



# 알칼리프리계 급결제 함량에 따른 광산 차수재 물성평가

조용광 · 남성영 · 김춘식 · 조성현

<한일시멘트(주)>

## 1. 서 론

전 세계는 산업발전의 목적으로 수많은 광산 개발을 통한 경제성장을 이루었지만 채굴이 끝난 폐 광산으로 인해 다양한 환경오염 문제가 제기되고 있다. 현재 발생하고 있는 폐광산 주변 지역의 오염은 산성광산배수와 침출수 유출 등의 문제가 발생되고 있으며, 지반 침하 등으로 인한 싱크홀 발생으로 인한 안전사고를 유발시킬 수 있다. 폐광산을 안정화시키기 위한 방법으로는 갱내 충전법이 있다. 갱내충전법으로는 단순하게 폐석을 단독으로 충전하거나 폐석과 함께 시멘트, 플라이애쉬 등 첨가제를 혼합하여 충전하는 방법으로 구분되고 있으며, 현재 다양한 충전제에 관한 연구가 진행 중에 있다.<sup>1)</sup> 그러나 충전제의 경우 토양오염 등 2차적인 환경문제를 일으킬 가능성이 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해 충전층에 차수층을 설치하여 유해물질이 주변 환경으로 이동하는 것을 차수층의 두께와 투수속도로 예측되는 기간 동안 지연시키는 역할을 하여 환경적인 문제를 해결하고 있다. 또한 유출된 유해물질을 인위적으로 처리함으로써 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하고 차수층 재료가 갖는 유해 금속 및 유기물질의 이동 억제능을 이용하여 2차 방어 효과를 발현하는 역할을 한다. 이러한 차수재를 시공하기 위해서는 타설압에 대한 반발력을 감소시키고 초기 응결을 얻음으로써 리바운드 저감, 지반의 이완을 조기에 억제하기 위해 급결제(accelerator) 사용이 필수적이다. 이러한 급결제를 과량 첨가할 경우 급격한 물성저하를 가져올 수 있으며 소량 첨가할 경우 급결 성능이 떨어지기 때문에 급결제의 함량 조절 및 선정이 무엇보다 중요한 요소로 작용되고 있다.<sup>2)</sup> 급결제의 종류에는 실리케이트계(silicate based accelerator), 알루미늄이트계(aluminate-based accelerator), 알칼리프리계(alkali free based accelerator)가 사용되고 있다. 하지만 실리케이트

급결제는 낮은 초기 강도와 장기강도의 저하 그리고 인체에 대한 유해성을 가지고 있다. 알루미늄이트계 급결제의 경우에도 피부 자극 및 화상의 위험성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 광산 차수재 배합을 설계하고 상대적으로 인체 유해성이 적은 알칼리프리계 급결제의 함량 변화에 따른 차수재의 급결 성능과 기초특성 평가를 실시하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 재료

골재는 건조 해안사를 이용하였으며, 강도보강제로서 효율성을 발현하기 위해 입도사이즈별로 세사(0.15~0.71 mm), 중사(0.71~2.00 mm), 왕사(2.00~4.75 mm)로 분류하여 사용하였다. 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 속경성을 부여하기 위해 CSA (Calcium Sulfo-Aluminate)를 적용하였으며, Slag는 Blast Furnace Slag를 사용하였다. 차수재의 작업성 및 유동성을 향상시키기 위해 Polycarbonate (PC계) 유동화제(superplasticizer)를 적용하였다. 급결제는 알칼리프리계급결제를 사용하였으며 급결제의 특성은 Table 1에 나타내었다.

### 2.2. 연구계획 및 실험방법

차수재의 경우 숏크리트 배합과 유사한 경향으로 인체를 바탕으로 Table 2와 같이 배합을 설계하였다. 차수재 현장 시공시 뿔칠장비에 막힘 현상을 차단하기 위해 flow는 200 mm를 기준으로 두고 물 비율을 확인하였으며, 적정 물비율로 18% (W/R)를 선정하였다. 유동화제는 흐름성을 용이하게 하기 위해 사용하였다. 유동화제 특성은 차수재의 입자들의 분산을 용이하게 만들기 때문에 유동성이 증가되지만 일정 함량 이상 첨가하게 될 경우 재료분리로 인해 물성저하를 가져 올 수 있기 때문

