

# 강섬유를 보강한 강상판 합성보의 거동에 관한 기초적 연구 Fundamental Study of Behavior on Steel · Concrete Composite Beam Reinforced Steel Fiber

서성탁\*  
Seung-Tag Seo\*

## <Abstract>

Steel fibre reinforced concrete (SFRC) were considered a new technology for the construction industry. However today this technology has found wider acceptance among the construction industry. Currently, steel fibres are used in varied segments in many application areas across different segments in the construction industry, especially in tunneling, airports, warehouses, etc. Time and safety are the main factors are among the various advantages which renders steel fibres superior to the competing product. For fibers reinforcing, The maximum load carrying capacity is controlled by fibers pulling out of the composite because fiber reinforcing does not have a deformed surface like larger steel reinforcing bars. The study demonstrated that above concept is applicable and effective in concrete structure by analytical study. The analytical result appears that SFRP have the potential to significantly increase the strength of existing concrete structures, while at the same time dramatically improving their fracture energy characteristics.

**Keywords :** FRP, FEM, Steel fiber, Compression strength, Tensile strength, Flexural strength

## 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 신설에 있어, 공사비 절약, 내구성향상, 다기능성등 많은 부가가치를 목적으로 새로운 기술공법의 개발이 많은 과제이다. 고가교 등 구조물의 콘크리트 버력의 추락방지등을 목적으로 하여 타설현장에서 단섬유를 혼입하는 콘크리트의 적용이 검토되고 있다. 그러나 다기능성을 요하는 관점에서 섬유를 혼입하여 버력방지 기능 뿐만아니라 동시에 다른 기능의 효과도 기대가능한 방법이 추가되도록 연구개발이 이루어지고 있다.

특히, 콘크리트 중에 강섬유를 혼입함으로써 콘크리트의 구조성능이 향상되며, 사용하는 철근의 량을 절감시킴으로서 철근가공 및 조립을 요하는 노동을 약 5%~10%정도 절감함으로써 시공의 합리화가 가능하다. 또한 외력에 대하여 미소한 균열이 발생하더라도 균열폭을 감소시킬 수 있으며, 특히 우각부의 콘크리트의 파손이나 균열방지에 그 효과가 있다.

강섬유보강콘크리트에 대한 국외의 연구는 Shah와 Rangan<sup>1)</sup>은 1971년 강섬유로 보강된 콘크리트는 인성과 에너지 흡수성 및 피로특성이 개선된다고 하였으며, Chen과 Carson<sup>2)</sup>은 1971

\* 교신저자, 정회원, 혜천대학 도시건설과, 교수, 工博  
E-mail : seosungtag@yumail.ac.kr

\* Corresponding Author, Prof. Dept. of Civil Engineering,  
Hyecheon University, Ph. D.

년 섬유길이가 섬유보강콘크리트의 인장강도에 미치는 영향에 대하여 연구하고 있다. 또는 1972년 Batson, Jenkins, Spatney<sup>3)</sup>는 강섬유를 철근과 함께 사용하여 비틀림 및 전단 보강재로서의 사용 가능성을 제시하였고, 2005년 Ochi와 Okubo<sup>4)</sup>는 강섬유보강 콘크리트의 특징과 발전경위에 대하여 연구하였다. 또한 Okubo와 Fukui<sup>5)</sup>는 강섬유보강 몰탈의 휨강도에 관하여 연구하였다. 국내에서는 1991년 서상교<sup>6)</sup>의 강섬유보강 콘크리트의 인장거동에 관한 실험, 1991년 장동일<sup>7)</sup> 등에 의한 강섬유 혼입량에 의한 파괴에너지에 의한 실험, 1999년 하기주<sup>8)</sup> 등에 의한 강섬유보강 콘크리트의 구조성능개선에 관한 연구가 이루어 졌다.<sup>7)</sup>

본 연구는 기존의 콘크리트 구조물에 섬유 혼입 콘크리트의 보강효과에 대하여 비교적 검토를 기술하며, 특히 강섬유를 혼입한 강섬유보강 합성구조물의 해석적 검토를 수행 한다.

## 2. 강섬유의 제조방법과 품질관리

강섬유의 규격은 단면적 0.07~0.5mm<sup>2</sup>, 환산 직경 0.3~0.8mm, 길이 20~80mm의 범위에 있다. 환산직경은 공칭직경으로 부른다. 강섬유의 제조방법에는 박판전단법, 강선절단법, 후판절삭법 및 용강추출법의 4종류가 있으며, Fig.1에 나타냈다.

