

人工海水에 浸漬한 모르터 중의 鐵筋 腐蝕에 대한 研究

A study on Corrosion of Steel in Mortar
under the Environment of Artificial Seawater

문한영* 김성수** 류재석***
Moon Han Young Kim Seong Soo Ryou Jae Suk

ABSTRACT

This study was performed for the purpose of estimating steel corrosion of concrete structures under the environment of seawater. The corrosion of steel was accelerated in artificial seawater with seven kinds of specimen which was embedded in mortar.

By measuring choride content in mortar, half cell potential and corrosion area ratio, the degree of steel corrosion can be assumed.

1. 서론

해사를 잔골재로 사용하거나 해수의 영향을 받는 콘크리트구조물의 경우 해사나 해수중에 함유되어 있는 염분의 영향으로 인하여 콘크리트의 성능이 떨어지며, 철근은 녹이 슬어 부식으로 진행되므로써 내구성이 저하되는 원인이 되고있다.

철근은 한번 녹슬기 시작하면 그 진행이 빨라질 뿐만아니라 寒冷地의 凍結融解 또는 파도나 수압 등의 물리적 작용이나 感潮部에서 건조, 습윤의 반복 등의 영향을 심하게 받게되면 구조물이 파괴되는 경우까지 발생한다. (1-3)

본 연구에서는 해수의 영향을 받는 콘크리트구조물 중의 철근의 腐蝕을 최소화하고, 콘크리트 침식, 열화를 향상시키기 위한 연구의 일환으로 보통 및 고로슬래그 시멘트, 보통포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬, 실리카흙을 혼화재로 혼합한 모르터 중에 철근을

묻은 시험체를 제조한 후, 人工海水溶液中에 침지하여 철근 부식속진시험을 실시하여 철근의 부식 정도를 알아보기 위한 기초자료를 얻고자 한다.

2. 실험 개요

2-1. 사용 재료

(1) 시멘트, 혼화재 및 골재 : 보통포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트와 혼화재인 플라이애쉬, 실리카흙의 화학성분 및 물리적 성질은 표-1과 같으며 잔골재는 표준모래를 사용하였다.

(2) 철근 : ϕ 10mm 원형 철근(SR24)의 표면을 아세톤으로 깨끗이 닦아 양단면을 그림-1에서와 같이 에폭시로 코팅하였다.

(3) 인공해수 : 실험에 사용한 인공해수는 ASTM D 1141-52에 따라 제조하여 사용하였다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

표-1. 시멘트 및 혼화재의 화학성분 및 물리적 성질

항목 종류	화 학 성 분 (%)							비중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss		
보통시멘트	21.80	5.84	3.56	60.62	3.54	2.58	0.95	3.12	3,422
고로시멘트	25.0	11.0	2.0	53.1	4.6	2.2	1.2	3.02	3,825
플라이애쉬	56.40	26.60	5.50	0.02	0.30	-	4.25	2.14	4,092
실리카흙	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	-	2.3	2.51	204,700

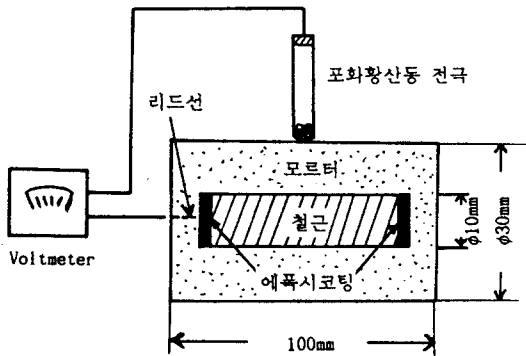


그림-1. 시험체의 크기 및 자연 전극 전위 측정

2-2. 실험 기구 및 방법

(1) 시험체 및 자연전극전위 측정장치

φ 30×100mm의 원형용기에 모르터를 채우고 그 속에 그림-1에서와 같은 직경 10mm의 원형철근을 묻고 그 끝에 리드선을 연결하였다.

이 시험체를 수중에서 7일간 표준양생한 후 60°C의 인공해수 용액에 24시간 침지 대기중에 24시간 방치한 것을 1사이클로 정하였으며 본 실험에서는 60사이클 촉진시험을 실시한 후 철근의 리드선을 볼트미터에 연결하여 자연전극전위를 측정하였다.

(2) 모르터 중의 가용성 염분량 측정

60사이클의 부식 촉진시험 후 모르터 시험편을 표면에서부터 0~3mm, 3~6mm 및 8~

10mm깊이로 채취한 미분말 모르터 시료 10g씩을 日本 콘크리트學會 規準(案)⁽⁴⁾에 따라 질산은 적정법에 의해 가용성 염분량을 측정하여, 모르터의 중량에 대한 가용성 염분의 중량비를 백분율로 나타내었다.

