Macro해석모델에 의한 RC교각의 내진 성능 평가

Seismic Performance Evaluation of RC Bridge Piers by Macro Mathematical Model

이대형* 박창규** 김현준** 정영수***
Lee, Dae Hyoung Park, Chang Kyu Kim, Hyun Jun Chung, Young Soo

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate of seismic performance for reinforced concrete bridge piers with lap splices of longitudinal reinforcement steels using predict of nonlinear hysteric behavior. For the purpose, analytical trilinear hysteretic model has been used to simulate the force displacement hysteretic curve of RC bridge piers under repeated reversal loads. The moment capacity and corresponding curvature in the plastic hinge have been determined, and the enhanced hysteretic behavior model by five different kinds of branches has been proposed for modeling the stiffness variation of RC section under cyclic loading. The strength and stiffness degradation index are introduced to compute the hysteretic curve vary confinement steel ratio. In addition, the modified curvature factor has been introduced to forecast of seismic performance of longitudinal steel lap spliced and retrofitted specimens.

1. 서론

철근콘크리트 교각은 주철근비, 횡구속철근비, 축력 및 형상비(Aspect ratio)에 의해 각기 다른 파괴양상과 연성을 보이고 있다. 그러나, 모든 실험변수에 따른 내진성능을 실험적으로 평가하는데는 한계가 있으므로 해석적인 접근이 불가피하다. 지진에 의한 교각피해의 대부분은 휨 및 전단내력의 부족에 기인하므로 내진설계시 예측되는 교각의 소성힌지부는 충분한 연성을 확보할 수 있도록 설계한다. 본 연구에서는 주철근 겹침이음이 있는 철근콘크리트 교각의 Macro 수치해석모델을 개발하고 기존 교각 실험결과를 토대로 주철근의 겹침이음과 섬유보강을 실험변수로 철근콘크리트 교각의 이력거동 모델을 검증하였다. 또한, 해석모델을 이용하여 교각의 내진안정성을 평가하고자 하였다.

2. 반복하중에 의한 철근콘크리트 교각 실험

2.1 실험개요

본 연구의 해석기법 및 타당성을 검증하기 위하여 반복이력하중에 의한 철근콘크리트 교각의 내진성능을 준정적실험을 통하여 평가하였다. 실험체 상세는 표1에 나타낸 바와 같으며 휨파괴를 유도하기

* 정회원 · 경도대학 건설환경과 교수 · dhlee@gpc.ac.kr
** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정수료
*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정
**** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수

위하여 형상비(Aspect Ratio)를 4.0으로 결정하였다.

표 1 실험체상세

Specimen	Concrete Strength (MPa)	Longitudinal Reinforcement Steel			Transverse Reinforcement Steel			Axial Load (kN)	Retrofit
		f_y (MPa)	ρ_l	Detail	f_y (MPa)	ρ_s	Spacing (mm)		
N-SP00-P1-R0	29	450	0.0113	Continuous	353	0.00156	122	664.4 ($P/f_{ck}A_g$ = 0.1)	None
N-SP05-P1-R0				Starter bars 50%		0.00156	122		
N-SP05-P1-R1				Starter bars 50%		0.00156	122		SEH 51
N-SP05-P1-R2				Starter bars 50%		0.00156	122		CAFGL1000
L-SP00-P1-R0				Continuous		0.00622	50		None
S-SP00-P1-R0				Continuous		0.014	30		

Note) N : Nonseismic design L : Limited ductile design S : Seismic design
SP00 : 0% Lap splice SP05 : 50% Lap splice
R0 : Non retrofit R1 : Retrofitted with SEH 51 R2 : Retrofitted with CAFGL 1000

2.2 실험결과분석

주철근의 겹침이음에 따른 시험체를 비교한 결과, 다음 그림 1(a)과 같이 50% 주철근 겹침이음된 시험체의 경우 주철근 겹침이음부의 부착파괴(bonding failure)에 의한 급격한 횡하중 감소를 보였다. 50%겹침이음된 시험체의 경우 유리섬유 등을 이용하여 적절한 횡구속력을 발휘하도록 보강 할 경우 충분한 연성능력을 회복하는 것으로 평가되었다. 다음 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 주철근의 겹침이음은 극한변위의 저하를 야기하였다. 하지만, 겹침이음된 시험체를 보강할 경우 극한변위가 겹침이음이 없는 기준시험체와 거의 유사한 것으로 조사되었다.

