

Zn, PTFE 복합 코팅에 의한 SS400 강의 해수 부식 특성 변화 연구

한민수[†] · 박재철 · 장석기 · 김성종

목포해양대학교 기관시스템공학부
(2011년 8월 29일 접수, 2011년 12월 22일 수정, 2011년 12월 23일 채택)

Investigation of Corrosion Characteristics with Zn, PTFE Hybrid Coating for SS400 in Sea Water

Min Su Han[†], Jae Cheul Prak, Seok ki Jang, and Seong Jong Kim

Division of Marine Engineering, Mokpo Maritime University, Haeyangdaehak-Ro 91 Mokpo Jeonnam, Korea
(Received August 29, 2011; Revised December 22, 2011; Accepted December 23, 2011)

The severe corrosion environment makes the steel product lifecycle short while Cu-alloys with anti-corrosion characteristic used in sea water are too expensive. This study shows that the Cu-alloy(Cu-37.25% Zn-0.67%Al) used in sea water environment can be superseded by SS400 with various coating process, evaluating electrochemical characteristics. Three coating processes were applied to SS400 such as PTFE + Zn coating, Zn + PTFE coating and only Zn electrogalvanizing coating. Various electrochemical experiments such as open circuit potential measurements, potentiodynamic polarization tests and analyses of Tafel constants. Mechanical properties were also measured by tensile test and hardness tests. As a result, Zn + PTFE coating for SS400 steel presented the excellent anti-corrosion characteristic in sea water.

Keywords : corrosion, SS400, coating, electrochemical characteristics

1. 서 론

최근 산업의 급격한 발전과 더불어 무역 물동량 증가에 따른 선박 및 선박 계선시설이나 방파시설 등의 항만 구조물을 포함하여 해상공항, 해양교량, 해저 터널, 해양 개발 플랫폼, 해양 탐사 및 해저 자원 탐사용 등과 같은 해양 구조물들의 시설증대가 가속화되고 있는 현실이다. 이러한 해양 구조물의 대형화에 따른 보수, 유지관리가 매우 중요한 사안으로 등장함에 있어 구조물의 장수명화를 위한 재료의 내구성은 대단히 중요하다. 특히, 한번 설치되면 수십 년을 수면 하에 위치하고 있는 항만, 해양 구조물은 파랑, 조류, 모래 등에 의한 끊임없는 물리적 충돌에 노출되어 있다. 이러한 물리적인 외력으로 인한 재료는 기계적 손상을 발생하게 되며 이에 수반되는 가혹한 부식 환경에 노출되어 상승효과를 발휘함으로써 제품의 수명이 현저하게 단축된다. 이에 선박 및 해양 구조물 등은 부분적으로 고내식성의 동합금을 사용하고 있으나 동합금 가격의 급등으로 인하여 비경제적인 단점이 있으므로 저탄소강인 SS400강으로 대체하고자 한다. SS400강은 가혹한 해양 부식 환경에 노출되면 내식성이

좋지 않으므로 심각한 부식손상을 발생시키게 되며, 특히 용접부의 경우는 칼날선 부식 및 모재와 용접부 간의 갈바닉 셀 형성으로 부식이 가속화 된다. 이에 따라 해수환경 하에서의 적절한 방식법은 금속/전해질 용액간의 용존산소 환원 반응에 따른 농도분극 현상을 유도하는 음극 방식법이 주로 사용되고 있다.¹⁾⁻³⁾ 이러한 방식기법은 외부 전원법과 희생양극법으로 나누어진다. 그 중 외부 전원법을 적용하게 되면 방식전위 이하의 전위에서는 과방식으로 인한 수소취성이 발생할 수 있다. 따라서 수소취성 민감도에 대한 수소취성 한계전위를 규명하는 것도 방식 대책의 일환으로 중요한 사안이 된다.⁴⁾ 뿐만 아니라 금속과 계면의 물리적/화학적 반응을 차단하여 기계적/전기화학적 특성을 향상시키는 방법으로 다양한 표면 코팅 기술을 적용한다. 해양환경에 대한 내식성 향상을 위한 매우 다양한 표면코팅기술이 있으나 본 연구에서는 가장 간편하면서도 내구성을 향상시킬 수 있는 PTFE 코팅과 전기아연 도금을 실시하였다. PTFE 코팅은 불소수지란 분자 중에 불소원자를 포함하는 합성고분자를 이용한 것으로 매우 다양한 종류가 있다. 이러한 수지는 탄소-불소간의 결합에너지가 매우 크기 때문에 다른 고분자 재료에 비해서 강도가 크고 내열성, 내식성이 대단히 우수한 장점이 있다. 실질적으로 금속재료와 비교하여 거의 완벽에 가까운 화학적 안정성(비활성화) 및 절연 안정성, 낮은 마찰

