

Effect of Period of Immersion on Corrosion Potential, Anodic Polarization, and Impedance Characteristics of Reinforced Steel in Mortar (W/C: 0.6)

Jae-Hyun Jeong^{*}, Kyung-Man Moon^{**}, Sung-Yul Lee^{**}, Myeong-Hoon Lee^{***} and Tae-Sil Baek^{****}

^{*}Dept. of Mechanical & Energy System Engineering, Korea Maritime and Ocean Univ. Busan Korea

^{**}Dept. of Marine Equipment Engineering, Korea Maritime and Ocean Univ. Busan Korea

^{***}Dept. of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean Univ. Busan Korea

^{****}Dept. of Steel Industry, Pohang College, Pohang City, Korea

모르타르(W/C:0.6)의 철근의 부식전위와 양극분극 및 임피던스 특성에 미치는 재령 년수

정재현* · 문경민** · 이성열** · 이명훈*** · 백태실****

^{*}한국해양대학교 공대 기계에너지시스템공학부

^{**}한국해양대학교 공대 조선기자재공학부

^{***}한국해양대학교 해사대학 기관시스템 공학부

^{****}포항대학교 제철산업과

KEY WORDS: Reinforced concrete 철근콘크리트, Corrosion potential 부식전위, Mortar 모르타르, Electrochemical method 전기화학적 방법, Cover thickness 피복두께, W/C 물-시멘트비

ABSTRACT: Reinforced concrete structures have found wide usage in land and maritime applications. However, the corrosion of reinforced concrete has been recognized as a serious problem from economic and safety standpoints. In previous studies, the corrosion behavior of the inner steel bar embedded in mortar (W/C: 0.4, 0.5) was investigated using electrochemical methods. In this study, multiple mortar test specimens (W/C: 0.6) with six different cover thicknesses were prepared and immersed in flowing seawater for five years. Subsequently, equations related to the cover thickness, period of immersion, and corrosion characteristics of the embedded steel bar were evaluated using electrochemical methods. Prior to immersion, the corrosion potentials indicated an increase with increasing cover thickness, and after five years, all corrosion potentials demonstrated a trend in the positive direction irrespective of the cover thickness. However, the relationships between the corrosion potential and cover thickness were not in complete agreement. Furthermore, after five years, all of the corrosion potentials indicated values that were nobler compared to those obtained prior to immersion, and their corrosion current densities also decreased compared to their values obtained prior to immersion. It was considered that the embedded steel bar was easily corroded because of the aggression of water, dissolved oxygen, and chloride ions; a higher W/C ratio also assisted the corrosion process. The corrosive products deposited on the surface of the steel bar for five years cast a resistance polarizing effect shifting the corrosion potential in the nobler direction. Consequently, it was considered that the W/C ratio of 0.6 showed nearly same results as those of W/C of 0.4 and 0.5. Therefore, the corrosion potential as well as various parameters such as the cover thickness, period of immersion, and W/C ratio must be considered at once for a more accurate evaluation of the corrosion property of reinforced steel exposed to marine environment for a long period.

1. 서 론

최근 산업사회의 급격한 발전과 함께 철근콘크리트 구조물의 사용 빈도는 날로 증가하고 있는 추세에 있다. 그리고 이러한 철근콘크리트 구조물들은 가혹한 부식 환경인 해안 또는 해수 중에 노출되는 경우가 많으며 이 경우 구조물의 내구성과 안전

성 측면에서 콘크리트 내부의 철근의 부식 문제는 매우 중요한 문제로 대두되어 왔다(Swamy et al., 1988; Ozaki and Sugata, 1988). 특히 하천의 모래 고갈로 인한 해사 사용의 증대와 해양 분위기에서 해수의 침입으로 염소이온에 의한 철근의 부식은 날로 그 심각성이 증가되고 있는 실정이다. 따라서 이들 철근의 부식억제에 대한 대책으로 다양한 방식법이 적용되고 있다