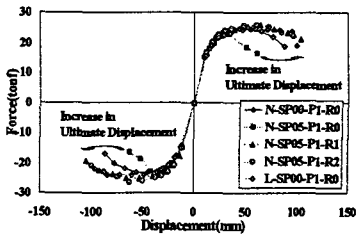


그림 1 하중-변위 포락곡선

3. 겹침이음 및 보강실험체의 모멘트-곡률 관계

그림 1에서와 같이 주철근 겹침이음된 교각의 포락곡선에서 항복변위와 극한하중시 변위의 비율은 겹침이음이 없는 시험체에 비해 줄어드는 경향을 보이고 있다. 다음 표 2는 겹침이음과 보강이 항복변위와 최대하중에서의 변위와의 비율에 미치는 영향을 나타내었다. 주철근 50% 겹침이음의 영향으로 인하여 기준시험체에 비해 33%정도 감소하였으나 겹침이음 시험체를 보강할 경우 기준시험체에 비해 40%이상 그 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 이러한 관계를 해석모델에 반영하기 위하여 본 연구에서는 겹침이음시험체의 내진성능을 평가하기위해 다음 식(1)과 같이 겹침이음 및 보강시험체의 모멘트 곡률관계를 수정하기위한 수정계수 γ를 도입하였다.

$$\phi_{u,lap} = \gamma_1 \phi_u, \quad \phi_{u,ret} = \gamma_2 \phi_u \tag{1}$$

여기서, $\phi_{u,lap}$는 겹침이음에 따른 극한변위이고, $\phi_{u,ret}$는 보강에 따른 극한변위를 나타낸다.

표 2 항복변위 및 극한하중에서의 변위

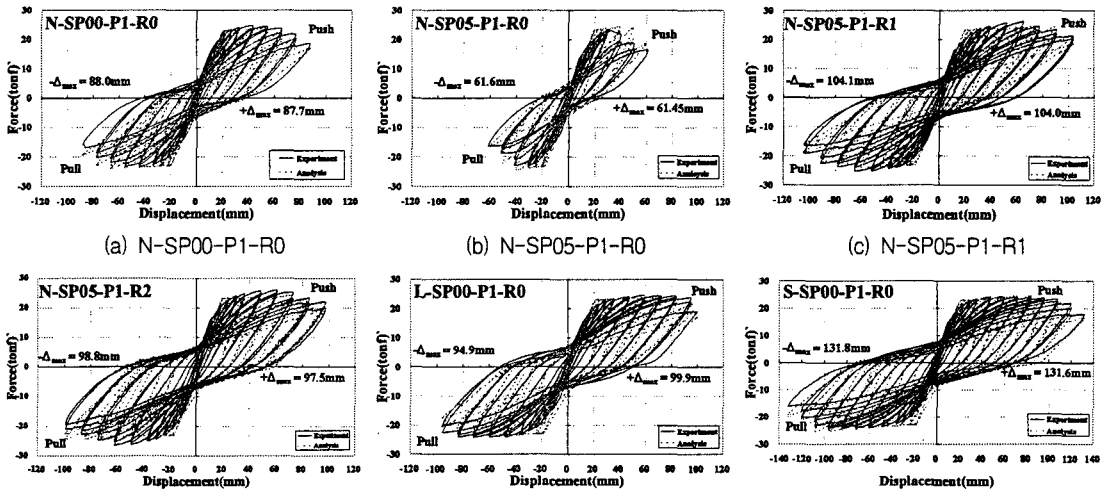
Specimens	Yield displ.(1)	Displ. at Max. lateral force(2)	Ratio (2)/(1)	Variation
N-SP00-R0	12.94	43.48	3.36	
N-SP05-R0	13.59	30.38	2.24	67%
N-SP05-R1	13.77	64.55	4.69	140%
N-SP05-R2	12.39	60.44	4.88	145%

4. 내진성능평가

4.1 실험 및 해석결과

본 연구에서는 그림 1 및 표 1과 같은 물성을 갖는 철근콘크리트 교각에 대하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석결과와 실험결과를 비교하였다. 그림 2(a)는 주철근 겹침이음이 없는 실험체(N-SP00-P1-R0)로 강도 및 강성감소 지수는 각각 3.5와 0.58을 사용하였다. 강도 및 강성감소지수의 결정은 준정적실험을 위하여 변위제어하중을 재하 하였으므로 동일한 변위에서의 횡방향 하중이 실험결과와 일치하는 강도 및 강성감소지수를 찾아 결정하였다. 그림 2(b)는 주철근이 50%겹침이음된 실험체(N-SP05-P1-R0)로서 철근콘크리트 교각의 내진성능에 상당한 영향을 미치는 변수인 주철근비, 구속철근비 및 축하중비가 N-SP00-P1-R0 실험체와 동일하므로 같은 강도 및 강성감소지수를 사용하였다. 한편, 주철근의 겹침이음 및 보강의 영향을 고려하기 위하여 곡률수정계수(Modified curvature factor), γ_1 및 γ_2를 도입하여 강도 및 강성감소지수를 결정하는 방법과 마찬가지로 곡률수정계수를 찾았으며 N- SP00-P1-R0 실험체의 경우 0.45를 사용하였다.

