

구조안전성능 자료 _ 단포교

자료 _ 단포교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력평가

5.1 개 요

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	단 포 교		
형식	DR Girder	교량등급	1등급
연장	L = 2@45.0 + 2@45.0 = 180.000 m	교량폭원	B = 12.352 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 Ø15.2mm
탄성계수	Ep = 2.00E+05 MPa
fpy	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/m³)	25.00	78.50	23.50

: PSC 거더 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

1) 합성된 바닥판 타설하중

2) 합성후 고정하중(방호벽, 포장하중)

$$\textcircled{1} \text{ 방호벽} = (0.322 \times 25.00) / 0.42 = 19.166 \text{ kN/m}^2$$

$$\textcircled{2} \text{ 중분대} = (0.451 \times 25.00) / 0.61 = 18.5136 \text{ kN/m}^2$$

$$\textcircled{3} \text{ 포장} = 0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$$

나. 활 하중

1) 설계차로폭 및 차로수

$$\text{-- 일반구간: 현식간 폭: } Wc = 11.292 \text{ m}$$

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

$$\text{설계차로폭: } W = Wc / N = 11.292 / 3 = 3.764 > 3.600\text{m} \quad \therefore 3.600\text{m}$$

2) 하중강도와 충격계수

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

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

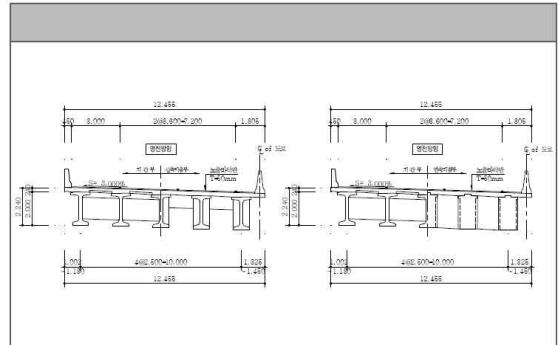
③ 제하차량

④ 충격계수

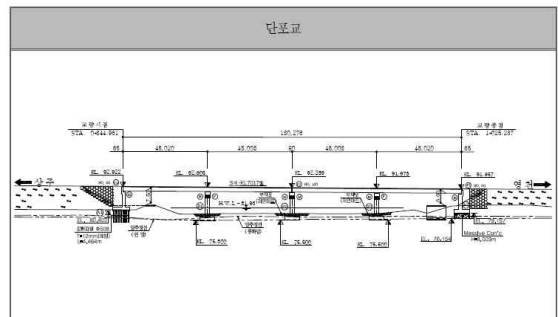
구분	지간장.L(m)	충격계수, 15/(40+L)
1경간	45.00	0.176
2경간	45.00	0.176
지점부	45.00	0.176

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도

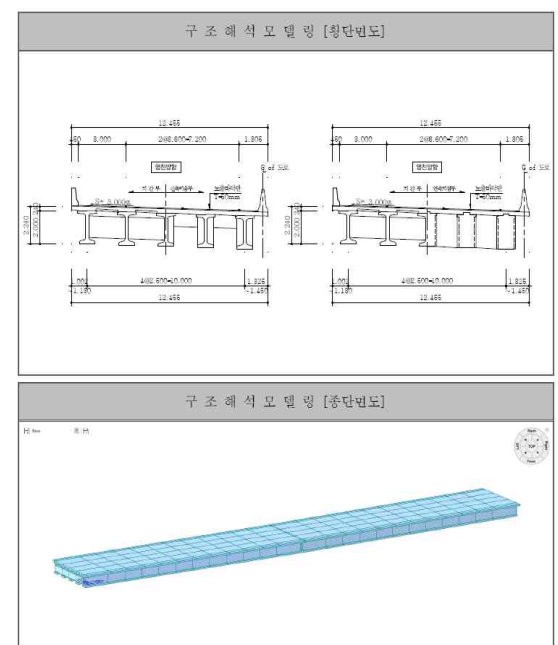


나. 종단면도



5.2 DR Girder 구조해석

5.2.1 모델링



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 단포교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

