

교량의 지진거동에 미치는 영향인자에 관한 연구

A Study of influence factors on the bridge seismic behavior

최종만*	국승규**	김준범***	정동원****
Choi, Jong Man	Kook, Seung Kyu	Kim, Jun Bum	Jung, Dong Won

ABSTRACT

The earthquake resistant design concept allows the nonlinear behavior of structures under the design earthquake. Therefore the response spectrum method provided in most codes introduces the response modification factors to consider the nonlinear behavior in the design process. For bridges, the response modification factors are given according to the ductility as well as the redundancy of piers. In this study, among influence factors on the nonlinear seismic behavior, the randomness of artificial accelerograms simulated with different durations, the pier ductility represented by the inelastic behavior characteristic curve and the regularity represented by pier heights are selected. The influence of such factor on the seismic behavior is investigated by comparing response modification factors calculated with the nonlinear time step analysis.

keyword : nonlinear behavior, response modification factors, artificial accelerograms, inelastic behavior characteristic curve, regularity

1. 서론

도로교설계기준^[1]에서 제시하는 내진설계의 개념은 설계지진의 발생시 구조물의 국부적 파손을 허용하는 붕괴방지수준과 설계지진보다 강도는 작으나 빈도가 큰 약진에 대해서는 기능수행수준을 유지하는 것이므로 기본적으로 구조물의 비선형거동을 허용한다. 이러한 개념을 도입한 시방서는 선형해석법으로 응답스펙트럼해석법을 채택하고 있으며 비선형거동의 영향은 응답수정계수를 적용하여 설계에 반영하며 교량의 경우 하부구조의 형상에 따라 다른 값이 주어진다. 철근콘크리트 교각의 경우 콘크리트의 압축강도, 축방향철근의 항복강도, 횡방향철근의 항복강도, 축방향철근

* 부경대학교 토목공학과 대학원 박사과정
 ** 정회원.부경대학교 건설공학부 부교수
 *** 학생회원.부경대학교 토목공학과 대학원 석사수료
 **** 학생회원.부경대학교 토목공학과 대학원 석사과정

비, 콘크리트의 극한변형률, 횡방향철근비 그리고 축력비 등의 요소가 교각의 연성도 및 응답수정 계수에 미치는 영향에 대한 연구^[2]가 활발하게 수행되고 있다.

이 연구에서는 강박스교를 해석대상교량으로 선정하여 1)인공지진개수와 지속시간, 2)횡방향철근에 따른 비탄성거동특성곡선 및 3)구조물의 규칙성이 교량의 지진거동에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 검토방법으로 각 교각의 비탄성거동특성곡선을 결정하고 설계스펙트럼을 만족하는 인공지진을 모사하여 비선형시간이력해석을 수행한 결과로부터 응답수정계수를 산정, 비교하였다.

2. 해석대상교량

2.1 해석모델 및 설계조건

해석대상교량은 총 연장 265m(2@50+3@55)인 5경간 강상자형 도로교^[3]로 상부구조는 2연 상자형거더, 하부구조는 T형 교각으로 구성되어 있다. 종단면도와 받침장치 배치도 및 횡단면도는 그림 1(a), (b)와 같다. 해석대상교량의 해석모델은 그림 2(a)에서와 같이 받침장치의 배치를 단순화 하였으며 그림 2(b)의 교각부 모델과 같이 상·하부구조는 보요소, 연결부재는 무한강성요소 그리고 받침장치의 가동방향은 연결요소(Constraint)로 모델링하였고 각 교각의 하단에서 1m 떨어진 절점에 길이가 0인 가상부재를 비선형요소로 추가하여 비탄성거동특성을 반영하였다.

