

유체환경 중에서 연강재의 간극부식에 관한 연구

임우조* · 윤병두**

Study on the Crevice Corrosion of Mild Steel in Fluid Environment

Uh Joh Lim*, Byoung Du Yun**

Key words : Crevice corrosion(간극부식), Weight loss rate(무게감소율), Current density(전류밀도), Fluid environment(유체환경), Tafel polarization(타펠분극)

ABSTRACT

The crevice corrosion of local corrosion occur when the gap exist on metal surface. This crevice corrosion happen to region such as flange of pipe, contact part of casing, under gasket and packing, between valve disk and seat of pump etc. Especially The crevice corrosion of mild steel(SS 400) get serious.

This paper was studied on the crevice corrosion of SS 400 in fluid environment. In 0%, 2%, 3.5%, 5% NaCl solution, the aspect of the crevice corrosion and polarization behavior under the crevice corrosion was investigated. And Weight loss rate of SS 400 with crevice and non-crevice was measured according to the NaCl concentration.

The main results obtained are as follows :

- 1) Under crevice corrosion, the corrosion potential become less noble as the concentration of NaCl solution increased.
- 2) The current density under open circuit potential was high drained as concentration of NaCl solution increased by 3.5% but the concentration increased over 3.5%, the current density was low drained.
- 3) The weight loss rate of SS400 was increased as concentration of NaCl solution increased by 3.5%, but the concentration increased over 3.5%, that of SS400 was decreased.
- 4) Effect of oxygen for crevice corrosion in the concentration of 3.5% NaCl solution become sensitive than that of 0% NaCl solution.

1. 서 론

산업발전과 더불어 금속구조물, 교량, 선박, 항공기, 건축구조물 및 유체기계·기계설비 등이 늘어나고 있으며 이들 구조물들의 부재들은 각종 환경조건하에서 사용되고 있다.

소득의 증가와 더불어 자동차 및 냉난방 장치의 보

급이 급격히 늘어나고 있으며, 이에 따라 화석에너지의 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 받는다.⁽¹⁾

* 부경대학교 기계공학부

** 부경대학교 기계공학과 대학원

이상과 같은 부식환경조건하에서의 간극부식은 joint된 볼트 밀부분, pipe의 flange, gasket과 packing 아래, pump의 valve disk와 seats사이, 케이싱의 접속 부위, 해양 유기물 아래, 침투성을 가지는 침적물 아래에서 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.

이상과 같은 부식환경조건하에서 이용되고 있는 연강재는 용접성과 가공성 및 경제성 등으로 인해서 일반기계구조물, 유체기계, 선박 및 해양구조물 등에 그 활용도가 높다.^{(2),(3)}

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 간극부식 특성에 대한 연구는 거의 찾아볼 수 없다⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 유체환경 하에서 연강재의 간극부식거동을 연구하기 위해서, 간극부식하에서 NaCl농도에 따른 분극거동과 NaCl농도에 따른 간극부식거동과 양상을 고찰하였다. 이들 유체환경 중에서 연강재의 간극부식을 규명함으로써 유체환경 중에서 연강재의 간극부식 특성에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시험편

본 실험에 사용된 시험재료는 두께 4.0 mm인 연강재(SS400)이며, 이 시험재료의 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다.

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 #1200까지 연마하고 오일 랩핑(oil lapping) 하였다. 이 시험편의 유효 노출 면적을 같게 하기 위하여 $\phi 32$ mm을 제외한 나머지 부분과 도선은 에폭시 테이프 및 에폭시 수지(epoxy resin)로 절연시켰다. 시험편은 Fig. 2의 teflon으로 만든 20개의 grooves(0.5mm 깊이, 1mm

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 (MPa)		Yield strength (MPa)		Elongation (%)	
	465.5		318.5		30	

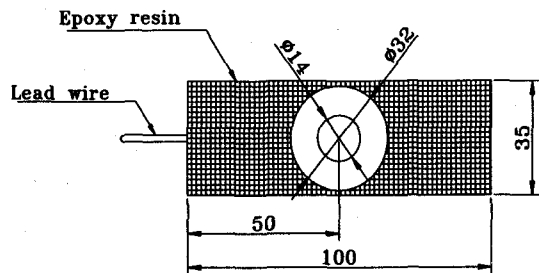


Fig. 1 Shape and dimension of test specimen (unit: mm)

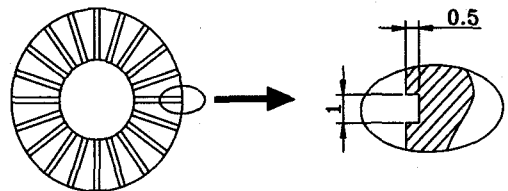


Fig. 2 Teflon washer (unit:mm)

