

구조안전성능 자료 _ 신계교

자료 _ 신계교(초기안전점검 보고서)

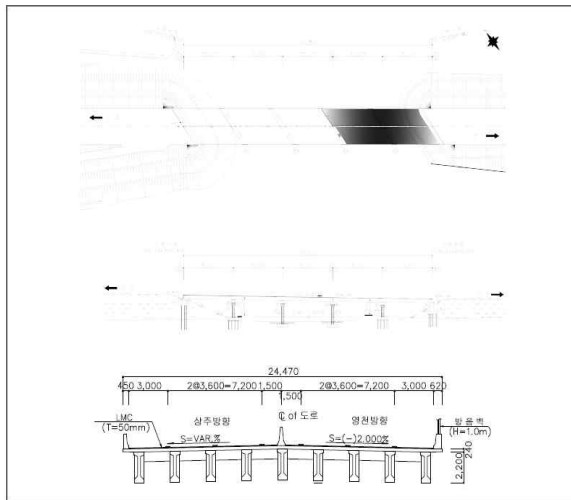
5.1 개요

5.1.1 검토 개요

신계교의 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
PSC BEAM교	□ 연 장 : 35.317 + 35.332 = 70.649m □ 폭 원 : 24.470m □ 포 장 : LMC (t=50mm) □ 활 하 중 : DB-24, DL-24	P3 ~ A2



(9) PS 강선(12.7mm 7연선)

- 곡률마찰계수 $\mu = 0.25 / \text{rad}$
- 파장마찰계수 $k = 0.005 / \text{m}$
- 건조수축률 : 0.0002 (28일 기준)
- 벌레세이션 $\gamma = 5.0 \%$
- 정착장치의 활동량 : 6.0mm

나. 검토방법

- (1) 바닥판 : 강도설계법
- (2) PSC GIRDER : 허용응력설계법

다. 참고문헌

- (1) 도로교 설계기준 (한국도로교통협회, 2005)
- (2) 도로교 설계기준 해설편 (대한토목학회, 2008)
- (3) 콘크리트 구조 설계 기준 (한국콘크리트학회, 2003)

5.2 구조해석 정리

5.2.1 검토조건

가. 사용재료 및 설계강도

- (1) 형 식 : P.S.C BEAM교
- (2) 연 장 : 35.317 + 35.332 = 70.649m
- (3) 폭 원 : 24.470m (SKEWED 35°)
- (4) 포 장 : LMC (t=50mm)
- (5) 활 하 중 : DB-24, DL-24
- (6) 사용재료의 특성
 - ① 콘크리트 - 설계기준강도 : 슬래브 fck = 27 MPa
PSC 거더 : fck = 40 MPa
 - ② 철근 - 항복강도 : 슬래브 fy = 400 MPa
PSC 거더 fy = 300 MPa

(7) 허용응력

- ① 바닥판 콘크리트
 - 허용휨압축응력 : $f_{ca} = 0.4f_{ck} = 10.8 \text{ MPa}$
 - 허용휨인장응력 : $f_{ta} = 0.13\sqrt{f_{ck}} = 0.68 \text{ MPa}$
- ② 프리스트레스 콘크리트
 - 프리스트레스 도입시 압축강도 : $f_{ci} = 0.8f_{ck} = 32 \text{ MPa}$
 - 프리스트레스 도입 직후
 - 허용휨압축응력 : $0.55f_{ci} = 17.6 \text{ MPa}$
 - 허용휨인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ci}} = 2.646 \text{ MPa}$
 - 설계하중 작용시
 - 허용휨압축응력 : $0.4f_{ck} = 16 \text{ MPa}$
 - 허용휨인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ck}} = 3.162 \text{ MPa}$
 - CREEP 계수(ψ) : 3.0 (28일 기준)

③ PS 강선(Low-Relaxation)

- 극한강도(f_{pu}) : 1,900 MPa · 항복강도(f_{py}) : 1,600 MPa
- 허용최대 긴장응력 : $0.9f_{py} = 1,440 \text{ MPa}$
- 정착 직후 정착부에서의 응력 : $0.7f_{pu} = 1,330 \text{ MPa}$
- 손실 후 사용하중 상태에서의 응력 : $0.8f_{py} = 1,280 \text{ MPa}$

(8) 탄성계수

- ① 콘크리트
 - 바닥판 $E_c = 25454.0 \text{ MPa}$
 - PSC 거더 $E_c = 283415.0 \text{ MPa}$
- ② 철근 및 PS 강연선 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$

5.2.2 바닥판 검토 결과

바닥판에 대한 안전성 검토 결과 다음과 같이 계산되었다.

