



강섬유 보강 EVA 콘크리트의 역학적 특성 및 내마모성

Mechanical Properties and Durability of Abrasion of EVA Concrete Reinforced Steel Fiber

성찬용* · 남기성**,[†]

Sung, Chan Yong · Nam, Ki Sung

Abstract

This study was performed to evaluate compressive strength, flexural strength, static modulus of elasticity, stress-strain ratio and durability of abrasion on EVA concrete reinforced steel fiber (SF) in order to use hydraulic structures, underground utilities, offshore structures and structures being applied soil contaminated area. It is used ordinary portland cement, crushed coarse aggregate, nature fine aggregate, EVA redispersible polymer powder, superplasticizer and deforming agent to find optimum mix design of EVA concrete reinforced steel fiber. EVA concrete reinforced SF was effected on the improvement of mechanical properties and durability of abrasion.

Keywords: EVA; steel fiber; compressive strength; flexural strength; modulus of elasticity; stress-strain ratio; durability of abrasion

I. 서론

지구 온난화로 기후변화가 심해짐에 따라 탄산화, 염해 및 중성화 등의 열화인자를 활성화시켜 물에 접하는 구조물인 해양구조물 및 수리구조물 등의 철근콘크리트 내부 철근과 콘크리트 계면에 존재하는 부동태막을 파괴하여 철근을 부식시키는 원인이 되고 있다 (Song et al., 2008). 특히, 농업용 콘크리트 구조물의 내구연한은 30년에서 100년 정도 설계되고 있으나, 열악한 품질관리 여건 및 특수한 환경에 의한 노후화로 콘크리트 구조물의 내구연한이 평균 18년에 불과하고, 목표설계내구연한에 도달하기 힘든 실정이다 (Park et al., 2008; Won et al., 2007).

최근 구조물의 제기능 유지 및 내구성 향상을 위해 다양한 보수공법 및 보수재료 개발에 대한 연구가 이루어지고 있으며 접착성, 방수성 및 내약품성 등이 우수한 에폭시수지, EVA, SBR 라텍스 계열의 폴리머에 대한 사용이 증가하고 있으며 (Bae and Hyung, 2013; Choi et al., 2008; Kim and Sung, 2008), 특히, EVA 재유화형 분말수지는 폴리머 중합체로써 경화과정에서 콘크리트 속의 작은 공극과 모세구조를 성장형

유기화학 결정체 성분으로 채워져 물의 이동을 차단시켜 내부공극을 감소시키고, 골재와의 부착성을 향상시켜 강도 및 내구성 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다 (Kim and Sung, 2008).

한편, 시멘트 복합체는 일반적으로 압축하중을 저항하는 건설재료로서 경제성은 있지만, 인장 또는 휨하중에 대해 균열이 쉽게 발생하고 취성적인 파괴 특성을 보여주는 단점을 지니고 있다 (Oh, 2008). 이러한 문제점을 개선하기 위해 강 (steel), 유리 (glass), 나일론 (nylon), 폴리프로필렌 (polypropylene), 탄소 (carbon)와 같은 섬유를 콘크리트에 혼입함으로써 취성재료의 역학적 성질 개선, 균열 발생과 진전 억제 및 내구성 향상 등에 기여 하는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2012).

따라서, 본 연구는 물과 접촉되는 수리시설물, 지중매설물, 해양구조물 및 토양오염지역에 설치될 구조물에 적용하기 위해 역학적 특성 및 내구성 증진에 필요한 콘크리트 개발을 하여 현장에서 사용되는 플라이 애시를 함유한 레미콘 배합을 근거로 하여 강섬유 보강 EVA 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 정탄성계수, 응력-변형률 및 내마모성에 대하여 실험적으로 구명하였다.

* Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University

** Dohwa Engineering Co., Ltd

[†] Corresponding author

Tel.: +82-54-776-9212 FAX: +82-54-776-9213

E-mail: nk1314@hanmail.net

Received: August 4, 2014

Revised: August 26, 2014

Accepted: August 28, 2014

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀

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	400µm

Table 3 Physical properties and chemical composition 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

랜드 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 사용 하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 3과 같다.

마. 강섬유

강섬유는 길이 35 mm, 비중이 7.85인 국내 C사의 제품을

Table 5 General properties of deforming agent

Type	Composition	Ash content (%)
Deforming agent	Hydrocarbons and polyglycols	33

사용하였다.

바. 혼화제

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

2. 공시체 제작 및 양생

가. 콘크리트 배합

강섬유 보강 EVA콘크리트의 배합설계는 공사현장에서 일반적으로 사용하고 있는 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, 잔

골재 용적비 (Sr) 등을 변수로 하여 예비실험을 통해 기준배합 E0-0을 결정하였다.

