

# 레드머드 대체율에 따른 결합재별 흙포장재의 특성

## Characteristics of Soil Pavement by Red Mud Content and Binder Type

강석표<sup>1</sup> · 강혜주<sup>1\*</sup> · 김재환<sup>2</sup> · 김병기<sup>2</sup>

Suk-Pyo Kang<sup>1</sup> · Hye-Ju Kang<sup>1\*</sup> · Jae-Hwan Kim<sup>2</sup> · Byeong-Ki Kim<sup>2</sup>

(Received February 23, 2017 / Revised March 16, 2017 / Accepted March 17, 2017)

Red mud is an inorganic by-product produced from the mineral processing of alumina from Bauxite ores. 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. This study is to investigate the optimum water content, compressive strength, water absorption and efflorescence of alkali-activated slag-red mud soil pavement according to binder type. The results showed that the optimum water content, moisture absorption coefficient and efflorescence area of alkali-activated slag-red mud soil pavement increased but the compressive strength of that decreased as the redmud content increased.

**키워드** : 알칼리활성화 슬래그-레드머드 흙포장재, 최적 함수비, 흡수율, 백화

**Keywords** : Alkali-activated slag-red mud soil pavement, Optimum water content, Water absorption, Efflorescence

### 1. 서론

최근 지방 자치단체를 중심으로 문화탐방로, 자전거도로 및 주차장(광장)등을 건설하면서 친환경적이고 정서적인 안정감을 주는 흙포장재의 보급이 확대되고 있다. 국내 흙포장 시장규모는 2012년부터 2014년까지의 조달청 나라장터 계약금액을 근거로 평균하여 산출한 결과 평균 약 2,500억 원으로 분석된다.

천연 흙포장의 경우 천연 황토 또는 마사토에 시멘트 또는 고화재와 같은 결합재를 혼합하여 다짐하는 방법으로 시공되어지고 있다. 그러나 흙의 재질 자체가 시멘트의 수화작용과 잘 맞지 않기 때문에 콘크리트와 비교하여 상당히 고가이지만 내구성이 현저히 저하되어 표면 파괴, 포장면에서 마사토의 날림 등과 같은 현상으로 흙포장 자체에 대한 부정적인 이미지를 심어주고 있는 실정이다.

이와 같은 고가의 낮은 내구성을 지닌 천연 흙포장재를 대체할 수 있는 방법으로서 보오크사이트 원광석에서 생산되는 알루미늄의 선광과정에서 발생하는 무기질 부산물인 레드머드를 활용하고

자 하는 연구가 국내에서 이루어지고 있다(Kang 2015). 레드머드는 화학조성에서  $Fe_2O_3$ 를 약 22%를 차지하고 있어 붉은 황토색을 띠고 있으며 이는 천연 황토와 같은 색감으로 천연 흙포장을 대체할 수 있는 흙포장재에 활용하기 적절할 것으로 판단된다.

산업부산물 레드머드는 자체적으로 pH 11이상의 매우 높은 알칼리성 무기질 폐기물로서, 원상태에서 주변 생태계에 악영향을 끼치게 되므로 적절한 처리가 필요하다. 그러나 레드머드에 10~15% 함유되어져 있는  $Na_2O$ 는 슬래그나 알루미늄 규산염 광물이 해리되어 축중합을 통해 안정한 수화물을 생성하기 위한 자극제나 촉진제로서 액상 규산나트륨(Sodium Silicate) 대신 활용 가능하거나 지연제로서 인산나트륨(Sodium Phosphate) 대신 활용 가능하며 각종 건설자재로서의 재활용이 가능하다(Pontikes 2013; Daniel 2011).