Table 1. Characteristic of accelerating agent

Type	Specific gravity (25°C)	pH (25°C)	Solid content (%)	Alkali content (%)
Alkali free based accelerator	1.36	2.65	40.30	1

**Table 2.** Compositions of liner and cover material

NO	Aggregate	Binder			Superplasticizer
		OPC	CSA	Slag	
Compositions	64.0	18.9	2.1	15.0	0.05

**Table 3.** Content of liner and cover materials

Type	Binder/ratio				
Alkali free based accelerator	0%	5%	6%	7%	8%

에 정량 사용하였다. 시료의 혼합방법은 KS L ISO 670의 규정방법에 따라 모르타르 혼합기를 통해 1분 동안 혼합하였다. 제조된 차수재는 Table 3에 나타내었듯이 바인더 함량 대비 0, 5, 6, 7, 8% 급결제를 종류별로 혼합하여 공시체를 제작하였다.

**2.3. 분석방법**

급결 성능을 확인하기 위해 자동응결측정기(EL38, UK)를 사용하였으며 분당 1회씩 측정하여 차수재의 초결(initial set), 종결(final set)을 확인하였다. 길이변화율은 제작된 시험체를 KSF2424 기준에 의거하여 콘택트 스트레인게이지(293-252, Japan)를 통해 탈형 후 3, 7, 14, 21, 28일 기준으로 측정하여 건조수축변화 및 팽창성을 확인하였다. 압축강도는 압축강도 측정기(X2000, Montauban, France)를 사용하였으며, 제작된 시험체를 KS L ISO 679에 의거하여 재령 1, 3, 7, 28일의 압축강도를 측정하였다. 흡수율은 KS F2476에 의거하여 실시하였다. 먼저 28일 동안 양생한 공시체를 건조기에서 80°C의 온도조건에서 24시간 건조하였다. 건조기에서 꺼낸 공시체의 최소 중량을 측정하고 20°C의 수중에서 48시간 동안 침지한 후 중량을 측정하여 다음 (1)식으로 계산하였다.

$$\text{흡수율} = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $W_a$ : 수중침지전의 공시체의 중량(g)  
 $W_b$ : 각 수중침지 시간의 공시체의 중량(g)

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1. 급결 성능 평가**

차수재의 급결 성능은 KS L 2782기준에 의거하여 초결은 5분, 종결은 15분 이내에 발현되어야 한다고 제시하고 있다. 이러한 급결 성능이 요구되는 이유는 굴착면

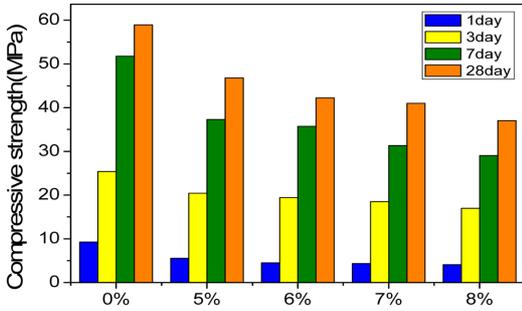
을 침식으로부터 보호하고, 리바운드 함량 저감을 통한 효율적인 시공과 후속작업이 원활히 진행될 수 있도록 지내력을 증대시키기 위함이다. 급결제 함량에 따른 급결 성능평가를 Table 4에 나타내었다. 알칼리 프리계급결제의 함량의 경우 7% 이상 사용하여야 KS기준을 충족할 수 있는 결과를 확보하는 것을 확인하였다. 알칼리프리계급결제는 수산화칼슘과, 황산알루미늄이 주원료로 구성되어있으며, 알루미늄 성분과 황산염이 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(C<sub>3</sub>A)와 반응하여 다량의 ettringite 침상결정이 초기에 생성되기 때문에 급결성을 발현한다고 보고되고 있다.<sup>3)</sup> 또한 알칼리 프리계 급결제 함량이 7%를 초과할 경우 급결시간 단축이 저하되는 것을 확인할 수 있는데 이러한 이유는 차수재의 알칼리 자극제가 일정함량 이상 증가할 경우 증가된 성분은 더 이상의 자극제로서 역할을 크게 하지 못하고 평형을 이뤄 생긴 결과로 판단된다.

