

## 플라스틱 섬유재와 슬래그 시멘트를 이용한 고강도 간격재의 개발 및 적용성 평가

### Applicability Evaluation and Development of High Strength Spacer with Plastic Fiber and Slag Cement

권성준<sup>1)</sup>      조흥준<sup>2)</sup>      박상순<sup>3)\*</sup>  
Seung-Jun Kwon      Hong-Jun Jo      Sang-Soon Park

#### Abstract

Spacer is a construction material for maintaining cover depth and steel installation, however several problems like staining, leakage, and cracking are currently issued due to performance degradation and unsatisfactory dimensional stability of spacer. Plastic composite is widely used for prevention of brittle failure in cement based material, which yields improvement of crack resistance and ductile failure. This study is for development and applicability evaluation of high strength spacer with slag cement for environmental load reduction and plastic composite like polypropylene fiber, nylon fiber, and glass fiber. For this work, unit weight of 4 different plastic fibers are evaluated through preliminary tests. Physical tests including compressive, flexural, and tensile strength and durability tests including absorption, permeability, length change, crack resistance, carbonation, and freezing and thawing are performed. Through various tests, optimum plastic fiber is selected and manufacturing system for high strength spacer with the selected fiber is developed. Dimensional stability of the developed spacer is evaluated through field applicability evaluation.

Keywords : High strength spacer, Plastic fiber, Durability performance, Slag cement, Dimensional stability

#### 1. 서론

콘크리트 구조물 (RC: Reinforced Concrete)은 압축강도에 비해 인장강도가 낮으므로 인장영역에 보강재를 필요로 한다. 철근은 보강재로 꾸준히 사용되어 왔고 최근 들어 강섬유, 플라스틱과 같은 다양한 복합재료가 사용되고 있는데, 이러한 보강재는 콘크리트 구조물의 공학적, 내구적인 성능을 향상시킨다 (Lee and Lee, 2004; Li and Li, 2011; Cho et al., 2012).

철근의 위치를 바르게 유지하고 피복두께를 확보하기 위해 사용되는 가장 효율적인 방법이 간격재 (Spacer)의 시공이다. 간격재는 철근과 거푸집 또는 철근과 철근의 간격을 유지하기 위하여 사용하는 것으로 1990년대는 플라스틱 간격재가, 그 이후로는 시멘트 모르타르 간격재가 많이 사용되었다. 플라스틱 간격재는 마찰력 부족으로 철근과 거푸집사

이에서 뒤틀림을 유발시키거나 콘크리트 타설 또는 작업자들의 철근배근 및 조립 작업 중 충격으로 인해 탈락되는 현상이 많은 단점을 지니고 있다. 또한 콘크리트와의 부착력 저하로 인한 미세균열이 발생하게 된다. 이는 수분 및 각종 열화인자의 유입통로로 작용하여 콘크리트 구조물의 내구성을 떨어뜨리는 요인이 된다 (Kim et al., 2001; Lee, 2008). 또한 시공 당시 철근의 위치를 확보하고 표면에 큰 문제점이 없더라도 환경조건에 따라 기존 구조물과의 일체성 (Dimensional stability)의 확보가 어려워 균열과 누수의 원인이 되고 있다. 이질적인 재료특성으로 인해 구체 콘크리트와 온도, 습도 등의 일체성을 확보하지 못하므로 균열이 간격재 주위에 발생하게 되며, 이는 내구적인 문제점으로 진전된다 (Emmons, 1994). 기존의 많은 연구에서 시공이음부, 균열 등의 취약부재에서는 일반 콘크리트에 비해, 투수성 증가, 염화물 확산성 증가, 탄산화 증가 등 많은 문제점이 보고되고 있다 (Park

1) 정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 조교수  
2) 정회원, (주)천지건설 대표이사  
3) 정회원, 상명대학교 건설시스템공학과 조교수, 교신저자

\* Corresponding author : parkss87@smu.ac.kr  
• 본 논문에 대한 토의를 2014년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

et al., 2012a,b; Song et al., 2006). 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 시멘트 모르타르 간격재가 사용되고 있으나, 최근들어 콘크리트 구조물의 고층화 및 대형화에 따른 고강도화 및 고내구성화가 진행되면서 구체에 매립되는 간격재에게도 동일한 강도와 내구성이 요구된다. 또한 철근과의 결속력을 높여주기 위해 라운드 형태로 제작된 철근 결합부는 상대적으로 취약한 인장력에 의해 손상이나 결합이 발생하는 주된 요인으로 작용하게 되었다.

