

현무암석분 슬러지를 재활용한 드라이몰탈의 기초적 성능평가

Basic Performance Evaluation of Dry Mortar Recycled Basalt Powder Sludge

고 동 우 최 희 복*

Ko, Dongwoo Choi, Heebok*

Department of Architectural Engineering, Jeju National University, Jeju-si, Jeju-do, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the possibility of using basalt powder sludge instead of sand in a normal cement dry mortar as a way to recycle basalt powder sludge, which is a waste product from the manufacturing a process of basalt in Jeju. Basic performance evaluations of the dry mortar material included a compressive strength test, a flexural strength test, and SEM to observe the micro structure. The compressive and flexural strengths were increased to a replacement ratio of 21% of basalt powder sludge, whereby a strength enhancement of about 40% greater than that of normal dry mortar was shown. However, the creation of hydration products affected the replacement ratio of the basalt powder sludge. The possibility of using basalt powder sludge waste was identified in this study, and results showed that the basalt powder sludge waste could be used as a material for a secondary product of concrete.

Keywords : basalt powder sludge, dry mortar, compressive strength, flexural strength, micro structure analysis

1. 서 론

1.1 연구의 목적 및 배경

제주도에서는 현무암석재를 가공하여 각종 건축용 자재 또는 토목용 자재로의 사용이 증가하고 있다. 그러나 현무암석재의 가공과정에서 기계 냉각수로 사용되는 물과 혼합되어 현탁액으로 분출된 후(Figure 1 (a)), 응집조(Figure 1(b))를 지난 후 탈수과정(Figure 1(c))을 거치면서 다량의 석분슬러지가 발생된다. 발생된 석분슬러지는 산업폐기물로 분류되어 처리하는데 2005년 기준으로 연간 17,000톤이 발생되며, 이를 처리하기 위한 비용은 연간 2억 5천만원이 소요된다[1].

Han et al.[2]은 일반 석재슬러지의 경우 대체율 10%까

지 압축강도 및 휨강도를 증진시켰으며, 석재슬러지의 경우 보통포틀랜드시멘트에 비해 포졸란 반응에 의해 강도증진에 영향을 미치는 다량의 SiO₂ 및 Al₂O₃를 함유하고 있기 때문이다[1]. 현무암의 화학적 특성은 전세계적으로 다소 차이는 있겠으나, 포졸란 반응에 영향을 미치는 SiO₂ 및 Al₂O₃는 각각 60.97 ~ 48.36% 및 20.37 ~ 15.48%정도 함유하고 있다[3]. 제주도 현무암에서도 SiO₂ 및 Al₂O₃가 각각 78.3 ~ 53.1% 및 16.8 ~ 10.7%정도 함유되어 있어[4] 콘크리트 및 모르타르의 강도 증진에 효과적일 것으로 사료된다. 또한 제주도는 지역적 한계상 모르타르 및 콘크리트용 잔골재의 60%를 바닷모래로 사용하고 있는 실정이며, Kim et al.[4]와 Yong et al.[5]는 바닷모래의 사용으로 인해 제주도 지역의 콘크리트 구조물은 알칼리 반응에 의한 열화현상에 주의를 요하고 있다.

따라서 본 연구는 산업폐기물인 현무암석재슬러지의 재활용 방안으로 드라이몰탈용 잔골재로의 활용 가능성을 모색한다. 이를 위해 일반 시멘트몰탈에 사용되는 잔골재의 대체재로서 현무암 석분슬러지의 치환율에 따른 드라이몰탈의 물성 변화와 특성 및 최적의 배합비를 도출한다.

Received : August 24, 2012

Revision received : February 4, 2013

Accepted : February 13, 2013

* Corresponding author : Choi, Heebok

[Tel: 82-64-754-3731, E-mail: chb0319@jejunu.ac.kr

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

Table 1. Chemical composition of cement, granite powder sludge and basalt powder sludge

Specimens	Chemical composition(%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	lg.loss
Portland cement	20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	-	-	2.0	1.9
Granite powder sludge from normal stone	72.1	16.7	1.8	1.5	0.4	3.49	3.50	-	0.6
Basalt powder sludge	52.6	14.6	11.1	8.3	6.3	2.8	1.0	-	-

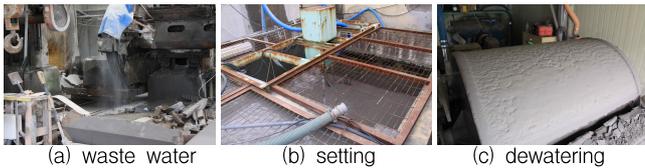


Figure 1 Production of basalt powder sludge

2. 현무암 골재의 특성

2.1 현무암 골재의 특성

현무암은 화성암 중 분출암으로 대표적인 염기성 암석으로, 색지수는 40~70으로 암회색 또는 흑색이며, 밀도는 2.9~3.1정도이다. 화산암 중 가장 널리 분포하며 인도의 데칸 고원, 우리나라의 철원-평강고원, 개마고원은 용암대지로 유명하다. 한편 제주도에 많이 분포하는 현무암은 지표면으로 분출되는 과정에서 대기 중으로 수분이 빠져나가 다공질이 많은 것이 특징이다.

