

1. 내 진 해 석

(복현3교)

목 차

1. 설계대상 교량제원 및 설계상수

2. 단면특성

2.1 상부구조

2.2 하부구조

2.3 받침상수

2.4 항복유효 단면2차모멘트

3. 구조해석

3.1 모델링

3.2 전산 입력데이터

3.3 탄성지진 응답계수 산정

4. 고유치 해석결과

4.1 주기 및 진동수

4.2 질량참여율

4.3 모드형상

5. 내진해석 결과

5.1 받침부재력

5.2 받침 변위

5.3 기둥 부재력

6. 유간검토

1. 설계대상 교량제원 및 설계상수

1.1 교량형식 : IPC GIRDER 교

1.2 해석 대상 교량 총연장 :
 $50.280 + 50.220 = 100.660 \text{ m}$

1.3 교 폭 : 24.640 m

1.4 교각형식
 π 교각

1.5 교각기초형식 : 파일기초

1.6 내진설계상수

- (1) 내진등급 : 내진 1 등급교 (도로교 설계기준 p.456)
- (2) 지진구역계수 : 0.11 (도로교 설계기준 p.456)
- (3) 위험도계수 : $I = 1.4$ (도로교 설계기준 p.456)
- (2) 가속도계수 : $A = 0.154$ (도로교 설계기준 p.455)
- (3) 지반계수 : $S = 1.2$ (지반종류 2, 도로교 설계기준 p.457)
- (4) 응답수정계수 (도로교 설계기준 p.458)
- (5) 고유치 해석방법 : Ritz Vector
- (6) 받침형식 : 탄성받침

1.7 해석방법

- (1) 해석방법 선정
다중모드 스펙트럼 해석
- (2) 방향조합방법 : 100-30%방법

1.8 해석모델

- (1) 사용프로그램 : SAP2000
- (2) 모델링 : Frame요소사용
- (3) 질량산정 : 1,2차 고정하중 및 자중을 각 요소에
단위길이당 분포질량으로 입력

2. 단면특성

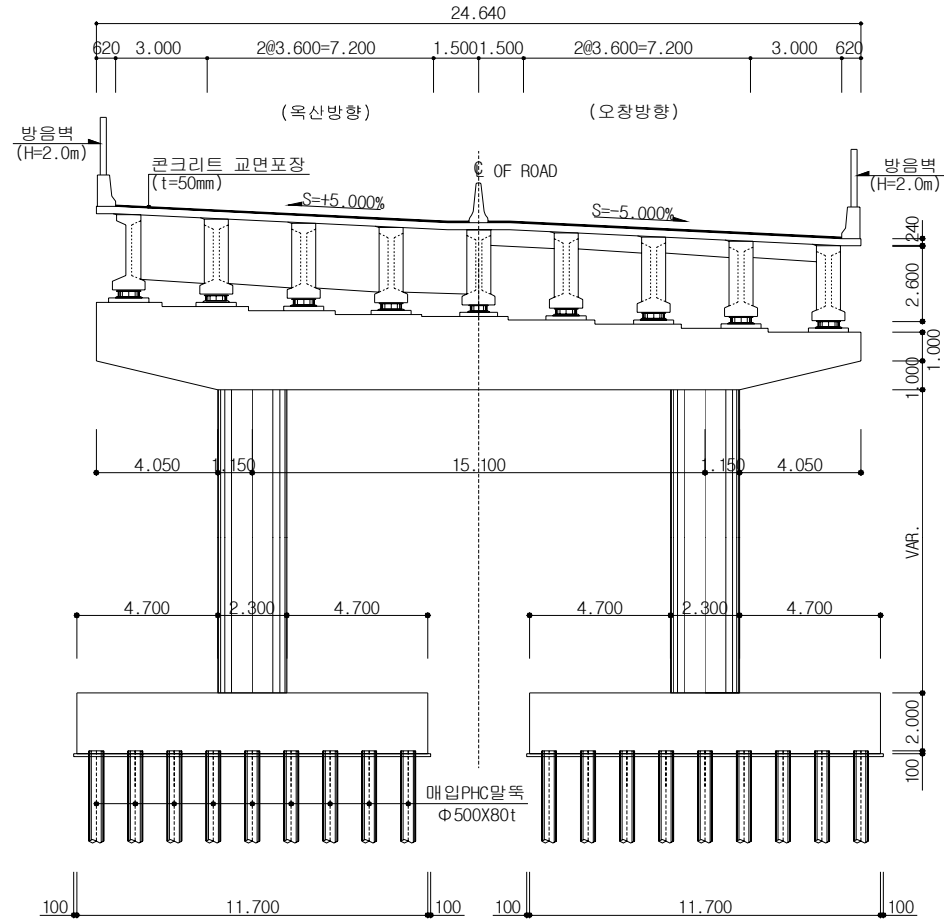
2.1 상부구조

: 상부구조는 IPC GIRDER교로 이루어져 있으며 교폭은 24.640 m이다.

상부구조의 일반도는 아래와 같다.

