

재유화형 EVA 수지를 함유한 광산 폴리머-차수재의 물성 평가

조용광 · 남성영 · 김춘식 · 이형우 · 조성현[†] · 안지환*

한일시멘트 테크니컬센터, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단
(2017년 12월 29일 접수, 2018년 2월 4일 수정, 2018년 2월 23일 채택)

Evaluation of Physical Properties of Mine Polymer Liner and Cover Material Containing Re-emulsification Type EVA Resin

Yong-Kwang Cho, Seong-Young Nam, Chun-Sik Kim, Hyung-Woo Lee,
Sung-Hyun Jo[†], and Ji-Whan Ahn*

Technical Center, Hanil Cement Co.Ltd., Daejeon 34351, Korea

*Center for Carbon Mineralization, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), Daejeon 34132, Korea

(Received December 29, 2018; Revised February 4, 2018; Accepted February 23, 2018)

초록: 저투수성 광산 차수재를 제조하기 위해 재유화형 ethylene vinyl acetate(EVA) 분말수지를 혼입한 폴리머-차수재를 제조하였다. EVA 수지는 방수성, 및 내구성이 우수하여 여러 산업에서 다양하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 시멘트와 골재 사이의 공간을 EVA 폴리머 필름으로 채워 기초 물성 향상 및 수밀성 향상을 통한 우수한 차수 성능을 발현하고자 하였다. 연구결과 재유화형 EVA 분말수지 함량이 4%까지는 휨강도, 압축강도, 건조수축안정성 등 기초물성이 향상되는 것을 확인하였다. 하지만, 재유화형 EVA 분말수지 5%를 사용할 경우 물성이 크게 향상되지 못하거나 4% 대비 감소하는 것을 확인하였다. 투수계수 측정결과 8.30×10^{-10} 에서 5.50×10^{-12} 까지 저투수성을 발현하는 것을 확인하였다.

Abstract: The polymer liner and cover material were produced with an admixture of re-emulsification type ethylene vinyl acetate (EVA) powder resin to make the low water permeability mine liner and cover material. The purpose of this study is to improve the basic physical properties and water tightness by filling the space between cement and aggregate with EVA polymer film, which result in the improvement of waterproof performance. It was confirmed that basic properties such as strength and dry shrinkage stability were improved until the re-emulsification type EVA powder resin was mixed up to 4%. However, it was confirmed that the physical properties were not significantly improved when 5% of the re-emulsification type EVA powder resin was used, or decreased compared with the case of using 4% of that. As a result of the measurement of the permeability coefficient, the physical properties were improved from 8.30×10^{-10} to 5.50×10^{-12} .

Keywords: liner and cover material, ethylene vinyl acetate, permeability coefficient, polymer resin.

서 론

산업과 경제 성장을 위한 에너지를 확보하기 위해서는 석탄자원의 개발과 활용이 필요하다. 그러나 석탄의 채광은 지표 침강, 수분 손실 등 문제를 야기하며 기반 시설 등에 악영향을 미칠 수 있다.¹ 따라서 세계 여러 곳에 있는 폐광산 주변 지역에서는 오염으로 인한 여러 가지 환경 문제가 발생되고 있다. 또한 지반 침하로 인해 발생하는 싱크홀 등에 의해 안전 사고의 위험에 노출되어 있다.² 폐광산을 안정화시

키기 위한 방법으로는 폐석, 산업부산물 등을 갭 내에 충전시켜 지반안정화를 시키고 있으며 현재 다양한 충전재에 관한 연구가 진행되고 있다.^{2,3} 그러나 충전재의 경우 산성배수 및 침출수로 인한 토양오염 등 2차적인 오염은 제대로 억제하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 충전재를 시공하기 전에 차수층을 먼저 설치하여 유해물질이 주변 환경으로부터 이동하는 것을 차수층의 두께와 투수속도로 예측되는 기간동안 억제시키고 있다.⁴ 따라서 유출되는 물질로 인해 주변 환경에 미치는 영향을 최소화하고 차수층의 재료가 갖는 유해 금속 및 유기물질 이동 억제 기능을 이용하여 1차적인 방어 역할을 한다. 이러한 차수재(liner and cover material)의 경우 차수기능 및 구조적 안정성은 매우 중요한 요소로 작용되고 있다. 차수기능을 향상시키기 위

