

활성황토 시멘트 기반 폴리실리콘 슬러지를 사용한 모르타르의 특성

Properties of Mortar with Polysilicon Sludge Based Active Loess Cement

강전욱¹ · 김대연² · 신진현³ · 이상수^{4*} · 송하영⁴

Jeon-Uk Kang¹ · Dae-Yeon Kim² · Jin-Hyeon Shin³ · Sang-Soo Lee^{4*} · Ha-Young Song⁴

(Received October 5, 2018 / Revised November 28, 2018 / Accepted November 28, 2018)

This study examines the ways to address environmental issues by utilizing activated loess to reduce the amount of cements that emit a large amount of carbon dioxide during the process of manufacturing, and by reusing the polysilicon sludge produced as a result of manufacturing polysilicon, one of the components for solar power generation panels. The findings of the experiment showed that the optimal replacement ratio of the polysilicon sludge is 20%, 35% for W/B, and 20% for the ratio of the fine aggregate addition. As it is deemed that utilizing the polysilicon sludge for reinforced concrete may lead to rebar corrosion due to the Cl⁻ contained in the sludge, it can be considered to use for unreinforced concrete or bricks.

키워드 : 폴리실리콘 슬러지, 활성황토, 물/결합재비, 태양광 발전, 혼화재

Keywords : Polysilicon sludge, Active loess, W/B, Solar power generation, Admixture

1. 서론

1.1 연구의 배경

국제기후변화협약의 지구온난화 규제 및 방지를 위한 구체적 이행방안으로, 각국의 온실가스 방출량을 평균 5.2% 의무 감축하는 교토의정서 발효부터 최근의 파리기후변화협약까지 세계 각국은 에너지 사용에 따른 환경오염 규제를 강화시키고 있다. 건축재료 중 큰 비중을 차지하고 있는 시멘트는 생산에 따른 높은 에너지 사용과 이산화탄소 발생이라는 문제로 지구환경을 위협하는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 측면에서 대체자원으로의 활용성이 뛰어난 황토는 우리나라 전통건축에 벽체 및 미장재로 활용되어온 대표적인 건축재료 중 하나로써, 일부 연구자들은 황토가 치환된 콘크리트의 특성에 대한 연구(Hwang et al. 2008)를 진행해 왔으며, 상기

연구결과로부터 황토는 일정 치환율까지는 콘크리트의 역학적 성능을 향상시키는 혼화재로서 사용 가능성이 제시되고 있으며, 황토의 사용으로 시멘트 사용량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 시멘트 및 기타 제조과정 이외에도 이산화탄소 저감에 있어 친환경적이고 안전한 신재생에너지에 대한 필요성이 늘어가 는 실정이며, 정부에서도 태양광발전을 늘리기 위해 지원금을 지급해주고 있고, 연 평균 42%의 성장률을 보이고 있다. 하지만 태양 광 발전 패널의 주 원료인 폴리실리콘은 1ton을 생산시 약 2ton의 폴리실리콘 슬러지가 발생되는데 이는 친환경적에너지 생산이 또 다른 환경오염을 야기되는 것이다. 폴리실리콘 슬러지는 전량 유 상으로 매립되고 있으며 슬러지 처리과정 중 처리비용 지출과 환경오염이라는 이중 낭비가 발생되고 있어 재활용 방안에 따른 연구가 필요한 실정이다.

* Corresponding author E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr

¹한밭대학교 건설환경조형대학 건축공학과 석사 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, 125, Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea)

²한밭대학교 건설환경조형대학 건축공학과 석사과정 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, 125, Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea)

³한밭대학교 건설환경조형대학 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, 125, Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea)

⁴한밭대학교 건설환경조형대학 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, 125, Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34158, Korea)

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 제조시 다량의 이산화탄소를 발생 시키는 시멘트의 사용량을 줄이기 위해 활성황토를 혼합한 시멘트 결합재를 사용하고자 한다. 또한, 현재 전량 폐기되고 있는 폴리실리콘 슬러지를 혼화재로 사용, 결합재로 재활용하여 모르타르의 성능을 증가시키고, 환경문제를 해결을 위한 방안을 모색하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 황토

