

철근콘크리트 연속보에서의 모멘트 재분배에 대한 실험적 검증

An Experimental Verification on the Redistribution of Moment in Continuous Reinforced Concrete Members

김 상 식* 윤 형 재** 이 승 배** 장 수 연** 김 강 수***
Kim, Sang Sik Yoon, Hyeong Jae Lee, Seung Bae Jang, Su Yeon Kim, Kang Su

ABSTRACT

In reinforced concrete structures, moment redistribution which can be caused as a result of plastic behavior of reinforcing bars in continuous beams and slabs, are recognized as favorable phenomenon, for it elevates the flexibility and efficiency in member and reinforcement design. To obtain detailed information of the concrete-reinforcement bonding effect on the moment redistribution of continuous beams, tests have been planned and carried out for six specimens, the positions and extents of the bonding area being taken as experimental parameters.

1. 서론

철근콘크리트 연속보에서는 부재의 비탄성 거동에 의하여 모멘트가 재분배될 수 있기 때문에 이에 대한 이해를 높이면 철근콘크리트 연속보의 부재 단면을 보다 경제적으로 설계할 수 있다. 즉, 철근콘크리트 연속보에서는 최대 부모멘트가 발생하였을 경우 단순보에서의 경우와 같이 곧바로 붕괴가 발생하는 것이 아니라 최대 부모멘트의 일정 비율이 정모멘트 구간으로 재분배되기 때문에 모멘트 재분배를 고려하지 않고 계산된 하중보다 더 큰 하중에서 저항을 할 수 있게 된다. 이 연구에서는 철근콘크리트 연속보를 대상으로 하여 국내의 콘크리트구조설계기준에 제시되어 있는 부재 단면과 철근비에 의한 모멘트 재분배율과 미국의 ACI 318-05 기준에서 제시하고 있는 인장철근의 변형률과 모멘트를 이용하여 산정되는 모멘트 재분배율을 비교해 보고, 철근콘크리트 부재에서의 인장증강효과가 연속보에서 모멘트 재분배에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 실험을 통해 고찰하고자 한다.

2. 시험체 설계 및 실험 방법

2.1 시험체 계획

이 실험은 연속보에서의 모멘트 재분배효과가 주근의 부착 상황에 따라서 어떠한 양상을 보이며, 이러한 변수들이 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보기 위해 표 1.과 같이 시험체를 제작하였다. 시험체 단면의 크기와 주인장철근, 압축철근은 그림 1 과 같이 계획하였으며, 또한 보의 전단파괴를 방지하기 위하여 그림 2 와 같이 스테럽을 설치하였다. 철근과 콘크리트의 비부착을 위한 작업은 석고를 사용하여 마디 사이를 메운 후 테이프를 감아서 철근과 콘크리트의 부착력을 줄이는 방법으로 하였으며, 가력점과 반력점은 그림 3 과 같이 계획하였다. 또한 각 시험체마다 그림 3 에 표시된 위치에 와이어

* 정회원, 인하대학교 건축학부 교수

** 정회원, 인하대학교 건축학부 석사과정

*** 정회원, 서울시립대학교 건축학부 교수

스트레인 게이지를 부착하여 주근의 변형률을 측정할 수 있도록 하였으며, 지점은 보의 상부철근에 그리고 가력점과 중앙부는 보의 하부철근에 와이어 스트레인 게이지를 부착하였다.

2.2 실험 방법

시험체는 1000 kN 용량의 오일 잭과 가력용 형강을 사용하여 시험체의 상부에 2점 집중하중으로 단조가력하였으며, 가력속도는 분당 5 kN을 기준으로 하였다. 시험체의 단부는 연속보의 효과를 극대화하기 위하여 500 kN 용량의 오일 잭을 사용하여 제어를 하였으며, 단부의 제어 기준은 양 지점의 경간 안쪽의 처짐과 바깥쪽의 처짐값의 평균을 내어 이와 동일한 값으로 단부의 처짐을 제어하는 변위 제어를 하였다. 시험체의 지점 중심간 거리는 4,400 mm이며, 하중이 작용하는 위치는 양 지점에서 1,400 mm 떨어진 곳으로 하였다. 주인장철근의 중앙부 및 가력점, 지점의 상부에 부착된 와이어 스트레인 게이지를 통해 철근의 변형률을 측정하였고, 실험 자료의 취득은 5초당 중앙부의 하중 및 보의 변위, 철근의 변형률 등을 데이터로거를 통해 수집하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 실험결과

