



부식억제제에 의한 상수도관의 피막 형성 및 수질개선 효과

Coating formation of water supply pipes by inhibitor and water quality improvement effect

임재철^{1,3} · 김진근² · 구자용^{3*}

Jaecheol Lim^{1,3} · Jinkeun Kim² · Jayong Koo^{3*}

1 K-water 기획조정실, 2 제주대학교 환경공학과, 3 서울시립대학교 환경공학과

(2011년 10월 26일 접수; 2012년 2월 9일 수정; 2012년 2월 13일 채택)

Abstract

To investigate the application of corrosion inhibitor on water supply pipes, turbidity, magnitude of corrosion, composition of scale and concentration of metals from an old steel pipe were analysed under inhibitor addition.

The concentration of turbidity, iron and copper from the pipes under inhibitor application was 12 ~ 14% of the case which no inhibitor was applied, which suggests the application of inhibitor was very effective for internal corrosion control.

In addition, SEM, EDX, XRD and XRF test results showed that application of inhibitor was effective for the decrease of iron concentration and increase of oxygen, phosphorus and calcium concentration, which suggested the existence of protective layer. Therefore, the occurrence of red water will be significantly decreased when inhibitor was applied to the old steel pipes.

Key words : internal corrosion, corrosion control, corrosion inhibitor, red water

주제어 : 내부부식, 부식제어, 부식억제제, 녹물

1. 서론

수돗물이 금속성의 수도관과 장기간 접촉하는 동안 수도관 내부는 일정 부분 부식되게 된다. 일반적으로 부식의 정도는 물 및 배관재질의 특성, 관내 수질 및 수리적 특성 등에 영향을 받는다. 내부 부식(internal corrosion)이 발생할 경우 부식생성물이 생성되며, 관 내에 부착 또는 침전하게 된다. 한편, 관내 수리적 변화와 같은 물리적 조건이나 pH

저하 같은 화학적 조건의 변동이 발생할 경우 부식된 수도관에서는 녹물 또는 금속물질의 용출 현상이 발생할 수 있으며, 이는 수돗물 수질의 안전성 및 신뢰도를 심각하게 저하시킬 수 있다(Schock 등, 2011; Sarin 등, 2003; 임, 2010).

2009년 현재 국내 수도관은 총 154,435 km이고, 이 중 21년 이상 경과된 관은 35,653 km로서 전체의 23.1%이다. 관종별로는 덕타일주철관이 25.4%로

* Corresponding author Tel:+82-2-2210-2624, Fax:+82-2-2244-2246 E-mail: jkoo@uos.ac.kr(Koo, J.Y.)

가장 많으며, 1994년 이후 사용이 금지된 아연도 강관도 아직까지 0.8%를 차지하고 있다(환경부, 2011). 한편, 수도계량기 이후의 옥내배관은 건물주의 관리책임 하에 있어 관종 및 경과년수에 대한 정확한 통계자료도 미비한 실정이다. 특히 수돗물이 옥내배관에 정제하는 동안 관 종에 따라 일부 금속 성분의 농도가 증가하므로(유 등, 2008), 공급과정에서의 수질저하를 고려한 철저한 수돗물 품질관리가 더욱 필요한 시점이다.

일부 지역에서는 부식된 노후관으로 인해 수도꼭지에서의 수질이 먹는 물 수질기준에 육박하거나 일부 초과하는 사례도 보고되고 있다. 이러한 수돗물 공급과정 중의 2차 오염문제를 해결하기 위해서는 부식된 노후관의 개대체가 우선적으로 필요하며, 정확한 관망 파악 및 전산화를 통한 정기적 플러싱 등의 조치도 필요하다. 정수장에서 생산한 고품질의 수돗물이 공급과정에서 수질이 저하되는 것을 최소화하기 위해서는 수돗물의 부식성 감소를 위하여 pH 조절을 통한 랑게리아지수(Langelier Index, LI) 관리와 더불어, 부식억제제 주입과 같은 화학적 처리를 실시할 수 있다(김 등, 2011; 정 등, 2011 AWWA, 1986). 미국에서는 1991년 Copper and Lead 관련 법률 시행 후 공급과정에서 구리 및 납 등의 농도 저감을 위하여 부식억제제의 사용이 증가하고 있는 추세이다(USEPA, 2011).

국내에서 부식억제제는 2007년부터 법적 용어가 방청제에서 부식억제제로 변경되었으며, 사용대상도 급수관에서 수도관으로 확대됨으로써 정수장에서도 사용할 수 있는 근거가 마련되었다. 부식억제제의 주입을 통해 수돗물과 관 사이에 보호피막을 형성하여 녹물이나 금속물질의 용출을 저감할 수 있으며, 국내에서 수돗물에 적용할 수 있도록 인증받은 부식억제제로는 인산염계와 규산염계가 있다(한국상하수도협회, 2008; 환경부, 2007).

