

구조안전성능 자료 _ 도개교

자료 _ 도개교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력 평가

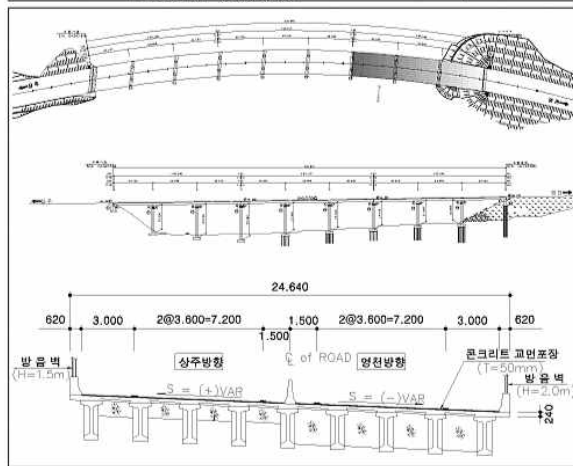
5.1 개요

5.1.1 검토개요

도개교의 내하력 평가는 당 용역 협의 결과에 따라 설계시 구조해석을 준용하여 기본내하력을 산정토록 하며, 제하시험에서 얻어진 결과를 이용하여 대상교량의 공용내하력을 평가한다. 따라서 본 장에서는 설계검토서에서 대상 시설물의 기본적인 검토조건과 기본내하력 산정을 위한 결과 값을 발췌하여 수록하였다.

【상부구조 형식】

교량 형식	경간 구분	비고
P.S.C BEAM교	☐ 연 장 : 3@45.0m = 135.0m ☐ 폭 원 : 24.640m ☐ 포 장 : LMC (t=50mm) ☐ 활 하 중 : DB-24, DL-24	P6 ~ A2



(9) PS 강선(KS D 7002 SWPC7B φ15.2mm)

- 곡률마찰계수 $\mu = 0.25 / \text{rad}$ (아연도금 급속 위스 D 85)
- 파상마찰계수 $k = 0.005 / \text{m}$
- 인조수축률 : 0.0002 (28일 기준) 0.00014 (90일)
- 릴랙сей션 $\gamma = 2.5 \%$
- 장착장치의 활동량 : 6.0mm

나. 검토방법

- 바닥판 : 강도설계법
- PhP GIRDER : 허용응력설계법

다. 참고문헌

- 도로교 설계기준 (한국도로교통협회, 2010)
- 콘크리트 구조 설계 기준 해설 (국토해양부, 2012)
- 도로교 설계기준 해설 (대한토목학회, 2008)
- 도로교 표준시방서 (국토해양부, 2013)
- 콘크리트 표준시방서 (국토해양부, 2009)
- 도로설계요령 (한국도로공사, 2009)
- 도로설계현장 제5권 (국토해양부, 2012)

5.2 구조해석 정리

5.2.1 검토조건

가. 사용재료 및 설계강도

- 형 식 : 포스트텐션방식 단순 합성 PhP 거더교
- 연 장 : 3@45.0m = 135.0m
- 폭 원 : 24.640m (R = 1,100m)
- 포 장 : LMC (t=50mm)
- 활 하 중 : DB-24, DL-24
- 사용재료의 특성

- 콘크리트 - 설계기준강도 : 슬래브 $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
PhP 거더 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
- 철근 - 항복강도 : 슬래브 $f_y = 400 \text{ MPa}$
PhP 거더 $f_y = 300 \text{ MPa}$

(7) 허용응력

① 바닥판 콘크리트

- 허용휨압축응력 : $f_{ca} = 0.6f_{ck} = 24.0 \text{ MPa}$
- 허용휨인장응력 : $f_{ta} = 0.63/f_{ck} = 3.27 \text{ MPa}$

② 프리스트레스 콘크리트

- 프리스트레스 도입시 압축강도 : $f_{ci} = 0.8f_{ck} = 32 \text{ MPa}$
- 프리스트레스 도입 직후
 - 허용휨압축응력 : $0.60f_{ci} = 19.2 \text{ MPa}$
 - 허용휨인장응력 : $0.25/f_{ci} = 1.41 \text{ MPa}$
- 설계하중 작용시
 - 허용휨압축응력 : $0.6f_{ck} = 24.0 \text{ MPa}$
 - 허용휨인장응력 : $0.63/f_{ck} = 3.27 \text{ MPa}$
- CREEP 계수(ψ) : 3.0 (28일 기준) 최종 2.2

