

## 실리콘기반 침투강화제를 사용한 콘크리트의 내구특성 평가

# Evaluation of Concrtet Properties Using Silicon-Based Repellent

황병일<sup>1</sup> · 김효정<sup>2</sup> · 이병재<sup>3\*</sup>

Byoung-Il Hwang<sup>1</sup> · Hyo-Jung Kim<sup>2</sup> · Byung-Jae Lee<sup>3\*</sup>

(Received August 29, 2019 / Revised October 22, 2019 / Accepted October 23, 2019)

Currently, the most commonly used decontamination agent in the country is calcium chloride, and the use of decontamination agents nationwide is on the rise due to climate change in the country. The deicing agent, aimed at deicing snow, is sprayed and the chloride is frozen and thawed by the dissolved surface water, causing various damages such as deterioration to the concrete. Therefore, in this study, the reactive urethane polymer was manufactured to coat concrete surface protection material, which is a method that prevents moisture from externally penetrating by applying to concrete surfaces, and the mixing agent was selected through the size control of molecules and surface modification, and the properties of penetrant stiffening agents and the application method of concrete was evaluated.

**키워드** : 실리콘기반 침투강화제, 표면처리, 도포방법, 침투깊이

**Keywords** : Silicon-based water repellent, Surface treatment, Application method, Penetration depth

## 1. 서론

환경오염으로 인한 지구 온난화의 영향으로 세계적으로 이상 기후가 빈번하게 발생하고 있다. 1970년대 이후 온난화 영향권에 포함된 우리나라의 경우도 예외는 아니어서 국지성 폭우, 폭설 등으로 많은 인적, 사회적 비용의 발생이 크게 증가하고 있다. 특히, 강설 및 영하의 날씨는 겨울철 기후의 가장 큰 특징이다. 도로 및 교량의 강설 및 결빙은 차량 정체를 유발하여 이용자에게 많은 불편함을 주며, 노면의 미끄러움으로 인해 교통사고를 유발하게 된다. 따라서 동절기 도로관리는 적설 및 결빙의 신속한 제거에 중점을 두어야 하며, 이에 가장 효과적인 방법은 제설제 살포이다.

제설제는 크게 염화물계와 비염화물계로 구분되며, 염화물계 제설제는 염화칼슘, 염화나트륨, 염화마그네슘 등이 있으며, 비염화물계 제설제는 요소, CMA(Calcium Magnesium Acetate), 초산 바륨, 초산나트륨, 산화칼슘계 등이 있다. 현재 국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 제설제는 염화칼슘이며, 우리나라의 기후 변화에 따라 전국적으로 제설제의 사용량이 증가하고 있는 추세이

다. 제설 제빙을 목적으로 하는 제설제의 살포는 구조체 표면에 있는 수분의 빙점을 낮추어 결빙된 수분을 용해하는 역할을 수행하여 원활한 교통 소통을 위하여 제설제의 사용은 필수적이다(Ryu et al. 2015; Dai et al. 2017; Lee et al. 2014). 국내의 경우 한국도로공사에서는 2000년부터 습염살포방식을 채택하여 고속도로 일부 구간에서 시험운영을 하였으며, 현재 고속도로 전 구간으로 확대 운영하고 있다. 습염살포방식은 염화칼슘 수용액에 고체 염화나트륨을 적서 살포하는 방식으로 염화칼슘 수용액의 속효성과 염화나트륨의 지속성을 병합하여 제빙성능을 향상시킨 살포공법이다. 그러나 제빙성능을 향상시킨 살포공법은 거시적으로는 밀실해 보이지만 미시적인 관점에서는 미세공극이 무수히 존재하기 때문에 콘크리트 구조물의 손상을 유발시키는 단점을 가진다(Kim et al. 2014; Lee et al. 2017). 제설제가 살포되어 염화물이 용해된 노면수는 동결융해 작용으로 콘크리트에 열화 피해를 주고 있으며, 균열된 콘크리트 등으로 염소이온의 침투 및 내부 확산을 통하여 철근콘크리트의 구조물 경우 철근의 부동태 피막을 파괴하고 부식을 진행시키게 된다. 최근 이러한 문제로 인하여 비염화물계

