

수돗물 부식성 제어를 통한 수도관 부식방지 : 부식억제제별 효과와 영향에 대한 분석

박영복^{1,†}, 박주현², 박은희¹, 이진숙¹, 김현돈¹, 최영준¹, 정현미², 허유정², 최인철²

¹서울물연구원, 서울시 광진구 천호대로 716-10

²국립환경과학원, 인천시 서구 환경로 42

(2016년 12월 21일 접수, 2016년 12월 29일 수정, 2016년 12월 29일 채택)

Corrosion Control in Water Pipes by Adjusting the Corrosivity of Drinking Water : Effect and impact of the Corrosion Inhibitor

Young-Bog Park^{1,†}, Ju-Hyun Park², Eun-Hee Park¹, Jin-Suk Lee¹, Hyen-Ton Kim¹, Young-June Choi¹,
Hyen-Mi Chung², Yu-jeong Huh², and In-cheol Choi²

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

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

(Received December 21, 2016; Revised December 29, 2016; Accepted December 29, 2016)

The tap water used in Seoul was found to be corrosive. Its corrosivity was effectively reduced by that the additions of alkali agent such as NaOH, Ca(OH)₂ and corrosion inhibitor such as H₃PO₄. For the corrosion test, carbon steel pipe 50 m long was exposed to the drinking water produced by a pilot plant at 36.5 °C, similar to the existing process where it takes about 20 minutes to reduce the initial chlorine content of 0.5 mg/L to 0.05 mg/L. CO₂ and Ca(OH)₂ was added not only to control the Langelier index (LI) above -1.0 and but also, to increase the duration time of residual chlorine by about 6 times. The persistence effect of residual chlorine was in the order of H₃PO₄ > Ca(OH)₂ > NaOH. Measurements of weight loss showed that corrosion inhibition was effective in order of Ca (OH)₂ > H₃PO₄ > NaOH > no addition, where the concentrations of Ca(OH)₂ and phosphate were 5 ~ 10 mg/L (as Ca²⁺) and 1 mg/L (as PO₄³⁻), respectively.

Keywords : corrosion, LI, calcium hydroxide, chlorine

1. 서 론

1930년대부터 미국, 일본 등 상수도 선진국에서는 수돗물의 수질 조정을 통해서도 배관 부식과 녹물을 방지할 수 있다는 사실을 확인하고 수도관과 수돗물을 보호하는 방법을 연구개발하여 현재까지 적용해 오고 있다. 특히, 미국에서는 납-동 규제법 (Lead and Copper Rule)을 통해 모든 수도 사업자는 부식관련 수질 모니터링을 실시해야 하며, 인구 50,000명 이상에게 수돗물을 공급하는 기관은 부식억제 연구를 수행하도록 하고 있다¹⁾.

일본은 쾌적 수질 항목에 정수장에서 pH 7.5, 부식성 지

수 (Langelier Saturation Index, LSI)가 -1.0~0으로 부식성이 조절된 수돗물을 제조하여 공급하도록 하며, 공동 건축물 또는 공동주택에서는 급수용 방청제 사용을 통해 노후관의 부식을 방지하고 있다. 일본 방청제 협회는 빌딩 또는 아파트 등에서 녹물을 방지하기 위해 사용하는 방청제 사용방법, 사용량 등에 대하여 알려주고 있다. 일본 방청제 협회에서는 녹물 방지를 위해 투입하는 인산염 또는 규산염의 농도를 초기 6개월 동안은 15 mg/L as P₂O₅ or SiO₂ 유지하면서 7일 간격으로 농도분석을 실시하고, 이후 녹물이 거의 발생하지 않을 경우 5 mg/L as P₂O₅ or SiO₂이하로 유지하며, 2개월 간격으로 농도분석을 실시하도록 하고 있다²⁾.

