

# 콘크리트 내구성 향상을 위한 표면 보호용 시멘트 모르타르에서 실리카 및 개질 라텍스의 영향

김용훈<sup>1</sup>, 정철수<sup>2</sup>, 송명신<sup>3</sup>, 이웅걸<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>서울시립대학교 토목공학과, <sup>2</sup>시설안전관리공단, <sup>3</sup>강원대학교 재료융합공정연구소, <sup>4</sup>강원대학교 기능소재공학과

## The Effects of Silica Sol and Modified Latex on the Concrete Surface Protection Cement Mortar for Improvement of Durability of Concrete

Yong-Hoon Kim<sup>1</sup>, Cheol-Soo Jeong<sup>2</sup>, Myong-Shin Song<sup>3</sup>, Woong-Geol Lee<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of civil engineering, University of Seoul

<sup>2</sup>Korea infrastructure safety and technology corporation

<sup>3</sup>Research center of advanced convergence processig on materials, Kangwon national university

<sup>4</sup>Advanced materials engineering, Kangwon national university

**요약** 콘크리트 구조물은 외부로부터 콘크리트 내부로 침투 및 확산하는 유해 이온( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  등)에 의하여 철근의 부식 및 콘크리트 열화가 발생하여 내구성이 저하된다. 따라서 콘크리트의 열화를 방지 또는 지연시키기 위하여 콘크리트 표면 보호용 마감 모르타르의 사용은 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 실리카 졸과 칼슘 이온으로 개질한 천연 라텍스 성분을 열화 콘크리트의 보수용 모르타르 또는 콘크리트 표면 보호용 마감 모르타르에 사용할 수 있는 시멘트 모르타르에 사용함으로써 콘크리트의 열화 방지 또는 열화 지연의 가능성에 대해 검토하였다. 연구 결과, 개질 라텍스 성분 중에 함유된 칼슘 이온과 실리카 졸의 성분에 의해 미세한 칼슘 실리케이트 수화물이 시멘트 재료의 공극에 생성되어 시멘트 모르타르의 공극 분포를 감소시켜 유해 이온( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  등)의 침투 및 확산을 저감시키고, 라텍스 성분이 시멘트 경화체의 공극 내부에 존재함으로써 내알칼리성 및 중성화 저항성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

**Abstract** The durability of concrete structures deteriorates due to the corrosion of rebars and concrete deterioration by harmful ions ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) penetrating and diffusing from the outside into concrete. Therefore, the use of surface-protection finishing mortar is very important for preventing or delaying the deterioration of concrete. In this study, the possibility of the prevention of deterioration or delay of deterioration of concrete was investigated using natural latex modified with silica sol and calcium ions for cement mortar, which can be used to repair the mortar of deteriorated concrete or for finishing the mortar of concrete. As a result, fine calcium silicate hydrate was formed in the pores of the cement material due to the calcium ions and silica sol components contained in the modified latex component that reduce the pore distribution of the cement mortar, thereby reducing the penetration and diffusion of harmful ions ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Furthermore, the latex component was found to be present in the pores of the cement to improve the alkali resistance and carbonation resistance.

**Keywords** : Concrete, Deterioration, Modified Latex, Silica Sol, Durability

\*Corresponding Author : Woong-Geol Lee(Kangwon National Univ.)

email: woonggeol.lee@gmail.com

Received August 7, 2019

Accepted December 6, 2019

Revised September 5, 2019

Published December 31, 2019

## 1. 서론

우리나라 정부는 구조물의 내구성 향상을 위하여 『시설물의 안전 및 유지관리 기본계획 3차 (2013~2017)』를 수립하고, 시설물 보수·보강 분야에서 융합기술 및 첨단기술 도입을 통한 첨단 건설재료 개발 및 선진적 유지관리 기술개발을 강조하고 있다. 선진국의 경우, 건설구조물의 유지관리 전략은 사후유지관리에서 예방 유지관리 전략으로 바뀌고 있으며, 재료 레벨부터 구조 레벨까지 Multi-scale Modeling을 통한 내구성 연구와 함께, 열화 원인별 Active Rehabilitation을 위한 첨단 기능성 건설재료의 개발 및 적용을 추진하고 있다.

