

표면강화형흡수방지재 적용 콘크리트의 기공률 및 내마모성 특성

박명주¹, 노재호², 이병재^{3*}

Porosity and Abrasion Resistance of Concrete Coated by Surface enhanced type Water Repellent

Myungju Park¹, Jaeho Noh², Byungjae Lee^{3*}

Abstract: Concrete is a material generally used to build structures and it is exposed to various environment conditions. In particular, a medium such as water lets noxious factors flow into concrete, causing a lot of damage. Therefore, different kinds of materials are being developed to increase the durability of concrete. Among such materials, silane and siloxane compound are known to have a high utilization as an absorption inhibitor. However, if aged or deteriorated reinforced concrete is treated with those compounds, they easily come off the concrete and lose their function since the basic material is weak. This study conducted an experiment to provide concrete with both an absorption-inhibiting effect and surface strengthening by using melamine-formaldehyde resins that are surface-treated with siloxane compound. In addition, a study on the porosity and surface hardness characteristics of a concrete was conducted to check the absorption-inhibiting effect and surface strengthening.

Keywords: Melamine-Formaldehyde Resin, Siloxane, Surface hardness, Water repellency

1. 서 론

콘크리트는 기상에 따른 강우나 주변의 다양한 환경조건에 노출되며, 이러한 외부 환경에의 노출은 구조물의 외관이나 기능성 등에 직·간접적으로 영향을 미치며 강우, 강설에 의한 수분 침투뿐만 아니라 자동차 분진, 토양입자, 황산암모늄 등이 침투하기도 한다(Ryu and Shon, 2015; Dai et. al., 2010).

콘크리트 구조물은 육안으로 보기엔 단단하며 틈이 없어 보이나 미세구조의 관점에서는 표층부에 불연속적인 요철이 형성된 다공성 물질이다. 모세관공극으로 인해 내부까지 연결된 공극을 형성하며 배합조건이나, 강도에 따라 다르지만 약 6~20%의 공극을 가지므로 물에 접촉하는 경우 모세관 장력에 의해 표면에서 물의 흡수가 어려워지고 표면이 건조한 경우 흡수 반응이 더 빠르다. 이렇듯 필연적으로 존재하는 콘크리트 구조물은 기공과 모세관 구조에 의하여 물 또는 습기에 습윤 및 함습, 흡수하게 된다. 이러한 흡수현상으로 인한 손상은 적어도 옥외 구조물이거나 수분과 접촉이 많은 경우

일수록 동결융해와 물에 포함될 수 있는 화학 부식물에 의하여 손상을 입게 되므로 손상을 방지하기 위하여서는 재료가 가지고 있는 흡습성을 완전히 제거시키거나 적어도 어느 정도까지는 줄여야 한다(Ramachandran, 1984).

따라서 이러한 기능을 부가하기 위해서 유기규소화합물인 실리콘, 실란 및 실록산 화합물을 도포하는 방법을 사용해 왔다. 이로 인해 발수층을 형성시키므로 수분의 흡수능력 억제 또는 배척능력을 부여시키는데 활용하였다(Hewlett et al., 1977).

그러나 도포의 한계가 있어 이를 개선하기 위한 방법으로 함침기법이 도입되어 콘크리트 내부로 침투하여 구조물에 변화를 주지 않고 일체화시켜 이탈과 탈락이 없게 만들어 내구성을 유지시킬 수 있는 장점을 나타내었다(Roth, 1987).

결과적으로 콘크리트 내부에 침투된 유기규소화합물이 콘크리트와 반응하여 만든 불투수층이 콘크리트 내부로 흡수되는 물을 막으므로 효과를 발휘하게 하였다.

하지만 노후화되거나 열화된 콘크리트의 경우 기체가 약해 외력에 의한 마찰에 의한 박리현상 혹은 마모현상에 의해 손상된 부위에 침투된 실란 및 실록산 화합물의 효과 저하는 줄일 수 없다.

따라서 본 실험에서는 강도가 우수한 나노 사이즈의 구형 멜라민 수지 표면에 실록산 화합물을 처리한 재료를 합성하여 콘크리트의 표면강화형흡수방지재 역할을 수행할 수 있는 지 여부를 확인하였으며, 그의 침투성능 및 표면강화 효과를

¹정회원, (주)제이엔티아이엔씨 수석연구원

²정회원, (주)제이엔티아이엔씨 대표이사

³정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

*Corresponding author: bjlee@dju.kr

Department of Civil Engineering, Daejeon University, Daejeon, 34520, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

기공을 측정 실험과 마모저항성 평가로 확인해 보았다.

