



폴리프로필렌 섬유 보강 EVA 콘크리트의 압축강도 및 내구성 The Compressive Strength and Durability Properties of Polypropylene Fiber Reinforced EVA Concrete

남기성* · 성찬용**,†

Nam, Ki Sung · Sung, Chan Yong

Abstract

The important properties of EVA (ethylene vinyl acetate) redispersible polymer was waterproof, densification of internal pore space of concrete and ball bearing and micro filler. Also, the significant role of polypropylene(PP) fiber was crack control and blockade of movement for deterioration factors. The most studies for EVA were limited in the field of mortar and PP fiber reinforced concrete had been studied in the state of being restricted unit water content, rich mix and mixing much of the fiber without considering construction site. Therefore, the control mix design were applied in ready mixed concrete using 10 % fly ash of total cement weight used in batch plant. On the basis of control mix design, EVA contents ranging from 0 % to 10 % of total cement weight and PP fiber contents ranging from 0 % to 0.5 % of EVA concrete volume were used in the mix designs. The results showed the maximum compressive strength value was measured at EVA 5.0 % and PP fiber 0.1 %, the minimum water absorption ratio was at EVA 10 % and PP fiber 0 %, the durability factor for freezing and thawing resistance was at EVA 5.0 % and PP fiber 0.3 % and the minimum weight reduction ratio of resistance to sulfuric acid attack was at EVA 10 % and PP fiber 0.5 % after curing age 42days. Meanwhile, From these results, PP fiber reinforced EVA concrete would be very benefit, if each optimal mix types were used in hydraulic structures, underground utilities and agricultural structures.

Keywords: EVA; polypropylene fiber; compressive strength; water absorption ratio; freezing and thawing resistance; resistance to sulfuric acid attack

1. 서 론

시멘트 모르타르나 콘크리트는 건설 분야에 가장 널리 쓰이는 재료로 비용이 저렴하고, 취급이 용이한 특성을 지니고 있으나, 인장강도가 낮고 내약품성이 약한 단점을 지니고 있으며, 더욱이 고도 산업화과정에서 파생되고 있는 기후변화 및 환경오염문제로 시멘트 복합체의 성능저하가 가속되어 구조물의 내구성 확보에 심각한 문제를 일으키고 있다(Song et al., 2008). 특히, 농업용 콘크리트 구조물의 내구연한은 30년에서 100년 정도 설계되고 있으나, 산, 동해, 염해와 같은 열화인자 인한 노후화로 콘크리트 구조물의 내구연한이 평균 18년에 불과하고, 목표 설계 내구연한에 도달하기 어려운 실정이며(Park et al., 2008), 이러한 문제점을 개선하기 위해 콘크리트의 피복을 늘리거나 철근의 방청 등 다가적인 대책을 강

구하고 있고, 시멘트 모르타르 및 콘크리트 성질을 개선하기 위해 재유화형 폴리머 분말, 수용성 폴리머, 액상수지 및 모노머 등의 폴리머에 대한 연구가 진행되고 있다 (Bae and Hyung, 2013; Kwon et al., 2013; Park et al., 2008).

또한, 무근콘크리트 및 철근콘크리트에 폴리프로필렌 섬유, 강섬유, 나일론, 탄소섬유 등의 보강재를 이용함으로써 인장강도, 휨강도 증진과 내약품성 향상 기여한다는 장점을 지니고 있어 몇몇 건설분야에 적용하고 있다(Kwon et al., 2013).

EVA (ethylene vinyl acetate) 재유화형 분말수지는 EVA 계 공중합 폴리머 에멀전을 스프레이 건조한 분산물질로 이때의 입자가 100 μm 로 분산되어 있다가 물에 재분산되면 1 μm 의 안정한 액상수지 (polymer dispersion emulsion)가 되며, 포대 속에 프리믹스되어 있어 품질관리에 유리하고 시공 편리성이 등 기존의 이액형 폴리머보다 유리하여 시멘트와 같은 무기질 재료와 결합하여 콘크리트용 보수용 모르타르, 바닥재 등과 같은 분야에 널리 사용되고 있다 (Afridi et al., 1995; Kim and Sung, 2007). 폴리프로필렌 섬유는 가격이 저렴하고, 부식에 대한 저항성이 우수하며, 높은 인성을 필요로 하는 제품에 사용할 수 있는 특성을 지니고 있어 터널, 교량, 도로포장에 이용하고 있다 (Cho et al., 2014; Kakooei et al; 2012).

그러나, EVA의 경우, 몇몇 연구자에 의해 콘크리트에 적용한 연구한 사례는 있으나 (Silviya et al., 2012; Sung and

* Dohwa Engineering Co., Ltd
** Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University
† Corresponding author
Tel.: +82-42-821-5798 Fax: +82-42-821-8877
E-mail: cysung@cnu.ac.kr

Received: April 1, 2015

Revised: May 19, 2015

Accepted: May 20, 2015

Nam, 2014), 주로 모르타르에 적용한 연구가 대부분이며, PP 섬유를 보강한 모르타르나 콘크리트의 경우, 거의 대부분이 단위수량 고정, 부배합, 다량의 섬유 혼입률 등에 따른 역학적 특성 및 내구적 특성을 구명하고 있어 현장에 적용하기에 불가한 실정이다.

