

소석회와 CO₂를 이용한 상수관로의 부식제어(II) - 관종별 부식특성 평가

Corrosion Control in Water Distribution System using Lime and Carbon Dioxide(II) - Evaluation on the Characteristics of Corrosion as a Function of Pipe Material

이두진¹ · 김영일^{2,*} · 송영일³ · 박현아⁴

Lee, Doo-Jin¹ · Kim, Young-II^{2,*} · Song, Young-II³ · Park, Hyun-A⁴

1 한국수자원공사 수자원연구원 상하수도연구소, 2 충남발전연구원 충청남도수질총량관리센터

3 한국수자원공사 황성권관리단, 4 한국동서발전(주) 동해화력발전처

(2008년 1월 29일 접수 ; 2008년 6월10일 채택)

Abstract

The pH & alkalinity adjustment method by lime and carbon dioxide(CO₂) for corrosion control in water distribution system was investigated to evaluate the corrosion characteristics of metal pipes, such as galvanized iron, copper, stainless steel, and carbon steel. When the pH in sand filtered and ozone+GAC treated water was increased with lime and CO₂ from 7.5 to 8.0, the concentration of residual chlorine decreased at higher pH and longer reaction time; the concentration of trihalomethane increased. The corrosion rate of coupons with corrosion control using lime and carbon dioxide was showed much smaller than those without corrosion control using pilot-scale simulated distribution system. The galvanized iron was corroded much faster than carbon steel, copper, and stainless steel. Especially, copper and stainless steel coupons were hardly corroded. The galvanized iron and carbon steel coupons with corrosion control were produced the corrosion products less than those without corrosion control by the results of environmental scanning electron microscope(ESEM) and energy dispersive x-ray spectroscopy(EDS) analyses. The galvanized iron coupon with pH and alkalinity adjustment by lime and carbon dioxide was detected about 30 percent of zinc, when the carbon steel was detected about 30 percent of calcium by calcium carbonate products formation. For the results of X-ray diffraction(XRD) analyses, the goethite(α -FeOOH) was identified as primary corrosion product of galvanized iron without corrosion control, while the Zinc oxide(ZnO) was found on corrosion products of galvanized iron coupon with corrosion control as the results of EDS analyses. However, the carbon steel corrosion products regardless of corrosion control were composed predominantly of maghemite(γ -Fe₂O₃) and hematite(α -Fe₂O₃).

Key words : Corrosion control, Lime, Carbon dioxide(CO₂), metal pipe, Simulated distribution system(SDS), Corrosion products

주 제 어 : 부식제어, 소석회, 이산화탄소, 금속관, 모의관로, 부식생성물

1. 서론

상수관망의 내부부식은 금속관 표면과 물의 접촉에 의한 물리화학적 반응에 의해 이루어지며, 유속, 수온, 관의 종류 및 재질 등과 같은 물리적 인자들과 pH, 알칼리도, 용존산소, 잔류염소, 총용존고형물(TDS), 경도, 염소 및 황산이온 등과 같은 화학적 인자에 영향을 받는다(AWWRF, 1996; Sander et al., 1996; McNeil and Edwards, 2002; Sarin et al., 2002, 2004).

일반적으로 상수관로의 내부부식은 철 성분의 용출에 의한 관 재질의 손상, 관 내부 스케일형성에 의한 통수능 저감, 금속이온과 부식생성물의 용출에 따른 수질저하 및 적수발생과 이로 인한 주민들의 수돗물 불신 등의 문제를 유발시킨다. 상수관로의 내부부식을 방지하는 기법으로는 금속관의 내부를 도복하여 물과의 접촉을 차단하는 적극적인 방법이 있고, 수돗물의 부식성을 저감시키기 위하여 pH, 알칼리도, 경도 등을 조절하여 관 벽에 탄산칼슘(CaCO₃) 피막을 형성시키는 방법과 인산염 혹은 규산염의 부식억제제(corrosion inhibitor)를 투입하여 보호막을 형성시키는 방법 등이 있다. 이 가운데 수질의 부식성을 개선하는 기법은 NaOH, Ca(OH)₂, Na₂CO₃ 등의 알칼리제를 주입하여 pH와 알칼리도를 허용범위까지 상승시켜 금속이온의 용출을 저감시키고 나아가 관 내벽에 CaCO₃ 피막을 형성시키는 공정으로 국내에서도 여러 연구자들에 의해 수행된 바가 있으며, 이미 선진국에서는 널리 적용되고 있는 방법이다(AWWARF, 2000; AWWARF, 2004; 김 등, 2005; 이 등, 2005).

본 연구에서는 150,000m³/d 규모의 실정수장에 소석회와 이산화탄소(carbon dioxide, CO₂)를 이용하여 부식제어 공정을 적용함에 있어 처리수의 수질변화, 관로시스템내에서 잔류염소 감소 및 THM 생성특성을 조사하였으며, 부식제어 전·후 처리수(여과수 및 정수)의 관종별 부식제어 효과를 pilot-scale 모의관로를 대상으로 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 소석회와 CO₂ 주입에 따른 수질변화

소석회와 CO₂ 주입에 따른 여과수의 수질변화를 측정하기 위하여 다양한 소석회 농도 및 pH조건에서 실험을 수행하였다. 모든 실험은 Jar tester (PB900TM Programmable Jar tester, 7790-912, Phipps & Bird, VA, USA)와 2 L의 사각형 Jar(B-KER2, Phipps & Bird, VA, USA)를 이용하였다. 소석회는 정수장 현장에서 사용하는 일반 소석회를 사용하여 1,500 mg/L의 용액을 만들었다. 여과수가 채워진 2 L Jar에 소석회를 투입하여 8, 16, 32 mg/L 농도로 만든 다음, CO₂ 포화수를 주입하여 pH를

