

이종금속 연결에 따른 침부식(FAC) 특성에 관한 연구

김 정 구
성균관대학교 금속재료공학부

A Study on the Flow-Accelerated Corrosion Characteristics of Galvanically Coupled Dissimilar Metals.

Jung Gu Kim
Sung Kyun Kwan University

Abstract

The flow accelerated galvanic corrosion characteristics of a carbon steel coupled to stainless steel were investigated in deaerated alkaline-chloride solutions as a function of flow velocities(0, 0.2, 0.4 and 0.6 m/s), pH(8, 9, and 10) and temperature(25, 50 and 75°C). The electrochemical properties of specimens were investigated by potentiodynamic test and galvanic corrosion test using RCE(Rotating Cylinder Electrode). Carbon steel did not show passive behavior in the alkaline-chloride solution. The galvanic current density increases with increasing flow velocity and temperature, but decreased with increasing pH. Flow velocity had a small effect on the galvanic current density at 25°C, whereas the flow velocity increased galvanic current density significantly at 50°C and 75°C. This might be due to the increased solubility of magnetite at the higher temperature.

1. 서론

침부식(Flow Accelerated Corrosion)은 탄소강 또는 저합금강의 보호피막이 수중 또는 증기/물의 2상의 흐름상태에서 용해되는 부식형태를 의미한다.¹⁾ 침부식은 탄소강으로 제조된 배관, 용기 등의 설비에서 주로 발생하며, 유속, 수질, 배관형태, 재질, 온도 등과 매우 밀접한 관계가 있다. 또한 FAC는 일반적인 침식부식(erosion corrosion)과는 그 발생기구가 다르고,

주로 화력, 원자력 발전설비에서 발생한다. 침부식으로 인한 손상은 인명뿐만 아니라, 발전설비의 안전도를 위협하며, 조업중단으로 인한 경제적 손실도 수백만 달러에 이른다.²⁾ 따라서, 이러한 대재앙을 막기 위해서 침부식을 예측하고, 감지하여, 방지하는 기술개발이 요구되고 있다.

국내에서는 아직 침부식에 의한 직접적인 피해는 보고된 바가 없고, 단일 금속으로 이루어진 배관에서의 침부식 문제는 이미 많은 연구가 이루어져 왔다.³⁾ 그러나 최근에는 기존에 설치된 탄소강관과 덧대기를 한 스테인레스강관 사이의 연결부에서 감속현상이 일어나고 있다. 이러한 경우 탄소강과 스테인레스강과의 부식전위의 차이는 갈바닉 부식을 유발한다. 결국 침부식에 이종금속간의 부식전위차에 의한 갈바닉 부식에 의한 효과까지 더해지면 부식에 의한 손상은 더욱 가속화될 것이라고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 이종금속 연결부의 갈바닉 부식 정도를 유속, pH 그리고 온도에 따라 평가하고 향후 연구방향의 기초자료로써 활용하는데 그 목적이 있다.

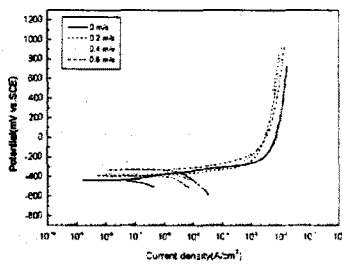
2. 본론

본 연구에서는 유속에 의한 전기화학적 특성을 평가하기 위해 RCE(Rotating Cylinder Electrode)법⁴⁻⁶⁾을 선택하였으며 0, 0.2, 0.4 그리고 0.6 m/s의 4가지 유속범위에서 실험을 수행하였다.

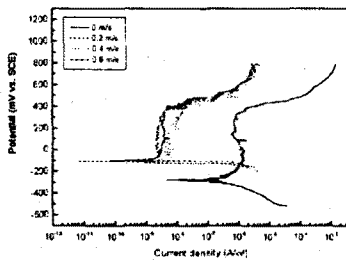
갈바닉 부식시험은 침부식 과정을 참고하기 위하여 탄소강의 표면에 양극 전위를 인가하여 부식생성물을 형성시킨 후에 ZRA(Zero resistance ammeter)를 이용하여 갈바닉 전류를 측정함으로써 유체의 흐름에

의한 부식생성물의 역할에 따른 효과^{7,8)}를 보고자 하였다. 갈바닉 전위와 전류밀도의 측정은 30분간 정체된 상태에서 이루어진 후, 유속을 0.2 m/s로 조정하여 30분간 측정하고, 다시 유속을 0.4와 0.6 m/s로 상승시킨후, 각 유속에서 30분간 전위와 전류를 측정하였다.⁹⁾ 이때 작동전극은 RCE를 보완한 RGCE(Rotating Galvanic Couple Electrode)를 이용¹⁰⁾하여 유속에 따른 갈바닉 전류를 측정하였으며, 양극과 음극의 면적비는 1:1로 하였다.

