

# 철도하중에 대한 철근 콘크리트와 강섬유 보강 철근 콘크리트 전단이음부의 피로거동에 관한 실험적 연구

## Study on the Fatigue Behavior of a Joint between RC and SFRC Subjected to Shear

강보순\*

Bo-Soon Kang

**Keywords** : RC(철근 콘크리트), SFRC(강섬유 보강 콘크리트), share joint(전단이음부), high cycle fatigue loading(피로하중), crack propagation(균열발전)

### Abstract

Fatigue behavior of shear joints between the combined reinforced concrete(RC) and the reinforced steel fiber concrete(SFRC) specimens has been experimentally investigated. Experimental parameters used are the amount of steel fiber and the type of shear joint. Six specimens have been tested under static load, and eight specimens have been subjected to the fatigue load in a range of 50 % and 5 % of the ultimate static load. The purpose of this research is to propose an empirical formula for fatigue shear behavior of the combined RC and SFRC structures on the basis of experimental result. It can be observed from experimental results that addition of steel fibers to concrete specimen increases the static ultimate load by approximately 25 %, enhances the fatigue behavior, and also reduces vertical and lateral displacements at the shear joint for a given load cycle after the occurrence of first crack.

### 1. 서론

철근 콘크리트는 압축강도에 비하여 인장강도는 상대적으로 매우 작으므로 인장강도의 증진을 위한 많은 연구 수행되고 있다. 즉, 강섬유가 혼입되지 않은 일반적인 철근 콘크리트에 비하여 강섬유가 혼입된 철근 콘크리트로 joint 또는 보수·보강된 교량 및 터널에 하에 54번 정도의 열차가 50년 공용기간 동안 반복되는 즉 약 100만번 정도의 사용 철도하중 하에서의 피

로거동은 강섬유가 균열발생을 억제함은 물론 균열발전 후에도 균열폭을 억제함으로 하중전달능력을 향상시키는데 효과가 있을 것으로 예상된다.

최근에 인장강도의 향상 및 균열제한을 위하여 강섬유 보강 철근 콘크리트(SFRC)에 관한 연구는 많이 발표되고 있다. 강섬유 철근 콘크리트의 특성에 관한 연구중 정적하중과 같은 단기하중에 대해서는 비교적 많은 연구논문이 발표되어 있으나, 동적하중에 대한 강섬유 철근 콘크리트의 강섬유의 강도증진 및 균열발전 억제에 대한 효과 등을 규명한 연구실적[1도 있으나 이들 기존의 연구는 지진하중 하에서 수행되었으므로

\* 정희원, 경주대학교 건설환경시스템공학부 전임강사

엄밀한 의미의 사용피로하중(high cycle fatigue loading)은 아니며, 사용피로하중에 대한 강섬유 보강 철근 콘크리트(SFRC)에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다. 본 연구는 강섬유 보강 철근 콘크리트(SFRC)의 피로하중에 대한 전단거동의 향상 및 균열억제 효과 대한 철근 콘크리트(RC) 및 강섬유 보강 철근 콘크리트(SFRC)를 혼합하여 사용한 시험편의 전단이음부의 피로전단거동에 관한 실험적 연구로서, 사용된 실험변수로는 두 가지 형식의 전단이음부 및 두 가지 종류의 강섬유의 혼입량을 선택하였다. 실험은 정적하중 하에서의 6개의 전단시험편과 피로하중 하에서의 18개의 전단시험편을 사용하였으며, 시험편의 종류는 Table 1에 주어져 있다.

## 2. 실험계획

### 2.1 시험체

본 논문에서는 피로하중에 대한 일반적인 철근 콘크리트와 강섬유 철근 콘크리트의 전단이음부의 피로거동 특성에 관한 실험연구로서 사용된 시험체의 상세 제원은 Fig. 1과 같으며, 정적 및 피로실험을 위한 총 24개의 시험체는 Table 1에 요약하였다. 반복하중 하에서도 통계학적으로 보다 확실한 실험결과를 얻기 위해서 비교적 큰 전단면을 갖는 시험편의 균열표면에 직각으로 변화될 수 있고, 정의된 인장강성을 설치한 시험방법을 수행하였으며, 동시에 듀벨효과를 제거하기 위해 시험전단면에 외부로 프리 스트레스 및 인장을 조절할 수 있는 Tendon을 설치하였다.

