

# 폐유리를 혼입한 콘크리트의 공학적 특성

## An Engineering Properties of Concrete Containing Waste Glass

라 재 응\*      신 재 인\*      오 성 진\*\*      구 봉 근\*\*\*  
Rha, Jae-Woong      Shin, Jae-In      Oh, Sung-Jin      Koo, Bong-Kuen

### ABSTRACT

In this paper, we carried out experiment to use crushed waste glass as a fine aggregate.

This study dealt with the comparative analysis on the construction works and engineering properties of concrete containing crushed waste glass through physical experiment. The experimental variables are crushed waste glass substitution ratio and  $W/C$  (38, 53%).

When the  $W/C$  was 38%, we could know that concrete containing crushed waste glass was good as general concrete on the construction works and engineering properties but the concrete containing crushed waste glass applied  $W/C$  53% was not good as general concrete on those. Therefore, concrete containing crushed waste glass applied  $W/C$  53% should use admixture on the site.

### 1. 서론

산업의 급격한 발달은 다량의 산업 폐기물을 발생시켜 왔으며, 이러한 폐기물은 그 처리방안과 처리비용문제로 인해 매립 내지는 방치되어져 왔지만 최근들어 환경문제가 대두되면서 산업 폐기물의 처리 및 재활용문제가 사회적으로 큰 관심을 불러일으키고 있다. 산업 폐기물중의 하나인 폐유리는 폐유리병을 제외하고는 재활용이 현실적으로 잘 이루어지지 않아 환경문제를 유발시키고 있어 폐유리의 처리 및 재활용에 관한 연구개발이 필요한 실정이다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 폐유리를 잔골재의 일부로 대체하여 이를 재활용하기 위한 연구를 수행하였다. 따라서, 본 연구의 목적은 산업폐기물의 하나인 폐유리를 콘크리트의 재료로 재활용하는 방안에 대한 연구를 수행하여 그 활용 가능성을 검토하였다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1. 실험계획

본 연구에서는 잔골재의 일부 또는 전체를 폐유리로 대체한 콘크리트의 역학적 특성을 규명하고,

\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\*\* 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

폐유리의 활용 가능성을 검토하기 위해 물-시멘트비와 대체율에 따라 3개 이상의 원주형 공시체를 제작하였다. 초기 슬럼프값을  $8\pm 2\text{cm}$ 로 정하여 배합설계를 한 후 슬럼프실험 및 유동성확보를 위해 소정량의 고성능 유동화제를 첨가하여 슬럼프값을  $18\pm 2.5\text{cm}$ 에 맞추어 실험을 실시하였으며, 각각의 공시체는 24시간 공기중양생후 탈형하여 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법(KS F 2403)에 의해 수중양생을 실시하였다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.1. 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 국내 C사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

### 2.2.2. 폐유리 및 골재

본 실험에서는 폐유리의 성분을 파악하기 위해 성분분석기 EDS(Energy dispersive spectroscope)를 사용하였으며, 폐유리와 강모래의 입형을 분석하기 위해 주사형 전자현미경 SEM(Scanning electron microscope)을 사용하여 각각의 입형을 80배 확대하여 촬영하였다. 폐유리의 화학적 성분 및 SEM은 표 1, 그림 1과 같다. 또한, 굵은골재는 최대치수가 19mm인 쇄석을 사용하였고 골재의 물리적 특성은 표 2와 같다.

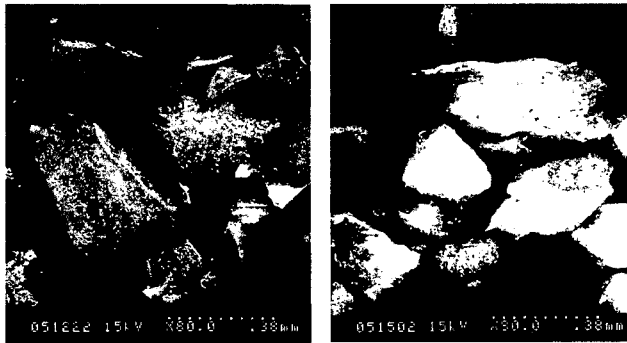


그림 1 폐유리와 강모래의 SEM×80

표 1 폐유리의 화학적 성분

성분 종류	화 학 적 성 분 (%)							
	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
폐유리	15.38	3.35	3.06	63.21	2.07	1.70	9.43	0.12

