

황마 섬유를 이용한 섬유 보강 콘크리트의 균열 저감 성능 평가에 관한 연구

Research for Performance Evaluation of Crack Reduction in Fiber Reinforced Concrete with Using Jutes

박 용 규* **이 주 현*** **전 인 기**** **김 대 영***** **윤 기 원******
 Park, Yong-Kyu Lee, Joo-Hun Jeon, In-Ki Kim Dea-Young Yoon, Gi-Won

Abstract

In this study, three kinds of cellulose fibers to crack reduction performance were evaluated and the results are as follows.

Plastic shrinkage cracking is evaluated by the relative crack area, at all levels between 0.9kg/m³ and 1.2kg/m³, except for UF0.9% of upto50% showed are duction compared with Plain. In according to recommended amount of fiber in each area of the crack HF0.9>CEL1.2>UF0.6 effect of the order was more effective. While the impact strength of UF and CEL fibers until the final destruction are about five times the number of falls, HF fiber count drop was 10-18 time

Keywords : Jute, fiber-reinforced

1. 서 론

최근 건축산업의 발전으로 콘크리트에 요구되는 성질이 다양해 짐에 따라 콘크리트의 기초물성 등의 성능면에서는 상당한 발전을 이뤄왔지만, 약한 인장성능에 의한 초기의 균열 발생과 함께 콘크리트 내구성의 저하를 가져오는 문제점 등을 가지고 있다.

이러한 인장성능의 보강을 위해 섬유보강 콘크리트에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔으나, 섬유의 종류, 형태 및 혼입률에 따른 분산력, 표면 마감의 곤란 및 워커빌리티 저하 등의 차이가 있어 용도에 따라 최적화 된 섬유의 선정 및 혼입률의 결정이 중요하게 된다. 특히, 최근에는 친환경적인 부분이 강조되면서 기존의 인공섬유에 비해 환경친화적이고 자연적으로 생산이 가능한 천연섬유에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 천연섬유 보강에 따른 강도특성이 우수한 것으로 알려진 (황마, jute) 섬유(이하 HF 섬유)에 대하여 혼입률 변화에 따라 균열저감성능을 검토하고, 아울러 최근 많이 보급되는 셀룰로오스계 섬유 중 원재료가 다른 목질(이하 UF)과 펄프(이하 CEL) 2종류와 비교 검토 하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 우선 Plain 배합은 W/C 52%, 목표 슬럼프 및 목표 공기량은 각각 180±15mm, 4.5±1.5%를 만족하도록 제조하고, 여기에 각각의 섬유를 혼입하는 것으로 하였다. 섬유 종류는 현재 실무에서 사용되어지는 셀룰로오스계 섬유 중 그 원재료가 다른 3종류에 대하여 혼입량을 0.6, 0.9, 1.2kg/m³의 3수준으로 하여 섬유별 균열저감 성능을 파악하도록 실험계획 하였다.

표 1. 실험계획

W/C (%)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	섬유 종류	섬유 혼입량 (kg/m ³)	실험사항
					경화 콘크리트
52	180 ±15	4.5 ±1.5	무혼입	-	-충격강도 실험 -소성수축 균열 저항성 -섬유의 분산성
			HF	0.6	
			UF	0.9	
			CEL	1.2	

* UF : 목재, HF : 황마, CEL : 펄프

* 아주산업(주) 기술연구소 선임연구원

** 아주산업(주) 기술연구소 주임연구원

*** 해강산업 대표이사

**** 아주산업(주) 기술연구소 연구소장, 공학박사

2.2 실험재료

2.2.1 분체

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 D사의 보통포틀랜드 시멘트(밀도 : 3.15g/cm³, 분말도 : 3 483cm²/g)를 사용하였으며, 고로슬래그 미분말(밀도 : 2.9g/cm³, 분말도 : 4 570cm²/g)은 국내 V사, 플라이애시(밀도 : 2.21g/cm³, 분말도 : 3 434cm²/g)는 국내 I사의 제품을 사용하였다.

