

ORIGINAL ARTICLE

## VAE 수지를 활용한 폐기물 매립지의 차수재 특성 연구

이승재 · 이원기\*

부경대학교 고분자공학과

### Study on Characteristics of Liner and Cover Material in Waste Landfill using VAE Resin

Seung-Jae Lee, Won-Ki Lee\*

Department of Polymer Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

#### Abstract

To prevent environmental pollution caused by leakage of leachate from waste landfill, vinyl acetate-ethylene (VAE) resin is applied to liner and cover materials to improve their performance. Styrene, styrene butadiene rubber, and VAE are widely used as polymer resins that have excellent water resistance and durability. Further, VAE resin is known to have additional advantages such as adhesion to nonpolar materials and resistance to saponification as a copolymer. In this study, the effect of VAE content on the properties of liner and cover materials was studied. The water and air content ratios, bending and compressive strengths, water absorption ratio, and coefficient of permeability of these materials were measured. The liner and cover materials with 4 wt% VAE showed good properties.

**Key words** : Liner and cover material, VAE resin, Water resistance, Durability

#### 1. 서론

최근 산업의 발달과 높은 인구밀도로 인해 폐기물의 발생이 증가하고 있는 추세이다. 환경관리공단에서 발표한 전국 폐기물 발생 및 처리 현황에 따르면 생활계 폐기물, 사업장 시설계 폐기물, 건설 폐기물 등 모든 종류의 폐기물 발생량이 꾸준히 증가 하고 있다(Lee et al., 2016). 폐기물의 처리방법으로 재활용은 전처리를 거쳐 다시 활용하거나 폐기물을 매립지에 매립하는 방법이 주로 이용되고 있다. 지자체 폐기물처리 시설 현황에 따르면 2012년 기준 총 폐기물 처리시설 중, 32%로 가장 많

은 부분을 차지하는 것이 매립시설이라고 한다(Korea waste association, 2012). 폐기물 매립지는 단순히 폐기물을 매립하는 것뿐만 아니라 매립지 주변의 토양이나 지하수가 폐기물로 인해 오염되는 것을 막아주는 시설이 함께 필요하다. 특히 폐기물로부터 발생하는 침출수가 주요 오염원인데 이러한 침출수의 유출을 차단하거나 외부로부터의 오염수의 유입을 막을 수 있는 차수재가 매립지의 구성에서 중요한 요소이다(Heo et al., 2011).

이러한 차수재(Liner and cover material)는 매립지 주변의 환경오염 방지를 위해 매립지 기반 위에 설치되는 것으로 대표적으로 점토, 지오�멤브레인, Geometric

Received 19 February, 2019; Revised 4 April, 2019;

Accepted 25 April, 2019

\*Corresponding author: Won-Ki Lee, Department of Polymer Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea  
Phone : +82-51-629-6451  
E-mail : wonki@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Clay Liners 등이 차수재의 재료로 이용되고 있다(Seo et al., 2002). 국내 폐기물 관리법 시행규칙에 따르면 차수재료를 사용하는 경우, 투수계수가  $10^{-7}$  cm/s 이하의 기준을 만족해야 한다고 알려져 있다(Lee et al., 2009; Lee et al., 2013). 기존 폐기물 매립장의 차수재는 주변에 적합한 점토가 존재한다면 재료수급이 용이하고 고유의 흡착성 및 양이온 교환능력에 의한 자체 정화 가능성이 높은 장점을 가지고 있어 활용이 가능하다. 그러나 대부분의 차수재는 차수성능의 기준이라고 할 수 있는 기준 투수계수의 성능을 만족하지 못하는 것이 단점으로 알려져 있다(Hyun and Kim, 2007; Kim and Sung, 2007).

