

[총설]

상수도관망에서 부식제어 및 생물막 제거에 관한 문헌적 고찰

염철민[†]

(주)제이에스플랜트

Literatural Approach for Corrosion Control and Biofilm Cleaning
in Water Distribution SystemYeom, Cheol-Min[†]

J.S PLANT CO., LTD

1. 서론

2002년 12월말 현재 국내에서는 933개 급수구역 내에 전체 인구의 88.7%인 약 43,021천명이 상수도를 공급받고 있으며, 상수도 시설용량은 1일 28,561천m³이다. 1일1인당 급수량은 362ℓ로 1996년에 409ℓ이었던 이후로 해마다 감소추세에 있다. 이는 절수기 설치와 물 절약 운동의 전개 등으로 물 사용량이 줄고, 노후수도관 교체 등으로 누수량이 감소하였기 때문이다. 실제적으로 상수도 누수율은 1996년에 19.6%이었던 것이 지속적으로 감소하여 2002년에는 12.3%이었다(환경부, 2003).

이와 같은 상수도 누수 원인 중의 하나로는 상수도관의 파손을 들 수 있다. 상수도관의 파손원인은 여러 가지가 있을 수 있지만 국내에서는 주철관과 아연도강관의 경우에는 시설의 노후가, 덕타일 주철관이나 PVC관, PE관의 경우에는 수격압이 원인인 경우가 많다. 시설의 노후 원인 중에서는 관부식이 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 수격압은 관파열 또는 접합부 이탈 및 파열현상의 주요 원인으로 작용하고 있다(이 등, 2002c).

상수도관의 부식은 수질, 온도, 수리학적 영향 등 여러 가지 원인이 있을 수 있다(Stinson, 1983). 상수도관에서의 부식성은 상수도관 내에서 탄산칼슘의 침전 및 용해 가능 여부를 나타내는 탄산칼슘 포화지수로 나타낼 수 있는데, 탄산칼슘 포화지수가 낮으면 부식성이 강하다. 부식성이 강하면 상수도관 내에서 탄산칼슘의 보호막을 형성시키지 못해 상수도관과 물이 직접적으로 접촉하게 되어 부식을 촉진시킨다. 상수도관에서 부식생성물의 축적은 세균이나 기타 미생물의 보호막을 제공하고, 이런 미생물들이 재성장하여 맛, 냄새, 슬라임 등의 수질문제를 일으킬 수 있다(Lewandowski *et al.*, 1997).

국내에서 상수도관 부식에 대한 연구는 수질특성이 부식에 미치는 영향(조, 1987; 이, 1997; 서 등, 1998; 광 등, 1999; 이 등, 2001b), 부식생성물에 의한 잔류염소 감소특성(주, 1996; 이 등, 1998; 박 등, 1998a; 박 등, 1998b; 김

등, 2003), 상수도관에서의 미생물 재성장 및 제어(박, 1993; 안, 1996; 이 등, 1997a; 이 등, 1997b; 이 등, 2001), 배·급수관의 세관기술 평가(곽 등, 1997; 이 등, 2001a; 이 등, 2002a; 이 등, 2002b; 광 등, 2002; 우 등, 2003; 이 등, 2003) 등 다양한 분야에서 이루어졌다.

본 연구에서는 상수도관망에서 부식제어 및 생물막 제거에 대한 국내 연구현황을 종합적으로 살펴보고, 향후 연구 방향에 대해 제안하였다. 국내 연구현황은 크게 세 가지로 살펴보았는데, 첫째로 부식발생에 영향을 미치는 인자에 대해 살펴보았고, 둘째로 이러한 부식발생 영향인자에 의해 생성된 부식생성물이 인체 및 수질에 미치는 영향에 대해 살펴보았으며, 셋째로 부식과 생물막의 제어 및 제거기술에 대해 살펴보았다.

2. 본론

2.1. 부식발생 영향인자

상수도관의 부식성을 나타내는 탄산칼슘 포화지수는 일반적으로 LI(Langelier Index)와 CCPP(Calcium Carbonate Precipitation Potential)가 잘 알려져 있다. LI는 탄산칼슘에 대하여 포화(=0), 불포화(<0), 과포화(>0)를 판단하며, CCPP는 탄산칼슘으로 포화되는데 필요한 탄산칼슘의 양으로 계산된다(Langelier, 1936; Rossum *et al.*, 1983; Rodolfo, 1985). 국내 정수장에서 생산되는 수돗물은 사용하는 상수원수의 수질에 따라 조금씩 차이가 있기는 하지만 탄산칼슘 포화지수인 LI나 CCPP가 대체로 낮아 부식성이 매우 크다(곽 등, 1997; 광 등, 2001). 또한 수처리과정 중 전염소처리, 응집제의 과다사용 등으로 황산이온과 염소이온 농도가 증가하여 부식성에 미치는 수질의 영향을 더욱 악화시키고 있는 실정이다(서 등, 1998; 광 등, 2002).

