

철근 콘크리트 보의 전단피로해석 모델 연구

A Study on the Shear Fatigue Analysis Model of Reinforced Concrete Beams

오 병 환* 홍 경 옥**
Oh Byung Hwan Hong Kyung Ok

ABSTRACT

Fatigue is a process of progressive permanent internal structural change in a material subjected to repetitive stresses. These changes may be damaging and result in progressive growth of cracks and complete fracture if the stress repetitions are sufficiently large. For structural members subjected to cyclic loads, the continuous and irrecoverable damage processes are taking place. These processes are referred as the cumulative damage processes due to fatigue loading. Moreover, increased use of high strength concrete makes the fatigue problem more important because the cross-section and dead weight are reduced by using high strength concrete.

The purpose of this study is to investigate the shear fatigue behavior of reinforced concrete beams according to shear reinforcement ratio and concrete compressive strength under repeated loadings. For this purpose, comprehensive static and fatigue tests of reinforced concrete beams were conducted.

The major test variables for the fatigue tests are the concrete strength and the amount of shear reinforcements. The increase of deflections and steel strains according to load repetition has been plotted and analyzed to explore the damage accumulation phenomena of reinforced concrete beams. An analytical model for shear fatigue behavior has been introduced to analyze the damage accumulation under fatigue loads. The failure mode and fatigue lives have been also studied in the present study. The comparisons between analytical results and experimental data show good correlation.

1. 서론

철근 콘크리트 보의 전단에 대하여 많은 연구들이 수행되어 왔으며, 이 결과들로 철근 콘크리트 보의 전단에 영향을 주는 요인들이 서서히 밝혀지고 있다. 또한, 철근 콘크리트 보의 전단저항 기구에 대하여도 많은 연구가 축적되었다. 그렇지만, 피로하중을 받는 철근 콘크리트 보의 전단에 대한 연구는 아주 미미한 실정이다. 고강도 콘크리트의 사용으로 인하여 콘크리트의 인장강도가 증대되었으며, 이로 인하여 콘크리트의 전단저항 능력 또한 증대되었다. 또한, 고강도 콘크리트는 낮은 강도의 콘크리트보다 상대적으로 높은 피로 저항을 가지고 있다고 알려져 있다. 그러나, 고강도 콘크리트를 사용하게 되면 상대적으로 사하중이 감소하게 되고 활하중의 상대적인 비율이 증가하여 설계시에 피로하중이 보다 중요하게 대두된다.

본 연구에서는 피로하중을 받는 철근 콘크리트 보에서 콘크리트 강도 및 전단철근비에 따른 전단 피로거동 분석 및 전단피로에 대한 모델을 제시하여 실험결과와 비교하였다.

* 정희원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 서울대학교 토목공학과 대학원

2. 실험

2.1 실험변수

본 연구에서는 콘크리트의 압축강도에 따른 보의 피로거동에 초점을 맞추어, 피로하중이 작용하는 콘크리트 보의 전단철근, 주인장철근, 압축철근의 변형도 변화를 측정하여 손상의 과정을 살펴본다. 따라서, 콘크리트의 압축강도, 전단철근의 배근량 및 인장철근의 배근량을 주요한 변수로 설정하였다.

콘크리트의 기준 압축강도는 28, 45 및 70 MPa의 세가지로 설정하여, 주요부재가 아닌 곳에 일반적으로 사용되고 있는 압축강도, PSC 교량에 사용되는 압축강도 및 고강도의 콘크리트를 대표하고자 하였다. 전단철근의 배근은 휨과 전단이 동시에 파괴되는 전단철근 소요량의 0%, 50%, 100%의 세가지를 사용하여 전단철근의 사용량 변화에 따른 철근 콘크리트 보의 거동을 분석하고자 한다.

2.2 시험체 제작

그림 1에는 본 연구에서 제작한 시험체를 나타내고 있다. 시험체는 콘크리트의 압축강도를 나타내는 N (28MPa), MH (45MPa), H (70MPa), 전단철근량을 나타내는 S1 ($\rho_w/\rho_{w0}=0\%$), S2 (50%), S3 (100%), 그리고 하중의 재하방법에 따른 S (정적하중), R1 (하중범위 1), R2 (하중범위 2)로 분류하였다.

