

구조안전성능 자료 _ 불당교

자료 _ 불당교(초기안전점검 보고서)

6.8 구조해석 및 내하력 평가

6.8.1 개요

가. 교량제원

- 1) 교량형식 : PSC e-Beam 교 - 포스텐션방식(Post-tensioning)
- 2) 교량길이 : 40 m + 40 m + 40 m = 120 m
- 3) 교량 폭 : 12.770 m
- 4) 거더길이 : 39.950 m + 40.000 m + 39.950 m
- 5) 교량사각 : $\theta = 76.2^\circ$
- 6) 교량등급 : 도로교 1등급 (DB & DL - 24)
- 7) 곡률반경 : R = 2700

나. 사용재료

1) 바닥판

① 콘크리트

- ① 설계기준강도 : $f_{s_ck} = 27.0 \text{ MPa}$, $f_{cu} = f_{ck} + 8 \text{ MPa}$
- ② 단위 중량 : $\gamma_{s_c} = 25 \text{ KN/m}^3$
- ③ 탄성계수 : $E_{c_s} = 8,500$, $\nu = 27,804 \text{ MPa}$

② 철근

- ① 항복강도 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
- ② 탄성계수 : $E_r = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

2) PSC 거더

① 콘크리트

- ① 설계기준강도 : $f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$, $f_{cu} = f_{ck} + 8 \text{ MPa}$
- ② 단위 중량 : $\gamma_c = 25.0 \text{ KN/m}^3$
- ③ 탄성계수 : $E_{c_s} = 8,500$, $\sqrt{F_{ct}} = 30,891 \text{ MPa}$

② 철근(SD300)

- ① 항복강도 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
- ② 탄성계수 : $E_r = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

③ PS강재 (SNPX 7B 15.2mm 7연선, 저탄소세이션 강재사용)

$$f_{pa} = \text{Min}(0.74f_{pu}, 0.82f_{py}) = 1,312 \text{ MPa}$$

4) 철근

- ① 허용응력 $f_{sa} = 180 \text{ MPa}$

라. 참고문헌

- 도로교 설계기준 (2010) 한국도로교통협회
- 도로교 설계기준 (2005) 한국도로교통협회
- 도로교 설계기준 (2000) 한국도로교통협회
- 콘크리트 구조설계기준 (2007) 한국콘크리트학회
- 콘크리트 구조 설계기준 (2003), 한국콘크리트학회

- ① 인장강도 : $f_{pu} = 1,900 \text{ MPa}$
- ② 항복강도 : $f_{py} = 1,600 \text{ MPa}$
- ③ 탄성계수 : $E_p = 200,000 \text{ MPa}$
- ④ 강재
- ⑤ 강재종류 : sm 400
- ⑥ 허용인장응력 : $f_{sa} = 140 \text{ MPa}$
- ⑦ 탄성계수 : $E_s = 205,000 \text{ MPa}$
- ⑧ 단위중량 : $\gamma_s = 78.5 \text{ KN/}$
- ⑨ 합성 후 고정하중
- ⑩ 교면포장의 단위중량 : $\gamma_b = 23.5 \text{ kN/m}^3$

다. 허용응력

1) 바닥판

① 콘크리트

- ① 허용압축응력 $f_{ca} = 0.4f_{ck} = 10.8 \text{ MPa}$
- ② 허용인장응력 $f_{ta} = -0.07f_{ck} = -1.9 \text{ MPa}$

② 철근

- ① 허용응력 $f_{sa} = 180 \text{ MPa}$

2) PSC 거더

① 크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적인 응력

- ① 긴장시 압축강도 $f_{ci} = 0.80f_{ck} = 32.0 \text{ MPa}$
- ② 허용압축응력 $f_{cai} = 0.60f_{ci} = 19.2 \text{ MPa}$
- ③ 허용인장응력 $f_{tai} = -0.025\sqrt{f_{ci}} = -1.4 \text{ MPa}$

