

시멘트계 바탕 바름재용 현무암 석분슬러지 모르타르의 경화 특성

Hardened properties of the cement based Basalt powder sludge mortar for surface preparation

장 명 훈 최 희 복*

Jang, Myung-Houn Choi, Heebok*

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

Abstract

This study aimed to evaluate of the hardened properties (mortar consistency, setting time, absorption properties, drying shrinkage, and bond strength) of the basalt powder sludge mortar recycling a basalt powder sludge occurred during the manufacture process of basalt stone as a replacing material for the sea-sand used to cement filling compound for surface preparation. The hardened mortar made of the basalt powder sludge showed an enhanced performance or similar with the properties of normal mortar used to cement filling compound for surface preparation. But, the drying shrinkage was increased more than a normal cement mortar in the hardened mortar made of the basalt powder sludge since curing 8 - 9days. And the bond strength is low in the hardened mortar used the basalt powder sludge. On the whole, properties of the hardened mortar used the basalt powder sludge correspond to the required minimum quality criterion in the KS F 4716 'cement filling compound for surface preparation'.

Keywords : basalt powder sludge, setting time, absorption properties, drying shrinkage, bond strength

1. 서 론

석분 슬러지는 포졸란 반응에 의해 강도증진에 영향을 미치는 SiO₂ 및 Al₂O₃를 다량 함유[1]하고 있기 때문에, 이를 이용하여 타일제조[2], 인조석판재[3], 콘크리트 혼화재료 [4] 등 다양한 용도로 활용 가능하다. Yang[5]의 연구에서는 잔골재 대체재로서 석분슬러지를 30%~40% 치환함으로써 기존 재료에 비해 큰 성능저하 없이 잔골재 대체효과 및 2차 환경오염 방지효과의 가능성을 언급하였다.

제주도 지역은 최근까지 건축공사가 활발하며, 지역 특색을 반영하여 건축물 내·외부 마감재로 현무암을 가공한 판석을 많이 사용하고 있는 추세이다. 이로 인해, 현무암 판석

가공 후 발생하는 석분슬러지가 16,000톤/년 정도 발생되고 있고, 제주 지역 산업 특성상 석분슬러지는 100% 폐기물로 처리되고 있어, 열악한 중소기업에 경제적 부담과 더불어 지역적 처리문제에 어려움을 겪고 있다. 더불어 제주도는 지역특성상 모르타르 및 콘크리트용 잔골재의 60%~70%를 바닷모래를 사용하고 있으며, 콘크리트 구조물은 형성된 후 계속적으로 염분에 노출되기 때문에 알칼리 반응에 의한 열화현상이 타 지역에 비해 진행 속도가 빠를 가능성이 높다[6,7]. 현무암 석분슬러지에 함유되어 있는 성분은 보통포틀랜드시멘트에 비해 함량에서 차이는 있으나 함유되어 있는 성분은 매우 유사하며[4], 콘크리트 및 모르타르의 강도 증진에 긍정적인 영향을 미친다[1,8].

본 연구는 콘크리트 구조물의 열화현상을 촉진시킬 수 있는 바닷모래의 사용을 줄이고, 산업폐기물인 현무암 석분슬러지를 재활용성을 높이기 위해 이전 연구[9]에서 도출된 결과를 기반으로 콘크리트 바탕 바름재에 사용되는 바닷모래의 일부 대체재로서 현무암 석분슬러지의 활용 가능성을 검토한다.

Received : April 16, 2014

Revision received : August 5, 2014

Accepted : October 7, 2014

* Corresponding author : Choi, Heebok

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

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 범위

본 연구는 시멘트계 바탕 바름재에 사용되는 바닷모래의 대체재로써 폐기물인 현무암 석분슬러지의 활용 가능성을 평가하는 것으로서 실험방법 및 범위는 KS에서 최소품질로서 요구하고 있는 실험 항목인 연도변화, 응결 및 경화, 흡수계수, 건조수축, 부착강도에 한정하였다.

