

# 폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Physical and Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Containing Waste Glass

박승범\*\*                      이봉춘\*                      조광연\*                      이택우\*  
Park, Seung Bum              Lee, Bong Chun              Cho, Gwang Yoen              Lee, Taek Woo

### ABSTRACT

The production of waste glasses has been increased with the development of industry. The utilization of waste glass for concrete can cause the concrete to be cracked and to be weakened due to an expansion by alkali-silica reaction(ASR). When used the fibers with waste glass, there is an effect on reduction of expansion and strength loss due to ASR between the alkali in the cement paste and the silica in the waste glass.

In this study, we conducted basic experimental research to analyze the possibilities of recycling of amber waste glass as fine aggregates for steel fiber reinforced concrete. Test results of fresh concrete, slump is decreased because grain shape is angular and air content is increased due to involving small size particles so much in waste glasses. Also, tensile and flexural strengths increased as the content of steel fibers increased. In conclusion, the content of waste glass below 40% is reasonable and usage of pertinent admixture is necessary to obtain workability or air content.

### 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 문제등이 잔존하기 때문에 아직까지 많은 양의 폐유리는 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 될것으로 사료된다. 폐유리를 콘크리트에 사용할 경우 폐유리의 혼입률이 큰 경우에는 폐유리와 페이스트 계면에서 부착력이 감소하여 강도는 저하하고 특히 인장 및 휨강도가 압축에 비해 낮은 강도특성을 나타낸다. 또한, 폐유리를 혼입한 콘크리트의 강도는 보통의 콘크리트와 유사하더라도 폐유리의 혼입에 따른 유해한 팽창(alkali-silica reaction)으로 균열이 발생하여 콘크리트의 성능이 저하되며 이러한 폐유리의 사용에 따른 유해한 팽창은 산업부산물, 폐유리 분말 및 섬유보강재 등을 통해 억제시킬 수 있다고 보고되고 있다.

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원

\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

따라서 본 연구에서는 폐유리를 잔골재로 사용한 강섬유보강 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 기초적 실험연구를 수행하였다.

## 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) 폐유리

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

표 1 폐유리의 화학적 조성

성분 (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	CaO+MgO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
종류						
갈색유리 (%)	72.1	1.74	14.11	11.52	0.13	0.31

#### (3) 강섬유

본 연구에 사용된 보강용 섬유는 국내 C사에서 제조된 양단 후크형 강섬유를 사용하였으며 강섬유의 물리적 특성은 표 2와 같고 그 형상은 그림 1과 같다.

표 2 강섬유의 물리적 특성

Properties	Steel Fiber (Hooked Type)
Fiber length(mm)	36
Equivalent diameter(mm)	0.6
Specific gravity	7.85
Tensile strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	4,500
Modulus of elasticity(kgf/cm <sup>2</sup> )	200×10 <sup>4</sup>

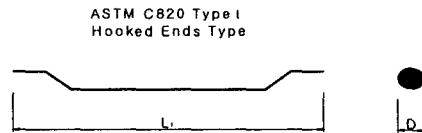


그림 1. 강섬유의 형상

#### (4) 혼화제

혼화제로는 시멘트의 분산작용에 의해 콘크리트의 작업성을 개선시키는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계인 고성능감수제를 사용하였다.

### 2.2 배합 및 시험방법

### 2.2.1 배합

폐유리를 잔골재로 사용한 강섬유보강 콘크리트의 역학적 특성을 구명하기 위한 배합은 표 3과 같으며 20%와 40%의 폐유리 혼입률에서 강섬유의 혼입률(0.5, 1.0, 1.5vol.%)을 변화시켜 물리·역학적 특성을 분석하였다.

표 3 폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 배합

Mix No.	W/C (%)	S/C (%)	WG Contents(%)	SF Contents(%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					
					C	W	S	G	WG	SF
Plain	50	47	-	-	380	190	796	914	0	0
WG20	50	47	20	-	380	190	637	914	151	0
WG20-SF0.5			20	0.5			630	907	151	39.3
WG20-SF1.0			20	1.0			624	900	151	78.5
WG20-SF1.5			20	1.5			618	893	151	117.8
WG40	50	47	40	-	380	190	478	914	303	0
WG40-SF0.5			40	0.5			471	907	303	39.3
WG40-SF1.0			40	1.0			465	900	303	78.5
WG40-SF1.5			40	1.5			459	893	303	117.8

Note : C=Cement ; W=Water ; S=Sand ; G=Gravel ; WG=Waste Glass ; SF=Steel Fiber

### 2.1.2 실험방법

#### (1) 굳지않은 콘크리트의 시험

폐유리를 혼입한 굳지않은 콘크리트의 물리적 특성을 시험하기 위해서 슬럼프는 KS F 2402[포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법], 공기량은 KS F 2421[굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법]에 준하여 실시하였다

#### (2) 압축 및 인장강도 시험

폐유리를 혼입한 콘크리트의 배합조건별 압축 및 인장강도의 측정은  $\Phi 10 \times 20$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2405[콘크리트의 압축강도 시험방법]과 KS F 2423[콘크리트의 인장강도 시험방법]에 준하여 실시하였다.

