

반복하중하에서 강섬유보강 철근콘크리트 연속보의 피로거동

Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Continuous Beams under Cyclic Loading

곽 계 환* · 박 종 건** · 장 화 섭**

Kwak, Kae Hwan · Park, Jong Gun · Jang, Wha Sup

Abstract

As concrete structures are getting larger, higher, longer and more specialized, it is more required to develop steel fiber concrete and apply to the real world. In this research, it is aimed to have fatigue strength examined, varying the steel fiber content of 0%, 0.75%, 1.00%, 1.25% by experimental study of fatigue behavior of the steel fiber reinforced concrete continuous beams under cyclic loading. The ultimate load and initial load of flexural cracking were measured by static test. In addition, the load versus strain relation, load versus deflection relation, crack pattern and fracture mode by increasing weight were observed. On the other hand, the crack propagation and the modes of fracture according to cycle number and the relation of cyclic loading to deflection relation and strain relation were investigated by fatigue test.

As the result of fatigue test, continuous beam without steel fiber was failed at 60~70% of the static ultimate strength and it could be concluded that fatigue strength to two million cyclic loading was around 67.2% by S-N curve. On the other hand, that with steel fiber was failed at 65~85% of the static ultimate strength and it could be concluded fatigue strength to two million cyclic loading around 71.7%.

Keywords : Steel fiber, Continuous beam, Fatigue test, S-N curve, Cyclic loading

I. 서 론

급속한 경제성장은 필연적으로 물동량의 증가를 가져오게 되고, 물동량의 증가는 교통량의 증가와 함께 교량 통과하중이 증대하게된다. 이와 같은 현상은 교량의 균열발생과 균열성장 그리고 파괴로 이어져 사용성 및 안전성의 문제를 일으키고 있다. 강섬유의 사용은 콘크리트의 취성을 적게하고 보다

* 원광대학교 공과대학
** 원광대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-63-850-6720
Fax: +82-63-857-7204
E-mail address: kkh6720@wonkwang.ac.kr

더 유연성을 갖게함과 동시에 철근콘크리트 구조물의 균열발생과 균열성장을 제어할 수 있다. 따라서 강섬유 보강 철근콘크리트에 대한 연구와 개발이 점점더 중요해지고 있다. Romualdi & Batson (1963)의 강섬유 사이의 간격에 대한 연구결과가 이론적 연구의 시발점이 되었다. Kani(1964)는 전단파괴를 방지하는 복부보강 함수에 대한 합리적인 이론을 제시하였다. 또한, Kwak, K.H(1991)은 강섬유 혼입률에 따른 전단 및 피로거동을 파악하였고 피로실험에서 보의 파괴는 강섬유의 뿔힘에 의해서 이루어지나 긴 강섬유는 부분적으로 절단된다는 사실을 발표하였다.

본 연구에서는 정적실험을 통하여 시편의 극한하중, 초기 휨균열하중, 초기 사인장균열하중, 하중-처짐 관계, 하중-변형 관계, 하중증가에 따른 균열성장과 파괴양상 등을 고찰하였다. 또한, 피로실험을 통하여 반복횟수-처짐 관계, 반복횟수-변형 관계를, 반복횟수에 따른 균열진전과 파괴양상을 고찰하였다. 피로실험 결과로부터 피로수명과 피로강도식을 도출하였다. 반복하중하에서 강섬유보강 철근콘크리트 연속보에 대한 피로거동을 파악하였으며, 이렇게 함으로써 궁극적인 안전성, 경제성 및 사용성의 증대를 꾀하여 실용화를 목표로 연구범위를 설정하였다.

II. 강섬유보강 철근콘크리트 거동

1. 강섬유보강 철근콘크리트의 특성

강섬유와 콘크리트의 접촉면은 Fig. 1과 같이 세 개의 층으로 이루어져 있다. 콘크리트와 강섬유가 접촉하고 있는 부분과 Calcium hydroxide 결정들으로써 이루어진 부분과 이를 둘러싸는 다공성의 층으로 이루어져 있다. 응력을 받을 때의 다공층(Porous layer)에서 모체 콘크리트와 강섬유간의 풀림(Debonding)현상이 일어나게 된다. 강섬유보강 콘크리트의 특징은 일반콘크리트에 비해 첫째,

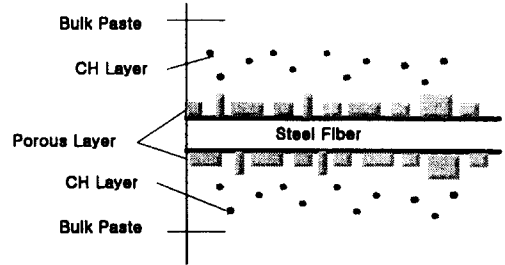


Fig. 1 Micro structure of steel fiber in steel fiber reinforced concrete

인성증가, 둘째, 인장, 전단, 휨강도 증가, 셋째, 내충격성, 내마모성, 피로성 증가, 넷째, 건조수축의 감소 등을 들 수 있다.

