

환경열화에 의한 철도차량 구조용강의 부식 특성

Corrosion Characteristic of Rolling Stock Structural Steel by Environmental Degradation

김용기*, 장세기*, 오창록**, 구병준***

Yong-Ki Kim, SeKy Chang, Chang-Rok Oh, Byeong-Chun Goo

Abstract

The effects of acid rain and salt content on corrosion behavior were investigated with rolling stock structural steels be caused by environmental. Since these materials are exposed to the corrosive environments like polluted air, acid rain and sea water, it is important to investigate corrosion behaviour in various corrosive environments. The aqueous corrosion of the characteristic materials in aerated acid rain and neutral solution were studied by using immersion tests, electrochemical measurements and analytical techniques. In order to examine corrosion characteristic, structural steels were electrochemically evaluated with respect to the dissolved oxygen content, pH, chloride ion concentration.

1. 서 론

최근 산업의 발전과 더불어 금속 구조물, 교량, 선박, 항공기, 철도, 건축 구조물 및 기계 장치와 설비 등이 늘어나고 있으며, 이들 구조물은 각종 환경 조건하에서 사용되고 있다. 자동차 및 냉방 장치의 보급이 늘어나면서 이에 따른 화석에너지의 소비량이 증대되어 각종 오염물질의 배출이 증대되어 환경오염을 가속화시키고 있다. 이들 오염물질은 대기 중의 수분과 결합하여 금속의 부식을 가속화시키고 있다. 부식은 전기화학적인 반응으로서 양극과 음극이 존재하여 양극에 해당하는 금속은 부식이 발생하여 열화된다. 구조물의 틈새부위, 접합부위는 양극으로 반응하여 부식이 가속화되기 쉬우며, 더불어 높은 온도, 다습한 분위기 및 부식속진 인자, 하중에 의한 변형 등 이와 같은 양극반응을 더욱 활성화시키게 된다. 특히 철도차량 차체강판의 부식은 유지보수 작업때 용접에 의해 부분적으로 램프, 두터운 도장으로 인해 차량운행시 진동 등으로 초기에 도막이 균열되는 현상이 발생되고 있다. 차량과 차량사이의 풍로 하부부식 및 승객 출입개폐문 하부의 부식은 일정 주기로 보수하여야 한다. 사이드 실은 차체의 하중을 받고 있는 프레임의 일부로서 부식에 의해 초기의 치수가 변형되거나 환경 영향에 의해 열화가 발생된다. 철도차량은 다양한 지역을 운행하기 때문에 대기환경에 의한 부식이 발생한다. 대기 부식의 환경은 금속표면에 형성되는 얇은 수막층, 대기 중에 존재하여 물에 용해되는 오염가스, 그리고 대기중에 존재하여 금속의 표면에 부착되는 불용성 미세입자에 의해서 조성되며 이때 진행되는 대기부식 반응은 전해질내에 침적된 금속에서의 부식과는 반응기기와 속도론적 측면에서 상이한 양상을 나타낸다. 특히 상대 습도, 온

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

도변화에 따른 얇은 전해질 층의 두께 변화는 전해질의 농도 전해질층을 통과하는 산소화산량, 전해질 층에 용해되는 부식산화물의 용해도, 그리고 용해된 금속의 이온의 수화 등에 영향을 미친다. 따라서 철도차량의 언더프레임재의 SS400 및 SM 490A 강종과, SUS 205L, SUS 304에 대한 수용액에 따른 부식환경과 부식특성을 전기화학적 분석시험을 통해 부식특성과 부식속도를 측정하였다.

2. 전기화학적 분석특성

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 구조용으로 사용되고 있는 아래의 4가지 재료를 사용하였으며, 화학적 성분을 <표 2.1>에 나타내었다.

