

# 촉진부식실험을 이용한 OPC 및 슬래그 콘크리트의 부식-부착강도 평가

## Corrosion-bond Strength Evaluation in OPC and Slag Concrete using Accelerated Corrosion Test

오상진<sup>1</sup> · 이현우<sup>1</sup> · 권성준<sup>2\*</sup>Sang-Jin Oh<sup>1</sup> · Hyeon-Woo Lee<sup>1</sup> · Seung-Jun Kwon<sup>2\*</sup>

(Received September 18, 2023 / Revised December 4, 2023 / Accepted December 13, 2023)

Concrete, as a porous construction material, permits chloride penetration from outside, which yields corrosion in embedded steel. In the study, an accelerated corrosion technique (ICM: Impressed current method) was adopted for rapid corrosion formation with 10 Volt of potential, and corrosion amount was controlled up to 10.0 %. Corrosion amount had a linear relationship with cumulative corrosion current and increased with a quadratic function of accelerating period due to cracking. Regarding bond strength test, OPC concrete showed rapid drop of bond strength over 3.0 % of corrosion weight ratio, however slag concrete with 30 % replacement ratio showed a level of 51.4~71.6 % of corrosion ratio to OPC concrete with keeping residual bond strength.

**키워드** : 콘크리트, 부식, 부식 전류, 슬래그 콘크리트, 촉진 시간**Keywords** : Concrete, Corrosion, Corrosion current, Slag concrete, Accelerating period

### 1. 서론

콘크리트는 경제적이며 내구성이 확보된 건설재료이며, 다양한 노출 환경에 사용되고 있다. 또한 대표적인 다공성 건설재료 (porous media)로서 외부로부터 유입된 수분 및 유해이온의 영향을 받는다. 대표적으로 염화물의 침투에 따른 내부 철근의 부식, 이산화탄소 유입에 따른 부식저항성의 감소, 황이온 침투에 따른 시멘트 조직의 팽창, 온도 변화에 따른 공극수의 결빙과 이로 인한 콘크리트 내부 조직의 균열, 특정 골재의 팽창으로 인한 콘크리트의 균열 등이 대표적인 열화현상으로 조사되고 있다. 열거한 열화는 염해, 탄산화, 화학적 침식, 동결융해, 알칼리골재 반응 등으로 정의되며, 각국의 시방서 및 설계기준에서 고려된다(JSCE 2007; CEN 2000; ACI 440.1 R-06 2006).

특히 염해와 탄산화의 경우 콘크리트 구체에는 상대적으로 큰 영향이 없으나, 내부 매립 보강재, 특히 철근의 부식에 큰 영향을

미치며, 이는 공학적, 사회적인 문제로 대두되고 있다(Broomfield 1997; JSCE 2002; Kim et al. 2013).

염해의 경우 외부로부터 유입된 염화물은 철근에 공식(pitting) 형태의 부식을 발생시키고 이는 micro-cell, macro-cell 또는 crevice-cell 형태로 철근의 부식을 진전시킨다(Lee et al. 2017; Li and Yuan 2013). 부식에 관련한 다양한 영향인자가 있지만, 내부 공극수의 포화도, 염화물 농도, pH 등이 주요 영향인자로 보고되고 있으며, 많은 연구를 통하여 부식 거동을 모델링하고 있다. 그러나 포화영역과는 다르게 부분 포화영역에서는 오히려 산소의 확산이 큰 영향을 미치며, 탄산화 또는 다른 산(acid)의 영향이 크게 나타난다고 알려져 있다(Lee and Zielske 2014; Lau et al. 2013).

탄산화의 경우는 철근을 부식시키는 열화인자보다는 공극수의 pH 저감에 따라 부식이 발생 및 진전하기 쉬운 조건을 야기한다(Papadakis et al. 1991a; 1991b; Saeki 1991). 또한 내부의 고정된

\* 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)

염분이 탄산화 또는 약산의 영향으로 인해 자유염화물로 용해하여 콘크리트 내부로 유입되는 경우가 보고되는데, 최근 들어 대도시의 제설제를 사용한 구조물에서 많이 발생되고 있다(Castel et al, 1999).

