

# 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass Powder

정 영 수\*      배 수 호\*\*      석 윤 호\*\*\*      김 년 산\*\*\*\*      권 영 우\*\*\*\*  
Chung, Young-Soo      Bae, Su-Ho      Suk, Yun-Ho      Kim, Nyun San      Kwon, Young Woo

### ABSTRACT

The purpose of this experimental research is to investigate the mechanical properties of ordinary strength and high strength concrete containing waste glass powder.

For this purpose, after production of concrete containing waste glass powder for different unit weight of binder and : placement ratio of waste glass powder, optimum mixing proportions of them was determined, and then mechanical properties such as static modulus of elasticity as well as compressive, tensile and flexural strength were tested and analyzed for concrete produced according to optimum mixing proportions.

As a result, the concrete containing waste glass powder has an excellent workability and strength, it's strengths are analogous to those of silica fume, it's workability is somewhat better than that of silica fume.

### 1. 서 론

현재 국내에서 발생하는 폐유리 중 유리병은 약 70%의 재활용을 보이고 있으며, 유리병 외의 폐유리는 타용도 원료로써 유리섬유, 그라스비드, 그라스타일 및 그라스블록 등에 사용되고 있으나, 전체 폐유리의 재활용율은 60% 정도에 그치고 있고 나머지는 폐기처리되고 있는 실정이다. 이는 유리병 외에 폐유리가 아직 회수·처리시스템이 미구축된 상태이며, 아울러 폐유리 처리 및 재활용에 관한 기술 개발도 선진국에 비해 낙후되었기 때문인 것으로 판단된다.

이들 폐유리를 재활용하지 않고 폐기처리하게 되면 그 비용과 더불어 환경오염이 큰 문제점으로 대두되어 환경 보호 측면에서도 이에 관한 연구가 시급히 요구되고 있다. 한편, 폐유리는 그 화학성분 중 70% 이상이 실리카( $\text{SiO}_2$ ) 성분으로, 이것이 시멘트와의 수화반응시 포졸란 작용을 할 수 있기 때문에, 폐유리를 콘크리트용 혼화제로써 활용할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 폐유리가 포졸란 작용을 할 수 있는 한계압경 범위를 예비실험으로 미리 구한 후 폐유리 분말 시료를 조제하였으며<sup>1)</sup>, 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 이들의 혼입률을 변화시키면서 폐유리를 혼입한 콘크리트를 제조한 후, 시공성 및 강도특성이 가장 우수한 최적 혼입률을 구하였다. 또한 폐유리의 최적 혼입률에 의해 제작된 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 압축, 인장 및 휨강도와 탄성적 성질 등 역학적 특성을 구명하여 폐유리를 콘크리트용 혼화제로써 활용키 위한 기본 자료를 제시하고자 한다.

\* 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수

\*\*\* 정희원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\* 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 석사과정

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(H사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1.과 같다.

#### 2.1.2 폐유리 분말

폐유리 분말이 포졸란 작용을 할 수 있는 한계입경 범위는 예비실험에 의해서 구한 결과<sup>1)</sup> No.200체 전후이므로, 이같은 입경의 폐유리 분말 시료를 조제하기 위하여 무색의 판유리를 볼밀(ball mill)로 분쇄한 후, No.100 체에 90% 이상 통과되고 No.200체에 100% 잔류된 것을 「No.100체 크기」의 폐유리 시료로, No.200체에 90% 이상 통과되고 No.400체에 100% 잔류된 것을 「No.200체 크기」의 폐유리 시료로 분류하였다.

표 2.는 본 연구에 사용된 폐유리의 화학성분을 나타낸 것이다.

#### 2.1.3 골재

본 연구에 사용된 골재시료로써 잔골재는 낙동강산(경북 안동시) 하천사, 굵은골재는 안동산(경북 안동시) 부순 돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 표 3. 및 표 4.와 같다.

#### 2.1.4 혼화제

본 연구에 사용된 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)를 사용하였다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간		분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		초결(min)	종결(hr)		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
보통 포틀랜드	3.12	150	5.5	3,465	194	245	308

표 2. 폐유리의 화학성분

시료	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
부색의 판유리 (No.100, No.200체 크기)	71±1	1.47	0.07	8.91	4.04	0.24	13.10	0.83

표 3. 잔골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	단위용적증량 (tf/m <sup>3</sup> )	200번체 통과량 (%)	조립률
하천사 (낙동강산)	2.60	1.08	1.597	2.2	2.92

표 4. 굵은골재의 물리적 성질

항목	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적증량 (tf/m <sup>3</sup> )	조립률	마모율 (%)
부순돌 (안동산)	25	2.65	0.6	1.648	7.27	28.5

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 폐유리 혼입 콘크리트의 최적 혼입률 도출실험

##### 1) 공시체 제작

폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 최적 혼입률을 결정기 위한 콘크리트 공시체(φ10×20cm)는 KS F 2403에 따라 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거하고 시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

##### 2) 실험방법

###### 가) 시공성

폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 시공성은 물-결합재비를 플레인 콘크리트와 동일하게 한 후 목표 슬럼프(보통강도: 15±2cm, 고강도: 21±2cm)를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

###### 나) 압축강도

폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 최적 혼입률을 도출시키기 위한 강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 재령별(3일, 7일, 28일, 91일)로 하였다.

