

무기물 금속염계 발수분체를 혼입한 시멘트 모르타르의 물리적 특성 및 수분흡수저항성에 대한 실험적 연구

Experimental Study on Physical Properties and Water Absorption Resistance Evaluation of Cement Mortar Incorporating Inorganic Metal Salt-based Water Repellent Powder

이원근¹ · 윤창복^{2*}Won Geun Lee¹ · Chang Bok Yoon^{2*}

(Received November 12, 2021 / Revised December 6, 2021 / Accepted December 13, 2021)

In this experimental, water-repellent powder, which is a metal salt-based inorganic substance, and natural zeolite powder, which is a pozzolan-based material, were mixed into cement mortar, and their physical properties and resistance to moisture were confirmed. It was confirmed that the test specimen using natural zeolite at the same time had excellent resistance in the water permeation test and the chloride penetration test as compared with the test specimen in which the inorganic metal salt-based water-repellent powder was mixed alone. When a metal salt-based water-repellent powder is used, it cannot be uniformly dispersed inside water due to its insoluble property, and is limited to the surface. When used at the same time as natural zeolite, the setting time at the initial stage of hydration is fast due to the pozzolan reaction, and the water-repellent powder adheres to the porous of the natural zeolite and is evenly distributed inside the test specimen to generate some water resistance.

키워드 : 무기물금속염, 천연제올라이트, 발수성능

Keywords : Inorganic metal salt, Natural zeolite, Water repellent

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 다양한 환경에 의하여 시간이 지남에 따라 다양한 열화인자에 노출되어 예상하는 내구성능이 저하될 수 있다. 대표적으로는 탄산화, 동결융해, 염화물에 의한 피해와 동시에 콘크리트 표면으로의 수분의 침투로 인해 철근의 팽창이 팽창하고 콘크리트의 균열에 의한 파괴를 일으킬 수 있는 단점이 있다. Bloomfield(1997)는 콘크리트에 염화나트륨(NaCl)과 염화마그네슘(MgCl₂)과 같은 염화물이온등이 침투하는 경우 철근의 표면에 형성된 부동태 피막이 파괴된다고 하였다. 이로 인해 부식생성물에 의하여 표면이 팽창함으로써 균열의 축진을 유발하게 한다. 콘크리트의 표면은 거시적으로 밀실해 보이지만 미세공극이 무수

히 많은 재료의 특성으로 외부에서 내부로의 침투가 가능(Lee et al. 2014; Lee et al. 2017)하다. 이러한 콘크리트의 재료적인 특성으로 인한 표면의 미세공극은 수분의 이동을 가능하게 하므로 미세공극으로부터 침투된 수분에 의한 피해를 방지하기 위하여 다양한 연구가 이루어 지고 있다.

Maravelaki-Kalaitzaki(2007); Moradillo et al.(2016)등은 침투성 흡수방지재를 콘크리트의 내구수명 증가를 위한 수분에 의한 열화의 방지 목적으로 표면에 도포함으로써 우레탄 방수 및 시트 방수와 같은 별도의 보호층을 형성하지 않고 내구성을 향상시키기 위한 기술을 언급하였다. 그러나 이렇게 형성된 표면 처리의 경우 표면적으로는 콘크리트의 표면을 보호하면서 열화요인의 침투를 억제 하여 내부의 철근의 열화를 억제하는 것으로서 앞서 언급한 다양한 외부영향으로 인하여(동결, 자외선, 탄산화)수분의 침투를

* Corresponding author E-mail: 20210009@seoil.ac.kr

¹서일대학교 건축공학과 교수 (Architectural Engineering, Seoil University, Seoul, 02192, Korea)

²서일대학교 건축공학과 조교수 (Architectural Engineering, Seoil University, Seoul, 02192, Korea)

