

PDMS 흡수방지재를 적용한 SHCC의 압축강도 및 염화물이온 침투저항성

이준희¹, 현정환², 박수현², 김윤용^{3*}

Compressive Strength and Chloride Ion Penetration Resistance of SHCC Coated by PDMS-based Penetrating Water Repellency

Jun-Hee Lee¹, Jung-Hwan Hyun², Su-Hyun Park², Yun-Yong Kim^{3*}

Abstract: In this study, Polydimethylsiloxane (PDMS) was applied to Strain Hardening Cement Composites (SHCC) for penetrating water repellency. The penetration depth of PDMS, strength of SHCC, and chloride ion penetration resistance of SHCC were investigated. As a result of measuring penetration depth of PDMS when applying different application method, it was confirmed that all methods satisfied the requirements of KS F 4930. Although the immersion method showed the largest penetration depth, the spray method was considered to be more appropriate considering the ease of field application. Compressive strength tests showed that the penetration depth of PDMS decreased as the compressive strength of SHCC increased. The compressive strength of M4-A and M4-B specimens with large PDMS penetration depths decreased by 9.6% and 8.0%, respectively, compared with those of M4 specimens produced without PDMS. Compressive strengths of the M1-A and M1-B specimens with small PDMS penetration depths were reduced by 4% and 2.2%, respectively, compared with the M1 specimen. As a result, it can be seen that the strength reduction rate of SHCC increases as the penetration depth of PDMS increases. The chlorine ion penetration tests showed that the chlorine ion penetration resistance increases with the penetration depth of PDMS.

Keywords: PDMS, Penetrating water repellency, SHCC, Compressive strength, Chloride ion penetration resistance

1. 서 론

주요 건설재료로 사용되고 있는 콘크리트는 시공성과 경제성이 우수하나 취성(brittle)적인 성질로 인해 인장 및 휨 응력에 취약하다. 특히 대형 구조물, 초고층 빌딩 등 고강도 콘크리트의 활용이 확대되면서 콘크리트 취성과파괴에 대한 문제가 더욱 부각되고 있는 실정이다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 시멘트 복합체에 2%의 합성섬유를 혼입하여 인장변형을 경화거동과 높은 연성을 확보하는 고인성 섬유복합체(Strain Hardening Cementitious Composites; 이하 SHCC)가 개발되었고(Fig. 1), 구조물 적용에 관한 다양한 연구가 진행될바 있다(Cho et al., 2012; Kim et al., 2006; Kim et al., 2014 and Lee et al., 2012). 또한, 동절기 우리나라에서는 도로시설

물의 결빙 방지를 위한 제설제 사용량이 급속히 증가하고 있다. 제설제에 포함된 염화칼슘은 철근콘크리트 구조물에 침투하여 부동태 피막을 파괴하고 부식을 촉진시키는 역할을 하여 이에 대한 해결방안이 시급한 실정이다(Lee et al., 1998; Medeiros et al., 2008 and Kwon et al., 2011). 관련 연구로서, 콘크리트의 열화를 방지하고 내구연한 증가를 위하여 콘크리트 표층부에 별도의 도막재를 사용하지 않고 액상타입의 침투성 흡수 방지재를 적용하는 연구(Sim et al., 2004 and Zhanget al., 2017)와, Polydimethyl-siloxane(PDMS) 계열의 액상형 흡수방지재를 적용하여 콘크리트의 내구성능을 분석한 연구도 수행된 바 있다(Lee et al., 2017).

SHCC는 다양한 연구를 통해 역학적 특성과 균열폭 제어와 함께 발휘되는 연성능력이 우수한 재료로 알려져 있지만, PDMS 흡수방지재 적용에 관한 연구는 진행된 바 없다. 따라서, 본 연구에서는 PDMS 흡수방지재를 SHCC에 도포하여 침투깊이의 비교, 분석, 강도변화 및 염화물이온 침투 저항성능에 관한 연구를 수행하였다.

