

# 폐유리 분말을 이용한 콘크리트 제품 개발

## Development of Concrete Materials Using Powdered Waste Glasses

서 동 훈\*      김 광 기\*      조 상 영\*\*      박 선 길\*\*      박 병 근\*\*      정 상 진\*\*\*  
Seo, Dong Hoon   Kim, Kwang Ki   Cho, Sang Young   Park, Sun Gil   Park, Byung Kuen   Jung, Sang Jin

### ABSTRACT

The present age, it has been often reported that recycling of wasted glasses should be a great topic in related business circles. For the enviromental reasons, a public institution are looking for the ways of recycling these waste glasses.

Consequently, the purpose of this research is to recycle crushed and powdered waste glasses by substituting for the cement in mortar and concrete. First of all, the optimum replacement ratio of Powdered Waste Glasses(PWG) can be obtained from the pilot test results. Secondary, we make advances in recycling of waste glasses as recycled to make secondary concrete products.

So, we manufactured concrete brick and block contained powdered waste glasses by through mortar pilot test.

### 1. 서론

최근 도시화와 산업화에 따른 폐유리 발생량은 1999년에 1,439천톤에서 2001년에는 1,585천톤으로 계속 증가추세에 있어 사회문제 및 환경문제를 일으키고 있다. 국외의 경우는 알코올 음료, 청량음료 등의 병류는 대부분 공병으로 회수되고 세정하여 재이용하는 병회수 방식이 정착되어 있고 깨진 병, 약 품병 등도 파쇄, 용융시켜 재사용하거나 도로포장재, 벽돌·블록원료, 유리식기류, 조명등유리 등으로 재활용하고 있다. 국내의 경우 폐유리병은 수집, 1차 가공(Cullet화)된 후, 대부분이 신병 제조공장에서 원료로 재활용되고 있으나 그 양이 미비한 실정으로, 선진국에 비해 폐유리의 타용도로의 활용기술이 전반적으로 상당히 미흡한 실정이다. 국내 폐유리 재활용율은 64.5%정도로 연간 총 669천톤의 유리가 미활용되고 있다. 그러므로 다양한 용도로의 폐유리를 이용한 제품의 실용화 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 치환하여 폐유리를 더욱 경제적이고 합리

\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

적으로 재활용 할 수 있는 방안을 모색하였다. 기존의 연구동향들을 살펴보면 기초실험에 의한 폐유리 재활용 연구가 많이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 폐유리의 재활용 가능성을 분석하여 2차제품 개발을 위한 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 기초적 실험연구를 수행하였고, 한단계 더 나아가 기초 실험 결과를 토대로 하여 콘크리트 2차 제품인 벽돌과 블록에 폐유리를 적용하는 실험을 수행하여 폐유리 재활용에 대한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 모르터 실험

### 2.1 사용재료

- (1)시멘트 : 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트
- (2)잔골재 : 강모래, 비중 2.59, 조립률 2.88인 춘천산으로 최대크기를 5mm이하로 입도 조정함.
- (3)물 : 상수도수
- (4)폐유리 분말: 폐유리 미분말, 비중 2.84, 국내 J사에서 공급된 폐유리 분쇄물(평균입경 20 $\mu$ m)을 사용

표 1 폐유리의 물리적 특성

특성치	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	평균입경	비표면적	입자형상	강도기여기간
유리	70%	2%	20 $\mu$ m	3000cm <sup>2</sup> /g	과형(구형)	3일이후

### 2.2 배합

모르터 시험체를 제작하기 위해 표 2에서 보는 것처럼 국내 J사에서 분쇄 제작한 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 0, 5, 10, 15%로 치환하여 배합을 계획하였다.

표 2 폐유리를 치환한 시멘트 모르터의 배합 사항

물시멘트비 (%)	치환율 (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )			
		물(kg)	시멘트(kg)	폐유리(kg)	잔골재(kg)
40	0%	281	702	0	1146
	5%	281	667	35	1143
	10%	281	632	70	1140
	15%	281	597	105	1137
50	0%	351	702	0	965
	5%	351	667	35	962
	10%	351	632	70	959
	15%	351	597	105	955

### 2.3 실험방법

물시멘트비의 변화 및 폐유리 분말의 치환률 변화에 따른 모르터의 성상을 파악하고자 플로우 시험, 압축강도, 휨강도를 측정하였다. 폐유리 분말의 적정 치환률 평가를 위해 시멘트 중량에 대해 폐유리 분말을 0, 5, 10, 15%로 치환한 시험체(40×40×160mm)를 제작하여 시험하였다. 압축강도와 휨강도 시험은 KS L 5109를 기준에 따라 실시하였다. 각 시험체의 재령은 7, 14, 28일로 하였다.

