

폐유리 분말을 혼입한 유리 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

배수호^{1)*} · 정영수²⁾

¹⁾안동대학교 토목환경공학과 ²⁾중앙대학교 토목공학과

(2000년 10월 11일 원고접수, 2001년 1월 29일 심사완료)

Experimental Study on the Mechanical Properties of Glass Concrete with Powdered Waste Glasses

Su-Ho BAE^{1)*}, Young-Soo CHUNG²⁾

¹⁾ Dept. of Civil & Environmental Engineering, Andong National University, Andong, 760-749, Korea

²⁾ Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang University, Ansung, 456-756, Korea

(Received October 11, 2000, Revised January 29, 2001)

ABSTRACT

As a part of the movement of natural resources conservation, there have been doing many recycling research works for obsolete aged tire, wasted plastic materials, etc. The purpose of this experimental study is to develop glass concrete by recycling wasted glasses as a cementitious constituent in concrete.

First of all, the optimum replacement ratio of powdered waste glasses(PWG) can be determined through pilot compressive strength test on normal and high strength concrete cylinders, which have been made in various mix proportions by changing the replacement ratio of PWG. Then, further tests have been done to figure out mechanical properties of most desirable glass concrete with optimum replacement ratio of PWG, such as static modulus of elasticity, compressive and tensile strengths, flexural strength. On the other hand, the alkali-silica reactions by the mortar-bar method(KS F 2546) have been experimentally doing in various grain sizes of PWG, since the alkali in the cement has a tendency to react with the silica in the PWG.

It can be confirmed from the test that glass concrete can have better workability than concrete with silica fume, and they are alike in compressive strength. It is concluded that wasted glasses can be used as practical additives for economic and environmentally friendly concrete.

Keywords : powdered waste glasses, glass concrete, optimum replacement ratio, mechanical properties, alkali-silica reactions

1. 서 론

국내에서 유통되는 유리제품은 크게 판유리, 유리병, 식탁·주방용기, 전구, 조명등 및 이화학기기 등으로 분류되는데, 이들의 연간 생산량('98년 기준)은 약 150만톤 정도이며, 이들 중 판유리가 85만톤(57%), 유리병류가 62만톤(41%), 식탁·주방용기 등 기타제품이 3만톤(2%)을 차지하고 있다. 폐유리의 재활용 현황으로 유리병류 외의 폐유리는 회수·처리 시스템 및 관련업계의 통계자료의 미흡 등으로 재활용 현황 파악이 어려우며, 유리병류는 반복사용되거나 유리원료로서 재활용되고 있다. 이 외에도 유리섬유, 그라스비드, 그라스타일 및 그라스블록 등으로 재활용되는

등 폐유리 발생량의 65% 정도가 재활용되고 있으며, 나머지는 매립되고 있는 실정이다. 따라서 폐유리의 처리 비용과 더불어 환경오염이 큰 문제점으로 대두되고 있는 실정이다^{1,2)}.

한편, 미국 뉴욕주의 에너지연구개발 당국은 폐유리를 조적식 콘크리트 블록으로 활용키 위한 연구를 2년간('96~'97) 수행하였는데, 이 연구에서는 폐유리를 골재 및 시멘트 대체재료로서 활용할 수 있는 방안과 폐유리의 실리카 성분이 시멘트와의 반응시 알칼리·실리카 반응성 여부를 검토하였다^{3,4)}. 또한, 일본에서는 유리분말을 혼입한 모르타르의 압축 및 휨강도 특성 등을 구명하여 콘크리트 혼화재료로서 유리분말의 사용 가능성을 연구하였다⁵⁾.

