

# 양마의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구

## A Study on the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete by Kenaf Dosages

권영호<sup>1\*</sup> · 전우철<sup>2</sup>

Yeong-Ho Kwon<sup>1\*</sup> · Woo-Chul Jun<sup>2</sup>

(Received February 17, 2014 / Revised March 17, 2014 / Accepted March 19, 2014)

The purpose of this study is to establish experimentally the mechanical properties of fiber reinforced concrete using kenaf dosages and propose the usable method of kenaf fiber in the concrete industry as natural fiber materials. Kenaf fiber help make the concrete strength including tensile and flexural stronger, more resistant to plastic and drying shrinkage, less amount of carbon dioxide because of having a rough surface and excellent tensile strength of fiber and improving the concrete's corrosion resistance. It is to select the kenaf dosages of 4 cases (0, 0.3, 0.6 and 0.9kg/m<sup>3</sup> and perform various tests including slump, air content, plastic and drying shrinkage, flexural and tensile strength for fiber reinforced concrete.

The results of this study are as follows : In case of increasing kenaf fiber dosages, show the slump decrease and air content increase, also take effect results for increasing concrete strength including flexural and tensile, decreasing plastic and drying shrinkage. therefore, considered test results and cost, the optimum dosages of kenaf fiber is proposed about 0.6kg/m<sup>3</sup> and need to study on the site application considering concrete quality and another compared tests.

**키워드** : 양마섬유, 혼입량, 인장강도, 휨강도, 소성수축균열

**Keywords** : Kenaf fiber, dosages, Tensile strength, Flexural strength, Plastic shrinkage

### 1. 서론

건설분야의 대표적인 구조재료인 콘크리트는 고강도, 고성능, 고유동 등의 성능개선을 위한 여러 방안이 제시되어 비약적인 발전을 이루어 왔다. 그럼에도 불구하고 취성적 성질과 타설 초기에 발생하는 균열 등은 해결해야 할 문제점으로 남아 있다. 이를 해결하기 위하여 초기 재령에서 수분 손실을 억제할 수 있는 방법(양생법), 수축력 완화를 위한 보강방법(Wire-mesh) 및 섬유혼입으로 응력을 분산시키는 방법 등이 제시되고 있다(Han et al. 2006).

이 중에서 콘크리트의 매트릭스에 섬유를 혼입하여 응력을 분산시키는 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete : FRC)가 개발되었으며, 그 사용성도 크게 증대되고 있다.

대표적인 섬유는 폴리프로필렌 섬유, 폴리에틸렌 섬유, 강 섬유, 나일론 섬유 등의 인공섬유와 펄프, 마, 코코넛, 소나무 등의 천연섬유가 있다. 최근에 성능, 경제성 및 친환경 측면에서 천연섬유가 각광을 받고 있으며, 이에 따른 연구도 활발히 진행되고 있다(Han et al. 2007 ; Yoon et al. 2010, 2011 ; Won et al.2000). 특히, 섬유 보강재로 셀룰로오스 섬유와 황마섬유 등의 천연섬유와 비교할 때 우수한 성능을 갖는 것으로 알려진 양마섬유(Kenaf fiber)에 대한 사용 가능성이 제안되었다(Elsaid et al. 2011).

아욱과(Malvaceae) 1년생 초본식물인 양마는 고급 제지 및 친환경 벽지, 건축용 보드, 바이오 플라스틱, 자동차 프레임, 기능성 의류, 숯, 사료, 기름 흡착제, 버섯 · 식물재배용 배지, 바이오 에탄올 등의 생산을 위한 친환경 산업소재로 다양하게

\* Corresponding author E-mail: kyh00127@hanmail.net

<sup>1</sup>동양대학교 건축소방행정학과 (Depart. of Architecture and Fire service Administration, Dong Yang University, Youngju 750-711, Korea)

<sup>2</sup>두산건설 렉스콘 품질관리팀 (Doosan ENC, Rexcon QC team, Incheon 405-849, Korea)

사용되고 있다. 특히, 줄기에서 가공된 섬유는 표면이 거칠고, 인장력 및 부식저항성이 우수하며, 생장이 빠르고, 이산화탄소 흡수량이 일반 나무의 4.5배 이상으로 많다.

