

폐PET섬유를 혼입한 시멘트모르타의 역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Dynamic Properties of Cement Mortar with Recycled PET Fiber

김영근* 김상철** 김명훈***

Kim, Young-geun Kim, Sang-cheol Kim, Myung-hoon

Abstract

In this study we intended to investigate properties of cement mortar with recycled PET fiber, PE fiber, and PP fiber such as slump flow, compressive strength, tensile strength, and flexural strength.

As results of experiment, several properties of specimen with recycled PET fiber were little low comparing those of specimen with PE fiber and PP fiber. But if we see from point of economy and recycle of industrial wastes, it has enough reason to be used. Compressive strength of specimen with recycled PET fiber at 56 days was about 10% higher, but tensile strength and flexural strength were lower than that of no-fiber.

키워드 : 폐 PET 섬유 보강 시멘트 모르타, 섬유 보강 콘크리트, 폐 PET 재활용

Keywords : Recycled PET fiber cement mortar, Fiber reinforcement concrete, recycled PET fiber

1. 서론

생활수준의 향상과 더불어 발생하는 폐플라스틱은 1997년 약 301만 톤이 발생되어 16.6%인 50만톤 정도가 재활용되었다.

플라스틱 제품 중 PET는 예치금부과 대상품목으로 다른 플라스틱에 비해 구별이 쉽고 분리수거가 가능하기 때문에 1997년 재활용율이 27%에 이르고 있다. 그러나, 재활용기술의 한계성을 극복하고 대량소비 및 부가가치성 재료로의 전환필요성에 따라 재생 PET를 이용하여 섬유보강콘크리트를 개발하는 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 모르타와 콘크리트는 내구성이 있는 반면 인장강도의 취약성과 취성거동으로 인하여 국부적인 손상을 일으키기도 한다. 모르타와 콘크리트에 사용되는 각종 섬유는 역학적인 단점을 보완하고 에너지 흡수능력을 증대하기 위하여 사용되고 있는 실정이다.

섬유보강재는 자연 재료 및 유리, 플라스틱, 금속재료로 제조되어 지는데, 1960년대 후반부터 토목 및 건축재료로 플라스틱섬유에 관한 연구가 진행되고 있으며, 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온 등이 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 폐기물 중 폐PET병을 이용한 재생섬유를 모르타에 혼입하여 그 역학적인 특성을 파악 분석하여 건설용재료로의 적용성과 향후 섬유보강콘크리트용 원료 및 시멘트 2차 제품용 원료로의 가능성을 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료 특성분석

1) 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 S사 제품으로 물성은 아래의 표 1과 같다.

표 1. Properties of cement.

Blaine (cm ² /g)	Initial setting (minutes)	Final setting (hours)	Strength		
			3 days (kgf/cm ²)	7 days (kgf/cm ²)	28 days (kgf/cm ²)
3,400	230	6.5	230	300	410

2) 잔골재

본 실험에 사용한 잔골재는 비중이 2.55인 KS L 5100 「시멘트강도 시험용 표준사」로 규정된 주문진산 표준사를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 다음 표 2와 같다.

표 2. Properties of fine aggregates.

Unit volume weight (kg/m ³)	Specific gravity	Water absorption ratio (%)	Pore ratio (%)	Percentage of absolute volume(%)	Fineness modulus
1,535	2.55	1.14	38.7	61.3	2.15

3) 실리카 흙

본 실험에서 사용된 압축강도의 증진을 위하여 사용한 실리카 흙의 화학적·물리적 성질은 다음 표 3과 같다.

* 한국건설자재시험연구원 방수보수보강센터장 공학박사 수석연구원

** 한국건설자재시험연구원 공학박사 선임연구원

*** 한국건설자재시험연구원 연구원

4) 고성능 감수제

본 실험에서 유동성의 저하를 보완하기 위하여 사용한 고성능감수제의 특성은 다음 표 4와 같다.

표 4. Properties of super plasticizer.

Type	Color	Main component	Toxicity	Specific gravity
Solution	Dark brown	Naphthalene sulphonate	none	1.20±0.02

5) 섬유보강재

(1) 페PET재생섬유

본 실험에 사용한 페PET재생섬유는 한국원사직물시험연구원에 의뢰하여 화학적 성질 및 물리적인 성질을 분석하였으며, 그 결과는 표 5와 같다.

시험결과에 의하면 페PET재생섬유는 강알칼리성인 가성소다에 다소 약한 저항성을 보였으며, 따라서 pH 12~13 정도의 강알칼리인 시멘트에도 취약하여 장기재령으로 갈수록 섬유보강재의 용해현상이 발생하였다.

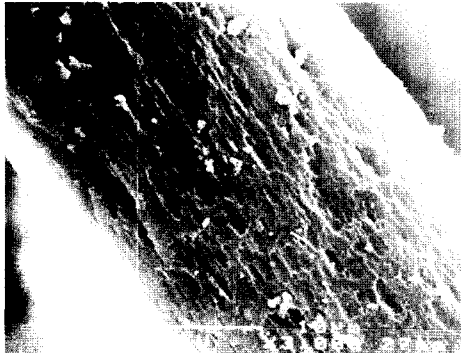


사진 1. Surface of recycled PET fiber.



사진 2. Attached fiber in cement matrix.



사진 3. Attached PE fiber in cement matrix.

표 5. Properties of recycled PET fiber.

Item	Regulation	Result	Item	Regulation	Result
Specific gravity	ASTM D 1505	1.38	Melting point	ASTM E 794	254℃
Viscosity	ASTM D 4603	0.57 d l /g	Elongation	KS K 0327	586.2%
Chemical resistance	20% NaOH	1.2%	Young's modulus	KS K 0327	9.4 ×107
	20% HCl	0.5%	Water absorption ratio	General test method	31.3%
	20%CaCl2	0.8%	Tensile strength	KS K 0327	24.0 g

※ Chemical resistance is measured by weight loss during 72 hours in each solution after cleaned by water and absolutely dried at 100±10℃.

사진 1과 사진 2는 각각 전자 현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)으로 3000배 확대하여 촬영한 페PET섬유 표면과 재령 56일의 페PET섬유의 시멘트 매트릭스 내에서의 부착성상으로 시멘트모르터에 혼입된 후 화학적침식으로 인한 용해현상이 발생하여 섬유의 굵기가 가늘어졌음을 알 수가 있다.

(2) 폴리에스터섬유와 폴리프로필렌섬유

각 섬유의 길이와 굵기는 PE섬유가 1/2inch, 15denier, PP섬유가 3/4inch, 15denier이었으며, PE섬유, PP섬유 모두 분산성이 매우 우수하여 모르터에 혼입시 작업성이 우수하였다.

