

36개월간 국내 옥외폭로시험에 따른 아연도강의 부식거동

김기태 · 김영식[†]

36729 경북 안동시 경동로 1375, 안동대학교 신소재공학부 청정에너지소재기술연구센터
(2018년 10월 11일 접수, 2018년 10월 29일 수정, 2018년 10월 29일 채택)

Corrosion Behavior of Galvanized Steels with Outdoor Exposure Test in Korea for 36 Months

K. T. Kim and Y. S. Kim[†]

Research Center for Energy and Clean Technology, School of Materials Science and Engineering, Andong National University, 1375 Gyeongdong-ro, Andong, Gyeongbuk, 36729, Korea

(Received October 11, 2018; Revised October 29, 2018; Accepted October 29, 2018)

Atmospheric corrosion is generally an electrochemical degradation process of metal. It can be caused by various corrosion factors of atmospheric component, weather, and air pollutants. Moisture, particles of sea salts, and sulfur dioxide are major factors in atmospheric corrosion. Galvanizing coating is one of the most efficient ways to protect iron from corrosion by zinc plating on the surface of the iron. Galvanized steels are being widely used in automobiles, building structures, roofing, and other industrial structures due to their high corrosion resistance compared to bare iron. Atmospheric corrosion of galvanized steel has shown complex corrosion behavior depending on coating process, coating thickness, atmospheric environment, and air pollutants. In addition, different types and kinds of corrosion products can be produced depending on the environment. Lifespan of galvanized steels is also affected by the environment. Therefore, the objective of this study was to determine the corrosion behavior of galvanized steel under atmospheric corrosion at six locations in Korea. When the exposure time was increased, content of zinc from GA surface decreased while contents of iron and oxygen tended to increase. On the other hand, content of iron was constant even after 36 months of exposure of GI.

Keywords: Galvanized steel, Outdoor exposure test, Atmospheric corrosion, Surface appearance

1. 서론

부식은 모든 산업 설비와 기간 시설에서 발생되어 경제적 손실뿐만 아니라 대형 사고와 다수의 인명 피해로 이어지며, 1970년대의 산업화 시작 이후에 노후화된 설비를 다수 보유하고 있는 국내의 경우 부식 발생의 문제는 우려할 만한 상태이다. 부식에 의한 손실은 선진 기술국에서도 GNP의 1-6%에 달하는 것으로 보고되고 있으며 [1-4], 우리나라의 경우 GDP의 2.9%에 이르는 것으로 최근 조사되었다 [5].

최근 공업화 과정에서 황을 포함한 연료를 대량 사용하고

있으며, 배출 관리 정책에 의해 대기오염원이 감소하였지만 여전히 이산화황과 질소산화물은 산성비 및 대기오염을 유발한다 [6]. 대기오염에 의한 부식 피해는 공업지대나 대도시에서 매우 심하게 나타난다. 또한 해안지대에 위치한 도시에서는 대기오염으로 인한 부식과 더불어 해양입자가 중요한 부식 요인이 된다. 해양입자의 양은 해안으로부터의 거리, 풍향, 풍속에 따라서 달라지지만 염분의 부착은 부식 속도를 크게 증가시키며 적절한 방지 대책을 수립하지 않을 경우 부식손상을 초래하게 된다.

금속의 대기부식(atmospheric corrosion)은 다양한 수분함량을 가진 자연의 대기환경(빗물 및 결로 등)에 금속이 노출되었을 때의 온도 및 조건에서 발생하는 부식을 말하는데, 대기 중의 수분이 금속 표면에 흡착 또는 응축되어 얇은 수막(~200 um)을 형성하고, 여기에 대기 중의 산소나 오

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

염물질 등이 용해되어 얇은 전해질 층을 형성함으로써 발생된다 [7-9]. 대기 부식의 일반적인 형태는 균일부식(uniform corrosion)이지만, 환경에 따라서 공식(pitting) 등의 국부적인 부식도 발생하며, 다른 종류의 금속과 전기적으로 접촉되어 있는 경우 이종금속접촉부식(galvanic corrosion)을 일으키기도 한다 [7,10].

금속의 대기 부식 반응에 직접 관여하는 성분은 산소와 수분이다. 대기 중에 수분이 없는 경우 부식 반응은 화학적 과정이다. 그런데, 상대 습도가 증가하여 대기 중의 수분의 양이 증가하면 금속 표면에 수막이 형성되고, 수막의 두께가 증가하여 전해질로 작용하므로 부식 반응이 전기화학적 과정으로 된다 [11]. 또한 금속이 물 속에 완전히 침적된 경우보다 금속표면에 일정한 두께의 얇은 수막이 형성된 경우에 산소의 이동이 더욱 용이하므로 부식 반응이 보다 더 활발히 일어난다.

대기 부식에 영향을 미치는 인자는 크게 화학적 인자와 물리적 인자로 나눌 수 있다 [12-19]. 화학적 인자는 산소와 오존, 수분, 이산화황, 염분, 먼지, 산성비, 금속 표면의 부착물, 기타 가스 성분 등이며, 물리적 인자는 온도, 바람의 세기, 태양광 등이다. 이러한 인자들은 자연 환경과 계절에 따라 변화하며, 환경 인자와 대기부식환경의 변화로 금속의 부식특성에 영향을 미치게 된다.

아연도강은 강을 보호하기 위해 아연을 희생양극으로 도금한 것으로 우수한 내식성, 가공성, 도장성 등으로 자동차, 건축, 농업, 전기, 산업기구와 같이 광범위하게 주로 야외에서 사용되기 때문에 대기의 다양한 환경에서 아연도강의 부식 거동을 조사가 필요하다. 아연도강의 대기부식은 과거에서부터 많은 연구가 진행되었다. 아연도강의 대기부식은 도금 두께, 그리고 지리적으로 대기의 태양방사, 온도, 습도, 바람, 공기 구성 그리고 대기 오염물질 등 여러 인자에 따라 복잡한 부식거동을 보인다 [20].

금속재료의 대기부식 저항성을 평가하는 방법으로 가장 바람직한 방법은 실제 자연환경에서 행해지는 대기폭로시험이다 [21-24]. 대기폭로시험은 공업제품에 대한 소비자의 안전성과 신뢰성의 확보뿐만 아니라 신재료, 신제품의 수명예측 및 기존 개발품의 품질향상을 위하여 필수적인 신뢰성 평가기술분야로 선진국에서는 오래 전부터 그 중요성이 인식되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 상용 아연도강 2종(Galvannealed Steel(GA), Galvanized Steel(GI))에 대하여 옥외폭로시험을 실시하였으며, 시험 장소는 일반적으로 금속이 사용되는 여러 대기 환경을 전원, 도시, 해안 지역으로 단순화 시켜 6개 지역에 옥외폭로 시험을 수행하고 아연도강의 부식 거동을 조사하였다.

