구조안전성능 자료 _ 월가교

자료 _ 월가교(초기안전점검 보고서)

제 5 장 구조안전성 및 내하력 평가

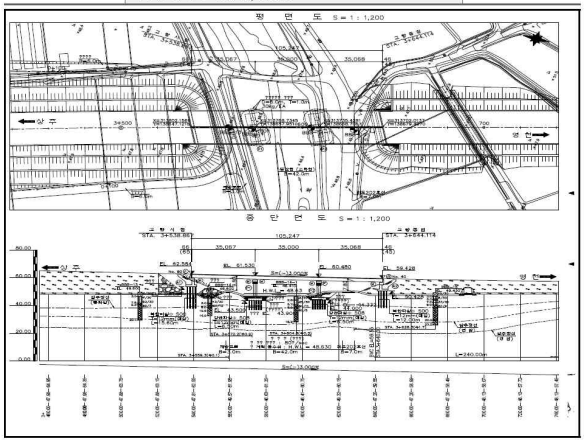
5.1 개 요

5.1.1 검토개요

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

【상부구조 형식】

교 량 형 식	경 간 구 분	비 고
PSC Beam교	□ 연 장 : 3@35.000 = 105.000m □ 폭 원 : 12.455 m □ 포 장 : L.M.C (t=50㎜) □ 활 하 중 : DB-24, DL-24	A1 ~ A2



5.2 구조검토

5.2.1 검토조건

가. 검토조건

(1) 형 식 : PSC Beam교

(2) 연 장 : 3@35.000 = 105.000m

(3) 폭 원 : 12.455m

(4) 포 장 : L.M.C (t=50㎜)

(5) 활 하 중 : DB-24, DL-24

(6) 사용재료 및 허용응력

① 콘크리트(주형) : 40 MPa

② 콘크리트(바닥판) : 27 MPa

③ 강 선 : SWPC 7B ϕ12.7㎜

④ 철 근 : SD 40

⑤ 인장강도 : $_u$ = 1,900 MPa

⑥ 항복강도 : f_{py} = 1,600 MPa

(7) 허용응력

① PS 강재의 허용응력

구 분		설계기준	허용응력(MPa)
포스트텐션 부재	정착구에서의 응력	$0.70f_{pu}$	1,330 MPa
	손실후 사용하중 상태에서의 응력	$0.80f_{py}$	1,280 MPa
	허용 최대긴장응력	$0.90f_{py}$	1,440 MPa

나. 검토방법

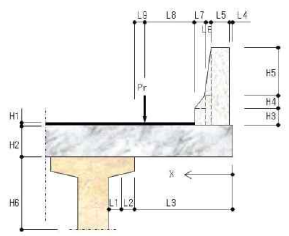
(1) 바닥판 : 강도설계법

(2) PSC 거더 : 허용응력설계법, 강도설계법

5.2.2 바닥판 검토

가. 캔틸레버부(방호벽측)

1) 단 면



Pr	96	kN	L1	135	mm
V	100	km/h	L2	135	mm
H1	50	mm	L3	820	mm
H2	240	mm	L4	30	mm
H3	175	mm	L5	230	mm
H4	175	mm	L6	70	mm
H5	700	mm	L7	120	mm
H6	2,200	mm	L8	300	mm
B	12,455	mm	L9	70	mm

2) 바닥판의 유효지간장 산정

- 상부플랜지폭 / 바닥판두께 = 0.76 / 0.24 = 3.167 < 4

: 유효지간은 상부플랜지 끝단에서 캔틸레버 끝단까지의 순지간으로 산정함.

3) 바닥판의 최소두께

- 활하중에 의한 지간 L = 0.070 m
- 바닥판의 최소두께 T_{min} = 280L + 180 = 200mm < T_{min} = 220mm

∴ T_c = 240mm > T_{min} O.K

4) 하중계산

① 고정하중

구 분	Vo(kN)			X(m)	M(kN·m)
방음벽	L5 x (H3 + H4 + H5) x 25.0	=	6.038	0.145	0.875
	L6 x (H3 + H4) x 25.0	=	0.613	0.295	0.181
	L7 x H3 x 25.0	=	0.525	0.390	0.205
	L6 x H5 / 2 x 25.0	=	0.613	0.283	0.173
	L7 x H4 / 2 x 25.0	=	0.263	0.370	0.097
	소 계	=	8.050		1.531
슬래브	L3 x H2 x 25.0	=	4.920	0.410	2.017
	소 계	=	4.920		2.017
포 장	(L3 - L4 - L5 - L6 - L7) x H1 x 23.0	=	0.435	0.635	0.276
	소 계	=	0.435		0.276
총 계		=	13.405		3.824

