

폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비 결정에 관한 연구

Optimization of Recycled Wastepaper Fiber Reinforced- Cement Composite

원 중 필* 배 동 인**
Won, Jong-Pil Bae, Dong-In

ABSTRACT

This study was to determine the technical feasibility of using wastepaper fibers, obtained through dry processing of wastepaper, as reinforcement in thin cement produces. Dry-processed waste papers have high levels of noncellulosic impurities, and the recycling process also breads and damages the fibers.

To produce wastepaper fiber-cement composites, first the influential variables in the slurry-dewatering method of processing the composites were identified in an experimental study based on factorial design. Among the proportioning and processing variables investigated, fiber mass fraction and level of substitution of virgin fibers with recycled ones were found to have statistically significant effects on mechanical and physical properties of composites. Subsequently, response surface analysis techniques were used to devise an experimental program that helped determine the optimum combinations of the selected influential variables based on mechanical and physical properties, and cost.

1. 서론

석면섬유는 우수한 재료적 특성으로 인해 1970년부터 1980년까지 여러분야에 걸쳐 사용되었다. 하지만, 현재 석면은 대부분의 선진국에서 석면이 가진 유해성을 인식, 전면 사용금지 내지는 극히 일부의 사용을 허가하고 있기 때문에 무석면 시멘트 복합체로의 전환이 불가피하였다⁽¹⁾. 이러한 관점에서 대두된 목질섬유는 석면 시멘트 복합체와 유사한 강도 및 인성을 가질 뿐 아니라 상대적으로 낮은 에너지를 필요로 하며, 환경친화적인 재료이다.

폐지섬유는 목질섬유에 비해 다수의 불순물을 함유하고 있으며, 섬유 재생과정시 섬유길이가 짧아지고, 섬유강도가 떨어진다⁽²⁾. 이로 인해 시멘트 복합체 내에 폐지섬유를 다량 혼입할 경우, 시멘트 모체와의 부착성능 저하 및 보강효과의 감소로 역학적 성능이 감소한다⁽²⁾. 하지만, 경제·환경적 측면에서 살펴보면, 폐지섬유를 사용함으로써 목질섬유 비용에 약 15~20%를 절약할 수 있으며, 폐지를 재활용

* 건국대학교 농공학과 교수

** 건국대학교 농공학과 대학원 석사과정

함으로써 환경적인 효과도 얻을 수 있다. 따라서, 소정의 물리·역학적 성능을 발휘하는 폐지섬유 시멘트 복합체의 개발은 경제성 및 환경적 측면에서 많은 효과를 가져다준다.

본 연구에서는 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비 도출을 시도하였다.

2. 재료특성

2.1 폐지섬유

본연구에서 사용된 폐지는 신문용지이며, 폐지섬유의 길이분포는 Figure 1과 같다. 섬유의 평균길이는 1.5mm이다.

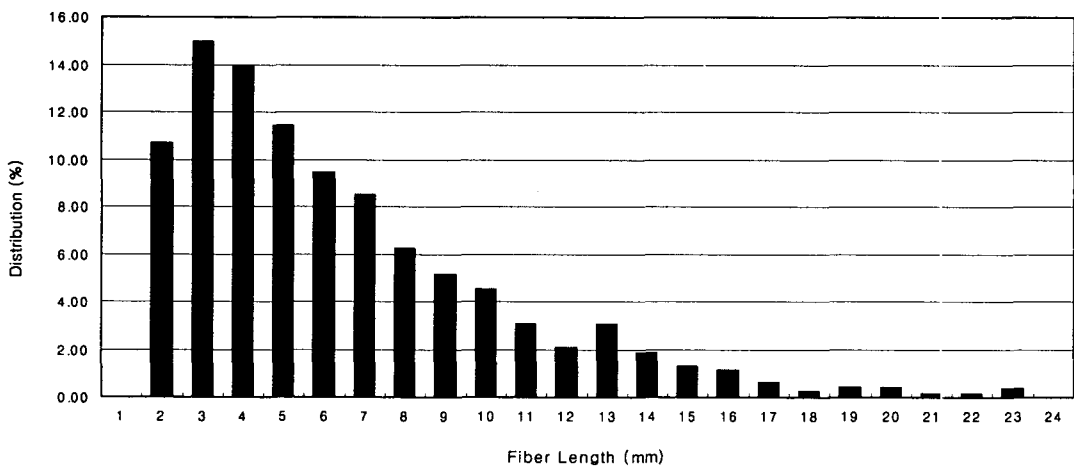


Figure 1 Fiber length distribution of wastepaper fiber

폐지섬유의 표면형태를 주사형 전자 현미경(Scanning Electron Microscope)을 사용하여 관찰하였는데, Figures 2에서와 같이 폐지섬유의 형상은 원통형이며, 폐지섬유의 표면은 표면에 노출된 미세섬유를 가짐으로써 상대적으로 거친 형태를 띠고 있다.