2. 연구방법

2.1 옥외폭로시험

본 연구에 사용한 옥외폭로 시편은 GA(Galvannealed Steel) 시편은 합금화 용융아연도금 강판으로 소지금속인 철과 도금 금속인 아연 사이에 Fe-Zn 합금층을 이루고 있고, GI(Galvanized Steel) 시편은 Fe-Zn 합금층 없이 아연이 도금된 강판이다. 시편의 크기는 200 x 100 mm와 30 x 15 mm이며 200 x 100 mm 크기의 시편은 폭로 후 시편의 표면 외관 분석 및 부식속도, 30 x 15 mm 크기의 시편은 폭로 후 시편의 부식생성물을 분석하였다. 옥외폭로 조건으로는 45°의 경사를 갖도록 설치하였으며 일조량이 항상 일정하고 통풍이 잘되며 풍향과 풍속의 제약을 받지 않는 평탄한 지반에 설치하였다. 옥외폭로 장소로는 해안, 도시 및 전원지역으로 안동, 서울, 광주, 목포, 부산, 강릉 총 6 지역에 설치하였으며 해안으로부터의 거리는 안동지역이 약 58.88 km, 서울지역이 약 39.42 km, 광주지역이 약 41.72 km 그리고 목포지역이 약 0.2 km, 부산지역이 0.15 km, 강릉지역이 1.2 km이다.

2.2 부식속도 측정

옥외폭로 시험 후 아연도강의 부식속도를 측정하기 위해 KS D 9226의 방법 [25]을 이용하였다. 우선 옥외폭로 전 시편의 무게를 측정하고 수거된 시편을 흐르는 물에서 연한 솔을 이용하여 표면에 붙은 이물질 및 부식생성물을 제거하였으나 모든 부식생성물 및 이물질이 제거 되지 않아서 화학적 세척을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 화학적 세척방법은 1차 세정과 2차 세정으로 나누어 진행하였다. 1차 세정은 70 °C, 100g NH₄Cl + 900ml H₂O 용액에 4분 동안 침지 시켰으며, 2차 세정은 25 °C, 황산 암모늄용액(100g (NH₄)₂S₂O₈ + 900ml H₂O)에 5분간 침지하여 진행하였다. 화학적 세정 후 시편의 무게를 측정하고 부식 전 후의 무게 변화를 아래 식에 대입하여 부식속도를 구하였다.

$$mm/y = 87.6 \times \frac{W}{DAT}$$

W= 무게감소량(mg), D= 밀도(g/cm³),

A=노출면적(cm²), t=시간(h)

※ GA와, GI의 밀도= 7.14

※ W=a-b-c

a=폭로시험 전 해당 시편의 무게(mg)

b=화학적 세정에 따른 폭로시험 전 시편의 무게감량(mg)

c=폭로시험 후 화학적 세정 후 무게(mg)

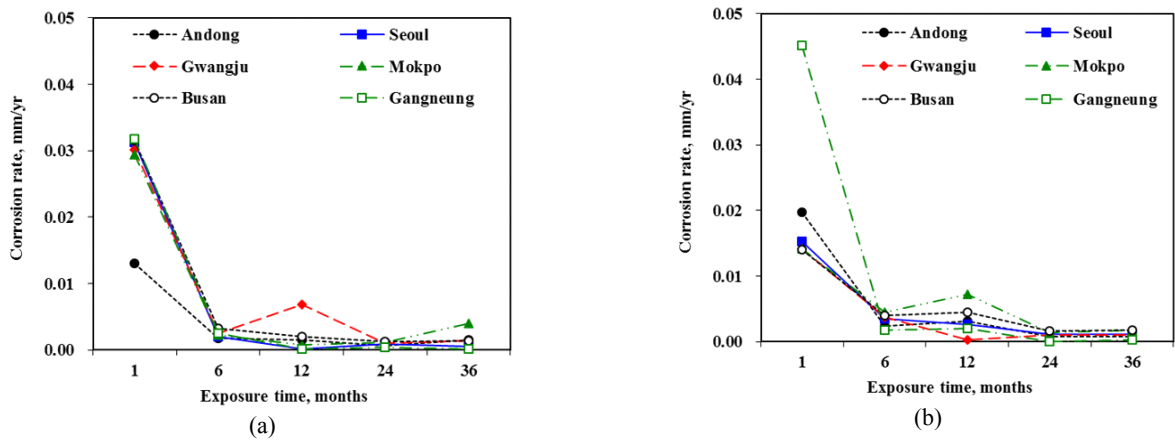


Fig. 1 Corrosion rate of galvanized steels with exposure time; (a) GA, (b) GI.