[†] Corresponding author: mp949@mmu.ac.kr

계수를 나타내는 PTFE 코팅은 비금속 재료에도 적용이 용이한 장점이 있다. 이러한 코팅은 공정자체가 스프레이 형태로 분사 후에 열적 소성과정을 거치는 매우 간단하나 비활성의 단단한 코팅층을 형성하므로 산업재료로 다양하게 응용되어 적용되고 있다.⁵⁾⁻⁶⁾ 그 외 전기아연도금은 공정 또는 제품의 내식성을 향상시킬 뿐만 아니라 가공성, 용접성, 내열성 및 표면 외관을 미려하게 하는 용도상의 특성이 있으므로 기능성 표면처리 기술이라 할 수 있다.⁷⁾⁻⁸⁾ 결과적으로 본 연구에서는 이와 같은 표면코팅 기술을 적용한 경우의 전기화학적 특성 및 기계적 특성을 평가함으로써 제품의 수명을 향상시킬 수 있는 표면 코팅기술을 규명하고자 하였다. 그리하여 가혹한 해양환경에서의 내식성을 향상시켜 고가의 동합금을 SS400강으로 대체하고 개발된 코팅기술은 구조물 등에 적용함으로써 기존의 부식에 따른 손상 또는 파괴시 발생하는 막대한 인적, 경제적 손실을 경감 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

본 연구에 사용된 재료는 동합금(Cu-37.25% Zn-0.67%Al)을 사용하였으며, 이를 대체하기 위하여 SS400 강에 대하여 다양한 코팅 기술을 적용하여 전기 화학적 특성을 평가하였다. 본 실험에 사용된 시편의 화학적 조성은 표 1에 나타난 바와 같다. SS400 강에 적용한 코팅공법은 PTFE 코팅을 먼저 실시한 후 전기아연도금을 실시한 경우(이하, PTFE + Zn 코팅)와 전기아연도금 실시한 후 PTFE 코팅을 실시한 경우(이하, Zn + PTFE 코팅) 그리고 전기

아연도금만 실시한 경우로 구분된다. 이때 전기아연도금 시 조건은 표 2에 세부적으로 나타냈으며, PTFE 코팅은 액상의 PTFE를 350 °C 정도로 가열하여 분사시켜 제작하였다. 전기화학적 실험은 천연 해수환경 하에서 실시하였으며, 사용된 기준전극은 은/염화은 전극(SSCE)을, 대극으로 백금 전극을 사용하였다. 개방전위 측정은 60시간 이상 자연 침적시켜 전위의 변화를 300초 간격으로 측정한 후 그 경향을 분석하였으며, 양분극 실험은 개방전위(open circuit potential, E_{oc})에서 -0.5에서 +3.0 V까지 그리고 음분극 실험은 개방전위에서 -2 V까지 주사속도 2 mV/sec로 실시하였다. 또한 천연해수 용액 하에서 전위가 안정될 때까지 침적시켜 E_{oc} 에서 ± 0.25 V 분극 시킨 후 타펠 외삽법을 이용하여 측정된 부식전류밀도와 부식전위를 상호 비교, 평가했다. 뿐만 아니라 기계적 특성도 인장시험과 경도측정을 통해 평가하였다. 인장시험에 사용된 시편의 형상은 평행부의 길이는 60 mm, 폭은 15 mm, 어깨는 R15, 두께는 10 mm 로 가공하여 사용하였다. 이때 인장속도는 2.54 mm/min로 대기 중에서 실시하였으며, 시편의 형상은 그림 1에 나타냈다. 경도 시험은 마이크로 비커스 경도기를 사용하여 측정하였으며, 인가한 하중은 9.807 N이며, 유지시간은 10초, 1 mm 간격으로 10회 측정하여 그 평균값을 비교 하였다.

3. 연구결과 및 고찰

그림 2는 동합금과 SS400에 대하여 대기 중에서 인장 시험 후 응력-변형률 곡선을 나타내고 있다. 대체적으로 동

Table 1. Chemical compositions (wt%) for CAC 301 Cu alloy and SS400 steel

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Zn	Fe	Al
CAC 301	-	0.022	0.25	-	-	60.13	37.25	0.42	0.67
SS400	0.1667	0.014	0.715	0.0145	0.0080	-	-	-	-

Table 2. The various process conditions of electrogalvanizing

	Process	Management Item	Management Basis	Time
1	Settling Degrease	Temperature	65-85 °C	10-15min
2	Acid Souring	Hydrochloric Acid	180-210CC/L	5-15min
3	Neutralization	pH	more than 10	13-15sec
4	Galvanizing	Current	400-500mA	30-80min
5	Washing	Industrial Water	Pollution degree	5-7sec
6	Activation	Nitric Acid 78%	7-10CC/L	5-7sec
7	Washing	Industrial Water	Pollution degree	5-7sec
8	Adsorption Liquid	Temperature	20-25 °C	20-25sec
9	Washing	Industrial Water	Pollution degree	5-7sec
10	Drying	Temperature	50-55 °C(Room Temperature)	3-5min

