

스테인레스강과 탄소강 용접부의 부식거동 해석

Corrosion Behavior Analysis of the Weld Joint between Stainless Steel and Carbon Steel

권재도*, 이우호**, 장순식**, 진영준***, 문윤배*

* : 영남대 기계공학과, ** : 한국원자력안전기술원, *** : 충주산업대 기계설계과

ABSTRACT : In order to investigate quantitative behavior of galvanic corrosion in the weld joint between stainless steel and carbon steel, electrochemical polarization experiments are performed for various pH, water temperature with boric acid concentration 4000ppm. The corrosion rate of stainless steel was almost independent of the variation of pH. The significant corrosion rates of carbon steel and the weld joint of carbon-carbon steel were observed at pH 4. The corrosion rates in the weld joint of the carbon-stainless steel were observed depending on the variation of pH level.

1. 서 론

플랜트 특성에 따라 설비는 내식성과 기계적 성질이 우수한 스테인레스 강을 소재로 사용하고 있으나 스테인레스강의 부식과 관련되어 가장 잘 알려진 문제는 용접 열영향부의 탄화물 석출에 따른 재료의 예민화이다. 이런 예민화 부분에서는 응력 부식균열 및 핏팅 부식에 취약성을 나타내고 있다.

설비는 설계의 목적에 따라 스테인레스강과 탄소강의 이중금속 용접을 시켜 사용하고 있으며 이는 선택적 부식을 받으므로 부식에 민감한 탄소강이 부식 가속화 현상인 갈바닉 부식(Galvanic Corrosion)이 발생할 가능성이 높다.

일반적으로 갈바닉 부식에 따른 부식의 가속화 정도는 부식조건 또는 분위기에 따라 큰 차이가 나타난다. 이와 같은 갈바닉 부식에 따른 내식성을 평가하는 방법으로는 단시간에 정량적으로 부식량의 확인이 가능한 전기화학적 방법이 개발됨에 따라 많은 연구가 수행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이중금속 용접부(스테인레스강과 탄소강 용접부)에 대한 정량적인 부식 거동을 파악하기 위하여 정량적인 부식량 확인이 가능한 전기화학적 방법을 이용하여 스테인레스강과 탄소강 모재에 부식의 진행정도를 확인하고, 스테인레스강과 스테인레스강 용접부, 탄소강과 탄소강 용접부 및 스테인레스강과 탄소강의 용접부위에서 부식의 정도를 모재 등과 상호 비교하여 설비의 건전성 평가에 활용하고, 스테인레스강과 탄소강 용접부위의 설계에 활용하고자 한다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험용 재료

본 연구에 사용된 연구용 재료는 스테인레스강(ASTM A-240)과 탄소강(ASTM A36)의 판재로서 이 재료에 대한 화학적 성분은 표 1과 같다.

표 1. A-240 스테인레스강과 A36 탄소강의 화학적 성분(%)

재질 \ 성분	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Cu
A-240	0.03	0.040	0.040	2.00	1.00	18.00	9.00	-
A 36	0.03	0.01	0.04	0.88	0.073	18.18	9.19	0.28

용접은 TIG 및 SMAW 용접을 자격인증된 용접사가 실시하였고, 용접봉은 ER-308L, ER-309L 및 E7016을 사용하였으며, 시험편의 용접 조건은 TIG의 경우 65.7A, 용접봉 직경 2.4 ϕ , 용접속도 1.4cm/min으로 하였고, SMAW의 경우 110A, 용접봉 직경 3.2 ϕ , 용접속도 1.56cm/min으로 하였다.

2.2 시험편 준비

본 연구에서는 이중금속 용접부에 대한 정량적인 부식거동을 파악하기 위해 스테인레스강 모재, 탄소강 모재, 스테인레스강-탄소강 용접, 탄소강-탄소강의 용접, 스테인레스강-스테인레스강의 용접부위에 대하여 전기화학적 방법의 시험을 수행할 수 있도록 다수의 시험편을 제작하였다.

전기화학적 분극 시험편은 ASTM G5-72규격에 따라 두께 $t=5\text{mm}$, 단면적 $13\times 13\text{mm}$ 가 되도록 하였다. 그 후 시험편의 한 면을 경납을 사용하여 전선과 연결한 후 시험편 주위는 절연성 피복재인 에폭시 수지로 마운팅한후 시험편의 표면을 #600에서 #1500까지 폴리싱한 다음 산화알루미늄으로 연마하고 아세톤으로 세척하였다.