- Md = 13.405 x (0.820 - 0.285) = 7.17kN·m

② 활하중

- 충격계수 i = 15 / (40 + L) = 0.374 ≥ 0.300 ∴ i = 0.300
- 차량하중 분포폭

E = 0.800 x 0.070 + 1.140 = 1.196m

- Ml = 96 x 0.070 x (1 + 0.300) / 1.196 = 7.304kN·m

③ 충돌하중

- 작용높이 : 노면상 1.050m

Po = (V / 60)^2 x 7.5 + 2.5 = 23.33 kN/m

Mo = 1.05 x 23.33 = 24.50 kN·m

④ 풍하중

- D = Beam 높이 + H2 + H3 + H4 + H5 + 방음벽 높이 = 3.490m

1 ≤ B/D = 12.455 / 3.490 = 3.569 < 8

- 상부구조 1m당 작용하는 풍하중 Pw = [4 - 0.2(B/D)] x D ≥ 6.0 = 11.469kN/m
- 풍하중 작용높이(D1) = H3 + H4 + H5 + 방음벽 높이 = 1.050
- 방호벽 + 방음벽 1m 당 작용하는 풍하중 Pw = [4 - 0.2(B/D)] x D1 = 3.451kN/m

Pw = 3.451kN/m

Mw = 3.451 x 1.050 / 2 = 1.812 kN·m

5) 하중조합

- Case 1 : 1.3 Md + 2.15 Ml = 25.027 kN·m
- Case 2 : 1.3 Md + 1.3 Mw = 11.679 kN·m
- Case 3 : 1.3 Md + 1.3 Ml + 0.65 Mw = 19.997 kN·m
- Case 4 : 1.25 Md + 1.25 Ml + 0.625 Mw = 19.218 kN·m
- Case 5 : 1.3 Md + 1.3 Ml + 1.3 Mo = 50.669 kN·m
- Case 6 : 1.2 Md + 1.2 Mo + 1.2 Mw = 40.181 kN·m

6) 극한모멘트 검토

- fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa

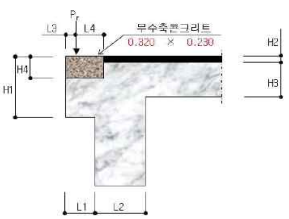
h = 240.0 mm b = 1000.0 mm d' = 60.0 mm d = 180.0 mm

- USE As = 993 mm^2
- $a = \frac{{}_sf_y}{.85f_k b} = \frac{993\times400.0}{0.85\times27.0\times1000} = 17.3$ mm
- øMn = øAs fy (d - a/2) = 57.850 kN·m > Mu = 50.669 kN·m

자료 _ 월가교(초기안전점검 보고서)

나. 슬래브 단부

1) 단 면



Pr	96	kN
H1	490	mm
H2	50	mm
H3	240	mm
H4	230	mm
L1	485	mm
L2	400	mm
L3	100	mm
L4	220	mm

2) 하중계산

① 고정하중

- w = 0.485 x 0.490 x 25.0 = 5.939kN/m
- Md = 5.939 x 0.485 / 2 = 1.440N·m

② 활하중

- 충격계수 i = 15 / (40 + L) = 0.371 ≥ 0.300 ∴ i = 0.300
- 차량하중 분포폭

  E = 0.350 x 0.380 + 0.980 = 1.115m
- Ml = 0.385 x 96 x (1 + 0.300) / 1.115 = 43.068kN·m

3) 하중조합

- Case 1 : 1.3 Md + 2.15 Ml = 94.468 kN·m

4) 극한모멘트 검토

- fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa

  h = 260.0 mm b = 1000.0 mm d′ = 60.0 mm d = 200.0 mm
- USE As = 1,588.8 mm^2
- $a = \frac{\phi f_y}{.85 f_{ck} b} = \frac{1,588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000} = 27.7$ mm
- øMn = øAs fy (d − a/2) = 100.559 kN·m > Mu = 94.468 kN·m

5.2.3 PSC 거더 단면특성 산출

가. 유효폭 산정

합성단면의 바닥판 유효폭은 다음의 식으로 산정하였으며, 유효폭을 고려한 PSC 거더의 단면특성은 아래 표와 같다.