(3) 철근의 부식면적을 측정

그림-1에서와 같은 시험체에 의하여 자연 전극전위를 측정한 후 모르터 속의 철근을 꺼내어 철근의 부식면적을 구하여 전체 철근면적에 대한 비율로서 부식면적을 나타내었다.

2-3. 모르터의 배합

보통포틀랜드 시멘트(OC), 고로슬래그 시멘트(SC)와 플라이애쉬를 20% 혼합한 시멘트(FC20) 및 실리카흙을 10% 혼합한 시멘트(SF10)로써 제조한 모르터는 KS L 5105에 의한 표준배합으로 제조하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3-1. 모르터 중의 가용성 염분량이 철근 부식에 미치는 영향

콘크리트가 해수 중에 장기간 노출하게 되면 해수 중의 화학 성분의 작용에 의하여 콘크리트가 浸蝕하게 되며, 철근은 녹이 생기게 되며 부식으로 진행된다고 한다.

그래서 ASTM에 따른 인공해수용액을 조제하여 철근을 묻은 모르터 시험체를 만들어 60사이클의 促進試驗을 실시하여 모르터 시험편의 표면으로부터 깊이에 따른 可溶性鹽分量을 4단계로 측정하여 정리한 것이 그림-2 및 그림-3이다.

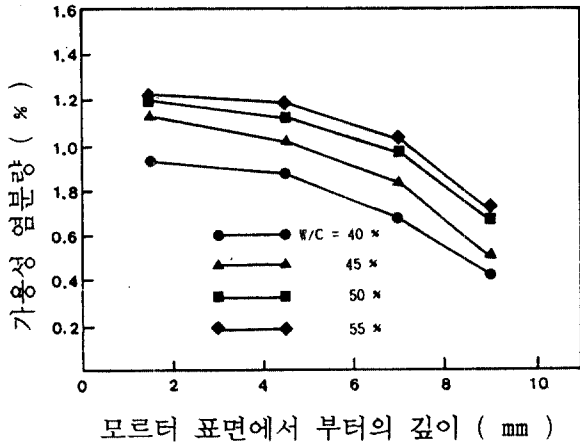


그림-2. 표면에서 부터의 깊이에 따른 모르터중의 가용성 염분량

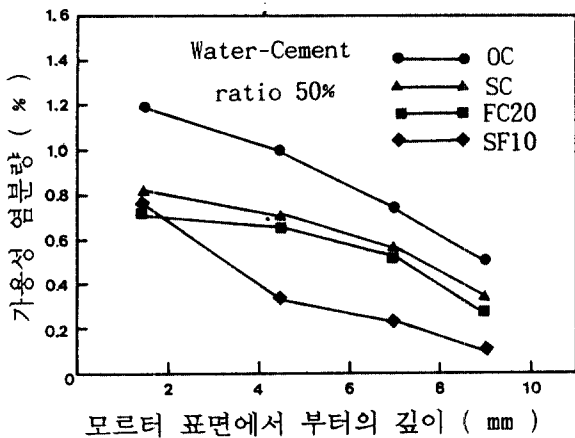


그림-3. 표면에서 부터의 깊이에 따른 모르터중의 가용성 염분량

그림-2는 모르터의 물시멘트비가 각각 다른 4종류의 보통포틀랜드 시멘트로 제조한 모르터 시험편의 가용성 염분량을 표면으로부터 깊이별로 나타낸 것으로서 물시멘트비가 클수록 모르터 중의 가용성 염분량이 크게 나타났으며, 동일 시험편 일지라도 표면

에서 부터 모르터 깊이에 따라 가용성 염분량이 2배 이상되는 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

이번에는 물시멘트비 50%의 OC 모르터 이외 SC 모르터, FC20 모르터 및 SF10 모르터 로써 제조한 시험편의 가용성 염분량을 표면에서의 깊이별로 정리한 것이 그림-3이다.

이 그림에서도 가용성 염분량이 동일 시험편일지라도 표면에서의 깊이에 따라 큰 차이를 나타내었으며 사용 시멘트에 따라 가용성 염분량이 크게 상이함을 알 수 있다.

특히 실리카흄을 10% 혼합한 모르터 SF10의 경우가 4종류의 시험편 중에서 가용성 염분량이 가장 작게 나타났으며, 표면에서 깊이가 깊어질수록 (모르터 표면에서 0.8~10mm 위치에서 약 0.1%) 그 효과는 더욱 크게 나타났다.

