

겹침이음 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능

Seismic Performance of RC Bridge Columns with Longitudinal Steel Lap Splice

이재훈* 손혁수** 석상근*** 정철호****
Lee, Jae-Hoon Son, Hyeok-Su Seok, Sang-Geun Jung, Chul-Ho

Abstract

Recent destructive seismic events demonstrated the importance of mitigating human casualties and serious property damages in design and construction of structures. The Korean Bridge Design Specifications (1992) adopted seismic design requirements based on the AASHTO specification, and minor modification was made in 2000. The longitudinal steel connection of reinforced concrete bridge column is sometimes practically unavoidable. The longitudinal reinforcement details affect seismic performance such as flexural failure and shear failure. This research aims to develop longitudinal steel connection details with confinement steel by experimental study for seismic performance of reinforced concrete bridge columns. Quasi-static test under three different axial load levels was conducted for 12 spiral column specimens. All the column specimens had the same aspect ratio of 3.5. The column specimens were transversely reinforced with spiral and with five different longitudinal steel connection. The final objective of this study is to suggest appropriate longitudinal reinforcement connection details for the limited ductility design concept and improve construction quality.

1. 서론

1971년 San Fernando지진, 1987년 Whittier지진, 1989년 Loma Prieta지진, 1995년 Kobe지진 시 철근콘크리트 교각이 전단파괴나 종방향철근의 겹침이음 부족으로 인한 부착파괴에 의해 손상을 받은 사례가 매우 많았다. 이에 대하여 외국 강진지역의 내진설계기준은 종방향철근의 연결방법에 대하여 엄격하게 규정하고 있다.

우리나라의 경우에는 중·약진 지진지역임에도 불구하고 강진 지진지역의 미국 내진설계지침을 수용함으로써, 철근콘크리트교각에 대하여 소성거동을 보장하기 위한 철근상세를 규정하고 있다. 국내의 경우 종방향철근의 연결상세에 대하여 구체적인 규정이 없는 관계로 이에 대해 실무자들이 외국 강진규정을 적용하여 종방향철근의 겹침이음을 피하고 설계를 하고 있다. 그러나 국내의 교각이 높아지는 추세로 소성힌지 구간에서 종방향철근을 겹침이음하여 시공하여 왔다.

* 영남대학교 토목도시환경공학부 부교수, 정회원

** 영남대학교 토목공학과 박사수로

*** 영남대학교 토목공학과 박사과정

**** 영남대학교 토목공학과 석사과정

따라서, 우리나라와 같은 중·약진 지진지역에서는 한정연성설계를 허용하고 이에 부합할 수 있는 종방향철근 내진상세를 제시한다면 경제적인 설계를 유도할 수 있으며, 철근콘크리트교각의 시공성을 개선하여 효과적으로 내진성능을 확보할 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 한정연성설계에서 허용할 수 있는 종방향철근 연결상세를 결정하는 연구와 종방향철근 연결상세에 따른 내진거동 연구가 수행되었다.

2. 시험체 제작 및 재하실험

2.1 시험체 제작

본 연구에서는 종방향철근의 겹침이음 상세에 따른 보통강도 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여 단면의 직경 40cm, 부재의 총길이 210cm인 원형단면 시험체 12개를 제작하였다. 시험체의 제원을 보면 표 1과 같다.

