Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 26, No. 2, April 2022, pp.1-8
https://doi.org/10.11112/jksmi.2022.26.2.1
pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

시멘트 복합체 내부 철근 부식에 양생 용액과 철근 사전 부식이 미치는 영향

두여준[1], 장인동[2], 이혜린[3*], 이종구[4]

Effect of Curing Solution and Pre-Rust Process on Rebar Corrosion in the Cement Composite

Rujun Du[1] , Indong Jang[2], Hyerin Lee[3*], Chongku Yi[4]

Abstract: The corrosion of reinforcement is the main reason for the performance degradation of concrete structures. The pre-rusted parts of rebar in concrete structures are vulnerable to the corrosion, especially if the structure is exposed to wet or chlorinated environments. In this study, effects of different curing solution on corrosion behavior of the pre-rusted rebars in the cement composites were investigated. HCl(3%) and $CaCl_2$(10%) solution were utilized to accelerate the pre-rust of the rebar, and each pre-rust condition rebar including reference (RE) were placed in mortar cylinder. Three kinds of samples then were cured in $CaCl_2$ (3%) solution and tap water respectively for 120 days. Electrochemical polarization and half-cell potential measurement were used to monitor the influence of curing water on the corrosion behavior of pre-rusted steel bar in cement composite. The surface morphology and composition of corroded steel bar were analyzed by scanning electron microscope and energy dispersive X-ray diffraction. The results show that the corrosion rates of pre-rusted samples in both curing water are higher than that of non-pre-rusted samples. The corrosion rates of RE, $CaCl_2$ and HCl pre-rusted samples in salt water were 8.14, 4.48, 13.81 times higher than those in tap water respectively, on the 120th day.

Keywords: Corrosion rate, Curing solution, Pre-rusted rebars, Electrochemical polarization

1. 서 론

모르타르 복합체 내부에는 다량의 고알칼리성 $Ca(OH)_2$ 공극 용액(pH13-14)이 존재한다(Bertolini, 2013). 이러한 고알칼리 환경에서는 철근 표면에 10^{-3} to 10^{-1}μm 두께의 부동태 피막이 형성되고, 이것이 이온의 이전과 확산을 저해하여 철근 부식을 막는다(Goyal et al., 2018; Ahmad, 2003; Tuutti, 1982). 그러나 염화 이온은 다른 이온에 비해 상대적으로 크기가 작고 활성이 높으며 투과 능력이 뛰어나 콘크리트가 탄산화되지 않았더라도 철근 표면까지 침투하여 철근 표면에 흡착, 철근 표면의 pH 값을 낮춰 국소 산성화를 초래한다. 산성화로 부동태 피막이 파괴된 철근 표면 부식 전지를 형성하고, 양극반응이 가속화되어 철근 부식이 발생한다(Bertolini et al., 2013). 이러한 과정에서 염화 이온은 촉매로 작용하여 소모되지 않으므로 염화이온에 의한 부식 발생 시 대처가 어렵다. 또한 철근 표면의 염소이온은 산성화된 경우와 유사하게 콘크리트의 부동태 막(Passive layer)을 파괴하여 전기화학적 저항을 낮추고, 이온이 콘크리트에 드나들기 쉬운 환경을 조성한다(Popov, 2015; Crentsil & Glasser, 1993).

철근 부식은 콘크리트 건물과 인프라의 수명을 떨어뜨려 매년 막대한 글로벌 경제적 손실을 초래한다(Jumaat et al., 2006; Tahri et al., 2021). 20세기 중후반부터 콘크리트의 저항, PH, 시멘트량, 피복 두께, 염화 이온 함량, 광물 혼화재, 철근의 화학성분, 표면 상태, 전기화학, 그리고 주변 환경의 온습도 등 콘크리트 내부의 철근 부식 속도에 영향을 미치는 요인이 활발히 연구되었다(Al-Amoudi, 1985; Ann & Song, 2007; Goto & Roy, 1981; Lopez et al., 1993). 이와 함께 철근 부식에 따른 철근콘크리트 구조 성능, 내구성, 부식억제제 개발 및 사용도 광범위하게 검토되고 있다(Liu & Weyers, 1998).

철근은 제조 후 운송, 운반, 저장 과정 중 대기와의 상호작용에 의한 녹슨 층을 형성할 수 있으며, 특히 해양 환경의 건축공정에서는 염화물이 포함된 녹이 형성되는 것으로 알려져 있다(Angst et al., 2017). 이때 철근 표면은 낮은 농도의 염화물 환경에 노출되고, 시멘트 복합체 타설 시 고알칼리 환경에 의해 철근 표면의 파괴된 부동태 피막을 복구할 수 있다(Ai et

[1]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
[2]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정
[3]정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 전임연구교수
[4]정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 교수
***Corresponding author:** hyerin@kookmin.ac.kr
School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University, Seoul, 02707, Korea
•본 논문에 대한 토의를 2022년 5월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 6월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright Ⓒ 2022 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

al., 2016). 그러나 사전 부식(pre-rust)된 철근을 시멘트 복합체 타설 한 후 부식이 발생되기 쉬운 환경에 노출시켰을 때의 철근 부식 거동에 관한 연구는 상대적으로 적다. 본 연구에서는 사전 부식에 관한 선행연구를 기반으로(Burtuujin et al., 2020), 수돗물과 염화칼슘 용액에 침지된 사전 부식 철근 모르타르의 부식 거동에 대한 연구를 실시하였다.

