

## 폐유리 분말을 이용한 모르타르의 특성

### Properties of Mortar Using Powdered Waste Glasses

배 수 호\*<sup>a</sup> · 임 병 탁\*  
Bae, Su Ho · Lim, Byoung Tak

#### Abstract

Due to the economic growth and the improvement of life standards in the country, the quantities of waste glasses have been yearly increased. About 65% of them are recycled and the rest are reclaimed. The reclaimed waste glasses can cause some problems such as the environmental pollution as well as the processing cost of them. Thus, the purpose of this experimental research is to investigate the properties of mortar using powdered waste glasses(PWG) as a cementitious materials in mortar to recycle the reclaimed waste glasses. For this purpose, the workability and strength of mortar specimens using PWG have been tested and analyzed in various grain size of them by changing the replacement ratio. As a result, considering the workability and strength of mortar specimens using PWG, it is concluded that the optimum grain size and replacement ratio of them will be existing.

*Keywords : Powdered waste glasses, Workability and strength, Optimum grain size, Optimum replacement ratio*

#### I. 서 론

국내에서 유통되는 유리제품은 크게 판유리, 병유리, 식탁·주방용기, 전구, 조명등 및 이화학기기 등으로 분류되는데, 이들의 연간 생산량(2001년 기준)은 약 230만톤 정도이며, 이들 중 판유리가 135만톤(59%), 유리병류가 90만톤(39%), 식탁·주방용기 등 기타제품이 5만톤(2%)을 차지하고

있다.<sup>1),2)</sup> 한편, 폐유리의 발생량은 국내 경제성장 및 생활수준의 향상에 따라 매년 증가하고 있는데, 1990년대 초반에 약 60만톤에서 2001년도에는 약 90만톤으로 증가하였다. 폐유리의 재활용 현황으로 유리병류 외의 폐유리는 회수·처리 시스템 및 관련업계의 통계자료의 미흡으로 재활용 현황 파악이 어려우며, 유리병류 중 맥주병, 소주병 및 청량음료병과 같은 반복사용병은 90% 이상의 재활용율을 보이고 있고, 파손된 반복사용병이나 일회용병은 유리병 공장 내에 설치된 파유리(Cullet) 처리설비를 거쳐 유리병 원료로 재활용되고 있다. 이 외에도 유리섬유, 글라스비드, 글라스타일 및 글

\* 안동대학교 공과대학  
\*a Corresponding author. Tel.: +82-54-820-5896  
fax: +82-54-820-5896  
E-mail address: shbae@andong.ac.kr

라스블록 등으로 재활용되는 등 폐유리 발생량의 약 65%인 58만톤이 재활용되고 있으며, 나머지 30만톤 정도가 매립되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup> 따라서 폐유리의 처리 비용과 더불어 환경오염이 큰 문제점으로 대두되고 있는 실정이다.

이 같이 환경문제로 대두되고 있는 폐유리를 모르타르나 콘크리트 재료로 활용하기 위한 방법에는 잔골재 또는 시멘트의 일부를 폐유리로 대체하는 것인데, 전자는 폐유리를 잔골재 크기로 분쇄함에 따른 모르타르나 콘크리트의 제조원가 상승, 폐유리 입경의 과대에 따른 포졸란 작용의 불활성으로 모르타르의 강도특성에 불리하는 등 실용성이 떨어지나, 후자는 폐유리가 가지는 다량의 실리카(SiO<sub>2</sub>) 성분과 미분말화함에 따른 포졸란 반응의 활성화로 강도증진이 이루어지므로, 본 연구에서는 폐유리를 시멘트 대체재로 활용하는 방법을 채택하였다.