또한, EVA를 혼입한 배합은 설계기준강도 24 MPa 이상, 슬럼프 15±2.5 cm와 공기량 4.5±1.5 %을 만족하는 0 %, 2.5 %, 5.0 %, 7.5 %, 10 %의 5가지 배합으로 하였고, 이 배합을 토대로 EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합은 섬유 뭉침 현상이 발생할 수 있기 때문에 강섬유의 혼입률을 체적비로 1.0 %로 제한하였으며, 배합설계 시 강섬유 혼입률의 증가에 따른

슬럼프 감소 및 섬유 뭉침 현상을 개선하기 위하여 단위수량을 증가시켜 슬럼프 15±2.5 cm, 공기량 4.5±1.5 %를 만족하는 체적비 0.2 %, 0.4 %, 0.6 %, 0.8 %, 1.0 %의 25가지 배합으로 하여 총 30가지 배합으로 하였다. 한편, W/C 감소 및 유동성을 증가시키기 위하여 고성능 AE 감수제를 결합재 중량의 1 %를 사용하였고 EVA 사용 시 불필요한 공기가 발생하여 목표 공기량에 도달하기 위해 분말소포제를 EVA량의 0.5 %를 사용하였으며, 이에 대한 배합설계는 Table 6과 같다.

Table 6 Mix design of EVA concrete reinforced SF

Mix type	EVA (%)	SF (Vol.%)	Unit weight (kg/m ³)							AE (kg/m ³)	DA (kg/m ³)	S _r (%)	W/B (%)
			Binder				Water	Sand	Gravel				
			C	FA	EVA	Total							
E0-0	-	0.0	315	35	-	350	179	804	893	3.5	-	48.3	51.1
SE0-2	-	0.2					181	802	890				51.7
SE0-4	-	0.4					185	797	885				52.9
SE0-6	-	0.6					191	789	875				54.6
SE0-8	-	0.8					194	785	871				55.4
SE0-10	-	1.0					197	780	866				56.3
E1-0	2.5	0.0	307	35	8	350	177	800	888	3.5	0.04	48.3	50.6
SE1-2		0.2					179	798	885				51.1
SE1-4		0.4					182	794	881				52.0
SE1-6		0.6					187	788	874				53.4
SE1-8		0.8					190	783	869				54.3
SE1-10		1.0					192	780	866				54.9
SE2-0	5.0	0.0	299	35	16	350	174	798	886	3.5	0.08	48.3	49.7
SE2-2		0.2					176	795	883				50.3
SE2-4		0.4					179	792	879				51.1
SE2-6		0.6					183	786	872				52.3
SE2-8		0.8					186	782	868				53.1
SE2-10		1.0					188	780	865				53.7
E3-0	7.5	0.0	291	35	24	350	172	793	881	3.5	0.12	48.3	49.1
SE3-2		0.2					174	791	878				49.7
SE3-4		0.4					177	787	874				50.6
SE3-6		0.6					180	784	870				51.4
SE3-8		0.8					183	780	866				52.3
SE3-10		1.0					186	775	860				53.1
E4-0	10	0.0	283	35	32	350	169	791	878	3.5	0.16	48.3	48.3
SE4-2		0.2					171	789	875				48.9
SE4-4		0.4					174	785	871				49.7
SE4-6		0.6					176	783	869				50.3
SE4-8		0.8					179	779	865				51.1
SE4-10		1.0					182	774	859				52.0

※ E: EVA concrete, SE: EVA concrete reinforced steel fiber, SF: steel fiber, C: cement, FA: fly ash, EVA: ethylene vinyl acetate of redispersible polymer powder, AE: superplasticizer, DA: deforming agent, S_r: volume ratio of fine aggregate, W/B: water/(C+FA+EVA)

나. 공시체 제작 및 양생

강섬유 보강 EVA 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 제작하였고, 제작된 콘크리트는 양생상자에서 24시간 정치 후 탈형한 후 초기재령 3일까지는 수증양생을 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. 휨강도

휨강도시험은 60×60×240 mm인 공시체를 제작하여 KS F 2407 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일, 28일에 측정하였다.

다. 정탄성계수 및 응력-변형률

EVA는 경화 후 시멘트 매트릭스 내 탄성적 필름 형성으로 강도에 따른 변형 특성이 보통 시멘트 콘크리트와는 상이할 수 있기 때문에 강섬유 보강 EVA 콘크리트의 정탄성계수를 측정하였으며, 재령 28일의 ϕ100×200 mm인 공시체를 KS F 2438 (콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포와송비 시험방법)에 규정된 방법에 의해 UTM으로 측정 후 정탄성계수 및 응력-변형률을 구하였다.

