

# 재활용PET수지를 이용한 폴리머 콘크리트의 강도, 내화학성, 흡수율에 관한 실험적 연구

## A Study on the Strength, Chemical Resistance and Absorption of Polymer concrete with Recycling PET

조 병 완\* 서 석 구\*\* 태 기 호\*\*\* 박 승 국\*\*\*\* 류 성 희\*\*\*\*\*  
Jo, byung Wan Seo, Suk Gu Tae Gi Ho Park Seung Guk Ryu Soung Hee

### ABSTRACT

It is the real circumstance in the country that not only the data and special books but also people who have an expert knowledge are short of the field of the study about plastic wastes, so that to build the Database carrying out gathering info of that is the present question obviously. The business on recycling plastic, for some reason or other, is one of the best ways as called bright prospect industry to prevent environmental pollution and obtain economical outcome by using limited resources. Plastic wastes with construction industry especially using Polymer may have a good effect on the environment and human beings and have a fine view to produce functional and Eco-friendly concrete as well. In this study, Chemical resistance and Water Absorption test in Polymer concrete using bentonite as a shrinkage control agent was made an experiment by comparing with influence on concrete strength and used to offer some valuable data about Polymer concrete.

### 1. 서론

현재 국내에서 사용 후 버려지는 플라스틱 폐기물의 처리 및 재활용에 관한 전문서적 및 자료 그리고 해박한 지식을 가진 전문인력이 부족한 실정이며, 그러한 자료에 대한 지속적 수집과 Data Base구축 역시 해결해나가야 할 당면 과제일 것이다. 이에 폐합성수지의 재활용 사업이야말로 환경오염을 줄이며 한정된 자원을 효율적으로 이용한다는 경제성 성과를 달성하기 위한 최선의 방책중의 하나로 현재 세계적으로 각광을 받고 있는 유망산업이라 할 수 있다. 또한 이러한 연구들과 더불어 앞으로 폐합성수지, 특히 폴리머를 이용한 건설산업과의 접목은 더욱 향상된 기능성과 환경성을 가진 콘크리트로 발전이 전망되며 발전이 거듭 될수록 인류와 환경에 적지 않은 효과를 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 수축저감제를 사용한 폴리머 콘크리트의 내화학성 및 흡수율을 분석하여 강도에 미치는 영향과 비교 검토하였으며 폴리머 콘크리트관련 자료범위의 다양성을 제공하고자하였다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 박사과정; 서영기술단(주) 전문

\*\*\* 정회원, 한양대학교 박사수료

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 박사과정

\*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 석사과정

## 2. 실험

### 2.1. 실험개요

폴리머콘크리트(PC)의 물성변화인자로 첨가제의 종류와 첨가량, 충전제의 종류나 첨가량, 골재의 함수상태/조립정도 그리고 양생방법/온도조건 등이 있다. 이에 본 실험에서는 레진콘크리트로 불포화 에스테르수지와 수축저감제(MMT)를 적절히 사용 MMT변화량에 따른 강도, 내화학적 그리고 흡수율과의 관계를 규명한다. 또한 MMT를 포함하지 않은 PC와 비교 적합한 배합비를 산출하였다.

### 2.2. 사용재료

#### 2.2.1 페 PET 합성 불포화 폴리에스터 수지

페 PET 합성수지는 취급이 쉽고 경화성이 뛰어나고, 상온에서 자유롭게 경화시킬수 있으며, 특히 뛰어난 내약품성을 지니고 있다. 본 실험에 사용한 불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 C사의 제품으로서 성분은 표 1과 같다.

표 1 Properties of unsaturated Polyester resin

Specific gravity (25℃)	Viscosity (mPas)	Acid Value (mg KOH/g)	Styrene content (%)	Non Volatile Materials (%)
1.13	1300	5	37	63

#### 2.2.2. 충전제

충전제로 비중(20℃) 2.65, 치수  $2.4 \times 10^{-3}$  인 플라이애쉬를 사용 수분은 0.1%이하가 되도록 24시간 건조시켜 사용하였다.