황토는 지구의 전체 지표면 중 약 10%를 차지하고 있으며, 대한민국의 약 35%의 토양이 황토로 이루어져 있다. 황토의 성질은 황토에 함유되어 있는 점토광물의 종류에 의해 결정된다. 황토를 구성하는 점토광물의 종류는 황토가 형성된 지질 환경 및 기후 등에 의하여 결정되며 황토를 구성하는 점토광물로는 카올린나이트, 할로이사이트, 일라이트 등이 대부분이다. 황토 입자 내부는 표면이 넓은 벌집구조로 수많은 공간이 복층구조를 이루고 있고, 이 구조들 사이에는 원적외선이 다량흡수, 저장되어 있어 열을 받으면 원적외선이 발산하여 다른 물체의 분자활동을 자극시킨다. 국내에서는 온돌 바닥부터 벽체까지 다양한 활용성을 가진 전통 건축자재이며 원적외선 방사효과, 향균 효과, 습도조절 효과 등의 효능이 입증되어있으나, 큰 수축에 의한 균열, 낮은 강도특성으로 인해 현대적인 건축 재료로서의 자원화 되지 못한 실정이었다. 하지만 최근 연구를 통해 천연 상태인 황토를 550~1,000°C로 가열 후 급랭하여 입자를 활성화 하여 황토의 고유한 성능을 유지, 기존의 콘크리트 혼화재와 그 성분이 유사하며 포졸란 반응을 일으키는 천연 포졸란의 성질을 갖는 것으로 연구되었다. 황토는 할로이사이트(Halloysite)계에 속하는 광물이며, 주요성분으로는 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 현재 사용되어지고 있는 콘크리트 혼화재와 그 성분이 유사하고 천연포졸란 성질을 갖고 있다. 본 실험에서는 국내 A사에서 생산되는 활성황토 20%, 슬래그분말 30%, 시멘트 50%를 혼합한 활성황토 시멘트 제품을 사용하였다. 활성황토 시멘트의 물리적 특성은 밀도 3.0g/cm³, 분말도 4,165cm²/g이며 주요성분으로는 SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등이다. Table 1은 활성황토 시멘트의 화학적 성분에 대하여 나타낸 것이다.

2.1.2 폴리실리콘 슬러지

태양광 발전 패널의 원료인 폴리실리콘은 순도 99%의 메탈실

Table 1. Chemical composition of active loess cement

Chemical composition(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
AC	28.57	6.27	4.66	53.01	1.77	2.10

AC=Active loess cement



Fig. 1. Powdering process of polysilicon sludge

Table 2. Chemical composition of polysilicon sludge

Chemical composition(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻
PS	46.60	0.57	45.16	0.69	0.16	3.95

PS=Polysilicon sludge

Table 3. Physical properties of fine aggregate

Physical properties					
	Diameter (mm)	Fineness modulus (FM)	Absolute dry density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Unit volume weight (kg/l)
Washed sand	5	2.82	2.60	0.78	1.564

리콘 고체를 고순도 정제과정을 통해 실란원료를 생산하고 이렇게 생산된 실란원료를 다시 실리콘 석출공정을 통해 폴리실리콘을 생산하게 된다. 이때 실란원료를 회수하고 재활용 하는 공정을 거치게 되는데 이 공정을 거친 후 남아있는 폐기물이 폴리실리콘 슬러지이다. 폴리실리콘 슬러지는 다량의 수분을 함유하고 있는 고형화상태로 발생되기 때문에 별도의 건조 후 분말화 과정을 거쳐 본 실험에 사용되었다.

본 연구에서 사용된 폴리실리콘 슬러지의 화학성분은 Table 2와 같으며, 물리적 특성은 밀도 1.75g/cm³이며, 분말도는 6,490cm²/g이다. 폴리실리콘 슬러지의 주성분은 실리카(SiO₂)와 생석회(CaO)로 이루어져 있다. 폴리실리콘 슬러지는 염소(Cl⁻)의 함유량이 높으므로 철근 콘크리트 구조용으로 사용할 경우 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성이 있으므로 무근 콘크리트 또는 콘크리트 벽돌로 사용할 수 있을 것이라고 판단된다.

2.1.3 잔골재

본 연구에서 사용된 천연 잔골재는 국내 G사의 세척사로 입경 5mm이하, 조립률 2.82의 물리적 성질을 나타내고 있으며, 밀도는 2.60g/cm³, 흡수율은 0.78%이고 단위용적질량은 1,56kg/L이다.