이러한 철근부식은 구조물의 역학적 특성에 영향을 미치게 된다. 구조 안전성 관점에서는 콘크리트가 일정한 수준의 탄성계수 및 강도를 가질 경우, 내부에 부식된 철근의 부식량에 따라 유효단면적이 감소하며, 이를 이용하여 내력의 저하를 평가하는 연구들이 진행되었다(Yu et al, 2017; Jiang et al, 2014). 그러나 철근 단면적이 일부 감소되어도 콘크리트의 중립축의 변화는 크지 않으며, 극한강도( $M_u$ )는 크게 감소하지 않는다. 그 이유는 최소철근비보다 많은 양이 일반적으로 설계시 반영되며, 콘크리트 압축파괴에 상당하는 철근량이 힘의 평형을 이루기 때문이다. 그러나 사용성의 경우, 균열 및 피복콘크리트의 탈락을 가정하면 크게 처짐이 발생하고, 가장 중요한 콘크리트와 철근의 일체성이 확보되지 않으므로 부식에 큰 영향을 미치게 된다. 철근 부식으로 인한 부착강도의 저하는 초기에는 오히려 증가하다가 임계시점(3~4 %)이 넘어서면 부착응력이 크게 감소하게 되므로 부식의 제어는 구조안전성에 대해서 중요한 문제가 된다(Chung et al, 2008; Lee et al, 2002).

염해에 따른 부식을 제어하기 위한 첫 번째 대응방법은 콘크리트 구체의 부식저항성을 높이는 일이다. 일반적으로 부식을 제어하기 위해 콘크리트에 혼화재료를 사용하여 내염해성을 개선하고 있는데, 이를 위한 대표적인 혼화재료는 슬래그(고로슬래그 미분말)이다. 많은 연구에서 공학적인 장점이 발표되었는데, 수화열의 감소, 장기강도의 개선, 공극구조의 밀실화 등 다양한 공학적인 장점이 있다. 고로슬래그미분말은 내부의 자유수와 반응 시 유리질의 산화피막을 형성하지만, 수화 반응에서 생성된 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ )에 의해 산화피막이 파괴되고,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ 와 같은 양이온이 용출된다. 또한 이러한 양이온들은 용해된 수산화칼슘과 반응하여 불용성의 CSH와 알루미늄에이트의 수화물을 생성하게 된다. 슬래그를 혼입한 콘크리트의 내염해성은 알루미늄 기반의 프리델염(Fridel's salt)형성을 통한 높은 염화물 이온의 고정화 능력, 낮은 확산계수, 그리고 장기 재령에 따른 확산 및 이온이송(convection) 저감으로 요약할 수 있다(Song et al, 2003; Ary et al, 1990).

본 연구에서는 24 MPa 등급 콘크리트를 대상으로 염해저항성이 우수하다고 알려진 슬래그를 30 % 치환한 배합과 일반 OPC (Ordinary Portland Cement) 콘크리트를 고려하였다. 촉진부식시험(ICM: Impressed Current Method)을 통하여 각 콘크리트에 매

립된 철근에 전류를 유도하였으며, 매립된 철근의 부식량에 따른 부착강도의 변화를 평가하였다. 또한 측정된 부식전류와 부식량의 상관성을 분석하였으며, 슬래그 혼입 콘크리트에서 우수한 부식저항성 및 부착강도 특성을 확인하였다. Fig. 1에서는 슬래그 혼입 콘크리트의 내염해 특성을 요약하였다.

