

廢琉璃 微粉用을 補修用 모르타르 및 自己充填콘크리트의 混和材料로 活用하기 위한 研究[†]

[†]崔然汪 · 鄭載權 · 姜賢眞*

世明大學校 土木工學科, *大宇建設技術研究所

A Study in order to Utilize Waste Glasses Powder as Admixtures of Self-Compacting Concrete[†]

[†]Yun-Wang Choi, Jea-Gwone Jung and Hyun-Jin Kang*

Department of Civil Engineering, Semyung University

*Researcher, Daewoo Institute of Construction Technology

요 약

최근 국·내외에서 폐유리의 발생량이 증가하고 있으며 대부분의 폐유리량은 재활용 및 재생산으로 활용되고 있다. 하지만 재활용되지 못한 폐유리는 매립되어 2차적인 환경문제를 야기 시키고 있는 실정이다. 폐유리 미분말의 5% 혼합에 따라 페이스트 평균점도(레올로지)는 22.3% 감소하였으며, 모르타르의 플로우 및 재령 28일 압축강도는 약 1.5% 및 6% 감소하였다. 또한 굳지 않은 자기 충전 콘크리트의 폐유리 미분말 혼합률이 증가 할수록 유동성은 증가하였으며 압축강도는 감소하였다. 자기충전 콘크리트의 JSCE 2등급 규정에 만족하는 유동성 및 적정 압축 강도를 고려한다면, 폐유리 미분말의 최적 혼합률 20%를 찾을 수 있었다.

주제어 : 폐유리, 유동성, 레올로지, 압축강도 시험, 자기충전콘크리트

Abstract

Recently, domestically and internationally, the occurrences of Waste Glass are on the increase. Most of scrap glass are either reused or recycled. However, glass not recycled is buried and is causing secondary environmental problem. With 5% mixture of Waste Glass, the average paste viscosity (rheology) decreased by 22.3% and 28-day compressive strength of mortar's flow and aging decreased by 1.5% and 6% respectively. Also, as Waste Glass mixture ratio of un-hardened self-compacting concrete increased, fluidity increased and compressive strength decreased. In consideration of adequate compressive strength and fluidity that meets the 2nd class JSCE regulations; optimum mixture ratio of Waste Glass can be concluded as 20%.

Key words : Waste Glass, fluidity, rheology, compressive strength test, self-compacting concrete

1. 서 론

최근 산업의 급격한 발달로 인하여 다량의 산업 폐기물이 발생되고 있으며, 이러한 폐기물의 처리 방법은 대부분 매립에 의존하고 있는 실정이다. 매립에 의한 처

리방법은 2차적인 환경문제를 발생시킴에 따라 산업폐기물을 재활용하기 위한 연구가 사회적으로 큰 관심을 일으키고 있다. 산업폐기물 중 가장 이슈가 되고 있는 폐유리병에서 알 수 있듯이 국내 발생현황은 “한국유리공업협동조합의 통계연감” 2005년 기준으로 약 776,000톤 발생하는 것으로 집계되었으며, 이러한 폐유리의 재활용율은 해마다 증가하고 있지만 일본의 90.3%에 비교한다면, 국내의 경우 73.0%로 아직 미흡한 실정이다. 재활용

[†] 2007년 7월 5일 접수, 2007년 10월 15일 수리

*E-mail: crete77@semyung.ac.kr

된 폐유리는 대부분은 도로포장재, 건축 내·외장재, 도로노면 페인팅, 보온렉립첨방음용 골재 및 유리병 등으로 재활용 되고 있으나 30%의 폐유리를 재활용하지 못하고 지반에 매립되어 사회적인 문제와 더불어 환경문제의 발전이 불가피하게 되었다.^{1,2)} 국·내외에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 건설자재로 활용하기위한 일환으로 수많은 연구가 진행되었으며, 특히 폐유리 미분말을 이용한 모르타르 제품의 연구가 많이 진행되었다. 하지만 폐기물을 사용하여 콘크리트의 유동 및 점성을 극대화한 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete: SCC)로 활용하기 위한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 폐유리를 재활용하는 공정에서 발생하는 폐유리 미분말을 보수용 모르타르 및 자기충전 콘크리트용 혼화재료로 활용하기 위한 연구의 일환으로 폐유리의 레올로지 특성을 조사 하였으며 폐유리를 혼합한 모르타르 및 자기충전콘크리트의 유동성 및 강도 특성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 폐유리를 시멘트에 대체한 자기충전콘크리트의 충전재로 활용이 가능하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였으며, SCC 배합시 유변학적 성능을 향상시키기 위하여 재활용 되지 못한 폐유리를 수거하여 ball mill로 3시간 동안 분쇄하여 분말도 2,954cm²/g의 폐유리 미분말(Waste Glass, 이하 WG로 약함)을 보수용 모르타르 및 콘크리트의 혼화재료로 사용하였다. OPC 및 WG의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