콘크리트 구조물은 외부로부터 콘크리트 내부로 침투 및 확산하는 유해 이온( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  등)에 의하여 철근의 부식 및 콘크리트 열화가 발생하여 내구성이 저하된다. 이미 열화가 발생한 콘크리트는 일반적으로 아크릴계 에멀전 또는 기타 에멀전을 기본 재료로 구성하여 에멀전에 의한 시멘트 경화체 내부에 film을 생성하여 콘크리트 유해 열화 이온의 침투 확산을 지연시키는 mechanism으로 유기질 재료, 무기질 재료 및 유·무기 복합 재료 등 다양한 재료로 보수되는데, 일반적으로 보수용 시멘트 모르타르는 시멘트와 다양한 유기 바인더를 사용하는 것이 일반적이며 그 특성 또한 매우 다양하게 나타난다.

본 연구에서는 합성 나노 실리카(Synthesis Nano Silica, 이하 IC)를 일반 시멘트 모르타르의 적용시 강도 저하를 보완하기 위해서 실리카 졸(Silica Sol, 이하 SS)과 칼슘 이온으로 개질한 천연 라텍스(Modified Latex, 이하 ML) 성분을 적용하여 열화 콘크리트의 보수용 모르타르 또는 콘크리트 표면 보호용 시멘트 보수 모르타르에 대한 적용에 따라 나타나는 물성에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 개요

합성 나노 실리카와 실리카 졸 및 개질 라텍스 용액을 시멘트 모르타르에 적용하여 콘크리트 표면 보호형 마감 모르타르의 특성을 검토하였다. 비교 대상의 시멘트 모르타르는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 모르타르를 기준으로 하였다.

### 2.2 실험 재료

#### 2.2.1 개질 라텍스

개질 라텍스는 천연고무 라텍스 원액(고형분 62 %) 50 wt%와 칼슘 이온이 10 ppm 함유되어있는 칼슘 이온수 10 wt%, 수용성 고분자 수지인 폴리비닐 알코올을 폴리아크릴산으로 개질하여 내수성을 향상시킨 개질 폴리비닐 알코올 10 % 수용액 40 wt%를 혼합하여 사용하였다.

#### 2.2.2 합성 나노 실리카

나노 실리카를 합성하기 위하여 Alkoxysilane(이하 AS) 화합물을 사용하였다. AS를 물에 섞어 Sol-Gel 반응을 진행하면 Alkoxysilane 그룹이 탈락하게 되어 실리카 표면에 하이드록시기가 존재하는 형태의 나노 실리카가 형성 된다. 그 중에서 본 실험에 사용된 IC type은  $\text{SiO}_2$ 에 carboxyl ( $-\text{COOH}$ )기와 hydroxyl ( $-\text{OH}$ )기가 불규칙적으로 배열된 구조를 가지게 되며, IC의 구조 모식도는 Fig. 1에 나타내었고  $\text{SiO}_2$  함유량은 83.5 wt%이다[1].

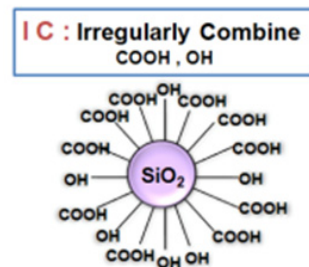


Fig. 1. Diagram of synthesis nano silica

#### 2.2.3 실리카 졸

본 실험에 사용된 실리카 졸[2]은 국내 Y사에서 생산되는 제품으로, 음(-)전하를 띠는 10 nm의 무정질 실리카( $\text{SiO}_2$ ) 미립자가 수중에서 콜로이드 상태를 이루고 있는 물질로  $\text{SiO}_2$  함유량이 30 wt%인 무기계 나노 실리카이다. SS의 물리적 성질은 Table 1에 나타내었고, SS에 존재하는 silica의 미립자의 형태는 구형의 구조를 이루고 있으며 그 구조는 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of silica sol

SiO <sub>2</sub> (wt%)	Water content (wt%)	Weight	pH	Particle size	Appearance
30	30	1.2	9~10.5	10nm	Clarity