실험에서 사용된 주요 실험변수는 다음과 같다.

#### (1) 작용하중 : 피로하중

일정한 하중폭을 가지고 재하 조정된 반복하중 횟수는 철도구조물의 공용기간을 50년으로 고려

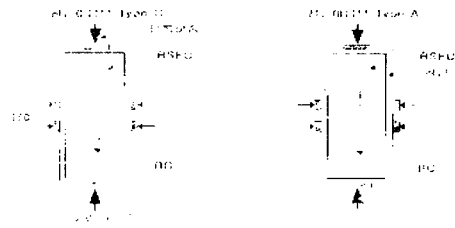


Fig. 1 Geometry of shear test specimen

하여 100만 번까지로, 상한하중은 사용최대하중으로 정적실험을 통해 얻어진 최대 전단하중의 50 %로 결정하였고, 하한하중은 결정된 상한하중의 10 % 즉 최대 전단하중의 5 %로 하였다. 하중 반복속도는 공용기간중 사용조건에서 구조물에 발생하는 온도변화, 열차의 반복하중 및 실험기간의 제한을 고려하여 1초에 6번 즉 6 Hz로 하였고, 측정은 10, 100, 1,000, 10,000, 100,000, 매 100,000마다 그리고 1,000,000번 반복하중 작용시 및 균열발생시 행해졌다. 측정시에는 조인트의 앞과 뒷부분에 각각 세 지점에 LVDT를 부착하여 균열 발생시의 하중 반복횟수를 정확히 파악할 수 있도록 하였고, 균열 발생후 반복횟수에 따른 균열폭을 측정하였다.

#### (2) 강섬유 혼입량

실험에 사용된 강섬유는 양쪽 끝이 갈고리 모양으로 옆에는 가는 홈이 있는 형태이다. 강섬유의 극한강도는 1,200 N/mm<sup>2</sup>이며, 제품명은 Dramix ZCR 50/60이다. 사용된 강섬유의 장점은 다른 형태의 강섬유와 비교해 균열 발생의 억제효과가 크고, 균열이 발생된 후에도 양끝의 갈고리에서의 맞물림 효과로 인해 균열 사이에서 하중을 받을 수 있다.

정적하중 하에 강섬유 혼입량이 SFRC의 휨강도에 좋은 영향을 주는 것은 많은 실험결과로서 입증된 바 있으며, 섬유 혼입량과 강도의 관계는 미세균열 단계에서는 비선형적이거나, 큰 균열의 발생 후에는 섬유 혼입량과 강도는 선형적인 관계를 나타낸다. 그러나, 정적하중과 비교하여,

**Table 1 Detail of test specimens**

Specimen		Shear Joint Type***	Static Test		Fatigue Test	
Upper part	Lower part		Specimen Designation	Nos of Specimen	Specimen Designation	Nos of Specimen
RC*	RC	A	RRAS	1	RRAF	3
RC	RC	C	RRCS	1	RRCF	3
RC	SFRC* (0.38 Vol. %)**	A	RF38AS	1	RF38AF	3
RC	SFRC (0.38 Vol. %)	C	RF76CS	1	RF38CF	3
RC	SFRC (0.76 Vol. %)	A	RF38AS	1	RF76AF	3
RC	SFRC (0.76 Vol. %)	C	RF76CS	1	RF76CF	3

Note : \* RC and SFRC denotes the reinforced concrete and the steel fiber reinforced concrete.

\*\* 0.38 Vol. % means 38 % in concrete volume for steel fiber.

\*\*\* Refer to Fig. 1 for Shear Joint Type

피로하중 작용시에는 섬유 혼입량에 따른 SFRC의 강도증가 효과가 다른 경향을 나타낼 것으로 예상되어 본 연구에서는 기술적이고 경제적인 측면을 고려해서 두 종류의 섬유혼입량을 선별하여 30 kg/m<sup>3</sup>(0.38 Vol. %)와 60 kg/m<sup>3</sup>(0.76 Vol. %)의 강섬유가 사용되었다.

