

# 매크로 포타 섬유를 사용한 섬유 보강 콘크리트의 역학적 특성 평가

## Evaluation on Mechanical Properties of Organic of Fiber Reinforced Concrete Using Macro Forta Fiber

류 화 성<sup>1</sup>                      김 득 모<sup>1\*</sup>                      신 상 현<sup>1</sup>                      유 일 환<sup>2</sup>                      조 지 민<sup>2</sup>

Ryu, Hwa-Sung<sup>1</sup>                      Kim, Deuck-Mo<sup>1\*</sup>                      Shin, Sang-Heon<sup>1</sup>                      Ryu, Il-Hwan<sup>2</sup>                      Joe, Ji-Min<sup>2</sup>  
*Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan 15588, South Korea<sup>1</sup>*  
*Seo-Mun Construction, 3th Floor Seung-Sang Building, Ansan 15588, South Korea<sup>2</sup>*

### Abstract

Concrete is a semi-brittle material, so its compressive strength is high but its tensile strength is low. The use of fiber-reinforced concrete to improve the disadvantages of such concrete can be an effective way to toughen effective toughness, and the performance is improved by using steel fiber reinforced concrete for structures that are vulnerable to bending forces. However, alternative materials are required due to corrosion of steel fiber and lowering of workability. The purpose of this study is to evaluate the availability of replacing steel fiber reinforced concrete by evaluating physical properties, mechanical properties and drying shrinkage properties of concrete using macro forta fiber with excellent diffusibility. Experimental results show that the macro forta fiber has better fluidity and mechanical performance than the steel fiber reinforced concrete. It was also confirmed that the crack resistance of concrete using Macro Forta fiber is effective in improving structural cracking and drying shrinkage resistance compared to steel fiber reinforced concrete.

Keywords : macro forta fber, fiber reinforced concrete, steel fiber, organic fiber, equivalent flexural strength

## 1. 서 론

콘크리트는 반취성 재료로서 우수한 압축력을 갖는 소재이나 인장력은 취약한 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 콘크리트에 철근 콘크리트 내의 철근에 의한 인장력의 강화를 통해 구조적인 균열을 억제하고 있다. 그러나 콘크리트가 경화되는 과정에서 수분의 증발 및 수화 거동에 의한 미세 균열과 인장력 강화를 위한 과대 철근의 사용 등으로 철근 콘크리트 구조물의 하자 및 비용 상승의 원인이 되고 있다[1].

철근 콘크리트 구조물의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제시된 섬유보강 콘크리트는 콘크리트의 인성을 향상하는데 있어 효과적인 소재이다. 강섬유를 사용한 섬유보강 콘크리트는 강섬유의 높은 인장력을 활용하여 재료 자체의 인성을 강화할 수 있기 때문에 건조수축과 휨인성의 성능을 향상할 수 있는 장점이 있다[2,3].

강섬유를 사용한 섬유 보강 콘크리트 표면의 균열 발생이 용이한 터널의 라이닝이나 보수보강을 위한 특수 콘크리트, 균열 및 처짐 등에 민감한 초평탄 바닥 콘크리트 등에 사용되고 있다[4,5]. 특히, 대규모 공업단지, 대형 물류 시설은 고층의 선반 설비 및 중량물의 이동이 많아 물류 이동의 안전성과 하부의 응력 집중 등으로 인해 바닥콘크리트 처짐에 대한 저항성이 크게 요구되고 있다. 이러한 이유로 강섬유 보강 콘크리트는 초평탄 콘크리트에 중요한 구조재료로 사용되고 있다.

Received : April 2, 2017  
Revision received : May 23, 2017  
Accepted : July 10, 2017

\* Corresponding author : Kim, Deuck-Mo  
[Tel: 82-31-400-3752, E-mail: golanhae@naver.com]  
©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

반면에, 강섬유 보강 콘크리트는 섬유 자체의 강성이 높기 때문에 콘크리트 압송 타설시 압송관 내에서 표면의 마찰이 심하고 관내 굴곡 부위 등에서 섬유에 의한 관내 폐색 등에 취약하여 초평탄 콘크리트 현장에서는 시공성이 낮은 문제가 있다[6,7]. 시공이 완료된 콘크리트 표면부의 강섬유의 부식은 표면의 부식 팽창 등으로 인해 내구성을 저하시키거나 표면부에 강섬유가 노출되어 평탄도를 저하시키는 문제점이 있다[8].

현재 사용되는 유기계 섬유는 대부분 섬유의 굵기가 얇고 강섬유에 비하여 인성이 낮아 콘크리트보다 모르타르에 적용되는 경우가 많다. 유기계 섬유의 역학적 특성은 인발응력과 휨강도가 강섬유에 비하여 낮아 구조부재인 콘크리트 배합시에는 유기계 섬유보다 강섬유를 사용하고 있는 실정이다[9]. 이러한 문제점으로 인해 강섬유와 유사한 역학적인 성능을 구현할 수 있는 유기계 섬유 보강 콘크리트에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다.

