폴리머-결합재비 및 안료 첨가량에 따른 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 특성

Properties of Color Polymer Cement Mortar according to Polymer-binder ratio and Dosage of Pigment

이병연* · 이용교** · 이주하***

Lee, Byung-Yeon*, Lee, Yong-Kyo**, and Lee, Joo-Ha***

Abstract

In this study, the effect of the amount of pigment and polymer-binder ratio on the properties of color polymer cement mortar was experimentally investigated. The evaluation factors of experiment were the strength characteristics, chloride ion penetration resistance, carbonation, permeability, length change, and freezing and thawing resistance. As a result, the compressive, flexural, tensile, and bond strength of color polymer cement mortar tended to increase with increasing polymer-binder ratio, and the permeability, length change and chloride ion penetration tended to decrease. As the amount of pigment increased, however, mechanical properties such as strength and length change and durability such as carbonation and freezing and thawing resistance of color polymer cement mortar slightly decreased.

Key words : Color Polymer Cement Mortar, Polymer-binder Ratio, Pigment, Strength, Durability

요 지

본 논문에서는 안료 첨가량 및 폴리머-결합재비가 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 물성에 미치는 영향에 대해 실험적인 분석을 수행하였다. 주요 평가항목으로는 강도특성, 염화물이온침투저항성, 중성화 저항성, 투수성, 길이변화 및 동결융해저항성 등으로 설정하여 실험을 수행하였다. 실험 결과, 폴리머-결합재 비가 증가함에 따라 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도, 휨강도, 인장강도 및 부착강도가 증가하는 경향을 보였으며, 투수성, 길이변화, 염화물 이온 침투 등은 감소하는 경향을 보였다. 반면에 안료의 첨가량이 증가함에 따라 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 길이변화 및 강도 등의 역학적 특성과 중성화 및 동결융해저항성 등의 내구성은 다소 저하하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 칼라 폴리머 시멘트 모르타르, 폴리머-결합재비, 안료, 강도, 내구성

1. 서 론

콘크리트 구조물은 염해, 중성화, 용성제 등에 의한 화학적 침식, 동해, 알칼리 골재 반응, 차량 매연으로 인한 변색, 피로 등으로 시간이 경과함에 따라 원래의 기능을 발휘하지 못하게 되며 특성이 저하되게 된다.

또한, 콘크리트 구조물중 교각, 중앙분리대, 통로 암거, 수리시설 구조물 등은 탄산화 즉 중성화나 동해 등의 요인으로 균열이나 구조물에 영향을 주어 이를 장시간 경과함에 따라 압축강도와 인장강도가 떨어지게 되며, 균열을 통해 철근의 부식이 발생되게 된다. 이러한 경우 심해지면 구조물의 붕괴까지 일어날 수 있다.

*정회원, (주)지엔시스코 과장(E-mail: lbyrro@naver.com)

Member, Manager, GNC ECO Co., Ltd

**정회원, (주)지엔시스코 대표이사

Member, CEO, GNC ECO Co., Ltd

***교신저자, 정회원, 수원대학교 건설환경에너지공학부 조교수(Tel: +82-31-220-2159, Fax: +82-31-220-2522, E-mail: leejooha@suwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Suwon

한편 장기적으로 구조물의 수명이 오래되거나, 공기중의 이산화탄소화와 산성비의 영향, 박리현상, 균열, 철근 녹 발생, 용설제에 의한 화학적 부식현상, 터널이나 지하차도 등의 자동차 배기가스 중에 아황산 성분 등이 구조물의 중성화를 촉진시켜 콘크리트의 변색 등이 발생하여 구조물의 내구성을 저하 시키며 이는 곧 유지관리 비용을 증가하게 된다.