강알칼리성의 레드머드를 건설산업용 촉진제로서 활용하고자 하는 연구로서 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트가 국내외적으로 발표되고 있다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트는

\* Corresponding author E-mail: leekang02@nate.com

<sup>1</sup>우석대학교 건축학과 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

<sup>2</sup>(주)에이엠에스 엔지니어링(AMS Engineering, Daejeon, 34071, Korea)

알칼리활성화 시멘트 연구의 일환으로서 시멘트 조성에서 알칼리 자극제, 고로슬래그와 레드머드로 구성되어 있으며, 포틀랜드시멘트를 사용하지 않는 클링커 프리 시멘트(Clinker Free Cement)를 의미한다. 유사한 시멘트계 재료로서 알칼리활성화 슬래그시멘트, 알칼리활성화 슬래그-플라이애시시멘트, 알칼리활성화 슬래그-포졸란시멘트 등이 있다. 알칼리활성화 슬래그-레드머드시멘트는 레드머드를 액상 규산나트륨 또는 가성소다와 같은 고로슬래그미분말의 자극제로서 활용하고자 하는 것으로서 2000년 초반 중국에서 처음으로 발표되었다(Pan 2002; Pan 2003). 국외의 경우 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트는 알칼리자극제, 고로슬래그와 레드머드로 구성되어 있으며, 보통 포틀랜드시멘트와 비교하여 초기강도 발현특성이 우수하고 화학저항성이 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 알칼리자극제로서 수산화나트륨 수용액(NaOH)과 규산나트륨 수용액( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )과 같은 강알칼리성 액상 촉진제를 사용함으로써 제조원가가 상승되고 취급상의 애로사항이 발생되어 활용측면에서 제한적이었다. 반면 국내의 경우 자극제로서 고가의 액상 자극제 대신 활용 가능한 분말 산업부산물을 레드머드와 함께 활용하고자 하는 연구가 수행되어지기도 하였다(Kang 2012; Kwan 2016).

한편 시멘트 및 콘크리트 연구자들에게 백화는 구조적으로 문제가 되지 않는다는 근거로 상대적으로 적은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 그러나 알칼리활성화 시멘트의 경우 백화에 매우 취약하고 심한 경우에는 구조적으로 문제가 될 수도 있는 유해한 백화가 발생되기도 한다. 특히 나트륨 계열의 자극제를 사용하는 알칼리활성화 결합재는 백화에 더욱 취약한 것으로 알려져 있다. 이것은 미반응 상태로 존재하는  $\text{Na}_2\text{O}$ 가 증가할수록  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 증가하고 알칼리활성화 결합재의 생성물인 알루미늄실리케이트

구조에서 나트륨 이온이 상대적으로 쉽게 이동할 수 있어 포틀랜드 시멘트와 비교하여 백화발생에 매우 취약한 것으로 알려져 있다(Dowa 2003; Kanj 2012; Zhang 2014).

따라서 본 논문은 산업부산물인 레드머드를 건설산업에 활용하기 위한 연구의 일환으로서 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트로 흙포장재를 제조하였으며 이를 위하여 레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 흙포장재의 최적함수율, 압축강도, 흡수율, 백화발생 특성에 대하여 비교·검토하였다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

레드머드를 활용한 알칼리활성화 슬래그-레드머드 흙포장재의 특성을 검토하고자 하는 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 이를 위하여 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)와 알칼리활성화 슬래그 시멘트(AAS)를 사용하였으며 레드머드는 각각의 시멘트 중량에 대하여 0, 5, 20, 40, 60% 대체하여 사용하였다. 배합수량을 제외한 흙포장 총 중량에 대하여 결합재를 10% 사용하여 건식 흙포장재를 제작하였다. 사용배합수량은 최적함수비를 구하여 결정하였으며 실험항목으로는 압축강도, 흡수율, 백화시험을 실시하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 결합재

본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트와 알칼리활성화 슬래그 시멘트로 물리화학적 성질을 Table 2에 나타내었

Table 1. Experimental plan and mix design

Type of binder		Binder(%)		Binder content(%)	Water content (%)	W/B(%)	Test items
		Cement	Red mud				
Alkali-activated slag red mud cement(AAS)	AAS0	100	0	10	Optimum water content	Changed by the optimum water content	- Compressive strength - Water absorption - Efflorescence
	AAS5	95	5				
	AAS20	80	20				
	AAS40	60	40				
	AAS60	40	60				
Ordinary portland cement(OPC)	OPC0	100	0				
	OPC5	95	5				
	OPC20	80	20				
	OPC40	60	40				
	OPC60	40	60				