따라서 이러한 기존 간격재의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 플라스틱 섬유재를 포함하여 균열저항성을 증가시키고, 환경부하를 저감하기 위해 슬래그 시멘트를 이용한 고강도 간격재를 개발하고 그 적용성을 평가하도록 한다. 이를 위해 4가지 종류의 섬유 복합재를 사용한 슬래그 시멘트 간격재를 제조하였으며, 다양한 역학적, 내구적 시험이 수행되었다. 또한 슬래그 시멘트-플라스틱 간격재 (Slag Cement-Plastic Spacer, 이하 SP 간격재) 제조시스템을 개발하였으며, 최종적으로 실제 시공현장에 설치하여 현장 적용성을 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 준비

### 2.1 예비실험 및 사용재료

보통포틀랜드 시멘트를 모재로 하여 최적의 섬유 배합비를 찾기 위해 기본적인 역학실험 (압축, 휨, 인장)이 수행되었다. 기존의 연구 (Oh et al., 1996)를 참고하여 시멘트 450kg/m<sup>3</sup>, 모래 1,350kg/m<sup>3</sup>, 물 kg/m<sup>3</sup>의 기본배합을 기준으로 나일론 (NF), 폴리프로필렌 섬유 (PF), 유리섬유 (GF)를 0.44~0.77kg/m<sup>3</sup>으로 혼입하였다. 또한 Shah (1992)는 PF의 소수성 및 친수성 시험을 통하여 포화된 섬유재에서는 내부수화효과 (Internal curing)가 있다고 하였으므로 NF에 대해서는 포화상태 (NW)와 건조상태 (ND)로 분류하여 실험을 수행하였다.

예비실험 결과는 Table 1에 정리하였는데, 섬유재를 보강한 모르타르의 압축시험에서는 95.3~103.1%, 휨시험에서는 103.2~110.0%, 인장시험에서는 106.3~121.9%의 변화를 나타내었다. Table 1의 결과 중 압축강도 증진은 큰 효과가 없으므로 휨과 인장특성이 가장 우수한 배합을 대상으로 섬유 첨가량을 결정하였다.

Table 2에서는 시험대상인 섬유의 공학적 특성을 나타내었으며, Table 3 및 Table 4에서는 사용된 SP 간격재와 일반 시멘트 모르타르 간격재의 배합비를 나타내었다. 혼입된

Table 1 Results of preliminary test

Type	Fiber (kg/m <sup>3</sup> )	Strength (MPa)		
		Compressive	Flexural	Tensile
Control	-	45.1	6.1	3.2
ND	0.44	45.5	6.2	3.4
	0.55	45.9	6.3	3.6
	0.66	46.5	6.3	3.9
	0.77	46.2	6.4	3.6
NW	0.44	41.7	5.6	3.0
	0.55	45.6	6.7	3.5
	0.66	40.7	5.9	2.7
	0.77	42.5	6.3	3.1
PF	0.44	41.8	6.3	3.4
	0.55	42.4	6.4	3.4
	0.66	43.0	6.7	3.4
	0.77	43.8	6.0	3.7
GF	0.44	44.8	6.1	3.4
	0.55	45.1	5.9	3.2
	0.66	45.4	6.5	3.7
	0.77	41.9	6.7	2.7

Table 2 Engineering properties of plastic fiber

Type	Density (10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )	Elasticity (10 <sup>3</sup> MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
PF	0.91	3.5~3.8	260~710	5~21
GF	2.54	73.5	2,500	4.8
NF	1.16	4.1	765~918	13.5

