

## 염소-수산화이온 비율을 고려한 촉진 부식환경에서 텐던의 부식전류 변화

방자호<sup>1</sup>, 이현우<sup>1</sup>, 권성준<sup>2\*</sup>

# Changes in Corrosion Density of Tendon Under Accelerated Corrosive Condition Considering Chloride-hydroxide Concentration

Ja-Ho Bang<sup>1</sup>, Hyeon-Woo Lee<sup>1</sup>, Seung-Jun Kwon<sup>2\*</sup>

**Abstract:** In this study, the corrosion density of tendon was evaluated with changing chloride and hydroxide ions. To simulate an accelerated corrosive environment, wet sand was used instead of concrete, and the tests were conducted considering three levels of chloride concentration (0.0, 0.125, and 0.250mol/l) and three  $[Cl^-]/[OH^-]$  ratios (0.3, 0.6, and 0.9). The corrosion density was measured to 5.13  $\mu A/cm^2$  at 0.0mol/l and increased with the chloride concentration. Additionally, no significant differences were observed over 0.125mol/l of chloride concentration. When  $[OH^-]$  increased with a given chloride concentration (0.125mol/l), the corrosion density decreased linearly, showing effective control of corrosion density even at high chloride concentrations. Notably, the measured corrosion amounts were lower than those under of 0.0mol/l condition. Furthermore corrosion density and influencing parameters were normalized with the maximum and minimum results, and the relation between them was analyzed.

**Keywords:** Corrosion influencing factor, Tendon, Corrosion density,  $[Cl^-]/[OH^-]$  ratio, Corrosion weight, Wire strand

## 1. 서론

콘크리트 구조물(RC: Reinforced Concrete)은 공극을 가지고 있으며, 외부로부터 수분 및 염화물 이온의 침투로 인해 부식이 발생한다(Broomfield, 1997; Thomas and Bamforth, 1999). 많은 연구에서 임계 부식농도 및 허용염화물에 대한 제안이 있었으며, 이러한 연구는 매우 보수적으로 각국의 시방서 및 구조설계기준에서 제안되고 있다(EN206, 2013; JSCE, 2002; China, 2007).

1970년대 이후 PS 콘크리트 구조물이 준공되면서 소선을 꼬아서 연결시킨 텐던(Tendon)이 많이 사용되었으며, 이러한 구조물에서는 큰 응력이 이미 도입되어 있으므로 부식에 대해 더욱 취약하다. 이미 큰 응력이 도입된 상태에서는 소선의 저항이 감소하므로 같은 부식환경에서 응력에 따라 부식진행은 빠르게 나타나고 있다(Saraswathy et al., 2018; Lee et al., 2017; Podolny., 1992). 또한 일반 RC 구조물의 단일 철근에서 주로 발생하는 Micro-cell에 기반한 공식(Pitting)보다 Macro

cell 또는 Crevice cell에서도 부식이 발생하게 된다(Lee et al., 2017; Permech et al., 2016; Lee et al., 2022).

콘크리트는 시멘트를 기반으로 제조되므로 내부 부식에 미치는 영향인자가 매우 다양하다. 콘크리트 관점에서는 낮은 물-시멘트비나 높은 피복두께를 이용하여 고내구성 구조물을 시공할 수 있다. 즉 투수성 및 확산성의 감소를 통하여 염화물 이온 확산을 지연시키며, 이로 인해 철근위치까지 도달하는 시간을 연장하여 내구수명을 증가시키게 된다(Kwon et al., 2009; Thomas and Bentz, 2002).

밀실한 구조체로 인한 공극률의 감소는 수분 및 염화물의 이동을 제어하는 데 효과적이다. 또한  $C_3A$  양의 증가로 인한 염화물 이온의 흡착의 증가(Oh et al., 1999; Rasheeduzzafar, 1992), 시멘트 및 혼화재료 (고로슬래그 미분말 또는 플라이 애시)에 따라 생성되는 수화물에 흡착되는 고정 염화물량 증가 및 확산성의 감소가 주된 염화물의 저항기구가 된다(Yuan et al., 2009; Arya et al., 1990). 이러한 자유 및 고정염화물량과의 관계는 Isotherm 관계로 정의되어 많은 연구가 진행되어 왔다(Arya et al., 1990; Sandberg, 1999; Luping and Nilsson, 1993). 또한 시멘트내의 많은 1가 양이온과 평형을 이루는 수산화 이온 $[OH^-]$  양은 pH와 직접적인 관계가 있으며, 염화물 이온과의 상대비, 즉  $[Cl^-]/[OH^-]$ 에 따른 부식거동에 대한 연구가 진행되었다. 특히 0.3~0.6 몰 비율을 가진 수용액상에서의 철근 부식 특성은 많은 연구자들에 의해 연구되었다(Oh et al., 1999;

<sup>1</sup>정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 석사과정

<sup>2</sup>중신회원, 한남대학교 건설시스템공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: jjuni98@hannam.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2024년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2024년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Thangavel and Rengaswamy, 1998; Gouda, 1970; DA, 1967).

