

질산 및 황산에 의해 중화된 액상화 레드머드의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 특성

Characteristics on Compressive Strength of Cement Paste with Content of LRM Neutralized by Nitric Acid and Sulfuric Acid

강석표¹ · 이희라^{2*} · 강혜주³ · 이병기⁴

Suk-Pyo Kang¹ · Hee-Ra Lee^{2*} · Hye-Ju Kang³ · Byeong-Gi Lee⁴

(Received October 4, 2019 / Revised December 19, 2019 / Accepted December 20, 2019)

Red mud is an industrial by-product produced during the manufacturing aluminum hydroxide ($\text{Al}(\text{OH})_3$) and aluminum oxide (Al_2O_3) from Bauxite ores. In Korea, approximately 2 tons of red mud in a sludge form with 50% moisture content is produced when 1ton of Al_2O_3 is produced through the Bayer process. Neutralization of red mud will help to reduce the environmental impact caused due to its storage and also lessen significantly the ongoing management of the deposits after closure. It will also open opportunities for re-use of the residue which to date have been prevented because of the high pH. Moreover, attention to liquefied red mud(LRM) that does not require heating and grinding process for recycling is needed. In this paper, characteristics of compressive strength for cement paste with content of LRM neutralized by nitric acid and sulfuric acid. The results showed that compressive strength of cement paste with neutralized LRM is higher than that of cement paste with LRM

키워드 : 액상화 레드머드, 재활용, 질산, 황산, 중화

Keywords : Liquefied red mud, Recycling, Nitric acid, Sulfuric acid, Neutralization

1. 서론

레드머드(Red mud)는 보크사이트(Bauxite)를 원료로 알루미늄을 제조하는 공정에서 발생하는 적색의 강알칼리성 산업부산물이다. 전 세계적으로 산업이 발달함에 따라 알루미늄 수요량이 지속적으로 증가하고 있어 산업부산물인 레드머드의 발생량도 이에 비례하여 증가하고 있는 상황이다. 국내의 경우 레드머드는 K사에서 전량 함수율 대략 50%의 슬러지 상태로 발생되고 있으며 2017년 기준 약 30만 톤이 발생된 것으로 추정되고 있다(Kang 2017).

현재 국내외적으로 레드머드를 재활용하기 위한 많은 기술들이 시도되고 있지만 발생량에 비해 재활용 되는 양은 약 10%로 재활용률이 매우 저조한 실정이다. 이에 발생량이 지속적으로 증가하

는 레드머드의 재활용율을 확대시키기 위한 연구개발이 필요하다. 특히, 레드머드를 대량으로 재활용하기 위한 연구가 건설산업 분야로 관심이 증가하고 있으며, 레드머드를 전처리하여 건설재료로 재활용하는 연구가 폭넓게 진행되고 있다.

이러한 연구의 일환으로서 레드머드는 함수율이 높고, 강알칼리성을 나타내므로 직접 재활용하기 어렵기 때문에 전처리가 요구된다. 먼저 건조공정을 통하여 함수율을 10%(건조)로 조절하거나, 기타 산업부산물과 혼합하여 20~30%(반건조)로 조절하여 재활용하는 연구가 진행되었다. 가열 건조공정을 거쳐 함수율이 10% 이하로 조절된 레드머드는 후속공정으로 분쇄공정을 거쳐 분말 상태로 제조되어 흙콘크리트 등의 원료로 재활용 되고 있다. 함수율이 20~30% 범위로 조절된 반건조 형태의 레드머드는 고칼슘

* Corresponding author E-mail: 96_979449@daum.net

¹우석대학교 건축학과 교수 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

²우석대학교 건설공학과 석사과정 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

³우석대학교 조경건설공학과 박사과정 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

⁴(주)코렘스 대표이사 (Cocems, Deajeon, 34368, Korea)

플라이애시 및 제지애시와 같은 산업부산물을 물리적으로 혼합하여 함수율을 저감시키고 있으며 알칼리 활성화 기술로서 활용하는 기술개발이 진행되었지만, 복토재, 성토재와 같이 재활용 용도로 재활용 되고 있다. 이와 같이 함수율을 저감시켜 재활용하는 기술의 경우 제조원가 상승과 같은 경제적인 문제로 인해 재활용율이 미비한 실정이다.

