

유기질 섬유 종류가 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향

Influence of Organic Fiber Kinds on Engineering Properties of Concrete

○신 현 섭*

Shin, Hyun-Sup

김 광 련**

Kim, Kwang-Ryeon

이 건 철***

Lee, Gun-Cheol

김 병 기****

Kim, Byung-Gi

한 천 구*****

Han, Cheon-Goo

Abstract

This study investigated influence of organic fiber type and contents on engineering properties of concrete. Test showed that increase of fiber contents decreased fluidity of fresh concrete and it was even worse in concrete adding cellulose fiber. It is decided that concrete containing more than proper level of fiber should be considered. In addition, concrete adding more fiber, nylon and cellulose, resulted in increase of air content but it was satisfied in aimed value. Bleeding capacity of concrete containing more fiber significantly declined and setting time of that was also slightly retarded. For the properties of strength, both compressive and tensile strength of fiber containing concrete were indicated at similar value to control concrete. However, it is clear that if those concrete containing fiber revised the value of increased air contents at fresh state, the strength value of that would be slightly increased.

키 워 드 : 섬유보강 콘크리트, 나일론 섬유, 셀룰로오스 섬유

Keywords : Fiber Reinforced Concrete, Nylon Fiber, Cellulose Fiber

1. 서 론

최근 우리나라의 건축 산업은 고도화, 고층화 및 대형화 되어감에 따라 대표적인 건설재료인 콘크리트에 요구되는 성질 또한 다양하고 복잡하게 발전하고 있다. 즉, 콘크리트는 압축 강도가 크고, 내구, 내화성이 우수하며 경제성, 시공성, 형태구성의 편리함 등의 장점으로 많이 쓰여지고 있지만, 강도발현에 시간이 소요되고, 인장에는 약한 취성적 성질과, 건조수축이 크고, 타설 직후 가소성의 유동체로 응결되는데, 이때 건조에 따라 인장응력이 작용하면 소성수축 균열이 발생하는 등 문제점이 존재한다.

이러한 콘크리트의 단점을 보완하기 위한 방법 중 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete)는 이전부터 수많은 연구가 진행되어져 왔고, 최근에도 다양한 섬유를 사용하여 그 성능을 향상시키기 위한 방안이 검토되고 있다. 그러나, 지금까지 사용되어져 왔던 섬유들은 일장일단의 특성을 가지고 있는데, 특히 유기질 섬유는 무기질 섬유에 비해 매트릭스내 분산성이 뛰어나고, 저렴한 가격인 반면 낮은 탄성계수, 표면이 소수성의 경우 시멘트 페이스트와의 부착력 부족, 섬유 뭉침 현상으로 인한 유동성 저하 및 표면 마감시 헤어 노출로 인한 마감성능 저하 등의 단점이 보고 되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 유기질 섬유 중 전술한 바와 같은 단

점에 효과가 있는 것으로 알려진 나일론 섬유(Nylon Fiber : 이하 NY 섬유)에 대하여 섬유의 길이 및 특성을 달리하는 종류 변화에 따라 그 콘크리트의 공학적 특성을 검토하고, 아울러 최근 많이 보급되고 있는 셀룰로오스 섬유(Cellulose Fiber : 이하 CEL섬유)와도 비교 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 실험방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 배합사항으로 Plain 배합은 W/C 52%, 목표 슬럼프 및 목표 공기량을 각각 $180 \pm 15\text{mm}$, $4.5 \pm 1.5\%$ 로 하고, 여기에 각각의 섬유를 혼입하는 것으로 하였는데, 나일론 섬유는 길이와 직경이 다른 2종류의 섬유를 혼입하는 것으로 혼입량은 0.3, 0.6, 0.9, 1.2kg/m^3 의 4수준으로 하였다. 또한, 셀룰로오스 섬유는 1종류 섬유에 대하여 혼입량을 0.6, 0.9, 1.2kg/m^3 의 3수준으로 하여 비교하는 것으로 총 12배치를 실험계획 하였다.

각 배치별 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사이에 대한 계획은 표 1과 같다.