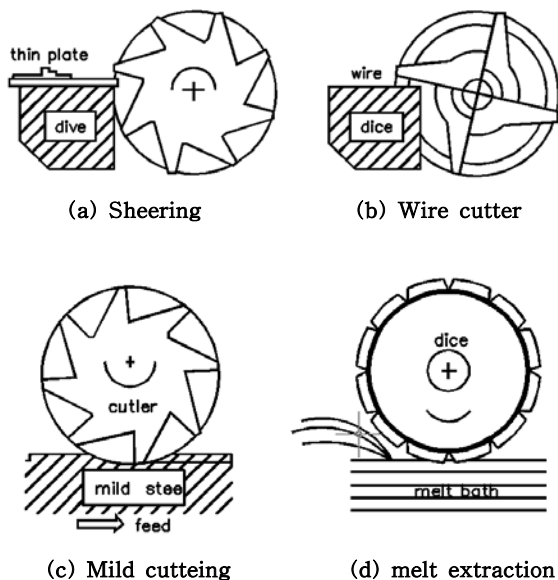


Fig. 1. Manufacturing methods of steel fiber.

현재 시판되는 콘크리트 보강용의 강섬유는 이상의 4가지 방법에 의해서 제조된다. 단, 특히 방청이나 비자성을 필요로하는 경우에는 스텐레스강을 소재로한 강섬유가 사용된다. 용강추출법에는 강섬유는 주로 내화물용섬유로서 사용되며, 스텐레스강으로만 제조된다. Fig.2에 강섬유의 종류와 Fig.3에 L=30mm의 Single 형태와 Bundle 형태의 강섬유 제품을 나타냈다.<sup>4)</sup>

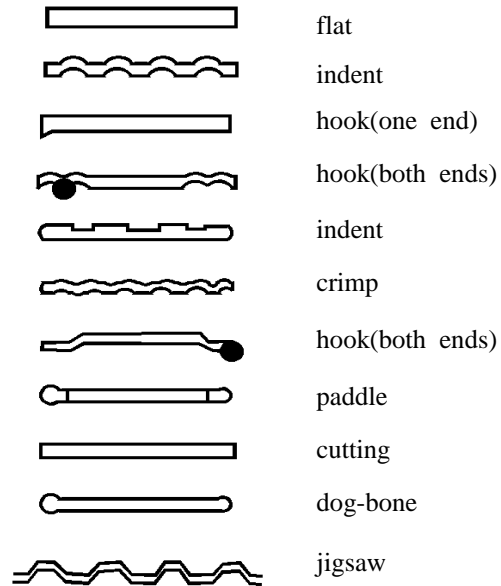
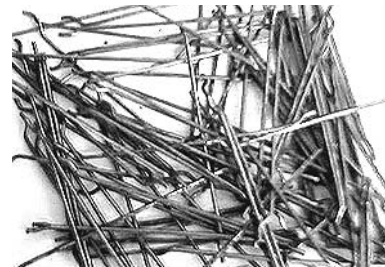


Fig. 2. Various types of fibers.



(a) Single type



(b) Bundle type

Fig. 3. Steel Fiber(L=30mm).

### 3. SFRC의 역학적성질

#### 3.1 압축강도

SFRC의 압축강도는 Table 1와 Fig.4에 나타낸 것과 같이 강섬유의 혼입량의 영향을 받지 않고, 주로 물-시멘트비에 따른다. 또한, Table 2와 Fig.5에 탄성계수의 변화를 나타냈다.

#### 3.2 휨강도

강섬유 보강콘크리트는의 휨강도는 실험결과에서 일반 콘크리트보다 1.5kg보강시 평균3%증진, 2.0kg보강시 평균8%, 2.5kg보강시 평균22%, 3.0kg보강시 평균45%, 3.5kg보강시 평균44% 각각 증진되었다. 강섬유 혼입율에 따라 휨강도는 증가하고 있으며, 혼입율이 3.0kg에서 최대치를 발현한 후 감소하는 추세를 보였다. 따라서 최적 혼입율은 3.0kg정도가 타당한 것으로 사료된다.