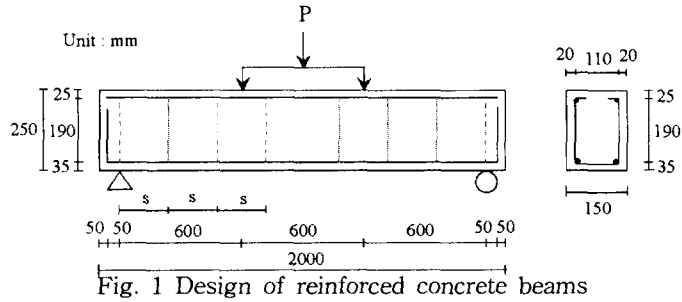


Fig. 1 Design of reinforced concrete beams

2.3 전단철근 변형도의 변화

그림 2에는 콘크리트의 강도 및 전단철근량에 따른 전단철근의 변형도 변화를 나타내고 있다.

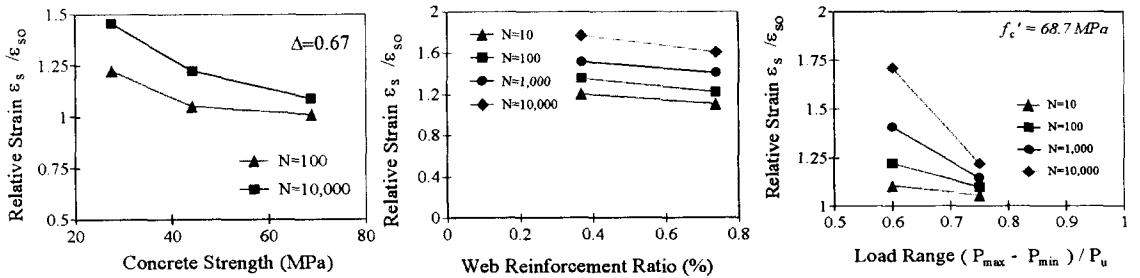


Fig. 2 (a) Stirrup strain according to concrete strength

Fig. 2 (b) Stirrup strain according to web reinforcement ratio

Fig. 2 (c) Stirrup strain according to load range

3. 철근 콘크리트 보의 전단피로거동 모델

그림 3에는 전단철근의 변형도 변화를 나타내고 있다. ϵ_{s1} 은 반복하중에 따른 철근 자체의 변형도를 나타내고 있으며, 응력에는 영향을 주지 않는다. ϵ_{s2} 는 반복하중에 의한 콘크리트 전단강도 감소를

로 인하여 추가적으로 발생하는 전단철근의 변형도, ϵ_t 는 반복하중에 의한 전단철근의 총 변형도를 나타내고 있다. 그림 4에는 피로하중을 받는 철근 콘크리트 보에서 반복하중으로 인하여 콘크리트의 전단강도가 감소하며, 이 감소되는 전단력을 전단철근이 추가적으로 부담하는 것을 나타내고 있다. 즉, 피로하중 하에서 콘크리트가 부담하는 전단력은 감소하고 전단철근이 부담하는 전단력은 증가하는 전단력의 재분배 과정을 나타내고 있다.

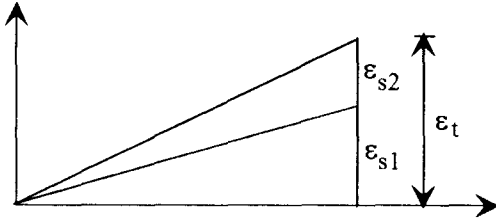


Fig. 3 Components of stirrup strain

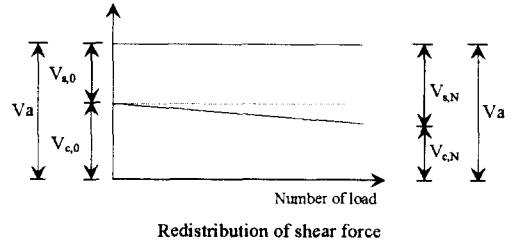


Fig. 4 Shear force redistribution under fatigue loads

그림 4에 나타나 있는 외부작용 전단력(V_a)이 일정하고, 초기의 전단력과 N번째 반복하중에서의 전단력의 관계는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_a = V_{c,0} + V_{s,0} = V_{c,N} + V_{s,N} \quad (1)$$

식 (2)는 본 연구에서 수행한 피로실험을 바탕으로 전단철근의 변형도의 변화를 전단철근량, 콘크리트 압축강도 및 하중의 범위를 고려하여 회귀분석하였다.

$$\epsilon_t = \epsilon_{t0} \left[\frac{0.5 \log N}{\sqrt{f'_c} \cdot \sqrt[3]{(\rho_w/\rho_{w0}) \cdot \Delta^2}} \right] \quad (2)$$

