

## 연결부분 및 교각의 배열과 일반교량의 내진성능

국 승 규<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 토목공학과

# Arrangement of Connections and Piers and Earthquake Resistant Capacity of Typical Bridges

Seung-Kyu Kook<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739, Korea

### Abstract

Bridges are designed and constructed as infrastructures in order to overcome topographical obstructions for fast and smooth transfer of human/material resources. Therefore the shape and size of piers constructed along the longitudinal bridge axis should be restricted by topographical conditions. Action forces of connections and piers are affected by pier shapes and sizes together with connection arrangement which decides load carrying path under earthquakes. In this study a typical bridge is modelled with steel bearings and reinforced concrete piers and seismic analyses are performed with analysis models with different arrangement of steel bearings and piers. From analysis results ductile failure mechanisms for all analysis models are checked based on strength/action force ratios of steel bearings and pier columns. In this way the influences of arrangement of connections and piers on the earthquake resistant capacity of typical bridges are figured out in view of forming ductile failure mechanism.

**Keywords** : topographical obstructions, connections, piers, ductile failure mechanism, earthquake resistant capacity, typical bridges

### 1. 서 론

일반교량의 내진설계에서 확보해야 하는 안전성은 지진발생 이후 인명구조, 질서유지 및 피해복구를 위한 긴급차량의 통과를 가능하게 하는 것으로 지진발생 시 국부적인 파손은 허용하나 붕괴는 방지하는 붕괴방지설계(No Collapse Design)가 요구된다. 경제성을 최대한 확보하며 붕괴방지설계를 수행하는 설계방식은 연성파괴메카니즘(Ductile Failure Mechanism)을 구성하는 것으로 지진발생 시 하부구조가 먼저 항복하도록 설계하면 교량의 고유 진동주기는 장주기로 변화하여 지진하중을 감소하는 동시에 상/하부구조의 일체성을 유지할 수 있다. 도로교설계기준 내진설계편(Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs, 2010)에서 제시하는 연성파괴메카니즘은 다중모드스펙트럼해석과 응답수정

계수(response modification factor:  $R$ )의 적용으로 연결부분과 하부구조의 설계강도를 결정하여 교각기둥에 소성힌지를 형성하는 설계방식으로 소성힌지에 요구되는 심부구속 횡방향철근량은 내진설계편 6.8.3.4~6에 규정하고 있으나 파괴메카니즘을 확인하는 검토조항은 제시하고 있지 않다. 파괴메카니즘 검토와 관련하여 2010년 개정에 포함된 조항은 철근콘크리트 교각기둥의 항복범위를 산정할 수 있는 규정(내진설계편 6.8.2.4&5)과 연결부분의 설계지진력 결정에 관한 규정(내진설계편 6.4.7.1)이다. 6.8.2.4&5 규정은 철근콘크리트 교각기둥 항복강도의 해석적/실험적 연구결과(Lee *et al.*, 2005)로부터 제시한 설계/초과강도의 결정조항이고 6.4.7.1 규정은 6.8.2.4&5 규정의 도입으로 산정 가능한 교각기둥의 초과강도를 사용하여 연결부분에 작용하는 최대 소성힌지력을 결정하는 조항이다.

<sup>†</sup> Corresponding author:

Tel: +82-51-629-6075; E-mail: skkook@pknu.ac.kr  
Received January 19 2015; Revised January 30 2015  
Accepted February 16 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Table 1** Regular bridge requirements

| parameter  | value |   |   |     |     |
|--|-------|---|---|-----|-----|
|  | 2     | 3 | 4 | 5   | 6   |
| number of spans  | 2     | 3 | 4 | 5   | 6   |
| maximum subtended angle for a curved bridge                              | 90°   |   |   |     |     |
| maximum span length ratio from span to span                              | 3     | 2 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| maximum bent/pier stiffness ratio from span to span, excluding abutments | -     | 4 | 4 | 3   | 2   |

**Table 2** Minimum analysis requirements for seismic effects

| seismic zone | single span bridges | multispan bridges |           |                   |           |                  |           |
|--------------|---------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|------------------|-----------|
|              |                     | other bridges     |           | essential bridges |           | critical bridges |           |
|              |                     | regular           | irregular | regular           | irregular | regular          | irregular |
| 1            | *                   | *(1)              | *         | *                 | *         | *                | *         |
| 2            |                     | SM/UL(2)          | SM(3)     | SM/UL             | MM(4)     | MM               | MM        |

