

# 폐플라스틱을 재활용한 폴리머 콘크리트 특성

## The Properties of Polymer Concrete Recycling Plastic Waste

조 병 완\*      문 린 곤\*\*      박 승 국\*\*      임 상 현\*\*\*

Jo, Byung Wan   Moon, Rin Gon   Park, Seung Kook   Lim, Sang Hun

### ABSTRACT

Polymer concrete has more useful than cement concrete in the strength and durability. So, it is widely utilizing as panel for wall, manhole for communication, foundation and underground connection box, etc. But polymer concrete is a defect that is disadvantageous in economical aspect because cost of resin is expensive. Polymer concrete (PC) using unsaturated polyester resins based on recycled polyethylene terephthalate (PET) plastic waste were used in our study for grasping its mechanical properties such as compressive strength, tensile strength, flexural strength and chemical resistance was tested by dealing with 20% HCl, 30% NaOH. As a result of it, compressive, tensile and flexural strength of PC indicated 752kgf/cm<sup>2</sup>, 80kgf/cm<sup>2</sup> and 243kgf/cm<sup>2</sup> kind of satisfaction successively. Also, properties of chemical resistance are superior to those of cement concrete.

### 1. 서론

폴리머는 고성능 재료로 평가됨에 따라 건설 분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있으며 각종 제품이나 구조물에 대한 응용연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 폴리머와 골재를 조합시켜 제조되는 폴리머 콘크리트는 용도에 따라 경화시간 및 가사시간을 제어할 수 있고, 조기에 고강도 발현이 가능하다. 현재 환경문제를 일으키고 있는 폐 PET를 화학적 방법을 통해 불포화 폴리에스터 수지로 합성할 수 있어 폴리머 콘크리트를 제조하는 결합재로 사용할 경우 수지 가격의 절감으로 인한 제조 단가의 절감, 폴리머가 가지고 있는 우수한 화학적 특성의 유지, 경화시 우수한 기계적 강도 발현 등의 이점이 있으며 또한 폐기되는 PET를 정제할 필요가 없고 색에 의해 재료를 분리할 필요 없이 재활용할 수 있으므로 오랜 기간 폐 PET를 안정적으로 처리하여 자원 재활용 측면에서도 매우 경제적이며 환경 보호의 이점도 있다. 따라서 본 연구는 폴리머 콘크리트의 실용화 및 자원의 재활용을 목적으로 폐 PET를 이용해 불포화 폴리에스터 수지를 합성한 후 합성된 수지를 결합재로 사용한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성과 내화학성을 파악하기 위해 실시되었다.

\* 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 한양대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 실험에 사용한 불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가 되어 있는 제품으로서 성분은 [표1]과 같다. 촉진제로서는 옥탄산 코발트(CoOc)를 이용하였고, 개시제제로서는 메틸에틸케톤 퍼옥사이드(MEKPO)를 사용하였다. 충전제는 CaCO<sub>3</sub>를 사용하였고, 굵은 골재는 쇄석을, 잔골재는 규사를 사용하였다. 실험에 앞서 골재의 수분은 함수량이 0.1% 이하가 되도록 건조로에서 24시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였다. 사용된 굵은 골재 및 잔골재의 물리적 성질은 [표2]와 같다.

[표1] 페 PET 재생 불포화 폴리에스터 수지의 성분

Specific gravity (25°C)	Viscosity (mPas)	ACID Value (KOH/g)	Styrene content (%)	Non Volatile Materials (%)
1.13	1300	5	37~43	63

[표2] 골재의 물리적 성질

Type	Size (mm)	Specific gravity	Fineness modulus	Absorption (%)
coarse agg.	8이하	2.63	6.42	0.08
fine agg.	5이하	2.60	2.48	0.05

### 2.2 실험방법

KS F 2419 (폴리에스터 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 준하여 압축 및 쪼갬인장 강도 시험은 ø7.5×15cm 크기의 공시체를 제작하였고, 휨강도 시험은 6×6×24cm 크기의 공시체를 제작하였으며 그 배합비는 [표3]과 같다.