표 1. 시험체 변수 및 제원

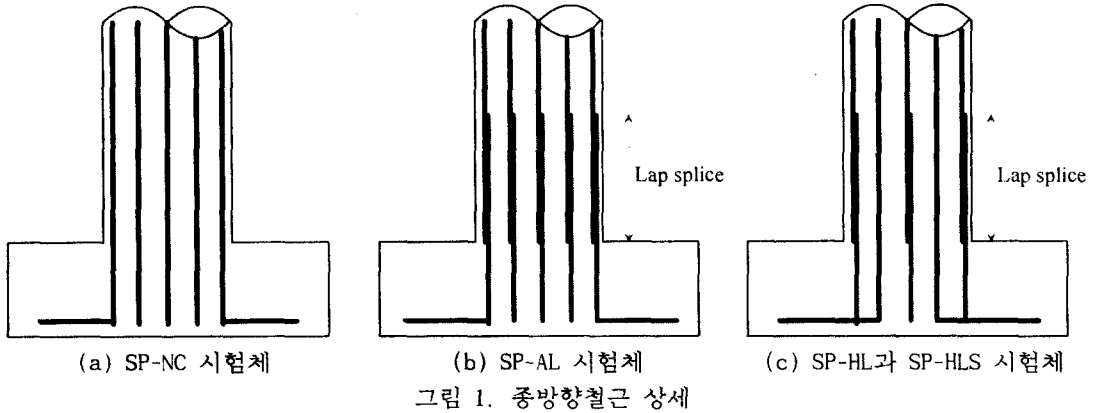
구분	번호	시험체명	종방향철근상세	횡방향철근비 및 간격	
Group I	1	SP-NC-10	겹침이음 없음	$\rho_s = 0.396\%$ 간격 20cm (비내진규정)	
	2	SP-NC-20			
	3	SP-NC-30			
Group II	4	SP-AL-10	100% 겹침이음		
	5	SP-AL-20			
	6	SP-AL-30			
Group III	7	SP-HL-10	50% 겹침이음		
	8	SP-HL-20			
	9	SP-HL-30			
Group IV	10	SP-HLS-10	50% 겹침이음		$\rho_s = 0.99\%$ 간격 8cm (내진규정)
	11	SP-HLS-20			
	12	SP-HLS-30			

2.2 종방향철근의 상세

표 1에서, 본 연구의 주요변수인 종방향철근의 겹침이음에 따른 시험체별 분류를 보면, 겹침이음을 한 시험체와 성능을 비교하기 위하여 겹침이음이 없는 시험체를 제작하였고, 등가소성힌지구간내에 종방향철근의 1/2을 겹침이음한 시험체와 전 철근을 겹침이음한 시험체로 분류를 하였다. 종방향철근 상세에 따른 시험체를 보면 그림 1과 같다.

2.3 횡방향철근

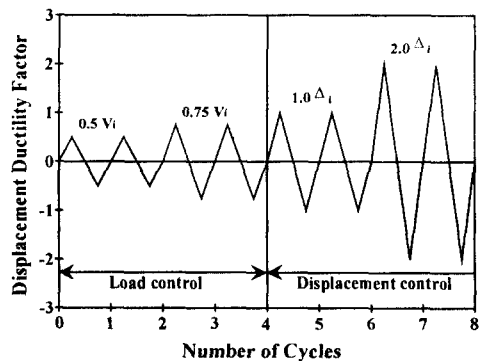
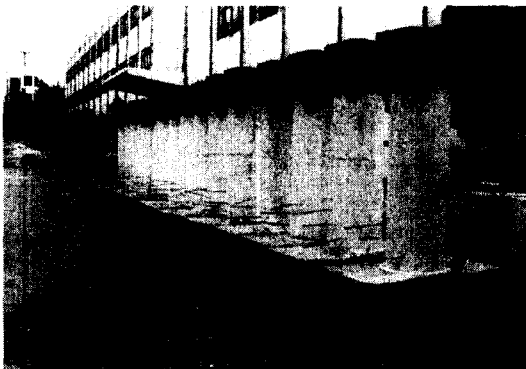
시험체 모두 횡방향철근은 나선철근으로 제작하였으며, $\rho_s = 0.396\%$ 의 횡방향철근비는 현행 도로교설계기준의 비내진규정을 적용한 양이고, 내진규정 적용시의 성능과 비교하기 위하여 $\rho_s = 0.99\%$ 인 시험체를 제작하였으며 이 횡방향철근의 양은 도로교설계기준의 내진규정의 양과 동일하다. 비내진규정의 횡방향철근비는 내진규정 횡방향철근비의 약 40%에 해당하는 비이다.



2.4 재하시험

원형단면 철근콘크리트 교각의 내진성능 실험으로 부재에 일정한 축력을 가한 상태에서 횡방향 하중을 반복적으로 가력하는 준정적(Quasi-static) 재하실험을 수행하였다. 횡방향 하중은 MTS사의 50ton 용량의 actuator를 이용하여 가력하였고, 일정한 축력을 가하기 위해 유압잭 2개를 기둥 상단부에 설치하여 $\phi 38\text{mm}$ 의 강봉을 이용하여 축력을 재하하였으며, 상단부에 100ton 용량의 Load cell 2개를 설치하여 축력을 측정하였다. 횡력과 축력이 변화하는 것을 제어하기 위해 Setting 장치 바닥판에 2개의 힌지(hinge)를 설치하였다.