최근 현장에서는 강섬유 보강 콘크리트 사용에 따른 섬유 부식 및 시공성 개선의 문제로 유기계 섬유로 대체하기 위한 바다 콘크리트를 타설한 사례가 검토되고 있으며, 관련 분야에 대한 연구는 지속적으로 요구되고 있는 실정이다[5].

따라서 본 연구에서는 폴리프로필렌계 유기 섬유 중 나선형의 섬유 집합체로 제조되어 섬유 자체의 굵기와 확산성이 향상된 매크로 포타 섬유를 섬유보강콘크리트에 적용함으로써 강섬유의 대체 가능성을 보고자 하였다.

매크로 포타 섬유를 사용한 섬유보강 콘크리트의 특성을 평가하기 위한 방안으로 콘크리트의 공기량, 유동성, 압축강도, 압축탄성계수, 쪼갬 인장 강도, 휨강도, 휨인성계수, 등가휨강도, 건조 수축 특성을 측정하였다.

## 2. 사용 재료

### 2.1 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 비중은 3.15이며, 사용재료의 물리 화학적 성질은 아래 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Chemical composition of ordinary portland cement

(unit: wt%)							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 2. Physical properties of ordinary portland cement

Density (20°C)	Blaine fineness specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Compressive strength of mortar (MPa)		
		Initial set (hour)	Final set (hour)	3 days	7 days	28 days
3.15g/cm <sup>3</sup>	3400	4	7	20	23	38

### 2.2 골재

잔골재는 부순 모래 30%와 해사 70%를 혼합하여 사용하였으며, 밀도 2.63g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.62이고 흡수율은 약 1.42%인 것을 사용하였다. 굵은 골재는 최대 입도가 25mm이며, 밀도 2.62g/cm<sup>3</sup>, 조립률 6.48%, 흡수율이 약 0.58%인 것을 사용하였다. 콘크리트 배합시 표면 건조 내부 포수 상태의 조건을 만족하기 위하여 24시간 침수 후 표면 건조 상태가 된 후 실험을 실시하였다.

### 2.3 섬유

실험에 사용된 섬유는 크게 2가지로 A사의 강섬유와 매크로 포타 섬유를 사용하였다. 사용된 섬유의 물리적 성질은 아래 Table 3과 같으며, Figure 1은 실험에 사용된 섬유의 사진이다.

매크로 포타섬유는 여러 가닥의 유기 섬유가 다발형의 나선 형태로 꼬여져 제조된 섬유로 콘크리트 배합시 엉킴 혹은 뭉침을 억제하기 위하여 표면의 작용기가 소수기를 포함하는 폴리프로필렌공중합체로 구성되어 있다.

여러 개의 얇은 섬유들이 결합된 상태로 꼬여 있는 매크로 포타 섬유의 단위 섬유체가 콘크리트 내에 혼입되면 배합단계에서 골재와의 마찰에 의해 나선형으로 꼬인 섬유가 풀리는 단계를 거쳐 단위 섬유체를 구성하는 요소 섬유들이 확산되게 된다. 이후 확산된 섬유는 개별적인 마찰에 의해 얇은 개별 섬유가 가지처럼 분화되어 서로 간의 간섭을 감소시키며 섬유 분포도가 향상되는 특성을 지니고 있다. Figure 2는 매크로 포타 섬유의 확산단계를 나타낸 그림이다.

Table 3. Specification of fiber

Type	Steel Fiber	Macro Forta Fiber
Aspect Ratio	60	-
Diameter(mm)	0.5	-
Length(mm)	30.02	54, 38
Density(g/cm <sup>3</sup> )	7.85	0.91
Tensile Strength(Mpa)	1,140	570~660
Tensile elongation(%)	3.5	-
Elastic Modulus(Gpa)	200	4.67
Material	Steel	Virgin polymer /Polypropylene



(a) Steel Fiber (b) Macro Forta Fiber

Figure 1. Fiber for experiment



Figure 2. Diffusion step of macro forta fiber

## 2.4 혼화제

혼화제는 B사의 폴리카본산계 AE감수제를 사용하였으며, 사용재료의 특성은 아래 Table 4와 같다.

Table 4. Specification of plasticizer

Main ingredient	Specific gravity (20℃)	pH	Appearance
Polycaboxirate	1.06	5.7	Light yellow liquid

## 3. 실험계획 및 방법

### 3.1 배합설계

매크로 포타섬유의 특성을 평가하기 위한 콘크리트 규격은 25-30-150인 최대골재치수 25mm, 압축강도 30MPa, 슬럼프150mm을 목표로 하였다. 콘크리트 배합에 사용된 물시멘트비는 40%이고, 잔골재율 47%, 단위수량은 165kg/m<sup>3</sup>로 하였으며, AE감수제는 시멘트의 중량의 0.4%를 사용하였다. 비교군으로 현재 바닥 슬래브 공사에서 주로 사용되고 강섬유 혼입율인 0.3%를 기준으로 하여 매크로 포타 섬유는 콘크리트 용적 대비 0, 0.3, 0.4, 0.5%로 섬유혼입율을 증가시키는 형태로 실험을 수행하였다. 실험수준은 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Experimental factors and levels in this study

