



# 수돗물 부식성 제어를 통한 수도관 부식방지기술: 석회수 분산화장치를 이용한 미네랄 공급 효과와 영향 분석

## Corrosion control technology in water pipes by adjusting the corrosivity of drinking water : effect and impact of the lime dispersion system

한금석<sup>1,4\*</sup>·박영복<sup>1</sup>·김성재<sup>1</sup>·김현돈<sup>1</sup>·최영준<sup>1</sup>·박주현<sup>2</sup>·우달식<sup>3</sup>·홍성호<sup>4</sup>

Keum-Seok Han<sup>1,4\*</sup>·Young-Bok Park<sup>1</sup>·Seong-Jae Kim<sup>1</sup>·Hyen-Don Kim<sup>1</sup>·Young-June Choi<sup>1</sup>·Ju-Hyun Park<sup>2</sup>·  
Dal-sik Woo<sup>3</sup>·Seong-Ho Hong<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울물연구원, <sup>2</sup>국립환경과학원, <sup>3</sup>(주)아름다운환경, <sup>4</sup>송실대학교 화학공학부

<sup>1</sup>Seoul Water Institute, <sup>2</sup>National Institute of Environmental Research,

<sup>3</sup>Beautiful Environment, <sup>4</sup>Department of chemical engineering, Soongsil University

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

### ABSTRACT

Corrosion inhibitors including calcium hydroxide have been used to prevent corrosion in the pipes for tap water supply. The corrosion index (i.e., Langelier Index) differs by area and water quality. The corrosion indices of the areas studied differed by more than 2.0. The 'homogenized' calcium hydroxide was added to the treated water at the K water treatment plant, in order to increase the value of the corrosion index and the concentration of calcium. As the result, the concentration of calcium was increased while the turbidity and pH changed little. The corrosion rate of the tap water with the 'homogenized' calcium hydroxide could be slowed down pretty much. The results suggested that the technology of 'homogenization' of calcium hydroxide can applied to tap water and desalinated water to prevent corrosion in water pipes even in corrosive pipes.

**Key words:** Ca(OH)<sub>2</sub>, Corrosion control, Corrosion rate, Langelier Index, Mineral

**주제어:** 수산화칼슘, 부식 조절, 부식속도, 랑겔리어 지수, 미네랄

## 1. 서 론

수돗물의 부식성은 수돗물 이송과정에서 녹물발생, 금속관 재질 성분의 용출과 관련이 있다. 수도관 부식으로 인해 나타나는 현상은 수도관 파손, 누수율 증가, 지반침하 등 다양하다. 정수장에서 활성탄 등 고도정수처리시설에 도입되어 맑고 깨끗한 수돗물 공급을 하고 있으나, 수돗물 공급과정에서 부식 등의 품질저하요인들이 발생하지 않도록 관리해야 할 수질측정

항목 등이 있다. 금속 수도관의 부식에 영향을 주는 인자로는 관의 재질, 내부 코팅상태, 유속, 수온 및 pH, 알칼리도, 경도, 용존산소, 잔류염소, 이온류의 농도, 생물막 등이 있으며, 일반적으로 염소이온, 황산염 이온 농도가 높을수록 부식성이 증가하는 것으로 알려져 있고, 수온은 부식의 반응속도를 증가시킨다.

수돗물의 부식성을 평가하는 방법에는 직접 및 간접 평가법이 있다. 직접평가는 시편 무게감량 등을 통한 방법이 있으며, langelier saturation index (LSI 또는 LI), calcium carbonate precipitation potential (CCPP) 등

Received 27 February 2018, revised 22 March 2018, accepted 29 March 2018

\*Corresponding author: Keum-Seok Han (E-mail: hayuu@seoul.go.kr)

간접지표로 평가하고 있다.

LI는 탄산칼슘의 포화 정도를 나타내는데 사용된다. 이 지수가 음(-)의 값을 나타내면 탄산칼슘이 불포화, 양(+)의 값을 나타내면 탄산칼슘이 과포화 의미를 나타낸다. 또한 평형상태일 경우 “0”을 나타낸다. 과포화 상태의 물은 탄산칼슘이 석출되어 배관내부에 침적되기 때문에 부식억제층이 생성되어 내부 배관의 부식발생을 지연시켜 준다고 하며, 그 반대로 불포화 상태일 경우 금속 배관의 부식을 촉진시키게 된다. LI는 pH, 수온, 알칼리도, 경도, 전기전도도, 칼슘이온 등의 함수로 다음 식을 이용하여 구하게 된다 (Bum, 2013).

$$LI = pH_a - pH_s \tag{1}$$

여기서 LI : 포화지수

pH<sub>a</sub> : 실제 수돗물의 pH 측정값

pH<sub>s</sub> : 칼슘이온과 중탄산이온 존재하여

CaCO<sub>3</sub> 평형일 때의 pH

pH<sub>s</sub>의 계산은 다음과 같다 (Bum, 2013).

