

부식속도에 대한 참조 표준 작성을 위한 수환경에 따른 각종 금속의 부식특성 평가 - I. 안동지역

심 규 태·권 용 혁·김 영 식[†]

국립안동대학교 신소재공학부 청정소재기술연구센터
760-749 경북 안동시 송천동 388번지
(2009년 12월 3일 접수, 2009년 12월 18일 수정, 2009년 12월 18일 채택)

Evaluation of Corrosion Properties of Several Metals in Waters for Reference Standard on Corrosion Rate - I. Andong Area

G. T. Shim, Y. H. Kwon, and Y. S. Kim[†]

The Center for Green Materials Technology, School of Advanced Materials Engineering,
Andong National University, 388 Songcheon, Andong, Gyeongbuk, 760-749
(Received December 3, 2009; Revised December 18, 2009; Accepted December 18, 2009)

Corrosion of metallic materials occurs by the reaction with corrosive environment. In general, corrosive environments are classified as atmospheric, marine, soil etc. and regardless of any corrosive environments, reduction of thickness and cracking and degradation are induced by corrosion.

Among several corrosive environments, knowing the atmospheric corrosiveness of a region, city, or country is considered of ultimate importance for major industrialists and investors who require knowledge of the corrosive impact of the atmosphere on everyday materials such as carbon steel, weathering steel, zinc, copper, and aluminium. This is why the atmospheric corrosiveness map is needed.

This paper dealt with corrosion properties between several waters in the region and carbon steel, weathering steel, galvanized steel, pure copper, and pure aluminium at the representative rural area of Korea - Andong.

Keywords : corrosion map, metals, rural area, Andong area

1. 서 론

부식은 재료와 사용 환경과의 상호 작용에 의한 결과로서 재료와 사용 환경의 조합이 무수하고 그 형태가 다양하며, 대표적인 mild한 사용 환경인 대기, 해수, 지중 및 가혹한 사용 환경인 고온의 산화 환경을 막론하고 부식이 발생되며, 부식은 일반적으로 두께의 감소와 균열의 발생 및 파손 등으로 나타난다.^{1), 2), 3)}

부식은 모든 산업 설비와 기간 시설에서 발생되어 경제적 인 손실뿐만 아니라 대형 사고와 다수의 인명 피해로 이어지며, 1970년대의 산업화 시작 이후에 노후화된 설비를 다수 보유하고 있는 국내의 경우 부식 발생의 문제는 매우 심각하다.

부식 방지 및 평가 기술은 금속, 에너지, 화학, 기계, 조선 및 전자 산업을 포함한 거의 모든 산업에서 에너지/물자 절약, 공해 방지, 설비 관리비 절감, 안전 문제 해결 및 수명 연장에 필수적인 산업적, 사회적 역할이 큰 기반 기술이며,

적용규격, 평가 방법, 활용 장비, 기술인력 및 운용절차가 표준화되고 객관적으로 검증되어야만 그 결과가 인정되는 기술이다.^{4), 5)}

대기 부식을 일으키는 주요 인자는 산성비, 금속 표면의 부착물, 특히 염분의 부착들을 들 수 있으며,⁶⁾⁻¹³⁾ 주요 인자는 자연 환경과 계절에 따라 변화한다. 환경인자와 대기부식 환경의 변화로 금속의 부식특성에 영향을 미치게 된다.

그러나 부식 지도(corrosion map)는 자연 환경에 노출된 특정 재료에서 발생하는 대기 부식(atmospheric corrosion)의 속도로 환경인자인 온도, 습도, 해수, 산성비, 자외선 등의 농도/강도의 함수로 지역별로 측정하여 부식 속도가 같은 점을 연결한 지도이다. 대기부식과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있으나,¹⁴⁾⁻¹⁸⁾ 부식지도가 외장 재료 또는 구조물의 부식 속도와 사용연한의 결정에 사용되는 필수적인 자료임에도 불구하고¹⁹⁾ 아직 국내에는 제작된 자료가 없는 실정이다. 이를 해결하기 위해서 국내의 15개 대학과 연구소가 참여하여 우리나라의 금속부식지도를 작성하고 있다.²⁰⁾

따라서 부식지도 작성을 위해서 대기폭로시험장치²¹⁾⁻²³⁾

[†] Corresponding author: yikim@andong.ac.kr

가 설치된 각 지역의 여러 수환경 중에서 각종 금속의 전기 화학적 부식속도를 평가하였다. 본 논문에서는 경북 안동지역의 수환경 중에서의 부식속도 평가 결과를 다루고 있다.