\* Corresponding author E-mail: bjlee@dju.kr

<sup>1</sup>동남기업(주) 중앙연구소 주임연구원 (Dongnam Co., Ltd., Research&Development Center, Gyeonggi-do, 17957, Korea)

<sup>2</sup>충남대학교 토목공학과 박사과정 (Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

<sup>3</sup>대전대학교 토목공학과 조교수 (Department of Civil Engineering, Daejeon University, Daejeon, 34520, Korea)

인 친환경경제설계의 살포노력이 일부 진행되고 있지만 낮은 경제성으로 확대적용이 부족한 실정이다.

한편, 국외의 경우 실란 및 실록산 등을 이용한 표면개질 방법 혹은 변성 실리콘 레진 합성 등의 가공법을 활용하여 소수성 물질을 콘크리트 내 미세기공 내부로 침투시키는 액상상태의 침투성 흡수방지재를 연구하여 상용화하고 있다. 실란 및 실록산 등을 이용한 표면 개질방법은 콘크리트 외부에 별도의 보호층을 두지 않고 표층부의 내구성을 향상시키는 기술로서 기존의 표면보호재가 가지고 있는 박리, 박락으로 인한 2차적인 오염과 보호재로서의 기능 상실 등의 문제를 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다(Zhang et al. 2017; Moradillo et al. 2008; Kalaizaki 2007). 또한, 국내에서는 국외에서 실란 등을 이용하여 표면코팅재에 사용되는 원료물질을 유기용제나 물에 희석하여 제조하여 적용하고 있으나 콘크리트 표면의 미세기공까지 침투하지 못하고 외부영향에 의해 열화 및 박리등 변형이 쉽게 일어나는 단점을 가지고 있어 콘크리트 표면 보호재로서 역할을 할 수 없게 된다(Ha et al. 2017).

콘크리트 표면 보호재의 메커니즘은 콘크리트 표면에 도포하여 공극내부에서 경화를 통한 발수성을 부여함으로써 외부에서 침투하는 수분을 차단하는 방식이다. 액상의 침투강화제는 시공 후 콘크리트와 모르타르의 내부에 연속한 폴리머 필름을 형성하고 미세기공을 채워줌으로서 수분침투 방지 효과를 나타낸다. 하지만 국내의 경우 이러한 흡수방지재를 제조하는 기술이 전무함에 따라 이에대한 해결방안 모색이 절실한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 실리콘을 기반으로 하여 콘크리트 미세기공을 코팅할 수 있도록 분자의 크기 제어와 표면 개질을 통해 반응형 우레탄 폴리머를 이용하여 침투강화제를 제조하였으며, 침투강화제의 콘크리트의 적용성을 평가하기 위하여 침투강화제의 특성 및 도포방법에 따른 콘크리트의 기초물성을 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 논문에서는 침투강화제의 성능을 평가 하기위해 콘크리트 구조물에 일반적으로 사용되는 설계기준강도 18MPa, 24MPa, 30MPa 3가지 수준으로 콘크리트를 제작하였다. 침투강화제는 유성 2타입 및 수성 1가지 타입의 침투강화제를 사용하였으며 도포 방법으로는 스프레이도포법, 침지법, 브러시 도포법으로 구분하여 침투강화제의 성능을 검토하였다. 침투강화제의 성능평가를 위한 실험계획은 Table 1에 나타내었으며 측정항목으로는 28일 압축강도, 침투깊이, 염화물 측정을 실시하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