1) 외측거더

$$= \min \cdot of \begin{cases} 6t + b_1 = 3.047mm \\ \text{더 경간의 } 1/12 + b_1 = 4.440mm \\ \text{인접거더와의 순경간의 } 1/2 + b_1 = 1.337mm \end{cases} \quad \therefore b_e = 1.337mm$$

2) 내측거더

$$b_e = \min \cdot of \begin{cases} 12t + b_w = 3.640mm \\ \text{양쪽 거더의 중심간 거리} = 2.500mm \\ \text{지간의 } 1/4 = 8.500mm \end{cases} \quad \therefore b_e = 2.500mm$$

【표 4.4.1】 단면특성 ①

구 분	총단면	순단면	환산단면
A(mm^2)	806,700	789,594	827,315
Ay(mm^3)	921,804,000	886,360,426	964,518,419
Ay^2(mm^4)	1,432,925,655,000	1,359,486,569,705	1,521,429,930,803
I_o(mm^4)	99,911,340,000	99,911,340,000	99,911,340,000
y_t(mm)	1,143	1,123	1,166
I_c(mm^4)	479,505,403,258	464,412,320,121	496,864,916,120

【표 4.4.1】 단면특성 ②

구 분	합성단면	
	내측거더	외측거더
A(mm^2)	1,314,515	1,310,228
Ay(mm^3)	906,054,419	906,568,902
Ay^2(mm^4)	1,528,445,610,803	1,528,383,872,819
I_o(mm^4)	102,249,900,000	102,229,320,672
y_t(mm)	689	692
I_c(mm^4)	1,006,180,241,488	1,003,342,812,257

5.2.4 적용하중 검토

가. 고정하중

합성전 고정하중은 거더 자중, 콘크리트 바닥판 및 가로보 자중을 고려하였으며, 합성후 고정하중은 방호벽 및 중분대 하중, 포장하중을 고려하였다

1) 합성전 고정하중

- 거더 자중($_1$)

  : 거더 자중은 프로그램에서 자동산정하였다.
- 콘크리트 바닥판 자중(W_{d2})

  : 콘크리트 바닥판 자중은 각 거더별 단위길이당 등분포하중으로 입력

  닥판 자중(외측거더) : (1.255 + 2.5 / 2) × 0.240 × 25.0 = 15.030kN/m

  바닥판 자중(외측거더) : (1.2 + 2.5 / 2) × 0.24 × 25.0 = 14.700kN/m

  바닥판 자중(내측거더) : 2.5 × 0.240 × 25.0 = 15.000kN/m
- 가로보 자중(W_{d3})

  : 가로보 자중은 절점하중으로 고려

  부 :

  외측거더 : 0.700 × 0.400 × 2.500 × 25.0 = 8.75kN

  내측거더 : 8.75 × 2 = 17.50 kN

  중앙부 :

  외측거더 : 1.950 × 0.300 × 2.50 × 25.0 = 18.281kN

  내측거더 : 18.281 × 2 = 36.562 kN

  지점부 :

  외측거더 : 1.950 × 0.700 × 2.50 × 25.0 = 42.656kN

  내측거더 : 42.656 × 2 = 85.312 kN

2) 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

■ 방호벽 캔틸레버 : 8.050 kN/m ■ 중분대 캔틸레버 : 10.532 kN/m

■ 포장 : 0.050 × 23.0 = 1.150 kN/m^2

나. 활하중

설계활하중의 재하는 해석프로그램 내의 이동하중해석 옵션을 사용하였으며 도로교설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조건이 되도록 설정하였다.

본 구조해석에 사용된 이동하중해석 옵션은 입력된 차로(Traffic Surface Lanes)를 기준으로 영향선(Influence Line)을 계산하고 이를 이용하여 차량하중의 이동에 따른 해석결과를 산출하는 기능으로서 차선과 거더중심과의 위치차이에 따른 활하중의 편심재하가 가능하고 한 개의 이동하중조건에 대해 최대와 최소의 두 가지 해석결과를 산출한다.