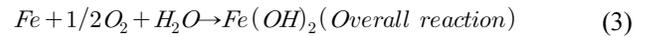
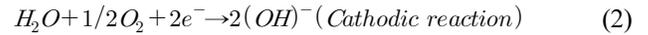
실제로 콘크리트내의 철근부식 현상은 시멘트와 연계된 화학조성 및 수화반응, 콘크리트 제조시에 사용되는 혼화재료와 관련된 포졸란 반응, 피복두께 증감에 따른 물질 이동량의 변화, 외부의 환경에 따른 수분 구배, 표면 염화물 이온의 확산 및 침투 등의 메커니즘이 매우 복잡하게 연계되어 있다.

본 연구에서는 촉진시험을 통하여 부식영향인자(염화물 이온 및 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>])에 따른 텐던의 부식경향을 평가하도록 한다. 이를 위해 중요한 영향인자인 염화물 농도와 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]의 비를 고려하여 텐던의 소선위치별 부식전류를 측정하였다. 촉진부식 환경을 조성하기 위해 콘크리트 대신 모래를 사용하였으며, 측정주기마다 염수 주입을 통해 습윤 모래상태 조성하였다. 또한 고정된 높이에 텐던을 배치하고 각 소선을 Ag/AgCl 전극을 사용한 분극 저항 장비와 연결하여 부식전류를 측정하였다. 부식 촉진을 위하여 3수준의 염화물 농도와 3수준의 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]비를 고려하였으며, 텐던의 부식전류를 정량적으로 평가하였다.

## 2. 콘크리트 내부 보강재의 부식기구

염해는 철근 콘크리트의 부식을 유발하고 내구성을 저해하는 주요 문제 중 하나로 인식되고 있다. 일반적인 콘크리트 내부는 pH 12.5~13에 이르는 강알칼리 상태를 유지하고 있으며, 콘크리트 내부에 매립된 철근의 표면은 부동태피막(Passive film)이 형성되어 부식으로부터 안전한 상태에 있다고 알려져 있다. 부동태피막은 수산화물로 이루어진 얇은 산화 피막으로, 철근의 부식을 억제하고 강알칼리 환경이 지속될 경우, 불활성 상태가 되어 이온 교환을 억제한다(Broomfield, 1997).

그러나 수화물의 침출에 따른 pH의 감소, 그리고 음이온의 침투를 통해 철근의 부식현상이 발생할 수 있으며, 특히 음이온 중 염화물 이온(Cl<sup>-</sup>)은 높은 활성도로 인해 부식을 가속화하는 부식영향인자로 알려져 있다. 철근 부식의 산화 및 환원 반응은 식 (1), (2), (3)과 같이 나타내었다(Lee and Zielske, 2014).



철근의 부식이 진행되면서 생긴 녹(Rust)은 수분공급으로 인해 2~6 배로 팽창하여 철근의 균열을 유발한다. 이러한 균열로 인해 산소와 수분이 쉽게 침투할 수 있는 환경이 조성되며, 이후 슬립현상이 발생하여 구조물의 기대수명을 단축시킨다(Broomfield, 1997; Saraswathy et al., 2018).

Fig. 1에서는 염화물이온 및 수분침투에 따른 철근 부식기구를 나타내었다.

## 3. 촉진부식환경 및 실험계획

### 3.1 사용재료

본 실험에서는 부식전류 평가를 위해 3수준의 염화물 농도(0.0, 0.125, 0.25mol/l)와 3수준의 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]비를 부식 영향인자로 고려하였다. 염화물 농도 0.125mol/l에 대해서 NaOH를 첨가하여 3수준(0.3, 0.6, 0.9)의 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>] 비를 준비하여 촉진 부식 실험에 사용하였다.

