

잔골재의 입도분포가 SSPM의 침투성능에 미치는 영향

윤현광¹, 윤다애^{2*}, 이찬우³, 박완신⁴, 윤현도⁵

Effects of Fine Aggregate Size on Penetration Performances of SSPM

Hyun-Kwang Yoon¹, Da-Ae Youn^{2*}, Chan-Woo Lee³, Wan-Shin Park⁴, Hyun-Do Yun⁵

Abstract: This study was conducted to evaluate the penetration performance of the Silane Surface Protection Material (SSPM) penetrating the micro pore of concrete surface. The results was indicated microstructure, porosity and penetration depth of applied SSPM. Silica sand and conventional sand were used as fine aggregate in mortar. And liquid and cream types SSPM were used. The amounts of SPM were applied the 127, 255, 382, 510 g/m² on the surface of mortar. The penetration depth specimens were made with 100×30 mm in according with KS F 4930. Penetration depth was evaluated according to KS F 4930, divide specimen and then spraying with water in cross section of specimens, and measure the depth of the non-wetted area. The microstructure result of mortar applied SSPM, it was obtained liquid and cream SSPM in mortar. The porosity results of SSPM application specimens were improved with than that of plain specimens. Test results indicated that the penetration depth of SPM were improved with increasing in amounts of SSPM. As a result of test, application of SSPM to concrete surface, it will improve durability.

Keywords: Silane Surface Protection Material(SSPM), Prevention of deterioration, Fine aggregate particle size, Penetration depth

1. 서 론

최근 기록적인 한파와 폭설 등 이상기후가 발생하고 있으며, 도로에 교통안전을 위한 제설제의 사용량이 증가되고 있다. 따라서 콘크리트로 제작된 도로 주변 소구조물인 방호벽, 측구는 강도저하, 표면 박리 발생, 철근부식 등 조기열화가 발생하게 된다. 이러한 구조물의 내구성 향상 방안에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, Cheong and Lee(2004)의 연구에서는 설계 강도 향상, 슬래그 미분말 첨가, 방수제 도포를 통한 내구성 향상기법을 제시하였다. 상기방법 모두 염화물 제설제에 의한 내구성 저하를 억제시키는 효과가 있는 것으로 보고되었으며, 콘크리트의 강도를 증진 시킨 경우에서 가장 우수한 효과가 나타났다. Suh et al.(2007)의 연구에서는 교량 바닥판 콘크리트의 내구성 증진을 위해 고성능 콘크리트의 배합을 적용하였으며, 슬래그미분말과 플라이애쉬를 함께 혼

화재로 사용하는 경우 콘크리트의 내구성능을 향상시키는 것으로 나타났다. 이러한 기법들은 설계단계에서는 효과적으로 적용할 수 있으나, 이미 시공된 구조물의 보수보강 공법으로는 적절하지 않다. 따라서 시공된 콘크리트 구조물의 내구성능 향상기법에 대한 연구가 요구된다.

Almusallam et al.(2003)은 내구성 향상을 위해 콘크리트 표면에 아크릴, 고분자 에멀전, 에폭시 등 여러 도포재를 코팅하는 방법을 사용하였다. 실험결과, 표면 보호재를 코팅한 경우 그렇지 않은 경우보다 염화물 침투 저항성이 향상되는 것으로 나타났으며 염화물 확산을 감소시키는 결과가 나타났다. Kang and Kim(2006)의 연구에서는 규플르오르화염을 주성분으로 하는 함침계 표면 보호재를 도포한 콘크리트 표면의 기공률, 중성화, 염해, 화학적 침식 등을 평가하였다. 기공률 평가결과 함침계 표면 보호제가 모세관공극을 충전 시키는 것으로 나타났으며 이로 인해 중성화, 염해, 화학적 침식 등 콘크리트의 내구성 향상에 기여하는 것으로 나타났다. Franzoni et al.(2013)의 연구에서는 에틸실리케이트가 주성분인 표면 도포재를 사용하였으며, 염화물 및 이산화탄소 저항 성능을 평가하였다. 실험결과, 염화물 및 이산화탄소에 장시간 노출 하여도 표면 도포재를 도포하지 않은 경우보다 저항성능이 향상되는 것으로 나타났다. Lee et al.(2014)의 연구에 따르면 콘크리트 표면에 유허폴리머를 도포하였을 경우 부착강도가 증가하는 것으로 나타났으며 염소이온 침투저항성능 또한 증가하는 것으로 나타났다.