그래서 그림-2 및 그림-3의 7종류의 모르터 시험체 속에 묻어둔 철근의 부식 정도를 조사하여 부식면적율로 정리한 것이 그림-4이다.

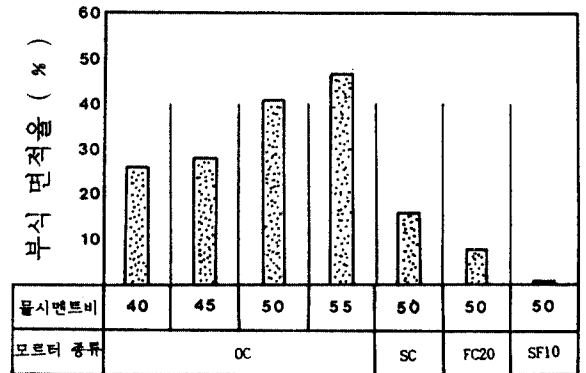


그림-4. 물시멘트비 및 모르터 종류에 따른 철근 부식 면적율

이 그림에서 동일 물시멘트비 50%에서 모르터의 종류별로 철근의 부식면적율을 비교해 보면 OC 모르터의 경우 철근의 부식면적율이 40% 정도임에 비하여 SF10 모르터는 2% 정도에 지나지 않는 현저하게 적은 값임

을 알 수 있다.

한편 동일 OC 모르터의 경우, 철근의 부식 면적율을 물시멘트비로써 비교해 볼 때 물시멘트비가 클수록 부식 면적율이 큼을 알 수 있었다.

3-2 자연전위에 의한 철근부식의 추정

철근을 모르터 중에 묻은 시험체를 인공해수용액에 침지할 경우 염용액과 같은 전해질 용액이 존재하기 때문에 철근은 전기화학적 부식이 일어난다. 그러므로 철근과 모르터의 접촉부분에서 발생하는 자연전위를 측정하므로써 철근의 부식정도를 추정할 수 있다.

그래서 물시멘트비가 상이한 OC모르터와 물시멘트비 50%인 4종류 모르터 속에 각각 철근을 묻은 시험체를 인공해수용액에 침지하여 60사이클 측정 후 자연전위를 측정하여 정리한 것이 그림-5 및 그림-6이다.

그림-5에서 수중양생 직후 철근이 부식 안된 상태의 자연전위가 -200 mV 정도였으나 60사이클후 물시멘트비에 따라 -400 mV 에서 -600 mV 정도로 나타났다. 다시말해서 물시멘트비가 커질수록 자연전위의 절대값이 현저하게 커짐을 알수있다.

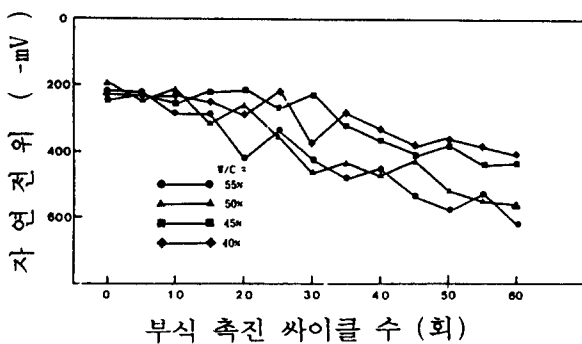


그림-5. 부식 촉진 사이클 수에 따른 자연 전위의 변화

그런데 ASTM C 869에 의하면 자연전위 $E_c > -200mV$ 이면 철근의 부식이 거의 발생하지 않지만 $< -350mV$ 이면 부식이 상당 진행된다고 한다. 본 연구에서는 실험조건 및

방법 등 제 여건이 상이한 탓으로 자연전위 값에 따른 철근부식의 상태가 매우 상이하게 나타났으므로 앞으로 계속 검토해야할 과제로 생각된다.

한편 그림-6은 시멘트 종류가 상이한 모르터의 자연전위 값을 60 사이클 후에 비교한 것으로써, 이 그림에서 알 수 있듯이 OC 모르터의 자연전위의 절대값이 SF10모르터보다 2배이상임을 알 수 있으며, 자연전위의 절대값은 SF10 모르터, FC20 모르터, SC 모르터 및 OC 모르터 순으로 크게 나타났다.

그러므로 해수의 영향을 받는 철근콘크리트 구조물 시공시 적정량의 실리카흄이나 플라이애쉬를 혼화제로 사용하므로써 철근 부식을 예방내지는 줄이는데 큰 도움이 된다고 생각되었다.