#### 2.2.2 역학시험

##### 1) 공시체 제작

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 최적 혼입률 도출시험을 통하여 시공성 및 강도특성을 고려한 최적 배합비를 결정 후 이에 의해 제작된 콘크리트의 역학적 특성을 구명기 위하여, KS F 2403에 따라 콘크리트 공시체를 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 탈형하고, 강도시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

##### 2) 시험방법

###### 가) 압축강도 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성을 파악기 위한 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강

도 시험 방법)에 따라 재령별(3일, 7일, 28일, 91일)로 하였다.

나) 인장 및 휨강도 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 인장 및 휨강도 시험은 각각 KS F 2423, 2407에 따라 압축강도 시험의 경우와 동일 배합의 콘크리트에 대하여 재령 28일 강도를 시험하였다.

다) 정탄성계수 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 정탄성계수를 구하기 위하여 KS F 2438에 따라 압축강도 시험의 경우와 동일 배합의 콘크리트에 대하여 재령 28일 공시체에 대해서 시험을 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 폐유리 혼입 콘크리트의 제조 및 최적 혼입률 도출

3.1.1 시공성과 강도특성

보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 모두, 폐유리 분말의 혼입률이 증가할수록 목포 슬립프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 감소되어 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 시공성은 플레인 콘크리트 보다 다소 유리한 것으로 나타났으며, 또한 동일 배합의 콘크리트의 경우 폐유리의 입경이 작을수록 시공성은 불리한 것으로 나타났다.

단위결합재량이 350kg/m<sup>3</sup>인 보통강도 콘크리트의 경우, 폐유리의 입경이 No.100체 크기일 때의 강도는 플레인 콘크리트 보다 저하되어 강도증진 효과가 없는 것으로 나타났으며, 또한 동일 배합일 때, 폐유리의 입경이 No.200체 크기일 경우 그 혼입률이 15%인 경우를 제외하면, 플레인 콘크리트의 압축강도 보다 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 폐유리 분말의 혼입률이 15%인 경우 재령 28일의 압축강도는 플레인 콘크리트의 1.09배로, 다소 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 단위결합재량이 500kg/m<sup>3</sup>인 고강도 콘크리트의 경우 폐유리 입경이 No.100체 크기일 때는 그 혼입률이 15%까지는 혼입률이 증가할수록 증가하는 경향을 보이다가 그 이후로는 감소하는 것으로 나타났다. 이때 폐유리 분말의 혼입률이 10~15%인 경우 플레인 콘크리트에 대한 폐유리 혼입 콘크리트의 강도비는 1.06~1.09로, 다소 강도증진이 있는 것으로 나타났다. 한편, 동일 배합일 때 폐유리 입경이 No.200체 크기인 경우, 콘크리트의 압축강도는 그 입경이 No.100체 크기인 경우와 거의 동일한 경향을 보이나, 플레인 콘크리트에 대한 강도 증진비는 크게 증가하는 것으로 나타났다.

3.1.2 폐유리 분말의 최적 혼입률

No.100체 크기의 폐유리 분말은 포졸란 효과가 그다지 크지 않기 때문에 이를 무시하면, No.200체 크기의 폐유리 분말의 최적 혼입률은 보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 각각 15%, 10%로 나타났다(그림 3~6).

3.2 역학적 특성

3.2.1 압축강도와 인장 및 휨강도, 정탄성계수

그림 7~8은 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것으로, 보통강도 콘크리트의 경우 폐유리 분말의 혼입효과가 그다지 크지 않은 것으로 나타났으나, 폐유리 분말을 10% 혼입한 고강도 콘크리트의 경우 플레인 콘크리트에 대한 강도 증진율은 시험한 전 재령에 걸쳐서 20% 전후로 매우 우수한 강도특성이 있는 것으로 나타났다.

보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 인장강도비는 각각 1.03, 1.08로 나타났으며, 휨강도비는 각각 1.14, 1.07로 나타났다. 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 콘크리트의 인장 및 휨강도는 각각 재령 28일 압축강도의 약 1/12, 1/5로 나타났고, 고강도 콘크리트의 그것은 각각 약 1/13, 1/6.5로 나타났다.