- 1) SS400 : 기계 구조물, 선박 및 차량, 건축과 교량 등에 사용되는 열간 압연 강재
- 2) SM490A : 철도 차량등에 많이 사용되고 있는 용접구조용 압연강
- 3) SUS205L : austenitic stainless steel
- 4) SUS304 : austenitic stainless steel

Table 2.1. Chemical compositions of used materials (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
SS400	0.18	0.34	0.9	0.024	0.02	0.04	0.02	Bal.
SM490A	0.16	0.40	1.33	0.019	0.005	-	-	Bal.
SUS205L	0.12	1.00	14.0	0.06	0.03	1.0	16.5	Bal.
SUS304	0.08	1.00	2.00	0.045	0.03	8.00	18.00	Bal.

부식전위 및 부식속도를 측정하기 위해 전기화학시험을 실시하였다. 시편을 1cm×1cm의 크기로 절단한 후 호마이카로 포장하여 mounting하였다. 시편을 2000grit 사포로 연마하고, 산화알루미늄(0.3μ Al₂O₃) 분말을 이용하여 연마천에서 마무리 연마를 하였다.

2.2 분석시험

부식전위와 부식속도는 정전압장치(potentiostat, Gammy 2400)를 사용하여 전기화학적으로 측정하였다. 표준전극(RE: reference electrode)으로는 포화칼로멜전극(SCE: saturated calomel electrode)을 사용하였고, 상대전극(CE: counter electrode)은 백금(Pt)을 사용하였다. 부식용액은 산성비, 증류수, 알칼리용액으로 하였으며, 각 용액에 5%의 NaCl을 첨가하면서 pH를 변화시켜 시험용액으로 사용하였으며, 부식반응으로 생긴 기포가 시편표면에 부착되는 것을 막고 용액의 균일성을 유지하기 위해 자석식 교반기로 교반하였다. 부식전위는 시편을 용액에 담고 두 시간이 경과한 후에 측정하였다. 부식속도는 potentiostat 방법으로 양극분극 및 음극분극으로 부식전위를 5~10mV 만큼 변화시키면서 15분이 지난 후 전류값을 측정하여 Tafel 곡선으로부터 선형분극법(linear polarization method)을 이용하여 구하였다. 부식속도를 계산하기 위하여 부식전류밀도를 구한 후 Faraday식을 이용하여 부식속도(mpy)로 환산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 동전위 분극시험

pH를 변화시킨 수용액 중에서 부식 시험을 실시한 결과 재질에 따른 분극 곡선은 전형적인 Tafel 거동을 나타내었다. 산성비와 증류수 용액에서 SS 400과 SM 490A 합금은 부동태 영역의 존재 없이 전류밀도가 계속 상승함을 알 수 있으며, 서로 유사한 활성화 분극 거동을 나타내었다. SUS 205L과 SUS 304 합금은 산성비와 3.5% NaCl 수용액 내에서 부동태 영역을 나타내었다. 알칼리수용액에서는 SUS 205L과 SUS 304는 약간의 부동태 영역을 나타내었고, SS 400이 다른 금속에 비해 활성화 분극거동을 나타내었다. SS 400과 SM 490A의 분극곡선의 경향이 다소 높은 위치의 전류밀도 쪽으로 이동하는 것으로 보아 스테인레스 강에 비해 부식의 정도가 심해짐을 알 수 있다.

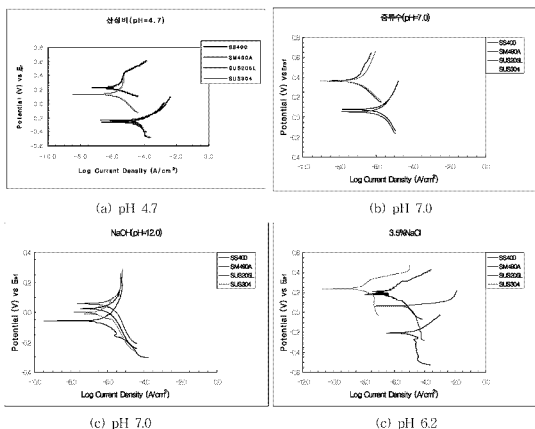


Fig. 3.1 Effects of dissolved oxygen on the potentiodynamic polarization behaviors

