

구조안전성능 자료 _ 대성교

자료 _ 대성교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력평가

5.1 개요

5.1.1 검토 조건

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

가. 구조물 제원

교량명	대성교		
형식	PCS Beam Girder	교량등급	1등급
연장	L = 4@30.00 = 120.00 m	교량폭원	B = 11.825 m

나. 사용재료

1) 콘크리트

바닥판	fck = 27 MPa	PSC Beam	fck = 40 MPa
	Ec = 2.55E+04 MPa		Ec = 3.14E+04 MPa

2) P.S 강재

종류	KS D 7002, SWPC 7B Ø12.7mm
탄성계수	Ep = 2.00E+05 MPa
fpy	1600 MPa
fpu	1900 MPa
곡률 마찰계수	0.25/Radian
파상 마찰계수	0.005/m
슬래브길이	6.000 m

3) 철근

철근	fy = 400 MPa
	Ec = 2.00E+05 MPa

5.1.3 하중산정

가. 고정하중

구분	콘크리트	강재	포장
단위중량(kN/m³)	25.00	78.50	23.50

: PSC 거터 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

1) 합성전 바닥판 타설하중 (PSC 거터 적용)

2) 합성후 고정하중(방호벽, 포장하중)

$$\textcircled{1} \text{ 방호벽} = (0.326 \times 25.00) / 0.42 = 19.443 \text{ kN/m}^2$$

$$\textcircled{2} \text{ 포장} = 0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$$

나. 활하중

1) 설계차로폭 및 차로수

- 일반구간 : 연석간 폭 : Wc = 11.825 m

$$\therefore \text{설계차로수, } N = 3 \text{ (} 9.1\text{m} \leq Wc < 12.8\text{m)}$$

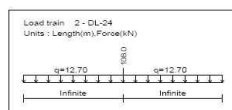
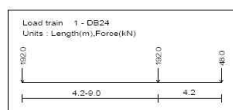
$$\text{설계차로폭 : } W = Wc / N = 11.825 / 3 = 3.942 > 3.600\text{m} \therefore 3.600\text{m}$$

2) 하중강도와 충격계수

$$\textcircled{1} \text{ 차선하중 (DL-24) : } WL = 12.7 \text{ kN/m, } P_m = 108 \text{ kN, } P_s = 156 \text{ kN}$$

$$\textcircled{2} \text{ 차륜하중 (DB-24) : } \text{전륜하중, } P_f = 24.0\text{kN, 후륜하중, } P_r = 96.0\text{kN}$$

3) 제하차량

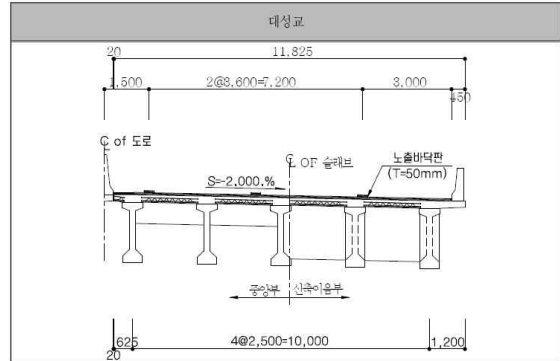


4) 충격계수

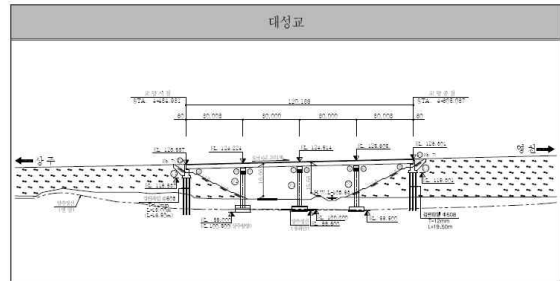
구분	지간장.L(m)	충격계수, 15/(40+L)
1경간	30.00	0.214
2경간	30.00	0.214
지점부	30.00	0.214