다. 본 연구에서 사용한 결합재 중 보통 포틀랜드 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 또한 알칼리활성화 슬래그 시멘트는 국내 C사에서 시제품으로 제조되어진 고로슬래그 미분말을 기반으로 하는 알칼리활성화 슬래그 시멘트를 사용하였다. 알칼리활성화 슬래그 시멘트는 고로슬래그미분말의 주요 자극제로서 탈황석고를 사용하는 산업부산물만으로 제조된 클링커프리 시멘트이다. 알칼리활성화 슬래그 시멘트의 화학조성은 SiO<sub>2</sub> 21.2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8.8%, CaO 46.6%, SO<sub>3</sub> 11.5%로서 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 조성비율이 높고 CaO의 조성비율이 낮은 것으로 나타났다. 또한 물리적 특성으로서 비표면적은 4,058cm<sup>2</sup>/g, 밀도는 2.83g/cm<sup>3</sup>이다.

### 2.2.2 레드머드

레드머드(Red mud)는 보오크사이트 원광석으로부터 수산화알루미늄(Al(OH)<sub>3</sub>) 및 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 제조하는 공정에서 발생하는 산업부산물이다. 국내의 경우 레드머드는 Bayer Process를 통하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1톤을 생산하면 함수율 40~60%의 슬러지 상태로 대략 2톤이 발생되며, 발생량은 국내 발생량의 대부분을 차지하고 있는 K사에서만 연간 약 20만톤이 슬러지 상태로 발생되고 있다. 본 논문에서 사용한 레드머드는 함수율 40~60%의 상태로 배출되고 있는 슬러지를 함수율 10%내외로 건조 및 분쇄시켜 사용하였다. 레드머드 화학조성은 Table 3에 나타난 바와 같이 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 약 80%를 차지하고 있으며, 레드머드가 황토색으로 나타

나게 하는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 22.8%를 차지하고 있다. 또한 레드머드가 건설재료로서 활용시 백화의 원인으로 작용하는 Na<sub>2</sub>O는 10.0%를 차지하고 있다. 이는 보오크사이트 원석으로부터 알루미늄 추출과정에서 수산화나트륨(NaOH)을 추출액으로 사용하기 때문에 미회수 수산화나트륨 용액이 레드머드에 남아있어 강알칼리성을 나타내는 것으로 이를 알칼리활성화 슬래그 시멘트에 혼입시 고로슬래그 미분말의 자극제로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

건조 레드머드의 물리적 특성은 함수율 10.2%의 건조분말로서 진밀도는 3.50g/cm<sup>3</sup>로 시멘트와 비교하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한 건조 레드머드의 비표면적은 23.53m<sup>2</sup>/g, 평균입경은 2.75μm로서 레드머드의 입도분포를 나타낸 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그미분말 등의 평균입경 20~30μm와 비교하여 약 1/10에 해당되며 마이크로시멘트 평균입경 4~6μm보다도 작은 것으로 나타났다.

### 2.2.3 골재

본 논문에서 사용한 부순 잔골재의 물리적 특성을 Table 4에 나타내었다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 최적 함수비

흙포장재는 함수비에 따라 다짐의 효과 및 건조밀도가 달라진

Table 2. Physical properties and chemical composition of binder

Type of binder	Specific surface area(cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ig. loss	Chemical composition(%)					
				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>
OPC <sup>1)</sup>	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2
AAS <sup>2)</sup>	4,058	2.83	2.23	22.1	8.9	1.4	54.9	3.3	5.2

1) OPC : Ordinary portland cement 2) AAS : Alkali-activated slag cement

Table 3. Properties of red mud

Type	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Average particle diameter (μm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Moisture content ratio(%)	Chemical composition(%)							
					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
Red mud	3,144	2.75	3.15	10.2	38.8	16.1	22.8	3.4	0.2	0.0	10.0	0.4

Table 4. Properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption(%)	0.08mm sieve passing(%)	Fineness modulus	Solid volume percentage(%)	Amount of clay mass(%)	Stability(%)
Crushed aggregate	2.59	1.31	1.18	2.92	58.92	-	5.6

