

레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 기공 및 백화특성

Pore and Efflorescence Characteristics

of Alkali Activated Slag-Red Mud Cement Mortar depending on Red Mud Content

강 석 표¹

강 혜 주^{2*}

Kang, Suk-Pyo¹

Kang, Hye-Ju^{2*}

Department of Architecture, Woosuk University, 66, Daehak-ro, Jincheon-eup, Jincheon-gun, Korea ¹

Department of Construction Engineering, Woosuk University, 66, Daehak-ro, Jincheon-eup, Jincheon-gun, Korea ²

Abstract

Red mud is an inorganic by-product obtained from the mineral processing of alumina from Bauxite ores. A highly alkali inorganic waste product with a pH level over 11, red mud in its original state negatively impacts the ecosystem, so appropriate treatment is necessary. The development of alkali activated slag-red mud cement can be a representative study aimed at recycling the strong alkali of the red mud as a construction material. However, Alkali-activated binders that use sodium activators have been reported to be more vulnerable to efflorescence. Therefore, in this study, the compressive strength, pore characteristics, water absorption, elution characteristics, and efflorescence properties of alkali-activated slag cement mortar were assessed according to their red mud substitution ratio.

Keywords : alkali-activated, red-mud, efflorescence, porosity

1. 서 론

최근 우리나라를 비롯한 전 세계적으로 온실가스 감축 목표를 설정하며 건설산업 분야에서도 환경에 대한 배려의 중요성이 증가하고 있다. 건설 분야에서는 시멘트 산업을 비롯한 모든 산업이 저탄소 기술개발에 대하여 활발히 대응하고 있으나 건설 산업의 주요재료인 시멘트에서 1톤 생산시 발생하는 이산화탄소 약 0.9톤의 발생량은 해마다 증가하는 추세이다. 이산화탄소는 보통 포틀랜드 시멘트 제조시 대기 온실가스의 7%에 해당되는 약 13.5억이 방출되고 있는 실정이다[1].

이러한 문제를 해결하기 위하여 국내외적으로 친환경 콘크리트에 대한 관심이 증가되며 보통 포틀랜드 시멘트 제조시 발생하는 이산화탄소 감축기술 개발을 위해 노력하고 있다. 이에 대한 결과로 고로슬래그나 플라이애시 등과 같은 산업부산물을 활용한 알칼리활성화 시멘트가 주목받고 있다. 특히 고로슬래그 미분말을 활성화 반응의 주요 재료로 하는 알칼리활성화 슬래그 시멘트는 강알칼리나 황산염과 같은 물질을 고로슬래그의 자극제로 사용하여 고로슬래그의 수화반응을 이끌어내 시멘트 대체제로 활용가능하다[2]. 알칼리활성화 시멘트는 산업부산물의 재활용과 환경부하 저감 등의 환경적인 장점과 조기강도 증진, 낮은 수화열, 우수한 화학저항성 등의 기술적 장점을 가지고 있어 많은 연구가 이루어지고 있다[3]. 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 자극제로서 주로 쓰이고 있는 수산화나트륨 수용액(NaOH)과 규산나트륨 수용액(Na₂SiO₃)은 우수한 성능이 검증된 자극제로서 평가되고 있다.

Received : March 2, 2017

Revision received : March 23, 2017

Accepted : April 13, 2017

* Corresponding author : Kang, Hye-Ju

[Tel: 82-43-531-2903, E-mail: leekang02@nate.com]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

Table 1. Experimental plan and mix design

Type of binder	Replacement ratio of red mud (%)	Mix design	Test items
Alkali-activated slag cement	• 0 (RM0)	• B:S = 1:3 • W/B = 75%	• Porosity • Compressive strength • Efflorescence • Water absorption ratio • Elution characteristics
	• 5 (RM5)		
	• 10 (RM10)		
	• 20 (RM20)		
	• 30 (RM30)		

Table 2. Physical properties and chemical composition of alkali-activated slag cement

Type of binder	Chemical composition (%)						Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	lg. loss
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			
Alkali-activated slag cement	22.1	8.9	1.4	54.9	3.3	5.2	4,058	2.83	2.23
Ordinary portland cement	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	3,144	3.15	1.32

Table 3. Chemical composition of desulfurization gypsum

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Desulfurization Gypsum(%)	2.27	0.65	0.66	73.2	0.31	21.9

그러나 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 주요 자극제로 사용되는 액상형 자극제는 강알칼리성으로 인한 위험성과 경제적인 단점으로 현장적용이 어렵기 때문에 고가의 액상 자극제 대신 활용가능한 산업부산물을 함께 활용하고자 하는 연구가 수행되고 있다[3].

