

Research Paper

## 시멘트 종류별 질산 중화 레드머드 혼입 모르타르의 특성

# Characteristics of Mortar Mixed Nitric Acid Neutralized Red Mud by Cement Type

강석표<sup>1</sup> · 홍성욱<sup>1</sup> · 김상진<sup>2</sup> · 홍석우<sup>2\*</sup>

Kang, Suk-Pyo<sup>1</sup> · Hong, Seong Uk<sup>1</sup> · Kim, Sang-Jin<sup>2</sup> · Hong, Seok-Woo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jincheon-Eup, Jincheon-Gun, 27841, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jincheon-Eup, Jincheon-Gun, 27841, Korea

\*Corresponding author

Hong, Seok-Woo  
Tel : 82-43-531-2903  
E-mail : [swh711@naver.com](mailto:swh711@naver.com)

Received : August 27, 2023

Revised : October 23, 2023

Accepted : October 26, 2023

### ABSTRACT

This research explores the potential application of Liquid Red Mud(LRM), a byproduct of industrial processes, in the construction sector. We neutralized LRM(pH 10-12) using nitric acid, aiming to understand its viability in construction applications. The study involved substituting LRM(pH 7-8) in mortar formulations, varying by cement type. We assessed the properties of these mixtures by measuring flow, setting time, and compressive strength. Additionally, X-ray Diffraction(XRD) and Scanning Electron Microscopy(SEM) analyses were conducted to examine the chemical properties. Results indicated a reduction in flow value for LRM and LN(neutralized LRM) compared to the control (Plain ) across different cement types. The setting times(initial and final) for LRM and LN were notably shorter than Plain. In compressive strength tests, LRM replaced with slag cement showed enhanced initial strength, though long-term strength gains were marginal across different cement types. SEM analysis revealed distinct voids in Plain and LN, with LRM exhibiting a fibrous microstructure. XRD patterns in SN(slag neutralized) resembled those in OR(original red mud) and ON(original neutralized), with a notable peak at a  $2\theta$  value of  $22^\circ$ . The study concludes that unneutralized LRM, when substituted for slag cement in mortar, yields superior initial strength compared to its neutralized counterpart.

**Keywords :** red mud, liquid red mud, neutralized red mud, portland cement mortar, slag cement mortar, compressive strength

## 1. 서론

최근 국내에서 경제성장과 인구증가로 인한 물질소비의 증가는 자원의 고갈과 함께 환경적·경제적 지속가능성의 문제를 야기하고 있으며 한정된 천연자원을 적게 사용하면서 지속가능한 성장을 이루고 폐기물을 재활용하여 경제에 환류하는 목표를 가지고 있다. 폐기물을 이용한 재활용은 건설산업 분야에서 대량으로 소비할 수 있는 장점이 있다. 대표적인 산업부산물로 고로슬래그와 플라이애시가 있으나, 그 외의 산업부산물들은 재활용되지 못하고 연구 단계에서 국한되어지고 있다.

산업부산물 레드머드는 보크사이트 광석에서 알루미늄 정련 중 발생하며, 산화철을 주성분으로 강알칼리성 적색의 산업폐기물이다[1,2]. 레드머드는 2017년 기준 약 30만 톤이 발생되고 있다[3]. 레드머드의 발생량이 증가함에 따라 재활용의 필요성이 점차 대두되고 있지만 높은 함수율과 강알칼리성을 가진 레드머드의 활용이 제한적이고, 매립 장소도 부족하여 재활용률이 10% 이하로 저조한 상태이다[4]. 또한 매립된 레드머드의 유출로 인하여 토양 및 환경오염에 심각한 피해를 주는 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 해외에서는 레드머드 재활용 방법을 찾기 위하여 노력하고 있다[5]. 현재 우리나라에서 레드머



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.

드의 재활용 방법으로는 건조공정을 거쳐 나온 건조 레드머드를 이용하여 흙 콘크리트나 점토 벽돌 등의 원료로 재활용하는 연구가 진행되었다[6]. 하지만, 레드머드 슬러지를 건조하여 처리하는 방법은 높은 비용 문제와 대량 재활용의 장애요인으로 인하여 제약을 받고 있으며, 그로 인해 레드머드를 건조하여 사용하는 방법은 재활용률이 떨어지는 실정이다[7].