그러나, 현재까지 국내에서는 부식억제제가 아파트나 대형 건축물의 저수조 등에서 제한적으로 이

용되고 있고, 이 또한 시설 운영자의 전문지식 부족 등으로 관리가 제대로 안되는 경우가 많다. 부식억제제의 효과는 부식억제제의 형태와 농도, 관망에서의 수질, 관재질 등에 의해 달라질 수 있는데(Schock 등, 2011; Sarin 등, 2003; AWWARF 등, 1996), 국내에서는 관련 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 실제 수돗물 공급시스템에서 녹물 발생 문제해결을 위한 방법의 하나로, 부식이 진행된 노후관 전단에 부식억제제를 주입했을 때 녹물 발생저감 및 수질에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 통해 노후관에서 부식억제제의 효과 및 실공정에서의 적용성을 평가하였다.

2. 실험대상 및 방법

본 연구에서는 지속적인 녹물발생이 관찰되어 노후관 개량사업을 실시하고 있는 경기도 북부의 D시를 실험대상으로 하였다. D시는 2007년부터 유수율 향상과 상승적인 녹물 발생의 원인이 되는 불용관 폐쇄를 위해 집중적인 관망개선 공사를 실시하고 있으며, 이 과정 중에 상당한 양의 녹물이 발생되고 있다. 이에 대한 개선방안의 하나로 부식억제제 적용성을 검토하였다.

실제 주택에서 사용한 관로를 대상으로 부식억제제의 효과를 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 노후 주택에서 채취한 수도관을 이용하여 Fig. 2와 같은 모형실험 장치를 구성하고 부식억제제 주입에 따른 효과를 관찰하였다. 모형실험 장치에 사용된 노후관은 통수관경이 18 mm에서 약 8 mm로 축소된 부식된 강관이었다.



Fig 1. 주택 벽체에 부설된 노후관 전경(좌) 및 관 단면(우)



Fig 2. 모형실험 장치

모형실험 장치에 유입되는 정수의 양은 일반적인 가정에서 월간 25~30 m³의 수도물을 사용하는 것을 고려하여 일일 1~4 m³의 수도물을 연속적으로 통수시키는 방법으로 실험하였다. 일반 가정집에서 실제 사용하는 유량조건을 모사하기 위해 주간에는 수도물을 사용하다 야간에는 사용하지 않은 상태로 단속적으로 수도물이 흐르도록 하였다. 단, 기온저하로 수도관 동파가 우려되는 실험초기에는 야간에 수도물이 흐르고 주간에 수도물이 관내에 정체되도록 하였으며, 토, 일, 공휴일 등에는 24시간 수도물이 흐르도록 하였다. 수도물의 수질은 야간에 6~18 시간 수도관 내에서 정체된 수도물을 통수하기 직전에 채수하여 분석하였다.

모형실험은 2010.2.10~2010.4.28 동안 3 단계로 나누어 실시하였다. 1 단계는 부식억제제를 주입하지 않은 상태로 22일간(2.10~3.3), 2 단계(부식억제제 주입 1차)은 부식억제제를 평균 3.8 mg/L(as P₂O₅) 주입하여 23일간(3.7~3.29), 3 단계(부식억제제 주입 2차)는 부식억제제를 평균 4.6 mg/L(as P₂O₅) 주입하여 18일간(4.12~4.29) 유량을 변화시키며 실험을 실시하였다.

부식억제제는 2~3단계에 해당하는 실험기간(41일) 동안 주입되었으나 16일차부터 9일간은 미주입되었고, 동기간의 노후관 내부에는 수도물이 정체된 상태로 존재해 있다가 3단계 실험을 실시하기 전

충분히 퇴수시킨 후 3단계 실험에 임하였다. 실험을 위한 노후관 샘플은 부식억제제 주입 후 40일차에 채취하였다.

부식억제제 주입 전후의 노후관 내부 피막형성여부 및 관표면 물질에 대한 성분분석은 SEM(Scanning Electron Microscopy), EDX(Energy-dispersive X-ray Spectroscopy), XRD(X-Ray Diffraction Spectroscopy), XRF(X-Ray Fluorescence Spectroscopy)을 활용하여 실시하였다. 또한 부식억제제 주입 전후의 탁도, 색도, 철 등 14항목에 대해 수도꼭지 수질도 분석하였다.

SEM(Model XL 30, Phillips) 및 EDX(Model PV 9900, Phillips) 분석을 위하여 부식억제제 주입 전후의 노후된 상수도관을 105℃에서 건조시킨 후 가로 1.5 cm, 세로 3 cm 크기로 절단하여 분석에 활용하였다. XRD(D/Max, 2200V/PC)를 활용하여 관 내부 결정구조를 확인하였으며 XRF(Rigaku, ZSX)를 이용하여 물질 성분을 파악하였다. 즉, SEM을 이용해 배관 표면의 부식생성물 형성정도를 파악하였고, XRD 분석으로 철의 산화상태에 대해 파악하였다. 또한, XRF 분석을 통해 방식피막에 부식억제제 성분의 유무를 판단하여 최종적으로 부식억제제의 효과를 판단하였다.