기존 차수재의 연구는 석분슬러지, 폐석회, 벤토나이트 등 다양한 원료들을 활용한 연구가 수행되었다. 하지만 이러한 원료들을 활용한 차수재는 성능 중심이 아닌 석분슬러지 및 폐석회 등을 재활용하는 것에 초점을 둔 연구로서 차수성능은 다소 저하되는 결과를 확인하였다. 따라서 투수계수의 경우 폐기물 관리법 기준치에만 만족한  $10^{-7}$  cm/s이거나 그 못 미치는  $10^{-6}$  cm/s의 결과를 나타내었다(Kim, 1999; Cho et al., 2005). 차수성능의 향상을 위해 차수재의 수밀성은 중요한 요소이므로, 수밀성을 향상시키는 방안으로 잠재수경성 반응이 일어나는 슬래그 등을 혼합하는 방안이 제시되고 있지만 무기 물질로는 수밀성의 향상에 한계가 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 수밀성을 향상시키기 위해 폴리머수지를 혼합하여 적용한 연구가 진행되고 있으며, 시멘트 제품에 폴리머를 혼합할 경우 골재와 시멘트 사이에 고분자 필름을 형성하여 수밀성을 향상시킬 수 있다고 보고되고 있다(Afridi et al., 2003). 차수재에 적용하기 위한 폴리머수지는 에멀전상을 분무하여 건조하는 방법을 통해 분말상 수지로 생산되고 있으며, 기존의 액상형 디스퍼전에 비해 현장에서 혼합수만을 가하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 폴리머 분말수지의 종류로는 styrene, vinyl acetate-ethylene (VAE), Styrene Butadiene Rubber (SBR) 등이 활용되고 있다. 이 중에서 VAE 수지는 공중합체로서 방수성, 내구성 및 비극성 물질에 대한 접착력 및 물과 비누화에 대한 저항성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 VAE 수지의 유리전이온도(Tg)는 ethylene 함량에 따라  $-25^{\circ}\text{C}$ 까지 조절이 가능하다. 따라서 피막을 보다 유연하게 하고 최저필름형성온도를 낮춰주는 효과를 나타낸다(Choi et al., 2015). 이러한 폴리

머수지를 차수재에 적용한 연구는 기존의 점토, 벤토나이트 및 지오멤브레인 물질을 차수재에 적용하는 연구에 비해 많이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 침출수 유출 차단 등의 고기능성 차수재를 제조하기 위해 VAE 분말수지를 차수재에 적용하여 나타나는 결과를 분석하여 최적의 함량을 도출하였다. 또한, 폐기물 매립지에 적용되는 차수재의 특성을 평가하였다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

골재는 I지역의 건조 해안사를 사용하였으며, 입도사이즈는 0.15~2 mm 범위의 것들을 분류하여 사용하였다. 바인더로 사용된 1종 포틀랜드 시멘트(OPC)는 H사의 것을 구매하여 사용하였다. 슬래그는 P지역에서 생산되는 고로슬래그를 사용하였다. 플라이애쉬는 P지역의 미분탄화력발전소에서 발생하는 플라이애쉬를 정제 후 사용하였다. 차수재의 유동성 증가를 통한 작업성을 향상시키기 위해 K사의 polycarbonate (PC)계 고성능 감수제(superplasticizer)를 사용하였다. VAE 분말수지는 액상에서 스프레이 건조를 통해 제조된 것으로 독일 W사의 것을 사용하였고 물성을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2. 실험방법

차수재의 경우, 숏크리트 배합과 유사한 경향으로 인해 이를 바탕으로 Table 2와 같이 배합을 설계하였다. 차수재의 현장시공은 뽕칠장비로 시공 시 막힘 현상을 차단하기 위해 숏크리트 기준으로 제시되고 있는 흐름성(flow)과 동일하게 200 mm 기준으로 두고 단위수량(water ratio)을 확인하였다. 유동성을 향상시키고 단위수량을 감소시키기 위해 유동화제를 사용하였다. 유동화제는 일정한 함량을 사용할 경우 유동성을 증가시키지만 과도하게 첨가할 경우 재료 분리로 인한 물성 저하를 가져올 수 있기 때문에 소량 사용하였다. 시료의 혼합방법은 KS L ISO 679규정에 의거하여 모르타르 혼합기를 통해 차수재와 물을 1분 동안 혼합하여 차수재를 제조하였다.