[†]To whom correspondence should be addressed.
csh8902@hanil.com, ORCID[®]0000-0002-9255-0215
©2018 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

해서는 차수재의 수밀성이 주요한 성능으로 인식되고 있다.⁵ 수밀성을 향상시키는 방안으로는 잠재수경성 반응이 일어나는 slag 등을 혼합하는 방법이 제시되고 있지만 무기물질만으로는 수밀성 향상에 있어 한계가 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 시멘트-모르타르 제품에 폴리머를 혼합하여 수밀성을 향상시키는 방안이 제시되고 있다.⁶ 폴리머 시멘트 모르타르란 결합재와 충전재를 주요 조성물로 하고 각각의 용도에 맞추어 각종 폴리머를 적정 조성비로 구성하는 것을 말한다. 폴리머-시멘트 모르타르의 원리는 골재의 계면에서 폴리머 필름을 형성하며 미세균열, 그리고 시멘트와 골재 사이의 공간을 폴리머 필름으로 채워 수밀성 및 시멘트-모르타르의 성능을 향상시키거나 부족한 성능을 보완시키는 역할을 한다.⁷ 이러한 폴리머 모르타르를 활용하여 최근 구조물의 제기능 유지 및 내구성 향상을 위한 다양한 보수공법 및 보수재료 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 광산 차수재로서의 연구는 미미한 실정이다.⁸ 폴리머수지는 접착성, 방수성 및 내약품성 등이 우수한 에폭시 수지, 스타이렌(styrene) 분말수지, 라텍스(latex) 분말수지, ethylene vinyl acetate(EVA) 분말수지 등이 활용되고 있다. 특히 EVA 수지는 방수성, 내구성, 전기절연성, 내유성 등이 우수한 것으로 알려져 있으며, EVA와 산산화알루미늄과의 복합재료를 통해 난연성을 향상시키는 등 다양한 연구가 이루어지고 있다.⁹ EVA 수지를 분말화시킨 재유화형 분말수지의 경우에는 폴리머중합체로써 일반적인 시멘트-모르타르에 혼합할 경우 경화과정에서 모르타르 속의 작은 공극과 모세구조를 성장형 유기화학 접착성분으로 채워져 물의 이동을 차단시켜 내부 공극을 감소시킨다. 또한 골재와의 부착성을 향상시켜 내구성 향상에 기여하는 것으로 보고되고 있다.¹⁰ 작업성에 있어서도 재유화형 EVA 분말수지에 함유된 계면활성제의 분산효과와 공기량 증가로 인해 시공성이 향상된다고 알려져 있다.¹¹ 재유화형 EVA 분말수지의 원리는 EVA계 공중합 폴리머 에멀전을 스프레이 건조한 분산물질로서 입자가 100 μm 로 분산되었다가 물에 재분산하게 되면 1 μm 의 안정한 액상수지가 되는 원리이다.¹² 이러한 재유화형 EVA 분말수지의 경우 차수재 적용에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 광산에 차수층을 설치하기 위해 차수재 배합을 설계하였다. 침출수 억제 등의 차수성능 향상을 위해 EVA 분말수지를 함량별로 혼합하여 흡수율 및 투수계수 확인을 통해 차수성능을 평가하였다. 또한 재유화형 EVA 분말수지 함량에 따른 차수재의 특성을 확인하기 위해 응결시간, 압축 강도, 길이변화율 등의 기초물성 평가를 실시하였다.

