

# 강박스교의 내진해석모델

## Earthquake Resistant Analysis Model of a Steel Box Girder Bridge

국 승 규\*                      서 진 오\*\*  
Kook, Seung Kyu              Seo, Jin Oh

### ABSTRACT

Even for the same structure, the analysis results as well as design values might have differences depending on the selected analysis model. Therefore it is desirable to determine a model considering the required accuracy of the analysis results, the given time restriction, and economy. "Standard Specification for Roadway Bridges", Division V, Seismic Design provides "Single Mode Spectral Analysis Method" as the basic analysis method for the earthquake design of roadway bridges classified as "regular". In this study a 5 span steel box girder bridge is selected which satisfies the regularity and the applicability of the provided analysis model. A simplified model is checked. For the comparison of the analysis results, "Multi-Mode Spectral Analysis Method" is used with a detailed model.

### 1. 서론

구조물 해석모델의 설정은 동일한 구조물이라도 모델에 따라 결정되는 설계단면력에 상당한 차이가 발생하므로 요구되는 해석의 정확도와 시간적, 경제적 조건에 따라 결정함이 바람직하다. 실제구조물의 형상과 정적, 동적거동을 가장 정확하게 나타낼수 있는 상세한 모델은 해석결과의 정확성이라는 장점을 제공하지만 모델링 작업과 해석에 시간과 경비가 많이 소요되는 단점이 있다. 반면에 단순화한 모델은 해석결과의 정확도는 떨어지나 시간과 경비를 절약할 수 있는 장점

---

\* 부경대학교 조교수, 정회원

\*\* 부경대학교 석사과정, 학생회원

이 있다. 그러므로 교량의 경우 일반적으로 기본설계시에는 단순화한 모델을 사용하고, 실시설계시에는 보다 정확한 상세한 모델을 사용하게 된다.

교량의 내진해석방법은 도로교표준시방서<sup>1)</sup> 내진설계편 5장에 규정된 단일모드스펙트럼 해석법(Single Mode Spectral Analysis Method)의 적용을 기본으로 한다. 이 해석법은 보다 정확하게 분하면, LRFD 교량설계시방서<sup>2)</sup>에서 제시한 등가정적해석법(Uniform Load Elastic Method)으로 이를 적용하기 위한 조건으로는 교량의 규칙성 즉, 교량의 경간수, 경간길이의 변화 및 자중이나 강성, 기하학적 형상의 변화에 대한 조건을 만족하는 규칙적인 교량(Regular Bridge)이어야 한다. 이 방법을 적용하여 내진해석을 수행한 결과는 보다 상세한 모델을 사용하여 구한 해석결과보다 안전측이어야 하는 동시에 과다안전측이 되지 않아야 적용타당성을 인정할 수 있다.

이 논문에서는 총연장 265m(2@50+3@55)인 직선교이며 상부구조는 2연박스거더, 하부구조는 T형교각인 5경간 강박스교(그림 1)를 예제구조물로 선정하여 상세한 모델인 3차원모델과 등가정적해석법을 적용하기 위한 2차원모델을 설정, 그 해석결과를 비교하여 등가정적해석법의 타당성을 검토하였다. 이 대상교량은 5경간으로 7경간이내이고 경간길이의 변화가 10%이내이며, 자중이나 강성 또는 기하학적 형상의 변화가 미소하므로 규칙적인 교량(Regular Bridge)에 해당된다<sup>3)</sup>. 받침장치의 배치는 표1과 같다. 여기서 G1, G2는 박스거더를 표기한 것이다

