

해양환경 중에서 SS400강재의 간극부식방지 특성에 관한 연구

임 우 조* · 정기철** · 구영필*** · ○윤 병 두****

Study on the Characteristics of Crevice Corrosion Prevention of SS 400 in Marine Environment

U. J. Lim*, G. C. Jeong**, Y. P. Gu*** and ○ B. D. Yun****

ABSTRACT

This paper was studied on the characteristics of crevice corrosion prevention of SS 400 in marine environment. In NaCl solution, polarization behavior under the crevice corrosion was investigated. And Weight loss rate of SS 400 applied cathodic protection and non cathodic protection was measured according to the NaCl concentration.

The main results obtained are as follows :

The weight loss rate of Al-alloy galvanic anode was increased as the concentration of NaCl solution increased by 3.5 % but the concentration increased over 3.5 %, that of Al-alloy galvanic anode become decreased.

The protective potential of SS 400 used Al-alloy galvanic anode becomes more cathodic polarization with increasing concentration of NaCl solution. Effects of oxygen on the weight loss rate of Al-alloy sacrificial anode for cathodic protection as the concentration of 3.5 % NaCl solution become sensitive than that of 0 % NaCl solution.

Key words : Crevice corrosion(간극부식), Weight loss rate(무게감소율), Current density(전류밀도), Cathodic protection(음극방식), galvnaic anode(유전양극)

1. 서 론

산업발전과 더불어 금속구조물, 교량, 선박, 항공기, 건축구조물 및 기계장치·설비 등이 늘어나고 있으며 이들 구조물들의 부재들은 각종 사용 환경 조건하에서 사용되고 있다.

소득의 증가와 더불어 자동차 및 냉난방 장치의 보급이 급격히 늘어나고 있으며, 이에 따라 화석에너지

의 소비량이 증대되어 SO₂, SO₃, CO, HCl, H₂S 및 Cl₂ 등의 오염물질의 배출이 증대되어 환경오염을 가속화시키고 있다. 이러한 오염물질은 대기 중의 수분이나 물에 혼합되면 황산과 개미산이 되어 산성에 의한 금속의 부식을 가속화시키고, Cl₂나 HCl 등은 Cl⁻이온에 의해 금속표면의 부동태 피막을 파괴하여 부식을 촉진시킬 수 있다. 또한 공업 지역은 대부분 해안에 많으므로 해염인자(Cl⁻)와 산성에 의해 상승적인 부식손상을 받는다¹⁾.

이상과 같은 부식환경조건 하에서의 간극부식은 joint된 볼트 및 부분, gasket과 packing 아래, valve disk와 seats사이, 해양 유기물 아래, 침투성을 가지는 침적물 아래 등에서 발생한다.

* 부경대학교 기계공학부
** 동명대학 가스냉동과
*** 부경대학교 기계공학부
**** 부경대학교 기계공학과 대학원

이러한 간극부식은 금속과 금속, 금속과 비철금속, 또는 유사한 금속 사이에서 형성되는데, 이 간극의 영향은 갈바닉 영향에 의해서 증가될 수도 있고 감소될 수도 있다.

이상과 같은 부식환경 조건하에서 이용되고 있는 일반구조용 압연강재(SS 400)는 용접성과 가공성 및 경제성 등으로 인해서 일반기계구조물, 선박 및 해양구조물 등에 그 활용도가 높다²⁻⁴⁾.

국부부식 일종인 간극부식(crevice corrosion)에 대한 부식특성은 많은 연구가 계속되고 있으나, 초기 단계에 발견이 어려운 동시에 예측하기가 곤란하여 예기치 못한 사고를 유발한다. 이에 대한 연구가 계속되고 있는데도 불구하고 SS 400의 간극부식방지 특성에 대한 연구는 거의 찾아볼 수 없다⁵⁻⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 해양환경 하에서 SS 400 강재의 간극부식방지 특성을 연구하기 위해서, NaCl 농도에 따른 SS 400강재의 전기화학적 분극시험과 Al합금유전양극에 의한 음극방식시험을 실시하였다. 이러한 실험결과를 토대로 NaCl 농도에 따른 부식거동을 고찰하고, Al합금유전양극에 의한 간극부식방지 거동과 Al합금유전양극방식에 미치는 산소의 영향을 고찰하였다. 이들 해양환경 중에서 SS 400의 간극부식방지 거동을 규명함으로써 해양환경 중에서 일반구조용 압연강재인 SS 400의 간극부식방지 특성에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 시험재료는 두께 4.0 mm인 일반구조용 압연강재인 SS400이며 이 시험재료의 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다. 또한, 간극부식을 방지하기 위해 사용된 Al합금유전양극의 화학적 성분은 Table 2에 나타내었다.