사진 3과 사진 4는 각각 전자현미경 (SEM : Scanning Electron Microscope)으로 2000배 확대하여 촬영한 것으로 각각 재령 56일의 PE 섬유와 PP섬유의 시멘트 매트릭스 내에서의 부착성상을 나타낸 것이다.

표 3. Properties of silica fume.

Chemical components(%)					Physical properties		
SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	Ignition loss	Specific gravity	Blaine (cm2/g)	Particle size (average)
92.5	1.68	2.51	0.556	0.31	2.21	263,000	1.36 μ

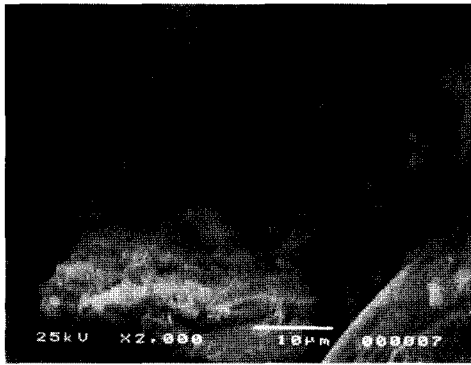


사진 4. Attached PP fiber in cement matrix.

PE섬유는 화학적 침식에 의하여 섬유표면에 손상이 있을 수 있는 반면에 PP섬유는 알칼리 저항성이 우수하여 표면에 침식흔적이 거의 없는 것을 알 수 있다

표 6. Properties of PE fiber & PP fiber.

Properties	PE fiber	PP fiber
Specific gravity	1.34	0.91
Tensile Force	65~160KSI	80~100KSI
Young's modulus	1,500KSI	500KSI
Melting point	490~500 °F	320~340 °F
Melting index	-100~440 °F	-100~300 °F
Fire point	1,100 °F	1,100 °F
Acid resistance	Exist	Exist
Fire resistance	Exist	Exist
Alkali resistance	Exist	Exist
Thermal conductivity	Low	Low
Electrical conductivity	Low	Low
Dispersion	Exellent	Normal
Cement cohesion	Good	Excellent

2.2 배합 계획

no-fiber와 섬유보강재로 폐PET섬유, 그리고 기존 시중 제품인 PE섬유와 PP섬유를 사용하였으며, 배합비는 모르타에서 가장 많이 사용되는 중량배합비로 1:2와 1:3을 사용하였다.

그리고, 예비시험의 결과에 의하여 1:2에는 물시멘트비 45%를, 1:3에는 물시멘트비 55%를 각각 적용하였다.

섬유혼입량은 기존 연구결과와 제조사의 권장사용량은 0.9kg/m³이지만, 첨가효과를 극대화하고 권장사용량의 근거를 고찰하기 위하여 권장량의 2배인 1.8kg/m³도 실험변수로 설정하였다.

한편, 모르타의 고강도화 방안으로 실리카흙을 10% 시멘트 대체하였으며, 물시멘트비 35%로 하였고, 낮은 물시멘트비에 따른 유동성저하를 보완하기 위해서 고성능 감수제를 시멘트 중량 대비 1.4%로 혼입하였다.

그리고 섬유혼입량은 기존 연구결과와 제조사의 권장사용

량인 0.9kg/m³만을 혼입하였다.

이에 따른 본 실험의 배합인자와 배합표는 각각 표 7, 표 8과 같다.

표 7. Experimental factors of this study.

	Admixture	Species of fiber	C : S & W/C(wt%)	Inpitted weight (kg/m ³)
Factor & symbol	Non-Silica Fume (null)	no-fiber (A)		
		PET 1/2 inch(a)	1 : 2, 45 (2)	0.9(1)
	Silica Fume (S)	PET 3/4 inch(b)	1 : 3, 55 (3)	1.8(2)
		PE 1/2 inch(PE)		
		PP 3/4 inch(PP)	1 : 3, 35 (S)	
level	2	5	3	2

표 8. Mix proportion of cement mortar

Specimen	C : S	W/C (wt%)	Mix by weight(kg/m ³)					
			Cement	Sand	Water	Silica Fume	SP	Fiber
A-2-0	1 : 2	45	649	1298	292	-	-	0
a-2-1								0.9
a-2-2								1.8
b-2-1								0.9
b-2-2								1.8
PE-2-1								0.9
PE-2-2								1.8
PP-2-1								0.9
PP-2-2	1.8							
A-3-0	1 : 3	55	523	1569	288	-	-	0
a-3-1								0.9
a-3-2								1.8
b-3-1								0.9
b-3-2								1.8
PE-3-1								0.9
PE-3-2								1.8
PP-3-1								0.9
PP-3-2	1.8							
SA-3-0	1 : 3	35	470.7	1569	183	52.3	6.59	0
Sa-3-1								0.9
Sb-3-1								0.9
SPE-3-1								0.9
SPP-3-1								0.9

3. 실험결과 및 고찰

폐PET병을 이용한 재생섬유보강 모르타의 역학적 특성을 고찰하기 위한 본 연구의 실험결과는 다음 표 9와 같다.

표 9. Experimental results of cement mortar specimens.

Specimen	Slump Flow (cm)	Compressive Strength(kgf/cm ²)			Tensile Strength(kgf/cm ²)			Flexural Strength(kgf/cm ²)		
		7 days	28 days	56 days	7 days	28 days	56 days	7 days	28 days	56 days
A-2-0	20.6	254	398	474	17.9	22.2	37.8	62.7	77.1	87.4
a-2-1	19.7	264	408	486	23.0	28.3	32.3	63.5	81.1	84.6
a-2-2	19.5	288	448	517	26.0	30.6	33.2	69.0	88.1	92.0
b-2-1	19.5	262	430	515	24.4	24.6	28.7	65.2	79.9	93.1
b-2-2	18.7	290	441	473	24.8	26.4	42.9	66.2	76.2	91.1
PE-2-1	20.0	290	451	549	24.9	28.0	37.4	71.4	75.8	89.6
PE-2-2	19.4	319	434	555	17.1	26.0	36.8	72.7	82.3	95.6
PP-2-1	19.0	257	410	432	20.8	22.4	36.6	62.0	75.8	89.6
PP-2-2	18.5	243	382	411	27.7	29.5	38.7	63.4	74.5	81.3
A-3-0	14.2	169	216	306	18.3	20.6	31.6	45.9	47.0	53.1
a-3-1	13.6	195	248	346	11.4	16.6	27.8	48.4	48.9	50.2
a-3-2	12.4	185	240	329	16.4	17.3	28.7	48.4	53.5	54.4
b-3-1	12.9	181	225	283	17.5	18.5	28.0	43.5	50.8	54.4
b-3-2	12.3	203	244	334	17.1	18.1	32.9	41.5	48.6	51.4
PE-3-1	13.6	207	249	323	16.4	24.9	29.9	50.0	52.3	63.2
PE-3-2	12.3	177	254	297	15.9	23.8	27.0	46.2	50.9	63.8
PP-3-1	13.0	165	248	255	6.5	15.9	22.9	43.6	51.2	61.8
PP-3-2	12.9	175	230	261	10.0	20.5	23.6	42.7	55.9	64.0
SA-3-0	-	285	371	-	25.2	31.1	-	73.2	97.9	-
Sa-3-1	-	319	457	-	27.4	33.9	-	60.6	95.0	-
Sb-3-1	-	287	460	-	31.0	34.0	-	62.0	88.0	-
SPE-3-1	-	317	465	-	30.0	37.7	-	60.0	80.6	-
SPP-3-1	-	280	463	-	30.0	37.5	-	62.3	79.2	-