본 논문에서 사용한 보통 포틀랜드 시멘트의 물리·화학적 성질을 Table 2에 나타내었다. 보통 포틀랜드 시멘트는 국내 S사에서 시판하고 있는 비표면적 3,144cm<sup>2</sup>/g, 밀도 3,15g/cm<sup>3</sup> 인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 2.2.2 침투강화제

본 연구에서 사용한 침투강화제는 실리콘(Polysiloxane)을 기반으로 하여 콘크리트 미세기공을 코팅할 수 있도록 반응형 폴리우레탄(Polyurethane)을 제조하고, 분자의 크기 제어와 표면 개질을 통해 후보 물질을 제조하였다. 이 중 입도 크기가 가장 작은 물질을 선택하여 후처리 공정을 통해 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 유성 타입의 침투강화제 2type과 수성 타입의 침투강화제 1type을 사용하였다.

Table 1. Experimental variables

Classification	Application method	Repellent	Test items
25-18-120	- Spray - Immersion - Brush coated	- Water repellent(WR) - Oil repellent(OR)	-Compressive strength(28D) -Depth of penetration -Charge pass
25-24-120			
25-30-120			

Table 2. Physical properties and chemical composition of OPC

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 <sup>1)</sup>	3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

1) OPC : Ordinary portland cement

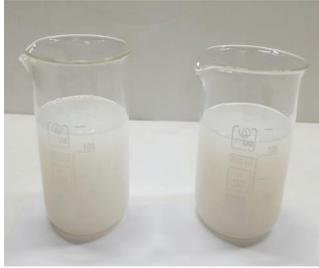


Fig. 1. Oil repellent



Fig. 2. Water repellent

유성 타입의 침투저항제는 물을 밀어내는 수분산성 형태가 표면에 계면활성제에 의해 침투저항제의 효과가 떨어지고, 개질된 폴리우레탄(Polyurethane)의 실란 반응성이 콘크리트 기재와의 반응성을 저해할 것을 우려하여 계면활성제 제거를 위해 여과 및 수세 공정을 통해 표면의 계면활성제를 제거한 혼화제이다. 여과지를 통과해 수분산 형태로 합성된 폴리머 제조하였고, 농도에 따라 저농도 OR-1(점도 120cps), 고농도 OR-2(점도 250cps)를 얻었다.

수성 타입의 침투저항제(점도 2,300cps)는 앞서 수분산된 제품에 계면활성제와 실란을 첨가하여 크림형태의 제품을 만든 혼화제이다. 이는 계면활성제가 가지고 있는 음이온성이 콘크리트의 표면에 깊이 침투할 수 있는 침투제 역할을 수행하여 더욱 깊이 콘크리트 내부에 침투될 수 있도록 하였다.

### 2.2.3 골재

본 논문에서 사용한 잔골재는 KS 품질기준을 만족시키는 5mm 이하의 강사를 사용하였으며 굵은골재는 최대치수 25mm의 부순 굵은골재를 사용하였다. 골재의 품질특성은 Table 3과 같다.

### 2.2.4 혼화제

본 논문에서 사용한 혼화제는 국내 J사제품의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 3. Physical properties composition of aggregate

Items	Grading(mm)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	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

Table 4. Physical properties of admixture

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

## 2.3 시험체 제작

침투강화제를 사용한 콘크리트의 배합설계는 Table 5에 나타난 바와 같이 설계기준강도 18MPa, 24MPa, 30MPa 으로 선정하였다. 또한 콘크리트의 혼합은 충분한 작업성 확보를 위하여 트윈 샤프트 믹서를 활용하여 Dry mixing 90초, 혼합수 및 혼화제를 투입하여 Wet mixing을 120초간 실시하였다.

## 2.4 도포방법

본 논문에서는 침투강화제를 브러시 도포방법, 침지 도포방법, 스프레이 도포방법으로 구분하여 적용하였다.

브러시 도포방법은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 콘크리트 표면에 브러시를 이용하여 0.5L/m<sup>2</sup>의 침투저항제를 도포주기인 30분 간격으로 2회에 걸쳐 도포한 후, 20°C에서 24시간 동안 양생을 실시하였다.