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도

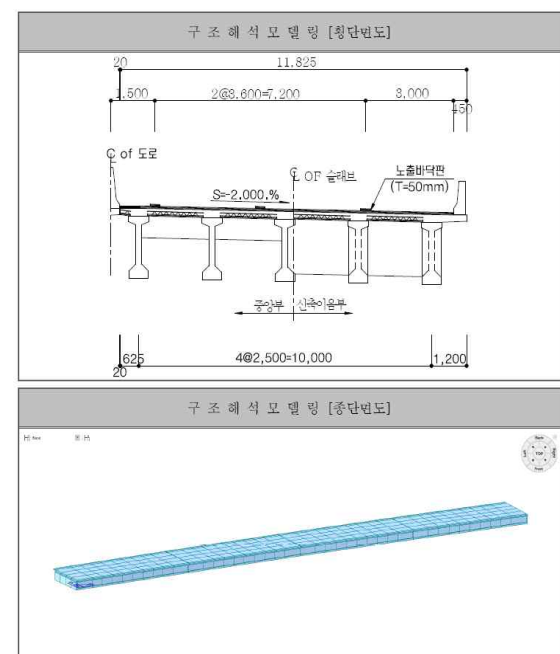


나. 종단면도



5.2 PCS Beam Girder 구조해석

5.2.1 모델링



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 대성교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 응력검토

가. 작용하중에 의한 응력(외측거더)

구 분	모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면 휨응력(MPa)				P.S강선 (MPa)	
			P.S.C BEAM				강선 도심	
			상 연	상 연	하 연	강선 도심	강선 도심	강선 도심
고정하중	BEA M자중	1982.0	31326		6.327			
			-32801			-6.043		
			-36962				-5.362	
			32254	1.728				
	합성전	557.4	-36665		-1.52			
			-41548			-1.342	36.668	
			97686	0.702				
			-49987		-1.373			
	합성후	686.2	72119	0.951				
			-54520			-1.259	26.794	
			97686	1.588				
			-49987		-3.103			
활 하 중	1551.2		72119	2.151				
			-54520			-2.845	24.607	
			97686					
			-49987					
합 계	4776.9		3.102	10.345	-12.039	-10.808	88.069	

나. 허용응력 검토 결과(외측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	4.651	6.327	1.676	1.400	-O.K-	
	하 연	15.525	6.043	9.482	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	4.240	10.345	6.105	16.000	-O.K-	
	하 연	9.482	12.039	2.121	16.000	-O.K-	
슬 레 브	-	3.102	3.102	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	3225.749	1551.250	
내측거더	2885.893	1288.788	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 7528.662 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 10819.025 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 7528.662 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 6522.556 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 11005.377 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 6522.556 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	ϕM_n (kN · m)	M_u (kN · m)	M_d (kN · m)	M_l (kN · m)	비 고
외측거더	10819.025	7528.662	3225.749	1551.250	
내측거더	11005.377	6522.556	2885.893	1288.788	

다. 작용하중에 의한 응력(내측거더)

구 분	모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면 휨응력(MPa)				P.S강선 (MPa)	
			P.S.C BEAM				강선 도심	
			상 연	상 연	하 연	강선 도심	강선 도심	강선 도심
고정하중	BEA M자중	1982.0	31326		6.330			
			-32801			-6.040		
			-36962				-5.360	
			32254	1.350				
	합성전	434.4	-36665		-1.180			
			-41548			-1.050	7.140	
			97686	0.340				
			-52728		-0.890			
	합성후	469.4	96026	0.490				
			-57069			-0.820	5.610	
			137626	0.940				
			-52728		-2.440			
활 하 중	1288.7		96026	1.340				
			-57069			-2.260	15.410	
			137626					
			-52728					
합 계	4174.6		1.830	8.960	-10.550	-9.490	28.160	

