

## 수질제어 및 부식억제제에 의한 상수도관의 내부부식 제어

# Internal Corrosion Control of Drinking Water Pipes by pH and Alkalinity Control and Corrosion Inhibitor

구성은<sup>1</sup> · 우달식<sup>1,\*</sup> · 이두진<sup>2</sup> · 김주환<sup>2</sup> · 안효원<sup>2</sup> · 문광순<sup>1</sup>

Kuh, Sungeun<sup>1</sup> · Woo, Dalsik<sup>1,\*</sup> · Lee, Doojin<sup>2</sup> · Kim, Juwhan<sup>2</sup> · Ahn, Hyowon<sup>2</sup> · Moon, Kwangsoon<sup>1</sup>

1 (재)한국계면공학연구소

2 한국수자원공사, 수자원연구원

(2005년 12월 2일 논문 접수; 2006년 4월 11일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

The internal corrosion of water distribution systems is the main cause for the problem of the public health threat as well as water leakage in the damaged pipeline, red water, and odor and taste of the tap water. This study was examined the effect of chemicals used for pH and alkalinity control and corrosion inhibitors for producing the optimal corrosion control method. Corrosion study at different pH and alkalinity indicated that these control using alkaline chemicals was effective in corrosion rate, Fe release reduction, but examined to be increased in turbidity and corrosion-by-products(TTHMs) problems. The turbidity was slightly increased, requiring caution in controlling corrosion with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . At pH 9.0, TTHMs concentration is increased two times compared with non-control of pH. Using the pipe which had experienced 28 years of exposure, iron release was decreased with the corrosion inhibitor. Consequently, pH, Alkalinity control method using alkaline chemicals must be complemented by corrosion inhibitor application for efficient corrosion control.

**Key words:** pH and alkalinity control, Corrosion Inhibitor, Corrosion Rate, Iron Release

**주제어:** 수질제어(pH, 알칼리도 조절), 알칼리도, 부식억제제(방청제), 부식도, 철 용출

## 1. 서 론

상수도관의 내부 부식으로 발생하는 문제는 첫째, 철 성분이 용출되어 발생하는 관 재질의 손상, 둘째, 관 내부에 스케일이 축적되어 나타나는 통수능력의

저감 및 펌프 압력 증가, 셋째, 금속 이온 및 부식생성물 입자들의 용출에 의한 수질저하 및 적수발생으로 인한 주민들의 수도물 불신 등을 들 수 있다 (McNeill and Edwards, 2000).

상수도의 내부 부식은 매우 복잡하고 다양한 인자들에 의해 영향을 받는다. 각 상수도 시스템 조건에

\*Corresponding author Tel: +82-2-579-7212, FAX: +82-2-579-7213, E-mail: ds\_woo@kise.re.kr (Woo, D.S.)

따라서 영향 인자가 달라질 수 있지만, 부식에 영향을 미치는 주요 수질 인자들은 pH, 알칼리도, DO 등이다(McNeill and Edwards, 2001). 대표적인 관 내부 부식 저감 방법으로는 pH, 알칼리도 등의 수질제어, 인산염이나 규산염과 같은 부식억제제 주입, 세관/라이닝 등의 관개생 방법 등이 있다(Sarin et al., 2004; Edwards et al., 2002; AWWARF, 1996). 특히 국내 수도물은 대부분 강부식성 수질임에도 불구하고 관 내부 부식제어를 위한 연구 및 시설 투자가 절대적으로 부족한 실정이며, 수도물 수질에 직접적으로 영향을 미치는 부식문제를 해결하기 위한 대책이 미흡한 것이 사실이다. 반면, 미국에서는 1991년 납동규제법(LCR, lead and copper rule)이 제정된 이후 상수도관의 부식제어를 위해 pH, 알칼리도 및 경도 조절 등의 수질제어 방법과 함께 정수장에서 부식억제제를 투여하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 국내에서는 현재 16년 이상 된 관을 노후관으로 평가하여 관 교체 사업을 추진하고 있는데 반해, 미국은 100년 이상된 수도관에 대해서도 지속적인 부식관리를 통하여 부식에 의한 관노후화를 억제함으로써 건전한 상태를 유지하고 있다(안효원, 우달식, 2004).

국내 상수원수는 경도 및 알칼리도가 낮은 특성이 있고 정수처리 공정상 전염소처리 등으로 인한 수도물의 부식성이 증가(남상호, 2002)하기 때문에 부식성 수질에 대한 평가와 부식성 수질제어를 위한 효과적인 수처리 방법의 도입이 필요하다. 상수관망 내부의 부식을 억제하는 방법 중 가장 기본적인 것은 정수의 수질을 변화시키는 방법인데 기존의 정수장에서 쉽게 적용 가능하고 경제적인 방법 중 하나가 pH, 알칼리도 조절 및 부식억제제 주입에 의해 수질을 제어하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 pH 및 알칼리도 조절에 의한 수질제어 방법, 부식억제제 효과 분석 등을 종합적으로 검토하여 상수도관의 내부의 최적 부식제어 방법을 모색하고, 보다 향상된 정수처리 방법을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험장치