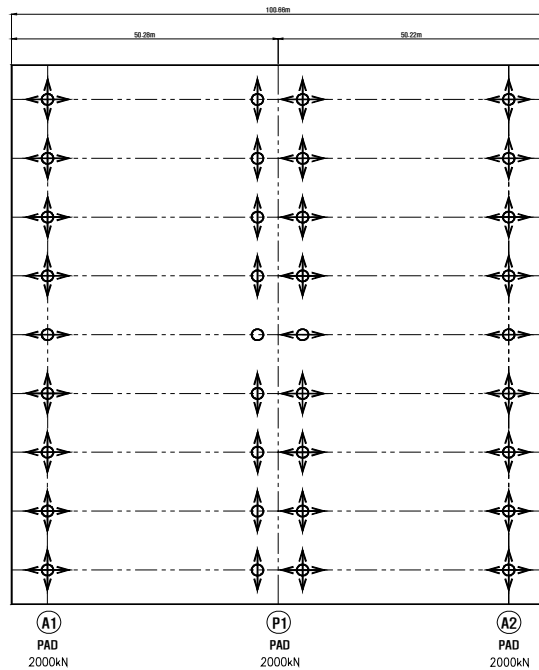
2.2 하부구조

: 하부구조는 다주형교각으로 구성되어 있으며 개략적인 제원은 다음과 같다.



2.3 적용 받침 특성

1) 받침배치



* SAP2000 NLLINK - PROPERTY

NLPROP

NAME=P200H5 TYPE=Gap

DOF=U1 KE=818100 CE=0

DOF=U2 KE=3450 CE=0

DOF=U3 KE=3450 CE=0

NAME=P200H6 TYPE=Gap

DOF=U1 KE=681800 CE=0

DOF=U2 KE=2875 CE=0

DOF=U3 KE=2875 CE=0

* SAP2000 NLLINK : 를 사용하여 각 받침 모델링

복현3교

2.4 항복유효 단면2차모멘트

■ 항복유효 단면2차모멘트 $I_{y,eff}$ 계산식

$$I_{y,eff} = \left(0.16 + 12\rho_l + 0.3\sqrt{\frac{P_u}{f_{ck}A_g}} \right) I_g$$

여기서,

A_g : 교각의 총단면적

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준압축강도

I_g : 철근을 무시한 교각 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트

P_u : 계수 축력

ρ_l : 교각의 축방향철근비

■ 항복유효 단면2차모멘트 산정

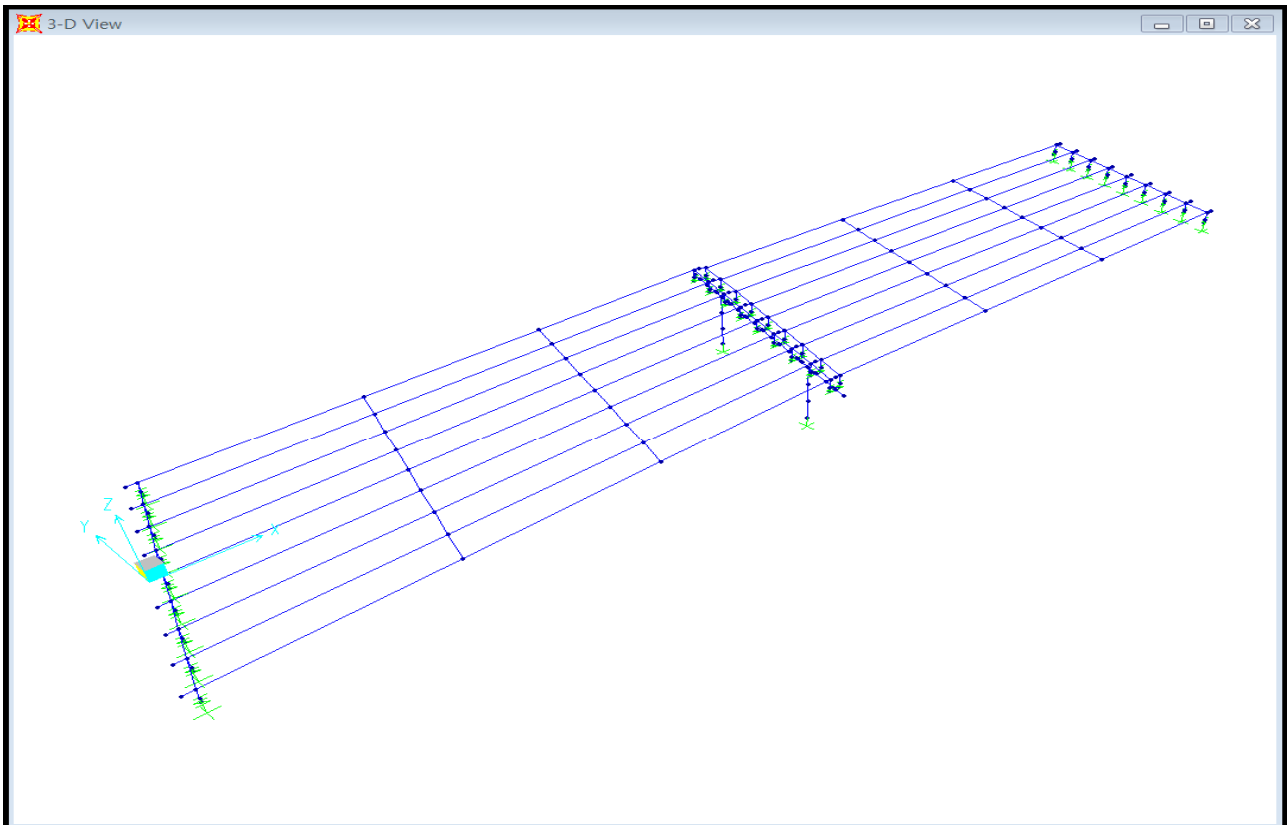
구 분	단 위	P1L	P1R		
기둥직경	mm	2300	2300		
단면적 A_g	mm ²	4154756.28	4154756.28		
단면2차모멘트 I_g	mm ⁴	1,373,666,296,521	1,373,666,296,521		
콘크리트강도	MPa	27	27		
계수축력	kN	16703.732	15490.014		
사용철근량	mm ²	59753.2	59753.2		
축방향철근비 ρ_l		0.01438	0.01438		
항복유효 단면 2차모멘트 $I_{y,eff}$	mm ⁴	615,878,470,643	609,992,174,915		
$I_{y,eff}/I_g$		0.448	0.444		