또한, 양마섬유는 셀룰로스 함량이 약 60~70%, 리그닌 함량이 10~20%로 높고 4~5개월 만에 4m 높이로 생육하며 4㎡당 6~10ton의 건섬유를 생산하기 때문에 저렴하고 생산이 수월한 특징을 갖는다.

특히, 콘크리트에 적용할 경우 높은 인장강도와 부착력의 증진으로 균열저감은 물론, 이산화탄소의 저감효과도 기대된다(Mohanty et al, 2005). 현재 국내에서는 양마섬유를 혼입한 섬유보강 콘크리트의 연구가 활발하지 못하기 때문에, 본 연구에서는 양마섬유를 혼입한 섬유보강 콘크리트의 최적 혼입량 및 이에 따른 콘크리트의 성능을 실험적으로 확인하고, 실제 적용 가능성에 대한 기초자료를 제안하고자 한다.

## 2. 실험개요 및 배합조건

### 2.1 실험개요

양마섬유(Kenaf)는 표면이 거칠고 인장력이 크기 때문에 이를 혼입한 섬유보강 콘크리트는 인장강도와 휨강도가 일반 콘크리트에 비해 높은 것으로 알려져 있다(Elsaid et al, 2011). 본 연구에서는 양마섬유의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 특성을 실험적으로 확인하고자 하며, 양마섬유의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 특성평가를 위한 연구의 단계별 실험과정은 Fig. 1과 같다.

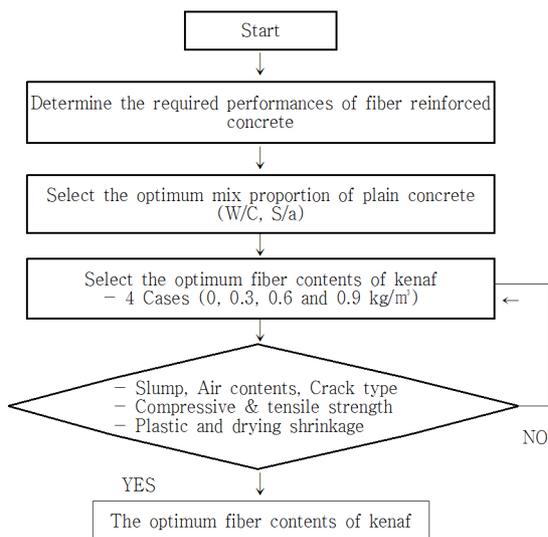


Fig. 1. Test procedure for fiber reinforced concrete using kenaf

여기서 양마섬유의 최적 혼입량을 도출하기 위하여 0, 0.3, 0.6, 0.9kg/m³에 대한 섬유보강 콘크리트의 성능실험을 실시하였다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트의 물리적 특성은 Table 1과 같이 KS L 5201에 규정된 성능을 만족하는 국내 C사의 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였다.

### 2.2.2 골재

골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 잔골재는 적당한 입도와 유기불순물을 허용한도 내에 함유하는 천연골재로 인천산 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 경기도 파주산 25mm쇄석을 사용하였다.

### 2.2.3 양마섬유

양마섬유의 물리적 특성은 Table 3과 같으며, Photo 1은 양마섬유의 표면과 횡단면의 SEM(×1000) 상황이다.

양마섬유는 저렴한 가격 및 풍부한 생산성, 비강도가 높으며, 물리적 특성이 우수하기 때문에 산업용 로프 및 보강재로 많이 활용되고 있다(Suh 2007).

Table 1. Physical properties of ordinary portland cement

Density (g/cm³)	Blaine (cm²/g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3d	7d	28d
3.15	3,265	0.08	210	320	22.1	28.6	39.8

Table 2. Physical properties of fine and coarse aggregate

Kinds	Density (g/cm³)	F.M.	Absolute volume (%)	Apsorption ratio (%)	Unit volume weight (kg/m³)
Fine	2.50	2.86	54.3	1.62	1,552
Coarse	2.63	6.55	58.4	0.58	1,743

Table 3. Physical characteristics of kenaf as natural fiber

Kinds	Density (g/cm³)	Fiber length (mm)	Equivalent diameter (mm)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
KN	1.24	6~8	0.059	600	34,000

또한, 섬유의 표면이 거친 용마루 형태를 나타내기 때문에, 콘크리트 매트릭스의 부착력을 향상시켜 줄 것으로 기대된다. 섬유단면이 타원형으로 되어 있어서 표면적의 증대에 따른 성능개선도 예상된다(Elsaid et al, 2011).

