

# 습윤모래 조건에서 염화물 농도에 따른 텐던의 위치별 HCP의 변화

## Changing HCP of Tendon in Wet Soil Considering Local Position and Chloride Concentrations

최지완<sup>1</sup> · 방자호<sup>1</sup> · 권성준<sup>2\*</sup>

Ji-Woan Choi<sup>1</sup> · Ja-Ho Bang<sup>1</sup> · Seung-Jun Kwon<sup>2\*</sup>

(Received May 15, 2024 / Revised July 1, 2024 / Accepted July 2, 2024)

PS(Prestressed) tendons are under high tensile stress and have a smaller concrete cover than RC(Reinforced Concrete) member, so that the more conservative specifications on corrosion have been proposed for PS member. In this study, three levels of chloride concentrations(0.0 mol/l, 0.125 mol/l, and 0.25 mol/l) were prepared for evaluating the corrosion behavior in different position of 7 strand wires. For accelerating corrosion and measuring the corrosion amount in tendon, the tendon was embedded in partially saturated soil, and HCP(Half Cell Potential) was measured from the soil surface. During the test period of 28 weeks, HCP was measured every two weeks and the corrosion weight in the tendon was measured at 16 and 28 weeks of test period. Through the test, HCP result in tendon increased as the wires were located toward bottom due to high saturation. HCP in the lowest wire position showed an increase by 5.92 % compared to that in top position in 0.25 mol/l condition.

The lower the position of the wire contained more saturation, which yielded increasing corrosion amount and HCP in tendon. In addition, the relation between corrosion weight and chloride concentration was quantitatively obtained through regression analysis.

**키워드** : 텐던, 반전위, 염화물 농도, 부식, 포화도

**Keywords** : Tendon, HCP(Half Cell Potential), Chloride concentration, Corrosion, Saturation

### 1. 서론

콘크리트는 대표적인 다공성 건설재료이므로 외부로부터 수분, 이산화탄소 및 염화물 이온의 유입이 가능하고 이로 인해 철근부식이 발생하게 된다(Broomfield 2023; Kwon et al. 2009). 콘크리트에 매립된 철근 부식에 대하여 초기에는 부식생성물로 인해 부착력이 증가가 발생하지만 이후 슬립(Slip)으로 인하여 콘크리트와의 일체성(integrity)을 확보하지 못한다. 또한 미관의 저하뿐 아니라 균열의 진전과 처짐으로 인한 사용성 저하를 야기하며 최종적으로는 구조물의 안전성에 큰 영향을 미친다(Oh et al. 2016; Chung et al. 2008). 많은 연구 및 국내외 설계기준에서는 내구성 설계를 유도하여 목포 내구수명 동안 구조물의 성능을 유지하도록

하고 있다. 이러한 대표적인 열화인자 중 염해의 경우 가장 많은 열화를 나타내고 있으며, 철근부식으로 인한 공학적, 사회적 피해는 더욱 문제가 되고 있다(Thomas and Bentz 2002; Asiedu and Gu 1998; Thomas and Bamforth 1999).

부식개시 시기 및 부식량을 평가하기 위해 직접적으로 부식전위 또는 부식전류를 측정하는 연구가 활발하게 진행 중이며, 표면 비저항(Resistivity) 및 반전위(HCP: Half Cell Potential)를 측정하는 비파괴진단 장비가 사용되고 있다(Yu et al. 2017; Lim et al. 2015; ASTM C 876-09 2009; Alonso et al. 1988; Ryu et al. 2017). 최근 들어 전기화학적 센서를 이용하여 OCP(Open Circuit Potential) 측정, LP(Linear Polarization) 측정, EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy)를 활용하여 부식전위 또는 부식전류

\* Corresponding author E-mail: [jjuni98@hannam.ac.kr](mailto:jjuni98@hannam.ac.kr)

<sup>1</sup>한남대학교 건설시스템공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

<sup>2</sup>한남대학교 건설시스템공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

를 직접적으로 평가하고 있다(Song and Saraswathy 2006; Duffó et al. 2009; Karthick et al. 2019). 이러한 전기화학적 센서는 내부에서는 WE(Working Electrode), CE(Counter Electrode), RE(Reference Electrode)로 회로를 구성하여 각 전극 간의 전위차와 전류를 측정하는 것이 일반적이다(Gandía-Romero et al. 2016; Pereira et al. 2008).

