

## 배급수 계통에서 부식억제제 적용에 따른 부식과 적수와의 상관관계

# Correlation between Corrosion Rate and Red Water on Application of Corrosion Inhibitor in Drinking Water Distribution System

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

Woo, Dal-Sik<sup>1,\*</sup> · Ku, Sung-Eun<sup>1</sup> · Lee, Byung-Doo<sup>2</sup> · Kim, Ju-Hwan<sup>2</sup> · Moon, Kwang-Soon<sup>1</sup>

1 (재)한국계면공학연구소

2 한국수자원공사

(2004년 11월 25일 논문 접수; 2005년 1월 20일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

This study was performed to evaluate the application of corrosion inhibitor and to examine the correlation between corrosion rate and red water in a series of batch tests and a test using auto corrosion monitoring system at A water treatment plant in Gyeonggido. The corrosion study in the auto corrosion monitoring system indicated that Fe concentration decreased by 30~50% and corrosion rate also reduced remarkably with corrosion inhibitor at 1.8mg PO<sub>4</sub>/L. After addition of corrosion inhibitor, it was indicated the effective adsorption of the inhibitor on the surface of the pipe line forming a protective film. The corrosion rate increases with the increase in Fe concentration. With 1.8mg PO<sub>4</sub>/L of corrosion inhibitor, the corrosion rate decreased remarkably. Fe concentration had correlation to not only red water problems but also the corrosion rate that actually dissolved into the water, primarily due to the deposition of oxidized iron or other compounds as a scale, which serves as a large reservoir of corrosion by-product. Therefore, corrosion rate can be estimated by Fe concentration. For these reasons, an effective corrosion inhibitor is also an effective red water control reagent. The effect of the corrosion inhibition can last for some time even the application the corrosion inhibitor is discontinued. For the cost effective and efficient corrosion control, the concentration and timing of corrosion inhibitor addition must be determined properly.

**Key words:** Corrosion Inhibitor, Distribution System, Corrosion Rate, Red Water

**주제어:** 부식억제제(방청제), 배급수 시스템, 부식도, 적수

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

## 1. 서 론

상수도 배급수관망 부식의 문제는 가정 급수전에 적수 및 맛 냄새 등을 유발하고 납, 구리 등의 중금속이 용출될 수 있으며, 상수도 시설물에 대해서도 막대한 손실을 가져오게 한다. 이미 일부 소규모 정수장의 경우 부식된 시설물과 금속관종의 노후로 인해 처리수로 오염 물질이 유입되고, 이로 인해 누수·단수 등의 문제를 발생시키기도 한다(남상호, 1993). 그러나 대부분 국내 정수장의 경우 부식 문제에 대한 구체적인 해결방안은 거의 없는 실정이다.

배급수관의 부식현상은 누수율의 증가로 인한 통수능력의 감소문제와 적수의 발생으로 인한 문제를 야기시키는데, 그 중 적수문제는 식수로서의 미관상 문제와 수도물을 마시는 사람들에게 보건위생적인 문제를 유발할 수 있어 심각성이 더하다(이광호, 1997). 여러 수질에서 나타나는 녹물 발생의 차이는 형성된 스케일의 두께와 구조에 있다. 두껍고 불균등한 스케일은 갑작스런 유속변화나 수질변화의 영향 등에 의해 떨어져 나오며 결과적으로 적수문제를 일으킨다. 주로 적수에서 관찰되는 물질은 결정화된 스케일보다는  $Fe(OH)_3$  침전물이 주된 물질이며, 형성된 스케일의 두께와 구조에 따라 적수발생의 차이가 생긴다. 적수문제는 수중에서  $Fe^{2+}$ 의 산화와 그에 수반되는  $Fe(OH)_3$ 의 침전반응에 의해 야기된다.  $Fe^{2+}$ 는 금속 표면이나 스케일 내부에서 형성되어 확산에 의해 수중으로 이동한다(경희대학교 환경연구소, 1996; AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, 1996). 따라서 부식현상과 적수발생은 상관성을 가지고 있을 것으로 판단되는데, 아직까지 이에 대한 구체적인 연구가 부족한 실정이다.

한편, 미국, 서구유럽 등 선진외국에서는 수도관 부식 방지 기법 중 순도가 높고 비교적 수중 용해가 잘되는 물질로 제조한 부식억제제를 광범위하게 적용하고 있다(Edwards, M., et al., 1999). 미국의 경우 1991년 LCR(Lead & Copper Rule) 제정 이후 납과 동의 규제 때문에 2001년 기준으로 약 56% 정수장에서 부식억제제를 사용하는 것으로 보고 되었고(Edwards, M., et al., 2001; Edwards, 2002), 2004년 현재 일부

정수처리체계가 미흡한 정수장이나 지하수를 원수로 사용하는 몇몇 정수장을 제외하고는 거의 대부분의 정수장에서 부식억제제를 이용하고 있다. 국내의 경우 산업용 부식억제제는 비교적 널리 사용되고 있으나, 상수도의 배급수 시설에서의 부식억제제 도입은 아파트나 대형 건축물의 저수조 등에서 제한적으로 이용되고 있고, 이 또한 전문지식의 부족으로 관리가 제대로 이루어지고 있지 않다. 부식억제제의 효과는 주입 대상 지점의 수질, 수리학적 상태, 관의 노후상태 및 재질에 따라 결정되는데 국내에서는 관련 연구가 절대적으로 부족하다.