¹정희원, 삼성물산 건설부문

²정희원, 충남대학교 토목공학과

³정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

*Corresponding author: yunkim@cnu.ac.kr

Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

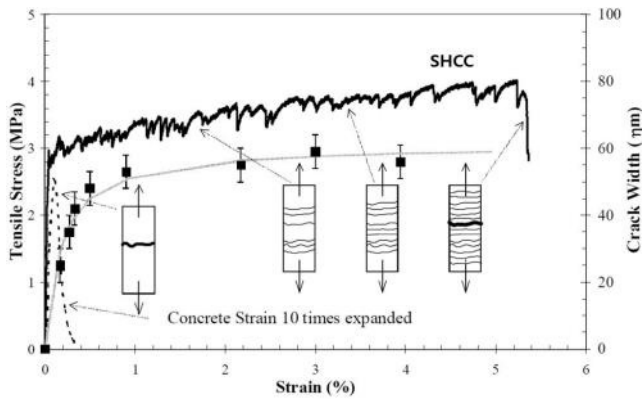


Fig. 1 Tensile stress vs. strain relationship of SHCC along with crack width (adopted from Lee et al., 2010)

2. 사용재료 및 방법

본 연구에서는 PDMS 흡수방지재의 SHCC 적용성 검토를 위하여 Table 1에 표기한 시험조건으로 실험을 진행하였다. 적용성 평가를 위한 배합은 총 4가지 배합으로 Table 2에 표기한 배합으로 실험을 수행하였다.

2.1 결합재

본 연구에 사용된 시멘트는 KS 품질기준을 만족하는 국내 A사에서 생산된 밀도 3.15 g/cm^3 인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 특성은 Table 3에 나타내었다. 시멘트의 압축강도 시험의 경우 KS L ISO 679 방법에 따라 수행하였다. 시멘트 결합재로 사용한 플라이애시(fly ash)와 고로슬래그 미분말(Blast furnace slag)의 밀도는 각각 2.16 g/cm^3 , 2.90 g/cm^3 이며, 각 재료의 특성은 Table 4에 표기하였다.

2.2 규사

본 연구에서는 고인성 섬유복합체의 다중미세균열(multiple-micro cracks)을 유도하기 위하여 일반적으로 사용되는 밀도 2.60 g/cm^3 , 평균입경 $130 \mu\text{m}$ 의 규사(silica sand)를 사용하였다. 고인성 섬유복합체에 굵은골재를 사용하지 않은 이유는 매트릭스의 파괴인성 증가로 인한 응력 집중의 영향을 줄이기 위함이다.

2.3 PVA 섬유 및 혼화제

본 연구에서는 2% 이상의 인장변형성능을 확보하기 위하여 고인성 섬유복합체의 재료로 일본 C사에서 생산한 PVA 섬유를 사용하였다. Table 5에 나타난 바와 같이 밀도 1.30 g/cm^3 , 직경 $40 \mu\text{m}$ 의 표면 처리된 PVA를 사용하였고, Table 6에 물리, 역학적 특성을 표기하였다. 또한, SHCC 제작에는 고성능감수제(SP), 증점제(VMA), 소포제(Defoamer)를 혼입하

였고, 사용재료의 밀도는 각각 0.37 g/cm^3 , 0.60 g/cm^3 , 0.26 g/cm^3 이다.

Table 1 Experimental variables

Application method	Brush, Spray, Immersion
Curing period	Curing for 7, 14 days after applying
Applicability evaluation	Penetration depth
Test items	Mechanical property
	Compressive strength
Durability property	Chloride ions penetration resistance

Table 2 Mix of proportion of SHCC

Mix. No.	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)					Admixtures			
		W	C	FA	Slag	S	SP	VMA	Defoamer	PVA fiber (by vol.)
M1	45	390	606	130	130	630	26	1333	2.6	2
M2	45	390	520	173	173	610	26	667	2.6	2
M3	45	390	434	216	216	591	26	600	2.6	2
M4	45	390	345	261	261	571	26	0	2.6	2

Table 3 Properties of OPC

Cement type	Blain (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Compressive Strength (MPa)		
			3days	7days	28days
OPC	3,625	3.15	35.2	47.1	55.3

Table 4 Properties of fly ash and blast furnace slag

	Blain (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Loss Ignition (%)	Chloride ion content (%)
Fly ash	3,420	2.16	3.60	0.2
Blast furnace slag	4,260	2.90	0.85	0.002

Table 5 Properties of PVA fiber

	Density (g/cm ³)	Length (mm)	Diameter (μ m)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
PVA fiber	1.30	12	40	1,560	6.5

Table 6 Properties of PDMS

Raw material	pH	Active Component content	Residue of evaporation	Leaching resistance performance	
				Weight Reduction of residual Chlorine	Consumption Level of potassium permanganate
Poly urethane	9	42.8%	12.0mg/L	0.1mg/L	0.3mg/L

2.4 PDMS 흡수방지재

본 연구에 사용된 PDMS 흡수방지재는 실란(Silane) 계열과 폴리실록산(Polysiloxane) 계열의 표면보호재가 갖는 단점을 보완하기 위하여 표면개질을 통해 사이즈를 제어한 합성 물질이다. 실란 계열의 표면 보호재는 낮은 분자량으로 인하여 콘크리트 내부로의 침투성이 우수하지만 낮은 내수성을 가지고 있다. 반면 폴리실록산 계열의 표면 보호재는 높은 분자량으로 인하여 내수성은 우수하지만 침투성이 떨어진다. 이를 위하여 개발된 흡수방지재는 폴리우레탄 원료를 합성하여 약 120nm의 사이즈와 구형으로 제조되었다. 흡수방지재의 물성은 Table 6에 표시하였다.