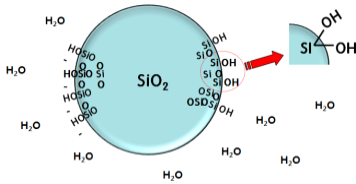


Fig. 2. The structure of silica sol

### 2.2.4 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC)를 사용하였으며 화학적 성분과 물리적 성능을 Table 2, 3에 나타내었다.

Table 2. Chemical composition of OPC

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	NaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 3. Physical properties of OPC

Specific gravity (20°C)	Blaine specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Compressive strength of mortar(MPa)		
		Initial set (min)	Final set (h)	3d	7d	28d
3.15	3300	240	7	19.6	22.8	37.8

### 2.2.5 잔골재

잔골재는 규사(size : 0.25~0.6 mm)를 사용하였으며 물리적 성질을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Properties of Fine Aggregate

Max. size (mm)	Unit weight (kg/l)	Specific gravity (20 °C)	Water absorption (%)	Solid volume percentage (%)
<1.2	1.5	2.62	0.40	58.1

### 2.2.6 Calcium Aluminate Compound

Calcium Aluminate Compound (이하CAC)는 제강 슬래그를 아토마이징 공법으로 분사시켜 급냉하여 제

조되는 12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 Calcium Aluminate 화합물로서 화학조성 및 물리적 특성을 Table 5 및 6에 나타내었다.

Table 5. Physical properties of CAC

Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	LOI(%)
2.96	5,150	-2.75

Table 6. Chemical composition of CAC

(Unit: wt%)

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>	F	F-CaO
8.46	25.8	1.53	53.10	6.82	2.68	0.613	-

### 2.3 배합설계

보수 모르타르의 배합은 Table 7 같이 배합하였다. Binder는 압축강도의 향상을 위하여 제강 슬래그의 용출 시 아토마이징 공법으로 제조된 Calcium Aluminate Compound(CAC)를 사용하였으며, OPC와 CAC의 비율은 95 : 5 (wt%)로 하였다. 또한, 보수 모르타르 (Repair Mortar, 이하 RM)의 특성을 비교하기 위하여 시멘트만 사용한 모르타르 (RMO)를 비교 대상으로 하였다.

Table 7. Mix design of complement mortar

		RMO	RM1	RM2	RM3	RM4	RM5	Notes
B*	OPC	95						•
	CAC	5						
AD**	ML	0	100	0	0	90	80	A/B***=0.2
	IC	0	0	100	0	5	10	
	SS	0	0	0	100	5	10	
B:S****		1:3						•
W/B*****		Flow 170±5 mm						•

B\*: Binder, AD\*\*: Admixture, B:S\*\*\*\*:Binder:Sand  
W/B\*\*\*\*\*: Water/Binder, A/B\*\*\*\*\*: Admixture:Binder

### 2.4 실험 방법

#### 2.4.1 공시체 제작 및 양생

공시체는 실험실에서 KS L ISO 679「시멘트의 강도 시험 방법」에 따라 시멘트(C) : 잔골재(S) = 1 : 3(질량비), 탄성재와 시멘트의 비는 0.2로 하였으며, 소포제는 탄성재 중량의 0.7%로 하여 제작을 하였다. 제작방법은 40×40×160 mm의 시험체 틀에 공시체를 성형하였고, 이때의 물 결합재비율 (W/C)은 플로우 170±5 mm의

범위가 되도록 결정하였다. 공시체 양생 방법은 KS F 2476:2017 48시간 「폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법」에 따라 습윤 양생(20 ℃, 90 %R.H.)을 실시하고, 5 일간 수중 양생(20 ℃), 그리고 21일간 기건 양생(20℃, 60 %R.H.)을 실시하여 공시체를 제작하였다.

### 2.4.2 물성 실험

물성 실험은 KS F 4042-2012 「콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」에 의해 진행하였다. 휨 및 압축강도 시험은 공시체 측면의 중앙에 매초 50±10 N의 하중 속도로 재하 하여 실시하고 3개의 공시체 평균값으로 휨강도의 값을 구하고, 휨강도 시험 후 공시체 절편 6개에 대하여 매초 800±50 N의 하중 속도로 재하한 측정값을 평균으로 나타내었다.