3. 구조해석

3.1 MODELING

복현3교(오창방향)의 기본적인 모델링은 상부 및 하부구조물은 FRAME요소를 이용하였고, 하부구조와 상부구조를 연결하는 교량받침의 특성에 대해서 SAP2000에서 정의하는 NLLINK 라는 요소를 사용하였다.

1) 교량전체 모델



3.2 전산INPUT DATA

- 생략 -

3.3 탄성지진 응답계수 산정

(1) 탄성지진응답계수

1) 가속도계수

구분	적용 계수	비고
구역계수 (Z)	0.110	지진구역 I
지진위험도계수 (I)	1.400	내진등급 1등급 (재현주기 1000년)
가속도계수 (A)	0.154	$A = Z \times I$

2) 지반계수

구분	적용 계수	비고
지반계수 (S)	1.200	지반종류 II

3) 탄성지진응답계수(Cs) 산정

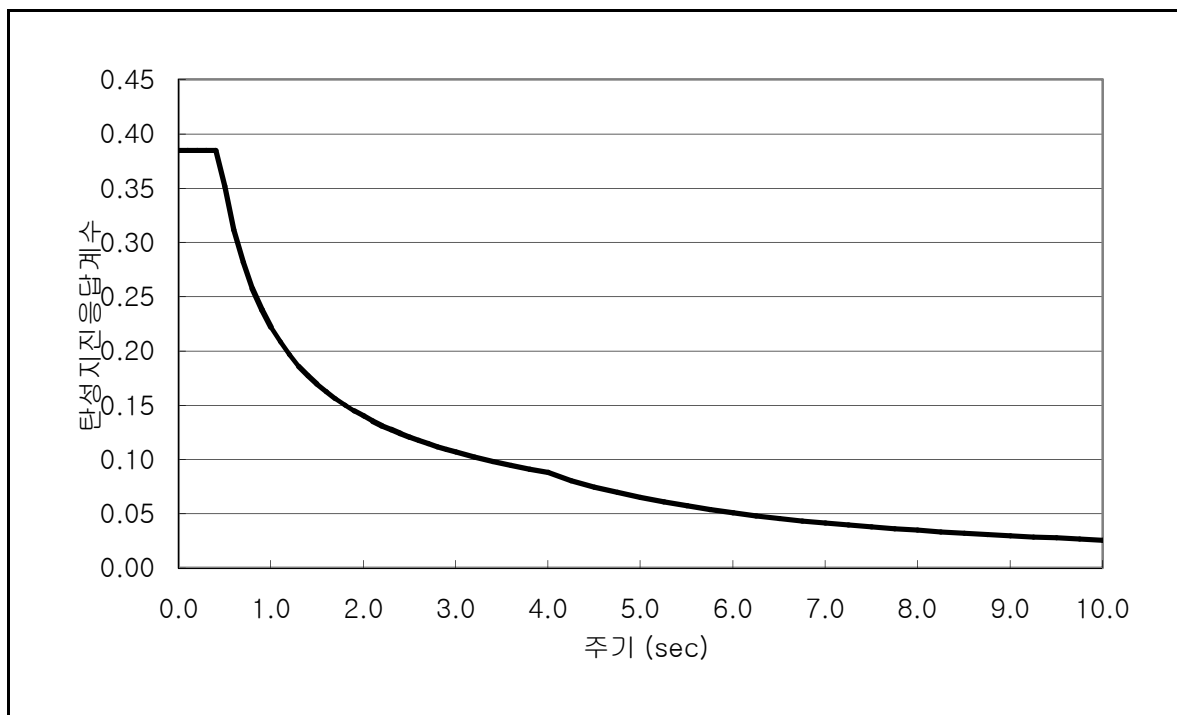
① $T \leq 4.0 \text{ sec}$

$$C_s = (1.2 \times A \times S) / T^{2/3} \leq 2.5 \times A$$

② $T > 4.0 \text{ sec}$

$$C_s = (3 \times A \times S) / T^{4/3}$$

여기서, T : 교량의 주기



4) 탄성지진응답계수

주기 (sec)	가속도 계수	지반 계수	탄성지진 응답계수	탄성지진 가속도 (m/sec ²)	비고
0.0000	0.1540	1.2000	0.3850	3.7769	
0.1000	0.1540	1.2000	0.3850	3.7769	
0.2000	0.1540	1.2000	0.3850	3.7769	
0.3000	0.1540	1.2000	0.3850	3.7769	
0.4000	0.1540	1.2000	0.3850	3.7769	
0.5000	0.1540	1.2000	0.3520	3.4533	
0.6000	0.1540	1.2000	0.3117	3.0581	
0.7000	0.1540	1.2000	0.2813	2.7594	
0.8000	0.1540	1.2000	0.2573	2.5244	
0.9000	0.1540	1.2000	0.2379	2.3338	
1.0000	0.1540	1.2000	0.2218	2.1755	
1.1000	0.1540	1.2000	0.2081	2.0415	
1.2000	0.1540	1.2000	0.1964	1.9265	
1.3000	0.1540	1.2000	0.1862	1.8264	
1.4000	0.1540	1.2000	0.1772	1.7383	
1.5000	0.1540	1.2000	0.1692	1.6602	
1.6000	0.1540	1.2000	0.1621	1.5903	
1.7000	0.1540	1.2000	0.1557	1.5273	
1.8000	0.1540	1.2000	0.1499	1.4702	
1.9000	0.1540	1.2000	0.1446	1.4181	
2.0000	0.1540	1.2000	0.1397	1.3705	
2.1000	0.1540	1.2000	0.1352	1.3266	
2.2000	0.1540	1.2000	0.1311	1.2861	
2.3000	0.1540	1.2000	0.1273	1.2485	
2.4000	0.1540	1.2000	0.1237	1.2136	
2.5000	0.1540	1.2000	0.1204	1.1810	
2.6000	0.1540	1.2000	0.1173	1.1505	
2.7000	0.1540	1.2000	0.1144	1.1220	
2.8000	0.1540	1.2000	0.1116	1.0951	
2.9000	0.1540	1.2000	0.1090	1.0698	
3.0000	0.1540	1.2000	0.1066	1.0459	
3.2000	0.1540	1.2000	0.1021	1.0018	
3.4000	0.1540	1.2000	0.0981	0.9621	
3.6000	0.1540	1.2000	0.0944	0.9262	
3.8000	0.1540	1.2000	0.0911	0.8934	
4.0000	0.1540	1.2000	0.0880	0.8633	
4.2500	0.1540	1.2000	0.0805	0.7900	
4.5000	0.1540	1.2000	0.0746	0.7321	

주기 (sec)	가속도 계수	지반 계수	탄성지진 응답계수	탄성지진 가속도 (m/sec ²)	비고
4.7500	0.1540	1.2000	0.0694	0.6811	
5.0000	0.1540	1.2000	0.0648	0.6361	
5.2500	0.1540	1.2000	0.0608	0.5960	
5.5000	0.1540	1.2000	0.0571	0.5602	
5.7500	0.1540	1.2000	0.0538	0.5280	
6.0000	0.1540	1.2000	0.0508	0.4988	
6.2500	0.1540	1.2000	0.0482	0.4724	
6.5000	0.1540	1.2000	0.0457	0.4483	
6.7500	0.1540	1.2000	0.0435	0.4263	
7.0000	0.1540	1.2000	0.0414	0.4062	
7.2500	0.1540	1.2000	0.0395	0.3876	
7.5000	0.1540	1.2000	0.0378	0.3705	
7.7500	0.1540	1.2000	0.0361	0.3546	
8.0000	0.1540	1.2000	0.0347	0.3399	
8.2500	0.1540	1.2000	0.0333	0.3263	
8.5000	0.1540	1.2000	0.0320	0.3135	
8.7500	0.1540	1.2000	0.0307	0.3016	
9.0000	0.1540	1.2000	0.0296	0.2905	
9.2500	0.1540	1.2000	0.0286	0.2801	
9.5000	0.1540	1.2000	0.0276	0.2703	
9.7500	0.1540	1.2000	0.0266	0.2611	
10.0000	0.1540	1.2000	0.0257	0.2524	
15.0000	0.1540	1.2000	0.0150	0.1470	
20.0000	0.1540	1.2000	0.0102	0.1002	