일반적으로 국내 정수장에서는 부식억제제를 사용하지 않고 공공주택, 대형 빌딩 등에서 고체상의 부식억제제(일명 방청제라 불리우고 있음)를 저수조 전후에 디스펜서를 설치한 후 물을 통과시켜 관내로 유입시키는 방법만을 이용하고 있어, 배급수관의 부식과 관련된 제반문제는 제어가 어렵고 계절적인 온도 변화에 의해 부식억제제가 사용 직전의 수도수에 균일하게 용해되지 않아 잔류농도가 지나치게 높거나 또는 낮게 유지되는 등 이용상의 문제점이 지적되고 있다(백영석, 2000; 김주환, 2001). 개별적으로 무계획적이고 관리가 소홀한 상태에서 주입되고 있는 부식억제제에 대한 주성분의 안정성 확인, 인산염에 의한 수계 부영양화 영향 고찰, 경제적 효과 분석, 법률적 검토 작업을 수행한 후 정수장차원에서 정확하고 균일하게 관리·주입할 필요가 있다(안효원 등, 2004).

본 연구에서는 자동 부식모니터링 시스템을 통한 부식억제제 이용시 상수도관의 부식제어효과를 평가하고, 부식과 적수와 상관관계를 규명하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험장치

Fig. 1은 경기도 A 정수장의 정수지 후단에 설치한 자동 부식모니터링 시스템 실험장치의 계통도를 나타낸 것이다. 자동 부식모니터링 시스템은 보유수량 123L의 용량을 가지며, 보유수량이 일정하게 유지되기 위한 급수 및 보조 탱크, 약품의 자동 정량 주입이 가능한 연속정량펌프, shell side의 부식률 및 deposit

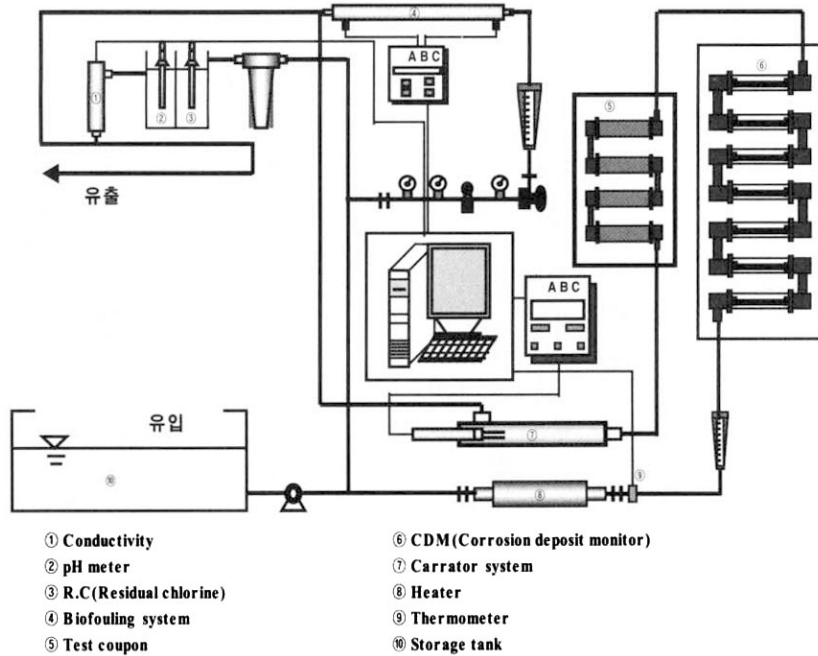


Fig. 1. Schematic diagram of auto corrosion monitoring system.

형성 정도를 측정할 수 있는 CDM(corrosion deposit & monitor), 부식률 값(mpy)을 자동으로 측정하는 carrator system(corrosion monitoring system), coupon을 사용하여 부식도 및 부착도를 측정하는 coupon test, tube side에서 미생물에 의해 형성되는 슬라임(slime) 및 수질 중의 경도 성분에 의해 생성되는 스케일과 부식 산화물에 의한 deposit 형성을 측정하기 위해 고안된 slime, scale monitor 장치로 구성되어 있다. 또한, real-time monitoring system 측정장치가 설치되어 있어 자동 부식모니터링 시스템 운전 시에 효과적인 system의 관리 및 생성되는 data를 저장할 수 있다.

## 2.2. 실험방법

본 실험에 사용한 시료는 경기도 A 정수장 정수지에서 나오는 정수된 물을 직접 자동 부식모니터링 시스템에 연결시켜 이용하였고 시료의 수질은 Table 1과 같다. 본 시스템에 유입되는 정수의 양은 4.57m<sup>3</sup>/d로 유속 1m/s로 유입된 양만큼 바로 유출시키는 방법으로 운전하였다. 본 실험에 사용된 시편(coupon)은 탄소강관, 주철관, 동관 및 스테인레스강관으로 크기

Table 1. Characteristics of water quality

Contents	Results(Average)
Temperature (°C)	15.0
pH	7.2
Conductivity ( S/cm)	110.0
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	39.0
Calcium hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	43.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	12.0
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	11.0
Turbidity (NTU)	0.25

는 1.27 × 7.6 × 0.17cm, 표면적은 22.19cm<sup>2</sup>이었다. 실험은 선행연구(우달식, 2002; 우달식 등, 2003)에서 개발된 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L(1.3mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)를 30일간 주입하여 반응시간에 도달하면 시료를 채취하여 부식억제제 주입 유·무에 따른 부식도를 측정하였다.