합금의 경우가 최대인장강도가 약간 높은 반면 연신율은 현저한 차이를 발견할 수 있었다. 또한, 시편 모두 평행부에서의 파단이 관찰되었다. 상기의 인장 시험 결과를 표 3에 정리하였다. 최대인장강도는 SS400이 동합금에 비하여 94.2% 정도로 동합금의 경우가 높은 값을 나타냈으며, 항복강도는 SS400강의 경우가 높은 값을 나타냈는데 동합금은 SS400강의 56.6%에 불과한 강도를 나타냈다. 한편 연신율은 SS400강은 동합금에 비하여 68.6% 정도를 나타냈다. 전체적으로 SS400강은 동합금에 비하여 최대인장강도가 크게 차이 나지 않았으며, 항복강도는 거의 2배에 이르고 있음을 알 수 있다. 연신율은 낮게 나타났으나 사용되는 동합금의 역할이나 특성상 인장응력보다는 압축응력을 받는 경우는

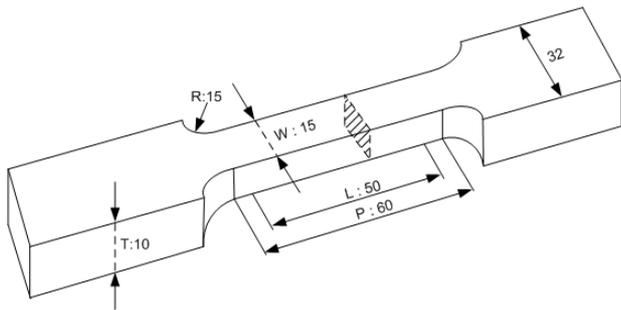


Fig. 1. Specimen dimension for tensile test (mm).

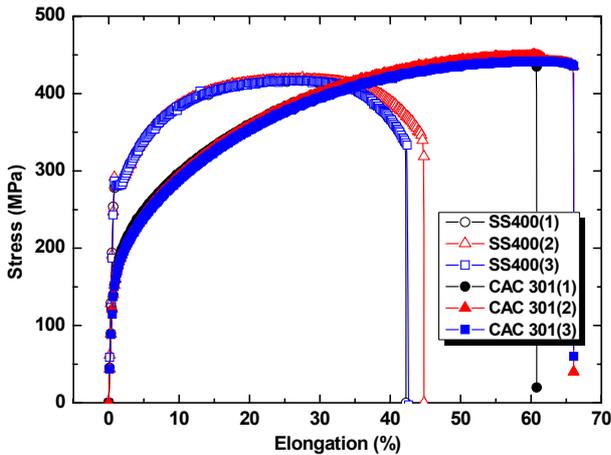


Fig. 2. Stress-elongation curves after tensile test for CAC 301 Cu alloys and SS400 steels in air.

크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 또한 동합금과 SS400강의 경도측정 결과를 그림 3에 나타냈다. 모두 10회 측정된 결과 동합금과 SS400의 평균은 189.1(Hv)와 123.3(Hv)로 SS400은 동합금에 비하여 65.2% 정도의 경도를 나타냈음을 알 수 있다.

그림 4(a)와 그림 (b)는 동합금, SS400강 그리고 다양한 표면처리 기술을 적용한 시편에 대한 해수용액 내에서의 개방전위 측정실험 결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)에 나타낸 바와 같이 동합금의 경우는 초기에 -0.245 V의 전위를 나타낸 후 급격히 천(active)한 방향으로 약 2,000초까지 이동한 후, 해수 용액 내에서 피막을 형성하면서 전위는 다시 귀(noble)한 방향으로 이동하여 10,000초 전후에서 안정된 전위를 유지하였다. 한편 SS400강의 경우는 초기에 -0.45 V 정도의 전위를 유지하다 급격히 천한 방향으로 이동하였으며 1,200초 정도 이후에서 실험 종료 시까지 대체적으로 안정된 전위를 유지하였다. 이와 같이 SS400강은 탄소강으로써 해수환경 하에서 내식성이 취약한 특성이 있다. 즉, 해수용액에서는 부동태 피막과 같은 방식 전하의 이동을 제한할 수 있는 막을 형성시킬 수 없기 때문에 우수한 내식성은 나타나지 않는다.⁹⁾⁻¹¹⁾ 동합금과 SS400강에 대한 개방전위 측정실험 결과, 대체적으로 안정된 전위를 유지하는 것처럼 보이나 실제로는 비방향으로 서서히 이동하고 있음

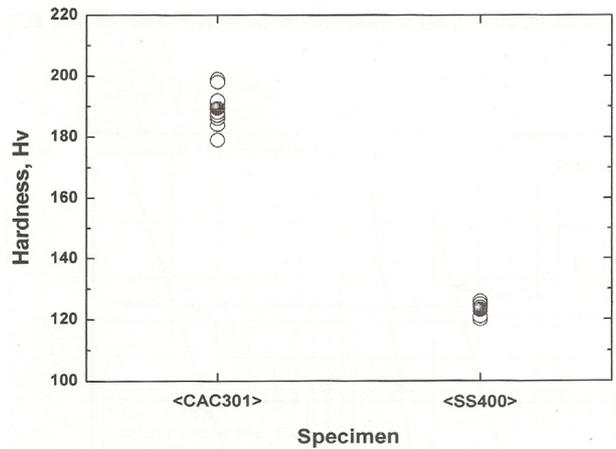


Fig. 3. Hardness measurement results for Cu alloy and SS400 steel.