본 연구의 선행 연구에서는 액상 레드머드를 포틀랜드 시멘트 모르타르에 대체하여 재활용하는 연구가 진행되었다[8,9]. 그 결과 액상 레드머드의 대체량이 증가할수록 시멘트 모르타르의 강도가 저하되는 것으로 나타났고 이는 액상 레드머드의 높은 알칼리 함량으로 인하여 강도 손실이 나타난 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 액상 레드머드의 높은 알칼리 함량으로 인한 강도 저하를 개선하기 위하여 pH 10~12인 액상 레드머드를 질산으로 중화 후 pH 7~8인 액상 레드머드를 사용한 모르타르의 특성을 검토함으로써 건설산업에서의 활용 가능성에 대한 기초 데이터를 제공하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 논문에서는 레드머드 슬러지를 액상 레드머드로 제조하기 위하여 물과 분산제, 소포제를 혼합하였다. 상기와 같이 혼합하여 제조된 액상 레드머드에 질산을 첨가하여 pH 7~8인 중화 액상 레드머드를 제조하였으며 질산 중화에 따른 액상 레드머드의 물리·화학적 특성을 비교하였다. 액상 레드머드(Liquid Red mud, LR) 및 질산 중화 액상 레드머드(Liquid red mud Nitric acid, LN)를 첨가한 모르타르의 Mix design을 Table 1에 나타내었다. Plain의 경우 물시멘트비는 0.5, S/B는 3:1로 설정하였으며, LR 및 LN 배합은 Plain에 액상 레드머드 및 질산 중화 액상 레드머드를 시멘트 중량에 5wt% 대체하였다. 액상 레드머드의 함수율을 고려하여 혼합수량을 조절하였고, 혼합수에 균일하게 혼합하여 사용하였다. 평가항목으로는 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	**LN
Ordinary Portland Cement(O)	O-Plain	100	50	-	-
	OR	95	45.27	9.72	-
	ON	95	45.51	-	9.49
Portland Blast-Furnace Slag Cement(S)	S-Plain	100	50	-	-
	SN	95	45.27	9.72	-
	SR	95	45.51	-	9.49

\*LR : Liquid Red Mud    \*\*LN : Liquid Red Mud + Nitric acid

### 2.2 사용재료

본 논문에서 사용한 시멘트는 KS L 5210에서 규정하고 있는 국내 C사의 고로슬래그 시멘트(Portland Blast-Furnace Slag Cement, 이하 SC)와 KS L 5201에서 규정하고 있는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC)를 사용하였으며, 레드머드 슬러지(Red mud sludge)는 국내 K사에서 공급받아 사용하였다. 시멘트와 레드머드의 물리·화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 레드머드 슬러지에 대한 화학적 조성의 주성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 약 80wt%를 차지하고 있다. 또한 액상 레드머드를 질산으로 중화하여 액상 레드머드를 제조하기 위해 농도가 60%인 시약급 질산(60%, 대전화금(주), Korea)을 사용하였다. 잔골재는 KS L ISO 679에서 규정하고 있는 주문진 표준사를 사용하였다.

**Table 2.** Physical and chemical composition of SC and red mud sludge

Type	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Chemical composition(%)								Moisture content ratio (%)
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
*OPC	3,300	3.15	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	-	-	-
**SC	4,058	2.83	22.1	8.9	1.4	54.9	3.3	5.2	-	-	-
***RM	-	-	38.8	16.1	22.8	3.4	0.2	0.0	10.0	0.4	36

\*OPC : Ordinary Portland Cement    \*\*SC : Slag Cement    \*\*\*RM : Redmud Sludge

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 액상 레드머드 및 질산 중화 액상 레드머드 제조

액상 레드머드의 제조는 합수율 약 36% 레드머드 슬러지의 질량을 기준으로 물과 분산제, 소포제를 1 : 0.2 : 0.0036 : 0.0014의 비율로 제조하였다. 호모믹서를 사용하여 레드머드 슬러지에 혼합수와 함께 약 3분간 분산하였고, 저장 안정성을 향상시키기 위하여 분산제와 소포제를 첨가하여 2분간 추가 분산하여 제조하였다. 질산 중화 액상 레드머드는 액상 레드머드 100g을 기준으로 질산 첨가량 8.6g을 혼합하여 제조하였으며, 제조된 질산 중화 레드머드의 광물학적 조성을 XRD로 분석하였다.

### 2.3.2 플로우 및 응결시간

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

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 바치고 있을 때를 시멘트 종결시간으로 측정하였다.