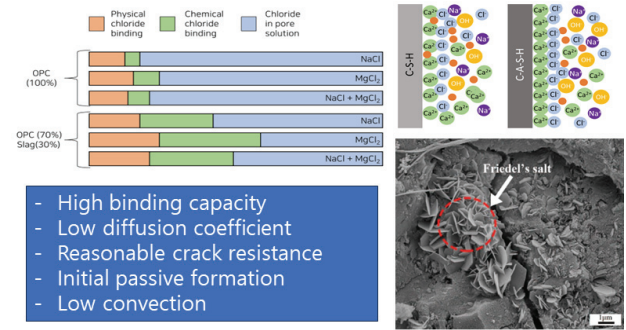


Fig. 1. Resistance to chloride penetration in concrete with slag

## 2. 촉진 부식실험 및 부착실험 개요

### 2.1 사용재료 및 콘크리트 배합

본 실험에서는 두가지 콘크리트 조건을 고려하였는데, 1종 OPC 콘크리트와 3종 고로슬래그미분말을 30 % 치환한 콘크리트를 대상으로 하였다. 설계강도는 일반적인 수준인 24 MPa을, 공기량 및 슬럼프는 4.5 %와 180 mm를 목표로 하였다. Table 1에서는 사용된 배합표를 나타내었으며, Table 2에서는 사용된 OPC 및 슬래그의 특성을, Table 3에서는 사용된 골재의 물리적 특성을 나타내었다.

Fig. 2에서는 콘크리트 제조과정과 시편의 제원을 나타내었는데, 부식발생을 위한 중앙 매립 철근은 D13-SD400을 사용하였다. 시편의 크기 및 제원은 기존의 연구와 동일하다(Ryu et al, 2018).

Table 1. Mix proportions for concrete tested

| W/B (%) | S/a (%) | $G_{max}$ (mm) | Slump (mm) | Unit weight ( $kg/m^3$ ) |     |      |     |     | AE ( $kg/m^3$ ) |
|---------|---------|----------------|------------|--------------------------|-----|------|-----|-----|-----------------|
|         |         |                |            | W                        | C   | Slag | S   | G   |                 |
| 50.0    | 50.0    | 25             | 180        | 175                      | 353 | -    | 888 | 902 | 2.47            |
| 50.0    | 50.0    | 25             | 180        | 175                      | 247 | 175  | 885 | 892 | 2.47            |

W : Water, C : Cement, FA : Fly Ash, S : Sand, G : Gravel

Table 2. Chemical properties of OPC and slag

| Items<br>Types | Chemical composition (mass %) |                                |                                |       |      |                 |          | Physical properties                   |                             |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------|
|                | 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> | Ig. loss | Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> ) | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) |
| OPC            | 21.96                         | 5.27                           | 3.44                           | 63.41 | 2.13 | 1.96            | 0.79     | 3.16                                  | 3,214                       |
| Slag           | 32.74                         | 13.23                          | 0.41                           | 44.14 | 5.62 | 1.84            | 0.20     | 2.89                                  | 4,340                       |

Ig. loss: Ignition mass loss

Table 3. Physical properties of sand and coarse aggregate

| Items<br>Type    | G <sub>max</sub> (mm) | Specific gravity | Absorption (%) | F.M. |
|------------------|-----------------------|------------------|----------------|------|
| Fine aggregate   | -                     | 2.58             | 1.01           | 2.90 |
| Coarse aggregate | 25                    | 2.64             | 0.82           | 6.87 |

F.M. : Fineness Modulus

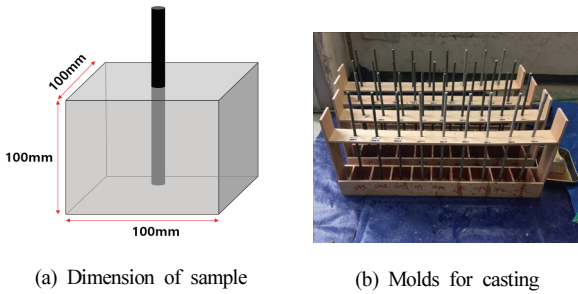


Fig. 2. Sample preparation for the test

## 2.2 촉진부식실험

촉진부식실험은 인위적으로 전위를 인가하여 부식을 촉진하는 방법이다. 갈바닉 전위를 이용하는 실험(Southern Exposure test 또는 Ponding test)이라도 1년 가까운 실험시간이 필요하므로 (Broomfield 1997), 본 연구에서는 ICM(Immersive Current Method)을 활용하였다. 본 방법은 콘크리트를 포화시킨 뒤, 철보다 이온화 경향이 큰 구리 등을 이용하여 철근과 인위적인 전지를 만드는 것으로, 기존의 연구에서도 단순한 부식량을 생성하는데 유용하게 사용되었다(Baek et al. 2012; Tondolo 2015). 저면을 에폭시 코팅하여 철근 하부의 국소부식을 제어하였으며, 옆면을 구리판으로 둘러싸서 부식을 균등하게 유도하였다. 또한 부식된 철의 몰중량(molar weight)은 Faraday법칙을 이용하여 계산할 수 있는데, 식(1)에 나타내었다(Tondolo 2015).

