

Research Paper

황산 중화 레드머드를 사용한 시멘트 모르타르의 압축강도 발현특성

Characterizing Compressive Strength Development in Cement Mortar Utilizing Red Mud Neutralized with Sulfuric Acid

강석표¹ · 홍성욱¹ · 김상진^{2*} · 박규은²

Kang, Suk-Pyo¹ · Hong, Seong-Uk¹ · Kim, Sang-Jin^{2*} · Park, Kyu-Eun²

¹Professor, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jincheon-Eup, Jincheon-Gun, 27841, Korea

²Researcher, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jincheon-Eup, Jincheon-Gun, 27841, Korea

*Corresponding author

Kim, Sang-Jin

Tel : 82-43-531-2903

E-mail :

sjkim9701@naver.com

Received : February 28, 2023

Revised : April 27, 2023

Accepted : May 22, 2023

ABSTRACT

In this research, our goal was to explore the potential use of cement mortar augmented with liquid red mud. To facilitate this, we neutralized liquid red mud(LR) - exhibiting a pH of 10-12 - using sulfuric acid to yield sulfuric acid neutralized red mud(SR). We then evaluated the flow, setting time, and compressive strength of the cement mortar combined with liquid red mud, while also performing a thorough examination of its chemical properties through X-ray diffraction(XRD) and scanning electron microscopy(SEM). The flow tests indicated a decrease in flow values for both MS-LR and MS-SR in comparison to the Plain. Analogously, the setting time for MS-LR and MS-SR was found to be abbreviated when juxtaposed with the Plain. With regards to compressive strength, MS-LR demonstrated a surge in strength at the 1-day mark, while MS-SR displayed a diminution at the 1-day and 3-day timepoints compared to the Plain. XRD analysis illustrated that after 28 days, the XRD patterns of Plain and MS-SR bore significant resemblance, though a new peak was detected in MS-LR. SEM imagery highlighted that the microstructures of Plain and MS-SR were alike, but MS-LR manifested a distinct microstructure, characterized by a finely fibrous formation. Based on these observations, we infer that the replacement of cement mortar with liquid red mud neutralized with sulfuric acid contributes to a noticeable enhancement in strength, thereby verifying its suitability for this application.

Keywords : red mud, liquefied red mud, neutralized red mud, cement mortar, compressive strength

1. 서론

레드머드는 알루미늄을 추출하는 과정에서 대량으로 발생하는 보크사이트의 산업부산물이다. 현재 산업의 발달과 생활 수준 향상에 따라 레드머드의 발생량이 증가하고 있는 추세이며[1,2], 전 세계적으로 연간 1억 2천여만 톤 이상이 발생되고 있다[3,4]. 레드머드의 발생량이 증가함에 따라 재활용의 필요성이 점차 대두되고 있다. 그러나 높은 알칼리 함량과 높은 함수율을 가진 레드머드의 특성상 그 활용이 극히 제한적이고, 매립 장소가 마땅치 않아 재활용율이 10% 이하로 저조한 상태이다[5]. 또한 매립된 레드머드의 유출로 인하여 토양 및 환경 오염에 심각한 피해를 주고 있기 때문에 이에 대한 재활용 연구가 필요할 것으로 사료된다[6]. 국내·외에서는 레드머드의 다양한 재활용 연구가 진행되고 있지만 매립외에 실질적인 재활용 방안이 제시되지 못하고 있으며, 재활용 처리 기술은 증가하는 레드머드의 생산량에 따라가지 못하고 있다[7]. 이러한 이유로 함수율이 높고 강알칼리성인 레드머드는 전처리가 요구되는데 기존 재활용 방법에서는 건조공정을 거쳐 나온 레드