Concrete Standard	Unit of Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Unit of Water (kg/m <sup>3</sup> )	Sand/ aggregate (%)	Fiber		Admixture (C×%)
				Type	Volume Percent (%)	
25-30-150	371	165	47	Non Steel	-	0.4
				Fiber <sup>1)</sup>	0.3	
				Macro Forta	0.3	
				Fiber <sup>2)</sup>	0.5	

※ 1) Steel Fiber Reinforced Concrete = SFRC

2) Macro Forta Fiber Reinforced Concrete = MFRC

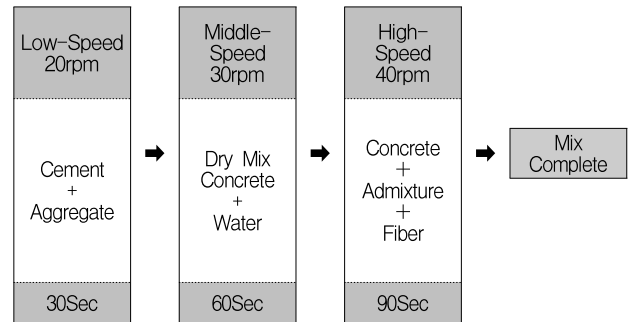


Figure 3. Process of concrete mixing

### 3.2 시험체 제작 및 양생

콘크리트의 혼합은 트윈 타입 믹서를 사용하였으며, Figure 3의 순서에 따라 실시하였다. 즉, 트윈 타입 믹서에 시멘트, 골재를 투입한 다음 건비빔을 30초간 저속(20rpm)으로 실시하고, 건비빔 후 물을 넣고 60초간 중속(30rpm)으로 비빔 후, 혼화제 및 보강섬유를 첨가하여 고속(40rpm)으로 90초간 다시 비빔하여 혼합을 완료하였다. 제조된 콘크리트는 시험 규격별 몰드에 타설한 뒤 강도 측정을 위한 몰드의 경우, 1일 양생 후 온도 20±2℃의 조건에서 28일간 수중 양생하였으며, 건조수축을 위한 시험체는 온도 20±2℃, 습도 60±5%의 조건의 항온 항습실에서 양생하였다.

### 3.3 실험 방법

#### 3.3.1 슬럼프/공기량

굳지 않은 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 KS F 2594에 따라 슬럼프 시험과 KS F 2421에 따라 공기량 시험을 실시하였다.

#### 3.3.2 압축강도

압축강도 시험은 KS F 2405의 규격에 따라 지름 10m×

높이 20cm의 실린더형 몰드로 제작된 시험체를 양생 재령에 따라 3일, 7일, 28일의 강도를 측정하였다. 이 때 Figure 4와 같이 압축강도 측정시 응력-변형을 측정하여 압축탄성계수를 구하였다.

### 3.3.3 조깅인장강도

조깅인장강도 시험은 KS F 2423의 규격에 따라 지름 10cm×높이 20cm의 실린더형 몰드로 제작된 시험체를 양생 재령에 따라 3일, 7일, 28일의 강도를 측정하였다.

### 3.3.4 휨강도/등가휨강도/휨인성계수

휨강도 시험은 KS F 2408의 규격에 따라 10cm×10cm×40cm(가로×세로×길이)의 빔(Beam)형 몰드에 제작된 시험체를 양생 재령에 따라 3일, 7일, 28일의 강도를 측정하였다. 28일 재령을 기준으로 하여 아래 Figure 5와 같이 응력-변형을 측정하여 KS F 2566에 따라 등가휨강도와 휨인성계수를 도출하였다.

등가휨강도는 휨성능시험을 통해 얻은 하중-처짐 곡선에서 주어진 처짐(지간의 1/150)에서의 평균 휨강도로 정의하고 있다.

$$\text{등가휨강도} = \frac{Tb}{\delta_{tb}} \times \frac{l}{bh^2}$$

- Tb : 기준 처짐까지의 휨강도
- δ : 기준 처짐( $l / 150$ )  
(지간이 30cm인 경우 2mm, 5mm인 경우 3mm)
- l : 시험편의 지간길이
- b, h : 시험편의 폭, 길이

$$\text{휨인성계수} = \frac{f_e}{f_r} \times 100$$

- f<sub>e</sub> 등가휨강도
- f<sub>r</sub> 휨강도

콘크리트의 건조수축특성을 살펴보기 위하여 KS F 2403에 준하여 제작한 다음 균열이 발생하는 시점 혹은 목표 시점까지 관찰하는 방식으로 100×100×400mm 각주형 공시체에 매립게이지를 공시체 중심부에 위치시킨 후 각 배합당 3EA씩 제작 하였으며, 타설 직후의 건조수축 변형률을 측정하였다. Figure 6는 콘크리트의 건조수축 실험을 나타낸 사진이다.

