

구조용 합성섬유의 형상 및 단면적 변화에 따른 부착 및 휨 성능

원종필^{1)*} · 백철우¹⁾ · 박찬기¹⁾ · 한일영²⁾ · 김방래²⁾

¹⁾ 건국대학교 지역건설환경공학과 ²⁾ SK건설 기술연구소

(2002년 12월 31일 원고접수, 2003년 9월 15일 심사완료)

Pullout and Flexural Performance of Structural Synthetic Fibers by Geometry and Sectional Area Change

Jong-Pil Won^{1)*}, Chul-Woo Back¹⁾, Chan-Gi Park¹⁾, Il-Yeong Han²⁾, and Bang-Lae Kim²⁾

¹⁾ Dept. Rural Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

²⁾ SK Engineering & Construction, R&D Center, Jongro-gu, Kwanhun-dong 192-18, Seoul, Korea

(Received December 31, 2002, Accepted September 15, 2003)

ABSTRACT

The purpose of this study were evaluated to flexural and bond performance by sectional area and geometry change through bond and flexural test of a structural synthetic fiber. Six deformed structural synthetic fibers were investigated and pullout and flexural test was conducted. Included parameters is three different geometries of fiber and two of fiber sectional area. The test result shows that the cycles and amplitude of structural synthetic fiber increased, pullout load and pullout fracture energy decreased and flexural strength increased, if sectional area is same. The sectional area increased, pullout load and pullout fracture energy increased and flexural strength decreased, if cycles and amplitude of structural synthetic fiber is same. Based on test results, structural performance of the concrete could know that is influence by pullout performance of fiber as well as various factor (fiber number, material properties etc).

Keywords : geometry, flexural toughness, pullout, pullout fracture energy, sectional area, structural synthetic fiber

1. 서 론

1960년대부터 일반구조물, 해안구조물, 내진 구조물, 방호벽, 터널라이닝과 사면 등에 균열발생 후의 안정적 거동을 위하여 섬유는 콘크리트 보강재료로서 현재 광범위하게 사용되고 있다.¹⁻⁷⁾

특히 각종 터널공사시 강섬유보강 스폿크리트는 스폿크리트의 인성 및 파괴저항성을 확보할 수 있어 현재 널리 사용되고 있다.^{1,4)} 이러한 강섬유보강 스폿크리트는 철근 및 와이어매쉬 등이 갖는 정확한 공정시기에 지보설치의 곤란으로 인한 공사기간의 장기화와 같은 단점을 해소하고 충분한 인성의 확보측면에서 대단히 우수하다고 알려져 있다.³⁾ 그러나 강섬유는 재료 자체의 비중이 커서 스폿크리트의 타설시 리마운드 양의 증대로 안정성 및 경제성이 떨어지고 수분이 다량으로 포함되어 있는 장소나 지하수가 침투되는 곳에서 부식이 발생하여 구조적으로나 미관적으로 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여

개발된 구조용 합성섬유는 자체중량이 적고 수분에 대한 저항성이 높아 강섬유의 부식으로 인한 내구성 저하의 문제점을 해결할 수 있다.^{1,5-7)}

일반적으로 콘크리트 및 스폿크리트의 성능을 증진하는데 있어서 섬유의 효과는 콘크리트 모체와의 부착성능 및 형상비에 의하여 결정된다고 알려져 있다. 즉 부착성능이 우수하고 형상비가 클수록 콘크리트 및 스폿크리트의 성능을 향상시킨다.^{1,3,7,8)}

구조용 합성섬유는 성분이 폴리올레핀계(polyolefin)로써 섬유의 표면이 비친수성으로 시멘트 콘크리트 모체와의 부착성이 저하되는 근본적인 단점을 가지고 있으며, 이와 같은 부착성의 문제를 해결하고자 섬유의 역학적 변형에 의하여 부착성능을 향상시켜 사용하고 있다.^{1,9)} 또한 섬유의 콘크리트 보강효과는 섬유의 형상비(aspect ratio)가 클수록 콘크리트 및 스폿크리트에서 보강효과가 우수하다고 알려져 있다.¹⁻³⁾ 국내·외에서 사용하고 있는 구조용 합성섬유의 경우 섬유의 길이가 50mm인 것이 널리 사용되고 있어 형상비의 변화는 단면적의 변화에 가장 큰 영향을 받는다.