표 2 골재의 물리적 특성

종 류	비중	흡수율(%)	조립율(F.M.)	잔입자통과량
굵은골재(쇄석)	2.71	1.38	6.62	0.6
잔골재(강모래)	2.68	2.25	2.75	2.02
잔골재(폐유리)	2.53	1.42	2.73	3.4

### 2.2.3. 배합설계

본 실험에서는 물-시멘트비(38, 53%)에 따라 2계열, 폐유리의 대체율(0, 30, 45, 60, 75, 100%)에 따라 6계열로 하여 총 12계열로 구성하였다. 본 실험에서 사용된 배합설계표는 표 3과 같다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 굳지 않은 콘크리트

#### 3.1.1. 시간에 따른 슬럼프값의 변화

그림 2와 3은 물-시멘트비 38%와 53%일 때, 시간에 따른 슬럼프값의 변화를 나타내었다. 그림 2와 그림 3에서는 대체적으로 모든 계열에서 물-시멘트비 53%일 때가 38%일 때보다 경화가 빠르다는 것을 알 수 있었

표 3 배합설계

분류	W/C (%)	S/a (%)	잔골재 대체율 (%)	SP	W (kg)	용적배합 (l/m <sup>3</sup> )				중량배합 (kgf/m <sup>3</sup> )			
						시멘트	잔골재	페유리	굵은골재	시멘트	잔골재	페유리	굵은골재
G0	38	50	0	슬럼프를 위한 소정량	200	167	306	-	306	526	821	-	831
G30			30			167	214	92	306	526	574	233	831
G45			45			167	168	138	306	526	450	349	831
G60			60			167	122	184	306	526	327	466	831
G75			75			167	76	230	306	526	204	582	831
G100			100			167	-	306	306	526	-	774	831
G0	53	50	0	슬럼프를 위한 소정량	200	120	330	-	330	377	885	-	895
G30			30			120	231	99	330	377	619	250	895
G45			45			120	181	149	330	377	485	377	895
G60			60			120	132	198	330	377	354	501	895
G75			75			120	82	248	330	377	220	627	895
G100			100			120	-	330	330	377	-	835	895

주) G0 : 페유리 대체율이 0인 계열.

으며, 페유리를 혼입하지 않은 경우에는 비빔직후부터 60분 사이에 슬럼프의 손실이 크게 나타났고, 페유리를 혼입한 경우에는 비빔직후부터 45분 사이에 슬럼프의 손실이 크게 나타났다. 또한, 모든 계열에서 페유리를 혼입한 경우가 혼입하지 않은 경우보다 슬럼프의 손실이 크게 나타났는데 이는 그림 1에서 유리의 입형이 강모래의 입형에 비해 각이지고 모가나 있어 강모래보다 골재의 유동성이 저하된 것으로 사료된다<sup>2)</sup>. 그러므로, 페유리를 혼입한 콘크리트의 현장적용시에는 유동성확보를 위해 적정량의 혼화제를 사용하여 슬럼프손실을 저하시킬 필요가 있다고 판단된다.

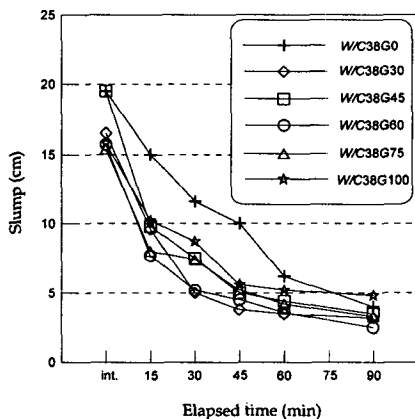


그림 2 시간에 따른 슬럼프의 변화(W/C38%)

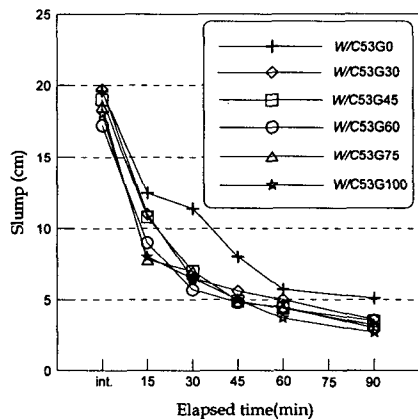


그림 3 시간에 따른 슬럼프의 변화(W/C53%)