(1) \*:no seismic analysis required (2) UL:uniform load elastic method  
 (3) SM:single-mode elastic method (4) MM:multimode elastic method

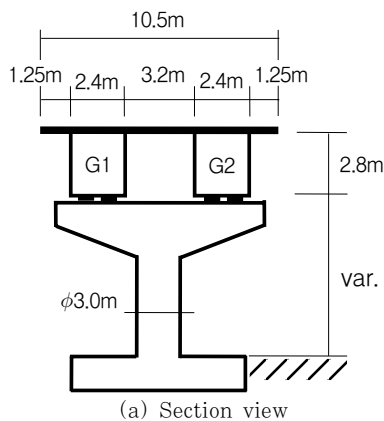
사회기반시설물인 교량은 인적/물적 자원의 신속하고 원활한 이동을 위해 지장물을 극복하도록 설계/시공되는 구조물로 강이나 계곡을 가로지르는 위치가 대부분이다. 그러므로 교량의 교축방향으로 배열되는 교각은 지형에 의해 형상과 규모가 결정되고 다른 강성을 갖게 되므로 지진하중의 전달 경로를 결정하는 연결부분과 함께 구조부재에 발생하는 작용력을 좌우하게 된다. 교각 배열과 관련된 내진설계기준 조항은 AASHTO LRFD(AASHTO, 2004) 4.7.4.3.1에 제시된 규칙성에 의한 해석방법의 차등화 조항이다. Table 1에 제시한 규칙성은 곡선교의 중심내각, 인접 경간의 길이비 및 인접 교각의 강성비가 경간 수에 따라 제시되어 있고 Table 2는 불규칙적으로 분류되는 교량에 상세한 해석방법을 적용하도록 규정하고 있다. 그러나 현재 실무에서는 지진해석에 다중모드스펙트럼해석의 적용이 보편화되어 있으므로 규칙성에 의한 해석방법의 차등화는 의미가 없다.

교각 배열에 해당하는 규칙성은 인접 교각의 강성비가 있는 반면 연결부분 배열과 관련된 규칙성은 없으나 강성이 다

른 교각 배열과 함께 기능이 다른 연결부분 배열이 지진하중의 크기와 전달경로를 좌우하는 것은 분명하다. 이 연구에서는 강제반침과 철근콘크리트 원형기둥을 연결부분과 교각으로 하는 일반교량을 대상으로 교각 및 강제반침 배열이 다른 해석모형을 설정하여 다중모드스펙트럼해석을 수행하였다. 해석결과로 구한 교각기둥과 강제반침의 작용력 및 강도/작용력 비로부터 각 해석모형의 연성과피메카니즘을 구성하기 위한 강제반침의 소요용량을 결정하고 이로부터 연결부분 및 교각 배열이 일반교량의 내진성능에 미치는 영향을 제시하였다.

**2. 해석조건 및 해석모형**

해석조건으로 지진구역 I, 내진 I 등급교, 지반종류II를 설정하고 지진구역 I에 해당하는 지진구역계수 0.11과 내진 I 등급교에 해당하는 위험도계수 1.4에 의한 가속도계수(A) 0.154(=0.11×1.4), 지반종류II에 해당하는 지반계수(S) 1.2를 적용하였다. 대상교량으로 설정한 일반교량은 총연장



|    | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| G1 | -  | -  | -  | •  | -  | -  | -  |
| G2 | +  | +  | +  | ▮  | +  | +  | +  |

(b) Steel bearing arrangement

**Fig. 1** Typical bridge

Table 3 Model bridges

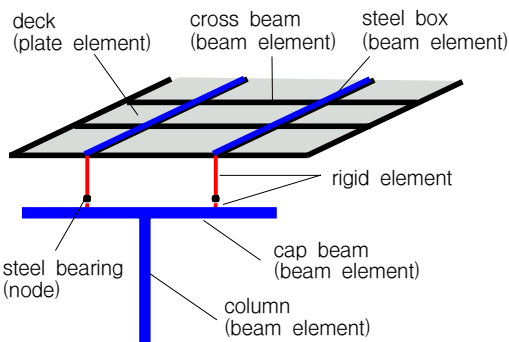
| model bridge | P1  | P2  | P3  | P4  | P5  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| (a)          | 7m  |     |     |     |     |
| (b)          | 15m |     |     |     |     |
| (c)          | 15m | 20m | 25m | 20m | 15m |
| (d)          | 15m | 15m | 20m | 25m | 20m |
| (e)          | 15m | 15m | 15m | 20m | 25m |

