



탄소섬유 및 유리섬유로 보강한 재생 폴리머 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of Carbon Fiber and Glass Fiber Reinforced Recycled Polymer Concrete

노진용* · 성찬용**,†

Noh, Jin Yong · Sung, Chan Yong

Abstract

This study was performed to evaluate engineering properties of carbon and glass fiber reinforced recycled polymer concrete. Fiber reinforced recycled polymer concrete were used recycled aggregate as coarse aggregate, natural aggregate as fine aggregate, CaCO₃ as filler, unsaturated polyester resin as binder, and carbon and glass fiber as fibers. The compressive and flexural strength of carbon fiber reinforced recycled polymer concrete were in the range of 68~81.5 MPa and 19.1~21.5 MPa at the curing 7days. Also, the compressive and flexural strength of glass fiber reinforced recycled polymer concrete were in the range of 69.4~85.1 MPa and 19~20.1 MPa at the curing 7days. Abrasion ratio of carbon and glass fiber reinforced recycled polymer concrete were decreased 21.6 % and 11.6 % by fiber content 0.9 %, respectively. After impact resistance test, drop numbers of initial and final fracture were increased with increase of fiber contents. Accordingly, carbon fiber and glass fiber reinforced recycled polymer concrete will greatly improve the hydraulic structures, underground utilities and agricultural structures.

Keywords: carbon fiber; glass fiber; fiber reinforced recycled polymer concrete; strengths; impact resistance

1. 서 론

최근 현대문명의 급속한 발전과 더불어 건설구조물의 초고층화, 대형화, 다양화, 해양, 원자력 등과 같이 특수화되어 감에 따라 건설구조물의 많은 부분을 차지하고 있는 시멘트 콘크리트는 수축에 따른 균열, 낮은 강도 및 노출환경의 열악화로 구조물에 적용하기에 부적합한 사례가 증가하고 있으며, 이에 대한 강도, 내구성, 시공성 등 성능 향상에 대한 요구가 높아지고 있다. 이에 최근에는 고분자 재료인 폴리머를 이용하여 기존의 콘크리트와는 현저히 다른 성질을 갖는 새로운 콘크리트를 개발하여 활용하기 위한 연구가 활발히 전개되고 있다(Flower, 1994).

고분자 재료인 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 접착성, 방수성, 내구성 등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 특히 압축강도 뿐만 아니라 휨강도가 월등히 큰 것으로 알려져 있다(Fontana et al., 1987; Flower, 1994; Sung and Kim,

2003).

또한, 콘크리트 구조물의 노후화, 성능저하, 용도 및 목적의 변경과 다양화 등으로 인하여 발생하는 폐콘크리트는 사회적으로 극심한 환경오염 문제로 대두되고 있으며, 그 양은 급증하고 있다. 이를 해결하기 위해 천연골재 부족현상 해소 및 자연생태계의 보전 등을 목적으로 폐콘크리트에서 부산되는 골재를 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(Sung and Kim, 2003).

재생골재의 가장 큰 장점은 천연골재에 비해 저렴하고, 환경적인 면에서 폐기물의 재생산이라 할 수 있는데, 재생골재 처리비용이 천연골재보다 경제적 효율성이 떨어지거나, 이를 재처리하는 과정에서 발생하는 2차적 환경오염을 고려한다면 그 사용성은 한계가 있다.

한편, 콘크리트는 압축강도는 우수하나 인장력이 약하고 급작스런 파괴를 일으키는 취성적 성질과 균열을 발생시키는 본질적인 단점을 가지고 있어, 이러한 콘크리트의 취성거동을 연성거동으로 유도하고, 콘크리트의 인장저항력을 증대시키며, 국부적인 균열의 생성 및 확대를 억제하는 등의 제반 역학적 성질을 개선하기 위한 연구로 단섬유상의 섬유질 재료를 불규칙한 배열로 콘크리트 속에 랜덤 분산시켜 넣은 섬유보강 콘크리트가 연구되고 있다(ACI Committee 544, 1978).