부식과 적수와의 상관관계를 규명하기 위해 회분식 실험장치를 이용하여 부식억제제를 주입하지 않은 실험수와 부식억제제를 주입한 실험수에서 30일간 시간별로 철의 용출농도와 부식도를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 부식억제제 주입에 따른 용출금속의 변화

자동 부식모니터링 시스템을 이용하여 각 관중에 대한 철(Fe)의 용출농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 탄소강관의 경우 철의 용출농도 변화를 살펴보면 부식억제제를 주입하지 않은 경우 철의 용출농도는 평균 0.11mg/L이었으며, 부식억제제를 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입한 경우는 평균 0.06mg/L로 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 약 1.8배 낮은 농도로 용출되었다. 주철관과 스테인레스강관에서의 철 용출농도는 부식억제제를 주입하지 않은 경우 평균값이 각각 0.11, 0.05mg/L에서 부식억제제를 주입한 경우 평균 0.03, 0.03mg/L로 저감되었다. 또한 탄소강과 주철관의 경우 운전 초기에 철의 용출이 높았고, 그 이후에 용출농도가 낮아지는 경향을 보였는데 이는 부식반응이 운전 초기에 빨리 진행됨을 알 수 있었다.

Fig. 3은 동관에서 운전시간에 따른 구리의 용출농도를 나타낸 것이다. 본 실험에서 동관 자체가 내식성 자재이므로 실험기간 중 매우 낮은 Cu 용출 농도를 나타내었다. 부식억제제를 주입하지 않았을 경우 평균 4.38μg/L가 용출되었으며, 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입한 경우 평균 1.25μg/L가 용출되어 약 3.5배 감소하여 구리 용출 억제 효과를 확인하였다. 이상의 결과로 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입하였을 경우 그렇지 않은 경우보다 철 및 구리용출 제어 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.2. 부식억제제 주입에 따른 부식도 평가

4주간 운전한 후 무게감량법에 의한 시편에 대한 부식도(mdd, mg/(dm<sup>2</sup>)(day)) 측정 결과는 Fig. 4와 같다. 탄소강관의 부식도를 평가한 결과, 부식억제제를 주입하지 않은 경우의 시편의 부식도는 32.96mdd이고 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L 주입한 경우 1.54mdd로 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 부식도 측면에서 20배 이상의 부식제어 효과를 보였다. 주철관의 경우 부식억제제를 주입하지 않은 경우와 주입한 경우 부식도는 각각 61.41mdd, 6.69mdd로 약 9배의 부식저감 효과를 보였으며, 동관과 스테인레스강관은 부식억제제를 주입하지 않은 경우 부식도가 각각

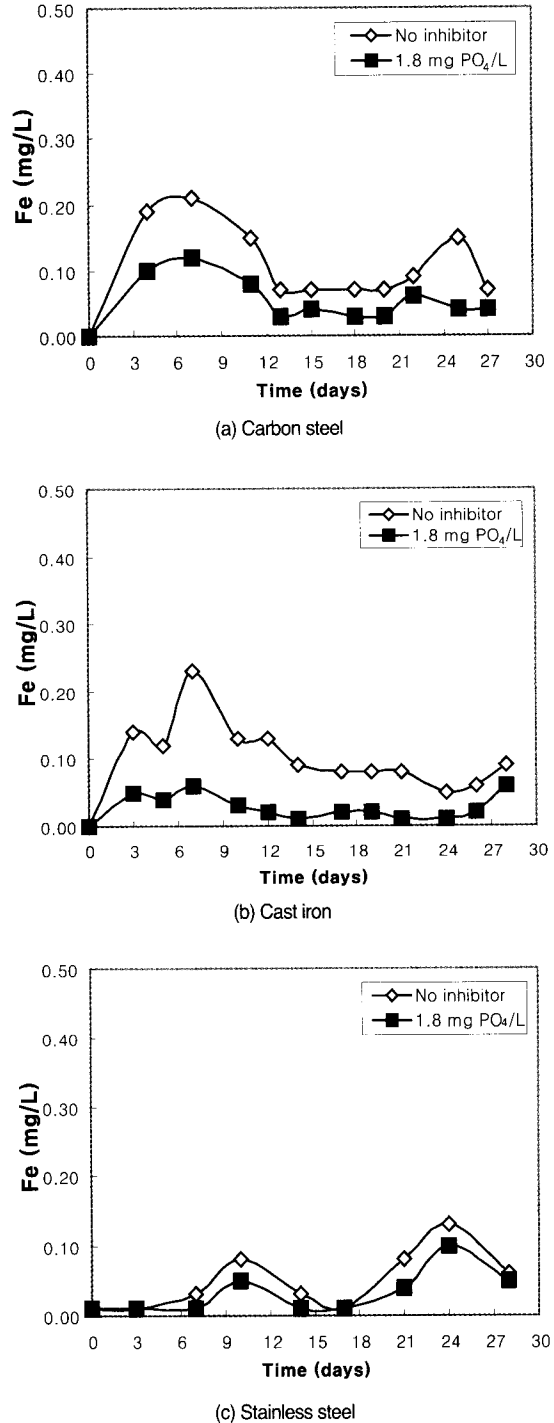


Fig. 2. Variation of Fe concentration with and without corrosion inhibitor for (a)carbon steel, (b)cast iron and (c)stainless steel.