한편, 연구에 사용된 부식억제제는 정부의 수처리제 규격에 적합한 인산염계 부식억제제 1종 2호(액상)인 D사 제품이며, 품질기준 및 품질검사 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. 부식억제제 품질기준 및 사용된 제품의 품질검사 결과

분석항목	기준	검사결과
정인산염	황색의 침전물을 생성하지 않을 것	양호
인산염(P ₂ O ₅) 함량	11 ± 1%	11.0%
As	2 mg/L 이하	불검출
Pb	15 mg/L 이하	불검출
Cd	2 mg/L 이하	불검출
Hg	0.2 mg/L 이하	불검출
pH	5.8 ~ 9.4	6.2
비중	-	1.38 ± 0.03

3. 결과 및 고찰

3.1 수돗물 수질특성

D 시에서는 당초 경기도 북부 지역의 한탄강에서 원수를 취수하여 정수처리를 하였으나, 원수의 수질이 저하되는 일부 기간에는 팔당호를 취수원으로 하는 A 정수장에서 수돗물을 공급받는다. 본 연구기간 동안에는 A 정수장으로부터 수돗물을 공급받고 있었으며, 실험 당시 주요 항목에 대한 수질검사 결과는 Table 2와 같다. 특히, 부식 및 금속 용출에 많은 영향을 미치는 LI는 평균 -1.96으로 부식성이 높은 것으로 조사되었다. 참고로 LI와 관련한 일본의 국가수질관리 목표는 -1.0~0 이다(김 등, 2011).

Table 2. 수돗물 수질현황

항목	Maximum	Minimum	Average
Temp. (°C)	13.1	3.5	7.6
pH	7.78	6.66	7.35
Conductivity (μ S/cm)	213	169.9	187.1
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	54	40	47.1
Calcium hardness (mg/L as CaCO ₃)	62	47	55.8
Turbidity (NTU)	13	0.088	1.56
LI	-1.7	-2.2	-1.96

3.2 노후관 성분 분석

부식억제제가 관 표면에 미치는 영향을 파악하기 위하여 SEM을 이용하여 조사하였다. Fig. 3, 4는 부식억제제 주입 전후의 사진이며, B는 A보다 24배 더 확대된 사진이다. 각 이미지에서 스케일로 보이는 큰 물질의 아래쪽 바닥면을 자세히 관찰해보면 부식억제제 주입 후의 노후관 표면이 주입 전보다 매끄럽고 균일하며 특히 Fig. 4-B에서는 표면에 부착된 입자상의 물질들이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 또한 부식억제제 주입 후의 표면이 주입 전보다는 치밀하게 형성되어 부식억제제로 인해 표면의 산화가 억제된 것으로 추정된다.

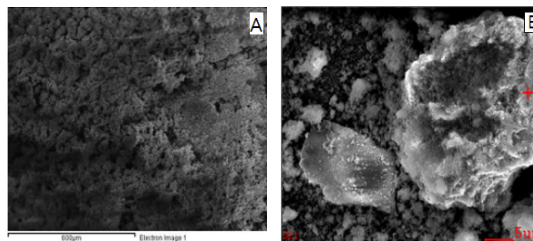


Fig 3. 부식억제제 주입 전의 SEM 이미지

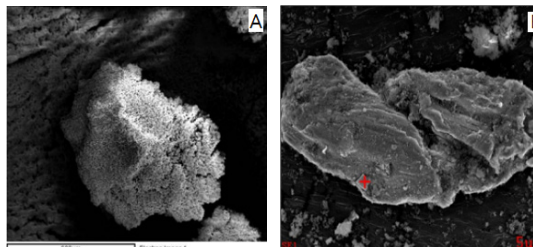


Fig 4. 부식억제제 주입 후의 SEM 이미지

Fig. 4-A에서는 Fig. 3-A에서 관찰되지 않았던 구형의 미세 알갱이가 관찰되는데 이러한 구형의 성분들을 확인하고자 EDX, XRD, XRF 분석을 실시하였다. Fig. 5는 부식억제제 주입 전후의 EDX 분석 결과를 나타내고 있다. 부식억제제 주입 전에는 원소의 80% 이상이 철성분이었으나, 부식억제제 주입 후에는 상대적으로 철성분의 비율이 감소하고 대신 산소 등 다른 성분이 비율이 증가하였다. 이는 부식억제제 주입을 통해 녹물발생이 저감됨을 간접적으로 증명하는 것이라고 평가된다.

EDX 분석결과 부식억제제 주입 전 스케일성분의 대부분이 철과 산소로 구성된 것으로 보아 주성분이 산화철 형태로 되어있다는 것을 알 수 있다. 그러나 부식억제제 주입 후에는 철의 무게가 감소하고, O가 상대적으로 증가하면서 C, Zr, Si, Al, Ca이 생성되어 O와 결합한 다양한 형태의 화합물이 생성되었을 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5에 나타난 바와 같이 에너지별(keV)로 감응이 다른 세가지 철(Fe) 피크가 나오는 것으로 보아 세가지 형태의 에너지 준위가 다른 철이 존재함을 추정 할 수 있었다.

