

0.5wt% 탄소강을 이용한 해안 야외부식시험과 염수분무시험, 가속부식시험의 가속계수에 대한 연구

조 의 열^{1,†} · 권 기 봉² · 조 대 형² · 김 종 렬¹

¹한양대학교 금속재료공학과, 경기도 안산시 상록구 한양대로 55

²한국산업기술시험원 재료기술센터, 경기도 안산시 상록구 해안로 723
(2012년 11월 17일 접수, 2013년 10월 29일 수정, 2013년 10월 29일 채택)

The Study on the Acceleration Factor of Coastal Outdoor Corrosion test, Salt Spray Test and Accelerated Corrosion Test using 0.5wt% carbon steel

E. Y. Cho^{1,†}, G. B. Gwon², D. H. Cho², and J. Y. Kim¹

¹Hanyang University, 55, Hanyang UV-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, KOREA(426-791)

²Korea Testing Laboratory, Material Testing Center, 723, Hae-an-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, KOREA(426-910)

(Received November 28, 2012; Revised October 29, 2013; Accepted October 29, 2013)

In the industry, accelerated corrosion test is used for the life time prediction. When anti-corrosion test proceeds in real environments, it is difficult that we predict and evaluate the corrosion life time because of the long test time such as 10 years or more time. Accelerated corrosion test and Salt spray test are able to test corrosion life time of products in the laboratory instead of outdoor corrosion test. Experimental procedure is selected for the corrosion standard specimen, exposure of the specimens, measurements of the mass loss and evaluating the mass loss data. As a result, the acceleration factor of the accelerated corrosion test to the outdoor corrosion test is 414.8. Therefore we can predict the corrosion life time of carbon steel during a short time period.

Keywords : outdoor corrosion test, salt spray test, accelerated corrosion test, cyclic corrosion test, acceleration factor

1. 서 론

최근 산업의 급격한 발전과 더불어 제품의 내구수명 및 고장율에 대한 관심이 증가되고 있는 현실이다. 특히 자동차 부품 및 선박부품, 전기·전자부품 등의 분야에서는 내부식성이 요구되기 때문에 부식수명평가가 필수적이다. 하지만 부식의 형태는 균일 부식, 갈바닉 부식, 틈 부식, 공식, 환경기인 부식, 수소손상, 입계 부식, 탈합금 부식, 침식 부식 등 다양하기 때문에 부식수명을 예측하는 것이 어렵다는 단점을 가지고 있다¹⁾. 대기 부식에 영향을 미치는 화학적 인자로는 질소, 불활성 가스, 산소와 오존, 물, 이산화탄소(CO₂), 이산화황(SO₂), 황화수소(H₂S), 염(Salts), 분진(Dust) 등으로 고려되어 진다. 이 중 염(Salts)는 대기 중에 존재하는 주요 부식인자로서 부식에 상당한 영향을 끼친다²⁾.

일반적으로 부식수명을 평가하는 방법은 중성 염수 분무 시험(Neutral Salt Spray Test; 이하 염수 분무 시험(Salt Spray Test))³⁾이 가장 많이 적용되고 있으며, 정해진 시간 동안 제품이나 시료에 발생하는 부식유무 또는 rating number를 평가하고 있다. 하지만 이렇게 가장 유용하고 넓은 분야에 적용되고 있는 염수 분무 시험은 실제 야외환경에서의 부식 시험과의 상관관계가 확실하게 규명되어 있지 않고, 부식거동 또한 동일하지 않기 때문에 제품의 부식성을 평가하기에 적합하지 않은 측면이 많다. 게다가 염수 분무 시험은 부식에 의한 고장을 판정하는 시간이 장기간 소요되고, 이러한 이유로 평가를 위한 시험기간의 설정도 어려울 뿐만 아니라 고내식성 소재에 대해서는 부식평가가 어렵다는 단점도 가지고 있다.

