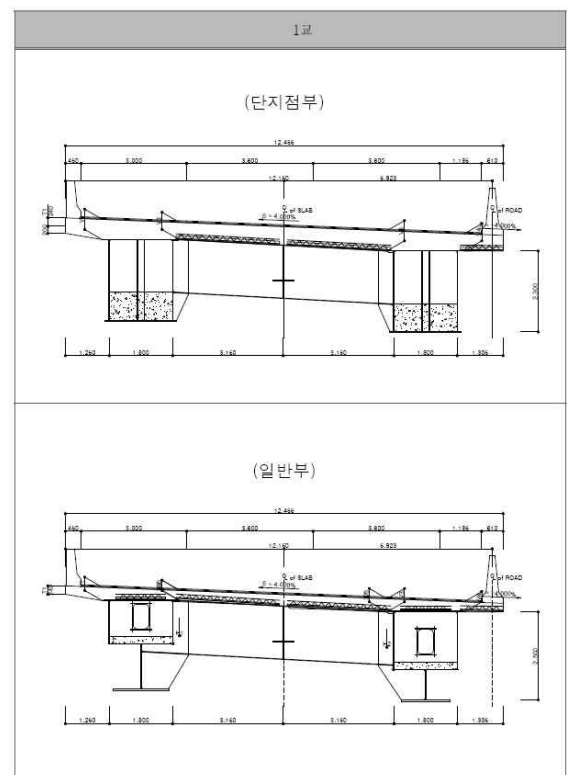
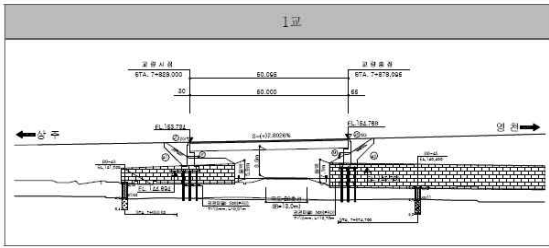




자료 _ 화남1교(초기안전점검 보고서)

나. 종단면도



5.1.3 하중산정

가. 고정하중

구 분	콘크리트	강 재	포장
단위중량(kN/m³)	25.00	78.50	23.50

: STEEL-BOX 거더 자중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

- 1) 합성전 바닥판 타설하중 (STEEL-BOX에 적용)
- 2) 타설후 고정하중(방호벽, 포장하중)
 - ① 방호벽 = $(0.322 \times 25.00) / 0.42 = 19.167 \text{ kN/m}^2$
 - ② 포장 = $0.050 \times 23.50 = 1.175 \text{ kN/m}^2$

나. 활 하 중

- 1) 설계차로폭 및 차로수
 - 일반구간 : 연식간 교통 : $W_c = 11.395 \text{ m}$
 - $\therefore$ 설계차로수, $N = 3$
 - 설계차로폭 : $W = W_c / N = 11.395 / 3 = 3.798 > 3.600 \text{ m} \therefore 3.600 \text{ m}$

2) 하중강도와 충격계수

- ① 차선하중 (DL-24) : $W_L = 12.7 \text{ kN/m}$, $P_m = 108 \text{ kN}$, $P_s = 156 \text{ kN}$
- ② 차륜하중 (DB-24) : 전륜하중, $P_f = 24.0 \text{ kN}$, 후륜하중, $P_r = 96.0 \text{ kN}$

ϕ_{RH} : $\phi_{RH} \beta (f_{cu}) \beta_c (t')$

ϕ_{RH} : 외기의 상대습도와 부재두께의 의해 크리프에 미치는 영향

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - 0.01RH}{0.10 \sqrt[3]{h}}$$

$\beta (f_{cu})$: 콘크리트 강도에 의해 크리프에 미치는 영향함수

$$\beta (t') = \frac{16.8}{\sqrt[3]{f_{cu}}}$$

$\beta (t')$: 계속하중이 가해지는 시간 t' 에 의해 크리프에 미치는 영향 함수

$$\beta (t') = \frac{1}{0.1 + (t')^{0.2}}$$

$\beta_c (t-t')$: 재하기간에 따라 크리프에 미치는 영향함수

$$\beta_c (t') = \left[\frac{1}{\beta_H + (t-t')} \right]^{0.3}$$

β_H : 외기의 상대습도와 부재의 두께에 따른 계수

β_H : $1.5[1 + (0.012RH)18]h + 250 \leq 1500 \text{ 일}$

$h = 2Ac/u$: 개념적인 부재치수(mm)