#### 2.2.3. 골재

본 실험에서 골재는 K사의 제품을 사용하였는데 조골재는 쇄석을, 잔골재는 규사를 사용하였다. 실험에 앞서 골재의 수분은 함수량이 0.1% 이하가 되도록 건조로에서 24시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였다.

#### 2.2.4. 수축저감제(Bentonite)

벤토나이트는 화산재나 응회암에서 변질된 것으로 MMT(Monmorillonit)가 60~80%함유된 물질이다. 일반 Ca계 벤토나이트가 물과의 반응에 민감한 반면, Na계로 치환한 벤토나이트는 유기질과의 반응에서 팽윤을 보이므로, 폴리에테르수지와 반응 고려해 Na계로 치환한 벤토나이트를 사용하였다.

#### 2.2.5. 개시제(촉매)

본 실험에 사용된 C사의 수지엔 경화촉진제(옥탄산 코발트-CoOc)가 첨가되었으며, 개시제인 MEKPO (Methyle Ethyl Ketone Peroxide)를 수지의 중량에 대해 1.0%첨가하여 경화 반응하였다.

## 2.3. 실험방법

### 2.3.1. 공시체 제작

KS F 2419 (폴리에스터 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 준하여  $\phi 7.5 \times 15$ cm 크기의 공시체를 제작하여 압축강도시험을 실시하였으며 그 배합비는 표 2과 같다.

표 2 Mixture proportions of Polymer concrete (Unit: wt.%)

Series	Binder (wt.%)			Filler	MMT (벤토나이트)	Coarse agg. 5~10(mm)	Fine agg. 1.2~ (mm)
	UP	SM	MEKPO				
PF-MMT0%	59	40	1.0	11	-	37.4	40.6
PF-MMT1%				10	1		
PF-MMT2%				9	2		
PF-MMT3%				8	3		
PF-MMT5%				6	5		
PF-MMT8%				3	8		
PC-MMT0%				11	-		

(Note: F-Fly ash, C-CaCO<sub>3</sub>)

공시체는 골재, 충전재 그리고 벤토나이트를 계량하여 2분간 건비빔한 후 회석제와 촉매를 첨가하여 준비된 수지를 이용해 비빔시간을 2분으로 하여 제작하였다. 또한 진동테이블에 2분 동안 Vibrating 후 양생은 기중(상온)에서 7일간하였다.

### 2.3.2. 압축강도

ø7.5×15cm인 원주형 공시체를 사용 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 근거 실험을 실시하였다.

### 2.3.3. 내약품성

각 공시체에 대한 산성과 염기성에 대한 저항성 시험은 KSM - 3407 에 근거한 침지시험에 의한 무게변화율로 측정하였다. 각 시험액마다 3개의 시험편으로 1급시약으로 조제한 HCl 10%와 30%, NaOH 40%의 수용액에 5시간동안 침지시킨 후에 흐르는 물로 5초 동안 씻은 다음 마른 형질으로 표면의 수분을 닦아내고 무게를 측정하였다. 또한 중량변화율은 다음과 같은 계산식으로 계산하였다.

$$\frac{W_0 - W_i}{W_0} \times 100$$

여기서,  $W_0$  : 침지 전 중량 (g)

$W_i$  : 침지 후 중량 (g)

### 2.3.4. 흡수율

ASTM C413 규정에 의거 최소 6개의 공시체를 제작 탈형 후 상온에서 7일간 양생하였다. 양생 후 공시체가 완전히 잠길 때까지 플라스크에 물을 부어 Water-cooled 콘덴서를 설치, 열선으로 물을 2시간이상 끓인 후 상온 23±2℃에서 냉각 공시체표면의 물들을 모두 제거 후 무게를 1mg까지 측정할 수 있는 저울을 이용 아래와 같이 흡수율을 산정하였다.