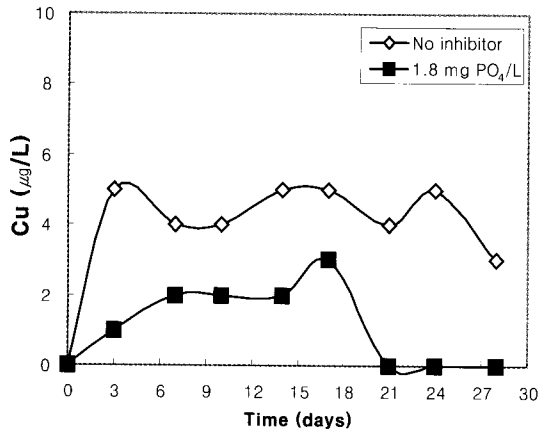


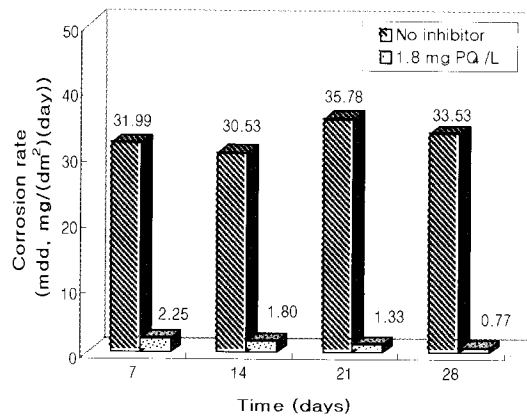
Fig. 3. Variation of Cu concentration with and without corrosion inhibitor for copper.

9.98mdd, 0.075mdd이었고, 부식억제제를 주입한 경우 각각 2.41mdd, 0.025mdd로 약 4배, 3배의 부식억제 효과를 보였다.

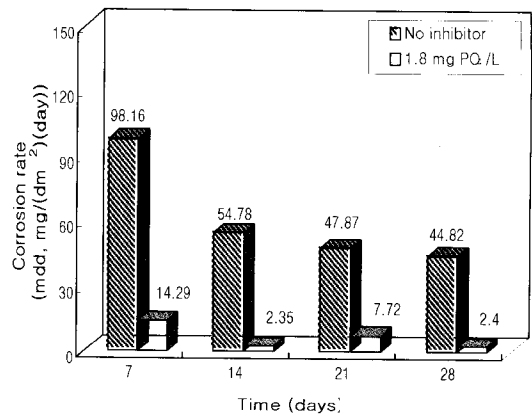
부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입하고, 탄소강관, 주철관, 동관 및 스테인레스강관을 대상으로 4주간 운전한 후 전기부식측정기(corrator)로 측정된 부식도(mpy, mils/year)의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

부식억제제를 주입하지 않은 탄소강관의 경우 반응 시간에 따라 약 1.5mpy의 부식율을 나타내었고, 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입한 후의 탄소강관, 주철관 및 동관에서의 부식율은 시간이 약 3일이 경과한 후 안정화되었으며, 점차 감소하여 1.0mpy 이하의 매우 낮은 부식율을 나타내었다.

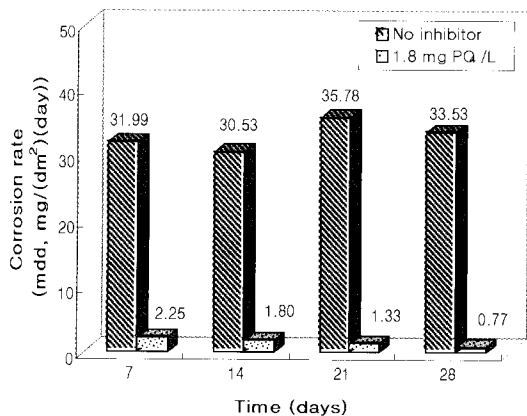
자동 부식모니터링시스템 운전을 시작하고 4주 후



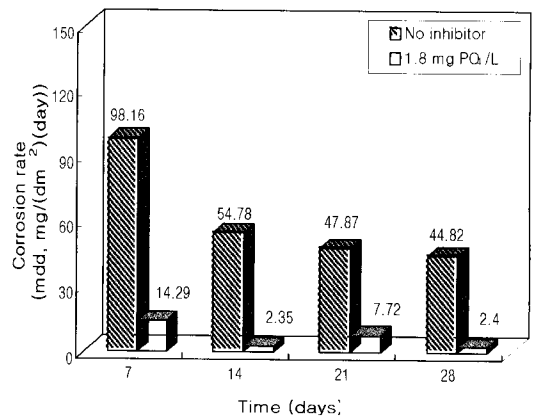
(a) Carbon steel



(b) Cast iron



(c) Copper



(d) Stainless steel

Fig. 4. Variation of corrosion rate with and without corrosion inhibitor for (a) carbon steel, (b) cast iron, (c) copper and (d) stainless steel.