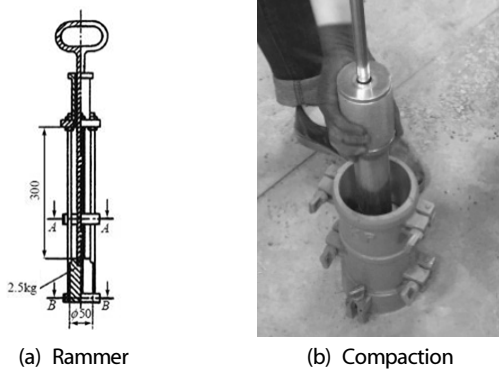


Fig. 1. Compaction rammer

다. 함수비가 증가함에 따라 흡속의 물이 유향제 역할을 하게 되어 다짐효과가 높아지고 건조밀도가 높아지는데 최대 건조밀도가 얻어질 때의 함수비를 본 논문에서의 최적 함수비로 설정하였다. 본 논문에서는 최적 함수비( $w_{opt}$ , O.M.C)를 산정하기 위해 흡포장재의 배합 후 경화까지 시간이 소요되는 점을 감안하여 다짐방법은 KS F 2312의 A 다짐방법에 의한 반복법으로 실시하였다. 사용한 몰드의 내경(D)은 10.0cm, 높이(h)는 12.7cm로 체적은 1,000cm<sup>3</sup>이다. 래머는 Fig. 1의 (a)에 나타난 바와 같이 직경 5cm, 낙하고 30cm, 무게는 2.5kgf이며, 총당 25회로 3층 다짐을 실시하였다.

흡포장재의 다짐에 의한 함수비(w)를 구하고 다음 식에 의하여 습윤밀도 및 건조밀도를 산출 한 후 다짐곡선에 따라 최대 건조밀도 및 최적 함수비를 결정하였다.

$$Y_t = \frac{M_2 - M_1}{V} \tag{1}$$

여기서,  $Y_t$ 는 습윤밀도(g/cm<sup>3</sup>)이며,  $M_2$ 는 다진 후의 전체 질량(g)이며,  $M_1$ 는 몰드와 밑판의 질량(g)이며  $V$ 는 몰드의 용량(cm<sup>3</sup>) 이다.

$$Y_d = \frac{Y_t}{1 + \frac{w}{100}} \tag{2}$$

여기서,  $Y_d$ 는 건조밀도(g/cm<sup>3</sup>)이며,  $Y_t$ 는 습윤밀도(g/cm<sup>3</sup>)이며,  $w$ 는 함수비이다.

### 2.3.2 압축강도

건식 흡포장재의 압축강도 시험체 제작은 흡콘크리트 단체표준 규격(SPS-KSCICO-001: 2013)에 준하여 계획된 흡포장재 배합에

산출된 최적 함수비에 의한 함수량을 혼합하여 팬타입 믹서로 3분 간 혼합한 후 토출하여  $\Phi 10 \times 20$ cm 몰드에 래머를 사용하여 제작 하였다. 래머는 직경 5cm, 낙하고 30cm, 무게는 2.5kgf이며, Fig. 1의 (b)와 같이 총당 25회로 3층 다짐을 실시하였다. 압축강도 시험은 제작한 공시체를 7일 및 28일 기건 양생 후 KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법에 의하여 측정하였다.

### 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 건식 흡포장재의 압축강도 시험체 제작과 동일하게  $\Phi 10 \times 20$ cm 몰드에 직경 5cm, 낙하고 30cm, 무게는 2.5kgf의 래머로 25회 1층 다짐하여 제작하였다. 제작된 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  $20^\circ\text{C}$ 의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 10분, 30분, 1시간, 6시간, 24시간에 시험체의 물흡수량을 측정하였으며 물흡수량을 시험체 질량으로 나누어 흡수율을 산정하였다.

### 2.3.4 백화 시험

본 논문에서의 백화 시험은 일본 건재시험센터에서 개발한 시멘트계 재료의 백화시험 방법에 준하여 실시하였다.