③ PS 강재(Low-Relaxation)

- 극한강도(f_{pu}) : 1,900 MPa 항복강도(f_{py}) : 1,600 MPa
- 허용최대 긴장응력 : $0.9f_{py} = 1,440 \text{ MPa}$
- 정하중 직후 정착부에서의 응력 : $0.7f_{pu} = 1,330 \text{ MPa}$
- 손실 후 사용하중 상태에서의 응력 : $0.8f_{py} = 1,312 \text{ MPa}$

(8) 탄성계수

- 콘크리트
 - 바닥판 $E_c = 27800.0 \text{ MPa}$
 - PhP 거더 $E_c = 30900.0 \text{ MPa}$
- 철근 및 PS 강인선 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

5.2.2 바닥판 검토 결과

바닥판에 대한 안전성 검토 결과 다음과 같이 계산되었다.

가. 캔틸레버

(1) 좌 측

① 모멘트 단면력 요약

하중 항목	모멘트 (kNm)	하중조합 및 최대 하중	비고
고정하중 (M_D)	14.185	$M_D + M_{L+I} + 0.3M_W$	사용하중
활하중 (M_{L+I})	14.046	30.121	
충돌하중 (M_C)	24500	$1.3M_D + M_{L+I} + M_C$	계수하중
풍하중 (M_W)	6.300	68.550	

② 안전성 검토 결과

검토 항목	작용	설계	검토결과
모멘트 검토 (kN·m)	68.550	< 75.820	O.K (S.F = 1.106)
응력 검토 (MPa)	139.26	< 240.000	O.K (S.F = 1.723)
철근 간격 (mm)	150.0	< 435.5	O.K

(2) 우 측

① 모멘트 단면력 요약

하중 항목	모멘트 (kNm)	하중조합 및 최대 하중	비고
고정하중 (M_D)	14.677	$M_D + 0.3M_W$	사용하중
활하중 (M_{L+I})	16.189	32.755	
충돌하중 (M_C)	24500	$1.2M_D + M_{L+I} + M_C$	계수하중
풍하중 (M_W)	6.300	71.975	

② 안전성 검토 결과

검토 항목	작용	설계	검토결과
모멘트 검토 (kN·m)	71.975	< 75.820	O.K (S.F = 1.053)
응력 검토 (MPa)	151.44	< 240.000	O.K (S.F = 1.585)
철근 간격 (mm)	150.0	< 390.0	O.K

자료 _ 도개교(초기안전점검 보고서)

5.2.3 PnP Girder 검토 결과

가. 허용응력법에 의한 검토

(1) 외측 거더 중앙부

구 분		프리스트레스 도입직후(MPa)			설계하중 작용시(MPa)		
		작용	허용	안전율	작용	허용	안전율
LC 1 LC 3	상면	-15.21	-18.0	1.183	-11.20	-18.0	1.607
	하면	-1.63	-18.0	11.043	-3.19	-18.0	5.643
	바닥판	-2.85	-12.15	4.263	-5.03	-12.15	2.416
LC 2	상면	-15.21	-18.0	1.183	-11.21	-18.0	1.606
	하면	0.34	3.98	11.706	-1.21	-18.0	14.876
	바닥판	-2.03	-12.15	5.985	-4.20	-12.15	2.893

(+) : 인장, (-) : 압축

(2) 내측 거더 중앙부

구 분		프리스트레스 도입직후(MPa)			설계하중 작용시(MPa)		
		작용	허용	안전율	작용	허용	안전율
LC 1 LC 3	상면	-15.44	-18.0	1.166	-11.26	-18.0	1.599
	하면	-1.79	-18.0	10.056	-3.42	-18.0	5.283
	바닥판	-2.59	-12.15	4.691	-4.92	-12.15	2.470
LC 2	상면	-15.50	-18.0	1.161	-11.54	-18.0	1.560
	하면	0.38	3.98	10.474	-1.16	-18.0	15.517
	바닥판	-1.86	-12.15	6.532	-4.06	-12.15	2.993

(+) : 인장, (-) : 압축

(3) 데크 판넬

구 분		프리스트레스 도입직후(MPa)			설계하중 작용시(MPa)		
		작용	허용	안전율	작용	허용	안전율
판넬	상면	-6.22	-16.80	2.701	-3.46	-15.75	4.552
	하면	-2.80	-16.80	6.000	-0.72	-15.75	21.875
판넬, 허용응력		1.32 < 계 < -16.80			2.96 < 계 < -15.75		
바닥판					-3.58 12.15 -3.394		
바닥판 CONC. 허용응력					3.27 < 계 < -12.15		

(+) : 인장, (-) : 압축

5.3 내하력평가

5.3.1 개요

내하력 평가시 PnP 거더의 거더는 허용응력법으로 내하력을 평가하며, 바닥판은 강도설계법에 의하여 내하력을 평가한다.