SCC에 사용된 잔골재는 낙동강산 강모래(이하 S로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20mm인 부순골재(이하 G로 약함)를 사용하였으며, 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.3 혼화제

모르타르의 경우 유동성 확보를 통하여 보수용 모르타르의 혼화제로 활용하기 위하여 국내 H사에서 생산되는 나프탈렌계 고성능 감수제(이하SP라 약함)를 사용하였으며, 자기충전 콘크리트의 경우 유동성 확보를 위하여 국내 H사에서 생산되는 폴리카르보산계 고성능 감수제(고형분 34% 및 액상, 이하 SP라 약함) 및 공기량 조절을 위해 공기 연행제(이하 AE라 약함)를 사용하였다.

2.2. 시멘트 페이스트

SCC의 유동 및 점성에 미치는 분체특성을 파악하기 위한 시멘트 페이스트 시험은 WG를 물/분체비 0.5, OPC 부피에 대하여 4수준(0, 5, 10 및 15%)으로 혼합한 시멘트 페이스트를 제작하였으며, 시멘트 페이스트를 빙함유체(Bingham fluid)로 가정하였다. 또한 전단응력과 전단변형을 관계로서 소성점도를 구하여 레올로지 특성을 검토하였다.

소성점도 시험은 WG를 혼합한 페이스트의 배합에 대하여 실린더형 스펀들을 사용한 Brookfield 점도계를 이용하여 Fig. 1과 같이 전단속도의 변화에 따른 전단응력의 변화량을 측정하였다. 이때, 전단속도는 Hysteresis loop area의 하강직선의 기울기인 소성점도를 구하기 위하여 200, 160, 120, 90, 70, 50, 30, 및 10rpm로 회전속도를 변화하여 측정하였으며, 시료와 스

Table 1. Chemical component and Physical properties of OPC and WG

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I	Surface area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	0.26	-	3.40	2.50	0.03	3,539	3.15
WG	71.31	2.08	0.60	14.39	4.73	2.07	1.05	0.19	-	2,954	2.53

Table 2. Physical properties of aggregates

Items Types	Gmax (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.	Bulk density (kg/m ³)
G	20	2.71	1.01	7.96	1,611
S	-	2.55	2.07	2.89	1,637

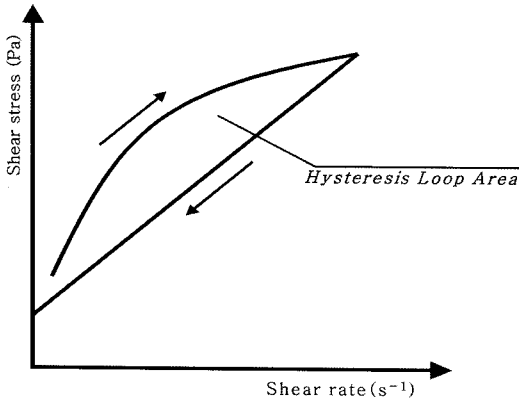


Fig. 1. Hysteresis Loop Area.

핀들의 접촉면 및 용기 사이즈를 고려한 계수를 적용하여 산출된 전단응력의 직선회귀를 통해 빙함유체 (Bingham fluid)로 가정함으로써 소성점도를 구하였다.³⁾

2.3. 모르타르

2.3.1 응결특성

모르타르의 응결시험은 KS F 2436에 준하여 실시하였으며, 모르타르의 초결 및 종결시간까지 관입침의 지지면적(640, 320, 160, 64, 32 및 16 mm²) 종류에 따라 변화시켜 측정하였다. 이때 관입침의 관입깊이는

25 mm까지 침입시킨 값으로 하였으며, 초결의 응력은 3.5MPa, 종결의 응력은 28MPa의 값에 도달하는 시간으로 측정하였다. 모르타르에 사용된 배합표는 Table 3과 같다.

2.3.2. 유동특성

WG의 혼합률을 변화시켜 제조한 모르타르의 실험은 물/분체비 0.55인 OPC 부피에 대하여 WG를 4수준(0, 5, 10 및 15%)으로 혼합하여 플로우 시험을 실시하였으며, 배합표는 Table 3과 같다. 모르타르 플로우값은 모르타르를 몰드에 채운 후 다짐 및 타격을 하지 않고 몰드를 그대로 들어 올린 후 흐름값(플로우 직경)을 3회 측정하여 평균값을 얻었다.