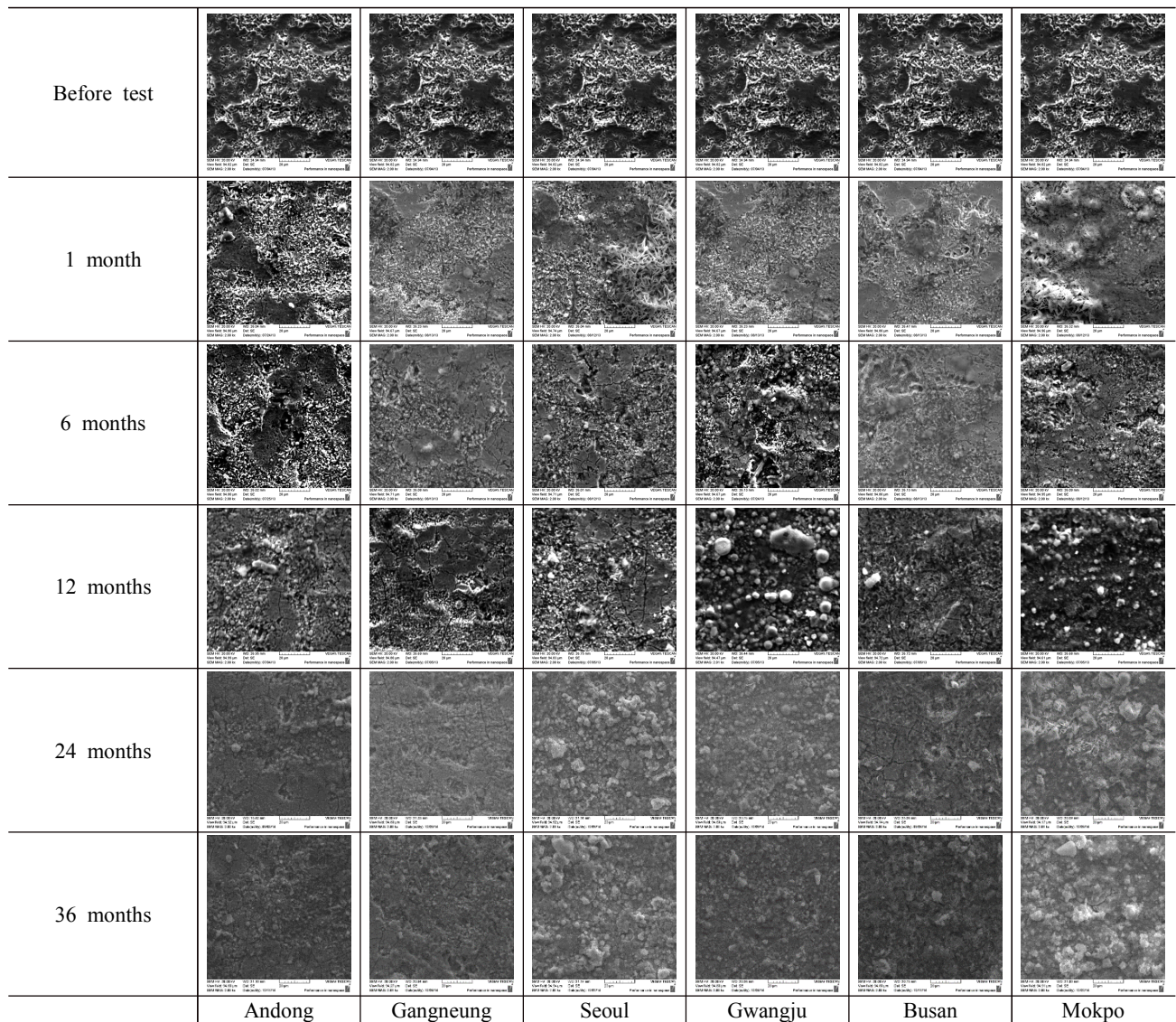


Fig. 2 Surface morphologies of GA specimens by SEM (x 2000) before and after outdoor exposure test in 6 sites.

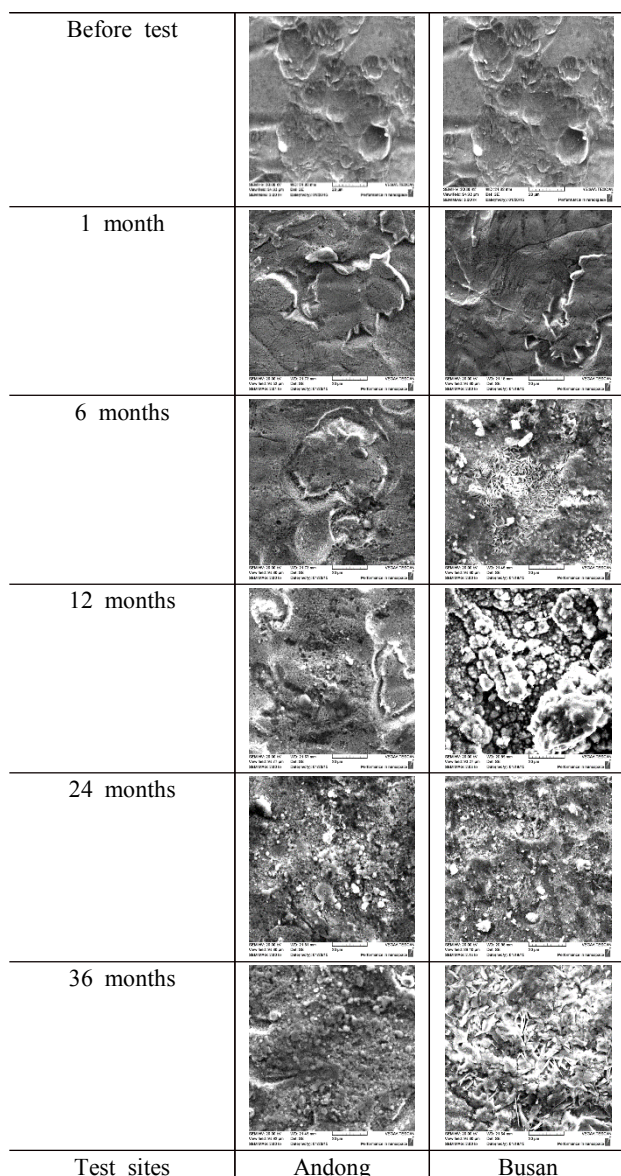


Fig. 3 Surface morphologies of GI specimens by SEM (x2000) before and after outdoor exposure test in 6 sites.

2.3 표면분석

표면 분석에 사용한 장비는 SEM-EDS (VEGA IILMU, Tescan)이며, 옥외폭로 시험 전 후 표면형상의 변화, 표면 부식생성물 및 표면조성의 변화를 관찰하였다. 또한 XRD (Ultima IV, Rigaku)를 이용하여 표면에 형성되는 부식생성물의 구조를 분석하였다.

2.4 단면 분석

단면 분석은 분석용 시편을 저속절단기로 절단한 후 마운팅으로 단면의 부위를 고정시켰다. SiC 연마지를 이용하여 #200에서 #2000까지 연마를 한 후 다이아몬드 페이스트

를 이용하여 경면 연마 하였다. 이 후 SEM-EDS를 사용하여 표면형상의 변화 및 면분석을 통해 단면 도금층의 변화를 관찰하였다.

2.5 부착염 농도 시험

부착염 농도 시험은 KS D 0060 규격에 [26] 따라 수행하였다. 설치 장소는 안동, 서울, 광주, 목포, 4개 지역에 옥외폭로 시험과 같은 위치에 설치하였다. 부착염 농도 측정 방법은 거즈법(Dry gauze)으로 일정 면적의 거즈를 두 겹으로 겹치고, 비로부터 차단된 보호집(shelter)내에서 대기 중에 일정 기간 노출 시켜 분석하는 방법이다. 1년 동안 노출 후 거즈를 잘게 절단한 후 규격에 따라 시험 용액을 제조하여 I.C.(Ion chromatography) 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 지역별 옥외폭로시간에 따른 부식속도의 변화

지역별 옥외폭로시간에 따른 부식속도를 Fig. 1에 나타냈으며 Fig. 1a는 GA시편, Fig. 1b는 GI시편에 대한 것이다. GA시편의 경우, 노출 1개월에서 안동지역이 비교적 낮은 부식속도를 보였고, 다른 지역의 경우에는 약 0.03 mm/yr의 부식속도로 유사한 값을 보였다. 노출 6개월부터 부식속도가 급격히 낮아졌으며 폭로지역에 상관없이 유사한 부식속도를 나타냈다. 노출 12개월에서는 광주지역, 36개월에서는 목포지역이 다른 지역에 비해 큰 부식속도를 보였다. GI시편은 노출 1개월에서 강릉지역의 부식속도가 가장 높게 나타났으며 GA시편과 마찬가지로 폭로 6개월 이후부터 부식속도가 감소하는 경향을 보였다. 12개월에서는 목포지역이 큰 부식속도를 보였으며 12개월 이후에는 지역에 상관없이 낮은 부식속도를 보였다.

옥외폭로 초기에는 GA시편이 GI시편보다 대체로 큰 부식속도를 보이거나 폭로 6개월 이후에서는 GI시편이 GA시편보다 큰 부식속도를 보인다. 또한 폭로 36개월에서는 두 강종이 유사한 부식속도를 나타냈다.

