

구조안전성능 자료 _ 내포교

자료 _ 내포교(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, 구조개산서상에 정리된 교량제원, 사용재료 및 허용응력, CASE별 설계하중에 따른 응력 비교 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 구조물 제원

교량명	내포교		
형식	PCS Beam Girder	교량등급	1등급
연장	L = 4@30.00 = 120.00 m	교량폭원	B = 11.995 m

나. 사용재료

1) 콘크리트

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

2) P.S 강재

종류	KS D 7002, SWPC 7B ϕ 12.7mm
탄성계수	Ep = 2.00E+05 MPa
fy	1600 MPa
fpu	1900 MPa
곡률 마찰계수	0.25/Radian
파상 마찰계수	0.005/m
슬립량	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/m ³)	25.00	78.50	23.50

: PSC 거더 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

- 1) 합성전 바닥판 타설하중 (PSC 거더 적용)
- 2) 합성후 고정하중 (방호벽, 포장하중)
 - ① 방호벽+방음벽 = $(1.000 + 0.500 \times 25.00) / 0.59 = 22.902 \text{ kN/m}^2$
 - ② 포장 = $0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$

나. 활하중

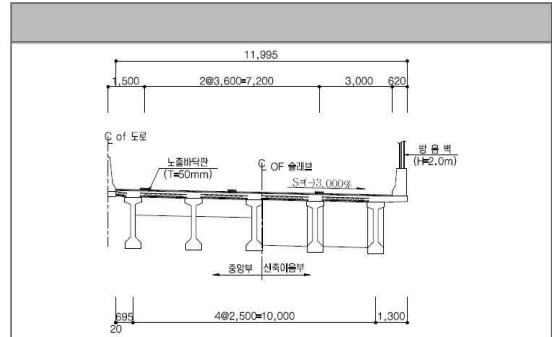
- 1) 설계차로폭 및 차로수
 - 일반구간 : 연석간 폭 : Wc = 11.995 m
 - 설계차로수, N = 3 ($9.1\text{m} \leq Wc < 12.8\text{m}$)
 - 설계차로폭 : W = Wc / N = 11.995 / 3 = 3.998 > 3.600m $\therefore$ 3.600m
- 2) 하중강도와 충격계수
 - ① 차선하중 (DL-24) : WL = 12.7 kN/m, Pm = 108 kN, Ps = 156 kN
 - ② 차륜하중 (DB-24) : 전륜하중, Pf = 24.0kN, 후륜하중, Pr = 96.0kN
 - ③ 제하차량

④ 충격계수

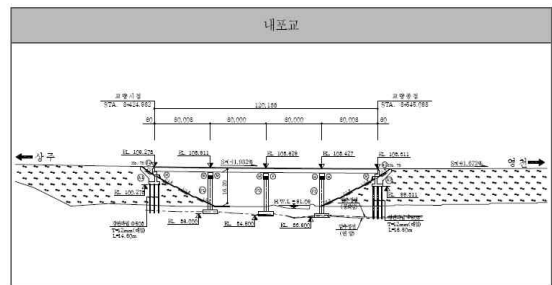
구분	지간장L(m)	충격계수, 15/(40+L)
1지간	30.00	0.214
2지간	30.00	0.214
지점부	30.00	0.214

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도

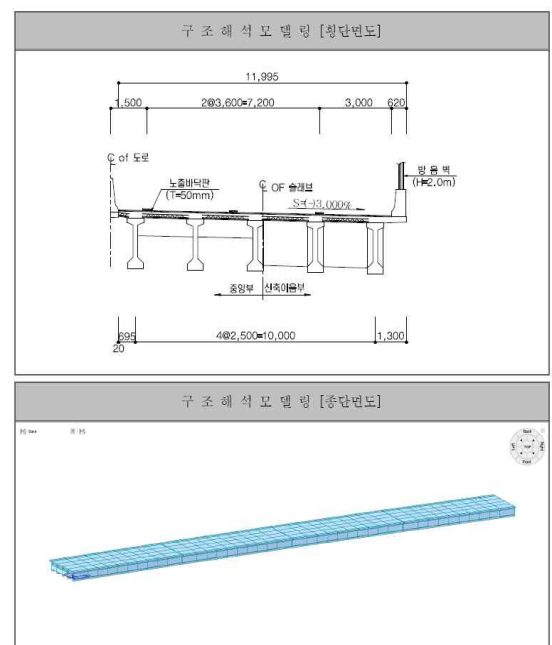


나. 종단면도



5.2 PCS Beam Girder 구조해석

5.2.1 모델링



※ 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 내포교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

가. 작용하중에 의한 응력(외측거더)