Table 3. Tensile test results of CAC 301 Cu alloy and SS400 steel

	CAC 301				SS400			
	1	2	3	Average	1	2	3	Average
Maximum Tensile Strength (MPa)	441.0	450.5	442.2	444.6	418.2	420.7	417.4	418.8
Yield Strength (MPa)	163	152	160	158.3	278.7	279.4	280.8	279.6
Elongation (%)	60.7	61.8	66.1	62.9	42.2	44.8	42.6	43.2

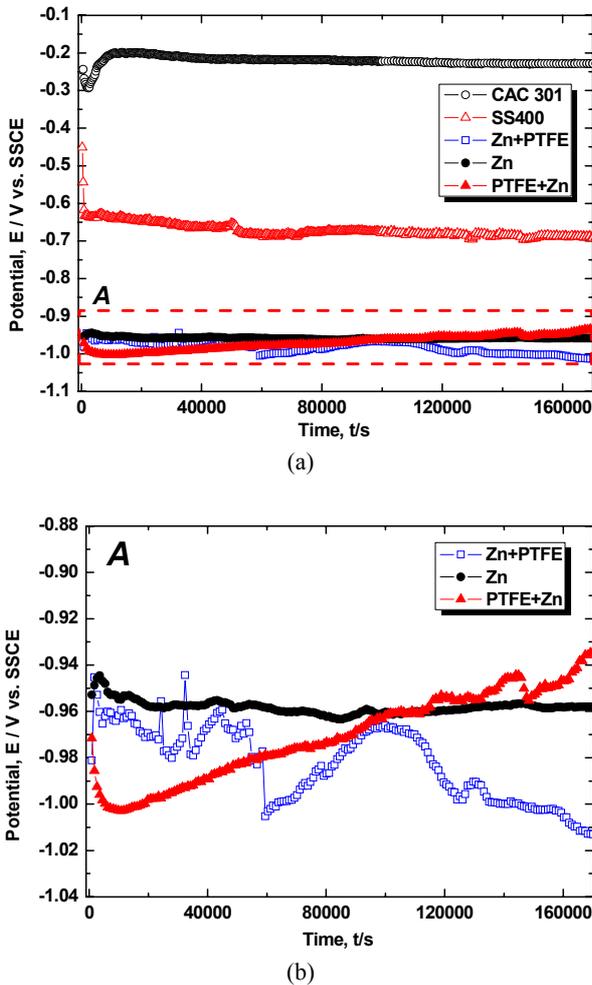


Fig. 4. Variation of open circuit potential for base metal and coated specimens in sea water (a) potential range ; -1.1V ~ -0.1V, (b) potential range ; -1.04V ~ -0.88V.

을 알 수 있다. 두 금속의 전위차는 대략 470 mV로 동합금이 상대적으로 귀한 전위를 나타냈으며 동합금을 SS400강으로 대체할 경우, 인접 영역에 동합금이 전기적으로 접해있을 때 SS400강과의 갈바닉 전지 형성시킬 수 있으므로 SS400강이 양극화 되어 더욱 부식이 진전될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 다른 금속과의 절연이 완벽하게 이뤄지지 않을 시에는 갈바닉 부식이 발생할 수 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 SS400강에 대한 적절한 표면처리 기술 적용이 필요하다. 적용된 표면처리의 종류는 Zn + PTFE 코팅, 전기아연도금 그리고 PTFE 코팅에 아연코팅을 겸한 경우이다. 그림 4 (b)는 각 코팅층의 개방전위 변화를 확대한 것으로 표면처리 된 모든 코팅표면은 SS400강보다 천한 전위를 나타냈으며 코팅층과 소지금속 간의 계면의 전기화학적 거동은 코팅층이 우선적으로 부식되면서 소지금속을 보호하는 희생방식 기능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다. 표면코팅을 실시한 경우의 개방전위 변화를 비교