3.1 플로우

본 실험에서의 플로우는 12.3~20.6cm의 범위를 나타내고 있다. 섬유보강재를 혼입하지 않은 A-2-0, A-3-0 시험체는 각각 20.6, 14.2cm의 값을 보여 섬유보강재가 혼입된 시험체보다 높은 값을 나타내었으며, 섬유보강재의

길이가 길수록, 또 혼입량이 많을수록 낮은 플로우 값을 보였다.

또한 실리카흙을 대체한 경우는 전 시험체에서 낮은 물시멘트비와 그로 인한 유동성의 저하로 플로우는 측정되지 않았다.

이처럼 섬유보강재가 혼입됨에 따라 플로우값 저하현상이 나타난 이유는 본 실험에 사용한 섬유보강재가 배합되는 과정에서 분산되지 않고 뭉쳐지는 파이버 볼(Fiber ball)현상과 섬유보강재 자체의 긴 형상으로 인하여 시멘트모르터의 유동성을 저하시키기 때문으로 판단된다.

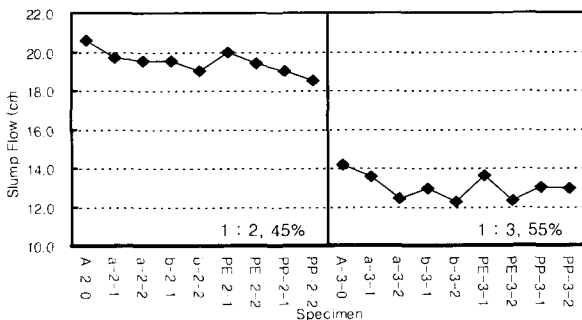


그림 1. Flow change of cement mortar.

3.2 압축강도

본 실험에서의 압축강도의 범위는 재령 28일의 경우 배합비 1:2와 1:3은 각각 382~451kgf/cm²와 216~254kgf/cm²의 범위를 각각 나타내고 있다.

no-fiber는 배합비 1:2와 1:3에서 각각 398kgf/cm², 216kgf/cm²의 강도를 발현하였으며, 섬유를 혼입함에 따라 1:2 배합에서는 PP-2-2를 제외한 모든 시험체가, 1:3 배합에서는 모든 시험체가 압축강도가 증가하는 양상을 보였는데, 이는 섬유보강재와 시멘트페이스트와의 높은 부착성능에 기인된다고 판단된다.

또한, 코팅처리되어 생산된 PE섬유와 PP섬유가 우수한 부착성능으로 인하여 페PET보다 우수한 압축강도의 발현양상을 나타내었으며 PP섬유보다는 PE섬유가 더 높은 압축강도를 보였다.

페PET섬유 1:2 배합의 경우 1/2 inch와 3/4 inch는 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 각각 9.8%와 2.6% 증가하였으며, 1:3 배합의 경우 각각 -3.2%와 8.4%로 소폭 감소하거나 증가하였다.

PE섬유 1/2inch, 1:2 배합의 경우 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 -3.8% 그리고 1:3 배합의 경우 2.0%로 감소와 증가를 각각 보였으며, PP섬유 3/4inch 1:2 배합의 경우 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 -6.8%의 감소하였고, 1:3 배합의 경우와 7.3%의 증가를 보였다.

또한, 재령에 따른 압축강도는 장기재령으로 갈수록 증가하는 일반적인 양상을 나타내었으며, 재령 7일의 경우는

PP-2-2, PP-3-1 그리고 재령 28일은 PP-2-2를 제외하고 모든 섬유보강재를 혼입한 시험체에서 no-fiber보다 압축강도의 발현이 우수하였다.

그러나, 재령 56일의 경우 no-fiber보다 1:2 배합은 b-2-2, PP-2-1, PP-2-2를 제외한 모든 시험체에서 압축강도가 증가하였지만, 1:3 배합은 a-3-1, a-3-2, b-3-2, PE-3-1을 제외한 시험체에서 압축강도가 저하되었다.

이는 폐PET섬유와 PE섬유의 경우 알칼리저항성이 부족하여 장기재령으로 갈수록 화학적침식에 의한 용해현상이 발생되어 시멘트 매트릭스와 섬유와의 부착능력이 증진되어 발생하는 것으로 판단된다.

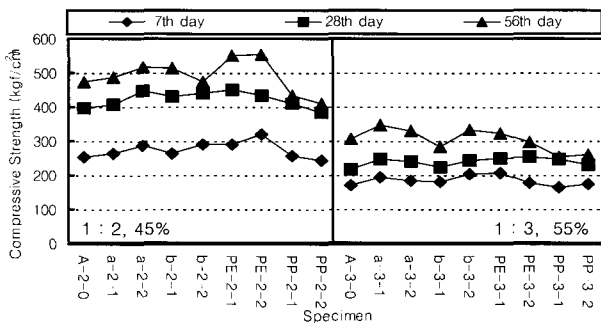


그림 2. Compressive strength.

그림 3은 섬유보강재의 혼입량이 0.9kg/m3 경우 압축강도 발현을 도시한 것으로서, 재령 28일의 경우 폐PET섬유길이 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 5.4%와 -9.1%의 증가와 감소를 각각 보였다.

섬유혼입량 0.9kg/m3에서는 3/4inch가 압축강도증진에 더 효과적인 것으로 나타났으나, 1:3 배합에서는 길이가 짧은 1/2in.가 더 효과적인 것으로 나타나 상반된 결과를 보였으며, 1:2, 1:3 배합 모두 1/2in.인 PE섬유가 3/4인 PP섬유보다 압축강도 증진효과가 우수한 것으로 나타났다.

