

폐유리를 활용한 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 실험적 연구

An experimental Study on the Physical · Mechanical Properties of Concrete Utilizing Waste Glass Aggregate

김 정 환** 조 광 연** 조 청 휘** 이 봉 춘** 박 승 범*
Kim, Jeong Hwan Cho, Gwang Yoen Cho, Chung Whi Lee, Bong Chun Park, Seung Bum

ABSTRACT

Recently, as industrialization is rapidly growing and the standard of life is rising, the quantities of waste glasses have been hastily increased and most of them are not recycled but abandoned. It cause some problems such as the waste of natural resources and environmental pollution. Therefore, this study was conducted basic experimental research to analyze the possibilities of recycling of waste glasses(crushed waste glasses outbreaking from our country such as brown, green, colorlessness) as fine aggregates for concrete. Test results of fresh concrete, slump and compacting factors decrease because grain shape is angular and air content increase due to involving small size particles so much in waste glasses. Also compressive, tensile and flexural strengths decrease with increase of the content of waste glasses. In conclusion, the content of waste glasses below 30% is reasonable

1. 서 론

유리란 일반적으로 규사, 소다회, 탄산석회 등의 혼합물을 고온에서 녹인 후 냉각하는 과정에서 결정화가 일어나지 않은 채 고체화되면서 생기는 투명도가 높은 물질로서 판유리, 병유리, 유리용기, 전구, 진공관유리 등으로 제품화되어 우리생활에 널리 사용되고 있다¹⁾. 국내의 연간 유리 총 생산량은 약 420만ton이며 이 중 약 36%가 창유리 등에 사용하는 판유리, 6%가 유리섬유제품, 58%가 병등의 용기를 포함한 소모적 유리제품으로 사용되고 있다. 그러나 최근 도시화와 산업화에 따라 폐유리의 발생량은 98년에 613,000ton, 99년에는 692,000ton으로 계속 증가하고 있어 사회문제 및 환경문제로 대두되면서 폐유리의 적정처리 및 재활용 문제가 사회적 관심사로 대두되고 있다²⁻³⁾. 외국의 경우 알코올 음료, 청량음료, 조미료, 우유 등의 병류는 대부분 공병으로 회수하고 세정하여 재이용하는 병회수 방식이 정착되어 있으며 깨진 병, 약품병, 화장품병 등도 파쇄, 용융시켜 재 이용하거나 도로포장재, 블록원료, 유리대리석, 유리타일, 유리섬유, 발포용 경량골재 등으로 재이용하고 있다⁴⁻⁹⁾. 우리나라도 공병을 회수하여 재이용하고 있으며 수집된 폐유리병은 선별하여 원료로 사용하기 위한 파쇄과정을 거친후 이들 파쇄물을 대부분 신병제조의 원료로서 재활용 하고 있으나 그 양이 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내에서 발생되고 있는 폐유리 중 대표적인 무색, 갈색, 녹색 폐유리를 수집·파쇄하여 콘크리트 및 건축용 2차제품을 위한 잔골재로서의 재활용 가능성을 분석하기 위하여 폐유리를 활용한 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 기초적 실험연구를 수행하였다.

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학적 조성 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질

화학적 성분(%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Total
21.24	5.97	3.34	62.72	2.36	0.13	0.81	1.97	1.46	100
물리적 성질									
비중	비표면적 (cm ² /g)	44 μm on Residue (%)	안정도	응결시간(분)		압축강도(kg/cm ²)			
				초결	종결	3일	7일	28일	
3.14	3,200	12.5	0.02	240	370	221	298	389	

2.1.2 골재

본 실험에 사용된 잔골재는 금강 상류에서 채취한 강모래와 굵은골재는 충남 금산 H사에서 생산되는 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였으며 그 물리적성질 및 입도분포는 표 2 및 그림 1과 같다.

표 2. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

종류	조립률	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)
잔골재	2.68	2.65	1.40	1,650
굵은골재	7.08	2.70	1.32	1,480

2.1.3 혼화제

혼화제로서 AE감수제를 사용하였으며 그 특성은 표 3과 같다.