한편 레드머드는 보오크사이트 원광석에서 생산되는 알루미늄의 선광과정에서 발생하는 무기질 부산물을 말한다. 레드머드는 Na₂O를 10~15% 함유하고 있으며 슬래그나 알루미노 규산염 광물이 해리되어 축중합을 통해 안정한 수화물을 생성하기 위한 자극제나 촉진제로서 액상 규산나트륨(Sodium Silicate) 대신 활용 가능하거나 지연제로서 인산나트륨(Sodium Phosphate) 대신 활용 가능하여 각종 건설 자재로서의 재활용이 가능하다[4,5]. 이와 같이 레드머드를 활용한 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트가 연구되어 지고 있고 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트는 알칼리 자극제, 고로슬래그와 레드머드로 구성되어 있으며, 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 초기강도 발현특성이 우수하고 화학저항성이 우수한 것으로 알려져 있다[6,7].

그러나 나트륨 계열의 자극제를 사용하는 알칼리활성화 결합재는 가용성 알칼리로 반응하여 생성되는 탄산염이나 황산염으로 인하여 백화 발생에 취약하다는 연구가 진행된 바 있으며 백화는 구조적으로 문제가 되지 않는다는 인식이 심각할 경우 구조적인 문제가 될 수 있다는 견해가 나타나고 있다[8].

따라서 본 연구에서는 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화특성을 규명하고자 레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 압축강도, 기공특성, 흡수율, 용출특성 및 백화 특성을 검토하였다. 본 연구 결과를 통하여 레드머드의 건설산업 재활용에 있어서 장애요소인 백화를 저감 시킬 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

알칼리활성화 슬래그-레드머드 모르타르를 제작하기 위하여 모르타르 배합은 Table 1에 나타난 바와 같이 알칼리활성화 슬래그 시멘트에 레드머드를 중량비로 0, 5, 10, 20, 30% 대체하였다. W/B 75%, B:S 1:3로 설정하였으며 압축강도, 기공특성, 백화발생면적, 흡수율, 용출시험 등을 진행하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 알칼리활성화 슬래그 시멘트

본 연구에서는 결합재로서 국내 C사의 산업부산물만으로 제조된 분말형 알칼리활성화 슬래그 시멘트를 사용하였으며 Table 2에 물리·화학적 성질을 보통 포틀랜드 시멘트와 함께 나타내었다. 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 화학조성은 SiO₂ 22.1%, Al₂O₃ 8.9%, CaO 54.9% 및 SO₃ 5.2%로서 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 CaO와 Al₂O₃의 조성비율이 낮지만 SO₃의 조성비율이 높은 것으로 나타났다. 또

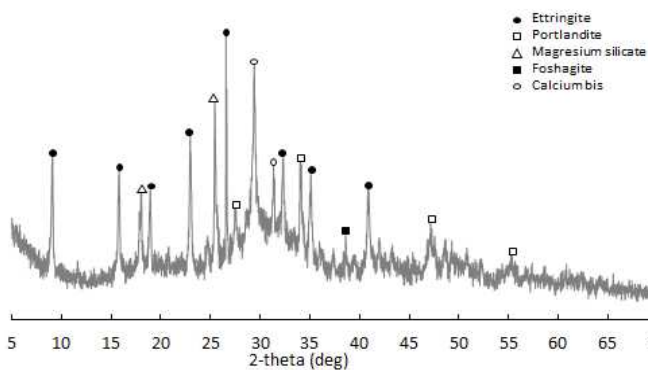


Figure 1. XRD of alkali-activated slag cement

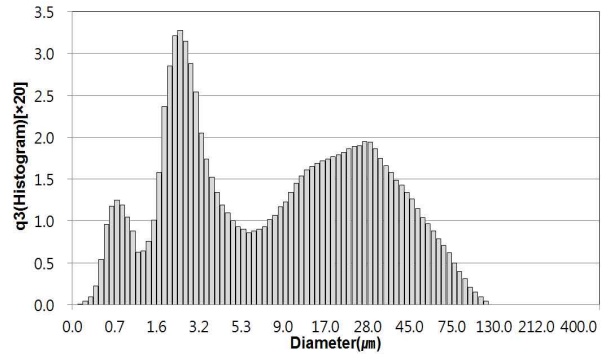


Figure 2. Particle size distribution of dried red mud

Table 4. Properties of red mud

Type	Chemical composition (%)								Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Moisture content ratio (%)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O			
Red mud	38.8	16.1	22.8	3.4	0.2	0.0	10.0	0.4	2353	3.50	10.2

한 물리적 특성으로 비표면적은 4,058cm²/g으로서 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 크고, 밀도는 2.83g/cm³으로서 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 낮다.