### 2.3 요구성능 및 기본배합

섬유보강 콘크리트의 기본 배합조건은 Table 4와 같이 물-시멘트비(W/C) 49.9%, 잔골재율(S/a) 48.5%로, 콘크리트의 요구성능은 목표 슬럼프 및 공기량 각각  $180 \pm 25$ mm,  $4.5 \pm 1.5$ %로 하였다. 또한 기본 배합조건에 양마섬유의 혼입량 0, 0.3, 0.6 및  $0.9 \text{ kg/m}^3$ 에 대한 섬유보강 콘크리트의 특성을 비

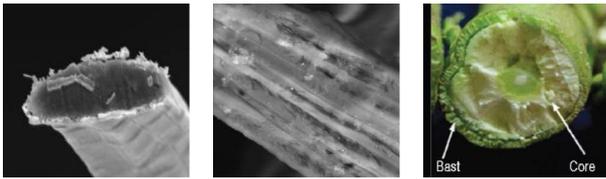


Photo 1. SEM images from surface and section of kenaf fiber

Table 4. Basic mix proportion for plain concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit materials weight ( $\text{kg/m}^3$ )				Chemical admixture (%)
		Water	Cement	Sand	Gravel	
49.9	48.5	181	363	850	913	0.6

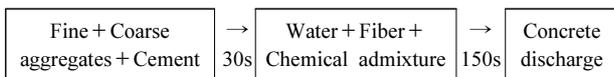


Fig. 2. Mixing method and time of the fresh concrete

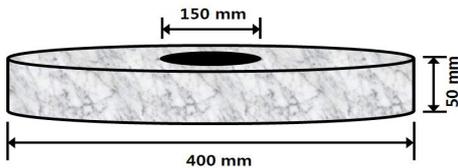


Fig. 3. Test specimen for plastic shrinkage crack

Table 5. Concrete mix proportion for fiber content

N0.	Fiber content ( $\text{kg/m}^3$ )	W/C (%)	S/a (%)	W ( $\text{kg/m}^3$ )	Remark
Plain	0.0	49.9	48.5	181	- Slump test
KN-0.3	0.3				- Air content
KN-0.6	0.6				- Plastic shrinkage
KN-0.9	0.9				- Strength test

교하였다.

### 2.4 배합방법 및 시험방법

콘크리트 배합에 사용된 믹서는 2축 트윈샤프트 고성능 실 내 믹서(30rpm)를 사용하였으며, 배합시간 및 배합방법은 Fig. 2와 같다.

슬럼프 및 공기량 시험은 KS F 2402 및 KS F 2421의 규정에 따라 실시하였다. 또한, 소성수축균열 시험은 Fig. 3에 나타난 바와 같이  $\varnothing 400 \times 50$ mm 및 중앙부에 콘크리트를 구속하기 위한  $\varnothing 150$ mm 링을 설치한 시험체에 콘크리트 시편을 제작한 후에  $30 \pm 3$  °C의 온도와  $50 \pm 3$ %의 상대습도 조건에서 48시간 동안 진행하면서 균열상황을 확인하였다.

압축강도 시험은 KS F 2405에 따라, 할렬인장강도 시험은 KS F 2423에 따라 실시하였으며, 휨강도 시험은 KS F 2408에 따라 재령별 실시하였다. Table 4의 기본배합에서 양마섬유 혼입량에 따른 콘크리트의 배합조건은 Table 5와 같다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성 분석

#### 3.1.1 슬럼프

양마섬유 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 슬럼프 시험 결과는 Table 6 및 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

Table 6. Slump results for fiber contents by elapsed time

N0.	Fiber content ( $\text{kg/m}^3$ )	Slump (mm)		Slump loss by elapsed time (mm)
		0 min.	30 min	
Plain	0.0	185	175	-10
KN-0.3	0.3	175	175	-10
KN-0.6	0.6	175	160	-15
KN-0.9	0.9	170	160	-10

