

고로슬래그미분말 및 하수슬러지를 활용한 저강도 콘크리트의 기초적 물성

Fundamental Properties of Low Strength Concrete Mixture with Blast Furnace Slag and Sewage Sludge

권 칠 우¹⁾ 임 남 기^{2)*}
Kwon, Chil Woo Lim, Nam Gi

Abstract

In this study, in order to establish a plan that will enable safe use of renewable resources such as diverse industrial by-products and urban recycled materials, we conducted experiments that focused on flow, bleeding, compressive strength and environmental pollution evaluation to evaluate the material properties of low strength concrete using BFS and SS.

In the case of low strength concrete using BFS and SS, blending of at least BFS 6000 within a 30% range regardless of the type of sand used was found to be the most effective approach for improving the workability by securing the minimum unit quantity of water, restraining the bleeding ratio and establishing compressive strength by taking account of the applicability at the work site. In particular, in view of the efficient use of SS, the optimal mixing condition was found to be the mixing of BFS 8000 with in the 30% range, not only for improving the workability restraining the bleeding ratio and establishing the compressive strength but also for application to the work site.

Further, the results of tests on hazardous substance content and those of elution tests conducted on soil cement using SS indicated that all values satisfied the environmental standards without any harmful effects on the surrounding environment.

Keywords : Low strength concrete, Sewage sludge, Blast furnace slag, Crushed stone, Recycling resources

1. 서론

저강도 콘크리트 (CLSM: Controlled Low Strength Materials) 는 시멘트계 슬러지 재료로서 ACI Committee 229 (1994) 에서는 “material that results in a compressive strength of 1200 psi (8.3N/mm²) or less at the age of 28 days (ACI Committee 229, 1994)”로 정의하고 있다. 또한, 일본에서는 제어된 저강도 재료의 의미로서 “제어형 저강도 재료 또는 저강도 제어형 재료”로 불리어지고 있는 유동화 처리토의 일종이다.

저강도 재료의 가장 큰 특징은 고로슬래그미분말 (Blast Furnace slag, 이하 BFS) 및 하수슬러지 (Sewage Sludge, 이하 SS) 등의 재생자원을 안전하게 경제적으로 활용할 수

있다는 것이다. 하지만, 각국에서 생산되는 재료 등 여러 환경적인 차이로 인해 현재까지도 하나의 공통된 규격 없이 각국의 이용매뉴얼을 중심으로 현장에 적용되고 있는바, 이에 대한 적극적인 문제 해결이 앞으로 저강도 콘크리트의 폭넓은 보급에 있어 커다란 걸림돌이 되고 있다.

산업부산물 및 폐기물 등을 재활용한 저강도 콘크리트의 최근 연구동향을 살펴보면, 바탕애쉬 및 석탄회를 활용한 저강도 콘크리트의 물성 파악을 통해 그 유효 활용 방안 (Horiguchi et al., 2001; Kim et al., 2010)을 제시하였다. 그리고, SS를 활용한 연구 (Horiguchi et al., 2011)에서는 쇄석분말을 SS와 혼합한 저강도 콘크리트의 물성 파악을 통해 그 활용 방안을 제시하였다. 또한, 플라이애쉬 (Fly Ash), SS, 쇄석분말 및 모래를 잔골재로 활용한 저강도 콘크리트의 합리적 배합방

1) 정회원, 동명대학교 건축공학과 박사과정
2) 정회원, 동명대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : ing@tu.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

법에 대해 연구 (Kim et al., 2012)를 수행하였다. BFS를 활용한 연구 (Horiguchi et al., 2004)에서는 에코 시멘트와 BFS를 활용한 저장도 콘크리트의 압축강도 및 침출수의 특성에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 각종 산업부산물 및 리사이클링 재료 등의 재생자원을 안전하게 유효 이용하는 방법이지만, 국내에서는 지금까지 그 사례가 적었던 새로운 용도를 개척하고 대규모의 비용과 환경 부하를 저감할 수 있는 새로운 형태의 저장도 콘크리트의 개발을 위한 연구를 실시하였다. 즉, 지금까지 하중을 지지하지 않는 구조물에서의 되메움재 및 공동층 전재로서 적용되어 왔던 저장도 콘크리트를 Fig. 1과 같이 건축구조물에서의 되메움재료로써 새로운 적용가능성을 검토하기 위한 기초적인 연구의 일환으로 BFS 및 SS를 혼입한 저장도 콘크리트의 제물성 시험을 실시하였다.