Table 1은 기존 연구[1]로부터 도출한 포틀랜드 시멘트와 일반 석재 슬러지, 그리고 제주도 현무암 석분 슬러지의 성분분석 결과이다. 지역마다 다소 차이는 있지만, 일반적인 석재의 화학조성은 SiO₂성분이 72.1%, Al₂O₃성분이 16.7%, CaO성분이 1.5%로서 수화반응에 미치는 CaO의 성분이 매우 적은 경향을 띠고 있다. 반면, 제주산 현무암 석분슬러지의 경우, 지역마다 다소 차이는 발생할 수 있으나, 실리카성분인 SiO₂성분이 약 52.6%, Al₂O₃성분이 14.6%, 그리고 CaO성분이 8.3%로서 성분함량이 일반석재 슬러지와 다소 상이한 것으로 나타났다. 성분 중 수화반응에 기여하는 CaO가 일반석분슬러지의 5.5배 많은 8.3%를 함유하고 있다. 또한, 일반 석재 슬러지보다 적지만, 현무암 석분 슬러지는 포졸란 반응에 영향을 미치는 SiO₂ 및 Al₂O₃을 다량 함유하고 있기 때문에 현무암 석분슬러지를 드라이 몰탈의 잔골재로 대체할 경우 기존 레미탈에 비해 유사한

성능 또는 그 이상의 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

2.2 현무암, 현무암 석분슬러지의 활용

현재 현무암이 가장 널리 사용되는 것은 건축마감용 판재, 보도용 블록, 현무암섬유보강콘크리트, 골재, 타일 등으로 활용되며, 현무암 자체의 원적외선 방사율과 음이온 방출성능을 이용한 사우나 또는 찜질용 재료로도 활용된다. 또한 농업용재료 또는 석난화분 등으로 활용되기도 한다.

또한, 현무암석분에 맥반석분말, 알라이트분말, 황토분말, 백시멘트, 스티로폼을 적절하게 혼합하여 반죽한 후, 벽이나 옹벽에 미장하듯이 타설하거나 적당한 두께로 시공한다.

그리고 일정시간이 경과된 후 화염을 통해 스티로폼을 용융시켜 공기중으로 확산 제거시키면 현무암을 거의 그대로 묘사할 수 있는 인조석의 조형물을 제작할 수도 있다.

이와 유사한 연구로서, Kim et al.[6]은 수열반응조건에서 석분슬러지를 사용한 경량기포콘크리트의 밀도와 강도특성을 실험적인 방법을 통해 규명하였다. 그리고 Han et al.[2]는 석산에서 발생하는 슬러지 미립분의 혼입률 변화에 따른 시멘트 몰탈의 강도 및 흡수특성에 대한 연구를 수행하여, 석산에서 발생하는 슬러지 미립분을 시멘트 몰탈의 대체재로 활용할 수 있는 가능성을 열었다. Song et al.[7]은 석분슬러지를 혼입한 몰탈의 유동성과 강도발현특성에 대해 연구하였다. 현무암 석분슬러지에 대한 연구로는 Kim [1]이 현무암 석분슬러지의 공학적 특성 및 활용방안에 대한 연구를 수행하였다.

Bhatty and Reid[8]는 슬러지에쉬 몰탈의 압축강도특성에 대해 실험연구를 수행한바 있으며, Tay[9]는 분쇄슬러지에쉬 시멘트의 물성에 대해 연구를 진행하였다. 석분슬러지의 활용도 측면에서 살펴보면, 유럽지역에서는 도로포장에 폐콘크리트를 활용한 바 있으며, 미국도 1970년대부터 폐

콘크리트의 재활용에 대한 연구를 시작하면서 1990년에는 오염방지법령과 폐기물처리지침을 통하여 폐기물발생억제와 재활용을 추진하고 있다. 일본도 도로기반재용 또는 성토재로서 석분슬러지 또는 폐석분을 활용하도록 하고 있다[1].