2.2 실험계획

2.2.1 W/B 및 폴리실리콘 슬러지 치환율에 따른 페이스트 실험 (Series I)

Series I에서는 활성화도 혼합시멘트 기반의 폴리실리콘 슬러지의 치환율과 W/B에 따른 특성을 분석하기 위해 폴리실리콘 슬러지를 치환하는 실험을 진행하였다. 결합재는 활성화도 시멘트와 폴리실리콘 슬러지를 사용하였으며, 폴리실리콘 슬러지의 치환율은 0, 10, 20, 30(%) 4가지 수준으로 진행하였다. W/B는 결합재 기준으로 30, 40(wt.%) 2가지 수준을 선정하였으며, 적정 치환율과 W/B를 알아보기 위해 실험을 진행하였다. 양생조건은 온도 20±2℃, 습도 80±5%의 항온항습에서 양생을 실시하였다. Series I의 실험요인 및 수준은 Table 4와 같으며, 배합표는 Table 5와 같다.

Table 4. Experimental factors and level of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

Experimental factor	Experimental level	Note
Binder	AC, PS	2
PS replacement ratio	0, 10, 20, 30 (%)	4
W/B	30, 40 (wt.%)	2
Curing conditions	Constant temperature and humidity curing (temp.20±2℃, hum.80±5%)	1
Assessment items	Flexural strength, compressive strength, flow ability, density, water absorption, air content	6

Table 5. Experimental table of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

	W/B (%)	Unit mass(g)		
		W	AC	PS
PS 0	30	1,637.1	5,456.8	-
PS 10		1,637.1	4,991.2	575.7
PS 20		1,637.1	4,365.5	1,091.4
PS 30		1,637.1	3,819.8	1,637.1
PS 0	40	2,182.7	5,456.8	-
PS 10		2,182.7	4,911.2	575.7
PS 20		2,182.7	4,365.5	1,091.4
PS 30		2,182.7	3,819.8	1,637.1

2.2.2 잔골재 첨가율에 따른 모르타르 실험 (Series II)

Series II에서는 Series I에서의 결합재 및 W/B에 따른 최적의 배합 및 실험결과를 분석하고, 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 최적 실험값을 분석하기 위한 실험을 진행하였다. 잔골재를 첨가함에 따라 페이스트의 활용성 한계를 벗어나 벽돌 제조, 무근 콘크리트 등 여러 방면으로 활용화가 가능하도록 모르타르의 기초 성능을 확인할 수 있다. Series I의 결과 값을 바탕으로 W/B는 35%로 고정하고, 폴리실리콘 슬러지의 치환율은 20%로 고정하였다. 잔골재의 첨가율은 0, 10, 20, 30, 40(%)로 5가지 수준으로 실험을 진행하였으며, 양생조건은 온도 20±2℃, 습도 80±5%의 항온항습에서 양생을 실시하였다. 시험항목은 밀도, 흡수율, 공기량, 휨강도 및 압축강도 등을 측정하였다. Series II의 실험요인 및 수준은 Table 6과 같으며, 배합표는 Table 7과 같다.

Table 6. Mortar experiment factors and levels according to mixing ratio of fine aggregate

Experimental factor	Experimental level	Note
Binder	AC, PS	2
PS replacement ratio	20(%)	1
W/B	35(wt.%)	1
Fine aggregate mixing ratio	0, 100, 200, 300, 400(%)	5
Curing conditions	Constant temperature and humidity curing (temp.20±2℃, hum.80±5%)	1
Assessment items	Flexural strength, compressive strength, flow ability, density, water absorption, air content	6

Table 7. Mortar according to mixing ratio of fine aggregate experimental table

	W/B (%)	Unit mass(g)			
		W	AC	PS	S
Plain	35	5,039.5	11,518.8	2,879.7	-
PS20-S100		5,039.5	11,518.8	2,879.7	14,398.5
PS20-S200		5,039.5	11,518.8	2,879.7	28,796.9
PS20-S300		5,039.5	11,518.8	2,879.7	43,195.4
PS20-S400		5,039.5	11,518.8	2,879.7	57,593.8

2.3 실험 방법

2.3.1 비빔

Series 10에서 혼합기는 모르타르 믹서를 사용하였으며, 비빔방법은 분체를 투입하고 자전 140±5RPM 공전 62±5RPM으로 90초 동안 건비빔을 실시한 후에 배합수를 투입하여 자전 285±10RPM 공전 125±10RPM으로 90초 동안 비벼 총 180초 비빔을 실시하였다.

Series 2에서 혼합기는 일축 스파이럴 믹서를 사용하였으며, 비빔방법은 분체를 투입하고 35RPM으로 90초 동안 건비빔을 실시한 후 배합수를 투입하여 35RPM으로 90초 동안 비벼 총 180초 비빔을 실시하였다.