② 모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력

- ① 허용압축응력 $f_{ca} = 0.45f_{ck} = 18.0 \text{ MPa}$
- ② 허용인장응력 $f_{ta} = -0.5\sqrt{f_{ck}} = -3.2 \text{ MPa}$

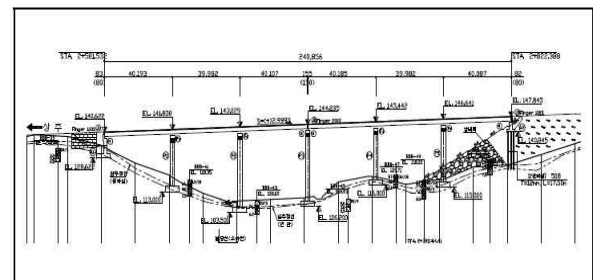
3) PS강재

- ① 허용최대 긴장응력 : $f_{pia} = \text{Min}(0.80f_{pu}, 0.94f_{py}) = 1,504 \text{ MPa}$
- ② 정착구에서의 응력 : $f_{pta} = 0.7f_{pu} = 1,330 \text{ MPa}$
- ③ 프리스트레스 도입직후에 긴장재의 인장응력 :

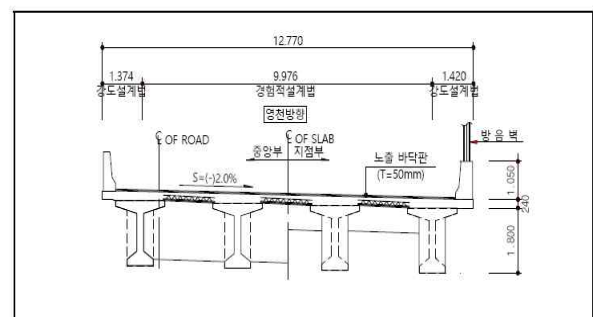
6.8.2 구조해석

가. 검토단면

1) 종단면도



2) 횡단면도

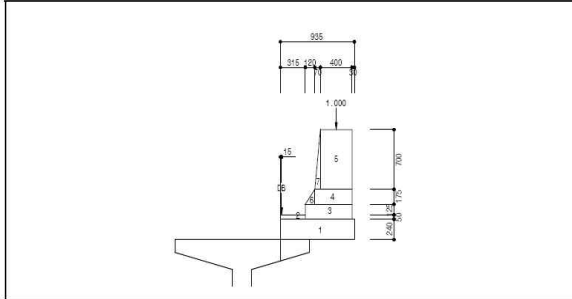


자료 _ 불당교(초기안전점검 보고서)

나. 바닥판 검토

1) 캔틸레버부(방호벽)

① 고정하중

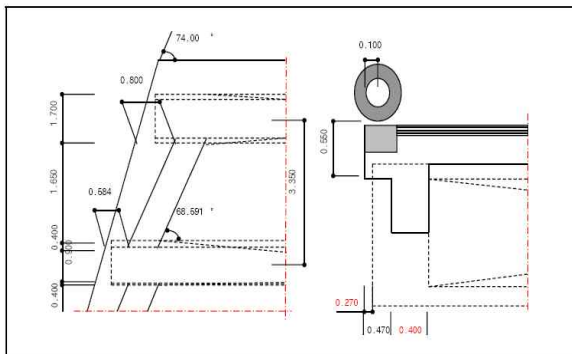


No	작 용 하 중 (kN)	거리(m)	모멘트(kNm)
1	$0.935 \times 0.240 \times 25.00$	$= 6.27$	0.468
2	$0.315 \times 0.050 \times 23.50$	$= 0.50$	0.06
3	$0.590 \times 0.175 \times 25.00$	$= 2.58$	1.58
4	$0.470 \times 0.175 \times 25.00$	$= 2.06$	1.38
5	$0.400 \times 0.700 \times 25.00$	$= 7.00$	4.94
6	$0.5 \times 0.120 \times 0.175 \times 25.00$	$= 0.26$	0.10
7	$0.5 \times 0.070 \times 0.700 \times 25.00$	$= 0.61$	0.30
8	방음벽자중	$= 1.00$	0.71
Total		20.28	12.00

$$\therefore M_d = 12.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) 슬래브(단부)

