

## 상수도 배급수관망의 부식방지를 위한 인산염계 방청제 적용에 관한 연구

이윤진<sup>†</sup> · 남상호  
건국대학교 환경공학과

## Effect of Phosphate-based Inhibitors on Pipe Corrosion of Drinking Water Supply

Yoon Jin Lee<sup>†</sup> · Sang Ho Kim

Dept. of Environmental Engineering, Konkuk University  
(Received June 16, 2003; Accepted August 28, 2003)

### ABSTRACT

The injection concentration of corrosion inhibitor increases under the pH 7, temperature of 20°C, and alkalinity of 35 mg/l (as CaCO<sub>3</sub>), the corrosion rate gradually decreased. When the corrosion inhibitor of 10 mg/l is injected, the corrosion rate for carbon steel pipe, galvanized steel pipe, and copper pipe reduces for 37, 66 and 61% respectively that it is more efficient on galvanized steel pipe and copper pipe. As a result of examination of corrosion rate at pH 6, 7, and 8 when injecting 10 mg/l of corrosion inhibitor under the conditions of 20°C in water temperature and 35 mg/l (as CaCO<sub>3</sub>) in alkalinity, the efficiency of the corrosion inhibitor increases as the pH increases. For carbon steel pipe, it does not show much a difference with the change of the pH condition, but galvanized steel pipe and copper pipe clearly show the corrosion rate depending on the change of the pH condition. The efficiency of corrosion inhibitor is low as the concentration of residual chlorine is high, but it does not show a great influence at 0.4 mg/l or less. For each pipe type, in the case of carbon steel pipe, the range of increase of corrosion speed following the residual chloride is higher than the other pipe types. In the meantime, the effect following the residual chlorine in copper pipe is low.

**Keywords:** Phosphate-based Inhibitors, Pipe Corrosion, Drinking Water Supply

### I. 서 론

상수도 배급수관망의 부식에 영향을 미치는 인자들은 매우 다양한 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 물리적 영향인자로는 유속, 온도 등이 대표적이며 화학적 영향인자로는 pH, 알칼리도, 용존산소, 잔류염소 등이 있다.<sup>2)</sup> 그러나, 배급수 시스템은 매우 광범위하고 지역적 특성이 강하기 때문에 이 같은 영향인자들이 서로 밀접한 관계를 가지고 상호작용을 하기 때문에 이들 중 어느 하나의 요인이 절대적이라고는 할 수 없다.<sup>3)</sup>

국내의 상수원은 대부분 지표수를 사용하고 있는데 경도, 알칼리도가 낮아 부식성을 가지고 있는 것으로

평가되고 있다. 부식성 지수를 이용한 부식의 평가방법은 부식의 발생여부를 예측하고 부식성 수질조건에 대한 정보를 제공하는데 이용하는데 국내에서는 LI와 LR이 가장 많이 이용된다. 이때 LI가 음의 값일 때에는 물이 포화되어 있지 않고 고체 CaCO<sub>3</sub>가 용해되는 것을 뜻하며 LR이 0.4 이상에서는 염소이온과 황산이온 같은 음이온들은 금속을 부식시키는 강산을 형성하여 부식성이 높다는 것을 의미한다. 국내 수질에 대해 LI와 LR로 부식성을 평가해 본 결과 LI의 값이 모든 대상 수역에서 음의 값을 나타냈고 LR의 값은 0.4 이상을 나타내고 있어 부식성 수질임을 나타낸다.<sup>4)</sup> 계절적인 변화특성을 살펴보면 지표수의 경우 겨울철에 부식성이 약간 컸으며 호소수의 경우 계절변화가 크지 않는 것으로 나타났다. 더구나 수처리 과정 중의 전염소처리 등으로 인해 부식성이 더욱 증가하고 있어 부식성 수질제어를 위한 수처리방법의 도입이 시급한 실정이다.