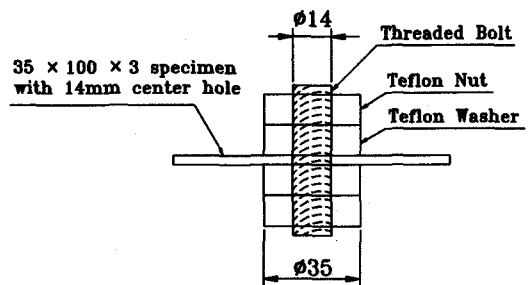


Fig. 3 Multiple crevice test assembly

쪽)와 Plateaus를 갖는 접촉 면적 6.5cm^2 의 Washer를 Fig. 3과 같이 동일한 teflon제의 볼트, 너트로 시편 양쪽 면에 고정하였다. 여기서 정확한 간극부식의 경향을 실험하기 위해 고정지그를 제작하고 Torque wrench를 이용하여 약 $40\text{kg}\cdot\text{m}$ 의 일정한 Torque를 주어 teflon nut를 일정하게 고정시켜 실험하였다.

2.2 양극분극시험

본 실험에 사용된 전기화학적 부식시험은 다른 부식평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식평가법으로 많이 이용되고 있는 Galvanostat/Potentiostat 이용하여, Potentiodynamic polarization 시험을 실시하였다. 이 분극실험장치의 전체 계통도는 Fig. 4와 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 백금을 사용하였다.

전기화학적 분극시험은 Fig. 1의 시험편 표면을 사포 800~1200번까지 연마한 후 아세톤으로 탈지하여 Fig. 4의 분극시험장치의 회로도와 같이 배선하였다.

분극시험은 시험편을 부식환경조에 침지한 후, 부식 전위에서 10분간 안정시키고 난 후 실시하였다. 부식 환경조건은 증류수에 NaCl을 소량씩 혼입하여 각각 농도를 0%, 2.0%, 3.5%, 및 5.0% (wt %) 용액으로 하였다.

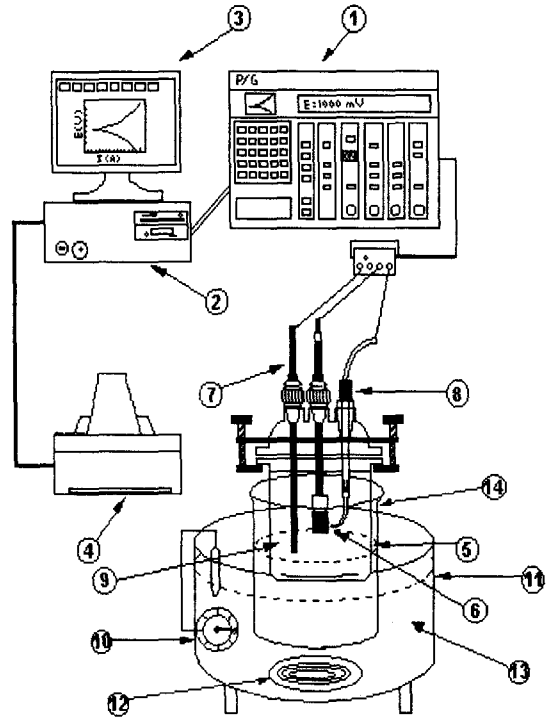
2.3 침지시험

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, 무게 감소량은 72시간 경과 후 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NaCl농도에 따른 간극부식 거동

Fig. 5는 NaCl 농도 0%, 2.0%, 3.5%, 5.0% 용



- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| ① Potentiostat/Galvanostat | ② Personal computer |
| ③ Monitor | ④ Printer |
| ⑤ Corrosion cell | ⑥ Specimen |
| ⑦ Counter electrode | ⑧ Reference electrode |
| ⑨ Electrolyte | ⑩ Temperature controller |
| ⑪ Heater body | ⑫ Heating coil |
| ⑬ Oil bath | ⑭ Heating beaker |

Fig. 4 Schematic diagram of potentiodynamic polarization equipment

액 중에서 간극을 가지는 연강재(SS400)와 간극을 가지지 않는 연강재(SS400)를 72시간 동안 침지시켜 무게감소율($\text{mg}/\text{dm}^2\cdot\text{day}$)을 나타낸 것이다.

