

콘크리트 초기균열 제어를 위한 합성섬유의 특성 및 현장 적용 사례

Synthetic Fiber to Control the Early Crack in Concrete and Application in Construction Field



김병기*

Byung-Gi Kim



김광련**

Kwang-Ryeon Kim



권용주***

Yong-Joo Kwon



한천구****

Cheon-Goo Han

1. 머리말

콘크리트 또는 모르타르의 시멘트 경화체는 내구성 및 내화성이 우수한 경제적인 건설재료로서 광범위하게 사용되고 있는 재료이나 일반적으로 이 시멘트 경화체는 인장강도가 작고 인성이 작은 취성적인 파괴거동의 취약점을 가지고 있다. 이로 인하여 다양한 형태의 균열을 발생시키며, 이러한 균열은 구조물에 있어서 시각적, 구조적, 내구성 등의 성능저하를 유발하며 콘크리트의 투수성을 증가시켜 심할 경우 구조물의 붕괴를 유발시킨다.

이러한 균열을 발생시키는 원인에는 콘크리트 타설 후 굳지 않은 소성상태에 있을 때 발생하는 소성균열과 콘크리트가 경화하면서 지속적인 수분의 증발로 인하여 발생하는 건조수축균열 등이 있다. 이러한 소성 및 건조수축균열을 제어하기 위하여 여러 가지 방법들이 모색되어 왔는데, 그중에서도 콘크리트가 굳지않은 소성 상태에서 발생하는 균열을 제어하기 위하여 단섬유를 보강재료로써 사용하는 방법은 단섬유가 콘크리트의 인장강도를 증가시켜, 콘크리트 내에서 발생하는 미소균열의 억제에 효과가 있다고 알려져 다량 사용되어지고 있다.

현재는 콘크리트 보강섬유로써 셀룰로오스(cellulose, 이하 cell) 섬유가 많이 사용되어지고 있으며 이외에도 폴리프로필렌(polypropylene, 이하 PP), 나일론 등 다양한 종류의 섬유가 개발되어 현장에서 사용되어지고 있다. 이번 특집에서는 콘크리트 초기균열 제어에 사용되어지는 합성섬유에 대하여 논하기로 한다.

* 정회원, KG케미칼(주)건설소재사업본부 본부장

** 정회원, KG케미칼(주)건설소재연구소 건설재료연구팀 연구원

*** 정회원, KG케미칼(주)건설소재연구소 건설재료연구팀 연구원
yjkwon@kgchem.co.kr

**** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2. 소성균열의 형상⁵⁾

2.1 소성수축균열

소성수축균열은 포장, 슬래브, 벽체 등과 같이 표면적이 넓은 구조물이나 사질토 지반 위에 설치된 기초 등에서 발생할 가능성이 크며, 또한 건조하고 바람이 많이 부는 고온 기후에서 타설된 콘크리트는 보통 기후에서 타설된 콘크리트보다 균열이 발생할 가능성이 크다. <표 1>은 상대습도에 따라 소성수축이 일어날 수 있는 임계온도를 나타낸 것이다. 표는 풍속이 16 km/hr(10 mph)이고 콘크리트가 외기온도에 비하여 5.6℃ (10°F)를 때를 기준으로 작성된 것이다.

표 1. 소성수축균열이 발생할 수 있는 임계온도

콘크리트온도(℃)	40	38	35	32	29	27	24
상대습도(%)	90	80	70	60	50	40	30

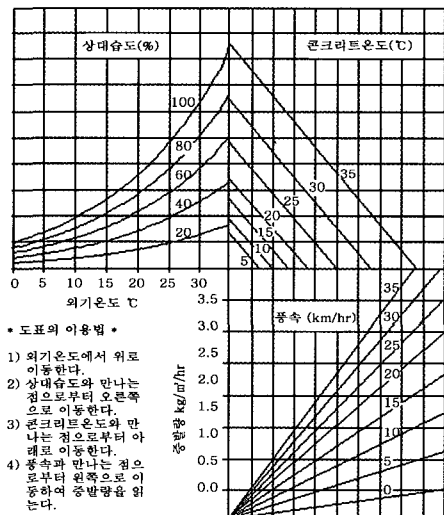


그림 1. 수분증발량 추정표

소성수축에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 증발량이다. 증발량은 <그림 1>에 의하여 예측할 수 있다. 증발량을 추정하기 위해서는 콘크리트의 온도, 외기온도, 상대습도, 풍속 등을 측정하여야 한다. 증발량을 추정하는 다른 하나의 방법은 증발 접시를 이용하여 직접 측정하는 방법도 있다. 증발률이 0.5 kg/m²/hr를 초과하는 경우 소성수축이 발생할 가능성이 있으며, 증발률이 1kg/m²/hr를 초과하는 경우에 특별한 주의가 요구되며 대책이 마련되어야 한다. 사후에 소성 수축균열이 생길 가능성을 체크하는데 AMeDAS(automated meteorological data acquisition system) 등의 기상 데이터로 그날의 외기 온 최고값, 상대습도 최저값, 최대 풍속, 콘크리트 부어넣기 온도 등을 사용하여 그림에서 수분증발량을 구하여 위의 증발률을 초과할 때는 소성 수축균열이 발생할 가능성이 크다고 추정할 수 있다. 소성수축균열은 일단 발생하면 균열을 없애는 것이 거의 불가능하며, 이러한 균열은 이후 염화물이나 수분의 침투를 용이하게 하여 콘크리트의 열화 및 손상을 가속화시키는 원인이 된다.