4. 고유치 해석결과

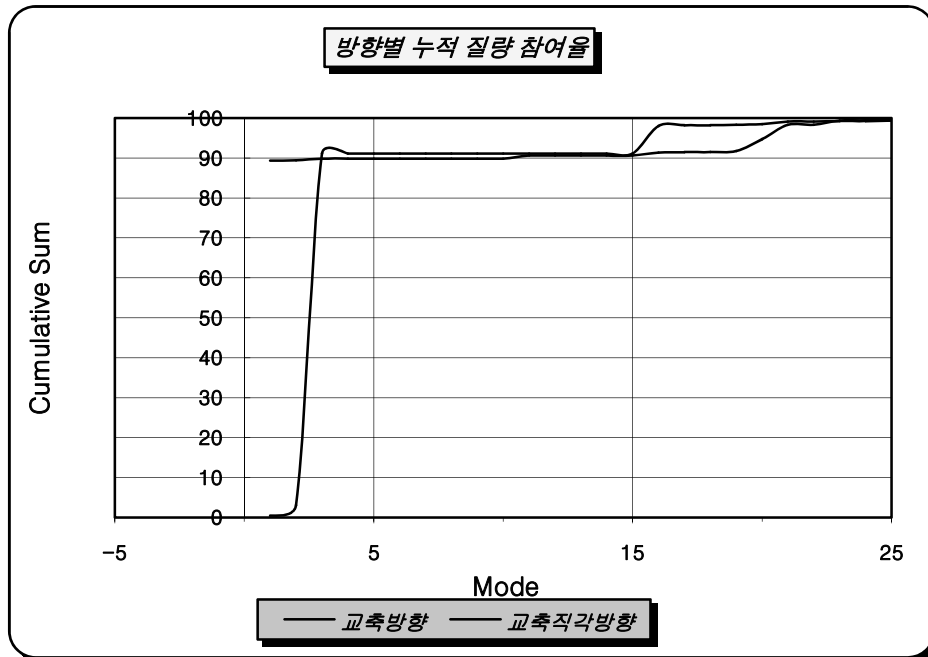
4.1 주기 및 진동수

< 모드별 주기 및 진동수 >

MODE	PERIOD	FREQUENCY		EIGENVALUE	비고
	(TIME)	(CYC/TIME)	(RAD/TIME)	(RAD/TIME)**2	
1	1.3532	0.7390	4.64	21.56	
2	1.3100	0.7633	4.80	23.00	
3	1.2812	0.7805	4.90	24.05	
4	0.6672	1.4988	9.42	88.69	
5	0.5601	1.7853	11.22	125.83	
6	0.4762	2.0999	13.19	174.09	
7	0.4666	2.1430	13.47	181.31	
8	0.4561	2.1927	13.78	189.81	
9	0.3657	2.7342	17.18	295.14	
10	0.3289	3.0404	19.10	364.95	
11	0.3239	3.0872	19.40	376.26	
12	0.2794	3.5788	22.49	505.64	
13	0.2471	4.0468	25.43	646.51	
14	0.2256	4.4336	27.86	776.02	
15	0.1775	5.6339	35.40	1253.07	
16	0.1315	7.6019	47.76	2281.40	
17	0.1209	8.2730	51.98	2701.99	
18	0.1145	8.7352	54.88	3012.33	
19	0.1118	8.9482	56.22	3161.06	
20	0.0905	11.0511	69.44	4821.35	
21	0.0875	11.4234	71.78	5151.73	
22	0.0674	14.8431	93.26	8697.83	
23	0.0580	17.2399	108.32	11733.56	
24	0.0536	18.6719	117.32	13763.69	
25	0.0338	29.5501	185.67	34472.84	

4.2 질량 참여율

고유치 해석결과 방향별 유효 질량 참여율의 합이 90%를 상회함을 확인하여 본 해석이 교량의 동적거동을 충분히 구현하고 있음을 확인하였다.