이 결과 간극부식을 실시한 국부부식이 간극부식을 하지 않는 전면부식보다 더 많은 무게 감소율을 나타내고 있다. NaCl 0%에서 보다 NaCl 농도가 2%→3.5%→5%로 증가할수록 전면부식보다 간극부식에 의한 국부부식이 더 민감하게 나타나고 있다. 이와 같이 NaCl 0%에서 간극부식에 미치는 산소 단독에 의한 영향보다 산소와 NaCl의 상승효과에 의해 간극부식은 더욱 민감함을 알 수 있다.

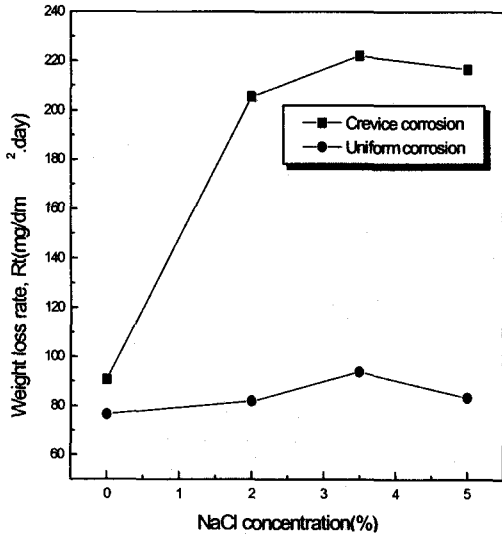


Fig. 5 Weight loss rate of SS400 under crevice corrosion and uniform corrosion vs NaCl concentration (temp.: 23°C)

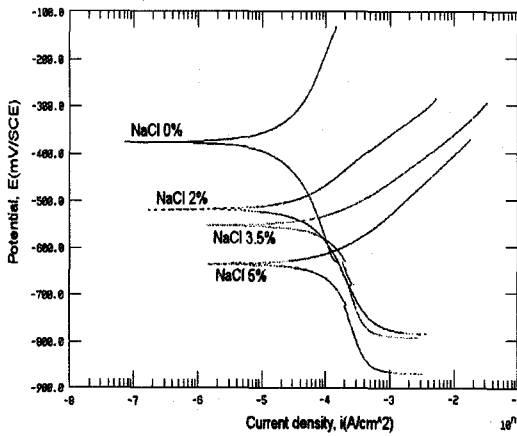


Fig. 6 Tafel polarization curves of SS400 in various NaCl concentration (temp.: 23°C)

3.2 NaCl농도에 따른 간극부식의 분극거동

Fig. 6은 NaCl 농도 0%, 2%, 3.5%, 및 5% 수용액 중에서 연강재(SS400)에 대한 간극부식에서의 분극

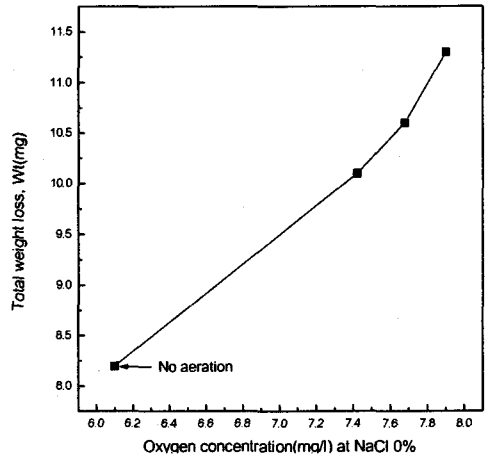


Fig. 7 Effects of oxygen concentration at 0 % NaCl on total weight loss of SS400

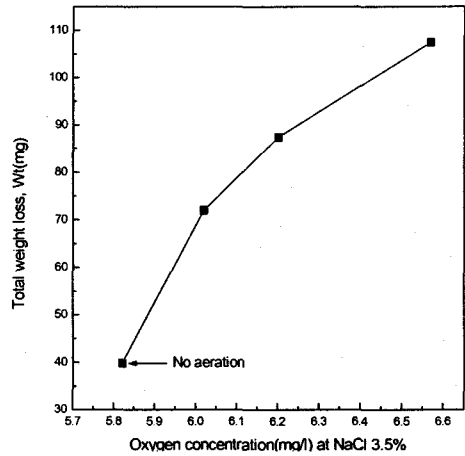


Fig. 8 Effects of oxygen concentration at 3.5% NaCl on total weight loss of SS400

곡선을 나타낸 것이다.

이 결과에 의하면 NaCl농도가 0% → 2% → 3.5% → 5%로 증가할수록 卑電位化 되었고, 또한 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 배류되

고 있다.