① 고정하중



$$- P_d = 0.800 \times 0.550 \times 25.0 = 11.00 \text{ kN}$$

$$\blacktriangleright M_d = 11.00 \times 0.800 / 2 = 4.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중

- 충격계수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.7) = 0.369 \geq \text{최대 } 0.300$$

$$\therefore i = 0.300$$

- 차륜 하중 분포폭

$$E = 0.35 \times L + 0.98 = 0.35 \times 0.7 + 0.98 = 1.225 \text{ m} < 2.10 \text{ m}$$

$$\therefore E = 1.225 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright M(i+i) = Pr \cdot (1+i) \cdot X / E = 96.0 \times (1+0.30) \times 0.7 / 1.225 = 71.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 하중조합

$$Mu = 1.3 M_d + 2.15 M(i+i) = 159.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중 (Pr = 96.0 kN)

- 충격계수 (i)

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.015) = 0.375 > \text{최대 } 0.3 \therefore i = 0.3$$

- 차륜 하중 분포폭

$$E = 0.8 \times X + 1.14 = 0.8 \times 0.015 + 1.14 = 1.152 \text{ m}$$

- 차륜 하중 후륜 축하중에 의한 모멘트

$$M(i+i) = Pr \cdot (1+i) \cdot X / E = 96.0 \times (1+0.300) \times 0.015 / 1.152 = 1.63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 충돌 하중

- 설계속도 (V) = 70.0 km/hr - 회전반경 (R) = 2700.0 m

- 작용높이 = 1.000m

$$P_{co} = (V / 60)^2 \times 750 + 250 = 12.71 \text{ kN}$$

$$M_{co} = 12.71 \times (1.000 + 0.240 / 2) = 14.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 풍하중

- 풍압 (Pw) = 3.0 kN/m: 활하중비재하시

$$M_w = 3.0 \times 3.05 \times 3.05 / 2 = 13.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⑤ 하중조합(MAX)

$$Mu = 1.2 M_d + 1.2 M_{co} + 1.2 M_w$$

$$= 1.2 \times 12.00 + 1.2 \times 14.23 + 1.2 \times 13.95 = 48.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⑥ 단면검토

$$\bullet f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\bullet \text{부재폭} : b = 1000.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{유효높이} : d = 180.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \Phi = 0.85$$

$$\bullet \text{사용철근량} : A_s = 993.0 \text{ mm}^2$$

$$\bullet f_y = 400.0 \text{ MPa}$$

$$\bullet \text{부재높이} : h = 240.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{인장피복두께} : d' = 60.0 \text{ mm}$$

$$\bullet M_u = 48.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore \Phi M_n = \Phi f_y \times A_s \times (d-a/2) = 57.80 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 48.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ --- O.K}$$

④ 단면검토

$$\bullet f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\bullet \text{부재폭} : b = 1000.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{유효높이} : d = 260.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \Phi = 0.85$$

$$\bullet \text{사용철근량} : A_s = 2,292.0 \text{ mm}^2$$

$$\bullet f_y = 400.0 \text{ MPa}$$

$$\bullet \text{부재높이} : h = 320.0 \text{ mm}$$

$$\bullet \text{인장피복두께} : d' = 60.0 \text{ mm}$$

$$\bullet M_u = 159.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore \Phi M_n = \Phi f_y \times A_s \times (d-a/2) = 140.27 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 187.05 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ --- O.K}$$