【활하중 검토】

구 분	활하중 검토			
• 교폭	12.455 m			
• 해석지간(L)	3@35.000 = 105.000 m			
• 연석간 교폭(Wc)	12.455 - 0.610-0.450 = 11.395 m			
• 재하차로수(N)	9.1 ≤ Wc < 12.8 m ∴ 3차로 재하			
• 설계차로폭(W)	11.395 / 3 = 3.8 m ∴ 3.600m 마다 재하			
• 충격계수(i)	15 / (40+34) = 0.203 < 0.300 ∴ i = 0.203 적용			
• 활하중 모델	표준차로하중(DL-24)		표준트럭하중(DB-24)	
	Pm	108 kN	전륜(1축)	48 kN
	Ps	156 kN	후륜(2축)	192 kN
	Wn	12.7 kN/m	후륜(3축)	192 kN
			총 중량	432 kN
• 재하방법	• 해석프로그램의 이동하중 해석기능 사용 • DB-24, DL-24 재하 • DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~4개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하 • 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2005년)에 따라 백분율로 감소 - 3차로 동시 재하시 : 90%, 4차로 동시 재하시 : 75%			

5.2.5 모델링

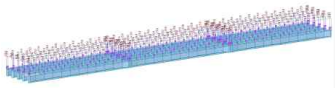
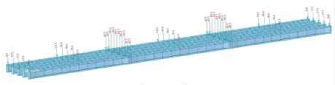
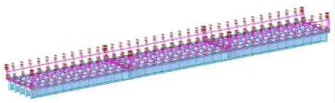
해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였다. 기타 세부내용은 다음과 같다.

1) 대상교량은 PSC 교량이므로 시공단계별 해석을 하여야 하며, 이를 감안하여 합성전과 합성후 단계로 나누어 모델링하였다.

2) 합성전 모델링 시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 휨분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 설계활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

3) 경계조건은 현장조사 시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

【구조해석 모델링】

구 분	모 델 링	비 고
해석모델		■합성전 모델 · 단순보
		■합성후 모델 · 3경간 연속교
합성전 고정하중	 <바닥판 하중>	■합성전 고정하중 · 자중 · 바닥판, 가로보
	 <가로보 하중>	
합성후 고정하중		■합성후 고정하중 · 방호벽 및 중분대 · 포장

1) 외측거더 응력산정 결과

구 분		모멘트 (kN·m)	단면계수 (㎟)	콘크리트 단면 휨응력(㎫) 바닥판 상 연	거 더 상 연	거 더 하 연	거 더 P.S 강선 도심위치	P.S 강선 (㎫) P.S 강선 도심위치
외측거더	거더자중	4,161.45	413,711,187		10.06			
			-431,029,915			-9.65		
			-489,139,289				-8.51	
	합성전 고정하중	2,536.81	426,185,466		5.95			
			-480,453,583			-5.28		
			-548,320,399				-4.63	-29.47
	합성후 고정하중	885.82	1,450,091,286		0.61			
			-665,310,074			-1.33		
			1,076,643,963	0.82				
			-727,016,283				-1.22	-7.76
	활하중	3,009.53	1,450,091,286		2.08			
			-665,310,074			-4.52		
			1,076,643,963	2.80				
			-727,016,283				-4.14	-26.36
계		10,593.61	-	3.62	18.70	-20.78	-18.50	-63.59

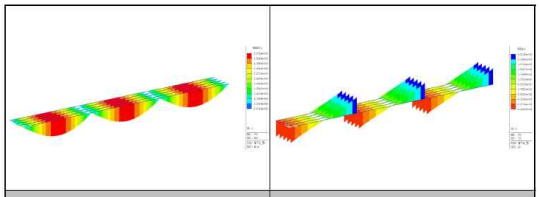
2) 내측거더 응력산정 결과

구 분		모멘트 (kN·m)	단면계수 (㎟)	콘크리트 단면 휨응력(㎫) 바닥판 상 연	거 더 상 연	거 더 하 연	거 더 P.S 강선 도심위치	P.S 강선 (㎫) P.S 강선 도심위치
내측거더	거더자중	4,161.57	413,711,187		10.06			
			-31,029,915			-9.65		
			-489,139,289				-8.51	
	합성전 고정하중	2,539.85	426,185,466		5.96			
			-480,453,583			-5.29		
			-548,320,399				-4.63	-29.50
	합성후 고정하중	658.31	1,449,650,154		0.45			
			-665,277,370			-0.99		
			1,076,364,905	0.61				
			-726,985,955				-0.91	-5.77
	활하중	3,018.52	1,449,650,154		2.08			
			-665,277,370			-4.54		
			1,076,364,905	2.80				
			-726,985,955				-4.15	-26.44
계		10,378.25	-	3.41	18.55	-20.47	-18.20	-61.71