실험시에 횡방향 처짐량을 측정하기 위하여 시험체의 상단부에 시험체의 직각방향으로 3개의 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 소성힌지부분의 곡률을 측정하기 위하여 시험체의 길이방향으로 가력방향과 가력방향의 반대면에 3개씩 총 6개의 변위계(LVDT)를 설치하였다. 종방향철근과 횡방향철근에는 철근의 변형률을 측정하기 위하여 5mm 철근용 변형률계이지를 부착하였다.



수평력 재하는 그림 2와 같이 각각의 하중과 변위에 대하여 2cycle씩 재하하였고, 처음에는 하중제어를 하여 항복변위(Δ_I)를 구한 후, 결정된 항복변위를 기준으로 변위제어방식으로 횡변위를 증가시키며 가력하였다.

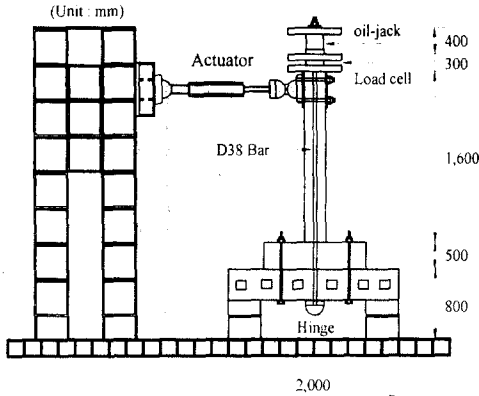


그림 3 시험체 setting 상세도

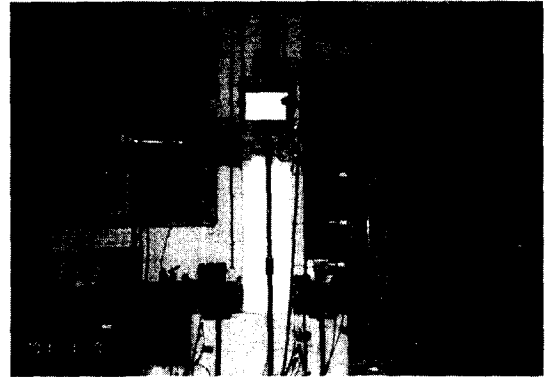


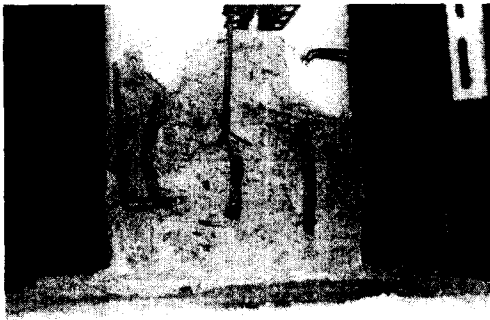
사진 2. 재하실험

3. 실험결과 및 분석

실험결과로 축력비, 종방향철근의 겹침이음 상세, 횡방향철근의 양 및 간격을 변수로 비교분석하였다.

3.1 파괴양상

12개 원형단면 시험체의 전반적인 균열 및 파괴양상을 요약하면 다음과 같다. 초기균열은 하중 제어 단계인 0.5V_i와 0.75V_i 일 때 기둥 하단부에서 20~30cm 부근에 주로 발생하였고, 횡방향철근의 위치에서 발생하였다. 그 후 휨균열이 계속 진전되면서 2 Δ_i 일 때 초기전단균열이 발생하였다. 시공이음부에서의 초기균열은 1~2 Δ_i 일 때 발생하였으며, 콘크리트의 초기스폴링은 2 Δ_i 두 번째 cycle에서 3 Δ_i 정도일 때 모두 압축연단에서부터 시작되었으며, 초기스폴링이 발생한 후 기둥전면에서 수직균열이 발생하면서 콘크리트 덮개가 박리되기 시작하였다. 종방향철근의 좌굴과 파단현상은 거의 모든 시험체가 5~6 Δ_i의 변위단계에서 관찰되었다. 겹침이음을 한 시험체에서 종방향철근의 좌굴은 기둥연결철근에서 발생하였으나 파단현상은 발생하지 않았다. 그러나, 겹침이음이 없는 시험체는 종방향철근의 좌굴뿐만 아니라 파단도 발생하였다. 시험체별 파괴양상을 보면 사진 3과 같다.