$$A = [(W - D)/D] \times 100$$

여기서, A = 흡수율, %

W = 공시체의 포화 중량, g

D = 양생후의 공시체 중량, g

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 압축강도

그림 1은 불포화 폴리에스터 수지 그리고 충전재종류와 MMT변화량과의 관계에서 형성한 결합매트릭스에서의 강도관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 폴리머 콘크리트내의 MMT의 첨가비가 2%를 기준으로 압축강도의 증감유무가 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다. 재생 PET를 이용한 폴리머 콘크리트의 압축강도는 MMT 2%일때 870Kgf/cm<sup>2</sup>을 나타내어 가장 높았으며, MMT를 전혀 포함하지 않은 충전재인 플라이애시만을 사용한 압축강도 778Kgf/cm<sup>2</sup>보다 약 12%정도의 강도 증가를 나타내었다. 또한 MMT첨가량 3%, 5%, 8% 일때 압축강도 647Kgf/cm<sup>2</sup>, 607Kgf/cm<sup>2</sup> 그리고 362Kgf/cm<sup>2</sup>로 각각 뚜렷한 강도감소를 보였다.

Na계로 치환한 벤토나이트는 유기질과의 반응에서 팽윤을 보임으로, 양생시 건조수축으로 인한 PC 시스템의 경화응력발생을 억제하여 MMT 2%일때 강도증가와 더불어 무수축(Zero-shrinkage)을 수반한다고 보고되었다.<sup>1)</sup> MMT System에서 무수축은 사실상 어떤 경화응력을 발생시키지 않게 할 수 있음을 의미하며, 따라서 압축강도의 결과로써 보건대 위 배합비에서는 무수축화(Zero-shrinkage system)하기 위해서는 단위중량 2% 정도 첨가된 MMT가 필요하며 그보다 많은 양의 MMT는 일정 압력 하에 양생시 팽창시스템을 일으켜 오히려 강도감소를 유발할 수 있다. 또한 기존문헌<sup>1)</sup>에는 폴리머 콘크리트의 무수축계에서는 압축강도의 증가와 더불어 약 16%의 할렬인장강도 증가와, 약 30%의 휨강도 증가를 보인다고 한다.

표 3 각 공시체별 압축강도

배합명	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			
	공시체1	공시체2	공시체3	공시체4
PF-MMT0%	778	760	782	774
PF-MMT1%	873	851	864	863
PF-MMT2%	886	874	884	882
PF-MMT3%	647	645	658	650
PF-MMT5%	608	644	623	625
PF-MMT8%	363	380	401	381
PC-MMT0%	752	760	763	759

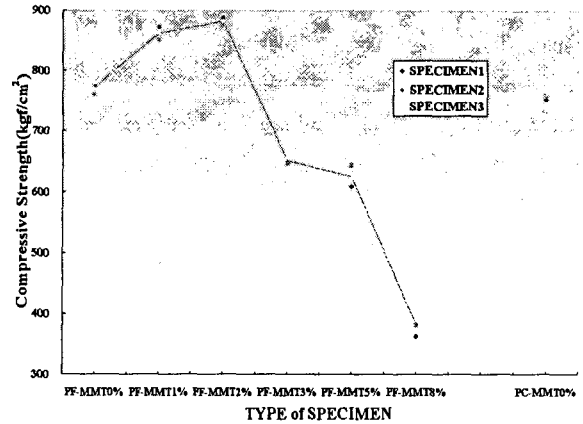


그림 4 MMT변화량에 따른 압축강도변화

#### 3.2. 내약품성

그림 2는 내약품성실험을 통해 MMT변화량에 따른 중량변화율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 본 연구에서 실시한 MMT를 첨가한 재생수지를 이용한 폴리머 콘크리트의 산성과 알칼리성에 대한 침식정도는 MMT 변화량 2%를 기준으로 증가와 감소의 변화가 뚜렷했으며, 산성10%, 30% 그리고 알칼리성40%의 농도에 각각 0.015%, 0.034% 그리고 0.012%로 각각의 중량변화를 보였다. 이는 위에서 언급한 폴리머 콘크리트의 무수축계에서 산성과 염기성에 대한 저항성 모두 강하게 나타남을 알 수 있다. 일반적인 시멘트 콘크리트는 약산에서도 쉽게 침식, 붕괴되는 단점을 지닌 반면,