### 2.3.3 압축강도

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

### 2.3.4 SEM 및 XRD

미세구조 분석을 위하여 샘플을 28일 기준으로 수집하여 24시간 동안 무수에탄올에 침지시켜 수화를 중지 시킨 후, 샘플을 45°C 오븐에서 72시간 동안 건조시켰다. 건조된 샘플을 냉전계장방출 주사전자현미경(Cold-type Field Emission SEM, HITACHI S-4800, Korea)으로 관찰하였다.

수화생성물을 확인하기 위하여 재령 3, 28일 배합별로 샘플을 수집하여 24시간 동안 무수에탄올에 침지시켜 수화를 정지시킨 후, 샘플을 45°C 오븐에서 72시간 동안 건조시켰다. 건조된 샘플을 분쇄하여 200mesh 체를 통과시킨 후 X-Ray Diffraction(Rigaku, SRMartLab, Japan)으로 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

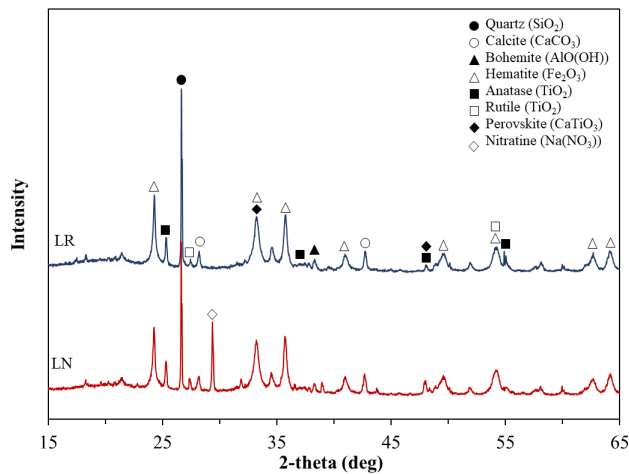
#### 3.1 액상 레드머드의 특성

LR 및 LN의 물리적 성질은 Table 3에 나타내었다. LR의 물리적 특성은 함수율 48.6%, pH 11.5, 밀도 1.50g/cm<sup>3</sup>, 점도 36,670cP, 평균입도 2.50μm, 비표면적 2,871m<sup>2</sup>/kg으로 나타났다. 질산 중화로 인하여 LN의 함수율은 47.3%, pH는 7.5로 감소하였고, 점도는 43,650cP로 증가하였다. 평균 입도는 3.02μm으로 증가하였고, 비표면적은 2,441m<sup>2</sup>/kg로 감소하였다. 이는 레드머드를 질산으로 중화하였을 경우 중화반응에 의해 질산칼슘이 생성되고 시멘트 내에 있는 칼슘 이온의 활동성이 감소하여 시멘트의 점도가 증가하고 함수율이 감소되는 것으로 사료된다[10]. XRD(X-ray diffraction) 패턴에서 검출된 광물의 특성을 Figure 1에 나타내었다. Figure 1에서 LR의 주요 화합물은 Quartz, Calcite, Bohemite, Hematite 등으로 확인되었으며[11], LN에서도 유사하게 나타났다. 또한 LN에서는 질산의 첨가로 2θ=29.4에서 특성 피크가 확인되었으며 이는 Na(NO<sub>3</sub>)로 판단된다.

**Table 3.** Physical properties of red mud

Type of red mud	Moisture content (%)	pH	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosity (cP)	Average Particle Diameter(μm) Dv50	Specific Surface Area (m <sup>2</sup> /kg)
*LR	48.6	11.5	1.50	36,670	2.50	2,871
**LN	47.3	7.5	1.50	43,650	3.02	2,441

\*LR : Liquid Red Mud    \*\*LN : Liquid Red Mud + Nitric acid



**Figure 1.** X-ray diffraction patterns of LR and LN

#### 3.2 플로우

시멘트 모르타르의 플로우 측정결과를 Figure 2에 나타내었다. 플로우 측정결과 포틀랜드 시멘트의 경우 OR은 94%, ON은 87%로 나타났으며, 슬래그 시멘트의 경우 SR은 93%, SN은 91%로 나타났다. 시멘트 종류에 따른 LR과 LN을 대체한 시멘트 모르타르의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 이는 레드머드가 포틀랜드 시멘트와 슬래그 시멘트보다 비표면적이 크고 밀도가 작아 플로우가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 OR과 SR보다 ON과 SN의 플로우가 감소하였다.

이는 LR보다 LN의 점도가 약 1.2배 증가하여 플로우가 감소한 것으로 판단된다.