#### 3.3 인장강도

SFRC의 인장강도 및 변형특성은 섬유와 매트릭스의 부착력에 의존하며, 강섬유 혼입율 및 섬유의 배향등의 영향을 받는다. 강섬유의 혼입율에 따른 인장강도의 변화는 Fig.6에 나타낸바와 같이 강섬유의 혼입량이 2.0kg일대 최대치 31.4kg/cm<sup>2</sup>을 나타냈으나, 혼입량이 증가함에 큰 변화는 찾을 수 없다. 그러나 혼입율이 0kg인 경우 전체 평균의 84%에 불과하며, 강섬유를 혼입한 경우 콘크리트의 인장강도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Strength change according to mixing rate of steel fiber

강섬유혼입량 (kg)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	비 고
0.0	242.0	25.5	
1.5	313.2	30.4	
2.0	322.1	31.4	
2.5	319.6	29.9	
3.0	322.1	30.7	
3.5	310.7	29.1	

Table 2. Maximum capacity and Elastic modulus according to mixing rate of steel fiber

강섬유혼입량 (kg)	최대하중 (kgf)	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	비고
0.0	16,164	1.97×10 <sup>5</sup>	
1.5	24,620	1.94×10 <sup>5</sup>	
2.0	25,950	2.00×10 <sup>5</sup>	
2.5	23,540	1.90×10 <sup>5</sup>	
3.0	20,400	2.04×10 <sup>5</sup>	
3.5	22,280	1.95×10 <sup>5</sup>	

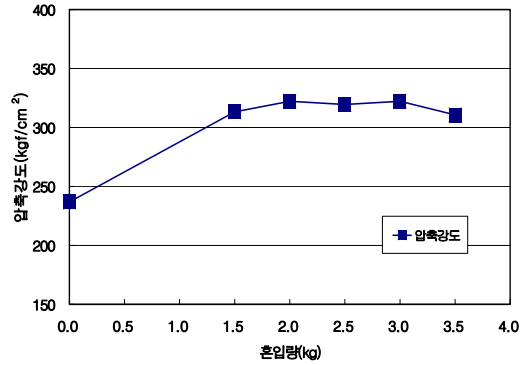


Fig. 4. ComperSSION strength change by steel fiber mixing rate.

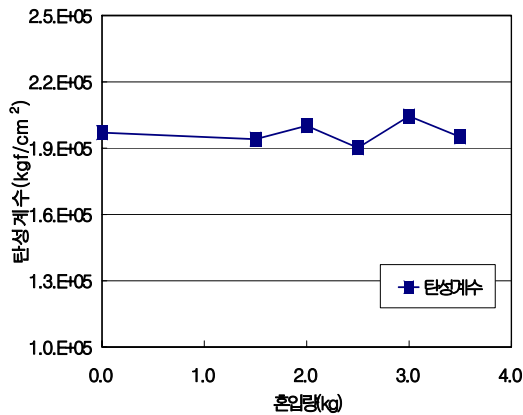


Fig. 5. Elastic modulus change by steel fiber mixing rate.

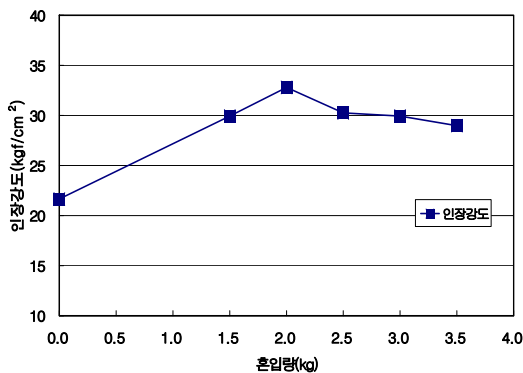


Fig. 6. Tension strength change by steel fiber mixing rate.

#### 3.4 SFRC의 인장거동

Fig.7에 일반 카본섬유, 유리 섬유 및 강섬유와의 응력 변형곡선을 나타냈다. 강섬유에 비하여 카본과 유리섬유의 변형을 매우 작으며, 강도 또한 많은 차이를 알 수 있다. 또한 Fig.8에 섬유제품의 탄성계수를 나타냈으며, 강섬유와 탄소섬유는 비슷한 탄성계수를 나타냈으나,

유리섬유는 낮게 나타났다.