3. 시험방법

3.1 SHCC 침투깊이

콘크리트 표면에 흡수된 흡수방지재의 침투 깊이에 따라 성능이 좌우되고 이는 매우 중요한 평가 요소가 된다. 본 연구에서는 현장에서 일반적으로 사용되는 브러쉬 방법과 스프레이 방법, 콘크리트 2차 제품의 적용성을 고려한 침지 방법을 Photo 1에 도시한 바와 같이 KS F 4930 『콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지재』에 준하여 수행하였다. 브러쉬 방법의 경우 흡수방지재 0.5 L/m²의 용량을 기준으로 도포하였고, 스프레이 방법의 경우, 브러쉬 방법과 동일한 용량을 스프레이건을 사용하여 도포하였다. 침지방법의 경우, 시편이 침지될 수 있도록 흡수방지재를 용기에 충분히 담아 24시간 침지시켰다. 흡수 방지재가 적용된 시편은 배합강도 50 MPa의 M1

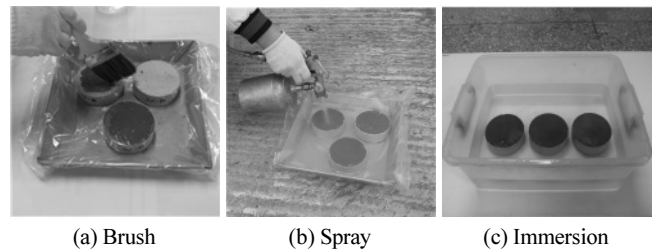
을 사용하였으며 높이 30 mm로 절단된 시편을 세 가지 적용 방법에 따라 도포하였다. 이후 14일간 온도 20±1℃, 습도 60%의 항온항습실에서 양생하였다. 이후, 시편을 쪼갠 후 절단면에 물을 분무하여 흡수방지재의 침투 깊이를 Photo 2와 같이 측정하였다.

3.2 압축강도

본 압축강도 시험은 KS F 2405 기준에 따라 수행하였다. 강도시험을 위한 공시체는 각 배합별로 9개씩 제작하였고, 흡수방지재 적용유무와 적용시기(7일, 14일)에 따른 강도 측정은 1,000 kN 용량의 만능재료시험기를 이용하여 측정하였다.

3.3 염소이온 침투 저항성능

염소이온 침투 저항성능을 평가하기 위한 시험은 KS F 2711 『전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소 침투 저항성 시험 방법』 및 ASTM C 1202 방법에 준하여 Photo 3과 같이 수행하였다. 총 4가지 배합으로 만들어진 원주형 시편을 높이 50mm로 절단한 뒤 1시간동안 표면을 건조시켰다. 건조된 시편은 옆면을 급속 도막제로 측면 공극을 모두 밀봉한 후 진공 데시케이터에 넣어 압력 133 Pa(1mm Hg) 이하로 감소시키고 진공상태에서 3시간, 증류수에서 18±2시간 침지시켜 전처리 과정을 진행하였다. 이후 스프레이 방법으로 흡수방지재를 시편의 상하부면에 분무하고 온도 20±1℃, 습도 60%의 항온항습실에서 14일간 양생과정을 거쳤다. 양생과정을 마친 시편을 Photo 3에 도시한 바와 같이, 시험 셀에 거치하고 0.3N

**Photo 1** Application method**Photo 2** Penetration depth test

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

Q : 통과전하량(coulombs)

I_0 : 전압을 가한 직후의 전류

I_t : 전압을 가한 후 t 분 경과 후의 전류

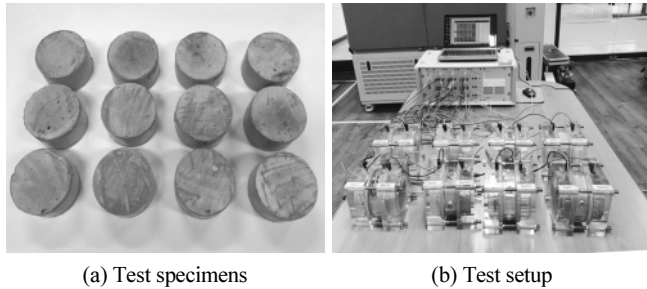


Photo 3 Chloride ion penetration resistance test (KS F 2711)