따라서, 본 연구는 EVA와 폴리프로필렌 섬유의 특성을 활용하여 현장 적용성을 위해 직접 사용하고 있는 플라이 애시 혼입된 레미콘 배합을 근거로 슬럼프를 고정시킴과 동시에 EVA와 폴리프로필렌 섬유 혼입률을 조정하여 압축강도, 흡수율, 동결융해저항성 및 내산성을 실험적으로 구명하였다. 또한, 각각의 시험에서 나타나는 결과에 따른 최적의 배합을 도출하여, 물과 접촉되는 수리구조물, 지중매설물 및 농업구조물 등의 내구연한 향상을 위한 기초자료를 수립하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

나. 골재

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를, 굵은골재는 대전지역의 석산에서 파쇄된 쇄석을 사용하였으며 이의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

다. EVA

EVA 재유화형 분말수지는 독일 W사의 제품을 사용하였으며, 이의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

라. 플라이 애시

화력발전소에서 부산되는 입경이 0.15 mm이하인 플라이 애시(KS L 5405)를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 3과 같다.

마. 폴리프로필렌섬유 (= PP섬유)

폴리프로필렌섬유는 길이 19 mm, 비중이 0.91인 국내 S사의 제품을 사용하였다.

바. 혼화제

혼화제는 고성능 AE 감수제와 분말소포제를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 Table 4, 5와 같다.

2. 공시체 제작 및 양생

가. 콘크리트 배합

PP섬유 보강 EVA 콘크리트의 배합설계는 플라이 애시 10%를 혼입한 레미콘 배합을 기준으로 슬럼프 15±2.5 cm, 공기량 4.5±1.5%, 재령 28일의 설계기준강도 24 MPa 이상이 되도록 단위수량, 잔골재 용적비 (Sa) 등을 변수로 하여 예비시험을 통해 기준배합 E0-0을 결정하였다.

EVA만을 혼입한 배합은 설계기준강도 24 MPa이상, 슬럼프

Table 1 Physical properties of aggregates

Item	Size (mm)	Specific gravity (20 °C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)
Crushed coarse aggregate	5~20	2.61	2.80	6.92	1,435
Natural fine aggregate	< 4.75	2.52	2.24	2.34	1,478

Table 2 Physical properties of EVA redispersible polymer powder

Series of polymer	Solid content	Specific gravity	Ash content	Apparent density	Appearance	Stabilizing system	Particle size
EVA	99 ± 1%	1.1	11±2%	540 ± 50 g/L	White powder	Poly vinyl alcohol	400 μm

Table 3 Physical properties and chemical compositions of fly ash

Physical properties		Chemical composition (wt. %)				
Specific gravity (20 °C)	Specific surface (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Others
2.39	3,880	53.14	33.91	5.81	2.54	4.60

Table 4 General properties of superplasticizer

Type	Specific gravity (20 °C)	pH	Freezing point (°C)	Unit weight (kg/m ³)	Principal ingredient	Color	Usage (%)
Superplasticizer	1.2	9±1	-2	1,190	Sodium salt of sulfonate naphthalene	Dark brown liquid	1 % of binder

Table 5 General properties of deforming agent

Type	Composition	Ash content (%)	Apparent density (g/ℓ)	Color	Usage (%)
Deforming agent	Hydrocarbons and polyglycols	33	340	White	0.5 % of EVA

Table 6 Mix designs of PP fiber reinforced EVA concrete

Mix type	EVA (%)	PF (Vol.%)	Unit weight (kgf/m ³)									Sa (%)	W/B (%)
			Binder				Water	Sand	Gravel	AE	DA		
			C	FA	EVA	Total							
E0-0	0	0.0	315	35	-	350	179	804	893	3.5	-	48.3	51.1
PE0-1		0.1					180	803	892				51.4
PE0-3		0.3					191	787	874				54.6
PE0-5		0.5					206	769	852				58.9
E2-0	5.0	0.0	299	35	16	350	174	798	886	3.5	0.08	48.3	49.7
PE2-1		0.1					175	797	884				50.0
PE2-3		0.3					185	782	868				52.9
PE2-5		0.5					199	764	848				56.9
E4-0	10	0.0	283	35	32	350	169	791	878	3.5	0.16	48.3	48.3
PE4-1		0.1					170	789	875				48.6
PE4-3		0.3					180	775	861				51.4
PE4-5		0.5					193	760	843				55.1

* E: EVA concrete, * PE: EVA concrete reinforced PP fiber, * EVA: ethylene vinyl acetate of redispersible polymer powder, * PF: PP fiber, * C: cement, * FA: fly ash, * AE: superplasticizer, * DA: deforming agent, * Sa: volume ratio of fine aggregate, * W/B: water/(C+FA+EVA)