우리나라에서 드라이몰탈의 매출액은 시멘트 매출액의 약 15%에 해당할 정도로 광범위하게 사용되는 건축재이다. 따라서, 드라이몰탈에 사용되는 모래의 일부를 현무암 석분슬러지로 대체할 수 있으면, 현무암 석분슬러지를 재활용함과 동시에 상품성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 현무암 석분 슬러지를 활용하여 새로운 상품을 개발할 경우, 현무암 석분슬러지를 처리하는 과정에서 발생하는 경제적 손실과 환경적 손실을 줄일 수 있을 것이다. 최근에는 현무암 자체가 갖고 있는 원적외선 방사 또는 음이온 방출특성 등을 이용한 제품개발도 이루어지고 있다.

몰탈은 건축재료 가운데 가장 보편적으로 사용되는 재료의 하나로서, 과거에는 현장에서 시멘트와 모래를 일정량의 물과 함께 섞어 사용되었으나, 최근에는 공장에서 시멘트와 모래가 이미 배합되어 생산되는 드라이몰탈을 주로 사용하고 있다. 따라서 드라이몰탈의 잔골재 대체재로서 현무암 석재슬러지의 적정 배합비를 도출하고, 공장생산을 통한 품질관리가 이루어진다면, 경제적 부가가치 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 및 배합계획

기존 석산에서 배출되는 석분슬러지를 활용한 드라이몰탈

의 연구결과[2]를 보면, 슬러지가 포함된 시험체의 재령 초기에는 휨강도와 압축강도가 다소 증가하다가 슬러지의 대체율이 10%를 넘으면 강도가 감소하고, 대체율 20% 이상에서는 일반 시멘트 몰탈보다 오히려 강도가 저하되는 특성을 보였다. 본 연구에 적용된 석분슬러지는 일반 석재와 다른 현무암 석분슬러지이고, Table 1에서 보듯이 기존 석분슬러지와 성분 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구결과[2]를 고려하여 20% 정도까지는 현무암 석분 슬러지의 혼합비율을 좀 더 세분화하고, 그 이상에서는 10% 단위로 혼합비율을 적용하였다. 실험계획은 Table 2와 같고, 레미탈에서 시멘트와 모래의 배합비는 1 : 3인 것을 석분슬러지의 배합비를 1 : 3으로 고정하였다.

Table 2. Design of experiment

Experiment factors	Contents	Curing days
Mix proportion	0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21%, 30%, 40%, 50%	-
Mortar liquidity	140mm ~ 150mm	-
Water-cement ratio	0.5 and 0.55	-
Micro structure analysis method	X-ray diffraction Scanning electron microscope	3일, 28일
Estimation method	Compressive strength test Flexural strength test	3일, 7일, 14일, 28일

또한 잔골재 내 현무암 슬러지의 혼합비율은 슬러지를 전혀 포함하지 않는 0%부터 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, 21%, 30%, 40%, 50%까지 현무암 석분슬러지의 양을 점진적으로 증가시키면서 압축강도와 휨강도의 변화와 XRD 및 SEM을 통해 내부미세구조를 관찰하였다.

현무암 석분슬러지의 대체율이 증가할수록, 석분과 골재

Table 3. Mix proportion of mortar with basalt powder sludge

specimens	W/C	water(g)	cement(g)	fine aggregate(g)	basalt powder sludge(g)	
BS - 0	0.5	450	750 (1)	2250.0 (3.00)	-	
BS - 3		450	750 (1)	2182.5 (2.91)	67.5 (0.09)	
BS - 6		450	750 (1)	2115.0 (2.82)	135.0 (0.18)	
BS - 9		450	750 (1)	2047.5 (2.73)	202.5 (0.27)	
BS - 12		450	750 (1)	1980.0 (2.64)	270.0 (0.36)	
BS - 15		450	750 (1)	1912.5 (2.55)	337.5 (0.45)	
BS - 18		450	750 (1)	1845.0 (2.46)	405.0 (0.54)	
BS - 21		413	750 (1)	1777.5 (2.37)	472.5 (0.63)	
BS - 30		0.55	413	750 (1)	1575.0 (2.10)	675.0 (0.90)
BS - 40			413	750 (1)	1350.0 (1.80)	900.0 (1.20)
BS - 50	413		750 (1)	1125.0 (1.50)	1125.0 (1.50)	

BS - 0
 ↳ Replacement ratio(%)
 ↳ Basalt sludge

사이의 입도차이로 인해 몰탈의 유동성이 크게 달라질 수 있기 때문에 본 연구에서는 물-시멘트 비를 0.5와 0.55로 구분하여 몰탈의 흐름도 실험을 수행하였으며, 배합비는 Table 3에 있다.

몰탈을 배합한 후 재령 3일, 7일, 14일, 28일의 양생을 통해 휨강도와 압축강도실험을 수행하였으며, XRD 및 SEM은 재령 3일, 28일에 관찰함으로써 양생기간에 따른 물리적 특성의 변화와 성분 변화를 살펴보았다.