본 연구에서 제조한 수축저감제를 이용한 폴리머 콘크리트에서도 단순 플라이애쉬, 중탄산칼슘을 충전제로 사용한 폴리머 콘크리트보다 내약품성이 더 우수하다는 것을 나타내주고 있다. 또한 그림 4에서 보듯이 산성과 염기성에 대한 중량변화가 클수록 강도는 약한 경향을 나타내고 있다.

### 3.3. 흡수율

그림 3에는 MMT혼입 폴리머 콘크리트의 공시체별 흡수율관계를 나타낸 것이다. MMT 첨가량이 2%가 될 때까지 흡수율은 떨어지다가 3%이상일 때 점차적으로 흡수율이 증가하는 경향을 보인다. 이는 일반 포틀랜드시멘트를 이용한 콘크리트의 그것보다 훨씬 뛰어난 값을 나타낸다. 이처럼 흡수율이 작아지는 것은 콘크리트내부에 형성된 폴리머 필름이 다수의 공극을 보호하며 또한 MMT사용으로 인해 무수축계에 도달한 폴리머콘크리트의 내부 경화용력감소로 더욱 밀실한 시스템을 형성하였기 때문으로 판단된다<sup>1)</sup>. 하지만 MMT-PC의 팽창이 무수축계를 넘어 팽창이 계속 늘어나면 이와 동시에 흡수량이 다시 증가함을 보인다. 또한 그림 5에서 강도와의 상관관계에선 흡수율이 커질수록 강도는 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