pH, 알칼리도 및 부식억제제 주입을 위한 순환실험 장치는 Fig. 1에 제시하였으며, 시편관(sleeve)과

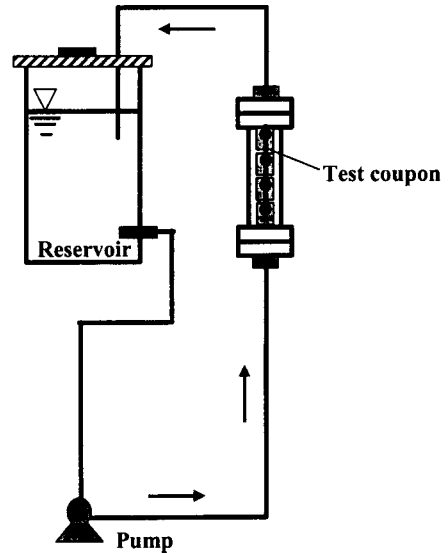


Fig. 1. Schematic of continuous loop plant for corrosion test.

저류조(reservoir)로 구성되어 있다. 시편관은 시편(coupon)이 설치될 수 있도록 직경 30mm, 길이 300mm의 아크릴 원통관으로 상하부가 분리되도록 제작하였다. 시료를 저장하는 저류조의 유효용량은 10L이며, 유입유속 1m/sec로 조절하여 순환시켰다. 알칼리제의 종류에 따른 탁도 및 TTHMs 생성 실험은 1L 비이커에 교반기를 사용하여 50rpm으로 교반하면서 회분식으로 수행하였다.

한편, 부식이 많이 진행되어 부식생성물로 인해 단면 축소, 녹물 발생 등의 문제가 되고 있는 기존 매설관을 채취하여 부식억제제 적용시 부식 지연 효과를 살펴보기 위하여 28년 경과된 직경 20mm인 아연도강관을 길이 20cm로 가공하여 Fig. 2와 같이 순환식 실험장치에 연결하였다.

### 2.2. 실험방법

pH, 알칼리도 조절에 따른 부식도 및 철의 용출 농도를 검토하기 위하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와  $\text{CO}_2$ 를 사용하여 pH와 알칼리도를 조절하였으며, 3~4일에 한번 물을 교체하면서 26일간 순환실험을 수행하였다. 초기 실험수는 한강수계의 수도물로 수질특성은 Table 1에 제시하였으며, 실험 조건은 Table 2와 같다. 부식억제제 효과 분석을 위해 부식억제제 종류 및 농도별 부식도와 철의 용출 농도를 관찰하였으며, 가장 효과



Fig. 2. Photographs of continuous loop plant for the old pipes(aged 28 years) corrosion test.

적인 부식억제제 주입 농도를 도출하였다. 부식도 (MDD, mg/(dm<sup>2</sup>)(day))는 무게감량법으로 측정하였으며, 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{부식도(MDD)} = \frac{\text{시편의 초기무게(mg)} - \text{시편 시험 후 무게(mg)}}{\text{시편의 표면적(dm}^2\text{)} \times \text{시험침적 일수(day)}}$$

pH, 알칼리도 조절 방법과 연계하여 부식억제제 주입 유무에 따른 효과를 순환식 실험을 통해 검토하였으며, pH, 알칼리도 조절에 의한 부산물 생성 여부를 검토하기 위하여 Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>를 사용하여 pH를 7.5에서 9.0까지 변화시키면서 회분식 실험을 수행하여 탁도 변화 및 TTHMs 생성 여부를 분석하였다. TTHMs 생성 실험은 잔류염소 농도 0.62mg Cl<sub>2</sub>/L의 정수장 정수지 물을 이용하였으며 잔류염소와 알칼리제와의 반응시간은 1시간으로 하였고, TTHMs의 분석은 Standard method를 참고하여 GC-ECD-method(Gas-Chromatography with Electron-Capture Detector, CX 8600, Varian, USA)로 분석하였다.

한편, 기준관에 부식억제제 적용시 효과를 검토하기 위하여 부식억제제 유무에 따른 부식도 및 철의

Table 1. Characteristics of initial water quality

Contents	Value
pH	7.1
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	30
Hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	49
Sulfate (mg/L)	18
Chloride (mg/L)	15
Conductivity (μS/cm)	182
LI	-1.13

농도 변화를 관찰하였다.

부식억제제 종류에 따른 비교 실험에서는 Zinc-phosphate, Ortho/poly phosphate, Ortho phosphate, Silicate 성분의 부식억제제를 각각 1mg PO<sub>4</sub>-P/L, 1mg SiO<sub>2</sub>/L의 농도로 사용하여 탄소강의 부식도 및 철의 용출 농도 변화를 비교하였다.

pH, 알칼리도 조절에 의한 부식제어 효과 분석을 위해 회분식, 순환식 실험에 이용된 시편은 탄소강 재질로 크기 1.27×7.6×0.17cm, 표면적 22.19cm<sup>2</sup>의 것을 사용하였고, 부식 실험은 무게감량법으로 ASTM G-31, NACE standard TM 0169의 방법을 참고하여 실험하였다.

