

경량 콘크리트 보의 휨 거동에 관한 실험적 연구

Experimental Investigation of the Flexural Behavior of Lightweight Aggregate Concrete Beams

변 은 혁* · 조 장 세** · 이 영 학*** · 김 희 철****

Byon, Eunhyuk · Cho, Jang Se · Lee, Young Hak · Kim, Heecheul

요 약

대공간 구조물과 초고층 빌딩에 있어 건축물의 자중 감소에 대한 요구가 늘어나고 있으며 이에 대한 가장 효과적인 방법 중 하나는 경량 콘크리트를 사용하는 것이다. 본 연구는 최외단 철근의 순인장 변형률에 따른 경량콘크리트 보의 휨 거동 및 휨 성능을 평가하는 것에 그 목적이 있다. 크기와 형상이 동일한 보통 중량 콘크리트 보 1개와 경량 콘크리트 보 4개의 총 5개 시험체를 제작하여 최외단 철근의 순인장 변형률을 변수로 실험을 수행하였으며 이를 통해 순인장 변형률에 따른 경량콘크리트 보의 강도와 연성의 변화를 분석하였다. 실험 결과 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 시험체의 연성비는 증가하였으며 최대하중과 강성은 감소하였다. 특히 순인장 변형률 0.005 이상에서 연성지수 2 이상을 확보할 수 있었다.

keywords : 경량 콘크리트, 연성거동, 휨 강도, 최외단 철근의 순인장 변형률

1. 서 론

세계적으로 대공간 구조물과 초고층 빌딩에 대한 수요가 증가하고 있다. 건축물이 대형화, 초고층화 되어 감에 따라 구조 부재의 크기는 증가하며 이는 유효공간의 감소에 의한 건축물의 기능성 저하와 건축비의 상승을 야기한다. 따라서 자중경감을 위한 경량 부재의 사용은 대공간 구조물과 초고층 빌딩에 있어 필연적인 요소이며 이러한 경향은 건축물에서 가장 폭넓게 적용되고 있는 재료인 콘크리트에서 두드러진다. 콘크리트는 경제적이며 내구성이 우수하다는 장점을 가지고 있으나 중량이 크다는 단점이 있으며 콘크리트의 자중을 감소시키기 위한 가장 효과적인 방법 중 하나는 배합 시 인공경량골재를 사용하는 것이다. 인공경량골재를 사용한 경량 콘크리트를 휨 부재의 구조 재료로 적용하기 위해서는 휨 강도 뿐만 아니라 적절한 연성을 확보해야 하며 이러한 거동은 인장 측 최외단 철근의 변형률에 따라 결정된다. 건축구조설계기준 2009에서는 프리스트레스를 가하지 않은 휨 부재의 최소 순인장 변형률이 0.004 이상 되도록 제한하고 있다(대한건축학회, 2009). 그러나 이러한 규정은 보통 중량 콘크리트의 재료적 성질에 기초한 것으로 경량 콘크리트에도 적절한가에 대해서는 의문시된다.

따라서 본 연구에서는 최외단 철근의 순인장 변형률(ϵ_t)에 따른 경량 콘크리트 보의 휨 거동 및 휨 성능을

* 학생회원 · 경희대학교 건축공학과 석사과정 ehbyon@khu.ac.kr

** 학생회원 · 경희대학교 건축공학과 석사과정 joejangse@khu.ac.kr

*** 정회원 · 경희대학교 건축공학과 교수 leeyh@khu.ac.kr

**** 정회원 · 경희대학교 건축공학과 교수 kimhc@khu.ac.kr

평가하며 경량 콘크리트 보에 있어 현행 최소허용철근변형률 기준의 타당성을 평가하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 시험체 계획

경량 콘크리트 보의 휨 거동을 평가하기 위하여 압축 연단의 콘크리트가 극한 변형률 0.003에 도달할 때의 최외단 인장철근의 순인장 변형률을 변수로 1개의 보통 중량 콘크리트 보 시험체와 4개의 경량 콘크리트 보 시험체를 유사한 압축강도로 제작하여 실험하였다. 시험체는 폭 180mm, 높이 243.5mm, 길이 2,300mm로 크기와 형상이 모두 동일하며 시험체의 배근 상세와 실험 변수에 따른 명명법은 그림 1, 그림 2와 같다.