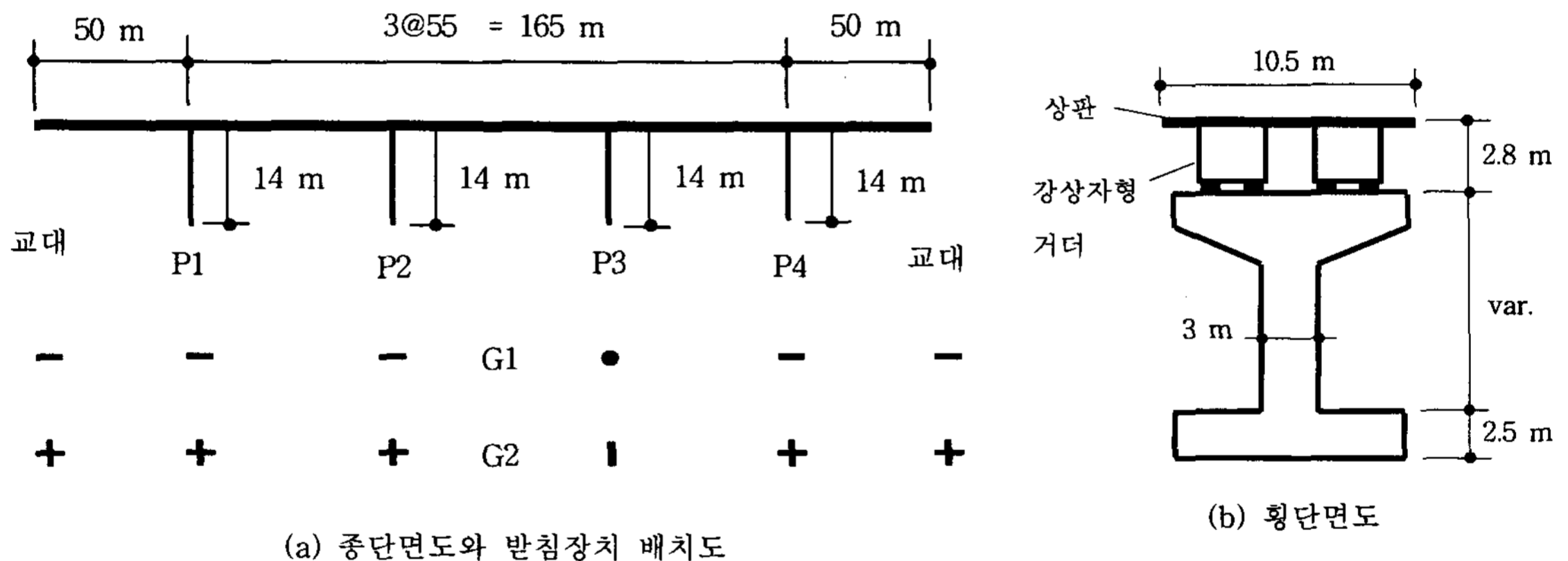


그림 1. 해석대상교량

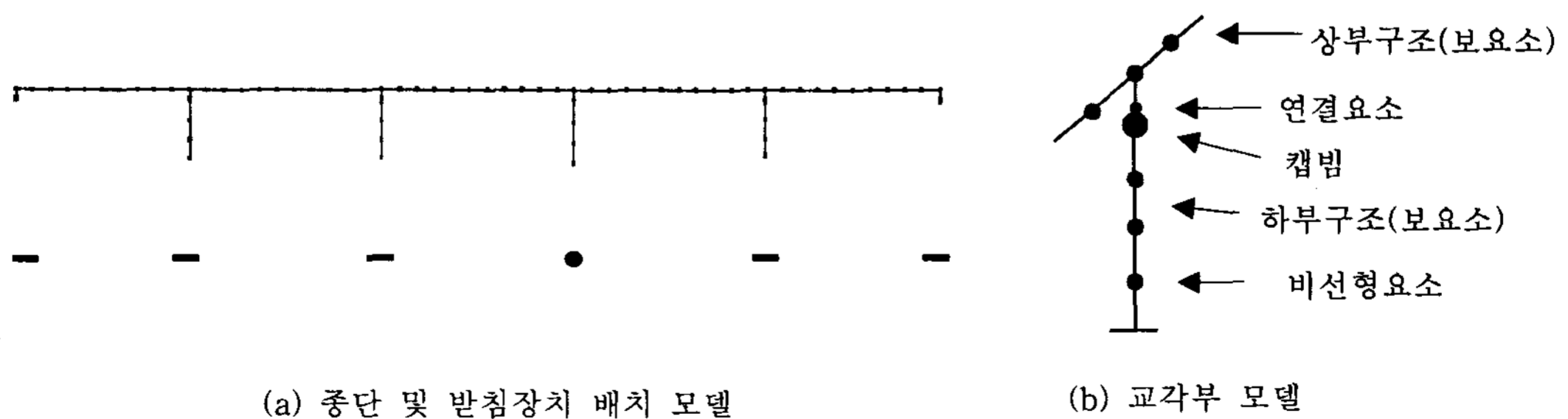


그림 2. 해석모델

해석대상교량의 설계조건은 지진구역 I, 재현주기 1000년에 해당하는 위험도계수 1.4, 지반종류 II를 적용하였고 비선형시간이력해석을 수행하기 위해 입력지진으로 사용되는 인공지진(가속도시간이력)은 총 지속시간이 10초, 20초 및 30초인 인공지진 각 10개(인공지진01~인공지진10)를 상용프로그램 SIMQKE^[4]를 이용하여 모사하였으며 각각 최대지반가속도 도달시간은 2초, 최대지반가속도 지속시간은 총 지속시간의 40%로 설정하였다.