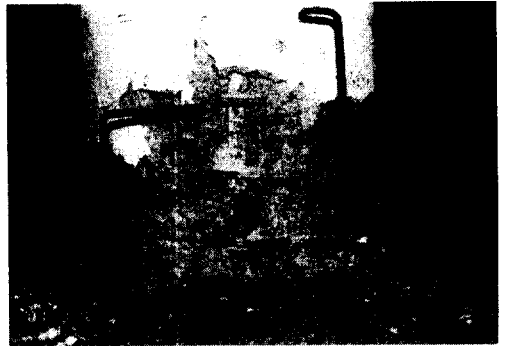
(a) SP-AL 시험체



(b) SP-HL 시험체



(c) SP-HL 시험체



(d) SP-HLS 시험체

사진 3. 시험체별 파괴양상

3.2 하중-변위 이력곡선

3.2.1 축력비에 따른 거동

그림 4는 50% 겹침이음 한 시험체(HL)의 하중-변위 이력곡선을 나타내는데, 축력이 높을수록 최대항력강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또, 축력비가 0.1인 시험체는 항복이후에도 강도감소가 완만하지만, 축력비가 0.3인 시험체는 강도감소가 급격한 것으로 나타났다. 다른 시험체도 이와 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다.

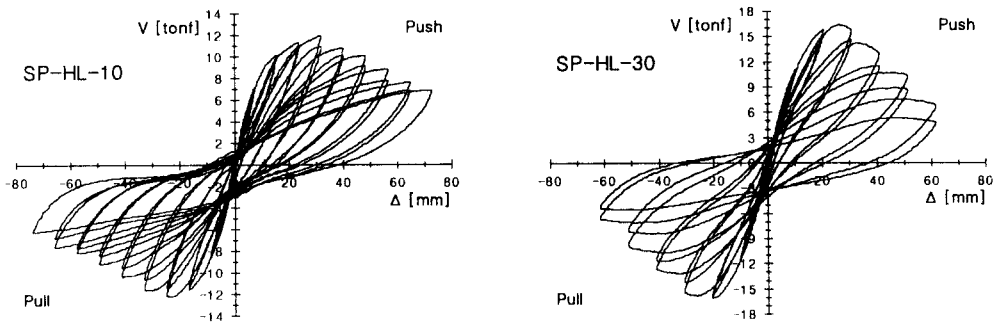


그림 4. SP-HL 시험체의 하중-변위 이력곡선

3.2.2 종방향철근의 겹침이음 상세에 따른 거동

종방향철근의 겹침이음 유무와 상세에 따라 NC, AL, HL, HLS와 같이 분류하였다. 그에 따른 거동을 살펴보면, 종방향철근의 50%를 겹침이음 한 HL 시험체가 겹침이음이 없는 NC 시험체와 성능이 유사한 것으로 판단되었다. 또, 100% 겹침이음을 한 AL 시험체는 최대항력 이후 강도감소가 급격한 것으로 나타났다.