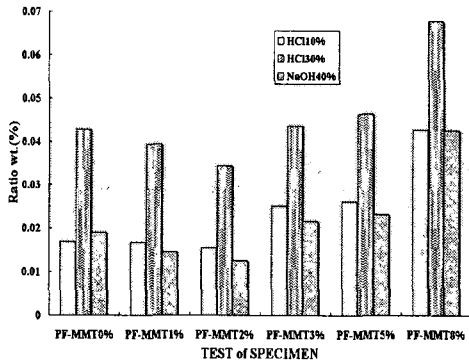


그림 5 MMT변화량에 따른 내화학성실험

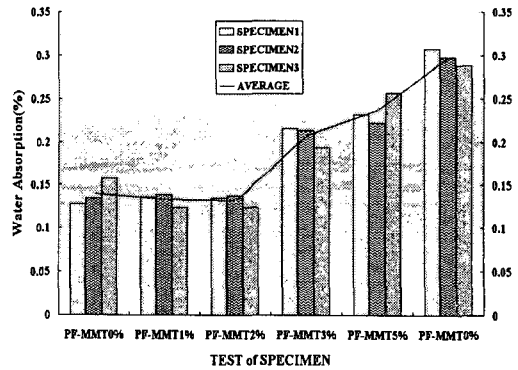


그림 6 MMT변화량에 따른 흡수율실험

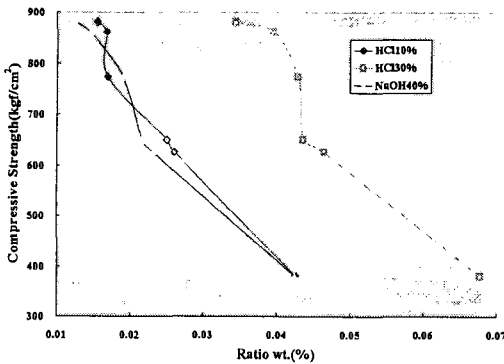


그림 7 강도와 내화학성과의 관계

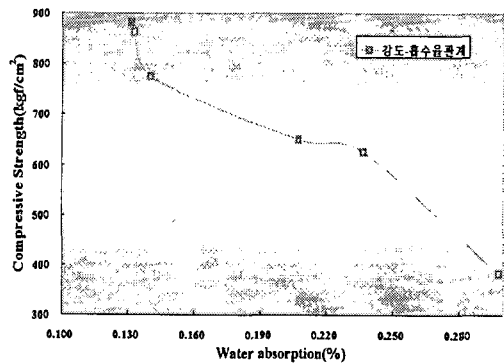


그림 8 강도와 흡수율과의 관계

#### 4. 결론

대부분의 폴리머 콘크리트의 경화반응은 포틀랜드시멘트의 수화반응과는 달리, 유기수지의 중합반응을 통한 다리결합(Crosslinking)을 통해서 일어난다. 이에 따른 폴리머시스템에서 양생간 건조수축은 프리캐스트화 된 제품에선 악영향을 일으킬 수 있는 중요요인이 될 수 있으며, 다른 부가적인 문제 또한 발생시킬 수 있기에 충분한 연구대상이 될 수 있다. 다시 말해 건조수축은 재생유기수지의 중합반응진행과정에서 폴리머속의 공유결합의 2차적인 변형이나 최고중합온도에서 대기온도로 떨어진 수지와 골재사이의 온도팽창계수의 차이에 의해 발생하며 이는 밀도의 증가를 일으켜 양생이 시작되는 동안, 수지상(相)의 부분경화수축을 발생시킨다. 또한 입자들 사이를 충분히 가둬두어 고립된 틈새에 갇힌 수지는 구속력을 받고, 이 공간 속에선 수축력은 감소되지 않고 결국 국부인장응력을 발생시키게 된다. 이는 재료내부에 미세 공극을 가져올 수 있으니 건조수축과 경화응력 모두는 결코 바람직한 것들은 아닐 것이다.

본 연구는 폴리머 콘크리트에서 수축저감제인 MMT를 적정히 사용시 MMT변화량에 따른 강도, 내화학성 그리고 흡수율과의 관계를 비교 분석하였으며 또한 MMT를 포함하지 않은 PC와 비교 적합한 배합비를 산출하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 4.1. PC시스템에서 양생이 진행되는 동안 온도변화로 인한 수지상(相)의 부분경화수축은 물체내부에 국부인장응력을 발생시키며 이는 강도, 내화학성, 그리고 흡수율에도 영향을 미친다.
- 4.2. 기존 PC배합에 MMT를 첨가한 것은 강도증가와 함께 무수축과 팽창시스템을 수반한다. 대개 PC 시스템에서는 무수축계에 이르기 위해선 MMT함유량이 2%정도 필요하다. 그보다 많은 양의 MMT는 일정 압력 하에 양생시 팽창시스템을 일으키게 된다.
- 4.3. MMT(단위중량 2%)사용으로 인해 무수축계에 도달한 폴리머콘크리트의 내부 경화응력감소는 더욱 밀실한 시스템을 갖춘 폴리머 콘크리트를 형성 산성과 염기성에 대한 저항성은 우수하고, 흡수율은 낮게 하였다.
- 4.4. 압축강도와 내화학성 및 흡수율의 비교에서 전반적인 경향은 압축강도가 커질수록 내화학성은 증가하고 흡수율은 감소하는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. Enamul Haque, "Physicochemical interactions between Montmorillonite and Polymerizing systems: Effect on Particle-Reinforced composites" RICE University, 1986.4.
2. 박홍신, 황광률, 소양섭, "불포화 폴리에스터 레진모르터의 강도특성에 미치는 충전재의 영향", 대한건축학회 학술발표논문집 제11권 제1호, p.161~165, 1995.1.
3. 연규석, 허남석, "각종 폴리머 콘크리트의 강도특성", 한국콘크리트학회 발표논문집 제1권 1호, p.1~4, 1990.5.