

# 일반도로교의 내진해석모델 개발

## Development of Earthquake Resistant Analysis Models for Typical Roadway Bridges

국 승 규\* 김 판 배\*\*  
Kook, Seung Kyu Kim, Pan Bae

### 국문요약

일반설계에서 요구하는 구조물의 안전성은 탄성영역에서 일정수준의 안전계수를 확보하여 만족된다. 그러나 내진설계에서의 안전성은 소성영역에서 구조물의 형상에 따라 특정한 연성파괴메카니즘을 유도하여 확보하도록 요구하고 있다. 그러므로 이러한 안전성은 구조물의 기본설계단계에서 여러 개의 대안을 가지고 비교, 검토를 수행하여 확보되어야 하며 실시설계단계에서 이를 확인하는 작업이 이루어져야 한다. 이 연구에서는 일반도로교량을 대상으로 하여 기본설계와 실시설계에 사용하는 모델을 설정하였으며 양 모델의 동적거동특성인 주기와 모드형상을 비교하고 다중모드스펙트럼해석을 적용하여 파괴메카니즘을 규명하였다. 기본설계와 실시설계에 사용하는 모델로 각각 확인한 파괴메카니즘을 비교하여 기본설계모델의 타당성을 입증하고 실무에 적용할 수 있는 내진해석모델로 제시하였다.

**주요어** : 내진설계, 안전성, 소성영역, 연성파괴메카니즘, 일반도로교량, 내진해석모델

### ABSTRACT

The structural safety required in general design is to be proved with safety factors provided for structural members in elastic range. But, for the safety requirement in the earthquake resistant design, a specific ductile failure mechanism in plastic range should be verified according to the structural configuration. Therefore such verifications should be done in the preliminary design stage by comparing various design alternatives. In the main design stage only a confirmation of the ductile failure mechanism is required. In this study typical roadway bridges are selected and analysis models are presented for the preliminary and main design. For the two models, vibration periods and mode shapes are compared and the multi-mode spectrum method is applied to determine failure mechanisms. The failure mechanisms obtained with the two models are compared to check the properness of the model used for the preliminary design, which may well be used as an earthquake resistant analysis model in practice.

**Key words** : earthquake resistant design, safety requirement, plastic range, ductile failure mechanisms, typical roadway bridges, earthquake resistant analysis model

## 1. 서 론

일반설계에서 요구되는 구조물의 안전성은 각 구조부재의 안전계수 또는 설계강도와 소요강도의 비를 검토하여 그 확보여부가 결정되며 이러한 계수 또는 강도의 비는 각 구조부재의 탄성영역에서 산정된다. 반면에 내진설계에서 요구하는 안전성은 구조물의 소성거동에 의한 국부적인 파손을 허용함으로써 구조물 전체가 연성파괴메카니즘을 갖도록 하여 설계지진 또는 그 이상의 강진발생시 피해를 최소화하는 것이다. 이러한 구조물의 파괴메카니즘은 구조부재의 선정, 즉 교량의 경우 상, 하부구조와 연결부의 형식 및 규모에 따라 결정되므로 구조물의 기본설계시에 여러 대안을 비교, 검토하여 규명되어야 한다. 그러므로 기본설계단계에서 사용하는 해석모델은 가능한 단순한 모델이어야 하며 기본설계가 확정되면 실시설계단계에서는 보다 상세한 모델을 사용, 내진설계의 경우 기본설계에서 확인한 연성파괴메카니즘의 검토가 수행되어야 한다. 그러므로 내진설계과정의 큰 흐름도는 그림 1과 같이 구성되어야 한다.

현재 적용되고 있는 도로교설계기준<sup>(1)</sup> 제6장 내진설계편에는 일반도로교에 적용할 수 있는 지진해석모델링에 관한 조항을 제시하고 있다. 그러나 이러한 사항은 구조동역학<sup>(2),(3)</sup>의 기본이론에 의거한 원론적인 사항이며 단일모드스펙트럼 해석법을 적용하는 모델은 교량의 동적거동을 교축 및 교축 직각방향의 거동으로 분리하여 각기 다른 모델을 제시, 현재 실무에서 사용되고 있는 해석프로그램의 수준보다 낮은 해석방법으로 적용타당성에 문제가 있다. 또한 실무에서는 아