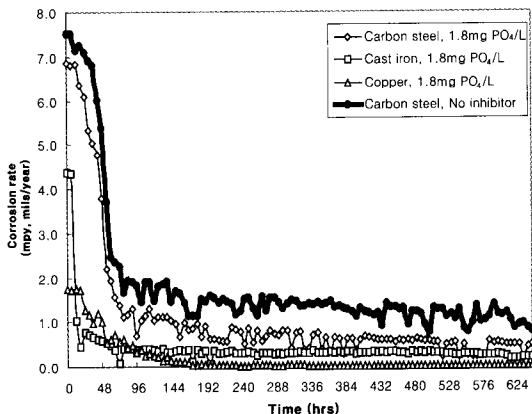


Fig. 5. Variation of corrosion rate with and without corrosion inhibitor(1.8mg PO<sub>4</sub>/L).

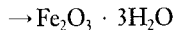
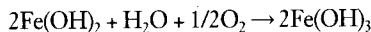
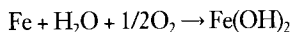
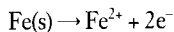
에 부식생성물을 제거한 시편을 주사전자현미경을 이용하여 탄소강관, 주철관 및 동관에 대해 표면을 관찰한 결과는 Fig. 6과 같다.

부식억제제를 주입하지 않은 조건에서 탄소강관, 주철관 및 동관의 시편표면에서는 피막이 형성되지 않아 철의 용출이 발생하여 시편표면이 매끄럽지 않고, 결정이 성장하는 모양의 부식산화물이 형성되어 표면이 불균일하게 되어 있음을 확인할 수 있었다. 반면, 부식억제제 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입한 조건의 시편은 부식생성물이 매우 적고 금속 표면의 손상이 거의 발생하지 않은 것으로 관찰되었다. 이런 피막들은 금속표면의 일부분에 대해 산화환원 반응을 저해하는 역할을 하여 부식반응이 감소되었던 것으로 판단된다(경희대학교 환경연구소, 1996; AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, 1996).

### 3.3. 부식과 적수와의 상관관계 규명

기존의 여러 연구에 의하면 철의 용출 현상은 무게 측정 등에 의한 부식속도나 기타 수질의 측정에 의해서 조사하기 어렵다는 보고가 있다(경희대학교 환경연구소, 1996; AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, 1996; Rushing et al., 2003). 즉, 부식속도로 적수 문제를 유추하는 것은 어렵다는 것이다. 그러나, 부식현상이 아래 반응과 같이 Fe<sup>2+</sup>의 용출과 Fe(OH)<sub>3</sub> 침전이 형성되는 과정이라고 볼 때, 부식속도와 철의 용출 현상이 상

호연관성을 가질 것으로 예상된다. 배관표면의 철(Fe)은 물과 산소존재 하에서 이온상태로 용출된다. Fe(OH)<sub>2</sub>(수산화제1철)은 용존산소에 의해 산화하여 Fe(OH)<sub>3</sub>로 변화한다. Fe(OH)<sub>3</sub>(수산화제2철)은 Fe(OH)<sub>2</sub>에 비해 물에 용해되기 어렵기 때문에 모두 침전하여 이른바 붉은 녹(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O)이 된다(AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, 1996). 부식이 진행되어 붉은 녹(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O)의 양이 수중에 많게 되면 적수문제가 발생하게 되므로 부식현상과 적수발생 문제는 밀접한 상관관계를 가진다고 판단된다.



부식과 적수의 상관관계를 규명하기 위하여 30일 간의 회분식 실험을 통해 탄소강 시편의 부식도, 철의 용출량 및 인산염 농도를 나타낸 결과를 Fig. 7~Fig. 9에 제시하였다. 부식억제제는 1.8mg PO<sub>4</sub>/L의 농도로 실험초기에만 1회 주입하였다.

Fig. 7과 Fig. 8에 나타나 있듯이, 부식속도와 철 용출농도는 시간이 경과함에 따라 증가하는데, 부식속도의 경우 반응초기에는 증가하다가 20일 이후 부식속도 변화가 완만하게 나타난다. 반면, 철 용출농도는 꾸준히 증가하다가 약 25일 이후에는 거의 일정하게 된다. 이는 부식속도는 금속 표면의 Fe<sup>2+</sup> 이온의 용출에 따른 시편의 무게감량 차에 의해 측정하는데 반해, 철 용출농도는 Fe<sup>2+</sup>의 용출 이외에도 부식이 진행된 후에 형성된 스케일이나 Fe<sup>2+</sup>의 산화 다음 과정인 Fe(OH)<sub>3</sub> 등의 침전 반응에 의한 영향을 받으므로 어느 정도의 시간경과 후에도 꾸준히 농도 증가 현상이 나타나는 것으로 예상된다.