방지하기 위하여 실시한 콘크리트 표면층이 열화하거나 박리, 균열과 같은 변형이 발생한다면 표면 보호의 역할을 기대할 수 없게 된다. 또한 보수를 위한 시간적, 비용적 요소가 추가되어 사용자에게 불편을 초래하며 콘크리트의 내구성능을 저하시킬 수 있다. 이러한 단점을 보완하고자 사전적 예방차원으로 콘크리트 내부에서부터 수분의 침투 저항성을 구현한다면 수분의 침입으로 인한 피해를 저감할 수 있다고 판단되나(Yoon and Lee 2020) 콘크리트 내부에서부터의 수분 저항성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 표면으로 침투되는 수분에 의한 문제점을 개선하고 콘크리트 내구성의 저하를 방지하기 위한 방법으로 수분에 대한 저항성능을 보유한 지방산염계열의 칼슘스테아레이트 및 시멘트계 혼화재료인 포졸란계 천연 제올라이트를 첨가물에 따라 혼입하고 시멘트 모르타르의 압축강도 및 황설도 지수를 비교 평가하였다. 또한 내구성능 평가를 위해 수분침투저항성, 염화물이온저항성능의 분석을 통하여 내부에서의 수분의 저항을 갖는 시멘트 모르타르의 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 혼화재료로서의 천연제올라이트

제올라이트는 시멘트계 혼화재료로 사용되고 있는 포졸란계 천연 광물로서 알루미늄과 실리코너로 골격이 형성되어 있으며, 양이온 교환 분자체로서의 특징을 통해, 촉매, 흡착등 다양한 용도로 사용되고 있다(Choi 1998). 국내에는 1960년대부터 포항 지역을 시작으로 개발 되어 왔고, 1970년대 말에는 경북 지역 및 경주지역에 매장된 국내산 천연 제올라이트의 광물학적 특성이 보고된 바 있다(Kim 1998). 천연제올라이트는 SiO₂, Al₂O₃가 주 성분인 천연 광물로서 ASTM에서는 SiO₂, Al₂O₃의 성분의 합이 70% 이상인 경우 그 자체가 포졸란이며, 이를 시멘트계 혼화재료로 사용하는 경우 Ismail et al.(2014); Naiqian et al.(1992)등은 포졸란 반응이 수화의 초기부터 반응하기 시작하여 압축강도의 증가 및 투기성을 감소시키고 동시에 알칼리 골재반응의 억제등 콘크리트의 성능 개선의 역할을 한다고 하였다. 알칼리 골재 반응의 억제 효과는 치환율 5%에서도 물리적 성능의 향상 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 현재 시멘트계 혼화재료로서의 사용 빈도 보다는 주로 2차적으로 가공된 합성제올라이트로 사용되고 있는 실정이다. 이러한 천연 제올라이트는 국내에 상당량 매장되어 있으므로 콘크리트의 성능개선 뿐 아니라 국내의 자원을 활용한다는 측면에서 콘크리트와의 적용성 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2.2 칼슘스테아레이트(calcium stearate)

칼슘스테아레이트는 스테아린산과 석회석의 반응에서 파생되는 효율적인 방습 혼합물이다. Naseroleslami and Chari(2019)의 연구결과 칼슘스테아레이트를 혼입한 시멘트 모르타르 및 페이스트는 비정압 상태에서 모세관 수분 흡수등과 같은 내구성능의 특성을 상당히 향상 시켰다고 보고하였다. 그러나 칼슘스테아레이트를 사용하는 경우 기준 모르타르 대비하여 1%이상 혼입시 압축강도의 감소등 물리적 특성에 영향을 미친다고 언급하였다. 칼슘스테아레이트의수용액에서의 용해도곱(solubilityproduct)은 3.61×10^{-16} 으로 물에 녹지 않는다고 (Langley et al. 1932) 하였다. 금속이온이 1가(M⁺)가 아닌 2가(M²⁺)나 3가(M³⁺)인 경우에는 물에 녹지 않는 불용성으로 산화수 2가 이상의 금속 이온과 지방산이 시험편 표면에서 만나 반응하면 지방산 금속염이 쉽게 형성될 수 있고 일반적으로 금속 이온의 산화수가 클수록 더 불용성이다. 따라서, Ca²⁺보다는 Fe³⁺에 의한 지방산 금속염은 더 불용성이므로 시멘트 모르타르 표면에 더 잘 적층될 것으로 예상하였으므로(Choi et al. 2010), 칼슘스테아레이트는 표면에 도포 하거나 내부 혼입시 시멘트 모르타르의 소수성을 구현할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

3. 실험개요 및 방법

3.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서 KS F 5201에 규정된 제품을 사용하였으며, 잔골재는 국내산 세척사로서 ISO 679의 규정에 부합하는 제품을 사용하였으며 보통포틀랜드 시멘트의 화학적 조성비는 Table 1에 나타내었다.