실험 시편은 300 × 300 × 200mm 크기의 직육면체 아크릴 박스로 설계하였다. 콘크리트 대신 체가름 시험(KS F 2502)

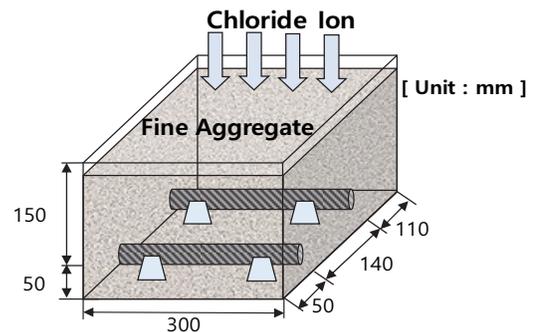


Fig. 2 Schematic diagram for test sample

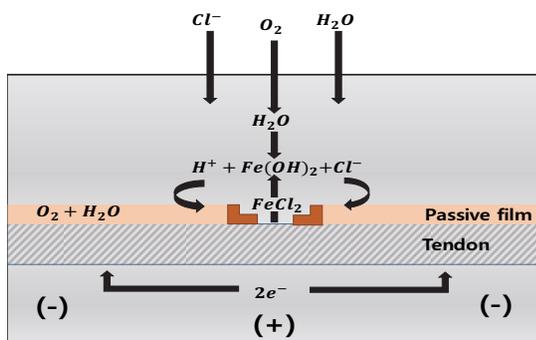


Fig. 1 Corrosion mechanism through chloride ion penetration

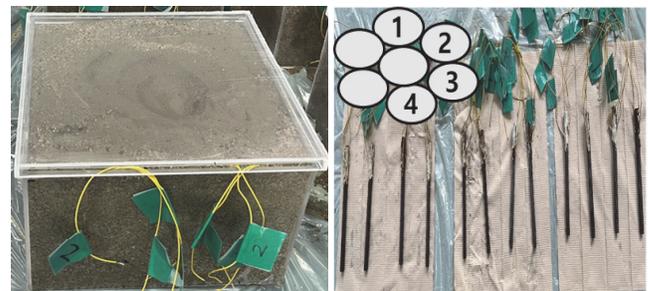


Fig. 3 Photos of test sample and corroded tendons

을 통해 4.75mm체를 통과한 잔골재를 사용하였으며, 촉진부식시험을 통해 부식 모니터링을 수행하였다. 사용된 잔골재의 비중 및 흡수율은 각각 3.2%와 2.8%로 평가되었으며, 표준 지름 12.7mm, 길이 200mm를 고려한 텐던(KS D 7002 B type, SWPC 7B)을 매립하였다. 6개의 소선중 바깥쪽으로 둘러싸인 소선 4개에 전선을 연결하였으며, 부식전류 측정시 각 소선에서 측정된 값의 4개의 평균값을 사용하였다.

Fig. 2와 Fig. 3에 각각 시편의 모식도와 시편 및 텐던의 전경을 나타내었다.

### 3.2 측정장비

본 연구에서는 Ag/AgCl 전극을 사용하는 GAITEC 장비를 활용하여 촉진부식환경에서의 부식 전류를 평가하였다. 사용 장비는 ASTM C 876 표준에 준하여 부착된 4개의 전극으로 시편 표면에서 텐던의 전기적 반응을 고려하는 기술이다. 외부에서 측정된 전압을 통해 철근의 저주파 임피던스 반응을 고려한 부식전류를 측정하며, Fig. 4에 부식전위 평가를 위한 반응 기구 및 장비를 나타내었다. 또한 장비에 사용된 측정 전극의 부식전류와 부식상태 결과는 Table 1에 나타내었다.

사용된 측정 장비는 콘크리트를 대상으로 측정하는 장비이지만, 본 실험에서는 매립된 텐던의 부식 여부를 육안으로 관찰하고 텐던의 중량 감소율을 평가하기 위해 콘크리트 대신 잔골재를 사용하였다. 콘크리트를 사용할 경우, 정확한 실험

Table 1 Suggestion of corrosion density(ASTM C 876-09, 2009)

Corrosion density		Classification
( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{m}/\text{year}$ )	
Less 0.1	Less 10	Passive/Low
0.1 - 1	10 - 30	Moderate
1 - 10	30 - 100	High
Over 10	Over 100	Severe

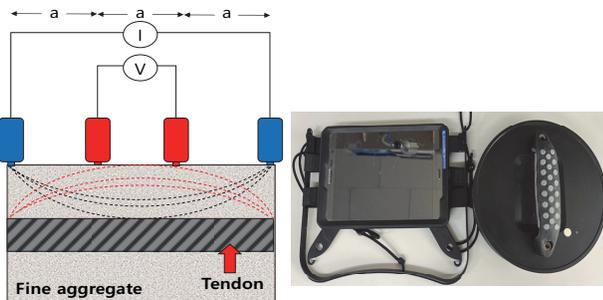


Fig. 4 Mechanism for corrosion equipment

환경을 재현하기 어렵기 때문이다. 또한 실험의 정확성을 높이기 위해 함수율을 동일한 환경 조건으로 조성하였으며, 염수 주입을 통해 습윤 상태를 유지하였다.

