

수질제어를 통한 관 내부 부식방지 기술의 정수처리공정 적용방안

Approaches to Internal Corrosion Control Technologies by Controlling Water Quality in Water Treatment Systems

서대근^{1,*} · 왕창근²

Seo, Dae-Keun^{1,*} · Wang, Chang-Keun²

1. 한국수자원공사 충청지역본부
2. 충남대학교 환경공학과

(2005년 12월 21일 논문 접수 ; 2006년 8월 11일 최종수정논문 채택)

Abstract

Although final water of domestic water treatment plants almost contains highly corrosive characteristics, the countermeasures for eliminating internal corrosion of pipeline system have not been conducted yet by controlling water quality in plants. The technologies of internal corrosion control are to control water quality parameters(pH, Alkalinity, and Calcium Hardness etc.) and to use corrosion inhibitor. Under the conditions of domestic water treatment, first of all, the technologies of adjusting water quality parameters has to be considered. Otherwise, The technology of using corrosion inhibitor is favorably thought to be applied with the technology of adjusting water quality parameters in accordance with the result of availability for water treatment process. Since the technology of adjusting water quality parameter influences on other water treatment processes, the guideline of water quality management to be apt for water quality characteristic is required to be established. While the selection of proper chemicals and technologies is dependent upon the raw water characteristics and water treatment process, typically, the technology of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ & CO_2 additions is considered more effective than other technologies in order to adjust pH and Alkalinity, increase Ca^{2+} and form CaCO_3 film

Key words: Corrosion, Corrosion Control, Langelier Index, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ & CO_2 addition, Coupon test

주제어: 부식, 부식제어, LSI, 소석회 및 이산화탄소 병행주입, 쿠폰테스트

1. 서론

상수도 관망의 부식은 수도관의 통수능력을 저하

시키고 관 수명 저하 및 적수 발생 등 수질악화의 원인이 되기도 한다. 국내에서도 최근 수도산업의 발전과 더불어 정수장의 수질관리는 많은 발전을 이루어

*Corresponding author : Tel: +82-43-230-4277, FAX: +82-43-230-4282, E-mail : seodk@kowaco.or.kr (Seo, D.K.)

왔지만, 급배수관망에서의 수질관리는 아직도 취약한 단계로서 특히 수도관의 부식에 따른 녹물발생 등이 시민들의 불만요인 중 커다란 부분을 차지하고 있다.

우리나라에서도 상수도관의 부식문제 해결을 위한 기본적인 연구는 진행되고 있으나 전기화학적 방법에 의한 관 외부 부식방지 대책이 대부분이며(부산대 환경기술·산업연구센터, 2001), 수도물의 수질에 영향을 미치는 관 내부 부식문제 해결을 위한 체계적인 연구는 많이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

관 내부 부식에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 수질로서, 수질에 따라 관 내부 부식에 영향을 미치는 정도가 달라진다.

우리나라 수원의 특성을 볼 때 수도물의 부식특성에 영향을 미치는 알칼리도가 낮은 등 원수 자체가 부식성이 높으며, 정수처리 과정에서 사용되는 응집제, 액화염소 등에 의해 수도물의 부식성이 더욱 커지고 있어 송·배수 과정에서 수도관의 부식을 촉진시키는 주요 원인이 되고 있다.(남상호, 2002)

본 연구의 목적은 수도물의 부식성에 영향을 미치는 수질 인자의 제어를 통한 관 내부 부식방지 기법의 종류와 장단점을 분석하고 향후 정수처리 공정에서 수도물의 부식방지를 위한 수질관리 방안의 효과적인 적용방향을 모색하는데 있다.

2. 국내 정수장 수도물의 부식특성 및 제어방안

2.1. 국내 정수장의 수도물 부식특성

국내 정수장의 수질은 수도물의 부식성에 영향을 미치는 pH, 알칼리도 및 경도가 낮은 편이며, 홍수기 집중강우 시에는 pH 및 알칼리도가 더욱 낮아지게 된다. Fig. 1은 전국의 30개 광역상수도 정수장(한강수계 10개소, 금강·섬진강수계 10개소, 낙동강수계 10개소)의 부식성 수질인자에 대한 수질현황으로 대부분의 정수장에서 낮은 pH, 알칼리도 및 경도를 보이고 있다.

또한, 각 정수장의 수도물의 부식성을 알아보기 위하여 가장 일반적인 수도물 부식성 평가지표인 LI지수(Langelier Index)로 각 정수장의 부식성을 평가한 결과 조사대상 총 30개 정수장에서 18개 정수장이 강부식성을 나타내고 있으며, 수계별로 보면 한강수계에 위치한 정수장은 부식지수가 비교적 타 수계보다

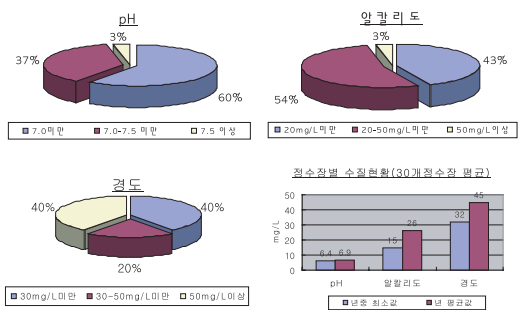


Fig. 1. Status on corrosion factors of 30 multi-regional waterworks (2004).