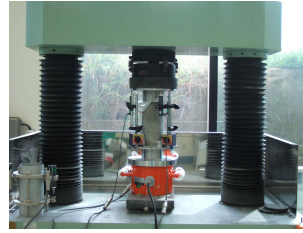


Figure 4. Test of compressive strength

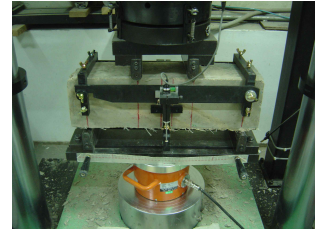


Figure 5. Test of flexural strength

## 3.4 건조 수축 특성



Figure 6. Experiment of concrete shrinkage test

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 슬럼프 및 공기량

Figure 7은 매크로 포타섬유를 혼입한 콘크리트의 슬럼프와 공기량을 나타낸 그래프이다. 먼저 콘크리트의 슬럼프를 살펴보면, 섬유 비혼입 콘크리트의 경우 슬럼프는 150mm로 목표 유동성에 도달한 것을 확인할 수 있었다. 강섬유를 0.3% 혼입한 경우에는 슬럼프는 120mm로 유동성이 저하되는 것으로 나타났다. 매크로 포타섬유의 경우에는 혼입율이 증가함에 따라 각각 140mm, 135mm, 115mm로 감소하는 것으로 나타났다.

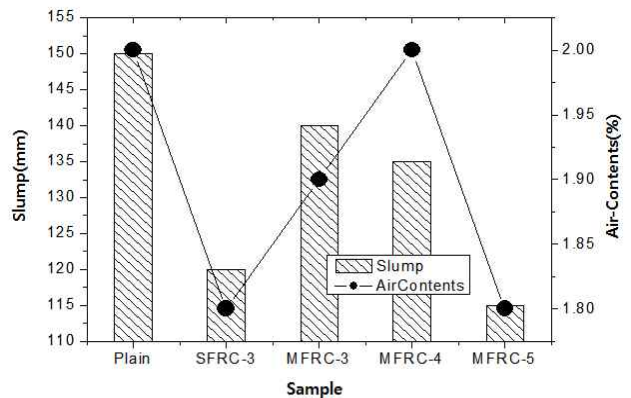


Figure 7. Slump and air contents

이는 콘크리트 매트릭스 내의 섬유로 인한 구속에 의해 유동성이 감소되는 것을 판단된다. 동일 용적비율을 갖는 강 섬유와 매크로 포타 섬유의 유동성에서 매크로 포타 섬유의 슬럼프가 높은 이유는 강성이 높은 강섬유보다 유연한 유기 섬유가 콘크리트의 흐름성을 구속하는 힘이 적기 때문인 것으로 판단된다.

배합된 콘크리트의 공기량은 약 2%정도로 나타났으며, 섬유 혼입에 따른 공기량 차이는 나타나지 않았다. 기존 문헌에서 친수성의 섬유를 혼입할 경우에는 섬유와 시멘트 매트릭스의 부착표면에 미세공극의 증가로 공기량이 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고되고 있다[10]. 그러나 본 연구에서 사용된 섬유는 강섬유와 소수성을 지닌 매크로 포타 섬유를 사용함으로 공기량의 변화가 거의 없는 것으로 판단된다.

#### 4.2 압축강도 특성

Figure 8은 콘크리트의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 섬유 무혼입 콘크리트의 압축강도는 재령별로 20.97MPa, 27.06MPa, 31.98MPa로 나타났다. 여기에 대하여 강섬유를 혼입한 경우 3일 강도는 20.91MPa로 무혼입의 경우와 유사한 것으로 나타났다. 매크로 포타섬유 0.3%혼입시에는 3일 강도가 24.27MPa에서 28일 강도가 37.09MPa로 나타나 섬유 무혼입과 강섬유 혼입의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 매크로 포타섬유 혼입율 0.4%이상에서부터는 압축강도가 점차 감소하는 경향을 보이나 0.5%까지의 혼입율에서도 무혼입의 경우와 유사한 압축강도 특성을 나타내는 것을 확인하였다. Table 6는 압축탄성계수를 나타낸 표이다. 탄성계수는 Plain에 비하여 강섬유를 혼입한 경우 탄성계수는 증가하였다. 섬유 혼입시 탄성계수는 섬유의 종류와 혼입율에 따라 증감을 보이는데 강섬유 혼입 콘크리트에서의 탄성계수는 증가하는 것으로 보고되고 있다.

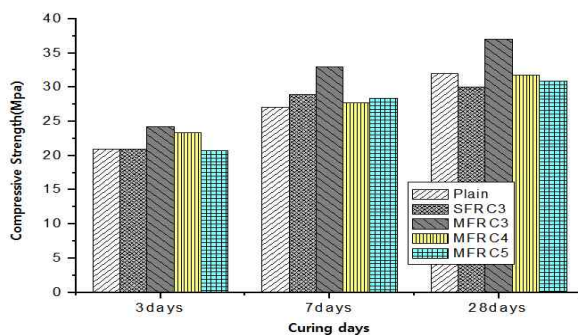


Figure 8. Compressive strength

Table 6. Elastic modulus of compressibility

Sample	Elastic modulus of compressibility(MPa)
Plain	27,694MPa
SFRC-3	28,146MPa
MFRC-3	30,647MPa
MFRC-4	30,955MPa
MFRC-5	29,182MPa

매크로 포타 섬유에서도 탄성계수 변화가 강섬유와 유사하게 Plain 대비 증가하는 것으로 나타났다. 매크로 포타 섬유는 섬유 혼입율이 증가함에 따라 탄성계수는 증가하였으며, 강섬유 혼입율 0.3%와 동일한 혼입율이 매크로 포타 섬유 혼입율 0.3%에서 탄성계수가 높게 나타났으며, 매크로 포타 섬유 혼입율 0.4%에서 최대인 것으로 나타났다.