$$M = \frac{c}{zF} \int qdt \quad (1)$$

여기서,  $M$ 은 부식량(mol),  $z$ 는 철의 이온수(=2),  $F$ 는 Faraday의 수(=96,500 C),  $q$ 는 전류(A),  $t$ 는 측정시간(sec),  $c$ 는 실험상수이다.

Fig. 3에서는 촉진부식의 개요도를 나타내었으며, Fig. 4에서는 시편의 에폭시 처리 및 ICM을 통한 부식실험 사진을 나타내고 있다.

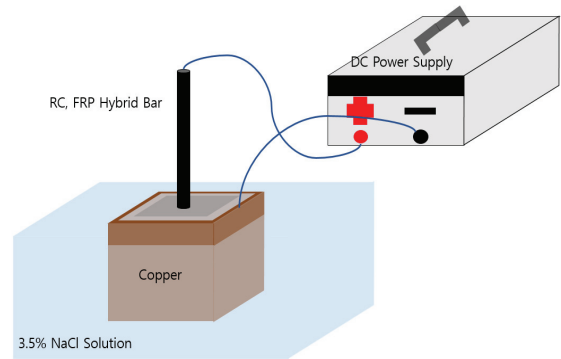


Fig. 3. Schematic diagram for ICM

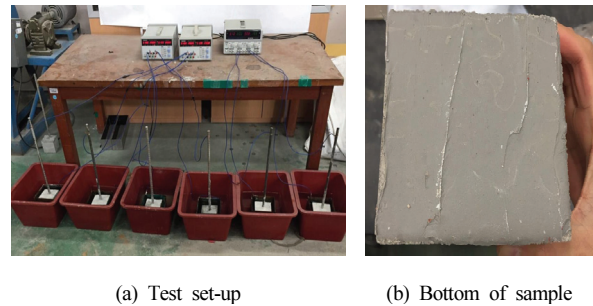


Fig. 4. Photos for ICM test and epoxy coating (bottom)

## 2.3 부착 및 압축강도실험

콘크리트의 부착강도는 ASTM C 234의 인발시험(Pull-out Test)을 참고하였으며, 100x100x100 mm의 정육면체 콘크리트 공시체를 사용하였다. 정착길이는 100 mm이며 이 값을 표면적으로 고려하여 부착응력을 평가하였다. 압축강도는 KS F 2405을 참고하였으며, 지름 100 mm의 실린더 시편을 사용하였다.

Fig. 5에서는 시편의 압축강도 실험 및 부착강도 실험사진을 나타내고 있다(Ryu et al. 2018).



(a) Compressive test (b) Pull-out test  
 Fig. 5. Test of compressive strength and pull-out test

### 3. 부식에 따른 부착응력의 변화

#### 3.1 슬럼프 및 압축강도 평가

슬럼프의 경우 OPC 콘크리트에서는 175~180 mm, 슬래그 콘크리트에서는 170~175 mm 수준으로 평가되어 목표 슬럼프 오차 범위( $\pm 25$  mm)를 만족하였다. 재령에 따른 압축강도는 Fig. 6에 도시하였는데, 슬래그 콘크리트의 강도는 초기재령에서 일반 콘크리트에 비하여 낮게 평가되었으며 28일에서 비슷한 수준으로 평가되었다. 28일 평균압축강도는 OPC콘크리트에서는 25.3 MPa, 슬래그 콘크리트에서는 24.3 MPa로 평가되었다.