Table 1. Evaluation criteria on corrosion in tap water

LI < -2.0	-2.0 ~ -0.5	-0.5 ~ 0.0	LI > 0.0
강부식성	보통부식성	약부식	비부식성

※ LI(Langelier Index: 랑게리아 지수)

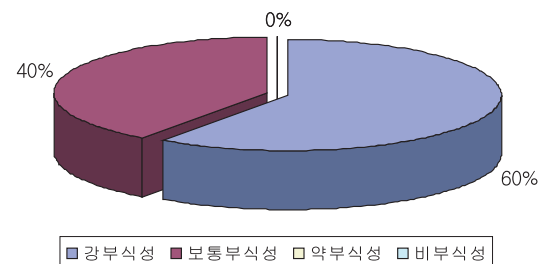


Fig. 2. Evaluation results on corrosion index of multi-regional waterworks (2004).

양호하여 보통부식성을 띠고 있는 반면, 금강수계 및 낙동강 수계에 위치한 정수장의 수도물은 대부분 강부식성 상태로서 수도물의 부식도가 매우 큰 것으로 나타났다.

2.2. 국내외 관 내부 부식 방지 기법 적용현황

2.2.1. 수질인자(pH 및 알칼리도) 조절

수소이온은 금속이 부식될 때 방출한 전자를 받는 중요한 물질 중 하나이기 때문에 pH는 부식에 중요한 인자이다. pH 5 이하에서 강관과 동관은 빠르고 균일하게 부식되나 pH 9 이상에서는 대개 보호막이 형성된다. 알칼리도는 부식화학에서 많은 영향을 미

치는데 이것은 CaCO_3 , FeCO_3 , $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ 등과 같은 피막을 형성하거나 제거할 수 있는 물의 능력을 나타내기 때문이다. 또한 납, 구리, 아연 등과 같은 금속과 용해도가 높은 착화물을 형성한다(경희대 환경연구소, 1996).

이와 같이 수도물의 수질이 금속관의 부식에 미치는 영향이 지배적이기 때문에 급·배수관망의 부식을 억제하기 위해 가장 기본적인 제어기법이 정수장에서 부식성 수질을 개선하는 방안이다. 대표적인 방법으로 pH와 알칼리도를 조절하는 것으로서 처리수에 약품을 주입하여 적정농도 이상의 pH와 알칼리도를 유지하는 방법이다(수자원연구원, 2004).

Table 2는 정수장에서 부식과 관련된 수질인자에 대한 적정 범위를 정한 것으로 각 나라별로 최저 권고 제한농도를 정하여 관리하고 있다. 특히, 네덜란드에서는 대표적인 부식지수인 LI의 적정범위를 제안하고 있으며, 미국과 독일도 LI지수 0이상을 권고하고 있다. pH는 대부분의 나라에서 최소 pH 6.5 이상을 유지하도록 정하고 있다. 우리나라는 pH 5.8을 최저기준으로 정하고 있으나, 미국, 유럽, 캐나다의 경우 pH 기준이 6.5~8.5이며, 일본의 경우 쾌적 수질항목으로서 pH 목표값을 7.5 정도, 부식정도를 LI

지수로 -1.0~0 유지하도록 권장하고 있다.

2.2.2. 부식억제제의 적용

우리나라에서는 부식억제제가 정수장에서 사용되고 있지 않으며, 수도물의 이용자들이 아파트 저수조 등에서 무분별하게 투여하고 있는 실정이다(우달식 등, 2002).

관 재질 및 수질 조건 등에 따른 부식억제제의 선정과 효율평가에 관한 연구는 국내의 경우 아직 초기 단계 인데 비해, 선진 외국에서는 부식억제제의 현장 적용기법, 부식제어 비용 및 배급수관의 수명연장 효과 등이 종합적으로 검토되어 상수도 급배수관의 부식방지를 위한 용도로 부식억제제가 널리 이용되고 있다(Edwards, 2002).

특히 미국에서는 1991년부터 미국 연방환경청(USEPA)에서는 음용수 중의 LCR(Lead and Copper Rule)을 제정하여 급배수관망에서 부식제어 대책으로서 수도꼭지에서의 구리와 납의 허용농도를 각각 1.3, 0.015mg/L로 강화함에 따라 이 기준을 만족시키면서 동시에 부식현상을 효과적으로 감소시킬 수 있는 부식억제제에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다(우달식 등, 2002).

Table 2. Control standard of corrosion for each country(AWWA, 1996)

Parameters affecting corrosion	Country ¹⁾								
	N	DK	SF	S	NL	UK	US	CDN	G
pH	7.5~8.5	8.0	7~9	7.5~9	7.8~8.3	5.5~9.5	6.5~8.5	6.5~6.8	6.5~9.5
Alkalinity, mg/L (as CaCO_3)	12-20	> 32	> 12	> 20	> 40	> 10			
Ca-Hardness, mg/L	15~25	20~200	20~30	20~60					
Chloride, mg/L	< 100	< 50	< 100	< 100			< 250	< 250	< 250
Sulfate, mg/L	< 100	< 50		< 100			< 250	< 250	< 240
Copper, mg/L	< 0.1			< 0.05			< 1.3	< 1.0	3.0 H
Iron, mg/L	< 0.1	0.05		0.05			< 0.3	< 0.3	0.2 A
Manganese, mg/L	0.05	0.02	0.1	0.02			0.05	0.05	0.05
Aluminum, mg/L	0.1	0.05	0.3	0.1			0.1	0.1	0.2 H
Langelier index(LI)					-0.2~0.3		0		0
Cadimum, mg/L	0.005 H	0.005 H	0.005 H	0.001 H	0.2 H	0.005 H	0.005 H	0.01 H	0.005 H
Lead, mg/L	0.05 H	0.05 H	0.05 H	0.01 H			0.015 H		0.04 H
Zinc, mg/L	1 H	5 H	1	0.3 T		5 H	5 A		5 A

Modified from Vik and Hedgerg(1991).

