

FRP 폐기물을 첨가한 폴리머-시멘트 모르타르의 특성

Properties of Polymer-Modified Mortars Containing FPR Wastes

이병기* 김승문* 황의환** 노재성***
Lee, Byoung Ky Kim, Seung Moon Whang, Eui Hwan Rho, Jae Seong

Abstract

The flexural and compressive strengths of polymer-modified mortars containing FRP wastes were investigated. The specimens of polymer-modified mortars containing FRP mortar were prepared by using styrene-butadiene rubber(SBR) latex, ethylene-vinyl acetate(EVA) emulsion and polyacrylic ester(PAE) emulsion with various FRP-sand ratios(10, 20, 30, 40, 50wt%). The compressive and flexural strengths of polymer-modified mortars containing FRP wastes were decreased with an increase of FRP-sand ratio. But the compressive and flexural strengths of PAE polymer-modified mortar were more improved than OPC, whereas those of SBR and EVA polymer-modified mortars containing FRP wastes were decreased than OPC.

1. 서 론

최근에 각종 제품의 제조과정시 발생하는 산업폐기물은 처리가 곤란하기 때문에 큰 사회문제로 인식되고 있다. 그중에서 불포화폴리에스테르 수지를 사용하여 제조된 섬유강화플라스틱(Fiber Reinforced Plastics, FRP) 폐기물을 재활용하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 기계적 특성이 우수한 섬유강화플라스틱은 특히 강도가 높고, 부식저항력이 우수하며 성형성이 좋기 때문에 점점 그 사용량이 증가하는 추세로 현재 국내에서는 연간 35,000 톤 정도 생산되고 있다. 반면에 폐기물의 양도 증가하여 연간 약 7,000 톤이 발생되고 있다. 현재까지 FRP 폐기물은 단순히 매립하여 처리하는 방법에 의존하여 처리되어왔다. 그러나 현재 산업폐기물로 지정되어 있기 때문에 FRP 폐기물을

* 학생회원, 충남대 공업화학과 박사과정
** 비회원, 충남대 공업화학과 석사과정
*** 비회원, 천안공업전문대학 조교수
**** 정회원, 충남대학교 교수

아무 장소에나 매립할 수 없는 실정으로 매립장소가 매우 부족한 상황이고 또한 처리 비용이 많이 들기 때문에 재활용하기 위한 연구가 절실히 필요하다.

FRP 폐기물을 재활용하기 위한 연구는 세계 곳곳에서 진행되고 있는데, 특히 일본의 경우 FRP 폐기물을 다양한 건축재료로 재활용하기 위하여 시멘트 모르타르의 세골재 대용으로 활용하기 위한 연구와 인조복재를 제조하기 위한 연구 등이 다양하게 진행되고 있다¹⁾. 국내의 경우 FRP 재활용 방안 에 대한 연구결과는 현재까지 발표되지 않고 있다.

일반적으로 섬유강화플라스틱 폐기물을 시멘트 모르타르에 첨가하면 물성이 현저하게 저하되기 때문에 본 실험에서는 폴리머를 도입하여 폴리머 시멘트 모르타르로 적용하였다. 폴리머 시멘트 모르타르는 고기능성 건축재료 중의 하나로 개발된 것²⁾으로 사용방법에 따라 다음과 같이 대별된다. 결합재료로서 폴리머와 시멘트를 병용하는 폴리머-시멘트 모르타르, 결합제로서 폴리머만을 사용한 폴리머 모르타르, 경화시멘트 모르타르를 건조, 탈기, 함침, 중합의 과정을 거쳐 시멘트 경화체의 세공 및 기포에 폴리머를 함침시킨 폴리머 함침 모르타르로 대별된다.³⁾