Table 3 Mix proportions for fiber-induced cement mortar

Type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
	Slag cement	Water	Sand	Fiber	Mineral admixture for high strength
ND	1,100 <sup>1)</sup>	242	748	0.66	132
NW				0.55	
PF				0.66	
GF				0.66	

1) Recommended with KS L 5210

\* Naphthalene HWRA (High Water Reducing Agent) - 1% of binder weight

Table 4 Mix proportions for normal cement mortar

Type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			
	w/c	OPC*	Water	Sand
Control	0.5	450	225	1350

\* OPC: Ordinary Portland Cement

섬유재의 길이는 간격재의 제원을 고려하여 12mm로 통일하였으며, Fig. 1에서는 사용된 섬유재의 사진을 나타내고 있다.

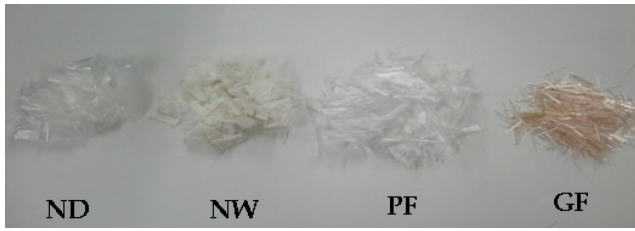


Fig. 1 Photo for various type of fiber

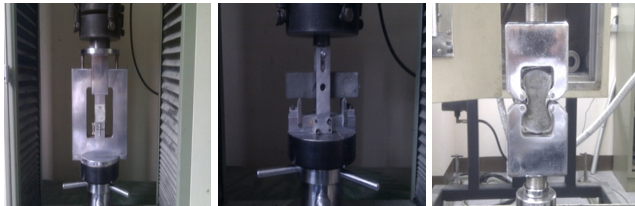


Fig. 2 Strength tests for SP spacer

### 2.2 SP 간격재에 대한 역학적 실험 사양

예비실험에서 도출된 배합비를 이용한 SP 간격재에 대하여 휨, 압축, 인장강도시험이 수행되었다. 압축강도특성은 KS F 4042를 참고하여 40×40×40mm의 정육면체 몰드를 사용하였으며, 인장강도는 KS L 5104를 참고하여 휨 및 직접인장 강도 시험을 수행하였다. 각 실험은 수중 양생후 재령 28일에 수행하였는데, Fig. 2에서는 각각의 실험사진을 나타내고 있다.

### 2.3 SP 간격재에 대한 내구적 실험

기본적인 역학적 시험이외에 흡수율, 투수량, 탄산화 저항성, 길이변화율, 균열저항성, 동결융해시험 등이 수행되었다. 각 시험항목과 시험의 준치조건은 Table 5에 정리하였다.

Table 5 Test items and the related standards

Type	Unit	Age	Standards
Absorption ratio	wt%	28 days	KS F 2476
Permeability	g		KS F 2451
Length change ratio	wt%		KS F 4426
Crack resistance	strain	Period to cracking	ASTM C 1581
Carbonation	mm	28 days	KS F 2584
Freezing and thawing	%	300 Cycles	KS F 2456

## 3. SP 간격재에 대한 실험결과 및 분석

### 3.1 SP 간격재 역학적 실험결과 분석

본 절에서는 SP 간격재의 압축, 휨, 인장 시험결과에 대해 분석하도록 한다. 28일 기준으로 시험결과는 Table 6에 나타내었으며, 상위 두 개값은 굵게 표시하였다. 또한 일반 무보강 간격재와의 강도비는 Fig. 3에 나타내었다.

각 섬유재의 혼입에 따라서 휨 인장성능에서 가장 큰 보강 효과가 평가되었으며, 인장과 압축순으로 섬유재 효과가 평가되었다. 섬유 보강재는 일반적으로 압축보다 인장에서 더 큰 효과를 발휘하는데, 강섬유뿐 아니라 기존의 많은 연구에서 이러한 경향이 보고되고 있다 (ACI 1999; Ahn et al., 2003). 압축강도에서는 147~164%, 휨인장에서는 272~311%, 인장에서는 184~225%의 증가를 나타내었다. 예비실험에 비해 높은 강도발현특성이 평가되었는데, 이는 고강도용 혼화재의 강도발현 특성 및 조강특성에 기인한다.