실 험

재료. 골재는 인천지역의 건조 해안사를 이용하였으며, 입도사이즈는 0.15~2 mm를 사이즈 별로 세사, 중사, 왕사로 분

Table 1. Physical Properties of EVA Resin Polymer Powder

Solid content	Particle size	Appearance	Specific gravity	Ash content
99%	400 μm	White powder	1.0	9 \pm 2%

Table 2. Composition Ratio of Polymer Liner and Cover Materials

(unit: wt%)						
NO	Aggregate	OPC	CSA	Slag	Superplasticizer	EVA resin
L-P	62.0	18.9	2.1	17.0	0.1	0
L-1	62.0	18.0	2.0	17.0	0.1	1
L-2	62.0	17.1	1.9	17.0	0.1	2
L-3	62.0	16.2	1.8	17.0	0.1	3
L-4	62.0	15.3	1.7	17.0	0.1	4
L-5	62.0	14.4	1.6	17.0	0.1	5

류하여 사용하였다. 바인더로 사용된 portland cement(OPC)와 팽창제인 calcium sulfo-aluminate(CSA)는 한일시멘트(주)에서 생산되는 것을 사용하였다. Slag는 평택지역의 blast furnace slag를 사용하였다. 차수재의 작업성 및 유동성을 향상시키기 위해 사용된 polycarbonate계(PC계) 유동화제(superplasticizer)는 케미콘(주)사의 것을 사용하였다. 재유화형 EVA 분말수지는 중국 다이렌사에서 구매하여 사용하였으며 물리적 특성은 Table 1과 같다.

폴리머-차수재 배합설계 및 방법. 차수재의 경우 슛크리트 배합과 유사한 경향으로 인해 이를 바탕으로 Table 2와 같이 배합을 설계하였다. 차수재의 현장 시공 시 뿔칠장비에 의한 막힘 현상을 차단하기 위해 슛크리트의 기준으로 제시되고 있는 흐름성(flow)과 동일하게 200 mm를 기준으로 두고 물비율을 확인하였으며, 유동화제는 흐름성을 용이하게 하기 위해 사용하였다. 유동화제 특성은 차수재의 입자들의 분산을 용이하게 만들기 때문에 유동성이 증가되지만 일정 함량 이상 첨가하게 될 경우 재료 분리로 인해 물성저하를 가져올 수 있기 때문에 소량 사용하였다. 시료의 혼합방법은 KS L ISO 670의 규정방법에 따라 모르타르 혼합기를 통해 1분 동안 혼합하여 폴리머-차수재를 제조하였다.

측정 및 분석방법. 응결시간 측정은 자동응결측정기(EL38, UK)를 사용하였으며 10분당 1회씩 측정하여 차수재의 초결(initial set), 종결(final set)을 확인하였다. 차수재의 건조수축 안정성을 확인하기 위해 측정된 길이 변화율은 시험체를 제작하여 23 \pm 3 °C의 온도조건인 양생실에서 3일간 양생하였다. KSF2424 기준에 의거하여 콘택트스트레인게이지(293-252, Japan)를 통해 탈형 후 기준점을 잡고 3, 7, 14, 21, 28일 기준으로 측정하여 건조수축변화 및 팽창성을 확인하였다. 압

축강도는 시험체를 제작하여 23 °C±3의 온도 조건인 양생실에서 3일간 양생하였다. 휨, 압축강도는 압축강도 측정기(X2000, Montauban, France)를 사용하여 측정하였다. 제작된 시험체를 KSL ISO 679에 의거하여 공시체는 40×40×160 mm의 몰드에서 제작하였으며 탈형 후 3, 7, 28일 간격으로 중앙에 하중을 두고 휨강도를 측정한다. 다음 절단된 공시체 위에 정사각형 철제 후판을 두고 가력하여 압축강도를 각각 5회씩 측정하여 평균값을 구하였다. 흡수율은 KSF2476에 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 측정한다 다음 식 (1)로 계산하였다. 폴리머-차수재의 차수성능을 확인하기 위해 측정된 투수계수는 공시체 내부로 물이 일정한 수위차로 침투되는 속도를 측정하여 시료의 투수성을 살펴보는 방법으로 KSF2322의 흡의 투수계수 시험 중 변수위 투수법을 이용하여 실시하였다.

