

수도관 부식에 대한 잔류염소 농도 영향 및 부식제어 방안

한 금 석^{1,3,*} · 박 주 현² · 박 영 복¹ · 김 성 재¹ · 김 현 돈¹ · 최 영 준¹ · 최 인 철² · 홍 성 호³

¹서울물연구원, 서울시 광진구 천호대로 716-10

²국립환경과학원, 인천시 서구 환경로 42

³승실대학교, 서울시 동작구 상도로 369

(2017년 12월 22일 접수; 2018년 1월 31일 수정; 2018년 2월 1일 채택)

Effect of Residual Chlorine Concentration on Water Pipe Corrosion and Corrosion Control Plan

Keum-Seok Han^{1,3,*}, Ju-Hyun Park², Young-Bok Park¹, Seong-Jae Kim¹, Hyen-Don Kim¹, Young-June Choi¹, In-cheol Choi², and Seong-Ho Hong³

¹Seoul Water Institute, 716-10, Cheonho-daero, Gwangjin-gu, Seoul, 04981, Korea

²National Institute of Environmental Research, Hwangyong-ro 42, Seogu, Incheon. 22689, Korea

³Soongsil University, 369, Sangdo-ro, Dongjak-gu, Seoul, 06978, Korea

(Received December 22, 2017; Revised January 31, 2018; Accepted February 01, 2018)

Langelier Index (LI) is used as a tap water corrosiveness index. Residual chlorine in tap water induces corrosion inside water pipes. This study takes a deeper look into the effect of residual chlorine in water pipes. Comparison between tap waters of Y and K water treatment plant (WTP) shows that the LI index of K WTP is lower than that of Y. However, the corrosion rate of Y WTP is higher than that of K WTP. This means that the higher the concentration of residual chlorine in tap water, the higher the corrosion rate of pipe materials. When calcium hydroxide was added to tap water, the corrosiveness index was improved and thus the corrosion rate reduced. It is possible to increase the disinfection efficiency by increasing the duration of residual chlorine and suppressing the rust generation of water pipes and to supply minerals. A guideline for corrosion control with residual chlorine should be set up. The effects of residual chlorine should be included in the corrosiveness index of tap water.

Keywords : tap water, corrosion, LI, Chlorine, calcium hydroxide

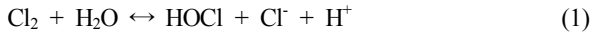
1. 서 론

수도관 부식은 수도관의 파손, 적수현상, 중금속 용출, 지반침하 등 문제의 원인이다. 최근에 수도관 및 하수도관에 의한 지반침하에 따른 싱크홀 문제가 대두되면서 배관 부식에 대한 관심이 커지고 있다. 수도관 부식은 산화환원반응에 의해 철이 부식되는 것으로, 수돗물에 포함된 산화제에 의해 부식속도가 빨라진다. 수돗물에서 주요 산화제는 오존과 염소 등 소독제라고 할 수 있다. 대부분 정수장에서는 소독제 지속성이 길기 때문에 염소 소독제를 주로 사용하고 있다. 수도관 부식의 요인으로 pH, 알칼리도, 잔류염소 농도

등이다. 국내에서 수도관 재질은 대부분 덕타일주철관, 스테인리스강, 코팅이 되지않는 회주철관, 아연도강관, 내식성관 등 금속류를 사용하고 있다. 최근에 옥내급수관은 스테인리스강을 사용하고 있으나, 정수장에서 배수지까지는 직경 1000 mm 이상의 도복장강관을 사용하고, 덕타일주철관이나, 플라스틱계통의 수도관을 사용한다. 금속 계통의 수도관 내부는 에폭시, 우레탄, 우레아 등 도장재료로 코팅을 하여 물이 금속표면에 침투하지 못하도록 하고 있다. 그러나 장기간 수도관 사용시 수도관 내부의 코팅재료가 수돗물에 포함된 물질에 의한 변성 등으로 인해 수도관 내부 부식이 발생한다. 대표적인 물질은 소독제에 포함된 염소이다. 염소는 모든 금속과 유기물에 대하여 매우 강한 산화제이며, 염소와 물이 만나면, HOCl, OCl⁻ 등 유리잔류염소가 발생한다

* Corresponding author: hayuu@seoul.go.kr

다 [1]. 유리잔류염소와 철의 반응은 다음과 같다 [2].



소독제로서 HOCl은 미생물 살균의 목적에 쓰이는 것이 가장 바람직하지만, equation (2)와 같이 철과 같은 금속의 산화반응에 소모된다면 Fe(OH)₃와 같이 철수산화물을 유도하고, 염소이온 농도를 높이고, pH를 감소시키기 때문에 수도관의 부식을 가속화하게 된다. 또한, 수도관 부식에 의한 관통손상이 발생하여 누수가 발생하거나, 주변 지반이 약화되어 지반침하까지도 발생한다.

