

수중불분리성 콘크리트 중의 철근부식 평가

Estimation on Corrosion of Reinforcing bar in Antiwashout Underwater Concrete

문 한 영* · 김 성 수** · 김 홍 삼*** · 김 종 필****

Moon, Han Young · Kim, Seong Soo · Kim, Hong Sam · Kim, Jong Pil

ABSTRACT

Recently, antiwashout underwater concrete has been used for underwater structure such as high strength massive concrete structures. When, concrete is placed in seawater the quality and durability of concrete could be doubt to especcially because the amount of cement placed in the concrete can be diminished by flowing seawater.

In this study, antiwashout underwater concrete mixed with mineral admixtures for improvement of properties was placed in air, water, and salt water. Half-cell potential and current density was of specimens which made under different conditions measured for estimating corrosion degree.

The experimental results demonstrate that corrosion resistantce in saltwater was little and mineral admixtures improved properties of concrete.

1. 서론

최근 대형 해양콘크리트 구조물의 건설이 활발해지면서 수중불분리성 콘크리트의 사용이 증대됨에 따라 해수중에 타설되는 콘크리트의 품질 및 내구성에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 특히 콘크리트가 해수중에 타설될 때 유수에 의하여 시멘트가 유실되므로써 품질이 떨어지게 될 뿐만 아니라, 해수중의 염화물이 콘크리트 중에 침투, 확산되어 콘크리트 속의 철근을 녹슬게 함으로써 콘크리트의 내구성을 크게 저하시킬 우려가 있다. 해수중에서는 산소의 공급이 원활하지 못하기 때문에 해수중에 축조된 철근콘크리트구조물 속의 철근부식은 거의 발생하지 않는 것으로 간주되어 왔다. 그러나 근래에 들어 여러 연구자들에 의해 실제 구조물을 조사한 결과 해수중에서는 장기적으로 염분의 침투에 의하여 철근이 부식됨으로써 내구성이 저하된다는 연구가 보고되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 공시체를 기중, 담수 및 해수중에서 제작하여 부식촉진시험을 실시한 후 부식면적을 및 부식전류밀도를 측정하여 수중불분리성 콘크리트중의 철근부식을 평가 고찰하였다.

2. 실험개요

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 02-2290-0323(E-mail : moon77@email.hanyang.ac.kr)
** 정회원 · 대전대학교 이공대학 토목공학과 교수 031-539-2023(E-mail : sskim@road.daejin.ac.kr)
*** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 박사수료 02-2290-0418(E-mail : winner@hymail.hanyang.ac.kr)
**** 정회원 · 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정 031-533-9580(E-mail : kjp0307@www.daejin.ac.kr)

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 혼화재 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함) 및 플라이애시(이하 FA로 약함)와 고로슬래그미분말(이하 BFS로 약함)을 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 플라이애시와 고로슬래그미분말의 화학성분 및 물리적 성질

| 종 류 | 항 목 | 화 학 성 분 (%) | | | | | 강열감량 (%) | 비 중 | 비표면적 (cm ² /g) | |
|-----|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|----------|------|---------------------------|-----------------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | | | | SO ₃ |
| | OPC | 21.95 | 6.59 | 2.81 | 60.1 | 3.32 | 2.11 | 2.58 | 3.15 | 3,112 |
| | FA | 67.70 | 25.00 | 2.85 | 2.0 | 0.90 | - | 3.47 | 2.15 | 3,274 |
| | BFS | 32.30 | 14.80 | 0.40 | 44.1 | 5.50 | 1.00 | 1.10 | 2.80 | 4,580 |

(2) 골재 : 잔골재는 비중 2.6인 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 비중 2.6, 최대치수 10mm인 부순 돌을 사용하였다.

(3) 화학혼화제 : 수중불분리성 혼화제(이하 AWA로 약함)는 주성분이 HPMC(Hydroxypropyl Methylcellulose)계인 증점제이며, 유동성을 향상시키기 위하여 멜라민계 유동화제를 사용하였다.

2.2 공시체의 제작 및 콘크리트의 배합

수중불분리성 콘크리트를 기중, 담수 및 해수중에서 피복두께 1cm 및 2cm 깊이에 직경 13mm 철근을 매입한 10×10×20cm의 각주형공시체를 제작하였으며, 사용된 콘크리트 배합은 표 2와 같다.