본 실험을 위하여 배합시 혼입되는 천연 제올라이트는 경상북도 포항의 구룡포 일대에서 채광, 가공된 15,600cm²/g의 비표면적을 갖는 천연 제올라이트를 사용하였다. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 조성비는 Table 2에 나타내었으며, Table 3에 무기물 분말형 금속염계 칼슘스테아레이트의 화학적 특성을 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of cement(Ordinary Potland Cement)

Type	Substitution level of SCMs(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	L.O.I
OPC	19.29	5.16	2.87	61.68	4.17	2.53	2.49

Table 2. Chemical composition of natural zeolite

Type	Chemical compositions(%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CEC
Zeolite	66.8	13.2	1.68	3.02	1.16	106

Table 3. Characteristic of calcium stearate

Type	Characteristic of calcium stearate(%)				
	Chemical formula	Density (g/cm ³)	pH	Melting point(°C)	Molecular weight (g/mol)
CS	C ₃₆ H ₇₀ CaO ₄	1.08	7-9	147-149	607

스테아레이트는 시멘트에 비하여 낮은 밀도의 미분말 분체로서 중성 또는 약 알칼리성을 띠고 있다. 천연제올라이트는 KS E 3809 와 KS E 3076에 규정된 중금속등의 잔류량 시험방법을 거친 분말 형태의 천연제올라이트를 사용하였으며, 카드뮴, 수은, 비소, 납등의 유해성분을 검사한 유해물질성적 분석결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Hazardous component test of natural zeolite

Zeolite	Hazardous component test(mg/kg)							
	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
Limit	20	2	1	50	90	120	20	400
Result	-	0.64	-	-	7.87	4.37	3.75	23.81

천연 제올라이트의 화학 조성은 Na, K의 알칼리 금속과 Ca등의 알칼리 토류 금속을 함유하고 물 분자를 결정수 형태로 구성한 알루미늄의 함수 규산염 광물이다. 이것은 분자체로 물리, 화학적 특성을 가지고 있어(Minato 1975), 이온교환체, 촉매담체로 사용되고 있으며, 보통포틀랜드 시멘트에 대비하여 SiO₂는 3배, Al₂O₃는 약 2배이상의 함량을 갖는 것으로 확인 할 수 있었다.

3.2 실험계획

실험을 위한 시멘트 모르타르 시험체는 KSL 5105에 따라 제작하였으며, 실험의 수준은 수분에서의 저항성을 갖는 최적의 혼합비를 도출하기 위하여 시멘트 질량대비 칼슘스테아레이트를 각 1, 3, 5%를 첨가 하여 혼합하였으며, 압축강도의 증진을 위해 포졸란 반응의 활성을 위하여 칼슘스테아레이트와 천연제올라이트를 1:1 비율로 혼입하고 시멘트 중량대비 1, 3, 5%를 첨가하였다. 아래 Table 5에 시험에 사용된 시멘트 모르타르의 실험수준에 따른 배

합비를 나타내었다.

Table 5. Cement mortar mix proportion

Name	Mix proportion(g)					
	W/B (%)	Cement	Water	Sand	Calcium stearate	Natural zeolite
OPC	50%	510	255	1,530	-	-
CS1%		510	257.5	1,530	5.1	-
CS3%		510	260.1	1,530	10.2	-
CS5%		510	262.6	1,530	15.3	-
ZCS1%		510	260	1,530	5.1	5.1
ZCS3%		510	265.2	1,530	10.2	10.2
ZCS5%		510	270.3	1,530	15.3	15.3

CS : Calcium stearate, ZCS : Natural Zeolite + Calcium stearate

대조군인 OPC를 포함하여 총 7가지의 수준으로 실험체를 제작하였으며, 물-결합재의 비는 50%로 고정하였다. 시멘트와 잔골재의 비율은 1:3이며, 물리적 특성 시험을 위한 시험체는 50mmX50mmX50mm의 각주형으로 제작하였으며, 염화물 침투 저항성능의 측정을 위하여 Ø100mm X 200mm의 원주형 공시체를 제작하였다. 시멘트 모르타르의 시험체는 24시간 이후 탈형하였으며, 20±2°C의 수조에 침지하여 재령 28일까지 수증양생을 실시하였다.

3.3 실험방법

실험은 물리적 특성을 평가하기 위하여 플로우, 압축강도, 활성화 지수를 평가하였으며, 내구성능 평가를 위한 실험으로는 염화물 침투 저항성 및 수분흡수실험을 진행하였다. 또한 미세구조분석을 확인하기 위하여 Ca(OH)₂의 생성량을 확인하기 위한 시차열 분석을 실시하였다.