¹정회원, 충남대학교 융복합시스템공학과 석박사통합과정, 한국도로공사 대전충남본부 기술처장

²정회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정, 교신저자

³정회원, 충남대학교 산업대학원 건축공학과 석사과정, (주)성백건축주택 이사

⁴정회원, 충남대학교 건축공학과 교육과 교수

⁵정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

*Corresponding author: yde5504@naver.com

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 5월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이와 같이 콘크리트의 내부공극 및 계면사이에 깊게 침투할 수 있는 여러 가지 재료를 도포하여 콘크리트의 내구성 향상시키는 연구가 국내·외로 다수 진행되고 있다. 본 연구는 실란복합화합물 기반의 표면 보호재(Silane Surface Protection Material, SSPM)를 사용한 효과적인 기존 콘크리트 내구성 향상방안 도출을 위한 선행연구로써, 액상 및 크림형질의 SSPM의 침투성능을 평가하고자 한다. 또한 잔골재 크기에 따른 SSPM의 침투성능을 평가하기 위하여 주문진 표준사 및 일반 잔골재를 사용하여 실험을 수행하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구에는 모르타르에 사용된 잔골재의 입도분포 및 SSPM의 형질이 침투깊이에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 또한 모르타르 내부에 SSPM의 침투 메커니즘을 규명하기 위한 미세구조 및 기공량을 평가하였다. 본 실험에서 KS L 5100에서 제시하는 주문진산 표준사(Type 1)와 콘크리트 표준 시방서에서 제시하는 입도분포범위에 만족하는 잔골재(Type 2)를 사용하였다. 모르타르 표면에 도포하는 SSPM은 액상 및 크림형질로 설정하였으며, 도포량은 약 127, 255, 382, 510 g/m²로 설정하였다. 실험체의 개수는 각 3개씩 제작하였으며 모르타르 배합은 Table 1에 나타난 바와 같이 KS F 4930에 따라 시멘트와 잔골재의 질량비를 1:2.45, 물/시멘트 비는 50%로 설정하였다.

Table 1 Mix proportion of mortar

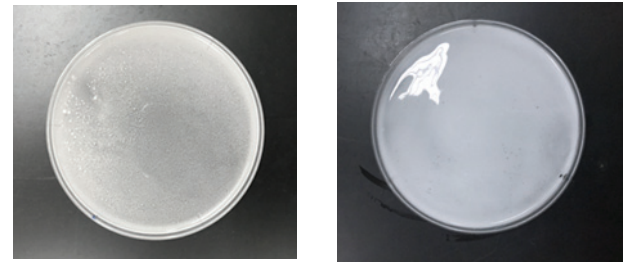
W/C	Weight (kg)		
	W	C	S
0.5	0.5	1	2.45

W: Water, C: Cement, S: Sand

2.2 사용 재료

2.2.1 실란복합화합물 표면보호재료

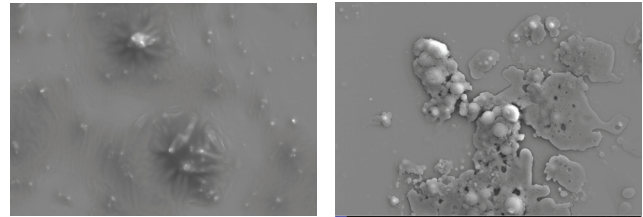
본 연구에서는 액상 및 크림형질의 SSPM을 사용하였으며, 상온에서의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 액상형질 SSPM의 경우 크림형질 SSPM에 비해 점성이 다소 떨어지는 것으로 나타났으며, 수직부재인 도로 소구조물에는 크림형질 적용이 적절할 것으로 판단된다. SSPM의 미세구조를 평가하기 위하여 적정량을 채취한 뒤 자연 건조 후 장방출주사현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 사용하여 미세구조 분석을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 미세구조 평가 결과 액상형질 SSPM의 경우 결정이 분산된 형태로 나타났다. 반면, Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이



