

철근콘크리트 보의 균열 및 처짐 거동 특성에 관한 실험적 고찰

Experimental Verification on the Characteristics of Cracking and Deflection Behavior of Reinforced Concrete Beams

김 상 식* 이 진 섭** 장 수 연*** 이 승 배***
Kim, Sang Sik Lee, Jin Seop Jang, Su Youn Lee, Seung Bae

ABSTRACT

As various loads are applied to a reinforced concrete beam, cracks may occur by the influence of shear and bending moments. These cracks propagate as the applied loads are increased. In addition, the deflection of the reinforced beam is also increased at the same time. Even though it is commonly accepted that the cracking and the deflection of a reinforced concrete beam are very closely related, many studies have not been conducted to provide basic data and to develop the relationship between them. In this study total seventeen specimens subjected to bending were tested with different concrete strength, coverage, amount of steel and de-bonding bars. The effects of these parameters on the relationship between cracking and deflection were carefully checked and analyzed.

1. 서론

힘을 받는 철근콘크리트 보는 하중이 증가하면 균열의 발생과 동시에 보의 처짐도 증가하게 된다. 철근콘크리트 보에서 처짐과 균열 발생 상황은 밀접한 상관관계가 있으나, 아직까지 이에 대한 연구는 국내외적으로 미비한 실정이다. 이 연구에서는 힘을 받는 보를 대상으로, 각기 다른 콘크리트 강도, 피복두께, 주근의 철근량 및 주근의 비부착 여부를 구조 주요 변수로 하여 실험체를 제작하여 실험하였다. 이 연구는 각 구조 변수들이 시험체의 균열과 처짐 관계에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고 각 하중 단계에서 측정된 시험체의 최대균열폭과 국내규준식인 거글리-루츠 식과의 비교를 통해 각각의 변수와 균열폭과의 상관관계에 대하여 연구하였다. 이를 통해 기존 구조물의 균열에서 그 구조물의 처짐 상황을 유추하여 사용성을 평가하는데 이 연구의 목적을 두었다.

2. 시험체 설계 및 실험 방법

2.1 실험체 계획

연구에 사용된 실험체는 모두 17 개로, 주요변수는 콘크리트의 압축강도, 주인장 철근의 피복두께 및 철근량으로 하였고, 추가적으로 주인장 철근의 직경과 주근의 비부착 여부를 변수로 하여 시험체를 제작하였다. 콘크리트의 강도 변수는 $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ 의 일반강도와 $f_{ck} = 70 \text{ MPa}$ 의 고강도로 하였고, 주인

* 정회원, 인하대학교 건축학부 교수

** 정회원, 일본 Aseismic Devices Co. Ltd. 고문

*** 정회원, 인하대학교 건축공학과 석사과정

장 철근은 SD40 재질의 4-D13, 5-D16, 3-D19, 2-D25를 사용하였으며 압축철근으로는 SD 40 재질의 2-D13을 사용하였다. 보의 유효층은 290 mm 및 310 mm 이고, 주근의 비부착은 부재의 중앙부 1600 mm 구간에 비부착하여 부착작용을 억제하였다. 시험체 지점간 거리는 4400 mm 이고, 단면의 크기는 폭 250 mm, 높이 350 mm로 하였다. 각 시험체의 제원 및 배근상세는 표 1 및 그림 1~그림 2에서 보이는 바와 같고 그림 1 및 그림 2의 시험체 단면은 시험체 중 주인장 철근이 3-D19 인 것을 나타내었다.