Fig.9에 SFRC의 인장하중하에서 거동을 나타냈다. 구조물에 인장하중이 피크에 도달하면 보통콘크리트는 갑작스럽게 두조각으로 파괴가 일어나며 더 이상의 저항이나 변형은 없다. 그러나 강섬유보강 콘크리트의 경우는 보통콘크리트와 동일한 피크에서 균열이 발생하나 완전히 두조각으로 파괴는 일어나지 않으며, 지속적인 인장하중에 대하여 매우 큰 변형일으킨다. 곡선아래의 면적은 인장하중아래서의 에너지 흡수를 나타내며, 균열후의 거동을 보여준다.<sup>(9),10)</sup>

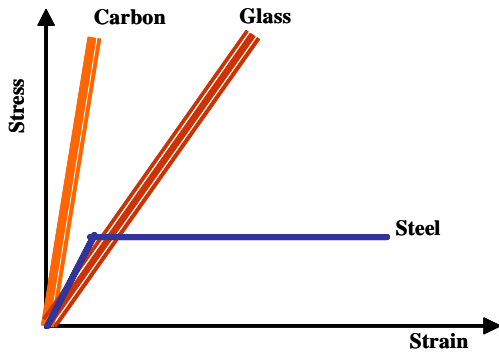


Fig. 7. Stress-strain curve.

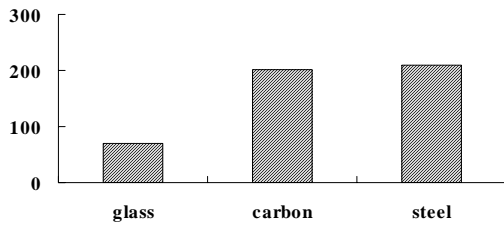


Fig. 8. Young's modulus.

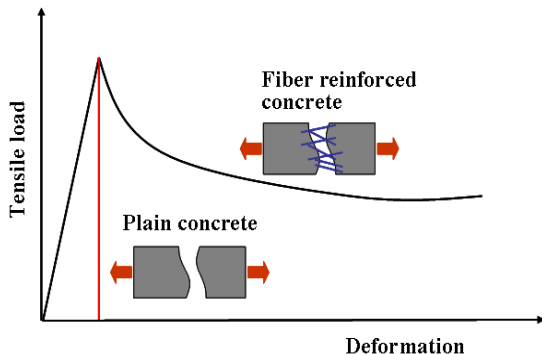


Fig. 9. Tensile load-deformation curve

#### 4. 강섬유보강 강상판보의 해석

##### 4.1 개요

해석공시체는 Fig.10에 나타낸 바와 같이 길이 2200cm, 단면 20cm×16cm이며, 지간은 200cm로서 2점 집중재하한다. 강판의 두께는 8mm사용한다. 강섬유 혼입율 2.0%의 대하여 수행하였다.

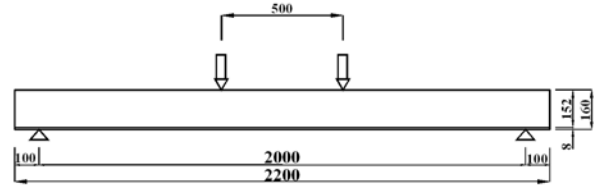
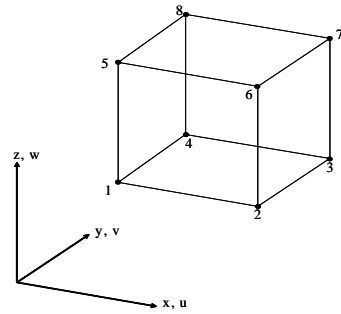


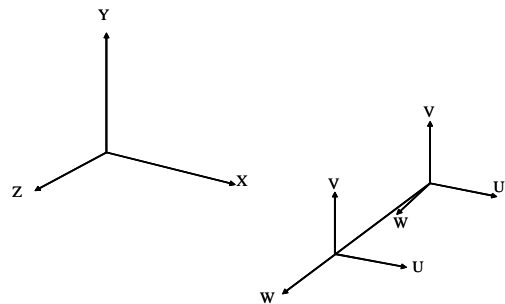
Fig. 10. Dimension of specimen.

Table 3. Analysis condition

사용요소	콘크리트, 강판 : 8절점 Solid 요소 철근 : 봉요소(축력)
재료의 비선형 (항복조건)	콘크리트 : Implicit Backward Pressure Dependent Von Mises 철판·철근 : Euler Von and Hill의 항복 조건
기하학적 비선형	유한변위를 고려한 Total Lagrangian에 의한 정식화
경계조건	1/2 Model로 대칭면에서 대칭조건
비선형 방정식 구해법	Newton Raphson법



(a) Solid Element



(b) Bar Element

Fig. 11. Element of FEM.