본 연구에서는 균일 부식을 주요 부식 기구로 가정하면서, 위와 같이 염수 분무 시험에 대하여 실제 야외 부식 시험 사이의 상관관계를 규명하여 부식 수명에 대한 가속계수 도출을 하고자 하였다. 그리고 시료의 부식 저항성 평가를 위

[†] Corresponding author: mildmetal@naver.com

해 염수 분무 시험이 가지고 있는 단점을 보완하고, 짧은 시간에 평가가 가능한 가속 부식 시험을 선정하고 이러한 가속 부식 시험과 실제 야외 부식 시험간의 상관관계도 규명하여 부식수명에 대한 가속계수도 도출하고자 하였다. 최종적으로 가속 부식 시험의 실험 가속모델을 통하여 야외 부식 시험에서 발생하는 고장시간, 즉 수명을 예측할 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험방법

2.1 부식표준시편 준비 및 무게 측정방법

각 부식 시험에서 부식 가속도를 측정하기 위해 부식표준시편(Corrosion standard specimen)을 선정하였으며, 크기는 H50.8 XD25.4 XT3.18mm인 탄소강을 사용하였다. Fig. 1에 부식표준시편을 나타내었고, Table 1에 부식표준시편의 화학조성을 나타낸 것이다.

부식표준시편은 부식가속도의 재현성을 확보하기 위하여 ACT Test Panels사⁴⁾에서 제조한 것을 구입하여 사용하였으며, 부식표준시편의 부식방지 유기물을 전처리로 제거하고 시험하였다. 전처리는 에탄올에서 30초간 초음파 세척을 한 후, 깨끗한 천을 사용하여 에탄올을 제거하는 방법으로 하였다. 시험에 사용한 부식표준시편은 부식에 영향을 주지 않는 나일론(nylon) 재질의 Bolt, Washer, Nut를 사용하여 거치대에 설치하여 시험하였다. Fig. 2는 체결된 부식표준시편과 Bolt, Washer, Nut 및 거치대를 나타낸 것이다.

준비된 부식표준시편의 시험 전 초기무게를 교정된 1/1000g 단위의 전자저울(Balance)을 이용하여 측정하고, 각 부식 시험에서 노출되어 부식이 발생한 부식표준시편의 표면부식물은 Sand blast를 이용하여 제거하였다. 표면부식물이 제거된 부식표준시편의 동일한 전자저울로 시험 후 최종무게를 측정하여 무게감량⁵⁾(Mass loss)을 비교하였다. 각 부식 시험은 2개의 부식표준시편을 시험하였다.

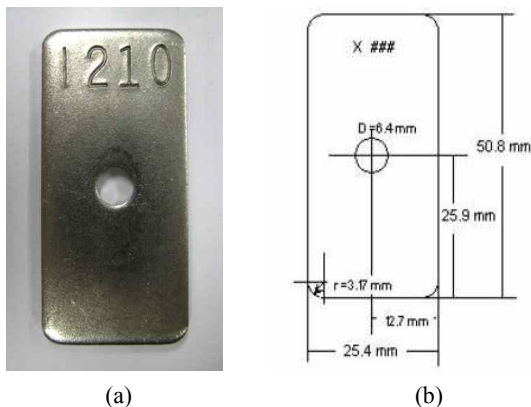


Fig. 1. Corrosion standard specimen (a) and schematic (b).

Table 1. Chemical composition of corrosion standard specimen

composition	C	Mn	Al	Si	Mo	Cu	Cr	Ni	Fe
Wt%	0.5	0.19	0.052	0.02	0.01	0.06	0.04	0.03	Bal.

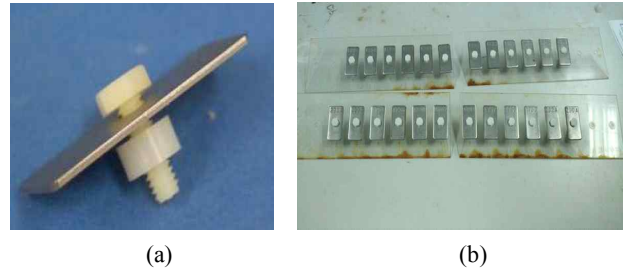


Fig. 2. Corrosion standard specimen, bolt, washer, nut (a) and jig (b).