특히나 교량 및 터널 등 도로와 관련 구조물의 탄산화(중성화)가 심각한 상태이다. 물의 유출입이 빈번한 하수종말처리장 처리로, 정수장 배수지의 경우 수명이 오래되어 표면이 중성화된 구조물을 보수할 경우에는, 구조물 배면의 지하수압에 의하여 에어 포켓, 부착계면의 박리, 박락 등으로 인해 보수용 시멘트 모르타르로 시공이 불가능한 경우가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 모르타르에 칼라를 부여함으로써 코팅제를 사용하지 않아도 되므로 이러한 시공 상의 문제점을 해결할 수 있다(Choi et al., 2006).

우수 및 외기 등의 접촉에 의해 콘크리트 부재 표면의 열화가 발생하게 된다. 따라서 부재 표면을 외기와 차단하는 콘크리트 부재를 보호하여 열화를 방지하는 방법을 사용하여 시공하여야 한다.

이러한 기본적인 원리에 따라 기존에는 콘크리트 표면에 어느 정도 두께를 가지도록 보호재료를 덧발라 미장재료와 같은 역할을 하게 하는 도포차단, 콘크리트 표면에 발수제나 방수제를 얇게 코팅하는 도막차단, 표면에 기성재를 부착하는 부착차단 의 3가지 방법이 있다(Yeon et al., 2005). 도막 차단 방식의 경우에는 내구성도 미약하며 두께가 거의 없을 정도의 얇은 피막으로써 콘크리트의 표면에 외관적 결함을 조정할 능력이 없다. 방수성이나 내구성은 떨어지는 단점이 있으나, 도포 차단 방식은 표면 조정효과를 갖는다는 장점을 가지고 있다. 그러나 부착차단의 경우에는 내구성도 좋고 표면의 결점을 완벽하게 감춰주지만 비용이 많이 발생하게 되어 토목 구조물에는 사용할 수 없고 고급 건축물의 리노베이션용으로만 사용된다(Ha et al., 2001).

따라서, 본 연구에서는 시설물의 보수를 위해 기존에 단순 표면에 코팅(페인트 도포) 및 모르타르를 하는 방식이 아닌 시설물의 균열 및 박리보수를 위해 무기계이면서 반영구적인 색상 부여, 부착성능이 우수하고 초기강도를 발휘할 수 있는 칼라 폴리머 시멘트 모르타르를 개발하고 이에 대해 국가기술표준원에서 제시하고 있는 KS 품질기준에 준하여 시험을 진행하여 특성을 규명하고자 한다.

2. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르 성능평가

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트로는 백색 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 백색 포틀랜드 시멘트의 물리적 성질은 Table 1과 같다

Table 1. Properties of White Portland Cement

Specific Surface Area (cm^2/g)	Setting Time (min)		Compressive Strength (MPa)		
	initial set	Final set	3d	1d	28d
4,115	260	500	24.0	33.0	42.0

2.1.2 혼화재

혼화재로는 고로슬래그 미분말을 사용하였고, 고로슬래그 미분말의 물리적 성질 및 화학조성은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical and Chemical Composition of Blast Furnace Slag

Density	Specific Surface Area (cm^2/g)	Flow percent	Activity Factor (%)		
			7d	28d	91d
2.91	10,070	87	128	115	106
Chemical Composition (%)					
MgO	SO ₃	SiO ₂	Ig. loss	Cl-	
5.58	0.12	33.5	<0.05	0.003	

2.1.3 속경재(팽창재)

속경재(팽창재)로서는 칼슘설포알루미네이트 (CSA)를 사용하였다. CSA는 중국산 클링커를 이용하여 국내 H사에서 제조한 것을 사용하였다. Table 3은 CSA의 물리·화학조성을 나타낸 것이다.

