

## 폴리프로필렌 섬유보강 고유동 콘크리트의 역학적 및 건조수축 특성

### Mechanical and Drying Shrinkage Properties of Polypropylene Fiber Reinforced High Flow Concrete

노 경 희\* · 성 찬 용\*\*

Noh, Kyung Hee · Sung, Chan Yong

#### Abstract

This study was performed to evaluate mechanical and drying shrinkage properties of polypropylene fiber reinforced high flow concrete. The compressive strength and drying shrinkage ratio were increased with increasing the binder volume ratio and decreased with increasing the content of polypropylene fiber. The splitting tensile strength was increased with increasing the binder volume ratio and the content of polypropylene fiber. The flexural strength was increased with increasing the binder volume ratio and increased by the polypropylene fiber content 0.4%, but above the polypropylene fiber content 0.6% was decreased.

This concrete can be used for high flow concrete.

*Keywords: High flow concrete, Polypropylene fiber, Strengths, Drying shrinkage*

#### I. 서 론

국내외에서 콘크리트의 미세구조를 치밀화시켜 압축강도 및 내구성을 향상시키기 위한 연구가 오래전부터 진행되어 왔다. 고강도 콘크리트는 압축강도의 증가를 추구하는 과정에서 단위시멘트량의 과다한 사용으로 콘크리트 수화열의 상승과 낮은

물-결합재비에 의한 콘크리트의 점성 증가로 펌프 압송 및 타설 불량 등이 일어나 콘크리트 구조물에 결함을 야기시키기도 한다.

고유동 콘크리트는 경화전에는 유동성과 재료분리 저항성 등이 우수하여 다짐이 필요없고, 타설 후에는 경화수축, 수화발열, 건조수축에 대한 균열 저항성이 우수하여 초기 결함이 억제되며, 경화 후에는 치밀한 미세구조를 가지므로 내구성이 우수한 것으로 정의할 수 있다. 이러한 고유동 콘크리트가 주목받고 기대가 되는 이유는 콘크리트의 여러가지 품질상의 결함을 유발하는 인력에 의한 부어넣기와 다짐이 필요없다는 점이다.

\* 충남대학교 대학원 농공학과

\*\* 충남대학교 농업생명과학대학

\*\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

Fax: +82-42-825-5791

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

이에 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 건조수축에 의한 균열 저항성을 증대시키고 콘크리트의 내구성 및 인성 증대를 통하여 콘크리트의 단점인 취성거동(brittle behavior)을 연성거동(ductile behavior)으로 유도할 수 있으리라 생각된다.<sup>6)</sup> 또한, 산업부산물인 플라이 애시를 콘크리트 혼화재료로 활용함으로써 폐기물 처리에 소요되는 경비 절감은 물론, 자원 재활용과 이에 따른 환경보존 등의 효과도 기대할 수 있다.<sup>5)</sup>

따라서, 본 연구는 플라이 애시와 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 고유동 콘크리트의 압축강도, 쪼갠 인장강도, 휨강도와 건조수축 특성을 규명하여 섬유보강 고유동 콘크리트의 활용에 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal portland cement

Specific gravity (20°C)	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3,240	5-7	7-20	194	216	323

Table 2 Chemical composition of normal portland cement (%)

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

#### 나. 골재

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를 사용

하였고, 굵은골재는 충북지역에서 생산되는 쇄석을 사용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of aggregates

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Coarse aggregate	Crushed stone	4.75~20	2.62	2.62	6.02	1,449
Fine aggregate	Natural sand	0.595~4.75	2.61	2.34	2.32	1,476

#### 다. 플라이 애시

플라이 애시는 보령화력발전소에서 부산되는 입경이 0.15 mm 이하의 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 4와 같다.