2.2 소성침강균열

콘크리트는 마무리 작업이 끝난 뒤에도 계속해서 압밀되면서 침하하게 된다. 이때 콘크리트의 침하가 철근이나 매설물 등 장애물에 의해 저해를 받게 되면 콘크리트의 표면부로 전단 또는 인장응력이 발생하여 장애물이 위치한 상면 콘크리트 표면을 따라 비교적 넓은 폭의 균열이 발생하게 된다. 이러한 균열을 침강균열 혹은 침하균열이라 한다. 침하균열은 다음의 경우에 발생할 가능성이 높아진다.

- 잔골재량이 적고 단위수량이 큰 경우, 슬럼프가 클수록 발생될 확률이 높다. 예를들면 물-시멘트비가 40%에서 60%로 증가하면 침하 속도는 2배로 증가하게 된다.
- 시멘트의 입도가 크고 응결시간이 늦어질수록 커진다.
- 사용된 철근의 직경이 클수록 콘크리트의 침하에 장애되는 부분이 커지므로 가능성은 높게 된다.
- 콘크리트 타설시 한 번에 많은 양을 타설할 경우에는 증가된다.
- 거푸집의 마찰저항이 적다거나 수분을 많이 흡수하는 재질인 경우 혹은 시공불량으로 거푸집 틈사이로 물이 빠져나가는 경우에는 수량감소에 따른 수축으로 침하가 촉진된다.
- 다짐이 충분하지 못 할 경우에도 침하는 증가한다.

일반적으로 1회 타설 높이가 약 300~1,000 mm 일 때 최종침하량은 일반 콘크리트의 경우 타설 높이에 대해 약 0.6%~1.0%, 유동성이 좋은 콘크리트의 경우에는 2% 정도라고

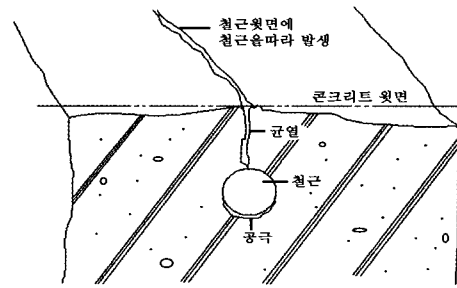


그림 2. 소성침강균열 형상

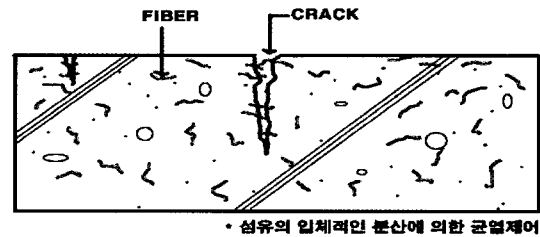


그림 3. 분산된 섬유의 균열제어 모식도

보고된 바 있으나 이 영역에서는 콘크리트의 변형 능력도 커지게 되므로 반드시 침하균열이 발생한다고 하기는 어렵다.

3. 합성섬유의 초기균열 제어 작용

일반적으로 콘크리트에 균열을 유발할 수 있는 원인은 셀 수 없이 많으나 그중에서 위에 설명한 바와 같이 초기 균열의 원인은 약 두 가지 정도로 요약할 수 있다. 이러한 균열을 저감시키기 위해서는 콘크리트가 소성 상태에 있을 때 인장력을 유발하는 환경 요인을 조절하는 방법이 유효하며 이와 같은 환경을 조절할 수 없는 상황에 있을 경우 인위적으로 콘크리트 표면에 발생하는 인장응력을 제어하는 방법이 있으며 이와 같은 방법은 PP, cell, 나일론 등의 합성섬유를 콘크리트의 배합시 첨가하여 콘크리트 조성물에 골고루 분산시키고 이러한 섬유의 가교, 뿔힘, 부착작용을 통하여 초기에 발생하는 응력을 초기에 안정시키고 제어하는 기능으로 콘크리트의 초기균열을 저감시키는 역할을 한다.

4. 합성섬유의 종류 및 특징

4.1 폴리프로필렌(Polypropylene)

폴리프로필렌 제조법은 1955년 이탈리아 밀라노 공업대학의 다타 교수에 의하여 확립되어 1957년 시험 생산에 들어갔으며 B사의 메리크론(Meraklon)이 최초의 상품이다.