구 분		모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면 허용력(MPa)				P.S강선 (MPa)
				슬래브	P.S.C BEAM			
					상 연	상 연	하 연	
고정 하중	BEA M자중	1982.0	31326		6.327			
			32801		-6.043			
			-36962			-5.362		
	합성전	1311.8	32254		4.067			
			-36665		-3.578			
			-41548			-3.158	21.553	
	합성후	996.0	97686		1.020			
			-49987		-1.992			
			72119	1.381				
			-54520			-1.827	12.470	
			97686		2.158			
			-49987		-4.216			
활 하 중	2107.7	72119	2.923					
		-54520			-3.866	26.389		
합 계		6397.6	4.304	13.572	-15.829	-14.213	60.412	

나. 허용응력 검토 결과(외측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	6.091	6.327	0.236	1.400	-O.K-	
	하 연	20.335	6.043	14.292	17.600	-O.K-	
구 분		실제하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	5.430	16.994	11.564	16.000	-O.K-	
	하 연	18.110	18.839	0.729	3.200	-O.K-	
슬 래 브		-	4.304	4.304	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	5393.484	2107.733	
내측거더	5017.430	1766.489	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 11543.156 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 14194.646 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 11543.156 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 10320.610 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 14528.304 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 10320.610 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	Φ (kN · m)	M_u (kN · m)	M_u (kN · m)	M_u (kN · m)	비 고
외측거더	14194.646	11543.156	5393.484	2107.733	
내측거더	14528.304	10320.610	5017.430	1766.489	

다. 작용하중에 의한 응력(내측거더)

구 분		모멘트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면 허용력(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	1982.0	31326		6.330			
			-32801			-6.040		
			-36962				-5.360	
	합성전	2182.0	32254		6.760			
			-36665			-5.950		
			-41548				-5.250	35.850
	합성후	853.3	137626		0.620			
			-52728			-1.620		
			96026	0.890				
			-57069				-1.500	10.210
			137626		1.280			
			-52728			-3.350		
활 하 중	1766.4	96026	1.840					
		-57069				-3.100	21.130	
합 계		6783.9		2.730	14.990	-16.960	-15.210	67.190

라. 허용응력 검토 결과(내측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	6.091	6.30	0.230	1.400	-O.K-	
	하 연	20.335	6.040	4.295	17.600	-O.K-	
구 분		실제하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 연	5.390	14.990	9.600	16.000	-O.K-	
	하 연	18.000	16.960	1.040	16.000	-O.K-	
슬 래 브		-	2.730	2.730	11.000	-O.K-	

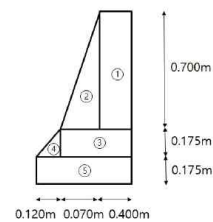
5.2.4 바닥판 부재검토

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)
연석	①	$0.400 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	7.000	0.750
	②	$1/2 \times 0.07 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	0.613	0.527
	③	$0.470 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	2.056	0.715
	④	$1/2 \times 0.120 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	0.263	0.440
	⑤	$0.590 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	2.581	0.655
포 장	⑥	$0.05 \times 0.330 \times 1.0 \times 23.5 =$	0.388	0.165
바닥판	⑦	$0.950 \times 0.240 \times 1.0 \times 25.0 =$	5.700	0.475
	⑧		1.000	0.640
계				12.262

- 활하중 산정

$$\cdot X = 0.033$$

$$\cdot i = 15 / (0.033 + 40) = 0.374 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3$$

$$\cdot E = 0.8X + 1.14 = 1.166$$

$$\cdot M_i = \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.166} \times 0.033 \times (1+0.3) = 3.532 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

자료 _ 내포교(초기안전점검 보고서)

나. 최대 계수 모멘트 계산 (켄틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 23.535 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \sigma M_u &= \sigma \times A_s \times I_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.349}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 23.535 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K} \end{aligned}$$

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

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

- 활하중 산정

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

라. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 56.687 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \sigma M_u &= \sigma \times A_s \times I_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.300}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 56.687 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K} \end{aligned}$$

5.2.6 실측보정계수 산정

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

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

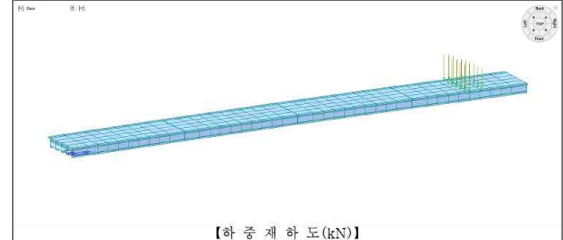
여기서, δ 계산 = 이론 처짐량 i 계산 = 이론 충격계수
 δ 실측 = 실측 처짐량 i 실측 = 실측 충격계수