### 3.1.2. 공기량 및 블리딩율

물-시멘트비 38%일 때의 공기량에 비해 53%일 때는 평균적으로 21%정도 많은 공기량을 갖고 있었으며, 대체율이 증가함에 따라 공기량도 증가함을 알 수 있었는데 이는 0.15mm~0.6mm크기의 입자를 갖는 폐유리가 상대적으로 강모래보다 많기 때문에 폐유리의 대체율이 증가함에 따라 공기량도 증가된다고 사료된다. 또한, 물-시멘트비 38%일 때보다 53%일 때의 블리딩율이 큰값을 나타내었고 폐유리를 혼입한 콘크리트의 블리딩율은 혼입하지 않은 콘크리트보다 적은 값을 나타내었다.

## 3.2. 굳은 콘크리트

### 3.2.1. 압축강도 및 인장강도

그림 4는 재령별 압축강도를 나타내고 있다. 물-시멘트비에 대한 경향을 살펴보면 W/C38계열의 재령 28일 압축강도는 411~456kgf/cm<sup>2</sup>인데 비해 W/C53계열에서는 260~317kgf/cm<sup>2</sup>이므로 W/C38계열 압축강도의 60~73% 정도의 강도발현을 나타내었다. 또한, 재령28일에서 W/C38G0계열에 비해 W/C38G45계열을 제외한 W/C38의 나머지 계열에서 압축강도발현은 2~5% 정도의 압축강도가 증가하였으며, W/C53G0계열에 비해 W/C53의 나머지 계열에서는 2~15% 정도의 압축강도가 감소하였다.

인장강도의 강도발현을 살펴보면 물-시멘트비 38, 53%일 때 G0계열의 인장강도에 비해 폐유리의 대체율에 따라 91~97%의 인장강도발현을 나타내었다.