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

여기서, W_a : 수중침지 전의 공시체의 중량(g)
 W_b : 각 수중침지 시간의 공시체의 중량(g)

결과 및 토론

폴리머-차수재의 물비율. 물-차수재 비율(W/L; water liner and material ratio)의 경우 강도와 내구성에 많은 영향을 주는 인자이며, 물비율(water ratio)이 높을 경우 작업성은 우수하지만 강도 및 내구성이 저하된다고 보고되고 있다.¹³ 반대로 물비율이 낮을 경우 유동성이 떨어져 작업성이 저하되며 시공이 어렵게 된다. 따라서 차수재에 있어 물비율은 중요한 인자로서 작용되고 있다. Figure 1에 차수재의 물비율을 나타내었으며, 재유화형 EVA 분말 수지의 혼입량이 증가할수록

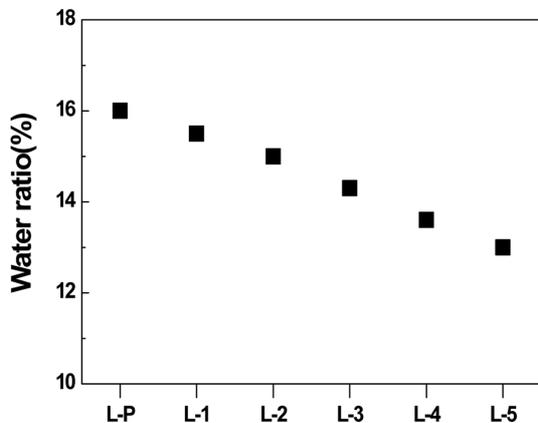


Figure 1. Water ratio of polymer liner and materials.

16%에서 13%까지 물 비율이 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 재유화형 EVA 분말수지 혼입량이 증가할수록 재유화형 EVA 분말수지의 구형의 입자들이 볼 베어링(ball bearing)역할로 인해 유동성을 확보하여 발생된 결과로 판단된다. 또한 재유화형 EVA 분말수지 안에 있는 유화제 성분이 다량의 미세공기를 발생시키고 차수재 첨가된 유동화제의 경우 입자 주변의 정전기적 반발력을 발생시켜 차수재의 입자들의 분산을 용이하게 만드는 것으로 보고되고 있다.¹⁴ 이러한 재유화형 EVA 분말수지와 유동화제의 시너지효과로 폴리머-차수재 입자 분산성의 향상으로 유동성이 증가되어 flow를 고정할 경우 물비율을 감소시키는 것으로 판단된다. 본 실험의 경우 뽕칠시공이 용이하도록 flow 200 mm로 고정하여 진행하였으며, 이러한 결과 유동성은 확보되면서 물비율을 감소시키는 것으로 사료된다.

폴리머-차수재의 응결시간. Table 3은 재유화형 EVA 분말수지의 함량에 따른 차수재의 응결시간의 상관관계를 나타낸 것이다. 응결은 일반적으로 구성 성분, 양생온도 등의 요인에 의해 영향을 받는다고 보고되고 있다.^{15,16} 따라서 일반적인 시멘트-모르타르의 경우에는 물비율이 높으면 응결시간이 지연되는 것으로 보고되고 있다.¹⁷ 응결시간 측정 결과 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 응결이 지연되는 것을 확인하였다. 재유화형 EVA 분말수지가 혼입되지 않은 L-P의 경우 초결은 390분 종결은 430분으로 나타났으나, 수지가 1%만 혼입되어도 응결시간은 초결의 경우 20분, 종결은 30분이 지연되었으며, 수지를 5%까지 혼입한 경우에는 종결시간이 90분이 지연되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 재유화형 EVA 분말수지가 골재 및 차수재의 계면 사이에 생성되는 폴리머 막의 결합반응이 시멘트 수화반응에 의한 경화보다 늦어지면서 생긴 결과로 판단되어 진다. 재유화형 EVA 분말수지가 혼입된 차수재의 경화메카니즘은 다음과 같다. 재유화형 EVA 수지가 차수재에 혼입되었을 때 폴리머 입자는 균일하게 차수재 페이스트 속으로 분산된다. 그 후 시멘트는 수화반응을 일으키며 폴리머 입자는 시멘트 및 미수화된 차수재 입자의 혼합물 표면에 부분적으로 흡착하게 된다. 그 후 차수재의 수화반응이 진행되면서 수분이 감소하게 되고 폴리

Table 3. Setting Time Evaluation of Polymer Liner and Materials

(unit: min)		
Hardened	Initial set	Final set
L-P	390	430
L-1	410	460
L-2	430	470
L-3	440	490
L-4	450	500
L-5	460	520

머 입자는 서로 결합하여 연속적인 필름이나 막을 형성한다. 이러한 재유화형 EVA 분말수지의 필름과 막은 시멘트 수화물과 함께 결합하여 단일네트워크가 되며 경화가 완료된다.