시험체 제작에는 KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 화력발전소의 Bottom Ash를 이용한 국내 C사의 인공경량골재와 쇄석을 경량 콘크리트 시험체와 보통 중량 시험체에 각각 사용하였으며 주근은 HD13과 HD16의 SD400 이형 철근을 사용하여 변수에 따라 다르게 배근하였다. 콘크리트 압축강도 실험을 위하여 $\varnothing 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 의 공시체를 보통 중량 콘크리트와 경량 콘크리트 각각 3개씩, 총 6개 제작하여 기준에 따라 강도를 측정하였으며 그 결과 보통 중량 콘크리트, 경량 콘크리트에서 각각 42.9MPa, 43.8MPa의 압축강도를 확인하였다. 콘크리트의 배합비는 표 1과 같다.

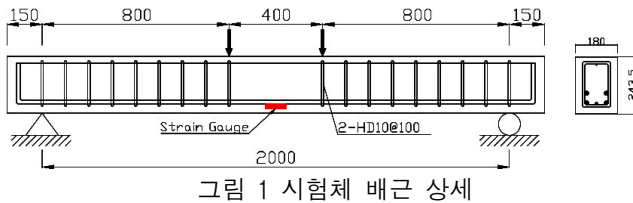


그림 1 시험체 배근 상세

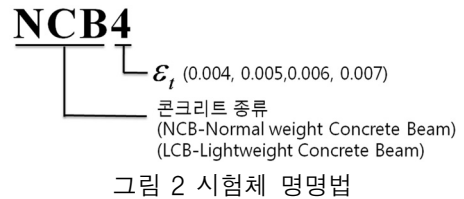


그림 2 시험체 명명법

표1 콘크리트 배합 계획

	W/C(%)	S/a(%)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	S(kg/m ³)	G(kg/m ³)
Normal weight Concrete	34.5	44	168	487	738	946
Lightweight Concrete	25	42	165	660	635	610

2.2 계측 및 가력 계획

시험체는 순경간이 2,000mm인 프레임 상부의 회전단(hinge)을 사용하여 단순 지지하였으며 2,000kN 용량의 UTM(만능재료시험기)을 사용하여 변위제어(displacement control)의 방법으로 초기 50mm까지는 1.5mm/min, 50mm 이후에는 2.5mm/min의 속도로 2점 가력 하였다. 시험체의 처짐을 측정하기 위하여 LVDT(Linear Variable Displacement Transducer)를 시험체의 중앙부 하단에 설치하였으며 변형률의 측정을 위하여 시험체 압축연단의 콘크리트와 하부의 인장 철근에 Strain Gauge를 설치하였다.

3. 실험 결과

3.1 시험체의 거동

시험체의 거동은 각 변수에 따라 약간의 차이가 있었지만 휨 파괴의 양상을 보이며 유사한 거동을 나타냈다. 초기 균열 이전에는 선형적인 기울기의 증가를 보였으며 초기 균열 이후 유효단면 2차모멘트의 감소로