3.2 지역별 옥외폭로시간에 따른 표면 변화

각 지역별 옥외폭로시간에 따른 표면 변화를 관찰하기 위해 SEM을 이용하여 GA 및 GI 시편을 분석하였다. GA시편은 전원, 도시, 해안지역을 총 6개 지역을 분석하였으며, GI 시편은 전원지역인 안동, 해안지역인 부산지역을 분석하였다.

Fig. 2는 옥외폭로시간에 따른 지역별 GA시편 표면 형상이다. 안동지역의 표면형상을 보면 노출 6개월까지는 노출 전 시편과 큰 차이는 보이지 않았으나, 노출 12개월부터 표면에 갈라짐이 발생하였고 부식생성물이 형성되는 것을 알 수 있다. 24개월 이후에는 부식생성물들의 크기가 커지

며 넓은 범위에 걸쳐 분포되는 것을 확인하였다. 강릉지역도 안동지역과 마찬가지로 노출시간이 증가함에 따라서 갈라짐의 발생과 부식생성물이 부착되는 것을 확인하였다. 서울지역의 경우에는 노출초기에 가시모양의 형상이 관찰되었으며 노출시간이 증가함에 따라 갈라짐이 발생하고 노출 12개월 이후부터 비교적 크기가 큰 부식생성물들이 형성된 것을 확인하였다. 광주지역은 노출 초기에는 폭로 전 시편과 큰 차이는 보이지 않았으나, 노출 12개월이후부터 등근 형태의 부식생성물이 나타났으며 노출 시간이 증가함에 따라서 고르게 분포되는 것으로 나타났다. 부산지역은 노출시

간에 따라서 특이한 거동은 보이지 않았으며, 목포지역의 경우 노출 초기에서부터 36개월까지 가시모양의 부식생성물이 나타났다.

지역별 옥외폭로시간에 따른 GI시편의 표면 형상은 Fig. 3에 나타냈다. GI시편의 경우, 전원지역인 안동지역과 해안지역인 부산지역 시편에 대해서 분석을 진행하였다. 전원지역인 안동에 비해서 해안지역인 부산 시편에서 부식생성물의 양이나, 부식된 정도가 더욱 심하게 나타났으며 가시형태의 부식생성물이 형성된 것을 알 수 있다.

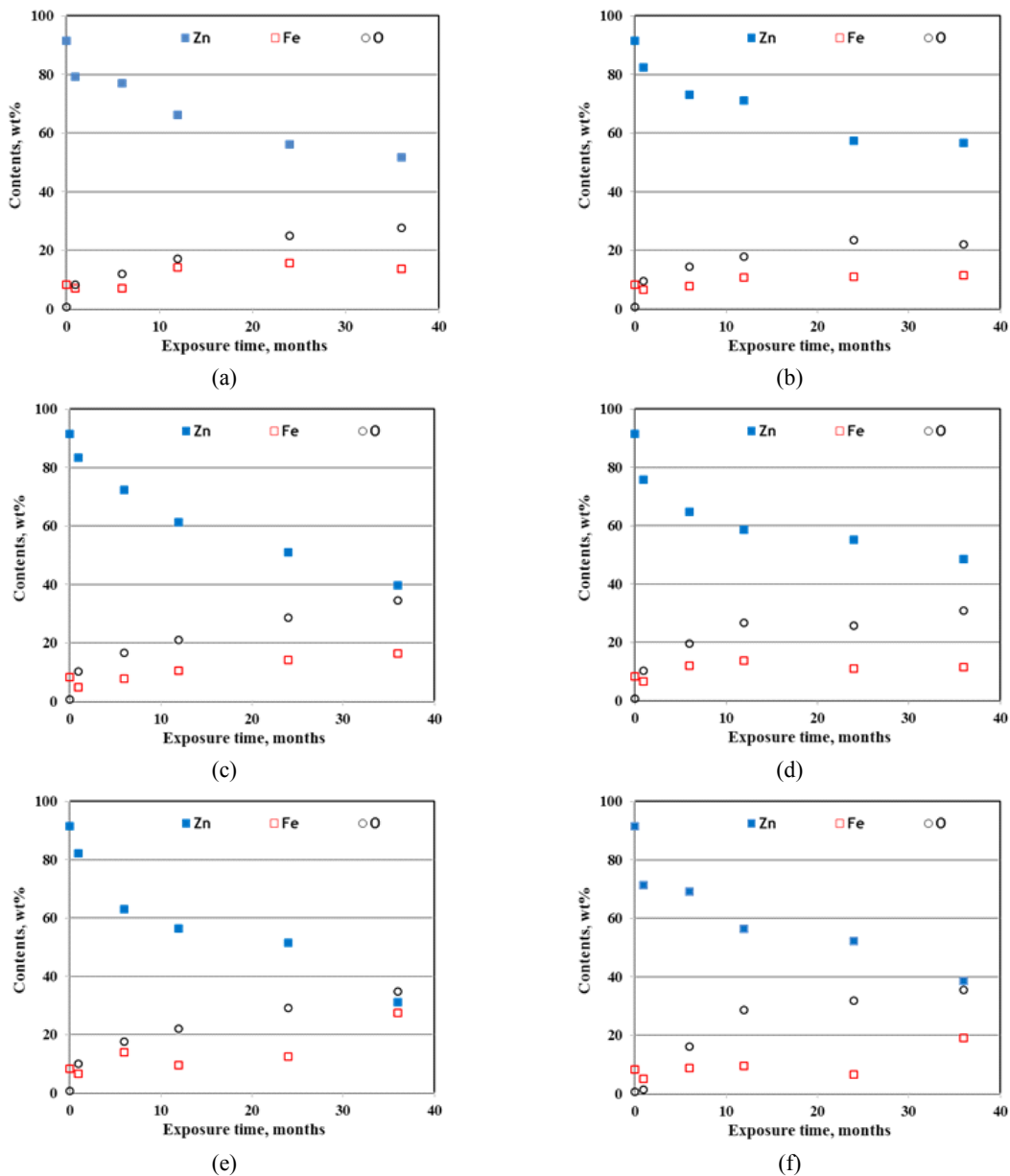


Fig. 4 Effect of exposure time on the variation of constituents and composition on the surface of GA specimens in Figure 2 by EDS; (a) Andong, (b) Gangneung, (c) Seoul, (d) Gwangju, (e) Busan, (f) Mokpo.