섬유보강 콘크리트에 사용하는 섬유들 가운데 탄소섬유는 일반적으로 비행기 동체, 골프채, 테니스 라켓 등과 같이 고탄력과 고강도용 소재로 사용되며, 섬유의 재료비가 고가인 관

* Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Chungnam National University

** 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: February 3, 2016

Revised: April 11, 2016

Accepted: April 14, 2016

계로 콘크리트에의 적용은 적은 편이나, 재료의 특성이 고강도, 초경량성으로 고정하중의 추가없이 휨 부재의 구조적 내하력 증진 및 PC강재나 철근의 대체용으로 검토되고 있다 (Nam and Sung, 2015).

또한, 탄소섬유를 외부 부착 시트의 형태나 봉의 형태로 보강을 하는 방법, 포러스 콘크리트에 보강해 식생능력을 향상하는데 사용하는 등 다양하게 연구가 이루어지고 있다.

그러나, 재생골재를 활용한 콘크리트, 폴리머 콘크리트, 섬유보강 콘크리트 등 다양한 연구는 각각의 분야에서 활발히 진행되고 있는 반면에, 이들 조합에 의한 새로운 콘크리트의 연구는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다 (Sung, 1995).

따라서, 본 연구는 자연생태계 및 환경보전을 위하여 재생 조골재와 콘크리트의 가장 큰 단점인 취성적 성질을 개선하기 위하여 탄소섬유와 유리섬유로 보강된 재생 폴리머 콘크리트를 개발하고, 섬유 혼입량에 따른 압축강도, 휨강도, 내마모성 및 내충격성을 비교 구명하여, 힘을 받는 구조물 및 농업 시설구조물 등에 활용하기 위한 자료를 제시하는데, 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지는 그 구성분자에 모노머가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말하며, 경화성이 매우 뛰어나고, 취급이 용이하며, 상온에서도 자유롭게 경화시킬 수 있다. 또한 폴리머를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트를 사용한 콘크리트보다 접착성, 내구성, 방수성 등이 우수하고 경화속도가 빠른 것으로 알려져 있다 (Swamy and Al-Hamed, 1984).

본 시험에 사용한 불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 울스타입으로, 일반적인 성질은 Table 1과 같다.

나. 경화제

불포화 폴리에스터 수지가 경화하기 위해서는 경화제가 첨가되어야 하며, 촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스터 수지

Table 1 General properties of unsaturated polyester resin

Type	Specific gravity	Viscosity (25 °C, ps)	Styrene content (%)	Acid value
Ortho	1.12	3.5	37.2	26.5

는 경화제만 첨가하면 경화반응이 일어난다. 경화 촉진제로서는 옥탄산 코발트 8%인 mineral turpentine 용액 (CoOc)이 주로 이용되며, 경화제로서는 메틸에틸케톤프록사이드 55%와 디메틸프록사이드 45%로 혼합된 용액이 이용되고 있다.

본 시험에 사용된 불포화 폴리에스터 수지에는 공장에서 생산될 때 이미 경화 촉진제가 첨가되어 있으므로, 경화제만 첨가하면 경화반응을 일으키게 되어 있으며, 경화제의 일반적 성질은 Table 2와 같다.

다. 충전재

폴리머 콘크리트 배합 시 충전재를 사용하는 주된 목적은 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립 충전재를 사용한다. 점도를 감소시키기 위해서는 구형의 불활성 세립자가 유리하지만, 중량이라는 점에서는 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다 (ACI., 1986; Sung and Kim, 2011).

본 시험에서는 여러 충전재에 비해 가격이 저렴하고 구입이 용이하며 비표면적이 커 폴리머 콘크리트 배합 시 중량에 유리한 탄산칼슘을 충전재로 사용하였고, 이는 석회암을 분쇄하여 세분말화한 것으로 각각 함수율이 1% 이하가 되도록 110 ± 5 °C인 건조기에서 24시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였으며 (Sung, 1996), 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

라. 골재

친수성인 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트는 골재를 둘러싼 결합재층과 골재 표면사이에 수막이 형성되어 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 강도가 저하되므로 함수율이 0.1% 이하가 되도록 건조시킬 필요가 있다 (Sung et al., 1996; Sung and Park, 2005).