폐유리는 화학성분 중 70% 이상이 실리카(SiO<sub>2</sub>) 성분으로, 이를 미분말화함으로써 시멘트와의 수화반응시 포졸란 작용이 활성화되기 때문에 폐유리를 시멘트 대체재로서 활용할 수 있는 방안이 시급히 요구되고 있다.<sup>3),4),5)</sup> 따라서 본 연구에서는 폐유리를 7가지 입경별(0.04 mm, 0.08 mm, 0.15 mm, 0.30 mm, 0.60 mm, 1.20 mm, 2.50

mm)로 분쇄하여 이들을 시멘트량의 0~30%까지 5%씩 시멘트에 대체시키면서 폐유리 분말을 이용한 모르타르 공시체를 제작한 후 작업성 및 강도특성을 구명함으로써 폐유리가 시멘트와의 반응시 포졸란 작용에 가장 유리한 폐유리의 입경 및 혼입률을 제시하였다.

## II. 실험 개요

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 나. 표준사

폐유리 분말을 혼입한 모르타르 공시체 제작을 위하여 시판되고 있는 강원도 주문진산의 압축강도 시험용 표준사를 이용하였다.

#### 다. 폐유리 분말

본 연구에 사용된 폐유리 분말(Powdered Waste Glass: PWG)은 폐유리 중 무색의 판유리

Table 1 Physical properties of cement

Type of cement	Specific gravity	Setting time (min)		Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final		3 days	7 days	28 days
Ordinary portland cement	3.09	194	330	3,465	202	245	308

Table 2 Chemical composition of powdered waste glass

Glass type	Chemical composition (%)							
	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
Colorless plate glass	71±1	1.47	0.07	8.91	4.04	0.24	13.10	0.83

Table 3 Classification of nominal grain size and physical properties for waste glasses

Nominal grain size (mm)	Passing grain size (mm) of not less than 90%	Residual grain size (mm) of 100%	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity
0.04	0.04	-	3,840	2.87
0.08	0.08	0.04	3,329	
0.15	0.15	0.08	2,030	
0.3	0.3	0.15	-	
0.6	0.6	0.3	-	
1.2	1.2	0.6	-	
2.5	2.5	1.2	-	

Table 4 Quality properties of chemical admixture

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

로서 그 화학성분은 Table 2와 같고, 본 연구에서 정의한 폐유리의 호칭입경 분류 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

라. 혼화제

폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 작업성을 평가하기 위해 사용된 혼화제는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)로서 그 품질 특성은 Table 4와 같다.

2. 실험방법

가. 공시체 제작

폐유리 분말이 갖고 있는 포졸란재로서의 특성을 규명하고, 또한 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 작업성 및 강도특성이 가장 우수한 폐유리 분말의 입경과 혼입률을 결정하기 위하여, 폐유리 분말을

7가지 입경(0.04 mm, 0.08 mm, 0.15 mm, 0.30 mm, 0.60 mm, 1.20 mm, 2.50 mm)으로 분쇄하여 각 입경별로 시멘트 중량비의 0~30%까지 5%씩 시멘트에 대체시키면서 모르타르 공시체를 제작하였다. 이때 물-결합재비는 38%, 시멘트와 표준사의 중량비는 1:2, 목표 플로우치는 15±1 cm로 하였으며, 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 배합표는 Table 5와 같다.

폐유리 분말을 혼입한 모르타르 공시체는 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거하고 강도시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생 하였다.

