

폐유리 분말을 이용한 콘크리트 제품의 성능 분석에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Testing of Performance for Concrete Materials Using Powdered Waste Glasses(PWG)

서 동 훈* 김 상 미* 박 재 한* 강 태 경** 박 선 길** 정 상 진***

Seo, Dong Hun Kim, Sang Mi Park, Jae Han Kang, Tae Kyung Park, Sun Gil 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.

First of all, the purpose of this research is to recycle crushed and powdered waste glasses by substituting for the cement in mortar and concrete. the optimum replacement ratio of Powdered Waste Glasses(PWG) can be obtained from the pilot test results. Secondary, we made advances in recycling of waste glasses as recycled to make secondary concrete products. so, we manufactured concrete brick, block and interlocking block for side walk contained powdered waste glasses. finally, we compare properties among of concrete products to slove the economical and enviromental problems.

1. 서론

도시화와 산업화에 따른 폐유리의 발생량이 점차적으로 계속 증가 추세에 있다. 이는 심각한 사회문제와 환경문제를 일으키는데 이러한 현상을 줄이기 위해, 폐유리를 이용한 여러 가지 재활용 과정들을 통하여 다시 사용되고있다.

폐유리가 국내외 재활용되는 예를 보면 국내의 경우 폐유리병은 수집, 1차 가공된 후, 대부분이 신병 제조공장에서 원료로 재활용되고 있으나 그 양이 상당히 미비한 실정이며 선진국에 비해 폐유리의 다른 용도로서의 활용기술이 전반적으로 미흡한 실정이다. 그러므로 다양한 용도로의 폐유리를 이용한 제품의 실용화 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 국외의 경우는 알코올 음료, 정량음료 등의 병류는 대부분 공병으로 회수되고 세정하여 재이용하는 병회수 방식이 정착되어 있고 깨진 병, 약품병 등도

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

*** 심회원, 단국대학교 건축공학과 교수

파쇄, 용융시켜 재사용하거나 도로포장재, 벽돌·블록원료, 유리식기류, 조명등유리 등으로 재활용하고 있다.

현재 폐유리에 따른 많은 기초실험 연구와 제품제조에 대한 연구들이 부분적으로 이루어지고 있으나, 폐유리를 이용한 콘크리트 제품에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 폐유리 재활용 제품들중에서 콘크리트 2차 제품인 벽돌과 블록 그리고 보차도용 인터록킹 블록에 폐유리를 적용시켜 실험을 행하였다. 그리고 그 제품들을 비교 분석하여 폐유리를 친환경적이며 더욱 경제적이고 합리적으로 재활용 할 수 있는 방안을 모색해 보는 것이 본 실험의 목적이다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 폐유리 분말 (PWG)

폐유리 분말은 국내 J사에서 공급된 폐유리 분쇄물(평균입경 20 μ m)을 사용하였다. 폐유리 분말의 화학적 성질과 물리적 성질은 각각 표 1에 나타내었다.

표 1 폐유리 분말의 화학적 성질과 물리적 성질

종 별	화학적 조성 (%)								물리적 성질	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	비 중	분말도 (cm/g)
무색 판유리	71 ± 1	1.47	0.07	8.91	4.04	0.24	13.10	0.83	2.84	3,318

2.1.3 골재

골재는 춘천산 강모래를 사용하였으며 입도조정은 KS F 2502 체가름 시험방법에 의거하였다. 잔골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 잔골재의 물리적 성질

구 분	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적률 (%)
춘천산 강모래	2.59	0.98	2.87	1,590	61.2

2.1.4 석분

석분은 콘크리트용 부순 굵은골재로 기존 공장에서 사용하는 재료를 그대로 사용하였다. 석분의 물리적 성질은 다음 표 3와 같다.

