

철근 콘크리트 교각의 주철근 이음방법에 따른 내진성능 평가

Evaluation of Seismic Performance for RC Bridge Piers According to Longitudinal Steel Connection Method

박진영* 정영수** 박창규*** 김영섭**** 이대형*****
Jin-Young Park Young-Soo Chung Chang-Gyu Park Young-Seob Kim Dae-Hyoung Lee

ABSTRACT

The 1995 devastating Hyogoken-Nambu earthquake sent mental shock waves that awakened the public concern about the seismic performance of infrastructures in Korea. Seismic safety of reinforced concrete bridge piers could be secured through sufficient strength and stiffness of longitudinal steels and confined core concrete, and through ductile behaviour of bridge piers in the inelastic range.

This study has been performed to verify the effect of lap spliced longitudinal steel for the seismic behavior of reinforced concrete bridge piers. Quasi-static test has been done to investigate the physical seismic performance of RC bridge piers, such as displacement ductility, energy absorption etc.

1. 서론

1995년 일본의 Kobe 지진발생 이후 국내에서는 각종 사회 기반 시설의 내진 안전성에 대한 관심이 고조되고 있다. 철근 콘크리트 교각 교각의 내진 안전성 확보를 위해서는 주철근 및 주철근 내부 코어 콘크리트의 비탄성 영역에서의 강도 및 강성확보가 매우 중요하며, 내진 거동의 정확한 예측은 지진 발생시 인명 피해를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 지진 발생 이후 교각의 보수보강에 대한 중요한 기준이 될 수 있을 것이다. 본 연구는 원형 철근 콘크리트 교각의 내진 성능에 영향을 미치고 있는 변수 중, 주철근의 이음방법에 대해 준정적 실험(Quasi-static test)을 통하여 내진 성능을 평가하고자 한다.

2. 연구내용

내진 설계 규정이 도입된 1992년 이전에 시공된 상당수의 철근콘크리트 교각은 소성힌지 구간에서 주철근이 겹침이음 되어 시공되었으리라 사료되며, 내진 설계 규정이 도입된 이후에도 현장에서 시공

* 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 박사과정

**** 정회원, 중앙대학교 건설공학과 석사과정

***** 정회원, 경도대학 건설환경공학과 조교수

상의 이유로 주철근을 겹침이음하여 시공할 가능성이 있다고 판단되어, 불가피하게 주철근에 겹침이음을 해야하는 경우 철근콘크리트 교각의 연성 확보를 위한 대안을 제시코자 본 연구를 수행하였다.

또한, 내진 설계 규정이 도입되기 이전에 시공된 교각에 주철근의 겹침이음이 있을 경우 철근콘크리트 교각의 연성능력이 어떠한 영향을 미치는 지 파악하기 위해 비내진으로 설계되고 주철근 모두를 겹침이음한 실험체(N-SP10)와 연속된 주철근을 사용한 실험체(N-SP00)를 각각 1기씩 선정하였으며, 현장에서 불가피하게 주철근에 겹침이음을 할 경우 교각의 연성능력저하를 최소화할 수 있는 방법으로 압접에 의한 주철근 이음 실험체(S-SP100-PW)를 제작하였다.

표 1 실험체 계획

구 분	실험체명	주철근 이음방법	횡방향철근 간격		축력비	주철근비	횡방향 철근비
			소성힌지	비소성힌지			
비내진	N-SP00	0 %	12.2 cm	16.8 cm	10 %	1.13 %	0.156 %
	N-SP10	100 %(겹침이음)					
내진	CS-HP50-N	0 %	5 cm	10 cm		1.50 %	1.06 %
	S-SP100-PW	100 %(압접)					

3. 실험 개요 및 하중 형태

교각의 내진성을 평가하기 위한 실험방법으로는 Quasi-static test, Pseudo-dynamic test 및 Shaking table test가 있으나, Shaking table test는 진동대 용량 및 축방향력의 적용한계로 철근 콘크리트 교각과 같은 대형구조물의 내진 성능 평가 실험으로는 적절하지 못하여 일반적으로 준정적 실험(Quasi-static test)이 많이 이용되고 있으며, 본 연구에서도 적절한 축방향력($P / (f_{ck} A_g) = 0.1$)하에서 횡방향 하중을 재하하는 준정적 실험(Quasi-static test)을 수행하였다.