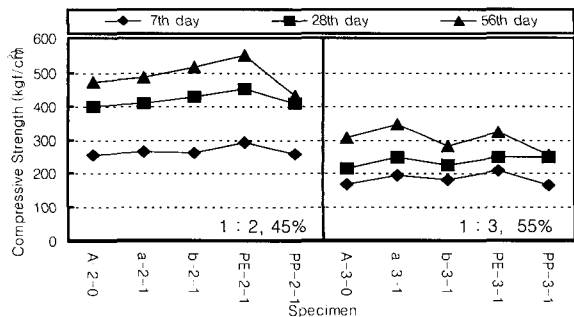


그림 3. Compressive strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 0.9kg/m3).

그림 4는 섬유보강재의 혼입량이 1.8kg/m3의 압축강도발현을 도시한 것으로서, 재령 28일의 경우 폐PET섬유길이 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 -1.6%와 1.7%의 소폭의 증가와 감소를 각각 보여 유사한 것으로 나타났다.

그리고 재령 56일의 경우 a-2-2와 PE-2-2가 no-fiber보다 압축강도의 발현이 우수하였으며, 상대적으로 섬유의 용해량이 적은 b-2-2, PP-2-2는 압축강도가 저하되었다.

그림 5는 섬유보강재의 길이가 1/2in. 경우 재령 28일 압축강도발현을 도시한 것으로서, 폐PET섬유 혼입량이 0.9kg/m3에서 1.8kg/m3로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 9.8%와 -3.2%의 증가와 감소를 각각 보였다

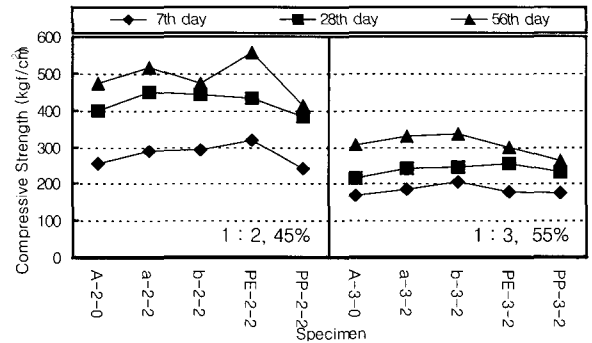


그림 4. Compressive strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 1.8kg/m3).

또한, 폐PET섬유와 PE섬유는 혼입량이 증가할수록 압축강도가 증진되었으며, 이는 상대적으로 용해된 섬유가 많아져 시멘트매트릭스와의 부착성능이 더욱 향상되기 때문으로 분석된다.

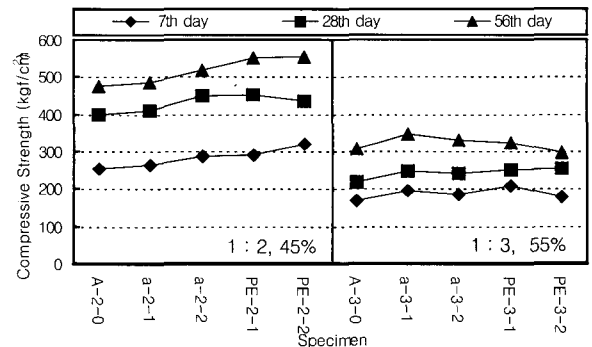


그림 5. Compressive strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 1/2inch).

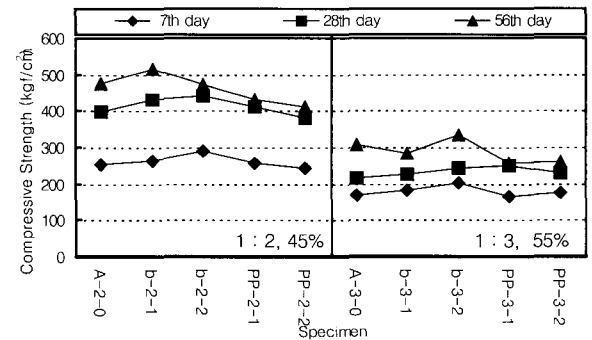


그림 6. Compressive strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 3/4inch).

그림 6은 섬유보강재의 길이가 3/4in.인 경우의 압축강도발현을 도시한 것으로서, 재령 28일에선 페PET섬유 혼입량이 0.9kg/m³에서 1.8kg/m³로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 2.6%와 8.4%의 증가를 보였다.

재령 56일의 경우 b-2-1은 no-fiber에 비하여 압축강도가 증가하나, b-2-2, PP-2-1, PP-2-2로 갈수록 압축강도가 저하되는 현상을 보였다.

위의 압축강도 실험결과를 종합하여 보면, 재령 7일에 있어서는 섬유를 혼입한 시험체는 no-fiber보다 압축강도가 증진되었으며, 코팅처리된 PE섬유와 PP섬유가 우수한 부착성능으로 인하여 페PET섬유보다 우수하였으며, 또한 PP섬유보다는 PE섬유가 더 높은 압축강도를 보였다.

전체적으로 재령 7일, 28일, 56일은 전체적으로 유사한 압축강도발현양상을 보였으나, 재령 56일에선 페PET섬유와 PE섬유는 섬유의 용해로 인한 공극 충전효과로 no-fiber보다 압축강도가 높았으나, PP섬유는 재령 7일, 28일에 비해서 no-fiber보다 압축강도가 현저하게 저하되는 양상을 나타내었다.

따라서 장기적인 측면에서 페PET섬유는 압축강도면에서는 기존 시중의 PE섬유제품과는 대등하며 PP섬유보다는 우수한 보강효과를 나타내었다고 결론 지을 수 있다.

3.3 인장강도

본 실험에서의 압축강도의 범위는 재령 28일의 경우 배합비 1:2와 1:3은 각각 22.2 ~ 30.6kgf/cm²와 15.9 ~ 24.9 kgf/cm²의 범위를 각각 나타내고 있다.

no-fiber는 배합비 1:2와 1:3에서 각각 22.2 kgf/cm², 20.6kgf/cm²의 인장강도를 발현하였으며, 섬유를 혼입함에 따라 1:2 배합은 섬유보강재를 혼입한 모든 시험체가 현저한 증진효과를 보였으나, 1:3 배합은 PE-3-1, PE-3-2 시험체를 제외한 모든 시험체가 no-fiber에 비하여 인장강도가 감소하여 단위시멘트량이 적고 물시멘트비가 높은 배합에 있어서 섬유보강에 의한 인장강도 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 나타났습니다.