따라서 본 연구에서는 섬유 형상의 변화 및 단면적의

* Corresponding author

Tel : 02-450-3750 Fax : 02-2201-0907

E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr

변화에 따른 구조용 합성섬유의 부착 및 휨성능을 평가하여 부착성능과 휨강도와의 관계를 알아보고 궁극적으로 콘크리트의 휨성능을 향상시키는 최적의 섬유 형상 및 단면적을 결정하고자 한다. 이를 위하여 첫 번째로 구조용 합성섬유의 단면적과 표면 형상을 변형시킨 섬유를 가지고 부착실험을 실시하여 부착성능을 파악하였다. 두 번째로 휨실험을 실시하여 휨강도 및 휨인성 등 휨성능을 평가하였다. 세 번째로 단면적 및 표면형상에 따른 부착성능과 휨성능과의 관계를 분석·평가하였다. 또한 휨성능 실험결과를 후크 형상의 강섬유와 비교함으로써 구조용 합성섬유의 적용성을 평가하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

2.1.1 사용재료

본 연구에서는 부착 및 휨실험을 위하여 보통 포틀랜드 시멘트(Type I)를 사용하였으며 시멘트의 특성은 Table 1과 같다. 부착실험을 위한 잔골재로는 주문진 표준사를 사용하였으며 휨실험을 위한 잔골재는 조립율 2.99의 강사를 사용하였다. 또한 굵은골재는 최대치수 13mm의 부순 돌을 사용하였다. 주문진 표준사, 잔골재, 굵은골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 구조용 합성섬유의 재료적 특성은 Table 3과 같으며 섬유의 형상은 Fig. 1과 Table 4에서와 같이 6가지의 섬유형상을 실험대상으로 결정하였다.

2.1.2 부착실험

부착실험을 위한 표준배합으로 JCI SF-8⁵⁾의 “Method of test for bond of fiber”에 제시된 배합을 사용하였으며 모르타르의 배합설계는 Table 5와 같다. 모르타르의 압축강도를 측정하기 위하여 KS L 5105에 따라 50×50×50mm의 공시체를 제작하여 온도 23±2℃, 습도 50%의 조건에서 24시간의 초기양생을 실시한 후 탈형한 후 23±2℃의 항온수조에 7일, 14일, 28일 양생 후 각각 3개씩 2회 반복하여 압축강도를 측정하였다. 각 재령에서의 압축강도 실험결과는 Table 6과 같으며, 재령 28일 압축강도의 경우 44.0MPa이상의 고강도를 보여주었다.

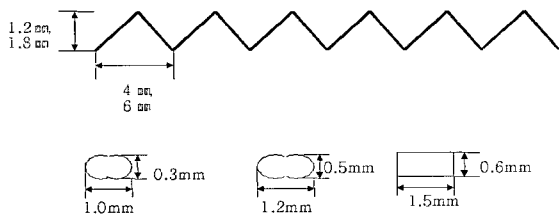


Fig. 1 Geometry of structural synthetic fiber

부착실험은 JCI SF-8¹⁰⁾의 “Method of test for bond of fibers”에 규정된 기준 모르타르의 배합에 의해 0.5mm 두께의 플라스틱 판을 시편중앙에 놓은 후 하나의 구멍을 뚫어서 섬유를 삽입시킨 후 시편을 제작하였다. 부착 실험은 시편제작 후 28일 후 동안 수중양생을 실시한 후 변위제어방식의 UTM을 사용하여 0.5mm/min의 재하속도로 실험을 실시하였다. 인발과괴에너지 산정은 JCI SF-8에서는 변위를 2.5mm까지 정의하였는데 본 연구에서는 대부분의 경우 최고 하중에서 변위가 2.5mm를 초과함에 따라 12mm까지의 변위까지 인발과괴에너지를 측정하였다.

