

재생 폐 PET섬유보강 콘크리트의 부착 및 휨 특성

Bond and Flexural Properties of Fiber Reinforced Concrete with Recycled Poly Ethylene Terephthalate Waste

원종필* · 박찬기** · 최민정***

Won, Jong-Pil · Park, Chan-Gi · Choi, Min-Jung

Abstract

This study can be used to produce structurally efficient recycled PET fiber from used waste PET bottles and evaluated the bond performance of the three type of recycled PET fiber and cement matrix. Also, the flexural tests were performed on concrete reinforced using the three type of recycled PET fibers. The test results showed that the recycled PET fiber was significantly increased bond strength. The flexural test results are demonstrated that recycled PET fibers improved the flexural toughness of concrete. Based on the bond and flexural test results, the bond and flexural performance of embossed type recycled PET fibers were significantly better than those of the other shape fibers.

Keywords : bond performance, flexural performance, recycled PET fiber, waste PET bottle

요 지

본 연구에서는 폐 PET병을 사용하여 구조적으로 효과가 있는 재생 PET섬유를 생산하였고 세 가지 형상의 재생 PET섬유와 시멘트 매트릭스와의 부착성능을 평가하였다. 또한 세 가지 형상의 재생 PET섬유로 보강된 콘크리트의 휨성능 시험을 실시하였다. 시험결과 재생 PET섬유는 우수한 부착성능의 증가를 보여주었다. 휨시험 결과 재생 PET섬유는 콘크리트의 휨인성을 증가시킨다는 것을 증명하였다. 부착 및 휨시험 결과를 기본으로 요철형 재생 PET섬유의 부착 및 휨성능이 다른 형상의 섬유와 비교하여 가장 우수하였다.

핵심용어 : 부착성능, 휨성능, 재생 PET섬유, 폐 PET병

1. 서 론

강섬유 및 플라스틱섬유는 일반적으로 터널 및 지하공간 콘크리트 구조물의 성능을 향상시키기 위한 보강재로 사용되고 있다(Ochi 등, 2007). 특히 강섬유는 와이어매쉬를 대체하여 슛크리트 및 터널라이닝 콘크리트에서 휨성능과 균열제어 성능의 향상을 위하여 사용이 증가하고 있다(Ding 등, 1999; Park 등, 2007).

섬유보강 슛크리트는 철근 및 와이어매쉬 등이 갖는 정확한 공정시기에 지보설치의 곤란 등으로 발생하는 공사기간의 장기화와 같은 단점을 해소하고 충분한 인성의 확보측면에서 대단히 우수하다고 알려져 있다(원 등, 2003). 현재 까지 섬유보강 슛크리트에서 보강섬유로 가장 널리 사용되는 섬유는 플라스틱섬유가 개발되었다(원 등, 2006). 구조용 합성섬유는 강섬유가 가지는 단점 즉, 재료의 자체비중이 커서 슛크

리트 타설시 리바운드량이 크고, 지하수가 침투되거나 수분이 다량으로 존재하는 장소에서는 부식이 발생할 우려에 대한 문제점을 해결할 수 있다(Won 등, 2006). 구조용 합성섬유의 주요재료는 폴리올레핀계로 세계적으로 다양한 제품이 개발되어 적용되고 있다(원 등, 2007a). 본 연구에서는 구조용 합성섬유의 주요재료로 폴리올레핀계가 아닌 폐자원의 효율적인 활용을 위하여 재생 PET를 사용하고자 한다. PET는 플라스틱 재료로서 음료수 용기 등 다양한 제품으로 활용되고 있다(원 등 2007b). 현재 콘크리트 분야에서 재생 PET를 이용하기 위한 연구로는 경량콘크리트에서 경량골재의 생산에 재생 PET를 이용하기 위한 것과 재생 PET를 이용한 폴리머 콘크리트를 제조하기 위한 많은 연구가 지속적으로 진행되었으며 다양한 연구결과가 발표되었다(Choi 등, 2005). 그러나 재생 PET를 콘크리트의 보강섬유로 이용하기 위한 연구는 최근 들어 연구가 진행되고 있으며 추가적인 많은 연구가 필요한 실정이다(원 등, 2007a; Kim 등, 2007). 본 연구에서는