한편, XRD 분석은 X-ray 회절법에 의한 정성분석으로 관 내부의 스케일 채취 후 화합물의 형태로

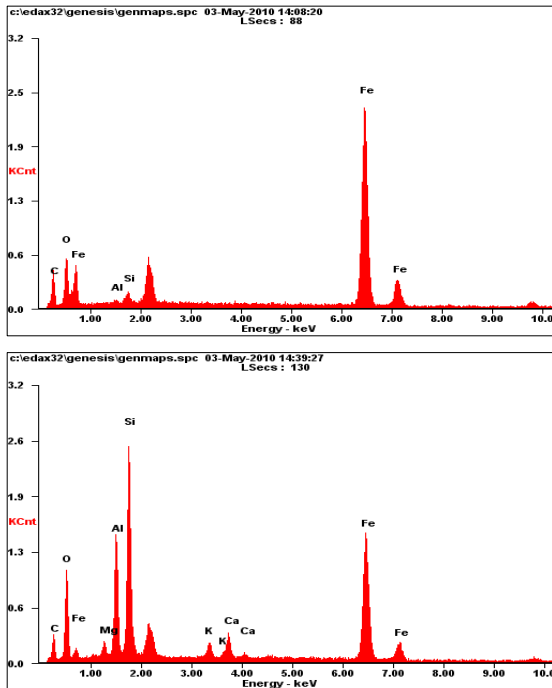


Fig 5. 부식억제제 주입 전(상)과 후(하)의 EDX 분석결과

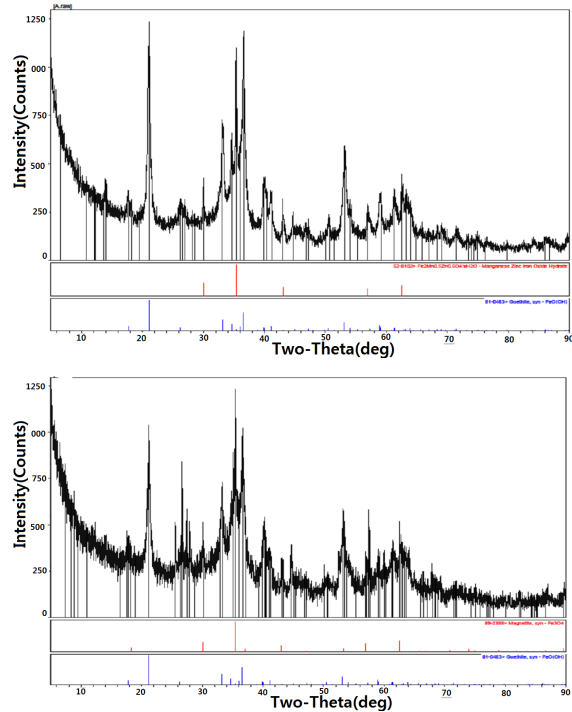


Fig 6. 부식억제제 주입 전(상)과 후(하)의 XRD 분석결과

미지물질의 조성을 동정한 것이다. Fig. 6은 부식억제제 주입 전후의 XRD 분석결과를 나타내고 있다. 부식억제제 주입 전에 스케일은 주로 침철석(Geothite, FeO(OH))과 Manganese, Zinc, Iron, Chloride Hydrate로 분석되었으나 주입 후에는 침철석과 자철석(Magnetite, Fe₃O₄)으로 분석되었다. 여러 부식부산물의 종류 및 특징을 Table 3에 제시하였다(이, 2004).

Fig. 7은 부식억제제 주입 전후의 관내부 스케일을 채취하여 XRF로 분석한 결과이다. X선 형광분석법은 원자번호 5번 B부터 원자번호 92번 U까지 분석가능하며 측정 범위는 %에서 ppm까지이다. Table 4는 XRF 분석결과를 바탕으로 부식억제제 주입 전후에 주요 원소별로 함량(mass base)의 증감을 표시하고 있다. 부식억제제 주입 전의 노후관 성분은 Fe가 90,2%로 스케일의 대부분을 차지하였

Table 3. 부식부산물의 종류 및 특징

Type of scale	Chemical formula	colour	Property
Ferrous chloride	FeCl ₂ ·4H ₂ O	Pale green	Soluble, Acid-stable, Drop formation on the surface of the metals when corrosion occurs
Ferric chloride	FeCl ₃ ·6H ₂ O	Orange-brown	Soluble, Strong oxidant, Drop formation on the surface of the metals when corrosion occurs
Ferrous hydroxide	Fe(OH) ₂ or FeO·nH ₂ O	Pale green	Soluble, Rapid oxidation FeOOH in the air
Ferric hydroxide	Fe(OH) ₃ or Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	Red	Fe(OH) ₂ +O ₂ →Fe(OH) ₃ (in aqueous system)
Goethite	α-FeOOH	Red-brown	In soluble, Most stable iron oxide
Akaganite	β-FeOOH	Light red-brown	In soluble, Not removed by washing
Lepidocrocite	γ-FeOOH	Red-brown	In soluble, Corrosive chemical such as Goethite and Akaganite
Magnetite	Fe ₃ O ₄	Black	In soluble, Stable, Formation under lack of oxygen
Vivianite	Fe ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	Blue	Rarely observed
Ferric phosphate	FePO ₄	White	In soluble, Iron protection
Siderite	FeCO ₃	Yellow-brown	In soluble, glossy