라. 내마모성

내마모성시험은 EVA 및 강섬유 혼입에 따른 충격을 고려한 마모 특성을 평가하기 위하여 KS F 2508 (굵은골재의 마모시험방법)에 준하여 배합별 5×5×5 cm 공시체를 2개씩 재령 28일 양생한 후 건조된 상태에서 로스엔젤스 시험기내에 공시체를 강구 (d ≒47.5 cm) 6개와 함께 넣어 500회, 1,000회, 1,500회를 회전시켜 마모율을 식 (1)으로 산출하였다.

$$W = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W = 마모율 (%), W₀ = 시험전 공시체 건조중량(g), W₁ = 시험후 시험체의 건조중량(g)

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

가. EVA 혼입률에 따른 압축강도

EVA를 혼입한 배합의 재령별 압축강도의 시험결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 재령 7일과 28일에서의 압축강도가 EVA 혼입률에 따라 20.4~22.8 MPa와 24.2~27.8 MPa 범위로 나타났으며, EVA 혼입률 5 %이내의 배합에서는 EVA 혼입률이 증가할수록 기준배합 E0-0에 비하여 증가하는 경향을 나타낸 반면, EVA 혼입률 7.5 %이상 배합에서는 EVA 혼입률이 증가할수록 기준배합 E0-0의 압축강도 이하로 감소하는 경향이 나타났다. 또한, 재령 28일 최대압축강도가 EVA 혼입률 5.0 % 배합 E2-0에서 27.8 MPa로 나타나 기준배합 E0-0비해 약 6 %의 강도증진효과가 나타났으며, 모든 배합에서 설계목표강도 24 MPa이상의 강도가 나타나 배합조건을 만족하는 결과를 나타내었다.

이러한 원인은 EVA 혼입률 5.0 %이내의 배합에서는 EVA의 우수한 분산성과 구형의 입자에 의한 볼베어링 효과로 단위수량이 감소되고, 100 μm로 분산되어 있는 EVA가 콘크리

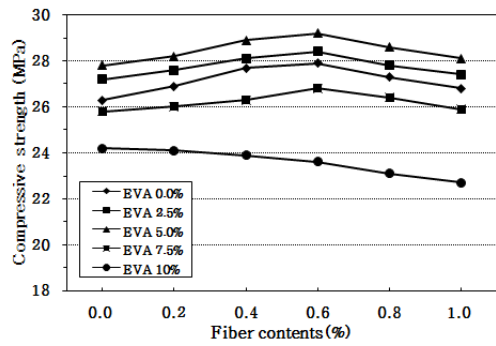
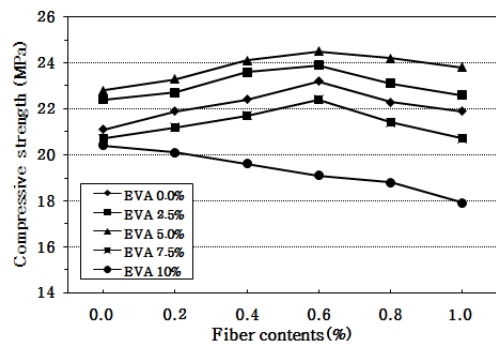


Fig. 1 Compressive strength of EVA contents with SF contents in curing ages

트 제작 시 물과 반응하여 재분산에 의해 1 μm의 안정한 에멀전 상태가 되어 콘크리트 내의 공극을 채워줄 뿐만 아니라 폴리머 필름을 형성하여 수화생성물과의 폴리머 시멘트 복합체 형성으로 콘크리트 내부조직이 치밀해져 압축강도가 증진되는 것으로 판단되며 (Kim and Sung, 2007), EVA 혼입률 7.5% 이상의 배합에서는 EVA 혼입률이 증가함에 따라 상대적으로 시멘트량이 감소되어 강도발현에 영향을 미치는 수화생성물의 형성을 감소하였을 뿐만 아니라, EVA에 의해 형성된 폴리머 필름이 풍부한 인성에 비해 자체강성이 부족한 특징을 지니고 있어 압축강도 증진에는 크게 기여하지 못하였기 때문이라 판단된다 (Jo, 2009).

나. 강섬유 혼입률에 따른 압축강도

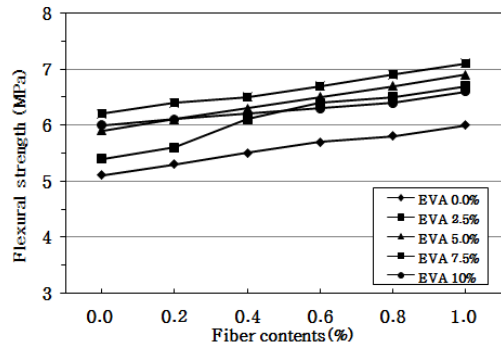
EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 재령별 압축강도 시험결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 재령 7일과 28일의 압축강도가 EVA 혼입률 7.5% 이내의 배합 중 강섬유 혼입률 0.6% 이내의 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸 반면, 강섬유 혼입률 0.8% 이상 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향을 보였다. 또한, 재령 7일, 28일의 압축강도가 17.9~24.5 MPa와 22.7~29.5 MPa 범위로 나타났으며, 최대 재령 28일 압축강도는 EVA 혼입률 5.0% 중 강섬유 혼입률 0.6% 배합 SE2-3에서 29.2 MPa로 기준배합 E0-0보다 약 11% 크게 나타났다. 한편, EVA 혼입률 10% 배합에서 강섬유를 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였다.

