

반복하중을 받는 철근콘크리트보의 전단피로손상거동

Shear Damage Behavior of Reinforced Concrete Beams under Repetitive Fatigue Loadings

오 병 환* 한 승 환** 유 영*** 조 재 열***
Oh, Byung Hwan Han, Seung Hwan Yoo, Young Cho Jae Yeol

ABSTRACT

This study was performed to investigate the fatigue behaviour and fatigue damage process of RC structures under repeated load. Especially, the behavior of RC beams subjected to flexure-shear force has been focused. The test results show that the deflections of beam and the strains of longitudinal steels and stirrups under cyclic loads increase with constant rate, and these increases depend on diagonal crack openings and strain increases. The present study provides useful data for the analysis of damage accumulation of reinforced concrete beams under repeated loadings.

1. 서론

교량구조물등의 구조물에 반복하중이 작용할 때 그 크기가 구조물이 저항할 수 있는 강도보다 작다고 할지라도 구조물의 파괴를 일으킬 수 있다. 이와 같은 현상을 구조물의 피로에 의한 파괴라고 하고 파괴를 일으키는 점진적인 회복될 수 없는 손상의 누적을 피로누적손상(fatigue cumulative damage)라 한다.

기존 콘크리트보의 반복피로하중에 대한 연구가 반복횟수에 대한 파괴하중, 파괴에 대한 피로한계에 대한 연구가 주로 수행되었었다.^{1),2)} 그리고 각기 다른 특성을 갖는 부재의 개별적인 실험적 결과에 의존하여 피로평가가 수행되었으며, 그리고 손상의 진행과정과 이로 인한 처짐 및 변형도의 증가에 대한 실험적 평가는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 실험적 분석을 통하여 콘크리트 보 구조물의 반복하중의 피로에 의한 손상의 누적과정을 보의 처짐, 변형도 증가를 관찰함으로써 규명하고자 하였고, 이를 일반적인 평가방법에 활용할 수 있는 방안에 대한 고찰을 수행하였다.

-
- 1) * 정희원, 서울대학교 토목공학과 교수
 - 2) ** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
 - 3) *** 정희원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

2. 실험변수 및 시편

콘크리트 보는 하중에 의한 단면의 전단력을 균열이 발생되지 않은 콘크리트 단면의 전단저항, 전단철근의 저항, 주인장 철근의 다우셀 효과, 콘크리트 균열면 사이의 골재 맞물림 작용 등에 의해 부담한다. 그러나 이러한 전단저항은 피로효과에 의해 점차 감소되어 결국 구조요소의 파괴를 일으키기도 하고 파괴에까지는 이르지 않더라도 과도한 처짐과 과도한 변형을 유발하여 사용성에 문제³⁾를 야기하기도 한다.

따라서 이러한 손상은 전체적인 처짐의 증가와 주철근 및 전단철근의 변형도의 증가를 유발하는데 이는 균열의 진전에 의한 전단 저항 단면의 감소, 골재 맞물림 작용의 저항성 감소, 콘크리트의 비선형성으로 인한 변형연화 및 반복하중에 의한 크리프, 그리고 콘크리트와 철근의 접촉면 부착저항의 감소로 인한 미끄러짐 등과 같은 원인에 의해 발생한다.

본 연구에서는 반복되는 하중을 받는 콘크리트 보 구조요소의 전단하중에 대한 거동 및 전단철근의 거동 분석에 대한 실험적 연구를 수행하여 사인장 균열의 발생, 사인장 균열 후 반복하중하의 보의 거동, 전단철근의 변형도 및 응력변화를 실험적으로 고찰해 보았다.

2.1 실험변수

본 실험에서는 전단하중에 대한 구조요소의 거동 및 전단철근, 주철근, 압축철근의 변형도 변화에 초점을 맞추어 반복하중에 따른 이들의 변화 즉 손상의 과정을 살펴보는 것을 목적으로 하여, 전단철근의 배근과 인장철근량, 압축철근량 등을 주요 변수로하여 실험계획을 수립하였다. 다음의 표 1은 이러한 변수들과 이에 해당되는 시편을 간략히 나타낸 것으로 앞서 언급한 바와 같은 변수들로 구성되어 있다.