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

머드를 이용하여 흙 콘크리트나 점토벽돌 등의 원료로 재활용하는 연구가 진행되었다[8]. 레드머드 슬러지를 건조하여 처리하는 방법은 높은 비용 문제와 넘비현상으로 인하여 제약을 받고 있으며, 그로인해 건조 레드머드의 재활용률은 현저히 떨어지는 실정이다. 한편, 본 연구의 선행연구에서는 액상화 레드머드를 시멘트 모르타르에 첨가하여 재활용하는 연구가 진행되었다[9,10]. 그 결과 액상 레드머드의 첨가량이 증가할수록 시멘트 모르타르의 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 이는 액상 레드머드의 강알칼리성으로 인하여 강도손실 및 백화현상이 나타난 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 액상 레드머드를 첨가한 시멘트 모르타르의 강도 저하를 개선하기 위하여 pH 10~12 인 액상 레드머드를 황산으로 중화하여 pH 6~8인 액상 레드머드를 시멘트 모르타르에 첨가하여 황산 중화 액상 레드머드의 활용가능성을 확인하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 논문에서는 레드머드 슬러지로부터 액상 레드머드를 제조하기 위하여 물과 분산제, 소포제를 혼합하였으며 상기와 같이 혼합하여 제조된 액상 레드머드에 황산을 첨가하여 pH 6~8인 중화 액상 레드머드를 제조하였다. 중화에 따른 액상 레드머드의 물리·화학적 특성을 비교하였다. 액상 레드머드 및 황산 중화 액상레드머드를 첨가한 시멘트 모르타르의 Mix design 을 Table 1에 나타내었다. Plain의 경우 물시멘트비는 0.5, S/B는 3:1로 설정하였다. 또한 MS-LR 및 MS-SR 배합은 Plain에 액상레드머드 및 황산 중화 액상레드머드를 시멘트 중량에 5wt% 대체하였으며, 액상레드머드의 함수율을 고려하여 혼합 수량을 조절하였고, 혼합수에 균일하게 혼합하여 사용하였다. 평가항목으로는 모르타르의 플로우, 응결시간 및 재령별 압축강도를 측정하였으며, 수화특성으로는 SEM 관찰 및 XRD 분석을 하였다.

Table 1. Mix design

Mix ID	Cement(g)	Sand	Water(g)	Extra discount Red Mud(g)	
				LR	SR
Plain	100		50	-	-
*MS-LR	95	300	45.27	9.72	-
**MS-SR	95		46.06	-	8.94

*MS-LR : Mortar Sample-Liquefied Red Mud, Moisture content(LR) 48.6%

**MS-SR : Mortar Sample- Sulfuric acid + Liquefied Red Mud, Moisture content(SR) 44.1%

2.2 사용재료

본 논문에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에서 규정하고 있는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement)를 사용하였으며 시멘트와 레드머드의 물리·화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 잔골재는 KS L ISO 679의 주문진 표준사를 사용하였다. 액상레드머드 및 황산 중화 액상레드머드를 제조하기 위한 레드머드 슬러지는 국내 K사에서 공급받아 사용하였다. 레드머드 슬러지에 대한 화학적 조성의 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃로 약 80wt%로 구성되어 있다. 또한 액상 레드머드를 황산으로 중화하여 황산 중화 액상레드머드를 제조하기 위해 농도가 95%인 시약급 황산을 사용하였다.

Table 2. Physical properties and chemical composition of Ordinary Portland Cement(OPC) and Red Mud Sludge

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting time		Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)								Moisture content ratio(%)
		Initial (min)	Final (hour)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	
OPC*	3,300	200	5.5	3.15	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	-	-	-
Redmud sludge	-	-	-	-	38.8	16.1	22.8	3.4	0.2	0.0	10.0	0.4	36

* OPC : Ordinary Portland Cement

2.3 실험방법

2.3.1 중화 액상 레드머드 제조

본 논문에서는 함수율 36% 레드머드 슬러지의 질량을 기준으로 물과 분산제, 소포제를 1 : 0.2 : 0.0036 : 0.0014의 비율로 액상레드머드를 제조하였다. 레드머드 슬러지를 분산시키기 위한 장비로서 호모믹서를 사용하여 레드머드 슬러지를 물과 함께 약 3분간 혼합하였고, 저장 안정성을 향상시키기 위하여 분산제와 소포제를 상기 비율로 첨가하여 2분간 다시 혼합하여 제조하였다. 황산중화 액상레드머드는 액상레드머드 100g을 기준으로 황산 첨가량 5.9g을 혼합하여 제조하였으며, 제조된 황산중화 레드머드의 광물학적 조성을 XRD로 분석하였다.

2.3.2 플로우

플로우는 KS L 5111 수경성 시멘트 시험용 플로 테이블을 이용하여 25회 낙하 후 플로우를 측정하였다. 플로우 측정값은 모르타르 밀지름을 같은 간격으로 4개의 지름을 측정하여 평균값을 취하였다.

2.3.3 응결시간

응결시간은 KS L 5103 길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법에 준하여 측정하였다. 응결시간은 육안으로 확인 가능한 흔적을 내지 않고 패드가 길모어의 초결 침을 바치고 있을 때를 시멘트의 초결시간으로 하고 길모어 종결 침을 받치고 있을 때를 시멘트 종결시간으로 측정하였다.

2.3.4 압축강도

Plain 및 MS-LR, MS-SR 등 배합별로 동일한 조건을 가진 3개의 샘플을 이용하여 1, 3, 7 및 28일을 측정하였으며. 시험체 3개의 평균값을 나타내었다. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트 강도 시험 방법에 의거하여 측정하였다. 시험체는 40×40×160mm 몰드에 시멘트 모르타르를 타설하여 24시간 동안 온도 20±2°C에서 경화시키고, 1일 후 탈형하여 지정된 재령까지 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 양생시켜 제조되었다.