2. 실 험

2.1 실험 재료 및 배합

본 실험에서는 Table 1과 같이 성분의 국내산 SD400 D10 이형 철근을 사용하였다. 시편 제작에는 Table 2와 같이 ASTM C150 Type 1 일반 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이때 시멘트의 비중은 3.15g/cm^3, 비표면적은 3610cm^2/g, 강열 감량은 0.65이었다. 배합에 사용된 모래는 ISO 표준 모래를, 배합수는 수돗물을 사용하였다. 모르타르의 배합비는 물-시멘트비 0.485, 시멘트-모래비는 2.5이었다. 사전 부식을 위한 용액은 10% $CaCl_2$, 3% HCl 두 가지 용액을 사용하였다.

2.2 시편 설계

Table 3과 같이 사전 부식 용액과 침지 용액 종류를 실험 변수로 선정하였다. 샘플은 사전부식 조건과 양생 조건에 따라 총 6개 그룹으로 나뉘며 한 그룹 당 시편은 8개 제작하였다. 모르타르에 타설되는 전체 철근의 길이는 Fig. 1과 같이 철근 92mm이며, 철근 중앙 68mm 부분의 부식만을 고려하기 위해 상부 70mm, 하부 22mm 부분에 에폭시로 코팅을 실시하였다. 코팅을 48시간 이상 경화한 후, 철근 중앙부를 세척하여 표면의 오염물질을 제거하였다.

사전 부식 철근을 제작하기 위해 Table 3의 실험 조건에 따라 염화 칼슘용액($CaCl_2$ 10%), 염산용액(HCl 3%)을 각각 해당 철근의 중앙부에 도포하고 자연건조하였다. 총 3회에 걸쳐 24시간 간격으로 부식 용액을 도포한 후, 모르타르 중심부에 수직으로 타설하였다. 본 실험에는 Fig. 2와 같이 내경이 50mm, 높이 145mm, 아크릴 몰드를 활용하였고, 모르타르는 ASTM 109 표준에 의하여 배합하였으며, 1일간 기건 양생 후 탈형하여 수돗물에서 23± 3℃ 환경에서 28일간 양생하였다. 마지막으로 시편을 각각 수돗물, 염수에 보관하며, 120일간 실험 진행하였다.

Table 1 Test result of steel bar chemical composition

Test Item	Unit	Result	Test Method
C	%	0.27	KS D 1801:2003
Si	%	0.13	KS D 1801:2003(ICP)
Mn	%	0.49	KS D 1801:2003(ICP)
P	%	0.014	KS D 1801:2003(ICP)
S	%	0.013	KS D 1801:2003
Cu	%	0.33	KS D 1801:2003(ICP)
N	%	0.01	KS D 1801:2003
Ceq	%	0.40	KS D 3504:2019

Table 2 Chemical composition of cement

Component	Content [wt.%]	Component	Content [wt.%]
CaO	70.5	K_2O	0.532
Fe_2O_3	3.31	TiO_2	0.324
SiO_2	18.2	Na_2O	0.027
Al_2O_3	4.87	P_2O_5	0.198
MgO	1.32	CuO	0.032

Table 3 Experimental design

Rebar Diameter	Exposed Specimen Area	Storage Conditions	Pre-rust Solutions	Groups
10mm	20.35cm^2	Tap water	RE	A
			$CaCl_2$(10%)	B
			HCl (3%)	C
		Salt water	RE	D
			$CaCl_2$(10%)	E
			HCl (3%)	F

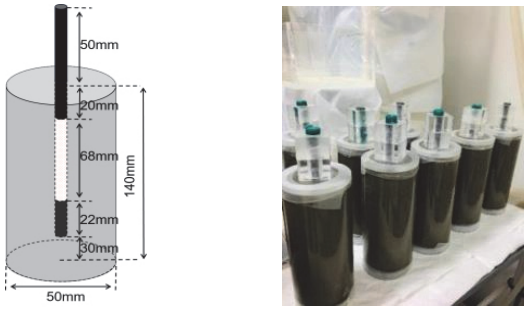


Fig. 1 Mortar specimen

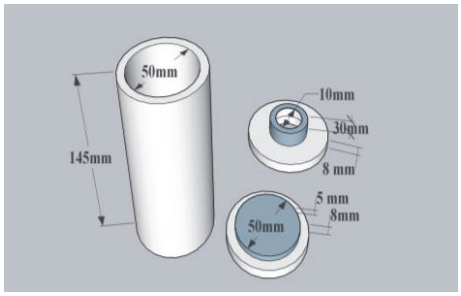


Fig. 2 Acrylic mold size

2.3 자연 전위 몇 분극 저항 측정

2.3.1 자연 전위 측정

시편의 자연 전위와 분극 저항을 측정하기 위해 시편 노출된 철근에 전선을 연결했다. ASTM C 876에 따라 23± 3℃ 환경에서 Cu /$CuSO_4$ reference 전극의 상단은 젖은 스펀지를 통해 콘크리트 표면에 접촉되어 있다. 이때 전압계의 음극은 reference 전극과 연결되어 있으며, 양극은 시편 노출된 철근에 직접 연결되었다. 실험체의 중간 위치 4면(0°, 90°, 180°, 270°) 평균값으로 반전지 전위(Half-cell potential)를 구하였다.

2.3.2 분극 저항 측정

분극 저항의 측정은 Gamry 사의 Interface 1010e Potentiostat을 활용하였다. Ag /AgCl을 reference electrode로 GR 6/70mm 흑연봉을 counter electrode로 사용하였다. 또 시편 내부 철근을 working electrode으로 설정하여 Fig. 4와 같이 삼전극계를 구축하였다. 이때 open circuit potential의 ±100mV 를 스캔 범위로 설정하였으며, 0.5mV/s 의 속도로 potnetial을 측정하였다. 분극 저항 측정 결과 Tafel curve를 얻을 수 있었으며, 내장된 프로그램을 활용하여 i_{corr} 를 도출하였다.