표 1 실험시편 및 변수

시편번호	주철근비 (ρ_l)	전단철근 (ρ_v)	재하방법	최대하중	하중범위 (%)	작용횟수	비 고
AS-0	0.023	0	정적	P_u	-	-	
AS-1			반복	$0.8P_u$	40	10^4	
AS-2					60	10^4	
AS-3					50	10^4	
AS-4	0.011	0	정적	P_u	40	10^4	
BS-0	0.023	0.0048	정적	P_u	-	-	
BS-1			반복	$0.8P_y$	40	10^3	
BS-2					40	10^4	
BS-3					40	10^3	
BS-4					60	10^4	
BS-5					70	10^4	
CS-0	0.023	0.0032	정적	P_u	-	-	
CS-1			반복	$0.8P_y$	40	10^4	
CS-2					60	10^4	
CS-3					70	10^3	
CS-4					70	10^4	
CS-5					70	10^3	

전단철근은 소요 배근량을 기준으로 100%배근과, 75% 배근 그리고 전단철근이 배근되지 않은 경우 등의 세가지 시리즈로 구성되어 있다. 전단철근이 배근되지 않은 경우는 반복하중을 정적파괴 실험의 극한하중을 기준으로 이 극한하중의 80%를 최대하중으로 극한하중의 40, 50, 60%를 하중범위로 하여 반복하중을 재하하였고, 전단철근이 배근된 경우는 정적파괴 실험의 전단철근 항복하중을 기준으로 이의 80%를 최대 하중으로 하고, 40, 60, 70%를 반복하중의 작용범위로 하였다.

표 1에서 최대하중을 콘크리트의 사인장 균열하중 이상으로 하여 사인장 균열 발생이후 전단철근의 거동에 초점을 맞추었다. 주인장 철근비는 철근단면적에 단면적(bd)으로 나눈 값이고, 전단철근비는 전단철근의 면적을 전단철근 간격과 보의 깊이를 곱한 전단면적의 유효단면을 나눈 값이다.

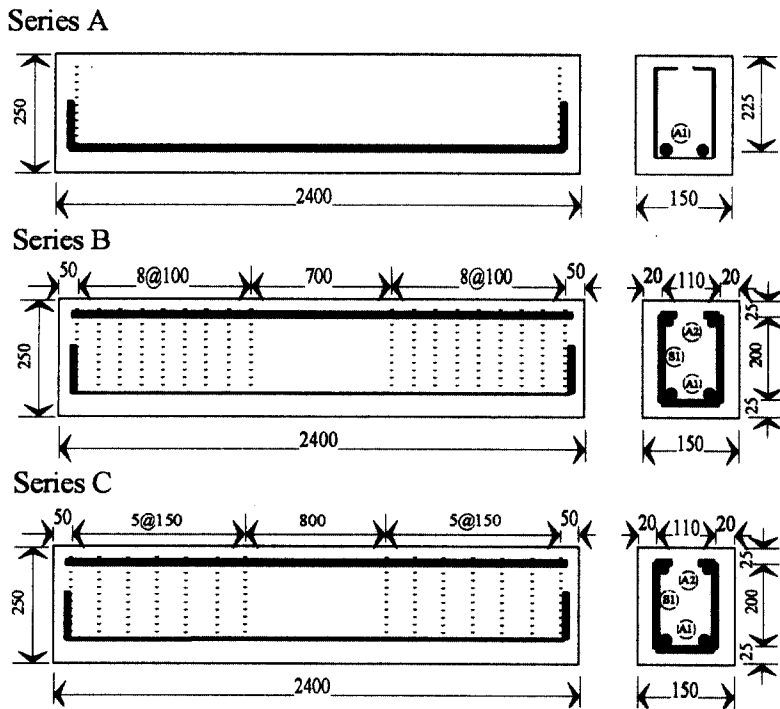


그림 1 실험시편의 단면형상 및 배근도

2.2 실험시편

실험시편은 1종시멘트, 쇠석골재, 이형철근을 사용하여 철근콘크리트보를 제작하였으며 실험시편의 형상은 구형의 일정단면으로서 다음의 그림 1과 같은 배근을 갖는다. 시편은 세 시리즈로 이루어져 있는데 각 시리즈의 배근은 그림에서와 같이 주철근, 전단철근, 압축철근으로 배근되어 있다.

인장 주철근은 4000 kg/cm^2 이상의 항복강도를 갖는 SD40의 D22 이형철근을 사용하였다. 이

인장철근의 정착은 지점부인 단부에서 상향직각으로 절곡하여 부착 및 정착성을 확보하도록 하였다. 그리고 압축철근은 SD40의 D19 이형철근을 사용하였고, 전단철근은 3000 kg/cm² 이상의 항복강도를 갖는 D10의 이형철근을 사용하였다. 전단철근이 배근된 B-series와 C-series에서 전단철근의 간격은 각각 10cm, 15cm로하여 전단력이 지배적인 지점과 하중재하점사이의 전단지간에 배근하였다.