농도 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 전원 공급 장치의 양(+)극에 3% 농도 염화나트륨(NaCl) 수용액을 음(-)극에 연결하여 60 V의 일정한 전압을 공급하였다. 시험 진행은 30분 간격으로 6시간동안 전류를 측정하였고 통과 전하량(Coulomb)을 측정하였다. 통과전하량은 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 도포방법에 따른 침투깊이

적용방법에 따른 흡수방지재의 SHCC 침투깊이 결과는 Fig. 2와 Table 7에 표기하였다. 배합강도 50 MPa의 M1 배합 시험체에 PDMS 흡수방지재를 도포한 결과, 모든 시험에서 KS F 4930 기준의 요구 침투깊이인 2 mm를 만족하였다. 브러쉬 방법의 평균 침투깊이는 3.1 mm로 가장 작게 측정되었다. 스프레이 방법과 침지 방법의 침투깊이는 각각 3.7 mm, 4.4 mm로 측정되었고, 침지 방법이 가장 큰 침투깊이를 보였다. 침지방법의 경우 현장타설 콘크리트 구조물에는 적용이 불가능하기 때문에 프리캐스트와 같은 콘크리트 2차 제품에 한정적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 브러쉬방법은 KS 기준은 만족하였지만, 스프레이 방법과 비교하여 0.6 mm 작은 침투깊이로 측정되었다. 현장 시공성 측면에서 스프레이 방법은 침투깊이 확보, 작업시간 확보를 통하여 브러쉬 방법보다 효율적인 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 현장 적용성을 고려하여 스프레이방법을 SHCC에 적용하여 시험을 진행하였다.

4.2 SHCC 배합에 따른 침투깊이

SHCC 배합 조건에 따른 PDMS 흡수방지재의 침투깊이를 측정된 결과를 Fig. 3, Table 8에 표기하였다. 침투깊이를 측정된 결과, M1 시험체의 평균 침투깊이는 3.7 mm로 가장 작은 침투깊이가 측정되었고, M2, M3, M4 시험체의 침투깊이는 각각 4.4 mm, 5.5 mm, 6.3 mm로 측정되었다. M2, M3, M4 시험체의 침투깊이는 M1과 비교할 경우 각각 19.0%, 48.6%, 70.3% 증가하였으며, 배합강도가 감소할수록 침투깊이는 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 시멘트량이 가장 큰 M1 SHCC 배합은 M2, M3, M4 배합 시험체보다 시멘트 수화반응으로 인한 시멘트 매트릭스 조직이 치밀해져 PDMS 흡수방지재가 원활히 침투되지 않은 것으로 판단된다. 배합강도가 가장 작은 M4 시험체의 경우 흡수방지재의 침투깊이가 6.3 mm로 가장 많이 침투되었다. 이는 결합재치환율이 높아짐에 따라 플라이애시와 슬래그, $Ca(OH)_2$ 에 의한 포졸란 반응이 공극구조 형성의 주요 지배적인 역할을 하여 초기재령에서 강도발현이 저조하였기 때문에 판단된다(Kuder et al., 2012). 향후 삼성분계 콘크리트의 강도발현 매커니즘을 정확히 파악하기 위하여

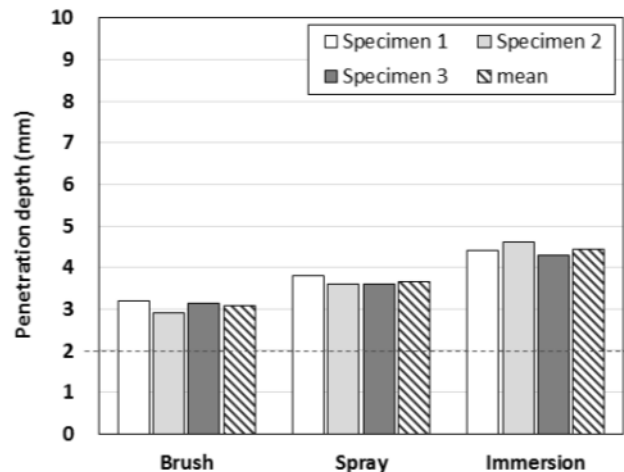


Fig. 2 Penetration depth with different application methods

Table 7 Penetration depth with different application methods

	Penetration depth (mm)		
	Brush	Spray	Immersion
Specimen 1	3.2	3.8	4.4
Specimen 2	2.9	3.6	4.6
Specimen 3	3.1	3.6	4.3
Average value	3.1	3.7	4.4

