

구조안전성능 자료 _ 도림천교

자료 _ 도림천교(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	도림천교		
형식	DR Girder	교량등급	1등급
연장	L = 2@45.0 + 2@45.0 = 180.00 m		
		교량폭원	B = 12.455 m

나. 사용재료

1) 콘크리트

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

2) P.S 강재

종류	KS D 7002, SWPC 7B Strand ϕ 15.2mm
탄성계수	E _p = 2.00E+05 MPa
f _{py}	1600 MPa
f _{pu}	1900 MPa
곡률 마찰계수	0.25/Radian
파상 마찰계수	0.005/m
슬립량	6.000 m

3) 철근

철근	f _y = 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

: DR 거더 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

1) 합성전 바닥판 타설하중 (거더 적용)

2) 합성후 고정하중 (방호벽, 포장하중)

- ① 방호벽 = $(0.322 \times 25.00) / 0.42 = 19.1667 \text{ kN/m}^2$
 ② 포장 = $0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$

나. 활하중

1) 설계차로폭 및 차로수

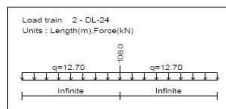
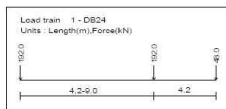
- 일반구간 : 연석간 폭 : Wc = 11.705 m

∴ 설계차로수, N = 3 (9.1m ≤ Wc < 12.8m)

설계차로폭 : W = Wc / N = 11.705 / 3 = 3.902 > 3.600m ∴ 3.600m

2) 하중강도와 충격계수

- ① 차선하중 (DL-24) : WL = 12.7 kN/m, P_m = 108 kN, P_s = 156 kN
 ② 차륜하중 (DB-24) : 전륜하중, P_f = 24.0kN, 후륜하중, P_r = 96.0kN
 ③ 제하차량

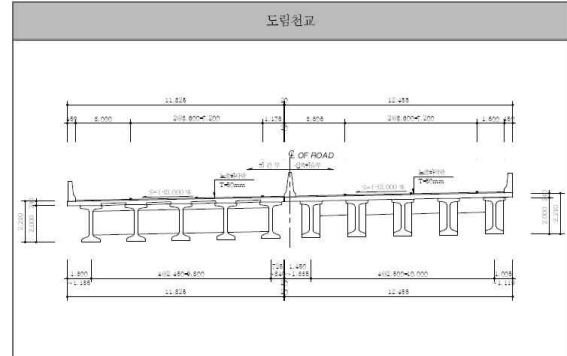


④ 충격계수

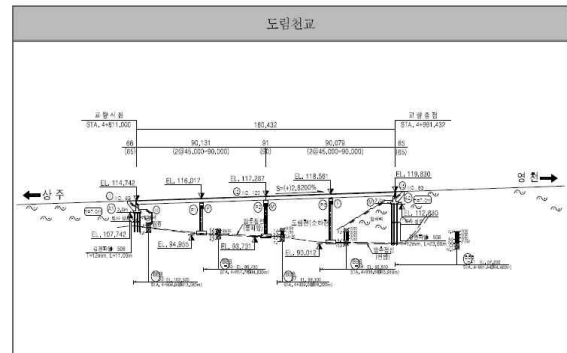
구분	지간장 L(m)	충격계수, 1.5/(40+L)
1경간	45.00	0.176
2경간	45.00	0.176
지점부	45.00	0.176

5.1.2 검토 단면

가. 횡단면도

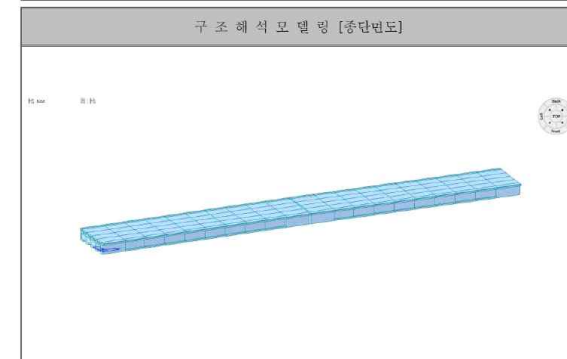
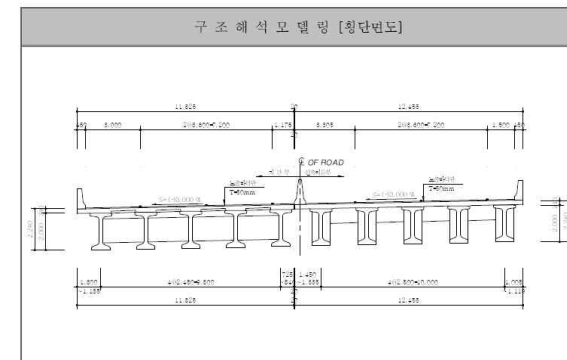


