

폐유리 미분말을 혼입한 모르타르의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Mortar with Powdered Waste Glasses

김 호 수* 백 철 우* 박 조 범* 전 준 영* 류 득 현**
Kim, Ho Soo Baik, Chul-Woo Park, Cho-Bum Jeun, Jun Young Ryu, Deuk Hyun

ABSTRACT

At the present time, as part of the movement of natural resource conservation, there have been doing many recycling research works for wasted concrete, etc.

In this study, we carried out an experiment for using crushed waste glass as a binder. It dealt with comparative analysis of the engineering properties of mortar containing crushed waste glass through a physical experiment. The experimental variables are the crushed waste glass powder substitution ratio(C-type : 0~25%, B-type : 0~50%, F-type : 0~100%).

According to this study, As the substitute of waste glass powder increases, air content and unit weight, the compressive strength decreases exactly proportion to the substitute ratio of waste glass powder. if, when waste glass is substituted as the binder, it is necessary to use an admixture.

1. 서 론

지속적인 경제개발정책을 통해 산업이 급속히 발전함에 따라 사회전반적인 면에서 많은 발전을 이루어 왔으며, 산업발전과 더불어 도시화와 산업화에 따른 폐유리의 발생량이 점차적으로 증가되는 추세이다. 이러한 폐유리는 폐유리병을 제외하고는 재활용이 현실적으로 거의 이루어지지 않고 있으며 매립 등으로 인하여 환경문제를 유발시키고 있어 폐유리의 처리 및 재활용에 관한 연구개발이 절실히 필요한 실정이다.

폐유리는 그 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO_2) 성분으로, 시멘트와의 반응시 포졸란 작용 및 기타 충전재의 역할을 하기 때문에 폐유리를 콘크리트 품질 개선을 위한 환경 친화적 혼화재로서 활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 학계에서 일부 발표되었으나, 현재 건설 혼화재료로서는 사용되지 않고 있다.¹⁾²⁾

따라서 본 연구에서는 산업폐기물의 하나인 폐유리를 유효하게 재활용하기 위한 방안을 모색하기 위하여 콘크리트 적용실험에 앞서 모르타르 제조시 결합재(Binder)의 일부 또는 전체로 혼입하여 대체율에 따른 기초물성을 검토하여 그 활용 가능성에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

*정회원, 유진기업(주) 기술연구소, 연구원

**정회원, 유진기업(주) 기술연구소, 소장

2. 실험개요

2.1 실험계획 및 사용배합

본 연구의 실험계획을 표 1, 모르타르 기본배합을 표 2에 나타내었다.

실험항목으로는 시멘트, 고로슬래그 미분말(이하 BFS), 플라이애시(이하 FA), 폐유리미분말(이하 WGP)의 밀도, 분말도, 강열감량, 45 μ m 체 잔분량을 검토하고, WGP의 화학적 성분 분석을 실시하였다. 모르타르의 균지않은 성상으로 플로우 및 공기량을 측정하고, 경화성상으로는 재령 3, 7, 28일의 압축강도 및 재령 28일에서의 단위용적질량 및 휨강도를 비교·분석하였다.

재료의 배합은 KS L 5105(수경성시멘트 모르타르 압축강도 시험방법), KS F 2563(콘크리트용 고로슬래그 미분말), KS L 5405(플라이애시)에 준하여 WGP 대체율을 C-type은 시멘트대체 (0, 5, 10, 15, 20, 25%), B-type에서는 BFS대체 (0, 10, 20, 30, 40, 50%), F-type의 경우 FA대체 (0, 20, 40, 60, 80, 100%)로 설정하여 총 17수준의 모르타르 배합에 대한 발현특성을 검토하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료의 기초물성을 표 3 및 화학적 성분 분석을 표 4에 나타내었다.

시멘트는 D사 1종 보통포틀랜드 시멘트, BFS는 인천소재 K사의 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, FA는 영흥화력발전소의 2종 플라이애시를 사용하였다. WGP는 경기도 파주 소재 L사의 제조과정 중에 발생한 폐유리를 분쇄하여 사용하였다.

시멘트의 주성분은 산화칼슘(CaO)이 주 성분인데 비해 폐유리의 주성분은 실리카(SiO₂) 성분으로 구성되어 있는 것을 확인할 수 있다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법은 모르타르의 성능 검토를 위해 C-type, B-type, F-type에서 각 type별 시멘트, BFS, FA에 대한 WGP의 대체율을 질량대체로 적용하였다.

모르타르 제조직후 플로우 및 공기량을 검토하고, 압축강도 및 휨강도용 모르타르는 습윤양생장치에서 24시간 양생후 탈형하여 23 \pm 2 $^{\circ}$ C의 양생수조에서 표준양생을 실시하였으며, 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 측정하고, 재령 28일에서의 단위용적질량 및 휨강도를 비교·분석하였다.