<sup>†</sup>Corresponding author : Dept. of Environmental Engineering, Konkuk University  
Tel: 82-2-447-8367, Fax: 82-2-447-8367  
E-mail : yjlee@konkuk.ac.kr

현재 보고되고 있는 부식제어 방법으로는 정수장에서 pH 조절, 송·배수관의 라이닝 등 관개생법, 방청제의 이용법, 전기방식법 등이 대표적이다.<sup>5)</sup> 이 방법들 중 선진외국의 연구자들은 방청제를 사용하는 방안이 가장 효과적이고 경제적인 방법이라고 보고하고 있다. 수도전에서의 적·탁수 유출 등의 민원이 증가함에 따라 국내에서도 관내 방청제의 이용에 대한 관심이 점차 높아지고 있으나 수도용 방청제의 국내차폐기술로의 개발은 물론 그 효과의 입증 및 영향인자의 도출이 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 따라서 외국의 제품을 도입하여 그대로 적용하거나 운영 및 유지관리 지침이 제대로 갖추어지지 않은 방청제를 적용하여 오히려 녹물을 발생시키는 등의 민원을 야기시키는 경우가 있다.

본 연구에서는 인산염계 수도용 방청제를 효율적으로 이용하기 위해 방식효율에 영향을 가져줄 수 있는 방청제의 주입농도, pH, 알칼리도, 온도 등의 수중영향인자를 고찰하여 방청제의 부식제어효과에 대해 고찰하였다.

## II. 연구방법

### 1. 시편의 준비

본 실험에서는 방청제의 효율을 평가하기 위해 탄소강관, 아연도강관, 동관의 시편을 선택하여 이용하였다. 가로 1 cm, 세로 3 cm로 절단하고 표면을 고르게 하기 위해 연마작업을 거친 시편을 알루미늄 파우더로 표면을 정리하였다. 아세톤이 담긴 비이커에 표면을 연마한 시편을 넣고 초음파 세척기로 처리하여 이물질에 대한 영향을 제거하였다. 이를 초순수 증류수로 5~6회 세척한 후 60°C의 Dry oven에서 건조하여 데시케이터에서 넣고 방냉한 후 무게를 측정하였다.<sup>6)</sup>

### 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같다. 무게 분석용 쿠폰을 설치한 슬리브는 직경 3 cm, 길이 30 cm의 원통형이며, 저수조는 아크릴 재질로 용량은 10 l이었다. 본 장치에는 온도조절장치, pH meter, DO meter, 유량계가 부착되어 시료의 기본 수질인자의 변화가 기록될 수 있도록 하였다. 용존 산소에 의한 영향을 배제시키기 위해서 질소가스를 주입하여 30분 이상 탈기시킨 후 밀폐하였다. 15일간 운전 후 회로에서 시편을 채취하여 시편 표면의 부식상태를 관찰하고 무게감량법에 의해 부식속도를 측정하였다. 이때 각 조건별로 동일한 3개의 시편을 준비하여 3회 측정한 값을 제시하였다.

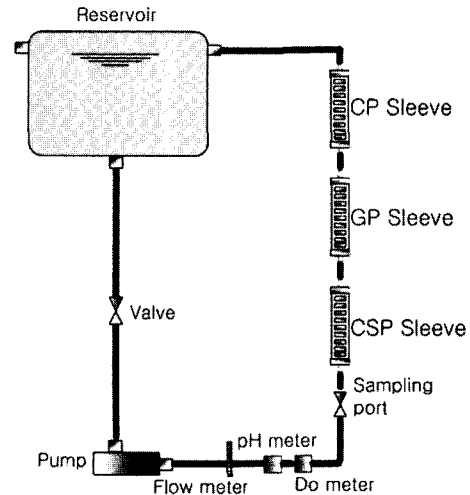


Fig. 1. Schematic of closed-loop recirculation system for bench scale corrosion test.

Table 1. Characteristics of influent water quality

Item	Tap water
pH	7.0 ± 0.2
Alkalinity (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	32 ± 5
Hardness (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	61 ± 5
Sulfate (mg/l)	20 ± 5
Chloride (mg/l)	20 ± 5
Conductivity (μΩ/cm)	200 ± 20
Water temp (°C)	18 ± 5

시료는 K 대학교의 수도수를 이용하였고 시료의 수질은 Table 1과 같다. 방청제의 관종별 부식제어효과를 고찰하기 위해 Cu, Zn, Fe, Mn 등의 중금속 농도와 pH, 알칼리도, DO, 탁도 등의 수질항목을 측정하였다.<sup>7)</sup>

## III. 결과 및 고찰

### 1. 방청제의 농도별 부식 특성 고찰

강관에서 pH 7, 온도 20°C인 조건에서 개발 방청제의 주입 농도를 2.5, 5, 10, 30 mg/l로 변화시킬 때 부식 속도를 Fig. 2에 도시하였다. 그래프에서 제시하는 바와 같이 방청제의 주입농도가 증가함에 따라 부식속도는 점차 감소하였다.

