

# 보수 · 보강된 철근콘크리트 교각의 내진해석

## Seismic Analysis of RC Piers being repaired/retrofitted

이 도 형\*

Lee, Do Hyung

---

### ABSTRACT

In order to evaluate the seismic performance of reinforced concrete bridge piers, an inelastic time-dependent element is proposed. The proposed element enables increased characteristics due to structural intervention (i.e., repair and retrofitting) to be accurately reflected to the degraded strength and stiffness of the members. Comparative studies are conducted for reinforced concrete bridge columns being repaired and retrofitted and show good correlation between analytical prediction and experimental results. In addition, a nonlinear time-history analysis of a reinforced concrete bridge under multiple earthquakes confirms the applicability and effectiveness of the present development.

---

#### 1. 서론

1999년 8월 17일 Turkey 의 Kocaeli 지역에서 일어난 지진 이후 거의 3개월이 지난 1999년 11월 12일에 또 다른 지진이 Kocaeli 지역과 매우 인접한 지역인 Duzce 와 Bolu(Turkey 의 북서쪽 지역)에서 발생하였다. 즉, 이와 같은 약 3개월 간격의 연속적인 지진의 결과는, 첫 번째 지진에 의해서 손상을 입은 철근콘크리트 부재에 대한 강도, 강성 및 연성능력의 저하에 대한 정확한 산정 후, 보수 및 보강이 이루어져야만이 두 번째 연속지진하중 하에서 그 부재들의 응답 거동능력을 예측하여 더 큰 누적손상을 피할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 첫 번째 8월 지진에 의해서 손상되지 않은 철근콘크리트 구조물조차도 어느정도는 강도 및 강성의 저하를 경험할 것이고 이것은 곧, 두 번째 11월 지진에 의해서 강성의 심각한 저하로 인한 누적 파괴가 일어날 수도 있다는 것을 시사하고 있다. 따라서, 구조부재들의 저하된 하중지지능력 및 강성의 감소된 상태를 유지시켜 놓은 상태에서, 보수 및 보강된 구조부재의 연속지진하중에 대한 수행능력을 산정할 수 있는 해석기법의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는, 누적손상된 구조부재, 특히 철근콘크리트교량 교각의 내진 수행능력을 보다 정확하게 평가할 수 있도록 하기 위하여, 강도 및 강성이 저하된 상태를 유지한 채, 또 다른 해석을 연이어서 다시 시작할 수 있는 시간종속 요소를 개발하여 새로운 해석기법을 제안하였다.

#### 2. 시간종속요소

비탄성 시간종속요소를 제안하기 위하여 Izzuddin and Elnashai(1993)에 의해서 개발된 대변위의

---

\* 정회원, 배재대학교 건설환경철도공학과 교수

효과를 고려한 3차원 비탄성큐빅 정식화 과정을 이용하였다. 이 3차원 비탄성 큐빅 정식화 과정은 단면의 형태와 재료모델의 구성방정식을 고려하여 재료의 비선형 효과를 모델링 할 수 있는 장점이 있다. 이 정식화된 3차원 비탄성 요소에 활성화시작시간과 활성화끝시간을 갖는 비탄성 시간중속요소를 제안하였다. 이 시간중속요소는 사용자가 원하는 시간간격에서 활성화 및 비활성화를 시킬 수 있는 요소로서 보수 및 보강 그리고 연속적인 지진하중하에서 철근콘크리트 부재의 수행능력을 검토하기 위하여 개발되었고 개발된 요소는 비선형 구조해석 프로그램인 ZeusNL(2001)에 연결되었다. 기본적인 유도절차는 우선적으로 입력데이터에서 사용자가 활성화시작시간과 활성화끝시간을 지정하여 시간중속요소를 정의한 후, 유도된 비탄성 큐빅 정식화 과정을 이용하여 활성화시간내에서 시간중속요소의 힘과 접선강성을 구한 후, 사용된 다른 모든 요소의 힘과 접선강성을 취합한 후 전체구조물 단계에서 해석을 수행하는 과정을 따르게 된다. 정식화의 유도는 참고문헌(이도형, 전정문, 2006)에 자세히 언급되어 있고 시간중속요소의 요소국부력과 요소강성을 구하는 과정은 그림 1의 순서도에 정리되어 있다.