부식부 면적은 약 1cm^2 되게 절연성 도료로 피복한후 실험을 행하였다.

2.3. 분극실험장치

스테인레스강과 탄소강 용접부에 대한 부식거동을 관찰하기 위해 본 연구에 사용된 전기화학적 분극 실험장치는 E.G.&G. Princeton Applied Research(PAR)의 Potentiostat/Galvanostat (Model 273A)을 사용하였으며, 동작치는 PC에 연결되어 PAR Model 352 Software에 의해 조정되고, Data의 플로팅, 입력, 출력 등이 자동처리 되도록 되어 있다. 분극실험시 표준 전극(Reference Electrode)은 SCE (Saturated Calomel Electrode)를 사용하였다. 그림 1은 전기화학적 분극장치의 계통도를 도식화하여 나타내었고, 그림 2는 전기화학적 분극장치 및 시스템의 형상을 나타내고 있다.

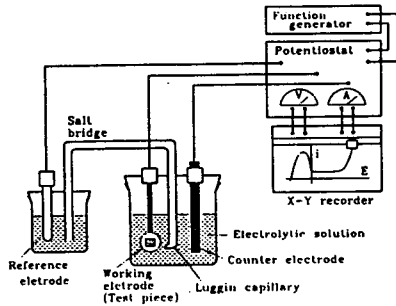


그림 1. 전기화학적 분극장치의 계통도

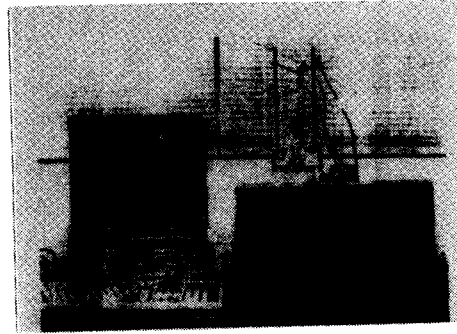


그림 2. 전기화학적 분극장치 및 시스템

2.4 분극 실험방법

본 재료는 사용 환경이 수온 $35^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$, 붕소농도 $4000\sim 4400\text{ppm}$ 및 pH $3.8\sim 10.5$ 이므로, 본 실험에서는 붕소농도를 4000ppm 으로 일정하게 유지하고, 수온은 35°C 및 60°C 로, pH는 4, 7, 및 10의 조건으로 변화시키면서 각 조건마다 3~5회 정도 실험을 수행하였다.

본 실험은 1000 ml용액을 분극조내에 시험용액으로 채우고 대조전극(Counter Electrode), 시편전극(Working Electrode) 및 모세관(Luggin Capillary)을 설치하였고, 전극설치후 약 5분 정도 유지한 후, 스캔속도는 0.5mV/sec 으로 분극실험을 행하였고, 매 실험마다 시험용액을 교환하였으며, 용액의 온도는 Hot Plates를 이용하여 가열하였으며, 농도 및 pH를 일정하게 하기 위해 Magnetic Stirrer를 이용하여 교반작업을 하였다.

3. 실험결과 및 해석

3.1 일정온도와 pH 하에서 용접재질에 따른 분극곡선

그림 3, 4 및 5는 붕소농도 4000ppm , 수용액의 온도가 35°C 에서 pH를 4, 7 및 10으로 변화시켜 가면서 5종류의 시편에 대해 분극실험한 결과의 대표적인 그래프를 비교해서 나타낸 것이다.

그림 3의 pH 4의 경우는 탄소강 모재 및 탄소강-탄소강 용접부를 동일 전위상에서 비교시 스테인레스강 모재 및 스테인레스강-스테인레스강 용접부 보다 더 큰 전류밀도를 나타내는 것으로 보아 일반적인 부식경향과 일치함을 보였다.

스테인레스강 및 스테인레스강-스테인레스강 용접부는 부동태의 형성 및 부식의 진행 정도가 안정적으로 진행되는 반면에 탄소강 및 탄소강-탄소강 용접부는 노이즈의 동반과 동시에 부식의 진행이 빨라지고 부식량이 증가되는 것을 알 수 있다.

