한국농공학회논문집
제51권 제6호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, NOV. 2009, pp. 97-103

불포화폴리에스터 수지와 재생골재를 이용한 재생 폴리머 콘크리트의 강도 및 내구 특성

Strength and Durability Properties of Recycled Polymer Concrete Using Unsaturated Polyester Resin and Recycled Aggregates

김영익* · 성찬용**,†
Kim, Young Ik* · Sung, Chan Yong**,†

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the strength and durability properties of recycled polymer concrete using unsaturated polyester resin and recycled aggregates. Unsaturated polyester resin, natural and recycled aggregates and fly ash were used. The mix proportions were determined to satisfy the requirement for the workability and slump according to aggregate sizes (5-10 and 5-25 mm) and unit binder contents (10 % and 12 %). Tests for the compressive and flexural strength, freezing and thawing and durability for 20 % sulfuric solution were performed. The compressive and flexural strength of recycled polymer concrete were in the range of 85~97 MPa and 17.9~20.8 MPa, respectively. The strengths of recycled polymer concrete using recycled aggregate have similar or slightly decreased compared to polymer concrete using natural aggregate. After 300 cycles of freezing and thawing, weight decrease ratio and durability factor of recycled polymer concrete were in the range of 0.13~1.42 % and 94~99, respectively.

Keywords: Recycled polymer concrete; strength; freezing and thawing; durability

Ⅰ. 서 론

최근 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 폐 콘크리트를 포함한 각종 건설폐기물이 다량으로 배출되고 있으며, 특히 건설폐기물의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 폐 콘크리트와 폐 아스팔트를 경제적 및 환경적으로 처리하는 것이 심각한 문제로 대두되고 있다 (Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2003; Sung, C. Y. and I. S. Park, 2005).

한편, 일본에서도 콘크리트용 재생굵은골재와 재생잔골재에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 이에 대한 시험시공 및 현재까지의 연구결과와 기존의 각종 품질기준(안) 등을 정리해서 1994년 콘크리트 부산물의 재이용에 관한 용도별 잠정 품질기준안을 새로이 마련하는 등 건설폐기물을 활용하기 위한 연구가 체계적으로 진행되고 있다 (Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2003).

또한, 국내에서도 건설폐기물의 적정처리 및 재활용의 필요성에 대한 사회적 인식을 바탕으로 1993년에 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」을 입법하고, 1994년에 한국자원재생공사법을 시행하여 재활용산업을 육성하여 폐기물 자원화를 촉진하고 있으며, 건설폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 법률 제정이 이루어지고 있다 (Sung, C. Y. and I. S. Park, 2005). 현재 국내에서 생산되고 있는 재생골재의 품질은 생산업체에 따라 약간의 차이가 있으며, 특히 천연골재 및 쇄석과는 비중 및 흡수율 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 사용상에 주의가 요구되며, 재생골재에 대한 다양한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다 (Buck, A. D, 1977; Sakai, K., N. Banthia and

* 강원대학교 지역건설공학과
** 충남대학교 지역환경토목학과
† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798
Fax: +82-42-821-8877
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr
2009년 11월 9일 투고
2009년 11월 23일 심사완료
2009년 11월 24일 게재확정

O. E. Gjorv. 1995).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되면서 고분자 재료인 폴리머를 활용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 (ACI, 1986; Brandt, A. M. 1995; Czernin, Wolfgang. 1980). 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 클 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기 절연성, 방수성, 내동결융해성 등과 같은 물리・역학적 성질이 매우 우수한 것으로 알려져 있다 (Fontana, J. J., M. Steinberg, and W. Reams, 1987; Folwer. D. W. 1994).