프 15±2.5 cm와 공기량 4.5±1.5 %의 조건으로 하여 시멘트 결합재 중량에 대한 최대 EVA 혼입률 10 %를 선정하였으며, EVA와 PP섬유를 혼입한 배합은 섬유뭉침 현상이 발생하지 않고 슬럼프 15±2.5 cm, 공기량 4.5±1.5 %를 만족하는 최대 PP섬유 혼입률 0.5 % (체적비)를 예비시험을 통해 선정하였다. 또한, PP섬유보강 EVA 콘크리트의 내구 특성을 알아보기 위해 EVA 혼입률 0%, 5.0%, 10%에 따른 PP섬유 혼입률 0%, 0.1%, 0.3%, 0.5%으로 하여 12종류 배합을 선정하였다. 한편, W/C감소 및 유동성을 증가시키기 위하여 고성능 AE 감수제를 결합재 중량의 1.0 %를 사용하였고 EVA사용 시 불필요한 공기가 발생하여 목표 공기량에 도달하기 위해 분말소포제를 EVA량의 0.5 %를 사용하였으며, 이에 대한 배합설계는 Table 6과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

PP섬유보강 EVA 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 제작하였고, 제작된 콘크리트는 양생상자에서 24시간 정치 후 탈형한 후 초기재령 3일까지는 수중양생을 하고, 재령 3일 이후 소정의 재령까지 20±3 °C, 습도 60 %에서 기건양생을 실시하였다.

3. 시험방법

가. 압축강도

압축강도시험은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 Φ 10 × 20 cm인 공시체를 제작하여 재령 7일, 28일에 측정하였다.

나. 흡수율

재령 7일, 28일 동안 양생한 $\Phi 10 \times 20$ cm인 시험체를 105 ± 5 °C로 유지한 건조기에 24시간 절대건조상태에서 시험체의 중량과 23 °C 증류수에 24시간 침수시킨 후 표면건조 포화상태에서 중량을 측정하여 식 (1)로 산출하였다.

$$A.R = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (1)$$

여기서, A.R = 흡수율 (%)

A = 절대건조상태의 시험체 중량 (g)

B = 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

다. 동결융해저항성시험

콘크리트의 동결융해저항성시험은 KS F 2456 (급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법) 중 공기중 동결 수중 융해 방법으로 시험을 실시하였으며, 동결융해사이클에 따른 동탄성계수 측정은 KS F 2437 (공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수 및 푸아송비의 시험방법)에 의해 실시하고, 동탄성계수 측정장치 고유의 식인 식 (2)로 동탄성계수를, 식 (3)으로 중량감소율을 구하였다.

$$E_D = 0.098 C_1 W f_1^2 \quad (2)$$

여기서, $C_1 : 408 \times 10^{-5} L/A (s^2/cm^2)$

E_D : 동탄성계수 (MPa)

W : 공시체 무게 (kgf)

f_1 : 종진동의 1차 공명진동수 (Hz)

L : 공시체의 길이 (cm)

A : 공시체의 단면적 (cm^2)

$$W = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (3)$$

여기서, W : 해당 사이클에 대한 중량감소율 (%)

W_0 : 최초 시험 전 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

W_1 : 해당 사이클에 대한 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

한편 내구성지수란 동결융해에 대한 콘크리트의 내구성을 나타내는 지수로 동결융해시험을 끝냈을 때의 상대동탄성계수 의미하며, 각 사이클 마다 상대동탄성계수를 식 (4)으로 구한 후, 식 (5)로 내구성지수를 산정하였다.

$$P_c = \frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 \quad (4)$$

여기서, P_c : 동결융해 해당 사이클 후의 상대동탄성계수 (%)

n_0 : 동결융해 0사이클에서의 변형진동의 1차 공명진동수 (Hz)

n_c : 동결융해 해당 사이클에서의 변형진동의 1차 공명진동수 (Hz)

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (5)$$

여기서, DF : 시험용 공시체의 내구성지수

P : N사이클에서의 내구성지수 (N사이클에서의 상대동탄성계수)

N : 상대동탄성계수가 60 %가 되는 사이클 수 또는 동결융해에서의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수 (300사이클)

M : 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

라. 내산성시험

내산성시험은 황산에 대한 저항성 시험을 실시하였으며, 내산성시험을 위해 순도 99 %의 황산(H_2SO_4) 5 % 용액에 재령 28일된 $\Phi 75 \times 150$ mm의 공시체를 7일, 14일, 21일, 28일, 35일 및 42일 동안 침지한 후 부식된 표면을 철솔로 닦아낸 다음 표면건조포화상태의 중량을 측정하였으며, 중량감소율은 식 (6)으로 산출하였다.

$$W_r = \left(1 - \frac{W_3}{W_2}\right) \times 100 \quad (6)$$

여기서, W_r : 해당 측정일의 중량감소율 (%)

W_2 : 황산용액에 침지 전 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

W_3 : 해당 측정일의 표면건조포화상태의 시험체 중량 (g)

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

PP섬유 보강 EVA 콘크리트의 재령별 압축강도 시험결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 재령 7일 및 28일에서 17.2~

22.5 MPa과 20.3~28.0 MPa범위로 나타났으며, EVA 혼입률 5.0% 이내이고, PP섬유 혼입률 0.1%에서 다소 증가한 반면, PP섬유 혼입률 0.3% 이상에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 감소하였다.