가. 허용응력법

허용응력법에 의한 교량부재의 내하력을 산정시에 하중조합으로는 D+L(1+i)를 사용하여 하중계수를 각각 1.0으로 하며, 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 도로교설계기준에 의거하여 계산하였으며, 본 교량에서의 적용 활하중은 DB-24 및 DL-24이다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 내하력(RF)} = \frac{f_a - f_d + f_e}{f_i (1+i)}$$

여기서, f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

f_e = 유효프리스트레스에 의한 응력

f_i = 설계 활하중에 의한 응력

i = 시방규정에 의한 이론적 충격계수

상기 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 공용내하력(P)} = K_s \times RF \times P_r$$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응답 보정계수} = \frac{e_{\text{제한}} (1+i_{\text{제한}})}{e_{\text{실측}} (1+i_{\text{실측}})} \text{ or } \frac{\delta_{\text{제한}} (1+i_{\text{제한}})}{\delta_{\text{실측}} (1+i_{\text{실측}})}$$

$e_{\text{제한}} (e_{\text{제한}})$ = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$\delta_{\text{제한}} (\delta_{\text{제한}})$ = 이론적인 처짐 (실측 처짐)

$i_{\text{제한}} (i_{\text{제한}})$ = 시방규정에 의한 이론적인 충격계수

(실측 충격계수)

나. 강도설계법에 의한 검토

구 분		외측 거더(kNm)		내측 거더(kNm)	
		계수 모멘트 (Mu)	실계 휨강도 (ϕM_n)	계수 모멘트 (Mu)	실계 휨강도 (ϕM_n)
중 앙 부	상면	21,031.00	20,404.06		
	하면	31,858.79	31,808.93		
지 점 부	상면	1,515	1,559		
	하면	10,261.08	8,016.55		
지 점 부	상면	13,996.13	13,996.50		
	하면	1,364	1,738		

검 토

본 교량은 고정하중 및 설계활하중에 의한 거더 상·하면의 응력은 모두 허용응력 이내로 계산되어 구조적 안전성이 확보된 상태이다.

5.2.4 안전성 평가 결과

부 재		SF(안전율)		등 급
바닥판 캔틸레버(우측)		SF(안전율) = $\frac{\text{실계강도}}{\text{극한모멘트}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{75,820}{71,975} = 1.053$		A
바닥판 데크 판넬		SF(안전율) = $\frac{\text{실계강도}}{\text{극한모멘트}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{13,996.13}{10,261.08} = 1.364$		A
PnP 거더	외측거더 상면	SF(안전율) = $\frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{-18.0}{-11.210} = 1.606$		A
	내측거더 상면	SF(안전율) = $\frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{-18.0}{11.540} = 1.560$		A

나. 강도설계법

강도설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15 가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수를 적용하여 계산한다.

교량설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다. 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.

고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 적용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 설계모멘트 (RC·PC구조물의 휨부재 $\phi=0.85$)

M_d = 고정하중 모멘트

M_l = 활하중 모멘트

γ_l = 활하중 계수 = 2.15

γ_d = 고정하중 계수 = 1.30

i = 이론상의 충격계수

상기 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\bullet \text{ 공용내하력(P)} = K_s \times RF \times P_r$$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응답 보정계수} = \frac{e_{\text{제한}} (1+i_{\text{제한}})}{e_{\text{실측}} (1+i_{\text{실측}})} \text{ or } \frac{\delta_{\text{제한}} (1+i_{\text{제한}})}{\delta_{\text{실측}} (1+i_{\text{실측}})}$$

$e_{\text{제한}} (e_{\text{제한}})$ = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$\delta_{\text{제한}} (\delta_{\text{제한}})$ = 이론적인 처짐 (실측 처짐)

$i_{\text{제한}} (i_{\text{제한}})$ = 시방규정에 의한 이론적인 충격계수

(실측 충격계수)