국내에서 녹물에 대한 이슈 및 문제가 발생하고 녹물 민원 때문에 부식성 지수의 도입 필요성을 깨달아 정수장에서는 수도물의 부식성을 관리하기 위해서 2012.7.1.일부터 부식성 지수 (LI, Langelier saturation Index)가 먹는물 감시 항목으로 지정되어 시행되고 있으나, 아직까지 관리범위는 정해지지 않았다 [3-6].

본 연구에서는 수도물의 잔류염소 농도에 따른 부식속도 실험과, 잔류염소 및 칼슘 농도에 따른 무게감량 실험을 수행하고, 수질 및 LI 지수를 분석하여 잔류염소의 영향을 확인하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상 시료

수도물의 부식성 평가를 위해 국내 지방 정수장 중 부식성 지수가 -2.0 이하로 낮은 지역의 Y 정수장과 부식성 지수 -1.0 이상 높은 지역의 K 정수장을 선정하여 현장 실험을 수행하였다. 또한 수도물의 잔류염소의 영향을 평가하기 위해 서울의 G 정수장의 여과수를 이용하여 부식속도 실험을 수행하였다. 수도관 부식방지 효과 및 잔류염소 지속성 평가를 위해 10% Ca(OH)₂ 제조하여 사용하였다.

용해성을 높이기 위해 균질화기 (IKA, Magic Lab)를 사용하였으며, 용해조건은 시료 1 L에 대해 15,000 rpm의 회전 속도 및 20 분간 균질화 시간이다. 또한, 서울의 수도물을 대상으로 잔류 염소 유무에 따른 부식 평가를 수행하였다.

2.2 무게감량 분석

각 정수장별 부식성 평가를 위하여 가장 부식속도가 큰 탄소강으로 부식속도를 분석하였다. 탄소강의 규격은 150 mm × 15 mm × 3 mm이다. 부식속도 실험은 지방정수장의 정수지에서 탄소강관 시편을 침지시켜 1개월에서 3개월 주기로 무게 감량을 측정하여 각 정수장별 동일시편의 부식속

도 평가로 진행되었다.

또한 잔류염소 및 칼슘의 금속 부식속도에 미치는 영향 평가를 위한 회분식 실험에서는 2주 ~ 6주 주기로 무게감량을 측정하여, 잔류염소 및 칼슘농도에 따른 부식속도를 분석하였다.

탄소강 시편에서 부식생성물질을 제거하기 위해 ASTM G1에 따라 HCl과 hexamethyleneteramine 을 혼합한 용액으로 20 °C에서 10분 정도 반응시키고 초순수로 세척 후 부식방지를 위해 0.1 M-trisodium phosphate 용액에 30 sec 침지시킨 후 다시 초순수와 아세톤으로 세척하고 건조 후 최종적으로 무게를 측정하였다 [7].

또한 수도물의 잔류 염소 농도에 대한 부식을 평가하기 위해 Tafel 실험과 수질 분석을 통해 영향을 평가하였다. 시험에 사용된 시편 재료는 탄소강이며, 부식을 측정 등을 위해 전기화학 측정기 (PAR VMP-3)가 사용되었다. 부식을 측정에 널리 사용되는 Tafel 실험이 수행하였다.

부식속도는 무게감량 실험을 행한 후 아래와 같이 계산하여 구하였다 [8].

$$MPY = \frac{534 W}{DAT} \quad (3)$$

MPY : Mil's penetration per year(1 mpy = 0.0254mm/yr)

W: weight loss(mg), D:density(g/cm³),

A: area(in²), T : :time(hour)

2.3 부식성 지수 분석

LI (Langelier saturation Index)는 탄산칼슘의 포화 정도를 나타내는데 사용된다. 이 지수는 음의 값을 나타내면 탄산칼슘이 불포화, 양의 값을 나타내면 탄산칼슘이 과포화 의미를 나타낸다. 또한 평형상태일 경우 "0" 을 나타낸다. 과포화 상태의 물은 탄산칼슘이 석출되어 배관내부에 침적되기 때문에 부식억제층이 생성되어 부식발생을 지연시켜 주며, 그 반대로 불포화 상태일 경우 금속 배관의 부식속도를 촉진하게 된다. LI는 pH, 수온, 알칼리도, 경도, 전기전도도, 칼슘이온 등의 함수로 equation (4)를 이용하여 구하게 된다 [9].

