

반복 하중을 받는 철근콘크리트 보의 전단 연성

Shear Ductile Capacity of Reinforced Concrete Beams Subjected to Reversed Cyclic Loading

나현종^{*}
Na, Hyun-Jong

이정윤^{**}
Lee, Jung-Yoon

황현복^{***}
Hwang, Hyun-Bok

ABSTRACT

This paper provides a method to predict the ductile capacity of reinforced concrete beams that fail in shear after flexural yielding. The proposed method takes into account shear strength deterioration in the plastic hinge region of RC beams. The shear contribution of the concrete in the plastic hinge region decreases after flexural yielding of the beam due to a decrease in the effective compressive strength of the concrete. To verify the shear strength and the corresponding ductility of the proposed method, 8 RC beams were tested under reversed cyclic loading.

1. 서론

철근콘크리트 구조물에 대한 내진 설계개념에서는 접합부에 인근한 보에 소성힌지가 발생하도록 유도하고 있다. 커플링 보와 전단 스패니가 작은 보에 경우는 전단강도가 휨 항복강도보다 크게 설계되었음에도 불구하고 전단에 의해 그 거동특성이 지배된다. 그림 1은 2.5에 작은 전단 스패니를 가진 실험체 BS1이 반복되는 휨과 전단을 받았을 때의 하중 처짐 곡선이다. 휨 항복 후 보 양단에 소성힌지가 형성되고 이는 보의 갑작스런 파괴를 초래한다. 이렇듯 상대적으로 작은 스패니를 가진 보에 경우는 심각한 펀칭 효과 때문에 큰 스패니의 보에 비하면 에너지 소산이 상대적으로 작다. 반복 하중을 받는 작은 전단 스패니를 가진 보에 경우는 휨 항복 후 전단 강도뿐 아니라 구조물에 연성에 대해서도 살펴보아야 한다. 철근콘크리트 보에 관한 연구는 전단강도에만 치중되어 있을 뿐 연성이나 전단 파괴 모드에 대한 연구가 미흡하다.

선행연구²⁾에서 소성힌지 구역에 콘크리트 전단력은 휨 항복후에 감소함이 검증되었다. 이는 그림 2에서 볼 수 있듯이 휨 항복후 부재 단면의 축 방향 변형률 ϵ_1 이 갑자기 증가하고 ϵ_1 에 증가는 소성힌지 구역에 전단 균열의 폭을 크게 한다. 이에 따라 균열 직각방향 변형률 ϵ_1 도 증가한다. Collins, Hsu³⁾에 의한 연구에서 콘크리트에 유효 압축강도 $\nu f'_c$ 는 ϵ_1 에 증가에 따라 감소한다. 그러므로 전단 스패니(M/Vd)가 작은 철근콘크리트 보에 경우는 휨 항복 후 갑작스런 ϵ_1, ϵ_1 에 증가 때문에 $\nu f'_c$ 가 감소하게 될 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 주철근을 주요 변수로 하여 철근콘크리트 보에 전

* 정회원, 성균관대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 조교수

*** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 박사과정

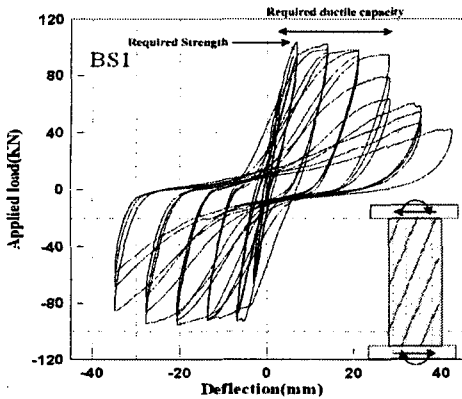


그림 1 BS1 실험체 하중 처짐 곡선

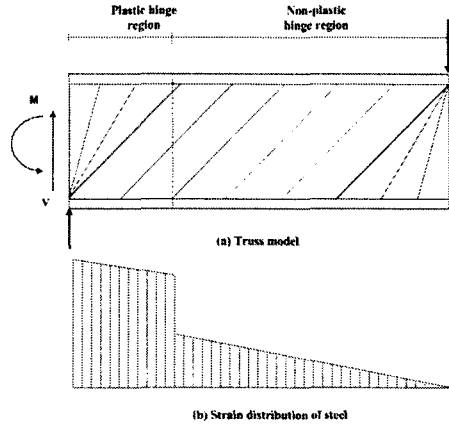


그림 2 소성힌지에 따른 축 방향 변형률

실험체	d (mm)	a (mm)	a/d	인장철근			전단철근			콘크리트 항복 강도
				대수 및 배근	철근비 (%)	항복 강도 (MPa)	철근 및 간격	철근비 (%)	항복 강도 (MPa)	
B1	262	655	2.5	4-D16 1단 배근	1.21	584.0	D10 @70	0.81	561.0	$f'_c = 30 \text{ MPa}$
B2	244	610	2.5	5-D16 2단 배근	1.63	584.0	D10 @70	0.81	561.0	
B3	247	618	2.5	6-D16 2단 배근	1.93	584.0	D10 @70	0.81	561.0	
B4	240	600	2.5	8-D16 2단 배근	2.65	584.0	D10 @70	0.81	561.0	
BS1	264	660	2.5	4-D13 1단 배근	0.77	418.0	D10 @130	0.44	561.0	
BS2	262	655	2.5	3-D16 1단 배근	0.91	584.0	D10 @130	0.44	561.0	
BS3	262	655	2.5	4-D16 1단 배근	1.21	584.0	D10 @130	0.44	561.0	
BS4	244	610	2.5	5-D16 2단 배근	1.63	584.0	D10 @130	0.44	561.0	