국내의 경우도 녹물에 대한 문제가 많이 발생하고 민원 때문에 부식성 지수의 도입 필요성을 깨달아 정수장에서는

[†] Corresponding author: ybpark0510@seoul.go.kr

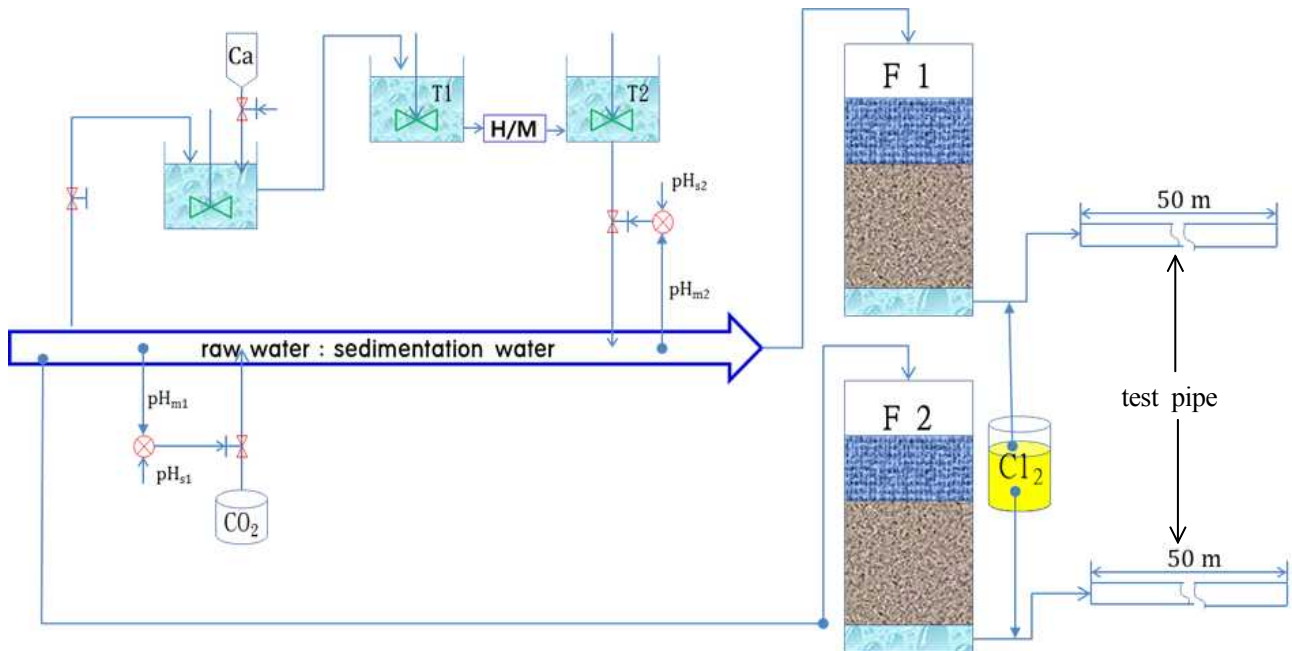


Fig. 1. Major processes diagram in demo plant[Ca : Ca(OH)₂, T1/T2 : lime storage tank, H/M : Homogenizer, F1 : filtration process with lime water, F2; filtration process without lime water, Cl₂ : Sodium hypochlorite].

수돗물의 부식성을 관리하기 위해서 2012.7.1.일부터 부식성 지수가 먹는물 감시항목으로 지정되어 시행되었으나 관리범위는 아직 정해지지 않았다³⁻⁶⁾. 우리나라 수돗물의 부식성은 지역마다 다르며, 2014~2015년 서울시 수돗물의 부식성에 대하여 정수 단계별 조사결과 원수 평균은 -0.67 ~ -0.21, 수돗물은 -1.70 ~ -0.93으로 조사되었으며, 한강물에서 수돗물로 처리하는 공정에 따라 부식성이 증가하는 것으로 나타났다. 부식억제제 관리는 빌딩 또는 아파트의 경우 일본과 유사하게 수처리제 사용지침에 부식억제제로서 인산염과 규산염을 정하여 개별적으로 관리하고 있으며, 부식억제제의 투입 농도는 인산염의 경우 5 mg/L as P₂O₅ 이하, 규산염의 경우 10 mg/L as SiO₂ 이하로 사용하도록 정하고 있다.

왜 수도관 부식을 방지하기 위하여 수돗물의 부식성을 잘 관리해야 하는가는 2014년 미국 미시건주 플린트시(Flint city)에서 발생한 수질사고가 잘 설명해 주고 있다. 플린트시는 예산절감을 위해 법적 기준인 부식성제어를 하지 않았고, 그로 인해 기준 농도 이상의 납이 검출되었고, 미생물 소독을 위해 사용되는 염소는 녹슨 수도관과 반응하여 거의 다 소모되어 레지오넬라 질병이 발병하도록 유도하여 10명이 사망하는 등 많은 문제를 일으켰다.

따라서 본 연구는 서울시 수돗물의 부식성을 분석하여 부식성 정도를 판단해보고, 수돗물의 부식성을 줄이기 위해 어떤 방법이 우리나라 환경에 가장 적합한 방법인지를 찾아보고자 하였다. 또한 감시항목으로만 지정되어 있고 관리범

위는 설정되지 않는 부식성 지수에 대하여 정수처리 demo plant를 사용하여 CO₂+Ca(OH)₂와 NaOH 등을 투입하여 탄소강에 대한 부식성 지수 효과를 분석하여 관리범위 설정에 참고가 되고자 하였다. 그리고 알칼리제 약품과 인산염 부식억제제에 대하여 부식억제 효과를 비교하였다.