가. 검토레버

(1) 좌 측

① 모멘트 단면력 요약

하중 항목	모멘트 (kNm)	하중조합 및 최대 하중	비고
고정하중 (M_D)	7.699	$M_D + M_{L1+} + 0.3M_W$	사용하중
활하중 (M_{L1+})	10.706	18.835	
충돌하중 (M_O)	24.500	$1.2(M_D + M_{L1+} + M_O)$	계수하중
풍하중 (M_W)	1.432	55.777	

② 안전성 검토 결과

검토 항목	작용	설계	검토결과
모멘트 검토 (kN·m)	55.777	< 57.830	O.K (S.F = 1.037)
응력 검토 (MPa)	91.870	< 240.000	O.K (S.F = 2.612)
철근 간격 (mm)	200.0	< 685.8	O.K

(2) 우 측

① 모멘트 단면력 요약

하중 항목	모멘트 (kNm)	하중조합 및 최대 하중	비고
고정하중 (M_D)	10.165	$M_D + 0.3M_W$	사용하중
활하중 (M_{L1+})	0	12.0	
충돌하중 (M_O)	24.500	$1.2(M_D + M_O + M_W)$	계수하중
풍하중 (M_W)	6.115	48.936	

② 안전성 검토 결과

검토 항목	작용	설계	검토결과
모멘트 검토 (kN·m)	48.936	< 57.830	O.K (S.F = 1.182)
응력 검토 (MPa)	73.373	< 240.000	O.K (S.F = 3.271)
철근 간격 (mm)	200.0	< 838.6	O.K

자료 _ 신계교(초기안전점검 보고서)

(3) 중앙부(경험적 설계법)

① 모멘트 단면력 요약

하중 항목	모멘트 (kNm)	하중조합 및 최대 하중	비고
고정하중 (M_D)	10.165	$M_D + 0.3M_{H1}$	사용하중
활하중 (M_{H1+i})	0	12.0	
충돌하중 (M_C)	24.500	$1.2(M_D + M_C + M_H)$	계수하중
중하중 (M_H)	6.115	48.936	

② 안전성 검토 결과

검토 항목	사용량	필요량	검토결과
하부 주철근(mm)	1,101	< 960	OK
상부 주철근(mm)	983	< 720	OK
하부 배력근(mm)	794	< 720	OK
상부 배력근(mm)	794	< 720	OK

5.2.3 P.S.C Girder 검토 결과

가. 허용응력법에 의한 검토

(1) 외측 거더

구분		프리스트레스 도입직후(MPa)			설계하중 작용시(MPa)		
		작용	허용	안전율	작용	허용	안전율
PSCI	상면	1.355	15.40	11.365	12.283	16.0	1.303
	하면	15.079	15.40	1.021	-1.683	-3.16	1.878
PS CONC. 허용응력		-2.65 < 계 < 15.40			-3.16 < 계 < 16.0		
바닥판					4.374	10.80	2.489
바닥판 CONC. 허용응력					-0.68 < 계 < 10.80		

(-) : 인장, (+) : 압축

(2) 내측 거더

구분		프리스트레스 도입직후(MPa)			설계하중 작용시(MPa)		
		작용	허용	안전율	작용	허용	안전율
PSCI	상면	1.355	15.40	11.365	11.026	16.0	1.451
	하면	15.079	15.40	1.021	0.968	16.0	16.701
PS CONC. 허용응력		-2.65 < 계 < 15.40			-3.16 < 계 < 16.0		
바닥판					2.520	10.80	4.286
바닥판 CONC. 허용응력					-0.68 < 계 < 10.80		

(-) : 인장, (+) : 압축

나. 강도설계법에 의한 검토

구분	외측 거더(kNm)	내측 거더(kNm)
계수 모멘트 (M_u)	16,944.216	14,458.540
설계 휨강도 (ϕM_n)	20,794.59	19,828.76
안전율 (SF)	1.227	1.371

결과 분석

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

5.2.4 안전성 평가 결과

부재	SF(안전율)	등급
바닥판 팽임레버(좌측)	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{극한모멘트}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{57,850}{55,777} = 1.037$	A
P.S.C 거더	외측거더 하면 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{-3.160}{-1.683} = 1.878$	A
	내측거더 상면 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{16.0}{11.026} = 1.451$	A

나. 강도설계법

강도설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+I)을 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 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조예석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