원료는 석유 정제 시에 다량 발생하는 프로필렌을 중합하여

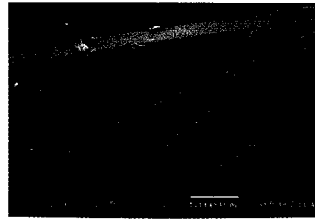
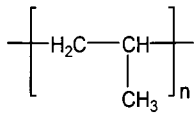


그림 4. PP섬유 SEM사진 및 화학구조식

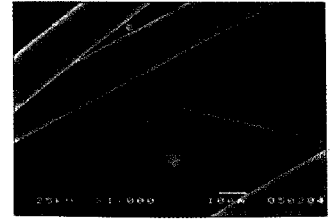
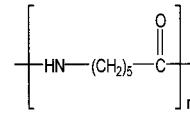


그림 6. Nylon섬유 SEM사진 및 화학구조식

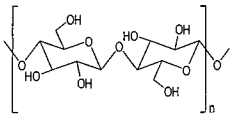


그림 5. 셀룰로오스섬유 SEM사진 및 화학구조식

폴리프로필렌을 만든다. 섬유는 이 폴리프로필렌을 용융방사한 것으로 필라멘트와 스테이플 등이 있다.

이처럼 제조법과 성능면에서 획기적이었으나 의류소재로는 바람직하지 않아 현재는 그 수요가 대단히 적고, 용도가 극히 제한되어 있다. 이러한 이유는 의류소재에 요구되는 다양한 성능에 맞지 않거나 결핍되어 있기 때문인데, 그대신 폴리프로필렌은 특유의 성능을 살린 카페트나 산업자재 분야에서는 크게 특징을 발휘하고 있으며 토목, 건축 분야에서는 시공 초기에 미소균열 제어의 용도로 사용되어지다가 표면 마감 불량 및 균열 제어 효과 미비 등의 이유로 현재는 많이 사용되고 있지 않으며 최근에 들어 고강도 콘크리트의 화재시 폭열현상을 방지하는 용도로써 연구되어지고 있다.

4.2 셀룰로오스(Cellulose)

셀룰로오스 섬유의 주요 생산자원은 목재이며 목재로부터 추출된 섬유를 화학적인 방법에 의해서 가공하여 특수 셀룰로오스 섬유를 만들며 이 섬유는 비교적 높은 탄성계수와 시멘트 풀과의 강한 부착강도를 가진다.

특수 셀룰로오스 섬유의 표면은 수산기로서 산성 및 알칼리에 안정적이며 콘크리트 내에서 부착과 분산을 촉진시키며, 시멘트 입자 크기와 비교하여 작은 유효직경(약 0.015 mm)을 가지고 있어 시멘트 복합체에 발생하는 균열을 제어하는 역할을 하며 재료의 특성상 흡수를 때문에 슬럼프 저하 등의 문제를 발생시키기도 한다.

4.3 나일론(Nylon)

나일론 섬유는 석탄, 수소, 암모니아를 원료로 하여 작은 단

위의 분자를 길게 결합, 합성하여 만든 폴리아미드 섬유로서 아미드(-CONH-)결합에 의하여 단량체가 연결되어 중합체를 이루고 있는 섬유를 나일론이라고 한다. 나일론 섬유의 종류로는 제조방법에 따라 Nylon6, Nylon66, Nylon610 등이 있으며, 아라비아 숫자는 중합(重合: polymerization)하기 전의 단량체(單量體: monomer) 중의 탄소 원자의 숫자이다.

나일론은 필라멘트(filament)를 그대로 사용하기도 하며, 이를 가공한 가공사(textured yarn)로도 사용되고, 짧게 절단하여 사용하기도 한다. 또한 나일론 섬유는 분자 내에 N이나 O에 부분적인 (-) 전하를 갖고 있으므로, 부분적인 (+) 전하를 갖고 있는 물 분자의 H와 상호 정전기적인 작용을 하며, 이로 인해 시멘트페이스트와의 결합력 강화 등 많은 장점을 지니고 있어 근래에 들어서 콘크리트의 내구성 및 품질을 개선시키는 새로운 재료로써 그 사용량이 증가 되고 있는 실정이다.

5. 소성균열 제어 특성 실험

5.1 실험 재료

본 장에서는 콘크리트 보강용 합성섬유의 물리적 특성 및 소성수축균열 저감 성능을 확인하기 위하여 아래 <표 2>와 같은 합성섬유를 사용하여 콘크리트 압축강도, 인장강도, 슬럼프, 경시변화, 공기량 경시변화 등의 실험을 진행하고 소성수축균열 제어 특성을 평가하기 위하여 모르타르 소성수축균열 실험을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 시멘트 및 골재의 물리적 성질은

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도(g/m ³)	분말도(cm ² /g)	안정도(%)	응결시간(분)	
			초결	종결
3.15	3.483	0.15	208	351

