

論文

탄소 단섬유를 현탁한 Cement-Slurry 의 Rheological Behavior

김혜영* · 이보성** · 박승범**

Rheological Behavior of Cement-Slurry Suspended
with Short Carbon Fibre

Hae-Yong Kim*, Bo-Sung Rhee** and Sung-Bum Park**

ABSTRACT

The Rheological behavior of cement of slurry suspended with short carbon fibre is important data for the preferred alignment of carbon fiber reinforced in cement mortar.

Since 1970 some studies on the carbon fiber reinforced cement composites(CFRC) were reported in the literature but basic study on the viscosity changes of cement slurry and alignment of carbon fibre in cement composites not appeared. Therefore in this study the stability of cement suspension, flow behavior and mixing technique were investigated for the alignment of carbon fibre in CFRC.

초 록

탄소 단섬유를 현탁한 시멘트 슬러리의 유변학적 거동은 시멘트 몰타르에 강화된 탄소 섬유의 선택적 배향에 중요한 데이터이다.

1970년 이래 CFRC에 대한 몇몇 문헌이 발표되었지만, 시멘트 슬러리의 점도 변화와 시멘트 복합재에서 탄소 섬유의 배향에 대한 기초 연구는 발표되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 CFRC에서 탄소 섬유의 배향에 대한 시멘트 현탁의 안정성, 흐름 거동과 혼합기술에 대하여 검토하였다.

* 정회원, 충남공업시험소

** 정회원, 충남대학교 공과대학

1. 서 론

옛날 인간이 집을 지을 때, 점토에 볏짚을 절단하여 섞어 줌으로써 벽의 구열을 방지하려고 한 것이 최초의 건축 구조물 복합재라고 말할 수 있으며[1], 최근 동경의 모리나가 빌딩에 탄소섬유 보강복합재(CFRC)를 사용함으로써 무게를 60%, 철근을 20% 감소하였다[2]. 이는 강도와 탄성계수가 극히 낮은 Kureha 등방성 핏치를 사용했으며, 이와같은 건축물의 막대한 이용 전망으로 Kureha는 현재의 생산량(450 ton/y)을 배가하고 있었다[2]. 이보다 더 앞선 CFRC의 막대한 이용은 이라크의 바그다드에 건설한 Al Shaheed 기념관이다. 이는 높이 40m, 바닥직경 45m의 두개의 반구형 돔으로 되었으며, 고온, 고습, 저온, 저습 등의 기상 조건에서 내구성 및 강도, 하중, 비용 등을 감안하여 약 10,000 m²의 판넬을 CFRC로 대체하였다[3].

CFRC는 1970년대 초부터 몇사람들로부터 동시에 연구보고 되었으며[4-7], 이들은 모두 PAN계 연속 탄소섬유를 가지고 UD, 2D 혹은 Cross-plyed quasi-isotropic 기법으로 복잡한 CFRC의 특성에 관한 연구가 주제이며, 단섬유로 시멘트와 혼합해서 균일하게 배열한 CFRC에 관한 연구는 아직 없다.

탄소섬유는 1960년대 후반부터 개발시판 되었으며, 보강재로써 강철, 초자, 폴리에티렌 섬유 등과 경쟁해야 한다.

오늘날 PAN계 탄소섬유는 강도면에서, 핏치계 탄소섬유는 탄성면에서 다른 섬유보다 월등히 우수하나 고가인 것이 경쟁에 불리하다[8]. 탄소섬유는 99.9%의 순수 탄소입으로 시멘트 매트릭스와는 반응하지 않는 것이 특징이다.

한편 matrix로 사용되는 시멘트는 물과 혼합하여 발열반응에 의해 굳어지며, 이렇게 굳어진 물질은 화학적으로 복잡한 화합물로 구성되었으므로 넓은 범위의 물리화학적 특성을 가졌다. 고화된 시멘트는 경질 구조내에 불활성 충전제를 혼합해서 안정성을 증가시키는 동시에 증량해야 한다.