Received 12 February 2016, revised 28 July 2016, accepted 18 August 2016

Corresponding author Kyung-Man Moon: +82-51-410-4352, lab@kmou.ac.kr

© 2016, The Korean Society of Ocean Engineers

(Jeon et al., 1992; Sagues 1987; Wheat 1987; Lee and Han, 2006) 뿐만 아니라 이러한 철근콘크리트 구조물의 부식특성에 미치는 피복두께와 W/C(물 - 시멘트 비) 및 염소이온의 영향에 대한 연구도 보고되고 있다(Kwon, 2000; Kim et al., 2000; Thompson et al., 1987; Apostoles et al., 1987; Yoo et al., 2006). 그러나 지금까지 상기의 실험을 위하여 실험실에서 소형의 시험편을 실험조건에 따라 다량의 개수를 제작하였으므로 각각의 시험편의 제작조건이 다를 수 있다. 따라서 좀 더 확실적인 신뢰성 있는 실험결과 도출이 용이하지 않았으며 경제적, 시간적 낭비를 초래하는 어려움이 상존해 왔다. 따라서 상기의 문제점 등을 해결하기 위해서 지난 연구(Moon et al., 2014; Moon et al., 2015)에서는 피복두께를 각각 다르게 한 복합체 시험편(6개의 철근을 하나의 거푸집에 장착) 즉 거푸집에 들어가는 물, 모래 및 시멘트를 균등하게 배합된 모르타르(W/C:0.4, 0.5)를 동일 조건에서 타설하여 복합체 시험편을 제작하고 철근콘크리트의 부식특성에 미치는 재령년수(침지초기와 침지 5년후)와 피복두께의 영향을 부식전위와 양극과 음극분극곡선 그리고 사이클릭 볼타모그램 및 임피던스 등을 측정하여 비교 고찰한 바 있다. 본 연구에서는 상기의 방법대로 모르타르(W/C:0.6)를 동일 조건에서 타설한 복합체 시험편을 제작하여 철근의 부식특성에 미치는 재령년수와 피복두께의 영향을 부식전위와 양극 분극곡선 및 임피던스 등을 측정하여 비교 고찰하였다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 가혹한 부식환경 하에 사용되어 지는 철근구조물의 설계와 제작 및 물-시멘트비가 내부철근의 부식특성에 미치는 영향을 평가하는데 좋은 참고 자료가 되리라 기대된다.

2. 시험편 제작 및 실험 방법

2.1 시험편 제작

두께 1cm의 나무판자로 가로 37cm, 세로 20cm, 높이 17cm의 거푸집을 제작하고 거푸집의 가로 양측면에 대각선 방향으로 위로 부터 2cm, 4cm, 6cm, 8cm, 10cm 및 12cm의 위치에 직경 1.5cm의 구멍(구멍 간격: 5cm)을 내었다. 그리고 직경 1cm, 길이 26cm의 원형 철근(KSD 3504)의 중앙 표면에 샌드페이퍼 #200에서 #2000번 까지 연마하고 아세톤 탈지 후 1cm만 남기고 나머지는 실리콘 수지로 절연 시켰다. 또한 타설 전에 상기한 철근을 거푸집의 구멍을 통하여 삽입 설치하고 1cm²의 표면적이 위쪽으로 향하도록 고정 시켰다. 그리고 모르타르의 모래:시멘트 비는 2:1이며 물-시멘트 비 즉 W/C는 0.6으로 하였다. 사용된 시멘트는 국내 S사의 제 1종 포트랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트의 화학조성은 Table 1과 같다. 그리고 사용된 골재는 건재상에서 판매하고 있는 모래를 수도수에 24시간 침지시킨 후 충분히 세척하여 직경 1mm의 필터로 이물질을 제거하고 건조시킨 후 사용하였다. 모르타르를 타설하고 20시간 후에 가로 33cm, 세로 12cm, 높이 10cm의 해수 수조를 거푸집 모르타르의 상부에 설치 압착하여 고정한 후 건조시켰다. 타설 5일 후 거푸집을 제거하고 10일 후 상부에 설치된 수조의 해수누수를 막기 위하여 수조와 모르타르 시험편 접촉부를 실리콘으로 실링 하였다. 타설 12일 후에 수조에 해수를 채웠다. Fig. 1은

Table 1 The Chemical properties of ordinary portland cement

Chemical composition [wt %]						Ignit. loss	Insol. resid.
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
21.0	4.5	2.5	36.5	0.9	1.0	0.5	0.2
~	~	~	~	~	~	~	~
22.5	6.0	3.5	66.0	3.3	2.0	1.3	0.9



Fig. 1 Mold box for conducting multiple test specimen and completed multiple test specimen for experiment

거푸집과 내부 철근의 형상 및 제작된 시험편의 실제모습을 보여 주고 있다.

2.2 실험 방법

시험편 타설 12일 후에 완성된 복합체 시험편의 상부 수조에 해수를 채운 후 20일 후에 복합체시험편 옆으로 돌출된 철근에 컴퓨터 연결 집게용 동선을 연결시킨 후 피복두께 2cm, 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm 각각의 시험편에 대해 부식전위의 변화를 측정된 후 임피던스와 양극분극곡선을 측정하였다. 이들 분극특성의 측정 시점은 침지 20일 후(이하 침지초기라 한다)와 침지 5년 후에 측정하여 피복두께와 재령년수가 부식특성에 미치는 영향을 비교 고찰 하였다. 그리고 시험편 상부 수조의 해수는 매일 2회 새로운 해수로 교환하였다. 부식특성의 측정은 해수수조 속에 기준전극과 대극(백금전극)을 침지하여 측정하였다. 즉 부식전위와 양극분극곡선 측정 시에 사용된 기준전극은 SCE(Saturated calomel electrode)전극이며 실험장치는 Won A Tech 사에서 구입한 CMS-100 프로그램이며 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

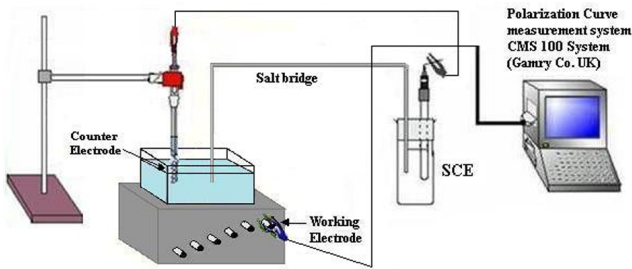


Fig. 2 Experimental apparatus for measuring of corrosion potential and anodic polarization