현무암 석분슬러지를 사용한 드라이폴탈의 기초연구로서 슬러지의 혼합비율 및 물-시멘트 비율에 따라 모르타르의 물성, 강도 및 미세구조의 특성을 이전 연구[9]에서 평가하였고, 그 결과로부터 본 실험의 W/C, 석분슬러지 대체율의 분석 범위를 결정하였다. 본 연구의 실험요소 및 배합비는 Table 1 및 2에 있으며, 시멘트와 모래의 배합비는 1:3으로 고정하였다.

Table 1. Design of experiment

Experiment factors	Contents
Water-to-cement ratio	0.55
Replacement ratio of basalt powder sludge	0%, 20%, 30%, 40%
Mortar liquidity	190mm~200mm
Test factors	mortar consistency, setting time, water absorption coefficient, drying shrinkage, bond strength

Table 2. Mix proportion of mortar with basalt powder sludge

Specimens	W/C	Water (kg)	Cement (kg)	Sea-sand (kg)	Basalt powder sludge(kg)
BS - 0				1,530	0
BS - 20	0.55	280.5	510	1,224	306
BS - 30				1,071	459
BS - 40				918	612

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

Table 3. Chemical composition of portland cement and basalt powder sludge

Specimens	Chemical composition(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss
Portland cement	20.3	6.2	3.2	62.4	-	-	1.9
Basalt powder sludge	52.6	14.6	11.1	8.3	2.8	1.0	-

2.2 사용재료 및 특성

본 연구에 사용된 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 화학적 조성은 Table 3과 같다.

현무암 석분슬러지는 제주도 A사에서 발생하는 시료로서 밀도는 0.00293kg/m³이며, 분말도는 53,000m²/kg, 입도분포곡선은 Figure 1과 같다. 또한, 현무암 석분슬러지의 화학적 조성은 Table 1과 같이 SiO₂는 52.6%, Al₂O₃은 14.6%, 그리고 CaO는 8.3%로서 수화반응에 기여하는 CaO가 일반석분슬러지에 비해 다소 많은 편이고, 포졸란 반응에 영향을 미치는 SiO₂ 및 Al₂O₃의 양이 다소 적은 편이다.

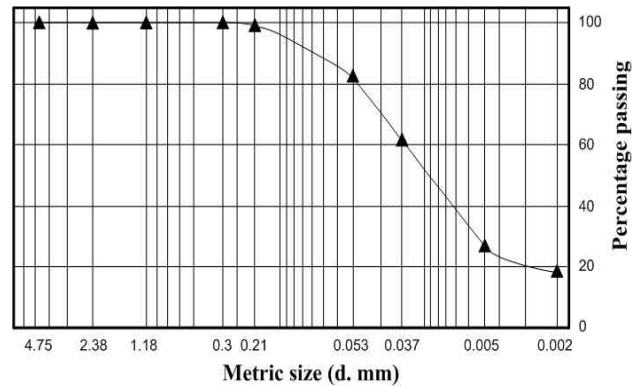


Figure 1. Grading curve of basalt powder sludge

잔골재는 골재입도분포를 만족시키기 위해 해사와 쇄사를 혼합하여 조립률 2.91, 비중 2.55의 혼합사를 사용하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 연도변화

모르타르의 연도변화는 KS L 5207에 준하여 실시하였으며, 동일 시료를 2회 측정하였다. 시료는 배합 직후 플로우 값(F₁)을 측정하고, 대기 중에 90분 동안 존치시킨 후 30초 동안 믹스하여 플로우 값(F₂)을 측정하여 식 (1)에 의해 연도변화를 확인하였다.

$$Mortar\ consistency = \frac{F_1 - F_2}{F_1} \times 100 \quad (1)$$

2.3.2 응결 및 경화

KS F 2436에 준하여 실시하였으며, 시료는 물과 접촉하고 4시간 후부터 30분 간격으로 10초 동안 관입깊이 25 ± 2mm가 되도록 하중을 가하였다. 실험값이 28MPa를 초과하면 실험을 종료하였다.