Table 4 Physical properties and chemical composition of fly ash

Physical properties			Chemical composition (%)			
Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig.loss	Others
2.39	3,152	1,072	59.9	25.2	3.84	11.06

#### 라. 고성능감수제

콘크리트의 유동성 증진을 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 일반적인 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulfonate	1,190

마. 폴리프로필렌 섬유

건조수축에 의한 균열 저항성과 휨강도를 증대시키기 위하여 사용된 망사형 폴리프로필렌 섬유의 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 Physical properties of polypropylene fiber

Length (mm)	Absorption ratio(%)	Specific gravity (20℃)	Melt point (℃)	Tensile strength (kgf/cm)	Young's modulus (kgf/cm)	Acid and alkali resistance
19	0	0.91	162℃ over	3,500~7,700	35×10 <sup>3</sup> over	Very high (inactivity)

2. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 콘크리트의 부피에 대한 결합재의 부피인 분체비를 18%, 19%, 20% 등 3가지로 하였으며, 각각의 분체비에 대해 폴리프로필렌 섬유의 혼입량은 결합재량의 0.2%, 0.4%, 0.6%로 하여 Table 7과 같이 배합설계를 하였다. 과도한

섬유의 혼입은 유동성 및 작업성의 저하와 섬유 뭉침현상(fiber ball)에 기인한 강도저하의 원인이 되며, 고유동 콘크리트는 부배합의 특성으로 인해 일반콘크리트에 비해 상대적으로 섬유의 혼입량이 1.5~1.8배 증가됨을 고려하여 폴리프로필렌 섬유의 혼입량을 결정하였다.

플라이 애시의 치환율은 예비실험을 통해 슬럼프 플로우 값이 60 ± 5 cm 이상, 간극 통과성 Box 시험장치의 충전높이 차이가 6 cm 이하, L형 충전성 시험을 만족한 배합 중에서 유동성과 재령별 강도 수준을 고려하여 적정수준인 결합재 중량의 20%로 하였으며, 물-결합재비는 모든 배합에서 35%로 하였다. 또한, 잔골재율이 감소할수록 점성은 증대되어 유동성이 저하되고, 잔골재율이 증가할수록 점성이 저하되어 골재입자간의 마찰 및 맞물림 저항의 증대로 충전성 및 간극 통과성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타난다. 따라서, 고유동 콘크리트의 요구 성능을 확보하기 위해 잔골재율을 51%로 하였으며, 고성능감수제 첨가율은 재료분리가 발생

Table 7 Mix design of polypropylene fiber reinforced high flow concrete

Mix type	Water (kgf/ m <sup>3</sup> )	Binder(kgf/ m <sup>3</sup> )		Aggregate (kgf/ m <sup>3</sup> )		Binder volume ratio (%)	Fiber (kgf/ m <sup>3</sup> )	Super plasticizer (%)	S/a (%)	W/B (%)
		Cement	Flyash	Fine	Coarse					
FRH1-0	183	418	104	845	811	18	0	1.2	51	35
FRH1-1							1.044			
FRH1-2							2.088			
FRH1-3							3.132			
FRH2-0	193	441	110	819	785	19	0	1.2	51	35
FRH2-1							1.102			
FRH2-2							2.204			
FRH2-3							3.306			
FRH3-0	203	464	116	806	772	20	0	1.2	51	35
FRH3-1							1.16			
FRH3-2							2.32			
FRH3-3							3.48			

\* FRH : Polypropylene fiber reinforced high flow concrete

하지 않고 적정 유동성을 확보할 수 있도록 결합재 중량의 1.2%를 사용하였다.

### 3. 시험방법

시험은 KS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

#### 가. 강도 시험

압축강도 시험은  $\phi 75 \times 150$  mm인 시험체를 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), 쪼갬인장 강도 시험은  $\phi 75 \times 150$  mm인 시험체를 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법), 휨강도 시험은  $60 \times 60 \times 240$  mm인 시험체를 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 제작하였고, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(21℃, 습도  $96 \pm 2\%$ )에서 24시간 정치후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(23±2℃)을 하였으며, 각각 재령 7일, 28일, 60일에 측정하였다.

#### 나. 건조수축 시험

건조수축 시험방법은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 준하여 실시하였으며,  $100 \times 100 \times 400$  mm의 직육면체 시험체를 사용하여 재령 1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 6일, 7일, 14일, 21일, 28일, 60일에 측정하였다.