Table 2. pH and alkalinity control conditions for corrosion test

Classification	pH	Alkalinity(mg as CaCO <sub>3</sub> /L)	Adjustment
Run 1	Non-control (7.1)	Non-control (30)	add Ca(OH) <sub>2</sub> , bubble with CO <sub>2</sub>
Run 2	7.3	40	"
Run 3	7.5	50	"
Run 4	7.8	60	"

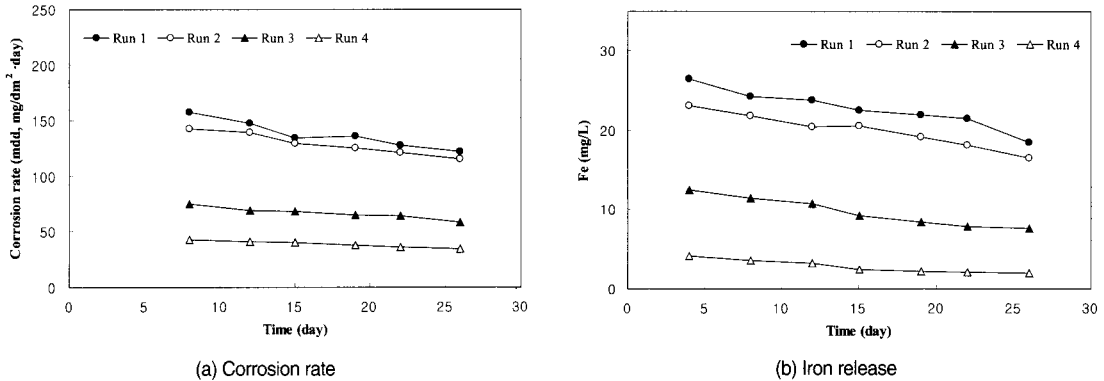


Fig. 3. Effect of pH/alkalinity control on (a) corrosion rate and (b) iron release.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. pH, 알칼리도 조절에 따른 부식도 및 철의 용출농도

pH, 알칼리도 조절에 따른 부식도 및 철의 용출농도를 관찰한 결과를 Fig. 3에 제시하였다. pH를 조절하지 않은 경우에 비해 pH 7.3인 경우는 부식도 저감 효과가 다소 미미하게 나타났으며, pH 7.5에서는 부식도가 약 48% 저감되는 효과를 보였으며, pH 7.8 이상으로 조절시 약 70% 저감 효과를 나타냈다. 부식도는 반응시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 보였는데, 이는 시편 표면에 형성된 산화물 피막에 의한 것으로 보여진다(AWWARF, 1996). 수중에 존재하는  $Ca^{2+}$ 와  $CO_3^{2-}$  이온의 농도의 적이 용해도적보다 작은 불포화 상태가 되면 부식이 빠르게 진행되기 때문에  $Ca(OH)_2$ 와  $CO_2$ 를 사용하여 이들 이온을 보충함으로써 탄산칼슘 침전으로 인한 부식 제어가 가능하게 된다(김도환 등, 2003). pH, 알칼리도 조절시 철의 농도 변화는 부식도의 변화 경향과 유사하게 pH와 알칼리도 증가에 따라 저감되는 양상을 나타냈다. Sarin 등(2004)의 연구에 의하면 pH가 증가함에 따라 2가 철 이온의 스케일(Ferrous solids)보다는 상대적으로 촘촘한 스케일 구조를 가지며 수중에서 용해되기 어려운 3가 철 이온의 산화물(Ferric hydroxide 또는 Ferric oxide) 형성 속도가 더 빨라지게 되어 부식속도 및 철의 용출 농도가 저감되는 것으로 보고된 바 있다. 또한, 알칼리도의 증가는 탄산제1철(Ferrous carbonate)의 용해도를 저감시켜 수중 철 용

출농도가 감소하게 되며, 더 단단한 스케일을 형성하게 된다(Sarin et al., 2004; Sarin et al., 2002). 일반적으로 알칼리도가 증가하면 부식속도가 저감되는 결과를 나타내며, 적수로 인한 주민들의 불만은 알칼리도를 고농도로 유지하였을 때 해결되는 것으로 조사되었다(McNeill and Edwards, 2001).

#### 3.2. 알칼리제 종류에 따른 탁도 변화

pH, 알칼리도 조절시 탁도 증가는 대표적인 수질 문제로, 본 연구에서는 AWWA standard B202, B501, B201(AWWARF, 1996)에 제시된 대표적 pH 및 알칼리도 조절 약품인  $Ca(OH)_2$ , NaOH,  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ 를 사용하여 pH를 7.5에서 9.0까지 증가시킬 때 동일 pH에서 탁도 변화를 관찰하였으며, pH를 조절하지 않은 경우와 비교하였다(Fig. 4). pH를 조절하지 않은 경우에 pH는 약 7.1 정도였다. 실험결과, NaOH의 탁도 변화는 매우 완만하게 증가하여 pH를 9.0까지 증가시켜도 0.16NTU의 값을 보였다.  $Ca(OH)_2$ 의 경우 사용된 다른 알칼리제에 비해 탁도 증가 정도가 매우 급격하게 관찰되었으며, pH 7.5로 조절시 조절하지 않은 경우에 비해 5.6배, pH 9.0으로 조절시 약 11.5배 증가하였다. 알칼리제에 따른 탁도 증가 정도는  $Ca(OH)_2 > NaHCO_3 > Na_2CO_3 > NaOH$ 의 순으로 나타났는데, 이러한 경향은 알칼리제의 용해도가 낮은 약품일수록 탁도 증가 정도가 더 크기 때문인 것으로 사료된다(O'Neil, 2001). 환경부는 2004년 7월 1일부터 정수장에서의 정수처리기준 등 수질관리방법을 강화하는 한 가지 방안으로 1일