부식에 영향을 미치는 인자로 고온, 급속내의 불순물, pH, 상수도관 표면의 거칠음의 정도, 상수도관에 작용되는 압력, 상수도관 내부를 흐르는 물의 용존산소농도 등을 들 수 있으며, 미생물에 의한 생물막의 형성, 용존산소농도의 변화, 화학적성분의 변화 등도 부식을 가속화시키는 인자가 될 수 있다(조, 1987). 특성별로 살펴보면 pH, 알칼리도, 경

[†] To whom correspondence should be addressed.
cmyeom@jsplant.co.kr

도, 철, 아연, 망간 등은 농도가 높을수록 부식을 억제시키고, 전기전도도, 염소이온, 황산이온, 잔류염소 등은 농도가 높을수록 부식을 촉진시킨다. 특히 부식촉진인자 중에서 염소이온과 황산이온은 주로 공식발생에 기여한다(이 등, 2001b). 그러나 상수도관의 부식은 부식억제인자와 부식촉진인자 사이의 상호간 영향력의 크고 적음에 따라 다르게 나타난다. 이는 이 등(2001b)의 연구에서 밝혀졌는데 한강(경기도), 낙동강(부산광역시), 호소수계(광주광역시)에 위치한 아파트의 저수조, 고가수조, 세대내 수도꼭지 수질 등을 측정분석하고, 아연도강관을 이용하여 모의순환 관로시스템을 제작하여 부식속도를 측정할 결과 낙동강 수계의 수질이 대체적으로 다른 수계에 비하여 부식억제 효과를 갖는 수질인자와 부식촉진 효과를 갖는 수질인자들에 대한 농도가 모두 높게 나타났음을 확인하였다.

한편 전기전도도는 110 $\mu\Omega/\text{cm}$ 이상에서 부식에 영향을 미친다(Fontanan, 1986). 중성의 pH 범위일 때 임계농도 이하에서 산소의 농도가 증가함에 따라 부식속도는 증가하며, 중성부근에서 용존산소의 임계농도는 16-20 mg/L이다(Fontanan, 1986). 또한 잔류염소농도가 1 mg/L 이상일 경우 급속의 보호막을 이탈시켜 부식을 촉진시킨다(Lewandowski et al., 1997). 수온이 증가함에 따라 부식속도는 수온이 약 80°C까지 지수함수적으로 증가(AWWARF, 1996)하는 것으로 볼 때, 수온이 높은 하절기에 그리고 겨울철에 비교적 수온이 높은 실내 배수관에서도 부식이 발생할 수 있다(Fontanan, 1986).

2.2. 부식생성물이 인체 및 수질에 미치는 영향

2.2.1. 인체에 미치는 영향

상수도관의 부식으로 인해 먹는 물에 포함될 수 있는 유해 금속성분으로는 철, 납, 구리, 아연 등을 들 수 있으며, 이러한 중금속들의 인체에의 영향은 다음과 같다. 먹는 물 중에 철이 과량 함유되면 관절염 증세를 나타내는 병에 걸릴 수 있다. 먹는 물 중 철 농도가 0.3 mg/L 이상인 경우 물맛이 나빠지고, 세탁물 및 급수시설에 얼룩이 지게 되며, 물이 붉은 색을 띠게 되어 이른바 적수를 형성하게 된다. 구리는 농도가 1.0 mg/L 이상인 경우 물에서 금속맛이 나게 되나 인체에는 심각한 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다. 다만 구리의 농도가 상당히 높은 경우에는 관절에 이상 증세가 나타나기도 한다. 아연은 부식성이 강한 물이 아연도강관을 통과할 경우 수중에 아연 농도가 높아질 수 있으며, 농도가 5 mg/L 이상일 경우 물맛이 나빠지며, 구토, 위경련, 설사, 고열 등의 증세가 나타난다. 납은 신경중추, 소화기, 혈액, 위장 등에 영향을 미치며, 1인 섭취량이 1 mg/day를 초과하게 되면 납이 인체에 축적되게 되어 사망할 수 있다(조, 1987).