인한 기울기의 감소가 보이지만 철근의 항복 전까지는 그래프가 선형적으로 증가하고 있어 이를 통해 균열 이후에도 시험체가 탄성거동을 하고 있음을 알 수 있다. 항복 이후의 하중-변위 곡선은 NCB4 시험체와 LCB4 시험체를 제외한 경량 콘크리트 시험체에서 일정한 소성구간을 보이는 연성 거동을 하였으며 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 소성구간은 증가하였다. 이는 최외단 철근의 순인장 변형률이 시험체의 연성 거동에 큰 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 시험체의 파괴 형상은 그림 3과 같다. NCB4 시험체는 143.9kN에서 철근의 항복에 도달하였으며 시험체 중 가장 높은 169.6kN의 최대하중을 나타냈었으며 이후 콘크리트의 압괴에 의해 시험체가 파괴되었다. 모든 경량 콘크리트 시험체는 NCB4 시험체보다 낮은 최대하중을 나타내었으며 콘크리트 압괴에 의한 시험체의 파괴와 함께 급격한 하중의 감소를 보였다. 각 시험체의 균열 양상은 서로 유사한 경향을 보였다. 모든 시험체에서 보의 중앙부와 가력 점 사이에서 초기 휨 균열이 발생한 이후, 하중의 지속적인 증가에 따라 균열의 발생 부위가 보 받침 부분으로 점차 확산되었으며 균열 폭이 증가되어 보의 상부 쪽으로 균열이 진전되었다. NCB4 시험체는 최대하중의 13%에서 초기 균열이 발생하였으며 이때 0.38mm의 처짐을 나타내었다. 경량 콘크리트 시험체의 경우 최대하중의 9 ~ 14%에서 초기 균열이 발생하였으며 0.45mm ~ 0.5mm의 처짐을 나타냈다. 또한 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 최대하중에 대한 초기 균열의 발생하중 비율이 높아지는 것을 확인하였다. 실험 결과는 표 2에 정리하였다.

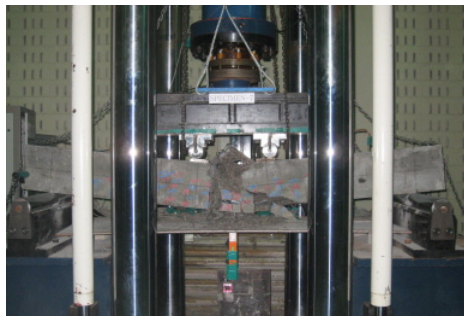


그림 3 파괴 형상

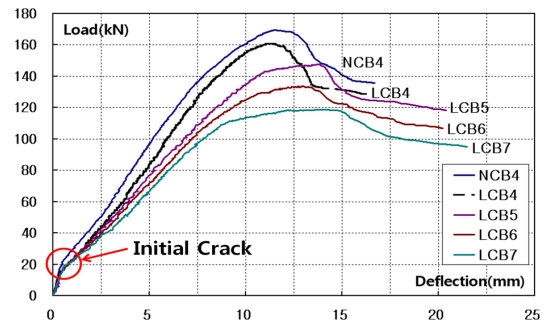


그림 2 하중-변위 곡선

표 2 실험 결과

Specimen	ϵ_t	Initial Crack			Yield Load		Ultimate Load		Ductility Index
		$P_{cr}(kN)$	$\delta_{cr}(mm)$	P_{cr}/P_{ult}	$P_{yield}(kN)$	$\delta_{yield}(mm)$	$P_{ult}(kN)$	$\delta_{ult}(mm)$	
NCB4	0.004	22.4	0.38	13 %	143.9	8.14	169.6	11.5	2.05
LCB4	0.004	15.2	0.470	9 %	156.5	10.21	160.9	11.5	1.59
LCB5	0.005	15.7	0.454	11 %	127.2	9.19	147.8	13.9	2.22
LCB6	0.006	16.2	0.458	12 %	100.8	7.28	133.7	13.0	2.78
LCB7	0.007	16.1	0.501	14 %	83.4	6.23	118.6	14.3	3.45

3.2 연성지수 및 변형률

연성은 재료와 단면, 부재에 따라 구조물이 비탄성 변형에 저항하는 성질을 말하며 연성비(Ductility Index)는 이러한 연성을 나타내는 척도로써 식 (1)과 같이 표현된다(Bernardo와 Lopes, 2004).