### 2.3. 측정방법

공기량 측정방법은 KS F 2409(굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법)에 준하여 측정하였다.

**Table 1.** Physical properties of VAE polymer powder

Solid content (wt%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Type	Ash content (wt%)	Tg (°C)
99	1.04	White powder	10±2%	1

**Table 2.** Composition ratios of polymer liner and cover materials

Code	Aggregate	OPC	Fly ash	Slag	Super plasticizer	VAE resin
	(wt%)					
P-P	64.0	21	5.0	10.0	0.1	0
P-1	64.0	20	5.0	10.0	0.1	1
P-2	64.0	19	5.0	10.0	0.1	2
P-3	64.0	18	5.0	10.0	0.1	3
P-4	64.0	17	5.0	10.0	0.1	4
P-5	64.0	15	5.0	10.0	0.1	5

차수재의 휨강도, 압축강도 및 흡수율을 측정하기 위해 다음과 같이 공시체를 제작하였다. 공시체는 KSL ISO 679 규정에 의거하여 40×40×160 mm<sup>3</sup>의 몰드에서 21±4°C의 온도조건에서 양생하여 제조하였다. 휨강도와 압축강도를 측정하기 위해 제조된 공시체를 탈형 후, KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험 방법)에 의거하여 3, 7 및 28일의 간격을 두고 압축강도 측정기(×2000, Montauban, France)를 사용하여 측정하였다. 흡수율은 KS F 2476 규격에 의거하여 측정하였다. 공시체를 28일 동안 양생한 후 건조기에서 80°C의 온도조건에서 24시간 건조하였다. 건조기에서 꺼낸 공시체의 최소 중량을 측정하고 20°C의 수중에서 48시간 동안 침지한 후 중량을 측정한다 다음 식(1)에 대입하여 계산하였다. 차수재의 차수성능을 확인하기 위해 투수계수는 공시체 내부로 물이 일정한 수위차로 침투되는 속도로 측정하여 시료의 투수성을 살펴보는 방법으로 KS F 2322(흙의 투수계수 시험방법) 중에 변수위 투수법을 이용하여 측정하였다(Lee et al., 2016).

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

여기서 W<sub>a</sub>: 수중침지 전의 공시체의 중량(g)

W<sub>b</sub>: 수중침지 후의 공시체의 중량(g)

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1. 폐기물 매립지 차수재의 단위수량

차수재의 단위수량은 내구성에 많은 영향을 주는 인자이며, 단위수량이 높을 경우 작업성은 우수하지만 내구성이 저하된다고 보고되어 있다(Mai and Cotterell, 1986). 반대로 단위수량이 낮을 경우 유동성이 떨어져 시공의 효율성이 떨어진다. 따라서 차수재의 경우 단위수량이 중요한 인자로 작용되고 있다. Fig. 1에 차수재의 단위수량 결과를 나타내었으며, 작업성을 위해 flow를 200 mm로 고정된 상태에서 차수재의 단위수량의 변화를 확인하였다. VAE 수지의 함량이 증가할수록 단위수량이 18.1%에서 15.6%까지 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 VAE 수지의 혼입량이 증가할수록 구형의 VAE 수지의 입자들의 볼 베어링(ball bearing)효과와 VAE 수지에 함유되어 있는 유화제가 다량의 미세공기를 발생시켜 시멘트 입자들의 분산을 용이하게 만들기 때문으로 판단된다. 또한 차수재에 첨가된 유동화제는 입자 주변의 전기적 반발력을 발생시켜 차수재 및 모르타르에 입자 분산을 용이하게 하여 단위수량을 감소시킨다고 보고되어 있다(Jo and Hyung, 2013). 따라서 VAE 수지와 유동화제의 시너지효과로 인해, 본 연구와 같이 flow를 일정하게 고정할 경우, 단위수량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

