

## 표면 성상에 따른 수용성 발수제 혼입 시멘트 모르타르의 발수특성

강석표<sup>1</sup>, 강혜주<sup>2\*</sup>, 홍성욱<sup>3</sup>, 양승현<sup>4</sup>

## Water Repellent Characteristics According to the Surface Properties of Cement Mortar Mixed with Water-soluble Water Wepellent

Suk-Pyo Kang<sup>1</sup>, Hye-Ju Kang<sup>2\*</sup>, Seong-Uk Hong<sup>3</sup>, Seung-Hyeon Yang<sup>4</sup>

**Abstract:** This paper is a basic study to improve durability by imparting hydrophobicity to the surface and sphere of cement-based materials. A cement mortar to which a silane/siloxane-based mixed water repellent was added was prepared, and its initial hydration performance, flow performance, and compressive strength were measured. In addition, after the surface was abraded, the water contact angle and water absorption were measured. The flow of cement mortar to which the water repellent was added was found to decrease up to 1.5% in the addition amount of the water repellent agent, and increased at 3.0% in the addition amount. It was found that the setting time of the cement paste was delayed in both the initial setting and the termination when the water repellent was added. It was found that the compressive strength decreased from 3.0% of the maximum added amount of the water repellent to a maximum of 30%. The contact angle was found to increase when the water repellent was added to the cement mortar, and the contact angle after surface polishing was found to be larger than before surface polishing. The addition of the water repellent showed hydrophobicity not only on the surface but also on the surface and cross section damaged by polishing. The water absorption rate was found to decrease when the water repellent was added to the cement mortar, and the water absorption rate after surface polishing was found to be greater than before surface polishing.

**Keywords:** Silane, Siloxane, Water repellents, Hydrophilic, Hydrophobic, Contact angle

### 1. 서 론

시멘트 복합체는 건설산업에서 강도가 높고 내구성이 좋은 재료이며 경제성이 높은 재료로 건설산업에서 흔히 사용되고 있다. 최근 들어 시멘트 기반 복합재료는 철근콘크리트 구조물 뿐만 아니라 외벽 마감재 및 바닥재와 같은 미관을 고려한 위치에 사용되고 있다. 그러나 시멘트 기반 복합재료는 친수성 및 다공성 구조로 쉽게 수분이 침투하기 때문에 이로 인한 강도 상실, 사용 수명감소 및 내구성 저하와 같은 문제점이 발생하고 있다(Ma et al., 2018; Liu et al., 2018). 이러한 시멘트 콘크리트 재료는 장마철이나 폭설이 내리는 겨울철에 오랜 시간 수분에 노출되어 다공성 모세관이 물로 가득 차게 되면, 물로 가득찬 모세관에서 흡수, 팽창, 동결, 융해 등의 과정이 반복되어 균열이 발생하게 된다(Wang et al., 2020). 또한 물과

함께 유입되는 열화인자로 인하여 시멘트 콘크리트 재료는 노후화되고, 알칼리 성분의 외부 유출로 백화현상을 초래하게 된다. 따라서 수분침투의 제한은 구조물의 내구성을 개선하고, 시멘트 기반 복합재료의 사용수명을 연장하는 가장 효과적인 방법이다(Safiuddin and Soudki, 2015; Soudki et al., 2015; Safiuddin 2017; Bader et al., 2019). 이러한 수분침투로 인한 문제점을 개선하기 위하여 최근에는 초소수성에 대한 관심이 증가하고 있다. 이는 연잎에서 영감을 받아 시멘트 재료의 표면에서 물방울이 굴러 떨어지도록 하는 것으로 내구성 확보가 가능하며, 흘러내리는 물방울로 인하여 표면의 먼지를 제거하는 셀프클리닝 되는 특징을 가지고 있다(Gao et al., 2019; Li et al., 2008; Wu et al., 2009). 시멘트 복합체에 물이 침투하지 않도록 하기 위해서는 물시멘트비를 낮추고, 혼화제를 사용하여 수밀성을 개선 시키거나, 표면처리를 통하여 수분의 침투를 막을 수 있다(Wang et al., 2020). 그러나 물시멘트비를 낮추는 경우 친수성인 시멘트 복합체의 수분의 이동 속도만 늦추게 된다(Liu et al., 2016; Kobayashi and Kojima, 2017; Wang and Li, 2014). 표면처리의 경우 시멘트 복합체 시편 위에 에폭시 실란트 코팅과 같은 표면처리를 하거나 방수제를 도포하는 것이다. 방수제의 경우 콘크리트에서 내부에서 외부, 외부에서 내부로 수분이동을 막는다. 발수

