

재유화형 분말수지와 아질산형 하이드로칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 방청성 및 내구성

Corrosion-Inhibition and Durability of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder with Nitrite-Type Hydrocalumite

김 완 기^{1*}

홍 선 희²

Kim, Wan-Ki^{1*}

Hong, Sun-Hee²

Department of Architectural Engineering, Hyupsung University, Bongdam-Eup, Hwaseong, 445-745, Korea ¹
Graduate School, Hyupsung University, Bongdam-Eup, Hwaseong, 445-745, Korea ²

Abstract

Nitrite-type hydrocalumite (calumite) is a material that can adsorb the chloride ions (Cl^-) that cause the corrosion of reinforcing bars and liberate the nitrite ions (NO_2^-) that inhibit corrosion in reinforced concrete, and can provide a self-corrosion inhibition function to the reinforced concrete. In this study, VA/E/MMA-modified mortars with calumite were prepared with various calumite contents and polymer binder-ratios, and tested for corrosion inhibition, chloride ion penetration, carbonation and drying shrinkage. As a result, regardless of polymer-binder ratio, the replacement of ordinary Portland cement with hydrocalumite has a marked effect on the corrosion inhibiting property of the polymer-modified mortars. However, chloride ion penetration and carbonation depths are somewhat increased with higher calumite content, but can be remarkably decreased depending on the polymer-binder ratios. The 28-d drying shrinkage shows a tendency to increase with the polymer-binder ratio and calumite content. VA/E/MMA-Modified mortars with 10 % calumite did not satisfy KS requirements. Accordingly, a calumite content of 5 % is recommended for the VA/E/MMA-modified mortars with calumite.

Keywords : dispersible polymer powder, hydrocalumite, corrosion-inhibition, durability

1. 서 론

최근 온실가스의 배출로 인한 지구환경문제가 심각해지고 있으며, 건축 산업에서도 건축 시의 자재 제조나 시공에 요하는 에너지 소비를 동반하여 다량의 탄산가스를 배출하므로 이에 대한 절감 대책이 절실히 요구된다. 건축물의 구체에 사용되는 철근콘크리트는 주로 고온으로 정련된 철과 광

물 자원인 골재, 공업제품인 시멘트로 구성되어 있으며, 이들의 대량 사용은 골재 자원의 고갈과 다량의 에너지 소비, 다량의 탄산가스의 방출이라는 큰 문제를 안고 있다. 따라서 건축물의 장수명화를 실현할 수 있다면, 이와 같은 환경 부하의 최소화와 함께 지속가능한 사회 구현에 일조를 할 수 있을 것이라 생각된다.

시멘트 혼화용 폴리머는 1923년 영국의 Cresson[1]에 의해 처음으로 그 시스템이 소개된 이래, 지금까지 수많은 연구자들에 의해 연구되어 왔고, 건설산업분야에서 다양하게 사용되고 있다. 시멘트 혼화용 폴리머를 콘크리트에 혼합함으로써 부착강도, 동결융해저항성, 내마모성, 휨 및 인성, 방수성 등 전반적인 물성 및 내구성이 개선된다[2,3].

그 중에서도 특히 재유화형 분말수지는 분말 형태의 재료

Received : November 21, 2011

Revision received : January 20, 2012

Accepted : February 17, 2012

* Corresponding author : Kim, Wan-Ki

[Tel: 82-31-299-0757, E-mail: wankkim@uhs.ac.kr]

©2012 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

말수지에 대하여 폴리에스테르계 분말소포제를 1.0% 첨가하였다.

Table 2. Properties of redispersible polymer powder

Type of polymer	Appearance	Particle size (μm)	Glass transition point($^{\circ}\text{C}$)	pH[10% water dispersion (20 $^{\circ}\text{C}$)]
VA/E/MMA	White powder	400	12	4.8

2.1.4 방청성 시험용 철근

철근은 KS D ISO 6935-1(콘크리트 보강용 봉강 제1부: 원형봉강)에서 규정하는 재질로 크기 $\varnothing 10 \times 130\text{mm}$ 의 원형봉강을 사용하였으며, 철근 표면은 600번 연마지로 연마한 후 아세톤으로 불순물을 제거하였다.

2.2 실험계획

2.2.1 실험요인 및 수준

본 연구의 실험수준 및 시험항목은 Table 3에 나타난 바와 같다.