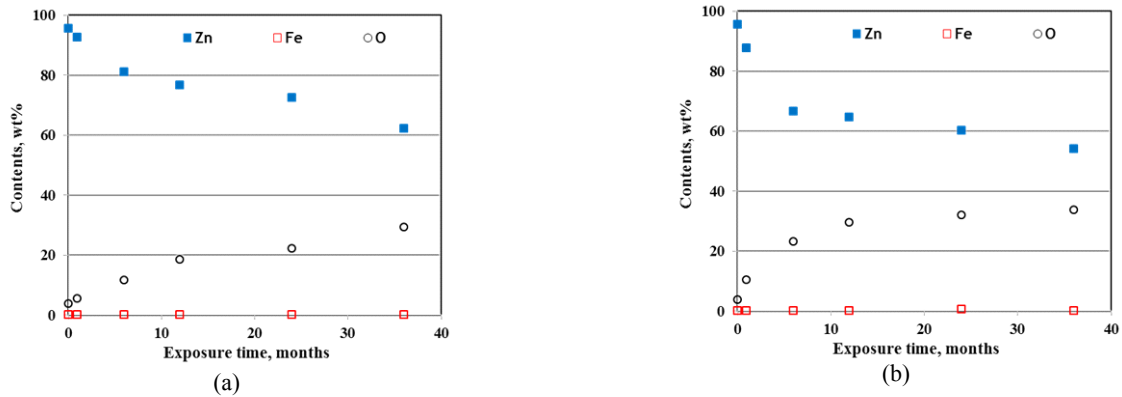


Fig. 5 Effect of exposure time on the variation of constituents and composition on the surface of GI specimens in Figure 3 by EDS; (a) Andong, (b) Busan.

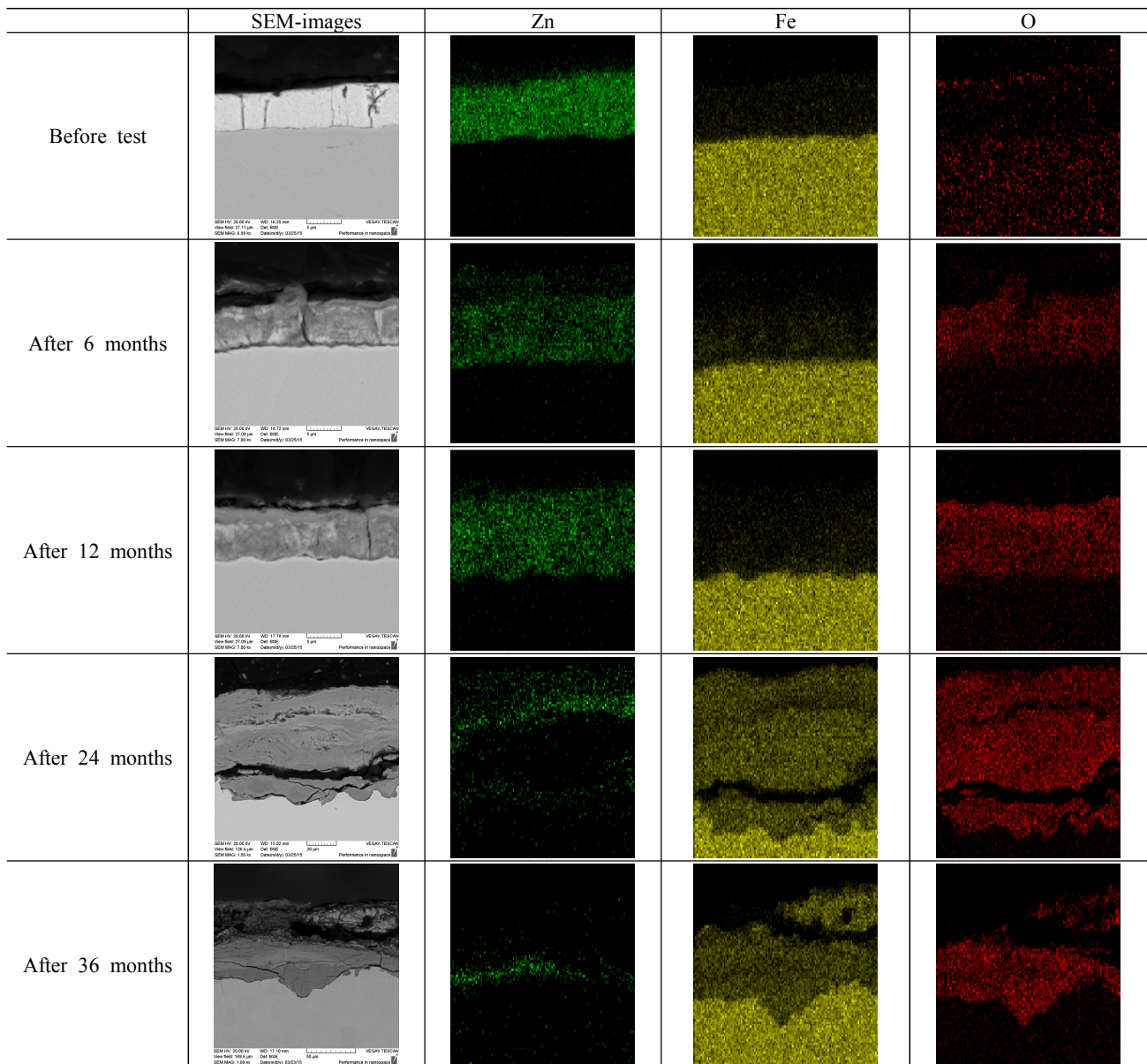


Fig. 6 Cross section and elemental distribution by SEM-EDS of galvanized steel - GA.

