

전기화학시험에 의한 구조물의 부식 특성 연구

A study on the corrosive behaviour of Rolling stock structures by electrochemical experiments

오창록*, 김용기**, 장세기***, 구병춘****

Chang-Rok Oh, Yong-Ki Kim, Se-Ky Jang, Byeong-Chun Goo

Abstract

The present paper describes an experimental study on the corrosive behaviour of Rolling stock structures. It is important to predict corrosive behaviour of rolling stock structures for safe service and to know relation between corrosion and fatigue life. This paper practiced electrochemical corrosion test of SS400 and SM490A. This study will examine the corrosive properties and differences of SS400 and SM490A from measuring corrosion potential and corrosion current density.

1. 서 론

최근 들어 고속철도의 개통으로 철도차량에 대한 관심이 높아지고 있다. 철도차량은 저렴한 운임과 효율적인 수송능력을 가지고 있기 때문에 예전부터 각광받고 있는 교통수단이라 할수 있다. 이러한 철도차량의 수명은 일반적으로 20-30년정도로 상당히 길기 때문에 운행기간 중 발생할 수 있는 문제점에 대해 세심한 주의가 필요하다. 특히 철도차량은 운행중 불가피한 진동을 받게 되며 이러한 진동에 의해 영향을 받는 철도차량의 피로수명이 중요한 관심사로 부각되고 있다. 철도차량은 그 제작과정상 많은 용접공정을 거치게 되고 구조물의 형상 또한 복잡하기 때문에 피로수명에 영향을 미치는 요소들이 많고, 더불어서 오랜 사용기간동안 발생하는 차량의 부식은 이러한 요소들과 연계하여 피로수명에 영향을 미치리라 예상된다. 철도차량에 일반적으로 사용되는 재료인 SS400과 SM490A의 부식특성을 알아보는 것은 철도차량의 피로수명을 예측하는데 있어 중요한 연구분야가 될 것이다. 본 연구에서는 분극 곡선을 이용한 두 재료의 부식 특성을 알아보고 부식과 피로수명과의 관계를 고찰하고자 한다[1].

* 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

2. 부식시험의 준비

본 연구실에서는 SS400과 SM490A의 부식특성을 알아보기 위해 대기부식시험, 염수분무시험 및 전기화학부식시험을 실시하고 있다. 이 중 대기부식시험과 염수분무시험은 시험기간이 상당히 길기 때문에 부식에 관련된 정보를 빠른 시간에 얻기 위해 전기화학실험을 사용하게 되었다[2]. 실험에는 일반적으로 철도차량에 사용되는 열간 압연강인 SS400과 용접성을 향상시킨 용접 구조용 압연강인 SM490A으로 제작된 시험편을 사용하였다. Table 1은 두 재료의 화학조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of used materials(%)

	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.

재료의 부식 전위 및 부식 속도를 측정하기 위해 부식 시험을 실시하였다. 모든 시험편은 1cm×1 cm 크기로 저속시험 절단기를 사용하여 절단한 후 구리(Cu) 도선을 연결하여 뿔납(soldering)시킨 후 호마이카로 포장하여 마운팅하였다. 마운팅된 시험편은 SiC 연마지(#800-2000)로 기계적인 연마를 마치고 Al₂O₃ 분말로 1 μ m까지 연마한 다음 부식시험을 실시하였다. 부식 전위와 부식 속도는 정전압 장치(potentiostat, Gammy 2400)를 사용하여 전기화학적으로 측정하였는데, Fig. 1은 전체적인 계통도를 보여주고 있다[3]. 표준 전극(reference electrode)으로는 SCE(Saturated Calomel Electrode)를 사용하였고, 상대 전극(counter electrode)으로는 백금(Pt) 전극을 사용하였다. 부식 용액은 pH를 달리하는 4종류의 용액으로 하였으며, 부식 반응으로 생긴 기포가 시험편 표면에 부착되는 것을 막고 용액의 균일성을 유지하기 위해 자석식 교반기로 교반하였다. 부식 전위는 시험편을 용액에 담그고 2시간이 경과한 후 측정하였으며, 부식 속도는 potentiostatic 방법으로 양극 분극 및 음극 분극으로 부식 전위를 5-10mV 만큼 변화시키면서 15분이 지난 후 전류 값을 측정하여 Tafel 곡선으로부터 linear polarization method를 이용하여 구하였다[4].