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를, 굵은골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재를 각각 수분 함수율이 0.1% 이하가 되도록 110 ± 5 °C인 건조기에서 24시간 건조

Table 2 General properties of hardener

Type	Specific gravity (25 °C)	Styrene content (%)	Viscosity	Acid value
Ortho	1.12	37.2	3.5	26.5

Table 3 Physical properties of filler

Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm ² /g)	Bulk density (kg/m ³)	Grain size (mm)	Color
2.92	3,150	620	< 0.15	White

Table 4 Physical properties of aggregates

Item	Size (mm)	Specific gravity (20 °C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)
Natural fine aggregate	<4.75	2.59	1.49	2.59	1,555
Recycled coarse aggregate	4.75~20	2.70	1.57	6.88	1,434

Table 5 Physical properties of carbon fiber

Item	Length (mm)	Specific gravity (20 °C)	Color
Carbon fiber	6	1.63	Black

Table 6 Physical properties of glass fiber

Filament diameter (μ m)	Length (mm)	Moisture regain (%)	Specific gravity	LOI (%)	Tensile strength (MPa)
10~16	12	< 0.06	2.54	0.7±0.15	274~372

시킨 후 냉각시켜 사용하였으며, 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

마. 탄소섬유

탄소섬유는 일반적으로 비행기 동체, 골프채, 테니스 라켓 등과 같이 고탄력과 고강도용 소재로 사용되며, 섬유의 재료비가 고가인 관계로 콘크리트에는 적용이 어려운 편이나 재료의 특성이 고강도, 초경량성으로 고정하중의 추가없이 휨부재의 구조적 내하력 증진 및 철근의 대체용으로 사용될 수 있다.

본 시험에 사용한 탄소섬유의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

바. 유리섬유

유리섬유는 저알칼리 유리조성의 원료를 조합하여 고온으로 용융시킨 후, extruder를 이용한 압출공정을 통하여 수지와 함께 혼합되어 pellet 형태의 반제품 제조공정을 거친 후, 이를 사출공정에서 원하는 형태의 제품으로 성형하여 공업용 플라스틱 또는 기타 제품의 보강에 적합하도록 한 섬유상 유리제품으로, 강도가 강하고, 불에 타지 않으며, 우수한 내화학성을 가지고 있어 보강 재료로 사용되고 있으며, 신소재 개발 등의 기초 소재로 많은 활용성이 있다.

유리섬유는 국내 O사의 제품을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 6과 같다.

2. 배합설계 및 제작

섬유보강 재생 폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지양이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지양이 중량비의 12% 정도 이상이 되면 재료의 분리와 경화수축양 등이 커지고 작업성이 현저히 달라지며, 고가의 수지를 증가시키는 것은 경제적으로 불리하기 때문에 신중히 고려해서 결정하여야 한다 (Kim and Sung, 2009).

따라서, 결합재량을 최소로 하기 위하여 예비실험을 통하여 잔골재에 대한 재생굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 각 타입별 역학적 특성 비교를 위하여 모든 배합에 동일 중량을 사용하였고, 재생굵은골재의 활용성 증대를 위하여 5~20 mm의 굵은골재를 사용하였다.

아울러, 섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 구명하기 위하여 탄소섬유와 유리섬유를 사용하였으며, 시공성과 경제성을 고려하여 섬유의 혼입률을 체적비 0.0%, 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%, 1.5%로 하여 섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 공학적 특성 시험을 하였다.

본 연구와 같이, 섬유가 혼입될 경우 급격한 유동성의 저하와 뭉침 현상 등을 방지하기 위해서 공시체 제작 시 보통 폴리머 콘크리트의 경우보다 세심한 주의가 필요하였으며, 이상과 같은 점들을 고려하여 결정된 섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 배합설계는 Table 7과 같다.