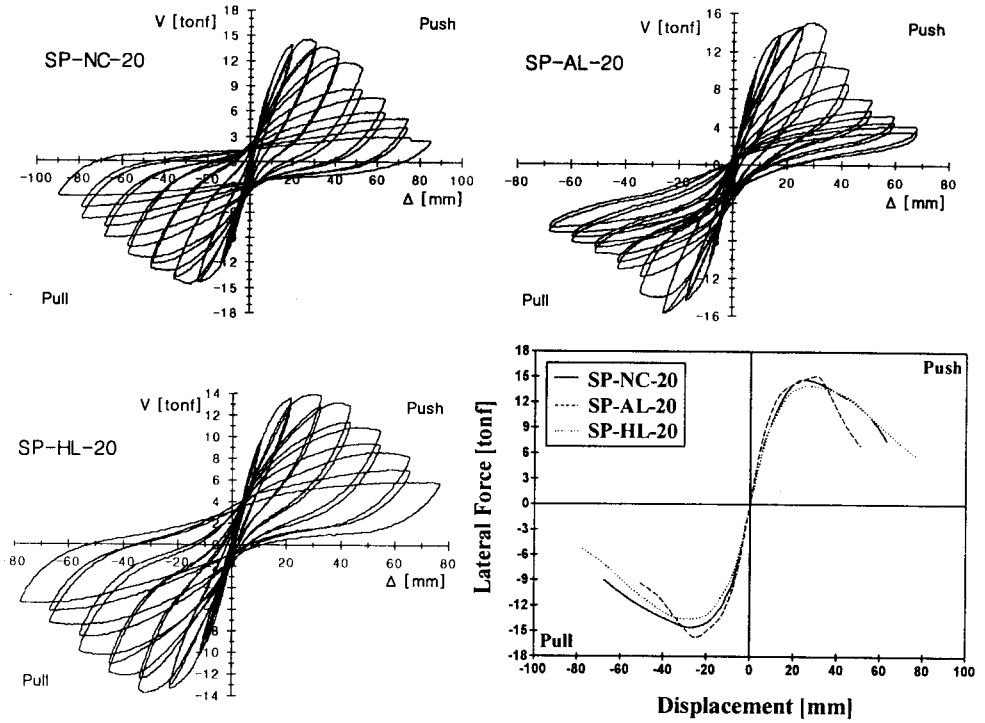


그림 5. 하중-변위 이력곡선 및 포락선

3.2.3 횡방향철근의 간격 및 양에 따른 거동

2000년 도로교설계기준의 비내진규정을 적용하여 횡방향철근을 사용한 HL 시험체와 내진규정을 적용한 HLS 시험체의 하중-변위 이력곡선 및 포락선을 그림 6과 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 최대항력은 유사한 것으로 판단되었다. 최대항력 이후 강도감소는 HL 시험체가 다소 급격한 경향을 보이는데, 축력비가 클수록 그 경향이 현저하였다.