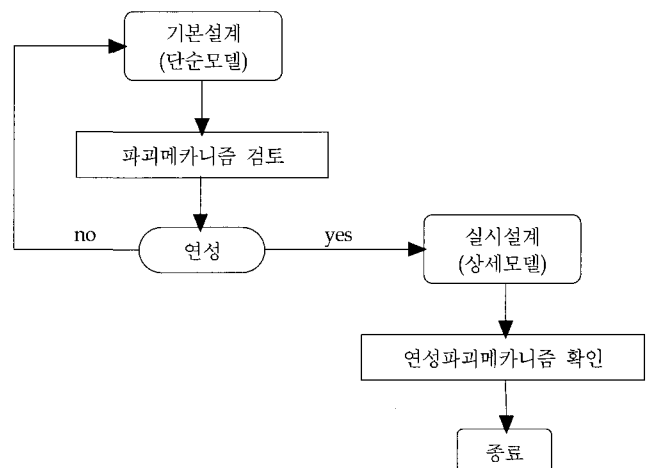


그림 1 일반도로교량의 내진설계 흐름도

\* 정회원 · 부경대학교 건설공학부 부교수(대표저자 : skkook@pknu.ac.kr)  
\*\* 학생회원 · 부경대학교 건설공학부 석사과정  
본 논문에 대한 토의를 2002년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다. (논문접수일 : 2002. 3. 27 / 심사종료일 : 2002. 8. 6)

직 기존의 정적해석에 사용하는 상, 하부구조 분리모델을 그대로 적용하여 내진해석을 수행하는 경우가 있으나 이는 연결부의 거동이 교량구조물의 진동단위에 포함되어야 하는 것을 무시한 모델로 타당치 못하다. 실무에 적용할 수 있는 내진해석모델은 내진설계편람<sup>(4)</sup> 및 Seismic design course<sup>(5)</sup>에서 찾아볼 수 있으나 모델의 타당성에 대한 연구가 아닌 설계예제를 제시하고 있는 정도이다. 이 연구에서는 일반적인 형상의 도로교를 선정하여 기본설계와 실시설계에 사용하는 단순모델과 상세모델을 설정하였으며 양 모델의 동적거동특성인 주기와 모드형상을 비교하여 양 모델간 차이를 검토하고 다중모드스펙트럼해석을 각 모델에 적용하여 내진해석을 수행하였다. 해석결과로부터 구한 양 모델의 파괴메카니즘을 비교하여 기본설계에서 사용하는 단순모델의 적용타당성을 입증하였으며 실무에서 사용할 수 있는 내진해석모델로 제시하였다.

요구하는 규칙성을 만족하는 교량이고 강재받침을 모두 사용하고 있으며 종단면도와 고정단교각에서의 횡단면도는 그림 2, 그림 3, 그림 4 및 그림 5와 같다.

강박스교(단주교각)의 경우 상세모델과 단순모델은 그림 6과 같이 상세모델은 셸요소, 보요소 및 연결요소 등을 사용하여 상판, 강박스, 교각, 캡빔 및 받침장치 등 구조물의 실제 기하학적 특성을 반영하고 단순모델은 보요소와 연결요소를 사용하고 각 절점과 요소가 상세모델의 질량 및 강성을 포함하도록 구성하였다. 타교량의 상세모델 및 단순모델도 강박스교(단주교각)와 동일한 방법으로 모델링하였으며 다만 강박스교(II형교각)의 경우 파괴메카니즘을 검토하기 위해 두 모델의 하부구조를 동일하게 하였다.

## 2. 연구내용

### 2.1 해석모델의 설정

일반적 형상의 도로교로 선정된 강박스교(단주교각), 강박스교(II형교각), PC빔교 및 PC박스교는 내진설계기준에서

### 2.2 응답스펙트럼해석

범용구조해석프로그램 SAP2000<sup>(6)</sup>을 사용하여 각 해석모델을 대상으로 다중모드스펙트럼해석을 수행하고 모드해석결과인 주기와 모드형상을 비교하였다. 그림 7과 그림 8은 강박스교(단주 교각)의 상세모델과 단순모델의 교축방향 및 교축직각방향 1차모드 형상을 비교한 것이고 그림 9와 그림 10은 강박스교(II형교각)의 경우이다. 표 1은 각 해석모델의

