

PET와 재생골재를 이용한 폴리머콘크리트의 역학적 특성

조병완^{1)*} · 이두화²⁾ · 박승국¹⁾

¹⁾ 한양대학교 ²⁾ (주)삼보 기술단

(2004년 4월 20일 원고접수, 2005년 5월 15일 심사완료)

Mechanical Characteristics of Recycled PET Polymer Concrete with Demolished Concrete Aggregates

Byung-Wan Jo^{1)*}, Du-Wha Lee²⁾, and Seung-Kook Park¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

²⁾ Sambo Engineering CO.,LTD., Seoul, 138-834, Korea

(Received April 20, 2004, Accepted May 15, 2005)

ABSTRACT

In this paper, fundamental properties of Polymer Concrete(PC), made from unsaturated polyester resin based on recycled PET and recycled aggregate were investigated. Mechanical properties include strength, modulus of elasticity, and chemical resistance. 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, first, the strength of Polymer Concrete made with resin based on recycled PET and recycled aggregate increases with resin contents relatively, however beyond a certain resin contents the strength does not change appreciably. Second, the relationship between the compressive strength and recycled aggregate ratio 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 aggregate ratio. Third, the effect of acid resistance at resin 9% was found to be nearly unaffected by HCl, whereas the PC with 100% recycled aggregate showed poor acid resistance. Unlike acid, alkali nearly does not seem to attack the RPC as is evident from the weight change and compressive strength. And last, In case of stress-strain curve of polymer concrete with 100% of natural aggregate and 100% recycled aggregate it is observed the exceptional behavior resulting in different failure mechanisms of the material under compression.

Keywords : Polymer Concrete, PET, recycled aggregate, chemical resistance, stress-strain curve

1. 서 론

폴리머콘크리트(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 폴리머콘크리트는 그 결합재로 쓰이는 수지의 비용이 높아 경제적인 면에서 불리한 단점이 있다.

국내의 천연골재 고갈과 무분별한 석산개발 및 모래채취로 인한 환경파괴 문제대두로 폐 콘크리트를 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 PET(polyethylene terephthalate)를 재활용한 수지와 재생골재를 이용한 폴리머콘크리트(recycled polymer-aggregate concrete, 이하 RPC로 명칭)의 개발은 높은 단가의 폴리머콘크리트 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 폴리머콘크리트(RPC)의 구조적 재료로서 활용을 위한 기본적인 역학적 특성들, 즉 압축·항렬인장·휨 강도특성뿐만 아니라 이들의 상관관계를 규명하고자 하였으며 RPC를 프리캐스트 제품 제작에 활용하기위한 내산성과 내염기성의 내구성에 대한 실험도 아울러 실시하였다. 나아가 골재와 결합재간 계면의 SEM촬영을 통해 기존 PC와 RPC사이의 차이점을 조사, 분석하였다.

* Corresponding author

E-mail : joycon@hanmail.net

©2005 by Korea Concrete Institute

2. 실험

2.1 재료

2.1.1 불포화 폴리에스터 수지(UP)

결합재로 재활용 PET로 만든 불포화 폴리에스터 (unsaturated polyester, 이하 UP로 명칭)를 사용하였다. Table 1은 수지의 물성치를 나타낸다. UP의 경화를 위해서 개시제와 촉진제가 필요하며 촉진제는 이미 UP에 포함되어 있으므로 개시제의 첨가만으로 경화가 시작된다. UP 성분 중 스타이렌 모노머는 40%이다.

2.1.2 충전재

골재와 폴리머 사이에 양호한 부착을 위해서 충전재로 Table 2의 중탄산칼슘(CaCO₃)을 사용하였다. 또한 충전재는 건조로에서 110±5 °C로 24시간이상 건조 시켜 흡수율을 0.5%이하로 낮춘 후 상온에서 냉각 시켜 사용하였다.

2.1.3 골재

폴리머콘크리트 배합에는 폐 콘크리트로부터 재생된 재생 굵은 골재(5~9mm)와 재생 잔골재 (5mm 이하), 그리고 이와 조립률이 동일한 천연 굵은 골재(5~9mm), 천연 잔골재(~5mm)의 네가지 골재를 사용하였다.

Table 3은 사용된 골재의 특성을 나타내고 있다. 재생골재는 골재 표면에 시멘트 모르타르가 잔존해 있어 골재의 마모율과 흡수율이 일반적으로 천연골재에 비해 상대적으로 높은 특성을 나타낸다.

