

# 슬러리법에 의한 유기섬유보강 시멘트복합체의 제조에 있어서 계면구조가 물성에 미치는 영향

민병길, 최응규\*, 손태원\*\*

금오공과대학교 섬유공학과, \*삼성건설(주) 기술연구소, \*\*영남대학교 섬유학부

## 1. 서론

건설산업이 고도화되고 건축물이 고층화 및 기능화되면서 재료에 요구되는 성질도 복잡 다양하게 되어가고 있으므로, 각종의 소재를 조합하여 각각 소재의 장점을 살리고, 단점을 보완하여 고도의 성질을 부여한 건설 복합재료의 연구개발이 활성화되고 있다. 또한 건축재료로서 사용되고 있는 시멘트 콘크리트 분야에 있어서도 건축용 섬유강화복합재료 (FRC)에 관한 연구는 활발하며 시멘트 섬유보강재의 개발에도 매우 의욕적이다. [1,2]

시멘트계 매트릭스의 보강용 섬유로서는 예로부터 석면이 있다. 석면은 많은 나라에서 사용되고 있는 것으로서, 석면 슬레이트, 석면관 등 대표적인 불연 건축재료로서 사용되어 왔다. 석면을 이용한 섬유보강 시멘트제품은 단지 값이 싸다는 것 뿐 아니라, 인장강도가 크고, 내화, 내열 및 내부식성이 우수한 특징을 가지고 있다. 이것은 석면이 천연의 광물섬유로서, 그 직경이 1 $\mu$ m 이하로 미세하여 대단히 큰 비표면적을 가지고 있기 때문에 시멘트와의 부착력이 큰 것이 장점이다.[3] 그러나, 최근에 들어서 미세한 석면분체가 폐암의 원인이 된다는 문제가 제기됨에 따라서 석면제품의 안전관리와 작업환경의 정비가 중요시되고 있다. 선진국에서는 이미 석면의 사용이 금지되어 있으며, 우리나라에서도 그 사용을 법적으로 규제하려고 법적 규정을 제정하고 있다. 이와 같은 상황에 따라 외국에서는 석면대체품으로써 여러 가지 섬유를 이용한, 섬유보강시멘트 및 콘크리트에 대한 연구가 행하여져 강섬유, 내알카리성 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드 섬유 등의 다종류의 섬유가 사용되어 왔다. 최근에는 고강도 아크릴섬유, 폴리비닐알코올섬유 등이 개발되어 시판되고 있다.

본 논문은 유기계 보강섬유로서 고강도의 폴리비닐알코올 (PVA) 섬유와 폴리아크릴로니트릴 (PAN) 섬유로 강화시킨 FRC를 다량의 물에 각 성분을 분산시킨 슬러리로부터 제조하는데 있어서, 보강섬유와 매트릭스와의 결합을 높이기 위하여 계면구조를 강화하는 방법에 관한 연구이다. 매트릭스 성분과 섬유상 성분으로 구성된 일반적인 복합재료에 있어서, 파괴 거동이나 탄성율은 매트릭스와 섬유의 상대적 강직성, 매트릭스와 섬유의 변형도의 상용성과 섬유의 치수 및 섬유-매트릭스의 계면접착강도에 달려 있다. 본 연구에서 사용한 슬러리법에서는 과량의 물에 슬러리 상태에서 섬유와 시멘트 입자가 물리적, 화학적인 인력으로 결합하지 않으면 섬유와 시멘트의 분리가 일어나므로 시멘트복합체의 제조가 용이하지 않을 뿐만 아니라, 건축재료로서 사용할 수 있는 물성도 얻을 수 없다. 따라서, FRC를 제조하는 경우에 있어서 섬유와 매트릭스 사이의 계면결합력은 복합체의 물성에 영향을 미치는 인자 중에서 가장 핵심적인 인자이다. 따라서, 계면의 특성, 특히 섬유 표면의 성질을 파악하고 이 특성을 변화시키기 위한 섬유표면처리 효과를 고찰함과 아울러 계면결착제 (coupling agent)를 이용하여 시멘트복합체의 물성을 강화시키는 것이 본 연구의 주된 목적이다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

본 연구에 사용할 시멘트는 국내의 한라시멘트를 선택하였다. 한라시멘트의 입자크기 분포는 5 ~ 100  $\mu\text{m}$  사이였으며, 40  $\mu\text{m}$  이상이 약 20%, 평균 표면적은 3229  $\text{cm}^2/\text{g}$  이었다. 시멘트보강용 유기섬유로서는 일본 구라레이사의 Vinylon<sup>®</sup> PVA 단섬유와 도레이사의 Atlan<sup>®</sup> PAN 단섬유를 사용하였다. Vinylon<sup>®</sup> 단섬유와 Atlan<sup>®</sup> PAN 단섬유의 물성은 표 1과 같다.