본 연구에 사용된 재료 중 결합재는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 골재입도분포를 만족시키기 위해 해사와 쇄사를 혼합하여 조립률 2.91, 밀도 2.55의 혼합사를 사용하였다. 또한, 본 연구에서 사용된 현무암 골재 슬러지의 입도분포곡선은 Figure 2와 같고, 밀도는 2.93이다.

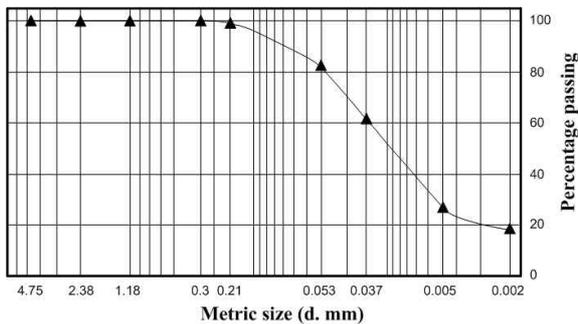


Figure 2 Grading curve of basalt powder sludge

3.2 실험 방법

3.2.1 몰탈 유동성

굳지 않은 몰탈의 주도를 정하기 위해 KS F 5111에 의해, Figure 3과 같이 측정하였다.

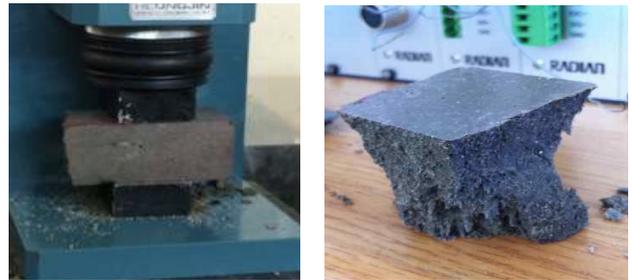


Figure 3 Liquidity test of the mortar with basalt powder sludge

3.2.2 일축압축강도

KS F 2476[11]에 따르면, 압축강도용 공시체는 휨강도 실험에서 사용한 공시체의 양 절편을 사용하도록 하고 있다.

따라서, 본 연구에서도 휨강도실험 시 두 개로 나뉜 시편 가운데 하나를 사용하였으며, 가로와 세로 각각 40mm × 40mm, 길이는 80mm의 시편을 Figure 4와 같이 압축강도 실험용 지판에 맞추어 놓힌 상태로 실험을 수행하였다.



(a) Experimental setup (b) Failure mode
Figure 4 Compression test for mortar with basalt powder sludge

몰탈 압축강도 실험용 Jig의 가압판 크기는 40mm × 40mm이다. 압축강도 실험결과 나타난 최대하중(P)을 아래의 식 (1)과 같이 수정하여 몰탈의 압축강도(σ_c)를 구하였다.

$$\sigma_c = P/1600 \text{ (MPa)} \quad \text{----- (1)}$$

3.2.3 휨강도

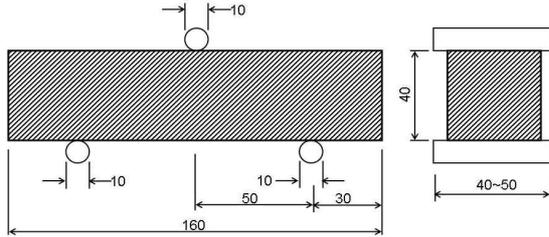
콘크리트와 마찬가지로 몰탈의 인장강도를 직접적으로 구할 수 없으므로, 할열인장 또는 휨강도실험을 통해 인장강도를 추정하게 된다. 따라서, KS F 2476에 따라 Figure 5(a)에서 보듯이 단면 40mm × 40mm, 길이 160mm인 각기둥형태의 공시체에 160mm의 경간의 중간점에 가력하여 나타나는 최대하중(P)으로부터 몰탈의 인장강도를 산출하는 과정은 다음과 같은 응력, 모멘트, 단면이차모멘트의 관계로부터 식(2)와 같이 휨응력(σ_b)을 구할 수 있다.

$$\sigma_b = \frac{My}{I} \text{ (MPa)} \quad \text{----- (2)}$$

여기서, M 은 하중 P 에 의해 시편에 작용하는 최대 모멘트이고, y 는 시편단면의 도심으로부터 인장면까지의 거리로서 본 공시체에서는 50mm, I 는 휨강도실험을 수행하는 단

면의 단면이차모멘트는 $213,333\text{mm}^4$ 이다.
따라서, 최대하중(P)로부터 휨응력(σ_b)은 식(3)과 같다.