(a) Liquid type

(b) Cream type

Fig. 1 Characteristic of SSPM



(a) Liquid type

(b) Cream type

Fig. 2 Microstructure of SSPM (x2.0 K)

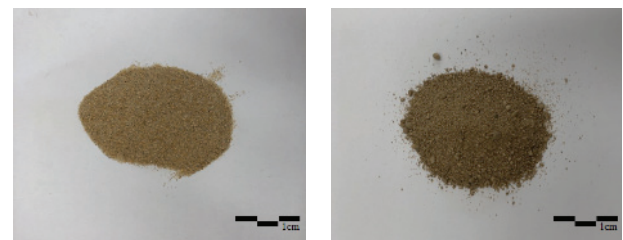
크림형질의 경우 액상형질에 비해 결정이 응집되어 있는 형태로 나타났다.

2.2.2 잔골재

잔골재의 입도분석을 파악하기 위하여 KS F 2502에 따라 체가름 시험을 진행하였으며, Fig. 3은 주문진 표준사(Type 1)와 일반 잔골재(Type 2)의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 4는 체가름 시험 결과인 입도분포곡선을 나타낸 것이며 주문진 표준사(Type 1)는 KS L 5100을 만족하였다. 일반 잔골재(Type 2)의 경우 콘크리트 표준 시방서에서 제시하는 잔골재의 입도분포에 만족하는 것으로 나타났다.

2.3 실험체 제작

SSPM 침투에 따른 모르타르의 미세구조 및 기공률 변화를 평가하기 위하여, 재령 28일까지 수중양생을 실시한 모르타르 침투 깊이 평가를 위한 실험체는 KS F 4930에 따라 제작하였으며, 제작 과정을 Fig. 5에 나타내었다. $\phi 100 \times 30$ mm 크기의