¹⁾ N = Norway, DK = Denmark, SF = Finland, S = Sweden, NL = the Netherlands, UK = United Kingdom, US = United States, CDN = Canada, G = Germany. A = asethetic, H = health, T = taste.

Table 3. Proportion of corrosion inhibitor at WTP in US

년도	1994	1996	2001
사용량	38%	39%	56%

출처 : 환경부 “수돗물 2차오염 방지기술”(1996)

3. 수질인자 조절에 의한 부식제어 효과분석

본 실험결과는 수질인자 조절을 통한 수돗물의 부식성 개선 및 부식방지 효과를 조사하고자 금강수계의 B정수장 및 S정수장에 모형플랜트를 설치하여 조사한 결과로서 NaOH 및 소석회를 이용한 수질인자 조절 방법의 부식방지 효과와 정수처리 공정에서의 적용 가능성을 평가하고자 실시하였다.

3.1. NaOH를 이용한 부식제어 효과 조사

pH 및 알칼리도 등 수질인자를 조절하여 수돗물의 부식성(부식지수)을 개선한 후, 부식지수 개선 전·후의 부식방지 효과를 비교하기 위하여 금강수계의 B정수장에 쿠폰테스트(Coupon Test)용 모형플랜트를 설치하여 2004. 6월부터 10월까지 실험하였다.

B정수장의 최종 처리된 정수에 NaOH를 단독으로 주입하여 부식지수(LI)를 개선하였으며, 부식지수 개선 전후에 금속시편(강관 재질)을 설치하여 NaOH 투입전후의 부식도 및 부착도를 무게감량법으로 측정

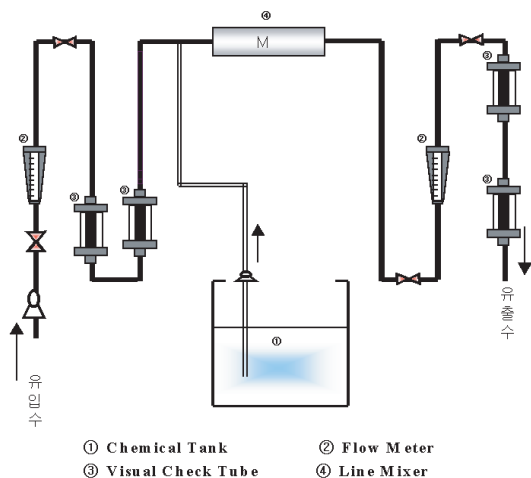


Fig. 3. Schematic diagram of pilot plant for corrosion coupon test in B WTP.

하여 부식 개선효과를 검증하였다.

$$\text{부착도(MCM)} = \frac{(W_2 - W_1)\text{mg}}{A(\text{cm}^2) \times \text{month}}$$

$$\text{부착도(MCM)} = \frac{(W_1 - W_3)\text{mg}}{A(\text{dm}^2) \times \text{day}}$$

- □ W_1 : 초기 시편의 무게 (mg)
- □ W_2 : 부착된 시편의 무게 (mg)
- □ W_3 : 부착물질 제거 후 시편의 무게 (mg)
- □ A : 시편의 단면적 (dm = 10cm)

또한, 수돗물 부식지수 개선을 위한 pH 상승이 소독부산물(THMs, HAA₅, CH 등) 반응속도 등에 영향을 미쳐 정수 및 관말에서 소독부산물 발생이 상승할 우려가 있으므로 소독부산물 발생량 변화도 병행하여 모니터링 하였다.

3.1.1. NaOH 주입에 의한 LI지수 변화

pH는 원수 평균 6.4, 정수 7.0으로서 NaOH를 주입하여 약 8.0까지 조정하였으며, 그에 따라 평균 LI지수는 각각 -3.26, -2.57, -1.40의 값을 보였다.

3.1.2. pH 조정 전후의 부식도 부착도 조사결과

pH 조정 전 LI 값이 평균 -2.57에서 pH 조정 후 평균 -1.40로 개선되었으며, LI변화에 따른 부식도 및 부착도 변화조사 결과는 Fig. 4, 5와 같다.

부식도는 pH조정 전후의 차이가 6주까지는 평균 44%의 부식저감 효과를 보였으며, 18주가 지난 후에는 8.8% 정도의 부식도 개선효과를 보였다.

부착도의 경우 pH를 조정하여 LI지수를 개선한 후 초기 8주까지는 60% 정도 적은 수치를 보였으나 12주부터는 오히려 높아졌으며, 이는 pH 상승으로 정수중에서 환원된 망간이 시편에 침착되어 증가한 것으로 조사되었다.