2.2.2. 잔류염소 감소

고농도의 잔류염소는 부식을 촉진시키며, 유기물과 계속적으로 반응하여 소독부산물을 생성시킨다. 반면에 저농도에서는 수온이 높은 여름철에 미생물의 재성장과 같은 미

생물학적 안전성을 확보하지 못하는 경우가 있다. 잔류염소가 갖는 물속에서의 반응상수와 관벽과의 반응상수는 현장의 특성에 따라 매우 다양하게 나타나므로 상수도관망 시스템의 특성, 즉 관종 및 관경의 영향, 수리학적 영향, 기타 수질영향에 따른 잔류염소 감소특성을 파악하는 것이 필요하다(Vasconcelos et al., 1997).

관의 부식정도는 강관 > 주철관 > 스테인레스스틸관 = 합성수지관의 순서로 보고된 바 있으며(이, 1997), 관종에 따른 잔류염소 감소경향은 동관 > 아연도강관 > 스테인레스스틸관 > 덕타일주철관 > PE관 > PVC관의 순서로 알려져 있다(이 등, 1998). 또한 흐름상태일 때가 정체상태보다 잔류염소가 빠르게 감소하고, 염소 특성에 따라서는 total chlorine보다 free chlorine의 감소가 빠르다(박 등, 1998a; 이 등, 1998; 이 등, 2001b). 잔류염소 감소는 용존유기물(Dissolved Organic Carbon, DOC)보다는 철의 산화에 우선적으로 소모되며(김 등, 2003), 수도물은 각 급수과정 중 고가수조에서 세대 수도꼭지까지 공급되는 급수관과 횡수관을 거치면서 수질에 가장 많은 영향을 받는다(이 등, 2004).

2.2.3. 미생물 재성장

먹는 물의 배·급수 과정에서 미생물 양이 이상하게 많아지는 현상을 통상적으로 재성장 혹은 후성장이라고 한다. 재성장이란 소독제에 의해 손상을 입고 정수장에서 배·급수 관망으로 들어간 세균들의 회복을 의미하며, 후성장은 관망 자체내에서의 미생물의 증식을 의미한다(LeChevallier et al., 1987). 한편 상수도관에서 발견되는 미생물은 부유미생물과 부착미생물 형태인 생물막으로 크게 구분된다. 이중 생물막은 부유미생물에 비해 소독제에 대한 내성이 강하다. 그 결과 잔류소독제 농도가 불충분한 구역에서는 생물막으로부터 박리된 세균에 의해 흐르는 물 속에 과잉의 세균이 축적하게 된다(박, 1993).

상수도관에서의 미생물 재성장에 대한 연구에 있어 지하에 매설되어 있는 상수도관 내부를 직접 관찰하는 것은 매우 어려우므로 간접적으로 생물막 형성 장치를 만들어 전자현미경으로 관찰하거나 부착성장 세균을 분리 배양하여 경향이나 거동을 추이하는 방법을 사용하는 것이 일반적이다(이 등, 1997a). 미생물 재성장과 관련된 국내 연구결과는 몇몇 연구자들에 의해 제한적으로 이루어졌다. 몇 가지 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

박(1993)의 연구에서는 3개월 동안 가동한 생물막 반응기에서 초기에는 0.5 μm 정도의 단구균 모양을 형성하고, 이어서 연쇄상 구균과 포도상 구균 모양으로 천이한다. 6주 후부터는 간균과 규조류와 매우 큰 진핵생물이 부착되어 미생물 공동체를 형성하고, 3개월경에는 사상균 출현과 생물막 매트릭스 등으로 극상에 이룬다고 하였다. 이 등(1997a)은 스테인레스스틸관과 아연도강관 시편을 이용하여 여기에 성장하는 미생물의 종을 관찰하였는데 대부분 규조류(*Synedra*, *Bacillaria*, *Navicula*)였고, 녹조류(*Cosmarium*)나 yeast와 같은 중속영양세균도 확인하였다. 시편별로 미