Table 3. Chemical Composition of Calcium Sulfo-Aluminate

Specific Surface Area (cm^2/g)	Setting Time (min)		Density	Compressive Strength (MPa)			
	initial set	Final set		3h	24h	7d	28d
4,500	11~14	15~18	2.90	25.0	35.0	41.0	44.0
Chemical Composition(%)							
CaO	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Ig. loss	
54.8	27.5	3.8	9.1	1.4	1.5	<0.1	

2.1.4 잔골재

잔골재로서는 4호 및 6호 규사(Silica Sand, 이하 SS로 칭함)를 혼합하여 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. Physical Properties of Fine Aggregates

No.	Size (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Organic impurities
4	0.85~1.18	2.61	≤0.3	Nil
6	0.25~0.6	2.62	≤0.3	Nil

2.1.5 시멘트 혼화용 재유화형 분말수지

재유화형 분말수지로서는 에틸렌 초산비닐(EVA)수지를 사용하였다. EVA수지의 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. Properties of EVA

Appearance	Average Partical Size (μm)	Glass Transition Point (°C)	pH [10% Water Dispersion] (20°C)
White Powder	400	0	9.1

2.1.6 혼화제

혼화제로서는 실리콘계 소포제와 폴리칼본산계 고성능 감수제를 사용하였다. 소포제 및 고성능 감수제의 성질은 Tables 6 및 7과 같다.

Table 6. Properties of Anti-foaming Agent

Appearance	Density (25°C)	Total Solids	pH
White Emulsion	0.97	15±0.5	7.5±0.5

Table 7. Properties of Superplasticizer

Density (25°C)	Total Solids	Water Reducing Raio (%)	pH
0.97	15±0.5	20.8	7.5±0.5

2.1.7 안료

안료로서는 이산화티탄을 사용하였다.

2.2 시험체 제작 및 실험방법

2.2.1 시험체 제작

본 연구의 배합은 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 물성을 규명하기 위해 Table 8에 나타난 바와 같은 배합으로 시험체를 제작하였다. Table 8의 배합표로 유동성 시험, 길이변화 시험, 휨 및 압축강도 시험, 부착강도 시험, 중성화 저항성 시험,

동결융해 저항성 시험을 진행하였으며, 투수성 시험과 염화물 이온 침투 저항성 시험에 대해서는 안료의 첨가량 4%일 때의 폴리머-결합재비의 증가에 따른 특성을 확인하였다.

Table 8. Mix Proportions of Color Polymer Cement Mortar (unit: wt. %)

Polymer-Binder Ratio (%)	Binder: SS	Pigment Content (by binder, %)	Water-Binder Ratio (%)
0	1: 1.5	0	18.0
		2	
		4	
		6	
3	1: 1.5	0	
		2	
		4	
		6	
5	1: 1.5	0	
		2	
		4	
		6	

2.2.2 실험방법

2.2.2.1 유동성 시험

유동성 시험은 KS L 5111 (시멘트 시험용 플로우 테이블)에 규정된 플로우 테이블을 이용하여 KS L 5105의 규정에 의해 플로우 틀을 중앙에 놓고 2층 20회 다짐하여 모르타르를 채운 후 테이블을 15초 동안에 25회, 1.27 cm의 높이로 낙하시켰다. 플로우값은 모르타르 평균 밀지름 증가를 같은 간격으로 4개의 지름을 측정하여 평균값으로 측정하였다.

2.2.2.2 길이변화 시험

길이변화 시험은 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 규정에 의하여 40×40×160 mm인 각주 시험체를 응결이 종료되기 시작하였을 때의 공시체의 길이를 측정한 후 건조(20°C, 50%(RH))양생을 행하여 28일 후에 길이 변화율을 측정하였다.

2.2.2.3 휨 및 압축강도 시험

휨 및 압축강도 시험은 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 규정에 의하여 40×40×160 mm인 각주 시험체를 제작하여 28일 양생 후 지간거리를 100 mm로 하고, 중앙에 (50±10)N의 하중속도로 재하 하여 최대 하중을 측정하였으며, 이때 2개로 절단된 시험체를 이용하여 압축강도를 측정하기 위해 40×40×40 mm 하중용

가압판을 상, 하부에 대고 (800±350)N으로 하중속도로 재하 하여 최대하중을 측정하였다.

2.2.2.4 부착강도 시험

부착강도 시험은 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 규정에 의하여 바탕콘크리트의 안쪽치수가 40×40×10 mm인 형틀을 만들어 내부에 칼라 폴리머 시멘트 모르타르를 충전 후 28일 양생시켜 공시체로 사용하고 공시체 표면에 접착제를 바른 후 상부 인장용 지그를 부착시켜 24시간 두고 하부 인장용 지그에 설치하여 연직 방향으로 인장력을 실시하여 최대 인장하중을 측정하였다.