Table 3. Experiment plan

Experiment factor	Experiment level
Cement	Ordinary portland cement
Fine aggregate	Jumunjin standard sand [Binder:Sand(by weight) = 1:3]
Mix proportion	Corrosion inhibition admixture Nitrite-type hydrocalumite(calumite) Calumite content(%) : 0, 5, 10
	Redispersible polymer powder VA/E/MMA terpolymer Polymer-binder ratio(%) : 0, 5, 10, 20
Test item	Hardened mortar Chloride ion penetration, Carbonation, Drying shrinkage, Corrosion inhibition

2.2.2 공시체 제작

공시체의 제작은 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 Table 4에 나타난 배합의 공시 모르타르를 그 플로우 값이 $170 \pm 5\text{mm}$ 가 되도록 물결합재비를 조정하여 혼합하였다.

방청성 시험용 공시체는 KS F 2599-1(철근콘크리트의 촉진부식 시험방법-제1부: 오토클레이브방법)에 의거하여 Table 5에 나타난 성분(전량 1 ℓ)의 인공염분용액을 제조한

후, 잔골재에 대하여 염화물량 0.2%를 만족하는 소정량을 배합수에 혼합하였다. Figure 3에 나타난 바와 같이 철근의 피복두께 15mm를 유지하기 위해 모르타르 타설 전, 몰드의 양 끝에 시멘트 모르타르로 제작한 스페이서를 설치하고 크기 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ 로 성형하여 7일간 습윤양생[20 $^{\circ}\text{C}$, 80%(RH)] 후 공시체로 하였다.

Table 4. Mix proportions of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

Type of mortar	Binder:Sand (by weight)	Calumite content, C/C(%)	Polymer-binder ratio, P/B(%)	Water-binder ratio (%)	Flow (mm)
VA/E/MMA-modified	1:3	0	0	68	171
			5	54	165
			10	53	166
			20	50	165
			0	70	171
			5	55	174
	10	5	10	53	167
			20	50	170
			0	71	170
			5	54	170
			10	53	173
			20	51	167

Table 5. Chemical compositions of artificial salt solution

Reagent	Weight(g/ ℓ)
NaCl	24.5
MgCl ₂ ·6H ₂ O	11.1
Na ₂ SO ₄	4.1
CaCl ₂	1.2
KCl	0.7

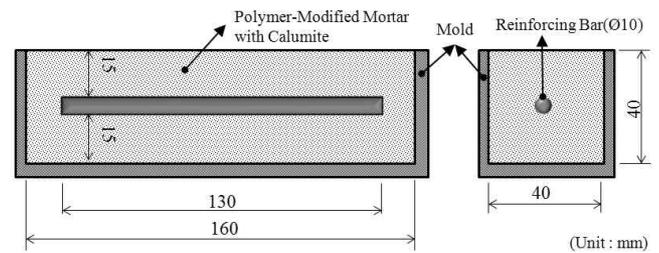


Figure 3. Geometry of specimen for corrosion inhibition test

2.3 시험방법

2.3.1 염화물이온 침투 시험

일본 콘크리트 공학협회의 『폴리머 시멘트 모르타르 시험방법, 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물이온 침투깊이 시험방법(안)』에 준하여, 양생을 마친 공시체를 7일간 염화

나트륨 용액 (온도: 20℃, 농도: 2.5%) 중에 침지시킨 후 공시체를 2분할하였다. 그 단면에 0.1% 플루오레세인 나트륨 용액 및 0.1N 질산은 용액을 분무하여 형광을 발하는 부분을 염화물이온 침투영역으로 하여 Figure 4에 나타난 8개소의 염화물이온 침투깊이를 측정하였다.

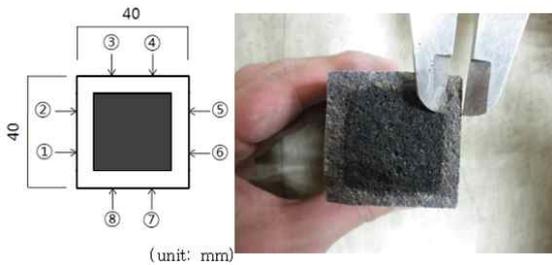


Figure 4. Cross section of VA/E/MMA-modified mortars after Cl⁻ penetration depth test

2.3.2 중성화 촉진 시험

양생을 마친 공시체를 14일간 촉진 중성화 시험장치(온도: 30℃, 상대습도: 60%, CO₂ 농도: 5.0%) 안에 정치한 후, 공시체를 2분할하였다. 그 단면에 페놀프탈레인 1% 알코올 용액을 분무하여 적색으로 변화하지 않은 부분을 중성화 영역으로 하고, Figure 5에 나타난 8개소의 중성화 깊이를 측정하였다.