폴리머-시멘트 모르타르는 1960년대 후반부터 본격적인 연구가 진행되어⁴⁾ 보통 시멘트 모르타르의 인장강도, 휨강도, 충격강도, 부착강도, 수밀성, 내구성 및 내약품성 등의 물성을 향상시킴으로써⁵⁾ "각종 바닥재, 방수재, 접착제, 보수재, 마감재 및 내구성 재료 등으로 산업 전반에 널리 이용되고 있다"⁶⁾. 현재 상업적으로 폴리머-시멘트 모르타르의 제조에 사용되고 있는 폴리머는 수십종에 이르고 있으나, 성능과 경제적인 측면을 고려하면, styrene-butadiene rubber(SBR) 라텍스, ethylene-vinyl acetate(EVA) 에멀전 및 polyacrylic ester(PAE) 에멀전 등이 우수한 것으로 알려져 있다⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 폴리머-시멘트비를 고정시키고, 모래에 대한 섬유강화플라스틱 폐기물의 치환량 변화에 따른 여러 가지 공시체를 제조하여 건축재료로서의 기본물성인 휨강도와 압축강도에 대해서 검토하였다. 또한 연구결과의 고찰을 위하여 수은압입법에 의한 세공량 분포의 측정과 동시에 주사전자현미경에 의한 공시체의 조직관찰을 통하여 매트릭스 내에서 폴리머 필름의 형태학적 고찰도 아울러 살펴보았다.

2. 실험

2.1. 재 료

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 세골재는 주문진 표준사 및 소포재는 실리콘 에멀전계(FS antifoam AFE, 30% silicone emulsion, 일본의 Dow corning사제)를 사용하였다. 또한 폴리머-혼화제로서 SBR 라텍스, EVA 및 PAE 에멀전을 사용하였으며, 그 물성을 Table 1에 나타내었다. 또한 섬유강화플라스틱 폐기물의 화학조성 및 입자크기는 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Properties of Polymer Dispersions

Types of Polymer dispersion	sp. gr. (20°C)	Viscosity (20°C, cP)	pH (20°C)	Total solids (wt%)
SBR	1.020	171	9.2	50.2
EVA	1.062	1200	5.0	44.0
PAE	1.054	28	8.8	44.3

Table 2 Chemical Compositions and Physical Properties of FRP Wastes

Unsaturated polyester resin	Glass fibers	Ground calcium carbonate	Particle size (mm)
35 %	40 %	25 %	≤ 10

2.2. 공시체의 제조

Table 3은 본 실험에 사용한 배합조성을 나타낸 것으로 폴리머-시멘트 비율 10wt%로 고정시키고, 모래에 대한 FRP 폐기물의 치환량을 0, 10, 20, 30, 40, 50wt%로 변환시켰으며, 모든 배합의 플로우치(flow value)는 170 ± 5 가 되도록 물-시멘트비를 조정하여 JIS A 1171에 따라 제조하였다. 또한 처리조건은 제조된 시료를 $4 \times 4 \times 16$ cm의 볼드에 성형한 후 항온항습장치를 이용하여 20°C , 80% R.H. 조건하에서 2일간 습윤양생, 20°C 수중에서 5일간 수중양생, 20°C , 50% R.H. 조건하에서 21일간 기중양생하여 공시체로 사용하였다.

2.3. 강도시험

JIS A 1172에 따라 공시체를 3, 7, 28일간 양생시킨 후에 휨강도와 압축강도를 측정하였다.

2.4. 흡수시험

JIS A 6203에 따라 $4 \times 4 \times 16$ cm의 공시체를 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 항량이 될 때까지 건조한 후 중량을 측정하여 공시체를 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 48시간 동안 침수시킨 다음 다시 중량을 측정하여 다음식을 이용하여 흡수율을 구하였다.

$$\text{흡수율}(\%) = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100$$

여기서, W_0 : 침수 전의 공시체 중량, W_1 : 침수 후의 공시체 중량

2.5. 내산성시험

$20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 2wt% 황산수용액에 각 종류당 3개씩의 공시체를 3cm 간격으로 배열하여 28일간 침적시켰으며, 황산용액의 양은 공시체 체적의 3배로 하였다. 시험 시작 후 14일째 공시체를 꺼내어 해면상의 침식된 부분을 철술로 제거한 다음 새로운 황산수용액에 다시 14일간 침적시켰다. 28일 침적 후 공시체의 체적변화, 중량 변화 및 휨강도를 측정하였다.

2.6. 주사전자현미경에 의한 조직 관찰

시편의 파단면을 33wt% 질산수용액에 90초간 에칭시켜 시멘트수화물을 제거한 다음 물로 세정한 시편을 주사전자현미경을 이용하여 폴리머 필름의 형성상태를 조사하였다.