b=250 mm h=300 mm

표1 실험체 제원

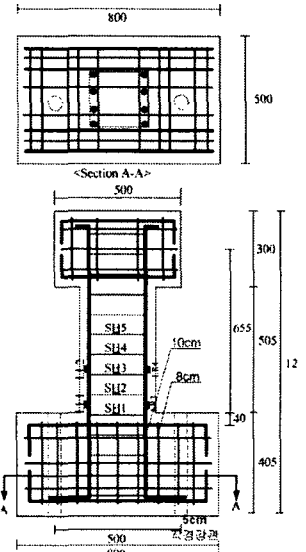


그림 3 실험체 디테일

단강도 뿐만 아니라 연성을 평가 하였다. 또한 연성능력을 검증하기 위하여 주근비와 전단 철근비를 변수로 한 총 8개의 철근콘크리트 보를 전단 실험하였으며, 실험결과를 바탕으로 해석모델과에 전단연성 관계를 평가하였다.

2. 철근콘크리트 보의 전단실험

2.1 실험계획

본 연구에서는 타당성 검토를 평가하기 위하여 총 8개의 철근콘크리트 보를 제작하였으며, 실험변수는 실험체 제원을 나타낸 테이블 1에서 알 수 있듯이 축방향 철근량과 횡방향 철근량으로 하였다.

휨과 전단을 반복해서 받는 8개의 철근콘크리트 보는 휨 항복후 전단 파괴 되도록 설계했다. 휨 항복 후 연성에 따른 전단 강도를 비교하기 위해 전단 스펠비가 작은 2.5로 동일하게 제작 하였다. 실험은

가력하중이 항복하중에 70%로 감소 될 때까지 실시하였다. 보 실험체가 휨과괴 이후 전단과괴 되었는지 확인하기 위하여 베이스로부터 15mm 떨어진 곳에 철근 스트레인 게이지를 부착하였다. 전단철근의 변형을 측정하기 위하여 전단철근에 철근 스트레인 게이지를 부착하였다. 본 연구에서 사용된 철근과 콘크리트 스트레인 게이지의 계측범위는 각각 5%와 2%이다.

2.2 실험결과

모든 실험체는 휨 항복후에 전단철근이 항복한 후 파괴되었다. 그러나 실험체 BS2에 경우는 부재가 휨 항복후 비틀림 파괴거동을 보였기 때문에 본 논문에서는 제외하였다. 그림 5는 하중-회전각 이력곡선을 나타낸 것이다. 그림 4(a) 실험체는 54KN 하중에서 최초 휨균열이 발생하였고, 최외단 철근이 항복한 이후 소성거동을 보이는 전형적인 휨거동을 보인다. 휨균열이 증가되다가 회전각 2.5%에서 하중에 최대값이 나타났고, 회전각 5%에서 축방향철근이 파괴되어 핀칭 현상을 보이며 하중이 현저하게 감소하였다.

그림 4(b)는 주근비가 1.63%인 실험체의 하중-회전각 이력곡선이다. 최초 휨균열은 76KN에서 일어났고 사인장 균열은 105KN에서 일어났다. 최외단 축방향 철근이 항복한 이후 이력곡선이 감소하기 시작하였다. 2.0% 회전각에서 최대 하중을 기록했고 변위비 3%에서 실험체의 하단부 피복 콘크리트 박리가 관찰되었으며 5% 회전각에서 소성힌지부의 횡방향 철근이 파단되었다. 6% 회전각에서 축방향 철근이 파단된 후 핀칭현상을 보이며 횡하중이 급격히 감소하였다.

전단경간비가 모두 2.5로 설계된 본 논문에 실험체는 휨작용에 의한 소성힌지의 형성과 함께 전단작용에 의한 경사 균열이 발생하였고 궁극적으로 횡방향철근의 파단에 의한 휨-전단 파괴형상을 보였다.

작은 인장 철근비를 가진 그림 4(e)를 제외한 모든 실험체는 부재의 연성을 과소평가하고 있다. 이런 이유로는 첫째, ϵ_1 에 따른 콘크리트의 연하효과가 명확히 정립되지 않았고 둘째 이론식에 적용된 적합조건이 다를 수 있다. 셋째 실험체 가력 시 뽀뽀힘에 의해 영향 받을 수 있다. 앞에서 언급한 세가지 이유를 통해 부재의 연성거동을 좀 더 이론적으로 고찰해 나갈 수 있으리라 판단한다.