Table 6 Results of strength test (compressive, flexural, and tensile test)

Type	Fiber (kg/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
C	-	45.1	6.10	3.2
ND	0.66	70.2	19.0	6.4
NW	0.55	74.0	18.4	7.2
PF	0.66	66.3	18.3	6.3
GF	0.66	75.8	16.6	5.9

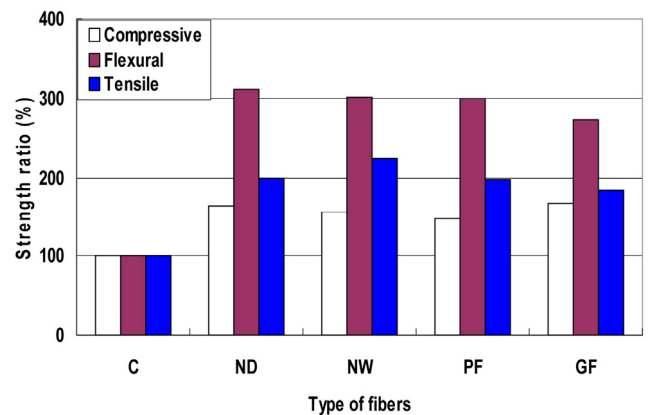


Fig. 3 Comparison of strength properties

### 3.2 SP 간격재 내구적 실험결과 분석

#### 3.2.1 투수량 및 흡수율 시험

투수량 및 흡수율 시험은 KS F 2451 및 2476에 따라 실험을 수행하였는데, 실험사진은 Fig. 4에 나타나있다. 식 (1) 및 식 (2)에서는 투수량 및 흡수율에 대한 실험식을 나타낸다.

$$W_p = W_1 - W_0 \quad (1)$$

$$W_a = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

여기서,  $W_p$ 는 투수량 (g),  $W_0$ 는 건조 후의 질량 (g),  $W_1$ 는 투수 후의 중량 (g),  $W_a$ 는 흡수율 (%)을 나타낸다.

실험결과와 기존의 품질기준은 Table 7에 나타내었는데, 고강도 SP 간격재에서는 투수량 및 흡수율에서 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 투수량에서는 제안치의 21.4~27.5% 수준으로, 흡수율에서는 58.5~62.9% 수준으로 우수한 투수 및 흡수 제어성능을 나타내고 있었다. 이중 NW 계열에서 최소값이 평가되었다. 인장영역에서의 균열전달은 섬유재의 인장강도 및 표면조도에 의존하지만, 흡수율 및 투수량은 내부 수화물의 충전성에 의존하므로 내부수화를 촉진시킨 NW 계열에서 최대값이 평가된 것으로 사료된다. 내부수화는 배합수 이외에 골재와 같이 콘크리트 내부의 배합인자에서 수화에 필요한 수분을 공급하는 것으로 (Du and Folliard, 2005; Bentz et al., 2005) 주로 부배합 콘크리트에 효과적인 양생

기법으로 알려져 있다.