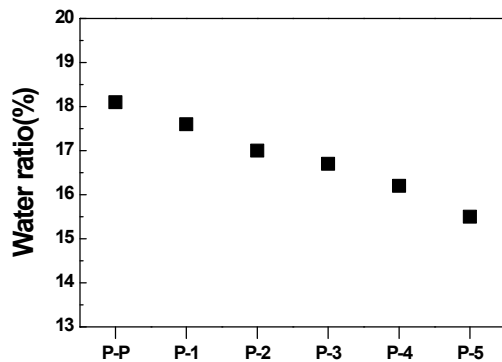


Fig. 1. Water ratio of liner and cover materials.

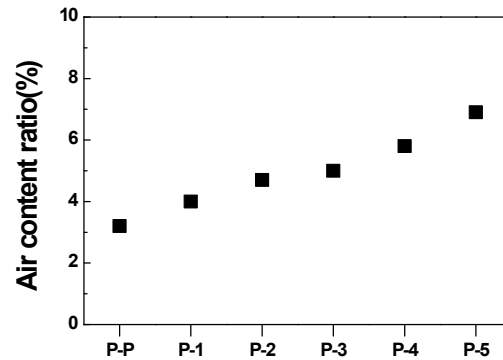


Fig. 2. Air content ratio of liner and cover materials.

### 3.2. 차수재의 공기량 특성

VAE 수지에 함유되어 있는 유화제는 차수재의 혼합 시 연행공기(entrained air)를 발생시키게 된다. 이 때 발생하는 연행공기는 동결융해에 대한 저항성을 증가시켜 주지만 과도한 연행공기의 발생은 오히려 내구성을 감소시킬 수 있다(Mai and Cotterell, 1986). Fig. 2에 공기량 측정결과를 나타내었으며, VAE 수지 함량이 증가할수록 공기량은 3.2%~7.2%까지 증가한 결과를 확인하였다. 이러한 결과는 일반적으로 폴리머 시멘트 모르타르의 공기량은 폴리머-시멘트 비가 증가할수록 높아지는 것으로 알려져 있는 연구결과와 동일한 것으로 나타났다(Han and Chang, 2015). 따라서 VAE 수지 함량이 증가할수록 동결융해 저항성은 향상되지만, 내구성은 다소 저하될 것으로 판단된다.

### 3.3. 차수재의 휨· 압축강도

시멘트-모르타르 및 차수재 등 시멘트 제품의 강도는 구성하고 있는 성분과 단위수량의 영향을 받으며, 일반적으로 단위수량이 적을수록 압축강도가 향상된다고 보고되고 있다(Kumar et al, 2010). 차수재의 휨강도와 압축강도를 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 초기 3일 휨강도는 VAE 수지를 혼입하지 않은 P-P의 경우, 3.4 MPa를 나타내었으나 VAE 수지 함량이 가장 높은 P-5는 2.5 MPa로 감소한 것을 확인하였다. 하지만 7일 이후부터는 VAE 수지를 혼입하지 않은 P-P보다 VAE 수지 함량이 증가할수록 휨강도가 상승하였고 28일 후에는 P-P의 강도는 8.9 MPa인 것을 확인하였으나 P-5에서는 10.6 MPa까지 상승한 것을 나타

났다. 이러한 결과는 차수재에 VAE 수지를 혼입할 경우, 차수재 계면에 형성되는 폴리머 막이 시멘트의 수화반응보다 늦어지면서 발생한 경화속도 차이에 의한 결과로 판단된다. 하지만 7일강도 이후부터는 차수재 내부에 형성된 폴리머 필름이 골재 사이의 부착력을 증진시켜 휨강도가 상승한 것으로 판단된다(Choi et al., 2015).

