

폐플라스틱과 재생골재를 이용한 폴리머콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Characteristics of Polymer Concrete made with Recycled Plastic and Concrete Aggregates

조병완*

박승국**

Byung-Wan Jo

Seung-Kook Park

ABSTRACT

In this paper, fundamental properties of Polymer Concrete made from unsaturated polyester resin based on recycled PET and recycled aggregate(RPC) were investigated. Resins based on recycled PET and recycled aggregate offer the possibility of low source cost for forming useful products, and would also help alleviate an environmental problem and save energy. The results of test for resin contents and recycled aggregate ratio are showed that the strength of RPC increases with resin contents relatively, however beyond a certain resin content the strength does not change appreciably, and the relationship between the compressive strength and aggregate contents at resin 9% has a close correlation linearly whereas there is no correlation between the compressive strength and the flexural strength of RPC with recycled concrete aggregate.

1. 서론

폴리머 콘크리트(PC)는 골재를 유기재료인 폴리머로 결합시킨 것으로서 시멘트 콘크리트와는 현저히 다른 성질 즉, 높은 강도, 내약품성, 내마모성, 방수성, 조기경화 등의 특성을 가지고 있으며 최근 이러한 장점을 이용한 공장 제품이 다양하게 개발되어 건설구조물로 실용화되고 있다. 그러나 폴리머 콘크리트는 그 결합재로 쓰이는 수지의 비용이 높아 경제적인 면에서 불리한 단점이 있다. 국내의 천연골재 고갈과 무분별한 석산개발 및 모래채취로 인한 환경파괴 문제대두로 폐콘크리트를 분쇄한 재료의 재활용이 시도되고 있다. 그러나 이러한 재생골재는 천연 골재와 비교해 상대적으로 낮은 강도, 비중과 높은 흡수율의 단점을 가지고 있어 그 활용에 한계가 있다. 따라서 PET를 재활용한 수지와 재생골재를 이용한 폴리머 콘크리트(RPC)의 개발은 높은 단가의 폴리머 콘크리트 단점과 저강도, 고흡수율의 재생골재 단점을 동시에 해결할 수 있을 뿐만 아니라 폐기물 재활용을 통한 환경오염 방지의 효과 또한 얻을 수 있는 훌륭한 방안이 될 것이다.

본 연구에서는 재생골재를 이용한 폐PET 폴리머 콘크리트(RPC)의 구조적 재료로서 활용을 위한 기본적인 역학적 특성들, 즉 압축·항렬인장·휨 강도특성뿐만 아니라 이들의 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 재료

2.1.1. 불포화 폴리에스터 수지(UP)

재활용 PET로 만든 불포화 폴리에스터(UP)를 결합재로 사용하였으며 Table 1은 이것의 물성치를 나타낸다. UP의 경화를 위해서 개시제와 촉진제가 필요하며 촉진제는 이미 UP에 포함되어 있으므로 개시제의 첨가만으로 경화가 시작된다. UP 성분 중 스티렌은 40%이다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

Table 1 Properties of UP based on recycled PET

Non-Volatile Materials (%)	Acid value (mgKOH/g)	Viscosity (mPas)	HDT (°C)	Elongation (%)
60	5	1,300	80	4.1

2.1.2. 골재와 충전재

폴리머 콘크리트 배합에는 폐 콘크리트로부터 재생된 재생 굵은 골재(5~9mm)와 재생 잔골재 (~5mm), 그리고 이와 조립률이 동일한 천연 굵은 골재(5~9mm), 천연 잔골재(~5mm)의 네가지 골재를 사용하였다. 재생골재는 골재 표면에 시멘트 모르타르가 잔존해 있어 골재의 마모율과 흡수율이 일반적으로 천연골재에 비해 상대적으로 높은 특성을 나타낸다.

골재와 폴리머 사이에 양호한 부착을 위해서 충전재로 중탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였으며 건조로에서 110±5°C로 24시간 이상 건조 시켜 흡수율을 0.5%이하로 낮춘 후 상온에서 냉각시켜 사용하였다.