본 실험에 사용된 시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 SS400 판재로부터 절취하여 제작하였으며 시험편의 형상은 Fig. 1과 같다.

시험편은 밀링 및 연삭작업을 한 후 표면은 사포 #200~1200까지 연마하고 오일 래핑(oil lapping)하였다. 이 시험편의 유효 노출 면적을

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of used material (SS400)

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	Ni	Cr
	0.18	0.34	0.9	0.024	0.04	0.02
Mechanical properties	Tensile strength (kgf/mm ²)		Yield strength (kgf/mm ²)		Elongation (%)	
	47.5		32.5		30	

Table 2 Chemical compositions of Al-alloy galvanic anode (wt%)

Chemical composition (wt%)	Al	Zn	Si	In	Fe	Ca	Sn	Mg
	Remain	3.36	0.07	0.16	0.11	0.006	0.044	0.006

갈게 하기 위하여, $\phi 32$ mm을 제외한 나머지 부분과 도선은 테플론 테이프 및 에폭시 수지(epoxy resin)로 절연시켰다. 시험편은 Fig. 2와 같이 20개의 grooves(0.5 mm 깊이, 1mm 폭)와 Plate면을 갖는 teflon제의 볼트, 너트로 시편 양쪽 면을 고정하였고, 접촉면적은 116.8 mm²로 하였다. 여기서, 정확한 간극부식의 경향을 실험하기 위해 고정지그를 제작하고, Fig. 3과 같은 Torque wrench를 이용하여 일정한 Torque(약 40kg·m) 주어 teflon nut를 일정하게 고정시켜 실험하였다. 음극방식시험을 위해 사용된 Al합금유전양극시험편의 형상은 Fig. 4와 같고, Al합금유전양극의 소모량을 정량적으로 측정하기 위해 유효노출면적 6.3 cm²를 제외한 나머지 부분과 도선은 에폭시 수지로 절연하였다.

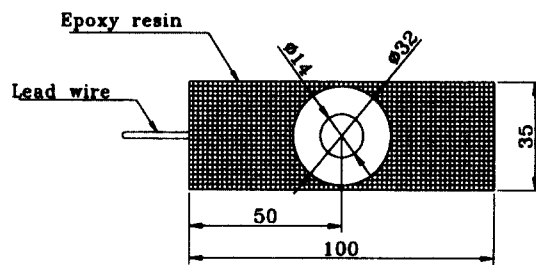


Fig. 1 Shape and dimension of test specimen (unit: mm)

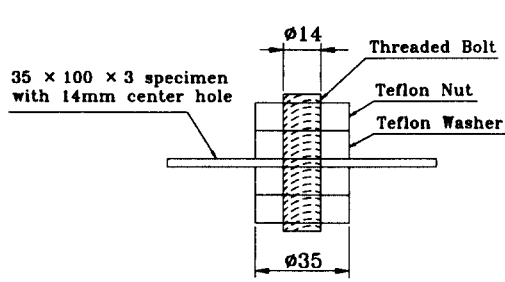


Fig. 2 Multiple crevice test assembly

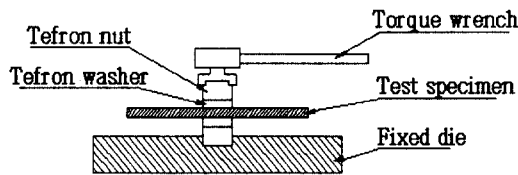


Fig. 3 Crevice control of torque wrench

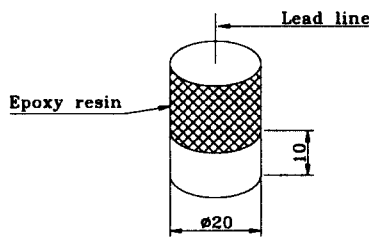


Fig. 4 Shape and dimension of Al-alloy galvanic anode(unit:mm)

본 실험에 사용된 전기화학적 부식시험은 다른 부식평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식평가법으로 많이 이용되고있는 Galvanostat/Potentiostat 이용하여, 분극시험을 실시하였다.