표 3. 혼화제의 특성

형태	색깔	주요성분	고형물 (%)	비중
AE 감수제	짙은 갈색	나프탈렌	33	1.15±0.05

2.1.4 페유리

본 연구에서 사용된 페유리는 유리병과 유리제품으로 광범위하게 사용되고 있는 Soda-Lime 계열의 페유리로서 현재 국내에서 색깔별로 발생·수집되는 갈색, 녹색 및 무색 페유리를 한국자원재생공사 충남지사 홍성공장에서 6~20mm로 파쇄한 것을 다시 소형크러셔를 이용하여 5mm이하로 파쇄하여 페유리 잔골재를 제조하였다.

2.2 배합 및 믹싱

페유리를 콘크리트용 잔골재로의 재활용 가능성을 분석하고자 표4와 같이 페유리의 색깔 및 혼입률 별로 배합설계를 수행하였으며, 믹싱은 50ℓ의 강제식 팬형 믹서를 사용하여 굵은골재, 시멘트, 잔골재, (물+혼화제)의 순서로 투입하여 1분 30초 동안 혼합하였다.

표 4. 폐유리 혼입 콘크리트의 배합설계

Mix type.	W/C (%)	S/a (%)	Content of waste glass (%)	Unit weight(kg/m ³)					
				C	W	G	S	WG	Ad.
Plain	50	47	0	380	190	914	796	0	3.8
B30			30				557	227	3.8
B50			50				398	378	3.8
B70			70				239	530	3.8
G30			30				557	225	3.8
G50			50				398	375	3.8
G70			70				239	526	3.8
C30			30				557	225	3.8
C50			50				398	375	3.8
C70			70				239	526	3.8

(B: 갈색폐유리, G:녹색폐유리, C:무색폐유리)

2.3 실험방법

2.3.1 폐유리 잔골재의 시험방법

폐유리를 파쇄하여 콘크리트용 잔골재로 적용하기 위하여 표 5와 같은 항목과 시험방법에 준하여 폐유리 잔골재의 물리적 성질을 측정하였다.

2.3.2 폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 시험방법

폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 특성을 평가하기 위하여 다음의 표6에 준하여 실험을 실시하였다.

표 5. 폐유리 잔골재의 시험방법

항목	시험방법
조립률	KS F 2502
비중	KS F 2504
흡수율	KS F 2504
실적률	KS F 2505
체가름시험	KS F 2502
단위중량	KS F 2505
화학성분 분석	SEM & EDX

표 6. 폐유리 혼입 콘크리트의 시험방법

항목		시험방법
굳지않은 콘크리트	슬럼프	KS F 2402
	공기량	KS F 2421
	다짐계수	BS 1881
경화된 콘크리트	압축강도	KS F 2405
	조깅인장강도	KS F 2423
	휨강도	KS F 2408

3. 실험 결과 및 분석

3.1 폐유리 잔골재의 물리·화학적 성질

3.1.1 물리적 성질

파쇄된 폐유리를 콘크리트용 잔골재로서 사용하기 위한 물리적 시험결과, 폐유리의 색깔에 관계없이 조립률은 3.46~3.49, 비중은 2.50~2.52, 흡수율은 0.40~0.43%, 실적률은 60.90~62.60%로 나타났다. 또한, 단위용적중량은 1,500kg/m³이상으로 나타나 콘크리트 및 건재용 2차제품을 위한 잔골재로서 이용이 가능한 것으로 판단된다.

3.1.2 화학적성질

폐유리 잔골재의 SEM&EDX를 이용한 입형 및 화학적 성분분석 결과, SiO₂성분이 71.30~73.04%로

가장 많고 그 다음으로 Na_2O 와 K_2O 성분이 많이 함유된 것으로 나타났으며 폐유리 색깔에 따른 각 화학적 성분은 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 입형은 폐유리 색깔에 관계없이 모가나 있어 워커빌리티에 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.2 폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성

3.2.1 굳지 않은 콘크리트의 성질

폐유리 잔골재의 색깔 및 혼입률별 굳지 않은 콘크리트의 성질을 파악하고자 동일한 조건에서 슬럼프, 공기량, 다짐계수를 측정하였다.