해 보면, 아연코팅의 경우는 초기부터 가장 귀한 전위를 나타낸 후 실험 종료 시까지 안정된 전위를 지속적으로 유지하였다. 이는 아연코팅이 견고하게 형성되어 하부 모재가 노출되지 않는 상태를 유지하였기 때문으로 사료된다. 한편 PTFE + Zn 코팅인 경우의 전위는 9,000초 정도까지 천한 방향으로 이동 한 후 실험종료 시까지 꾸준한 전위의 상승이 관찰되었다. 이는 SS400에 PTFE 코팅을 먼저 실시한 후 전기아연도금을 실시하였으므로 전기아연도금 시 발생한 열에 의해 부분적으로 PTFE 코팅과 반응하여 코팅층 간의 접합계면에서의 화학적 반응이 발생하였으며 결과적으로 상호간의 특성을 열화 시킨 것으로 사료된다.¹²⁾ 그러면 부분적으로 취약한 특성을 보인 코팅부위에서 국소 면적의 모재인 강이 노출되어 총체적인 전위는 상승한 것으로 사료된다. 또한 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우는 다른 조건에 비하여 전위의 큰 변동이 관찰되었는데 이는 일부 코팅막의 결함에서 전해질이 흡수·침투하여 모재가 노출됨으로써 불안정한 전위의 변동을 나타낸 것으로 판단된다. 결과적으로 침지 종료 후의 전위는 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우가 가장 천한 전위를 나타낸 반면, PTFE + Zn코팅을 실시한 경우가 가장 귀한 전위를 냈음을 알 수 있다.

그림 5는 모든 조건에 대하여 해수용액 내에서의 양분극 경향을 비교한 것이다. 모재의 경우, 동합금의 개방전위가 SS400강의 개방전위보다 높게 측정되었고 코팅기술이 적용된 시편에 비해 모두 높은 값을 나타냈다. 한편, 표면코팅을 실시한 경우는 모든 조건에서 거의 유사한 개방전위를 나타냈으므로 이는 앞서 측정한 시간에 따른 개방전위 실험 결과와 상응하였다. 먼저 동합금의 경우는 개방전위 이후로 급격한 전류밀도의 상승이 관찰되었으며, 0.2~0.4 V의 범위에서 급격하게 전류밀도가 감소하였다. 이와 같은 경향은 해수 내 구리합금 표면에서 $Cu \rightarrow Cu^+ + e$ 반응과 $Cu + Cl^- \rightarrow CuCl + e$ 의 화학반응이 발생하고 $2Cu + H_2O \rightarrow$

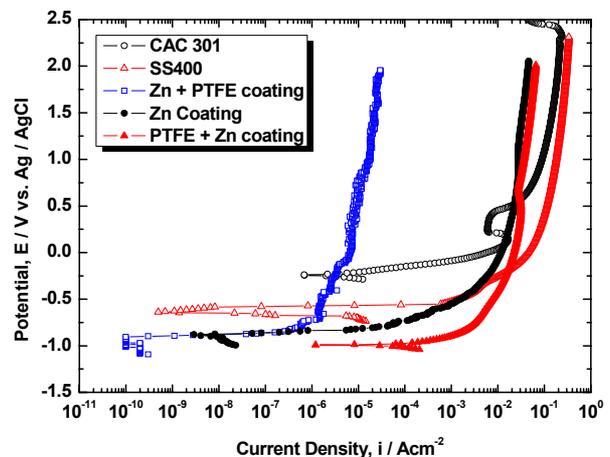


Fig. 5. Anodic polarization curves for base metal and coated specimens in sea water.

$Cu_2O + 2H^+ + 2e$ 의 반응으로 인해 Cu_2O 가 전극 표면에 형성됨으로써 전하의 이동을 방해하는 산화성 피막역할을 나타낸 것으로 사료된다.¹³ 이후 0.5 V 이상의 전위에서는 아연코팅이나 PTFE + Zn 코팅에 비하여 높은 전류밀도를 나타냈는데 이는 보호성 산화피막의 국부영역에서 집중적인 부식손상이 발생하여 급격하게 전류밀도가 증가한 것으로 판단된다. 즉, 모재와 접촉해 있는 PTFE가 해수의 이동을 방해하고 비활성 재료이므로 모재와의 전기화학적 상호작용은 거의 없으며, 아연 코팅층 및 아연/PTFE 계면에서 반응을 보인다. 한편 SS400의 경우는 개방전위 주위에서부터 인가전위의 증가에 따라 꾸준한 전류밀도의 증가현상이 관찰되었으며, -0.2 V 이상의 전위에서는 다른 조건에 비하여 가장 높은 전류밀도를 나타내고 있으며 이로써 SS400강은 해수환경 하에서 내식성이 취약한 것으로 전극 표면에서의 활성 용해반응이 원활하게 진행되었음을 알 수 있다. 한편 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우는 전극표면이 전해액에 직접적으로 노출된 타 조건에 비하여 훨씬 낮은 전류밀도를 나타냈으며 이는 코팅막은 비전도체이기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같이 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우는 일부 영역에서 전체적으로 해수와 모재와의 장벽의 역할을 하기 때문에 직접적인 모재의 손실은 발생하지 않을 것으로 사료된다. 이와 같이 건전한 코팅층의 경우, 국부영역에서의 코팅막이 파괴되었을 경우는 모재의 국부영역에서 부식이 집중되어 손상이 급격하게 증대될 수 있으므로 주의할 필요로 한다. 결과적으로 개방전위 측정 결과에 나타낸 바와 같이 SS400보다 훨씬 친한 전위를 나타냈으나 SS400에 아연도금을 실시한 후에 PTFE 코팅을 실시하였기 때문에 방식특성은 더 우수할 것으로 판단된다.