침지 도포방법은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 콘크리트 시험체가 충분히 침지될 수 있는 용기에 30분 간격으로 함침한 후, 20°C에서 24시간 동안 양생을 실시하였다.

스프레이 도포방법은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 분사압력 1bar의 콤프레샤를 이용하여 0.5L/m<sup>2</sup>의 침투저항제를 도포주기인 30분 간격으로 2회에 걸쳐 도포한 후, 20°C에서 24시간 동안 양생을 실시하였다.



Fig. 3. Brush application



Fig. 4. Immersion application

Table 5. Mix proportions

Classification	W/C(%)	S/a(%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
			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



Fig. 5. Spray application



Fig. 6. Depth penetration

## 2.5 실험방법

### 2.5.1 압축강도

압축강도 시험편은 「KS F 2403 콘크리트 강도 시험용 공시체 제작방법」에 준하여 Ø100×200mm 의 원주형 시험편으로 제작하였다. 압축강도 시험은 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법」에 의거하여 온도 20±3℃, 상대습도 80%의 양생실에서 21일간 양생 후, 온도 20±3℃, 상대습도 50%의 양생실에서 7일간 양생하였으며 재령 28일에 압축강도를 측정하였다.

### 2.5.2 침투깊이

침투깊이 측정은 「KS F 4930 콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지제」에 준하여 Ø100×200mm 의 원주형 시험편을 30mm 두께로 절단하고, 침투강화제를 도포 한 뒤 온도 20±3℃, 상대습도 50%에서 14일간 양생을 하였다. 침투 깊이는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 침투강화제를 도포한 시험체를 2분할하여 그 단면에 물을 분무하고 물이 침투하지 않는 부분의 두께를 측정하여 평가하였다.

### 2.5.3 염화물

염화물 측정은 「KS F 2711 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법」에 준하여 측정하였으며 시험편은 침투깊이 시험편과 동일하게 제작하였으며 시험 셀 및 장치를 이용하여 통과전하량을 산출하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 압축강도

침투강화제를 사용한 콘크리트의 압축강도 측정 결과를 Fig. 7~9에 나타내었다.