결합재간의 수화반응에 의한 강도발현과 수밀성의 상관관계에 관한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

또한, PDMS 흡수방지재를 적용한 시멘트 매트릭스의 미세조직을 관찰하기 위하여 장방출 주사전자현미경(Scanning-Electron Microscope, 이하 SEM)을 활용하여 관찰하였다. SEM 분석결과, 흡수방지재가 침투된 면과 침투되지 않은 면을 비교하였을 때 강도에 가장 큰 영향을 미치는 수화생성물인 에트링자이트(Ettringite)가 다수 발견되었다[Photo 4(a)]. 또한 재령이 경과함에 따라 더 많은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C-S-H(gel)가 발견되면서 시멘트, 슬래그, 플라이애시로 인한 복합적인 수화반응이 더 많이 발생되는 것을 확인하였다[Photo 4(b)]. 이때 흡수방지재가 침투된 면에서 수화생성물을 뒤덮으면서 미세공극을 채우는 것을 확인하였다. SHCC에 흡수방지재를 적용할 경우, 소수성으로 인하여 외부 상대습도와의 수분공급을 차단하여 수화반응에 영향을 미치게 되며, 결과적으로 강도 발현에도 영향을 줄 것으로 판단된다.

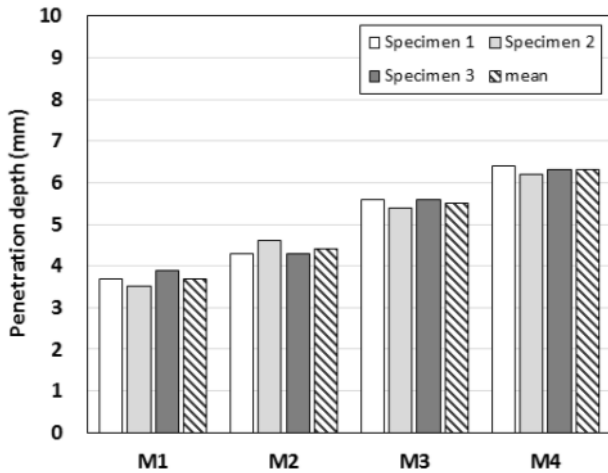
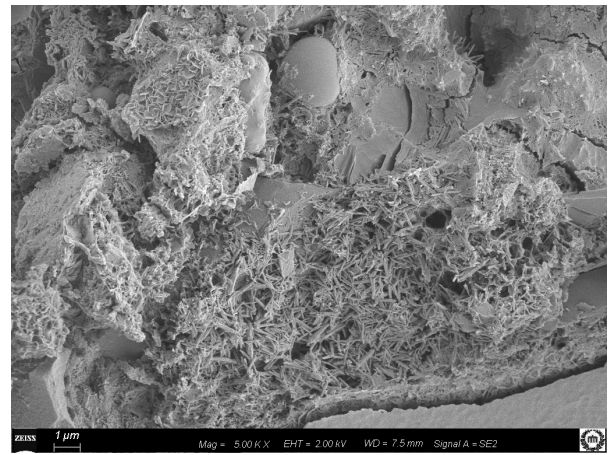


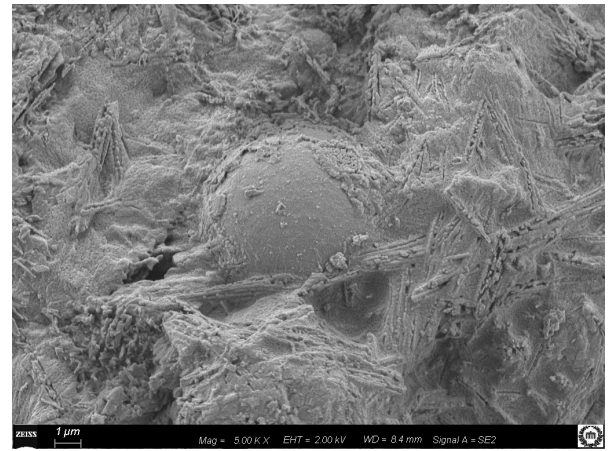
Fig. 3 Measured penetration depth fo PDMS

Table 8 Penetration depth of SHCC applied with PDMS

	Penetration Depth (mm)			
	M1	M2	M3	M4
Specimen 1	3.7	4.5	5.6	6.4
Specimen 2	3.5	4.6	5.4	6.2
Specimen 3	3.9	4.3	5.6	6.3
Average value	3.7	4.4	5.5	6.3