2.3.3 흡수계수

KS F 2459에 준하여 직경 150mm, 두께 40mm의 원기둥형 시편을 배합 당 3개씩 총 12개를 제작하였고 (Figure 2), 시편의 측면은 에폭시로 방수처리 하였다. 시험은 KS F 2609에 준하여 1일간 양생 후 7일 동안 수중에서 존치시키고, 다시 12일 동안 대기에서 존치시키면서 4일 간격으로 3시간 동안 총 3번 수중에 침지시켰으며, 그 후 8일 이상 대기에서 양생 후 재령 28일에 흡수시험을 하였다. 시편은 10분, 30분, 60분, 360분, 1440분 동안 수중침지 시켰으며, 시험 기간동안 시편의 수중 침지 깊이는 약 10mm로 유지시켰다.

시간에 따른 흡수된 물의 양으로부터 KS F 2609에 따라 식(2)에 의해 흡수계수를 계산하였다.

$$\text{Water absorption coefficient} = \frac{\text{amount of water absorption per area (kg/m}^2\text{)}}{\sqrt{\text{time (h)}}} \quad \text{---- (2)}$$



Figure 2. Specimen sample for water absorption test (replacing ratio of BPS = 40%)

2.3.4 건조수축

KS F 2424에 준하여 40×40×160mm의 시편을 배합 당 3개씩 총 12개를 제작하였다. 시편은 제작 24시간 후에 탈형하고 표면에 60mm 스트레인 게이지를 부착하여 24시간 단위로 데이터로거를 사용하여 수축변화가 없을 때까지 대기 중에서 측정하였다.

2.3.5 부착강도

KS L 5105에 준하여 70×70×20mm의 시험용 밀판을 성형하고, 24시간 동안 양생시킨 후, 6일 동안 20±2℃의 물 속에서 양생하였다. 그 후 시험용 밀판의 표면은 150번 연마지로 충분히 연마하였으며, 배합 당 3개씩 총 12개의

시편을 제작하였다. 바탕 바름재용 모르타르를 타설하기 전에 시험용 밀판은 수분을 충분히 머금게 한 뒤 그 위에 2mm 두께로 타설하고, 14일 동안 양생하였다. 부착강도를 측정하기 전 부착지그의 부착 면적 40×40mm를 절단하고 부착강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연도변화

잔골재에 대한 현무암 석분슬러지의 치환율에 따른 모르타르의 연도변화 측정결과는 Figure 3에 있다. KS F 4716 시멘트계 바탕 바름재의 기준에서 연도변화의 경우 15% 이하로 규정하고 있으며, 본 실험 결과 4종류의 시험편 모두 만족하는 것으로 나타났다. 다만, BPS-0의 경우 요구 슬럼프 값은 만족하였지만, 다른 시편에 비해 연도변화가 크게 발생하였다. BPS-40에서 가장 낮은 연도변화를 보였지만, 요구되는 슬럼프 플로우 값을 만족하지 못하였다. 일반적으로 현무암 석분슬러지를 함유한 시료의 초기 플로우 값은 높고, 연도변화는 작게 나타났다.

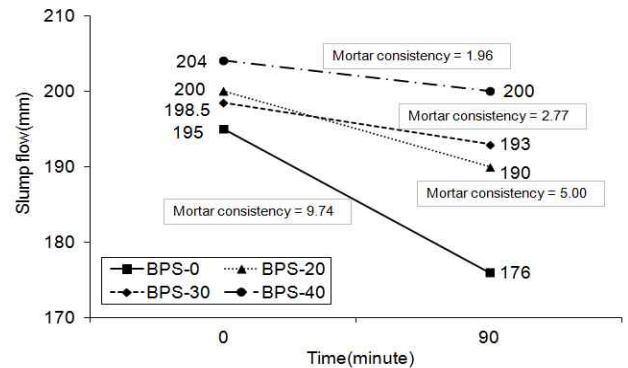


Figure 3. Mortar consistency results according to replacing ratio of BPS

Chang and Jung[10]의 분말도 55,000m²/kg의 쇄석 미분말을 분채로 사용한 시료에서 유동성이 향상된 결과와 유사한 결과를 보였다. 이는 상대적으로 큰 입자(모래)에 비해, 밀도 또는 점성이 큰 미세한 입자(분말도 53,000m²/kg의 현무암 석분슬러지)는 입자 표면에 있는 표면수의 증발 속도보다는 내부수분이 표면으로 이동하여 증발하는 내부수분 이동을 저하시키기 때문에[11] BPS-20, BPS-30, BPS-40이 슬럼프 로스율이 낮은 것으로 판단된다. 본 실