전기화학적 분극시험은 Fig. 1의 시험편 표면을 사포 800~1200번까지 연마한 후 아세톤으로 탈지하였다. 분극시험은 시험편을 부식환경조에 침지한 후, 부식전위에서 30분간 안정시키고 난 후 실시하였다. 부식환경조건은 증류수에 NaCl을 소량씩 혼입하여 각각 농도를 0%, 2.0%, 3.5%, 및 5.0% (wt%) 용액으로 하였으며, 부식 용액의 온도는 실내온도로 유지하였다.

침지시험은 Fig. 1의 시험편의 표면을 사포 800~1200번까지 연마한 후 아세톤을 탈지하여 침지시험을 실시하였다. 침지시험을 하기 전에 부식 전위에서 30분간 안정시키고 난 후 침지시험을 실시하였고, 무게감소량은 72시간 경과 후 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NaCl 농도에 따른 간극부식 거동

Fig. 5는 NaCl 농도 0%, 2%, 3.5%, 및 5% 수용액 중에서 일반구조용 연강(SS400)에 대한 간극부식 하에서의 분극곡선을 나타낸 것이다.

이 결과에 의하면 NaCl 농도가 0% → 2% → 3.5% → 5%로 증가할수록 부식전위는 낮아지고, 부식전위 하에서 전류밀도는 2% NaCl 용액 중에서 $i_{cor}=4.8 \mu A/cm^2$ 로 0% NaCl 용액 중의 $i_{cor}=0.7 \mu A/cm^2$ 보다 높게 배류되고 있다.

그리고 2% NaCl 용액 중에서 전기화학적 부식거동은 NaCl 농도 0% 용액 중에서도 전 양극 전위구간에서 전류밀도가 더 많이 배류된다. 또한 3.5% NaCl 용액 중에서 $i_{cor}=7.0 \mu A/cm^2$ 로 2% NaCl 용액 $i_{cor}=4.8 \mu A/cm^2$ 보다 높게 배류되고 있음을 알 수 있다. 그리고 3.5% NaCl 용액 중에서 전기화학적 부식거동은 2% NaCl 용액 중에서도 전 양극 전위구간에서 전류밀도가 더 많이 배류되었고, 5% NaCl 용액 중에서 $i_{cor}=5.2 \mu A/cm^2$ 로 3.5% NaCl 용액중에서 보다 적게 배류되고 있음을 알 수 있다. 특히, 전류밀도는 NaCl 농도 3.5%까지 농도가 증가할수록 전류밀도가 많이 배류된다. 그러나 개로전위 하에서 NaCl 농도가 3.5%이상의 농도 5%에서 증가하면 오히려 전류밀도가 적게 배류된다. 이와 같이 NaCl 농도 3.5%까지 증가하면서 부식 전류밀도가 높게 배류되는 이유는 NaCl과 산소의 상승 작용에 의한 것이지만, 5%에서는 NaCl의 양이 증가함으로써 간극부식에 영향을 크게 미치는 산소량이 상대적으로 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

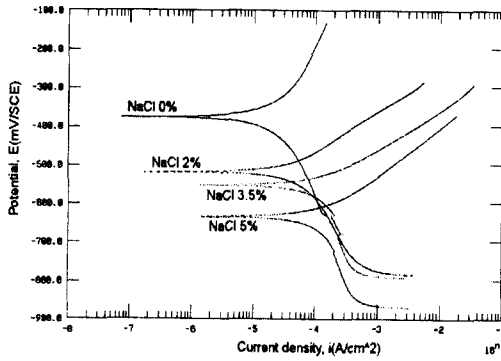


Fig. 5 Tafel polarization curves of SS400 in various NaCl concentration (temp. : 23°C)

3.2 Al합금유전양극에 의한 간극부식 방지동

Fig. 6은 SS400강재의 간극부식 방지를 위한 음극방식에서 NaCl 농도에 따른 Al합금유전양극의 소모량을 나타낸 것이다.

이 결과에 의하면 0 %의 NaCl에서 Al합금유전양극 소모량이 가장 적게 나타났고, 3.5 %의 NaCl에서 Al합금유전양극 소모량이 가장 크게 나타나고 있다. 그리고, NaCl 농도가 0 % → 2 % → 3.5 % 증가할수록 Al합금유전양극의 소모량은 선형적으로 증가하다가, 5 %의 NaCl용액 중에서는 다시 감소하고 있다.