2.3.3. 강도특성

WG의 압축강도 실험은 모르타르의 플로우 실험을 실시한 후 50x50x50 mm의 압축강도용 모르타르 시험편을 제조하였으며, 23±2°C에서 표준양생을 실시하여 재령 3, 7 및 28일에 KS L 5105에 따라 모르타르 압축강도를 측정하였다.

2.4. 콘크리트

SCC의 성능평가를 만족하는 기준배합은 Table 4와 같은 일본토목학회(이하 JSCE로 약함)의 “자기충전형

Table 3. Mixture proportions of mortar

Replacement of WG	W	OPC	WG	CaO	S			Corrosion inhibitor	SP-N
					3	5	6		
0%	314.6	253.0	0	20.24	108.0	184.0	108.0	0.76	11.39
5%	314.6	242.3	12.11	19.38	108.0	184.0	108.0	0.73	
10%	314.6	232.4	23.24	18.59	108.0	184.0	108.0	0.70	
15%	314.6	223.3	33.50	17.86	108.0	184.0	108.0	0.67	

Table 4. Specification of SCC proposed by JSCE

Items		Rank	1	2	3
Construction condition	Minimum gap between reinforcement(mm)		35-60	60-200	≥ 200
	Amount of reinforcement(kg/m ³)		≥ 350	100-350	≤ 100
Flowability	Slump flow(mm)		600-700	600-700	500-650
Segregation resistance ability	Time required to flow through V-funnel(s)		9-20	7-13	4-11
	Time required to reach 500mm of slump flow(s)		5-20	3-15	3-15
Filling height of U-box test(mm)			≥ 300	≥ 300	≥ 300

Table 5. Mixture proportions of concrete with WG

PF	S/a (%)	WG/ (OPC+WG) (Vol, %)	W/C (%)	Unit weight of volume (Kg/m ³)				SP (OPC×%)	
				W	P		S		G
					OPC	WG			
1.12	0.48	0	35	175	501	0	769	8640	0.9
		10	39		451	40			
		20	44		401	81			
		30	50		351	121			

콘크리트의 시험방법⁴⁾ 2등급 성능기준을 선정하였으며, 이러한 기준을 만족시키는 배합의 결정을 위하여 예비배합을 실시하였다.

본 실험에서 SCC의 배합은 Nan-Su의 배합설계법^{5,6)}을 수정·보완하여 골재의 느슨한 상태에 대한 밀실한 상태의 단위용적질량의 비에 잔골재율에 따른 가중치를 적용하여 얻어지는 PF값을 적용하여 실시하였다. SCC의 배합은 Table 5와 같이 실시하였으며 예비배합으로 얻어진 골재채움률(이하 PF로 약함) 1.12, 잔골재율 48%, 물/분체비 0.38인 기준배합을 결정 하였으며, SP 및 AE제는 단위시멘트량에 대하여 0.9% 및 0.002%의 혼화제로 사용하였다.⁷⁾ WG의 혼합률을 OPC에 대하여 부피비 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 변화하였으며, SCC의 유동성 및 충전성을 평가하기 위하여 굳지 않은 SCC의 Slump-flow, V-funnel 유하시간, Slump-flow 500 mm 도달시간 및 U-box 충전높이 시험을 실시하였다.

경화한 SCC의 강도특성을 평가하기 위하여 F100×200mm의 원주형 공시체를 제조하여 콘크리트의 압축강도, 쪼갬인장강도 및 정탄성계수 시험을 실시하였다.

2.4.1 유동시험

SCC의 유동성 평가 시험방법은 Slump-cone에 시료를 채운 후 다짐을 하지 않은 상태에서 실시하였으며, Slump-cone내 콘크리트의 안정화를 위하여 약 30초 정지시킨 후 들어올려 시료의 자중만으로 흘러 퍼졌을 때 넓게 퍼진 값의 직교하는 2개 부분을 선택하여 측정 후 그 평균값을 Slump-flow 값으로 측정하였다.

2.4.2. 재료분리 저항성 시험

SCC의 재료분리 저항성 시험으로 Slump-flow가 500 mm까지 도달하는 시간(sec)을 측정하였으며, V-Lot 유하시간 시험장치를 사용하여 시료를 시험장치에 채운 후 하부의 입구를 개방하여 시료가 완전히 흘러내렸을

때까지의 유하시간을 측정하였다.