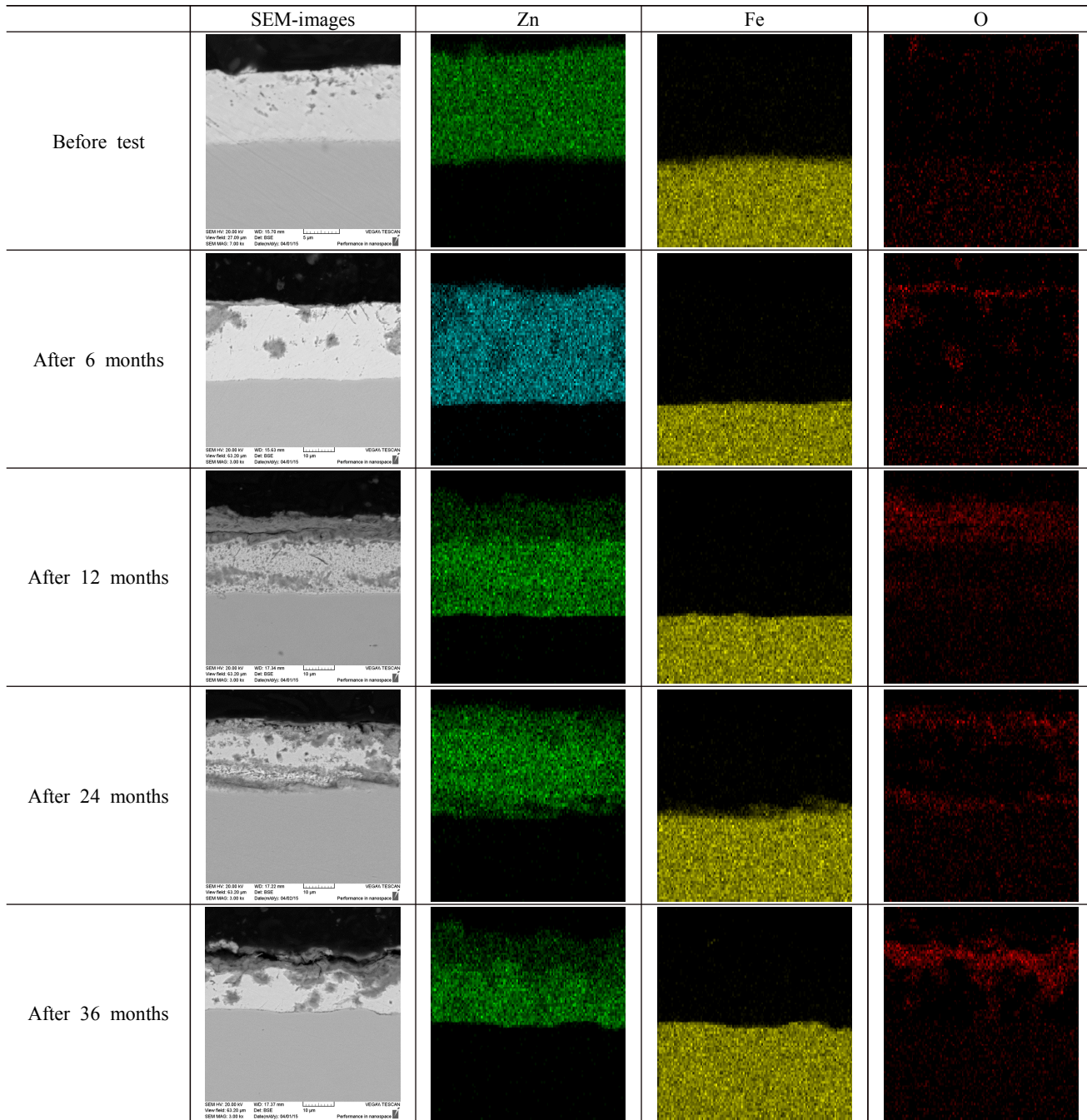


Fig. 7 Cross section and elemental distribution by SEM-EDS of galvanized steel - GI.

3.3 지역별 옥외폭로시간에 따른 표면 성분 변화

옥외폭로시간에 따른 표면 성분 변화를 SEM-EDS를 통해 주요성분에 대해서 분석하였다. Fig. 4는 GA시편의 옥외폭로 시간에 따른 주요성분 변화이다. 옥외폭로 시간이 증가할수록 아연의 함량은 감소하고, 산소와 철의 함량은 증가하는 경향을 보이며, 이러한 경향은 모든 폭로지역에서 동일하게 나타났다. 이는 표면에 존재하는 아연이 부식에

의해 감소하고, 아연이 감소함에 따라 내부의 철-아연 합금층 및 철 소지가 노출됨으로써 철과 아연이 함유된 산화물을 형성하여 철과 산소의 함량이 증가하는 것으로 보인다. 특히 해안지역인 부산과 목포 지역은 폭로시간이 증가함에 따라서 아연의 함량이 급격하게 감소하며 이에 따라 철과 산소 함량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 도시지역인 서울도 마찬가지로 아연의 함량이 폭로 36개월에서는 매우

낮게 나타났다.

GI 시편에 대한 폭로시간에 따른 표면 주요성분은 Fig. 5에 나타내었다. GI 시편은 대표적으로 전원지역인 안동과, 해안지역인 부산에 대해서 분석을 진행하였다. GI 시편은 GA 시편과 마찬가지로 폭로시간이 증가함에 따라서 아연은 감소하고 산소의 함량은 증가하지만 Fe의 함량은 일정하게 매우 낮은 함량을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 아직 철의 소지가 노출되지 않은 것으로 보이며 폭로 시간이 더욱 길어져야 철의 소지가 나타날 것으로 판단된다. 또한, 폭로 지역에 따라 비교해본 결과 해안지역인 부산의 아연함량이 전원지역인 안동보다 낮게 나타났다.

3.4 지역별 옥외폭로시간에 따른 단면성분의 변화

단면 분석으로 해안지역(부산)에 폭로시킨 GA, GI 시편을 사용하였으며 폭로 시간에 따른 단면의 형상변화 및 조성의 변화를 관찰하기 위해 SEM-EDS를 이용하여 Mapping 분석을 진행하였다. 폭로 시간이 길어짐에 따라 단면 도금층의 산화물 및 부식생성물이 변화하는 형상을 관찰하기 위한 EDS 주요 원소로는 아연, 철, 산소로 측정하였다.

Fig. 6은 부산지역에서 폭로한 GA 시편에 대해서 폭로시간에 따른 단면관찰 및 성분 면분석 사진이다. 모재의 경우, SEM 이미지상 도금층에 약간의 균열이 관찰되었으며 도금층의 두께는 약 5 μm로 측정이 되었다. GA 시편의 폭로 시간이 증가함에 따라서 도금층에 산소함량이 증가하는 반면 아연의 함량은 감소하는 것으로 경향을 보였으며 특히, 폭로 24개월 이후부터 아연의 함량은 급격히 감소하고 표면에 산화물들이 많이 생성되어있는 것을 알 수 있다. 폭로 36개월 시편에서는 미량의 아연만 남아 있는 것으로 나타났다. GI시편의 의 경우 Fig. 7에 나타내었는데, GA 시편과는 다르게 도금층 내에 균열이 존재 하지 않았으며, 도금층의 두께가 15 ~ 20 μm로 더 높게 나타났다. 또한, 폭로 시간이 길어질수록 아연 함량이 줄어드는 경향은 비슷하나 그 양이 크지 않았으며 내부의 철 소지는 노출되지 않아 시험전과 큰 차이를 보이지 않았다. 폭로 12개월 이 후 도금층에서는 산소의 양이 점차 증가하는 것으로 보아 표면에 아연 산화물이 형성되는 것으로 보인다.

3.5 지역별 옥외폭로 시간에 따른 표면 부식생성물 구조분석

표면에 형성된 부식생성물을 분석하기 위해 XRD분석을 실시 하였다. XRD분석은 GA, GI, 시편에 대해 수행하였으며, 부식이 가장 많이 발생된 것으로 추정되는 해안지역인 부산지역과 부식이 가장 적게 발생될 것으로 추측되는 전원지역인 안동지역을 모재부터 노출 36개월까지 폭로한 시편에 대해 분석하였다.