폴리머-차수재의 강도특성. 폴리머-차수재의 강도의 경우 구성하고 있는 성분과 물비율에 영향을 받으며, 물비율이 높을수록 강도는 저하된다고 보고되고 있다.¹⁸ 차수재의 휨강도 측정결과는 Figure 2에 나타내었으며, 압축강도 측정결과는 Figure 3에 나타내었다. 휨강도의 경우 L-P의 28일 강도 측정결과 10.1 MPa인 것을 확인하였으며, 압축강도는 38.7 MPa인 것을 확인하였다. 반면, 재유화형 EVA 분말수지를 4% 혼합할 경우 28일 강도에서 휨강도는 12.2 MPa, 압축강도는 47.3 MPa인 것을 확인하였다. L-P 대비 L-4의 강도 증가율은 약 20% 증가한 것을 확인하였다. 이러한 결과는 차수재가 수화반응이 진행되면서 재유화형 EVA 분말수지의 폴리머 필름이 차수재의 수화물을 감싸면서 서로 일체화가 되고 Co-matrix상의 형성에 의한 효과로 차수재 입자와 골재 사이를 강하게 결합하여 나타난 결과로 판단된다.¹⁹ 또한 폴리머-차수재의 물비율에서 확인하였듯이 재유화형 EVA 분말수지에 함유된 유화제의 분산작용에 의해 재유화형 EVA 분말수지

함량이 증가할수록 물비율이 감소되어 강도증진효과를 가져온 것으로 판단된다. 반면, L-5의 경우에는 휨강도가 11.1 MPa, 압축강도가 42.0 MPa로서 이는 L-2~L-4보다 낮은 것을 확인할 수 있다 이러한 결과는 OPC 함량이 감소하면서 강도발현에 영향을 미치는 수화반응의 활성이 감소되고 재유화형 EVA 분말수지가 일정 함량 이상 증가할 경우 혼합 시 점성이 증가함에 따라 폴리머-차수재의 편심을 유도하여 생긴 결과로 판단된다.^{20,21}

폴리머-차수재의 길이변화 특성. 길이변화를 측정은 폴리머-차수재를 시공할 경우 수화반응에 의한 건조수축 변화가 일어남에 따라 균열이 발생할 수 있으며, 이는 폴리머-차수재로서의 기능이 저하될 우려가 있으므로 측정하였다. 건조수축에 대한 요인은 여러 가지가 있으며, 일반적으로 온도, 습도, 물비율 등에 영향을 받는다고 보고되고 있다.²² 길이변화 측정은 Figure 4에 나타내었으며, 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 건조수축 안정성이 우수한 것을 확인하였다. 이러한 결과는 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가하면서 물비율이 감소한 결과로부터 기인된다고 볼 수 있다. 폴리머-차수재의 경우 경화가 점차 진행되면서 수분이 증발하게 되는데, 물비율이 높을 경우 차수재의 수분이 증발하면서 공극수가 증가하게 된다. 이러한 공극수 증가는 건조수축안정성의 저하와 연관성이 있다고 보고되고 있다.²³ 따라서 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 공극수는 감소하며 이로 인해 건조수축안정성이 우수한 것으로 판단된다.