2. 1. 부식특성



(a)



(b)

Fig. 1. Anodic polarization curves at different velocities(pH=8); (a) CS, (b) SS.

그림 1은 유속에 따른 탄소강과 스테인레스강의 양극 전위-전류 분극곡선이다. 모든 유속에서 탄소강은 활성화 거동을 나타내었으나 스테인레스강은 부동태 거동을 나타내었다.

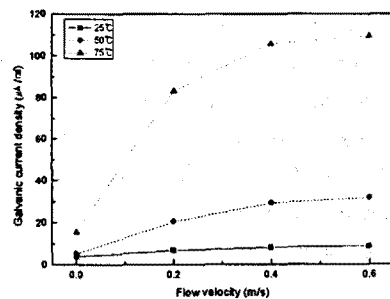
부식전위의 차이는 갈바닉 부식정도를 좌우하는 구동력이 된다^{11,12)}. 모든 유속에서 스테인레스강이 더 높은 부식전위를 가지고 있다. 또한 유속이 존재함으로써 두 강종의 전위차이는 더욱 커지는 것을 알 수

있다. 이는 유속이 갈바닉 효과를 가속화시키는 요인으로 작용한다는 것을 예측할 수 있는 증거가 된다.

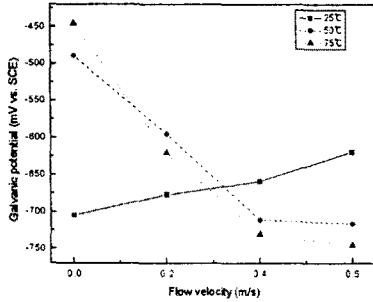
2. 2. 갈바닉 부식 특성

갈바닉 부식시험은 표면부식정도, pH 그리고 온도에 따라 행하였다. 정전위를 인가한 경우에는 약간 높은 갈바닉 전류밀도가 측정되었다. 이는 정전위 인가로 magnetite를 형성시켰으나, 전체반응을 좌우하는 요소는 양극곡선과 음극곡선의 변화¹³⁾이며, magnetite의 반응과정은 큰 영향을 끼치지 않기 때문이다. pH가 증가함에 따라서는 전류밀가는 감소하고 전위값은 증가하였다. 이는 pH가 증가될수록 산화피막이 부식영역에서 멀어짐에 따라 보다 안정화되어 부식이 감소하고 이에 따라 갈바닉 부식도 감소되는 것으로 생각된다.

그림 2에서는 온도를 25, 50, 75°C로 변화하였을 때의 갈바닉 전류밀도와 전위를 나타내었다. 50°C와 75°C에서는 유속이 증가함에 따라 갈바닉 전위값이 낮아진다. 이는 양극으로 작용하는 탄소강의 표면에 형성된 magnetite의 용해도가 온도와 유속이 증가함에 따라 증가^{14,15)}하여, 탄소강의 부식전위를 낮추고, 이에 따라 갈바닉 부식전위도 낮아졌다고 생각된다.



(a)



(b)

Fig. 2. Galvanic current density and potential as a function of velocity at different temperature

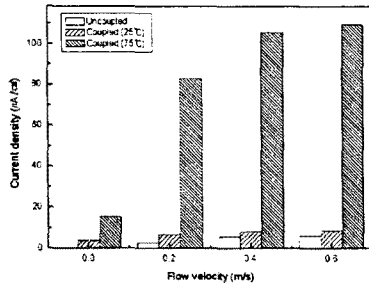


Fig. 3. Corrosion current density of carbon steel as a function of velocity, temperature and galvanic coupling.