이와같은 이유로 탄소섬유는 보강재로써 적합하며, 보통 섬유 보강복합재의 충전율은 실제 70%까지 이를 수 있으나 CFRC의 경우는 10% 이상의 탄소섬유를 몰탈에 혼합시키는 것이 어렵고 concrete

의 경우는 2% 정도까지는 잘 섞이는 것으로 보고되고 있다[9]. 그러나 이만한 비율이면 matrix의 크랙이 일어나지 않을 만큼 충분한 양은 아니다. 이유는 brittle한 cement matrix 내에서 matrix의 크랙이 발생한 다음 섬유가 크랙을 감당할 수 있는 위치와 양이 존재해야만 효과적인 보강이 되기 때문이다. 그러므로 탄소섬유가 현탁된 안정한 cement의 slurry를 만들 수 있어야 하며, 이런 slurry의 유동이 기온변화에 어떤 영향을 받는지 연구되어야 한다.

따라서 본 연구는 CFRC의 제조를 위한 기초자료로서 탄소단섬유를 시멘트와 현탁시키고 그의 slurry의 유변학적 거동을 연구한 것이다.

2. 실험

2.1. 재 료

매트릭스로서 사용한 시멘트 분말은 일반 시판품이며, 보강재로 사용한 탄소섬유는 본 저자의 실험실에서 PAN precursor로부터 생산한 것이다[10].

이들의 물리적 특성은 다음 Table 1에 나타낸 바와 같이 시멘트의 평균 입자크기는 17 μ m이며, 밀도는 310 g/cm³, 비표면적은 0.351 m²/gr이다. 반면에 탄소섬유는 7 μ m의 직경, 1.7 g/cm³의 밀도, 표면처리 전의 비표면적은 0.839 m²/gr, 표면처리 후는 1.761 m²/gr이다.

밀도 차가 크므로 영킬 것을 고려하여 긴 탄소섬유를 중형비($\frac{L}{D}$) 143가 되도록 면도날로 절단하여 사용했으며, 표면처리 후의 비표면적은 시멘트보다 약 5배나 크므로 탄소섬유의 혼합율을 대응량 만큼

Table 1. Specifications of cement and carbon fibre

Cement	평균입자	밀도	비표면적	
	17 μ m	3.10g/cm ³	0.351m ² /gr	
탄소섬유	평균입자	밀도	표면처리전	표면처리후
	7 μ m	1.70g/cm ³	0.839m ² /gr	1.761m ² /gr

저하시킬 수 있다.

2. 2. 방 법

탄소섬유의 표면처리는 14% (중량) 중크롬산칼리 와 35% (중량) 황산용액에서 질소 기류에서 비점까 지 가열 50분간 처리하였다. 처리 후는 탄소섬유를 세척하고 건조하여 BET 측정법에 의해 상기 비표면 적을 얻은 것이다. Table 1에서 보다시피 처리 전보 다 비표면적이 약 2배 증가했으며, 중량감소는 약 8% 였다. 따라서 이 정도의 강도 저하를 동반하였 다. 물과 시멘트의 slurry 에 탄소섬유를 분산시키 는 문제는 간단하지 않기 때문에 직경 8cm, 길이 25 cm의 초차 씨린더에 slurry 를 넣고 교반기와 초음 파기를 사용하여 분산효과를 서로 비교하였다.

Fig. 1과 같이 교반기(a)는 multiple turbine 의 stirrer 를 1/16 마력의 모터를 사용하여 80rpm으 로 회전시켰으며, 초음파기(b)는 20 KHZ, 70W, 0.5 KVA 의 성능에 Horn 의 직경 4cm, 55.73 W/cm²의 출력밀도와 수중 중파 속도 1.4×10^5 W/cm², 7cm의 파장(λ)을 주므로 수위를 $1 \times \lambda$, $2 \times \lambda$, $3 \times \lambda$ 로 변화시켰다. 특히 교반기는 표준형 규격 을 사용했으며, 직경의 1/12에 해당하는 baffle 을 벽에 부착하였다.