(a) Type 1

(b) Type 2

Fig. 3 Shape of fine aggregate

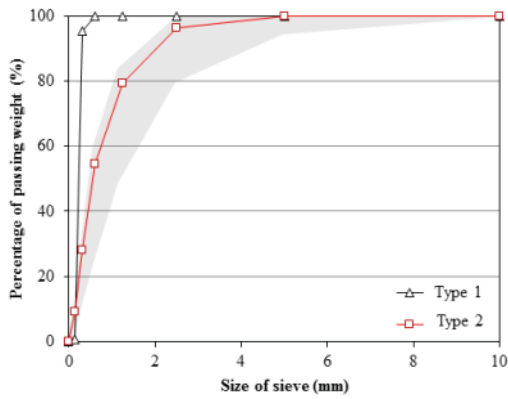


Fig. 4 Grading curve of fine aggregate

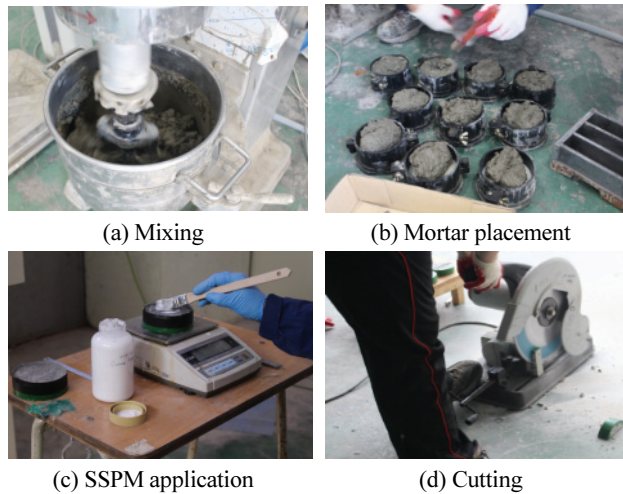


Fig. 5 Manufacture of specimen

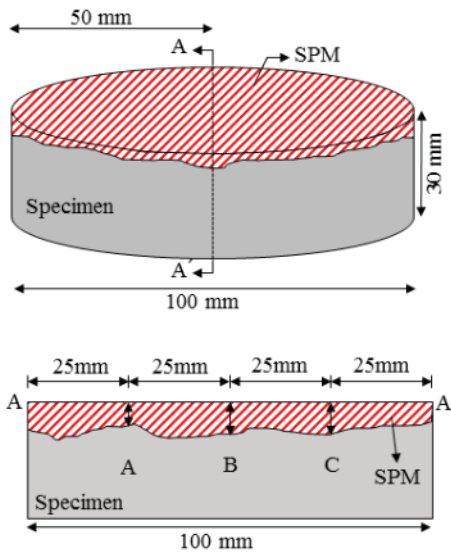


Fig. 6 Method for measurement of penetration depth

모르타르 밀판을 변수 별 각 3개씩 제작하였다. 모르타르는

타설 후 48시간 양생 후에 탈형하여 19일간 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 조건에서 수중양생을 실시하였으며, 수중 양생 완료 후 SSPM 시공 전까지 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $50 \pm 10\%$ 의 기건 상태에서 7일간 양생을 실시하였다. 기건 양생 완료 후 모르타르 시험체 옆면에 표면보호재료가 새어나가지 않도록 에폭시를 도포하였다. 그 후 액상 및 크림형질 SSPM을 도포하고 침투깊이 측정 전까지 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $50 \pm 10\%$ 의 기건 상태에서 14일간 양생을 실시하였다. 침투깊이 평가는 KS F 4930에 따라 진행하였으며 SSPM 도포 후 침투깊이 평가 전까지 온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $50 \pm 10\%$ 의 기건 상태에서 14일간 양생을 진행하였다. 침투깊이는 기건 양생 완료 후 시험체를 Fig. 6와 같이 2분할하여, 표면으로부터 발수 성능을 발휘하는 깊이를 측정하였다. 측정 위치는 25 mm 간격으로 3개소에서 측정하며, 그 평균값을 침투깊이로 한다. 정확한 측정을 위해 CAD를 활용하여 침투면적 및 평균 침투깊이를 측정하였다.

3. 실험 결과

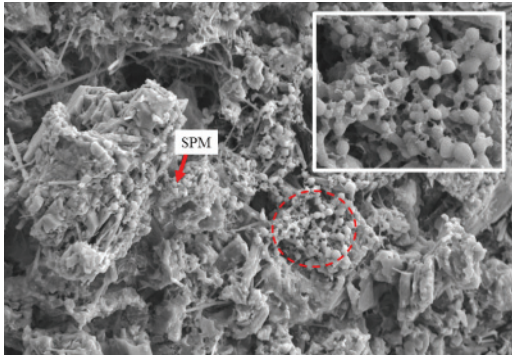
3.1 미세구조 평가

Fig. 7은 주문진 표준사(Type 1)로 제작한 모르타르의 미세구조를 5000배율로 촬영한 SEM 사진을 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 액상형질 SSPM을 적용한 모르타르의 미세구조를 나타낸 것이며, 모르타르의 내부에 침투된 결정형태의 SSPM을 확인 할 수 있다. 크림형질 SSPM을 적용한 모르타르의 미세구조는 Fig. 7(b)에 나타냈으며 모르타르 내부에서도 크림형질 SSPM의 결정이 나타났으며, 액상형질 SSPM 보다 응집력이 비교적 큰 것으로 나타났다.

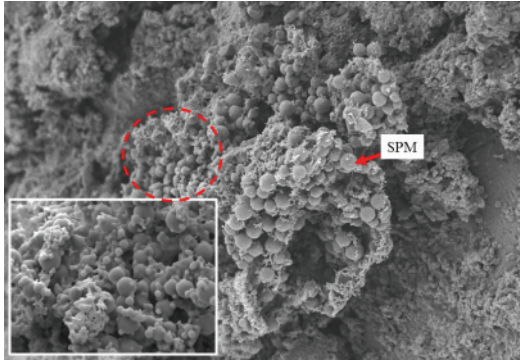
3.2 기공량 평가

SSPM 시공에 따른 모르타르의 기공률 변화를 Fig. 8과 Table 3에 나타내었다. 주문진 표준사(Type 1)를 사용한 모르타르의 총 기공량은 액상형질 SSPM을 적용하였을 때 18.2% 감소하는 것으로 나타났으며, 크림형질 SSPM을 적용하였을 경우 19.6% 감소하는 것으로 나타났다. SSPM의 형질에 상관없이 SSPM을 적용할 경우 기공량이 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 미세구조 평가에서 나타낸 바와 같이 SSPM 결정이 모르타르 내부 공극을 채워주기 때문으로 판단된다. 일반 잔골재(Type 2)를 사용한 경우에도 동일한 결과가 나타났으며, 총 기공량은 액상 및 크림형질 SSPM을 적용하였을 때 각각 18.7% 및 24.0% 감소하는 것으로 나타났다. SSPM 형질에 따른 비교에서는 크림형질을 사용할 경우 액상형질에 비해 높은 공극감소량을 보였다.