한편, 농업토목분야의 구조물은 대부분이 콘크리트 형태의 수리구조물로서 항시 물과 접함으로서 물의 침투에 따른 동결융해 및 열악한 작업 환경에 따른 시공 품질 확보의 어려움 등에 의해 내구성이 저하되는 단점을 가지고 있다. 때문에 콘크리트 수리 구조물은 일상적인 유지보수를 할지라도 장기 사용하에서 강도 저하, 균열 발생 및 내구성 저하 등에 의한 내구년한의 감소를 초래하기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 요구되어진다.

따라서 본 연구는 현재 생산되고 있는 재생굵은골재와 재생잔골재를 대량으로 콘크리트 제조에 활용하기 위한 것으로, 고분자 재료인 불포화폴리에스터 수지와 재생굵은골재 및 쇄석, 재생잔골재, 충전재로써 플라이 애시를 활용한 고강도 및 고내구성의 재생 폴리머 콘크리트를 개발하여 농업수리 구조물에 적용하기 위한 역학적 특성을 구명하는 데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

불포화 폴리에스터 수지는 그 구성분자에 포화된 모노머가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말하며, 취급이 용이할 뿐만 아니라 경화성 및 다른 열경화성 수지에 비하여 양호한 기계적, 전기적 성질 및 내약품성을 지니고 있다 (Sung, C. Y. 1995; Sung, Chan Yong. 1995).

재생 폴리머 콘크리트 제조를 위한 결합재로는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입의 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 특성은 Table 1과 같다. 굵은골재로는 쇄석과 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재를 사용하였으며, 잔골재로는 천연모래와 경기도 I사에서 제조된 1종 재생잔골재를 사용하였다. 사용된 골재의 일반적 성질은 Table 2 및 3과 같다. 한편, 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트에서는 골재를 둘러싼 결합재 층과 골재 표면 사이에

Table 1 General properties of unsaturated polyester resin

Type	Specific gravity (20℃)	Viscosity (25℃,ps)	Styrene content (%)	Acid value
Ortho	1.12	3.5	37.2	26.5

Table 2 Physical properties of coarse aggregates

Type	Size (mm)	Bulk density (kg/m³)	Specific gravity (20℃)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Crushed gravel	5-10	1,489	2.78	1.18	6.23
	5-25	1,482	2.78	1.18	6.67
Recycled aggregate	5-10	1,562	2.91	1.95	6.34
	5-25	1,543	2.91	1.95	7.02

Table 3 General properties of fine aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity (20℃)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m³)
Natural sand	< 4.75	2.61	2.34	2.32	1,476
Recycled	< 4.75	2.56	2.88	3.61	1,455

Table 4 General properties of filler

Type	Specific gravity (20℃)	Specific surface (㎠/g)	Grain size (mm)	Color
Fly ash	2.96	3,212	< 0.15	Gray

수막이 형성되어 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 강도가 저하되므로 함수율이 0.1 % 이하가 되도록 건조하여 사용하였다.

또한, 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립의 플라이 애시를 충전재로 사용하였으며 (Yeon, K. S. 1988), 이에 대한 물리적 특성은 Table 4와 같다.

2. 배합설계 및 제작

폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지량이 지나치게 증가하게 되면 재료 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 현저히 달라지므로 신중히 고려해서 결정하여야 한다 (Yeon, K. S. 1989).

결합재의 사용량을 최소로 하기 위하여 예비실험을 통하여 잔골재에 대한 굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 재생굵은골재의 치환율 및 재생잔골재의 사용에 따른 강도 특성을 평가하기 위하여 모든 배합에서 동일 중량을 사용하였다. 재생 폴리머 콘크리트의 배합은 재생굵은골재 및 재생잔골재만을 사용한 배합과 쇄석 및 천연 모래를 사용한 배

Table 5 Mix design of recycled polymer concrete using unsaturated polyester resin recycled aggregate (Unit : kg/m^3)