전원지역인 안동의 수도수, 하천수, 인공산성비, 우수의 4가지 환경에서 부식시험을 행하였다. 이러한 환경에서 탄소강, 내후성강, 아연도강, 순 구리, 순 알루미늄 등에 대한 부식속도를 평가하고 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 안동지역의 수환경 및 평가재료

전원지역인 안동의 수도수, 하천수, 인공산성비, 우수의 4가지 환경에서 부식시험을 행하였다. 각 시험용액의 채취 날짜, 채취장소, pH 및 전기전도도는 Table 1과 같다. 시험용액의 pH 5~7 사이로 중성에 가까우며, 인공산성비가 가장 낮게 나타났고 전기전도도는 수도수가 가장 크게 나타났다.

이러한 환경에서 탄소강, 내후성강, 아연도강, 순 구리, 순 알루미늄 등에 대한 부식속도를 평가하였다. Table 2는 시험에 사용한 금속에 대한 정보를 보여주고 있다.

2.2 양극분극시험

5종 금속(탄소강, 내후성강, 아연도강, 알루미늄, 구리)을 각 시험용액(수도수, 하천수, 인공산성비,²⁴⁾ 우수)에서 분극시험을 행하였다. 각 시편들을 15 mm x 15 mm 크기로 절단한 다음, 구리 피복동선을 시편의 한 면에 점용접하여

연결한 뒤, Epoxy resin으로 마운팅처리 하였다. 시편 표면을 SiC연마지로 #600까지 연마(아연도강은 연마하지 않음)한 다음 1 cm²의 면적만 노출되도록 나머지 부분을 에폭시 수지로 덮어 주었다. 분극시험은 포텐시오스타트(Model Gamry DC 105)를 이용하였으며 기준전극으로는 포화감홍전극(SCE)을, 상대전극으로는 고밀도 흑연봉을 이용하였다. 30 °C의 시험용액을 N₂ gas를 이용하여 100 ml/min로 30분간 탈기하였으며, 부식전위보다 100 mV 비한 전위로 10분 동안 음극분극을 행하고 그 뒤 기상부분만 탈기한 상태로 10분 동안 유지(initial delay)하였다. 용액에서 20 mV/min(0.33 mV/sec)의 속도로 주사하면서 실험을 행하였다.²⁵⁾

2.3 Tafel시험

Tafel 분석을 통한 부식속도를 도출하였다. 상기 양극분극시험방법에 준하여 시편 및 용액을 준비하고, 타펠법에 의한 부식속도 측정시험은 부식전위 ± 200 mV 이내에서 행하여 부식속도를 mm/year 단위로 구하였다.

3. 연구결과 및 고찰

Fig. 1은 2007년 1월 16일 안동대학교에서 채취한 수도수 중에서 구한 각 재료별 양극분극곡선이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 알루미늄의 부식전위가 가장 비하게 측정되었다. 알루미늄

Table 1. Waters collected in Andong areas on January 2007

Waters	Date	Locations	pH	Conductivity
Potable water	Jan. 16. 2007	Andong National University	7.3	191 μS/cm
River water (Nakdong)	Jan. 10. 2007	Nakdong river at Andong	6.9	180 μS/cm
Artificial acid rain	Jan. 29. 2007	Andong National University	5.1	22 μS/cm
Rain	Jan. 6. 2007	Andong National University	6.8	118 μS/cm

Table 2. Materials information

Alloys	Composition(wt. %)	Remarks
Carbon steel (S45C)	C: 0.4517, Si: 0.205, Mn: 0.6478, P: 0.0189, S: 0.0029, Ni: 0.01, Cu: 0.008	Hot rolled coil, JIS G4051
Weathering steel	C: 0.0703, Si: 0.46 Mn: 0.402 P: 0.1005, S: 0.0048, Cr: 0.39, Ni: 0.14, Cu: 0.27	Hot rolled coil, JIS G 3125 SPA-H
Galvanized steel	C: 0.04, Si: 0.3202, Mn: 0.228, P: 0.0189, S: 0.009	Hot galvanized coil, KS HGSC
Pure Al	Si: 0.08, Fe: 0.3, Cu: 0.002, Mg: 0.002, Zn: 0.002, Ti: 0.03, Al: 99.5	Al, 1050
Pure Cu	Cu: 99.98, P: 0.035	C1220P-1/2H

미늄의 경우는 비록 부식전위는 낮지만 안정된 부동태 거동을 보이며 약 -300 mV(SCE) 부근에서 과부동태가 발생되어 전류가 급격히 증가하고 있다. 탄소강과 내후성강의 양극분극거동은 매우 유사하게 나타났으며, 아연도강의 경우는 표면의 아연에 대한 분극결과이므로 전위가 낮고 양극분극에 의하여 급격히 부식되는 양상을 보여주고 있다.