응결 시간은 KS L ISO 9597 「시멘트의 응결 및 안정성 시험 방법」에 규정된 비카트 장치를 이용하여 초결과 종결을 측정하였다.

### 2.4.3 내구성능 실험

탄산화 평가 실험은 KS F 2584 「콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법」에 따라 실시하고, 공시체는 ø100 × 200 mm 로 제작하여 재령 4주까지 수중 양생 후, 재령 8주까지 온도 20±2 ℃, 상대습도 RH 60±5 %에서 정치한다. 탄산화 촉진 조건은 CO<sub>2</sub> 농도 5.0±0.23 %, 온도 20±2 ℃, 상대습도 RH 60±5 %에서 하였다. 탄산화 깊이의 측정에는 윗면과 아랫면을 에폭시로 코팅한 시험체를 촉진 탄산화시킨 후 절단기를 이용하여 수평으로 절단하였고, 페놀프탈레인 1 % 용액을 분무하고 표면으로부터 보라색으로 변색된 부분까지의 깊이를 측정하였다.

염해이온 저항성을 확인하기 위하여 내염해성 실험을 진행하여 검증하고자 하였으며, 염화물 침투 시험을 위한 NaCl 수용액은 5 %의 농도로 사용되었고, 염화물 침투 깊이의 측정 시험은 KS F 2737 「지시약에 의한 콘크리트의 염화물 침투 깊이 측정 방법」 기준하여 실시하였다. 시험체는 ø100 × 200 mm 크기로 제조하였다. 지시약(1N 질산은(AgNO<sub>3</sub>) 용액)의 분무는 측정 면에 검지약(1% 우라닌(Uranine, C<sub>20</sub>H<sub>10</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>5</sub>))용액을 먼저 분무한 후 검지약과 모르타르 중의 염화물이 충분히 반응하고, 반응액이 건조될 수 있을 정도로 5분간 방치 한 다음 지시약을 분무하였다. 염화물과 검지약이 반응하여 생성된 침전물의 색은 백색이며, 미반응 부분은 검지약과 지시약에 의하여 적자색이 변한다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 강도 특성

Fig. 3에 압축강도, 휨강도 및 부착 강도 특성을 나타내었다. 압축강도 특성에서 실리카 졸을 혼합한 RM3가 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 개질 라텍스가 혼입된 타입은 라텍스가 혼입되지 않은 타입보다는 전반적으로 압축강도가 낮게 나타났다. 이는 라텍스 성분의 함유로 초기 수화가 지연되고 수화가 방해받았기 때문으로 판단된다. 한편, 일반적으로 라텍스 등 유기물 재료가 시멘트 재료에 혼합되는 경우의 압축강도는 라텍스 등 유기물 재료가 혼합되지 않은 시멘트 모르타르와 비교하여 낮은 것이 일반적이나[3], 본 연구에서는 압축강도 저하를 대처하기 위하여 CAC를 사용하였고[4], CAC 사용으로 인하여 라텍스 성분이 포함되었어도 압축강도 저하는 나타나지 않은 것으로 판단된다. 실리카 성분만 혼합한 RM2, RM3의 압축강도가 우수한 것은 실리카 함량의 증가로 인한 Calcium Silicate Hydrates의 생성이 활발하였기 때문으로 판단된다. 부착 강도 측정결과를 보면, 개질 라텍스가 함유된 RM1이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, 합성 나노 실리카와 실리카 졸이 함유되고 개질 라텍스가 함유된 RM4, RM5 역시 부착 강도가 우수한 것으로 나타났다. 이는 개질 라텍스의 접착력 성분에 의해 부착력이 향상되었기 때문으로 판단된다, 한편 합성 나노 실리카와 실리카 졸을 사용한 결과를 비교해 보면, 실리카 졸을 사용하는 것이 압축강도, 휨강도 및 부착 강도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 합성 나노 실리카는 -COOH 기가 포함되어 있어[5] 상대적으로 -COOH 기가 포함되어 있지 않은 실리카 졸보다 초기 수화가 지연으로 인한 것으로 판단된다.