일반 철근과 다르게 텐던의 경우 소선을 꼬아 강성 및 강도를 개선하여 많은 PSC 구조물에 사용한다. 이 경우 각 소선이 서로 연결되어 있으며, 이로 인해 부식 거동이 일반 단일 철근과는 다르게 변한다. 일반적으로 서로 다른 철근에서 발생하는 Macro Cell 이나 하나의 철근에서 발생하는 Micro Cell 이외에 Crevice Corrosion이 발생하며, 그라우팅이 있는 경우 그라우트 품질에 따라 Macro Cell이 형성되기도 한다(Lee and Zielske 2014; Lee et al. 2022).

본 연구에서는 콘크리트 대신 일반 잔골재를 사용하였으며, 촉진 실험 중에 부식 현상 및 부식질량을 파악할 수 있도록 고려하였다. 또한 텐던(KSD 7002 B type, SWPC 7B)을 WE(Working Electrode)로 사용하여 부식거동을 평가하였으며, 서로 다른 위치의 소선을 각각 연결하여 HCP를 평가하였다. 외부 염화물 농도를 0.0 mol/l, 0.125 mol/l, 0.250 mol/l로 고려하였으며, 8개월간 주기적인 건습 반복 시험을 수행하여 텐던 소선의 위치별 HCP를 각각 측정하였다. 또한 최종적인 실험 후 시편의 질량을 측정하여 측정된 HCP와의 관계를 정량화하였다.

## 2. 비파괴 방법을 이용한 부식전위 평가

### 2.1 콘크리트내의 철근 부식 특성

콘크리트 구조물은 다양한 열화환경에 노출되어 내구성 문제가 발생하게 된다. 각국의 시방서 및 설계기준에서는 염해, 탄산화, 동결융해, 황산염에 의한 침식, 알칼리골재반응을 대표적인 열화 현상으로 고려하고 있다. 특히 콘크리트 내부 철근의 부식을 야기하는 염해 및 탄산화에 대하여 많은 연구가 진행되어왔다(Johannesson and Utgenannt 2001; Steffens et al. 2002; Arya et al. 1990).

염화물 이온은 높은 반응성으로 인해 부식을 빠르게 야기하는 인자로 알려져 있는데, 철근의 부식과정에서 중간생성물인 FeCl<sub>2</sub>를 형성하고 수소이온을 발생한다. 이는 pH 저하를 유도하여 부식 환경을 더욱 촉진시키며, 사용성 및 안전성 저하로 진전된다.

식(1)~(3)은 염화물 이온으로 인한 부식생성물의 형성 과정을

나타내었으며, Fig. 1에서는 micro cell 과정에 따른 철근부식 반응을 그림으로 나타내었다(Lee and Zielske 2014).

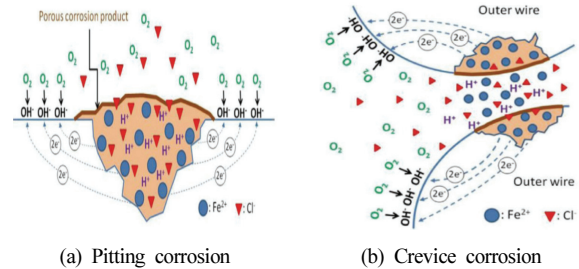
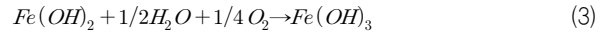


Fig. 1. Corrosion mechanism with micro-cell

### 2.2 NDT 방법을 통한 부식거동 평가

1980년대 이후 철근콘크리트 구조물에서 구조물을 파괴하지 않고 내부 철근의 부식상태를 평가하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 대표적인 비파괴 기법(NDT: Non Destructive Technique)으로는 전기저항측정, 적외선 화상측정, 분극저항측정, 반전위측정 등으로 보고되고 있다.