$$LI = pH_a - pH_s \quad (4)$$

여기서 LI = 포화지수

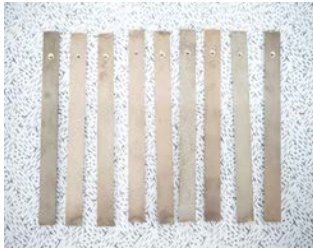



pH_a = 수도물의 pH

pH_s = 칼슘이온과 중탄산이온 존재하여 CaCO₃ 평형일 때의 pH

Table 1 Analysis of tap water quality by region of water Treatment plant

data	Region	pH	Electric conductivity	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Hardness (mg/L as CaCO ₃)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	Temp. (°C)	LI
17.01	Y	7.49	244.5	38.06	2.56	105.47	71.72	8.7	-0.69
17.01	K	7.12	85.7	5.71	0.48	16.22	16.16	8.7	-2.48
17.05	S	7.3	199	17.73	3.19	57.44	36.00	19.0	-1.26

Table 2 Weight loss experiment of specimen procedure on the WTP

			
Preparation of Specimen	Take out of specimen in plant	Specimen of C.S. before Cleaning	Specimen of C.S. after chemical Cleaning

pHs의 계산은 다음과 같다 [9].

$$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (5)$$

여기서 A = (Log[Total Dissolved Solids in mg/L] - 1) / 10
 B = -13.12 × Log(Temperature in °C + 273) + 34.55
 C = Log[Calcium hardness in mg/L as CaCO₃] - 0.4
 D = Log[Alkalinity in mg/L as CaCO₃]

부식성 지수 분석을 위한 Ca²⁺ 농도는 킬레이트 적정법을 이용하였고 알칼리도 농도는 중화적정법을 이용하여 분석하였다.

LI 지수와 부식성 사이에는 일정한 상관 관계가 있으며, 일반적으로 LI가 0보다 작으면 수돗물은 부식성이 있다. 일본은 LI가 국가 수질 관리 목적에서 -1에서 0의 범위에 있어야 한다고 규정한다. 미국은 National Secondary Drinking Water Contaminant Regulations에서 비부식성을 부식성의 기준으로 정의한다 [10].

2.4 수질 및 잔류 염소 효과분석

수질분석은 알칼리도, 경도 및 Ca²⁺, Mg²⁺를 726 Titroprocess (Metrohm)를 사용하여 분석하였고, pH 및 전기전도도는 ORION 5 STAR를 사용하여 측정하였다. 수질 분석은 테스트 과정을 기반으로 수행되었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 지방 정수장별 수질분석 및 무게감량 실험 결과

부식성 지수 차이가 심한 두 지역의 수돗물에 대한 수질 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 수질 분석 항목은 pH, 전기 전도도, 칼슘, 마그네슘 이온, 알칼리도 및 온도이다. 부식성 지수는 앞서 언급한 LI를 사용하여 분석하였다. Table 1에서 보는바와 같이 Y와 K 정수장의 수질을 비교해보면, 전기전도도, 칼슘이온, 경도, 알칼리도 차이가 컸으며, 이에 따라 LI 값도 차이가 뚜렷하게 나타났다. K 정수장의 수돗물 LI 지수는 -2.48으로 강한 부식성을 나타내며, Y 정수장의 수돗물의 LI 값이 -0.69로, K 정수장에 비해 부식성이 낮았다. 따라서 K정수장 수돗물의 LI 값이 Y 정수장보다 훨씬 낮으므로 부식성이 강한 수돗물로 분석되었다. 두 지역의 정수장 수돗물 수질이 차이가 보여, 부식성을 정량적으로 확인하기 위해 탄소강 시편을 각각 정수장의 정수지에 침적시켜 일정기간 간격으로 시편을 회수하고 부식속도를 분석하였다.

Table 2는 정수장별 탄소강 시편 무게감량 시험과정을 나타내었다. 표에는 시편 준비, 일정시간 후 시편 회수 및 표면 화학처리 전/후 사진을 나타내었다 초기 시편은 표면을 매끄럽고, 불순물이 없는 상태였으나, 정수지에 침적 후 시간이 지남에 따라 부식생성물이 시편 표면에 생성되었다. 생성된 부식생성물 제거 후에는, 탄소강 시편에 작은 구멍들이 보였으며, 화학적 처리 후에는 더욱 선명하게 부식됨

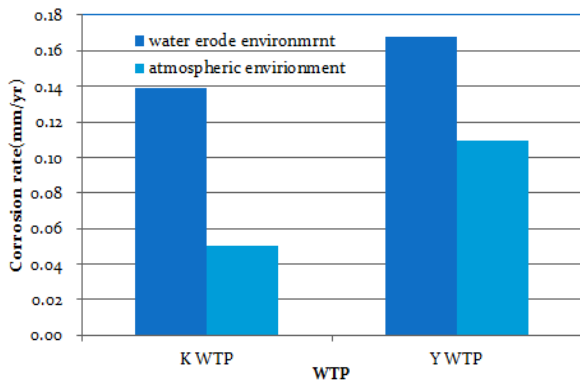


Fig. 1 Result of weight loss for different local water WTP in clean water reservoir (Ca conc. : K WTP 5 ~ 6 mg/L, Y WTP 33 ~ 38 mg/L).