2.2 비탄성거동특성곡선

교량의 연성파괴메카니즘은 구조부재의 항복을 하부구조, 즉 교각에 허용하는 것이므로 교각의 비탄성거동특성을 규명하는 작업이 선행되어야 한다. 교각하단에서의 비탄성거동은 모멘트-회전각 관계로 나타내었으며 프로그램은 RCAHEST^[5](Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)를 사용하였다. 해석모델은 그림 3과 같이 8절점 평면응력요소 67개, 하중재하부위에 탄성요소 1개 및 기초와 교각의 접합부에 6절점 경계면 요소 5개를 사용하였다. 횡방향철근 상세는 도로교설계기준 제6장 내진설계편^[1]에 제시한 최소 횡방향 철근비를 만족하는 D29, 철근간격 15cm를 적용하였다. 해석방법은 변위제어법에 의해 교각상부에 변위를 증가시켜 교각하부의 비탄성거동특성을 기술하였다. 해석대상교량 교각의 비탄성거동특성곡선인 모멘트-회전각 관계는 그림 4와 같이 산정 되었다.

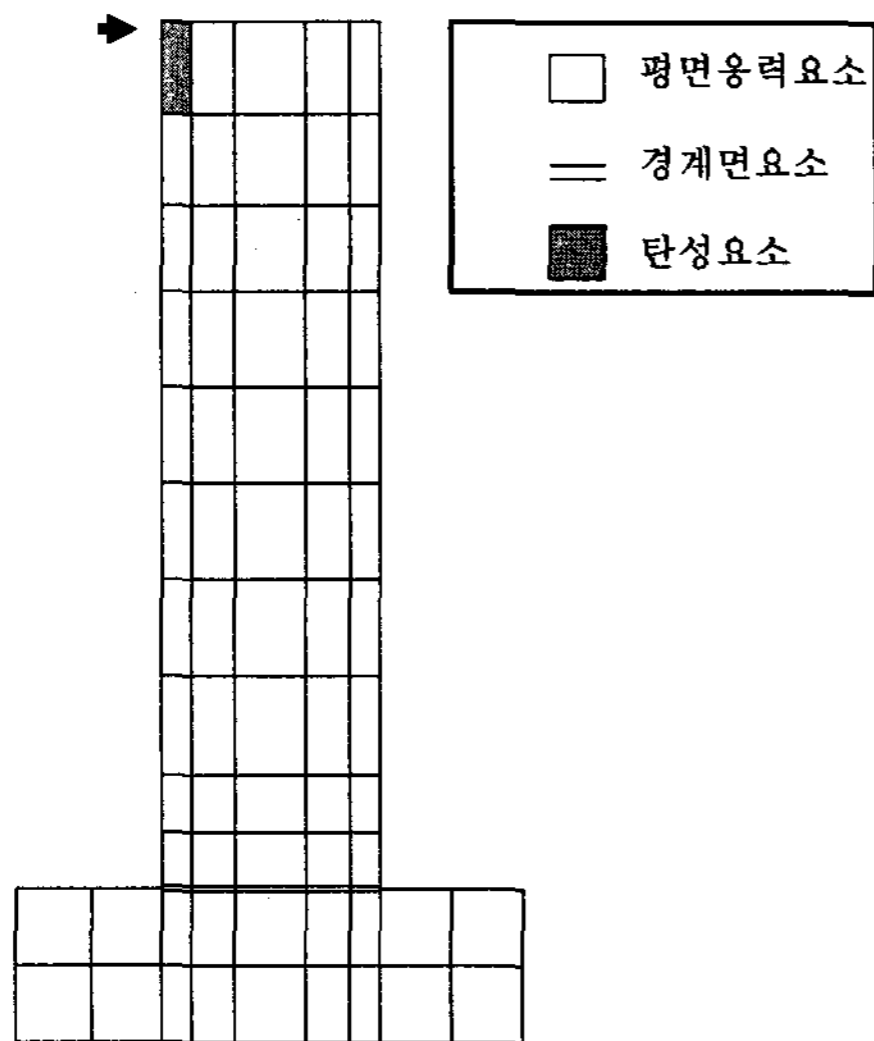


그림 3. 비탄성거동특성곡선 결정모델

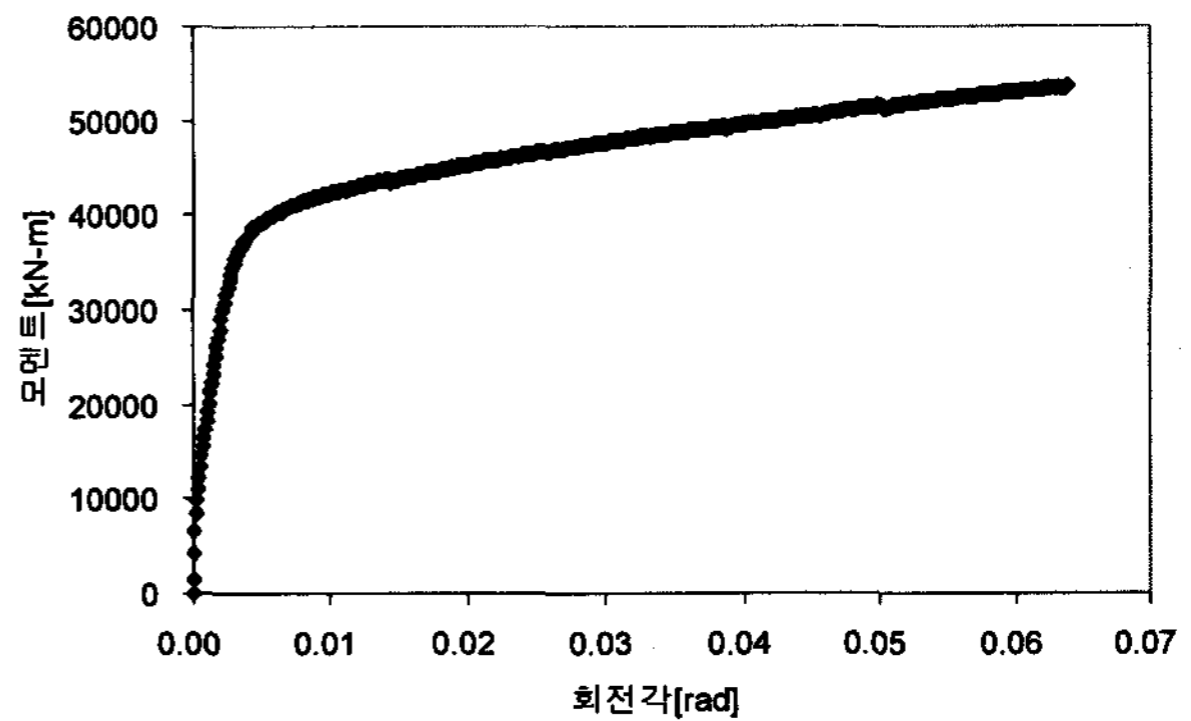


그림 4. 비탄성거동특성곡선

2.3 응답수정계수