2. 연구방법

2.1. 부식억제 약품과 실증플랜트 구성

수돗물 부식성을 판별하고 부식성을 평가하기 위해 사용한 약품은 Ca(OH)₂, NaOH, H₃PO₄등과 바탕시료로서 수돗물을 사용하였으며, 바탕시료인 수돗물은 어떠한 부식억제 약품도 함유하지 않는 현재 서울시에서 생산되고 있는 공정에서 생산되는 수돗물로서, 기준시료 (blank sample)로서 사용하였다. 각 약품탱크에 4 종의 시험배관이 연결되어 있으며, 종류는 탄소강관, 구리관, 아연도강관, 주철관이며, 각 시험관의 길이는 50 m, 관경은 20 mm 총 800 m이다. Fig. 1은 연구에 사용된 부식제어 demo plant 공정 중 수산화칼슘 첨가 효과를 비교하기 위한 공정을 나타내며, 이 플랜트의 수돗물 생산량은 200 m³/day이다.

Fig. 1의 공정을 설명하면, 칼슘첨가 수돗물은 여과지 F1을 통해서 여과되어 소독되며, H₃PO₄, NaOH첨가수 및 수돗물은 여과지 F2를 통해 생산된다. 소독제는 여과된 후 모든 공정에 공급되며, 현 공정에서는 sodium hypochlorite (NaClO)를 사용하였다.

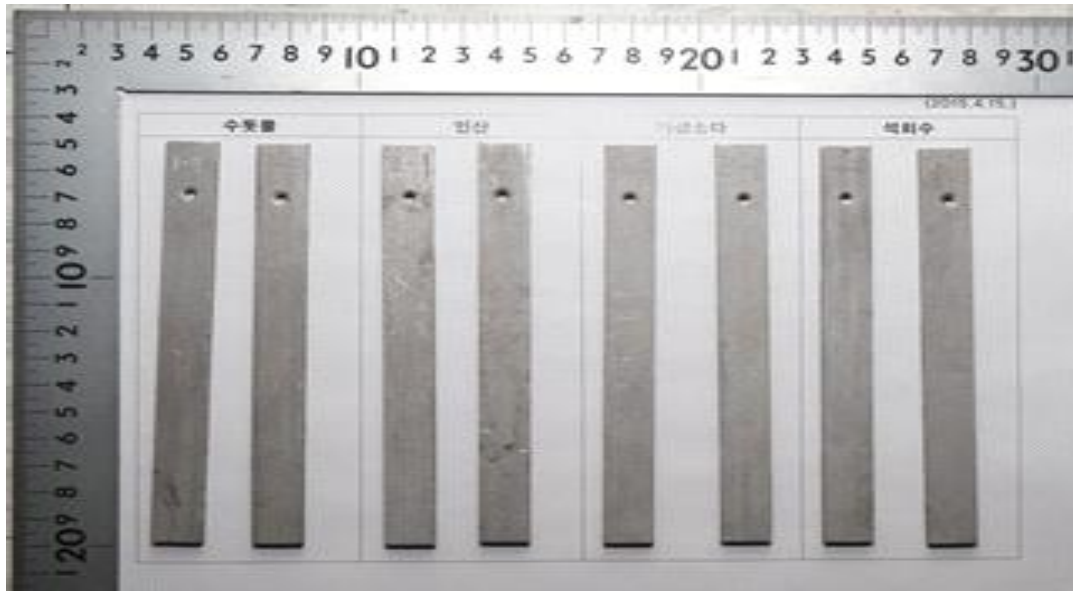


Fig. 2. Carbon steel test specimens to evaluate corrosion rate in drinking water.



Fig. 3. Test pipes in demo plant consisting of carbon steel, copper, galvanized iron, cast iron.

2.2. 무게감량 분석

각 부식억제 약품에 따라 부식억제 효과를 비교하기 위하여 가장 부식이 잘 되는 탄소강으로 부식속도를 분석하였다. 탄소강의 규격은 150 mm × 15 mm × 3 mm이다(Fig. 2). Fig. 3은 실증플랜트에 설치된 시험배관을 보여주고 있다. 부식속도 실험은 여과지 F1과 F2를 통과 후 실험수에 탄소강관 시편을 침지시켜 1개월에서 6개월 주기로 무게 감량을

측정하여 각 약품별 부식속도를 분석하였다. 탄소강 시편에서 부식생성물 제거는 ASTM G1에 따라 HCl과 hexamethyleneteramine을 혼합한 용액으로 20 °C에서 10분 정도 반응시킨 후 초순수로 세척 후 부식방지를 위해 0.1 M-trisodium phosphate용액에 30 sec 침지시킨 후 다시 초순수와 아세톤으로 세척하고 건조 후 최종적으로 무게를 측정하였다⁷⁾.

2.3. 부식성 지수 분석

LI (Langelier Index)는 1936년 미국의 화학자 W. F. Langelier에 의해 개발되었으며, 물에서 탄산칼슘의 포화 정도를 나타내는데 사용된다. 이 지수는 탄산칼슘이 불포화 되어 있으면 음의 값을, 그리고 과포화 되어 있으면 양의 값을 나타내며, 평형상태일 경우 “0” 을 나타낸다. 과포화 상태의 물은 탄산칼슘이 석출되어 배관내부에 침적되기 때문에 부식발생을 지연시켜 준다고 하며, 그 반대로 불포화 상태일 경우 금속 배관의 부식속도를 촉진하게 된다고 한다. LI는 pH, 수온, 알칼리도, 경도, 전기전도도, 칼슘이온 등의 함수로 다음식을 이용하여 산출된다.

