

폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 내력 및 변형률특성

Load Carrying Capacity and Deformation Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Slab Model Utilizing Waste Glass by Fine Aggregates

박 승 범* 김 경 훈** 이 봉 춘** 이 준** 정 명 일**
Park, Seung Bum Kim, Kyong Hun Lee, Bong Chun Lee, Jun Cheong, Myeong Il

ABSTRACT

As growing of industrialization and increasing of population, the quantities of waste glasses are rapidly growing in the earth. It cause some problems such as the waste of natural resources and environmental pollution. In this context, recycling waste glass as a material of concrete has a great advantage environmentally and economically.

This study is aimed to investigate the effect of load and deflection on fiber reinforced concrete slab model utilizing waste glass by fine aggregates.

The flexural strength of the concrete including waste glass increased considerably, as the inclusion rate of steel fiber were increased. And the first crack load, maximum load and energy absorption capacity increased remarkably as the inclusion rate of steel fiber were increased.

Therefore, in this study we confirmed the possibility of application for the usage of waste glass to the steel fiber reinforced concrete.

1. 서 론

고형폐기물인 폐유리병은 유리제품의 활용이 증대됨에 따라 발생량도 점차 증대되고 있다. 회수된 폐유리병은 유리병의 원료로서 재활용되고 있으나 유리병의 원료로 재활용하기에는 비용 및 유리제조상의 기술적 문제 등이 잔존하기 때문에 아직까지 많은 양의 폐유리를 매립하고 있는 실정이다. 매립된 폐유리는 미생물로 분해되지 않기 때문에 환경친화적인 해결방안으로는 적합하지 않으며 무기질의 재료를 다량으로 사용할 수 있는 건설재료로서 활용이 가능하다면 유용한 재활용 방안이 될 것으로 사료된다. 그러나, 폐유리를 콘크리트에 사용할 경우 폐유리의 혼입률이 큰 경우에는 폐유리와 페이스트 계면에서 부착력이 감소하여 강도는 저하하고 특히 인장 및 휨강도가 압축에 비해 낮은 강도특성을 나타내는 문제점을 안고 있다.

이에 본 연구에서는 폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 구조부재로의 적용성을 평가하기 위해서 슬래브모델의 내력 및 변형률 특성을 평가·고찰하였다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 토목공학과 대학원

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 골재

본 실험에 사용된 시멘트는 비중 3.14의 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강 상류에서 채취한 비중 2.65의 강모래를 사용하였다. 또한, 굵은골재는 충남 H사에서 생산되는 비중 2.7, 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였다.

(2) 페유리

본 연구에서 사용된 페유리는 유리병과 유리제품으로 광범위하게 사용되고 있는 유색의 soda-lime 유리를 반응성 골재로서 사용하였으며, 한국자원재생공사 충남지사 홍성공장에서 수집된 갈색(Amber) 페유리를 소형 크러셔를 이용하여 5mm이하로 파쇄하여 사용하였으며 갈색 페유리의 화학적 성분은 표 1과 같다.

표 1 페유리의 화학적 조성

성분 (%) 종 류	SiO ₂	Al ₂ SO ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃
갈색유리 (%)	72.1	1.74	14.11	11.52	0.13	0.31

(3) 강섬유

본 실험에 사용된 강섬유는 Belgium B사 제품으로 치수 $\phi 0.5 \times 35\text{mm}$ 의 양단 Hooked 형을 사용하였다.

(4) 혼화제

혼화제로는 AE감수제를 사용하였으며 그 특성은 표 2와 같다.

표 2 혼화제의 물리적 성질

Admixture	Appearance	Specific Gravity	Composition	Solid Contents(%)
AE감수제	Dark Brown Liquid	1.15±0.05	Naphthalene	33

2.2 배합 및 시험방법

2.2.1 배합

페유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 내력 및 변형률특성을 규명하기 위해 보통콘크리트와 20%의 페유리 혼입률에서 강섬유의 혼입률(0.5, 1.0, 1.5vol.%)을 실험변수로 하여 표 3과 같이 배합을 선정하였다.