### 3.3 촉진부식환경에 따른 부식 모니터링

3 수준의 염화물 농도와 3수준의  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 비를 고려한 장기 부식 모니터링을 위하여 실험기간은 총 28주로 계획하였으며, 2주 간격으로 Ag/AgCl 전극을 가진 장비를 통해 부식 전류를 측정하였다. 이후 시편 상부에서부터 염화물을 주입하여 촉진부식환경을 조성하였으며, 측정주기에 대한 모식도를 Fig. 5에 나타내었다.

또한 부식을 촉진시키기 위해 모니터링 기간 동안 2가지 조건(부분포화상태, 포화상태)을 추가적으로 고려하였다. 16주차까지는 시편의 상태를 부분포화상태로 유지하였으며, 이후 부식 모니터링이 종료되는 28주차까지 포화 상태를 유지하였다. 부식으로 인한 감소된 텐던의 부식중량을 평가하기 위하여 16주차와 28주차에 매립된 텐던을 회수하여 전체 중량을 측정하였으며, 부식중량 측정 후, 같은 위치에 존치하였다. 부식 모니터링 기간 동안 실험실 온도 및 습도는 Fig. 6과 같다.

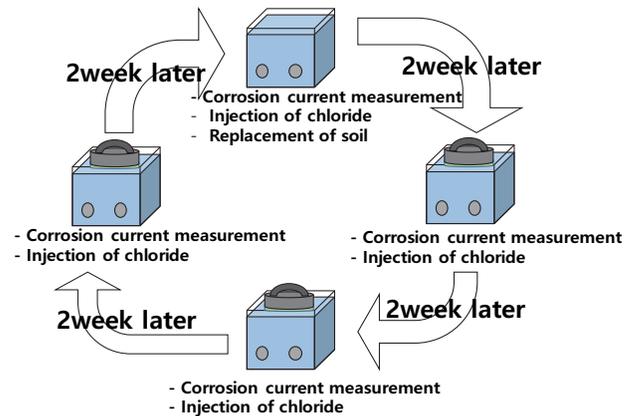


Fig. 5 Schematic diagram for corrosion monitoring

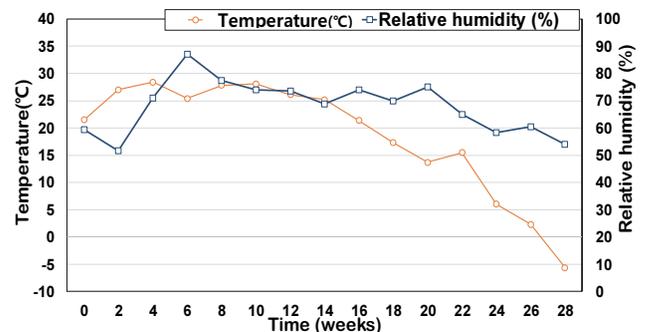


Fig. 6 Environmental conditions (Temp. and R.H.)

## 4. 환경조건에 따른 부식전류 특성 및 텐던 부식률 변화

### 4.1 염화물 농도에 따른 부식전류 변화

부식전류의 경우 부식 모니터링 기간에 따라 모든 수준에서 ‘High’ 수준의 부식속도를 나타내었으며, Fig. 7에 부식전류 측정결과를 나타내었다. 또한 Fig. 7에서는 실험온도결과를 같이 도시하였으며, 점선의 경우 3.2절에 나타난 전극의 부식전류 상태에서 ‘High’ 조건의 상한치( $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ )를 나타낸다.

부식전류는 소선과의 접촉면 및 발생한 부식의 영향으로 변동성이 크게 나타났다. 또한 온도가 낮아지는 시점에서  $0.125\text{mol/l}$  및  $0.25\text{mol/l}$ 에서 부식전류가 낮아지고 있음을 알 수 있으며, 염화물의 농도가 증가할수록 높은 부식전류를 나타내고 있다. 각 측정주기마다 부식전류의 변동성이 있지만, 염화물 농도가  $0.125\text{mol/l}$  이상에서는 부식전류가 뚜렷한 증가를 확인할 수 없었는데,  $0.125\text{mol/l}$  조건은 부식이 활성화도가 포화되기 때문이다.