<sup>1</sup>정희원, 우석대학교 건축학과 교수

<sup>2</sup>정희원, 우석대학교 건설공학과 박사과정

<sup>3</sup>정희원, 우석대학교 건축학과 교수

<sup>4</sup>정희원, 우석대학교 건설공학과 석사과정

\*Corresponding author: leekang02@nate.com

Department of Architecture, Woosuk university, Chungbuk 27841, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

제의 경우 시멘트 복합체 공극 내부에서 경화하고 콘크리트 표층부의 접촉면의 접촉각을 크게 만들고 표면에서 물을 밀어내는 성질 부여하게 된다. 발수제는 방수제와 달리 대기와 접하는 부분에서 작용하여 수분과 물의 유입은 막지만 내부에서 발생하는 물을 증기 상태로 외부에 이동하게 한다. 따라서 콘크리트의 노후화 진행을 느리게 하고 수분 침투로 인한 균열, 백화현상을 방지 가능하다. 발수제의 표면처리 방법은 제조된 모르타르면에 브러싱이나 스프레이로 코팅하는 방식이 주를 이루고 있다(Wang et al., 2020; Kim and Lee, 2020; Kim et al., 2019). 그러나 방수제 및 발수제를 사용한 표면처리는 표면처리 후 소수성을 나타내지만, 표면코팅 재료의 내구성에 의해 작용시간이 짧아지고, 표면이 마모되거나, 시멘트 복합체에 균열이 발생될 경우 다시 전과 같은 친수성을 나타내기 때문에 장기간 효과를 나타내지 못한다. 이러한 문제점으로 시멘트 복합체에 함침이나 표면처리가 아닌 시멘트 복합체 제조시 혼입하는 혼합형 발수제가 연구되고 있다(Falchi et al., 2015). 혼합형 발수제의 경우 기존 표면처리나 함침과 달리 구조체 내부에서도 그 기능을 상실하지 않기 때문에 발수제의 내구성이나 표면마모, 표면균열에 의존하지 않고 지속적으로 소수성을 발휘할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하여 내구성을 향상시키기 위한 기초연구로서 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가하여 시멘트 모르타르를 제조하고, 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모

르타르의 초기 수화성능 및 유동성능, 재령별 압축강도 및 흡수율을 측정하였고, 표면연마 전후의 물접촉각을 검토하여 발수성능을 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 제조를 위한 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 결합재로는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로는 표준사를 사용하였으며 C:S는 1:3, W/C는 0.45로 설정하였다. 또한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 사용량은 시멘트 중량에 대해 0%, 0.5%, 1.5%, 3%가 되도록 혼합수에 첨가하여 시멘트 모르타르를 혼합하였다. 평가항목으로 시멘트 모르타르의 초기 수화성능 및 유동성능을 확인하기 위하여 응결시간과 플로우를 측정하였고, 재령별 압축강도와 표면연마 전후의 물접촉각 및 흡수율을 측정하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트로서

**Table 1** Experimental plan

Type of binder	Addition rate of water repellent to cement(%)		Mix design	Test items
OPC	0	M-P	C:S = 1:3 W/B = 0.45	Flow
	0.5	MD5		Setting time
	1.5	MD15		Compressive strength
	3	MD30		Sandpaper abrasion contact angle (before and after) Water absorption rate

**Table 2** Physical properties and chemical composition of binder

Type of binder	Specific surface area(cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ig. loss	Chemical composition (%)					
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

**Table 3** Physical properties and chemical composition of water repellent

Type of	Active Ingredient (wt%)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	pH
water repellent	40	1.01	6 ~ 8

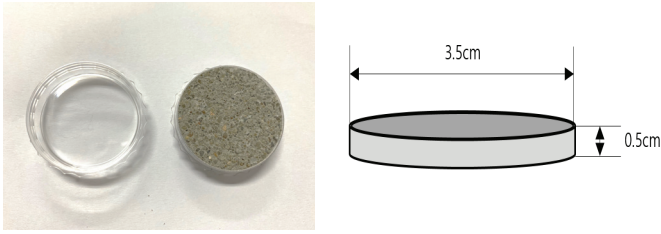


Fig. 1 Specimen for measuring contact angle



Fig. 2 Contact angle meter

물리·화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 시멘트는 비표면적 3,144 cm<sup>2</sup>/g, 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 강열감량 1.32이며, 화학 성분은 SiO<sub>2</sub>(21.7%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(5.7%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3.2%), CaO(63.1%), MgO(2.8%), SO<sub>3</sub>(2.2%)로 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

### 2.2.2 발수제

본 논문에서 모르타르 혼입용으로 사용한 실란/실록산계 혼합형 발수제의 물리·화학적 특성을 Table 3에 나타내었다. 발수제의 활성성분은 40wt%이고, 주요한 활성성분은 n-octyltriethoxysilane과 methoxy-terminated aminosilisesquioxane으로 구성되어 있으며, 비중은 1.01, pH는 6~8이다.