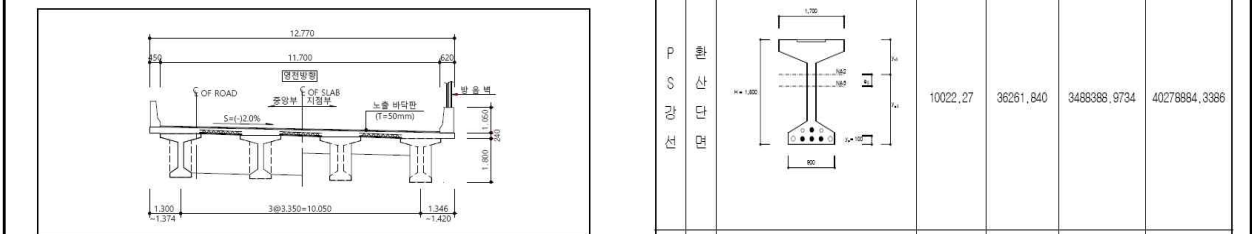
3) 구조검토 결과

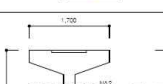
불당교(영천방향) 바닥판에 대하여 구조검토를 실시한 결과, 설계 휨강도가 소요 휨강도보다 크게 산출되어 바닥판은 구조적으로 안전성이 확보되어 있는 것으로 평가되었다.

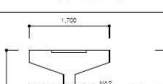
자료 _ 불당교(초기안전점검 보고서)

		A	A V	A V ²	log
--	--	---	-----	------------------	-----

본 검토 대상구조물의 불완고(영향방향)은 PSC e-Beam으로서, 4개의 Beam으로 구성되어 있고, 실시설계 시 검토한 구조제상서에 근거하여 단면력 산출 및 응력 검토 결과를 반영하였다.	구분	단면(mm)	A	A.1	A.1	10
			(cm ²)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ⁴)

[illegible]

구분	단면 (mm)	A (cm ²)	A.Y (cm ³)	A.Y ² (cm ⁴)	I _o (cm ⁴)
총 단면		9684	1026752.8	146598140.24	2496064.2777
순 단면		9645.33	-22406.34	-2103507.1616	42434211.5872

구분	단면 (mm)	A (cm ²)	A.Y (cm ³)	A.Y ² (cm ⁴)	I _o (cm ⁴)
총 단면		9684	1026752.8	146598140.24	2496064.2777
순 단면		9645.33	-22406.34	-2103507.1616	42434211.5872

2) 예로 판본 ② 외록거더 (+ : 양쪽 예로, - : 인장 예로)

강재	거 더 (MPa)	바 라 (MPa)	실험 결과	① 나 치 (: +) (정 000 000 000)			

하중단계		바닥판 (MPa)		거 더 (MPa)		강재
		상연응력	하연응력	상연응력	하연응력	
1. 빔 자중				9.46	-13.61	0.00
2. PS 1차긴장	초기			-5.05	24.85	0.00
	유호			-4.52	22.24	0.00
3. 바닥판				4.56	-6.04	0.00
4. 연속부강선긴장		-0.23	-0.14	-0.16	0.53	0.00
5. PS 2차긴장	초기	-0.02	0.56	0.62	5.39	0.00
	유호	-0.01	0.51	0.57	4.98	0.00
6. 포장, 방호벽		1.09	0.70	0.78	-2.49	0.00
7. 활하중		1.92	1.23	1.37	-4.39	0.00
8. 구속모멘트		0.12	0.07	0.08	-0.27	0.00

하중단계		상연응력	하연응력	상연응력	하연응력	(MPa)
1. 빔 자중				9.46	-13.61	0.00
2. PS 1차긴장	초기			-5.05	24.85	0.00
	유호			-4.47	22.00	0.00
3. 바닥판				4.01	-5.32	0.00
4. 연속부강선긴장		-0.24	-0.16	-0.17	0.55	0.00
5. PS 2차긴장	초기	-0.02	0.56	0.62	5.39	0.00
	유호	-0.02	0.51	0.56	4.93	0.00
6. 포장, 방호벽		0.69	0.45	0.49	-1.52	0.00
7. 활하중		2.14	1.39	1.54	-4.72	0.00
8. 구속모멘트		0.12	0.07	0.08	-0.27	0.00