2.7. 세공결 분포의 측정

모르타르 공시체의 중심부에서 입경 2.5~5mm 범위의 시료를 채취해서 아세톤으로 세정한 후 수은압입법으로 세공량 분포를 측정하였다.

Table 3 Mix Proportions of Polymer-Modified Mortars Containing FRP Wastes

Remarks	Cement : sand (by weight)	FRP/ (FRP+sand) (wt%)	Polymer cement ratio(%)	W/C ratio(%)	Antifoaming agent(%)	Unit weight(g/ml)	Flow
Unmodified	1 : 3.0	0	0	65.7	0	2.000	168.0
	1 : 3.0	10	0	65.7	0	1.746	174.0
	1 : 3.0	20	0	67.9	0	1.599	169.3
	1 : 3.0	30	0	72.9	0	1.519	170.0
	1 : 3.0	40	0	79.3	0	1.357	172.0
	1 : 3.0	50	0	84.3	0	1.312	169.5
SBR- Modified	1 : 2.8	10	10	43.9	0.7	1.710	167.4
	1 : 2.6	20	10	56.6	0.7	1.673	171.8
	1 : 2.4	30	10	61.3	0.7	1.640	173.8
	1 : 2.2	40	10	78.2	0.7	1.606	171.8
	1 : 2.0	50	10	86.4	0.7	1.556	174.9
EVA- Modified	1 : 2.8	10	10	51.0	0.7	1.700	168.5
	1 : 2.6	20	10	56.7	0.7	1.632	172.2
	1 : 2.4	30	10	68.2	0.7	1.628	171.3
	1 : 2.2	40	10	83.6	0.7	1.581	172.2
	1 : 2.0	50	10	88.7	0.7	1.503	170.3
PAE- Modified	1 : 2.8	10	10	48.8	1.5	1.734	175.0
	1 : 2.6	20	10	52.1	1.5	1.591	174.0
	1 : 2.4	30	10	53.6	1.5	1.510	168.4
	1 : 2.2	40	10	57.4	1.5	1.443	166.7
	1 : 2.0	50	10	60.5	1.5	1.378	169.4

3. 결과 및 고찰

3.1. 아직 굳지 않은 모르타르의 단위용적중량

폴리머-시멘트 모르타르는 폴리머중에 포함되어 있는 유화제 혹은 안정제가 계면활성 작용을 일으키기 때문에 다량의 공기가 연행되어 보통 시멘트 모르타르보다 강도를 비롯한 제물성을 저하시키게 되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 소포제의 사용량을 SBR 라텍스와 EVA 에멀전의 경우 0.7wt%, PAE 에멀전의 경우 1.5wt%로 조정하였다. Fig. 1에 폴리머를 첨가하지 않은 보통 시멘트 모르타르와 폴리머를 함유한 폴리머-시멘트 모르타르에 대해서 FRP 폐기물의

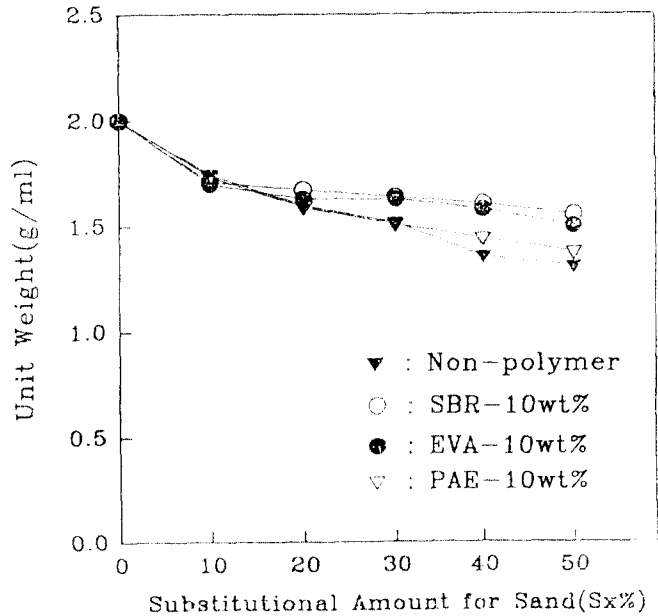


Fig.1 Unit weight of fresh polymer-modified mortars containing FRP wastes.