한편, 함수율을 증가시켜 재활용하는 슬러지의 경우 가열 공정 없이 적정 혼합수 및 첨가제를 사용하여 함수율 50%의 슬러지인 액상화 레드머드(Liquefied red mud)로 제조하는 연구가 진행되었다. 액상화 레드머드의 경우 제조원가가 낮고 취급이 용이하여 레드머드의 재활용양을 증대시킬 수 있는 기술로 받아들여지고 있다. 그러나 Kang(2018)의 연구에 의하면 액상화 레드머드를 시멘트 모르타르에 첨가하여 압축강도를 평가한 결과는 Plain과 비교하여 압축강도가 약 30% 이상 크게 감소하는 결과가 얻어졌다. 이는 액상화 레드머드가 강알칼리성을 나타내기 때문에 강도손실이 나타난 것으로 판단된다. 따라서 액상화 레드머드를 건설 산업 분야로 재활용하기 위해서는 강도개선이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 액상화 레드머드(LRM: Liquefied red mud)에 질산 및 황산의 첨가량에 따른 pH 변화를 검토하여 중화에 필요한 적정 양을 결정하였고, 적정 양으로 중화시킨 액상화 레드머드의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 특성을 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 논문에서는 LRM 첨가시 저하되는 시멘트의 압축강도를 개선하기 위하여 pH 11~12인 LRM을 질산 및 황산으로 중화하여 pH를 7~8로 조절하였다. 이를 위하여 중화에 필요한 이론적인 몰비를 계산하였고, 계산된 몰비에 대하여 일정량씩 변화시키면서 적정 첨가량을 검토하였다. 질산 및 황산은 이론적 몰비에 대해 20, 25, 30, 35, 40, 50wt%를 첨가하였으며, 첨가한 시료의 pH의 변화를 10분, 20분, 30분, 1시간, 12시간에 측정하였다.

중화한 LRM을 혼합한 시멘트 페이스트의 압축강도 특성을 검토하기 위한 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 압축강도를 측정하기 위한 시멘트 페이스트의 W/C는 30%이었고, 시험체의 크기는 50×50×50mm³으로 하였다. 질산 및 황산으로 중화한 LRM의 첨가량은 시멘트에 대해 중량비로 1, 5, 10, 20% 외할 첨가하였다. 압축강도는 1, 3, 7 및 28일에 측정하여 재령에 따른 특성을 검토하였다.

Table 1. Experimental plan

Type of acid	I.D. of LRM*	Mix design of cement paste		Test items
		Content LRM (%)	W/C (%)	
-	LRM	0, 1, 5, 10, 20	30	Compressive strength (1, 3, 7, 28days)
Nirtic acid	Neu-N			
Sulfuric acid	Neu-S			

*LRM: Liquefied Red Mud

2.2 사용재료

2.2.1 액상화 레드머드

액상화 레드머드는 Kang and Kang(2018)의 연구에서 제시된 방법으로 제조하였다. 국내 K사에서 발생하는 레드머드 슬러지를 호모믹서로 3분간 500rpm으로 교반하여 균일하게 하였고, 지속적으로 교반하면서 레드머드 입자를 분산시키기 위한 분산제, 입자의 침강분리를 저감시키기 위한 증점제 및 고속교반에 의한 기포를 소포하기 위한 소포제를 적정량 첨가한 후 2분간 추가적으로 혼합하여 제조하였다. 이와같이 LRM을 제조하기 위한 장치 및 레드머드 슬러지의 상태는 Fig. 1과 같다.

LRM의 물리·화학적 특성은 Table 2에 나타내었다. LRM을 110°C에서 중량감소가 더 이상 나타나지 않을 때까지 건조하여 무게감량을 측정하여 함수율을 구하였고, 건조된 분말을 XRF로 분석하여 화학적 조성을 구하였다. 화학적 조성은 Na₂O가 19.5%,



Fig. 1. Manufacturing process of LRM

Table 2. Physical properties and chemical composition of LRM

Type of binder	Moisture content(%)	pH	Chemical composition(%)						
			Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
LRM	48	11.4	19.5	17.6	25.3	28.2	2.12	0.0904	0.305

Table 3. Physical properties and chemical composition of OPC

Type of binder	Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/mm ³)	Ig. loss	Chemical composition(%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC*	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