3. 시험방법

가. 압축강도

압축강도는 $\phi 75 \times 150$ mm의 공시체를 제작하여 KS F 2497 (레진콘크리트 시험방법)에 준하여 측정하였으며, 폴리머 콘크리트는 골재 중 수분함량에 따라 강도의 변화가 크기 때문에 골재 중 수분이 많을수록 강도가 저하되는 것으로 알려져 있다. 또한, 폴리머 콘크리트는 재령 7일까지는 강도가 증가하며, 그 이후의 강도 증진은 미미하다는 연구 결과에 의해 강도를 재령 7일에 측정하였다 (Ohama, 1973).

나. 휨강도

휨강도는 $60 \times 60 \times 240$ mm의 공시체를 제작하여 KS F 2497 (레진콘크리트 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

다. 내마모성

내마모성은 섬유보강 폴리머 콘크리트의 충격을 고려한 마모 특성을 파악하기 위해 로스엔젤스시험기를 사용하여 KS F 2508 (굵은골재의 마모시험방법)에 준하여 실시하였다.

배합별로 $5 \times 5 \times 5$ cm 각주 공시체를 제작하여 재령 28일까

Table 7 Mix design of fiber reinforced recycled polymer concrete (Unit : kg/m³)

Mix type	Fiber length (mm)	Fiber content (vol.%)	Binder	Recycled coarse aggregate	Natural fine aggregate	Filler	Fiber
RPC*	-	-	265	730	993	220	-
CF-6**	6	0.3	269	730	990	220	5
		0.6	271	730	980	220	11
		0.9	277	730	965	220	16
		1.2	284	730	950	220	22
		1.5	294	730	925	220	27
GF-12***	12	0.3	269	730	990	220	8
		0.6	271	730	980	220	15
		0.9	277	730 <td 965	220	23	
		1.2	284	730	950	220	30
		1.5	294	730	925	220	38

*RPC : recycled polymer concrete without fiber reinforced

**CF : carbon fiber reinforced polymer concrete

***GF : glass fiber reinforced polymer concrete

지 양생한 후, 공시체를 깨끗이 씻은 후 105±5 °C에서 항량이 될 때까지 건조한 후 최초중량을 측정하였으며, 공시체를 지름 47.5 mm 강구 6개와 함께 로스엔젤스시험기에 넣고, rpm 30 회로 500회, 1,000회, 1,500회를 회전시킨 후 각 공시체의 중량을 측정하여, 측정값의 차가 3% 이내인 경우의 평균값을 마모감량으로 결정하였으며, 마모율은 다음 식으로 산출하였다.

$$W = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

여기서, W = 마모율 (%)

W₀ = 시험전 시험체의 중량 (g)W₁ = 시험후 시험체의 중량 (g)

라. 내충격성

내충격성은 KS F 2221 (건축용 보드류의 시험방법)에 준하여 300x300x30 mm의 평판공시체를 모래판에 전면 지지시킨 후 2 kg의 강구를 높이 500 mm에서 낙하시켜 초기균열 발생과 최종파괴 시의 낙하횟수를 측정하였고, 시험장치의 구성은 Fig. 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는

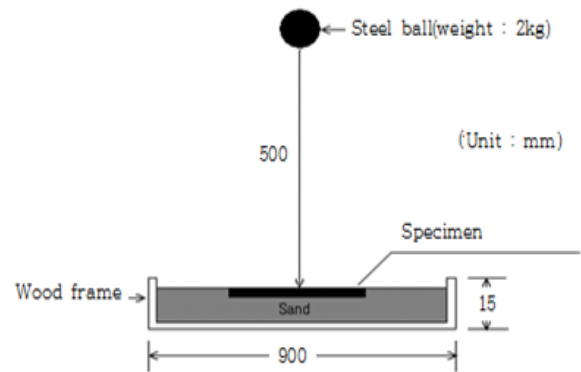
**Fig. 1** Impact resistance test apparatus

Fig. 2와 같다.

