균열제어를 위한 섬유보강 콘크리트의 실용화 연구

A Study on the Practicality of Fiber Reinforced Concrete to Control Plastic Shrinkage Crack

정 양 희* 최 일 호* 김 욱 종** 이 도 범***
Jung, Yang-Hee Choi, Il-Ho Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum

Abstract

The purpose of this study is to suggest a reference for an extensive evaluation about effectiveness of four types of fibers to control plastic shrinkage crack of concrete. So in this study for the practical use in construction field, the plastic shrinkage cracks shown from four types of concrete reinforced by mixing four types of fibers are quantitatively evaluated in points of the workability and compressive strength. Test showed that the mixing of C1, N, P fibers except for C2 fibers decreased fluidity of fresh concrete. Compressive strengths of four types specimens were similar. Plastic shrinkage cracks were reduced by mixing each fiber, especially C2 fibers was very effective to prevent the plastic shrinkage crack. Therefore the reinforced concrete mixed with C2 fibers exhibited superior mechanical performance than the others.

키워드 : 섬유보강 콘크리트, 셀룰로오스 섬유, 나일론 섬유, PVA 섬유, 소성수축 균열
Keywords : Fiber Reinforced Concrete, Cellulose Fiber, Nylon Fiber, PVA Fiber, Plastic Shrinkage Crack

1. 서 론

콘크리트 타설 직후 경화 초기에 발생하는 수축을 소성수축이라 하며, 이는 외기온도, 상대습도, 풍속과 같은 환경 조건 및 콘크리트의 내부온도, 블리딩 특성에 영향을 받는다. 이러한 소성수축 현상은 건조되지 않은 내부 콘크리트의 구속력에 의해 표면에 인장 응력이 발생하게 되고 콘크리트의 초기 인장강도를 초과하게 될 경우에는 균열이 발생하게 되므로 콘크리트의 내구성이 저하되는 등 구조물의 성능저하를 유발할 수 있는 요인이 된다.

특히 주차장 및 옥상층 바닥에 최종으로 타설되는 마감용 콘크리트의 경우 타설 직후 넓은 면적이 외기에 노출되어 소성수축에 취약한 조건이나 현재 타설되고 있는 콘크리트의 규격이 대부분 25-18-150이므로 이러한 소성수축에 의한 응력을 제어하기에 불리하여 균열이 다수 발생하고 있어 마감재 손상 및 하부 누수 등의 2차 하자가 연속적으로 나타나고 있는 실정이다.

이러한 마감용 콘크리트의 소성수축균열을 방지하기 위해 와이어 메쉬를 도입하여 시공하고 있으나 적정 위치에 설치하기 어려우며 타설 시 작업자에 의해 파손되는 등 시공상의 문제로 그 효과가 미미한 것으로 보고되고 있다. 이에 소성수축균열을 제어하기 위한 추가적인 방법으로 팽창제 및 수축저감제를 혼입하여 수축력을 완화시키거나 섬유를 첨가하여 응력분산에 대응하는 방법 등이 제시되고 있는 추세이다.

이중 섬유를 혼입한 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete)의 최근 사용량이 증대하고 있는 추세며, 현재 시판중인 섬유 보강재의 종류도 다양하나 이들에 대한 성능 비교검토 자료가 부족하여 현장 적용에 다소 어려움이 있는 실정이다. 또한 기존에 현장에 많이 보급되어 사용되고 있는 섬유보강 콘크리트의 경우 타설 시 섬유 뭉침 현상으로 인해 슬럼프 로스가 발생하고 마감성능이 저하되는 등 현장 적용에 많은 문제점이 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 시판중인 섬유별 소성수축 균열제어 성능 및 콘크리트 품질에 미치는 영향 등을 규명하여 보다 성능이 향상된 섬유보강 콘크리트를 건설현장에 실용화하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 일반적으로 공동주택 건설현장에서 주차장 및 옥상층에 주로 적용하고 있는 25-18-150 규격의 콘크리트(이하 18(Plain)) 배합 기준을 표1과 같이 계획하였으며, 구체적인 실험계획은 표 2와 같다. 목표 공기량 및 목표 슬럼프는 현장에 실제 반입되고 있는 규격에 맞도록 각각 150±25mm, 4.5±1.5%록 하였으며, 섬유의 경우 제조회사에서 권장하는 혼입량을 준수하여 사용하였다.