2.2.2.5 투수성 시험

투수성 시험은 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 규정에 의하여 Φ150×40 mm인 시험체를 이용해 투수시험을 실시하여 KS F 2451에 따라 시험체에 0.10 MPa를 1시간동안 가하여 질량을 측정하였다.

2.2.2.6 염화물 이온 침투 저항성 시험

염화물 이온 침투 저항성 시험은 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르) 규정에 의하여 Φ100×50 mm인 시험체를 이용하여 28일간 수중에서 양생한 시편에서 코어를 채취하여 직경 10 cm의 콘크리트 시편을 길이가 5 cm가 되도록 절단한 다음, 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95% 이상 유지시킨다. 실험 시 시편은 Applied Voltage Cell에 고정시키고 회로 구성을 하고, 염화물 이온 침투 저항성 시험을 실시하였다.

2.2.2.7 중성화 저항성 시험

중성화는 콘크리트가 공기 중의 이산화탄소에 의해 표면으로부터 산화되기 시작하여 pH 8-10정도의 탄화칼슘으로 변하는 현상을 말한다. 이러한 중성화 반응은 시간의 경과에 따라 진행이 되므로 완전하게 억제할 수는 없다(Yeon et al., 2005). 콘크리트 속에 묻혀있는 철근은 콘크리트의 염기성에 의해서 부식 환경으로부터 보호되고 있으나 중성화가 이루어지면 철근이 부식하게 되고 이러한 철근의 부식으로 체적이 증가하여 콘크리트 내부에 균열을 발생시킨다(Lee and Yoon, 1999).

중성화 시험은 KS F 4042에 규정된 방법에 의해 실시하였다. 양생 종료 1d 전에 공시체의 4측면 및 밑면을 에폭시 수지 도료로 밀봉한다. 온도 (20±2) °C, 상대 습도 (60±10) %, 이산화탄소 농도 5.0 %로 고정된 중성화 시험기에 넣은 후 28d 경과한 후에 공시체를 꺼내서 이분할한 후, 그 단면에 페놀프탈레인 1 % 알코올 용액을 분무하여 적색으로 변하지 않은 부분이 중성화 부분으로 총 6 개소의 깊이를 버니어 캘리퍼스를 사용하여 1 mm까지 측정한다. 측정한 6곳의 평균값을 1개 공시체의 중성화 깊이로 측정하였다.

2.2.2.8 동결융해 저항성 시험

동결융해 저항성 시험은 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결 시 -18 °C, 융해 시 4 °C가 되게 하였고, 동결융해의 1 사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 50 사이클 간격으로 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300 사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동성

모르타르는 작업성을 위해 적절한 유동성의 확보가 중요하다. 기존 연구에 의하면 착색제 즉, 무기안료를 혼입하면 이의 비표면적이 시멘트의 10배 정도 되어 시멘트 모르타르의 유동성이 감소하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 무기안료가 모르타르의 유동성에 미치는 영향을 알아보기 위해 모르타르 배합비에 대하여 안료를 혼입하지 않은 무혼입 시멘트 모르타르의 플로우를 230 mm로 설정한 후에 안료의 결합제에 대한 첨가량을 0, 2, 4, 및 6%로 변화시켜 실험을 실시하였다.

Fig. 1은 이산화티탄 안료를 혼입한 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 안료 첨가량에 따른 플로우의 변화를 나타낸 것이다. 안료를 혼입하지 않은 기준 시멘트 모르타르의 플로우를 230 mm로 설정하여 실험한 결과, 안료 첨가량이 증가할수록 플로우 값은 저하하는 경향을 보였다. 이는 이산화티탄 안료의 경우 기존 연구에서 고찰한 바와 같이 시멘트에 비해 입자 크기 및 형상이 미세하여 미분말체의 비표면적이 증가로 인하여 단위수량을 흡수하여 유동성을 저하시킨 것으로 판단된다(Choi et al., 2002).