또한, EVA만을 혼입한 모든 배합의 압축강도는 24 MPa 이상을 만족하였으며, 재령 28일의 최대압축강도는 EVA 혼입률 5.0%이고 PP섬유 혼입률 0.1%인 PE2-1에서 28.0 MPa로 기준배합 E0-0의 압축강도 26.3 MPa에 비해 약 6.0% 높게 나타났다. 한편, EVA 10%에서는 PP섬유 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하였다.

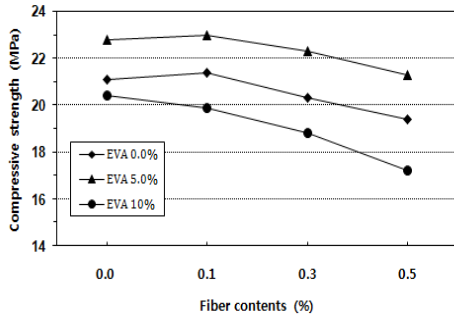
이러한 결과는 EVA가 폴리머 필름 생성에 의해 시멘트 수화생성물 복합체 형성과 PP섬유와의 부착성 증가로 콘크리트 내부조직이 다소 치밀화 되어 압축강도가 증가한 것으로 여겨지나, EVA와 PP섬유 혼입률이 증가할수록 콘크리트 내에서 차지하는 시멘트량의 감소로 강도발현에 영향을 미치는 수화생성물 생성량을 감소하고, PP섬유에 흡착된 잉여수 증가로 시멘트 매트릭스와 섬유간의 접착력 저하 및 내부공극 증가시켜 압축강도가 감소하였기 때문이다 (Kwon et al., 2013; Noh and Sung, 2007; Silva et al., 2002; Silva and Monteiro, 2005).

2. 흡수율

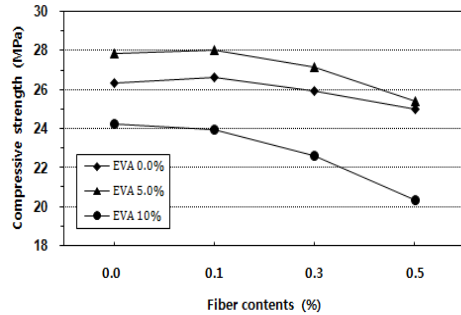
PP섬유 보강 EVA 콘크리트의 재령별 흡수율 시험결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재령 7일 및 재령 28일의 흡수율은 각각 2.4~5.9%와 1.8~4.7% 범위로 나타났다.

EVA만을 혼입한 경우, EVA가 증가할수록 흡수율이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, PP섬유를 혼입할 경우, EVA 혼입률 5.0% 이내 배합 중 PP섬유 혼입률 0.1%에서 다소 작은 흡수율을 나타낸 반면, PP섬유 혼입률 0.3% 이상에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 흡수율이 증가하였다. 또한, EVA 혼입률 10%에서는 PP섬유 혼입률이 증가할수록 흡수율이 증가하여 PP섬유에 대한 수밀성 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 미세하고 고분자인 EVA가 물에 의해 재유화 되면서 안정적으로 분산되어 콘크리트 내에서 균일한 불투수성의 폴리머 필름과 PP섬유, 골재와 수화생성물간의 치밀한 복합체를 형성하여 수밀성이 증가시켰기 때문이다. 반면, PP섬유의 증가는 콘크리트 내부공극의 증가와 PP섬유 자체의 흡수를 증가시키는 결과를 나타내어 수밀성을 요하는 구조물은 섬유의 혼합에 대한 고려가 필요하다 (Jo, 2009;

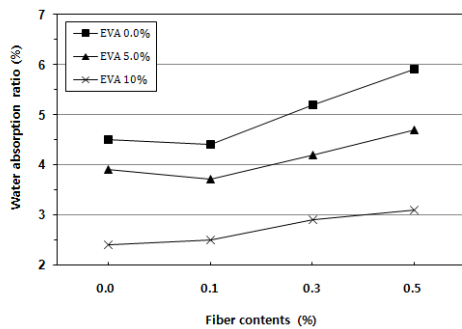


(a) 7days

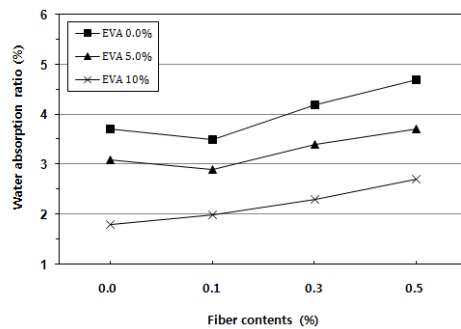


(b) 28days

Fig. 1 Compressive strength of EVA contents with PP contents in curing ages



(a) 7days



(b) 28days

Fig. 2 Water absorption ratio of PP fiber reinforced EVA concrete in curing ages

Kwon et al., 2013; Kim and Sung, 2007). 따라서, PP섬유보강 EVA 콘크리트의 수밀성은 EVA에 의한 효과는 뛰어나나 PP섬유에 대한 효과는 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