2.4.3. 충전성 시험

SCC의 충전성 평가 시험방법은 철근이 과밀 배근된 부분을 고려한 콘크리트 부재의 충전성을 평가하기 위하여 U-box의 한쪽에만 시료를 채운 후 가운데 칸막이를 들어올렸으며, 콘크리트의 자중만으로 철근 사이를 통과하여 상승된 높이를 측정하였다.

2.4.4. 강도특성

SCC의 압축강도 시험방법은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드에 다짐을 하지 않고 성형하여 24시간 후 몰드를 탈형하였으며, 소정의 재령까지 물 온도 23±2°C의 수조에 침지하여 양생하였다. 또한 SCC의 쪼갬인장강도 및 정탄성계수 시험은 KS F 2423 및 KS F 2438에 준하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 폐유리 미분말의 품질특성

WG의 미세 구조 분석은 주사형전자현미경(이하 SEM이라 약함)을 통하여 실시하였으며, WG의 분말을 500배 및 3,000배 확대 촬영한 것이 Fig. 2이다. Fig. 2(a) 결과 WG의 입형은 재활용 공정에서 파쇄 및 분쇄됨에 따라 대부분의 모서리가 각이진 판상 및 침상 구조 형태로 존재하였으며, 입자 표면을 확대 촬영한 Fig. 2(b)의 분석결과 유리질의 특성상 표면은 매끈하였다. 또한, OPC 및 WG의 누적 입도분포 곡선을 나타낸 것이 Fig. 3이다. Fig. 3의 결과 WG는 OPC의 입도분포와 비슷한 것으로 나타났으며, 평균입경(D₅₀)은 각각 OPC 14 μm 및 WG 16 μm로 나타났다.

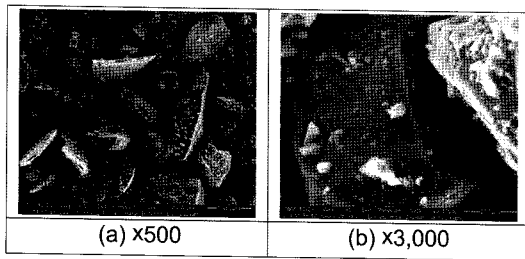


Fig. 2. SEM photograph of WG.

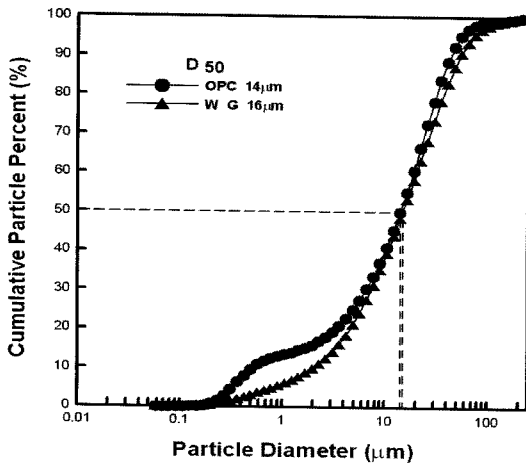


Fig. 3. Grading curve of OPC, WG.

3.2. 페이스트특성

3.2.1. 소성점도

WG의 혼합률에 따른 평균점도를 측정하여 정리한 것이 그림 4이다. 그림 4의 결과 WG의 혼합률이 증가할수록 평균점도가 비례적으로 낮아졌다. 이러한 원인은 WG의 입자 표면이 유리질의 특성상 표면이 매끈한 것이 원인으로 판단되며, 각이진 판상 및 침상구조로 이루어져 페이스트의 유동성 및 점성이 감소된 것으로 판단된다. 또한 WG의 분말도가 OPC보다 작아 평균점도가 낮아진 것으로 판단된다.

3.2.2. 응결특성

WG를 OPC에 대하여 4수준으로 혼합하여 제조한 모르타르의 응결시간을 나타낸 것이 Fig. 5이다. Fig. 5의 결과 WG의 혼합률이 증가함에 따라 초결 및 종결 시간이 비례적으로 지연되었으며, WG를 최대 15% 혼합한 경우 초결은 12%, 종결은 15%의 응결지연 현상이 나타났다. 이러한 원인은 WG가 무반응성 분체로서 혼