이를 통해 앞으로 다양한 용도와 사용재료별 요구성능에 대응할 수 있는 새로운 형태의 저장도 콘크리트 개발을 위한 자료를 제시함으로써 앞으로 국가차원에서의 “재생자원의 재활용률 극대화” 및 “재생자원의 유효 건설자재화” 실현에 있어 그 토대가 될 수 있는 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

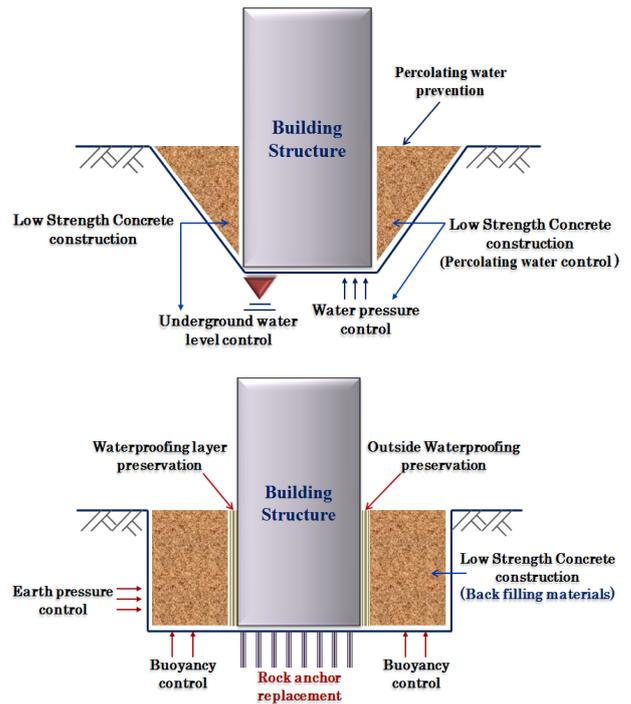


Fig. 1 Application of building structure

2. 실험계획

2.1 실험재료

본 연구에서는 BFS 및 SS의 혼입이 저장도 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하기 위해 다음과 같은 재료를 이용하여 실험을 실시하였다.

시멘트는 보통포틀랜드시멘트 (밀도 3.16), BFS는 KS F 2563에 규정된 비표면적 7,820 cm²/g (밀도 2.90), 6,120 cm²/g (밀도 2.89), 3,980 cm²/g (밀도 2.91)의 3종류를 사용하였다. Table 1에 실험에서 사용한 재료의 물성을 나타낸다. 또한, 본 실험에서 사용한 SS는 탈수 및 소각처리를 통해 건조 상태의 분말형태로 제조한 것으로 환경부 공정시험에 의거 유해물질 함유량이 기준치 이하의 안전한 것을 사용하였다. Table 2에 SS의 물성시험 결과를 Table 3에 BFS의 물성시험 결과를 나타낸다.

2.2 배합

본 연구에서는 BFS 및 SS의 혼입이 저장도 콘크리트의 유동성 및 일축압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 단

Table 1 Physical properties of used materials

	Density (g/cm ³)	Specific surface area (cm ² /g)	Absorbing ratio (%)
Cement	3.16	3150	·
Sand	2.70	·	1.40
CSF*	2.72	·	1.12
Admixture	AE agent for mortar and concrete		
Water	Waterworks		

* CSF = Crushed Stone Fines

Table 2 Physical properties of sewage sludge

	Soil particle density (g/cm ³)	3.044
	Self-water content (%)	60.9
Density (%)	Aggregate powder (2~75mm)	18
	Sand powder (0.075~2mm)	60
	Silt powder (0.005~0.075mm)	18
	Soil powder (0.005 under)	4
	PH	10.8

위시멘트량 (100 kg/m³)을 고정하여 배합을 결정하였다. 또한, 각 재료의 배합에 있어서는 일본 유동화 처리토 이용매뉴얼의 현장 적용을 위한 평가 기준에 의거 목표 플로우값 220±20 (mm) 및 블리딩율 3% 이하 (20시간 후), 일축압축강도 0.3~0.7 MPa를 얻는데 필요한 단위수량을 조절하는 방

Table 3 Physical properties of BFS

		BFS 4000	BFS 6000	BFS 8000
Density (g/cm ³)	KS F 2563	2.80	2.80	2.80
	Test value	2.91	2.89	2.90
Specific surface area (cm ² /g)	KS F 2563	3000 5000	5000 7000	7000 10000
	Test value	3980	6120	7820

Table 4 Mix ratio by volume of use materials

Unit quantity of cement (kg/m ³)			
Test item	Replacement Ratio	Pulverulent body	Fine aggregate
BFS 4000	30,50,70	SS	S*
			CSF**
BFS 6000	30,50,70	SS	S
			CSF
BFS 8000	30,50,70	SS	S

* S = Sand, ** CSF = Crushed Stone Fines

Table 5 Mixture proportion of SS and BFS

	Unit weight (kg/m ³)						
	R · R' (%)	C	BFS	W	S**	SS	CFS
BFS4000	30	70	30	394	1224	294	1117
	50	50	50	374	1250	300	1148
	70	30	70	403	1203	289	1116
BFS6000	30	70	30	385	1242	298	1109
	50	50	50	401	1208	290	1097
	70	30	70	407	1194	286	1107
BFS8000	30	70	30	409	1191	285	1138
	50	50	50	403	1203	288	1094
	70	30	70	409	1189	285	1130

* Replacement Ratio (BFS), ** S(CFS+SS) = 0

법으로 배합을 결정하였다. 또한, 각 재료의 배합에 있어 분체 부분은 SS로 고정하고, 잔골재 부분에는 모래 (S) 및 쇠석미분말 (CSF)을 각각 혼입하여 이들 재료의 배합과 골재 중에서 차지하는 분체의 용적비를 변화시키는 방법으로 실험을 실시하였다.