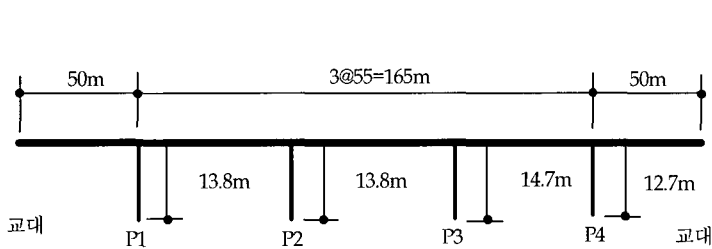


그림 2 강박스교(단주교각)의 종단면도 및 고정단교각 P3의 횡단면도

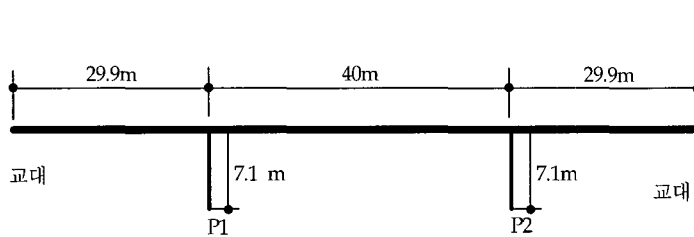


그림 3 강박스교(II형교각)의 종단면도 및 고정단교각 P1의 횡단면도

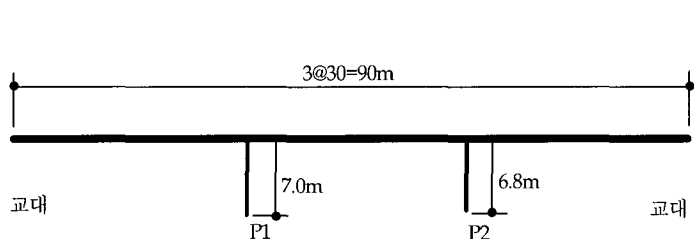
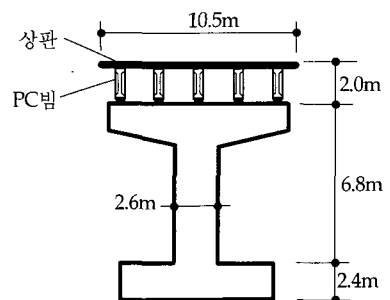
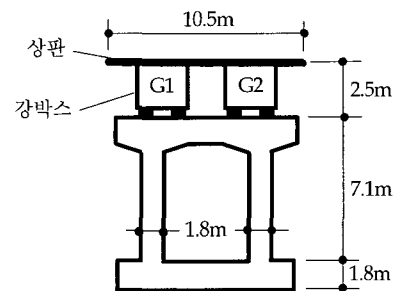
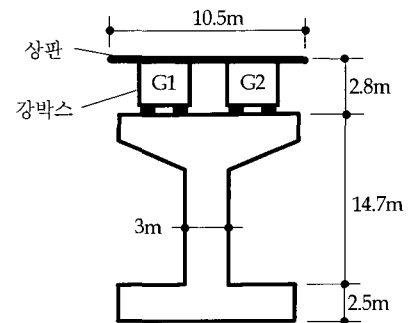


그림 4 PC빔교의 종단면도 및 고정단교각 P2의 횡단면도



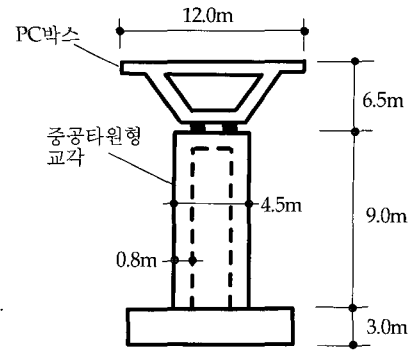
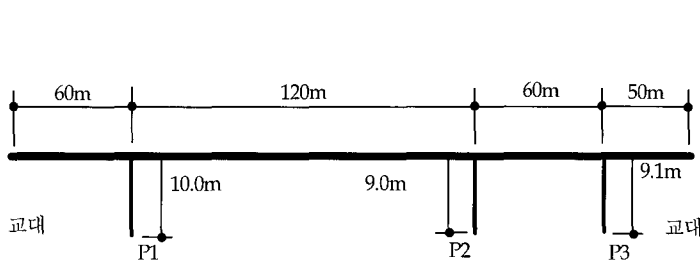