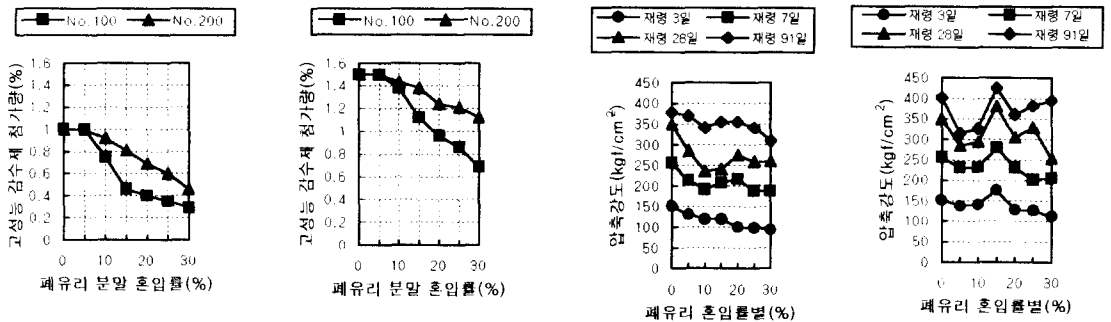


그림 1. 폐유리 혼입률에 따른 시공성 (그림 2. 폐유리 혼입률에 따른 시공성) 그림 3. 폐유리 혼입률에 따른 압축강도 (그림 4. 폐유리 혼입률에 따른 압축강도)  
(보통강도 콘크리트) (고강도 콘크리트) (보통강도, No.100체 크기) (보통강도, No.200체 크기)

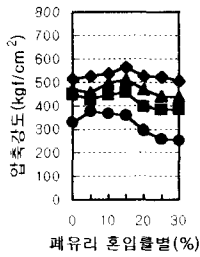
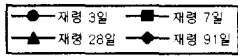


그림 5. 폐유리 혼입률에 따른 압축강도 (고강도, No.100체 크기)

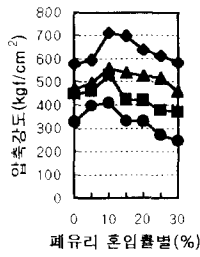
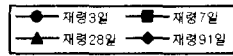


그림 6. 폐유리 혼입률에 따른 압축강도 (고강도, No.200체 크기)

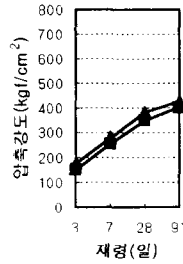
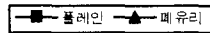


그림 7. 폐유리 혼입 콘크리트의 압축강도(보통강도 콘크리트)

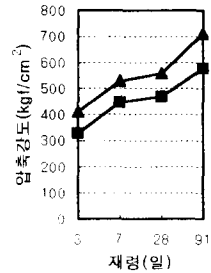
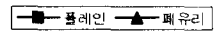


그림 8. 폐유리 혼입 콘크리트의 압축강도(고강도 콘크리트)

한편, 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 정탄성계수비는 각각 1.04, 1.12로, 폐유리 혼입 콘크리트의 탄성계수 증진율은 압축강도 증진율에 비해 다소 저하되는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

1) 보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 모두, 폐유리 분말의 혼입률이 증가할수록 고성능 감수제 첨가량이 감소되어 폐유리 분말의 시공성은 플레인 콘크리트 보다 다소 유리한 것으로 나타났는데, 이것은 유리의 큰 취성으로 인해 분쇄과정시 입자모양이 원형에 가깝게 되기 때문인 것으로 추정된다.

2) 보통강도 콘크리트의 경우 No.100체 크기의 폐유리는 포졸란 작용이 없는 것으로 나타났으며, No.200체 크기인 경우는 그 혼입률이 15%일 때 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 재령 28일 강도를 기준으로 하여 1.09로, 다소 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 한편, 고강도 콘크리트의 경우 재령 28일 강도를 기준으로 하였을 때, No.200체 크기의 폐유리는 그 혼입률 5~25%에서 플레인 콘크리트에 대한 강도비가 1.06~1.19로, 매우 우수한 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다.

3) No.100체 크기의 폐유리 분말은 포졸란 효과가 그다지 크지 않기 때문에 이를 무시하면, No.200체 크기의 폐유리 분말의 최적 혼입률은 보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 각각 15%, 10%로 나타났다.

4) No.200체 크기의 폐유리를 10% 혼입한 고강도 콘크리트의 경우, 플레인 콘크리트에 대한 강도 증진율은 시험한 전 재령에 걸쳐서 20% 전후로 매우 우수한 강도특성이 있는 것으로 나타났다.

5) 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 인장강도비는 각각 1.03, 1.08로, 이들 모두 압축강도 증진율 보다는 크게 작아지는 것으로 나타났다. 또한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 휨강도비는 각각 1.14, 1.07로, 휨강도 측면에서 폐유리 분말의 혼입 효과는 고강도 콘크리트 보다 보통강도 콘크리트의 경우가 더 효과적인 것으로 나타났다.

6) 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 정탄성계수비는 각각 1.04, 1.12로, 폐유리 혼입 콘크리트의 탄성계수 증진율은 압축강도 증진율에 비해 다소 저하되는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 정영수, 배수호, 석윤호, "재생유리를 혼입한 모르타의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제10권 2호, 1998. 11, pp.36~41
2. The New York State Energy Research and Development Authority, "Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks", Final Report 97-15, 1997. 11
3. 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