2.2.2 골재

본 실험에서 사용된 골재는 인천 I사의 부순 잔골재(밀도 : 2.59g/cm³, 조립률 : 2.86)를 사용하였으며, 굵은골재(밀도 : 2.62g/cm³, 조립률 : 6.73)는 국내 I사의 20mm 부순 굵은골재를 사용하였다.

2.2.3 섬유 보강재

본 실험에 사용한 섬유 보강재로서 원재료별 황마계 섬유(밀도 : 1.3g/cm³, 섬유길이 : 9~10mm)는 H사의 섬유를 사용하였고, 목질계 섬유(밀도 : 1.1g/cm³, 섬유길이 : 1.9~2.3mm)는 W사의 섬유를 사용하였으며, 펄프계 섬유(밀도 : 1.5g/cm³, 섬유길이 : 2.92mm)는 국내산 S사의 제품을 사용하였으며, 섬유의 형태는 사진 1과 같다.

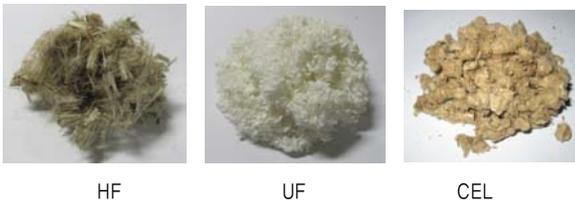


사진 1. 섬유 형태

2.3 실험방법

소성수축 실험은 500×500×50mm의 실험 시편을 제작하여, 시편의 중앙에는 콘크리트를 구속하기 위해서 Ø200mm PVC링을 설치하였으며, 바닥으로부터의 구속을 최소화하기 위해서 비닐막을 설치하였다. 실험은 30±3 °C의 온도와 40±3%의 상대습도에서 콘크리트 표면에 일정량의 바람을 가하면서 24시간동안 실험 하였다. 또한, 충격 강도시험은 KS F 2221에 의거하여 실시하고 첫 번째 균열이 나타난 횡수와 시편이 파괴되기까지의 횡수를 측정하도록 하였다. 섬유 분산성의 경우는 굳지 않은 상태 및 경화 상태에서의 시편을 이용하여 육안으로 확인하여 사진으로 기록을 남기는 것으로 하였다.

3. 실험 결과

3.1 소성수축 균열 저감성능 평가

그림 1은 섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 소성수축 균열면적을 나타낸 것이고, 표 2는 섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 균열면적 및 상대균열면적을 나타낸 값이다. 여기서 균열의 면적은 균열 길이에 균열 폭을 곱하여 구하였는데, 균열 길이는 실을 사용하여 균열성장 대로 가지런히 늘어뜨린 후에 균열길이를 측정하였으며, 균열계이지를 사용하여 균열 폭을 측정 후 균열길이와 균열 폭을 곱하여 균열면적을 구하였다.

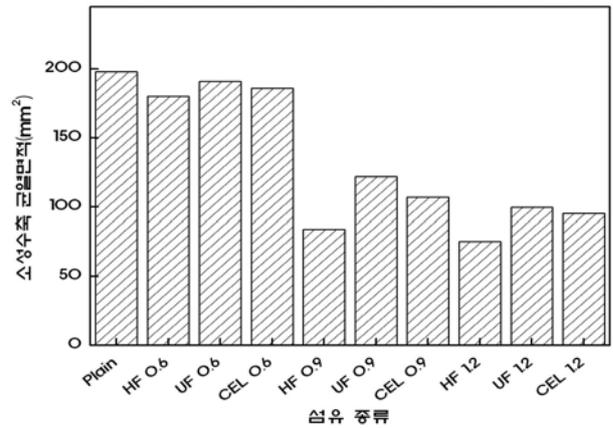


그림 1. 섬유 종류 및 혼입량에 따른 소성수축 균열면적

표 2. 섬유 종류 변화에 따른 균열면적 및 상대균열면적

구 분	Plain	HF0,6	UF0,6	CEL0,6	HF0,9
균열면적(mm ²)	198	180	191	186	83,9
상대균열면적(%)	100	90,88	96,24	93,60	42,29
구 분	UF0,9	CEL0,9	HF1,2	UF1,2	CEL1,2
균열면적(mm ²)	122	107	75,1	99,5	95,4
상대균열면적(%)	61,7	54,08	37,85	50,15	48,08

섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 소성수축균열 실험 한 결과를 상대균열면적으로 평가하였으며, Plain의 균열 발생율을 100%를 기준으로 혼입량이 0.6kg/m³ 경우 90%대의 균열 발생율을 보여 Plain과 거의 유사한 것으로 나타나, 소성수축 균열에 크게 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 혼입량 0.9kg/m³ 및 1.2kg/m³ 경우는 UF 0.9를 제외한 모든 수준에서 Plain 대비 50%정도의 저감효과를 나타내어 소성수축 균열 저감에 상당한 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다. 각 섬유의 혼입량에 따라서는 0.6, 0.9 및 1.2kg/m³에서 섬유 길이가 짧은 UF, CEL 섬유에 비하여 섬유길이가 긴 HF 섬유가 양호한 균열 저항성을 나타내고 있었

다. 이는 HF 섬유의 유효 직경이 길고, 단위 체적당 차지하는 섬유수가 많아 소성수축에 의한 균열의 저감에 효과를 가져오는 것으로 판단된다.

또한, 각 섬유별 권장 사용량에 따라 HF 0.9, UF 0.6 및 CEL 1.2를 비교하면 균열면적은 HF 0.9 > CEL 1.2 > UF 0.6 의 순으로 효과가 큰 것으로 나타났으며, 특히, HF 섬유의 경우 그 사용량을 증가하여 1.2kg/m³ 혼입시에는 37.85%로 소성수축 균열을 저감하는데 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 나타났지만, 슬립프 저감 및 표면 마감성 등에 대한 문제에 대하여 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 사진 2는 소성수축 균열 실험 후의 균열성상을 나타낸 것으로, 사진을 더 명확히 하기 위하여 균열부분을 따라 선을 삽입하였다.

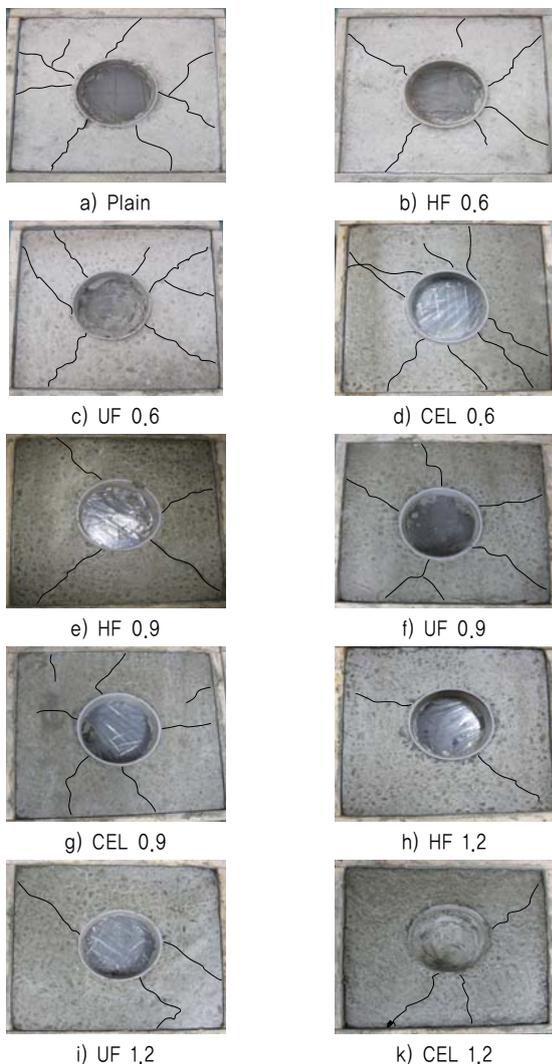


사진 2. 소성수축 균열 실험 후의 균열성상

3.2 충격강도 성능 평가

표 3은 섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 충격강도 값을 나타낸 것이고, 그림 2는 섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 낙하횟수 별 충격강도를 나타낸 것이다.