그림 5 PC박스교의 종단면도 및 고정단교각 P2의 횡단면도

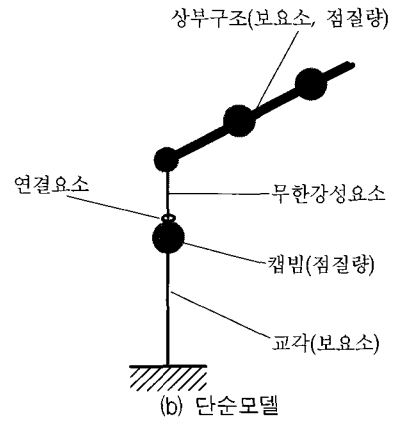
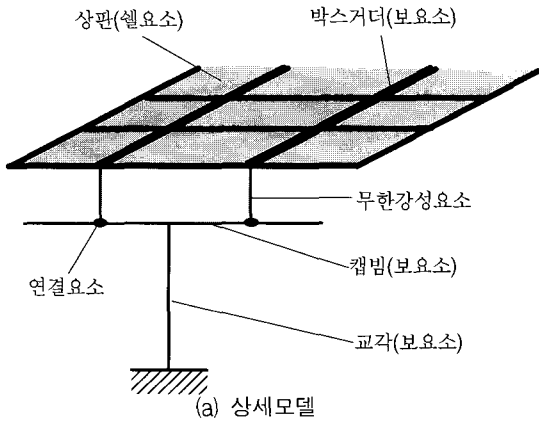


그림 6 강박스교(단주교각)의 해석모델

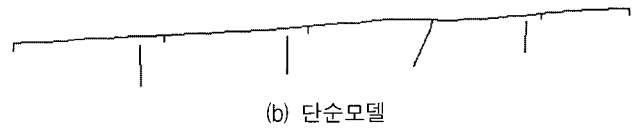
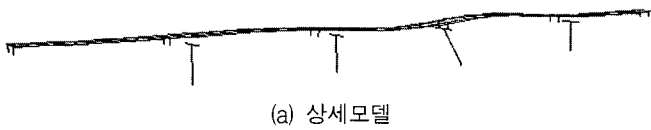


그림 7 강박스교(단주교각)의 교축방향 1차모드 형상 비교

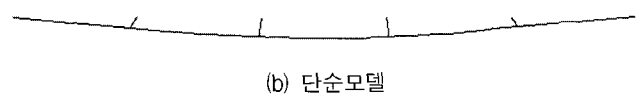
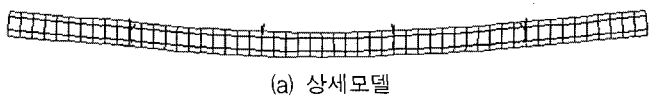


그림 8 강박스교(단주교각)의 교축직각방향 1차모드 형상 비교

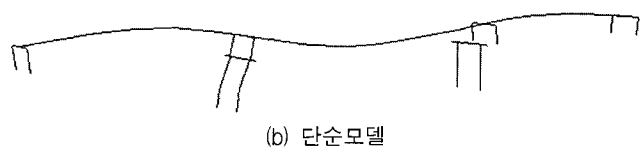
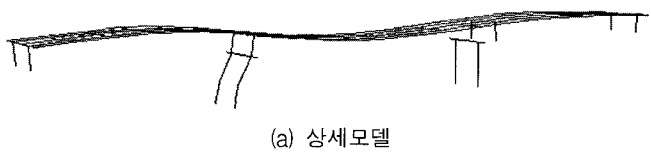


그림 9 강박스교(II형교각)의 교축방향 1차모드 형상 비교

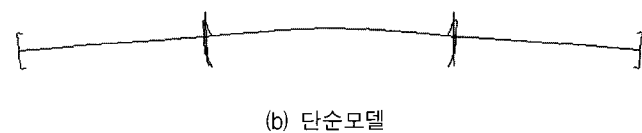
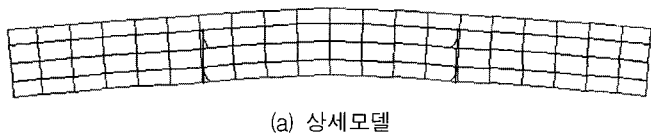