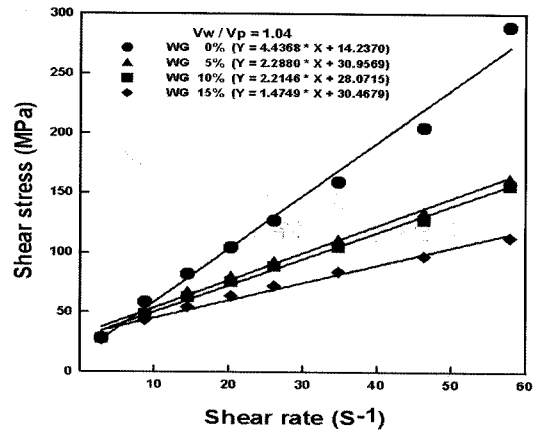


Fig. 4. Relationship between shear rate and shear stress of paste with WG.

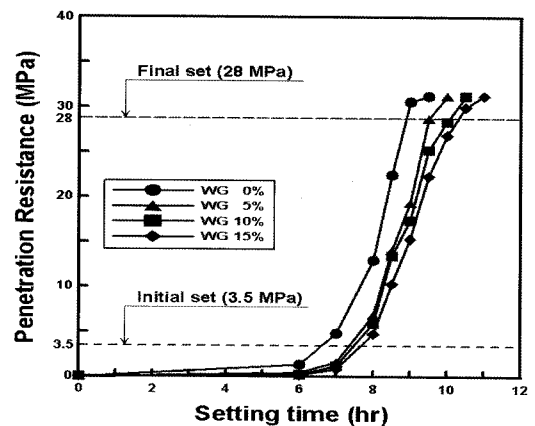


Fig. 5. Setting time of mortar with WG.

합률이 증가함에 따라 시멘트 페이스트의 양이 감소되어 발생한 것으로 판단된다.

3.3. 모르타르의 특성

3.3.1. 모르타르의 유동특성

WG를 OPC에 대하여 4수준(0, 5, 10 및 15%)으로 혼합한 모르타르의 플로우 값을 측정하여 Fig. 6이다. Fig. 6의 결과 WG의 혼합률이 5% 증가함에 따라 평균 1.4%의 플로우가 증가되었으며, 최대 15% 혼합한 경우 약 4.2% 증가하였다. 이러한 원인은 WG를 혼합한 페이스트의 소성점도 특성결과와 같이 WG의 입자 표면이 유리질의 특성상 표면이 매끄러운 원인 및 WG의 분말도가 OPC보다 작아 유동성이 다소 향상된 것으로 판단된다. 또한 모든 혼합률에서 거푸집으로 제작

된 바닥면의 보수용 모르타르로 활용하기 위한 목표 플로우 250±10 mm를 모두 만족하였다.

3.3.2. 모르타르의 압축강도

WG의 혼합률에 따른 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이 Fig. 7이다. Fig. 7의 결과 기준모르타르와 비교하여 WG를 5% 혼합한 경우 11%의 압축강도 감소가 나타났으며, 최대 15% 혼합한 경우 18.5%의 강도 감소가 나타났다. 이러한 결과로 WG는 보수용 모르타르의 강도 증가에 영향을 미치지 못하는 무반응성 분체로 판단된다.

3.4. 콘크리트의 자기 충전성 평가

3.4.1. 유동성 평가

Fig. 8은 WG를 OPC에 대하여 4수준(0, 10, 20 및

30%)으로 혼합하여 제조한 굳지 않은 SCC의 유동성평가를 Slump-flow 값으로 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 모든 배합에서 SCC의 성능기준인 600~700 mm 만족하는 것으로 나타났으며, WG의 혼합이 증가할수록 비례적으로 콘크리트의 유동성이 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 WG를 혼합한 페이스트의 소성점도 특성 및 모르타르의 유동특성 결과와 같이 WG의 입자 표면이 유리질로서 매끈한 원인 및 WG가 OPC 보다 분말도가 작아 유동성이 증가한 것으로 판단된다.

3.4.2. 재료분리 저항성

Fig. 9는 WG를 OPC에 대하여 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 혼합하여 제조한 굳지 않은 SCC의 재료분리

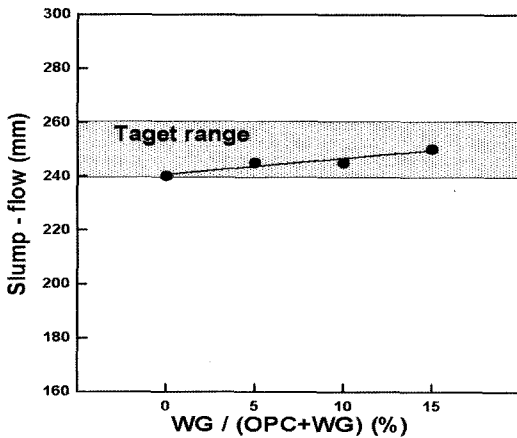


Fig. 6. Slump-flow of Mortar with WG.