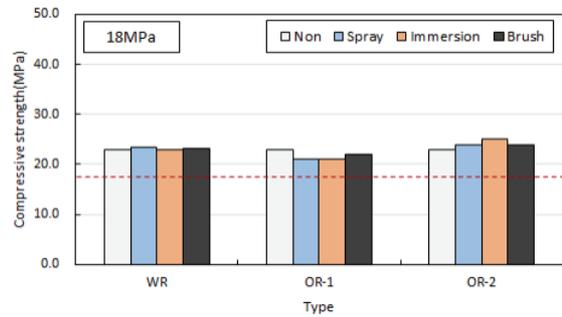


Fig. 7. Result of fck 18MPa compressive strength

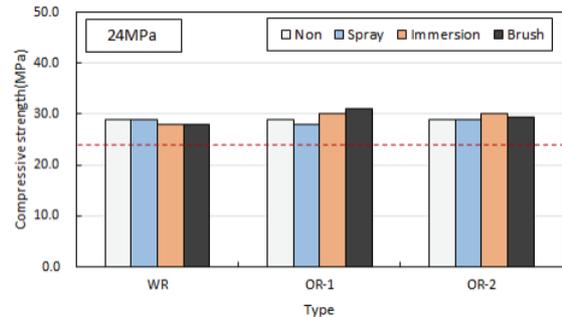


Fig. 8. Result of fck 24MPa compressive strength

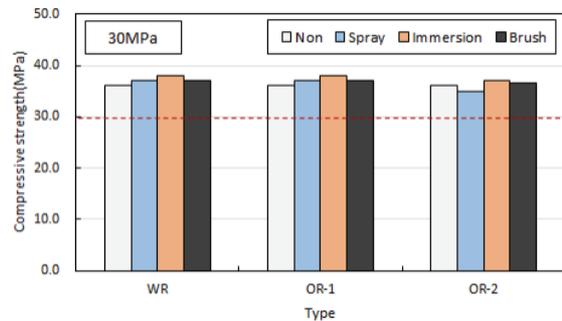


Fig. 9. Result of fck 30MPa compressive strength

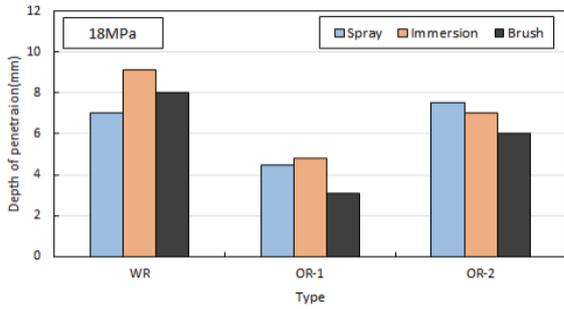


Fig. 10. Result of fck 18MPa depth penetraion

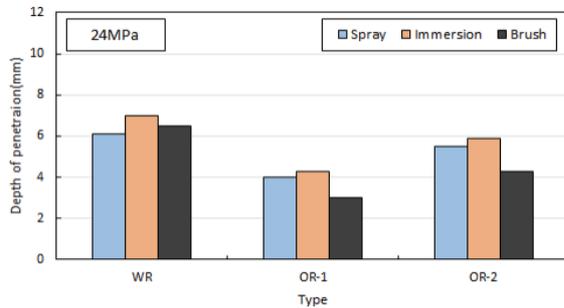


Fig. 11. Result of fck 24MPa depth penetration

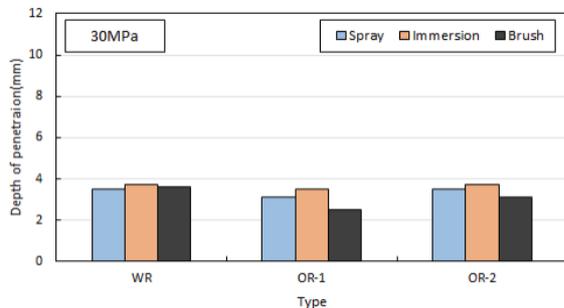


Fig. 12. Result of fck 30MPa depth penetraion

콘크리트 시험체의 설계기준강도에 대한 강도 발현이 완료된 28일 재령에 침투강화제를 도포하고, 14일 후 강도를 측정함에 따라 전반적으로 침투강화제 적용에 따른 압축강도 변화는 미미한 것으로 나타났다.

유성 Type 침투강화제를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 증가되는 경향을 나타내었지만 미미한 것으로 나타났다. 수성 Type의 침투강화제를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 일부 감소되는 경향을 나타내었다.

이는 음이온 계면활성제가 혼합된 수성 침투저항제가 콘크리트 표면에 5~10mm정도 침투 코팅되어 수분 침투를 막음으로서, 침투저항제를 적용하지 않은 시험체 및 유성 Type의 침투저항제를

적용한 시험체 보다 콘크리트의 수화를 방해했기 때문에 판단된다. 또한 향후 침투강화제를 적용한 시험체의 다양한 성능을 고려한 침투강화제의 종합적인 성능 검토가 필요할 것으로 사료된다.

### 3.2 침투깊이

침투강화제를 사용한 콘크리트의 침투깊이 측정 결과를 Fig. 10~12에 나타내었다.

전체 배합조건에서 침투깊이는 약 2.7~9.2mm 범위로 나타났고, 설계기준강도가 증가할수록 침투깊이는 낮아지는 것으로 나타났다.