생물의 부착성을 비교해 볼 때 스테인레스관 시편이 아연 도강관 시편보다 전체적인 미생물 양에 있어 더 많이 검출되었는데 이는 전자현미경 촬영결과 관의 재질에 따른 표면구조의 차이로 보여지며, 이는 스테인레스의 표면에 많은 갈라진 틈 사이로 유기물과 미생물이 많이 침적되기 때문이다(Ridgway *et al.*, 1982). 이 등(1997)은 Y정수장의 송·배·급수계통 내에서의 수질변화를 조사하였는데 모두 먹는 물 수질기준에 만족하였다. 그러나 총 유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)의 경우 현재의 먹는 물 수질기준에는 포함되어 있지는 않지만 약 1.2-6.8 mg/L의 분포를 보이는 것으로 나타나 수온이 높은 여름철에 미생물이 재성장할 가능성이 높다고 하였다. 이와 유사한 연구결과가 이 등(2001)에 의해 보고된 바 있는데 표준식 정수처리공정을 거쳐 배·급수관으로 공급되는 관로 중 시멘트모르터 라이닝된 덕타일주철관에서 채수한 시료의 생분해성 용존유기물(Biodegradable Dissolved Organic Carbon, BDOC)가 0.7 mg/L의 높은 농도를 보이고 있음을 확인하였다. 이는 많은 학자들이 제안한 생분해성 용존유기물(BDOC)의 미생물 재성장 잠재성 한계값인 0.2 mg/L를 크게 상회하는 것으로 미생물 재성장의 가능성이 큼을 보여준다. 한편 박 등(1998b)은 상수도 관망내에서 잔류염소의 농도가 0.8mg/L 이상임에도 불구하고 탄소원이 존재하게 되면 염소에 내성을 가지는 생물막의 생성은 가능하다고 하였다.

2.3. 부식의 제어 및 생물막의 제거 기술

2.3.1. 부식제어를 위한 수질의 조절

상수도관의 내부 부식을 제어하는 가장 기본적인 방법은 정수의 수질을 조절하는 것으로, 이 중 pH 조절은 가장 일반적이고 폭넓게 사용되는 방법이다(이 등, 2000). pH는 상수도관 재질의 용해도를 결정하는 가장 중요한 인자로 대부분의 금속성 물질(철, 구리, 아연, 납 등)은 pH가 낮은 경우 용출이 잘 된다(Pisigan *et al.*, 1985). 그리고 탄산알칼리도가 충분할 경우, pH가 증가하면 납과 구리와 같은 금속은 불용성의 탄산염을 생성시켜 용출이 억제된다(곽 등, 2002). 소석회를 주입하면 pH와 함께 알칼리도도 증가하지만 그 상승폭이 적기 때문에 중탄산염(HCO_3^-)과 같은 약품을 투입하여 알칼리도를 먼저 증가시키고 pH를 조절하면 부식억제효과를 증대시킬 수 있을 것이다(Vik *et al.*, 1996). 수중에 탄산칼슘에 의한 경도가 존재하지 않는 경우 사용할 수 있는 부식방지법으로는 Na_2CO_3 나 NaHCO_3 를 주입시키는 방법을 들 수 있다(Scull, 1980). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 pH나 알칼리도만을 증가시키는 NaOH에 비해 칼슘경도를 함께 증가시켜줄 수 있게 때문에 탄산칼슘 포화지수가 상대적으로 NaOH보다 커져 부식조절에 보다 효과적이다(곽 등, 1997). Leroy(1983)의 연구에 의하면 알칼리제 처리를 1년 동안 지속적으로 실시하였을 경우에 가정 수도전에서 중금속 농도를 계속적으로 감소시킨 것으로 나타났다.

부식억제를 위해 약품을 주입하여 pH, 알칼리도 및 경도를 조절할 때에는 pH에 따른 소독제의 효과와 경제성을 고려해야 한다. 부식억제만을 위해 pH를 증가시킬 경우,

소독효과가 높은 HOCl이 H^+ 와 OCl^- 로 해리되어 염소요구량이 증가하게 된다. 그러므로 국내 정수장의 실정에 맞게 pH 조절에 소석회를 적절히 주입하여 지나친 pH 상승을 억제하고 동시에 알칼리도 및 경도를 조절하는 방법을 강구해야 할 필요가 있다(곽 등, 2002).