응답수정계수를 결정하기 위해 비선형시간이력해석 프로그램 DYNACS^[7]를 사용하였다. 표 1은 해석대상교량에 2.2절에서 결정한 비탄성거동특성곡선을 적용하여 구한 응답수정계수이다. 이 결과는 인공지진의 지속시간이 증가함에 따라 응답수정계수도 증가하는 경향을 나타내며 동일한 지속시간이라 하더라도 각 인공지진에 의한 편차가 크다는 것을 제시하고 있다.

표 1. 응답수정계수

인공지진 지속시간	인공지진									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10초	3.5	9.8	6.2	1.0	4.6	5.2	4.4	9.2	2.6	9.5
20초	5.4	7.2	6.5	2.5	6.4	7.1	5.1	6.2	2.4	9.1
30초	6.2	7.6	6.6	4.2	7.1	7.0	6.3	7.2	3.1	9.8

3. 비탄성거동특성곡선의 영향

3.1 내진설계와 비내진설계

비내진설계의 횡방향철근 상세는 도로교설계기준⁽¹⁾ 콘크리트교편의 띠철근 배치기준에 부합하도록 철근 D16, 철근간격 30cm를 적용하였다. 2.2절에서 구한 내진설계의 비탄성거동특성곡선과 비내진설계의 비탄성거동특성곡선을 비교하기 위해 그림 5와 같이 단순화하였으며 비내진설계의 경우 교각연성도가 내진설계에 비해 현저하게 낮다는 것을 제시하고 있다.