*정회원 · 교신저자 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 (E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr)

**정회원 · 공주대학교 지역건설공학 전문강사 (E-mail : cgpark@kongju.ac.kr)

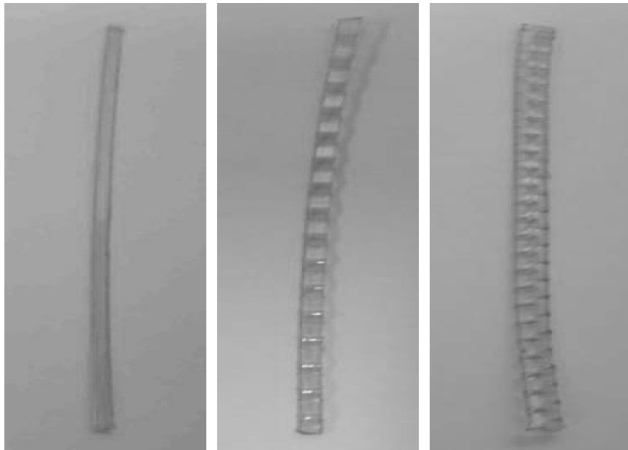
***건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 석사과정

재생 PET을 콘크리트 보강섬유로 적용하기 위하여 폐 PET 병으로부터 여러 가지 형상을 가진 섬유를 생산하고 섬유의 형상에 따른 부착 및 휨성능을 평가하였다.

2. 사용재료

2.1 재생 PET섬유/강섬유

본 연구에서는 3가지 형상의 재생 PET섬유(Fig. 1)와 국내 S사의 양단후크형 강섬유를 적용하여 성능을 평가하였다. 제조된 재생 PET섬유의 물리·역학적 특성은 한국원사직물시험연구원에 의뢰하여 측정된 결과이며 양단 후크형 강섬유는



(a) Straight type (b) Crimped type (c) Embossed type
Fig. 1 Geometry pattern of recycled PET fiber

Table 1. Properties of recycled PET and hooked type steel fibers

Property	Recycled PET fiber	Hooked type steel fiber
Elastic modulus (GPa)	10.2	200
Specific gravity	1.37	7.8
Fiber length (mm)	50	30
Fiber dimension (height×width: mm)	Straight: 0.5×1.0 Crimped: 0.3×1.2 Embossed: 0.2×1.3	
Tensile strength (MPa)	420	1,500
Ultimate elongation (%)	11.2	3.2

제조사에서 제시한 결과를 이용하였으며 Table 1과 같다.

2.2 시멘트 및 잔골재

H사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.6, 조립율 2.86 및 흡수율 0.67의 강모래를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 13 mm, 비중 2.65의 부순골재를 적용하였다.

3. 실험방법

3.1 부착시험

재생 PET섬유의 형상변화에 따른 성능을 평가하고자 Dog-bone 시험공시체를 제작하여 부착시험을 실시하였다. Dog-bone 모양의 공시체에 서로 다른 형상에 따라 각각 4개씩 재생 PET섬유를 고정한 partitioning board를 설치하고 시멘트 모르타르를 타설하여 부착시험 공시체를 제작하였다(Fig. 2). 부착시험 공시체 제작시 섬유는 콘크리트 내에서 분포하는 섬유의 방향성에 영향을 받는 부착특성을 고려하기 위하여 45°의 각도로 Fig. 2와 같이 배열하였다. 또한 시멘트 모르타르의 강도에 따른 부착거동을 평가하기 위하여 고강도 및 보통강도 배합을 적용하였다. 본 연구에서 사용된 배합비는 Table 2와 같으며 배합 후 28일 양생후의 압축강도 시험결과는 Table 3과 같다.