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

Table 2 Chemical compositions of filler(CaCO₃)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
57.09	24.66	10.5	2.58	1.37	0.94	3.5

Table 3 Physical properties of coarse aggregate

Description	Recycled agg.		Natural agg.	
	Coarse (≤9 mm)	Fine (≤5 mm)	Coarse (≤5 mm)	Fine (≤9 mm)
Water absorption (%)	1.12	1.73	0.70	0.44
Specipic gravity	2.62	2.45	2.64	2.55
Ratio of abrasion	21.5	-	10.7	-
Solid volume (%)	60	58	60.8	63.7

2.2 배합설계

본 실험은 두 단계로 나누었다. 첫째, RPC의 기초 물성을 연구, 비교하기 위한 실험으로써 재생 골재 함유량이 RPC의 강도에 미치는 영향과 상호 관계를 파악하고자 하였다. 각 배합별 RPC의 양생 시간이 압축강도에 미치는 영향을 고려하여 양생을 1, 3, 7(days)로 변화 시켰다 (Table 4).

둘째, 수지량이 RPC의 강도에 미치는 영향과 최대강도 발현을 위한 최적량을 파악하고자 하였다. Table 5에 실험 변수 II를 분류하였다.

Table 4 Experimented variables I (unit: wt.%)

Series	Resin	Filler CaCO ₃	Aggregate : 82 wt.%				
			Natural		Recycled		
			Coarse (≤9mm)	Fine (≤5mm)	Coarse (≤5mm)	Fine (≤9mm)	
I			NA100-R9	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	9	9	NF70-R9	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	70	70	30	30
			NA50-R9	50	50	50	50
			NA30-R9	30	30	70	70
			NA0-R9	0	0	100	100

* R: resin contents in PC, NA: natural coarse and fine agg.
NC: nature coarse agg., NF: nature fine agg.

Table 5 Experimental variable II for resin contents (unit : wt.%)

Types	Change factor (resin contents)		Aggregate : 82, 74, 66 wt. %			
	Resin	Filler CaCO ₃	Natural		Recycled	
			Coarse (≤9 mm)	Fine (≤5 mm)	Coarse (≤9 mm)	Fine (≤5 mm)
NA100-R#	9,13,17	9,13,17	100	100	0	0
NC50-R#			50	100	50	0
NC0-R#			0	100	100	0
NF50-R#			100	50	0	50
NF0-R#			100	0	0	100
NA50-R#			50	50	50	50
NA0-R#			0	0	100	100

* R# is resin contents 9, 13 and 17

2.3 실험절차

2.3.1 강도와 탄성계수

공시체는 상온에서 양생하였으며 압축강도의 재령에 대한 효과를 파악하기 위하여 Table 6과 같이 재령 1, 3, 7 일에 대하여 실험하였다.

본 실험에서는 재생골재와 천연골재 함유량이 강도에 미치는 영향과 총 PC무게에 대한 재생골재의 백분율에 따른 강도 차이가 매우 중요하다.

탄성계수는 응력-변형률 곡선으로부터 세로변형 0.00005에 해당되는 점과 파괴강도의 40%에 해당되는 점을 연결한 할선 탄성계수로 다음 식과 같이 계산하였다.

$$E_c = \frac{0.4f'_c - f_1}{\epsilon_1 - 0.00005} \quad (1)$$

여기서, E_c = 탄성 계수

f_1 = 세로변형 0.00005에 대한 응력

$\epsilon_1 = 0.4f'_c$ 로 생긴 세로 변형

2.3.2 산과 알칼리 저항성

30% HCl 용액과 40% NaOH 용액에 실험체를 침수시켜 7, 14, 21, 28일 경과 후 중량을 측정하여 침수 전 건조 중량과 비교 하였다. 중량 측정 전 실험체를 흐르는 물에 세척후 건조로에서 표면 건조하였다. 측정된 중량 변화값을 다음과 같이 중량 백분율로 나타내었다.

$$\text{Weight change (\%)} = [(W-C)/C] \times 100 \quad (2)$$

여기서, C = 침수 전 실험체 건조 중량 (g)

W = 침수 후 실험체 건조 중량 (g)

2.3.3 SEM 미세구조

500배 확대 SEM 촬영하여 RPC 파괴면의 골재와 결합재 사이의 계면을 분석하였다. 촬영 이미지의 명암차이와 형상의 분석을 통해 계면을 판단하였다.