전기저항측정(RM: Resisvity Method)은 콘크리트 표면에서 전기적 전류를 흐르게 한 후 전기적인 특성을 측정하여 평가하는 정성적인 방법이다. 노출 환경에 따라 민감하게 반응하지만 간편한 사용으로 인해 현장에서 많이 사용된다(Alonso et al. 1988; Lim 2012). 최근 들어 콘크리트 내부에 매립되어 있는 철근 및 텐던에 외부전류(Impressed current, IC)를 흘려보내 열을 가한 후, 온도 변화를 적외선 화상(IR: Infrared Thermography)기법을 이용하여 부식을 평가하는 연구도 수행되었다. 이러한 방법은 실내 실험에서 부식량이 많고 피복두께가 작은 경우에 효과적인 방법이지만, 현장 실제 구조물에 적용하는 것은 많은 문제점을 가지고 있다(Kwon and Park 2012; Baek et al. 2012).

분극저항측정(LP: Linear Polarization Method)은 부식 관련 전기화학적 반응이 선형적인 관계를 유지한다는 가정을 기반으로 부식전류밀도(current density)를 평가하는 정량적인 방법이다. 최근 들어 가아드 링(Guard Ring)을 이용하여 노이즈를 제거하여

정확도를 높이는 방법이 제시되었다(So 2006; Liu and Weyers 1998; Elsener 2005).

본 연구에서는 반전위측정(HCP: Half Cell Potential) 기법을 사용하였는데, 현장적용성이 우수하며, 국내외의 시험규격에 명확한 부식발생 상태가 명기되어 있다. Fig. 2에서는 ASTM C 876의 구리황산염(Copper Sulphate Electrode, CSE)전극을 활용한 전위 측정 모식도를 나타내고 있다(ASTM C 876-09 2009).

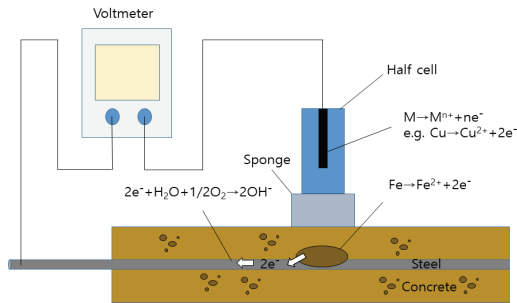


Fig. 2. Half cell measurement of corrosion potential

### 3. 텐던부식 및 평가 실험계획

#### 3.1 사용재료

본 연구에서는 촉진 실험 중에 매립된 텐던의 부식을 관찰하고 질량 감소율을 정확하게 평가하기 위해 콘크리트 대신 잔골재 (4.75 mm 이하)를 사용하였다. 각 소선의 부식상태를 평가하기 위해 지름 13 mm인 7연선 텐던을 사용하였으며, 시편의 중앙부 (150 mm) 위치에 매립하였다. 한 개의 시편에 140 mm 간격으로 2개의 텐던을 촌치시켜 부식질량을 평가하였다. 텐던의 소선 위치에 따라 중앙부의 부식유도 부분을 제외한 양단은 예폭시 작업을 수행하였으며, 상부로부터 순서대로 넘버링을 하였다. Fig. 3에서는 시편의 전경과 소선별 위치를 나타내었다.

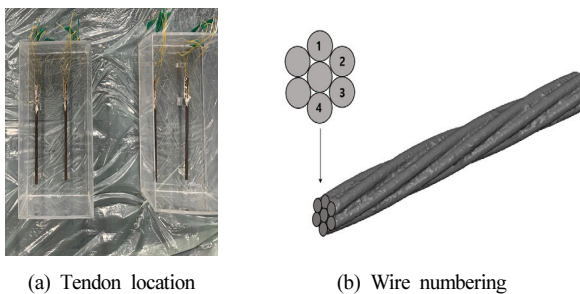


Fig. 3. Tendon position and numbering for corrosion measurement

#### 3.2 촉진 염해 조건

본 연구에서는 반전위 측정을 통한 장기 부식 거동을 알아보기 위해 NaCl을 3수준(tap water, 0.125 mol/l, 0.25 mol/l)을 고려하여 부식을 유도하였다. 또한 콘크리트에서는 높은 pH로 인해 부식이 활발하지 않으므로 잔골재를 사용하였다. 직육면체(300 mm × 300 mm × 200 mm)의 아크릴 상자를 제작하였으며, 내부에 실리콘 및 방수 테이프 작업을 진행하여 시편의 누수를 방지하였다. 본 연구에서는 tap water 수준을 기준값으로 0.0 mol/l로 표기하였다.