3.2 NaCl(5%) 첨가에 따른 분극특성

산성비에 5% NaCl을 첨가한 수용액 내에서 부식 시험한 결과를 보면 SS400, SM 490A 합금의 경우 5% NaCl 첨가시 pH 7에서 약간의 부동태영역을 보였다. 산성영역에서는 부식 전류밀도의 증가와 더불어 활성화 분극거동을 나타내었으며, 알칼리영역에서는 서로 유사한 분극거동을 나타내었다. SUS 205L, SUS 304 경우 산성 및 중성영역에서 약간의 부동태 영역을 나타내었다.

부식 전류 밀도는 SS400과 SUS 205L에서는 유사한 전류밀도를 나타내었으며, SUS 304는 알칼리 영역에서 SUS 205L보다 분극곡선의 경향이 다소 높은 위치의 전류밀도 쪽으로 이동하는 것으로 보아 부식의 정도가 심해짐을 알 수 있다.

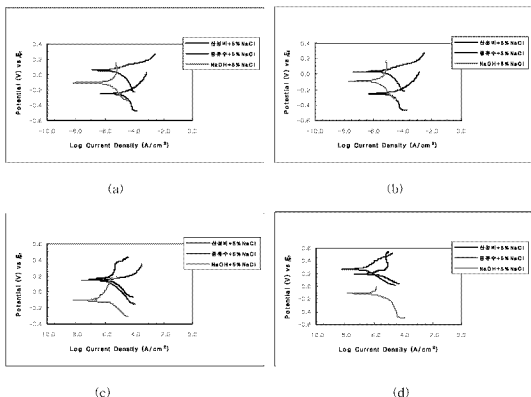


Fig. 3.2. Polarization curves in various solutions with 5% NaCl addition : (a) SS 400, (b) SM 490A (c) SUS 205L (d) SUS 304

3.3 선형분극법에 의한 부식속도 측정

3.3.1 용액별(pH) 부식속도

부식속도는 세 가지 방법, 즉 Tafel 외삽법, 직선분극저항법 그리고 교류 임피던스법으로 측정할 수 있다. Faraday 법에 의거하여 부식전류밀도로부터 부식속도를 구하였다. 부식속도는 산성비 영역에서 부식속도가 높게 나타났으며 특히, SS 400과 SM 490A는 스테인레스 강보다 8~15배 정도 높았으며, 염수 및 알칼리영역에서도 다소 부식속도가 높음을 알 수 있다. SM 490A 강종은 내후성강으로 설계되어 장시간 사용할 때 부식에 의한 재료적 손실이 SS 400 강종보다 우수하게 설계되어 있다. 내후성강에는 부식에 매우 민감하게 작용하면서 안정된 산화막을 형성시키는 급속이 첨가된다. 따라서 대기 중에 노출되면 표면에 얇은 산화피막을 쉽게 형성시키고 이후의 부식 진행은 매우 느리게 진행되는 특성을 지니고 있다. 그러나 본 전기화학 실험에서는 이러한 특성을 구별하기 어려운데 이는 표면층에 이미 형성된 산화막에 의한 영향으로 판단할 수 있다.

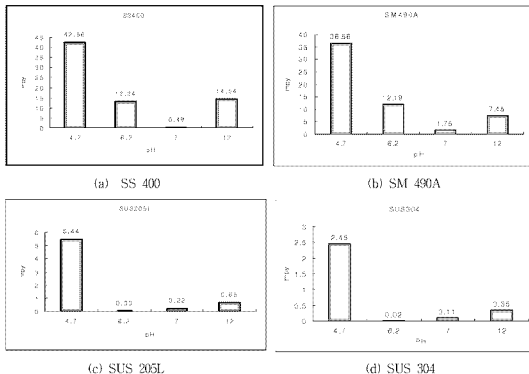
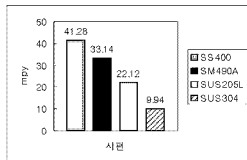


