

수돗물에서 주철관과 아연도강관의 부식특성 및 영향인자에 관한 연구

이재성 · 민경희[†] · 이수원

한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터

Analysis of Influence Factors and Corrosion Characteristics of Water-pipe in Potable Water System

Jae Seong Rhee, Kyung Hee Min[†], and Su Won Yi

Water Environment and Remediation Center, Environment & Process Technology Division,
Korea Institute of Science and Technology (KIST), 39-1, Hawolgok-dong, Seoungbuk-gu, Seoul 136-791, Korea

The experiment was investigated for studying the ion generation and corrosion rates that occurred in the pipe system. Application of water treatment device named "SB" in water-pipe systems produces the electromotive force from galvanic reaction. This electromotive force is named as galvanic electronic. Above reaction decreases leakage, scale, rust, slime such as bacteria inside of water-pipe. Thus, SB can be used as the pipe protection device in the water distribution system. A study uses the loop type water circulation system connected with iron pipe and galvanized steel pipe with/without SB. Results showed that the Fe concentrations in the water pipe system without SB connection was about two times higher than these of the water pipe system with SB connection. The corrosion rates of the pipe system installed SB were about 17~28% less than these of the pipe systems with out SB. Therefore the control of pipe rust by SB was proved by this study.

Key words: iron pipe, galvanized steel pipe, zinc, water pipe, corrosion, scale

1. 서 론

부식현상은 생활전반의 여러 분야에서 관찰되어질 수 있는데 일반적으로 부식이 생활에 끼치는 다른 문제점들에 대해서 잘 모르는 경우가 대부분이다. 따라서 가정으로 식수를 공급하는 책임을 맡고 있는 공기관에서는 물이 수도관의 부식으로 인해 오염되어 식수로 부적당하게 되는 일이 없는지 더욱더 심각하게 고려해야 할 필요성이 증대되고 있다.

현재 우리나라 상수도시설은 관리부족과 부식 또는 스케일 생성 등의 문제로 전국 정수장에서 깨끗하게 생산된 수돗물을 공급하더라도 전달과정에서의 2차적인 오염에 의하여 적수와 이물질이 발생한다. 국민의 생활수준이 향상되어감에 따라 음용수의 수질에 대한 국민들의 관심이 높아져가고 있지만 이러한 노후 상수도관에 의한 녹물, 불쾌한 맛·냄새, 이물질의 발생으

로 인하여 국민들의 수돗물에 대한 불신은 더욱 증대될 뿐만 아니라 막대한 물 낭비 문제까지 낳고 있는 실정이다.^{1,2)}

적수발생의 가장 일반적인 형태는 관부식에 의한 것이고 음용수중 철의 농도가 0.3 mg/L 이상인 경우로 물맛이 나빠지고 세탁물 및 급수시설에 얼룩이 지게하며 물이 붉은 색을 띠게 된다.³⁾ 따라서 녹물로 인한 수돗물의 오염원인을 조사하는 것도 중요하지만 실제로 수도관내에서 발생하는 문제는 수도관 내에 생성되는 스케일이 더 큰 문제를 일으킨다. 수도관내에 생성되는 스케일은 상수도관을 막아 통수능력을 저하시키며 결국 수도관을 교체해야하는 경우도 발생된다.⁴⁾ 그러므로 20년 미만의 배관을 교체할 수밖에 없는 실정일 뿐만 아니라 90년대 초에 지어진 공동주택의 60% 정도가 14년 이상이 경과함에 따라 특별한 관리가 이루어지지 않을 경우 향후 5년 이내 배관의 교체가 불

[†]To whom correspondence should be addressed.

가피하며, 이 경우 약 20조원의 엄청난 경제적 비용이 예상된다. 또한 상수도 관망 역시 부식과 누수로 인해 경제적 손실이 연간 5,000억 원 이상에 달하고 있고, 많은 비용을 들여 배관을 교체한 후에도 관리미흡으로 물에 대한 불신과 피해가 우려되는 만큼 근본적 해결책이 절실히 필요한 상황이다.⁵⁾

1980년대 초 이후 국내에도 녹, 스케일 문제를 해결하고자 고비용의 배관교체보다도 경제적으로 부담이 적고 녹과 스케일을 제거하고 방지할 수 있는 노후배관 갱생공법으로 상당수 수처리 기술이 도입되거나 일부 국내 개발되었으나 실제 적용되는 예는 드물거나 불신의 대상으로 여겨져 왔다. 그러나 선진국에서는 여러 수처리 기술을 적용, 녹과 스케일을 제거 및 방지하고 배관 수명을 연장하여 건축물의 수명연장에 기여하고 있다.⁶⁾