방청제를 첨가하지 않은 조건의 관종별 부식속도를 고찰해 보면 탄소강관, 아연도 강관, 동관의 순으로 부식속도가 높았다. 탄소강관, 아연도강관, 동관의 부식속도는 각각 0.142, 0.048, 0.004 mm/year로 탄소강관

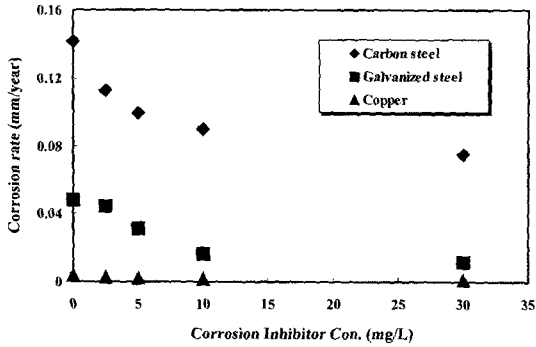


Fig. 2. Effect of zinc orthophosphate concentration in carbon steel, galvanized steel and copper pipe.

의 부식속도는 아연도강관 및 동관의 3, 40배에 해당되었다.

방청제를 첨가하지 않은 조건에 비해 본 방청제 5 mg/l을 주입하였을때 탄소강관, 아연도강관, 동관의 부식속도는 각각 70, 65, 50%로 감소되었다. 방청제 10 mg/l을 주입하였을때 탄소강관, 아연도강관, 동관의 부식속도는 각각 63, 34, 39%로 감소되었다.

따라서, 본 연구결과 개발된 인산염계 방청제가 아연도강관의 부식제어에 효과적임을 알 수 있었다. 아연도강관은 1994년 이후 급수관중에서의 이용이 금지되었으나 이미 매설되어 있는 것이 존재하므로 지속적인 모니터링이 필요한 실정이다. 또한 아연도금이 벗겨져 아연이 용출된 후 수중의 부식인자들과 강관이 반응하여 부식이 촉진되며 또한 아연 용출로 인한 백수 현상 등을 유발하여 수요가에 불쾌감을 가져올 수 있는 원인이 된다. Wolfel 등(1984)은 정인산염계 방청제가 아연도강관의 부식 속도를 제어하는데 매우 유용하며 특히 'zinkgeriesel(아연의 부식으로 인한 입상아연침전물)' 문제에 대해 효과적임을 보고하였다.<sup>8)</sup>

본 방청제는 동관에 대해서도 비교적 효율적인 부식제어가 가능하였다. Wehle(1983)은 정인산염계 방청제가 동관에 대한 부식제어효과가 뛰어나지는 않지만 부식 속도를 다소 감소시켰다는 연구결과를 발표했다.<sup>6)</sup>

2. pH 조건의 변화에 따른 부식특성 고찰

탄소강관에서 알칼리도 30 mg as CaCO<sub>3</sub>/l, 20°C인 조건에서 시료의 pH 변화에 따른 방청제의 부식속도를 Fig. 3에 나타내었다. 수소이온이 전자 수용체로 작용하면 전기화학적으로 부식반응을 일으키게 되는데 일반적으로 pH가 낮은 수돗물은 높은 수소이온농도 때문에 부식반응이 잘 진행된다. 방청제를 주입하지 않은 경우 시료의 pH가 높을수록 부식효율이 소폭 감소하는 경향

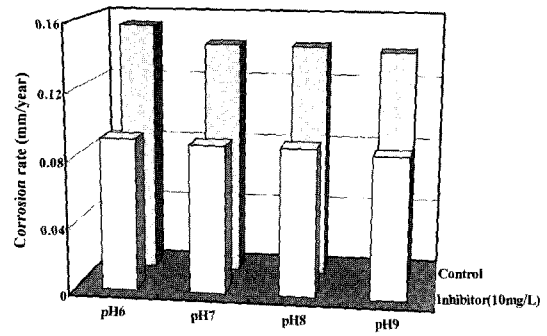


Fig. 3. Effect of pH on the corrosion of carbon steel pipes.