Fig. 8에서는 각 조건에 따라 측정된 부식전류의 평균을 나타내었으며, 각 염화물 농도에 따른 부식전류 평균값을 연결하여 부식전류의 거동을 나타내었다. 부식 모니터링 기간동안 측정된 부식전류의 평균값은  $0.0\text{mol/l}$ ,  $0.125\text{mol/l}$ ,  $0.25\text{mol/l}$ 에서 각각  $5.13\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ,  $17.53\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ,  $20.07\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 평가되었으며, 이는 초기 조건에서 염화물 농도가 증가할수록 부식

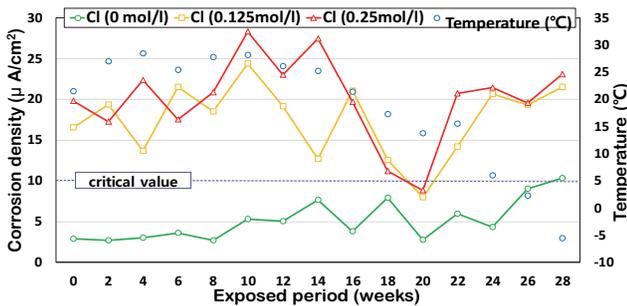


Fig. 7 Corrosion density with temperature

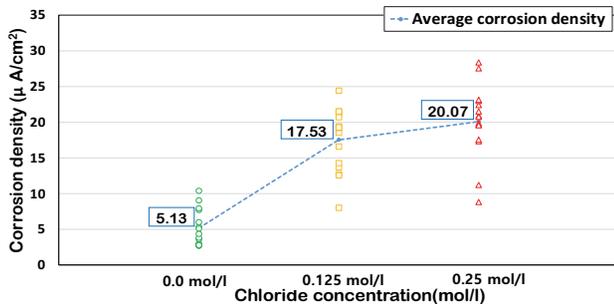


Fig. 8 Average corrosion density with different chloride concentration

전류가 증가함을 알 수 있다. 온도가 낮은 경우 부식거동은 감소하는데(Yoon and Kwon, 2022), 텐던의 경우, 소선간의 접촉면의 불균일성과 이 연결되어 있으며, 소선사이에서 발생한 부식영향으로 변동성이 크게 평가되었다.

### 4.2 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 농도비에 따른 부식전류 변화

본 절에서는  $0.125\text{mol/l}$  조건에서 3수준의  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 비를 고려하여 부식전류의 거동을 분석하였다.

$0.125\text{mol/l}$  조건에서 측정된 pH값은 8.02로 중성을 나타내었지만, 동일한 염화물 농도에서 NaOH를 변화시키면서  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 비를 0.1~0.9로 변화시킬 경우, pH는 크게 증가하였다. 몰비가 0.1인 경우에도 12.9 이상의 높은 알칼리도를 나타내었으며, 결과를 Fig. 9에 나타내었다. NaOH를 넣지 않은 경

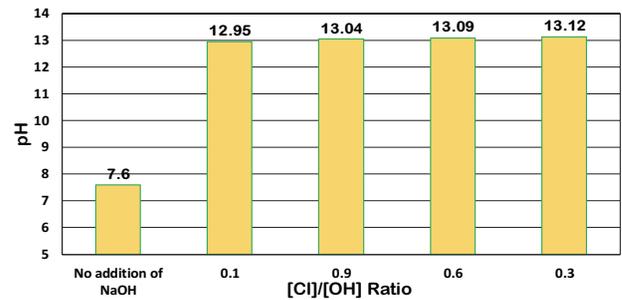


Fig. 9 Variation of pH with  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$

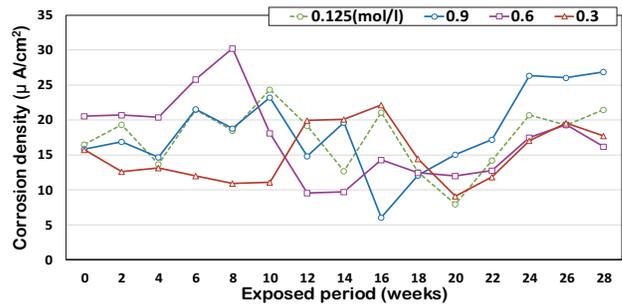


Fig. 10 Corrosion density with different  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$  ratios

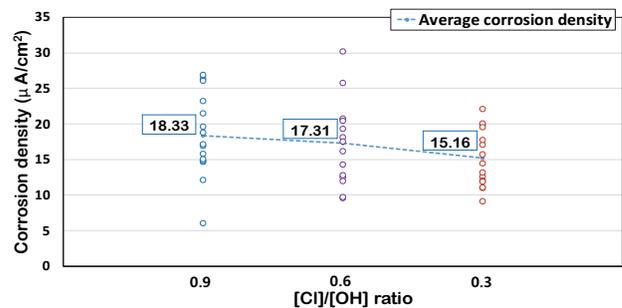


Fig. 11 Changes in average corrosion density with different  $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$  ratios

우 (0.125mol/l)를 참고값으로 하여, 몰비에 따른 부식전류값을 Fig. 10에 나타내었으며, 부식 전류의 평균값의 변화를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11에서 알 수 있듯이, [OH] 농도가 증가할수록 부식전류는 지속적으로 감소하였는데, 부식을 야기하는 높은 농도 (0.125mol/l)에서도 [OH]의 증가는 효과적임을 알 수 있다. [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>] 0.9을 제외한 2수준의 비율(0.6 및 0.3)에서 기준 조건인 0.125mol/l보다 낮은 부식 전류가 측정되었으며, [OH]비의 농도가 증가함에 따라 부식속도가 지연되었다.