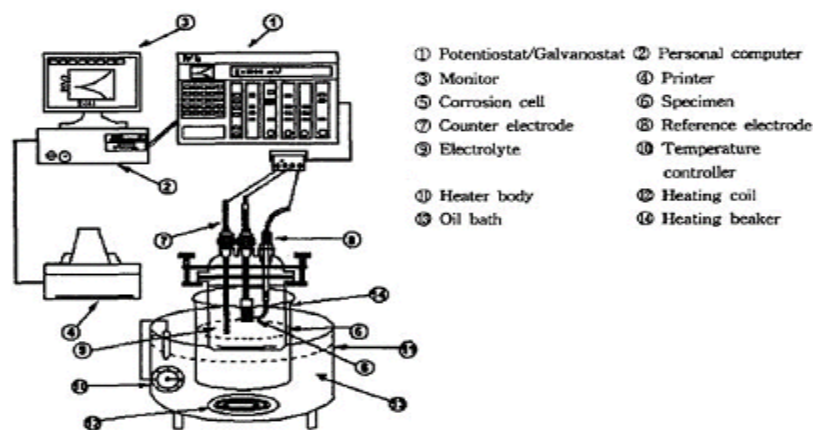


Fig. 1 Schematic diagram of potentiostatic polarization equipment

3. 부식 시험 결과

3.1. 1차 분극 시험 곡선 (Tafel Curve)

Fig. 2-5는 각각의 수용액 내에서 분극 실험한 재료의 분극 곡선을 각 수용액 별로 나타낸 것이며, Fig. 6-7은 각 재질별로 나타낸 것이다. pH를 달리하는 네 가지 수용액 중에서 부식 시험을 실시한 결과 재질에 따른 분극 곡선은 전형적인 Tafel 거동을 보이고 있다. 산성비와 증류수 내에서 SS400과 SM490A 합금은 거의 비슷한 활성화 분극 거동을 나타내었다[5].

Tafel 곡선의 기울기로부터 구한 부식 조건에 따른 각 재료의 E_{oc} , E_{corr} 및 I_{corr} 의 값을 각각 Table 2-4에 나타내었다. pH의 변화에 따라 E_{oc} 의 변화를 살펴보면 산성 영역에서는 pH의 증가에 따라 증가하였다가 그 이후에는 감소하였다. E_{corr} 도 pH의 변화에 따라 산성 영역에서 증가하다가 감소하였다. 부식 속도를 결정짓는 전류 밀도는 pH=7인 증류수 내에서 최소치에 달한 후에 증가하는 것으로 나타났다.

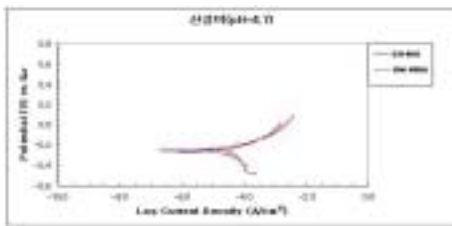


Fig. 2 Polarization curves of materials in substitute acid rain without 5% NaCl addition

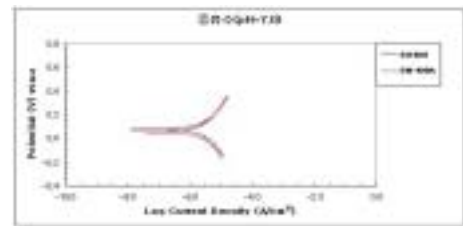


Fig. 3 Polarization curves of materials in distilled water without 5% NaCl addition