을 나타냈으나 큰 차이를 나타내지 않았다. AWWA (1985)는 탄소강관의 부식속도가 pH 조건에 큰 영향을 받지 않는다고 보고한바 있으며 이는 본 실험의 결과와 일치하였다.<sup>9)</sup> 환경부(1999)는 국내 정수 대부분의 pH범위인 pH 6에서 pH 8 사이에서의 부식속도를 조사한 결과 pH에 따라 큰 영향을 나타내지 않았다는 연구결과를 발표하였다.<sup>10)</sup>

방청제를 주입한 조건에서도 탄소강관의 부식속도는 pH 조건에 따른 큰 영향을 보이지 않았다. 본 방청제는 pH 8에서 가장 좋은 효율을 보였으나 pH 6~8의 비교적 넓은 범위에서 비교적 좋은 효율을 나타냈다. 이는 방청제에 함유된 안정화성분에 의해 pH 8인 조건에서도 좋은 효율을 나타내는 것으로 보여진다. 따라서 본 방청제가 탄소강관에 적용될때에는 일반적인 정수처리 범위에서 pH 조건에 관계없이 좋은 효율을 보일 수 있음을 나타낸다.

알칼리도 30 mg as CaCO<sub>3</sub>/l, 20°C인 조건에서 pH 조건이 6, 7, 8일 때 아연도강관의 부식속도를 Fig. 4에 제시하였다. 방청제를 투여하지 않은 조건에서 아연도강관의 부식 속도는 pH 조건과 밀접한 관계를 보였다. 아연도강관의 부식은 pH가 낮을수록 빠르게 진행되었는데 pH 8에서 부식속도는 pH 6의 80%에 해당

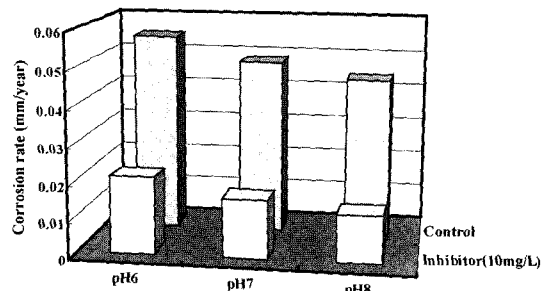


Fig. 4. Effect of pH on the corrosion of galvanized steel pipes.

되었다. 이같은 결과는 pH의 조절에 의해 아연도 강관의 부식제어가 비교적 효과적으로 이루어질 수 있음을 나타낸다. 이 같은 결과는 Bachle의 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.<sup>10)</sup> 이처럼 아연도강관의 부식속도는 수중의 pH 조건과 매우 밀접한 관계를 가지는 데 일반적으로 아연도금 500 g/m<sup>2</sup>에 대해 pH 7, 8의 조건에서 3~8개월, 1.4~4.5년의 수명을 가진다.<sup>11)</sup>

방청제를 10 mg/l 주입한 조건에서도 pH가 증가할수록 부식속도가 감소하는 경향이 나타났다. pH 8일 때는 pH 7일때의 81%의 부식속도를 보였는데 이같은 결과는 본 연구의 제한된 pH 조건에서 방청제를 pH가 높은 시료에 주입하였을 때 방식효율의 향상 및 방청제 주입량의 감소를 가져올 수 있음을 의미한다. 아연도강관에서 철은 음극, 아연은 양극으로 작용하게 되는데 수중에서 아연이 부식되면서 Zn(OH)<sub>2</sub>를 생성하여 방식기능을 가지게 된다. 일반적으로 인산염계 방청제의 효율은 규산염계의 방청제에 비해 pH의 조건에 민감한 것으로 보고되고 있는데 본 방청제중에는 이러한 결점을 보완하기 위해 방청제 개발연구를 통해 아연성분을 첨가하여 적정 pH 범위를 증가시켰고 특히 높은 pH에서도 수산화 아연피막의 석출을 방지하기 위한 성분을 첨가하여 제품의 안정성을 향상시켰다. Zinc phosphate 계열 방청제의 최적 pH 범위는 6.5~8.5로 알려져 있는데 본 연구에서도 해당 pH 범위에서 방청제의 첨가로 방식효율의 급격한 감소없이 양호한 현상을 나타내었다.