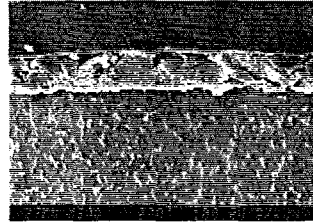
그림 3에는 갈바닉쌍을 이루지 않았을 경우와 상온 (pH=8), 그리고 75°C (pH=8)에서 갈바닉쌍을 형성한 경우 탄소강의 부식전류밀도를 비교하였다. 스테인레스강과의 갈바닉쌍을 형성함으로써 양극인 탄소강의 부식전류밀도는 갈바닉쌍을 형성하기 전보다 증가하였다. 상온에서의 증가에 비해 75°C에서의 증가폭이 큰 이유는 앞서 말했듯이, 탄소강의 표면에 존재하는 magnetite의 용해에 의한 침부식이 갈바닉 부식을 가속화시켰기 때문이라고 사료된다.

2. 3. 표면관찰

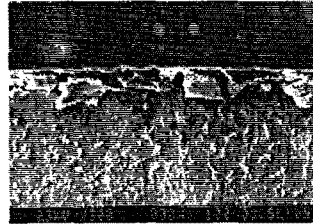
그림 4는 상온과 75°C에서 갈바닉 시험을 행한 후의 단면을 SEM으로 관찰한 사진이다. 온도가 증가할수록 표면에 존재하는 부식층의 두께가 감소하고, 불균일하며 불연속적이다.

결론적으로 상온에서의 부식거동은 magnetite의 반

응과는 관계없이 음극반응에 의해서 제어되며, 온도가 상승할 경우에만 magnetite의 용해도에 직접적인 영향을 주어 침부식이 일어나게 되고, 이러한 침부식 거동은 갈바닉쌍을 형성한 경우에는 양극(탄소강)의 부식을 더욱 가속화시킨다.



(a)



(b)

Fig. 4. SEM micrographs of cross-sections after galvanic corrosion test;

(a) 25°C, (b) 75°C

3. 결론

1. 표면에 부식생성물이 존재하고 유속이 빠를수록 갈바닉 부식은 가속화되었다. 이는 탄소강의 양극곡선과 스테인레스강의 음극곡선의 변화에 기인한다.
2. pH가 높을수록 갈바닉 부식에 의한 손상은 작게 나타났다. 즉, pH가 증가될수록 산화피막이 부식영역에서 멀어짐에 따라 보다 안정화되어 부식이 감소하고 이에 따라 갈바닉 부식도 감소된다.
3. 상온에서의 갈바닉 부식거동은 magnetite의 반응과는 관계없이 음극반응에 의해서 제어되며, 온도가 상승할 경우에만 magnetite의 용해도에 직접적인 영향을 주어 침부식이 일어나게 되고, 이러한 침부식 거동은 갈바닉쌍을 형성한 경우에는 양극(탄소강)의 부식을 더욱 가속화시킨다.

4. 참고문헌

- (1) B. Chexal and B. Dooley, "Flow accelerated corrosion in power plant", TR-106611, EPRI (1996).
- (2) R.B. Dooley and V.K. Chexal, CORROSION/99, Paper no. 347, (1999).
- (3) 박광규, 원도영, 윤석원, 한국부식학회지, 28, 2, 152, (1999)
- (4) B.E. Brown, H.H. Lu and D.J. Duquette, Corrosion, 48, 12, 970, (1992).
- (5) R.A. Holser, G. Prentice, et al. Corrosion, 46, 9, 764, (1990).
- (6) D.R. Gabe, G.D. Wilcox, et al. J. of App. Electrochem., 28, 759, (1988).
- (7) T.M. Larouge and M.A. word, CORROSION/99, Paper no. 345, (1999).
- (8) W.M.M. Huijbregts, Materials performance, October, p. 39, (1984).
- (9) F. Mansfeld and J.V. Kenkel, Corrosion, 33, 7, 236, (1977).
- (10) F. Mansfeld, Corrosion, 32, 9, 380, (1976).
- (11) D. A. Jones, "Principles and prevention of corrosion", Prentice Hall, p. 168, (1996).
- (12) H.H. Uhlig, R.W. Revie, "Corrosion and corrosion control", John Wiley, p. 101, (1985).
- (13) J. Perkins, K.J. Graham, et al., Corrosion, 35, 1, 23, (1979).
- (14) G.J. Bignold, C.H. De Whalley, et al. Water chemistry 3, BNES, p. 219, (1983).
- (15) S. Giddey, B. Cherry, et al., Corrosion science, 40, 4/5, 839, (1998).