표 3 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 배합

Mix type	W/C (%)	S/a (%)	WG Content (%)	Content of SF (%)	Unit weight(kg/m ³)						
					C	W	G	S	WG	SF	Ad.
Plain	50	47	-	-	380	190	929	808	0	0	3.8
WG20	50	47	20	0	380	190	929	647	154	0	3.8
WG20-SF0.5				0.5			922	640	154	39.3	
WG20-SF1.0				1.0			914	634	154	78.5	
WG20-SF1.5				1.5			907	628	154	117.8	

2.1.2 실험방법

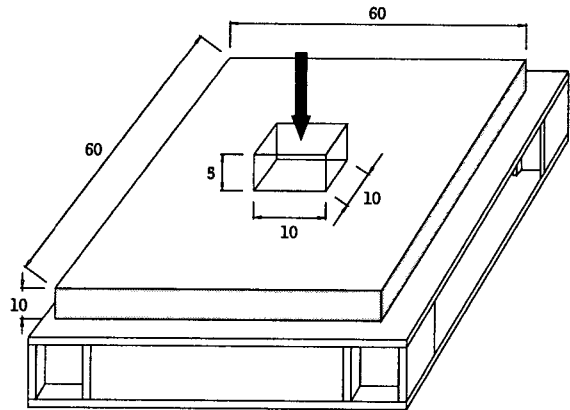
(1) 압축강도 및 휨강도 시험

폐유리를 잔골재로 활용한 슬래브모델의 압축강도의 측정은 $\phi 10 \times 20$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도시험」에 준하여 실시하였다.

휨강도 시험은 $15 \times 15 \times 55$ cm의 보 공시체를 제조하여 KCI-SF-104 「강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성시험방법」에 준하여 실시하였다.

(2) 슬래브모델 시험

폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 내력 및 변형률특성을 규명하기 위한 슬래브모델 공시체의 제작 및 시험은 그림 1과 같이 크기 $60 \times 60 \times 10$ cm(L×B×t)의 콘크리트 슬래브모델 공시체를 제작하여 프랑스 SNCF(철도국)와 Alpes Essais Laboratory of Grenoble가 공동개발한 방법에 따라서 실시하였다. 시험 시 슬래브모델 공시체는 내부단면적이 50×50 cm인 금속프레임 위에 장치하였고, 중앙에 $10 \times 10 \times 5$ cm(B×L×t)크기의 금속재를 통하여 일정한 속도로 재하하였다. 시험은 하중이 500kg 단위로 재하될 때마다 슬래브모델의 중심과 슬래브 중심으로부터 10, 15cm 떨어진 곳에 설치한 LVDT(변위측정기)로부터 슬래브모델 공시체의 변위를 측정하여 하중-변위곡선을 얻었으며, 슬래브모델 공시체에 발생한 최대하중을 고찰하였다.



(단위: cm)

그림 1 슬래브시험

3. 실험결과

3.1 압축강도 및 휨강도특성

그림 2와 그림 3은 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 압축강도 및 휨강도특성을 나타낸 것이다. 압축강도를 살펴보면, 폐유리를 20% 혼입한 경우는 보통의 콘크리트에 비해 강도가 유사하였고, 강섬유를 혼입한 경우 압축강도는 폐유리를 20% 혼입한 압축공시체에 비해 미미한 증가를

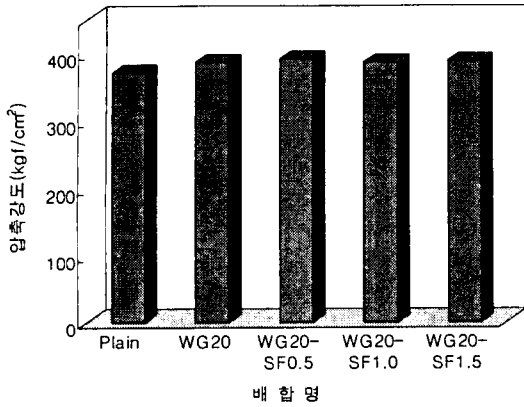


그림 2 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 압축강도

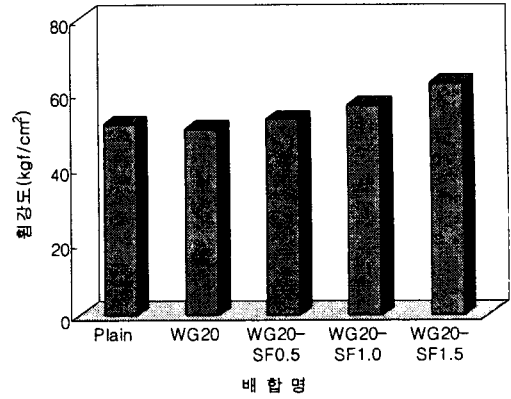


그림 3 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 휨강도

보여 강섬유가 압축강도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

휨강도를 살펴보면, 폐유리혼입 20%의 경우 보통콘크리트에 비해 다소 감소하는 경향을 보였으나 강섬유 혼입률이 0.5%~1.5%로 증가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 약 7%~22%정도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 강섬유 혼입에 의한 강섬유와 콘크리트 매트릭스사이의 부착력이 증대되어 휨거동 시 초기균열발생 후의 저항능력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 최대하중과 초기균열하중