그림 2(c),(d)는 유리섬유로 보강된 실험체에 대한 실험 및 해석결과이다. 그림 2(c)는 TYFO SEH 51, 그림 2(d)는 CAF GL 1000으로 보강된 시험체이다. 상세한 보강재료의 물성은 이대형등[3]에 나타내었다. 보강된 실험체(N-SP05-P1-R1,R2)의 구속철근비는 겹침이음된 실험체(N-SP05-P1-R0)와 같으므로 동일한 강도 및 강성감소지수를 사용하였으며 곡률수정계수, γ_2는 보강섬유에 의한 심부구속효과를 고려할 수 있도록 하였다. 보강실험체의 곡률수정계수는 각각 1.1 및 1.5를 사용하였다. 곡률수정계수의 차이는 TYFO SEH-51의 인장강도가 549Mpa, CAF GL 1000의 인장강도가 490Mpa이며 마찬가지로 섬유의 두께가 각각 1.3 및 1.0mm로 TYFO SEH-51을 이용하여 보강한 실험체(N-SP05-P1-R1)가 상대적으로 큰 구속효과를 갖기 때문으로 판단된다.



(a) N-SP00-P1-R0 (b) N-SP05-P1-R0 (c) N-SP05-P1-R1

(d) N-SP05-P1-R2 (e) L-SP00-P1-R0 (f) S-SP00-P1-R0

그림 2 실험 및 해석결과 비교

4.2 강도감소지수, 강성감소지수 및 곡률수정계수 평가

철근콘크리트 교각의 연성능력에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있다. 그 중 가장 영향이 큰 요인은 구속철근비, 주철근비 및 축하중비이다. 따라서, 본 연구에서는 구속철근비 즉, 횡방향 철근비에

따른 강도 및 강성 감소지수를 평가하였다. 또한, 동일한 주철근비, 구속철근비 및 축하중비를 갖는 철근콘크리트 교각에서 겹침이음 및 보강에 따른 곡률수정계수의 경향을 분석하였다.

그림 3는 구속철근비에 따른 강도 및 강성감소지수의 변화를 나타내었다. 강도감소지수는 구속철근비가 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만, 강성감소지수의 경우에는 구속철근비가 증가할수록 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

그림 4은 주철근의 겹침이음 및 보강에 따른 곡률수정계수와 항복변위와 최대하중에서의 변위의 비율을 나타내었다. 곡률수정계수는 겹침이음이 없는 시험체(N-SP00-P1-R0)를 기준($\gamma = 1$)으로 하여 50% 주철근겹침이음시험체(N-SP05-P1-R0)는 0.45이며 보강된 시험체(N-SP05-P1-R1,2)는 각각 1.1과 1.5를 보이고 있다. 또한, 변위비율과 곡률수정계수는 비슷한 경향을 보이고 있다.

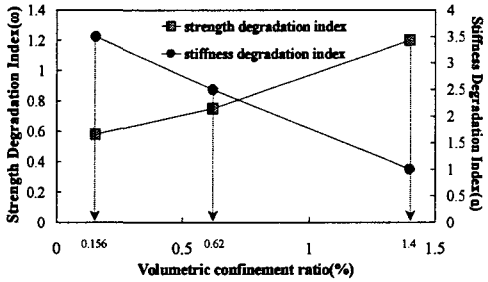


그림 3 강도 및 강성감소지수

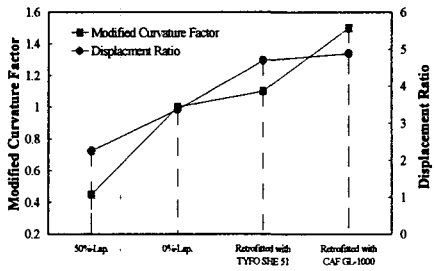


그림 4 곡률수정계수

5. 결 론

본 연구에서는 수치해석 결과와 실험결과를 비교하여 강도감소 및 강성감소 지수를 제안하고 겹침이음과 보강에 따른 수정곡률계수(Modified curvature factor)를 제안하였다. 합리적인 강도감소지수는 해석대상모델의 연성능력을 정확하게 예측 가능하게 하였으며 강성감소지수를 도입함으로서 철근콘크리트 교각의 Pinching effect를 고려할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업 (과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이대형(1999), "원형 콘크리트교각의 내진 성능 평가에 관한 이론 및 실험적 연구", 중앙대학교 박사학위논문.
2. 이대형, 정영수(2000), "원형철근콘크리트 교각의 강성 및 강도감소지수 결정", 한국지진공학회 논문집, 제4권 2호, pp73 81.
3. 이대형, 정영수, 이재형, 송호진(2002), "주철근 겹침이음된 형상비 4.0의 원형철근콘크리트 교각의 내진성능평가", 대한토목학회 논문집, Vol. 22, No. 5-A, pp.1193~1202.
4. Chung, Y.S., "Automated Seismic Analysis and Design of Reinforced Concrete Frames", Ph.D. Thesis, Columbia University, 1988.