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도(g/cm ³)	조립률	흡수율(%)	단위용적질량(kg/m ³)	0.08 mm 체통과량
잔골재	2.51	2.90	2.33	1,490	2.84%
굵은골재	2.63	7.04	0.67	1,532	-

표 4. 합성섬유의 물리적 특성

구분	섬유길이(mm)	섬유직경(μ m)	인장강도(MPa)	녹는점($^{\circ}$ C)	탄성계수(MPa)	밀도(g/cm^3)	적정투입량(kg/m^3)
PP	19	망사형	450	160	7,500	0.91	0.9
Cell	2.92	15	510	-	6,100	1.5	1.2
Nylon	19	23	890	225	7,500	1.16	0.6

표 5. 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/A (%)	AD (%)	단위재료량(kg/m^3)				
			C	FA	G	S	W
52	46	0.3	288	32	998	834	166

AD : 일반 AE감수제

<표 2, 3>과 같으며, 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 잔골재는 강모래를 굵은골재는 최대 굵은치수 25 mm의 쇄석을 사용하였다.

5.2 실험 계획 및 방법

실험에 투입된 합성섬유의 양은 각 제조사별로 권장하고 있는 최적의 투입량으로 정하였으며 믹서는 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다. 콘크리트 배합은 <표 5>를 기준으로 하였으며, 재료 투입순서 및 혼합은 다음과 같이 잔골재 및 굵은골재, 보강섬유를 투입하여 중속으로(30 rpm) 30초간 비빔한 후 시멘트를 넣고 다시 중속으로(30 rpm) 30초간 건비빔을 한 뒤 그 후 물을 넣고 90초간 고속(40 rpm)으로 비빔한 후 배출함으로써 혼합을 완성하였다. 또한 공시체 제작이 끝난 후, 24시간 뒤에 탈형하여 $25 \pm 1^{\circ}C$ 의 항온조건으로 수중양생을 실시하였으며 기타 실험의 진행 내용은 아래와 같다.

5.2.1 굳지않은 콘크리트

굳지않은 콘크리트의 성능평가는 초기 슬럼프 및 공기량과 60분 경과 후의 슬럼프 및 공기량을 측정하여 합성섬유가 굳지않은 콘크리트의 유동성 및 공기량에 미치는 영향을 평가하였다.

5.2.2 경화 콘크리트

경화 콘크리트의 성능평가는 압축강도 및 쪼갬인장강도를 7, 14, 28일 마다 측정하여 합성섬유가 콘크리트의 압축 및 쪼갬인장강도에 미치는 영향을 평가하였다.

5.2.3 소성수축균열 제어 성능 평가

소성수축균열을 평가하기 위한 방법은 기존에 많이 시도되지는 않았으나 합성섬유의 개발과 더불어 해외 학회 및 국제기준에 몇가지의 방법이 제정되어 있는 상태이며 ICC ES AC308 및 ACI 544의 규정에서는 강제 링 및 바닥판에 구속섬유를 설치하여 균열 제어 성능을 평가하도록 되어있다. 본 실험에서는 소성균열의 제어 성능을 평가하기 위해서 모르타르를 사용하였으며, W:C:S의 비율을 1:2:3으로 고정하여 합성섬유를 투입하여 배합하고 $90 \times 90 \times 15$ cm의 철제거푸집에 구속조건 없이 온도 $28 \pm 3^{\circ}C$, 습도 $50 \pm 5\%$, 풍속 4 ~ 4.5 m/s를 동일하게 조성하여 타설 후 매 15분마다 표면을 관찰하여 균열의 발생 시간 및 폭을 기록하여 저항 성능을 평가하였다.

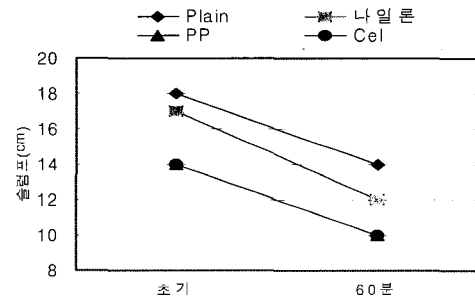


그림 7. 슬럼프 변화

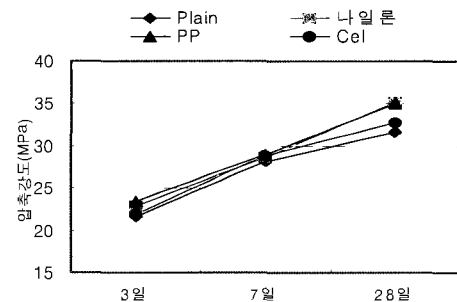


그림 8. 압축강도 변화

표 6. 각 콘크리트 보강섬유의 물리적 실험 결과

구분	슬럼프(cm)		공기량(%)		압축강도(MPa)			인장강도(MPa)		
	초기	60분	초기	60분	7일	14일	28일	7일	14일	28일
Plain	18	14	5.8	5.2	21.6	28.2	31.7	2.06	2.13	2.30
PP	14	10	5.2	5.0	23.5	29.0	35.0	2.23	2.40	2.70
Cell	14	10	5.2	5.0	21.9	28.9	32.7	2.19	2.35	2.55
Nylon	17	12	5.5	5.1	22.8	28.7	35.2	2.24	2.34	2.70