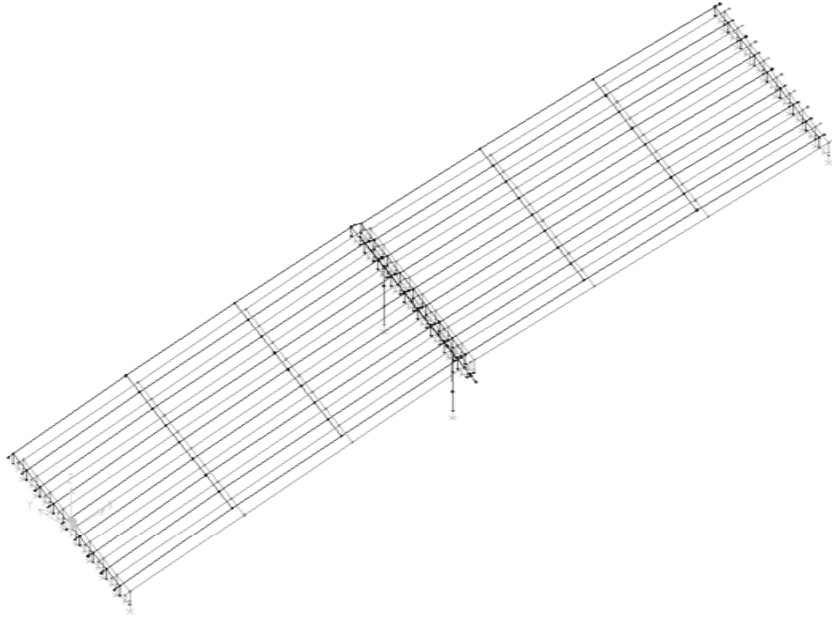


< 질량참여율 >

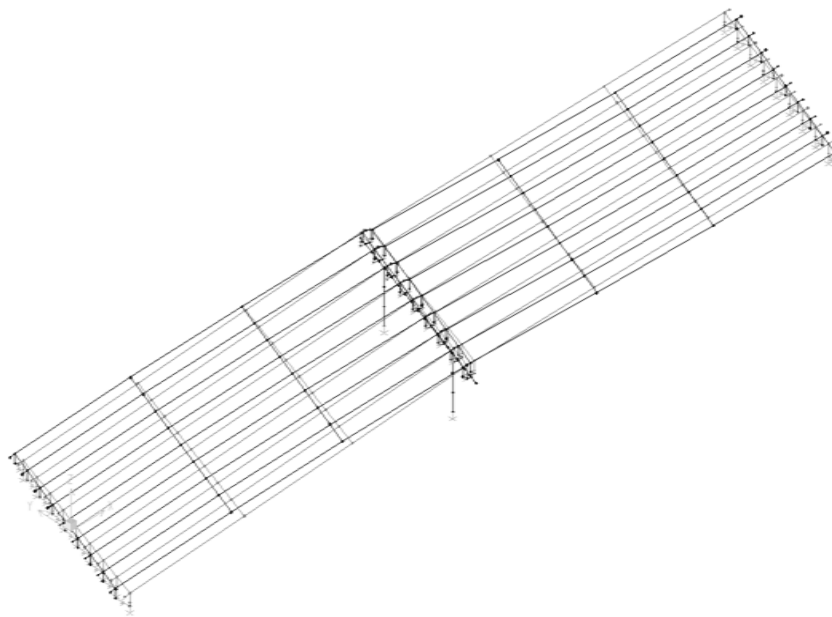
MODE	PERIOD (SEC)	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	1.353	0.455	89.360	0.000	0.455	89.360	0.000
2	1.310	2.624	0.098	0.000	3.079	89.458	0.000
3	1.281	88.053	0.367	0.000	91.133	89.824	0.000
4	0.667	0.001	0.016	0.000	91.133	89.840	0.000
5	0.560	0.001	0.000	0.000	91.134	89.840	0.000
6	0.476	0.001	0.000	0.006	91.135	89.840	0.006
7	0.467	0.000	0.000	0.013	91.135	89.840	0.019
8	0.456	0.001	0.000	0.001	91.136	89.840	0.020
9	0.366	0.000	0.000	30.852	91.136	89.840	30.872
10	0.329	0.000	0.017	30.114	91.136	89.857	60.986
11	0.324	0.000	0.767	0.442	91.136	90.624	61.428
12	0.279	0.000	0.000	0.000	91.136	90.624	61.428
13	0.247	0.000	0.000	0.001	91.136	90.624	61.429
14	0.226	0.000	0.000	0.000	91.136	90.624	61.429
15	0.177	0.001	0.025	0.000	91.137	90.649	61.429