흡포장재 백화 시험체 제작은 건식 흡포장재의 압축강도 시험체 제작과 동일하게  $\Phi 10 \times 20$ cm 몰드에 직경 5cm, 낙하고 30cm, 무게는 2.5kgf의 래머로 25회 1층 다짐하여 제작하였다. 제작된 흡포장재 시험체를  $20^\circ\text{C}$ , 다습조건에서 1일 양생 후 탈형하고, 1일동안  $80^\circ\text{C}$  건조하였다. 시험편의 측면을 파라핀으로 실링처리 한 후 증류수에 침지하고,  $7^\circ\text{C}$ , 50% 조건에서 14일 침지하였다.  $80^\circ\text{C}$ 에서 1일 동안 건조한 후 사진 촬영하여 백화현상을 측정하였

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%

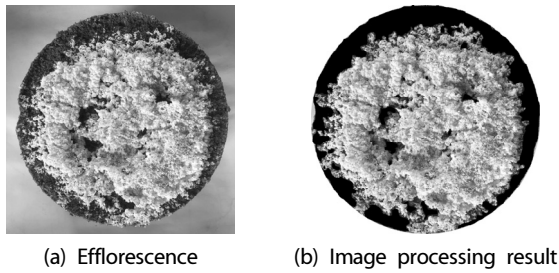


Fig. 2. Efflorescence test

으며 백화면적은 ‘페인트넷’ 프로그램을 이용하여 면적을 구한 후 Fig. 2에 나타난 바와 같이 화상처리하여 정량화하였다. 또한 백화발생 등급을 Table 5에 나타난 바와 같이 백화 발생 면적 비율에 따라 5등급으로 구분하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 최적함수비

레드머드를 활용한 흙포장재의 최적 함수비 및 최대 건조밀도를 Fig. 3에 나타내었다. 결합재를 알칼리활성화 시멘트로 사용한 경우 최적함수비는 9.4~9.8% 수준으로 나타났으며 최대건조밀도는 2,034~2,044t/m<sup>3</sup> 수준으로 나타났다. 최적함수비는 레드머드 대체율이 높아질수록 다소 증가하는 경향을 보였다. 결합재를 보통 포틀랜드 시멘트로 사용한 경우 최적함수비는 9.4~9.8% 수준으로 나타났으며 최대건조밀도는 2,034~2,044t/m<sup>3</sup> 수준으로 나타나 알칼리활성화 시멘트와 비슷한 경향을 보였다. 레드머드를 활용한 흙포장재는 결합재 종류와 상관없이 레드머드 대체율이 증가할수록 최적함수비는 증가하는 경향을 보였으며 결합재에 따른

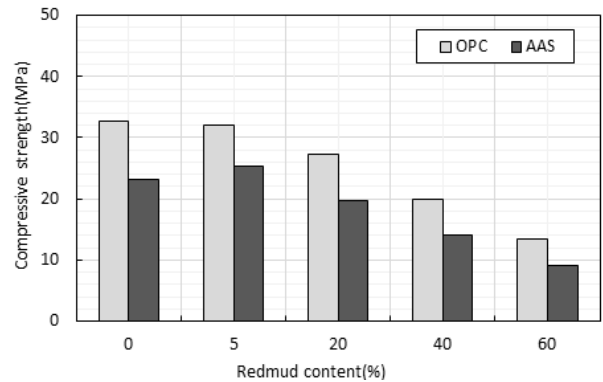
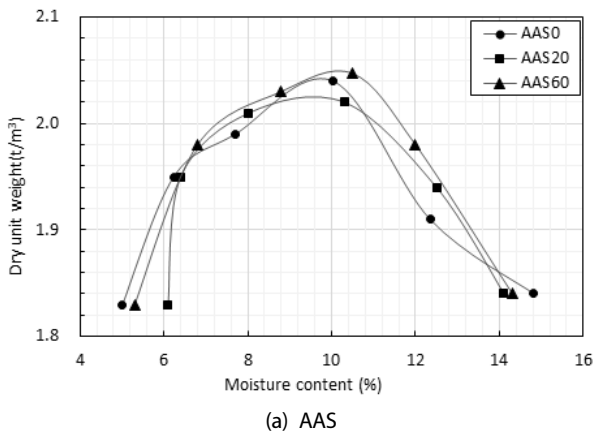


Fig. 4. Compressive strength

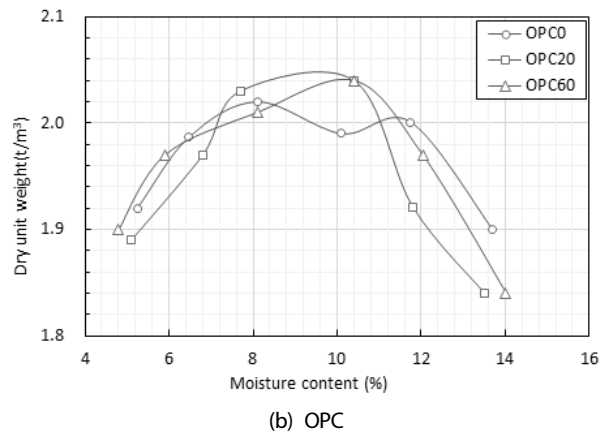


Fig. 3. Optimum water content

큰 차이는 보여지지 않는 것으로 나타났다.

