

섬유로프 인장 배치 시 콘크리트 보의 내력에 관한 실험적 연구

최재남 · 진성일 · 손기상[†]

서울과학기술대학교 안전공학과

(2012. 2. 13. 접수 / 2012. 4. 12. 채택)

An Experimental Study on Internal Force By Using Fiber Rope Concrete Beam

Jae-Nam Choi · Sung-IL Jin · Ki-Sang Son[†]

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received February 13, 2012 / Accepted April 12, 2012)

Abstract : This is a study to confirm how to improve and substitute the existing re-bar with other material such as a fiber rope, especially super fiber rope having much more strong tensile strength. 6(b) different fiber rope reinforced beam with a section of 20x30cm have been made and tasted as variables designed in the study. The larger diameter of fiber rope, the more capacity of the beam, even though fiber reinforced beam are increased with ten(10)percent, each. Lower capacity of fiber-reinforced beam than normal RC beam has been analyzed theoretically and empirically, based on a lot of experiences of the same size beam test. Fiber rope-reinforced concrete beam does not have sufficient capacity than RC beam due to insufficient bonding capacity of fiber rope in concrete. It leads to decrease beam bearing capacity and crack around lower center of the beam. Therefore, bonding reinforcement of fiber rope beam such as pinning a triangles steel pin in each knot of fiber rope contributes to improving bearing capacity of fiber rope reinforcing beam.

Key Words : super fiber rope, geinforced concrete, tensile strength, compressive strength, flexural strength

1. 서 론

콘크리트는 경제적이고 역학적 성질이 뛰어나기 때문에 콘크리트의 발명이후 계속해서 대표적인 건설재료로서 사용되어 왔다. 그러나 콘크리트는 압축력에는 강하게 반응하지만 인장력에는 취약점을 나타내기 때문에 낮은 외부하중이 작용을 할 경우 인장부에는 쉽게 균열이 발생한다. 이러한 취약점을 보완하기 위하여 인장부근에 철근을 보강시켜 발달 된 것이 철근콘크리트이다.

철근 콘크리트부재는 구조물의 형상이나 치수에 제약받지 않으며 구조물을 일체적, 경제적 그리고 내구성 및 내화성이 좋다는 장점을 가지고 있으며 구조물에 있어서 필수적인 요소이다. 그러나 철근은 중량이 크고, 고가이므로 여러 가지 문제점들을 가지고 있으며 특히 최근에는 반영구적인 내구성을

가지고 있다는 철근콘크리트 구조물이 각종 작용 하중과 환경조건, 물리적, 화학적 작용 등으로 인하여 내구성과 기능이 떨어지고 심각한 경우에는 안전성까지도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 기존의 철근콘크리트 구조물의 안전성의 강화가 요구되어 지고 있으며 철근을 대체하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 오고 있다.

최근 국내에서 개발된 강철보다 인장강도가 10~15배 강하고 가벼운 Ultra High Molecular Weight Polyethylene (U.M.H.W.P.E) Super Fiber Rope(슈퍼섬유로프)가 전시 공개되어(2011.10.15부산국제섬유전시회)콘크리트와의 구조적 조합 가능성 여부는 큰 의미를 부여 될 수밖에 없는 조건이다¹⁻³⁾.

이에 본 연구에서는 보의 인장부에서 Super Fiber Rope로 철근을 대체함으로써 슈퍼섬유로프 콘크리트 보의 구조적 특성을 실험적으로 비교 분석하고 실질적인 활용 가능성에 대한 기초적인 자료를 제시하는데 목적이 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksson@seoultech.ac.kr

Table 1. Chemical properties of cement

Chemical component (%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	lg.loss
Cement	64.4	21.3	5.3	2.6	3.2	1.9	1.0

Table 2. Physical properties of cement

Gravity	Fineness (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time		Compressive strength(MPa)		
			Starting (min)	Final (Hour)	3 days	7 days	28 days
3.15	3,400	0.08	230	6.5	23	31	40

2. 연구방법

2.1. 실험재료의 특성

2.1.1. 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학적 성질과 물리적 성질은 Table 1과 Table 2와 같다.