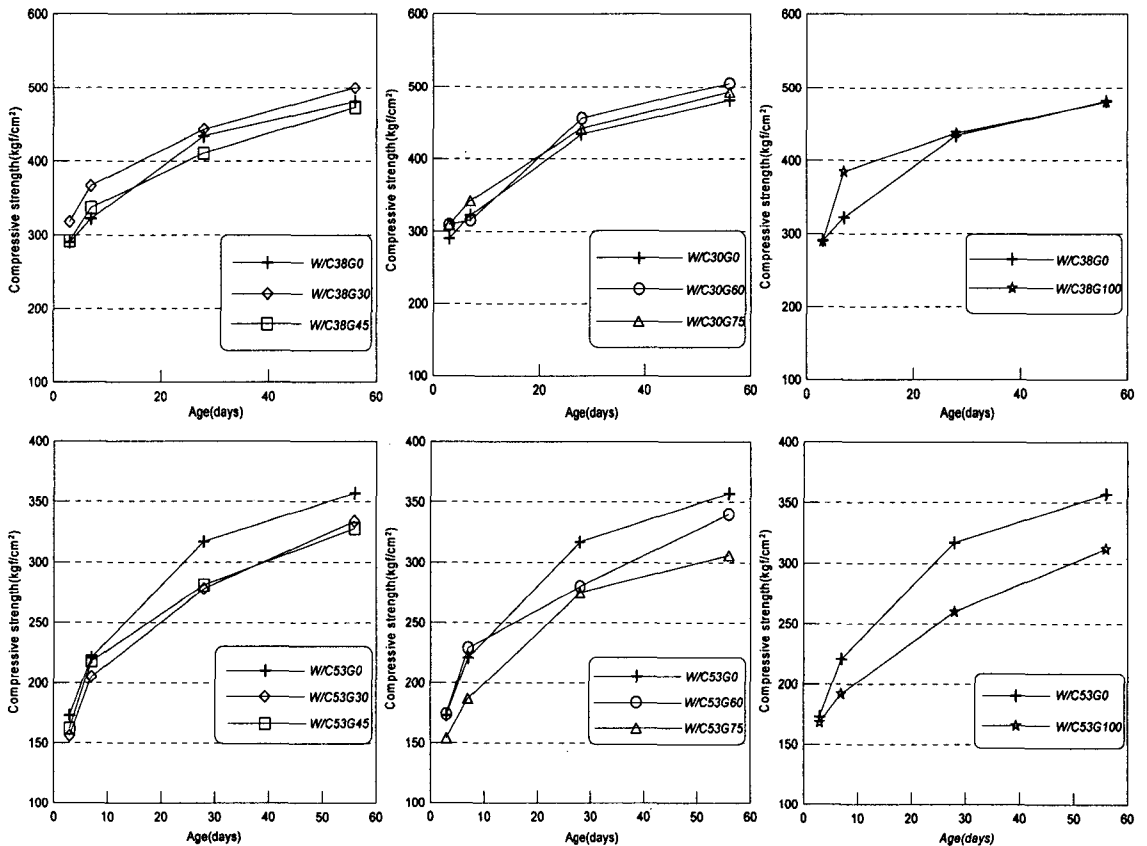


그림 4 재령에 따른 압축강도(W/C38,53%)

### 3.2.2. 초음파속도 및 반발경도

초음파속도는 재령이 증가함에 따라 증가하였고, 물-시멘트비 38%인 경우 53%인 경우에 비해 큰 값을 갖고 있었다. 또한, 물-시멘트비 38%일 때 폐유리를 혼입한 콘크리트가 강모래를 혼입한 콘크리트보다 0.02~0.1 정도 큰 값을 얻을 수 있었으며, 53%일 때는 0.1~0.24 정도 작은 값을 얻을 수 있어서 이를 통해 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 유도해 낼 수 있었다. 압축강도와 초음파속도의 상관관계는 그림 5, 6에서 볼 수 있듯이 비례관계를 나타내고 있었으며 표 4는 그림 5의 상관관계를 선형회귀분석하여 나타낸 것이다.

표 4에서 알 수 있듯이 폐유리를 혼입한 콘크리트에서 초음파속도를 사용하여 압축강도를 추정할 수 있는 상관관계식의 결정계수( $R^2$ ) 값이 0.8~0.85 사이에 있어 대체적으로 추정가능함을 알 수 있었다.

표 4 압축강도와 초음파속도와의 회귀분석

분 류	회귀 방정식	결정 계수 ( $R^2$ )
G0	$F_c = 272.37 V - 863.01$	0.8099
G30	$F_c = 223.24 V - 633.71$	0.9008
G45	$F_c = 257.14 V - 799.92$	0.8474
G60	$F_c = 239.41 V - 707.39$	0.8081
G75	$F_c = 252.97 V - 781.48$	0.8210
G100	$F_c = 209.59 V - 576.84$	0.8184

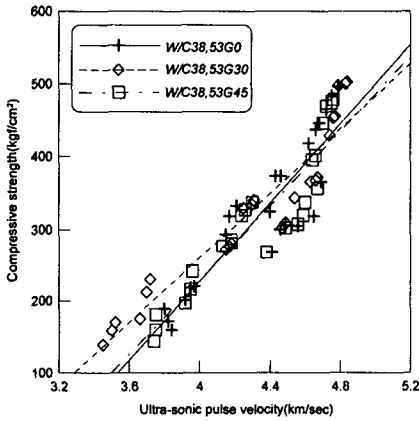


그림 5 압축강도와 초음파속도와의 상관관계(G0,30,45)

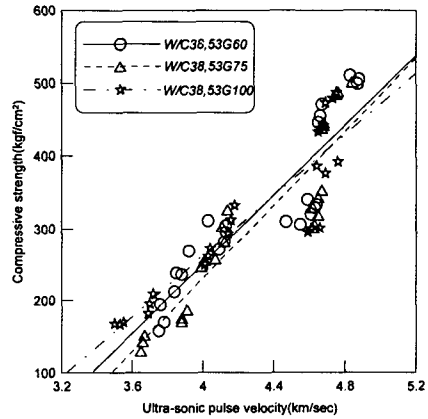


그림 6 압축강도와 초음파속도와의 상관관계(G60,75,100)