험에서 요구되는 가장 적절한 연도성능 결과는 BPS-30 배합에서 만족되었다.

3.2 응결 및 경화

슬러지 대체율에 따른 시편의 응결 특성에 대한 결과가 Figure 4에 있다. 일반적으로 시멘트 양이 많을수록 수화 반응 속도가 빨라져서 초기에 수화물이 형성되고 조직이 치밀해지기 때문에 응결 및 경화속도가 빨라지듯이, 본 연구에서는 시멘트 양은 일정하게 고정시키고, 잔골재 대체재로서 현무암 석분슬러지를 사용하였기 때문에, 슬러지 성분 중 수화반응의 생성물에 의해 2차적인 화학반응인 포졸란 반응을 일으키는 SiO₂ 및 Al₂O₃ 성분으로 인해[12], 슬러지 대체율이 증가할수록 응결 및 경화 속도가 빨라지는 경향을 보이고 있다.

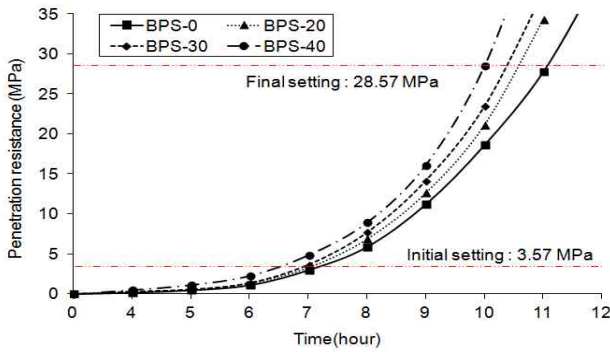


Figure 4. Setting and hardening results according to replacing ratio of BPS

BS EN 197-1:2000[13]에서는 시멘트혼합물의 사용에 지장을 주지 않는 범위 내에서 작업성을 유지하기 위해서 종결시간을 최대 10시간 이내까지 두고 있다. 현무암 석분 슬러지를 함유한 시편의 경우 BPS-40의 종결시간은 10시간 정도였으나, BPS-20 및 30은 10시간을 다소 초과하여 종결시간이 각각 20분 및 30분 정도 더 소요되었다. 슬러지 대체율 0%인 시료의 경우는 응결이 대략 1시간 정도 늦게 종결되었는데, 이는 입자가 고운 슬러지를 사용한 시료에 대해 적정 슬럼프 플로우를 위한 물의 양을 정했기 때문에 상대적으로 물이 많이 첨가된 BPS-0의 초결과 종결이 길게 진행된 것으로 판단된다. 또한, 입자 사이즈가 평균 30 μm 정도의 석분슬러지의 미세분량에 의해 BPS-40, 30, 20 순으로 초결과 종결에 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.3 흡수계수

시멘트 양이 일정할 때 잔골재 대체재로서 현무암 석분슬러지의 양과 시간에 따른 흡수량 결과 값은 Table 4에 있으며, 흡수 결과 값은 3개 시편의 평균값이다. 또한, 흡수계수는 Figure 5에서 설명되고 있다.

슬러지의 양이 증가할수록 흡수율은 감소하며, 그에 따라 흡수계수도 작아지는 것을 확인할 수 있다. 시멘트 수화반응에 의해 생성된 Ca(OH)₂이 슬러지의 성분 중에 SiO₂ 및 Al₂O₃와 포졸란 반응[14]이 진행되면서 생성된 Calcium Silica 및 Calcium Aluminate가 시험체 내의 공극을 메워 주었기 때문에 흡수량 및 흡수계수가 감소한 것으로 판단된다. 시멘트계 바탕 바름재 (KS F 4716)에서는 물 흡수 계수를 0.2이하로 만족하도록 요구하고 있으며, 본 실험 결과 시료 BPS-0(물 흡수 계수 = 0.236)을 제외하고, 현무암 석분슬러지를 사용한 시편(BPS-20, 30, 40)은 물 흡수 계수 0.2이하를 만족하였다.