### 2.4 실험결과 및 고찰

#### (1) 폐유리 분말을 치환한 모르터의 플로우 실험

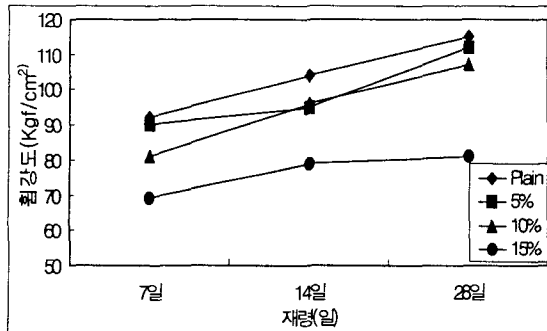
폐유리 분말을 치환한 모르터의 물성을 검토하기 위한 실험으로, 플로우 시험결과 폐유리 치환률과 관계없이 물시멘트비 40%와 50%일때 각각 24cm, 25cm로 나타나 유동성에는 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

표 3 페유리 치환 모르터 플로우 시험결과  
(물시멘트비 40%)

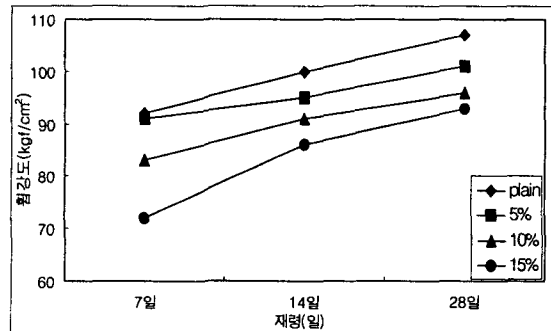
W/C(40%)	plain	5% 치환	10% 치환	15% 치환
플로우치(mm)	230	240	240	240

(물시멘트비 50%)