따라서, 폐유리는 그 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO₂) 성분으로, 이것이 시멘트와의 수화반응시 포졸란 작용⁶⁾이 가능하기 때문에, 국내에서도 폐유리를 콘크리트 품

* Corresponding author

Tel : 054-820-5896 Fax : 054-820-5896

E-mail : shbae@andong.ac.kr

질 개선을 위한 환경친화적 혼화재로서 활용할 수 있는 방안연구가 시급히 요구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 환경오염원인 폐유리를 유효적절히 활용키 위하여 폐유리가 포졸란 작용을 할 수 있는 한계입경 범위를 예비실험으로 미리 구한 후 폐유리 분말 시료를 조제하였으며⁷⁾, 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 폐유리 분말의 혼입률을 변화시킨 콘크리트를 제조한 다음 그것의 작업성 및 강도특성을 고려한 폐유리의 최적 혼입률을 도출하였다. 또한, 폐유리의 최적 혼입률에 의해 제작된 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 압축, 인장 및 휨강도와 탄성적 성질 등 역학적 특성을 구명하여 폐유리를 경제적이고 환경친화적인 콘크리트 혼화재로서 활용하기 위한 기본 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 폐유리 분말

폐유리 분말(PWG)이 포졸란 작용을 할 수 있는 한계입경 범위는 예비실험에 의해서 구한 결과 No.200 체 크기 전후이므로⁷⁾, 이같은 입경 범위의 폐유리 분말 시료를 조제하기 위하여 무색의 관유리를 볼밀(ball mill)로 분쇄한 후 No.100 체에 90% 이상 통과되고 No.200 체에 100% 잔류된 것을 「No.100 체 크기」의 폐유리 시료로, No.200

Table 1 Physical properties of cement

Specific gravity	Setting time (min)		Fineness (cm ² /g)	Compressive strength(kgf/cm ²)		
	Initial	Final		f ₃	f ₇	f ₂₈
3.12	150	330	3,465	194	245	308

Table 2 Chemical composition of powdered waste glass

Kind of glass	Chemical composition(%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Colorless plate glass	71±1	1.47	0.07	8.91	4.04	0.24	13.10	0.83

Table 3 Physical properties of powdered waste glass

Grain size	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)
No.100 sieve	2.84	1,958
No.200 sieve	2.84	3,318

체에 90% 이상 통과되고 No.400 체에 100% 잔류된 것을 「No.200 체 크기」의 폐유리 시료로 분류하였다.

Table 2 및 Table 3은 각각 본 연구에 사용된 폐유리 시료의 화학적 성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이다.

2.1.3 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 낙동강산(경북 안동시) 하천사, 굵은골재는 안동산(경북 안동시) 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 Table 4 및 Table 5와 같다.

2.1.4 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트 용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)로서 품질특성은 Table 6과 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 폐유리 분말의 최적 혼입률 평가

1) 콘크리트 배합실험

콘크리트의 작업성 및 강도특성을 고려한 폐유리 분말의 최적 혼입률을 도출시키기 위하여 단위결합재량이 각각 350kg/m³, 500kg/m³인 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 폐유리 분말(No.100 체, No.200 체 크기)을 결합

Table 4 Physical properties of fine aggregate

Fine aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (ton/m ³)	Weight of passing No. 200 sieve(%)	F.M.
River sand (Nakdong-river)	2.60	1.08	1.597	2.2	2.92

Table 5 Physical properties of coarse aggregate

Coarse aggregate	Gmax (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (ton/m ³)	F.M.	Abrasion (%)
Crushed stone (Andong)	25	2.65	0.6	1.648	7.27	27.5

Table 6 Quality properties of chemical admixture

Specific gravity	pH	Solid content (%)	Quantity(%) (to weight of cement)	Main component	Remarks
1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	Liquid

재 중량비로 0~30%까지 5%씩 변화시키면서 배합실험을 하였다. 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대한 플레인 콘크리트의 물-결합재비는 목표 슬럼프를 얻기 위한 단위 수량 및 고성능 감수제 첨가량을 구하여 결정하였으며, 이들에 대한 목표 슬럼프 값은 각각 $15\pm 2\text{cm}$, $21\pm 2\text{cm}$ 로 하였다.

또한, 혼화제에 관한 실험 결과 공기연행 효과가 없는 고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 공기량은 2~3% 정도로 나타났기 때문에⁸⁾ 목표 공기량은 $2.0\pm 0.5\%$ 로 보고 각 재료를 계산하였다. 그리고, 공기연행 효과가 없는 고성능

감수제는 콘크리트 배합비에 따른 공기량의 변화가 그다지 크지 않다는 것을 혼화제에 관한 실험으로부터 입증했기 때문에⁸⁾ 배합실험시 공기량 시험은 실시하지 않았다.