Table 4. Amount of water absorption according to replacing ratio of BPS (unit : kg)

Immersion time in water	BPS-0	BPS-20	BPS-30	BPS-40
0 min.	1.599	1.581	1.614	1.578
10 min.	1.607	1.585	1.618	1.581
30 min.	1.610	1.587	1.620	1.582
60 min.	1.615	1.590	1.623	1.584
360 min.	1.620	1.594	1.626	1.586
1440 min.	1.632	1.602	1.632	1.589

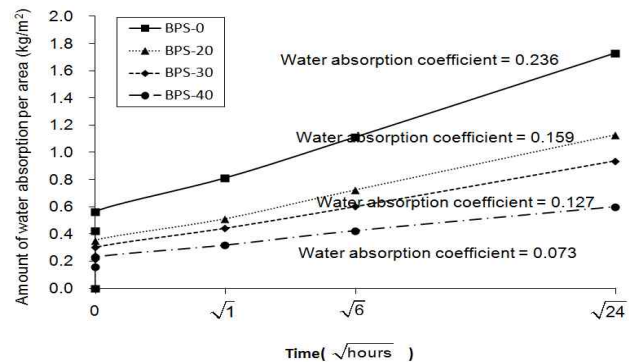


Figure 5. Water absorption coefficient according to replacing ratio of BPS

3.4 건조수축

시험 변수별 재령에 따른 건조수축 측정결과가 Figure 6에 있다. 재령 28일을 기준으로 슬러지의 치환율이 증가할수록 수축 양은 증가하였다. 그러나 재령 8-9일을 기점으로

양생 전반기에는 슬러지양이 많을수록 수축 양이 작아 발생하다가 후반기에는 석분슬러지양이 많을수록 수축 양은 증가하였다. 본 연구와 유사하게 Choi[15]의 연구에서도 포졸란 반응성을 가진 고분말도의 혼화재를 사용한 경우, 초기 수축이 포졸란 반응성 혼화재를 사용한 시편에서 작게 나타났으며, 장기 수축은 다소 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 바탕 바름재의 적절한 사용성을 위해 정해진 W/C 50%에서, 석분슬러지를 혼입하지 않은 시편은 상대적으로 물의 양이 많은 묽은비빔 현상이 발생하였고, 슬러지 혼입량이 증가할수록 미세분량에 의해 물의 양이 상대적으로 부족한 된비빔 현상으로, 석분슬러지에 의해 흡수된 많은 수분이 증발하면서 수축량이 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 건조 수축량을 저감시킴과 동시에 적정 작업성을 확보하기 위해 혼화제를 사용하여 수량을 줄 일 필요가 있다.