2.3.5 XRD

Plain 및 MS-LR, MS-SR의 샘플의 수화생성물 확인하기 위하여 1, 28일의 재령별로 수집하여 24시간 동안 무수에탄올에 침지시켜 수화를 정지 시킨 후, 샘플을 40°C 오븐에서 24시간 동안 중량감소가 더 이상 일어나지 않을 때까지 건조시켰다. 건조된 샘플을 분쇄하여 200mesh 체를 통과시킨 후 X-Ray Diffraction(Rigaku, SRMartLab, Japan)으로 분석하였다.

2.3.6 SEM

미세구조 분석을 위하여 샘플을 28일 기준으로 수집하여 24시간 동안 무수에탄올에 침지시켜 수화를 중지 시킨 후, 샘플을 40°C 오븐에서 24시간 동안 건조시켰다. 건조된 샘플을 냉전계장방출 주사전자현미경(Cold-type Field Emission SEM, HITACHI S-4800, Korea)으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 액상 레드머드의 특성

LR 및 SR의 물리적 성질은 Table 3에 나타내었다. LR의 물리적 특성은 함수율 48.6%, pH 11.5, 밀도 1.50g/cm³, 비표면적 2,871m²/kg, 평균입도 2.50μm, 점도 36,670cP으로 나타났다. 황산중화로 인하여 SR의 함수율은 44.1%로 감소하였고, pH는 6.7로 낮아졌다. SR의 점도는 크게 증가하여 60,670cP이며, 평균 입도는 3.02μm으로 증가하였고 비표면적은 2,441m²/kg로 감소하였다. 레드머드를 황산으로 중화할 경우, 중화반응에 의해 칼슘 황산염이 생성되어 시멘트 내에 있는 칼슘이온의 활동성이 감소하면서 시멘트의 점도가 증가하고 함수율이 감소되는 것을 확인할 수 있었다[11]. 광물학적 조성은 XRD(X-ray diffraction) 패턴으로 분석하였으며, Figure 1에 나타내었다. Figure 1에서 보여지듯이 LR의 주요 화합물은 Quartz, Calcite, Boehmite, Hematite 등으로 확인되었으며[12], SR에서도 유사하게 나타났다. 또한 SR에서는 황산의 첨가로 2θ=25.5, 51.1에서 특성피크가 확인되었으며 이는 Gypsum, Sodium Sulfate으로 확인되었다.

Table 3. Physical properties of Red Mud

Type of red mud	Moisture content (%)	pH	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP)	Average particle diameter(μm) Dv50	Specific surface area (m ² /kg)
*LR	48.6	11.5	1.50	36,670	2.50	2,871
**SR	44.1	6.7	1.54	60,670	3.02	2,441

*LR : Liquefied Red Mud

**SR : Sulfuric acid + Liquefied Red Mud

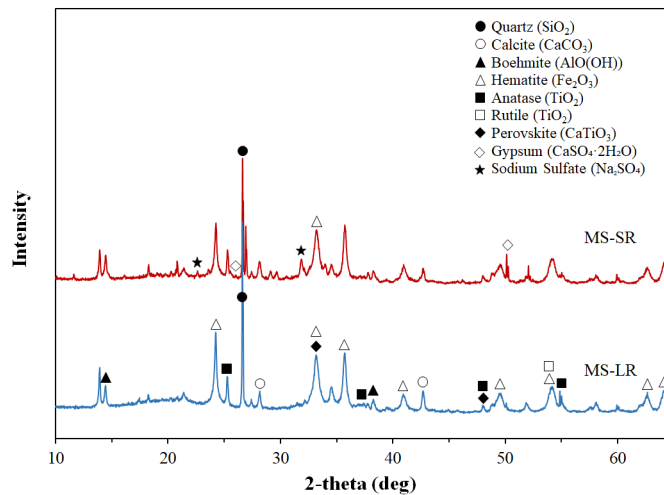


Figure 1. XRD profiles of LR and SR

3.2 플로우

시멘트 모르타르의 플로우 측정결과를 Figure 2에 나타내었다. LR과 SR을 대체한 시멘트 모르타르의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 이는 레드머드가 보통 포틀랜드 시멘트보다 비표면적이 크고 밀도가 작기 때문에 플로우가 감소하는 것으로 판단된다. 또한 MS-SR의 플로우 값은 MS-LR의 플로우 값과 비교하여 감소하였는데 이는 황산으로 중화하였을 때 MS-SR의 점도가 약 1.6배 증가하였기 때문에 MS-LR의 플로우 값보다 MS-SR의 플로우 값이 감소한 것으로 나타난다.