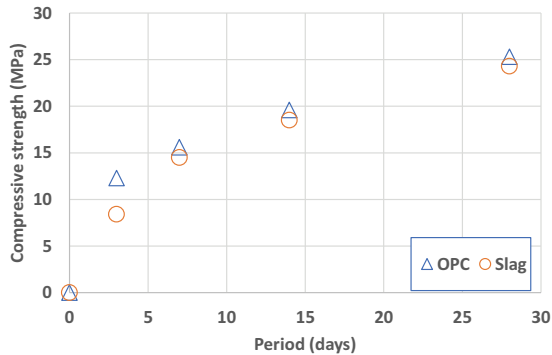


Fig. 6. Compressive strength with ages

#### 3.2 촉진부식실험에 따른 부식 거동

##### 3.2.1 예비 실험에 따른 철근부식량 평가

증류수와 콘크리트 내부의 강알칼리에서의 부식 거동은 차이가 있으므로, OPC 콘크리트를 사용하여 예비 실험을 수행하였다. 전압 10 V를 인가하고 1시간 간격으로 부식전류를 측정하여 총 10일 까지 진행하였다.

Fig. 7은 측정된 부식률(%)과의 비교를 나타내는데, Faraday's Law에서 도출된 값에 실험상수를 고려하여 실험값과 비슷한 수준의 값을 도출하였다.

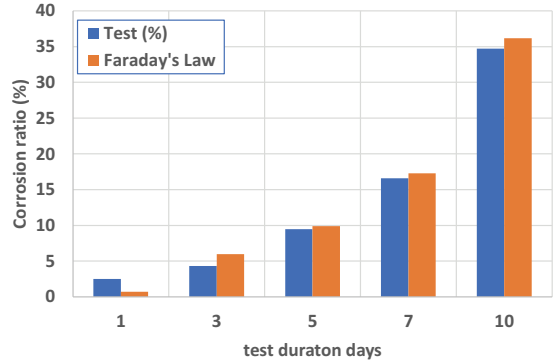
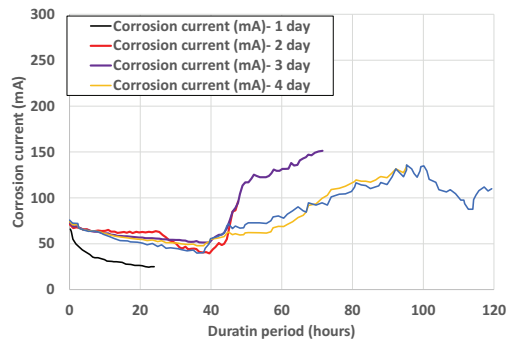


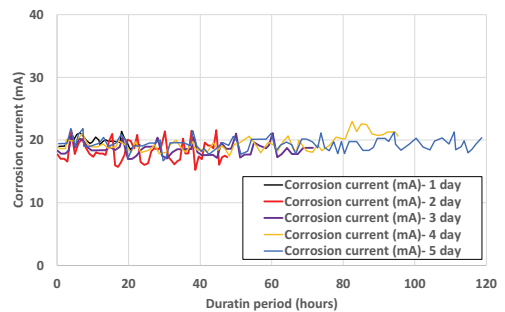
Fig. 7. Corrosion ratio with theoretical and experimental results

##### 3.2.2 일반 및 슬래그 콘크리트에서의 부식전류 변화

본 절에서는 3.2.1절의 결과를 참고하여, OPC 콘크리트의 최대 부식량을 10.0 %로 설정하였다. 1시간 단위로 총 5일에 걸쳐 부식전류를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서



(a) Corrosion current in OPC concrete



(b) Corrosion current in slag concrete

Fig. 8. Measured corrosion current OPC and slag concrete

알 수 있듯이, OPC 콘크리트의 경우 대부분 초기조건부터 80~100 mA 수준의 부식전류가 유도되었으며, 슬래그 콘크리트의 경우 20~30 mA의 낮은 전류가 유도되었다. 이는 밀실한 공극구조를 가진 슬래그 콘크리트의 공극구조 및 공극 연결(conductivity) 감소가 주된 영향이며, 이로 인해 균열이 크게 발생하지 않으므로 비교적 일정한 부식전류가 유도되었다. 특히 Fig. 8(a)의 OPC 콘크리트의 경우 40시간 이후 부식전류량이 크게 증가하는 경향이 보이는데, 이는 부식으로 인해 균열이 발생하여 철근 위치에 유입되는 염화물이 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 9에서는 시간에 따른 총 전하량(Q)을 각 배합별로 도시하였다.