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 W/C 0.6 모르타르 시험편의 경우 침지초기에 피복 두께의 변화에 따른 부식전위의 변화를 나타내고 있다. 두께가 2cm인 경우 침지초기에 약간의 진동을 하였으나 침지 1800초 후에는 약 -0.491V의 가장 낮은 부식전위 값을 나타내었으며 그리고 피복두께가 6cm와 10cm 및 12cm의 경우에는 거의 같은 전위 값 즉 약 -0.120V의 높은 값을 나타 내었다. 그리고 Fig. 3에서 알 수 있듯이 피복두께가 4cm의 경우에는 2cm에 비해서 상대적으로 높은 부식전위 값을 나타 내었음은 물론 또한 피복 두께 8cm 보다도 높은 전위 값을 나타 내었다. 결과적으로 부식전위 값이 피복두께에 따른 확실적인 경향이 있다고 단정할 수는 없으나 피복 두께의 증가에 따라 부식전위는 높은 값을 나타내는 경향은 알 수 있었다. 피복두께가 두꺼울수록 시험편 계면에서 철근내부로 물과 용존산소 및 염소이온의 침투가 어렵기 때문에 시멘트의 수화반응(시멘트 + H₂O → 시멘트 수화물 + Ca(OH)₂)에 의해서 형성된 강 알칼리성 분위기이므로 내부 철근의 표면은 전위-pH도(Muylder and Pourabix, 1966)에 의하면 산화막이 형성되어 있으며 이들 산화막이 염소이온에 의해서 파괴되기 어렵기 때문에 부식전위가 높은 값을 나타내는 것으로 생각된다. 다만 부식전위의 측정시점이 해수에 노출

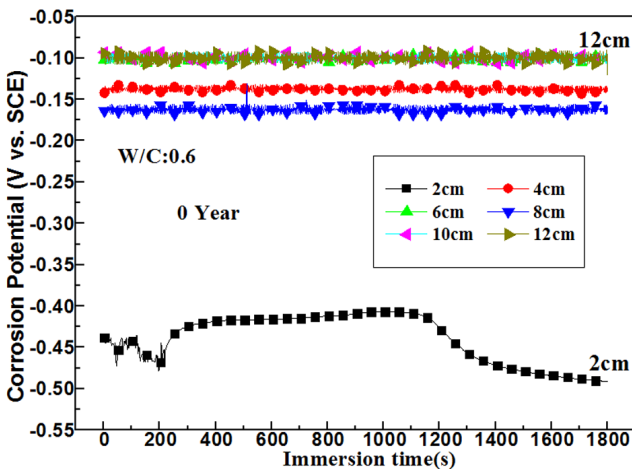


Fig. 3 Comparison of corrosion potentials for soon after immersion (0 year) as a function of cover thickness in natural seawater solution

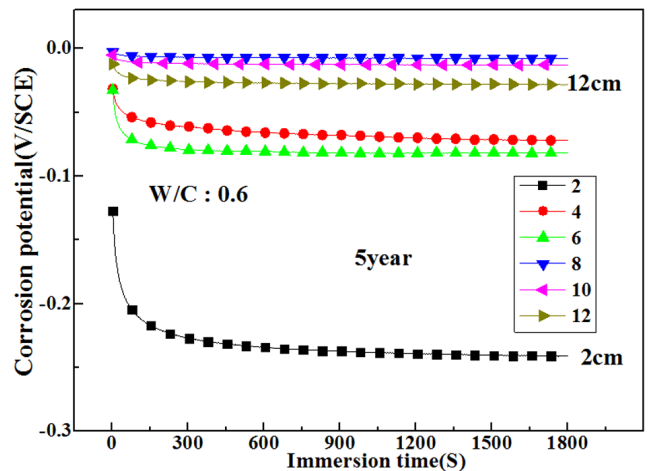


Fig. 4 Comparison of corrosion potentials with various cover thickness after immersed for 5 years in natural seawater solution

된지 불과 20일 후이므로 피복두께에 의한 저항분극의 영향도 배제할 수 없을 것으로 생각된다.