실험을 통해 주철근에 양이 많아지면 부재가 받는 내력이 커지고 이로 인해 연성능력이 작아진다. 그

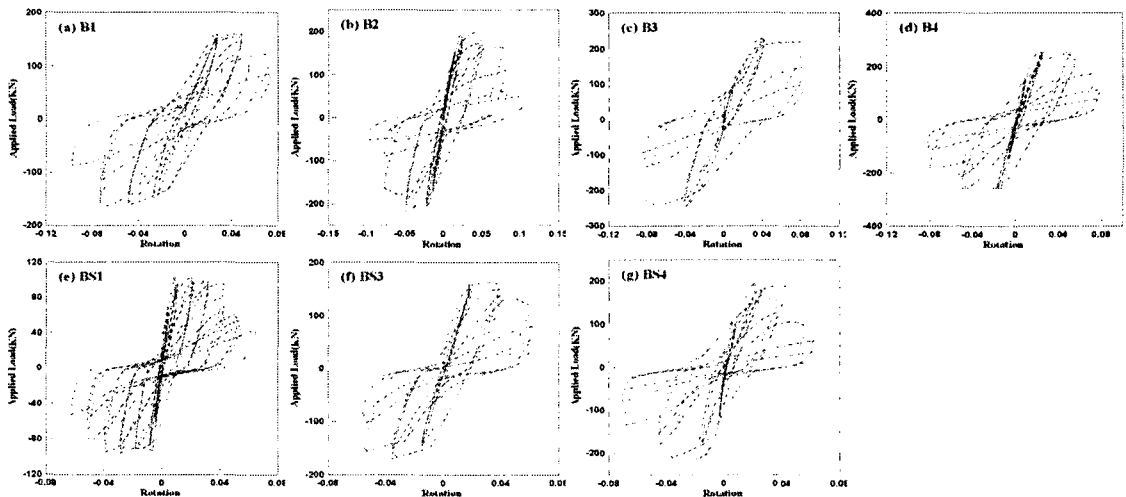


그림 4 실험 데이터와 이론식에 의한 데이터 비교

림 5를 살펴보면 전단철근비가 0.44%로 작은 BS실험체의 경우는 이런 거동을 명확히 보인다. 반면에 전단철근비가 0.81%인 B실험체의 경우는 주철근이 많아지면서 연성능력이 저하되기는 하나 그 거동이 명확하지는 않았다.

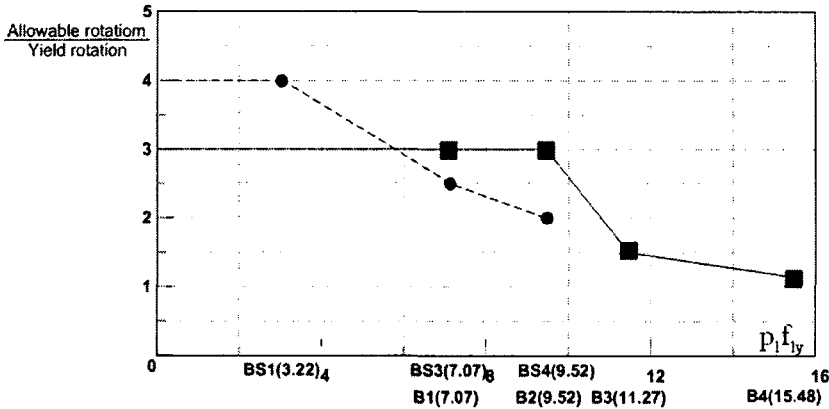


그림 5 주철근의 양에 따른 연성

3. 결론

본 연구에서는 주철근의 양에 따른 부재의 연성거동을 검증하기 위하여 실시하였다. 타당성을 검증하기 위하여 총 8개의 철근콘크리트 보를 전단실험하였으며, 실험결과를 분석한 결과는 다음과 같다. 주철근에 양이 많아지면 부재가 받을 수 있는 최대하중이 커지고, 이에 비례해서 연성능력이 저하되는 거동을 보였다. 따라서 보에 연성능력을 평가하기 위해서는 주철근의 양에 따른 연구가 필요하리라 판단된다.

감사의글

본 연구는 과학기술부가 출연하고, 한국과학재단에서 위탁시행 한 2006년도 특정기초연구지원사업(400-20050130)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (318R-99)," ACI, 2002.
2. Lee, J-Y and Fumio Watanabe, "Shear Deterioration of reinforced Concrete Beams Subjected to Reversed Cyclic Loading," ACI Journal, V.100, No 4, July-August 2003 pp. 480-489.
3. Hsu, T.T.C., "Softened Truss Model Theory for Shear and Torsion," ACI Structural Journal, V.85, No 6, Nov-Dec. 1998, pp.624-635.
4. Watanabe, F., and Lee, J-Y., "Strength and Ductility Design of Reinforced Concrete Beams for Shear," The 1st Advances in Structural Engineering and Mechanics, Seoul, Aug. pp.997-1006