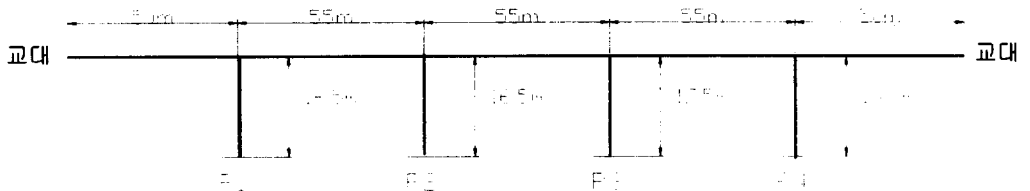


그림 1. 5경간 강박스교

표 1. 받침장치의 배치

위치	G1	G2	G3	G4	G5	교대
수평	↔	↔	↔	●	↔	↔
수직	↕	↕	↕	↓	↕	↕

## 2. 해석모델

해석대상교량을 그림2와 같이 3차원 모델과 2차원모델로 모델링하였다. 2차원모델 2는 등가 정적해석법을 적용하기 위한 모델이며 2차원모델 1은 3차원모델에서 2차원모델 2로 변환하기 위한 중간모델로 모델링의 정확성을 검토하기 위한 것이다. 모델을 변환하는 과정에 대한 정확도는 사하중에 의한 받침장치의 수평력과 각 교각에 걸리는 부재력을 비교하여 검토하였다. 범용 구조 해석 프로그램인 SAP2000<sup>4)</sup>을 모델링과 해석에 적용하였으며 받침장치의 가동방향은 Constraint조건을 적용하여 모델에 반영하였다.

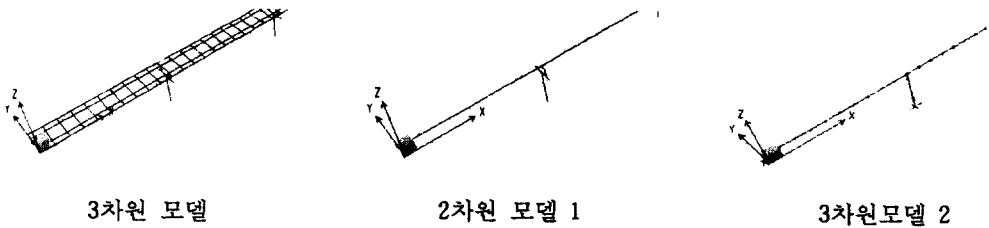


그림 2. 해석대상교량의 모델

- 3차원 모델

- 상부구조 : 상판; 셸요소 159개  
박스거더, Cross Beam; 보요소 160개
- 하부구조 : 교각 및 캡빔; 보요소 32개
- 상부, 하부구조의 연결 : 무한강성요소 12개

- 2차원 모델 1

- 상부구조 : 보요소 53개 (상판과 박스거더를 일체단면으로 한 보부재)
- 하부구조 : 교각 및 캡빔; 보요소 32개
- 상부, 하부구조의 연결 : 무한강성요소 24개 (교좌장치와의 연결부재 12개추가)

- 2차원 모델 2

- 상부구조 : 보요소 53개
- 하부구조 : 교각 및 캡빔; 보요소 8개 (캡빔의 보요소를 제거하고 질량만 고려)
- 상부, 하부구조의 연결 : 무한강성요소 6개

### 3. 해석방법 및 결과

#### 3.1 모드해석 방법과 결과

모든 해석모델을 대상으로 다중모드스펙트럼해석을 수행하고 2차원모델 2를 사용하여 등가정적해석을 수행하였으며, 모드해석결과로는 주기와 모드형상을 비교하였다. 표 2는 3차원, 2차원 모델의 주기와 등가정적해석법(시방서방법)으로 구한 주기를 비교한 것으로 시방서방법으로 구한 교축방향 주기는 3차원 모델보다 크게(오차11%), 교축직각방향은 동일한 주기가 산정됨을 알 수 있다.

표 2. 주기

방향 모델과 해석법		교축방향 (X축)				교축직각방향 (Y축)			
		1차모드	比	2차모드	比	1차모드	比	2차모드	比
3차원모델	다중모드	1.2919	1.00	0.2868	1.00	0.7580	1.00	0.4407	1.00
2차원모델 1	다중모드	1.2697	0.98	0.2868	1.00	0.7261	0.96	0.4361	0.99
2차원모델 2	다중모드	1.2474	0.97	0.2378	0.83	0.7029	0.93	0.4251	0.96
	시방서방법	1.4307	1.11	-	-	0.7620	1.00	-	-

그림 3와 그림 4은 각각 교축방향 1차모드, 교축직각방향 1차모드의 형상을 비교한 것으로 표 2의 결과와 함께 개개의 모델링에 질량과 강성의 분포가 적절하게 변환되었음을 알 수 있다.