이러한 원인은 EVA 혼입률 7.5% 이내의 배합 중 강섬유 혼입률 6.0% 이내의 배합에서는 EVA가 콘크리트 내의 공극을 채워 줄 뿐만 아니라 EVA에 의해 형성된 폴리머 필름이 시멘트 수화생성물과 강섬유와의 부착성 증가로 콘크리트 내부조직이 치밀해져 압축강도가 다소 증가한 것으로 판단되며, EVA 혼입률 7.5% 이내의 배합 중 강섬유 혼입률 0.8% 이상의 배합과 EVA 혼입률 10% 배합에서는 강섬유 혼입률 증가에 따라 시멘트량이 감소되고, 부착성 결여로 압축강도가 감소한 것으로 판단된다 (Park and Lee, 2002; Noh and Sung, 2004; Koo et al., 1992).

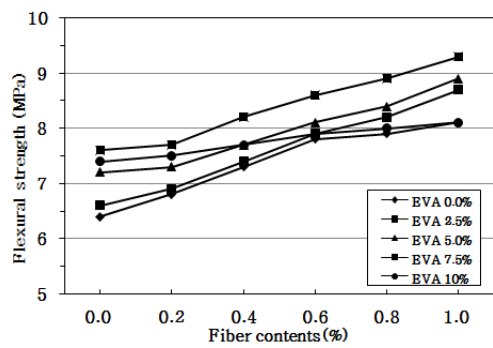
2. 휨강도

가. EVA 혼입률에 따른 휨강도

EVA를 혼입한 배합의 재령별 휨강도 시험결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재령 7일과 28일에서의 휨강도가 5.1 MPa ~ 6.2 MPa와 6.4 Mpa ~ 7.6 MPa 범위로 나타났으며, EVA 혼입률 7.5% 이내 배합에서는 EVA 혼입률이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향을 나타낸 반면, EVA 혼입률 10% 배



(a) 7days



(b) 28days

Fig. 2 Flexural strength of EVA contents with SF contents in curing ages

합에서는 휨강도가 감소하는 경향이 나타났다.

또한, 재령 28일의 최대휨강도는 EVA 혼입률 7.5% 배합 E3-0에서 7.6 MPa로 기준배합 E0-0에 비해 약 19%의 강도 증진 효과가 나타났으며, EVA를 혼입한 모든 배합에서 기준 배합 E0-0의 휨강도보다 크게 나타났다.

이러한 원인은 EVA 혼입률 7.5% 이내의 배합에서는 EVA 입자가 구형으로 불베어링 효과와 우수한 분산성에 의한 단위수량 감소로 강도가 증진되고, 재분산된 EVA에 의해 형성된 폴리머 필름에 의한 인장강도의 증가와 수화생성물과 골재간의 부착력이 개선되어 콘크리트 내부조직이 치밀해져 휨강도가 증진되는 것으로 판단되며 (Bae and Hyung, 2013; Kim and Sung, 2007), EVA 혼입률 10%에서는 EVA 혼입률의 증가에 따른 시멘트량이 감소되어 강도발현에 영향을 미치는 수화생성물 형성이 적어 휨강도가 감소하는 것으로 판단된다.

한편, EVA 혼입률 5.0% 배합인 E2-0에서 최대압축강도를 나타낸 것에 비해 휨강도는 EVA 혼입률 7.5% 배합 E3-0에서 최대휨강도가 나타났는데, 이는 EVA 혼입률이 일정 이상 증가할 경우 EVA 입자의 우수한 분산성 및 불베어링 효과

에 의한 단위수량의 감소로 압축강도와 휨강도 증진에 기여할 뿐만 아니라 EVA에 의해 형성된 풍부한 인성으로 인해 압축강도보다는 휨강도 증진에 더 효과적인 것으로 일정량의 EVA 혼입 시 압축강도 보다는 휨강도가 증진한다는 연구결과와 유사하였다 (Jo, 2009; Kim and Sung, 2007).

나. 강섬유 혼입률에 따른 휨강도

EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 재령별 휨강도 시험결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재령 7일과 28일에서의 휨강도는 5.1 MPa ~ 7.1 MPa와 6.4 MPa ~ 9.3 MPa 범위로 나타났으며, EVA 혼입률과 상관없이 강섬유 혼입률이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향이 나타났다. 또한, EVA 혼입률 7.5 % 중 강섬유 혼입률 1.0 % 배합 SE3-10에서 재령 28일 휨강도가 9.3 MPa로 기준배합 E0-0에 비해 약 45 % 크게 나타났다.

이러한 원인은 강섬유 혼입률이 증가할수록 휨인장 방향으로 배열된 강섬유의 수가 증가되고, hook에 의한 앵커작용으로 섬유와 콘크리트 사이의 부착력이 증대되어 휨강도가 증가되는 것으로 판단된다 (Kang et al., 2009). 한편, EVA 혼입률과 상관없이 강섬유 혼입률 1.0 % 배합에서 휨강도가 크게 나타난 것은 강섬유가 콘크리트 체적비 1.0 % 혼입 시 분산성 및 작업성이 우수하다는 기존의 연구와 유사한 결과를 나타내었다 (Koo et al., 1992).