Series	Aggre-gate sise (mm)	Type	Binder	Coarse aggregate		Fine aggregate		Filler
			U.P	Crushed	Recycled	Natural sand	Recycled	Fly ash
Series I	5-25 5-10	CS	240	822	0	1068	0	240
		RS	242	0	840	1082	0	240
		CR	240	820	0	0	1054	236
		RR	240	0	836	0	1070	240
		CRSR	240	416	418	530	535	240
Series II	5-25 5-10	CS	277	789	0	1022	0	230
		RS	280	0	796	1040	0	232
		CR	276	782	0	0	1012	230
		RR	278	0	792	0	1028	232
		CRSR	278	395	396	510	514	232

* CS : Crushed aggregate + Natural sand
* RS : Recycled coarse aggregate + Natural sand
* CR : Crushed aggregate + Recycled fine aggregate
* RR : Recycled coarse aggregate + Recycled fine aggregate
* CRSR : Crushed aggregate, Recycled coarse aggregate + Natural sand, Recycled fine aggregate

합과의 특성을 비교할 수 있도록 설계하였다. 또한, 재생굵은골재의 크기 따른 역학적 특성을 분석하기 위하여 골재 크기를 5~10 mm 및 5~25 mm로 하였으며, 충전재의 비율은 10 %로 고정하였다. 한편, 단위결합재량에 따른 강도 및 내구 특성을 분석하기 위하여 단위결합재량을 10 % 및 12 %로 하였다. Table 5는 재생 폴리머 콘크리트에 대한 배합설계를 나타낸다.

3. 시험방법

압축강도는 KS F 2481 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 ø100×200 mm인 원주시험체를 사용하였으며, 재하시험에는 100,000 kgf 용량의 UTM을 사용하였으며, 휨강도는 KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)의 규정에 준하였으며, ø60×60×240 mm 크기의 각주 시험체를 사용하였다.

동결융해시험은 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18 ℃, 융해시 4 ℃가 되게 하였다. 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 50사이클 간격으로 중량변화 및 동탄성계수를 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 측정된 동성계수로부터탄 다음 식에 의하여 내구성 지수를 산출하였다 (Malhotra, V. M. and N. J. Carino. 1991; Mcconnell and G. Kenneth. 1995).

$$DF = PN/M$$

여기서, DF = 내구성 지수
P = N 사이클에서의 상대동탄성계수 (%)
N = 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수
M = 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

내산성시험은 재령 7일된 ø100×200 ㎜의 공시체를 황산 20 %용액에 침지하여 0, 2, 4, 6 및 8주에 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량변화율을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

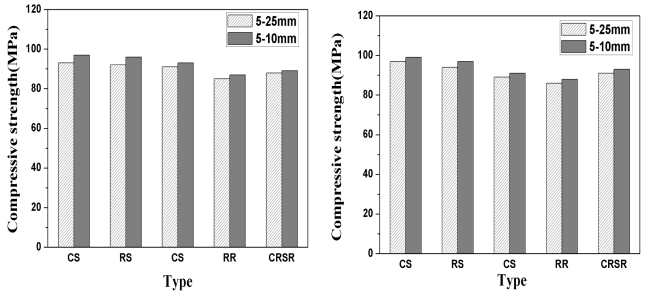
1. 압축강도

산업부산물인 플라이 애시와 재생골재를 활용한 재생 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1 (a)에서 보는 바와 같이 Series Ⅰ (단위결합재량 10 %)에서 5~25 mm 골재를 사용한 경우 재생골재를 전혀 혼입하지 않은 CS 배합의 압축강도는 93 MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 85 MPa~92 MPa범위를 나타내었다. 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 압축강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 재생잔골재를 혼입할 경우 재생골재 자체의 흡수율이 커 폴리머 콘크리트 혼입시 결합재인 폴리머의 흡수가 클 뿐만 아니라 슬럼프의 감소에 의한 충분한 혼합이 이루어지지 않기 때문으로 판단된다.