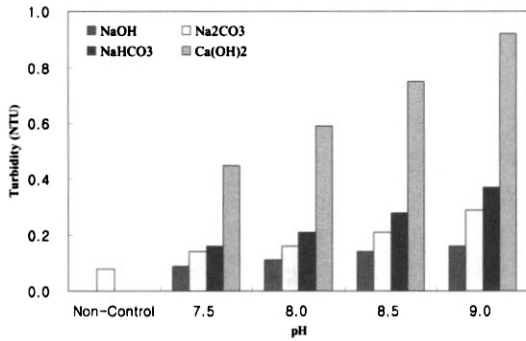


Fig. 4. Turbidity variations according to the different chemicals used for pH/alkalinity adjustment.

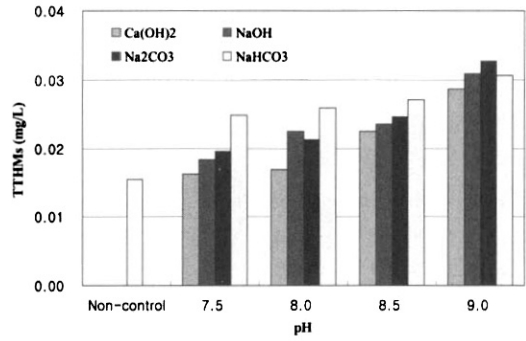


Fig. 5. TTHMs formation according to the different chemicals used for pH/alkalinity adjustment.

수돗물 생산능력이 10만톤 이상인 정수장의 탁도 관리기준을 0.5NTU에서 0.3NTU로 낮추었고, 자동측정기를 설치하여 탁도를 매 15분 간격으로 연속 측정 감시해야 하는 등 기준을 점차 강화시키고 있다(환경부, 2004). 알칼리제를 이용한 pH 조절 방법은 탁도 관리 측면에서 다소 어려움이 있음에도 불구하고, 부식제어를 위해 환경부에서는 pH의 하한선을 5.8에서 6.5로 상향시킬 계획으로 있다(환경부, 2004). 따라서 본 실험에서 탁도 상승이 가장 적은 것으로 나타난 NaOH가 탁도 측면에서는 유리하다고 볼 수 있으나, pH 조절이 어렵고, Ca(OH)<sub>2</sub>에 비해 고가인 단점이 있다. 또한 NaOH는 pH 증가 측면에서는 다른 알칼리제와 비슷하지만 알칼리도 증가율이 낮아 알칼리도를 동일 수준으로 높이기 위해 NaOH의 주입량을 증가시키게 되면 pH가 높아질 수 있어 우리나라와 같이 원수의 알칼리도나 경도가 낮은 수질에서는 사용이 제한될 수 있는 것으로 알려져 있다(환경공학연구정보센터, 2004). 결론적으로 알칼리제 종류에 따른 탁도 변화 측면에서는 NaOH가 가장 유리하지만, 경제성, 이용의 안전성, pH 변동폭 등에서는 다소 불리할 수 있으므로 실제 정수장에서 알칼리제 선정시에 이러한 여러 변수들을 충분히 고려하여 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.3. pH 조절에 따른 TTHMs 생성

수중의 유기물(NOM, natural organic matter)과 염소 소독과정에서 염소와의 반응 결과 생성된 소독부산물인 THM(Trihalomethane)은 정수처리 공정 중의 총 염소사용량, 염소접촉시간, 물의 온도와 pH, 총

유기탄소 농도와 그 특성 등에 영향을 받으며 (Abdullah et al., 2003; Lin and Hoang, 2000), 먹는물 수질기준에서는 총트리할로메탄을 0.1mg/L 이하로 유지하도록 규정하고 있다(환경부, 2002). pH조절에 의한 TTHMs 생성 실험 결과는 Fig. 5와 같다. TTHMs의 생성농도는 pH가 7.5에서 9.0으로 변화시 증가하였으며, 이러한 결과는 다른 연구에서의 결과와 일치한다. 즉, El-Dib와 Ali(1995)의 연구에서는 pH 6~9 사이의 조건에서 실험시 pH 증가에 따라 TTHMs의 농도가 증가하는 결과를 보였으며 이성식 등(2004)의 연구에서도 pH를 6.5에서 9.0로 증가시킴에 따라 THM의 생성농도가 직선적으로 증가하는 것을 확인하였다.