3.3.1 플로우, 공기량, 압축강도, 활성화도 지수 평가

본 실험을 위한 시멘트 모르타르는 KS L 5105에 표준하여유동성을 확인하기 위한 플로우를 측정하였다. 또한 각 재령일에 따라 30Ton의 UTM을 이용하여 7일과 28일에 압축강도를 측정을 실시하였으며, KS F 2421 및 ISO 4848에 따라 시멘트 모르타르의 공기량을 측정하였다.

활성도 지수는 KS L 5405에 따라 혼화재료를 혼입하여 제작한 시험체의 28일차의 압축강도를 이용하여 활성화도 지수를 평가하였으며, 활성화도 지수 평가는 아래의 계산식을 사용하였다.

$$A_s = \frac{C_2}{C_1} \times 100 (\%) \quad (1)$$

여기서 A_s 는 활성도 지수(%)를 나타내며 C_1 은 기준모르타린 OPC시험체의 압축강도 측정의 평균치(MPa), C_2 는 혼화재 치환 시험체의 압축강도 측정의 평균치(MPa)를 나타낸다.

3.3.2 염화물 이온 침투 저항성 시험

염화물 이온 침투 저항성 시험은 ASTM C 1202 “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration” (ASTM 2010) 및 KS F 2711 “전기전도도에 의한 콘크리트 염소이온 침투저항성 시험방법”(KS A 2012)에 의하여 수행하였다.

실험체는 3시간 동안 데시케이터를 이용하여 수분을 완전히 제거한 후, 표면으로의 수분 침투로 인한 염화물 이온의 이동을 방지하기 위하여 외측면에는 에폭시를 도포하였다. 이후 18±2시간 동안 증류수에 침지하여 실험체의 내부가 완전하게 포화 되도록 하였으며, 이후 시험셀(Applied Voltage Cell)의 음극에 3.0%의 NaCl 용액을 주입하고 양극셀에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운 다음 전극을 연결하여 회로를 구성하였다. Coulombs 값에 따른 총 통과전하량 평가의 기준 내용을 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Evaluation according to chloride ion penetration

Coulombs(C)	Permeability
>4,000	High
2,000 - 4,000	Normal
1,000 - 2,000	Low
100 - 1,000	Very low
<100	Negligible

전하량의 측정은 시험시작 후 시험셀 양쪽에 60V의 직류전압을 유지한 상태에서 30분마다 6시간 동안 전류를 측정하여 기록하여 아래의 계산식을 이용하여 총통과전하량을 산정하였다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서 Q는 총통과 전하량인 Coulombs을 나타내며 I_0 는 전압을 가한 시험시작 직후의 전류를 나타내며 I_{360} 은 전압을 가한 후 360분 경과 후의 전류를 나타낸다. 회로에 연결된 시험체의 측정 모습을 아래 Fig. 1에 나타내었다.

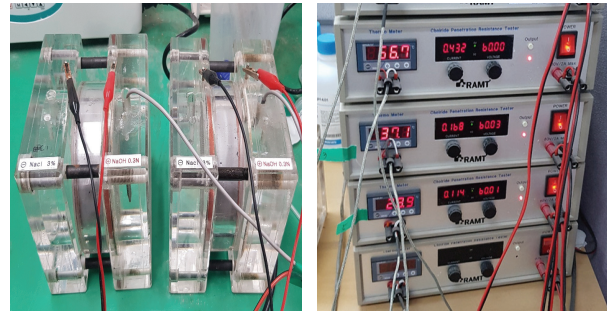


Fig. 1. Measurement of resist chloride ion penetration

3.3.3 수분흡수량 측정

각 시험체의 수분별 수분의 흡수량을 정량적으로 측정하기 위해 흡수율 시험을 진행하였다. KS F 4919의 시멘트 혼입 폴리머계 방수제에 표준하였으며, Fig. 2에 수분흡수량 시험의 개요를 나타내었다. 재령 7일과 28일 차에 제작된 50mm×50mm×50mm의 정사각형의 실험체를 절반으로 절단하여 측정하였으며, 외부표면 및 내부표면에서의 수분의 저항성을 측정하고자 각각 수분에 접촉하였다. 건조된 실험 초기 무게(W_0)를 측정하고 이후 실험체의 수평을 유지한 상태에서 실험이 종료된 이후의 무게를(W_1) 측정하였다. 측정시간은 침지 1시간부터 이후 24시간 동안 측정하였으며 아래의 계산식을 사용하여 흡수량 및 흡수율을 계산하였다.