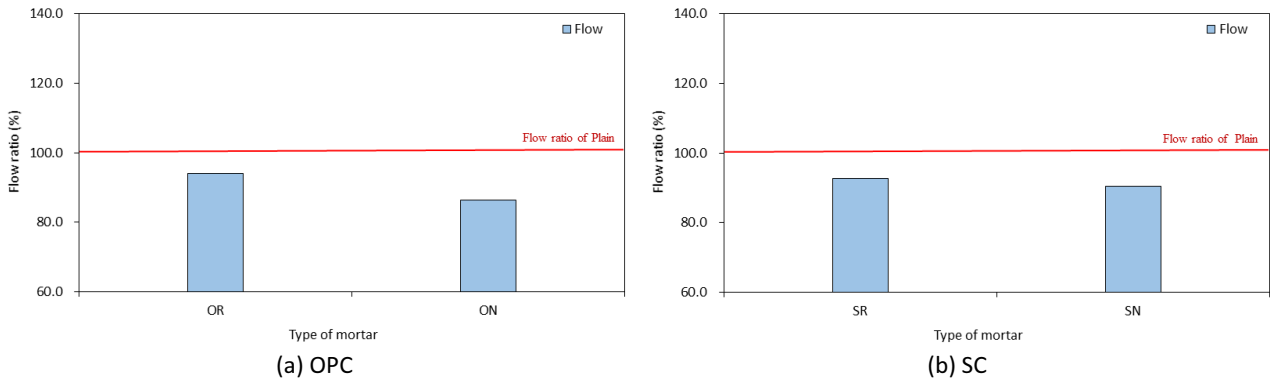


Figure 2. Impact of LR and LN on cement mortar flow ratio

### 3.3 응결시간

응결시간 측정결과를 Figure 3에 나타내었다. 시멘트 종류별 Plain과 비교하여 LR과 LN의 응결시간은 단축되었다. 포틀랜드 시멘트의 경우 Plain 대비 OR의 초결시간은 87%, 종결시간은 79%로 단축되었다. ON의 초결시간과 종결시간은 OPC Plain 대비 초결에서는 72%, 종결에서는 76%로 단축되었다. 슬래그 시멘트의 경우 Plain 대비 SR의 초결시간은 78%와 종결시간은 97%로 단축되었고 SN의 경우 초결시간은 57%와 종결시간은 95%로 단축되었다. 포틀랜드 시멘트를 액상 레드머드로 대체하였을 경우 수산화칼슘과 알루미늄이 생성된 수산화알루미늄이 반응하여 다량의 규산칼슘수화물(C-S-H)을 생성하여 시멘트의 응결 및 경화를 촉진하였으며[12], 슬래그 시멘트의 경우 강알칼리성인 액상 레드머드가 슬래그 시멘트의 잠재수경성 반응을 촉진시켜 응결시간이 단축된 것으로 보여진다[13]. 따라서 LR 및 LN로 시멘트를 대체하여 사용하였을 경우 모르타르의 응결시간을 촉진 시킬 수 있다고 판단된다.

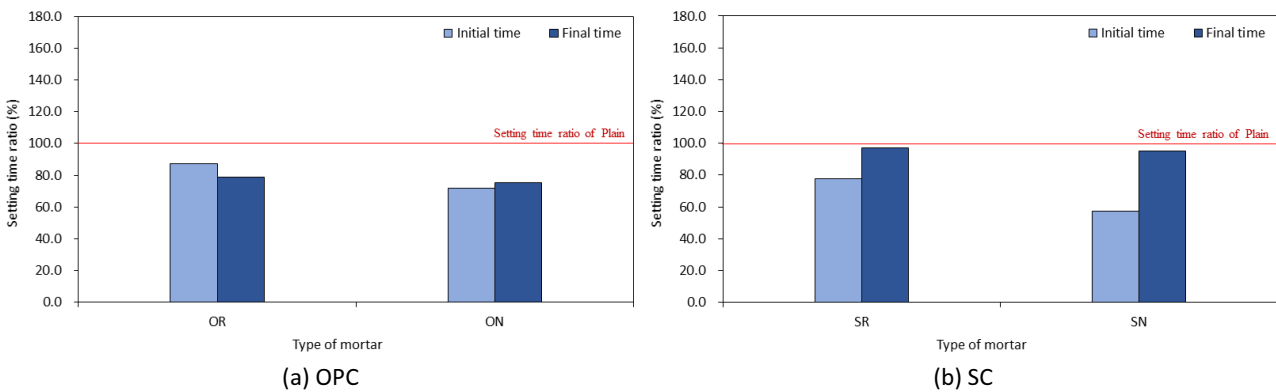


Figure 3. Setting times(initial and final) for cement mortar with LR and LN substitution