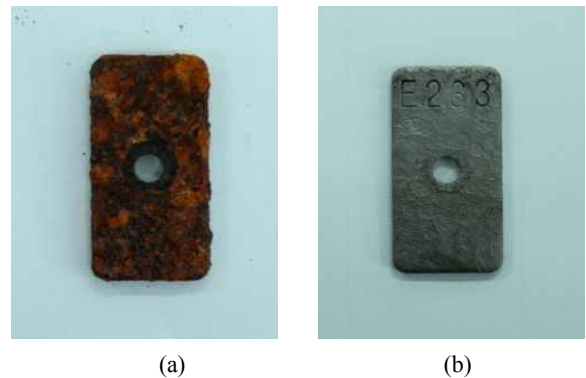


Fig. 3. Corrosion standard specimen before blast (a) and after blast (b).

Fig. 3은 부식 시험 후 표면부식물이 형성된 부식표준시편의 Sand blast 전과 후를 나타낸 것이다.

2.2 야외 부식 시험 (Outdoor corrosion test)

야외환경에서의 부식거동을 연구하기 위해 부식표준시편의 야외 부식 시험을 진행하였다. 부식표준시편을 야외에



Fig. 4. Corrosion standard specimens set in outdoor.

2.3 염수 분무 시험 (Salt spray test)

일반적으로 가장 많이 사용되는 부식수명 평가방법인 염수 분무 시험은 ISO 9227, ASTM B117, KS D9502 등 다양한 표준으로 제정되어 있다. 시험조건은 온도를 35℃로 하고 pH 6.5~7.2의 5±1wt%NaCl 용액을 80cm²의 면적당 1.5±0.5ml/h의 분무량이 유지되도록 하여 부식 시험을 진행하였으며, 평균 7일 간격으로 무게감량을 측정하였다. 3),6)

2.4 가속 부식 시험 (Accelerated corrosion test)

짧은 시간에 평가가 가능한 가속 부식 시험으로 부식시험을 진행하고 평균 6일 간격으로 무게감량을 측정하였다. Table 2에 본 연구에서 적용한 가속 부식 시험 조건을 나타내었다.

2.5 가속모델 분석

가속모델은 열화고장의 메커니즘을 묘사하는 모델을 말하는 것이며, 고장과 관련된 제품의 특성 모수의 경시적 변화를 나타내는 모델을 통칭하는 것이다. 열화시험은 수명에 관련된 성능 특성치의 관측을 통해서 열화자료를 획득하고, 이 열화자료를 다양한 가속모델을 통해 제품의 고장시간을 예측하는데 활용하는 방법이다. 본 연구에서는 부식표준시편이 부식조건에 가속에 따르는 무게감량 변화에 대한 함수를 분석하여 진행하였다. 가속모델은 Weibull++의 분석 Software를 사용하여, MSE(Mean square error) 값을 이용하여 Model ranking으로 결정하였다^{7,8)}.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 야외 부식 시험 (Outdoor corrosion test)의 무게감량

야외 부식 시험은 야외환경에서 진행되기 때문에 부식속도가 상당히 느리다. 이러한 이유로 부식수명을 분석하기 위한 일정시간 이상의 실험 data가 필요하기 때문에 약 1년 6개월의 시험을 진행하였다. Fig. 5는 시간에 따른 야외 부식 시험의 무게감량을 나타낸 것이다.⁹⁾

Table 2. Condition of accelerated corrosion test

Step	Mode	Time
1	35±1℃, Salt spray test	15 min.
2	25±1℃, 50%, RT	1 h 15min
3	50±2℃, 93%RH	22 h 30 min.
(Step 1 + Step 2) × 5 times		
4	50±2℃, 93%RH	48 h
Total		168 h

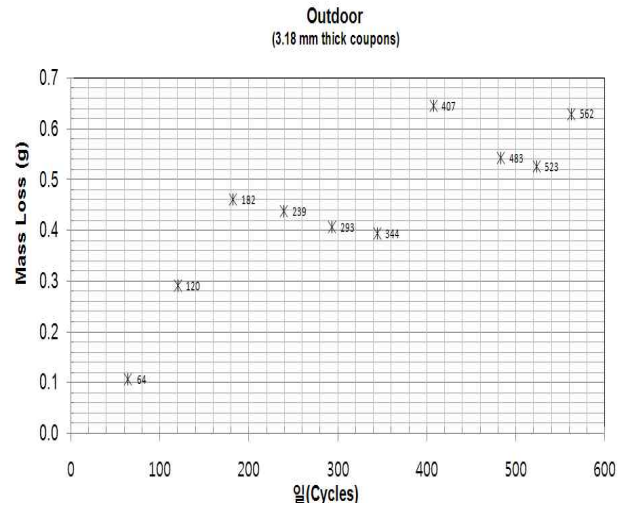


Fig. 5. Mass loss of outdoor corrosion test.