Fig. 3.3 Corrosion rates of acid rain(pH 4.7), distilled water(pH 6.2, 3.5%NaCl), distilled water(pH 7.0), NaOH(pH 12.0) in dissolved oxygen solutions measured by linear polarization

3.3.2 5% NaCl 첨가에 의한 부식속도

부식용액에 5% NaCl용액 첨가에 따른 소재별 부식속도를 보면 산성영역에서는 ① SS 400 ② SM 490A ③ SUS 205L ④ SUS 304의 순위로 부식속도를 나타내었다. SUS 205L이 SUS 304보다 2.2배의 부식속도가 높음을 알 수 있었다. 중립수에 3.5% NaCl첨가한 용액에서는 SM 490A가 SS 400보다 1.5배 정도의 높은 부식속도를 나타내었다. 알칼리영역에서도 SM 490A가 SS 400보다 1.4배 정도의 높은 부식속도를 나타내었다.



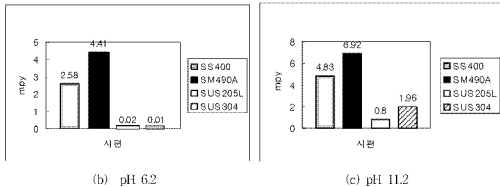


Fig. 3.3 Corrosion rates of acid rain(pH 4.7), distilled water(pH 6.2, 3.5%NaCl), distilled water(pH 7.0), NaOH(pH 12.0) with 5% NaCl addition in dissolved oxygen solutions measured by linear polarization

4. 결론

본 연구에서는 대기상태에서 일어날 수 있는 부식환경을 수용액상태로 모사하여 철도차량의 구조용 강으로 사용되고 있는 SS 400 및 SM 490A와 스테인레스스틸과과의 전기화학적 분석을 통해서 부식특성을 조사하였으며, 분석결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 산성비와 증류수 용액에서 SS 400과 SM 490A 합금은 부동태 영역의 존재 없이 전류밀도가 계속 상승함을 알 수 있으며, 서로 유사한 활성화 분극 거동을 나타내었다. SUS 205L과 SUS 304 합금은 산성비와 3.5% NaCl 수용액, 알칼리영역에서 부동태 영역을 나타내었다. 부식속도는 산성영역에서 SS 400이 가장 높은 부식속도를 나타내었고 SM 490A, SUS 205L, SUS 304순위로 나타났다. 산성영역에서 5% NaCl 용액을 첨가와 비첨가시 SS 400과 SM 490A는 유사한 부식속도를 나타내었으나, SUS 205L이 SUS 304보다 2배정도 부식이 높게 나타났다. SM 490A는 SS 400보다 pH 6.2, pH 11.2에서 1.4배정도 부식이 높게 나타났다. SUS 205, 304는 중성영역에서는 유사한 부식속도를 보였으며, 알칼리영역에서 다소 높게 나타나 전반적으로 NaCl의 영향에 의해 부식이 민감하게 작용하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가자연연구선사사업의 지원으로 수행된 것이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정경우, 김강범, 한국부식학회지, Vol. 27, No. 4 (1998)
2. H. P. Lee and Ken Nobe, J. Electrochem. Soc., 132, 1031(1985)
3. M. Stern and A. L. Geary, J. Electrochem. Soc., 104, 56(1957)
4. S. W. Dean. Handbook on Corrosion Testing and evaluating, John Wiley(1971)
5. E. Mattoson & J. O' M Bockris, Trans. Faraday Soc., 55, 1586(1959)
6. 임우조, 정기철, 안석환, 윤병두 (2000), "해양환경중에서 SS400강재의 간극부식거동에 관한 연구", 한국박용기관학회 2000년 추계학술대회는논문집
7. 임우조, 정기철, 구영필, 윤병두 (2001), "해양환경 중에서 SS400강재의 간극부식방지 특성에 관한 연구", '01년도 한국박용기관학회 춘계학술대회는논문집