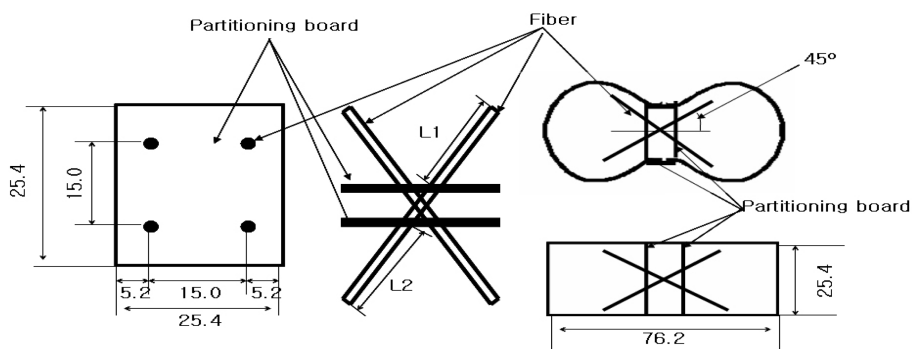
부착시험은 공시체 제작 후 28일간의 양생 후에 변위 제어방식의 UTM(Instron model No. 3369)에 설치 한 후 0.5 mm/min의 하중재하속도로 시험을 실시하여 인발강도를 획득하였다. 재생 PET 보강섬유의 부착강도는 다음과 같은 식(1)을 이용하여 계산하였다(원 등, 2007a).

$$\tau_{\max} = \frac{P_{\max}}{2nbh} \quad (1)$$

여기서, τ_{\max} 는 최대 부착강도이고, P_{\max} 는 최대부착하중, n

Table 2. Mix proportion of mortar

Type	Water-Cement Ratio	Cement-Sand Ratio (wt.)
High strength	0.50	1:1.7
Normal strength	0.65	1:1



- L₁: embedment length (13mm),
- L₂: anchored length (13mm)
- L_f: fiber length (50mm)
- t: thickness of partitioning board (0.5mm)

Fig. 2 Arrangement of the partitioning board and fibers, and setting in the mold

Table 3. Compressive strength of mortar

Type of concrete	No. of specimens	Compressive strength (MPa)		
		Curing age (days)		
		7	14	28
Normal	1	138.40	198.40	257.20
	2	158.00	167.00	232.80
	3	148.20	171.40	262.20
	4	125.52	182.80	220.80
	5	145.04	185.40	242.20
	6	158.16	208.40	271.20
	mean	145.55	185.57	247.73
High	1	315.60	354.20	463.20
	2	311.20	330.40	429.60
	3	290.20	386.20	393.60
	4	280.20	363.40	461.60
	5	296.24	349.40	450.80
	6	290.48	388.00	443.80
	mean	297.32	361.93	440.43

는 정착된 섬유 수, b 는 섬유의 폭, h 는 섬유의 높이이다.

보강섬유가 콘크리트에서 연성을 증가시키는 관점에서 보면 섬유의 계면인성은 매우 중요한 인자이다. 섬유보강콘크리트에서 보강섬유는 균열이 발생 후 인장응력의 지속적인 전달을 통하여 균열의 성장을 억제하는 동시에 섬유가 시멘트 매트릭스로부터 인발되면서 인장응력의 전달을 통하여 취성적인 급격한 파괴를 방지하는 역할을 한다(Bentur 등, 1990). 계면인성은 균열발생 후 거동을 나타내는 인자로 계면인성이 클수록 시멘트 복합재료의 연성 거동 확보에 유리하다. 일반적으로 계면인성은 섬유의 인발과정에서 소비되는 역학적 에너지로 정의될 수 있으며, 인발거동 곡선 아래면적으로 구할 수 있다(Bentur 등, 1990). 본 연구에서는 인발 에너지를 인발길이가 10 mm일 때 까지 거리로 정의하여 계산하였다. 인발에너지산정에서 JCI SF-8에서는 변위를 2.5 mm까지 정의하였는데 본 연구에서는 대부분의 경우 최고 하중에서 변위가 2.5 mm를 초과함에 따라 10 mm까지의 변위까지 인발에너지(계면인성)를 측정하였다.