재료의 파괴 특성상 굴곡이 많아 BSE 방법으로 촬영하였다. BSE 방법은 일반적인 촬영방식인 SE 방법과 달리 back scatter된, 즉 직진 반사되지 않고 뒤로 흘러

Table 6 Type of strength tests

Contents	Test method	Specimen (cm)	Loading time (MPa / min)	Curing time (day)
Compressive strength	KS F-2481	Φ7×15	47.1~70.6	1,3,7
Split tensile strength	KS F-2480	Φ7×15	3.92~5.88	7
Flexural strength	KS F-2482	6×6×24	7.84~11.76	7

버린 2차 전자까지도 디텍터로 모아주어 이미지를 보여주는 방식으로 굴곡이 심한 콘크리트 파괴면 관찰에 적합하다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 수지량 9%의 RPC

골재의 종류와 배합량을 달리한 RPC의 재령 1, 3, 7일 압축 강도를 측정하여 Table 7에 비교하였다.

일반적으로 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도가 천연골재를 사용한 것 보다 상당히 낮게 나타나듯이 본 실험의 RPC 경우도 재생골재의 치환율이 증가할수록 강도는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이것은 재생골재 표면에 잔존해 있는 시멘트 모르타르로 인한 결합력 저하로 강도의 감소가 발생하기 때문이다.

Figs. 1~3는 천연골재와 재생골재의 비율(0, 30, 50, 70, 100%)에 따른 강도의 변화를 나타내고 있다. 또한, RPC의 압축 강도와 재생골재 치환율사이의 상관관계를 규명하기 위해 선형대수회귀 분석을 실시하였다. 그 결과 식(3)~(5)와 같이 RPC의 압축강도에 대한 결정계수는 약 90%이었다. 이것은 폐 PET 수지뿐만 아니라 재생골재를 포함하고 있기 때문에 매우 의미 있으며 위에 기술한 식을 토대로 압축 강도에 관한 데이터를 쉽게 결정할 수 있다.

휨강도와 할렬 인장강도의 실험결과 또한 Table 7에 나타내었다(Figs. 4, 5 참조). 시험결과 골재의 종류와 배합량에 관계없이 RPC의 할렬 인장강도와 휨 강도는 각각 재령 7일 강도 기준으로 1/7~1/8, 1/2~1/3 이었다. 즉, PC의

Table 7 Results of RPC strengths (resin : 9 wt%)

Types	Compressive strength (MPa)			Split tensile strength (MPa)		Flexural strength (MPa)		
	1day	3days	7days	7days		7days		
NA100-R9	50.5	58.7	61.4	100%	8.43	100%	22.9	100%
NC70-R9	45.6	51.7	56.2	92%				
NC50-R9	45.0	51.3	55.9	91%	8.04	95%	19.4	85%
NC30-R9	41.6	48.8	53.6	87%				
NC0-R9	38.5	45.7	49.1	80%	7.94	94%	19.4	85%
NF70-R9	43.5	47.1	55.0	90%				
NF50-R9	36.7	40.7	50.5	82%	7.94	94%	22.2	97%
NF30-R9	34.1	38.2	48.6	79%				
NF0-R9	33.5	37.4	45.1	73%	7.85	93%	21.1	92%
NA70-R9	37.0	47.2	53.0	86%				
NA50-R9	35.2	43.4	51.3	84%	7.75	92%	20.0	88%
NA30-R9	28.0	36.9	39.0	64%				
NA0-R9	21.3	28.6	36.9	60%	7.45	88%	18.1	79%

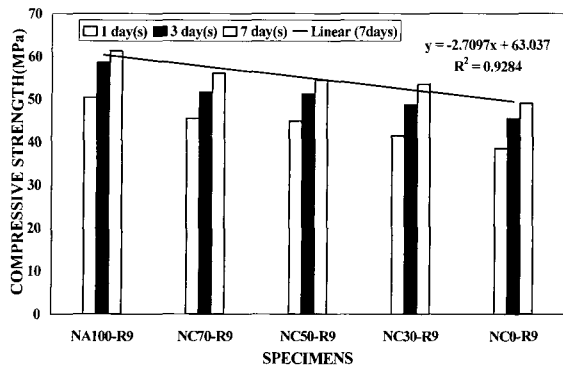


Fig. 1 Compressive strength with recycled coarse aggregates contents at 1, 3, 7 day(s)

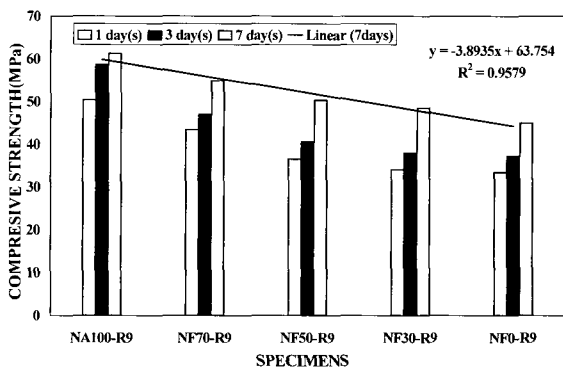


Fig. 2 Compressive strength with recycled fine aggregates contents at 1, 3, 7 day(s)