기존의 연구에서는 몰비가 0.9 이하일 경우 수용액 상태에서 부동태 영역으로 전환되어, [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]이 낮을수록 부식전류가 선형적으로 감소하였다(Thangavel and Rengaswamy, 1998).

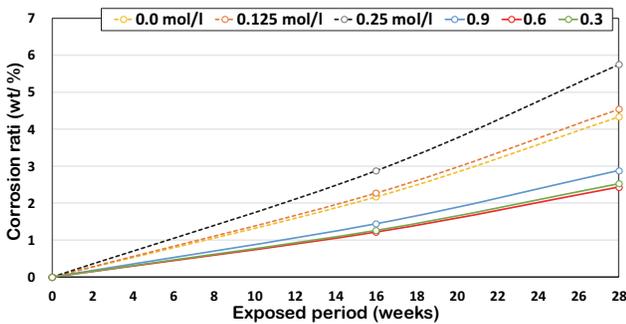
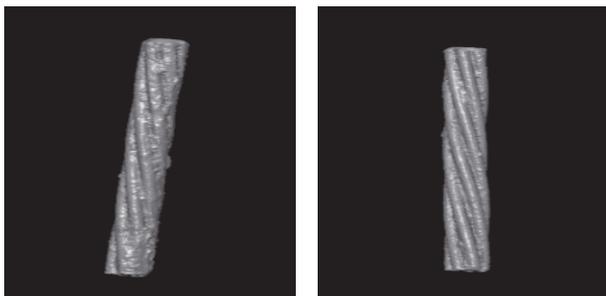


Fig. 12 Corrosion reduction ratio in tendon



(a) 0.0mol/l (b) 0.25mol/l

Fig. 13 Corrosion condition in tendon (3D photo)

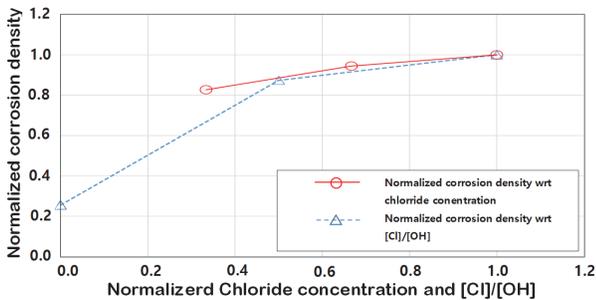


Fig. 14 Regression analysis with normalized results

### 4.3 농도에 따른 텐던의 부식중량 변화

텐던의 부식 중량 평가 결과 염화물 농도가 높아질수록, [OH]비가 낮을수록 부식률이 높게 나타났다. Fig. 12는 다양한 농도 조건에서 매립된 텐던의 부식률을 나타내었다. 염화물 농도에 따라, 0mol/l에서는 4.33wt%, 0.125mol/l에서는 4.55wt%, 그리고 0.25mol/l에서는 5.76wt%의 중량 감소가 평가되었으며, 촉진 기간에 선형적인 관계를 나타내었다. 또한 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>] 비에 따른 중량 부식률은 0.9, 0.6, 0.3 비율에서 각각 2.88wt%, 2.43wt%, 2.53wt%로 측정되었다. 이는 [OH] 비가 높을수록 텐던의 부식전류가 감소함을 알 수 있다.

Fig. 13에서는 0.0mol/l 와 0.25mol/l의 부식상태를 3D 스캐너로 측정된 사진을 나타내었다.

### 4.4 영향인자와 부식전류와의 상관성

4.2절에 Fig. 8에서는 염화물 농도에 따른 부식전류의 변화를, Fig. 11에서는 염소-수산화 이온비에 따른 부식전류의 변화를 분석하였는데, 소선간의 접촉 및 국부 부식의 영향으로 변동성이 매우 큰 값들이 측정되었다. 각 실험값의 최대값으로 염화물 농도를 나누어 정규화하여 각 평균값의 변화만을 고려할 수 있다. 이 결과를 Fig. 14와 같이 결과를 도시하였다.