1:2 배합에서의 섬유보강재에 의한 인장효과는 시멘트 매트릭스의 인장저항능력을 증대시키고, 건조수축 균열에 의한 억제력이 우수하여 취성거동을 인성거동으로 유도하였기 때문으로 분석된다.

페PET섬유 1:2 배합의 경우 1/2inch와 3/4 inch는 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 각각 8.1%와 7.3% 증가하였으며, 1:3 배합의 경우 각각 4.2%와 -2.2%로 소폭 증가와 소폭 감소를 나타내었다.

또한 PE섬유 1/2inch, 1:2 배합과 1:3 배합은 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 각각 -7.1%와 -4.4%로 각각 감소하는 양상을 보였으며, PP섬유 3/4inch 1:2 배합의 경우 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 31.7%와 28.9%의 증가를 보였다.

재령에 따른 인장강도는 장기재령으로 갈수록 증가하는 일반적인 양상을 나타내었으며, 재령 7일 1:2 배합의 경우 PE-2-2만 유사한 강도발현양상을 보였으나 나머지 모든 시험체는 증가하였다.

그러나 1:2 배합과는 달리 1:3 배합의 경우는 모든 시험체

가 no-fiber보다 감소하여 상대적으로 단위시멘트량이 적고 물시멘트비가 높은 배합에서 섬유보강에 의한 인장강도의 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 나타났다.

재령 28일은 재령 7일과 유사한 인장강도 증진양상을 나타내어 1:2 배합은 모든 시험체에서 no-fiber보다 강도발현이 우수하였으나, 1:3 배합은 PE-3-1, PE-3-2를 제외한 시험체에서 강도가 no-fiber보다 적게 나타났다.

또한, 재령 56일의 경우 1:2 배합은 b-2-2와 PP-2-2가, 1:3 배합에서는 b-3-2를 제외한 모든 시험체가 no-fiber보다 강도가 적게 발현되어 장기재령으로 갈수록 섬유보강에 의한 인장강도의 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 밝혀졌으나, 알칼리에 강한 PP섬유와 혼입량이 1.8kg/m³인 페PET섬유와 PE섬유는 no-fiber에 비해서 인장강도의 증진이 나타났다.

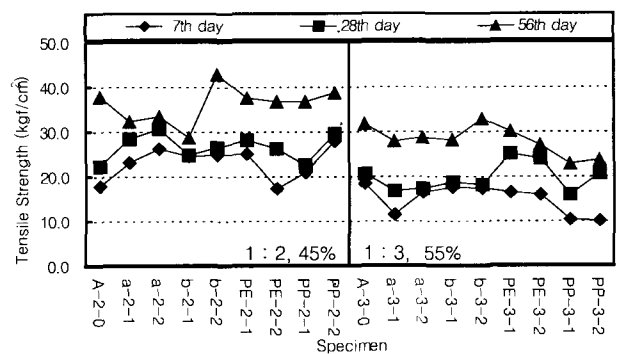


그림 7. Tensile strength change of cement mortar.

이는 페PET와 PE섬유는 알칼리에 대한 저항성이 약하여 재령이 증가할수록 섬유보강재가 화학적 침식으로 인한 용해현상으로 인장강도 증진 역할을 하지 못하기 때문이며, 혼입량이 증가하면 용해되지 않은 양이 비교적 많게되어 인장강도가 증진되는 것으로 파악된다.

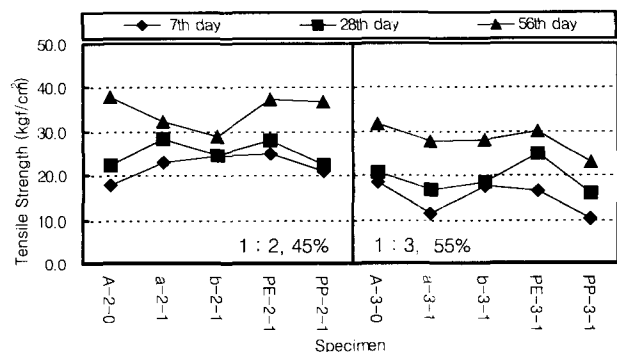


그림 8. Tensile strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 0.9kg/m³).

그림 8은 섬유보강재의 혼입량이 0.9kg/m³ 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 길이가 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 -13.1%와 11.4%의 감소와 증가를 각각 보였다.

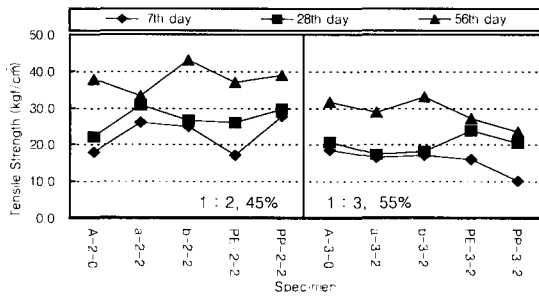


그림 9. Tensile strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 1.8kg/m3).

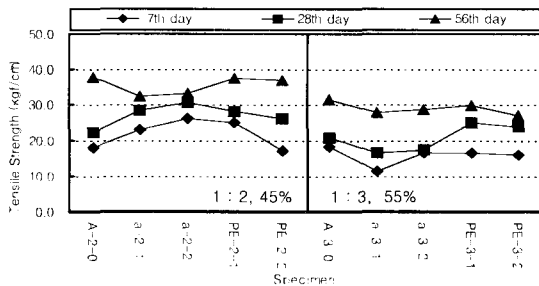


그림 10. Tensile strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 1/2inch).

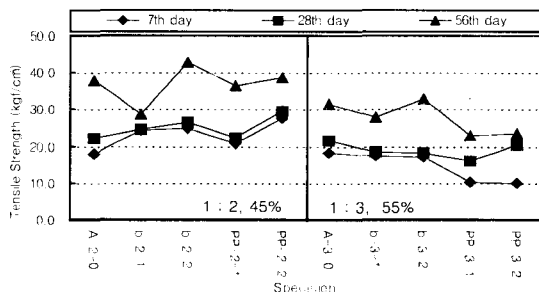


그림 11. Tensile strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 3/4inch).

그림 9는 섬유보강재의 혼입량이 1.8kg/m³ 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유의 길이가 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 -13.7%와 4.6%의 감소와 증가를 각각 보였다.

또한, 그림 10은 섬유보강재의 길이가 1/2inch 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 혼입량이 0.9kg/m³에서 1.8kg/m³로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 8.1%과 4.2%의 증가를 각각 보였다.