알칼리제의 종류에 따른 TTHMs 생성은 Ca(OH)<sub>2</sub>의 경우에 가장 낮게 관찰되었다. pH를 9.0까지 상승시켰을 때, TTHMs 농도는 pH를 조절하지 않은 경우(약 pH 7.1)에 비해 약 2배 정도의 증가를 보였다. TTHMs은 중추신경 계통의 작용을 억제하고, 간장과 신장에 영향을 미치며, 발암성을 가지고 있어 TTHMs가 함유된 물을 계속 섭취했을 때 암 발생 가능성이 있는 것으로 알려져 있다(김주환 등, 1998). 본 연구에서는 pH 9에서 pH를 조절하지 않은 약 7.1보다 TTHMs 농도가 약 2배정도 증가되는 결과를 보여 부식제어를 위해 pH 조절을 고려하는 경우 소독 부산물에 대한 충분한 검토가 필요함을 알 수 있었다.

### 3.4. 부식억제제 종류에 따른 부식도 및 철의 용출농도

pH 조절 방법이 부식제어를 위한 가장 대표적인

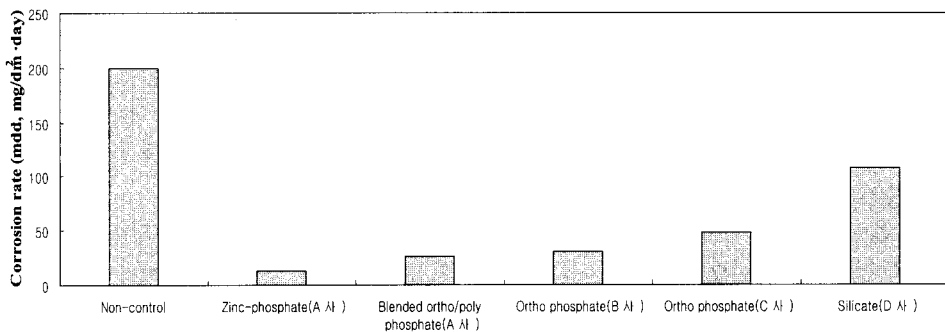
방법이지만, 부식제어 효과를 높이기 위하여 pH 조절과 연계하여 정수장이나 개인 소유의 저수조에 인산염 혹은 규산염계통의 부식억제제를 주입하고 있다(AWWARF, 1996).

일반적으로 부식억제제는 물에 가용성이나 금속 표면에 불용성 또는 난용성의 피막을 형성하여 금속 이온의 용출과 용존산소의 환원 반응을 방해함으로써 부식을 억제한다(경희대학교 환경연구소, 1996; AWWARF, 1996). 그러나, 부식억제제의 성분에 따라 각각의 방식반응 기전과 효율이 다소 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 Zinc-phosphate, Ortho/poly phosphate, Ortho phosphate, Silicate 성분의 부식억제제를 사용하여 부식도 및 철의 용출 저감 효과를 비교하였다. 실험 결과는 Fig. 6와 같이, Zinc-phosphate 부식억제제의 효과가 상대적으로 가장 우수한 것으로 파악되었으며, 인산염 형태의 부식억제제가 규산염 형태에 비해 부식제어에 효과적인 것으로 나타났다. Zinc-phosphate는 양극 부식방지제인 phosphate와 음

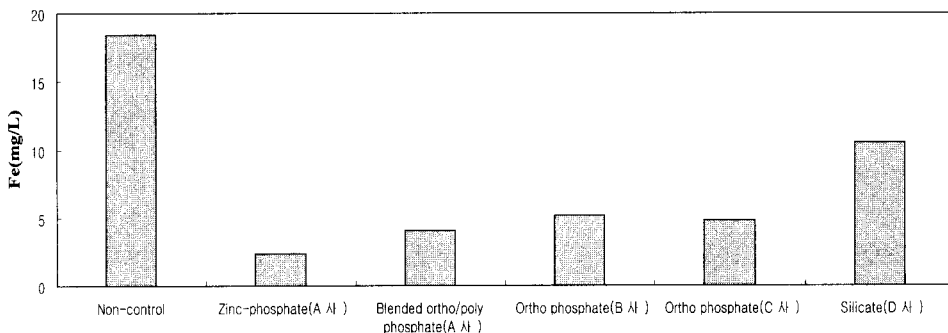
극 부식방지제로 작용하는 Zn을 혼합 사용하여, 철 이온과 같은 용해된 금속염과 불용성의 염을 생성하여 양극부위에 부착력이 강한 피막을 형성함과 동시에, 자신이 직접 음용수 중에 용해된 상태로 존재하여 수중의 수산화 이온과 결합하여 음극 부위에서 전기적 부도체인 피막을 형성하고 산소의 투과를 저해함으로써 음극 반응속도를 감소시키는 역할을 하여 부식제어에 효과적인 것으로 알려져 있다(Edwards, 2002; Volk et al., 2000; Gonzalez et al., 1996; Benjamin et al., 1990).