2) 공시체 제작

폐유리 분말의 최적 혼입률을 도출시키기 위한 콘크리트 공시체($\phi 10\times 20\text{cm}$)는 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 따라 312개를 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거하고 시험 전까지 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다. Table 7~8은 보통강도 및 고강도

Table 7 Mix proportions of normal strength concrete

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Grain size of PWG	Replacement ratio of PWG (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Target air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super plasticizer (B×%)
							W	C	PWG	S	G	
350	46.5	No.100 sieve	0	45	15.3	2.0 ± 0.5	163	350	0	801	1.052	1.0
			5		16.1			332.5	17.5	801	1.050	1.0
			10		16.7			315.0	35.0	801	1.049	0.75
			15		16.4			297.5	52.5	798	1.049	0.46
			20		16.5			280.0	70.0	798	1.049	0.40
			25		15.5			262.5	87.5	798	1.047	0.35
			30		17.0			245.0	105.0	798	1.047	0.29
		No.200 sieve	0	15.3	2.0 ± 0.5	163	350	0	801	1.052	1.0	
			5	16.3			332.5	17.5	801	1.050	1.0	
			10	15.6			315.0	35.0	801	1.049	0.92	
			15*	17.0			297.5	52.5	798	1.049	0.81	
			20	16.5			280.0	70.0	798	1.049	0.69	
			25	17.0			262.5	87.5	798	1.047	0.60	
			30	16.8			245.0	105.0	798	1.047	0.46	

* Mix proportions to investigate mechanical properties of normal strength concrete with PWG

Table 8 Mix proportions of high strength concrete

Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	Grain size of PWG	Replacement ratio of PWG (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Target air content (%)	Unit weight(kg/m ³)					Super plasticizer (B×%)
							W	C	PWG	S	G	
500	35.0	No.100 sieve	0	40	19.1	2.0 ± 0.5	175	500	0	689	1.007	1.5
			5		20.3			475	25	689	1.004	1.5
			10		19.5			450	50	686	1.004	1.38
			15		22.1			425	75	686	1.004	1.12
			20		21.7			400	100	686	1.002	0.96
			25		20.2			375	125	686	999	0.86
			30		20.1			350	150	684	999	0.69
		No.200 sieve	0	19.1	2.0 ± 0.5	175	500	0	689	1.007	1.5	
			5	19.0			475	25	689	1.004	1.5	
			10*	19.0			450	50	686	1.004	1.43	
			15	21.7			425	75	686	1.004	1.38	
			20	19.8			400	100	686	1.002	1.24	
			25	19.4			375	125	686	999	1.21	
			30	19.7			350	150	684	999	1.12	

* Mix proportions to investigate mechanical properties of high strength concrete with PWG

콘크리트 각각에 대해서 폐유리의 입경 크기별로 혼입률을 변화시킨 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

3) 작업성 평가

폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 작업성은 물-결합재비를 플레인 콘크리트와 동일하게 한 후 각각의 목표 슬럼프(보통강도: $15 \pm 2\text{cm}$, 고강도: $21 \pm 2\text{cm}$)를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

4) 압축강도 시험

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

2.2.2 역학적 특성 평가

1) 공시체 제작

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 최적 혼입률 평가 실험을 통하여 작업성 및 강도특성을 고려한 최적 배합비(Table 7, 8에서 * 표시한 배합비)를 결정한 다음 이 배합비에 의해 제작된 콘크리트의 역학적 특성을 구명키 위하여, KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 따라 콘크리트 공시체(압축 및 인장 강도 시험용: $\phi 10 \times 20\text{cm}$, 탄성계수 시험용: $\phi 15 \times 30\text{cm}$, 휨강도 시험용: $15 \times 15 \times 53\text{cm}$)를 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 탈형하고, 시험 전까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도에서 습윤양생하였다.

2) 압축강도 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성을 구명키 위한 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 재령별(3일, 7일, 28일, 91일)로 하였다.

3) 인장 및 휨강도 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 인장 및 휨강도 시험은 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험 방법)과 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험 방법: 단순보의 중앙점 하중법)에 따라 압축강도 시험의 경우와 동일 배합의 콘크리트에 대하여 재령 28일 강도를 시험하였다.