Figure 2 Scanning electron micrographs of wastepaper fiber (×1000)

2.2 시멘트

보통 포틀랜드 시멘트(Type I)를 사용하였으며, 사용된 시멘트의 물리·역학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical and physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Specific gravity	Stability(%)	Compressive strength(kgf/cm ²)		
			3 days	7 days	28 days
3,488	3.15	0.08	224	308	404

2.3 규 사 (Silica-sand)

사용된 규사의 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical and chemical properties of silica-sand

Specific gravity		Fineness(cm ² /g)					Moisture content(%)					
2.65		6120					<0.1					
Silica-sand (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I	Total
	92.75	3.34	3.34	0.20	0.02	0.04	0.85	0.67	-	0.02	0.69	99.99

3. 실험설계

본 연구에서는 최적배합비를 도출하기 위하여 시멘트 복합체의 특성에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상되는 세 가지 변수를 채택하여 Table 3에서와 같은 실험설계를 실시하였다. 여기서, 사용처에 따른 구분을 위하여 압력을 가한 복합체(외장재)와 가하지 않은 복합체(내장재)를 구분하여 실험을 실시하였다.

Table 3 Experimental design

Compaction Pressure (kgf/cm ²)	Fiber Mass Fraction (%)	Fiber Beating Level (CSF)	Fiber Substitution Level (%)
2.4(Unpressed), 64(Pressed)	8, 10, 12	350, 500	20, 35, 50

4. 실험결과 및 분석

실험결과는 각각의 시료에 대해 ASTM C 1185에 의해 역학적 특성으로 휨강도, 물리적 특성으로 밀도와 물흡수력을 측정하였다. 실험값은 각 실험마다 2개의 시편을 제작하고 2회 반복 실험을 실시한 평균치로 하였다.

휨강도는 영향인자인 섬유혼입율과 섬유정제수준에 영향을 받으며, 섬유의 여수도가 500인 경우에는 섬유혼입율의 증가에 따라 휨강도가 감소하지만, 여수도 350인 경우는 섬유혼입율 8%에서보다 10%에서 증가하며, 12%에서는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, 섬유대체수준은 폐지섬유의 양이 증가함에 따라 휨강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

밀도와 물흡수력의 경우, 밀도는 섬유혼입율이 낮을수록, 섬유정제수준이 높을수록, 섬유대체수준이 낮을수록 높게 나타나며, 물흡수력은 이와 반대의 경향을 보여 주었다.

이러한 실험결과를 바탕으로 각 인자들 (섬유혼입율, 섬유정제수준, 섬유대체수준)과 이들 서로간의 상호작용의 종속변수(휨강도, 밀도, 물흡수력)에 대한 유의성을 검정하기 위한 분산분석을 실시하였다. 그 결과 휨강도에 대해서는 섬유혼입율과 섬유정제수준이 95% 신뢰수준에서 유의성을 가지며, 밀도와

물흡수력에 대해서는 모든 인자들이 95% 신뢰수준에서 유의성을 가져 두 인자가 특성치에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. Figure 3(a)~(c)는 각 인자들에 의한 특성치의 경향을 도식적으로 나타냈다.