시험체의 변수인 비부착 구간의 위치와 비부착 구간의 유무는 그림 4와 같이 모멘트 재분배를 위한 지점의 철근 항복과 가력점의 철근 항복 순서에 큰 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 본 실험에서 사

표 1. 시험체의 제원

시험체 명	지지조건	시험체 길이	피복두께	주인장철근	주근부착상황		전단철근		주요변수 및 착안점
					단부 상부근	중앙 하부근	전단 위험구간	모멘트 일정구간	
C-T0-B0-1	연속보	전체길이 7,000 mm 캔틸레버	40 mm	3-D19	부착	부착	D10@200	D10@300	연속보 주근부착상황 모멘트재분배
C-T0-B0-2							D10@150	D10@300	
C-T0-B0-3							D10@100	D10@300	
C-T0-B3-2					부착	비부착	D10@150	D10@300	
C-T3-B0-2					비부착	부착			
C-T3-B3-2					비부착	비부착			

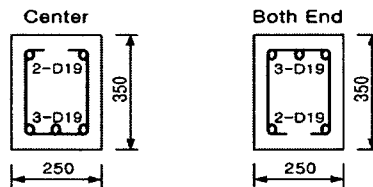


그림 1 시험체의 단면 상세

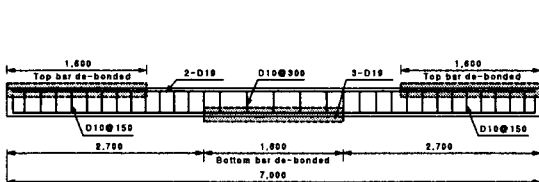


그림 2 시험체의 배근 상세

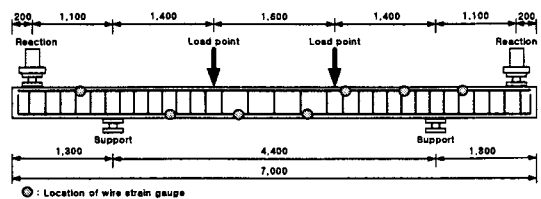
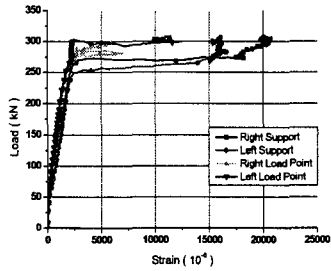
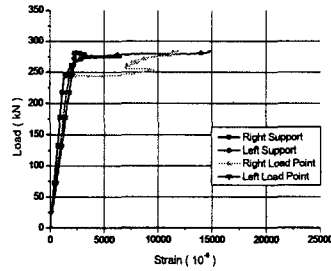


그림 3 가력점의 위치와 반력점의 위치

용된 철근의 항복 변형률은 0.002 이며, 지점 및 가력점 철근의 항복 하중과 그 증가 비율을 표 2. 에 나타내었다. 부모멘트가 최대로 생기게 되는 부분에 철근과 콘크리트가 비부착된 시험체 C-T3-B0-2, C-T3-B3-2 의 경우에는 가력점의 철근이 먼저 항복을 하기 때문에 모멘트 재분배 효과를 기대할 수 없는 것으로 나타났다. 또한 ACI318-05 기준에서는 인장철근의 변형률이 0.0075 이상이 되면 부모멘트가 감소한다고 되어있으나 본 실험의 경우에는 그림 5 에 나타난 것처럼 인장철근의 변형률이 0.002 를 넘어서면서부터 모멘트가 일정하게 되는 것으로 관찰되었다.