표 3 섬유 혼입량 변화에 따른 충격강도 (N)

종류	HF		UF		CEL	
	균열발생 횟수	파괴횟수	균열발생 횟수	파괴횟수	균열발생 횟수	파괴횟수
0	15	20	15	20	15	20
0.6	25	36	26	30	25	27
0.9	29	44	28	31	25	30
1.2	30	48	30	34	25	30

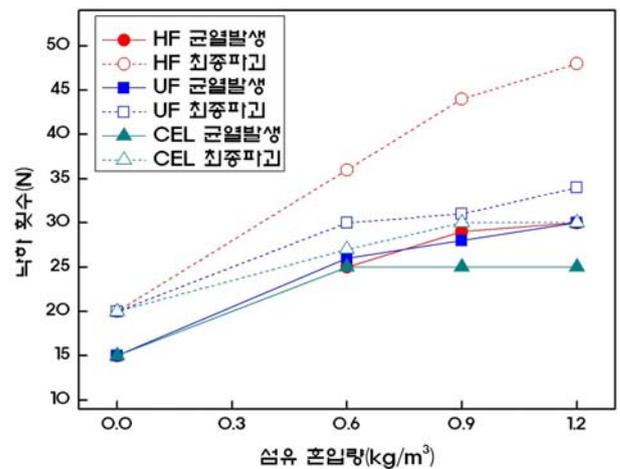


그림 3. 섬유 혼입량 변화에 따른 낙하횟수

섬유 종류에 따라서는 Plain 대비 모든 섬유에서 초기균열까지의 횟수(충격강도)가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 각 섬유가 어느 정도 콘크리트 매트릭스내에 네트워크를 형성함으로써 충격강도가 증진된 것으로 판단된다. 하지만 섬유의 혼입량에 따라서는 초기 균열 및 최종파괴까지의 낙하횟수 차이가 나타났다. 즉, 섬유의 충격강도에 대한 저항성을 보기 위해서는 초기 균열 보다 초기 균열 후 최종파괴까지의 낙하횟수를 보아야 하는데, Plain의 최종파괴까지의 낙하횟수 5회를 기준으로 보았을 때 UF, CEL 섬유는 5회 미만이거나 5회 정도에서 최종파괴가 나타나 충격강도에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었으며, 이는 UF, CEL 섬유가 처음 균열 발생 후 섬유의 분산성 및 매트릭스의 형성이 부족하여 연성이 거의 작용하지 않는 것으로 판단된다.

HF 섬유의 경우 처음 균열 발생 후 최종파괴까지의 낙하횟수가 0.6kg/m³에서는 6회로 다른 섬유와 마찬가지로 큰 영향을 미치지 못하였으나, 0.9kg/m³ 및 1.2kg/m³에서는 15회, 18회로 다른 섬유들에 비하여 충격강도에 대한 저항성이 있는 것을 알 수 있었다. 이는 섬유가 어느 정도 시편에 전체적으로 분산되어 콘크리트 내에서 매트릭스의 네트워크를 형성하고 가교작용에 의한 것으로 판단된다.

3.3 섬유 분산성 평가

사진 3은 각 섬유의 굳지 않은 상태에서의 분산성을 확인하기 위해 혼합 후 배출된 콘크리트를 근접 촬영한 것이고, 사진 4~5는 경화 상태에서의 분산성을 확인하기 위해 충격강도 시험 후 시편에 대하여 근접 촬영한 것이다.

굳지 않은 상태에서는 단섬유인 UF, CEL 섬유는 배출된 콘크리트에서 육안으로 확인하기 힘들었으며, HF 섬유의 경우는 사진 3-a)와 같이 배출된 콘크리트에 가닥으로 뭉침현상 없이 분산되어 있는 것을 확인 할 수 있었다.