Fig. 4는 침지 5년 후의 부식전위 변화를 나타내고 있다. 피복 두께 8cm와 10cm인 경우 피복두께 12cm의 경우보다 높은 부식전위 값을 나타 내었으며, 피복두께 4cm의 경우가 피복두께 6cm보다 높은 전위 값을 그리고 피복두께가 2cm인 경우에 가장 낮은 부식전위 값을 나타 내었다. 그리고 침지초기의 경우 즉 Fig. 3에서 알 수 있듯이 피복두께와 부식전위 사이에 확실적인 상관관계를 나타내지 않았으며 침지 5년 후에도 피복두께와 부식전위 사이에 상관관계가 일치하지 않았다. 예를 들면, 피복 두께가 12cm인 경우 침지초기에는 가장 높은 값을 나타내었으나 침지 5년 후에는 8, 10cm의 피복두께보다 다소 낮은 값을 나타내었으며 피복두께 4cm의 경우가 피복두께 6cm보다 높은 전위 값을 그리고 피복 두께가 2cm인 경우에는 침지초기에 가장 낮은 값을 나타 내었으며 또한 침지 5년 후에도 마찬가지로 가장 낮은 값을 나타내었다. 지난 연구의 경우 즉 W/C:0.4(Moon et al., 2014)의 시험편에서는 침지초기와 침지 5년 후 모두 부식전위와 피복두께의 상관관계가 거의 일치하는 경향을 즉 피복두께가 두꺼울수록 부식전위는 높은 값을 나타내었으며, W/C:0.5(Moon et al., 2015)의 경우에는 침지초기에는 일치했으나 침지 5년 후에는 피복두께와 부식전위 사이의 상관관계가 거의 일치하지 않았음을 알 수 있었다. 그런데 본 실험의 경우 즉 W/C:0.6의 경우에는 침지초기와 침지 5년 후 모두 피복두께와 부식전위 사이에 확실적인 상관관계를 보이지 않았다. 결과적으로 W/C가 클수록 피복두께와 부식전위의 상관관계가 일치하지 않는 경향이 크다는 사실을 알 수 있었다. 일반적으로 콘크리트 내부의 철근 표면을 육안으로 직접 관찰하는 것이 불가능하므로 ASTM C876(ASTM, 1980)에 의하면 부식전위의 측정에 의해서 내부 철근의 부식가능성을 정성적으로 예측하는 자료를 제시하고 있다.

Table 2와 Fig. 5는 침지초기와 침지 5년 후의 부식전위의 변화와 부식가능성에 대해서 비교 정리하였다. 피복두께가 2cm인

Table 2 Relationship between variation of corrosion potentials and corrosion possibility

Cov.t	E_{cor} [V]		ΔE [mV]	Corro.Possib. [%]	
	0 Year	5 Years		0 Year	5 Years
2	-0.491	-0.241	+250	90	50
4	-0.136	-0.072	+64	10	10
6	-0.098	-0.082	+16	10	10
8	-0.167	-0.008	+159	10	10
10	-0.107	-0.013	+94	10	10
12	-0.120	-0.028	+92	10	10

ASTM C876, Ecor and Corro. possibility(%)
 0 ~ -200 mV : 10%, -200 mV ~ -350 mV : 50%,
 -350 mV ~ -500 mV : 90%

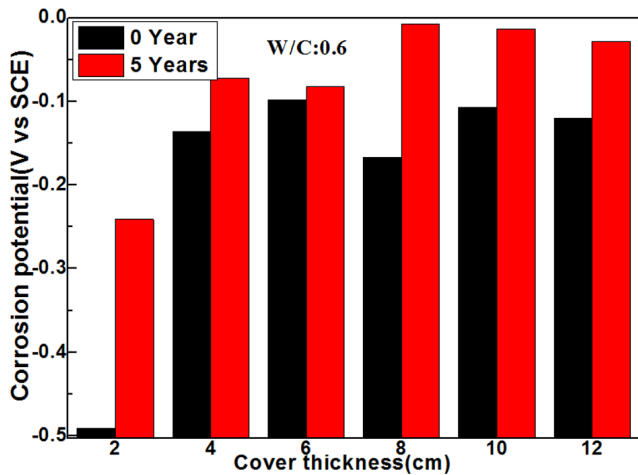


Fig. 5 Comparison of corrosion potentials between 0 year and 5 years with cover thickness

경우 부식전위는 침지초기에 비해서 무려 250mV의 높은 값을 나타 내었으며 나머지 모든 시험편도 침지초기에 비해서 침지 5년 후의 부식전위가 높은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그리고 침지초기에는 피복두께가 2cm인 경우 ASTM C876 (ASTM, 1980)에 의하면 90%의 부식가능성의 확률을 나머지 모든 시험편은 10%의 부식확율을 나타낸 것을 알 수 있다. 그런데 침지 5년 후에는 피복두께가 2cm인 경우 50%의 부식가능성을 그리고 나머지 모든 피복두께는 침지초기와 마찬가지로 10%의 확률을 보이고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 침지 5년 후가 침지초기에 비해서 부식전위는 높은 값을 나타내었으며 내부철근의 부식가능성도 오히려 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 그런데 W/C:0.5의 경우에는 반대로 침지 5년 후가 침지초기에 비해서 부식전위는 낮은 값을 나타내었으며 내부철근의 부식확율도 높은 결과를 나타내었다(Moon et al., 2015). 일반적으로 콘크리트 내부 철근의 부식을 억제하기 위해서 콘크리트 구조물의 사용 환경 여건에 따라 피복 두께를 최소 75mm에서 최대 125mm까지 규정하고 있다(Concrete Society of Japan, 1984).