3. 동결융해저항성

가. 중량감소율

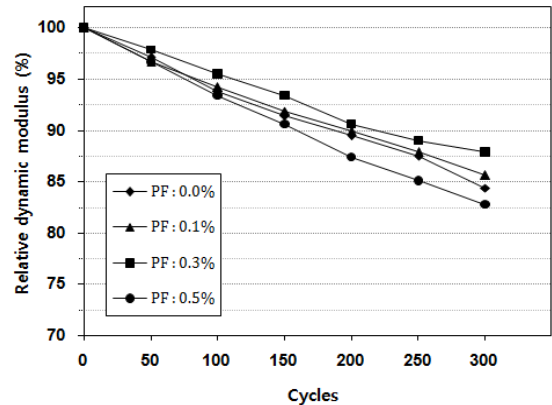
PP섬유 보강 EVA 콘크리트의 중량감소율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 동결융해 300사이클에서 0.66~1.16 %의 범위로 나타나 모든 배합에서 중량감소가 거의 나타나지 않았고, 동일 조건에서 EVA 혼입률 5.0 % 이내, PP섬유 혼입률 0.3 % 이내에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 중량감소율이 다소 낮아진 반면, PP섬유 혼입률 0.5 %에서 중량감소율이 다소 높아졌다. 또한, EVA 혼입률 5.0 %, PP섬유 혼입률 0.3 %인 PE2-3에서 가장 낮은 중량감소율이 나타났다. 한편, EVA 혼입률 10 %에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 중량감소율이 증가하는 것으로 나타내었다.

이러한 결과는 EVA와 PP섬유 적정 혼합 시 콘크리트 내부 공극 충전효과 및 접착성으로 폴리머-시멘트 복합체 형성하고, PP섬유가 동결융해 시 콘크리트 조직의 이완 및 공극 내의 팽창에 의해 발생하는 균열을 가교작용에 의해 억제 및 진전 시키는 효과가 있기 때문이며, EVA와 PP섬유 혼입 증가는 콘크리트 중 시멘트가 차지하는 체적이 감소하여 강도발현에 영향을 미치는 수화생성물 감소로 이어져 콘크리트 표면에서부터 발생하는 수축·팽창력에 의해 콘크리트의 미세 조직을 파괴시켰기 때문이다.

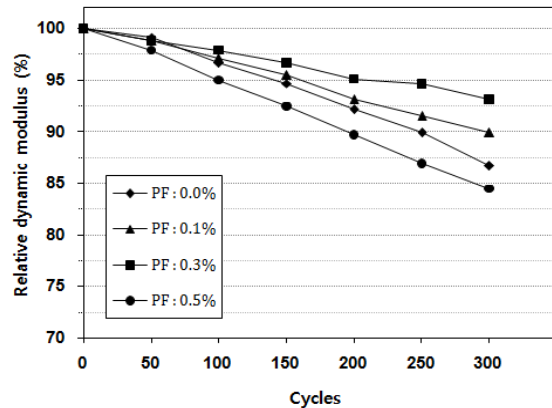
나. 상대동탄성계수

동결융해 사이클에 따른 상대동탄성계수는 Fig. 4와 같다. 동결융해 사이클이 증가할수록 상대동탄성계수의 변화추이

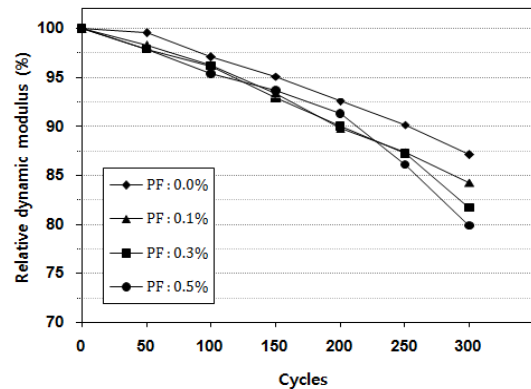
가 EVA 혼입률 5.0 % 이내이고, PP섬유 혼입률 0.3 % 이내에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 상대동탄성계수의 감소가 낮아지는 반면, PP섬유 혼입률 0.5 %에서 다시 높아지는 경향을 보였다. 한편, EVA 혼입률 10 %에서는 PP섬유 혼입률



(a) EVA content 0 %



(b) EVA contents 5.0 %



(c) EVA contents 10 %

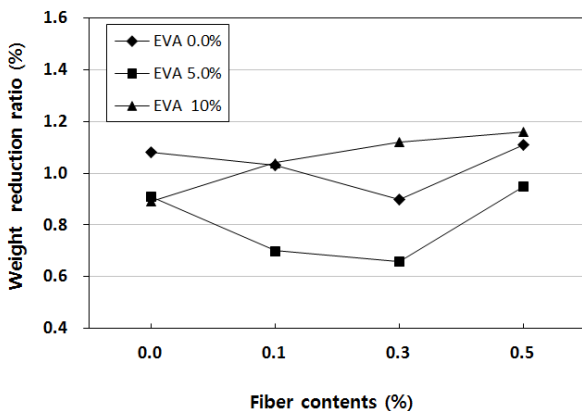


Fig. 3 Weight reduction ratio with PP fiber contents of EVA concrete in freezing and thawing 300 cycles

Fig. 4 Relative dynamic modulus of elasticity with freezing and thawing, cycles of PP fiber reinforced EVA concrete

이 증가할수록 상대동탄성계수의 감소가 높아지는 경향을 보였다.