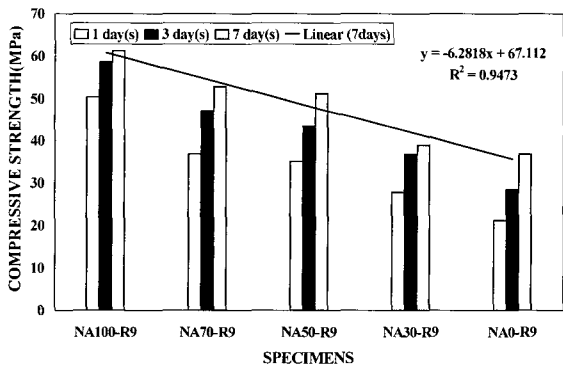


Fig. 3 Compressive strength with recycled aggregates contents uniformly at 1, 3, 7 day(s)

할렬 인장강도와 휨 강도의 데이터는 Figs. 4, 5와 같이 재생골재가 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 양상을 나타낸다.

$$f_{c1} = -2.71x + 63.04 \quad (R^2 = 0.9284) \quad (3)$$

$$f_{c2} = -3.894x + 63.754 \quad (R^2 = 0.9579) \quad (4)$$

$$f_{c3} = -6.282x + 67.112 \quad (R^2 = 0.9473) \quad (5)$$

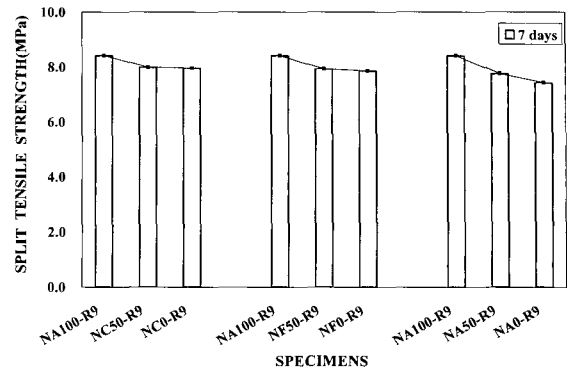


Fig. 4 Split tensile strengths of RPC at resin 9%

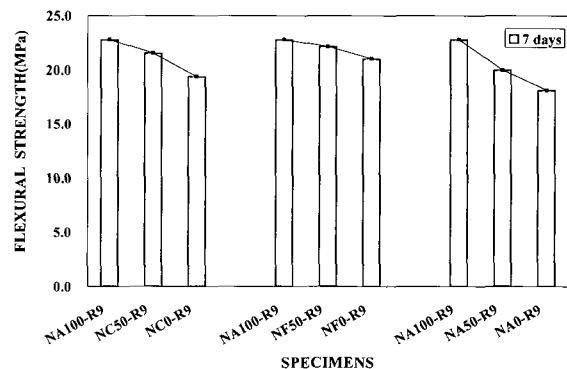


Fig. 5 Flexural strengths of RPC at resin 9%

3.2 수지량 13%의 RPC

수지배합 13% PC의 압축 강도는 55.9~77.5 MPa 범위를 나타냈다. 이는 수지배합 9% RPC와 비교할 때 약 20%정도 높은 것으로 수지량 증가에 따른 강도 증가 경향을 의미한다. 할렬 인장강도의 경우도 수지9%를 사용한 실험체 보다 약간 높은 강도를 보였다. 그러나 휨강도의 경우 수지량의 증가는 강도 면에서 꼭 유리하지는 않았다. 이는 휨 인장의 파괴 메커니즘이 압축과는 상이하고 복합적이기 때문이다.

Fig. 6에 수지배합 13% RPC의 강도 변화를 나타내었다. 수지배합 9% RPC에서처럼 재생골재를 사용함으로써 강도가 감소하였다.

3.3 수지량 17%의 RPC

13%의 수지를 배합했을 경우와는 달리 17% 배합 실험체의 강도는 증가량이 뚜렷하게 나타나지 않았다(Fig. 7). 이것은 수지배합 13%~17%사이 임의의 수지량에서 최고 강도에 도달하며 그 이상의 수지량은 강도의 증가가 거의 없음을 의미한다.