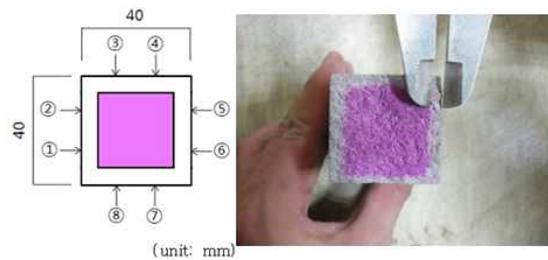


Figure 5. Cross section of polymer-modified mortars after carbonation test

2.3.3 건조수축 시험

KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법)의 콤퍼레이터 방법을 따라 양생을 마친 직후, 기장을 측정하여 기중양생[20℃, 60%(RH)]을 하였으며, 기중양생 기간 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 및 28일에 대하여 건조수축을 측정하였다.

2.3.4 철근부식 촉진 시험

KS F 2599-1에 준하여 Figure 6에 나타난 촉진부식조건으로 총 8사이클까지 실시하여 부식면적을 측정하였다. 측정된 부식면적으로부터 식 (2)에 의해 봉강의 부식률을 측정하였다. 봉강의 유효표면적은 봉강의 양단부에서 20mm의 부분을 제외한 내측 90mm의 부분으로 하고 이에 대한 봉강의 부식면적을 측정하였다.

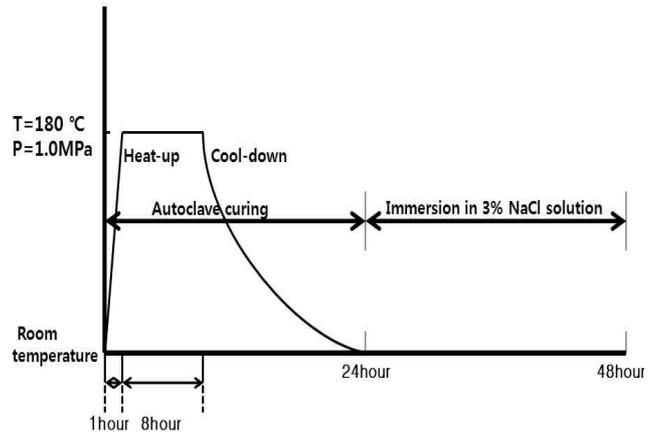


Figure 6. Accelerated corrosion test condition

$$\text{봉강의 부식률 (\%)} = \frac{\text{부식면적 (mm}^2\text{)}}{\text{유효표면적 (mm}^2\text{)}} \times 100 \text{---- (2)}$$

2.3.5 세공용적 측정

크기 40×40×160mm의 공시체의 내부에서 채취한 모르타르를 입경 약 3mm로 파쇄하여 시료로 사용하였다. 시료를 에탄올로 세정한 후 D-dry처리를 하고, 수은압입식 포로시메타를 이용하여 세공경 3.75~7500nm의 범위에서 세공용적을 측정하였으며, 또한 전체 세공용적을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 염화물 이온 침투 저항성

Figure 7은 VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율에 따른 염화물 이온 침투깊이를 나타낸 것이다.

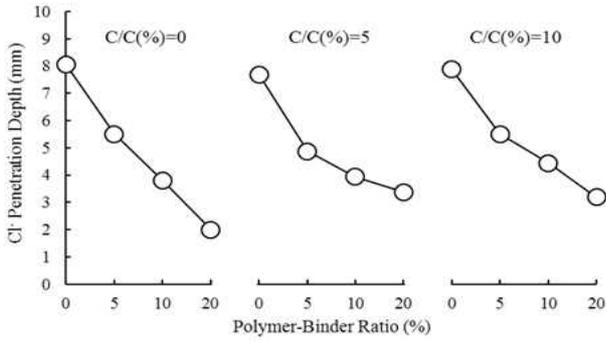


Figure 7. Cl-penetration depth of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 깊이는 폴리머 결합재비의 증가에 따라 크게 감소하였으며, 염화물 이온 침투에 대한 저항성이 현저히 개선되었다. 칼루마이트 치환율 0%에서 분말수지 혼입에 의해 가장 큰 효과가 있었으며, 폴리머 결합재비 20%에서는 보통 시멘트 모르타르에 비해 1/4정도로 염화물 이온 침투깊이가 감소하였다. 칼루마이트의 치환율에 의한 영향은 일부 증가하는 경향을 나타내기도 하였으나, 그 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

Figure 8은 염화물 이온 침투시험 후 시험체의 단면을 나타낸 것이다.

P/B (%)	Type of mortar Calumite content (%)		
	0	5	10
0			
5			
10			
20			

Figure 8. Cross sections of VA/E/MMA-modified mortars with calumite after Cl-penetration test

3.2 중성화에 대한 저항성

Figure 9는 VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것이다.