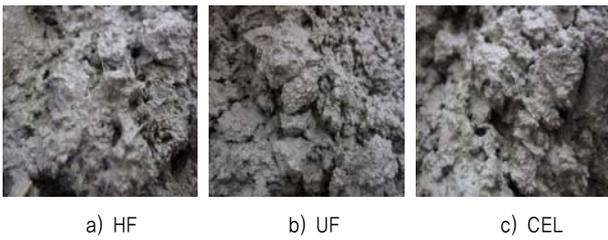


사진 3 굳지 않은 상태에서의 섬유 분산성

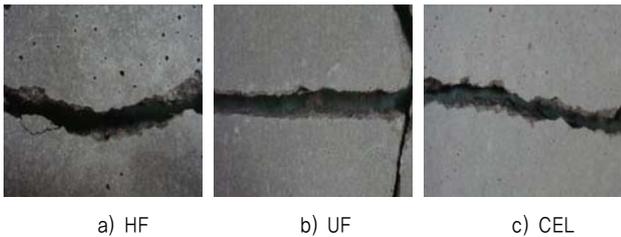


사진 4 경화 후 섬유 분산성(평면)

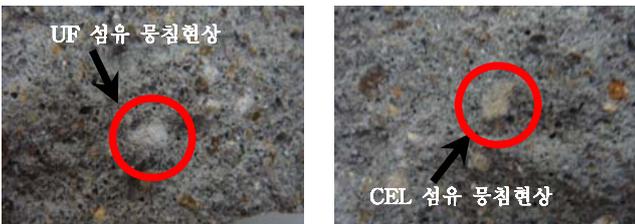


사진 5 섬유의 뭉침현상(단면)

또한, 경화 상태에서의 경우 굳지 않은 상태와 동일 현상으로 깨진 파단면을 육안으로 확인한 결과 HF 섬유의 경우 사진 4-a)와 같이 파단면에서 섬유가 골고루 분산되어 네트워크를 형성하고 있는 것을 확인 할 수 있었으나, UF, CEL 섬유의 경우 섬유 자체의 뭉쳐 있는 특성이 콘크리트 내에서 분산이 되지 않아 사진 5와 같이 섬유 뭉침 현상을 볼 수 있었으며, 전반적인 파단면에서 섬유의 형상을 확인하기 힘들었다.

4. 결 론

본 연구에서는 섬유보강재(황마)를 사용한 섬유보강 콘크리트의 기초적 특성과 균열저감성능을 확인하기 위해 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 원재료가 다른 동일 셀룰로오스계 섬유 UF와 CEL 섬유를 상호 비교하여 섬유종류 및 혼입량 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 특성과 균열제어 특성 등에 대하여 검토하였는데, 이상을 종합하면 다음과 같다.

- 1) 소성수축균열을 상대균열면적으로 평가한 경우, 혼입량 0.6 kg/m³ 경우는 소성수축 균열에 크게 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었으며, 혼입량 0.9 kg/m³ 및 1.2kg/m³ 경우는 UF 0.9를 제외한 모든 수준에서 Plain 대비 50%정도의 저감효과를 나타내, 소성수축 균열 저감에 상당한 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다. 또한, 각 섬유별 권장 사용량에 따라 HF 0.9, UF 0.6 및 CEL 1.2를 비교하면 균열면적은 HF 0.9 > CEL 1.2 > UF 0.6의 순으로 효과가 큰 것으로 나타났으며, 특히, HF 섬유의 경우 그 사용량을 증가하여 1.2kg/m³ 혼입시에는 37.85%로 소성수축 균열을 저감하는데 뛰어난 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다.
- 2) 충격강도는 섬유 혼입량이 증가할수록 충격저항성은 증가하였으나, UF 및CEL 섬유에서는 처음 균열 발생 후 파괴될 때까지의 낙하횟수가 5회 정도인 반면 HF 섬유의 경우 혼입량에 따라 약간의 차이가 있지만 10~18회까지 진행되어 어느 정도 섬유에 의한 연성으로 낙하횟수가 크게 증가한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 신현섭, 나일론 섬유를 이용한 콘크리트의 기초적 특성에 관한 연구, 청주대학교 석사 논문, 2007
2. 이문환, 김세운, 서치호, 황마를 보강섬유로 혼입한 압출성형 시멘트 복합체의 물리적 특성 연구, 대한건축학회 제23권 제9호, pp.159~166, 2007