

재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 강도 특성

Strength Properties of Polymer Concrete Using Recycled Aggregate

성 찬 용* · 백 승 출**
Sung, Chan Yong · Back, Seung Chul

Abstract

This study was performed to evaluate the strength properties of polymer concrete using recycled aggregate. The compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength and pulse velocity of polymer concrete were decreased with increasing the content of recycled aggregate. At the curing age of 7days, the compressive strength was 80.5~88.3 MPa, the splitting tensile strength was 9.1~10.6 MPa, the flexural strength was 19.2~21.5 MPa and the pulse velocity was 3,931~4,041 m/s, respectively. Also, the compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength and pulse velocity of concrete using recycled fine aggregate were higher than that of the silica sand.

Therefore, these recycled aggregate polymer concretes were estimated for high strength concrete without major problem.

Keywords : Recycled aggregate, Polymer concrete, Waste concrete, Strengths, Pulse velocity

I. 서 론

최근 도시재개발과 건물의 노후화 및 기능저하에 의한 건물의 해체가 증가함에 따라 폐콘크리트를 포함한 각종 건설폐기물이 다량으로 배출되고 있다. 특히, 건설폐기물의 대부분을 차지하고 있는 폐콘크리트를 처리하는 것이 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

특히, 미국, 영국, 일본, 프랑스를 비롯한 외국에서도 발생량이 급증하고 있는 건설폐기물 중에서도 폐콘크리트가 약 90%를 차지하고 있으며, 우리나라에서도 2000년 현재 약 1,500만톤이었던 폐콘크리트 발생량이 2020년에는 약 1억톤 이상으로 급격히 증가할 것으로 예상되기 때문에 날로 심각해지는 환경문제에 대한 대책으로 부가가치가 높은 폐콘크리트의 재자원화 기술개발 및 실용화 방안에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.^{2),4),5),10)}

그러나, 수요업계에서 재생골재 사용에 의구심이 있는 만큼, 재생골재의 물리·역학적 성질을 구명하여 천연골재 대응으로 사용한다면 충분히 경제성

* 충남대학교 농업생명과학대학
** 충남대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798
Fax: +82-42-821-8877
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

이 있을 것으로 판단된다.

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용범위가 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되고 있다. 특히, 건설재료로서 가장 널리 이용되고 있는 시멘트 콘크리트는 자중이 크고, 낮은 강도로 인한 설 계단면의 증가, 장시간의 양생, 인장이나 휨에 대한 저항력이 작아 균열이 발생하기 쉽고, 내약품성에 대한 내구성 저하 등이 문제시 되면서 이를 해결하기 위한 새로운 고기능성의 건설재료로서 고분자 재료인 폴리머를 사용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.^{1),3),7),9)}

한편, 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도, 휨강도가 클 뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기절연성, 방수성, 내동결융해성 등과 같은 물리·역학적 성질이 우수하다.^{3),9)}

따라서, 본 연구는 현재 생산되고 있는 재생골재를 골재, 재생골재와 불포화 폴리에스테르 수지, 쇄석, 규사, 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도, 조깅인장강도, 휨강도, 초음파진동속도 등의 물리·역학적 특성을 구명하여 재생골재를 폴리머 콘크리트의 재료로 활용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 불포화 폴리에스테르 수지

본 시험에 사용한 불포화 폴리에스테르 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입으로서, 그 일반적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 General properties of unsaturated polyester resin (U.P)

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

나. 개시제

불포화 폴리에스테르 수지가 경화하는 데는 경화 촉진제와 개시제가 첨가되어야 하며, 촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스테르 수지는 개시제만 첨가하면 경화반응이 일어난다. 촉진제로서는 옥탄산 코발트 8%인 mineral turpentine 용액(CoOc)이 주로 이용되며, 개시제로서는 메틸에틸케톤 프록사이드 55%인 DMP용액이 이용되고 있다.⁷⁾

본 시험에 사용한 불포화 폴리에스테르 수지는 공장에서 생산될 때 이미 경화 촉진제가 첨가되어 있고, 개시제만 첨가하면 경화반응을 일으키게 되어 있으며, 사용된 개시제의 일반적인 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 General properties of initiator

Component	Specific gravity (25°C)	Active oxygen (%)
MEKPO 55% DMP 45%	1.13	10.0

다. 충전재

폴리머 콘크리트 배합시 충전재를 사용하는 주된 목적은 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립재를 사용한다. 충전재는 무기질 분말이어야 하고 수분함량은 1% 미만이어야 하며, 구형의 세립자로 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다.⁹⁾