W/C(50%)	plain	5% 치환	10% 치환	15% 치환
플로우치(mm)	240	250	240	250

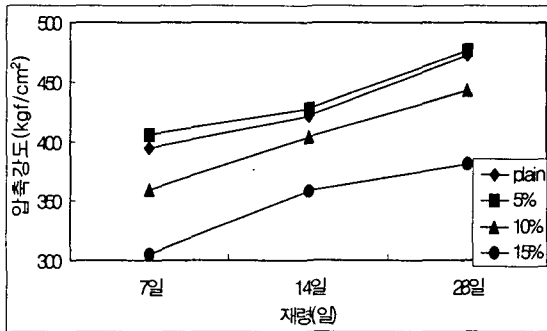


(a) 물시멘트비 40%

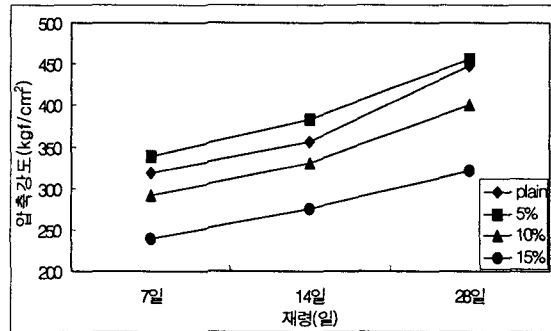


(b) 물시멘트비 50%

그림 1 페유리 첨가 모르터의 휨강도



(a) 물시멘트비 40%



(b) 물시멘트비 50%

그림 2 페유리 첨가 모르터의 압축강도

(2) 페유리 분말을 치환한 모르터의 강도 실험

그림 1은 재령 28일까지의 물시멘트비별 페유리 분말 치환률에 따른 휨강도의 변화를 나타낸 것으로 페유리의 치환률이 5~15%로 증가됨에 따라 휨강도는 5~30%가량 감소되었다. 모르터 기초 실험에 의한 압축강도 시험결과, 물시멘트비 40, 50% 모두에서 페유리 분말 치환률이 5%일때가 전체적으로 plain상태보다는 강도발현이 우수하게 나타났다. 이는 유리의 높은 취성으로 인해 분쇄과정시 입자형태가 거의 원형에 가까워지기 때문에 페유리 분말의 작업성이 기존 모르터보다 다소 유리해져 콘크리트의 밀실성이 우수해졌기 때문으로 사료된다. 페유리 분말 치환률이 10, 15%로 증가함에 비해 압축강도는 7~30%정도 감소되는 경향을 보였는데, 이는 페유리의 치환률이 증가할수록 페유리 분말의 표면과 시멘트 페이스트간의 부착력이 감소하기 때문으로 사료된다.

### 3. 콘크리트 벽돌 및 블록 실험

#### 3.1 사용재료

- (1)시멘트 : 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트
- (2)잔골재 : 강모래, 비중 2.59, 조립률 2.88인 춘천산으로 최대크기를 5mm이하로 입도 조정함.
- (3)물 : 상수도수
- (4)폐유리 분말: 폐유리 미분말, 비중 2.84, 국내 J사에서 공급된 폐유리 분쇄물(평균입경 20 $\mu$ m)을 사용
- (5)석분 : 콘크리트용 부순 잔골재, 비중 2.59

#### 3.2 콘크리트 벽돌 및 블록 실험계획

##### (1) 콘크리트 벽돌 실험계획

국내 K사에서 사용하는 B형 콘크리트 벽돌(190×90×57mm)의 작업표준 배합과 예비실험을 통한 결과를 고려하여 배합계획을 하였다. K사에서 실시하는 1믹서당 투입되는 재료의 양을 조정하여 단위체 적당 투입되는 중량배합표로 환산해 적용하였다. 물시멘트비를 각각 80, 60, 50%로 변환하여 각각의 압축강도와 흡수율을 KS F 4004에 따라 측정하였다. 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 5, 10, 15, 20%로 치환한 콘크리트 벽돌의 압축강도와 흡수율을 검토하였다.

표 4 콘크리트 벽돌 배합사항

(단위 : kg)

W/C(%)	치환률	시멘트	폐유리	잔골재	석분	물
80	0%	240	0	888	888	192
	5%	228	12	887	887	192
	10%	216	24	886	886	192
	15%	204	36	885	885	192
	20%	192	48	884	884	192
60	0%	240	0	950	950	144
	5%	228	12	949	949	144
	10%	216	24	948	948	144
	15%	204	36	947	947	144
	20%	192	48	946	946	144
50	0%	240	0	981	981	120
	5%	228	12	980	980	120
	10%	216	24	979	979	120
	15%	204	36	978	978	120
	20%	192	48	976	976	120

표 5 콘크리트 블록 배합사항

(단위 : kg)

W/C(%)	치환율	시멘트	폐유리	잔골재	석분	물
53	0%	287	0	961	961	154
	5%	272.7	14.3	960	960	154
	10%	258.3	28.7	959	959	154
	20%	229.6	57.4	958	958	154
	30%	200.9	86.1	957	957	154

##### (2) 콘크리트 블록 실험계획

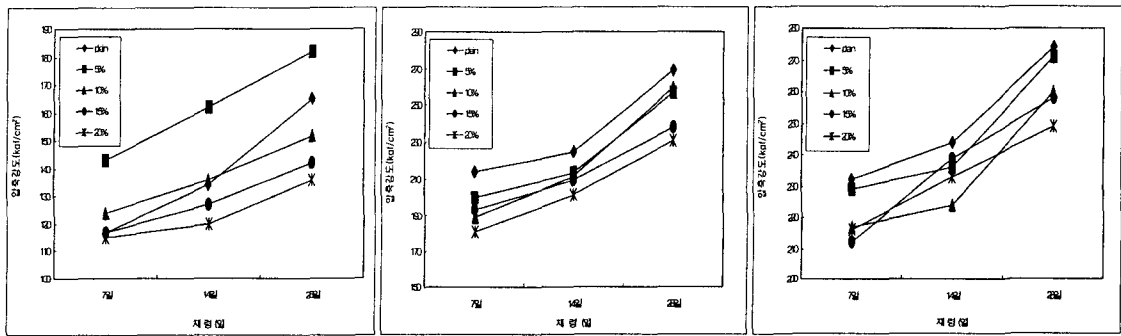
폐유리 분말 치환율에 따른 콘크리트 블록의 성상을 파악하기 위해 KS F 4002의 규정하에 실험을