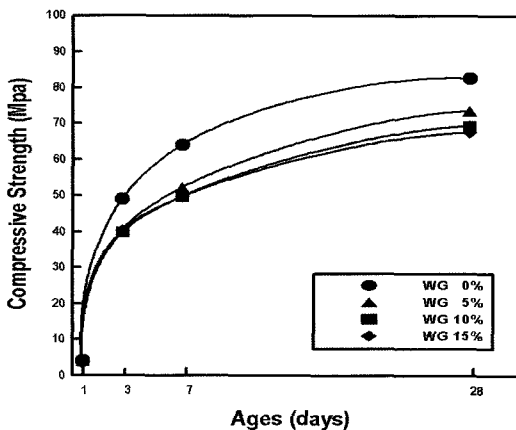


Fig. 7. Compressive strength of Mortar with WG.

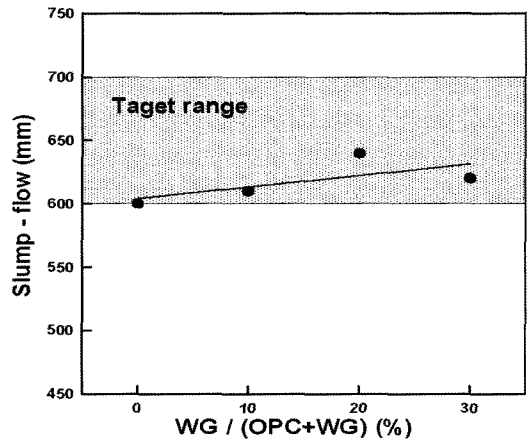


Fig. 8. Slump-flow of SCC with WG.

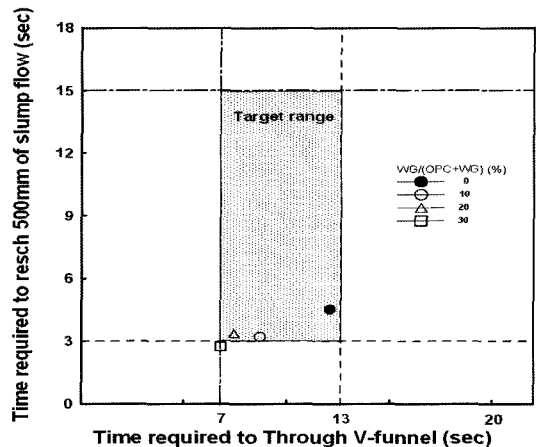


Fig. 9. Relationship between V-lot dropping time and reaching time to 500 mm slump-flow of SCC with WG.

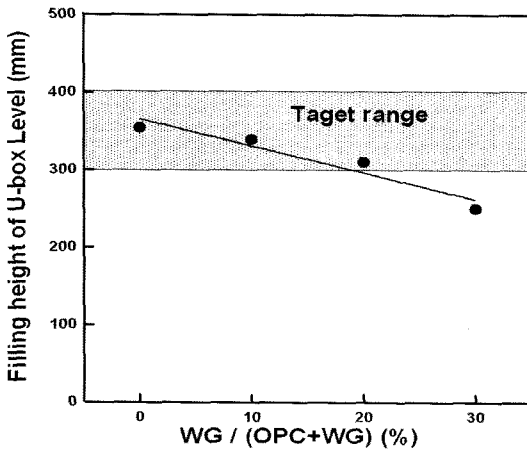


Fig. 10. U-Box level of SCC with WG.

저항성을 평가하기 위하여 Slump-flow 500 mm까지 도달하는 시간(이하 T_{50} 으로 약함)과 V-funnel 유하시간의 관계를 정리한 것이다. Fig. 9의 결과 WG 혼합률이 0%인 기준배합의 경우 T_{50} 은 4.5초이며, 최대 WG를 30% 혼합한 경우 2.7초 및 WG를 10% 증가할 때 마다 약 0.5초 지연되었다. 또한 V-funnel 통과시간은 WG 혼합률 0%인 기준배합의 경우 12.1초이며, 최대 30% 혼합한 경우 6.8초 및 WG 10%를 증가시 약 1.3초 지연시켰다. Fig. 9의 결과 WG를 혼합한 경우 WG를 30% 혼합한 SCC를 제외하고 모든 배합에서 JSCE 2등급 재료분리저항성 기준을 만족하였다. 이러한 원인은 선행된 유변학적 시험에서 알 수 있듯이 WG 혼합률이 증가함에 따라 구속수비가 감소된 시험 결과와 마찬가지로 페이스트의 점성이 감소한 것으로 판단된다.