300m인 6경간 연속교(6@50)로 상부구조는 2연 강상자형, 연결부분은 강제받침, 교각은 T형 콘크리트 원형기둥(φ 3.0m) 5기로 구성하였다. 교각 위치에서의 횡단면도 및 강제받침 배열(고정단 P3)은 Fig. 1과 같고 사용강재는 SM490이며 콘크리트와 철근의 설계강도는 각각 27MPa, SD400(상판) 및 24MPa, SD300(하부구조)이다.

연결부분 및 교각 배열의 영향을 파악하기 위해 설정한 해석모델은 연결부분의 경우 고정단이 설치된 교각을 기준한 강제받침 배열의 대칭성으로 분류하고 교각의 경우 강성비와 배열의 대칭성으로 분류하였다. 교각의 경우를 고려한 5개 모델교량은 Table 3과 같고 EI가 동일한 T형 교각(외팔보)의 강성은 길이의 세제곱에 반비례하므로 15m 교각을 기준한 7m, 20m, 25m 교각의 강성비는 각각 9.8, 0.42, 0.22다. 인접 교각의 강성비를 고려하면 모델교량 (a), (b)는 규칙적이고 (c), (d), (e)는 불규칙적이며 대칭성으로 분류하면 (a), (b), (c)는 대칭이고 (d), (e)는 비대칭이다. 강제받침 배열의 대칭성은 각 모델교량에서 고정단이 설치되는 교각을 P3(대칭), P4, P5(비대칭)로 변경하여 반영하였으므로 해석모델은 모두 15개다. 고정단을 P5 교각에 설치하게 되는 시공가능성은 거의 없으나 강제받침 배열의 비대칭성에 의한 영향을 파악하기 위해 설정하였다.

### 3. 내진성능

#### 3.1 작용력 산정



(a) Model elements

해석모델의 단면력 산정은 범용 구조해석프로그램 Midas/Civil(Midas IT, 2004)을 사용하여 Fig. 2(a)와 같이 3차원 모델을 구성하여 수행하였다. 상부구조 중심위치에 상판은 플레이트 요소, 강상자형은 보요소로 구성하여 모델링하고 교각(캡빔, 기둥)은 보요소, 연결부재(강상자형 보요소-강제받침 절점 및 강제받침 절점-캡빔 보요소)는 무한강성요소를 사용하였다. 교각기둥 하단은 고정지점으로 설정하고 교대의 강제받침 위치는 각각 구속방향 반력이 발생하는 이동지점으로 모델링하였다. 각 교각에서 강상자당 2개씩 배치되는 강제받침의 실제 배치와 모델요소를 고려한 강제받침의 모델링은 Fig. 2(b)와 같이 강상자당 1개로 구성되며 강제받침 위치에 2개의 절점을 모델링하여 구속방향 단면력을 산정한다.

지진에 의한 작용력은 사하중, 교축 및 교축직각 방향 지진하중에 의한 단면력의 조합으로 산정한다. 다중모드스펙트럼해석법에서 지진하중은 내진설계편 6.5.2(1)에 제시된 식 (1)의 탄성지진응답계수  $C_s$ 에 의해 결정되고, 여기서  $T$ 는 모드해석에서 결정되는 고유주기다.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{2/3}} \leq 2.5A (= 2.5 \times 0.154 = 0.385) \quad (1)$$

지진발생 시 상부구조의 거동에 의한 지진하중은 교축방향의 경우 고정단이 설치된 교각에 집중되므로 해당 교각의 위치와 강성은 지진하중의 전달경로와 교축방향 고유주기를 결정하는 반면 교축직각방향의 경우는 각 교각과 교대에 설치된 강제받침에 의해 분산되므로 고정단의 위치와 무관하고 교각 배열에 좌우된다. 내진설계편은 교축 및 교축직각 방향 지진하중에 의한 단면력을 탄성지진력이라 하며 사하중에 의한 단면력과 다음과 같이 하중조합 1과 2를 구성하여 작용력을 산정한다.