**(3) 전단이음부의 형태**

콘크리트 전단이음부의 형태는 전단 극한하중을 크게 하는 중요한 요소로서, 본 실험에는 보통 많이 사용하고 있는 연속 삼각형 모양의 Type A와 사다리꼴 모양의 Type C의 전단이음부 형태를 선택하였다. 조인트의 형태와 크기는 강섬유의 효과적인 측면을 고려해서 결정하였다.

**2.2 콘크리트 배합**

사용된 콘크리트의 배합은 다음과 같다.

포틀랜드시멘트(PZ35F독일산)	305 kg/m <sup>3</sup>
물-시멘비	0.61
자갈골재의 최대 입경	16 mm
Flowing Test 영역	KR(a1 및 a2 = 40 cm)
강섬유혼입량	30 kg/m <sup>3</sup> (0.38 Vol. %)
	60 kg/m <sup>3</sup> (0.76 Vol. %)

위의 배합으로 만들어진 콘크리트는 DIN 1045에 따라 15\*15\*15 cm Cube에 대한 28일의 압축강도를 측정하였다. 강섬유가 없는 콘크리트 350 kg/cm<sup>2</sup>이며, 30 kg/m<sup>3</sup>과 60 kg/m<sup>3</sup>의 강섬유 혼입량을 넣어 만들어진 강섬유 콘크리트는 각각 360 kg/cm<sup>2</sup>와 400 kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었다.

**2.3 실험측정**

본 연구의 궁극적인 목적인 철도 피로하중에 대한 강섬유로 보강된 콘크리트 전단이음부의 전단강도 및 균열장진의 실험 경험식을 제시하는 것으로서 필요한 제반 측정값은 다음과 같다.

- 횡방향 변위를 억제하는 Tendon의 변위상태
- 정하중에 대한 전단변위(수직변위)와 균열폭(수평변위)
- 피로하중 횡수에 대한 전단변위(수직변위)와 수평변위
- 하중-변위의 이력곡선

**3. 실험과정**

실험설비에서 시험체 밖으로 직경 20 mm의 Tendon(독일 M8.8) 4개를 측면4개의 두꺼운 강판으로 연결하고 프리 스트레싱은 강판이 떨어지지만 압도록 가능한 최소로 하였다. 이와 유사한 설치방법은 White/Halley, Laible[4] 또는 Walraven[5] 실험 연구에서도 사용된 방법으로 인장봉의 탄성변위시 4개봉을 통해서 연결되어 있는 강판이 시험체의 균열폭을 억제하므로 균열법선응력(Crack Normal Stress)이 발생한다. 조인트의 균열폭이 증가할 경우 Tendon의 탄성계수가 증가되어 균열법선응력도 증대된다.

정적실험 시에는 변위가 제어되었으며, 피로실험 시에는 하중이 제어되었고, 인장봉에 작용하는 힘은 봉에 부착된 변형을 게이지에 의해 측정되었다. 또한 조인트에서의 변위는 앞면과 뒷면에 각각 세 곳에서 Fig. 2에서 보는 것과 같이 LVDT로 측정하였다. LVDT의 측정영역은 1.2 mm이다.

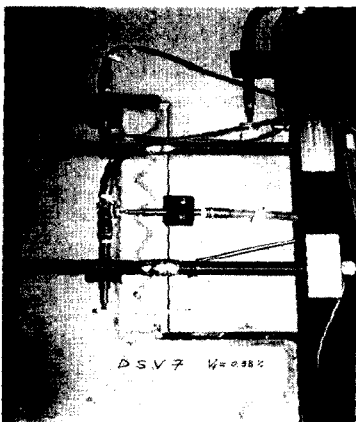


Fig. 2 Loaded specimen and LVDT

첫번째 단계로 전단이음부의 최대 전단하중을 얻기 위해, 변위제어 하에서 6개의 시험체에 대한 정적실험이 행해졌다. 이때의 실린더의 속도는 0.02 mm/min이었다. 두번째 단계는 하중제어 하에서 18개의 시험체에 대한 피로하중실험이 일정한 상한하중과 하한하중을 갖고 100만번까지 행하였다.