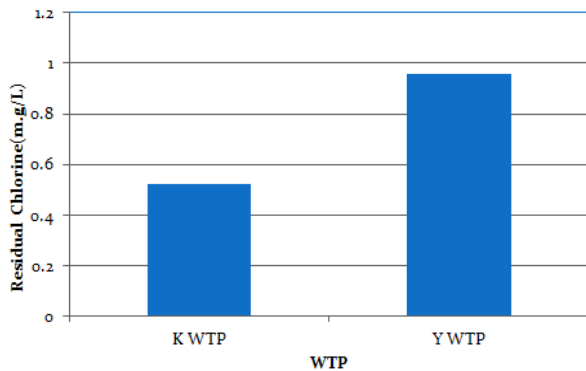


Fig. 2 Result of pH for different local WTP.

을 확인할 수 있었다.

Fig. 1은 Y 와 K 정수장 정수지에서 무게감량한 실험결과를 지역별 부식속도로 나타내었다. Fig. 1에서 보듯이 Y 정수장 수돗물의 부식속도는 0.16 mm/yr이었고, K 정수장

수돗물 부식속도가 0.13 mm/yr로 분석되어 Y 정수장 부식속도가 K 정수장보다 빠른 것으로 나타났다. 앞서 Table 1에서 부식성 지수인 LI 값을 비교한 결과와는 달리 부식성 측면에서는 Y 정수장이 K정수장보다 칼슘, 알칼리도, 경도가 높아 부식성이 낮았으나, 무게감량 실험에서는 반대의 결과가 도출되었다.

수질 차이 이외에 다른 부분에서 부식성을 확인하기 위해 정수지의 상단에 탄소강 시편을 설치하여, 수돗물이 닿지 않고, 정수지 내부 환경에서 무게감량 실험을 수행하였다. 그 결과를 Fig. 1에 나타내었으며, Y 정수장 정수지 상단의 부식속도는 0.10 mm/yr이었고, K 정수장 정수지 상단의 부식속도가 0.04 mm/yr로 분석되었다. Y 정수장 정수지 상단의 부식속도가 K 정수장보다 2배 이상 빠른 것으로 나타났다.

본 실험에서 중요한 부식인자를 간과하였는데 그것은 잔류염소 농도이다. 일반적으로 수돗물을 소독하기 위해 차염 소산나트륨이나, 염소가스를 사용하고 있다. 먹는물 수질기준에 잔류염소 농도 기준은 4 mg/L 이상을 넘지 않아야 하며, 유리잔류염소가 0.1 mg/L 이상이 되어야 하는 것으로 규정되어 있다. 잔류염소농도가 높을 경우, 수돗물에서 소독제 냄새가 발생하여, 시민들의 심리적 영향으로 수돗물을 직접 음용을 꺼리게 되며, 소독을 하지 않을 경우 미생물 소독이 되지 않아 미생물에 대한 안정성 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 적정 잔류염소를 주입하여, 부식방지효과 및 미생물 살균력 유지 연구가 필요하다.

Y 와 K 정수장 정수지의 잔류염소를 분석한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. Y 정수장의 잔류염소는 0.9 mg/L 이상이었으며, K 정수장은 0.5 mg/L로 2배 정도 차이를 보였다. 부식속도가 앞선 LI 값과 다른 양상을 보인 원인은 잔류염소 농도인 것으로 판단된다. 따라서 소독을 위해 수돗물에 주

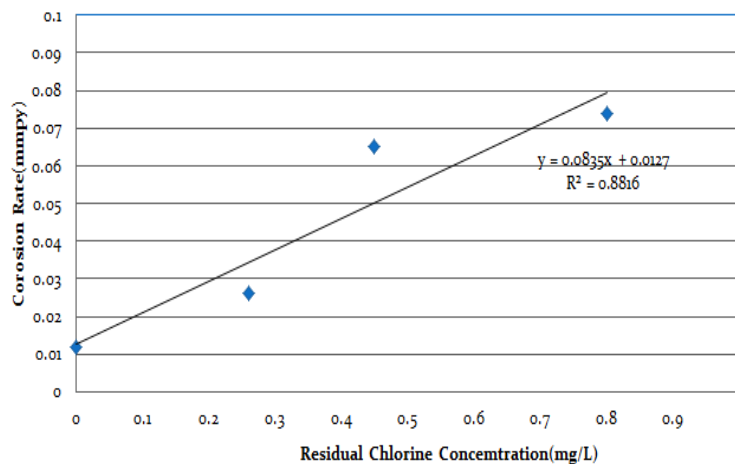


Fig. 3 Corrosion Rate Measurement Results with Residual Chlorine Concentration for Carbon Steel specimens using Tafel test.

