cdot i &= 15 / (2.50 + 40) = 0.352 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3 \\ \cdot M_{L+i} &= \frac{L + 0.6}{0.6} \times P_i (1+i) \times 0.8 = 32.240\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

라. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 75.145 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1986 \times 400 \times (200.0 - \frac{34.614}{2}) \\ &= 123.362\text{kN} \cdot \text{m} > Mu = 75.145\text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

5.2.6 실속보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계산처짐량과 실속처짐량에 충격계수를 고려하여 실속보정계수(Ks)를 다음과 같이 구하였다.

$$K_s = \frac{\varepsilon \text{ 계산}}{\varepsilon \text{ 실속}} \times \left(\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실속}} \right) \quad \text{or} \quad \frac{\delta \text{ 계산}}{\delta \text{ 실속}} \times \left(\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실속}} \right)$$

여기서, δ 계산 = 이론 처짐량 i 계산 = 이론 충격계수

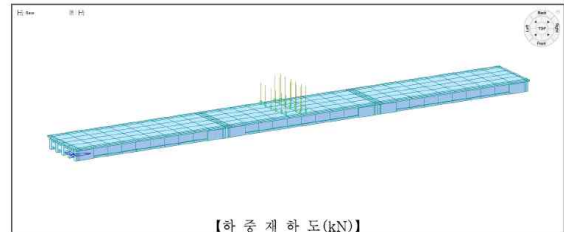
δ 실속 = 실속 처짐량 i 실속 = 실속 충격계수

【처짐량에 의한 실속보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실속처짐 (mm)	δ 계산 δ 실속	$1+i$ 계산 $1+i$ 실속	실속보정계수 (Ks)
중대교	LC.1	Disp.1	-2.204	-1.602	1.376		1.408
		Disp.2	-1.556	-1.057	1.472		1.506
		Disp.3	-0.928	-0.557	1.666		1.704
		Disp.4	-0.357	-0.155	2.303		2.356
		Disp.5	0.187	0.285	0.656		0.671
	LC.2	Disp.1	-0.882	-0.587	1.503	1.023	1.538
		Disp.2	-0.962	-0.689	1.396		1.428
		Disp.3	-1.024	-0.819	1.250		1.279
		Disp.4	-0.995	-0.788	1.263		1.292
		Disp.5	-0.943	-0.638	1.478		1.512
	LC.3	Disp.1	0.209	0.316	0.661		0.676
		Disp.2	-0.306	-0.106	2.887		2.953
		Disp.3	-0.851	-0.561	1.517		1.552
		Disp.4	-1.456	-1.255	1.160		1.187
		Disp.5	-2.097	-1.874	1.119		1.145

5.2.5 재하시험에 의한 구조해석

실용담보정계수(Ks)를 산정하기 위해 재하시험과 동일한 위치에 차량 하중을 재하하여 Plate 요소를 이용한 3D 구조해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-2.204	-0.882	0.209
D2(mm)	-1.556	-0.962	-0.306
D3(mm)	-0.928	-1.024	-0.851
D4(mm)	-0.357	-0.995	-1.456
D5(mm)	0.187	-0.943	-2.097

· 교량 좌, 우측은 교량 서점측(A1)에서 종점측(A2)을 바라봤을 경우에 해당함.

5.2.7 내하율(R.F)산정

가. 허용응력법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{f_a - f_b}{f_t} = \frac{f_a - (f_t - f_t)}{f_t}$$

여기서, f_a : 실속 허용 응력

f_t : 총하중에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력

f_b : 실속 고정하중에 의한 응력

f_t : 활하중(충격계수포함)에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력

【허용응력설계법에 의한 내하율(R.F)】

구 분	고정하중응력 (MPa)	활하중응력 (MPa)	유효프리스트레스 (MPa)	허용응력 (MPa)	R.F
중대교	상연	15.392	1.692	5.560	3.645
	하연	16.133	3.865	18.690	3.478
	상연	13.640	1.880	5.440	4.149
	하연	12.790	4.280	18.280	2.456

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_L (1+i)}$$

ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)

M_d : 총하중에 의한 극한모멘트

$\gamma_d M$: 실속 고정하중모멘트(γ_d : 고정하중 계수 = 1.3)

$\gamma_L M$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_L : 활하중 계수 = 2.15)

자료 _ 중대교(초기안전점검 보고서)

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	M_d (kN·m)	M_u (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_u M_u(1+i)$ (kN·m)	R.F
켄틸레버부	91.703	8.319	12.025	10.815	3.129
중 앙 부	123.362	4.484	32.240	5.829	1.696

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_u (kN·m)	M_i (kN·m)	$\gamma_u M_u$ (kN·m)	$\gamma_u M_i(1+i)$ (kN·m)	R.F
외측거더	19593.510	8051.684	2615.481	10,467.189	5,623.284	1.623
내측거더	19589.074	5867.694	2892.872	7,628.002	6,219.675	1.923

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

$$P_0 = R.F \times P_L$$

P_0 : 기본내하력

R.F : 내하율

P_L : 설계하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_0' = P_0 \times K_s$$

여기서, P_0' : 공용내하력

$$K_s : \text{실속보정계수} = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + i_{\text{실속}}}} \times \left(\frac{1 + i_{\text{실속}}}{1 + i_{\text{설계}}} \right)$$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
중대교	거더 (하용응력)	2.456	DB- 58.944	1.187	DB- 69.967	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.623	DB- 38.952	1.187	DB- 46.236	DB-24 이상
	바닥판	1.696	DB- 40.704	-		DB-24 이상

5.3 PCS Beam Girder안전성평가

【구조물의 안전성평가 기준】

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	
B	$0.9 \leq SF < 1.0$ 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	하용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_s}{f_{d+i}}$
C	$0.9 \leq SF < 1.0$	
D	$0.75 \leq SF < 0.9$	강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u}$
E	SF < 0.75	

5.3.1 허용응력설계법

구 분	허용응력 (MPa)	PRESTRESS (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중 (1+i) (MPa)	S.F
중대교	외측 거더 상면	16.000	5.560	15.392	1.388
	하면	16.000	18.690	16.133	3.865
	내측 거더 상면	16.000	5.440	13.640	1.880
	하면	16.000	18.280	12.790	4.280

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	91.703	36.668	2.501	SF = 1.0 이상
중 앙 부	123.362	75.145	1.642	SF = 1.0 이상

나. 거더

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	19593.510	16090.473	1.218	SF = 1.0 이상
내측거더	19589.074	13847.677	1.415	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【중대교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 제 명		최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바닥판	켄틸레버	2.501	3.129	DB-24이상	A	강도설계법
	중 앙 부	1.642	1.696	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	외측거더	1.388	3.478	DB-24이상	A	허용응력설계법
	내측거더	1.587	2.456	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석		●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.642로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.388로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. ●최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				