Table 1 Physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Specific gravity	Stability (%)
3,488	3.15	0.08

Table 2 Physical properties of fine and coarse aggregate

	Specific gravity			Absorption (%)	F.M.
	Bulk	Bulk(SSD)	Apparent		
Standard sand	2.61	2.62	2.63	0.48	2.92
Fine agg.	2.59	2.61	2.63	0.67	2.99
Coarse agg.	2.61	2.62	2.7	0.70	-

Table 3 Properties of structural synthetic fiber

Property	Structural synthetic fiber
Elastic modulus(kgf/cm ²)	3.5×10 ⁴
Specific gravity	0.91
Fiber length(mm)	50
Tensile strength(kgf/cm ²)	4500
Ultimate elongation	15%
Water absorption	0
Melting temperature	175℃
Ignition temperature	360℃
Acid/Alkali resistance	High
Electrical conductivity	Very low

Table 4 Dimension of structural synthetic fiber

Type	Cycle (mm)	Amplitude (mm)	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
S1	6	1.8	50	1.2	0.5
S2	4	1.2	50	1.2	0.5
S3	4	1.2	50	1.0	0.3
S4	6	1.8	50	1.0	0.3
S5	6	1.8	50	1.5	0.6
S6	4	1.2	50	1.5	0.6

Table 8 Pullout performance of structural synthetic fiber

Type	No.	Peak load (N)	Slip at peak (mm)	Energy to 12 mm (N · m)	Type	No.	Peak load (N)	Slip at peak (mm)	Energy to 12mm (N · m)
S1	1	557.00	10.01	43.89	S4	1	450.90	9.41	31.49
	2	474.60	11.26	43.19		2	386.80	6.50	30.59
	3	565.40	9.74	47.99		3	449.30	9.81	36.06
	4	506.60	9.13	42.08		4	454.00	9.43	35.81
	5	588.30	10.22	50.68		5	471.50	9.63	37.63
	6	564.60	11.55	50.08		6	417.30	6.95	27.79
	Mean	542.70	10.32	46.32		Mean	438.30	8.62	33.23
S2	1	598.10	7.51	52.17	S5	1	501.30	5.25	52.75
	2	580.60	7.36	41.74		2	647.80	6.84	48.58
	3	651.60	9.11	52.85		3	688.10	5.63	45.15
	4	610.30	9.26	50.84		4	492.10	5.82	48.88
	5	637.00	8.20	56.36		5	564.50	8.01	50.37
	6	653.90	8.01	57.26		6	524.90	5.22	43.36
	Mean	621.90	8.24	51.72		Mean	569.80	6.13	48.18
S3	1	493.60	8.78	33.65	S6	1	704.90	6.28	49.59
	2	503.50	8.30	38.11		2	647.70	8.13	58.27
	3	491.30	10.44	43.53		3	688.20	6.75	54.67
	4	494.40	6.64	38.40		4	630.20	8.23	44.90
	5	451.70	7.37	34.28		5	647.70	8.30	58.20
	6	453.20	5.63	32.59		6	646.90	5.98	44.95
	Mean	481.30	7.86	36.28		Mean	660.90	7.28	51.76

Table 5 Mix proportions of mortar

Type	Water-Cement ratio	Cement-fine agg. ratio(wt.)
I	0.50	1:1.7

Table 6 Compressive strength of mortar

Curing age(days)	7	14	28
Compressive strength (MPa)	29.7	36.2	44.0

2.1.3 휨실험

휨실험을 위한 배합설계는 재령 28일에 한국도로공사의 강섬유보강 슛크리트의 품질기준인 4.5MPa를 설계기준강도로하여 예비실험을 거쳐 Table 7과 같이 배합비를 결정하였다. 휨실험은 JCI-SF4⁽¹⁾ 「Method of tests for flexural strength and flexural toughness of fiber reinforced concrete」에 따라 실시하였으며 휨실험시 중앙점 순수 처짐측정장치는 Fig. 2와 같다. 본 연구에서는 15×15×55 cm의 공시체를 2개씩 각각 반복하여 제작 양생실에서 초기 양생 후 1일, 3일, 28일의 재령에서 하중 재