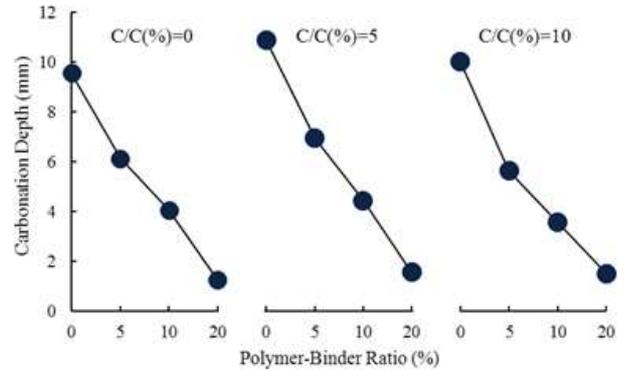


Figure 9. Carbonation depth of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이는 폴리머 결합재비의 증가에 따라 크게 감소하였으며, 중성화에 대한 저항성이 현저히 개선되었다. 보통 시멘트 모르타르에 비해 폴리머 결합재비 5%에서는 3/5 정도로 중성화 깊이가 감소하였고, 폴리머 결합재비 10%에서는 중성화 깊이가 1/2 미만으로 감소하였으며, 폴리머 결합재비 20%의 경우에는 약 1/8 정도로 중성화 깊이가 크게 감소하였다. 한편, 칼루마이트 치환율과 중성화의 관계는 칼루마이트 치환율의 증가와 함께 중성화 깊이가 일부 증가하는 경향을 나타냈으나, 이는 VA/E/MMA 분말수지와 병용에 의해 크게 개선되었다.

Figure 10은 중성화 촉진 시험 후 시험체의 단면을 나타낸 것이다.

Figure 11은 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포를 나타낸 것이다. 칼루마이트 치환율 0%의 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포는 보통 시멘트 모르타르가 430-750nm에서 세공용적 피크를 나타낸 것에 반하여, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 세공용적의 피크가 작은 쪽으로 이행한 것을 확인 할 수 있다. 칼루마이트 치환율 5%의 경우에는 칼루마이트 치환율 0%에 비하여 전반적으로 전체 세공용적이 증가하였으나, 치환율 5%와 마찬가지로 폴리머 결합재비의 증가와 함께

세공용적 피크가 작은 쪽으로 이행한 것이 확인되었고, 그 경향은 칼루마이트 치환율 0%와 매우 흡사하였다.

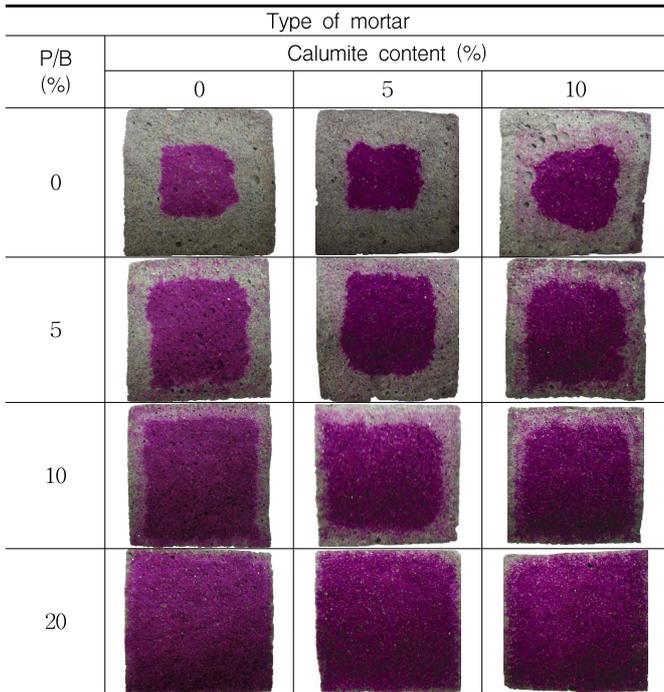


Figure 10. Cross sections of VA/E/MMA-modified mortars with calumite after carbonation test