Ac : 단면적(mm^2), u : 외기와 접촉하는 단면둘레(mm)

RH : 상대습도(%), f_{cu} : 콘크리트의 28일 평균 압축강도(MPa)

3) 콘크리트의 건조수축 변형률

$$\epsilon_{sh}(t, t_s) = \epsilon_{sho} \beta_s (t-t')$$

$\epsilon_{sh}(t, t_s)$: 외기 노출 재령 t_s 인 콘크리트의 재령 t 에서의 전체 건조수축 변형률

ϵ_{sho} : 개념적인 건조수축계수

$$\epsilon_{sho} = \epsilon_s (f_{cu}) \beta_{RH}$$

$\beta_s (t-t')$: 건조 기간에 따른 건조수축 변형률 함수

$$(t-t') = \frac{(t-t')}{0.035h^2 + (t-t')}$$

t_s : 수축이 시작될 때의 콘크리트의 재령(일)

$$\epsilon_s (f_{cu}) = [160 + 10 \beta_{sc} (9 - f_{cu}/10)] \times 10^{-6}$$

β_{RH} : 외기습도에 따른 크리프와 건조수축에 미치는 영향계수

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55[1 - (RH/100)^3] & (40\% \leq RH < 99\%) \\ 0.25 & (RH \geq 99\%) \end{cases}$$

Ac : 단면적(mm^2), u : 외기와 접촉하는 단면둘레(mm)

RH : 상대습도(%), f_{cu} : 콘크리트의 28일 평균 압축강도(MPa)

③ 재하차량

④ 충격계수

구 분	지간장 L(m)	충격계수, $15/(40+L)$
1경간	50.000	0.167

다. 온도차하중

- 콘크리트 선팅장계수 $\alpha_c = 1.0 \times 10^{-5}$
- 강재 선팅장계수 $\alpha_s = 1.2 \times 10^{-5}$
- 상하연온도차 $\Delta T = \pm 5.0^\circ\text{C}$

라. Creep & Shrinkage 하중

- 1) 조 건
 - 지속하중 재하시의 콘크리트 재령, $t' = 180 \text{ 일}$
 - 상대습도 : 70%
 - 외기 또는 양생온도 : $T = 20^\circ\text{C}$

2) 콘크리트의 크리프 계수

$$\epsilon_{cs}(t, t') = f_c(t') \left[\frac{1}{E_{ci}(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_{ci}} \right]$$

$\epsilon_{cs}(t, t')$: t' 일에서 $f_c(t')$ 의 응력이 가해졌을때

시간 t 일에서의 탄성변형률과 크리프를 포함한 전체 변형률

E_{ci} : 28일 재령 콘크리트의 초기 접선탄성계수

$$i = 2.15 \times 10^4 f_{ci}/10$$

$\phi(t, t')$: 크리프 계수

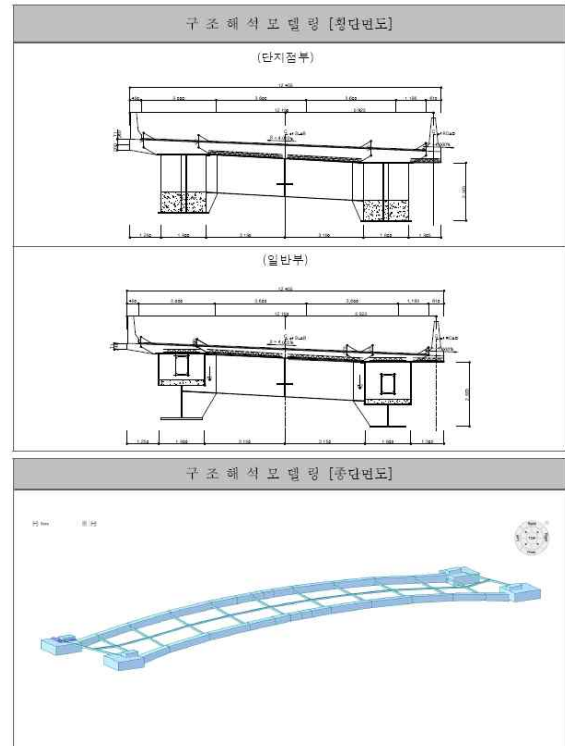
t : 콘크리트의 재령(일)

t' : 지속하중이 작용할 때의 콘크리트의 재령(일)

ϕ_o : 콘크리트의 개념 크리프 계수

5.2 구조해석

5.2.1 모델링



* 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 화남1교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

가. 허용용력 검토 결과(정모멘트부)