* 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 주임연구원
** 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 차장
*** 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 팀장

표 1. 플레인 배합기준

규격	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/㎥)	B(kg/㎥)			S	G	AD
				C	F/A	BFS	(kg/㎥)		
25-18-150 (Plain)	61.2	46.0	178	247	44	-	827	978	1.46

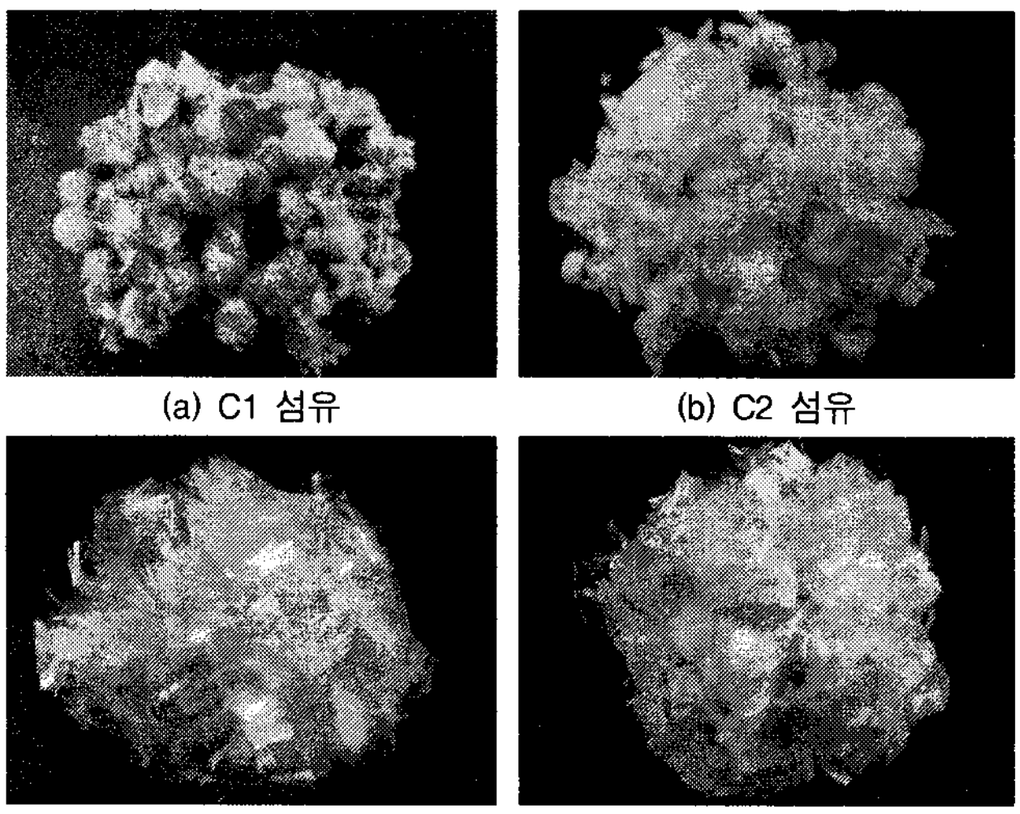
표 2. 실험요인 및 항목

실험요인		수준 및 항목			
배합설계	W/B(%)	61.2			
	슬럼프(mm)	150± 25			
	공기량(%)	4.5± 1.5			
	섬유종류	C1	C2	N	P
	섬유혼입량 (kg/㎥)	1.2	0.9	0.6	0.9
실험내용	굳지않은 콘크리트	슬럼프 공기량			
	경화 콘크리트	압축강도 균열 육안관찰 균열길이 및 면적			

2.2 사용재료

결합재는 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 플라이애쉬를 사용하였으며, 플라이애쉬의 경우 강열감량에 의한 품질변동이 심한 혼화재이므로 정제된 제품을 사용하고 강열감량을 반드시 확인하도록 하였다.