3.4.3. 충전성

Fig. 10은 WG를 OPC에 대하여 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 혼합하여 제조한 굳지 않은 SCC의 충전성을 평가하기 위하여 U-box의 충전 높이 값으로 정리한 것이다. Fig. 10의 결과 WG를 혼합한 SCC의 U-Box 충전높이는 기준배합의 경우 355 mm로 나타났지만, WG의 혼합률이 증가할수록 U-box 충전높이는 감소하였다. WG를 최대 30% 혼합한 경우에는 SCC의 U-box 충전높이는 기준 배합보다 30%감소하였으며 JSCE 2등급 기준보다 낮은 값으로 측정되었다. 따라서 WG 혼합률 30%의 경우 철근이 과밀 배근된 콘크리트에 적용할 경우 나쁜 충전성능으로 부재 내 막힘 현상

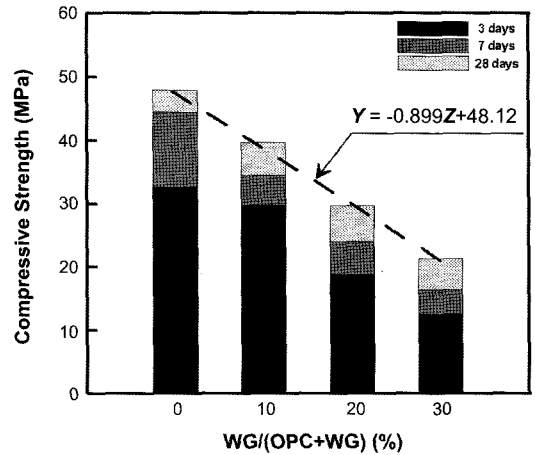


Fig. 11. Compressive strength and Estimate analysis of SCC with WG.

이 나타날 것으로 판단된다.

3.5. 콘크리트의 역학적 특성 평가

3.5.1. 압축강도특성

Fig. 11은 SCC의 재령별 압축강도 및 회계분석을 정리한 것이다. Fig. 11의 결과 OPC만을 사용한 기준 SCC의 재령 28일 압축강도는 48MPa로 나타났으며, WG 혼합률을 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 혼합한 SCC의 재령 28일 압축강도는 WG를 10% 증가할 때 마다 약 6.5% 압축강도가 저하되었다. 또한 WG 혼합률과 재령 28일 압축강도의 상관관계를 이용하여 회계 분석한 결과 아래식으로 추정 할 수 있었다. 따라서 일반 콘크리트 구조물의 28일 배합강도($f_{cr, 28}$) 30MPa를 고려한다면 WG의 적정 혼합률은 20%로 판단된다.

$$Y = -0.899X + 48.12$$

여기서, Y: WG의 혼합률에 따른 재령 28일 압축강도(MPa)

X: WG의 혼합률(%)

3.5.2. 조깅인장강도 및 정탄성계수

WG를 혼합한 SCC의 재령 28일 압축강도와 조깅인장강도 및 정탄성계수와의 관계를 정리한 것이 각각 Fig. 12 및 13이다. Fig. 12의 결과 압축강도가 커짐에 따라 조깅인장강도가 비례적으로 증가하였으며, 조깅인장강도는 WG의 혼합률이 10, 20 및 30%로 증가함에 따라 비례적으로 감소하는 경향이 나타났다.

CEB-FIP Model Code에서 제시한 함수와 비교하면

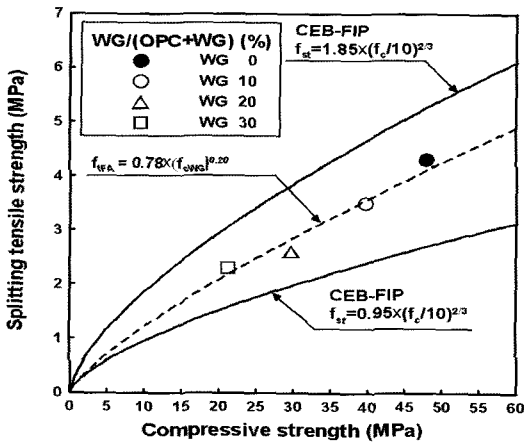


Fig. 12. Relationship between SCC compressive strength and splitting tensile strength with WG.