으며, Si, Al, Zn, Cu, Cr, Ca, Ni, P, Mn, K, S 순으로 존재하였다. 주입 후에도 역시 Fe이 83.6%로 스케일의 대부분을 차지하였으나 부식억제제 주입 전 대비 6.6% 감소하였고 Al, Si, Ca, P, Zn, Cu, Mg, K, Mn, Ti, Cl, S, Na 순으로 존재하였다. 특히 인(P)이 0.181%에서 1.46%로 약 8배 증가하였으며, Ca가 0.408%에서 1.72%로 4.2배, K가 2.5배 증가하였으며, 부식억제제 주입 전에는 분석되지 않았던 Mg, Ti, Cl, Na가 극미량이지만 검출되었다. P와 Ca가 증가한 것은 부식억제제의 주원료가 인산(H₃PO₄), 소다회(Na₂CO₃), 소석회(Ca(OH)₂)이며, 금속이온과 부식억제제가 아래 식과 같이 반응하므로 실험대상관 내부에 피막이 형성되었기 때문인 것으로 추정된다.



결론적으로 SEM, XRD, XRF 분석결과를 통해 부식억제제에 의한 방식피막 형성을 확인할 수 있었다.

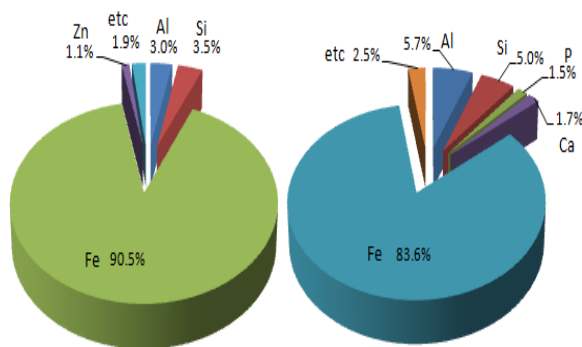


Fig 7. 부식억제제 주입 전(좌)과 후(우)의 XRF 분석결과

3.3 수돗물 수질분석

수돗물 수질분석은 수도관 내에서 6~18시간 동안 정체된 수돗물을 통수하기 직전에 채수하여 pH, 수온, 잔류염소, 알칼리도, 경도, TDS, 탁도, 색도, Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, 인산염, 전기전도도 등 15항목에 대해 매주 3~5회 분석하였다. 또한, 부식억제

제 주입 후 2회에 걸쳐 먹는물 수질항목 전체를 검사하여 수질기준 충족 여부를 확인하였다. 수질측정결과와 항목별 통계값을 Table 5,6에 나타내었다.

Table 4. 부식억제제 주입 전후의 성분변화(XRF 분석결과)

(단위 : mass %)

성분	주입 전 농도	주입 후 농도	변화율(%)*
Fe	90.2	83.6	-7.3
Si	3.45	4.99	44.6
Al	3.01	5.75	91.0
Zn	1.05	0.995	-5.2
Cu	0.588	0.543	-7.7
Cr	0.439	ND	NA
Ca	0.408	1.72	321.6
Ni	0.335	ND	NA
P	0.181	1.46	706.6
Mn	0.133	0.212	59.4
K	0.106	0.262	147.2
S	0.0652	0.0351	-46.2
Mg	ND	0.267	NA
Ti	ND	0.156	NA
Cl	ND	0.05	NA
Na	ND	ND	NA