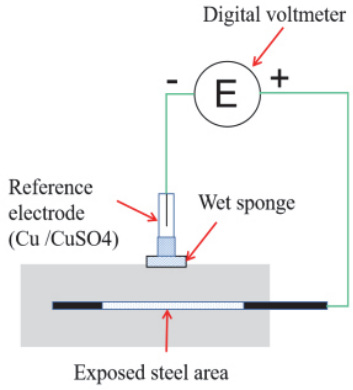


Fig. 3 Half-cell potential

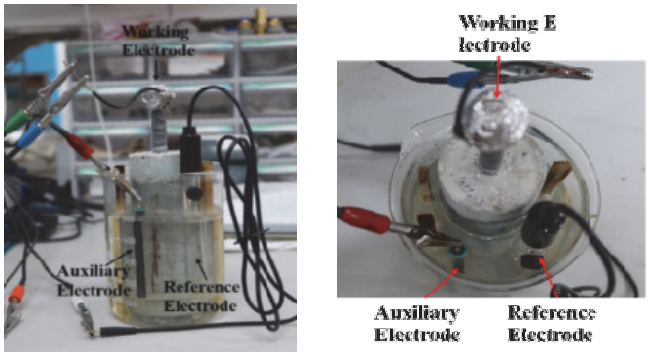


Fig. 4 3 electrode system

2.4 주사 전자 현미경 스캔 몇 X선 회절 분석

2.4.1 주사 전자 현미경 및 에너지 엑스선 분광(SEM-EDX)

사전 부식된 철근의 표면 상태를 관찰하기 위해 50mm 길이의 사전 부식된 철근을 에폭시(Buehler EpoThin2)로 진공 고정하였다. 고정 후 시편을 Slow saw(Buehler Iso Met)를 활용하여 5mm 두께로 절단하였다. 절단된 시편은 Buehler사 vector Ic 250 연마기를 활용해 표면을 연마하였다.

주사 전자 현미경(HITACHI S-480)을 활용, 15kV 가속 전압에서 철근 부식층의 표면 형태에 대한 각각 25배, 700배서 이미지를 추출한 뒤 에너지 분산형 X-선 분광법(EDX)을 통해 철근 부식층의 화학 성분을 분석하였다.

2.4.2 X선 회절 분석(XRD)

부식 생성물을 분석하기 위해 강철 브러시를 활용하여 녹슨 철근 표면을 긁어내었다. 분말기(PULVERISETTE 9 Vibrating Cup Mill by FRITSCH, Germany)로 분말을 30μm까지 분쇄. 분쇄 시편은 전압40kV, 전류200mA, 스캔 범위5° ~ 80°, 스캔 속도 2°/min 조건에서 X선 회절분석기(X-Ray Diffractometer system(D/MAX-2500V))로 회절 분석을 진행하였다.

3. 실험 결과

3.1 분극 저항 측정 결과

Fig. 5와 같이 부식 금속의 분극저항(Rp)은 부식 전위(E_{corr})에서 전위(E)와 전류 밀도(log i)의 기울기로 정의된다.

Fig. 6는 분극 저항 측정 결과를 나타낸 것이다. Day 1에 같은 사전부식 조건에서 서로 다른 용액 환경의 두 샘플의 부식 전위와 부식 전류 밀도는 모두 비슷하다. 수돗물 환경의 샘플은 120일 동안 부식 전위가 약간 저하하고 부식 전류 밀도가 소폭 증가한 반면, 염수 환경의 샘플은 120일 동안 부식 전위가 모두 대폭 낮아지고 부식 전류 밀도가 현저히 상승하였다.