1) 단면제인

합 성 전				합 성 후 (1.2차고정하중 합성후)			
A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Ysu(cm)	Ysl(cm)	A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Ysu(cm)	Ysl(cm)
1.881.32	22,797.454	168.65	91.34	5,127.32	59,553.125	58.46	201.54

2) 발생응력

구 분	응 력 (MPa)					
	합성전	합성후	1차합성후	2차합성후	합하중	지점침하
바닥판	상 연	-	-	-	1.131	1.660
	하 연	-	-	-	0.741	1.087
거 더	상 연	64.823	5.050	57.825	8.080	0.004
	하 연	35056	18.976	55.554	18.976	27.855

구 분	응 력 (MPa)				
	충전권	크리프	충전권전조수축	크리프	전조수축
바닥판	상 연	0.230	0.673	0.497	1.126
	하 연	0.191	0.561	0.189	1.323
거 더	상 연	1.024	2.727	1.244	4.444
	하 연	0.650	2.757	1.111	3.969

3) 조합응력검토

하중조합	충전 CONCRETE				STEEL				비 고
	작용응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	상 연	하 연	작용응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	상 연	하 연	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
1	0.000	0.000	0.000	0.000	64.823	35.056	175.000	175.000	O.K
1+2+3	8.930	7.479	16.000	16.000	123.648	90.611	175.000	175.000	O.K
1+2+3+4	9.698	7.930	16.000	16.000	128.152	109.587	175.000	175.000	O.K
1+2+3+4+5	10.821	8.593	16.000	16.000	138.232	137.442	175.000	175.000	O.K
1+2+3+4+5+6	10.822	8.593	16.000	16.000	138.237	137.456	175.000	175.000	O.K
1+2+3+4+5+6+7	9.797	7.943	16.000	16.000	137.604	138.550	201.250	175.000	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8	7.070	5.186	16.000	16.000	141.623	141.593	201.250	175.000	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8+9	8.315	6.297	16.000	16.000	149.475	144.111	201.250	175.000	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8+9+10	12.759	10.266	16.000	16.000	177.521	153.120	201.250	175.000	O.K

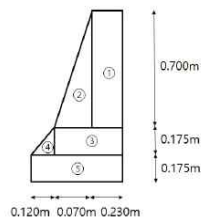
5.2.3 바닥판 부재검토

가. 캔틸레버부의 단면력 검토

1) 바닥판의 최소 두께 : 바닥판의 최소두께는 220mm < 266mm(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	1.030
	② $1/2 \times 0.070 \times 0.700 \times 1.00 \times 25.0 =$	0.613	0.892
	③ $0.300 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.312	0.995
	④ $1/2 \times 0.120 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	0.263	0.805
	⑤ $0.420 \times 0.175 \times 1.0 \times 25.0 =$	1.838	0.935
포장	⑥ $0.050 \times 0.725 \times 1.0 \times 23.50 =$	0.852	0.363
바닥판	⑦		4.997
방음벽	⑧		0.000
계			13.235

하중조합	SLAB- CONCRETE				RE-BAR				비고
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		
	상인	하인	상인	하인	상인	하인	상인	하인	
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	180.000	180.000	OK
1+2+3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	180.000	180.000	OK
1+2+3+4	1.131	0.741	10.800	10.800	1.131	0.741	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5	2.790	1.828	10.800	10.800	2.790	1.828	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5+6	2.791	1.828	10.800	10.800	2.791	1.828	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5+6+7	3.021	2.019	10.800	10.800	3.021	2.019	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5+6+7+8	3.695	2.580	10.800	10.800	3.695	2.580	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5+6+7+8+9	3.198	2.391	10.800	10.800	3.198	2.391	180.000	180.000	OK
1+2+3+4+5+6+7+8+9+10	2.071	1.067	10.800	10.800	2.071	1.067	180.000	180.000	OK

4) 합성응력

하중조합	전단응력검토		합성응력도		검 토 결 과					
	작용응력 (MPa)		$\{ (f/f_a)2 + (v/p/a)2 \}$		바닥판 콘크리트		STEEL			
	작용응력	허용응력	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	복합판	합성
1	3.882	110.000	0.138	0.041	-	-	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2	11.364	110.000	0.502	0.279	-	-	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3	14.556	110.000	0.554	0.410	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4	44.436	110.000	0.769	0.780	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5	44.462	110.000	0.769	0.790	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6	44.462	110.000	0.631	0.790	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6+7	44.462	110.000	0.659	0.818	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8	44.462	110.000	0.715	0.842	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8+9	44.462	110.000	0.941	0.929	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8+9+10	44.462	126.500	0.856	0.722	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
1+2+3+4+5+6+7+8+9+10	44.462	126.500	0.621	0.683	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