* 변화율(%) = (주입 후 농도 - 주입 전 농도)/주입 전 농도 × 100



Table 5. 부식억제제 주입 전후 수질변화

구분	측정일	잔류염소 (mg/L)	경도 (mg/L)	색도 (도)	pH	탁도 (NTU)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	수온 (°C)	TDS (mg/L)	알칼리도 (mg/L)	P ₂ O ₅ (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)
주입전	2/10	0.51	69	24	7.4	13.00	0.1770	0.0380	1.01	0.0290	—	5.1	100	49	ND	200
	2/11	0.56	69	8	7.4	4.97	0.0850	0.0200	0.42	0.0240	ND	5.2	99	48	0.006	199
	2/12	0.48	69	8	7.2	2.94	0.0760	0.0330	0.25	0.0120	—	3.7	98	48	0.007	196
	2/16	0.60	70	8	7.6	4.75	0.1120	0.0260	0.67	0.0280	ND	3.5	103	51	0.005	206
	2/17	0.53	70	3	7.6	1.20	0.0890	0.2250	0.25	0.0230	—	3.6	108	51	0.014	213
	2/18	0.44	70	4	7.4	2.54	0.0990	0.0190	0.36	0.0250	ND	4.1	104	52	0.010	207
	2/19	0.54	70	4	7.0	1.87	0.0600	0.0110	0.30	0.0220	—	4.9	102	52	0.006	203
	2/22	0.39	69	4	6.8	2.78	0.1390	0.0230	0.43	0.0250	—	4.0	94	45	0.014	186
	2/23	0.35	68	4	7.2	3.46	0.0660	0.0550	0.32	0.0170	ND	4.1	93	45	0.009	189
	2/24	0.58	67	2	7.3	0.39	0.0530	0.0000	0.07	0.0110	—	5.9	95	45	0.002	188
	2/25	0.41	67	4	7.2	2.73	0.0550	0.0430	0.23	0.0160	ND	6.9	95	45	0.007	187
	2/26	0.47	67	13	7.3	0.85	0.0540	0.0300	0.14	0.0100	—	7.6	92	45	0.002	185
	3/2	0.48	67	10	7.3	3.15	0.0200	0.0240	0.40	0.0160	ND	5.0	96	47	0.004	197
	3/3	0.61	67	7	7.4	0.77	0.0360	0.0140	0.11	0.0170	—	6.8	99	47	0.007	198
1차주입	3/17	0.59	58	2	6.9	0.17	0.0080	0.0380	0.06	0.0090	—	5.7	88	40	0.121	175
	3/18	0.41	62	3	7.1	0.16	0.0520	0.0640	0.08	0.0110	ND	5.3	88	41	0.134	176
	3/19	0.43	61	6	7.2	0.45	0.0130	0.0720	0.06	0.0080	—	5.5	88	41	0.056	175
	3/22	0.21	57	5	7.5	0.37	0.0230	0.0890	0.10	0.0100	—	6.5	86	40	0.116	170
	3/23	0.40	63	9	7.4	0.63	0.0400	0.0620	0.10	0.0070	ND	6.5	86	41	0.056	171
	3/24	0.38	65	8	7.3	0.58	0.0220	0.0710	0.06	0.0120	—	6.9	91	44	0.051	183
	3/25	0.34	64	6	6.7	0.62	0.0260	0.0530	0.10	0.0080	ND	7.5	90	42	0.134	180
	3/26	0.26	62	7	7.0	0.35	0.0210	0.0720	0.00	0.0090	—	5.9	88	42	0.060	174
	3/29	0.21	65	5	7.0	1.63	0.0320	0.0240	0.22	0.0300	—	7.0	88	47	0.035	174
2차주입	4/12	0.58	72	5	7.6	0.22	0.0420	0.0280	0.00	ND	ND	11.4	93	49	0.027	186
	4/13	0.56	70	0	7.6	0.09	0.0410	0.0210	0.00	0.0080	ND	10.3	92	50	0.001	183
	4/14	0.57	73	0	7.5	0.10	0.0520	0.0290	0.00	0.0070	ND	11.3	94	52	0.013	188
	4/15	0.56	73	0	7.6	0.11	0.0250	0.0300	0.00	0.0110	ND	11.2	98	54	0.033	195
	4/19	0.57	72	0	7.6	0.10	0.0430	0.0210	0.00	0.0100	ND	11.0	92	53	0.027	185
	4/20	0.55	73	0	7.7	0.13	0.0090	0.0300	0.00	0.0080	ND	11.8	92	48	0.011	184
	4/21	0.48	72	1	7.5	0.13	0.0430	0.0420	0.00	0.0100	ND	13.1	94	51	0.030	188
	4/22	0.53	70	1	7.5	0.14	0.0370	0.0260	0.00	0.0180	ND	11.5	93	49	0.020	185
	4/23	0.54	72	0	7.5	0.10	0.0380	0.0270	0.00	0.0090	ND	12.8	94	48	0.046	187
	4/27	0.47	69	1	7.6	0.12	0.0000	0.0280	0.00	0.0080	ND	12.1	88	48	0.014	176
	4/28	0.27	69	3	7.8	2.30	0.0650	0.0250	0.18	0.0150	ND	9.9	91	49	0.054	183
	4/29	0.30	70	2	7.5	0.72	0.0290	0.1010	0.11	0.0150	ND	11.2	90	49	0.049	180