본 연구는 아연과 황동을 이용한 이중 금속으로 전위차에 의해 발생하는 미세전류가 수질의 변화 없이 스케일 생성을 방지하고 제거하며, 1824년에 개발되어 세계적으로 응용되고 있는 희생양극방식으로서 아연을 이용하여 철의 부식을 방지하고 녹을 제거하는 원리인 물리적 이온 수처리 시스템을 이용하였다. 수처리 시스템이 수도관에서 부식에 미치는 영향을 평가하고 수도관의 부식속도를 측정하여 수처리 시스템을 이용한 부식 제어 방법을 고찰하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험장치 및 재료

본 연구에서 사용된 순환형 물리적 이온 수처리 시스템 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험장치는 수도관에 사용되는 주철관(Fe) 및 아연도강관(Zn)을 선정하여 연속적으로 순환될 수 있는 loop형 장치이며 주

철관 및 아연도강관 각 2개로 총 4개의 loop를 이용하고 수중펌프 1개를 각 loop에 설치하였다.⁷⁾ 주철관과 아연도강관은 직경이 15 mm인 관을 사용하였고 길이가 300 mm인 관 1개와 파이프 내부 관표면 관찰을 위해 50 mm관 2개를 각 loop에 설치하였다. 물리적 이온 수처리 장치(SB)는 직경이 15 mm이고 길이가 120 mm인 장치를 사용하였고 물리적 이온 수처리 장치를 설치한 loop와 설치하지 않은 loop를 대조군으로 이용하였다. 또한 부식속도 측정을 위해 파이프 내부에 같은 재질의 시험편(Coupon)을 각 Loop당 2개씩 길이가 50 mm인 관에 설치하였다. 원수는 한국과학기술연구원 L5의 수도물을 사용하였다.

2.2. 실험방법

물리적 이온 수처리 시스템의 특성을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험실 규모의 실험장치를 운전하였다. 장치의 운전은 원수가 순환하는 형태로 60시간 연속으로 운영을 하고 시료를 채취는 24시간 간격으로 하였다. 각 loop의 유속은 주철관, 아연도강관 모두 0.5 m/sec를 유지하고 원수의 양은 7 L로 하였다. 용액 조성의 작은 변화가 부식속도에 대단히 중요한 영향을 미치는 경우에는 큰 용기로부터 부식용액을 지속적으로 순환시켜 주거나 용액 주입구를 통해서 용액을 계속 보충해 줄 필요가 있다. 따라서 시간이 경과함에 따라 감소되는 원수를 증류수로 보충하여 Loop의 전체 용액의 양은 항상 7 L로 유지하였다. Table 1에 각 loop의 운전 조건을 제시하였다.

2.3. 부식속도 측정방법

균일부식의 속도는 보통 시험편의 무게손실로부터 계산된다. Fig. 2와 같이 가로 15 mm, 세로 15 mm로

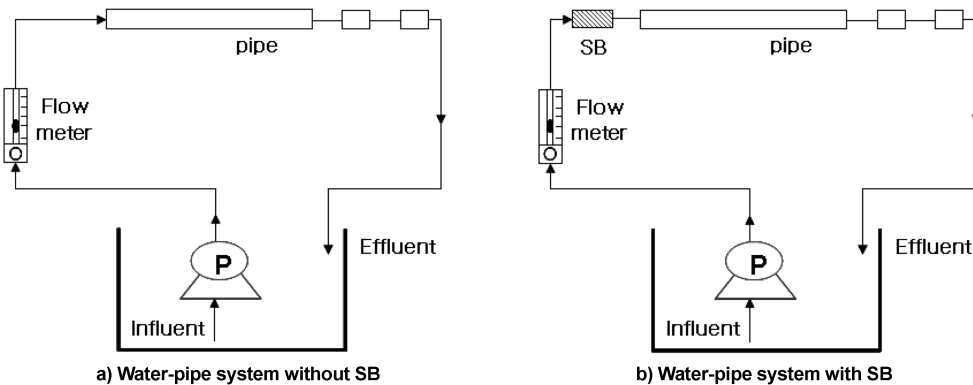


Fig. 1. Experimental setup (Loop).