### 2.2.3 잔골재

본 논문에서 사용한 골재는 KS L ISO 679의 표준사를 사용하였다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 모르타르 배합 및 양생

모르타르의 배합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 먼저 혼합수와 실란/실록산계 발수제를 혼합한 뒤 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 모르타르를 제조하였다. 제조된 시멘트 모르타르는 시편제작용 몰드에 타설하여 측정시까지 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 양생하였다.

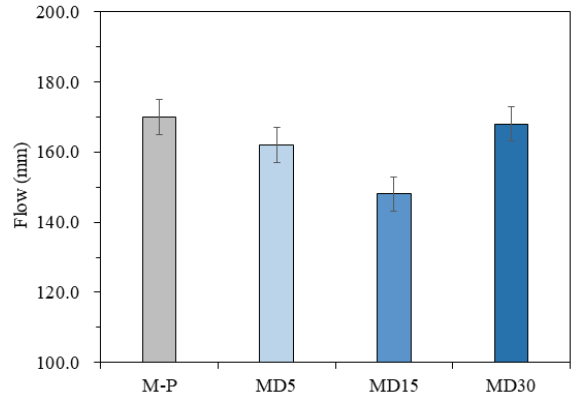


Fig. 3 Flow

### 2.3.2 응결시간

실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 페이스트의 응결시간은 KS L 5103 길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법에 준하여 시험하였다.

### 2.3.3 플로우

시멘트 모르타르의 플로우 시험은 KS L 2476에 준하여 측정하였다.

### 2.3.4 압축강도

압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 하였다. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법 준하여 측정하였다.

### 2.3.5 흡수율

흡수율을 평가하기 위한 흡수율 시험체는 5×5×5cm의 정방형 몰드에 모르타르를 타설하여 제작하였다. 3개의 시험체를 28일 양생 후 건조하고 시편의 측면을 에폭시로 실링 처리하였다. 제조된 시험체를 약 20°C의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 24시간에 물 흡수량을 측정하였다. 흡수율은 KS L 2476에 준하여 계산하였으며 (식)을 아래에 나타내었다.

$$W_a = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\text{식})$$

여기에서, W<sub>a</sub>: 흡수율 (%)

W<sub>0</sub>: 건조 후의 질량 (g)

W<sub>1</sub>: 흡수 후의 질량 (g)

### 2.3.6 물접촉각

자연의 연잎에서는 구형에 가까운 물방울이 굴러 흠을 제거 한다. 이러한 연잎과 같은 표면을 초소수성 표면이라고 한다. 이러한 연잎은 표면 나노구조와 함께 낮은 표면에너지로 갖는다(Vazirinasab et al., 2018; Zheng et al., 2015). 거친 나노구조의 돌출부 안에 갇힌 공기는 물방울과 접촉하는 최소한의 고체 부분으로 액체-공기의 균형을 유지함으로써 물이 함침 되지 않도록 한다. 이러한 구조는 매끄러운 표면을 가지는 유리와 달리 굴러가는 물방울에 의해서 먼지를 모아 표면을 청소하여 셀프클리닝의 기능을 갖는다. 이러한 초소수성의 이론적 연구에서는 물접촉각(CA)이 150°보다 크고, 슬라이딩각(SA)이 10°보다 작은 표면을 초소수성으로 정의한다(Liu and Jiang, 2012; Bhushan and Jung, 2011).

접촉각의 측정은 액체방울을 고체 표면위에 떨어뜨린 후, 정지된 액체방울과 표면이 이루는 각도를 측정한다. 통상적으로 물방울을 떨어뜨려 시험을 하며 고체 표면의 표면장력이 높을수록 물에 대한 젖음성(Wettability)이 좋아지고 접촉각은 작아진다. 접촉각이 작다는 것은 친수성이 크고 젖음성이 좋고 접착성이 좋아짐을 의미한다.