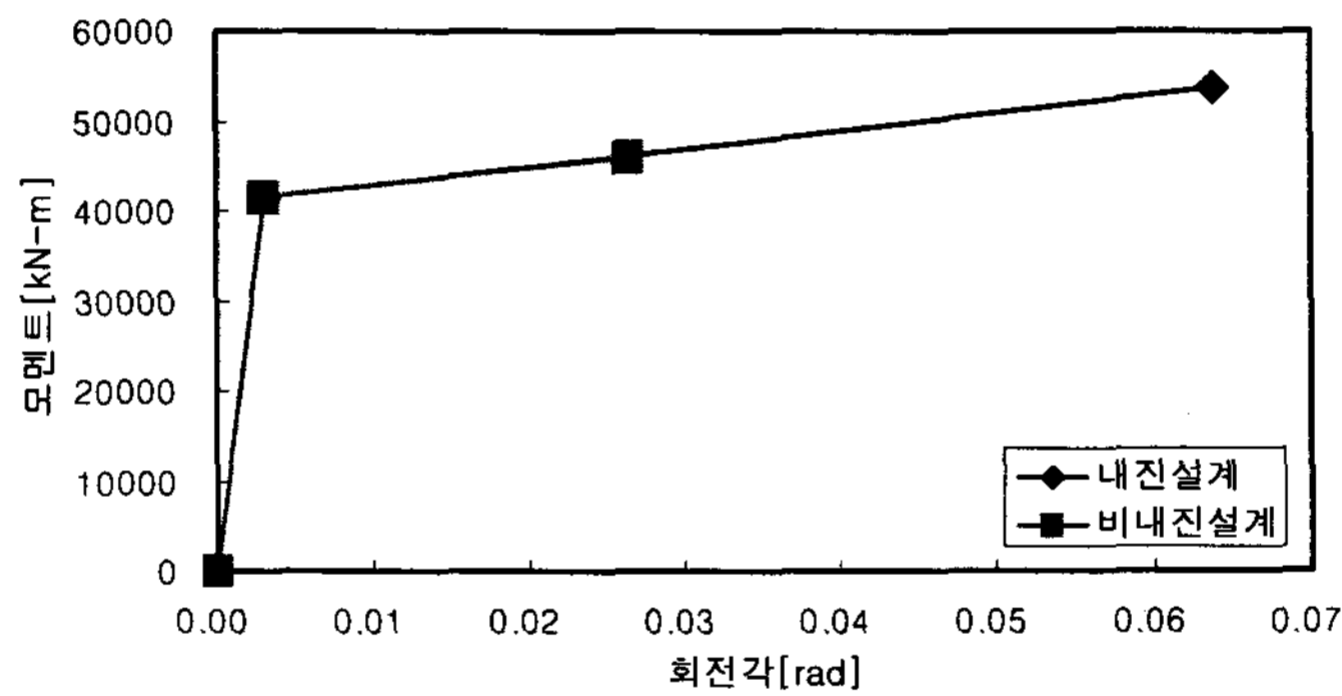


그림 5. 내진설계와 비내진설계의 비탄성거동특성곡선

표 2. 응답수정계수(인공지진 10초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	3.5	9.8	6.2	1.0	4.6	5.2	4.4	9.2	2.6	9.5
비내진설계	3.4	4.7	5.2	2.8	4.2	4.1	4.1	6.3	2.6	6.2

표 3. 응답수정계수(인공지진 20초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	5.4	7.2	6.5	2.5	6.4	7.1	5.1	6.2	2.4	9.1
비내진설계	5.0	4.0	4.8	2.5	4.9	6.0	5.1	5.5	2.4	6.8

표 4. 응답수정계수(인공지진 30초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	6.2	7.6	6.6	4.2	7.1	7.0	6.3	7.2	3.1	9.8
비내진설계	5.3	4.7	5.0	4.0	4.9	5.0	5.0	5.0	3.1	7.0

표 2~표 4는 각 지속시간 10초, 20초, 30초의 인공지진을 입력지진으로 적용하여 구한 응답수정계수이며 교각의 연성도가 낮은 비내진설계의 응답수정계수가 감소한다는 것을 제시하고 있다.

3.2 비탄성거동특성곡선의 이상화

그림 6은 내진설계의 비탄성거동특성곡선과 이를 안전측으로 이상화한 경우로 이들을 적용하여 구한 응답수정계수는 표 5~표 7과 같이 현저한 차이가 없는 것으로 제시되었다.