16	0.132	6.871	0.754	0.000	98.009	91.403	61.429
17	0.121	0.216	0.081	0.003	98.225	91.484	61.432
18	0.114	0.009	0.002	1.813	98.234	91.486	63.244
19	0.112	0.145	0.247	0.479	98.378	91.733	63.724
20	0.090	0.130	3.031	0.002	98.509	94.764	63.726
21	0.088	0.665	3.555	0.045	99.174	98.319	63.771
22	0.067	0.003	0.054	10.991	99.177	98.373	74.762
23	0.058	0.075	1.043	2.651	99.252	99.416	77.412
24	0.054	0.003	0.031	20.271	99.255	99.447	97.683
25	0.034	0.114	0.002	0.003	99.369	99.449	97.686

4.3 모드형상(Mode Shape)

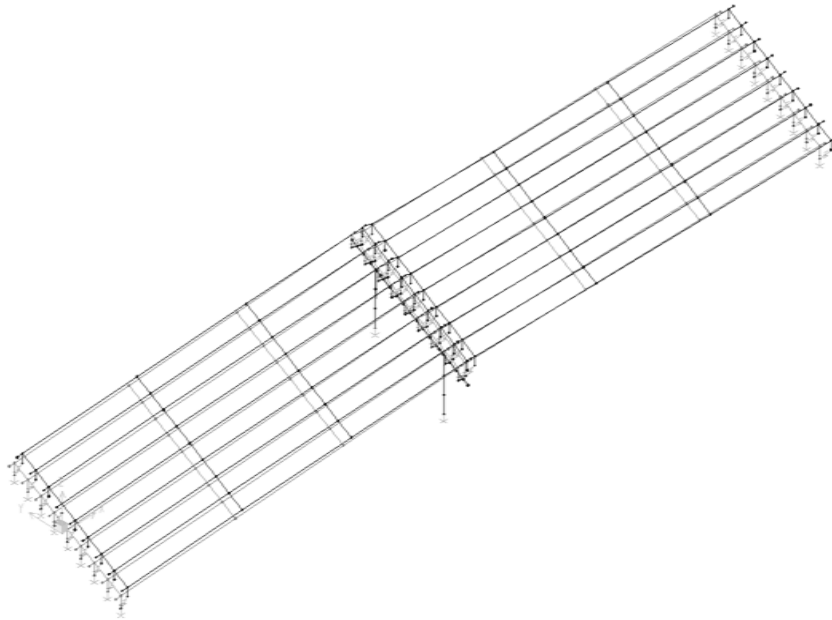
■ Mode 1 T = 1.3532 sec



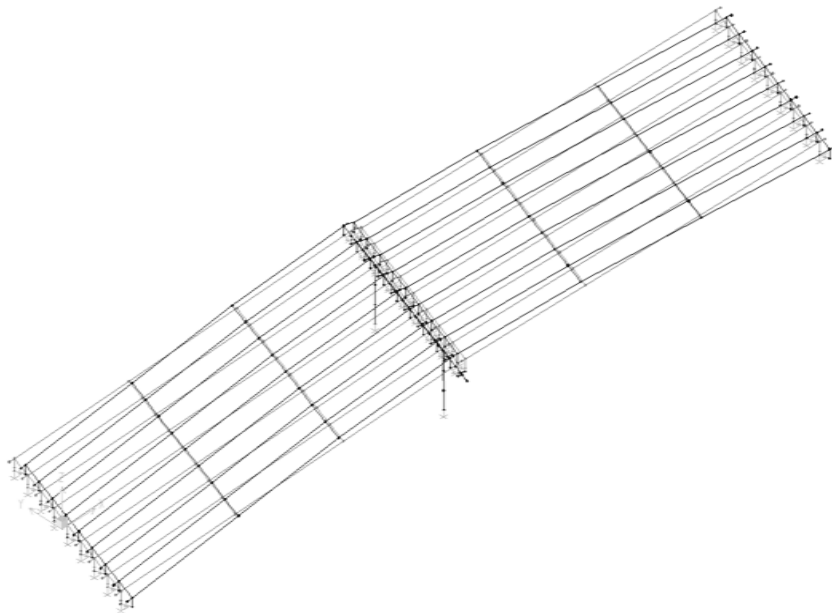
■ Mode 2 T = 1.3100 sec



■ Mode 3 T = 1.2812 sec



■ Mode 4 T = 0.6672 sec



5. 내진해석결과

◎ 다중모드해석

하중경우 1 : $1.0 \times (\text{종방향축의 해석}) + 0.3 \times (\text{횡방향축의 해석})$

하중경우 2 : $1.0 \times (\text{횡방향축의 해석}) + 0.3 \times (\text{종방향축의 해석})$

1) 받침부재력 (kN)

