

구조안전성능 자료 _ 배골교

자료 _ 배골교(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	배골교		
형식	PCS Beam Girder	교량등급	1등급
연장	L = 35.055 + 35.024 + 35.125 = 105.205 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 12 Strand $\phi 12.7\text{mm}$ - 5 Cable A = 1184.52mm ² (Strand 1개소량 단위적)
탄성계수	Ep = 2.00E+05 MPa
fpv	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 거터 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

1) 합성된 바닥판 타설하중 (PSC 거터 적용)

2) 합성후 고정하중(방호벽, 포장하중)

$$\textcircled{1} \text{ 방호벽+방음벽} = (1.152 + 0.500 \times 25.00) / 0.59 = 23.160 \text{ kN/m}^2$$

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

나. 활하중

1) 설계차로폭 및 차로수

$$\text{— 일반구간: 연석간 폭: } Wc = 11.995 - 0.620 = 11.375 \text{ m}$$

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

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

2) 하중강도와 충격계수

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

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

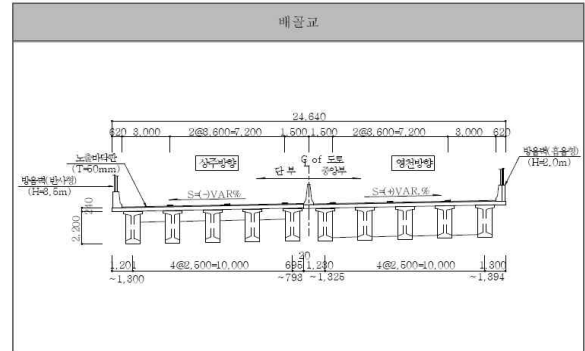
③ 제하차량

④ 충격계수

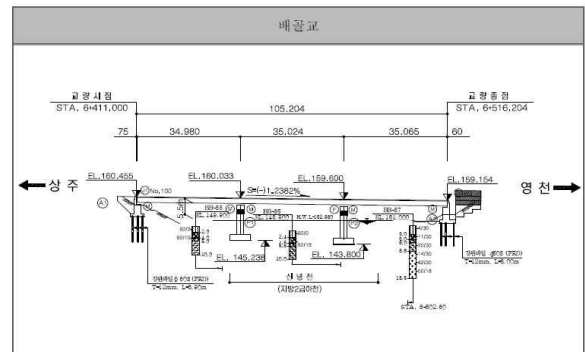
구분	지간장L(m)	충격계수, 15/(40+L)
1경간	35.00	0.200
2경간	35.00	0.200
지점부	35.00	0.200

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도

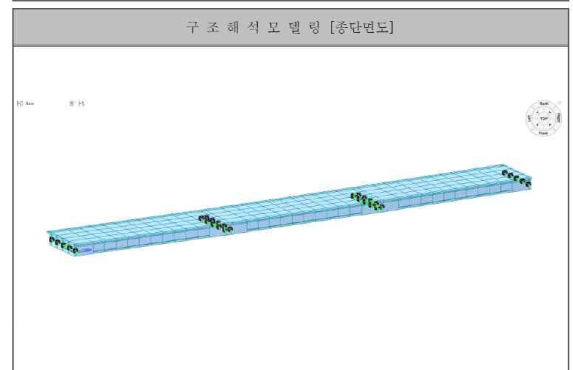
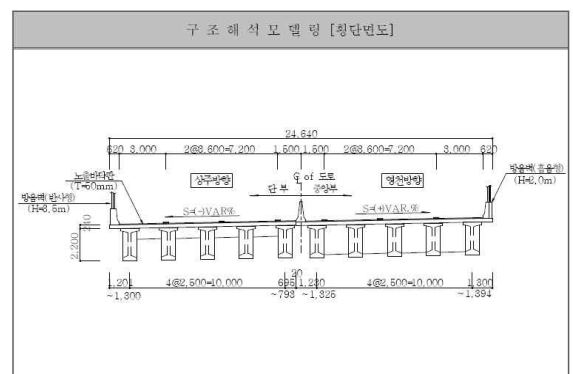


나. 종단면도



5.2 구조해석

5.2.1 모델링



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 배골교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

가. 작용하중에 의한 응력(외측거더)

구 분	모 멘 트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면 휨응력(MPa)				P.S강선 (MPa)
			슬래브 상 연	상 연	하 연	강선 도심	
고정 하중	BEAM 자중	3053.79	0.413	7.382			
			0.431		-7.086		
			0.489			-6.244	
	합성전	2861.83	0.427	6.703			
			0.483		-5.914		
			0.552			-5.180	-35.357
	합성후	2881.67	1.243	2.318			
			1.718	1.677			
			0.687		-4.194		
			0.748			-3.852	-26.294
활 하 중	2561.06	2.060	1.243	2.060			
			1.718	1.491			
			0.687		-3.727		
			0.748			-3.423	-23.368
합 계	11358.35		4.377	17.253	-20.920	-18.699	-85.019

나. 허용응력 검토 결과(외측거더)