Fig. 5에서 알칼리도 30 mg as CaCO<sub>3</sub>/l, 20°C에서 동관에서 pH 조건에 따른 부식속도를 제시하였다. 동관의 경우에는 pH 조건의 변화에 따라 부식속도의 차이가 현저하게 나타났는데 다른 관종들과 동일하게 pH가 낮을수록 부식속도가 증가하였다. AWWA(1960)의 보고에 따르면 동관의 부식 중 pH 7 이하에서는 균일 부식이 일어나며 pH가 증가할수록 부식이 감소하는 경향을 나타냈다. 이로 인해 pH 6의 조건에서는 부식이

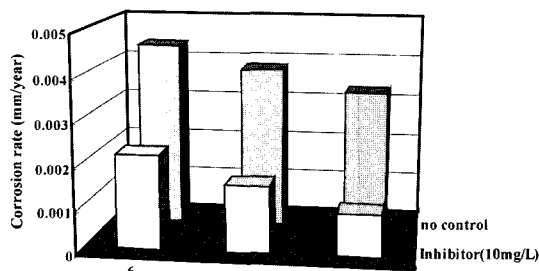


Fig. 5. Effect of pH on the corrosion of copper pipes.

가장 높게 발생하였다.

본 연구결과에 따르면 동관의 부식속도는 pH 7의 경우 pH 6의 87%의 값을 나타내고 있어 수중의 pH 조건에 동관의 부식이 영향을 받고 있음을 나타내 주고 있다. 김(1999)은 pH 7, 8, 9일 때 구리의 용출농도는 pH가 높을수록 감소하였다는 연구결과를 발표하였다. Johnson 등(1993)은 zinc phosphate를 동관에 첨가하였을 때 pH 7.4~7.8 범위에서 구리의 용출농도를 82% 감소시켰다고 보고하였으며 pH가 8.3 이상인 조건에서는 부식제어효과가 없다고 보고하였다.

방청제 10 mg/l를 첨가하였을 때에도 pH 6~8의 범위에서 pH가 증가할수록 부식속도가 감소하였다. 동관의 경우에는 pH 7, 8에서의 부식속도는 pH 6의 경우의 각각 71, 45%의 부식속도를 나타내 방청제의 주입시 pH 조건에 타관종에 비해 민감함을 알 수 있다. 그러나 부식속도가 가장 높은 pH 6인 조건에서도 방청제 10 mg/l를 첨가하였을 때 부식속도가 50%로 감소되어 부식제어효과가 양호하였다.

### 3. 온도 조건에 따른 부식특성 고찰

Fig. 6에서 알칼리도 30 mg as CaCO<sub>3</sub>/l, pH 7인 시료에서 온도 조건을 10, 20, 30°C로 변화시킬 때 탄소강관의 부식속도를 제시하였다. 탄소강관에서 부식속도는 온도가 높을수록 증가하였으나 온도간 부식속도의 차이가 크지 않았다. 방청제를 첨가하지 않았을 경우 부식속도는 온도 0°C에서 부식속도는 30°C의 71%를 차지하였다. 온도 10°C와 20°C일 때의 부식속도는 각각 0.139, 0.141 mm/year로 두 온도간의 부식속도는 큰 차이를 보이지 않았다.

방청제 10 mg/l를 탄소강관에 주입한 조건에서도 이와 동일한 경향을 나타냈는데 온도가 증가함에 따라 방

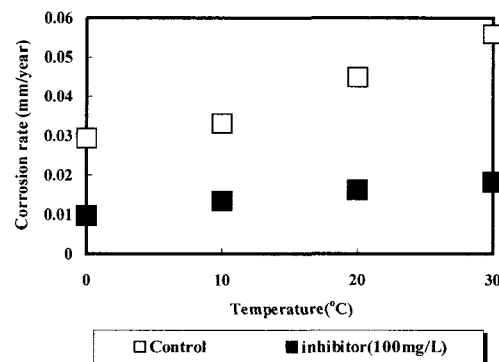


Fig. 6. Effect of temperature on the corrosion of carbon steel pipes.

