

## 해양환경 중에서 SS 400 강재의 간극부식거동에 관한 연구

임 우 조\* · 윤 병 두\*\*

### Study on the Crevice Corrosion Behavior of SS 400 in Marine Environment

U-J Lim\* · B-D Yun\*\*

**Key words** : Crevice corrosion(간극부식), Marine environment(해양환경), Corrosion current density(부식전류밀도), Open circuit potential(개회전위)

#### Abstract

Due to increase of air pollution substance, such as  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$  and so on, the operating environment of mechanical equipment and facilities like generating plants, ships, metal structure etc., are acidified and corroded. In these environments, the crevice corrosion of marine facilities frequently occurs at crevice like jointed bolt, gasket or sealant, riveted plates, contact of metal with non-metallic solids etc. Therefore, this paper was studied on the crevice corrosion behavior of mild steel(SS 400) in marine environment. In a variety of NaCl solutions, the aspect of the crevice corrosion and polarization behavior under the crevice corrosion was investigated. The main results obtained are as follows :

- 1) Under crevice corrosion, the open circuit potential become less noble as the concentration of NaCl solution increased.
- 2) The corrosion current density of mild steel was high drained as the concentration of NaCl solution increased by 3.5%, but in the concentration increased over 3.5%, the corrosion current density was low drained.
- 3) The crevice corrosion is more sensitive to the synergy effect of dissolved oxygen and NaCl.

#### 1. 서 론

산업발전과 더불어 금속구조물, 교량, 선박, 항공기, 건축구조물 및 기계장치·설비 등이 늘어나고 있으며 이들 구조물들의 부재들은 각종 사용 환

경조건 하에서 사용되고 있다.

또한 소득의 증가와 더불어 자동차 및 냉난방 장치의 보급이 급격히 늘어나고 있으며, 이에 따라 화석에너지의 소비량이 증대되어  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  및  $\text{Cl}_2$  등의 오염물질의 배출이 증대되어

\* 부경대학교 기계공학부

\*\* 부경대학교 대학원 기계공학과

환경오염을 가속화시키고 있다. 이러한 오염물질은 대기 중의 수분이나 물에 혼합되면 황산과 개미산이 되어 산성에 의한 금속의 부식을 가속화시키고, Cl<sub>2</sub>나 HCl 등은 Cl<sup>-</sup>이온에 의해 금속표면의 부동태 피막을 파괴하여 부식을 촉진시킬 수 있다. 또 공업 지역은 대부분 해안에 있으므로 염염인자(Cl<sup>-</sup>)와 산성에 의해 상충적인 부식손상을 받는다<sup>19)</sup>.

이와 같은 부식환경조건 하에서의 간극부식은 볼트·너트부, 가스켓(gasket)과 패킹(packings) 부위, 밸브 디스크(valve disk)와 시트(seats)사이, 해양 유기를 아래, 침투성을 가지는 침적물 아래의 금속 등에서 발생한다. 이러한 간극부식은 금속과 금속, 금속과 비철금속, 또는 유사한 금속 사이에서 형성되는데, 이 간극의 영향은 갈바닉 영향에 의해서 증가될 수도 있고 감소될 수도 있다. 이와 같은 부식환경조건 하에서 이용되고 있는 일반구조용 압연강재는 용접성과 가공성 및 경제성 등으로 인해서 일반기계구조물, 선박 및 해양구조물 등에 그 활용도가 높다<sup>16)</sup>.

국부부식 일종인 간극부식에 대한 연구가 계속되고 있으나, 초기 단계에 발견이 어려운 동시에 예측하기가 곤란하여 예기치 못한 사고를 유발한다. 이에 대한 연구가 계속되고 있는데 불구하고 연강재의 간극부식 특성에 대한 정량적인 연구는 거의 찾아볼 수 없다<sup>20)21)</sup>.