#### (3) 휨강도 및 휨인성 시험

폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험은  $15 \times 15 \times 55$ cm의 보 공시체를 제조하여 KCI-SF-104의 「강섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법」에 준하여 일본 S사의 B-Type Autograph를 사용하여 재하 하중별 처짐량을 측정한 후 휨인성을 평가하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 성질

그림 2는 폐유리 혼입률(20, 40wt.%)과 강섬유의 혼입률(0.5, 1.0, 1.5vol.%)에 따른 슬럼프 결과로서 강섬유 및 폐유리의 혼입률이 증가할수록 슬럼프 값은 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이러한 경향은 강섬유의 혼입으로 강섬유 자체가 매트릭스의 유동성을 억제시키고 폐유리 입자가 각이 지고 모래보다 상대적으로 크기 때문에 콘크리트의 유동성이 감소되는 것으로 판단된다.

그림 3는 폐유리 혼입률과 강섬유 혼입률에 따른 공기량 결과로서 강섬유 혼입률과 폐유리 혼입률이 증가함에 따라 공기량은 증가하였으며 이러한 경향은 폐유리 입형이 좋지 못하여 부피에 비하여 상대적으로 표면적이 증가하여 공기량이 증가하는 것으로 판단되며 강섬유의 혼입률이 증대할수록 매트릭스 내의 체적증대로 인한 기공의 증대 및 다짐의 곤란 등에 의해 갇힌 공기가 증가하기 때문으로 사료된다.

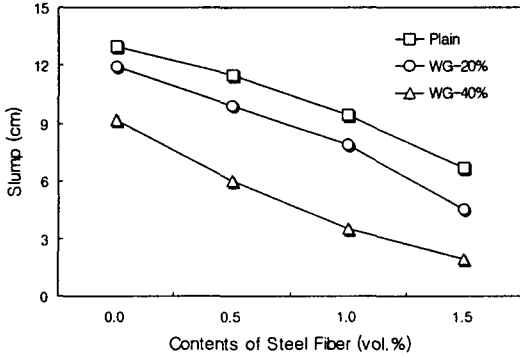


그림 2 슬럼프 시험결과

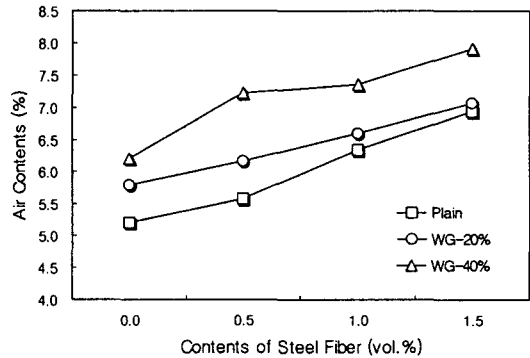


그림 3 공기량 시험결과

### 3.2 경화된 콘크리트의 성질

#### 3.2.1 압축강도

그림 4와 5는 폐유리를 콘크리트의 잔골재로 사용할 경우 강도의 손실이 비교적 작은 폐유리 혼입률 20%와 40%에 대해서 강섬유 혼입률의 변화에 따른 압축강도 시험결과이다.

재령 28일의 경우 폐유리와 강섬유를 혼입하지 않은 보통 콘크리트를 기준으로 한 상대강도비는 폐유리 혼입률 20%에서는 1.04~1.06배, 폐유리 혼입률 40%에서는 0.91~0.96배로 폐유리 40%의 혼입률에서 다소 낮은 강도를 나타내었으며 동일 혼입률에서 강섬유가 압축강도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 조깅인장강도

그림 6과 7은 폐유리 혼입률 20%와 40%에 강섬유 혼입률의 변화에 따른 조깅인장강도 시험결과이다. 폐유리 혼입률 20%의 경우 재령 28일에서의 인장강도는 강섬유 혼입률이 0.5vol.%~1.5vol.%로 증가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 인장강도는 1.05~1.23배로 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며 강섬유 혼입률이 1.0vol.% 이상의 혼입률에서 인장강도의 증진효과가 큰 것으로 나타났다.