표 3 석분의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)
부순 굵은골재	2.61	0.91	6.88

2.2 실험계획

본 실험에서는 기존 공장 현장에서 일반 콘크리트 제품 제작에 사용되는 배합계획을 적용시켜 실험을 행하였다. 일반 콘크리트 제품 제작 배합에 국내 J사에서 분쇄 제작한 폐유리 분말을 시멘트 중량에 일정 비율로 치환하여 실험하였다. 다음 표 4는 각 콘크리트 제품별 배합사항이다.

표 4 콘크리트 제품 배합

제품	W/C (%)	치환률 (%)	단위 재료량(kg/m ³)				
			시멘트	폐유리	잔골재	석분	물
콘크리트 벽돌	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
콘크리트 블록	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
인터록킹 블록	13	0	364	0	1040	1040	44
		5	345.8	18.2	1039.4	1039.4	44
		10	327.6	36.4	1038.6	1038.6	44
		20	291.2	72.8	1037	1037	44
		30	254.8	109.2	1035.4	1035.4	44
		40	218.6	145.4	1033.8	1033.8	44

2.2.1 콘크리트 벽돌

국내 K사에서 사용하는 B형 콘크리트 벽돌(190×90×57mm)의 작업표준 배합과 예비실험을 통한 결과를 고려하여 배합계획을 하였다. 물시멘트비를 80%로 하여 압축강도와 흡수율을 KS F 4004에 따라 측정하였다. 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 5, 10, 15, 20%로 치환한 콘크리트 벽돌의 압축강도와 흡수율을 검토하였다.

2.2.2 콘크리트 블록

콘크리트 블록은 KS F 4002의 규정 하에 실험을 실시하였다. 국내 K사의 C종 콘크리트 블록(390×190×100mm)을 사용하여 배합계획을 하였다. 여기에서는 물시멘트비를 53%로 하여 압축강도와 흡수율을 측정하였다. 또한 폐유리 분말을 시멘트 중량에 대해 5, 10, 20, 30%로 치환하여 실험하였다.

2.2.3 인터록킹 블록

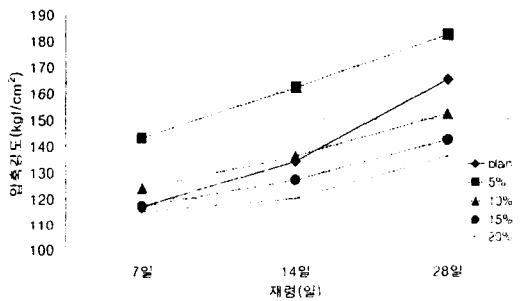
인터록킹 블록은 국내 K사에서 공장생산되는 배합인 물시멘트비 13%로 하여 실험을 실시하였다. 폐유리 분말은 시멘트 중량에 대해 0, 5, 10, 20, 30, 40%까지 치환하여 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

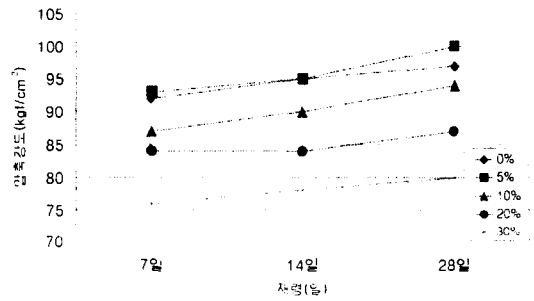
3.1 압축강도 분석

그림 1의 (a)에 나타나 있는 압축강도 결과를 보면 KS F 4004에 나와있는 콘크리트 벽돌의 압축강도 규정이 80kgf/cm²이상이고 실제 공장생산되는 기존 콘크리트 벽돌이 통상적으로 110~160kgf/cm² 정도의 압축강도값을 나타내고 있는 것을 비교하여 분석한 결과 폐유리 분말을 20%까지 치환하더라도 문제가 없으리라 사료된다.