나. 실험방법

1) 작업성 평가

폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 작업성은 물-

Table 5 Mix proportions of mortar with PWG

Nominal grain size (mm)	Replacement ratio of PWG (cement×%)	Water-cementitious materials ratio (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	PWG (kg/m <sup>3</sup> )	Sand (kg/m <sup>3</sup> )	Flow value (cm)	Superplasticizer (cement×%)
0.04	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		15.0	0.5
	10			630	70		15.8	0.5
	15			595	105		15.4	0.6
	20			560	140		15.5	0.6
	25			525	175		15.8	0.7
	30			490	210		15.7	0.9
0.08	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		16.4	0.6
	10			630	70		16.2	0.6
	15			595	105		15.2	0.6
	20			560	140		14.5	0.6
	25			525	175		14.8	0.6
	30			490	210		15.6	0.8
0.15	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		14.9	0.5
	10			630	70		15.6	0.5
	15			595	105		14.5	0.4
	20			560	140		14.7	0.5
	25			525	175		14.7	0.5
	30			490	210		14.8	0.6
0.3	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		15.1	0.6
	10			630	70		15.1	0.6
	15			595	105		15.1	0.6
	20			560	140		14.5	0.6
	25			525	175		14.5	0.8
	30			490	210		14.2	1.0
0.6	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		16.2	0.6
	10			630	70		14.8	0.5
	15			595	105		14.5	0.5
	20			560	140		14.0	0.6
	25			525	175		14.2	0.9
	30			490	210		13.1	1.1
1.2	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		16.5	0.6
	10			630	70		15.8	0.5
	15			595	105		15.5	0.5
	20			560	140		14.3	0.5
	25			525	175		14.0	0.9
	30			490	210		12.6	1.1
2.5	0	38	266	700	0	1,400	15.2	0.5
	5			665	35		14.8	0.4
	10			630	70		15.0	0.5
	15			595	105		14.7	0.5
	20			560	140		14.0	0.5
	25			525	175		14.0	0.9
	30			490	210		13.9	1.1

결합재비(38%)를 폐유리 분말을 혼입하지 않은 기준 모르타르와 동일하게 한 후 목표 플로우치 15±1 cm를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 평가하였다.

2) 강도시험

폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 강도시험은 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 따라 각 재령별(3일, 7일, 28일)로 하였다.

Ⅲ. 결과분석 및 고찰

1. 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 작업성

폐유리 분말의 입경별로 이들의 혼입률에 따른 모르타르의 작업성을 평가하기 위하여, 목표 플로우치 15±1 cm를 얻기 위한 기준 모르타르의 단위수량 및 고성능 감수제 첨가량을 미리 구한 후 그것의 물-결합재비를 결정하였으며, 폐유리 분말을 혼입한 모르타르는 기준 모르타르와 동일배합으로 하여 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량에 따라 작업성을 평가하였는데, 그 결과는 Fig. 1과 같다.

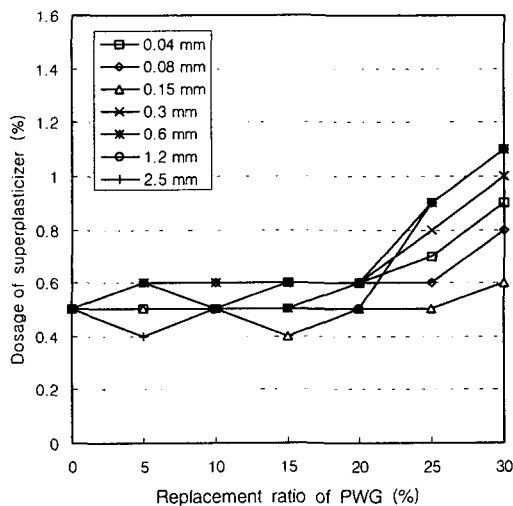


Fig. 1 Dosage of superplasticizer on replacement ratio of PWG

즉, 폐유리 분말의 혼입률이 5~20%까지는 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 폐유리 분말의 입경에 관계없이 0.4~0.6%로, 기준 모르타르의 경우와 거의 동일하여 폐유리 분말의 혼입률에 따른 작업성의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 폐유리 분말의 혼입률이 25~30%인 경우는 대체적으로 혼입률이 증가할수록, 입경이 클수록 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 증가되어 작업성 저하가 큰 것으로 나타났는데, 이것은 폐유리 분말의 입경이 크고 혼입률이 증가할수록 모르타르 내의 공극량이 많아지므로 작업성 개선에 유리한 결합재의 점성이 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