$$\text{흡수량}(g) = W_1 - W_0 \quad (3)$$

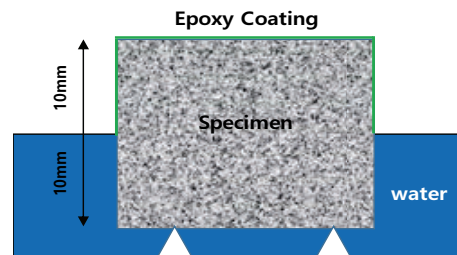


Fig. 2. Water absorption test

4. 실험결과

4.1 물리적 특성 평가 결과

물리적 특성을 평가하기 위하여 KS L 5105, KS F 2421, KS L 5405에 따라 각각 공기량, 플로우, 압축강도 및 활성도 지수를 측정하고 평가하였다. 공기량과 플로우의 결과는 Table 7에, 압축

강도 및 활성도 지수는 Table 8에 각각 나타내었다.

Table 7. Mesurement of air content, flow

Name	Air content (%)	Flow (mm)
OPC	5.9	170
CS1%	5.8	174
CS3%	5.5	181
CS5%	4.8	188
ZCS1%	6.1	171
ZCS3%	6.4	162
ZCS5%	6.8	156

Table 8. Compressive strength and Activity factor according to curing time

Name	Compressive strength(MPa)		Activity factor(%)
	7days	28days	
OPC	22	33	100
CS1%	19	22	81.8
CS3%	15	23	72.7
CS5%	13	20	60.6
ZCS1%	21	32	96.9
ZCS3%	18	29	87.8
ZCS5%	16	27	81.8

기준 모르타르에 대비하여 칼슘스테아레이트를 시멘트 중량대비 각각 1, 3, 5% 추가하여 혼입한 실험체에서는 공기량의 일부 감소가 확인되었다. 무기물 칼슘스테아레이트 발수제를 혼입하는 경우 모르타르의 내부 공극을 충전하여 공기량이 감소된다는 기존의 문헌(Lanzon et al. 2017)과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 플로우는 다소 증가함을 나타내었는데 이는 소수성 칼슘스테아레이트의 특성상 수분과의 결합이 어려운 관계로 인하여 교반 시 시멘트 분말과 칼슘스테아레이트의 분말이 혼합된 상태에서 칼슘스테아레이트가 혼합수와 시멘트의 결합을 저해하기 때문으로 판단된다.

반면에 천연제올라이트를 함께 혼입한 ZCS의 실험체에서는 공기량은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 천연제올라이트의 특성상 내부에 수많은 미세 공극을 보유하고 있어 시멘트 모르타르에 혼입시 공기량이 증가한 것으로 판단된다. 플로우는 혼입률이 증가할수록 감소함을 나타내었는데, 사용된 천연제올라이트는 15,600cm²/g의 비표면적을 갖는 고분말의 천연 제올라이트로써 내부에 있는 나노크기의 세공에 물 분자가 가득 함유되어 있으

로 완전건조를 통해 수분을 제거한 상태에서 사용하였는데 이 상태에서 혼합수를 급격히 흡수하여 유동성이 다소 저하 된 것으로 사료된다.

4.2 압축강도 및 활성도 지수 평가

재령 7일 및 28일에 압축강도를 측정하고 이를 토대로 하여 시험체의 활성도 지수를 평가 하였다. 아래 Table 8에 측정된 압축강도 및 활성도 지수를 나타내었다.