*OPC: Ordinary Portland Cement

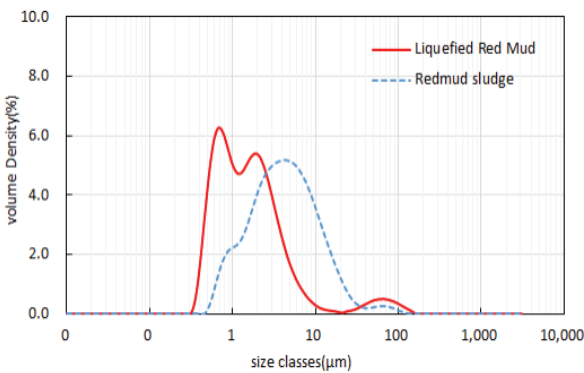


Fig. 2. Particle size distribution of red mud

Al₂O₃가 25.3%, SiO₂가 17.6%, Fe₂O₃가 28.2% 이다. 또한 함수율은 48.7% 이며, pH는 11.4 이다. 최초 발생되는 레드머드 슬러지와 액상화 레드머드의 입도 비교를 Fig. 2에 나타내었다. LRM의 평균 입도는 3.15μm로 최초 발생되는 레드머드 슬러지의 평균입도 4.31 μm 과 비교하여 입자가 작았다. 이는 LRM 제조시 분산장비로 사용한 호모믹서의 rotor와 stator의 세밀한 간극과 stator의 고속 회전으로 인한 강력한 전단력으로 입자가 분산되고 입경이 작아진 것으로 사료된다.

2.2.2 질산 및 황산

LRM을 중화하기 위한 질산은 농도가 60%인 시약급(삼천순약공업(주), Extra pure, Korea)을 사용하였고, 황산은 농도가 95%인 시약급(대전화금(주), Korea)을 사용하였다.

2.2.3 시멘트

시멘트 페이스트의 압축강도 시험을 위해 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 물리·화학적 특성은 Table 3과 같고, 비표면적은 3,14cm²/g, 밀도는 3.15g/cm³, 강열감량은 1.32% 이다.

2.3 실험방법

2.3.1 액상화 레드머드의 중화

(1) 중화 LRM의 제조

LRM의 강알칼리 특성은 Table 2에서 용해도가 높은 Na₂O 성분 에 기인한 것으로 사료되며, 이론적으로 LRM의 pH를 7~8 범위로 중화하는데 필요한 질산 및 황산의 첨가량을 Na₂O 기준으로 계산하였다. 중화 LRM 제조를 위한 이론적인 몰비 계산식은 식(1)과 같다.

$$mol = \frac{a}{M_w} (mol) \quad (1)$$

여기서, a는 wt%농도, M_w는 몰 분자량이다, 고품분 함량 52wt%인 LRM의 100g 중 Na₂O의 함량은 19.5g×0.52%=10.14g 이고, Na₂O의 몰은 10.14g÷62g/mol=0.164mol, Na의 몰수는 0.328mol 이 되므로, 함수율이 48wt%인 LRM에 포함되어져 있는 NaOH의 이론적인 몰수는 0.328mol로 계산되었다.

LRM 100g을 중화하는데 필요한 질산의 이론적인 첨가량은 0.328mol이었고 농도 60%를 고려한 질산의 첨가량은 34.5g으로 계산되었다. 한편 황산의 이론적인 첨가량은 0.164mol이었고 농도 95%를 고려한 황산의 첨가량은 16.9g으로 계산되었다.

그러나 Table 2에서 Na₂O의 존재형태가 LRM에서 모두 Na⁺ 이온 형태로 존재하지 않고 일부가 Si, Al 등과 함께 결합되어 불용성으로 존재하기 때문에 첨가량은 이론적으로 계산된 양보다 적을 것으로 예상되었다. 따라서 본 연구에서는 LRM을 중화하기 위해 필요한 질산 및 황산의 첨가량을 이론적으로 계산된 첨가량에 대해 비율별로 검토하였다. 중화 LRM은 질산 및 황산을 이론적으로 계산된 첨가량 대비 20, 25, 30, 35, 40, 50% 첨가하여 제조하였다.

(2) 적정 첨가량 결정

질산 및 황산을 첨가한 LRM의 pH에 대한 경시 변화를 10분~12



Fig. 3. pH Measurement

시간 동안 pH 미터(HI991300, HANNA사, Japan)로 Fig. 3와 같이 측정하였다. 적정 첨가량의 결정은 질산 및 황산을 LRM에 첨가 후 안정화 되는 pH 값인 7~8을 12시간까지 유지하는 양으로 하였다.