3. 정탄성계수 및 응력-변형률

가. EVA 혼입률에 따른 정탄성계수 및 응력-변형률

EVA를 혼입한 배합의 정탄성계수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 2.21×10^4 MPa ~ 2.50×10^4 MPa로 나타났으며, 압축강도와 유사한 경향을 보였다. 또한, EVA 혼입률 5.0 % 배합 E2-0에서 2.50×10^4 MPa로 기준배합 E0-0에 비해 7 % 정도 다소 크게 나타났다.

이러한 원인은 EVA를 혼입한 압축강도의 발현 특성에 기인한 것으로 보통 시멘트 콘크리트 탄성계수는 압축강도와 상관성이 매우 높다는 연구결과와 유사하였다 (Han et al., 2001).

응력-변형률은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 최대응력에 대한 압축변형률이 0.002 ~ 0.003의 범위로 EVA 혼입률에 상관없이 최대응력에 대한 압축변형률이 거의 유사한 것으로 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 압축변형률과 유사하였다.

나. 강섬유 혼입률에 따른 정탄성계수 및 응력-변형률

EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 섬유 혼입률

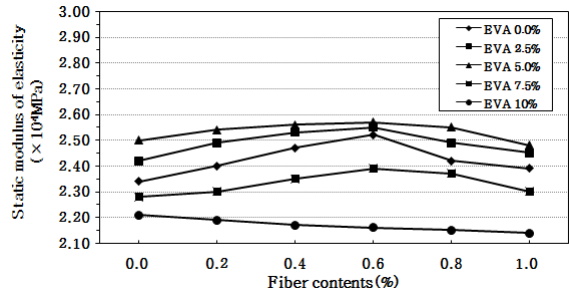


Fig. 3 Static modulus of elasticity of EVA contents with SF contents

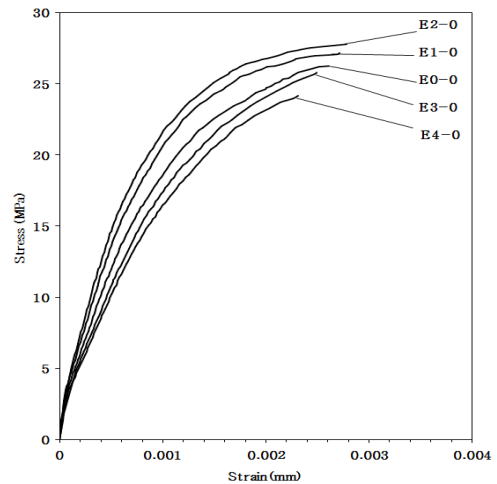


Fig. 4 Stress-strain curve with EVA contents

에 따른 정탄성계수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 2.14×10^4 MPa ~ 2.57×10^4 MPa 범위로 나타났고, EVA 혼입률 7.5 % 이내의 배합 중 강섬유 혼입률 0.6 % 이내 배합에서 강섬유 혼입률이 증가할수록 증가하는 경향을 보인 반면, 강섬유 혼입률 0.8 % 이상 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 또한, EVA 혼입률 5.0 % 중 강섬유 혼입률 0.6 % 배합 SE2-6에서 정탄성계수가 2.57×10^4 MPa로 기준배합 E0-0에 비해 16 % 크게 나타났다. 한편, EVA 혼입률 10 % 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 정탄성계수가 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 원인은 강섬유 혼입률에 따른 압축강도의 발현 특성에 기인한 것으로 판단되며, 기존 섬유보강콘크리트의 정탄성계수는 압축강도에 기여한다는 기존연구와 유사하였다 (Park and Lee, 2002). 응력-변형률은 Fig. 5, 6, 7, 8, 9에서 보는 바와 같이 최대응력에 대한 압축변형률이 0.002 ~ 0.003의 범위로 강섬유 혼입에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 압축변형률과 유사하게 나타났다.