또한, 폐유리 혼입률 40%의 경우 재령 28일에서의 인장강도는 강섬유의 혼입률이 증대할수록 보통 콘크리트에 비해 0.85~1.01배의 강도를 나타내어 폐유리 40%의 혼입률 보다는 폐유리 20%의 혼입률에 강섬유를 적용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

#### 3.2.3 휨강도 및 휨인성

폐유리 혼입률 20%와 40%에 강섬유 혼입률의 변화에 따른 휨강도 시험결과는 그림 8 및 그림 9와 같다. 폐유리 혼입률 20%의 경우 재령 28일에서의 휨강도는 강섬유 혼입률이 0.5vol.%~1.5vol.%로 증

가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 1.06~1.19배 증가하는 경향을 보이고 있으며 폐유리 혼입률 40%의 경우는 강섬유의 혼입률 증가에 따라 0.88~0.99배의 강도를 발현하였으며 인장강도와 마찬가지로 강섬유 혼입률 1.0vol.% 이상의 혼입률에서 양호한 강도증진효과를 나타내었다. 이러한 경향은 강섬유의 혼입에 의한 앵커작용에 의해 섬유와 콘크리트 매트릭스 사이의 부착력이 증대되어 휨거동시 초기 균열발생후의 저항능력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 폐유리를 혼입한 강섬유보강 콘크

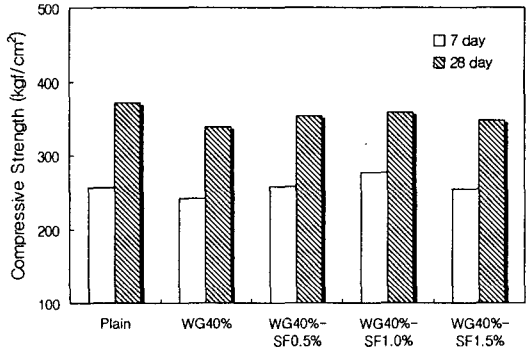
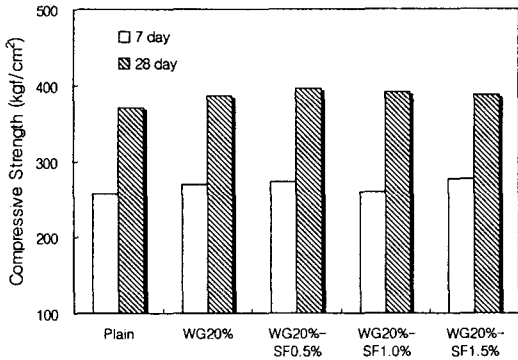


그림 4 강섬유 혼입률과 압축강도와의 관계(폐유리 20%)      그림 5 강섬유 혼입률과 압축강도와의 관계(폐유리 40%)

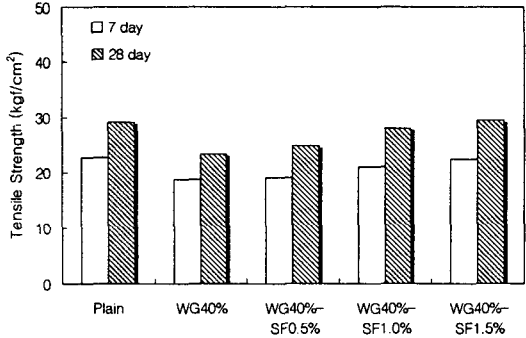
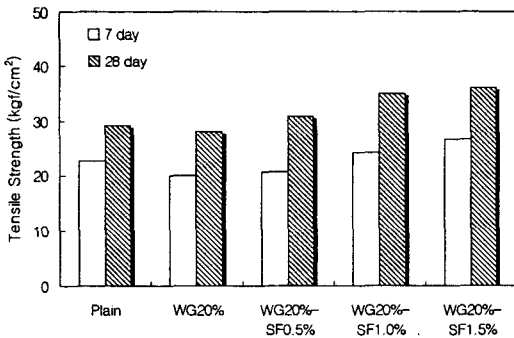


그림 6 강섬유 혼입률과 인장강도와의 관계(폐유리 20%)      그림 7 강섬유 혼입률과 인장강도와의 관계(폐유리 40%)