[표3] PET 재생 폴리머 콘크리트 배합표 (wt.%)

Materials		Proportions													
		I		II		III		IV		V		VI		VII	
Binder	UP+SM	11	100	13	100	13	100	13	100	13	100	13	100	15	100
	SM		40		37		40		40		40		43		40
Filler		11		13		11		13		15		13		15	
Coarse agg.		31.2		31.2		31.2		31.2		31.2		31.2		31.2	
Fine agg.		46.8		46.8		46.8		46.8		46.8		46.8		46.8	

※ 개시제(MEKPO) : 수지중량의 0.5% 첨가

재령에 따른 강도발현을 추론하고자 1일, 3일, 7일에 대해 공시체를 제작하였다. 압축강도는 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 휨강도는 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), 쪼갬인장강도는 KS F 2480(폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정에 의하였으며, 정탄성계수는 KS F 2438(콘크리트 원주시험체의 정탄성계수 및 포아송비 시험방법)에 의하여 콤프레소 미터를 사용하는 방법으로 구하였다.

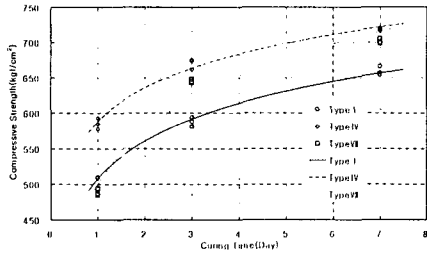
내화학적 시험은 별도로 Binder(17%), Filler(17%), Fine agg(66%)의 배합비로 5x5x5cm의 공시체를 제작하여 산(20%, HCl), 염기(30%, NaOH)의 수용액에 90일간 침적시킨후, 중량변화와 강도변화를 관찰하였다.

## 3. 결과 및 토의

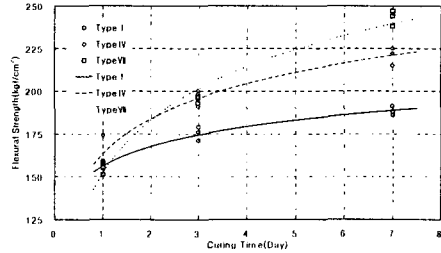
### 3.1 UP에 의한 강도발현

[그림.1]에서 Type I, IV의 경우에는 재령 1일이 7일과 비교하여 압축강도 발현도가 77~81%수준이고, Type VII인 경우에만 약 70%수준으로 다소 낮으나 대체적으로 초기의 강도 발현이 크다는 것을

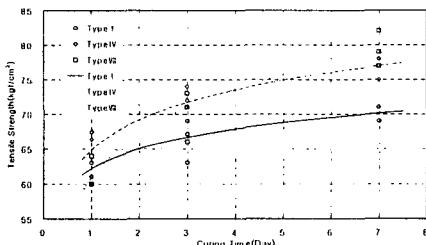
알 수 있다.



[그림.1] UP에 대한 재령별 압축강도



[그림.2] UP에 대한 재령별 휨강도



[그림.3] UP에 대한 재령별 쪼갬 인장강도

[그림.1]에서 것처럼 수지의 사용량과 압축강도의 관계에서 폴리머 콘크리트의 압축강도는 수지 사용량의 증가에 따라 증가하고 있으며, 특히 수지 사용량이 공시체 중량의 13%인 Type IV에서 가장 높게 나타났다. 이것은 그 이상의 수지량을 사용한 Type VII에서는 오히려 강도가 2.4% 감소하였는데 이는 매트릭스의 형성 지연 및 콘크리트 내부에 골재 부분과 레진층의 분리로 수축응력이 잔존하게 되거나 수축균열이 발생하여 강도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 수지량에 따른 휨강도의 변화는

Type VII가 재령 7일에서 242.87 kgf/cm<sup>2</sup> 강도로 가장 높은 값을 나타냈으며 쪼갬인장강도는 수지량이 15%인 Type VII에서 가장 큰 강도를 발현하고 있다. [그림.3]에 나타난 바와 같이 Type VII에서 재령 7일의 쪼갬인장강도는 평균 79.43kgf/cm<sup>2</sup>로 초고강도 시멘트 콘크리트의 쪼갬인장강도가 75~85kgf/cm<sup>2</sup> 인 것과 비교해 볼 때, 거의 유사한 효과를 기대할 수 있다