2.1.2. 배합수

본 실험에 사용한 배합수는 기름, 산, 염류 등이 포함되지 않은 일반 상수도를 이용하였다.

2.1.3. UHMWPE-Super Fiber Rope

본 실험에서 사용한 섬유로프는 인장력이 철재의 10배에 해당하는 섬유로프(Super Fiber Rope)를 사용하였으며 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of U,H,M,W,P,E

Tensile strength	Young's modulus	Elongation	Density	Melting point/decomposition temperature
GPa	GPa	%	g/cm ³	°C
3.5	110	3.5	0.97	150

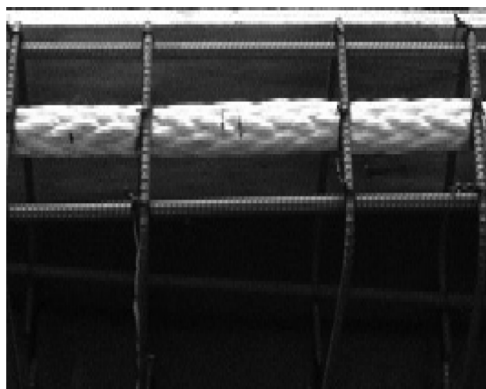


Fig. 1. Super fiber rope.

Table 4. Concrete mixing proportion

Unit : kg					
Cement	Water	Gravel	Sand	Admixture	Total
344	180	942	838	1.72	2300

2.2. 콘크리트 배합설계

배합설계는 KS인가를 받은 G레미콘의 24MPa 강도의 것을 사용하였으며 배합표는 Table 4와 같다.

공시체 제작은 KS F 2425 규정에 따라 제작하였다. 공시체 제작 및 양생은 성형 후 20±3°C의 습윤상태에서 재령 28일까지 양생 후 강도시험을 행하였다.

2.3. 실험방법

(1) Ø10cm×20cm 공시체를 제작하여 압축강도(KS F 2405), 쪼갬인장강도(KS F 2423), 포와송비(KS F 2438)시험을 시행하였다. 본 실험에 사용한 공시체는 재령 28일간 20±3°C로 수중양생 하였다.

(2) RC보 시험체는 중앙 하단 부분에 주철근D19, D22, D25를 사용하였고 철근을 대체하여 Super Fiber Rope D19, D22, D25를 사용하였다. 중앙철근을 섬유로프로 대체하여 조립한 사진은 Fig. 1에 나타나있다. 스티럽은 D10 철근으로 15cm 간격으로12개를 설치하였다. RC보 시편은 타설 28일 후 콘크리트의 휨 강도 시험방법(KS F2408) 규정에 따라 “3등분점 재하법”에 의하여 수행하였으며, 변형률 측정을 위하여 부재정면에 3지점 과 부재윗면 1지점 그리고 주철근과 Super Fiber Rope 중앙 하단 부분의 꼬임면 위에 그라인딩 없이 제조업체의 지침에 따라 플라스틱재료전용 게이지를 부착하고 Statics Data Logger에 연결하여 변형율을 각각 측정하였다. 단면형상 및 배근도, 스트레인 게이지 위치는 Fig. 2, 실험체의 장치도(Setup)는 Fig. 3에 나타나있다.

(3) 보의 처짐을 측정하기 위하여 시험체 중앙 부분에 LVDT를 설치하여 하중에 따른 보의 처짐을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. 기초물성재료 실험결과

콘크리트의 압축강도, 쪼갬인장강도 및 포와송비 실험결과는 Table 5에 나타내었다. 압축강도결과는 배합설계 24MPa 이상으로 나타났다.