다. 내구성지수

PP섬유 보강 EVA 콘크리트의 내구성지수는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 79.9~93.1 범위로 EVA 혼입률 5.0 % 이내, PP섬유 혼입률 0.3 % 이내에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 내구성지수가 증가한 반면, PP섬유 혼입률 0.5 %에서 내구성지수가 감소하였다.

또한, 내구성지수가 가장 높은 배합은 EVA 혼입률 5.0 %, PP섬유 혼입률 0.3 %인 PE2-3으로 내구성지수가 93.1로 기준배합 E0-0비해 10.3 % 높게 나타났다. 한편, EVA 10 %에서 PP섬유 혼입률이 증가할수록 내구성지수가 감소하였다.

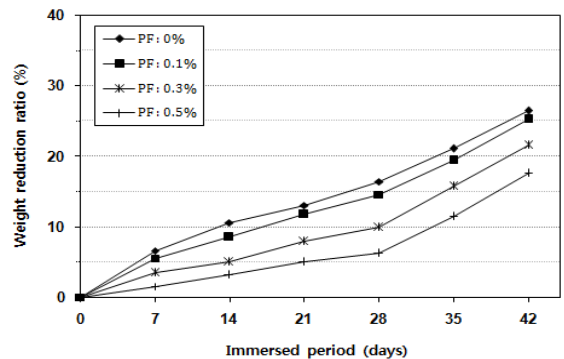
이러한 결과는 EVA에 의한 내부공극충진 효과와 폴리머 필름형성으로 수밀성을 증가시키고, PP섬유가 동결융해 시 콘크리트 조직의 이완 및 공극 내의 팽창에 의해 발생하는 균열을 가교역할과 콘크리트 매트릭스의 부착력 증가하여 내구성지수가 증가하고, EVA와 PP섬유 혼입률 증가는 콘크리트 내에 시멘트가 차지하는 체적감소로 콘크리트 강도 감소, 유동성 확보를 위한 단위수량 증가와 혼합수의 섬유표면 흡착에 따른 콘크리트 복합체의 공극발생 및 내부 잉여수의 결빙을 초래하여 동결에 의해 발생하는 팽창력에 대한 저항성이 현저히 떨어지기 때문에 내구성지수가 감소한 것으로 판단되며 PP섬유 혼입 시 동결융해 저항성이 향상된다는 연구결과와 유사하였다(Sung, 2006). 따라서, 동절기 및 해빙기 시 동결융해가 반복되는 수리구조물 및 농업구조물에 사용하면 매우 유의할 것으로 판단된다.

4. 내산성

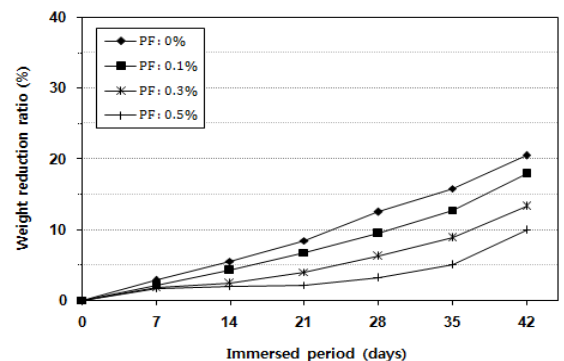
PP섬유 보강 EVA콘크리트의 중량감소율은 Fig. 6에서 보

는 바와 같이, EVA와 PP섬유 혼입률이 증가할수록 중량감소율은 기준배합인 E0-0에 비해 현저히 작아졌다. 또한, EVA 혼입률 10 %, PP섬유 혼입률 0.5 %인 PE4-5에서 침지시간 7일과 42일의 중량감소율은 0 %와 1.95 %로 기준배합 E0-0의 중량감소율 6.56 %와 26.45 %보다 6.56 %와 24.50 % 작게 나타나 EVA와 PP섬유 혼입률이 증가할수록 내산성이 매우 크게 향상되었다.

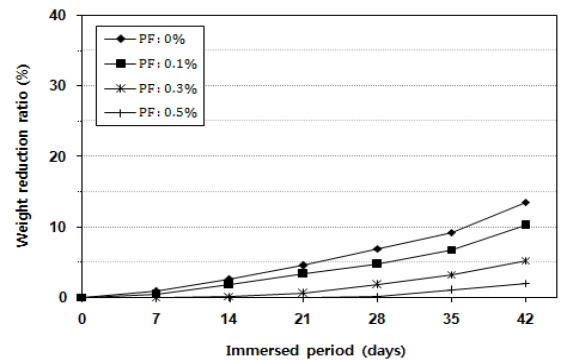
이러한 결과는 EVA에 의한 콘크리트의 내부조직 치밀화



(a) EVA 0%



(b) EVA 5.0%



(c) EVA 10%

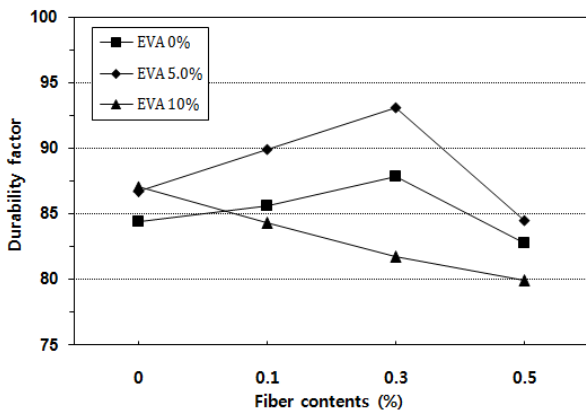


Fig. 5 Durability factor of PP fiber reinforced EVA concrete

Fig. 6 Weight reduction ratio with immersed period of PP fiber contents on EVA contents