4) 정탄성계수 시험

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 정탄성계수를 구하기 위하여 KS F 2438(콘크리트의 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아송비 시험 방법)에 따라 압축강도 시험의 경우와 동일 배합의 재령 28일 콘크리트 공시체에 대해서 시험을

하였다. 정탄성계수 측정을 위하여 동일 배합의 공시체에 대해서 압축강도 시험을 통하여 파괴하중의 40~50% 하중을 미리 계산한 다음 파괴하중의 60% 정도까지의 하중을 10%씩 증가시키면서 각각의 종방향 변위를 측정후 정탄성계수를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 폐유리 분말의 최적 혼입률 도출

3.1.1 작업성

폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 작업성은 플레인 콘크리트와 동일 배합으로 하여 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 의하여 평가하였는데, 그 결과는 Fig. 1~2와 같다. 즉, 보통강도 및 고강도 콘크리트 모두 폐유리 분말의 혼입률이 증가할수록 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량이 감소되어, 폐유리 분말의 작업성은 플레인 콘크리트보다 다소 유리한 것으로 나타났다. 이것은 유리의 높은 취성으로 인해 분쇄과정시 입자 형태가

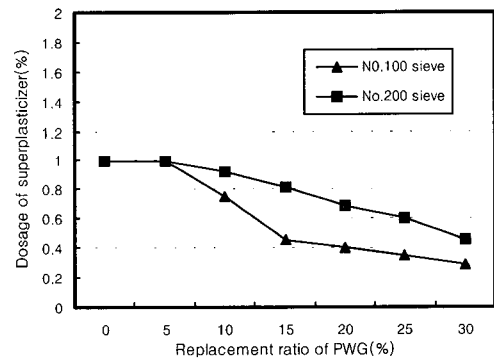


Fig.1 Dosage of superplasticizer on replacement ratio of PWG(Normal strength concrete)

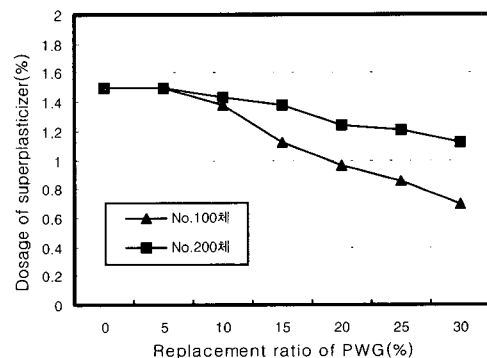


Fig.2 Dosage of superplasticizer on replacement ratio of PWG(High strength concrete)

거의 원형에 가깝기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 3). 또한, 동일 배합의 콘크리트의 경우 폐유리 입경이 작을수록 작업성은 불리한 것으로 나타났는데, 이것은 분말의 입경이 작을수록 즉, 분말도가 클수록 비표면적이 커서 수화반응시 혼입수와 접촉면적이 크기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 No.200 체 크기의 폐유리 분말의 주사전자현미경(SEM)에 의한 분석결과로서, 입자 형태가 비교적 원형에 가까운 것을 나타내고 있다.

3.1.2 압축강도

Fig.4~7은 폐유리 분말의 혼입률에 따른 보통강도 및 고강도 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로, 단위결합재량이 350kg/m³인 보통강도 콘크리트의 경우 폐유리의 입경이 No. 100 체 크기일 때의 콘크리트 압축강도는 혼입률 및 재령에 관계없이 플레인 콘크리트보다 저하되어, 이 경우는 폐유리 분말의 강도증진 효과가 없는 것으로 나타났다. 또한, 동일 배합일 때 폐유리의 입경이 No.200 체 크기인 경우 콘크리트의 압축강도는 그 혼입률이 15%인 경우를 제외하면, 재령에 관계없이 플레인 콘크리트보다 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 그 혼입률이 15%인 경우 설계기준강도로 채택되는 재령 28일의 압축강도는 플레인