따라서 본 연구에서는 해양환경 하에서 일반구조용 압연강재(SS 400)의 간극부식거동을 연구하기 위하여, 간극부식 하에서 NaCl 농도에 따른 분극거동과 NaCl 농도에 따른 간극부식거동을 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시험편

본 실험에 사용된 시험재료는 두께 4.0 mm인 일반구조용 압연강재인 SS 400이며 이 시험재료의 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다. 시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 SS 400 판재로부터 절취하여 제작하였으며 시험편의 형상은 Fig. 1과 같다.

시험편은 밀링 및 연삭작업을 한 후, 표면은 사포 #1200까지 연마하고 오일 랩핑(oil lapping)하였다. 그리고 조음과 세척기로 5분간 세척한 후 아세톤으로 탈지하여 열풍으로 건조하였다. 이 시험편의 유효 노출 면적을 같게 하기 위하여  $\phi 32$  mm을 제외한 나머지 부분과 도선은 테플론 테이프 및 에폭시 수지(epoxy resin)로 절연시켰다. 시험편은 테플론(teflon)으로 만든 20개의 홈(0.5 mm 깊이, 1 mm 폭)과 플레이트(plate)면을 갖는 접촉 면적 116.8 mm의 와셔(washer)를 Fig. 2와 같이 동일한 테플론재의 볼트, 너트로 시편 양쪽 면에 고정

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of used material (SS 400)

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 (MPa)		Yield strength (MPa)		Elongation (%)	
	465		318		30	

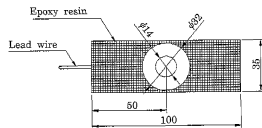


Fig. 1 Configuration and dimension of test specimen (unit: mm)

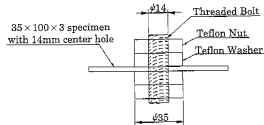


Fig. 2 Multiple crevice test assembly

하였다<sup>14)</sup>. 여기서, 정량적인 간극부식 거동을 실험하기 위해 고정지그를 제작하고 토크렌치(torque wrench)를 이용하여 일정한 토크(torque)를 주어 테플론 너트(teflon nut)를 일정한 고정시켜 실험하였다.

## 2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 전기화학적 부식시험은 다른 부식평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식평가법으로 많이 이용되고 있는 galvanostat/potentiostat 이용하여 분극(polarization)시험을 실시하였다. 이 분극 실험장치의 전체 계통도는 Fig. 3과 같다.

이 분극실험장치는 EG&G사 273 potentiostat와 PC를 이용하였으며, M352 corrosion software를 사용하여 분극특성시험을 실시하였다. 여기서, 기준전극은 포화카로멜전극(saturated calomel electrode, SCE), 보조전극(counter electrode)으로 고밀도 탄소봉을 사용하였다. 또한 Fig. 1의 시

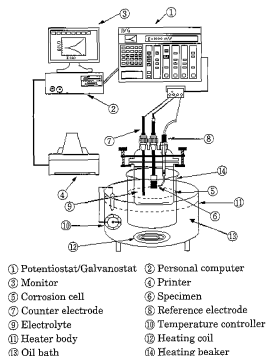


Fig. 3 Schematic diagram of polarization test equipment

험편 표면을 사포 800-1200번까지 연마한 후 아세톤으로 탈지하여 Fig. 3의 분극시험장치의 회로도와 같이 배선하였다.

분극시험은 Fig. 2의 시험편을 부식환경조에 침지한 후, 부식전위에서 30분간 안정시키고 난 후 실시하였다.

침지시험은 Fig. 2의 시험편을 부식환경 조에 침지하여 72시간 경과 후 정밀저울(1/10000 g)에 의해 무게감소량을 측정하였다.

부식환경조에는 분극시험이나 침지시험에서 종류수에 NaCl을 소량씩 혼합하여 각각 농도를 0%, 2.0%, 3.5%, 및 5.0% 수용액으로 하였으며, 부식 용액의 온도는 실내온도로 유지하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 NaCl 농도에 따른 간극부식 양상

Fig. 4는 NaCl 수용액 농도 0 및 3.5% 중에서 일반구조용 압연강재(SS 400)의 간극부식양상을 나타낸 것이다.