충전재는 비교적 가격이 저렴하고 구입이 용이한 탄산칼슘을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of filler

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

라. 골재

친수성인 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트에서는 골재를 둘러싼 결합재층과 골재 표면 사이에 수막이 형성되어 결합재와 골재간의 점착력을 약화시켜 강도가 저하되므로 함수율이 0.1% 이하가 되도록 건조시킬 필요가 있다.⁹⁾

굵은골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재와 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생잔골재와 규사를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 4, 5와 같다.

Table 4 Physical properties of coarse aggregate

Type	Size (mm)	Unit weight (kg/m ³)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Crushed gravel	5~10	1,581	2.64	1.25	6.72
	5~20	1,571	2.64	1.25	7.35
Recycled aggregate	5~10	1,562	2.62	1.87	6.49
	5~20	1,543	2.62	1.87	6.78

Table 5 Physical properties of fine aggregate

Item	Size (mm)	Unit weight (kg/m ³)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Silica sand	<4.75	1,675	2.62	0.87	2.66
Recycled aggregate	<4.75	1,552	2.44	3.92	3.39

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지량이 중량비 12% 정도 이상이 되면 재료의 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 현저히 달라지므로 신중히 고려해서 결정하여야 한다.⁹⁾

결합재의 사용량을 최소로 하기 위하여 잔골재에

대한 굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 재생굵은골재의 치환율 및 재생잔골재의 사용에 따른 강도 특성을 평가하기 위하여 재생굵은골재는 쇄석의 중량비로 각각 0%, 50%, 100% 치환하였으며, 재생잔골재를 규사 대용으로 사용하였다.

한편, 폴리머 콘크리트에 사용한 굵은골재는 재생굵은골재의 활용성을 증대시키기 위하여 입경 5~10 mm 와 5~20 mm 의 두 종류의 굵은골재를 사용하였으며, 그 배합설계는 Table 6과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 공시체 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 준하였으며, 혼합방법은 골재 및 충전재를 잘 혼합한 후 결합재를 투입하였고, 혼합된 재료를 240 rpm인 진동기 위에 올려놓은 상태로 진동다짐을 주어 제작하였다. 또한, 몰드에 타설된 공시체는 3 시간 후 탈형하여 소정의 재령까지 기건양생 하였다.

3. 시험방법

시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 재령 7 일에 실시하였으며, 3회 반복 측정된 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 압축강도 시험

압축강도는 $\varnothing 75 \times 150$ mm인 공시체를 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

나. 쪼갬인장강도 시험

쪼갬인장강도는 $\varnothing 75 \times 150$ mm인 공시체를 KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

Table 6 Mix design of polymer concrete using recycled aggregate

(Unit: kg/m³)

Series	Aggregate size (mm)	Type	Binder	Coarse aggregate		Fine aggregate		Filler
			U.P	Crushed	Recycled	Silica sand	Recycled	CaCO ₃
Series I-1	5-20	CPC	253	736	-	1,068	-	253
		RPC1	253	369	369	1,066	-	253
		RPC2	253	-	738	1,066	-	253
Series I-2		CRPC	302	800	-	-	961	247
		RRPC1	302	400	400	-	961	247
		RRPC2	302	-	800	-	961	247
Series II-1	5-10	CPC	253	736	-	1,068	-	253
		RPC1	253	369	369	1,066	-	253
		RPC2	253	-	738	1,066	-	253
Series II-2		CRPC	302	800	-	-	961	247
		RRPC1	302	400	400	-	961	247
		RRPC2	302	-	800	-	961	247

다. 휨강도 시험

휨강도는 60×60×240 mm인 공시체를 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험 방법)에 준하여 측정하였다.