(1) 슬럼프

폐유리 잔골재의 혼입량이 30%, 50%, 70%로 증가할수록 폐유리 잔골재의 색깔에 관계없이 폐유리를 혼입하지 않은 콘크리트의 슬럼프에 비하여 각각 19.6~26.9%, 30.1~34.6%, 38.5~44.3 %로 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 폐유리 잔골재의 혼입량이 증가할수록 폐유리 잔골재의 표면에 시멘트풀이 부착됨에 따라 콘크리트의 유동성을 부여하기 위하여 요구되는 시멘트풀량이 상대적으로 감소하고, 또한 모래보다 폐유리 잔골재의 입형이 모가나고 각이져 있고 상대적으로 유리입자가 모래보다 크기 때문에 콘크리트의 유동성을 감소시키는 것으로 판단된다. 그러나 폐유리 잔골재의 색깔에 따른 슬럼프의 현저한 영향은 나타나지 않았다.

(2) 공기량

폐유리의 잔골재의 혼입량이 30% 50%, 70%로 증가할수록 폐유리의 색깔에 관계없이 폐유리를 혼입하지 않은 보통콘크리트의 공기량에 비하여 12.2~21.6%, 23.71~30.4%, 30.6~41.4%로 증가하였는데 이러한 경향은 폐유리 잔골재 입자중에 0.6 mm이상의 크기를 갖는 입자가 모래보다 상대적으로 많고 입자의 형상이 좋지 못하여 부피에 비하여 상대적으로 표면적이 증가하여 공기량이 증가하는 것으로 판단된다.

(3) 다짐계수

폐유리 잔골재의 색깔 및 혼입률별 다짐계수시험결과, 폐유리의 잔골재의 혼입량이 30%, 50%, 70 %로 증가할수록 폐유리의 색깔에 관계없이 폐유리 잔골재를 혼입하지 않은 보통콘크리트의 다짐계수에 비하여 1.1~2.5%, 2.5~3.7%, 3.6~5.4%로 감소하여 다짐도가 떨어지는 것으로 나타났다. 그 원인은 폐유리 잔골재의 입형이 모가나고 각이져 있어 폐유리 잔골재의 혼입량이 증가할수록 콘크리트의 유동성을 저하시켜 다짐계수를 감소시킨 것으로 판단된다.

3.2.2 경화 콘크리트의 성질

(1) 압축강도

폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 폐유리 잔골재의 색깔 및 혼입률별 압축강도는 그림. 1~2와 같다. 이를 고찰하여 보면 재령 4주에서의 압축강도는 폐유리 색깔에 관계없이 폐유리 잔골재를 30%, 50%, 70% 혼입 할수록 보통콘크리트 압축강도의 97.2~99.4%, 88.6~90.2%, 83.7~86.4 % 정도의 강도를 발현하여 폐유리 잔골재의 혼입률이 증가할수록 압축강도는 보통콘크리트에 비하여 감소하였는데 이러한 압축강도 감소현상은 폐유리 잔골재의 표면과 시멘트풀과의 부착력 감소와 폐유리 혼입량의 증가에 따라 잔골재의 조립률이 커지고 다짐계수의 감소에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 폐유리 색깔에 따른 압축강도의 영향은 현저하지 않는 것으로 나타났다.