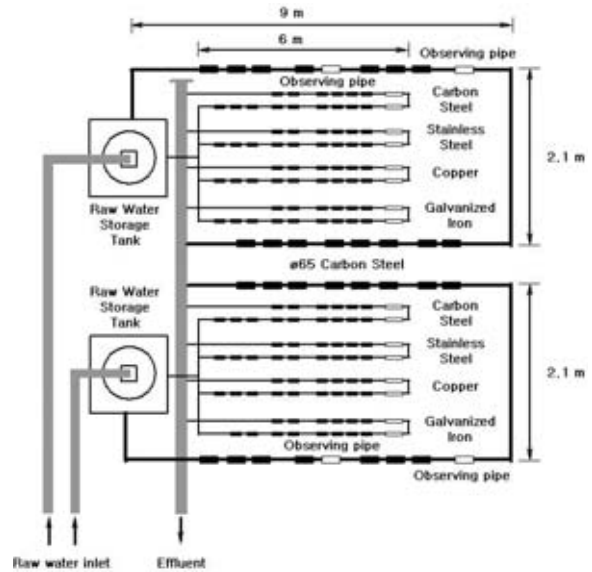


Fig. 1. Schematic diagram of pilot-scale simulated distribution system(SDS).

7, 7.5, 7.8이 되도록 조절하였다. 일정시간동안 40 rpm으로 교반 후 침전시킨 다음 상등수를 채취하여 pH 및 탁도를 포함한 여러 수질인자들의 변화를 측정하였다.

2.2 소석회와 CO₂ 적용에 따른 잔류염소 및 소독부산물 변화

소석회와 CO₂를 이용하여 여과수의 pH를 조절함에 있어 pH 상승에 따른 잔류염소 감소 및 소독부산물의 생성변화를 조사하기 위하여 여과수와 O₃+GAC 처리수를 대상으로 serum bottle test를 실시하였다. 실험은 여과수와 O₃+GAC 처리수에 소석회 16 mg/L와 CO₂를 주입하여 pH를 7.5와 8.0으로 조절한 경우와 소석회만 약간 투입하여 pH를 7.5와 8.0으로 조절한 경우에 대해서 수행하였다. Serum bottle test를 위해 serum bottle(160 mL)과 테프론 코팅이 되어 있는 실리콘 마개(20 mm teflon silicon septa, Wheaton, USA), 그리고 알루미늄 캡(20 mm aluminium seal, Wheaton, USA)을 이용하였다(Hallama et al., 2002). 실험상의 오차를 최소화하기 위하여 실험에 사용한 시료병을 초음파 세척기로 약 1시간 동안 세척을 하고 초순수로 씻은 다음 105°C에서 건조시켰다. 대상시료를 시료병에 가득 채우고 마개를 한 다음, 차아염소산나트륨 농도가 160 mg/L인 stock 용액 1 mL를 각각의 bottle에 넣어 잔류염소 농도가 1 mg/L가 되도록 하였다. 모든 시료를 20°C incubator에 보관하고 반응시간에 따라 시료를 채취하여 잔류염소 및 THM 농도를 측정하였다. 잔류염소는 시료채취 즉시 Pocket colorimeter(Hach, USA)로 측정하였으며, THM은 시료 내 존재하는 유기물과 염소와의 반응이

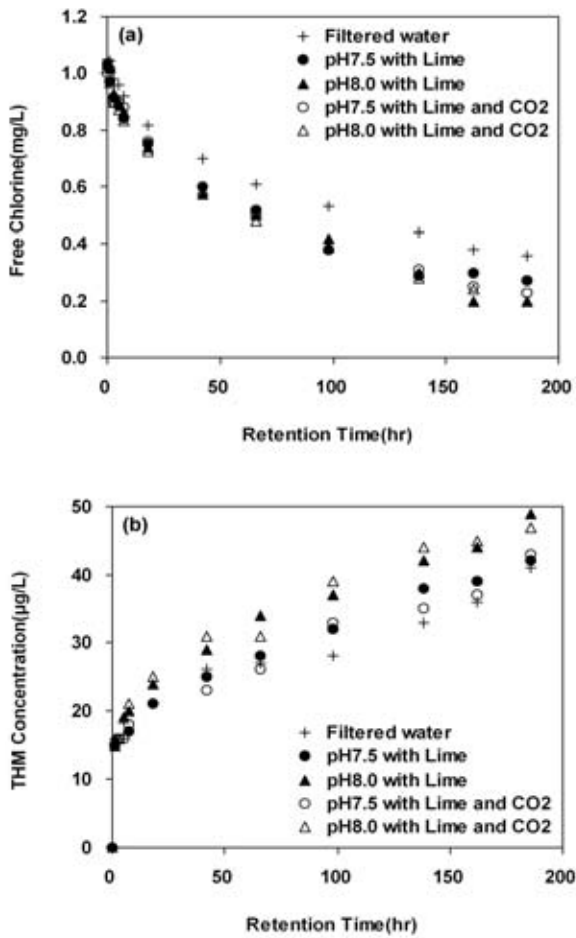


Fig. 2. Variation of free chlorine(a) and THM concentration (b) in filtered water at different pH condition by lime and CO₂.

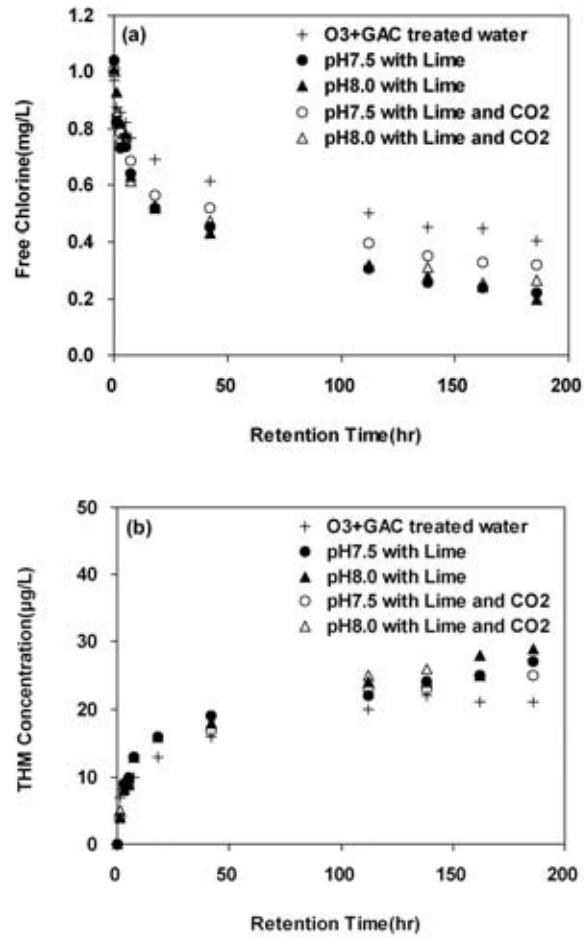


Fig. 3. Variation of free chlorine(a) and THM concentration (b) in O₃+GAC treated water at different pH condition by lime and CO₂.