부식 표준 시편의 무게감량을 동일 시편에 대해 연속적으로 측정하는 것이 불가능하기 때문에 일부 기간의 부식 표준 시편의 무게감량이 감소하는 형태가 나타났지만, 전체적인 무게감량은 증가하였다. 그리고 6개월 간격으로 무게감량 변화율이 형태가 다른 것을 확인할 수 있었다. 본 연구가 시작된 2월부터 6개월 동안 무게감량 변화가 상당히 크게 나타나는 것을 확인하였으나, 8월 이후에는 무게감량 변화가 작게 나타났다. 이 결과는 야외 부식 시험이 계절과 밀접한 관계를 나타내는 것이며, 각각 온도와 습도의 영향으로 판단된다. Fig. 6은 야외 부식 시험을 진행한 안산(인천) 지역의 평균 온도, 습도 및 강수량을 나타낸 것이다.

여름철인 7, 8월에 온도가 가장 높았고, 장마에 해당하는 기간에 습도가 가장 높게 나타났다. 강수량은 습도와 연계된 유사한 형태를 보였다. 즉, 2월부터 8월까지 6개월 동안 무게감량이 증가하는 것은 온도와 습도가 증가하기 때문으로 판단된다¹⁰⁾.

약 1년 6개월(562일)의 시험기간 동안 발생한 무게감량은 0.6305g으로 평균 0.0011g/일의 무게감량이 측정되었고, 2월부터 8월까지 6개월(182일) 동안의 무게감량은 0.461g으로 평균 0.0025g/일의 무게감량이 측정되었다.

3.2 염수 분무 시험 (Salt spray test)의 무게 감량

염수 분무 시험은 기존에 가장 보편적으로 사용된 부식 시험 방법이기 때문에 실제 야외 부식 시험 사이의 상관관계 규명을 위해 무게감량을 평가하였다. 염수 분무 시험은 100일 동안 진행하여 무게감량을 측정하였으며, Fig. 7은 시간에 따른 염수 분무 시험의 무게감량을 나타낸 것이다.

부식 표준 시편의 무게감량은 일정한 변화율을 나타내었으며, 100일의 시험기간 동안 발생한 무게감량은 4.9250g이며, 평균 0.04925g/일의 무게감량이 측정되었다.

3.3 가속 부식 시험 (Accelerated corrosion test)의 무게 감량

가속 부식 시험은 기존의 염수 분무 시험의 단점인 장기간의 시험기간을 단축하고 실제 야외 부식 시험과의 상관관계를 규명하여 짧은 시간에 야외에서 발생하는 부식수명을 예측하기 위해 무게감량을 평가하였다. 가속 부식 시험은 38일 동안 진행하여 무게감량을 측정하였으며, Fig. 8은 시간에 따른 가속 부식 시험의 무게감량을 나타낸 것이다.

부식 표준 시편의 무게감량은 염수 분무 시험 결과와 유사하게 일정한 변화율을 나타내었으며, 38일의 시험기간 동안 발생한 무게감량은 4.0400g 이며, 평균 0.1063g/일의 무게감량이 측정되었다.