탄소강-스테인레스강 용접부의 경우는 탄소강의 영향으로 부식이 먼저 시작은 되지만 스테인레스강의 영향으로 오히려 탄소강 모재 보다도 부식정도는 더 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 결과 탄소강-스테인레스강 용접부는 이중금속에 의한 부식 위험성이 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

그림 4의 pH 7의 경우는 각 시편에 따른 부식전위가 pH 4의 경우만큼 많은 차이는 보이지 않았고, 이종금속인 탄소강-스테인레스강 용접부에서 부식의 가능성이 크지 않은 것으로 나타났다.

그림 5의 pH 10의 경우는 pH 7에 비해 뚜렷한 부동태 영역이 존재하나 탄소강 모재를 제외한 나머지 시편들은 E_{corr} 이 pH 7에 비해 다소 Noble한 방향에 존재해 있다.

그림 3, 4, 및 5를 비교해 보면 스테인레스강 모재와 스테인레스강-스테인레스강 용접부의 경우는 강 알칼리성 수용액인 경우가 중성보다 내식성이 떨어짐을 알 수 있다.

그림 6, 7, 및 8은 붕소농도 4000ppm, 수용액 온도가 60°C인 상태에서 pH를 4, 7 및 10으로 변화시켜 가면서 5종류의 시편에 대해 분극실험한 결과로서, 산성쪽에서는 탄소강계의 부식도와 스테인레스강계의 부식도의 차이가 현저하며, 특히 탄소강계의 재료들이 부식도가 심함을 알 수 있다. 전체적인 부식거동은 35°C상태와 유사한 경향을 나타내고 있지만 부식률은 온도상승에 따라 더 증가함을 알 수 있었다.

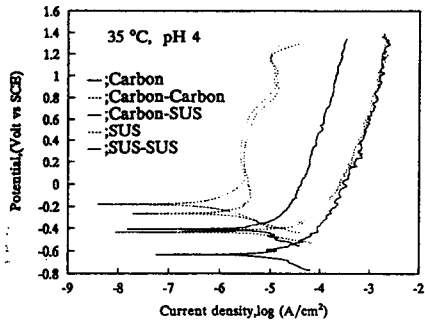


그림 3. 35°C, pH 4에서 분극곡선

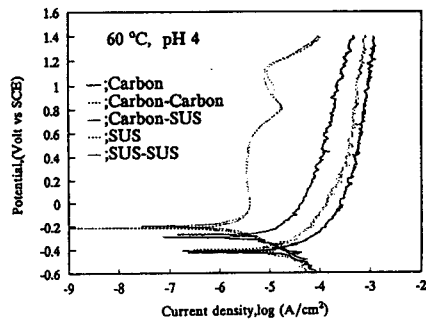


그림 6. 60°C, pH 4에서 분극곡선

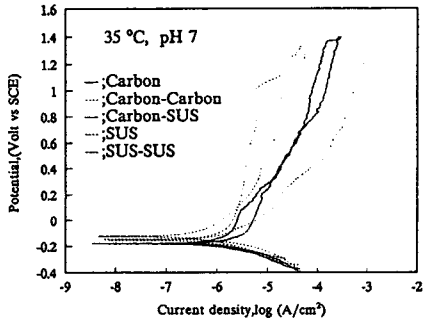


그림 4. 35°C, pH 7에서 분극곡선

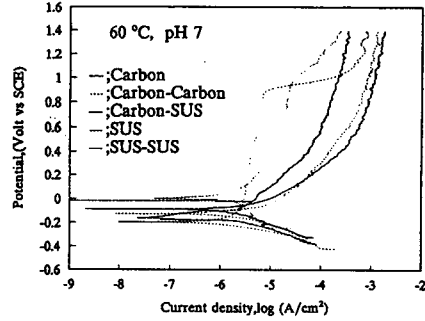


그림 7. 60°C, pH 7에서 분극곡선

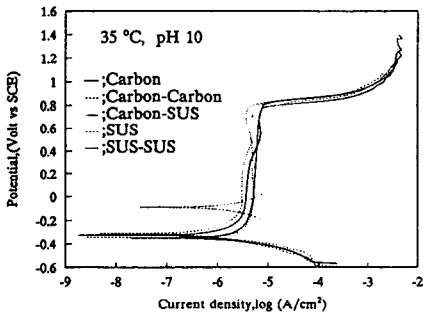


그림 5. 35°C, pH 10에서 분극곡선

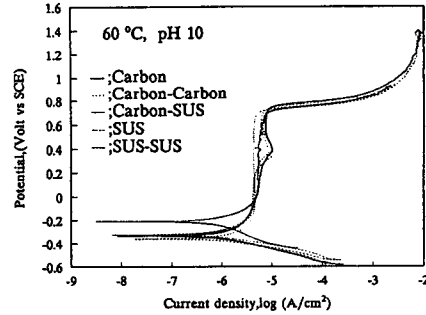


그림 8. 60°C, pH 10에서 분극곡선

3.2 부식률 계산 결과

그림 9 및 10은 붕소농도 4000ppm, 수용액 온도가 35℃ 및 60℃의 조건에서 pH를 4, 7 및 10으로 변화시키면서 각각의 조건 및 재료에 따라 연간 부식률의 변화 추이를 나타낸 그림이다.