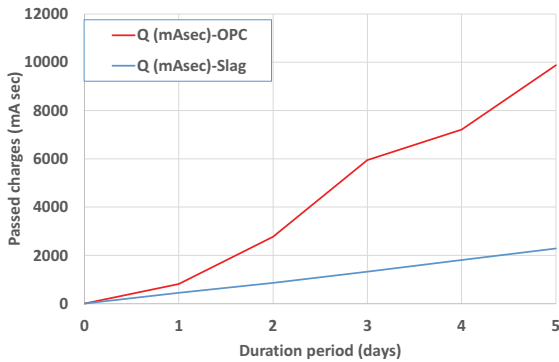


Fig. 9. Cumulated current during test period

### 3.3 콘크리트 특성에 따른 부식량 및 부착응력 평가

3.2절의 부식거동을 고려하여 부착실험을 수행하였으며 부착강도 평가후 콘크리트에서 철근을 채취하여 부식량을 평가하였다. Fig. 10에서는 부착시험이후 시편의 형태를 나타내었으며, Fig. 11(a)에서는 OPC 콘크리트 및 슬래그 콘크리트의 촉진부식시간에 따른 부착강도를 나타내었다. 또한 Fig. 11(b)는 촉진기간에 따른 부식량(%)을 도시하였다.

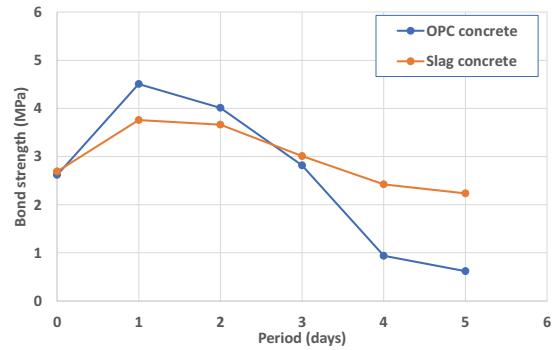
기존의 실험결과에 비하여 상대적으로 낮은 부착응력이 도출되었는데, 이는 부착시험시 편심의 영향으로 판단되며, 추후 기존의 방법(Chung et al, 2008; DSO, 1980)을 고려하여 엄격하게 부식에 따른 부착응력의 변화를 파악할 필요가 있다. 파괴하중을 매립된 철근의 비표면적으로 나누어 식(2)와 같이 부착응력을 평가하였다.

$$\tau = \frac{P}{DL\pi} \quad (2)$$

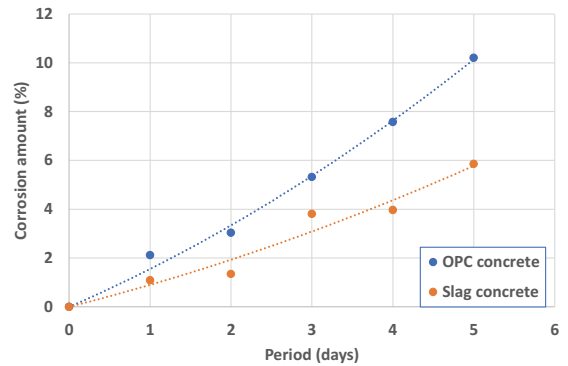
여기서,  $\tau$ 는 부착응력 (MPa),  $P$ 는 최대하중,  $D$  및  $L$ 은 매립된 철근의 공칭직경 및 길이를 나타낸다.