$$D = \frac{80\% \times \delta_{max}}{\delta_y} \quad (1)$$

여기에서 δ_{max} 는 최대 하중에서의 변위이며 δ_y 는 시험체가 항복 했을 때의 변위이다. 각 시험체의 연성지수를 비교하여 나타내면 그림 5와 같으며 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 연성지수가 증가하였

다. 기준 시험체인 NCB4는 2.05의 연성지수를 보였으나 동일한 최외단 철근의 순인장 변형률을 갖는 LCB4 시험체는 1.59의 연성지수를 나타내었으며 LCB5시험체부터 연성지수 2를 넘을 수 있었다. 따라서 현행 최외단 철근의 순인장 변형률에 대한 기준을 경량 콘크리트에 적용하기 어렵다고 판단된다.

그림 6은 시험체 중앙부의 최외단 철근과 압축 측 연단 콘크리트의 재하 단계별 변형률을 비교하여 나타낸 것이다. 시험체는 변형률 0.002 부근에서 모든 시험체의 철근이 항복하였으며 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가함에 따라 철근의 항복 하중이 급격하게 감소하였다. 좌측의 그래프는 재하 단계별 휨 압축 측에서 발생한 압축 측 연단의 콘크리트 변형률을 측정된 것으로 철근의 변형률과 유사한 양상을 보였으며 모든 시험체가 변형률 0.003 부근에서 파괴되었다.

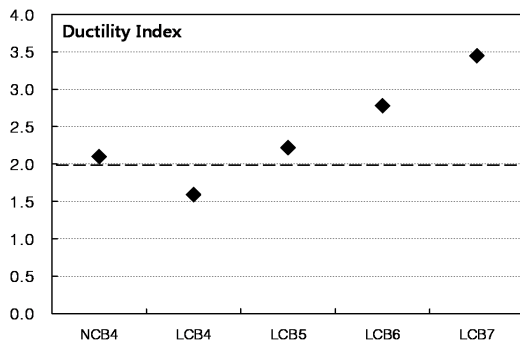


그림 5 연성 지수

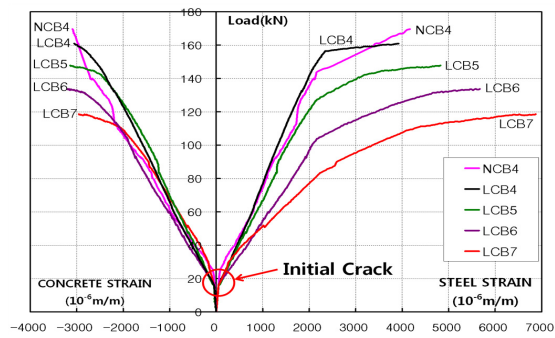


그림 6 하중-변형률 그래프

4. 결론

최외단 철근의 순인장 변형률에 따른 경량 콘크리트 보의 휨 성능을 평가하였으며 결론은 다음과 같다.

1) 경량 콘크리트는 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 최대하중이 감소하였고 연성이 증가하였으나 KBC 2009에서 제시하는 기준으로 배근할 경우 연성지수 2를 확보하지 못하는 것으로 보아 현행 최소 순인장 변형률 0.004를 적용할 경우 충분한 연성거동을 하지 못하는 것으로 사료되며 이에 경량 콘크리트에 대한 최외단 철근의 순인장 변형률 제한은 재검토 되어야 할 것으로 판단된다.

2) 최외단 철근의 순인장 변형률이 증가할수록 항복 이후 소성구간이 증가한 것으로 보아 순인장 변형률이 시험체의 연성 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제코드:07도시재생B03)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

대한건축학회 (2009) 건축구조설계기준, 기문당, 서울

L.F.A. Bernardo, S.M.R.Lopes (2004) Neutral Axis Depth versus Flexural Ductility in High-Strength Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 130(3), pp.452~459.