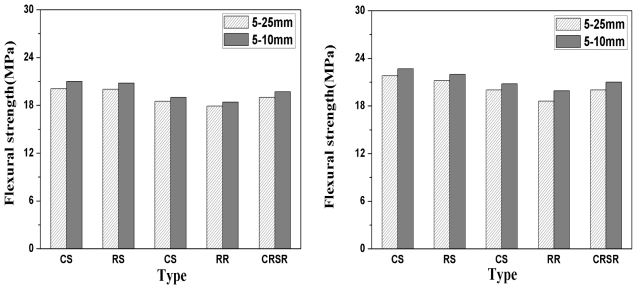
반면에 천연골재와 재생골재를 반반씩 혼입한 CRSR 배합의 압축강도는 88 MPa로서 재생잔골재만을 혼입한 배합에 비하여 우수한 압축강도를 발현하는 것으로 나타나 천연골재 및 재생굵은골재를 적절히 혼합하여 사용할 경우 재생잔골재의 사용성을 개선할 수 있을 것으로 판단된다 (Bentur, A., S. Mindless and N. Banthia, 1986; Ohama, Y. and K. Demura, 1979).

5~10 mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 압축강도는 97 MPa를 나타내었으며, RS, CR 및 RR 배합의 압축강도는 87~96 MPa로서, 5~25 mm 골재를 사용한 경우와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 폴리머 콘크리트 배합보다 재생잔골재를 혼입한 배합에서 압축강도의 감소가 큰 것으로 나타났다.



(a) Binder content (10 %) (b) Binder content (12 %)

Fig. 1 Compressive strength with aggregate sizes and binder contents



(a) Binder content (10 %) (b) Binder content (12 %)

Fig. 2 Flexural strength with aggregate sizes and binder contents

한편, CRSR 배합의 압축강도는 89 MPa로 나타나 재생잔골재만을 사용하는 경우보다 압축강도 개선에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 골재 크기가 작을수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내어 재생골재 사용시 골재 크기에 대한 영향을 고려하여 할 것으로 판단된다.

Fig. 1 (b)보는 바와 같이 Series Ⅱ (단위결합재량 12 %)에서 5~25 mm 및 5~10 mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 압축강도는 97 MPa 및 99 MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 86 MPa~94 MPa 및 88~97 MPa 범위를 나타내었다. Series Ⅰ에서와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 압축강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 한편, 단위결합재량이 2 % 증가했음에도 단위결합재량을 10 % 혼입한 배합에 비하여 압축강도가 크게 개선되지 못하는 것으로 나타나 재생 폴리머 콘크리트의 설계기준강도를 위한 배합설계시 단위결합재량 산정에 대한 고려가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