Fig. 1. Pigment Content Versus Flow of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5%

3.2 길이변화

보통 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 결합재인 시멘트 페이스트 경화체는 습윤상태에서 팽창하고 건조되면 수축

한다. 상대습도 70% 조건하의 건조기간 28일 보통 시멘트 모르타르 및 콘크리트는 0.08-0.15% 정도의 건조수축이 발생한다. 일반적으로 수축방지를 위해 결합재에 팽창제를 혼입하여 사용하고 있다(Koh et al., 2008).

Fig. 2는 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 길이변화율과 안료 첨가량과의 관계를 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 길이변화는 안료 첨가량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 비표면적이 큰 안료는 물을 많이 흡수함으로 인하여 단위수량이 증가하여 경화 후 수분 증발에 의해서 큰 건조수축이 발생하는 것이라 판단된다. 또한, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 길이변화는 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 폴리머 혼입에 의하여 물의 표면장력이 적어지고, 물의 Meniscus 주곡률 반경이 커져 모세관에 압력이 저하되기 때문이라 판단된다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 길이변화율은 폴리머-결합재비 0일 때 0.092%를 나타냈으나, 폴리머-결합재비가 3 및 5%인 경우 각각 0.068 및 0.048%를 나타내 각각 1/3 및 2/3정도 수축이 저감되는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 안료 첨가량과는 관계없이 나타났다.

Fig. 2. Pigment Content Versus Length Change of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5%

3.3 휨 및 압축강도

Fig. 3은 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도와 안료 첨가량의 관계를 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 휨강도는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 Fig. 5에 보이는 바와 같이 폴리머 필름의 형성으로 보수성이 개선되어 시멘트 수화반응을 촉진하여 내부 조직이 치밀하게 되기 때문이라 판단된다. 또한, 혼입되는 혼화재의 영향에 따라 초기 에트린게이트의 다량 생성에 따라 장기적으로 내부조직이 치밀하게 되기 때문이다. 한편, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도는 안료 첨가량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 안료 첨가량 0%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 9.2, 11.7 및 12.6 MPa를 나타내 폴리머 혼입에 의하여 최대

40%정도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 안료 첨가량에 관계없이 유사하게 나타났다.

Fig. 3. Pigment Content Versus Flexural Strength of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5%

Fig. 4는 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 안료 첨가량에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 시멘트의 수산화칼슘과의 반응으로 C-S-H 수화물 또는 C-A-H 수화물을 생성하여 경화 페이스트 조직을 치밀하게 하고, 미세한 입자가 마이크로 충전 효과에 따른 것이라 판단된다. 또한, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도는 안료 첨가량의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 비표면적이 큰 안료가 혼입됨으로 물을 많이 흡수하여 물-시멘트비가 증가하여 압축강도 저하 요인이 되는 것이라 판단된다. 한편, 안료 첨가량 0%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 52.5, 55.8 및 60.2 MPa를 나타내 폴리머 혼입에 의하여 최대 18%정도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 안료 첨가량에 관계없이 유사하게 나타났다.

Fig. 4. Pigment Content Versus Compressive Strength of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5%

안료 첨가량 4%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르로서 그의 압축강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각

45.5, 47.8 및 55.8 MPa를 나타내었다. 한편, Fig. 5는 칼라 폴리머 시멘트 모르타르 중에서 형성된 폴리머 필름과 시멘트 페이스트와 골재사이의 간격을 주사형 전자현미경을 사용하여 촬영한 것이다. EVA 0 %에 비해 EVA 5 %에서 완전한 폴리머 필름을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5. Microstructures of Redispersible EVA Powder Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0 and 5%