표 1 FRC용 PVA alc PAN 섬유의 물성

| 섬유     | 직경(d)<br>( $\mu\text{m}$ ) | 길이(l)<br>(mm) | 아스펙트<br>비(l/d) | 밀도<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 인장강도<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 탄성계수<br>( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | 신도<br>(%) |
|--------|----------------------------|---------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| PVA 섬유 | 16                         | 6             | 390            | 1.38                             | 1,300                               | $3.1 \times 10^5$                   | 4.0       |
| PAN 섬유 | 14                         | 6             | 430            | 1.32                             | 1,500                               | $3.7 \times 10^5$                   | 4.5       |

섬유와 시멘트의 계면결착제 (coupling agent)로는 폴리아크릴아미드 (PAM)를 사용하였다. 본 실험에서는 PVA보강섬유의 표면처리제로서 수용성인 nonion성 (N-PAM)과, 아미드기를 부분적으로 가수분해하여 anion기와 cation기로 치환한 anion성 (A-PAM) 및 cation성 (C-PAM)의 3 종류 PAM을 사용하였다. 충전재로서는 국내의 공영분체회사로부터 제공 받은 실리카이트유의 카올린 (Kaolin)을 사용하였다.

### 2.2 시멘트와 보강섬유와의 결합도 측정

섬유표면에 시멘트의 부착성을 조사하기 위하여, 물 1/에 시멘트와 섬유를 각각 13.5g, 1.5g (고형분 합계 15g)을 혼합한 후에 PAM의 종류와 함량을 변화시키면서 혼합물을 제조한 후에, 이를 40메쉬 필터로 거른 다음 VMS현미경으로 배율 500배로 관찰하였고 또한, 100 $\pm$ 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 건조한 후에 무게를 측정하여 섬유와 시멘트의 결합도를 계산하였다.

### 2.3 복합체의 배합 및 성형

혼합용 믹서에 물 1/를 넣고 펄프를 고형분 총무게에 대해 2.5% 혼합한 후, 30초 동안 해면하여 균일하게 분산시킨 다음,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 와 보강섬유 계면결착제인 폴리아크릴아미드를 넣는다. 여기에 PVA보강섬유를 함량별로 넣고 2분간 완전하게 혼합시켜서 균일한 분산물을 만든 후, 충전재 (고형분에 대한 무게비로 20%)와 시멘트를 넣고 2분동안 혼합시킨다. 슬러리 상태로 완전하게 분산된 혼합 슬러리를 가로 20cm, 세로 5cm, 높이 20cm의 성형압축시편용 형틀 및 인장시편용 형틀에 넣고 최대 하중 30톤의 압축기를 이용하여 50 $\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가하여 압축 성형하였다. 이때 보강섬유, 펄프, 시멘트 및 충전재의 총 무게합은 썬시편 경우에는 150g, 인장시편 경우에는 100g 으로 일정하게 하였다. 양생은 상저온 자연 양생법을 이용하였는데, 성형된 시멘트복합체 시편을 온도 22 $\pm$ 2 $^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 70 $\pm$ 5%의 항온항

습기내에서 28일간 시편을 양생하였다.

### 2.4 시멘트복합체의 물성 시험

제조한 복합체를 사용하여 고품분의 결착도, 함수율 및 흡수율, 선팅창률 및 선수축률, 휨강도시험 (Flexural Strength Test), 인장 강도시험을 행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

과량의 물에 시멘트와 PVA섬유를 혼합한 슬러리에 폴리아크릴아미드 결합제를 첨가한 후, 혼합물을 50메쉬로 여과한 후에 시멘트와 PVA섬유의 결착상태를 VMS 현미경으로 관찰한 것이다. PAM결착제가 들어가지 않은 경우에는 여과시에 대부분의 시멘트가 흘러나가서 PVA섬유의 표면에 시멘트가 거의 부착되어 있지 않은 반면에, PAM을 첨가한 경우에는 시멘트가 PVA섬유에 양호하게 부착되어 있는 것을 관찰할 수가 있었다. 특히, PVA섬유에는 anion계 PAM (A-PAM)을 첨가한 경우가 결착상태가 가장 우수함을 알 수 있었다.

