

구조안전성능 자료 _ 창정교

자료 _ 창정교(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 정리하인 다음과 같다.

가. 구조물 제원

교량명	창정교		
형식	PCS Beam Girder	교량등급	1등급
연장	L = 3@35.00 + 2@35.00 = 175.000 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 $\phi 12.7$ mm 7연선 A = 1185mm ² (Strand 1개소당 단위적)
탄성계수	Ep = 2.00E+05 MPa
fpy	1610.78 MPa
fpu	1894.44 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/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 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 : Wc = 11.375 m

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

설계차로폭 : W = Wc / N = 11.375 / 3 = 3.792 > 3.600m $\therefore$ 3.600m

2) 하중강도와 충격계수

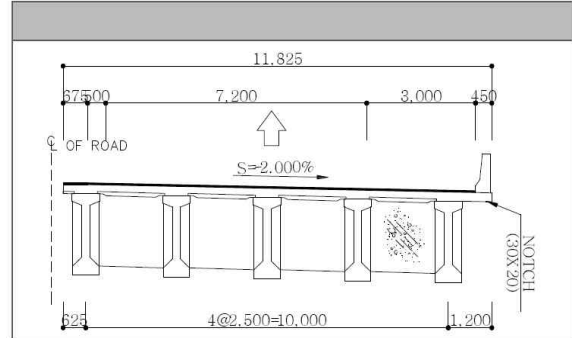
- ① 차선하중 (DL-24) : WL = 12.7 kN/m, Pm = 108 kN, Ps = 156 kN
- ② 차륜하중 (DB-24) : 전륜하중, Pf = 24.0kN, 후륜하중, Pr = 96.0kN
- ③ 제하차량

④ 충격계수

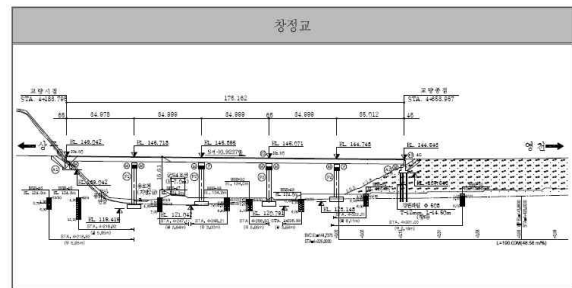
구분	지간장.L(m)	충격계수,15/(40+L)
1경간	35.00	0.200
2경간	35.00	0.200
지점부	35.00	0.200

5.1.2 검토 단면

가. 청단면도

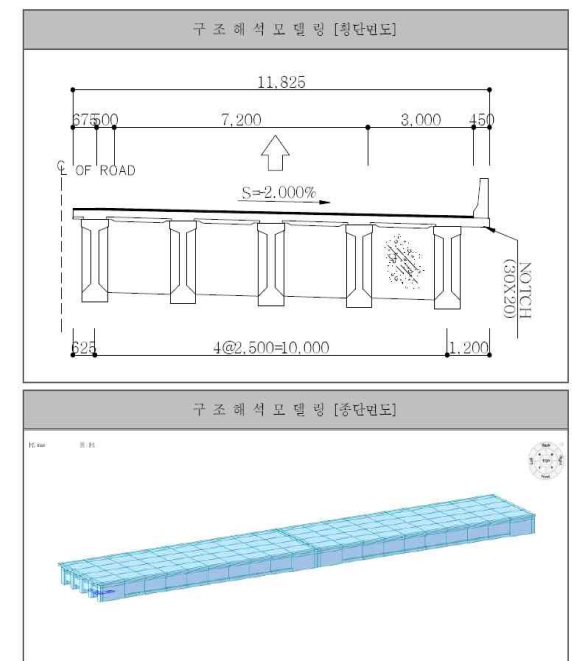


나. 종단면도



5.2 PCS Beam Girder 구조해석

5.2.1 모델링



※ 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 창정교(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			
				상 인	상 인	하 인	강선 도입	강선 도입
고정하중	BEA M자중	3054.8	412792		7.401			
			-430423			-7.097		
			-488478				-6.254	
			426653		6.379			
	합성전	2721.6	-483761			-5.626		
			-552334				-4.928	33.635
			1518399		1.155			
			-674954			-2.599		
	합성후	1754.3	1120999	1.565				
			-736886				-2.381	16.251
활 하 중	2673.0	1518399		1.760				
		-674954			-3.960			
		1120999	2.384					
		-736886				-3.627	24.761	
합 계		10203.9		3.949	16.695	-19.282	-17.190	74.647