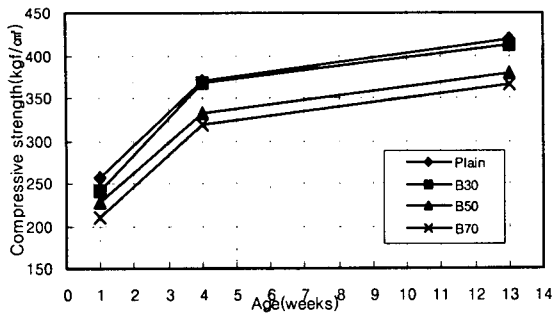


그림 1. 압축강도 시험결과(갈색유리)

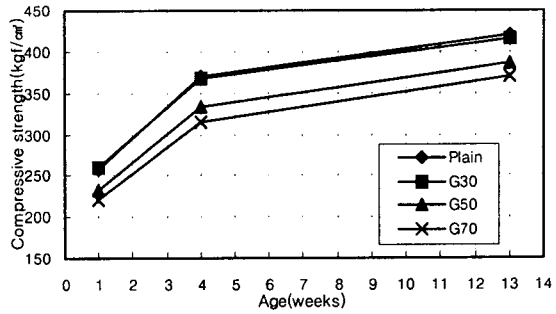


그림 2. 압축강도 시험결과(녹색유리)

(2) 쪼갠장강도

폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 폐유리 색깔 및 혼입률별 쪼갠장강도의 시험결과는 그림 3~4와 같다. 이를 고찰하여 폐유리 잔골재의 혼입률을 30%, 50%, 70%로 증가시키기에 따라 쪼갠장강도는 보통콘크리트에 비하여 93.5~96.6%, 85.9~90.8%, 80.4~85.0%로 감소하였다. 이러한 쪼갠장강도 감소현상은 압축강도와 마찬가지로 폐유리 잔골재의 표면과 시멘트풀과의 부착력 감소와 폐유리 혼입량의 증가에 따라 잔골재의 조립률이 커지고 다짐계수의 감소에 따른 것으로 판단된다. 폐유리 잔골재의 색깔에 따른 강도의 현저한 영향은 나타나지 않았다.

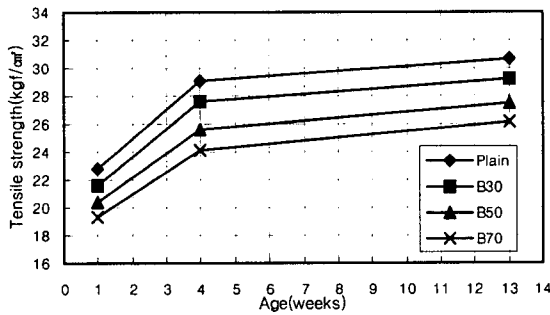


그림 3. 쪼갠장강도 시험결과(갈색유리)

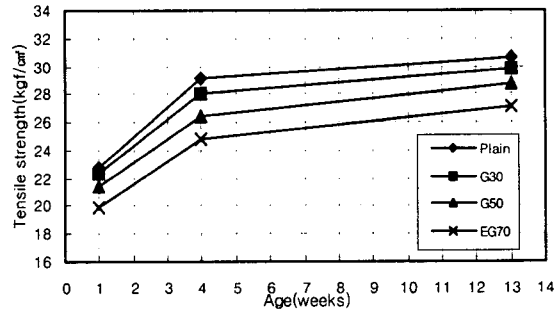


그림 4. 쪼갠장강도 시험결과(녹색유리)

(3) 휨강도

폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 폐유리의 색깔 및 혼입률별 휨강도시험 결과는 그림 5~6과 같다. 이를 고찰하여 보면 재령 4주에서의 휨강도는 갈색폐유리, 녹색폐유리, 무색폐유리, 혼합폐유리 잔골재를 30% 혼입한 경우 보통콘크리트의 휨강도에 비해 각각 93.3%, 96.8%, 94.4%, 94.0%의 강도를 발휘하여 폐유리 잔골재의 색깔에 따른 현저한 강도차이는 나타나지 않았다.

또한, 폐유리 잔골재를 50%, 70% 혼입한 경우에는 각각 83.8~88.7%, 78.5~81.9% 정도 강도 발현하여 폐유리 잔골재의 혼입률이 증가할수록 휨강도는 보통콘크리트에 비하여 감소하였고 재령 13주에서도 같은 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 폐유리 잔골재의 표면과 시멘트풀과의 부착력 감소와 폐유리 혼입량의 증가에 따른 잔골재의 조립률이 커지고 다짐계수의 감소에 기인한 것으로 판단된다.