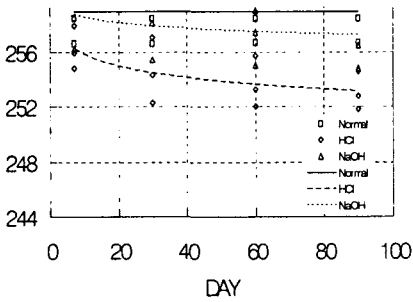
### 3.2 탄성계수

본 실험에서는 응력-변형률 곡선으로부터 파괴강도의 40%의 할선탄성계수로 구하였다. 재령 7일에서 Type IV가 약  $2.84 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  로 가장 큰 탄성계수 값을 나타냈는데 이것은 압축강도 1000 kgf/cm<sup>2</sup> 인 폴리머 콘크리트의 탄성계수가  $2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  인 것과 비교하면 높은 값이지만, 압축강도 1000 ~ 1300 kgf/cm<sup>2</sup> 인 초고강도 시멘트 콘크리트의 탄성계수와 비교하면 약 70%~80% 수준이다. Type IV에서 최대 탄성계수를 가지는 것은 압축강도 시험에서 나타난 바와 같이 수지량이 과다하거나 부족하면 강도의 감소를 초래하게 되는 것처럼 탄성계수에서도 결합재인 불포화폴리에스터 수지의 결합력이 어느 수준에서 최대로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험에서 나타난 탄성계수는 재령 7일에서  $2.61 \sim 2.84 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  정도이며 또한 탄성계수는 압축강도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

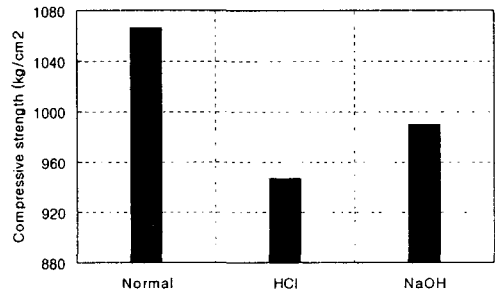
### 3.3 내화학성

내화학성 시험체를 20% HCl, 과 30% NaOH 에 침적 시킨 후 흐르는 물에 씻고 24시간 70°C.에서 건조 후 중량 변화를 측정 하였다[그림4], 또한, 제작 후 90일후에 압축강도를 측정하여 침적 시킨 후의 압축강도 변화를 관찰하였다[그림5]. HCl에 침적한 경우는 중량 감소율과 압축강도 감소율이 각각

1.3%, 11%로 NaOH에 침적한 경우의 감소율 0.3%, 7%보다 더 크게 나타났다. 이것은 폴리머 콘크리트가 염기에 대한 저항성보다 산성에 대한 저항성이 좀 더 약하다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체 중량 감소율과 압축강도 감소율이 각각 0.3%~1%, 7%~10% 정도로 미비하게 나타났다. 따라서 일반 시멘트 콘크리트가 부식 환경이나 화학약품에 노출되어 심각한 문제를 일으키는 특성을 것을 감안할 때 폴리머 콘크리트는 부식 환경 아래에서나 화학 약품에 노출되는 구조물에 적용된다면 적합 할 것이다.



[그림 4] 양생기간에 따른 중량 변화



[그림 5] 90후의 각 타입별 압축강도

#### 4. 결론

- (1) 폐 PET 합성 불포화 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 휨과 조깅인장강도는 각각 압축강도 ( $752\text{kgf/cm}^2$ )의 29~32%, 9%~11%의 비율로 나타나 강도비가 우수하였다.
- (2) UP비가 13%일 때 압축강도가 가장 높게 나타났고 일정수준 이상의 수지량은 매트릭스 형성지연 및 콘크리트 내에서 골재 부분과 레진 층이 분리되어 수축균열이나 내부에 수축응력이 잔존시켜 강도를 감소시키는 것으로 나타났다.
- (3) 탄성계수는  $2.61\sim 2.84 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$  정도로서 압축강도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다.
- (4) PET 재활용 폴리머 콘크리트를 화학약품에 90일간 침적 시킨 후의 중량 감소율과 압축강도 감소율이 각각 0.3%~1%, 7%~10% 로 그 값이 작기 때문에 부식 환경 아래에서나 화학 약품에 노출되는 구조물에 적용된다면 적합 할 것이다.

#### 참고문헌

1. J.T. Sanjose, J.I. Urreta, A. Prado, I. Rz-Maribona, A. Mugerza, "Mechanical Behaviour of Polymer Concrete Structural Application", Proceedings of thw VIIIth ICPIC Congress on Polymers in Concrete, pp375-380.
2. ACI Committe 548, "Guide for the Use of Polymers in Concrete(ACI 548.1R-97)", American Concrete Institue, Detroit, 1997.
3. 김진근, "고강도 콘크리트의 재료 역학적 특성 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제4권, 제2호, pp.111-118, 1992
4. 장일영, 이효범, 변근주, "초고강도 콘크리트의 재료특성 및 휨거동에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회, 제4권, 제2호, pp.107-112, 1993