물 접촉각의 측정을 위한 시편은  $\varnothing 3.5 \times 0.5$  cm 살레에 모르타르를 타설하여 Fig. 1과 같이 제작하고 28일동안 양생하였다. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포위에 2kg이하의 추를 올린 후 수평방향으로 10cm, 수직방향으로 10cm 이동하여 표면을 마모하였다(Wang et al., 2020). 사포마모 전후 시편을 Fig. 2의 피코 표면 접촉각 측정기를 통하여 측정하였다. 접촉각 시험은 KS L 2110 기관유리 표면의 젖음성 시험방법에 의거하여 측정하였다. 또한 스포이드로 시험체 표면에 물방울을 떨어뜨려 육안 관찰을 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 플로우

실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 측정결과를 Fig. 3에 나타내었다. 플로우 측정결과 실란/실록산계 발수제를 15%이하로 첨가할 경우 플로우는 감소하는 경향을 보였으며, 30%이상 다량 첨가할 경우 증가하는 것으로 나타났다. 플로우는 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 MP는 170 mm를 나타내었다. 실란/실록산계 발수제를 5% 첨가한 MD5의 경우 162 mm, 15%를 첨가한 MD15의 경우 148mm로 나타났다. 그러나 실란/실록산계 발수제를 30% 첨가한 MD30의 경우 플로우는 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이는 실란/실록산의 활성성분 40wt%로 액상의 발수제가

Table 4 Setting time

Samples	Setting time	
	Initial (min)	Final (hour)
M-P	105	4.75
MD5	105	5.75
MD15	120	6.5
MD30	120	7

다량 혼입되면서 플로우가 증가한 것으로 판단된다..

### 3.2 응결시간

실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 응결시간 측정결과를 Table 4에 나타내었다. 샘플은 시멘트 페이스트에 대해 실란/실록산계 혼합형 발수제를 0, 0.5, 1.5, 3.0% 첨가하여 측정되었다. 응결시간 측정결과 실란/실록산계 발수제를 첨가할 경우 시멘트 페이스트의 초결 및 종결 시간은 지연되는 것으로 나타났으며, 첨가량이 증가할수록 응결시간은 더욱 지연되는 것으로 나타났다.

초결시간은 발수제를 첨가하지 않은 M-P의 경우 105분을 나타냈으며, 실란/실록산계 발수제를 3.0%첨가한 MD30의 경우 120분으로 지연되는 것으로 나타났다. 종결시간은 발수제를 첨가하지 않은 M-P의 경우 4.75시간을 나타냈으며, 실란/실록산계 발수제를 3.0%첨가한 MD30의 경우 7시간으로 나타났다.

시멘트 페이스트에 3.0%의 실란/실록산 발수제를 첨가할 경우 첨가하지 않은 페이스트와 비교하여 초결시간은 최대 15분 지연되는 것으로 나타났으며, 또한 종결시간은 최대 2.25시간이 증가하는 것으로 나타났다. 기존연구와 같이 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 페이스트에 첨가할 경우 ettringite의 형성을 약간 지연시키고 초결시간을 지연시킨 연구결과와 비슷한 결과를 나타냈다. 이러한 지연은 혼합물의 소수성에 기인할 수 있으며, 이는 클링커 입자 근처에 실란/실록산계 발수제를 배치하여 소수성 장벽을 생성하기 때문으로 이 경우 클링커 표면에 흡착과 직접 이온 교환이 없기 때문에 수화가 약간 지연되는 것으로 보고하고 있다(Falchi et al., 2015).

### 3.3 압축강도

실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 압축강도 측정결과를 Fig. 3에 나타내었으며, M-P에 대한 압축강도비를 Fig. 4에 나타내었다. 압축강도 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 압축강도는 감소하며, 첨가율이 높아질수록 감소하는 경향을 나타냈다. 시