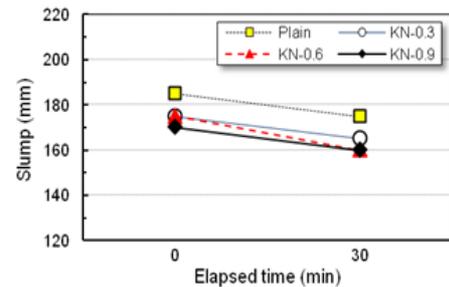


Fig. 4. Slump test results for fiber contents

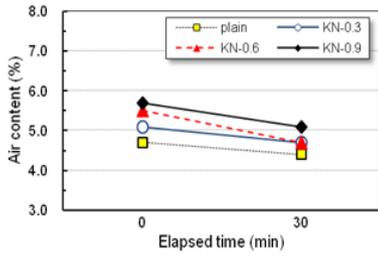


Fig. 5. Air content results for fiber contents

대부분의 배합에서 목표 슬럼프(180±25mm)를 만족하였으며, 양마섬유의 혼입량 증가에 따라 슬럼프가 10~15mm 범위에서 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 매트릭스에서 거친 섬유표면으로 인한 부착성과 섬유 상호간의 가교작용(Bridging)에 기인된 것으로 사료된다(Elsaid et al. 2011).

그러나 경시변화에 따른 슬럼프 손실은 양마섬유의 혼입량에 따른 차이가 거의 없는 것으로 사료된다.

### 3.1.2 공기량

양마섬유의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 공기량 시험결과는 Fig. 5와 같다.

시험결과, Plain 배합조건에 비하여 양마섬유를 혼입한 섬유보강 콘크리트의 공기량이 약간 증가하는 경향을 나타내었지만, 대부분 목표 공기량(4.5±1.5%)을 만족하였다.

### 3.2 소성수축 균열 분석

Table 7은 양마섬유의 혼입량에 따른 콘크리트의 소성수축 균열 시험결과를 나타낸 것이다.

또한 Fig. 6 및 Fig. 7은 양마섬유 혼입량에 따른 균열폭과 길이 및 균열면적을 각각 나타낸 것이다.

시험결과, 양마섬유의 혼입량이 증가할수록 균열의 길이는 약 20~60%, 균열의 폭은 약 21~56% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 상대 균열면적비를 분석한 결과, 섬유 혼입량 0.3kg/m<sup>3</sup>의 경우 약 36%, 0.6kg/m<sup>3</sup>의 경우 81% 및 0.9kg/m<sup>3</sup>의 경우에는 약 83%의 균열면적 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

이는 소성수축에 따라 콘크리트 표면에 나타나는 인장응력을 양마섬유가 구속하는 효과 및 분산정도로 인하여 균열의 길이, 폭 그리고 균열면적이 감소된 것으로 사료된다(Han et al. 2007).

균열저감의 효과는 혼입량 0.9kg/m<sup>3</sup>의 경우가 가장 우수하지만, 혼입량 0.6kg/m<sup>3</sup>와 약 2%의 미세한 차이를 나타내었기 때문에 경제성 등을 고려하여 균열에 대한 저감효과는 혼입량

Table 7. Plastic shrinkage crack results for fiber contents

N0.	Crack width (mm)	Crack length (mm)	Crack area (mm <sup>2</sup> )	Relative crack area ratio (%)
Plain	390	0.5	195	100
KN-0.3	310	0.4	124	64
KN-0.6	190	0.2	38	19
KN-0.9	170	0.2	34	17