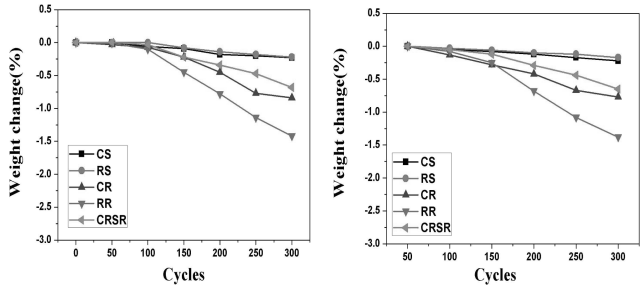
2. 휨강도

Fig. 2는 재생 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 보여준다. Fig. 2 (a)에서 보는 바와 같이 Series Ⅰ에서 5~25 mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 20.1 MPa를 나타내었으며, 재생굵은골재 및 재생잔골재를 각각 혼입한 RS, CR, RR 배합의 경우에는 17.9 MPa~20 MPa범위를 나타내었다. 압축강도 시험결과와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에 휨강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 반면에 CRSR 배합의 휨강도는 19 MPa로서 재생잔골재만을 혼입한 배합에 비하여 우수한 휨강도를 발현하는 것으로 나타났다. 5~10 mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 21 MPa를 나타내었으며, RS, CR 및 RR 배합의 휨강도는 18.4~20.8 MPa로서, 5~25 mm 골재를 사용한 배합에 비하여 휨강도가 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 폴리머 콘크리트의 배합은 슬럼프 및 유동성이 작을 뿐만 아니라 워커빌리티가 좋지 않기 때문에 골재 크기가 작을수록 이와 같은 특성을 개선할 수 있어 강도 발현이 유리한 것에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 2 (b)에서 보는 바와 같이 Series Ⅱ에서 5~25 mm 및 5~10 mm 골재를 사용한 경우 CS 배합의 휨강도는 21.8 MPa 및 22.7 MPa를 나타내었으며, RS, CR, RR 배합의 경우의 휨강도는 18.6 MPa~21.2 MPa 및 19.9~22 MPa 범위를 나타내었다. Series Ⅰ에서와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 천연골재 및 재생굵은골재를 혼입한 배합의 휨강도에 비하여 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 반면에 CSCR 배합의 휨강도는 각각 20 MPa 및 21 MPa로서 단위결합재량을 10 % 및 천연골재만을 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사한 경향을 나타내었다.

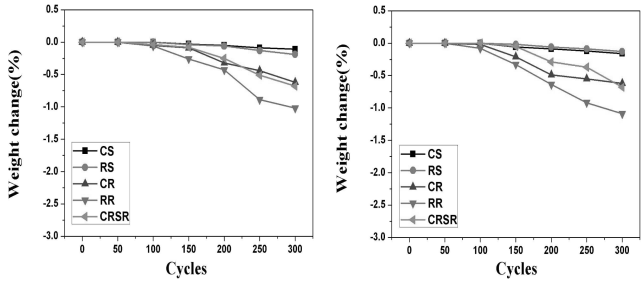
3. 동결융해저항성

일반적으로 시멘트 콘크리트에 동결융해가 반복적으로 작용하면 콘크리트 내부에 물이 얼게 되고 이 때 팽창에 의하여 콘크리트 내부 구조에 균열이 발생하여 내구성이 저하하게 되며, 연행공기의 확보에 의해 내구성 지수를 증가시킬 수 있다. 반면에 폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되어지는 고분자 재료의 불투수 특성에 의하여 물의 침투가 어렵기 때문에 동결융해 반복 작용시 시멘트 콘크리트와는 다른 구조적 변화를 보여준다



(a) Aggregate size (5-25 mm) (b) Aggregate size (5-10 mm)

Fig. 3 Weight change with freezing and thawing cycles (binder content : 10 %)



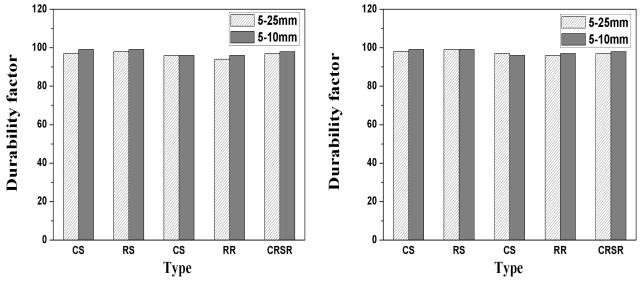
(a) Aggregate size (5-25 mm) (b) Aggregate size (5-10 mm)

Fig. 4 Weight change with freezing and thawing cycles (binder content : 12 %)

(Sandberg, P. 1995).

Fig. 3 및 Fig. 4는 산업부산물 및 재생골재를 활용한 재생 폴리머 콘크리트의 동결융해 시험에 따른 중량 변화를 보여준다.