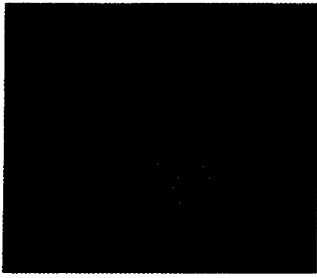


그림 9. Plain 균열 전경

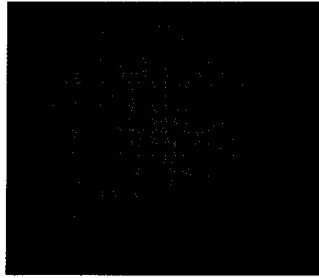


그림 10. PP 균열 전경

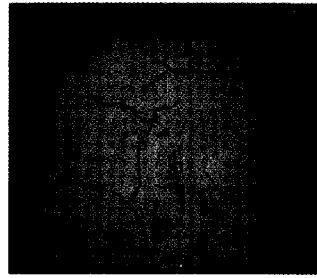


그림 11. Cell 균열 전경

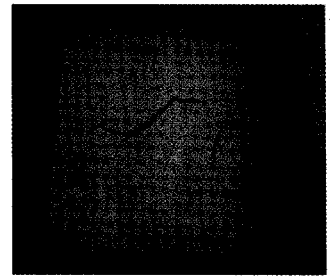


그림 12. 나일론 균열 전경

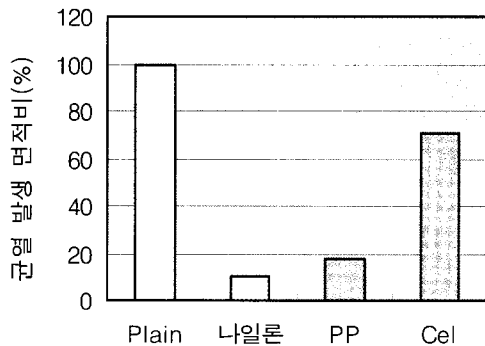


그림 13. 소성수축균열 실험 결과

표 7. 소성수축균열저항 발생 결과

구분	균열 길이 (mm)	최대 폭 (mm)	최소 폭 (mm)	면적 (cm ²)	균열 면적비 (%)
Plain	5370	3.0	0.01	80.8	100
PP	1770	1.6	0.01	14.2	17.6
Cell	3540	3.2	0.01	56.8	70.3
Nylon	980	1.6	0.01	7.9	9.8

하고 총 균열길이에 곱하여 면적으로 정리 하였다.

대부분의 균열발생시간은 모르타르 타설 후 4~5시간 사이였으며 균열이 발생하는 특성은 초기에 미소균열이 발생한 직후 급격하게 균열의 폭이 증가하는 현상을 보였으며, 소성수축 균열 길이, 폭, 면적을 <표 7>에 정리하였다. 본 실험에서 소성수축균열에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로는 화학구조식에 따라서 친수성, 비친수성으로 분류되는 섬유 특성과 모르타르 및 콘크리트의 배합시 섬유의 투입시기 및 섬유의 특성에 따른 뭉침현상 및 분산성에 영향을 받는 것으로 추정된다.

6. 실험 결과

6.1 콘크리트 실험 결과

실험 결과 슬럼프 및 공기량에 있어서는 보강섬유를 혼입한 경우 혼입하지 않은 보통콘크리트에 비하여 슬럼프와 공기량이 저하하는 현상을 나타내었으며 상대적으로 평가할 때 나일론 섬유의 저하영역이 작은 것으로 평가되었고 셀룰로오스 섬유의 경우 섬유의 재질 특성상 수분을 흡수하기 때문에 유동성이 저하하는 현상을 나타낸 것으로 추정된다. 이와 같은 결과는 섬유의 표면이 수산기이며 수분흡수율이 적을수록 콘크리트의 물성변화에 영향을 적게 미치고 섬유의 혼입량에 따라서 물성이 변화하는 것으로 사료된다.

압축강도 및 인장강도에 있어서는 실험에 사용한 콘크리트 보강섬유 모두 재령별 측정값이 보통콘크리트에 비해 높은 수치를 나타냄에 따라 합성섬유의 보강으로 인하여 콘크리트의 물리적 성질이 개선됨을 확인 하였다.