반발경도의 경우에도 초음파속도와 마찬가지로 재령에 따라 증가하고, 물-시멘트비가 38%인 경우가 큰 값을 나타내었다. 또한, 폐유리를 혼입한 콘크리트의 경우 물-시멘트비 38%일 때에는 강모래 혼입 콘크리트보다 증가하는 경향을 53%일 때보다는 감소하는 경향을 보였다. 그림 7과 그림 8은 압축강도와 반발경도와의 상관관계를 나타낸 그림이고 표 5는 이 관계를 회귀분석하여 나타낸 표이다. 표 5에서 알 수 있듯이, 반발경도

표 5 압축강도와 반발경도와의 회귀분석

분 류	회귀 방정식	결정 계수 ( $R^2$ )
G0	$F_c = 14.23 R - 88.43$	0.9061
G30	$F_c = 16.45 R - 149.95$	0.9599
G45	$F_c = 14.51 R - 84.43$	0.8806
G60	$F_c = 14.43 R - 111.89$	0.8824
G75	$F_c = 16.18 R - 131.53$	0.9313
G100	$F_c = 15.25 R - 95.18$	0.8502

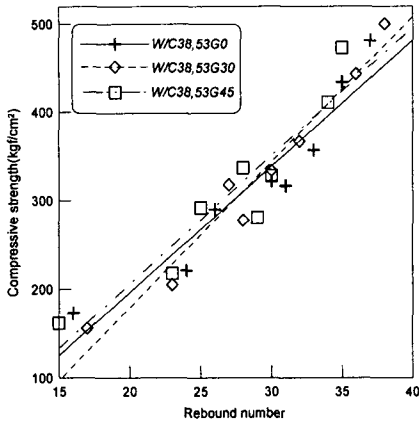


그림 7 압축강도와 반발경도와의 상관관계

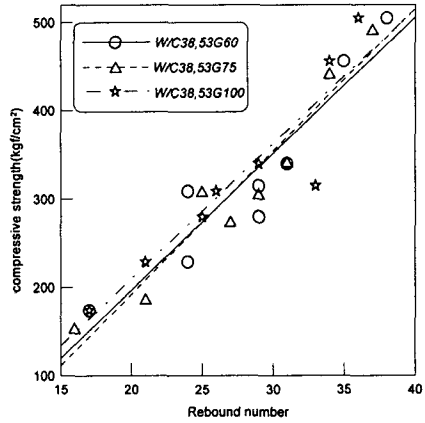


그림 8 압축강도와 반발경도와의 상관관계

의 경우 초음파속도에 비해 비교적 높은 상관성을 가지고 있었으며, 대부분의 계열에서 0.9정도의 높은 상관성을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 폐유리를 혼입한 콘크리트의 유동특성 및 역학적 특성에 대한 실험결과를 강모래를 혼입한 콘크리트와 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 폐유리 혼입 콘크리트의 시공성능은 기준콘크리트(G0)에 비해 모든 계열에서 슬럼프손실이 큰 것으로 나타나 이를 현장적용시에는 유동성확보를 위해 적정량의 혼화제를 사용할 필요가 있다고 판단된다.
- 2) 물-시멘트비 38%일 때 폐유리 혼입 콘크리트의 기준콘크리트(G0)에 대한 역학적 특성이 53%일 때의 것보다 우수하게 나타나 콘크리트에 폐유리 혼입시 적정 물-시멘트비는 고강도 발현을 위한 콘크리트에 더욱 유리하다고 판단된다.
- 3) 압축강도의 경우 물-시멘트비 38%일 때 기준콘크리트(G0)에 비해 거의 모든 재령에서 약 5%정도의 강도 증진효과를 얻을 수 있어 콘크리트재료로서 폐유리가 충분히 사용가능하다고 판단되었으나, 물-시멘트비 53%일 때에는 약 15%정도 강도가 감소하여 보통강도 발현을 위한 콘크리트에서는 혼화제와 함께 사용되어야 한다고 판단된다.
- 4) 폐유리 혼입 콘크리트에서 압축강도에 대한 초음파속도 및 반발경도와의 상관관식을 통해 압축강도의 추정이 가능한 식을 제시하였다.

#### 참고문헌

1. Shih, K., "The Effect of Recycled Crushed Glass on the Tensile and Compressive Properties of Concrete", ME Thesis, The Cooper Union for the Advancement of Science and Art Albert Nerken, School of Engineering, 1998. pp. 1~178.
2. Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., and Rodriguez, D., "Studies on Concrete Containing Ground Waste Glass", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, 2000, pp. 91~100.