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \tag{2}$$

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 CaCO<sub>3</sub>] - 0.4

D : Log[Alkalinity in mg/L as CaCO<sub>3</sub>]

국내에서 녹물 문제가 발생하고 이와 관련된 민원 때문에 부식성 지수의 도입 필요성을 깨달아 수돗물의 부식성 관리를 위해 2012년 7월부터 부식성 지수 (LSI, Langelier Saturation Index)를 먹는 물 감시항목으로 지정하여 관리하고 있으나, 아직까지 관리범위는 정해지지 않았다, 일본은 LI가 국가 수질 관리 목적에서 -1에서 0의 범위에 있어야한다고 규정한다. 미국은 national secondary drinking water contaminant regulations에서 비부식성(non corrosive)을 부식성의 기준으로 정의하고 있다. 실제 일본 동경도에서 수돗물을 공급하는 아사카 정수장의 2012년 LI는 -0.8 ~ -1.1, pH 7.4 정도로 관리되고 있다 (TMG, 2017).

Table 1는 국내의 부식과 관련된 수질인자 기준을 나타내었다. 수돗물 부식성에 가장 영향을 주는 pH 하한값 5.8로 다른 국가에 비해 낮은 편이다. 국내 상수원으로 사용되는 지표수는 알칼리도 및 pH가 낮아 수돗물의 부식성이 상대적으로 높은 편이다 (Kim and Kim, 2011).

수도관 내면 부식을 억제하기 위해 부식억제제를 수돗물에 첨가하여 사용하는 사례가 있다. 일반적으로 부식억제제는 인산염, 규산염, 소석회 등이 있다. 부식억제제 관리는 아파트의 경우 수처리제 사용지침에 부식억제제로 인산염, 규산염을 정하여 개별적으로 관리하고 있다. 투입농도는 인산염의 경우 5 mg/L as P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 이하, 규산염의 경우 10 mg/L as SiO<sub>2</sub> 이하로 사용하도록 정하고 있다 (Park et. al., 2016). 수도관 녹물

**Table 1.** Standards or guidelines of water quality parameters related with corrosivity (Kim and Kim, 2011)

	Korea	WTO	U.S.	Japan	Canada	U.K.	Germany	France
pH	5.8~8.5	-	6.5~8.5	5.8~8.6	6.5~8.5	6.5~8.5	6.5~9.5	6.5~9.0
Corrosivity	-	-	noncorrosive	LI:-1.0~0	-	-	-	-
Total hardness	300	-	-	300	-	-	-	-
Aluminum	0.2	-	0.05~0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Cadmium	0.005	0.003	0.005	0.01	0.005	0.002	0.005	0.005
Chromium	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Chloride	250	-	250	200	250	250	250	250
Copper	1	2	1.3	1	1.0	2,1	2	2, 1
Iron	0.3	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Magnesium	0.05	0.4	0.05	0.052	0.05	0.5, 0.1	0.05	0.05
Lead	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01
Sulfate	200	-	250	-	500	500	240	250
Zinc	3	-	5	1	5	3	-	-