표 2 PAM 종류 및 함량에 따른 PVA섬유와 시멘트의 결착도 (단위:%)

| PAM 함량<br>(mg/100g고형분) | PAM 종류 |       |       |
|------------------------|--------|-------|-------|
|                        | N-PAM  | A-PAM | C-PAM |
| 0                      | 33.9   | 33.9  | 33.9  |
| 20                     | 34.1   | 48.5  | 35.9  |
| 33                     | 34.1   | 55.3  | 41.4  |
| 47                     | 34.7   | 65.7  | 47.1  |
| 67                     | 36.4   | 77.2  | 55.4  |
| 100                    | 35.7   | 75.6  | 61.3  |

표 2는 PAM 종류 및 함량에 따른 PVA섬유와 시멘트의 결착도를 보여주는 것이다. A-PAM을 사용한 경우에 가장 높은 결착도를 보임으로써, VMS 관찰결과와 일치하였다. 이와 같이 PVA섬유에 있어서 Ion성 PAM이 비Ion성 PAM보다 우수한 결착효과를 부여하는 이유는 PVA 섬유의 표면에 극성이 강한 수산기(-OH)를 가지고 있기 때문인 것으로 생각된다.

섬유보강 시멘트복합체에서 보강섬유와 시멘트와의 계면결착도를 분석한 결과, PVA섬유와 PAN섬유에 공통적으로 N-PAM이 가장 효과가 적었으며, PVA섬유에는 A-PAM이 가장 적합한 coupling agent이고, 아크릴섬유에는 C-PAM이 최적이라는 결론을 얻었다. 또한, 공통적으로 최적의 PAM과 함께 금속염을 첨가해 주었을 때 결착도는 더욱 향상됨을 알 수 있었다. 이는 금속염이 물속에서의 섬유분산을 향상시키기 때문인 것으로 생각된다. 유기섬유보강 시멘트복합체의 물리적 특성 및 역학적 물성에 관하여 고찰한 결과, fig.2에서와 같이, PVA섬유가 아크릴섬유에 비하여 물성이 약간 높게 나타났는 바, 이것은 PVA섬유의 화학구조에 있어서 표면의 하이드록실기(-OH)가 시멘트와의 계면결착력을 향상시키기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 유기섬유중에서는 PVA섬유가 아크릴섬유 보다는 보강섬유로서 적합하다고 판단된다.



Fig. 1. Anion계 폴리아크릴아미드 coupling agent를 투입하였을 경우, PVA섬유와 시멘트의 결합상태를 Video Microscope로 관찰한 사진. (배율: 500배)

본 연구의 결과로, 슬러리법에 의한 PVA섬유보강 시멘트복합체의 제조에 있어서는 coupling agent의 존재가 복합체 제조뿐만 아니라, 제조된 복합체의 물성에도 결정적인 영향을 미친다는 결론을 얻었다.

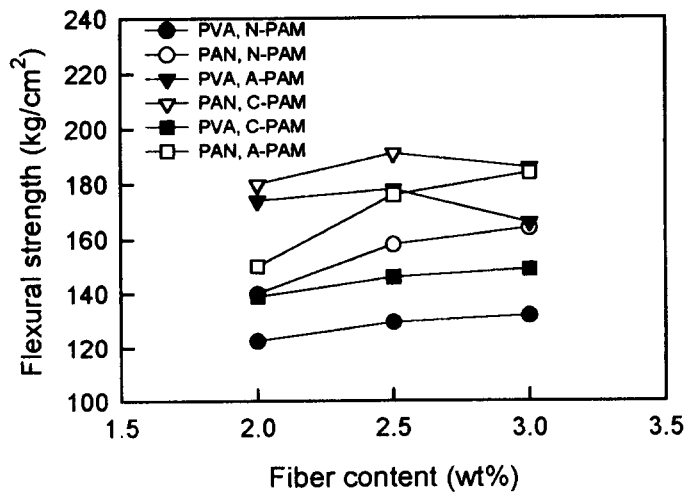


Fig. 2. 유기섬유 시멘트복합체의 flexural strength.

## 참고문헌

1. 小林一輔, "纖維補強 콘크리트-特性と應用-" オム社, 1981. 6
2. 複合材料 研究委員會, "纖維強化 セメント 콘크리트 複合材料の技術の現状と將來", 日本 콘크리트 工學協會, 1986. 10
3. S.S. Chissick and R. Derricett, "Asbestos," Volume 2. Wiley & Sons Ltd., 1983.
4. A.J. Majumdar et al. "Fiber Cement Composites : Research at BRE," composite, pp.17-27, Jan. 1979.
5. R.A.Wells, "Future Developments in Fiber-reinforced Cements, Mortar and Concrete", Composites, Apr.1982, pp.169-172
6. R.N. Swamy, "Fibre Reinforcement of Cement and Concrete," Materials and Structures (RILEM), Vol. 8, NO. 45, (1975)