2.3.2 시멘트 페이스트의 압축강도

질산 및 황산 중화 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도 특성을 KS F 2476에 의거하여 재령 1, 3, 7 및 28일 측정하였고, 그 결과를 Plain 및 LRM 첨가 시험체와 비교 검토하였다. 시험체는 50×50×50mm³ 모델을 사용하여 제작하였고, 항온항습기(20°C, 50%R.H.)에서 재령별로 양생하였다.

3. 실험결과 및 분석

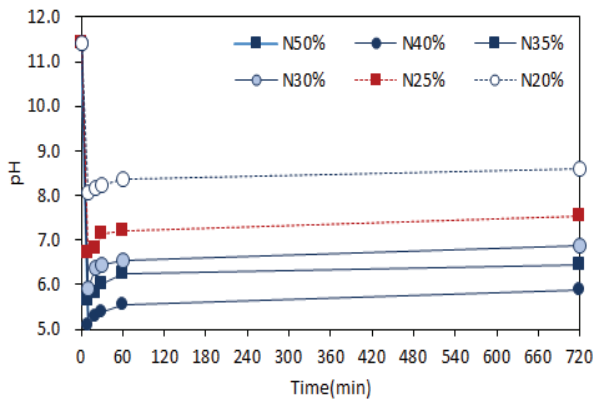
3.1 적정 첨가량 도출

질산 및 황산으로 LRM을 중화하기 위한 첨가량별 경과시간에 따른 pH 변화를 측정하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에

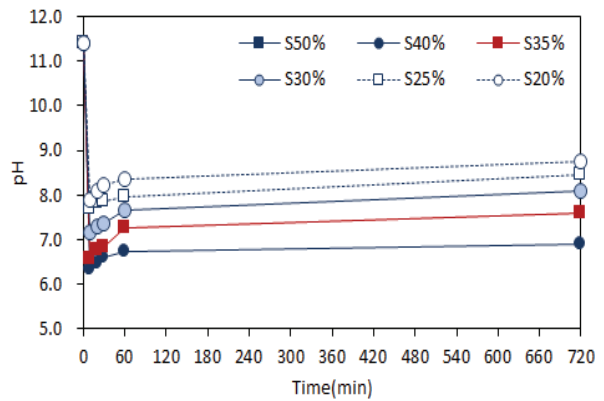
서 LRM에 질산 및 황산을 첨가한 직후 pH는 급격히 낮아지고 일정 시간 경과 후 증가하여 60분부터 12시간까지 pH가 일정하게 유지되어 안정화되는 경향을 보이고 있다. 그래서 적정 첨가량은 질산 및 황산 첨가 후 12시간에 pH가 7~8을 유지하는 첨가량으로 선정하였다.

질산의 경우 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 적정 첨가량을 선정하기 위해 설정했던 12시간 후의 pH 7~8을 만족하는 질산 첨가량은 이론 첨가량의 25%인 N25%로 나타났다. N50%은 10분에 pH 4.7로 떨어지고 굳어져 이후에 측정이 불가능하였다. N40%의 pH는 10분에 5.1까지 떨어지고 12시간 후에는 5.8로 안정화되었으나 목표 pH 7~8을 만족하지는 못하였다. N35%의 pH는 10분에 5.6까지 떨어지고 12시간 후에는 6.4로 안정화되었으나 목표 pH 7~8을 만족하지는 못하였다. N30%의 pH는 10분에 5.9까지 떨어지고 12시간 후에는 6.8로 안정화되었으나 목표 pH 7~8을 만족하지는 못하였다. N25%의 pH는 10분에 6.7까지 떨어지고 12시간 후에는 7.5로 안정화되어 목표 pH 7~8에 만족하는 것으로 나타났다. N20%의 pH는 10분에 8.1까지 떨어지고 12시간 후에 8.6으로 안정화가 되었으나 측정 시작부터 목표 pH 7~8을 벗어나는 것으로 나타났다.