또한, 반응시간에 따른 PO<sub>4</sub> 농도 변화는 Fig. 9에 제시된 바와 같이 부식억제제를 주입하지 않은 경우에는 큰 차이를 보이지 않고 0.5mg/L 이하 수준으로 계속 유지되었으나, 부식억제제를 주입한 경우 인산염계 성분에 의해 초기에는 높은 농도로 관찰되다가 부식제어를 위해 점차 소모되어 7일 이후에는 거의 부식억제제를 주입하지 않은 경우와 유사한 값을 나

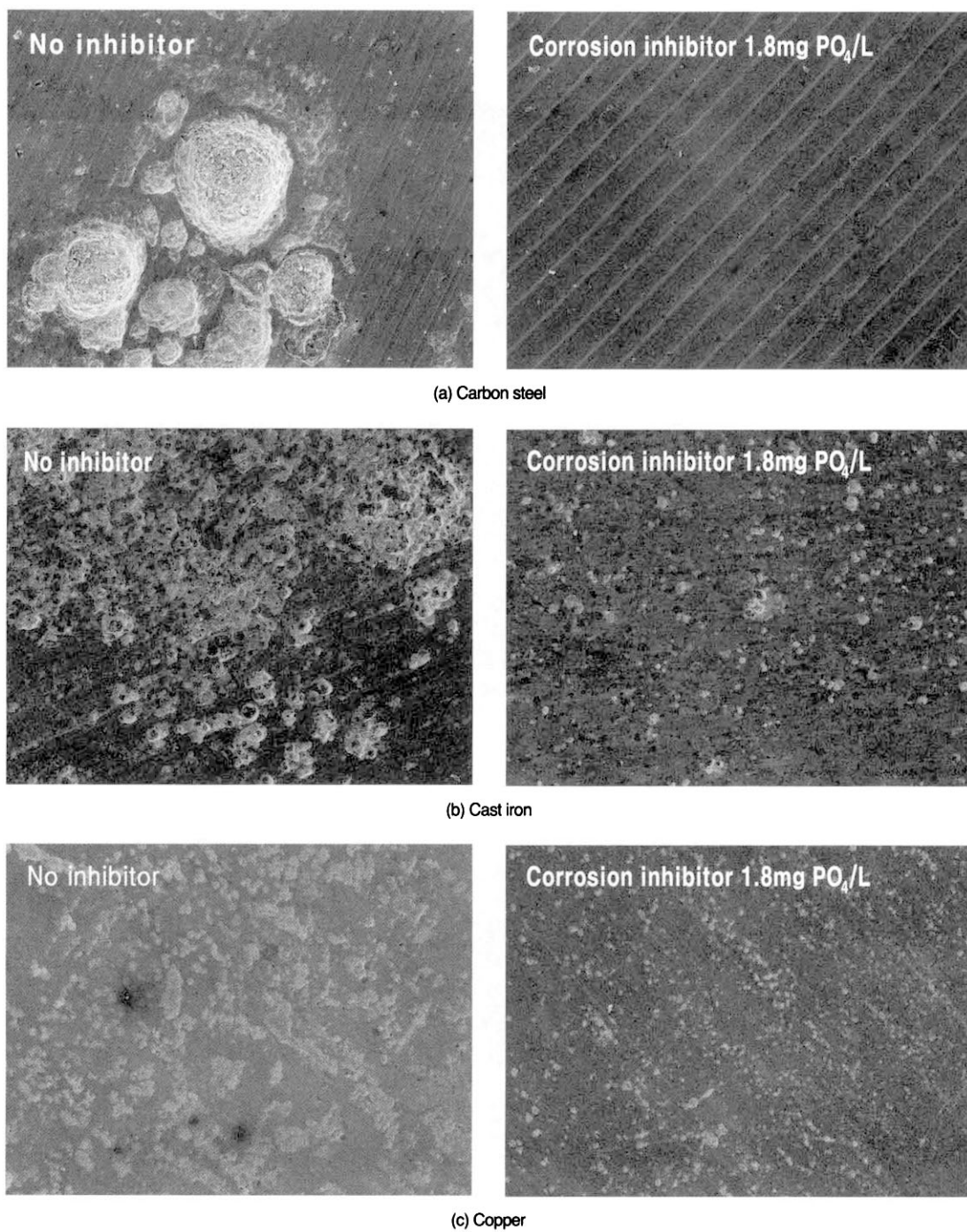


Fig. 6. SEM photographs ( $\times 150$ ) of test coupons after 4 weeks.

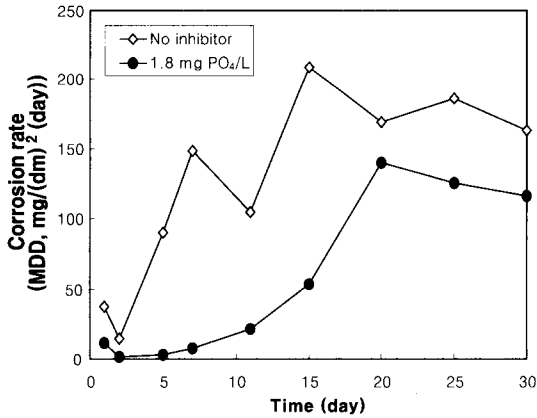


Fig. 7. Corrosion rate versus time.