본 연구에서 사용한 알칼리활성화 슬래그 시멘트는 산업 부산물만으로 제조된 클링커프리 시멘트로서 고로슬래그미분말의 주요 자극제로서 탈황석고를 사용하였다. 탈황석고는 유동층 연소보일러 배기가스 황산화물 저감을 위하여 건식탈황을 하는 과정에서 발생된다. 주요 자극제로서 사용한 탈황석고의 화학성분을 Table 3에 나타내었다. 화학조성은 CaO 73.2%, SO₃ 21.9%로서 전체 94%를 차지하고 있어 알칼리활성화 슬래그시멘트에서 고로슬래그 표면을 자극하여 수화반응을 유도할 수 있을 것으로 사료된다. 이는 Figure 1에 나타난 알칼리활성화 슬래그 시멘트 페이스트의 28일 경과 후 XRD 분석결과에서 알 수 있다. 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 수화생성물은 보통 포틀랜드 시멘트와 다르게 Ca(OH)₂와 CSH겔이 상대적으로 적고 에트링가이트가 58%로 가장 많이 차지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 수화반응은 다량의 에트링가이트와 함께 생성된 C-S-H겔로 이루어진다는 기존 연구와 일치하고 있다[2].

2.2.2 레드머드

레드머드(Red mud)는 보옥사이트 원광석으로부터 수산화알루미늄(Al(OH)₃) 및 산화알루미늄(Al₂O₃) 성분을 가

성소다 용액으로 추출하고 다시 고형물질로 석출되는 산업 부산물이다[9]. 본 연구에서는 함수율 50%의 상태로 배출되고 있는 레드머드를 함수율 10%내외로 가열 및 분쇄시켜 건조되어진 분말 레드머드를 사용하였다.

본 연구에서 사용한 건조 레드머드의 물리적 특성 및 화학적 조성을 Table 4에 나타내었다. 건조 레드머드의 물리적 특성으로서 함수율은 10.2%, 밀도는 3.50g/cm³, 비표면적은 2353cm²/g이다. 건조 레드머드의 평균입경은 2.75μm이며 입도분포를 Figure 2에 나타내었다. 또한 레드머드의 화학 조성의 경우 주요 성분인 SiO₂ 38.8%, Al₂O₃ 16.1%, Fe₂O₃ 22.8%가 전체의 약 80%를 차지하고 있다. 특히 Na₂O가 전체의 조성에서 약 10%를 차지하고 있으며 이는 pH 11.0의 강알칼리성 나타내어 알칼리활성화 슬래그 시멘트에 혼입시 고로슬래그미분말의 자극제로서 역할을 수행할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 다량의 Na₂O는 건설산업 재활용에 있어서 백화발생의 주요 인자가 되는 것으로 알려지고 있다[8].

2.2.3 골재

본 연구에서 사용한 골재의 KS L 5100의 표준사를 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 압축강도

모르타르의 압축강도를 측정하기 위하여 KS L ISO 679

Table 5. Degree of efflorescence

Degree	Efflorescence area
I	none
II	less than 10%
III	above 10%, less than 30%
IV	above 30%, less than 50%
V	above 50%

에 의거하여 공시체를 각 재령별로 3개씩 제작하여 양생온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 및 상대습도 70%의 항온항습실에서 양생하였다. 3일, 7일 및 28일이 경과한 후에 압축강도 시험방법에 따라 압축강도를 측정하였다.

2.3.2 백화시험

백화시험체는 $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 시험체를 제작하여 온도 20°C , 상대습도 60%에서 28일 양생하였다. 백화시험은 28일 양생 후 시험편의 측면을 파라핀으로 실링처리하고 온도 7°C , 상대습도 50% 조건의 항온항습기에서 14일 동안 시험체 하부 2~10mm를 증류수에 침지하여 백화발생을 살펴보았다. 백화발생 면적은 백화 촉진 항온항습기에서 14일 침지 후 백화 발생 정도를 사진 촬영하고 ‘페인트넷’ 프로그램으로 백화발생 면적을 산출하여 정량화하였다. 백화 등급은 정량화된 백화발생 면적을 Table 5에 나타난 비와 같이 백화 발생 면적에 따라 5등급으로 구분하였다. 또한 시험체 표면에 발생한 백화물질을 채취하여 EDS 및 XRD 분석을 실시하였다. Figure 3은 백화 촉진 항온항습기에서 14일 침지한 후 시험체에서 발생한 백화 사진을 Figure 3 (a)에 나타내었으며 이를 ‘페인트넷’으로 화상처리한 사진을 (b)에 나타내었다.