또한 황산의 경우 Fig. 4(b)에 나타난 바와 같이 적정 첨가량을 선정하기 위해 설정했던 12시간 후의 pH 7~8을 만족하는 황산 첨가량은 이론 첨가량의 35%인 S35%로 나타났다. S50%은 혼합하자마자 굳어져 이후에 측정이 불가능하였다. S40%의 pH는 10분에 6.3까지 떨어졌고 12시간 후에 6.9로 안정화가 되었지만 목표 pH 7~8을 만족하지 못하였다. S35%의 pH는 10분에 6.6까지 떨어졌고 12시간 후에 7.6으로 안정화가 되었으며 목표 pH 7~8을 만족하였다. S30%의 pH는 10분에 7.2까지 떨어졌고 12시간 후에



(a) Nitric acid



(b) Sulfuric acid

Fig. 4. pH Change according to the acidity

8.1로 안정화가 되었지만 목표 pH 7~8을 만족하지 못하였다. S25%는 10분에 7.6까지 떨어졌고 12시간 후에 8.4로 안정화가 되었지만 목표 pH 7~8을 만족하지 못하였다. S20%는 10분에 7.9까지 떨어졌고 12시간 후에 8.7로 안정화가 되었지만 목표 pH 7~8을 만족하지 못하였다.

이론적으로 계산된 첨가량과 적정 첨가량이 다른 이유는 Na_2O 의 존재형태가 LRM에서 모두 Na^+ 이온 형태로 존재하지 않고 일부가 Si, Al 등과 함께 결합되어 불용성으로 존재하기 때문으로 사료되며, 불용성으로 존재하는 Na^+ 이온의 양은 질산으로 중화하는 경우에 0.082mol로 계산되었고, 황산으로 중화하는 경우에는 0.0574mol로 계산되었다.

3.2 시멘트 페이스트의 압축강도 특성

중화 전 후 LRM 종류별 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 재령별 압축강도 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 시험체에서 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 반면에, LRM의 첨가량이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 경향을 보이고 있다.

LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도는 Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 재령 28일에 Plain의 61.0MPa와 비교하여 첨가량이 증가할수록 강도는 감소하여 34.0~52.9MPa를 나타내고 있다. 특히 LRM을 20% 첨가한 LRM-20의 압축강도는 1일에 0.6MPa로 거의 강도를 발현하지 못하고 있으며 7일에 28일 압축강도의 약 85%를 발현하고 있다.

질산 중화 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도는 Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 재령 28일 Plain 61.0MPa와 비교하여 비슷한 경향을 나타냈으며, 압축강도는 52.9~65.4MPa를 나타내 첨가량이 증가할수록 큰 변화가 나타나고 있지 않다.

황산 중화 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도는 Fig. 5(c)에 나타난 바와 같이 재령 28일 Plain의 61.0MPa와 비교하여 약 30%까지 높게 나타났으며 압축강도는 53.2~78.6MPa로 측정되었다. 황산 중화 LRM의 경우 1% 및 5%를 첨가할 경우 Plain 보다 높은 압축강도를 나타냈다.

28일 압축강도를 기준으로 한 LRM의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 비를 Fig. 6에 나타냈다. 시멘트 페이스트의 7일과 28일 압축강도 차이는 LRM의 모든 첨가량에서 중화 LRM 보다 작게 나타났다. 모든 시험체에서 LRM의 첨가량이 증가할수록 압축강도 차이는 감소하는 경향으로 나타났다. 또한 LRM과 비교하여 중화 LRM인 Neu-N 및 Neu-S의 경우 첨가량이 증가할수록 7일과 28일 압축강도 차이는 감소하는 것으로 나타났다.

중화 전 후 LRM 종류별 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 28일에 대한 압축강도 비를 Fig. 6에 나타내었다. 28일 강도대비 초기 재령의 압축강도 비는 Plain과 비교하여 LRM에서 높게 나타났지만 LRM을 중화시키면 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 기준으로 하고 있는 28일 압축강도가 LRM의 첨가율이 증가할수록 저하되고 LRM을 중화시키게 되면 첨가율에 따라서 큰 영향을 받지 않고 있기 때문인 것으로 사료된다.

LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 28일에 대한 압축강도 비는 Fig. 6(a)에 나타내었다. Plain과 비교하여 28일 압축강도 대비 7일 이전의 초기강도 발현 비율이 높은 것으로 나타났다. 그러나 LRM-20의 경우 재령 3일까지 강도가 발현되지 않아 재령 3일에서 28일 강도 대비 30% 미만을 나타내고 있다.