2.3.2 밀도 및 흡수율

재령 28일의 밀도 및 흡수율을 알아보기 위하여 Φ100×200(H)의 원기둥형 공시체 3개를 제작하여 밀도 및 흡수율을 측정하였다.

2.3.3 유동성

유동성 시험은 'KS L 5111', "수경성 시멘트 시험용 플로 테이블"에 의거하여 진행하였다. 플로의 결정은 모르타르가 퍼진 3곳의 밑지름을 측정하여 평균을 내었다.

2.3.4 공기량

공기량 시험은 'KS F 2421', "굳지 않은 콘크리트의 압력법"에 의한 공기 함유량 시험방법(공기실압력방법)에 의거하여 측정하였다.

2.3.5 강도

본 실험에 사용된 시편은 'KS L ISO 679' "시멘트의 강도 시험방법"에 의거해 제작하였고 공시체는 40×40×160mm의 직육면체 공시체를 사용하였다. 한 배합당 공시체 9개를 제작하여 3개씩 재령 3, 7, 28일 강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 W/B 및 폴리실리콘 슬러지 치환율에 따른 페이스트 특성(Series 1)

3.1.1 밀도 및 흡수율

Fig. 2는 활성황토 시멘트 기반 산업부산물 폴리실리콘 슬러지를 치환율과 W/B에 따른 밀도 및 흡수율 측정 결과를 나타낸 것이다. W/B는 30, 40(%) 2 가지 수준으로 비교하였으며, 폴리실리콘 슬러

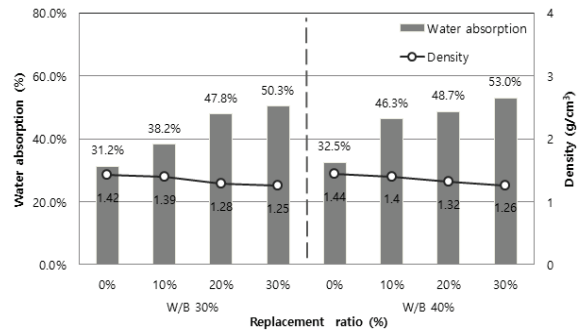


Fig. 2. Density and water absorption of paste by W/B ratio and PS replacement ratio

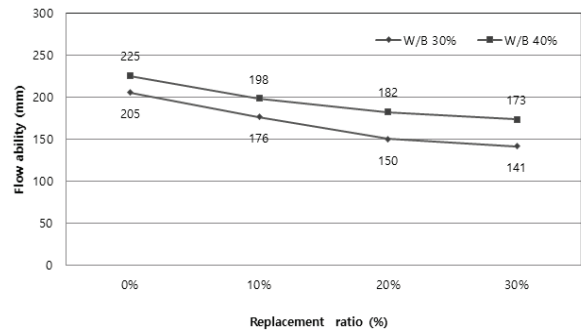


Fig. 3. Flowability of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

지 치환율 0, 10, 20, 30(%) 4 가지 수준으로 실험을 진행하였다. 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보인다. W/B 30%와 40%를 비교하면 밀도의 차이는 크게 나지 않지만 W/B가 증가하면 밀도도 약간 증가하는 결과 값을 보인다.

흡수율은 폴리실리콘 슬러지 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 보인다. 폴리실리콘 슬러지가 증가할 경우 고순도 다결정 분자구조인 폴리실리콘 슬러지의 높은 흡수율로 인해 밀도는 감소하고 흡수율은 증가하는 것으로 판단된다. W/B 30%와 40%를 비교할 경우 W/B 40%일 때, 흡수율의 증가율이 더 큰 것으로 측정되었다.

3.1.2 유동성

Fig. 3은 활성황토 시멘트 기반 산업부산물 폴리실리콘 슬러지를 치환율과 W/B에 따른 유동성 측정 결과를 나타낸 것이다. 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 유동성은 전체적으로 저하되는 경향을 보인다. 폴리실리콘 슬러지의 고순도 다결정 분자구조인 특성상(Lim and Lee 2016) 치환율이 증가할수록 페이스트의 점도가 증가하여 유동성이 저하되는 것으로 판단된다. W/B를 비

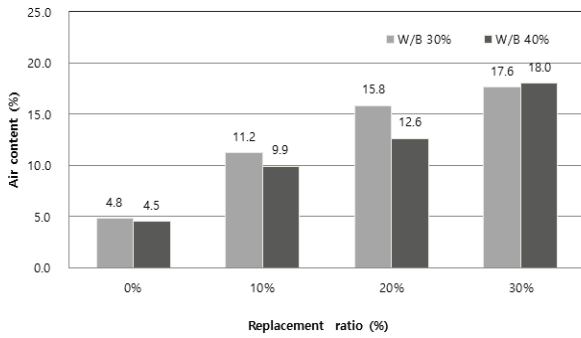


Fig. 4. Air content of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

교할 경우 W/B가 증가하면서 유동성이 증가하는 결과 값을 확인하였다.