또한, 건조수축용 시험체는 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60 \pm 5\%$ 의 항온항습실에 보관하면서 컨덕터게이지를 이용하여 측정하였으며, 건조수축량과 건조수축율은 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$dL = [(X_{01} - X_{02}) - (X_{i1} - X_{i2})] \times 10^{-3}$$

$$\text{건조수축률}(\%) = \frac{dL}{L_0} \text{ (mm)}$$

여기서,  $dL$  : 건조수축량 (mm)

$L_0$  : 기준길이 (mm)

$X_{01}$  : 기점에서 시험체 길이 측정값 (mm)

$X_{02}$  : 각 시험재령에서의 시험체 길이 측정값 (mm)

$X_{i1}$  : 기점에서 표준체 길이 측정값 (mm)

$X_{i2}$  : 각 시험재령에서의 표준체 길이 측정값 (mm)

## III. 결과 및 고찰

### 1. 압축강도

배합별 재령에 따른 압축강도 시험결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 모든 재령에서 섬유 혼입량이 증가함에 따라 감소하였으며, 분체비가 증가함에 따라 증가하였다. 재령 7일의 경우 모든 배합에서  $300 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 강도 발현을 보였으며, 분체비와 섬유 혼입량에 따라  $304 \sim 342 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $342 \sim 388 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $345 \sim 403 \text{ kgf/cm}^2$ 으로서 섬유 혼입량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 섬유 혼입량에 따른 부착강도의 감소와 미세공극의 증가로 인하여 강도가 감소한 것으로 판단되며, 섬유의 혼입이 압축강도 증가에 큰 영향을 미치지 못하였다는 기존의 연구와 유사한 결과라 생각된다.<sup>1)</sup> 또한, 분체비의 증가에 따른 압축강도는 분체비가 18%에서 19%로 증가함에 따라 12%이상의 강도 증가를 보였으나, 분체비가 19~20%로 증가함에 따라 3.5% 정도의 강도 증가를 보였는데, 이러한 결과는 초기강도 발현에 분체비의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

재령 28일에서는 분체비와 섬유의 혼입량에 따라  $374 \sim 469 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $430 \sim 515 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $435 \sim 527 \text{ kgf/cm}^2$ 으로  $350 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 강도를 나타내었고, 재령 60일에서는  $441 \sim 515 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $509 \sim 550 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $524 \sim 568 \text{ kgf/cm}^2$ 로  $400 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 압축강도를 나타내었다.

Table 8 Strength test results of polypropylene fiber reinforced high flow concrete

Mix type	Curing age (days)								
	7			28			60		
	C.S	S.S	F.S	C.S	S.S	F.S	C.S	S.S	F.S
FRH1-0	342	27.1	54	469	32.5	77	515	33.3	84
FRH1-1	328	27.9	59	443	34.7	85	498	35.8	93
FRH1-2	315	29.8	64	409	35.4	96	481	36.8	101
FRH1-3	304	32.7	60	374	37.8	84	441	40.2	95
FRH2-0	388	28.8	59	515	34.8	81	550	37.0	90
FRH2-1	374	28.9	64	483	37.6	87	533	41.5	94
FRH2-2	362	31.7	69	460	41.4	99	523	44.9	105
FRH2-3	342	33.7	62	430	42.6	92	509	46.2	96
FRH3-0	403	30.1	60	527	36.1	85	568	39.0	91
FRH3-1	397	31.8	65	495	38.3	88	553	43.3	96
FRH3-2	375	32.2	71	470	42.1	102	540	45.7	106
FRH3-3	345	35.5	65	435	43.4	93	524	47.1	97

\*C.S : Compressive strength (kgf/cm<sup>2</sup>), S.S : Splitting tensile strength (kgf/cm<sup>2</sup>), F.S : Flexural strength (kgf/cm<sup>2</sup>)