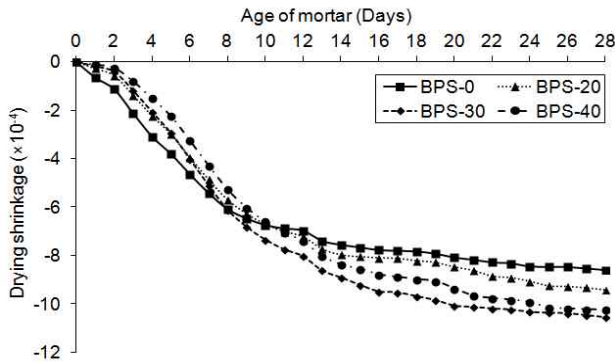


Figure 6. Drying shrinkage results according to replacing ratio of BPS

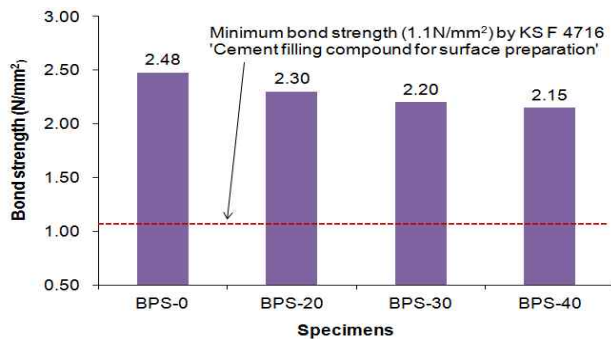


Figure 7. Bond test results according to replacing ratio of BPS

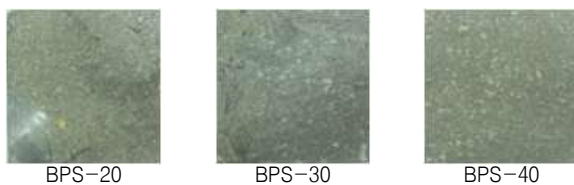


Figure 8. Failure geometry of the specimens surface after the bond test

3.5 부착강도

Figure 7의 현무암 석분슬러지의 대체율에 따른 부착강도 시험 결과에서 보듯이, KS F 4716 ‘시멘트계 바탕 바름재’에서 부착강도의 최소 품질 기준은 1.1N/mm^2 이며, 본 실험에 적용된 현무암 석분슬러지 배합에 의한 시료들은 최소 기준을 만족하고 있으나, 현무암 석분슬러지의 사용량의 증가에 따라 부착력은 감소하는 것으로 나타났다.

부착 시험 후 시료 부착면의 파단 형상인 Figure 8을 보면, BPS-30 및 BPS-40에 비해 BPS-20은 시멘트 모르타르(시료부분)가 대부분 파괴되었고, 이는 바탕바름재와 시료와의 계면에서 부착성능이 다소 높은 것으로 판단된다. 이에 반해 석분슬러지의 사용량이 증가할수록 바탕바름재와 시료와의 계면에서 탈락이 발생되어 부착성능이 감소하였다. 현무암 석분슬러지를 사용함에 있어서 부착성능 기준은 만족하고 있지만, 사용량의 증가에 따라 파괴 유형이 다르기 때문에 향후 석분슬러지의 재활용을 높이기 위해 석분슬러지의 양에 따른 계면부착특성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

산업폐기물인 현무암 석분슬러지의 재활용성을 위한 방안으로 콘크리트 바탕 바름재용 잔골재의 대체재로서 활용 가능성을 검토하였다. 본 실험결과 및 이전 실험결과[9]를 종합하여 현무암 석분슬러지의 적절한 대체율은 잔골재 대비 약 20%~30%로 판단되며, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현무암 석분슬러지의 함량이 증가할수록 연도변화는 줄어드는 현상이 나타났으며, 초기 슬럼프 플로우 및 90분 후 적절한 연도변화 측면에서 시료 BPS-30이 최적의 작업성을 위한 배합조건으로 판단된다.
- 2) 응결 및 경화 특성은 석분슬러지의 양이 증가할수록 초결 및 종결시간이 빨라지는 경향이 나타났으며, BPS-30과 BPS-20의 종결시간은 각각 20분 및 30분 정도 길어졌고, 일반적인 응결 및 경화의 적정 시간은 시료 BPS-40이 만족하였다.
- 3) 물 흡수계수는 현무암 석분슬러지의 양이 증가할수록 감소하였으며, BPS-40, BPS-30 및 BPS-20의 흡수 계수는 각각 0.073, 0.127, 0.159로 시멘트계 바탕 바름재 (KS F 4716)에서는 물 흡수 계수를 0.2이

하를 만족하였다.