그림 9는 수용액온도 35℃에서 5종류의 시편에 대해 pH 4, 7 및 10으로 변화시키면서 연간 부식률을 계산한 결과로, 탄소강 모재 및 탄소강-탄소강 용접부의 경우 산성쪽으로 갈수록 부식률이 현저히 증가되고, 알칼리성 쪽으로 갈수록 부식률이 안정됨을 보이고 있고, 탄소강-스테인레스강 용접부는 스테인레스강 모재 및 스테인레스강-스테인레스강 용접부와 큰 차이는 보이지 않고 있다.

그림 10은 수용액온도 60℃에서 pH 4, 7 및 10으로 변화시키면서 연간 부식률을 계산한 결과로, 35℃의 경우와 유사한 경향을 보이고 있으나, pH 4에서 탄소강 모재 및 탄소강-탄소강 용접부의 경우는 부식률이 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

그림 9 및 10에서 탄소강계는 온도상승에 따라 부식률이 많이 증가하나, 스테인레스강계는 온도변화에 따른 부식률의 차이가 거의 없음을 나타내고 있다.

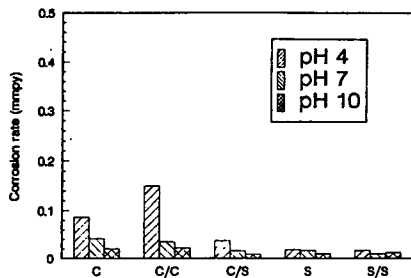


그림 9. 35℃에서 pH 변화에 따른 각종 재료의 부식률

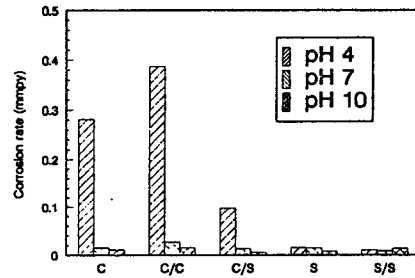


그림 10. 60℃에서 pH 변화에 따른 각종 재료의 부식률

4. 결 론

스테인레스강과 탄소강간 용접부의 전기화학분극 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) pH 변화에 대한 부식률을 비교하여 본 결과, 스테인레스강 모재 및 스테인레스강-스테인레스강 용접부의 경우는 pH의 변화에 따른 부식 진행정도가 유사하게 나타났지만 탄소강 및 탄소강-탄소강 용접부는 pH 4인 경우가 부식의 진행정도가 매우 심하게 나타났고 pH 10인 강알칼리성에서는 5종류의 시편 모두가 부식 진행정도가 유사하게 나타났다.

2) 탄소강-스테인레스강 용접부는 부식정도가 탄소강 및 탄소강-탄소강 용접부와 스테인레스강 및 스테인레스강-스테인레스강 용접부의 중간특성을 띄고 있고, 탄소강의 영향으로 부식이 먼저 시작되지만 스테인레스강의 영향으로 오히려 탄소강 모재 보다도 부식정도가 더 작아짐을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과 이종금속에 의한 부식의 위험성은 크게 나타나지는 않음을 알 수 있다.

3) 실제 현장에서 틈새내 pH 증가나 부식생성물 등에 의한 갈바닉 부식영향은 크다고 판단되나 본 실험의 조건에서는 감안하지 않았으며, 추후 세부 조건에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) Herbert. H. Uhlig, 1985, "Corrosion and corrosion control", John Wiley and Sons. Inc, pp. 178-186
- 2) 김대용, 윤병하, 1994, "금속전기화학의 이론과 응용", 형설출판사, pp. 147-164
- 3) ASTM G5-72, 1972 "Standard Reference Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement", pp.1-11
- 4) D. A. Jones, 1992, "Principles & Prevention of Corrosion", Macmillan Publishing Company, pp.39-73