더 이상 일어나지 않도록 아황산나트륨(sodium sulfite, Na₂SO₃) 일정량을 넣어 분석하기 전까지 냉장고에 보관한 다음 GC/MS(Agilent 6890N GC/5973N MSD)를 이용하여 분석하였다(APHA, 1998).

2.3 정수장 실공정의 부식제어 효과평가

소석회와 CO₂를 이용하여 정수장 실공정의 부식제어를 수행하고 있는 S정수장에서는 시운전 기간을 거쳐 2007년부터 본격적으로 부식제어를 위한 실공정을 가동하고 있으며, 정수 pH를 7.5~7.8, LI값을 -1.0을 목표로 소석회 투입량을 3 mg/L부터 10 mg/L까지 늘려가고 있다. 이와 같이 현재 운영중인 S정수장의 실공정을 대상으로 부식제어 공정을 운영하기 전인 2006년(1~12월)과 본격적인 가동을 시작한 2007년(1~9월)의 원수, 여과수, 그리고 정수의 pH와 알칼리도의 변화 등을 분석하여 부식제어 효과를 간접적으로 평가하였다.

2.4 Pilot-scale 모의관로를 이용한 부식제어 효과평가

본 연구에 사용된 pilot-scale 모의관로(simulated distribution system, SDS)를 Fig. 1에 나타내었다. 모의관로는 정수장 현장에서 부식제어를 위해 수질조절(소석회+CO₂)을 한 처리수가 유입되는 관로와 수질조절을 하지 않은 정수장 여과수가 직접 유입되는 총 2세트의 관로로 이루어져 있으며, 각각의 세트는 관로시스템을 모사하기 위한 65 mm 강관, 20 mm의 아연도강관(galvanized iron), 동관(copper), 스테인리스관(stainless steel, STS 304), 그리고 강관(carbon steel)으로 구성되어 있다. 각 관로 내 유체 흐름은 자연 유하식으로 설계하였으며, 직경이 큰 65 mm 강관은 9 m길이의 2열, 20 mm관은 6 m 길이의 2단으로 구성하였다. 특히, 모든 관에는 대상 관종과 동일한 재질로 단관 15개를 설치하였으며, 각 단관 안에 시편(12×77 mm, 두께 1.57 mm)을 3개씩 설치하여 일정기간에 따라 시편관을 채취하여 부식진행정도를 분석하였다. 관종별 시편관의

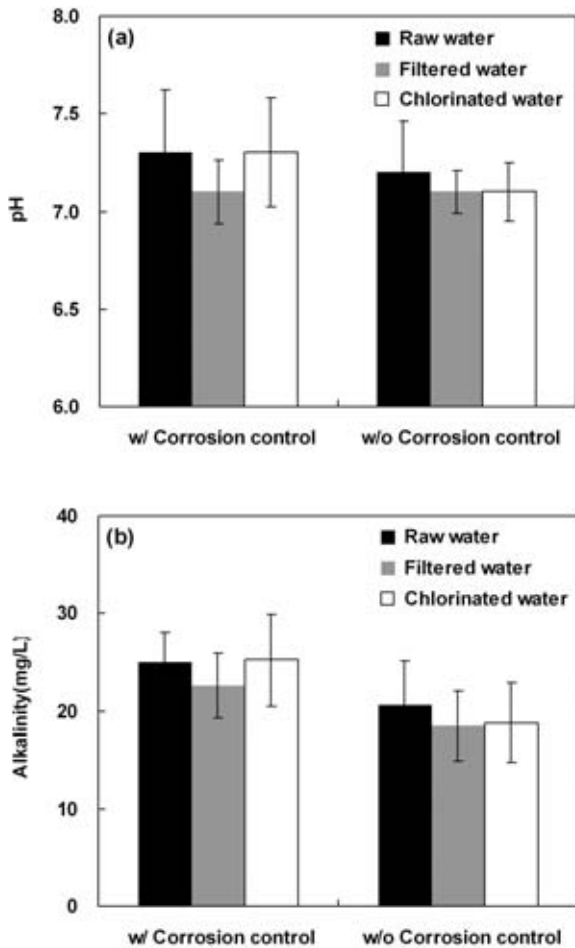


Fig. 4. Variation of pH(a) and alkalinity(b) in raw, filtered, and chlorinated water with or without corrosion.

부식도를 측정하기 위하여 시편의 표면에 부착된 부식생성물 및 스케일을 ASTM(G-31)에 제시된 방법으로 세정하고 아세톤으로 5분간 초음파 세척한 다음 80℃ drying oven에서 30분간 건조시켰다(ASM, 2004). 건조 후 시편의 무게를 측정하여 무게감량에 따라 시편의 mdd(milligrams per square decimeter per day, mg/dm²/day)를 식 1을 이용하여 계산하였다.

$$\text{부식도} = \frac{[\text{실험전 시편의 무게}(mg) - \text{실험후 시편의 무게}(mg)] \times 1000}{[\text{시편의 표면적}(dm^2) \times \text{실험일수}(day)]} \quad (\text{식1})$$

한편, 시편의 부식진행률 보다 정밀하게 분석하기 위하여 한국기초과학지원연구원(Korea Basic Science Institute, KBSI)에서 보유하고 있는 환경주사전자현미경(environmental scanning electron microscope, ESEM, Leo1455VP, Carl Zeiss Inc., Germany)과 고온 X선 회절분석기(high temperature X-ray diffractometer, HT-XRD, D8 Advance, Bruker, German)를 이용하였다. 먼