3.3 응결시간

시멘트 모르타르의 응결시간 측정결과를 Figure 3에 나타내었다. Plain과 비교하여 MS-LR 및 MS-SR의 응결시간은 단축되었고, 특히 초결시간보다 종결시간이 더 크게 단축되었다. Plain과 비교한 MS-LR의 초결시간은 37분과 종결시간은 82분으로 단축되었다. MS-SR의 초결시간과 종결시간은 Plain과 비교하여 초결에서는 57분, 종결에서는 75분으로 단축되었다. 액상 레드머드는 알루미늄에이트계 급결제로 콘크리트 중에서 알칼리(NaOH)와 수산화알루미늄(aluminium hydroxide, $Al(OH)_3$)로 분해된다. 이때 생성된 알칼리성분(NaOH)이 시멘트 중의 칼슘실리케이트(C2S, C3S)의 수화를 촉진하여 초기에 다량의 수산화칼슘을 생성시키게 되는데 이때 생성된 수산화칼슘과 알루미늄에이트 급결제로부터 생성된 수산화알루미늄이 반응하여 다량의 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ 를 생성하여 시멘트의 응결 및 경화를 촉진하게 되기 때문에 Plain 시험체에 비해 MS-LR 및 MS-SR 시험체의 응결시간이 단축된 것으로 보여진다[13]. 따라서 LR 및 SR로 시멘트를 대체하여 사용할 경우 시멘트 모르타르의 응결시간을 촉진 시킬 수 있다고 판단된다.

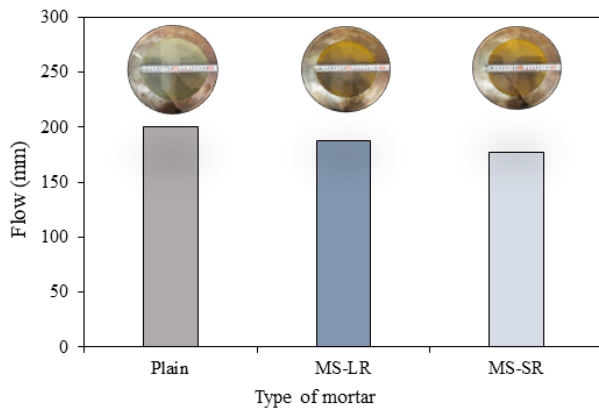


Figure 2. Impact of LR and SR on the cement mortar’s flow

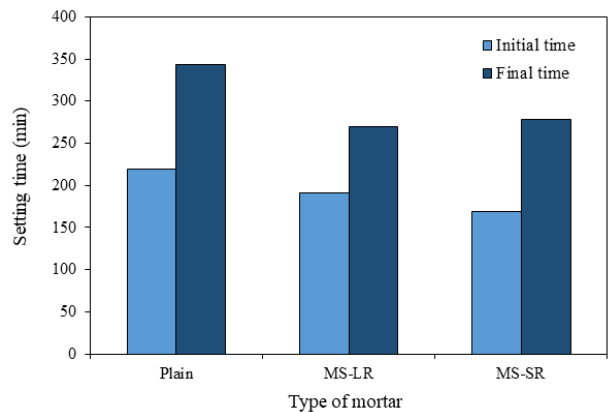


Figure 3. Initial and final setting time of cement mortar with LR or SR replacement

3.4 압축강도

Table 1의 배합비로 제조한 시편의 재령별 압축강도와 Plain과 비교한 압축강도비를 각각 Figure 4와 Figure 5에 나타내었다. MS-LR 및 MS-SR의 1일 압축강도는 Plain 13.92Mpa, MS-LR 17.32Mpa, MS-SR 22.05Mpa로 나타났으며, MS-SR의 1d, 3d의 초기 강도의 경우 우수한 강도 발현을 나타내었다. MS-LR의 1일 압축강도는 Plain과 비교하여 약 124% 증가하였고, MS-SR은 Plain과 비교하여 약 158% 증가하였다. 하지만 3일 압축강도는 Plain과 비교하여 유사한 수준으로 보이고 있으며, 7일 이후는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 시멘트 모르타르에 NaOH를 첨가하는 경우 초기에 급결현상이 발생하여