부식모니터링 기간 중 2주마다 부식전위를 측정하였으며, 용액은 2주, 모래는 8주마다 바꾸어 촉진부식시험을 반복하였다. 16주 차까지는 시편의 150 mm까지 염화물 용액을 주입하였으며, 16주차 이후에는 완전포화 상태를 유지하였다. 또한 16주, 28주의 경우 텐던의 전체 질량 및 소선별 질량을 측정하여 부식감소율을 파악하였다. 이와 같은 방법을 1 Cycle로 하여 28주간 텐던의 부식거동을 측정하였으며, Fig. 4에 부식모니터링 과정을 나타내었다. 온도가 높아질수록 부식조건이 활성화되므로 부식전위 측정 시 온도 영향을 고려하기 위해 실험실의 온도 및 상대습도를 기록하여 Fig. 5에 나타내었다(Yoon and Kwon 2022).

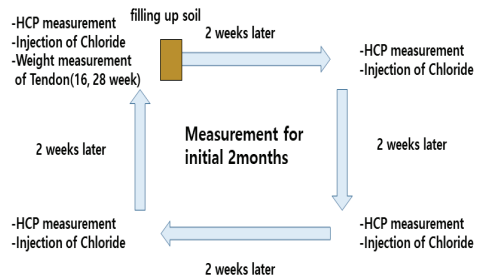


Fig. 4. HCP Measurement cycle for corrosion monitoring

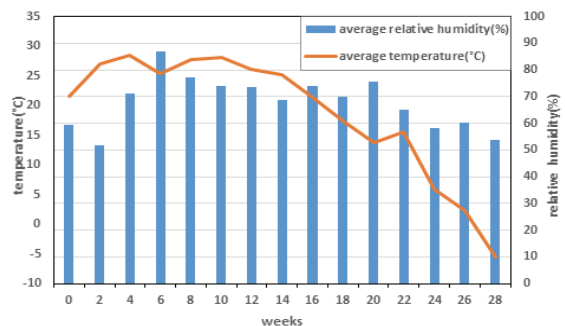


Fig. 5. Temperature and humidity during test period

### 3.3 HCP 측정

HCP을 측정하기 위해, 각 소선별 텐던의 길이 방향으로 4회를 측정하여 하나의 시편에 대하여 16개의 HCP 결과를 도출하였다. 텐던의 부식거동을 파악하기 위해 사용되는 반전위 측정기는 표준 전극과 측정하고자 하는 작업전극 사이의 전위 차이를 측정하는 기기이다. 평가 시 부식 임계전위 값은 전극의 종류에 따라 달라지는데, Table 1에서는 조합전극에 따른 변환값을 나타내었고 Table 2에서는 국제표준 미국 기준인 ASTM C 876(ASTM C 876-09 2009)과 영국 기준 OTH 84205(Figg 1985)에서 제시된 HCP와 부식가능성에 대한 비교를 나타내었다(Jeong and Kwon 2021).

본 실험에서 부식전위 측정에 사용한 장비(proceq UP01-002-2159)와 측정 전경을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 1. Type of electrode and conversion factors

Types of combined electrodes	Electrolyte	Dislocation (mV vs CSE, 25 °C)
Saturation copper sulfate electrode(CSE)	Saturation CuSO <sub>4</sub>	0 + 0.9 × (t-25)
Saturated caramel electrode(SCE)	Saturation KCl	-74 - 0.66 × (t-25)
Silver saturation chloride electrode(SSCE)	Saturation Ag/AgCl	-120 - 1.1 × (t-25)
Positive bleidioxid-electrode(PRE)	Ca(OH) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub> (Solid)	-799 + 0.24 × (t-25)
Manganese dioxide electrode	MnO <sub>2</sub>	+89 - 1.0 × (t-25)