**3.2. 압축강도 특성**

일반적으로 모르타르에 급결제를 혼합한 배합의 경우 혼합하지 않은 동일한 배합의 시편보다 압축강도가 감소한다고 보고되고 있다.<sup>4)</sup> 하지만 알칼리프리계 급결제의 경우 다른 급결제(알루미늄에이트, 실리케이트)와 달리 알칼리 이온이 1%수준으로 상대적으로 압축강도 저하가 적은 것으로 알려져 있다. 따라서 알칼리프리계 급결제 함량에 따른 압축강도를 확인하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 알칼리프리계 급결제를 혼합한 배합 모두 혼합하지 않은 배합 대비 압축강도가 감소한 것을 확인하였으며, 급결제 혼합량이 증가할수록 압축강도는 20.6~37.2% 감소한 것을 확인하였다. 이러한 결과는 급결제가 강도 증진에 큰 기여를 하는 Calcium silicate (C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S)의 수화 반응에 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 알칼리프리계 급결제의 경우 알칼리 성분과 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 반응하여 차수재 경화체 중의 수용성 NaOH 양이 증가되거나 OPC 성분 중 알루미늄에이트와 반

**Table 4.** Setting time evaluation of liner and cover materials [unit/min]

Content accelerator	0%		5%		6%		7%		8%	
Hardened	Initial set	Final set								
Alkali free based accelerator	270	290	40	45	20	26	5	11	4	9



Accelerating agent content in liner and cover materials

Fig. 1. Compressive strength of alkali free based accelerator in liner and cover materials.

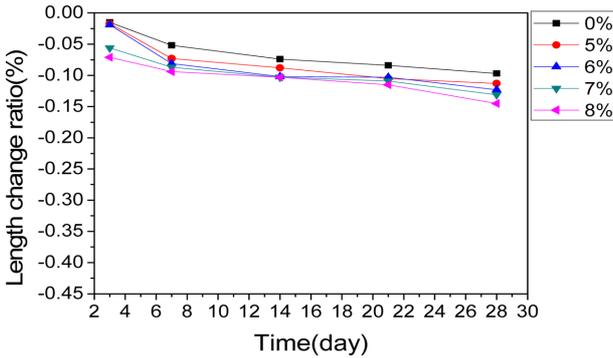
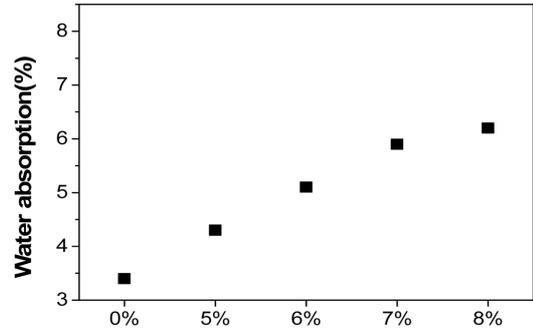


Fig. 2. Length change ratio of alkali free based accelerator in liner and cover materials (B).

응하여 생성되는 알루미나-실리카-겔의 침전을 촉진하여 결과적으로 수화반응을 방해하여 초기강도가 감소되는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 추후 모르타르 및 차수재에 요구 되는 압축강도 수준을 고려하여 급결제의 함량 조절이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3. 길이변화 특성

길이변화율은 차수재를 시공할 경우 건조수축변화가 일어남에 따라 균열 발생에 의해 차수재로서 기능이 저하될 우려가 있기 때문에 측정하였다. 길이변화율 측정 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 급결제를 혼합한 배합의 경우 혼합하지 않은 동일한 배합의 시편보다 건조수축변화가 상대적으로 크게 발생된 것을 확인하였다. 급결제를 혼합하지 않은 차수재의 경우 28일 기준으로 -0.097%의 변화가 발생한 것을 확인하였다. 반면 알칼리프리계급결제를 5% 혼합할 경우 -0.113% 건조수축변화가 발생하였으며, 8% 혼합한 경우에는 -0.145%의 건조수축변화가 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 급결 성능평가에서 언급한바와 같이 급결제가 자극제로서 차수재의 C<sub>3</sub>A와 반응을 촉진시켜 조기 수화반응으로 인한 건조수축변화가 발생된 것으로 판단된다. 또한 차수재의 급결성을 발현하기 위해서 수분 증발이 빠르게 일어나고 이로 인해 공극률 증가로 건조수축저항성이 낮은 것으로 판단된다.