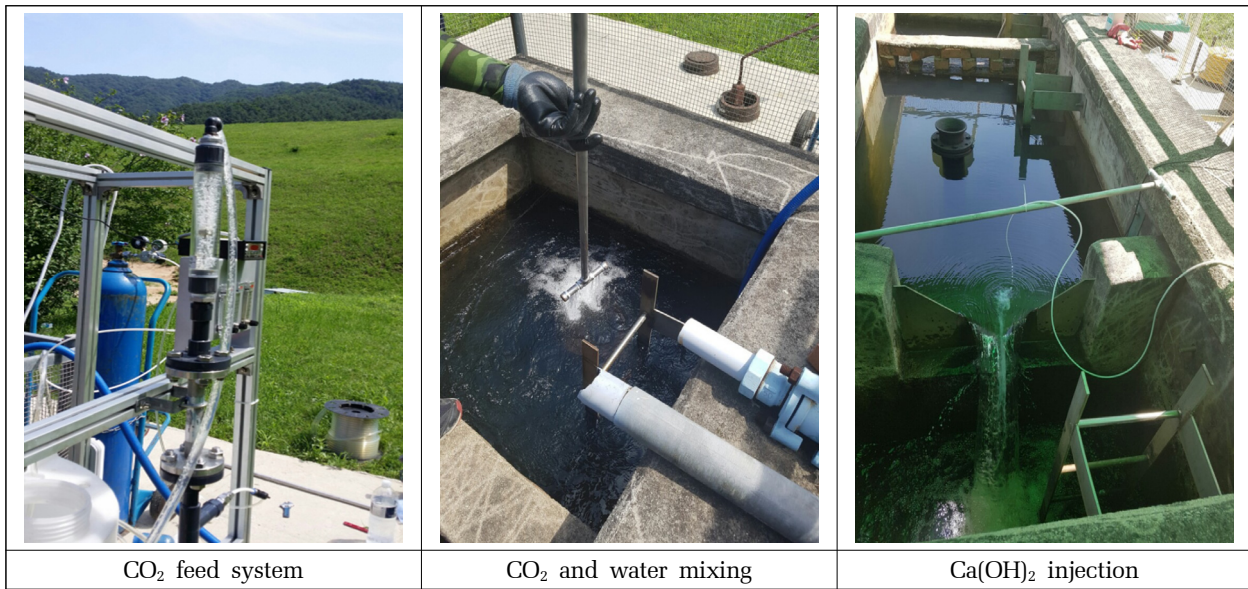


Fig. 1. Ca(OH)<sub>2</sub> solution system by region of water treatment plant.

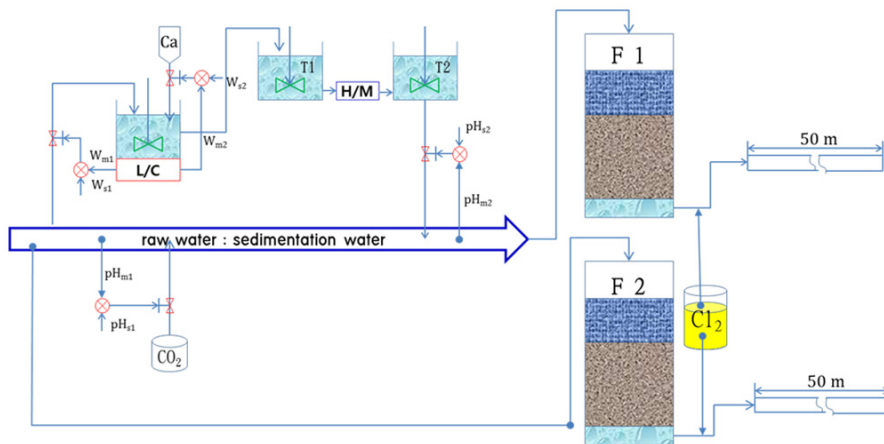


Fig. 2. Major processes diagram in demo plant[Ca ; Ca(OH)<sub>2</sub>, H/M;Homogenizer, F1 : filtration process with lime water, F2; filtration process without lime water, Cl<sub>2</sub> : Sodium hypochlorite].

발생은 수도관 내부 부식이나 수도관 내 수리적 조건 변화 등에 의해 발생할 수 있다 (Cheong et al., 2011). 수도물 부식성에 가장 영향을 주는 pH 하한값 5.8로 다른 국가에 비해 낮은 편이다. 국내 상수원으로 사용되는 지표수는 알칼리도 및 pH가 낮아 수도물의 부식성이 상대적으로 높은 편이다 (Kim and Kim, 2011).

소석회 투입은 수도물의 부식성을 낮추기 위해 연구 및 현장에서 적용되고 있다. 소석회 용해도는 0.165 g/100 g sal. sol(25°C, Ca(OH)<sub>2</sub>)으로 매우 낮아 물에 잘 녹지 않으므로 소석회를 투입시 수도물의 탁도 증가 문제 등이 나타나고 있어 소석회 용해도를 높이고, 탁도 문제

를 해결하기 위해 분산화장치를 활용하였다.

본 연구에서는 수도물 부식성 지수의 개선 방안인 수질제어(CO<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub>)를 위하여 석회수 분산화장치를 이용한 파일럿 및 현장 적용실험과 이에 따른 부식제어 효과 및 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 실험 및 분석

### 2.1 대상 시료

국내 지방 정수장 중 부식성 지수가 다른 Y 지역

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

및 K 지역 정수장을 대상으로 수질 분석을 수행하였다. 수질분석 및 부식성 지수를 평가하여 현장 적용 정수장을 선정하였다. 또한 서울 G 정수장(시설용량 50만m<sup>3</sup>/일)의 침전수를 이용하여 파일럿 실험을 수행하였다.

## 2.2 분산화장치 및 현장 적용 실험장치 구성

본 연구에서 Ca(OH)<sub>2</sub> 용해도는 높이기 위해 사용된 분산화장치(IKA, Magic LAB)는 습식 분쇄용으로 미세한 현탁액 및 에멀전을 생산하기 위해 사용되는 장치로, 주파수 제어를 통해 3,000~26,000 rpm 회전수 조절이 가능하다. 또한 밀링 갭의 조절을 통해 분쇄 입자의 크기 조절로  $\mu\text{m}$ 까지 분쇄할 수 있다. 소석회는 분산화장치를 통해 쉽게 침전되지 않고, 미세한 현탁액으로 존재하여, 수돗물에 소석회 용해도를 향상시킨다.