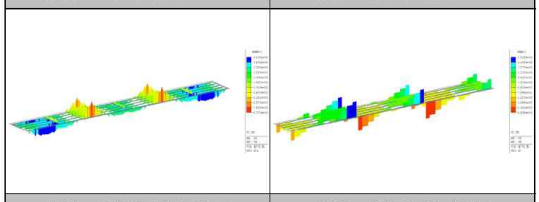
5.2.6 구조해석 결과 및 검토

가. 부재력 산출

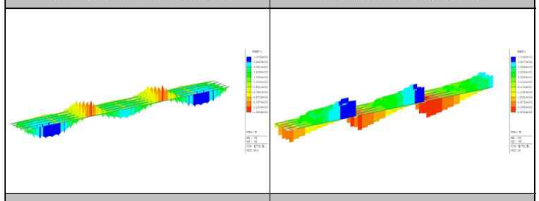
1) 하중조건별 부재력도



합성전 고정하중에 의한 휨모멘트도 | 합성전 고정하중에 의한 전단력도



합성후 고정하중에 의한 휨모멘트도 | 합성후 고정하중에 의한 전단력도



설계활하중에 의한 휨모멘트도 | 설계활하중에 의한 전단력도

나. 거더 휨응력 검토

휨응력 검토는 최대 정모멘트가 작용하는 지간 중앙부의 내·외측 거더에 대해서 수행하였으며 압축을 정(+)으로 하고 인장을 부(-)로 하여 검토하였다.

5.2.7 안전성 평가 결과

가. PSC BEAM교의 안전성 검토

1) 허용응력설계법에 의한 검토

내·외측 거더의 응력 검토 결과는 다음의 표와 같으며, 검토 결과 거더응력은 허용응력 범위 이내로 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

【외측거더 응력 검토 결과(단위:㎫)】

구 분		프리스트레스 도입 직후 Prestress	거더자중	계	설계하중 작용시 유효 Prestress	총하중 (D+L(1+i))	계
거더	상연	-6.253	10.060	3.807	-5.378	18.700	13.322
	하연	21.092	-9.650	11.442	18.141	-20.780	-2.639
거더 허용응력		-1.410 < 계 < 17.600			-3.160 < 계 < 16.000		
바닥판		-				3.620	3.620
바닥판 허용응력		-			0.000 < 계 < 10.800		

【내측거더 응력 검토 결과(단위:㎫)】

구 분		프리스트레스 도입 직후 Prestress	거더자중	계	설계하중 작용시 유효 Prestress	총하중 (D+L(1+i))	계
거더	상연	-6.253	10.060	3.807	-5.414	18.820	13.406
	하연	21.092	-9.650	11.442	18.261	-20.780	-2.519
거더 허용응력		-1.410 < 계 < 17.600			-3.160 < 계 < 16.000		
바닥판		-				3.460	3.460
바닥판 허용응력		-			0.000 < 계 < 10.800		

2) 강도설계법에 의한 검토

내·외측 거더의 극한상태의 안전도를 검토하기 위해서 강도설계법을 토대로 안전성을 검토하였으며, 검토 결과 최소안전율이 1.000 이상의 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

■ 외측거더

· 극한모멘트 Mu = 1.3Md + 2.15Ml = 16,329kN·m

· 극한저항모멘트

b = 2,012mm dp = 2,312mm Ap = 5,923mm^2

$f_{ps} = f_{pu}\left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta}\frac{\rho_p f_{pu}}{f_{ck}}\right] = 1,858MPa$

Ap x fps = 0.85 x fck x a x B

a = Ap x fps / (0.85 x fck x B) = 161mm < 240mm(슬래브 높이)

: 중심축이 슬래브에 있으므로 합성단면은 직사각형으로 가정한다.

$\Phi M_n = \Phi\left[A_p f_{ps} d_p \left\{1 - 0.59\left(\frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right)\right\}\right] = 20,871kN·m > Mu = 16,330kN·m$ O.K

■ 내측거더

· 극한모멘트 Mu = 1.3Md + 2.15Ml = 15,719kN·m

· 극한저항모멘트

b = 2,030mm dp = 2,312mm Ap = 5,923mm^2

$f_{ps} = f_{pu}\left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1}\frac{\rho_p f_{pu}}{f_{ck}}\right] = 1,862MPa$

Ap x fps = 0.85 x fck x a x B

a = Ap x fps / (0.85 x fck x B) = 160mm < 240mm(슬래브 높이)

: 중심축이 슬래브에 있으므로 합성단면은 직사각형으로 가정한다.