섬유가 혼입된 경우에는 대체로 시멘트 매트릭스의 결합을 방해하는 선형 구조물이나 적정 수준의 섬유 혼입은 최밀 충진을 향상하여 압축강도가 증진될 수 있는 것으로 판단된다. 적정 혼입량 이상의 섬유가 혼입될 경우 섬유에 의해 콘크리트 내 충전성이 저하되면서 상부로부터 받는 압축력에 대하여 편심하중을 유발하여 압축력이 저하될 수 있는 문제점을 가지고 있다[11]. 그러나 매크로 포타 섬유의 경우 콘크리트 내에서 분포하는 형태가 강섬유와 달리 직선형으로 존재하는 것이 아닌 섬유 주변의 골재 등에 의해 곡선이나 직선 등 다양한 형태로 분산되어 있어 압축강도 저하는 크지 않는 원인이 된 것으로 판단된다.

#### 4.3 쪼갬인장강도

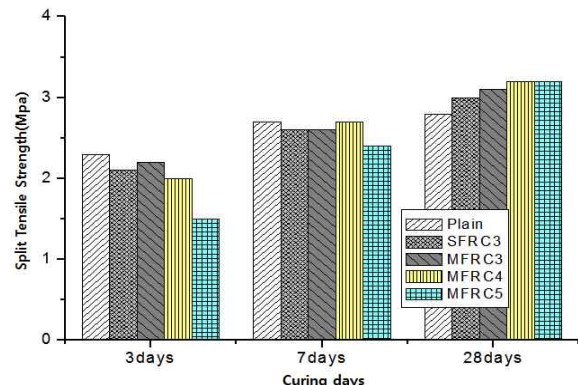


Figure 9. Split tensile strength(MPa)

Figure 9는 콘크리트의 쪼갬인장강도를 측정한 그래프이다. 섬유 무혼입의 경우 재령에 따라 2.3MPa, 2.7MPa, 2.8MPa로 나타나 압축강도 대비 인장강도 8/100~1/10 수준으로 나타났다. 강섬유 혼입시에는 재령에 따라 2.1MPa, 2.6MPa, 3MPa로 증가하였으며, 28일 재령에서 무혼입 대비 강섬유 0.3%혼입시의 쪼갬 인장 강도는 7%가량 증가하였다.

매크로 포타섬유를 사용할 경우에는 3일 재령에서 쪼갬 인장 강도는 매크로 포타 섬유의 혼입율에 따라 각각 2.2, 2.1, 1.5MPa로 저하하는 것으로 나타났다. 28일 재령에서는 섬유 혼입율에 따라 3.1, 3.2, 3.2MPa로 나타나 무혼입의 경우와 강섬유 혼입의 경우보다 높은 인장강도를 보이는 것으로 나타났다.

3일 재령에서 쪼갬 인장 강도는 섬유 혼입시 낮아지는 경향을 보이고 있다. 기존 문헌에서 섬유 보강 콘크리트에서 쪼갬 인장 강도에 영향을 끼치는 인자에는 부착강도가 주요한 원인이 되며, 시멘트의 페이스트의 부착력 및 적절한 섬유의 형상 등이 요구된다고 보고되고 있다[9,12]. 3일 재령에서는 시멘트의 수화반응이 크지 않기 때문에 시멘트와 섬유간의 부착력이 적정 이상 확보되기 어려워 초기 인장강도를 저하시키는 원인이 되는 것으로 판단된다.

그러나 매크로 포타섬유 0.3%에서는 섬유의 분산성이 우수하여 시멘트 매트릭스의 조직도를 저하시키지 않아 인장력이 감소되지 않는 것으로 판단된다. 28일 강도에서는 시멘트 수화가 증진됨에 따라 섬유와 시멘트 페이스트 간의 결합력이 증진되어 쪼갬 인장 강도가 증가한 것으로 판단된다.

4.4 휨강도/등가휨강도/휨인성계수

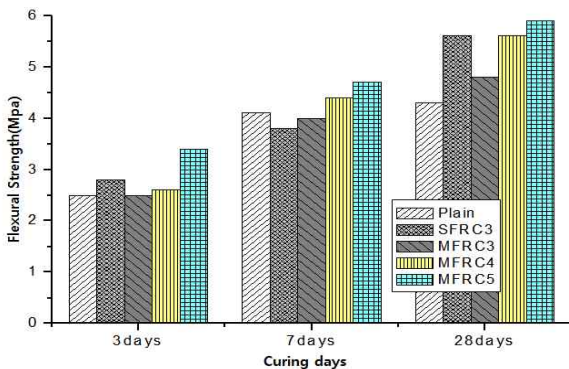


Figure 10. Flexural strength(MPa)