2.2 실험 방법

시험체는 1000 kN 용량의 오일잭 및 가력용 형강을 사용하여 시험체의 상부에 2점 집중하중으로 단조가력하였으며, 가력속도는 분당 5 kN으로 하였다. 시험체의 변위측정을 위해 지점, 가력점에서 지점 쪽으로 700 mm 떨어진 곳, 가력점 및 중앙부에 자동변위계를 설치하였으며, 주인장철근의 중앙부와 가력점, 가력점에서 지점 쪽으로 700 mm 떨어진 곳에 스트레인게이지를 그림 2와 같이 부착하여 철근의 변형률을 측정하였다. 매 초당 하중 및 부재의 변위, 철근의 변형률 등을 데이터로거를 통해 수집하였으며, 각 하중 단계마다 균열의 발생 및 진전 상황을 시험체에 직접 표기하였다. 시험체의 가력 위치 및 시험 상황은 그림 3에서 보이는 바와 같다. 각 시험체는 FAST사의 균열 측정기를 사용하여 시험체의 하단, 0-50 mm 구간에서 발생하는 모든 균열의 균열폭을 10 kN 단위로 측정하여 데이터로 저장하였다.

표 1 시험체의 제원

시험체 분류	시험체 표기	시험체 강도 (MPa)	주근 중심까지의 거리 (mm)	철근의 크기 및 철근량			주근의 비부착 여부 (mm)	
				주근 개수 및 직경	철근량 (mm ²)	철근비 (%)		
G	A0	G-X-13-A0	40	4-D13	508	0.66	0	
	A0	G-X-16-A0		5-D16	995	1.28	0	
	A0	G-X-19-A0		3-D19	861	1.11	0	
	A3	G-X-19-A3		3-D19	861	1.11	주근3개	
	A0	G-X-25-A0	2-D25	1014	1.31	0		
	Y	A0	G-Y-13-A0	60	4-D13	508	0.7	0
		A0	G-Y-19-A0		3-D19	861	1.19	0
		A3	G-Y-19-A3		3-D19	861	1.19	주근3개
A0		G-Y-25-A0	2-D25		1014	1.40	0	
H	A0	H-X-13-A0	40	4-D13	508	0.66	0	
	A0	H-X-16-A0		5-D16	995	0.28	0	
	A0	H-X-19-A0		3-D19	861	1.11	0	
	A3	H-X-19-A3		3-D19	861	1.11	주근3개	
	A0	H-X-25-A0	2-D25	1014	1.31	0		
	Y	A0	H-Y-13-A0	60	4-D13	508	0.7	0
		A0	H-Y-19-A0		3-D19	861	1.19	0
		A0	H-Y-25-A0		2-D25	1014	1.4	0