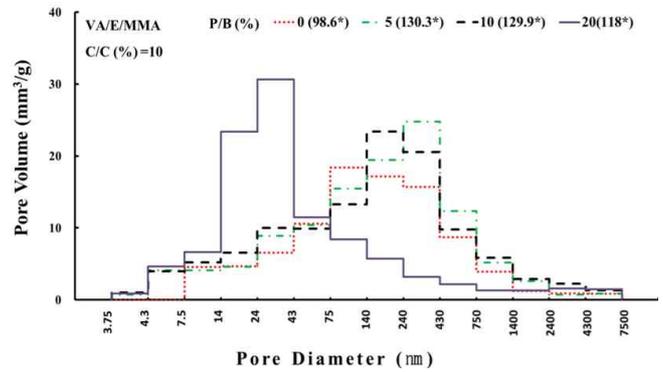
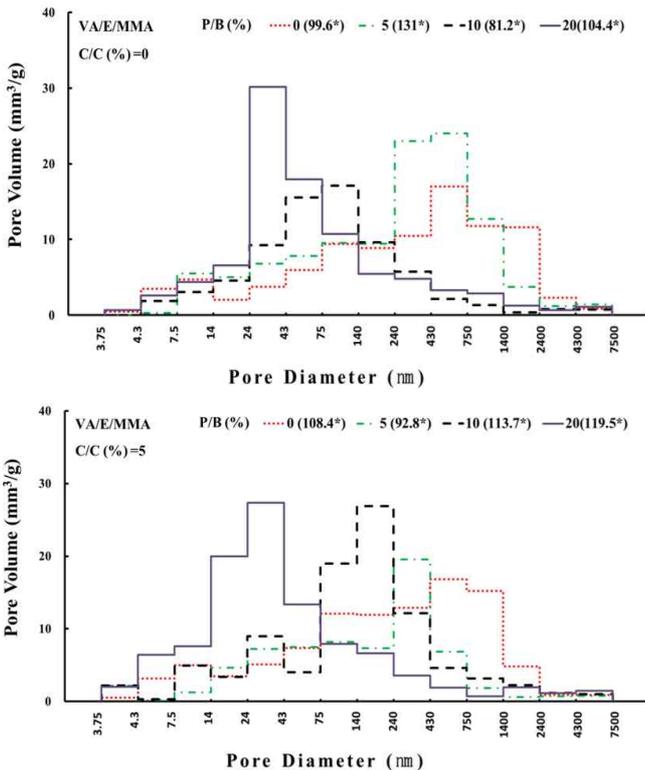


Figure 11. Pore size distribution of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

공기 중의 이산화탄소는 콘크리트 중에 가스 또는 수용액으로 침입해, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C-S-H 와 반응하여 CaCO_3 가 생성되고, 그에 의해 경화체의 pH가 저하되어 중성화가 된다. 그만큼 중성화는 투기·투수성과 밀접한 관계에 있는데, 일반적으로 시멘트 경화체의 투기·투수성은 수화반응에 따라 감소하지만 그 정도는 C-S-H 수화물의 양에는 직접적인 관계가 없고, C-S-H 수화물이 생성되는 장소와 관련이 있다. C-S-H 수화물이 적당히 모세관공극을 폐색하는 장소에 생성되면 투기·투수성은 감소한다. 보통 시멘트의 수화로 생성하는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 공극 중에 석출하는 것으로 폐색 효과는 적지만 포졸란 반응의 결과로 생성하는 C-S-H , C_4AH_3 은 모세관공극을 폐색하는 것으로 알려져 있다[11]. 따라서 물이나 공기의 투기·투수성은 시멘트 경화체의 전 공극량이 아닌 일정 크기 이상(직경 수십~수백nm의 공극)의 공극량과 관계가 깊다[12,13]. 본질적으로는 공극이 연속인지 불연속인지에 따라서 결정되는데, 공극입구의 직경이 100nm 이상의 공극은 경화체 내부에도 연속될 가능성이 크며, 반대로 100nm 이하의 공극은 폐색하고 있는 것이 많다고 볼 수 있다[14].

Figure 12는 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포와 중성화 깊이를 나타낸 것이다. 전술한 바와 같이 전체 세공용적의 증감과는 무관하게, 100nm 이하 크기의 미세공극량이 폴리머 결합재비의 증가와 함께 증대됨에 따라 중성화 깊이가 현저히 개선됨을 알 수 있다.



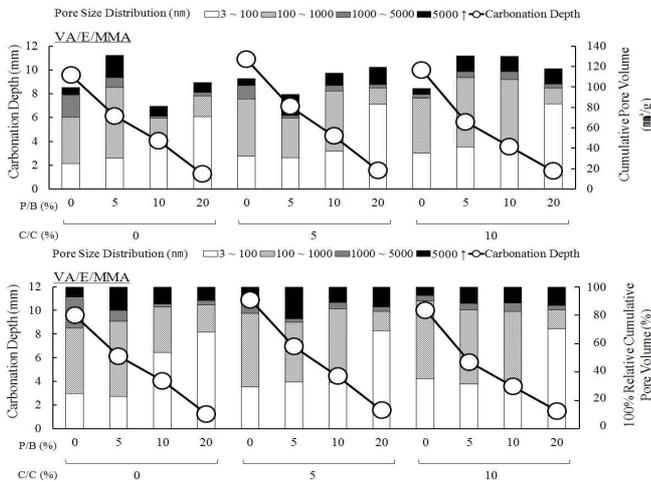


Figure 12. Pore size distribution of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

3.3 건조수축

Figure 13은 VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 28일 건조수축을 나타낸 것이다. 28일 건조수축은 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율의 증가와 함께 증가하는 경향을 보였다. 특히, 칼루마이트 치환율 10%의 경우는 VA/E/MMA 분말수지와 병용한 것에서 모두 KS F 4716(시멘트 혼화용 폴리머)의 28일 건조수축 규정 값을 넘어서는 결과로서 향후 폴리머 시멘트 모르타르와 병용면에서는 치환율 10% 미만으로 사용량을 고려해야 할 것으로 판단된다.