3.2 휨성능

보강섬유를 콘크리트에 적용하는 주요 목적 중에 하나는

콘크리트의 초기 균열 후 거동을 향상시키기 위하여 널리 사용되고 있다. 콘크리트의 균열 후 거동은 에너지 흡수능력인 휨인성으로 정의할 수 있다(Won 등, 2006). 본 연구에서는 재생 PET섬유와 강섬유의 혼입에 따른 콘크리트의 휨성능을 평가하였다. 시험은 JCI-SF4 (Method of tests for flexural strength and flexural toughness of fiber reinforced concrete)에 의하여 150×150×550 mm의 각주형 공시체를 제작하였으며 재령 28일에 측정하였다. 콘크리트 배합은 목표 휨강도를 4.5 MPa으로 설정하여 이를 만족 하는 Table 4와 같은 배합을 실시하였다. 배합에서 굵은 골재의 최대치수는 13 mm로 고정하였고 목표 슬럼프 값 10±2 cm와 공기량 5±1%를 만족하도록 폴리카본산계 AE 감수제를 조절하였다. 재생 PET섬유는 콘크리트 배합에 체적비로 1% (13.7 kg/m³)를 첨가하였고, 강섬유는 현재 가장 널리 사용되고 있는 40 kg/m³과 이보다 약간 많은 양인 60 kg/m³을 적용하였다.

4. 실험결과

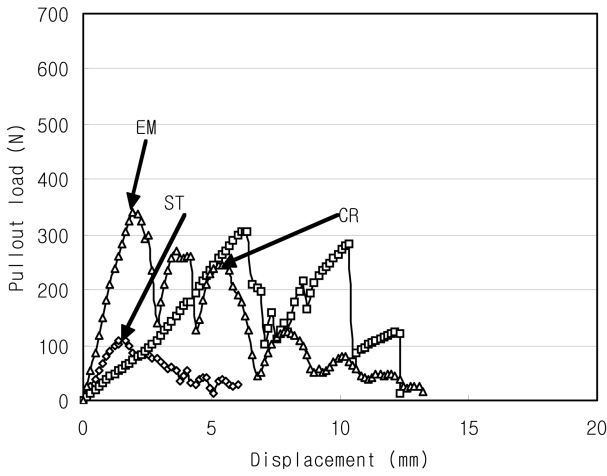
4.1 부착하중과 변위와의 관계

섬유 형상에 따른 부착하중과 변위와의 관계 곡선은 Fig. 3에 나타내었다. 요철형 섬유의 경우 최고 부착하중에 도달한 후에 섬유가 인발되면서 부착하중의 증감이 지속적으로 반복해서 나타내는 결과를 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 4개의 섬유를 사용하여 부착시험공시체를 제작하였기 때문에 각각의 섬유에서 인발 및 파괴 등이 복합적으로 발생하였고 섬유가 인발되는 크기 또한 서로 다르기 때문에 4개의 섬유 중 한개 또는 그 이상의 섬유가 파괴되거나 인발이 크게 발생하였을 때 하중의 감소가 발생하고 다시 나머지 섬유들이 부착하중에 저항하기 때문에 나타난 결과이다. 직선형 섬유는 최고 부착하중에 도달한 후 지속적으로 하중이 감소하면서 인발되는 결과를 보여주고 있다. 물결형 섬유는 물결된 부분에서 섬유가 펼쳐지는 현상이 발생하여 초기 탄성계수가 다른 섬유의 형상보다 작은 거동을 보여주고 있다. 즉 섬유는 인발되지 않는 상태에서 섬유의 crimped 된 부분이 펼쳐져 변위를 발생시키기 때문에 나타난 결과이다(원 등, 2007a). 또한 물결형 섬유의 경우 최고 부착하중 후에 하중이 증감이 발생하는 거동을 보여주었지만 요철형의 섬유와 비교해서는 반복횟수가 작았다. 고강도 모르타르에서의 부착 거동은 섬유의 형상에 관계없이 보통강도 모르타르에서의 거동보다 우수하게 나타났는데 이는 매트릭스의 강도가 증가

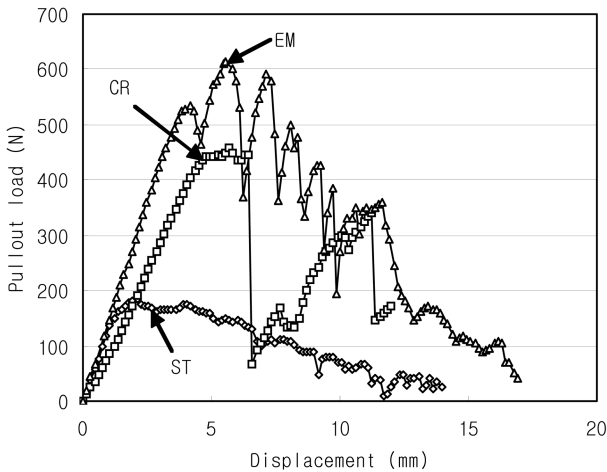
Table 4. Mix proportions of the concrete