혼화제의 경우 현재 일반적으로 사용하고 있는 멜라민계 일반 AE감수제를 사용하였으며, 섬유 보강재로는 셀룰로오스 섬유 2가지, 나일론 섬유 및 PVA 섬유 등 총 4종류에 대해서 평가하였으며, 혼입량은 제조사의 권장량에 따라 첨가하였다.



(a) C1 섬유 (b) C2 섬유

(a) N 섬유 (a) P 섬유

그림 1. 섬유 종류별 형상

셀룰로오스 섬유는 최근까지 실무현장에 많이 보급되어 사용되고 있는 것(이하 C1)과 슬러리 형태로 제공되는 것(이하 C2)을 채택하여 비교 검토하였으며, 그 외 탄성계수가 크고 시멘트 페이스트와의 부착력이 큰 것으로 알려진 나일론 섬유(이하 N) 및 기존에 고인성 콘크리트에 적용되고 있는 PVA 섬유(이하 P)를 채택하여 실험하였다. 특히 비용이 높아 일반 콘크리트에 적용하기에 부담이 컸던 PVA 섬유가 최근 마감용 콘크리트 및 모르타르에 적용할 수 있는 저가의 제품이 생산되고 있어 이에 대한 성능을 비교 검토하였다.

표 3. 섬유별 물리적 성질

종류	비중	섬유길이 (mm)	유효직경 (mm)	탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)
C1	1.50	2.92	0.015	6.1	510
C2	1.10	1.9~2.3	0.014~0.017	8.5	600~900
N	1.16	19	0.023	5.17	896
P	1.30	6~12	0.08~0.016	15~25	700~1,500

2.3 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 유동성을 평가하기 위하여 KS F 2402 규정에 따라 슬럼프값을 측정하였으며, 현장에서 반입되는 품질시험 기준에 준하여 공기량도 같이 측정하여 비교하였다.

각 배합의 재령에 따른 압축강도를 측정하기 위하여 재령강도 7, 28일에 대해서 3개씩 시험체를 제작한 후 200tonf 용량의 UTM을 이용하여 KS F 2405에 따라 압축강도 시험을 실시하였다.

한편 소성수축 균열 시험은 일본의 콘크리트 판상균열 시험방법에 준하여 그림 2와 같이 형틀을 제작하여 실험하였다. 소성수축균열을 촉진하기 위해 콘크리트 비빔 후 -스크리닝을 하여 굵은 골재를 제거한 모르타르로 시험체를 제작하였다. 외부 조건은 수분증발량이 1.5kg/㎠/hr 이상 유지되도록 항온항습실의 조건을 온도 32℃, 상대습도 30%, 풍속 5.5m/s로 하였다. 초기 재령 7일 이후 소성수축 균열 발생 결과를 측정하였으며, 측정방법은 그림 3에서와 같이 Crack Viewer[FCV-21]를 사용하여 균열길이, 최대균열폭 및 균열면적을 측정하였다.