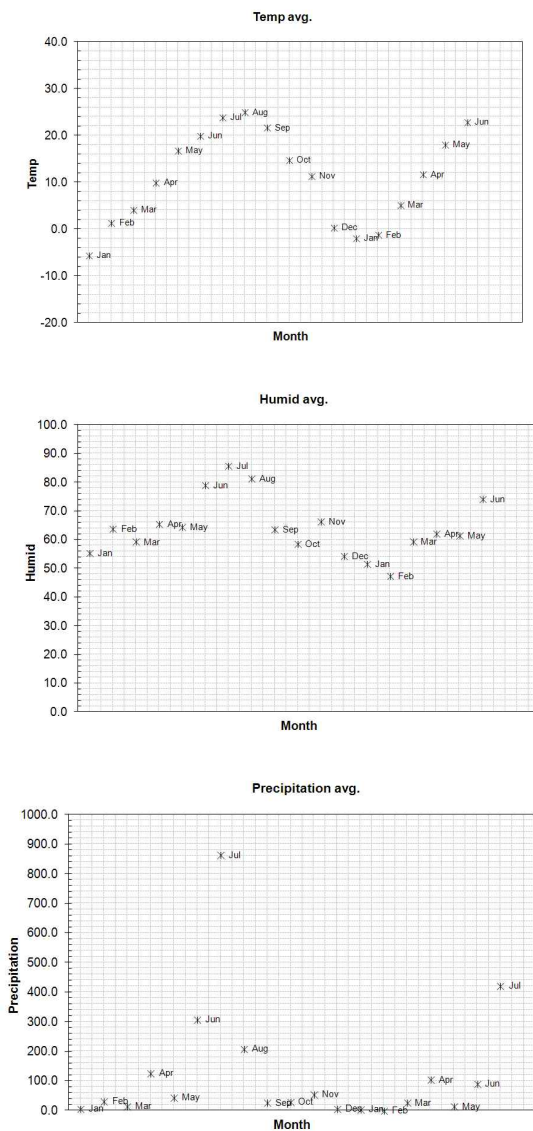


Fig. 6. Average temperature, humidity and precipitation of Ansan (Inchoen).

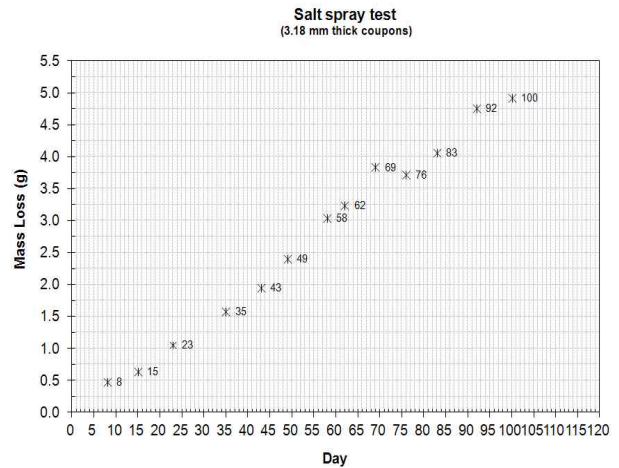


Fig. 7. Mass loss of salt spray test with days.

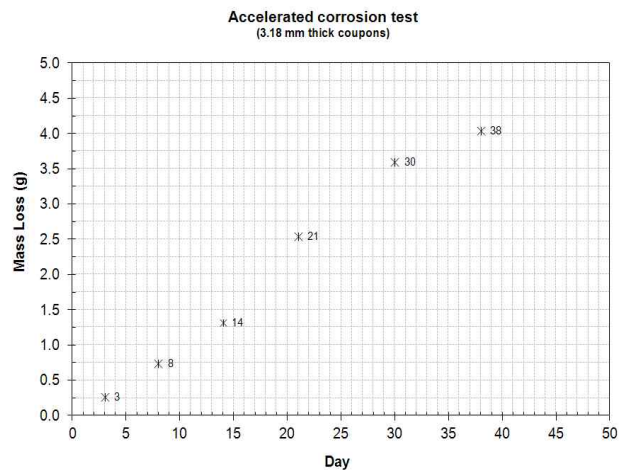


Fig. 8. Mass loss of accelerated corrosion test with days.

3.4 가속모델과 가속계수

야외 부식 시험과 염수 분무 시험 및 가속 부식 시험 사이의 상관관계를 규명하고 야외에서 발생하는 부식수명을 예측하기 위하여 가속모델을 분석하였다. 각 부식 시험에 대한 무게감량 결과를 와이블 분포, Weibull++ Software를 사용하여 지수함수에 대입하였다. 20년의 구조용 탄소강의 대기부식 연구에 따르면 그래프는 지수함수의 형태를 갖는 것으로 나타난다.⁹⁾ 따라서 이 연구의 결과값들을 지수함수로 나타내어 상수값을 도출하였다.

$$y = ba^x$$

야외 부식 시험의 2개 부식표준시편에 대한 지수 함수의 계수 a와 b는 첫 번째는 0.6685와 0.0096이고, 두 번째는 0.6644 와 0.0099로 나타났으며, 함수식은 다음과 같았다.

$$y = 0.0096 \times x^{0.6685}$$

$$y = 0.0099 \times x^{0.6644}$$

아래의 Fig. 9는 야외 부식 시험의 가속 모델식을 나타내었다.