Table 7 Mix proportion of shotcrete

Type of fiber	Slump (cm)	Air content (%)	W/C (%)	S/a (%)	(kg/m ³)					
					W	C	Fine agg.	Coarse agg.	Fiber	Admixture*(% of C)
S1**	13±1	5±1	44	70	211	480	1110	483	11.38	1.35
S2										
S3										
S4										
S5										
S6										
SF***	40									

* Admixture: superplasticizer, ** S: structural synthetic fiber, *** SF: steel fiber

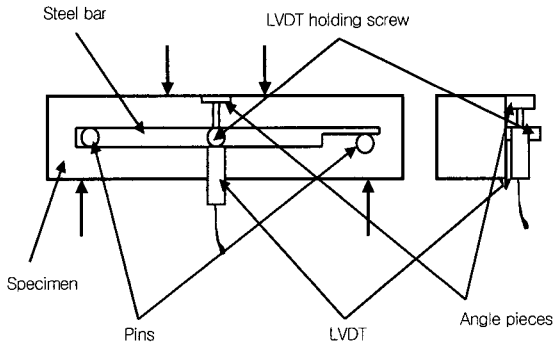


Fig. 2 Deflection measurement apparatus

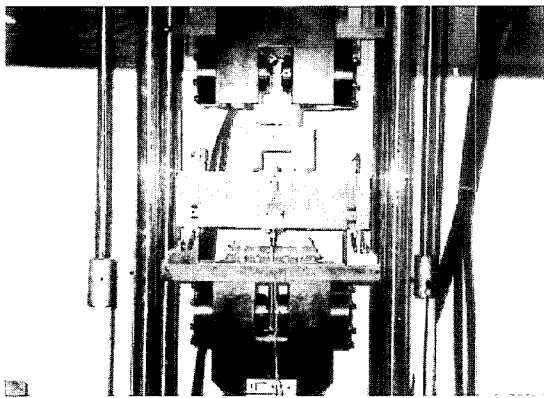


Fig. 3 Photograph of the flexural test

하속도를 0.1 mm/min으로 하여 실험을 실시하였다. Fig. 3은 본 연구에서 사용한 실험장치이다. 이때 JCI-SF4에 따라 휨강도는 공시체가 파괴되는 강도로 결정하였으며 휨 인성은 하중-처짐곡선 아래의 면적으로 변위는 JCI SF-4의 기준에 따라 3mm까지 LVDT를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부착실험 결과 및 분석

부착실험 결과 시멘트 모체와 섬유 부착파괴는 섬유의 파괴 또는 인발에 의하여 주로 지배를 받았다. 일반적으로 섬유가 파괴되는 경우는 시멘트 모체와의 부착이 우수하여 시멘트 모체와의 최대 부착강도에 도달하기 전에 섬유가 파괴되는 경우이며, 섬유의 인발은 시멘트 모체와의 부착강도가 섬유의 인장강도 보다 작아 섬유의 파괴가 발생하기 전에 섬유가 인발되는 현상이다. 본 연구에서 실시한 6가지 형상의 섬유에 대한 인발실험 결과는 Fig. 4~6과 Table 8과 같다. Fig. 4는 인발하중과 변위와의 관계를 나타낸 곡선이다. Fig. 5는 섬유 형상에 따른 인발하중, Fig. 6은 인발 파괴 에너지를 나타냈다. 실험결과를 살펴보면 6가지 형상 중 인발하중과 인발 파괴 에너지 모두 S2와 S6이 각각 621.9N, 660.9N 및 51.726 N·m, 51.767