3.1.3. pH조정 전후의 소독부산물 생성량 조사

pH를 높여 LI지수를 개선한 시료가 THMs 58.4%, HAA₅는 27.7%, CH 34.2% 증가하였으며, THMs, CH의 경우 매번 유출측에서 높은 수치를 보인 반면 HAA₅의 경우 6, 7, 8월과는 달리 9월부터는

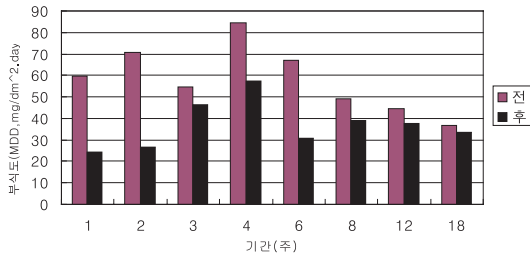


Fig 4. Trends of corrosion rate with and without pH adjustment

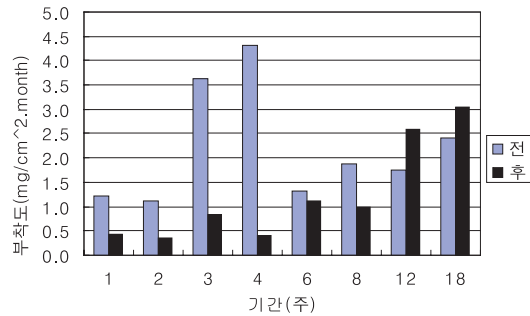


Fig. 5. Trends of attachment rate with and without pH adjustment

오히려 줄거나 같은 수치를 보였다(Fig. 6 참조).

3.1.4. NaOH 주입에 따른 Na⁺ 농도 조사

가성소다 주입에 따른 Na⁺ 농도를 조사한 결과 원수, 유입수 및 유출수 평균이 3.5, 7.2, 8.7mg/L로 낮은 값을 보였으나 플랜트를 통과하면서 약 20%의 증가를 보였다.

3.2. 소석회 및 CO₂를 이용한 부식제어 효과 조사

관 부식의 간접지표인 관 부식지수를 개선하고자 Ca(OH)₂와 CO₂를 주입하여 관 부식지수(LI)가 어떻게 변화하고, 소석회 단독주입 시와 소석회 및 CO₂ 병행주입시 관 부식제어 효과를 비교하고자 금강수계의 S정수장에 Fig. 7과 같이 모형플랜트를 설치하였다. 모형플랜트는 유량조정조, pH조정조, 혼화조, 응집조, 침전조로 구성하였다. 약품주입 위치는 혼화·응집 공정 전이다.

3.2.1. 소석회 단독주입 및 CO₂ 병행주입 시 소석회 주입률 및 수질변화

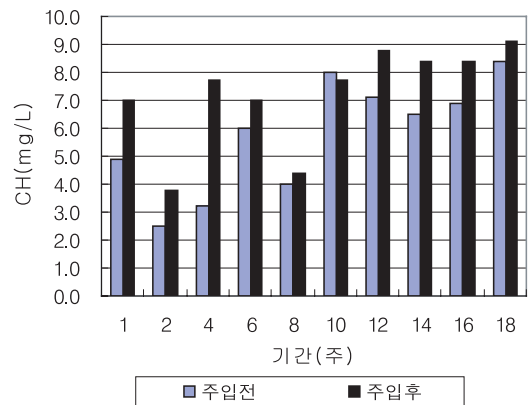
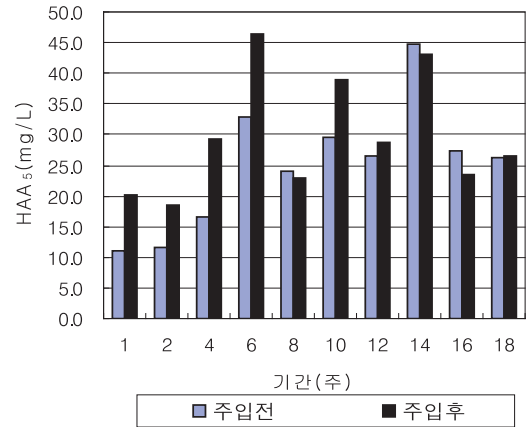
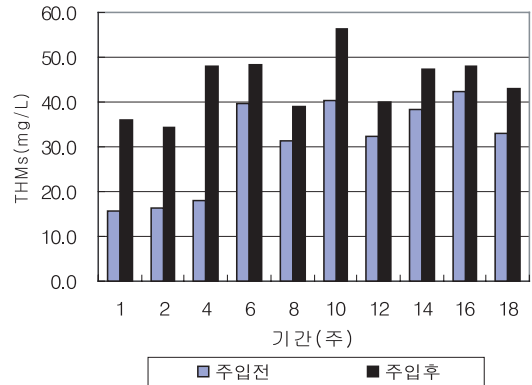
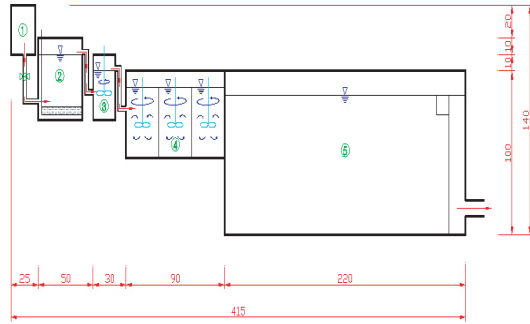


Fig. 6. Variation of DBPs according to pH increase after NaOH injection.