구분	구분	구분	구분
구분	구분	구분	구분

하중 단계	바닥판 (MPa)		거더 (MPa)		강재
	상면응력	하면응력	상면응력	하면응력	
				(MPa)	
1 + 2 초기			4.41	11.24	0.00
			0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3			9.50	2.59	0.00
			0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 초기	-0.25	0.42	9.96	8.51	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	0.85	1.07	10.69	5.61	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	2.77	2.30	12.06	1.22	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8	2.89	2.37	12.14	0.95	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
허용응력	10.80	10.80	18.00	-3.20	140.00

② 외측거더 (+ : 압축에력, - : 인장에력)

하중단계		바닥판 (MPa)		거 더 (MPa)		강재 (MPa)
		상면응력	하면응력	상면응력	하면응력	
1. 빔 작동				9.46	-13.61	0.00
2. PS 1차진장	초기			-5.05	24.85	0.00
	유호			-4.47	22.00	0.00
3. 바닥판				4.01	-5.32	0.00
4. 연속부강선긴장		-0.24	-0.16	-0.17	0.55	0.00
5. PS 2차진장	초기	-0.02	0.56	0.62	5.39	0.00
	유호	-0.02	0.51	0.56	4.93	0.00
6. 포장, 방호벽		0.69	0.45	0.49	-1.52	0.00
7. 활하중		2.14	1.39	1.54	-4.72	0.00
8. 구속모멘트		0.12	0.07	0.08	-0.27	0.00

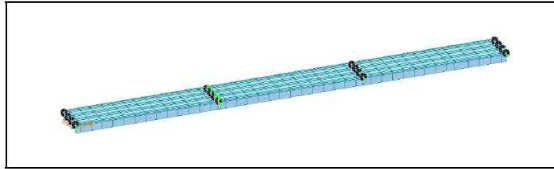
구분	가치	가치 (MDL)	비고
비교대상			

하중 단계	바닥판 (MPa)		기단 (MPa)		경재 (MPa)
	상면응력	하면응력	상면응력	하면응력	
1 + 2 초기			4.41	11.24	0.00
			0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3			9.00	3.07	0.00
			0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 초기	-0.26	0.40	9.45	9.01	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	0.43	0.80	9.88	7.03	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	2.57	2.19	11.42	2.31	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8	2.69	2.26	11.50	2.04	0.00
	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K
허용응력	10.80	10.80	18.00	-3.20	140.00

자료 _ 불당교(초기안전점검 보고서)

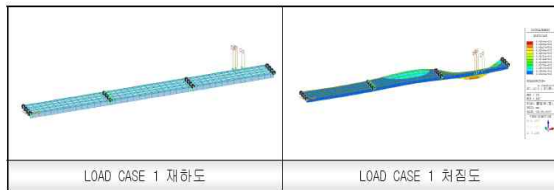
라. 시험차량에 의한 처짐해석

시험차량에 의한 구조해석은 이론적인 계산 처짐값과 현장 재하시험에서 측정된 실측 처짐값을 비교하여 응답비를 산출하기 위해 범용 프로그램인 MIDAS/Civil을 이용하여 모델링을 하였으며, 각각의 LOAD CASE별 처짐치와 실측치를 비교하였다.