### 3.4 압축강도

질산 중화 처리 전후 액상 레드머드를 대체한 시멘트 종류별 모르타르의 압축강도비를 Figure 4에 나타내었다. OPC의 경우 Plain 대비 재령 1일 OR은 112%, ON은 77%, 재령 3일 OR은 97%, ON은 91%, 재령 7일 OR은 92%, ON은 88%, 재령 28

일 OR은 85%, ON은 87% 발현하였다. 이는 질산으로 중화한 액상 레드머드의 효과가 미미한 것으로 판단된다. SC의 경우 Plain 대비 재령 1일 SR은 118%, SN은 106%, 재령 3일 SR은 131%, SN 104%, 재령 7일 SR은 103%, SN은 94%, 재령 28일 SR은 83%, SN은 87% 발현하였다. 이는 질산으로 중화한 액상 레드머드와 중화하지 않은 액상 레드머드를 첨가하였을 경우 초기강도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 질산으로 중화한 액상 레드머드를 첨가한 모르타르보다 중화하지 않은 액상 레드머드를 첨가한 모르타르의 경우 압축강도비가 증가하였다. 기존 연구에서는 레드머드 대체에 따른 시멘트 모르타르의 압축강도 저하를 고려하여 레드머드의 사용량을 10%로 이하로 제안하였다[14-16]. 본 연구에서는 건설 산업에서의 레드머드 재활용을 사용하기 위한 기초 데이터 분석으로 레드머드를 질산으로 중화하여 시멘트 종류에 따른 모르타르에 시멘트 중량 대비 5% 대체한 결과, 액상 레드머드 첨가하였을 경우 포틀랜드 시멘트 모르타르보다 슬래그 시멘트 모르타르가 초기강도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

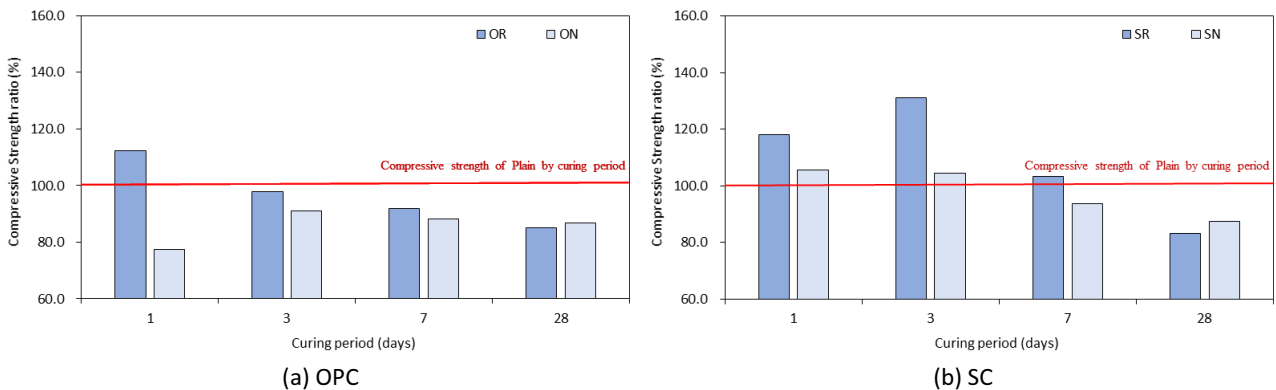


Figure 4. Impact of LR and LN on the compressive strength ratios in cement mortar

### 3.5 SEM 분석

재령 1일, 3일 시멘트 종류에 따른 Plain, LR, LN의 미세구조에 대한 SEM 분석 이미지를 Figure 5에 나타내었다. Figure 5에서 시멘트 종류에 따른 LR과 LN보다 O-Plain-1d와 S-Plain-3d 미세구조에서는 공극이 관찰되었으며, 이는 액상 레드머드의 비표면적이 포틀랜드 시멘트와 슬래그 시멘트보다 작아서 공극이 채워져 치밀해졌기 때문으로 사료된다[17]. S-Plain-3d, SN-3d를 SR-3d와 비교한 결과 공극이 관찰되었으며, OR 1일과 SR 3일을 분석한 결과 미세구조 사이에서 C-S-H(Calcium Silicate Hydrate)가 관찰되었다[18]. 이는 재령 3일 SR의 압축강도가 증가한 원인으로 판단된다.