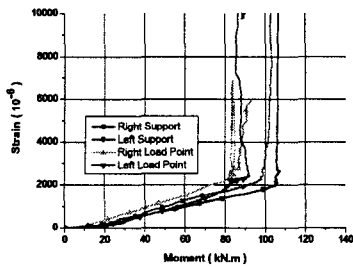


C-T0-B0-3

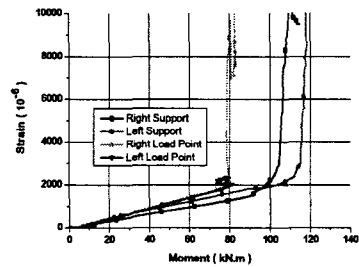


C-T3-B3-2

그림 4 하중-변형률 곡선



C-T0-B0-3



C-T3-B3-2

그림 5 변형률-모멘트 곡선

표 2. 지점 및 가력점 철근 항복 하중 및 하중 증가비율

시험체 명	지점 부근 항복하중(kN)	가력점 부근 항복하중(kN)	증가비율 (%)
C-T0-B0-1	252.5	252.7	0.1
C-T0-B0-2	241.9	259.7	6.9
C-T0-B0-3	234.8	258.2	9.1
C-T3-B0-2	265.9	237.0	-12.2
C-T0-B3-2	231.3	267.3	13.5
C-T3-B3-2	253.9	239.0	-6.2

(굵은 글씨 : 모멘트 재분배 가능)

3.2 실험결과와 분석

모멘트 재분배에 관련하여 콘크리트구조설계기준에는

$$\beta = 20 \left(\frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right) (\%) \quad (1)$$

ACI 318-05 기준에는

$$1000\epsilon_t = 3 \left[\frac{\beta_1}{1 - \sqrt{1 - \frac{40 R_n}{17 f_{ck}}}} - 1 \right] (\%) \quad (2)$$

의 식이 제시되어 있다. 콘크리트구조설계기준에서 제시한 식은 부재 단면의 철근비를 이용하여 모멘트 재분배율을 산정하므로 식 (1)에 $\rho = 0.0111$, $\rho' = 0.0074$, $\rho_b = 0.0300$ 을 대입하면 17.5 퍼센트로 계산된다. 그러나 ACI 318-05 기준에서 제시한 식은 인장철근의 변형률과 모멘트를 이용하여 모멘트 재분배율을 산정하므로 식 (2)에 $\beta_1 = 0.85$, $R_n = 4.06 \text{ kN/mm}^2$, $f_{ck} = 27.7 \text{ MPa}$ 을 대입하면 10.4 퍼센트로 계산된다. 본 실험에서의 모멘트 재분배율은 표 2.에 나타난 것과 같이 식 (1)에 의하여 계산된 모멘트 재분배율 17.5 퍼센트보다는 식 (2)에 의한 모멘트 재분배율 10.4 퍼센트에 실험값이 근접하다는 것을 알 수 있다. 그러나 비부착 구간이 중앙부에 위치한 시험체 C-T0-B3-2의 모멘트 재분배율은 식 (2)에 의해 계산된 모멘트 재분배율 10.4 퍼센트보다 많은 13.5 퍼센트로 측정되어, 모멘트의 형상과 비부착 구간의 위치 및 부재의 특성에 의하여 철근의 비부착이 부재의 강도에 영향을 미치지 못하는 경우도 있음을 확인할 수 있었다. 또한 인장철근의 변형률이 0.002를 넘어서면서부터 모멘트가 일정하게 되는 것은 철근량이 작은 보에서 많은 수의 균열로 인해 ACI 318-05 기준에서 제시하고 있는 모멘트 재분배가 가능한 변형률 0.0075보다 낮은 변형률에서도 충분한 소성 회전각이 발생할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 1) 비부착 구간의 위치가 철근콘크리트 연속보에서 모멘트 재분배에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 하지만 비부착 구간이 부모멘트 발생지점에 위치하게 되는 경우, 초기에 발생하는 큰 균열에 의한 철근의 과도한 변형률 때문에 모멘트 재분배 효과를 기대할 수 없었다.
- 2) 전 구간 철근이 부착된 시험체 C-T0-B0-2, C-T0-B0-3에서 측정된 모멘트 재분배율은 식 (1)에 의해 계산된 모멘트 재분배율 17.5 퍼센트보다 식 (2)에 의해 계산된 모멘트 재분배율 10.4 퍼센트에 더 근접하였다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상식, 철근콘크리트 구조설계(3판), 문운당, 2005.
2. R.Park and T.Paulay, *Reinforced Concrete Structures*, Wiley, 1975.
3. PCA, "Notes on ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Concrete", PCA, 2005.
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003, 한국콘크리트학회
5. American Concrete Institute Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-05, American Concrete Institute, Detroit, 2005.
6. CEB-FIP, CEB-FIP Model Code, Third Edition, CEB, Paris, 1991, pp. 87-92.
7. Nilson, A.H., Darwin, D., and Dolan, C. W., *Design of Concrete Structures*, Mc Graw Hill, 2003.