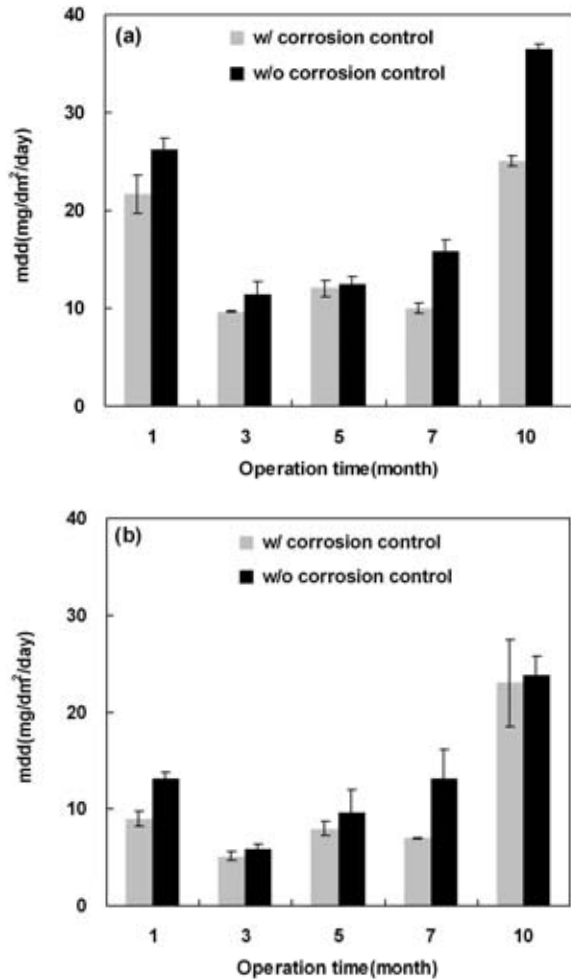


Fig. 5. Variation of mdd as a function of operation time in the tested coupons with(a) or without(b) corrosion control by lime and carbon dioxide.

저 ESEM을 이용하여 관종별 시편들의 표면을 관찰하고 부수적으로 장착되어 있는 EDS(energy dispersive x-ray spectroscopy)를 이용하여 시편 표면에 있는 원소들을 검출하여 각 원소들간 분포량을 비교하였으며, HT-XRD를 이용하여 시편 표면에 형성된 부식생성물의 결정구조를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소석회와 CO₂ 주입에 따른 수질변화

Table 1은 소석회와 CO₂ 주입에 따른 부식성 수질의 변화를 요약 정리한 것이다. 소석회 주입량이 증가할수록 소석회와 관련된 모든 수질인자(전기전도도, 알칼리도, 그리고 Ca²⁺ 정도) 값들이 증가하는 경향을 보였다. 이와는 반대로 소석회 주입량이 증가함에 따라 LI지수는 0에 가까워졌는데, 특히, 동일한 소석회 주입량에서 pH가 증가할수록 LI지