(a) Specimen made without PDMS (28days)



(b) Specimen applied with PDMS (28days)

Photo 4 SEM photo of SHCC micro-structure

4.3 압축강도 시험 결과

단기 재령에서 PDMS 흡수방지재 적용에 따른 콘크리트 강도의 영향을 확인하기 위하여 재령 7일과 재령 14일에 PDMS를 적용하였고, 재령 28일의 압축강도를 측정된 결과를 Fig. 4와 Table 9에 나타내었다. 흡수방지재를 적용하지 않은 SHCC의 압축강도시험 결과, 결합재 치환율이 높아질수록 동일재령에서의 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. M1, M2, M3 및 M4의 재령 28일 압축강도의 경우 각각 50.6 MPa, 39.0 MPa, 33.6 MPa, 24.9 MPa로 측정되어 M4의 경우 M1과 비교할 경우, 최대 50.8 % 압축강도가 감소하는 것으로 측정되었다.

PDMS 흡수방지재를 재령 7일과 14일에 적용한 시편은 적용하지 않은 시편보다 낮은 강도발현을 나타내었다. PDMS 흡수방지재를 적용하지 않은 시험체와 재령 7일 적용한 시험체의 재령 28일 압축강도를 비교할 경우, M1-A는 평균 4% 감소하였고 M2-A, M3-A, M4-A의 평균 압축강도는 각각 6.6%, 7.5%, 9.6% 감소하였다. 또한, PDMS를 재령 14일에 적용

한 경우 M1-B, M2-B, M3-B, M4-B의 압축강도는 2.2%, 4.6%, 5.1%, 8.0%가 감소하였다. 이 결과를 종합하면, PDMS를 7일에 적용한 경우 재령 14일에 적용한 경우보다 재령 28일 압축강도가 평균 1.9% 감소한 것을 확인하였다. 또한, 흡수방지재의 침투깊이가 큰 M4-A와 M4-B의 압축강도는 PDMS를 도포하지 않은 M4 시험체와 비교하여 9.6%, 8.0% 감소하였다. 침투깊이가 작은 M1-A와 M1-B 시험체의 압축강도는 M1과 비교할 경우 4%, 2.2% 감소하여 PDMS 침투깊이가 클수록 더 큰 강도감소율을 나타낸 것을 확인하였다. 이러한 결과는 수화반응에 필요한 수분공급이 충분하지 않은 것으로 판단되나 PDMS와 수화반응간의 상관관계에 대한 심도있는 연구가 추후 필요할 것으로 판단된다.

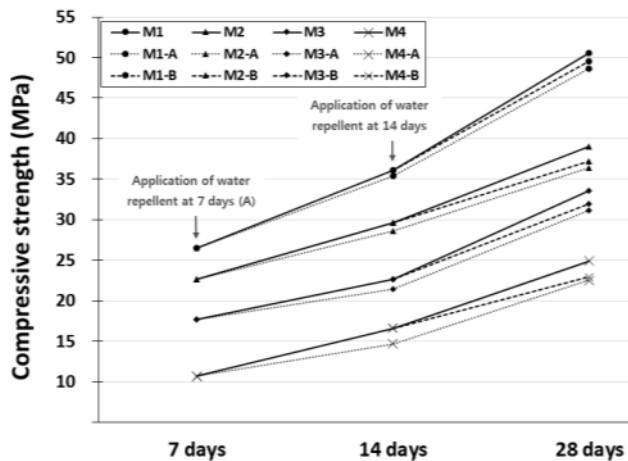


Fig. 4 Measured compressive strength

Table 9 Result of SHCC compressive strength test

Specimens	Compressive strength(MPa)			
	7 days	14 days	28 days	
None	M1	26.5	36.1	50.6
	M2	22.6	29.6	39.0
	M3	17.7	22.6	33.6
	M4	10.7	16.6	24.9
Applied at 7 days (A)	M1-A	-	25.4	48.6
	M2-A	-	28.6	36.4
	M3-A	-	21.4	31.1
	M4-A	-	14.7	22.5
Applied at 14 days (B)	M1-B	-	-	49.5
	M2-B	-	-	37.2
	M3-B	-	-	31.9
	M4-B	-	-	22.9