Accelerating agent content in liner and cover materials

Fig. 3. Water absorption of alkali free based accelerator in liner and cover materials.

### 3.4. 흡수율 측정

차수재의 경우, 겔 공극, 기포에 의한 공극과 모세관 공극, 삼투압 작용 등에 의해 수분이 침투하게 된다. 차수재의 내부로 침투되는 수분의 경우 각종 유해물질을 포함하고 있어 차수재에 그대로 침투될 경우 토양오염 등의 환경오염을 유발할 수 있다. 따라서 차수재의 있어서 흡수율은 차수성능을 가늠할 수 있는 중요한 인자로 알려져 있다.<sup>5)</sup> Fig. 3는 알칼리프리계급결제를 혼합한 차수재의 흡수율을 나타낸 것이다. 측정결과 급결제를 혼합하지 않은 차수재의 흡수율은 3.4%인 것을 확인하였으며, 알칼리프리계급결제를 혼합한 차수재의 경우에는 최대 흡수율이 6.2%로 상대적으로 높은 것을 확인하였다. 이러한 결과는 길이변화특성 결과 분석에서도 언급하였듯이 급결제가 급결 성능을 발현하기 위해 수분 증발이 빠르게 일어나고 이로 인해 공극률이 증가함에 따라 흡수율이 급결제를 혼합할수록 높아진 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 광산 차수재 배합을 설계하고 알칼리프리계 급결제 함량에 따른 차수재의 급결성능과 물성평가를 실시하였다.

1. 광산 차수재의 급결성능 평가결과 알칼리 자극제의 역할로 인해 급결성을 발현할 수 있었으며, KS기준을 만족하기 위해서는 알칼리프리계 급결제 함량이 바인더 대비 7% 이상 혼합하여야 하는 것을 확인하였다.

2. 광산 차수재의 압축강도 측정결과와 강도 증진에 큰 기여를 하는 Calcium silicate(C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S)의 수화반응 영향으로 인해 급결제의 혼합량이 증가할수록 기준 대비 20.6~37.2% 수준으로 압축강도는 감소하는 것을 확인하였다.

3. 차수재의 길이변화율 측정결과 알칼리프리계 급결제를 혼합한 배합의 경우 C<sub>3</sub>A와 반응을 촉진시켜 조기 수화반응으로 인한 건조수축안정성이 저하되는 것을 확인하였다. 흡수율 측정 결과 또한 급결제 함량이 증가할

수록 급결 성능을 발현하기 위해 수분 증발이 빠르게 일어나고 이로 인해 공극률이 증가함에 따라 흡수율이 높아진 것을 확인하였다.

이러한 연구결과는 급결제를 적용한 차수재 및 모르타르 배합 설계 및 표준화하는데 있어 기초연구자료로서 활용 가능할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2021년도 정부의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업의 지원을 받아 수행함. (2021M3D8A2098328)

### <참고문헌>

1. Han, W. J., Lee, J. S., Byun, Y. H., Cho, S. D., Kim, J. Y., 2016, Study on characteristics of controlled low strength material using time domain reflectometry, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 17, 33-37.
2. Jeon, J. T., Park, H. T., Lee, Y. K., 2012, Experimental study on reduced amount of rebound in wet process shotcrete works by upon accelerator contents, 32, 615-622.
3. Heo, G., Choi, H. S., Yi, S. T., 2005, Experimental study on setting time of cement paste mixed accelerating admixtures, Journal of the Korea Concrete Institute, 17, 879-884.
4. Shin, J. Y., Kim, J. Y., Hong, J. S., Sub, J. K., Rho, J. S., 2005, The hydraulic characteristics of liquid shotcrete accelerators within cement system, Journal of the Korea Concrete Institute, 17, 1011-1018.
5. Jo, Y. K., Hyung, W. G., 2013, Properties of polymer cement mortar based on styrene-butyl acrylate according to emulsifier and monomer ratios, 37, 148-155.