강도와 이온의 침투성에 영향을 미치는 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 범위의 매크로 공극량(Metha,1993)을 평가한 결과 Fig. 8에 나타난

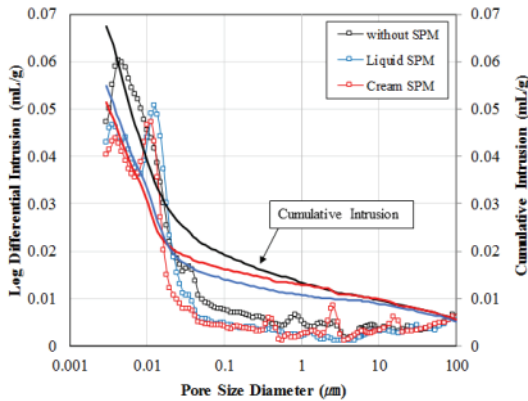


(a) Liquid SSPM

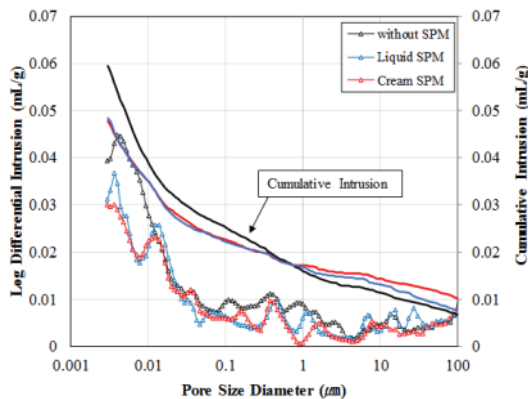


(b) Cream SSPM

Fig. 7 Microstructure of mortar with SSPM



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig. 8 Pore size distribution

Table 3 Porosity Analysis Result of Mortar

Fine Aggregate	Type of SSPM	Total Pore Volume [mL/g]	Average of Macro-Pore Volume [mL/g]
Type 1	-	0.0593	0.0082
	Liquid	0.0485	0.0068
	Cream	0.0477	0.0064
Type 2	-	0.0675	0.0084
	Liquid	0.0549	0.0050
	Cream	0.0513	0.0044

바와 같이 주문진 표준사(Type 1)를 사용한 모르타르의 경우 액상 및 크림형질 SSPM을 적용한 경우 17.1% 및 21.9% 감소하는 것으로 나타났다. 일반 잔골재(Type 2) 모르타르의 경우 액상형질 SSPM을 적용한 경우에는 40.5%의 감소를 보였으며 크림형질 SSPM을 적용한 경우 47.6% 감소하였다. 일반 잔골재(Type 2) 모르타르의 경우 주문진 표준사(Type 1) 모르타르 보다 다소 높은 매크로 공극량을 보였으며 잔골재의 종류 및 SSPM 형질에 관계없이 SSPM을 적용한 경우의 총 기공량 및 매크로 공극이 감소하는 것으로 나타났다.

