

아치교의 내진설계

Seismic Design of an Arch Bridge

국승규*

Kook, Seung-Kyu

.....

ABSTRACT

In order to check the safety against earthquakes a seismic design of an arch bridge is carried out in this study according to the Division V (Seismic Design) of the "Standard for the Roadway Bridges", where the application procedures including the determination of coefficients, the analysis method as well as the safety checks are provided.

.....

1. 서론

본 논문에서는 아치교의 지진에 대한 안전성을 검토하기 위해 현행 도로교표준시방서[1] 내진 설계편(V)에 의거하여 내진설계를 수행하였으며 내진설계시 계수의 결정, 해석방법 및 안전성 검토 등의 시방서 적용절차를 제시하였다.

2. 내진설계

2.1 교량형식 및 설계일반사항

본 논문의 설계대상인 아치교는 총 연장길이 240m인 3경간 중로아치교(그림 1)로 부산에 조성되는 녹산공단과 명지주거단지를 연결하는 진입도로의 주교량이다. 도로교표준시방서(이하 도시)에 의거하여 가속도계수 0.14(도시 V.3.1), 내진1등급교(도시 V.3.2), 지반계수 1.5(도시 V.3.3)를 적용하였다. 본 교량의 하부구조(그림 2)는 소성힌지를 허용할 수 없는 구조이므로 응답수정 계수(R : 도시 V.3.4)는 하부구조와 연결부분에 1.0을 적용하였다.

2.2 내진해석

2.2.1 해석모델

본 교량의 내진해석은 SAP90[2]으로 수행하였으며 해석모델은 3차원 점질량모델(그림 3)로 상부구조는 구조부재와 상판으로 모델링하였고 하부구조는 강체로 거동하는 것으로 간주하여 지점으로 모델링하였으며 감쇠계수는 0.05로 가정하였다. 상부구조의 모델링은 다음과 같다:

▷ 구조부재

- 절점 : 400 개
- 보요소 : 851 개 (아치, 타이거더, 가로보, 세로보: SAP90의 frame요소)

* 부경대학교 전임강사, 정회원

- 셸요소 : 288 개 (상판: SAP90의 shell요소)
- ▷ 질량모델링
 - 보요소 : 입력자료의 frame단면계수에 포함 (할증: 20%)
 - 셸요소 : 입력자료의 shell단면계수에 포함 (포장하중에 의한 질량을 추가함)
 - 기타 : 입력자료의 mass data에 포함 (전력구, 중앙분리대, 보도/연석)

2.2.2 해석방법

본 아치교는 단순교량의 범주에 속하지 않으므로 다중모드 스펙트럼 해석법을 적용하였다. 해석에 고려한 모드수는 질량기여도를 고려하여 40개이며 도시 V.5.4.4에 규정한 최대 25개의 모드를 고려하는 경우, 교량 양단부의 중앙지점반력과 이에 인접한 부재의 단면력이 증가하나, 이는 설계기준값과는 무관하므로 본 교량의 설계에 영향은 없는 것으로 판단되었다. 각 방향별 2개의 모드에 대한 고유진동수 및 주기는 도표 1과 같고 모드 형상은 그림 4 및 그림 5와 같다.

2.2.3 탄성력 및 탄성변위

개별 모드에 대한 탄성력 및 탄성변위는 도시 V.5.2에 제시되어 있는 탄성지진응답계수:

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

를 적용하여 산출하였으며, 여기서 A 는 가속도 계수, S 는 토질형상 특성에 대한 무차원계수이며 T_m 은 m 번째 진동모드의 주기이다.

교축방향(종방향) 및 교축직각방향(횡방향)에 대하여 별도의 해석을 수행하고 각 방향의 개별 모드에 대한 응답성분을 제곱합평균법(SRSS Rule)으로 조합하였다. 지진하중의 연직방향성분에 의한 하중은 구조물 자중에 비해 무시할 수 있으므로 일반적으로 고려하지 않는다(도시 V.4.3 해설).

2.2.4 직교지진력의 조합

지점변위, 지점반력 및 부재단면력은 2.2.3에서 산출한 각 방향별 탄성력 및 탄성변위를 도시 V.4.4에 규정한 직교지진력의 조합방법:

$$\begin{aligned} \text{하중경우 1} & \dots \text{종방향 } 100\% + \text{횡방향 } 30\% \\ \text{하중경우 2} & \dots \text{종방향 } 30\% + \text{횡방향 } 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

으로 산출하였다. 가동지점(그림 6)의 변위는 하중경우 1이 지배적으로, 교각 P5에서 17mm, 교각 P7과 P8에서 각각 20mm, 21mm의 교축방향변위가 산출되었으며 각 하중경우에 의한 지점반력은 도표 2 및 도표 3과 같다.