구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상연하연	-6.785	7.382	0.597	-2.83	-O.K-	
		22.883	-7.086	15.797	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상연하연	-5.777	17.253	11.476	-3.162	-O.K-	
		19.482	-20.920	-1.438	16.000	-O.K-	
슬래브		-	4.377	4.377	10.800	-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	8797.290	2561.060	
내측거더	5750.979	2557.230	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 16942.756 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 19770.940 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 16942.756 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 12974.317 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

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

$$= 19755.010 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_U = 12974.320 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	ϕ (kN · m)	M_D (kN · m)	M_a (kN · m)	M_i (kN · m)	비 고
외측거더	19770.940	16942.756	8797.290	2561.060	
내측거더	19755.010	12974.320	5750.979	2557.230	

다. 작용하중에 의한 응력(내측거더)

구 분	모 멘 트 (kN.m)	단면 계수 Z(m ³)	콘크리트단면휨응력(MPa)				P.S강선 (MPa)
			슬래브 상 연	상 연	하 연	강선 도심	
고정 하중	BEA M자중	3053.79	0.413			7.382	
			0.431			-7.086	
			0.489				-6.244
	합성전	2489.47	0.427		5.831		
			0.483			-5.144	
			0.552				-4.506
	합성후	207.72	1.226	0.169			
			1.690		0.123		
			0.685			-0.303	
			0.746				-0.278
활 하 중	2557.23		1.226	2.084			
			1.690		1.512		
			0.685			-3.730	
			0.746				-3.425
합 계	8308.21		2.254	14.848	-16.263	-14.453	-56.033

라. 허용응력 검토 결과(내측거더)

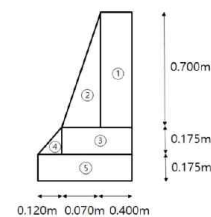
구 분		프리스트레스 도입직후					비 고
		PRESTRESS	BEAM자중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상연	-6.785	7.382	0.597	-2.830	-O.K-	
	하연	22.883	-7.086	15.797	17.600	-O.K-	
구 분		설계하중 작용시					비 고
		유효P.S	총 하 중	합 계	허용응력	안전여부	
주BEAM	상연	-5.605	14.848	9.244	-3.162	-O.K-	
	하연	18.901	-16.263	2.638	16.000	-O.K-	
슬래브		-	2.254	2.254	10.800	-O.K-	

5.2.4 바닥판 부재검토

가. 펜넨레버부의 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)
연 식	① 0.400×0.700×1.00×25.0=	7.000	0.695
	② 1/2×0.070×0.700×1.00×25.0=	0.613	0.472
	③ 0.470×0.175×1.0×25.0=	2.056	0.660
	④ 1/2×0.120×0.175×1.0×25.0=	0.263	0.385
	⑤ 0.590×0.175×1.0×25.0=	2.581	0.600
포 상	⑥ 0.05×0.305×1.0×23.5=	0.358	0.153
바닥판	⑦ 0.925×0.240×1.0×25.0=	5.550	0.463
방음벽	⑧	1.152	0.695
계			11.587

- 활하중 산정

$$\cdot X = 0.005$$

$$\cdot i = 15 / (0.005 + 40) = 0.375 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3$$

$$\cdot E = 0.8X + 1.14 = 1.144$$

$$\cdot M_i = \frac{P}{E} \times X(1+i) = \frac{96}{1.144} \times 0.005 \times (1+0.3) = 0.545 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

자료 _ 배골교(초기안전점검 보고서)

나. 최대 계수 모멘트 계산 (켄틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 16.235 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1626.5 \times 400 \times (180.0 - \frac{28.340}{2}) \\ &= 91.703 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 16.235 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

다. 중앙부의 단면력 검토

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

2) 하중의 산정

- 고정하중에 의한 발생력 산정

$$\begin{aligned} \cdot \text{지 \quad \quad 간} &: 1.740 \text{m} \\ \cdot \text{포 \quad \quad \quad 장} &: 0.050 \times 23.5 = 1.175 \text{ kN/m} \\ \cdot \text{콘크리트} &: 0.240 \times 25.0 = 6.000 \text{ kN/m} \\ \cdot \text{합 \quad \quad \quad 계} &: 7.175 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\cdot M_d = \frac{W_d \ell^2}{10} = \frac{7.175 \times 1.740^2}{10} = 2.172 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 활하중 산정

$$\cdot i = 15 / (1.74 + 40) = 0.359 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3$$

$$\cdot M_{r+i} = \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_r (1+i) \times 0.8 = 30.420 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

라. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 68.227 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1986.00 \times 400 \times (200.0 - \frac{34.614}{2}) \\ &= 123.361 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 68.227 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

5.2.6 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량하중이 적절적으로 제어되는 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