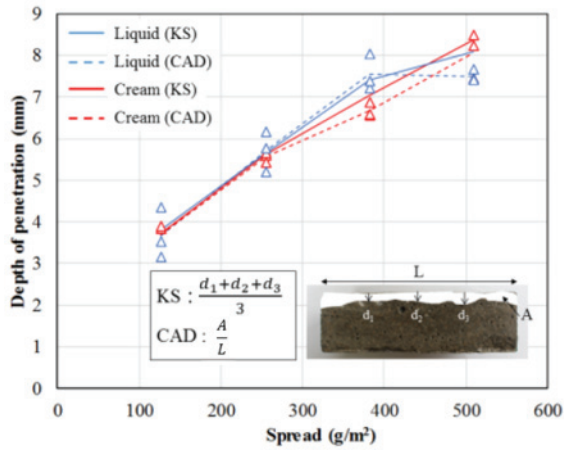
3.3 SSPM 형질 및 시공량에 따른 침투깊이 평가

KS F 4930에서 SSPM 형질 및 시공량에 따른 침투깊이를 따라 25 mm 간격으로 3개소에서 측정하여 평균값으로 하도록 규정하고 있다. 하지만 잔골재 및 공극 위치의 영향으로 SSPM이 모르타르 내부에 균일하게 침투하지 않을 수 있다. 따라서 상기 방법의 신뢰성을 검증하기 위해 침투면적을 기반으로 한 침투깊이 산정법과 기존의 산정법을 비교하였다. 면적기반 침투깊이 산정은 전형적인 실험체를 선정하여 CAD를 활용하여 침투면적을 산정한 후 실험체의 길이로 나누어 침투깊이를 평가하였으며, 기존의 방법을 통해 산정된 침투깊이와 비교하여 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과 3개소 평균값과 면적을 통한 침투깊이 평가는 유사하게 나타났으며, 본 실험에서는 KS F 4930에 제시한 바와 같이 3개소의 평균을 침투깊이로 하였다.

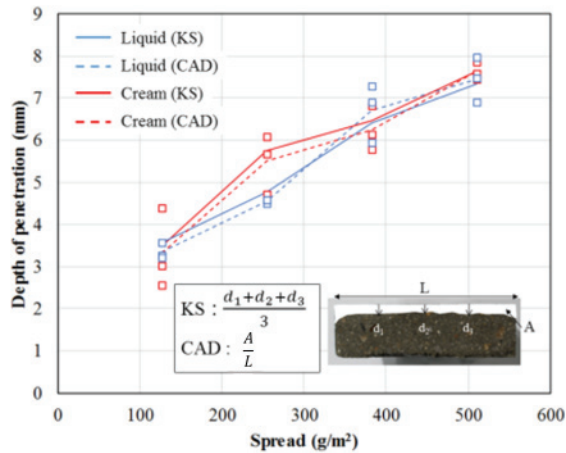
SSPM 형질 및 시공량에 따른 침투깊이 평가 결과를 Fig. 10과 Table 4에 나타내었으며 Fig. 10(a)는 주문진 표준사(Type 1)로 제작한 모르타르, Fig. 10(b)는 일반 잔골재(Type 2)로 제작한 모르타르의 침투깊이 평가를 나타낸 것이다. SSPM의 종류에 관계없이 도포량이 증가함에 따라 침투깊이가 증가하는 것으로 나타났다.

3.4 잔골재 입도크기 및 시공량에 따른 침투깊이 평가

주문진 표준사(Type 1) 및 일반 잔골재(Type 2)를 사용하여 제작한 모르타르에 SSPM을 도포하여 시공량에 따른 침투깊이를 평가하였다. 잔골재의 입도 크기와 상관없이 SSPM의