### 3.6 XRD 분석

모르타르 샘플의 재령별 수화생성물 확인을 위하여 XRD 분석결과를 Figure 6에 나타내었다. Figure 6(a)의 경우 Plain과 비교하여 LR과 LN에서는 XRD 패턴 또한 유사하게 나타나고 있다. Figure 6(b)의 경우 SN의 2θ 값 22°에서 피크가 관찰되었으며 Calcite로 추정된다[19]. SR에서는 2θ 값 20°에서 Ettringite로 추정되고[20], 2θ 값 24°에서 Xonotlite로 추정되며 [21,22], 이는 재령 3일 SR의 압축강도가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 재령 28일 시멘트 종류에 따른 Plain에서 미수화 시멘트 입자(C3S, C2S) 및 수화생성물(CSH, CaOH2)의 피크가 확인되었다. 또한 시멘트 종류에 따른 LR 및 LN의 XRD 패턴이 Plain과 유사하고 수화생성물이 생성되는 결과도 동일한 것으로 관찰되었다.



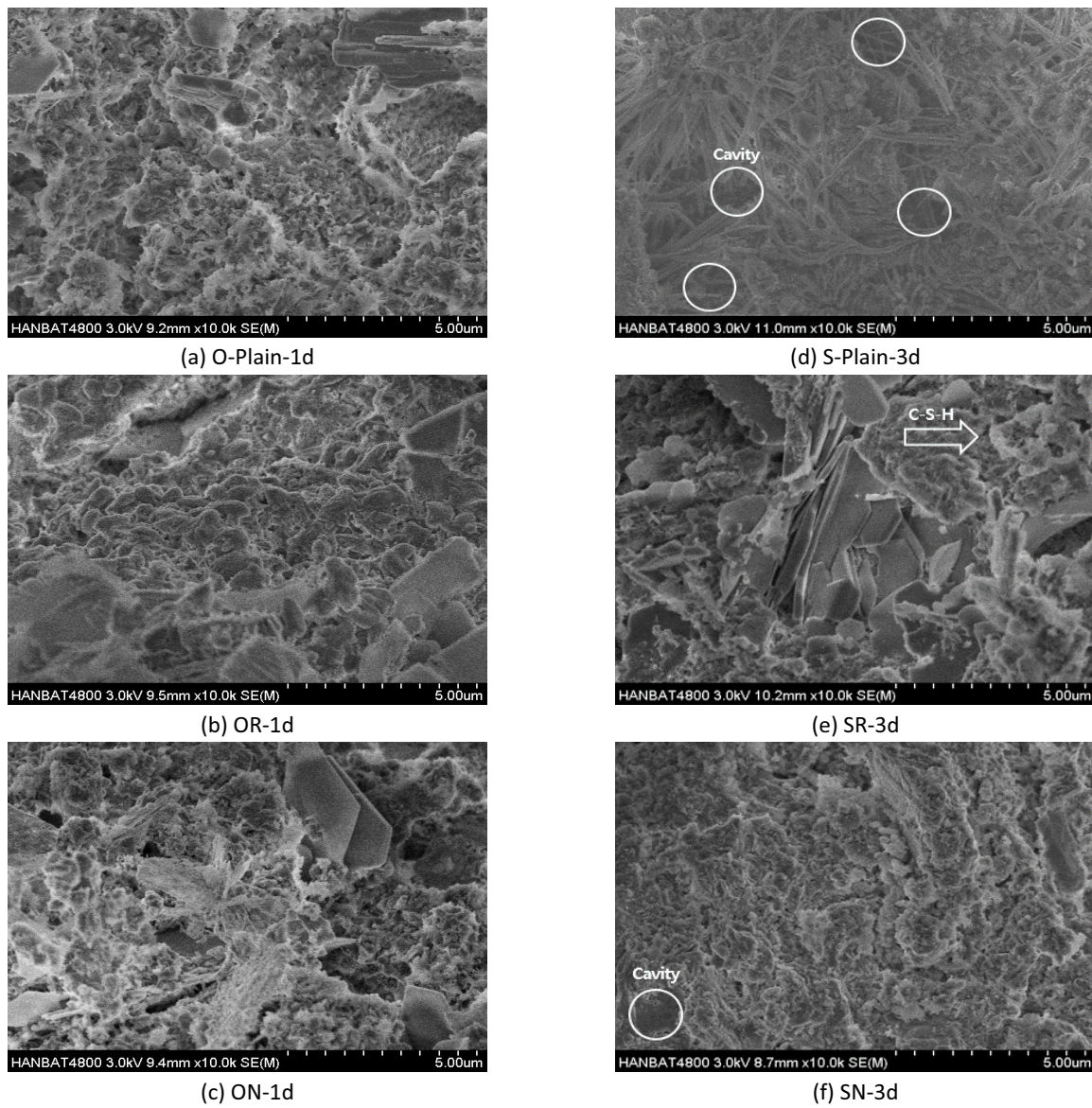


Figure 5. Scanning electron microscopy images by sample type

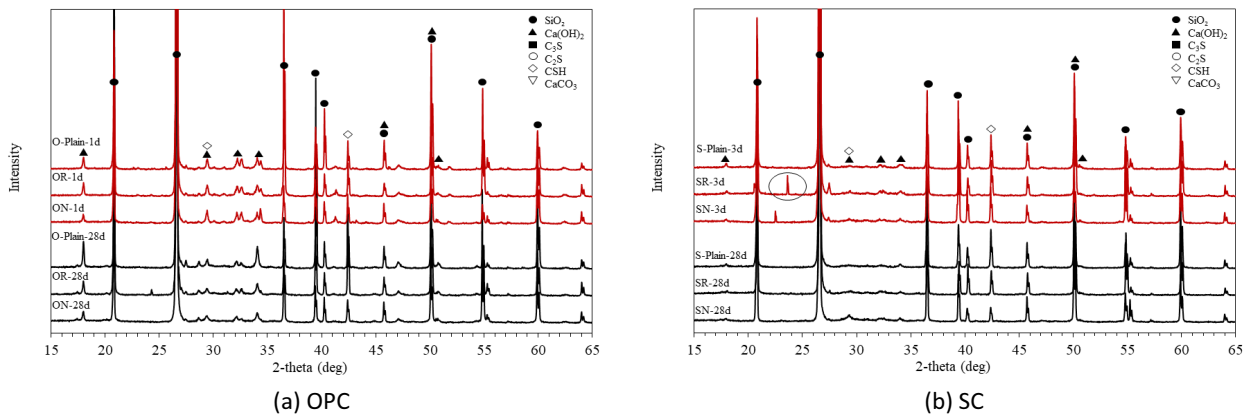


Figure 6. X-ray diffraction spectra for red mud mixtures over various curing periods

## 4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 정련 중 발생하는 대량의 산업폐기물인 레드머드를 건설산업에서의 활용 가능성에 대한 기초연구로서 모르타르에 질산 중화 처리 액상 레드머드를 대체하여 물리·화학적 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 