4.4 염소이온 침투 저항성능 평가

본 시험에서 염소이온에 대한 내구성능 평가를 위해 PDMS 흡수방지재 적용 유무에 따른 SHCC의 염소이온 침투 저항성능 평가를 수행하였고, 시험결과는 Fig. 5와 Table 10에 나타내었다. PDMS를 적용하지 않은 M1, M2, M3, M4 시험체의 통과전하량 각각 3,359 Coulomb, 3,865 Coulomb, 4,124 Coulomb, 4,254 Coulomb으로 측정되어 KS F 2711 및 ASTM C 1202에서 제시하고 있는 통과 전하량 평가 등급은 보통에서 높음 수준으로 평가되었다. 반면, PDMS를 재령 14일에 적용한 M1-B, M2-B, M3-B, M4-B 시험체의 통과전하량은 1,425 Coulomb, 1,358 Coulomb, 1,322 Coulomb, 984 Coulomb로 측정되어 매우 낮음에서 낮음 수준으로 개선된 것을 확인하였다. PDMS를 적용한 시험체의 통과전하량은 적용하지 않은 시험체에 비하여 각각 57.6%, 64.9%, 67.9%, 76.9% 감소하였다. PDMS 침투깊이가 3.7 mm인 M1-B 시험체는 6.3 mm의 침투깊이를 보인 M4-B 시험체 보다 통과전하량 더욱 감소하였다. 이 결과를 통하여 PDMS 흡수방지재의 침투깊이가 클수록 염소이온 침투 저항성능이 향상되는 것을 확인하였다. 이 결과는 PDMS가 SHCC 내부에 존재하는 미세공극을 채워 수밀성이 증가하여 염소이온의 침투를 지연 및 차단 시키는 것으로 판단된다.

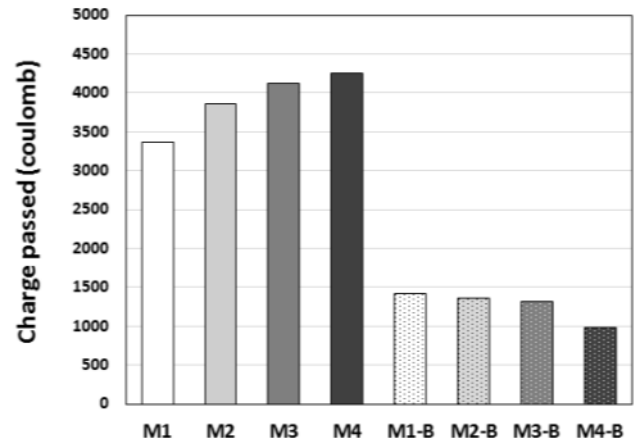


Fig. 5 Chloride ion penetration resistance

Table 10 Result of Chloride ion penetration resistance test

	Charge passed (Coulomb)	
	Non-applied	Applied at 14 days
M1	3,359	M1-B 1,425
M2	3,865	M2-B 1,358
M3	4,124	M3-B 1,322
M4	4,254	M4-B 984

5. 결 론

본 연구에서는 보수 및 보강 재료로 활용되는 SHCC에 PDMS 흡수방지재의 적용성을 검토하고, PDMS를 적용한 SHCC의 압축강도와 염화물이온 침투 저항성능을 분석하였다. 이 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) SHCC에 PDMS 흡수방지재를 적용한 결과, KS F 4930 기준에서 제시하는 침투깊이 2 mm 이상을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. SEM 분석결과를 통하여 흡수방지재가 침투된 SHCC 시험체의 미세공극과 수화 생성물을 PDMS가 채우는 것을 확인하였다.
- (2) PDMS 흡수방지재의 도포방법에 따른 침투깊이를 평가하기 위하여 브러쉬, 스프레이 및 침지 방법을 활용하여 KS F 4930 에 준하여 수행하였다. 현장 시공성을 고려할 경우 스프레이 방법이 작업시간 및 침투깊이 확보 측면에서 가장 효율적인 것으로 나타났다.
- (3) PDMS 흡수방지재의 도포시기를 재령 7일과 14일에 결정하여 재령 28일 압축강도를 측정하였다. 그 결과, 재령 7일과 재령 14일에 도포한 시험체의 평균 압축강도는 각각 4.0%, 1.9% 감소한 것을 확인하였다. 이 결과는 PDMS 도포로 인한 SHCC의 수화반응에 영향을 준 것으로 판단되며 추후 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 염소이온 침투 저항성능 평가의 경우 PDMS 흡수방지재를 적용한 SHCC 시험체의 통과전하량은 PDMS를 적용하지 않은 시험체에 비해 57.6% ~ 76.9% 우수한 염소이온 침투 저항성능을 확보하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2015R1A5A1037548)

References

- ASTM C 1202, Annual book of ASTM standards, *ASTM International*, 4(2010), pp.2-5.
- Lee B.Y., Park, J. H. and Kim Y.Y. (2010) Fluorescence Characteristic Analysis for Fiber Detection in Sectional Image of Fiber Reinforced Cementitious Composite, *Composites Research*, 23(3), 50-57. (In Korean)
- Cho, C.G., Kim, Y.Y., Feoc, L., and Hui, D. (2012), Cyclic Responses

of Reinforced Concrete Composite Columns Strengthened in the Plastic Hinge Region by HPFRC Mortar, *Composite Structures*, 94(7), 2246-2253.