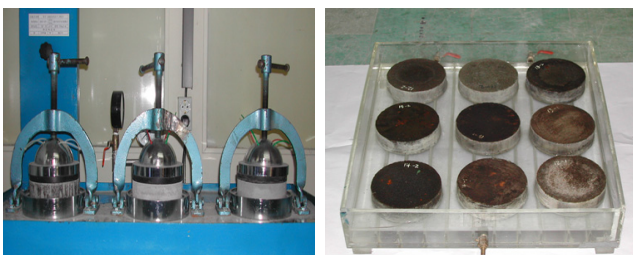
#### 3.2.2 탄산화 저항성 평가

피복 콘크리트에 직접 노출되는 간격재는 모재 콘크리트의 동등이상 성능을 가지는 것이 유리하다. 기존의 내구설계 (JSCE, 2002)에서도 간격재의 성능이 주요한 내구성 성능저하 지표로 고려되고 있는데, 간격재 주위에서 염해 및 탄산화에 의한 국소부식이 발생할 수 있기 때문이다. 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 5\%$ ,  $\text{CO}_2$  농도 5%로 설정된 탄산화 시험기에 넣은 후 4주간 탄산화시험을 수행하였다. 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 평가하였는데, 모두 0.1mm로 아주 작은 탄산화 깊이를 나타내었다. 이는 낮은 물-결합재량을 가진 고강도 콘크리트에서 나타나는 탄산화 깊이 수준이다. Fig. 5에서는 탄산화 실험후의 페놀프탈레인 실험사진을 나타내었다.

#### 3.2.3 동결융해 저항성 평가

일반 간격재가 피복콘크리트와 일체화하지 못하면 미세균열부에 수분이 침투하고 동결해 팽창압으로 인해 간격재부의 탈락이 발생하기 쉽다. 본 실험에서는 KS F 2456의 방법 중 기중동결 수중융해법을 사용하였다. 실험장비 및 측정장치는 Fig. 6에 나타내었으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

내구성 지수가 일반적으로 80% 이상이면 동결융해에 우수하다고 판단하는데 (KCI, 2010), 섬유재를 넣은 SP간격재는 모두 80% 이상의 값을 나타내었다. 최대값은 85.3으로 GF 간격재에서 평가되었는데 그 원인으로는 슬래그 첨가로 인한 밀실성의 확보와 섬유재를 통한 미세균열억제가 주된 원인이다.



Permeability test

Absorption test

Fig. 4 Photos for permeability and Absorption test

Table 7 Results of permeability and absorption ratio

Type	ND	NW	PF	GF	Recommendation
Permeability (g)	4.52	4.28	4.66	5.49	below 20 <sup>1)</sup>
Absorption (%)	5.95	5.85	6.29	6.00	below 10 <sup>2)</sup>