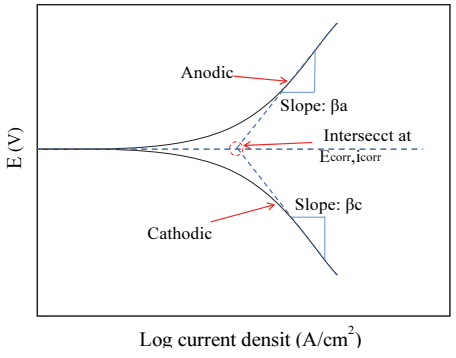
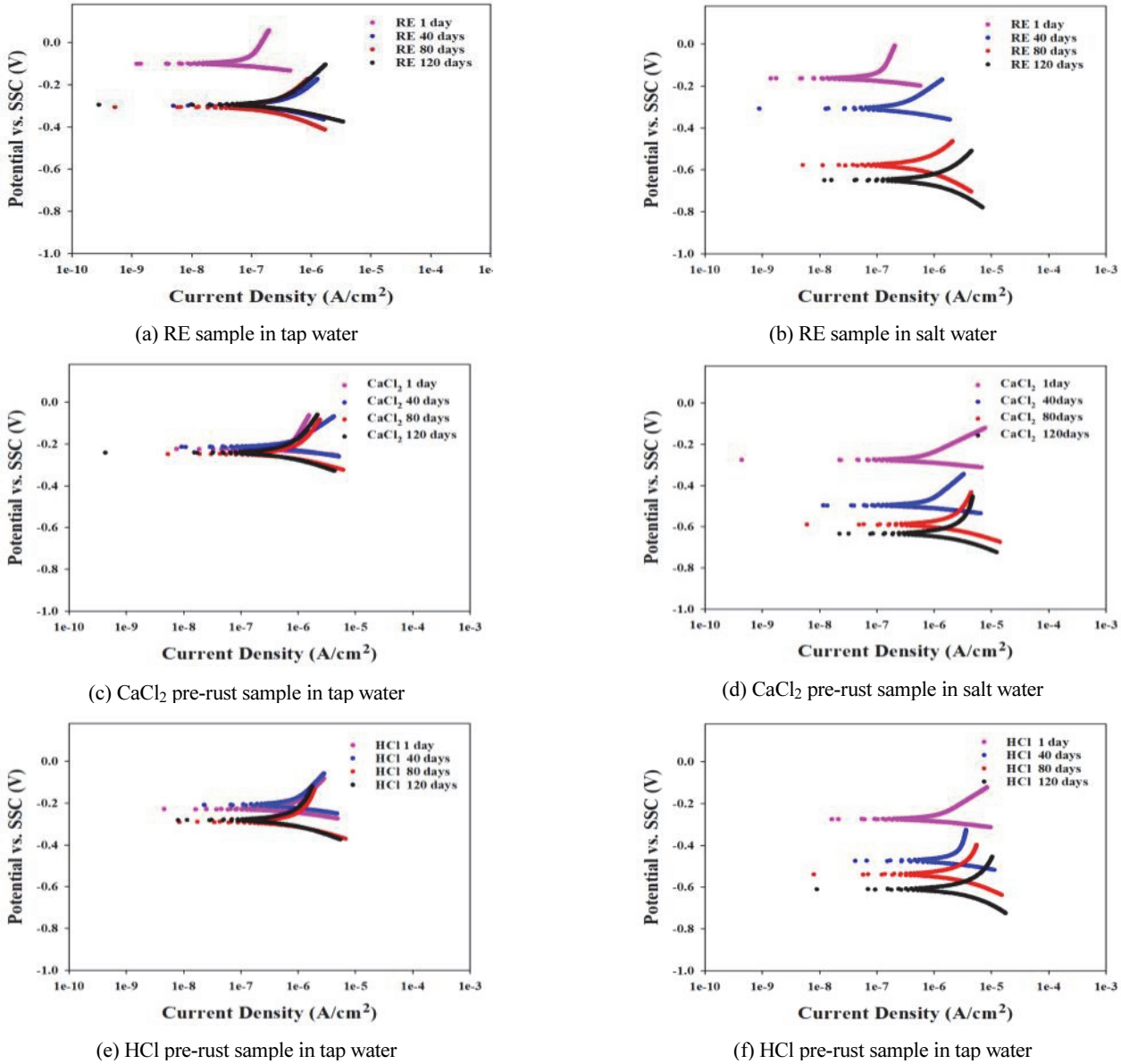


Fig. 5 Classic tafel analysis

염화 수용액 환경은 샘플 내 철근의 부식에 촉진 작용을 하는 것으로 나타났다. 이는 염화 수용액 환경이 시편에 다량의 Cl- 이온을 제공하고, pH값을 낮추기 때문이다. 이때 사전 부식 샘플은 염화 수용액 환경에서는 부식 속도에 더 큰 영향을 미치고, 수돗물 환경에서는 적은 영향을 미쳤다. 이는 사전 부식이 주로 철근 표면의 부동태 피막 파괴에 영향을 미친 것으로 사료된다.

3.2 부식 전류 밀도 측정 결과

Fig. 7은 Fig. 6의 실험 결과를 바탕으로 그룹별 8개 샘플의 부식전류밀도(i_{corr})를 산술 평균한 값이다. Fig. 7과 같이 수돗물 환경에서 3종 시편의 부식 전류 밀도는 비교적 낮은 범위 내에서만 변동하였으나, 염화물 용액 환경에서는 3종 시편은 모두 시간에 따라 부식 전류 밀도가 크게 상승하였다. 즉, 수돗물 환경의 세 그룹은 부식 속도가 느리고 철근 부식의 초기 단계에 위치한 것으로 판단할 수 있다(Ahmad, 2003). 이는 수돗물 환경의 시편 철근 표면의 pH가 높게 유지되면서 철근을 효과적으로 보호했기 때문이다. 반면 염수 환경의 시편 부식 속도는 시간에 따라 크게 증가하였으며, 특히 양생 40일 이후부터 부식 속도 증가가 두드러졌다. 이는 Cl^-이온의 삼투속도와 관련이 있는 것으로 사료되며(Schuten et al., 1999), 동일한 양생 환경에서 부식속도가 HCl >$CaCl_2$>RE로 나타난 이전 연구의 실험결과와 일치한다(Burtujinetal., 2020). 이는 HCl이 부식성이 더 강하며 pH가 낮아 철근 표면의 부동태 피막 파



(a) RE sample in tap water

(b) RE sample in salt water

(c) $CaCl_2$ pre-rust sample in tap water

(d) $CaCl_2$ pre-rust sample in salt water

(e) HCl pre-rust sample in tap water

(f) HCl pre-rust sample in tap water

Fig. 6 Polarization curve

괴에 미치는 영향이 더 크기 때문이다.

ASTM G102-89의 식5에 따라서 그룹별 120일 최종 부식속도를 계산하였다. 수돗물에서 양생한 A,B,C그룹의 120일 최종 부식 속도는 각각 0.0025mm/year, 0.009mm/year, 0.009mm/year으로 나타났으며, 염수 용액에 양생한 D, E, F그룹의 120일 최종 부식 속도는 각각 0.0205mm/ year, 0.0405mm/year, 0.1238 mm/year 로 나타났다.

