

황토와 슬래그를 첨가한 철근콘크리트 보의 휨 거동

The Flexural Behavior of Reinforced Hwangtoh-Concrete Beams

강 홍 기* 양 근 혁** 황 혜 주*** 정 헌 수****
Kang, Hong Ki Yang, Keun Hyeok Hwang, Hey Zoo Chung, Heon Soo

ABSTRACT

This paper reports the results of experimental study on the effects of replacement level of hwangtoh or slag on the flexural behavior of reinforced hwangtoh-concrete beams. All the beams were singly reinforced with longitudinal bar ratio $\rho=0.5\phi_b$ and were tested under two-point top loading. The flexural strengths obtained from tests, such as initial cracking strength, serviceability strength, maximum strength, were compared with ACI 318-02.

1. 서론

친환경 구조물에 대한 관심의 증가와 함께 황토 콘크리트의 활용성이 증가하고 있다. 이에 혼화재로서 황토를 사용한 기존 연구들은 유동성 및 압축강도 평가에 중점을 두고 진행되었다. 본 연구는 황토콘크리트를 구조체에 적용하기 위한 기초적인 연구로서 참고문헌 1의 연속이다. 본 연구의 목적은 황토와 고로슬래그가 첨가된 철근콘크리트 보의 휨 거동을 파악하고 설계기준과의 비교를 통하여 그 안전율을 평가하는데 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 시험체 계획

황토와 고로슬래그가 첨가된 철근콘크리트 보의 휨 거동을 파악하기 위한 배합설계는 참고문헌 1을 따랐다. 시험체 단면은 $180 \times 350\text{mm}$ 이며, 지지점 사이의 경간은 270mm 로서 전단경간비(a/d)는 4.0이다. 주철근은 3-D19(SD 40)로서 1단 배근하였다. 전단파괴를 방지하기 위하여 전단철근을 $\phi 6@150$ 으로 배근하였다.

2.2 가력 및 측정방법

가력은 UTM을 이용하여 30kN/min 의 속도로 정가력하였다. 변위는 가력점 하부 및 경간중앙에서 설치된 LVDT를 통해 측정되었다. 주철근의 항복하중을 평가하기 위하여 W.S.G를 매립하였다. 하중진전에 따른 균열 폭을 측정하기 위하여 경간중앙에서부터 50mm 간격으로 주철근을 따라 PI형 게이지를 부착하였다. 이상에서 설명한 시험체 상세 및 가력상황을 그림 1에 나타내었다.

* 정희원, 중앙대학교 건축공학과 석사
** 정희원, 목포대학교 건축조경토목공학부 전임강사
*** 정희원, 목포대학교 건축조경토목공학부 조교수
**** 정희원, 중앙대학교 건축학과 교수

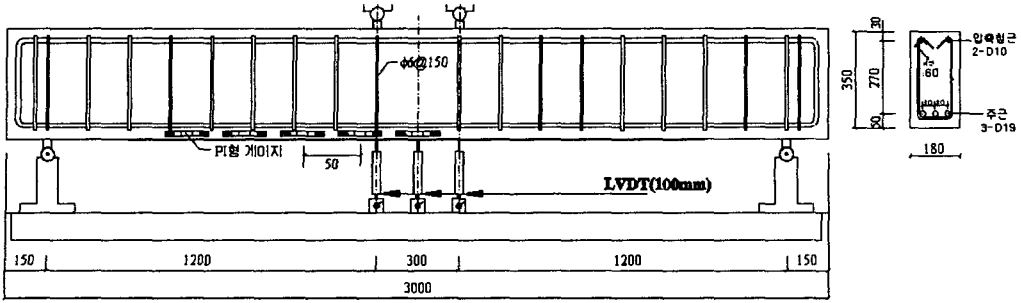


그림 1. 시험체 배근 및 가력 상세

표 1. 실험결과

3. 실험결과 및 분석

3.1 모멘트-변위 관계

표 1에 실험결과를 그림 2에 모멘트-변위 관계를 각각 나타내었다. 표 1에서 M10은 황토의 첨가율을

Specimen	f_{ck} (MPa)	P_{cr} (kN)	$P_{0.4}$ (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)
OPC	33.5	29.8	161.8	177.4	185.9
M10B00	36.8	29.2	179	179.5	188.4
M20B00	37	31.4	185.4	183.3	190.9
M30B00	32.1	27.9	184	183.9	187.1
M12.5B25	29	32.56	183	184	186.8

B25는 고로슬래그 첨가율을 각각 나타낸다. 그리고 P_{cr} 은 초기 휨 균열내력을, $P_{0.4}$ 은 최대 휨 균열폭이 0.4mm일 때의 내력을, P_y 은 주철근 항복 시 내력을, P_u 는 최대 내력을 각각 나타낸다. 표 1 및 그림 1에서 황토가 첨가된 콘크리트의 휨 거동은 보통 콘크리트(이하 OPC)와 비슷한 경향을 보였다. 즉 초기 강성, 초기 휨 균열 이후의 강성감소 및 최대 내력 이후의 내력저하는 황토 첨가량의 영향이 거의 나타나지 않았다.