2.2. 배합설계

RPC의 기초 물성을 연구, 비교하기 위한 실험으로써 재생 골재 함유량이 RPC의 강도에 미치는 영향과 상호 관계를 파악하고자 하였으며, 또한 수지량이 RPC의 강도에 미치는 영향과 최대강도 발현을 위한 최적량을 파악하고자 하였다(Table. 2).

Table 2 Experimented variables

Series	Resin (w.%)	Filler CaCO ₃ (w.%)	Aggregate : 82 wt.%				
			Natural (wt.%)		Recycled (wt.%)		
			Coarse (≤9mm)	Fine (≤5mm)	Coarse (≤5mm)	Fine (≤9mm)	
I	NA100-R9	9	9	100	100	0	0
	NC70-R9			70	100	30	0
	NC50-R9			50	100	50	0
	NC30-R9			30	100	70	0
	NC0-R9			0	100	100	0
II	NF70-R9	13	13	100	70	0	30
	NF50-R9			100	50	0	50
	NF30-R9			100	30	0	70
	NF0-R9			100	0	0	100
III	NA70-R9	17	17	70	70	30	30
	NA50-R9			50	50	50	50
	NA30-R9			30	30	70	70
	NA0-R9			0	0	100	100

Table 3 Results of RPC strengths (resin: 9%, 단위: kg/cm²)

Specimens	Compressive Strength		Split tensile Strength		Flexural Strength	
	Value	Ratio	Value	Ratio	Value	Ratio
NA100-R9	626	100%	86	100%	233	100%
NC70-R9	573	92%				
NC50-R9	570	91%	82	95%	198	85%
NC30-R9	547	87%				
NC0-R9	501	80%	81	94%	198	85%
NF70-R9	561	90%				
NF50-R9	515	82%	81	94%	226	97%
NF30-R9	496	79%				
NF0-R9	460	73%	80	93%	215	92%
NA70-R9	540	86%				
NA50-R9	523	84%	79	92%	204	88%
NA30-R9	398	64%				
NA0-R9	376	60%	76	88%	185	79%

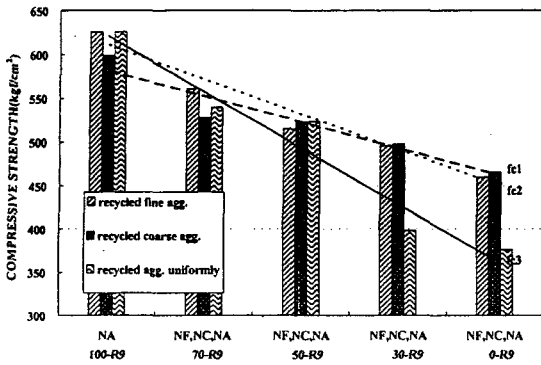
* R: resin contents, NA: natural coarse and fine agg.(wt.%)
 NC: nature coarse agg.(wt.%), NF: nature fine agg.(wt.%)

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 수지량 9%의 RPC

골재의 종류와 배합량을 달리한 RPC의 재령 7일 압축 강도를 측정하여 Table 3에 비교하였다. 일반적으로 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도가 천연골재를 사용한 것 보다 상당히 낮게 나타나듯이 본 실험의 RPC 경우도 재생골재가 증가할수록 강도는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이것은 재생골재 표면에 잔존해 있는 모르타르로 인한 결합력 저하로 강도의 감소가 발생하기 때문이다. Fig. 1은 천연골재와 재생골재의 비율(0, 30, 50, 70, 100%)에 따른 강도의 변화를 나타내고 있다. RPC의 압축 강도와 재생골재 치환율사이의 상관관계를 규명하기위해 선형대수회귀 분석을 실시한 결과 아래 식(1)~(3)와 같으며 이를 토대로 압축 강도에 관한 데이터를 쉽게 결정할 수 있다. RPC의 압축강도에 대한 결정계수는 약 90% 이었다.