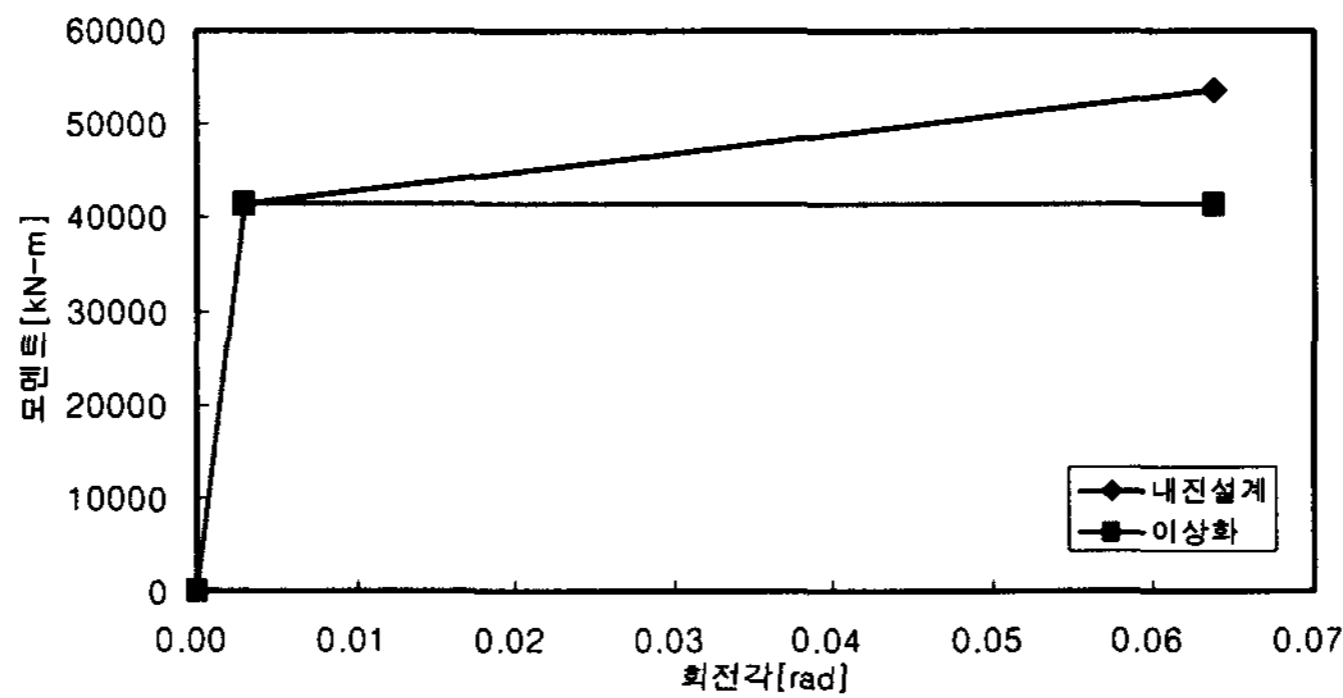


그림 6. 비탄성거동특성곡선

표 5. 응답수정계수(인공지진 10초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	3.5	9.8	6.2	1.0	4.6	5.2	4.4	9.2	2.6	9.5
이상화	3.5	>10.0	6.1	1.0	4.8	4.8	4.4	8.8	3.0	7.7

표 6. 응답수정계수(인공지진 20초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	5.4	7.2	6.5	2.5	6.4	7.1	5.1	6.2	2.4	9.1
이상화	2.5	7.7	5.4	2.0	6.5	7.0	5.5	6.3	2.5	9.2

표 7. 응답수정계수(인공지진 30초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
내진설계	6.2	7.6	6.6	4.2	7.1	7.0	6.3	7.2	3.1	9.8
이 상 화	6.0	6.4	4.9	4.4	6.4	6.3	7.2	7.2	3.0	9.9

4. 구조물의 규칙성

구조물의 규칙성이 교량의 지진거동에 미치는 영향을 검토하기 위해 규칙성을 만족하는 해석대상교량과 그림 7, 8과 같이 교각높이를 변경하여 대칭교량과 비대칭교량을 선정하였다. 그림 9는 높이가 다른 교각의 비탄성거동특성곡선이며 다른 조건이 동일하다면 교각 높이가 증가함에 따라 연성도가 증가함을 알 수 있다.