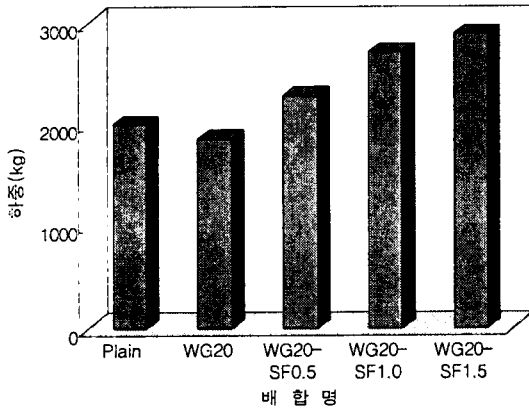


그림 4 강섬유 혼입률에 따른 초기균열하중

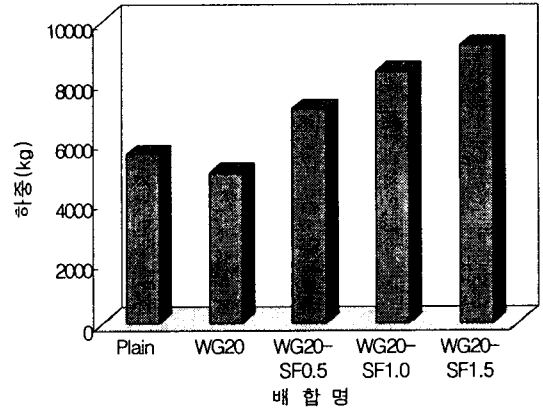


그림 5 강섬유 혼입률에 따른 최대하중

폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 시험결과 시각적으로 확인한 슬래브에 균열이 발생하기 시작하였을 때의 초기균열하중 및 최대하중을 그림 4, 그림 5에 나타내었다. 이를 살펴보면, 폐유리 혼입률이 20%일 경우 초기균열하중과 최대하중은 보통콘크리트에 비하여 각각 약 10%, 10.5% 정도 감소하였다. 이는 폐유리를 혼입하였을 경우 시멘트 페이스트와 폐유리 표면과의 부착력감소와

페유리 혼입으로 잔골재의 조립률이 커지고 다짐계수의 감소에 기인한 것으로 판단된다. 이에 반하여 강섬유 혼입률에 따른 초기균열하중과 최대하중을 살펴보면, 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 초기균열하중과 최대하중은 증가하는 경향을 보이는데, 강섬유를 0.5% 혼입한 경우 초기균열하중은 보통콘크리트에 비해 14%, 최대하중은 27%증가하였다. 강섬유를 1.0% 혼입하였을 경우에는 강섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 초기균열하중과 최대하중은 각각 36%와 50% 증가하였고, 강섬유를 1.5% 혼입한 경우에는 초기균열하중과 최대하중이 각각 45%, 65% 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 강섬유의 혼입에 의한 앵커작용에 의해 섬유와 콘크리트 매트릭스 사이의 부착력이 증대되어 초기균열발생 후의 저항능력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다