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

여기서 LI = 포화지수
 pH_a = 실제물의 pH로 측정값
 pH_s = 칼슘이온과 중탄산이온 존재하여 CaCO₃ 평형일 때의 pH

pH_s의 계산은 다음 (2)식에 의해 계산된다.

$$pH_s = pK_2 - pK_s + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-] + 5p f_m \tag{2}$$

여기서 K₂ = HCO₃⁻의 2차 해리상수
 K_s = CaCO₃ 용해도 곱
 f_m = 이온쌍에 의한 알칼리도를 말하며, 보통 HCO₃⁻, CO₃²⁻, OH⁻, H⁺ 성분들보다 작은 값을 나타낸다.

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

2.4. 수질 및 잔류염소 효과분석

부식제어 실증플랜트에서 수온 36.5 °C에서 잔류염소 농도를 0.20 ~ 0.55 mg/L로 유지하면서 실험하였다. 초기 잔류염소는 배관내 철의 산화반응에 의해 소모되며, 현 공정에서 생산되는 수돗물과 부식억제 약품에 따라 속도식을 구하였다. 잔류염소 소모농도는 Fig. 3의 실험용 노후 탄소강관을 2시간 동안 연속적으로 유동시키면서 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120분 간격으로 HACH사 잔류염소 분석기를 이용하여 잔류염소 농도를 측정하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 수질분석

부식억제 약품주입에 따른 수질영향을 알아보기 위해 대조군을 수돗물로 하여 비교하였다. 운전기간 동안 실증플랜트 여과장치를 통과한 수질 분석결과는 Table 1과 같다. 실증플랜트 여과지 F2를 통해 생산된 수돗물 탁도는 평균 0.03 NTU로, 수질의 LI는 약 1.2로 약부식성의 수질 특성을 갖고 있었다.

F2 여과 공정은 우리 나라 정수처리 공정에서 일반적으로 채택하고 있는 여과공정이다. F2여과 공정을 통하여 생산된 수돗물에 H₃PO₄첨가한 수돗물의 인산염 농도는 1.1 PO₄ mg/L로 분석되었다. 또한 NaOH를 첨가한 수돗물은

Table 1. Analysis of water quality by adding corrosion inhibitor

	Drinking water	H ₃ PO ₄	NaOH	CO ₂ +Ca(OH) ₂
Turbidity (NTU)	0.03	0.03	0.07	0.03
Temp.(°C)	25.3	25.2	25.8	25.8
pH	7.2	7.1	8.6	7.3
alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	57.4	56.9	70.8	76.2
Ca ²⁺ (mg/L)	21.6	21.2	22.0	26.3
hardness (mg/L as CaCO ₃)	66.5	65.6	67.6	78.3
LI	-1.2	-1.3	0.2	-0.9
PO ₄ ³⁻	-	1.1	-	-

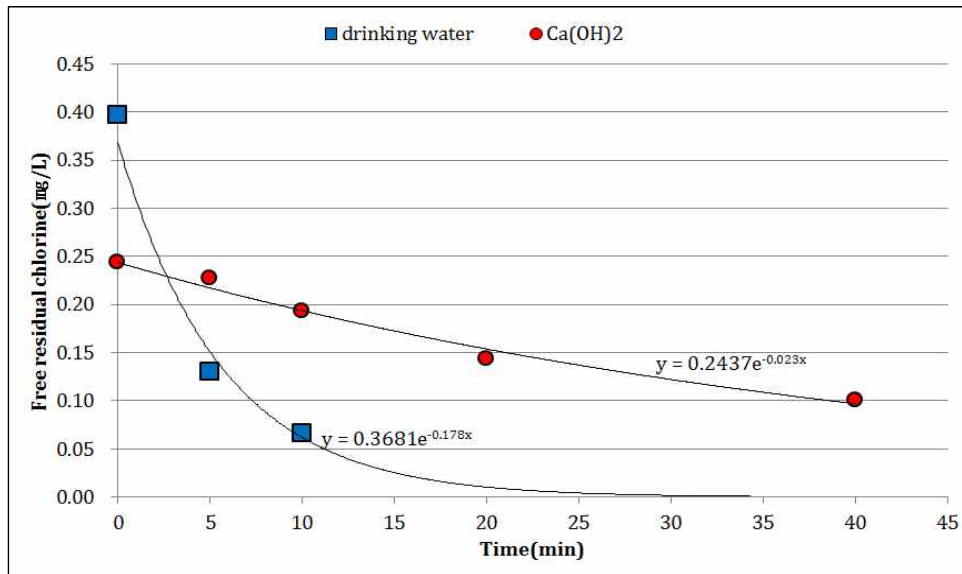


Fig. 5. Comparison graph of residual chlorine decay with/without lime water in old test pipes.