Fig. 3 (a) 및 3 (b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series Ⅰ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.23 및 0.22 %로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.22~1.42 % 및 0.17~1.38 %의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시멘트 콘크리트의 결합재로 사용되어지는 시멘트와 달리 본 연구의 재생 폴리머 콘크리트에 사용된 불포화 폴리에스테르 수지는 경화 후 투수성이 거의 없기 때문에 불투수성의 결합재가 골재를 완전히 피복하여 불투수성 콘크리트를 형성하기 때문에 동결융해 작용시 내구성 저하의 원인인 콘크리트 내부의 수분을 완전히 차단하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 동결융해저항성이 매우 우수한 재생 폴리머 콘크리트를 동결융해 피해가 우려되는 환경 조건에 사용할 경우 내구성 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, Fig. 4 (a) 및 4 (b)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series Ⅱ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.11 및 0.16



(a) Binder content (10 %) (b) Binder content (12 %)

Fig. 5 Durability factor after 300 cycles of freezing and thawing

%로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 0.19~1.02 % 및 0.13~1.09 %의 범위로 나타나 Series Ⅰ과 마찬가지로 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

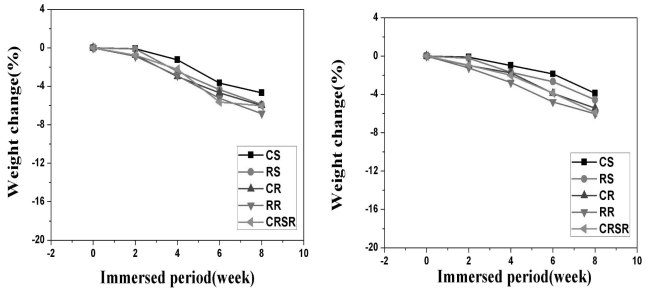
Fig. 5는 재생 폴리머 콘크리트의 동결융해 시험에 따른 내구성 지수를 보여준다.

Fig. 5 (a)에서 보는 바와 같이 동결융해 300 사이클 후 Series Ⅰ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 내구성지수는 97 및 99로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 내구성지수는 각각 94~98 및 96~99 %의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 내구성지수가 매우 높은 것으로 나타났다. 반면에 불투수성의 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였음에도 미세한 중량 변화 및 내구성 지수의 감소가 발생한 것은 재생 폴리머 콘크리트 제조시 낮은 슬럼프에 기인하여 혼합시 완전 피복이 이루어지지 않은 부분이 존재하기 때문으로 판단되며, 특히 재생잔골재를 혼입할 경우 높은 흡수율의 골재 특성으로 인하여 유동성 및 다짐 특성이 다른 배합에 비하여 불리하기 때문에 이에 대한 주의와 개선이 요구된다.

또한, Fig. 5 (b)에서 보는 바와 같이동결융해 300 사이클 후 Series Ⅱ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 내구성지수는 98 및 99로 나타났으며, RS, CR, RR 및 CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 내구성지수는 각각 96~99 및 97~99 %의 범위로 나타나 Series Ⅰ에서와 마찬가지로 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 내구성 지수가 매우 높은 것으로 나타났다.

4. 내산성

최근에는 콘크리트의 사용성이 확대됨에 따라 황산 및 염산 등과 같은 심각한 환경에 노출되는 경우가 많아 콘크리트의 내구성을 개선하기 위한 연구가 요구되어진다. 일반적으로 콘크리트의 수화생성물 중에 다량으로 존재하게 되는 알카리성



(a) Aggregate size (5-25 mm) (b) Aggregate size (5-10 mm)

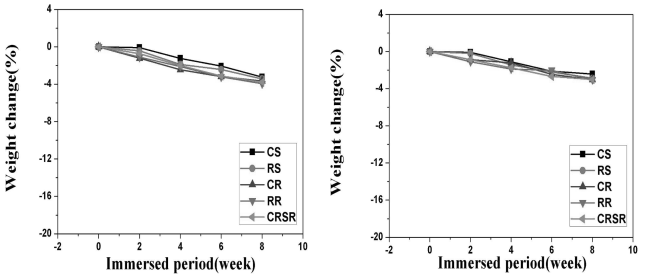
Fig. 6. Weight change with immersed period in 20 % H_2SO_4 (binder content : 10 %)