$$\sigma_b = P \times 0.00234 (\text{MPa}) \quad \text{----- (3)}$$



(a) Experimental setup



(b) Flexural failure of mortar

Figure 5 Flexural test for mortar with basalt powder sludge

3.2.4 미세구조분석

SEM을 통한 미세구조관찰과 XRD 분석을 위한 시편은 압축강도시험과 휨강도시험 후 발생하는 파편 일부를 회수하고 이를 분말화하여 사용하였다. 분말화 된 시료는 잔골재 성분을 가능한 제거하기 위해 $100\mu\text{m}$ 체를 통과한 미립분만을 사용하였으며, 시멘트 수화반응을 정지시키기 위해 에탄올에 완전히 침지시킨 후 진행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 몰탈 유동성

굳지 않은 몰탈의 유동성 평가 결과는 Figure 6에 있다. 기존 연구에서 몰탈의 적정 플로우 값에는 다소 차이를 보이고 있으나, 저자의 현장 경험을 바탕으로 몰탈의 시공성을 고려할 때 몰탈의 흐름도 값은 약 $140\text{mm} \sim 150\text{mm}$ 가 적정하다. 이를 바탕으로 Figure 6에서 보듯이, 현무암 석

분 슬러지의 증가에 따라 몰탈의 유동성은 감소하였다. 물-시멘트비 50%일 때, 현무암 석분 슬러지 대체율 12% 이상에서 목표값을 만족하였다. 물-시멘트비 55%에서는 현무암 석분 슬러지를 50% 대체할 경우 목표값을 만족하였다.

적정 시공성하에서 기존 잔골재 대체재로서 현무암 석분 슬러지를 사용할 경우 물-시멘트 비에 따라 현무암 석분 슬러지 대체율 20%(W/C=50%)내외 또는 50%(W/C=55%)내외에서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 좀 더 현무암 석분 슬러지의 사용량을 증대시키기 위해 세분화 된 물-시멘트 비와 그에 따른 현무암 석분 슬러지의 대체율에 따른 몰탈의 유동성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

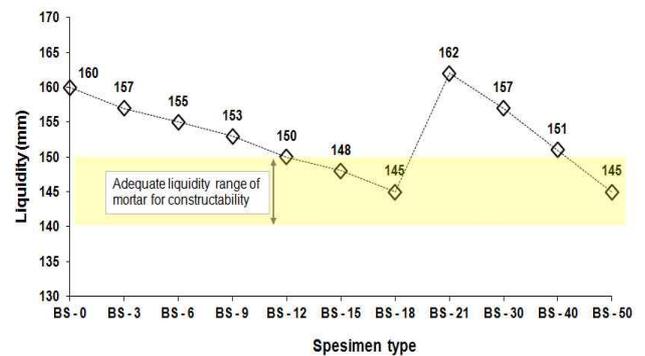


Figure 6 Liquidity results

4.2 일축압축강도

3일, 7일, 14일, 28일 재령에 맞추어 각 6개의 공시체에 대해 압축강도 실험을 한 후, 최대하중과 최소하중을 제외한 나머지 4개 실험체의 평균값을 Table 4에 정리하였다. 그리고, 슬러지 대체율에 따른 재령별 압축강도의 변화는 Figure 7에 있다.

슬러지의 대체율이 21%에 도달할 때까지는 강도가 지속적으로 증가하였으나, 대체율 21%를 넘으면서 강도는 더 이상 증가하지 않았다. 그리고 대체율 50%는 대체율 21%, 30% 그리고 40%에 비해 강도가 저하되는 현상을 보여주었다. 대체율이 0%인 기존몰탈과 비교할 때 대체율이 21%일 때는 약 47%로 가장 높은 강도 증가를 보였다. 현무암 석분 슬러지의 대체율 증가에 따른 강도 증진은 슬러지가 함유하고 있는 반응성 산화물인 SiO_2 , Al_2O_3 가 수화반응물 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와의 포졸란 반응을 활성화시켜 강도 증진을 유도한 것으로 판단된다[10].

Table 4. Compressive strength results of mortar with basalt powder sludge (MPa)

Specimens	3days	7days	14days	28days
BS - 0	16.76	24.02	26.74	23.90
BS - 3	17.13	25.13	26.86	27.63
BS - 6	16.08	25.26	29.68	31.94
BS - 9	18.48	26.40	28.47	33.43
BS - 12	14.37	26.04	29.16	31.40
BS - 15	16.92	28.10	30.85	29.97
BS - 18	19.78	29.42	30.82	33.75
BS - 21	24.59	31.54	34.85	35.20
BS - 30	22.83	28.38	32.94	34.33
BS - 40	22.26	30.43	35.39	35.17
BS - 50	14.99	24.15	31.39	32.84