Table 6. 부식억제제 주입 전후 수돗물 수질변화

구분	항목	미주입(A)	1차 주입(B)	2차 주입(C)	변화율(%)		
					B/A	C/A	
부식억제제 영향항목	Turbidity (NTU)	Maximum	13.00	1.63	2.30	13	18
		Average	3.24	0.55	0.36	17	11
		Minimum	0.39	0.16	0.09	40	23
	Fe (mg/L)	Maximum	1.01	0.22	0.18	21	18
		Average	0.36	0.09	0.02	24	7
		Minimum	0.07	0.00	0.00	0	0
	Color (degree)	Maximum	24.00	9.00	5.00	38	21
		Average	7.36	5.67	1.08	77	15
		Minimum	2.00	2.00	0.00	100	0
	Cu (mg/L)	Maximum	0.18	0.05	0.07	29	37
		Average	0.08	0.03	0.04	33	44
		Minimum	0.02	0.01	0.00	40	0
	Mn (mg/L)	Maximum	0.18	0.05	0.07	29	37
		Average	0.08	0.03	0.04	33	44
		Minimum	0.02	0.01	0.00	40	0
Zn (mg/L)	Maximum	0.23	0.09	0.10	40	45	
	Average	0.04	0.06	0.03	151	85	
	Minimum	0.00	0.02	0.02	NA	NA	
부식억제제 비영향 항목	Alkalinity (mg/L)	Maximum	52.0	47.0	54.00	90	104
		Average	47.9	42.0	50.00	88	104
		Minimum	45.0	40.0	48.00	89	107
	Residual chlorine (mg/L)	Maximum	0.61	0.59	0.58	97	95
		Average	0.50	0.36	0.50	72	100
		Minimum	0.35	0.21	0.27	60	77
	Hardness (mg/L)	Maximum	70	65	73	93	104
		Average	69	62	71	90	104
		Minimum	67	57	69	85	103
	TDS (mg/L)	Maximum	108	91	98	84	91
		Average	98	88	92	89	94
		Minimum	92	86	88	93	95
pH	Maximum	7.6	7.5	7.8	99	102	
	Average	7.3	7.1	7.6	97	104	
	Minimum	6.8	6.7	7.5	98	109	
Phosphate	P ₂ O ₅ (mg/L)	Maximum	0.01	0.13	0.05	925	375
		Average	0.01	0.08	0.03	1262	403
		Minimum	0.00	0.03	0.00	NA	NA

부식억제제 주입 전후의 옥내급수관 정체수의 탁도를 분석한 결과는 주입 전 평균 3.24 NTU에서, 주입 1차시 탁도는 주입 전 탁도의 17% 수준인 0.55 NTU, 주입 2차시 탁도는 주입 전 탁도의 11% 수준인 0.36 NTU로 감소되었다. 철 농도는 주입 전 최대 1.007 mg/L였던 것이 주입 후에는 최대 0.215 mg/L를 초과하지 않아 수질기준을 만족하였다. 평균농도는 주입 1차 시가 주입 전 농도의 24%, 주입 2차 시에는 더욱 낮아져 7% 수준인 0.024 mg/L로 주입된 부식억제제에 의한 철의 용출 저감 효과가 뚜렷한 것으로 보인다. 색도는 주입 전 평균 7.35도에서, 1차 주입 후 5.67도(주입 전 대비 77%), 2차 주입 후 1.08도(주입 전 대비 15%)로 부식억제제의 주입 유무차이가 확연히 나타나고 있다. 구리 농도는 주입 전 평균 0.08 mg/L에서 1차 주입 후 0.026 mg/L, 2차 주입 후 0.035 mg/L로 감소되었는데 주입 1, 2차 측정값은 이미 바탕 시험수로 볼 수 있는 정수에 함유된 농도 수준으로 부식억제제의 동 용출 억제효과가 매우 신속하고 안정적임을 알 수 있다. 망간 농도는 주입 전 평균 0.08 mg/L에서 주입 1차시 0.03 mg/L, 주입 2차시 0.04 mg/L로 저감되었으며 구리와 마찬가지로 신속하고 안정적인 효과를 보이고 있다. 아연 농도는 주입 전 평균 0.04 mg/L(최대 0.23 mg/L)에서, 1차 주입 후 0.06 mg/L(최대 0.09 mg/L), 2차 주입 후 0.03 mg/L(최대 0.10 mg/L)으로 2차 주입시에 더욱 안정적인 저감효과를 보이고 있다.

알칼리도, 잔류염소, 경도, TDS, pH는 부식억제제 주입 전후의 옥내급수관 정체수의 수질이 바탕 시험수인 정수장 유출수와 거의 차이가 없었으며 부식억제제의 주입에 의해 해당 항목의 농도에 유의할만한 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

부식억제제 주입 전후의 옥내급수관 정체수의 P_2O_5 의 농도는 부식억제제 주입 전 0.01 mg/L, 1차 주입시 0.08 mg/L, 2차 주입시 0.03 mg/L로 1차시 주입 평균농도가 3.77 mg/L, 2차시 주입 평균농도

가 4.64 mg/L인 것으로 볼 때 주입 1차 기간 동안 반응속도가 2차시 보다 낮았기 때문인 것으로 보인다. 이는 주입 1차 기간 동안의 수온이 5~7°C로 2차 기간 동안의 수온 10~13°C로 보다 낮았으며, 유속 또한 주입 2차 시기가 더 높아 부식억제제의 반응속도에 더 유리한 조건이었기 때문인 것으로 판단된다.