그림 10 강박스교(II형교각)의 교축직각방향 1차모드 형상 비교

주기를 정리한 것이다. 모드형상의 비교에서는 상세모델과 단순모델 모두 동일한 모드형상을 보였으며 강박스교(II형 교각)와 PC빔교의 교축직각방향 주기의 두 모델간 차이가 10%를 초과한 것은 단순모델에서 크로스빔 강성이 무한 강성(상판과 강박스를 일체의 단면으로 간주)으로 입력되는

것과 같기 때문이다. 실제로 상세모델의 크로스빔 강성을 임의의 큰값으로 하면 주기의 차이가 감소한다. 그러나 단주교 각 강박스교의 경우는 크로스빔 강성이 모델간 주기차에 큰 영향이 없다는 것을 고려하면 각 교량의 설계에 따라 편차가 있다는 것을 알 수 있다.

표 1 해석모델의 1차모드 주기 비교

| 교량              | 구분   | 교축방향    |      | 교축직각방향  |      |
|-----------------|------|---------|------|---------|------|
|                 |      | 주기(sec) | 비(-) | 주기(sec) | 비(-) |
| 강박스교<br>(단주교각)  | 상세모델 | 1.47    | 1.00 | 0.86    | 1.00 |
|                 | 단순모델 | 1.45    | 0.99 | 0.82    | 0.95 |
| 강박스교<br>(II형교각) | 상세모델 | 0.47    | 1.00 | 0.22    | 1.00 |
|                 | 단순모델 | 0.49    | 1.04 | 0.17    | 0.77 |
| PC빔교            | 상세모델 | 0.52    | 1.00 | 0.40    | 1.00 |
|                 | 단순모델 | 0.48    | 0.92 | 0.34    | 0.85 |
| PC박스교           | 상세모델 | 0.60    | 1.00 | 0.75    | 1.00 |
|                 | 단순모델 | 0.65    | 1.08 | 0.79    | 1.05 |

설계조건은 내진 1등급교 및 지반종류II를 모든 교량에 동일하게 적용하였으며 설계조건에 따라 가속도계수(A) 0.154, 지반계수(S) 1.2를 적용하여 탄성지진응답계수를 결정, 스펙트럼해석을 수행하였다. 교축 및 교축직각방향 스펙트럼해석결과로부터 하중조합을 수행하여 응답수정계수를 적용하지 않고 설계지진력을 결정하였다. 표 2, 표 3, 표 4 및 표 5

는 각 해석대상교량의 고정단교각에서 구한 설계지진력으로 설계지진에 의해 요구되는 소요강도이다.

2.3 해석대상교량의 파괴메카니즘

해석대상교량은 설계가 완료된 교량이므로 각 구조부재의 강도는 설계강도, 공칭강도 및 초과강도의 범주에서 가정할 수 있고 그러한 강도는 아래와 같이 산정하였다. 표 6은 해석대상교량의 받침장치와 교각의 설계강도, 공칭강도 및 초과강도를 정리한 것이다.

- 받침장치 : 공칭강도는 제작사가 제시한 값이며 공칭강도의 80%를 설계강도, 120%를 초과강도로 산정한다.
- 교각의 전단력 : 콘크리트표준시방서<sup>7)</sup>에 의해 공칭강도를 산정하고 공칭강도의 80%를 설계강도, 130%를 초과강도로 산정한다.
- 교각의 모멘트 : P-M상관도<sup>8)</sup>에 의해 공칭강도와 설계강도를 산정하였으며 초과강도는 공칭강도의 130%로 산정한다.

표 2 강박스교(단주교각) 고정단교각 P3의 소요강도

| 구분   | 모델   | 하중조합 1    |      |               |      | 하중조합 2    |      |               |      |
|------|------|-----------|------|---------------|------|-----------|------|---------------|------|
|      |      | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    |
| 받침장치 | 상세모델 | 334       | 1.00 |               |      | 130       | 1.00 |               |      |
|      | 단순모델 | 317       | 0.95 |               |      | 108       | 0.83 |               |      |
| 교각   | 상세모델 | 680       | 1.00 | 9074          | 1.00 | 235       | 1.00 | 4810          | 1.00 |
|      | 단순모델 | 686       | 1.01 | 9128          | 1.01 | 263       | 1.12 | 4791          | 1.00 |