2. 혼입량에 따른 강섬유보강 콘크리트의 하중-처짐곡선

Fig. 2는 휨 실험에서 작성된 강섬유 보강 콘크리트에 대한 전형적인 하중-변형곡선을 나타낸 것이며, 혼입량이 다른 강섬유 보강 철근콘크리트의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. 곡선 (1)은 균열강도를 초과한 후에 파괴가 갑자기 발생한 무근콘크리트를 나타낸다. 곡선 (2)~(4)는 강섬유의 함량이 증가함에 따른 다른 특성을 보여준다. 균열이 발생한 시편의 경우에 하중이 감소하는 경우를

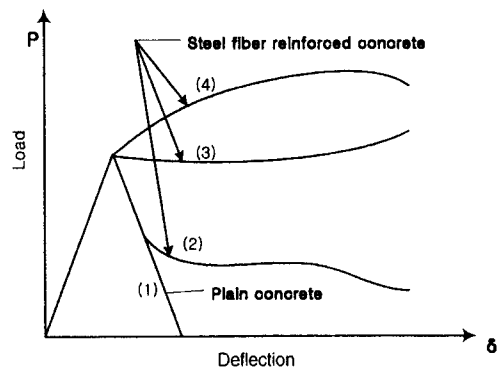


Fig. 2 Load-deflection curve of steel fiber reinforced concrete with different amount of steel fiber mixing

알아보면 다음과 같다.

- ① 상대적으로 적은 섬유함량인 경우
- ② 체적의 약 0.7%까지 정지마찰이 초과되었을 때 부착력이 작은 섬유
- ③ 인발 저항을 견디지 못하고 파괴된 유효길이를 초과하는 섬유인 경우

3. 전단시간비에 따른 강도의 변화

강섬유를 혼입함으로써 증가하는 압축강도, 인장강도 및 인성은 강섬유보강 철근콘크리트가 휨 응력을 받을 때 휨에 대하여 크게 저항한다. 보의 파괴는 다음과 같이 4종류로 설명된다.

- ① 깊은 보: $a/d \leq 1$, 아치처럼 거동한후 전단에 의해 파괴
- ② 짧은 보: $1 \leq a/d \leq 2.5$, 전단-인장파괴와 전단-압축파괴하며 전단에 의해 파괴
- ③ 중간 보: $2.5 \leq a/d \leq 6$, 경사휨전단균열이 발생한후 사인장균열로 파괴
- ④ 긴 보: $a/d \geq 6$, 굽힘에 의한 파괴

Ⅲ. 실험계획

1. 사용재료

강섬유를 혼입한 콘크리트의 배합설계를 위하여 국내 D사 제품인 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 잔골재의 비중과 조립률은 각각 2.62, 2.73이었고, 굵은골재의 비중과 조립률은 각각 2.58과 6.57이고 굵은골재는 최대치수가 25 mm인 쇄석을 사용하였다. 시편제작에 사용된 철근은 이형철근으로 인장, 압축철근은 D19, 전단보강에 사용된 철근은 D10을 사용하였다. 강섬유 혼입으로 인한 워커빌리티의 저하를 방지하기 위하여 고성능감수제인 비중 1.21, pH 8.0인 Power Con-100을 사용하였으며, 본 실험에 사용된 강섬유는 벨기에 D사의 제품으로서 양단 흑크형을 사용하였고 비중은 7.85이며 형상비는 $80(=60/0.75)$ 이었다. 사용된 강섬유의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2. 배합설계

강섬유 보강 콘크리트의 배합설계는 강섬유 혼입

Table 1 Physical properties and shapes of steel fiber

Aspect ratio (l/d)	Length (mm)	Diameter (mm)	Tensile strength (MPa)	Shapes of section	Specific gravity
80	60	0.75	1,078	square	7.85

Table 2 Mixing proportion

Series	Max size (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
						W	C	S	G	SP (g/m ³)	V _f
RC	25	10	2	42.5	45.7	156.24	433	711.24	951.83	866	0%
SFRC 1	25	6	2.6	42.5	45.7	156.24	433	711.24	951.83	1732	0.75%
SFRC 2	25	-	4	42.5	45.7	156.24	433	711.24	951.83	2598	1.00%
SFRC 3	25	-	4	42.5	45.7	169.93	433	703.65	946.15	2165	1.25%

SP: Superplasticizers, V_f: Fiber content

률(V_f)은 단위체적당 0%, 0.75%, 1.0%, 1.25%로 하였고, 적절한 워커빌리티를 도출하기 위해 수차례의 시험배합을 수행하였으며 배합결과는 Table 2와 같다.

또한, 강섬유를 혼입한 콘크리트의 압축강도와 쪼갬 인장강도를 측정하기 위하여 $\phi=15 \times 30$ cm의 몰드를 사용하였다. 압축강도 및 쪼갬인장강도 실험은 KS F 2405, KS F 2423 규정에 따라 실시하였고, 실험결과는 Table 3과 같다.