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1 정적실험

Fig. 3에서는 2개의 다른 형태를 가지고 있는 전단이음부의 실험을 통해 얻어진 하중-변위 곡선을 나타내고 있다. Fig. 3에서는 전단이음부에 강섬유 콘크리트를 보강함으로써 첫 균열 발생 후에 전단이음부에서 강섬유가 외력에 대하여 저항하여 응력 재분배의 효과를 가져오므로 전단강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 첫 균열 발생 후, 강섬유 보강으로 인한 수직변위(전단변위)와 수평변위(균열폭)가 감소효과를 파악할 수 있다.

전단이음부의 형상에 따른 강도 증가효과는, 연속 삼각형 형태의 전단이음부 A는 마름모 형태 전단이음부 C보다 균열 발생 후 높은 전단강성을 가지고 있는 반면에 전단이음부 C는 전단이음부 A보다는 큰 균열 전단응력을 나타내었다.

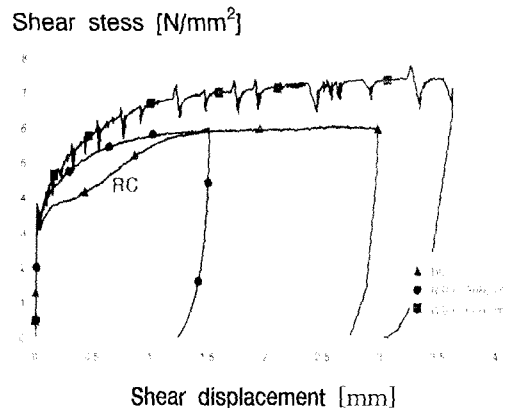


Fig. 3 Influence of steel fibers on average shear displacement

##### 4.2 피로실험

Fig. 4에서 일정한 상한선과 하한선 가지고 있

는 철도 반복하중 하에 전단이음부의 전단변위(수직변위)가 이력곡선 형태로 증가함을 보여주고, 콘크리트에 강섬유를 보강함으로써 전단이음부의 조직 변화가 억제되며, 균열 후에도 이력거동이 완만하고 서서히 변화하는 것을 발견할 수 있다.

실험시의 상한하중은 정적인 최대하중을 전단 설계안전비( $v=2.1$ )로 나누어 구해진다. 전단이음부 A와 C의 상한하중은 각각 100 kN(상한 전단 응력  $3.70 \text{ N/mm}^2$ ) 및 80 kN(상한 전단 응력  $2.78 \text{ N/mm}^2$ )이고, 강섬유 철근 콘크리트의 첫 균열 발생은 강섬유 혼입량에 따라 각각 높은 반복하중 횟수에서 나타나는 것을 관찰할 수 있다 (Fig. 5 참조).

이런 성향은 두 형태의 전단이음부에서 같다. 전단이음부 A인 경우 강섬유가 균열이 발생한 후 콘크리트를 일체로 유지시킴으로써 피로하중 하에서 전단변위의 현저한 감소효과를 나타낸다.