양생 7일차의 압축강도는 재령7일차 기준 모르타르의 경우 22MPa로 측정되었으며 CS1%은 17MPa, 3%는 14MPa, 5%는 11MPa이며, 천연제올라이트가 추가된 ZCS의 시험체는 ZCS1%은 21MPa, 3%는 18MPa, 5%는 16MPa로 나타났다. 재령 28일차의 압축강도는 기준모르타르의 경우 33MPa, CS시험체는 각각 27, 24, 20MPa로 나타났으며, ZCS시험체는 각각 32, 29, 27MPa의 압축강도를 확인하였다. 압축강도 실험결과 모든 시험체가 재령일이 경과함에 따라 강도가 증진되는 것을 알 수 있었으나, 칼슘스테아레이트를 혼입한 시험체의 경우 혼입율에 따라서 압축강도의 감소가 나타났는데, 이는 불용성의 칼슘스테아레이트가 시멘트와 혼합수와 결합을 저해하면서 수화반응을 지연시킴으로써 발생하는 현상으로 판단된다. 이에 반해 천연제올라이트가 추가된 ZCS의 시험체 역시 압축강도가 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 칼슘스테아레이트를 단독으로 사용한 시험체에 비하여 감소율이 상대적으로 낮으며, 재령 28일차에서는 CS시험체에 대비하여 압축강도가 10% 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 천연제올라이트와 칼슘스테아레이트를 동시에 사용한 시험체에서 압축강도가 증가한 이유로는 천연제올라이트의 SiO₂, Al₂O₃등이 시멘트의 수화에 의해서 발생하는 Ca(OH)₂ 및 칼슘이온 Ca²⁺ 과 반응하여 강도발현을 위한 칼슘실리케이트수화물과 칼슘알루미늄에이트수화물을 만들어 냄으로써 칼슘스테아레이트로 인하여 감소하는 강도를 보완한 것으로 판단된다.

4.3 염화물 이온 침투 저항성 시험

염화물 이온 침투 저항성 시험은 Coulombs 값에 따른 총통과 전하량을 ASTM C 1202 및 KS F 2711의 기준에 따라 측정하고 평가 하였으며, 각 시험체 별 평균값을 산출하기 위하여 재령 28일에 각 3회씩 평가하였다. 아래 Table 9 및 Fig. 3에 측정된 총통과 전하량인 Coulomb의 값을 나타내었다.

3회 측정결과 기준모르타르인 OPC를 포함하여 CS시험체는 전부 총통과전하량이 높음으로 측정되었다. 천연제올라이트를 추가

Table 9. Result of resist chloride ion penetration test

Name	Resist chloride ion penetration test(C)			28days average	Permeability
	1st	2nd	3th		
OPC	4351	4790	4693	4611	High
CS1%	4813	5011	4962	4928	High
CS3%	4727	4398	4627	4584	High
CS5%	4215	4352	3975	4180	High
ZCS1%	4103	4299	4034	4145	High
ZCS3%	3746	4022	3922	3896	Normal
ZCS5%	3720	3404	3513	3545	Normal

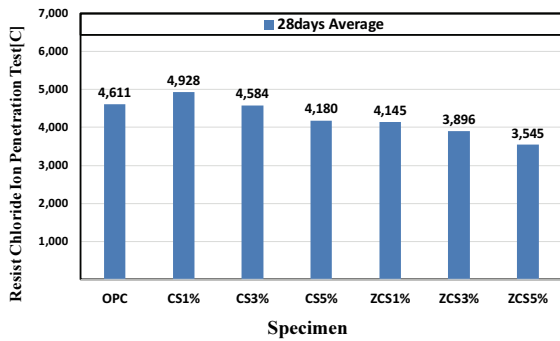


Fig. 3. Measurement of water absorption

하여 실험한 ZCS의 시험체 또한 총통과전하량이 만족할 수준은 아니었으나 Coulomb의 2,000-4,000 구간인 보통으로 측정되었다. 천연제올라이트는 다량의 SiO₂의 수화 초기부터 포졸란 반응이 시작되고 또한 천연제올라이트의 공극내부에 칼슘스테아레이트 입자가 정착하면서 CS시험체에 비해 시험체 내부에 일부 분산이 된 것으로 판단된다.

4.4 수분흡수량

KS F 4919의 시멘트 혼입 폴리머계 방수제에 기준하여 재령 28일차 준비된 시험체의 외부 및 내부표면을 수분에 침지하고 각 시간별로 무게를 측정하였다. Table 10에 시험체 외부표면의 측정결과를, Table 11에 내부표면의 측정결과를 각각 나타내었다. 또한 아래 Fig. 4에 측정결과를 그래프로 나타내었으며 Fig. 5에 각 시간별로 측정중인 모습을 나타내었다.