수돗물의 미네랄 공급 및 부식성 지수 개선을 위해 K 지역 정수장에서 석회수를 주입하는 실험을 수행하였다. K 정수장은 착수정(응집제 미투입), 완속모래여과, 소독공정을 거쳐 정수지에서 각 가정으로 공급하는 시설로 시설용량은 1,000 m<sup>3</sup>/일이다.

실험장치는 K 정수장 시설용량에 맞도록 간이 제작하여 이산화탄소 공급과 10% 석회수 주입으로 구성하였다 (Fig. 1). 10% 석회수는 분산화장치를 이용하여 90 L를 사전에 제조하였다. 10% Ca(OH)<sub>2</sub> 제조 조건은 시료 1L에 대해 15,000 rpm으로 30분간 균질화하였다. 이산화탄소는 착수정 입구에서 공급하였으며, 석회수는 착수정 말단에서 공급하도록 구성하였다.

## 2.3 부식제어 실증 플랜트 실험장치 구성 및 분석

부식제어 실증 플랜트 장치 구성은 수돗물의 부식 억제제를 평가하기 위해 석회수 수조 및 수돗물 수조에 관경 20 mm 배관을 각각 50 m씩 설치하여 순환하도록 하였으며, 실증 플랜트 시설용량은 200 m<sup>3</sup>/일이다. 부식방지를 위한 바탕시험으로 모래여과장치를 거친 여과수(수돗물)와 부식방지 및 미네랄 공급을 위해 침전수에 CO<sub>2</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub>을 주입한 후 모래여과장치를 거친 여과수(석회수)를 사용하였다 (Fig. 2). 각 수조별 시험배관이 연결되어 수돗물이 순환하도록 하였으며, 각 수조별 운영조건은 70분 가동, 20분 정지를 반복하여 운전시간 4시간마다 배수 후 새로운 수돗물을 공급하도록 운영하였다.

수돗물 부식방지 및 미네랄 공급을 평가하기 위해 수돗물 및 석회수 수조에 가장 부식이 잘되는 탄소강 시편을 침지시켜 2주, 4주, 6주 후 시편을 꺼내어 무게감량을 측정하여 여과수인 수돗물 및 석회수가 공급된 수돗물의 부식속도를 분석하였다. 여과수에 소독제인 NaOCl를 주입하여 잔류염소(HOCl, OCl-)를 0.3~0.5 mg/L로 유지하였다. 시험에 사용된 탄소강의 규격은 150 mm× 15 mm × 3 mm이다. 탄소강 시편에서 부식생성물질을 제거하기 위해 ASTM G1에 따라 HCl 과 hexamethylene teramine을 혼합한 용액으로 20℃에서 10분 정도 반응시킨 후 초순수로 세척 하고 부식방지를 위해 0.1 M-trisodium phosphate용액에 30초 침지시킨 후 다시 초순수와 아세톤으로 세척하고 건조 후 최종적으로 무게를 측정하였다 (ASTM Standards G1, 1996).

부식속도는 무게감량 실험을 행한 후 아래와 같이 계산하여 구하였다 (Denny A. Jones, 1996).

$$MPY = \frac{534 \times W}{D \times A \times T} \quad (3)$$

MPY : Mills penetration per year(1 mpy = 0.0254mm/yr)

W: weight loss(mg), D:density(g/cm<sup>3</sup>)

A: area(in<sup>2</sup>)

T: time(hour)

## 2.4 분석 방법

수질분석은 알칼리도, 경도 및 칼슘, 마그네슘을 726 Titroprocess(Metrohm, Swiss)를 사용하여 분석하였고, pH 및 전기전도도, 온도는 ORION 5 STAR를 사용하여 측정하였으며, 염소이온과 황산염이온은 ion chromatograph (ICS 3000, Dionex)를 사용하여 분석하였다. 또한 실증 플랜트에서 석회수 및 수돗물의 수질분석은 process analyzer ADI 2040 (Applikon, Netherlands)으로 자동 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 지방정수장별 수질분석 결과

국내 수돗물의 수질 특성이 큰 지역인 Y와 K 지역 정수장의 수돗물에 대해 수질 분석을 수행하였다. 그



**Table 2.** Analysis of tap water quality by region of water Treatment plant

data	Region	pH	Electric conductivity (μs/cm)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	Temp. (°C)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	LI
16.10	Y	7.65	211.4	31.94	3.04	92.22	70.99	19.0	11.07	15.29	-0.37
16.10	K	7.01	53.5	4.60	0.51	13.56	11.94	19.0	4.77	3.62	-2.56

수질 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 수질 분석 항목은 pH, 전기전도도, 칼슘, 마그네슘 이온, 알칼리도 및 온도, 염소이온, 황산염이온이다. 부식성 지수는 LI를 사용하여 분석하였다. Table 2에서 Y 와 K 지역의 정수장의 수질을 비교해보면, 전기전도도, 칼슘이온, 경도, 알칼리도 차이가 큼을 확인하였다. 부식성 지수인 LI 값 차이가 뚜렷하게 나타났다. K 정수장의 수돗물 LI 값은 -2.56으로 강한 부식성을 나타내고 있으나, Y 정수장의 수돗물의 LI 값이 -0.37로 약한 부식성으로 나타났다. 따라서 K 정수장의 수돗물은 다른 지역 수돗물에 비해 칼슘이온 농도가 매우 낮아 부식성이 높은 물로 나타나 수돗물에 대한 부식성을 낮춰야 할 것으로 판단된다.