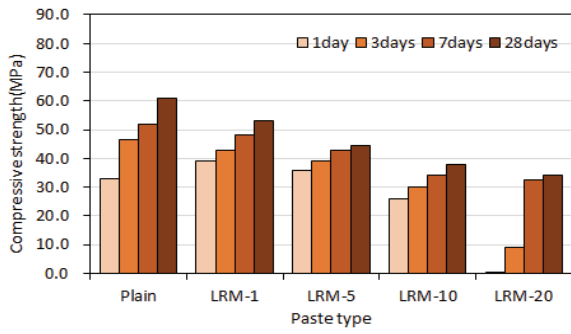
질산 중화 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 28일에 대한 압축강도 비는 Fig. 6(b)에 나타내었다. Plain과 비교하여 28일 압축강도 대비 재령 1일 압축강도 비율은 높게 나타나고 있으나 재령 3일 및 7일에서는 낮은 것으로 나타났다. 첨가율이 적은 Neu-N1은 Plain과 비교하여 28일 압축강도 대비 초기강도 발현 비율이 현저히 낮은 것으로 나타나고 있어 첨가율이 높은 시험체와 상이한 결과를 보이고 있다.

황산 중화 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 28일에 대한 압축강도 비는 Fig. 6(c)에 나타내었다. Plain과 비교하여 28일 압축강도 대비 초기강도 발현 비율이 낮은 것으로 나타나고 있다.

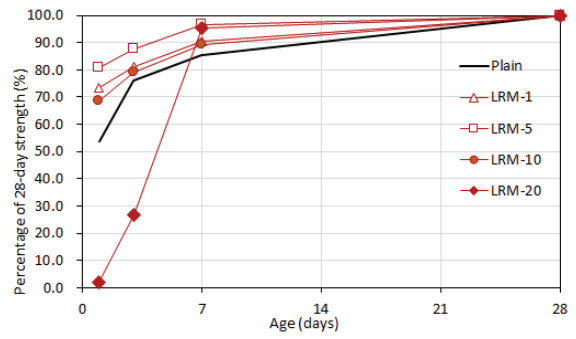
LRM의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 1일, 28일 압축강도 비를 Fig. 7에 나타냈다. LRM의 경우 재령 1일과 28일의 압축강도 비가 첨가량이 많을수록 낮아지는 경향이 나타났다. 반면에 질산(Neu-N) 또는 황산(Neu-S)으로 중화된 LRM의 경우 Plain과 비교하여 재령 1일과 28일의 압축강도 비가 유사하게 나타나고 있다.

Fig. 7(a)는 재령 1일에서의 Plain과 비교한 압축강도 비를 나타낸 것이다. LRM의 경우는 Plain 대비 118.8~1.8%를 나타내고 있다. 중화하지 않은 LRM는 첨가율이 증가할수록 압축강도 비가 급격하게 떨어지고 첨가량이 가장 높은 RM-20의 경우 압축강도 발현을 거의 하지 못하는 것으로 나타났다. 질산(Neu-N)과 황산(Neu-S)으로 중화시킨 LRM의 압축강도 비는 Plain을 기준으로 질산의 경우 120.1~99.6%, 황산의 경우 99.4~87.5%의 범위를 나타내고 있어 중화시킨 LRM의 첨가량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나고 있지 않다.

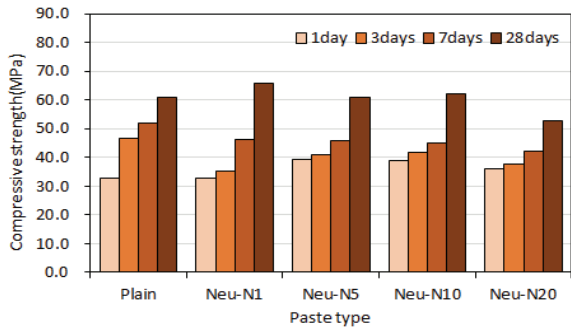
Fig. 7(b)는 재령 28일에서의 Plain과 비교한 압축강도 비를 나타낸 것이다. 중화하지 않은 LRM(RM)의 경우는 Plain 대비 86.8~55.7%를 나타내고 있다. LRM의 첨가율이 증가할수록 압축강도 비가 떨어지고 첨가량이 가장 높은 RM-20의 경우 Plain과