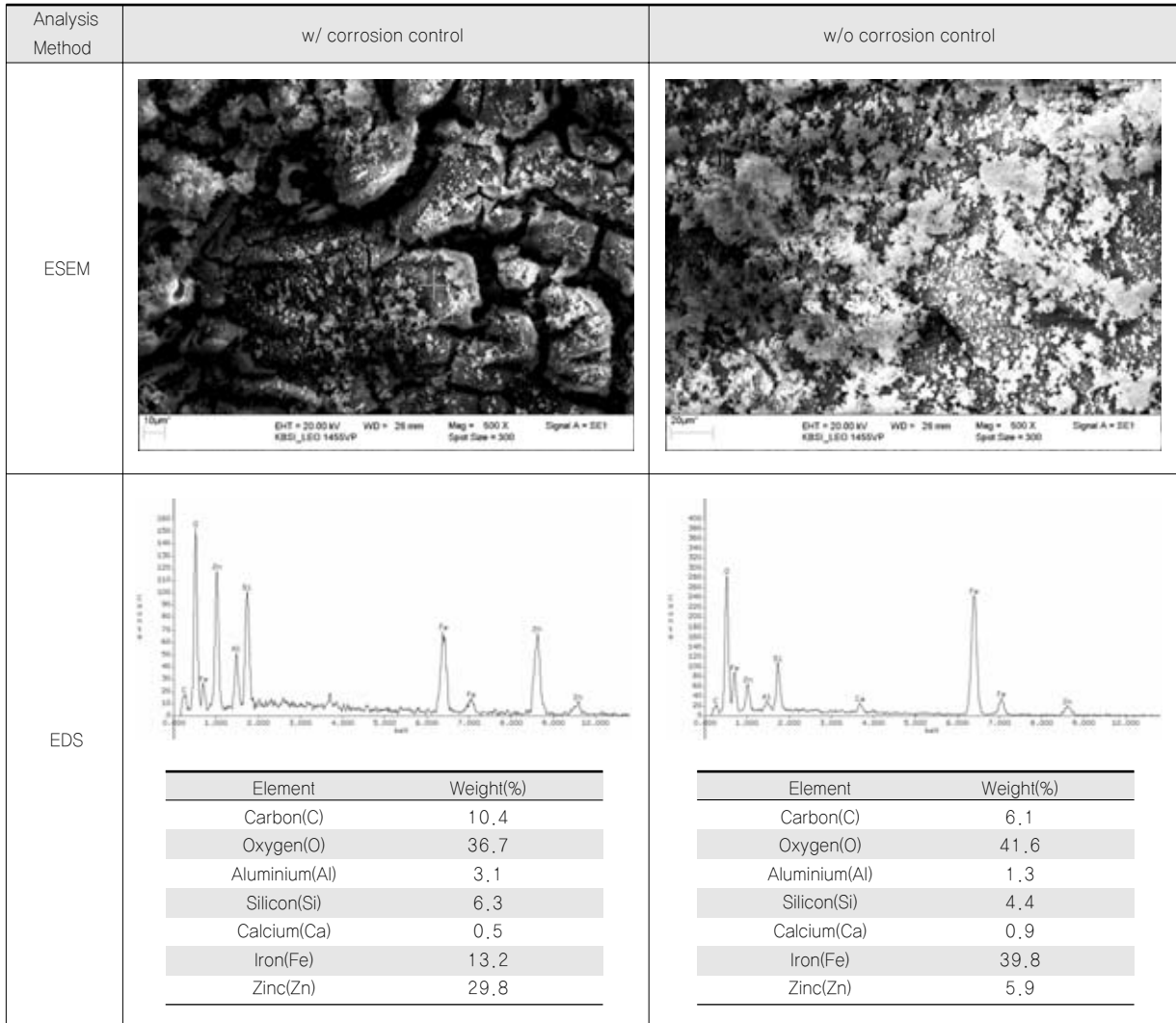


Fig. 6. ESEM image and EDS spectrum of corrosion products on galvanized iron coupons with or without corrosion control after 3 months of operation.

수 값이 0에 가까워지는 경향이 더욱 강하게 나타났다. 그러나 탁도는 소석회 주입량과 pH 변화에 따라 거의 차이를 보이지 않았다. 실험결과, 정수장에서 부식 제어를 위한 목표 LI지수를 -0.5~0으로 설정하는 경우, 소석회 농도를 16 mg/L이상으로 유지하고 CO₂를 주입하여 pH를 7.5~7.8 사이로 유지하는 것이 중요하며, 이와 같이 조절할 경우 알칼리도와 칼슘경도는 각각 35 및 45 mg/L이상으로 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.2 소석회와 CO₂ 적용에 따른 잔류염소 및 소독 부산물 변화

Fig. 2는 여과수를 대상으로 소석회와 CO₂를 이용하여 pH를 조절한 경우 잔류염소 및 소독부산물 변화를 나타낸 결과이다. Fig. 2(a)는 잔류염소 농도의 변화를 나타낸 결과

Table 1. Variation of water quality parameters in the filtered water with lime and CO₂.

Item / Sample	Temp (°C)	pH	Turbidity (NTU)	Conductivity (µmhos/cm)	Alkalinity (mg/L)	Ca ²⁺ hardness (mg/L)	LI index
Filtered water	19.8	6.7	0.05	93.8	14.9	26	-1.99
Lime 8 mg/L	21.4	7.8	0.07	110.4	25.5	37	-0.58
		7.5	0.07	105.8	25.8		-0.82
		7.0	0.07	108.8	25.9		-1.05
Lime 16 mg/L	22.9	7.8	0.07	128.5	35.6	47	-0.25
		7.5	0.07	130.8	35.5		-0.45
		7.0	0.07	131.8	35.8		-0.78
Lime 32 mg/L	22.3	7.8	0.07	157.9	45.9	57	-0.05
		7.5	0.07	158.1	46.0		-0.24
		7.0	0.07	158.4	45.7		-0.75

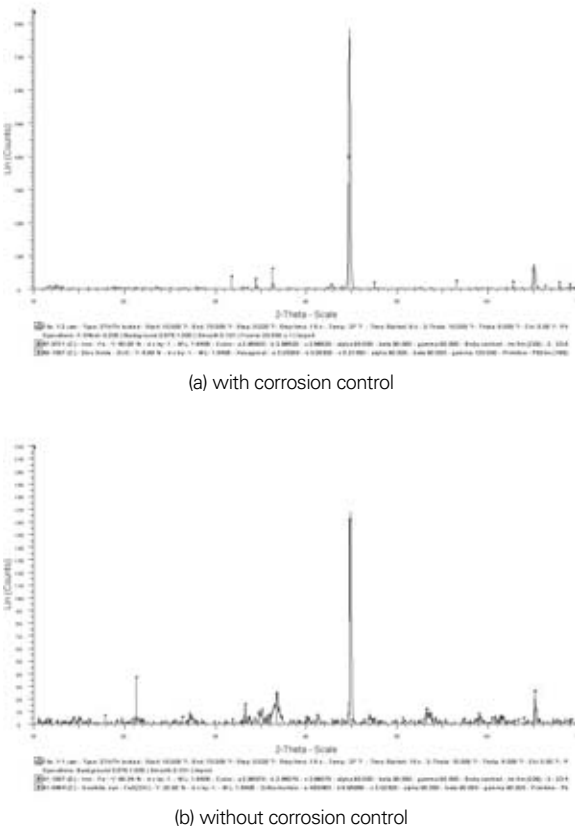


Fig. 7. XRD of corrosion products on galvanized iron coupons with(a) or without(b) corrosion control after 3 months of operation.

로 기존 여과수에 비해 소석회 또는 소석회와 CO₂를 이용하여 수질 조절한 처리수에서는 pH가 높고 반응시간이 길어짐에 따라 잔류염소 농도가 낮아졌다. 특히, 체류시간 100시간까지는 여과수를 제외한 모든 시료에서는 거의 유사한 잔류염소 농도 값을 보였으나, 100시간 이후에는 pH가 증가함에 따라 잔류염소가 더 빠르게 소모되었다. 한편, THM 농도변화를 나타낸 Fig. 2(b)의 경우에는 잔류염소 결과와는 달리 반응 초기부터 pH에 따라 THM 생성농도에 차이를 보였다. pH가 상승할수록 THM 생성이 더 증가하는 경향을 보였는데, 이는 이전의 연구에서도 입증된 바가 있다(Rook, 1976). Trussell과 Umphres(1978)도 잔류염소가 제거된 후에 pH를 8.0 이상으로 올리는 경우에도 THM이 생성됨을 보고하기도 하였다.