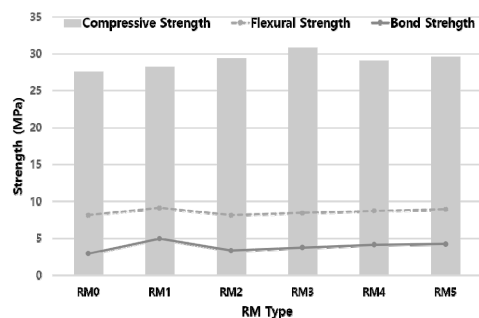


Fig. 3. Results of Strength

### 3.2 응결시간

초기 수화 특성을 확인하기 위하여 응결시간을 측정하였으며 Fig. 4에 응결시간 측정결과를 나타내었다. Fig. 4의 결과를 보면, 개질 라텍스가 혼입된 RM1이 가장 응결이 지연됨을 확인할 수 있다. 또한, 실리카 졸을 사용하는 것이 합성 나노 실리카를 사용하는 것보다 응결시간이 단축되는 것을 알 수 있으며, 따라서 합성 나노 실리카보다는 실리카 졸이 초기 수화가 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 합성 나노 실리카의 경우 함유되어 있는 -COOH 기에 의해 수화가 지연되기 때문인 것으로 판단된다[6].

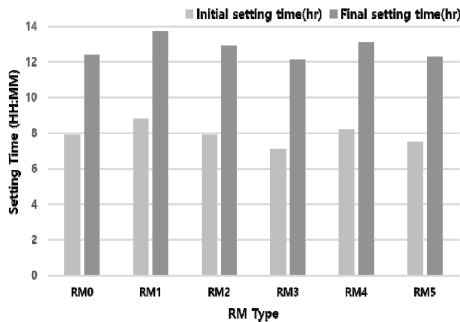
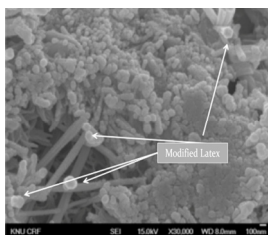


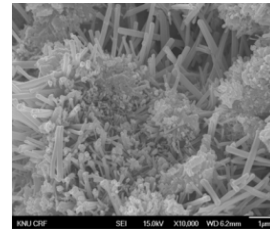
Fig. 4. Setting time

### 3.3 이미지 분석 결과

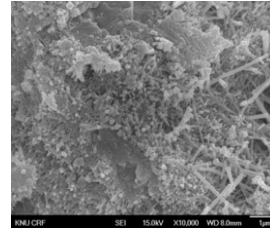
Fig. 5는 시멘트 페이스트(재령 3일)를 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope: 이하 SEM)으로 이미지 분석결과를 나타내었다. 개질 라텍스가 혼입된 a)에서는 개질 라텍스가 존재하고 있으며, 수화물의 생성이 적어 수화가 지연되고 있음을 확인할 수 있으며, 합성 나노 실리카가 혼입된 b)의 경우, 일부 수화 생성물이 존재하나, 미수화물이 존재하는 것으로 보아 수화가 지연되고 있음을 알 수 있으며, 실리카 졸이 혼입된 c)의 경우, 침상의 Calcium Silicate Hydrates가 다량 존재하는 것으로 나타나 수화가 활발하게 진행되었음을 알 수 있다.



a) RM1



b) RM2



c) RM3

Fig. 5. Results of SEM

### 3.4 내구성 결과

내구 성능 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보면, 개질 라텍스가 혼입된 RM1의 경우, 탄산화 깊이와 염분 침투 깊이가 가장 적은 것을 알 수 있다. 이는 개질 라텍스 성분이 시멘트 수화물의 공극 사이에 존재함으로써 이온의 침투를 방해했기 때문으로 판단된다. 한편, 합성 나노 실리카를 사용한 경우 탄산이온이나 염분 이온의 침투가 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 수화가 지연되어 동일한 양생 재령에서, 반응 생성물인 Calcium Silicate Hydrates의 생성이 적어[7] 경화체의 공극이 개질 라텍스 혼입 타입이나, 실리카 졸과 비교하여 상대적으로 치밀하지 못하였기 때문으로 판단된다.