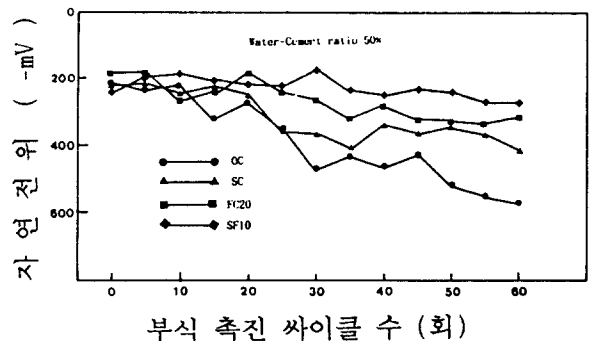


그림-6. 부식 촉진 사이클 수에 따른 자연 전위의 변화

3-3. 모르터중의 철근의 부식에 대한 평가

근년에 와서 모르터나 콘크리트중에 묻힌 철근의 부식정도를 판정하기 위한 수단으로 전기 화학적인 방법들이 이용되고 있다.

모르터중의 철근의 부식면적율과 자연전위 및 가용성염분량과의 관계로 나타낸 것이 그림-7-(1)이다.

이 그림에 의하면 철근의 자연전위 $E_c < -350mV$ 에서 철근이 녹슬기 시작하였으며 $E_c < -500mV$ 에서 철근의 부식 면적율이 약 33% 정도로 나타났다.

한편 모르터중의 가용성 염분량과 철근의 부식면적율과의 관계로서 정리한 것이 그림-7-(2)이며 모르터중의 가용성 염분량과 철근의 부식면적 사이에는 거의 직선적인 좋은 상관관계를 나타내었다.

여기서 철근의 부식면적을 33%정도일 때의 모르터 중의 가용성 염분량을 구해보면 약 0.56%임을 알 수 있다.

이번에는 철근의 자연전위와 모르터중의 가용성 염분량과의 관계를 나타낸 것이 그림-7-(3)로써, 양자 사이에는 비교적 좋은 상관 관계가 성립됨을 알 수 있다. 이 그림에서 철근의 자연전위 -500mV 에서 가용성 염분량이 약 0.58% 정도임을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 모르터

중의 가용성 염분량이나 철근의 자연전위 값으로 해수의 영향을 받는 모르터나 콘크리트중의 철근의 부식 정도를 추정하는 한 수단으로 이용할 수 있는 가능성을 시사한 결과라 사료된다.

4. 결론

철근을 모르터 중에 묻은 시험체를 인공해수 용액에 침지하여 철근부식속진 시험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 모르터의 물시멘트비가 작을수록 또는 실리카흙이나 플라이애쉬를 혼합한 경우 및