의 수산화칼슘은 높은 용해성으로 산과 반응하기 쉬우며 수경성 화합물인 C-S-H (Calcium silicate hydroxyl)와 C-A-H (Calcium aluminate hydroxyl)는 분해되고, 다량의 염류가 생성되어 염의 용축과 결정화 등에 의해 침식, 열화되는 것으로 알려져 있다. 특히, 염산, 황산 등에 의한 침식작용은 수경성의 염화칼슘 ($CaCl_2$), 질산칼슘 ($Ca(NO_3)_2$)과 난용성의 황산칼슘 ($CaSO_4$) 등을 생성하고, 규산과 알루미나 등을 용해시켜 실리카와 알루미나겔을 생성하며 골재까지도 침식시킨다 (Neville, A. M. 1995).

Fig. 6 및 7은 20 % 황산 용액에 8주 동안 침적한 재생 폴리머 콘크리트의 골재 크기 및 단위결합재량에 따른 중량변화를 나타낸다.

Fig. 6 (a) 및 6 (b)에서 보는 바와 같이 Series Ⅰ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 황산 침적 8주 후 중량감소율은 각각 4.67 % 및 3.89 %로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 5.89~6.83 % 및 4.56~6.03 %의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 골재를 피복하고 있는 불포화폴리에스터 수지가 20 % 황산 용액의 침투를 억제하여 골재의 침식을 방지할 뿐만 아니라 불포화폴리에스터 수지 자체가 황산에 대한 저항성이 매우 우수하기 때문으로 판단된다. 일반적으로 시멘트 콘크리트는 5 %의 황산용액에 대한 침적 시험시 약 4주가 경과되면 표면탈락 및 골재 침식이 크게 증가하는 것으로 알려져 있어 재생 폴리머 콘크리트가 황산에 대한 내산성이 매우 우수한 것을 알 수 있다.

Fig. 7 (a) 및 7 (b)에서 보는 바와 같이Series Ⅱ에서 CS 배합의 골재 크기에 따른 황산 침적 8주 후 중량감소율은 각각 3.23 % 및 2.43 %로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 각각 3.43~3.94 % 및 2.88~3.04 %의 범위로 나타나 골재 크기 및 골재 종류에 관



(a) Aggregate size (5-25 mm) (b) Aggregate size (5-10 mm)

Fig. 7 Weight change with immersed period in 20 % H_2SO_4 (binder content : 12 %)

계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 한편, 단위결합재량이 12 %인 Series Ⅱ의 배합이 단위결합재량이 10 %인 Series Ⅰ에 비하여 중량감소율이 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 황산 침적에 대한 내산성은 골재 크기 및 골재 종류보다 골재를 피복하는 결합재의 사용량에 직접적으로 관계가 있음을 보여준다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 산업부산물인 플라이 애시와 재생굵은골재 및 재생잔골재를 활용한 재생 폴리머 콘크리트를 개발하고, 골재 크기 및 단위결합재량에 따른 재생 폴리머 콘크리트의 물리・역학적 특성을 구명한 것으로 다음과 같은 결론이 도출되었다.

1. 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트의 압축강도는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 압축강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에는 압축강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 골재 크기가 작을수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타낸 반면에 폴리머 콘크리트 제조시 필요 이상 범위의 단위결합재량의 증가는 압축강도 증가에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2. 압축강도 시험결과와 마찬가지로 재생굵은골재를 혼입한 재생 폴리머 콘크리트의 휨강도는 천연골재를 혼입한 폴리머 콘크리트의 휨강도와 거의 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타낸 반면에 재생잔골재를 혼입한 경우에 휨강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 반면에 CRSR 배합의 휨강도는 재생잔골재만을 혼입한 배합에 비하여 우수한 휨강도를 발현하는 것으로 나타났다.