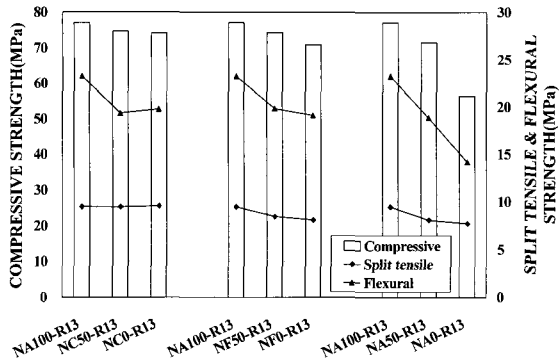


Fig. 6 Strength at resin 13%

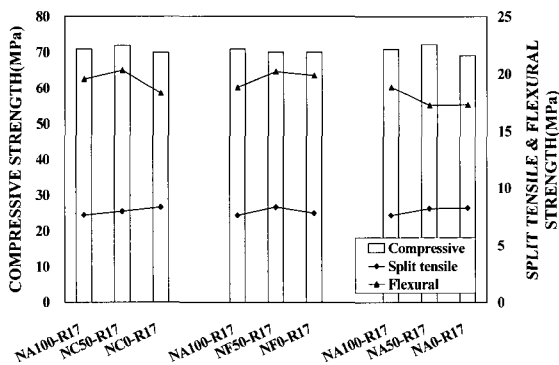


Fig. 7 Strength at resin 17%

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.

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, 할렬 인장강도 사이의 관계를 결정하였으며 Figs. 8, 9에 나타내었다.

RPC의 압축강도와 할렬 인장강도사이 관계에 대한 선형대수 회귀분석결과는 다음과 같다.

$$\text{Resin 9\%} - f_{sp1} = 0.0383f_{cl} + 6.011 \quad (R^2 = 0.8922) \quad (6)$$

$$\text{Resin 13\%} - f_{sp2} = 0.09f_{cl} + 2.352 \quad (R^2 = 0.5952) \quad (7)$$

$$\text{Resin 17\%} - f_{sp3} = -0.0861f_{cl} + 14.053 \quad (R^2 = 0.069) \quad (8)$$

RPC의 압축강도와 휨 강도사이 관계에 대한 선형대수 회귀분석결과는 다음과 같다.

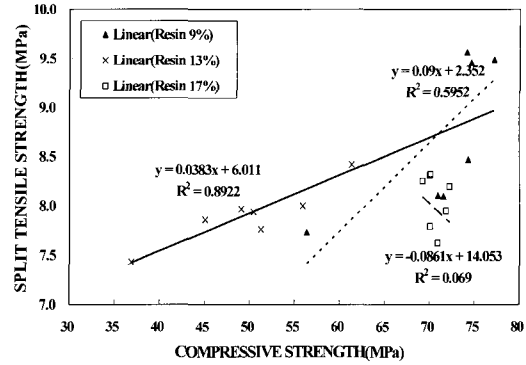


Fig. 8 Relationships between compressive and split tensile strength of the RPC (resin 9,13,17 %)

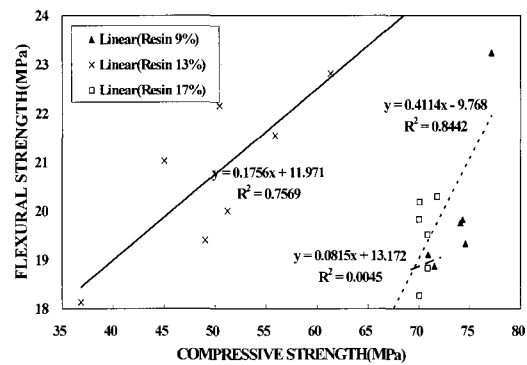


Fig. 9 Relationships between compressive and flexural strength of the RPC(resin 9,13,17)

$$\text{Resin 9\%} - f_{b1} = 0.1756f_{cl} + 11.971 \quad (R^2 = 0.7569) \quad (9)$$

$$\text{Resin 13\%} - f_{b2} = 0.4114f_{cl} - 9.768 \quad (R^2 = 0.8442) \quad (10)$$

$$\text{Resin 17\%} - f_{b3} = 0.0815f_{cl} + 13.175 \quad (R^2 = 0.0045) \quad (11)$$

수지배합 9% RPC의 선형대수 회귀분석결과 압축 강도와 할렬 인장강도 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 할렬 인장 강도 사이에 뚜렷한 상관관계가 없다는 것을 의미한다. 휨 강도의 경우 RPC는 압축 강도와 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았다.

3.5 압축응력 - 변형을 곡선

수지배합 9% 실험체에서 압축 응력-변형을 곡선은 재생골재의 사용량에 따라 그 차이가 뚜렷하였다.