PIER NO	부재	COM1		COM2		교량받침			검토	비고
		교축	교직	교축	교직	수직용량	구분	수평용량		
A1	1	241.96	80.43	81.09	220.38	2000	6층	310.6	O.K.	
	2	241.99	80.57	80.89	220.33	2000	6층	310.6	O.K.	
	3	242.12	80.77	80.98	220.46	2000	6층	310.6	O.K.	
	4	242.26	80.96	81.08	220.54	2000	6층	310.6	O.K.	
	5	242.39	81.13	81.19	220.58	2000	6층	310.6	O.K.	
	6	242.51	81.30	81.29	220.60	2000	6층	310.6	O.K.	
	7	242.64	81.45	81.39	220.58	2000	6층	310.6	O.K.	
	8	242.76	81.57	81.48	220.48	2000	6층	310.6	O.K.	
	9	242.81	81.59	81.32	220.09	2000	6층	310.6	O.K.	
P1	10	274.22	93.26	91.23	277.59	2000	5층	310.6	O.K.	
	11	274.39	93.47	91.33	278.01	2000	5층	310.6	O.K.	
	12	274.21	93.76	91.30	278.47	2000	5층	310.6	O.K.	
	13	273.81	94.04	91.22	278.89	2000	5층	310.6	O.K.	
	14	273.69	94.21	91.23	279.14	2000	5층	310.6	O.K.	
	15	274.02	94.21	91.41	279.10	2000	5층	310.6	O.K.	
	16	274.72	94.09	91.71	278.80	2000	5층	310.6	O.K.	
	17	275.25	93.98	91.97	278.36	2000	5층	310.6	O.K.	
	18	275.36	93.95	92.08	278.00	2000	5층	310.6	O.K.	
	19	274.29	93.20	91.23	277.59	2000	5층	310.6	O.K.	
	20	274.43	93.38	91.34	278.03	2000	5층	310.6	O.K.	
	21	274.21	93.63	91.32	278.51	2000	5층	310.6	O.K.	
	22	273.82	93.91	91.23	278.90	2000	5층	310.6	O.K.	
	23	273.73	94.10	91.25	279.08	2000	5층	310.6	O.K.	
	24	274.07	94.13	91.42	278.99	2000	5층	310.6	O.K.	
	25	274.75	94.00	91.72	278.67	2000	5층	310.6	O.K.	
	26	275.28	93.85	91.98	278.27	2000	5층	310.6	O.K.	
	27	275.36	93.79	92.08	277.95	2000	5층	310.6	O.K.	
A2	28	242.01	75.59	80.83	216.92	2000	6층	310.6	O.K.	
	29	242.23	75.61	81.25	217.35	2000	6층	310.6	O.K.	
	30	242.37	75.53	81.40	217.51	2000	6층	310.6	O.K.	
	31	242.50	75.43	81.53	217.58	2000	6층	310.6	O.K.	
	32	242.62	75.32	81.66	217.62	2000	6층	310.6	O.K.	
	33	242.74	75.21	81.78	217.64	2000	6층	310.6	O.K.	
	34	242.86	75.08	81.91	217.63	2000	6층	310.6	O.K.	
	35	242.99	74.94	82.05	217.56	2000	6층	310.6	O.K.	
	36	243.23	74.85	82.55	217.67	2000	6층	310.6	O.K.	

※응답수정계수 나누기 전의 값임.

2) 받침변위 (mm)