3.1.3 공기량

Fig. 4는 활성화도 시멘트 기반 산업부산물 폴리실리콘 슬러지를 치환율과 W/B에 따른 공기량 측정 결과를 나타낸 것이다. 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 공기량은 증가하는 경향을 보인다. 폴리실리콘 슬러지의 양이 증가하면서 공극을 발생시켜 페이스트 내부의 공기량이 증가하는 것으로 판단된다. W/B를 비교해보면 폴리실리콘 슬러지 치환율 0~20(%)에서는 W/B가 적을 때, 공기량이 높게 측정되었으며, 치환율 30%에서 W/B가 높을 때, 공기량이 증가하는 결과 값을 확인할 수 있었다.

3.1.4 휨강도 및 압축강도

Fig. 5와 Fig. 6은 활성화도 시멘트 기반 폴리실리콘 슬러지 치환율에 따른 강도 측정 결과이다. 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 강도는 저하하는 경향을 보이고 있다. 이는 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가함에 따라 공기량이 증가하게 되고, 육안으로도 확인할 수 있는 팽창이 발생하여 강도가 저하되는 것으로 판단된다.

3.2 잔골재 첨가율에 따른 모르타르 특성(Series II)

3.2.1 밀도 및 흡수율

Fig. 7은 W/B 35%, 폴리실리콘 슬러지 치환율 20%로 고정한 페이스트에 잔골재 첨가율 0, 100, 200, 300, 400(%) 총 5가지 첨가율에 따른 밀도 및 흡수율 그래프이다. 잔골재를 첨가하지 않은 0%에서 흡수율 23.1%, 밀도 1.76cm³ 나타났으며, 잔골재의 첨가율이 증가함에 따라 밀도는 감소되고 흡수율은 증가하는 경향을

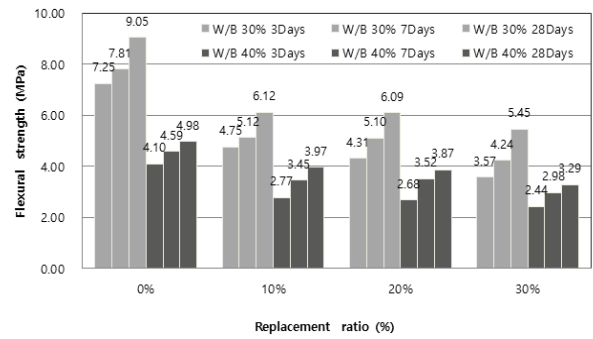


Fig. 5. Flexural strength of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

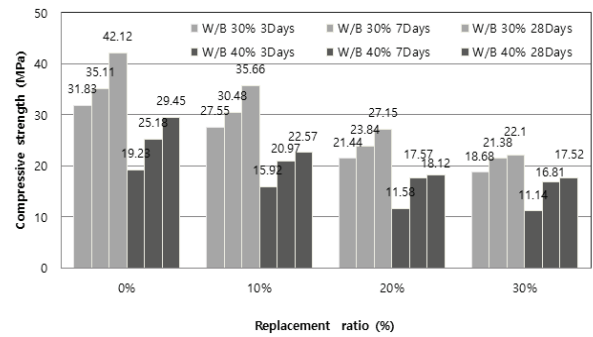


Fig. 6. Compressive strength of paste according to W/B ratio and PS replacement ratio

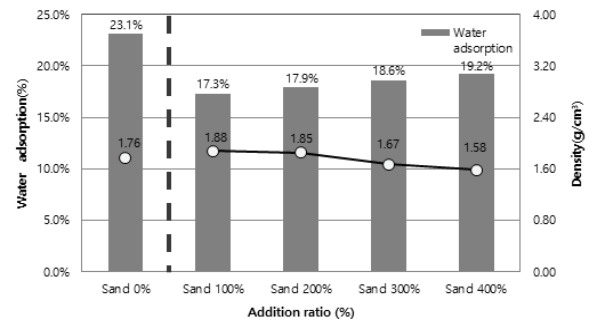


Fig. 7. Density and water adsorption of mortar according to mixing ratio of fine aggregate

보인다. 밀도는 잔골재 첨가율이 증가할수록 감소하는 경향을 보이며, 많은 잔골재 첨가량에 의해 충분한 비빔이 이루어지지 않아 밀도가 감소되는 것으로 판단된다. 흡수율은 잔골재의 첨가율이 증가할수록 증가하는 경향을 보인다. 잔골재의 첨가율이 증가하여 배합수 부족으로 인해 시험체가 균등하게 채워지지 않아 균열이 발생하여 흡수율이 증가하는 것으로 판단된다.