#### 3.2 압축강도

레드머드를 활용한 흙포장재의 압축강도 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 결합재를 알칼리활성화 시멘트로 사용한 흙포장재의 28일 압축강도는 AAS0에서 23.1MPa, AAS5에서 25.3MPa, AAS20에서 19.8MPa, AAS40에서 14.0MPa, AAS60에서 9.0MPa를 나타내며 레드머드를 5% 대체할 경우 강도는 다소 증가하는 것으로 나타났으나 20% 이상에서는 레드머드를 대체할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 레드머드 대체율 5%까지는 레드머드가 고로슬래그의 자극제로서 작용하여 레드머드를 대체하지 않은 시험체보다 압축강도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 레드머드 대체율 20%이상에서는 레드머드 대체에 따른 결합재의 손실로 압축강도가 낮아지는 것으로 사료된다. 결합재를 보통 포틀랜드 시멘트로 사용한 흙포장재의 28일 압축강도는 OPC0에서

32.7MPa, OPC5에서 32.0MPa, OPC20에서 29.2MPa, OPC40에서 19.9MPa, OPC60에서 13.3MPa를 나타내며 레드머드 대체율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.2.1 흡수율

레드머드를 활용한 흙포장재의 흡수율을 Fig. 5에 나타내었다. 레드머드를 활용한 결합재별 흡수율은 레드머드를 대체할수록 높아지는 것으로 나타났다.

결합재를 알칼리활성화 시멘트로 사용한 경우 흡수율은 AAS0에서 9.4%, AAS5에서 6.9%, AAS20에서 11.6%, AAS40에서 21.3%, AAS60에서 38.9%를 나타내 레드머드 대체율이 증가할수록

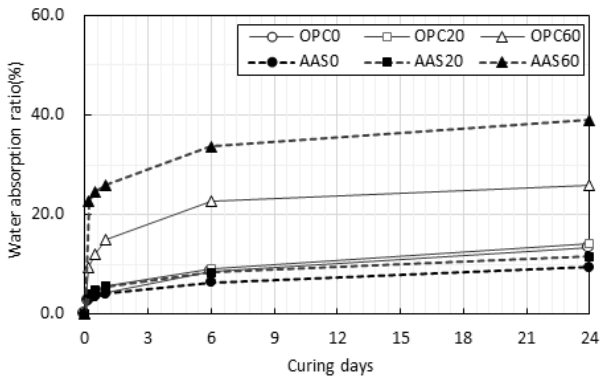
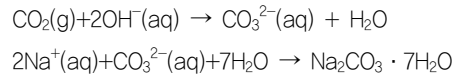


Fig. 5. Water absorption ratio

흡수율은 증가하는 것으로 나타났다. 결합재를 보통 포틀랜드 시멘트로 사용한 경우 OPC0에서 13.3%, OPC5에서 17.2%, OPC20에서 14.1%, OPC40에서 21.9%, OPC60에서 25.9%로 나타났다. 이는 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트의 기존 연구결과와 같이 결합재에 레드머드를 대체하게 되면 직경 10~1,000nm의 모세관 공극이 증가하여 흡수율이 높아진 것으로 사료된다 (Kang 2017). 또한 레드머드 대체에 의한 흡수율이 높아지면 가용성 염이 쉽게 경화체 내에 용해되고 콘크리트 표면으로 이동량이 증가되어 백화 발생면적이 증가할 것으로 사료된다.

### 3.2.2 백화시험

보통 포틀랜드 시멘트에 레드머드를 대체한 시험체 백화는 레드머드에서 공급되는 Na와 대기중의 CO<sub>2</sub> 가스가 반응하여 생성되는 일반적인 알칼리탄산염 백화인 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O이다. 이는 NaOH 및 물유리와 같은 나트륨계 자극제로부터 Na가 충분히 공급되어 발생하는 지오폴리머 백화물질의 생성메커니즘과 유사하다(Dowa 2003; Kanj 2012; Zhang 2014).