Table 3 Result of weight loss for different Chlorine in tap water using Tafel test

Tap water in Seoul	Residual Chlorine (mg/L)	Corrosion rate (mm/yr)
Test 1	0	0.012
Test 2	0.26	0.026
Test 3	0.45	0.065
Test 4	0.8	0.074

입하는 염소는 철 수도배관으로부터 철을 용출시키고, 잔류 염소가 소모가 되기 때문에 부식영향인자로 작용하며, 이러한 사실은 지방정수장 두 곳의 시편 무게감량에서 확인되었다 [1].

3.2 잔류염소에 영향을 평가하기 위한 타펠 실험 결과

수돗물에 존재하는 잔류염소와 부식속도와의 상관관계를 알아보기 위해 타펠실험을 수행하였다. 실험에 사용된 수돗물 잔류염소는 0.4 mg/L, 알칼리도 50 mg/L as CaCO₃, pH 7.3을 이었으며, 수돗물에 포함된 잔류염소를 대기중으로 기화시켜 제거하고, 0 mg/L부터 차염소산나트륨을 주입하여 잔류염소 농도를 높여 시험을 수행하였다. 수돗물에서 탄소강 시편에 대한 잔류염소에 따른 부식속도 결과는 Fig. 3과 같다.

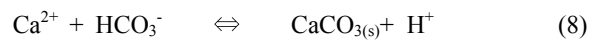
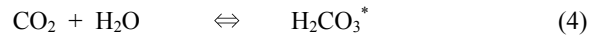
동일 조건 (LI 값 일정)에서 초기 잔류염소 농도에 따른 Tafel 실험 결과, 잔류염소 농도가 높아질수록 부식속도도 빨라지는 경향을 보였다. Fig 3과 같이 부식속도는 잔류염소가 0 mg/L일 때 0.012 mmpy 이었으나, 잔류염소가 0.8 mg/L일 때 0.074 mmpy로 나타나 탄소강 시편의 잔류염소 증가에 따른 부식속도는 7배 이상 증가됨을 확인하였다 (Table 3). 따라서 부식과 잔류염소농도는 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

3.3 회분식 실험에서 무게감량 실험 결과

잔류염소에 의한 부식 영향 및 칼슘 농도 변화에 따른 부식속도 영향을 평가하기 위해 탄소강 시편을 활용하여 무게감량 실험을 수행하였다 (Fig. 4). 대상은 서울의 G 정수장의 모래여과수를 사용하였다. Table 4는 모래여과수 수질에 대한 분석 결과이다. 수질은 pH, 전기전도도, 칼슘, 마그네슘 이온, 알칼리도 경도를 측정하였으며, 부식성 지수는 LI를 이용하였다.

Table 4에서 Sample 1은 모래여과수에 이산화탄소를 주입하여 pH 낮은 여과수이며, Sample 2와 3은 이산화탄소를 주입하여 pH를 낮춘 후 10% Ca(OH)₂를 주입하여 칼슘이온 농도를 높인 여과수이다. Ca(OH)₂ 용해도는 낮아 물에 잘 녹지 않으므로, pH를 낮춘 후 주입하여 칼슘이온 농도를 높였다 [11]. Ca(OH)₂ 주입은 Ca농도, pH를 증가시켜 철 용출을 억제한다고 알려져 있다 [11].

또한 CO₂와 Ca(OH)₂에 의해 부식반응이 억제되는 원인은 아래 equation과 같이 HCO₃⁻농도가 증가되고, 최종적으로 생성된 CaCO₃가 부식을 억제하기 때문이다 [13,14].



안 등 (2005)의 연구에서 밀폐된 유리병에서 잔류염소 감량을 실험한 결과 0.2 mg/L이상의 HOCl농도로서 90시간 이상을 지속한 결과를 얻었다고 한다 [16]. 따라서 수산화칼슘을 첨가한 물에서 소독제 지속성이 크기 때문에, 소독 효율 향상과 더불어, 수도관 녹물발생 억제 및 부족한 미네랄을 공급이 가능할 것으로 판단된다.