1) Guideline for repair material

2) KS F 4426

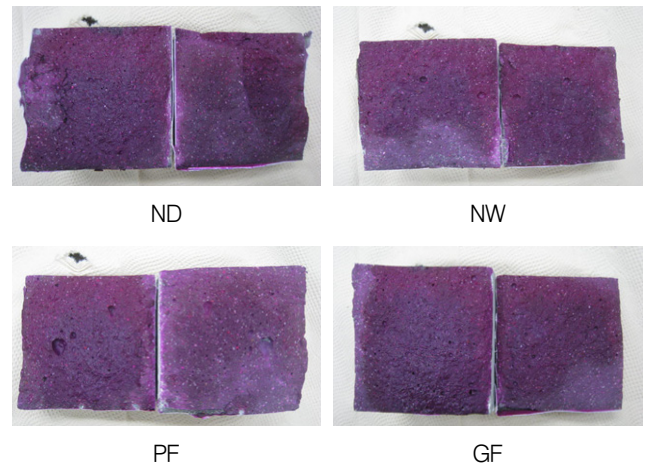


Fig. 5 Carbonation depth measurement

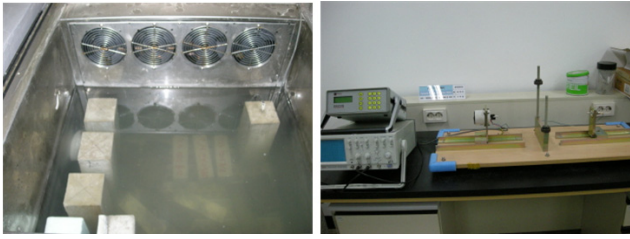


Fig. 6 Equipment for freezing and thawing

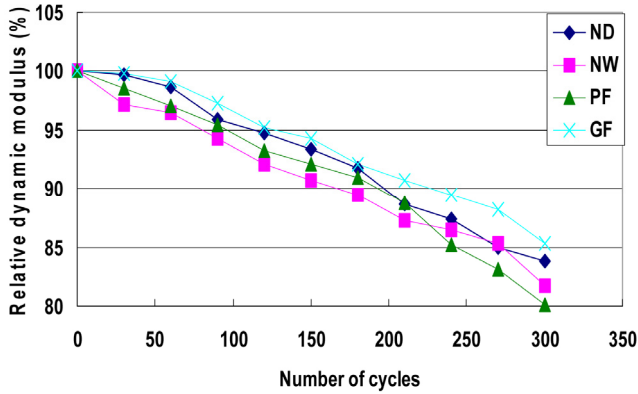


Fig. 7 Dynamic elastic modulus in various fiber mortar

### 3.2.4 길이변화 평가

본 실험은 KS F 2424에 의해 수행하였으며, 측정용 시편용 공시체를 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도 80% 이상에서 48시간 경과한 후 탈형하고, 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 5일간 양생 후 즉시 바탕길이를 측정한다. 이어서 공시체를 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 10\%$ 에서 28일간 양생한 후에 길이를 측정하며 다음식에 따라 길이변화를 평가한다. 길이변화 평가식은 식 (3)과 같다.

$$R(\%) = \frac{(X_{01} - X_{02}) - (X_{i1} - X_{i2})}{L_0} \quad (3)$$

여기서,  $L_0$ 는 기준길이,  $X_{01}$  및  $X_{02}$ 는 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치,  $X_{i1}$  및  $X_{i2}$ 는 시점  $i$ 에서의 측정치를 나타낸다. SP 간격재에서는 0.05~0.06%의 길이변화가 측정되었는데, 이는 콘크리트 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 품질기준이  $\pm 0.15\%$ 임을 고려할 때 우수하다고 판단할 수 있다. 즉 재료의 체적안전성 (Dimensional stability) 면에서 우수한 결과는 보인다 (Emmons, 1994). Table 8에서는 길이변화 측정결과를 나타내고 있다.

Table 8 Length change ratio for SP spacer

Type	ND	NW	PF	GF	Recommendation
Length change (%)	0.06	0.05	0.06	0.06	below 0.15 <sup>1)</sup>

1) KS F 4402

### 3.2.5 균열저항성 평가

개발된 SP 간격재의 소성 및 건조수축에 의한 균열 저항성을 평가하기 위한 Ring test를 ASTM C 1581-04을 참고하여 수행하였다. Fig. 8과 같이 중앙에 지름 300mm, 두께 9.4mm의 강재 링에 의해 수축을 구속시켜 균열을 유발시킨다. 또한 Ring의 안쪽에 부착형 스트레인 게이지를 설치하여 균열시점 및 구속수축 변형을 측정하였다. 기존의 실험결과 인장강도와 압축강도에서 우수한 성능을 보이는 NW와 GF를 선정하여 일반 간격재 배합과 균열저항성능을 비교하였다.

일반 간격재에서는 타설 후 약 275시간에 취성파괴가 발생하면서 관통 균열이 발생하였으나, NW 및 GF의 경우 뚜렷한 관통균열은 발견되지 않았으며, 타설 후 약 144시간에 구속수축 변형에 의한 변곡점이 나타났다. 이는 약 144시간 이후에 링 시험체 내부에서 지속적으로 다수의 미세균열이 발생하여 연성파괴가 일어난 결과이다. Fig. 8에서는 링시험체와 몰드의 형상을 나타내고 있으며, Fig. 9에서는 실험결