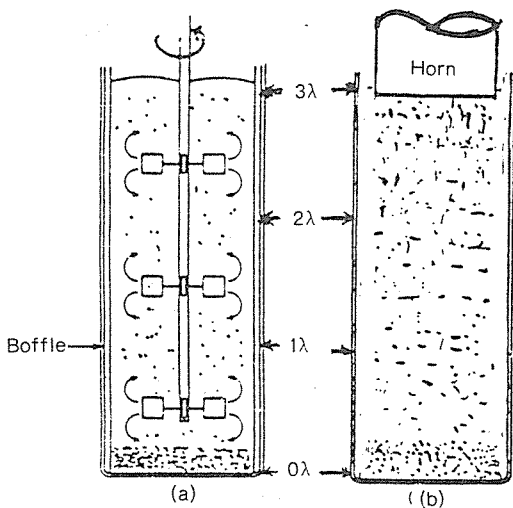


Fig. 1 Agitation by means of multiple turbrine(a) and of ultrasonic method(b)

물과 시멘트의 비율(W/C)은 0.8로 slurry 를 만 들고 탄소섬유와 시멘트의 비율(CF/C)은 0.01-0.05로 변화시키면서 양혼합법에 의한 분산과 안정성 을 비교하였다. 초음파에 의한 분산방법은 이미 다 른 보문[11]에 상술하였기 때문에 여기서는 생략하 였다.

3. 결과와 고찰

3. 1. 분산과 안정성

물-시멘트-탄소섬유의 혼합분산과 안정성을 측정 하는 기준으로서는 물속에 가라 앉은 고체 혼합물의 교반에 의해서 물의 표면까지 상승하는데 필요한 시 간을 분산시간으로 하였으며, 반대로 안정도는 현탁 된 혼합물을 정치함으로써 물의 표면으로부터 내려 가는 속도를 가지고 정의하였다.

Fig. 2에는 수위(단위 파장)에 따른 분산 시간을 나타내었는데 교반기에 의한 분산시간은 multiple stirrer 를 사용했기 때문에 수위에 의한 영향은 크 지 않으나, 초음파의 경우는 저수위에서 굉장히 빠

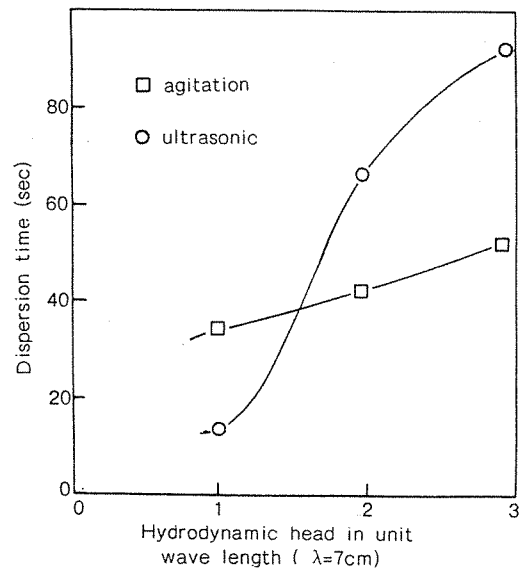


Fig. 2 Dispersion times depend on the hydrodynamic head

른 속도로 분산되지만 단위 파장 이상에선 대단히 늦어진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2에서 Unit wave length 1.0이하는 교반기의 표준 규격 이하이기 때문에 측정 data가 없다. 교반기에 의한 분산 소요시간은 30-50초인 반면, 초음파에 의한 분산 시간은 단위 파장의 수위에서는 10초, $3 \times \lambda$ 의 수위에서는 90초나 된다. 이와같이 초음파에 의한 분산은 그의 단위 파장 내에서는 교반기 보다 훨씬 빠르며, CSTR에서 연속적 조작이 가능할 것이다.

다음 Fig. 3에는 분산상의 안정도에 대해서 나타낸 것인데, 이에 의하며 120초 이상의 초음파 조사에 의해서만 장시간 안정성이 유지된다는 것을 알 수 있다. 교반기에 의한 분산상은 20분이 지나면 거의 가라 앉는다.