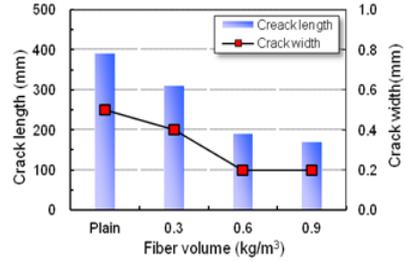


Fig. 6. Crack length and width for fiber contents

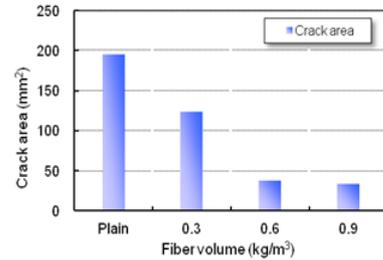


Fig. 7. Crack area for fiber contents

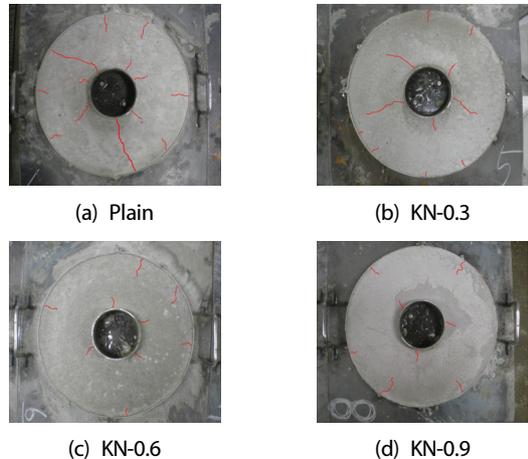


Photo 2. Plastic shrinkage crack for kenaf fiber content

0.6kg/m<sup>3</sup>가 바람직할 것으로 사료된다.

Photo 2는 양마섬유의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 소성수축균열 성상을 나타낸 것이다.

### 3.3 굳은 콘크리트의 특성 분석

#### 3.3.1 압축강도

Table 8 및 Fig. 8은 양마섬유의 혼입량에 따른 재령별 압축강도 및 Plain에 대한 강도비를 나타낸 것이다.

실험결과, 초기재령(3일, 7일)에서는 양마섬유의 혼입량이 증가할수록 압축강도가 1.0 ~ 9.0% 범위에서 감소하는 경향을 나타내었으나, 재령 28일에서는 Plain과 거의 유사한 값을 나타내었다. 또한, 재령별 Plain에 대한 강도비의 경우, 재령 3일에는 96 ~ 102%, 재령 7일은 91 ~ 97%, 재령 28일에는 101 ~ 103%로 나타났기 때문에, 양마섬유의 혼입량에 따른 압축강도의 영향은 크지 않은 것으로 사료된다.

#### 3.3.2 할렬인장강도 및 휨강도

Table 9는 양마섬유의 혼입량에 따른 재령별 할렬인장강도 및 휨강도, 그리고 Plain에 대한 강도비를 나타낸 것이며, Fig. 9는 할렬인장강도를 나타낸 것이다.

Fig. 9에서 보듯이 양마섬유의 혼입량에 따라 차이는 있지만, 재령에 관계없이 KN-0.6(0.6kg/m<sup>3</sup>)의 할렬인장강도가 약간 높은 경향을 보였다(Han et al. 2006).

즉, 할렬인장강도는 양마섬유의 혼입량 0.6kg/m<sup>3</sup>까지 증가하지만, 이후 혼입량 0.9kg/m<sup>3</sup>에서 감소하는 것으로 나타났

Table 8. Compressive strength and ratio for fiber contents

NO.	Compressive strength (MPa)		
	3days (ratio %)	7days (ratio %)	28days (ratio %)
Plain	15.6 (100)	25.3 (100)	31.2 (100)
KN-0.3	15.9 (102)	24.5 (97)	31.6 (101)
KN-0.6	15.4 (99)	23.4 (92)	32.1 (103)
KN-0.9	14.9 (96)	23.1 (91)	31.9 (102)

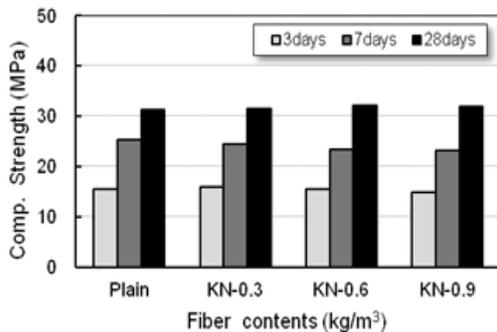


Fig. 8. Compressive strength and ratio for fiber contents

다. 이는 양마섬유의 혼입량이 증가함에 따라 콘크리트 매트릭스 내에서 강도증진에 기여하는 적정량의 섬유 혼입량이 존재하는 것으로 사료된다.