3.2. RC 및 섬유로프 보의 처짐 실험결과

하중에 따른 각 시험체의 처짐량(mm)은 Fig 5에

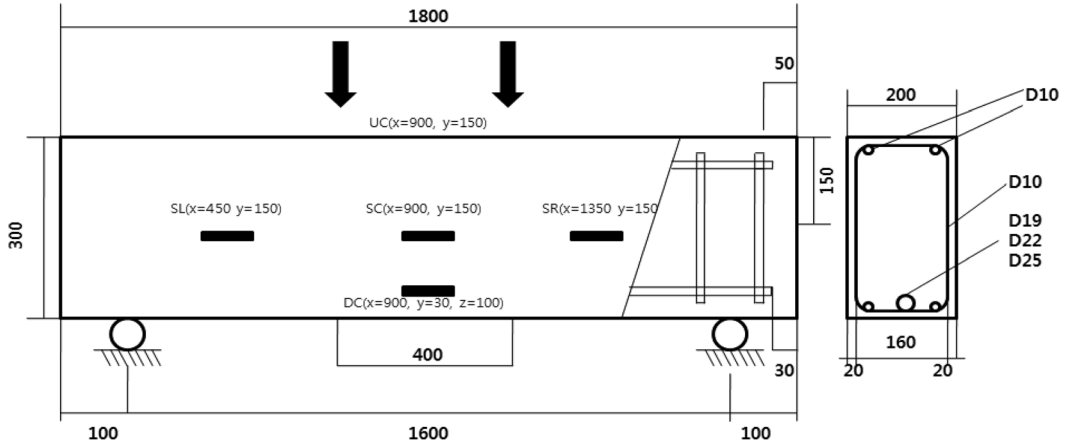


Fig. 2. Dimensions and details of test beam (unit : mm).

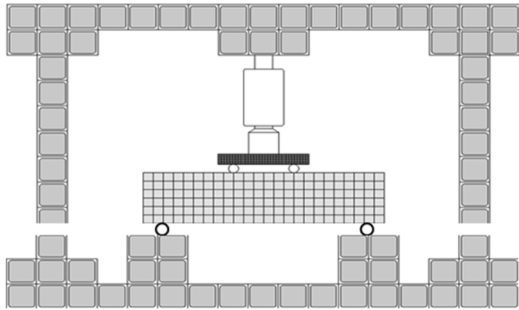


Fig. 3. Setup of test specimen.



Fig. 4. Setup of lvdt.

Table 5. Result of strength test

	Variable					Average
	1	2	3	4	5	
Compressive strength	31.2	32	31	30.5	31.5	31.24MPa
Splitting tensile strength	3.36	3.95	3.78	3.19	3.28	3.51MPa
Poisson's ratio	0.16	0.21	0.18	0.19	0.18	0.184

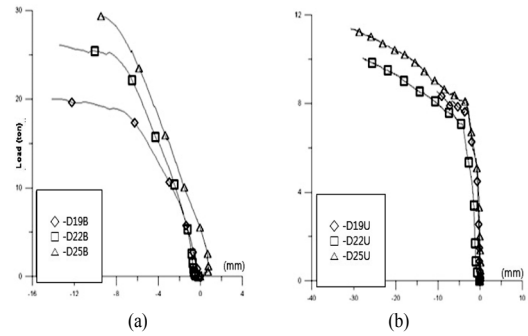


Fig. 5. Deflection of each specimen.

나타내었으며 Fig 5(a)는 철근 콘크리트 보를 (b)는 Super Fiber Rope 콘크리트 보를 의미한다.

3.3. RC 및 섬유로프 보의 휨강도 실험결과

RC 및 섬유로프 보의 최대하중 및 휨강도는 Table 6에 나타나있으며, 콘크리트 부재의 변형율은 Fig. 6에 철근 및 Super Fiber Rope의 변형율은 Fig. 7에 나타나있다. UC는 Fig. 2을 기준으로 부재

Table 6. Maximum strength of rc beam

Variable	Result	
	Load(ton)	fb(MPa)
D19B(Rebar)	19.99	19.6
D22B(Rebar)	26.07	25.57
D25B(Rebar)	29.37	28.8
D19U(Fiber rope)	8.53	8.37
D22U(Fiber rope)	10.03	9.84
D25U(Fiber rope)	11.39	11.17

* fb = pl / bh² (KS F 2408 3등분점 재하실험 휨강도 식)