- 하중조합 1(LC1) : 사하중 + 교축방향 탄성지진력 100%

|    | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| G1 | -  | -  | -  | •  | -  | -  | -  |
|    | +  | +  | +  | ┃  | +  | +  | +  |
| G2 | +  | +  | +  | ┃  | +  | +  | +  |
|    | +  | +  | +  | ┃  | +  | +  | +  |

|    | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| G1 | -  | -  | -  | •  | -  | -  | -  |
| G2 | +  | +  | +  | ┃  | +  | +  | +  |

(b) Bearing arrangement(actual/model)

Fig. 2 Spatial model

- + 교축직각방향 탄성지진력 30%
- 하중조합 2(LC2) : 사하중 + 교축방향 탄성지진력 30%
- + 교축직각방향 탄성지진력 100%

3.2 파괴메카니즘 검토

교각기둥의 설계지진력은 LC1, LC2의 작용력을 내진설계편 6.3.4절의 응답수정계수(설계 응답수정계수)를 적용하여 결정한다. 교각기둥의 설계강도는 P-M상관도(Lee, 1999)에 의해 공칭강도를 산정하고 내진설계편 6.8.2.4(1)의 강도감소계수 1.0을 적용하므로 공칭강도와 동일한 값이다. 해석모델 (a)-P3에서 산정한 교각기둥의 작용력(교각기둥 하부의 휨모멘트),  $R$ 을 적용한 설계지진력 및 설계강도는 Table 4와 같다. 설계지진력≒설계강도 조건을 만족하도록 교각기둥 단면을 결정하는 것이 내진설계편의 설계방식이므로 해석모델 (a)-P3의 경우 교각기둥 단면( $\phi 3.0m$ )을 감소하고 재해석을 수행한 결과로 제시된 조건을 검토하여 실제 적용되는 응답수정계수(실제 응답수정계수:  $R_o$ )가 3을 초과하지 않는 가장 근접한 값이 되도록 설계변경을 수행한다. 이 연구에서는 교각 배열의 영향을 파악하기 위한 것이므로 교각기둥의 설계변경은 수행하지 않고 교각기둥과 강재받침에 발생하는 작용력을 바탕으로 파괴메카니즘을 검토한다.

연결부분의 설계지진력을 규정한 내진설계편 6.4.7.1(4)는 작용력에  $R$ 을 적용하여 구한 값(경우 1)과 교각의 최대 소성힌지력으로 산정한 값(경우 2) 중 작은 값으로 결정하며 6.8.2.5(4)는 캔틸레버로 거동하는 교각의 최대 소성힌지력은 교각하단의 초과강도를 교각의 길이로 나누어 결정한다고 규정하고 있다. 교각기둥의 초과강도는 공칭강도에 식 (2) (내진설계편 6.8.2.5(5)② 식 (6.8.3))의 휨 초과강도계수  $\lambda_o$ 를 적용하여 산정하며 여기서  $R$ 은 설계에 사용한 응답수정계수(실제 응답수정계수)다.

$$\lambda_o = 1.25 + 0.05R \tag{2}$$

LC1, LC2의 실제 응답수정계수는 각각 1.621(=74732/46100), 0.862(=39992/46400)이고 식 (2)를 적용하여 산정한 휨 초과강도계수는 1.331(LC1), 1.293(LC2)이므로

Table 4 Pier column, (a)-P3

| load case | action force (kN·m) | $R$ (-) | design seismic force (kN·m) | nominal strength (kN·m) | design strength (kN·m) |
|-----------|---------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| LC1       | 74732               | 3       | 24911                       | 46100                   | 46100                  |
| LC2       | 39992               |         | 13331                       | 46400                   | 46400                  |

AASHTO LRFD 3.10.9.4에 제시된 휨 초과강도계수 1.3과 큰 차이는 없다. 해석모델 (a)-P3에서 산정한 경우 1, 2의 값과 이로부터 결정한 설계지진력(강재받침의 수평력)은 Table 5와 같다.  $n$ 은 최대 소성힌지력을 분담하는 강재받침의 개수로 고정단 교각 P3에서 교축방향은 4개가 분담하고 교축직각방향은 1개가 전담한다. 그러므로 LC1, LC2를 모두 만족하는 경우 1의 2846kN과 경우 2의 8571kN 중 작은 값 2846kN이 설계지진력이다.