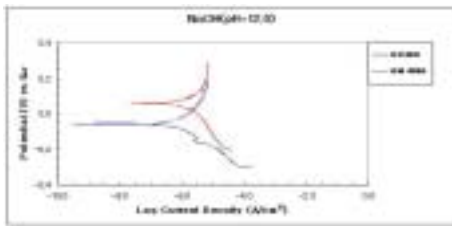


Fig. 4 Polarization curves of materials in NaOH solution without 5% NaCl addition

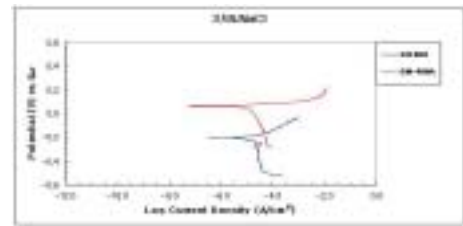


Fig. 5 Polarization curves of materials in 3.5% NaCl solution without 5% NaCl addition

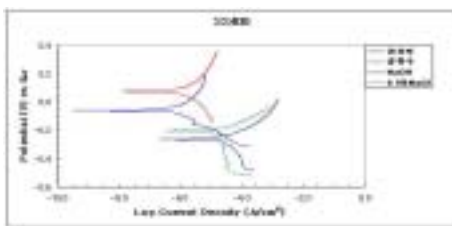


Fig. 6 Polarization curves of SS400 in various solutions without 5% NaCl addition

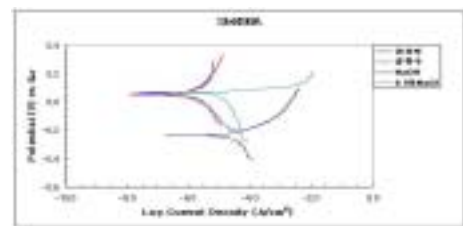


Fig. 7 Polarization curves of SM490A in various solutions without 5% NaCl addition

Table 2 Open circuit potential (E_{oc}) of materials in various solutions

$E_{oc}(mV)$	acid rain (pH=4.7)	distilled water (pH=7.0)	NaOH (pH=12.0)	3.5% NaCl (pH=6.2)
SS400	-230.036	113.883	-54.008	-275.456
SM490A	-152.486	84.379	41.633	-29.626

Table 3 Corrosion potential (E_{corr}) of materials in various solutions

$E_{corr}(mV)$	acid rain (pH=4.7)	distilled water (pH=7.0)	NaOH (pH=12.0)	3.5% NaCl (pH=6.2)
SS400	-261.8	77.3	-58.0	-207.0
SM490A	-238.2	52.5	57.8	64.2

Table 4 Corrosion current density (I_{corr}) of materials in various solutions

$I_{corr}(A/cm^2)$	acid rain (pH=4.7)	distilled water (pH=7.0)	NaOH (pH=12.0)	3.5% NaCl (pH=6.2)
SS400	9.128×10^{-5}	2.863×10^{-6}	1.055×10^{-6}	3.119×10^{-5}
SM490A	7.842×10^{-5}	3.755×10^{-6}	1.598×10^{-5}	2.614×10^{-5}

3.2. 2차 분극 시험 곡선 (1차 용액 + 5% NaCl)

Fig. 8-10은 5% NaCl을 첨가한 각각의 수용액 내에서 분극 실험한 재료의 분극 곡선을 각 수용액 별로 나타낸 것이며, Fig. 11-12는 각 재질별로 나타낸 것이다. pH를 달리하는 세 가지 수용액 중에서 부식 시험을 실시한 결과 재질에 따른 분극 곡선은 전형적인 Tafel 거동을 보이고 있다. 5% NaCl을 첨가한 산성비와 증류수 내에서 SS400과 SM490A 합금은 거의 비슷한 활성화 분극 거동을 나타낸 것으로 보였다.