폴리머-차수재의 흡수율. 차수재의 경우, 젤 공극, 기포에 의한 공극과 모세관 공극, 삼투압 작용 등에 의해 수분이 침투하게 된다. 내부로 침투되는 수분은 각종 유해물질을 포함하고 있어 차수재의 경우 토양으로 유입될 수 있으므로 환경오염의 요인으로 작용될 수 있다. 흡수율은 내구성과 밀접한 관계가 있으며 내구성이 우수할 경우 흡수율이 감소된다고 보고되고 있다.²⁴ Figure 5는 폴리머-차수재의 수중 침지 후

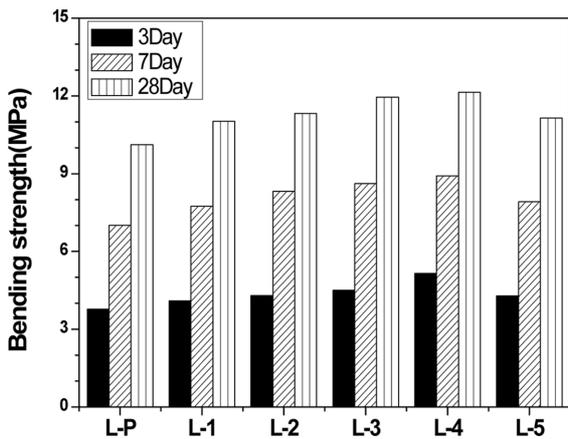


Figure 2. Bending strength of polymer liner and materials.

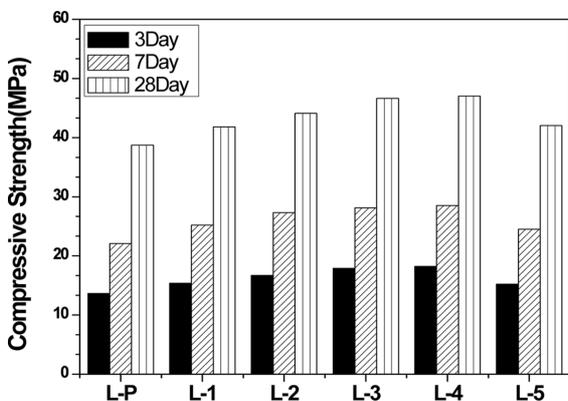


Figure 3. Compressive of polymer liner and materials.

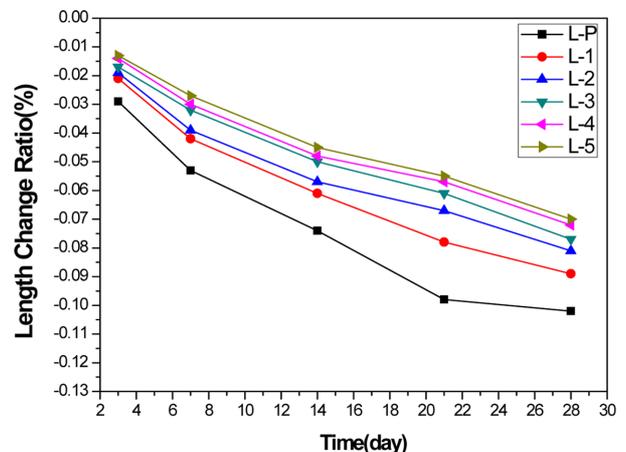


Figure 4. Length change ratio of polymer liner and materials.

48시간의 흡수율을 나타낸 것이며, 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 흡수율이 낮은 것을 확인하였다. 재유화형 EVA 분말수지가 혼입되지 않은 L-P의 흡수율은 3.42%인 것을 확인하였으며, L-5의 경우 흡수율이 1.69%인 것을 확인하였다. 따라서 재유화형 EVA 분말수지를 혼입할 경우 49%까지 흡수율의 감소효과를 가져왔다. 이러한 결과는 방수 특성이 우수한 재유화형 EVA 분말수지의 효과로서 폴리머-차수재의 표면에 폴리머막을 형성하여 외부로부터의 수분 침투를 감소시켜 생길 결과로 판단된다. 또한 Figure 5를 살펴보면 L-4와 L-5의 흡수율은 1.74%와 1.69%로 결과 값의 차이가 크지 않는 것을 확인하였다. 이는 불소를 함유한 폴리우레탄아크릴레이트의 표면이 불소로 충분히 채워질 경우 접촉각의 증가는 미미하다는 연구결과와 유사한 것으로 보인다.²⁵ 따라서 재유화형 EVA 수지가 4% 혼입될 경우 폴리머-차수재의 표면에 이미 충분한 폴리머막을 형성하여 5% 이상 혼입할 경우 흡수율 저감 효과가 크지 않는 것으로 판단된다.