- 4) 초기 건조수축은 슬러지 함량이 증가할수록 감소하였으나, 재령 8~9일을 기점으로 슬러지 함량이 증가할수록 건조수축은 증가하였다. 향후 혼화제를 사용하여 배합수를 조절할 필요가 있다.
- 5) 부착강도의 차는 현무암 석분슬러지의 사용량에 따라 큰 차이는 발생하지 않았으며, 부착강도 최소품질기준(KS F 4716 ‘시멘트계 바탕 바름재’)을 만족하였다. 그러나 사용량에 따라 파괴 메커니즘이 상이하였고, 이에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 시멘트계 바탕 바름재에 사용되는 바닷모래를 대체하기 위한 재료로서 현무암 가공과정에서 발생하는 현무암 석분슬러지를 재활용하기 위해 현무암 석분슬러지를 사용한 경화모르타르의 특성(연도변화, 응결경화, 흡수계수, 건조수축, 그리고 부착강도 실험)을 평가하였다. 현무암 석분슬러지를 사용한 경화모르타르는 콘크리트 바탕 바름재에 사용되는 기존의 보통모르타르의 특성과 유사하거나 좀더 향상된 성능을 보였다. 그러나, 현무암 석분슬러지를 사용한 경화모르타르는 보통 모르타르보다 재령 8~9일 이후 건조수축이 증가되었고 부착강도는 감소되었다. 그러나 현무암 석분슬러지를 사용한 경우, KS F 4716 ‘시멘트계 바탕 바름재’에서 요구하는 최소 품질 기준은 만족하였다.

키워드 : 현무암 석분슬러지, 응결경화, 흡수특성, 건조수축, 부착강도

Acknowledgement

This research was supported by the 2015 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: Jeju National University; 2006, 224 p.
2. Lee SO, Kook NP, Lim YB, and Shin BS. The recycling of sludge

- from granite stone cutting and polishing. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling. 1995 Mar; 4(1):12-19.
3. Sohn JS, Kim BG, and Kim CK. Manufacture of artificial stone using waste stone and powder sludge. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling. 1995 Mar; 4(1):4-11.
4. Jeong JS, Lee JC, Yang KY, and So KH. Utilization of stone sludge produced by stone block manufacturing process as concrete admixtures. The Korea Institute of Building Construction, 2008 Dec; 8(6):83-89.
5. Yang SH. Recycling technology of fine aggregates used industries waste stone sludge. 2009 Government-Industry R&D Program Report, Daejeon, Small and Medium Business Administration, 2010 May. 27 p.
6. Choi KI, Kim JC, Sung YH, Kim SY. An Experimental Study on Concrete with Che-Ju Aggregates. Korea Concrete Institute Conference; 1995 May 4; Kyungpook National University, Daegu. Seoul: Korea Concrete Institute; 1995. p.148-153.
7. Yong TH, Choi JM, Lee YS, Yoon JH. An Investigation Report about Phenomena of Deterioration of Concrete Structures throughout Cheju island. Conference of Architectural Institute of Korea, 1994 April 30; Seoul: Architectural Institute of Korea; 1994. p.509-512.
8. 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):561-567.
9. Ko DW, Choi HB. Basic Performance Evaluation of Dry Mortar Recycled Basalt Powder Sludge. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2013 April; 13(2):131-138.
10. Chang CH, Jung YW. The study on high performance of offshore concrete using crushed stone fines. Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety. 2009 June; 15(2):135-142.
11. Kim BT. Analysis of drying efficiency for circulating and falling movements on indirected drying process of food waste. Journal of Korea Organic Recycling Association, 2012 Dec; 20(4):106-117.
12. Kim GI. A study on suitability of the liner by powdered basalt sludge. [dissertation]. Jeju: Jeju National University; 2005, 62 p.
13. British Standards Institute. BS EN 197-1:2000; Cement Composition, specifications and conformity criteria for common cements, British Standards Institute; c2000. 52 p.
14. Hong KN, Lee JH, Lee JH, Han SH, Park JK. Mechanical properties of concrete using crushed stone sludge as substitutes. Journal of the Institute of Construction Technology. 2012 Dec; 31(2):79-84.
15. Choi PG. Early-age shrinkage and air void structure of very-early strength latex-modified concrete using ultra-fine fly ash. [dissertation]. Chuncheon: Kangwon National University; 2010, 135 p.