CF-6의 압축강도는 68~81.5 MPa로 RPC의 압축강도 83 MPa와 비교하여 모든 배합에서 감소하였으며, CF 혼입률이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

GF-12의 압축강도는 69.4~85.1 MPa로 RPC의 압축강도 83 MPa와 비교하여 모든 배합에서 감소하였으며, GF 혼입률이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

CF-6과 GF-12를 비교하면, CF-6의 압축강도가 미미하게 더 감소하였으나, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 섬유를 혼입하지 않은 배합의 압축강도가 83 MPa로 섬유를 혼입한 배합에 비하여 높은 압축강도를 나타내었다 (Sung and Ryu, 2004).

섬유의 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향을 나타내는 것은 섬유의 증가로 인해 폴리머와 골재의 부착력

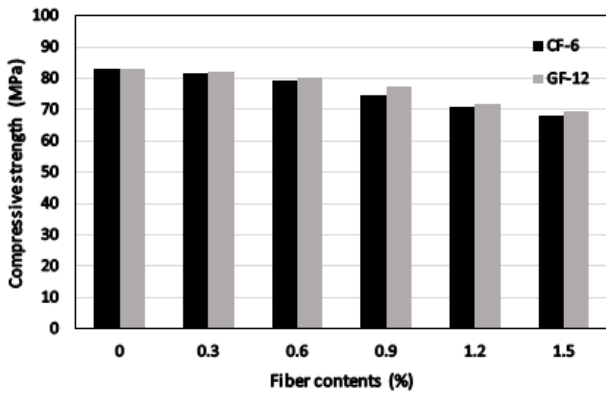


Fig. 2 Compressive strength with fiber contents

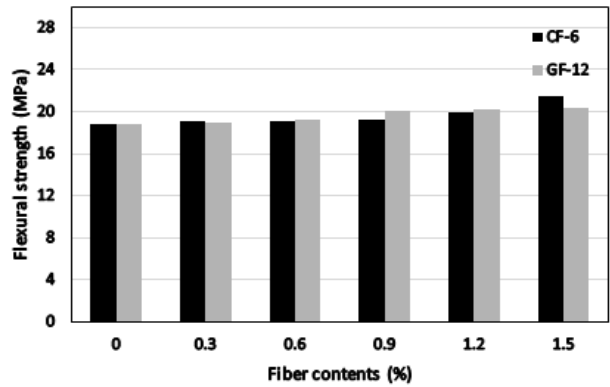


Fig. 3 Flexural strength with fiber contents

이 저하되었기 때문이라고 판단된다.

또한, 과도한 섬유혼입으로 인해 섬유 뭉침 현상이 발생하고 압축강도의 저하가 일어날 수 있기 때문에, 섬유 혼입률은 시공성과 경제성을 고려하여 혼입하는 것이 효율적이라고 판단된다.

2. 휨강도

일반적으로 시멘트 콘크리트는 재료의 품질, 공기량, 재령, 시공방법에 따라 강도의 차이가 있으며, 폴리머 콘크리트는 결합재량, 골재의 강도 및 굵은골재-잔골재 비 등에 따라 강도의 차이가 발생한다. 이처럼 조건의 차이가 있는 것은 시멘트 콘크리트가 응결반응에 의해 강도가 발현되지만, 폴리머 콘크리트는 분자간 결합반응에 의해 강도가 발현되기 때문이다 (Yeon et al., 1996).

섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 휨강도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이, CF-6의 휨강도는 19.1~21.5 MPa로 RPC의 휨강도 18.8 MPa에 비하여 모두 높게 나타났으며, 섬유 혼입률이 증가함에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

GF-12의 휨강도는 19~20.1 MPa로 RPC의 휨강도 18.8 MPa에 비하여 모두 높게 나타났으며, 섬유 혼입률이 증가함에 따라 휨강도가 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 Folwer (1994)의 연구결과와 같이 섬유보강 뿐만 아니라 폴리머 콘크리트가 가지는 특성을 잘 보여준 경우로 휨강도 증진에 효과를 나타내었다. 아울러, 강도 발현에 가장 큰 영향을 미치는 폴리머 수지와 골재간의 피복정도 및 결합구조와 시험체 내 섬유의 배열에 따라 결속력이 증진되었기 때문이라 생각된다 (Flower, 1994).