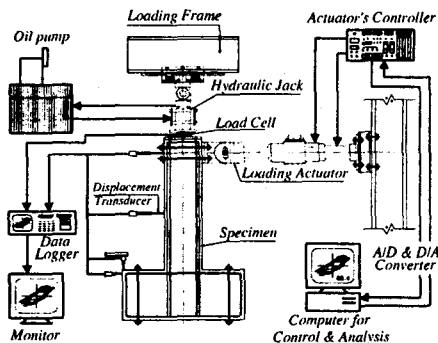


그림 1 실험 개요도

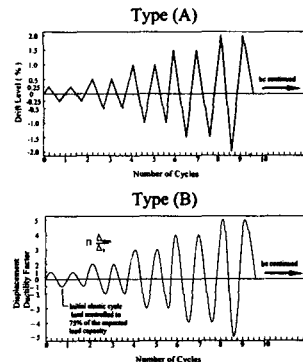


그림 2 횡방향 하중 재하 형태

준정적 실험을 위하여 그림 1과 같이 100tonf Oil jack을 이용하여 교각이 받는 상부의 사하중에 해당하는 축하중을 재하하고, 1,000kN Hydraulic actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 가력하였다. 횡방향 변위는 그림 2와 같은 형태로서 비내진 실험체는 type(A), 내진 실험체는 type(B)를 택하였으며, 기둥길이에 대한 비율(Drift Level)로 $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 3.0\%$, \pm

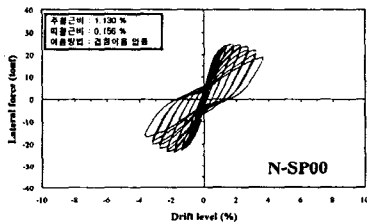
4.0%, $\pm 5.0\%$, $\pm 6.0\%$, ... 로 초기에는 급작스런 파괴를 방지하고 초기 교각의 연성도를 상세하게 관측하기 위해 $\pm 0.5\%$ 씩 증가시키고, $\pm 3.0\%$ 이후부터는 $\pm 1.0\%$ 씩 증가시키는 2Cycle 형태로 반복 재하 하였다

4. 실험 결과 분석

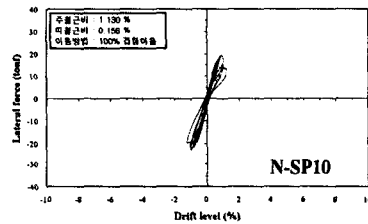
4.1. 하중-변위 이력곡선 및 포락선

그림 3 과 4에서 보는 바와 같이 비내진 실험체중 겹침이음이 없는 N-SP00는 drift level 2.0% 이후 하중이 완만하게 감소하다가 drift level 2.5% 이후 급격하게 감소하고 있으며, 모든 주철근을 겹침이음한 N-SP10 실험체는 drift level 1.0% 이후 주철근 겹침 이음부의 슬립(slip)으로 인한 급격한 하중감소 현상을 보였다.

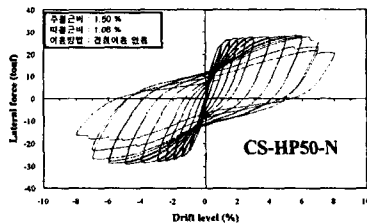
한편, 내진 실험체중 연속된 철근을 사용하지 않고 압접으로 주철근을 이음하여 제작한 S-SP100-PW 실험체는 연속된 주철근을 사용한 실험체에 상응하는 연성능력(drift level 7.0~8.0%)을 보이고 있다.



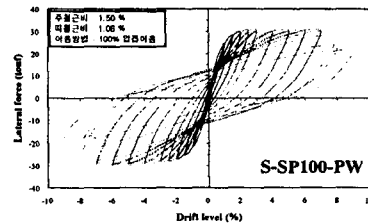
(a) 비내진 0% 겹침이음



(b) 비내진 100% 겹침이음



(c) 내진 0% 겹침이음



(d) 내진 100% 압접이음

그림 3 하중-변위 이력곡선

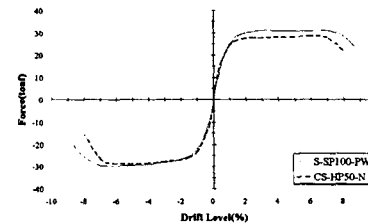
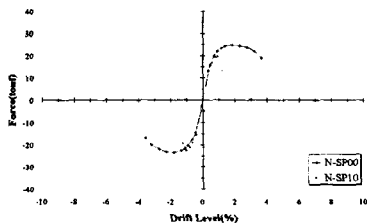


그림 4 하중-변위 포락곡선

4.2. 변위 연성도

철근콘크리트 구조물에서 연성은 구조물의 거동에 중요한 영향을 미치는데 일반적으로 철근콘크리트 구조물은 연성파괴를 유도토록 설계되며, 이는 구조물의 급작스런 파괴(취성파괴)를 방지하기 위한 것이다.