**3.2 K 정수장 칼슘주입에 대한 현장 파일럿 실험 결과**

K 지역의 수돗물에 대해 부식성 지수를 분석한 결과, 부식성이 매우 강한 물로 나타났고, 이를 해결하기 위한 방안으로 수돗물에 Ca(OH)<sub>2</sub> 주입하여 칼슘 농도를 높임과 동시에 알칼리도를 높여 부식성 지수인 LI 값을 기존 보다 높여서 부식성이 낮은 수돗물을 생산하기 위한 실험을 수행하였다. 착수정 입구에

서 CO<sub>2</sub> 를 3~9 L/min 으로 주입하여 pH 조정 후 착수정 말단에 10% Ca(OH)<sub>2</sub>를 0.15 L/min으로 주입하여 착수정에서 여과지를 거쳐 소독 후 정수지로 가는 공정이며, Ca(OH)<sub>2</sub> 주입 전 착수정 입구에 이산화탄소를 주입하여 pH 조절을 수행하였다. 수질 분석은 착수정의 원수 및 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입 후 여과수를 대상으로 탁도와 pH는 현장 분석을 수행하였고, 알칼리도, 이온 분석 등은 1~2시간 단위로 채수하여 실험실에서 분석하였다.

정수장 착수정에 유입원수 수질은 pH 6.46, 탁도 1.9 NTU이었으며, 여과수의 수질은 pH 6.47, 탁도 0.15 NTU로 측정되었다. 칼슘 이온농도는 5.28 mg/L, 경도 18.4 mg/L as CaCO<sub>3</sub>, 알칼리도 14 mg/L as CaCO<sub>3</sub> 이었다. 10% Ca(OH)<sub>2</sub>는 10시간 동안 주입 후 멈췄으며, 약품 주입시에 여과수를 샘플링하여 수질을 분석하였다. 10% Ca(OH)<sub>2</sub> 주입시작부터 시간에 따른 여과수의 수질 분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 10% Ca(OH)<sub>2</sub> 주입에 따라 시간에 따른 여과수 탁도 변화를 Fig. 3에 나타냈다. 여과수의 탁도는 0.15 NTU 전후로 일정하여 Ca(OH)<sub>2</sub>에 따른 탁도 증가 문제는 나타나지 않았다. 여과수의 pH는 6.4~6.8로 나타나 Ca(OH)<sub>2</sub> 주입에 따른

**Table 3.** Analysis of water quality of filtered water by Ca(OH)<sub>2</sub> injection

Time(hr)	Turbidity(NTU)	pH	Alkalinity(mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Electric conductivity	LI
0.0	0.15	6.47	14.0	5.28	53.5	-2.86
0.5	0.15	6.59	14.5	5.69	51.9	-2.69
1.0	0.14	6.49	12.9	5.59	51.8	-2.85
3.0	0.14	6.80	14.5	6.11	55.0	-2.45
5.0	0.14	6.57	17.3	6.63	60.6	-2.57
7.0	0.16	6.80	19.6	7.59	65.4	-2.23
9.0	0.16	6.75	21.8	8.55	70.1	-2.19
11.0	0.15	6.58	25.8	10.00	78.7	-2.22
13.0	0.16	6.40	32.9	12.20	91.1	-2.22
15.0	0.15	6.54	27.8	10.70	81.4	-2.20
16.5	0.15	6.62	25.6	10.40	77.0	-2.17
19.5	0.15	6.60	23.6	9.15	72.6	-2.28

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

pH 상승 폭은 크지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 4).

Ca(OH)<sub>2</sub> 주입에 따른 칼슘이온 농도를 보면 초기 5.28 mg/L에서 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입 후 시간이 지남에 따라 증가하였고, 13시간 후에는 칼슘이온농도가 12.2 mg/L 까지 증가함을 확인하였다(Fig. 5). Ca(OH)<sub>2</sub>를 10시간 주입하여, 주입이 멈춘지 3시간 지난 후에 칼슘농도가 최대로 증가함을 보여, 충분한 체류시간이 필요함을 확인하였다. 알칼리도는 칼슘 증가하는 경향과 비슷하게 증가하다가 감소되는 경향을 보였다 (Fig. 6).

