

# 폐플라스틱 잔골재의 대량 활용을 위한 무기충진재 충전

## Filling of inorganic fillers for mass utilization of waste plastic fine aggregates



김경민 Kyung-Min Kim  
(재)한국건설생활환경시험연구원  
건설기술연구센터 책임연구원  
E-mail : kymkim@kcl.re.kr



조영근 Young-Keun Cho  
(재)한국건설생활환경시험연구원  
건설기술연구센터 센터장  
E-mail : young@kcl.re.kr



김호규 Ho-Kyu Kim  
(재)한국건설생활환경시험연구원  
건설기술연구센터 책임연구원  
E-mail : dugy59@kcl.re.kr

### 1. 머리글

플라스틱은 뛰어난 물성과 가공성, 저렴한 가격 등으로 소비가 급증하고 있으나, 사용 후 버려지는 폐플라스틱의 재활용은 제대로 이루어지지 못하고 있다. 특히, 생활폐기물 중 폐플라스틱은 다양한 종류의 플라스틱이 혼합 배출되고 이물질이 다량 부착되어 있어, 분리, 선별 공정 및 이물질 제거 등에 비용이 증가하여 물질 재활용이 상대적으로 저조한 실정이다.

한편, 폐플라스틱의 물질 재활용 중 건설재료로의 재활용 기술은 주로 보도용 블록, 건축물의 지붕 패널, 벽체 등 외장재 제조기술이 주를 이루며, 콘크리트로의 재활용은 PET 등 비교적 양호한 품질의 폐플라스틱을 잔골재로 활용하는 등 비교적 제한적으로 이루어졌다.

이에 본 고에서는 폐플라스틱의 대량 재활용을 위한 방안 중 하나로 토목 구조물용 콘크리트에 적용하기 위하여 내부를 무기충진재로 충전한 폐플라스틱 잔골재 및 이를 적용한 모르타르 강도 영향에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 폐플라스틱 잔골재의 무기충진재 충전

#### 2.1 무기충진재 충전

일반적으로 낮은 폐플라스틱의 비중을 높이기 위하여 폐플라스틱을 무기충진재로 충전하였으며, 폐플라스틱 잔골재의 내부 무기충진재 충전은 폐플라스틱 원재료와 무기충진재를 일정 부피비로 동시에 골재 제조를 위하여 제작한 <그림 1>의 압출기에 넣고 압출성형하는 방식으로 이루어진다.

콘크리트용 잔골재 제조를 위한 폐플라스틱은 비중  $0.77 \text{ g/cm}^3$ 의 폐폴리프로필렌(Polypropylene, PP)과 비중  $0.89 \text{ g/cm}^3$ 의 폐폴리에틸렌(Polyethylene, PE)을 사용하였으며, 무기충진재는 비중이 비교적 큰 고로슬

래그 미분말 및 동슬래그 미분말을 사용하였다. 또한, 무기충진재의 충전율은 폐플라스틱 부피에 대한 무기충진재 부피의 비율로 10%, 20%, 40% 및 100%의 4수준으로 하여, 폐플라스틱 잔골재의 비중 변화 및 잔골재 제조 가능 여부에 대하여 검토하였다.

## 2.2 무기충진재 충전 결과

다음 [표 1]은 무기충진재 충전 폐플라스틱 잔골재의 비중 측정 결과를 나타낸다. 여기서, 폐플라스틱 잔골재의 비중은 수중 치환 방식의 자동 비중측정기를 사용하여 측정하였다. 동슬래그 미분말 및 고로슬래그 미분말 충전율 100%를 제외하고는 무기충진재 충전 전의 폐플라스틱 잔골재의 비중과 비교하여 무기충진재 충전으로 폐플라스틱 잔골재의 비중은 최대 14%까지 증가하는 것으로 나타났다. 반면에, 동슬래그 미분말 및 고로슬래그 미분말 충전율 100% 시에는 PE의 경우는 비중이 65%, PP의 경우 비중이 134%(동슬래그) 및 150%(고로슬래그)로 크게 증가하여, PP에 고로슬래그 미분말을 100% 충전하는 경우 비중이 가장 커지는 것으로 나타났다. 한편, 동슬래그 미분말 및 고로슬래그 미분말 충전율 100%까지 PE 및 PP에 동슬래그 미분말 및 고로슬래그 미분말을 충전하는 것이 가능함을 확인하였다. <그림 2>는 PP에 고로슬래그 미분말 충전율 100%로 충전하여 압출하여 제작한 성형품을 나타낸다.

## 3. 무기충진재 충전에 따른 모르타르 강도 영향 평가

### 3.1 실험계획

무기충진재 충전 폐플라스틱 잔골재가 모르타르 강도 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 무기충진재 충전 유무 및 폐플라스틱 잔골재 대체율에 따른 모르타르의 압축강도 및 휨강도 특성에 대하여 평가하였다.