- Kim, Y. Y., Kim, J. S., Ha, G. J., and Kim, J. K. (2006), Development of an ECC (Engineered Cementitious Composite) Designed with Ground Granulated Blast Furnace Slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(1), 21-28. (In Korean)
- Kim, Y. Y., Lee, B. Y., Bang, J. W., Han, B. C., Feo, L., and Cho, C. G. (2014). Flexural performance of reinforced concrete beams strengthened with strain-hardening cementitious composite and high strength reinforcing steel bar. *Composites Part B: Engineering*, 56, 512-519.
- Lee, B. Y., Han, B. C., Cho, C. G., and Kim, Y. Y. (2012). Flexural performance and fiber distribution of an extruded DFRCC panel. *Computers and Concrete*, 10(2), 105-119.
- Lee, B.J., Lee, J and 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, K. M. (1998), Designing for durability of concrete structures, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 10(2), 79-82. (In Korean)
- Medeiros, M., and Helene, P. (2008). Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete. *Materials and Structures*, 41(1), 59-71.
- KS F 2711, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration by Electrical Conductance, *Korean Standards Service Network*, 2012, pp. 1-18.
- KS L ISO 679, Methods of testing cements - Determination of strength, *Korean Standards Service Network*, 2006, pp. 1-20.
- Kuder, K., Lehman, D., Berman, J., Hannesson, G., and Shogren, R (2012) Mechanical Properties of self Consolidating Concrete Blended with High Volumes of Fly Ash and Slag, *Construction and Building Materials*, 34, 285-295.
- Kwon, Y. J., Kim, J. H., Han, B. C., and Baik, Y. G. (2011) Performance based durability design of concrete structures considering frost damage, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 18(4), 41-48. (In Korean).
- Shim, H. B., and Lee, M. S., (2004) An Experimental Study on Water Resistance of Penetrating Water Repellency of Emulsified Silicon Type Exposed to The Outdoor Environment, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 16(4), 477-484. (In Korean)
- Zhang, P., Wittmann, F. H., Vogel, M., Müller, H. S., and Zhao, T. (2017) Influence of freeze-thaw cycles on capillary absorption and chloride penetration into concrete, *Cement and Concrete Research*, 100, 60-67.
- Kuder, K., Lehman, D., Berman, J., Hannesson, G., and Shogren, R (2012) Mechanical Properties of self Consolidating Concrete Blended with High Volumes of Fly Ash and Slag, *Construction and Building Materials*, 34, 285-295.

Received : 06/26/2018

Revised : 10/24/2018

Accepted : 10/29/2018

요 지 : 본 연구에서는 표면 침투 및 코팅형 흡수방지재인 Polydimethylsiloxane(PDMS)을 고인성 섬유복합체(ECC)에 적용하여 적용성, 강도 평가 및 염화물이온 침투 저항성능에 대한 연구를 수행하였다. PDMS 적용 방법에 따른 침투깊이를 분석한 결과 모든 방법에서 KS F 4930 의 기준을 만족하는 것을 확인하였다. 적용 방법 중, 침지 방법이 가장 우수한 침투깊이를 보였으나 현장적용성을 고려할 경우 스프레이 방법이 적용 가능한 것으로 확인되었다. ECC 배합에 따른 PDMS 침투깊이 실험 결과 배합강도가 감소할수록 침투깊이는 최대 70% 이상 증가하는 경향을 나타냈다. 압축강도 시험 결과에서는 PDMS 침투 깊이가 큰 M4-A, M4-B 시험체의 압축강도는 PDMS를 적용하지 않은 M4 시험체와 비교하여 9.6%, 8.0% 압축강도가 감소하였다. 또한, 침투깊이가 작은 M1-A와 M1-B 시험체의 압축강도는 M1 시험체와 비교하여 4%, 2.2% 감소하여 PDMS 침투깊이가 클수록 강도감소율이 증가하였다. 염소이온침투 저항성능 평가 시험결과, PDMS의 침투깊이가 클수록 염소이온 침투 저항성능이 향상되는 것을 확인하였다.

핵심용어 : PDMS, 흡수방지재, SHCC, 압축강도, 염소이온침투저항성