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

** KG케미칼(주) 건설소재연구소 연구원, 정회원

*** 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 정회원

**** KG케미칼(주) 건설소재연구소 소장, 정회원

***** 청주대학교 건축공학부 교수, 정회원

표 1. 실험계획

실험 요인		실험 수준			
배합 사항	W/C (%)	1	52		
	목표 슬럼프 (mm)	1	180±15		
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5		
	섬유 종류	3	<ul style="list-style-type: none"> 무혼입 (Plain) NY-1 NY-2 CEL 	섬유 혼입량 (kg/m ³)	<ul style="list-style-type: none"> 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 0.6, 0.9, 1.2
실험 사항	굳지않은 콘크리트	4	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프 공기량 블리딩 응결시간 		
	경화 콘크리트	2	<ul style="list-style-type: none"> 압축강도 (3일, 7일, 28일) 인장강도 (28일) 		

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2~5와 같다. 즉, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 충북 옥산산 강모래, 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 쇄석을, 혼화제로써 고성능 감수제는 국내산 K사의 나프탈렌계, AE제는 국내 K사의 SLES 음이온계를 사용하였으며, NY 섬유는 국내에서 판매되고 있는 K사의 제품을, CEL 섬유는 국내산 S사 제품을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3.483	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 3. 골재의 물리적 성질

종류	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.59	2.89	0.9	1,589	0.9
굵은골재	2.62	6.75	0.69	1,563	0.10

표 4. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도	pH
고성능 감수제	나프탈렌계	액체	담갈색	1.19	7.0
AE제	SLES 음이온계	액체	무색	1.04	6.0

표 5. 섬유의 물리적 성질

종류	밀도 (g/cm ³)	섬유길이 (mm)	유효직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	녹는점 (°C)
NY-1	1.16	6	0.023	896	5,168	225
NY-2	1.16	19	0.023	896	5,168	225
CEL	1.50	2.92	0.015	510	6100	270

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 블리딩은 KS F 2414의 규정에 의거 블리딩수를 측정된 후 블리딩량으로 평가하였고, 응결시간은 KS F 2436의 규정에 의거 프록터 관입저항 시험방법으로 측정하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2403, 인장강도는 KS F 2423에 의거 각각 계획된 소정의 재령에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 1은 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 유동성을 나타낸 것이다. 전반적으로 유동성은 NY-1 섬유, NY-2 섬유 및 CEL 섬유 공기 혼입량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 섬유 혼입량이 증가함에 따라 매트릭스 상의 네트워크 형상이 치밀해져 있기 때문으로 사료된다. 또한, 섬유별에 따라서는 NY-2의 경우 같은 종류의 섬유인 NY-1보다 슬럼프가 더욱 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유의 길이가 길어짐에 따라 부착력 및 점착력이 증가하므로 유동성 저하가 큰 것으로 사료되며, CEL 섬유는 NY-1 섬유 및 NY-2 섬유보다 슬럼프가 급격히 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 CEL 섬유 제조시 사용되는 주원료가 목재를 특수 가공한 것이기 때문에 콘크리트 매트릭스 내에서 배합수를 흡수하여 유동성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

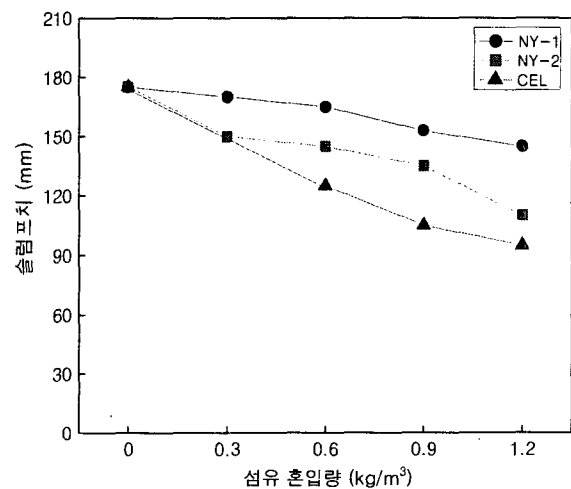


그림 1. 섬유별 혼입량 변화에 따른 유동성

그림 2는 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 공기량은 모든 섬유의 경우 혼입량이 증가함에 따라 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이에 대하여 기존의 문헌에서는 시멘트 매트릭스 내의 섬유 상호간에 미세 공극이 증가하여 발생하는 것으로 보고하고 있는데, 1) 본 연구에서의 결과도