이것은 전술한 바와 같이 피복 두께가 두꺼우면 해수용액 중의 물과 용존산소 및 염소이온 등의 침투와 확산이 어려워 염소이온에 의한 철근표면의 산화막 파괴가 억제되어 양극 분극의 증가와 함께 부식전위는 높은 방향으로 이행하면서 철근의 부식은 억제되는 것으로 생각된다. 그리고 침지초기에는 이러한 이론에 의해서 2cm의 피복두께의 경우 부식전위는 가장 낮은 값을 나타내었으며 또한 피복두께에 비례하여 부식전위는 높은 경향을 나타내었다. 그런데 침지 5년 후에는 피복 두께에 관계 없이 모든 시험편이 오히려 침지초기에 비해서 높은 부식전위 값을 나타내었다. 예를 들면 2cm의 피복두께는 침지초기에 비해서 250mV의 높은 값을 그리고 12cm의 피복두께도 92mV의 높은 값이 관찰되었다. 일반적으로 피복두께가 적거나 물-시멘트비(W/C)가 큰 경우에는 내부철근을 향한 염화물과 용존산소의 확산이 크며 특히 물-시멘트비가 0.6 내지 0.65이상에서는 급격히 확산속도가 증가되어 내부철근의 부식에 영향을 미친다는 보고가 있다(ACI, 1999; Kobayasi, 1993). 따라서 상기의 토론에 의하면 피복두께가 2cm의 경우 침지 5년 후에는 염소이온에 의한 피막의 파괴에 의해서 침지초기보다 부식전위는 낮은 값을 나타내는 것이 정상이라고 생각되나 본 실험의 경우 즉 W/C:0.6의 경우에는 침지 5년 후 오히려 높은 부식전위 값을 나타내었다. 결국 본 실험의 경우 물-시멘트비가 0.6의 높은 값으로 인해 염소이온의 침투가 용이하고 염소이온에 의한 피막의 파괴로 장기간의 부식이 진행되면서 형성된 부식생성물이 철근의 표면에 퇴적되어 저항분극으로 작용하여 부식전위가 높은 값을 나타 낸 것으로 생각된다. 여기에 대한 토론은 다음의 실험결과와 함께 계속 토론하기로 한다.

Fig. 6은 침지초기와 침지 5년 후에 피복두께 2cm에 대해 측정된 임피던스 값의 변화를 나타내고 있다. 0.01Hz에서 침지 초기에 비해서 침지 5년 후의 임피던스 값이 현저하게 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 피복두께 12cm의 임피던스 변화를 보여주고 있다. 피복두께 2cm와 마찬가지로 침지 5년 후의 임피던스가 침지초

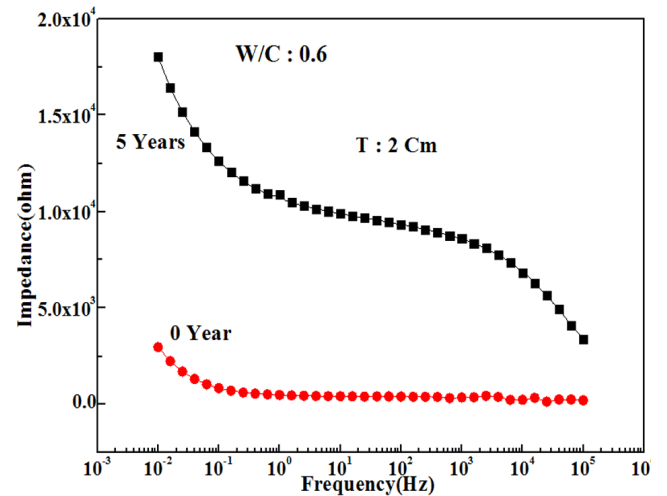


Fig. 6 Comparison of impedances with immersed years in cover thickness at 2cm in seawater solution

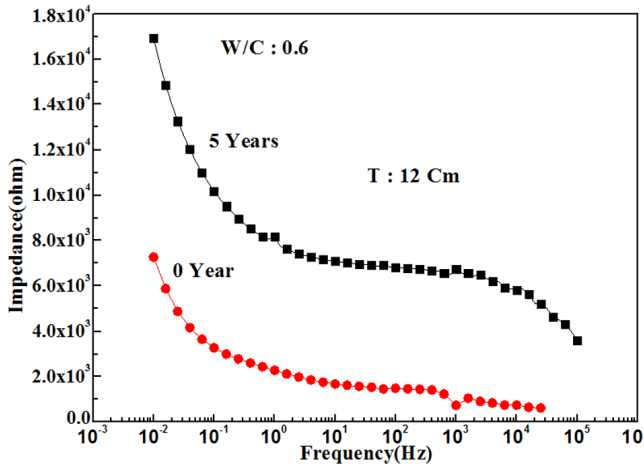


Fig. 7 Comparison of impedances with immersed years in cover thickness at 12cm in seawater solution