Table 4에서 Sample 1의 LI 값이 -2.0보다 낮으므로

Table 4 Analysis of sand filtered water quality in Seoul WTP

	pH	Electric conductivity	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Hardness (mg/L as CaCO ₃)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	Temp. (°C)	LI
Sample 1	6.30	206.5	20.8	2.51	62.32	40.07	20.2	-2.15
Sample 2	6.81	215.3	30.2	2.64	86.22	58.08	20.2	-1.32
Sample 3	7.07	248.3	36.79	2.91	103.77	77.14	20.2	-0.86

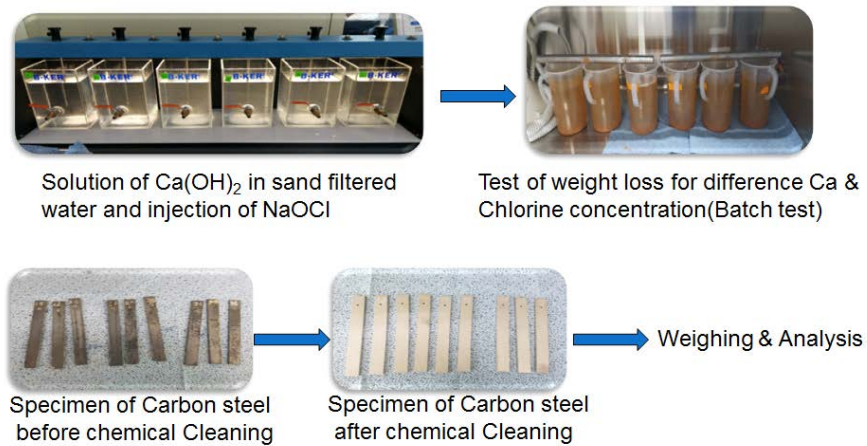


Fig. 4 Lab Experiment of Specimen weight loss.

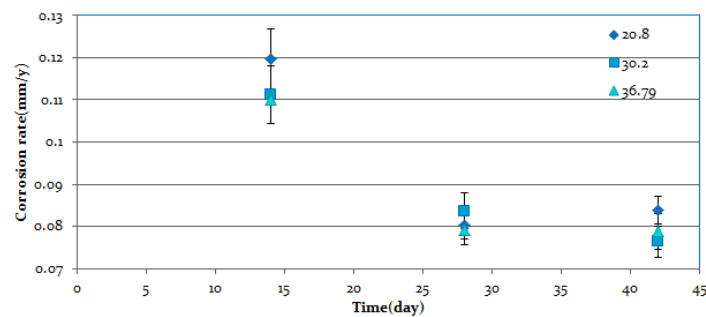


Fig. 5 Result of weight loss for different Ca concentration in sand filtered water (initial residual chlorine concentration 0 mg/L).

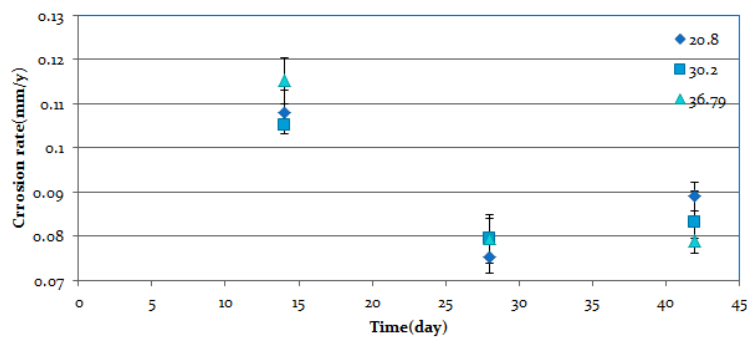


Fig. 6 Result of weight loss for different Ca concentration in sand filtered water (initial residual chlorine concentration 0.35 mg/L).

강한 부식성을 나타내고, Sample 2와 3은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 주입에 따라 칼슘 이온, 알칼리도 및 경도 등의 증가에 따라 LI 값도 증가하여 0에 가깝게 변화하였다.

일반적으로 LI 지수가 0 이상인 경우에는 부식성이 없으며 탄산칼슘 스케일이 생성된다. 따라서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 주입의 결과는 LI 값의 증가와 부식 방지 효과에 좋은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 회분식 실험에서 소독제 주입없이 칼슘농도에

따른 탄소강 시편 무게감량 실험결과를 부식속도로 나타냈다. 탄소강 시편을 2주, 4주, 6주 동안 침지시켰다. 2주차 부식속도를 보면, 칼슘이온 농도가 높을수록 부식속도가 상대적으로 낮음을 확인하였다. 이는 칼슘이온농도가 높을수록 탄소강 시편에 칼슘이온에 의한 얇은 탄산칼슘막이 생성되어, 부식방지 효과가 있는 것으로 판단된다. 침지시간이 길수록 부식속도는 감소되고, 칼슘 농도에 따른 부식속도의 차가 좁아지는 것은 초기에 탄소강 시편에 부식이 빠르게