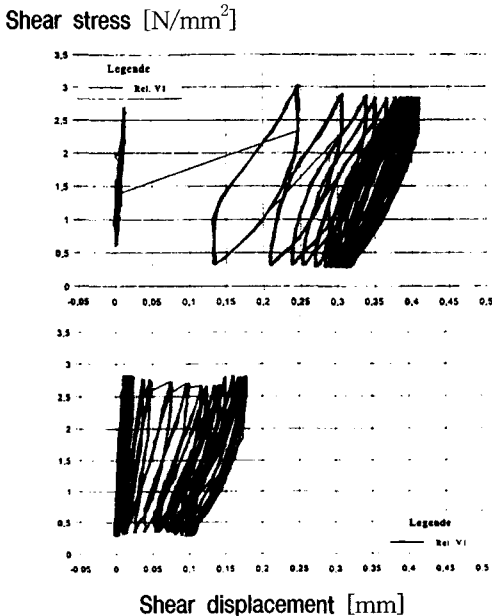


Fig. 4 Influence of steel fibers on hysteresis curves

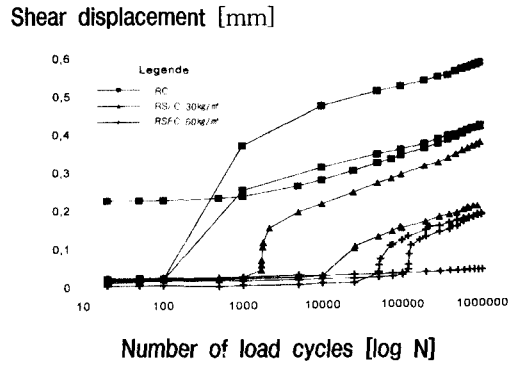


Fig. 5 Propagation of maximum shear displacement

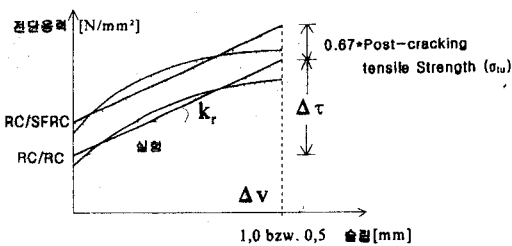
### 5. 전단거동 제انش

복합적인 시스템을 위한 실제적인 전단거동을 계산 방법으로 묘사하고 영향을 주는 여러 변수와 연결된 힘들을 충분히 정확히 나타내는 것이 용이하지 않으므로 대부분 실 경험식으로 제안한다. 균열 콘크리트의 전단이음부에서 내부적인 힘의 작용은 실험적인 방법으로 연구되고 아주 간편하게 안전한 측면으로 놓인 역학적 모델로 나타낸다.

콘크리트의 균열상태에서 강섬유 효과를 나타내기 위해서는 마이크로 균열형성과 마크로 균열발생 사이를 나누어 관찰하는 것이 적합하다. 몰탈조직에 마이크로 균열형성 및 전개는 균열부근에서 교차되는 강섬유에 의해 저지된다. 특히 균열뿌리 부근에 발생하는 급이 간 부근의 높은 응력을 감소시키는데 강섬유는 효과적이다. 같은 무게 혼입량의 강섬유일 경우 많은 개수, 즉 큰 표면적을 갖고 있는 섬유가 더 효과적이다. 강섬유 콘크리트에서 균열틈니를 관찰할 경우 강섬유는 콘크리트 균열발생 후에도 균열 틈에서 다리를 형성하여 힘을 지속해 전달해 줄 수 있다. 이런 효과는 균열발전의 억제에 효율적으로 작용한다. 균열발생 후 강섬유에 의해 전달되는 힘은 균열표면에 대한 섬유의 각도, 콘크리

트의 품질, 강섬유의 특성, 강섬유의 표면 및 그 외의 기하학적에 형태(직경과 길이의 비)에 따라 결정된다.

횡변위(균열폭)의 구속과 함께 콘크리트와 강섬유 콘크리트 사이의 부착시 균열틈니의 힘을 파악하기 위해서는 하중 메카니즘이 틈니모델을 통해 가장 가깝게 설명될 수 있다(Fig. 6 참조). 전단변위(수직변위)  $v$ 의 경우 균열형성과 동시에 발생된다. 그와 함께 접합부에 직각방향으로 작용하는 법선응력이 커진다. 작용하는 전단하중은 틈니 측면에 직각으로 위치한 압축버팀대 및 그와 직각으로 작용하는 마찰력으로 그리고 섬유에 의해 받게되는 힘으로 나눌 수가 있다. 일반적으로 강섬유 콘크리트에 균열이 발생하면 콘크리트와 섬유의 부착효과를 통해 접합부에서 이에 상응하는 하중을 받을 수 있는 마찰이 가능케 되며 파괴도 강섬유 자체가 인장 파괴되는 것이 아니라 부착파괴로 외력에 저항한다고 본다(Fig. 7). 이때 부착강도를 높여주는 횡방향의 압축으로 인해 강섬유 효과가 향상된다. 이와 같이 전단이음의 효과를 증대시키는 횡압축이 작용하지 않는다면 강섬유에 의해 이음부의 내하력이 강섬유의 부착효과만큼 더해져서 향상될 것이다. 본 실험에서는 횡압축력의 증가로 인하여 일정하게 더해진 부분이 곡선형태로 증가하였다.