각 실험시편은 동일한 콘크리트를 사용하여, 배합강도 290 kg/cm²를 갖는 콘크리트를 사용하여 제작되었고, 제작시 압축강도와 휨강도의 추정을 위해 실린더 공시체와 보 공시체를 같이 제작하였다.

3. 실험방법

하중재하는 4점 휨시험법에 의한 정적재하는 변위제어방법으로 이루어졌고, 반복하중재하는 하중제어 방법에 의해 이루어졌다. 특히 반복하중은 재하형태를 사인함수의 형태로하여 자동제어 되도록 하였으며, 첫 하중은 작용하는 반복하중 범위의 중간값까지 선형으로 증가시킨 후 반복하중이 재하되는 방법을 취하였다. 반복하중의 재하속도는 문헌4)에 의해 재하속도가 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 보고된 바 있는 3Hz이하로 하였으며, 각 10의 지수배에 해당되는 하중의 재하시에는 반복하중의 재하속도를 수동으로 조절하여 하중과 변위, 변형도의 관계를 노이즈 없이 측정하도록 조절하였다.

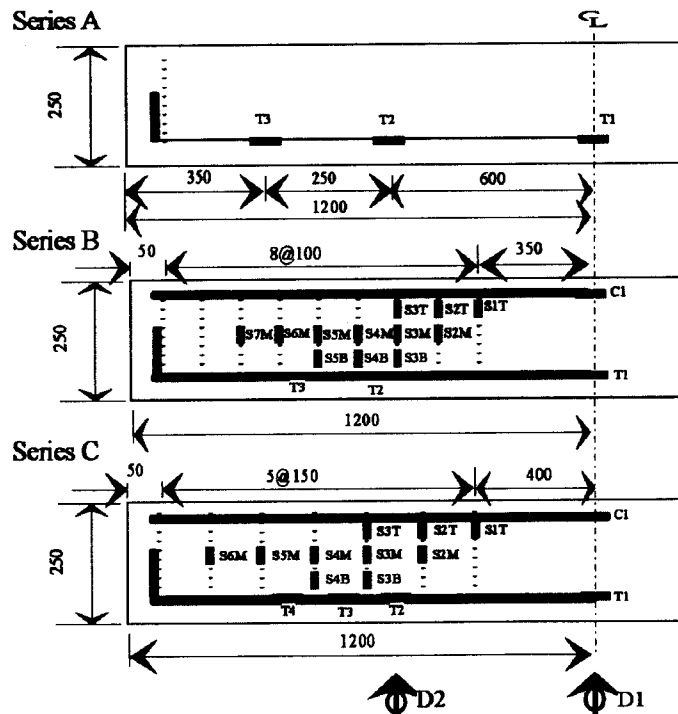


그림 2 실험시편의 Gage Points

4. 실험결과

정적시험의 경우는 하중과 변형도 및 변위의 관계, 반복하중 재하 시험의 경우는 변형도와 변위의 관계 외에 하중작용 횟수와 변위 및 변형도의 관계가 추가적으로 얻어지므로 이에 대한 결과들이 다음에 기술하는 바와 같다. 반복횟수에 대한 측정값의 변화는 10의 지수승, 즉 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000 사이클에서 얻어지는 결과를 이용하여 도해된다. 이때 각 측정횟수에서의 측정은 하중재하의 속도를 느리게 하여 노이즈에 의한 간섭이 없는 상태에서 충분한 결과가 얻어지도록 하여 상대비교하였다.