폴리머-차수재의 투수계수. 폴리머-차수재의 공극을 통해 물이 침투되는 것을 투수라 하며 연속 공극을 통해 유체의

침투를 유도하는 성질을 투수성이라고 한다. 따라서 폴리머-차수재 경우 물의 침투를 지연시켜 저투수성을 발현할 경우 차수 성능이 우수하다고 해석된다. 즉, 유해물질이 주변 환경으로부터 이동하는 것을 투수속도로 예측되는 기간 동안 억제시키기 때문에 폴리머-차수재에 있어 투수계수는 매우 중요한 요인이다. 투수계수 측정결과는 Figure 6에 나타내었다. 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 저투수 특성을 나타내었으며, L-P의 경우 투수 계수는 8.30×10^{-10} 에서 재유화형 EVA 분말수지를 5% 혼입할 경우 5.50×10^{-12} 까지 저투수성이 발현되어 차수성능이 향상되었다. 이러한 결과는 폴리머-차수재의 수화반응이 진행되면서 골재의 계면에서 형성되는 폴리머 필름이 모세관 공극, 젤공극, 내부공극 등을 채워주며 이로 인해 수밀성이 향상된 결과로 판단된다. 또한 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 물비율이 감소되며, 이는 공극수 감소로 인해 저투수성이 발현하여 차수성능이 향상된 것으로 판단된다.

결론

저투수성 광산 차수재를 제조하기 위해 재유화형 ethylene vinyl acetate(EVA) 분말수지를 혼입한 폴리머-차수재를 제조한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 재유화형 EVA 분말수지의 혼입량이 증가할수록 수지와 유동화제의 시너지효과로 인해 폴리머-차수재 입자의 분산성 향상에 의한 유동성 증가로 흐름성을 고정할 경우 물비율을 감소시킬 수 있었다.
2. 재유화형 EVA 분말수지의 혼입량이 증가할수록 골재 및 차수재의 계면사이에 생성되는 폴리머 막의 결합반응이 시멘트 수화반응에 의한 경화보다 늦어지면서 응결시간이 지연되었다.
3. 휨, 압축강도 측정결과 재유화형 EVA 분말수지를 혼입할 경우 폴리머 필름이 차수재의 수화물을 감싸면서 서로 일체화가 되고 co-matrix 상의 형성에 의한 효과로 차수재 입자와 골재 사이를 강하게 결합하여 휨, 압축강도가 증가되었다.
4. 길이변화율 측정결과 물비율 감소 효과로 인해 재유화형 EVA 분말수지 함량이 증가할수록 건조 수축안정성이 우수하였다.
5. 흡수율 측정결과 재유화형 EVA 분말수지의 함량이 증가할수록 폴리머-차수재의 표면에 폴리머 막을 형성하여 흡수율이 감소되었으며, 이로 인해 차수성능이 향상되었다.
6. 투수계수 측정결과 재유화형 EVA 분말수지의 함량이 증가할수록 폴리머-차수재의 수밀성이 향상되어 저투수성을 발현하여 차수성능이 향상되었다.

본 연구결과를 바탕으로 재유화형 EVA 분말수지의 함량은 4%가 적정 함량인 것을 확인하였으며, 폴리머를 활용한 차수재를 제조할 경우 다양하게 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

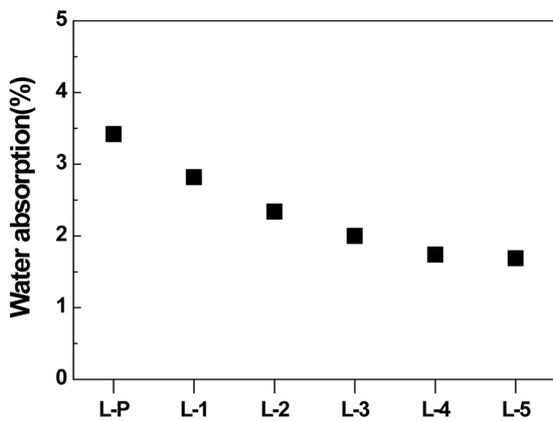


Figure 5. Water absorption of polymer liner and materials.