그리고, BFS의 혼입을 차이에 따른 유동성 및 일축압축강도의 특성을 파악하기 위하여 시멘트의 중량치환으로 분말도에 상관없이 각각 30, 50, 70% 치환하여 실험을 실시하였다. Table 4에 사용재료의 배합조건을 Table 5에 BFS 및 SS 혼입 저장도 콘크리트의 배합표를 나타낸다.

한편, 공시체의 제작은 모르타르 전용 믹서를 이용하여 각 배합별로 먼저, 시멘트, 분체, 잔골재를 혼합하여 1분간 건비

빔을 실시한 후 마지막으로 물을 믹서에 첨가하여 약 2분간 비빔을 실시하였다. 비빔을 완료한 시료는 PVC몰드 (Ø50×100 mm)를 이용하여 KS F 2401의 굳지 않은 콘크리트의 시료 채취방법에 따라 시료를 채취하여 BFS 및 SS를 혼입한 저장도 콘크리트의 일축압축강도용 공시체를 제작하였다.

2.3 시험항목

ACI Committe 229 및 유동화 처리토 이용매뉴얼에서는 플라이애쉬 (이하, FA) 등의 각종산업부산물물을 재활용한 저장도 콘크리트의 경우 구조물용 되메움재로 개발하기 위해서는 사용재료에 대한 정확한 플로우 및 강도 등의 품질성능을 요구하고 있다. 즉, 플로우 및 블리딩, 일축압축강도를 기준으로 공학적 특성 및 품질성능, 현장에서의 적용 가능성을 평가하고 있다. 국내의 경우 현재까지 이에 대한 정확한 평가기준은 없으나, 미국과 캐나다를 중심으로 한 북미의 경우는 ACI Committe 229 (1994), 일본의 경우는 유동화 처리토 이용매뉴얼 (2009)에서 현장 적용을 위한 평가기준과 시험방법 등을 규정하고 있다.

본 연구에서는 ACI Committe 229 및 유동화 처리토 이용매뉴얼에 의거하여 BFS 및 SS 혼입 저장도 콘크리트의 플로우 및 블리딩 시험을 실시하여 최소단위수량의 확보를 통한 유동성 평가를 실시하고 또한, 일축압축강도 시험을 통해 강도 특성을 파악하는 방법으로 현장 적용을 위한 기초적 물성을 검토하였다.

그리고, 본 연구에서는 최근 환경문제의 심각성을 고려하여 각종 산업부산물 등의 재생자원의 사용이 주변 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 SS를 대상으로 환경오염평가를 실시하였다. 특히, 최근 시멘트 개량토로부터 용출되는 것으로 알려진 육가크롬 (Cr)을 중심으로 환경부 공정시험에 의거 유해물질 함유량 및 용출시험을 실시하는 방법으로 SS의 혼입이 주변 환경에 미치는 영향을 검토하였다.

2.3.1 플로우 시험

일반적으로 FA 등의 산업부산물물을 활용한 저장도 콘크리트의 유동성은 플로우 시험을 통해 얻어진 값을 기준으로 평가하고 있다. 저장도 콘크리트의 유동성은 현장에서의 충전성 및 시공성 등에 크게 영향을 미치는 중요한 평가 항목으로 일본의 유동화 처리토 이용매뉴얼에서는 유동구배와 플로우값의 상관성을 이용하여 유동성을 평가하는데 이때, 유동구배는 수평거리에 대한 타설 높이의 구배를 나타내는 것



Photo 1 Flow test method



Photo 3 Compressive strength test method



Photo 2 Bleeding test method



Photo 4 Gush test method

으로 현장에서의 충전성 평가를 위한 지표로 사용하고 있다.

본 연구에서는 최소 단위수량을 얻는데 필요한 플로우값의 만족 여부와 현장 적용성을 고려하여 플로우값의 범위를 220 ± 20 (mm)로 설정하고 일본의 유동화 처리토 이용매뉴얼에 규정된 플로우 시험방법을 참조하여 실험을 실시하였다. 플로우 시험방법은 Photo 1과 같다.

2.3.2 블리딩 시험

일본의 유동화 처리토 이용매뉴얼에 의하면 일반적으로 FA를 혼입한 저장도 콘크리트의 경우 대략 1~3% 정도의 블리딩이 나타나는 것으로 알려져 있다. 그리고, FA와 함께 AE제를 적당량 혼입하면 블리딩율의 억제는 물론 유동성 개선을 통한 단위수량의 저감에 있어서도 대단히 유효한 것으로 알려져 있다. 최근 일본에서 실시된 하수도 맨홀 되메움 시공사례 (2008)에 의하면, FA 및 AE제를 사용한 저장도 콘크리트의 경우 표면침하량이 블리딩율과 거의 같은 1.8% 정도 나타난 것으로 보고된바 있다.