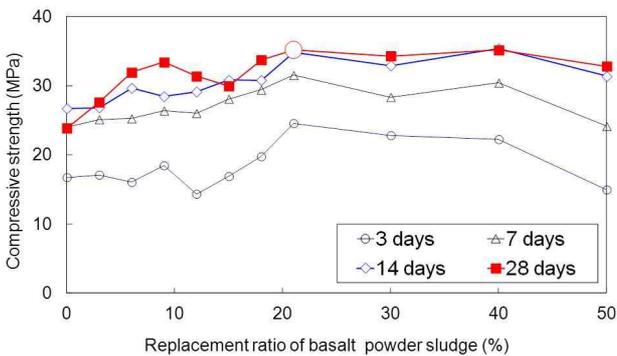


Figure 7 Variation of compressive strength

4.3 휨강도

압축강도 시험과 동일하게 3일, 7일, 14일, 28일 재령의 시험편에 대해 각각 6개씩 휨강도 실험을 수행한 후, 가장 높은 값과 가장 낮은 값을 제외한 나머지 4개의 평균값을 Table 5에 정리하였다. 그리고, 잔골재에 대한 슬러지의 대체율에 따른 휨강도의 변화양상을 확인하기 위해 현무암 석분슬러지의 대체율의 변화에 따른 휨강도의 변화를 Figure 8에서 비교하였다.

압축강도 결과와 유사하게 석분 슬러지의 대체율이 21% 까지 휨강도는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 대체율 21% 이상에서는 석분 슬러지의 대체율이 증가되어도 재령 28일의 휨강도는 큰 변화를 보이지 않았다. 오히려 대체율 50%의 경우 대체율 21%, 30% 그리고 40%보다 강도가 감소하는 것으로 나타났다.

재령 28일 휨강도를 기준으로 휨강도의 증진효과를 비교하면, 9% 대체율을 갖는 몰탈은 기준몰탈과 비교할 때 1.35 배의 강도증진효과가 있었으며, 21%의 대체율을 갖는 몰탈 (BS-21)은 1.45배의 강도증진효과가 있었다. 따라서, 몰탈

의 시공성을 확보하면서 최상의 휨응력을 발휘할 수 있는 석분슬러지의 대체율은 21% 내외가 적당한 것으로 판단된다.

Table 5. Flexural strength results of mortar with basalt powder sludge (MPa)

Specimens	3days	7days	14days	28days
BS - 0	4.35	6.32	7.55	7.40
BS - 3	4.70	7.53	7.83	8.54
BS - 6	4.31	7.49	7.78	8.39
BS - 9	4.61	8.61	8.13	10.01
BS - 12	3.71	7.32	8.39	9.64
BS - 15	4.34	8.04	9.87	9.32
BS - 18	4.78	8.94	9.37	10.62
BS - 21	7.84	9.96	10.56	10.70
BS - 30	6.92	7.71	11.01	11.12
BS - 40	6.81	9.30	11.42	12.05
BS - 50	4.89	7.50	9.85	10.25

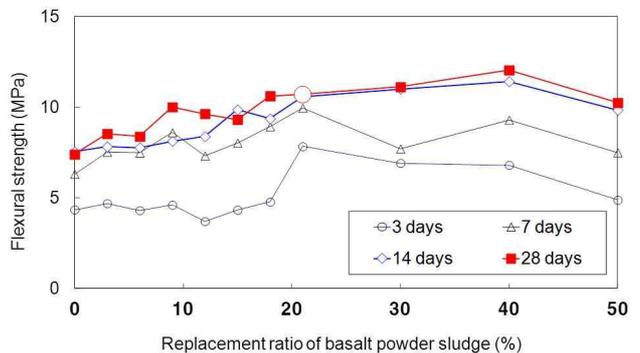


Figure 8 Variation of flexural strength

4.4 미세구조분석

현무암 석분슬러지는 Table 1에서와 같이 반응성 산화물인 SiO₂, Al₂O₃ 그리고 Fe₂O₃을 다량 함유하고 있다. Figure 9에서 보듯이 반응성 산화물의 수화반응에 의해 수화생성물인 C-S-H 및 CAH를 확인할 수 있었다. 현무암 석분슬러지의 대체율이 증가할수록 C-S-H의 intensity는 증가하였고 대체율 21%에서는 Plain보다 높은 intensity를 보이고있다. 그러나, 대체율 50%에서는 오히려 intensity가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 압축강도와 휨강도의 강도 발현 성상과 유사한 경향을 보이고 있다.