Fig. 3은 O₃+GAC 처리수를 대상으로 Fig. 2에서와 동일한 실험을 수행한 결과이다. Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 O₃+GAC 처리수가 염소소모량이 가장 적었으며, 반응시간 100시간 이후에는 증가폭이 완만한 경향을 보였다. 소석회 또는 소석회와 CO₂를 이용하여 pH를 조절한 경우 pH가 증가함에 따라 잔류염소가 더 많이 소모되는 경향을 보였으며, 소석회만을 이용하여 수질조절을 한 경우가 소석회와 CO₂

를 이용한 경우보다 잔류염소가 더 낮았다. Fig. 3(b)는 THM 변화를 나타낸 결과로 반응시간이 증가함에 따라 THM 농도가 증가하였으나, 여과수 결과와는 달리 pH변화에 따른 차이가 크지 않았다. 특히, O₃+GAC 처리수의 THM 생성농도가 여과수를 대상으로 수행한 결과의 50% 정도의 값을 보였는데, 이는 pH 변화보다는 대상원수에 존재하는 유기물이 THM 생성에 더 크게 영향을 미쳤기 때문으로 사료된다(이 등, 2007).

3.3 정수장 실공정의 부식제어 효과평가

Fig. 4는 대상정수장의 원수, 여과수 및 정수의 평균 pH와 알칼리도 변화를 부식제어 실공정 운전 전후로 나누어 비교한 결과이다. 부식제어 공정을 가동하기 전에는 응집/침전/여과 공정을 거친 여과수와 정수의 pH가 원수에 비해 약 0.1정도 낮아졌으며, 여과수와 정수는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 반면, 부식제어 공정 가동하는동안 여과수의 pH가 원수에 비해 0.2정도 낮아졌지만, 소석회와 CO₂를 주입한 최종처리수의 pH는 원수와 같은 값으로 회복되었으며, 알칼리도의 경우에도 pH와 유사한 경향을 보였다.

3.4 Pilot-scale 모의관로를 이용한 부식제어 효과평가

Fig. 5는 실공정에서 부식제어를 위해 수질조절을 한 정수와 수질조절을 하지 않은 여과수가 유입된 모의관로 중 아연도 강관과 탄소강 시편의 부식도를 측정된 결과이다. 소석회와 CO₂를 이용하여 수질조절을 한 시편의 부식도가 운전 기간에 관계없이 낮았으며, 아연도강관은 평균 20.9%(3.2~36.7%), 강관은 평균 22.5%(3.4~47.0%)정도 부식속도가 낮아지는 효과를 보였다. 운전초기 부식속도가 높았고, 3~7개월 사이에는 상대적으로 낮았는데, 이는 부식 진행이 초기에는 빠르게 진행되고 시간이 경과함에 따라 표면에 부식생성물이 피막을 형성하게 되어 부식속도를 늦추는 효과가 있기 때문이다(Sarin et al., 2001). 운전 7개월 이후 다시 부식도가 급격히 증가하였는데 이는 여름철(7월경) 수온이 평균 21°C 정도까지 상승함에 따라 부식속도가 증가하였기 때문이다(McNeil and Edwards, 2002). 관종별로는 아연도 강관이 가장 빠르게 부식이 진행되었고 다음으로 강관, 동관, 스테인리스관의 순이었으며, 특히, 동관 및 스테인리스관의 경우에는 부식도 값이 음의 값을 나타낸 경우도 있어 부식이 거의 진행되지 않은 것으로 판단하여 본 연구의 결과에서는 제외하였다.

Fig. 6~9는 총 300일간의 운전기간 중 90일이 되는 시점에서 실험에 사용한 시편 중 아연도 강관과 탄소강을 대상으로 ESEM, EDS 그리고 XRD 분석결과이다. 아연도 강관과 탄소강 모두 ESEM을 이용한 사진결과를 살펴보면(Fig. 6,