pH 8.6, 알칼리도는 70.8 mg/L as CaCO₃로 부식성 지수 LI는 0.2로 계산되었다. 수산화칼슘을 용해시키기 위하여 이산화탄소를 주입한 CO₂+Ca(OH)₂첨가한 수돗물은 Ca²⁺ 26.3 mg/L로 수돗물에 비하여 약 5 mg/L 증가하였으며, 알칼리도는 76.3 mg/L as CaCO₃로 나타났다. 알칼리도는 pH가 증가할수록 높아지는 경향이 있다. 그러나 실험결과 NaOH를 첨가한 수돗물이 CO₂+Ca(OH)₂를 첨가한 수돗물보다 pH는 높았으나 알칼리도는 높지 않은 것으로 분석되었다. 그리고 CO₂ 없이 Ca(OH)₂만 첨가할 경우는 NaOH를 첨가하는 경우와 유사하다. 그러므로 CO₂의 첨가 효과는 H₂CO₃의 약산을 만들지만 알칼리도를 증가시키므로 보다 낮은 pH에서도 CO₂+Ca(OH)₂는 알칼리도가 높은 것으로 분석되었다. 부식성 지수는 NaOH > Ca(OH)₂ > H₃PO₄ 미첨가물 순으로 나타났다. Table 1에서 보면 부식성 지수는 알칼리도, 칼슘 농도보다 pH의존성이 더욱 높은 것을 알 수 있다. 즉, NaOH 첨가에 의하여 pH가 8.6인 수돗물의 부식성 지수가 가장 높아 pH에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

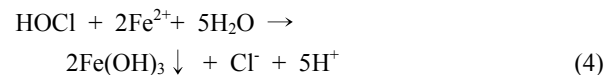
3.2. 무게감량 분석

Fig. 4는 실증플랜트 실험용액들 속에 침지한 탄소강 시편을 매 2주마다 수거하고 무게감량을 측정하여 부식속도를 계산한 것이다. 탄소강 부식억제 효과는 CO₂+Ca(OH)₂ > H₃PO₄ > NaOH > 미첨가물 순으로 분석되었다. 분석결과 부식속도는 시간에 비례하여 증가하는 것이 아니라 2 주 정도 시간이 경과하면서 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 실험결과는 T. E. Larson의 결과와 유사한 경향성을 가지고 있었다⁸⁾. 부식속도가 시간에 따라 비례적으로 증가

하지 않는 것은 탄소강 표면에 형성된 부식생성물이 부식반응으로 생성되는 전류 흐름을 방해하는 저항으로 작용하고, 또한 시험용액에 함유되어 있는 알칼리도 농도, 칼슘 농도, pH 등의 효과로 판단된다. Ca(OH)₂ 첨가수와 H₃PO₄ 첨가수가 탄소강의 부식속도 감소에 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. NaOH 첨가수와 수돗물은 6주가 경과하면서 비슷한 부식속도 경향을 보였다. 부식속도와 수질인자와의 상호관계를 분석해보면, 부식성 지수와 pH보다는 알칼리도와 칼슘 농도가 부식영향 인자로서 비중이 크다는 것을 알 수 있었다. Edward의 연구결과도 알칼리도는 수돗물에서 부식억제에 효과가 있다고 하였다⁹⁾.

3.3. 잔류염소 효과

일반적으로 물에 염소 (chlorine)가 첨가되면 pH 7.5에서 HOCl과 OCl⁻가 평형에 도달한다. pH 7.5이하에서는 HOCl이 우세 중이고, 7.5이상에서는 OCl⁻가 많이 생성된다. 염소는 모든 금속과 유기물에 대하여 매우 강한 산화제이다. 즉, 염소와 철과의 반응은 다음과 같다.



소독제로서 HOCl은 미생물 살균의 목적에 쓰이는 것이 가장 바람직하지만, 반응식 (4)와 같이 철과 같은 금속의 산화반응에 소모된다면 Fe(OH)₃와 같이 녹물발생을 유도하고, 염소이온 농도를 높이고, pH를 감소시키기 때문에 수도관의 부식을 가속화하게 된다.

Table 2는 수온 36.5 °C에서 직경 20 mm의 노후 탄소강

Table 2. Reaction rate analysis of residual chlorine each corrosion inhibitor in old pipes(x=time, min, y= residual chlorine concentration)

	linearity(R ²)	equation	linear equation
drinking water	0.9794	$y=0.3681e^{-0.178x}$	$\ln y = 0.3681-0.178x$
Ca(OH) ₂	0.9857	$y=0.2437e^{-0.025x}$	$\ln y = 0.2437-0.023x$
NaOH	0.9947	$y=0.4223e^{-0.038x}$	$\ln y = 0.4223-0.038x$
H ₃ PO ₄	0.9727	$y=0.461e^{-0.013x}$	$\ln y = 0.461-0.013x$