3.3 자연 전위 측정 결과

Fig. 8은 자연전위 측정 결과를 나타낸 것이다. 이때 같은 용액 환경 속 시편의 자연 부식 전위 추세는 비교적 동일하게 나타났다. 사전 부식된 시편은 부동태 피막의 파괴로 초기 자연 부식 전위가 RE 시편보다 낮았다. 이는 사전 부식 시편의 철근이 부식에 대해 활성화된 상태라는 것을 의미한다.

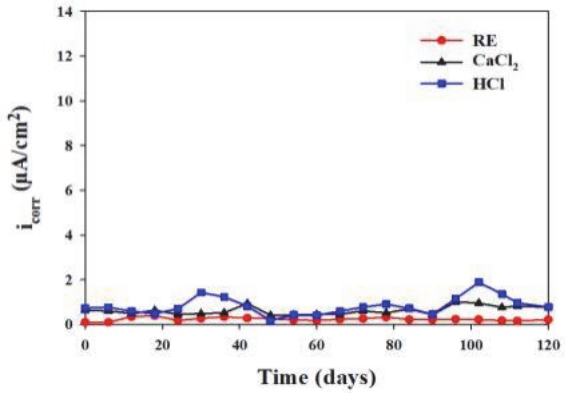
$CaCl_2$ 용액에 침지한 시편의 자연 전위는 120일간 지속적으로 감소하였다. Table 4와 같이 자연 전위가 -0.35V이하일 때 철근이 부식 상태인 것으로 판단하는데, 수돗물에 침지한 시편은 자연 부식 전위가 소량 감소한 후 나머지 양생일 동안 안정화된 반면, $CaCl_2$ 용액에 침지된 시편은 양생일 동안 자연 전위가 지속적으로 감소하였다. 이때 수돗물에 침지한 경우 자연전위가 -0.35V 이상으로 부식 가능성이 낮으며, $CaCl_2$ 용액의 샘플은 -0.35 V 이하로 부식 가능성이 높다. 이는 염소이온이 침투해 철근 표면의 pH를 낮췄고, 염소이온의 부식이 가속화되면서 부동태 피막이 빠르게 파괴되어 부식전지가 형성되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 수돗물 환경에 있는 시편은 철근 표면의 높은 pH에 의해 사전 부식으로 인한 철근 부동태 피막 훼손을 회복했다고 볼 수 있다.

3.4 SEM-EDX 측정 결과

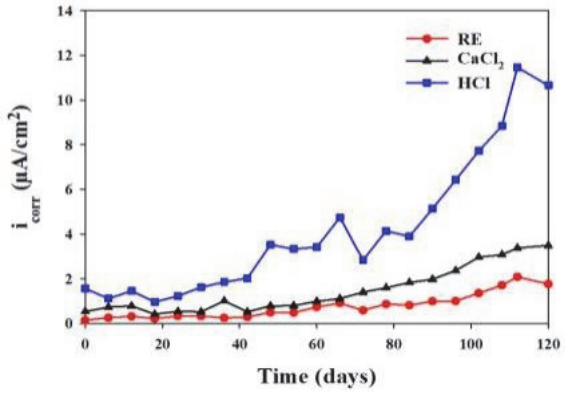
Fig. 9은 세 종류의 사전부식 철근에 대해 SEM 분석 결과를 나타낸 것이다. 사전 부식되지 않은 RE철근의 밀스케일

Table 4 Significance of the half-cell potentials(ASTM C876-91)

Half-cell potential (Cu/ $CuSO_4$)	Corrosion activity
more positive than -0.2V	greater than 90% probability of no corrosion
in range of -0.2V to -0.35V	an increasing probability of corrosion
more negative than -0.35V	greater than 90% probability of corrosion