3. 시편제작

시편은 부 모멘트 구간의 인장파괴를 유도하기 위하여 전단보강을 100% 실시하였고, 연속보는 $22 \times 30 \times 360$ cm의 크기로 각 혼입률별로 시편을 제작하였다. 이에 대한 종류별 세부사항은 Table 4와 같다. 하중에 따른 철근의 변형률을 측정하기 위하여 인장, 압축철근 및 전단보강철근에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하였으며 경간 중앙부의 처짐을 측정하기 위하여 LVDT를 설치하였다. 또한 단면의 중립축 변화를 파악하기 위하여

매립형 콘크리트 게이지를 설치하였다. 연속보 실험부재의 치수 및 스트레인 게이지 부착위치는 Fig. 3과 같다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 정적실험

가. 하중과 처짐관계

Fig. 4에서 보는 바와 같이 시편의 중앙처짐은 초기에는 하중에 비례해서 비교적 선형적인 양상을 보이는 선형탄성 부재임을 알 수 있다. 하중이 증가하면서 균열이 진전되어 보의 강성을 감소시키면서 처짐이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 철근의 항복점을 지나면서 비선형으로 증가하였다. 강섬유의 보강률이 클수록 큰 하중에서 철근은 항복강도에 도달하였다. 모든 시편에서 철근 항복점을 지난 이후의 하중과 처짐을 보면 강섬유의 보강률이 클수록 처짐이 크게 나타났다. 또한, 최대모멘트는 부 모멘트 구간에서 발생하지만 파괴는 정모멘트 구간에 발생하는 현상으로 강섬유 혼입을 통한 연성증

Table 3 Test results of compressive and splitting tensile strength

Series	Compressive strength (f_c) MPa		Tensile strength (f_{sp}) MPa		f_c/f_{sp}
RC ($V_f=0\%$)	27.7	41.3	2.6	3.9	10.59
SFRC 1 ($V_f=0.75\%$)	27.0	42.2	3.3	5.0	8.44
SFRC 2 ($V_f=1.00\%$)	29.0	44.1	4.0	5.4	8.16
SFRC 3 ($V_f=1.25\%$)	30.6	46.6	4.6	6.5	7.17

Table 4 Details of test beams

Name of beams	f_c (MPa)	Size (cm)	Fiber content V_f (%)	Shear span-depth ratio (a/d)
RC 1~4	41.3	$22 \times 30 \times 360$	0	3.3
SFRC 1-1~5	42.2	$22 \times 30 \times 360$	0.75	3.3
SFRC 2-1~5	44.1	$22 \times 30 \times 360$	1.00	3.3
SFRC 3-1~5	46.6	$22 \times 30 \times 360$	1.25	3.3

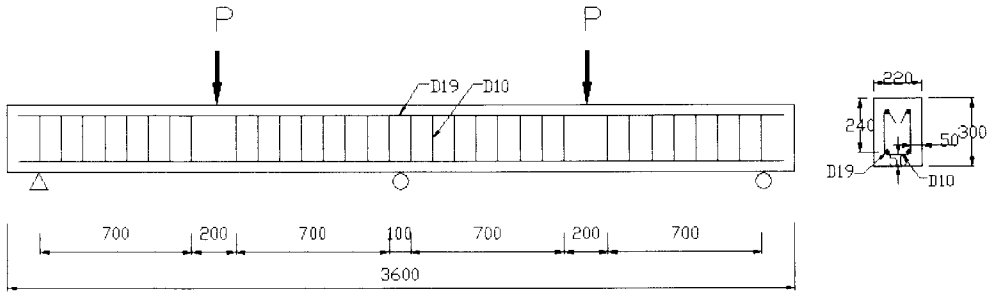


Fig. 3 Shape of test beams and loading arrangement

(unit : mm)

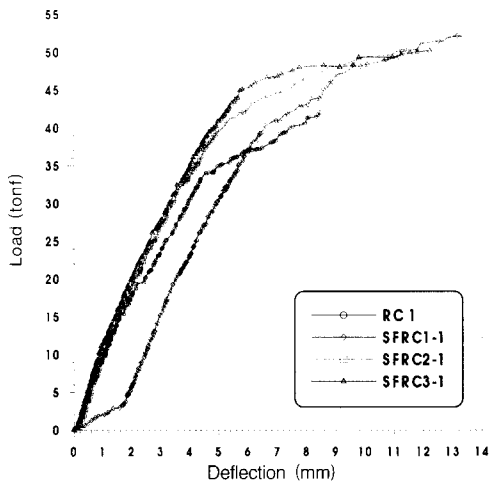


Fig. 4 Stress (Load)-deflection curve of static test

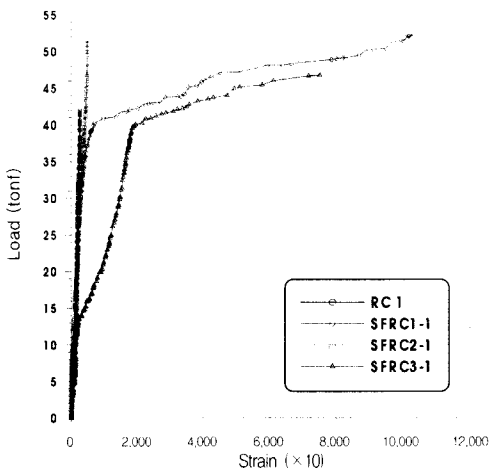


Fig. 5 Stress (Load)-strain curve of static test

진 효과가 증대되고 있음을 확인할 수 있었다. 연속보의 정적실험결과는 Table 5와 같다.