표 1. 실험계획

실험 요인	WGP 대체율 (%)	C-type	0, 5, 10, 15, 20
		B-type	0, 10, 20, 30, 40, 50
		F-type	0, 20, 40, 60, 80, 100
실험 항목	물리 화학적 성질	Cement BFS FA WGP	밀도, 분말도, 강열감량, 45 μ m체잔분, 화학적 성분 분석
	균지않은 성상	플로우, 공기량	
	경화 성상	압축강도 (재령 3, 7, 28일) 단위용적질량, 휨강도 (재령 28일)	

주) BFS : 고로 슬래그 미분말, FA : 플라이애시, WGP : 폐유리 미분말

표 2. 모르타르 기본배합

구분		시멘트	BFS (FA)	표준사	물
C-type	CP	760	-	1862	368.6
	BP	760	-	1900	380.0
B-type	BG0	380	380	1900	380.0
	FP	760	-	1862	368.6
F-type	FG0	570	190	1862	368.6

표 3. 사용 재료의 기초물성

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	강열감량 (%)	45 μ m 체잔분 (%)
시멘트	3.15	3,331	2.09	7.47
BFS	2.90	4,508	0.06	1.7
FA	2.2	3,281	4.73	14.4
WGP	2.47	3,162	-	21.8

표 4. 화학적 성분 분석 결과

성분 종류	화학적 성분 (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
시멘트	20.36	4.9	3.37	61.91	3.8	2.27	0.09	1.13
BFS	33.40	14.52	2.38	42.54	6.12	1.46	0.16	0.38
FA	63.3	18.19	3.54	8.05	1.00	0.05	0.36	0.64
WGP	72.9	1.09	0.221	14.9	2.79	0.411	6.9	0.411

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 물성 검토

(1) 플로우 및 공기량

표 5 굳지않은 모르타르의 물성 측정 결과

구분 항목	C-type						B-type								F-type					
	CP	CG 5	CG 10	CG 15	CG 20	CG 25	BP	BG 0	BG 10	BG 20	BG 30	BG 40	BG 50	FP	FG 0	FG 20	FG 40	FG 60	FG 80	FG 100
플로우값비 (%)	68.5	72.8	76.9	76.0	75.5	75.8	62.0	72.7	67.5	72.1	69.4	78.0	78.0	58.9	64.8	63.9	63.0	66.0	61.5	65.8
공기량 (%)	8.4	8.2	7.9	7.7	7.5	7.2	9.2	7.6	7.3	7.1	6.9	6.8	6.6	8.5	6.6	6.7	6.9	7.0	7.1	7.2

주) CP : C-type Plain, CG10 : C-type WGP 대체율 10%

표 5에 굳지않은 모르타르의 플로우값비 및 공기량 측정 결과를 나타내었다.

플로우값비는 전체적으로 Plain에 비해 WGP의 대체율이 증가 할수록 늘어나는 결과를 보였다. 이와 같은 경향은 폐유리 미분말이 초기 물과의 접촉저항 및 파쇄된 입자의 형상이 원형에 가까우므로 대체율 증가에 따라 플로우값비가 증가된 것으로 판단된다.

공기량의 변화는 WGP의 대체율이 증가할수록 감소하였다. 이는 WGP의 공극충전효과 때문인 것으로 사료된다.

3.2 경화 모르타르의 물성 검토

(1) 단위용적질량

그림 1에 재령 28일에서 측정한 단위용적질량을 나타내었다.

C-type에서 Plain에 비해 WGP를 대체한 경우 대체율이 증가할수록 단위용적질량은 감소하였다. 이는 WGP의 밀도가 시멘트의 밀도에 비해 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다. B-type 및 F-type에서의 단위용적질량의 변화는 Plain에 비해 BFS 및 FA를 WGP로 전량 대체한 BG50, FG100을 제외한 배합에서는 다소 높은 결과를 보이고 있으나, C-type에서와 같이 WGP의 대체율이 증가할수록 단위용적질량은 감소하는 경향을 나타내었다.