한편, GF의 혼입률 1.2% 이상에서는 휨강도가 미미하게 증가하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 수지가 골재피복을 하기 전에 섬유를 먼저 피복하여 섬유 뭉침 현상을 유도하게 되어

Table 8 Abrasion ratio of fiber reinforced recycled polymer concrete

Mix type	Fiber contents (vol.%)	Cycles		
		500	1,000	1,500
RPC	0.0	11,82	20,45	28,88
	0.3	11,30	20,08	26,67
	0.6	9,78	19,54	23,67
	0.9	7,92	17,34	22,64
	1.2	8,21	18,56	24,98
	1.5	8,53	19,88	26,54
CF-6	0.3	9,87	20,11	28,25
	0.6	8,33	18,93	27,17
	0.9	8,17	18,42	25,51
	1.2	7,55	19,00	26,52
	1.5	8,28	20,21	27,31

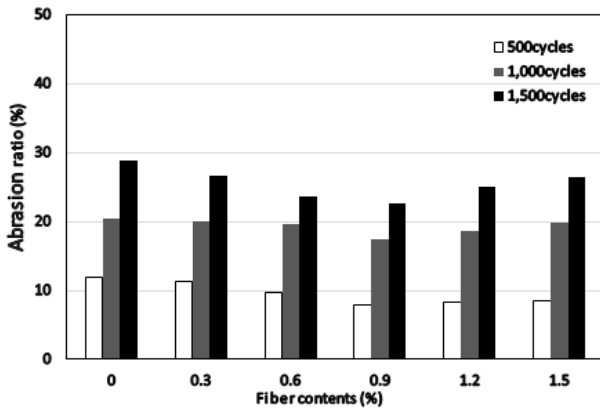
급격한 유동성 저하로 결속력이 저하되기 때문이라고 볼 수 있다.

또한, CF의 혼입률이 증가할수록 휨강도도 증가하는 경향을 나타내었으나, 1.5%를 초과하여 섬유를 혼입하게 되면 섬유 뭉침 현상이 일어날 수 있기 때문에, 탄소섬유 혼입률은 배합설계에 따라 적정량을 혼입하는 것이 효과적이라고 판단된다.

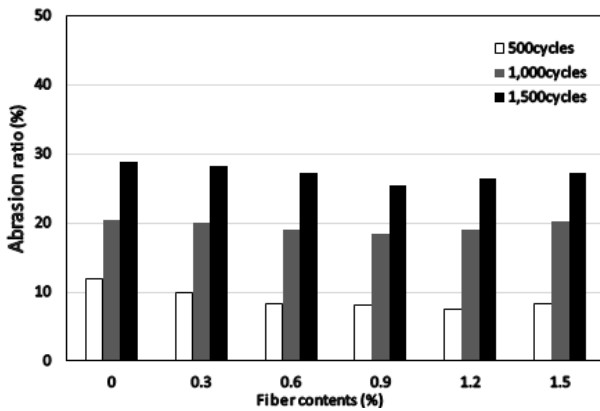
이러한 결과로, 휨 강도 측면에서는 CF가 GF보다 더 우수한 성능을 나타낸다고 볼 수 있으며, 장섬유의 CF를 썼을 경우 더욱 뛰어난 성능을 나타낼 것이라고 판단된다.

3. 내마모성

탄소섬유 및 유리섬유로 보강한 재생 폴리머 콘크리트의 각 배합별 마모율 시험결과는 Table 8과 Fig. 4(a) 및 Fig. 4(b)와 같다. Table 8과 Fig. 4(a) 및 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이,



(a) Carbon fiber



(b) Glass fiber

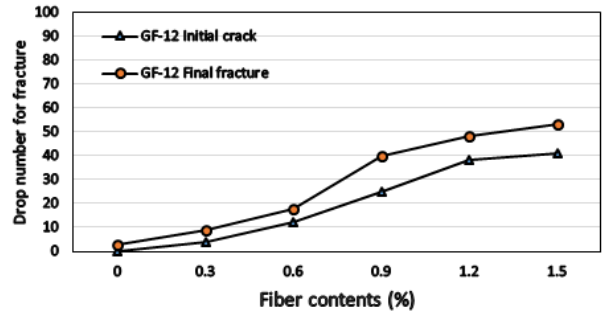
Fig. 4 Abrasion ratio with fiber contents

섬유를 혼입한 배합이 섬유를 혼입하지 않은 배합보다 대체적으로 마모율이 작게 나타났으며, 섬유 혼입률 0.9%까지는 마모율이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 그 이상 혼입하면 다시 증가하는 경향을 보이고 있다.