나. 하중과 변형을 관계

시편의 변형률은 철근에 부착한 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였다. 정모멘트 구간에서 하중과 인장철근 변형률관계는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 초기균열이 일어나기 전까지는 선형관계를 나타내다가 초기균열이 발생되어 보의 강성이 적어지는 상태부터 다시 선형적으로 증가하는 모습을 볼 수 있다. 강섬유를 보강하지 않은 RC-시리즈는 강섬유가 보강된 SFRC-시리즈의 시편보다 낮은 하중에서 철근의 항복강도에 도달함과 동시에 큰 변형률을 보이며 파괴되었다. 반면에 강섬유를 혼입한 시편인 SFRC-시리즈는 철근의 항복강도에 도달한후에도 변형률이 계속 증가되었다. 이는 시편에 혼입된 강섬유가 미세균열을 제어하는 동시에 균열의 진전을 억제하기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 시편에 혼입된 강섬유가 철근의 항복강도 이후에도 구조체의 균열로 인한 과도한 손상방지 등 보강효과를 충분히 발휘하고 있음을 말해준다.

다. 하중증가에 따른 연속보의 균열성장과 파괴양상
2경간 연속보의 파괴양상은 전단보강철근의 영향으로 강섬유 혼입에 관계없이 휨파괴가 유발되었다. 또한, 양쪽 경간의 정모멘트가 발생하는 구간에서 집중하중이 작용되는 위치에서 먼저 파괴되었고

Table 5 Results of static test

Name of beams	f_c (MPa)	V_f (%)	NP_{fc} (KN)	PP_{fc} (KN)	P_y (KN)	P_u^* (KN)	Failure mode
RC 1	41.3	0	98.0	60.8	137.2	215.6	Flexure
SFRC 1-1	42.2	0.75	205.8	40.2	205.8	240.1	Flexure
SFRC 1-2			98.0	107.8	191.1	249.9	Flexure
SFRC 2-1	44.1	1.00	156.8	62.7	200.9	225.4	Flexure
SFRC 2-2			186.2	49.0	205.8	249.9	Flexure
SFRC 3-1	46.6	1.25	117.6	99.0	215.6	235.2	Flexure
SFRC 3-2			176.4	107.8	215.6	245.0	Flexure

f_c : Compressive strength of concrete, V_f : Fiber content NP_{fc} : First negative flexural cracking load, PP_{fc} : First positive flexural cracking load P_y : Static yield load, P_u : Static ultimate load to failure P_u^* is the power of one actuator

이후에 부모멘트 발생되는 구간이 파괴되었다. 부모멘트가 발생되는 구간에서 먼저 파괴되거나 양쪽 정모멘트가 동시에 파괴되는 경우는 발생되지 않았다. 강섬유를 보강한 시편은 철근이 항복한 이후에도 강섬유로 인하여 어느 정도 균열진전 제어의 효과가 있었으며 시편이 파단될 때 강섬유 자체가 파단되는 것이 아니라 뿔힘에 의해 파괴되었다. Fig. 6은 RC1, SFRC1-1, SFRC2-1, SFRC3-1에 대한 균열성장 및 파괴양상을 나타내었고, SFRC2, 3-시리즈 시편의 균열성장 및 파괴양상은 SFRC1-시리즈와 거의 동일하였다.

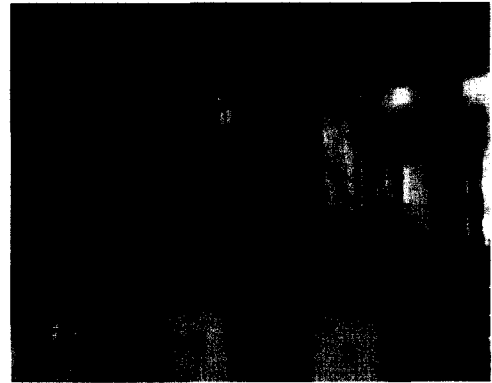


Photo. 1 Fatigue test foreground

2. 피로실험

가. 피로실험의 결과

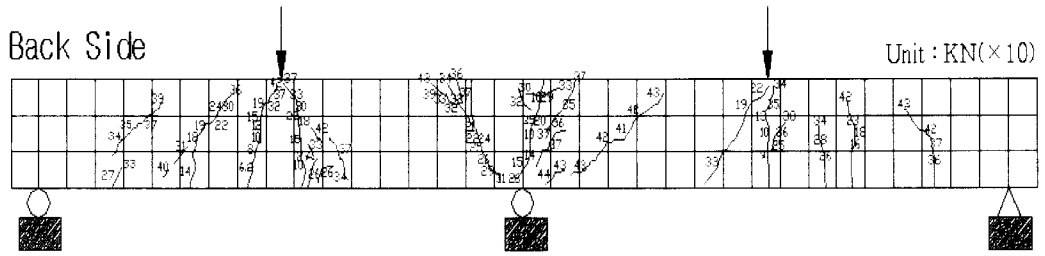
강섬유 혼입률에 따른 2경간 연속보의 피로거동에 대한 실험결과는 Table 6과 같다. 또한, Photo. 1~2는 실험에 사용된 장비와 실험체의 피로실험 모습이다.