이와같이 초음파에 의한 분산은 교반기 보다 빠른 속도로 일어나면서 안정성이 좋기 때문에 연속적 조작이 가능하다.

3.2. 점 도

일반적으로 점도는 온도에 민감하기 때문에 겨울

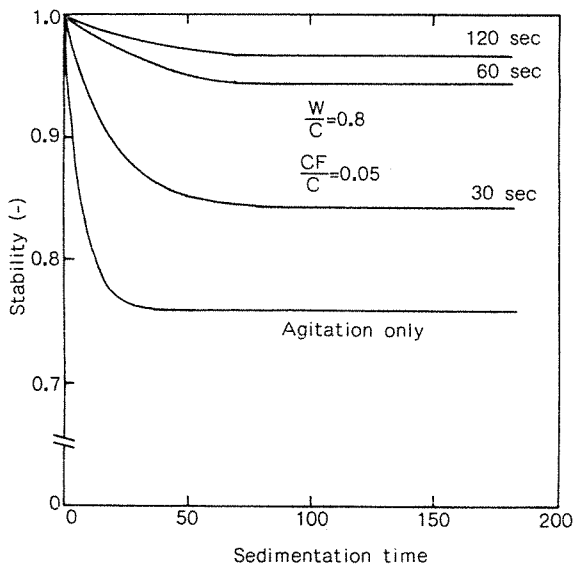


Fig. 3 Stabilization of slurry dispersed by ultrasonics

과 여름의 온도 범위에서 Cement-물-탄소섬유의 혼합물의 점도를 측정하였다. 단 -10°C 에서는 얼기 때문에 20%의 ethylalcohol을 첨가했다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 -10°C 에서는 90-120 P의 점도를 나타내지만 여름철인 20°C 에서는 10-25 P로 강아했다.

이와같이 동기와 하기간에 점도차가 큼으로 탄소 단섬유의 혼합과 배열에 큰 영향을 줄 것이라는 것을 예견할 수 있다.

다음 Fig. 5에는 apparent viscosity를 shear rate와의 관계를 나타낸 것이다. 1%의 탄소섬유를 혼합했을 때는 거의 뉴톤 유체와 같이 점도 변화가 없었으나 3%, 5%로 증가함으로써 점도는 1%때 보다 크게 증가하고, shear rate의 증가에 따라서는 급강하하는 비-뉴톤 유체성을 나타내고 있다. 그러나 shear rate가 증가함에 따라서 점도는 감소함으로써 수송시에 이점이 있다.

그러나 시간의 경과에 따라서 점도는 증가하며, shear rate 증가에 대해서는 둔감해 진다. 이로 미루어 이혼합 유체는 시간의 유체이며, rheopectic, 유체 거동의 시험을 알 수 있다(Fig. 5(b) 참조).