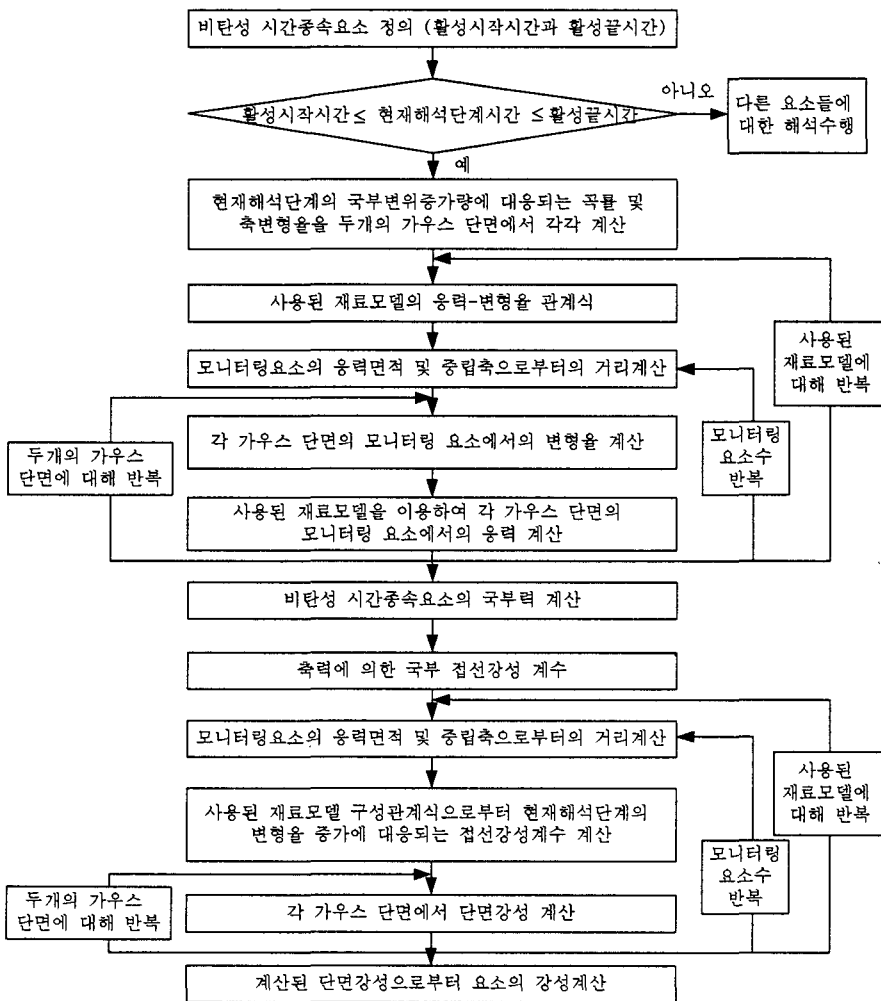


그림 1 비탄성 시간중속요소의 국부력과 강성계산 흐름도

### 3. 정적시간이력해석

본 연구에서 개발된 시간중속요소의 검증에 위하여 Chai et al.(1991)에 의해서 실험된 원형단면을 갖는 철근콘크리트교각의 강판피복 내진보강실험시편 3R과 Priestley et al.(1994)에 의해서 수행된 철근콘크리트교각의 강판피복 내진보강실험시편 C2R을 선택하였다. 선택된 교각의 물성치는 표 1에 정리되었다.

표 1 검증에 사용된 실험시편의 물성치

시편	콘크리트 압축강도(MPa)	작용 축하중(kN)	종방향철근		횡방향철근	
			항복강도(MPa)	항복강도(MPa)	항복강도(MPa)	두께(mm)
3R	37.8	1779	313	349	308	4.76
C2R	34.0	598.5	324	359	348	4.76

그림 2와 3은 각각 강판피복으로 보강된 시편 3R과 C2R의 실험결과와 해석결과 사이의 하중-변위 이력응답을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 전반적인 비탄성 거동 즉, 강도 및 강성 그리고 에너지 흡수 및 소산능력에 있어서 해석결과는 실험결과와 좋은 상관관계를 나타내고 있다. 따라서, 향후 다양한 재료의 구성관계식을 본 연구에서 개발된 시간중속요소와 함께 사용하면 교각의 보수 및 보강후의 성능을 검토하는데 유용할 것으로 사료된다.