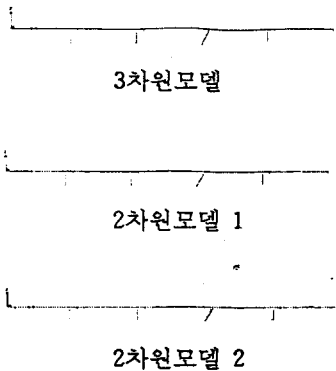


그림 3. 교축방향 1차모드

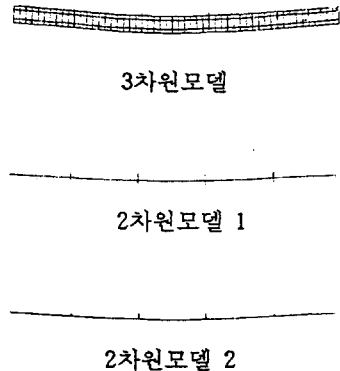


그림 4. 교축직각방향 1차모드

### 3.2 스펙트럼해석 방법 및 결과

스펙트럼해석에는 가속도계수(A) 0.14, 내진1등급교및 지반종류II에 대한 지반계수(S) 1.2를 적용하였으며 개별모드에 대한 탄성지진력 및 탄성지진변위는 도로교표준시방서 V.5.2에 제시되어 있는 탄성지진응답계수  $C_m$ 를 적용하여 산출하였다.

$$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5A \quad (1)$$

여기서  $T_m$ 은 m번째 진동모드의 주기이다. 교축방향 및 교축직각방향에 대하여 해석을 수행하고 각 방향별 다중모드해석에서 개개의 모드에 대한 응답성분은 제곱합평균방근방법(SRSS Rule)으로 조합하였다.

표 3은 하중조합 1과 하중조합 2로 구한 받침장치(가동단)의 종방향 변위이다. 하중조합 1의 경우 다중모드해석법으로 구한 3차원과 2차원모델간의 오차는 10%이내이나 시방서방법으로 구한 변위는 P1, P2에서 3차원모델에 비해 20%이상의 오차를 보이고 있다. 하중조합 2의 경우 다중모드해석결과가 모델간에 큰 오차를 보이는 것은 사하중에 의한 종방향 변위가 상대적으로 큰 비율이 되기 때문이며 받침장치의 선정(허용가동변위)에는 무관하다.

표 3. 받침장치(가동단)의 종방향변위

하중			교대		P1		P2		P3		교각			
			중 (mm)	비	중 (mm)	비	중 (mm)	비	중 (mm)	비	중 (mm)	비		
하중조합 1	3차원모델	다중모드	84	1.00	65	1.00	66	1.00	0	1.00	69	1.00	80	1.00
	2차원모델 1	다중모드	77	0.92	64	1.00	64	0.97	0	1.00	65	0.94	74	0.93
	2차원모델 2	다중모드	75	0.89	64	1.00	64	0.97	0	1.00	65	0.94	73	0.91
		시방서방법	82	0.98	82	1.26	82	1.24	0	1.00	81	1.17	80	1.00
하중조합 2	3차원모델	다중모드	34	1.00	20	1.00	21	1.00	0	1.00	22	1.00	32	1.00
	2차원모델 1	다중모드	28	0.82	20	1.00	20	1.00	0	1.00	20	0.91	27	0.84
	2차원모델 2	다중모드	28	0.82	20	1.00	20	1.00	0	1.00	20	0.91	26	0.84
		시방서방법	25	0.74	25	1.25	25	1.19	0	1.00	24	1.1	24	0.75

표 4는 박스거더 G1의 받침장치에 걸리는 수평력을 비교한 것이다. 2차원모델 2에서 구한 값은 교대 및 교각에서의 받침장치를 하나로 모델링하였으므로 해석에서 구한 값을 이등분하였다.