### 3.5. 부식억제제 최적 주입농도

환경부 고시 제2004-95호에 의하면 인산염( $P_2O_5$ )의 농도가 10mg/L(= 약 13mg  $PO_4/L$ )를 넘지 않도록 하여야 한다고 되어 있고, 미국의 경우에는 투입 상한선이 없다. 부식억제제의 모든 원료는 먹는물 관리법 시행규칙 제20조 1항의 별표 6에 의거하여 식품 첨가물에 지정되어 있는 성분을 사용한다. 미국 국립



(a) Corrosion rate



(b) Iron release

Fig. 6. Comparison of effect on corrosion control according to different corrosion inhibitor.

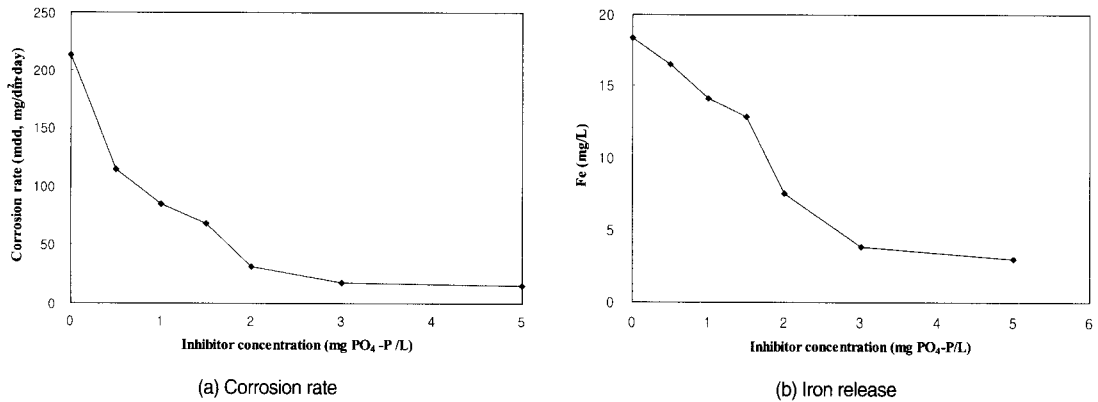


Fig. 7. Determination of optimal concentration of corrosion inhibitor.

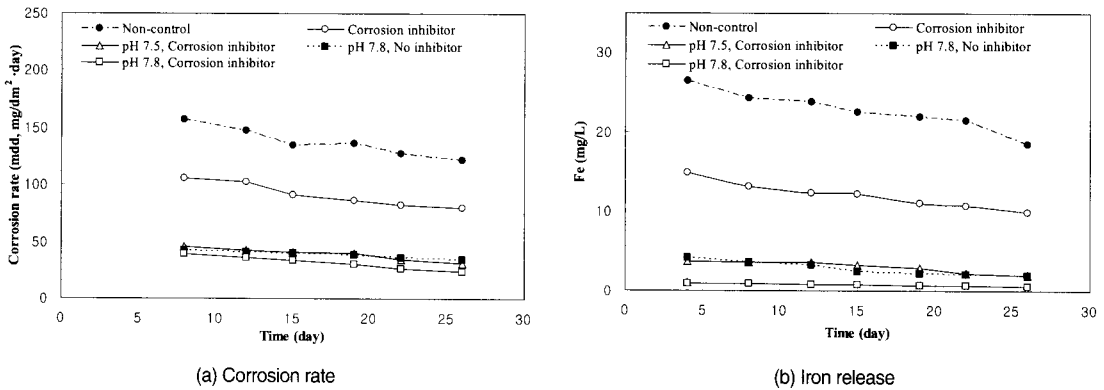


Fig. 8. (a) Corrosion rate and (b) iron release using zinc-phosphate based corrosion inhibitor along with pH/alkalinity adjustment.

위생재단(NSF), 미국 환경보호청(EPA), 미국 수도 협회연구재단(AWWARF)는 인산염 부식억제제가 인체 유해성이 없는 물질로 규정하고 있고, 미국의 식품의약품 안정청(FDA)에서는 인산이 탄산수, 우유, 치즈, 달걀, 빵, 오렌지, 바나나 등에 함유된 안전물질(GRAS, Generally Recognized as Safe)로 지정되어 있는 바와 같이 인산염 부식억제제에 대한 인체 유해성은 없는 것으로 보고 되고 있다.

상기 실험에서 가장 효과적인 것으로 검토된 Zinc-phosphate 부식억제제의 최적 주입농도를 도출하기 위하여 0~5mg PO<sub>4</sub>-P/L 범위로 농도를 변화시키면서 부식도 및 철의 용출 농도 변화를 관찰하여 Fig. 7에 제시하였다. 실험 결과, 농도 증가에 따라 부식도 및 철의 용출 농도가 점차 감소하다가 3mg PO<sub>4</sub>-P/L 이상의 농도에서는 효율이 거의 일정하게 나타나는

것으로 파악되었다.