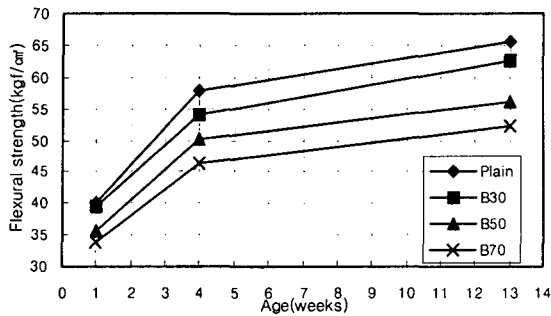


그림 5. 휨강도 시험결과(갈색유리)

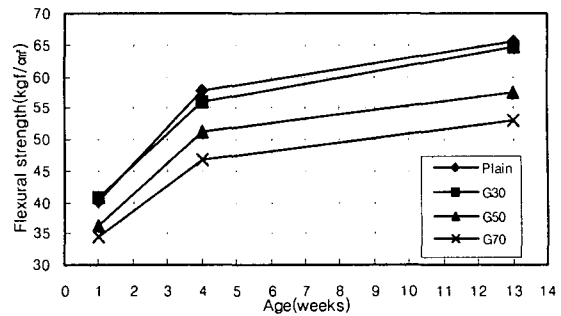


그림 6. 휨강도 시험결과(녹색유리)

4. 결 론

본 연구는 폐유리를 파쇄하여 콘크리트 및 건재용 2차제품용 잔골재로서의 재활용 가능성을 분석하기 위하여 잔골재로서 폐유리를 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 기초적 실험연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 파쇄된 폐유리 잔골재의 물리적 시험결과 조립률은 3.46~3.49, 비중은 2.48~2.52, 흡수량은 0.40~0.43%, 실적률은 60.90~62.60%, 단위용적중량은 1,500kg/m³이상이므로 나타났으나 파쇄된 폐유리 잔골재의 입형은 모가 나거나 각이져 있고 0.6mm이상의 입자를 많이 함유하고 있어 워커빌리티에 상당히 영향을 미칠 것으로 사료된다.

(2) 폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 슬럼프와 다짐계수는 폐유리 잔골재의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며 이는 폐유리 잔골재의 입형과 입도에 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 공기량은 폐유리 잔골재의 혼입량이 많아질수록 증가하였는데 이것은 폐유리 잔골재의 입형이 모가 나고 0.6mm이상의 입자가 많이 함유되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 폐유리 잔골재를 혼입한 콘크리트의 압축강도, 쪼갠인장강도, 휨강도는 폐유리 잔골재의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 폐유리 잔골재를 30% 혼입한 경우가 가장 우수한 강도특성을 나타내었다. 또한 폐유리 잔골재의 색깔에 따른 역학적 특성은 현저한 차이가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Scholze, H., "Natur, Struktur und Eigenschaften," 清文閣, 1996, pp.3~10.
- 환경부, "99 전국 폐기물 발생 및 처리현황," 2000. 12.
- 박승범 외, "건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발," 건설교통기술연구보고서, 2000, pp.153~156.
- ガラスびんリサイクル促進協議會, "Glass Bottle Recycling (パンフレット)," 1994, pp.25~35.
- クリーン・ジャパン・センター, "再資源化技術の開発状況調査報告書(ガラスびんカレットの他用途利用)," 1997, pp.1~20.
- 日本容器包装リサイクル協會, "再商品化ニュース," 1998, No.3, pp.1~5.
- 日本機械工業聯合會・ガラスびんリサイクリング促進聯合, "カレットの用途擴大事業報告書(カレットの道路用骨材としての適用性に関する評價)," 1996, pp.20~25.
- 大門正機 外, "ガラス粉末の水和硬化性状-廢ガラスの建設素材としての基礎物性に関する研究," 旭硝子財團研究成果報告, 1995, pp.1~10.
- 박승범, "신편토목재료학," 문운당, 2001, pp.109~251.