본 연구에서는 일본의 유동화 처리토 이용매뉴얼에서 규정하고 있는 현장 적용을 위한 블리딩율 3% (20시간 후)이하를 적정 범위로 설정하여 KS F 2433에 규정된 주입 모르타르의 블리딩 시험방법에 의거 실험을 실시하였다. 블리딩 시험방법은 Photo 2와 같다.

2.3.3 일축압축강도 시험

일축압축강도는 적용용도에 따라 유동성에 크게 영향을 미치지 않는 범위에서 시멘트의 첨가량을 변화시키는 방법으로 강도를 설정하는 것이 가장 일반적으로 이용되고 있다.

ACI Committe 229 및 일본의 유동화 처리토 이용매뉴얼에 의하면 현재까지 저장도 콘크리트의 적용용도로 가장 많이 이용되는 것은 되메움재의 강도설정 방법으로 이 경우 자중 및 상재하중에 의한 파괴와 압축침하가 생기지 않을 등의 조건을 요구하고 있다.

한편, 강도 평가방법에 있어서는 일축압축강도의 크기를 이용하는 방법이 가장 일반적으로 이용되고 있으나, 용도 및 적용개소에 따라 특별한 강도정수로 평가되는 경우도 있다. 그리고, 강도평가 기준은 ACI Committe 229에서 28일 강도를 유동화 처리토 이용매뉴얼에서는 보통 7일 강도를 기준으로 평가하고 있으나, 시간의 경과에 따른 강도 증가를 고려하여 보통 28일의 일축압축강도를 요구하고 있다.

본 연구에서는 시간의 경과에 따른 강도 변화를 고려하여 ACI Committe 229 및 유동화 처리토 이용매뉴얼에 의거 $\varnothing 50 \times 100$ mm의 PVC몰드를 사용하여 재령 28일의 일축압축강도를 평가 기준으로 실험을 실시하였다. 일축압축강도 시험방법은 Photo 3과 같다.

2.3.4 환경오염평가

본 연구에서는 최근 시멘트 개량토를 중심으로 용출되는 것으로 알려진 Cr을 중심으로 비소 (As), 카드뮴 (Cd), 납 (Pb), 수은 (Hg) 등의 금속이온 농도를 측정하는 방법으로 유해물질 함유량을 측정하고 환경부 공정시험방법에 의거 용출시험을 실시하는 방법으로 SS의 사용이 주변 환경에 미치는 영향을 평가하였다. 용출시험방법은 Photo 4와 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

BFS 및 SS를 혼입한 저강도 콘크리트의 단위수량 도출 결과를 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타낸다. 그림으로부터 전체적으로 BFS의 치환율 증가에 따른 단위수량의 큰 변화는 나타나지 않은 것으로 파악되었다. 각각의 배합조건에 따른 변화에서는 먼저, 분체에 SS를 사용하고 잔골재에 S를 혼합한 저강도 콘크리트 (Fig. 2)의 경우가 잔골재 부분에 CSF를 사용한 저강도 콘크리트 (Fig. 3)에 비해 최소단위수량의 확보를 통한 유동성의 제어가 가능한 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 SS를 활용한 저강도 콘크리트의 경우 최소단위수량의 확보에 있어서는 잔골재를 혼합하여 사용하는 것이 보다 효과적인 것으로 판단된다.

한편, BFS의 분말도 및 치환율 차이에 따른 결과에서는 BFS 6000 및 8000을 각각 30, 50% 치환한 콘크리트의 단위수량이 가장 낮게 나타나는 것으로 확인되었다. 본 실험의 결과에서는 분말도 6000 이상을 30% 정도 범위에서 혼입하면 최소 단위수량 확보를 통한 유동성 개선 효과에 가장 유효할 것으로 나타났다.

3.2 블리딩

각각의 배합조건에 따른 블리딩 시험 결과를 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타낸다. 그림으로부터 전체적으로 BFS 및 SS를 혼입한 저강도 콘크리트의 경우 대략 약 2~3% 정도의 범위에서 블리딩율이 형성되는 것으로 나타나, 본 연구에서 현장

적용성을 고려하여 설정한 기준치 3% 이하로 역제가 가능한 것으로 확인되었다.

각각의 배합조건에 따른 결과에서는 먼저, 분체에 SS를 사용하고 잔골재에 S를 혼입한 저강도 콘크리트 (Fig. 4)의 경우 BFS 4000 및 6000을 각각 30, 50% 치환한 콘크리트의 블리딩율이 가장 적게 나타나는 것으로 파악되었다. 하지만, 치환율이 각각 30 및 50% 이상을 초과하는 범위에서는 블리딩율이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이에 비해 BFS 8000을 혼입한 경우는 치환율 증가에 따른 블리딩율의 큰 변화 없이 평균 2.6% 정도의 범위에서 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 5로부터 분체에 SS를 사용하고 잔골재에 CSF를 혼입한 저강도 콘크리트의 경우는 BFS 4000을 30% 치환한 콘크리트의 블리딩율이 가장 적게 나타나는 것으로 파악되었다. 하지만, 치환율 30% 이상을 초과하는 범위에서는 블리딩율이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, BFS 6000 및 8000을 혼입한 경우는 치환율의 증가에 따라 블리딩율이 기준치 이하의 범위에서 증가와 감소를 반복하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로부터 BFS를 혼입한 저강도 콘크리트의 경우 배합의 조건에 상관없이 현장 적용성을 고려한 블리딩율의 기준치를 만족하기 위해서는 BFS의 분말도에 상관없이 치환율을 30% 범위에서 혼입하는 것이 가장 유효한 것으로 나타났다.