Fig. 10은 양마섬유의 혼입량에 따른 재령 28일 휨강도의 실험결과를 나타낸 것이다.

실험결과, Plain에 비해 양마섬유의 혼입량에 따라 약 6.0 ~ 16.0% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 섬유의 인장강도와 부착성능에 의한 영향으로 사료된다(Han et al. 2006). 할렬인장강도 실험결과와 마찬가지로 혼입량 0.6kg/m<sup>3</sup>까지 휨강도가 증가하는 것으로 나타나, 섬유보강 콘크리트의 인장력 확보에 혼입량 0.6kg/m<sup>3</sup> 이하가 적절한 것으로 판단된다.

Table 9. Tensile and bending strength for fiber contents

NO.	Tensile strength (MPa)		Flexural strength
	7days (ratio %)	28days (ratio %)	28days (ratio %)
Plain	2.06 (100)	2.73 (100)	31.2 (100)
KN-0.3	2.13 (103)	3.04 (111)	31.6 (101)
KN-0.6	2.21 (107)	3.19 (117)	32.1 (103)
KN-0.9	2.14 (104)	2.97 (109)	31.9 (102)

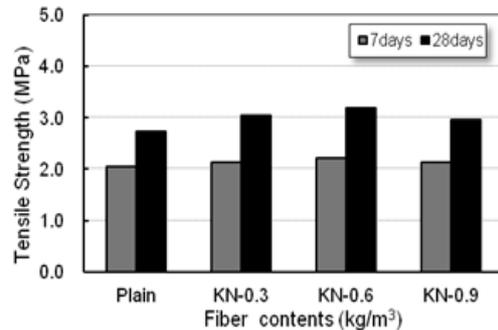


Fig. 9. Tensile strength and ratio for fiber contents

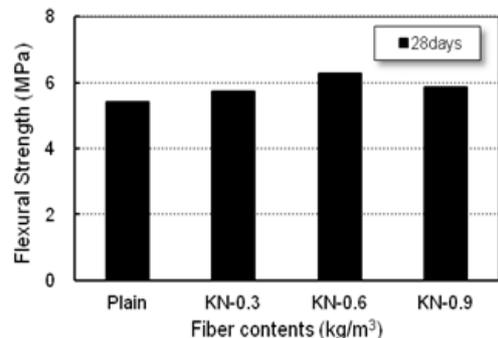


Fig. 10. Flexural strength and ratio for fiber contents

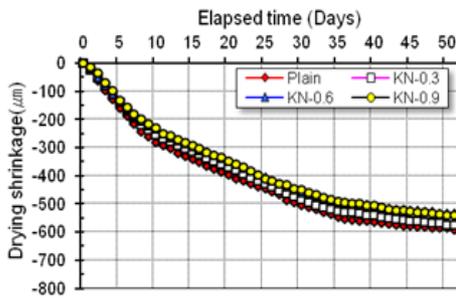


Fig. 11. Drying shrinkage for fiber contents at ages

### 3.4 건조수축(길이변화) 특성 분석

Fig. 11은 양마섬유의 혼입량에 따른 재령 51일까지의 건조 수축(길이변화) 시험결과를 나타낸 것이다.

건조수축 길이변화는 재령의 경과에 따라 완만하게 감소하는 경향을 나타내었으나, 섬유 혼입량에 따라 소폭 차이로 수축의 억제효과를 나타내었다. 또한, 섬유 혼입량이 증가함에 따라 그 수축의 억제효과도 증가하였다. 하지만, 그 차이는 소폭으로 Plain과 유사한 결과를 보이며 건조수축량에는 눈에 띄게 큰 효과가 없는 것을 확인하였다(Won et al. 1998).