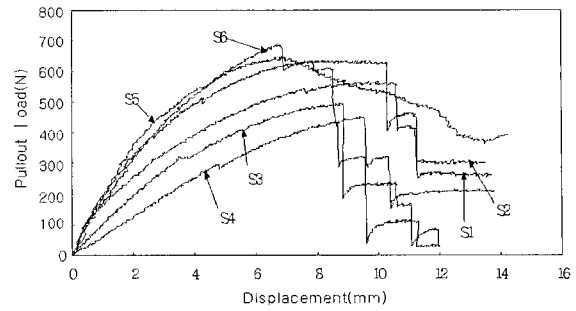


Fig. 4 Pullout behavior of structural synthetic fiber type

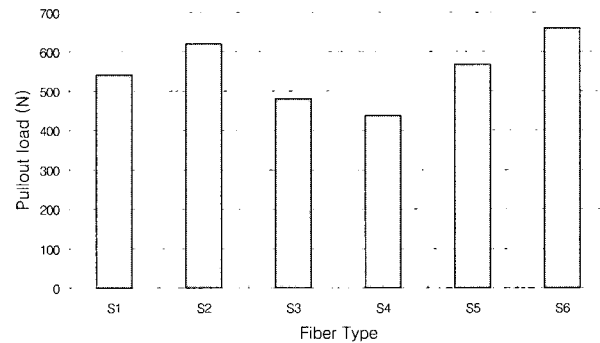


Fig. 5 Pullout load of structural synthetic fiber

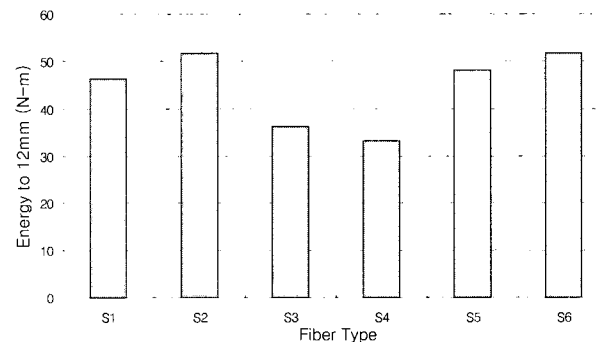


Fig. 6 Pullout fracture energy to 12mm

N·m로 가장 우수한 결과를 보여주었다.

섬유의 형상에 따른 부착실험 결과를 분석해보면 섬유의 주기 및 폭이 일정할 때 인발하중은 섬유의 단면적이 증가할수록 증가하는 경향을 보여주었다. 즉 주기가 6mm이고 진폭이 1.8mm인 섬유의 경우(S4, S1, S5)와 주기가 4mm이고 진폭이 1.2mm인 섬유(S3, S2, S6)는 단면적이 증가하면서 인발하중 및 인발 파괴 에너지 모두 증가하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 섬유의 단면적이 증가하면서 부착계면이 증가하였기 때문이다. 또한 동일한 단면에서는 섬유의 주기 및 폭이 증가할수록 인발하중 및 인발 파괴 에너지는 감소하는 값을 보여주었다. 이와 같은 결과는 인발실험시 섬유의 인발 보다는 섬유의 파괴가 부착거동을 지배하였기 때문으로 사료된다.