6.2 소성수축균열 제어 성능 평가 결과

실험 결과는 균열의 진전이 안정된 후(약 24시간 후) 균열의 총 길이를 구하고 최대, 최소 균열폭을 측정하여 평균폭을 구

7. 현장 적용 사례

콘크리트 보강용 합성섬유는 인장강도와 균열에 대한 저항성을 높이고 인성을 개선시키는 목적으로 현장에서 투입되어지며 대부분 무근콘크리트 부위에 적용되고 있는 실정이다. 일반적으로 현장에서 무근콘크리트 타설 부위에 적용되는 균열저감방안으로는 기존에 많이 사용되어져 왔던 와이어메쉬가 주류를 이루고 있었으나 와이어메쉬의 특성상 콘크리트 타설 전 인부를 투입하여 설치 작업을 하고 설치 후 콘크리트를 타설할 때에도 와이어메쉬의 표면노출 및 피복두께 유지의 문제점 때문에 현장에서 많은 애로점을 가지고 있었다. 본 장에서는 기존에 사용되어지던 와이어메쉬를 대체한 균열저감용 합성섬유의 성능에 대하여 현장에서 적용한 결과를 설명하고자 한다.

7.1 셀룰로오스(Cellulose) 섬유의 현장 적용

셀룰로오스 섬유의 경우 최근에 들어 그 사용량이 급격히 증



그림 14. Cellulose 섬유투입

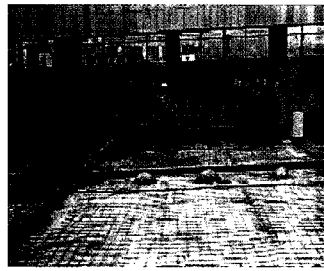


그림 15. 와이어메쉬 적용부위



그림 16. Cellulose 적용부위

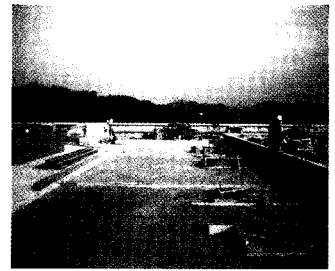


그림 17. 50일 경과 후 표면

표 8. Cellulose 첨가 콘크리트 배합표

굵은골재 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)						AD	Cell
				W	C	FA	S	G	Cell		
25	15	50.1	48.7	172	309	34	860	923	1.7	1.2	
									2		

가하여 무근콘크리트부위의 균열저감재료로서 다량 사용되어지고 있는 실정이며 셀룰로오스 섬유를 현장에서 와이어메쉬 설치부위에 대체하여 사용하는 사례에 대하여 설명하고자 한다.

7.1.1 용인시 산업단지 공사현장 옥상층 누름콘크리트 적용 경기도 용인시에 위치한 산업단지내에 시공중인 공장을 대상으로 옥상층 누름콘크리트 부위의 와이어메쉬 설치 부분에 셀룰로오스 섬유를 적용하는 방안을 검토하였다.

가) 원료

셀룰로오스 섬유는 목재를 기계적, 화학적처리 즉 펄핑(pulping) 및 건식 해면하여 그레놀화 가공 생산함.

나) 특징

- ① 친수성: 셀룰로오스 섬유의 표면은 수산기(OH)로 구성되어 있어 콘크리트 내에서 부착과 분산을 촉진시킴.
- ② 유효직경이 작음 : 시멘트 입자크기(0.003 ~ 0.03 mm)와 비교하여 작은 유효직경(0.015 mm)을 가지고 있어 시멘트 복합체를 밀실하게 만듦.

다) 사용효과

- ① 섬유의 유효직경이 작고, 단위체적당 섬유수가 많아 미세 균열 발생 억제 효과 탁월함.
- ② 밀실한 콘크리트를 만듦(내구성 증진 효과).
- ③ 초기소성수축균열 제어에 효과적임.

라) 경제성 검토

셀룰로오스 섬유와 와이어메쉬의 경제성 검토결과 와이어메

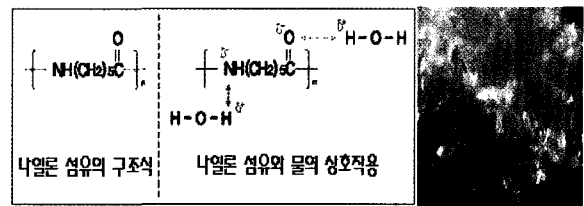


그림 18. 나일론 섬유의 구조식 및 형태

쉬의 경우 콘크리트 타설 전 깔기작업에 투입되는 인원, 와이어메쉬 자재가격, 콘크리트 원가 등을 종합한 가격과 셀룰로오스 섬유의 m³당 투입원가, 섬유투입인원, 콘크리트 원가 등을 종합하여 비교하였을 때 셀룰로오스 섬유를 와이어메쉬에 대체하여 사용하였을 경우 단가 상승에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

마) 셀룰로오스 섬유시공 결과

- ① 슬럼프
 - 보통콘크리트 : 150 mm
 - 셀룰로오스 콘크리트 : 137 mm
- ② 타설 후 슬래브 표면
 - 보통콘크리트 : 균열 발생
 - 셀룰로오스 콘크리트 : 균열 발생 없음

7.2 나일론 섬유의 현장 적용

나일론 섬유는 Nylon6을 원료로 만든 콘크리트용 보강섬유로서, 분자 내에 N이나 O에 부분적인 (-) 전하를 갖고 있으므로, 부분적인 (+) 전하를 갖고 있는 물 분자의 H와 상호 정전기적인 작용을 하며, 이로 인해 시멘트페이스트와의 결합력 강화, 우수한 분산력 및 마감성 등의 많은 장점을 지니고 있다.