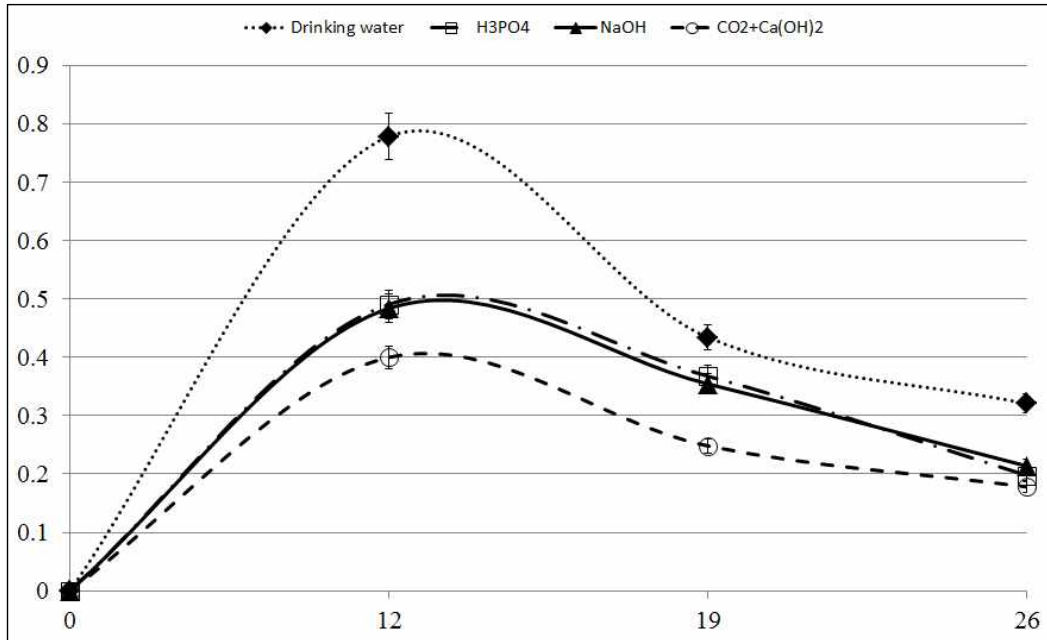


Fig. 4. Corrosion rate comparison by adding corrosion inhibitors.

관 50 m내에서 120분 동안 수돗물과 Ca(OH)₂, NaOH, H₃PO₄등이 첨가된 수돗물을 순환시키면서 잔류염소 농도의 감소속도를 분석한 것이다. 아무런 부식억제제 약품이 함유되지 않은 수돗물을 노후 탄소강관에 순환시킬 경우 약 20분이 경과하면 잔류염소가 0.05 mg/L이하로 분석되어 소독제로서 역할은 상실하는 것으로 나타났다. 수돗물에서 시간과 잔류염소 농도에 대한 R²은 0.9794로서 좋은 비례 관계를 보여주고 있다. 그러나 수돗물에 CO₂와 Ca(OH)₂를 첨가하면 잔류염소 감소속도는 느려져서 60분이 경과 한 후에도 0.05 mg/L이상의 잔류염소 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 수돗물의 초기 염소농도는 0.40 mg/L, Ca(OH)₂ 첨가 수돗물의 초기 염소농도는 0.24 mg/L이며, 더 적은 초기 잔류 염소 농도임에도 불구하고 노후 탄소강관에서 잔류염소 지속시간은 6배 정도 더 오랜 시간 지속하는 것으로 나타났다. Fig. 5는 수돗물과 CO₂와 Ca(OH)₂ 첨가 효과에 의한 잔류염소 감소 속도를 나타내는 것이다. Ca(OH)₂ 주입은 Ca농도, pH를 증가시켜 철 용출량을 억제한다고 한

다¹⁰⁾. CO₂와 Ca(OH)₂를 첨가하여 잔류염소의 반응속도가 감소하는 것은 (4)와 같은 반응을 억제하기 때문이라고 판단 된다. 또한 CO₂와 Ca(OH)₂에 의해 부식반응이 억제되는 원인은 아래 반응식과 같이 HCO₃⁻농도가 증가되고, 최종적으로 생성된 CaCO₃가 부식을 억제하기 때문이다¹¹⁾.



Anhn 등의 연구결과에 의하면 금속이 없는 밀폐된 유리 병에서 잔류염소 감량 실험을 한 결과 0.2 mg/L이상의

HOCl 농도로서 90시간 이상을 지속하였다고 한다. 따라서 Ca(OH)₂를 첨가하여 소독제(산화제)와 금속의 산화반응 억제제가 가능하므로 Ca(OH)₂ 첨가는 소독 효율을 향상시킬 수 있고, 수도관의 녹물 발생과 수명연장도 가능하다고 판단된다. 그러므로 금속과 반응하지 않는 잔류염소는 원 목적인 세균 또는 바이러스 불활성화에 보다 효과적으로 작용할 것으로 기대된다¹²⁾.