해수담수화공정에서 미네랄 공급을 위해 3 mg/L의 칼슘을 주입한 경우 탁도가 0.22 NTU로 높게 나타났으나 (Kim et al., 2017), 본 실험에서는 균질화기기를 사용하여 6 mg/L이상 칼슘이 용해되고, 탁도 증가

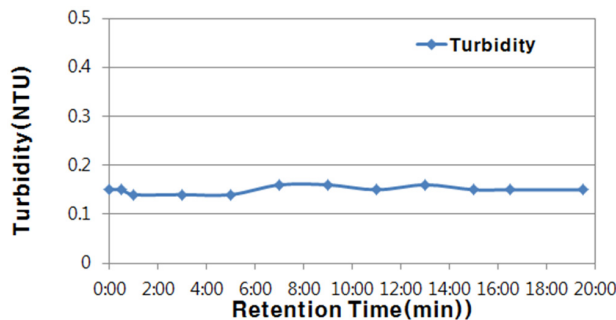


Fig. 3. Turbidity change according to time.

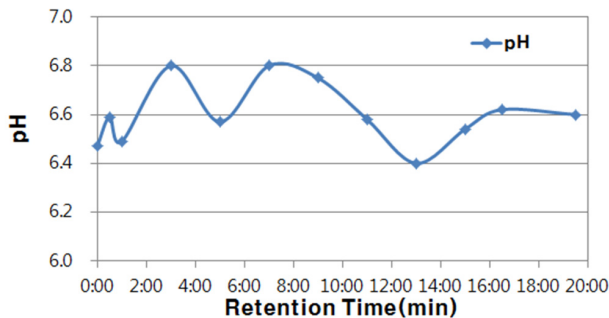


Fig. 4. pH change according to time.

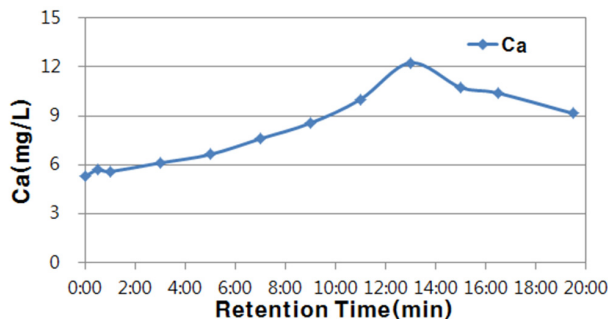


Fig. 5. Calcium change according to time.

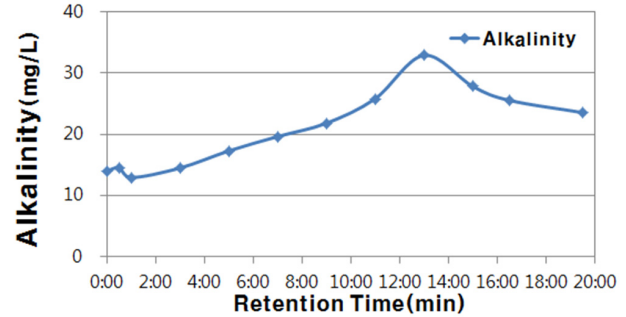


Fig. 6. Alkalinity change according to time.

문제도 발생하지 않음을 확인하였다. 분산화장치를 미사용한 경우보다 사용한 경우에 Ca(OH)<sub>2</sub> 용해도가 향상되었다. K 지역의 정수장 생산용량이 700 m<sup>3</sup>/일로 정수장의 여과지의 물이 석회수 용해된 물로 전체가 전환되기에는 24시간 이상 Ca(OH)<sub>2</sub> 연속 투입하여야 하지만 본 실험에서는 현장 여건 등을 고려하여 10시간 투입하였다. Ca(OH)<sub>2</sub> 투입에 따른 여과지 표면 폐쇄현상 및 여과수 탁도 증가 등 문제가 없는 것으로 나타났다. 탁도 증가나 여과지 표면 폐쇄는 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입시 발생할 수 있으나, 10시간 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입에도 탁도 증가 등 문제가 발생하지 않아 연속 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입은 탁도 등 수질 문제가 없을 것으로 예측된다. Fig. 6에서 알칼리도는 32.9 mg/L as CaCO<sub>3</sub>로 최대 18 mg/L as CaCO<sub>3</sub> 증가됨을 확인하였다. 부식성 지수인 LI를 비교해보면 초기 여과수 LI는 -2.86 이었으나, 칼슘농도 및 알칼리도 등 증가로 인해 LI는 -2.17 로 0.69 정도 상승함을 보여 수돗물의 부식성 제어에는 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험은 미네랄 공급 및 녹물방지를 위한 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입이 성공적으로 이뤄진 것으로 판단된다.