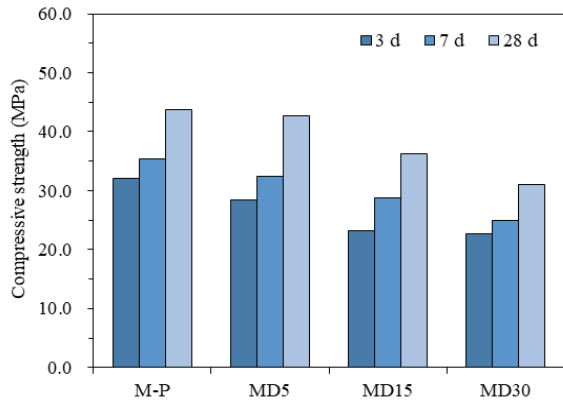


Fig. 4 Compressive strength

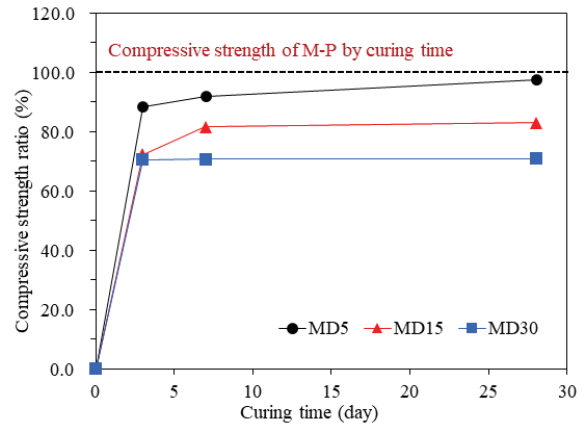


Fig. 5 Compressive strength ratio

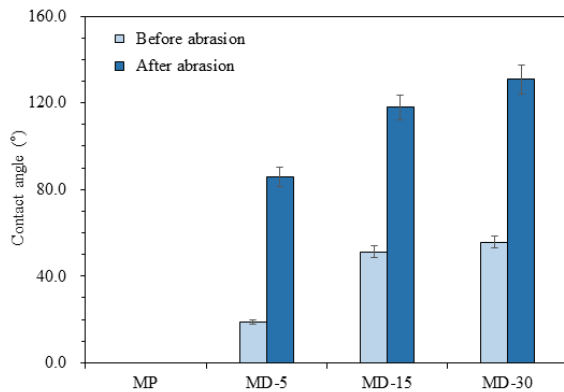


Fig. 6 Contact angle

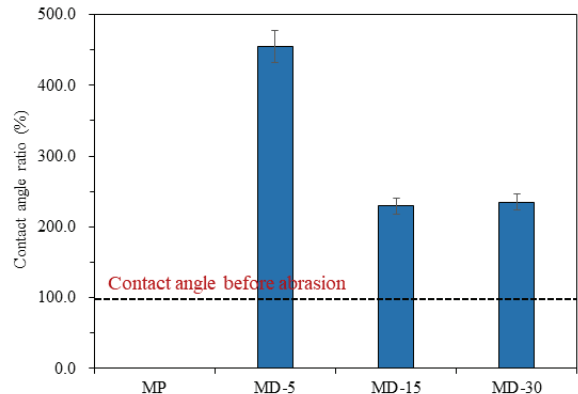


Fig. 7 Contact angle ratio

멘트 모르타르의 28일 압축강도는 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P가 43.7MPa를 나타냈다. 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 42.7MPa로서 M-P의 97.7%를 나타냈다. MD15의 경우 36.3MPa로서 M-P의 83.0%, MD30의 경우 31.0MPa로서 M-P의 70.9%로 실란/실록산계 발수제를 3.0% 첨가한 경우 압축강도는 최대 약 30%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 압축강도의 감소는 발수제의 물을 튕겨내는 특성으로 인하여 수화를 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된다고 보고하고 있다(Kim and Lee, 2020). 또한 액상의 발수제의 첨가는 단위수량을 증가시켜 압축강도 증가에 영향을 끼친 것으로 판단된다(Kim et al., 2019).