Table 2. Standard for critical potential of corrosion feasibility

ASTM C 876(U.S.A)		OTH(U.K)
Potential(mV, CSE)	Corrosion probability	Corrosion probability
Over -200	Probability of no corrosion 90 %	Less 5 %
-200 ~ -350	Uncertain	50 %
Less -350	Corrosion probability over 90 %	Corrosion probability over 95 %



Fig. 6. Photos of HCP equipment and its measurement

## 4. 축진환경에 따른 HCP 및 텐던의 부식을 변화

### 4.1 염화물 농도에 따른 HCP의 변화

본 절에서는 염화물 농도에 따라 변화하는 HCP 거동을 분석하였다. Fig. 7에서는 염화물 농도에 따른 4개의 소선 결과값과 평균값을 나타내었다. 소선의 위치가 상부에서 하부로 갈수록 반전위 값이 증가하였으며, 2번 소선과 3번 소선은 부식전위 평가결과 유사한 경향이 평가되었다. 1번 소선에 비하여 4번 소선의 경우, 0.0 mol/l의 경우 0.73 %, 0.125 mol/l의 경우 0.73 %, 0.25 mol/l의 경우 5.93 % 증가가 평가되었다. 이러한 결과는 하부에 수분이 집중되어 염화물 이온이 텐던의 부식을 가속화하여 이러한 경향이 나타난 것으로 사료된다. Fig. 8에서는 염화물량에 따른 텐던 전체의 HCP평균을 나타내었다. 염화물의 농도가 매우 높은 상태이므로 0.125 mol/l이후에는 뚜렷한 차이가 발생하지 않았지만, 전체적으로 염화물의 농도가 증가할수록 부식전위가 증가하는 경향이 나타났다. Fig. 9에서는 28주간 평가한 부식전위 결과를 나타내었다. 부식이 진행되어 있는 반습윤상태에서의 뚜렷한 경향은 나타나지 않았지만, 16주차 이후 습윤상태에서 경향을 나타나기 시작하였다. 평균기온이 감소함에 따라 전체적인 반전위가 감소하는 경향이 나타났다.