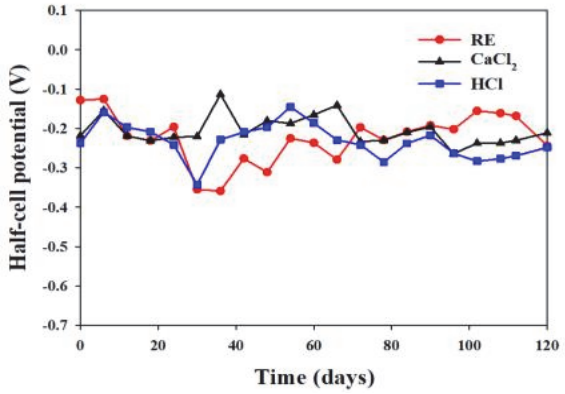


(a) Tap water

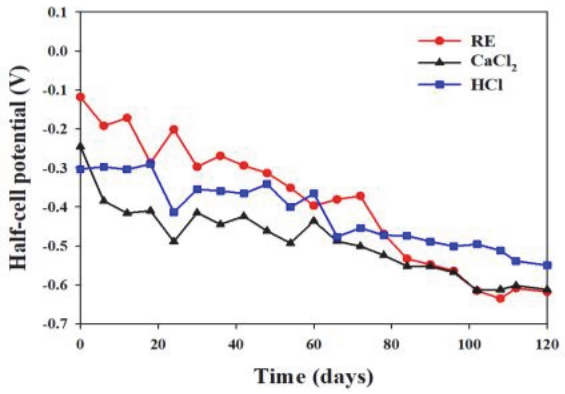


(b) Salt water

Fig. 7 Corrosion current vs Time



(a) Tap water



(b) Salt water

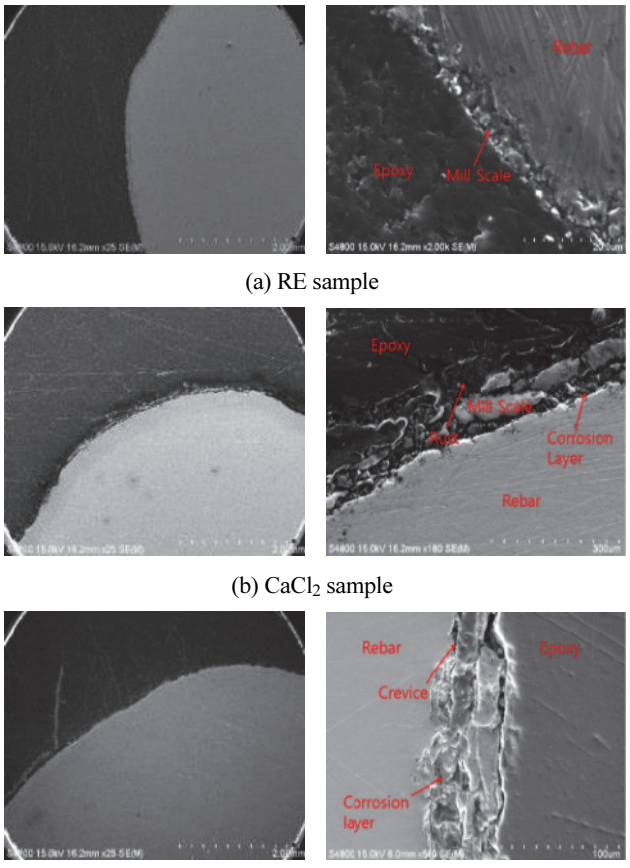
Fig. 8 Half-cell potential vs Time

(Mill-scale)은 연속적이고 온전한 반면, 사전 부식된 두 그룹은 모두 밀스케일이 심하게 파손돼 철근 가장자리에 불규칙한 구덩이가 생겼고 철근 바깥쪽에는 두꺼운 부식층이 관찰되었다. 이때 철근 표면의 밀스케일은 철근 보호 기능을 상실한 것으로 판단된다(Ming & Shi, 2019; Ming & Sun, 2020; Zhao et al., 2012).

Table 5는 EDX를 통해 철근 부식 생산물에 대한 분석을 나타낸 것이다. 주로 Fe 와 C 원소로 구성된 철근 표면에서 RE 시편에서 산소가 포함된 산화물이 없는 것을 확인할 수 있다. 그러나 사전부식을 실시한 $CaCl_2$ 및 HCl 시편 에서 다량의 산소 원소가 검출되었다. 이것은 철근 표면에 대량의 Fe의 산화산물이 존재함을 나타낸다(Hua et al., 2020). 또한 $CaCl_2$ 시편에서는 HCl 시편과 달리 철근 표면에서 Cl, Ca 원소가 소량 검출되었는데, 이러한 원소는 주로 사전부식 과정에서 사용된 용액에서 검출된 것이다(Bazan et al., 2018; Li et al., 2021; Zhao et al., 2012).

Table 5 Result of EDX analysis

Group	C	O	Cl	Ca	Fe
RE	11.19	-	-	-	88.81
$CaCl_2$	18.91	35.13	0.68	1.36	43.93
HCl	17.19	22.81	-	-	60



(a) RE sample

(b) $CaCl_2$ sample

(c) HCl sample

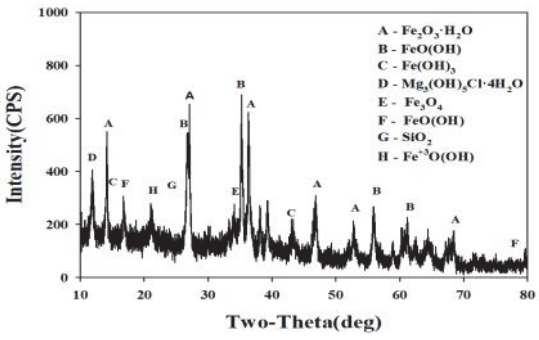
Fig. 9 SEM analysis of steel bar

3.5 X선 회절 분석법(XRD) 결과

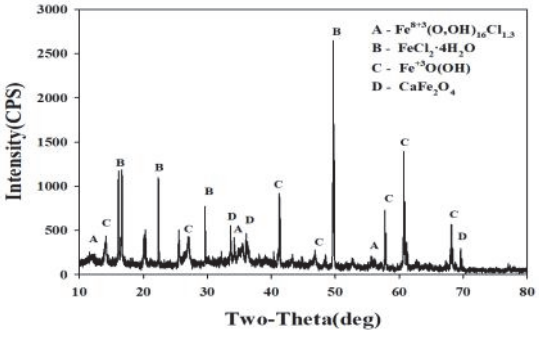
Fig. 10은 각각 왼쪽부터 RE, $CaCl_2$, HCl 사전 부식 샘플이다. HCl 사전 부식 샘플은 부식이 더 심하고, 부식 산물이 철근의 모든 면적에 고르게 분포하였다. $CaCl_2$사전 부식 철근은 부식 산물이 표면이 더 촉촉하고 색이 더 짙다.