Fig. 2는 2007년 1월 10일 낙동강 상류(안동대학교 인근)에서 채취한 하천수 중에서 구한 각 재료별 양극분극 곡선이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 알루미늄의 부식전위가 가장 비하게 측정되었지만 안정된 부동태 거동을 보이며 약 -100 mV(SCE) 부근에서 과부동태가 발생되어 전류가 급격히 증가하고 있다.

Fig. 3은 2007년 1월 29일에 만든 인공산성비에서 구한

각 재료별 양극분극 곡선이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 알루미늄의 부식전위가 가장 비하게 측정되었다. 알루미늄의 경우 비록 부식전위는 낮지만 안정된 부동태 거동을 보이며 약 -100 mV(SCE) 부근에서 과부동태가 발생되어 전류가 급격히 증가하고 있다. 탄소강과 내후성강의 경우 양극분극에 의하여 급격히 부식되는 양상을 보이고 있다.

Fig. 4는 2007년 1월 6일 안동대학교에서 채취한 우수 중에서 구한 각 재료별 양극분극 곡선이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 약간의 부동태를 보이다가 과부동태의 발생으로 전류밀도가 급격하게 증가하며, 부식전위가 비하게 나타난 알루미늄은 약 -300 mV(SCE) 부근에서 과부동태가 발생되어 전류가 급격하게 증가하고 있다. 탄소강과 내후성강의 양극분극

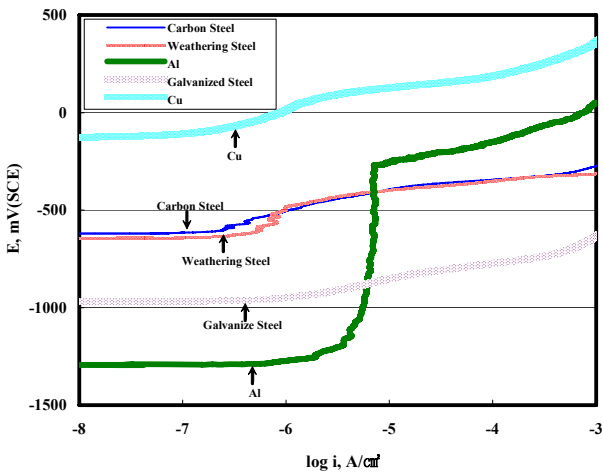


Fig. 1. Anodic polarization curves of several metals obtained in potable water collected(Jan. 6, 2007) at Andong area.

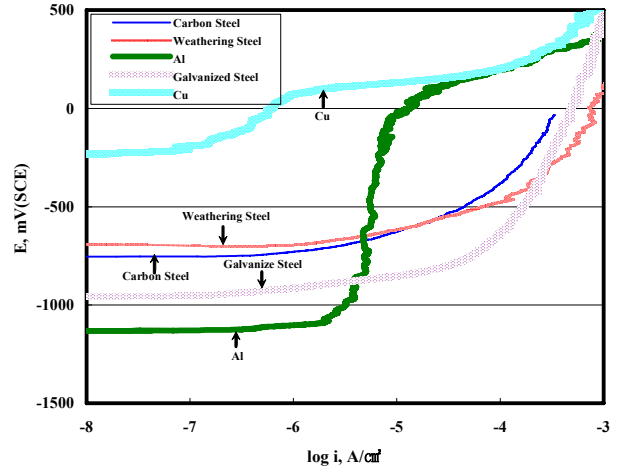


Fig. 3. Anodic polarization curves of several metals obtained in artificial acid rain made(Jan. 6, 2007) at Andong area.