유성 Type의 침투 강화제를 사용한 콘크리트 시험체의 침투깊이는 스프레이 도포방법과 침지 도포법이 유사한 침투깊이를 나타내었으며 브러시 도포방법이 가장 낮은 침투깊이를 나타내었다. 이는 스프레이 도포법이 브러시 도포법 및 침지 도포법과 비교하여 1bar의 압력으로 분사되기 때문에 침투강화제가 콘크리트에 원활하게 침투 한 것으로 판단된다. 또한 침지 도포법의 경우 일정시간동안 시험체를 침투강화제 용액속에 침지함으로써 충분한 침투가 되었기 때문으로 판단된다.

수성 Type의 침투 강화제를 사용한 콘크리트 시험체의 침투깊이는 스프레이 도포법을 사용한 시험체가 브러시 도포법이나 침지 도포법과 비교하여 침투깊이가 낮은 경향을 나타내었다. 이는 수성 Type의 침투강화제가 유성 Type의 침투강화제와 비교하여 높은점도를 가지고 있어 수성 Type의 침투강화제가 원활히 분사되지 못한 것으로 판단된다. 그러나 수성 Type의 침투강화제를 사용한 콘크리트는 유성 Type의 침투강화제를 사용한 콘크리트와 비교하여 설계기준강도별로 가장 우수한 침투성능을 나타내었다.

본 논문의 범위에서 검토한 침투강화제의 도포방법 중 침지 도포방법이 가장 우수한 침투 깊이를 나타내었으며 스프레이 도포법이 함께 적용 가능한 것으로 확인되었다. 브러시도포법은 일부 효과가 확인되었으나 실제 적용시 검증이 필요할 것으로 판단되어진다. 또한 침지 도포법은 2차제품 제조시 적용가능 할 것으로 판단되나 현장타설 콘크리트의 경우 적용이 불가하기 때문에 현장조건에 맞는 공법 선정이 적절할 것으로 판단된다.

### 3.3 염화물

침투강화제를 사용한 콘크리트의 염화물 측정 결과를 Fig. 13~15에 나타내었다.

침투강화제를 적용하지 않은 콘크리트 시험체는 설계기준강도 18MPa의 경우 5677~6042C의 범위로 측정되었고, 24MPa의 경우 3174~4043C, 30MPa의 경우 1998~2207C의 범위로 측정되