라. 초음파진동속도 시험

초음파진동속도는 Ø60×60×240 mm의 공시체에 영국 C.N.S.사의 PUNDIT를 사용하여 계기의 디지털 숫자가 안정된 후 공시체의 아래와 위 중앙에 직경 50 mm의 변환기를 그리스를 발라 단자와 공시체면에 공극이 생기지 않도록 부착하여 BS 4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 측정한 후, 다음 식으로 산출 하였다.

$$P.V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서, P.V: 초음파진동속도 (m/s)

D: 측정치 (s)

L: 공시체 길이 (m)

III. 결과 및 고찰

재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7 Test results of polymer concrete using recycled aggregate

Series	Mix type	Strength (MPa)			Pulse velocity (m/s)
		Com-pressive	Tensile	Flexural	
Series I-1	CPC	84.5	9.9	20.0	3,994
	RPC1	82.6	9.7	19.7	3,932
	RPC2	80.5	9.1	19.2	3,931
Series I-2	CRPC	87.9	10.5	20.8	4,033
	RRPC1	86.5	9.9	20.7	4,021
	RRPC2	84.9	9.7	20.2	3,984
Series II-1	CPC	86.5	10.0	21.2	4,000
	RPC1	85.9	9.8	20.8	3,990
	RPC2	85.3	9.7	20.4	3,985
Series II-2	CRPC	89.2	11.1	22.4	4,082
	RRPC1	88.3	10.6	21.5	4,041
	RRPC2	87.2	10.4	20.9	4,014

1. 압축강도

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Table 7과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1과 Series I-2에서 각각 80.5~82.6 MPa와 84.9~86.5 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 압축강도 84.5 MPa와 87.9 MPa에 비하여 재생굵은골재의 치환율이 증가할수록 2~5%정도 작게 나타내는 경향을 보였다.

한편, Series II-1과 Series II-2에서 폴리머 콘크리트의 압축강도는 각각 85.3~85.9 MPa와 87.2~88.3 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 압축강도 86.5 MPa와 89.2 MPa에 비하여 1~2% 정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 재생굵은골재의 품질이 생산공정을 거치는 동안 재생골재의 품질 저하의 원인인 골재 주변의 모르타르를 제거하여 입자가 둥근 형태로 되어, 모가 많이 난 쇄석에 비하여 동일 결합재비에 대한 유동성이 우수하여 원활한 피복이 이루어졌기 때문이라 판단된다.

또한, 규사를 사용한 경우보다 재생잔골재를 사용한 경우의 강도가 약간 증가하는 경향을 나타내었다.⁶⁾

이러한 결과는 5~20 mm의 재생굵은골재를 사용한 경우에는 입도분포에서 쇄석만에 비하여 비교적 입경이 작은 재생굵은골재가 많이 포함되었고, 5~10 mm의 재생굵은골재를 사용한 경우에는 입도분포에 따른 입자의 크기가 쇄석만과 거의 유사하여 골재의 크기보다는 골재의 형상에 영향을 더 크게 받은 결과라 생각된다.

한편, 동일 결합재비로 재생굵은골재를 100% 사용하여도 슬럼프 저하없이 우수한 강도 특성을 나타내기 때문에 재생굵은골재를 폴리머 콘크리트에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

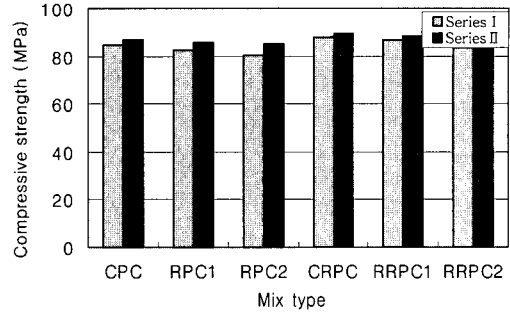


Fig. 1 Compressive strength for replacement ratio of recycled coarse aggregate

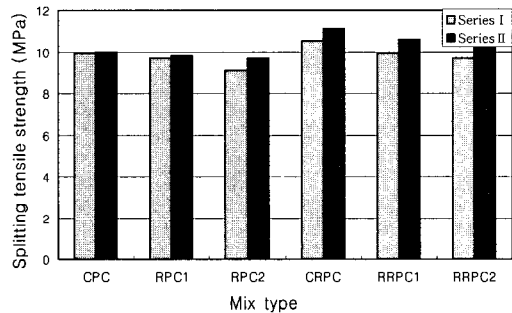


Fig. 2 Splitting tensile strength for replacement ratio of recycled coarse aggregate

2. 쪼갬인장강도

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 쪼갬인장강도 시험결과는 Table 7과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1과 Series I-2에서 각각 9.1~9.7 MPa와 9.7~9.9 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 쪼갬인장강도 9.9 MPa와 10.5 MPa에 비하여 2~8% 정도 작게 나타났다.