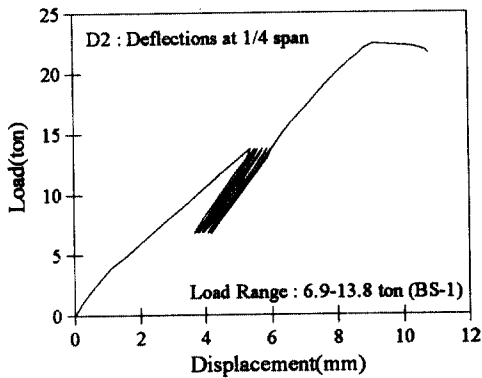


그림 3 전단철근이 있는 반복재하부재의 하중 처짐 곡선

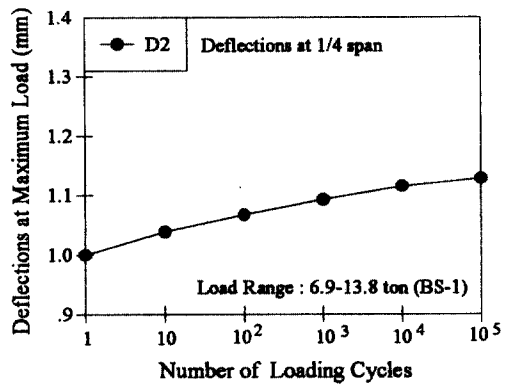


그림 4 보의 반복재하에 따른 최대처짐의 변화

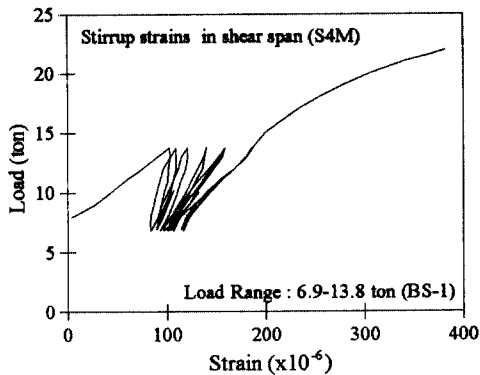


그림 5 반복재하부재의 전단철근 변형도 곡선

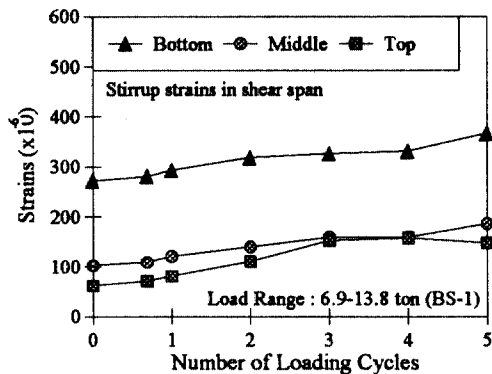


그림 6 반복재하부재의 전단철근 최대변형도변화

5. 결론

본 연구는 사인장 균열에 의한 보부재의 균열후 반복하중에 대한 거동변화를 대상으로 하였으며 실험적 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 반복하중의 재하에 의해 10⁵회 재하후 최대처짐은 초기 처짐량의 10~24% 까지 증가하는 것을 관찰할 수 있었고, 전단철근의 경우 사인장 균열 발생후 반복하중에 의해 최대 200% 이상까지도 증가되는 것으로 나타났다.
2. 전단철근의 배근에 의해 설계식에 의한 공칭전단강도는 33% 정도 증가하나($\rho_v=0.0032$ 과 $\rho_v=0.0048$ 의 비교), 실험결과에 의한 사인장 균열하중의 증가는 17% 정도에 불과한 것으로 나타났다. 특히 이런 사인장 균열하중은 공칭전단하중의 65%, 57%로서 전단철근비가 높아질수록 사용하중상태에서의 사인장 균열발생가능성은 높아지는 것으로 조사되었다.
3. 균열관찰과 에너지손실량의 추이분석을 통해 사인장균열에 의한 철근콘크리트보의 전단피로손상은 초기재하시에 형성된 균열의 확대와 콘크리트의 변형도 증가, 강성의 감소 등에 점진적으로 발생하는 것으로 나타나고 있다.
4. 반복피로하중에 의한 철근콘크리트보의 점진적 손상은 안전성 측면에서 뿐만아니라 사용성의 측면에서 처짐 및 변형도의 증가현상을 정확히 평가하여야만 하며, 본 연구결과가 이에 유용하게 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. Hilsdorf, H. K., and Kesler, C. E., "Fatigue Strength of Concrete Under Varying Flexural Stresses," ACI Journal, Proceedings V.63, No.10, Oct. 1966, pp.1059-1076.
2. Gronqvist, N. O., "Fatigue Strength of Reinforcing Bars," Current Paper No. CP7/71, Building Research Station, Garston, Watford, Mar. 1971, 31 pp.
3. Raju, N. K., "Small Concrete Specimens Under Repeated Compressive Loads by Pulse Velocity Technique," Journal of Materials, V.5, No.2, June 1970, pp.262-272.
4. Murdock, John W., "A Critical Review of Research on Fatigue of Plain Concrete," Bulletin No. 475, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, 1965, 25pp.