Fig. 8은 GA 및 GI 시편을 전원 지역인 안동지역에서 XRD를 통해 노출시간에 따른 부식생성물 분석을 한 것으로

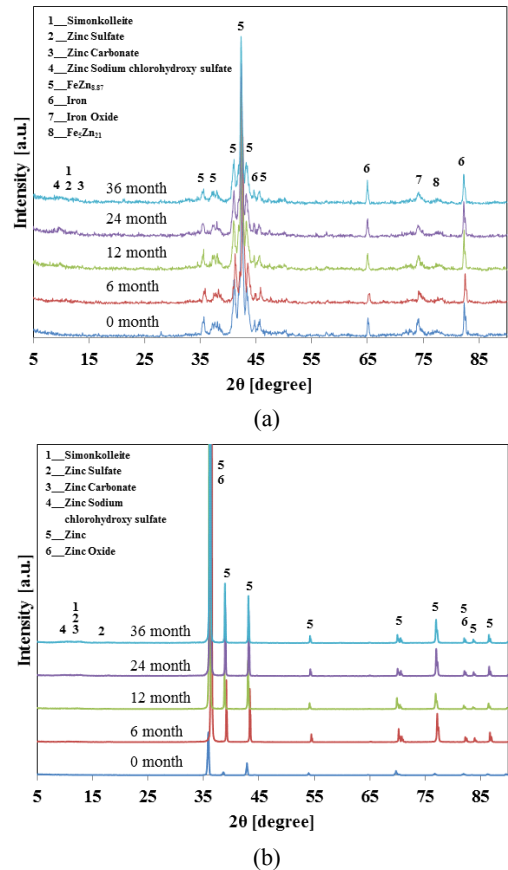
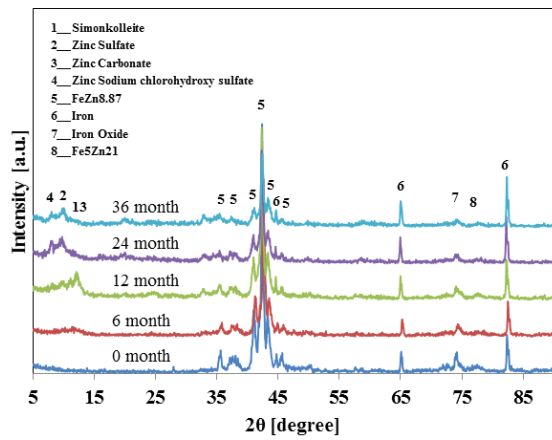


Fig. 8 XRD patterns on the surface corrosion products tested in Andong area; (a) GA, (b) GI.

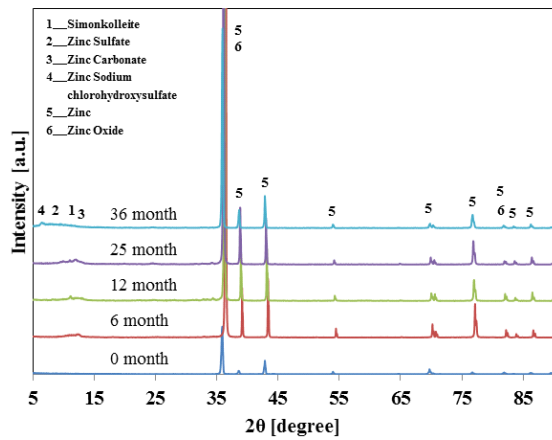
GI 시편에 비해 GA 시편의 피크가 다소 더 큰 경향을 보이며, 모재부터 36개월까지 주요 피크는 GA 및 GI 모두 동일하게 나타났다. 주요 피크로 나타난 Zinc Oxide는 폭로 시간이 길어질수록 피크의 크기가 점차 증가하는 경향을 보이며 Fig. 9는 GA 및 GI 시편의 해안지역인 부산지역에서 폭로 노출 시간에 따른 부식생성물과 아연도강에서 나타나는 주요 피크를 나타낸 것으로 GI 시편에 비해 GA 시편에서 얻어진 피크가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 해안지역에서 GA시편과 같은 경우 폭로 시간이 길어짐에 따라 Zinc Oxide는 증가하는 경향을 보이며 GI시편에서는 GA시편에 비해 다소 적게 검출되는 것을 알 수 있다. 해안지역에서는 GA 및 GI 표면상에서 주요 부식생성물로 Simonkolleite, Zinc Hydroxysulphate, Sodium chlorohydroxy sulfate 물질이 주로 검출되었으며 폭로 시간이 길어짐에 따라 Zinc Sodium chlorohydroxy sulfate가 다소 증가하는 경향을 보인다.

3.6 지역별 환경인자에 따른 부식속도

지역별 환경인자를 분석하기 위해 부착염 농도 시험을



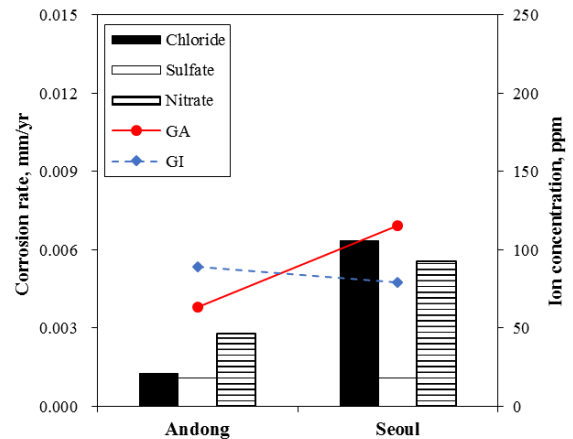
(a)



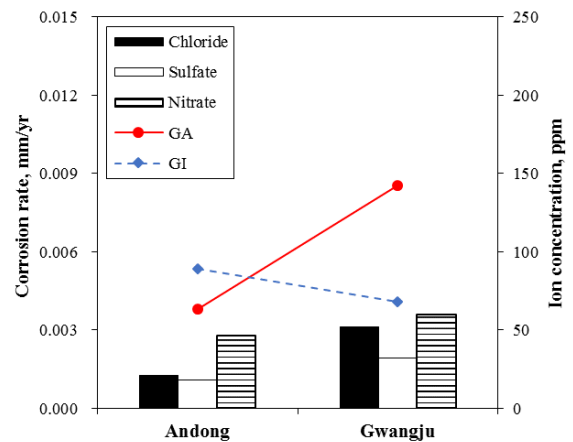
(b)

Fig. 9 XRD patterns on the surface corrosion products tested in Busan area; (a) GA, (b) GI.