### 3.4 접촉각

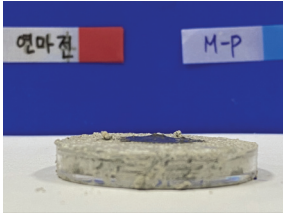

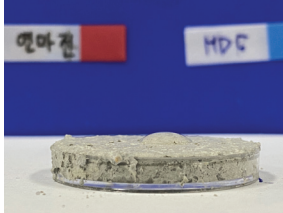
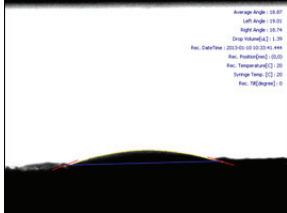
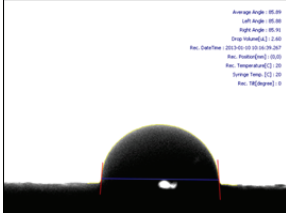
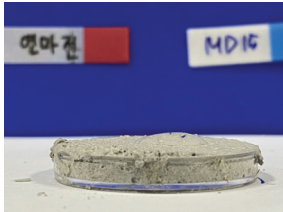
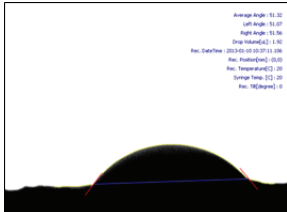
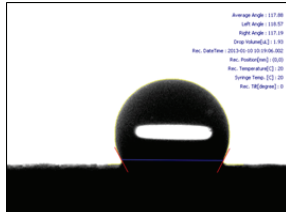
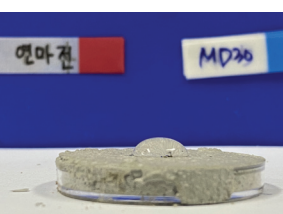
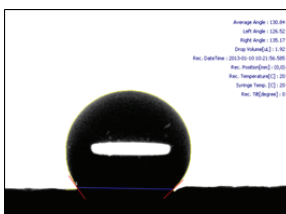
접촉각 측정결과를 Fig. 6에 나타내었으며 표면연마 전에 대한 연마 후의 접촉각에 대한 비율을 Fig. 7에 나타내었다. 또한 접촉각 측정사진을 Table 5에 나타내었다. 접촉각 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우

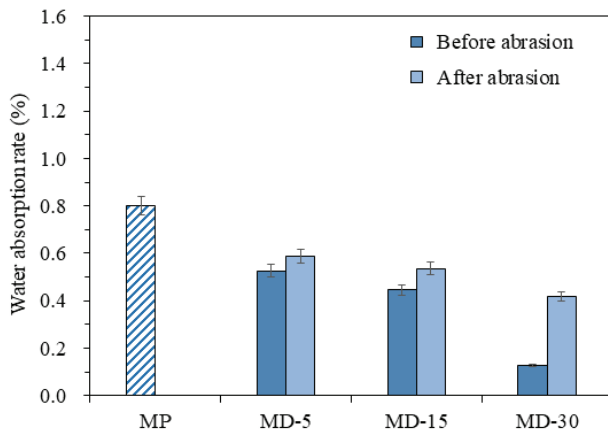
친수성이 개선되며 소수성을 나타내 접촉각이 커지는 것으로 나타났다. 또한 발수제 첨가량이 증가할수록 접촉각이 커지는 것으로 나타났다. 또한 표면연마 후 접촉각은 연마 전 보다 커지는 것으로 나타났다.

표면연마 전 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P의 경우 물방울을 떨어뜨림과 동시에 표면에서 물이 흡수되어 접촉각 측정이 불가능하였다. 표면연마 전 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 18.9°, 1.5%를 첨가한 MD15의 경우 51.3°, 3.0%를 첨가한 MD30의 경우 55.7°를 나타내었다. 표면연마 전 접촉각은 발수제를 첨가할수록 커졌으나 모두 소수성 접촉각 기준으로 정의되는 90° 이상을 나타내지 못하고 모두 친수성을 나타냈다. 표면연마 후 접촉각은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 85.9°로서 연마 전과 비교하여 약 455% 높아졌으며, 발수제를 1.5% 첨가한 MD15의 경우 117.9°로서 연마 전과 비교하여 230%, 발수제를 3.0% 첨가한 MD30의 경우 130.8°로서 연마 전과 비교하여 234% 높아졌다. 실란/실록산계 발수제를 1.5%, 3.0% 첨가한 시멘트 모르타르는 접촉각 90° 이상



**Table 5** Contact angle image

Type of mortar	Contact angle (°)		
	Before abrasion		After abrasion
M-P			
MD5			
MD15			
MD30			



**Fig. 8** Water absorption rate

으로 모두 소수성을 나타냈다. 이와 같이 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 표면에서도 약

간의 소수성을 나타내며 표면연마로 인한 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내었다. 본 실험에서는 MD30의 경우 가장 큰 접촉각을 나타냈지만 초소수성의 기준각도인 150° 이상을 나타내지는 못하여 물방울이 떨어졌을 때 물방울이 공극(cavity)을 채워 표면 위에 떠 있는 상태(Cassie-Baxter state)와 같은 연잎의 로터스 효과(lotus effects)는 나타나지 않았다. 향후 더 높은 소수성을 나타내기 위하여 혼합형 발수제의 성능을 개량하고, 표면과 물방울 사이에 공극을 형성하여 물방울이 공극을 채우지 않고 떠있는 상태를 유지하기 위한 표면 거칠기를 조절할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.5 흡수율

표면연마 전후의 24시간 흡수율 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 흡수율은 소수성을 평가하기 위한 중요한 지표이다. 흡수율 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 발수제의 첨가량이 증가할수록 흡수율이 낮아지

는 것으로 나타났다. 또한 표면연마 후 흡수율은 연마 전 보다 높아지는 것으로 나타났다.