2. 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 강도특성

Table 6은 재령 3일, 7일 및 28일의 경우 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이고, Fig. 2~4는 이들을 재령별로 도표로 나타낸 것이다. 재령 3일의 압축강도는 폐유리 분말의 입경에 관계없이 폐유리 분말의 혼입률이 증가할수록 기준 모르타르의 경우보다 작아지는 경향을 나타내어, 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 초기 압축강도 발현은 기준 모르타르보다 다소 지연되는 것으로 나타났다. 재령 7일의 압축강도는 폐유리 분말의 입경이 0.04 mm인 경우 그 혼입률이 15~20%에서 최대 압축강도를 발현하였는데, 이는 기준 모르타르의 압축강도 273 kgf/cm<sup>2</sup>에 대해 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 압축강도는 328~331 kgf/cm<sup>2</sup>로 약 1.2배의 강도증진이 있는 것으로 나타났다. 그 외 입경에서는 폐유리 분말의 혼입률이 5~10%에서 최대 압축강도를 발현하였는데, 이는 기준 모르타르의 압축강도 273 kgf/cm<sup>2</sup>에 대해 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 압축강도는 282~315 kgf/cm<sup>2</sup>로 약 1.03~1.15배의 강도증진이 있는 것으로 나타났다. 그리고 설계기준 강도로 채택되는 재령 28일의 압축강도는 대체적

Table 6 Compressive strength of mortar with PWG

Nominal grain size (mm)	Replacement ratio of PWG (cement×%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		3 days	7 days	28 days
0.04	0	255	273	336
	5	253	291	359
	10	245	300	365
	15	239	331	401
	20	224	328	395
	25	218	285	324
	30	168	253	311
0.08	0	255	273	336
	5	232	315	390
	10	223	278	379
	15	205	264	360
	20	177	251	335
	25	164	236	306
	30	158	223	286
0.15	0	255	273	336
	5	221	290	365
	10	218	295	347
	15	208	290	309
	20	204	236	267
	25	185	210	264
	30	173	208	261
0.3	0	255	273	336
	5	249	282	374
	10	232	265	354
	15	220	241	346
	20	188	202	290
	25	170	195	257
	30	155	162	212
0.6	0	255	273	336
	5	242	294	353
	10	224	273	340
	15	200	255	321
	20	187	241	287
	25	159	183	203
	30	108	130	144
1.2	0	255	273	336
	5	237	300	340
	10	214	299	324
	15	190	279	322
	20	168	199	291
	25	146	160	211
	30	84	118	158
2.5	0	255	273	336
	5	222	297	308
	10	203	272	280
	15	160	245	248
	20	148	201	250
	25	144	175	211
	30	131	143	136

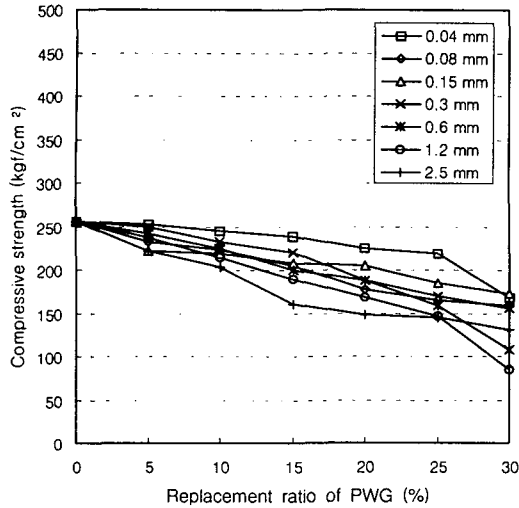


Fig. 2 Compressive strength on replacement ratio of PWG (3 days)

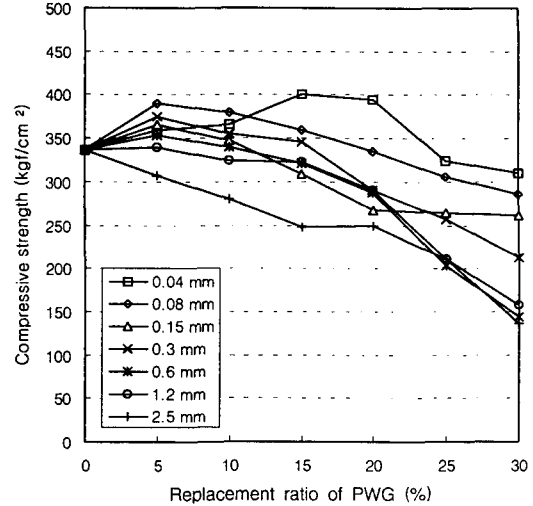


Fig. 4 Compressive strength on replacement ratio of PWG (28 days)