Tafel 곡선의 기울기로부터 구한 부식 조건에 따른 각 재료의 E_{oc} , E_{corr} 및 I_{corr} 의 값을 각각 Table 5-7에 나타내었다. pH의 변화에 따라 E_{oc} 의 변화를 살펴보면 SS400과 SM490A 합금의 경우 산성 영역에서는 pH의 증가에 따라 증가하였다가 그 이후에는 감소하는 것을 볼 수 있다. E_{corr} 도 pH의 변화에 따라 산성 영역에서 증가하다가 감소하였으며, 부식 속도를 결정짓는 전류 밀도는 pH=7인 증류수 내에서 최소치에 달한 후에 증가하였다.

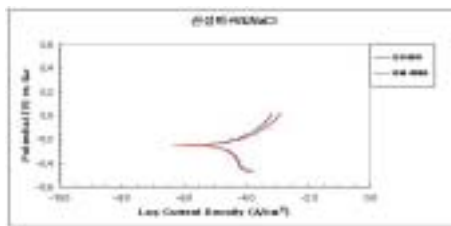


Fig. 8 Polarization curves of materials in substitute acid rain with 5% NaCl addition

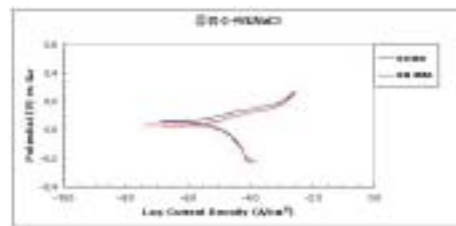


Fig. 9 Polarization curves of materials in distilled water with 5% NaCl addition

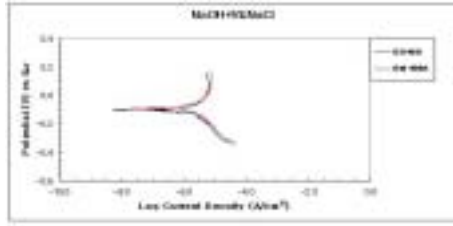


Fig. 10 Polarization curves of materials in NaOH with 5% NaCl addition

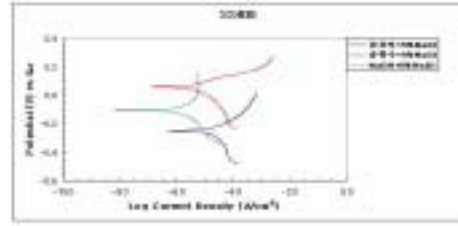


Fig. 11 Polarization curves of SS400 in various solutions with 5% NaCl addition

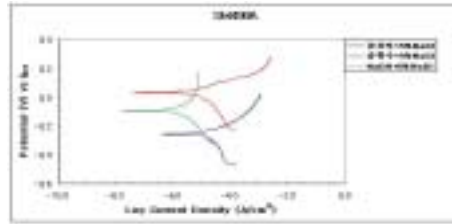


Fig. 12 Polarization curves of SM490A in various solutions with 5% NaCl addition

Table 5 Open circuit potential of materials in various solutions with 5% NaCl addition

$E_{oc}(mV)$	acid rain +5%NaCl	distilled water +5%NaCl	NaOH +5%NaCl
SS400	-226.823	21.299	-87.064
SM490A	-219.772	31.596	-75.206
SUS205L	188.967	100.63	-57.433
SUS304	298.139	270.494	-243.762

Table 6 Corrosion potential of materials in various solutions with 5% NaCl addition

$E_{corr}(mV)$	acid rain +5%NaCl	distilled water +5%NaCl	NaOH +5%NaCl
SS400	-249.5	58.0	-106.8
SM490A	-251.3	33.6	-90.6
SUS205L	162.2	147.4	-104.7
SUS304	195.8	272.0	-111.9

Table 7 Corrosion current density of materials in various solutions with 5% NaCl addition