나. 종단면도



5.2 DR Girder 구조해석

5.2.1 모델링



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 도림천교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 응력검토

가. 작용하중에 의한 거더 응력 검토

구 분		발생응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		비 고
		압축	인장	압축	인장	
1차 텐던 프리스트레스 도입직후	주형상면	7.504		17.600	1.400	O.K
	주형하면	6.358		17.600	1.400	O.K
2차 텐던 프리스트레스 도입직후	주형상면	13.550		22.000	1.600	O.K
	주형하면	11.640	0.520	22.000	1.600	O.K
구조물 완공 직후	주형상면	13.250	0.625	16.000	3.200	O.K
	주형하면	11.470		16.000	3.200	O.K
크리프 완료 후	주형상면	9.724		16.000	3.200	O.K
	주형하면	9.141		16.000	3.200	O.K
하중조합 후	주형상면	14.793	2.033	16.000	3.200	O.K
	주형하면	15.711		16.000	3.200	O.K

5.2.3 DR 거더 부재검토

가. 외력에 의한 계수모멘트

구 분	고정하중 (D) (kN · m)	활하중 (L+i) (kN · m)	비 고
외측 거더	9733.943	2618.069	
내측 거더	9771.617	2662.556	

나. 최대 계수모멘트 계산(외측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 18334.975 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_b \times f_{ps}}{f_{ck}}))$$

$$= 20357.321 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 18334.975 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

다. 최대 계수모멘트 계산(내측거더)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 18427.598 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_{ps} \times d_p (1 - 0.59 \times (\frac{\rho_b \times f_{ps}}{f_{ck}}))$$

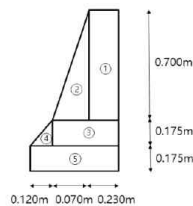
$$= 20357.321 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 18427.598 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{O.K.}$$

위 치	ϕM_n (kN · m)	M_n (kN · m)	M_D (kN · m)	M_L (kN · m)	비 고
외측 거더	20357.321	18334.975	9733.943	2618.069	
내측 거더	20357.321	18427.598	9771.617	2662.556	

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	0.290
	② $1/2 \times 0.070 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	0.613	0.152
	③ $0.300 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.313	0.255
	④ $1/2 \times 0.120 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	0.263	0.065
	⑤ $0.420 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.838	0.195
포 장	⑥		0.000
바닥판	⑦		0.492
방음벽	⑧	0.890	0.000
계			2.462

- 활하중 산정

- $X = 0.019$
- $i = 15 / (0.019 + 40) = 0.373 > 0.3$ 이므로 $i = 0.3$
- $E = 0.8X + 1.14 = 1.155$
- $M_i = \frac{P}{E} X (1+i) = \frac{96}{1.155} \times 0.019 \times (1+0.3) = 2.053 \text{ kNm}$

나. 최대 계수모멘트 계산(캔틸레버부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 7.615 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= 0.85 \times 1324 \times 400 \times (180.0 - \frac{23.076}{2})$$

$$= 75.835 \text{ kN-m} > Mu = 7.615 \text{ kN-m} \quad \therefore \text{O.K}$$

다. 최대 계수모멘트 계산(중앙부)

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

2) 하중의 산정

- 고정하중에 의한 발생력 산정

- 지 간 : 1.300m
- 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
- $M_d = \frac{W_d l^2}{10} = \frac{7.175 \times 1.300^2}{10} = 1.213 \text{ kN-m}$

- 활하중 산정

- $i = 15 / (1.30 + 40) = 0.363 > 0.3$ 이므로 $i = 0.3$
- $M_{r+i} = \frac{L + 0.6}{9.6} \times P_r (1+i) \times 0.8 = 19.760 \text{ kN-m}$

라. 최대 계수모멘트 계산(중앙부)

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

- 단면검토

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

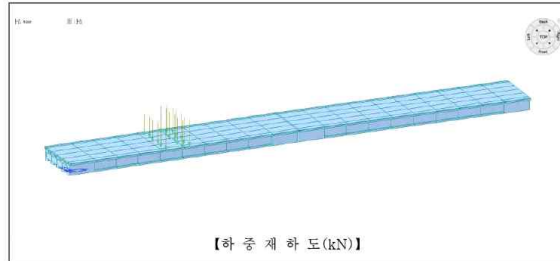
$$= 0.85 \times 1324.00 \times 400 \times (200.0 - \frac{23.076}{2})$$

$$= 84.838 \text{ kN-m} > Mu = 44.061 \text{ kN-m} \quad \therefore \text{O.K}$$

자료 _ 도림천교(초기안전점검 보고서)

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.