유사한 경향으로 분석된다. 또한, 섬유별에 따라서는 CEL 섬유보다 NY-1 섬유 및 NY-2 섬유가 조금 더 증가하는 것으로 나타났다으나 그 차이는 크지 않은 것으로 분석된다.

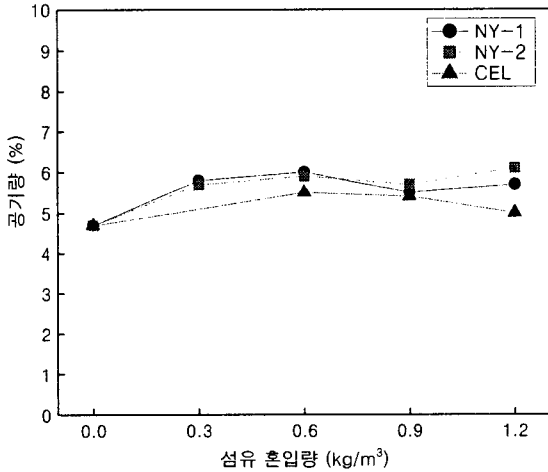


그림 2. 섬유별 혼입량 변화에 따른 공기량

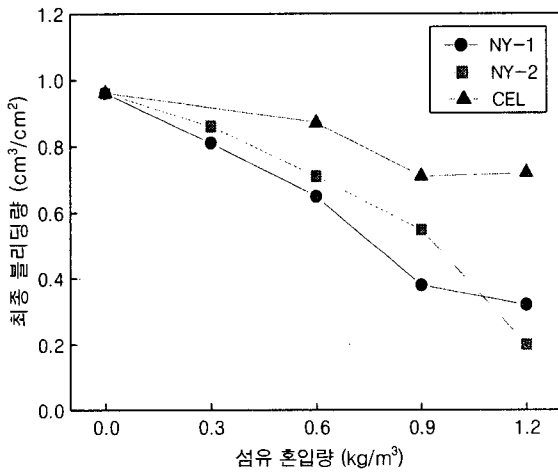


그림 3. 섬유별 혼입량 변화에 따른 최종 블리딩량

그림 3은 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 블리딩량을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 섬유 혼입량이 증가할수록 블리딩량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 내부에 수화반응을 하고 남은 잉여수가 표면으로 상승하려는 것을 매트릭스내에 그물망처럼 존재하는 섬유들이 잉여수의 상승을 억제하기 때문으로 사료된다. 또한, 섬유별에 따라서는 NY-1 섬유 및 NY-2 섬유가 CEL 섬유보다 더 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유길이가 길어서 그물망의 효과가 증대되어 매트릭스 내부에 치밀한 구조를 만드는데 용이하기 때문으로

사료된다.

그림 4는 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. 전반적으로 모든 섬유의 경우, 섬유가 혼입됨에 따라 응결시간은 Plain에 비해 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 블리딩의 영향에 기인하여 콘크리트 매트릭스 내에 많은 잉여수가 존재하게 되어 응결을 지연시키는 원인으로 사료된다. 또한, 섬유 종류별에 따라서는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