Fig. 10에서 PC와 RPC 및 보통 강도 시멘트 콘크리트의 탄성계수를 비교하였다. NA 100% PC와 RA 100% RPC의 응력-변형을 곡선은 Fig. 11에서 보듯이 수지 배합 9%, 13%에서는 재생골재를 사용한 RPC의 상층부의 기울기가 현저히 감소하였다.

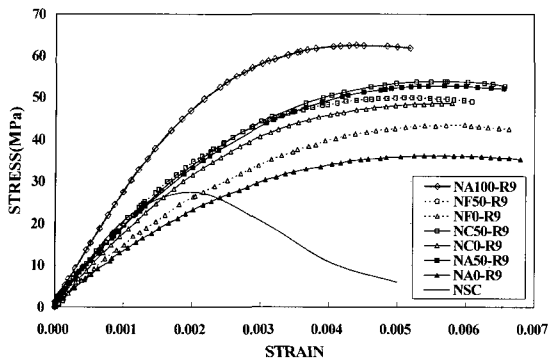


Fig. 10 Compressive stress-strain curves of RPC at resin contents 9% with normal strength concrete (NSC, 28.0 MPa)

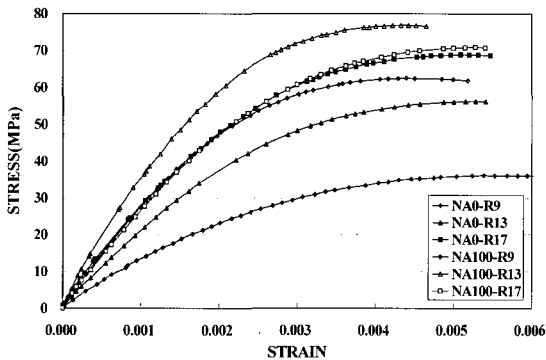


Fig. 11 Compressive stress-strain curves with 100% of natural agg. & 100% of recycled agg.

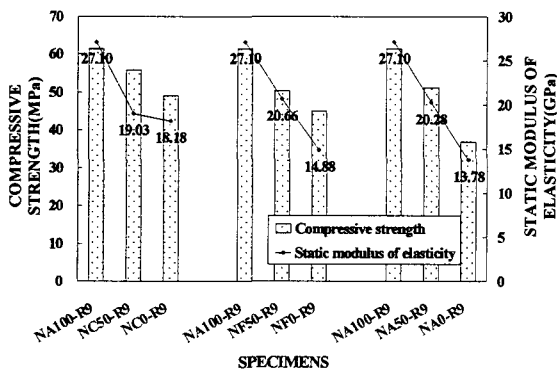


Fig. 12 Modulus of elasticity and compressive strength

그러나 수지배합 17%에서는 100% 재생골재를 사용한 RPC는 100% 천연골재를 사용한 PC와 비교하여 상층부 기울기의 큰 변화가 없었다. 이는 재생골재사용에 따른 RPC의 압축강도와 강성의 저하를 방지하는 적절한 수지량이 13~17% 사이에 존재함을 의미한다.

3.6 정적 탄성계수

Figs. 10, 11의 응력-변형률 곡선으로부터 구해진 정적 탄성 계수 값을 Fig. 12에 도시하였다.

수지배합 9%의 경우 천연 골재 PC를 제외한 탄성 계수는 일반 시멘트 콘크리트보다 낮았다. 이는 재생골재를 사용한 RPC의 변형률이 크기 때문이다. RPC(재령7일)의 탄성 계수는 재생골재 사용량에 따라 압축강도와 유사하게 감소하였는데 이는 RPC의 탄성 계수와 압축 강도 사이의 상관관계를 나타내는 것이라 하겠다. 그러나 일반 시멘트 콘크리트에 대한 KCI-2003의 규정($E_c = 3,300\sqrt{f_{ck}} + 7,700$ MPa)에 적합하지는 않았다.