시멘트는 KS 표준의 품질기준을 충족시키는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 5mm 이하의 콘크리트용 잔골재를 사용하였다. 한편, 무기충진재 충전 폐플라스틱 잔골재는 무기충진재의 충전 효과가 가장 컸던 고로슬래그 미분말 충전율 100% 충전 PP(비중 1.729 g/cm<sup>3</sup>)를, 무기충진재 미충진 폐플라스틱은 PP를 사용하였다.

시험변수는 무기충진재 충전 유무 및 무기충진재 충전 유무에 따른 폐플라스틱 잔골재 대체율로 폐플라스틱 잔골재의 대



그림 1. 압출장비 모습



그림 2. 고로슬래그 충전율 100% PP

[표 1] 무기충진재 충전 폐플라스틱 잔골재 비중 측정 결과

폐플라스틱	무기충진재	무기충진재 충전율* (%)	비중 (g/cm <sup>3</sup> )			
			1	2	3	평균
PE	동슬래그	100	1.396	1.519	1.480	1.465
		100	1.827	1.783	-	1.805
PP	고로슬래그	약 20	0.932	0.925	0.977	0.945
		100	1.801	1.985	1.997	1.928
		40	0.888	0.821	0.913	0.874
		20	0.807	0.841	0.827	0.825
		10	0.899	0.883	0.862	0.881

\* 충전율 : (폐플라스틱 부피 / 무기충진재 부피) x 100

체율은 모르타르 1m<sup>3</sup> 당 투입량 0 kg/m<sup>3</sup>, 200 kg/m<sup>3</sup>, 400 kg/m<sup>3</sup>, 600 kg/m<sup>3</sup>의 4수준으로 하였으며, 이에 따른 배합은 [표 2]와 같으며, <그림 3>은 배합설계에 따라 제작한 모르타르 시험체의 모르타르 타설 후 몰드를 제거한 모습을 나타낸다.

### 3.2 실험방법

모르타르 시험체의 압축강도 및 휨강도는 40×40×160mm의 각주형 공시체를 제작하여 소정의 재령까지 수중양생(20 ± 2℃)한 후, KS L ISO 679 “시멘트의 강도 시험 방법”에 준하여 최대용량 1,200 kN의 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 이용하여 휨강도 및 압축강도를 측정하였다.

### 3.3 실험결과

다음 [표 3]은 모르타르 시험체의 비중 측정결과를 나타낸다. 페플라스틱 골재의 고로슬래그 미분말 충전 여부에 상관

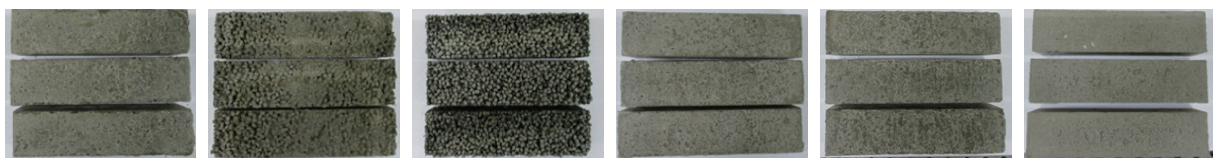
없이 페플라스틱 잔골재 투입량이 증가함에 따라, 천연골재 대비 낮은 페플라스틱 골재 비중의 영향으로 모르타르 비중이 감소하는 것으로 나타났으며, 고로슬래그 미분말 충전으로 인하여 모르타르 비중 감소는 줄어드는 것으로 나타났다.

다음 <그림 4>는 페플라스틱 잔골재 투입량 및 무기충진재 충전 유무에 따른 재령별 모르타르 압축강도 평가결과를 나타낸다. 페플라스틱 잔골재의 고로슬래그 미분말 충전 여부와 상관없이 페플라스틱 잔골재의 투입량이 증가할수록 모르타르의 7일 및 28일 압축강도는 페플라스틱 잔골재를 투입하지 않은 Plain 시험체 대비 감소하는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말 충전 페플라스틱 잔골재를 투입한 모르타르의 경우, 고로슬래그 미분말 미충진 페플라스틱 잔골재를 투입한 모르타르와 비교하여 동일한 페플라스틱 잔골재 투입 수준에서, 7일 및 28일 압축강도 모두 페플라스틱 잔골재 투입에 따른 강도 저하가 작은 것으로 나타났다. 이는 페플라스틱 잔골재의 고로슬래그 미분말 충전으로 증가한 비중에 따라 실제 모르타르에 투입된 페플라스틱 잔골재의 양이 감소하였기 때문으로 판단된다. 특히, 고로슬래그 미분말 충전 페플라

[표 2] 모르타르 배합설계

배합명	W/C (wt.%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Fine aggregate (kg/m <sup>3</sup> )		Slag filling
				Sand	PP	
Plain	50	225	450	1455.4	-	-
PP_200	41	184.2		800.4	201.7	-
PP_400	36	161.9		160.1	398.9	-
PP_600	45	94.0		0.0	600.6	-
PP_Slag_200	41	184.2		1164.3	200.3	○
PP_Slag_400	37	166.9		873.2	400.5	○
PP_Slag_600	37	164.8		582.1	600.8	○



