

철근 이중 콘크리트 보의 피로 거동

Fatigue Behavior of Reinforced Dual Concrete Beam

박 대 효* 이 상 희**

Park, Tae hyo Lee, Sang hee

ABSTRACT

Reinforced dual concrete beam (RDC beam) is the reformed system that improves the overall structural properties of beam by partially applying high performance steel fiber reinforced concrete (HPSFRC) in the lower tension part of conventional reinforced concrete beam (RC beam). Fatigue test was done to prove the structural superiority of RDC beam. As a result of fatigue test, the deflection of RDC beam was decreased obviously and the slope of number of cycle-deflection relation curve of RDC beam was increased gently in comparison with RC beam.

1. 서론

건설재료로 사용되는 콘크리트는 우수한 압축강도와 경제적이라는 장점을 갖고 있으나, 인장강도, 충격강도가 낮고 에너지 흡수 능력이 적은 취성적인 성질을 나타낸다. 이러한 단점을 보완하고 콘크리트 구조물의 성능을 향상시키기 위해 섬유를 첨가한 섬유 보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete, 이하 FRC)는 일반 콘크리트에 비해 균열강도 및 극한 강도가 증진되고 섬유에 의한 균열 진전 억제 효과가 있음을 보여주었다.

Gunasekaran¹⁾은 전단면에 걸쳐 FRC가 적용된 보와 단면 높이의 1/2까지 FRC가 적용된 보의 휨 성능 실험을 통해 두 보의 구조적 성능이 비슷함을 보였다. Swamy and Al-Ta'am²⁾은 휨 철근의 종류와 양, 적용된 섬유의 양을 변수로 하여 전단면과 단면 높이의 1/2까지 섬유가 보강된 보의 휨 실험으로부터 일반적으로 전단면에 강섬유가 보강된 보의 구조적 성능이 단면 높이의 1/2까지 보강된 것보다 우수하지만 그 차이는 미미함을 보였다. Park et al.³⁾은 철근콘크리트 보의 인장부 일부에만 고성능 강섬유 보강 콘크리트(High Performance Steel Fiber Reinforced Concrete, 이하 HPSFRC)가 적용된 철근 이중 콘크리트 보(Reinforced Dual Concrete Beam, 이하 RDC 보)를 제안하였고, RDC 보에 대한 휨 및 전단 실험을 실시하여 철근콘크리트 보에 비해 하중지지 능력이 향상되고 처짐 및 균열 폭이 감소되는 것을 보였다. 이는 다른 콘크리트 재료에 비해 고가인 섬유의 양을 최소화하여 경제성을 극대화함과 동시에 FRC가 효율적으로 적용되어 구조적 성능이 개선된 FRC 보의 도입 가능성을 의미한다.

본 논문에서는 철근콘크리트 보의 인장부 일부에만 HPSFRC가 적용된 RDC 보를 이용하여 피로실험을 실시한다. 하중의 점진적인 증가와 반복횟수 증가에 의한 처짐과 파괴양상이 관찰되고 반복횟수에 따른 처짐 관계가 고찰된다. 또한 비교를 위한 기준 시험체인 철근콘크리트 보와의 피로성능 비교 평가를 통해 RDC 보의 실제 적용 가능성을 검증하도록 한다.

*정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

**정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험계획

2.1 사용재료

본 연구에서 RDC 보 제작을 위해 시행된 배합은 **Table 1**과 같다. 시멘트는 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되었고, 고로 슬래그와 실리카 폼이 각각 결합재 중량의 20%와 5%로 치환되어 사용되었다. 콘크리트의 유동성 확보를 위하여 G_{max} (골재 최대치수)=13mm인 굵은 골재가 사용되었으며, 잔골재는 깨끗한 강사가 사용되었다. 보강 섬유는 길이(L) 30mm, 직경(D) 0.5mm, 형상비(L/D) 60, 항복강도가 687MPa인 변형형 강섬유가 사용되었다. 또한 섬유와 결합재를 고르게 분산시키기 위하여 폴리카르보산계 고성능 감수제가 사용되었다. 휨 철근은 항복강도가 343MPa인 이형철근이 사용되었으며, 보통 강도 콘크리트(Normal strength concrete, 이하 NSC)는 압축강도 f_{ck} =29.1MPa인 레디 믹스트 콘크리트(Ready mixed concrete)가 사용되었다.

2.2 콘크리트의 역학적 특성

본 실험에 사용된 콘크리트의 역학적 특성은 **Table 2**와 같다. 100mm×200mm 원주형 공시체와 100mm×100mm×400mm 각주형 공시체를 제작하여 각각 KS F 2403, 2405, 2408 규정에 따라 측정된 평균값이 콘크리트의 역학적 특성 값으로 사용되었으며, 탄성계수는 콘크리트 구조설계 기준에 의거하여 산정된 값이 사용되었다.