본 실험의 결과에서는 BFS 및 SS를 혼입한 저강도 콘크리트의 경우 블리딩율의 역제를 통한 유동성 개선을 위해서는 잔골재의 차이에 상관없이 BFS 4000을 30% 정도 치환하여 혼입하는 것이 가장 유효한 것으로 나타났다.

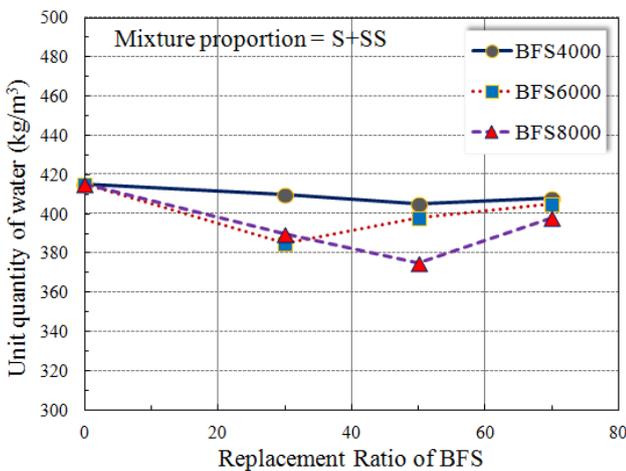


Fig. 2 Flow test result of BFS (S+SS)

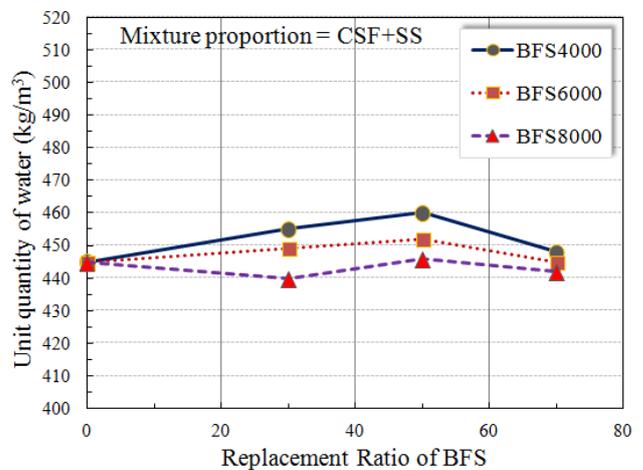


Fig. 3 Flow test result of BFS (S+CSF)

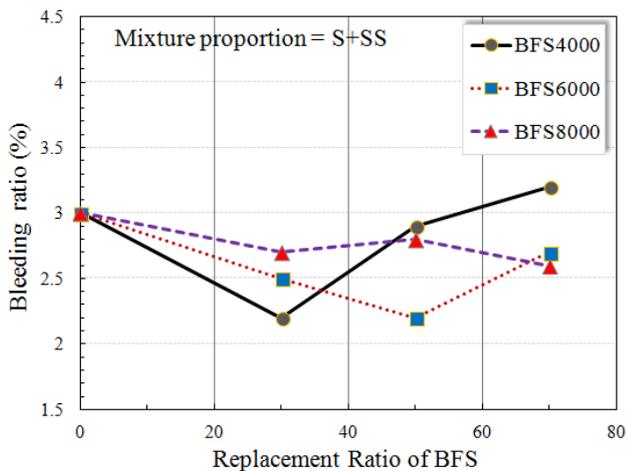


Fig. 4 Bleeding test result of BFS (S+SS)

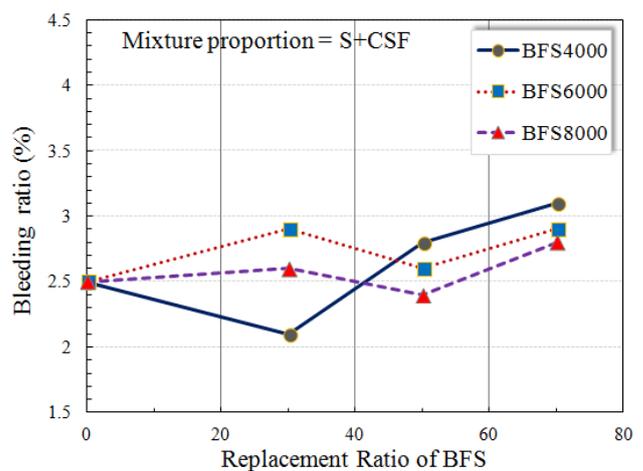


Fig. 5 Bleeding test result of BFS (S+CSF)