흡수율 측정결과 실란/실록산계 발수제를 첨가하지 않은 M-P가 0.8%를 나타냈다. 표면연마 전 흡수율은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 0.53%를 나타냈다. MD15의 경우 0.45%, MD30의 경우 0.13%로 감소하는 것으로 나타났다. 표면연마 후 흡수율은 실란/실록산계 발수제를 0.5% 첨가한 MD5의 경우 0.59%를 나타냈다. MD15의 경우 0.54%, MD30의 경우 0.42%로 나타나 연마 전과 비교하여 다소 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 모르타르의 흡수율은 공극과 밀접한 관련이 있다(Oltulu and Sahin, 2014; Liu and Jiang, 2012). 흡수율이 낮은 경우 시멘트 매트릭스가 밀실하여 많은 기공을 가진 시멘트 복합체보다 높은 강도를 나타낸다. 또한 공극의 증가는 모르타르의 압축강도를 감소시킨다. 그러나 실란/실록산계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 경우 첨가량이 증가할수록 강도는 감소하고 흡수율도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존연구에서와 같이 소수성을 나타내는 모르타르는 수분의 침투와 다공성과는 무관한 것으로 나타났다.(Chen et al., 2018)

## 4. 결론

시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하고자 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르 제조하고 이를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우는 발수제 첨가량 1.5%까지는 감소하는 것으로 나타났으며 첨가량 3.0%에서는 증가하였다.
- (2) 응결시간 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가할 경우 시멘트 페이스트의 응결시간은 초결 및 종결 모두 지연되는 것으로 나타났다. 이러한 지연은 혼합물의 소수성에 기인할 수 있으며, 클링커 입자 근처에 실란/실록산계 발수제를 배치하여 소수성 장벽을 생성하기 때문인 것으로 판단된다.
- (3) 압축강도 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며 최대 첨가량 3.0%일 경우 압축강도는 최대 30%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이는 발수제가 시멘트의 수화를 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된 것으로 판단된다.
- (4) 접착각 측정결과 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 친수성이 개선되며 소수성을 나타

내 접착각이 커지는 것으로 나타났다. 또한 표면연마 후 접착각은 표면연마 전보다 커지는 것으로 나타났다. 실란/실록산계 혼합형 발수제의 첨가는 표면뿐만 아니라 표면연마로 인한 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내었다.

- (5) 흡수율 측정결과 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 흡수율은 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 사포 연마 후 흡수율은 사포 연마 전보다 커지는 것으로 나타났다. 소수성을 나타내는 모르타르는 수분의 침투와 다공성과는 관계가 없을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(20CTAP-C157045-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Bader, T., Waldner, B. J., Unterberger, S. H., & Lackner, R. (2019). On the performance of film formers versus penetrants as water-repellent treatment of High-Performance Concrete (HPC) surfaces. *Construction and Building Materials*, 203, 481-490.
2. Bhushan, B., & Jung, Y. C. (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. *Progress in Materials Science*, 56(1), 1-108.
3. Chen, H., Feng, P., Du, Y., Jiang, J., & Sun, W. (2018). The effect of superhydrophobic nano-silica particles on the transport and mechanical properties of hardened cement pastes. *Construction and Building Materials*, 182, 620-628.
4. Falchi, L., Zendri, E., Müller, U., & Fontana, P. (2015). The influence of water-repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars. *Cement and Concrete Composites*, 59, 107-118.
5. Gao, M. L., Zhao, S. Y., Chen, Z. Y., Liu, L., & Han, Z. B. (2019). Superhydrophobic/Superoleophilic MOF Composites for Oil-Water Separation. *Inorganic chemistry*, 58(4), 2261-2264.
6. Kim, W. S., & Lee, H. S. (2020). Mechanical Properties and Absorption of Mortars Containing Hybrid Water-Repellent. In Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference (pp. 88-89). *The Korean Institute of Building Construction*.
7. Kim, W. S., Yang, H. M., Kim, Y. K., & Lee, H. S. (2019). An Experimental Study on Physical Properties and Water Repellent Performance of Cement Mortar According to Mixing Method of Water Repellent. In Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference (pp. 99-100). *The Korean Institute of Building Construction*.