첨가량에 따라서 단위용적중량을 나타내었다.

Fig. 1에서 보면 모래에 대한 FRP의 치환량이 증가함에 따라 단위용적중량이 감소함을 볼 수 있고, 사용한 폴리머의 종류에 따라 단위용적중량이 다소 차이가 나타나고 있다. 여기에서 SBR 10wt%를 첨가한 것의 단위용적중량이 가장 높게 나타나고 있고, PAE 10wt%를 첨가한 것의 단위용적중량이 세가지중 가장 낮게 나타나고 있다. 따라서 PAE 10wt%를 첨가한 것이 공기를 제일 많이 연행하고 있음을 알 수 있고, 또한 연행된 공기는 모르타르의 유동성을 증가시키는 효과를 가지고 있기 때문에 Table 3에 나타난 바와 같이 PAE는 적은 물/시멘트 비에서도 다른 폴리머를 첨가한 경우와 비슷한 flow값을 보이고 있다.

3.2. 공시체의 강도특성

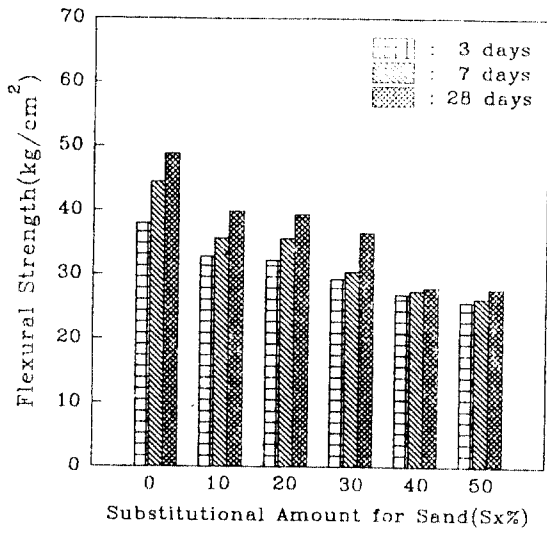
시멘트 모르타르에 모래 대용으로 FRP 폐기물을 첨가하여 휨강도와 압축강도를 측정된 결과를 Fig. 2의 (a) 및 Fig. 3의 (a)에 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 FRP 폐기물의 치환량이 증가함에 따라 휨강도와 압축강도는 현저하게 감소하고 있고 휨강도보다는 압축강도가 더 많이 감소함을 볼 수 있는데 그 이유는 FRP 폐기물내에 glass fiber가 존재하기 때문으로 사료된다. 또한 FRP 폐기물의 치환량이 40wt% 이상되면 28일동안 양생을 하여도 강도발현은 거의 나타나지 않고 있음을 볼 수 있다. 그러나 여기에 폴리머를 첨가하면 휨강도는 첨가하지 않은 경우보다 매우 증가함을 Fig. 2에서 볼 수 있다. 특히 PAE 10wt%를 첨가한 경우 28일 양생후 인장강도는 FRP 폐기물의 첨가량이 10wt%일 때 OPC에 비하여 약 35% 증가하였고, 50wt%를 첨가한 경우에는 20% 증가하였다. Fig. 3의 (a)에서 압축강도는 직선적으로 감소하고 있고, 여기에 폴리머를 첨가하면 압축강도가 향상됨을 Fig. 3의 (b), (c), (d)에서 볼 수 있다. 여기에서도 마찬가지로 PAE 10wt% 첨가하였을 때가 가장 많이 향상하고 있다. PAE 10wt%를 첨가한 경우 휨강도 및 압축강도가 증가한 주된 원인은 정해진 플로우 값을 만족시키는데 필요한 물시멘트비가 다른 폴리머에 비하여 감소하였기 때문으로 사료된다.