3.2 최대 균열 폭

그림 3에 $0.6M_y$ 와 M_y 일 때의 최대 휨 균열 폭을 나타내었다. 최대 휨 균열 폭은 황토가 첨가되면 감소하는데, 특히 황토 첨가율 20%에서 균열 폭이 현저히 작게 나타났다. 인발실험 결과 황토 첨가율이 20%까지는 동일 부착응력에서 미끄러짐이 감소하는데, 이의 영향으로 인해 휨 균열 폭도 작게 있다고 판단된다.

3.3 휨 내력

그림 4에 각 시험체의 휨 내력의 비교를 나타내었다. 초기 휨 균열 내력은 황토 첨가량이 증가할수록 미세하게 증가하며 최대 휨 내력의 15~17% 범위에 있었다. 사용성 내력(M_{ser})은 최대 처짐이 $L/360$ 일 때의 내력과 최대 균열 폭 0.4mm일 때의 내력 중 작은 값이다. 사용성 내력 및 최대 내력은 황토 첨가율 20%에서 가장 높게 나타났다. 또한 황토와 고로슬래그가 첨가된 M12.5B25 시험체의 휨 내력들도 황토가 20% 치환된 M20B00 시험체와 비슷한 수준으로 있었다.

3.4 휨 연성

그림 5에 각 시험체의 휨 연성비(μ)를 나타내었다. 휨 연성비는 최대 내력시 변위(Δ_u)에 대한 항복 내력시 변위(Δ_y)의 비로 정의하였다. 황토첨가량이 증가할수록 휨 연성비는 감소하는 경향을 보였다. 하지만 황토와 함께 고로슬래그를 첨가하면 휨 연성은 상승하였다. 철근콘크리트 보의 휨 연성은 주철근 강도 및 양과 콘크리트의 응력-변형률 관계에 의해서 결정된다. 황토 콘크리트의 응력-변형률 관계는 황토 치환량이 증가할수록 취성적이며, 고로슬래그가 함께 첨가되면 보다 연성적으로 나타난다. 이들 재료의 응력-변형률 특성¹⁾이 철근콘크리트 보의 휨 연성에 그대로 반영되고 있었다.