Table 4에 제시한 바와 같이 소석회와 CO₂를 병행 주입 하였을 경우 응집제 최적 주입량 및 부식지수 상승효과는 소석회 단독주입시와 큰 차이를 보이지



① 유량조정조 ② pH 조정조 ③ 혼화조 ④ 응집조 ⑤ 침전조
 (단위: cm)

Fig. 7. Schematic diagram of Pilot Plant in S WTP.

Table 4. Ca(OH)₂ dose rate and water quality in coagulant optimum injection

구분	소석회 단독주입	CO ₂ 병행주입	비고
LI지수	-0.7	-0.7	
탁도(NTU)	1.05	1.07	CO ₂
pH	8.2	8.1	주입율
알칼리도(mg/L)	39	44	13ppm
칼슘경도(mg/L)	44	55	

※ 응집제(PACS) 최적 주입율: 15mg/L

않으나, 소석회 주입량의 증가로 알칼리도 및 칼슘경도의 상승이 단독주입시보다 큰 것으로 나타났다.

3.2.2. 부식지수(LI지수) 개선효과

소석회 단독주입 시에는 소량의 소석회 주입으로도 pH가 적정 응집범위 이상으로 증가하여 알칼리도 및 칼슘경도의 상승효과가 적었다. 그러나 소석회 및 CO₂를 병행 주입할 경우에는 CO₂ 주입율 증가에 따라 소석회의 최적 주입률도 같이 증가하는 것으로 나타났다. 이 경우 소석회 단독주입 시 보다 부식지수의 상승은 큰 차이를 보이지 않았으나 소석회의 최적 주입률 증가에 따라 pH, 알칼리도 및 칼슘경도의 증가율이 단독주입시보다 크게 증가하였다.

3.3. 조사결과 고찰

NaOH를 주입하여 수도물의 부식성을 개선하여 실시한 B정수장의 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

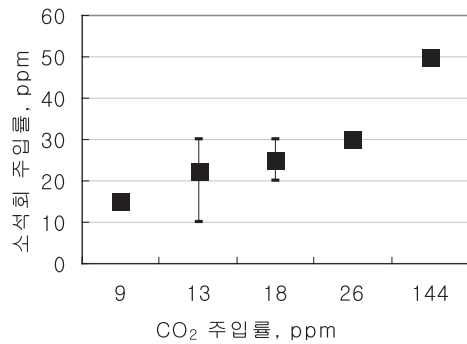


Fig. 8. Variation of Ca(OH)₂ dose rate according to CO₂ injection rate.

1) NaOH 주입에 의한 부식지수 개선 시 금속시편의 부식도 및 부착도가 개선되어 부식방지 효과가 있는 것으로 나타났다.

2) NaOH 주입에 의한 pH 상승시 소독부산물의 발생량이 증가하므로, pH 조절에 의한 부식제어시에는 정수의 소독부산물 검출농도를 고려하여 실시하여야 할 것으로 판단된다.

3) NaOH 주입에 따른 Na⁺ 농도변화 조사결과, 약 20% 농도가 상승하는 것으로 나타나 NaOH 과량주입 시 세심한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

소석회 및 CO₂를 이용한 수도물 부식성 개선방안에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소석회와 CO₂를 병행주입하면 소석회만 주입할 때보다 소석회의 최적 주입량이 증가하여 알칼리도 상승에 유리한 것으로 조사 되었다.

2) 소석회 단독주입 및 CO₂ 병행 주입 시 LI지수 개선효과는 큰 차이가 없었다. 이는 CO₂ 병행 주입으로 소석회 주입량을 증가시킬 수 있으나, 동시에 pH 감소에도 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

3) 소석회와 CO₂를 병행주입 하면 소석회 최적 주입량 증가로 알칼리도 및 칼슘경도 향상에 효과적이며, 수도관의 부식방지에 유리할 한 것으로 판단된다.

4. 관 내부 부식방지 기법의 실공정 적용방안 고찰

4.1. 관 부식 방지를 위한 수질제어 방안

4.1.1. 수질인자 조절에 의한 방법

pH, 알칼리도 및 경도 등 수질인자를 조절하는 방법은 알칼리도와 경도가 낮은 국내 수질특성에 적합하며 기존 정수장의 시설이용 및 운영관리가 용이하다(이현동, 1999).

pH 및 알칼리도를 조절하여 수돗물의 부식성을 제어하는 부식제어 기술의 실공정 적용을 위해 2004년 금강수계 S 및 B정수장에서 쿠폰테스트용 모형플랜트를 이용하여 실험한 결과 부식지수(LI)지수 개선에 효과가 있었으며, 금속시편을 이용한 부식도 및 부착도 조사결과에서도 수돗물의 부식지수 개선이 관로 부식방지에 효과가 있는 것으로 조사되었다.

또한, 부식억제제 사용시에도 pH가 증가할수록 양호한 보호피막이 만들어지므로 부식억제제의 방지효과를 높이기 위해서는 pH 조절이 병행되어야 하는 것이 일반적인 방법으로 알려져 있다. 따라서, 수질 제어에 의한 관로 부식방지를 위해서는 수질인자 조절을 통한 방법이 우선 적용되는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.1.2. 부식억제제를 이용한 방법

부식억제제는 수중에 소량 첨가하여 금속의 부식을 억제하는 물질을 말하며, 무기질 부식억제제와 유

기질 부식억제제로 구별된다. 우리나라는 인산염 및 규산염계 방청제가 부식억제제로 고시되어 있다.(수처리제의기준과규격및표시기준, 2004)

부식억제제는 미국 등 선진외국에서는 이미 실용화 단계에 있으나, 국내 정수장은 아직 적용사례가 없다. 국내 부식억제제 사용의 문제점으로는

1) 정수장에서 사용되지 않고, 아파트 등의 대형건물에서 부분적이고 무분별하게 사용되고 있다.