현무암 석분 슬러지의 대체율에 따라 수화생성물의 intensity가 증감이 나타났다. 현무암 석분 슬러지가 가지고 있는 반응성 산화물의 수화반응에 의해 대체율 약 20% 내외에서 드라이몰탈의 강도 향상에 도움이 되는 것으로 판단되며, 충분히 몰탈의 보조재로서의 역할을 수행하는 것으로 사료된다.

현무암 석분 슬러지의 대체율에 따른 재령별 수화생성물을 확인하기 위해 XRD 시료와 동일한 시료 및 재령에 대해 Figure 10과 같이 SEM을 통해 수화생성물을 관찰하였다. 석분 슬러지 대체율 3%, 21% 그리고 50% 모두에서 수화생성물을 관찰할 수 있으나, 대체율 50%의 시험체에서 수화생성물의 양이 상대적으로 적었으며, 이는 압축강도와 연계해서 대체율 50%에서 강도 저하의 원인으로 해석할 수 있다.

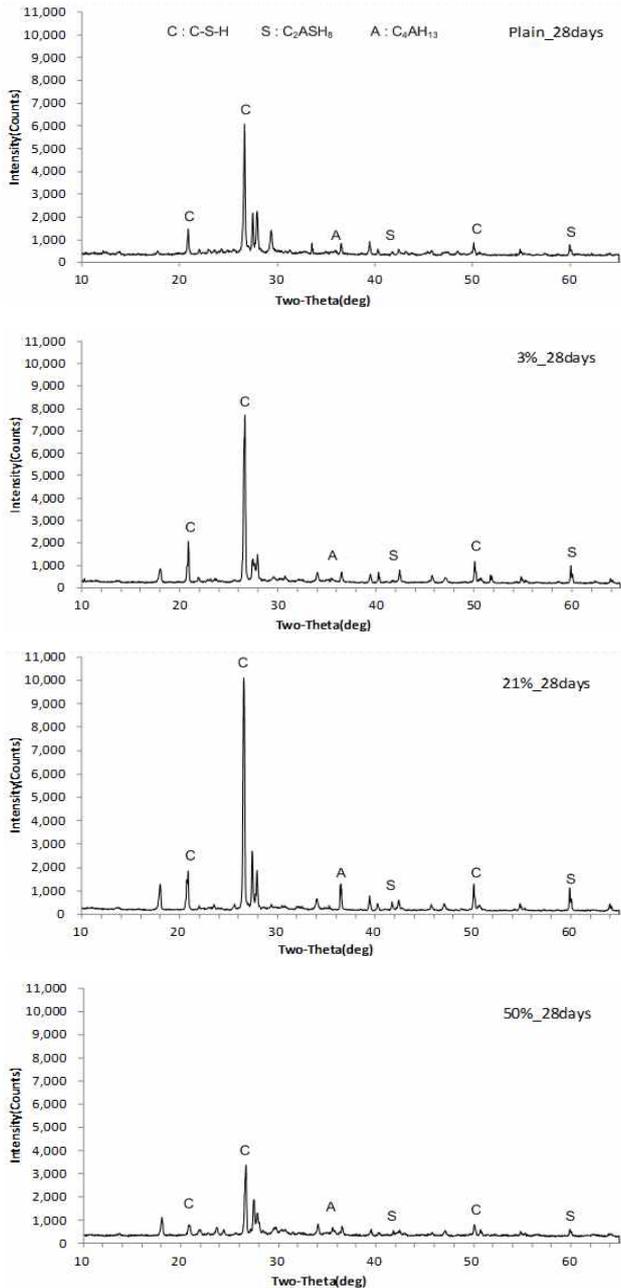


Figure 9 X-ray pattern depending on replacement ratio of basalt powder sludge at 28day

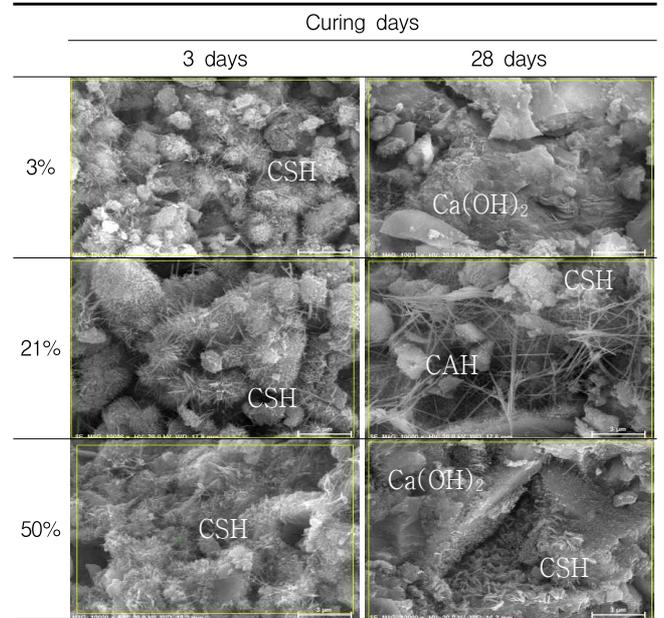


Figure 10 SEM micrograph depending on replacement ratio of basalt powder sludge at 3 days and 28 days

5. 결론

기존 드라이몰탈에서 잔골재를 현무암석분슬러지로 대체한 드라이몰탈의 물리적 성능 및 조직의 미세구조의 관찰 결과는 다음과 같다.