그리고, 그림 11은 섬유보강재의 길이가 3/4 inch 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 혼입량이 0.9kg/m³에서 1.8kg/m³로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 7.3%와 -2.2%의 증가와 감소를 각각 보였다.

위의 결과를 종합하자면 페PET섬유를 혼입한 시험체는 초기재령에서는 1:2 배합의 경우는 no-fiber보다 인장강도의 현저한 증진효과가 있었으나 1:3 배합에서는 인장강도의 증진효과가 없었으며, 양배합 모두 장기재령으로 갈수록 no-fiber, PE섬유, PP섬유에 비해 보다 현저하게 낮은 인장강도 발현을

보여 페PET섬유에 의한 장기적인 인장강도의 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 분석된다.

3.4 휨강도

본 실험에서의 휨강도 범위는 재령 28일의 경우 배합비 1:2와 1:3은 각각 74.5~88.1kgf/cm²와 47.0~55.9kgf/cm²의 범위를 각각 나타내고 있다.

no-fiber는 배합비 1:2와 1:3에서 각각 77.1kgf/cm², 47.0kgf/cm²의 휨강도를 발현하였으며, 섬유보강재가 혼입됨에 따라 1:2 배합은 b-2-2를 제외한 모든 시험체가, 1:3 배합은 모든 시험체의 휨강도가 증진되어 섬유보강에 의한 강도 증진효과가 나타났다.

페PET섬유 1:2 배합의 경우 1/2inch와 3/4 inch는 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 각각 8.6%와 -4.6%로 증가와 감소를 나타내었으며, 1:3 배합의 경우 각각 9.4%와 -4.3%로 증가와 감소를 나타내었다.

또한, PE섬유 1/2inch 1:2 배합과 1:3 배합은 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 1.1%의 증가와 -2.7%의 감소를 보여 유사한 값을 나타내었으며, PP섬유 3/4inch, 1:2 배합과 1:3 배합은 혼입량이 0.9kg/m³, 1.8kg/m³으로 증가함에 따라 각각 -1.7%의 감소와 9.2%의 증가를 나타내었다.

그리고, 재령에 따른 휨강도는 장기재령으로 갈수록 증가하는 일반적인 양상을 나타내었으며, 재령 7일, 1:2 배합은 PP-2-1 시험체만 유사한 값을 나타내었을뿐, 나머지 시험체는 모두 인장강도가 증가하였다. 또한 1:3 배합은 b-3-1, b-3-2, PP-3-2을 제외한 모든 시험체가 non-fiber보다 휨강도가 증가하였다.

재령 28일 1:2 배합은 b-2-2, PP-2-1, PP-2-2를 제외한 시험체에서, 또한 1:3 배합은 모든 시험체에서 no-fiber보다 강도발현이 우수한 경향을 나타내었으나, 재령 56일의 경우 1:2 배합은 a-2-1과 PP-2-2를, 1:3 배합에서는 a-3-1, b-3-2를 제외한 모든 시험체가 no-fiber보다 강도 증진이 이루어졌다.

재령에 따른 휨강도의 증진은 대체적으로 1:2 배합에선 재령 7일, 28일, 56일 전 재령에 걸쳐서 페PET섬유에 의한 다소의 강도증진효과를 기대할 수 있으며, PE섬유, PP섬유와 증진효과가 대등한 것으로 밝혀졌으나, 1:3 배합에서는 장기재령으로 갈수록 no-fiber, PE섬유, PP섬유에 비해 강도 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 분석되어 차후 현장에 적용하게 된다면 높은 단위시멘트량과 낮은 물시멘트비의 배합을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

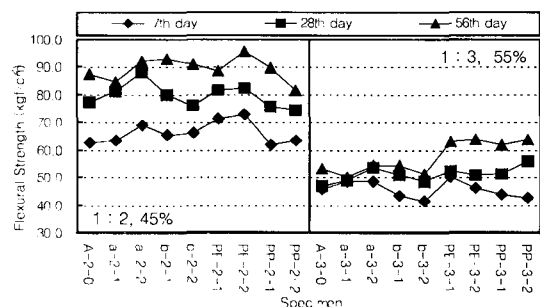


그림 12. Flexural strength change of cement mortar.

그림 13은 섬유보강재 혼입량이 0.9kg/m³ 경우 재령 28일 휨강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 길이가 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 -1.5%와 3.9%의 감소와 증가를 각각 보여 섬유의 길이변화에 의한 휨강도의 증진효과는 미미한 것으로 나타났다.

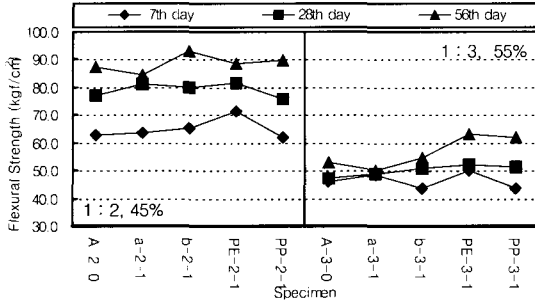


그림 13. Flexural strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 0.9kg/m³).

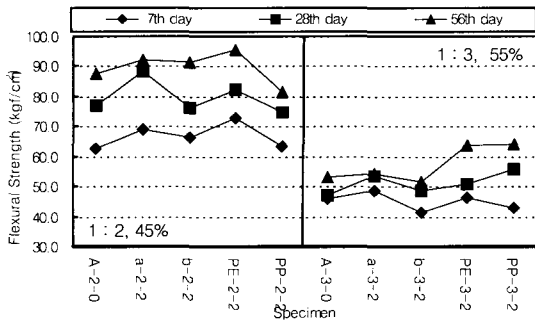


그림 14. Flexural strength change of cement mortar (Inputted weight of fiber 1.8kg/m³).

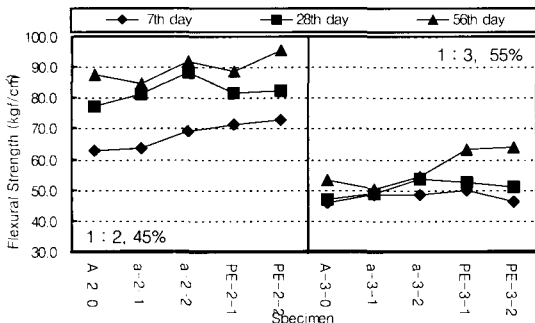


그림 15. Flexural strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 1/2inch).