그림 6은 모든 시험편에 대한 해수용액 내에서의 음분극 경향을 비교한 것이다. 동합금의 경우는 -1.13 V의 전위까지 용존산소 환원반응에 의한 농도분극 현상이 나타난 후

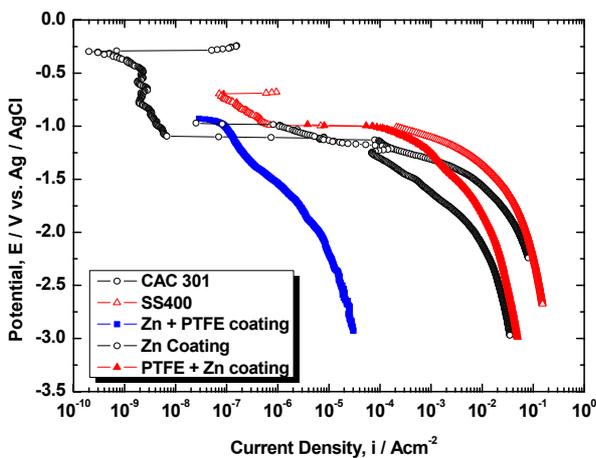


Fig. 6. Cathodic polarization curves for base metal and coated specimens in sea water.

활성화 분극의 영향으로 급격하게 전류밀도가 상승하였음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 SS400강의 경우는 개방전위에서 -1.0 V까지 용존산소 환원반응에 의한 농도분극이 나타난 후 급격히 전류밀도가 상승하여 활성화 분극이 발생하는 영역에서는 가장 높은 전류밀도를 나타냈다. 이와 대조적으로 코팅을 실시한 경우, Zn + PTFE 코팅의 경우는 양분극 곡선에서 설명한 바와 같이 장벽의 역할로 인하여 모재가 용해반응에 의하여 부식이 발생하지 않을 것으로 사료된다. 그 외 아연코팅과 PTFE + Zn 코팅의 경우는 용존산소 환원반응에 의한 농도분극과 수소가스 발생에 의한 활성화 분극의 경향은 관찰되지 않았으며, 대체적으로 전위가 저하할수록 완만한 전류밀도의 변화를 관찰할 수 있었다. 결과적으로 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우가 표면에 최종적으로 코팅된 PTFE이 우수한 비활성 특성을 나타낸 것으로 판단된다.⁶⁾

그림 7은 동합금에 대한 해수용액 내에서의 타펠상수 분

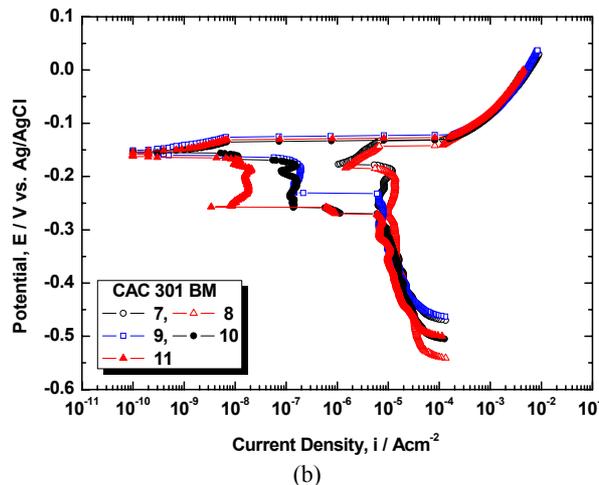
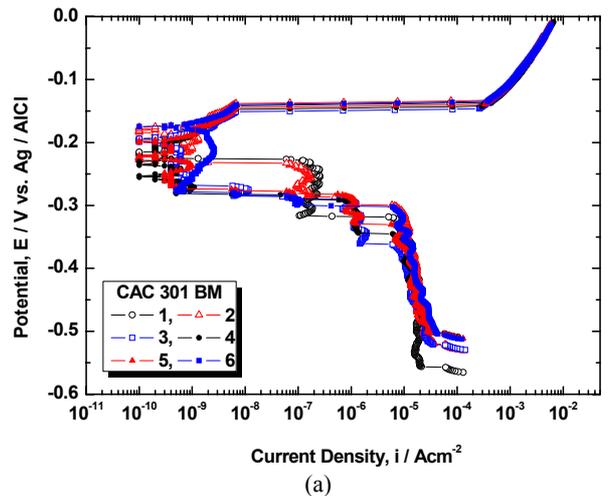


Fig. 7. Anodic and cathodic polarization curves for CAC 301 Cu alloy in sea water ; number of trials (a) 1 to 6 and (b) 7 to 11.

