

구조안전성능 자료 _ 화산JCT R-A교

자료 _ 화산JCT R-A교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력평가

5.1 개요

5.1.1 검토 조건

구조개산서상에 정리된 교량제원, 사용재료 및 허용응력, CASE별 설계하중에 따른 응력 비교 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 구조물 제원

교량명	화산 JCT R-A교		
형식	STEEL BOX GIRDER	교량등급	1등급
연장	55 m	주형제원	H = 3.000 m
교량폭원	B = 8.500 m		B = 2.800 m

나. 사용재료

1) 콘크리트 및 철근

콘크리트	fck = 27 MPa	철근	fy = 400 MPa
	Ec = 2.50E+04 MPa		Es = 2.00E+05 MPa

2) 구조용 강재

① 부재별 사용강재

SM520B	SM400B
- 상, 하FLANGE - WEB, 상, 하부 종 RIB - 지점부 DIAPHRAGM - SOLE PLATE - 지점보강재, 수평보강재	- 수직보강재 - 지점부 외 DIAPHRAGM - 철리브 - 세로보 - 가로보

② 탄성계수 Es = 2.10E + 05 MPa

③ 허용 인장 응력(MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570
판두께 (mm)				
40 이하	140	190	210	260
40초과 75이하	130	175 (190)	200 (210)	250 (260)
75초과 100이하			195 (210)	245 (260)

* TMC 강재의 경우 ()의 값을 적용함.

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570
판두께 (mm)				
40 이하	80	110	120	150
40초과 75이하			115 (120)	145 (145)
75초과 100이하	75	100 (110)	110 (120)	145 (145)

* TMC 강재의 경우 ()의 값을 적용함.

⑦ 항복응력(MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570
판두께 (mm)				
40 이하	240	320	360	460
40초과 75이하			340	440
75초과 100이하	220	300	330	430

3) 강재도보의 허용응력 증가율

하중의 조합		증가율(%)	
		경의 휨모멘트를 받는부분	
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중	0	0
2	주하중	15	0
3	주하중+바닥판 콘크리트와 강재주형과의 온도차	30	15
4	가설시 하중	25	25
		25	25

4) 마찰이음용 고정력 볼트 허용력(kN) : 1볼트 1마찰면마다

나사호칭	볼트등급	F8T	F10T
M20		31	39
M22		39	48
M24		45	56

5.1.2 검토 단면

④ 허용 축방향 압축응력(MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
판두께 (mm)				
40 이하	140 : $\ell/r \leq 20$ 140-0.84($\ell/r-20$): 20 < $\ell/r \leq 93$ 1,200,000 : 6,700+(ℓ/r) ² 93 < ℓ/r	190 : $\ell/r \leq 15$ 190-1.3($\ell/r-15$): 15 < $\ell/r \leq 80$ 1,200,000 : 5,000+(ℓ/r) ² 80 < ℓ/r	210 : $\ell/r \leq 14$ 210-1.5($\ell/r-14$): 14 < $\ell/r \leq 76$ 1,200,000 : 4,500+(ℓ/r) ² 76 < ℓ/r	260 : $\ell/r \leq 18$ 260-2.2($\ell/r-18$): 18 < $\ell/r \leq 67$ 1,200,000 : 3,500+(ℓ/r) ² 67 < ℓ/r
40초과 75이하	130 : $\ell/r \leq 20$ 130-0.75($\ell/r-20$): 20 < $\ell/r \leq 97$	175 : $\ell/r \leq 15$ 175-1.1($\ell/r-15$): 15 < $\ell/r \leq 83$	200 : $\ell/r \leq 14$ 200-1.4($\ell/r-14$): 14 < $\ell/r \leq 78$ 1,200,000 : 4,700+(ℓ/r) ² 78 < ℓ/r	250 : $\ell/r \leq 18$ 250-2.1($\ell/r-18$): 18 < $\ell/r \leq 69$ 1,200,000 : 3,600+(ℓ/r) ² 69 < ℓ/r
75초과 100이하	1,200,000 : 7,300+(ℓ/r) ² 97 < ℓ/r	1,200,000 : 5,300+(ℓ/r) ² 83 < ℓ/r	1,200,000 : 4,900+(ℓ/r) ² 79 < ℓ/r	1,200,000 : 3,700+(ℓ/r) ² 69 < ℓ/r

* TMC 강재는 판두께 상한선이 40mm이하의 값을 적용함.