PIER NO	부재	COM1		COM2		교량받침			검토	비고
		교축	교직	교축	교직	수직용량	구분	허용변위		
A1	1	86.45	29.43	31.18	77.15	2000	6층	108	O.K.	
	2	86.47	29.45	31.11	77.10	2000	6층	108	O.K.	
	3	86.52	29.50	31.14	77.13	2000	6층	108	O.K.	
	4	86.57	29.55	31.18	77.15	2000	6층	108	O.K.	
	5	86.62	29.59	31.22	77.16	2000	6층	108	O.K.	
	6	86.67	29.63	31.25	77.16	2000	6층	108	O.K.	
	7	86.72	29.67	31.29	77.16	2000	6층	108	O.K.	
	8	86.77	29.70	31.32	77.13	2000	6층	108	O.K.	
	9	86.78	29.70	31.26	77.00	2000	6층	108	O.K.	
P1	10	77.12	27.38	26.55	79.97	2000	5층	90	O.K.	
	11	77.19	27.43	26.61	80.06	2000	5층	90	O.K.	
	12	77.15	27.45	26.60	80.15	2000	5층	90	O.K.	
	13	77.04	27.47	26.55	80.22	2000	5층	90	O.K.	
	14	77.02	27.52	26.56	80.28	2000	5층	90	O.K.	
	15	77.16	27.60	26.65	80.30	2000	5층	90	O.K.	
	16	77.41	27.67	26.80	80.27	2000	5층	90	O.K.	
	17	77.61	27.69	26.92	80.19	2000	5층	90	O.K.	
	18	77.67	27.70	26.96	80.12	2000	5층	90	O.K.	
	19	77.14	27.33	26.55	79.97	2000	5층	90	O.K.	
	20	77.20	27.40	26.61	80.07	2000	5층	90	O.K.	
	21	77.15	27.45	26.60	80.17	2000	5층	90	O.K.	
	22	77.04	27.46	26.56	80.23	2000	5층	90	O.K.	
	23	77.03	27.47	26.56	80.26	2000	5층	90	O.K.	
	24	77.17	27.49	26.65	80.24	2000	5층	90	O.K.	
	25	77.42	27.54	26.80	80.20	2000	5층	90	O.K.	
	26	77.61	27.61	26.93	80.15	2000	5층	90	O.K.	
	27	77.67	27.63	26.96	80.09	2000	5층	90	O.K.	
A2	28	86.49	27.44	31.12	75.92	2000	6층	108	O.K.	
	29	86.57	27.47	31.27	76.07	2000	6층	108	O.K.	
	30	86.63	27.47	31.32	76.12	2000	6층	108	O.K.	
	31	86.68	27.46	31.36	76.15	2000	6층	108	O.K.	
	32	86.73	27.46	31.40	76.17	2000	6층	108	O.K.	
	33	86.77	27.44	31.45	76.19	2000	6층	108	O.K.	
	34	86.82	27.43	31.49	76.20	2000	6층	108	O.K.	
	35	86.87	27.41	31.54	76.19	2000	6층	108	O.K.	
	36	86.96	27.42	31.70	76.26	2000	6층	108	O.K.	

3) 기둥에 작용하는 탄성지진력

구분		Frame	LOAD	교축방향		변위(m)	교직방향		변위(m)
				전단력 (KN)	모멘트 (KN-		전단력 (KN)	모멘트 (KN-	
P1 (좌측)	상단	P1A	COMBO1	2777.85	3517.65	0.009	1204.83	2597.46	0.003
		P1A	COMBO2	1208.04	2568.27	0.009	2819.23	3551.25	0.003
	하단	P1B	COMBO1	2857.84	15259.82		1173.27	5285.91	
		P1B	COMBO2	1323.95	6946.70		2798.99	10839.36	
P2	상단	P1C	COMBO1	2594.88	3652.99	0.004	1052.18	2262.94	0.005
		P1C	COMBO2	1056.08	2496.59	0.004	2570.30	2863.29	0.005
	하단	P1D	COMBO1	2619.14	14604.99		1013.55	4928.14	
		P1D	COMBO2	1061.09	6408.78		2544.13	10313.12	

6. 상부구조의 여유간격 검토

지진시에 상부구조와 교대 혹은 인접하는 상부구조간의 충돌에 의한 주요 구조부재의 손상을 방지하고, 설계시 고려된 내진성능이 충분히 발휘할 수 있도록 하기 위하여 상부구조의 단부에는 여유간격을 설치하여야 한다. 상부구조의 여유간격은 다음식에 의한 값보다 작아서는 안된다.

$$\Delta l_i = d + \Delta l_s + \Delta l_c + 0.4\Delta l_t$$

여기서, Δl_i : 상부구조의 여유간격

d : 지반에 대한 상부구조의 총변위 ($d_i + d_{sub}$)

Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량 (mm)

Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 이동량 (mm)

Δl_t : 온도변화에 의한 이동량 (mm)

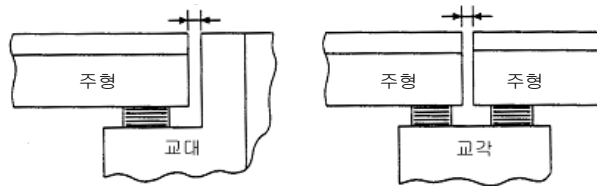
(Δl_s 와 Δl_c 는 수축량이므로 고려하지 않음)

- 상부구조의 여유간격 검토

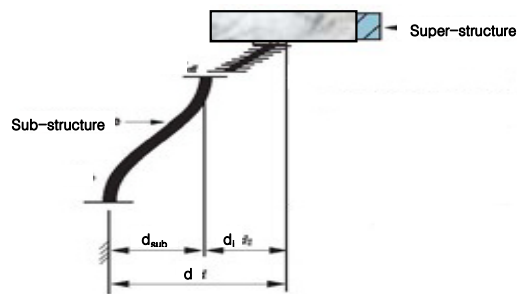
상부구조의 여유간격은 도로교설계기준 2.4.1.3 page.42에서 규정하는 여유량을 고려한 가동받침의 이동량보다 커야 하며, 또한 교축직각방향의 지진시 변위에 의한 인접상부구조 및 주요구조부재간의 충돌 가능성이 있을 때는 이를 방지하기 위한 여유간격을 설치한다.

(단위:mm)

구 분	상부구조의 총변위 (d)		상부변위 ($d_i + d_{sub}$)	온도변위 (Δl_t)	여유간격 (Δl_i)	설치유간	검토결과
	받침변위	교각변위					
	(d_i)	(d_{sub})					
A1	86.78	0.00	86.78	20.11	94.83	130	O.K
A2	86.96	0.00	86.96	20.09	94.99	130	O.K



<그림> 상부구조의 여유간격



<그림> 지반에 대한 상부구조의 총변위 ($d = d_i + d_{sub}$)