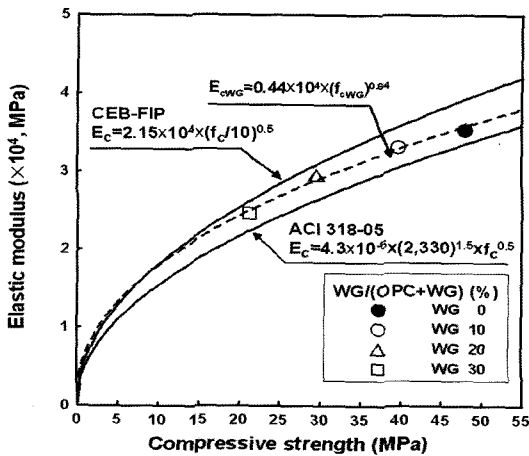


Fig. 13. Relationship between SCC compressive strength and elastic modulus with WG.

WG를 혼합한 경우 쪼갠장강도는 다소 크게 나타났으며, 압축강도와 쪼갠장강도(f_t/f_c)의 비는 9.2~11.4의 범위로 나타났다. 또한, Fig. 13의 결과 WG의 혼합률이 10, 20 및 30%로 증가함에 따라 압축강도 및 정탄성계수도 비례적으로 감소하였으며, 30%를 혼합한 경우 기준 SCC에 비교하면 30.3% 감소하였다. 그러나, 압축강도와 정탄성계수의 관계에는 CEB-FIP Model Code에서 제시한 함수와 매우 유사한 경향이 나타났다.

4. 결 론

(1) 보수용 모르타르에 사용될 수 있는 WG의 유변

학적 특성을 분석한 결과 WG의 혼합률이 증가할수록 페이스트의 평균점도는 감소하였으며, 모르타르의 플로우, 응결시간 및 압축강도는 감소하였다.

(2) 굳지 않은 자기충진 콘크리트에 보통포틀랜드 시멘트를 대체한 WG를 혼합할 경우 유동성능은 향상되지만 점성은 감소하였으며, WG를 30% 혼합할 경우 JSCE 2등급 기준을 만족하지 못하였다.

(3) 경화한 자기충진 콘크리트의 WG 혼합률이 10% 증가할 때 마다 약 6.5% 강도가 감소하였으며, 쪼갠장강도 및 정탄성계수의 경우 CEB-FIP 및 ACI 318-05규정에 만족하였다.

감사의 글

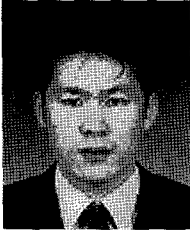
본 연구는 산업자원부 과제 「지역혁신특성화 사업」의 「친환경 에너지 및 Eco 소재개발·활용 시스템 혁신 사업」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국유리공업협동조합, 통계연감, 2005.
2. Shao, Y. X., et al., 2000: Studies on Concrete Containing Ground Waste Glass, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp.91-100.
3. 최연왕, 정문영, 정명채, 구기정, 2004: 상동광산 광미를 혼합한 시멘트 페이스트의 레올로지 특성, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 16권 2호, pp.616-619.
4. 일본토목학회 (JSCE), 2005: 高流動 ユソクリト施工指針.
5. Nan S., Hsu K. C. and Chai H. W. 2001: A simple mix design method for self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 12, pp. 1799-1807.
6. Nan, S. and Miao, B., 2003: A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, *Cement and Concrete Composite*, Vol. 25, Issue 2, pp. 215-222.
7. 최연왕, 정문영, 정명채, 구기정, 2004, “상동광산 광미를 혼합한 시멘트 페이스트의 레올로지 특성” 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 16권 2호, 11, pp. 616-619.

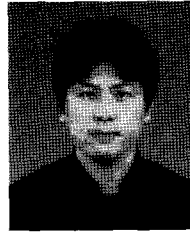
崔 然 汪

• 현재 세명대학교 토목공학과 부교수



鄭 載 權

- 2005. 2 세명대학교 토목공학과 학사 졸업
- 2007. 2 세명대학교 토목공학과 공학 석사 졸업
- 현재 세명대학교 토목공학과 박사과정



姜 賢 眞

- 2005. 2 세명대학교 토목공학과 학사 졸업
- 2007. 2 세명대학교 토목공학과 공학 석사 졸업
- 현직 대구기술연구원 콘크리트연구단 연구원

학회지 광고게재 안내

격월로 연간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.