자료 _ 도개교(초기안전점검 보고서)

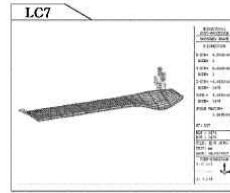
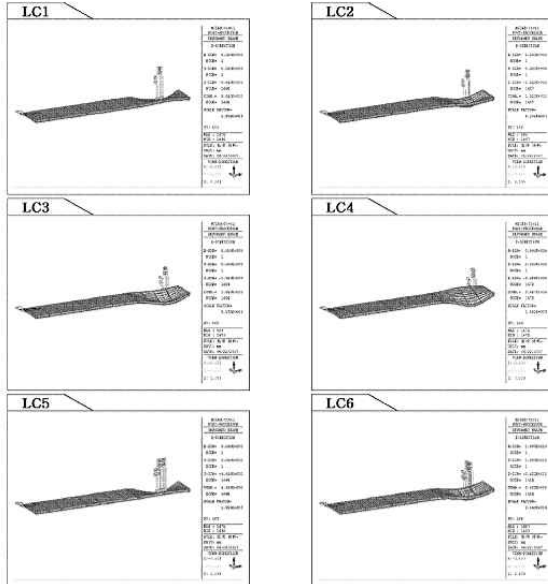
5.3.2 응답비

가. 재하시험에 대한 구조해석

공용내하력 산정시 구조해석상의 결과와 재하시험시 실측된 결과를 이용하여 응답 보정계수를 구하기 위해 재하시험과 동일한 위치의 계하경우(LC 1~LC 7)에 대해 구조해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

나. 정적해석

(1) Load Case별 재하위치 및 치점도



다. 응답비 산정

일반적인 응답비 산정은 치점에 대한 해석치/실측치로 구하며 이 결과를 상호 비교하여 구조물의 전체적인 거동을 대표할 수 있도록 도출한다. 응답 부분은 거더에 근접한 신뢰영역으로서 응답비 산정 대상이다.

【치점에 대한 응답비】

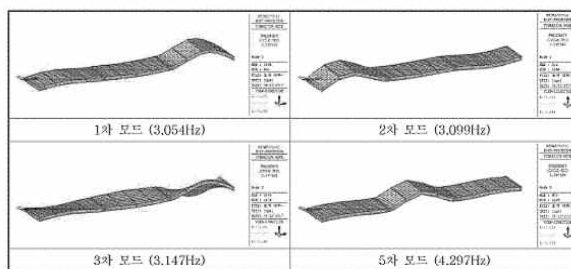
구 분	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7
DT1 (G1)	계산치점	-3.219	-0.833	-0.277	0.634	-4.091	-1.140
	실측치점	-2.352	-0.725	-0.239	0.305	-2.969	-0.923
	응답비	1.369	1.190	1.159	2.079	1.378	1.235
DT2 (G3)	계산치점	-1.642	-1.135	-0.725	0.080	-2.789	-1.861
	실측치점	-1.233	-0.968	-0.536	-0.028	-2.090	-1.480
	응답비	1.332	1.173	1.378	-	1.334	1.237
DT3 (G5)	계산치점	-0.587	-1.207	-1.215	-0.600	-1.806	-2.422
	실측치점	-0.448	-0.950	-0.928	-0.457	-1.322	-1.927
	응답비	1.310	1.271	1.309	1.313	1.336	1.257
DT4 (G7)	계산치점	0.032	-0.724	-1.144	-1.665	-0.639	-1.868
	실측치점	0.001	-0.588	-0.847	-1.199	-0.554	-1.465
	응답비	92.000	1.231	1.351	1.389	1.153	1.275
DT5 (G9)	계산치점	0.624	-0.280	-0.870	-3.259	0.342	-1.150
	실측치점	0.353	-0.212	-0.485	-2.073	0.157	-0.726
	응답비	1.768	1.321	1.758	1.572	2.178	1.584

시험차량에 의한 주부재의 치점을 측정하여 이론치와 비교한 결과, 응답비가 1.0 이상으로 평가되어 정·동적 거동특성은 양호한 것으로 판단된다.

5.3.3 고유진동수

고유치 해석결과 아래와 같이 각 모드별 해석 고유진동수를 나타내며 계측된 교량의 연직방향 고유진동수는 2.955Hz로 측정되었으며, 연직방향 모드의 해석 고유진동수는 3.054Hz이다. 발호벽 및 종분대 강성을 고려한다면 실측 고유진동수는 양호한 것으로 판단된다.