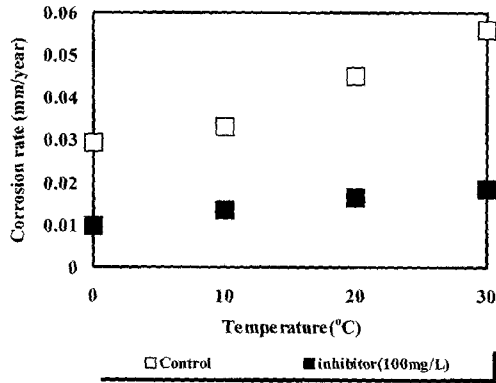


Fig. 7. Effect of temperature on the corrosion of galvanized steel pipes.

식효율이 증가하였다. 온도 30°C에서 방청제 10 mg/l 를 주입한 경우의 부식속도는 온도 10°C에서 방청제를 주입하지 않은 경우의 부식속도와 유사하였다. 탄소 강관의 경우 방청제 10 mg/l를 첨가한 경우 단위 10°C 증가함에 따라 부식효율은 평균 0.014 mm/year 증가하였다.

아연도 강관에서 온도 조건에 따른 부식특성을 Fig. 7에서 고찰하였다. 아연도 강관에서 시료의 온도의 증가는 부식속도의 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 10, 20, 30°C에서 부식효율은 각각 0.029, 0.033, 0.045, 0.056 mm/year로 단위 온도 10°C가 증가함에 따라 부식속도는 평균 0.009 mm/year 증가하였다. 아연도강관의 부식속도에 단일 영향인자로서 온도가 큰 영향을 미친다는 이 같은 결과는 환경부(1999)의 연구결과와 상반된 경향을 나타내었다.<sup>10)</sup>

아연도강관에 방청제 10 mg/l를 첨가하였을때의 부식속도는 온도조건에 따라 증가하였다. 방청제는 단위 온

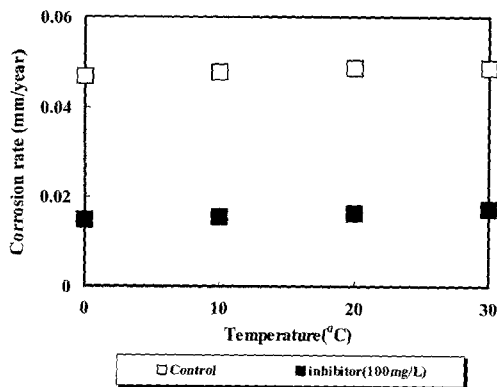


Fig. 8. Effect of temperature on the corrosion of copper pipes.

도 10°C 증가함에 따라 부식속도는 평균 0.003 mm/year의 증가를 보였다.

Fig. 8에서 동관에 방청제 주입하였을 때와 주입하지 않을 때의 온도 조건에 따른 부식 속도를 비교, 고찰한 결과를 제시하였다. 일반적으로 동관의 부식은 온도조건에 대한 영향이 매우 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구결과에서는 온도의 증가에 따라 부식속도가 다소 증가하였지만 온도간 증가폭이 크지 않았다. 동관의 부식은 단위 온도 10°C 증가함에 따라 0.0007 mm/year 증가하였다. 방청제를 첨가한 조건에서도 온도 증가에 따라 부식효율이 큰 차이를 보이지 않았는데 온도 0, 10, 20, 30°C에서 각각 0.047, 0.048, 0.049, 0.049 mm/year로 온도의 증가에 따라 부식속도는 미소한 차이를 보였다.

#### 4. 염소 소독제와 방청제와의 반응

배급수관망에서는 의하면 2차오염 방지를 위해 일정 농도의 잔류염소를 유지하게 되어있다. 탄소강관, 아연도강관, 동관에서 잔류염소의 농도 0.2, 0.4, 1 mg/l 일 때 방청제 10 mg/l 주입시의 부식속도를 Fig. 9에 제시하였다. 수중에 산화제를 주입하는 것은 금속의 부식을 촉진시킨다고 보고되고 있는데 본 실험에서도 수중의 잔류염소가 증가할수록 부식속도가 증가하였다.