한편, Series II-1과 Series II-2에서 폴리머 콘크리트의 쪼갬인장강도는 각각 9.7~9.8 MPa와 10.4~10.6 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 쪼갬인장강도 10.0 MPa와 11.1 MPa에 비하여 2~6% 정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 재생굵은골재의 품질이 우수하여

결합재인 폴리머와 재생굵은골재의 결합시 골재 주변의 부착력 감소가 작게 나타났기 때문이라 생각된다.⁸⁾

또한, 압축강도에서와 마찬가지로 재생잔골재의 흡수율이 규사보다 훨씬 크기 때문에 동일 슬럼프를 위한 결합재의 사용량이 증가되어 재생잔골재를 사용한 Series I-2의 경우가 규사를 사용한 Series I-1경우에 비하여 강도가 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

3. 휨강도

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과는 Table 7과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1과 Series I-2에서 각각 19.2~19.7 MPa와 20.2~20.7 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 휨강도 20.0 MPa와 20.8 MPa에 비하여 1~4% 정도 작게 나타났다.

한편, Series II-1과 Series II-2에서 폴리머 콘크리트의 휨강도는 각각 20.4~20.8 MPa와 20.9~21.5 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 휨강도 21.2 MPa와 22.4 MPa에 비하여 1~6% 정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 재생굵은골재의 입자가 모가 많은 쇄석에 비하여 둥근 형상을 가지고 있어 결합재와 골재와의 부착력 감소에 기인한 것으로 판단된다.

또한, 압축강도와 쪼갬인장강도에서와 같이 재생

골재의 흡수율이 규사보다 4배 이상 크기 때문에 동일 슬럼프를 위한 결합재의 사용량이 증가되어, 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우에 비하여 강도가 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 동일 결합재비로 재생굵은골재를 100% 사용하여도 슬럼프 저하없이 우수한 강도 특성을 나타내기 때문에 재생굵은골재를 폴리머 콘크리트에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 강도비

재생굵은골재 및 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도, 쪼갬인장강도 및 휨강도에 대한 각 강도비의 시험결과는 Table 8과 같다.

강도비는 역학적 성질을 구명하는데 필요한 요소 중의 하나이며, 재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 각 강도비 시험결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1과 Series I-2에서 각각 f_t/f_c 는 0.11~0.12, f_b/f_c 는 0.24, f_t/f_b 는 0.47~0.49의 범위로 나타났으며, 쇄석만을 사용한 경우의 f_t/f_c 는

Table 8 Test results for strength ratio of polymer concrete using recycled aggregate

Series	Mix type	f_t/f_c	f_b/f_c	f_t/f_b
Series I-1	CPC	0.12	0.24	0.50
	RPC1	0.12	0.24	0.49
	RPC2	0.11	0.24	0.47
Series I-2	CRPC	0.12	0.24	0.50
	RRPC1	0.11	0.24	0.48
	RRPC2	0.11	0.24	0.48
Series II-1	CPC	0.12	0.25	0.47
	RPC1	0.11	0.24	0.47
	RPC2	0.11	0.24	0.48
Series II-2	CRPC	0.12	0.25	0.50
	RRPC1	0.12	0.24	0.49
	RRPC2	0.12	0.24	0.50

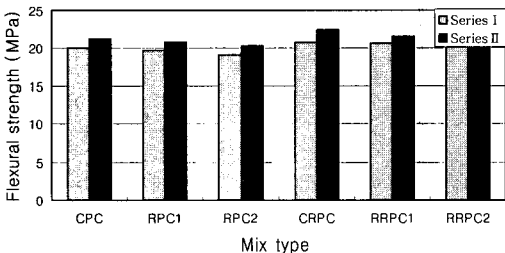


Fig. 3 Flexural strength for replacement ratio of recycled coarse aggregate

0.12, f_b/f_c 는 0.24, f_t/f_b 는 0.50으로 나타났다.

한편, Series II-1과 Series II-2에서 폴리머 콘크리트의 재생골재 치환율에 따른 각 강도비는 각각 f_t/f_c 는 0.11~0.12, f_b/f_c 는 0.24, f_t/f_b 는 0.47~0.50의 범위로 나타났으며, 쇄석만을 사용한 경우의 f_t/f_c 는 0.12, f_b/f_c 는 0.25, f_t/f_b 는 0.47~0.50으로 나타나 Series I의 시험결과와 거의 유사한 경향을 나타내었다.