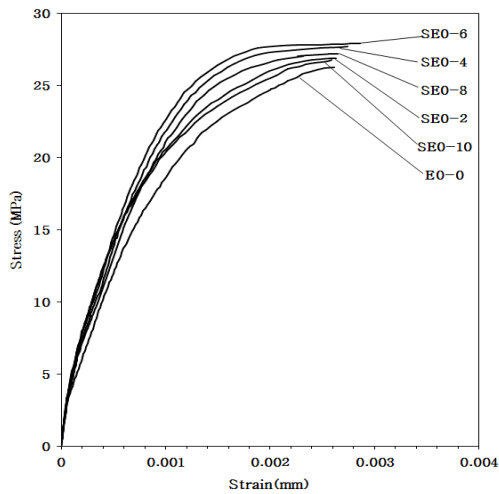


Fig. 5 Stress-strain curve of EVA content 0% with SF contents

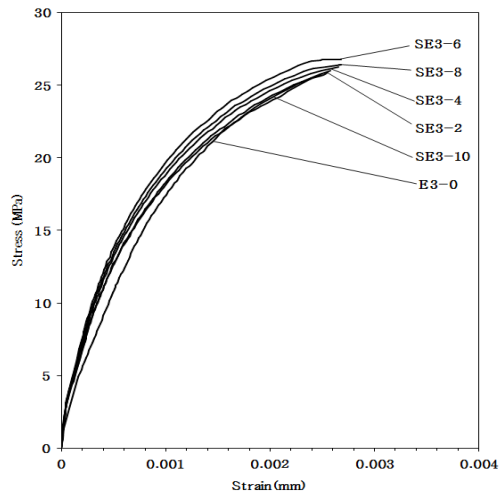


Fig. 8 Stress-strain curve of EVA content 7.5% with SF contents

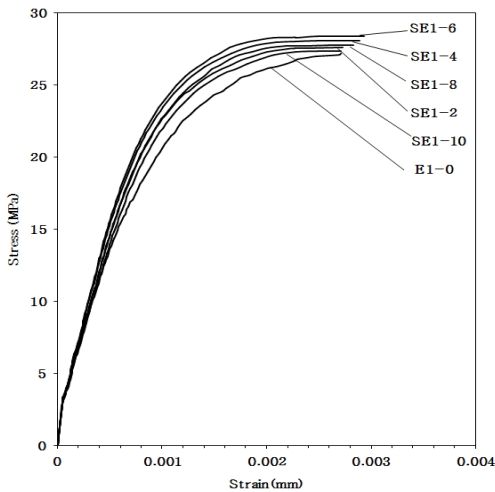


Fig. 6 Stress-strain curve of EVA content 2.5% with SF contents

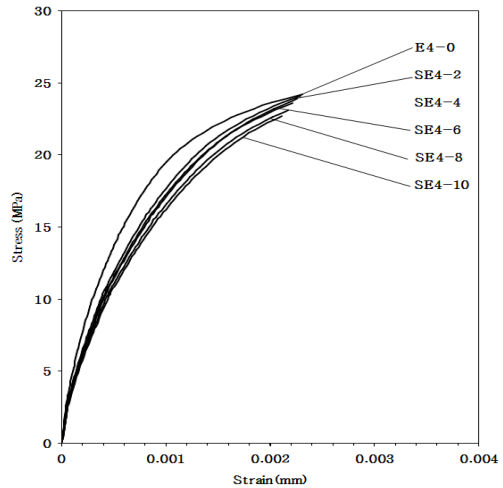


Fig. 9 Stress-strain curve of EVA content 10% with SF contents

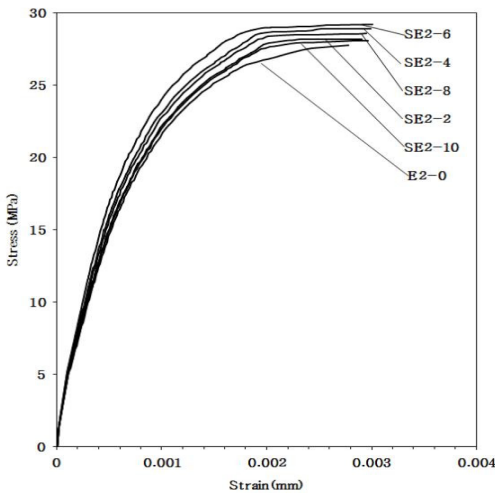


Fig. 7 Stress-strain curve of EVA content 5.0% with SF contents

4. 내마모성

가. EVA 혼입률에 따른 내마모성

EVA를 혼입한 배합의 마모율 시험결과는 Fig.10에서 보는 바와 같이 EVA 혼입률 5%이내의 배합에서 EVA 혼입률이 증가할수록 마모율이 감소한 반면, EVA 혼입률 7.5% 이상 배합에서 EVA 혼입률이 증가할수록 마모율이 증가하는 경향이 나타났다. 또한, EVA 혼입에 따른 최소마모율은 EVA 혼입률 5% 배합 E2-0에서 회전수 500회, 1,000회 및 1,500회 마모율이 9%, 23% 및 29%로 가장 작게 나타났다. 이러한 원인은 압축강도 시험결과와 유사한 경향을 나타낸 것으로 혼입률 5.0%이내의 배합에서는 EVA가 콘크리트 내부공극을 채우는 충전 효과와 폴리머 필름에 의한 인장강도증가 및 폴리머 필름과 수화생성물과의 폴리머 시멘트 복합체 형