$\Phi M_n = \Phi\left[A_p f_{ps} d_p \left\{1 - 0.59\left(\frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right)\right\}\right] = 20,926kN·m > Mu = 15,719kN·m$ O.K

나. 바닥판 안전성 검토

바닥판에 대한 안전성 검토는 강도설계법을 토대로 검토하였으며, 검토 결과 최소 안전율이 1.000 이상의 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

【바닥판 안전성 검토 결과】

구 분	계수모멘트 Mu(kN·m)	설계휨강도 ϕMn(kN·m)	안전율 (ϕMn/Mu)	검토결과
캔틸레버부(방호벽측)	50.669	57.850	1.142	O.K
슬래브 단부	94.468	100.559	1.064	O.K

결과분석

▪ 월가교의 PSC BEAM교 거더 및 바닥판에 대한 안전성 검토 결과 최소안전율이 모두 1.000 이상으로 검토되어 설계활하중(DB-24, DL-24)에 대하여 안전한 것으로 평가되었다.

나. 강도설계법

강도설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1+i)을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 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 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 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 도로교 설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

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

여기서, ϕM_n = 설계모멘트 (RC · PC구조물의 휨부재 ϕ=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.

- 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_s = 응답 보정계수 = $\frac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{측}}\cdot\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$ or $\frac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}}\cdot\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$

$\epsilon_{계산}$ ($\epsilon_{실측}$)= 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$\delta_{계산}$ ($\delta_{실측}$)= 이론적인 처짐 (실측 처짐)

$i_{계산}$ ($i_{실측}$)= 시방규정에 의한 이론적인 충격계수

(실측 충격계수)

5.3 내하력평가

5.3.1 개요

내하력평가시 PSC BEAM교의 거더에 대해서는 허용응력법 및 강도설계법으로 내하력을 평가하며, 바닥판은 강도설계법에 의하여 내하력을 평가한다.

가. 허용응력법

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 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.

하율(RF) = $\frac{f_a - f_d + f_e}{f_l (1+i)}$

여기서, f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

f_e = 유효프리스트레스에 의한 응력

f_l = 설계 활하중에 의한 응력

i = 시방규정에 의한 이론적 충격계수

상기 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음과 같다.

- 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_s = 응답 보정계수 = $\frac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{측}}\cdot\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$ or $\frac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}}\cdot\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$

$\epsilon_{계산}$ ($\epsilon_{실측}$)= 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$\delta_{계산}$ ($\delta_{실측}$)= 이론적인 처짐 (실측 처짐)

$i_{계산}$ ($i_{실측}$)= 시방규정에 의한 이론적인 충격계수

(실측 충격계수)

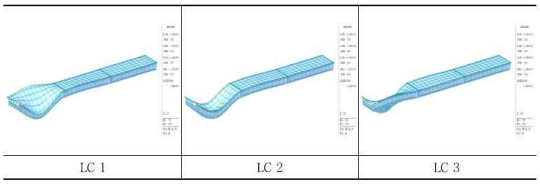
5.3.2 응답비

가. 재하시험에 대한 구조해석

공용내하력 산정시 구조계산상의 결과와 재하시험시 실측된 결과를 이용하여 응답보정계수를 구하기 위해 재하시험과 동일한 위치의 재하경우(LC 1~LC 3)에 대해 구조해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

나. 정적해석

(1) Load Case별 재하위치 및 처짐도



LC 1 | LC 2 | LC 3

다. 응답비 산정

일반적인 응답비 산정은 처짐(또는 변형률)에 대한 해석치/실측치로 구하며 이 결과를 상호 비교하여 구조물의 전체적인 거동을 대표할 수 있도록 도출한다.