$$\tau_{su, SFRC} = (\tau_{s0, Stb} + 0.67 \cdot \sigma_{tk}) + k_r \cdot v$$

Fig. 6 Redistribution of shear resistance after formation of planar crack

전단응력-전단변위 관계에 대한 정하중의 실험 결과로부터 전단이음부 형태 A인 경우 전단변위(수직변위) 1.0 mm를 그리고 전단이음부 형태 C인 경우 전단변위가 0.5 mm를 경계로 해서 등가면적으로 하는 직선으로 하는 역행식과 함께 전단응력을 구할 수가 있다.

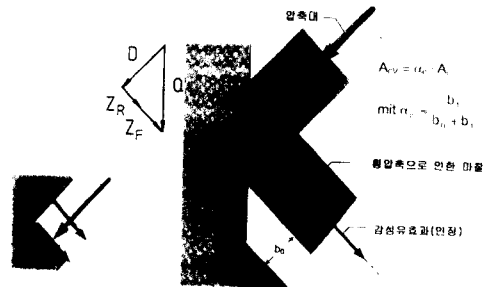


Fig. 7 Effect of steel fibers on linear regressions regarding the ultimate shear capacity

Fig. 7에서 나타난 전단응력-전단변위-그림은 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로 균열틈니에 효과적인 영향을 미친다. 인장에 대한 강섬유의 저항 및 Dowel 작용을 통해 더해진 부분은 실험에 의해 구해진 Post-Cracking-Strength(=  $\beta f_z$ )의 약 2/3을 취한다. 그 이유는 사용하중이 작용할 때는 최대하중보다는 작은 하중이 재하되므로 최대하중이 작용할 때 구해지는 Post-Cracking Strength(=  $\beta f_z$ )치와는 다른 조건이므로 사용하중이 작용할 때는 Post-Cracking-Strength의 2/3만 작용한다고 보고 제안식을 구한다. 따라서 균열발생 후 콘크리트-강섬유 콘크리트 전단이음부에 대한 전단거동의 발전은 콘크리트-콘크리트의 전단이음부에서와 같은 기술기로 보다 섬유효과가 더해진 높은 수위의 결과를 가져온다.

Fig. 8은 전단이음부에서 전단변위(수직변위)와 수평변위의 상관관계를 보여준다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 섬유의 혼입량에 관계없이 거의 일정한 관계를 유지하고 있으므로 균열 틈 사이

에서의 강섬유의 다리형성을 통한 인장전달이 주된 역할임이 알 수 있다.

Shear displacement [mm]

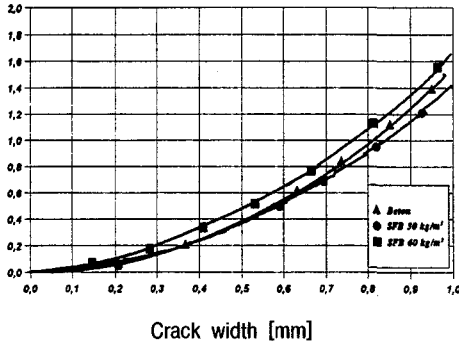


Fig. 8 Relationship between shear displacement and crack width

5.1 정적거동

Fig. 6에서 설명된 것을 실험식으로 제안하면 다음과 같다.

$$\tau_{su, stfc} = (\tau_{d, rc} + 0.67 \cdot \beta_{ft}) + k_c \cdot \nu$$

여기서,

$\tau_{su, stfc}$  : 상대변위  $V = 1.0$  mm 또는  $0.5$  mm시  
강섬유 콘크리트 전단응력 [ $N/mm^2$ ]

$\tau_{d, rc}$  : 균열발생시 콘크리트의 전단응력  
전단이음부 형태 A =  $3.50 N/mm^2$   
전단이음부 형태 C =  $4.80 N/mm^2$

$\beta_{ft}$  = 균열 후 인장강도 [ $N/mm^2$ ]

$V_f = 0.38$  Vol. % :  $\beta_{fc} = 1.09 N/mm^2$

$V_f = 0.76$  Vol. % :  $\beta_{fc} = 1.86 N/mm^2$

$\nu$  = 상대변위 [mm]