Fig. 14에서 알 수 있듯이, 실험값의 50 % (염화물 농도 0.125mol/l) 이상에서는 큰 부식전류의 변화는 분석되지 않았으며 그 이하의 값에서는 매우 빠른 1.235의 기울기가 평가되었다. [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]의 변화에 따른 부식 전류 기울기는 0.351 과 0.170으로 평가되어 염화물 농도에 따른 부식영향보다는 낮은 부식전류 기울기가 평가되었다. 이는 전술한대로 0.125mol/l의 높은 염화물 수용액에서 실험이 수행되었기 때문이며, 이러한 환경에서도 [OH<sup>-</sup>] 이온으로 부식전류의 기울기가 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉 높은 염화물 농도에서도 높은 [OH<sup>-</sup>] 조건은 부식거동을 개선시킬 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 3수준의 염화물 농도 및 3수준의 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>] 비를 고려하여 부식전류의 변화를 분석하였으며, 텐던의 부식 중량을 평가하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 염화물 농도에 따른 부식전류 변화 거동을 분석한 결과, 0.0mol/l, 0.125mol/l, 0.25mol/l 각각의 부식전류 평균값은 5.13μA/cm<sup>2</sup>, 17.53μA/cm<sup>2</sup>, 20.07μA/cm<sup>2</sup>로 측정되었다. 부식전류는 염화물량의 증가에 따라 증가하였으며, 0.125mol/l 이상에서는 큰 차이가 없었는데, 이상의 조건에서는 부식활성도가 충분하기 때문이다.

- 2) 0.125mol/l를 기준으로 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]비를 변화시켜 측정된 부식전류를 분석한 결과, 모든 수준에서 [OH<sup>-</sup>]비의 농도가 증가함에 따라 부식전류 값이 감소하였다. 물비 0.3일 경우, 부식전류의 평균값은 15.16 μA/cm<sup>2</sup>으로 평가되었으며, 0.6, 0.9로 증가할수록, 부식전류는 17.31 μA/cm<sup>2</sup>, 18.33 μA/cm<sup>2</sup>으로 증가하였다. 기존의 연구와 마찬가지로 [Cl<sup>-</sup>]/[OH<sup>-</sup>]의 증가에 따라 선형적인 부식전류의 증가를 나타내었다. 높은 [OH<sup>-</sup>]의 농도는 높은 부식환경 (0.125mol/l)의 조건에서도 효과적임을 알 수 있다.
- 3) 생성된 부식량은 시간에 따라 선형적으로 증가하였으며, 염화물농도가 높을수록, [OH<sup>-</sup>] 비율이 낮을수록 부식량이 크게 평가되었다. 0.125mol/l 인 조건에서도 높은 [OH<sup>-</sup>]를 가진 경우 낮은 부식량이 평가되었다. 또한 정규화된 결과를 이용하여 부식전류와 영향인자 간의 상관성을 분석하였다.
- 4) 본 실험에서는 텐던의 소선끼리의 접촉면, 국소부식, 모래 포화도의 불균질성으로 측정된 전류의 변동성이 크게 발생하였다. 향후 연구에서는 낮은 수준의 염화물 농도와 독립 절연된 소선을 이용한 축진실험을 수행하여 변동성이 개선된 부식 실험을 수행할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 정부의 지원으로 한국연구재단 중견연구자지원 사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다(NRF-2020R1A2C2009462).

## References

1. Arya, C., Buenfeld, N. R., and Newman, J. B. (1990), Factors influencing chloride-binding in concrete, *Cement and Concrete Research*, 20(2), 291-300.
2. ASTM C876-09. (2009), Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, American Society of Testing and Materials.
3. Broomfield, J. P. (1997), Corrosion of steel in concrete: Understanding, Investigation and Repair, E & FN, London, 1-15.
4. China, S. A. O. T. (2007), Common portland cement, China Architecture and Building Press: Beijing, China.
5. DA, H. (1967), Steel corrosion in concrete: how does it occur, *Materials Protection*, 6, 19-23.
6. EN 206, B. S. (2013), Concrete-Specification, performance, production and conformity, British Standards Institution, Her Majesty Stationery Office, London, United Kingdom.
7. Gouda, V. K. (1970), Corrosion and corrosion inhibition of reinforcing steel: I. Immersed in alkaline solutions, *British Corrosion Journal*, 5(5), 198-203.