액상레드머드를 질산으로 중화하여 pH 7~8 범위로 안정화시킨 결과, 입도 및 비표면적 등의 물성이 변화되었고 점도가 19%로 증가되었으며, 플로우 측정결과 시멘트 종류별 LR과 LN의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 이는 레드머드가 포틀랜드 시멘트와 슬래그 시멘트보다 비표면적이 크고 밀도가 작아 레드머드로 대체하였을 경우 플로우가 감소하는 것으로 판단된다.
- 2) 응결시간 측정결과 시멘트 종류별 Plain과 비교하여 LR과 LN의 초결시간과 종결시간이 단축되었다.
- 3) 압축강도 측정결과 포틀랜드 시멘트의 경우 질산으로 중화한 액상 레드머드 첨가 모르타르의 효과가 미미한 것으로 판단되며, 슬래그 시멘트의 경우 질산으로 중화한 액상 레드머드를 첨가한 모르타르보다 중화하지 않은 액상 레드머드를 첨가한 모르타르가 초기강도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 4) 모르타르 샘플별 1, 3일 SEM 이미지를 분석한 결과 시멘트 종류에 따른 LR과 LN보다 O-Plain-1d와 S-Plain-3d 미세구조에서는 공극이 관찰되었다. S-Plain-3d, SN-3d를 SR-3d와 비교한 결과 공극이 관찰되었으며, OR 1일과 SR 3일을 분석한 결과 미세구조 사이에서 C-S-H(Calcium Silicate Hydrate)가 관찰되었다.
- 5) 시멘트 종류별 모르타르 재령 1, 3일 XRD 분석결과 OR과 ON 비교하여 SN에서는 XRD 패턴이 유사하게 나타나고 있지만, 2θ 값 22°에서 피크가 관찰되었다. SR에서는 새로운 피크가 관찰되었으며, 이는 SR에서 미세한 섬유상 구조의 수화생성물이 관찰되어 S-Plain 및 SN과 상이한 결과를 가져온 것이라고 판단된다.