Table 1. Operating parameters.

Parameters	Value
Type of experiment	Loop type
Total pipe length	400 mm
Flow rate	0.5 m/sec
Source of water	L5 tap water
Volume of water	7 L
Running Time	60 hour
Temperature	Room temperature

시험편을 제작하여 표면을 연마한 후 0.1 mg 범위까지 무게를 측정된 다음 직경 15 mm, 길이 50 mm인 파이프 내부에 시험편을 설치하여 부식 분위기에서 실험을 실시하였다. 시험이 끝난 후 20% NaOH 1 L에 200 g Zinc dust 첨가한 용액을 조제하여 시험편을 넣어 5분 동안 끓여서 부식생성물을 제거하였다.⁸⁾ 무게손실을 구하기 위해 다시 시험편의 무게를 측정하고 초기 무게와 비교하여 무게변화량을 구하였다.

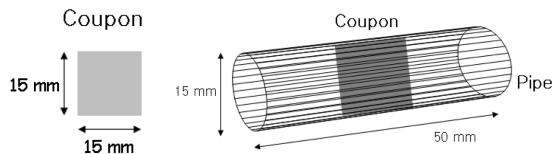


Fig. 2. Experimental setup (Coupon).

부식속도 계산을 위한 MPY(mils penetration per year : 1 mpy = 0.001 in)는 미국에서 가장 널리 사용되는 부식속도 단위였지만 최근 미터법 단위가 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 mm/yr 단위로 계산하여 mpy(1 mpy = 0.0254 mm/yr) 단위 값으로도 전환하여 두 종류의 부식속도를 모두 구하였다.⁹⁾

2.4. 수질시료 분석 방법

본 연구에서 사용한 UV-Visible spectrometer는 Varian사 Cary 50 probe UV-Visible Spectrometer를 사용하였고, 이를 이용하여 시료의 색변화를 흡광도로 측정하여 분석하였다. AAS는 Hitachi사의 Z-8200 Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometer를 사용하였다. 표준용액을 측정하여 검량선을 작성한 후 시료를 주입하여 금속성분 중 Fe²⁺의 농도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 물리적 이온 수처리 시스템의 효율을 검증하기 위하여 물리적 이온 수처리 장치를 설치하지 않은 loop(대조군)와 설치한 loop를 동시에 운전하였다. Table 2는 수도관 내부에 시험편을 설치하여 부식 속도를 측정된 결과를 제시하였고, Fig. 3~Fig. 5은 60시간 연속운행을 한 후 각 loop의 수질시료를 분석한 결과를 제시한 것이다.

Table 2. Corrosion rate.

Pipe	mm/yr	mpy
Fe	5.6	220
Fe_SB	4.6	181
Zn	1.7	69
Zn_SB	1.4	57

3.1. 부식속도

주철관과 아연도강관의 부식속도 측정하기 위해 파이프 내부에 설치한 같은 재료의 시험편을 부식생성물을 제거한 후 무게손실을 측정하여 아래 Eq. 1을 이용하여 계산하였다.

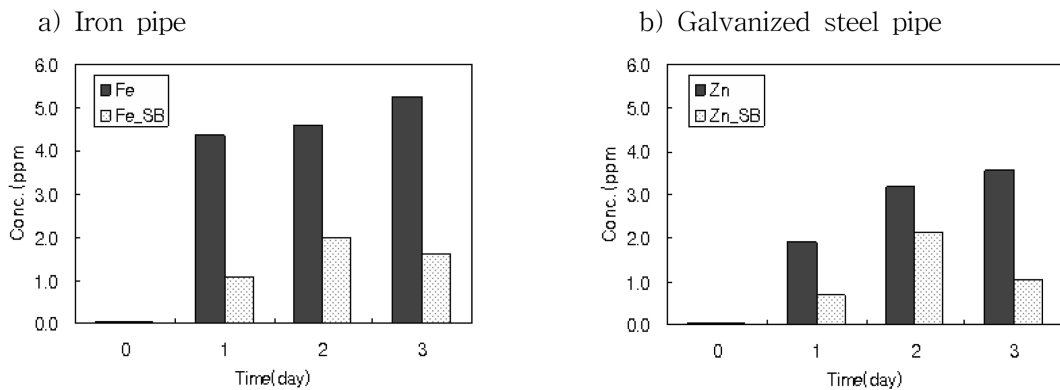


Fig. 3. Effect of SB and types of pipes on Fe²⁺ concentrations.