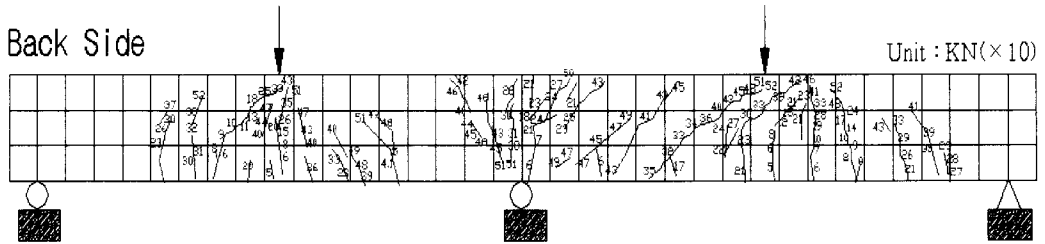
Photo. 2 Fatigue test

나. 반복횟수와 처짐관계

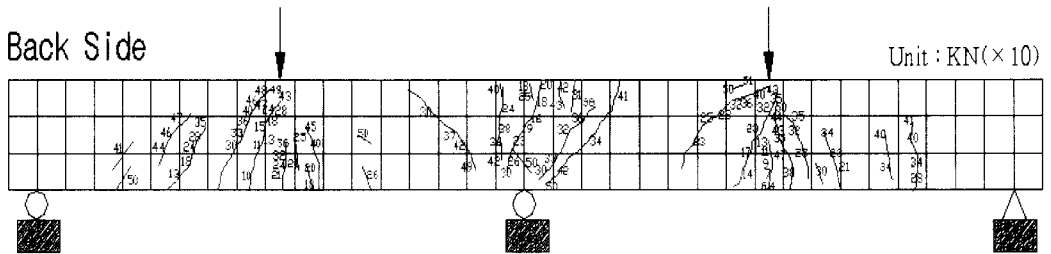
Fig. 7~Fig. 8은 시편에 대한 하중의 반복횟수와 중앙처짐 관계를 나타내었다. 피로실험에서의 처짐은 반복횟수의 영향보다는 반복응력의 크기나



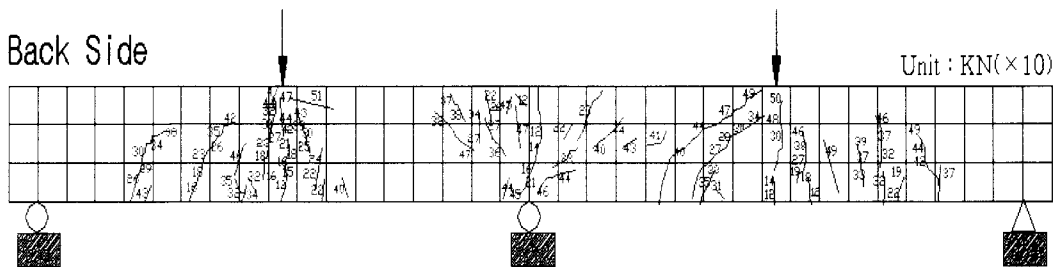
(a) RC 1



(b) SFRC 1-1



(c) SFRC 2-1



(d) SFRC 3-1

Fig. 6 Crack growth and failure mode for test beams

응력범위에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었고 반복하중에 대한 처짐곡선을 통하여 최대하중과 최소하중의 진폭에 따른 처짐의 진행상황을 뚜렷이

파악할 수 있었다. 강섬유가 보강되지 않은 RC-시리즈 시편은 최대처짐과 최소처짐의 폭이 2 mm를 벗어나지 못하였으나, 강섬유가 보강된 SFRC-시

Table 6 Results of fatigue test

Name of beams	Cycle speed (Hz)	P_{max} (KN)	P_{min} (KN)	S_m (%)	N_u (cycle)	Failure mode
RC 2	5	129.4	12.8	60	4,490,000	Flexure (T)
RC 3		140.1	13.7	65	2,179,000	Flexure (T)
RC 4		150.1	14.7	70	1,670,000	Flexure (T)
SFRC 1-3	5	159.7	15.7	65	2,639,000	Flexure (T)
SFRC 1-4		171.5	17.6	70	2,577,000	Flexure (T)
SFRC 1-5		184.2	18.6	75	2,148,500	Flexure (T)
SFRC 2-3	5	179.3	17.6	75	776,897	Flexure (T)
SFRC 2-4		190.1	18.6	80	750,000	Flexure (T)
SFRC 2-5		214.6	21.5	85	663,220	Flexure
SFRC 3-3	5	192.1	19.6	80	44,690	Flexure
SFRC 3-4		180.3	17.6	75	443,922	Flexure
SFRC 3-5		192.1	19.6	80	435,599	Flexure

P_{max} : Maximum load. P_{min} : Minimum load. S_m : Percentage of static maximum load
 N_u : Number of cycle to failure. T: Tensile bar breaking

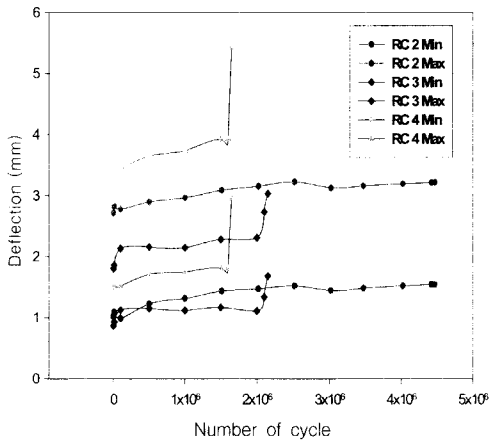


Fig. 7 Number of cycles-deflection curve (RC-series)

리츠 시편은 대부분 최대처짐과 최소처짐의 폭이 2~3 mm의 범위를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이는 혼입된 강섬유의 영향으로 RC-시리즈의 시편보다 더욱 많이 처짐이 발생되었으며 더 큰 연성을 보유하고 있음을 말해준다.