2.3.3 흡수율

다공질의 친수성을 갖고 있는 건축 재료가 물과 접촉하면 모세관 현상을 통해 기공의 내부로 물이 흡수 된다. 물론 표면 장력의 대소에 따라 흡수되는 물의 양이 달라지지만 일반적으로 초기에는 많은 양의 물이 흡수되고 시간의 흐름에 따라 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 흡수시험은 $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 시험체를 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대 습도 $65 \pm 5\%$ 의 표준 상태에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 건조된 시험체의 측면은 에폭시로 실링 처리하고, 약 20°C 의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 10분, 30분, 1시간, 6시간

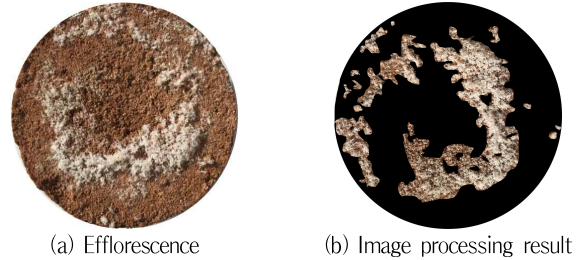


Figure 3. Efflorescence test

및 24시간에 시험체의 물흡수량을 측정하였다. 물흡수량을 시험체 질량으로 나누어 흡수율을 산정하였다.

2.3.4 용출시험

촉진 백화시험 전과 후 시험체를 파쇄하여 1.25~1.50mm의 분말을 선별하였다. 선별된 분말 샘플과 증류수를 중량비 1:50으로 혼합하여 촉진 백화시험 조건과 동일한 온도 7°C , 상대습도 50% 조건의 항온항습기에 48시간 유지한 후 분말샘플이 침전되어 맑아진 상층부에서 채취한 20mL를 거름종이로 걸러냈다. 백화의 주요한 잠재요인으로 판단되는 백화 전 및 후 시험체에서의 가용성 Na^+ 와 Ca^+ 용출량은 걸러진 액상 샘플을 이용하여 ICP-OES분석으로 정량 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 압축강도 특성을 Figure 4에 나타내었다. 28일 압축강도는 RM0가 26.0MPa, RM5는 21.5MPa, RM10은 20.0MPa, RM20은 15.1MPa, RM30은 14.5MPa로 레드머드 대체율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 7일 재령에서는 레드머드를 대체한 시험체가 레드머드를 대체하지 않은 시험체와 비교하여 압축강도가 높게 나타나고 있다. 이는 결합재를 대체한 레드머드가 고로슬래그 자극제로서 초기재령에서는 영향을 미치고 있으나 장기재령에서는 결합재 손실에 의한 영향이 더 크게 미치는 것으로 사료된다.

3.2 기공량

알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 레드머드 대체율에 따른 기공량을 Figure 5에 나타내었다. 알칼리활성화