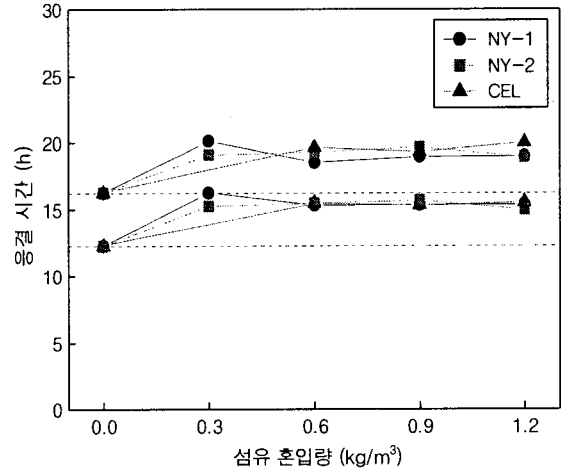


그림 4. 섬유별 혼입량 변화에 따른 응결시간

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 5는 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 모든 섬유 혼입량이 증가함에 따라 모든 재령에서 0.9kg/m³까지 소폭 증가하는 것으로 나타났으나, 1.2kg/m³에서는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 섬유가 혼입됨에 따라 콘크리트 매트릭스를 밀실하게 하여 어느 정도 강도를 증진시키는 효과가 있지만, 단위체적당 섬유수가 너무 많아지면서 콘크리트계면과의 부착력 감소와 섬유분산의 불량에 기인하여 압축강도는 감소하는 것으로 사료된다. 섬유별에 따라서는 NY-1 섬유 및 NY-2 섬유는 CEL 섬유보다 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 NY 섬유가 콘크리트 매트릭스와의 부착력이 더 우수하기 때문으로 사료된다.

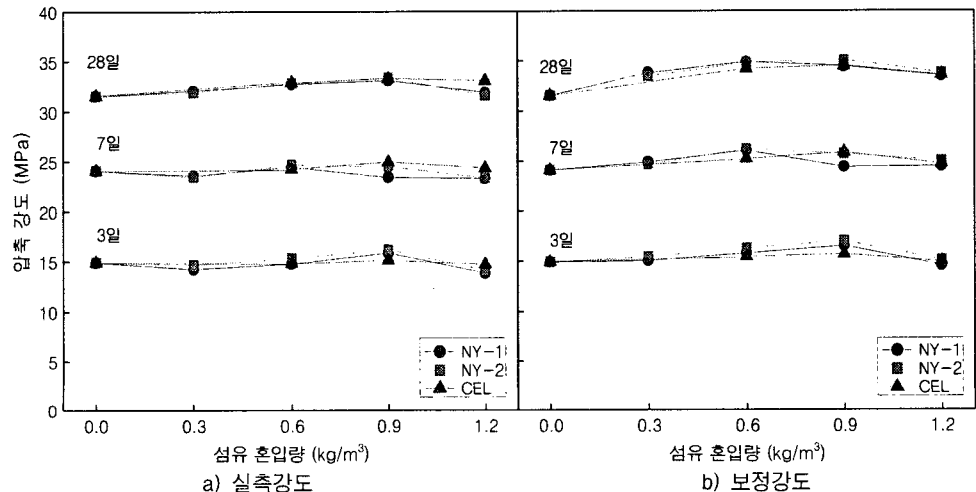


그림 5. 섬유별 혼입량 변화에 따른 압축강도

또한, 모든 섬유 혼입량이 증가됨에 따라 실측 강도와 보정 강도에서 압축강도의 차이를 볼 수 있는데, 이는 굳지 않은 상태에서의 공기량 증가를 보정한 것이다. 즉, 공기량 1%의 증가에 대한 압축강도의 감소를 5%로 가정하여 공기량 보정을 할 경우 압축강도는 다소 증가하는 것으로 분석된다.