정수의 수질을 조절하여 부식을 제어하는 연구로 조(1987)의 연구를 들 수 있는데 부식에 영향을 미치는 인자 중에서 pH 및 탄산염의 농도변화에 따른 4종류의 금속(철, 납, 아연, 구리)의 부식정도를 각 금속 시료의 무게 감소에 의한 측정을 한 결과 같은 pH 조건인 경우(pH=8) 탄산염의 농도가 낮은 경우보다는 높은 경우에 부식의 정도가 낮아짐을 관측하였다. 그러나 낮은 탄산염 농도(2 mg/L)의 경우에는 pH의 변화에 따른 납의 부식 정도에는 변화가 없는 것으로 나타났으나, 탄산염의 농도가 6-7 mg/L의 경우 낮은 pH 범위(pH6-8)보다 높은 pH(pH9.4)에서 부식의 정도가 약한 것으로 나타났다. 이는 낮은 탄산염 농도의 경우 부식을 방지하기 위하여 pH를 높여주는 것보다 탄산염 농도를 증가시켜 주는 것이 더 효과적임을 의미한다.

세계보건기구(WHO)는 부식방지 및 조절을 위한 방법을 음용수수질을 위한 지침(Guidelines for Drinking Water Quality)에 제시하고 있다. 내용으로는 배급수관 재질에 관한 지침에서 pH 6.5 이하, 경도 60 mg/L as CaCO_3 이하의 물은 동관보일러를 사용하지 못하도록 하고, 납의 용출을 최소화하기 위해 pH를 8.0-8.5로 유지하도록 제안하고 있다(WHO, 1993). USEPA에서는 정수처리시 pH 조절이 간단하면서도 유효하다고 판단되어 원수의 경도가 100 mg/L as CaCO_3 이상인 경우 pH를 7.6 전후로 하고, 원수의 경도가 이보다 낮은 경우 pH를 적어도 8.0으로 할 것을 제안하고 있다(USEPA, 1992). 그러나 국내에서는 pH, 알칼리도 및 경도조절 등이 부식을 제어하는 가장 경제적인 수처리 방법 중의 하나이지만 pH 상승, 탁도유발 등의 불안감을 가지고 있어 적극적인 대처를 하지 못하고 있다(곽 등, 2002).

2.3.2. 부식방지제 이용

대부분의 경우 강관이나 동관의 부식방지용으로 사용되는 물질은 phosphate나 polyphosphate와 같은 인산염계로서 이들은 금속에 metal phosphate의 막을 형성하여 부식을 방지한다(Millette *et al.*, 1980). 인산염계 부식방지제는 양극 부식방지제로 수중 금속이온과 반응하여 금속표면위에 침전 및 불용성의 부식방지 피막을 형성하는 기능을 수행하며(Nancollas, 1983; 조, 1987), 인산염을 단독으로 사용하였을 경우보다 음극 부식방지제인 아연을 함께 사용하게 되면 시너지 효과에 의해 부식제어 효과가 훨씬 높아진다(Rozenfeld, 1981; Volk *et al.*, 2000; 우 등, 2003). 부식방지제로서 인산염계의 주입은 미생물의 성장에 영향을 미치지 않거나 오히려 저감시키는 것으로 보고된 바 있다(Rosenzweig, 1997; Appenzeller *et al.*, 2001; Edwards *et al.*, 2001).

부식방지제의 주입농도는 환경부고시(환경부, 2002)에 명

시된 것과 같이 P_2O_5 농도로 10 mg/L (PO_4 로 13 mg/L)를 넘지 않아야 한다. 국내의 경우 산업용 부식방지제는 비교적 널리 사용되고 있으나, 상수도 배·급수 시설에서의 수도용 부식방지제 도입은 정수장의 수질관리 차원에서 다루어지고 있는 것이 아니라 수도물의 이용자들이 아파트, 연립주택 등 공동주택의 저수조 후단에서 제한적으로 이루어지고 있는 실정이다(김, 2001).

2.3.3. 물리화학적 방법에 의한 부식 및 생물막 제거

상수도 배·급수관의 부식과 생물막의 제거와 관련된 국내 연구로는 대표적으로 한국건설기술연구원(2002)에서 수행한 연구결과에서 나타난다. 공기충격파와 세관제(소독제 또는 화학세관제) 등을 이용한 건물내 노후급수관의 스케일 세관효과 연구(이 등, 2001a)에서 공기충격파에 의한 단독세관에서는 통수능 증가율이 0.8%, 세관제에 공기충격파를 병용할 때의 통수능 증가율은 0.1-2.8%로 세관효과가 낮게 나타났다. 오존과 화학세관제는 주로 산성에서 세관효과가 높게 나타났으나 세관 후에 관내면의 중화처리가 필수적이다. 특히 급수관 세관에 적용될 경우, 세관 도중에 발생하는 유독한 냄새 또는 가스의 발생에 대한 대처가 매우 중요한 것으로 판단된다.