【처짐량에 의한 실측보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실측처짐 (mm)	δ 계산 δ 실측	1+i 계산 1+i 실측	실측보정계수 (Ks)
내포교	LC.1	Disp.1	-3.096	-2.147	1.442		1.500
		Disp.2	-2.130	-1.411	1.510		1.570
		Disp.3	-1.191	-0.718	1.659		1.725
		Disp.4	-0.332	-0.210	1.581		1.644
		Disp.5	0.486	0.338	1.438		1.496
	LC.2	Disp.1	-1.179	-0.713	1.654		1.720
		Disp.2	-1.261	-0.839	1.503		1.563
		Disp.3	-1.320	-0.902	1.463	1.040	1.522
		Disp.4	-1.239	-0.769	1.611		1.675
		Disp.5	-1.135	-0.478	2.374		2.469
LC.3	LC.3	Disp.1	0.473	0.214	2.210		2.298
		Disp.2	-0.321	-0.151	2.126		2.211
		Disp.3	-1.158	-0.594	1.949		2.027
		Disp.4	-2.078	-1.253	1.658		1.724
		Disp.5	-3.022	-1.992	1.517		1.578

5.2.5 제하시험에 의한 구조해석

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



구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-3.096	-1.179	0.473
D2(mm)	-2.130	-1.261	-0.321
D3(mm)	-1.191	-1.320	-1.158
D4(mm)	-0.332	-1.239	-2.078
D5(mm)	0.486	-1.135	-3.022

: 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

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

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)】

구 분	고정하중응력 (MPa)	활하중응력 (MPa)	유효프리스트레스 (MPa)	허용응력 (MPa)	R.F
내포교	상연	14.836	2.158	5.430	3.056
	하연	14.623	4.216	18.110	2.968
	상연	13.710	1.280	5.390	6.000
	하연	13.610	3.350	18.000	3.466

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_u - \gamma_d M_d}{\gamma_1 M_i (1 + i)}$$

ϕM_u : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)
 M_u : 총하중에 의한 극한모멘트
 $\gamma_d M_d$: 실측 고정하중모멘트(γ_d : 고정하중 계수 = 1.3)
 $\gamma_1 M_i$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_1 : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_u (kN · m)	M_d (kN · m)	M_i (kN · m)	$\gamma_d M_d$ (kN · m)	$\gamma_1 M_i (1 + i)$ (kN · m)	R.F
켄틸레버부	91.703	12.262	3.532	15.941	7.594	9.977
중 양 부	91.703	2.325	24.960	3.023	53.664	1.653

자료 _ 내포교(초기안전점검 보고서)

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	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	14194.646	5393.484	2107.733	7,011.529	4,531.626	1.585
내측거더	14528.304	5017.430	1766.489	6,522.659	3,797.951	2.108

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

P_o : 기본내하력

R.F : 내하율

P_L : 설계하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_o' = P_o \times K_s$$

여기서, P_o' : 공용내하력

$$K_s : \text{실측보강계수} = \frac{s}{s_{\text{설계}}} \times \left(\frac{1+i_{\text{설계}}}{1+i_{\text{실측}}} \right)$$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
내포교	거더 (허용응력)	2.968	DB- 71.232	1.500	DB- 106.848	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.585	DB- 38.040	1.500	DB- 57.060	DB-24 이상
	바닥판	1.633	DB- 39.672	-		DB-24 이상

나. 거더

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	14194.646	11543.156	1.230	SF = 1.0 이상
내측거더	14528.304	10320.610	1.408	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【내포교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고	
바닥판	켄틸레버	3.869	9.977	DB-24이상	A	강도설계법
	중 앙 부	1.618	1.653	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	외측거더	1.384	2.968	DB-24이상	A	허용응력설계법
	내측거더	1.667	3.466	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석	●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.618로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.384로 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 설계하중 보다 크게 평가된 경우	$\circ$ 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{실측응력}} = \frac{f_s}{f_{d+1}}$
C	$0.9 \leq SF < 1.0$	
D	$0.75 \leq SF < 0.9$	$\circ$ 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
E	SF < 0.75	

5.3.1 허용응력설계법

구 분			허용응력 (MPa)	PRESTRESS (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중(1+i) (MPa)	S.F
내포교	외측 거더	상면	16.000	5.430	14.836	2.158	1.384
		하면	16.000	18.110	14.623	4.216	21.948
	내측 거더	상면	16.000	5.390	13.710	1.280	1.667
		하면	16.000	18.000	13.610	3.350	15.385

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	91.703	23.535	3.896	SF = 1.0 이상
중 앙 부	91.703	56.687	1.618	SF = 1.0 이상