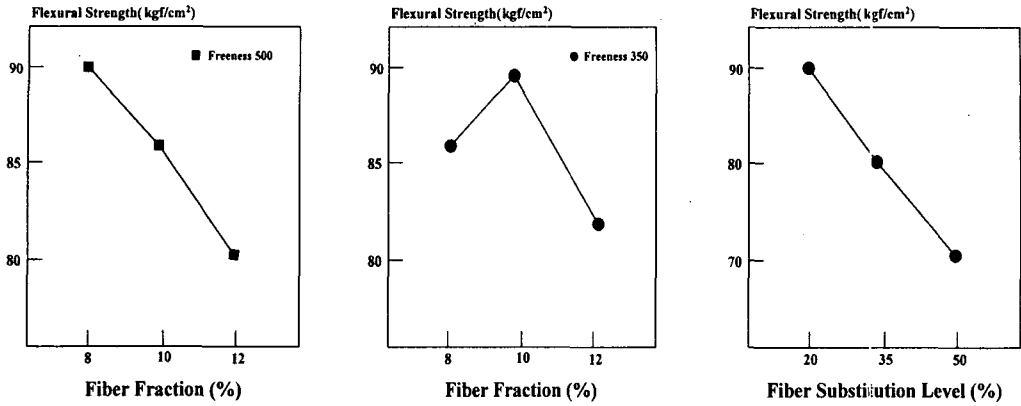


Figure 3(a) Trends in flexural strength

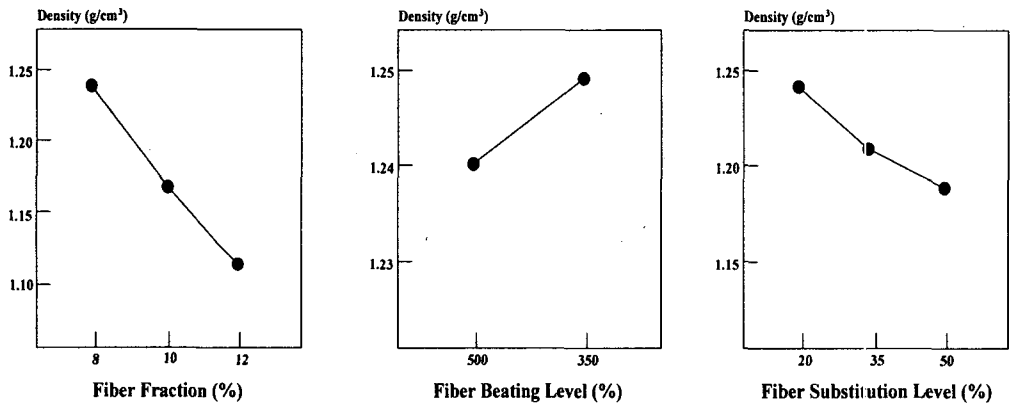


Figure 3(b) Trends in density

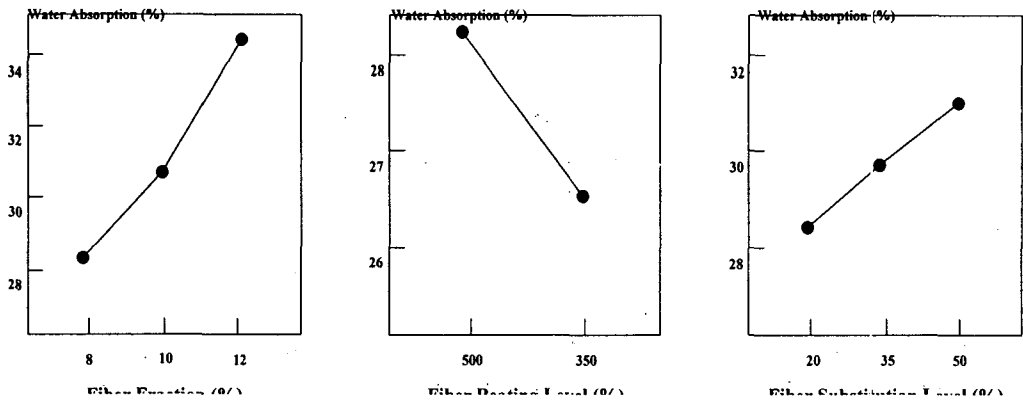


Figure 3(c) Trends in water absorption

5. 최적배합비 결정

위의 분석결과를 바탕으로 종속변수에 영향을 미치지 않는 불필요한 인자를 삭제하고 적정한 인자를 선택하여 Table 4와 같이 최적 배합비 도출을 위한 실험설계를 실시하였다.

Table 4 Experimental design for optimization

type \ factor	Fiber mass fraction(%)	Fiber beating level(CSF)	Fiber substitution level(%)
Pressed	8, 10	350 (고정)	20, 30
Unpressed	8, 10	350 (고정)	35, 45

위와 같은 실험결과를 바탕으로 적정수준의 물리·역학적 특성[(가압 복합체: 휨강도-85kgf/cm²이상, 밀도-1.2g/cm³이상, 물흡수력-30%이하), (비가압 복합체: 휨강도-45kgf/cm²이상, 밀도-1.1g/cm³이상, 물흡수력-35%이하)]을 만족하고 가장 경제적인 최적배합비 결정을 위해 통계적 분석방법 중 하나인 반응표면분석법을 실시하였다. 그 결과는 Figure 5(a)와 (b)와 같다.

반응표면분석법을 통한 통계적 분석결과 가압 시멘트 복합체의 경우 섬유혼입을 9%와 섬유대체수준 22%에서 최적배합이 도출되었으며, 비가압 시멘트 복합체의 경우는 섬유혼입을 9%와 섬유대체수준 35%에서 도출되었다.