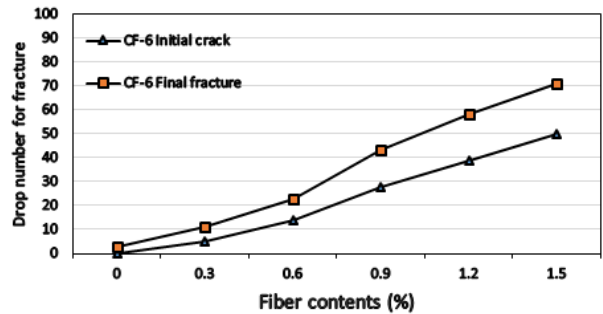
이러한 결과는 섬유가 혼입됨에 따라 콘크리트 내부의 결속력을 증가시켜 충격에 대한 흡수 능력이 증가하였기 때문이며, 일정 혼입률을 초과하면 섬유의 양이 상대적으로 많아져 콘크리트의 강도저하로 다시 마모율이 증가한 것으로 판단된다.

4. 내충격성

탄소섬유 및 유리섬유보강 재생 폴리머 콘크리트의 내충격성은 Fig. 5(a) 및 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이, RPC의 경우 초기균열에서 최종파괴에 이르는 낙하횟수가 1~3회인데 비하여, CF의 경우 5~71회, GF의 경우 4~53회로서, RPC보다 매우 크게 나타났으며, 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 증가하였다.



(a) Glass fiber



(b) Carbon fiber

Fig. 5 Relationship between fiber contents and drop number for fracture

또한, RPC에서는 패임없이 타격횟수 3회에서 취성파괴가 진행되었으며, CF와 GF는 섬유 혼입률 0.6% 이하에서는 각각 23회와 18회에서 파괴가 일어나 취성파괴의 경향을 보였으나, 섬유의 혼입률 증가에 따라 약 1 mm의 패임이 발생한 후 최종파괴가 나타났다. 또한, 섬유의 혼입률이 증가할수록 최종파괴의 낙하횟수는 증가하였다.

또한, 섬유 혼입률 1.5%에서, CF의 최종파괴의 낙하횟수가 GF보다 최대 18회 증가하여, 충격에 대한 저항성이 CF가 더 우수한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 (Nam and Sung, 2015)의 연구결과와 비슷한 경향을 나타내었으며, RPC 및 섬유 혼입률 0.6% 이하에서는 섬유가 없거나 소량 분포되어 있어, 충격에너지를 콘크리트가 전부 흡수한 상태이기 때문에 패임이 발생하지 않고 파괴가 일어났으며, 그 이상의 혼입률에서는 섬유의 배열이 더욱 치밀해져 충격에너지를 흡수하기 때문에 내충격성이 더 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 탄소섬유 및 유리섬유로 보강한 재생 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 비교·구명한 것으로, 얻어진 결과를