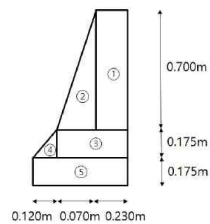
가. 작용하중에 의한 응력

구 분		발생응력 (Mpa)		허용응력 (Mpa)		비 고
		압축	인장	압축	인장	
1차덴던프리스트레스 도입직후	주형 상면	9.857	0.615	17.600	2.800	O.K
	주형 하면	9.479		17.600	2.800	O.K
2차덴던프리스트레스 도입직후	주형 상면	15.260	0.351	20.000	3.200	O.K
	주형 하면	13.100	0.369	20.000	3.200	O.K
구조물 완공 직후	주형 상면	12.180		16.000	3.200	O.K
	주형 하면	10.370		16.000	3.200	O.K
크리프 완료 후	주형 상면	10.790		16.000	3.200	O.K
	주형 하면	9.865		16.000	3.200	O.K
하중조합 후	주형 상면	13.674	0.659	16.000	3.200	O.K
	주형 하면	14.374		16.000	3.200	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 $0.230 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	4.025	0.665
	② $1/2 \times 0.070 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	0.613	0.527
	③ $0.300 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.313	0.630
	④ $1/2 \times 0.120 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	0.263	0.440
	⑤ $0.420 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.838	0.570
포 장	⑥ $0.330 \times 0.050 \times 1.0 \times 23.5 =$	0.388	0.165
바닥판	⑦		1.825
방음벽	⑧	1.000	0.000
계			6.880

5.2.3 DR 거더 부재검토

가. 외력에 의한 계수 모멘트

구 분	고정하중 (D) (kN·m)	활하중 (L+i) (kN·m)	비 고
외측거더	9661.200	1581.045	
내측거더	9836.044	1188.203	

나. 최대 계수 모멘트 계산 (외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 15958.892 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}})) \\ = 16026.100 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 15958.892 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수 모멘트 계산 (내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 15341.496 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_p \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_{ck}})) \\ = 16026.100 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 15341.496 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	Φ (kN·m)	M_u (kN·m)	M_e (kN·m)	M_i (kN·m)	비 고
외측거더	16026.100	15958.892	9661.200	1581.045	
내측거더	16026.100	15341.496	9836.044	1188.203	

- 활하중 산정

$$\begin{aligned} \cdot X &= 0.030 \\ \cdot i &= 15 / (0.030 + 40) = 0.375 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3 \\ \cdot E &= 0.8X + 1.14 = 1.164 \\ \cdot M_i &= \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.164} \times 0.030 \times (1+0.3) = 3.216 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

나. 최대 계수 모멘트 계산 (캔틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 15.858 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ = 0.85 \times 845 \times 400 \times (180.0 - \frac{14.722}{2}) \\ = 49.58 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 15.858 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 중앙부의 단면력 검토

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

- 고정하중에 의한 발생력 산정

$$\begin{aligned} \cdot \text{지 간} &: 1.300 \text{ m} \\ \cdot \text{포 장} &: 0.050 \times 23.5 = 1.175 \text{ kN/m} \\ \cdot \text{콘크리트} &: 0.240 \times 25.0 = 6.000 \text{ kN/m} \\ \cdot \text{합 계} &: 7.175 \text{ kN/m} \\ \cdot M_0 &= \frac{W_d L^2}{10} = \frac{7.175 \times 1.300^2}{10} = 1.213 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- 활하중 산정

$$\begin{aligned} \cdot i &= 15 / (1.30 + 40) = 0.363 > 0.3 \text{ 이므로 } i = 0.3 \\ \cdot M_{i+i} &= \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_r (1+i) \times 0.8 = 19.76 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

라. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

자료 _ 단포교(초기안전점검 보고서)

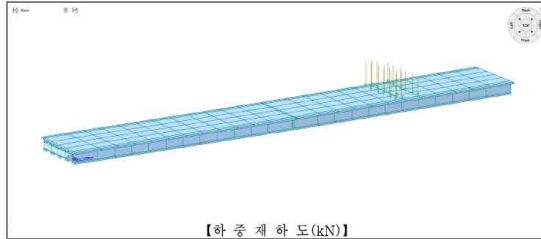
$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 44.061 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 1084 \times 400 \times (200.0 - \frac{18.899}{2}) \\ &= 70.251 \text{ kNm} > Mu = 44.061 \text{ kNm} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

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)	-7.694	-3.535	0.147
D2(mm)	-5.573	-3.696	-1.674
D3(mm)	-3.520	-3.798	-3.566
D4(mm)	-1.609	-3.669	-5.593
D5(mm)	0.230	-3.488	-7.671