Fig. 11에 X선 회절 분석법 를 통해 두 종류의 사전부식 용액의 부식 산물을 분석한 결과가 나타나있다. $CaCl_2$ 용액을 사용하여 사전부식한 철근의 부식 산물은 주로 $Fe_2O_3 \cdot H_2O$, FeO(OH), $Fe(OH)_3$, Fe_3O_4, FeO(OH), $Fe^{+3}O(OH)$로 천연 해양

Fig. 10 Pre-rusted rebar



(a) $CaCl_2$ sample



(b) HCl sample

Fig. 11 XRD analysis

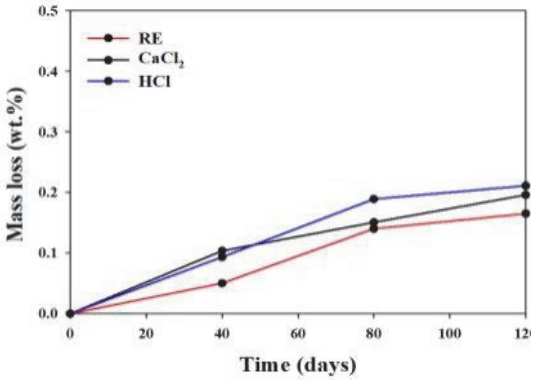
환경에서의 부식 산물과 유사하다(Vera et al., 2009). 두 부식 방법의 공통점은 부식 생성물이 대부분 Fe^{+3} 이온으로 구성되어 있다는 것이며, 일반적으로 부피가 더 크고 구조에 더 유해한 것으로 알려져 있다(De La Fuente et al., 2016).

3.6 부식량 분석

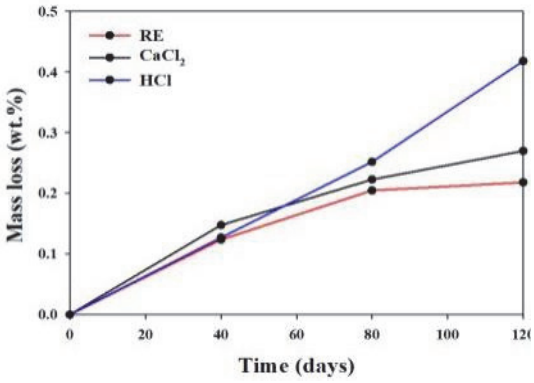
Fig. 12은 120일 양생한 시편을 쪼개어 촬영한 사진이다. 수돗물에 침지한 사전 부식 샘플의 철근 표면에는 부식물이 잔류한 것을 관찰할 수 있으며, 염화 용액에 침지한 사전 부식 샘플의 철근 표면에는 소량의 녹이 관찰되었다.

(a) Samples in tap water (b) Samples in salt water

Fig. 12 Samples curing for 120 days



(a) Tap water



(b) Salt water

Fig. 13 Mass loss Vs Time

Fig. 13에 각각 40, 80, 120일째 시편의 부식량을 측정한 결과가 나타나있다. 철근의 부식량은 부식 전후의 중량비를 측정하는 방식으로 산정하였으며, 부식물 제거는 ASTM G 1-03의 과정을 따랐다. 사전 부식 철근 중 수돗물 침지한 시편의 부식 정도가 $CaCl_2$ 용액에 있는 시편보다 적었다. 이 중 두 가지 양생 환경에서 철근의 부식 정도는 모두 HCl>$CaCl_2$>RE를 나타내었다. 사전부식은 시편의 부식을 촉진하는 작용을 한다. 양생 수용액 환경이 샘플의 부식 정도에 미치는 영향은 시간이 경과함에 따라 증가하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 복합체 내부 철근 부식에 양생 용액과 철근 사전 부식이 미치는 영향을 알아보기 위한 연구를 진행하였으며, 결론은 다음과 같다.

1) $CaCl_2$ 용액에서 양생된 RE, $CaCl_2$, HCl 사전 부식 시편의 최종(120일) 부식 속도는 수돗물에 양생한 경우보다 각각 8.14, 4.48 13.81배 높았다.
2) 수돗물이 사전부식 철근의 부식에 미치는 영향은 미미하며, 사전부식 시편의 평균 자연 부식 전위는 점차 안정화되어 120일에 RE시편 자연 부식 전위와 일치하고, 120일 최종 부식 속도가 0.009mm/year 불과하였다.
3) $CaCl_2$ 용액 침지는 사전부식은 철근의 부식 속도를 가속화며, 이 중 HCl 용액을 사용하여 사전 부식한 시편의 부식 가속 효과가 가장 뚜렷하였다. HCl, $CaCl_2$ 사전 부식 시편의 120일 최종 부식 속도가 RE시편보다 각각 6.02, 1.97배로 높았다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 이공학 개인기초연구지원사업의 지원(NRF-2018R1D1A1B07043353)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Ahmad, S. (2003). Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction--a review. Cement and concrete composites, 25(4-5), 459-471.
2. Ai, Z., Sun, W., Jiang, J., Song, D., Ma, H., Zhang, J., & Wang, D. (2016). Passivation characteristics of alloy corrosion-resistant steel Cr10Mo1 in simulating concrete pore solutions: combination effects of pH and chloride. Materials, 9(9), 749.
3. Al-Amoudi, O. S. B. (1985). Studies on the evaluation of permeability and corrosion resisting characteristics of Portland