표 3 강박스교(II형교각) 고정단교각 P1의 소요강도

| 구분   | 모델   | 하중조합 1    |      |               |      | 하중조합 2    |      |               |      |
|------|------|-----------|------|---------------|------|-----------|------|---------------|------|
|      |      | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    |
| 받침장치 | 상세모델 | 202       | 1.00 |               |      | 167       | 1.00 |               |      |
|      | 단순모델 | 174       | 0.86 |               |      | 154       | 0.92 |               |      |
| 교각   | 상세모델 | 209       | 1.00 | 1359          | 1.00 | 112       | 1.00 | 531           | 1.00 |
|      | 단순모델 | 182       | 0.87 | 1193          | 0.88 | 95        | 0.85 | 498           | 0.94 |

표 4 PC빔교 고정단교각 P2의 소요강도

| 구분   | 모델   | 하중조합 1    |      |               |      | 하중조합 2    |      |               |      |
|------|------|-----------|------|---------------|------|-----------|------|---------------|------|
|      |      | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    |
| 받침장치 | 상세모델 | 150       | 1.00 |               |      | 167       | 1.00 |               |      |
|      | 단순모델 | 151       | 1.01 |               |      | 230       | 1.38 |               |      |
| 교각   | 상세모델 | 677       | 1.00 | 4631          | 1.00 | 282       | 1.00 | 2484          | 1.00 |
|      | 단순모델 | 797       | 1.18 | 5433          | 1.17 | 357       | 1.27 | 2751          | 1.11 |

표 5 PC박스교 고정단교각 P2의 소요강도

| 구분   | 모델   | 하중조합 1    |      |               |      | 하중조합 2    |      |               |      |
|------|------|-----------|------|---------------|------|-----------|------|---------------|------|
|      |      | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    | 전단력(tonf) | 비    | 모멘트(tonf · m) | 비    |
| 받침장치 | 상세모델 | 1132      | 1.00 |               |      | 575       | 1.00 |               |      |
|      | 단순모델 | 971       | 0.86 |               |      | 678       | 1.18 |               |      |
| 교각   | 상세모델 | 2086      | 1.00 | 18800         | 1.00 | 847       | 1.00 | 9164          | 1.00 |
|      | 단순모델 | 1967      | 0.94 | 17754         | 0.94 | 906       | 1.07 | 9955          | 1.09 |

표 6 받침장치와 교각의 설계강도, 공칭강도 및 초과강도

| 교량              | 구분     | 설계강도        | 공칭강도 | 초과강도 |       |
|-----------------|--------|-------------|------|------|-------|
| 강박스교<br>(단주교각)  | 받침장치   | 수평력(tonf)   | 240  | 300  | 360   |
|                 | 교각(P3) | 전단력(tonf)   | 465  | 581  | 755   |
|                 |        | 모멘트(tonf·m) | 3800 | 4880 | 6344  |
| 강박스교<br>(II형교각) | 받침장치   | 수평력(tonf)   | 144  | 180  | 216   |
|                 | 교각(P1) | 전단력(tonf)   | 163  | 204  | 265   |
|                 |        | 모멘트(tonf·m) | 890  | 1187 | 1543  |
| PC빔교            | 받침장치   | 수평력(tonf)   | 33   | 41   | 49    |
|                 | 교각(P2) | 전단력(tonf)   | 629  | 786  | 1022  |
|                 |        | 모멘트(tonf·m) | 2300 | 2900 | 3770  |
| PC박스교           | 받침장치   | 수평력(tonf)   | 432  | 540  | 648   |
|                 | 교각(P2) | 전단력(tonf)   | 1564 | 1955 | 2542  |
|                 |        | 모멘트(tonf·m) | 5900 | 8100 | 10530 |

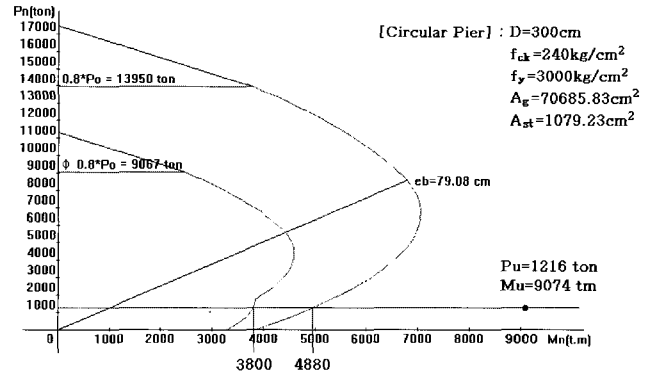


그림 11 강박스교(단주교각) 교각 P3의 P-M상관도

그림 11은 강박스교(단주교각)의 경우 P-M상관도를 예시한 것이다.