Fig. 10. Corroded samples after bond strength test



(a) Bond strength with duration period



(b) Corrosion amount with duration period

Fig. 11. Bond strength and corrosion amount with test period

Fig. 11(a)에서는 촉진 부식 1일 이후 부식된 철근의 swelling effect에 의해서 초기 조건보다 높은 부착응력이 평가되었다. OPC 콘크리트에서는 3일 경과(부식량 5.32 %) 이후 급격한 부착강도의 감소가 발생하였으며, 슬래그 콘크리트에서는 5일 경과후에도 초기 부착응력의 80 % 수준을 유지하고 있었다.

Fig. 11(b)에서는 촉진기간에 따른 부식량(%)을 나타내었는데, 일정한 전위가 인가되더라도 시간에 따라 비선형적인 증가를 나타

내었다. 이는 OPC 콘크리트의 경우 부식으로 인한 균열발생후 부식전류의 상승으로 인한 것으로 판단된다. 슬래그 콘크리트에서의 철근 부식량은 OPC콘크리트의 부식량에 비해 51.4~71.6 % 수준으로 감소하였으며, 선형에 가까운 관계가 도출되었다.

$$Y_o = 0.1192T^2 + 1.4321, \quad R^2 = 0.99 \quad (3)$$

$$Y_s = 1.0982T, \quad R^2 = 0.98 \quad (4)$$

여기서  $Y_o$  및  $Y_s$ 는 10 V 인가 상태에서의 부식률(%),  $T$ 는 부식 인가시간(day)를 나타낸다.

또한 Fig. 11의 부식률과 누적전류량과 비교할 경우 뚜렷한 선형 관계가 나타났으며, 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다. OPC의 경우 선형의 기울기 슬래그에 비하여 높게 평가되었으며, 결정계수는 0.989 및 0.982으로 높은 상관성을 나타내었다.

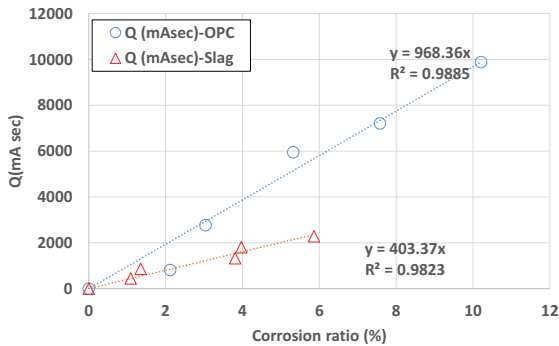


Fig. 12. Relationship between cumulated current and corrosion ratio

#### 4. 결론

본 연구에서는 슬래그 및 OPC콘크리트에 ICM를 활용하여 부식을 야기하였으며, 부식전류에 따른 부식량과 부착강도의 차이를 평가하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1. OPC콘크리트에서는 실험시간에 따라 비선형적으로 증가하는 부식량이 평가되었으며, 슬래그 콘크리트에서는 OPC 콘크리트 대비 51.4~71.6 % 수준의 부식량이 평가되었다.
2. 부식량 3~4 % 수준 이후 부착강도는 크게 감소하였으며, 이 경향은 기존의 연구와 동일하게 평가되었다. 동일한 촉진 기간(5일) 경과후에도 슬래그 콘크리트에서는 부착성능을

50 % 이상 유지하고 있었다.

3. OPC 및 슬래그 콘크리트에 전위를 인가한 경우, 균열이 발생하기 전까지 비교적 일정한 부식전류를 나타내고 있었으며 균열이 발생한 이후 급격한 전류의 증가가 평가되었다. 누적 전하량과 발생 부식량과는 선형적인 상관성이 평가되었으며, OPC 콘크리트보다 40 % 정도 낮은 비례상수가 슬래그 콘크리트에서 평가되었다.

#### Conflicts of interest

None.

#### 감사의 글

본 연구는 (No. NRF-2020R1A2C2009462)의 지원으로 수행되었으며 저자는 이에 감사드립니다.

#### References

ACI 440.1 R-06 (2006). Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP bars, ACI Committee 440.

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

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

Broomfield, J.P. (1997). *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*, E&FN, London, 1-15.

Castel, A., François, R., Arliguie, G. (1999). Effect of loading on carbonation penetration in reinforced concrete elements, *Cement and Concrete Research*, **29(4)**, 561-565.