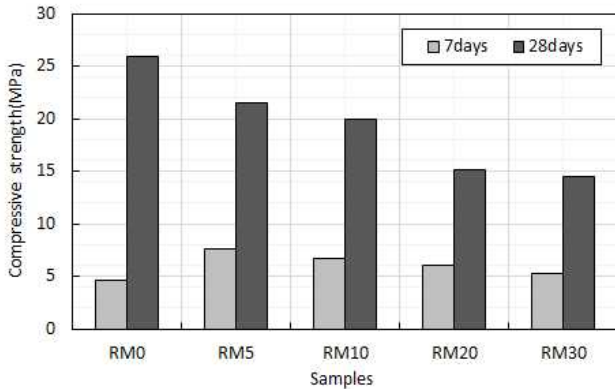


Figure 4. Compressive strength

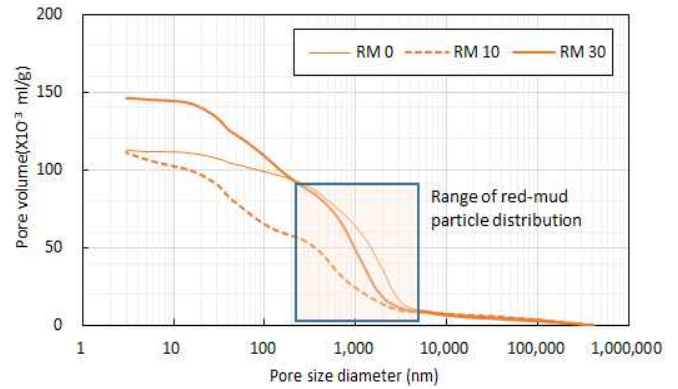


Figure 5. Pore volume

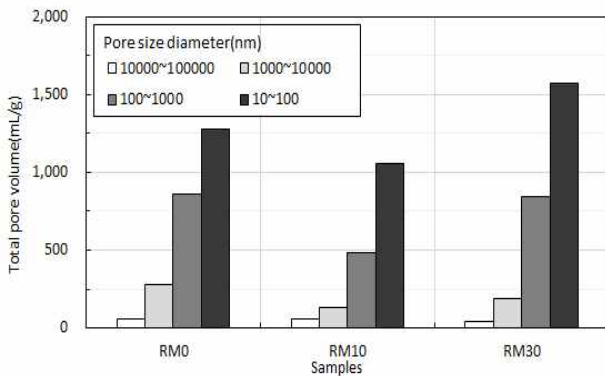


Figure 6. Pore size distribution

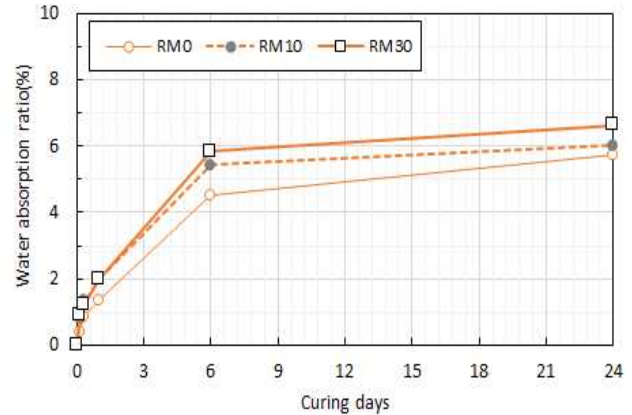


Figure 7. Water absorption ratio

시멘트에 레드머드를 혼입하면 전체 기공량은 증가하는 경향으로 나타났다. 특히 200nm~7000nm 공극 사이즈의 기공량은 무혼입과 비교하여 큰 차이를 나타내고 있다. 이를 구체적으로 나타낸 Figure 6의 기공 사이즈에 따른 기공량을 살펴보면 레드머드의 혼입에 의하여 기공사이즈 1000~10000nm의 기공량은 감소하고 있는데 이는 평균입경이 2.75인 레드머드의 충전에 의한 것으로 사료된다. 반면 레드머드 30% 혼입에 의하여 기공사이즈 10~100nm의 기공량은 증가하고 있는데 이는 레드머드를 결합재 대신 사용함으로써 시멘트량이 감소하고 이에 따른 수화물량이 감소하였기 때문으로 사료된다.

레드머드를 혼입함으로써 일반적으로 알려져 있는 직경 10~1000nm의 모세관 공극(2)은 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 모세관작용에 의한 물흡수계수의 증가와 더불어 백화를 발생시키는 경화체 내의 가용성 염이 용해되어 콘크리트 표면으로 이동하는 이동 통로가 증가됨으로서 백화발생 가능성이 높아지게 된다. 따라서 레드머드를 첨가하게







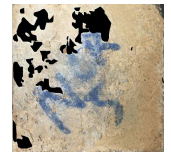
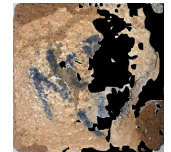

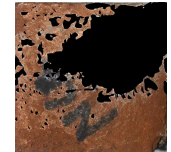
되면 백화발생의 원인이 되는 경화체 내부의 알칼리 성분의 증가와 더불어 공극구조도 백화가 발생하기 좋은 조건으로 변하는 것을 알 수 있다.

3.3 흡수율

콘크리트의 백화 중 2차 백화는 경화체가 경화 후 외부로부터 유입, 침투되는 수분에 의하여 모세관기공이 표면까지 물로 채워진 경우 수분침투수에 용해된 알칼리 성분이 표면까지 용출, 이동하여 석출 또는 대기중의 CO₂ 가스와 반응을 일으켜 발생된다. 따라서 수밀성을 평가하는 지표인 흡수율이 클수록 콘크리트의 백화 발생 가능성은 높아지게 된다.