(a) Type 1



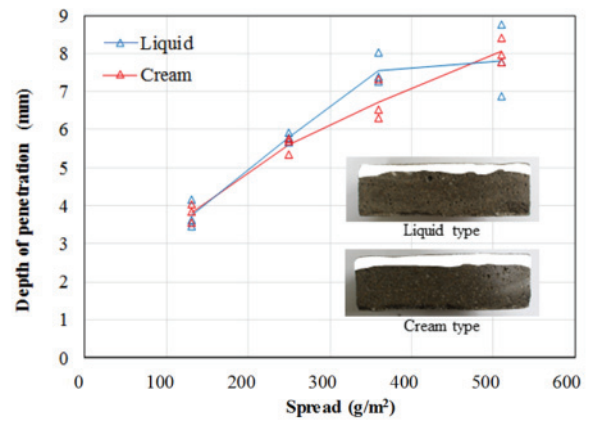
(b) Type 2

Fig. 9 Depth of penetration result of test method

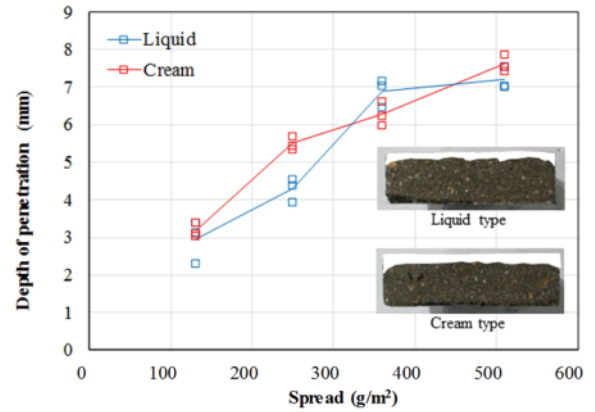
Table 4 Depth of penetration result

Dosage of SSPM [kg/m ²]	Type 1		Type 2	
	Liquid	Cream	Liquid	Cream
127	3.75 (±0.39)	3.82 (±0.30)	2.95 (±0.48)	3.19 (±0.29)
255	5.79 (±0.35)	5.59 (±0.47)	4.29 (±0.40)	5.51 (±0.57)
382	7.56 (±0.38)	6.72 (±0.63)	6.90 (±0.60)	6.29 (±0.32)
510	7.80 (±0.80)	8.04 (±0.34)	7.20 (±0.30)	7.62 (±0.25)

도포량이 증가함에 따라 침투깊이가 증가하였으며 주문진 표준사(Type 1)를 사용하여 제작한 모르타르의 침투깊이가 일반 잔골재(Type 2)를 사용한 모르타르의 침투깊이보다 더 깊은 것으로 나타났다. 이는 SSPM이 표면부터 침투하며 공극을 충전시켜주기 때문에 동일한 양의 SSPM을 도포할 경우 공극량이 많은 일반 잔골재(Type 2)로 제작한 모르타르의 침투깊이가 더 작은 것으로 판단되며, 모르타르에 비해 상대적으



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig. 10 Depth of penetration result of mortar

로 공극량이 많은 콘크리트에 SSPM을 도포할 경우 그 침투깊이는 다소 감소할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 SSPM의 침투 메커니즘을 규명하기 위해 미세구조, 기공률, 침투깊이 평가를 실시하였으며 결과를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 미세구조 분석 결과 액상 및 크림형질 SSPM을 적용하였을 때 공극내부에 SSPM이 존재하는 것으로 나타났다. 이는 공극을 충전시키는 역할을 하여 SSPM을 적용하지 않은 모르타르보다 공극량이 감소할 것으로 예상된다. 또한 액상형질 SSPM보다 크림형질 SSPM을 적용할 경우 모르타르 내부에서도 강한 응집력을 나타냈으며 수직부재 적용에는 크림형질 SSPM이 더 적절할 것으로 판단된다.

2) 기공률 평가결과 잔골재의 입도 크기에 상관없이 SSPM을 적용한 경우의 총 공극량이 감소하였으며, 액상형질 SSPM

을 적용한 실험체 보다 크립형질 SSPM을 적용한 실험체의 총 공극량이 SSPM을 적용하지 않은 모르타르의 총 공극량보다 감소량이 더 큰 것으로 나타났다. 강도와 이온의 침투성에 큰 영향을 미치는 평균 매크로 공극량 또한 SSPM을 적용할 경우 SSPM을 적용하지 않은 실험체의 공극량 보다 적은 것으로 나타났다으며 크립형질 SSPM을 적용하였을 때 감소량이 더 증가하는 것으로 나타났다. 이를 통하여 SSPM을 도포할 경우 공극충진으로 인하여 염화이온 침투저항 성능이 향상 될 것이라고 판단된다.

3) SSPM의 종류에 따른 침투깊이 평가결과 SSPM의 종류에 관계없이 도포량이 증가함에 따라 침투깊이도 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 잔골재의 입도 크기와 상관없이 도포량이 증가함에 따라 침투깊이도 증가하는 것으로 나타났다.