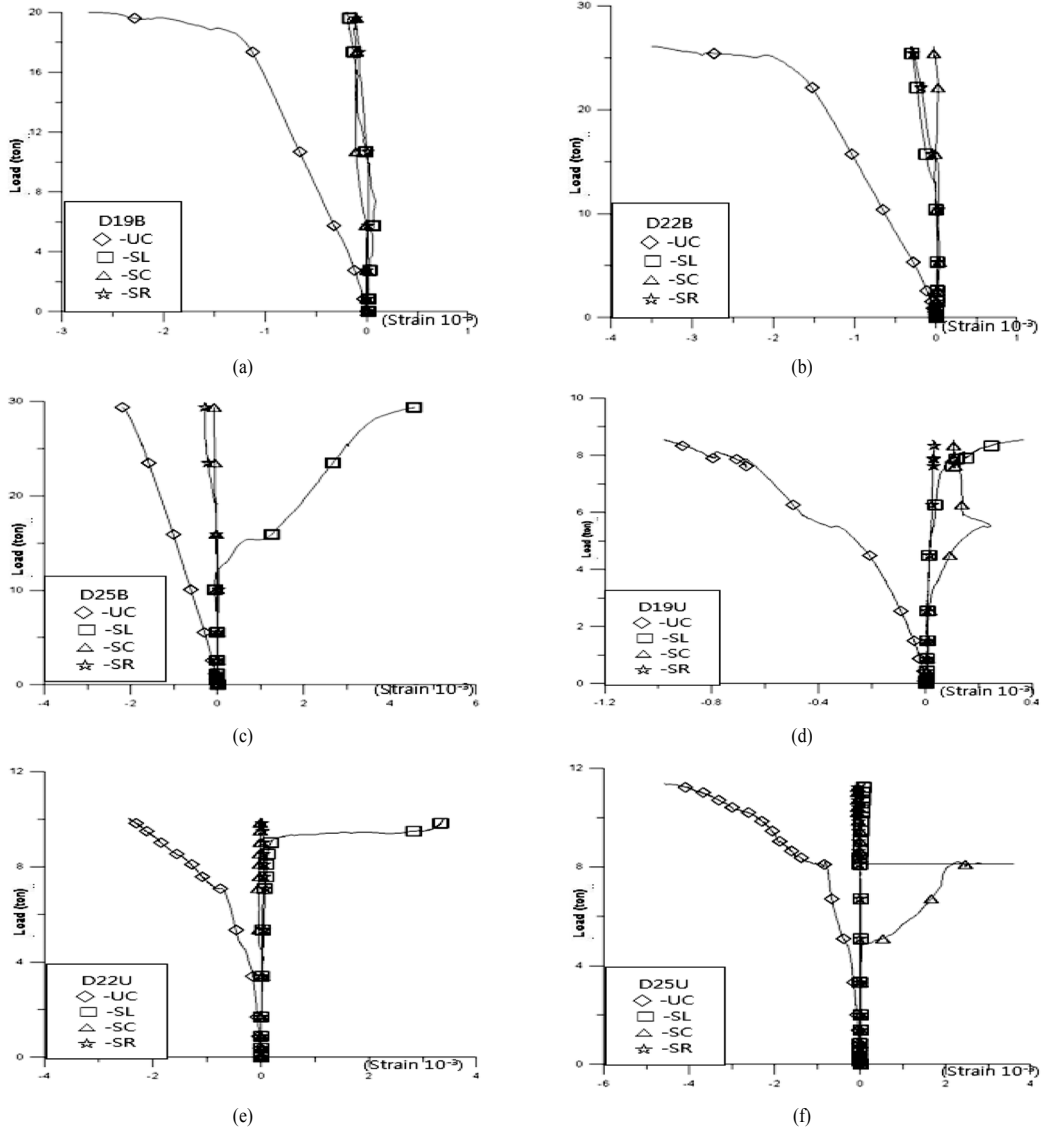


Fig. 6. Deformation ratio of concrete.