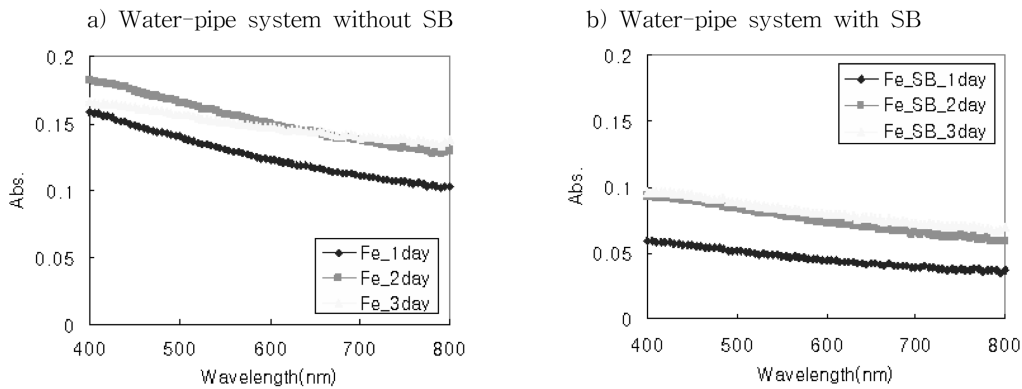


Fig. 4. Effect of SB on the water absorbance values by iron pipe.

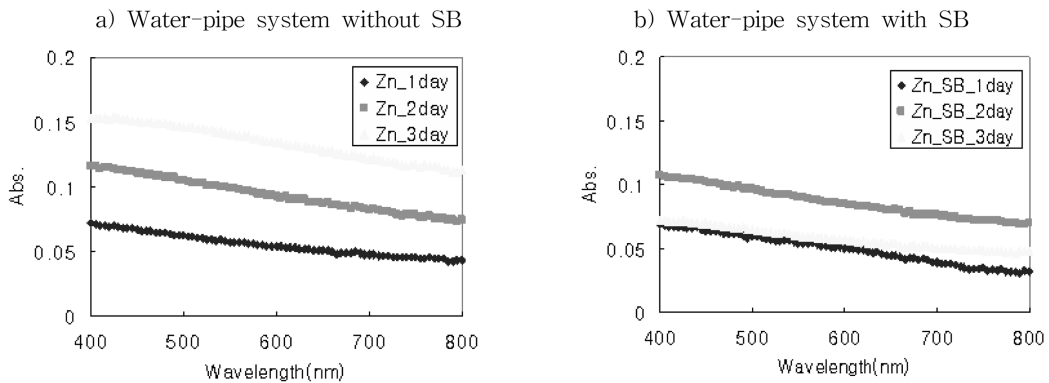


Fig. 5. Effect of SB on the water absorbance values by galvanized steel pipe.

$$\text{mm/yr} = \frac{87.6W}{DAT} \quad (\text{Eq. 1})$$

where, W = mass loss (mg)
 D = density (g/cm³)
 A = area (cm²)
 T = running time (hour)

대조군인 주철관(Fe)과 수처리 장치를 설치한 주철관(Fe_SB)의 부식속도는 수처리 장치를 설치한 관의 부식속도가 18% 감소되었고, 아연도강관의 부식속도도 수처리 장치를 설치한 관(Zn-SB)의 부식속도가 17% 감소되는 결과를 검출하였다.

3.2. 철이온 분석

Loop를 60시간 연속 운행할 때 원수의 Fe 이온의 농도 변화를 AAS를 이용해 24시간 간격으로 채취된 수질시료를 분석하였다. Fig. 3는 주철관(Fe)과 아연도강관(Zn) 수질시료의 Fe 이온 농도변화를 그래프로 제

시하였다. 대조군인 주철관(Fe)과 수처리 장치를 설치한 주철관(Fe_SB)의 Fe 이온의 농도변화는 수처리 장치를 설치한 관의 농도가 평균 67% 감소되어 상대적으로 Fe 이온의 농도가 낮게 검출되었다. 마찬가지로 아연도강관의 Fe 이온 농도변화도 수처리 장치를 설치한 관(Zn-SB)의 농도가 평균 56% 감소되어 상대적으로 Fe 이온의 농도가 낮게 검출되는 농도변화를 나타내었다.