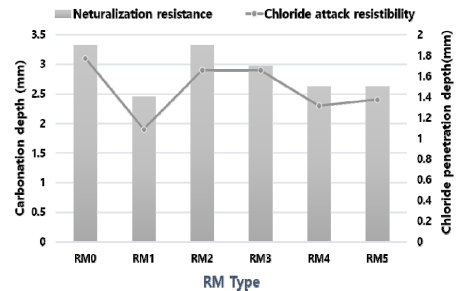


Fig. 6. Results of durability

### 3.5 이온 확산 계수

시멘트 경화체에서 유해 이온의 침투 확산은 Fick's

2<sup>nd</sup> law의 Semi-infinite Solid Model을 따른다. Fick's 2<sup>nd</sup> law의 Semi-infinite Solid Model을 Fig. 7에 나타내었다. 이 model에 따르면 표면에서의 유해이온의 농도 "C<sub>0</sub>"는 거리 x=0에서 zero이다. 초기 농도에서 시간이 경과 할수록, 다공성 고체인 시멘트 경화체 (semi-infinite solid) 내부로 이온이 침투 및 확산이 진행된다. 이 때 시멘트 경화체 표면으로 침투되는 이온은 시멘트 경화체의 내부 이온인 Ca<sup>2+</sup> 이온과 반응하여 칼슘염을 생성하며, 생성되는 칼슘염은 시멘트 경화체의 공극을 충전하게 되고[8], 공극의 충전으로 인하여 외부에서 침투되는 유해 이온의 확산은 점차 느려지게 된다[9]. 최상부에서 침투하여 확산되는 이온은 공극의 치밀화로 일정 시간 또는 일정 거리에서는 더 이상 침투하지 못하게 된다. 이에 대한 모식도를 Fig. 7에 나타내었다.

이와 같은 Fick's 2<sup>nd</sup> law에 의한 Semi-infinite Solid Model에서, 시간 t에서 이온의 확산 거리 x<sub>t</sub>를 구할 수 있으면 경화체 중의 확산 이온의 농도를 측정할 필요 없이 확산계수를 구할 수 있다. 확산계수에 관한 식을 식(1), 식(2)에 나타내었다.

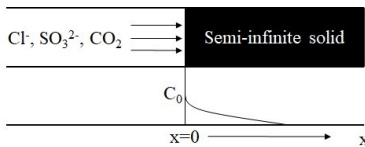


Fig. 7. Semi-infinite solid model(Fick's 2<sup>nd</sup> law)

$$\frac{C_x}{C_0} = 1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1)$$

*C<sub>x</sub>* = concentration at x  
*C<sub>0</sub>* = initial concentration of species at t  
*x* = Hazardous ion concentration inside the hardence boay at time t

$$X_t = 2(Dt)^{1/2} \quad (2)$$

*X<sub>t</sub>* = diffusion length at time t  
*D* = diffusion coefficient

상기 식(2)에 의해 구한 확산계수 상수를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보면 개질 라텍스만 사용한 RM0가 CO<sub>2</sub> 확산계수나 염분의 확산계수가 가장 적은 것으로 나타났는데 이는 개질 라텍스에 의한 경화체 공극의 충전에 의한 것으로 판단된다.

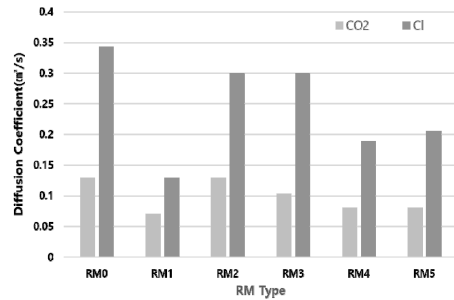


Fig. 8. Diffusion Coefficients of RM(Fick's 2<sup>nd</sup> law)