2. 실험계획

2.1 실험계획 및 연구방법

본 연구에서는 콘크리트 표면강화 흡수방지재를 실록산 화합물로 표면개질된 멜라민 수지를 합성하여 사용하였고, 그의 물리적 성능 및 내구성능 평가를 위해 Table 1에 나타난 시험조건 및 배합변수로 실험을 수행하였으며, 적용성 평가를 위한 콘크리트는 구조물에 일반적으로 사용되는 설계기준강도 18 MPa, 24 MPa, 30 MPa 3가지 수준으로 콘크리트를 제작하여 평가하였다.

Table 1 Experimental variables

Items	Condition
Fck	18, 24, 30MPa
Application method	- Brush coated
Curing period	- Curing for 14 days after applying
Test items	- Penetration depth, water repellent performance - Porosity(MIP) - Abrasion Resistance

2.2 사용재료

2.2.1 실록산 화합물로 표면 개질된 멜라민 수지

콘크리트 표면침투·코팅용 흡수방지재는 콘크리트 표면의 미세기공으로 침투함으로써 표면을 코팅할 수 있는 화합물인 SMMR(siloxane-surface modified melamine resin)을 합성하여 적용하였다. SMMR은 멜라민 포름알데히드 전구체를 제조한 뒤 Tetraethyl orthosilicate (TEOS)와 Polydimethylsiloxane (PDMS)를 이용해 표면 개질 하는 방법으로 합성하였다.

이는 나노사이즈의 화합물로 멜라민-포름알데히드 전구체의 표면을 실록산 화합물로 개질함으로써 표면에 알콕시실란이 많이 노출되어 무기질 시멘트와 화학적 결합이 용이하도록 Fig 1의 그림과 같이 디자인 하였다.

본 연구에 사용된 SMMR 특성은 Table 2에 제시하였다. 콘크리트 내부로 침투된 SMMR은 잔존하는 수분에 의해 화학반응이 촉진되어 알콜 화합물과 같은 부산물의 방출량이 적으며, 콘크리트의 무기 기질(substrates)과 다중 축합 반응을 일으켜 삼차원 망상 구조를 형성함으로써 내부에 미세기공을 실리콘 소수성 물질로 침투 코팅하는 원리이다. 또한 기존 멜

라민-포름알데히드 수지는 실리콘 화합물보다 매우 단단하여 표면강화 기능도 기대된다.

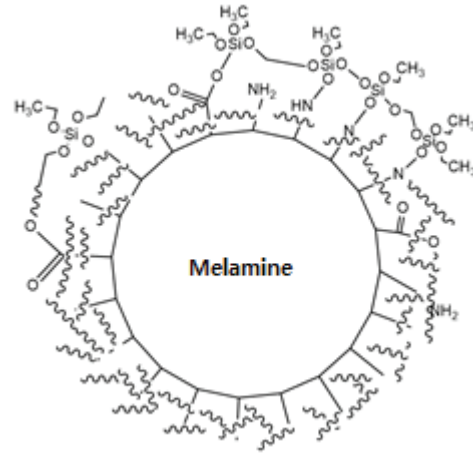


Fig. 1 Design of SMMR(siloxane-surface modified melamine resin)

Table 2 Properties of SMMR

pH	Active Component Content	Residue of Evaporation	Leaching resistance performance			
			Pb	Phenol	Weight Reduction of Residual Chlorine	Consumption Level of Potassium Permanganate
9	40.5%	12.0 mg/L	Undetected	Undetected	0.1 mg/L	0.30 mg/L

2.2.2 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 생산된 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서 밀도 3.15 g/cm³, 분말도 3,230 cm²/g인 제품을 사용하였다.

2.2.3 골재

본 연구에 사용된 굵은골재는 Gmax 25 mm의 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 5 mm이하의 강사를 사용하였다. 사용된 골재의 품질특성은 Table 3에 제시하였다.