3. 동결융해 300 사이클 후 Series Ⅰ 및 Series Ⅱ에서 CS 배합 및 RS, CR, RR CRSR 배합에서 골재 크기에 따른 중량감소율은 모두 1.5 % 미만으로 나타났으며, 골재 크기 및 골재 종류에 관계없이 중량변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 또

한 내구성 지수도 모든 배합에서 95 이상을 나타내었다.

4. Series Ⅰ 및 Series Ⅱ에서 CS 배합의 골재 크기 및 단위결합재량에 따른 20 % 황산용액에 대한 침적 8주 후 중량 감소율은 5 % 미만으로 나타났으며, RS, CR, RR CRSR 배합에서도 골재 크기 및 단위결합재량에 관계없이 중량감소율은 7 % 미만인 것으로 나타나 시멘트 콘크리트에 비하여 황산에 대한 내산성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

본 연구는 2009년도 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. ACI, 1986. Guide for the Use of Polymers in Concrete, *Journal of ACI* 83(5): 798-829.
2. Buck, A. D, 1977. Recycled Concrete as a Source of Aggregate, *ACI Journal* 74(5)
3. Bentur, A., S. Mindless and N. Banthia, 1986. The Behaviour of Concrete under Impact Loading : Experimental Procedures and Method of Analysis, *Materiauxet Constructions* 19(113): 371-378.
4. Brandt, A. M. 1995. Cement-Based Composites : Materials, Chemical Properties and Performance, *E & FN Spon.*
5. Czernin, Wolfgang. 1980. Cement Chemistry and Physics for Civil Eengineers, *Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH* : 10-17.
6. Fontana, J. J., M. Steinberg, and W. Reams, 1987. Lightweight Polymer Concrete Composites, Polymer Modified Concrete, *American Concrete Institute* : 51-71
7. Folwer. D. W. 1994. Current uses of Polymer Concrete in the United States, *Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete* : 3-9.
8. Malhotra, V. M. and N. J. Carino. 1991. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, *CRC Press* : 50-83.
9. Mcconnell and G. Kenneth. 1995. Vibration Testing (theory and practice), *John Willey & Sons Inc* : 261-278.
10. Neville, A. M. 1995, Properties of Concrete, 4rd Ed. *Longman Malaysia*, London : 605-674.
11. Ohama, Y. and K. Demura, 1979. Effect of Coarse Aggregate on Compressive Strength of Polyester Resin Concrete, *The International Journal of Cement Composites* 1(3): 111-119.
12. Sakai, K., N. Banthia and O. E. Gjorv. 1995. Concrete under Severe Conditions (environment and loading), *E & FN Spon* : 1675-1683.
13. Sandberg, P. 1995. Resistance of Non-Air-Entrained RHA Concrete to Freezing and Thawing in Saline Environment, *Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete*, Milwaukee, WI.
14. Sung, C. Y. 1995, Properties of High Performance Lightweight Polymer Concrete, *Journal of the KSAE* 37: 72-81.
15. Sung, Chan Yong. 1995, Mechanical Characteristics of Permeable Polymer Concrete, *The '95 Japan and Korea Joint Seminar, Current Topics of Agricultural Sciences in Japan and Korea*, Tottori University, Japan, Oct 4-8: 32-35.
16. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2003. Physical and Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregate and Industrial By-products, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers 45(6): 128-135 (in Korean).
17. Sung, C. Y. and I. S. Park, 2005. Fluidity of Super Flow Concrete Using Recycled Coarse Aggregate, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 47(2): 55-61 (in Korean).
18. Yeon, K. S. 1988. Deformation Characteristics of Reinforced Polymers Concrete Beams, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 30(1): 63-72 (in Korean).
19. Yeon, K. S. 1989. Flexural Characteristics of Polymer Concrete Sandwich Constructions, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 31(2): 125134 (in Korean).