4. 전단피로수명 예측

그림 5에는 철근 콘크리트 보의 전단경간에서 전단철근에 작용하고 있는 응력을 나타내고 있다. 균열면에서 전단철근에 작용하는 전단력은 균열면에 직각방향의 응력(f_1)이 작용하고 있으며, 전단철근의 변형도에 영향을 주는 응력은 θ 의 각도를 가지는 응력(f_2)이 된다. 따라서, 반복하중의 최대와 최소가 전단철근의 응력에 영향을 주는 것은 다음과 같이 표현할 수 있다.

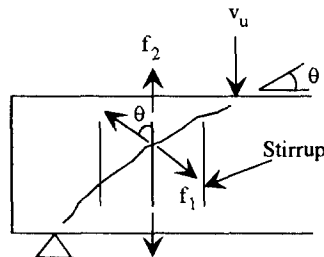


Fig. 5 Forces within shear span

$$f_{\max} = \rho_{\max} \cdot v_s \cdot f_u / f_y \quad (3)$$

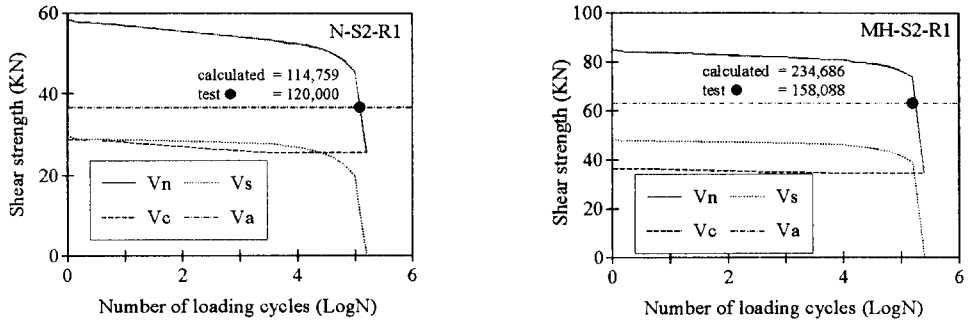


Fig. 6 Estimation of shear fatigue life

Table 2 Comparison with calculated fatigue life and test data

부재	콘크리트 기준강도 (MPa)	실험결과	피로수명예측
N-S2-R1	28	120,000	114,759
N-S2-R2		18,047	65,264
N-S3-R1		772,897	339,970
N-S3-R2		227,554	200,509
MH-S2-R1	45	158,088	234,686
MH-S2-R2		18,383	50,119
MH-S3-R1		398,156	229,470
MH-S3-R2		3,694	70,795
H-S2-R1	70	774,660	513,064
H-S2-R2		156,315	316,278
H-S3-R1		10 ⁶ 이상	373,794
H-S3-R2		103,163	158,489

5. 결론

고강도 콘크리트의 사용은 철근 콘크리트 부재의 단면을 감소시켜 상대적으로 사하중을 감소시키고 활하중의 비율을 증가시키는 효과를 갖는다. 따라서, 고강도 콘크리트를 사용한 철근 콘크리트 구조물은 활하중에 의한 응력증가로 피로가 더욱 중요한 문제로 대두되고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 전단철근량과 콘크리트의 압축강도를 주요 실험변수로 하여 철근 콘크리트 보의 피로전단거동과 피로전단강도를 규명하고 이로부터 합리적인 이론모델을 유도하여 제시하는데 있다.

피로하중을 받는 철근 콘크리트 보에서 반복하중에 의한 전단철근 변형도의 증가현상을 철근 자체의 피로손상으로 인한 변형도 변화와 콘크리트의 전단강도 감소로 인한 변형도 변화로 분리하여 전단 피로거동 모델을 제시하였다. 또한, 철근 콘크리트 보의 피로실험 및 철근 자체의 피로실험을 통하여 얻은 전단철근의 변형도 및 철근 자체의 변형도를 이용하여 피로하중을 받는 철근 콘크리트 보의 전단피로수명을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다.

6. 참고문헌

- ① ACI Committee 215, "Consideration for Design of Concrete Structure Subjected to Fatigue Loading," ACI Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, 1996.
- ② You. S. W., "An Experimental Investigation on the Fatigue Characteristics of Reinforcement Steel and Prestressed Bars," MD thesis, Seoul National University, Korea, 1990.