2.3 안전성 검토

2.3.1 지점변위, 지점반력 및 외측/내측 아치 및 타이거더의 응력검토

본 교량의 설계도면 및 구조계산서[3]에 제시된 받침장치의 배치 및 허용지지력은 그림 6과 같고 가동받침장치의 허용변위는 10mm이다. 하중경우 1의 교축방향변위는 허용변위를 초과하며 하중경우 1 또는 하중경우 2에 의한 지점반력은 허용지지력을 초과한다.

외측/내측 아치 및 타이거더의 허용응력은 사하중과 지진하중을 고려하는 경우에 대해 도시 V.4.7.1에 규정한 강구조물의 허용응력증가계수 1.5를 적용하였다:

$$\text{- 허용 휨응력} : \sigma = 3150 \text{ kg/cm}^2$$

- 허용 전단응력 : $\tau = 1800 \text{ kg/cm}^2$

각 하중경우에 의해 외측/내측 아치 및 타이거더에서 최대휨응력 2135 kg/cm^2 , 최대전단응력 464 kg/cm^2 가 발생하여 허용응력 이내이다.

2.3.2 최소받침지지길이

본 교량은 내진1등급교이므로 도시 V.4.8.2에 의거하여 도시 V.4.8.1에 제시되어 있는 최소받침지지길이와 2.2.4에서 산출한 지점변위 중 큰값에 대해 검토하였다. 최소받침지지길이 $N(mm)$ 은:

$$N = 203 + 1.67L + 6.66H \quad (3)$$

으로 산출하며, 여기서 $L(m)$ 은 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리이고 $H(m)$ 는 기둥 또는 교각의 높이이다. 각 교각에 요구되는 최소받침지지길이는 도표 4와 같이 산출되었으며 실제 P5와 P8 교각에서 받침지지길이 1.3m, P6와 P7 교각에서 받침지지길이 4.0m가 확보되므로 충분하다.

3. 결론

내진해석결과에 의하면 본 교량은 설계지진이 발생하는 경우에 상부구조는 허용응력 내에서 거동하여 국부적인 파괴 또는 손상을 입지 않으며, 지점에 작용하는 지진하중 및 변위는 허용치를 초과하여 받침장치의 파괴를 유발한다. 그러나 각 교각에서의 받침지지길이가 충분히 확보되어 있으므로 낙교발생의 여지가 없고 설계지진 발생시 긴급차량의 통과가 가능하므로 적절한 내진설계가 수행되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 삼성건설기술연구소의 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (1996), "도로교표준시방서 (설계편)"
2. E.L. Wilson and A. Habibullah (1992), "SAP90 - A Series of Computer Programs for the Finite Element Analysis of Structures", Computers and Structures Inc., Berkeley, California
3. 삼성건설기술연구소 (1995), "녹산공업단지 진입도로(동측) 축조공사 구조, 수리계산서 및 설계도면"

도표 1. 고유진동수(-) 및 주기(sec)

모드 No.	종방향		횡방향	
	고유진동수	주기	고유진동수	주기
1	0.91	1.10		
4			1.57	0.64
11			2.69	0.37
14	3.18	0.31		

도표 2. 지점반력(ton)과 작용방향 (하중경우 1)

교각	P5	P6	P7	P8
외측아치		703 종		
내측아치	85 횡	1177 종 : 332 횡	343 횡	61 횡
외측아치		701 종		

도표 3. 지점반력(ton)과 작용방향 (하중경우 2)