레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 흡수율을 Figure 7에 나타내었다. 레드머드 혼입에 의하여 무혼입 시험체와 비교하여 흡수율은 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 시험체를 수중에 침지하면 수분이 모세관 현상을 통해 내부로 흡수되어 흡수율이 증가하게 되는데 레드머드를 혼입하게 되면 기공직경 10~100nm의 모세관 공극이 증가하여 흡수율이 증가된 것으로 사료된다.

Table 6. Efflorescence test

Sample	RM0	RM5	RM10	RM20	RM30
Efflorescence					
Image processing result					
Efflorescence area(%)	0.3	8.2	19.4	37.7	40.6
Degree	I	II	III	IV	IV

3.4 백화시험

레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 시멘트 모르타르의 백화발생 사진을 Table 6에 나타내었으며 백화발생 면적별 등급을 Figure 7에 나타내었다. 레드머드 첨가율이 증가할수록 백화면적이 증가하고 있으며 레드머드 대체율 5%까지는 백화발생면적 10% 미만의 II등급 수준을 보이고 있으나 10%이상 사용시 백화발생면적은 급격히 증가하였다. 레드머드 대체율 10%에서는 백화발생면적 30%미만의 III등급, 레드머드 대체율 20%이상에서는 백화발생면적 50%미만의 IV등급으로 나타났다.

알칼리활성화 슬래그-레드머드 시험체에 발생된 백화물질을 EDS 분석하였으며 그 결과를 Figure 9에 나타내었다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화 물질 분석결과 백화 성분은 Na가 가장 많은 양을 차지하고 있었으며, Ca 및 Al도 미량이 나타났다. Na의 경우 알칼리활성화 슬

래그 레드머드 시험체 백화에서 23.31%를 나타내고 있어 백화의 주요한 원인이 레드머드 첨가시 혼입되어진 Na₂O인 것으로 판단되어진다. 한편 S의 경우 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시험체 백화에서 14.86%으로 매우 높게 나타나고 있으며 이는 알칼리활성화 시멘트에서 고로슬래그미분말의 자극제로 산업부산물이인 탈황석고를 사용하여 SO₃ 성분이 5.2%로서 상대적으로 많은 양이 포함되어져 있고 경화체에서도 미반응 황산염이 용해되어 표면으로 용출된 것으로 판단된다.

알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화물질 XRD 분석결과를 Figure 10에 나타내었다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화는 Na₂SO₄가 주요 백화물질로 나타나며 백화물질은 주로 나트륨계 화합물인 것으로 나타났다. 일반적인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트 백화에서 발생되는 CaCO₃가 일부 나타났지만 레드머드 혼입시