기에 비해서 훨씬 높은 값을 보여 주고 있음을 알 수 있다. 이처럼 침지초기에 비해서 침지 5년 후의 임피던스 값이 높은 실험결과와는 다른 피복두께에서도 같은 경향을 나타 내었다. 결국 W/C:0.6의 경우에는 침지초기에서 침지 5년 동안 물 및 용존산소와 염소이온의 침투가 용이함에 따라 염소이온에 의한 내부철근 표면 피막의 파괴로 장기간의 부식이 진행되면서 형성된 부식생성물이 철근의 표면에 퇴적되어 저항분극으로 작용하여 침지 5년 후의 부식전위가 높은 값을 나타내면서 또한 임피던스 값도 침지 5년 후에 높은 값을 나타 낸 것으로 생각된다. Fig. 8은 침지초기에 피복두께에 따라 측정된 양극분극곡선이다. 12cm의 경우 양극분극곡선은 가장 왼쪽에 위치하고 있으며 2cm의 피복두께에서 측정된 분극곡선은 가장 오른쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 양극분극곡선이 왼쪽에 위치할 경우 일정 공급전류밀도에 대한 분극저항은 크며, 오른쪽에 위치할수록 일정 공급전류밀도에 대한 분극저항은 작다고 할 수 있다. 일반적으로 양극분극곡선에 포함되는 분극저항은 산화반응에 따른 활성화분극과 산화반응에 의해서 시험편 표면에서 형성된 부식생성물 혹은 피막의 형성에 의한 저항분극이라 할 수 있다. 그런데 모르타르 내부철근의 표면에는 침지초기에는 수화반응에 의해서 강 알칼리 분위기에 있으므로 표면의 상태는 피복두께에 관계없이 거의 같은 조건이라 할 수 있다. 따라서 활성화분극에 의한 분극저항보다는 피복두께가 저항분극으로 작용할 수 있으며, Fig. 8에서 피복두께가 두꺼울수록 왼쪽에 위치하는 것은 피복두께에 의한 저항분극이 영향을 미친 것으로 생각된다.

Fig. 9는 침지 5년 후에 각각의 피복두께에 대해 측정된 양극분극곡선이다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 분극곡선의 위치와 피복두께가 획일적인 관계를 나타내지 않고 있음을 알 수 있다. 예를 들면 피복두께 2cm가 가장 오른쪽에 그리고 피복두께 6, 8cm가 가장 왼쪽에 위치하고 또한 12cm의 피복두께가 가운데 위치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 침지 5년 후에는 피복두께에 의한 영향보다 내부철근의 부식생성물이 저항분극으로 분극곡선에 영향을 미치고 있다고 생각된다. 즉 물-시멘트비가 큰 경우

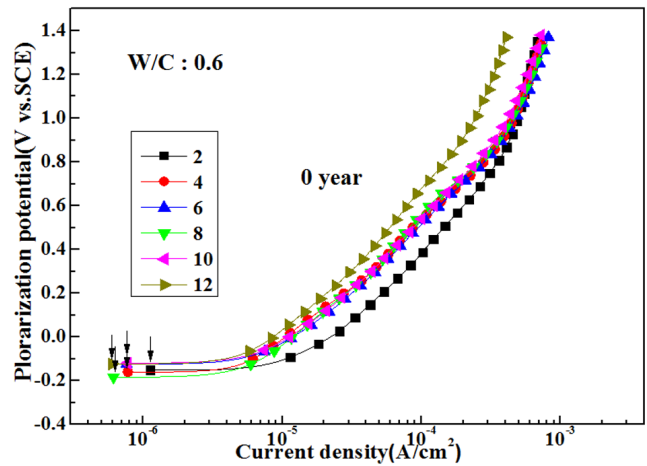


Fig. 8 Variation of anodic polarization curves as a function of thickness soon after immersion (0 year) in natural seawater solution

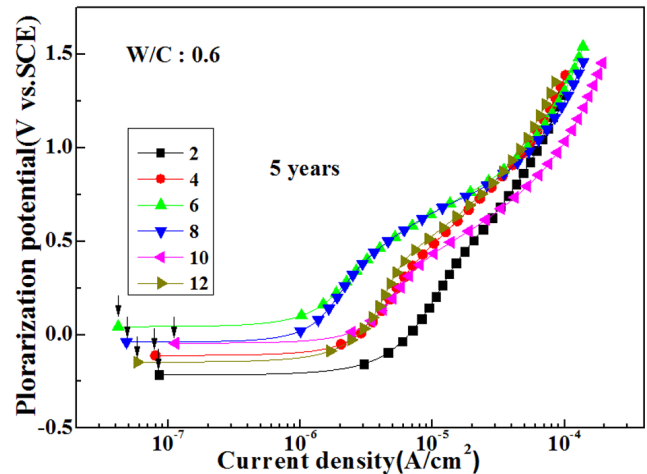


Fig. 9 Variation of anodic polarization curves with various cover thickness after immersed for 5 years in natural seawater solution

해수용액에서 침지 년수의 증가에 의해서 내부철근의 표면에 쉽게 침투한 염화물 등에 의해 형성된 부식생성물이 분극곡선 측정시에 일시적으로 저항분극으로 작용 했을 것으로 추정된다. 또한 침지초기와 침지 5년 후의 부식전위의 변화가 실질적으로 내부철근의 부식정도에 미치는 영향을 비교 평가 할 필요가 있다고 생각된다. 일반적으로 부식전류밀도를 구하는 이론식은 양극분극의 경우 다음의 Butler-Volmer식으로 나타낼 수 있다 (Moon, 1999). 즉

$$i = i_{cor} \cdot [\exp(anF\eta/RT) - \exp\{-(1-\alpha)nF\eta/RT\}] \quad (1)$$

상기 식 (1)에서 양극의 분극전위가 30mV이상을 넘어서면 2차 항은 무시할 수 있다. 따라서 상기 식 (1)은 다음의 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$i = i_{cor} \cdot \exp(\alpha n F \eta / RT) \tag{2}$$