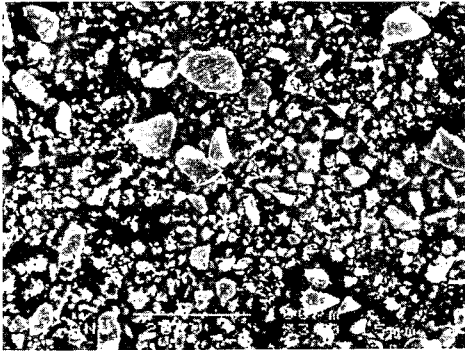


Fig.3 SEM analysis of PWG

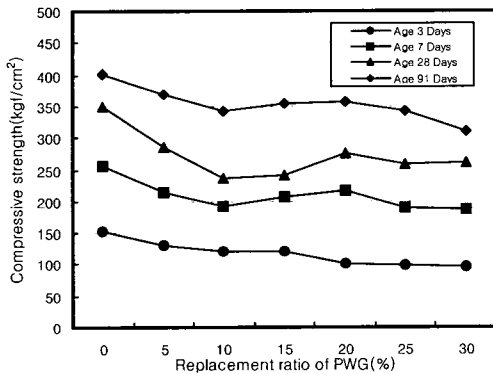


Fig.4 Compressive strength on replacement ratio of PWG(Normal strength, No.100 sieve)

콘크리트의 1.09배로, 다소 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 단위결합재량이 500kg/m³인 고강도 콘크리트의 경우 폐유리의 입경이 No.100 체 크기일 때의 콘크리트 압축강도는 그 혼입률이 15%까지는 대체적으로 재령에 관계없이 혼입률에 비례하여 증가하는 경향을 보이나, 그 혼입률이 15%를 초과하면 혼입률이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이때 폐유리 분말의 혼입률이 10~15%인 경

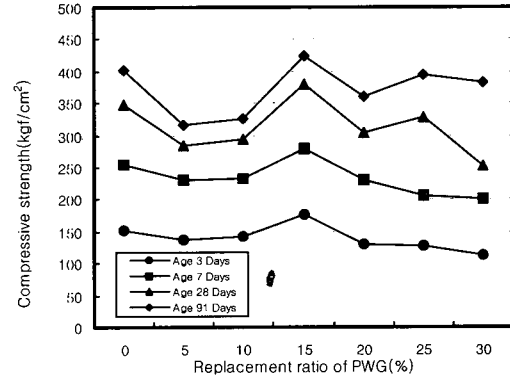


Fig.5 Compressive strength on replacement ratio of PWG(Normal strength, No.200 sieve)

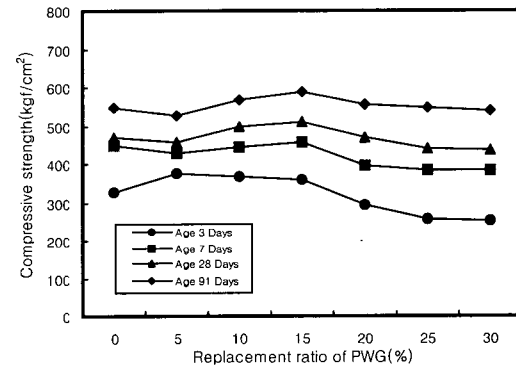


Fig.6 Compressive strength on replacement ratio of PWG(High strength, No.100 sieve)

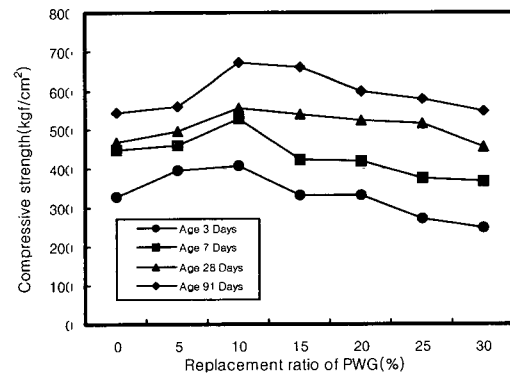


Fig.7 Compressive strength on replacement ratio of PWG(High strength, No.200 sieve)

우 재령 28일 강도를 기준으로 하였을 때, 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 1.06~1.09로, 다소 강도증진이 있는 것으로 나타났다. 한편, 동일 배합일 때 폐유리의 입경이 No.200 체 크기인 경우 콘크리트의 압축강도는 그 입경이 No.100 체 크기인 경우와 유사한 경향을 보이니, 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 크게 증가하는 것으로 나타났다. 예를 들면, 전 혼입률에 대해 재령 28일 강도를 기준으로 하였을 때 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 0.98~1.19로 나타났으며, 이중 그 혼입률이 10%인 경우 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 1.19로, 현존하는 상업용 혼화제 중 그 성능이 탁월한 실리카흄⁹⁾에 버금가는 매우 우수한 강도특성이 있는 것으로 나타났다. 이것은 폐유리의 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO₂) 성분으로, 이것이 시멘트와의 수화반응시 포졸란 작용을 통하여 강도발현에 기여한 것으로 판단된다.