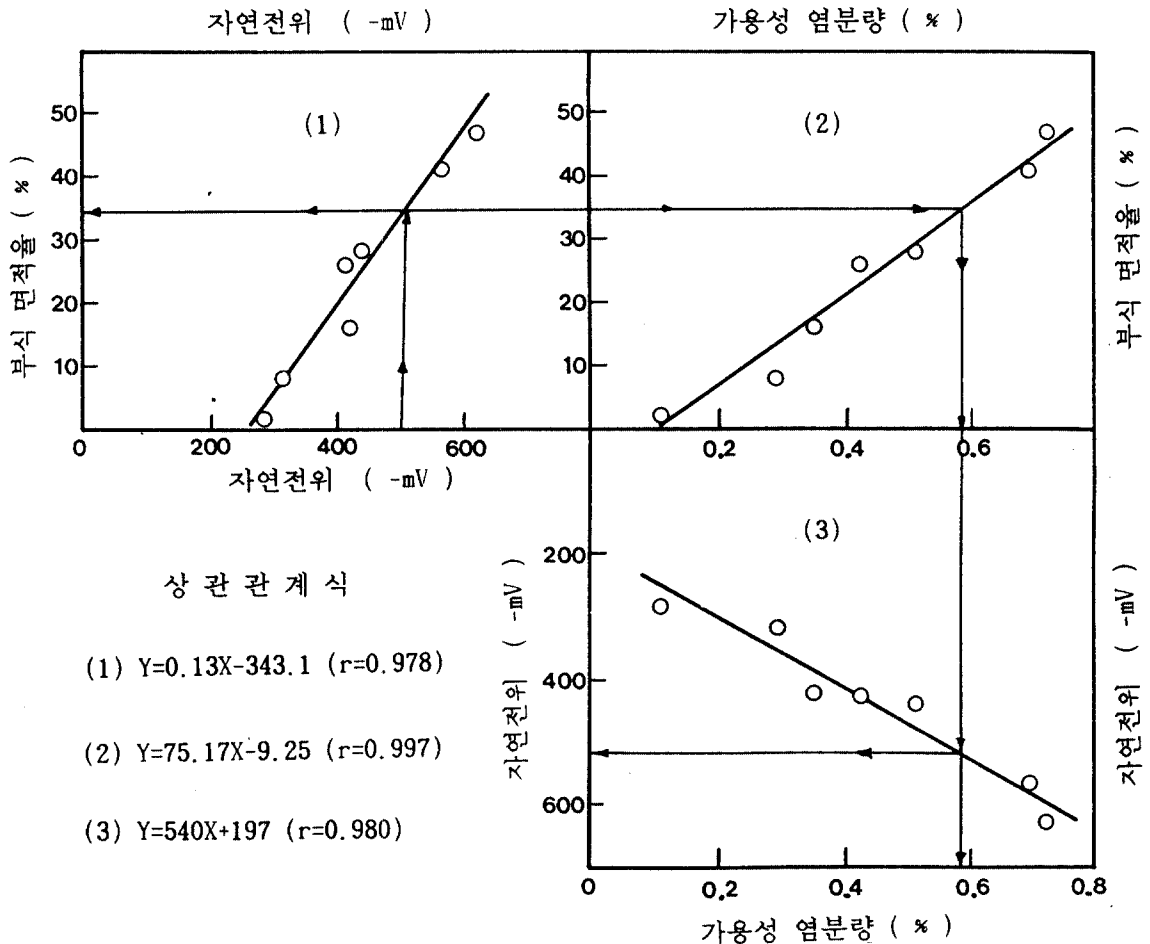


그림-7. 모르터중의 철근 부식 면적율과 자연전위 및 가용성 염분량과의 관계

모르터 시험편 표면에서 부터 깊이에 따라 가용성 염분량이 작게 나타났다.

(2) 모르터 시험편 속의 가용성염분량과 모르터중의 철근의 부식정도를 비교조사해 본 결과 모르터의 물시멘트비 및 종류에 따라 철근의 부식율이 크게 상이함을 알수 있었다.

(3) 모르터 중에 묻힌 철근의 부식정도를 알아보기 위하여 철근의 자연전위를 측정해 본 결과 $E_c < -350$ mV에서 철근에 녹이 슬기 시작하였으며, $E_c < -500$ mV 에서 철근의 부식면적율이 약 33%정도였다.

(4) 철근의 부식률과 모르터 시험편 속의 가용성 염분량 또는 철근의 자연전위 사이에는 좋은 상관관계가 성립되었으며, 철근부식의 정도를 추정할 수 있는 참고자료가 되었다.

참 고 문 헌

1. 岡田 清, "콘크리트耐久性", 朝倉書店, 1986.
2. 文翰英, "化學藥品溶液에 浸漬한 콘크리트의 劣化에 대한 研究", 大韓土木學會論文集, 第12卷, 第2號, 1992年 6月
3. Charles K.Nmai, Stephan A and Farrington, Gregorys.Bobrowski, "Organic-Based Corrosion-Inhibiting Admixture for Reinforced Concrete", Concrete International, April 1992.
4. 日本콘크리트工學協會, "콘크리트構造物의 腐食, 防食에 關する 試驗方法ならびに 規準(案)", 1987

5. 北後征雄 外3名, "複合した原因による鐵筋腐食に關する實驗的研究", 콘크리트工學年次論文報告集, 1991.

6. Visanty Sivasundaram, Georages G. Carette, and V.Molhotra, "Mechanical Properties, Creep, and Resistance to Diffusion of Chlorid Ions of Concretes Incorporating High Volums Of ASTM Class F Fly Ashs from Seven Different Sources." ACI Journal, July-August 1991.

7. Samuel K.Somuah, John K.Boah, Patrick Leblanc, Abdul-Hamid J.Al-tayyib, and Abdulaziz I.Al-Mana, "Effect of Sulfate and Carbonate Lons on Reinforcing Steel Corrosion as Evaluated Using AC Impedance Spectroscopy." ACI Journal, January-February, 1991

8. Rasheeduzzafar, Fahd H.Dakhil, Maher A.Bader, and Mohammed Mukarram Khan, "Performance of Corrosion Resisting Steels in Chloride-Bearing Concrete." ACI Journal, September-October, 1992.

9. 田村 博, 外1名 "콘크리트中の鋼材의 非破壞腐食探查方法", 콘크리트工學年次論文報告集, 1984.

10. 小間井孝吉, 外2名 "海洋環境に暴露した콘크리트梁中の鹽分濃度の測定と鐵筋の腐食", 콘크리트工學年次論文報告集, 1991.