- 1) 석분슬러지를 포함하고 있는 드라이몰탈에 대한 휨강도 실험을 수행한 결과 잔골재에 대한 슬러지의 대체율이 21%에 도달할 때까지 휨강도와 압축강도는 지속적으로 증가하여 슬러지를 포함하지 않은 몰탈의 강도보다 약 40%의 강도증진효과를 보여주었으며, 이후 강도의 증가양상은 두드러지지 않았다.
- 2) 이와 같이 현무암 석분슬러지를 대체한 몰탈의 강도가 더 증가하는 원인은, 현무암석분 슬러지에 포함된 성분 가운데, 수화반응에 기여하는 CaO의 함량이 일반 석분슬러지보다 많은 8.5%에 이르기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 미세구조관찰결과 현무암 석분슬러지의 대체율이 약 20% 내외에서는 현무암 석분슬러지가 가지고 있는 성분들에 의해 수화반응생성물이 일반 Plain 보다 더 많이 생성되는 것으로 나타났다.
- 4) 일반 시멘트 몰탈에서 잔골재의 20%내외에서 현무암 석분슬러지를 대체할 경우, 드라이몰탈의 시공성을 저

해하지 않으면서 물리적 성능을 약 40% 개선할 수 있는 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 최근 제주도 지역에서 현무암 가공과정에서 발생하는 폐기물인 석분슬러지를 재활용하기 위한 방안으로서 일반 시멘트모탈에 사용되는 잔골재 대신에 현무암 석분슬러지의 적용가능성에 대해 실험하였다. 드라이 모탈의 재료로서의 기초적인 성능을 평가하기 위해 압축강도와 휨강도를 평가하고, SEM을 통해 미세구조를 관찰하였다. 현무암 슬러지 대체율 21%까지는 압축 및 휨강도는 증가하였으며, 보통 드라이모탈보다 약 40% 강도 증진 효과가 있다. 현무암 슬러지의 대체율 약 20%이상에서는 상대적으로 수화생성물이 적게 생성되었다. 본 연구를 통해 현무암 슬러지 폐기물의 활용성을 확인할 수 있었으며, 콘크리트 2차 제품의 성형에도 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 현무암 석분 슬러지, 드라이모탈, 압축강도, 휨강도, 미세구조분석

Acknowledgement

This research was supported by the 2013 scientific promotion program funded by Jeju National University

References

1. Kim KY. A study on the application of powdered basalt sludge in construction engineering and its special characteristic. [dissertation]. [Jeju (Korea)]: Jeju National University; 2006. 224 p.
2. Han CG, Shin BC, Kim GC, and Lee ST. Strength and absorption properties of cement mortar produced with various content of sludge powder at mines. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2001 Dec;13(6):561-7.
3. Korkançā M, Tuğrulb A. Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregate. *Engineering Geology*. 2004;74(3-4):291-307.
4. Choi KI, Kim JC, Sung YH, Kim SY. An experimental study

- on concrete with Che-Ju aggregates. *Proceeding of the Korea Concrete Institute*. 1995;7(1):148-53.
5. Yong TH, Choi JM, Lee YS, Yoon JH. An Investigation Report about Phenomena of Deterioration of Concrete Structures throughout Cheju island. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 1994;14(1):509-12.
6. Kim JM, Jeong JY, Choi SJ, and Kim BJ. The density and strength properties of lightweight foamed concrete using stone-powder sludge in hydrothermal reaction condition. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2006 Oct;18(5):687-93.
7. Song JH, Lim SY, Jaung JD. A study on the properties of mortar flowability and strength development using sludge of crushed stone. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*. 2006 Oct;26(1):405-8.
8. Bhatti JI, Reid JR. Compressive strength of municipal sludge ash mortar. *ACI Materials Journal*. 1989 Jul;86(4):394-400.
9. Tay JH. Properties of pulverized sludge ash blended cement. *ACI Materials Journal*. 1987 Sep;84(5):358-64.
10. Jeong JS, Lee JC, Yang KY, So KH. Utilization of stone sludge produced by stone block manufacturing process as concrete admixtures. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2008 Dec;8(6):83-9.