Figure 10은 콘크리트이 휨강도를 나타낸 그래프이다. 섬유무혼입의 경우 재령에 따라 3, 7, 28일 재령에서 각각 2.5MPa, 4.1MPa, 4.3MPa로 나타났다. 강섬유 혼입시에는 재령에 따라 2.8MPa, 3.8MPa, 5.6MPa로 증가하였다. 강섬유 혼입시 휨강도는 28일 재령에서 약 1.2MPa 증가하는 것으로 나타나 휨강도 증진율이 우수한 것으로 나타났다. 매크로 포타섬유를 혼입한 경우 3일 재령에서 매크로 포타 섬유 혼입율에 따라 각각 2.5, 2.6, 3.4MPa로 나타났으며, 28일 재령에서는 각각 4.8, 5.6, 5.9MPa로 나타났다.

섬유 혼입에 따른 휨강도는 전 재령에서 무혼입의 경우보다 높은 것으로 나타났으며, 강섬유 0.3%와 동일 체적비의 매크로 포타섬유를 혼입한 경우의 휨강도는 28일 재령에서 수화진행에 따른 물리적 구속력이 증가하여 강섬유가 높은 것으로 판단된다. 그러나 매크로 포타섬유 혼입율 0.4%부터는 강섬유와 동등이상의 휨강도를 나타내는 것으로 나타났다.

Figure 11은 섬유 종류 및 섬유 혼입율에 따른 하중 변위 곡선이며, Figure 12와 Table 7은 등가휨강도와 휨인성을 나타낸 그래프이다. 휨강도의 측정시 나타나는 그래프 형태는 최대 하중을 기점으로 연성거동과 경화거동이 복합적으로 나타나고 있다. 섬유의 혼입율이 적을수록 경화거동에 가까운 상태로 나타나지만 섬유의 혼입율이 증가함에 따라 하중 저하 형태가 완만한 상태로 변화하게 되고 있다. 이는 섬유의 혼입량이 적을 경우 섬유 분포도가 저하하여 최대하중 이후의 잔류강도변화가 연성 파괴보다 경화거동의 형태가 가깝게 변화될 수 있다. 그러나 섬유 혼입율이 높을수록 안정적인 연성파괴형태로 변화될 수 있다[13].

섬유 혼입에 따른 등가휨강도를 살펴보면 섬유를 혼입할 경우 모든 시험체에서 등가휨강도는 상승한 것으로 나타났다. 동일 체적비인 섬유 0.3%를 사용한 강섬유와 매크로 포타섬유의 등가휨강도를 비교하여 보면 강섬유보다 매크로 포타섬유를 사용하였을 경우에 좀 더 높은 것으로 나타났으며, 휨인성계수도 높은 것으로 나타났다.

섬유 보강 콘크리트에서 휨 파괴기구는 보통콘크리트와 달리 하중을 받으면 콘크리트가 균열발생과 함께 파괴에 도달하는 것에 반하여 섬유보강 콘크리트는 균열을 구속하고 있는 섬유에 인장력을 전달하여 섬유량과 섬유의 매트릭스에 대한 부착강도로 내력이 증가하고 최대하중에 도달하게 된다. 균열이 진전하면 중립축이 압축연단으로 이동하고 인장연단에서 인장변형이 급격히 증대한다. 그 결과 인장 연단

근처에서 섬유가 하나씩 뽑혀 나가기 시작하고 내력이 점점 저하하게 된다[11]. 따라서 강섬유보다 낮은 인장력을 갖는 매크로 포타섬유가 휨인성계수가 높은 것은 매크로 포타 섬유가 강섬유보다 콘크리트 내 확산성이 높으며 분화된 매크로 포타 섬유의 표면적이 증가하면서 시멘트페이스트와 섬유간의 부착력이 상승하였기 때문인 것으로 판단된다.

Figure 13은 콘크리트 내의 섬유의 모습을 나타낸 사진이다. 분화된 매크로 포타 섬유의 형상을 보면 단위 섬유가 여러 가닥으로 분화되면서 접착력이 상승되어 섬유의 인장력을 콘크리트에 전달하기 쉬운 구조가 되어 강섬유보다 분포도가 높은 것을 확인할 수 있었다.