2.3 시험체 제작

시험체의 제원과 개요는 각각 **Table 3**과 **Fig. 1**에 제시되어 있다. 직사각형 단면(0.3m×0.5m)을 갖는 길이 5.7m인 RDC 시험 보는 HPSFRC를 단면의 하단에서 170mm 높이까지 적용하였으며, 인장철근의 철근비는 $\rho=0.45\rho_b$ ($A_s=19.27\text{cm}^2$)를 이용하여 제작되었다. 또한 전단파괴를 방지하기 위하여 전단 보강 철근이 배근되었고, 보의 형상유지와 전단보강 철근의 위치 확보를 위하여 형상유지 철근이 배근되었다.

Table 1 Mix design of HPSFRC

G_{max} (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	Air (%)	V_f (%)	Unit weight (kg/m^3)						SP(C×0.02) (kg/m^3)
					W	C	BFS	SF	S	G	
13	21	26	3.7	1.5	170	480	131	33	678	805	9.81

BFS^a : blast-furnace slag, SF^b : silica fume, SP^c : superplasticizer

Table 2 Measured properties of concrete

Class	Compressive strength (MPa)	Split tensile strength (MPa)	Flexural tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)
NSC	29.1	2.6	4.7	25.4
HPSFRC	84.0	11.2	14.3	37.9

Table 3 Summary of experimental program

Class	Designation	Reinforcement ratio		Stirrups	HPSFRC application depth (mm)
		ρ	ρ'		
Fatigue test	RC-I	$\rho=0.45\rho_b$	0.00294	11-D13	-
	RDC-I				170

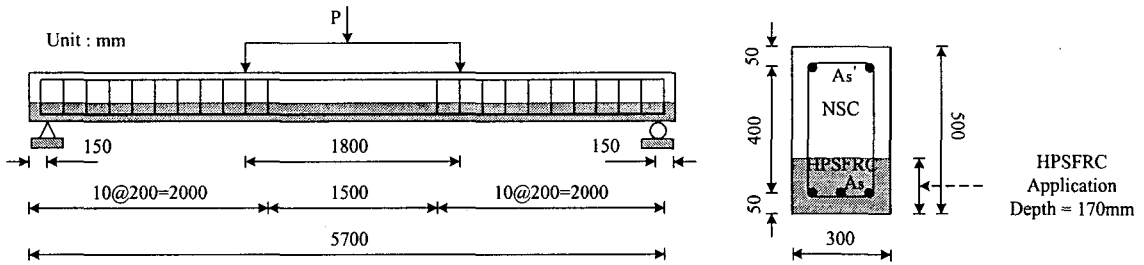


Fig. 1 Fatigue test beam

3. 실험방법

피로실험의 전경은 Fig. 2에 나타나 있고 피로실험에 관련된 세부내용은 Table 4에 제시되어 있다. 피로실험은 보의 양 쪽 단부에서 150mm인 지점에서 지지시키고 중심에서 각각 900mm인 지점에 하중 가력점을 위치시켜 4점 재하시험이 되도록 하였으며, 하중제어 방식으로 가력되었다. 재하방법은 초기 1회에서 5회까지 정적하중이 재하된 후 반복하중이 가력되었으며, 반복하중의 재하파형은 정현파 (sin 파)로 하였다. 반복하중의 재하속도는 2Hz로 하였으며 최고응력에 대한 최저응력의 비율인 응력비($\sigma_{min}/\sigma_{max}$)는 $R=0.1$ 로 일정하게 유지시켰다. 작용하중은 Park et al³⁾의 정적실험에서 구해진 초기균열강도의 90%, 110%, 130%가 적용되었으며 재하횟수 250,000회까지는 초기균열 하중의 90%, 350,000회까지는 110%가, 1,000,000회까지는 130%가 시험 보에 작용되었다.

4. 실험결과 및 분석

하중재하의 반복횟수와 보의 중앙 처짐 관계는 Fig. 3과 같다. RC-I 시험 보와 RDC-I 시험 보는 1~50,000회 범위에서 큰 폭의 처짐 증가를 보인 후 250,000회까지 완만하게 처짐이 증가된다. 구간 I (1~250,000회)에서 RC-I 시험 보는 RDC-I 시험 보에 비해 보다 급한 기울기로 처짐이 증가된다. 이는 하중 재하 초기단계에서 발생하는 영구 변형의 작용에 기인한다. RDC-I 시험 보가 RC-I 시험 보에 비해 초기 처짐이 작게 일어나는 것은 강섬유 보강에 의한 균열제어 작용과 휨 강성 증대의 결과이다.