실시하였다. 국내 K사의 A종 콘크리트 블록(390×190×100mm)의 작업표준배합과 예비실험을 통한 결과를 고려하여 배합계획을 하였다. 여기에서는 물시멘트비를 53%로 하여 압축강도와 흡수율을 측정하였다. 또한 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 5, 10, 20, 30%로 치환하여 그 결과를 검토하였다.

### 3.3 실험결과 및 고찰

#### (1) 콘크리트 벽돌 및 블록 압축강도 시험결과

본 실험은 물시멘트비 80, 60, 50%에 대해 실험을 실시하였다. 그림 3의 (a)에 나타나 있는 압축강도 결과를 보면 폐유리 분말 치환율 5%에서 재령 28일 때 182kgf/cm<sup>2</sup>의 높은 압축강도를 보였다. 그림 (b)와(c)에서 보면 물시멘트비를 60%, 50%로 실험한 경우 plain상태의 경우가 가장 좋은 압축강도를 나타냈다. KS F 4002에 나와있는 압축강도 규정이 80kgf/cm<sup>2</sup>이상이고 실제 공장생산되는 기존 콘크리트 벽돌이 통상적으로 110~160kgf/cm<sup>2</sup>정도의 압축강도값을 나타내고 있는 것을 종합해서 분석한 결과 본 실험에서 측정된 최적의 물시멘트비는 80%이며 적절한 폐유리 분말의 치환율은 5%로 판단된다.

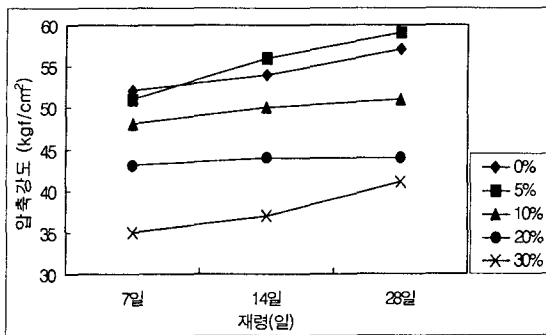


(a) 물시멘트비 80%

(b) 물시멘트비 60%

(c) 물시멘트비 50%

그림 3 폐유리 치환에 따른 콘크리트 벽돌의 압축강도



(a) 물시멘트비 53%

그림 4 폐유리를 치환한 콘크리트 블록의 압축강도

콘크리트 블록의 경우, 재령경과에 따른 7일 압축강도 측정시에는 plain상태일 때 52kgf/cm<sup>2</sup>로 강도면에서 가장 우수하였지만 재령 28일에는 폐유리 분말을 5%치환한 블록시험체가 59kgf/cm<sup>2</sup>로 큰 강도를 나타내었다. 그렇지만 치환율 20%까지도 KS압축강도 규정에 나타나 있는 40kgf/cm<sup>2</sup>이상의 강도를 만족하는 것으로 나타났다. 치환율 5%일 때 기존 콘크리트 블록에 비하여 폐유리 콘크리트 블록의 압축강도가 높게 나타나는 이유는 미립분인 폐유리가 골재와 골재사이의 공극을 밀실하게 채워주고 있기 때문이라 사료된다.(그림 4)