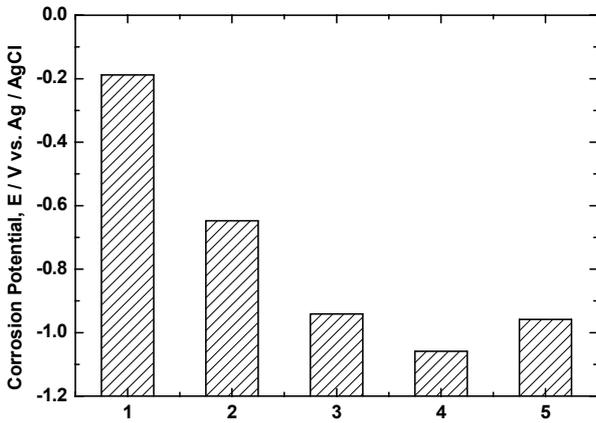


Fig. 8. Comparison of corrosion potential by Tafel constant analysis (1. CAC 301, 2. SS400, 3. Zn + PTFE, 4. Zn coating, 5. PTFE + Zn coating).

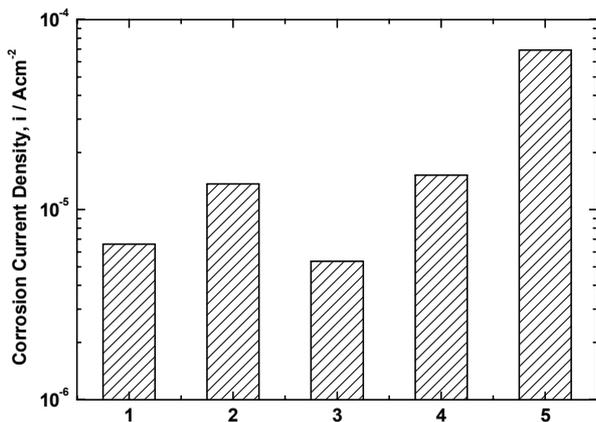


Fig. 9. Comparison of corrosion current density by Tafel constant analysis (1. CAC 301, 2. SS400, 3. Zn + PTFE, 4. Zn coating, 5. PTFE + Zn coating).

석을 위한 분극곡선을 나타내고 있으며 총 11회 실험을 실시하였다. 개방전위 주위의 전위에서는 전기화학적 평형상태로 전극표면(working electrode)에서의 산화 및 환원량이 동일하므로 낮은 전류밀도 영역에서 큰 폭의 변화를 나타냈으며, 양분극 곡선에서는 약간의 부동태 경향을 보인 후 대략 -0.14 V의 전위를 통과하면서 급격히 상승하는 경향을 나타냈다. 한편 음분극 곡선에서는 용존산소 환원반응에 의한 농도분극 현상 이후, 물의 가수분해에 의한 급격한 전류밀도의 상승이 관찰되었다. 전기화학적 관점에서 부식전류밀도가 낮을수록 우수한 내식성을 유지한다고 할 수 있다. 재현성 확보를 위하여 총 11회 이상 실시한 결과, 그 부식전위의 평균은 -0.1881 V를 나타냈으며 부식전류밀도는 $6.59 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 로 측정되었다.

그림 8은 모든 조건에 대하여 타펠상수 분석으로 측정된 부식전위의 평균값을 상호 비교한 그래프이다. 전체 시험편

중 부식전위는 동합금의 경우가 가장 귀한 전위를 나타냈으며, 그 다음은 SS400강으로 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이, 개방전위 측정결과에서와 동일하게 SS400강은 동합금과 비교하여 상대적으로 천한 전위를 나타냈으나 오히려 코팅층 간의 전위차는 동합금/코팅층의 전위차에 비해 작으며 결과적으로 갈바니 부식에 대한 가능성은 감소하는 것으로 판단할 수 있다. 코팅된 조건에서는 거의 유사한 부식전위를 나타냈으며 그 중 아연코팅을 실시한 경우가 가장 천한 전위를 나타냈다. 아연 코팅의 경우는 동합금이나 SS400과 갈바니 전지가 형성되었을 시 희생양극적 특성은 우수하나 큰 전위차는 오히려 수명을 단축시키는 요소가 되므로 주의할 필요가 있다. 한편 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우는 모재에 아연 코팅을 실시한 후에 PTFE 코팅을 실시하였기 때문에 모재 대비 매우 낮은 전위를 나타낸 것으로 판단된다.⁶⁾