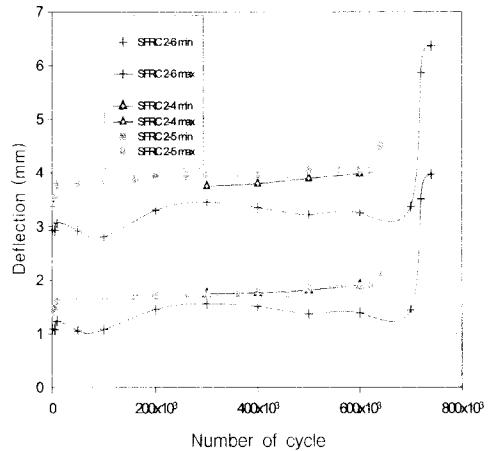


Fig. 8 Number of cycles-deflection curve (SFRC-series)

다. 반복횟수와 변형률관계

Fig. 9~Fig. 10 은 하중범위에 따른 시편의 반복 횟수와 변형률 관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 반복하중에 의한 정, 부모멘트 구간의 인장철근 변형률은 재하초기에 큰 변화를 보이며, 반복 횟수가 증가할수록 일정한 변동폭으로 조금씩 증가하다가 인장철근의 항복점에 도달했을 때 큰 증가

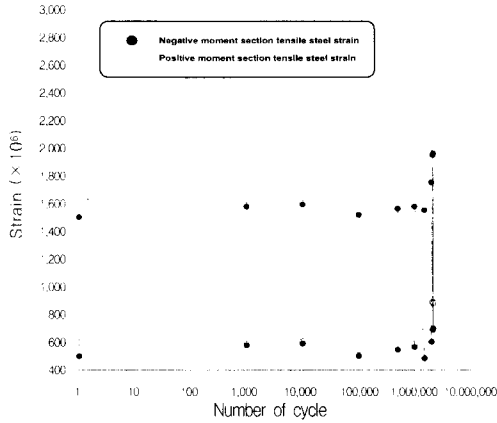


Fig. 9 Number of cycles-strain relationship (RC-series)

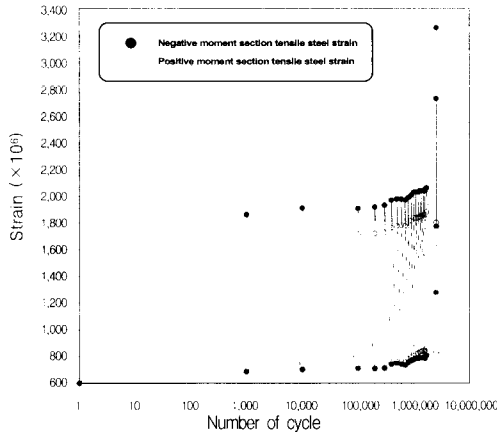


Fig. 10 Number of cycles-strain relationship (SFRC-series)

를 나타내었다. 각 시편의 변형률의 차이는 반복횟수에 의한 것보다는 반복하중의 크기에 따라 영향을 많이 받았으며 정모멘트 구간이나 부모멘트 구간에서 철근이 항복한다고 하더라도 반드시 다른 쪽의 철근이 항복하는 것은 아니라는 것을 알 수 있었다. 또한 항복강도에서 강섬유가 혼입되지 않은 시편인 RC-시리즈는 철근의 항복변형률이 0.002를 상회하고 있으나 강섬유가 혼입된 시편인 SFRC-시리즈는 대부분 0.003을 넘는 변형률을 보였다. SFRC-시리즈는 혼입된 강섬유의 영향으로 인하여 철근의 변형률이 항복강도를 초과하여도

내하력을 갖는 연성이 증가되었다.

라. 반복횟수에 따른 균열성장과 파괴양상

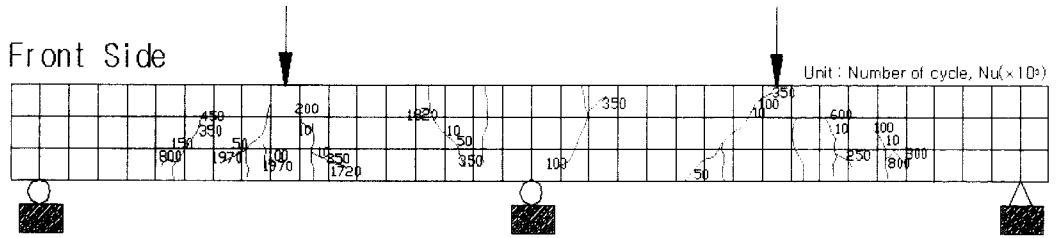
Fig. 11은 시편의 강섬유 혼입률에 따라 반복횟수 증가에 따른 균열성장과 파괴양상을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 피로실험 초기에 5회의 반복하중을 가력하였을 때 정, 부모멘트 구간의 순수 휨구간에서 휨균열이 발생하였지만 사인장 균열은 거의 발생하지 않았다. 대부분의 시편은 동적하중으로 인해 발생한 균열이 반복횟수가 증가함에 따라 점차로 진전하여 피로파괴의 주요인자인 주균열로 성장하였으며 정모멘트 구간 양쪽이 동시에 파괴되는 것이 아니라 하중이 집중되는 양경간의 어느 한쪽 정모멘트 구간에서 파괴가 발생되었고 철근이 절단되는 큰 팽음과 함께 갑작스럽게 파괴되었다. 부모멘트 구간의 파괴는 정모멘트 구간이 파괴된 후 그 영향으로 2차적인 파괴로 일어났으며, 반복하중으로 인해서 철근이 절단되는 일은 일어나지 않았다. 또한 강섬유가 보강되지 않은 시편인 RC-시리즈는 미세균열이 거의 없었으나 강섬유가 혼입된 SFRC-시리즈 시편은 강섬유의 구속작용으로 미세균열이 많이 발생되었다. 균열의 발생형태나 진전과정은 정적하중을 받는 경우와 흡사하나 균열의 개폐라든지 개방된 균열폐쇄에서 골재와 강섬유의 맞물림 현상같은 복잡한 거동특성이 발생되었고 피로실험도중 하중을 제거하면 미세균열은 상당히 복원되는 양상을 보여주었다. 강섬유 혼입 시편은 반복하중으로 인하여 철근이 파단되더라도 시편이 갑작스럽게 파괴되지 않았고 구조체로서의 기능을 완전히 상실하지는 않았다.