해석대상교량의 파괴메카니즘 검토는 받침장치와 교각의 소요강도에 대한 설계강도, 공칭강도 및 초과강도의 비를 표 7, 표 8, 표 9 및 표 10과 같이 정리하여 다음과 같이 수행하였다.

- 연성(교각한지) : 받침장치의 설계강도/작용력 비가 교각의 초과강도/작용력 비보다 크게 산정된 경우
- 취성(받침장치 파괴) : 받침장치의 초과강도/작용력 비가 교각의 설계강도/작용력 비보다 작게 산정된 경우
- 판정불가 : 위 두 경우에 해당하지 않는 경우

해석대상교량의 상세모델과 단순모델에서 결정한 파괴메카니즘의 비교는 표 11과 같다. 두 모델이 제시한 표 7~표 10의 비는 동일하지 않았으나 파괴메카니즘은 두 모델 모두 동일하게 검토되었다.

### 3. 결 론

이 연구에서는 일반적 형상을 갖는 도로교의 내진해석모델을 제시하기 위해 기본설계 및 실시설계에서 사용하는 단순모델과 상세모델을 구성하고 두 모델의 내진해석결과인 파괴메카니즘을 비교하였다. 내진해석방법으로는 다중모드를 고려한 응답스펙트럼해석법을 적용하고 내진설계기준에서 요구하는 직교지진력 조합방법으로 소요강도를 산정하였다. 각 모델의 파괴메카니즘은 해석대상교량 받침장치와 교각의 강도와 설계지진에 의해 요구되는 소요강도와의 비로 결정하였으며 파괴메카니즘의 비교결과 단순모델과 상세모

표 7 강박스교(단주교각)의 파괴메카니즘 검토

| 구분   | 상세모델         |              |              | 단순모델         |              |              |      |      |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|
|      | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 |      |      |
| 조합 1 | 받침장치         | 수평력(tonf)    | 0.72         | 0.90         | 1.08         | 0.76         | 0.95 | 1.14 |
|      | 교각(P3)       | 전단력(tonf)    | 0.68         | 0.85         | 1.11         | 0.68         | 0.85 | 1.10 |
|      |              | 모멘트(tonf·m)  | 0.42         | 0.54         | 0.70         | 0.42         | 0.53 | 0.70 |
| 조합 2 | 받침장치         | 수평력(tonf)    | 1.85         | 2.31         | 2.77         | 2.22         | 2.78 | 3.33 |
|      | 교각(P3)       | 전단력(tonf)    | 1.98         | 2.47         | 3.21         | 1.77         | 2.21 | 2.87 |
|      |              | 모멘트(tonf·m)  | 0.79         | 1.01         | 1.32         | 0.79         | 1.02 | 1.33 |

표 8 강박스교(II형교각)의 파괴메카니즘 검토

| 구분   | 상세모델         |              |              | 단순모델         |              |              |      |      |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|
|      | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 |      |      |
| 조합 1 | 받침장치         | 수평력(tonf)    | 0.71         | 0.89         | 1.07         | 0.83         | 1.03 | 1.24 |
|      | 교각(P1)       | 전단력(tonf)    | 0.78         | 0.98         | 1.27         | 0.90         | 1.12 | 1.46 |
|      |              | 모멘트(tonf·m)  | 0.65         | 0.87         | 1.14         | 0.75         | 0.99 | 1.29 |
| 조합 2 | 받침장치         | 수평력(tonf)    | 0.86         | 1.08         | 1.29         | 0.94         | 1.17 | 1.40 |
|      | 교각(P1)       | 전단력(tonf)    | 1.46         | 1.82         | 2.37         | 1.72         | 2.15 | 2.79 |
|      |              | 모멘트(tonf·m)  | 1.68         | 2.24         | 2.91         | 1.79         | 2.38 | 3.10 |