탄소강관에서 부식속도는 잔류염소의 농도가 높아질수록 증가하였으며 특히 0.4 mg/l의 농도이상에서 증가 폭은 타관종에 비해 높았다. 이같은 결과는 Larson (1955)의 잔류염소 0.4 mg/l 이상의 농도에서 강관의 부식속도가 증가하였다는 보고와 일치하였다.<sup>12)</sup> 염소가 철의 부식을 촉진시키는 것은 염소가 수중에서 아래의 반응으로 인해 HOCl, H<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, OCl<sup>-</sup> 등을 연속적으로 생성시키는 화학반응을 함으로써 금속의 철을 수중의 산화환원전위를 증가시키기 때문인 것으로 생각된다.

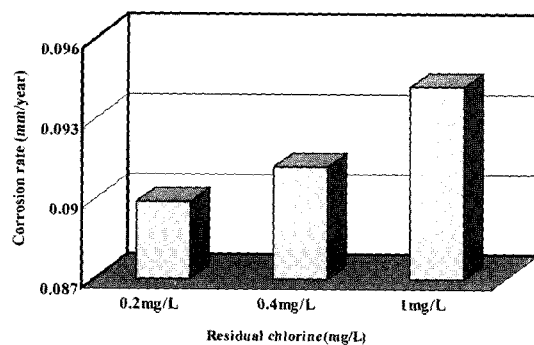


Fig. 9. Effect of residual chlorine on the corrosion of carbon steel pipes.

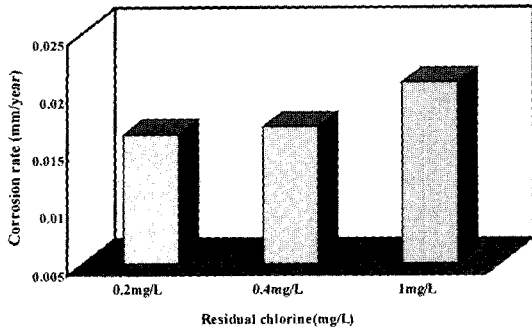
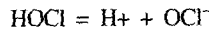
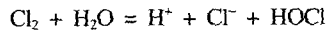


Fig. 10. Effect of residual chlorine on the corrosion of galvanized steel pipes.

반면 결합잔류염소인 모노클로라민이 수중에 0.4~3.6 mg as  $\text{Cl}_2/\text{L}$  존재할 때 강관의 부식속도를 줄이는 역할을 한다고 보고되고 있다.<sup>13,14)</sup>



방청제 10 mg/l 주입시 아연도강관에서 잔류염소 농도에 따른 부식속도를 Fig. 10과 같다. 아연도강관에서 잔류염소의 농도가 증가할수록 부식속도는 증가하였는데 잔류염소의 농도가 0.2 mg/l일때의 부식속도는 1 mg/l일때의 78%에 해당되었다. 반면 0.2 mg/l와 0.4 mg/l에서의 부식속도에는 큰 차이가 없었다.

Fig. 11에서 방청제 10 mg/l를 주입한 조건에서 잔류염소의 농도에 따른 동관의 부식속도를 나타내었다. 동관의 부식속도는 수중의 잔류염소의 농도가 높아질수록 증가하였으나 큰 폭의 변화는 없었다. AWWA (1960)는 잔류 염소농도가 동관의 부식에 큰 영향을 주지 않는다고 보고한 바 있다.

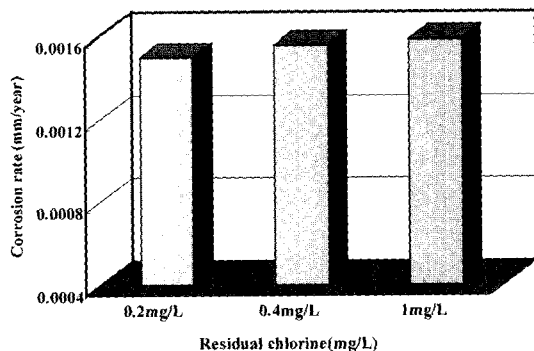
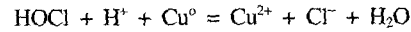


Fig. 11. Effect of residual chlorine on the corrosion of copper pipes.