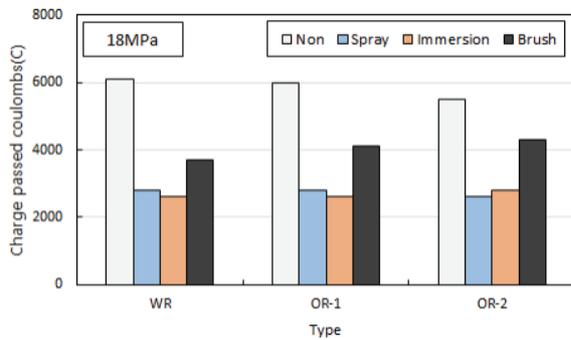


Fig. 13. Result of fck 18MPa charge passed coulombs

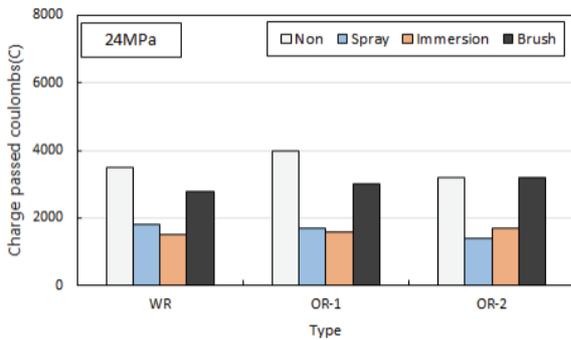


Fig. 14. Result of fck 24MPa charge passed coulombs

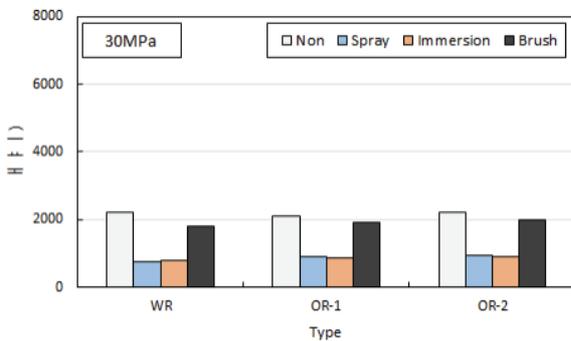


Fig. 15. Result of fck 30MPa charge passed coulombs

었다. 콘크리트 시험체의 설계기준강도가 증가함에 따른 통과전하량이 감소하는 결과를 나타내었으며 침투강화제를 도포한 시험체는 침투강화제를 적용하지 않은 시험체와 비교하여 우수한 내염성을 나타내었다.

침투강화제 도포방법에 따른 콘크리트 시험체의 염화물 측정결과 브러시 도포법을 적용한 콘크리트 시험체는 침투강화제를 도포하지 않은 시험체와 비교하여 평균 1900~4033C 수준의 통과전하량값을 나타내었고 스프레이 도포법과 침지 도포법은 850~2660C로 나타났다. 따라서 침투강화제를 도포하지 않은 시험체와 비교 하였을 때 평균 통과전하량값이 낮은 스프레이 도포법과 침

지도포법이 내염성 개선효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 이와 같이 적용방법별에 따른 성능개선차이가 발생하는 이유는 적용방법별에 따른 인적요인 및 공법특성 차이에 의하여 침투강화제의 코팅정도 및 침투정도가 상이했기 때문으로 판단된다.

현재 「KS F 2711 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험방법」에서는 통과전하량의 정도를 통해 콘크리트의 염소이온 침투성을 구분하여 정의하고 있다. 즉 통과전하량이 4000C을 초과할 경우에는 염소이온에 대한 침투성이 높음으로 규정하고 있고, 2000~4000C은 보통, 1000~2000C의 경우는 낮음, 100~1000C은 매우 낮음으로 구분하고 있다. 본 논문에서 평가한 설계기준강도 18MPa의 콘크리트에 침투저항제를 적용하지 않은 시험체는 최대 6000C 이상의 통과전하량을 나타내어 염소이온에 대한 침투성이 높음으로 분류되었으나 스프레이 도포법과 침지 도포법을 적용할 경우 통과전하량이 2000C대를 나타내어 보통 수준의 침투성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, 설계기준강도 24MPa의 콘크리트 시험체는 침투강화제 적용으로 염소이온에 대한 침투성이 낮은 단계까지 개선시킬 수 있는 것으로 분석되었으며, 30MPa의 콘크리트 시험체는 스프레이 도포법과 침지 도포법을 적용하면 1000C 이하의 통과전하량을 나타내 콘크리트의 염소이온에 대한 침투성이 매우 낮은 단계까지 성능을 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 논문에서 적용한 침투강화제는 저강도 영역에서 상대적으로 고강도 영역까지 염화물에 대한 침투저항성을 개선시킬 수 있는 것으로 나타났으며, KS F 2711에서 규정하고 있는 “매우낮음” 범위의 염소이온 침투성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 실리콘을 기반으로 한 분자의 크기 제어와 표면 개질을 통해 얻은 침투저항제를 선정하여, 콘크리트에 적용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 침투강화제를 사용한 콘크리트의 압축강도 측정결과 유성 Type 침투강화제를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 증가되는 경향을 나타내었지만 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 수성 Type의 침투강화제를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 일부 감소되는 경향을 나타내었다.
2. 침투강화제를 사용한 콘크리트의 침투 깊이 측정결과 전체 배합조건에서 침투깊이는 약 2.7~9.2mm 범위로 나타났고, 설계기준강도가 증가할수록 침투성능은 저하하는 것으로 나

타났다.