교각	P5	P6	P7	P8
외측아치		744 종		
내측아치	282 횡	354 종 : 1104 횡	1141 횡	201 횡
외측아치		744 종		

도표 4. 최소받침지지길이

교각	L (m)	H (m)	N (mm)
P5 / P8	240	10.3	672
P6 / P7	240	3.2	625

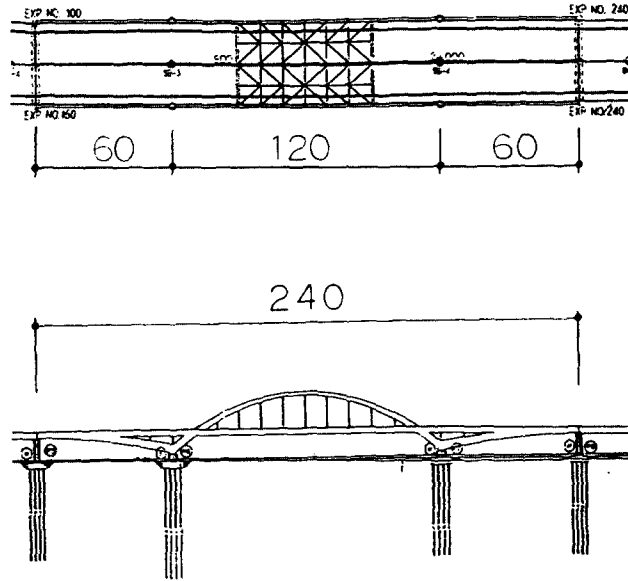


그림 1. 3경간 중로아치교

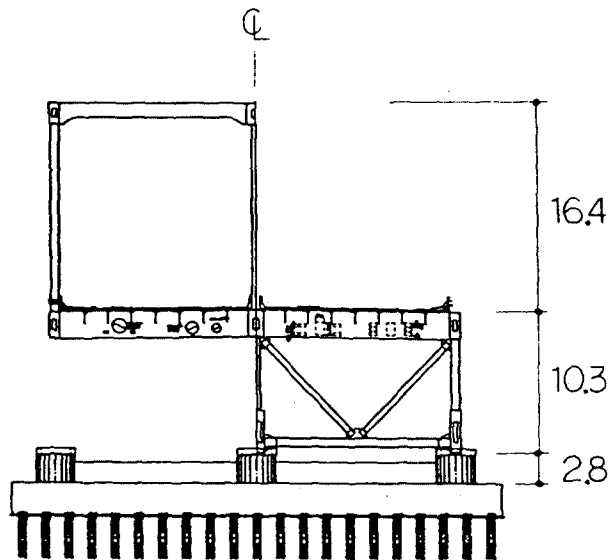


그림 2. 횡단면도 (P6 & P7)

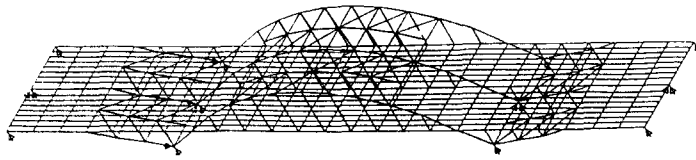


그림 3. 해석모델



그림 4. 교축방향 모드형상 (모드 No. 1 & No. 14)

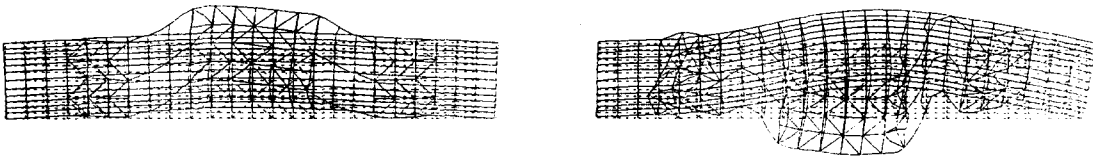


그림 5. 교축직각방향 모드형상 (모드 No. 4 & No. 11)

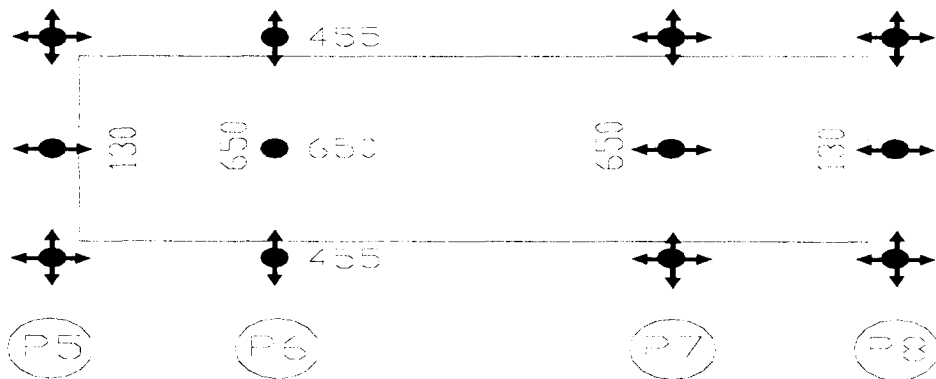


그림 6. 받침장치의 배치 및 허용지지력