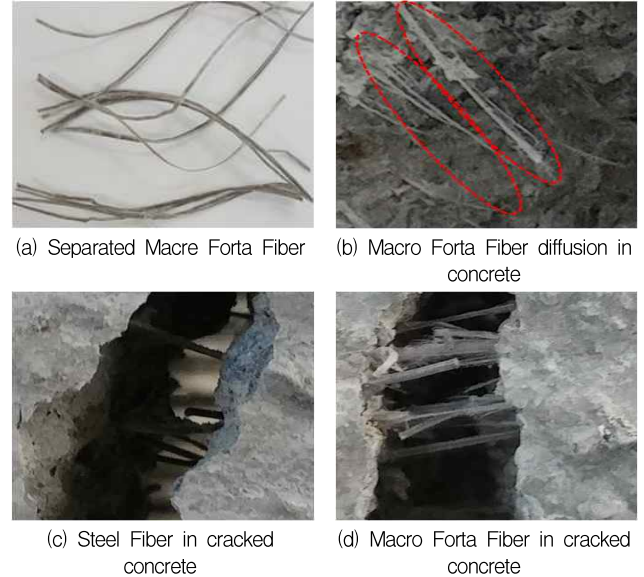


Figure 13. Fiber in concrete

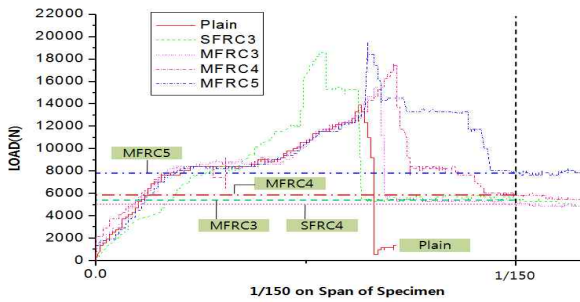


Figure 11. Load and deflection curve

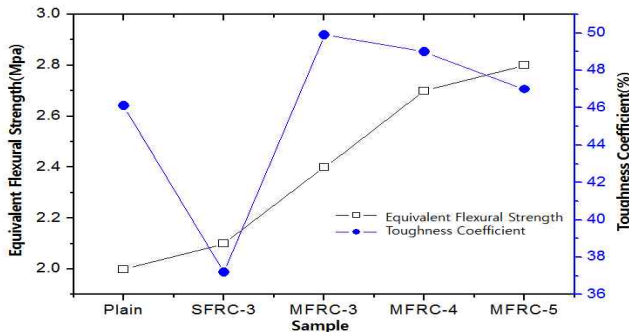


Figure 12. Equivalent flexural strength and toughness coefficient

Table 7. Equivalent flexural strength and toughness coefficient

Sample	Equivalent Flexural Strength (MPa)	Toughness Coefficient (%)
Plain	2.0	46.1
SFRC-3	2.1	37.2
MFRC-3	2.4	49.9
MFRC-4	2.7	49.0
MFRC-5	2.8	47.0

#### 4.5 건조 수축 특성

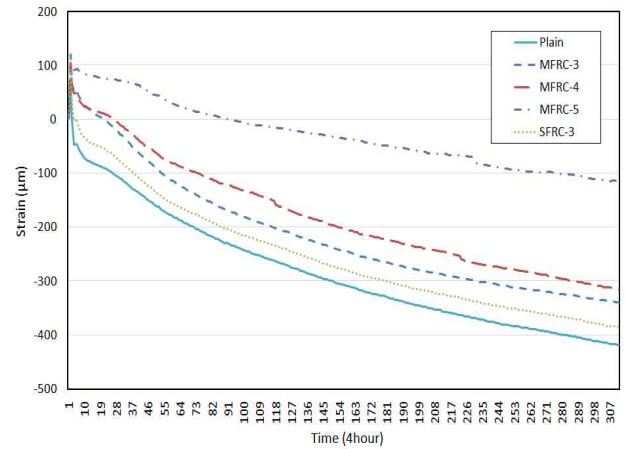


Figure 14. Shrinkage of concrete

Table 8. Shrinkage of concrete

Sample	Final Shrinkage ( $\mu\text{m}$ )	Crack
Plain	-417	Crack
SFRC-3	-384	Not - Detected
MFRC-3	-339	Not - Detected
MFRC-4	-316	Not - Detected
MFRC-5	-115	Not - Detected

Table 8은 콘크리트의 건조수축량을 나타낸 그래프이다. Plain의 최종수축량은  $-417\mu\text{m}$ 였으며, 포타섬유를 혼입한

경우 최종수축량은 각 배합에 따라 MFRC-3는  $-399\mu\text{m}$ , MFRC-4는  $-316\mu\text{m}$ 로 나타났으며, MFRC-5에서는  $-115\mu\text{m}$ 의 값을 나타내어 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 건조수축경향은 섬유 무혼입 콘크리트가 초기에 급격한 건조수축을 보인 것에 반해 섬유 혼입시 초기 수축변위는 섬유의 혼입량이 증가할수록 강섬유보다 매크로 포타섬유에서 수축변위가 완만해지는 경향을 나타내었다.