3.3. 시료의 색변화

Loop를 60시간 연속 운행할 때 원수의 색변화를 분석하기 위해 UV-Visible을 이용하여 24시간 간격으로 채취한 수질시료의 흡광도를 측정하였다. Fig. 4는 대조군인 주철관(Fe)과 물리적 이온 수처리 장치를 설치한 주철관(Fe_SB)의 흡광도 변화를 그래프로 제시하였다. 수처리 장치를 설치한 주철관의 흡광도는 0.1 미만이지만, 설치하지 않은 주철관은 흡광도가 0.1~0.2까지 측정되었다.

Fig. 5는 대조군인 아연도강관(Zn)과 수처리 장치를 설치한 아연도강관(Zn_SB) 수질시료의 흡광도 변화를 그래프로 제시하였다. 수처리 장치를 설치한 아연도강관의 흡광도는 0.11 미만이지만, 설치하지 않은 주철관은 흡광도가 0.05~0.15까지 측정되었다.

4. 결 론

본 연구는 시험편을 수도관 내부에 설치하여 무게손실을 측정 후 mm/yr 단위로 계산하여 4가지 수도관의 부식속도를 검출하였다. 대조군인 주철관(Fe)과 수처리 장치를 설치한 주철관(Fe_SB)의 부식속도는, 수처리 장치를 설치한 관의 부식속도가 상대적으로 18% 감소되었고, 아연도강관의 부식속도도 같은 경향으로 수처리 장치를 설치한 관(Zn-SB)의 부식속도가 17% 감소되는 결과를 검출하였다. 따라서 수처리 장치를 설치한 관의 부식속도를 대조군과 비교하였을 때 상대적으로 감소된 부식속도가 측정되어 수처리 장치의 녹 제어 효율이 뛰어난 것을 확인 할 수 있었다.

60시간동안 loop를 운전한 후 수질시료를 분석한 결과, 대조군인 주철관(Fe)과 수처리 장치를 설치한 주철관(Fe_SB)의 Fe 이온의 농도변화는 수처리 장치를 설치한 관의 농도가 평균 68% 감소되어 상대적으로 Fe 이온의 농도가 낮게 검출되었다. 같은 경향으로 아연도강관의 Fe 이온 농도변화도 수처리 장치를 설치한 관의 농도가 평균 56% 감소되어 상대적으로 Fe 이온의 농도가 낮게 검출되는 농도변화를 나타내었다. 또한 수처리 장치를 설치한 loop의 수질시료 흡광도가 0~0.11로 상대적으로 더 낮게 측정되었다. 따라서 수처리 장치를 설치한 관의 농도가 대조군과 비교하였을 때 Fe 이온이 상대적으로 낮은 농도로 측정되고 수질시료 흡

광도가 낮게 측정되었으므로 수처리 장치의 녹 제어 효율이 뛰어난 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 Loop의 수질시료가 Fe 이온 농도가 감소되면 수도관의 부식속도도 감소되는 상관성을 확인할 수 있었고 물리적 이온 수처리 장치는 수도관의 녹 생성을 제어하고 녹 제거 효율이 높일 수 있음이 검증되었다.

참고문헌

1. 최연정, 박종웅, 옥치상(1999), 노후 상수도관중 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 14(4), pp. 289-298.
2. 김정진, 김윤영(2001), 수도관 내의 녹에 대한 광물학적 특성 및 아연의 효과, *한국 물환경학회 대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집*, pp. 29-32.
3. Wagner I., Kuch.A., "Corrosion" 수도(일본), Vol.54, No.4,84-85(1985)
4. 김정진, 김윤영(2002), 수도관 내의 스케일에 대한 광물학적 특성 및 아연의 효과, *상하수도학회지*, 16(3), pp. 284-290
5. 조계현(2005), 수도관 부식문제 현안과 대책방안, 국회 환경경제연구회 제 38회 환경경제포럼.
6. 아이에스유코 홈페이지(2005), 배관의 녹, 스케일 문제와 대책, <www.iseuco.co.kr> accessed 05월 05일 2005년.
7. 이현동, 정원석, 정해룡, 정미연(1998), 아연도강관 및 동관에서 방청제 투입에 따른 수질변화, *대한환경공학회 논문초록집*, pp.333-334
8. "Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries" NACE standard TM-01-69 (1976 Revision). Reprinted by permission, National Association of Corrosion Engineers.
9. 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근(2004), 부식과 방식의 원리, 도서출판 동화기술, 687 pp.