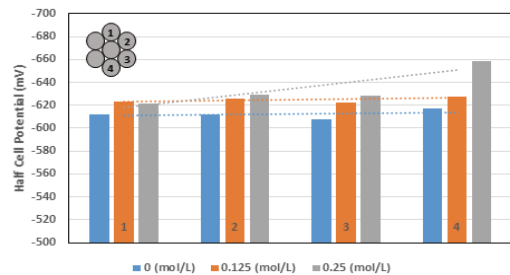


Fig. 7. Measured HCP with wire location

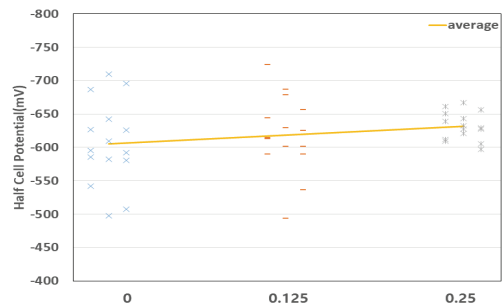


Fig. 8. Averaged HCP with increasing chloride concentration

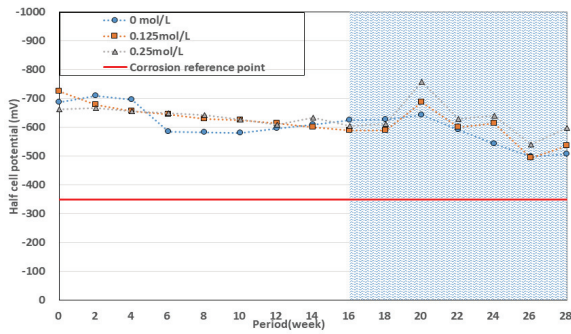


Fig. 9. HCP measurment with test period

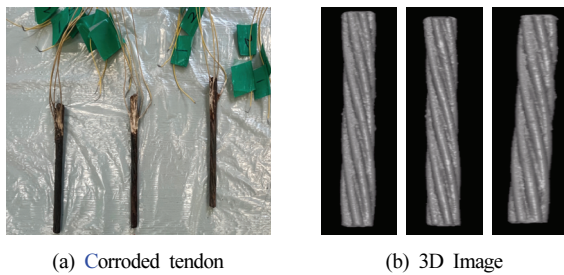


Fig. 10. Photo of corroded tendon

#### 4.2 염화물 농도에 따른 부식 질량변화

염화물량에 따른 각각의 시편에 7연선의 질량을 주기 별로 측정하여 텐던의 부식질량을 평가하였다. Fig. 10에서는 부식된 텐던의 모습과 3D 이미지를 사진을 나타내었다. 4개의 측정값을 평균하여 비교한 결과, 염화물의 농도가 높아질수록 텐던의 부식질량이 크게 나타났으며 이를 Fig. 11에 도시하였다. 염화물의 농도에 따른 평균 부식량은 0.0 mol//에서 3.3 %, 0.125 mol//에서 5.37 %, 0.25 mol//에서 5.82 % 로 평가되었으며, 염화물량에 따른 회귀분석 결과는 식(4)에 나타내었다. 측정된 부식감소량은 선형적인 관계를 가지고 있으며, 0.88 수준의 결정계수가 평가되었다.

$$y = 1.2569x + 3.3213 \quad (4)$$

여기서,  $y$ 는 부식질량비 (%),  $x$ 는 염화물 농도(mol//)를 나타낸다. Fig. 12에서 각 위치에 따른 소선의 부식량을 나타내었는데, 12(a)에서는 소선 위치에 따른 최종 부식량을, 12(b)에서는 농도에 따른 부식누적량을 나타내었다. 0.0 mol//의 경우 1.99 %~3.39 % 수준으로 평가되었으며, 0.125 mol//의 경우 4.09 %~6.08 % 수준, 0.25 mol//에서는 5.03 %~7.43 % 수준의 질량감소율이 평가

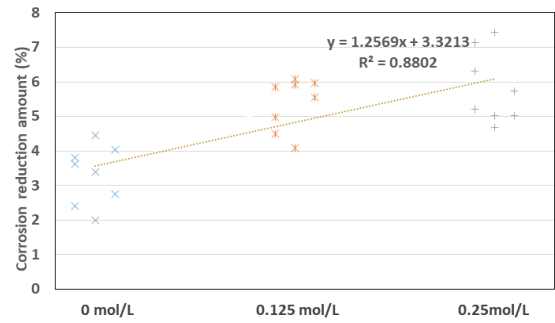
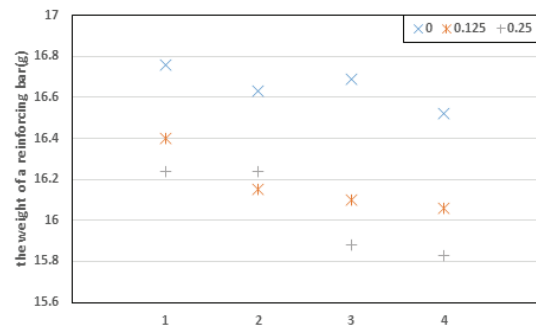
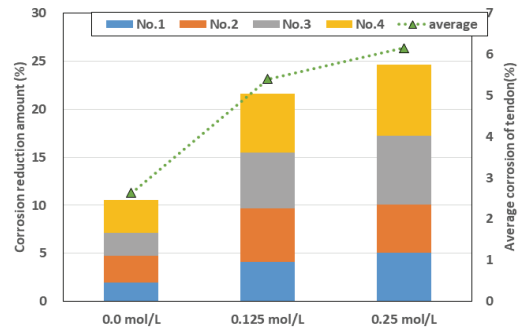


Fig. 11. Weight loss of Tendon with chloride concentration (%)



(a) Corrosion weight for each wire



(b) Cumulative corrosion weight for chloride concentration

Fig. 12. Changes in corrosion ratio with corrosive conditions

되었다. 각 소선에 대해서는 텐던이 하단에 위치할수록 순서대로 부식량이 증가하였는데, 1번 소선과 4번 소선의 질량을 비교한 결과 0.0 mol//의 경우 1.43 %, 0.125 mol//의 경우 2.07 %, 0.25 mol//의 경우 2.52 %가 감소하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 3가지 농도의 염화물과 습윤 모래에 존치된 텐던