요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도는 섬유를 혼입하지 않은 배합보다 탄소섬유는 혼입률이 증가할수록 최대 18.1%까지 감소하는 경향을 나타내었으며, 유리섬유는 혼입률이 증가할수록 최대 15.6%까지 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 섬유의 혼입률이 증가할수록 폴리머와 골재와의 부착력이 저하되었기 때문으로 판단된다.
2. 휨강도는 모든 배합에서 섬유를 혼입하지 않은 배합보다 증가하였으며, 탄소섬유의 경우 혼입률이 증가할수록 최대 14.3%까지 증가하는 경향을 나타내었고, 유리섬유는 혼입률이 증가할수록 최대 8.5% 증가하는 경향을 나타내었다. 탄소섬유가 유리섬유보다 단섬유를 사용했음에도 불구하고 휨강도 성능이 우수하게 나타나 힘을 많이 받는 구조물에 탄소섬유를 사용하면 매우 유익할 것으로 판단된다.
3. 내마모성은 탄소섬유 및 유리섬유를 혼입한 배합이 섬유를 혼입하지 않은 배합의 경우보다 마모율이 최대 21.6%와 11.6% 각각 작게 나타났다. 이는 섬유가 혼입됨에 따라 콘크리트 내부의 결속력을 증가시켜 충격에 대한 흡수 능력이 증가하였기 때문으로 판단된다.
4. 내충격성은 섬유를 혼입하지 않은 경우 낙하횟수 3회 이하에서 최종파괴가 발생한 반면, 탄소섬유와 유리섬유를 혼입한 경우에는 최종파괴가 발생하는 낙하횟수가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 섬유를 혼입한 경우에는 패임이 발생한 후 최종파괴에 도달하는 연성적 파괴를 나타내었다.

따라서, 탄소섬유와 유리섬유를 재생 폴리머 콘크리트에 사용할 경우, 휨강도, 내마모성 및 내충격성 등의 성능이 우수하여, 이를 요하는 구조물에 활용하면 매우 유익할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. ACI Committee 544, 1978. Measurements of the properties of fiber reinforced concrete, *American Concrete Institute*: 124-143.
2. ACI., 1986. Guide for the use of polymers in concrete, *Journal of the ACI*, 83(5): 798-829.
3. Fontana, J. J., M. Steinberg, and W. Reams, 1987. Lightweight polymer concrete composites, *Polymer Modified Concrete, American Concrete Institute*: 51-71.
4. Folwer, D. W., 1994. Current uses of polymer concrete in the United States, *Proceeding of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete*: 3-9.
5. Kim, Y. I., and C. Y. Sung, 2009. Strength and durability properties of recycled polymer concrete using unsaturated polyester resin and recycled aggregate, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(6): 97-103 (in Korean).
6. Nam, K. S., and C. Y. Sung, 2015. The compressive strength and durability properties of polypropylene fiber reinforced EVA concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(4): 11-19 (in Korean).
7. Ohama, Y., 1973. Mix proportions and properties of polyester resin concrete, polymers in concrete, *Journal of the ACI*, SP40-13: 283-294.
8. Sung, C. Y., 1995. An experimental study on the mechanical properties of high performance lightweight polymer concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 37(3·4): 72-81 (in Korean).
9. Sung, C. Y., 1996. An experimental study on the mechanical properties of permeable polymer concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(5): 95-105 (in Korean).
10. Sung, C. Y., H. J. Jung, and J. K. Min, 1996. Effect of filler on engineering properties of permeable polymer concrete, *Journal of Agricultural Science* 23(1): 51-60 (in Korean).
11. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2003. Physical and mechanical properties of concrete using recycled aggregate and industrial by-products, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(6): 128-135 (in Korean).
12. Sung, C. Y., and N. H. Ryu, 2004. Characteristics of recycled concrete using recycled coarse aggregate and industrial by-products, *Journal of Advanced Mineral Aggregate Composites* 9: 125-132 (in Korean).
13. Sung, C. Y., and I. S. Park, 2005. Fluidity of super flow concrete using recycled coarse aggregate, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 47(2): 55-61 (in Korean).
14. Sung, C. Y., and T. H. Kim, 2011. Engineering properties of permeable polymer concrete for pavement using powdered waste glass and recycled coarse aggregate, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 59-65 (in Korean).
15. Swamy, R. N., and A. H. Al-Hamed, 1984. The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength of concrete, *Journal of the ACI* 81(2): 247-276.
16. Yeon, K. S., K. S. Kim, T. Y. Jang, K. H. Jung, M. K. Joo, and D. S. Choi, 1996. Physical and mechanical properties of polymer concrete using coal mine waste, *Proceedings of the Korea Concrete Institute* 13(1): 57-64 (in Korean).