### 3.3 부식제어 실증 플랜트를 이용한 석회수 용해기술 평가 결과

석회수 주입에 따른 부식속도 영향을 평가하기 위해 탄소강 시편을 활용하여 무게감량 실험을 수행하였다. 대상은 서울의 G 정수장의 침전수를 대상으로 침전수에 이산화탄소를 주입하여 pH를 낮춘 후 Ca(OH)<sub>2</sub>를 주입하여 칼슘이온 농도를 높인 여과수(석회수)와 수돗물을 대상으로 무게감량 실험을 하였다. Ca(OH)<sub>2</sub> 용해도는 매우 낮아 물에 잘 용해되지 않아 pH를 낮춘 후 Ca(OH)<sub>2</sub>를 주입하여 칼슘 농도를 높였



**Table 4.** Analysis of sand filtered water quality in demo plant

	pH	Electric conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	Alkalinity (mg/L as $\text{CaCO}_3$ )	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	LI
Sample 1	6.97	259.30	36.15	79.18	18.21	-1.27
Sample 2	6.93	218.30	26.88	61.94	15.95	-1.56

다 (Park et al., 2017).

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  주입은 Ca 농도, pH를 증가시켜 배관 내의 철 용출을 억제한다고 한다 (Park et al., 2017). 또한  $\text{CO}_2$ 와  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 에 의해 부식반응이 억제되는 원인은 아래 반응식과 같이  $\text{HCO}_3^-$  농도가 증가되고, 최종적으로 생성된  $\text{CaCO}_3$ 가 부식을 억제하기 때문이라고 한다 (AWWARF and DVGW, 1996; Park et al., 2016).

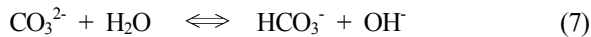
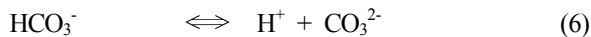
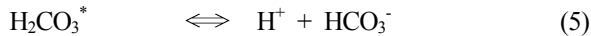
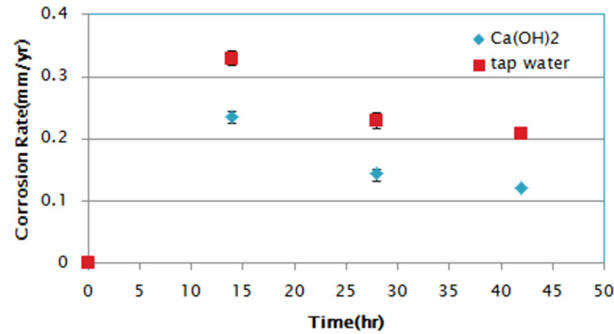


Table 4는 실증플랜트의 모래여과수 수질에 대한 분석 결과이다. 수질은 pH, 전기전도도, 칼슘, 마그네슘 이온, 알칼리도 정도를 측정하였으며, 부식성 지수는 LI를 이용하였다. Sample 1은 이산화탄소를 주입하여 pH를 낮춘 후 균질화기기를 거친  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 주입하여 칼슘이온 농도를 높인 여과수(석회수)이며, Sample 2는 모래여과수(수돗물)이다. Table 4에서 Sample 1의 LI 값이 -1.29로 수돗물의 LI 값 -1.56보다 높았다. 이는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  주입에 따라 칼슘 이온, 알칼리도 및 정도 등이 증가함에 따라 LI 값도 증가하였으며, 이에 따라 부식방지 효과에 좋을 것으로 판단된다.

석회수 및 수돗물 수조에 탄소강 시편을 침지시켜 2주, 4주, 6주 간격으로 시편을 꺼내어 무게감량 실험 후 부식속도를 분석하였다. 시편 침지 후 2주차에서 석회수에 침지한 시편의 부식속도는 0.23 mm/yr 이었으며, 수돗물에 침지한 시편의 부식속도는 0.33 mm/yr로 약 70%이상 부식속도가 늦어짐을 확인하였다 (Fig. 7). 또한 시간이 지남에 따라 부식속도는 감소하는 경향을 보였다. 따라서  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 부식제어에 효과적임을 확인하였다. 일반적으로 수도관에  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 주입하면



**Fig. 7.** Corrosion rate comparison.

탄산칼슘 포화 pH에서 탄산이온과 칼슘이 충분히 존재하면 관내면 위에 탄산칼슘 보호피막이 형성되어 부식이 억제된다 (Yu et al., 2008). 박 등의 연구에서와 유사한 경향을 보였으며, 다른 연구결과에서 알칼리도가 수돗물에서 부식억제에 효과가 있다고 하였다 (Park et al., 2016; Ahn et al., 2005; McNeill and Edwards, 2001).