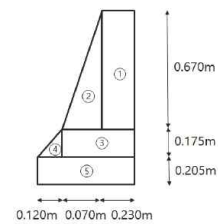
라. 허용응력 검토 결과(내측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	4.651	6.330	1.670	1.400	-O.K-	
	하 연	15.525	6.040	9.485	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	4.220	8.960	4.740	16.000	-O.K-	
	하 연	14.090	10.550	3.540	16.000	-O.K-	
슬 레 브	-	1.830	1.830	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)
연석	① 0.230×0.700×1.00×25.0=	4.025	2.898
	② 1/2×0.07×0.670×1.00×25.0=	0.586	0.582
	③ 0.300×0.175×1.0×25.0=	1.313	0.685
	④ 1/2×0.120×0.175×1.0×25.0=	0.263	0.495
	⑤ 0.420×0.205×1.0×25.0=	2.153	1.346
포 장	⑥ 0.05×0.385×1.0×23.5=	0.452	0.193
바닥판	⑦ 0.835×0.240×1.0×25.0=	5.010	0.418
방음벽	⑧	1.100	0.000
계			7.795

- 활하중 산정

- X = 0.103
- i = 15/(0.103+40) = 0.374 > 0.3 이므로 i = 0.3
- E = 0.8X + 1.14 = 1.222
- $M_l = \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.222} \times 0.103 \times (1+0.3) = 10.519 \text{ kN} \cdot \text{m}$

자료 _ 대성교(초기안전점검 보고서)

나. 최대 계수 모멘트 계산 (캔틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 32.749 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 993.00 \times 400 \times (180.0 - \frac{17.310}{2}) \\ &= 57.850 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 32.749 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \Delta \text{ O.K.} \end{aligned}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (중양부)

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

2) 하중의 산정

- 고정하중에 의한 발생력 산정

$$\begin{aligned} \cdot \text{지 간} &: 1.800\text{m} \\ \cdot \text{포 장} &: 0.050 \times 23.5 = 1.175\text{kN/m} \\ \cdot \text{콘크리트} &: 0.240 \times 25.0 = 6.000\text{kN/m} \\ \cdot \text{합 계} &: 7.175\text{kN/m} \\ \cdot M_d &= \frac{W_e l^2}{10} = \frac{7.175 \times 1.800^2}{10} = 2.325\text{kNm} \end{aligned}$$

- 활하중 산정

$$\begin{aligned} \cdot i &= 15 / (1.800 + 40) = 0.359 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3 \\ \cdot M_{l+i} &= \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_r (1 + i) \times 0.8 = 24.960\text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

라. 최대 계수 모멘트 계산 (캔틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 56.686 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.300}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 56.686 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \Delta \text{ O.K.} \end{aligned}$$

5.2.6 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량축하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계산치 처짐량과 실측처짐량에 충격계수를 고려하여 실측보정계수(Ks)를 다음과 같이 구하였다.

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

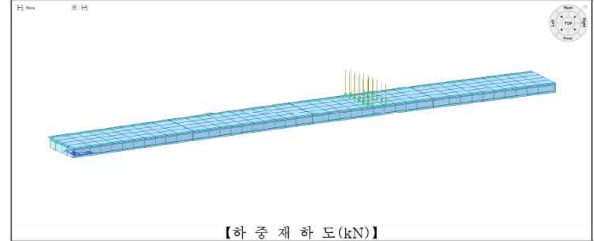
여기서, δ 계산 = 이론 처짐량 i 계산 = 이론 충격계수
 δ 실측 = 실측 처짐량 i 실측 = 실측 충격계수

【처짐량에 의한 실측보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실측처짐 (mm)	$\frac{\delta \text{ 계산}}{\delta \text{ 실측}}$	$\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실측}}$	실측보정계수 (Ks)
대성교	LC.1	Disp.1	-2.653	-1.856	1.429		1.505
		Disp.2	-1.854	-1.192	1.555		1.637
		Disp.3	-1.081	-0.622	1.738		1.830
		Disp.4	-0.376	-0.163	2.307		2.429
		Disp.5	0.293	0.243	1.206		1.270
	LC.2	Disp.1	-1.043	-0.564	1.849		1.947
		Disp.2	-1.127	-0.701	1.608		1.693
		Disp.3	-1.186	-0.855	1.387	1.053	1.461
		Disp.4	-1.137	-0.666	1.707		1.797
		Disp.5	-1.061	-0.396	2.679		2.821
	LC.3	Disp.1	0.298	0.290	1.028		1.082
		Disp.2	-0.324	-0.033	9.818		10.338
		Disp.3	-0.991	-0.364	2.723		2.867
		Disp.4	-1.743	-0.862	2.022		2.129
		Disp.5	-2.527	-1.279	1.976		2.081

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.