강섬유를 혼입한 배합인 SFRC-3의 경우에는 최종수축량은  $-384\mu\text{m}$ 로 나타나 동일 매크로 포타 섬유 혼입율인 MFRC-3보다 최종 수축량이 큰 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 매크로 포타섬유를 사용한 콘크리트를 대상으로 유동성과 공기량, 압축강도, 압축탄성계수, 쪼갬인장강도, 휨강도, 등가휨강도, 휨인성계수, 건조수축을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 매크로 포타섬유를 사용한 콘크리트의 균지 않은 콘크리트는 강섬유 보강 콘크리트에 비하여 유동성 저하가 낮으며, 표면의 소수성에 의해 공기량 변화가 적은 것으로 나타났다.
- 2) 매크로 포타섬유는 강섬유에 비하여 섬유의 분포도가 우수하여 최밀충진에 의해 콘크리트의 압축강도가 개선되는 특성을 가지며, 섬유 인장력에 의해 쪼갬인장강도와 휨강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 매크로 포타섬유의 등가휨강도와 휨인성계수는 동일 체적비의 강섬유와 비교하였을 때 비교적 높은 것으로 나타났으며, 이는 매크로 포타섬유의 분포도가 높기 때문에 섬유와 시멘트 페이스트간의 부착력이 증가하고 섬유의 인장력 전달의 효율성이 증가한 것으로 판단된다. 이러한 매크로 포타 섬유의 인장력 강화는 강섬유에 비하여 구조적인 균열에 대하여 우수한 것을 확인할 수 있었다.
- 4) 건조수축 시험 결과 매크로 포타섬유를 사용한 경우 섬유 혼입율에 따라 건조수축은 감소하는 것으로 나타났다. 최종 수축량을 기준으로 하였을 때 매크로 포타 섬유의 수축량은 강섬유보다 낮은 것으로 나타나 수화과정 중에 발생하는 미세한 균열과 콘크리트의 균열을

발생시키는 건조 수축에 대한 저항성에 있어서 강섬유보다 우수한 것으로 나타났다.

## 요 약

콘크리트는 반취성 재료로서 우수한 압축력을 갖는 소재이나 인장력은 취약한 단점이 있다. 이러한 콘크리트의 단점을 개선하기 위한 섬유 보강 콘크리트의 사용은 효과적인 인성 강화에 대한 효과적인 방안이 될 수 있으며, 휨인성에 취약한 구조체에는 강섬유 보강 콘크리트를 사용함으로 성능을 개선하고 있다. 그러나 강섬유의 부식과 시공성 저하의 문제로 인해 대체 소재의 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 확산성이 우수한 매크로 포타섬유를 사용한 콘크리트의 균지 않은 콘크리트의 특성과 물리적 특성 및 건조수축 특성을 평가함으로 강섬유의 대체 가능성을 평가하고자 하였다. 실험 결과, 매크로 포타섬유는 강섬유 보강 콘크리트와 비교하였을 때 유동성 향상 및 역학적 성능이 우수한 것으로 나타났다. 매크로 포타 섬유를 사용한 콘크리트의 균열 저항성 부분에서도 강섬유 보강 콘크리트에 비하여 구조적인 균열과 건조 수축 저항성을 개선하는데 효과적인 것을 확인하였다.

**키워드** : 매크로 포타섬유, 섬유보강콘크리트, 강섬유, 유기 섬유, 등가휨강도

## References

1. Kett, I. Engineered concrete, 2nd ed, Newyork: CRC Press; 2009, 225 p.
2. Lee JH, Cho BS, Cho CO. Design of ground floor slab according to the method for evaluating the Tensile performance of steel fiber reinforced concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 2016 Feb;28(1)95-104.
3. Lee CD, Hong GH, Seo CH, Ryu TD. Verification of load-carrying capacity of steel fiber reinforced concrete slab-on-grade, Journal of the Korea Concrete Institute, 2007;19(2):337-40.
4. Lee JH, Cho BS, Kim JS, Cho BG, Kim HS. Effect of the combination of point loads on the design flexural capacity for fiber reinforced concrete floor slab, Korean Recycled Construction Resources Institute, 2016 Apr;4(1):47-54.



- 
5. Kim YR, Gong MH, Kim JI, Concrete using synthetic macro fiber for warehouse floor, Korean Society for Advanced Composite Structures, 2016 Mar;7(1):16-24.
  6. Kim YR, Min CS, Song YW, Park JH, Gong MH, Kim JI, Evaluation of the field application of fiber reinforced concrete for use in floor of logistics center, Journal of the Korea Concrete Institute, 2015;27(1):379-98.
  7. Kwo SO, Bae SH, Lee HJ, Kim JO, Lee JC, Workability and strength properties of hybrid fiber reinforced concrete using amorphous steel fiber and organic fiber, J. Korean Soc. The Magazine of the Korean Society for Advanced Composite Structures, 2015;6(4):58-63.
  8. Kim BI, Corrosion, Transport coefficients and effect of corrosion resistance for SFRC, Journal of the Korea Concrete Institute, 2015 May:867-73.
  9. Kim HS, Nam JS, Kim JH, Han SH, Kim GY, Effect of pull-out property by shape and mechanical property of reinforcing fiber on the flexural behavior of concrete, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 2014 Sep;18(5):41-50.
  10. Lee SY, Park YJ, Kim SM, You KH, Jang SJ, Suh YH, A study on the performance evaluation of polypropylene fiber reinforced concrete, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, 2010 Oct;20(5):378-89.
  11. Koo BK, Fracture properties and fatigue effect of steel fiber reinforced concrete, Nation Research Foundation of Korea, 1992 Feb.
  12. Yang KH, O SJ, Effect of volume fraction and length of fiber on the mechanical properties of fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal, ACI Materials J, 2007 Dec;104(6):620-8.
  13. Yeo DJ, A study on applicability of tensile constitutive model of steel fiber reinforced concrete in model code 2010, Journal of the Korea Concrete Institute, 2016 Oct;28(5):581-92.