### 3.6. pH, 알칼리도 조절 방법과 연계한 부식억제제 적용 효과

pH, 알칼리도를 변화시키면서 부식억제제 주입 유무에 따른 부식도 및 철의 용출 농도 변화를 관찰하여 Fig. 8에 제시하였다.

pH, 알칼리도를 조절하지 않고 부식억제제를 주입한 조건에서 주입하지 않은 것에 비해 철의 용출농도와 부식도가 각각 평균 47, 33% 저감되는 것으로 나타났다. pH를 7.5로 조절하고 부식억제제를 주입한 경우의 부식도는 평균 72%로 pH를 7.8로 조절하고 부식억제제를 주입하지 않은 경우와 동일한 값을 보였다. pH 7.8의 조건에서 부식억제제를 주입한 경우 부식억제효과가 가장 높은 것으로 나타나 Fe 용출농

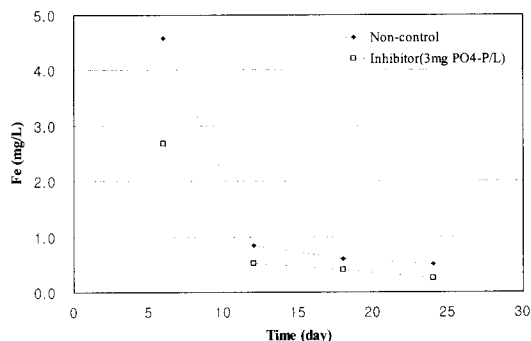


Fig. 9. Effect to prevent the iron from releasing in aged water pipe(26years) using corrosion inhibitor.

도와 부식도가 각각 평균 97, 77% 저감되는 효과를 보였다. 부식억제제를 주입함으로써 pH를 다소 낮게 유지할 수 있는 것으로 나타났으며, pH조절과 부식억제제 주입을 연계하는 경우 pH 상승에 따른 THM 생성문제를 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3.7. 노후상수도관에서의 부식억제제 적용성 평가  
이미 부식이 진행되어 관 내부에 스케일 등이 형성된 배관을 이용하여 부식억제제 유무에 따른 철의 용출 농도변화를 분석하였다. 이는 Edwards 등(2002)의 실험결과와 유사하게 철의 용출 농도는 실험초기에 급격하게 감소하고 10일 이후에서는 완만하게 감소되는 양상으로 나타났다. 부식억제제를 주입 유무에 상관 없이 12일이 지난 후 용출된 철의 농도는 초기 6일 경과시 철 농도에 비해 약 80% 저감되는 것으로 나타났으나 12일 경과 후에는 그 감소폭이 줄어드는 것으로 관찰되어 24일 경과 후에는 6일 용출 농도에 비해 90% 저감되었다. 또한 부식억제제를 투여하는 경우 주입하지 않은 조건에 비해 평균 41% 철 용출 저감 효과가 나타났다. 본 연구에서 사용한 부식억제제는 인산염과 아연이 혼합된 형태로, 인산염을 단독으로 사용하였을 경우보다 인산염과 아연을 함께 사용하여 시너지 효과에 의해 부식제어정도가 훨씬 증가하는 것으로 판단된다. 인산염계 부식억제제는 양극 부식억제제로 수중 금속 이온과 반응하여 금속표면위에 침전 및 불용성의 부식방지 피막을 형성하는 기능을 수행하며(Nancollas, 1983; Edwards, 2002), 아연은 음극 부식억제제로 작용하여 금속의 전위를 낮추고 수산화 이온과 반응하여 불용성의 침전물을

형성하기 때문이다(Rozenfeld, 1981).

#### 4. 결 론

본 연구에서는 한강 수계의 수질 조건에서 pH, 알칼리도 조절 및 부식억제제 적용을 통한 상수도관의 내부부식 제어 효과를 분석하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 알칼리제를 사용하여 pH, 알칼리도를 조절한 결과, pH를 조절하지 않았을 때에 비해 pH 7.3으로 조절된 경우 부식도 저감 효과가 다소 미미하게 나타났으나, pH를 7.5 이상으로 증가시킨 경우 부식도, 부착도 및 철의 용출 농도측면에서 45% 이상의 저감 효과를 가질 수 있는 것으로 파악되었다.
2. pH, 알칼리도 조절 방법은 부식도 및 철의 용출 저감 효과가 있음에도 불구하고 탁도 유발 및 TTHMs 등의 소독부산물 증가라는 2차 오염의 가능성이 있는 것으로 검토되었다.
3. 부식제어 효과를 증가시키기 위하여 부식억제제를 종류별로 검토하였으며, 그 결과 Zinc-phosphate 계통의 부식억제제가 양극과 음극 부식방지를 동시에 진행하여 인산염계나 규산염계 방청제에 비해 더 효과적인 것으로 파악되었다.
4. pH, 알칼리도 조절과 함께 부식억제제를 주입한 경우 pH, 알칼리도만 조절한 경우에 비해 부식도 및 철의 농도 저감에 효과적인 것으로 파악되었다. pH 7.5의 조건에 부식억제제를 주입한 경우와 부식억제제를 주입하지 않고 pH를 7.8로 조절한 경우 모두 부식억제제와 pH 조절을 수행하지 않은 조건에 비해 평균 72% 저감되어 동일한 부식제어 효과를 보였다. 상수도관의 내부부식 제어, 수돗물의 탁도 및 THM 생성 등의 관계를 종합적으로 고려해 볼 때, pH를 7.5로 조절하고 부식억제제를 주입하는 것이 경제성이며 효과적인 것으로 판단된다.
5. 부식이 진행되어 스케일이 형성된 기존관 내부에 부식억제제 주입 유무에 따른 철의 용출 농도변화를 관찰한 결과 부식억제제를 주입한 경우 주입하지 않은 조건에 비해 철 용출 농도가 평균 41% 저감되는 것으로 나타나 부식이 이미 진행된 관에서도 부식억제제의 효과가 있는 것을 확인하였다.