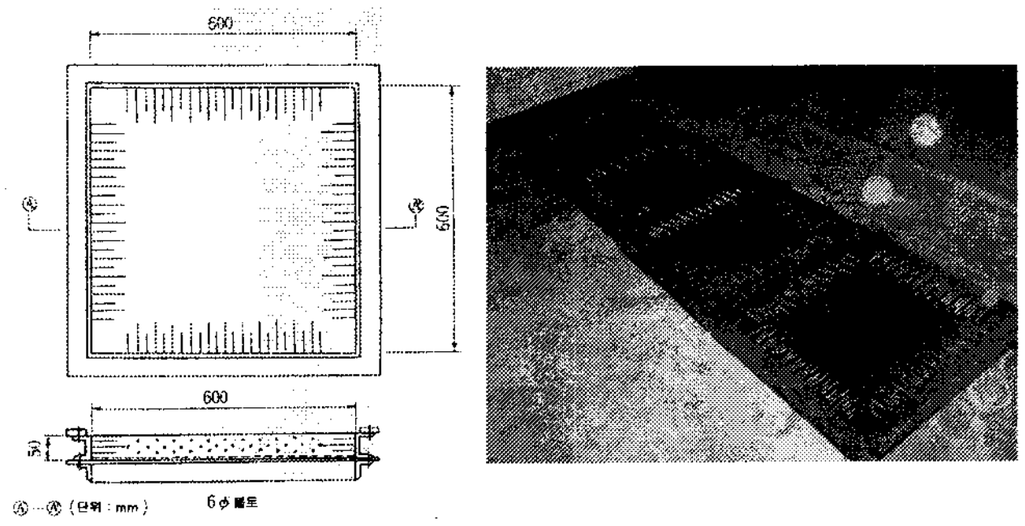


그림 2. 판상균열 시험장치

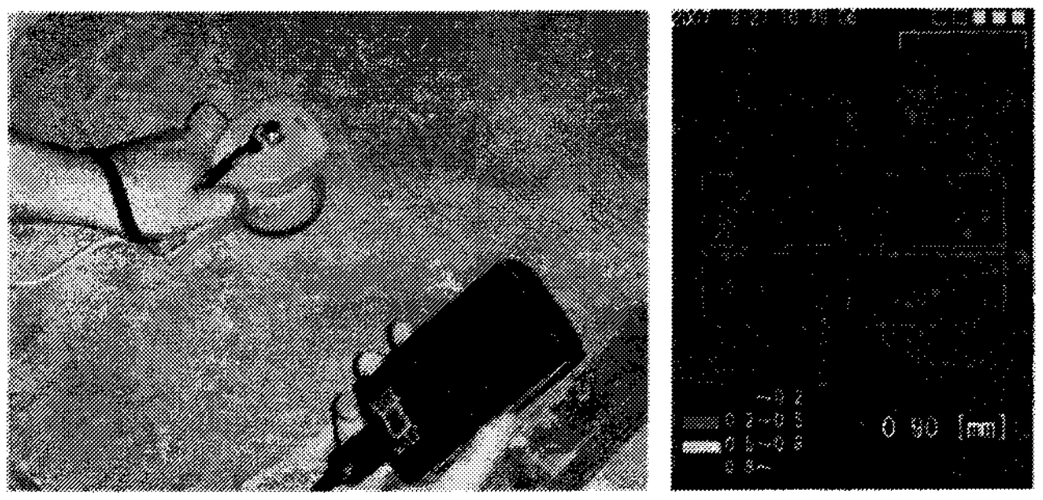


그림 3. Crack Viewer[FCV-21]

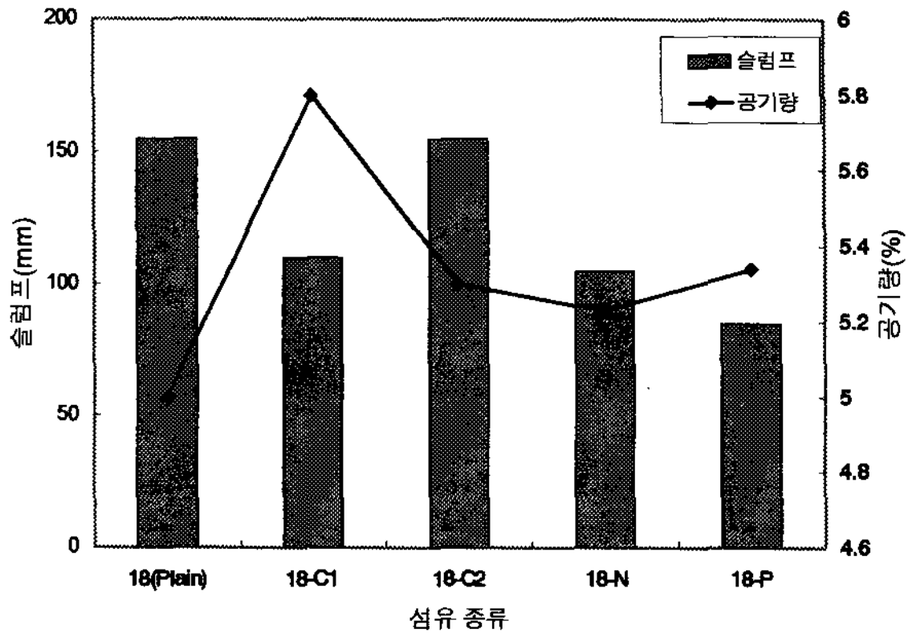


그림 4. 섬유 종류별 슬럼프와 공기량

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

그림 4는 18(Plain) 콘크리트와 섬유 보강재 종류별 콘크리트 배합의 비빔 직후 슬럼프와 공기량을 측정한 그래프이다.