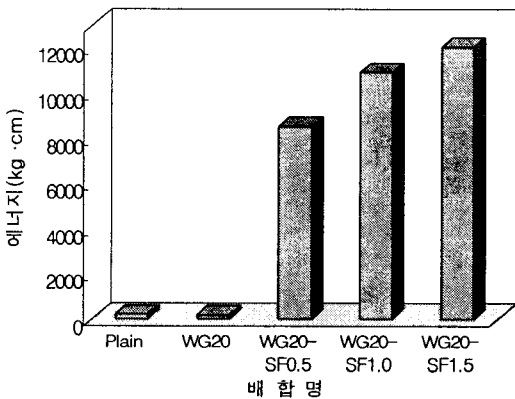


그림 6 강섬유 혼입률에 따른 에너지 흡수량

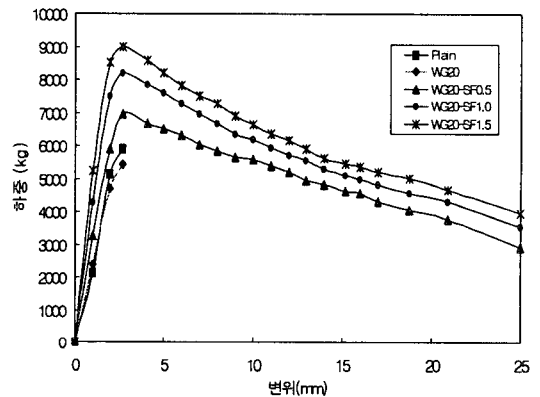


그림 7 슬래브의 중심부에서의 하중-중앙변위

그림 6은 강섬유 혼입률에 따른 25mm 변위까지 흡수된 에너지량을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 보통콘크리트와 페유리를 20%혼입한 콘크리트의 흡수된 에너지에 비해 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 흡수된 에너지가 현저히 증가하는 경향을 나타내었다. 강섬유 혼입률을 1.0vol%, 1.5vol%로 증가시킬 경우 강섬유를 0.5% 혼입한 경우에 비하여 에너지흡수량이 각각 약 28%, 41% 증가하는 것으로 나타나 페유리를 혼입한 슬래브모델에 강섬유를 혼입시키는 것은 에너지 흡수능력 증진에 상당히 효과적인 것으로 판단된다.

3.3 변위측정결과

그림 7은 페유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브중심부에서의 하중-변위를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 페유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델시험에서의 초기균열하중과 최대하중은 슬래브에서의 보통콘크리트와 페유리 20%를 혼입한 경우 최대하중에 도달하여 갑작스러운 슬래브의 파괴가 발생하는 것에 반하여, 강섬유의 혼입률(0.5%, 1.0%, 1.5%)을 증가시킬 경우 최대하중 이후에도 지속적인 변위가 발생하는 것으로 나타나 강섬유의 혼입이 최대하중 이후의 내력 증가에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 강섬유 보강효과는 보공시체에 대한 휨강도시험결과와 다른 양상을 보여주고 있다. 즉, 보공시체에 대한 휨강도시험에서는 최대하중이 초기균열하중을 크게 초과하지 않으나, 슬래브시험에서는 초기균열발생 후 하중의 재분배로 인하여 최대하중까지 하중의 증가가

계속되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 내력 및 변형률특성에 관한 실험연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 슬래브모델의 압축강도는 폐유리혼입 20%의 경우 보통 콘크리트와 유사한 강도특성을 나타내었고, 강섬유혼입량 증가에 따른 압축강도의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 휨강도를 살펴보면, 폐유리혼입 20%의 경우 보통콘크리트에 비해 다소 감소하는 경향을 보였으나 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 약 6%~20%정도 증가하는 경향을 보였다.
- (2) 폐유리20%를 혼입한 슬래브모델의 초기균열하중과 최대하중은 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 초기균열하중과 최대하중은 증가하는 경향을 보였으며, 25mm 변위까지 흡수된 에너지량 역시 강섬유 혼입률을 증가함에 따라 슬래브의 에너지 흡수능력이 증진되는 것으로 나타났다.
- (3) 폐유리20%를 슬래브중심부에서의 하중-변위는 보통콘크리트와 폐유리 20%를 혼입한 경우 최대하중에 도달하여 갑작스러운 슬래브의 파괴가 발생되었지만, 강섬유의 혼입률을 증가시킬 경우 최대하중 이후에도 지속적인 변위가 발생하는 것으로 나타나 폐유리를 혼입한 슬래브모델에 강섬유의 혼입이 내력 증가에 상당한 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- (4) 따라서, 폐유리를 잔골재로 활용한 강섬유보강 콘크리트는 양호한 내력증진과 균열저항성을 갖추어, 구조부재로서의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00372)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박승범 외 3인, "폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회논문집 2002. 5.
2. 박승범, 외 4인, "강섬유 보강 콘크리트 슬래브의 내력 및 변형특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 1997. 10
3. 「Fiber Reinforced Concrete」, sp-81, American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp.452
4. Craig Polley, Steven M. Cramer, and Rodolfo V. de la Cruz. "Potential for using waste glass in portland cement concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.10, No.4, pp.210-219, 1998.