pozzolan concrete. King Fahd University of Petroleum and Minerals (Saudi Arabia).
4. Angst, U. M., Geiker, M. R., Michel, A., Gehlen, C., Wong, H., Isgor, O. B., Hornbostel, K. (2017). The steel-concrete interface. Materials and Structures, 50(2), 1-24.
5. Ann, K. Y., & Song, H.-W. (2007). Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete. Corrosion science, 49(11), 4113-4133.
6. Bazan, A., Galvez, J., Reyes, E., & Gale-Lamuela, D. (2018). Study of the rust penetration and circumferential stresses in reinforced concrete at early stages of an accelerated corrosion test by means of combined SEM, EDS and strain gauges. Construction and Building Materials, 184, 655-667.
7. Bertolini, L., Elsener, B., Pedeferri, P., Redaelli, E., & Polder, R. B. (2013). Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair: John Wiley & Sons.
8. Burtuujin, G., Son, D., Jang, I., Yi, C., & Lee, H. (2020). Corrosion Behavior of Pre-Rusted Rebars in Cement Mortar Exposed to Harsh Environments. Applied Sciences, 10(23), 8705.
9. De La Fuente, D., D?az, I., Alc?ntara, J., Chico, B., Simancas, J., Llorente, I., Morcillo, M. (2016). Corrosion mechanisms of mild steel in chloride-rich atmospheres. Materials and Corrosion, 67(3), 227-238. doi:10.1002/maco.201508488
10. Goto, S., & Roy, D. M. (1981). The effect of w/c ratio and curing temperature on the permeability of hardened cement paste. Cement and Concrete Research, 11(4), 575-579.
11. Goyal, A., Pouya, H. S., Ganjian, E., & Claisse, P. (2018). A review of corrosion and protection of steel in concrete. Arabian Journal for Science and Engineering, 43(10), 5035-5055.
12. Hua, Y., Mohammed, S., Barker, R., & Neville, A. (2020). Comparisons of corrosion behaviour for X65 and low Cr steels in high pressure CO2-saturated brine. Journal of Materials Science & Technology, 41, 21-32.
13. Jumaat, M. Z., Kabir, M., & Obaydullah, M. (2006). A review of the repair of reinforced concrete beams. Journal of Applied Science Research, 2(6), 317-326.
14. Li, X., Wang, H., Wang, J., & Liu, J. (2021). Experimental Analysis of Reinforcement Rust in Cement under Corrosive Environment. Coatings, 11(2), 241.
15. Liu, T., & Weyers, R. (1998). Modeling the dynamic corrosion process in chloride contaminated concrete structures. Cement and Concrete Research, 28(3), 365-379.
16. Lopez, W., Gonzalez, J., & Andrade, C. (1993). Influence of temperature on the service life of rebars. Cement and Concrete Research, 23(5), 1130-1140.
17. Ming, J., & Shi, J. (2019). Distribution of corrosion products at the steel-concrete interface: Influence of mill scale properties, reinforcing steel type and corrosion inducing method. Construction and Building Materials, 229, 116854.
18. Ming, J., Shi, J., & Sun, W. (2020). Effects of mill scale and steel type on passivation and accelerated corrosion behavior of reinforcing steels in concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 32(4), 04020029.
19. Popov, B. N. (2015). Corrosion engineering: principles and solved problems: Elsevier.
20. Sagoe-Crentsil, K., & Glasser, F. P. (1993). "Green rust", iron solubility and the role of chloride in the corrosion of steel at high pH. Cement and Concrete Research, 23(4), 785-791.
21. Tahri, W., Hu, X., Shi, C., & Zhang, Z. (2021). Review on corrosion of steel reinforcement in alkali-activated concretes in chloride-containing environments. Construction and Building Materials, 293, 123484.
22. Tuutti, K. (1982). Corrosion of steel in concrete. Lund University,
23. Vera, R., Villarroel, M., Carvajal, A., Vera, E., & Ortiz, C. (2009). Critical thickness of rust layer at inner and out surface cracking of concrete cover in reinforced concrete structures. Materials Chemistry and Physics, 114(1), 467-474.
24. Zhao, Y., Yu, J., Wu, Y., & Jin, W. (2012). Critical thickness of rust layer at inner and out surface cracking of concrete cover in reinforced concrete structures. Corrosion science, 59, 316-323.

Received : 10/20/2021
Revised : 12/01/2021
Accepted : 02/24/2022

요 지 : 철근 콘크리트 구조물 수명 저하의 주요한 원인은 콘크리트 내부 철근의 부식이다. 이때 사전 부식된 구조물 내부 철근은 다른 철근에 비해 더 쉽게 부식되며, 특히 구조물이 습기 또는 염화 환경에 노출된 경우 부식의 진행속도가 매우 빠른 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 시멘트 복합재 내부의 사전 부식 철근에 대한 서로 다른 양생 용액이 부식에 미치는 영향을 탐구하였다. 철근의 사전 부식을 촉진하기 위해 HCl(3%)용액과 CaCl2(10%)용액을 활용하였으며, 대조군(RE)을 포함한 3종의 사전 부식 철근 모르타르 실린더를 타설하였다. 철근 모르타르 실린더는 CaCl2(3%) 용액과 수돗물에서 각각 120일 동안 양생하며 실험을 진행하였다. 사전 부식 철근의 모르타르 내부 부식 거동에 대한 양생 용액의 영향을 평가하기 위해 전기화학적 분극저항(Electrochemical Polarization)과 반전지 전위 측정법(Half-cell potential)을 활용하였으며, 전자주사현미경(SEM)과 X선 회절 분석(X-ray Diffraction Analysis)을 통해 부식된 철근의 표면 상태와 성분을 분석하였다. 실험 결과 두 종류의 양생 용액에서 사전 부식된 철근의 부식률은 사전 부식되지 않은 시료의 부식률보다 높은 것으로 나타났으며, CaCl2 용액 양생 120일의 RE, CaCl2, HCl 사전 부식 시편의 최종 부식 속도가 수돗물에 양생한 경우보다 각각 8.14, 4.48, 13.81배로 높았다.

핵심용어 : 철근 부식 속도, 양생환경, 사전부식철근, 분극 저항