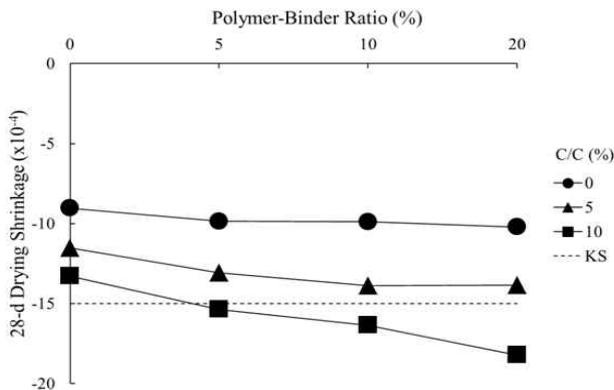


Figure 13. 28-d drying shrinkage of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

시멘트 경화체의 건조수축에 있어서 전체 공극량과의 관계는 거의 인정되지 않으나, 직경 30nm 이하의 공극량과 건조수축의 사이에는 밀접한 관계가 있어, 30nm 이하의 공극량의 증가와 함께 수축량은 증대한다. 또한 30nm 이하의

공극에 대해서도 2.5nm 이하와 그 이상의 공극에는 수축의 메커니즘이 다르며, 2.5nm 이하의 공극은 겔 공극에 의한 수축이고 2.5~30nm의 공극은 모세관공극에 의한 수축으로 전자의 수축이 현저하다. 2.5nm~30nm범위의 공극은 낮은 수화율, 2.5nm 이하의 공극은 높은 수화율에서 영향을 준다[15].

Figure 14는 폴리머 결합재비와 칼루마이트 치환율에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포를 건조수축과 밀접한 관계를 갖는 30nm 이하와 그 이상으로 나타낸 것이다. 본 연구에서 적용된 수은압입법은 3nm 이하의 세공경 측정이 불가능한 관계로 3~30nm와 30nm 이상으로 세공경 분포 구간을 나누어 보면, 칼루마이트 치환율에 의한 영향보다는 폴리머 결합재비의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 또한 칼루마이트 치환율과 무관하게 폴리머 결합재비의 증가와 함께 모두 30nm 이하의 세공경 분포가 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 Figure 13에서와 같이 폴리머 결합재비가 증가함에 따라 건조수축이 증가하는 결과와 동일한 양상이다. 이는 폴리머 혼입에 의한 물결합재비 감소, 시멘트 매트릭스 내 필름형성으로 인한 치밀한 조직구조 형성에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 칼루마이트 치환율 증가에 따른 건조수축 증가는 VA/E/MMA 분말수지 혼입에 의한 건조수축 메커니즘과는 다르게, 칼루마이트 치환율 증가에 따라 일부 물결합재비가 증가하는 것에 기인한 것으로 판단된다.

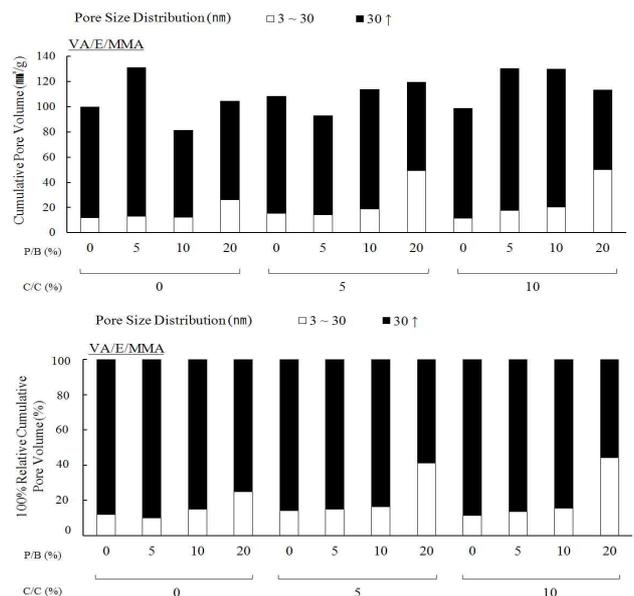


Figure 14. Pore size distribution of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