Table 3 Physical properties of aggregate

Items	Grading (mm)	Density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Absolute volume (%)	F.M
Coarse aggregate	25	2.69	0.9	59	6.88
Fine aggregate	5	2.58	1.1	-	2.61

2.2.4 혼화제

시멘트 분산작용에 의해 콘크리트의 성질을 개선시키는 혼화제로서, 국내 J사제품의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 Physical properties of admixture

Admixture	Appearance	Density (g/cm ³)	pH	Mass contents (%)
High-range water reducing agent	Light brown liquid	1.06	6.5	41~45

2.3 시험체 제작

SMMR 적용을 위한 콘크리트의 배합설계는 Table 5와 같이 콘크리트 구조물에 일반적으로 사용되는 강도수준인 18, 24, 30 MPa으로 선정하였고, 이에 따른 배합설계를 수행하였다. 또한 콘크리트의 혼합은 충분한 작업성 확보를 위하여 트윈샤프트 믹서를 활용하여 Dry mixing 90초, 혼합수 및 혼화제를 투입하여 Wet mixing 120초간 실시하였다.

Table 5 Mix proportions

Item	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad.
25-18-120	53.6	50.1	162	302	928	931	2.42
25-24-120	45.6	49.9	162	355	902	912	2.84
25-30-120	41.0	49.9	162	395	885	895	2.77

2.4 흡수방지제 도포 및 양생방법

모든 시험은 $\Phi 100 \times 200$ mm의 원형 시험체를 제작하고, 온도 20 ± 3 °C, 습도 80 %의 양생실에서 21일간 양생 후, 온도 20 ± 3 °C, 습도 50 %의 양생실에서 7일간 양생하였다. 이 후 30mm두께로 시험체를 절단 한 뒤 SMMR을 Fig. 2와 같이 일반적인 표면강화제 및 흡수방지제 도포방식인 Brush Method



Fig. 2 SMMR Brush Method

방법으로 도포하고 다시 온도 20 ± 3 °C, 습도 50 %의 양생실에서 14일간 양생하였다.

2.5 실험방법

2.5.1 침투깊이

SMMR의 최적배합 도출을 위해 KS F 4930 「콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지제」에 준하여 재령 28일의 $\Phi 100 \times 200$ mm 콘크리트 시험편을 30 mm 두께로 절단하고, 콘크리트 흡수방지제를 도포한 뒤 14일 재령에서 쪼갠 뒤 단면에 물을 분무하여 흡수되지 않는 부분의 두께를 측정하여 평가하였다. Fig 3에 나타난 것과 같이 침투깊이를 측정하였다.

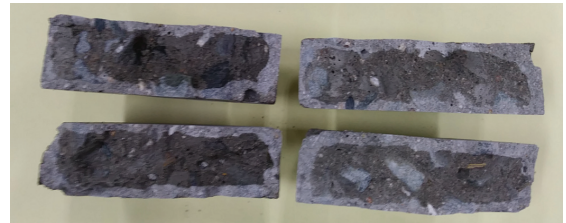


Fig. 3 Penetration depth test

2.5.2 기공율

시멘트 콘크리트의 공극구조는 투수성이나 이온 확산 등 이동특성을 설명하는 중요한 요소이다.

본 연구에서는 SMMR적용 콘크리트의 내부 공극구조를 파악하기 위하여 수은압입법을 이용하여 수은을 시편에 압입하고 침투된 수은의 양을 측정하여 시험체의 기공율을 분석하였다.



Fig. 4 MIP test

2.5.3 내흡수성

SMMR의 수분침투 성능평가를 위한 내흡수성 시험은 KS F 4930 「콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지제」에 준하여 측정하였다. 제작된 시험체를 증류수 침지, 알칼리용액침지,

저온고온 반복 노출, 촉진내후 노출의 네 가지 환경조건에 노출 한 후, 내흡수성을 평가하였다.

2.5.4 내마모성 시험

내마모성 시험(질량변화, 마모깊이)은 KS F 2813 “건축재료 및 건축 구성 부품의 마모시험방법, 연마지법”에 의거 공시체 제작 후 7일 양생 후 미도포 시편과 SMMR 도포 시편을 제작하고 시험체를 1일 상온에서 건조 시킨 후, 회전속도 60 ± 2 rpm, 회전수는 500회 측정을 하였다.