3.7 내화확성

PC와 RPC의 산과 알칼리에 대한 저항성을 Table 8에 나타내었다. 내화확성은 RPC를 독성물질에 노출된 바닥재, 탱크 혹은 파이프 등의 제품에 적용함에 있어 매우 중요한 특성이다. 산에 침지시킨 경우 재생골재만을 사용한 시험체의 28일 경과후 중량 감소율이 상대적으로 다소 높았으며 침지 시간에 따라 중량감소 시기도 가장 빨랐다. Fig. 13에 28일 침지후 수지배합 9% RPC의 강도에 대한 내산성을 나타내었다. HCL 30% 용액에 대해 거의 영향이 없는 것으로 나타났지만 100% 재생골재(NA-S0-R9)를 사용한 RPC의 경우 100% 천연골재(NA-S0-R9) PC에 비해 중량 감소와 22% 압축강도의 감소를 보여 내산성이 상대적으로 다소 불리함을 알 수 있다. 알칼리에 대한 실험결과 역시 중량 변화와 강도 변화가 미미해 RPC에 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

3.8 SEM미세구조

SEM 촬영이미지의 분석을 통해 수지량과 재생골재가 기계적 특성에 미치는 영향을 판단할 수 있었다. Figs. 14, 15는 RPC와 PC(Resin 9%, 17%)를 500배 확대 촬영한 미세구조 이미지이다.

Table 8 Results of chemical resistance at 28 days

Series	HCL(30%)		NaOH(40%)	
	Weight change (%)	Series	Weight change (%)	Series
NA100-R9	0.6	NA100-R9	0.3	
NF50-R9	0.9	NF50-R9	0.4	
NF0-R9	2.1	NF0-R9	0.4	
NC50-R9	0.8	NC50-R9	0.2	
NC0-R9	1.0	NC0-R9	0.2	
NA50-R9	1.5	NA50-R9	0.3	
NA0-R9	3.1	NA0-R9	0.3	

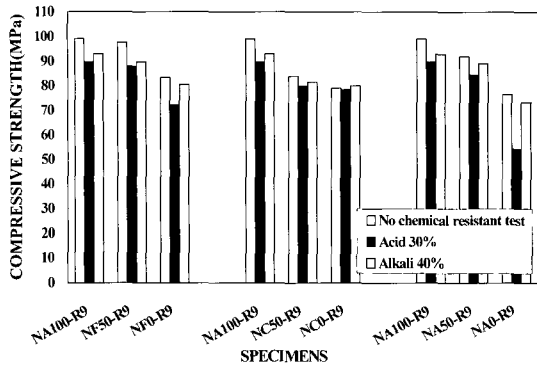


Fig. 13 Strength effect of acid resistance at resin 9% for 28days

수지량 9% 시험체의 파괴면을 나타내고 있는 Fig. 14의 이미지를 보면 골재와 수지 결합재 사이 계면을 따라 균열이 형성되어 있음을 관찰할 수 있다. 이는 일반 시멘트 콘크리트 시험체가 압축강도의 약 40% 이상의 응력을 받는 경우 경사진 골재 표면의 응력이 결합재와 골재사이 접합면의 인장 및 전단강도를 초과할 때 생기는 부착균열의 형태이다. 이로부터 수지량 9% 시험체의 경우 수지량 부족으로 인한 골재와 결합재 사이의 부착력 부족이 파괴의 주 원인을 판단할 수 있다.

Fig. 15는 수지량 17% 시험체의 파괴면을 나타내고 있다. Fig. 14의 수지량 9% 시험체와 달리 치밀한 구조를 보이고 있다. 또한 골재와결합재 사이 계면의 균열도 관찰되지 않는다. 이는 수지량 17% 시험체의 경우 결합력이 우수하여 높은 강도를 발현하게 됨을 의미하는 것으로 부착균열의 과정없이 골재와 결합재의 동시 파괴로 인한 굴곡없는 평탄한 파괴면이 이를 잘 나타내고 있다.

재생골재를 사용한 RPC의 촬영이미지(Fig.15 (b))는 Fig. 15 (a)의 이미지에 비해 평탄도가 낮다. 이는 일부분이 수지량 9% 시험체와 같은 부착균열이 발생함을 의미하는 것으로 천연골재만을 사용한 PC보다 다소 낮은 강도를 나타내는 원인을 잘 말해준다. 골재 주변의 밝은 입자 부분은 재생골재에 잔존하여 결합재와 골재사이의 결합력을 감소시키고 부착파괴를 유발하는 구 모르타르의 흔적을 나타낸다.

4. 결 론

폐 플라스틱과 콘크리트 재생골재를 이용한 재활용 폴리머콘크리트의 특성을 연구한 결과 이의 활용 가능성을 알 수 있었으며, 시멘트 콘크리트에서 강도 저하 현상을 보이는 재생골재의 문제점을 폴리머콘크리트에서는 개선할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 수지량 9%, 13%에서의 재생골재 함량 증가에 따른



Fig. 14 SEM of fracture surface of specimen used resin 9%



(a) PC(17%) with nature agg.



(b) PC(17%) with recycled agg.