변위 연성도(μ_d)는 극한변위(Δ_u)와 항복변위(Δ_y)의 비로 나타내는데, 항복변위는 동일한 단면과 주철근량을 갖는 실험체라 하더라도 실험오차에 의해 항복변위의 차이가 발생하므로 그림 5(a)와 같이 하중-변위 포락곡선 상에서, 공칭모멘트강도(M_n)에 해당하는 횡력(V_i)을 지나는 수평선과 원점에서 공칭모멘트강도의 75%에 해당하는 횡력($0.75V_i$)을 지나는 직선과의 교점으로 정의하였으며, 극한변위는 그림 5(b)와 같이 최대하중의 80%에 도달했을 때의 변위로 정의하였다. 표 2에 각 실험체별 변위연성도를 나타내었다.

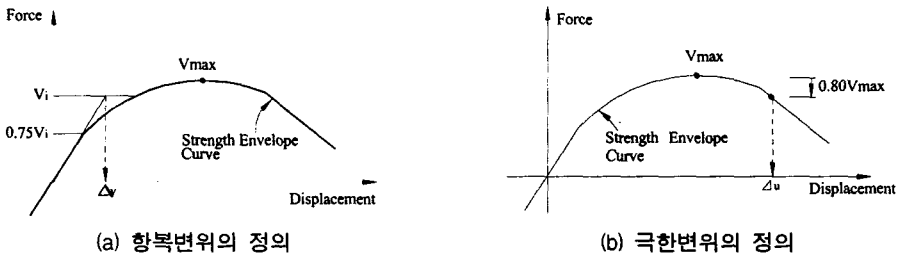


그림 5 항복 및 극한 변위
표 2 각 실험체별 변위 연성도

구 분	실험체명	주철근 이음방법	항복변위(Δ_y) (mm)	극한변위(Δ_u) (mm)	변위연성도 (μ_d)
비내진	N-SP00	0 %	12.94	87.42	6.76
	N-SP10	100 % (겹침이음)	15.51	24.70	1.59
내진	CS-SP50-N	0 %	14.36	161.66	11.26
	S-SP100-PW	100 % (압접)	14.55	168.11	11.55

표 2를 보면, 비내진 실험체중 주철근을 100% 겹침이음한 실험체는 겹침이음이 없는 실험체에 비해 연성능력이 약 1/3 정도로 저하됨을 알 수 있다. 반면, 압접으로 주철근을 이음하여 제작한 실험체는 연속된 철근을 사용한 실험체와 유사한 연성능력을 나타내었다.

한편, 한국건설기술연구원의 연구결과(2001)에 의하면, 형상비 2.67의 비내진 휨-전단 교각에 철근의 이음방법중 한가지인 커플러를 사용하여 주철근을 이음하였을 경우 연성능력은 겹침이음이 없는 실험체에 상응하게 나타나지만 가해진 수평 변위에 대해 저항하는 수평 내하력의 최대값은 겹침이음이 없는 실험체보다 낮게 나타났는데, 이는 커플러가 철근이 부담한 하중은 전달하고 있으나 이 과정에서 커플러 내부와 주변의 slip을 조금씩 동반하고 있음이 관찰되었다고 보고한 바 있다.

4.3. 에너지 흡수능력

구조물의 에너지 흡수 혹은 소산능력은 내진성능을 평가하는데 중요한 요소중의 하나이다. 따라서 에너지 소산능력의 척도로서 축적소산에너지(cumulative dissipation energy)를 분석하였으며, 소산(흡수)에너지는 그림 6에 보여 주는 바와 같이 하중-변위 이력곡선의 내부면적으로 정의하였으며, 축적소산(흡수)에너지는 내부면적의 합으로 계산하였다.

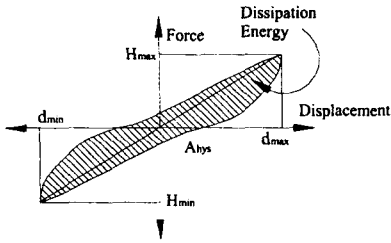


그림 6 소산(흡수)에너지의 정의

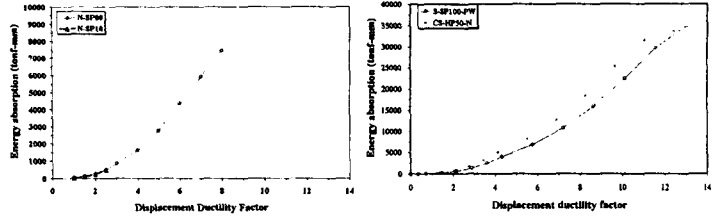
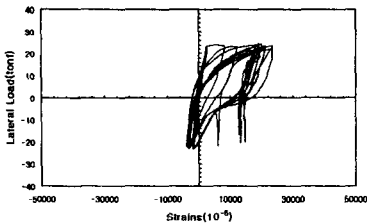


