

재생유리를 혼입한 모르타의 특성에 관한 실험적 연구

En Experimental Study on the Properties of Mortar Containing Recycled Glass

배 수 호* 정 영 수** 석 윤 호***
Bae, Su-Ho Chung, Young-Soo Suk, Yun-Ho

ABSTRACT

Recently, it has been reported that recycling of wasted glasses should be a hot issue in related business field. Thus, the purpose of this experimental research is to recycle wasted glasses by substituting for the cement in mortar and concrete. As a pilot test, workability and the strength of mortar with recycled glass have been tested and analyzed according to replacement ratio of recycled glass with grain size of them. As a result, considering the workability and the strength of mortar containing recycled glass, the existence of the optimum replacement ratio and grain size of them have been obtained.

1. 서 론

최근 폐유리가 날로 증가함에 따라 그 처리문제가 관련업계의 문제점을 벗어나 사회적인 문제점으로 대두되고 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 폐유리 처리 및 재활용에 관한 연구실적이 저조하여 이를 재활용하지 못하고 대부분을 폐기처리하고 있기 때문에, 그 비용과 더불어 환경오염이 큰 문제점으로 대두되고 있는 실정이다.

한편, 폐유리는 그 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO_2) 성분으로, 이것이 시멘트와의 수화반응시 포졸란 작용을 할 것으로 기대되기 때문에, 폐유리를 시멘트 대체재료로써 활용할 수 있는 방안이 시급히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 수화반응시 포졸란 작용을 할 것으로 기대되는 폐유리를 시멘트 대체재료로써 활용키 위하여, 폐유리를 7가지 입경크기별(0.04mm, 0.08mm, 0.15mm, 0.30mm, 0.60mm, 1.20mm, 2.50mm)로 분쇄하여 이를 시멘트량의 0~30%까지 5%씩 시멘트에 대체시키면서 모르타 공시체를 제작한 후 그것의 시공성 및 강도특성을 분석하였다.

* 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 전임강사

** 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

*** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

결국, 재생유리를 혼입한 모르터는 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 최적의 입경크기와 혼입율이 존재한다는 것을 알아냈다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 그 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

| 시멘트 종류 | 비중 | 응결시간 | | 분말도 (cm^2/g) | 압축강도(kgf/cm^2) | | |
|------------|------|---------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|------------|---------------|
| | | 초결(min) | 종결(h) | | σ_3 | σ_7 | σ_{28} |
| 보통 포틀랜드 | 3.09 | 194 | 5.5 | 3,465 | 202 | 245 | 308 |

2.1.2 표준사

재생유리를 혼입한 모르터 공시체 제작을 위하여 강원도 주문진산의 압축강도 시험용 표준사를 이용하였다.

2.1.3 재생유리

본 연구에 사용된 재생유리는 폐유리 중 무색의 판유리로서 그 화학성분은 표 2와 같다.

표 2 재생유리의 화학성분

| 화학성분 (%) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Na ₂ O | K ₂ O |
|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|-------------------|------------------|
| 시료 | | | | | | | | |
| 판유리(무색) | 71±1 | 1.47 | 0.07 | 8.91 | 4.04 | 0.24 | 13.10 | 0.83 |

2.1.4 혼화제

재생유리를 혼입한 모르터의 시공성을 평가하기 위해 사용된 혼화제는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)로서 그 품질 특성은 표 3과 같다.

표 3 혼화제의 품질 특성

| 혼화제 종류 | 비중 | pH | 고형분 (%) | 표준사용량(%) (시멘트 중량비) | 주 성분 | 비고 |
|---------|------|----|---------|-----------------------|--|----|
| 고성능 감수제 | 1.21 | 8 | 41 | 0.2~2.0 | Sodium salt of a sulfonate naphthalene | 액상 |

2.2 실험방법

2.2.1 공시체 제작

재생유리가 갖고 있는 포졸란재로서의 특성을 규명하고, 또한 재생유리를 혼입한 모르터의 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 재생유리의 입경크기와 혼입율을 결정키 위하여, 재생유리를 7가지 입경크기(0.04mm, 0.08mm, 0.15mm, 0.30mm, 0.60mm, 1.20mm, 2.50mm)로 분쇄하여 각 입경크기별로 시멘트 중량비의 0~30%까지 5%씩 시멘트에 대체시키면서 모르터 공시체를 제작하였으며, 물-결합재비는 38%, 시멘트와 표준사의 중량비는 1 : 2, 목표 플로우치는 15 ± 1 cm로 하였다.