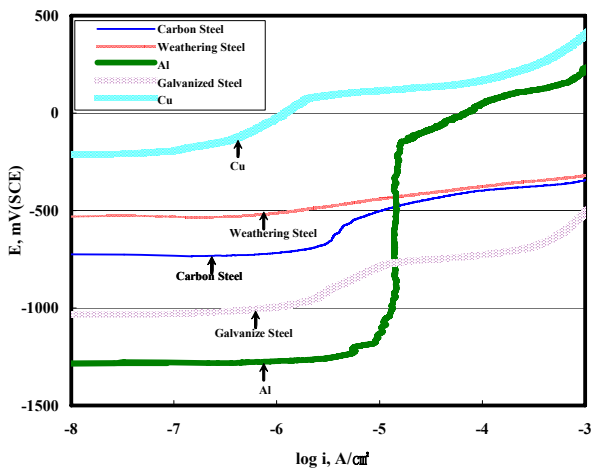


Fig. 2. Anodic polarization curves of several metals obtained in river water collected(Jan. 6, 2007) at Andong area.

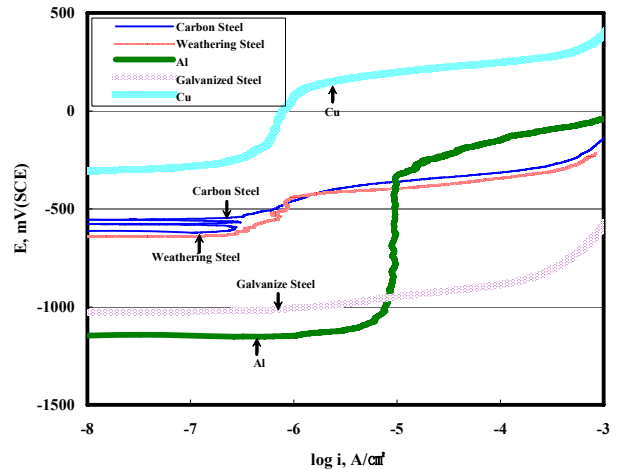


Fig. 4. Anodic polarization curves of several metals obtained in rain collected(Jan. 6, 2007) at Andong area.

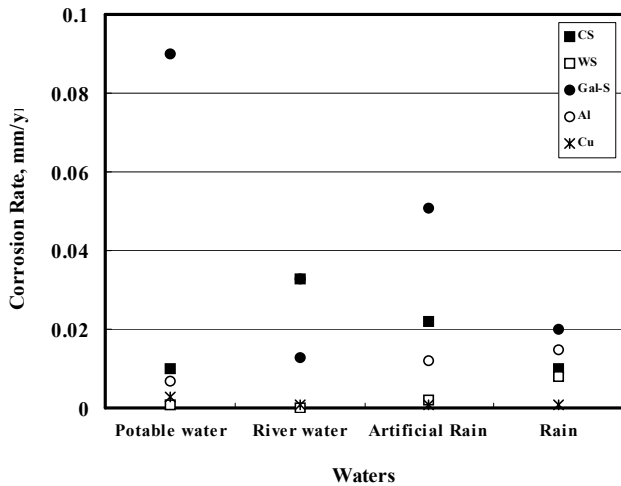


Fig. 5. Effect of water environments on corrosion rate of several metals obtained by Tafel test in waters collected at Andong areas.

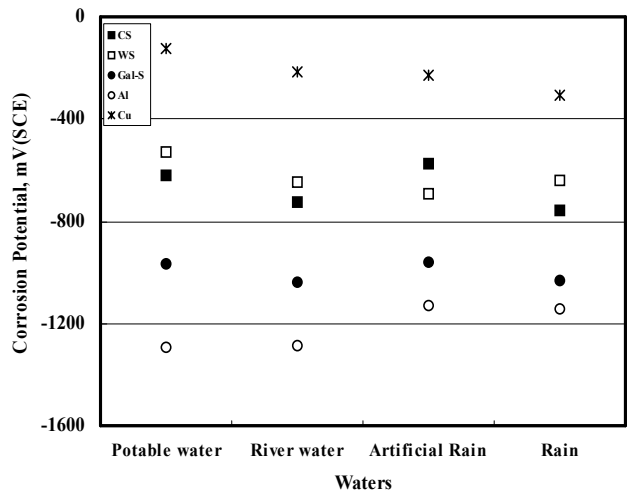


Fig. 7. Effect of water environments on corrosion potential of several metals obtained by Tafel test in waters collected at Andong areas.