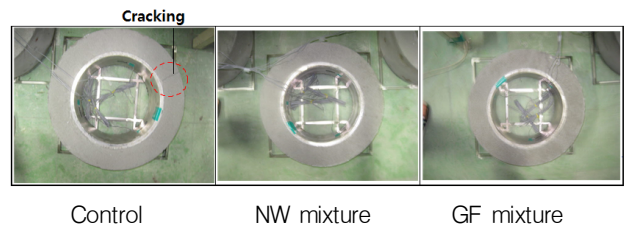


Fig. 8 Photos for ring test with several fiber mixture

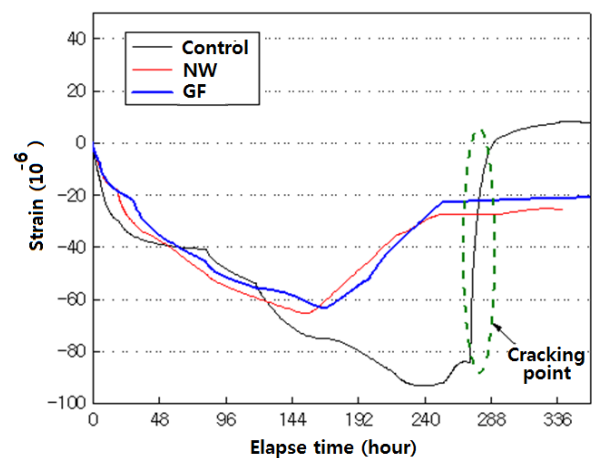
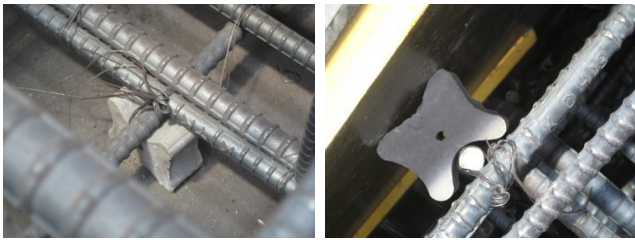


Fig. 9 Cracking evaluation with ring test



(a) Extruding process (b) Installation in-situ

Fig. 10 Photos for extruding and installation process



(a) Cracks around spacer (b) Crack free around spacer

Fig. 11 Improved crack resistance and aesthetic appearance

과를 나타내고 있다. 흥미로운 사실은 섬유재가 혼입된 시편의 경우 무보강시편보다 미세균열이 먼저 발생함을 알 수 있는데, 이는 인장응력이 작용할 때, 섬유재가 인장력을 부담하게 되고 증가된 섬유재의 변형이 콘크리트의 변형보다 크므로 섬유재 주위에서 미세균열이 먼저 발생하는 것으로 판단된다.

#### 4. 시공 후 모니터링 평가

Fig. 10에서는 개발된 SP 간격재의 현장에 설치된 사진을 나타내고 있으며, Fig. 11에서는 시공 6개월 경과후의 기존 간격재의 설치상태와 비교한 것이다.

기존의 제품에서는 간격재 설치에 따라 얼룩 및 균열이 간격재 주위에 다수 발생된 것에 비해 SP 간격재 설치 후에는 구체 콘크리트와 일체시공이 되어 균열 및 얼룩이 없는 것을 확인할 수 있었다. 현재 공용중인 구조물이므로 장기적인 모니터링을 통하여 SP 간격재의 일체성에 대한 평가를 수행할 예정이다.

#### 5. 결론

플라스틱 섬유재와 슬래그 시멘트를 이용한 고강도 간격재의 개발 및 적용성 평가에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 폴리프로필렌 섬유 (PF), 나일론 (NF), 유리섬유 (GF) 보강재와 슬래그 시멘트를 이용하여 고강도 간격재를 제작하였다. 일반 간격재에 비해 압축강도에서는 147~164%, 휨인장에서는 272~311%, 인장에서는 184~225%의 증가를 나타내는 등 우수한 역학적 성능이 확보되었다.
- (2) 다른 섬유 복합재보다 나일론 섬유의 포화조건 (NW) 상태에서 우수한 흡수저항성 및 투수저항성이 평가되었다. 포화상태의 경우 부배합 조건에서 내부양생에 따른 결과라고 평가된다.
- (3) 4가지 배합중 우수한 성능을 가진 나일론 섬유 (포화조건: NW)와 유리섬유 (GF)를 대상으로 링테스트를 통한 균열저항성 평가를 수행하였다. 무보강 시편의 경우 275시간 경과 관통균열이 발생하였으나, 섬유재를 포함한 배합에서는 브릿징 효과에 의해 미세균열이 분포하여 관통균열이 발생하지 않았으며, 변형-시간 곡선에서 변곡점이 발생하였다.
- (4) 현장 적용성 평가 결과 6개월 경과후 간격재 주위의 얼룩이나 균열이 없음을 확인하였다. 그러나 간격재 접합부에 대하여 동결융해 저항성, 염채침투성, 균열저항성에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