## 2. 쪼갬인장강도

배합별 재령에 따른 쪼갬인장강도 시험결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 모든 재령에서 섬유 혼입량이 증가할수록, 분체비가 증가할수록 증가하였다. 재령 7일에서의 쪼갬인장강도는 분체비와 섬유의 혼입량에 따라 27.9~32.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 28.9~33.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 31.8~35.5 kgf/cm<sup>2</sup>로 섬유를 혼입하지 않은 쪼갬인장강도 27.1 kgf/cm<sup>2</sup>, 28.8 kgf/cm<sup>2</sup>, 30.1 kgf/cm<sup>2</sup>에 비하여 3~21%, 1~17%, 5~18% 정도 증가하는 경향을 나타내었다.

압축강도는 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 감소한 반면, 인장강도는 섬유의 혼입량이 증가할수록 증가하였는데, 이러한 원인은 섬유가 콘크리트의 균열을 억제하여 인장강도가 증가하는 것이라 판단되며, 섬유의 혼입은 콘크리트의 압축강도보다는 인장강도의 성능을 향상시켜 준다는 기존의 연구와 유사한 경향을 나타내었다.<sup>2)</sup>

## 3. 휨강도

섬유보강 콘크리트의 가장 큰 특징 중의 하나는 콘크리트의 취성적 성질을 개선시킨 것으로 균열 이후에도 거동에 영향을 주는 인성이 월등히 양호한 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup>

배합별 재령에 따른 휨강도는 Table 8에서 보는 바와 같이, 모든 재령에서 분체비가 증가할수록 증가하였으며, 섬유혼입량 0.4%까지는 증가하다가 0.6%에서는 감소하는 경향을 나타내었는데, 이와 같은 결과는 섬유 혼입량이 증가하면서 섬유가 균일하게 분포되지 못하고 골재와 섬유간의 부착에 큰 역할을 하는 시멘트풀이 섬유 혼입량이 많아질수록 상대적으로 적어지기 때문이라 판단된다.

섬유를 혼입하지 않은 시험체의 경우, 최대하중에 도달한 후 급속한 파괴가 일어나는데 반하여, 섬유를 혼입한 시험체는 최대하중에 도달하고 균열이 상당히 생긴 후에도 섬유의 Bridging 작용으로 인해서 파괴가 급격히 일어나지 않고 서서히 파괴

되는 경향을 나타내었다.<sup>3)</sup> 아울러 적정량의 섬유를 혼입함으로써 고유동 콘크리트의 쪼갬인장강도와 휨강도의 성능을 개선하는데 효과가 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 건조수축

시멘트의 수화반응은 콘크리트 타설 후 한달동안에 전체 수화도의 80% 이상이 이루어지기 때문에 초기재령에서 발생하는 상당량의 건조수축은 콘크리트에 인장응력을 유발시키고, 이 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하면 콘크리트 표면에 균열을 발생시킨다.

Fig. 1 및 2는 재령 1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 6일, 7일, 14일, 21일, 28일, 60일의 분체비 및 섬유 혼입율 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%에 대한 건조수축율을 나타내고있다. Fig. 1 및 2에서 보는 바와 같이 건조수축율은 분체비가 증가할수록 증가하였으며, 섬유 혼입량이 증가할수록 뚜렷한 감소를 보였다. 초기 재령에서 분체비가 18~20%로 증가하면 건조수축량은 1.16배 증가되었으며, 이러한 결과는 재령 7일까지 비슷한 경향은 보였는데, 이는 분체량이 증가함에 따라 자기수축량도 같은 비율로 증가하기 때문이라 생각된다.