3.3. 흡수시험

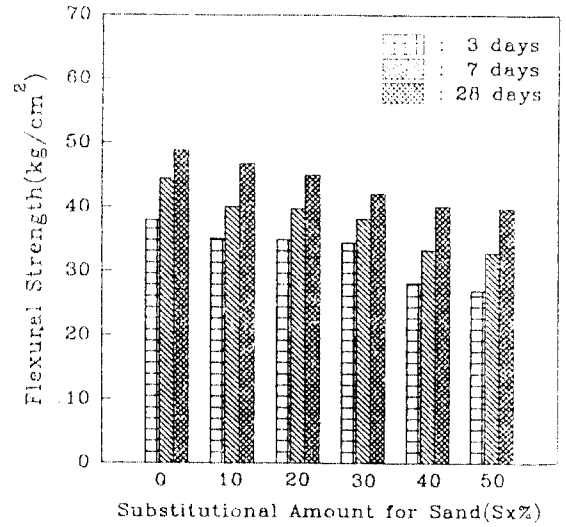
흡수시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 흡수율은 폴리머의 종류에 관계없이 FRP 폐기물의 첨가량이 10wt%에서 50wt%로 증가함에 따라 현저하게 증가하고 있음을 볼 수 있다. 즉 FRP 폐기물을 첨가량이 증가하면 물이 흡수될 수 있는 거대기공이 증가하기 때문에 흡수율이 증가하는 것으로 사료된다. 이러한 경향은 단위용적중량 측정결과 경향과 일치함을 알 수 있다. 그러나 단위용적중량이 비교적 적게 나타났던 PAE 10wt% 첨가한 경우가 흡수율이 가장 적게 나타난 이유는 PAE를 첨가한 모르타르는 거대기공보다는 미세한 기공이 형성되었기 때문에 흡수율이 다른 폴리머를 첨가한 경우보다 낮게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결 론

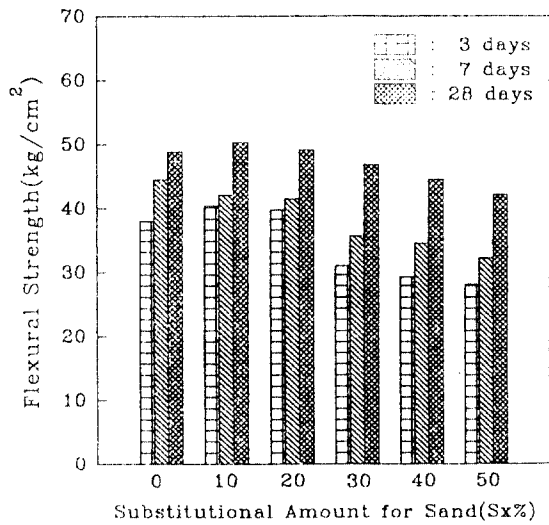
폴리머-시멘트비를 고정시키고, 모래에 대한 섬유강화플라스틱 폐기물의 치환량 변화에 따른 여러 가지 공시체를 제조하여 건축재료로서의 기본물성인 휨강도와 압축강도에 대해서 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