Fig. 4 (a)의 0% NaCl 수용액에서 간극부식양상은 Fig. 4 (b)의 NaCl 농도 3.5%와 비교하면 그 부식 정도가 작기 때문에 Fig. 4 (a)와 같이 간극부식 부위가 뚜렷한 양상을 형성하고 있음을 알 수 있다. 이러한 양상을 형성하고 있는 이유는 간극 내부에서의 부식반응이 증가하게 되면 간극 외부에서의 산소 환원이 증가하는 것으로 보고<sup>14)</sup>되고 있으므로, 간극에 인접한 외부 표면은 부동태 피막이 생성되어 간극부식을 극부적으로만 더욱 심하게 진행되기 때문인 것으로 사료된다.

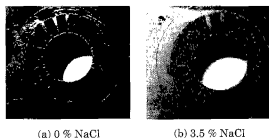


Fig. 4 Aspect of crevice corrosion ( $\times 4$ )

Fig. 4 (b)의 3.5% NaCl 수용액 중에서 간극부식양상은 Fig. 4 (a)의 0% NaCl 수용액 중에서 보다 명확하지는 않지만, 시험편 전면에 걸쳐 심한 부식양상을 보이고 있다. 이와 같이 시험편 전면에 심한 부식양상을 나타내는 이유는 수용액 중의 용존산소가 간극부식을 일으키는 주요인이고, NaCl은 SS 400의 전면에 부식을 일으키는 인자이기 때문인 것으로 생각된다.

3.2 NaCl 농도에 따른 간극부식의 분극거동

Fig. 5는 NaCl 수용액 농도 0, 2, 3.5, 및 5% 중에서 SS 400에 대한 간극부식 하에서의 분극곡선을 나타낸 것이다. 개로전위는 NaCl농도가 증가할수록 비전위화(非電位化)되는 경향이고, 부식전

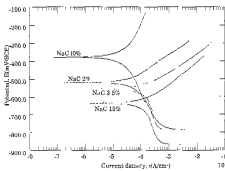


Fig. 5 Tafel polarization curves of mild steel in a variety of NaCl concentration (temp. : 23 °C)

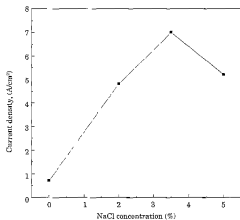


Fig. 6 Current density of mild steel vs. NaCl concentration under crevice corrosion (temp. : 23 °C)

류밀도는 NaCl 농도가 감소할수록 억제된다.

Fig. 6은 여러 가지 농도의 NaCl 수용액 중에서 개로전위 하에서의 부식전류밀도를 나타내고 있다. 부식전류밀도는 NaCl 농도가 3.5%까지 증가할수록 많이 배류되다가 NaCl 농도가 3.5% 이상 증가하면 오히려 더 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향을 나타내는 이유는 NaCl 농도 약 3.5%까지는 NaCl과 용존산소의 상승작용에 의한 것이지만, 약 5% NaCl 농도 중에서는 NaCl의 양이 증가함으로써 간극부식에 영향을 크게 미치는 용존산소량이 상대적으로 감소하기 때문인 것으로 사료된다<sup>12)</sup>.

3.3 NaCl 농도에 따른 간극부식 거동

Fig. 7은 NaCl 수용액 농도 0, 2, 3.5, 5% 중에서 간극을 가지는 일반구조용 압연강재(SS 400)와 간극을 가지지 않는 일반구조용 압연강재(SS 400)를 72시간 동안 침지시킨 후, 부식에 의한 무게감소율( $mg/dm^2 \cdot day$ )을 정리하여 나타낸 것이다.