### 4.2 재료의 모델화

해석에 이용한 콘크리트의 재료특성은 Fig.12에 나타냈으며, 콘크리트의 압축변형율은 0.0035에서 파괴가 일어나는 것으로 한다. 또한, 강재의 재료특성을 Fig.13에 나타냈다.

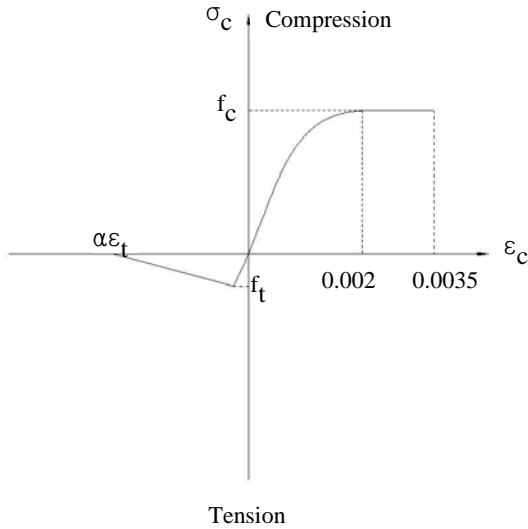


Fig. 12. Property of concrete material.

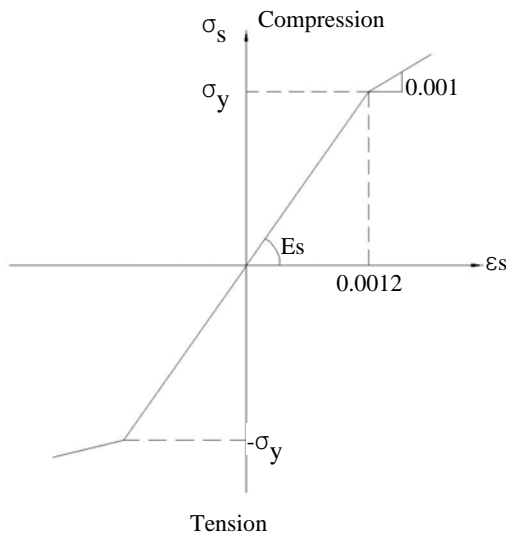


Fig. 13. Property of steel material.

### 4.3 요소분할

해석에 사용한 요소분할도를 Fig.14에 나타냈다. 구조 및 하중의 대칭성으로 지간중앙에서 좌반분을 요소분할 한다. 철근에 관해서는 Fig.11에 나타낸 것과 같이 보요소를 사용하며, 강판 및 콘크리트는 Solid 요소를 사용한다. 하중은 지간중앙에서 250mm떨어진 곳에서 분할하여 작용한다.

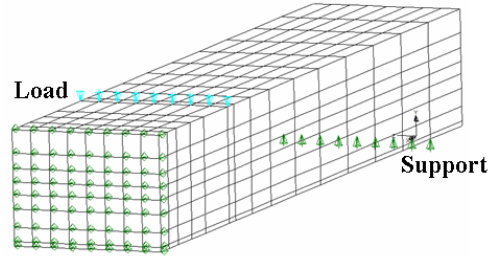


Fig. 14. FEM Model.

### 4.4 해석결과

Fig.15에 하중과 처짐곡선을 나타냈다. 하중이 약 120kN에서 14mm정도의 처짐이 발생하였으며, 탄성영역에서는 계산치와 매우 일치하고 있다. 또한 강판과 강섬유를 보강함으로써 매우 높은 강성을 발휘하고 있다.

Fig.16에 하중과 저장판의 변형률을 나타냈으며, 상단의 콘크리트가 항복시에 강판의 변형율은 4000μ까지 진행하였으나, 강판의 항복까지는 이르지 못하였다. 특히, 해석에서는 강판과 콘크리트의 접합을 위하여 설치한 스티드에서 변형율이 가장 심한 것으로 나타났다. 또한, 강판의 변형율의 해석치는 계산치와 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig.17에 콘크리트 상단의 변형율을 나타냈으며, 보의 파괴는 보의 중앙 상단 콘크리트의 변형율이 3500μ에 근접함으로써 파괴가 일어났으며, 해석치는 계산치보다 약간 작은 경향을 나타냈다. 특히, 콘크리트의 Cracking 모델을 이용하여 균열을 확인한 결과 보통 콘크리트에 비하여 많이 감소된 것을 확인할 있었으며, 힘에 있어서 섬유보강의 효과를 알 수 있다.