압축강도는 휨강도와 반대로 28일경과 후에 P-P는 33.2 MPa인 것을 확인하였으며, P-5는 23.4 MPa로 감소한 것을 확인하였다. 이러한 결과는 시멘트 수화과정에서 자체강도를 가지고 있지 않은 VAE 폴리머 필름의 형성을 증가로 인해 수화반응을 방해하여 생긴 결과로 판단된다(Yoshihiko and Ohama, 1995). 즉, 차수재 및 모르타르의 수화반응은 시멘트 입자를 구성하고 있는 C<sub>3</sub>A, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A 및 C<sub>4</sub>AF에 의해 이루어진다. 이들은 물과 반응하여 수화생성물인 ettringite (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·32H<sub>2</sub>O)와 calcium silicate (C-S-H) 등을 생성시켜 강도를 증진시킨다. 그러나 차수재에 VAE 폴리머 필름이 형성되면서 수화생성물의 결정성장을 억제하여 생긴 결과로 판단된다.

### 3.4. 차수재의 흡수율

폐기물 매립지에 설치된 차수재의 경우, 겔 공극과 삼투압 작용 등에 의해 수분형태로 토양으로 유입되어 환경오염을 발생 시키게 된다. 따라서 차수재의 경우, 흡수율을 감소시키는 것이 중요하다(Ismail et al., 2013). Fig. 5는 차수재를 48시간동안 수중침지 후의 흡수율을 나타내었으며, 일정 함량 이상까지는 VAE 수지 함량이

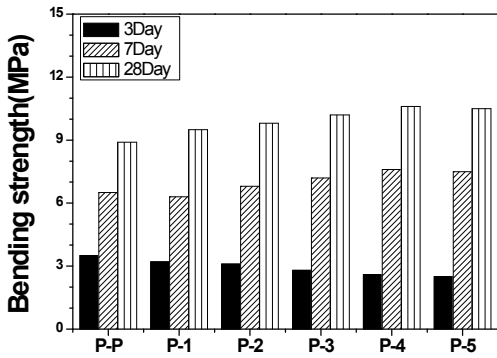


Fig. 3. Bending strengths of liner and cover materials.

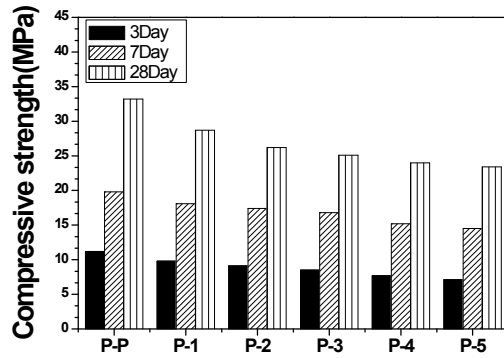


Fig. 4. Compressive strengths of polymer liner and cover materials.

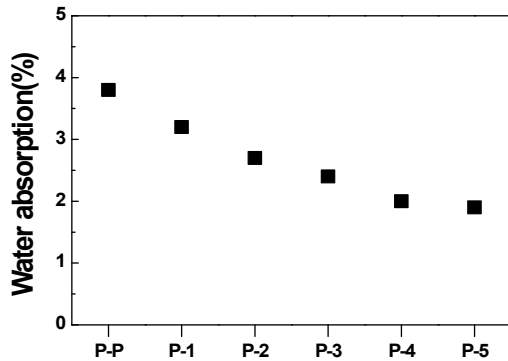


Fig. 5. Water absorptions of liner and cover materials.

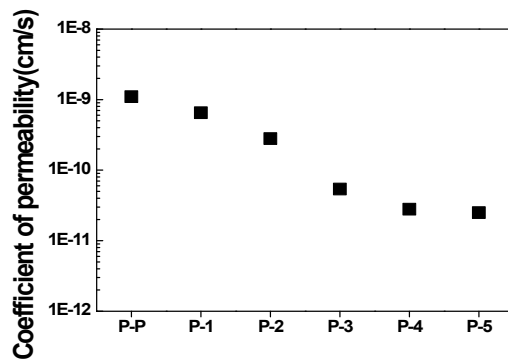


Fig. 6. Coefficients of permeability of polymer liner and cover materials.

