

# RC 교각의 내진거동 평가를 위한 진동대 실험

## Shake Table Tests for the Evaluation of Seismic Behavior of RC piers

정영수\*

심창수\*\*

박창규\*\*\*

박창영\*\*\*\*

Chung, Young-Soo Shim, Chang-Su Park, Chang-Kyu Park, Chang-Young

---

### ABSTRACT

This paper deals with shaking table tests on RC piers to evaluate the seismic performance under near fault motion. Small scale models were fabricated and axial force was applied by introducing prestress at the centroid of the column section. Mass effect of the superstructures was simulated by mass frame which was linked with a pier model by steel bars because of the limited payload of shaking table. Friction of the mass frame when it moves was minimized by special details and it was proved before tests. Scale factor of the RC piers was 4.25. Main parameters of the test were details of reinforcements. After verifying the results of shaking table tests, seismic performance was evaluated by increasing the acceleration of the near fault motion.

---

### 1. 서론

기동에 대한 내진 성능을 평가하기 위한 실험은 준정적실험, 유사동적 실험, 그리고 진동대 실험이 있다. 국내에서 수행되어 온 교량의 교각에 대한 내진 실험은 주로 준정적 혹은 유사동적 실험으로 수행되어져 왔다.(정영수 등, 2003, 2005) RC교각의 경우에는 소형 축소 모형의 경우에도 국내에 있는 진동대 용량의 한계로 인해서 쉽게 이루어지기 힘든 여건이 있었다. 교각의 내진 거동에 대한 실험에서 지반 운동의 경우 최근에 근단층운동(near fault ground motion, 이후 NFGM)의 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근에 발생한 몇 개의 강진의 경우 (Northridge (1994), Hyogo-ken Nanbu (1995), Kocaeli (1999), Duzce (1999), Chi-Chi (1999) ) 단층 근처 지역에서의 지반운동에서의 특징적인 모습들을 보여주었다. 이러한 운동은 밀집된 도심지역에서 발생할 경우에 심각한 손상을 유발함을 명확하게 보여주고 있다 (Phan 2005). 따라서, 교각의 내진성능 평가에서 사용하는 지반운동을 근단층운동에 대해서 수행할 필요가 있다.

최근에 국내에서도 근단층지반운동에 대한 모델링이 수행되었는데(김정환, 김재관, 2006) 근단층 지반운동은 큰 진폭의 장주기 속도 펄스를 갖는 특징을 갖고 있고 NFGM은 일반적으로 진앙거리가 약 10km 이내인 지역에서 관측되는 지진지반운동을 말한다. NFGM은 단층파열의 전파와 전단파의 전파가 서로 간섭을 일으켜 발생하며 앞서 언급한 지진들에서 관측되었다. 이 논문에서는 국내에서

---

\* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · 공학박사

\*\* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사

\*\*\* 정희원 · 현대건설 · 공학박사

\*\*\*\* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정

수행된 근단층지반운동에 대한 모델링에서 도출된 지반운동을 이용하였다.

NFGM에 대한 설계 규정은 현재 상당히 단순하거나 혹은 지나치게 복잡하게 되어 있다. AASHTO에서는 NFGM에 대한 설계를 다루고 있지 않고 대신에 활성단층에 가까운 지역에 대해서 특별한 해석을 하도록 추천하고 있다. 이러한 것들은 비용이나 시간이 소요되고 복잡한 절차가 요구된다. UBC (1997) 및 ATC (1996)에서는 단층에서 10km 이내인 경우 지진규모가 6.5이상이면 NFGM에 의한 지반운동 증폭계수를 사용하도록 되어 있으며 규모가 7.0이 넘는 경우에는 단층까지의 최단거리가 2km 이내인 경우 가속도 민감구간은 1.6배, 속도 민감구간은 2.0배까지 증폭을 시킨다.

이 논문에서는 RC 교각의 내진성능을 근단층지반운동에 대해서 평가하기 위해서 축소모형을 제작하고 축력효과는 프리스트레스에 의해 구현하고 질량 효과는 별도의 질량모사 프레임을 제작하여 수행한 실험 결과를 제시하였다. 진동대 실험에서 질량 모사 프레임이 교각 모델과 같은 변위로 움직이면서 마찰 효과를 최소화할 수 있도록 고려하였고 이에 대한 검증을 실시하였다. 지반운동은 국내에서 중규모지진에 의한 근단층지반운동 모델을 수행하여 얻어진 결과를 이용하였고 단계별로 가속도 수준을 높이면서 파괴에 이르도록 설정하였다.