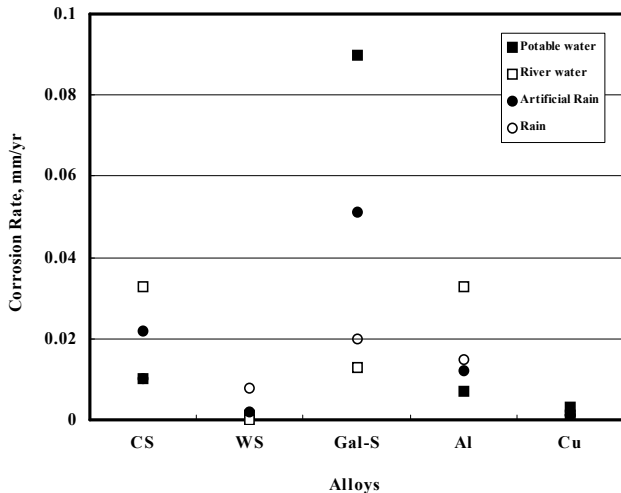


Fig. 6. Effect of alloys on corrosion rate obtained by Tafel test in waters collected at Andong areas.

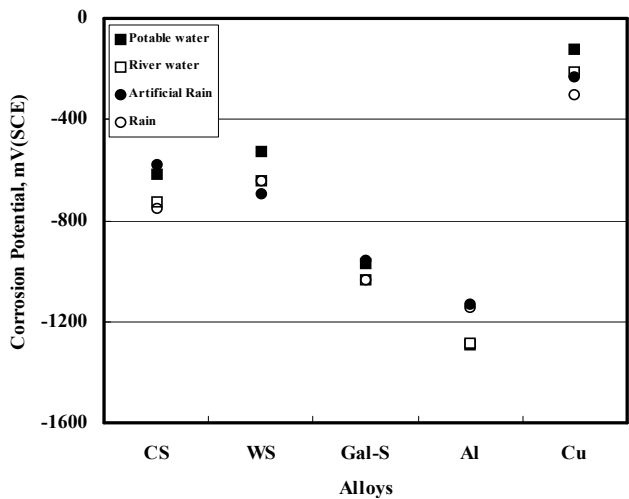


Fig. 8. Effect of alloys on corrosion potential obtained in waters collected at Andong Areas.

거동은 매우 유사하게 나타났다.

Fig. 5는 각 재료의 4가지 수환경에서 타펠시험으로 구한 부식속도이다. 수도수에서의 부식속도는 아연도강이 가장 높게 나타났으며, 하천수에서는 탄소강과 알루미늄의 부식속도가 높게 나타났다. 인공산성비의 경우, 아연도강의 부식속도가 가장 나타났으며, 우수의 경우 아연도강의 부식속도가 가장 높게 나타났다. 4가지 수환경에서의 부식속도는 우수 중에서의 속도가 금속에 관계없이 편차가 가장 작게 나타났다. 그러나 각 수환경에 따라서 5가지 금속이 보이는 부식성의 경향이 뚜렷하게 나타나지는 않았다.

Fig. 6은 4가지 수환경에서 구한 각 재료별 타펠시험으로 구한 부식속도이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 구리의 부식속도가 가장 작게 나타났으며, 4가지 수환경에서 구한

부식속도는 0.003 mm/yr 이하이며, 부식 속도가 가장 크게 나타난 아연도강의 경우 여러 수 환경에서 최대 부식속도가 0.09 mm/yr 로 다른 재료의 부식 속도보다 훨씬 큰 값으로 나타났다. 탄소강의 최대 부식속도는 0.033 mm/yr, 내후성의 최대 부식속도는 0.008 mm/yr, 알루미늄의 경우 0.033 mm/yr로 나타났다. 전체적인 경향을 살펴보면, 아연도강의 부식속도가 가장 크게 나타났으며, 그 다음은 탄소강과 알루미늄, 그 다음은 내후성강이며, 구리의 부식속도가 가장 작게 나타났다. 그러나 알루미늄의 경우는 대기폭로시간의 경과에 따라서 자연산화피막이 형성되기 때문에 타펠분석으로 구한 부식속도와 불일치할 가능성이 있음을 유의하여야 한다.

Fig. 7은 4가지 수환경에서 구한 각 재료별 부식전위를 측정하였다. 부식환경에 관계없이 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 탄소강과 내후성강은 유사하게 나타났고, 그 다음은 아연도강의 순서이고 알루미늄의 부식전위가 가장 비하게 나타났다. 재료에 관계없이 부식환경별로 부식전위의 차이가 크게 나타나지는 않았다.