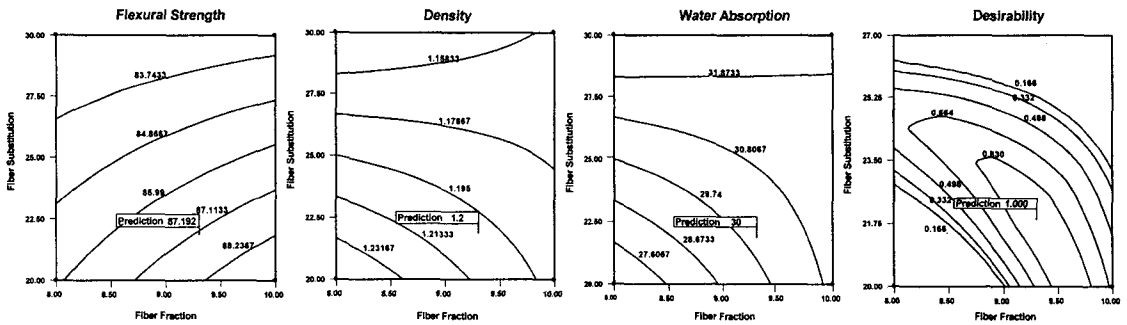


Figure 5(a) Optimization: Response surface analysis (Pressed)

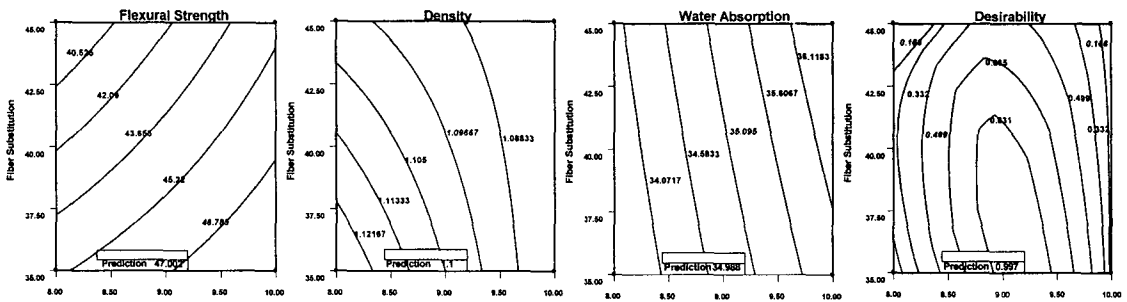


Figure 5(b) Optimization: Response surface analysis (Unpressed)

6. 결 론

본 연구는 폐지섬유 시멘트 복합체의 최적배합비를 결정하는 것을 그 목적으로 하였다. 특히, 복합체의 특성에 영향을 미칠 것으로 사료되는 세 가지 인자(섬유혼입율, 섬유정제수준, 섬유대체수준)를 고려하여 실험을 실시하였으며, 이들 인자에 따른 영향을 통계적 방법으로 해석하였다. 더욱 집약된 인자들의 영향을 고려한 최적배합비 도출을 위해 반응표면분석법을 이용한 최적배합비를 결정하였다.

이러한 과정들을 통해 얻은 폐지섬유 시멘트 복합체의 최적배합비 결정을 위한 실험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 본 실험의 결과, 우선 여수도 500의 경우, 가압상태와 비가압상태 모두 목질섬유 대비 20%의 섬유 대체수준일 경우 고형물 대비 섬유혼입율 8%에서 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 35%와 50%의 대체수준에서는 10%에서 나타났다. 여수도 350의 경우에는 모든 섬유대체수준에서 고형물 대비 섬유혼입율 10%에서 가장 좋은 특성을 나타내었다. 또한, 섬유정제수준에 의한 영향은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 작업성과 마무리성에서는 여수도 350이 여수도 500에 비해 좋게 나타났다. 또한, 복합체의 물리·역학적 특성은 섬유혼입율과 섬유대체수준에 통계적으로 유의한 영향을 받고 있으며, 가압상태에서 섬유대체수준이 35% 이상일 경우는 기본 휨강도가 85 kgf/cm²에 미치지 못하므로 외장용으로 사용하기에는 어려움이 있다고 판단되며, 비가압상태에서는 35%이상에서도 기본 휨강도인 45 kgf/cm²를 나타내므로 내장용으로의 사용이 가능하리라 사료된다.
2. 최적배합비 도출을 위한 실험결과는 가압 보드의 경우 섬유혼입율 9%와 섬유대체수준 22%, 비가압 보드의 경우는 섬유혼입율 9%와 섬유대체수준 35%에서 결정되었다.

[참고문헌]

1. Coutts, R. S. P., "Sticks and Stones", Forest Products Newsletter, (CSIRO Divison of Chemical and Wood Technology (Australia), Vol. 2, No. 1, Jan. 1988, pp 1-4
2. Coutts, R. S. P., "Wastepaper fiber in cement products", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 11, No. 3, August. 1989, pp 143-147
3. TAPPI 227, Freeness of Pulp, Tappi Standards, Technical Association of Pulp and Paper Industry, 1958.
4. Andonian, R., Mai, Y. W. and Cotterell, B., "Strength and Fracture Properties of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites," The International Journal of Cement Composites, Vol. 1, No. 4, Dec. 1979, pp. 151-158