노후급수관의 수도용 방청제와 자기 및 이온화 처리장치를 이용한 세관효과 연구(이 등, 2002a)에서는 80%의 통수능을 가진 급수관이 100% 통수능 회복을 위해 요구되는 시간이 이온화 처리장치(448일)가 수도용 방청제 투여(487-504일)나 자기처리장치(663일)에 비해 빠른 것으로 나타났다. 그러나 이들 방법들은 오존과 같은 화학적인 처리 방법이나 물리적인 세관방법보다 통수능 회복에 장시간이 소요된다는 단점이 있다.

기존 배관설비 분야에서 다양한 용도로 사용되고 있는 pig공법을 이용한 건물내 노후급수관의 스케일 세관효과 연구(이 등, 2002b)에서는 KDP 시리즈 polly-pig에 의해서 통수능이 3-15%까지 증가되기는 하였지만 대부분 제거가 이루어진 부분은 적색스케일($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)이었으며, 흑색스케일($Fe_2O_4 \cdot nH_2O$) 제거에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 KDP 시리즈 polly-pig의 겉표면에 fine sand를 코팅한 KDPS 시리즈 polly-pig에 의해서는 통수능이 13-18%까지 증가되었고, 대부분의 흑색스케일도 제거되는 것으로 나타났다. 크리닝벨브에 나선형 가이드베인을 설치하고, pig에 회전날개를 부착함으로써 회전력을 크게 향상시킨 결과 통수능 90%인 노후관이 세관 후 통수능이 완전히 회복되는 것을 확인하였다. Pig공법에 의한 세관은 다른 세관공법에 비하여 세관절차가 매우 단순하고, 짧은 시간에 세관이 이루어졌다(이 등, 2002b).

3. 결어 및 제언

본 연구에서는 부식제어 및 생물막 제거에 대한 국내 연구현황을 통해 향후 연구방향을 제시하고자 하였다. 국내 연구현황을 요약하면 부식이나 생물막이 형성되기 이전에

적용할 수 있는 사전제어수단으로써 수질의 조절이나 부식방지제를 사용하는 방법을 들 수 있고, 부식이나 생물막이 형성된 이후에 적용할 수 있는 사후제거수단으로써 물리화학적 제거방법을 들 수 있다. 사전제어수단으로 수질의 조절로써는 pH나 탄산염 농도를 낮춘 것보다는 높게 조절하는 것이 유리하였고, 부식방지제를 사용하는 경우에는 양극 부식방지제의 단독 사용보다는 음극 부식방지제와 병용하는 것이 효과적이었다. 사후제거수단으로 물리화학적 방법으로는 공기충격파, 오존, 수도용 방청제, 자기 및 이온화 처리장치, pig공법에 의한 세관 등 여러 가지가 있으나, 이 중에서 pig공법에 의한 세관이 세관효과 및 세관절차, 세관 시간 면에서 볼 때 우수한 것으로 나타났다.