식 (2)는 다시 변형하여 (3)식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = (-2.3RT/\alpha n F) \log i_{cor} + (2.3RT/\alpha n F) \log i = a + b \log i \tag{3}$$

($a = -2.3RT/\alpha n F, b = 2.3RT/\alpha n F, \eta > 0$)

- η : 양극분극값(E - E_{cor}, V)
- α : 전이계수
- F : Faraday 상수(C/mol)
- T : 절대온도(K)
- R : 가스상수(J/K·mol)
- n : 이온가

상기의 식 (3)은 Tafel의 실험식과 일치한다. 따라서 양극분극곡선에서 외삽법에 의해서 부식전류밀도를 구할 수 있다. 그런데 상기의 이론식과 실험식이 일치하는 경우는 통상 나강판의 금속을 해수용액 등에서 부식전류밀도를 구하는 경우에 잘 일치하나 본 실험의 경우는 모르타르 내부의 철근에 대한 분극곡선을 측정하였다. 그러므로 전술한 바와 같이 모르타르 피복두께에 의한 저항분극과 부식생성물에 의한 저항분극이 분극곡선에 많이 포함되므로 분극곡선상에서 실질적인 부식전류밀도 값을 구하는 것은 다소의 문제가 있다고 생각된다. 따라서 Fig. 8과 Fig. 9의 분극곡선에서 화살표로 표시한 지점이 부식전위에서 양극분극곡선의 측정을 시작하는 전류밀도이므로 부식전류밀도의 근사값으로 간주할 수 있다고 생각된다(Moon et al., 2014).

Fig. 10은 침지초기와 침지 5년 후의 부식전류밀도의 근사값을 피복두께에 따라 비교하였다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 침지 5년 후의 부식전류밀도가 침지초기에 비해서 전체적으로 현저하게 적은 값을 나타내고 있는 경향을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5에서 침지초기보다 침지 5년 후의 부식전위가 높은 값을 나타내고 있다. 따라서 부식전위가 높을수록 부식전류밀도는 적은

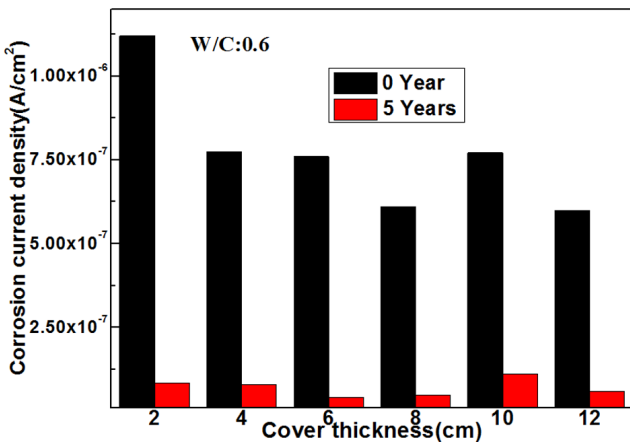


Fig. 10 Comparison of corrosion current densities between soon after immersion (0 year) and after 5 years with various cover thickness

경향을 알 수 있다. 결과적으로 본 실험에서 사용한 시험편의 물-시멘트비가 0.6의 큰 값으로 인해 침지 5년 동안 철근내부로 쉽게 침입한 염화물 등에 의해서 내부철근의 표면에 형성된 부식생성물이 저항분극으로 작용하여 부식전위를 높은 방향으로 변하게 한 원인 제공을 하였으며 동시에 임피던스와 양극분극곡선의 변화에도 영향을 미친 것으로 생각된다. 그리고 ASTM C876(ASTM, 1980)에서도 부식전위가 높으면 부식 확률이 낮은 것으로 예측하고 있다. 본 실험의 결과에서도 침지 5년 후의 부식전위가 높은 경향을 그리고 근사값으로 측정한 부식전류밀도 역시 적은 값을 나타 내었다. 그런데 여기에서 주목할 점은 부식전위의 측정값이 해수용액에 침지된 일반 나강판의 경우가 아닌 모르타르 내부의 철근에 대한 부식전위이며 더욱이 침지 초기와 침지 5년 후에 측정된 부식전위라는 사실에 주목할 필요가 있다고 생각된다. 결국 전술한 바와 같이 내부철근의 표면에 장기간 동안 형성된 부식생성물이 저항분극으로 작용하여 외형적으로 부식전류밀도가 적은 값을 나타내는 것으로 판단된다. 그러나 철근표면에 형성된 부식생성물이 일정한 년수 동안 혹은 영원히 저항분극의 역할을 할 수 있을 것 인지에 대해서는 현 시점에서는 알 수 없으나, 본 실험의 결과 즉 물-시멘트비가 0.6에서는 침지초기보다 침지 5년 후에 부식전위와 임피던스가 높은 값을 나타 내었으며 부식전류밀도 역시 적은 값을 나타 내었다.