Fig. 15 SEM of fracture surface of RPC and PC used resin 17%

강도 감소는 재생골재 표면의 구 모르타르의 공극이 골재와 결합재간에 불충분한 부착을 가져온 것으로 나타났다. 반면에 수지량 17%에서는 확실한 강도 감소 현상이 나타나지 않았으며 이는 구 모르타르 공극을 수지가 적절히 채워줌으로써 골재와 결합재의 완전한 결합이 이루어지기 때문으로 판단된다. 따라서 재생골재의 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 보인다. 그러나 특정량(대략 13~17% 사이) 이상이 되면 더 이상의 강도증가는 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.
- 4) 재생골재 함량 증가에 따라 응력-변형률 곡선의 상승부 기울기는 감소하였으나 수지량 17%의 경우 재생골재 함량에 따른 상승부 기울기의 큰 변화가 나타나지 않았다.
- 5) 수지량 9%, 13% RPC의 압축강도와 탄성 계수(재령 7일 기준)는 재생골재의 배합량이 늘어남에 따라 감소하였으며 이는 재생골재 함량 증가에 따른 압축강도와 탄성 계수간에 어느 정도의 상관관계가 있음을 나타낸다.
- 6) 중량변화와 강도비교실험을 통한 RPC의 내화학적 실험 결과 비교적 산·염 모두 강한 화학적 저항성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 알칼리수용액 40%보다 염산 30%의 수용액에서 다소 양호한 저항성을 가졌다.
- 7) SEM촬영 결과분석을 통한 골재와 결합재사이의 계면형상 즉, RPC 내부의 공극량과 재생골재 표면 구 모르타르 공극으로의 결합재 침투정도가 역학적 특성에 영향을 미치는 중요한 인자임을 확인하였다.

참고문헌

1. M. Saroja Devi, V. Murugesan, K. Rengaraj, and P. Anand, "Utilization of Flyash as Filler for Unsaturated Polyester Resin", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.69, 1998, pp.1385~1391.
2. Mostafa Taavakoli and Parviz Soroushian, "Strengths of Recycled Aggregate Concrete Made Using Field Demolished Concrete as Aggregate", *ACI Materials Journal*, Title No. 93-M21, 1996, pp.182~190.
3. Rasheeduzzafar, Asfahanullah Khan, "Recycled Concrete -A Source for New Aggregate", the American Society for Testing and Materials, Vol.6, 1984, pp.17~27.
4. Torven C. Hansen, "Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945-1985", *Materiaux et constructions, Materials and structures*, No.111, 1986, pp.201~246.
5. Jose M. V. Gomez-Soberon, "Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate An experimental study", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, 2002, pp.1301~1311.
6. Lech Czarniecki, Andrzej Garbacz, and Joanna Kurach, "On the characterization of polymer concrete fracture surface", *Cement and Concrete Composites*, Vol.23, 2001, pp.399~409.
7. Bong-Hak Lee and Jin-Young Kim, "Improving Performance of Recycled Waste Concrete", *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol.7, No.2, 1995, pp.136~145.

요 약

천연 건설자원이 고갈되어감에 따라, 심각한 환경오염을 일으키고 있는 각종 산업폐기물의 재활용을 통해 새로운 건설소재를 개발하기 위하여, 폐플라스틱과 폐 콘크리트를 재활용한 폴리머콘크리트의 역학적 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 폐 PET를 재생한 불포화 폴리에스테르 수지를 재생골재와 결합시켜, 재생골재 및 수지변화량에 따른 역학적 특성과 내화학적 실험을 실시하였으며 실험결과, 재생수지 및 골재를 사용한 폴리머콘크리트(RPC)의 강도는 수지의 함량이 증가함에 따라 차츰 증가하는 추세를 보였다. 하지만 어느 수지량의 한계점(대략 13~17%)에선 더 이상의 강도증가는 나타나지 않고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 재생골재 함량이 증가할수록 강도와 탄성계수는 감소하였으나 수지량 17%에서는 이러한 현상이 나타나지 않았다. 선형대수회귀 분석을 통해 수지량 9%일 때의 압축강도와 휨, 할렬 인장강도의 상관관계를 확인한 결과 높은 신뢰도를 보임을 알 수 있었다. 하지만 수지량이 증가함에 따라 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않는 경향을 나타내었다. 재생골재를 사용한 폴리머콘크리트의 내화학적 특성에 따른 중량변화와 강도실험은 비교적 산과 염에 강한 특성을 나타내었다. 그리고 염산 30%의 수용액에선 알칼리수용액 40% 보다는 강한 저항성을 나타내었음을 압축강도 및 중량변화를 통해 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 폴리머콘크리트, PET, 재생골재, 내화학적, 응력-변형률 곡선