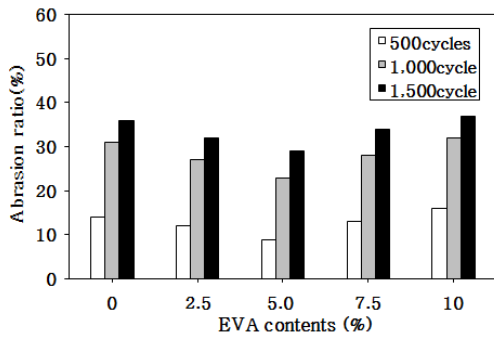


Fig. 10 Abrasion ratio with EVA contents

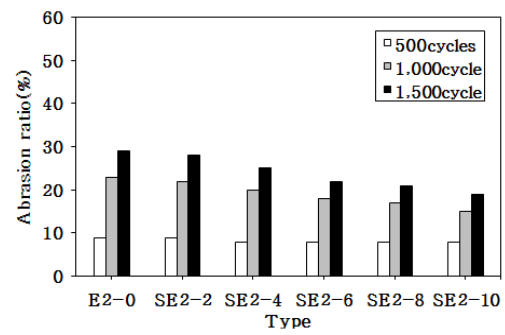


Fig. 13 Abrasion ratio of EVA content 5.0 % with SF contents

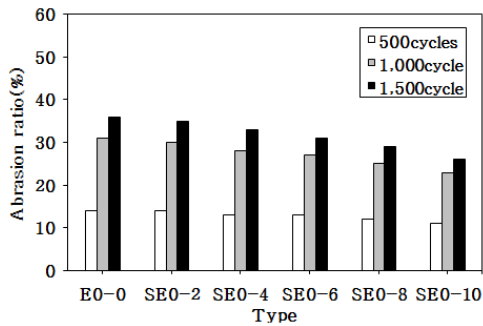


Fig. 11 Abrasion ratio of EVA content 0 % with SF contents

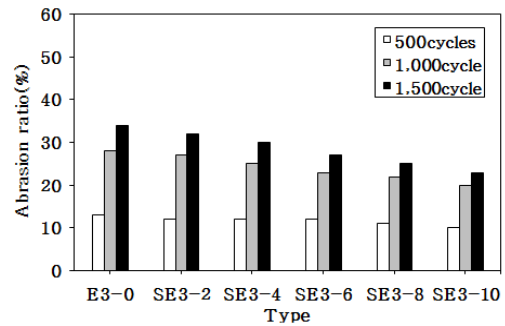


Fig. 14 Abrasion ratio of EVA content 7.5 % with SF contents

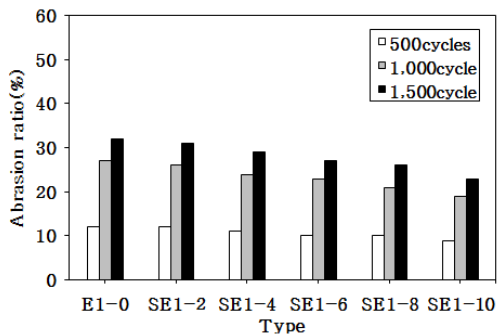


Fig. 12 Abrasion ratio of EVA content 2.5 % with SF contents

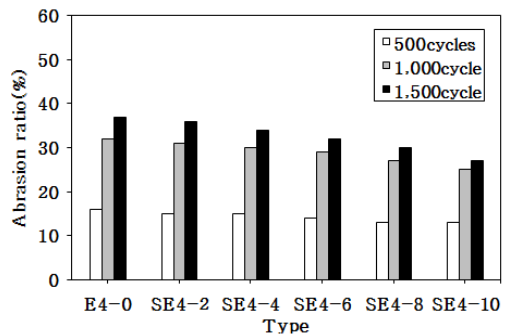


Fig. 15 Abrasion ratio of EVA content 10 % with SF contents

성으로 콘크리트 내부조직이 치밀해져 외부충격에 대한 에너지 흡수능력이 다소 향상되었기 때문인 것으로 판단되며(Bae and Hyung, 2013; Lee and Joo, 2003), EVA 혼입률 7.5% 이상의 배합에서는 EVA 혼입률이 증가함에 따라 시멘트량이 감소하고, 이에 따른 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 수화 생성물 형성이 감소되어 충격에 대한 흡수능력이 작아져 마모율이 증가하는 것으로 판단된다.

나. 강섬유 혼입률에 따른 내마모성

EVA 혼입률에 따른 강섬유 혼입에 대한 배합의 마모율 시

험결과는 Fig. 11, 12, 13, 14, 15에서 보는 바와 같이 회전수 500회에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 비슷하거나 다소 감소하는 경향이 나타난 반면, 회전수 1,000회와 1,500회전에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 마모율이 감소하는 경향이 나타났다. 또한 EVA 혼입률 5% 중 강섬유 1.0% 배합 SE2-10에서 회전수 1,500회의 마모율이 19%로 기준배합 E0-0의 마모율보다 작게 나타나 내마모성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

이러한 원인은 회전수 500회에서는 강구에 의해 발생하는 충격을 콘크리트 표면에 존재하는 폴리머 시멘트 모르타르가

주로 흡수하면서 마모되어 강섬유 혼입률이 증가할수록 마모율이 다소 감소하였고, 회전수 1,000회 및 1,500회에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 다수의 섬유가 hook에 의한 앵커 작용에 의해 콘크리트 매트리스 결속을 증가시켜 충격에 대한 흡수능력이 향상되었기 때문인 것으로 판단된다 (Kang et al, 2009).