마. 피로강도와 S-N 곡선

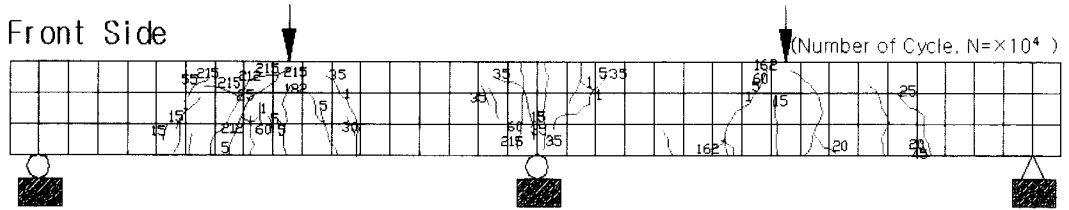
일반적으로 피로수명과 피로강도사이의 관계식은 식(1)과 같이 주어진다.

$$Y = B \times \log(X) + A \dots \dots \dots (1)$$

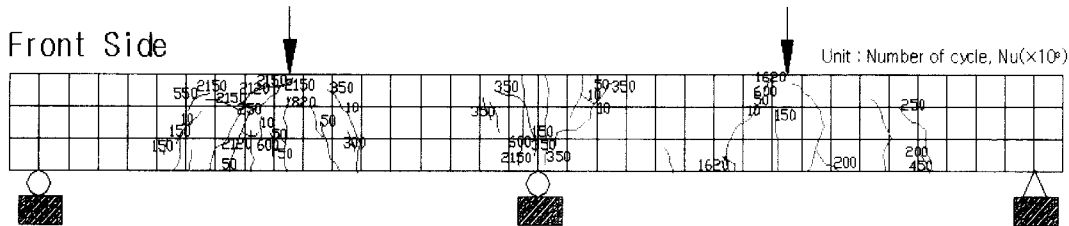
여기서 A와 B는 실험에 의하여 결정되는 상수값



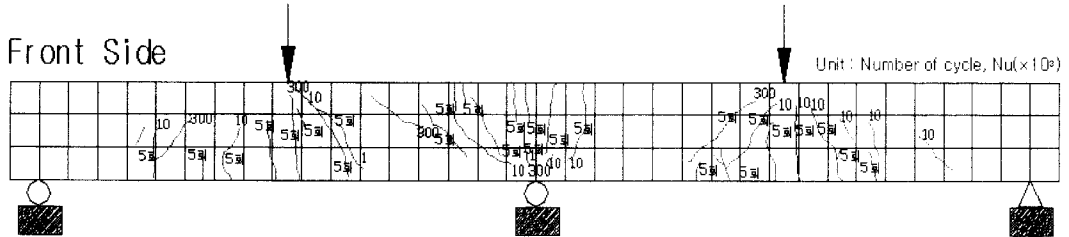
(a) RC 2



(b) SFRC 1-2



(c) SFRC 2-4



(d) SFRC 3-4

Fig. 11 Crack growth and failure mode for test beams

이다. 본 연구에서 수행된 실험에서 얻어진 피로강도를 정적극한하중에 대한 백분률로서 나타낸 피로강도(S)의 추정식은 다음과 같다.