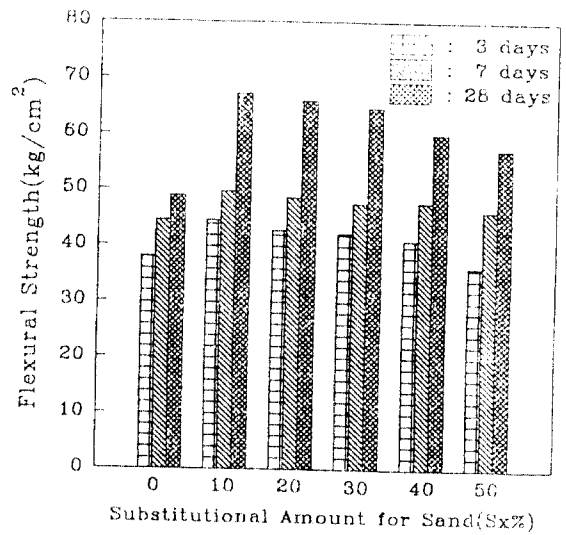
(a) non-polymer



(b) SBR-10wt%



(c) EVA-10wt%



(d) PAE-10wt%

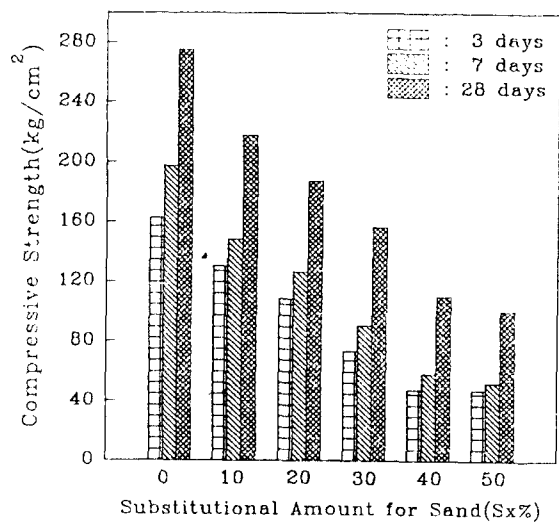
Fig. 2 Flexural Strengths of polymer-modified mortars containing FRP wastes.

(a) non-polymer

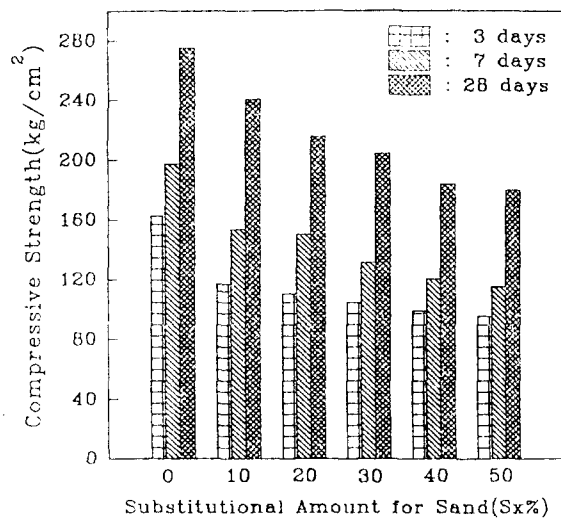
(b) SBR-10wt%

(c) EVA-10wt%

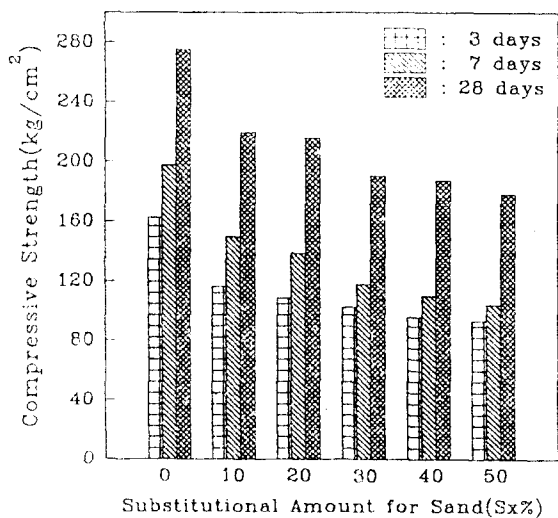
(d) PAE-10wt%



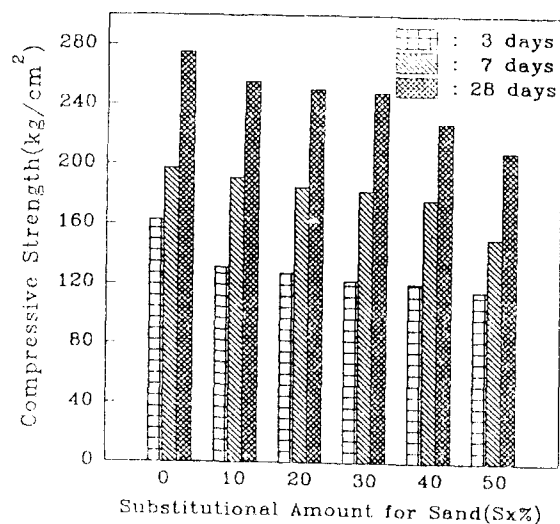
(a) non-polymer



(b) SBR-10wt%



(c) EVA-10wt%



(d) PAE-10wt%

Fig. 3 Compressive Strengths of polymer-modified mortars containing FRP wastes.