【처짐에 대한 응답비】

구 분			DT1(G1)	DT2(G2)	DT3(G3)	DT4(G4)	DT5(G5)
경간 (S1)	LC 1	이론(㎜)	1.905	1.287	0.695	0.181	0.306
		실측(㎜)	1.699	1.239	0.681	0.151	0.269
		응답비	1.121	1.039	1.021	1.199	1.138
	LC 2	이론(㎜)	0.665	0.759	0.823	0.771	0.687
		실측(㎜)	0.607	0.709	0.726	0.725	0.667
		응답비	1.096	1.071	1.134	1.063	1.030
	LC 3	이론(㎜)	0.324	0.169	0.699	1.278	1.873
		실측(㎜)	0.283	0.151	0.565	1.071	1.602
		응답비	1.145	1.119	1.237	1.193	1.169

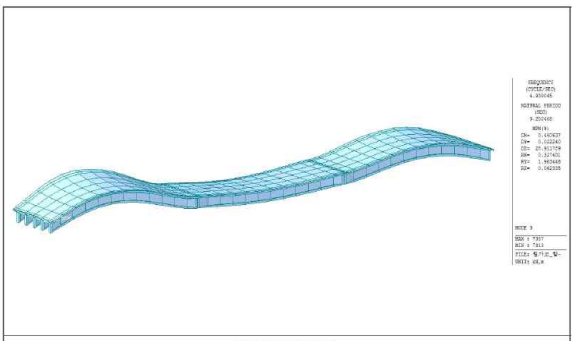
시험차량에 의한 주부재의 처짐을 측정하여 이론치와 비교한 결과, 응답비가 1.0 이상으로 평가되어 정·동적 거동특성은 양호한 것으로 판단된다.

자료 _ 월가교(초기안전점검 보고서)

5.3.3 고유진동수

대상교량의 고유진동수 평가는 중앙부 지점에 연직방향의 가속도계를 설치하여 동적응답을 획득하였으며, 제하차량이 대상 경간을 벗어나 자유진동을 하고 있는 구간을 대상으로 FFT분석을 실시하였다. 고유치 해석결과 계측된 교량의 연직방향 고유진동수는 3.052Hz로 측정되었으며, 연직방향 모드의 계산 고유진동수는 4.939Hz으로 나타나 구조물에 대한 동적 특성은 양호한 것으로 판단된다.

(1) 진동모드



3차모드(4.939Hz)

【진동모드】

나. 바닥판

【강도설계법에 의한 내하율 및 기본내하력 검토결과】

구 분	øMn	Md	ML+I	내하율	기본 내하력	비 고
켄틸레버부(방호벽)	57.850	7.17	7.304	3.09	DB-24이상	
슬래브 단부	100.539	1.44	43.068	1.07	DB-24이상	

결과 분석

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

5.3.4 공용내하력 평가

가. PSC BEAM교

1) 허용응력법에 의한 공용내하력 산정

【허용응력법에 의한 내하율 및 기본내하력 검토결과】

구 분		응력(MPa)				내하율 (RF)	기본 내하력
		허용응력 (f_a)	유효프리스트레스(f_{pe})	고정하중 (f_d)	활하중 (f_l)		
외측거더	상연	16.000	-5.378	16.62	2.08	2.29	DB-24이상
	하연	-3.160	18.141	-16.26	-4.52	1.12	DB-24이상
내측거더	상연	16.000	-5.414	17.21	1.61	2.61	DB-24이상
	하연	-3.160	18.261	-17.24	-3.54	1.18	DB-24이상

주) 1. 활하중은 충격계수가 고려된 값임.
2. (+) 압축, (-) 인장

【공용내하력 검토결과】

구 분		내하율	기본내하력	응답보정계수	공용내하력	비고
외측거더	상연	2.29	DB-24이상	1.121	DB-24이상	
	하연	1.12	DB-24이상	1.121	DB-24이상	
내측거더	상연	2.61	DB-24이상	1.134	DB-24이상	
	하연	1.18	DB-24이상	1.134	DB-24이상	

2) 강도설계법에 의한 공용내하력 산정

【강도설계법에 의한 내하율 및 기본내하력 검토결과】

구 분	휨모멘트(kN m)					내하율 (RF)	기본 내하력
		γ_l	설계휨강도 (ϕM_n)	고정하중 휨모멘트(M_d)	활하중 휨모멘트(M_l)		
외측거더	1.30	2.15	20,871	7,584.08	3,009.53	1.70	DB-24이상
내측거더			20,926	8,193.88	2,356.79	2.03	DB-24이상

【공용내하력 검토결과】

구 분	내하율	기본내하력	응답보정계수	공용내하력	비고
외측거더	1.70	DB-24이상	1.121	DB-24이상	

자료 _ 월가교(초기안전점검 보고서)