부식억제제를 사용하는 경우 유속을 증가시키면 부식억제제의 확산 속도도 증가하기 때문에 부식억제제가 보호막을 형성하는데 도움을 주어 양호한 방식효과를 얻을 수 있다. 그러나 역으로 정체상태 조건이나 혹은 유속이 느린 영역이 있는 경우 정상적인 부식억제제 농도로는 부식방지가 곤란하다. 또한, 물이 정체되면서 결절과 흙을 형성하고 미생물의 성장을 촉진시켜 관의 수명을 감소시킨다. 부식억제제가 충분히 첨가된 경우에도 양호한 방식효과를 기대하기 위해서는 최소 0.5m/sec 이상의 유속은 유지되어야 한다(임, 2010)

납에 대한 수질분석결과는 부식억제제의 주입 전후에 모두 검출되지 않았다. 다중인산염은 정인산염으로 가수분해되는 과정에서 오히려 납의 농도를 증가시키는 것으로 나타났기 때문에 납이 검출된다면 다중인산염에 의한 부작용이 나타나지 않도록 사용에 주의를 기울여야 한다(Edwards, 2002).

5. 결론

정수장에서 생산된 고품질의 수돗물을 공급과정에서 품질 저하없이 안전하게 공급하는 것은 수돗물 신뢰도 향상을 위해 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 부식억제제 사용 전후의 수질변화, 금속물질의 용출, 스케일 구성성분의 변화 등을 실제 사용된 노후관을 이용한 모형실험을 통해 고찰하였다. 이미 관내부에 스케일이 형성되어 있는 상수도관에 부식억제제 적용성에 대해 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 이미 부식된 노후관에 대해 부식억제제를 주입하고 배관에 6시간 이상 정체한 정체수의 수질을 분석했을 때 평균 탁도는 3.24 NTU에서 0.45 NTU로, 철은 0.36 mg/L에서 0.05 mg/L로, 색도는 7.36도에서 3.38도로 부식억제제 주입 전의 14~46% 수준으로 감소되었으며 먹는물 수질기준을 만족함으로 부식억제제가 부식된 노후관에서 수질을 개선하는데 효과가 있음을 확인하였다.

둘째, 부식억제제 주입 전후의 관표면 및 부식생성물을 SEM, EDX, XRD, XRF를 통해 분석한 결과 노후관 내부의 표면조도 개선과, Fe의 감소, O, P, Ca 등이 증가됨으로 노후관 내부에 방식피막성분이 존재함을 확인할 수 있었다.

셋째, 부식억제제의 주입시 관내를 흐르는 유량과 주입율에 따라 그 성능과 효과가 다르며 더 높은 주입율과 많은 유량이 통과할 때 양호한 효과를 발생시키는 것으로 보여진다. 따라서, 부식억제제를 현장에 적용하기 위해서는 관망구성 및 관로운영상황, 노후관의 스케일 정도 등을 고려한 유량, 유속, 체류시간, 주입율 등 다양한 변수에 대한 운전인자의 도출을 통해 최적의 효율을 얻을 수 있도록 체계적인 연구가 필요하다.

결론적으로 인산염계 부식억제제가 이미 내부가 부식된 노후 상수도관에 주입되었을 때 적수발생량이 상당히 저감되어 먹는물에 대한 신뢰회복에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

시료분석 및 자료 작성에 도움을 주신 한국계면공학연구소 관계자에게 감사드립니다.

참고 문헌

- 김진근, 김영관 (2011) 국내 수도물의 부식성 특성 및 개선 방안, 상하수도학회지, 25(5). pp. 731-739
- 유순주, 박수정, 안경희, 김현구, 김창수, 정일록, 박영복 (2008) 수도물 수질에 따른 옥내급수관 부식에 미치는 영향 분석, 상하수도학회지, 24(6). pp. 701-708
- 이병두 (2004) 상수도 배급수관 내부부식방지를 위한 부식억제제의 적용, 충북대학교 환경공학과 박사학위논문
- 임재철 (2010) 노후 상수도관에 대한 인산염 부식억제제의 현장 적용성 연구, 서울시립대학교 환경공학과 석사학위논문
- 정원석, 김진근, 박덕준, 김선욱, 정상기 (2011) 소석회와 이산화탄소를 이용한 수도물 부식성 제어에 관한 연구, 상하수도학회지, 25(2) pp. 193-199.
- 한국상하수도협회 (2008) 수처리제의 적정 사용관리 방안 연구
- 환경부 (2011) 상수도통계
- 환경부 (2007) 환경부고시 제2007-92호.
- AWWA (1986) Corrosion control for operators.
- AWWARF and VGW-TZW (1996) Internal corrosion of water distribution systems, AWWARF.
- Edwards, M., Hidmi, L., Gladwell, D. (2002) Phosphate inhibition of soluble copper corrosion by-product release, Corrosion Science, 44, 1057~1071 .
- Sarin, P., Clement, J.A., Snoeyink, V.L., Kriven, W.M. (2003) Iron release from corroded, unlined cast-iron pipe, J. of American Water Works Association, 95(11), 85-96.
- Schock, M.R., Lytle, D.A. (2011) Internal corrosion and deposition control in Water Quality and Control 6th Ed. McGraw Hill, New York.
- USEPA homepage (2011) <http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>