7.2.1 서울 용산구 한강로 아파트 옥상층 적용

서울 용산구 한강로에 위치한 아파트 옥상층 누름 콘크리트 일부분을 대상으로 하여 와이어메쉬와 나일론 섬유를 시험적으로 타설하여 성능의 차이를 확인한 다음 시공성, 경제성, 균열



그림 19. 나일론 섬유 투입



그림 20. 섬유 혼입 콘크리트 타설

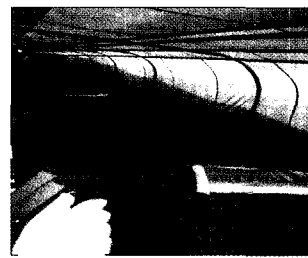


그림 23. 나일론 섬유 투입



그림 24. 섬유 혼입 콘크리트 타설



그림 21. 와이어메쉬 시공

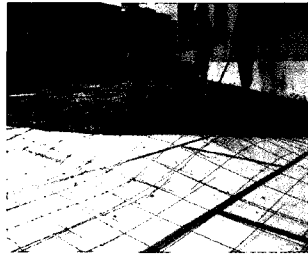


그림 22. 피복두께 조정

표 9. 나일론 첨가 콘크리트 배합표

굵은골재 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)					
				W	C	S	G	AD	Nylon
25	15±2.5	50.1	48.7	172	340	860	923	0.5	0.6

저감 성능 등을 고려하여 재료를 선정하였으며, 재료의 특성은 아래와 같다.

가) 원료

나일론 섬유는 Nylon6을 원료로 하여 짧게(19mm) 절단한 섬유를 사용하며 이러한 섬유는 코팅 및 end anchor구조 등을 통하여 시멘트 매트릭스와의 부착력을 높이며 균열 제어에 탁월한 효과를 발휘한다.

나) 특징

- ① 친수성
- ② 유효직경이 작음

시멘트 입자크기(0.003 ~ 0.03 mm)와 비교하여 작은 유효직경(0.023 mm)을 가지고 있어 시멘트 복합체를 밀실하게 만들.

다) 사용 효과

- ① 섬유의 유효직경이 작고, 단위체적당 섬유수가 많으며 end anchor 구조로 인하여 미세균열 발생 억제 효과가 탁월함.
- ② 밀실한 콘크리트를 만듦(내구성 증진 효과).
- ③ 초기소성수축균열 제어에 효과적임.
- ④ 슬럼프 저하우려 없음.
- ⑤ Eco-bag 포장으로 인한 편리한 사용성

라) 경제성 검토

표 10. 나일론 첨가 콘크리트 배합표

굵은골재 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)						
				W	C	FA	S	G	AD Nylon	
25	15	50.5	48.4	172	306	34	863	938	0.5	0.6

옥상층 무근콘크리트 부위에 당초 시공계획인 와이어메쉬를 나일론 섬유로 대체하는 것과 관련하여 경제성 검토를 실시한 결과 와이어메쉬의 경우 자재비, 설치작업, 외주잡비 등을 합한 비용이 나일론 섬유를 투입할 때 소요되는 비용과 비교할 때 더 많은 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

마) 나일론 섬유 시공 결과

- ① 슬럼프
 - 보통콘크리트 : 150 mm
 - 나일론 콘크리트 : 150 mm
- ② 타설 후 슬래브 표면
 - 보통콘크리트 : 균열 발생
 - 나일론 콘크리트 : 균열 발생 없음

7.2.2 경기도 광명시 아파트현장 무근콘크리트 부위 적용
경기도 광명시에 위치한 아파트현장의 지하주차장 최상층 누름 콘크리트 부위를 대상으로 당초 계획되었던 와이어메쉬를 나일론 섬유로 대체하여 적용하였으며 그 결과는 아래와 같다.

가) 적용 부위

- ① 지하주차장 최상층 누름 콘크리트

나) 나일론 섬유시공 결과

- ① 슬럼프 : 150 m
- ② 타설 후 슬래브 표면 : 균열 발생 없음

다) 적용 효과

지하주차장 최상층 누름콘크리트 부위에 나일론 섬유를 적용한 결과 기존에 사용하였던 와이어메쉬보다 사용성, 시공시간, 경제성, 균열저감효과 등의 여러 부분에서 와이어메쉬를 적용하였을 때보다 우수한 효과를 나타낸 것으로 평가되었으며 나

일론 섬유를 적용하기 전에 우려하였던 유동성저하등의 문제는 발생하지 않았다.