3.2.2 유동성

Fig. 8은 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 유동성을 나타낸 그래프이다. 잔골재의 첨가율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보인다. 0%에서 210mm의 값을 보이며, 잔골재 첨가율 100%에서 145로 가장 높은 값을 보이고, 300%부터 100mm의 값으로 낮은 값을 보인다. 잔골재의 첨가로 인해 점도가 증가하면서 유동성이 저하되는 것으로 판단된다.

3.2.3 공기량

Fig. 9는 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 공기량에 대한 그래프이다. 잔골재의 첨가율이 증가할수록 공기량은 증가하는 경향을 보이고 있다. 0%에서 4.5로 가장 낮은 값을 보이며, 잔골재 첨가율 400%에서 20.0%로 가장 높은 값을 보인다. 잔골재의 첨가로 인해 공기량 측정기 내부가 밀실하게 채워지지 않아 공기량이 증가되는 것으로 판단된다.

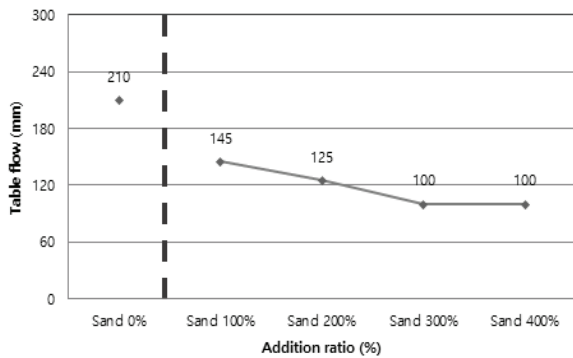


Fig. 8. Flow ability of mortar according to addition ratio of fine aggregate

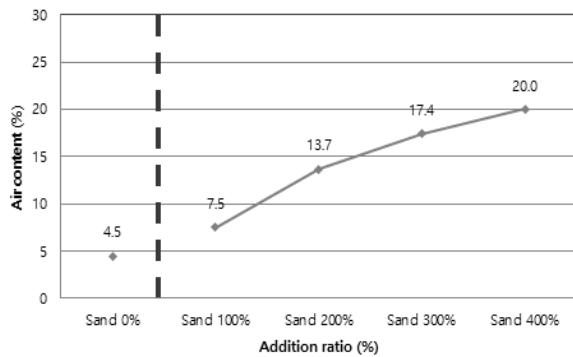


Fig. 9. Air content of mortar according to addition ratio of fine aggregate

3.2.4 휨강도 및 압축강도

Fig. 10은 활성황토 시멘트 기반 폴리실리콘 슬러지의 잔골재 첨가율에 따른 경화체의 휨강도 측정결과이다. 잔골재의 첨가율이 증가할수록 휨강도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Series I의 휨강도와 같은 경향을 보이는데, 잔골재의 첨가율이 증가할수록 배합수 부족으로 경화체의 균열이 발생하여 강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 폴리실리콘 슬러지를 활용한 활성황토 시멘트 경화체의 잔골재 첨가율에 따른 압축강도 측정결과이다. 휨강도와 동일하게 잔골재의 첨가율이 증가할수록 강도가 감소되는 경향을 보이고 있다. 잔골재 첨가율이 증가할수록 배합수 부족으로 충분한 경화가 이루어지지 않아 균열이 발생하여 강도가 낮아지는 것으로 판단된다. 잔골재 첨가율 30%부터 재령이 진행되어도 강도에 큰 변화가 생기지 않는다. 잔골재의 첨가율이 증가하면서 배합수의 부족으로 강도의 발현이 이루어지지 않아 강도의 변화가 없는 것으로 판단된다. 첨가율 400%에서는 오히려 7일 강도보다 28일 강도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 잔골재의 첨가율이 높아짐에 따라 재령이 진행되어도 강도에 영향이 없는 것으로 판단된다.