따라서 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 강도특성은 보통강도보다는 고강도 콘크리트의 경우가, 또한 고강도 콘크리트의 경우는 폐유리의 입경이 작을수록 우수한 것으로 나타났다.

3.1.3 최적 혼입률

전술한 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 강도특성으로부터 No. 100 체 크기의 폐유리 분말은 보통강도 콘크리트의 경우 포졸란 작용을 할 수 없는 것으로 나타났고, 고강도 콘크리트의 경우는 강도 증진비가 작기 때문에, 본 연구에서 No.100 체 크기의 폐유리는 강도증진 목적의 콘크리트 혼화제로서 사용할 수 있는 범위에서 제외시켰다.

따라서 본 연구에서는 No.200 체 크기의 폐유리에 대해 재령 28일 강도를 기준으로 하여 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 최적 혼입률을 도출시켰다. 이 때 콘크리트의 작업성과 강도특성을 모두 고려하여야 하나, 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 작업성은 그 혼입률에 비례하여 증가하기 때문에, 이를 무시하고 강도특성만 고려하였다. 즉, 보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 각각 15%, 10%로 나타났다(Fig. 5, Fig. 7).

3.2 폐유리 혼입 콘크리트의 역학적 특성

3.2.1 압축강도

본 연구에서는 No.200 체 크기의 폐유리 분말의 최적 혼입률에 대한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 역학적 특성으로, 압축, 인장 및 휨강도와 탄성계수를 분석하였는데, Fig. 8~9는 이들 중 콘크리트의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 폐유리 분말을 15% 혼입한 보통강도 콘크리트의 경우, 재령 3일의 초기 재령부터 재령 91일의 장기 재령

까지의 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 1.06~1.16으로 나타났으며, 재령 28일 강도를 기준으로 하였을 경우 그것은 1.09로 나타났다. 따라서 보통강도 콘크리트의 경우 폐유리 분말의 혼입 효과는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

한편, 폐유리 분말을 10% 혼입한 고강도 콘크리트의 경우 플레인 콘크리트에 대한 강도비는 시험한 전 재령에 걸쳐서 1.20 정도로 매우 우수한 강도특성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 상업용 혼화제 중 그 성능이 탁월한 실리카흄의 강도 증진율이 20% 정도인 것을 고려하면⁹⁾, 본 연구에서 사용된 폐유리 분말은 실리카흄 못지 않은 매우 우수한 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 폐유리 분말을 고강도 콘크리트 제조용 혼화제로서 이용하는 것이 성능 및 경제성 측면에서 매우 효율적인 것으로 사료된다.

3.2.2 인장 및 휨강도

Fig.10~11은 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 인장 및 휨강도를 나타낸 것으로, 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 인장강도비는 각각 1.03, 1.08로 이