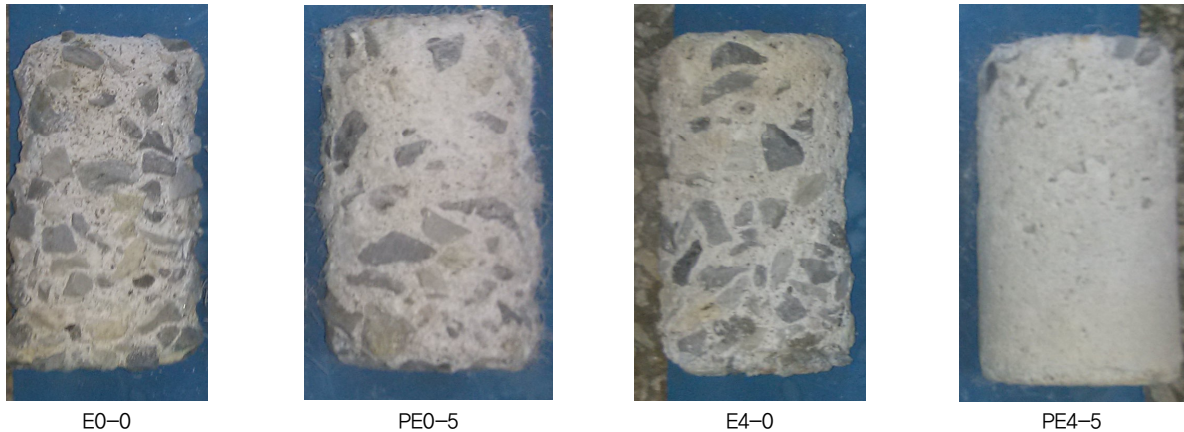


Photo 1 Surface of EVA concrete reinforced PP fiber immersed, in 5% H₂SO₄ solution after curing age 42days

및 폴리머 필름에 의한 황산이온 침투차단과 PP섬유에 의한 미세균열 구속, 화학약품에 대한 불활성 및 황산이온의 침투 차단 특성이 복합적으로 이루어져 EVA와 PP섬유가 증가할수록 내산성이 향상되며, 또한, EVA와 PP섬유의 혼입률 증가는 콘크리트 복합체의 시멘트량 감소로 이르게 되어 황산과 반응하여 생성되는 팽창물질인 황산칼슘 (gypsum)과 생성된 황산칼슘과 3칼슘 (3CaO·Al₂O₃·12H₂O) 반응하여 생성되는 에트린자이트 생성을 감소시켰기 때문이다 (Kim et al., 2000; Kim et al., 2012; Kim and Sung, 2008).

Photo 1은 42일 이후의 콘크리트 표면이 탈락된 모습을 보여주는 것으로 EVA 혼입률과 더불어 PP섬유 혼입률이 증가할수록 콘크리트의 탈락이 감소하였다. 특히, EVA 혼입률 10%, PP섬유 혼입률 0.5%인 PE4-5에서는 기준배합 E0-0에 비해 콘크리트 표면의 탈락이 거의 없어, PP섬유보강 EVA 콘크리트를 수문과 같은 수리구조물, 지중구조물인 오수관 등과 같은 무기물질에 접하는 구조물 제조 시 사용한다면 유익할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 물과 접촉되는 수리구조물, 지중매설물 및 농업구조물에 적용하기 위해 현장에서 사용하는 플라이 애시를 함유한 레미콘 배합을 근거로 폴리프로필렌 섬유보강 EVA 콘크리트의 압축강도, 흡수율, 동결융해저항성 및 내산성을 구명하였고, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도는 EVA만을 혼입한 배합한 경우, 목표치인 재령 28일 압축강도 24 MPa 이상을 만족하였으며, EVA와 PP 섬유 혼입한 배합의 경우, EVA 혼입률 5.0%이고 PP 섬유

혼입률 0.1%에서 재령 7일 및 재령 28일 최대 압축강도를 나타내었으며, EVA 혼입률 10%에서는 PP 섬유 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하였다.