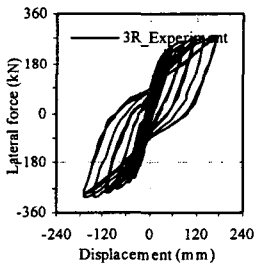


그림 2 교각 3R의 하중-변위 이력응답 비교

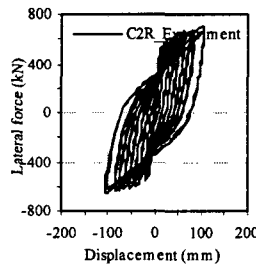
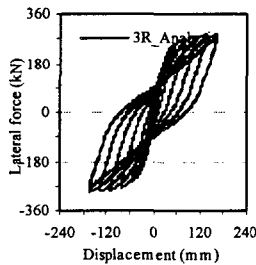
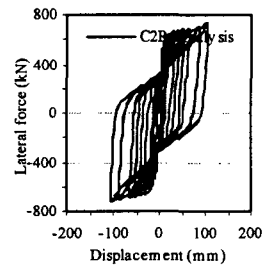


그림 3 교각 C2R의 하중-변위 이력응답 비교



### 4. 동적시간이력해석

본 연구에서 개발된 시간중속요소의 타당성 검토를 위해서 연속지진하중을 받는 철근콘크리트교각의 비탄성 내진응답해석을 수행하였고, 그림 4에 해석대상교각 교각 6의 횡방향 하중-변위 이력응답을 나타내었다. Analysis\_1은 보강을 하지 않은 경우이고, Analysis\_2는 0.01(두께 3.05 mm)의 강판피복 구속체적비를 사용하여 교각의 소성힌지구간을 가상으로 보강한 후, 시간중속요소로 모델링하여 두 번째 지진하중부터 활성화되도록 한 경우이다. 그림에 보여진 것처럼 시간중속요소를 고려한 경우, 교각의 강도 및 강성의 증가, 그에 따른 변위의 감소를 확인할 수 있고, 이는 본 연구에서 제안된 시간중속요소의 타당성과 응용성을 제시하고 있다.

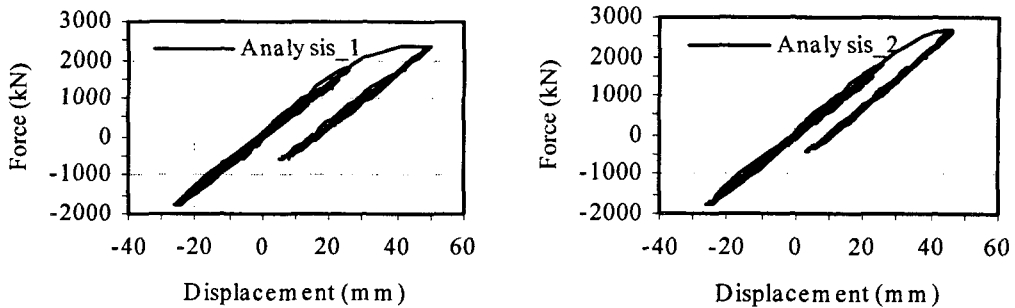


그림 4 교각 6의 횡방향 하중-변위 이력응답

## 5. 결론

본 연구에서는 비탄성 시간종속요소를 개발하여 구조해석 프로그램인 ZeusNL에 연결시켰다. 본 연구에서 개발된 시간종속요소를 이용하여 보강된 철근콘크리트교각의 해석결과와 실험결과를 비교 검토 하였다. 비교결과 강도, 강성 및 에너지 흡수 및 소산능력의 산정에 있어서 비교적 만족할만한 상관관계를 보여주었다. 아울러, 연속지진하중에 대한 교각의 동적시간이력해석에서 볼 수 있었던 시간종속요소를 이용할 경우, 보수 및 보강된 부재의 강성변화를 직접적으로 반영하여 보수 및 보강된 부재의 내진수행 능력 산정 및 내진성능개선에 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Izzuddin, B.A. and Elnashai, A.S., 1993. 'Adaptive space frame analysis Part II: a distributed plasticity approach', Proceedings of Institution of Civil Engineers Structures & Buildings, Vol. 99, pp. 317 ~ 326.
2. Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and Lee, D.H., 2001. 'ZeusNL-A program for inelastic dynamic analysis of structures', MAE Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.
3. 이도형, 전정문, 2006. '시간종속 요소를 이용한 철근콘크리트교각 교각의 내진성능평가', 대한토목학회논문집, 제 26권 제 1A호, pp. 237 ~ 246.
4. Chai, Y.H., Priestley, M.J.N. and Seible, F., 1991. 'Seismic retrofit of circular bridge columns for enhanced flexural performance', ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 5, pp. 572 ~ 584.
5. Priestley, M.J.N., Seible, F., Xiao, Y. and Verma, R., 1994. 'Steel jacket retrofitting of reinforced concrete bridge columns for enhanced shear strength-Part2: test results and comparison with theory', ACI Structural Journal, Vol. 91, No. 5, pp. 537 ~ 551.