섬유 혼입량이 0%에서 0.6%로 증가하면 초기재

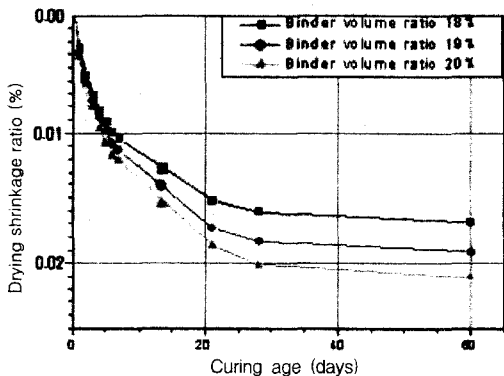


Fig. 1 Drying shrinkage ratio versus curing age

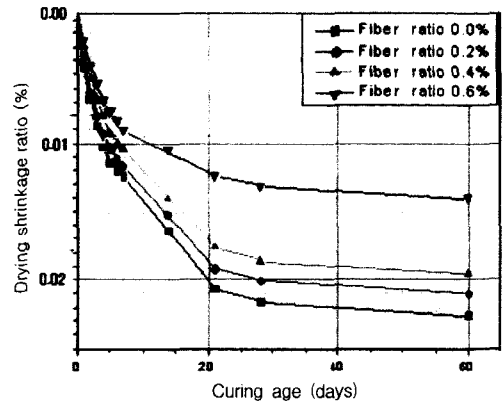


Fig. 2 Drying shrinkage ratio versus curing age

령에서 1.8배의 건조수축 감소량을 나타내었는데, 이는 분체를 많이 사용함에 따른 매트릭스의 세공구조와 강도 발현의 영향에 의한 것으로 판단되며, 특히 플라이 애시는 잠재수경성을 지닌 혼화제이기 때문에 포졸란반응의 진행에 따른 세공구조의 변화에 크게 영향을 미쳤기 때문이라 판단된다.<sup>5)</sup>

#### IV. 결 론

이 연구는 산업부산물인 플라이 애시를 결합재(시멘트+플라이애시) 중량의 20%를 치환하고, 분체비를 전체 콘크리트 체적의 18%, 19%, 20%, 폴리프로필렌 섬유를 결합재 중량의 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% 혼입한 고유동 콘크리트의 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도 및 건조수축 특성을 규명하였으며, 이를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도는 모든 재령에서 섬유 혼입량이 증가함에 따라 감소하였고, 분체비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 재령 7일의 경우 모든 배합에서 300 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 강도 발현을 보였고, 재령 28일에서는 400 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 강도를 나타내었다.

2. 쪼갬인장강도는 모든 재령에서 분체비가 증가할수록, 섬유 혼입량이 증가할수록 증가하였고, 휨

강도는 모든 재령에서 분체비가 증가할수록 증가하였으며, 섬유 혼입량 0.4%까지는 섬유 혼입량이 증가할수록 증가하였으나 0.6% 이상에서는 섬유 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 폴리프로필렌 섬유보강 고유동 콘크리트는 적정량의 섬유를 혼입함으로써 콘크리트의 인장강도와 휨강도의 성능을 개선하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 건조수축율은 모든 재령에서 분체비가 증가할수록 증가하였고, 섬유 혼입량이 증가할수록 감소하였으며, 재령 7일까지의 건조수축율은 직선적인 증가를 보였으나 점차 둔화되는 경향을 나타내었다.

본 논문은 2002년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

## References

1. Gopalaratnam, V. S., and S. P. Shah. 1986. Properties of steel fiber reinforced concrete subjected to impact loading. *Journal of the ACI* 83(1) : 117-126.
2. Gopalaratnam, V. S., and S. P. Shah. 1987. Tensile failure of steel fiber reinforced mortars. *Journal of the Structural Engineering* 113(5) : 635-652.
3. Mindness, S. 1987. Properties of concrete reinforcement with fibrillated polypropylene fiber under impact loading. *Cement and Concrete Research* (18) : 100-114.
4. Mobasher, B., H. Stang, and S. P. Shah. 1990. Microcrack in fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Research* (20) : 665-676.
5. Sung, C. Y., S. H. Lee, and C. S. Song. 2000. Experimental study on physical and mechanical properties of concrete with fly ash. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 42(2) : 107-113. (in Korean)
6. Sung, C. Y., S. H. Lee, and C. S. Song. 2001. Physical and mechanical properties of Eco-concrete with polypropylene fiber. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 43 (1) : 116-121. (in Korean)