증가할수록 흡수율이 낮은 것을 확인하였다. VAE 수지를 혼입하지 않은 P-P의 흡수율은 3.8%로 나타난 반면 P-5의 경우는 흡수율이 1.9%로 줄어든 것을 확인하였다. 따라서 VAE 수지를 혼입할 경우, 흡수율이 거의 50%까지 감소하는 효과를 나타내었다. 이러한 결과는 VAE 수지의 유화제 성분으로 단위수량이 감소하게 되면서 수분의 증발로 인해 발생하는 내부공극을 감소시켜 발생된 결과로 보여진다. 또한 시멘트와 골재 사이에 존재하는 빈 공극에 폴리머가 필름형태로 형성되어 흡수율 감소효과를 가져온 것으로 판단된다(Depuy, 1996). 그러나 VAE 수지의 혼입량이 증가할수록 흡수율 감소효과는 상대적으로 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 따라서 골재와 시멘트 간의 계면사이에 폴리머 필름이 충분히 형성되어 일정함량 이상을 혼입할 경우, 그 효과는 크지 않은 것으로 판단

된다.

### 3.5. 차수재의 투수계수

폐기물 매립지에 설치된 차수재의 경우, 투수계수가 특히 중요한 인자인 것은 차수 및 집수시설이 매립지 내에서 발생하는 침출수의 누출을 방지하는 것, 즉 폐기물 매립시설에 있어서 차수시설은 오염물질을 포함한 침출수가 토양, 공공수역 및 지하수로 유출되는 것을 방지하기 위해서 설치되는 시설이기 때문이다(Afiridi et al., 2003). 따라서 투수성은 유체의 침투를 유도하는 것으로 투수계수가 낮을수록 유해물질이 주변 환경으로 이동하는 것을 투수계수 속도로 예측되는 시간 동안 억제시키기 때문이다. Fig. 6에 차수재의 투수계수의 측정결과를 나타내었는데 VAE 수지 함량이 높을수록 투수성이 낮아 차수능력이 우수한 것을 확인하

였다. P-P의 투수계수는  $1.1 \times 10^9$  cm/s인 반면 VAE 수지를 5% 혼입한 P-5의 경우,  $2.5 \times 10^{-11}$  cm/s까지 낮은 투수특성을 발현되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 골재와 시멘트 사이에 형성되는 VAE 폴리머 필름이 차수재의 겔 공극과 내부공극을 채워줌으로 인해 수밀성이 향상되어 생긴 결과로 판단된다. 또한 방수특성결과와 같이 일정 이상 VAE 수지 함량 이상이 차수재에 혼입될 경우 투수계수 감소는 크지 않은 것을 확인하였다(Lee et al., 2011). 특히 P-4의 투수계수는  $2.8 \times 10^{-11}$  cm/s로서  $2.5 \times 10^{-11}$  cm/s의 투수성능을 가지는 P-5와 동등 수준으로 볼 수 있다. 이는 흡수율 측정 결과와 마찬가지로 차수재 공극 속에 폴리머 필름이 충분히 혼입됨에 따라 발생된 결과로 판단된다. 따라서 경제성을 고려하면 VAE 수지의 함량은 3~4% 정도가 적절한 것으로 보여 진다. 일반적인 차수재는 투수계수가  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  cm/s 정도로 폐기물 관리법에서 요구하는 투수계수를 만족하지 못하는 재료에 벤토나이트를 점토/모래질의 토양에 시멘트와 함께 첨가하여 제조한 차수재는 벤토나이트 함량에 따른 투수계수가 감소하는 경향을 보였고 플라이 애쉬와 탄소 세라믹을 적용한 차수재의 경우에도 탄소 세라믹의 함량에 따라 투수계수가  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  cm/s 수준으로 감소하는 것이 보고되어 있다(Kim et al., 2000; Cho et al., 2003). 본 연구에서는 기준을 만족하는 재료( $10^{-9}$  cm/s)에 VAE 수지를 첨가하여 투수계수가  $10^{-11}$  cm/s에 근접하는 아주 높은 수밀성을 나타내어 매립지 주변의 환경오염을 보다 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 폐기물 매립지용 차수재의 내구성 및 수밀성을 향상시키기 위해 VAE 수지를 차수재에 도입하여 함량에 따른 물성 변화를 고찰하였다. VAE 수지의 함량이 증가 할수록 VAE 입자의 볼 베어링(ball bearing) 효과와 수지에 함유된 유화제에 의한 분산성 향상으로 인해 단위수량이 감소됨을 확인하였다. 공기량 특성의 경우, VAE 수지가 증가 할수록 동결융해 저항성은 향상되나 연행공기 발생량이 증가하므로 내구성이 다소 저하될 것으로 판단된다. 3, 7 및 28일의 간격을 두고