초기강도가 높게 발현되는 것으로 판단된다[13]. 28일 압축강도의 경우 Plain과 비교하여 감소하였다. 28일의 압축강도의 측정결과 Plain 54.91MPa, MS-LR 46.68MPa, MS-SR 50.93MPa로 나타났다. Plain과 비교하여 MS-LR은 약 26% 감소하였고, MS-SR은 19% 감소하였으며 MS-SR은 MS-LR과 비교하여 7% 향상되었다. 이는 중화하지 않은 레드머드 보다 황산으로 중화한 액상레드머드의 경우 압축강도의 개선 효과가 있는 것으로 판단된다. MS-LR의 경우 Plain과 황산으로 중화한 MS-SR에 비해 초기강도가 낮게 나타났으며, 28일 강도의 경우 점차 강도 발현이 진행되었지만, 7일 강도와 비교하여 미미한 정도의 강도 발현을 나타내었다. 기존 연구에서는 레드머드 대체에 따른 시멘트 모르타르의 압축강도 감소를 고려하여 레드머드의 사용량을 10% 제안하였다[14-16]. 본 연구에서는 건설산업분야에서의 레드머드 재활용을 위하여 레드머드를 황산으로 중화하여 시멘트 모르타르에 시멘트 중량대비 5% 대체한 결과, 초기 압축강도에 우수한 강도 발현을 나타낼 수 있으며, 황산 중화 액상 레드머드의 활용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

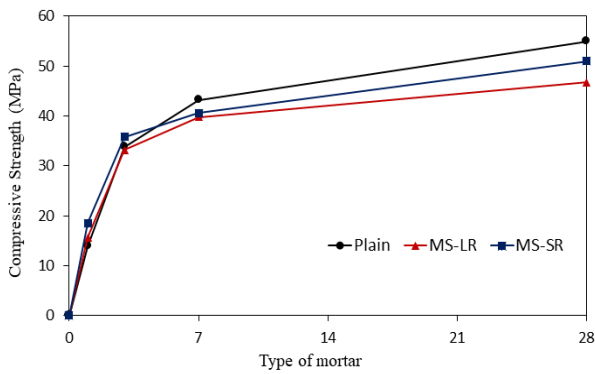


Figure 4. Impact of LR and SR on the cement mortar's compressive strength

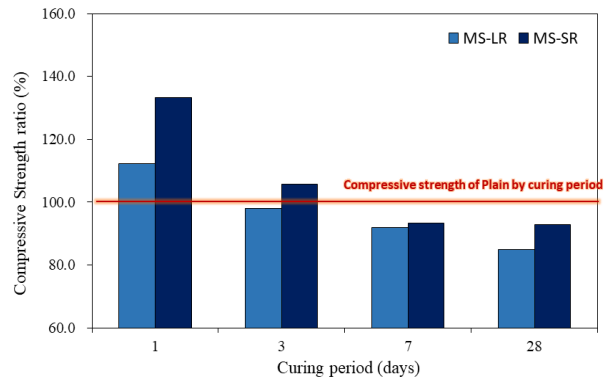


Figure 5. Effect of LR and SR on the cement mortar's compressive strength ratio

3.5 XRD 분석

시멘트 모르타르 샘플의 재령별 수화생성물 확인을 위하여 XRD 분석결과를 Figure 6에 나타내었다. 1d의 경우 Plain, MS-LR 및 MS-SR의 XRD 피크의 패턴이 유사하게 나타났으며, Plain에서 미수화 시멘트 입자(C3S, C2S) 및 수화생성물

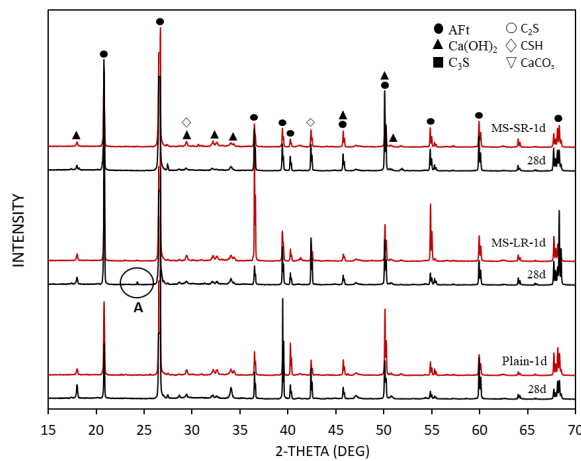


Figure 6. XRD spectrum outcomes of Red Mud mixtures by curing period

(CSH, CaOH₂)의 피크가 확인되었다. 또한 MS-LR 및 MS-SR의 XRD 패턴이 Plain과 유사하고 수화생성물이 생성되는 결과도 동일한 것으로 관찰되었다. Figure 6의 28일의 경우 Plain와 MS-SR의 XRD 패턴 또한 유사하게 나타나고 있지만, MS-LR에서는 2θ 값 24°에서 새로운 피크가 관찰되고 있으며, 이는 Xonotlite로 추정된다[17,18].