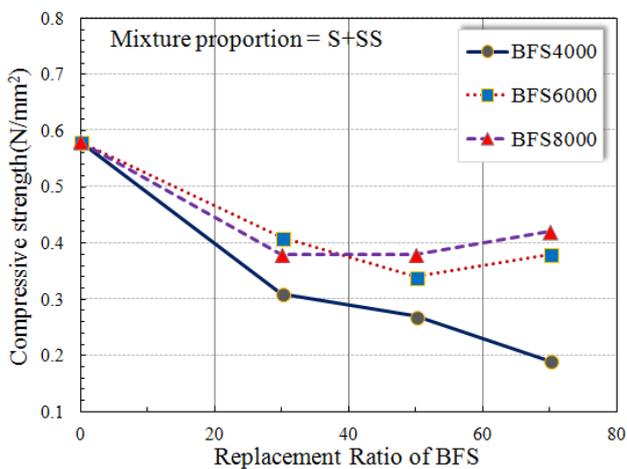


Fig. 6 Compressive strength test result of BFS (S+SS)

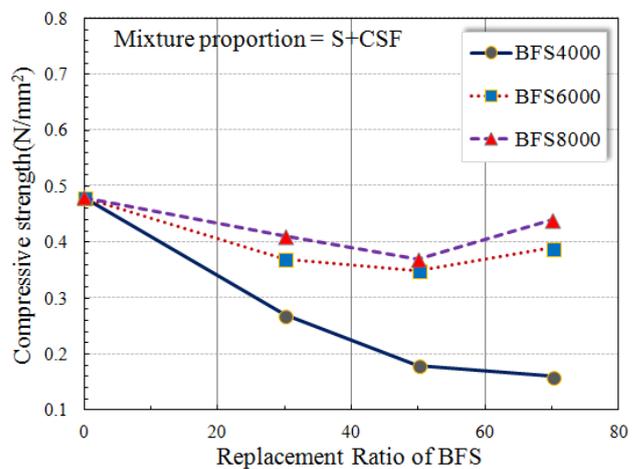


Fig. 7 Compressive strength test result of BFS (S+CSF)

3.3 일축압축강도

각각의 배합조건에 따른 일축압축강도 시험 결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타낸다. 그림으로부터 일축압축강도 결과에서는 BFS의 분말도 차이와 치환율 증가에 따른 강도 변화가 크게 나타나는 것으로 파악되었다. 특히, BFS 4000의 경우 치환율 증가에 따른 급격한 강도 저하로 본 실험에서 현장 적용성을 고려하여 설정한 강도 기준치 0.3 MPa 이하로 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 BFS 4000을 SS와 함께 혼입하여 사용하는 경우에 있어서는 배합단계에서의 단위시멘트량 증가에 따른 목표 강도의 확보가 필요한 것으로 확인되었다.

하지만, BFS 6000 및 8000을 혼입한 경우는 잔골재로 S와 CSF를 혼입한 경우 모두 치환율 증가에 따른 강도 증가

와 감소 경향이 동시에 나타나는 것으로 파악되었으나, 현장 적용을 위한 강도 기준치 0.3 MPa 이상을 상회하는 것으로 확인되었다. 이러한 경향은 BFS의 분말도 차이에 따른 것으로 고미분말의 콘크리트 혼입에 따른 마이크로 필라 효과 (Micro Filler Effect)로 콘크리트의 내부 공극조직이 대단히 치밀화 됨으로서 BFS 4000을 혼입한 저강도 콘크리트에 비해 치환율의 증가에 따른 강도저하 없이 목표 기준치 이상의 일축압축강도 확보에 있어 유효한 거동을 나타낸 것으로 판단된다.

이러한 결과로부터 BFS 및 SS를 활용한 저강도 콘크리트의 경우 사용되는 잔골재의 차이에 상관없이 분말도 6000 이상의 BFS를 30% 정도 범위에서 혼입할 경우 현장 적용을 위한 강도 기준치 (0.3 MPa)를 상회하는 범위에서 일축압축강도의 확보가 가능할 것으로 확인되었다.

Table 6 Result of soil metal concentration (Normality)

Item	Metal concentration (mg/kg)				
	As	Cd	Cr*	Pb	Hg
T1	7.0	1.6	2.3	20.3	0.5
T2	7.4	1.8	2.6	21.0	0.7
T3	8.5	1.0	2.0	21.0	0.4
T4	7.6	1.2	2.1	21.8	0.8
T5	9.4	1.3	2.2	22.3	0.5
standard Value**	75.0	15.0	15.0	60.0	12.0

* Cr = Result measured value of Cr (Number Density)

** Effluent quality standard of soil pollution (2007)

Table 7 Result of gush test

Item	Solubility amount (mg/L)				
	As	Cd	Cr*	Pb	Hg
T1	0.001	0.001	0.062	0.004	0.001
T2	0.003	0.002	0.091	0.002	0.004
T3	0.003	0.001	0.060	0.001	0.002
T4	0.001	0.002	0.068	0.001	0.001
T5	0.002	0.003	0.083	0.002	0.001
standard Value**	0.1	0.02	0.1	0.1	0.01