슬럼프의 경우 18(Plain) 콘크리트의 값이 155mm인 반면 18-C2 배합을 제외한 나머지 배합의 경우 섬유 보강재를 혼입함으로써 슬럼프가 급격히 감소하였으며, 특히 19-P 배합이 85mm로 가장 컸다. 이는 섬유 첨가에 따른 점착력과 부착력의 증가로 인해 섬유와 시멘트 매트릭스의 뭉침 현상이 발생하여 콘크리트의 유동성이 감소한 것으로 판단된다.

18-C2 배합의 경우에는 슬럼프가 18(Plain)과 동일한 155mm이었으며, 이는 섬유 보강재를 액상과 일정비율로 혼합한 슬러리 상태로 배쳐 플랜트에 투입하여 시멘트 매트릭스 내부에서 타 섬유보다 쉽게 분산되었기 때문인 것으로 사료된다.

이러한 슬럼프 저하는 배쳐 플랜트 생산 시 유동성확보를 위해 현장배합상의 단위수량을 증가시켜 압축강도 저하 및 균열발생의 가능성을 배가시킬 수 있다.

공기량은 18(Plain) 배합에 비해 섬유 보강재를 혼입한 배합이 다소 증가하였으며 이는 섬유와 시멘트 매트릭스의 부착 표면에 미세 공극이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 경향은 섬유의 첨가량이 증가할수록 현저하게 나타나는 것으로 보고되고 있으며, 18-C1 배합의 공기량이 가장 크게 나타난 것도 타 섬유 보강재에 비해 혼입량이 많기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 섬유 종류별 압축강도

그림 5는 섬유 종류별 콘크리트의 7, 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 18(Plain) 배합 대비 섬유 보강재를 혼입한 배합 모두 재령 7, 28일 압축강도에서 큰 차이를 보이지 않았음을 확인할 수 있었다.

그러나 슬럼프 저하가 발생한 18-C1, 18-N 및 18-P의 경우 작업성 확보를 위해 임의로 단위수량을 증가할 경우 압축강도가 18(Plain) 보다 저하될 수 있을 것으로 사료된다.