이 결과 간극을 가진 국부부식이 간극을 가지지 않은 전면부식보다 더 많은 무게 감소율을 나타내는 거동이고, 이러한 거동은 NaCl 농도 0%에서 보다 NaCl 농도가 증가할수록 전면부식보다 간극부식에 의한 국부부식이 더 민감하게 나타나고 있다. 이와 같이 NaCl 농도 0%에서 간극부식에 미치는 용존산소 단독에 의한 영향보다 용존산소와

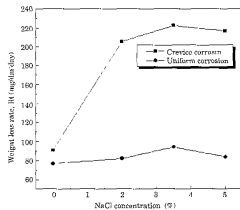


Fig. 7 Weight loss rate of mild steel under crevice corrosion and uniform corrosion vs. NaCl concentration (temp. : 23 °C)

NaCl의 상승효과에 의한 간극부식은 더욱 민감할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 일반구조용 압연강재(SS 400)에 대해 해양환경 중에서 간극부식거동을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 간극부식에 있어서 개로전위는 NaCl 농도가 증가할수록 비전위화된다.
- 2) 부식전위밀도는 NaCl 농도가 0 %로부터 약 3.5 %까지 증가할수록 더 많이 배류되다가 약 3.5 % 이상에서는 부식전위밀도는 오히려 더 적게 배류된다.
- 3) 간극부식은 용존산소와 NaCl의 상승효과에 의해 더욱 민감하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 임우조, 이상열, 윤병두, "해양환경 중에서 Ni-Cr 용사피복재의 침식-부식 거동에 관한 연구", 한국박용기관학회지, Vol. 23, No. 5, pp. 117~123, 1999.
- [2] 임우조, 이상열, 윤병두, "산성용액 중에서 Cu-Ni합금 용사피복재의 부식과 침식 특성에 관한 연구", 한국부식학회지, Vol. 30, No.1, pp. 11~18, 2001.
- [3] 임우조, 신종대, "가스저장탱크의 부식피로균열 특성에 관한 연구", 한국어업기술회, Vol. 34, No. 1, pp. 30~36, 1998.
- [4] 김영석, 임우조, "SUS 304강 스테인리스강재의 MgCl2용액 중에서의 용력부식균열 억제에 관한 연구", 한국부식학회지, Vol. 14, No.2, pp. 11~17, 1985.
- [5] 横井 聰之, "港灣構造物の高融貫蝕と防蝕対策", 防蝕技術, Vol. 38, No. 7, pp. 390~395, 1989.
- [6] K. R. Trechevey and J. Chamberlain, "Corrosion for Science and Engineering", Longman Scientific & Technical, 2nd edition, pp. 165~168, 1995.
- [7] D. A. Jones, "Principles and prevention of corrosion", Macmillan publishing Co. pp. 198~208, 1992.

- [8] M. G. Fontana, "Corrosion Engineering", 3rd ed., McGraw-Hill, pp. 39~41, 1986.
- [9] H. S. Isaacs and S. M. Huang, "Location of Corrosion on Iron and Carbon Steel Surfaces with Crevices", J. Electrochem. Soc. Vol. 143, No. 8, pp. 178~180, 1996.
- [10] 小野 邦一, 徳谷 幹郎, 帆足 典次, "Si3N4高セラミックス高濃純水中之の腐蝕・析出挙動に及ぼす溶存酸素と温度の影響", 防蝕技術, Vol. 40, No. 5, pp. 315~322, 1991.
- [11] 이규화 · 노병화 · 김만 · 이태평, "강재의 국부부식 방지에 관한 연구", 과학기술처, pp. 15~31, 1986.
- [12] 임우조, "부식억제를 위한 용존산소의 제거기술", 한국박용기관학회지, Vol. 25, No. 2, pp. 255~260, 2001.
- [13] ASTM G78-95 "Standard Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron-base and Nickel-base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments", 1995.
- [14] 伊藤 伍郎, "機械工学全書 6 - 腐蝕と防蝕", コロナ社, pp. 96~101, 1982.
- [15] 임우조, 양학희, 인현만, 이진열, "부식과 방식", 원광출판사, p. 105, 1994.

#### 저 자 소 개



**임우조(林祐助)**

1943년 7월생 | 임학희 부회장. 한국부식학회 부회장 | 1975~현재 부경대학교 기계공학부 교수.



**윤병두(尹炳斗)**

1973년 12월생 | 1997년 부경대학교 기계공학과 졸업 | 1999년 부경대학교 대학원 졸업(석사) | 2001년 부경대학교 대학원 박사과정 수료.