2. 흡수율은 EVA 혼입률 5.0% 이내에서는 PP 섬유 0.1%에서 가장 작은 흡수율을 나타내었으며, EVA 혼입률 10%에서는 PP 섬유 혼입률이 증가할수록 흡수율이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 흡수율이 EVA 혼입률 10%이고 PP 섬유 혼입률이 0%에서 가장 작게 나타내어, EVA에 의한 수밀효과는 뛰어나나 PP 섬유에 대한 효과는 거의 없었다.
3. 동결융해저항성은 EVA 혼입률 5.0% 이내에서는 PP 섬유 혼입률 0.3%에서 가장 우수한 것으로 나타난 반면, EVA 혼입률 10%에서는 PP 섬유에 대한 동결융해저항성에 대한 효과가 거의 없었다.
4. 내산성은 EVA와 PP 섬유가 증가할수록 중량감소율이 작아지는 것으로 나타났다. 특히, 황산침지 42일 이후 기준배합은 중량감소율이 26.46%인 반면, EVA 혼입률 10%이고 PP 섬유 혼입률 0.5%는 중량감소율이 1.96%로 나타났다. 이는 EVA와 PP 섬유를 혼입할 경우, 내산성 증대효과가 매우 우수하여 지중구조물인 오수관 및 물에 접촉되는 수리구조물과 농업구조물에 적용하면 매우 유익할 것이다.
5. PP 섬유 보강 EVA 콘크리트는 EVA와 PP 섬유가 결합하여 혼입할 경우, 압축강도 및 내구성이 우수하다는 것을 알 수 있었으며, 각 시험항목별 결과에 대한 최적 혼입률을 고려할 경우, EVA 혼입률 5.0%이고 PP 섬유 혼입률 0.1%가 가장 우수한 배합으로 판단되어진다. 특히, 산, 동해 및 염해 등과 같은 열화인자에 자주 노출되는 수리구조물, 지중매설물 및 농업구조물에 적용할 시, 내구연한 증가로 보수·보강에 소요되는 시간 및 비용이 절감되리라 판단된다.

REFERENCES

1. Afridi, M. U. K., Y. Ohama, M. Z. Iqbal, and K. Demura, 1995, Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars, *Cement & Concrete Composites* 17(2): 113-118.
2. Bae, S. C., and W. G. Hyung, 2013. Properties of polymer modified mortars using re-dispersible polymer powders. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 13(3): 235-241 (in Korean).
3. Cho, B. S., J. H. Lee, and S. Y. Back, 2014, Comparative study on the flexural performance of concrete reinforced with polypropylene and steel fibers, *Journal of the Korea Society of Civil Engineers* 34(6): 1,677-1,685 (in Korea).
4. Jo, Y. K., 2009. A study on the water permeability and drying shrinkage of polymer cement composites. *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 9(5): 73-79 (in Korea).
5. Kakooei, S., H. M. Akil, M. Jamshidi, and J. Rouhi, 2012, The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures, *Construction and Building Materials* 27(1): 73-77.
6. Kim, M. H., S. K. Oh, K. S. Bae, S. G. Park, and Y. R. Kim, 2000, A study on watertightness effect of Waterproofing admixture mixed redispersible polymer and siliceous powder, *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(5): 660-667 (in Korean).
7. Kim, Y. I., and C. Y. Sung, 2007. Strength and watertightness properties of EVA Modified high strength concrete. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 49(1): 45-54 (in Korean).
8. Kim, I. S., and C. Y. Sung, 2008. Compressive strength and acid-resistant of polymer concrete using redispersible polymer and blast furnace slag powder. *Journal of The Korea Society Agricultural Engineers* 50(5): 19-27 (in Korean).
9. Kim, D. H., J. W. Lee, and C. G. Park, 2012. Effect of mineral admixture on bond between structural synthetic fiber and latex modified cement mortar under sulfate environments. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 54(5): 25-34 (in Korean).
10. Kwon, M. H., H. S. Seo, J. H. Lim, and J. S. Kim, 2013, The properties of durability and strength of fiber-reinforced polymer-modified mortars using eco-friendly UM resin, *Journal of the Korea Concrete Institute* 25(3): 313-320 (in Korean).
11. Noh, K. H., and C. Y. Sung, 2004. Mechanical and drying shrinkage properties of polypropylene fiber reinforced high flow concrete, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 46(5): 79-85 (in Korean).
12. Park, S. K., J. P. Won, and C. G. Park, 2008. Strength properties and determination method of mix proportion factor of latex modified concrete. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 50(5): 39-50 (in Korean).
13. Silva, D. A., H. R. Roman, and P. J. P. Gleize, 2002, Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement, *Cement and Concrete Research* 32: 1,383-1,390.
14. Silva, D. A., and P. J. M. Monteiro, 2005, ESEM analysis of polymeric film in EVA-modified cement paste, *Cement and Concrete Research* 35, 2,047-2,050.
15. Silviya, E. K., G. Unnikrishnan, S. Varghese, and J. T. Guthrie, 2012, Thermal and mechanical characterization of EVA/Banana fiber-derived cellulose composites, *Journal of Applied Polymer Science* 125: 786-792.
16. Song, H. W., C. H. Lee, and K. Y. Ann, 2008. Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments. *Journal of Cement & Concrete Composites* 30(2): 113-121.
17. Sung, C. Y., 2006, Freezing and thawing properties of polypropylene fiber reinforced eco-concrete, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 48(2): 59-66 (in Korean).
18. Sung, C. Y., and K. S. Nam, 2014. Mechanical properties and durability of abrasion of EVA concrete reinforced steel fiber, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 56(5): 45-54 (in Korean).