힘 및 압축강도를 측정한 결과, 차수재 계면에 형성되는 VAE의 막 형성과 시멘트의 수화반응 사이의 속도차이로 인해 3일 차에는 휨강도가 함량에 따라 감소하나, 7일 및 28일 차에는 함량에 따라 휨 강도가 증가하였다. 압축강도의 경우, VAE 수지 함량이 증가할수록 VAE의 필름 형성률이 증가하여 수화생성물의 결정성장을 억제하여 감소하는 결과를 나타내었다. 흡수율은 VAE 수지의 유화제 성분으로 인해 단위수량이 감소함에 따라 수분증발에 의해 발생하는 내부 공극의 감소 및 시멘트와 골재 사이의 공간에 고분자 필름이 형성되어 함량에 따라 소폭 감소하는 특성을 보였다. 투수계수 또한 VAE 수지가 차수재 내부의 공극을 채워줌으로 인해 낮은 투수 특성이 발현되고 차수성능이 향상된 것으로 판단된다. VAE 수지 함량에 따른 경향성을 종합적으로 검토해보았을 때, VAE 수지가 4 wt% 함량일 때 최적의 물성을 발현하는 것으로 판단되었다. 기존에 사용되던 무기물과 비교하였을 때 VAE 수지는 현장 적용시 비교적 간단한 방법으로 제조될 수 있으며, 차수재의 중요 특성인 내구성 및 수밀성의 향상에도 기여하기 때문에, 향후 차수재의 성능 향상에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국연구재단(NRF-2017R1D1A1B 0303 2434)와 2019년도 Brain Busan 21+사업의 지원을 받아 연구되었음.

#### REFERENCES

- Afridi, M. U. K., Ohama, Y., Demura, K., Iqbal, M. Z., 2003, Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars, *Cem. Concr. Res.*, 33(11), 1715-1721.
- Cho, J. B., Hyun, J. H., Park, H. S., Seo, K. A., 2003, Role of MCG (Muscovite Carbon Gypsum) in the application of fly ash as the landfill, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 25(9), 1147-1151.
- Choi, J. G., Lee, C. G., Ko, K. T., Ryu, G. S., 2015, Effect of VAE type powder polymer on strength properties of high strength polymer cement mortars, *J. Korea Inst. Build. Const.*, 15(3) 299-306.