Type of mixture*	W/C (%)	S/a (%)	(kg/m ³)							
			W	C	Fine agg.	Coarse agg.	Fibers			Hooked type Steel
							Recycled PET fiber geometry			
							Straight	Crimped	Embossed	
ST	45	60	203	450	947	634	13.7	-	-	-
CR							-	13.7	-	-
EM							-	-	13.7	-
SF-40							-	-	-	40
SF-60							-	-	-	60

*ST: straight type, CR: crimped type, EM: embossed type, SF-40: steel fiber 40 kg/m³, SF-60: steel fiber 60 kg/m³



(a) Normal strength



(b) High strength

Fig. 3 Pullout load vs slip behavior

할수록 섬유와 매트릭스 사이의 계면을 강화시키는 효과가 있기 때문이다(Won 등, 2006).

4.2 부착강도

재생 PET섬유 형상에 따른 부착시험 결과는 Table 5와 같다. 시험결과는 각각의 형상에 대하여 12개 공시체에 대한 평균으로 나타내었다. 시험결과 요철형 섬유가 매트릭스의 강도에 관계없이 가장 큰 부착강도를 나타내었다. 부착강도의 증가율을 직선형과 비교하면 물결형의 섬유는 보통 및 고강도 모르타르에서 각각 약 170%, 약 123% 증가하였으며 요철형의 섬유에서는 각각 약 197%, 226% 증가하는 결과를 보여주었다. 또한 매트릭스의 강도에 따른 부착강도 결과를 살펴보면 매트릭스의 강도가 증가할수록 직선형, 물결형 및 요철형에서 각각 약 30%, 8% 및 43% 증가하는 결과를 보여주었다.

4.3 계면인성

재생 PET섬유 형상에 따른 계면인성 측정결과는 Table 6과 같다. 측정결과 매트릭스 강도에 관계없이 직선형보다는 물결형, 물결형 보다는 요철형이 계면인성이 더 우수한 결과를 나타내었다. 직선형과 비교하여 물결형 및 요철형은 보통 강도에서 각각 약 109% 및 146% 증가하였고, 고강도에서 약 88% 및 129% 증가하는 결과를 보여주었다. 또한 매트릭스의 강도에 따른 결과는 직선, 물결 및 요철형에서 고강도 매트릭스가 보통강도 매트릭스에 비하여 각각 약 45%, 30% 및 35% 증가하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 부착강도 및 계면인성 시험결과를 분석해보면 요철형의 섬유가 가장 우수한 특성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

4.4 휨특성

Fig. 4는 재생 PET섬유의 형상에 따른 휨하중과 처짐과의 관계를 나타낸다. 요철형 및 물결형의 섬유를 포함한 콘크리트의 경우 최고하중 후에 하중감소 후 처짐이 증가할수록 하중이 증가하는 변형경화현상을 보여주고 있다. 그러나 직

Table 5. Bond strength of recycled PET fiber shape

Strength	Fiber shape	Bond strength, MPa (St.dev)	Increase of bond strength with fiber shape (%)	Increase of bond strength with mortar strength (%)
Normal	Straight	0.94 (0.094)	-	-
	Crimped	2.54 (0.118)	170.35	-
	Embossed	2.80 (0.180)	197.44	-
High	Straight	1.23 (0.045)	-	30.82
	Crimped	2.75 (0.167)	123.82	8.19
	Embossed	4.01 (0.207)	226.45	43.39

Table 6. Interface energy of recycled PET fiber shape

Strength	Fiber shape	Bond strength, MPa (St.dev)*	Increase of bond strength with fiber shape (%)	Increase of bond strength with mortar strength (%)
Normal	Straight	4.19(0.282)	-	-
	Crimped	8.77(0.420)	109.55	-
	Embossed	10.30(0.423)	146.07	-
High	Straight	6.10(0.419)	-	45.55
	Crimped	11.48(0.730)	88.23	30.89
	Embossed	13.98(1.452)	129.17	35.69