구 분	LC1	LC2	LC3
D1(mm)	-5.481	-2.507	0.047
D2(mm)	-3.821	-2.545	-1.147
D3(mm)	-2.242	-2.515	-2.419
D4(mm)	-0.799	-2.275	-3.771
D5(mm)	0.558	-2.024	-5.091

: 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

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

여기서, f_d : 실측 허용 능력
 f_i : 종하중에 의한 단면 상, 하연에서의 휨응력
 f_a : 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
도림 천교	거더	상연	9.724	5.069	16.000	1.238
		하연	9.141	6.570	16.000	1.044

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_e M_e}{\gamma_e M_i(1+i)}$$

여기서, ϕM_n : 극한지향모멘트($\phi=0.85$)
 M_e : 종하중에 의한 극한모멘트
 $\gamma_e M$: 실측 고정하중모멘트(γ_e : 고정하중 계수 = 1.3)
 $\gamma_e M_i$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_1 : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율: 바닥판 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_e (kN·m)	M_i (kN·m)	$\gamma_e M_e$ (kN·m)	$\gamma_e M_i(1+i)$ (kN·m)	R.F
펜틸레버부	75.835	2.462	2.053	3.201	4.414	16.455
중 앙 부	84.838	1.213	19.760	1.577	42.484	1.960

5.2.6 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계산처짐량과 실측처짐량에 충격계수를 고려하여 실측보정계수(Ks)를 다음과 같이 구하였다.

$$K_s = \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \left(\frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \right) \quad \text{or} \quad \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \times \left(\frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \right)$$

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)
도림천교	LC.1	Disp.1	-5.481	-3.344	1.639		1.682
		Disp.2	-3.821	-2.467	1.549		1.589
		Disp.3	-2.242	-1.464	1.531		1.571
		Disp.4	-0.799	-0.688	1.161		1.191
		Disp.5	0.558	0.203	2.749		2.820
	LC.2	Disp.1	-2.507	-1.554	1.613		1.655
		Disp.2	-2.545	-1.694	1.502		1.541
		Disp.3	-2.515	-1.773	1.418		1.455
		Disp.4	-2.275	-1.669	1.363		1.398
		Disp.5	-2.024	-1.445	1.401		1.437
	LC.3	Disp.1	0.047	0.067	0.701		0.719
		Disp.2	-1.147	-0.733	1.565		1.606
		Disp.3	-2.419	-1.588	1.523		1.563
		Disp.4	-3.771	-2.800	1.347		1.382
		Disp.5	-5.091	-3.832	1.329		1.364

【강도설계법에 의한 내하율: 거더 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_e (kN·m)	M_i (kN·m)	$\gamma_e M_e$ (kN·m)	$\gamma_e M_i(1+i)$ (kN·m)	R.F
외측 거더	20357.321	9733.943	2618.069	12,654.126	5,628.848	1.369
내측 거더	20357.321	9771.617	2662.556	12,703.102	5,724.495	1.337

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

$$P_0' = P_0 \times K_s$$

여기서, P_0' : 공용내하력
 K_s : 실측보정계수 = $\frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \left(\frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \right)$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
도림천교	거더 (허용응력)	1.337	DB- 32.088	1.363	DB- 43.736	DB-24 이상
	거더 (강도설계법)	1.044	DB- 25.056	1.363	DB- 34.151	DB-24 이상
	바닥판	1.960	DB- 47.040	-		DB-24 이상

자료 _ 도립천교(초기안전점검 보고서)

5.3 DR Girder 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 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u}$
E	SF < 0.75	

5.3.1 허용응력설계법

구 분		허용응력 (MPa)	고정하중응력 + 긴장력 (MPa)	활하중 (1+i) (MPa)	S.F
거더	상면	16.000	9.724	5.069	1.082
	하면	16.000	9.141	6.570	1.018

5.3.2 강도설계법

가. 바닥판

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
켄틸레버부	75.835	7.615	9.959	SF = 1.0 이상
중 앙 부	84.838	44.061	1.925	SF = 1.0 이상

나. 거더

구 분	ϕM_n (kN-m)	M_u (kN-m)	SF(안전율)	비 고
외측 거더	20357.321	18334.975	1.110	SF = 1.0 이상
내측 거더	20357.321	18427.598	1.105	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【도립천교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바닥판	켄틸레버	9.959	16.455	DB-24이상	A 강도설계법
	중 앙 부	1.925	1.960	DB-24이상	A 강도설계법
거 더	1.018	1.044	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석	•강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.925로 평가되었으며, 허용응력설계법에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.018로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. •최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				