$k_c$  = 기울기 ( $\Delta\tau / \Delta\nu$ )

5.2 피로거동

전단이음부의 피로거동은 초기 균열발생과 순

상 Evolution으로 구분하여 관찰할 수 있다. 강섬유 콘크리트로 전단이음부를 보강한 경우 반복되는 피로하중 하에서 초기 균열 발생을 억제할뿐만 아니라 균열발전을 제한하는 효과가 있음을 앞에서 보여준 실험결과로 입증되었다. 따라서 실험결과를 통하여 각각의 제안식을 얻을 수가 있다.

(1)반복하중 횟수에 따른 균열발생

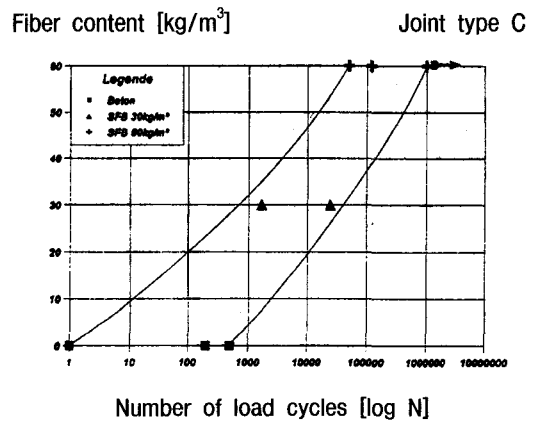
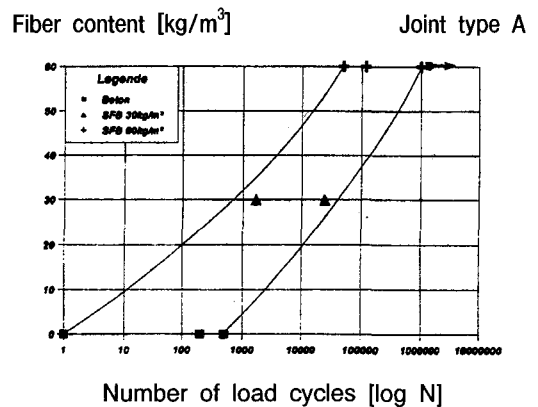


Fig. 9 Effect of steel fibers on the crack initiation under pulsating loads

Fig. 9에서 나타난 것처럼 강섬유로 보강된 전단이음부는 근사적으로 반복횟수(log N)가 오른쪽으로 이동하는 현상을, 즉 강섬유와 콘크리트

의 부차효과로 전단의력에 대한 저항력이 증가되어 초기 균열이 늦게 발생하는 것을, 관찰할 수 있다. 따라서 이 실험결과로부터 평균값으로써 하나의 커브 식을 제안하면 아래와 같다.

$$\log N_{Sffc} = \log N_{rc} + K_{V1} \cdot \alpha_c \cdot V_f$$

여기서,

$N_{Sffc}$  = 균열발생시 강섬유 콘크리트의 반복횟수

$N_{rc}$  = 균열발생시 콘크리트의 반복횟수

$K_{V1}$  = 강섬유 형태 및  $V_f$  에 의한 계수

전단이음부 형태 A :  $\alpha_c \cong 0.9$

전단이음부 형태 C :  $\alpha_c \cong 0.6$

$\alpha_c$  = 콘크리트 전단면에 대한 계수

$V_f$  = 강섬유 혼입량 [Vol. %]

## (2) 손상 Evolution

Fig. 5에서 관찰한 것처럼 마크로 균열발생 후 계속 발전되는 균열이 강섬유에 의해 확실히 억제된다. 이 균열발전을 손상 Evolution으로서 나타낸다. 반복횟수(log N)와 함께 선형에 가까운 변화를 하는 손상 Evolution은 전단이음부 Type A와 C의 모든 실험결과로부터 평균치를 취하여 하나의 식으로 제안 할 수 있다.