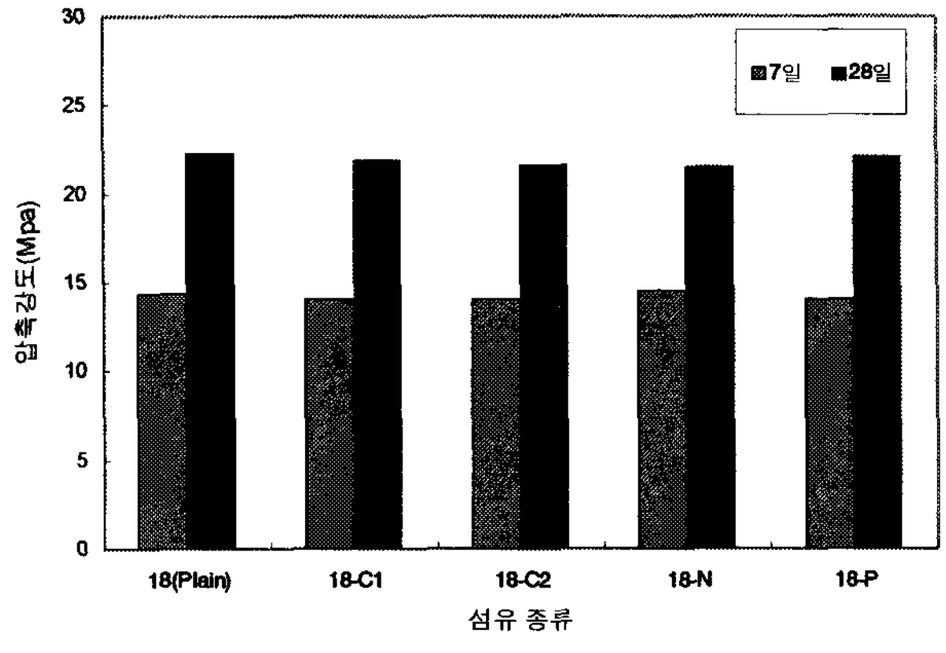


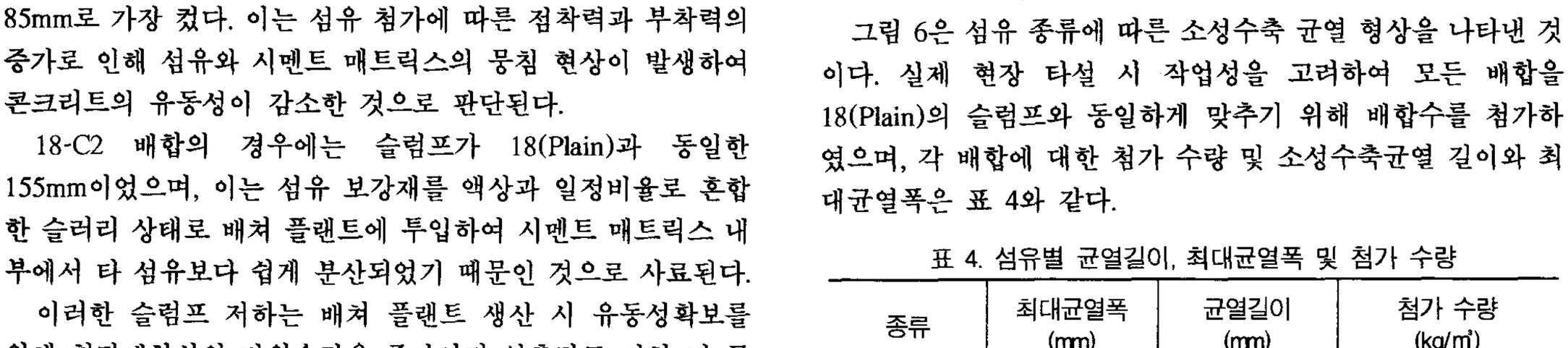
그림 5. 섬유 종류별 압축강도

3.3 소성수축 균열 시험 결과

그림 6은 섬유 종류에 따른 소성수축 균열 형상을 나타낸 것이다. 실제 현장 타설 시 작업성을 고려하여 모든 배합을 18(Plain)의 슬럼프와 동일하게 맞추기 위해 배합수를 첨가하였으며, 각 배합에 대한 첨가 수량 및 소성수축균열 길이와 최대균열폭은 표 4와 같다.

표 4. 섬유별 균열길이, 최대균열폭 및 첨가 수량

종류	최대균열폭 (mm)	균열길이 (mm)	첨가 수량 (kg/m³)
18(Plain)	0.9	821	-
18-C1	0.2	147	10
18-C2	-	-	-
18-N	0.9	867	11
18-P	1.0	471	15