참고문헌

1. 경희대학교 환경연구소 (1996) 수도관의 부식과 방식 대책. 경희대학교 환경연구소.
2. 김도환, 이재인, 한동엽, 이지형, 김동윤, 노재순, 권기원 (2003) 수도관 부식방지를 위한 CCPP 조절유무에 따른 모의관로와 메설관로에서의 중금속농도 변화, 대한환경공학회 2003 추계학술연구발표회 논문집, pp. 1383-1387.
3. 김준환 등 (1998) 먹는물 수질관리기법 개발에 관한 연구(II). 국립환경연구원보.
4. 남상호 (2002) 국내 수도물의 수질특성 및 방청제 관리현황. 수도용 방청제 국제워크샵, pp.13-37.
5. 안효원, 우달식 (2004) 상수도 배급수시설 부식방지를 위한 부식억제제 적용의 현안과 과제, 한국상하수도협회지, 8, pp.96-103.
6. 이성식, 성낙창, 이종팔, 박현석, 정미은, 이상준, 윤태경 (2004) 정수처리공정에서 소독부산물인 트리할로메탄의 생성모델. 한국환경과학회지, 13(3), pp.297-300.
7. 환경공학연구정보센터 (2004) 약품투입시설의 설계 및 운영에 관한 사례연구(1), DICER Technlfo Part II, 3(8), pp.404-415.
8. 환경부 (2004) 고시 제2004-95호, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준.
9. 환경부 (2004) 환경부 보도자료 '7월부터 정수장의 수질관리방법 강화'.
10. 환경부 (2002) 먹는물수질공정시험방법.
11. Abdullah, M.P., Yew, C.H., and Ramli, M.S. (2003) Formation, Modeling and Validation of Trihalomethanes (THM) in Malaysian Drinking Water: a Case Study in the Districts of Tampin, Negeri Sembilan and Sabak Bernam, Selangor, Malaysia, *Water Research*, 37, pp.4637-4644.
12. AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser (1996) *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*. AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, Denver.
13. Benjamin, M.M., Reiber, S.H., Ferguson, J.F., Vanderwerff, E.A., and Miller, M.W. (1990) *Chemistry of Corrosion Inhibitors in Potable Water*, AWWA Research Foundation and America Water Works Association.
14. Edwards, M. (2002) US Perspective on Corrosion Inhibitor Use in Potable Water Supplies, *International Workshop on Corrosion Inhibitor for Public Water Supply*, pp.41-64.
15. Edwards, M., Hidmi, L., and Gladwell, D. (2002) Phosphate Inhibition of Soluble Copper Corrosion By-product Release, *Corrosion Science*, 44, pp.1057-1071.
16. El-Dib, M.A. and Ali, R.K. (1995) THMs Formation during Chlorination of Raw Nile River Water, *Water Research*, 29(1), pp.375-378.
17. Gonzalez, Y., Lafont, M.C., and Pebere, N.A. (1996) Synergistic Effect between Zinc Salt and Phosphonic Acid for Corrosion Inhibition of a Carbon Steel, *Journal of Applied Electrochemistry*, 26, pp.1259-1265.
18. Lin, T.F. and Hoang, S.W. (2000) Inhalation Exposure to THMs from Drinking Water in South Taiwan, *The Science of the Total Environment*, 246, pp.41-49.
19. McNeill, L.S. and Edwards, M. (2000) Phosphate Inhibitors and Red Water in Stagnant Iron Pipes, *J. Environ. Engin.*, 126(12), pp.1096-1102.
20. McNeill, L.S. and Edwards, M. (2001) Iron Pipe Corrosion in Distribution Systems, *J. AWWA*, 93(7), pp.88-100.
21. Nancollas, G.H. (1983) Phosphate Precipitation in Corrosion Protection Reaction Mechanisms, *Corrosion*, 39(3), pp.77-80.
22. Rozenfeld, I.L. (1981) *Corrosion Inhibitors*. McGraw-Hill Inc.
23. Sarin, P., Snoeyink, V.L., Lytle, D.A., and Kriven, W.M. (2004) Iron Corrosion Scales: Model for Scale Growth, Iron Release, and Colored Water Formation, *J. Environ. Engin.*, 130(4), pp.364-373.
24. 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, *J. AWWA*, 96(11), pp.85-96.
25. Volk, C., Dundore, E., Schiermann, J., and Lechevallier, M. (2000) Practical Evaluation of Iron Corrosion Control in a Drinking Water Distribution System, *Water Research*, 34(6), pp.1967-1974.