염수 분무 시험의 2개 부식표준시편에 대한 지수 함수의 계수 a와 b는 첫 번째는 0.9485 와 0.0595이고, 두 번째는 1.0544과 0.0404으로 나타났으며, 함수식은 다음과 같았다. 아래의 Fig. 10은 염수분무시험의 가속 모델식을 나타내었다.

$$y = 0.0595 \times x^{0.9485}$$

$$y = 0.0404 \times x^{1.0544}$$

가속 부식 시험의 2개 부식표준시편에 대한 지수 함수의 계

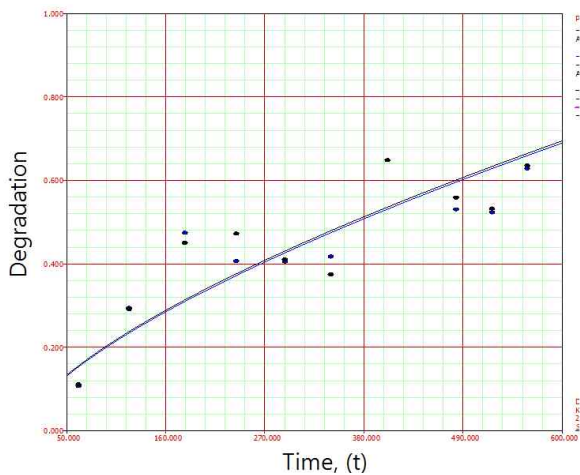


Fig. 9. Mass loss of outdoor corrosion test with time.

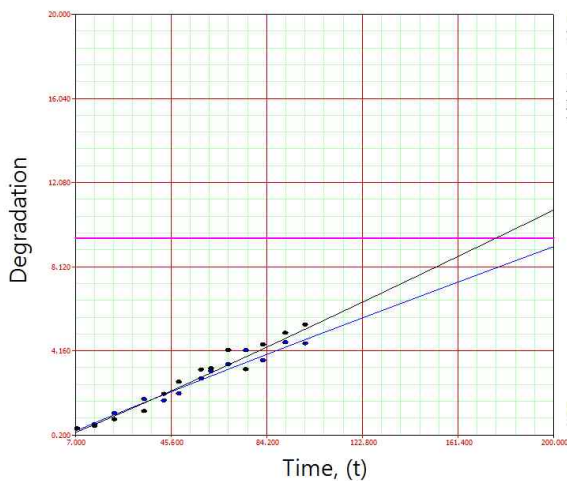


Fig. 10. Mass loss of salt spray test with time.

수 a와 b는 첫 번째는 1.1337와 0.0732이고, 두 번째는 1.1041과 0.0779 으로 나타났으며, 함수식은 다음과 같았다. Fig. 11은 가속부식시험의 가속 모델식을 나타내었다.

$$y = 0.0732 \times x^{1.1337}$$

$$y = 0.0779 \times x^{1.1041}$$

통상적인 차량 보증 기간을 10년으로 목표를 정한다¹¹⁾. 야외 부식 시험으로 도출된 식으로 10년 후의 무게 감량을 계산하면 2.3069g 이다. 이를 목표 무게 감소량으로 설정하고 염수 분무 시험과 가속 부식 시험이 2.3069g에 도달하는 시간을 계산하였다.

염수 분무 시험은 목표 무게 감소량에 도달하는 시간이 47.3일, 46.3일이고 가속 부식 시험으로 시험을 진행하였을

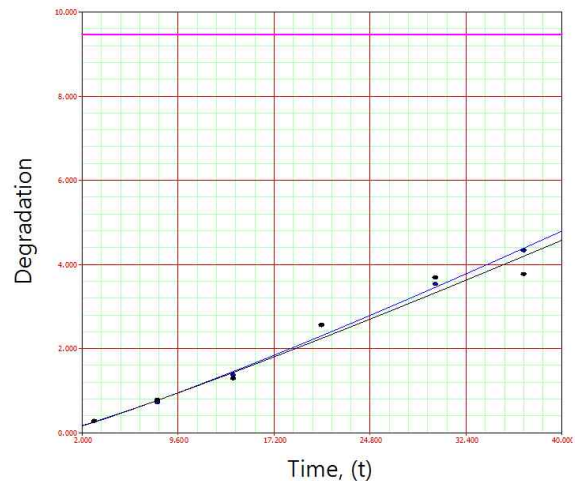


Fig. 11. Mass loss of accelerated corrosion test with time.