: 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 : 종하중에 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+긴장력 (MPa)	활하중응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	R.F
단포교	상연	10.790	2.884	1.807
	하연	9.865	4.509	1.361

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_1 M_1 (1+i)}$$

ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)
 M_d : 종하중에 의한 극한모멘트
 $\gamma_d M_d$: 실측 고정하중모멘트(γ_d : 고정하중 계수 = 1.3)
 $\gamma_1 M_1$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_1 : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 : 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_d (kN·m)	M_1 (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_1 M_1 (1+i)$ (kN·m)	R.F
켄틸레머부	49.580	6.880	3.216	8.944	6.914	5.877
중 앙 부	70.251	1.213	19.760	1.577	42.484	1.616

5.2.6 실속보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량축하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계산치 처짐량과 실측처짐량에 충격계수를 고려하여 실속보정계수(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 실속보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산치침 (mm)	실측치침 (mm)	$\frac{\delta \text{ 계산}}{\delta \text{ 실측}}$	$\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실측}}$	실속보정계수 (Ks)
단포교	LC.1	Disp.1	-7.694	-2.760	2.788	1.053	2.936
		Disp.2	-5.573	-2.144	2.599		2.737
		Disp.3	-3.520	-1.354	2.600		2.738
		Disp.4	-1.609	-0.706	2.279		2.400
		Disp.5	0.230	0.041	5.610		5.907
	LC.2	Disp.1	-3.535	-1.407	2.512		2.645
		Disp.2	-3.696	-1.627	2.272		2.392
		Disp.3	-3.798	-1.850	2.053		2.162
		Disp.4	-3.669	-1.761	2.083		2.193
		Disp.5	-3.488	-1.660	2.101		2.212
	LC.3	Disp.1	0.147	0.097	1.515		1.595
		Disp.2	-1.674	-0.752	2.226		2.344
		Disp.3	-3.566	-1.676	2.128		2.241
		Disp.4	-5.593	-2.962	1.888		1.988
		Disp.5	-7.671	-3.982	1.926		2.028

【강도설계법에 의한 내하율 : 거더 (R.F)】

위 치	(kN·m)	M_d (kN·m)	M_1 (kN·m)	$\gamma_d M_d$ (kN·m)	$\gamma_1 M_1 (1+i)$ (kN·m)	R.F
외측 거더	16026.100	9661.200	1581.045	12,559.560	3,399.247	1.020
내측 거더	16026.100	9836.044	1188.203	12,786.857	2,554.636	1.268

5.2.8 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

P_0 : 기본내하력
 $R.F$: 내하율
 P_L : 설계활하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_0' = P_0 \times K_s$$

여기서, P_0' : 공용내하력
 K_s : 실속보정계수 = $\frac{\varepsilon}{\varepsilon \text{ 실측}} \times \left(\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실측}} \right)$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
단포교	거더 (허용응력)	1.361	DB- 32.664	1.988	DB- 64.936	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.020	DB- 24.480	1.988	DB- 48.666	DB-24 이상
	바닥판	1.616	DB- 38.784	-		DB-24 이상

자료 _ 단포교(초기안전점검 보고서)

5.3 DR 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 $SF(안전율) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_s}{f_{d+1}}$
C	0.9 ≤ SF < 1.0	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	*강도설계법 $SF(안전율) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$

5.3.1 허용응력설계법

구 분			허용응력 (MPa)	고정하중응력 + 긴장력 (MPa)	활하중 (1+i) (MPa)	S.F
단포교	거더	상연	16.000	10.790	2.884	1.170
		하연	16.000	9.865	4.509	1.113

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
퀵탈레버부	49.580	15.858	3.126	SF = 1.0 이상
중 앙 부	70.251	44.061	1.594	SF = 1.0 이상

나. 거더

구 분	ϕMn (kN-m)	Mu (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측거더	16026.100	15958.892	1.004	SF = 1.0 이상
내측거더	16026.100	15341.496	1.045	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【단포교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명		최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바닥판	첸틸레버	3.126	5.877	DB-24이상	A	강도설계법
	중 앙 부	1.594	1.616	DB-24이상	A	강도설계법
거 더	상 연	1.170	1.807	DB-24이상	A	허용응력설계법
	하 연	1.113	1.361	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석		●강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.594로 평가되었으며, 허용응력설계법에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.113로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. ●최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				