3.4 부착강도

Figs. 6 및 7은 표준상태 및 온·냉 반복 상태에서의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도와 안료 첨가량의 관계를 나타낸 것입니다. 안료 첨가량에 관계없이, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도는 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 같은 부착강도의 증가는 페이스트의 접착계면에 형성된 폴리머 필름에 의해 바탕 모르타르의 피착체와 페이스트 사이에 치밀한 조직이 형성됨과 더불어 페이스트의 양호한 보수성에 의해 모르타르로부터 피착체로의 흡수가 감소하여 드라이아웃이 방지되기 때문이라 판단된다. 또한 폴리머-결합재비에 관계없이, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도는 안료 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 한편, 안료 첨가량 0%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 1.3, 1.6 및 1.72MPa를 나타내 폴리머 혼입에 의하여 최대 30%정도 증가하는 경향

을 보였다. 이러한 경향은 안료 첨가량에 관계없이 유사하게 나타났다.

본 연구에서 안료 첨가량 4%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르로서 표준조건 하의 부착강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 1.08, 1.52 및 1.6 MPa를 나타내었다. 또한, 온냉반복 후의 부착강도는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 1.04, 1.5 및 1.58 MPa를 나타내었다. 상기 부착강도는 KS F 4042 (콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)의 부착강도 기준인 1.0 MPa 이상을 상회하여 우수한 부착강도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6. Pigment Content Versus Adhesive Strength of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5% (Standard)

Fig. 7. Pigment Content Versus Adhesive Strength of Color Polymer Cement Mortar with Polymer-Binder Ratios of 0, 3 and 5% (Repeated Hot and Cold Treatment)

3.5 투수성

투수성 시험은 안료 첨가량 4%일 때의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르를 대상으로 하였다.

Table 9는 폴리머-결합재비에 따른 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 투수량을 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 투수량은 폴리머-결합재비 3%, 5% 시험체는 폴리머-결합재비 0% 시험체의 투수량 대비 9.5%, 8.2% 수준의 매우 낮은 투수량을 각각 나타내었고, 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 칼라 폴리머 시멘트 모르타르 내부에 형성된 연속적인 폴리머

필름이 다수의 공극을 차단하고 마이크로 충전효과로 내부 조직이 치밀하게 되기 때문이라 판단된다. 이 결과로부터 칼라 폴리머 시멘트 모르타르는 품질기준에서 내투수성이 매우 우수하다는 것을 알 수 있었다.

Table 9. Water Permeability of Color Polymer Cement Mortar According to the Polymer-Binder Ratio

Item	Polymer-Binder Ratio (%)		
	0	3	5
Water Permeability (g)	22.0	2.1	1.8

3.6 염화물 이온 침투 저항성

염화물 이온 침투 저항성 시험은 안료 첨가량 4%일 때의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르를 대상으로 하였다.

Table 10은 폴리머-결합재비에 따른 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 저항성을 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 저항성은 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 측정 전하량 수치가 감소하여 저항성이 향상되는 경향을 보였다. 이것은 내부에 형성된 폴리머 필름에 따른 공극 차단 효과와 지속적인 수화반응을 촉진시켜 공극을 충전하는 효과에 기인된다고 판단된다.

Table 10. Chloride Ion Penetration Resistance of Color Polymer Cement Mortar According to the Polymer-Binder Ratio

Item	Polymer-Binder Ratio (%)		
	0	3	5
Chloride Ion Penetration Resistance (Coulomb)	2,020	838	792

3.7 중성화 저항성

Fig. 8은 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이와 안료 첨가량의 관계를 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이는 안료 첨가량의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나 그 차이는 크지 않았다. 또한, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 Fig. 5에 보인 바와 같이, 폴리머 혼입으로 인하여 형성된 불투기성 폴리머 필름의 양이 증가하고 이산화탄소의 침투 및 확산이 억제되었기 때문이라 판단된다.

한편, 안료 첨가량 0%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 1.62, 0.88 및 0.5 mm를 나타내 폴리머 혼입에 의하여 최대 70%정도 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 안료 첨가량에 관계없이 유사하게 나타났다.

Fig. 8. Carbonation Depth of Color Polymer Cement Mortar According to the Polymer-Binder Ratio

3.8 동결융해 저항성 시험

동결융해 작용에 의해 콘크리트가 성능 저하되는 기구는 모세관수(水)의 동해에 의해 물이 이동할 때에 생기는 큰 수압에 기인한다.