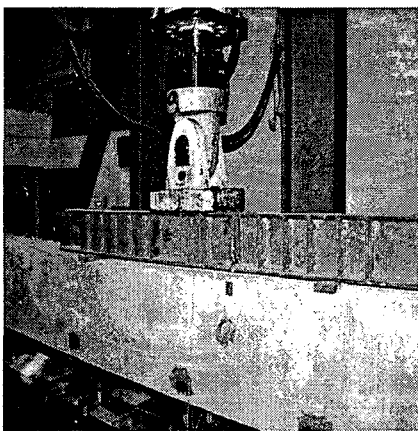


Fig. 2 Experimental set-up of test beam

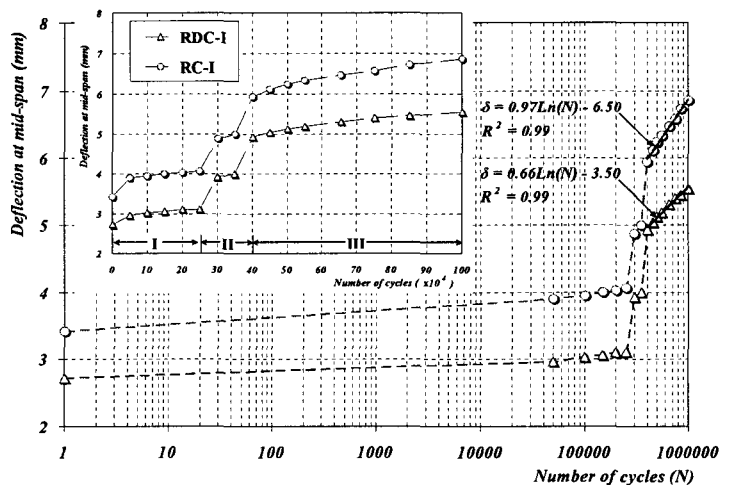


Fig. 3 Number of cycle-deflection relation

Table 4 Results of fatigue test

Designation	Recycle speed	$P_{max}(kN)$	$P_{min}(kN)$	$N_f(cycle)$	Deflection(mm)
RC-I	2Hz	90	9	250,000	4.070
		110	11	300,000	4.874
		110	11	350,000	5.000
		110	11	400,000	5.941
		130	13	1,000,000	6.860
RDC-I	2Hz	90	9	250,000	3.115
		110	11	300,000	3.925
		110	11	350,000	4.002
		130	13	400,000	4.930
		130	13	1,000,000	5.540

RDC-I 보와 RC-I 시험 보는 구간 II (250,000~400,000회) 범위에서 하중의 변화에 따라 상당한 처짐의 증가를 보인다. 이와 같은 실험 결과는 피로실험에서의 처짐은 작용하중의 하중수준에 의해 크게 영향을 받기 때문이다.

하중수준의 변화에 따라 상당한 변화를 나타낸 이후, 구간 III (400,000~1,000,000회)에서의 철근 이종 콘크리트 보의 처짐은 반복하중 횟수의 늘어남에 따라 뚜렷한 증가 경향을 보였다. 이는 시험보가 구간 III에서 반복적인 하중으로부터 직접적인 피로의 영향을 받고 있음을 의미한다. 또한 RDC-I 시험 보의 처짐 곡선 기울기가 RC-I 시험 보의 것에 비해 비교적 처짐의 증가가 완만한데, 이는 인장부 하단에 강섬유 보강 콘크리트를 적용함으로써 하중지지 능력이 향상되고 연성이 증대되기 때문이다. 또한 강섬유에 의한 균열제어 작용이 지속적으로 작용되고 있기 때문이다.

5. 결론

철근 이종 콘크리트 보와 일반 철근콘크리트 보의 피로실험을 통해 도출된 결과는 다음과 같다. 피로하중에 대한 철근 이종 콘크리트 보의 처짐은 재하횟수 초기에 완만한 기울기로 증가되며, 작용 하중수준의 변화는 피로실험의 처짐에 큰 영향을 주었다. 하중수준의 증가에 따라 상당한 처짐이 발생된 이후에는 시험 보의 처짐이 반복하중 횟수의 증가에 따라 뚜렷하게 비례하는 경향을 보였으며, 인장부 하단에 강섬유 보강 콘크리트의 적용함으로써 철근 이종 콘크리트 보의 거동이 일반 콘크리트 보에 비해 보다 연성적인 형태로 변화되었다. 이상과 같은 결과에서 철근 이종 콘크리트 보의 일반 철근콘크리트 보에 비해 사용성 및 안전성 측면에서 우수한 성능을 나타내므로 피로하중이 차지하는 비율이 높은 철근콘크리트 구조물로의 활용 가능성이 크다.

감사의 글

본 연구는 “건설교통부의 건설교통기술혁신사업 (02 산학연 A03-01)”의 일환으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Gunasekaran, M., "Strength and behaviour of lightweight concrete beams made with sintered fly-ash aggregates and fiber-reinforced partially", The Indian Concrete Journal, Vol.19, No.11, 1975, pp.332~334.
2. Swamy, R.N. and Al-Ta'an, S.A., "Deformation and ultimate strength in flexural of reinforced concrete beams made with steel fiber concrete", ACI Journal, Vol.78, No.5, pp395~405.
3. 박대효, 박재민, 김희대, "철근 이종 콘크리트 보의 휨 및 전단 거동", 콘크리트학회 논문집, 17권 3호, 2005, pp.401~409.