기준 시험용액으로 demo 플랜트에서 생산된 수돗물은 50 m 노후 탄소강관에서 약 10 분 후 잔류염소 농도는 0.40에서 0.07 mg/L로 감소하였으나, 정인산염을 첨가한 수돗물은 40분 후 잔류염소 농도가 0.48 mg/L에서 0.28 mg/L로 감소하였으며, 잔류염소 농도가 0.05 mg/L가 되는 시간을 구하기 위해 Table 2에 있는 선형 식에 대입하면 4.42 hr 후에 도달한다는 것을 알 수 있다. 많은 상업용 부식억제제가 유통되고 있지만 칼슘, 아연, 나트륨 등이 첨가되지 않은 인산의 부식억제 효과도 수돗물에 비하여 4 시간 이상 지속된다는 것을 알 수 있다. Ca(OH)₂ 투입에 따라 잔류염소와 금속의 산화반응이 억제되는 것처럼 인산 투입도 금속과 산화반응을 억제하는 것으로 나타났으므로 소독 효과 증진에도 기여할 것으로 분석되었다. 인은 식물 성장의 3 요소로서 미생물의 중요한 먹이로서 작용할 수 있지만 산화제로서 잔류염소가 물속에 더 오랜 시간 동안 존재하므로 미생물 불활성에 기여할 수 있다¹³⁾.

수돗물에 NaOH 첨가한 (pH 8.6) 경우는 잔류염소 농도가 0.45에서 0.10 mg/L로 감소하는 데 걸리는 시간은 40분 인 것으로 측정되었다. pH 8.6의 수돗물과 탄소강의 Pourbaix 도표에서 전위 값은 -259 mV로 거의 부동태 영역

에 위치한다^{14,15)}. 그러나 수돗물에 주입한 산화제인 잔류염소와 염소이온, 황산이온과 같은 부식 촉진 이온류 영향으로 pH는 8.6으로 상승하였으나 알칼리도 농도가 Ca(OH)₂가 첨가된 수돗물보다 적어 부식방지 효과가 떨어진 것으로 나타났다. Ca(OH)₂에 비하여 NaOH의 장점은 액체이기 때문에 현장에서 다루기 쉽고, 농도조절이 용이하고, 수돗물과 완벽하게 혼합되어 탁도 상승이 거의 없다는 것이 장점이다. NaOH 주입은 수돗물과 비교하여 잔류염소 0.05 mg/L까지 소모되는데 걸리는 시간은 약 90 min으로 계산되었다. NaOH는 Ca(OH)₂보다 유지관리는 편리하지만 pH 8 이상으로 유지해야 하므로 수처리 공정의 응집반응에서 부정적인 영향을 줄 수 있고, 수질을 pH 7.5 이상 유지할 경우 염소 소독효과가 떨어지므로 소독제 주입량을 증대시켜야 한다는 단점이 있다^{16,17)}. 또한 미국, 일본 등에서 실시하고 있는 부식성지수 제어법은 적어도 pH 7.5이상으로 관리토록 하고 있으며, 미국 일부 도시는 pH 9.0 정도로 관리하고 있는 곳도 있다. pH를 높여 소독능을 관리하면 염소 약품 투입비용 또는 정수장에서 물의 접촉시간을 늘려야 하는 단점을 가지고 있다.

Fig. 6은 수온 36.5 °C에서 H₃PO₄, Ca(OH)₂, NaOH, 수돗물에 대한 잔류염소 감소속도를 비교한 그림이다. 잔류염소 소모반응을 억제하는 효과는 H₃PO₄(1 mg/L as PO₄) > Ca(OH)₂ (5 mg/L as Ca²⁺) > NaOH (pH 8.7)의 순으로 나타났다. 인산염은 현장에서 작업자가 다루기 용이하고, 주입량 대비 부식억제 효과는 대비 시험약품 중에서 우수한 것으로 나왔다. 그러나 단점으로 인은 독성은 없지만 식물성장의 필수영양요소로서 하수처리장에서 적절하게