#### 4. 고찰

본 연구에서는 ML, IC 및 SS를 사용하여 시멘트 재료의 열화 저감 특성에 관한 연구를 하였다. 콘크리트 구조물은 대기 중의 CO<sub>2</sub>의 침투에 의한 중성화, 염분 침투에 의한 염해 등이 콘크리트 구조물의 열화에 미치는 가장 큰 요인이라 할 수 있다. CO<sub>2</sub>, 염분 등 유해 이온의 시멘트 경화체에 침투 및 확산은 시멘트 경화체의 공극 또는 균열 부위를 통하여 진행된다. 따라서 시멘트 경화체의 공극 구조를 치밀화 시키면 시멘트 경화체의 유해 이온에 의한 열화를 방지 또는 지연시킬 수 있다. 시멘트 경화체의 공극을 치밀화 시키기 위해서는 시멘트 경화체 내부에 Calcium Silicate Hydrates를 다량 생성시켜 공극을 치밀화 하거나 시멘트 경화체 공극에 유해 이온의 침투 및 확산을 차단할 수 있는 재료를 첨가하는 것으로 가능하다. 본 연구에서는 ML, IC 및 SS를 사용하여 시멘트 재료의 열화 저감 특성에 대한 연구하였다. 본 연구 결과, 개질 PVA와 칼슘 이온수로 개질한 라텍스 성분이 시멘트 경화체에 함유되어 경화 시멘트 내부를 치밀화하고 나노 실리카 성분의 함유로 Calcium Silicate Hydrates의 생성에 의한 경화체의 치밀화로 의해 외부로부터의 유해 이온의 침투 확산을 지연시키거나, 방지할 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 외부 유해 이온의 시멘트 경화체로의 침투 확산 mechanism은 Fig. 9와 같은 모식도로 설명할 수 있다.

그림과 같이 시멘트 경화체 중성화의 원인이 되는 CO<sub>2</sub> 또는 염분의 침투 및 확산으로 인해 시멘트 경화체는 열화된다. 그러나 시멘트 경화체 내부 공극에 불투수성 도막의 생성 및 미세 공극에의 불투수성 재료의 함침, Calcium Silicate Hydrates 생성에 의한 시멘트 경화체의 치밀화 또는 시멘트 경화체 공극량 또는 공극 분포의 저감으로 외부에서 침투하는 유해 이온들의 시멘트

경화체 내부로의 침투가 방해를 받으면 유해 이온들의 확산을 차단되거나 지연될 수밖에 없다.

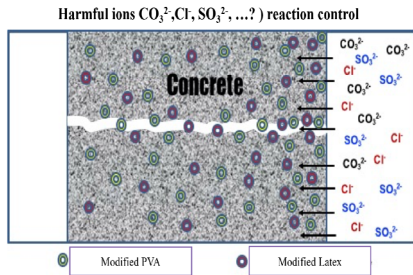


Fig. 9. A Diagram of diffusion of harmful ions to hardened cement materials

## 5. 결론

본 연구는 열화 콘크리트 내구성 향상을 위한 표면 보호용 시멘트 보수 모르타르의 물성에 미치는 IC, SS 그리고 ML의 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

IC와 SS, ML을 적용한 열화 콘크리트 보수용 시멘트 모르타르의 강도 특성 실험 결과, ML을 혼입한 것은 라텍스 성분의 함유로 초기 수화가 지연되고 수화가 방해를 받기 때문에 상대적으로 실리카를 혼입한 타입보다 압축강도가 낮게 나타났다.

부착 강도는 ML이 함유된 타입이 우수하며, IC와 SS 그리고 ML이 함유된 타입 역시 부착 강도가 우수한 것으로 나타났다. 이는 ML의 접착력 성분에 의해 부착력이 향상되었기 때문으로 판단된다.

ML과 IC 및 SS를 적용한 보수 모르타르는 염해 저항성 및 중성화 저항성이 우수하였으며, CO<sub>2</sub> 확산계수나 염분의 확산계수가 낮은 것으로 나타났는데 이는 ML과 IC 및 SS에 의한 시멘트 경화체 공극의 충전 효과로 판단된다.