4. 결 론

지금까지 피복두께를 달리한 복합체 모르타르 시험편(물-시멘트비 : 0.6)을 해수 중에 침지한 후 침지초기와 침지 5년 후의 모르타르 시험편 내부의 철근의 부식전위 변화와 양극분극곡선 및 임피던스의 변화를 측정하고 피복두께에 따른 분극 특성을 비교 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 침지초기에는 피복두께가 두꺼울수록 부식전위는 높은 값을 그리고 피복두께가 적으면 낮은 값을 나타내는 경향이 있었으나 침지 5년 후에는 피복두께에 관계없이 전체적으로 부식전위가 높은 값을 나타내었다.
- (2) 침지초기에는 피복두께에 의한 저항분극이 분극거동에 영향을 미쳤으나, 침지 5년 후에는 철근표면의 부식생성물이 양극분극곡선과 임피던스의 측정시에 저항분극으로 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었다.
- (3) 일반적으로 철근의 부식전위가 높은 값을 나타낼수록 부식가능성이 적은 것으로 예측한다. 본 실험의 결과 침지 5년 후에 측정된 부식전위가 높은 값을 나타내었으며 부식전류밀도 역시 적은 값을 나타내었다.
- (4) 따라서 침지 년수가 오래된 콘크리트 내부의 철근 부식전위가 침지초기에 비해서 높은 값을 나타내었을 경우라도 이들 철근의 부식가능성을 확일적으로 부식전위만으로 판단하기는 어렵다고 생각된다.
- (5) 결과적으로 콘크리트 내부 철근의 부식거동에 대한 평가는 부식전위만의 측정에 의존하기 보다는 실제의 피복두께와 물 시멘트비 및 재령 년수에 대한 영향도 함께 고려되어야 할 것으로 생각된다.

References

- ACI Committee 222, 1990. Corrosion of Metals in Concrete. Reported by America Concrete Institute, 222R-3.
- Apostoles, J.A., Park, D., Carello, R.A., 1987. Symposium on Corrosion at Metals in Concrete. Proceeding of the Corrosion/87, 168-181.
- American Society for Testing and Material (ASTM), 1980. Half Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete. ASTM C876-80, 87.
- Concrete Society of Japan, 1984. Protection Guide of Marine Concrete Structur. 10.
- Jeon, D.H., Moon, K.M., Baek, T.S., Kim, J.H., 1992. Anti-corrosion Study at Steel of Reinforced Concrete in Sea Water Solution. Corrosion Science and Technology, 21(3), 11.
- Kim, K.G., Ryou, B.H., Kim, S.J., Kim, K.J., Moon, K.M., 2000. An Electrochemical Study on the Effect at Chloride Ion to Corrosion Behavior of Inner Steel Bar Embedded in Concrete in Natural Sea Water. Journal of Ocean Engineering and Technology, 14(4), 23-26.
- Kobayasi, D.Y., 1993. Diagnosis of Rebar Corrosion. Edited by Kita Hasyi Co. Ltd., 54.
- Kwon, J.H., 2000. A Study on the Hydration Heat of Anti Washout Underwater Concrete using Fly Ash. Journal of Ocean Engineering and Technology, 14(4), 30-34.
- Lee, S.H., Han, J.S., 2006. A Study on the Measurement of Steel Corrosion in Mortar by TEM Method. Journal of Ocean Engineering and Technology, 20(3), 59-65.
- Moon, K.M., Won, J.P., Park, D.H., Jeong, J.A., Lee, M.H., Baek, T.S., 2014. The Effect of Passing Aged Years to the Polarization Characteristics of Embedded Steel of Mortar Specimen(W/C:0.4). Corrosion Science and Technology, 13(1), 20-27.
- Moon, K.M., Lee, S.Y., Jeong, J.A., Lee, M.H., Baek, T.S., 2015. Effect of Passing Aged Years and Coating Thickness on Corrosion Properties of Reinforcing Steel in Mortar (W/C:0.5). Corrosion Science and Technology, 14(2), 99-105.
- Moon, K.M., 1999. Practical Electrochemistry. Edited by Hyou Sung Co. Ltd., 177.
- Muylder, J.A., Pourbaix, M., 1966. Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solution. Edited by M. Pourbaix, Pergamon Press, 313.
- Ozaki, S., Sugata, N., 1988. Sixty-year-old Concrete in a Marine Environment. Special Publication, American Concrete Instritue, 109, 587-598.
- Sagues, A.A., 1987. Corrosion Measurement o Reinforcing Steel in Concrete Exposed to Variousaquous Environments. Proceedings of the Corrosion/87 Symposium on Corrosion of Metals in Concrete, 13-24.
- Thampson, N.G., Lawson, K.H., Beavers, J.A., 1987. Symposium on Corrosion at Metals in Concrete. Proceeding of the Corrosion/87 Technique, 182-199.
- Swamy, R.N., Koyama, T., Arai, N., Ikami, K., 1988. Durability of Steel Reinforcement in Marine Environment. Special Publication, American Concrete Instritue, 109, 147-162.
- Wheat, H.G., 1987. An Investigation of the Effect of the Cathode Area/anode Area in the Corrosion of Steel in Concrete. Proceeding of the Corrosion/87 Symposium on Corrosion of Metals in Concrete, 25-41.
- Yoo, Y.R., Cho, H.H., Take, S., Kim, J.G., 2006. Influence of Cathodic Protection on the Lifetime Extension of Painted Steel Structures. Metals and Materials International, 12(3), 255-261.