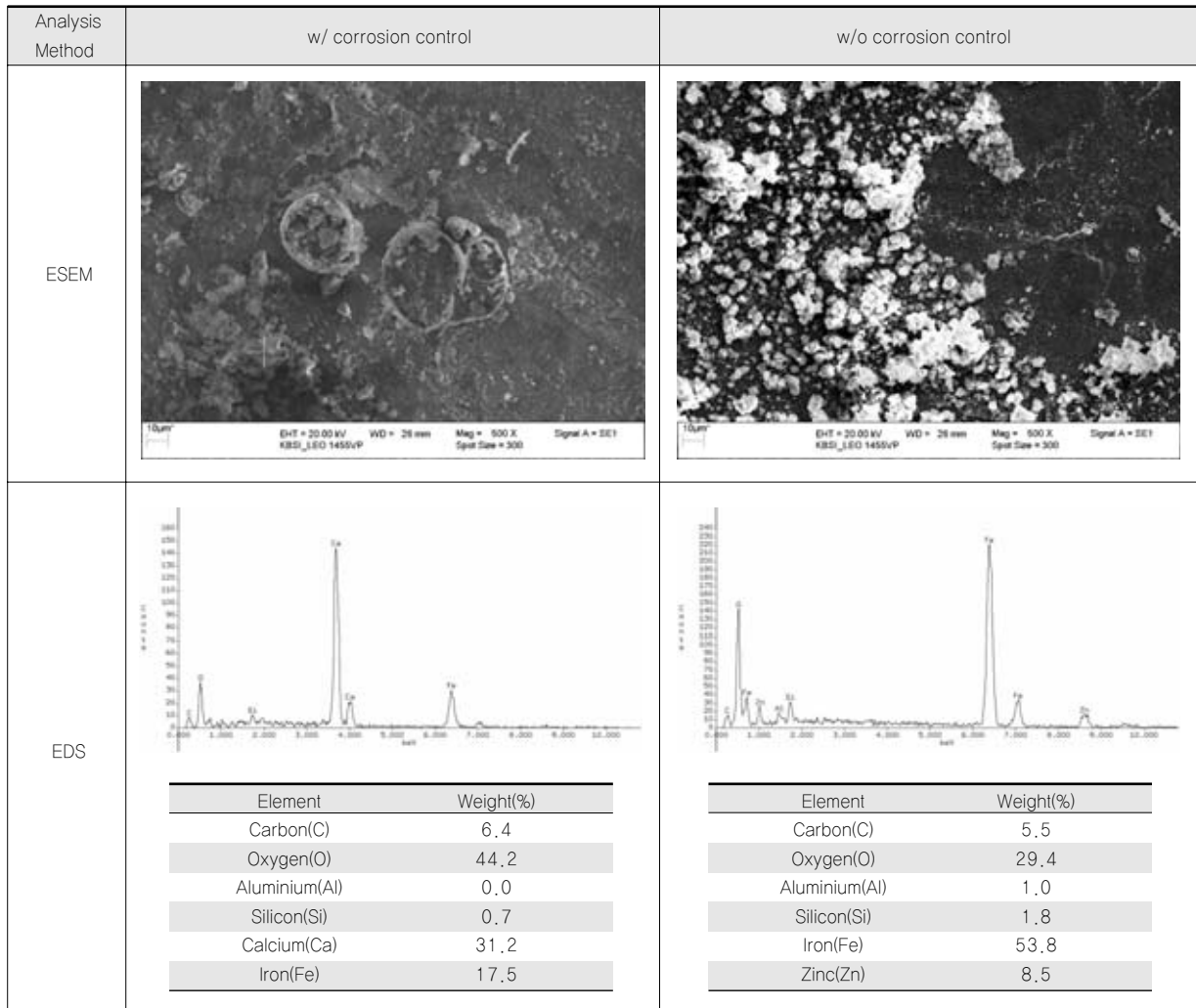


Fig. 8. ESEM image and EDS spectrum of corrosion products on carbon steel coupons with or without corrosion control after 3 months of operation.

8 참조), 수질조절을 수행한 시편이 그렇지 않은 시편에 비해 육안으로도 부식생성물(녹)이 적게 생성되어 있음을 알 수 있었다. EDS 분석결과에 의하면(Fig. 6 참조), 아연도 강관의 경우 수질조절을 하지 않은 시편에서는 아연성분이 검출된 원소 중에서 약 6%정도 차지한 반면, 수질조절을 한 시편에서는 아연성분이 약 30%를 차지하는 것으로 나타나 소석회와 CO₂를 이용한 pH 및 알칼리도 조절을 통하여 아연이온 용출을 상당부분 억제할 수 있는 것으로 나타났다. Fig. 8에 나타난 탄소강의 경우에는 수질조절을 하지 않은 시편에서는 대부분의 Fe성분이 검출된 반면, 수질조절을 수행한 시편에서는 Ca성분이 약 30% 정도가 검출되어 탄소강 시편관 표면에 탄산칼슘 침전물이 형성되고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 7과 9는 시편에 형성된 부식생성물의 성분 및 구조를 파악하기 위하여 XRD 분석을 수행한 결과이다. 수질조절을

하지 않은 아연도 강관 부식생성물의 주성상은 goethite(α -FeOOH) 이었으며, 수질조절을 수행한 아연도 강관의 경우에는 zinc oxide(ZnO)인 것으로 나타나 EDS 결과와 유사한 결과를 보였다(AWWRF, 1996). 한편, 탄소강의 경우에는 수질조절을 하지 않은 시편에서는 대표적인 산화철인 maghemite(γ -Fe₂O₃), hematite(α -Fe₂O₃)의 형태로 부식생성물이 존재하는 것으로 나타났으며, 수질조절을 수행한 경우에는 maghemite(γ -Fe₂O₃)가 주로 검출되었다(AWWRF, 1996). 전체적으로 운전기간이 짧아 EDS 분석 결과와는 달리 탄산염계 화합물을 확인할 수 없었으나, 향후 지속적인 운전 및 분석을 수행한다면 부식생성물 중에서 탄산염계 화합물도 검출될 것으로 판단된다.

4. 결론

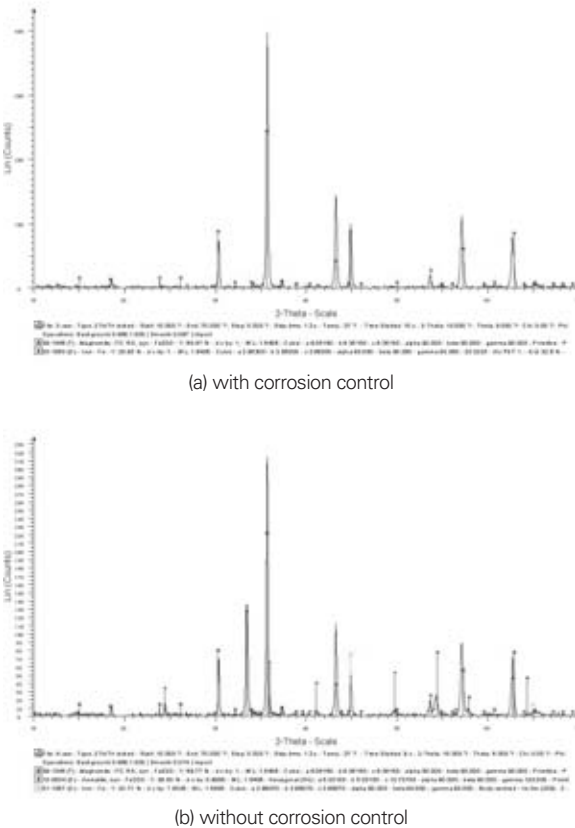


Fig. 9. XRD of corrosion products on carbon steel coupons with(a) or without(b) corrosion control after 3 months of operation.