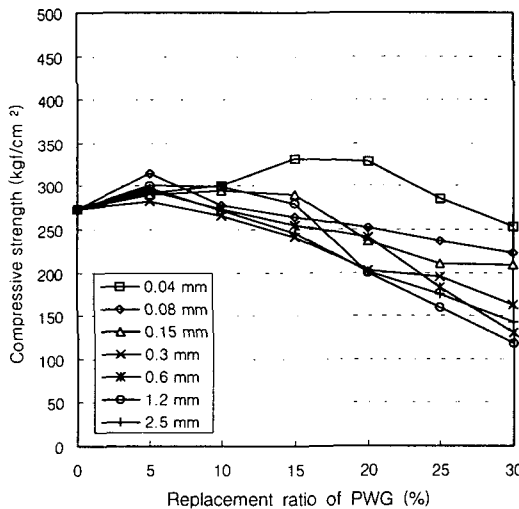


Fig. 3 Compressive strength on replacement ratio of PWG (7 days)

으로 재령 7일의 압축강도와 유사한 강도발현 경향을 나타냈으며, 이들 중 최대 압축강도는 0.04 mm의 폐유리 분말을 15~20% 혼입한 경우 약 400 kgf/cm<sup>2</sup>로, 기준 모르타르의 압축강도 336 kgf/cm<sup>2</sup>보다 약 1.2배의 강도증진이 있는 것으로 나타났다.

따라서 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 압축강도는 폐유리 분말의 입경이 작을수록 커지는 것으로 나타났는데, 이것은 포졸란재로서의 화학성분이 동일한 경우 분말도가 클수록 수화반응이 촉진되어 강도발현에 유리하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 동일 화학성분의 경우에도 폐유리의 분말도가 클수록 압축강도가 증가하는 것은 폐유리의 분말도가 클수록 미세공극 충전효과가 개선되기 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 폐유리 분말의 최적 입경 및 혼입률

미분쇄된 폐유리 분말을 시멘트의 대체재료로 활용하기 위해서는 작업성이 좋고 강도증진 효과가 있어야 하는데, 폐유리 분말은 그 혼입률이 20% 이하에서는 폐유리 분말을 혼입하지 않은 기준 모르타르의 작업성과 거의 동일하기 때문에(Fig. 1), 폐유리 분말의 최적 혼입률 결정시 그 혼입률이 20% 이하인 경우, 설계기준강도로 채택되는 재령 28일 강도를 기준으로 하면 모르타르의 작업성과 강도를 모두 만족하게 된다. 따라서 최대 압축강도를 발휘하는 최적의 입경 및 혼입률은 0.04 mm

입경의 폐유리 분말을 15~20% 혼입한 경우와 0.08 mm 입경의 폐유리 분말을 5~10% 혼입한 경우이며, 이들의 기준 모르타르에 대한 압축강도 비는 각각 1.2배, 1.16배로 나타났다(Fig. 4).

한편, 전술한 대로 재활용되지 않고 매립되는 폐유리의 양이 30만톤 정도이며, 폐유리의 화학적 특성상 SiO<sub>2</sub> 성분이 70% 이상으로 이를 미분말화하여 모르타르나 콘크리트에 활용하였을 경우 포졸란 작용 및 미세공극 충전효과로 최대 1.2배의 강도증진이 있는 것으로 나타났다. 따라서 금후 폐유리를 시멘트 대체재료로 활용하기 위해서는 그 입경이 0.04~0.08 mm인 경우에 대해서 심도있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 결론 및 금후과제