4) 총 공극량은 주문진 표준사(Type 1)로 제작한 모르타르보다 일반 잔골재 (Type 2)로 제작한 모르타르가 더 많은 것으로 나타났다. 침투깊이 평가 결과 SSPM의 종류에 관계없이 주문진 표준사(Type 1)로 제작한 모르타르의 침투깊이가 더 깊은 것으로 나타났으며 이는 일반잔골재(Type 2)로 제작한 모르타르보다 비교적 적은 공극을 충전 시키기 때문에 깊이 침투가 가능한 것으로 판단된다. 콘크리트에 적용 시 그 침투깊이는 다소 감소할 것으로 판단된다.

결론적으로 액상 및 크립형질 모두 내구성 저하를 억제 시킬 수 있을 것으로 판단되며, 도로 소구조물에는 응집력이 비교적 큰 크립형질 SSPM 사용이 적절할 것으로 판단된다. 또한 SSPM을 적용한 모르타르의 미세구조, 공극률 및 침투깊이 평가를 통하여 본 연구에서 사용한 SSPM를 콘크리트에 적용할 경우 내구성 향상시켜 열화방지가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 중소기업청 구매조건부 기술개발사업의 연구비 지원(S2449700)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cheong, H. M., Lee, B. D., (2004), Effect of De-icer Salt on the Durability of Concrete Structure in Winter, *Conference of the Korea Concrete Institute*, 16(1), 814-817 (in Korea)
- Suh, J. W., Rhee, J. Y., Ku, B. S., and Shin, D. C., (2007), An Experimental Study for Improving the Durability of Concrete Bridge Decks, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 19(4), 393-399 (in Korea)
- Kang, S. P. and Kim, J. H., (2006), Improvement of Durability and Change of Pore Structure for Concrete Surface by the Penetrative Surface Protection Agent, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(1), 125-132 (in Korea)
- Lee, B. J., Lee, E. S., Chung, W. J., and Kim, Y. Y., (2014) Efficiency Test for Surface Protecting Agents for the Chemical Resistance of Concrete Structures Using Sulfur Polymers, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(5), 1-8 (in Korea)
- A.A. Almusallam, F.M. Khan, S.U. Dulaijan, O.S.B. Al-Amoudi, (2003), Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability, *Cement & Concrete Composites*, 25, 473-481
- Elisa Franzoni, Barbara Pigino, and Carlo Pistolesi (2014), Ethyl silicate for surface protection of concrete: Performance in comparison with other inorganic surface treatments, *Cement & Concrete Composites*, 44, 69-76
- KS L 5100 (2006), Standard sand for testing strength of hydraulic cement mortars, Korean agency for Technology and standard.
- KS L ISO 679 (2016), Methods of testing cements – Determination of strength, Korean agency for Technology and standard.
- KS F 4930 (2012), Penetrating water repellency of liquid type for concrete surface application, Korean agency for Technology and standard.
- KS F 2502 (2014), Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, Korean agency for Technology and standard.
- Metha, P. K. and Monterio, P. (1993), Concrete: Structure, Properties, and Materials, *Prentice Hall*, 167-168

Received : 09/21/2018

Revised : 01/10/2019

Accepted : 01/18/2019

요 지 : 본 연구는 콘크리트 내부 공극 및 계면 사이에 깊게 침투가 가능한 실란복합화합물을 기반으로한 표면보호재 (Silane Surface Protection Material, SSPM)를 사용한 기존 콘크리트 내구성 향상 방안 도출을 위해 실시되었다. SSPM을 적용한 모르타르의 미세구조 평가, 잔골재의 입도 분포에 따른 침투깊이 및 공극량을 측정하였다. 그 결과 모르타르 내부에 액상 및 크림형질의 SSPM이 침투된 것으로 나타났으며, 공극량 평가결과 잔골재의 입도분포에 관계없이 SSPM을 적용하였을 때 공극량이 감소하는 것으로 나타났다. 침투깊이 평가결과 잔골재의 입도분포에 관계없이 SSPM 도포량이 증가함에 따라 침투깊이가 증가하는 것으로 나타났으며, 공극량이 상대적으로 많은 일반잔골재(Type 2)로 제작한 모르타르의 침투깊이가 적게 나타났다. 콘크리트에 적용할 경우 침투깊이는 다소 감소할 것으로 판단되나, 콘크리트 표면에 침투하여 내구성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : SSPM, 열화방지, 잔골재 입도크기, 기공률, 침투깊이