## 4. 결론

양마섬유를 혼입한 섬유보강 콘크리트의 최적 혼입량에 관한 연구를 통해 도출된 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 섬유의 부착성 및 섬유와 매트릭스 내의 미세공극으로 인하여 양마섬유의 혼입량이 증가할수록 슬럼프 감소 및 공기량 증대하는 경향을 나타내었다.
2. 양마섬유의 혼입량이 증가할수록 섬유의 길이와 폭 및 면적 등이 증가하기 때문에, 소성수축 균열의 억제효과도 증대되는 것으로 나타났다. 균열억제 및 경제성을 고려하면 양마의 혼입량  $0.6\text{kg/m}^3$ 가 효과적일 것으로 사료된다.
3. 양마섬유의 혼입량이 증가할수록 28일 압축강도는 큰 차이가 없었으나, 할렬인장강도 및 휨강도는  $0.6\text{kg/m}^3$ 에서 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 섬유의 부착성 및 분산에 따른 것으로 사료된다.
4. 길이변화 시험에 따른 건조수축량은 Plain에 비해 억제되었지만, 양마섬유의 혼입량에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 양마섬유의 최적 혼입량은  $0.6\text{kg/m}^3$

가 가장 효과적인 것으로 사료된다.

## References

- Elsaid, A., Dawood, M., Dawood, R., and Seracino, R., (2011). Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete, *Construction and Building Material*, **25(4)**, 1991–2001.
- Han, C.G., Han, M.C., and Shin, H.S., (2007). Effect of the Nylon and Cellulose Fiber Contents on the Mechanical Properties of the Concrete, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **7(3)**, 83–90.
- Han, C.G., Kim, B.G., Lee, K.C., and Kim, K.L., (2006). Influence of Organic Fiber Kinds on Engineering Properties of Concrete, *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, **6(1)**, 27–30.
- Mohanty, A.K., Misra, M., and Drzal, L.T., (2005). *Natural fibers, bio polymers, and bio composites*, CRC press, Taylor and Francis group.
- Suh, J.M., (2007). Processing and properties of Jute/PLA and Kenaf/PLA bio composites, Ph.D Thesis, Kumoh National Institute of Technology, Korea.
- Won, J.P., and Park, C.G., (2000). Effects of Specialty Cellulose Fibers on Improvement of Flexural Performance and Control of Cracking of Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **12(2)**, 89–98.
- Won, J.P., Park, C.G., and Ahn, T.S., (1998). Experimental Study for Plastic Shrinkage Cracking of Cellulose Fiber Reinforced Concrete, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, **10(2)**, 319–323.
- Yoon, K.W., Kim, D.Y., Jun, I.G., Lee, J.H., and Park, Y.G., (2010). Research for Performance Evaluation of Crack Reduction in Fiber Reinforced Concrete with Using Jutes, *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, **10(1)**, 53–55.
- Yoon, K.W., Kim, D.Y., Jun, I.G., Lee, J.H., and Park, Y.G., (2011). Evaluation of the Basic Properties of Concrete with Types of Cellulose Fibers, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **11(5)**, 419–425.

**양마의 혼입량에 따른 섬유보강 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구**

본 연구에서는 천연섬유인 양마를 섬유보강 콘크리트에 사용하기 위한 방안으로, 양마의 혼입량에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 실험적으로 확인하였다. 양마는 표면이 거칠고 섬유의 인장력 및 부식저항성이 우수하기 때문에, 섬유보강재로 적용할 경우에 콘크리트의 인장강도 및 부착력 증대에 의한 균열저감 효과, 그리고 이산화탄소를 저감하는 친환경 재료로 기대된다. 이러한 연구를 위하여 기본배합 조건에 양마의 혼입량 4종류(0, 0.3, 0.6 및 0.9kg/m<sup>3</sup>)를 대상으로 슬럼프, 공기량, 소성수축 균열 및 압축강도, 할열인장강도, 휨강도, 그리고 건조수축량 등에 대한 성능시험을 실시하였다. 실험결과, 양마의 혼입량이 증가할수록 슬럼프 저하 및 공기량 증대현상이 나타났지만, 차이는 크지 않았다. 특히, 할열인장강도 및 휨강도 증진에 매우 효과적이며, 소성수축균열 및 건조수축량 저감에도 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트의 역학적 성능, 경제성 등을 고려하여 양마의 혼입량은 0.6kg/m<sup>3</sup>로 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 향후 사용성 및 비교시험을 통한 현장적용성의 검토가 필요할 것으로 사료된다.