#### References

1. ACI Committee 544 (1999), Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.4R.
2. Ahn, J. K., Shim, B., Song, H. W., and Byun, K. J. (2003), A study on fracture characteristics of chemically prestressed mortar, KCI Spring Conference, 15(1), 828-832 (in Korean).
3. Bentz, D. P., Lura, P., and Roberts, J. W. (2005), Mixture proportioning for internal curing, Concrete International, 27(2), 35-40.
4. Cho, C. G., Han, S. J., Kwon, M. H., and Lim, C. K. (2012), Seismic performance evaluation of reinforced concrete columns by applying steel fiber-reinforced mortar at plastic hinge region, Journal of the Korea Concrete Institute, 24(3), 241-248 (in Korean).
5. Du, L., and Folliard, K. J. (2005), Mechanisms of air entrainment in concrete", Cement and Concrete Research, 35(8), 1463-1471.
6. Emmons, P. H. (1994), Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means Company, 5-16.
7. JSCE-Concrete Committee (2002), Standard Specification for Concrete Structures.
8. KCI (2010), Mixing and construction manual for performance-based concrete, Technical report 1-1: Concrete Korea.
9. Kim, J. M., Cho, S. H., and Lee, D. K. (2001), High strengthening mechanism by blast furnace slag in concrete based product, Clean Technology, 7(2), 109-117.

- 
10. Lee, H. H., and Lee, H. J. (2004), Characteristic strength and deformation of SFRC considering steel fiber factor and volume fraction, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 16(6), 759-766 (in Korean).
  11. Lee, T. W. (2008), A Study on the Actual Condition Survey of Apartment Rebar Work, *Journal of Korea Institute of Building Construction*, 8(2), 71-79.
  12. Li, M., and Li, V. C. (2011), High-early-strength ECC for rapid durable repair: Material properties, *ACI Materials Journal*, 108(1), 3-12.
  13. Oh, B. H., Lee, M. G., Yoo, S. W., and Baik, S. H. (1996), A study on the strength and drying shrinkage crack control characteristics of polypropylene fiber reinforced concrete, *Journal of KCI*, 8(6), 151-165.
  14. Park, S. S., Kwon, S. J., and Jung, S. H. (2012), Analysis technique for chloride penetration in cracked concrete using equivalent diffusion and permeation, *Construction and Building Materials*, 29(2), 183-192 (SCIE).
  15. Park, S. S., Kwon, S. J., Jung, S. H., and Lee, S. W. (2012), Modeling of water permeability in early aged concrete with cracks based on micro pore structure, *Construction and Building Materials*, 27(1), 597-604 (SCIE).
  16. Shah, S. P. (1992), Fiber reinforced cement composite, New York, McGraw-Hill, Inc.
  17. Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., and Park, C. K. (2006), Predicting carbonation in early-aged cracked concrete, *Cement and Concrete Research*, 36, Issue 5, 979-989.

Received : 01/24/2014  
 Revised : 02/26/2014  
 Accepted : 03/03/2014

---

## 요 지

본 연구는 환경부하 저감을 위해 슬래그 시멘트를 사용하고 플라스틱 섬유보강재(폴리프로필렌, 나일론, 유리섬유)를 혼입하여 고강도 간격재를 개발하고 현장적용성을 평가하는 연구이다. 이를 위해 예비실험을 통하여 4가지 섬유 복합재의 첨가량이 결정되었다. 또한 역학적 시험(압축, 휨, 인장) 및 내구성 시험(흡수율, 투수율, 길이변화율, 균열저항성, 탄산화, 동결융해)을 통하여 최적의 섬유재를 도출하였으며, 이를 이용한 고강도 섬유재 간격재의 배합 및 생산시스템을 개발하였다. 또한 현장적용성 평가를 통하여 개발된 간격재의 구체 콘크리트 일체성을 확인하였다.

**핵심 용어** : 고강도 간격재, 플라스틱 섬유재, 내구성능, 슬래그 시멘트, 일체안전성