그리고 2% NaCl 용액 중에서 전기화학적 부식거동은 NaCl 농도 0%용액 중에서보다 전 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 중에서보다 전 전위구간에서 전류밀도가 더 많이 배류되었고, 5% NaCl 용액중에서 $i_{cor}=5.2\mu A/cm^2$ 로 3.5% NaCl 용액중에서 보다 적게 배류되고 있음을 알 수 있다. 특히 부식전류밀도는 NaCl 농도 3.5%까지 많이 배류되다가 NaCl 농도가 3.5%이상의 농도 5%까지 증가하면 오히려 전류밀도가 적게 배류된다. 이와 같이 3.5% NaCl까지 부식전류밀도가 증가하다가 그 이상의 농도에서 감소하는 이유는 NaCl와 산소의 상승 작용에 의한 것이지만, 5%에서는 NaCl의 양이 증가함으로써 간극부식에 영향을 크게 미치는 산소량이 상대적으로 감소하기 때문인 것으로 사료된다.

3.3 산소농도에 따른 간극부식 거동

Fig. 7은 NaCl 농도 0%용액 중에서 연강재(SS 400)의 산소농도에 따른 무게감소량을 나타낸 것이다.

이 결과에 의하면 산소농도가 증가할수록 무게감소율은 증가하는 경향을 나타낸다. 이와 같은 경향은 용존산소의 농도가 높아지면 산소 확산 속도가 증가하여 용존산소량이 클수록 간극부식은 증가하기 때문이다.

Fig. 8은 NaCl 농도 3.5% 용액 중에서 연강재(SS400)의 산소농도에 따른 간극 부식의 무게감소량을 나타낸 것이다.

이 결과 산소농도가 증가할수록 무게감소량이 크게 되는 경향이다. NaCl 농도가 0%의 수용액 속에서 보다 3.5% 용액 중에서 연강재(SS400)가 무게 감량을 더 많이 하는 것을 관찰할 수 있다.

3.4 NaCl 농도에 따른 간극부식 양상

Fig. 9는 NaCl 농도에 따른 일반구조용 압연강재(SS 400)의 간극부식양상을 나타낸 것이다.

Fig. 9의 (a) 0% NaCl 수용액에서는 NaCl 농도 3.5%와 비교하면 그 부식 정도가 작기 때문에 (a)와 같이 간극부식 부위가 뚜렷한 모양을 형성하고 있음을 알 수 있다. 간극 내부에서의 부식반응이 증가하게 되

면 간극 외부에서의 산소 환원이 증가하는 것으로 보고되고 있다⁴⁾. 그러므로 틈의 인접한 외부 표면은 부동태 피막이 생성되어 간극부식을 국부적으로만 더욱 심하게 진행되는 것으로 사료된다.

(b) 3.5% NaCl 수용액 중에서는 농도 0%의 수용액 중에서의 간극부식보다 가장 많이 국부적으로 간극부식이 일어남으로써 간극부식 부위는 부동태 영역에 비해 국부적으로 심하게 공식이 생성되어 있음을 알 수 있다.



(a) 0% NaCl



(b) 3.5% NaCl

Fig. 9 Shape of crevice corrosion ($\times 4$)

4. 결 론

본 연구에서는 연강재(SS400)에 대해 유체환경 중에서 간극부식거동을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 간극부식에 있어서 부식전위는 NaCl 농도가 증가할

수록 卑電位化된다.

- 2) 부식전위하에서 부식전류밀도는 NaCl 농도가 3.5% 까지 증가할수록 더 많이 배류되다가 3.5 % 이상에서는 부식전류밀도는 오히려 더 적게 배류된다.
- 3) NaCl 농도가 3.5%까지 증가할수록 간극부식에 의한 무게감소량은 증가하다가 3.5% 이상에서는 오히려 감소한다.
- 4) 간극부식에 미치는 산소의 영향은 NaCl 0%에서 보다 NaCl 3.5%에서 더 민감하다.

참고 문헌

- (1) 임우조 · 신중대, “가스저장탱크의 부식피로균열 특

성에 관한 연구”, 한국어업기술학회 Vol. 34, No. 1, pp. 30~36, 1998.

- (2) 오세욱, “3.5% NaCl 수용액의 온도변화가 SS41강의 부식피로파괴에 미치는 영향”, 연구보고서, pp. 49~58, 1988.
- (3) 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
- (4) 이규화 · 노병화 · 김만 · 이태평, “강재의 국부부식 방지에 관한 연구”, 과학기술처, pp. 15~31
- (5) 임우조 · 김영식, “SUS 304강 스테인리스강재의 MgCl₂용액중에서의 응력부식균열억제에 관한 연구”, 한국부식학회지, Vol. 14, No.2, pp. 11~17, 1985.