- Cho, J. H., Yoon, T. G., Yeo, B. C., Ahn, S. R., Chun, B. S., 2005, A Study on the application of landfill liners with stone dust sludge, Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference, Korean Geotechnical Society, 483-490.
- DePuy, G. W., 1996, Proceedings of the international ICPC workshop in polymers in concrete, Slovenia, 63-67.
- Han, C. G., Chang, J. H., 2015, Basic properties of alkali-activated mortar with additive's ratio and type of superplasticizer, J. Rec. Const. Resources, 3(1), 50-57.
- Heo, Y., Park, S. H., Jung, Y. J., Kim, E. J., 2011, Liner characteristics of solid waste incinerator fly ash, Journal of the Institute of Construction Technology, 30(1), 75-81.
- Hyun, J. H., Kim, M. G., 2007, Advanced technologies in liner and cover system of landfill, J. Korean Soc. Environ. Eng., 29(1), 3-7.
- Ismail, I., Bernal, S. A., Provis, J. L., Nicola, R. S., Brice, D. G., Kilcullen, A. R., Hamdan, S., van Deventer, J. S. J., 2013, Influence of fly ash on the water and chloride permeability of alkali activated slag mortars and concretes, Constr. Build. Mater., 48, 1187-1201.
- Jo, Y. K., Hyung, W. G., 2013, Properties of polymer cement mortar based on styrene-butyl acrylate according to emulsifier and monomer ratios, Polymer (Korea), 37(2), 148-155.
- Kim, Y. I., Sung, C. Y., 2007, Strength and watertightness properties of EVA modified high strength concrete, J. Korean Soc. Agric. Eng., 49(1), 45-54.
- Korea waste association, 2012, [http://www.kwaste.or.kr/bbs/content.php.co\\_id=sub0403](http://www.kwaste.or.kr/bbs/content.php.co_id=sub0403).
- Kumar, S., Kumar, R., Mehrotra, S. P., 2010, Influence of granulated blast furnace slag on the reaction, structure and properties of fly ash based geopolymer, J. Mater. Sci., 45(3), 607-615.
- Kim, J. S., 1999, A Development of landfill liner by utilizing waste lime, Masters thesis, Seoul National University, Seoul.
- Kim, S. M., Youm, H. N., Lim, N. W., 2000, Effect of bentonite and cement on permeability and compressive strength of the compacted soil liner, J. Korean Soc. Environ. Eng., 22(3), 495-504.
- Lee, J. H., Park, S. H., Nam, J. N., Chun, B. S., 2009, A Study on the compaction and permeability of bottom ash and bentonite for using a liner material, Korean Geo-Environmental Conference, Seoul, 73-78.
- Lee, J. Y., Bae, S. Y., Woo, S. H., 2011, Evaluation of field applicability with Coal Mine Drainage Sludge (CMDS) as a liner: part I: physico-chemical characteristics of CMDS and a mixed liner, J. Korean Geosynthetic Society, 10(2), 67-72.
- Lee, K. S., Cho, I. K., Mok, J. K., Kim, J. W., 2016, An Electrical resistivity survey for leachate investigation at a solid waste landfill, Geophys. and Geophys. Explor., 19(2), 59-66.
- Lee, Y. G., Won, J. M., Lee, W. J., Choi, Y. H., 2013, The effect of vinyl acetate-ethylene (VAE) emulsion on coated paper properties, J. Korea Tech. Assoc. Pulp. Pap. Ind., 45(5), 37-43.
- Mai, Y. W., Cotterell, B., 1986, Porosity and mechanical properties of epoxy-resin modified cement mortar, Cotterell, Cem. Concr. Res., 16(5), 646-652.
- Ohama, Y., 1995, Handbook of polymer-modified concrete and mortars, William Andrew, Noyes Publications, New Jersey, 24-52.
- Seo, M. W., Kim, D. J., Park, J. B., Park, I. J., 2002, An Evaluation of interface shear strength between geosynthetic clay liner and geomembrane, Journal of the Korean Geotechnical Society, 18(4), 137-146.

- 
- 이승재, 부경대학교 고분자공학과 대학원생  
sj042@naver.com
  - 이원기, 부경대학교 고분자공학과 교수  
wonki@pknu.ac.kr