고정단의 경우 다중모드해석법에 의한 최대수평력의 모델간 오차는 11%이하이나 시방서방법을 적용한 수평력은 최소 20%, 최대 42% 크게 산정되었음을 알 수 있다. 표 5는 교각 P3에 발생하는 부재력을 비교한 것이다. 시방서방법으로 구한 부재력은 하중조합 1의 경우 전단력과 모멘트가 31%, 하중조합 2의 경우 전단력은 105%, 모멘트는 54% 크게 산정되었다.

표 4. 박스거더 G1의 받침장치에 걸리는 수평력(H)

하 중			교대		P1		P2		P3		P4		교대	
			H (ton)	比	H (ton)	比	H (ton)	比	H (ton)	比	H (ton)	比	H (ton)	比
하 중 조합 1	3차원모델	다중모드	↓19	1.00	↓41	1.00	↓68	1.00	↓57	1.00	↓47	1.00	↓19	1.00
			↔310						↔310	1.00				
	2차원모델 1	다중모드	↓16	0.84	↓41	1.00	↓72	1.06	↓61	1.07	↓49	1.04	↓16	0.84
			↔312						↔312	1.00				
2차원모델 2	다중모드	↓16	0.84	↓41	1.00	↓73	1.07	↓62	1.08	↓48	1.02	↓16	0.84	
		↔311						↔311	1.00					
		시방서방법	↓10	0.53	↓57	1.39	↓91	1.34	↓80	1.40	↓62	1.32	↓7	0.37
			↔392					↔392	1.26					
하 중 조합 2	3차원모델	다중모드	↓61	1.00	↓131	1.00	↓225	1.00	↓187	1.00	↓155	1.00	↓62	1.00
			↔98						↔98	1.00				
	2차원모델 1	다중모드	↓53	0.87	↓136	1.04	↓240	1.07	↓205	1.10	↓162	1.05	↓53	0.85
			↔99						↔99	1.00				
2차원모델 2	다중모드	↓52	0.87	↓138	1.05	↓242	1.08	↓208	1.11	↓161	1.04	↓52	0.85	
		↔93						↔93	0.95					
		시방서방법	↓35	0.57	↓189	1.44	↓305	1.36	↓267	1.42	↓207	1.34	↓22	0.36
			↔118					↔118	1.20					

표5. 교각 P3에 발생하는 부재력

하 중		하중조합 1				하중조합 2			
		전단력	比	모멘트	比	전단력	比	모멘트	比
3차원모델	다중모드	661	1.00	9818	1.00	245	1.00	5225	1.00
2차원모델 1	다중모드	667	1.00	9871	1.00	267	1.09	5295	1.00
2차원모델 2	다중모드	652	0.99	9664	0.98	251	1.02	5061	0.97
	시방서방법	863	1.31	12888	1.31	502	2.05	8032	1.54

#### 4. 결론

이 논문에서는 규칙성을 만족하는 교량을 대상으로 도로교표준시방서에서 제시한 해석방법을 적용한 결과와 보다 상세한 모델 및 해석방법(3차원모델해석)에 의한 결과를 비교하여 시방서방법의 타당성을 검토하였다.

시방서방법을 적용한 결과는 받침장치의 종방향변위와 수평력에서 최대 26%, 교각하부의 부재력에서 31%가 3차원해석결과보다 크게 산정되었다. 그러므로 해석대상교량의 경우 시방서방법에 의한 설계는 과다안전측이 된다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부 (1996), "도로교표준시방서 (내진설계편)".
2. AASHTO (1998), "LRFD Bridge Design Specifications".
3. 건설교통부 (1997), "김해시 관내 국도대체 우회도로(퇴래-농소)건설공사 설계도(II)", 부산 지방국토관리청.
4. E.L. Wilson and Habibullah (1995), "SAP2000 - A Series of Computer Programs for the Finite Element Analysis of Structures", Computers and Structures Inc., Berkeley, Californ