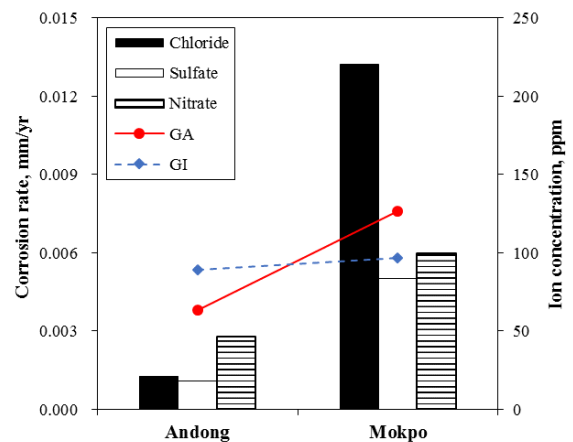
진행하여 분석하였다. 분석지역은 안동, 서울, 광주, 목포 지역이며, 3가지 부착염(Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)에 대해서 분석하였다. Table 1은 지역별 부착염의 농도를 나타내었다. 전원지역인 안동은 전체적으로 낮은 양의 부착염을 보이고 있으며, 광주, 서울, 목포 순으로 높은 부착염 농도를 보이고 있다. 특히 해안지역인 목포의 경우 Cl^- 의 양이 매우 크게 나타났다. 부착염 농도에 따른 부식속도를 비교하기 위해 Fig. 10에 환경인자에 따른 지역별 부식속도를 나타내었다. 부식속도는 36개월의 평균 부식속도이며 부착염 농도는 12개월동안 노출하여 얻은 데이터이다. 부착염 농도가 가장 낮게 측정된 안동을 기준으로 각각의 지역을 비교 분석하였다. GA의 경우 부착염의 농도가 증가함에 따라서 부식속도 또한 증가하는 경향을 보이나, GI의 경우 부착염 농도와 관계없이 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 6과 Fig. 7에 언급한 바와 같이 GA는 표면에 존재하는 아연 도금층이 폭로 시간이 증가함에 따라서 철-아연 합금층 및 소지인 철이 노출되어 부착염이 더욱 부식을 가속시키는데



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 Relationship between corrosion rate of galvanized steels and deposited-salts concentration; (a) Andong-Seoul, (b) Andong-Gwangju, (c) Andong-Mokpo.

반해, GI의 경우는 폭로 시간이 증가함에도 불구하고 아연 도금층이 건전하여 아직 소지인 철이 노출되지 않아 부착염 농도와는 관계없이 다른 경향을 보이는 것으로 판단된다.

Table 1 Deposited-salts of outdoor exposure test area (ppm)

	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	Total (ppm)
Andong	21.2	18.0	46.6	85.7
Seoul	106.0	13.1	92.5	216.6
Gwangju	52.1	31.8	59.6	143.5
Mokpo	220.2	85.6	99.6	403.4

4. 결론

본 연구에서는 36개월 국내 옥외폭로시험에 따른 아연도양의 부식거동을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폭로 지역에 상관없이 폭로시간이 길어질수록 부식속도는 감소하는 경향을 보였으며, 폭로 초기에는 GA 시편의 부식속도가 GI 시편보다 컸으나 폭로시간이 길어질수록 GA시편과 GI 시편이 서로 유사한 부식속도를 보이는 것으로 나타났다.

2) 폭로지역에 관계없이 폭로시간이 증가할수록 GA시편 표면에서 검출되는 아연의 함량이 감소하며 철 및 산소는 증가하는 경향을 보였다. 한편, GI시편의 경우 아연의 함량은 감소하고 산소는 증가하지만 철의 함량이 일정하게 나타나는 것으로 보아 GI 시편은 36개월 이상 옥외에 노출되어야 소지인 철이 드러날 것으로 추정된다.

3) 전원 및 해안지역에 폭로한 시편의 표면에 Simonkolleite, Zinc Hydroxysulfate, Zinc Carbonate, sodium chlorhydroxy sulfate 같은 부식생성물이 검출되었으며, 지역과 재질에 관계없이 ZnO 부식생성물이 폭로 시간이 길어질수록 증가하는 경향으로 나타났다.

4) 지역별 환경인자에 따른 부식속도를 분석한 결과, GA 시편은 부착염 농도가 증가함에 따라서 부식속도 또한 증가하는 경향을 보이며, GI 시편은 부착염과 상관없이 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. GA시편은 폭로시간이 증가함에 따라서 아연 도금층이 파괴되어 철-아연 합금층 및 소지인 철이 노출되어 부착염의 영향을 받는 반면GI의 경우에는 폭로 36개월 이상에서도 Zn 도금층이 건전하여 부착염과의 상관성이 부족한 것으로 판단된다.

감사의 글

This work was supported by a grant from the 2017-18 Research funds of Andong National University.

References

1. Economic Effect of Metallic Corrosion in the United States, Appendix B, NBS Special Publication 511-2, SD Stock No. SN-003-003-01926-5 (1978).
2. Report of the Committee on Corrosion Protection - A Survey of Corrosion Protection in the United Kingdom, Chairman T.P. Hoar (1971).
3. Report of the Committee on Corrosion Protection - A Survey of Cost of Corrosion in Japan, Japan Society of Corrosion Engineering and Japan Association of Corrosion Control, Chairman G. Okamoto (1977).
4. H. H. Uhlig, *Corrosion*, **6**, 29 (1952).
5. The Corrosion Science Society of Korea, Standardization of Corrosion and Corrosion Protection Techniques for Industrial Facilities, Ministry of Knowledge Economy (2009).
6. S. T. Kim, B. B. Yim, T. Tsujino, and Y. Maeda, *J. Environ. Sci. Soc.*, **7**, 361 (1998).
7. D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, pp. 356 - 366, Macmillan Publishing Company, London (1992).
8. K. W. Chung and K. B. Kim, *Corros. Sci. Tech.*, **27**, 413 (1998).
9. D. J. Choi, M.S. Thesis, Atmospheric Corrosion Characteristic of Rust Formed on Reinforcement Steels, Yonsei University, Seoul (2006).
10. J. H. Ahn, S. G. Kang, and S. K. Chang, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **31**, 307 (1998).
11. H. Leidheiser, Jr., The Corrosion of Copper, Tin, and Their Alloys, John Whiely, New York (1971).
12. W. H. Vernon, *Trans. Faraday Soc.*, **31**, 1668 (1935).
13. N. A. Lange, *Handbook of Chemistry*, 10th ed., McGraw-Hill, New York (1961).
14. I. Suzuki, *Corros. Eng.*, **30**, 639 (1981).
15. I. Horikawa, Rikanenhyo, p. 265, Maruzen, Japan (1984).
16. RTKB Kenkyukai, Kakushin 97 Report, p. 20 (1968).
17. K. Sekine, and S. Uchikawa, *Reidokozakizutsu*, **31**, 367 (1980).
18. T. Murata, *Corros. Eng.*, **33**, 598 (1984).
19. M. Ohida, *Kokai-to-Taishaku*, **19**, 75 (1983).
20. X. G. Zhang, *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*, p. 157, Cominco Ltd. (1996).
21. R. Satoto, W. S. Subowo, R. Yusiasih, Y. Takane, Y. Watanabe, and T. Hatakeyama, *Polym. Deg. Stab.*, **56**, 275 (1997).

22. F. Severini, R. Gallo, S. Ipsale, E. Nisoli, and M. Pardi, *Polym. Deg. Stab.*, **65**, 329 (1999).
23. M. Scoconi, S. Cimmino and M. Kaci, *Polymer*, **41**, 7969 (2000).
24. F. Severini, R. Gallo, L. Di Landro, M. Pegoraro, L. Brambilla, M. Tommasini, C. Castiglioni, and G. Zerbi, *Polymer*, **42**, 3609 (2001).
25. KS D ISO 9226, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity (2008).
26. KS D 0060, Recommended Practice for Weathering test (2011).