5. 초음파진동속도

초음파진동속도 시험은 콘크리트내에 pulse를 공시체의 중방향으로 방사하여 이것이 전달되는 시간으로부터 콘크리트의 품질을 검사하는 비파괴시험의 일종으로, 고체재료의 밀도나 탄성특성에 크게 의존하며, 특히 콘크리트 구조물의 밀도, 공극, 균열 등의 분석과 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데에도 사용된다.

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 시험결과는 Table 7에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1과 Series I-2에서 각각 3,931~3,932 m/s와 3,984~4,021 m/s의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 초음파진동속도 3,994 m/s와 4,033 m/s에 비하여 1% 정도 작게 나타났으며, 압축강도의 결과와 마찬가지로 재생굵은골재의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

한편, Series II-1과 Series II-2에서 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도는 각각 3,985~3,990 m/s와 4,014~4,041 m/s의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 초음파진동속도 4,000 m/s와 4,082 m/s에 비하여 1% 정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 초음파진동속도가 콘크리트 내부의 구성 물질 및 밀도 등에 큰 영향을 받고, 일반적으로 압축강도가 큰 경우 콘크리트 내부가 치밀하고 공극이 적어 초음파진동속도를 저해하는 요인이 감소되었기 때문이라 생각된다.

또한, 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우에 비하여 초음파진동속도가 약간 크게 나타나는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 압축강도에서와 마찬가지로 재생잔골재의 흡수율이 규사보다 훨씬 크기 때문에 동일 슬럼프를 위한 결합재의 사용량이 증가되었기 때문이라 생각된다.

IV. 결 론

이 연구는 현재 생산되고 있는 재생굵은골재와 재생잔골재를 콘크리트 제조에 사용하기 위하여 불포화 폴리에스테르 수지, 재생굵은골재, 쇄석, 재생잔골재, 규사, 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트에 대한 강도 특성을 구명하였으며, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압축강도는 80.5~88.3 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도 84.5~89.2 MPa에 비하여 약간 감소하였으며, 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우에 비하여 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

2. 쪼갬인장강도는 9.1~10.6 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 폴리머 콘크리트의 쪼갬인장강도 9.9~11.1 MPa에 비하여 압축강도에서와 같이 약간 감소하는 것으로 나타났다.

3. 휨강도는 19.2~21.5 MPa의 범위로서, 쇄석만을 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도 20.0~22.4 MPa에 비하여 압축 및 쪼갬인장강도에서와 같이 약간 감소하는 것으로 나타났다.

4. 압축강도에 대한 쪼갬인장강도, 압축강도에 대한 휨강도 및 휨강도에 대한 인장강도비는 쇄석만을 사용한 폴리머 콘크리트의 강도비와 거의 유사하거나 약간 감소하는 것으로 나타났다.

5. 초음파진동속도는 3,931~4,041 m/s의 범위로서, 쇄석만을 사용한 경우의 초음파진동속도 3,994~4,082 m/s에 비하여 약간 감소하는 경향을 나타내었으며, 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우보다 초음파진동속도가 약간 증가하는 경향

을 나타내었다.

따라서, 이러한 재생골재를 폴리머 콘크리트 재료로 사용함으로써, 골재난의 해소와 골재수급을 위한 자연환경의 훼손을 경감할 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. ACI., 1986, Guide for the use of polymers in concrete, *ACI Journal*, 83(5): 798~829.
2. Collins, R. J., 1994, Reuse of demolition materials in relation to specifications in the U.K demolition and reuse of concrete and masonry, *F&FN SPON*: 49~58.
3. Folwer, D. W., 1994, Current uses of polymer concrete in the United States, *Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete*, Chuncheon, Korea, May 2~3, pp.3~9.
4. Henrichsem, A., 2000, Use of recycled aggregates in Europe. *International Workshop on Recycled Concrete*: 1~8, JSPS 76 Committee on Construction Materials.
5. Kibert, C. J., 1994, Concrete/masonry recycling progress in the USA, demolition and reuse of concrete and masonry, *F&FN SPON*: 83~91.
6. Neville, A. M., 1995, Properties of concrete, 4rd Ed., *Longman Malaysia*, London: 666~674.
7. 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.
8. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), *Surrey University Press*: 171~196.
9. Sung, C. Y., 1995, Properties of high performance lightweight polymer concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 37: 72~81. (in Korean)
10. 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)