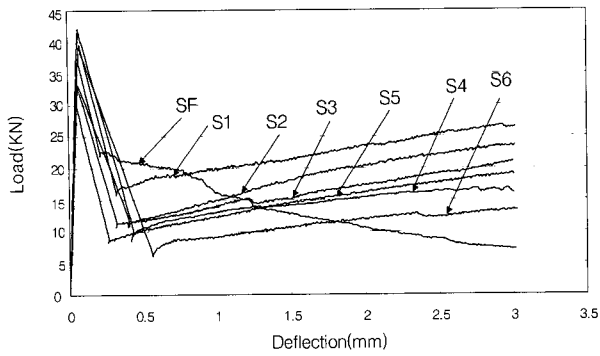


Fig. 7 Load-deflection curve of fiber type

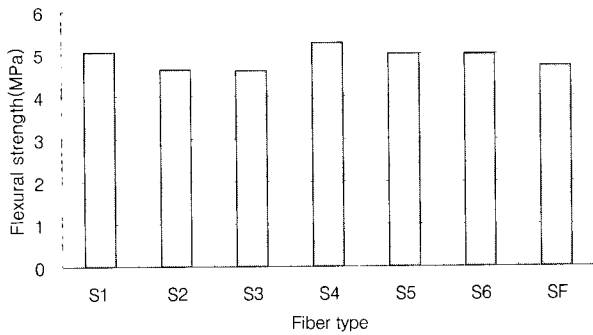


Fig. 8 Flexural strength of fiber type

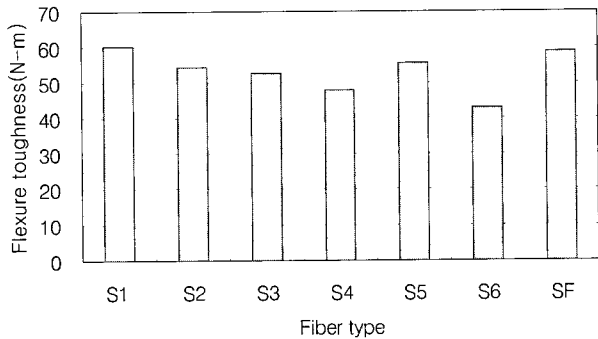


Fig. 9 Flexural toughness of fiber type

3.2 휨실험 결과 및 분석

휨실험 후 하중변위 곡선은 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 보면 그래프 끝이 상향으로 진행되는 형태를 모든 배합에서 보여주었다. 이와 같은 결과는 구조용 합성섬유의 재료적인 특성으로 강섬유에 비하여 연성이 우수하고 섬유의 형상 변화를 통한 부착력이 강섬유보다 우수하기 때문이다. 또한 제령 28일의 휨강도 및 휨인성결과는 각각 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다. 휨강도 실험결과 목표로 한 한국도로공사의 기준인 45 MPa를 모두 만족시켰으며, 휨인성은 S1섬유를 혼입한 배합이 가장 60.19 N·m로 가장 우수한 결과를 보여주었다. 또한 강섬유의 휨인성 결과와

비교해보면 구조용 합성섬유 S4와 S6을 제외하고는 강섬유보다 우수한 인성을 보여주었거나 거의 동등한 인성을 보여주었다. 섬유의 형상에 따른 휨실험 결과를 살펴보면 동일한 단면에서는 섬유의 주기와 폭이 증가할수록 휨강도는 증가하는 결과를 보여주었으나 휨인성 결과는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 섬유가 콘크리트 모체에 혼입되었을 때 의 성능은 섬유의 형상 이외에 섬유의 수, 섬유의 방향성 등 다양한 인자에 의하여 영향을 받기 때문이다. 또한 섬유의 주기 및 폭이 일정할 때 섬유의 단면에 따른 휨강도는 단면이 증가할수록 휨강도는 증가하는데 반하여 휨인성은 일정한 관계를 보여주지 않았다.

단면이 증가할수록 휨강도가 증가하는 이유는 섬유의 단면적이 너무 작으면 섬유가 가지고 있는 재료 자체가 저항할 수 있는 하중이 작아지기 때문이며 또한 섬유의 단면적이 너무 커지면 콘크리트 매트릭스에 포함되는 섬유의 수가 작아져 전체적으로 인장력에 대한 저항이 감소하기 때문이다. 따라서 콘크리트의 휨강도 및 휨인성을 향상시키기 위해서는 사용되는 섬유는 섬유 자체가 가지는 인장하중을 높이는 동시에 부착성능을 향상시키고 또한 동일한 혼입량에서 섬유의 수를 증가시키는 것이 필요하다.

3.3 섬유형상의 변화에 따른 부착특성과 휨성능과의 관계

일반적으로 콘크리트 매트릭스와 보강섬유의 부착성능이 우수하면 콘크리트의 휨성능 역시 증가하는 것으로 알려져 왔다. 그러나 본 연구의 결과를 살펴보면 부착성능과 휨성능과의 관계는 일정한 경향을 나타내지 않았다 (Table 9, Table 10). 즉 섬유의 인발하중과 인발 파괴 에너지, 휨강도는 일정한 경향을 나타냈지만 휨인성의 경향은 일정한 경향을 나타내지 않았다. 즉 콘크리트의 인성은 섬유가 혼입되었을 때 각 섬유의 부착성능도 중요하지만 섬유의 수에도 영향을 받으며, 섬유의 재료적 특성, 섬유의 방향성 등 다양한 인자에 의해서 영향을 받는다.