2) 국내에서 주로 사용하고 있는 부식억제제는 결정체로 된 인산염계 방청제로서, 적정량의 투입이 곤란하고 용해되는 과정에서 관 막힘이 발생할 가능성이 있다.

3) 계절적인 온도변화에 의해 적정 잔류농도 유지가 어려워 과다투입의 우려가 있으며, 적정량 이상 용해된 수돗물을 장기 복용할 경우 인체에 유해하다. 특히 규산염계 부식억제제에 함유되어 있는 나트륨의 과량섭취는 심장병을 유발시킬 수 있기 때문에 USEPA에서 20mg/L 이하로 사용을 규제하고 있다.(우달식 등, 2002)

4) 수돗물에 부식억제제(방청제)를 투입하는 것에 대한 일반시민의 거부감이 예상된다.

인산염계 부식억제제의 투여가 금속부식문제에 있어 상당히 효과적이라는 데는 의심의 여지가 없다. 그러나 인산염이 부식과 음용수의 수질에 영향을 줄 수 있다는 실증적인 사례 또한 적지 않다. 특히, 인산염은 관로 내 철부식물, 적수, 박테리아를 증가시킬 수 있다. 미국 내 정수처리장에서는 과거의 경험에 근거하여 부식억제제의 사용에 주의를 기울이고 있

Table 5. Variation of water quality according to Corrosion control chemicals injection

구분	수질 변화					
	pH	m	p	DIC	Ca	Ca+Mg
Ca(OH) ₂	+	+	+	0	+	+
NaOH	+	+	+	0	0	0
NaHCO ₃	+	+	0	+	0	0
Na ₂ CO ₃	+	+	+	+	0	0

인용 : DVGW(1992)

m: 총알칼리도, p: 탄산염 알칼리도,

DIC: 용존무기탄소, Ca: 칼슘

Ca+Mg : 총경도 = 칼슘 + 마그네슘,

기호 : [+ : 증가], [- : 감소], [0 : 변화없음]

다. (수자원연구원, 2004)

4.1.3. 수질제어를 통한 관부식 방지기법 적용방향
부식억제제를 이용한 관 부식방지는 국내에는 운전 및 유지관리가 어려워 정수장에서 적용하고 있는 사례가 아직 없으며, 현재 국내 수질에 적합한 부식억제제 개발 및 적용방안에 대한 연구가 진행 중에 있다. pH, 알칼리도 등 수질인자를 조절하는 방법은 부식방지를 위하여 가장 기본적으로 사용하는 방법이며, 부식억제제 사용 시에도 pH가 증가할수록 양호한 보호효과가 만들어지므로 부식억제제의 방식효과를 높이기 위해서는 pH 조정이 병행되어야 하는 것이 일반적인 방법이다.

따라서, 유럽 및 일본 등과 같이 수질제어를 통한 관 내부 부식제어 방법을 우선 적용하여 실시하고, 부식억제제를 이용한 부식제어 방법은 국민적 공감대 형성과 적용성 등에 대한 충분한 평가 후 도입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

또한, 부식성 수질인자(pH, 알칼리도, 경도 등) 제어를 통한 부식제어 방법은 정수처리 과정에서 소독 부산물 발생증가, 수돗물 송수과정에서의 알루미늄 석출 등의 문제가 발생할 가능성이 있으므로 정수장 유입원수의 수질특성에 맞는 처리목표를 설정하여 운영 하는 것이 바람직하다.

4.2. 수질인자 조절을 통한 관내부 부식방지 기법의 정수처리 공정 적용방안

4.2.1. 수질관리 목표 설정

pH 조절을 할 때 그 목표값을 어느 정도까지 조절하는가는 다른 정수처리 공정관리와 연관되므로 pH 및 부식지수의 관리목표는 세심한 검토를 요하는 어려운 문제이다. 미국의 LCR(Lead and Copper Rules)에서는 pH 7이상 유지토록 규정하고 있으며, 유럽(노르웨이, 덴마크, 핀란드, 스웨덴, 네델란드 등)에

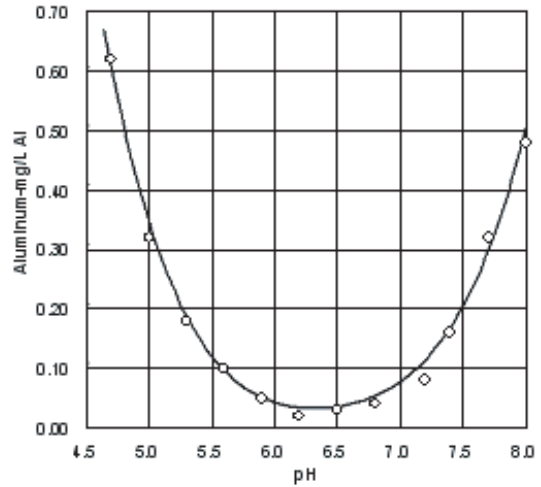


Fig. 9. Effect of pH on solubility of alum floc.