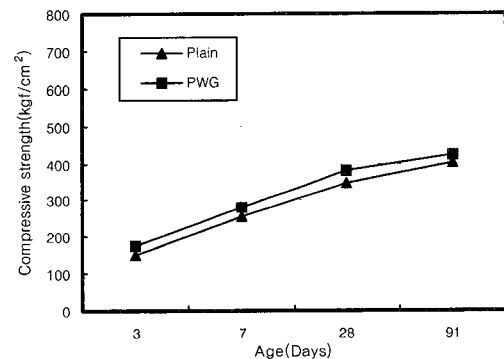


Fig.8 Compressive strength of normal strength concrete with or without PWG

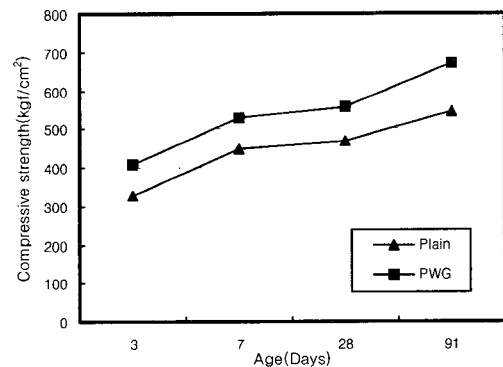


Fig.9 Compressive strength of high strength concrete with or without PWG

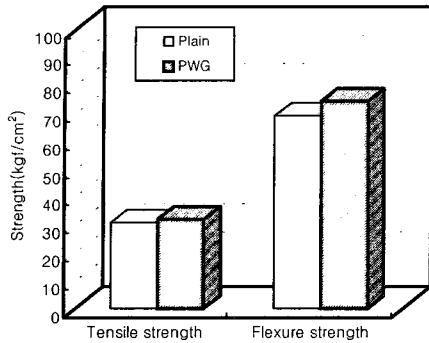


Fig.10 Tensile and flexure strength of normal strength concrete with or without PWG

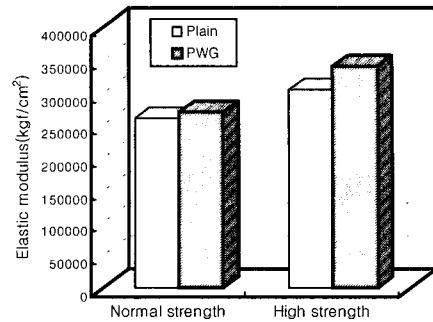


Fig.12 Static elasticity modulus of concrete with or without PWG

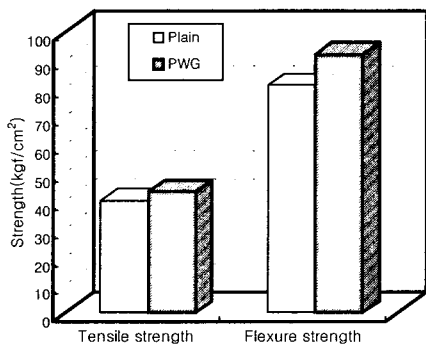


Fig.11 Tensile and flexure strength of high strength concrete with or without PWG

들 모두 압축강도 증진율보다는 크지않은 것으로 나타났다. 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 휨강도비는 각각 1.07, 1.14로, 폐유리가 콘크리트의 휨강도 개선에도 기여하는 것으로 나타났다.

한편, 재령 28일 강도를 기준으로 하였을 때 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 콘크리트의 인장 및 휨강도는 각각 압축강도의 약 1/12, 1/5로 나타났고, 고강도 콘크리트의 경우는 각각 약 1/13, 1/6로 나타나, 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트는 고강도화될수록 일반 콘크리트와 같이 압축강도에 대한 인장 및 휨강도비가 작아지는 것으로 나타났다.

3.2.3 정탄성계수

콘크리트의 탄성적 성질 중에서 가장 중요한것 중의 하나가 정탄성계수이고, 실제 구조물의 설계자료로 정탄성계수가 사용되기 때문에, 본 연구에서는 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 정탄성계수를 구하였다.

Fig.12는 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 정탄성계수를 나타낸 것으로, 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인

콘크리트에 대한 정탄성계수비는 각각 1.04, 1.12로, 폐유리 혼입 콘크리트의 정탄성계수 증진율은 압축강도 증진율에 비해 크지 않은 것으로 나타났다.

4. 결 론

콘크리트용 혼화제로서 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험연구 결과로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 작업성은 플레인 콘크리트보다 다소 유리한 것으로 나타났는데, 이것은 유리의 높은 취성으로 인해 분쇄과정시 입자형태가 거의 원형에 가깝기 때문인 것으로 판단된다.

2) No.100 체 크기의 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 콘크리트는 포졸란 작용이 없는 것으로 나타났으며, 동일 배합시 No.200 체 크기의 폐유리 분말을 15% 혼입한 경우는 다소 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, No.100 체 크기의 폐유리 분말을 혼입한 고강도 콘크리트는 그 혼입률 10~15%에서 다소 강도증진이 있는 것으로 나타났으며, No. 200 체 크기의 폐유리 분말을 혼입한 고강도 콘크리트는 그 혼입률 5~25%에서 매우 우수한 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다.