그림 9는 모든 조건에 대하여 타펠상수 분석에 의해 구한 부식전류밀도의 평균값을 상호 비교한 그래프이다. 그래프의 높이가 낮을수록 부식전류밀도가 낮은 것이며 결과적으로 해수환경 하에서의 부식속도가 느리기 때문에 전기화학적으로 우수한 것이라 할 수 있다. 동 합금과 SS400 시편 중 동합금의 경우가 상대적으로 낮은 부식전류밀도를 나타내어 내식성이 우수한 것으로 판단된다. 이보다 낮은 부식전류밀도를 나타낸 경우는 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우로 이는 모재에 먼저 아연코팅을 실시하고, 대단히 견고한 PTFE 코팅을 실시하여 직접적인 해수와의 반응 즉, 전극표면과 전해용액 간의 계면반응은 비활성 물질인 PTFE 코팅의 장벽을 통과해야만 아연 코팅이 노출되기 때문에 가장 낮은 전류밀도를 나타낸 것으로 사료된다. 한편 SS400과 아연코팅을 실시한 경우는 거의 유사하나, 아연코팅의 경우가 약간 높은 부식전류밀도를 나타냈다. 그러나 아연코팅이 높은 부식전류밀도를 나타냈다고 해서 아연코팅이 SS400에 비하여 전기화학적으로 열악하다고 결정지을 수 없는 이유는 희생양극 기능이 있기 때문이다.¹⁴⁾ 또한 PTFE + Zn 코팅은 가장 높은 부식전류밀도를 나타냈다. 모재 및 다양한 코팅 조건에 대한 전기화학적 특성을 분석한 결과, Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우가 가장 낮은 부식속도를 나타냈으며 결과적으로 가장 우수한 방식특성을 가진 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 탄소강에 대하여 다양한 표면처리를 실시하여 우수한 내식 특성을 나타내는 조건을 규명하였다. 그 결과는 다음과 같다.

인장시험 결과, 최대인장강도와 연신율은 동합금이 높게 나타났으며, 항복강도는 SS400 강이 높은 값을 나타냈다.

대부분 동합금이 사용되는 곳은 인장응력보다는 압축응력을 많이 받기 때문에 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

양분극 시험 결과, PTFE + Zn 코팅의 경우는 모재와 접촉해 있는 PTFE은 해수의 이동을 방해하는 장벽의 역할을 하기 때문에 모재의 전기화학적 작용은 거의 없으며, 아연 코팅막만 반응을 보인 것으로 생각되며, 그 결과 극히 부분적으로 용해반응을 보인 것으로 관찰되었다. 그러나 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우는 극히 부분적으로 피막 파괴가 일어나는 현상이 관찰되었다. 이러한 Zn + PTFE 코팅은 전체적으로 해수와 모재 사이에 장벽의 역할을 하기 때문에 직접적인 모재의 손상은 관찰되지 않았다.

타펠상수 분석결과, 가장 낮은 부식전류밀도는 Zn + PTFE 코팅을 실시한 경우로 나타났는데 이는 해수와의 반응은 PTFE 코팅이라는 에너지 장벽을 통과해야만 아연코팅이 노출되기 때문으로 사료된다. 종합적인 분석결과, SS400에 표면코팅기술을 적용한 경우, 전기아연도금을 실시한 후에 PTFE 코팅을 실시할 것을 권장한다.

참 고 문 헌

1. W. von Baeckmann, W. Schwenk, and W. Prinz, Handbook of Cathodic Corrosion Protection, Gulf publishing,

179 (1988).
 2. John Morgan, Cathodic Protection, second edition, NACE, 251 (1987).
 3. Mars G. Fontana, Corrosion Engineering, third edition, McGraw-Hill, 278 (1987).
 4. M. S. Han, S. C. Ko, S. H. Kim, S. K. Jang, and S. J. Kim, *Met. Mater. Int.*, **14**, 203 (2008).
 5. S. I. Rhee, S. S. Cha, and Y. S. Shin, *Bull. Kor. Inst. Met. Mater.*, **5**, 278 (1992).
 6. K. J. Park, J. H. Jeong, J. H. Kim, and J. M. Bae, *J. Kor. Soc. Mech. Eng.*, **2007**, 46 (2007).
 7. J. B. Kim and S. K. Lee, *J. Corros. Sci. Soc. of Kor.*, **30**, 257 (2001).
 8. J. R. Park and H. T. Kim, *J. Corros. Sci. Soc. of Kor.*, **27**, 157 (1998).
 9. S. J. Kim, S. K. Jang, and J. I. Kim, *Kor. J. Chem. Eng.*, **21**, 739 (2004).
 10. S. J. Kim, M. Okido, and K. M. Moon, *Kor. J. Chem. Eng.*, **20**, 560 (2003).
 11. S. J. Kim, M. Okido, and K. M. Moon, *Surf. Coat. Technol.*, **169**, 163 (2003).
 12. B. Y. Yang, K. Y. Kim, and J. C. Shin, *J. Corros. Sci. Soc. of Kor.*, **22**, 233 (1993).
 13. Marcel Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, NACE, pp.384-392 (1974).
 14. K. J. Kim, J. A. Jung, W. C. Lee, and T. S. Jang, *Corros. Sci. Tech.*, **6**, 269 (2007).