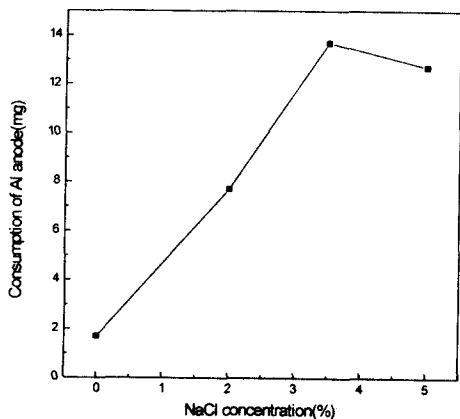


Fig. 6 Consumption of Al-alloy galvanic anode vs. NaCl concentration (temp. : 23°C)

Fig. 7은 SS 400강재의 간극부식을 방지하기 위해 실시한 Al합금유전양극방식과 무방식하에서 SS 400강재의 무게감소량을 NaCl용액 농도에 따라 나타낸 것이다.

Al합금유전양극방식에 의한 SS 400강재의 무게감소량은 거의 변화가 없었고, 음극방식을 하지 않는 SS 400강재의 무게감소량은 3.5 % NaCl 용액까지 선형적으로 증가하다가 5 % NaCl 용액에서는 감소하는 경향을 나타낸다.

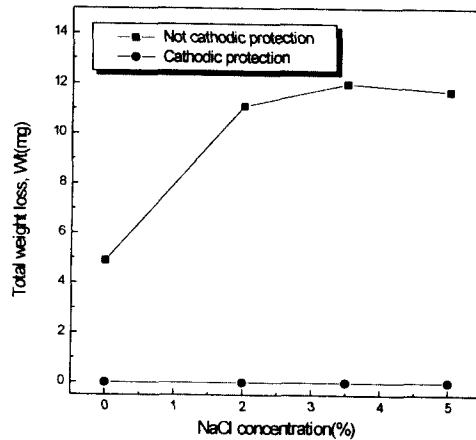


Fig. 7 Effects of cathodic protection(Al-anode) on total weight loss of SS400 (oxygen concentration : 5.81 mg/l)

3.3 간극부식의 유전양극방식에 미치는 산소의 영향

Fig. 8과 Fig. 9는 SS 400강재의 간극부식을 방지하기 위한 유전양극방식에 용존산소의 영향을 고찰하고자, 0 % 와 3.5 % NaCl 용액 중에서, 산소를 공급한 경우와 그렇지 않은 경우의 Al합금유전양극의 무게감소량을 정량적으로 나타내고 있다.

이 결과에 의하면, SS 400의 간극부식을 방지하기 위한 음극방식하에서 산소의 농도가 증가함으로써 Al합금유전양극의 소모량은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 NaCl 0 %에서 보다 NaCl 3.5 %에서 더 민감한 양상을 나타내고 있다.

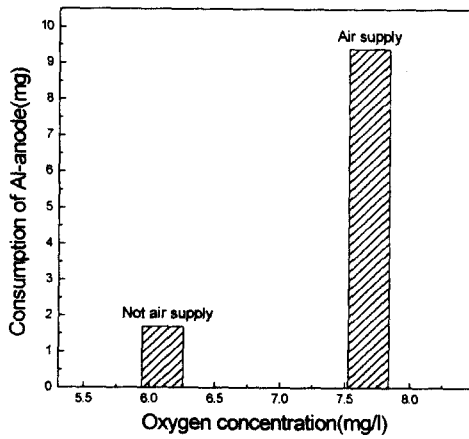


Fig. 8 Consumption of Al-anode under air supply and not air supply at 0 % NaCl (temp. : 23°C)