- 내하율(RF) = $\frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_1 M_1 (1+i)}$
여기서, ϕM_n = 설계모멘트 (RC·PC구조물의 휨부재 $\phi=0.85$)
 M_d = 고정하중 모멘트
 M_1 = 활하중 모멘트
 γ_1 = 활하중 계수 = 2.15
 γ_d = 고정하중 계수 = 1.30
 i = 이온상의 충격계수

상기 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

- 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_i$
여기서, K_s = 응답 보정계수 = $\frac{e_{\text{제단}} \cdot 1 + i_{\text{제단}}}{e_{\text{상측}} \cdot 1 + i_{\text{상측}}}$ or $\frac{\delta_{\text{제단}} \cdot 1 + i_{\text{제단}}}{\delta_{\text{상측}} \cdot 1 + i_{\text{상측}}}$
 $e_{\text{제단}}$ ($e_{\text{상측}}$) = 이론적인 변형률 (실측 변형률)
 $\delta_{\text{제단}}$ ($\delta_{\text{상측}}$) = 이론적인 치짐 (실측 치짐)
 $i_{\text{제단}}$ ($i_{\text{상측}}$) = 시방규정에 의한 이론적인 충격계수 (실측 충격계수)

5.3 내하력평가

5.3.1 개요

내하력 평가시 PSC 거더교의 거더는 허용응력법으로 내하력을 평가하며, 바닥판은 강도설계법에 의하여 내하력을 평가한다.

가. 허용응력법

허용응력법에 의한 교량부재의 내하를 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.

- 내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d + f_s}{f_i (1+i)}$
여기서, f_a = 허용응력
 f_d = 고정하중에 의한 응력
 f_s = 유효프리스트레스에 의한 응력
 f_i = 설계 활하중에 의한 응력
 i = 시방규정에 의한 이론적 충격계수

상기 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음과 같다.

- 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_i$
여기서, K_s = 응답 보정계수 = $\frac{e_{\text{제단}} \cdot 1 + i_{\text{제단}}}{e_{\text{상측}} \cdot 1 + i_{\text{상측}}}$ or $\frac{\delta_{\text{제단}} \cdot 1 + i_{\text{제단}}}{\delta_{\text{상측}} \cdot 1 + i_{\text{상측}}}$
 $e_{\text{제단}}$ ($e_{\text{상측}}$) = 이론적인 변형률 (실측 변형률)
 $\delta_{\text{제단}}$ ($\delta_{\text{상측}}$) = 이론적인 치짐 (실측 치짐)
 $i_{\text{제단}}$ ($i_{\text{상측}}$) = 시방규정에 의한 이론적인 충격계수 (실측 충격계수)

자료 _ 신계교(초기안전점검 보고서)

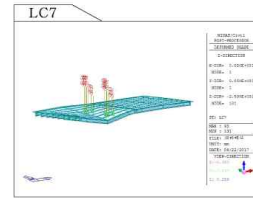
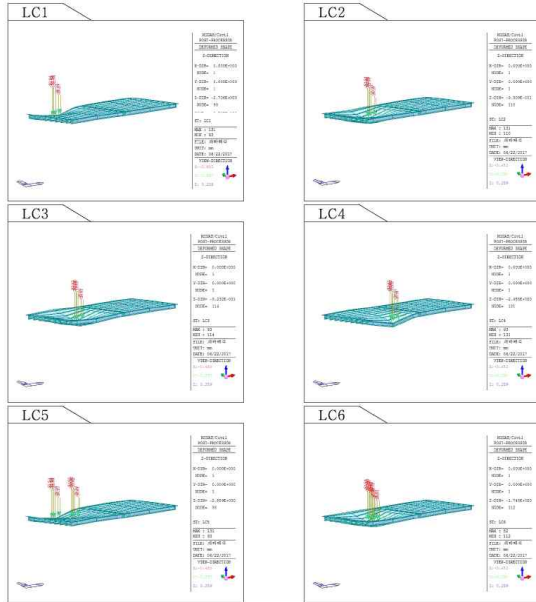
5.3.2 응답비

가. 제하시험에 대한 구조해석

공용내하력 산정시 구조계산상의 결과와 제하시험시 실측된 결과를 이용하여 응답 보정계수를 구하기 위해 제하시험과 동일한 위치의 제하경우(LC 1~LC 7)에 대해 구조해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