IV. 결 론

본 연구는 물과 접촉되는 수리구조물, 지중매설물, 해양구조물 및 토양오염지역의 구조물에 적용하기 위해 현장에서 사용하는 플라이 애시를 함유한 레미콘 배합을 근거로 강섬유 보강 EVA 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 정탄성계수, 응력-변형률 및 내마모성을 구명하였고, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도는 EVA를 혼입한 배합의 경우, EVA 혼입률 5% 이내의 배합에서는 EVA 혼입률이 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸 반면, EVA 혼입률 7.5% 이상 배합에서는 EVA 혼입률이 증가할수록 기준배합 E0-0의 압축강도 이하로 감소하는 경향을 나타내었다. EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 경우, EVA 혼입률 7.5% 이내의 배합 중 강섬유 혼입률 0.6% 이내의 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타낸 반면, 강섬유 혼입률 0.8% 이상 배합에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났고, EVA 혼입률 10%에서는 강섬유 혼입률이 증가하더라도 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었다.
2. 휨강도는 EVA를 혼입한 배합의 경우, EVA 혼입률 7.5% 이내 배합에서 EVA 혼입률이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향을 나타낸 반면, EVA 혼입률 10% 배합에서 휨강도가 감소하는 경향이 나타났다. EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 경우, EVA 혼입률과 상관없이 강섬유 혼입률이 증가할수록 휨강도가 증가하는 경향을 나타내었다.
한편, 휨강도는 압축강도에 비해 EVA 혼입률 및 강섬유 혼입률이 증가할수록 크게 나타나는 경향이 있어, 압축강도를 요구하는 구조물 보다는 휨강도가 요구되는 구조물에 적용할 경우 매우 유용할 것으로 판단된다.
3. 정탄성계수는 EVA를 혼입한 배합의 경우와 EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 경우 각각의 압축강도 경향과 동일하게 나타났고, 응력-변형률은 최대응력에 대한 압축변형률이 EVA 혼입률과 강섬유 혼입률에

상관없이 유사한 결과를 나타내었으며, 압축변형률은 0.002~0.003범위로 보통 시멘트콘크리트의 압축변형률과 거의 유사하였다.

4. 내마모성은 EVA를 혼입한 배합의 경우 EVA 혼입률 5%에서 최소마모율이 나타난 경향을 보였으며, EVA 혼입률에 따른 강섬유를 혼입한 배합의 경우, 강섬유 혼입률이 증가할수록 마모율이 감소하는 경향으로 나타나 EVA와 강섬유 혼입 시 내마모성에 대한 효과가 우수하다는 결과를 얻었다.
5. EVA 혼입률 및 EVA 혼입률에 따른 강섬유 혼입률에 대한 강섬유보강 EVA 콘크리트의 역학적 특성 및 내마모성에서 시험 항목별 최적 혼입률은 다소 차이가 있으나 전반적으로 EVA 혼입률 5.0% 중 강섬유 혼입률 0.6%에서 역학적 특성이 가장 우수하고 EVA 및 강섬유의 사용에 따른 경제성을 고려할 때 최적 배합으로 제안되 어진다.

REFERENCES

1. 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).
2. Choi, S. Y., K. K. Yun, and S. S. Choi, 2008. Strengthen effect of RC beam overlaid or repaired by VES-LMC. *Journal of the Korea Concrete Institute* 20(4): 423-430 (in Korean).
3. Han, S. H., J. K. Kim, W. S. Park, and D. H. Kim, 2001. Effect of temperature and aging on the relationship between dynamic and static elastic modulus of concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 13(6): 610-618 (in Korean).
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. Kang, S. T., K. N. Hong, S. H. Han, and S. W. Kim, 2009. The effect of fiber volume fraction on the softening behavior of steel fiber-reinforced ultra strength concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute* 21(1): 13-20 (in Korean).
6. 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 Korean Society of Agricultural Engineers* 54(5): 25-34 (in Korean).
7. 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 Korean Society*

- Agricultural Engineers* 50(5): 19-27 (in Korean).
8. Kim, Y. I., and C. Y. Sung, 2007. Strength and watertightness properties of EVA Modified high strength concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(1): 45-54 (in Korean).
 9. Koo, B. K., K. S. Jung, and T. B. Kim, 1992. The effect of reingforcing of steel fiber on the strength properties of the high-strength concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 4(2): 93-101 (in Korean).
 10. Lee, Y. S., and M. K. Joo, 2003. Drying shrinkage and strength properties of ultrarapid-hardening polymer-modified mortar using redispersible polymer powder. *Journal of the Korea Concrete Institute* 15(3): 409-416 (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 Korean Society of Agricultural Engineers* 46(5): 79-85 (in Korean).
 12. Oh, Y. H., 2008. Evaluation of flexural strength for normal and high strength concrete with hooked steel fibers. *Journal of the Korea Concrete Institute* 20(4): 531-539 (in Korean).
 13. Park, S. B., and B. C. Lee, 2002. Mechanical properties of steel fiber reinforced concrete using waste glass. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(6): 1,032-1,039 (in Korean).
 14. 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 Korean Society of Agricultural Engineers* 50(5): 39-50 (in Korean).
 15. 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.
 16. Won, J. P., J. Y. Lee, C. G. Park, and S. G. Park, 2007. Optimum mix proportion of latex modified repair mortar for agricultural concrete structures. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(2): 37-46 (in Korean).