3.4 방청성

Figure 15는 VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르내 매입된 철근의 촉진부식시험 8사이클 후 결과를 나타낸 것이다. 폴리머 결합재비 0%의 경우, 칼루마이트 치환율이 증가함에 따라 철근 부식률이 크게 감소하였으며, VA/E/MMA 분말수지와 병용한 것은 폴리머 결합재비와 무관하게 모두 완전한 방청성능을 보였다. 이러한 결과는 본 연구에서 시멘트 혼화용 폴리머로 사용된 VA/E/MMA 분말수지가 시멘트 매트릭스 내 폴리머 필름을 형성하므로써 그 내부조직을 치밀하게 하여 외부로부터 침투되는 염화물이온(Cl^-) 및 CO_2 가스를 차단하는 것과 방청성 혼화재로 사용된 칼루마이트가 모르타르 내부 및 외부로부터 침투하는 염화물이온(Cl^-)을 흡착하고, 동시에 아질산이온(NO_2^-)을 방출하는 것에 기인한 것으로 판단된다. 또한 칼루마이트의 이온교환반응에 의해 방출된 아질산이온이 철근의 부동태 피막을 회복시키는 메커니즘[8]에 의해 부식진행을 더욱 억제한 것으로 사료된다.

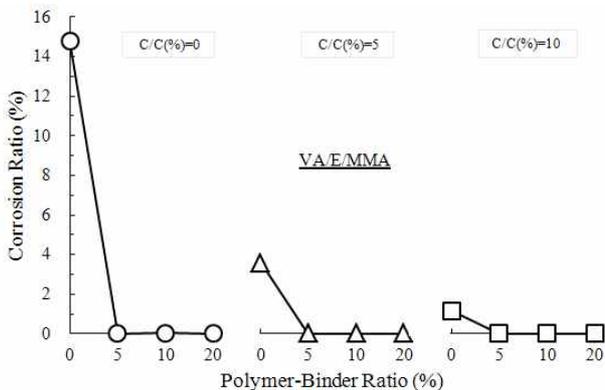


Figure 15. Corrosion ratio of VA/E/MMA-modified mortars with calumite

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 구조물의 장수명화를 위해 우수한 방청성과 내구성을 갖는 고성능·다기능 폴리머 시멘트 복합체의 개발을 목적으로, VA/E/MMA 터폴리머 분말수지와 아질산형 하이드로칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성 및 세공구조를 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 저항성은 칼루마

이트 치환율의 증가에 따라 일부 감소하는 경향을 나타냈으나, 이는 폴리머 결합재비의 증가와 함께 크게 개선되었다.

- 2) VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화에 대한 저항성은 염화물 이온 침투 저항성과 동일한 양상을 보였으며, 특히, 폴리머 결합재비의 증가와 함께 직경 100nm 이하의 미세공극률이 증가함에 따라 이온 및 가스 투과저항성이 향상되었다.
- 3) VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 28일 건조수축은 칼루마이트 치환율 증가에 의한 물 결합재비의 증가, 폴리머 결합재비 증가에 따른 직경 30nm 이하의 미세공극률 증가에 기인하여 증대되는 것으로 나타났다.
- 4) VA/E/MMA 분말수지와 칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 방청성은 칼루마이트 치환율 증가에 따라 향상되었으며, VA/E/MMA 분말수지와 병용에 의해 현저하게 개선되었다.
- 5) 이상의 연구결과로부터, 철근콘크리트 구조물의 장수명화를 위해 VA/E/MMA 터폴리머 분말수지와 아질산형 하이드로칼루마이트의 병용에 의해 우수한 방청성과 내구성을 갖는 폴리머 시멘트 복합체의 개발이 가능할 것으로 판단되며, 다만 건조수축의 경우 칼루마이트 치환율 10%에서는 VA/E/MMA 분말수지와 병용할 시 KS 규정 값을 초과하므로, 향후 칼루마이트 치환율은 10% 미만으로 권장된다.