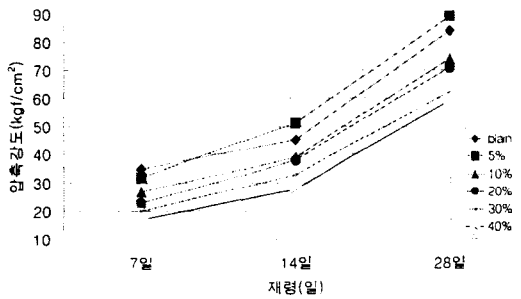
콘크리트 블록의 경우, 물시멘트비를 53%로 하여 실험을 수행하였다. 그림 1의 (b)의 실험결과, 재령 경과에 따른 7일 압축강도 측정시 치환율 5%상태일 때 93kgf/cm²로 강도면에서 가장 우수하였고 재령 28일에도 역시 폐유리 분말을 5% 치환한 블록 시험체가 큰 강도를 나타내었다. 그리고 폐유리 분말을 20%까지 치환하더라도 KS F 4002에 나와있는 콘크리트 블록 압축강도 80kgf/cm² 이상의 강도를 유지하므로 20%까지 재활용 가능한 콘크리트 제품으로 결과가 나타났다. 하지만 폐유리 분말이 30%이상 치환되었을 경우에는 압축강도가 79kgf/cm²로 불안정한 상태로 측정이 되었다.



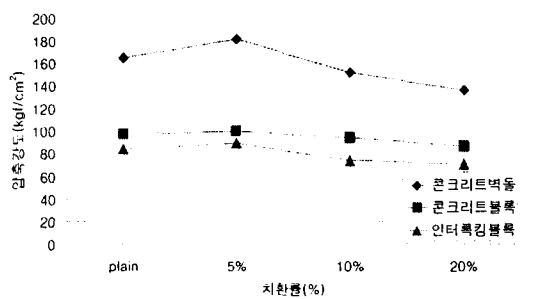
(a) 콘크리트 벽돌 실험결과



(b) 콘크리트 블록 실험결과



(c) 인터록킹 블록 실험결과



(d) 각 제품별 실험결과(재령 28일)

그림 1 폐유리 치환률에 따른 압축강도 비교

그림 1의 (c)를 보면 폐유리 분말을 치환한 보차도용 인터록킹 블록의 경우 재령초기 7일 강도 측정 시 plain상태에서 35.8kgf/cm로 강도면에서 가장 우수하게 결과가 도출되었으나 재령 28일 경과시에는 5%치환한 인터록킹 블록이 가장 큰 강도값을 가지는 것으로 결과가 도출되었다. 그 반면에 다른 폐유리 분말의 치환률의 경우에는 모두 plain의 압축강도 결과보다 낮은 강도결과를 보였다. 앞서 실험한 콘크리트 벽돌과 블록의 경우와 마찬가지로 폐유리 분말의 치환률이 점차 증가할수록 강도값이 급속히 낮아지는 경향을 보였다.

하지만 폐유리 분말 치환률이 40%까지도 KS F 4419 인터록킹 블록 보도용 압축강도 규정에 나타나 있는 50kgf/cm² 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 치환률 30%까지는 차도용 규정인 60kgf/cm² 이상의 강도를 만족하는 것으로 결과가 도출되었다.

그림 2(아래)에 의하면 재령 28일의 경우 폐유리 치환률 20%까지의 각 제품간의 압축강도를 비교하여 종합해 본 결과, 폐유리 분말을 5% 치환하였을 때 콘크리트 벽돌의 압축강도는 182kgf/cm², 콘크리트 블록은 100kgf/cm², 인터록킹 블록이 89.2kgf/cm²로 가장 크게 측정되었다.

치환률 5%일때 기존 콘크리트 블록에 비하여 폐유리 콘크리트 제품의 압축강도가 높게 나타나는 이유는 미립분인 폐유리 분말이 골재와 골재사이의 공극을 밀실하게 채워주고 있기 때문이라 사료된다.