*St.dev: standard deviation

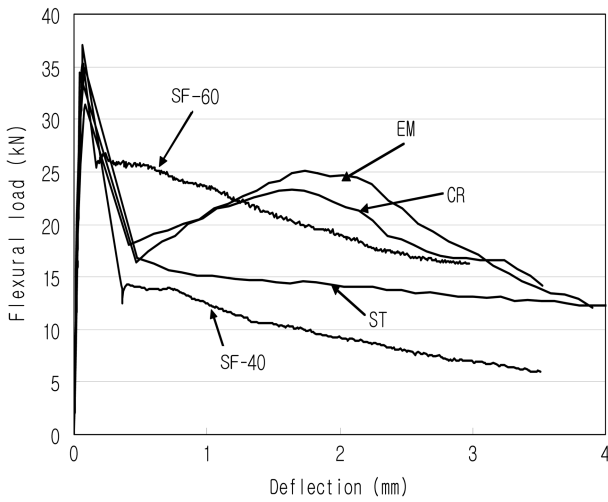


Fig. 4 Flexural behavior of recycled PET fiber reinforced concrete

선형 섬유와 강섬유의 경우 강도감소 후 지속적으로 처짐이 증가하면서 하중이 감소하는 거동을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 강섬유와 직선형 섬유의 경우 하중이 증가함에 따라 콘크리트 내에 정착된 섬유가 부착력에 의한 저항력이 크지 않기 때문에 지속적으로 인발되어 나타난 결과로 보인다. 반면 요철형 섬유와 물결형 섬유의 경우 콘크리트 내에 정착된 섬유가 섬유의 형상 변화에 의하여 콘크리트와의 부착력 및 마찰력이 우수하기 때문에 지속적으로 휨하중에 저항하면서 인발이 되기 때문에 초기 휨하중 저하 후 하중이 증가하는 변형경화현상을 보여주고 있다.

재생 PET섬유의 형상에 따른 휨강도시험결과는 Fig. 5와 같다. 시험결과 직선형 보다는 물결형 및 요철형 섬유의 휨강도가 증가하는 결과를 보여주었다. 직선형은 휨강도가