파괴메카니즘 검토는 강재받침과 교각기둥의 항복범위를 산정하여 수행하며 항복범위의 하한과 상한은 각각 설계강도와 초과강도가 된다(Kook, 2014). 연성파괴메카니즘을 구성하는 경우는 교각기둥의 초과강도가 강재받침의 설계강도 미만이어야 하므로 강재받침의 항복범위는 검토에 사용하지 않는다. 각 하중조합의 강도/작용력 비로 교각기둥의 항복범위를 산정하여 Fig. 3과 같이 도시하면 파괴메카니즘을 용이하게 검토할 수 있다. 강도/작용력 비 0.33을 표기한 점선은  $R(3)$ 을 적용한 교각기둥의 설계지진력, 1.0으로 표기한 실선은  $R(1)$ 을 적용한 강재받침의 설계지진력을 의미한다.

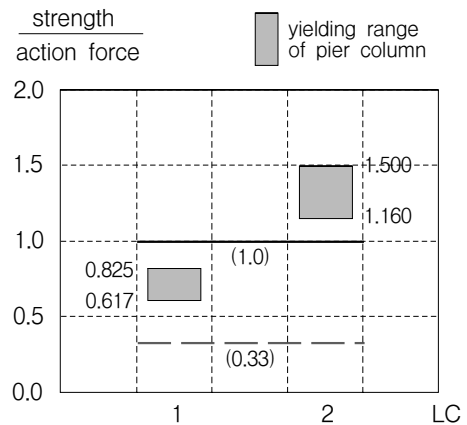


Fig. 3 Failure mechanism, (a)-P3

Table 5 Design seismic force for steel bearing, (a)-P3

| load case | case 1(action force) |         |                        | case 2(overstrength)   |           |                          |     |                  | design seismic force (kN) |
|-----------|----------------------|---------|------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|-----|------------------|---------------------------|
|           | action force (kN)    | $R$ (-) | action force/ $R$ (kN) | $\lambda_o M_n$ (kN·m) | $L_s$ (m) | $\lambda_o M_n / 7$ (kN) | $n$ | shear force (kN) |                           |
| LC1       | 2712                 | 1       | 2712                   | 61362                  | 7.0       | 8766                     | 4   | 2192             | 2846                      |
| LC2       | 2846                 |         | 2846                   | 60000                  |           | 8571                     |     | 1                |                           |

Fig. 3은 해석모델 (a)-P3의 파괴메카니즘 검토로 강제받침의 설계지진력으로 소요용량을 결정하면 LC1은 연성파괴메카니즘이 구성되나 LC2는 구성되지 않는다는 것을 알 수 있다. 교각기둥의 초과강도/작용력 비 1.500(LC2)을 적용, 4270kN(=1.500×2846) 이상으로 소요용량을 결정하면 LC1, LC2 모두 연성파괴메카니즘을 구성할 수 있다.

### 3.3 연성파괴메카니즘 구성

15개 해석모델에서 산정된 강제받침의 설계지진력, 소요용량 및 소요용량 대비 소요용량과 설계지진력의 차이(소요용량 부족분)는 Table 6과 같다. 이와 같은 해석결과로부터 연결부분 및 교각 배열이 연성파괴메카니즘 구성에 미치는 영향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 교각 배열이 규칙적인 모델교량 (a), (b)의 경우 강제받침 배열의 변경에 의해 소요용량은 증가하는 반면 설계지진력은 차이가 미소하다. 이는 강제받침의 설계지진력이 강제받침의 비대칭성을 반영하지 못한다는 것을 의미한다. 소요용량과 설계지진력과의 차이로부터 강제받침의 비대칭성이 연성파괴메카니즘 구성 측면에서 불리하다는 것을 알 수 있다.
- 모델교량 (c)~(e)의 경우 교각 배열의 변경에 따라 설계지진력과 소요용량이 증가/감소하는 경향이 동일하다. 이는 강제받침의 설계지진력에 고정단이 설치된 교각의 강성에 의한 영향과 함께 교각 배열의 비대칭성이 반영된다는 것을 의미한다. 반면 모델교량 (e)의 경우 강제받침의 비대칭성은 반영되지 않는다는 것을 알 수 있다.
- 해석모델 (a)-P3, (b)-P3의 소요용량 부족분의 차이가 31%로 산정된 것은 교각 강성의 차이에 의한 결과임을 알 수 있다.