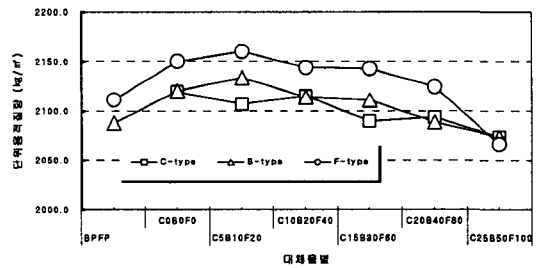
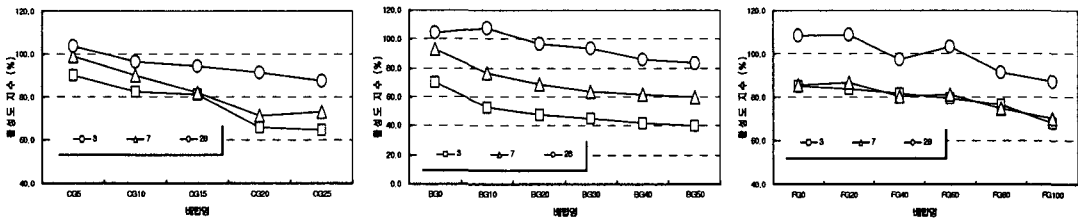


그림 1. 단위용적질량

(2) 압축강도 및 휨강도

압축강도 시험결과는 그림 2에 Plain대비 압축강도 발현율(이하 활성화지수)로 나타내 보았다



a) C-type

b) B-type

c) F-type

그림 2. WGP 대체율에 따른 재령별 활성화지수

전체적인 경향은 WGP로 일부 또는 전체 대체한 모르타르의 압축강도는 대체율이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있었다. type별로 활성도지수의 특성을 분석해 보면 C-type의 경우 WGP를 대체할 경우 재령 28일에서 CG25를 제외하고 90%이상의 활성도지수를 보이고 있으며, 특히 CG5의 경우 103.9%로 양호한 결과를 보였다. B-type의 활성도지수는 KS F 2563의 규정에 따르면 재령7일에서 55%이상, 28일에서 75%이상을 규정하고 있는데, B-type의 경우 모든 배합에서 KS규정 범위를 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 특히 장기재령으로 갈수록 발현성능은 뚜렷하게 향상되는 결과를 보이고 있다. F-type에서는 KS L 5405의 플라이애시 2종의 규정에 따르면, 재령 28일에서의 활성도지수는 80이상으로 규정하고 있으며, F-type 또한 모든 배합에서 KS규정 범위를 만족시키는 것으로 나타났다. 이와같은 활성도지수 측정결과를 종합해 볼 때 WGP의 적정 혼입율은 대체율에 따라 100%이상의 활성도지수로 발현성능 개선효과를 보이는 C-type 5%, B-type 10%, F-type 20%를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되며, 특히 초기재령에서의 활성도지수를 감안한 장기재령에서의 발현성능 증진을 고려한다면 C-type보다는 혼화제를 사용한 B-type 및 F-type이 적합할 것으로 사료된다.

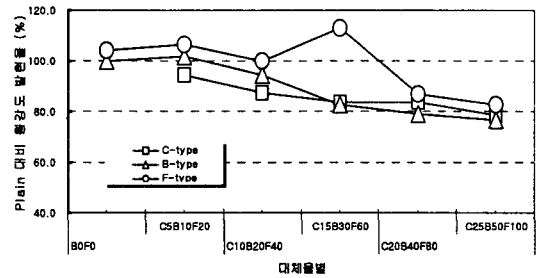


그림 3. 재령28일 Plain대비 휨강도 발현율

그림 3에 재령 28일의 Plain대비 휨강도 발현율을 나타내었다. 앞서 활성도지수와 같이 전체적인 경향은 WGP 대체율이 증가할수록 발현성능은 저하하는 것으로 나타났다. 재령 28일에서의 휨강도는 압축강도의 약 1/8정도의 결과를 보였으며, WGP를 적정 혼입할 경우 모르타르의 휨강도 개선에 기여하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 폐유리 미분말을 혼입한 모르타르의 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험에 사용된 폐유리 미분말은 시멘트, BFS, FA에 비해 45 μ m체 잔분량이 높으며, 화학적 성분 분석 결과 주성분은 실리카 성분으로 구성되어 있다.
- 2) 모르타르 플로우는 Plain에 비해 폐유리 미분말을 혼입한 경우 대체율이 높을수록 증가하였으며, 공기량은 폐유리 미분말에 의한 공극충진효과로 인해 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 단위용적질량은 폐유리 미분말을 대체한 경우 대체율이 증가할수록 감소하는 결과를 보였다.
- 4) 압축강도 측정결과 재령이 경과 할수록 C-type보다는 B-type 및 F-type이 발현성능이 우수하였으며, 이에 따른 적정혼입율은 B-type 10%, F-type 20%가 본 연구결과 적정수준으로 판단된다.

참고문헌

1. 서동훈, "폐유리 분말을 이용한 콘크리트 제품의 성능 분석에 관한 실험적 연구", 2002년 봄 학술 발표회 논문집, pp. 329~334.
2. 김연산, "폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 2000년 석사학위논문
3. 박승범, "폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 역학적 특성", 한국콘크리트학회논문집, 제 14 권 6호, pp.1032-1039, 2002.
4. Shao, Y. X., et al., "Studies on Concrete Containing Ground Waste Glass", Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.91~100.