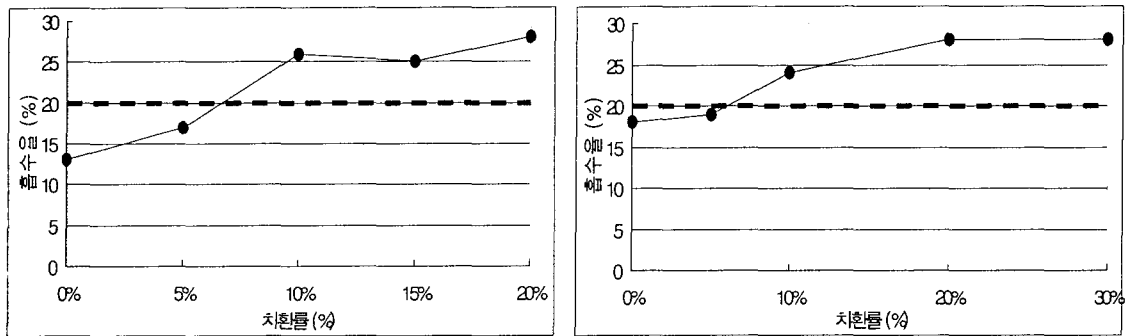
#### (2) 콘크리트 벽돌 및 블록의 흡수율 시험결과

실험 결과 콘크리트 벽돌의 흡수율은 14~28%의 범위를 보이고 있으며, 폐유리를 함유한 콘크리트 블록의 경우에는 18%~29%대의 수준을 보이고 있는 것으로 나타났다. 흡수율 결과를 보면 폐유리를 함유한 콘크리트 벽돌이 plain상태의 벽돌보다는 높은 흡수율을 보이고 있어 흡수율면에서는 다소 불리한 상태로 결과가 나왔다(그림 5 (a)). 하지만

폐유리 분말을 5% 함유한 콘크리트 벽돌은 흡수율이 20%이하를 유지하므로 유리한 흡수율을 보였다.

콘크리트 블록의 흡수율도 콘크리트 벽돌의 흡수율과 마찬가지로 폐유리 분말을 10%이상 치환했을 때는 KS F 4002에 나와있는 흡수율 20%이하의 규정을 벗어나는 것으로 측정되었다.(그림 5 (b))

흡수율면에서 일반 기준 콘크리트 벽돌과 블록보다 폐유리 첨가 콘크리트 벽돌, 블록이 높은 흡수율을 보이는 이유는 콘크리트 벽돌에 포함된 폐유리 분말의 미립분 입자가 다공의 공극으로 작용하기 때문이라고 할수 있으며 이는 폐유리 분말의 미세한 입자가 고루 분포되어 연속된 공극으로 작용함으로써 치환률이 증가할수록 흡수량이 커지게 만드는 원인이라고 사료된다.



(a) 콘크리트 벽돌 (물시멘트비 80%)

(b) 콘크리트 블록 (물시멘트비 53%)

그림 5 흡수율 시험결과

#### 4. 결론

본 연구에서는 폐기물의 재활용 기술개발 방안의 하나로서 폐유리 재활용 구축을 위해 폐유리를 사용한 콘크리트 2차제품 중 콘크리트 벽돌과 블록에 활용하는 기술적 방안과 성능평가 시험결과를 제시하고자 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 폐유리분말을 치환한 시멘트 모르타 시험결과 유동성은 적정선을 유지하는 것으로 분석되었으며 휨강도는 plain상태가, 압축강도 측정시에는 폐유리 분말을 5%치환하였을 때가 가장 우수했다.

(2) 콘크리트 벽돌과 블록시험결과 plain상태일 때의 강도가 가장 우수했지만, 기준 강도를 만족시키는 치환율면에서 본다면 폐유리 분말을 20%까지 첨가해도 기준 규정 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 향후, 시멘트 기와와 보차도용 인터록킹 블록등 다방면에 걸친 폐유리 분말의 적용 가능성 실험을 실시하여 진행할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 손종규 외 4인 "페타이어 분말을 혼입한 고강도 철도침목의 실용화 연구" 대한건축학회 봄 학술 발표회 논문, 제17권 1호, 1997, 4, pp.651~654.
2. 정영수 외 2인 "재생유리를 혼입한 모르타의 특성에 관한 실험적 연구" 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 10권 2호, 1998, 11, pp.36~41.
3. Kumar Mehta P., Monteiro Paulo J.M "CONCRETE" Prentice Hall, 1993. pp.209~212.
4. 도정윤 외 4인 "폐유리를 골재로 사용한 불포화 폴리에스테르(UP)모르타르의 강도와 내산성에 관한 연구" 대한건축학회 봄 학술발표회논문집, 제 20권 1호, 2000, 4, pp.351~354.
5. 김홍열 외 3인 "재생골재를 사용한 보차도용 인터록킹블록의 제조와 성능구명에 관한 연구" 대한건축학회 논문, 제13권 3호, 1997, 3, pp.335~341.