8. Japan Society of Civil Engineering (JSCE), (2002), Concrete Library 109: Proposal of the Format for Durability Database of Concrete.
9. Kwon, S. J., Na, U. J., Park, S. S., and Jung, S. H. (2009), Service life prediction of concrete wharves with early-aged crack: Probabilistic approach for chloride diffusion, *Structural Safety*, 31(1), 75-83.
10. Lee, B. Y., Koh, K. T., Ismail, M. A., Ryu, H. S., and Kwon, S. J. (2017), Corrosion and strength behaviors in prestressed tendon under various tensile stress and impressed current conditions, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017(1), 8575816.
11. Lee, K. M., Yoon, Y. S., Yang, K. H., Yoo, B. Y., and Kwon, S. J. (2022), Corrosion Behavior in RC Member with Different Cover Depths under Cyclic Chloride Ingress Conditions for 2 Years, *Applied Sciences*, 12(24), 13002.
12. Lee, S. K., Zielske, J. (2014), An FHWA special study: post-tensioning tendon grout chloride thresholds.
13. Luping, T., and Nilsson, L. O. (1993), Chloride binding capacity and binding isotherms of OPC pastes and mortars, *Cement and Concrete Research*, 23(2), 247-253.
14. Oh, B. H., Jang, S. Y., and Shin, Y. S. (1999), Corrosion Characteristics of Steel Reinforcements induced by Internal Chlorides in Concrete and determination of Chloride thresholds, *Journal of Korea Concrete Institute*, 11(3), 193-202 (in Korean).
15. Permeh, S., Vigneshwaran, K. K., and Lau, K. (2016), Corrosion of post-tensioned tendons with deficient grout.
16. Podolny Jr, W. (1992), Corrosion of prestressing steels and its mitigation, *PCI Journal*, 37(5), 34-55.
17. Rasheeduzzafar. (1992), Influence of cement composition on concrete durability, *ACI Materials Journal*, 89(6), 574-586.
18. Ryu, H. S., Park, J. S., and Kwon, S. J. (2017). Relationship between half cell potential and corrosion amount considering saturated cover depth and W/C ratios in cement mortar, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 21(3), 19-26 (in Korean).
19. Sandberg, P. (1999), Studies of chloride binding in concrete exposed in a marine environment, *Cement and Concrete Research*, 29(4), 473-477.
20. Saraswathy, V., Lee, H. S., Karthick, S., and Kwon, S. J. (2018), Stress corrosion behavior of ungrouted pretensioned concrete beams, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1-11.
21. Thangavel, K., and Rengaswamy, N. S. (1998), Relationship between chloride/hydroxide ratio and corrosion rate of steel in concrete, *Cement and concrete Composites*, 20(4), 283-292
22. Thomas, M. D. A., and Bentz, E. C. (2002), Computer program for predicting the service life and life-cycle costs of reinforced concrete exposed to chlorides, *Life365 Manual*, SFA, 12-56.
23. Thomas, M. D., and Bamforth, P. B. (1999), Modelling chloride diffusion in concrete: Effect of fly ash and slag, *Cement and Concrete Research*, 29(4), 487-495.

24. Yoon, Y. S., and Kwon, S. J. (2022), Relationship Analysis between Half Cell Potential and Open Circuit Potential Considering Temperature Condition, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 10(1), 124-132 (in Korean).

25. Yuan, Q., Shi, C., De Schutter, G., Audenaert, K., and Deng, D. (2009), Chloride binding of cement-based materials subjected to external chloride environment—a review, *Construction and Building Materials*, 23(1), 1-13.

Received : 05/24/2024

Revised : 07/02/2024

Accepted : 07/04/2024

---

**요 지** : 본 연구에서는 염화물 이온과 수산화이온의 변화에 따른 텐던의 부식전류를 평가하였다. 촉진부식환경을 위해 콘크리트 대신 젖은 모래를 사용하였으며, 3 수준의 염화물 농도(0.0, 0.125, 0.25 mol/l)와 3수준의  $[Cl^-]/[OH^-]$ 비 (0.3, 0.6, 0.9)를 고려하여 실험을 진행하였다. 텐던의 부식전류는 0.0 mol/l에서  $5.13 \mu A/cm^2$ 으로 평가되었으며, 염화물 농도의 증가에 따라 부식전류도 증가하였다. 또한 0.125 mol/l 이상에서는 큰 차이가 발생하지 않았다. 동일한 농도(0.125 mol/l)에서  $[OH^-]$ 를 증가시켰을 때, 부식전류는 선형적으로 감소하였으며,  $[OH^-]$ 의 증가는 높은 염화물 농도에서도 부식전류 제어에 효과적임을 알 수 있다. 특히 측정된 부식량은 0.0 mol/l의 조건보다 낮은 부식량을 나타내었다. 또한 실험값의 최대값과 최소값을 이용하여 실험결과를 정규화하였으며, 이를 통하여 부식전류와 영향인자간의 상관성을 분석하였다.

**핵심용어** : 부식영향인자, 텐던, 부식전류, 염소-수산화이온 비, 부식량, 소선

---