【하중재하도(kN)】

구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-2.653	-1.043	0.298
D2(mm)	-1.854	-1.127	-0.324
D3(mm)	-1.081	-1.186	-0.991
D4(mm)	-0.376	-1.137	-1.743
D5(mm)	0.293	-1.061	-2.527

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

5.2.7 내하율(R.F) 산정

가. 허용응력법에 의한 내하율 산정

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

여기서, f_a : 실측 허용 능력
 f_t : 총하중에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력
 f_d : 실측 고정하중에 의한 응력
 f_i : 활하중(충격계수포함)에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력

【허용응력설계법에 의한 내하율(R.F)】

구분		고정하중응력 (MPa)	활하중응력 (MPa)	유효프리스트레스 (MPa)	허용응력 (MPa)	R.F	
대성교	외측 거터	상연	10.345	1.588	4.240	16.000	6.231
		하연	8.936	3.103	14.160	16.000	3.473
	내측 거터	상연	8.020	0.940	4.220	16.000	12.979
		하연	8.110	2.440	14.090	16.000	4.107

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

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

여기서, ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)
 M_d : 총하중에 의한 극한모멘트
 $\gamma_d M$: 실측 고정하중모멘트(γ_d : 고정하중 계수 = 1.3)
 $\gamma_l M$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_l : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_d (kN·m)	M_l (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_l M_l (1+i)$ (kN·m)	R.F
캔틸레버부	57.850	7.795	10.519	10.134	22.616	2.110
중 양 부	91.703	2.325	24.960	3.023	53.664	1.653

자료 _ 대성교(초기안전점검 보고서)

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	ϕM_d (kN · m)	M_d (kN · m)	M_u (kN · m)	$\gamma_e M_d$ (kN · m)	$\gamma_e M_d(1+i)$ (kN · m)	R.F
외측거더	10819.025	3225.749	1551.250	4,193.474	3,335.188	1.987
내측거더	11005.377	2855.893	1288.788	3,751.661	2,770.894	2.618

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

여기서, P_o : 기본내하력

$R.F$: 내하율

P_L : 설계활하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_o' = P_o \times K_s$$

여기서, P_o' : 공용내하력

$$K_s : \text{실측보정계수} = \frac{\text{공정일}}{\text{실측일}} \times \left(\frac{1+i \text{정일}}{1+i \text{실측}} \right)$$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
대성교	거더 (허용응력)	3.473	DB- 83.352	1.461	DB- 121.777	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.987	DB- 47.688	1.461	DB- 69.672	DB-24 이상
	바닥판	1.653	DB- 39.672	-		DB-24 이상

나. 거더

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	10819.025	7528.662	1.437	SF = 1.0 이상
내측거더	11005.377	6522.556	1.687	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【대성교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 제 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고	
바닥판	켄틸레버	1.766	2.110	DB-24이상	A	강도설계법
	중 앙 부	1.618	1.653	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	외측거더	2.080	3.473	DB-24이상	A	허용응력설계법
	내측거더	3.376	4.107	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석		●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.618로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 2.080로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. ●최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				

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	*허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_d}{f_{d+1}}$
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
대성교	외측 거더	상면	16.000	4.240	10.345	1.588	2.080
		하면	16.000	14.160	8.936	3.103	7.544
	내측 거더	상면	16.000	4.220	8.020	0.940	3.376
		하면	16.000	14.090	8.110	2.440	4.520

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	57.850	32.749	1.766	SF = 1.0 이상
중 앙 부	91.703	56.686	1.618	SF = 1.0 이상