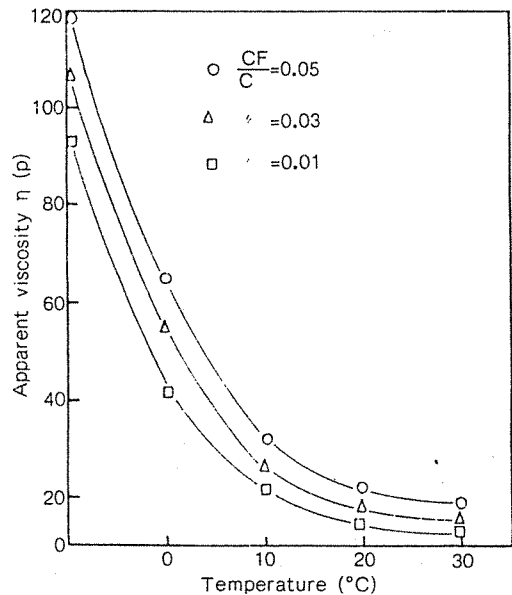


Fig. 4 Effects of temperature on the viscosity of slurry

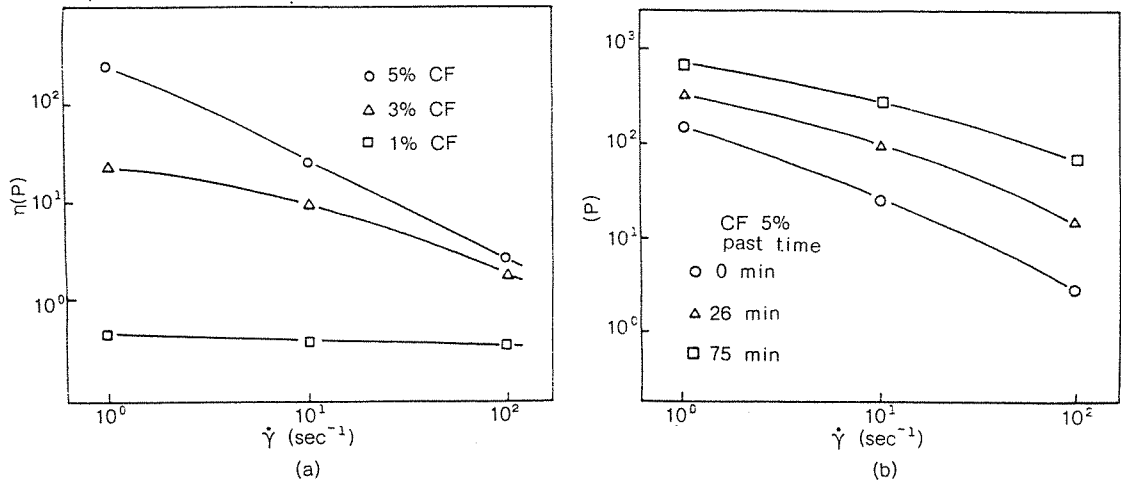


Fig. 5 (a) Changes of apparent viscosity with shear rate
(b) Changes of apparent viscosity

위 결과를 shear stress 대 shear rate로 plot 한 것이 Fig. 6이며, 측정은 시간의존을 주지 않기 위해서 짧은 시간 내에서 행했다. 이 그림으로부터 intercept와 slope를 구하여 Table 2에 나타내었는데 흐름 일관성 지수 K' 는 0.9-0.95, 거동 지수 n' 는 모두 1 이상을 나타내므로 dilatent 유체 거동을 하고 있다.

특히 5% 혼합물이 더 현저한 shear rate thickening을 나타내고 있다. 따라서 shear stress가 증가하는 injection molding은 섬유 배열이 곤란해짐으로 narrow slit nozzle을 통해 왕복운동 혹은 각도를 변화시킴으로서 임의로 원하는 배열을 얻을 수 있을 것이다.

이와같은 구안을 다음 Fig. 7에 나타내었는데, 혼합된 slurry를 좁은 slit nozzle을 가진 box에 투입하고 왕복 운동만 하면 UD로, 방향을 90° 바꾸면, 2D의 복합재를 얻을 수 있다.