(a) PP\_200

(b) PP\_400

(c) PP\_600

(d) PP\_Slag\_200

(e) PP\_Slag\_400

(f) PP\_Slag\_600

그림 3. 탈형 후 모르타르 시험체 모습

[표 3] 모르타르의 비중

배합명	모르타르 비중 (g/cm <sup>3</sup> )
Plain	2.260
PP_200	1.900
PP_400	1.406
PP_600	1.020
PP_Slag_200	2.179
PP_Slag_400	2.093
PP_Slag_600	1.979

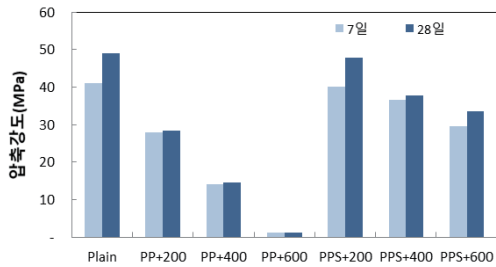


그림 4. 페플라스틱 잔골재의 투입량 및 무기충진재 충전 유무에 따른 재령별 압축강도

스틱 잔골재를 투입한 모르타르 시험체의 28일 압축강도는 모두 30 MPa 이상이며, 페플라스틱 잔골재 200 kg/m<sup>3</sup> 투입 모르타르의 28일 압축강도는 Plain 시험체 압축강도의 95 % 수준인 것으로 나타났다.

다음 <그림 5>는 페플라스틱 잔골재 투입량 및 무기충진재 충전 유무에 따른 재령별 모르타르의 휨강도 평가결과를 나타낸다. 고로슬래그 미분말 미충진 페플라스틱 잔골재를 투입한 모르타르의 경우, 페플라스틱 잔골재의 투입량이 증가함에 따라 페플라스틱 잔골재를 투입하지 않은 Plain 시험체 대비 7일 및 28일 휨강도가 모두 감소하는 것으로 나타났다. 반면에, 고로슬래그 미분말 충전 페플라스틱 잔골재 투입 모르타르의 경우, 페플라스틱 잔골재를 투입하지 않은 Plain 시험체 대비 7일 및 28일 휨강도가 전반적으로 감소하는 것으로 나타났으나, 페플라스틱 잔골재 투입 수준에 따른 강도 저하 경향은 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

한편, 동일한 페플라스틱 잔골재 투입 수준에서, 고로슬래그 미분말 충전 페플라스틱 잔골재를 투입한 모르타르의 휨강도가 7일 및 28일 모두 고로슬래그 미분말 미충진 페플라스틱 잔

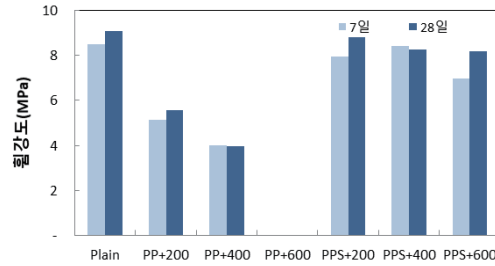


그림 5. 페플라스틱 잔골재의 투입량 및 무기충진재 충전 유무에 따른 재령별 휨강도

골재 투입 모르타르의 휨강도보다 우수한 강도 특성을 발현하는 것으로 나타났으며, 이는 압축강도와 마찬가지로 페플라스틱 잔골재의 고로슬래그 미분말 충전으로 증가한 비중의 영향으로 실제 모르타르에 투입된 페플라스틱 잔골재의 양이 감소하였기 때문으로 판단된다. 특히, 고로슬래그 미분말 충전 페플라스틱 잔골재를 투입한 모르타르 시험체의 28일 휨강도는 Plain 시험체 휨강도의 89~101 %로 우수한 것으로 나타났다.

#### 4. 맺음말

플라스틱은 뛰어난 물성과 가공성, 저렴한 가격 등으로 소비가 급증하고 있으나, 사용 후 버려지는 페플라스틱의 재활용은 제대로 이루어지지 못하고 있다. 이에 페플라스틱의 대량 재활용을 위한 방안 중 하나로 토목 구조물용 콘크리트에 적용하기 위하여 내부를 무기충진재로 충전한 페플라스틱 잔골재를 제조하고, 이에 따른 모르타르 강도 영향에 대하여 평가하였다.

무기충진재는 페플라스틱 부피 비 100 %까지 충진이 가능하였으며, 충전율 100 % 충전으로 페플라스틱의 비중은 150 % 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 무기충진재 충전 페플라스틱 잔골재 투입 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 무기충진재 미충진 페플라스틱 잔골재 투입 모르타르의 압축강도 및 휨강도 대비 큰 것으로 나타나, 페플라스틱 잔골재 투입에 따른 모르타르의 압축강도 및 휨강도 저하 정도를 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다.

담당 편집위원 : 박병선(고려대학교)