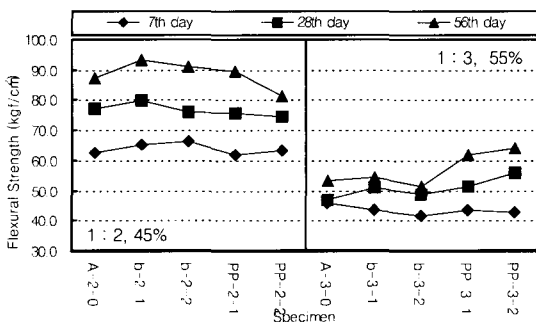


그림 16. Flexural strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 3/4inch).

그림 14는 섬유보강재의 혼입량이 1.8kg/m³ 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 길이가 1/2inch에서 3/4inch로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 -13.5%와 -9.2%의 감소를 각각 보여 1/2inch가 휨강도증진에 더 효과적인 것으로 나타났다.

그림 15는 섬유보강재의 길이가 1/2inch 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 혼입량이 0.9kg/m³에서 1.8kg/m³로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 각각 8.6%과 9.4%의 증가를 보여 혼입량 1.8kg/m³가 휨강도의 증진에 보다 효과적인 것으로 나타났다.

그리고, 그림 16은 섬유보강재의 길이가 3/4 inch 경우 재령 28일 인장강도발현을 도시한 것으로서, 페PET섬유가 혼입량이 0.9kg/m³에서 1.8kg/m³로 늘어남에 따라 1:2 배합, 1:3 배합의 경우 -4.6%와 -4.3%의 감소를 각각 보여 혼입량은 0.9kg/m³가 휨강도 증진에 보다 효과적인 것으로 나타났다.

위의 결과를 종합하여 보면 전재령에 걸쳐서 섬유보강재를 혼입한 경우 모두 휨강도의 증진 효과가 발생하였다.

그리고, 페PET섬유의 경우 PE섬유나 PP섬유보다는 우수한 성능을 발휘하지는 못하여 non-fiber에 비하여 다소의 증진효과만을 나타내었으며, 이는 알칼리에 의한 용해현상으로 휨강도의 증진효과가 그리 크지 못한 것에 기인된다고 판단된다.

3.5 실리카흄을 혼입한 시험체의 강도

그림 17은 실리카흄을 혼입한 시험체의 압축강도, 인장강도, 휨강도 성상을 각각 도시한 것으로 no-fiber보다 압축강도와 인장강도는 재령 7일, 28일 모두 증가하는 경향을 나타내었으나, 휨강도는 반대의 양상을 보여 재령 7일, 28일 모두 감소하는 경향을 나타내었다.

압축강도는 섬유보강재를 혼입한 경우 재령 28일은 460kgf/cm²의 유사한 값을 보였으며, 이는 실리카흄이 시멘트입자의 1/25크기의 초미분말인데다가 섬유의 부착력이 가해져서 나타난 현상으로 분석된다.

그림 18은 섬유보강재 혼입량이 1/2inch 경우 재령 28일 압축강도, 인장강도, 휨강도발현을 각각 도시한 것으로서, SA-3-0보다 Sa-3-1, SPE-3-1는 각각 압축강도는 23.2%, 25.3%, 인장강도는 9.0%, 21.2% 증가되었으며, 휨강도는 -8.1%, -17.7% 감소되었다.

그림 19는 섬유보강재 혼입량이 3/4inch 경우 재령 28일 압축강도, 인장강도, 휨강도발현을 각각 도시한 것으로서, SA-3-0보다 Sa-3-1, SPE-3-1는 각각 압축강도는 24.0%, 24.8%, 인장강도는 9.3%, 20.6% 증가되었으며, 휨강도는 -10.1%, -19.1% 감소되었다.

위의 결과를 종합하여 보면 실리카 흄을 혼입한 경우에도 섬유보강재에 의한 압축강도인장강도의 증진효과를 기대할 수 있었으며, 압축강도는 섬유보강재의 종류와 길이에 큰 영향을 받지 않고 유사한 강도증진을 보였으나, 인장강도는 PE섬유, PP섬유가 페PET섬유보다 더 우수한 증진효과를 보였다.

그리고, 휨강도는 압축강도인장강도의 발현양상과는 달리 섬유보강재를 혼입함에 따라 강도가 감소하였으며, 페PET섬유가 PE섬유, PP섬유보다 약간 우수한 효과를 나타내었다.

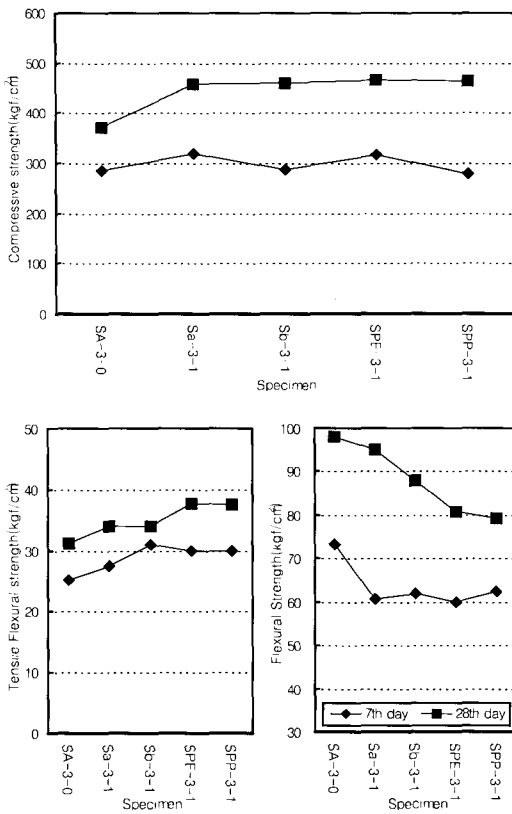


그림 17. Strength change of cement mortar(C:S=1:3)

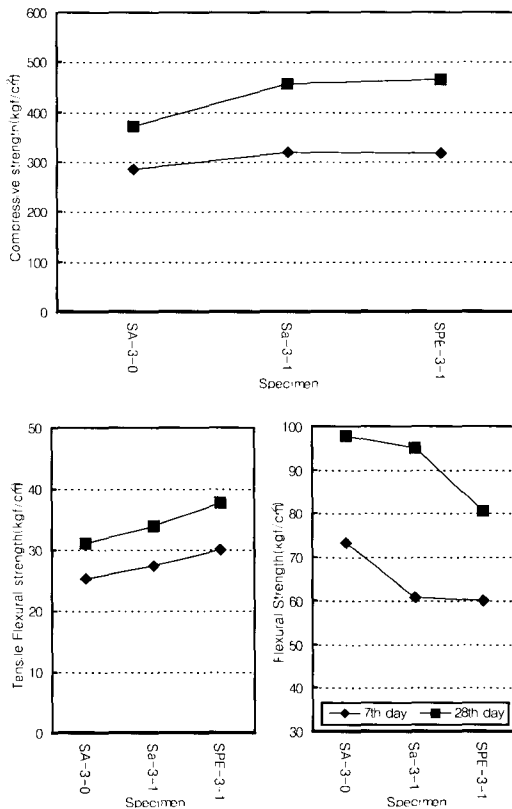


그림 18. Strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 1/2inch, C:S 1:3)