(a) non-polymer

(b) SBR-10wt%

(c) EVA-10wt%

(d) PAE-10wt%

(1) FRP 폐기물의 첨가량이 증가하면 OPC에 비하여 단위용적 중량이 점차 감소하였지만, 폴리머를 첨가하면 단위용적중량이 FRP 폐기물을 첨가한 경우보다 증가하였다.

(2) FRP 폐기물을 첨가한 보통 시멘트 모르타르는 휨강도 및 압축강도 모두 감소되었는데, 특히 휨강도보다 압축강도가 현저하게 감소하였다. 여기에 PAE 10wt% 첨가하면 OPC에 비하여 휨강도는 약 20~30% 향상되었다. 압축강도도 향상은 되지만 OPC 보다는 낮게 나타났다.

(3) 흡수시험결과 FRP 폐기물 첨가량이 증가함에 따라 흡수율이 증가하는 것으로 나타났다. 여기에 PAE 10wt%를 첨가한 경우 흡수율의 증가가 가장 둔화되었다.

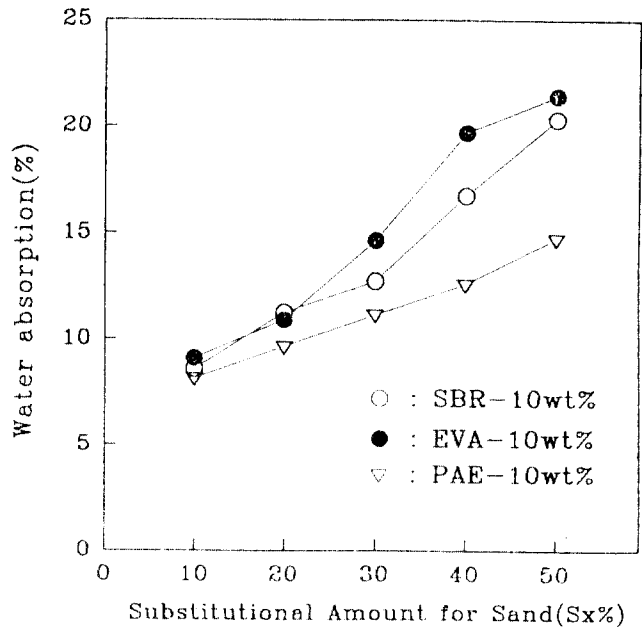


Fig. 4. Water absorption of polymer-modified mortars containing FRP wastes.

● 참고문헌 ●

1. 小玉克巳, "FRPと各種モルタルで補強したRC梁の曲げ破壊性状に関する研究", 콘크리트工 學年次論文報告集, Vol.14, No.2, pp.979~984(1992).
2. 及川研, 目下秀人, "纖維強化プラスチック(FRP)を用いた港灣構造物の技術開發", セメント・コンクリート No.579, pp.16~24(1995).
3. K. Shiroishida and Y. Ohama, "Temperature dependency of deformation properties of polymer-modified mortars", Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol.5, pp.177~184(1983).
4. 황의환, 황택성, Eiji Kamada, "폴리머-시멘트 모르타르의 미세구조와 동결융해 저항성의 관계", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.31, No.9, pp.949~956(1994).
5. 황의환, 황택성, Y. Ohama, "폴리머-시멘트 모르타르의 강도와 내구성", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.5, No 5, pp.786~794(1994).
6. Y. Ohama, "Development of Concrete-Polymer Materials in Japan", Polymer in Concrete, Vol.2, pp.121~137(1978).
7. Y. Ohama and T. Moriwaki, "Strength Properties of Heat-Cured Polymer-Modified Mortars", The Society of Materials Science, Proc. of the 27th Japan Cong. on Materials Res.(1984).

8. 田英治, "凍結作用を受けたコンクリートの挙動と細孔構造", セメント・コンクリート, No.480, pp.28~35(1985).
9. 田英治, "凍害メカニズムと耐凍害性試験", セメント協會, pp.20~27(1987).
10. Y. Ohama, "Durability Performance of Polymer-Modified Mortars", Cement, Concrete and Aggregates, Vol.4, No.4, pp.94~98(1982).