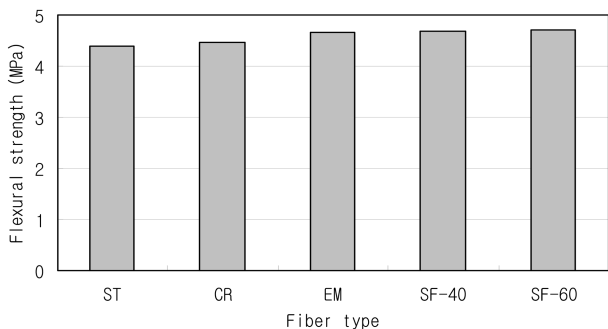


Fig. 5 Flexural strength of recycled PET fiber reinforced concrete

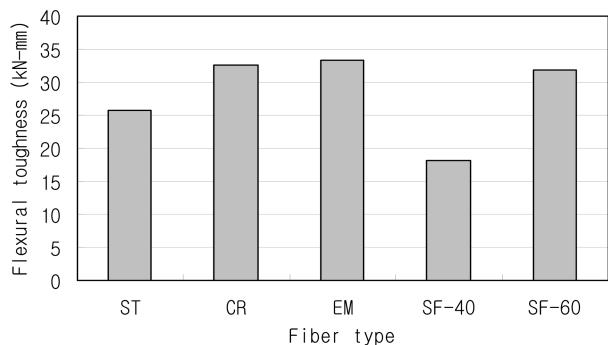


Fig. 6 Flexural toughness of recycled PET fiber reinforced concrete

4.38 MPa로 물결형의 4.46 MPa, 요철형의 4.66 MPa 보다 작은 휨강도를 나타내었다. 강섬유와 비교해서 재생 PET섬유를 첨가한 콘크리트의 휨강도는 약간 작은 휨강도를 나타내었다. 즉 강섬유를 40 kg/m³ 및 60 kg/m³을 첨가한 배합의 휨강도는 각각 4.69 MPa 및 4.71 MPa를 나타내었다. 이와 같은 결과는 강섬유의 탄성계수가 재생 PET섬유 보다 크기 때문에 이를 포함한 콘크리트에서 역시 약간의 영향을 받아서 동일한 휨하중의 재하시 재생 PET섬유를 사용한 콘크리트에서 처짐이 약간 크게 발생하기 때문이다. 즉 재생 PET섬유를 혼입한 콘크리트의 초기 균열이 강섬유를 혼입한 콘크리트 보다 작은 하중에서 발생하기 때문에 나타난 결과 이나 큰 차이를 보여주지는 않았다. Fig. 6은 재생 PET섬유의 형상에 따른 콘크리트의 휨인성 시험결과를 나타낸다. 본 연구에서는 콘크리트의 휨인성을 JCI SF-4의 기준에 따라 3 mm 처짐이 발생할 때까지의 하중-처짐 곡선 아래면적으로 계산하였다. 측정결과 재생 PET섬유의 경우 부착성능이 우수한 섬유의 형상일수록 휨인성 값이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 직선형의 경우 25.67 kN-mm의 값을 나타내었으며 물결형 및 요철형 섬유는 각각 32.62 kN-mm 및 33.41 kN-mm의 휨인성 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 초기 균열 후 섬유보강 콘크리트의 거동은 섬유의 부착거동에 의하여 영향을 받는데 상대적으로 직선형 보다는 물결형 및 요철형 섬유가 부착거동이 우수하기 때문이다. 즉 초기 균열발생 후 균열이 성장하면서 콘크리트 공시체는 궁극적으로 파괴가 발생하는데 콘크리트에 정착되어 있는 섬유가 균열 성장을 섬유의 가교 효과를 통하여 억제한다. 따라서 부착강도가 우수한 섬유는 휨하중 작용시 섬유가 콘크리트에서 쉽게 인발되지 않고 지속적으로 균열의 성장을 억제하기 때문에 상대적으로 인발되기 쉬운 섬유보다 계면인성이 증가하는 효과를 보여주고 있다. 또한 강섬유에서 현재 가장 많이 적용되고 있는 40 kg/m³ 을 적용하였을 때 보다는 휨인성 값이 모두 크게 나타났다. 그러나 60 kg/m³을 적용하였을 때 물결형과 요철형을 적용하였을 때는 크게 나타났으나 직선형의 경우는 작은 결과를 나타내었다. 강섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 강섬유의 혼입량과 상관없이 초기 균열 발생 및 하중 감소 후의 거동은 지속적으로 처짐이 증가하면서 하중이 감소하는 거동을 나타내지만 초기 균열발생 후 하중의 감소가 40 kg/m³을 혼입한 콘크리트보다는 60 kg/m³을 혼입한 콘크리트가 작기 때문에 휨인성 값이 증가하는 경향을 보였다. 또한 직선형의 경우 초기 균열발생 및 하중 감소 후 거동은 강섬유를 혼입한 콘크리트와 비슷하지만 첫 번째 하중의 감소가 40 kg/m³ 보다는 작고 60 kg/m³ 보다는 크기 때문에 휨인성이 40 kg/m³ 보다는 크고 60 kg/m³ 보다는 작게 나타났다. 그러나 물결형 및 요철형 섬유의 경우 초기 균열 발생 후 섬유가 하중이 증가할수록 지속적으로 인발이 발생하지 않고 하중에 저항하기 때문에 휨하중이 증가하는 변형경화현상이 발생하여 상대적으로 휨인성 값은 강섬유 60 kg/m³을 사용하였을 때 보다 우수한 결과를 보여주었다.