(a) 18(Plain) (b) 18-C1 (c) 18-C2 (d) 18-N (e) 18-P

그림 6. 소성수축균열 시험 결과

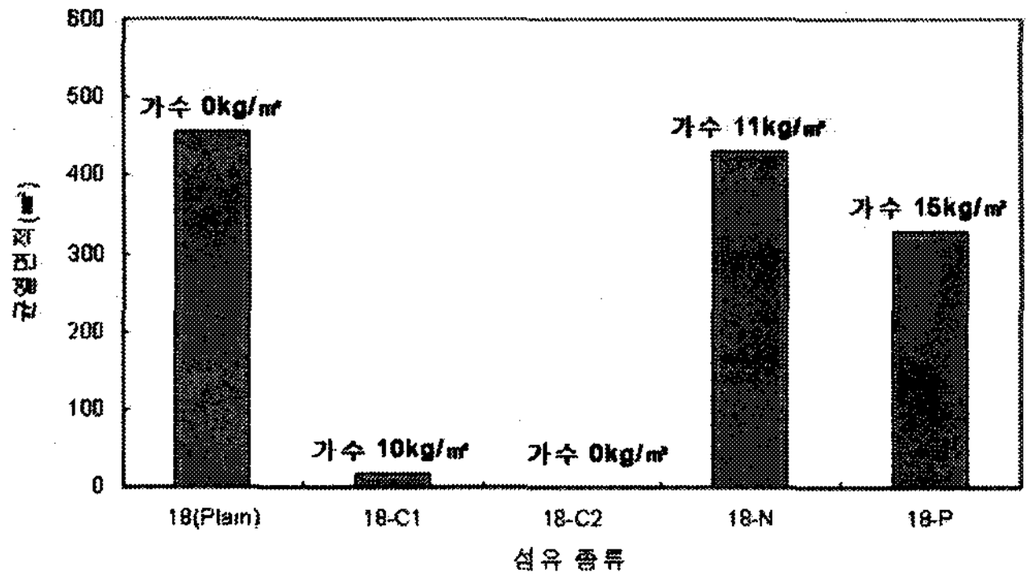


그림 7. 섬유 종류별 균열면적

목표 슬럼프 150mm를 맞추기 위하여 유동성이 감소하지 않은 18-C2를 제외하고, 18-C1, 18-N 및 18-P 배합에 각각 10, 11, 15kg/㎥의 단위수량을 임의로 증가시켰다. 그림 7에서와 같이 각 배합에서 발생한 균열의 면적을 구해 본 결과 단위수량이 증가 하였음에도 불구하고 섬유 보강재를 혼입한 모든 배합이 18(Plain)에 비해 균열면적이 다소 감소하였으며, 단위수량이 동일한 18-C2의 경우에는 균열이 전혀 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

슬럼프 보정을 위해 각 배합의 단위수량이 증가하였으므로 18-C2 배합을 제외하고 나머지 섬유 보강 콘크리트의 경우 압축강도가 다소 감소하였을 것으로 판단된다.

4. 결 론

균열제어 콘크리트의 현장 실용화를 위해 섬유 보강재 종류별 콘크리트의 성능을 비교 검토한 결과 본 연구의 범위 내에서 다음과 결론을 얻을 수 있었다.

1) 굳지않은 콘크리트의 유동성을 비교하기 위해 비빔직후 슬럼프 측정 결과 슬러리형 섬유 보강재를 혼입한 경우를 제외한 모든 섬유 보강 콘크리트에서 슬럼프 로스가 발생하여 유동성이 저하되었다.
2) 각 재령별 압축강도 측정결과 섬유 보강재 첨가에 따른 압축강도 변화는 없으나, 현장 적용 시 작업성을 확보하기 위하여 임의로 단위수량을 증가시킬 경우 압축강도가 감소할 우려가 있다.
3) 소성수축균열 시험 결과 모든 섬유보강 콘크리트의 균열 면적이 플레인보다 감소하였으며, 특히 18-C2의 경우 균열이 전혀 발생하지 않았는데 이는 슬러리 형태로 첨가되어 슬럼프 보정을 위한 가수가 불필요했기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 본 연구 결과는 섬유 보강재 특성에 따른 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 압축강도 및 소성수축균열 제어 성능을 확인함으로써 섬유보강 콘크리트를 건설현장의 마감용 콘크리트로서 실용화하기 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김광련 외, "나일론 섬유보강 콘크리트의 물리적 특성 및 모르타르 소성수축균열 제어성능 평가" , 한국콘크리트 학회지, 제 17권 2호, 2005.11, pp575~578
4. 원종필 외, "특수 가공된 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 초기 특성" , 한국 콘크리트 학회지 제11권 1호, 1999, pp 349~354
3. 한천구 외, "나일론 및 셀룰로스 섬유 혼입률 변화가 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향" , 건축시공학회 논문집, 제 7권 3호, 2007.09, pp83~90
2. Bentur, A 외, "Fiber Reinforced Cemetitious Composites", Elsevier Applied Science, New York, U.S.A, 1992, pp30~124