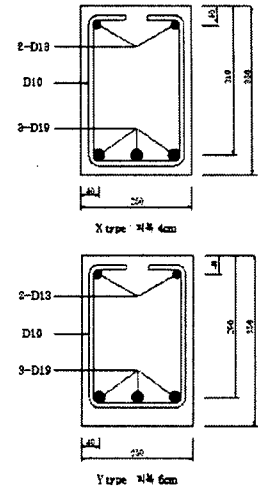


그림 1 시험체의 단면

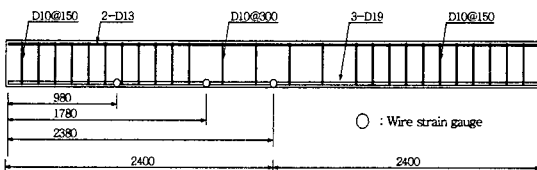


그림 2 시험체의 배근 상세

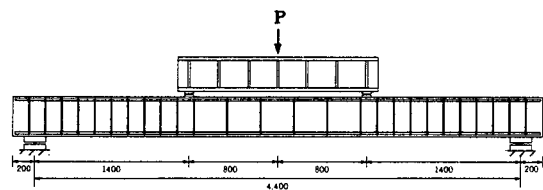


그림 3 가력 상황

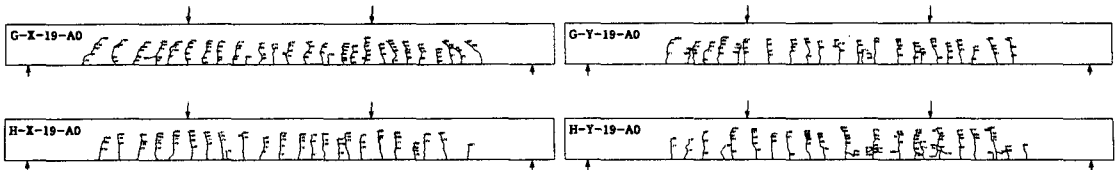
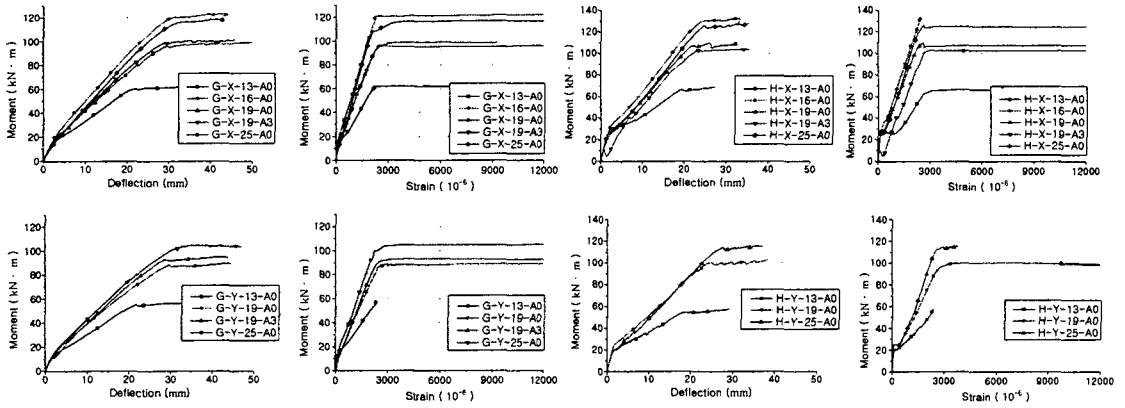