3.6 SEM 분석

Plain-1d, Plain-28d, MS-LR-28d, MS-SR-28d의 미세구조에 대한 SEM 분석이미지를 Figure 7에 나타내었다. Figure 7에서 Plain-1d의 미세구조에서는 Plain-28d와 달리 공극이 관찰되었으며, 재령의 증가에 따라 Plain-28d의 미세구조에서는 공극이 메워지고 구조의 치밀성이 향상된 것을 관찰할 수 있다[19]. 시멘트 모르타르 샘플별 28d를 분석한 결과 Plain 및 MS-SR의 치밀해진 미세구조 사이에서 C-S-H(Calcium Silicate Hydrate)가 관찰되었다. 특히 Plain과 MS-SR의 미세구조는 유사하게 관찰되고 있지만, MS-LR의 미세구조는 미세한 섬유상 조직으로 결정형태가 다르게 나타나고 있으며, 다른 수화생성물은 발견되지 않았다. 이는 Figure 6에서 MS-LR의 28일에서 피크가 생성되는 결과와 일치함을 알 수 있다. 이는 MS-LR-28d 압축강도 측정결과에서 Plain과 MS-SR보다 압축강도가 감소한 원인이 된 것으로 사료된다.

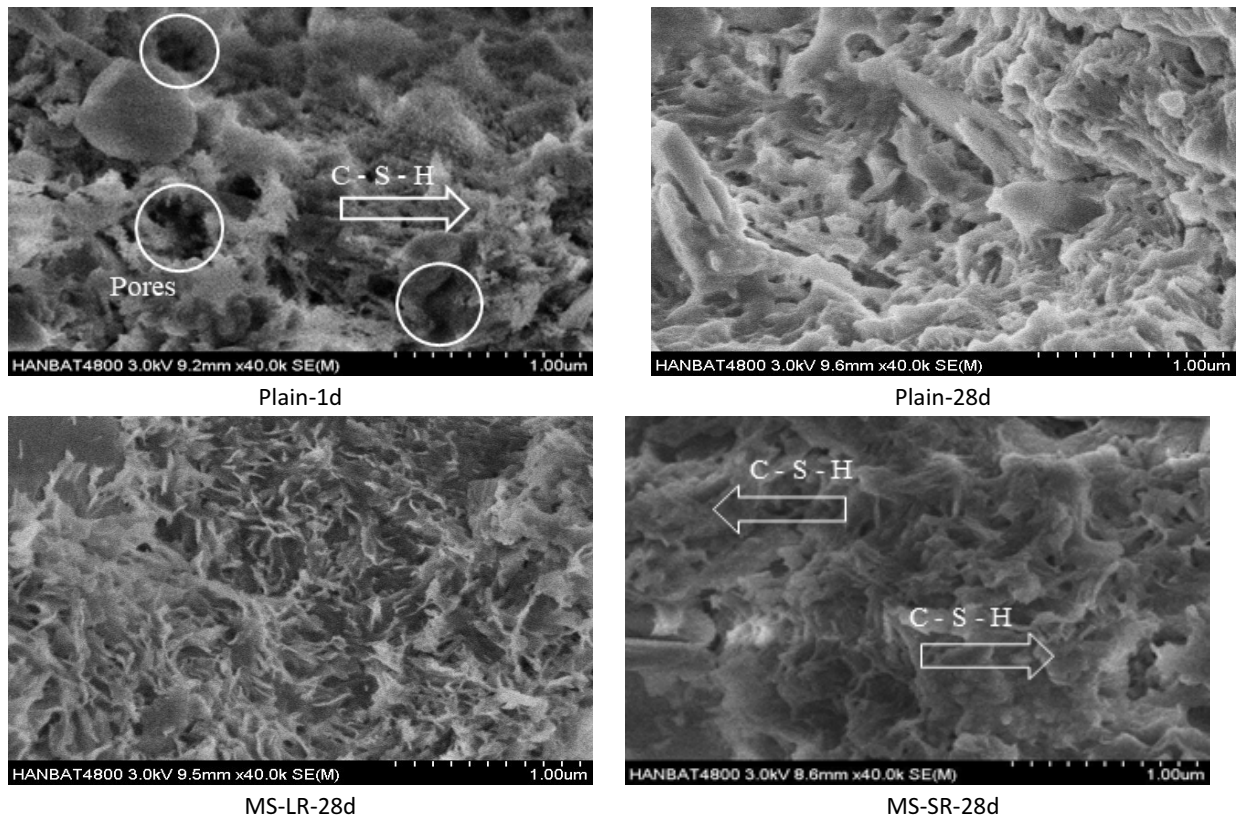


Figure 7. SEM image outcomes by sample type

4. 결론

본 연구에서는 알루미나를 추출하면서 발생하는 대량의 폐기물인 레드머드를 건설 산업분야로 재활용하기 위한 연구로서 시멘트 모르타르에 황산 중화 액상 레드머드를 첨가하여 물리·화학적 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 액상레드머드를 황산으로 중화하여 pH 6~8 범위로 안정화시킨 결과, 입도 및 비표면적 등의 물성이 변화되었으며, 그 중에서도 점도가 1.6배로 크게 증가되었다.
- 2) 플로우 측정결과 MS-LR과 MS-SR의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 이는 레드머드가 보통 포틀랜드 시멘트보다 비표면적이 크고 밀도가 작기 때문에 레드머드 첨가 시 플로우가 감소하는 것으로 판단된다.
- 3) 응결시간 측정결과 Plain과 비교하여 MS-LR 및 MS-SR의 응결시간은 단축되었으며, 그 중 초결시간보다 종결시간이 더욱 크게 단축되었다.