Table 5 Analysis of filtered water quality after 6 weeks of experiment

Test	Initial residual chlorine (mg/L)	pH	Electric conductivity	Ca ²⁺ (mg/L)	Hardness (mg/L as CaCO ₃)	Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	Temp. (°C)	LI index
Test 1	0	8.0	162.8	10.70	39.16	15.33	23	-1.09
Test 2	0	7.8	158.8	10.67	36.56	19.23	23	-1.19
Test 3	0	7.73	154.2	9.60	32.71	12.93	23	-1.48
Test 4	0.35	7.62	162.6	10.28	33.66	11.69	23	-1.60
Test 5	0.35	7.69	162.5	9.79	34.23	16.89	23	-1.39
Test 6	0.35	7.66	167.0	9.75	36.18	19.68	23	-1.36

진행되다가, 부식생성물에 의해 부식될 수 있는 표면적이 작아짐에 따라 침지시간이 길수록 부식속도가 감소되는 것으로 판단되며, 박 등의 연속식 실험 연구 결과와 일치하였다 [14]. Fig. 6은 초기 잔류염소 농도를 0.35 mg/L로 유지한 후 칼슘농도에 따른 무게감량 실험결과를 부식속도로 나타내었다. 무게감량 실험 2주차에서 칼슘농도가 높을수록 부식속도가 빠른 것을 확인할 수 있었다. 이는 칼슘농도가 높을수록 주입된 잔류염소의 지속성이 길어 나타난 결과로 판단된다. 박 등의 연구에서 칼슘농도가 높을수록 잔류염소의 지속성이 증가되는 결과와도 일치하였다 [14]. 침지시간이 길어짐에 따라 부식속도는 저하됨을 확인하였다. 실험 6주차에서 앞선 Fig. 5에서의 실험 2주차와 유사한 경향을 보였다. 이는 시간이 지남에 따라 초기 잔류염소가 물 속에서 기화되어 대기로 날아갔기 때문인 것으로 판단된다.

초기 잔류염소에 따른 회분식 무게감량 실험 결과는 특별한 차이는 없었지만 연속실험 결과와는 다른 경향을 보였다. 회분식 실험에서 반응조 상부가 열려 있기 때문에 초기 잔류염소가 대기 중으로 빠져 나간다. 이전의 박 등의 실험에서, 잔류염소는 수돗물에 일정하게 유지되도록 연속실험을 수행하였으나 [14], 본 실험은 연속이 아닌 초기 잔류염소 농도가 맞춘 후 시간에 따른 무게 감량실험을 수행한 것이다. 따라서 앞서 2곳의 정수장의 정수지에서의 무게감량실험은 정수지에 수돗물이 연속적으로 흐름이 있는 곳이므로 부식속도는 회분식 실험보다 연속실험에서 크게 나타났다.

Table 5는 실험 6주 후 물을 여과한 후 수질 분석 결과이다. Table 4와 비교하면 Ca²⁺ 농도가 실험 초기 대비 최대 27 mg/L가 감소되었고 경도는 103 mg/L에서 36 mg/L로 감소됨을 확인하였다. Ca²⁺ 농도는 탄소강 시편 표면의 부식이 억제되도록 탄산칼슘의 얇은 피막 코팅 때문에 소비된 것으로 판단된다. 그러나 탄소강 시편 표면을 분석하지 못하여 정량적인 평가는 어렵다.

일반적으로 수도관에 석회수를 주입하여 탄산칼슘 포화

pH에서 탄산이온과 칼슘이 충분히 존재하게 된다. 이때 관 내면 위에 스케일이 침전되어 탄산칼슘 보호피막이 형성으로 부식이 억제된다 [15].

따라서 실험에서 Ca²⁺는 부분적으로 피막을 형성하기 위해 소모되는 것으로 생각된다. 회분식(Batch type)이 아닌 연속 실험 (Continuos type)을 수행할 경우 박 등의 연구와 유사한 경향을 보일 것으로 판단된다 [14].

정수지와 같은 연속 실험을 통해 수돗물의 잔류염소 농도를 최소화 할 필요가 있다. 국내는 부식성 지수인 LI를 채택했으나, 잔류염소에 의한 부식성 영향에 대한 가이드 라인이 없다.