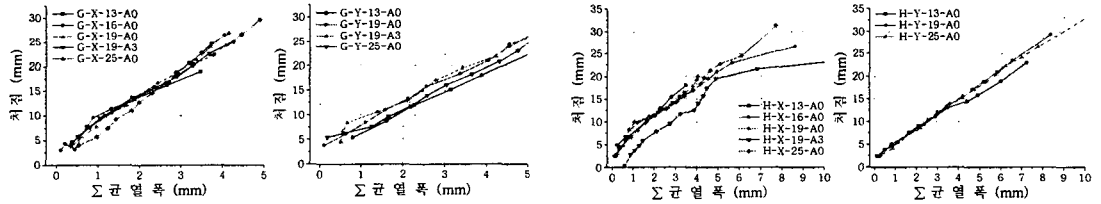
그림 4 시험체의 균열 양상



(a) 일반강도 실험체

(b) 고강도 실험체

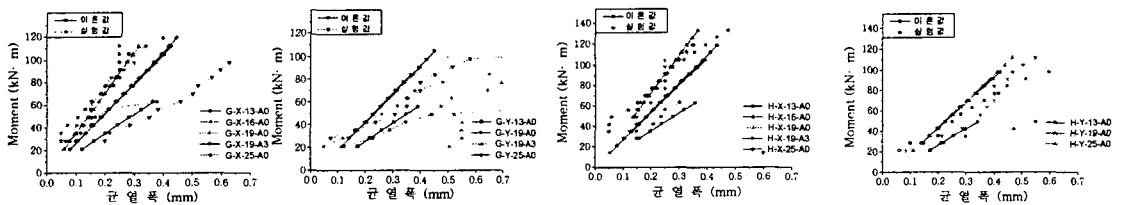
그림 5 중앙부의 모멘트-처짐 관계 및 모멘트-변형률 관계



(a) 일반강도 실험체

(b) 고강도 실험체

그림 6 평균균열폭과 처짐과의 관계



(a) 일반강도 실험체

(b) 고강도 실험체

그림 7 실험값과 거글리-루츠 식과의 관계

3. 실험 결과 및 분석

3.1 실험 결과 및 균열양상

시험체의 균열 양상은 그림 4와 같으며 콘크리트 강도에 따른 균열 양상의 차이는 크지 않으며 콘크리트의 피복두께에 따른 균열 양상은 피복두께가 40 mm인 시험체에 비해 60 mm인 시험체가 균열 간격이 일반강도의 시험체는 50.8 mm, 고강도 시험체는 42 mm 정도 더 넓게 발생하고 있다.

일반강도 시험체와 고강도 시험체 모두 그림 5과 같이 주인장 철근이 항복하였을 때 하중-처짐 곡선도 항복을 하여, 시험체가 휨에 의해 파괴되었음을 보여주고 있다.

3.2 균열폭 분석

각 시험체에 발생한 균열의 폭을 모두 합하여 처짐과 비교한 그래프는 그림 6과 같다. Σ 균열폭과 처짐의 상관관계는 그림 6에 나타나는바와 같이 비례하여 증가하는 양상을 보이고 있다. 일반강도에 비해 고강도 시험체가, 피복두께가 40 mm인 시험체에 비해 60 mm인 시험체가 같은 Σ 균열폭에 비해 처짐량이 더 작게 나오고 있다.

시험체의 최대균열폭을 실험값으로 하고 아래의 거글리-루츠 식 (a)

$$w = 1.08\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} \quad (\text{mm}) \quad (\text{a})$$

를 이론값으로 하여 비교한 그림 7을 보면 피복두께 40 mm인 시험체는 실험값에 비해 이론값이 아래에 위치하여 거글리-루츠 식이 균열폭을 과소평가한다. 피복두께가 60 mm인 시험체는 실험값에 비해 이론값이 위에 있어 거글리-루츠 식이 균열폭을 과대평가하고 있다. 또한 시험체의 최대균열폭은 일반강도에 비해 고강도 시험체가 같은 하중에서 더 크게 측정되었으나, 거글리-루츠 식에는 콘크리트 강도에 따른 변수가 없어 이를 포함하는 새로운 변수를 추가할 필요가 있다.

4. 결론

이 연구에서는 철근콘크리트 부재에서 처짐과 균열과의 상관관계를 규명하기 위해 콘크리트의 압축 강도, 피복두께 및 철근량 등을 주요 구조 변수로 하여, 균열 특성 및 균열폭-처짐 관계 등의 연구를 통해 얻어진 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시험체의 균열양상은 강도에 따른 영향이 적으며, 피복두께가 40 mm에서 60 mm로 두꺼워질수록 일반강도의 시험체는 50.8 mm, 고강도 시험체는 42 mm 정도 더 넓게 발생하였다.
- 2) Σ 균열폭과 처짐의 상관관계 비례하여 증가하는 양상을 보여며, 일반강도에 비해 고강도 시험체가, 피복두께가 40 mm인 시험체에 비해 60 mm인 시험체가 같은 Σ 균열폭에 비해 처짐량이 더 작게 나오고 있다.
- 3) 최대균열폭은 일반강도에 비해 고강도 시험체가 같은 하중에서 더 크게 측정되었으나, 거글리-루츠 식에는 콘크리트 강도에 따른 변수가 없어 이를 포함하는 새로운 변수를 추가할 필요가 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김상식, 철근콘크리트 구조설계(3판), 문운당, 2005.
2. Fields, Kelvin Lindsay, "Tension Stiffening Response of High-Strength Reinforced Concrete Tensile Members", The University of New Brunswick (CANADA), 1998
3. Robert J.Frosch, "Another Look at Cracking and Crack Control in Reinforced Concrete", ACI STRUCTURAL JOURNAL, 1999
4. Edward G. Nawy, "Design and Construction Practices to Mitigate Cracking", ACI international SP-204, 2001