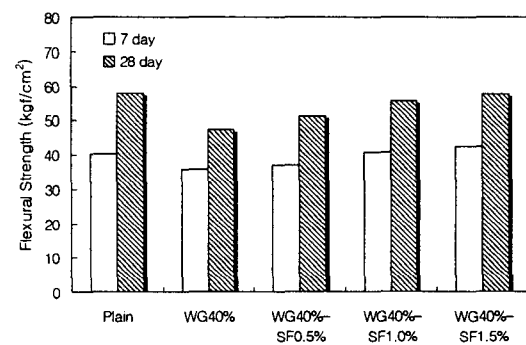
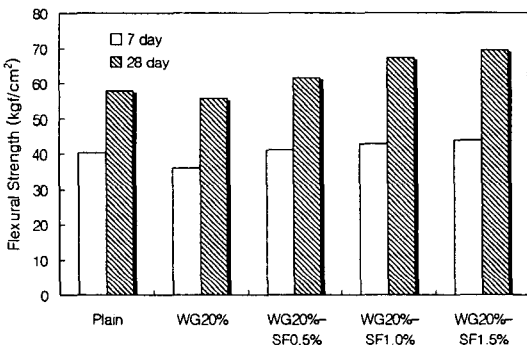


그림 8 강섬유 혼입률과 휨강도와의 관계(폐유리 20%)      그림 9 강섬유 혼입률과 휨강도와의 관계(폐유리 40%)

리트의 하중-처짐 곡선으로부터 구한 휨인성계수는 강섬유의 혼입률이 증가할수록 처짐변형성능은 현저히 개선되는 경향을 나타내었으며, 폐유리 혼입률이 40%인 경우가 폐유리 혼입률 20%보다 에너지 흡수능력이 저하하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 폐유리의 혼입률이 증대할수록 시멘트와 페이스트와의 부착력 감소로 강섬유에 의한 가교역할이 상대적으로 저하되었기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 발생하고 있는 갈색 폐유리를 잔골재로 사용한 강섬유보강 콘크리트의 물리·역학적 특성에 관한 기초적 실험연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 폐유리(20, 40wt.%)를 잔골재로 사용한 강섬유보강 콘크리트의 슬럼프는 강섬유 및 폐유리의 혼입률이 증가할수록 점차 감소하였으며 이러한 원인은 강섬유의 혼입에 의한 유동성의 억제와 폐유리의 입형과 입도에 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한, 공기량은 강섬유 및 폐유리의 혼입률이 증가할수록 점차 증가하였다.
- (2) 폐유리 20%를 잔골재로 사용한 강섬유보강 콘크리트의 상대압축강도비는 보통 콘크리트에 비해 1.06~1.04로 폐유리 및 강섬유의 혼입이 압축강도에 미치는 영향은 적은 것으로 사료된다.
- (3) 폐유리를 사용한 강섬유보강 콘크리트의 쪼갬인장강도는 동일 강섬유 혼입률에서 폐유리 20%의 경우가 폐유리 40%보다 양호한 강도발현을 나타내었으며 각각의 폐유리 혼입률에서 강섬유 혼입률이 증가할수록 1.05~1.23배, 0.8~1.01배의 강도를 발현하였으며 강섬유 혼입률 1.0vol.% 이상의 혼입률에서 양호한 강도발현 효과를 나타내었다.
- (4) 폐유리 혼입률 20%의 경우 재령 28일에서의 휨강도는 강섬유 혼입률이 0.5vol.%~1.5vol.%로 증가할수록 보통콘크리트에 비해 1.06~1.19배 증가하였고, 폐유리 혼입률 40%에서는 강섬유 혼입률이 증가할수록 보통콘크리트에 비해 0.88~0.99%의 강도발현을 나타내었으며 강섬유 혼입률 1.0vol.% 이상의 혼입률에서 양호한 강도증진효과를 나타내었다.
- (5) 폐유리 20%를 혼입한 강섬유보강 콘크리트는 폐유리를 40%혼입한 경우보다 양호한 에너지 흡수능력을 나타내었으며 강도특성과 에너지 흡수능력을 고려해 볼 때 강섬유의 혼입은 폐유리 40%미만에서의 사용이 적합할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 박승범 외 2인, "폐유리 골재를 혼입한 모르타의 알칼리 실리카 반응에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, Vol.13, No.3, 2001. 6.
2. 박승범, "에너지절약형 고기능섬유보강 콘크리트의 개발 및 설계·시공지침안 작성에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1998. 10.
3. 四川直宏 外 2人, "ガラス粉末を用いたモルタルの強度特性, 第49回 セメント技術大會講演集", 1995.
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.