8. Kobayashi, K., & Kojima, Y. (2017). Effect of fine crack width and water cement ratio of SHCC on chloride ingress and rebar corrosion. *Cement and Concrete Composites*, 80, 235-244.
9. Li, Y., Zheng, M., Ma, L., Zhong, M., & Shen, W. (2008). Fabrication of hierarchical ZnO architectures and their superhydrophobic surfaces with strong adhesive force. *Inorganic Chemistry*, 47(8), 3140-3143.
10. Liu, H., Zhang, Q., Gu, C., Su, H., & Li, V. C. (2016). Influence of micro-cracking on the permeability of engineered cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 72, 104-113.
11. Liu, S., Yang, J., Chen, X., Yang, G., & Cai, D. (2018). Application of mastic asphalt waterproofing layer in high-speed railway track in cold regions. *Applied Sciences*, 8(5), 667.
12. Liu, K., & Jiang, L. (2012). Bio-inspired self-cleaning surfaces. *Annual Review of Materials Research*, 42, 231-263.
13. Ma, Z., Zhu, F., & Zhao, T. (2018). Effects of surface modification of silane coupling agent on the properties of concrete with freeze-thaw damage. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(2), 657-669.
14. Oltulu, M., & Şahin, R. (2014). Pore structure analysis of hardened cement mortars containing silica fume and different nano-powders. *Construction and Building Materials*, 53, 658-664.
15. Safiuddin, M., & Soudki, K. A. (2015). Water vapor transmission and waterproofing performance of concrete sealer and coating systems. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(7), 837-844.
16. Safiuddin, M. (2017). Concrete damage in field conditions and protective sealer and coating systems. *Coatings*, 7(7), 90.
17. Soudki, K. A., Safiuddin, M., Jeffs, P., MacDonald, G., & Kroker, M. (2015). Chloride penetration resistance of concrete sealer and coating systems. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(4), 492-502.
18. Vazirinasab, E., Jafari, R., & Momen, G. (2018). Application of superhydrophobic coatings as a corrosion barrier: A review. *Surface and Coatings Technology*, 341, 40-56.
19. Wang, L., & Li, S. (2014). Capillary absorption of concrete after mechanical loading. *Magazine of Concrete Research*, 66(8), 420-431.
20. Wang, W., Wang, S., Yao, D., Wang, X., Yu, X., & Zhang, Y. (2020). Fabrication of all-dimensional superhydrophobic mortar with enhanced waterproof ability and freeze-thaw resistance. *Construction and Building Materials*, 238, 117626.
21. Wu, S., Cao, H., Yin, S., Zhang, X., & Chernow, V. (2009). Biomineralization and superhydrophobicity of BaCO<sub>3</sub> complex nanostructures. *Inorganic Chemistry*, 48(21), 10326-10329.
22. Zheng, S., Li, C., Fu, Q., Li, M., Hu, W., Wang, Q., ... & Chen, Z. (2015). Fabrication of self-cleaning superhydrophobic surface on aluminum alloys with excellent corrosion resistance. *Surface and Coatings Technology*, 276, 341-348.

Received : 10/07/2020

Revised : 10/31/2020

Accepted : 11/10/2020

---

**요 지** : 본 논문은 시멘트계 재료의 표면 및 구체에 소수성을 부여하여 내구성을 향상시키기 위한 기초연구이다. 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르를 제조하고 초기 수화성능 및 유동성능, 재령별 압축강도를 측정하였다. 또한 표면연마 전후의 물접촉각 및 흡수율을 측정하였다. 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우는 발수제 첨가량 1.5%까지는 감소하는 것으로 나타났으며 첨가량 3.0%에서는 증가하였다. 실란/실록산계 혼합형 발수제를 첨가할 경우 시멘트 페이스트의 응결시간은 초결 및 종결 모두 지연되는 것으로 나타났다. 압축강도는 발수제의 최대 첨가량 3.0%에서 최대 30%까지 감소하는 것으로 나타났다. 실란/실록산계 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 접촉각은 커지는 것으로 나타났으며, 표면연마 후 접촉각은 표면연마 전보다 커지는 것으로 나타났다. 실란/실록산계 혼합형 발수제의 첨가는 표면뿐만 아니라 연마로 인하여 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내었다. 실란/실록산계 혼합형 발수제를 시멘트 모르타르에 첨가할 경우 흡수율은 낮아지는 것으로 나타났으며, 표면연마 후 흡수율은 표면연마 전보다 커지는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 실란, 실록산, 발수제, 소수성, 초소수성, 접촉각

---