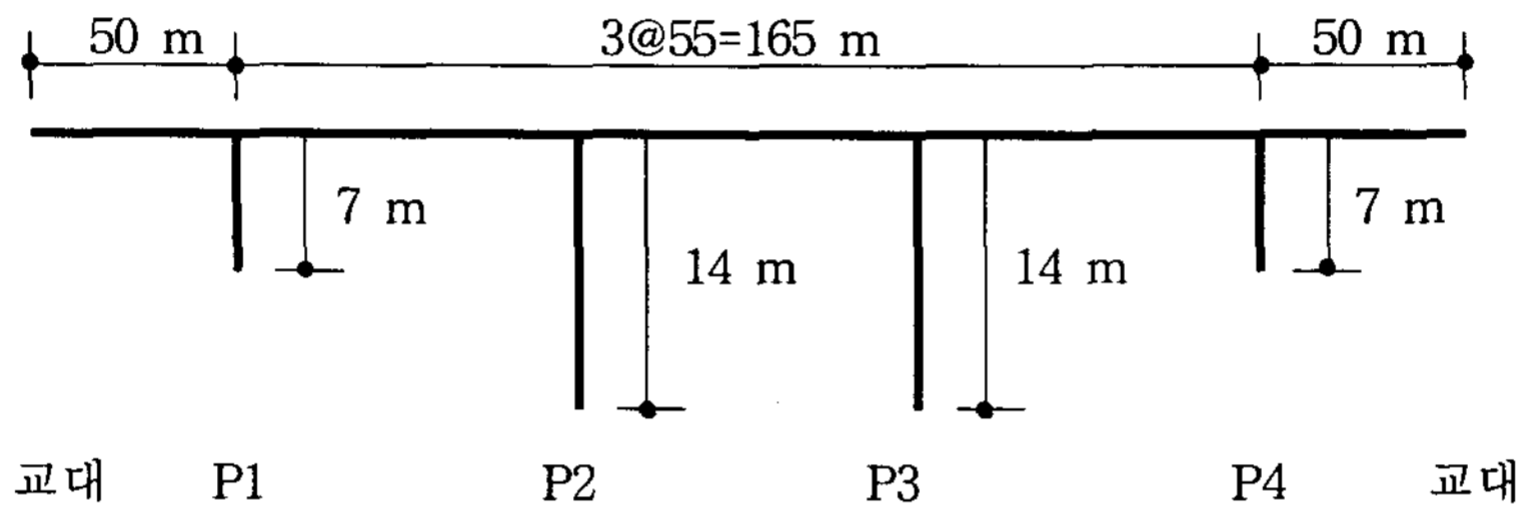


그림 7. 대칭교량

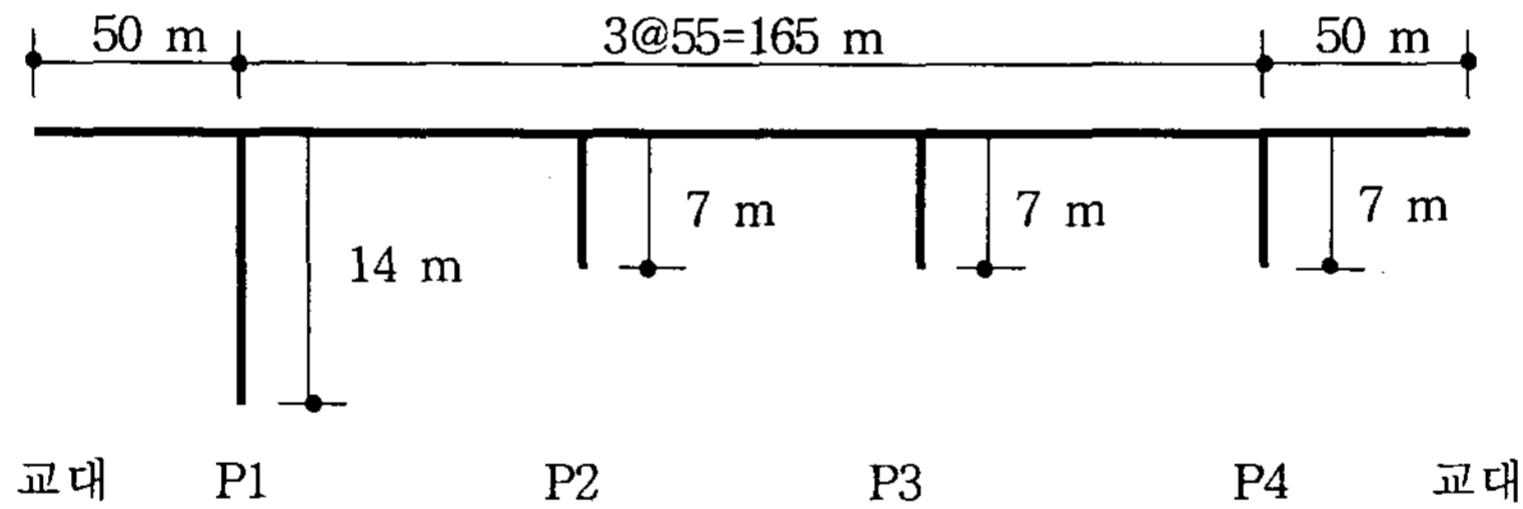


그림 8. 비대칭교량

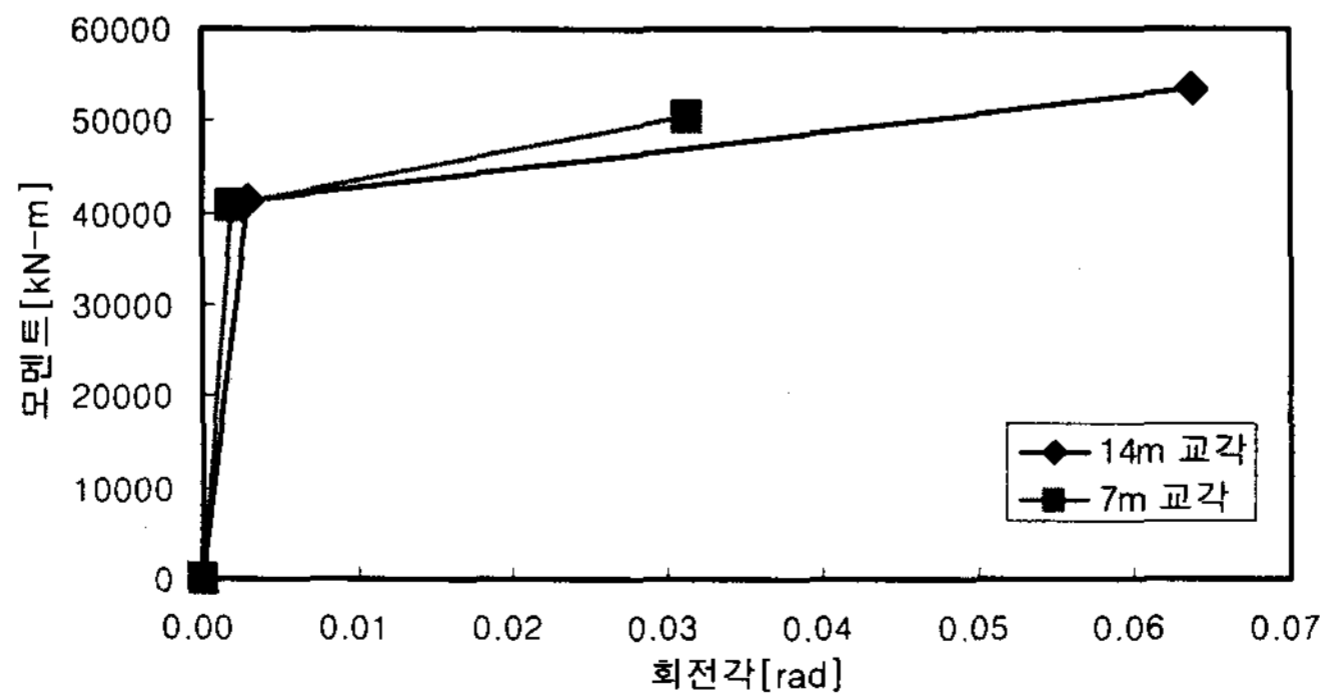


그림 9. 7m, 14m 교각의 비탄성거동특성곡선

표 8. 응답수정계수(인공지진 10초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
해석대상교량	3.5	9.8	6.2	1.0	4.6	5.2	4.4	9.2	2.6	9.5
대칭교량	5.4	5.5	5.4	5.5	5.9	7.9	2.2	5.8	3.8	5.4
비대칭교량	1.0	3.5	7.1	3.7	3.1	1.0	2.3	3.1	4.1	4.0

표 9. 응답수정계수(인공지진 20초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
해석대상교량	5.4	7.2	6.5	2.5	6.4	7.1	5.1	6.2	2.4	9.1
대칭교량	1.0	5.5	7.9	6.8	7.8	6.6	3.1	5.1	3.3	5.4
비대칭교량	4.6	3.6	8.3	2.3	2.5	2.0	2.6	2.0	2.1	3.2

표 10. 응답수정계수(인공지진 30초)

인공지진	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
해석대상교량	6.2	7.6	6.6	4.2	7.1	7.0	6.3	7.2	3.1	9.8
대칭교량	4.5	2.8	7.5	5.4	7.5	6.5	4.5	5.6	3.6	5.2
비대칭교량	5.0	1.0	8.3	1.0	1.0	2.3	2.7	2.1	5.1	2.6

표 8~표 10의 결과로부터 해석대상교량과 대칭교량의 경우는 현저한 차이가 없으나 비대칭교량의 경우 응답수정계수가 감소하는 것을 알 수 있다.

3. 결론