표 2 콘크리트의 배합

| 종 류 | 항 목 | G _{max} (mm) | Slump flow (cm) | Air (%) | W/C (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m ³) | | | | | AWA (W×%) | HPMC (C×%) | |
|-----|-------|-----------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------------------------------|-----|----|-----|-----|-----------|------------|-----|
| | | | | | | | C | W | FA | BFS | S | | | G |
| | OPC | 10 | 50±5 | 4%이하 | 50 | 42 | 420 | 210 | 0 | 0 | 674 | 938 | 1.2 | 1.8 |
| | FA20 | 10 | 50±5 | 4%이하 | 50 | 42 | 336 | 210 | 84 | 0 | 660 | 918 | 1.2 | 1.8 |
| | BFS50 | 10 | 50±5 | 4%이하 | 50 | 42 | 210 | 210 | 0 | 210 | 664 | 924 | 1.2 | 1.8 |

2.3 실험방법

(1) 콘크리트 중의 철근전류 밀도 측정

수중불분리성 콘크리트를 제조하여 14일 동안 수중에서 양생한 후, 6%의 NaCl 용액에 3일간 침지한 후 4일간 공기중 건조를 1사이클로 하여 24사이클까지 부식 촉진시험을 실시하였으며, 사이클별로 부식전류 밀도를 측정하였다. 사용된 부식속도 측정장치는 GECOR 6으로써 그림 1에 측정장치를 나타내었으며, 측정된 부식전류밀도의 평가기준은 표 3과 같다.

(2) 부식면적을 측정

콘크리트 중의 철근을 꺼내어 철근표면에 나타난 공식 부분과 붉은 녹 및 검은 녹의 발생부분을 부식된 부분으로 정의하고 트레이싱지에 스케치 한 후, 방안지를 이용하여 부식 부분에 포함된 교점수 n을 구하고 철근의 전개도에 포함된 전체 교점수를 N으로 하여 식 (1)에 의해 부식면적을 계산한다.

$$\text{부식면적율 (\%)} = \frac{n}{N} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부식전류 밀도에 의한 철근부식 평가

수중불분리성 콘크리트 중의 철근부식을 평가하기 위해 촉진시험을 실시하여, 싸이클별로 측정된 부식전류 밀도 및 부식속도를 표 4 및 그림 2 ~ 4에 정리하여 나타내었다. 그림 2는 기중에서 제작된 수중불분리성 콘크리트중의 철근부식 속도를 정리한 것이며, 그림 3 및 4는 각각 담수 및 해수중에서 제작된 경우의 측정결과이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 촉진 싸이클이 증가할수록 부식전류 밀도는 증가하였다. 한편, 표 3과 같이 부식전류 밀도가 $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이하인 경우가 부식의 진행이 거의 없는 부동태 조건으로 평가한다면, 기중제작에서는 부식 속도가 다소 늦으나, 해수중제작과 담수중의 덮개 1cm에서는 다소 빠른 경향을 보이고 있다. 부식 촉진 24사이클 후에는 모든 경우에 있어서 $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 를 넘어서고 있다. 따라서 모두 부식이 진행되고 있는 것으로 추정을 할 수 있다. 그림 4는 해수에서 제작한 경우로써 기중 및 담수 조건에 비해 큰 값을 나타내었고, 기중에서 제작된 콘크리트 중의 철근 부식이 가장 적은 것으로 나타났다.

표 4 전류밀도에 의한 사이클 수

| 종 류 | 항 목 | $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 에 도달하는 싸이클 | |
|-------|-----|-----------------------------------------|---------|
| | | 덮개(1cm) | 덮개(2cm) |
| OPC | 기 중 | 20 | 24 |
| | 담 수 | 11 | 16 |
| | 해 수 | 2 | 4 |
| FA20 | 기 중 | 22 | 24 |
| | 담 수 | 10 | 22 |
| | 해 수 | 3 | 8 |
| BFS50 | 기 중 | 24 | 24 |
| | 담 수 | 13 | 24 |
| | 해 수 | 7 | 8 |

표 3 전류 밀도에 의한 부식 평가기준

| $I_{\text{corr}} (\mu\text{A}/\text{cm}^2)$ | 평 가 |
|---------------------------------------------|------------------|
| 0.2 이하 | 부식이 진행되지 않는 상태 |
| 0.2 ~ 0.5 | 부식의 진행이 아주 약한 상태 |
| 0.5 ~ 1.0 | 부식 속도가 중간 정도 |
| 1.0 이상 | 부식 속도가 아주 빠른 상태 |

3.2 철근의 부식면적율

부식촉진 24사이클 경과 후 콘크리트를 쪼개어 꺼낸 철근의 부식면적율을 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다. 전체적으로 부식면적율은 10% 미만의 값을 나타내었으며, 부식전류 밀도의 결과와도 대체로 일치함을 알 수 있었다. 해수중에 제작한 공시체에 매입한 철근의 부식면적율이 타 조건에 비해 크게 나타났다. 이는 해수중에서 제작한 공시체에는 내부에 염화물이 포함되어 있기 때문인 것으로 사료되며, 이러한 경향은 피복두께에 관계없이 동일하였다. 광물질 혼화재를 사용하여 해수중에서 제작한 수중불분리성 콘크리트 중에 매입한 철근 부식면적율을 정리한 것이 그림 6이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 FA 및 BFS를 혼합한 경우 부식억제 효과가 다소 개선되었으며, 특히 BFS를 사용한 것이 철근의 내부식성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

- (1) 수중불분리성 콘크리트의 부식전류 밀도는 중간정도의 속도를 나타내며, 해수, 담수, 기중 순서로 부식전류 밀도의 크기를 나타내었다.
- (2) 제작 조건에 따라 다른 제작조건보다 해수중제작의 경우가 억제 효과가 가장 작아지는 경향을 나타내고 있다.
- (3) 광물질혼화재를 혼합하는 것이 부식 억제 효과에 다소 우수하였으며, 특히 고로슬래그미분말을 사용한 것이 철근의 내부식성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있었다.