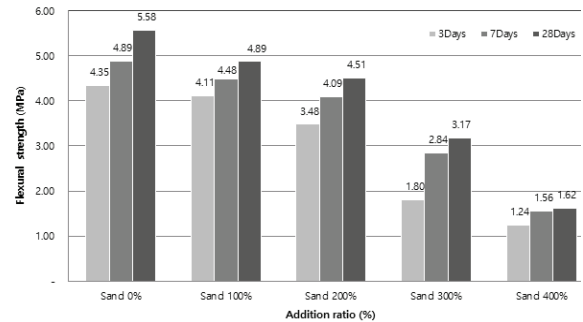


Fig. 10. Flexural strength of mortar according to addition ratio of fine aggregate

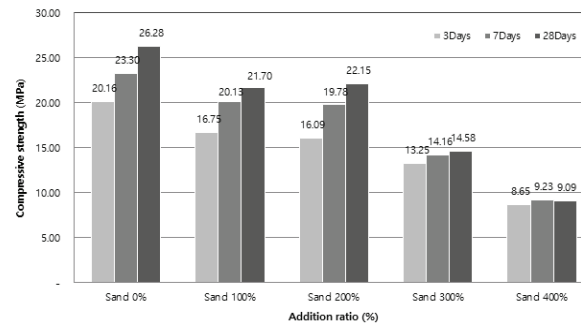


Fig. 11. Compressive strength of mortar according to addition ratio of fine aggregate

4. 결론

본 연구에서는 태양광 발전 시 사용되는 폴리실리콘의 생산 과정에서 발생하는 산업부산물 폴리실리콘 슬러지는 별도의 처리방안이 없어 유상매립하고 있는 실정이다. 산업부산물을 건축자재로 활용하여 슬러지의 양을 줄이고자 연구를 진행하였다. 친환경 재료로 알려져 있는 황토를 활성화시켜 시멘트와 혼입하여 제조된 활성황토 시멘트와 폴리실리콘 슬러지를 활용한 경화체의 기초물성 평가를 실시하고자 한다. 그 결과, 본 연구 범위 내에서는 다음과 같이 요약할 수 있다.

4.1 Series I

- 1) 밀도 및 흡수율 시험결과 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보였으며, W/B가 높을수록 밀도는 증가하는 경향을 보였다. 흡수율은 폴리실리콘 슬러지 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, W/B가 높을수록 흡수율도 증가하는 경향을 보인다.
- 2) 유동성 및 공기량 시험결과 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보이며 W/B가 높을수록 유동성은 증가하는 경향을 보인다. 폴리실리콘 슬러지의 사용량 증가 시 페이스트 점도가 증가하여 유동성을 감소시키는 것으로 판단된다. 공기량은 폴리실리콘 슬러지 치환율이 증가하면서 증가하는 경향을 보이며, W/B 30%에서는 폴리실리콘 슬러지 치환율 0~10(%)에서 증가하고 20~30(%)에서는 증가하였다. W/B 40%에서는 0~10(%)보다 20~30(%)의 치환율에서 공기량이 증가하였다. W/B가 증가할수록 유동성 및 공기량이 증가한다.
- 3) 힘강도 및 압축강도는 폴리실리콘 슬러지의 치환율이 증가할수록 전체적으로 감소하는 경향을 보인다. 힘강도는 0%보다 폴리실리콘 슬러지 10%를 치환하였을 때, 약 30%가 감소하였다. 압축강도 또한 폴리실리콘 슬러지 치환율이 증가할수록 강도가 감소하는 경향을 보인다.

4.2 Series II

Series I에서 진행한 실험을 통하여 폴리실리콘 슬러지의 적정 치환율은 20%, W/B는 35%의 기준으로 Series II의 실험을 진행하였다. 활성황토 혼합 시멘트 기반 폴리실리콘 슬러지를 활용한 경화체를 페이스트의 활용성 한계를 벗어나 벽돌 제조 또는 무근 콘크리트 등 여러 방면으로 활용하기 위하여 모르타르의 특성을

평가하였다.