이 연구에서는 강박스교를 해석대상교량으로 선정하여 인공지진개수와 지속시간, 횡방향철근에 의한 비탄성거동특성곡선, 구조물의 규칙성이 교량의 지진거동에 미치는 영향을 비선형시간이력해석을 수행하여 구한 응답수정계수로 비교, 검토하였다.

횡방향철근 규정에 의한 내진설계 및 구조물의 규칙성 증가는 교량의 지진거동에 유리하게 작용한다. 그러나 내진설계와 비내진설계 또는 구조물 규칙성의 감소에 의한 응답수정계수의 편차보다 인공지진의 불특정성에 의한 응답수정계수의 편차가 큰 것으로 제시되었으므로 보완연구가 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로교설계기준”, 한국도로교통협회, 2000.
2. 손혁수, 이재훈, “지진하중을 받는 철근콘크리트 교각의 연성도 상관관계”, 한국지진공학회, 제7권, 제4호, 2003, pp.51-61.
3. 건설교통부, “김해시 관내 국도대체 우회도로(퇴래-농소)건설공사 설계도(Ⅱ)”, 부산 지방국토관리청, 1997.
4. Vanmarcke, E. H., Cornell, C. A., Gasparini, D. A., and Hou, S. N., “SIMQKE-Simulation of earthquake ground motions”, Massachusetts, 1988.
5. 김태훈, “비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가”, 박사학위논문, 성균관대학교, 2003
6. Taylor, R. L., FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2, Users Manual, Volume 2, 2000.
7. Hoffmeister, B., Kuck, J., “DYNACS: Dynamic non-linear analysis of composite and steel structures”, Institute of Steel Construction Aachen, 1997.