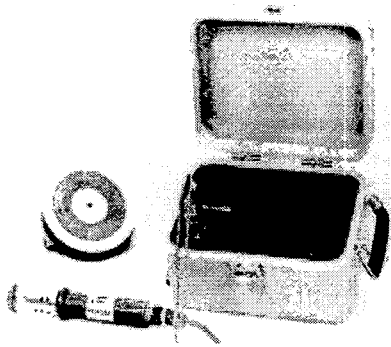


그림 1 분극저항 측정장치 (GECOR 6)

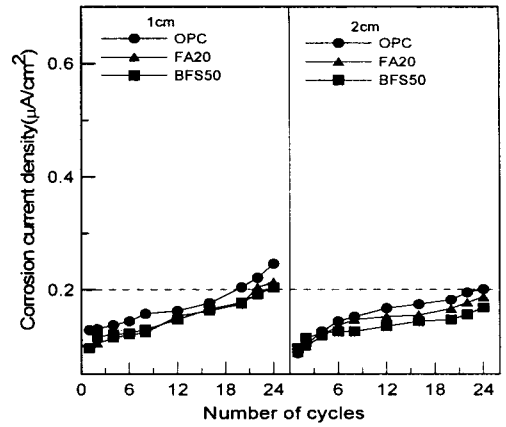


그림 2 축진 사이클 수에 따른 부식속도 (기중제작)

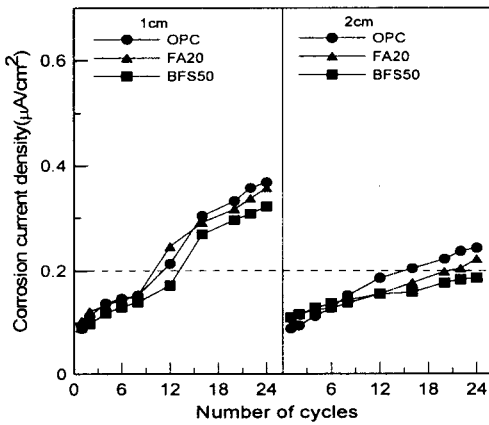


그림 3 축진 사이클 수에 따른 부식속도 (담수제작)

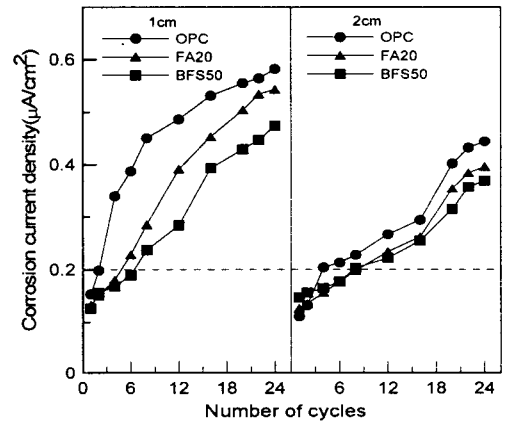


그림 4 축진 사이클 수에 따른 부식속도 (해수제작)

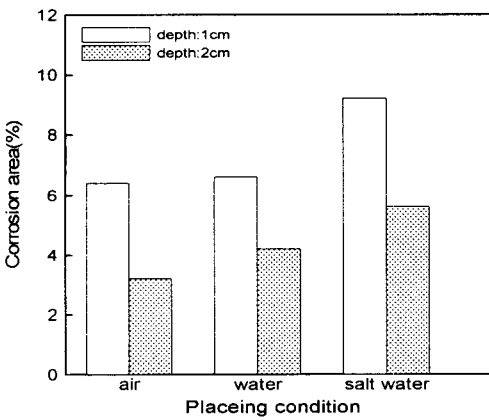


그림 5 콘크리트의 부식면적율(OPC)

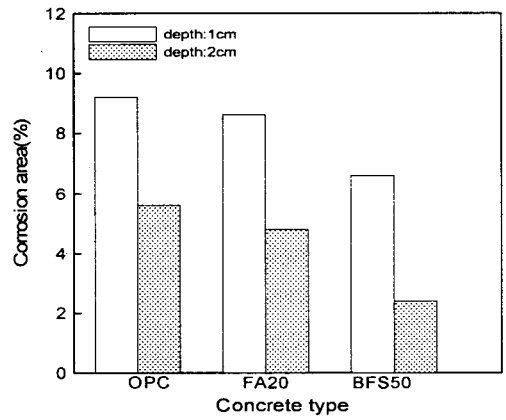


그림 6 콘크리트의 부식면적율(해수제작)