폐유리 분말을 시멘트 대체재료로 활용하기 위하여 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 특성에 관한 실험연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폐유리 분말의 혼입률이 5~20%까지는 목표 플로우치를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량이 기준 모르타르의 경우와 거의 동일하여 폐유리 분말의 혼입률에 따른 작업성 저하는 없는 것으로 나타났다. 그 혼입률이 25~30%인 경우는 대체적으로 혼입률이 증가할수록, 입경이 클수록 작업성 저하가 큰 것으로 나타났는데, 이것은 폐유리 분말의 입경이 크고 혼입률이 증가할수록 모르타르 내의 공극량이 많아지므로 작업성 개선에 유리한 결합재의 점성이 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

2. 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 재령 3일의 압축강도는 폐유리 분말의 입경에 관계없이 폐유리 분말의 혼입률이 증가할수록 기준 모르타르의 경우보다 작아지는 경향을 나타내어, 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 초기 압축강도 발현은 기준 모르타르보다 다소 지연되는 것으로 나타났다.

3. 폐유리 분말을 혼입한 모르타르의 재령 7일 및 28일의 압축강도는 거의 동일한 강도발현 경향

을 나타내었는데, 즉 그 입경이 0.04 mm인 경우는 폐유리 분말의 혼입률이 15~20%에서 최대 압축강도(기준 모르타르의 약 1.2배)를, 그 외 입경의 경우는 폐유리 분말의 혼입률이 5~10%에서 최대 압축강도(기준 모르타르의 약 1.03~1.15배)를 발현하는 것으로 나타났다.

4. 설계기준강도로 채택되는 재령 28일의 압축강도의 경우 모르타르의 작업성을 고려하였을 때, 최대 압축강도를 발휘하는 최적의 입경 및 혼입률은 0.04 mm 입경의 폐유리 분말을 15~20% 혼입한 경우와 0.08 mm 입경의 폐유리 분말을 5~10% 혼입한 경우로 나타났다. 따라서 폐유리 분말을 시멘트 대체재료로 활용하기 위해서는 그 입경이 0.04~0.08 mm인 폐유리에 대해서 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 금후, 경화 모르타르의 특성에 큰 영향을 미치는 폐유리를 혼입한 모르타르의 건조수축 특성, 폐유리에 다량 함유된 실리카(SiO<sub>2</sub>) 성분이 시멘트와의 반응시 알칼리·실리카 반응성 여부 등을 구명하고, 또한 폐유리 분말을 콘크리트 제조에 활용하기 위한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

본 연구는 2000년도 안동대학교의 학술연구 조성비지원사업에 의해서 수행되었습니다.

#### References

1. Korea Resources Recovery & Reutilization Corporation. 1999. Resources recovery & reutilization, 20-27. Seoul. Korea.
2. Korea Glass Industry Cooperative. 2002. The status of glass product and sale, Seoul. Korea.
3. Meyer, C., and S. Baxter. 1997. Use of recycled glass for concrete masonry blocks, Final report 97-15. New York: The New York State Energy Research and Development



- Authority.
4. Meyer, C., S. Baxter, and W. Jin. 1996. Alkali-silica reaction in concrete with glass as aggregate. In *ASCE Fourth Materials Engineering Conference*, Washington, D. C.
  5. Nishikawa, T., M. Takatsu, and M. Daimon. 1995. Mechanical properties of mortar containing glass powder. In *The 49th Annual Meeting of JCA*, 114-119. (in Japanese)
  6. Bae, S. H., S. D. Youn, Y. S. Chung, and Y. E. Kim. 1994. A study on the quality characteristics of concrete using superplasticizer. *Journal of the Korea Concrete Institute* 6(6): 135-142. (in Korean)
  7. Chung, Y. S., S. H. Bae, and Y. H. Suk. 1998. An experimental study on the properties of mortar containing recycled glass. In *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, 36-41. (in Korean)
  8. Bae, S. H., Y. S. Chung, K. S. Park, and J. G. Lee. 1999. An experimental study on the properties of admixtures for concrete. *Journal of Korea Concrete Institute* 11(2): 115-125. (in Korean)
  9. Kumar Mehta, P., and J. M. Paulo Monteiro. 1993. *Concrete*. 2nd edition. Englewood. New Jersey: Prentice Hall.