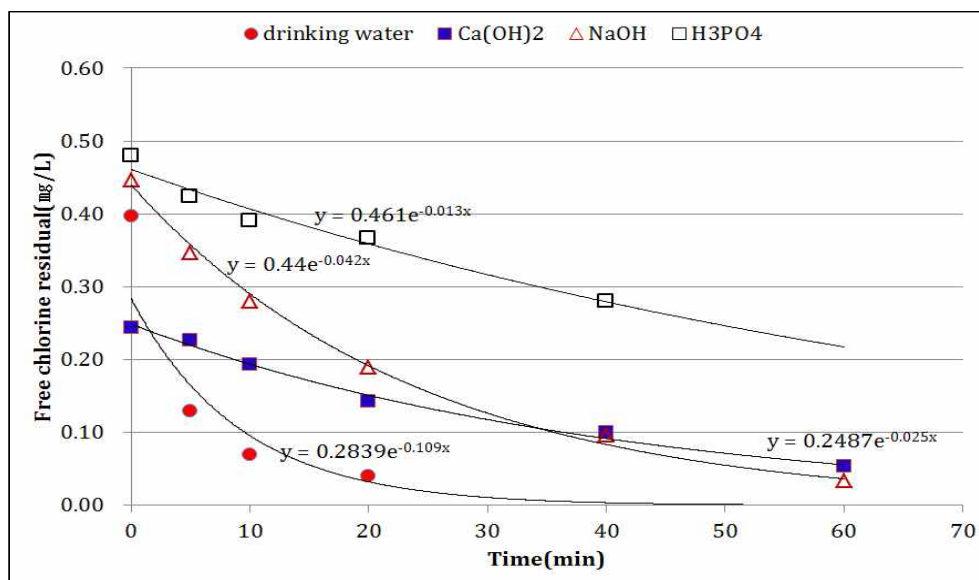


Fig. 6. Comparison graph of residual chlorine decay by adding corrosion inhibitors in old test pipes.

제거되지 않고 하천에 방류될 경우 조류의 번식을 촉진할 우려가 있다. 그러나 $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 이용한 부식성 제어 기술은 pH 7.0 ~ 7.5범위에서 제어가 가능하기 때문에 소독능 효과, 부식억제 효율, 경제성 측면에서 장점이 더 많은 것으로 분석되었다.

4. 결론

수돗물에 부식억제 약품과 부식성 수질제어 약품인 H_3PO_4 , NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 주입하여 수질변화를 조사하고, 각각의 약품별 노후 탄소강관 50 m에서 부식억제 효과를 실험한 결과 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 수돗물 부식성은 부식성 지수(LI) 기준으로 -1.0이하가 되면 부식성이 높아 지는 것으로 나타났다.
- (2) 실험용 50 m 탄소강관에서, 수돗물의 부식성 지수(LI)가 -1.0이하일 경우 잔류염소가 0.5 mg/L에서 0.05 mg/L로 감소되는 시간은 약 20분 정도로 측정되었으며, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 등 알칼리제를 주입하여 LI를 -1.0이상으로 조절하면 잔류염소 감소시간은 약 6배(120 분) 이상 증가하는 것으로 측정되었다.
- (3) 잔류염소 지속효과는 $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{NaOH} >$ 수돗물 순으로 나타났으며, 탄소강의 무게감량 분석 결과, 주입량 대비 부식억제 효과는 $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{H}_3\text{PO}_4 > \text{NaOH} >$ 수돗물 순으로 나타났다.
- (4) NaOH를 주입하여 수돗물의 pH를 8.5 정도로 하면, 수돗물의 부식성이 줄어들어 수도관의 부식저감 효과와 잔류염소 지속시간 연장에는 기여할 수 있으나, 현재와 같은 소독효과를 유지하려면 소독제 주입 농도를 증가시켜야 한다는 단점이 있다.

감사의 글

본 과제는 국립환경과학연구원과 공동연구 과제 일환으로 수행되었습니다.

References

1. EPA, Drinking Water Requirements for States and Public Water Systems, <http://www.epa.gov/dwreginfo/lead-and-copper-rule>.
2. Japan Drinking Water Corrosion Inhibitor Association, Corrosion Inhibitors in Water Pipes, http://www.kyusuihozen.gr.jp/akamizu/about_bouseizai.htm.
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, Houston (1996).
8. T. E. Larson, and R. V. Skold, *J. Am. Water Works Ass.*, **49**, 1294 (1957).
9. L. S. McNeill, and M. Edwards, *J. Am. Water Works Ass.*, **93**, 88 (2001).
10. Y. B. Park, Y. J. Choi, B. G. Huh, H. G. Park, and I. S. Park, *Proceedings of the 2009 Spring Meeting and Power Plant Symposium on the Corrosivity Reducing Technologies and Control Methods of Drinking Water*, p. 61, CSSK, Gwangju, Korea (2009).
11. AWWARF & DVGW, Internal Corrosion of Distribution Systems, 2nd ed., p. 406, AWWARF, Denver (1996).
12. J. C. Ahn, C. M. Park, and J. Y. Koo, *J. Korean Soc. Water Wastewater*, **19**, 487 (2005).
13. M. Batté, B. Koudjonou, P. Laurent, L. Mathieu, J. Coallier, and M. Prévost, *Water Res.*, **37**, 1351 (2003).
14. E. E. Stansbury, and R. A. Buchanan, *Fundamentals of Electrochemical Corrosion*, p. 62, ASM International, OH (2000).
15. Y. B. Park, Y. J. Choi, B. G. Huh, H. G. Park, I. S. Park, and Y. S. Park, *Proceedings of the 2009 Autumn Meeting and Symposium&Forum on the Effects of Water Vapor Dissolved Chlorine Gas for Stainless Steel Corrosion*, p. 51, CSSK, Jeju (2009).
16. EPA 815-R-99-013, Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual, p. 3-3, US EPA (1999).
17. G. Bowman, and R. Mealy, *The Fundamentals of Chlorine Chemistry and Disinfection* (2007).
18. http://www.epa.gov/dclead/zinc_ortho.htm, September 27th (2004).