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴 길이 (mm), r : 부재 종단면의 단면회전반경 (mm)

⑤ 허용 휨압축응력(MPa)

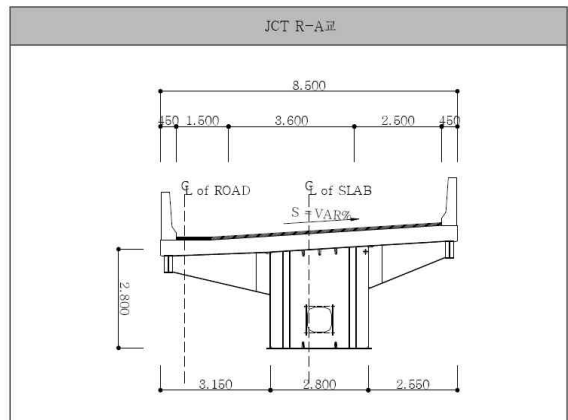
압축플랜지가 콘크리트상판 등에 직접 고정되어 있는 경우 및 상자형 단면, H형 단면과 같이 첩과같이 일어나기 어려운 경우

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570
판두께 (mm)				
40 이하	140	190	210	260
40초과 75이하	130	175 (190)	200 (210)	250 (260)
75초과 100이하			195 (210)	245 (260)

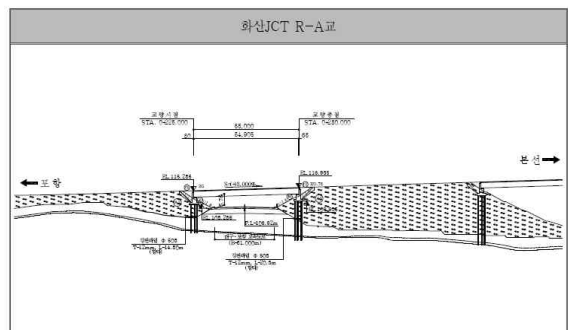
* TMC 강재는 판두께 상한선이 40mm이하의 값을 적용함.

⑥ 허용 전단응력(MPa)

가. 횡단면도



나. 종단면도



자료 _ 화산JCT R-A교(초기안전점검 보고서)

5.1.3 하중산정

가. 고정하중

구분	콘크리트	강재	포장
단위중량(kN/m³)	25.00	78.50	23.50

: STEEL-BOX 거더 차중은 프로그램내에서 자동으로 계산.

- 1) 합성된 바닥판 타설하중 (STEEL-BOX에 적용)
- 2) 합성후 고정하중 (방호벽, 포장하중)
 - ① 방호벽 = $(0.406 \times 25.00) / 0.375 = 27.076 \text{ kN/m}^2$
 - ② 포장 = $0.080 \times 23.00 = 1.840 \text{ kN/m}^2$

나. 활하중

- 1) 설계차로폭 및 차로수
 - 일반구간 : 연석간 교폭 : $W_c = 7.600 \text{ m}$
 - ∴ 설계차로수, $N = 2$
 - 설계차로폭 : $W = W_c / N = 7.600 / 2 = 3.800 > 3.600 \text{ m} \quad \therefore 3.600 \text{ m}$
- 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, $P_r = 96.0 \text{ kN}$
 - ③ 제하차량

④ 충격계수

구분	지간장.L(m)	충격계수, $15/(40+L)$
1경간	55.000	0.158

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

$\beta_c(t-t')$: 제하기간에 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

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

$h = 2Ac/u$: 개념적인 부재치수(mm)

Ac : 단면적(mm²), u : 외기와 접촉하는 단면둘레(mm)

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

3) 콘크리트의 건조수축 변형률

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

$\epsilon_{sh}(t,ts)$: 외기 노출 제령 ts 일 콘크리트의 제령 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

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

ts : 수축이 시작될 때의 콘크리트의 제령(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(mm²), u : 외기와 접촉하는 단면둘레(mm)

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

다. 온도차하중

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

라. Creep & Shrinkage 하중

1) 조진

- 지속하중 제하시의 콘크리트 제령, $t' = 180 \text{ 일}$
- 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 제령 콘크리트의 초기 접선탄성계수

$$E_{ci} = 21.5 \times 10^4 \cdot f_{cu}/10$$

$\phi(t,t')$: 크리프 계수

t : 콘크리트의 제령(일)

t' : 지속하중이 작용할 때의 콘크리트의 제령(일)

ϕ_o : 콘크리트의 개념 크리프 계수

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

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

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - 0.01RH}{0.10e^{0.3\sqrt{h}}}$$