에 대하여 소선 위치별로 HCP를 측정하였다. 또한 텐던 및 각 소선의 부식량을 평가하여 HCP와의 관계를 정량화하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 시편의 포화상태에서 매립된 텐던 중 소선의 위치가 상부에서 하부로 이동할수록 HCP값이 증가하였다. 상부에 위치한 1번 소선과 하부에 위치한 4번 소선의 반전위 값에서 상대적으로 큰 차이가 발생하였으며, 중간층에 위치한 2번 및 3번 소선에서는 유사한 경향이 평가되었다.
2. 염화물 농도에 따른 부식전위 평가 결과, 상부에 위치한 소선과 비교하여 하부의 소선은 염화물 농도 0.0 mol//의 경우 0.73 %, 0.125 mol//의 경우 0.73 %, 0.25 mol//의 경우 5.92 % 증가하였다. 텐던 하부의 포화도가 높으므로 전반적으로 하부 텐던의 부식거동이 크게 평가되었다.
3. 부식질량 평가 결과, 염화물 농도가 증가할수록 텐던의 부식 질량이 증가하였다. 0.0 mol//의 경우 1.99 %~3.39 % 수준으로 평가되었으며, 0.125 mol//의 경우 4.09 %~6.08 % 수준 감소율이 평가되었다. 0.25 mol//에서는 5.03 %~7.43 % 수준의 질량 감소율이 평가되었는데, 전체적으로 4번 소선에서 높은 질량 감소율이 평가되었다.
4. 텐던의 경우, 소선이 다른 소선과 연결되어 있고 국소 부식으로 인해 HCP의 변동폭이 매우 크게 나타났다. 전체적으로 모든 시편에서 포화도가 높은 곳에서 반전위 및 부식질량의 증가를 확인하였으며, 이를 실험적으로 규명하였다.

### Conflict of interest

None.

### 감사의 글

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

### References

Alonso, C., Andrade, C., González, J.A. (1988). Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several cement types, *Cement and Concrete*

Research, **18(5)**, 687–698.

Arya, C., Buenfeld, N.R., Newman, J.B. (1990). Factors influencing chloride-binding in concrete, *Cement and Concrete Research*, **20(2)**, 291–300.

Asiedu, Y., Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: state of the art review, *International Journal of Production Research*, **36(4)**, 883–908.

ASTM C 876–09 (2009). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, West Conshohocken, PA.

Baek, S., Xue, W., Feng, M.Q., Kwon, S. (2012). Nondestructive corrosion detection in RC through integrated heat induction and IR thermography, *Journal of Nondestructive Evaluation*, **31**, 181–190.

Broomfield, J.P. (2023). *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*, Crc Press.

Chung, L., Kim, J.H.J., Yi, S.T. (2008). Bond strength prediction for reinforced concrete members with highly corroded reinforcing bars, *Cement and Concrete Composites*, **30(7)**, 603–611.

Duffó, G.S., Farina, S.B., Giordano, C.M. (2009). Characterization of solid embeddable reference electrodes for corrosion monitoring in reinforced concrete structures, *Electrochimica Acta*, **54(3)**, 1010–1020.

Elsener, B. (2005). Corrosion rate of steel in concrete—Measurements beyond the Tafel law, *Corrosion Science*, **47(12)**, 3019–3033.

Figg, J.W. (1985). Development of Inspection Techniques for Reinforced Concrete, Offshore Technology Report, OTH 84205.

Gandía-Romero, J.M., Bataller, R., Monzón, P., Campos, I., García-Breijo, E., Valcuende, M., Soto, J. (2016). Characterization of embeddable potentiometric thick-film sensors for monitoring chloride penetration in concrete, *Sensors and Actuators B: Chemical*, **222**, 407–418.

Jeong, G.C., Kwon, S.J. (2021). Relationship between corrosion in reinforcement and influencing factors using half cell potential under saturated condition, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **9(2)**, 191–199.

Johannesson, B., Utgenannt, P. (2001). Microstructural changes caused by carbonation of cement mortar, *Cement and Concrete Research*, **31(6)**, 925–931.