1) RC-시리즈의 피로강도 추정식

$$S = -9.4393 \times \ln(Nu) + 204.198$$

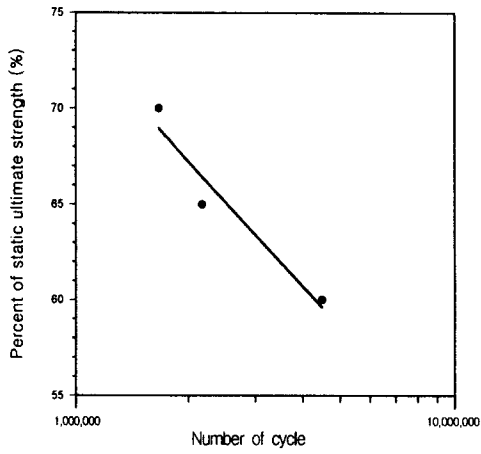
$$(R^2 = 0.93) \dots \dots \dots (2)$$

2) SFRC-시리즈의 피로강도 추정식

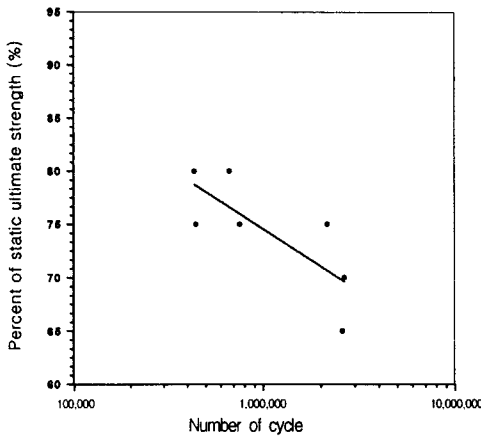
$$S = -5.06155 \times \ln(Nu) + 144.16$$

$$(R^2 = 0.60) \dots \dots \dots (3)$$

여기서, Nu : 파괴시 반복하중
또한, 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 12와 같다.



(a) RC-series



(b) SFRC-series

Fig. 12 S-N curve

V. 결 론

본 연구에서는 반복하중을 받는 강섬유보강 철근 콘크리트의 연속보에 대한 기본실험, 정적실험 및 피로실험을 통하여 피로거동을 파악하였다. 이에 대해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강섬유 혼입률 0.75~1.25%의 경우 재령 28일의 압축강도가 42.2~46.5 MPa 이었으며, 강섬유 혼입하지 않은 경우에는 41.3 MPa로서 강도비

는 10.48이었다. 강섬유 혼입률 0.75~1.25%의 경우 압축강도에 대한 조강인장강도의 비는 1/7.12~1/8.51로 나타나 강섬유의 혼입이 콘크리트의 압축강도보다는 인장강도를 크게 향상시키고 있음을 확인할 수 있었다.

2. 정적실험에 있어서 강섬유가 0.75% 혼입된 경우 처짐은 혼입되지 않은 경우의 처짐보다 파괴시 최대 2.5배 정도 크게 발생하였다. 그러나 강섬유 혼입률의 증가에 따라 처짐이 증가하지는 않았다.

3. 정적실험에 있어서 하중과 변형을 관계는 강섬유가 혼입되지 않은 경우 콘크리트의 취성적 성질로 인해 휨균열 발생 후 철근의 항복강도에 이르러 큰 변형률을 나타냈으나 강섬유가 혼입된 경우 철근의 항복강도가 극한강도에 거의 근접하여 큰 변형률이 발생하였다.

4. 피로실험결과 반복횟수에 따른 파괴양상은 강섬유를 혼입한 경우 반복하중으로 인하여 철근이 파단 되더라도 갑작스럽게 파괴되지 않았고 강섬유의 영향으로 구조체의 기능을 완전히 상실하지 않았다.

5. RC-시리즈와 SFRC-시리즈의 피로강도 추정식은 다음과 같다.

1) RC-시리즈의 피로강도 추정식

$$S = -9.4393 \times \ln(Nu) + 204.198$$

$$(R^2=0.93)$$

2) SFRC-시리즈의 피로강도 추정식

$$S = -5.06155 \times \ln(Nu) + 144.46$$

$$(R^2=0.60)$$

6. 피로실험결과 강섬유를 혼입하지 않은 경우 파괴하중은 정적극한강도의 60~70% 이었으며, 반복횟수 200만회에 대한 피로강도는 정적극한강도의 67.2% 이었다. 한편, 강섬유를 혼입한 경우의 피로강도는 정적극한강도의 65~80% 이었고, 반복횟수 200만회에 대한 피로강도는 정적극한강도의 71.7% 이었다.

본 논문은 2003년도 원광대학교 교비지원에 의하여 연구되었음.

References

1. 건설교통부, "콘크리트 표준시방서", 한국콘크리트 학회, 1999.
2. ACI Committee 215, Hanson, J.M., "Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading", ACI Journal, March 1974, pp.97~121.
3. ACI Committee 544, "State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete", Journal of ACI, Vol. 70, No. 65, November 1973, pp.729~744.
4. ACI Committee 318, 1995, Builed Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-95) and Commentary(ACI 318R-95), American Concrete Institue.
5. Bazant, Z.P. and Xu, K., "Size Effect in Fatigue Fracture of Concrete", ACI Materials Journal. Vol. 88, No. 4, July-August 1991, pp.390~399.
6. Hsu, T.T.C., "Fatigue of Plain Concrete", ACI Journal, Vol. 78, No. 3, July-August 1981, pp.292~305.
7. Kormeling, H.A., Reinhardt, H.W. and Shah, S.P., "Static and Fatigue Properties of Concrete Beams Reinforced with Continuous Bars and with Fibers", Journal of ACI, Vol. 77, No. 6, January-February 1980, pp.36~43.
8. Kwak, K.H., Suh, J. and Hsu, C.T.T. "Shear-Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", ACI Structural Journal. Vol. 88, No. 2, March-April 1991, pp.155~160.
9. Romualdi and Batson., "Behavior Concrete Beams with Cloely Spaced Reinforcement" ACI Journal, Vol 60, 1963, pp.775-790
10. Sharma, A.K. "Shear Strength of steel Fiber Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Proceeding Vol.83, July-August 1986, pp.624~628.