Fig. 8은 각 재료의 4가지 수환경에서 부식전위를 측정하였다. 재료에 관계없이 구리>내후성강~탄소강>아연도강>알루미늄의 순서로 부식전위가 비하게 나타났다. 그러나 알루미늄의 경우는 옥외노출시간의 경과에 따라서 안정한 표면피막을 형성하게 되므로 향후 옥외폭로시험 결과의 해석 시 부식전위만으로 내식성을 판단하지 않아야 한다. 이러한 점을 고려하여 대기폭로시험 결과 해석에 부식전위를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

1) 수도수, 낙동강수, 인공우수, 우수 중에서 타펠시험법으로 구한 부식속도의 경우, 각 수환경에 따라서 5가지 금속이 보이는 부식성의 경향이 뚜렷하게 나타나지는 않았다. 전체적인 경향을 살펴보면, 아연도강의 부식속도가 가장 크게 나타났으며, 그 다음은 탄소강과 알루미늄, 그 다음은 내후성강이며, 구리의 부식속도가 가장 작게 나타났다. 그러나 알루미늄의 경우는 대기폭로시간의 경과에 따라서 자연산화피막이 형성되기 때문에 타펠분석으로 구한 부식속도와 불일치할 가능성이 있음을 유의하여야 한다.

2) 부식환경에 관계없이 구리의 부식전위가 가장 귀하게 나타났으며, 탄소강과 내후성강은 유사하게 나타났고, 그 다음은 아연도강의 순서이고 알루미늄의 부식전위가 가장 비하게 나타났다. 재료에 관계없이 부식환경별로 부식전위의 차이가 크게 나타나지는 않았다. 재료에 관계없이 구리>내후성강~탄소강>아연도강>알루미늄의 순서로 부식전위가 비하게 나타났다. 그러나 알루미늄의 경우는 옥외노출시간의 경과에 따라서 안정한 표면피막을 형성하게 되므로 향후 옥외폭로시험 결과의 해석 시 부식전위만으로 내식성을 판단하지 않아야 한다.

감사의 글

이 논문은 지식경제부 “산업설비의 부식방식 기술 표준화 기반 구축” 연구에 의해 이루어졌으며, 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. G. Fontana and N. D. Greene, “Corrosion Engineering”, p. 302, 3rd ed., McGraw-hill, New York, 1978.
2. H. Y. Lee, Corrosion of Metals, p. 163, YK media, 2004.
3. D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, pp. 356, Macmillan Publishing Company, 1992.
4. KS D ISO 9223, “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification”.
5. KS D ISO 9224, “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories”.
6. W. H. Vernon, *Transaction of Faraday Soc.*, **23**, 113(1927) : **27**, 255(1931) : **31**, 1668 (1935).
7. N. A. Lange, Handbook of Chemistry, 10th ed., McGraw-Hill, 1961.
8. I. Suzuki, *Corrosion Engineering*, **30**, 639 (1981).
9. I. Horikawa, Rikanenhyo, p. 265, Maruzen, Japan, 1984.
10. RTKB Kenkyukai, Kakushin 97 Report, p. 20 (1968).
11. K. Sekine, S. Uchikawa, *Reidokozakizutsu*, **31**, 367 (1980).
12. T. Murata, *Corrosion Engineering*, **33**, 598 (1984).
13. M. Ohida, Kokai-to-Taishaku, **19**, 75 (1983).
14. K. Nii, C. Bhamornsut, L. Chotimongkol, E. Vutivat, R. Nakkhontod, P. Jeenkhajohn and S. Suphonlai, *Corrosion Science and Technology*, **2**, 183 (2003).
15. J. K. Saha, *Corrosion Science and Technology*, **6**, 120 (2007).
16. H. Nagano and M. Yamashita, *Corrosion Science and Technology*, **7**, 119 (2008).
17. C. K. Zhong, *Corrosion Science and Technology*, **2**, 194 (2003).
18. T. T. X. Hang, P. G. Vu, V. K. Oanh, T. A. Truc, T. Kodama, H. Tanabe, T. Taki, and M. Nagai, *Corrosion Science and Technology*, **2**, 207 (2003).
19. H. Rodhe and R. Counries, “Acidification in Tropical countries”, p. 167, John Wiley & Sons, 1988.
20. The Corrosion Science Society of Korea, Standardization of Corrosion and Corrosion Protection Techniques for Industrial Facilities, Ministry of Knowledge Economy, p. 66 (2009).
21. KS D 0060, “Recommended practice for weathering test”.
22. KS D ISO 9225, “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution”.
23. KS D ISO 9226, “Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity”.
24. Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, Ministry of Environment (2005).
25. KS D0247, “Method for Making Anodic Polarization Measurement for Stainless Steels”.