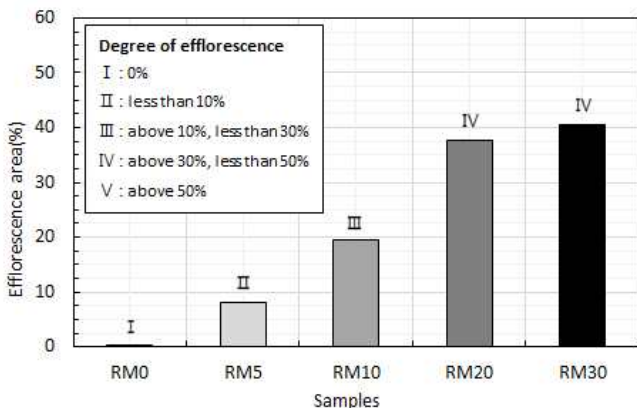


Figure 8. Efflorescence area

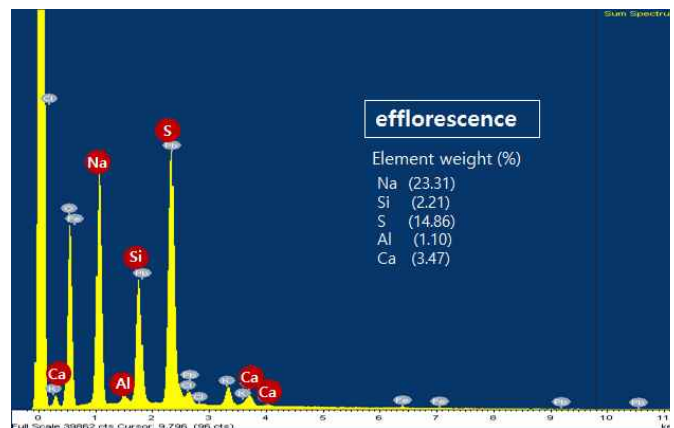


Figure 9. EDS analysis results of efflorescence

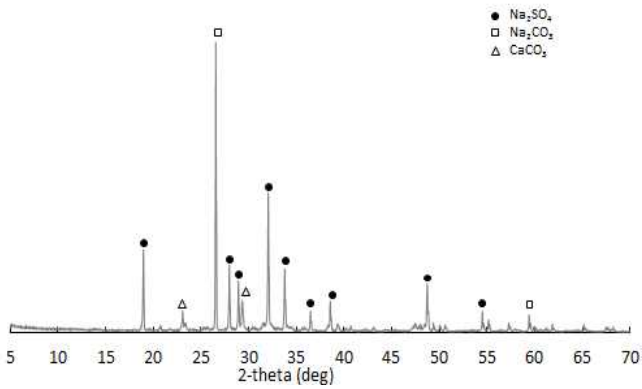
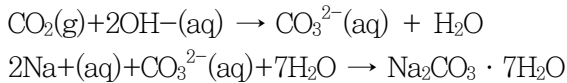


Figure 10. XRD analysis results of efflorescence

나타난 백화의 주성분이 나트륨계 화합물인 것은 백화원인이 레드머드인 것으로 판단된다.



알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화는 레드머드에서 공급되는 Na와 고로슬래그미분말의 자극제로서 사용된 탈황석고에서 공급되는 SO₃가 반응하여 생성된 것으로 추정되는 Na₂SO₄가 주를 이루고 있다.

3.5 용출시험

백화시험 전 후의 시험체로부터 용출시킨 가용성 Ca⁺ 및 Na⁺의 용출량을 Figure 11에 나타내었다.

백화시험 후 시험체에서의 가용성 Ca⁺ 용출량은 시험전과 비교하여 모든 시험체에서 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 백화시험에서 시험체를 28일 동안 20℃에서 양생한 후 옆면은 실링처리 하고 하부면만 침지시키게 되는데 물의 흡수가 모세관 현상에 의하여 하부에서 상부로 향하게 된다. 이로 인하여 시험체 하부의 Ca⁺가 용해되어 상부표면으로 이동한 것으로 판단되며 백화시험 후에도 상당량의 Ca⁺가 시험체 내부에 잔존하고 있는 것으로 사료된다.

용출시험에서 가용성 Na⁺의 경우 결합재로 사용한 알칼리활성화 시멘트 성분에서는 Na₂O가 거의 나타나지 않고 있기 때문에 Na₂O의 주요 공급원은 레드머드인 것으로 판단된다. 따라서 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트에서의 백화시험 전 Na⁺ 용출량은 레드머드 대체율이 0%에서

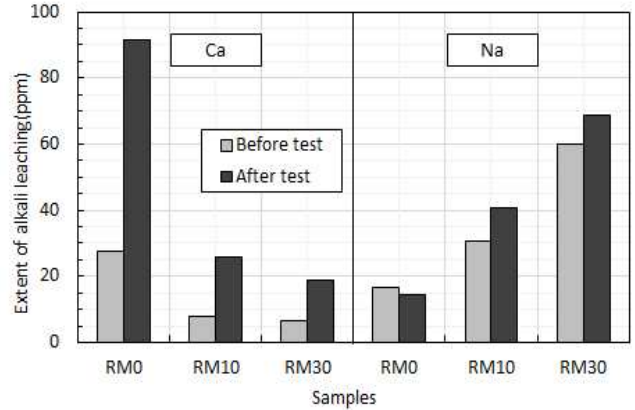


Figure 11. Alkali leaching result

16.7ppm, 레드머드 대체율 10%에서 30.8ppm, 레드머드 대체율 30%에서 60.0ppm으로 나타났으며 백화시험 후 용출량은 백화시험 전과 유사한 수준을 보이고 있다. 또한 Na⁺ 용출량은 레드머드 대체율이 증가할수록 증가하며 백화발생 면적도 증가하고 있다. 이는 시험체 표면에 발생한 백화를 제거한다고 하더라도 이후에 또다시 백화 발생의 잠재 가능성이 있는 것으로 판단된다.