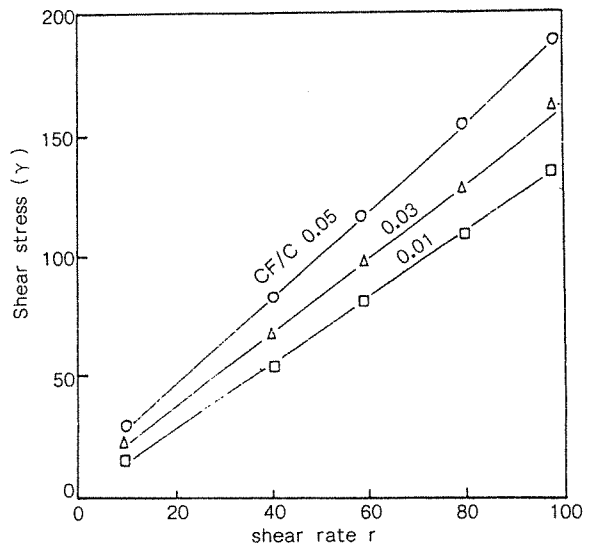


Fig. 6 Rheological behavior of water-cement-carbon fiber mixtures

Table 2. Rheological indices of water-cement-carbon fibers slurry

CF	1%	3%	5%
K'	0.943	0.953	0.911
n'	1.189	1.184	1.201

4. 결 론

본 연구는 물-시멘트-탄소단섬유를 혼합한 slurry의 흐름 변형 거동을 조사함으로써 CFRC의 제

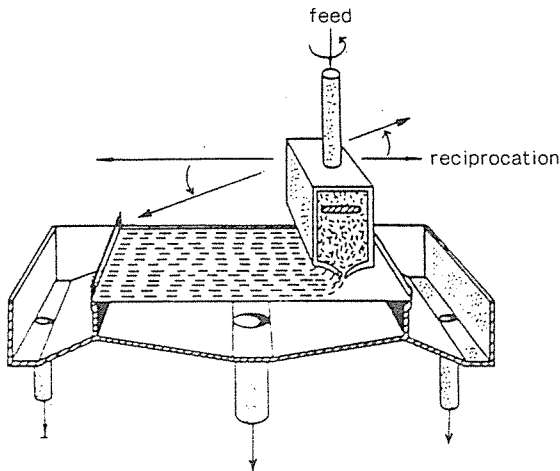


Fig. 7 Narrow slit nozzle process for aligning short fibres

조에 대한 기초 자료를 제시코저 한 것으로 다음과 같은 예측을 할 수 있었다.

1) 혼합물의 분산은 30초 이상, 안정성은 120분 이상, 초음파를 조사함으로써 복합재 제조공정에 마출 수가 있다고 판단되었다.

2) 혼합물은 즉시 shear-rate-thickning을, 시간경과시는 rheopectic fluid 거동을 하고 있다.

3) 그러므로 injection molding을 피해야 한다.

참고문헌

1. P. Brenner, "Stand und Aussichten der Entwicklung Hochfester Verbundwerkstoffe", Z. Mettalkunde, 58, 585(1967).
2. S. Otani, Gunma University, Private Information, June, 1977, Unido-Report by B.

Rhee, Chungnam University, Aug. (1987).

3. 秋浜 291B 繁幸 等 "炭素 纖維補強 콘크리트 (CFRC)의 建築構造物에 適用(I)" 鹿島建設技術研究所 年報 제 31 호 昭和 58 年 6 月.
4. 秋浜繁幸 等 "炭素纖維를 이용한 시멘트계 複合體(CFRC)의 力學性 質에 관한 實驗研究所" 콘크리트 工學, 20(8), 751(1982).
5. M.A. Ail, A.J. Majumder, D.L. Rayment: Carbon Fiber Reinforcement of Cement, Cement and Concrete Research, 2, 201(1972).
6. J.A. Waller, Carbon Fiber Cement Composites Fiber Reinforced Concrete ACI Special Publication SP-44, 143(1974).
7. A.J. Majumder; Properties of Fiber Cement Composites, Fiber-Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, 279-313(1975).
8. E. Fitzer Edited "Carbon Fibers and Their Composites, Springer-Verlag, Heidelberg, New York, 6(1985).
9. J. Aveston, R.A. Mercer and J.M. Sillwood; The Mechanism of Fiber Reinforcement of Cement and Concrete, Part 1. Nat. Phys. Lab. Report SI, No 90/11/98, Jan. (1987).
10. 이보성 외 "탄소섬유 개발 기술의 공업화 연구" 한 국기계연구보고서 Bist 180-359C (1985).
11. B. Rhee, H.Y. Kim, A Study on the Dispersion by Means Ultrasonics J. of Korean Institute Educators, 10, 30(1985).
12. B. Rhee, H.Y. Kim, On the Production of Carbon Whiskers and its Application to the Cement-Composite(1), Report of the Ind. Ed. Research Center, Chungnam National University, 9, 78(1986).