실정수장을 대상으로 소석회와 CO₂를 주입하여 pH와 알칼리도를 조절함에 따른 부식제어 효과를 pilot-scale 모의관로를 이용하여 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소석회와 CO₂ 주입으로 인해 소석회와 관련된 수질인자인 전기전도도, 알칼리도, 그리고 Ca²⁺ 정도 값들이 증가하는 경향을 보였다. 실공정에서 목표 LI지수를 -0.5~0으로 설정하는 경우, 소석회 농도는 16 mg/L 이상, pH는 7.5~7.8 사이로 유지하는 것이 중요하며, 이로 인해 알칼리도와 칼슘농도는 각각 35 및 45 mg/L 이상으로 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.
2. 여과수와 O₃+GAC 처리수 모두 소석회와 CO₂를 이용하여 pH를 조절한 경우에는 pH가 높고 반응시간이 길어짐에 따라 잔류염소 감소가 컸고 THM 생성농도도 높아지는 경향을 보였다. 다만, pH변화와 상관없이 O₃+GAC 처리수의 THM 생성농도는 여과수의 약 50% 정도 값을 보였는데, 이는 pH 변화보다는 대상원수에 존재하는 유기물이 THM 생성에 더 큰 영향을 미쳤기 때문이다.
3. Pilot-scale 모의관로를 이용하여 부식제어 효과를 평가한 결과, 소석회와 CO₂를 이용하여 수질조절을 한

시편의 부식속도가 운전기간에 관계없이 낮게 나타났다. 관종별로는 아연도 강관시편의 무게감소가 가장 빨랐고 다음으로 강관, 동관, 스테인리스관의 순이었으며, 특히, 동관 및 스테인리스관의 경우에는 부식도 값이 음의 값을 나타낸 경우도 있어 부식이 거의 진행되지 않은 것으로 판단되었다.

4. ESEM과 EDS분석결과 아연도 강관과 탄소강 모두 수질조절을 수행한 시편이 그렇지 않은 시편에 비해 육안으로도 부식생성물(녹)이 적은것으로 관찰되었다. 아연도 강관의 경우 수질조절을 한 시편에서는 아연성분이 약 30% 정도 검출되어 소석회와 CO₂를 이용한 pH 및 알칼리도 조절이 부식제어에 효과가 있었으며, 탄소강의 경우에는 Ca 성분이 약 30% 검출되어 탄산칼슘 침전물이 형성되고 있음을 확인할 수 있었다.
5. XRD 분석결과 수질조절을 하지 않은 아연도 강관 부식생성물의 주성상은 goethite(α -FeOOH) 이었으며, 수질조절을 한 시편에서는 zinc oxide(ZnO)가 검출되어 EDS 결과와 유사한 결과를 보인 반면, 탄소강의 경우에는 별다른 차이 없이 maghemite(γ -Fe₂O₃), hematite(α -Fe₂O₃) 형태의 부식생성물 등이 존재하는 것으로 나타났다.



사사

본 연구는 수처리선진화사업단(환경부 ECO-STAR Project, I2WATERTECH 04-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 시편분석을 위해 환경주사전자현미경(ESEM, Leo1455VP)과 고온 X선 회절분석기(HT-XRD, D8 Advance) 사용기회를 마련해 준 한국기초과학지원연구원(Korea Basic Science Institute, KBSI)에도 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김도환, 이재인, 이지형, 한동엽, 김동윤, 홍순현 (2005) CAPP조절에 따른 모의 상수관로의 부식특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 27(12), pp. 1249~1256.
2. 이두진, 김영일, 박현아, 김성수, 이경혁 (2007) 고도처리공정이 관로 내 잔류염소 감소 및 THM 생성에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 29(4), pp. 419~424.
3. 이재인, 김도환, 이지형, 김동윤, 홍순현, 신판세 (2005)

- 수도관 내부부식방지를 위한 CCPP 조절시 정수공정내에서의 수질변화, *대한환경공학회지*, 27(4), pp. 362-368.
4. 한국수자원공사 (2004) *상수관로 최적 부식제어 기술개발 및 실공정 적용성 평가*, 한국수자원공사.
 5. APHA, AWWA, WEF (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., APHA/AWWA/WEF. Washington DC, USA
 6. ASTM (2004) *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*(G-31), ASTM.
 7. AWWARF (1996) *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, AWWARF and DVGW-TZW cooperative research report, Denver, CO.
 8. AWWARF (2000) *Distribution System Water Quality Changes Following Corrosion Control Strategies*, AWWARF, Denver, CO.
 9. AWWARF (2004) *Optimizing Corrosion Control in Water Distribution Systems*, AWWARF, Denver, CO.
 10. Hallama, N.B., Westa, J.R., Forstera, C.F., Powell, J.C. and Spencer, I. (2002) The Decay of Chlorine associated with the Pipe Wall in Water Distribution Systems, *Wat. Res.*, 36(14), pp. 3479~3488.
 11. Maddison, L.A., Gagnon, G. A. and Eisnor, J. D. (2001) Corrosion Control Strategies for the Halifax Regional Distribution System, *Can. J. Civ. Eng.*, 28(2), pp. 305~313.
 12. McNeill, L.S. and Edwards, M. (2002) The Importance of Temperature in Assessing Iron Pipe Corrosion in Water Distribution Systems, *Environ. Mon. Assess.*, 77(3), pp. 229~242.
 13. Rook, J. J. (1976) Haloforms in Drinking Water, *AWWA*, 68(3), pp. 168~172.
 14. Sander, A, Berghult, B., Broo, A. E., Johansson, E. L. and Hedberg, T. (1996) Iron Corrosion in Drinking Water Distribution Systems-The Effect of pH, Calcium and Hydrogen Carbonate, *Corrosion Science*, 38(3), pp. 443~455.
 15. Sarin, P., Snoeyink, V.L., Clement, J.A. and Kriven, W.M. (2002) Iron Release from Corroded Unlined Cast Iron Pipe: Effect of pH, Alkalinity and Orthophosphates in a Soft New England Water, *AWWA*, 96(11), pp. 85~96.
 16. Sarin, P., Snoeying, V. L., Bebee, J., Kriren, W. M. and Clement, J. A. (2001) Physico - Chemical Characteristics of Corrosion Scales in old Iron of Corrosion Scales in old Iron Pipes, *Wat. Res.*, 35(12), pp. 2961~2969
 17. Sarin, P., Snoeying, V. L., Bebee, J., Jim K. K., Beckett, M. A., Kriven, W. M. and Clement, J. A. (2004) Iron Release from Corroded Iron Pipe in Drinking Water Distribution Systems: Effect of Dissolved Oxygen, *Wat. Res.*, 38(5), pp. 1259~1269.
 18. Trussell RR, Umphres MD. (1978) The Formation of Trihalomethanes, *AWWA*, 70(11), pp. 604~612.