휨강도와 활렬인장 강도의 실험결과 또한 Table 3에 나타내었다. 시험결과 골재의 종류와 배합량에 관계없이 RPC의 활렬인장 강도와 휨 강도 역시 재생골재가 증가함에 따라 압축 강도가 감소하는 양상을 나타냈으며 각각 재령 7일 강도 기준으로 압축강도의 1/7~1/8, 1/2~1/3 이었다.



$$f_{c1} = -27.65x + 643.23 \quad (R^2 = 0.9284) \quad (1)$$

$$f_{c2} = -39.73x + 650.55 \quad (R^2 = 0.9579) \quad (2)$$

$$f_{c3} = -64.1x + 684.82 \quad (R^2 = 0.9473) \quad (3)$$

※ 식 (1), (2), (3)은 각각 재생 잔골재, 재생 굵은 골재, 재생골재에 대한 회귀분석 결과를 나타낸다.

Fig. 1 Compressive strength with recycled aggregate contents

3.2. 수지량 13%의 RPC

수지배합 13% PC의 압축 강도는 수지배합 9% RPC에서처럼 재생골재를 사용함으로써 강도가 감소하였으며 570~790kgf/cm² 범위를 나타냈다(Fig. 2). 이는 수지배합 9% RPC와 비교할 때 약 20%정도 높은 것으로 수지량 증가에 따른 강도 증가 경향을 의미한다. 할렬인장 강도의 경우도 수지9%를 사용한 실험체 보다 약간 높은 강도를 보였다. 그러나 휨강도의 경우 수지량의 증가는 강도 면에서 꼭 유리하지는 않았다. 이는 휨 인장의 파괴 메카니즘이 압축과는 상이하고 복합적이기 때문이다.

3.3. 수지량 17%의 RPC

13%의 수지를 배합했을 경우와는 달리 17% 배합 실험체의 강도는 증가량이 뚜렷하게 나타나지 않았다(Fig. 3). 이것은 수지배합 13%~17%사이 임의의 수지량에서 최고 강도에 도달하며 그 이상의 수지량은 강도의 증가가 거의 없음을 의미한다.

수지 배합량 17%에서의 강도 변화를 살펴보면 재생골재 사용량에 따른 명확한 강도 감소 현상이 나타나지 않고 있다. 이는 중요한 사실로서 재생골재 표면의 구 모르타르 속의 공극을 수지와 충전재가 적절히 채워줌으로써 재생골재 사용에 따른 결함을 방지하기 때문으로 판단된다.

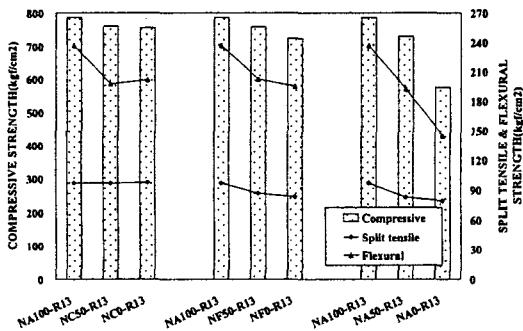


Fig. 2 Strength at resin 13%

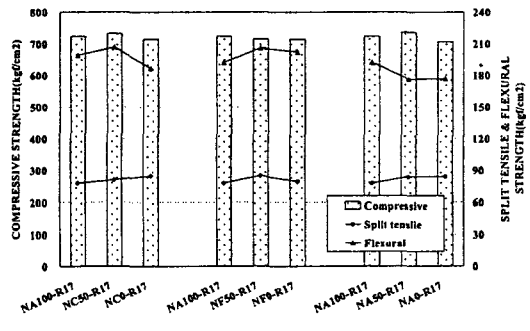


Fig. 3 Strength at resin 17%

3.4. 강도특성 사이의 관계

폐 PET와 재생골재를 이용한 PC 분야의 연구가 매우 미미하기 때문에 재생 골재를 이용한 RPC의 강도 특성들 사이의 관계를 규명하는 것은 매우 중요하다. 선형대수회귀 분석을 통해 RPC의 압축 강도와 휨, 할렬인장 강도 사이의 관계를 결정하였으며 Fig. 4, 5에 나타내었다. 수지배합 9% RPC의 선형대수 회귀분석결과 압축 강도와 할렬인장 강도 사이 상관관계 결정

계수가 대략 90%인 반면 수지배합 13%, 17% RPC의 경우는 대략 60%이하로 훨씬 낮은 값을 나타냈다. 이것은 수지배합이 9%이상일 경우 압축 강도와 휨, 할렬인장 강도 사이에 뚜렷한 상관관계가 없다는 것을 의미한다.