또한 동일한 단면적을 가지고 있는 섬유는 주기 및 폭이 증가할수록 인발하중 및 인발 파괴 에너지는 감소하지만 휨강도는 증가하는 경향을 보여주었으며 휨인성은 어떠한 경향도 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 부착성능은 섬유가 파괴되지 않고 인발되었을 때 그 성능이 우수하게 나타나지만 콘크리트에서 섬유의 작용은 섬유의 파괴와 인발이 복합적으로 발생할 때 발생하기 때문에 인발실험결과가 간접적으로 콘크리트의 성능을 나타낼 수 있지만 전적으로 콘크리트의 성능을 나타낸다고는 할 수 없다. 따라서 콘크리트의 휨성능은 부착성능 뿐만 아니라 콘크리트 내의 섬유의 수, 섬유의 재료적 특성 등 모든 것을 고려하여 판단해야 한다는 것을 알 수 있다.

Table. 9 Comparison between flexural performance and bond performance by sectional area change(cycles: 6mm, amplitude: 1.8mm)

Type of fiber	Peak load (N)	Energy to 12mm (N · m)	Flexural strength (MPa)	Flexural toughness (N · m)	No. of fiber
S4	483.30	33.23	5.25	47.82	406,250
S1	542.70	46.33	5.05	60.19	322,500
S5	569.80	48.19	4.99	55.63	295,000

Table. 10 Comparison between flexural performance and bond performance by sectional area change(cycles: 4 mm, amplitude: 1.2 mm)

Type of fiber	Peak load (N)	Energy to 12mm (N · m)	Flexural strength (MPa)	Flexural toughness (N · m)	No. of fiber
S3	481.3	36.29	4.61	52.47	445,000
S2	620.0	51.72	4.63	54.27	336,250
S6	661.0	51.77	4.98	42.92	302,500

3.5 시험결과의 비교분석

콘크리트의 휨성능 향상에 중요한 영향을 미치는 요인 중에 하나는 콘크리트 매트릭스에 포함되어 있는 섬유 수에 대한 영향이다. 일반적으로 물리·역학적 특성 및 부착성능이 동일한 섬유를 콘크리트에 혼입하였을 때 콘크리트의 휨성능은 섬유수가 많을수록 우수한 경향을 나타낸다. 그러나 본 연구의 결과는 섬유의 물리·역학적 특성은 동일하게 적용되었으나 부착성능이 섬유가 다르기 때문에 휨성능은 섬유수와 직접적인 비례관계는 나타내지 않았다. 즉 섬유수가 322,500개인 S1섬유를 사용한 콘크리트가 섬유수가 406,250개인 S4섬유보다

우수한 휨인성을 보여주었다. 이는 S1섬유가 S4섬유보다 상대적으로 부착특성이 우수하기 때문이다. 또한 부착성능, 휨성능 및 섬유수는 서로 복잡한 관계가 있다. 즉 부착성능의 증가는 섬유수의 감소를 발생시킨다. 따라서 콘크리트의 휨성능을 증가시키기 위해서는 부착성능과 섬유를 복합적으로 고려하여야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 복합적인 변수를 고려할 때 S1섬유가 다른 섬유형상보다는 부착성능과 섬유 수가 콘크리트의 휨성능 향상에 가장 적합하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 구조용 합성섬유의 형상변화에 따른 부착성능 및 휨성능을 평가하기 위하여 JCI-SF8에 따른 인발시험과 JCI SF-4에 따른 휨시험을 실시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인발시험 결과 동일한 단면을 갖는 구조용 합성섬유는 주기와 높이가 증가할수록 인발하중과 인발 파괴 에너지가 감소하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 인발 시험시 섬유의 인발 보다는 섬유의 파괴가 부착거동을 지배하였기 때문이다.
- 2) 인발시험 결과 주기와 폭이 일정할 때 단면이 증가할수록 인발하중 및 인발 파괴 에너지가 증가하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 콘크리트와 섬유의 부착면적이 클수록 부착력이 증가하기 때문이다.
- 3) 부착성능과 섬유 수와의 관계는 부착성능이 증가할수록 섬유의 수가 감소하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 부착성능의 증가를 위해서는 섬유 단면적을 증가시켜야하기 때문에 결과적으로 섬유의 중량을 증가시켜 콘크리트 매트릭스에 포함되는 섬유의 수를 감소시키기 때문이다.
- 4) 휨강도 실험결과 휨강도는 섬유의 형상에 어느 정도 영향을 받았는데 섬유의 주기 및 높이가 증가할수록 증가하는 경향을 보여주었다.
- 5) 휨인성 실험결과 휨인성은 섬유의 형상에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 휨인성은 섬유의 부착성능 뿐만 아니라 섬유의 재료적 특성, 콘크리트 내의 섬유의 수, 섬유의 방향성 등에 복합적으로 영향을 받기 때문이다.
- 6) 본 연구의 결과로 보아 콘크리트의 휨성능을 최적화하기 위해서는 섬유의 형상 변화를 통한 부착성능의 최적화, 섬유의 단면적의 변화를 통한 하중에 저항할 수 있는 재료 특성 및 콘크리트에 혼입되는 섬유수의 최적화를 이루어야 한다고 판단되며 본 연구에서는 S1섬유가 같은 조건을 가장 잘 만족하였다고 판단된다.