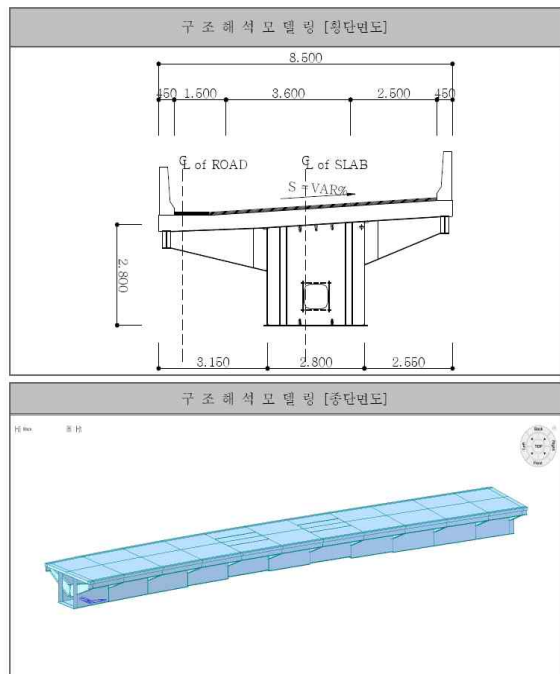
$\beta(f_{cu})$: 콘크리트 강도에 의해 크리프에 미치는 영향함수

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

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

5.2 구조해석

5.2.1 모델링



※ 사용 구조해석 프로그램명 : MIDAS CIVIL

자료 _ 화산JCT R-A교(초기안전점검 보고서)

5.2.2 용력검토

가. 허용용력 검토 결과(경간 S1 정모멘트부)

1) 단면제원

합 성 전				합 성 후			
A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Ysu(cm)	Ysl(cm)	A(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Ysu(cm)	Ysl(cm)
2,427.00	44,191,250	185.62	119.57	5,109.24	93,427,790	79.67	225.62

2) 발생용력

구 분		용 력 (MPa)					
		1.합성전	2.합성후	3.활하중	4.크리이프	5.긴조수축	6.온도
바닥판	상 인	-	2.035	1.674	1.142	1.407	1.1
	하 인	-	1.556	1.280	0.709	1.458	1.2
거 더	상 인	120.515	11.937	9.821	13.459	21.540	15.6
	하 인	77.631	33.789	27.799	4.783	6.952	6.4

3) 조합용력검토

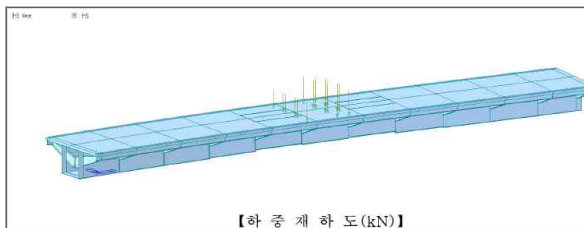
하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용용력 (MPa)		허용용력 (MPa)		작용용력 (MPa)		허용용력 (MPa)	
	상인	하인	상인	하인	상인	하인	상인	하인
1			10.80	10.80	120.52	77.63	177.75	210.00
1+2+3	3.71	2.84	10.80	10.80	142.27	139.22	177.75	210.00
1+2+3+4	2.57	2.13	10.80	10.80	155.73	134.44	204.41	210.00
1+2+3+4+5	1.16	0.67	10.80	10.80	177.27	127.48	204.41	210.00
1+2+3+4+5+6	0.02	0.60	2.17	2.17	192.90	121.06	231.08	241.50
1+2+3+4+5+6	2.34	1.94	12.42	12.42	161.64	133.91	231.08	241.50

4) 합성용력

구 분	합 성 용 력	비
상 인	$(177.272 / 204.418)^2 + (17.565 / 120.000)^2 = 0.774 < 1.20$	O.
하 인	$(139.219 / 210.000)^2 + (17.565 / 120.000)^2 = 0.461 < 1.20$	O.

5.2.4 재하시험에 의한 구조해석

실용담보정계수(Ks)를 산정하기 위해 재하시험과 동일한 위치에 차명 및 하중을 가하여 Plate 요소를 이용한 3D 구조해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



구 분	LC1	LC2	LC3
S2,S3(ε)	39.098	39.213	39.172

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

5.2.3 바닥판 부재검토

가. 중앙부 단면력 검토

- 고정하중에 의한 발생력 산정

- 지 간 : 2.20m
- 포 장 : $0.080 \times 23.0 = 1.840\text{kN/m}$
- 콘크리트 : $0.240 \times 25.0 = 6.000\text{kN/m}$
- 합 계 : 7.840kN/m

$$\cdot M_d = \frac{W_d l^2}{10} = \frac{7.840 \times 2.2^2}{10} = 3.795\text{kN}\cdot\text{m}$$

- 활하중 산정

- $i = 15/(22+40) = 0.355 > 0.3$ 이므로 $i = 0.3$
- $M_{f+i} = \frac{L+0.6}{9.6} \times P_f(1+i) = 36.400\text{kN}\cdot\text{m}$