나. 허용응력 검토 결과(외측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 인	6.267	7.401	1.134	17.600	-O.K-	
	하 인	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 인	5.530	16.695	11.165	16.000	-O.K-	
	하 인	18.590	19.282	0.692	3.200	-O.K-	
슬 래 브	-		3.949	3.949	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	7530.907	2673.014	
내측거더	5867.694	2892.872	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 15537.159 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\sigma M_b = \sigma \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}})) \\ = 19571.326 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 15537.159 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

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

- 단면검토

$$\sigma M_b = \sigma \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}})) \\ = 19589.074 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 13847.677 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	Φ (kN · m)	M_b (kN · m)	M_d (kN · m)	M_i (kN · m)	비 고
외측거더	19571.326	15537.159	7530.907	2673.014	
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			
					상 인	강선 도입	강선 도입	
고하중 응답	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

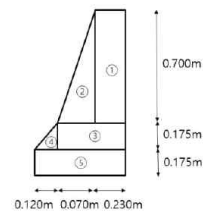
라. 허용응력 검토 결과(내측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 인	6.267	7.400	1.133	17.600	-O.K-	
	하 인	21.069	7.100	13.280	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상 인	5.440	15.520	10.082	16.000	-O.K-	
	하 인	18.280	17.070	1.210	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 0.230 × 0.700 × 1.00 × 25.0 =	4.025	0.735
	② 1/2 × 0.07 × 0.700 × 1.00 × 25.0 =	0.613	0.597
	③ 0.300 × 0.175 × 1.0 × 25.0 =	1.312	0.700
	④ 1/2 × 0.120 × 0.175 × 1.0 × 25.0 =	0.263	0.510
	⑤ 0.420 × 0.175 × 1.0 × 25.0 =	1.837	0.640
포 장	⑥ 0.05 × 0.370 × 1.0 × 23.5 =	0.435	0.185
바닥판	⑦		0.276
방음벽	⑧	1.000	0.000
계			5.908

- 활하중 산정

- X = 0.285
- i = 15 / (0.285 + 40) = 0.374 > 0.3 이므로 i = 0.3
- E = 0.8X + 1.14 = 1.196
- $M_i = \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.196} \times 0.285 \times (1+0.3) = 7.304 \text{ kN} \cdot \text{m}$

자료 _ 창정교(초기안전점검 보고서)

나. 최대 계수 모멘트 계산 (캔틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 23.384 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.349}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kNm} > Mu = 23.384 \text{ kNm} \quad \text{O.K} \end{aligned}$$

다. 중앙부의 단면력 검토

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

2) 하중의 산정

- 고정하중에 의한 발생력 산정
- 지 간 : 2.500m
- 포 장 : $0.050 \times 23.5 = 1.175 \text{ kN/m}$
- 콘크리트 : $0.240 \times 25.0 = 6.000 \text{ kN/m}$
- 합 계 : 7.175 kN/m
- $M_d = \frac{W_d l^2}{10} = \frac{7.175 \times 2.500^2}{10} = 4.484 \text{ kNm}$

- 활하중 산정

- $i = 15 / (2.50 + 40) = 0.352 > 0.3$ 이므로 $i = 0.3$
- $M_{l+i} = \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_r (1+i) \times 0.8 = 32.240 \text{ kNm}$

라. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

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

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.300}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kNm} > Mu = 75.145 \text{ kNm} \quad \text{O.K} \end{aligned}$$

5.2.6 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량과 차량축하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계산치 처짐량과 실측치 처짐량에 충격계수를 고려하여 실측보정계수(Ks)를 다음과 같이 구한다.

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

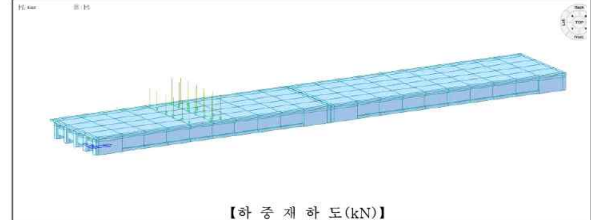
여기서, δ 계산 = 이론 처짐량 i 계산 = 이론 충격계수
 δ 실측 = 실측 처짐량 i 실측 = 실측 충격계수