- 활하중 산정

· $X = 0.425$

· $i = 15 / (0.425 + 40) = 0.371 > 0.3$ 이므로 $i = 0.3$

· $E = 0.8X + 1.14 = 1.480$

· $M_i = \frac{P}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.481} \times 0.425 \times (1+0.3) = 35.838 \text{ kNm}$

나. 최대 계수 모멘트 계산 (캔틸레버부)

$M_{u1} = 1.3D + 2.15L = 94.257 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- 단면검토

$$\begin{aligned}
 \phi M_u &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 0.55 \times 1626.5 \times 400 \times (313.0 - \frac{28.349}{2}) \\
 &= 165.284 \text{ kNm} > M_u = 94.257 \text{ kNm} \quad \text{O.K}
 \end{aligned}$$

자료 _ 화남1교(초기안전점검 보고서)

5.2.4 재하시험에 의한 구조해석

설응답보정계수(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)	-5.236	-2.753	-1.067
D2(mm)	-1.195	-2.637	-4.811

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

5.2.6 내하율(R.F)산정

가, 허용응력법에 의한 내하율 산정

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

여기서, f_s : 실측 허용 능력
 f_t : 총하중에 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		허용응력 (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중(1+i) (MPa)	R.F	
화남1교	정모멘트부	상연	227.50	128.152	8.080	12.296
		하연	201.250	109.587	27.855	3.291

나, 강도설계법에 의한 내하율 산정

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

ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)
 M_n : 총하중에 의한 극한모멘트
 $\gamma_a M_d$: 실측 고정하중모멘트(γ_a : 고정하중 계수 = 1.3)
 $\gamma_1 M_1$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_1 : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_d (kN·m)	M_{n1} (kN·m)	$\gamma_a M_d$ (kN·m)	$\gamma_1 M_1(1+i)$ (kN·m)	R.F
바닥판	165.254	13.235	35.838	17.206	77.052	1.921

5.2.5 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차량축하중이 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, $\delta_{\text{계산}}$ = 이론 처짐량 $i_{\text{계산}}$ = 이론 충격계수
 $\delta_{\text{실측}}$ = 실측 처짐량 $i_{\text{실측}}$ = 실측 충격계수

【처짐량에 의한 실측보정계수】

구 분	재하 경우	변위계	계산처짐 (mm)	실측처짐 (mm)	$\delta_{\text{계산}} / \delta_{\text{실측}}$	$1+i_{\text{계산}} / 1+i_{\text{실측}}$	실측보정계수 (Ks)
화남1교	LC.1	Disp.1	-5.236	-1.823	2.872	1.027	2.950
		Disp.2	-1.195	-0.828	1.443		1.482
	LC.2	Disp.1	-2.753	-1.306	2.108		2.165
		Disp.2	-2.637	-2.311	1.141		1.172
	LC.3	Disp.1	-1.067	-0.847	1.260		1.294
		Disp.2	-4.811	-3.747	1.284		1.319

5.2.7 공용내하력 산정

가, 기본내하력

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

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

나, 공용내하력

$$P_0' = P_0 \times K_s$$

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

다, 공용내하력 산정 결과

구 분	R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고	
화남1교	거 더	3.291	DB- 78.984	1.172	DB- 92.569	DB-24 이상
	바닥판	1.921	DB- 46.104	-		DB-24 이상

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(안전율) = $\frac{\text{허용응력}}{\text{실측응력}} = \frac{f_s}{f_d}$
C	0.9 ≤ SF < 1.0	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	강도설계법 SF(안전율) = $\frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_d}$
E	SF < 0.75	

자료 _ 화남1교(초기안전점검 보고서)

5.3.1 허용응력설계법

구 분			허용응력 (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중(1+I) (MPa)	S.F
화남1교	정모멘트부	상면	227.50	128.152	8.080	1.670
		하면	201.250	109.587	27.855	1.464

5.3.2 강도설계법

구 분	ϕM_n (kN · m)	M_u (kN · m)	SF(안전율)	비 고
바 닥 판	165.254	94.257	1.753	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【화남1교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 재 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바 닥 판	1.753	1.921	DB-24이상	A	강도설계법
거 더 정모멘트	1.464	3.291	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석	- 강도설계법에 의한 바닥 검토결과 최소 안전율은 1.753로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.464로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. - 최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				