재령 28일차 외부표면의 수분 저항성을 측정한 결과 기준 모르타르는 24시간동안 총 4.9g의 수분을 흡수하였으며 CS를 혼입한 시험체는 혼입률 1, 3, 5%에서 각각 3.9g, 2.2g, 1.1g을 흡수한 것으로 확인되었다. 천연제올라이트와 칼슘스테아레이트를 동시에 혼

Table 10. Result of out-side water absorption(28days)

Name	Time(h)				Total absorption (g)
	0h	1h	6h	24h	
OPC	86.3	87.6	88.9	91.2	4.9
CS1%	84.1	84.9	86.3	88.0	3.9
CS3%	85.2	85.7	86.4	87.4	2.2
CS5%	80.4	80.7	81.0	81.5	1.1
ZCS1%	88.3	90.1	90.9	92.5	4.2
ZCS3%	85.7	86.3	87.1	88.4	2.7
ZCS5%	82.5	83.1	83.9	84.5	2.0

Table 11. Result of in-side water absorption(28days)

Name	Time(h)				Total absorption (g)
	0h	1h	6h	24h	
OPC	84.3	85.9	87.3	89.6	5.3
CS1%	87.2	88.5	89.8	92.3	5.1
CS3%	83.2	84.4	85.8	87.8	4.6
CS5%	85.9	87.1	89.2	90.2	4.3
ZCS1%	84.8	86.4	88.1	88.9	4.1
ZCS3%	85.3	86.9	87.3	88.2	2.9
ZCS5%	85.1	85.9	86.7	87.4	2.3

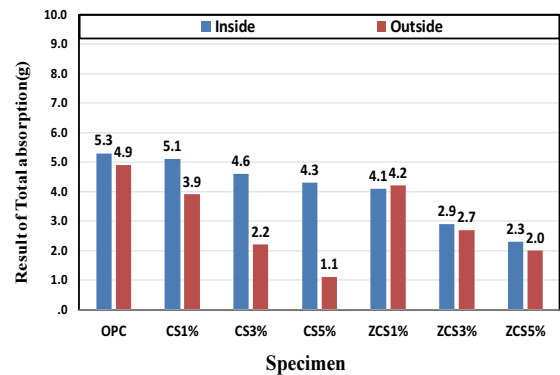


Fig. 4. Result of total absorption

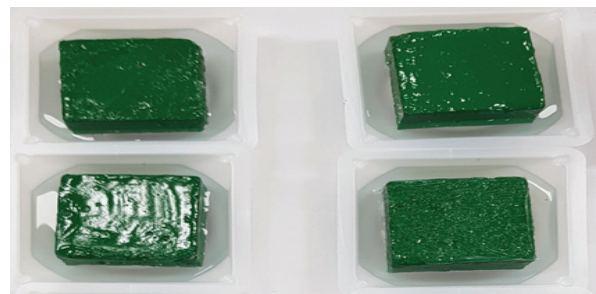


Fig. 5. Measurement of water absorption

입한 ZCS시험체는 각각 4.2g, 2.7g, 2.0g을 흡수하였다. 내부 표면의 수분 저항성을 측정한 결과 기준 모르타르는 24시간동안 총 5.3g을 흡수하였으며 CS를 혼입한 시험체는 혼입률 1, 3, 5%에서 각각 5.1g, 4.6g, 4.3g을 흡수하였으며 ZCS시험체는 각각 4.1g, 2.9g, 2.3g을 흡수하였다. 칼슘스테아레이트를 사용한 CS시험체는 외부표면에서의 수분 흡수량은 혼입율이 증가함에 따라 점차 감소하였고 전체흡수량도 기준모르타르와 ZCS시험체에 비하여 매우 낮았지만 내부 흡수율을 측정한 결과 그 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 천연제올라이트가 추가된 ZCS의 시험체에서는 내부, 외부의 수분 흡수량의 차이가 거의 없음을 확인 하였으며, 이는 천연제올라이트의 흡착력으로 인한 칼슘스테아레이트가 공극에 부착되어 고른 분산이 된 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 소수성 분말인 금속염계 칼슘스테아레이트와 포졸란계 천연재료인 천연제올라이트를 혼입한 시멘트 모르타르의 수분저항성을 평가하기 위한 실험을 진행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 불용성의 칼슘스테아레이트는 시멘트와 혼합수의 결합을 저해하는 경향이 있어 수화반응을 지연시킴으로 인해 초기 압축강도가 저하되는 것을 알 수 있었으며 천연제올라이트와 혼합하여 사용하는 경우 포졸란 반응을 수화 초기부터 발생시켜 수화 생성물로 인한 강도 보전이 된 것으로 판단된다.
2. 칼슘스테아레이트는 용매를 사용하여 사용하는 경우를 제외하고는 불용성의 성질을 갖고 있어 내부로 고르게 분산되지 않고 초기 수화진행시 블리딩 현상과 동시에 표면으로 떠올라 레이턴스와 같은 현상을 보이는 것으로 사료되며, 이에 내부에서의 수분 저항성이 소실된 것으로 보인다.
3. 염화물 침투저항성 측정결과 측정을 위한 실험체는 원주형 공시체의 내부 부분을 측정된 것으로서 칼슘스테아레이트를 단독으로 사용한 시험체는 기준모르타르에 대비하여 총통과전하량이 다소 높음을 알 수 있었다.
4. 수분 흡수율 측정결과 경화 초기에 시멘트 모르타르와 교반되지 않고 일부가 표면으로의 이동으로 인해 외부표면에서의 수분의 저항성은 나타났으나, 내부에서의 수분 저항성은 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 2021년 서일대학교 학술연구비에 의해 수행되었습니다.