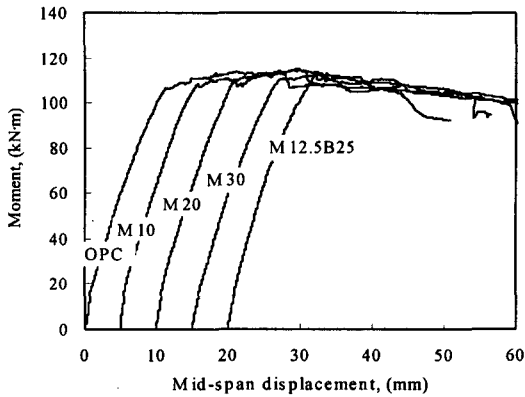


그림 2. 모멘트-변위 관계

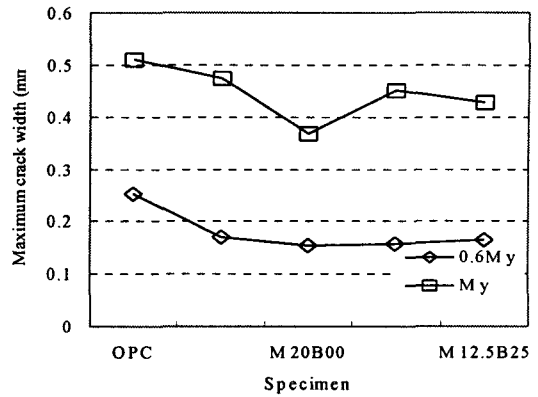


그림 3. 최대 균열 폭

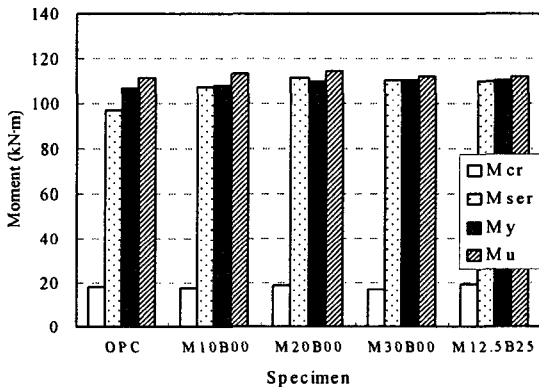


그림 4. 휨 내력의 비교

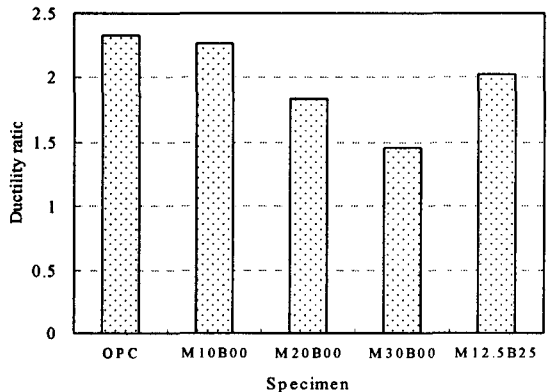


그림 5. 휨 연성비

$$\frac{f_r I_g}{y_i} \tag{1}$$

여기서 y_i 는 중립축에서 인장연단까지의 거리이며, f_r 은 $0.63\sqrt{f_{ck}}$ (MPa)를 적용한다.

ACI 318-02 기준에서는 건조환경에서 허용균열 폭을 0.4mm로서 제한하고 있다. 이를 적용하면 철근의 응력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_s = \frac{0.4}{1.08\beta_c \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5}} \tag{2}$$

콘크리트 압축응력 분포를 직선으로 가정하면 최대 균열 폭이 0.4mm일 때의 휨 내력(M_w)은 다음과 같다.

$$(M_w) = f_s A_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) + \frac{kd-d}{d-kd} f_s A_s' \left(\frac{kd}{3} - d' \right) \tag{3}$$

여기서 kd 는 균열단면에서의 중립축 깊이로서 탄성이론에 의해 산정된다.

상부 2점 집중하중을 받는 보의 모멘트-처짐 관계식으로부터 최대 허용처짐 ($\Delta_{allow} = L/360$)에 대한 휨 내력은 다음과 같다.

$$M_d = \Delta_{allow} E_c I_e \left(\frac{24}{3L^2 - 4a^2} \right) \quad (4)$$

휨 부재의 사용성은 최대 균열 폭과 허용처짐에 의해 결정되므로 사용성 내력 (M_{ser})은 다음과 같다.

$$M_{ser} = \text{Min}(M_w, M_d) \quad (5)$$

항복내력은 콘크리트 응력분포를 직선으로 가정하면 식 (6)으로 최대내력은 극한강도 이론에 의해 식(7)로 각각 나타낼 수 있다.

$$M_y = f_y A_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) + \frac{kd - d'}{d - kd} \epsilon_y E_s A_s' \left(\frac{kd}{3} - d' \right) \quad (6)$$

$$M_u = A_s' f_s' (d - d') + (A_s f_y - A_s' f_s') (d - a_1/2) \quad (7)$$

여기서 a_1 은 응력블록의 깊이이다.

제안된 휨 내력과 실험 값의 비교를 그림 6에 나타내었다. ACI 318-02 설계기준에 근거하여 제시된 휨 내력들은 실험결과에 대해 15% 정도의 안전율을 갖고 있으며, 특히 최대 휨 내력은 제안모델과 잘 일치하였다. 따라서 황토를 첨가한 철근콘크리트 보의 휨 내력은 ACI 318-02 설계기준에 의해 안전측에서 적절히 평가될 수 있다고 판단된다.

4. 결론

1) 황토 치환율 20%에서 사용성 내력 및 최대내력이 가장 우수하였으며, 고로슬래그를 함께 첨가하면 휨 연성을 향상시킬 수 있었다.

2) ACI 318-02 설계기준에 근거하여 제시된 휨 내력 평가모델은 15% 정도의 안전측에서 실험결과와 잘 일치하였다.

감사의 글

본 연구는 월드건설(주)의 지원으로 수행된 실험결과와 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강홍기, 양근혁, 이영호, 황혜주, 정현수, "황토와 슬래그를 첨가한 콘크리트의 강도 및 응력-변형률 관계", 한국 콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권, 제1호, 2004, 5, pp. 672-675
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-02) and Commentary-(318R-02)", American Concrete Institute, 2002.

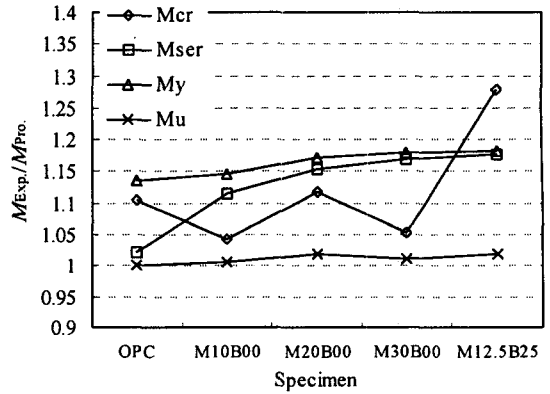


그림 6. 휨 내력에 대한 실험 값과 제안 값의 비교