$$V_{N, Sffc} = V_{N, rc} - x_{V2} \cdot \alpha_c \cdot V_f$$

$$V_{N, rc} = V_{1, rc} \cdot (1 + k_V \cdot \log N)$$

여기서,

$V_{N, Sffc}$  = 반복회수 N일 때 강섬유 콘크리트의 상대변위 [mm]

$V_{N, rc}$  = 반복회수 N일 때 콘크리트의 상대변위 [mm]

$V_{1, Sffc}$  = 균열발생시 강섬유 콘크리트의 상대변위 [mm]

$x_{V2}$  = 강섬유 형태 및  $V_f$  에 의한 계수

강섬유 혼입량  $V_f = 0.38$  Vol. %  $x_{V2} = 60$

강섬유 혼입량  $V_f = 0.76$  Vol. %  $x_{V2} = 40$

$\alpha_c$  = 콘크리트 전단면에 대한 계수

전단이음부 형태 A :  $\alpha_c \cong 0.9$

전단이음부 형태 C :  $\alpha_c \cong 0.6$

$V_f$  = 강섬유 혼입량 [Vol. %]

$k_V$  = 상대변위에 대한 콘크리트 계수 ( $k_V = 0.217$ )

수행된 연구를 통해 예상된 결과와 같이 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 피로하중에 대한 균열특성이 섬유 혼입량에 따라 확실히 향상되었다.

## 6. 결론 및 추후연구과제

정적실험과 동적실험 결과는 각각 다음과 같다.

### (1) 정적실험

- 강섬유로 보강된 연속 삼각형 모양의 조인트 경우 25 %의 높은 파괴하중을 갖는다.
- 강섬유는 균열발생 후 수직변위(상대변위)와 수평변위(균열폭)를 감소시킨다.
- 첫 균열 발생 후 균열 틈 사이에서 강섬유는 다리를 형성하면서 현저한 조인트 Post 최대 하중을 증대시키면서 유연한 변형을 주는 효과가 있다.
- 강섬유는 균열이 발생된 조인트의 잔존 전단 강도를 증가시키고 섬유 혼입량의 증가에 따라 그 전단강도는 증대한다.
- 실험경험식 제안

$$\tau_{su, sffc} = (\tau_{d, rc} + 0.67 \cdot \beta_f) + k_c \cdot \nu$$

### (2) 피로실험

- 강섬유 보강 콘크리트의 경우 조인트 첫 균열이 훨씬 늦게 발생한다.
- 강섬유 보강 콘크리트의 경우 조인트의 강도가 현저하게 증가한다.



- 강섬유 보강 콘크리트의 히스테리는 현저히 작은 소성변위를 보인다. 즉, 강섬유는 강한 균열 억제와 균열발생 후 콘크리트를 일체로 유지시킴으로써 피로하중에 대한 저항성을 증대시킨다.

- 실험경험식 제안

\* 균열발생 :

$$\log N_{Stfc} = \log N_{rc} + K_{v1} \cdot \alpha_c \cdot V_f$$

\* 손상 Evolution :

$$V_{N, Stfc} = V_{N, rc} - x_{v2} \cdot \alpha_c \cdot V_f$$

$$V_{N, rc} = V_{1, rc} \cdot (1 + k_v \cdot \log N)$$

본 연구와 관련하여 추후 연구과제로서는 RC 및 SFRC 보의 피로하중에 강섬유 혼입량에 따른 피로휨거동 향상 효과(균열특성 및 강성의 변화)에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Heiland, D. : Untersuchungen zum Dämpfungsverhalten von stahlfaserverstärktem Stahlbeton bei globaler und elementweise differenzierter Betrachtungsweise. Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1991.
- [2] Schnütgen, B. : Rohre aus Stahlfaserbeton. Beton- und Stahlbetonbau 1/1989, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1989.
- [3] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Ausgabe September 1992, Beuth Verlag Berlin, 1992.
- [4] White, R. N., and Holley, M. J., "Experimental studies of membrane shear transfer", J. Struct. Div., ASCE, 98(8), pp. 1835-1852, 1972.
- [5] Walraven, J. : "Rough Cracks Subjected to Earthquake Loading", Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 120, No. 5, May, 1994.
- [6] B. S. Kang : Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung, Dissertataion, Ruhr Universität Bochum, 1998.