- 4) 압축강도 측정결과 Plain과 비교하여 MS-LR의 1d와 MS-SR의 1d 및 3d의 압축강도가 Plain보다 증가하였으며 초기재령에서 강도효과가 우수한 것으로 나타났다. 28d 압축강도 측정결과에서는 MS-LR 및 MS-SR의 압축강도가 Plain과 비교하여 감소하였다. 하지만 MS-SR의 28d 압축강도는 MS-LR과 비교하여 높게 나타났으며 plain과 유사한 수준까지 도달하고 있어 중화하지 않은 액상레드머드 보다 황산으로 중화함으로써 압축강도의 개선 효과가 있는 것으로 판단하며 황산 중화 액상레드머드의 활용가능성을 확인하였다.
- 5) 시멘트 모르타르 샘플별 재령 28일 XRD 분석결과 Plain과 MS-SR의 XRD 패턴 또한 유사하게 나타나고 있지만, MS-LR에서는 새로운 피크가 관찰되었으며, 이는 MS-LR에서 미세한 섬유상 구조의 수화생성물이 관찰되어 Plain 및 MS-SR과 상이한 결과를 가져온 것이라고 판단된다.
- 6) 시멘트 모르타르 샘플별 28일 SEM 이미지를 분석한 결과 Plain과 MS-SR의 미세구조는 유사하게 관찰되고 있지만, MS-LR의 미세구조는 미세한 섬유상 조직으로 미세구조가 다르게 나타났다. 이는 Plain 및 MS-SR의 수화생성물 차이로 인하여 MS-LR의 28일 압축강도 측정결과에서 Plain과 MS-SR보다 압축강도가 감소한 원인이 된 것으로 사료된다.

요약


본 연구에서는 액상 레드머드를 첨가한 시멘트 모르타르의 활용 가능성을 검토하기 위하여 pH 10~12 인 액상 레드머드(LR)를 황산으로 중화하여 액상 레드머드(SR)를 제조하였으며, 액상 레드머드의 활용가능성을 확인하고자 플로우, 응결시간, 압축강도를 측정하고 XRD, SEM을 통해 화학적 특성을 분석하였다. 플로우 측정결과 MS-LR과 MS-SR의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 응결시간 측정결과 Plain과 비교하여 MS-LR 및 MS-SR의 응결시간은 단축되었다. 압축강도 측정결과 Plain과 비교하여 MS-LR의 1d와 MS-SR의 1d 및 3d의 압축강도가 Plain보다 증가하였으며 28d 압축강도 측정결과에서는 MS-LR 및 MS-SR의 압축강도가 Plain과 비교하여 감소하였다. XRD 분석결과 28일의 경우 Plain과 MS-SR의 XRD 패턴이 유사하게 나타나고, MS-LR에서는 새로운 피크가 관찰되었다. SEM 이미지를 분석한 결과 Plain과 MS-SR의 미세구조는 유사하게 관찰되고 있지만, MS-LR의 미세구조는 미세한 섬유상 조직으로 미세구조가 다르게 나타났다. 따라서 중화하지 않은 레드머드 보다 황산으로 중화한 액상레드머드를 시멘트 모르타르에 대체하였을 때 강도개선 효과가 있는 것으로 사료되며 이의 활용가능성을 확인하였다.