따라서 부식이나 생물막에 대해 사전제어수단으로써 수질의 조절과 부식방지제를 적절히 적용하고, 필요한 경우 사후제거수단으로써 pig공법에 의한 세관을 수행함으로써 상수도 배·급수관에서의 2차오염을 예방하고, 더불어 수도물 소비자에게 끼칠 수 있는 위해성을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 특히 pig공법을 이용한 상수도관망의 주기적인 세관을 통한 지속적인 유지관리는 사전제어수단으로써의 기능도 수행하여 상수도관의 노후화를 연장시켜줄 수 있고, 더불어 관로교체에 소요되는 비용을 절감하는 경제적인 효과도 누릴 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 곽필재, 김선일, 우달식, 남상호, 물의 침식성이 수도관 부식에 미치는 영향, *상하수도학회지*, **13**(1), pp. 134-139 (1999).
- 곽필재, 이현동, 남상호, 상수도관로의 부식방지를 위한 수도물의 침식성 평가, *상하수도학회지*, **11**(1), pp. 53-63 (1997).
- 곽필재, 이현동, 남상호, 부식성 수질제어를 위한 수처리 범위 결정에 대한 연구, *대한환경공학회지*, **24**(4), pp. 725-733 (2002).
- 곽필재, 이현동, 남상호, 정원식, 국내 수계별 수도물의 부식성 및 금속용출 특성평가에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **23**(7), pp. 1195-1203 (2001).
- 김성진, 홍성호, 김정현, 상수도관내의 부식생성물에 의한 잔류염소 감소 특성, *상하수도학회지*, **17**(6), pp. 898-905 (2003).
- 김준환, 방청제의 품질 규격과 안정성, 국립환경연구원 (2001).
- 박노석, 주대성, 박희경, 배·급수 관망내에서 상수 오염에 관한 연구(I), *대한환경공학회지*, **20**(8), pp. 1095-1101 (1998a).
- 박노석, 주대성, 박희경, 이채영, 임경호, 배·급수 관망내에서 상수 오염에 관한 연구(II), *대한환경공학회지*, **20**(8), pp. 1103-1109 (1998b).
- 박성주, 상수도 급·배수계통에서 세균 재생장 및 생물막 형성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문 (1993).
- 서규태, 정해룡, 이현동, 정원식, 지재성, 배수시스템내 부식 영향 수질인자의 변화 특성, *대한환경공학회지*, **20**(8), pp. 1151-1160 (1998).
- 안지숙, 수도관 시편에서 미생물 성장에 관한 기초연구, 부