Fig. 5 Abrasion Resistance test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 침투깊이 및 발수성능

콘크리트 표면보호재의 경우, 콘크리트 내부로 침투가 많이 될수록 성능을 좌우하기 때문에 침투재가 얼마나 깊이 침투하는지가 가장 중요한 평가 기준이 된다. Fig 6은 배합조건별 침투깊이가 평가결과를 나타내었다. 기존의 연구결과와 같이 강도 조건에 따라서 침투깊이 차이가 많이 나타났다. 설계 기준강도 기준으로는 18 MPa의 경우 6.3~8.3 mm로 가장 깊은 침투깊이를 나타내었으며, 24 MPa는 5.9~6.7 mm, 30 MPa는 3.1~3.5 mm로 가장 낮은 침투깊이를 보였다. 이는 설계기준강도가 높을수록 콘크리트 내부가 치밀해져 미세공극이 감소되므로 SMMR이 내부로 원활히 침투되지 못하는 것으로 판단된다. 하지만, 설계기준강도가 낮을수록 분산 값이 증가되는 것으로 나타나 30 MPa 0.0264, 24 MPa 0.1376 및 18 MPa 0.5224로 표준편차가 증가되는 것으로 나타났다.

이것은 KS 표준에 제시된 모르타르시험방법이 아닌 콘크리트로 제작함으로써, 골재의 영향이 일부 반영된 것으로 판단된다. 결과적으로 강도별 침투깊이 및 표준편차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

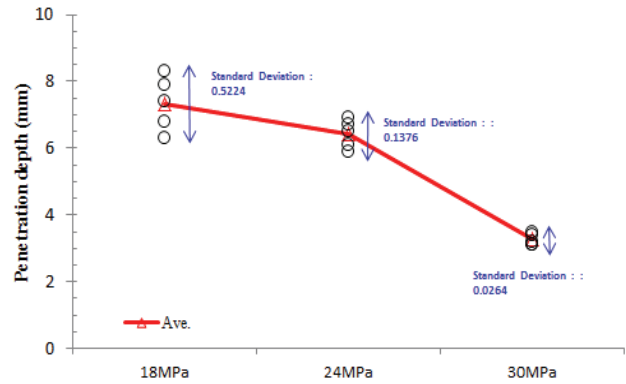


Fig. 6 Penetration depth measurement result

3.2 기공률

SMMR를 적용하지 않은 Plain의 기공률은 22.2~33.6 % 정도를 나타냈으나, SMMR를 적용할 경우에는 기공률이 급격히 감소되어 고강도의 콘크리트에 적용한 경우는 평균 11.4 % 정도 그리고 18 MPa를 이용하여 SMMR를 적용할 경우는 최소 15.2 % 정도의 기공특성을 나타냈다. 따라서 SMMR를 활용할 경우 콘크리트의 내부 기공률이 45.2~51.3 %까지 개선되는 효과를 나타냈다.

이는 SMMR를 적용함에 따라 표면 코팅 및 내부 공극 충전 작용에 기인한 것으로 판단된다. 또한 콘크리트의 강도증가에 비하여 기공률 감소효과가 다소 큰 것으로 나타내기는 하였으나 유의할 만한 수준은 아니었다.

그리고 기공직경별 기공용적의 관계를 살펴보면 본 연구에 적용된 콘크리트의 기공직경은 10~100,000 nm의 분포특성을 나타냈으며, 이중 10~1000 nm의 기공용적이 가장 크게 분포하고 있는 것으로 분석되었다.

SMMR 적용에 따른 기공용적 감소 특성을 고찰하여 보면 전반적인 기공직경 분포에서 기공률 감소효과를 나타내었고,

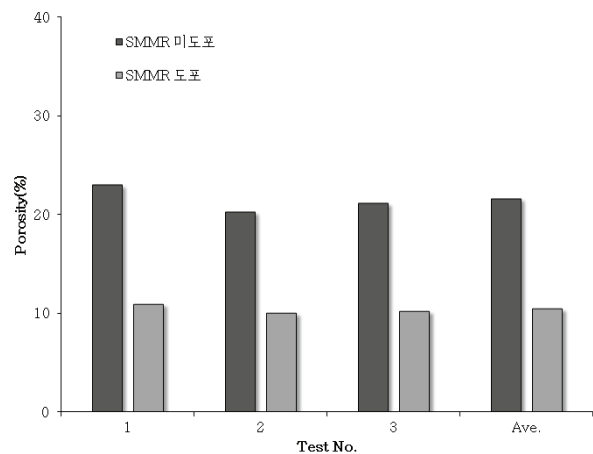


Fig. 7 Result of MIP test

특히 직경 200 mm 이하의 SWR를 적용함으로써 30~400 nm의 영역에서도 우수한 기공감소 특성을 나타내어 미세기공의 침투 코팅이 잘 된 것으로 판단된다.