3. 침투 강화제를 도포방법에 따라 검토한 침투깊이는 유성 Type의 경우 스프레이 도포방법과 침지 도포법이 유사한 침투깊이를 나타내었으며 브러시 도포방법이 가장 낮은 침투깊이를 나타내었다. 수성 Type의 경우 스프레이 도포법을 사용한 시험체가 브러시 도포법이나 침지 도포법과 비교하여 침투깊이가 낮은 경향을 나타내었다.
4. 침투 강화제를 사용한 콘크리트의 염화물 측정결과 콘크리트 시험체의 설계기준강도가 증가함에 따른 통과전하량이 감소하는 결과를 나타내었으며 침투강화제를 도포한 시험체는 침투강화제를 적용하지 않은 시험체와 비교하여 우수한 내염성을 나타내었다. 또한 침투강화제를 도포하지 않은 시험체와 비교 하였을 때 평균 통과전하량값이 낮은 스프레이 도포법과 침지도포법이 내염성 개선효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.
5. 본 논문에서 평가한 설계기준강도 18MPa의 콘크리트에 침투저항제를 적용하지 않은 시험체는 최대 6000C 이상의 통과전하량을 나타내어 염소이온에 대한 침투성이 높음으로 분류되었으나 스프레이 도포법과 침지 도포법을 적용할 경우 통과전하량이 2000C대를 나타내어 보통 수준의 침투성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

### Conflict of interest

None.

### References

Dai, J.G., Akiram, Y., Wittmann, F.H., Yokota, H., Zhang, P. (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].

Ha, S.W., Oh, S.R., Choi, Y.W. (2017). An experimental study on the basic properties of penetrating repair material using silicate-based inorganic materials, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, **18(7)**, 39–45 [in Korean].

Kim, Y.Y., Lee, B.J., Sarawathy, V., Kwon, S.J. (2014). Strength and durability performance of alkali activated rice husk geopolymer mortar, *The Scientific World Journal*, **2014**, Article ID 209584.

Kim, Y.Y., Lee, K.M., Bang, J.W., Kwon, S.J. (2014). Effect of W/C ratio on durability and porosity in cement mortar with constant cement amount, *Advances in Materials Science and Engineering*, **2014**, Article ID 273460.

Lee, B.J., Bang, J.W., Shin, K.J., Kim, Y.Y. (2014). The effect of specimen size on the results of concrete adiabatic temperature rise test with commercially available equipment, *Materials* **7**, 7861–7874.

Maravelaki-kalitzaki, P. (2007). Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry, *Cement and Concrete Research*, **37(2)**, 283–290.

Moradillo, M., Helene, P. (2008). Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete, *Materials and Structures*, **41(1)**, 59–71.

Ryu, J.H., 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 [in Korean].

Zhang, P., Wittmann, F.H., Vogel, M., Muller, H.S., Zhao, T. (2017). Influence of freeze-thaw cycles on capillary absorption and chloride penetration into concrete, *Cement and Concrete Research*, **100**, 60–67.

### 실리콘 기반 침투강화제를 사용한 콘크리트의 기초 물성 평가

현재 국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 제설제는 염화칼슘이며, 우리나라의 기후 변화에 따라 전국적으로 제설제의 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 제설 제빙을 목적으로 하는 제설제는 살포되어 염화물이 용해된 노면수에 의해 동결융해 작용으로 콘크리트에 열화 등의 다양한 피해를 주고 있다. 따라서 본 연구에서는, 콘크리트 표면에 도포하여 외부에서 침투하는 수분을 차단하는 방식인 콘크리트 표면 보호재를 실리콘 기반으로 한 콘크리트 미세기공을 코팅할 수 있도록 반응형 우레탄 폴리머를 제조하여, 분자의 크기 제어와 표면 개질을 통해 혼화제를 선정하여, 콘크리트 적용하였고 침투강화제의 특성 및 도포방법에 따른 콘크리트 기초 물성을 평가하였다.