일반적으로 염소와 동관의 부식은 다음 식에 의해 설명된다. 아래의 반응에 의해서 수소이온의 요구되므로 pH가 낮은 조건에서 공식현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.<sup>15)</sup>



## V. 결 론

본 연구는 개발된 수도용 방청제의 적·탁수제어효과를 평가하고 수질조건에 따른 부식제어효과를 검토하여 배급수 계통에서 실용화하기 위한 기법을 마련하기 위해 수행되었다. 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 방청제의 주입농도와 부식속도의 관계는 함수관계를 나타내 방청제의 주입농도가 증가할수록 부식속도는 감소하였다. 개발된 인산염계 방청제는 아연도강관 및 동관에 대해 매우 효율적이었다.
2. 본 방청제는 pH가 높아질수록 효율이 증가하였으나 일반적인 정수처리 범위인 pH 6~8에서 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 관종별로는 아연도강관 및 동관에서 부식제어효과가 pH 조건에 민감하였으나 탄소강관의 경우 pH에 따른 큰 영향을 나타내지 않았다.
3. 개발 방청제의 부식제어효과는 온도가 증가할수록 높았으며 관종별로 아연도강관 및 탄소강관에서 온도에 대한 방식효율의 차이가 컸으나 동관의 경우 온도 조건에 따라 미소한 차이를 나타내었다.
4. 방청제의 효율은 소독제 0.4 mg/l(as free chlorine) 이하에서는 큰 영향을 나타내지 않았다. 관종별로는 탄소강관에서 소독제의 농도가 높을수록 부식속도는 현저히 증가하였으나 동관에서는 소독제에 의한 영향이 미미하였다.

## 사 사

본 연구는 2001년도 환경부 차세대 핵심환경기술개발 사업의 연구비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Costello, J. J. : Corrosion control within water distribution systems. AWWA Annual Conference Proc., 86-95, 1981.
2. 남상호 : 상수도 배·급수관에서의 수질 변화와 그 대책. 제 25회 수도심포지엄논문집, 57-64, 1993.

3. 이현동 : 수도관로의 관리상태와 방안, 수도, 69, 한국 수도협회, 1994.
4. 박필재, 이현동, 남상호, 정원식 : 국내수계별 수도물의 부식성 및 금속용출특성평가에 관한 연구. 대한환경공학회지, **23**(7), 1195-1203, 2001.
5. Mullen, E. D. and Ritter, J. A. : Portable water corrosion control. Jour. AWWA, 473-486, 1974.
6. 김선일 : pH와 알칼리도와 염소이온이 동관의 부식에 미치는 영향. 건국대학교 석사학위 논문, 1999.
7. APHA, AWWA and WEF : Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edition, American Public Health Association, Washinton, 1995.
8. Wolfel, P. : Case study-central phosphate dosage to reduce red water and zinkgeriesel in house installations-two field experiments at walbingen and stuttgart. Landeswasserversorgung, Stuttgart, 1983.
9. AWWA : Water quality and treatment, 5th Ed, McGRAW-Hill, New York. 14. 22-32, 1999.
10. 환경부 : 고도정수기술 : 수도물의 2차오염 방지기술, 1999.
11. Lane, R. W., Larson, T. E. and Schilsky, S. W. : The effect of pH on the silicate treatment of hot water in galvanized piping. Jour. AWWA, **69**(8), 457-460, 1977.
12. Larson, T. E. and Buswell, A. M. : Calcium carbonate saturation index and alkalinity determination. Jour. AWWA, 1667-1676, 1942.
13. LeChevallier, M. W., Chery, C. D., Lee, R. G. and Gibbon, D. L. : Examining the relationship between iron corrosion and the disinfection of biofilm bacteria. Jour. AWWA, **85**(2), 111-123, 1993.
14. Lin, C. F. and Benjamin, M. M. : Dissolution kinetics of minerals in the presence of sorbing and complexing ligands. Environ. Sci., **24**(1), 126-134, 1976.
15. 이의호, 이학렬, 황윤석, 김광근 : 부식과 방식의 원리. 동화기술, 1999.