서는 pH 7~9, LI지수 -0.2 이상(네델란드)을 관리 기준으로 삼고 있다. 또한, 일본에서도 수도유지관리 지침에서 pH 7.5 이상, LI지수는 -1.0 LI 0을 관리 기준으로 삼고 있다.

pH는 높을수록 수돗물 부식제어에 유리하나, 응집 공정 전에서 pH를 조정할 경우 알칼리제 과다 주입으로 pH 7.8 이상이 되면 Alum이 용해성으로 존재하면서 송수관으로 유입한 후 침전되어 스케일을 형성하고, 알루미늄의 농도가 높아질 우려가 있다(Fig. 9 참조).

또한, pH가 높아지면 소독부산물의 발생량이 일부 증가하며, 2002년부터 환경부에서 시행하고 있는 “정수처리에관한기준”에서 제시하고 있는 적정 소독능 확보에도 어려움이 발생한다(Table 5 참조).

따라서, pH의 관리목표는 원수의 수질 등에 따라 달라질 수 있으나, 정수처리 특성 및 선진외국의 관리현황을 고려하여 7.0~7.8 정도로 설정하여 운영 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

부식지수(LI지수)는 약부식성 수준인 -0.5 이상에

Table 5. CTrequire for each pH level

구분	pH = 6.0	pH = 7.0	pH = 8.0	pH = 9.0	비 고
CT값	53	75	108	156	수온:15°C 잔류염소:1.0mg/L

* 급속여과 방식에서 지아디아의 불활성화율(0.5log) 달성기준

서 0에 가깝도록 유지하는 것이 이상적인 것으로 알려져 있다. 광역상수도 정수장의 경우를 예를 들면 평균 수질은 pH 6.9, 알칼리도 26mg/L, 경도 45mg/L로 pHs(포화 pH) 값이 9.0 이상으로, pH를 7.0 이상으로 유지해야 LI지수 -2.0 이상 달성이 가능하다.(Fig 10 참조) 또한, 약부식성 수질목표인 -0.5 이상을 달성하기 위해서는 pH를 8.5 이상 유지하여야 하므로 현실적으로 목표설정이 어렵다. 따라서, LI지수 -2.0을 관리목표로 우선 설정하여 강부식성 정수장에 대한 부식지수 관리를 우선 실시하고, 정수장별 원수 수질 및 정수처리 특성을 고려하여 제어목표를 단계적으로 강화하는 방안이 효율적인 것으로 판단된다.

4.2.2. 정수처리 공정 적용방안

가. 수질제어 방법

관부식 방지를 위한 수질제어 방법에는 pH만 조절하는 방법(CO₂ stripping 등), pH와 알칼리도 조절하는 방법(NaHCO₃, NaOH 등 주입), pH, 알칼리도 및 칼슘경도를 조절하는 방법(Ca(OH)₂ 및 CO₂ 병행 주입 등)이 있다.

이중에서 pH, 알칼리도 및 칼슘경도를 동시 조절하는 방법은 경도가 낮은 국내 수질특성에 적합하며, 탄산칼슘 침전에 의한 보호막형성으로 부식방지 효과

를 높이는 장점이 있으므로 가장 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 적정 알칼리제

pH 조절에 사용되는 알칼리제는 소석회, 가성소다 및 소다회 등이 있다. 세계 각국의 pH 조절 방법으로 석회법이 일반적으로 사용되고 있으며, 소석회는 방식효과(금속표면에 CaCO₃ 피막형성) 및 경제성(주입량이 소다회나 가성소다에 비해 절반 이하)에서 우수하다(이현동, 1999).

또한, 소석회는 알칼리도 및 Ca²⁺의 농도를 동시에 증가시킬 수 있으며 용해도가 낮아 수처리에 주의가 필요하나 CO₂ 병행주입 등의 방법을 통하여 용해도 향상이 가능하다. 따라서, 관 내부 부식방지를 위한 알칼리제는 소석회가 유리한 것으로 판단되며, NaOH는 알칼리도 및 경도가 높은 수질에서 여과지 및 정수지 유출측에서 적용 가능할 것으로 보인다.

다. 소석회 단독주입과 병행주입의 비교

소석회 주입방법으로는 혼화·응집 전에 투입하는 방법, 침전지 출구에 투입하는 방법 및 여과 이후에 주입하는 방법이 있다. 혼화·응집 전에 주입 시 pH 7.8 이상이 되면 응집제가 용해성으로 존재하면서 송수관으로 유입한 후 침전되어 스케일을 형성할 우려가 있다. 또한, 최종 처리공정으로 소석회의 첨가는 처리된 음용수의 탁도를 증가시킬 수 있어 수질에 따라 많은 양의 소석회가 요구되는 수처리는 사용에 어려움이 발생한다.

소석회와 CO₂를 병행주입 하는 경우에는 소석회의 용해도를 증가시켜 탁도 관리에 유리하며, 소석회 단독 주입 시 소량 주입으로도 pH가 원하는 범위 이상으로 증가하는 단점을 보완할 수 있다. 또한, CO₂ 주입에 의하여 소석회의 최적주입률이 증가하므로, 과도한 pH의 상승을 방지하면서 소석회 주입량을 효과적으로 증가시켜 부식지수(LI) 개선에 유리하다.(금강수계 S정수장 모형플랜트 시험결과)

또한, 소석회 주입량 향상으로 인한 Ca²⁺ 농도 증가와 탄산이온을 적절히 생성하여 관 표면에 탄산칼슘 피막형성에 유리하다.