CEN. (2000). Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures; EN-1991; European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation, CEN): Brussels, Belgium.

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.

DSO: Danish Standards Organization (1980). Pullout Test, DS-2082, Copenhagen, 2.

- Jiang, L., Liu, H., Chu, H., Zhu, C., Xiong, C., You, L., Xu, J., Qin, Y. (2014). Influence of compression fatigue on chloride threshold value for the corrosion of steels in simulated concrete pore, *Construction and Building Materials*, **73**, 699–704.
- JSCE. (2002). Concrete Library 109: Proposal of the Format for Durability Database of Concrete; Japan Society of Civil Engineering (JSCE): Tokyo, Japan.
- JSCE. (2007). Standard Specification for Concrete Structures—Design; JSCE Guidelines for Concrete 15; Japan Society of Civil Engineering (JSCE): Tokyo, Japan.
- Kim, S.K., Lee, S.H., Na, Y.J., Kim, J.T. (2013). Conceptual model for LCC-based LCCO<sub>2</sub> analysis of apartment buildings, *Energy and Buildings*, **64**, 285–291.
- Lau, K., Lasa, I., Paredes, M. (2013). Corrosion failure of post-tensioned tendons in presence of deficient grout, *NACE CORROSION*, NACE-2013-2600.
- Lee, B.Y., Koh, K.T., Ismail, M.A., Ryu, H.S., 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**, 8575816.
- Lee, H.S., Noguchi, T., Tomosawa, F. (2002). Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion, *Cement and Concrete Research*, **32(8)**, 1313–1318.
- Lee, S.K., Zielske, J. (2014). An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds, Federal Highway Administration, Technical Report in FHWA-HRT-14-039.
- Li, F., Yuan, Y. (2013). Effects of corrosion on bond behavior between steel strand and concrete, *Construction and Building Materials*, **38**, 413–422.
- Papadakis, V.G., Vayenas, C.G., Fardis, M.N. (1991a). Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation, *ACI Materials Journal*, **88(4)**, 363–373.
- Papadakis, V., Vayenas, C., Fardis, M. (1991b). Physical and chemical characteristics affecting the durability of concrete, *ACI Materials Journal*, **88(2)**, 186–196.
- Ryu, H.S., Park, K.T., Yoon, Y.S., Kwon, S.J. (2018). Resistance to chloride attack of FRP hybrid bar after freezing and thawing action, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(1)**, 59–65 [in Korean].
- Saeki, T. (1991). Mechanism of carbonation and prediction of carbonation process of concrete, *Concrete Library International of JSCE*, **17**, 23–36.
- Song, H.W., Kwon, S.J., Lee, S.W., Byun, K.J. (2003). A study on resistance of chloride ion penetration in ground granulated blast furnace slag concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **15(3)**, 400–408 [in Korean].
- Tondolo, F. (2015). Bond behaviour with reinforcement corrosion, *Construction and Building Materials*, **93**, 926–932.
- 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.

### 촉진부식실험을 이용한 OPC 및 슬래그 콘크리트의 부식-부착강도 평가

다공성인 콘크리트에서는 외부의 수분 및 염화물 유입이 발생하며, 이는 매립된 철근의 부식을 야기한다. 본 연구에서는 촉진부식실험(ICM: Impressed Current Method)를 이용하여 10 V의 전압을 인가하였으며, 이에 따라 10 % 수준까지 부식량을 조절하였다. 부식량은 부식전류량 누계와 선형적인 관계가 도출되었으며, 균열의 영향으로 부식 유도 시간에 따라 2차 함수의 형태로 증가하였다. 부착응력에 대해서는 OPC 콘크리트에 대해서는 부식량 3.0 % 이후 급격한 부착응력의 감소가 발생하였다. 또한 치환률 30 %의 슬래그 콘크리트에서는 일반 콘크리트에 비하여 51.4~71.6 %의 낮은 부식량을 나타내었으며 5일간의 촉진실험에도 일정 수준의 부착강도를 유지하였다.