이상으로 SMMR 활용 콘크리트의 기공특성 분석결과를 종합하여 보면 SMMR 적용으로 콘크리트의 내부 기공률 감소효과가 우수한 것으로 나타났으며, 이는 외부로부터 침투할 수 있는 유해인자의 내부 확산방지와 내부 매트릭스의 치밀화를 통해 콘크리트의 열화저항성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

3.3 내흡수성

내흡수성 시험은 KS F 4903 「콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지제」에 준하여 측정하였다. 시험체 제작 및 SMMR 적용 후, 시험체 별로 표준상태, 내알칼리성 시험후, 저온고온 반복저항성 시험 후, 촉진내후성 시험후 각각 내흡수성을 측정하여, SMMR를 적용하지 않은 Plain과의 흡수량을 비교하여 평가하였다. 평가결과는 Fig. 8에 나타난 바와 같다.

SMMR 적용하지 않은 Plain의 경우 물 흡수량이 1.50~1.86 kg/m²로 높은 흡수량을 나타내지만, SMMR 적용 후에는 0.04 kg/m²로 흡수량이 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 표면침투형 코팅재가 콘크리트 내부의 미세공극을 코팅하여 표면 보호층을 형성함으로써 수분의 침입(발수성)을 막아 나타난 현상으로 판단된다.

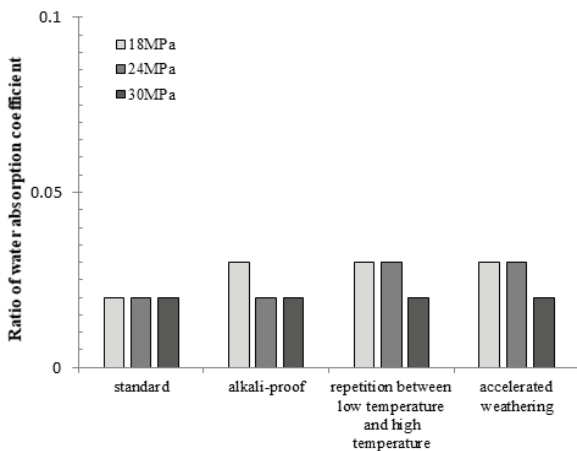


Fig. 8 Result of water absorption resistance test

3.4 내마모성

SMMR을 적용하지 않은 Plain과 SMMR를 적용한 콘크리트 시편을 18MPa, 24MPa, 30MPa 수준의 시편으로 마모감량(mg/cm²)과 마모깊이(mm)를 측정하였고, Table 6에 결과를 나타내었다. 전반적으로 SMMR을 적용하지 않은 시편 대비 SMMR을 적용한 시편의 마모저항성이 우수한 것으로 나타

Table 6 Result of Abrasion Resistance

		Abrasion loss, (mg/mm ²)					
		1st	2nd	3rd	4st	5st	Ave.
Non coated	18MPa	3.68	3.62	3.54	3.64	3.64	3.62
	24MPa	2.44	2.64	2.72	2.48	2.48	2.55
	30MPa	1.58	1.74	1.68	1.67	1.66	1.67
SMM R coated	18MPa	3.02	3.12	3.09	2.86	2.98	3.01
	24MPa	2.03	2.01	1.98	1.88	2.16	2.01
	30MPa	1.18	1.25	1.24	1.22	1.22	1.22
		Abrasion depth (mm)					
		1st	2nd	3rd	4st	5st	Ave.
Non coated	18MPa	1.45	1.42	1.38	1.49	1.52	1.45
	24MPa	1.03	1.02	1.05	1.1	1.07	1.05
	30MPa	0.84	0.82	0.86	0.87	0.84	0.85
SMM R coated	18MPa	1.23	1.22	1.34	1.2	1.18	1.23
	24MPa	0.84	0.88	0.82	0.83	0.81	0.84
	30MPa	0.42	0.44	0.46	0.4	0.38	0.42

◎ Abrasion loss, : $W = W_0 - W_n / A$ (mg/mm²)

W_0 = Mass before start of test (mg)