3) No.200 체 크기의 폐유리의 경우 작업성이 우수하면서 최대 압축강도를 발휘하는 최적 혼입률은 보통강도 및 고강도 콘크리트의 경우 각각 15%, 10%로 나타났다.

4) No.200 체 크기의 폐유리 분말을 15% 혼입한 보통강도 콘크리트는 강도증진 효과가 그다지 크지 않은 것으로 나타났으나, 그것을 10% 혼입한 고강도 콘크리트는 플레인 콘크리트에 대한 강도비가 시험한 전 재령에 걸쳐서 약 1.20으로 매우 우수한 강도특성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 폐유리 분말을 고강도 콘크리트용 혼화제로서 이용하는 것이 성능 및 경제성 측면에서 매우 효율적일 것으로

사료된다.

5) 폐유리 분말을 혼입한 보통강도 및 고강도 콘크리트의 플레인 콘크리트에 대한 인장강도비는 각각 1.03, 1.08로, 이들 모두 압축강도 증진율보다는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한, 휨강도비는 각각 1.07, 1.14로, 폐유리가 콘크리트의 휨강도 개선에도 기여하는 것으로 나타났다.

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

7) 한편, 폐유리의 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO_2) 성분으로, 그것이 시멘트와의 반응시 알칼리·실리카 반응을 유발할 수 있다. 따라서 이에 대한 연구를 진행 중에 있으며, 그 연구결과는 추후 발표할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 환경기술연구개발사업 중 벤처형 중소기업 기술개발지원사업(중점기술명 : 폐기물 재활용 기술)과 중앙대학교 교내 연구 기자재 지원사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국유리협동조합, "유리현황", 1999.
2. 한국자원재생공사, "자원재생", 1999, pp.20~27.
3. The New York State Energy Research and Development Authority, "Use of Recycled Glass for Concrete Masonry Blocks", Report No. 97~15, 1997.
4. Meyer C., Baxter S., and Jin W., "Alkali-Silica Reaction in Concrete with Glass as Aggregate", *Proceeding of the Fourth Materials Engineering Conference*, ACSE, Washington, D.C., 1996, pp.1388~1395.
5. 西川直宏, 高津學, 大門正機, "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, pp.114~119.
6. Kumar Mehta P., Monteiro Paulo J. M., "CONCRETE", Prentice Hall, 1993. pp.209~212.
7. 정영수, 배수호, 석윤호, "재생유리를 혼입한 모르타르의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제10권 2호, 1998, pp.36~41.
8. 배수호, 윤상대, 정영수, 김영의, "고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제6권 6호, 1994, pp.135~142.
9. 배수호, 정영수, 박광수, 이준구, "콘크리트용 혼화제의 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트 학회지, 제11권 2호, 1999, pp.115~125.

요 약

천연자원 보존의 일환으로서 페타이어, 페플라스틱 재료 등에 대한 재활용 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 폐유리를 시멘트 대체재료로서 개발하기 위한 것이다. 이를 위하여, 먼저 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 폐유리 분말의 혼입률을 변화시킨 콘크리트를 제조한 다음 그것의 압축강도 시험을 통하여 폐유리 분말의 최적 혼입률을 도출하였다. 또한, 최적 혼입률에 의하여 제작된 보통강도 및 고강도 콘크리트 각각에 대해서 압축, 인장 및 휨강도와 탄성적 성질 등 역학적 특성을 구명하였다. 한편, 시멘트 속의 알칼리와 폐유리 속에 다량 함유된 실리카 성분은 서로 반응하려는 경향이 있기 때문에, 현재 모르타르용 시험 방법(KS F 2546)에 의한 알칼리·실리카 반응 시험을 진행하고 있다.

본 실험연구 결과로부터 폐유리 분말을 혼입한 콘크리트는 실리카함 콘크리트보다 작업성은 다소 우수하며, 강도특성은 유사한 것으로 나타나, 폐유리 분말에 대해서 경제적이고 환경친화적인 콘크리트 혼화재로서의 가능성을 입증하였다.

핵심용어 : 폐유리 분말, 유리 콘크리트, 최적 혼입률, 역학적 특성, 알칼리·실리카 반응