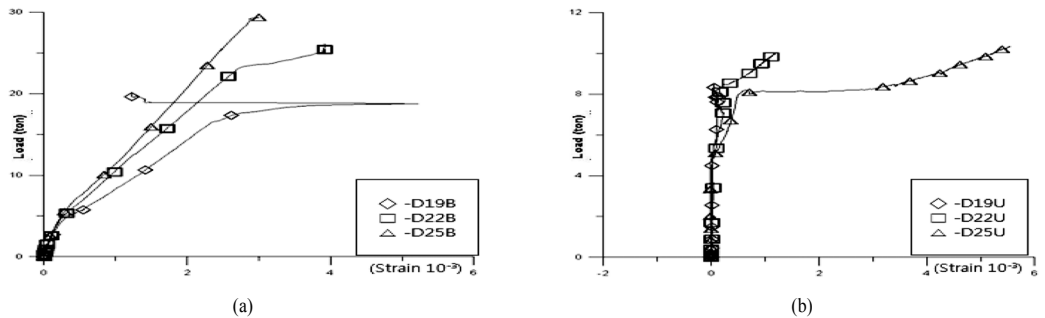


Fig. 7. Deformation ratio of re-bar and rope.

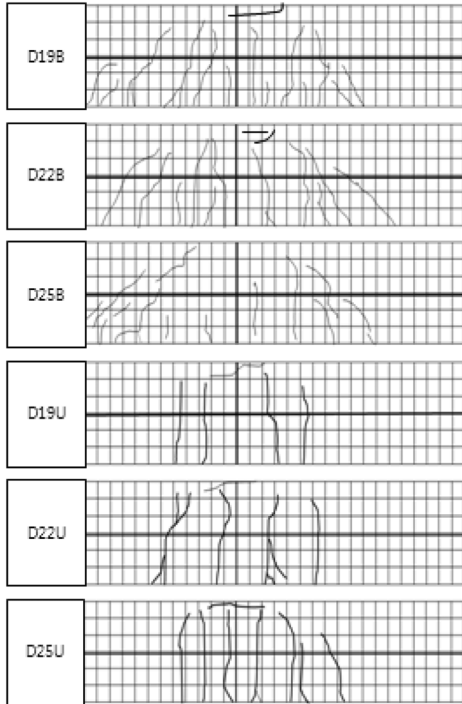


Fig. 8. Crack patterns of each specimen.

윗면 1지점(900mm), SL, SC, SR은 각각 부재정면에 450mm, 900mm, 1350mm 지점을 의미하며 DC는 철근 및 섬유로프의 하단 중앙부분을 의미한다. 보의 균열도는 Fig. 8에 나타나있다.

3.4. 섬유로프 보 내력 저하 원인 해석

3.4.1. 최소철근단면적에 의한 원인 해석

* 철근지름의 소수점은 절삭하여 계산함

1) D19의 인장철근비

$$\frac{2 \times 0.7133}{20 \times 26.5} + \frac{2.865}{20 \times 26.05} = 0.0082 = 0.82\%$$

2) D22의 인장철근비

$$\frac{2 \times 0.7133}{20 \times 26.5} + \frac{3.871}{20 \times 25.9} = 0.0102 = 1.02\%$$

3) D25의 인장철근비

$$\frac{2 \times 0.7133}{20 \times 26.5} + \frac{5.067}{20 \times 25.75} = 0.0125 = 1.25\%$$

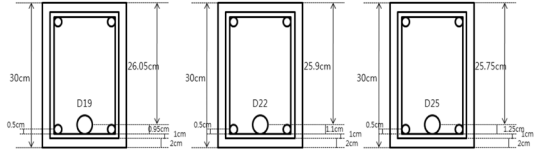


Fig. 9. Cross section of beam.