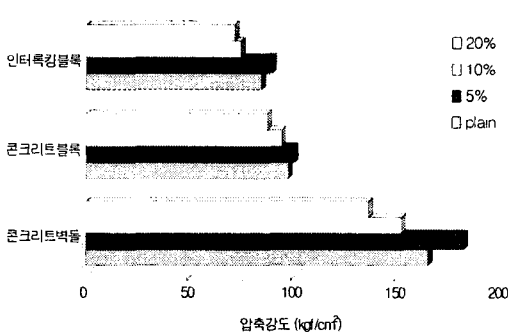


그림 2 각 제품간의 압축강도 비교 (재령 28일)

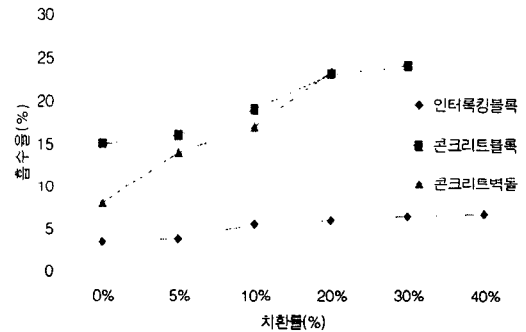


그림 3 폐유리 치환률에 따른 흡수율 비교

3.2 흡수율 분석

그림 3에 나타나있는 실험결과를 살펴보면 콘크리트 벽돌의 흡수율은 8~24%의 범위를 보이고 있으며, 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. 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.

인터록킹 블록의 흡수율을 보면 plain에서 폐유리 분말 치환률 40%까지 모두가 균일한 흡수율을 보였다. 인터록킹 블록의 평균 흡수율 규정이 7%인 것을 살펴보면 모두가 KS 규정을 만족하는 것으로 결과가 나타났다. 하지만 plain상태에서 치환률 40%까지 흡수율이 점차로 증가하는 형태로 그래프가

형성되어 폐유리 분말 치환률과 흡수율이 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 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. 따라서 인터록킹 블록의 흡수율에서는 40%일 때 약간의 불안한 상태를 보이긴 하였으나 규정이하의 흡수율을 유지하므로 폐유리 분말을 치환하여 사용한 여타 제품보다 유리하게 폐유리를 재활용 할 수 있으리라 사료된다.

4. 결 론

(1) 콘크리트 벽돌과 블록 실험결과 폐유리 분말을 5%치환한 상태일 때의 강도가 가장 우수했지만, 기준 강도를 만족시키는 치환률면에서 본다면 폐유리 분말을 20%까지 첨가해도 기준 규정 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 인터록킹 블록의 실험 결과에 의하면 압축강도 결과표를 종합해서 고찰한 결과 폐유리 분말을 30%까지 치환하더라도 보·차도용 압축강도 강도규정을 모두 만족하는 결과를 나타났다. 따라서 콘크리트 제품간의 압축강도 비교 분석시 인터록킹 블록 제품의 경우가 폐유리 치환률을 최적으로 높일수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

(2) 콘크리트 제품간의 흡수율 측정시에는 plain상태가 흡수율에서 가장 안정했으며, 폐유리 치환률이 점차 증가할수록 흡수율도 비례하여 증가하는 형태의 그래프를 얻을수가 있었다. 흡수율을 만족하는 폐유리 분말의 치환률이 콘크리트 벽돌은 15%, 콘크리트 블록은 10%까지인것으로 결론이 도출되었다. 하지만 인터록킹 블록의 경우에는 치환률 40%까지 규정 흡수율을 만족하는 결과를 얻었다.

(3) 보차도용 인터록킹 블록의 경우 압축강도는 보도용이 40%, 그리고 차도용은 30%까지 만족하며 흡수율에서는 치환률 40%까지 모두 안정한 값을 나타내었다. 이는 여타 다른 콘크리트 제품보다도 가장 경제적으로 폐유리를 재활용할 수 있다고 사료된다.

향후, 압축 시멘트판 기와 등 여러 콘크리트 제품을 제작해 콘크리트 제품간에 더욱 정밀한 데이터의 성능 평가를 통하여 폐유리 분말의 치환이 더욱 적합한 콘크리트 제품을 분석할 수 있도록 할 예정이다.

참 고 문 헌

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