Fig. 9는 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성 지수를 나타낸 것이다. 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성 지수는 안료 첨가량의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으나 그 차이는 크지 않았다. 또한, 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성 지수는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 물-시멘트비의 감소, 폴리머 필름 형성에 의한 미세한 공극의 충전 및 폴리머와 계면활성제에 의한 공기연행의 상승효과에 기인하기 때문이라 판단된다.

한편, 안료첨가량 0%인 경우의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성 지수는 폴리머-결합재비 0, 3 및 5%일 때 각각 69.8, 81.5 및 84.2를 나타내 폴리머 혼입에 의하여 최대 20%정도 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 안료 첨가량에 관계없이 유사하게 나타났다.

Fig. 9. Durability Factor of Color Polymer Cement Mortar According to the Polymer-Binder Ratio

3.9 시험 시공

Fig. 10은 하얀색, 노란색, 녹색의 칼라 폴리머 시멘트 모르타르를 생산하여 콘크리트 면에 시공하였다.

Fig 10. Test Construction of White, Yellow Ocher, Green Color Polymer Cement Mortar

4. 결 론

칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 물리적 성질인 길이변화, 힘 및 압축강도, 부착강도, 투수성, 염화물 이온 침투 저항성, 중성화 저항성, 동결융해 저항성은 폴리머-결합재비가 증가할수록 성능이 개선되었으나, 유동성은 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 제철부산물을 재활용한 산화철분을 사용한 것으로 시멘트에 비해 입자크기 및 형상이 미세하여 미분말체의 비표면적이 증가로 인하여 단위수량을 흡수하여 유동성을 저하시키므로 최대 5%까지만 혼입하는 것이 바람직하다고 판단된다. 반면에 안료의 첨가량이 증가할수록 칼라 폴리머 시멘트 모르타르의 역학적 성능 및 내구성에는 미미하지만 다소 부정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 적용 현장의 특성과 폴리머 시멘트 모르타르의 색상 발현 수준을 고려하여 안료의 첨가량을 결정하되 가급적이면 첨가량을 최소화하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 향후 현장 적용성 평가를 통하여 시공방법 및 장기 내구성 실험에 관한 추가 연구가 필요하다.

References

- Choi, J.J., Hwang, E.H., and Moon, D.J. (2006) An Experimental Study on the Flowability and Compressive Strength of Color Concrete Mixed with Pigments. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 3A, pp. 547-553. (in Korean)
- Choi, Y.J., Park, J.Y., Lee, S.J., Huh, N.I., and Kim, H.J. (2002) A Fundamental Study on the Properties of Nox Removal on Cement Mortar with TiO_2 Powder as Photocatalyst. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 18, No. 8, pp. 43-50. (in Korean)
- Ha, G.J., Choe, M.K., Shin, J.H., Kim, G.T., Hong, H.Y., and Lee, Y.B. (2001) Development of New Hybrid Technique of Protective Finishing for the Prevention of Deterioration in Concrete Structures. *Proceedings of 2001 Conference*, The Korea Concrete Institute, pp. 739-744. (in Korean)
- Koh, K.T., Ryu, G.S., Kang, S.T., Park, J.J., Kim, S.W., and Han, C.G. (2008) Technology on the Shrinkage Reduction of High Performance Concrete. *Proceedings of 2008 Conference*, The Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 1, pp. 1101-1104. (in Korean)
- Lee, C.S., and Yoon, I.S. (1999) Rebar Corrosion Behavior According to Progress for Carbonation of Concrete. *Proceedings of 1999 Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 411-414. (in Korean)
- Yeon, K.S., Joo, M.K., Jeong, J.H., Jin, X.Q., and Lee, C.W. (2005) Durability of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder. *Proceedings of 2005 Conference*, The Korea Concrete Institute, Vol. 17, No. 1, p. 539. (in Korean)

Received	October 20, 2017
Revised	October 24, 2017
Accepted	December 29, 2017