재생유리를 혼입한 모르터 공시체는 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 제작하였으며, 성형후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 강도시험전까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다.

표 4는 재생유리를 혼입한 모르터의 배합표를 나타낸 것이다.

2.2.2 실험방법

(1) 시공성 평가

재생유리를 혼입한 모르터의 시공성은 물-결합재비(38%)를 기준 모르터(재생유리를 혼입하지 않은 모르터)와 동일하게 한 후 목표 플로우치 15 ± 1 cm를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

(2) 강도시험

재생유리를 혼입한 모르터의 강도시험은 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 각 재령별(3일, 7일, 28일)로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 재생유리를 혼입한 모르터의 시공성

재생유리의 입경크기별로 이들의 혼입율에 따른 모르터의 시공성을 평가하기 위하여, 목표 플로우치 15 ± 1 cm를 얻기 위한 기준 모르터(재생유리를 혼입하지 않은 모르터)의 단위수량 및 고성능 감수제 첨가량을 미리 구한 후 그것의 물-결합재비를 결정하였으며, 재생유리를 혼입한 모르터는 기준 모르터와 동일배합으로 하여 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량을 구하여 시공성을 평가하였는데, 그 결과는 그림 1과 같다.

즉, 재생유리의 혼입율이 5~20%까지는 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 재생유리의 입경크기에 관계없이 0.4~0.6%로, 기준 모르터의 경우와 거의 동일하여 재생유리의 혼입율에 따른 시공성의 변화는 없는 것으로 나타났다. 그러나 재생유리의 혼입율이 25~30%인 경우는 그것의 혼입율이 증가할수록, 입경크기가 클수록 시공성 저하가 큰 것으로 나타났는데, 이것은 입경이 크고 혼입율이 증가하면 결합재의 집성이 작게 되기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 재생유리를 혼입한 모르터의 강도특성

그림 2~3은 각각 재령 3일, 7일, 28일의 경우 재생유리를 혼입한 모르터의 압축강도를 나타낸 것으로, 재령 3일의 압축강도는 No.400체(0.04mm)크기의 재생유리를 5% 혼입한 경우를 제외하면, 재생유

표 4 재생유리를 혼입한 모르터의 배합표

| 입경별 | 혼입율 (C×%) | 물-결 함재비 (%) | 물 (kg/m ³) | 시멘트 (kg/m ³) | 재생유리 (kg/m ³) | 모래 (kg/m ³) | Flow치 (cm) | 고성능 감수제 첨가량 (C×%) |
|---------------------|--------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|
| No.400체 (0.04mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 15.0 | 0.5 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 15.8 | 0.5 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 15.4 | 0.6 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 15.5 | 0.6 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 15.8 | 0.8 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 15.7 | 1.0 |
| No.200체 (0.08mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 16.4 | 0.6 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 16.2 | 0.6 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 15.2 | 0.6 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.5 | 0.6 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.8 | 0.6 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 15.6 | 0.8 |
| No.100체 (0.15mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 14.9 | 0.5 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 15.6 | 0.5 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 14.5 | 0.4 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.7 | 0.5 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.7 | 0.5 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 14.8 | 0.6 |
| No.50체 (0.3mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 15.1 | 0.6 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 15.1 | 0.6 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 15.1 | 0.6 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.5 | 0.6 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.5 | 0.7 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 14.2 | 0.9 |
| No.30체 (0.6mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 16.2 | 0.6 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 14.8 | 0.5 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 14.5 | 0.5 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.0 | 0.6 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.2 | 0.9 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 13.1 | 1.1 |
| No.16체 (1.2mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 16.5 | 0.6 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 15.8 | 0.5 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 15.5 | 0.5 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.3 | 0.5 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.0 | 0.9 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 12.6 | 1.1 |
| No.8체 (2.5mm) | 0 | 38 | 266 | 700 | 0 | 1,400 | 15.2 | 0.5 |
| | 5 | | | 665 | 35 | 1,400 | 14.8 | 0.4 |
| | 10 | | | 630 | 70 | 1,400 | 15.0 | 0.5 |
| | 15 | | | 595 | 105 | 1,400 | 14.7 | 0.5 |
| | 20 | | | 560 | 140 | 1,400 | 14.0 | 0.5 |
| | 25 | | | 525 | 175 | 1,400 | 14.0 | 0.9 |
| | 30 | | | 490 | 210 | 1,400 | 13.9 | 1.1 |