교각 강성은 실제 응답수정계수와 초과강도/작용력 비에 반영된다. 15개 해석모델의 실제 응답수정계수(Table 7)는 모델교량 (a) 1.51~1.62, (b)~(e) 2.44~2.56으로 (a)와 타 모델교량 간의 차이가 분명하다. Table 6에 제시한 해석모델 (a)-P3, (b)-P3의 설계지진력의 차이는 113kN

Table 7  $R_u$  for 15 analysis bridges

| model bridge | position of fixed bearing |      |      |
|--------------|---------------------------|------|------|
|              | P3                        | P4   | P5   |
| (a)          | 1.62                      | 1.59 | 1.51 |
| (b)          | 2.52                      | 2.53 | 2.44 |
| (c)          | 2.53                      | 2.56 | 2.44 |
| (d)          | 2.55                      | 2.56 | 2.49 |
| (e)          | 2.52                      | 2.56 | 2.47 |

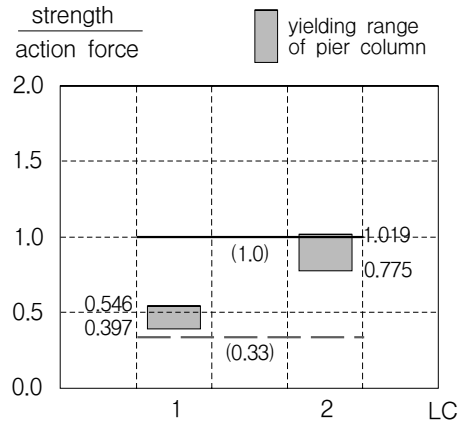


Fig. 4 Failure mechanism, (b)-P3

(=2846-2733)이나 Fig. 3과 (b)-P3의 파괴메카니즘을 검토한 Fig. 4에서 초과강도/작용력 비(LC2)는 각각 1.500, 1.019이고 이로부터 소요용량의 차이 1484kN(=4270-2786)과 소요용량 부족분의 차이 31%가 발생한다. 이는 교각 강성이 연성파괴메카니즘 구성에 미치는 영향을 고려해야 한다는 것을 제시한다.

교각 강성이 크면 교각기둥 항복범위의 하한인 설계강도/작용력 비가 증가한다는 것이고, 이는 실제 응답수정계수는 작고 기능수행수준은 높게 설계되어 중앙진에 대한 손상발생 확률이 낮아진다는 것을 의미한다(Kook, 2012). AASHTO LRFD 3.10.7.1은 교량의 중요도를 일반, 중요, 핵심으로 분류하고 단주교각의 경우  $R$ 의 차등 적용(일반: 3, 중요: 2, 핵심: 1.5)으로 중요도가 높은 교량의 교각 강성을 증가하여 높은 기능수행수준을 제공하도록 규정하고 있다. 그러나 연결부분에 적용하는  $R(1)$ 을 변경하지 않고 교각의 설계

Table 6 Anaysis results for steel bearing

| model bridge | design seismic force( $dsf.$ ) (kN) |      |      | required capacity( $rc.$ ) (kN) |      |      | $(rc. - dsf.)/rc.$ (%) |    |    |
|--------------|-------------------------------------|------|------|---------------------------------|------|------|------------------------|----|----|
|              | P3                                  | P4   | P5   | P3                              | P4   | P5   | P3                     | P4 | P5 |
| (a)          | 2846                                | 2756 | 2746 | 4270                            | 4231 | 4968 | 33                     | 35 | 45 |
| (b)          | 2733                                | 2640 | 2652 | 2786                            | 2885 | 3654 | 2                      | 8  | 27 |
| (c)          | 1783                                | 1988 | 2356 | 2077                            | 2192 | 2645 | 14                     | 9  | 11 |
| (d)          | 1966                                | 1835 | 2009 | 2180                            | 2145 | 2297 | 10                     | 14 | 13 |
| (e)          | 2541                                | 2294 | 2284 | 2893                            | 2483 | 3084 | 12                     | 8  | 26 |