추후, 장기재령에 관한 결과를 연구해야겠지만, 재령 7일, 28일의 경우 폐PET섬유의 혼입은 no-fiber에 비하여 휨강도를 제외한 압축강도, 인장강도에서 우수한 강도 발현을 나타내어 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구 폐PET병을 이용한 재생섬유보강 모르타의 역학적 성상에 관한 연구에서 폐PET재생섬유와 기존 시판되고 있는 PE섬유와 PP섬유를 섬유보강재로 시멘트모르타에 혼입하여 플로우, 압축강도, 인장강도, 휨강도를 측정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

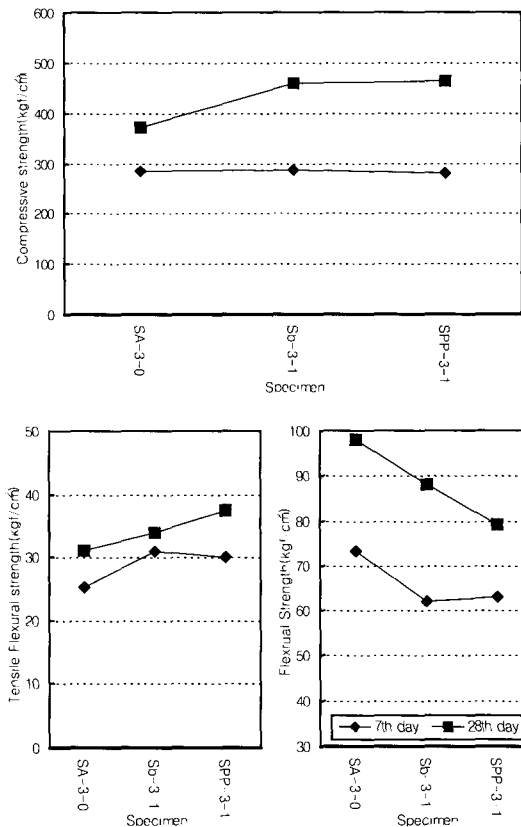


그림 19. Strength change of cement mortar (Inputted length of fiber 3/4inch, C:S 1:3)

- 1) 플로우는 섬유보강재를 혼입하지 않은 시험체가 섬유보강재가 혼입된 시험체보다 높은 값을 나타내었으며, 섬유보강재의 길이가 길수록, 또 혼입량이 많을수록 낮은 플로우 값을 보였다.
- 2) 전체적으로 재령 7일, 28일, 56일은 전체적으로 유사한 압축강도발현양상을 보였으나, 재령 56일에선 폐PET섬유와 PE섬유는 섬유의 용해로 인한 공극 충전효과로 no-fiber보다 압축강도가 높았으나, PP섬유는 재령 7일, 28일에 비해서 no-fiber보다 압축강도가 현저하게 저하되는 양상을 나타내었다.

- 3) 폐PET섬유를 혼입한 시험체는 초기재령에서는 1:2 배합의 경우는 no-fiber보다 인장강도의 현저한 증진 효과가 있었으나 1:3 배합에서는 인장강도의 증진효과가 없었으며, 양 배합 모두 장기재령으로 갈수록 no-fiber, PE섬유, PP섬유에 비해 보다 현저하게 낮은 인장강도 발현을 보여 폐PET섬유에 의한 장기적인 인장강도의 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 분석된다.
- 4) 재령에 따른 휨강도의 증진은 대체적으로 1:2 배합에선 재령 7일, 28일, 56일 전 재령에 걸쳐서 폐PET섬유에 의한 다소의 강도증진효과를 기대할 수 있으며, PE섬유, PP섬유와 증진효과가 비교적 대등한 것으로 밝혀졌으나, 1:3 배합에서는 장기재령으로 갈수록 no-fiber, PE섬유, PP섬유에 비해 강도 증진효과는 기대하기 힘든 것으로 분석되어 차후 현장에 적용하게 된다면 높은 단위시멘트량과 낮은 물시멘트비의 배합을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 5) 실리카 흡을 혼입한 경우에도 섬유보강재에 의한 압축강도·인장강도의 증진효과를 기대할 수 있었으며, 압축강도는 섬유보강재의 종류와 길이에 큰 영향을 받지 않고 유사한 강도증진을 보였으나, 인장강도는 PE섬유, PP섬유가 폐PET섬유보다 더 우수한 증진효과를 보였다.

그리고, 휨강도는 압축강도·인장강도의 발현양상과는 달리 섬유보강재를 혼입함에 따라 강도가 감소하였으며, 폐PET섬유가 PE섬유, PP섬유보다 약간 우수한 효과를 나타내었다.

본 폐PET병을 이용한 재생섬유보강 모르타의 역학적 성상에 관한 연구의 실험결과 폐PET재생섬유는 기존 시판제품인 PE섬유나 PP섬유에 비하여 여러 가지 역학적 성질은 다소 낮았으나 자원의 순환적 재활용측면과 공사 코스트 경감 등 사료된다.

그러나, 역학적인 성상으로 압축강도가 재령 56일의 경우 폐PET섬유에 의해서 no-fiber보다 약 10% 정도 증진되나 인장강도는 no-fiber보다 저하되어 섬유보강재로서는 문제가 있어 향후 현장 등에 적용되기는 어려울 것으로 분석된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 한국자원재생공사의 자원재활용 기술개발사업에 의한 연구비지원으로 수행된 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 박승범, 유기보강콘크리트의 특성과 최근의 기술(其 I), 레미콘지 (1991.10).
2. 박승범, 유기보강콘크리트의 특성과 최근의 기술(其 VI), 레미콘지 (1992.3).
3. 박유신, 섬유보강재를 혼입한 단열경량콘크리트의 특성에 관한 실험적연구(1996).
4. 변근주, 혼화재료, 한국콘크리트공업협회(1990).
5. 양유성 외, 최신 플라스틱 성형기술 대사전, (1995.2).
6. 이상학, 국내 PET용기의 재활용 현황 및 고찰, 효성플라스틱뉴스 (1998. 가을호).