## 2. 진동대 실험

진동대를 이용한 RC교각 실험은 여러 가지 제약사항을 갖게 되어 이에 대한 고려가 중요하다. 국내에서 사용할 수 있는 진동대중에서 일축진동대로 Table의 크기가 5m x 3m이고 최대 시편 중량이 30톤인 것을 이 연구에서 사용하였다. 우선, 최대 시편 중량의 제한으로 인해서 교각의 축소모형의 크기에 제한이 있고 또한 최대 허용 모멘트의 크기는 50ton·m, 최대 변위는 ±100mm, 최대 가속도는 1.0g인 것도 실험 부재 설계에서 중요한 고려사항이 되어야 한다.

축력의 경우에는 교각부재의 중심에 프리스트레스를 가해서 모사하고 질량 효과는 그림 1에 나타낸 바와 같이 별도의 질량 프레임을 제작하고 상부구조를 모사하는 블록을 힌지로 연결하였다. 질량 프레임이 교각 부재와 함께 움직일 때 마찰의 효과를 최소화하기 위해서 강제 바퀴내부에 볼 베어링을 설치하고 또한 고정 프레임의 레일면과 바퀴면 사이의 마찰이 최소화되도록 윤활유를 도포하였다. 실험을 시작하기 전에 낮은 속도로 진동대를 움직여서 마찰의 크기를 확인하였는데 대체로 0.01~0.02정도의 수준으로 마찰계수의 값이 평가되었다.

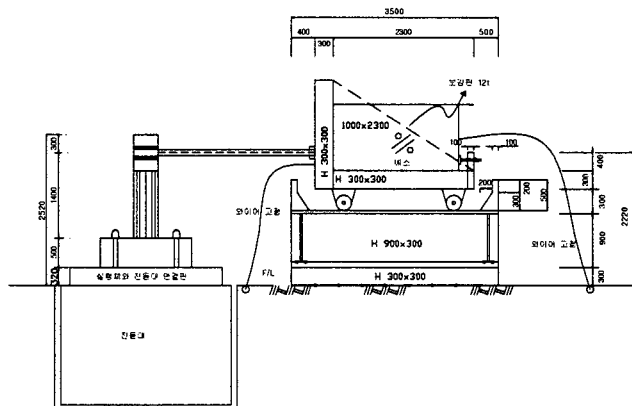


그림 1. 진동대 실험 셋업

## 3. 실험부재

RC 교각의 실험체는 scale factor를 4.25로 설정하여 설계하였고 표 1에 실험체와 변수를 정리하였다. 실험체 설계에서 주된 고려사항이 축소함으로써 생기는 상세 구현인데 이를 위해서 주철근은 13mm 직경을 사용하였고 띠철근은 열가공을 통해 제작된 6mm 철근을 사용하였다. 철근 상세와 더불어 타

설되는 콘크리트에도 골재 최대 직경을 9mm로 제한하기 위해서 골재 체가름을 통해서 별도로 선별하여 배합설계를 하였다. 설계 압축강도는 24MPa로 하였다.

그림 2에 대표적인 실험 시편의 도면을 제시하였다. 전술한 바와 같이 축력을 압축강도의 10%선에서 도입하기 위해서 교각 제작시 단면의 중심에 쉬스관을 배치하여 실험 직전에 포스트텐션을 통해서 압축력을 도입하고 이를 로드셀로 확인하였다. 주된 변수는 겹침이음의 여부, 횡방향 띠철근의 배근으로 설정하였다. 최초로 실험 셋업의 타당성을 확인하고 몇 가지 형태의 지반운동에 의한 거동을 살펴보기 위해서 예비실험을 수행하였다.

표 1. 실험부재

설계법	Size	주철근		띠철근		수량	비고		
		철근비	겹침이음	심부철근비	간격(mm)				
비내진	D=400mm H=1,400mm	16D13 =1.61%	0%	0.27%	130/130	1EA	shaking		
			50%			1EA			
한정연성					0%	0.45%	70/100	2EA	Pseudo, Shaking
					50%			3EA	Quasi, Pseudo, Shaking
내진			50%	1.16%	30/60	1EA	Shaking		
Total						8EA			