즉, 비내식성 관종을 사용하는 지역에서는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  용해기술 적용이 필요하나, 내식성 관종을 사용하는 경우, 수도관 내부 부식 보다 토양 등 수도관 외부 부식 방지를 위한 기술개발이 필요하겠다. 또한  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 수돗물에 용해하는 기술은 미네랄이 아주 낮은 지역의 정수장이나, 미네랄 공급이 필요한 해수담수화 공정에 본 기술 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

수돗물의 수질특성이 다른 지역을 선정하여 수돗물에 대한 부식성지수 분석과 부식성이 강한 지역에 미네랄 공급을 위한  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용해기술 적용성 평가 등을 수행하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 수돗물의 부식성 지수인 LI 는 칼슘, 알칼리도, 정도 등에 영향을 받으며, 칼슘 등 미네랄이 적은 지역의 수돗물에 미네랄을 공급할 수 있는 방안이 필요하겠다.

pp. 211-220

pp. 221-233

pp. 235-242

pp. 243-251

pp. 253-259

pp. 261-268

pp. 269-277

pp. 279-289

2) 분산화장치를 이용한  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  용해기술에 대해 현장 실험을 통해 수돗물에 5 mg/L 이상의 칼슘 용해가 가능하고, 탁도, pH는 큰 변화없이 일정하게 유지되었고, 알칼리도, 경도 등이 상승함을 확인하여, 정수장에서 본 기술 적용이 가능함을 확인하였다.

3) 부식제어 플랜트에서 탄소강 시편을 이용한 무게감량실험 결과, 석회용해수가 기존 수돗물보다 부식속도가 늦음을 확인하여, 부식제어 효과도 있는 것으로 판단된다.

4) 미네랄 공급 및 부식방지를 위해  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  용해기술을 해수담수화공정이나 비내식성 관종을 사용하는 지역에 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 논문은 환경부의 씨앗기술성장지원기술개발사업 및 국립환경과학원과 공동연구과제의 일환으로 수행되었으며, 서울물연구원, 국립환경과학원 및 아름다운환경 등 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

## References

- Ahn, J.C., Park, C.M., Koo, J.Y. (2005). Modeling and Application of Chlorine Bulk Decay in Drinking Water Distribution System, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 19(4), 487-496.
- ASTM Standards G1. (1996). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, 9-15.
- AWWARF and DVGW 2nd ed. (1996). Internal Corrosion of Water Distribution Systems, USA. 406.
- Bum, M. L. (2013). The Effect of rain fall characteristics at drainage area on the corrosion index, master's Thesis, Dankook university, Chon-an, Korea, 10-11.
- Cheong, W.S., Kim, J.K., Park, D.J., Kim, S.W., Jeong, S.G. (2011). A study on the corrosion control of tap water by lime and carbon dioxide, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 25(2), 193-199.
- Denny A. Jones (1996). Principles and Prevention of CORROSION, prentice Hall, USA. 31-34.
- Fact Sheet - The National Lime Association, <https://www.lime.org/documents/lime.../lime-physical-chemical.pdf> (February 22, 2018).
- Kim, D.H., Yu, D.C., Son, H.J., Jang, K.H., Yu, J.S., Lee, K.S. (2017). "Mineral(Ca) injection and corrosive water control in seawater desalination process", *The CSSK Autumn Meeting & Automobile Corrosion Symposium Technical Meeting Abstracts*, 02-03 November, 2017, Inchon, Korea, The Corrosion Science Society of Korea.
- Kim, J.K., Kim, Y.K. (2011). Characteristics and improvement of tap water corrosivity in Korea, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, 25(5), 731-739.
- McNeill, L. and Edward, M. (2001). Iron Pipe Corrosion in Distribution Systems, *J. Am. Water Work Assoc.*, 88-100.
- Park, Y.B., Kim, S.J., Han, K.S., Kim, H.D., Choi, Y.J. (2017). "Corrosion Control in Water Treatment Process through  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Solubility Enhancement", *The CSSK spring Meeting and Erosion Corrosion Symposium-Forum*, 08-09 June, 2017, Jeju, Korea, The Corrosion Science Society of Korea.
- Park, Y.B., Park, J.H., Park, E.H., Lee, J.S., Kim, H.T., Choi, Y.J., Chung, H.M., Huh, Y.J., Choi, I.C. (2016). Corrosion Control Water Pipes by Adjusting the Corrosivity of Drinking Water : Effect and impact of the Corrosion inhibitor, *the Corrosion Science Society of Technology*, 15(6), 303-310.
- Tokyo metropolitan government(TMG), Bureau of waterworks (2017). [www.waterworks.metro.tokyo.jp](http://www.waterworks.metro.tokyo.jp) (February 22, 2018).
- Yu, S.J., Park, S.J., Kim, H.K., Ahn, K.H., Lee, Y.H., Kim, C.S., National Institute of Environmental Research. (2008). Study of the Secondary Contamination in the Water Distribution Pipeline, 69.