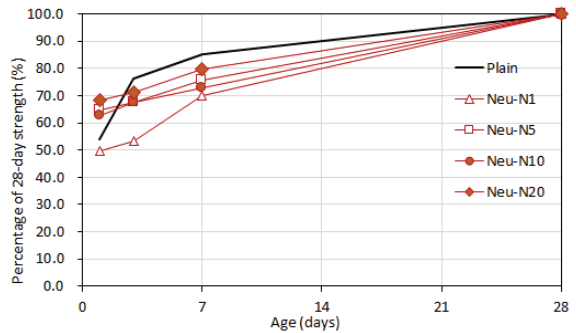
(a) LRM



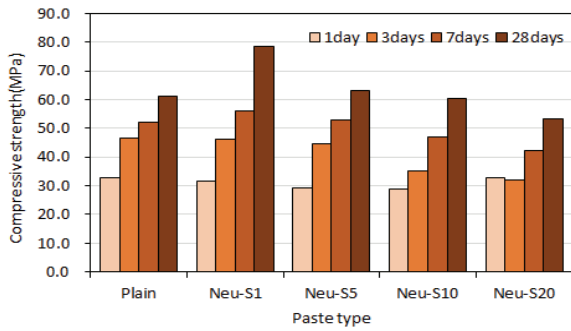
(a) LRM



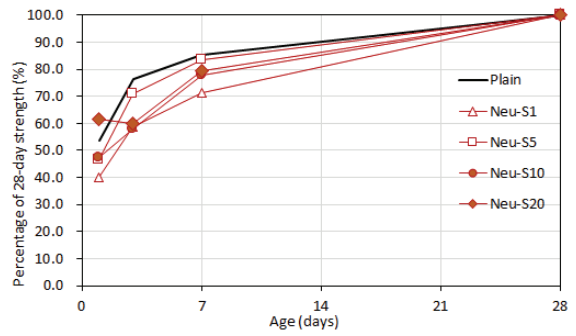
(b) Neu-N



(b) Neu-N



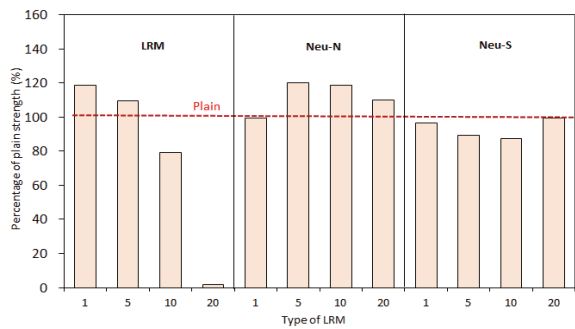
(c) Neu-S



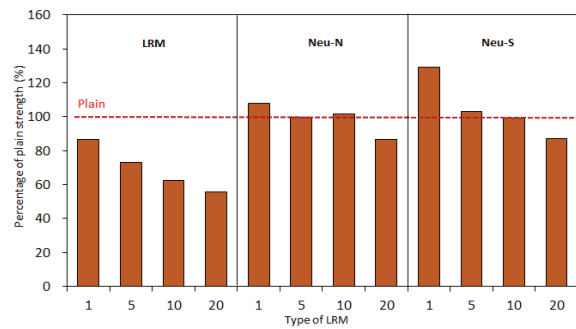
(c) Neu-S

Fig. 5. Compressive strength of paste with LRM

Fig. 6. Percentage of 28-day compressive strength



(a) 1 Day



(b) 28 Days

Fig. 7. Percentage of plain strength

비교하여 약 50%의 수준을 보이고 있다. 질산(Neu-N)과 황산(Neu-S)으로 중화시킨 LRM의 압축강도 비는 Plain을 기준으로 질산의 경우 129.0~99.1%, 황산의 경우 108.0~86.7%의 범위를 나타내고 있으며 중화시킨 LRM의 첨가량 10%까지는 Plain과 비교하여 동등 이상의 압축강도를 발현하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 중화하지 않은 액상화 레드머드(Liquefied Red Mud, LRM)에 질산 및 황산의 첨가량에 따른 pH 변화를 검토한 후 적정 양의 질산 및 황산으로 중화시킨 액상 레드머드의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 특성을 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. pH 11~12인 강알칼리성의 액상화 레드머드를 중화시키기 위한 질산 및 황산의 적정 첨가량은 질산의 경우 이론 첨가량의 25%, 황산의 경우 이론 첨가량의 35%인 것으로 나타났다.
2. LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도는 재령 28일에 Plain의 61.0MPa과 비교하여 크게 저하되었고, LRM의 첨가량이 증가할수록 압축강도는 지속적으로 감소하여 34.0~52.9MPa을 나타내었다.
3. 질산으로 중화시킨 LRM을 첨가한 시멘트 페이스트의 압축강도는 52.9~65.4MPa이었고, Plain과 비슷한 수준으로 나타났다. LRM의 중화처리로 압축강도는 향상하여 Plain과 비슷한 수준으로 개선되었다.
4. LRM의 경우 Plain과 비교하여 재령 1일보다 28일의 압축강도 비가 상대적으로 낮게 나타났으나, 질산(Neu-N) 및 황산(Neu-S)으로 중화된 LRM의 경우 Plain과 비교하여 재령 1일과 28일의 압축강도 비가 유사하게 나타났다.
5. 중화시킨 LRM의 경우 LRM 시험체와 비교하여 재령 28일에서 압축강도의 증가 폭이 상대적으로 높게 나타났다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(18CTAP-C142091-01#)을 받아 수행된 연구입니다.(No. 2017 R1A2B2007967)