그림 7 실험체별 에너지 흡수능력

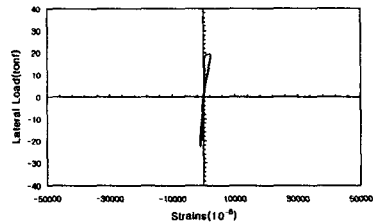
그림 7에서 보는 바와 같이 비내진 실험체중 주철근을 모두 겹침이음한 N-SP10 실험체는 에너지 흡수능력이 현저하게 낮음을 알 수 있으며, 압접으로 주철근을 이음한 실험체는 연속된 철근을 사용한 실험체와 유사한 에너지 흡수 능력을 나타내었다. 따라서, 주철근의 압접에 의한 이음이 수평 내하력의 저하를 보이는 커플러에 의한 이음보다 에너지 흡수능력 면에서 뛰어난 능력을 발휘할 것으로 사료된다.

4.4 주철근의 변형률

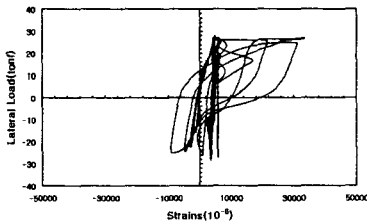
다음 그림 8에는 주철근의 하중-변형률을 나타내었다. 그림 8에서 알 수 있듯이 압접에 의한 주철근의 이음은 상당히 안정적인 형태를 보이고 있으며 이는 압접에 의해 주철근에 돌기가 형성되고 이러한 돌기는 기계적 작용으로 효과적인 하중전달작용을 하는 것으로 사료된다. 한편, 겹침이음에 의한 주철근의 접이음은 $250 \mu \epsilon$ 에서 슬립(slip)이 발생하였으며 이는 주철근의 응력이 약 525 kgf/cm^2 에 도달하였을 때이다. 즉, 주철근의 항복이전에 슬립(slip)이 발생하는 것으로 조사되었다.



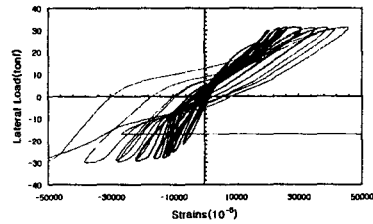
(a) 비내진 0% 겹침이음



(b) 비내진 100% 겹침이음



(c) 내진 0% 겹침이음



(d) 내진 100% 압접이음

그림 8 실험체별 주철근의 변형률

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 비내진 설계된 철근콘크리트 교각에 주철근이 100% 겹침이음 되어 있을 경우 연성능력이 연속된 주철근을 사용한 교각에 비해 1/3 수준으로 저하됨을 알 수 있다. 따라서, 내진규정이 도입되기 이전에 시공된 주철근에 겹침이음이 있을 것으로 판단되는 교각에 대해서는 시급한 현황조사와 적절한 보강이 이루어져야 할 것으로 사료된다.
2. 부득이 하게 주철근에 겹침이음을 해야 하는 경우 압접으로 이음을 하면 연성능력의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단되나, 횡방향 하중을 받는 철근콘크리트 교각의 철근 이음방법에 대한 더 많은 연구와 실험이 수행된 후 이음방법에 대한 기준이 정립되어야 할 것으로 사료된다.
3. 철근콘크리트 교각의 내진성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 1차적으로 주철근의 이음방법에 따라 차이를 보이며 띠철근량은 연성의 확보에 2차적으로 관여하는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 지진공학센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원(과제번호 2000G0302)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 도로교 설계기준(2000), 한국도로교통협회.
2. 이강균(1998) 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험, 1998년도 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp. 615-620.
3. 정영수 외 3인(2001) 준정적실험에 의한 겹이음된 철근콘크리트 교각의 내진성능 평가, 2001년도 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp. 877-882.
4. 이대형, 원형 콘크리트교각의 내진성능 평가에 관한 이론 및 실험적 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 1999.12.
5. 박종협, 유사동적실험에 의한 원형 철근콘크리트교각의 내진성능평가, 중앙대학교 박사학위논문, 2001.6.
6. 이재훈 외 3인(2001) 겹침이음 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구, 2001년 봄학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp.553-558.
7. 김병석 외 7인(2001) 교각 내진성능 평가 및 교량 비선형 내진해석프로그램 개발, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연 2001-078.