결합재 종류별 레드머드 대체율에 따른 흙포장재의 백화시험 결과를 Fig. 6 및 Table 6에 나타내었다. 레드머드 대체율에 따른

Table 6. Efflorescence test

Redmud content(%)	0	5	20	40	60
Alkali-activated slag red mud cement					
Efflorescence area(%)	2.2	15.8	22.3	58.1	74.9
Degree	II	III	III	V	V
Ordinary portland cement					
Efflorescence area(%)	7.1	17.0	26.9	69.5	78.2
Degree	II	III	III	V	V

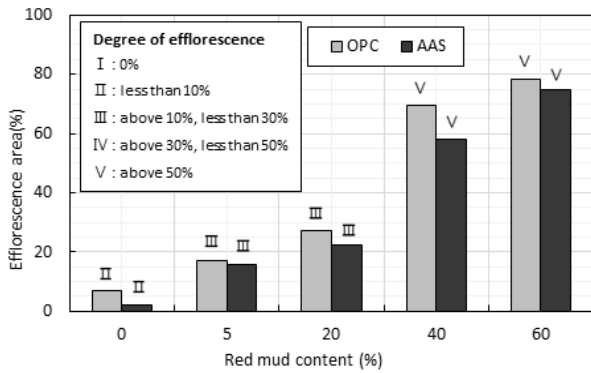


Fig. 6. Degree of efflorescence

알칼리활성화 시멘트 흙포장재의 백화발생 비율 및 등급은 AAS0에서 2.2%로서 II등급, AAS5에서 15.8%로서 III등급, AAS20에서 22.3%로서 III등급, AAS40에서 58.1%로서 V등급, AAS60에서 74.9%로서 V등급으로 구분되었다.

보통 포틀랜드 시멘트의 경우 레드머드 대체율에 따른 흙포장재의 백화발생비율에 따른 백화등급은 OPC0에서 7.1%로서 II등급, OPC5에서 17.0%로서 III등급, OPC20에서 26.9%로서 III등급, OPC40에서 69.5%로서 V등급, OPC60에서 78.2%로서 V등급으로 구분되었다.

레드머드 대체율에 따른 백화는 결합재 종류와 상관없이 레드머드 대체율이 증가할수록 증가하였으며 5% 이상의 대체율에서 백화발생면적 10%~30%인 백화등급 III등급을 보이며 레드머드를 대체할수록 등급이 높아지며 백화발생 확률이 매우 높을 것으로 판단되어진다. 결합재 및 레드머드 양을 동일하게 사용할 경우 백화발생 인자의 함유량이 동일하게 되고 백화발생은 경화체 내의 물리적 특성에 좌우될 것이다.

#### 4. 결론

레드머드를 흙포장재에 활용하기 위한 대체율에 따른 결합재별 건식 흙포장재의 최적함수율, 압축강도, 흡수율, 백화발생 특성에 대하여 비교·검토한 결과는 다음과 같다.

1. 결합재 종류별 레드머드 대체율에 따른 다짐시험 결과 결합재를 알칼리활성화 슬래그 시멘트(AAS)로 사용한 경우 최적함수비는 9.4~9.8%로 나타났으며 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용한 경우 9.4~9.8%로 나타나 결합재에 따른 차이는 미미한 것으로 나타났다.
2. 결합재 종류별 레드머드 대체율에 따른 압축강도의 경우 알칼

리활성화 슬래그 시멘트(AAS)에 레드머드를 대체한 흙포장재는 알칼리활성화 슬래그 시멘트(AAS)만을 사용한 시험체와 비교하여 레드머드 대체율이 5%까지는 다소 증가하였지만 레드머드 대체율 20%이상에서는 대체율이 증가할수록 감소하였다. 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)에 레드머드를 대체할 경우 압축강도는 레드머드 대체율이 증가할수록 감소하였다.