참고문헌

1. 원종필 외 “구조용 합성섬유의 최적형상함수 결정,” 콘크리트학회 논문집 14권4호, 2002. 8, pp.474~482.
2. Bentur, A., and Mindess, S., “Fiber-Reinforced Cementitious Composites,” Elsevier Applied Science, London, 1990, pp.1~11.
3. Balaguru, P.N., and Shah, S.P., “Fiber-Reinforced Cement Composites,” McGraw-Hill, Inc., New York, 1992, pp.2~8.
4. Morgan, D.R., “Steel Fiber Reinforced Shotcrete for Support of Underground Openings in Canada,” *Concrete International*, November 1991, pp.56~64.
5. Morgan, D.R., Heere, R., McAskill, N., and Chan, C., “Comparative evaluation of system ductility of mesh and fibre reinforced shotcretes,” *Engineering Foundation*, New York sponsored Conference

- Shotcrete for Underground Support VIII Campos do Jordao, Brazil, April 1999, pp.1~23.
6. Melvyn A. Galinat, "High Performance Polymer Fiber Reinforced Shotcrete," The Millennium Hotel, Sydney, *The 1998 Australian Shotcrete Conference* 8-9 October 1998.
 7. Morgan, D.R., Heere, R., McAskill, N., and Chan, C., "System ductility of mesh and fibre reinforced shotcrete," *ACI Spring Convention*, Chicago(USA), 1999.
 8. Naaman, A. E. and Najm. H., "Bond-Slip Mechanism of Steel Fibers in Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 88, No. 2, Sept.-Oct. 1991, pp.135~145.
 9. Victor C. Li, and Henrik stangt, "Interface Property Characterization and Strengthening Mechanism in Fiber Reinforced Cement Based Composites," *Advanced Cement Based Materials*. 6. 1997, pp.1~20.
 10. JCI-SF8, "Method of test for bond of fibers," Japan concrete institute.
 11. JCI-SF4, "Method of tests of flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete," Japan concrete institute.

요 약

본 연구의 목적은 부착실험 및 휨실험을 실시하여 구조용 합성섬유의 단면적 및 표면형상의 변화에 따른 부착성과 휨성을 평가하는 것이다. 6가지 다른 형상의 구조용 합성섬유를 조사하였고 부착 및 휨실험을 수행하였다. 6가지 형상의 구조용 합성섬유를 조사하였고 휨시험과 부착시험을 실시하였다. 실험변수는 3가지 종류의 형상과 2가지 종류의 단면적 변화로 하였다. 실험결과 구조용 합성섬유의 단면적이 동일할 때 주기 및 높이가 증가할수록 부착하중 및 인발 파괴 에너지는 감소하고 휨강도는 증가하였다. 또한 주기 및 높이가 일정할 섬유 단면적이 증가할수록 인발하중과 인발 파괴 에너지는 증가하였고 휨강도는 감소하였다. 실험결과를 기본으로하여 콘크리트의 구조성능은 섬유의 부착성능 뿐만 아니라 콘크리트에 혼입되어 있는 섬유의 수, 인장하중에 저항할 수 있는 섬유의 재료특성 등에 복합적으로 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 인발 파괴 에너지, 형상, 휨인성, 인발, 단면적, 구조용 합성섬유