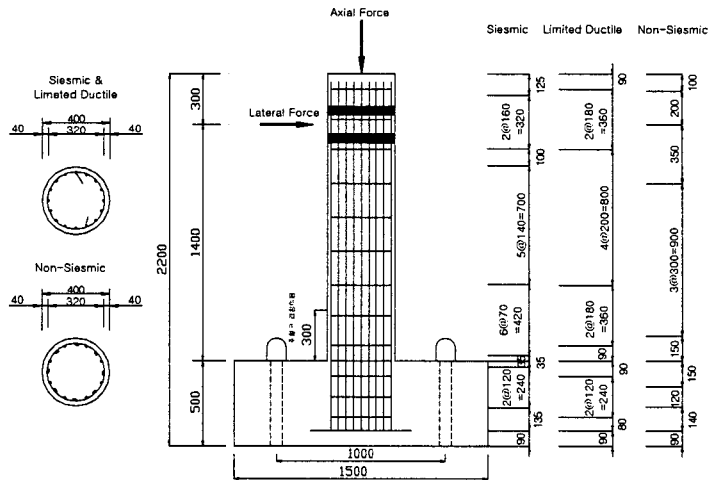
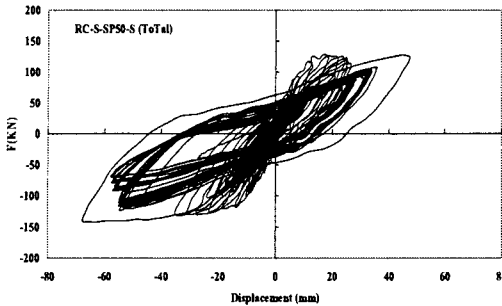


그림 2. RC교각 실험부재

#### 4. 실험결과

근단층지반운동으로 사용한 지반운동이 중규모지진에 대해서 생성된 것으로 0.0627g, 0.0803g, 0.11g, 0.154g, 0.22g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 0.6g, 0.7g, 0.8g, 0.9g까지 가진을 실시하였다. 예비실험에서는 Elcentro 지진을 이용하여 단계별로 가진하였는데 그 경우와 비교하여 근단층지반운동을 이용한 경우에 0.5g 수준에서의 손상정도가 서로 다르게 나타났다.

진동대를 이용한 철근 콘크리트 교각의 내진 거동에 대한 평가는 현재 진행중에 있지만 주요한 결과로 살펴볼 수 있는 것은 각 단계별로 교각의 유효강성을 평가할 수 있고 진동대가 가진할 수 있는 가속도 수준까지 가진 한 후에는 공진 수준으로 가진하여 시험체의 연성도 평가가 가능하다는 것이다. 추후 실험을 통해서 유사동적실험 결과와의 비교도 함께 수행할 것이다. 그림 3에 실험에서 구한 하중-변위 곡선을 나타내었고 소성현지 구간의 손상 모습을 나타내었다.



(a) P-Δ Curve

(b) 공진(Sine-wave 2Hz)에서의 손상

그림 3. 하중-변위곡선 및 힌지구간 손상

## 5. 결론

RC 교각의 내진성능을 근단층지반운동에 대해서 평가하기 위해서 축소모형을 제작하고 축력효과는 프리스트레스에 의해 구현하고 질량 효과는 별도의 질량모사 프레임을 제작하여 수행한 실험 결과를 제시하였다. 진동대 실험에서 질량 모사 프레임이 교각 모델과 같은 변위로 움직이면서 마찰 효과를 최소화할 수 있도록 고려하였고 이에 대한 검증을 실시하였다. 지반운동은 국내에서 중규모지진에 의한 근단층지반운동 모델을 수행하여 얻어진 결과를 이용하였고 단계별로 가속도 수준을 높이면서 파괴에 이르도록 설정하였다.

### 감사의 글

이 연구는 사회기반시설물평가중점연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되어 연구 지원에 감사드립니다. 또한, 진동대 실험에 협조해주신 현대건설에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 정영수, 박창규, 박진영, 한정연성 철근콘크리트 교각의 유사동적 실험에 의한 내진 성능 평가, 한국 콘크리트학회논문집, 제15권 5호, pp.705-714, 2003.
2. 정영수, 박창규, 이범기, 송희원, 이축방향 유사정적 실험에 의한 이주형 철근콘크리트 원형 교각의 내진 성능평가, 콘크리트학회논문집, 제17권 제1호, pp.121-128, 2005.
3. Phan, Vu T., "Near Fault (Near Field) Ground Motion Effects on Reinforced Concrete Bridge Columns", Thesis, University of Nevada, Reno, August 2005.
4. 김정환, 김재관, "안정대륙권역의 중규모지진에 의한 근단층지반운동의 모델링", 한국지진공학회 논문집, 제 10권 제3호, 2006. 06, pp. 101-111.
5. UBC, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, Whittier, California, USA, 1997.
6. ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA, 1996.