7.3 합성섬유의 현장 적용 결과

상기 시공재료들의 물성 및 사용성, 사용효과, 경제성 등의 비교에서와 같이 와이어메쉬를 합성섬유로 대체 사용할 경우, 작업시간 단축, 시공비용의 절감, 인장강도 및 휨강도 개선, 충격 및 마모에 대한 저항력 등을 증대시키며 또한 소성 및 건조 수축에 의한 균열을 억제하여 투수성을 감소시킴으로서 장기내구성을 증대, 즉 탄산화 저감, 염소 확산속도의 감소 및 동결/융해저항성의 증대에 효과적인 방안이 될 것으로 판단된다.

따라서 콘크리트에 이러한 합성섬유를 적용할 경우 균열저감을 통한 균열보수비용 절감 및 외관상의 개선과 콘크리트의 물성 개선 등의 효과로 인하여 기존에 사용하던 와이어메쉬 보다 그 적용성이 우수 할 것으로 판단된다.

8. 결 론

현재 미국, 유럽을 비롯한 선진국에서는 무근콘크리트 및 도로포장공사에 섬유보강재가 주로 사용되고 있으며, 이와 같은 현상은 와이어메쉬와 비교하여 사용성(시공성), 경제성, 사용효과 등의 관점에서 무관하지 않을 것으로 생각된다.

콘크리트 보강용 합성섬유는 인장강도와 균열에 대한 저항성을 높이고 인성을 개선시킬 목적으로 모르타르 또는 콘크리트 속에 장, 단섬유를 혼입하여 콘크리트의 성능을 향상시키는 것으로서 각종 합성섬유의 특성에 따라 달리 사용되고 있으며 짧은 섬유 및 연속섬유로 보강된 콘크리트는 물성개선을 통하여 시공 초기에 발생하는 균열의 발생량을 저감시키는 등의 품질 개선효과를 가져온다. 그러나 이러한 합성섬유를 초기균열 제어의 목적으로 사용할 경우 각 섬유의 특성을 파악하여 현장에서 시공 시 뭉침 현상, 표면 마감, 유동성 저하의 영향을 고려하여야 하며, 향후 개발된 섬유의 성능 개량, 원가 절감 등을 통한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다. □

참고문헌

1. 김병기, 김용태, 안태호, 김광련, "섬유보강 콘크리트에서 나일론 섬유의 응용가능성", 콘크리트학회지, 16권 6호, 2004. 11, pp.65~73.
2. 한천구, 양성환, 이병렬, 황인성, 전선천, "폴리프로필렌 섬유의 혼입률 및 부채크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성", 콘크리트학회지, 제14권 4호, 2002년 8월, pp.449~456.
3. 오병환, 백상현, "폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도 특성 및 건조수축균열제어 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.8 No.1, 1996, pp.146~152.
4. 오병환, 이형준, 강영진, "섬유 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 9권 3호, 1989, pp.49~56.
5. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조물의 균열" 한국콘크리트학회, 2000, pp.7~13.
6. 원종필, 황금식, 박찬기, 박해균, "친수성 PVA섬유보강 시멘트 복합체의 균열제어 및 투수성 평가", 콘크리트학회지, 16권 3호, 2004. 6, pp.391~396.
7. 원종필, "콘크리트 보강재로서 셀룰로오스섬유 제조방법 개발 및 적용성에 관한연구", 건국대학교, 2000. 6.
8. 박성우, 김규용, 김대용, 윤성훈, 권용주, "셀룰로오스섬유의 소성 수축균열 저항성과 현장적용에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.16 No.2, 2004, pp.699~702.
9. Victor C. Li., "On Engineered Cementitious Composite (ECC)", JCI, 2003, pp.215~230.
10. *Effectiveness of Polyolefin / polypropylene Fiber as Reinforcement in Hardened Concrete, Average Residual Strength (ARS) - ASTM C1399*, Technology Mines at South Dakota School, January, 2002.
11. Balaguru, Perumalsamy N., and Shah, Surendra P., *Fiber Reinforced Cement Composites*, New York, Mcgraw hill, Inc., 1992.
12. ICBO Engineering Services Inc(ES), *Effectiveness of Nylon Fiber as Reinforcement in Hardened Concrete*, Engineering Report, 1997. 12.
13. ICBO Engineering Services Inc(ES), *Acceptance Criteria(AC), Effectiveness of Synthetic Fiber as Concrete Reinforcement*, Engineering Report, 2000. 3.

특집 제목 예고

월 호	특집주제	특집주간	원고마감
2006년 3월호	콘크리트 하수관거	서명석(경동대학교 건축공학부 교수)	2005년 12월 15일
2006년 5월호	콘크리트 교량의 교면 방수	김진철(한국도로공사도로교통기술원 책임연구원)	2006년 2월 15일
2006년 7월호	콘크리트의 내구 성능 설계	김진만(공주대학교 건축공학과 교수)	2006년 4월 15일
2006년 9월호	콘크리트의 복합구조	김성욱(건설기술연구원 그룹장)	2006년 6월 15일