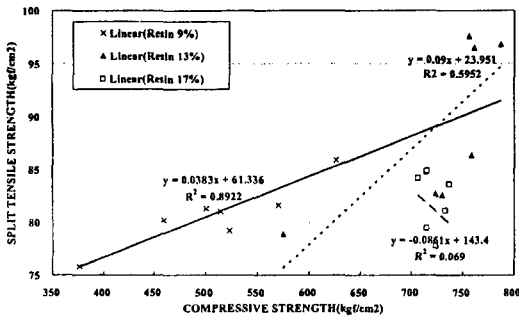


Fig. 4 Relationships between compressive and split tensile strength of the RPC (resin 9,13,17%)

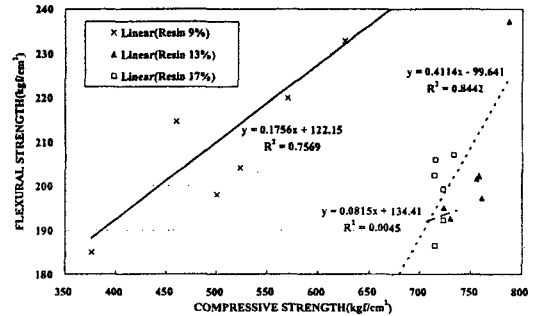


Fig. 5 Relationships between compressive and flexural strength of the RPC(resin 9,13,17%)

4. 결 론

폐 플라스틱과 콘크리트 재생골재를 이용한 폴리머 콘크리트의 특성을 연구한 결과 시멘트 콘크리트에서 강도 저하 현상을 보이는 재생골재의 문제점을 폴리머 콘크리트에서는 개선할 수 있어 이의 활용 가능성을 알 수 있었으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 수지량 9%, 13%에서의 재생골재 함량 증가에 따른 강도 감소는 재생골재 표면의 구 모르타르로 인한 골재와 결합재간에 불충분한 부착때문인 것으로 나타났다. 반면 수지량 17%에서는 확실한 강도 감소 현상이 나타나지 않았는데 이는 구 모르타르 공극을 수지가 적절히 채워줌으로써 골재와 결합재의 충분한 결합이 이루어지기 때문으로 판단된다. 따라서 재생 골재의 PC로의 활용시 특정량 이상의 수지를 사용함으로써 시멘트 콘크리트에 사용시 나타나는 강도 감소를 효과적으로 방지할 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) PC의 강도는 수지 배합량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이나 특정량(대략 13~17% 사이) 이상이 되면 더 이상의 강도 증가는 나타나지 않았다.
- 3) 수지량과 재생골재 함량에 따른 압축강도와 할렬 인장강도, 휨 인장강도와의 상관관계를 회귀 분석결과 수지량 9%에서는 약 90%의 결정계수를 가졌으나 수지량이 증가할수록 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았다.

참고문헌

1. Phil-Ho Lee, Jeong-Woo Lee, "Effect on the Strength of Polymer Concrete of Unsaturated Polyester Resin's Property" College of Natural Sci., Kangwon National Univ.
2. Kyu-Seok Yeon, "Mechanical Properties of High Strength Polymer Concrete Using Unsaturated Polyester Resin" Korea Concrete Institute Journal, Vol.6, 1994, pp. 131~141.
3. M.Saroja Devi, V.Murugesan, K.Rengaraj, P.Anand, "Utilization of Flyash as Filler for Unsaturated Polyester Resin" Journal of Applied Polymer Science, Vol.69, 1998, pp.1385~1391.
4. Bong-Hak Lee, Jin-Young Kim, "Improving Performance of Recycled Waste Concrete" Korea Concrete Institute Journal, Vol.7, 1995, pp.136~145.