리의 혼입율이 증가할수록 모르터의 압축강도가 기준 모르터의 경우보다 작아지는 경향을 나타냈으며, 재령 7일의 압축강도는 재생유리의 입경이 No.400체 크기인 경우 그 혼입율이 15~20%에서 최대압축강도(기준 모르터 압축강도의 약 1.2배)를 발현하였으며, 그 외 입경에서는 재생유리의 혼입율이 5~15%에서 최대압축강도(기준 모르터 압축강도의 약 1.0~1.15배)를 발현하였다. 그리고 설계기준강도로 채택되는 재령 28일의 압축강도는 대체적으로 재령 7일의 압축강도와 유사한 강도발현 경향을 나타냈으며, 이들 중 최대압축강도는 No.400체 크기의 재생유리를 15~20%혼입한 경우(기준 모르터의 약 1.15배)로 나타났다.

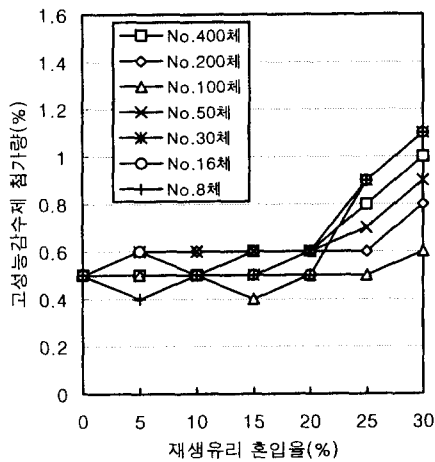


그림 1 재생유리의 혼입율별 고성능감수제 첨가량

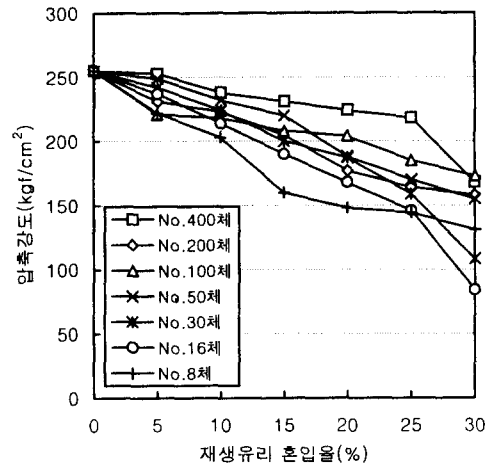


그림 2 재생유리의 혼입율별 압축강도(재령3일)

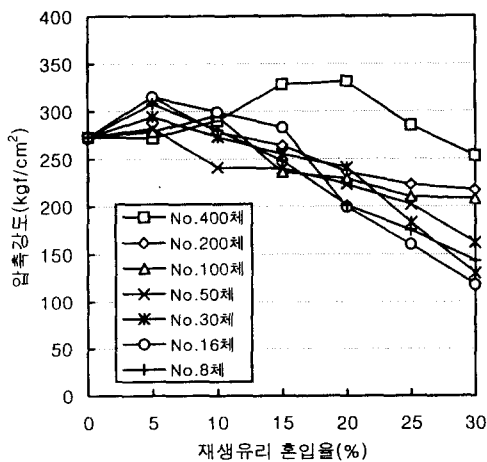


그림 3 재생유리의 혼입율별 압축강도(재령 7일)