용출량과 백화발생 특성을 살펴보면 Ca⁺ 용출량이 Na⁺ 용출량보다 많았지만 Na₂SO₄가 백화성분 중 가장 많이 발생하고 있으며 CaCO₃는 미미하게 발생되었다. 또한 레드머드 대체율이 증가할수록 Na⁺의 용출량은 증가하며 백화발생 면적도 증가하였다. 이는 백화 발생의 주요한 잠재 요소인 Ca⁺ 및 Na⁺ 중 본 연구의 범위에서는 Na⁺의 용출량이 백화발생에 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 결 론

알칼리활성화 시멘트에 레드머드를 활용하고자 레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 기공 및 백화특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 레드머드 대체율에 따른 압축강도는 14.5~26.0MPa로서 레드머드를 대체율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 2) 레드머드를 대체율에 따른 기공은 직경 10~1000nm의

모세관 공극이 증가하게 되고 모세관작용에 의한 흡수를 커지게 됨으로서 백화를 발생시키는 경화체 내부의 가용성 염이 용해되어 콘크리트 표면으로 이동하는 이동 통로가 증가되어 백화발생 가능성은 높아지게 된다.

- 3) 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 레드머드 침가율이 증가할수록 백화면적이 증가하며 레드머드 대체율 5%까지는 백화발생면적 10% 미만의 II 등급 수준을 보이고 있으나 10%이상 사용시 백화발생면적은 급격히 증가하였다.
- 4) 알칼리화성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화물질은 Na_2SO_4 가 가장 많이 나타나며 다음으로 Na_2CO_3 가 나타나 백화의 주요 발생원인은 Na^+ 로 판단되며 Na^+ 의 주요 공급원은 레드머드일 것으로 판단된다.
- 5) 레드머드 대체율이 증가할수록 가용성 Na^+ 용출량은 증가하여 백화발생 면적은 증가하였으며, 백화 발생의 주요한 잠재 요소인 가용성 Ca^+ 및 Na^+ 가 동시에 존재할 경우 용해도가 높은 Na^+ 의 용출량이 작더라도 백화발생에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트 모르타르의 압축강도, 기공특성, 흡수율, 용출특성 및 백화 특성을 검토하여 알칼리활성화 슬래그 시멘트에 나트륨계 자극제인 레드머드를 사용함으로써 발생될 수 있는 백화특성을 확인하였다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트에서 레드머드 대체율이 높아질수록 10~100nm 직경의 기공은 증가하였으며 백화면적이 증가하는 것으로 나타났다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 백화물질은 Na_2SO_4 가 가장 많이 생성되며 다음으로 Na_2CO_3 로 백화의 발생원인은 레드머드에서 공급되는 Na^+ 인 것으로 판단된다.

키워드 : 알칼리활성화, 레드머드, 백화, 기공률

Acknowledgement

This research was supported by a grant (16CTAP-C115206-01) from Infrastructure and transportation technology promotion research Program funded by

Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Pacheco-torcal, Fernando, Labrincha, Joao, Leonelli, C. Handbook of Alkali-activated cements, Mortars and Concretes. USA: Elsevier Science Ltd; 2014, Chapter 9, Analysing the relation between pore structure and permeability of alkali-activated concrete binders; p,243-57.
2. Moon KJ. Properties of non-sintered cement and concrete recycled with industrial waste. Ph,D thesis. Korea: Chonbuk National University; 2004. 319 p.
3. Kim TW, Hahm HG. The strength properties activated granulated ground blast furnace slag with aluminum potassium sulfate and sodium hydroxide. Journal of the Korea Concrete Institute. 2015 12;27(2):95-102.
4. Pontikes Y, Angelopoulos GN. Bauxite residue in cement and cementitious applications : Current status and a possible way forward, Resources, Conservation and Recycling. 2013 1;73: 53-63.
5. Daniel VR, Joao AL, Marcio RM. Potential use of natural red mud as pozzolan for portland cement, Materials Research, 2011 11;14(1):60-6.
6. Pan Z, Cheng L, Lu Y, Yang N. Hydration products of alkali-activated slag-red mud cementitious material, Cement and Concrete Research, 2002;32(3):357-62.
7. Pan Z, Li D, Yu J, Yang N. Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material, Cement and Concrete Research, 2003 2;33(9):1437-41.
8. Kang SP, Kwon SJ. Effects of red mud and alkali-activated slag cement on efflorescence in cement mortar, Construction and Building Materials, 2017 12;133:459-67.
9. Kang SP, Kang HJ. Durability of alkali-activated slag-red mud cement mortar using polymer, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2017 1;33(1):81-8.