나. 최대 계수 모멘트 계산 (중앙부)

$$Mu1 = 1.3D + 2.15L = 83.194 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 단면검토

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0.85 \times 2260 \times 400 \times (187.70 - \frac{39.39}{2}) \\ &= 129.093\text{kN}\cdot\text{m} > Mu = 83.194\text{kN}\cdot\text{m} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

5.2.5 실측보정계수 산정

Load Case별 처짐량중 차명측하중이 직접적으로 재하되는 위치에서 계점량과 실측처짐량에 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	변형률 (ε)	실측처짐 (mm)	$\frac{\delta \text{ 계산}}{\delta \text{ 실측}}$	$\frac{1+i \text{ 계산}}{1+i \text{ 실측}}$	실측보정 (Ks)
화산 JCT R-A교	LC.1	S2	39.098	35.89	1.089	1.068	1.163
		S3	39.098	36.86	1.061		1.133
	LC.2	S2	39.213	35.92	1.092	1.068	1.166
		S3	39.213	38.80	1.011		1.080
	LC.3	S2	39.172	35.84	1.093	1.068	1.167
		S3	39.172	37.83	1.035		1.105

자료 _ 화산JCT R-A교(초기안전점검 보고서)

5.2.6 내하율(R.F)산정

가. 허용응력법에 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_a : 실측 고정하중에 의한 응력

f_1 : 활하중(충격계수포함)에 의한 단면 상, 하인에서의 휨응력

【허용응력설계법에 의한 내하율(R.F)】

구 분		허용응력 (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중 (1+i) (MPa)	R.F	
화산 JCT	정모멘트부	상면	204.410	132.452	11.371	6.328
R-A교		하면	210.000	111.420	32.188	3.063

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_u}{\gamma_1 M_u}$$

ϕM_n : 극한저항모멘트($\phi=0.85$)

M_u : 총하중에 의한 극한모멘트

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

$\gamma_1 M_u$: 활하중(충격계수포함)에 의한 휨모멘트(γ_1 : 활하중 계수 = 2.15)

【강도설계법에 의한 내하율 (R.F)】

위 치	ϕM_n (kN·m)	M_u (kN·m)	M_{u1} (kN·m)	$\gamma_d M_u$ (kN·m)	$\gamma_1 M_u(1+i)$ (kN·m)	R.F
중앙부	129.093	3.795	36.400	4.934	78.260	1.586

5.3.1 허용응력설계법

구 분		허용응력 (MPa)	고정하중 (MPa)	활하중 (1+i) (MPa)	S.F
화산 JCT R-A교	상면	204.410	132.452	11.371	1.421
	하면	210.000	111.420	32.188	1.462

5.3.2 강도설계법

구 분	ϕM_n (kN·m)	M_u (kN·m)	SF(안전율)	비 고
중앙부	129.093	83.194	1.552	SF = 1.0 이상

5.3.3 구조안전성 및 내하력에 의한 평가

【화산JCT R-A교 구조안전성 및 내하력에 의한 평가】

부 제 명	최소안전율(SF)	내하율(R.F)	공용내하력	평가	비 고
바닥판	1.552	1.586	DB-24이상	A	강도설계법
거 더 정모멘트	1.421	3.063	DB-24이상	A	허용응력설계법
결과분석	- 강도설계법에 의한 바닥판 검토결과 최소 안전율은 1.552로 평가되었으며, 허용응력에 의한 거더 검토결과 최소 안전율은 1.421로 평가되어 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. - 최소안전율 및 내하율에 의한 공용내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.				

5.2.7 공용내하력 산정

가. 기본내하력

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

P_o : 기본내하력

R.F : 내하율

P_L : 설계활하중 (DB-24)

나. 공용내하력

$$P_o' = P_o \times K_s$$

여기서, P_o' : 공용내하력

K_s : 실측보정계수 = $\frac{f}{f_{설계}} \times \left(\frac{1+i_{제안}}{1+i_{설계}} \right)$

다. 공용내하력 산정 결과

구 분		R.F	기본내하력	Ks	공용내하력	비 고
화산 JCT R-A교	거 더	3.036	DB- 72.864	1.080	DB- 78.693	DB-24 이상
	바닥판	1.586	DB- 38.064	-		DB-24 이상

5.3 안전성평가

【구조물의 안전성평가 기준】

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	*허용응력설계법 SF(안전율) = $\frac{\text{허용응력}}{\text{실측응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$
B	$0.9 \leq SF < 1.0$ 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	$0.9 \leq SF < 1.0$	
D	$0.75 \leq SF < 0.9$	*강도설계법 SF(안전율) = $\frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u}$
E	SF < 0.75	