요 약

본 연구는 철근 콘크리트 구조물의 장수명화를 위해 고성능·다기능 폴리머 시멘트 복합체의 개발을 목적으로, 우수한 성능을 갖는 VA/E/MMA (Vinyl Acetate/Ethylene/Methyl Methacrylate) 터폴리머 분말수지와 아질산형 하이드로칼루마이트를 병용한 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 저항성, 중성화 저항성, 건조수축 및 철근부식 촉진시험을 통하여 그 내구성과 방청성을 검토하는 것이다. 그 결과, 폴리머 결합재비에 관계없이 칼루마이트의 치환에 의해 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성이 일부 저하하는 경향을 보였으나, 이는 폴리머 결합재비의 증가에 따라 크게 개선

되었다. 방청성의 경우 VA/E/MMA 분말수지 사용으로 시멘트 매트릭스 내 생성된 폴리머 필름에 의한 이온 및 가스투과 저항성 증대와 칼루마이트의 이온교환반응에 따른 염화물 이온 흡착 및 아질산 이온을 방출하는 자기방청기능에 의하여 우수한 방청효과를 보였다. 따라서, 철근콘크리트 구조물의 장수명화를 위해 VA/E/MMA 터폴리머 분말수지와 아질산형 하이드로칼루마이트의 병용에 의해 우수한 방청성과 내구성을 갖는 폴리머 시멘트 복합체의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 재유화형 분말수지, 하이드로칼루마이트, 방청성, 내구성

References

- Cresson L, Improved manufacture of rubber road-facing, rubber-flooring, rubber-tiling or other rubber-lining, British Patent 191, 474, 1923 Jan 12.
- Ohama Y, Demura K, Kim WK, Properties of polymer-modified mortars using redispersible polymer powders, In: Yeon KS, Choi JD, editors, The First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, 1994 May 2-3; Kangwon National University, Chuncheon, Korea, Chuncheon (Korea): Kangwon National University; 1994. p. 81-90.
- Ohama Y, Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes, *ACI Materials Journal*, 1987 Nov 1;84(6):511-8.
- Hackel E, Beng P, Horler S, The use of redispersible polymer powders in concrete restoration, In: Stynes BW, editor, The production, performance & potential of polymers in concrete, Proceedings of the 5th International Congress on Polymers in Concrete, 1987 September 22-24; Brighton Polytechnic, Brighton, UK, Brighton (UK): Brighton Polytechnic; 1987. p. 305-8.
- Afridi MUK, Ohama Y, Demura K, Iqbal MZ, Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars, *Cement and Concrete Research*, 2003 Nov;33(11):1715-21.
- Tatematsu H, Sasaki T, Studies on diagnosis and repair for reinforcing bar corrosion by salt injury, *Transaction of Japan Concrete Institute*, 2000 June;22:211-20.
- Maruyama N, Tanaka Y, Lijima T, Follow-up study of external salt-damaged reinforced concrete structure(In Japanese), Proceedings of Japan Society of Civil Engineers the 57th Annual Academic Conference; 2002 Sept 25-27; Hokkaido University, Sapporo, Japan, Sapporo (Japan): JSCE; 2002. V-167 p. 333-4.
- Ohama Y, Miyamoto Y, Tatematsu H, Effects of mix proportioning factors on properties of epoxy-modified mortars without hardener, containing nitrite-type hydrocalumite, In: Oh BH et al, editors, Concrete under Severe Conditions: Environment & Loading, Proceedings of the 4th International Conference on Concrete under Severe Conditions: Environment & Loading; 2004 June 27-30; Seoul, Korea, Seoul (Korea): KCI; 2004. p. 1473-80.
- Kim WK, Strengths and corrosion inhibition of polymer-modified mortars using a terpolymer powder with nitrite-type hydrocalumite, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2011 Jan;27(1):145-52.
- Gokaku W, Wada H, Tatematsu H, High corrosion inhibition type patching repair method by salt adsorbent (In Japanese), 2010 Chugoku Regional Construction Technology Symposium; 2010 Nov 9; Shimane (Japan), Shimane (Japan): [publisher unknown]; 2010.
- Goto S, Roy DM, The effect of W/C ratio and curing temperature on the permeability of hardened cement paste, *Cement and Concrete Research*, 1981 July;11(4): 575-79.
- Mehta PK, Studies on blended portland cements containing santorin earth, *Cement and Concrete Research*, 1981 July;11(4):507-18.
- Feldman RF, Significance of porosity measurements on blended cement performance, *American Concrete Institute ACI SP-79*, Proceedings of the CANMET/ACI First International Conference on The Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and other Mineral By-Products in Concrete; 1983 July 31-August 5; Montebello, Canada, Ottawa(Canada): ACI Publication; 1983. p. 415-33.
- Uchikawa H, Effect of blending component on hydration and structure formation, 8th International Congress on the Chemistry of Cement Vol. I, Proceedings of 8th International Congress on the Chemistry of Cement; 1986; Rio de Janeiro, Brazil, Rio de Janeiro (Brazil): p. 249-80.
- Bentur A, Kung JH, Young JF, Milestone NB, Lawrence FV, Influence of microstructure on the creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes silicate de calcium, 7th International Congress on the Chemistry of Cement Vol.3, Proceeding of 7th International Congress on the Chemistry of Cement; 1980; Paris, France, Paris(France): 1980. p.VI-26-31