W_n = Mass after n times revolutions (mg)

A = Area of abrasion due to abrasion wheels (mm²)

◎ Abrasion depth : $dn = W_0 - W_n / A \cdot \beta$ (mm)

β = specimen's density

났다. SMMR 적용시 설계기준강도 18~30MPa 변화될 때, 16.8~26.9%의 마모저항성이 증대되었으며, 마모깊이 또한, 0.22mm~0.43mm까지 감소되는 것으로 나타나 강도 증가에 따라 마모저항성이 향상되는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트의 성능향상을 위해 도포되는 콘크리트 표면강화·침투식 흡수방지재로서 SMMR의 콘크리트 강도조건별 적용성 평가를 수행하였으며 본 연구범위에서의 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구의 제한된 강도조건 내에서는 SMMR 적용시 강도가 낮을수록 성능이 우수하였으며, 콘크리트용 표면 강화 효과 및 흡수방지재의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트 강도조건별 SMMR의 침투깊이를 분석한 결과, 저장도인 18 MPa가 가장 우수하며, 24~30 MPa 도 적용 가능한 것으로 확인되었다.
- 3) 기공률 측정결과 모든 강도조건에서 유사한 기공율을 나타내었고, SMMR도포 시 45.2~51.3%의 기공율이 개선되

는 효과를 나타내었다.

- 4) 내흡수성 평가결과 모든 조건(표준, 내알칼리성 시험 후, 저온고온반복 저항성 시험 후, 촉진내후성 시험 후)에서 KS F 4930에서 제시하는 기준인 물 흡수계수비 0.1이하를 만족하는 것으로 나타나 내흡수성은 우수한 것으로 판단된다. 내투수성 또한 모든 시험조건에서 투수비 0.1이하의 기준을 충족하였다.
- 5) 내마모성 평가에서 SMMR 도포된 시편이 일반 콘크리트 대비 매우우수한 결과를 나타내었다.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진 연구사업(No. 18CTAP-C143357-01)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

References

1. Ryu, J. H., and Shon, M. S. (2015), Evaluation of Water Resistance of Penetrating Water Repellency for Scaling by De-icing Agent, Conference Proceedings of Korea Concrete Institute, 401-402.
2. J. G. Dai, Y. Akira, F. H. Wittmann, H. Yokota, and P. Zhang (2010), Water repellent surface impregnation for extension of service life of reinforced concrete structures in marine environments: The role of cracks, Cement and Concrete Composites, 32(2), 101-109(In Korean),
3. V. S. Ramachandran (1984), Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology. Noyes Publications, 518.
4. P. C. Hewlett, R. W. Edmeades, and R. L. Holdworth (1977), Concrete Admixtures. use and Applications Editor : Chapter 5 Integral Waterproofers for Concrete. M. R. Rixam. Construction Press, 55-66.
5. M. Roth (1982), Siliconates-Silicone Resine-Silanes -Siloxanes, Silicone Masonry Water Repellents for the Surface Impregnation of Mineral Building Materials, Pubiato from issue 2/81 "Baugewerbe" Organ des Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes Verlagsgesellschaft Rudolf Muller GmbH,co. Koln., 3-7.

Received : 11/19/2018

Revised : 04/16/2019

Accepted : 04/16/2019

요 지 : 콘크리트는 일반적으로 구조물에 활용되는 재료로써 다양한 환경조건에 노출된다. 특히 물과 같은 매체를 통해 콘크리트에 유해한 인자가 유입되므로 많은 피해를 야기 시킨다. 이에 콘크리트 내구성을 높이기 위해 많은 재료가 개발되고 있는 실정이다. 그중에 실란과 실록산 화합물은 흡수방지제로 활용도가 높은 재료로 알려져 있다. 그러나 노후화되거나 열화된 콘크리트에 처리할 경우 기재 자체가 약해 쉽게 박리되어 그 기능을 상실하는 문제점이 있다. 그래서 본 연구에서는 실록산 화합물로 표면 처리된 멜라민-포름알데히드 수지를 활용해 콘크리트에 흡수방지제 효과와 동시에 표면강화 성능을 부여하기 위한 실험을 진행하였고, 이를 확인하기 위해 콘크리트의 기공률 및 표면경도 특성을 연구하였다.

핵심용어 : 멜라민-포름알데히드 수지, 실록산, 표면강화제, 흡수방지제