- 1) 밀도 및 흡수율은 잔골재의 첨가율이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보이며, 흡수율은 증가하는 경향을 보인다. 잔골재의 첨가율 10%에서는 밀도가 증가하지만, 그 이후로는 잔골재 첨가율이 증가할수록 배합수의 부족으로 충분한 비빔이 이루어지지 않아 균열이 발생하면서 밀도는 감소하고 흡수율은 증가하는 것으로 판단된다.
- 2) 유동성 및 공기량은 잔골재의 첨가율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보이며, 공기량은 증가하는 경향을 보인다. 잔골재의 첨가율이 증가하면서 모르타르의 점도가 증가하면서 유동성이 저하되는 것으로 보이며, 모르타르 내의 공극이 발생되면서 공기량이 증가되는 것으로 판단된다.
- 3) 힘강도 및 압축강도는 잔골재의 첨가율이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 잔골재의 첨가율이 증가하면서 배합수의 부족으로 활성황토시멘트의 수화반응에 영향을 끼쳐 강도가 전체적으로 감소하는 것으로 판단된다.

Series I와 Series II의 종합적인 실험결과, 폴리실리콘 슬러지의 적정 치환율은 20%인 것으로 판단되며, W/B는 35%, 잔골재의 첨가율은 200%가 적정 첨가율이라고 판단된다. 폴리실리콘 슬러지의 사용으로 강도가 크게 저하되는 부분을 고려하여, 건축물 구조체에 적용은 불가능하다고 판단된다. 폴리실리콘 슬러지에 함유되어 있는 염소 함유량 때문에 철근을 부식되어 열화현상이 발생하게 된다. 이에 따라 무근 콘크리트 또는 벽돌 등으로 활용할 수 있다고 판단된다.

References

- Choi, H.Y., Kim, M.H., Kim, M.H., Hwang, H.Z., Choi, S.W. (2001). Experimental study on the properties of concrete by the kinds of admixture and the replacement ratios of activated hwangtoh, Journal of the Korea Concrete Institute, **13(2)**, 123-129 [in Korean].
- Hwang, H.Z., Lee, J.K., Yang, J.H. (2008). An experimental study for basic properties of hwangto binder, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **24(1)**, 79-86 [in Korean].
- Lee, H.C., Go, S.S. (2007). A Study on the physical properties of mortar mixing activated hwangtoh, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **23(3)**, 77-88 [in Korean].

- Lee, J.H., Park, H.G., Lee, B.H., Ryu, Y.S., Lee, S.S. (2014). A study on the early strength development characteristics of the polysilicon sludge mixed mortar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 431–432 [in Korean].
- Lee, N.K., Hwang, H.Z., Park, H.G. (2010). Flexural performance of activated hwangtoh concrete beam, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(4)**, 567–574 [in Korean].
- Lee, S.H., Lee, S.J., Woo, Y.Y., Park, J.S. (2014). Properties of portland cement clinker using polysilicon sludge, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **2(4)**, 328–334 [in Korean].
- Lim, J.G., Lee, S.S., Song, H.Y. (2014a). Strength properties of the mortar according to the replacement ratios of the polysilicon sludge, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, **34(1)**, 395–396 [in Korean].
- Lim, J.G., Lee, J.H., Ryu, Y.S., Lee, S.S. (2014b). Flowability and strength properties of mortar according to grinding time change of polysilicon sludge, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 351–352 [in Korean].
- Lim, J.G., Lee, S.S. (2015). Properties of inorganic binder using the blast furnace slag and polysilicon sludge, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **31(6)**, 43–50 [in Korean].
- Lim, J.G., Lee, S.S. (2016). Mechanical Properties of Non-cement Hardened using Polysilicon Sludge, Master's Thesis, Hanbat National University [in Korean].
- Park, S.G., Kim, Y.M., Lee, S.S. (2014). Lightweight properties of matrix using paper ash according to replacement ratios of fly ash and polysilicon sludge, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **2(2)**, 166–171 [in Korean].

활성황토 시멘트 기반 폴리실리콘 슬러지를 사용한 모르타르의 특성

본 연구에서는 활성황토 혼합 시멘트와 폴리실리콘 슬러지를 활용한 경화체의 기초물성 평가를 위한 실험을 진행하였다. 산업부산물의 재활용과 환경오염에 대한 문제를 해결하고자 폴리실리콘 슬러지의 활용방안을 제시하였으며, 폴리실리콘 슬러지 치환율에 따른 페이스트와 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 특성을 분석하였다. W/B 및 PS 치환율이 증가할수록 강도 및 밀도는 감소하는 경향을 보인다. 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 밀도 및 흡수율은 잔골재의 첨가율이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보이며, 흡수율은 증가하는 경향을 보인다. 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 유동성 및 공기량은 잔골재의 첨가율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보이며, 공기량은 증가하는 경향을 보인다. 잔골재 첨가율에 따른 모르타르의 휨강도 및 압축강도는 잔골재의 첨가율이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다.