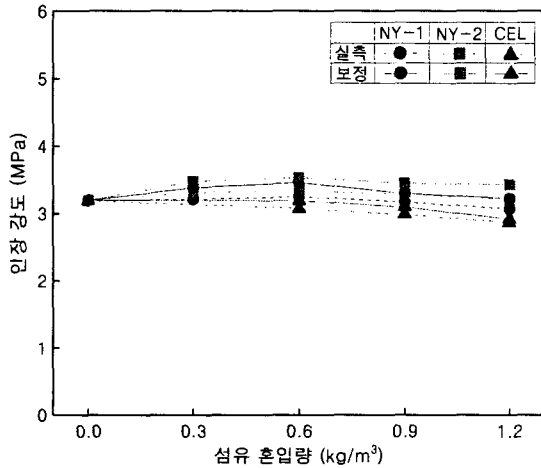


그림 6. 섬유별 혼입량 변화에 따른 인장강도

그림 6은 섬유종류별 혼입량 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. 인장강도는 섬유의 길이가 짧고, 직경이 작을수록 섬유간 거리가 가까워져 최대 응력이 커진다는 기존의 연구결과와는 달리, NY 섬유의 물리적 성질이 우수함에 따라 CEL 섬유보다 미소한 증가의 경향을 나타내었다. 또한, 모든 섬유 혼입량 0.6kg/m³까지는 같거나 미소한 증가 경향을 나타내고 있으나, 이후엔 약간 감소하는 것으로 나타났다. 이는 섬유 혼입량 증가에 따른 공기량 증가, 콘크리트계면과의 부착력 감소 및 섬유분산의 불량에 기인하여 인장강도는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 공기량 보정시에는 Plain보다 증가하는 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 연구는 섬유보강 콘크리트에 영향을 주는 유기질 섬유 중 NY 섬유 및 CEL 섬유의 길이 및 혼입량 변화에 따라 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성은 모든 섬유의 혼입량이 증가할수록 콘크리트간의 네트워크가 치밀해지고 섬유의 표면적이 증가하여 부착력 및 점착력이 증가하므로 모두 감소하는 것으로 나타났으며, 섬유 종류별에 따라서는 주원료가 목재인 CEL 섬유의 감소가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 공기량은 모든 섬유의 경우 혼입량이 증가함에 따라 섬유 상호간에 미세 공극의 증가로 소폭 증가하는 것으로 나타났고, NY 섬유가 CEL 섬유보다 조금 더 증가하는 것으로 나타났으나 모두 목표 공기량은 만족하였다.

- 3) 불리딩량은 모든 섬유 혼입량이 증가할수록 콘크리트 매트릭스 내의 섬유가 그물망처럼 존재하여 상승하려는 잉여수를 억제하기 때문에 불리딩량은 감소하였다.
- 4) 응결시간은 모든 섬유가 혼입됨에 따라 불리딩의 영향에 기인하여 응결이 지연되는 것으로 나타났으며, 섬유별에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다.
- 5) 압축강도는 모든 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 모든 재령에서 0.9kg/m³까지 증가하는 것으로 나타나, 섬유가 혼입됨에 따라 어느 정도 강도는 증가하였다. 또한, 공기량에 따른 압축강도를 보정할 경우는 다소 증가하는 것으로 분석되었다.
- 6) 인장강도는 섬유 혼입량이 증가함에 따라 모든 경우 0.6kg/m³까지 같거나 미소한 증가를 보인 후 감소하는 것으로 나타났으며, 공기량 보정을 실시하면 NY 섬유 혼입 시 인장강도는 확연히 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한만엽 ; PPF섬유의 첨가가 콘크리트 공극구조에 미치는 영향, 대한토목학회논문집, 14권 5호, 1994, pp.1081~1089.
2. 대한건축학회 ; 섬유보강콘크리트, 1997.
3. 신현섭, 박용규, 김경민, 이진철, 황인성, 한천구 ; 유기질 섬유보강재를 사용한 시멘트 모르타르의 공학적 특성, 한국건축시공학회, Vol.5 No.2, pp.39~42, 2005. 11
4. 김경민, 주은희, 황인성, 지석원, 이성연, 한천구 ; 셀룰로오스섬유를 사용하는 고성능 콘크리트의 내화특성, 콘크리트 학회지, 제16권 2호, pp.557~560. 2004.
5. 김병기, 김용태, 안태호, 김광련 ; 섬유보강 콘크리트에서 나일론 섬유의 응용가능성, 콘크리트 학회지, 제 16권 6호, pp.65~73. 2004. 11.
6. Betteman, L.R., Ouyang, C., and Shah, S.P., "Fiber matrix interaction in microfiber reinforced mortar", Elsevier Science Inc, New York, U.S.A, pp.128~138. 1995.