* Cr = Result measured value of Cr (Number Density)

** Effluent quality standard of water pollution (2007)

3.4 환경오염 영향 평가

본 실험에서는 최근 각종 산업부산물 등의 재생자원을 재 활용한 시멘트 개량토의 사용이 주변 토양 환경에 미치는 영향을 평가하였다. 최근의 연구에 의하면 시멘트 개량토를 이용한 용출시험 결과에서 시멘트의 수화 반응에 의해 고정되지 않은 Cr의 미세한 입자들이 용출되는 것으로 보고되고 있다. 하지만, Cr은 환원성 물질에 의해서 화학적으로 안전한 상태의 크롬 형태로 다시 환원되는 것으로 환원성을 가진 흡과 함께 양질의 슬러지계 고화제를 혼합하는 방법으로 용출과정에서의 충분한 제거가 가능한 크롬 화합물이다. 또한, 시멘트 개량토로부터 배출되는 Cr의 경우 토양환경 하에서는 흡착 및 환원작용의 영향을 크게 받기 때문에 주변 지반에 용출되어도 이동이 억제되어 시간의 경과와 함께 자연적으로 점차 감소되는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 SS를 활용한 시멘트 개량토를 대상으로 Cr을 중심으로 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg) 등의 금속 이온 농도를 측정하는 방법으로 유해물질 함유량을 측정하고 환경부 공정시험 방법에 의거하여 용출시험을 실

시하는 방법으로 SS를 활용한 시멘트 개량토의 사용이 주변 환경에 미치는 영향을 평가하였다. 유해물질 함유량 시험 결과는 Table 6, 용출시험 결과는 Table 7과 같다.

Table 6으로부터 Cr, As, Cd, Pb, Hg 등의 유해물질 함유량 결과에서는 환경부 토양오염 배출허용기준에서 규정하고 있는 기준치 이하를 모두 만족하는 것으로 나타나 SS를 활용한 시멘트 개량토의 유해 금속 이온 함유량은 극히 미세한 것으로 확인되었다. 또한, Table 7의 용출 시험 결과에서도 Cr, As, Cd, Pb, Hg 모두가 환경 기준치 이하로 용출되는 것으로 나타나, 주변 환경에 유해한 영향은 거의 미치지 않는 것으로 확인되었다.

이러한 결과로부터 SS를 활용한 시멘트 개량토의 경우 Cr, As, Cd, Pb, Hg 등의 유해 중금속 이온의 함유량이 환경 기준치 이하를 만족하고 또한, 시멘트의 수화반응 과정에서 고정되지 않은 미세한 입자의 시멘트 개량토가 주변의 토양에 용출 되어도 그 양이 극히 미세한 것으로 판단되는바 SS를 활용한 시멘트 개량토의 사용이 주변 환경에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 추측된다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 용도와 사용재료별 요구 성능에 대응할 수 있는 새로운 형태의 저장도 콘크리트의 개발을 위한 연구의 일환으로 BFS 및 SS를 활용한 저장도 콘크리트의 기초적 물성을 파악하기 위하여 플로우 및 블리딩, 일축압축강도, 환경오염 평가를 중심으로 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) BFS 및 SS를 활용한 저장도 콘크리트의 경우 최소단위수량의 확보를 통한 유동성 개선을 위해서는 잔골재를 적정량 혼합하여 사용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 특히, 분말도 6000 이상의 BFS를 30% 정도의 범위에서 치환하여 혼입할 경우 최소 단위수량을 확보를 통한 유동성 개선 효과에 가장 유효할 것으로 확인되었다.
- (2) BFS 및 SS를 혼입한 저장도 콘크리트의 경우 사용 잔골재의 차이에 상관없이 평균 2~3% 정도의 범위에서 블리딩율이 나타나는 것으로 파악되어 현장 적용을 위한 3% 이하로 충분히 억제가 가능할 것으로 확인되었다. 본 연구의 결과에서는 BFS를 혼입한 저장도 콘크리트의 경우 사용 잔골재의 차이에 상관없이 현장 적용성

을 고려한 블리딩율의 기준치인 3% 이하를 만족하기 위해서는 BFS의 분말도에 상관없이 치환율을 30% 범위에서 혼입하는 것이 가장 유효한 것으로 나타났다.

- (3) BFS 및 SS를 혼입한 저장도 콘크리트의 일축압축강도 결과 BFS의 분말도 차이 및 치환율 증가에 따른 강도 감소 경향이 나타나는 것으로 파악되었다. 특히, BFS 4000의 경우 치환율 증가에 따른 급격한 강도 저하로 배합단계에서의 단위시멘트량 증가를 통한 목표 강도의 설정이 필요한 것으로 확인되었다. 하지만, 분말도 6000 이상을 혼입한 경우는 본 실험에서 현장 적용을 위한 목표 강도 기준치 0.3 MPa 이상을 상회하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과에서는 BFS 및 SS를 활용한 저장도 콘크리트의 경우 사용되는 잔골재의 차이에 상관없이 분말도 6000 이상의 BFS를 30% 범위에서 혼입할 경우 현장 적용을 위한 강도 기준치 (0.3 MPa)를 상회하는 범위에서 일축 압축강도의 확보가 가능할 것으로 나타났다.