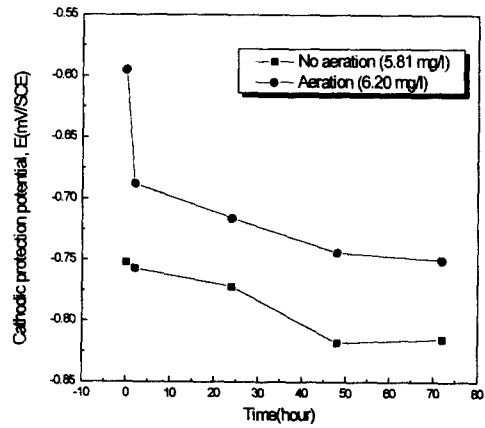


Fig. 10 Effects of aeration at 0 % NaCl on cathodic protection potential

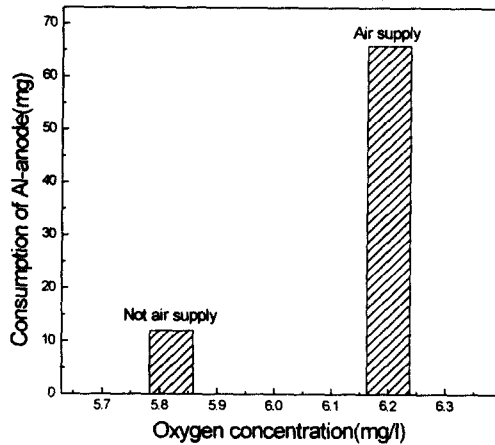


Fig. 9 Consumption of Al-anode under air supply and not air supply at 3.5 % NaCl (temp. : 23°C)

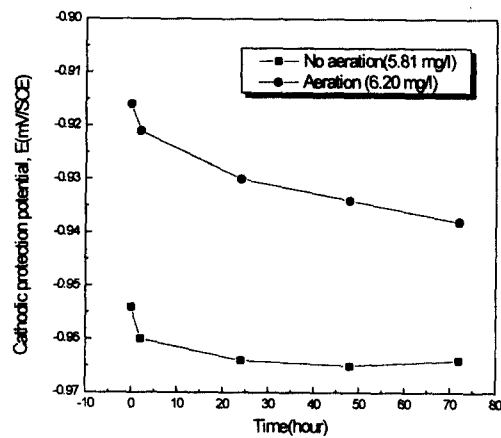


Fig. 11 Effects of aeration at 3.5 % NaCl on cathodic protection potential

Fig. 10과 Fig. 11은 NaCl 농도 0 % 및 3.5 % 수용액 중에서 공기를 공급함에 따른 Al합금 유전양극방식의 음극방식전위를 나타낸 것이다.

이 결과 Al합금유전양극방식을 이용한 음극방식에 있어서 공기를 공급하지 아니한 SS 400강재의 방식전위는 공기를 공급한 SS 400강재의 방식전위보다 더 음극 분극되어 있다.

그리고, 시간이 경과함에 따라 방식전위는 점차 더 음극분극되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 일반구조용 압연강재(SS400)에 대해 해양환경 중에서 간극부식방지 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 음극방식에 의한 간극부식 방지에서 Al합금유전양극 소모량은 NaCl 농도가 3.5 % 까지 증가하다가 3.5 %이상에서 오히려 감소하는 경향을 나타낸다.
- 2) Al합금유전양극방식에 의한 일반 구조용 강재의 NaCl 농도에 따른 방식전위는 농도가 증가할수록 음극분극된다.
- 3) 간극부식 방지를 위한 Al합금유전양극의 소모량에 미치는 산소의 영향은 NaCl 0 %에서 보다 NaCl 3.5 %에서 더 민감하다.

후 기

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. 임우조 외 3인, "음극방식에 의한 선박용 5086 알루미늄 합금의 부식피로균열 진전억제에 관한 연구" 한국박용기관학회 Vol. 16, No. 2 1992.
2. 임우조·신종대, "가스저장탱크의 부식피로균열 특성에 관한 연구", pp. 31~32, 1997.
3. 오세욱, "3.5% NaCl 수용액의 온도변화가 SS41강의 부식피로파괴에 미치는 영향", 연구보고서, pp. 49~58, 1988.
4. 吉武進也·中村治方, "ステンレス鋼の溶接, 産報出版", 東京, pp. 28~55
5. 이규화·노병호·김만·이태평, "강재의 국부 부식방지에 관한 연구", 과학기술처, pp. 15~31, 1986.
6. L. L. Shreir, R. A. Jarman, G. T. Burstein, "Corrosion/ Metal/Environment Reaction", third edition, pp. 10:29~10:55, 1995.
7. Denny A. Jones, "Principles and prevention of corrosion", Macmillan Publishing company, pp. 437~462, 1992.
8. 장현영, 박용수, 황운석, "스테인리스강의 틈