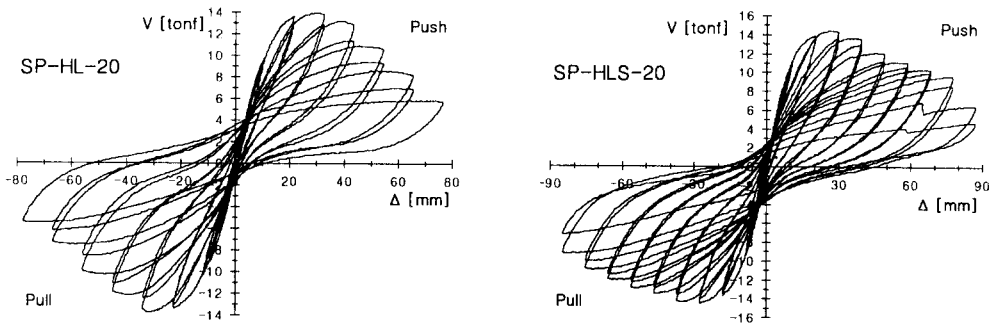


그림 6. HL과 HLS 시험체의 하중-변위 이력곡선

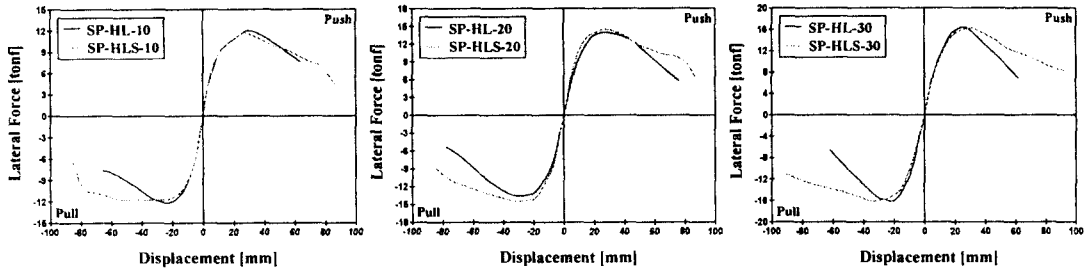


그림 7. 횡방향철근의 간격 및 양에 따른 거동 비교

3.3 변위연성계수

종방향철근의 겹침이음의 상세에 따른 변위연성을 비교하면 그림 8과 같다. 축력비가 증가할수록 연성이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 겹침이음 상세에 따라 연성의 차이를 볼 수 있다. 또, 횡방향철근의 간격 및 양에 따른 연성계수의 차이를 보면, 내진규정의 횡방향철근비의 40%를 사용한 시험체도 3.9이상의 연성을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

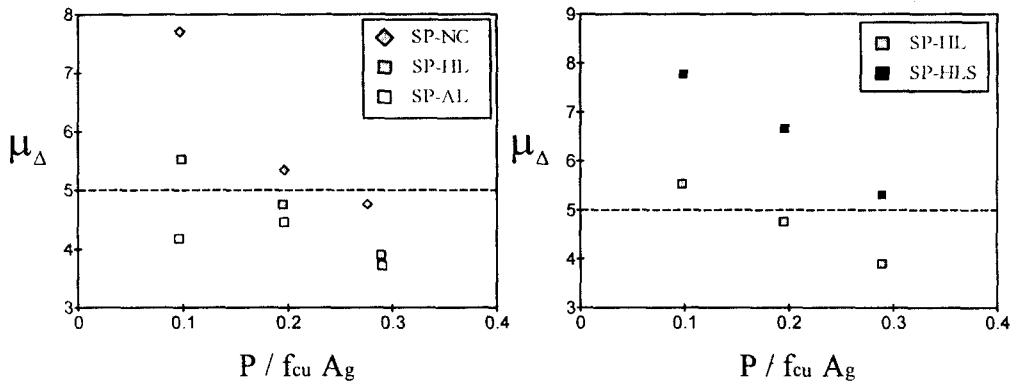


그림 8. 시험체별 변위연성계수

4. 결론

본 연구는 종방향철근의 겹침이음 상세에 따른 내진성능을 평가하기 위한 실험으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 철근콘크리트 기둥 시험체에 대한 내진성능 실험을 통하여 축력비, 종방향철근의 겹침이음 상세, 횡방향철근의 간격 및 양에 따른 내진성능의 경향을 파악하였다. 실험결과 분석을 통하여, 종방향철근을 겹침이음한 시험체도 어느정도의 성능을 가지고 있는 것으로 판단된다.
- 2) 종방향철근의 50%를 겹침이음 한 시험체는 무이음 시험체와 성능이 유사한 것으로 나타났으며, 100% 겹침이음 한 시험체보다 최대횡력 이후 강도감소가 완만하였다.
- 3) 횡방향철근량에 있어서 비내진규정을 적용한 시험체와 내진규정을 적용한 시험체를 비교해 볼 때 축력비가 낮을 때는 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 3.9이상의 연성능력을 보이는 것으로 판단된다. 축력비가 높을수록 비내진규정을 적용한 시험체는 강도감소가 급격한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 및 지진공학연구센터의 연구비 지원으로 수행되었기에 이에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 2000.
2. 한국도로교통협회, 지진공학연구센터, "도로교설계기준", 2000.
3. ATC-32, "Improved Seismic Design Criteria for California Bridges : Provisional Recommendations," *Applied Technology Council*, California, USA, 1996.
4. Eurocode 8 Part 2, "Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures - Bridges," *European Committee for Standardization*, 1996.
5. AASHTO, "Standard Specifications for Highway Bridges," *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 16-th edition, Washington, D.C., USA, 1995.
6. Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M., *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.
7. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1992.
8. 이재훈, "철근콘크리트 교각의 내진설계 예제 및 해설", 한국도로공사 세미나, 1999. 2.
9. Riyad S. Aboutaha, "Experimental Investigation of Seismic Repair of Lap Splice Failure in Damaged Concrete Columns", *ACI Structural Journal*, 3-4. 1999. pp. 297-306.