(1) 진동모드



【진동모드】

(2) 고유진동수

【고유진동수】

구 분	1	2	3	5
고유진동수 (Hz)	3.054	3.099	3.147	4.297

5.3.4 공용내하력 평가

가. 허용응력법에 의한 내하율 산정

(1) 내하율(R.F) 계산

$$R.F = \frac{f_a - f_d}{f_{1+1}}$$

① 외측거더 중앙부

구 분		응력 (MPa)				내하율 (R.F)
		하중	Prestress	교정하중	활하중	
LC1 LC3	상면	-18.0	11.64	-18.38	-1.55	7.265
	하면	-18.0	-67.45	23.93	4.38	5.826
	바닥판	-12.15		-0.87	-1.98	5.697
LC2	상면	-18.0	11.11	-18.11	-1.31	8.397
	하면	-18.0	-61.67	23.23	3.70	5.524
	바닥판	-12.15		-0.36	-1.67	7.060

② 내측거더 중앙부

구분		응력 (MPa)				내하율 (R.F)
		하중	Prestress	교정하중	활하중	
LC1 LC3	상면	-18.0	11.62	-18.78	-1.36	7.971
	하면	-18.0	-67.43	24.36	3.77	6.650
	바닥판	-12.15		-0.87	-1.72	6.558
LC2	상면	-18.0	11.09	-18.52	-1.17	9.034
	하면	-18.0	-61.66	23.71	3.24	6.157
	바닥판	-12.15		-0.37	-1.49	7.906

③ 데크 판넬

구 분		응력 (MPa)			내하율 (R.F)	
		하중	Prestress	교정하중		활하중
데크	상면	2.96	-3.95	0.05	0.44	15.591
	하면	2.96	-3.95	0.32	2.91	2.265
바닥판		-12.15		-0.35	-3.23	3.653

(2) 기본내하력 = $R.F \times P_r$

자료 _ 도개교(초기안전점검 보고서)

① 외측거더 중앙부

구분	내하중	설계하중	기본내하력	비고
LC1 LC3	상면	7.265	24	174.330
	하면	5.826	24	139.824
	바닥판	5.697	24	136.728
LC2	상면	8.397	24	201.528
	하면	5.524	24	132.576
	바닥판	7.060	24	169.440

② 내측거더 중앙부

구분	내하중	설계하중	기본내하력	비고
LC1 LC3	상면	7.971	24	191.304
	하면	6.660	24	159.600
	바닥판	6.558	24	157.392
LC2	상면	9.034	24	216.816
	하면	6.157	24	147.768
	바닥판	7.906	24	189.744

③ 데크 관널

구분	내하중	설계하중	기본내하력	비고
데크	상면	15.591	24	374.184
	하면	2.265	24	54.360
	바닥판	3.653	24	87.672

(3) 공용내하력

- 응답보정계수 (Ks)

$$K_s = \frac{\text{해석치검}}{\text{검측치검}} \times \frac{1 + i_{\text{회피}}}{1 + i_{\text{설측}}}$$

【응답보정계수 검토결과】

부	계	하중정수	해석치검	설측치검	해석 중력계수	설측 중력계수	응답 보정계수
G5	LC, 7	1.803	1.501	0.176	0.148	1.230	

【공용내하력 검토결과】

구	분	내하중	기본내하력	응답보정계수	공용내하력	비고
PnP	거더	5.524	DB-132.0	1.230	DB-162.0	

나. 강도설계법에 의한 내하를 산정

$$R.F = \frac{\phi M_u - \gamma_u M_d}{\gamma_u M_1 + i}$$

【강도설계법에 의한 내하를 및 기본내하력 검토결과】

구	분	ϕM_u	M_d	$M_{1,1}$	내하중	기본내하력	비고
바	다	75.820	14.677	16.189	1.630	DB-39.1	
관	널						

다. 결과 분석

본 교량에 대한 구조해석 및 재하시험에 의해 분석된 PnP 거더의 공용내하력과 바닥판의 기본내하력은 설계하중 DB(DL)-24을 만족하는 것으로 평가되었다.

결과
분석

• 도개교에 대한 구조해석 결과 및 재하시험에 의해 분석된 PnP 거더의 공용내하력과 바닥판의 기본내하력은 설계하중 DB(DL)-24을 만족한다.