강도를 결정한다면 이러한 차등 적용에 의해 해석모델 (a)-P3와 같은 경우가 발생하므로 연성파괴메카니즘을 구성하여 내진성능을 확보하고자 한다면 파괴메카니즘 검토과정을 수행하여 연결부분의 설계강도를 결정해야 한다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 연결부분 및 교각 배열이 일반교량의 내진 성능인 연성파괴메카니즘 구성에 미치는 영향을 제시하기 위해 강재받침과 철근콘크리트 원형기둥을 연결부분과 교각으로 하는 일반교량을 대상으로 교각 및 강재받침 배열이 다른 15개의 해석모델을 설정하였다. 다중모드스펙트럼해석을 수행하여 교각기둥과 강재받침의 작용력, 설계지진력 및 강도/작용력 비를 산정하고 각 해석모델의 연성파괴메카니즘을 구성하기 위한 강재받침의 소요용량을 결정한 결과로부터 다음과 같은 사항을 도출하였다.

- 스펙트럼해석 결과는 교각 배열의 영향은 반영하나 연결부분 배열의 비대칭성은 반영하지 못하며 연결부분 배열의 비대칭성은 연성파괴메카니즘 구성 측면에서 불리하게 작용한다.
- 연결부분 및 교각 배열이 규칙적인 경우에도 교각 강성이 연성파괴메카니즘 구성에 미치는 영향을 고려해야 한다.
- 일반교량은 연결부분 및 교각 배열의 규칙성을 모두 만족하지 못하는 것이 일반적이며 규칙적인 경우에도 교각 강성에 의해 파괴메카니즘이 다르게 구성된다. 그러므로 연성파괴메카니즘을 구성하여 일반교량의 내진성능을 확

보하기 위해서는 파괴메카니즘 검토가 수행되어야 한다.

#### 감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

#### References

- AASHTO (2004) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, SI Units Third Edition.
- Kook, S.K. (2012) Serviceability Limit State and Response Modification Factors, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 25(2), pp.149~154.
- Kook, S.K. (2014) No Collapse Design for Typical Bridges, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 27(3), pp.163~172.
- Lee, J.H., Ko, S.H., Choi, J.H. (2005) Re-evaluated Overstrength Factor for Capacity Design of Reinforced Concrete Bridge Column, Earthquake Engineering Research Center, 2004 Annual Report.
- Lee, S.J. (1999) RC Ghost - PM Diagram.
- Midas IT (2004) Midas/Civil User Manual, Ver. 6.3.0 (Release no. 1), Midas IT Co. Ltd..
- Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs (2010) Roadway Bridge Design Code, Ch.6: Earthquake Resistant Design pp.6-1~6-41, Appendix I1~I8.

#### 요 지

사회기반시설물인 교량은 인적/물적 자원의 신속하고 원활한 이동을 위해 지장물을 극복하도록 설계/시공되는 구조물이다. 그러므로 교량의 교축방향으로 배열되는 교각의 형상과 규모는 지형의 제약을 받을 수밖에 없다. 이러한 교각의 형상과 규모는 지진하중의 전달경로를 결정하는 연결부분 배열과 함께 연결부분과 교각에 발생하는 작용력을 좌우하게 된다. 이 연구에서는 강재받침과 철근콘크리트 기둥을 연결부분과 교각으로 하는 일반교량을 대상으로 교각 및 강재받침 배열이 다른 해석모델을 설정하여 지진해석을 수행하였다. 해석결과로 구한 교각기둥과 강재받침의 강도/작용력 비로부터 각 해석모델의 연성파괴메카니즘을 구성하고 연결부분 및 교각 배열이 일반교량의 내진성능에 미치는 영향을 연성파괴메카니즘 구성 측면에서 제시하였다.

**핵심용어** : 지장물, 연결부분, 교각, 연성파괴메카니즘, 내진성능, 일반교량