$I_{corr}(A/cm^2)$	acid rain +5%NaCl	distilled water +5%NaCl	NaOH +5%NaCl
SS400	8.854×10^{-5}	5.546×10^{-6}	1.036×10^{-5}
SM490A	7.108×10^{-5}	9.466×10^{-6}	1.485×10^{-5}
SUS205L	5.636×10^{-6}	2.042×10^{-6}	4.609×10^{-7}
SUS304	3.068×10^{-6}	2.365×10^{-7}	4.777×10^{-6}

산성비에 5% NaCl을 첨가하게 되면 SS400의 경우 분극 거동에는 큰 차이를 보이지 않고, 부식 전위가 약간 증가하고 부식 전류 밀도는 약간 감소하게 된다. SM490A에서도 분극 거동에 큰 차이는 없으나, 부식 전위만 약간 감소하고 부식 전류 밀도는 거의 차이가 없다. 5% NaCl을 증류수에 첨가한 수용액에서의 부식 시험결과는 두 재료 모두 부식 전위가 감소하고 부식 전류 밀도는

증가하게 된다. NaOH에 대한 첨가 영향은 부식 전위가 감소하고 부식 전류 밀도는 SS400의 경우에는 증가하고 SM490A의 경우에는 감소하는 것으로 나타났다.

6. 결 론

철도차량의 수명을 예측하기 위해서는 구조물의 피로수명을 예측해야 하며 피로수명에 영향을 미치는 요소들은 다양하다. 이들 요소중 부식에 의한 영향은 불가피한 것으로써 구조물의 부식특성을 반드시 파악할 필요가 있다. 이에 전기화학적 실험을 통해 SS400과 SM490A의 부식특성을 알아보았다.

실험결과 철도차량에 쓰이는 강종인 SS400 및 SM490A의 전기화학적 부식 데이터는 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. SS400에 비하여 내후성장인 SM490A의 표면이 부식밀도에서 약간 떨어지는 것으로 나타난다. 이는 SM490A가 상대적으로 더욱 조밀한 초기 부식층을 형성하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 비슷한 부식특성에서 5% NaCl이 첨가되면 부식전류의 증가가 나타남을 알 수 있다. 실제로 SM490A 강종은 내후성장으로 설계되어 장시간 사용할 때 부식에 의한 재료적 손실이 SS400 강종보다 우수하게 설계되어있다. 내후성장에는 부식에 매우 민감하게 작용하면서 안정된 산화막을 형성시키는 금속이 첨가된다. 따라서 대기 중에 노출되면 표면에 얇은 산화피막을 쉽게 형성시키고 이후의 부식 진행은 매우 느리게 진전되는 특성을 지니고 있다. 그러나 본 전기화학 실험에서는 이러한 특성을 구별하기 어려운데 이는 표면층에 이미 형성된 산화막에 의한 영향으로 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. D. Kwon, Y. B. Moon and S. T. Kim(1998), "A Study on the Application of Electrochemical method for Degradation Evaluation", 대한기계학회논문집 A, Vol. 22, No. 1
2. S. J. Kim, J. K. Kim, J. H. Kim, K. J. Kim, Y. S. Kim, K. M. Moon(2000), "Electrochemical Study on the Effect of Post-weld heat treatment Affecting to Corrosion Resistant Property of the Weldment of SCM440 Steel", 한국박용기관학회, Vol. 24, No. 6
3. 연제원, 변수일, 이우진, 최인규, 전관식(2000), "Effect of relative Humidity on the Atmospheric Corrosion of Mild Steel Using the electrochemical Wet/Dry Method", 전기화학 회지, Vol. 3, No.1
4. 주석복, 김면섭, 이성하(1992), "A Study on the Corrosion Inhibition of of Al-brass by Nitroanilines on Nitric Acid", 環境科學研究所, Acid" Vol. 13, No. 1
5. Yeo, In Hyeong Yeon, Jei Won Eom, Tae Yoon(1990), "Electrochemical Behavior of Nickel-base Alloy in Acidic Media", 동국대논문집, Vol. 29