실험에 사용 된 각각의 보의 최소철근단면적의 값은 $p_{min} = \frac{0.25 \sqrt{24MPa}}{300MPa} = 0.0040 = 0.4\%$

$$\frac{1.4}{300MPa} = 0.0046 = 0.46\%$$

0.0040 < 0.0046에 의하여 0.46%의 값을 가지므로 각각의 실험체에 대한 최소철근단면적의 값을 충족한다. 따라서, 철근과 섬유로프 보강단면적은 부족하지 않은데 섬유로프 보강 단면 보에서만 강도저하는 섬유로프의 접착력부족이 휨강도 저하의 원인이 되는 것으로 분석된다.

3.4.2. 탄성계수에 의한 원인 해석

섬유로프의 탄성계수는 920,069kg/cm² 철근의 탄성계수는 2,100,000kg/cm²이다. 철근의 탄성계수가 2배 이상이므로 가력시에 콘크리트 보의 중앙하단이 인장을 받는 등 철근이 저항하는 기능을 철근과 같이 상호 조합적 성능을 갖지 못하여 콘크리트 보의 휨 내력이 낮아지고 있는 원인 중 하나인 것으로 해석된다.

섬유로프 직경 25mm의 보 파괴후의 상태확인을 위해 콘크리트 피복을 파쇄 후 버니어캘리퍼스로 정밀 측정을 했을 때 25mm로 측정되어 파괴 전후의 직경 변화가 없는 것으로 볼 때 보의 내력은 탄성계수보다는 부착력에 더 큰 영향을 받은 것으로 해석 된다.



Fig. 10. Super fiber rope in concrete.

4. 분석

(1) 보의 하단 중앙지점에 위치한 주철근 및 섬유로프 DC지점의 변형률에 관해서는 철근의 경우는 직경이 증가함에 따라 변형률이 감소하지만 로프의 경우에는 직경이 증가함에 따라 변형률이 증가하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 철근 D19, D22, D25 중앙 하단근 배치시에는 일반적 거동과 같이 좌우 대칭으로 대각균열을 보이고 있는데 비해서, 섬유로프로 대체 된 각각의 보의 경우에는 직각 균열과 유사한 형태를 보인 것은 부착력 부족으로 분석되었다.

(3) RC보의 경우 주철근의 직경이 커질수록 중앙 하단부분의 처짐이 작아지는 반면에, 섬유로프 보의 경우 직경이 커짐에 따라 중앙하단 처짐이 커지지 않고 적은차이지만 D22가 D25보다 큰 것으로 나타났다. 이는 콘크리트와의 접착력이 저하된 섬유로프는 철근과 달리 많은 단면적을 차지할수록 처짐에 영향을 주는 것으로 분석된다.

5. 결론

이와 같은 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) RC보 및 섬유로프 보의 휨강도 실험에서는 철근콘크리트의 경우에는 최대하중 19.99ton, 26.078ton,

29.376ton에서 각각 파괴가 되었으며, 섬유로프 보의 경우에는 최대하중 8.534ton, 10.03ton, 11.39t에서 각각 파괴 되어 철근에 비하여 각각 60%정도 강도 저하가 나타났다.

(2) 슈퍼섬유로프는 철근의 대체 재료로서 활용화 가능성은 적을 것으로 사료된다. 하지만 섬유로프 부착강도 증진 기법을 도입 할 경우 적용성을 갖는 값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

(3) RC보의 강도는 철근의 영향력이 크지만 콘크리트와 접착력이 부족한 섬유로프는 철근과 같은 성능의 부족으로 콘크리트 보의 강도저하 및 균열에 영향을 크게 한 것으로 판단된다.

(4) 섬유로프를 효과적으로 사용하기 위해서는 섬유로프와 콘크리트의 접착력을 증대시킬 수 있는 방법이 고안되어야 한다.

참고문헌

- 1) 한국건설기술연구원(<http://www.kict.re.kr>)
- 2) 이상윤, 외부 비부착 Fiber Rope 긴장재로 보강된 RC보의 휨거동”, 대한건축학회, 제22권 제2호, pp, 213~214, 2003.
- 3) 홍세화, 손기상, 최재남, “폐콘크리트 순환자원을 이용한 건설재료의 특성연구”, 한국안전학회, Vol. 25, No. 2, pp, 41, 2010.