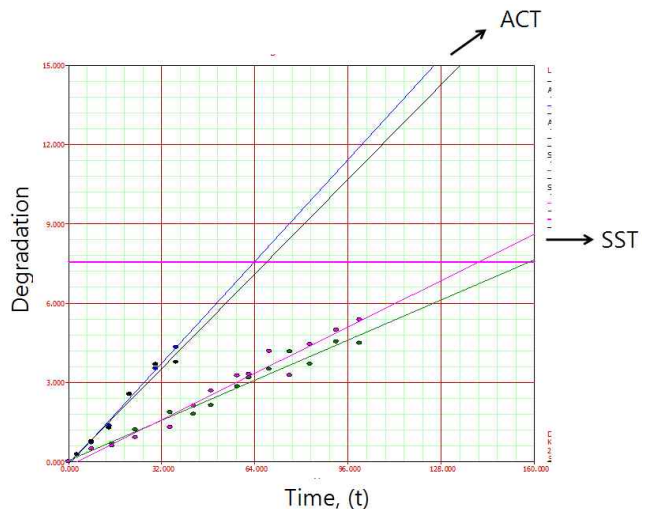


Fig. 12. The results of acceleration model analysis on salt spray test (SST) and accelerated corrosion test (ACT).

때 목표 무게 감소량에 도달하는 시간은 21.0일, 21.5일이 소요된다.

Fig. 12는 염수 분무 시험과 가속 부식 시험의 가속모델 분석 결과를 나타낸 것이다.

각 부식 시험 별 2개의 결과 중에서 낮은 고장 수명을 기준으로 염수 분무 시험은 야외 부식 시험에 대하여 77.18의 가속계수를 갖고, 가속 부식 시험은 야외 부식 시험에 대하여 169.64의 가속계수를 갖고, 가속 부식 시험은 염수 분무 시험에 대하여 2.21의 가속계수를 갖는 것으로 나타났다. 즉, 부식 기구가 균일 부식이고 지속적으로 유지된다면 가속 부식 시험으로 21.5일 진행한 시험결과는 염수 분무 시험으로 47.3일 진행한 시험결과와 야외 부식 시험으로 3650일 (약 10년) 진행한 시험결과와 동일한 부식거동을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

동일한 조건의 부식표준시편을 야외 노출 시험(Outdoor corrosion test), 염수 분무 시험(Salt spray test), 가속 부식 시험(Accelerated corrosion test)에 각각 적용하여 무게 감량을 측정하여 부식 가속계수를 도출하였다.

평균 1일당 무게감량을 비교한 결과, 가속 부식 시험은 0.1063g/일, 염수 분무 시험은 0.04925g/일, 야외 부식 시험은 0.0011g/일로 측정되었다. 야외 부식 시험에 대한 염수 분무 시험과 가속 부식 시험의 가속 계수는 각각 77.18 와 169.64로 계산되었다. 즉, 야외에서 일어나는 부식에 대하여 가속 부식 시험으로 짧은 시간에 진행하여 부식수명을 예측할 수 있는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion 2nded., p. 26 (2004).
2. S. K. Chang, J. Kor. Inst. Surf. Eng., **30**, 69 (1997).
3. KS D 9502, Korean Standards Association (2009).
4. ACT Test Panels, 273 Industrial Drive P. O. Box 735 Hillsdale, Michigan 49242
5. J. W. Park, J. G. Lee, K. W. Lee, J. H. Kim, M. K. Jung, and J. H. Lee, Corros. Sci. Tech., **8**, 243 (2009).
6. J. M. Kim, J. M. Lee, S. K. Lim, and C. H. Jung, Corros. Sci. Tech., **10**, 199 (2004).
7. Korea Meteorological Administration, www.kma.go.kr. (2012).
8. S. W. Wei, H. M. Kim, S. J. Kim, H. Y. Kang, Development of Accelerated Life Test Method for TCU Life Analysis., KSAE, p. 2195 (2007).