따라서 수돗물에서 잔류염소가 부식에 미치는 영향이 크기 때문에, 잔류염소의 부식성 영향을 추가 할 필요가 있다. 서울의 경우에는 수돗물의 염소 냄새를 줄이기 위해 잔류염소 농도를 낮춰 서울시 6개 정수장에서 배수지로 가는 수돗물의 잔류염소는 0.4 mg/L 정도로 유지하고 있다. 그러나 아직까지 수도관 부식 저감을 위한 잔류염소 가이드 라인이 없어 환경부 등 유관기관에서 수돗물의 잔류염소농도 기준을 제시할 필요가 있다.

부식속도와 수질인자와의 상호관계를 분석해보면, 부식성 지수와 pH보다는 알칼리도와 칼슘 농도, 잔류염소농도의 비중이 큼을 확인할 수 있었다. Edward (2001) 및 박 등 (2016)의 연구결과에서 알칼리도가 수돗물에서 부식억제에 효과가 있다고 하였다 [14,17].

4. 결론

수돗물의 수질이 다른 2지역을 선정하여 수돗물에 대한 부식성지수 및 무게감량실험을 수행하고, 부식성 수질제어약품인 Ca(OH)₂를 주입하여 수질변화를 조사하고, 각각 탄소강 시편의 부식억제 효과를 회분식 실험한 결과 다음의 결과를 얻었다.

(1) 수돗물에서 잔류염소가 수도관 부식에 미치는 영향이 큼을 확인하였으며, 잔류염소에 대한 부식 영향을 고려할 필요가 있고, 수도관 부식을 최소화하기 위한 정수장에서 주입되는 적정 잔류염소농도의 기술 설정이 필요하다.

(2) 석회수 용해기술을 이용한 수돗물에 칼슘 주입은 부식억제 효과가 있었으며, 잔류염소의 지속 시간을 길게 하여 소독효율 향상과 더불어, 수도관 녹물발생 억제 및 부족한 미네랄을 공급도 가능할 것으로 판단된다.

(3) 향후 석회수 용해기술에 대한 현장적용성 가능성 평가를 수행하여, 보다 효과적인 상수관망 부식제어 및 잔류염소 지속성에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

감사의 글

본 과제는 국립환경과학원과의 공동연구 과제 일환으로 수행되었습니다.

References

1. T. S. Munasinghe, C. L. Abayasekara, A. Jayawardana, and R. Chandrajith, *Ceylon J. Sci.*, **46**, 99 (2017).
2. A. H. Tuthill, R. E. Avery, and G. Kobrin, *Reprinted from Mater. Performance*, **37**, 52 (1998).
3. K. Y. Song, 2014 Water Quality Monitoring Items Report, WQR-791(2014.4.7.), Seoul Water Institute (2014).
4. K. Y. Song, 2014 Water Quality Monitoring Items Report, WQR-3401(2014.7.8.), Seoul Water Institute (2014).
5. K. Y. Song, 2014 Water Quality Monitoring Items Report, WQR-5755(2014.10.6.), Seoul Water Institute (2014).
6. H. S. Kwon, 2015 Water Quality Monitoring Items Report, DEC-20(2016.1.6.), Seoul Water Institute (2016).
7. ASTM Standards G1, Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating, Corrosion Test Specimens (1996).
8. D. A. Jones, Principles and Prevention of Corrosion, pp. 1-572, Prentice Hall, USA (1996).
9. M. L. Bum, Thesis, pp. 10-11, Dankook University, Seoul (2013).
10. H. K. Yun, Thesis, p. 24, Busan University, Busan (2016).
11. Y. B. Park, S. J. Kim, K. S. Han, H. D. Kim, and Y. J. Choi, *Proc. The CSSK Spring Meeting and Erosion Corrosion Symposium-Forum*, pp. 54-55, CSSK Jeju, Korea (2017).
12. Y. B. Park, Y. J. Choi, B. G. Huh, H. G. Park, and I. S. Park, *Proc. 2009 Spring Meeting and Power Plant Symposium*, p. 61, CSSK, Gwangju, Korea (2009).
13. AWWARF & DVGW, *Internal Corrosion of Distribution Systems, 2nd ed.*, p. 406, Amer Water Works Assn, Denver, Colorado (1996).
14. Y. B. Park, J. H. Park, E. H. Park, J. S. Lee, H. T. Kim, Y. J. Choi, H. M. Chung, Y. J. Huh, and I. C. Choi, *Corros. Sci. Tech.*, **15**, 303 (2016).
15. S. J. Yu, S. J. Park, H. K. Kim, K. H. Ahn, Y. H. Lee, and C. S. Kim, Study of the Secondary Contamination in the Water Distribution Pipeline, National Institute of Environmental Research, Incheon (2008).
16. J. C. Anhn, C. M. Park, and J. Y. Koo, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, **19**, 487 (2005).
17. L. McNeill and M. Edwards, *Jour. AWWA*, **93**, 88 (2001).