5. 결 론

본 연구는 폐 PET병을 콘크리트 보강섬유로 재활용하고자

폐 PET병으로부터 콘크리트 구조 보강용 섬유를 제조하였으며, 섬유의 형상에 따른 부착시험 및 휨시험을 실시하여 재생 PET섬유의 성능을 평가하였다. 시험을 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 섬유의 형상에 따른 부착하중과 변위와의 관계에서 요철형의 섬유는 최고 부착하중 후에 변위가 증가함에 따라 부착하중의 증감이 반복하는 결과를 보여주었다. 물결형 섬유는 하중의 증감이 나타나지만 횡수가 크지 않았고 crimped 된 부분이 펼쳐지는 효과 때문에 초기 탄성계수가 작았다. 또한 직선형의 섬유는 최고 부착하중 후 부착력이 크게 작용하지 않게 때문에 하중이 지속적으로 감소하면서 변위가 증가하였다.
2. 재생 PET섬유의 형상에 따른 부착시험결과를 요철형 섬유가 다른 형상의 섬유와 비교하여 통계적으로 95% 신뢰수준에서 가장 우수한 부착강도 및 계면인성을 보여주었다.
3. 재생 PET섬유의 형상에 따른 휨시험결과 요철형과 물결형의 섬유로 보강된 콘크리트는 초기 균열발생 하중 후에 처짐과 하중이 동시에 증가하는 변형경화현상이 발생하였으나 강섬유 및 직선형의 섬유는 초기 균열 하중 후 처짐이 증가할수록 하중도 지속적으로 감소하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 요철형과 물결형의 섬유가 콘크리트 내에서 부착시험시 하중의 증감이 발생할 정도로 지속적으로 하중에 저항하기 때문이다. 즉 휨시험시 초기 균열발생 후에도 균열폭이 증가하는 것을 억제하면서 하중에 저항하기 때문이다.
4. 재생 PET섬유의 형상에 따른 휨성능 시험결과 휨강도에서는 강섬유를 보강한 콘크리트 보다 약간 작은 강도를 나타내었지만 휨인성의 경우 재생 PET섬유가 우수한 결과를 나타내었다. 특히 요철형과 물결형의 섬유는 강섬유를 60 kg/m³을 사용하였을 때보다 우수한 휨인성 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 요철형 및 물결형의 섬유가 변형경화현상을 발생시키는 특성을 가지고 있기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정기초연구사업(R01-2005-10794-

0(2005))의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 원종필, 박찬기, 김윤정, 박경훈(2007a) 고강도 시멘트 복합재료에서 단일 강섬유 및 합성섬유의 부착특성 평가, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권 제4A호, pp. 609-616.
- 원종필, 박찬기, 김형희, 이상우(2007b) 재생 PET섬유의 친수성 표면처리에 따른 시멘트 복합재료의 소성수축균열제어 효과, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권 제3A호, pp. 413-419.
- 원종필, 박찬기, 임동희, 백철우(2006) Crimped Type 합성섬유로 보강된 시멘트 복합재료의 부착, 휨 및 소성수축균열제어 특성, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권 제6A호, pp. 1033-1039.
- 원종필, 백철우, 이창수, 박찬기(2003) 구조용 합성섬유를 사용한 콘크리트 및 스틱리트의 역학적 특성, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권 제4A호, pp. 665-671.
- Bentur, A. and Mindess, S. (1990) fiber reinforced cementitious composites, Elsevier Applied Science, London, pp. 33~132
- Choi, Y.-W., Moon, D.-J., Chung, J.-S., and Chod, S.-K. (2005), Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, No. 35, pp. 776-781.
- Ding, Y. and Kusterle, W. (1999) Comparative study of steel fibre-reinforced concrete and steel mesh-reinforced concrete at early ages in panel tests, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, No. 11, pp. 1827-1834.
- Kim, J.-H., Park, C.-G., Lee, S.-W., Lee, S.-W., and Won, J.-P. (2008), Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 39, No. 3, pp. 442-450.
- Ochi, T., Okubo, S., and Fukui, K. (2007) Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 29, No. 6, pp. 914-927.
- Park, H.-G., Sung, S.-K., Park, C.-G., and Won, J.-P. (2008) Influence of a C₁₂A₇ mineral-based accelerator on the strength and durability of shotcrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, No. 3, pp. 379-385.
- Won, J.-P., Lim, D.-H., Park, C.-G. (2006) Bond behavior and flexural performance of structural synthetic fiber reinforced concrete, *Magazine of concrete research*, Vol. 58, No. 6, pp. 401-410.

(접수일: 2007.12.12/심사일: 2008.2.4/심사완료일: 2008.3.19)