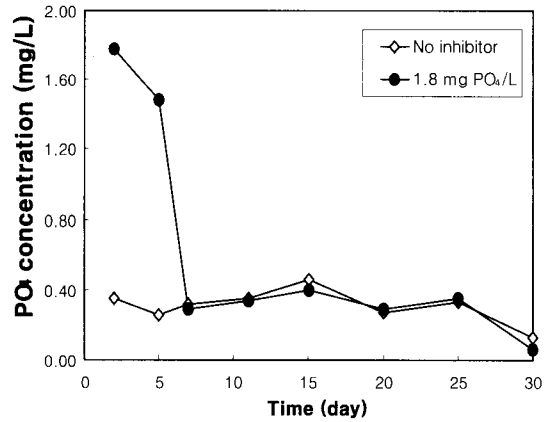


Fig. 9. PO<sub>4</sub> concentration versus time.

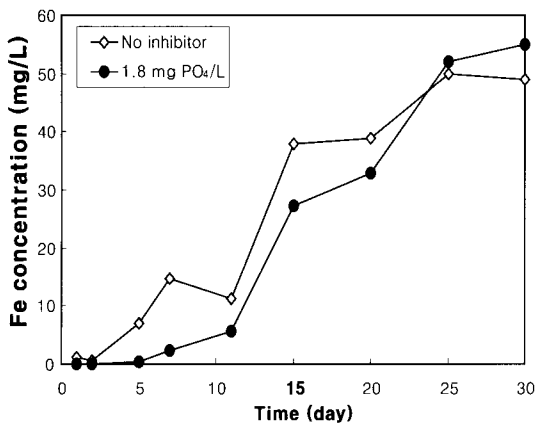


Fig. 8. Fe concentration versus time.

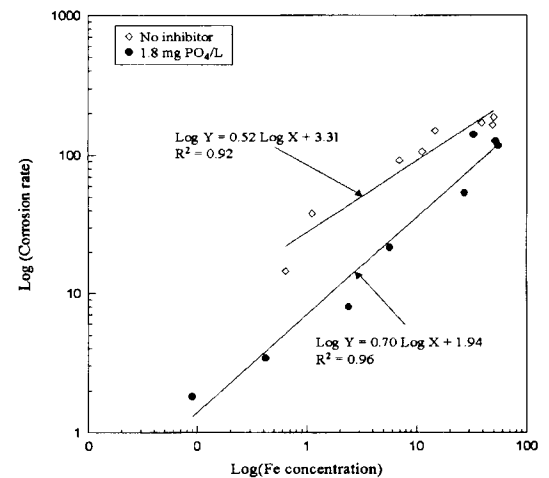


Fig. 10. Log (corrosion rate) versus Log (Fe concentration).

타났다. 부식억제제는 약 7일 정도에 거의 소모되는데 반해, 부식속도는 30일이 경과되어도 부식억제제를 주입한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 어느 정도 부식억제 효과가 있는 것으로 나타났다. 철의 용출은 20일까지 부식억제제를 주입한 경우에 그렇지 않은 경우보다 농도가 낮게 나타났는데, 이는 부식억제제가 소모되어 형성된 부식방지 피막이 부식억제제의 완전 소모 후에도 일정기간 계속 유지되면서 부식억제를 가능하게 하는 것으로 판단된다.

한편, 위의 자료를 바탕으로 하여 철 용출농도에 따른 부식속도 변화의 추이를 Fig. 10에 제시하였다.

일반적으로 부식은 철의 용출에 의해서 발생하는 현상이므로 위의 결과와 같이 철의 용출농도가 증가하면 부식속도도 증가하는 것이 관찰되었다. 부식억제제를 주입하지 않은 경우에 비해 부식억제제를

1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입하였을 때 부식속도의 증가정도가 감소하는 것이 관찰되었다. 이러한 결과를 바탕으로, 철의 용출농도 증가는 적수증가 뿐만 아니라 부식속도가 증가되는 상관관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 그러나, 부식과 적수와의 상관관계식은 시스템의 조건과 상황에 따라 달라질 수 있다. 향후 더 많은 연구를 통하여 각 시스템 조건별로 이러한 상관관계를 체계화한다면 철의 용출농도를 구함으로써 부식속도를 예측할 수 있으며, 부식억제제 사용시 부식속도 저감 효과 및 적수발생 제어 효과를 모두 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



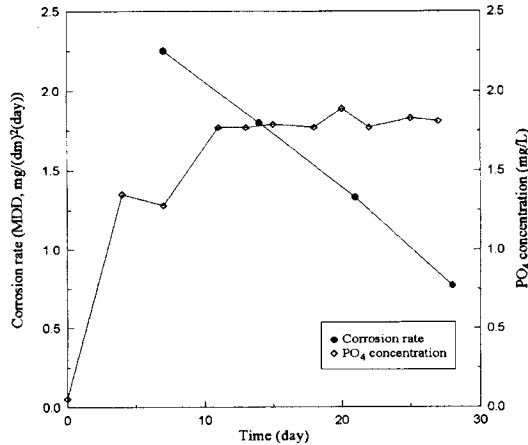


Fig. 11. Corrosion rate and PO<sub>4</sub> concentration using 1.8mg PO<sub>4</sub>/L corrosion inhibitor.