References

- Choi, J.J., Hwang, E.H., Moon, D.J. (2006). An experimental study on the flowability and compressive strength of color concrete mixed with pigments, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, **26(3)**, 547-553.
- Hong, H.S., Kim, Y.L., Cho, H.J., Kim, D.W., Kim, D.W., Kim, H.J., Kim, Y., Kim, S.P. (2017). Overview and future concerns for red mud recycling technology and industry, *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, **26(5)**, 12-21.
- Kang, H.J., Kang, S.P., Hwang, B.I. (2018). "Mechanical behavior of wet soil concrete with liquefied red mud addition rate," *Proceedings of Korea Concrete Institute*, **30(1)**, 137-138.
- Kang, J.S., Jeong, S.G., Jeong, S.W., Seo, U.Y., Lim, G.J., Ji, S.W. (2013). Coagulation of suspended solids and neutralization capacity of sludge in a settling pond of O limestone mine, *Journal of the Korea Resources Engineering Association*, **50(2)**, 204-211.
- Kang, S.P. (2016). Properties of alkali-activated slag-red mud soil pavement using recycled aggregate, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **4(3)**, 276-283.
- Kang, S.P., Kang, H.J. (2017). Characteristics of soil pavement by red mud content and binder type, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(1)**, 37-44.
- Kang, S.P., Kang, H.J. (2017). Pore and efflorescence characteristics of alkali activated slag-red mud cement mortar depending on red mud content, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **17(3)**, 261-268.
- Kang, S.P., Kang, H.J. (2018). 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*, **6(2)**, 146-152.
- Kang, S.P., Kwon, S.J. (2017). Effects of red mud and alkali-activated slag cement on efflorescence in cement mortar, *Construction and Building Materials*, **133**, 459-467.
- Kim, H.J. (2007). Study on the Chemical Property and Application of Red mud, Master's Thesis, Chonnam National University, Korea [in Korean].
- Lee, S.H., Kim, G.D., Chung, S.Y. (2004). Hannam-dong juvenile education culture center-mix design of black concrete and application technology, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, **16(3)**, 50-57.
- Lee, Y.W. (2013). A Study on the Recycling of Red mud for Alkali-Activated Non-Cement Binder, Master's Thesis, WooSuk University, Korea [in Korean].

Park, J.H., Pyeon, S.J., Lee, S.S. (2019). A study on the properties of cementless artificial stone by recycled coarse aggregate and red mud according to replacement ratio, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **7(1)**, 50-56.

Park, Y.H., Jung, Y.N. (2017). Overview of bauxite residues and processing status of domestic and overseas, Magazine of RCR, **12(4)**, 22-27.

질산 및 황산에 의해 중화된 액상화 레드머드의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 특성

레드머드(Red mud)는 보크사이트(Bauxite)를 원료로 알루미늄을 제조하는 공정에서 발생하는 산업부산물이다. 한국의 경우 베이어프로세스 공정을 통하여 Al_2O_3 1톤을 생산할 경우 함수율 50%의 레드머드가 약 2톤이 발생된다. 강알칼리성의 레드머드를 중화시킴으로서 재활용을 증대시킬 수 있고 보관 및 관리 측면에서 환경부하를 저감시킬 수 있다. 더욱이 재활용하기 위해 가열 및 분쇄 공정이 필요없는 액상화 레드머드에 대한 관심이 증대되고 있다. 따라서 본 논문에서는 질산 및 황산의 첨가량에 따른 액상화 레드머드의 pH 변화를 검토한 후 중화시킨 액상화 레드머드의 첨가량에 따른 시멘트 페이스트의 압축강도 특성을 비교 검토하였다. 그 결과 질산 및 황산으로 중화시킨 액상화 레드머드의 압축강도는 중화하지 않은 액상화 레드머드와 비교하여 상대적으로 높게 나타났다.