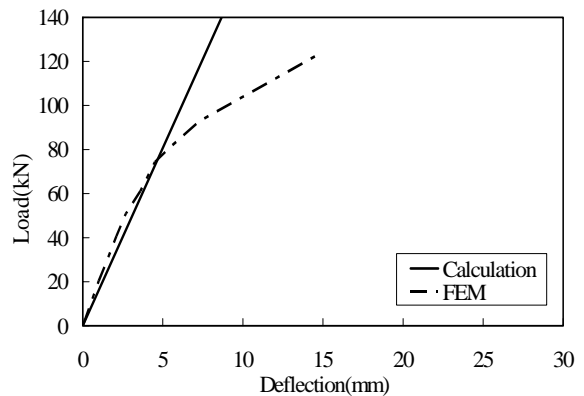


Fig. 15. Load-Deflection Curve at the middle span.

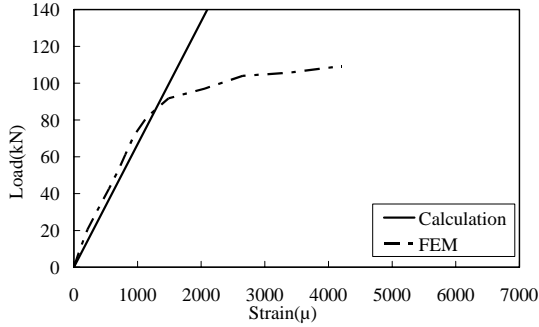


Fig. 16. Load-Strain Curve at the bottom plate.

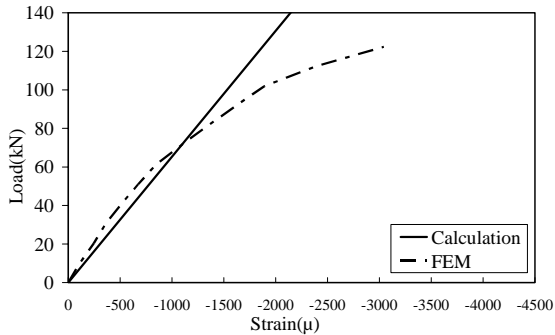


Fig. 17. Load-Strain Curve at the top concrete.

## 5. 결 론

본 연구는 기존의 콘크리트 구조물에 섬유 혼입 콘크리트의 보강효과에 대하여 비교적 검토를 기술하며, 특히 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 합성구조물의 비선형 해석적 검토를 수행한다.

- (1) 강섬유의 함유량의 변화에 따른 콘크리트의 압축강도는 거의 변화지 않고 일정한 값을 나타내므로 강섬유 함유량은 압축강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.
- (2) 해석결과는 계산치와 잘 일치하며, 강섬유 보강 보의 강성향상을 확인할 수 있었다.

- (3) 콘크리트의 파괴는 보의 중앙 상단 콘크리트의 변형율이  $3500\mu$ 에 근접함으로서 파괴가 일어났으며, 해석치는 계산치보다 약간 작은 경향을 나타냈다.
- (4) 해석상에서 콘크리트의 균열은 보통 콘크리트에 비하여 많이 감소된 것을 확인할 있었으나, 휨에 있어서 섬유보강의 효과를 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) Shah, S.P. and Rangan, B.V., *Journal of ACI, Proceedings*, **68, 2**, 126, (1971)
- 2) Chen, W.F. and Carson, J.L., *Journal of ACI, Proceedings*, **68, 12**, 933, (1971)
- 3) Batson, G.B., Jenkins, E., and Spatney, R., *Journal of ACI, Proceedings*, **69, 10**, 640, (1972)
- 4) Tsuneo OCHI, *The Mining and Materials Processing Institute of Japan*, **121** 555, (1999)
- 5) Okubo and Fukui, *The Mining and Materials Processing Institute of Japan*, **114**, 87, (1998)
- 6) Seo, Sang Kyo, *콘크리트학회 논문집*, **3, 1**, 3, (1991)
- 7) Chang, Dong Il, *콘크리트학회 논문집*, **3, 4**, 12, (1991)
- 8) Ha, Gee Joo, *콘크리트학회*, (1999)
- 9) R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan *Fiber Reinforcement of Concrete Structures*, September (2002)
- 10) Andrea Materschlger, *2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering*, Budapest (1998)

(2008년 3월 21일 접수, 2008년 5월 23일 채택)