3. 알칼리활성화 슬래그 시멘트(AAS)와 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)에 레드머드를 대체할 경우 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용한 흙포장재보다 알칼리활성화 시멘트(AAS)를 사용한 흙포장재의 흡수율이 더 높은 것으로 나타났으며 결합재 종류와 상관없이 레드머드 대체율이 높아질수록 흡수율은 높아지는 것으로 나타났다.
4. 결합재 종류별 레드머드 대체율에 따른 백화시험 결과 결합재 종류별 흙포장재의 백화발생비율은 유사한 경향을 보였으며 레드머드 대체율이 증가할수록 백화발생 비율은 동일하게 증가하는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(과제번호:2014000150011), 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(16CTAP-C115206-01)의 연구비지원 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Chang, J.J., Yeih, W., Chung, T.J., Huang, R. (2016). Properties of pervious concrete made with electric arc furnace slag and alkali-activated slag cement, *Construction and Building Materials*, **109**, 34-40.
- Daniel, V.R., Joao, A.L., Marcio, R.M. (2011). Potential use of natural red mud as pozzolan for portland cement, *Materials Research*, **14(1)**, 60-66.
- Dowa, C., Glasser, F.P. (2003). Calcium carbonate efflorescence on Portland, cement and building materials, *Cement and Concrete Research*, **33**, 147-154.
- Gonga, C., Yang, N. (2000). Effect of phosphate on the hydration of alkali-activated red mud slag cementitious material, *Cement and Concrete Research*, **30**, 1013-1016.
- Kang, S.P. (2012). A study on the usability of red mud as activator of alkali-activated cementless binder, *Journal of*

- the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **28(11)**, 133–140 [in Korean].
- Kang, S.P. (2015). “A study on the field applicability evaluation alkali-activated soil pavement using red mud,” Proceeding of the Korean Institute of Building Construction, **15(1)**, 95–97 [in Korean].
- Kang, S.P., Kang, H.J. (2017). Durability of alkali-activated slag-red mud cement mortar using polymer, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **33(1)**, 81–88 [in Korean].
- Kani, E.N., Allahverdi, A., Provis, J.L. (2012). Efflorescence control in geopolymer binders based on natural pozzolan, Cement and Concrete Composites, **34**, 25–33.
- Kropp, J. (1995). Performance Criteria for Concrete Durability, E&FN Spon, London, 103–111.
- Kwon, S.J., Kang, S.P. (2016). Strength and pore characteristics of alkali-activated slag-red mud cement mortar used polymer according to red mud content, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **20(2)**, 26–33 [in Korea].
- Lee, M., Lee J. (2001). Concrete’s water tightness evaluation based on water absorption coefficient theory, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **17(2)**, 75–83 [in Korean].
- Pan, Z., Cheng, L., Lu, Y., Yang, N. (2002). Hydration products of alkali-activated slag-red mud cementitious material, Cement and Concrete Research, **32**, 357–362.
- Pan, Z., Li, D., Yu, J., Yang, N. (2003). Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material, Cement and Concrete Research, **33**, 1437–1441.
- Pontikes, Y., Angelopoulos, G.N. (2013). Bauxite residue in cement and cementitious applications : Current status and a possible way forward, Resources, Conservation and Recycling, **73**, 53–63.
- Zhang, Z., Provis, J.L. (2014). Andrew reid, hao wang, fly ash-based geopolymers: the relationship between composition, pore structure and efflorescence, Cement and Concrete Research, **64**, 30–41.

#### 레드머드 대체율에 따른 결합재별 흙포장재의 특성

레드머드는 보오크사이트 원광석에서 생산되는 알루미늄의 선광과정에서 발생하는 무기질 부산물이다. 레드머드를 활용하고자 하는 연구가 국내에서 이루어지고 있다. 강알칼리성의 레드머드를 건설산업용 촉진제로서 활용하고자 하는 연구로서 알칼리활성화 슬래그-레드머드 시멘트가 국내외적으로 발표되고 있다. 본 논문은 레드머드 대체율에 따른 알칼리활성화 슬래그-레드머드 건식 흙포장재의 최적함수율, 압축강도, 흡수율, 백화발생 특성에 대하여 비교·검토하였다. 그 결과 레드머드 대체율이 증가할수록 알칼리활성화 슬래그-레드머드 흙포장재의 최적 함수비, 흡수율, 백화면적은 증가하고 압축강도는 감소하였다.