#### 3. 4. 부식억제제 이용시 부식제어 효과

자동 부식모니터링시스템에서 탄소강 시편을 사용하여 1달간 실험한 결과 부식억제제 주입유무에 따른 부식도를 살펴보면, Fig. 11과 같다.

Fig. 11을 보면, 인산염 농도는 약 10일 이후에 일정한 값을 유지하는 반면, 부식도는 시간이 지남에 따라 점점 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 부식억제제를 계속적으로 주입하지 않아도 어느 정도 시간까지는 시편표면에 부식억제제에 의해 형성된 부식방지 피막의 영향으로 부식억제제의 부식도가 계속해서 감소하는 것으로 보여진다. 부식억제제 주입의 경제성 및 효율성 측면에서 고찰해보면, 부식억제제의 적용시 부식도가 일정 수준 이하로 유지 가능하다면 부식억제제 주입농도를 초기에 고농도로 주입하고 나중에 주입농도를 저감시킨다거나 또는 계속적인 주입이 아니라 주기적으로 주입하여도 어느 정도 부식제어가 가능할 것으로 생각된다. 이러한 주입조건은 수질상태, 부식억제제 적용 지점의 주입 조건 등에 따라 변화하는 것으로 부식억제제 주입 전에 적절한 예비 실험을 거쳐 적정 주입 농도 조건을 산출해야 할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 개발된 부식억제제를 이용하여 실험실 규모의 회분식 실험과 경기도 A 정수장에 설치한 자

동 부식모니터링 시스템에 적용하여 부식도를 평가하고 부식과 적수와의 상관관계를 도출하는 연구를 수행하였으며, 이로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 자동주입모니터링 시스템에서 부식억제제 주입 유무에 따른 부식제어효과를 실험한 결과, 부식억제제를 주입한 경우 철의 용출농도는 1/3~1/2배 수준으로 감소되었으며, 부식도도 관중에 따른 차이는 있으나 대폭 저감되어 부식제어에 효과적인 것으로 파악되었다.

2. 부식은 철의 용출에 의해서 발생하는 현상이므로 위의 결과와 같이 철의 용출농도가 증가하면 부식 속도도 증가하는 것이 관찰되었다. 부식억제제를 주입하지 않은 경우에 비해 부식억제제를 1.8mg PO<sub>4</sub>/L를 주입하였을 때 부식속도의 증가정도가 감소하는 것이 관찰되었다. 이러한 결과를 바탕으로, 철의 용출농도 증가는 적수증가 뿐만 아니라 부식속도가 증가되는 상관관계를 가지므로, 부식억제제 사용시 부식속도 저감 효과 및 적수발생 제어 효과를 모두 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3. 부식억제제를 계속적으로 주입하지 않아도 어느 정도 시간까지는 시편 표면에 부식억제제에 의해 형성된 피막의 영향으로 부식억제제의 부식도가 계속해서 감소하는 것으로 보여진다. 부식억제제 주입의 경제성 및 효율성을 고려하여 부식억제제 주입농도를 고려할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 "차세대 핵심환경기술개발사업"의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 경희대학교 환경연구소 (1996) 수도관의 부식과 방식 대책. 경희대학교 환경연구소.
- 김준환 (2001) 방청제의 품질 규격과 안정성. 국립환경연구원.
- 남상호 (1993) 상수도 배·급수관에서의 수질 변화와 그 대책, 제25회 수도심포지엄논문집, pp. 57-64.
- 백영석 (2000) 국내의 수처리제 개발현황 및 제품 개발방향. 한국환경수도연구소.
- 안효원, 우달식 (2004) 상수도 배급수시설 부식방지를 위한

- 부식억제제 적용의 현안과 과제, *상하수도*, **8**, pp. 96-103, 한국상하수도협회.
- 우달식 (2002) 수도용 방청제 개발, *수도용 방청제 국제워크샵 논문집*, (제)한국계면공학연구소, (사)대한상하수도학회, pp. 183-233.
- 우달식, 문정기, 구성은, 최종현, 김주환, 문광순 (2003) 배급수 시스템에서의 부식방지제의 적용 평가 연구, *상하수도학회지*, **17**(5), pp. 665-674.
- 이광호 (1997) 급·배수관망에서 부식 및 녹물발생의 영향인자에 관한 연구(I), *대한환경공학회지*, **19**(7), pp. 949-958.
- AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser (1996) *Internal Corrosion of Water Distribution Systems*. AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, Denver.
- 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..
- Edwards, M., McNeill, L.S., Holm, T.R., and Lawrence, M.C. (2001) *Role of Phosphate Inhibitors in Mitigating Lead and Copper Corrosion*. AWWA Research Foundation, Denver.
- Edwards, M., Jacobs, S., and Dodrill, D. (1999) Desktop Guidance for Mitigating Pb and Cu Corrosion By-Products, *J. AWWA*, **91**(5), pp. 66-77.
- Rushing, J.C., McNeill, L.S., and Edwards, M. (2003) Some Effects of Aqueous Silica on the Corrosion of Iron, *Water Research*, **37**, pp. 1080-1090.