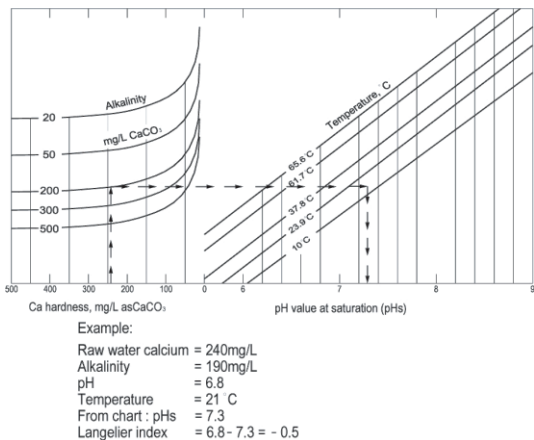
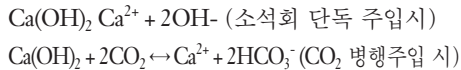


Fig. 10. Graphical determination of pHs and Langelier Index. (Adapted from The Nalco Water Handbook, F.N. Kemmer, ed., McGraw-Hill, New York, 1979).



따라서, 소석회 단독주입에 다른 문제점을 해소하고, 소석회 용해도를 증가시켜 탁도 관리 및 부식제어에 유리한 소석회 및 CO₂ 병행주입이 보다 효과적인 것으로 판단된다.

5. 결 론

수질제어를 통한 관 내부 부식방지 기술의 실공정 적용방안 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 부식억제제를 이용한 부식방지 방법은 미국 등 외국에서는 정수처리 실공정 적용과 함께 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 운전 및 유지관리가 어렵고 적용성에 대한 평가가 아직 미흡하다.

pH 및 알칼리도 등 수질인자를 조절하는 부식방지 기술은 가장 기본적인 방법으로 기존의 정수시설에 적용이 가능하며 운영관리가 용이하고 경제적이다. 또한, 부식억제제의 방식효과를 높이기 위해서도 pH 조절이 병행되어야 하므로 정수처리 공정에서 우선 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2. 수질인자 조절에 의한 관 내부 부식방지 기법의 정수처리 공정 적용을 위해서는 수질관리 목표를 설정하는 것이 바람직하다. 관 부식을 위하여 pH를 조절하는 것은 다른 정수처리 공정과 연관이 많으므로 세심한 주의로 기울여 목표를 선정하되, pH는 7.0~7.8, 부식지수(LI)는 -2.0이상을 우선 적용하여 실시하고 정수장의 수질특성에 따라 상향 조정하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 정수처리 공정 적용 시에는 pH, 알칼리도 및 경도를 동시에 조절하는 수질제어 방법이 가장 효과적인 것으로 판단된다. pH 조절에 사용하는 알칼리제는 경제성에서 우수하고, Na⁺ 농도의 상승이 없으며, 알칼리도와 칼슘경도를 함께 제어할 수 있는 소석회가 유리하며, NaOH는 알칼리도가 높은 수질에서 여

과지 및 정수지 유출측에서 선택적으로 적용 가능하다.

4. 소석회를 알칼리제로 사용할 경우에는 소석회를 단독주입 하는 방법과 CO₂와 병행주입 하는 방법이 있으며, 소석회를 CO₂와 병행주입 하는 경우에는 소석회 주입량이 늘어나 알칼리도와 경도 개선에 유리하고, Ca²⁺ 농도 증가와 탄산칼슘 피막형성에도 효과적이므로 관 부식방지에 유리할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. American Water Works Association (1986) *Corrosion Control for Operators*.
2. S.J. Medlar et al., *Corrosion Control in Drinking Water Systems*.
3. American Water Works Association *Water Quality & Treatment, Fifth edition*, pp.17.1-17.109
4. 경희대학교 환경연구소 (1996) 수도관의 부식과 방지대책, pp.45-166
5. 이현동 (2001) 상수도시스템의 부식측정 및 평가방법 표준화 연구, pp.68-71
6. 환경부 (1996), 수도물의 2차오염 방지기술.
7. EPA (1992) *Lead and copper rule guidance manual*.
8. 부산대학교 환경기술·산업개발연구센터 (2001) 상수도 모형관에서 CaCO₃ 침전층 조절과 phosphate계 부식억제에 의한 부식방지의 비교연구, pp.1-2
9. 이재인 (1999) 상수도 관망에서 부식성 인자조절에 따른 부식속도 및 생성물의 고찰.
10. 한국수자원공사 수자원연구원 (2004) 상수관로 최적 부식제어 기술개발 및 실공정 적용성 평가, pp.40-45.
11. Susumu Kawamura *Integrated design and operation of water treatment facilities* (second edition), pp.559-565.
12. 남상호 (2002) 국내 수도물의 수질특성 및 방청제 관리현황, 수도용 방청제 국제 워크샵, pp.13-32.
13. 우달식, 문광순, 송준상, 최종현, 명복태, 구성은 (2002) 수도용 방청제의 개발, 수도용 방청제 국제 워크샵, pp.188-189.
14. 환경부(2004) 고시 제2004-95호, 수처리제의기준과규격 및표시기준, pp.53-61.
15. 이현동 (1999) 송·배·급수시스템의 운영관리 & 유지관리, pp.21-77.