- (4) 본 연구의 결과에서는 최소단위수량의 확보를 통한 유동성 개선 및 블리딩율 억제 또한, 현장 적용성을 고려한 일축압축강도의 확보에 있어 사용 잔골재의 차이에 상관없이 BFS 6000 이상을 30% 범위에서 혼입하는 것이 가장 유효한 것으로 나타났다. 특히, SS의 유효 활용 측면에서 BFS 8000을 30% 범위에서 혼합하여 사용하는 것이 가장 최적의 배합조건으로 나타났다.
- (5) SS를 활용한 시멘트 개량토의 경우 Cr, As, Cd, Pb, Hg 등 유해 중금속 이온의 함유량 및 용출시험에서 모두 환경 기준치 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 SS를 활용한 시멘트 개량토의 사용이 주변 환경에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 확인되었다.

References

1. ACI Committee 229, Controlled Low Strength Materials, Concrete International, ACI 229 R-94, 1994, pp.55-64.
2. Civil Research Institute Ministry of Construction Japanese Government, "Liquified Stabilized Soil (CLSM) Uses Technical Manual", Gibodan publishing company (Tokyo), 2008, pp.1-10.
3. CLSM Dissemination Consider Committee, CLSM Uses Manual, Hokkaido Civil technical Institute Concrete Research Committee, Hokkaido, 2006, pp.1-13.
4. Horiguchi, T., Fujita, R., Shimura, K., "Applicability of Controlled Low-Strength Materials with Incinerated Sewage Sludge Ash and Crushed-Stone Powder", Journal of materials in civil engineering, vol. 23, No. 6, 2011, pp.767-771.
5. Horiguchi, T., Okumura, H., Saeki N., "Durability of CLSM with Used Foundry Sand, Bottom Ash in Cold Regions", ACI Special Publication SP, vol. 200, No. 2, 2001, pp.325-340.
6. Horiguchi, T., Saeki, N., "Compressive strength and leachate characteristics of new green CLSM with eco-cement and melted slag from municipal solid waste", ACI Special Publication SP, vol. 221, No. 6, 2004, pp.539-558.
7. Kim, D. H., Horiguchi, T., Lim, N. G., "Rational Method of CLSM Mixture with Sewage Sludge Cinder", Journal of Korea Concrete Institute, vol. 24, No. 4, 2012, pp.465-472. (in Korean)
8. Kim, Y. G., Jee, S. H., Chun, B. S., "A Study on the pH Reduction of Controlled Low Strength Material with Coal Ash", Korea Geo-Environmental Society, vol. 11, No. 9, 2010, pp.39-45. (in Korean)
9. Ministry of Environment, "Effluent Quality Standard of Water Pollution", Notification No.138 of the Ministry of Environment (2007), 2007, pp.1-8.
10. Okumura, H., Horiguchi, T., Saeki, N., "Basic properties of controlled low strength materials with various mix of coal ashes", Report No3. V-41, Japan Society of Civil Engineers, Hokkaido, 2002, p.888.
11. Yi, S. T., Non, J. H., Kim, J. H., Lee, K. J., "A Study on the Improvement of Early-age Compressive Strength of Smart BFS Powder Added Cement Mortar", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 17, No. 2, March 2013, pp.135-141. (in Korean)

Received : 02/27/2013

Revised : 04/08/2013

Accepted : 04/11/2013

요 지

본 연구에서는 각종 산업부산물 및 도시형 리사이클링 재료 등의 재생자원을 안전하게 유효 이용할 수 있는 방안으로 BFS 및 SS를 활용한 저강도 콘크리트의 기초적 물성을 파악하기 위하여 플로우 및 블리딩, 일축압축강도, 환경오염평가를 중심으로 실험을 실시하였다. BFS 및 SS를 활용한 저강도 콘크리트의 경우 최소단위수량의 확보를 통한 유동성 개선 및 블리딩을 억제 또한, 현장 적용성을 고려한 일축압축강도의 확보에 있어 사용 잔골재의 차이에 상관없이 BFS 6000 이상을 30% 범위에서 혼입하는 것이 가장 유효한 것으로 나타났다. 특히, SS의 유효 활용 측면에서 BFS 8000을 30% 범위에서 혼합하여 사용하면 유동성 개선 및 블리딩을 억제, 일축압축강도의 확보는 물론 현장 적용에 있어 가장 최적의 배합조건으로 나타났다. 한편, SS를 활용한 시멘트 개량토를 대상으로 유해물질 함유량 및 용출시험을 실시한 결과 모두 환경 기준치 이하를 만족하는 것으로 나타나 주변 환경에 미치는 영향은 없는 것으로 확인되었다.

핵심 용어 : 저강도 콘크리트, 하수슬러지, 고래슬래그미분말, 쇄석미분말, 재활용자원