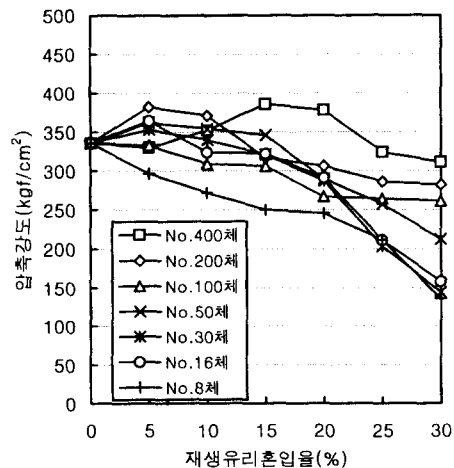


그림 4 재생유리의 혼입율별 압축강도(재령28일)

3.3. 재생유리의 최적 입경 및 혼입율

미분쇄된 재생유리를 시멘트의 대체재료로써 활용키 위해서는 시공성이 좋고 강도증진 효과가 있어야 하는데, 재생유리는 그 혼입율이 20% 이하에서는 재생유리를 혼입하지 않은 기준 모르터의 시공성과 거의 동일하기 때문에, 그 혼입율이 20% 이하인 경우 설계기준강도로 채택되는 재령 28 강도를 기준으로 하면, 최대압축강도를 발휘하는 최적의 입경 및 혼입율은 No.400체(0.04mm)크기의 재생유리를 15~20% 혼입한 경우와 No.200체(0.08mm)크기의 재생유리를 5~10% 혼입한 경우로 나타났다.

따라서 재생유리를 모르터 및 콘크리트용 재료로써 활용키 위해서는 그 입경이 0.04~0.08mm인 경우에 대해서 심도있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

재생유리를 시멘트 대체재료로써 활용키 위하여 그것을 혼입한 모르터의 특성에 관한 실험연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재생유리의 혼입율이 5~20%까지는 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량이 기준 모르터의 경우와 거의 동일하여 재생유리의 혼입에 따른 시공성 저하는 없는 것으로 나타났으나, 그 혼입율이 25~30%인 경우는 혼입율이 증가할수록, 입경크기가 클수록 시공성 저하가 큰 것으로 나타났는데, 이것은 입경이 크고 혼입율이 증가하면 결합재의 점성이 작게 되기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 재생유리를 혼입한 모르터의 재령 3일의 압축강도는 No.400체(0.04mm)크기의 입경을 가진 재생유리를 5% 혼입한 경우를 제외하면, 재생유리의 혼입율이 증가할수록 모르터의 압축강도가 기준 모르터의 경우보다 작아지는 것으로 나타났다.
- 3) 재생유리를 혼입한 모르터의 재령 7일 및 28일의 압축강도는 거의 동일한 강도발현 경향을 나타내었는데, 즉 그 입경이 No.400체(0.04mm)크기인 경우는 재생유리의 혼입율이 15~20%에서 최대압축강도(기준 모르터의 약 1.15~1.20배)를, 그 외 입경의 경우는 재생유리의 혼입율이 5~15%에서 최대압축강도(기준 모르터의 약 1.0~1.15배)를 발현하였다.
- 4) 설계기준강도로 채택되는 재령 28일의 압축강도의 경우 시공성을 고려하였을 때, 최대압축강도를 발휘하는 최적의 입경 및 혼입율은 No.400체(0.04mm)크기의 재생유리를 15~20% 혼입한 경우와 No.200체(0.08mm)크기의 재생유리를 5~10% 혼입한 경우로 나타났다. 따라서 재생유리를 모르터 및 콘크리트용 재료로써 활용키 위해서는 그 입경이 0.04~0.08mm인 재생유리에 대해서 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 5) 재생유리의 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO_2)성분으로 그것이 시멘트와의 반응시 알칼리·실리카 반응을 유발할 수 있으므로, 금후 이에 관한 연구가 반드시 수행되어야 하고, 또한 재생유리를 콘크리트 제조에 활용키 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. The New York State Energy Research and Development Authority, "Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks", Final Report 97-15, 1997.11
2. Meyer, C., Baxter, S., and Jin, W., "Alkali-Silica Reaction in Concrete with Glass as Aggregate", ASCE Fourth Materials Engineering Conference, Washington, D.C., 1996.11