표 9 PC빔교의 파괴메카니즘 검토

| 구 분  |        |               | 상세모델         |              |              | 단순모델         |              |              |
|------|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|      |        |               | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 |
| 조합 1 | 받침장치   | 수평력(tonf)     | 0.22         | 0.27         | 0.33         | 0.22         | 0.27         | 0.35         |
|      | 교각(P2) | 전단력(tonf)     | 0.93         | 1.16         | 1.51         | 0.79         | 0.99         | 1.28         |
|      |        | 모멘트(tonf · m) | 0.50         | 0.63         | 0.81         | 0.42         | 0.53         | 0.69         |
| 조합 2 | 받침장치   | 수평력(tonf)     | 0.20         | 0.25         | 0.29         | 0.14         | 0.18         | 0.23         |
|      | 교각(P2) | 전단력(tonf)     | 2.23         | 2.79         | 3.62         | 1.76         | 2.20         | 2.86         |
|      |        | 모멘트(tonf · m) | 0.93         | 1.17         | 1.52         | 0.84         | 1.05         | 1.37         |

표 10 PC박스교의 파괴메카니즘 검토

| 구 분  |        |               | 상세모델         |              |              | 단순모델         |              |              |
|------|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|      |        |               | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 | 설계강도<br>소요강도 | 공칭강도<br>소요강도 | 초과강도<br>소요강도 |
| 조합 1 | 받침장치   | 수평력(tonf)     | 0.38         | 0.48         | 0.57         | 0.44         | 0.56         | 0.67         |
|      | 교각(P2) | 전단력(tonf)     | 0.75         | 0.94         | 1.22         | 0.80         | 0.99         | 1.29         |
|      |        | 모멘트(tonf · m) | 0.31         | 0.43         | 0.56         | 0.33         | 0.46         | 0.59         |
| 조합 2 | 받침장치   | 수평력(tonf)     | 0.75         | 0.94         | 1.13         | 0.64         | 0.80         | 0.96         |
|      | 교각(P2) | 전단력(tonf)     | 1.85         | 2.31         | 3.00         | 1.73         | 2.16         | 2.81         |
|      |        | 모멘트(tonf · m) | 0.64         | 0.88         | 1.15         | 0.59         | 0.81         | 1.05         |

표 11 해석대상교량의 파괴메카니즘

| 구분     | 강박스교(단주교각) |        | 강박스교(II형교각) |         | PC빔교    |         | PC박스교 |       |
|--------|------------|--------|-------------|---------|---------|---------|-------|-------|
|        | 조합 1       | 조합 2   | 조합 1        | 조합 2    | 조합 1    | 조합 2    | 조합 1  | 조합 2  |
| 파괴메카니즘 | 연성(교각)     | 연성(교각) | 판정 불가       | 취성(연결부) | 취성(연결부) | 취성(연결부) | 판정 불가 | 판정 불가 |

델 모두 동일한 결과를 제시하였다. 그러므로 교량의 기본설 계시에 수행되어야 하는 파괴메카니즘의 규명은 일반적 형 상을 갖는 도로교의 경우 단순모델을 사용하여 수행할 수 있고 이 연구에서 제시한 단순모델을 내진해석모델로 실무 에 적용할 수 있다. 추후 일반적 형상의 범주에 대한 별도의 연구를 수행하여 단순모델의 적용타당성에 대한 보다 명확 한 근거를 제시하여야 할 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 부경대학교 기성희의 지원으로 수행되었으므로 연구지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준(6장 내진설계편), 한국도로 교통협회, 2000.
2. Clough, R. W. and Penzien, J., *Dynamics of Structures*, McGraw-Hall Kogakusha, Ltd., 1975.
3. Chopra, A. K., *Dynamics of Structures*, Prentice-Hall, Inc., 1955.
4. 한국도로공사, 고속도로 교량의 내진설계편람, 2000.
5. BERGER/ABAM Engineers Inc., *Seismic Design Course*, National Technical Information Service, 1996.
6. Wilson, E. L. and Habibullah, *SAP2000 - A Series of Computer Programs for the Finite Element Analysis of Structures*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 1995.
7. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 대한토목학회, 2000.
8. 이석중, *RC Ghost99-PM diagram*, 1999.