키워드 : 레드머드, 액상 레드머드, 중화 액상레드머드, 시멘트 모르타르, 압축강도


Funding


This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant 22TBIP-C160747-02). This work also was supported by the Technology development Program(S3303468) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

ORCID

Suk-Pyo Kang,  <http://orcid.org/0000-0001-5948-4925>

Seong-Uk Hong,  <https://orcid.org/0000-0003-4808-5034>

Sang-Jin Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-6381-1252>

Kyu-Eun Park,  <https://orcid.org/0009-0001-8897-0161>

References

1. Liu X, Zhang N, Yao Y, Sun H, Feng H. Micro-structural characterization of the hydration products of bauxite-calcination-method red mud-coal gangue based cementitious materials. *Journal of hazardous materials*. 2013 nov;262:428-38. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.08.078>
2. Hildebrando EA, Souza JADS, Angélica RS, Neves RDF. Application of bauxite waste from Amazon region in the heavy clay industry. *Materials Research*. 2013 Dec;16(6):1418-22. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000145>
3. Li J, Xu L, Sun P, Zhai P, Chen X, Zhang H, Zhu W. Novel application of red mud: Facile hydrothermal-thermal conversion synthesis of hierarchical porous AlOOH and Al₂O₃ microspheres as adsorbents for dye removal. *Chemical Engineering Journal*. 2017 Aug;321:622-34. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.135>
4. Yang J, Xiao B. Development of unsintered construction materials from red mud wastes produced in the sintering alumina process. *Construction and Building Materials*. 2008 Dec;22(12):2299-307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.005>
5. Liu X, Zhang N, Sun H, Zhang J, Li L. Structural investigation relating to the cementitious activity of bauxite residue—Red mud. *Cement and Concrete Research*. 2011 Aug;41(8):847-53. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.04.004>
6. Harjeet N, Abanti S. A study on the characterization of red mud. *International Journal on Applied Bioengineering*. 2014 Jan;8(1):1-4. <https://doi.org/10.18000/ijabeg.10118>
7. Song Y, Dong M, Wang Z Qian X, Yan D, Shen S, Zhang L, Sun G, Lai J, Ruan S. Effects of red mud on workability and mechanical properties of autoclaved aerated concrete (AAC). *Journal of Building Engineering*. 2022 Dec;61:105238. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105238>
8. Kang SP, Kang HJ, Lee MH. Characteristics of red mud ceramics according to sintering temperature and contents of red mud from industrial byproducts. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2019 Oct;19(5):401-9. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.5.401>
9. Kang SP, Kang HJ. Strength characteristic and color difference analysis of cement mortar according to the amount of liquefied red mud. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2018 Jun;6(2):146-52. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.2.146>
10. Kang SP, Kang HJ. Effects of red mud and alkali-activated slag cement on efflorescence in cement mortar. *Construction and Building Materials*. 2017 Feb;133:459-67. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.123>
11. Mbasha W, Haldenwang R, Masalova I. The influence of sulfate availability on rheology of fresh cement paste. *Applied Rheology*. 2020 Sep;30:54-63. <https://doi.org/10.1515/arh-2020-0106>
12. Choe G, Kang S, Kang H. Characterization of slag cement mortar containing nonthermally treated dried red mud. *Applied Sciences*. 2019 Jun;9(12):2510. <https://doi.org/10.3390/app9122510>
13. Ribeiro DV, Labrincha JA, Morelli MR. Potential use of natural red mud as pozzolan for portland cement. *Materials research*. 2011 Mar;14(1):60-6. <https://doi.org/10.1590/s1516-14392011005000001>
14. Niu M, Li G, Zhang J, Cao L. Preparation of alkali-free liquid accelerator based on aluminum sulfate and its accelerating

- mechaniSRM on the hydration of cement pastes. *Construction and Building Materials*. 2020 Aug;253:119246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119246>
15. Kunther W, Lothenbach B, Scrivener K. Influence of bicarbonate ions on the deterioration of mortar bars in sulfate solutions. *Cement and Concrete Research*. 2013 Feb;44:77-86. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.10.016>
 16. Ortega JM, Cabeza M, Tenza-Abril AJ, Real-Herraiz T, Climent MA, Sanchez I. Effects of red mud addition in the microstructure, durability and mechanical performance of cement mortars. *Applied Sciences*. 2019 Mar;9(5):984. <https://doi.org/10.3390/app9050984>
 17. Van ND, Imasawa K, Hama Y. Influence of hydrothermal synthesis conditions and carbonation on physical properties of xonotlite-based lightweight material. *Construction and Building Materials*. 2022 Feb;321:126328. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126328>
 18. Wu Z, Li L, Gao F, Zhang G, Cai J, Cheng X. Resource utilization of red mud from the solid waste of aluminum industry used in geothermal wells. *Materials*. 2022 Nov;15(23):8446. <https://doi.org/10.3390/ma15238446>
 19. Jawad ZF, Ghayyib RJ, Salman AJ. Microstructural analysis for cement mortar with different nano materials. *Materials Science Forum*. 2020 Jul;1002:615-26. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1002.615>