## 요약

본 연구에서는 산업부산물 레드머드를 건설산업에서의 활용 가능성에 대한 기초 데이터를 분석하기 위해 pH 10~12인 액상 레드머드(LR)를 질산으로 중화하여 pH 7~8인 액상 레드머드를 시멘트 종류에 따른 모르타르에 대체하였다. 평가항목으로 플로우, 응결시간, 압축강도를 측정하였으며 XRD, SEM 분석을 통해 화학적 특성을 분석하였다. 플로우 측정결과 시멘트 종류별 LR과 LN의 경우 Plain과 비교하여 플로우 값이 감소하였다. 응결시간 측정결과 시멘트 종류별 Plain과 비교하여 LR과 LN의 초결시간과 종결시간은 단축되었다. 압축강도 측정결과 액상 레드머드를 슬래그 시멘트에 대체하였을 경우 초기강도가 증가하며 장기강도의 경우 시멘트 종류별 모르타르의 강도 개선이 미미하였다. SEM 분석결과 시멘트 종류에 따른 Plain과 LN에서 공극이 관찰되었고 LR의 미세구조는 섬유상 조직으로 미세구조가 다르게 나타났다. XRD 분석결과 OR과 ON 비교하여 SN에서는 XRD 패턴이 유사하게 나타나고 있지만, 2θ 값 22°에서 피크가 관찰되었다. SR에서는 새로운 피크가 관찰되었다. 따라서 질산 중화 액상 레드머드보다 중화하지 않은 액상 레드머드를 슬래그 시멘트 모르타르에 대체하였을 경우 초기강도가 우수한 것으로 나타났다.


키워드 : 레드머드, 액상 레드머드, 질산 중화 액상 레드머드, 포틀랜드 시멘트 모르타르, 슬래그 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,  <https://orcid.org/0000-0001-5948-4925>

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

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

Seok-Woo Hong,  <https://orcid.org/0009-0001-6038-0784>

## References

1. Lima MS, Thives LP. Evaluation of red mud as filler in brazilian dense graded asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. 2020 Nov; 260:119894. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119894>
2. Menzie WD, Barry JJ, Bleiwas DI, Bray EL, Goonan TG, Matos G. The global flow of aluminum from 2006 through 2025. VA: U.S. Geological Survey. 2010. 73 p. Report No.: 2010-1256. <https://doi.org/10.3133/ofr20101256>
3. 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>
4. 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>
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. 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>
9. 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>
10. Wang J, Zelong M, Ting Z, Wang D. Durability degradation of tunnel-lining-shotcrete exposed to nitric acid: Neutralization and nitrate ion migration. *Construction and Building Materials*. 2022 Jun;336:127554. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127554>
11. 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>
12. 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>
13. Park CJ, Park JH, Seo SK. Basic characteristics of slag cement using co2 fixed desulfurized gypsum. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2023 Mar;11(1):25-31. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2023.11.1.25>
14. 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>

15. Ortega J, Cabeza M., Tenza-Abril AJ, Real T, Climent MÁ, Sánchez 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>
16. Niu M, Li G, Zhang J, Cao L. Preparation of alkali-free liquid accelerator based on aluminum sulfate and its accelerating mechanism on the hydration of cement pastes. *Construction and Building Materials*. 2020 Aug;253:119246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119246>
17. Yan P, Chen B, Aminul HM, Liu T. Influence of red mud on the engineering and microstructural properties of sustainable ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*. 2023 Sep;396:132404. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132404>
18. Ortega JM, Cabeza M, Tenza-Abril AJ, Real-Herraiz T, Climent MÁ, Sánchez 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>
19. Nebel H. Continuous preparation of calcite, aragonite and vaterite, and of magnesium substituted amorphous calcium carbonate (Mg-ACC). *Journal of Inorganic and General Chemistry*. 2008 May;634(8):1439-43. <https://doi.org/10.1002/zaac.200800134>
20. Garanayak L. Strength effect of alkali activated red mud slag cement in ambient condition. *Materials Today: Proceedings*. 2021 Jun;44(1):1437-43. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.630>
21. 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>
22. 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>