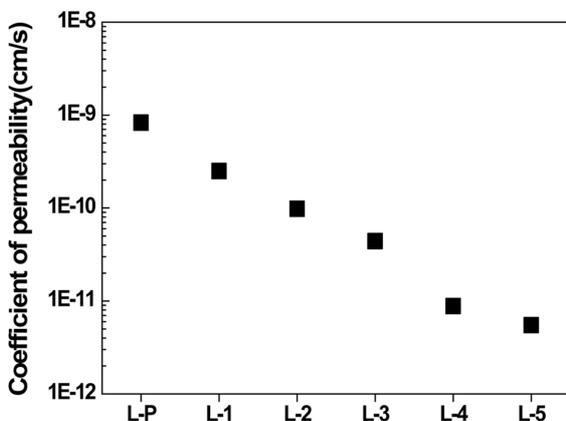


Figure 6. Coefficient of permeability of polymer liner and materials.

감사의 글: 본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발 사업 중 유용자원 재활용 기술개발 사업(과제번호: 2016002230004)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. W. Zhu, J. Xu, J. Xu, D. Chen, and J. Shi, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **96**, 58 (2017).
2. D. C. Cooper and J. W. Morse, *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1076 (1998).
3. L. C. Ram and R. E. Mastro, *J. Environ. Manage.*, **91**, 603 (2010).
4. J. Y. Lee and C. J. Miller, *Geosci. J.*, **4**, 2 (2000).
5. R. K. Rowe, C. J. Caers, and F. Barone, *Can. Geotech. J.*, **25**, 108 (1988).
6. W. G. Hyung, C. Lee and S. Park, *Polym. Korea*, **34**, 247 (2010).
7. M. U. K. Afridi, Y. Ohama, K. Demura, and M. Z. Iqbal, *Cem. Concr. Res.*, **33**, 1715 (2003).
8. K. J. Mun, H. R. Song, and W. G. Hyung, *Polym. Korea*, **32**, 555 (2008).
9. M. H. Lee, D. Y. Yu, Y. H. Kim, S. H. Lee, J. H. Kim, and Y. C. Lee, *Polym. Korea*, **39**, 433 (2014).
10. I. S. Kim and C. Y. Sung, *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **50**, 5 (2008).
11. Su Zhao, Doctoral Thesis, Delft Univ. of Technology, p. 174 (1995).
12. M. U. K. Afridi, Y. Ohama, M. Z. Iqbal, and K. Demura, *Cem. Concr. Comp.*, **17**, 2 (1995).
13. Y. W. Mai and B. Cotterell, *Cem. Concr. Res.*, **16**, 646 (1986).
14. Y. K. Cho and W. G. Hyung, *Polym. Korea*, **37**, 148 (2013).
15. J. L. Provis and A. Palomo, *Cem. Concr. Res.*, **78**, 110 (2015).
16. A. R. Brough and A. Atkinson, *Cem. Concr. Res.*, **32**, 865 (2002).
17. C. G. Han and Y. Zhao, *J. Korea Inst. Build. Const.*, **15**, 257 (2015).
18. S. Kumar, R. Kumar, and S. P. Mehrotra, *J. Mater. Sci.*, **45**, 607 (2010).
19. Y. Ohama, *Report of Building Research Institute*, **65**, 74 (1973).
20. G. W. Depuy, *Proceeding of the International ICPIIC Workshop on Polymers in Concrete*, Slovenia, pp 63-67 (1996).
21. M. Pei, *Cem. Concr. Res.*, **32**, 837 (2002).
22. M. Chi and R. Huang, *Constr. Build. Mater.*, **40**, 291 (2013).
23. F. Collins and J. G. Sanjayan, *Cem. Concr. Res.*, **30**, 1401 (2000).
24. I. Ismail, S. A. Bernal, and J. L. Provis, *Constr. Build. Mater.*, **48**, 1187 (2013).
25. Y. K. Cho and W. K. Lee, *Polym. Korea*, **40**, 439 (2016).