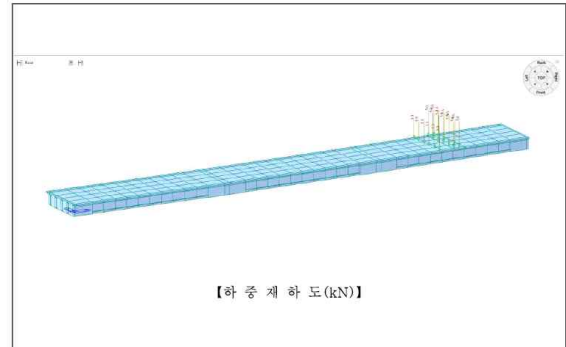
δ 실측 = 실측 처짐량 i 실측 = 실측 충격계수

【처짐량에 의한 실측보정계수】

구 분	제하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실측처짐 (mm)	δ 계산 δ 실측	1+i 계산 1+i 실측	실측보정계수 (Ks)
배골교	LC.1	Disp.1	-3.192	-2.275	1.403		1.441
		Disp.2	-2.361	-1.580	1.494		1.534
		Disp.3	-1.524	-0.857	1.778		1.826
		Disp.4	-0.738	-0.308	2.396		2.461
		Disp.5	0.014	0.280	0.050		0.051
	LC.2	Disp.1	-1.359	-0.873	1.557		1.599
		Disp.2	-1.489	-0.960	1.551		1.593
		Disp.3	-1.608	-0.939	1.712	1.027	1.758
		Disp.4	-1.629	-0.847	1.923		1.975
		Disp.5	-1.617	-0.651	2.484		2.551
	LC.3	Disp.1	0.272	0.141	1.929		1.981
		Disp.2	-0.585	-0.258	2.267		2.328
		Disp.3	-1.479	-0.641	2.307		2.369
		Disp.4	-2.445	-1.223	1.999		2.053
		Disp.5	-3.459	-1.777	1.947		2.000

5.2.5 제하시험에 의한 구조해석

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



【하중제하도(kN)】

구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-3.192	-1.359	0.272
D2(mm)	-2.361	-1.489	-0.585
D3(mm)	-1.524	-1.608	-1.479
D4(mm)	-0.738	-1.629	-2.445
D5(mm)	0.014	-1.617	-3.459

: 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

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

여기서, f_a : 실측 허용 능력

f_t : 총하중에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력

f_d : 실측 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
배골교	외측 거터	상연 15.762	1.491	5.777	16.000	4.034
		하연 17.192	3.727	19.482	16.000	3.679
	내측 거터	상연 13.336	1.512	5.605	16.000	5.469
		하연 12.533	3.730	18.901	16.000	2.582

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

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

여기서, ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)

M_n : 총하중에 의한 극한모멘트

$\gamma_d M_d$: 실측 고정하중모멘트(γ_d : 고정하중 계수 = 1.3)

$\gamma_i M_i$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_i : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_d (kN·m)	M_i (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_i M_i (1+i)$ (kN·m)	R.F
켄틸레버부	91.703	11.587	16.235	15.063	34.905	2.196
중 양 부	123.361	2.172	30.420	2.824	65.403	1.843

자료 _ 배골교(초기안전점검 보고서)

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	(kN · m)	M ₀ (kN · m)	M _i (kN · m)	$\gamma_e M_d$ (kN · m)	$\gamma_e M(1+i)$ (kN · m)	R.F
외측거더	19770.940	8797.290	2561.060	11.436.477	5,506.279	1.514
내측거더	19755.010	5750.979	2557.230	7.476.273	5,498.045	2.233

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

여기서, P_0 : 기본내하력

$R.F$: 내하율

P_L : 설계활하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_0' = P_0 \times K_2$$

여기서, P_0' : 공용내하력

K_2 : 실효보정계수 = $\frac{\text{오개설}}{\text{공설측}} \times \left(\frac{1+i \text{ 개설}}{1+i \text{ 실효측}} \right)$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	K ₂	공용내하력	비 고
배골교	거더 (허용응력)	2.582	DB- 61.968	1.441	DB- 89.296	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.514	DB- 36.336	1.441	DB- 52.360	DB-24 이상
	바닥판	1.843	DB- 44.232	-		DB-24 이상

나. 거 더

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	19770.940	16942.756	1.167	SF = 1.0 이상
내측거더	19755.010	12974.320	1.523	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【배골교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고	
바닥판	켄틸레버	5.648	2.196	DB-24이상	A	강도설계법
	중 앙 부	1.808	1.843	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	외측거더	1.394	3.679	DB-24이상	A	허용응력설계법
	내측거더	1.731	2.582	DB-24이상	A	허용응력설계법
●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.808로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.394로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. ●최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전 구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.						
결과분석						

5.3 안전성평가

【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 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_s}{f_{d+1}}$
C	0.9 ≤ SF < 1.0	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	●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
배골교	외측 거더	상연	16.000	5.777	15.762	1.491	1.394
		하연	16.000	19.482	17.192	3.727	11.134
	내측 거더	상연	16.000	5.605	13.336	1.512	1.731
		하연	16.000	18.901	12.533	3.730	6.065

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	91.703	16.235	5.648	SF = 1.0 이상
중 앙 부	123.361	68.227	1.808	SF = 1.0 이상