- 산대학교 석사학위논문 (1996).
- 우달식, 문정기, 구성은, 최종현, 김주환, 문광순, 배·급수 시스템에서 부식방지제의 적용평가 연구, *상하수도학회지*, **17**(5), pp. 665-674 (2003).
- 이광호, 급·배수관망에서 부식 및 녹물발생의 영향인자에 관한 연구(I), *대한환경공학회지*, **19**(7), pp. 949-958 (1997).
- 이지형, 김동윤, 수도관 시편에서 염소살균에 의한 미생물 성장 제어와 미생물 종 고찰에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **19**(9), pp. 1205-1216 (1997a).
- 이지형, 김미화, 김동윤, 배·급수관망에서 HPC와 Coliform 을 중심으로 한 미생물 재성장 고찰, *대한환경공학회지*, **23**(2), pp. 261-267 (2001).
- 이지형, 안지숙, 김동윤, 수도관 재질에서 BDOC 농도에 따른 미생물 성장에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **19**(3), pp. 403-414 (1997b).
- 이현동, 박정훈, 배철호, 건축물내 노후급수관의 수도용 방청제와 자기 및 이온화 처리장치를 이용한 방식 및 세관효과 평가, *한국물환경학회지*, **18**(5), pp. 553-562 (2002a).
- 이현동, 배철호, 박정훈, 김길남, Polly-pigs를 이용한 노후급수관의 세관에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **18**(3), pp. 303-312 (2002b).
- 이현동, 배철호, 박정훈, 신현준, 조정식, 공기충격과와 세관제를 이용한 노후급수관의 세관에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **17**(6), pp. 727-736 (2001a).
- 이현동, 배철호, 박정훈, 정원식, 박필재, 수도물의 수질특성이 옥내급수관의 부식속도에 미치는 영향 평가, *한국물환경학회지*, **17**(5), pp. 627-635 (2001b).
- 이현동, 배철호, 홍성호, 한영근, 권택중, 세라믹모르터 라이닝의 물리화학적 특성 평가, *한국물환경학회지*, **19**(6), pp. 663-671 (2003).
- 이현동, 정원식, 문숙미, 상수도 배관망에서의 수질변화에 관한 연구 (수질악화의 영향인자 분석과 잔류염소 모델링), *상하수도학회지*, **11**(3), pp. 59-66 (1997).
- 이현동, 정원식, 안윤주, 국내 중소도시 상수도관의 파손특성 및 영향인자 분석에 관한 연구, *상하수도학회지*, **16**(4), pp. 383-388 (2002c).
- 이현동, 정원식, 지재성, 상수도관망내 잔류염소분해 및 수질변화특성, *한국물환경학회지*, **14**(1), pp. 79-86 (1998).
- 이현동, 정해룡, 박필재, 정원식, 정수의 pH 및 알칼리도 동시 조절이 상수도관의 내부부식 제어 및 수질에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, **19**(7), pp. 661-669 (2000).
- 이현동, 황재운, 배철호, 김상진, 건축물내 급수설비의 수질 변화특성과 영향력 평가, *한국물환경학회지*, **20**(4), pp. 313-320 (2004).
- 조순행, 급수관의 부식에 미치는 pH 및 Carbonate 농도의 영향에 관한 연구, *상하수도학회지*, **1**(2), pp. 54-64 (1987).
- 주대성, 상수도관내 수질인자에 따른 잔류염소 농도변화, 한국과학기술원 석사학위논문 (1996).
- 한국건설기술연구원, 에너지절약 건물내 노후급수관의 상태 진단 및 평가를 위한 안전진단기술 개발, 2000 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서 (2002).
- 환경부, 고시 제187호, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준 (2002).
- 환경부, 상수도통계 (2003).
- Appenzeller, B. M. R., Batte, M., Mathieu, L., Block, J. C., Lahoussine, V., Cavard, J., and Gatel, D., Effect of adding phosphate to drinking water on bacterial growth in slightly and highly corroded pipes, *Wat. Res.*, **35**(4), pp. 1100-1105 (2001).
- AWWARF, *Internal corrosion of water distribution systems*, 2nd ed. (1996).
- Edwards, M., McNeill, L. S., Holm, T. R., and Lawrence, M. C., *Role of phosphate inhibitors in mitigating lead and copper corrosion*, AWWARF, Denver (2001).
- Fontanan, M. G., *Corrosion engineering*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Com., pp. 23-33 (1986).
- Langelier, W. F., The analytical controled anti-corrosion water treatment, *J.AWWA*, **28**(10), pp. 1500-1521 (1936).
- LeChevallier, M. W., Babcock, T. S., and Lee, R. G., Examination and characterization of distribution system biofilms, *Appl. Environ. Microbiol.*, **53**(12), pp. 2714-2724 (1987).
- Leroy, P., Corrosion control of feeders carrying potable water from desalination of sea water, Case of the Yanbu Medina Water Supply System, *Desalination*, **44**, pp. 317-324 (1983).
- Lewandowski, Z., Dickinson, W., and Lee, W., Electrochemical interactions of biofilms with metal surfaces, *Wat. Sci. Tech.*, **36**(1), pp. 295-302 (1997).
- Millette, J. and Hammonds, A., Aggressive water: Assessing the extent of the problem, *J.AWWA*, **72**, pp. 262-266 (1980).
- Nancollas, G. H., Phosphate precipitation in corrosion protection reaction mechanisms, *Corrosion*, **39**(3), pp. 77-80 (1983).
- Pisigan, R. A. and Singley, J. E., Corrosion of galvanized steel: Some water quality effects and corrosion products formation, *J.AWWA*, **77**(11), pp. 76-82 (1985).
- Ridgway, H. F. and Olson, B. H., Scanning electron microscope evidence for bacterial colonization of drinking water distribution system, *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**, pp. 274-287 (1982).
- Rodolfo, A., Experimental determination of the calcium carbonate saturation states of water systems, *J.AWWA*, **77**(10), pp. 92-94 (1985).
- Rosenzweig, W. D., *Influence of phosphate corrosion control compounds on bacterial growth*, EPA CR-811613-01-0, USEPA, Cincinnati, Ohio (1997).
- Rossume, J. R. and Merrill, D. T., An evaluation of the calcium carbonate saturation index, *J.AWWA*, **75**(2), pp. 95-100 (1983).
- Rozenfeld, I. L., *Corrosion inhibitors*, McGraw-Hill Inc., New York (1981).
- Scull, K. E., An experimental approach to corrosion control, *J.AWWA*, **72**, pp. 280-285 (1980).
- Stinson, K. B., Ensuring water quality in a distribution system, *J. Environ. Eng.*, **109**(2), pp. 289-304 (1983).
- USEPA, *Lead and Copper Rule Guidance Manual*, Volume II : Corrosion control treatment (1992).
- Vasconcelos, J. J., Kinetics of chlorine decay, *J.AWWA*, **89**(7), pp. 54-65 (1997).
- Vik, E. A., Ryder, R. A., Wagner, I., and Ferguson, J. F., Mitigation of corrosion effects, *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*, 2nd ed., AWWARF and DVGW-TGW (1996).
- Volk, C., Dundore, E., Schiermann, J., and LeChevallier, M.

W., Practical evaluation of iron corrosion control in a drinking water distribution system, *Wat. Res.*, **34**(6), pp.

1967-1974 (2000).

WHO, *Guidelines for drinking water quality, 2nd ed.*, pp. 138-143 (1993).