Karthick, S., Muralidharan, S., Lee, H.S., Kwon, S.J., Saraswathy, V. (2019). Reliability and long-term evaluation of GO-MnO<sub>2</sub> nano material as a newer corrosion monitoring sensor for reinforced concrete structures, *Cement and Concrete Composites*, **100**, 74–84.



- Kwon, S.J., Na, U.J., Park, S.S., 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.
- Kwon, S.J., Park, S.S. (2012). Non destructive technique for steel corrosion detection using heat induction and ir thermography, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **16(2)**, 40–48.
- Lee, K.M., Yoon, Y.S., Yang, K.H., Yoo, B.Y., 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.
- Lee, S.K., Zielske, J. (2014). An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds (No. FHWA-HRT-14-039).
- Lim, Y.C. (2012). A study on the estimation of moisture condition of concrete by resistivity method, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **28(12)**, 69–76.
- Lim, Y.C., Noguchi, T., Cho, C.G. (2015). A quantitative analysis of the geometric effects of reinforcement in concrete resistivity measurement above reinforcement, *Construction and Building Materials*, **83**, 189–193.
- Liu, T., Weyers, R.W. (1998). Modeling the dynamic corrosion process in chloride contaminated concrete structures, *Cement and Concrete Research*, **28(3)**, 365–379.
- Oh, K.S., Park, K.T., Kwon, S.J. (2016). Evaluation of anti-corrosion performance of FRP hybrid bar with notch in GGBFS concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(4)**, 51–58.
- Pereira, E.V., Figueira, R.B., Salta, M.M., Fonseca, I.T.E. (2008). Embedded sensors for corrosion monitoring of existing reinforced concrete structures, *Materials Science Forum*, **587–588**, 677–681.
- Ryu, H.S., Park, J.S., 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.
- So, H.S. (2006). Environmental influences and assessment of corrosion rate of reinforcing bars using the linear polarization resistance technique, *Journal of Korea Architecture Institute*, **22(2)**, 107–114.
- Song, H.W., Saraswathy, V. (2006). Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag—an overview, *Journal of Hazardous Materials*, **138(2)**, 226–233.
- Steffens, A., Dinkler, D., Ahrens, H. (2002). Modeling carbonation for corrosion risk prediction of concrete structures, *Cement and Concrete Research*, **32(6)**, 935–941.
- Thomas, M.D.A., 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.
- Thomas, M.D., Bamforth, P.B. (1999). Modelling chloride diffusion in concrete: effect of fly ash and slag, *Cement and Concrete Research*, **29(4)**, 487–495.
- Yoon, Y.S., 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.
- Yu, B., Liu, J., Chen, Z. (2017). Probabilistic evaluation method for corrosion risk of steel reinforcement based on concrete resistivity, *Construction and Building Materials*, **138**, 101–113.

### 습윤모래 조건에서 염화물 농도에 따른 텐던의 위치별 HCP의 변화

PS 텐던의 경우 높은 인장응력을 받고 있으며, 피복두께가 RC에 비해 상대적으로 작으므로, 부식에 관한 엄격한 기준을 가지고 있다. 본 연구에서는 7연선 텐던의 소선 위치에 따른 부식거동을 평가하기 위해 3 수준의 염화물 농도(0.0 mol/l, 0.125 mol/l, 0.25 mol/l)를 고려하였다. 촉진부식조건과 부식량 측정을 위해 텐던을 부분 포화상태의 모래에 매립하였으며, 표면으로부터 HCP(Half Cell Potential)를 평가하였다. 28주의 부식모니터링 기간 동안 2주 간격으로 HCP를 측정하고 16주와 28주에 텐던의 부식질량을 측정하였다. 측정결과 소선이 상부에서 하부로 위치할수록 HCP값이 증가하였고, 0.25 mol/l 인 경우 상부에 비하여 하부에서는 HCP이 최대 5.92 %가 증가하였다. 소선의 위치가 낮을수록 포화도가 크므로 부식량이 증가하였으며, HCP도 하부에서 크게 측정되었다. 또한 부식질량률과 염화물 농도와의 관계가 회귀분석을 통하여 정량적으로 도출되었다.