유해 이온 저항성을 시험한 결과, 염해 이온의 침투 및 확산 저항성이 우수하고 중성화 저항성의 지표가 되는 CO<sub>2</sub> 침투 및 확산 저항성도 우수하여 열화 콘크리트 보수용 시멘트 모르타르에 적용함으로써 내구 성능 향상 효과가 매우 우수하였다.

## References

- [1] Chang Hyun Lee, Ho Bum Parka, Chi Hoon Park, So Young Leea, Ju Young Kim, James E. McGrath, Young Moo Lee, "Preparation of high-performance polymer electrolyte nano-composites through nano scale silica particle dispersion", *Journal of Power Sources*, No. 195, pp. 1325~1332, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.08.102>
- [2] Ji Kyung Kim, Sang Geun Lee, Jae Youl Kwon, Geum Seok Seo, Seong Soo Park, Hee Chan Park, "Synthesis of Silica Nanopowder via Change in Polymer Gel Concentration", *Journal of the Korean Ceramic Society* Vol.42, No.3, pp.205~210, 2005. DOI: <https://doi.org/10.4191/KCERS.2005.42.3.205>
- [3] Seung Min Kang, Ju Seong Kim, Chang Yeol Mun, Myong Shin Song, "Early hydration-retarding mechanism of polymer- modified cement" *Materials Research Innovation* v.19 no.8 , pp.S8-22 - S8-26 , 2016 DOI:<https://doi.org/10.1179/1432891715Z.0000000001610>
- [4] Hyeon jin Song, Seung Min Kang, Se Hoon Jeon, Jung Won Kim, Myong Shin Song, "Effects of Calcium Aluminate Compounds on Hydration of BFS" *Journal of the Korean Ceramic Society* v.52 no.6 , pp.483 - 488, 2015 DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2015.52.6.483>
- [5] Hyun Ju Kang, Myong Shin Song, Jong Hun Park, Su Jae Song, "Influence of Nano Silica Dispersant on Hydration Properties of Cementitious Materials", *Journal of the Korean Ceramic Society* v.48 no.6 , pp.510 - 515 , 2011 DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2011.48.6.510>
- [6] Hyun Ju Kang, Myong Shin Song, Jong Hun Park, Se Hoon Jeon, Sung Hyun Lee, "Waterproofing Mechanism of Hardened Cement Paste with Waterproofing Materials" *Journal of the Korean Ceramic Society* v.50 no.1 , pp.25 - 30 . 2013 DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2013.50.1.25>
- [7] Omar S. Baghabra Al-Amoudi and Taofiq O. Abiola, Mohammed Maslehuddin, "Effect of superplasticizer on plastic shrinkage of plain and silica fume cement concretes", *Construction and Building Materials*, Vol.20, NO.9, pp.642-647, November 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.024>
- [8] I.G. Richardson, "The calcium silicate hydrates", *Cement and Concrete Research*, Vol.38, NO.2, pp.137-158, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.11.005>
- [9] Seung Hun Na, Hyun Ju Kang, Young Jin Song, Myong Shin Song, "Effect of Superplasticizer on the Early Hydration Ordinary Portland Cement", *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol.47, NO.5, pp.387 - 393 , 2010 DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2011.48.6.504>

김 용 훈(Yong-Hoon Kim)

[정회원]



- 2012년 8월 : 서울시립대학교 과학기술대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 3월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학과 (박사과정)
- 2012년 1월 ~ 현재 : (주)브릿지하이텍/(주)한텍엔지니어링 대표이사

<관심분야>

토목 구조, 구조 진동

이 웅 겐(Woong-Geol Lee)

[정회원]



- 2006년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 삼척캠퍼스 기능소재공학과 (박사과정)

<관심분야>

건설 재료, 리사이클링 재료

정 철 수(Cheol-Soo Jeong)

[정회원]



- 2013년 2월 : 서울시립대학교 과학기술대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국시설안전공단 차장

<관심분야>

토목 구조, 구조 진동

송 명 신(Myong-Shin Song)

[정회원]



- 2001년 8월 : 명지대학교 무기재료 (공학박사)
- 200년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 삼척캠퍼스 재료융합공정연구소 연구교수

<관심분야>

건설 재료, 리사이클링 재료