나. 정적해석

(1) Load Case별 제하위치 및 치짐도



다. 응답비 산정

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

【치짐에 대한 응답비】

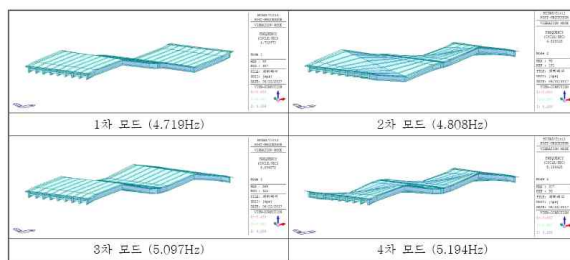
구 분	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7
DT1 (G1)	계산치짐	-2.189	-0.221	0.034	0.166	-2.429	-0.183
	실측치짐	-1.175	-0.002	0.02	0.057	-1.881	0.009
	응답비	1.863	110.5	1.7	2.912	1.291	-
DT2 (G3)	계산치짐	-0.812	-0.718	-0.389	0.082	-1.522	-1.104
	실측치짐	-0.53	-0.588	-0.232	0.091	-1.063	-0.83
	응답비	1.532	1.221	1.677	0.901	1.432	1.33
DT3 (G5)	계산치짐	-0.106	-0.874	-0.866	-0.136	-0.968	-1.745
	실측치짐	-0.057	-0.869	-0.775	0.005	-0.832	-1.715
	응답비	1.86	1.006	1.116	-	1.163	1.017
DT4 (G7)	계산치짐	0.103	-0.401	-0.716	-0.802	-0.291	-1.122
	실측치짐	-0.017	-0.251	-0.578	-0.561	-0.248	-0.9
	응답비	-	1.598	1.239	1.43	1.173	1.247
DT5 (G9)	계산치짐	0.164	0.008	-0.236	-2.039	0.174	-0.229
	실측치짐	-0.096	0.134	-0.05	-1.591	0.018	-0.089
	응답비	-	0.06	4.72	1.294	9.667	2.573

시험차량에 의한 주부재의 치짐을 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 4.73Hz로 측정되었으며, 연직방향 모드의 해석 고유진동수는 4.719Hz로 나타나 구조물에 대한 동적 특성은 양호한 것으로 판단된다.

(1) 진동모드



【진동모드】

(2) 고유진동수

【고유진동수】

구 분	Mode			
	1	2	3	4
고유진동수 (Hz)	4.719	4.808	5.097	5.194

5.3.4 공용내하력 평가

가. 허용응력법에 의한 내하율 산정

(1) 내하율(RF) 계산

$$R.F = \frac{f_s - f_d}{f_{t-i}}$$

【허용응력법에 의한 내하율 검토결과】

구 분		응력 (MPa)				내하율 (R,F)
		허용	유요 Prestress	교정하중	활하중	
외측 거더	상면	16.0	-5.807	16.464	1.625	3.288
	하면	-3.16	19.582	-17.462	-3.804	1.388
	바닥판	10.80		2.156	2.217	3.899
내측 거더	상면	16.0	-5.681	15.010	1.697	3.931
	하면	-3.16	19.160	-4.696	-4.115	4.283
	바닥판	10.80		0.189	2.331	4.532

(2) 기본내하력 = RF × P_T

【허용응력법에 의한 기본내하력 검토결과】

구 분	내하율	설계하중	기본내하력	비고
외측 거더	상면	3.228	24	77.472
	하면	1.388	24	33.312
	바닥판	3.899	24	93.576
내측 거더	상면	3.931	24	94.344
	하면	4.283	24	102.792
	바닥판	4.532	24	109.248

자료 _ 신계교(초기안전점검 보고서)

(3) 공용내하력

- 응답보정계수 (Ks)

$$K_s = \frac{\text{해석치검}}{\text{실측치검}} \times \frac{1 + i_{\text{해석}}}{1 + i_{\text{실측}}}$$

【응답보정계수 검토결과】

부 제	하중경우	해석치검	실측치검	해석 충격계수	실측 충격계수	응답 보정계수
G5	LC-2	0.874	0.889	0.203	0.156	1.047

【공용내하력 검토결과】

구 분	내하율	기본내하력	응답보정계수	공용내하력	비고
PSC 거더	1.388	DB-33.3	1.047	DB-34.9	

나. 강도설계법에 의한 내하율 산정

$$R.F = \frac{\phi M_u - \gamma_o M_d}{\gamma_o M_d + 1}$$

【강도설계법에 의한 내하율 및 기본내하력 검토결과】

구 분	ϕM_u	M_d	M_{u+i}	내하율	기본내하력	비 고
바닥판 켄달리버(좌)	57.850	7.699	10.706	2.078	DB-49.9	

다. 결과 분석

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

결 과
분 석

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