References

- Broomfield, J.P. (1997). *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*, E&FN, London, ASCE, **115(11)**, 1521–1542.
- Choi, J.J. (1998). A study on the properties of concrete using zeolite, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **10(5)**, 205–216 [in Korean].
- Choi, S.S., Chung, H.S., Joo, Y.T., Yang, K.M., Lee, S.H. (2010). Appearance contamination of EPDM article from water solution, *Elastomers and Composites*, **45(2)**, 100–105.
- Ismail, I., Bernal, S.A., Provis, J.L., San Nicolas, R., Hamdan, S., van Deventer, J.S. (2014). Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash, *Cement and Concrete Composites*, **45**, 125–135.
- Kim, H.J. (1998). Humidity controlling concrete using natural zeolite, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, **10(6)**, 27–33 [in Korean].
- Langley, W.D., Rosenbaum, M.G., Rosenbaum, M.M. (1932). The solubility of calcium stearate in solutions containing bile and in water, *Journal of Biological Chemistry*, **99(1)**, 271–278.
- Lee, B.J., Lee, J., Kim, Y.Y. (2017). Durability performance of concrete penetrated and coated by polydimethylsiloxane for penetrating water repellency, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **29(6)**, 607–613 [in Korean].
- Lee, S.Y., Nam, G.Y., Kim, J.H. (2014). Effects of water-repellent on the physical properties of water paint, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **14(3)**, 259–265 [in Korean].
- Maravelaki-Kalaitzaki, P. (2007). Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry, *Cement and Concrete Research*, **37(2)**, 283–290.
- Moradillo, M.K., Sudbrink, B., Ley, M.T. (2016). Determining the effective service life of silane treatments in concrete bridge

- decks, *Construction and Building Materials*, **116**, 121–127.
- Naiqian, F., Changchen, M., Xihuang, J. (1992). Natural zeolite for preventing expansion due to alkali–aggregate reaction, *Cement, Concrete and Aggregates*, **14(2)**.
- Naseroleslami, R., Chari, M.N. (2019). The effects of calcium stearate on mechanical and durability aspects of self-consolidating concretes incorporating silica fume/natural zeolite, *Construction and Building Materials*, **225**, 384–400.
- Yoon, C.B., Lee, H.S. (2020). Experimental study on the evaluation of physical performance and durability of cement mortar mixed with water repellent impregnated natural zeolite, *Materials*, **13(15)**, 3288.

무기물 금속염계 발수분체를 혼입한 시멘트 모르타르의 물리적 특성 및 수분흡수저항성에 대한 실험적 연구

본 연구에서는 금속염계 무기물인 발수분말과 포졸란계 재료인 천연제올라이트 분말을 사용하여 시멘트 모르타르에 혼입하고 물리적 특성 및 수분에 대한 저항성을 확인하였다. 무기물 금속염계 발수분말을 단독으로 혼입한 시험체에 비해서 천연제올라이트를 동시에 사용한 시험체에서 수분침투시험 및 그에 수반하는 염화물 침투시험에서 높은 저항성을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 금속염계 발수분말을 사용하는 경우 불용성으로 인하여 수분침투저항성이 내부에서 고르게 분산되지 못하고 표면에 국한되었으며 천연제올라이트와 동시에 사용하는 경우 포졸란 반응으로 인해 수화초기의 응결시간이 빠르고 또한 천연제올라이트의 다공성 내부에 발수분말이 부착되어 내부에서도 수분저항성이 일부 생성된 것으로 판단된다.