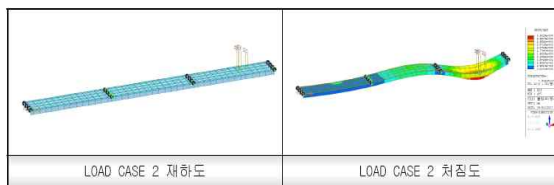


1) CASE별 하중 재하도 및 처짐도

① LOAD CASE 1



② LOAD CASE 2



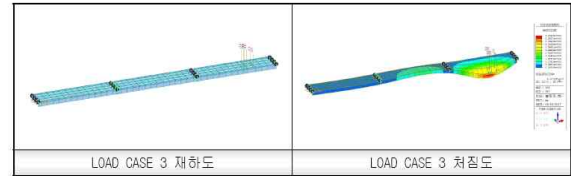
3) 응력보정계수

내하력 평가시 응력보정계수 적용은 재하시험 차량의 후륜축과 동일한 위치에서의 이론적인 처짐 값과 실측된 처짐 값이 실제 거동과 유사한 지점에서의 응답비를 적용하였으며, 응답비 및 충격계수를 고려한 처짐 보정계수(Ks)를 적용하였다. 응력보정계수는 변형률의 실측치와 계산치로 구하는 것이 일반적이지만, 처짐에 비해 변형률의 측정값에 포함된 오차가 크며, 여러 가지 요인에 의하여 국부적인 응력의 변동이 크게 발생하는 경우가 있으므로 교량의 전반적인 거동을 나타내는 처짐으로 구할 수도 있다.

본 과업에 해당되는 교량의 경우 변형률 측정결과에 비해 처짐의 측정결과가 신뢰성이 높은 것으로 판단되어 처짐으로 응답보정계수(KS)를 구하였으며, 하중 CASE에 따른 응답비중 최소값을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \text{○ } K_s : \text{응력보정계수} &= \frac{\delta_{\text{측}}(\epsilon_{\text{측}})}{\delta_{\text{계}}(\epsilon_{\text{계}})} \times \frac{1+i(\text{계산})}{1+i(\text{측})} \\ &= 1.626 \times \frac{1+0.188}{1+0.105} = 1.748 \end{aligned}$$

③ LOAD CASE 3



2) Load Case별 응력보정계수 산정

재하시험 결과로부터 산출한 실측 및 이론적인 응력 값의 관계 및 실측 처짐과 재하 경우별 구조해석에 의한 이론적인 처짐의 관계를 비교하여 응답비를 산출하였다.

구 분 (mm)			DT1	DT2	DT3	DT4
S3	Load Case 1	실측치	-2.465	-1.492	-0.777	-0.159
		이론치	-5.501	-3.237	-1.438	-0.441
		응답비	2.232	2.170	1.851	2.774
	Load Case 2	실측치	-1.043	-1.297	-1.422	-1.138
		이론치	-2.012	-3.125	-3.158	-1.992
		응답비	1.929	2.409	2.221	1.750
	Load Case 3	실측치	-0.278	-0.751	-1.586	-2.374
		이론치	-0.452	-1.413	-3.124	-5.202
		응답비	1.626	1.881	1.970	2.191

6.8.3 내하력 평가

가. 허용응력법에 의한 내하력 평가

1) 내하율 평가

허용 응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.00이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따라 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 표준시방서 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

허용 응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$F = \frac{f_a - f_d}{f(1+i)}$$

여기서, f_a = 재료의 허용응력

f_d = 설계 사하중 응력(활하중 이외의 응력)

f_i = 설계 활하중 응력

i = 실측 충격계수

구 분		f_a	f_{ps}	f_d	$f_i(1+i)$	RF
외측 주형	상면	18.0	-3.91	13.96	1.702	4.671
	하면	-3.2	26.93	-20.45	-5.216	1.856
내측 주형	상면	18.0	-3.95	14.80	1.514	4.723
	하면	-3.2	27.22	-22.14	-4.851	1.707

2) 기본 내하력 산정

$$P_g = R \cdot F \times P_r$$

여기서, P_r : 설계하중

구 분		내하율	설계하중	기본내하력
외측 주형	상면	4.671	DB-24	설계하중 이상
	하면	1.856	DB-24	설계하중 이상
내측 주형	상면	4.723	DB-24	설계하중 이상
	하면	1.707	DB-24	설계하중 이상

자료 _ 불당교(초기안전점검 보고서)

3) 공용 내하력 산정

$$P = P_o \times K_g$$

$$\text{여기서, } K_g = \frac{\delta_{\text{제상}}}{\delta_{\text{좌측}}} \times \frac{1+i_{\text{제상}}}{1+i_{\text{좌측}}}$$