【처짐량에 의한 실측보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실측처짐 (mm)	δ 계산 δ 실측	$1+i$ 계산 $1+i$ 실측	실측보정계수 (Ks)
창정교	LC.1	Disp.1	-2.568	-2.287	1.123		1.138
		Disp.2	-1.817	-1.614	1.126		1.141
		Disp.3	-1.079	-0.827	1.305		1.322
		Disp.4	-0.396	-0.278	1.424		1.443
		Disp.5	0.258	0.332	0.777		0.787
	LC.2	Disp.1	-1.067	-0.731	1.460		1.479
		Disp.2	-1.123	-0.907	1.238		1.254
		Disp.3	-1.153	-0.998	1.155	1.013	1.170
		Disp.4	-1.090	-0.820	1.329		1.346
		Disp.5	-1.010	-0.650	1.554		1.574
	LC.3	Disp.1	0.351	0.035	4.129		4.183
		Disp.2	-0.321	-0.319	1.006		1.019
		Disp.3	-1.024	-0.828	1.237		1.253
		Disp.4	-1.789	-1.600	1.118		1.133
		Disp.5	-2.592	-2.260	1.147		1.162

5.2.5 재하시험에 의한 구조해석

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



구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-2.568	-1.067	0.351
D2(mm)	-1.817	-1.123	-0.321
D3(mm)	-1.079	-1.153	-1.024
D4(mm)	-0.396	-1.090	-1.789
D5(mm)	0.258	-1.010	-2.592

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

5.2.7 내하율(R.F)산정

가. 허용응력에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{f_a - f_t}{f_t} = \frac{f_a - (f_t - f_1)}{f_t}$$

여기서, f_a : 실측 허용 능력
 f_t : 총하중에 의한 단면 상, 하인에서의 휨응력
 f_{at} : 실측 고정하중에 의한 응력
 f_1 : 활하중(충격계수포함)에 의한 단면 상, 하인에서의 휨응력

【허용응력설계법에 의한 내하율(R.F)】

구 분	고정하중응력 (MPa)	활하중응력 (MPa)	유효프리스트레스 (MPa)	허용응력 (MPa)	R.F
창정교	상면	14.935	1.760	5.530	3.747
	하면	19.282	3.960	18.590	3.866
	상면	13.640	1.880	5.440	4.149
	하면	12.790	4.280	18.230	2.456

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

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

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

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_n (kN·m)	M_d (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_l M_l (1+i)$ (kN·m)	R.F
캔틸레버부	91.703	5.908	7.304	7.680	15.704	5.350
중 양 부	91.703	4.484	32.240	5.829	69.316	1.239

자료 _ 창정교(초기안전점검 보고서)

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	(kN · m)	M _d (kN · m)	M _i (kN · m)	γ _d M _d (kN · m)	γ _d M _i (1+i) (kN · m)	R.F
외측거더	19571.326	7530.907	2673.014	10,467.189	5,623.284	1.619
내측거더	19589.074	5867.694	2892.872	7,628.002	6,219.675	1.923

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

P₀ : 기본내하력
R.F : 내하율
P_L : 설계하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_0' = P_0 \times K_3$$

여기서, P₀' : 공용내하력
K₃ : 실측보정계수 = $\frac{\sigma}{\sigma_{설계}} \times \left(\frac{1+i_{설계}}{1+i_{실측}} \right)$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	K ₃	공용내하력	비 고
창정교	거더 (허용응력)	2.456	DB- 58.944	1.133	DB- 66.784	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.619	DB- 38.856	1.133	DB- 44.024	DB-24 이상
	바닥판	1.239	DB- 29.736	-		DB-24 이상

나. 거더

구 분	σMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	19571.326	15537.159	1.260	SF = 1.0 이상
내측거더	19589.074	13847.677	1.415	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【창정교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명		최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바닥판	켄틸레버	3.922	5.350	DB-24이상	A	강도설계법
	중 양 부	1.220	1.239	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	외측거더	1.433	3.747	DB-24이상	A	허용응력설계법
	내측거더	1.587	2.456	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석		●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.220로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.433로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. ●최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력평가 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 ≤ SF < 1.0 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	○허용응력설계법 SF(안전율) = $\frac{\text{허용응력}}{\text{판응력}} = \frac{f_s}{f_{d+1}}$
C	0.9 ≤ SF < 1.0	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	○강도설계법 SF(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
창정교	외측 거더	상면	16.000	5.530	14.935	1.760	1.433
		하면	16.000	18.590	19.282	3.960	3.439
	내측 거더	상면	16.000	5.440	13.640	1.880	1.587
		하면	16.000	18.280	12.790	4.280	13.223

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	σMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	91.703	23.384	3.922	SF = 1.0 이상
중앙부	91.703	75.145	1.220	SF = 1.0 이상