구 분	내하물	응력보정계수(K_g)	기본내하력 (=24 x RF)	공용내하력
외측 주형	상면	4.671	112.1	DB-240이상
	하면	1.856	44.5	
내측 주형	상면	4.723	113.4	
	하면	1.707	41.0	

나. 강도설계법에 의한 내하력 평가

1) 내하물 평가

강도 설계법에 의한 교량부재의 내하물 산정 시 하중조합으로는 1.3D + 2.15L (1.0 + i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 표준시방서의 공칭강도와 강도감소계수에 따라 계산한다. 사하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 적용하고 있는 사하중과 현행 도로교 표준시방서의 설계 활하중(DB 또는 DL 하중)을 사용하여 구조해석을 수행한 후 구한다.

강도 설계법에 의한 내하율은 다음과 같다.

$$P = P_r \times R.F \times K_g, \quad P_r \text{ 계하중}$$

$$R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma M_f}$$

여기서, ϕ = 강도 감소계수(= 0.85)

γ_d = 사하중 계수(= 1.3)

γ_l = 활하중 계수(= 2.15)

M_n = 공칭 모멘트

M_d = 사하중 모멘트

M_f = 활하중 모멘트(실측 충격계수 고려)

구 분	ϕM_n	M_d	$M_f(1+i)$	$R.F$
캔틸레버부(좌측)	57.85	8.31	15.32	1.428
캔틸레버부(우측)	57.80	12.00	1.80	10.904

2) 기본 내하력 산정

구 분	내하물	설계하중	기본내하력
캔틸레버부(좌측)	1.428	DB-24	설계하중 이상
캔틸레버부(우측)	10.904	DB-24	설계하중 이상

다. 내하력 평가결과

구 분	내하물	응답보정계수	기본내하력	공용내하력
주형	외측 주형 상면	4.671	DB-240이상	DB-240이상
	외측 주형 하면	1.856		
	내측 주형 상면	4.723		
	내측 주형 하면	1.707		
바닥판	캔틸레버부(좌측)	1.428	DB-240이상	-
	캔틸레버부(우측)	10.904		

내하력 평가 결과	불당교(영천방향)에 대한 허용응력 설계법에 의한 주형 부재의 공용 내하력을 산정한 결과, 주형 모두 DB-24 이상으로 통과하중에 대한 여유를 확보하고 있는 것으로 산출되었으며, 강도 설계법에 의한 바닥판의 내하력 평가도 설계하중인 DB-24 이상으로 통과하중에 대한 여유를 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
-----------	--

라. 안전성 평가

구조물의 안전성 평가는 주요 구조부재의 정밀육안검사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다. 안전성 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 한다.

1) 안전성평가 기준

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

* 안전성평가등급은 통합시설물까지의 소문자(a, b, c, d)로 표기하고 전체시설물에 대해서는 A, B, C, D, E)로 표기함.

2) 안전성평가 결과

① 주형

구 분	fa(허용응력) (MPa)	fs(발생응력) (MPa)	최소 안전율(SF)	안전성 평가등급
외측 주형	상면 18.00	11.50	1.565	A
	하면 -3.20	2.04	2.569	A
내측 주형	상면 18.00	12.14	1.483	A
	하면 -3.20	0.95	4.368	A

평 가 결 과

· 불당교(영천방향)에 대한 안전성평가 결과 주형의 안전율(SF)이 1.0이상이므로 구조적으로 안전한 것으로 평가되었다.

② 바닥판

구 분	ϕM_n (설계강도) (kN·m)	M_u (소요강도) (kN·m)	최소 안전율(SF)	안전성 평가등급
캔틸레버부(좌측)	57.85	47.34	1.222	A
캔틸레버부(우측)	57.80	48.23	1.198	A

평 가 결 과

· 불당교(영천방향)에 대한 안전성평가 결과 바닥판의 안전율(SF)이 1.0이상이므로 구조적으로 안전한 것으로 평가되었다.