

## 인산염계 부식억제제에 의한 탄소강관의 부식특성 연구

우달식<sup>1\*</sup>, 황병기<sup>2</sup>

### A study on the corrosion characteristics of carbon steel pipes by phosphate corrosion inhibitor

Dal-Sik Woo<sup>1\*</sup> and Byung-Gi Hwang<sup>2</sup>

**요약** 본 연구는 가정 옥내급수관에 적수 및 탁수 등을 유발하고 철, 구리 등 중금속이 용출될 수 있는 부식 문제 해결을 위해 인산염계 부식억제제를 주입하는 회분식 실험을 통해 옥내급수관으로 가장 많이 사용되고 있는 아연도강관의 표면 도금이 벗겨진 상태인 탄소강관을 대상으로 주요 수질인자의 변화, 철의 용출농도 변화, 부식도 및 부식도 평가, 시편의 상태를 고찰하였다. 탄소강관에서 부식억제제를 주입하였을때 pH, 전기전도도, 알칼리도, Ca-경도 등의 부식성 수질인자는 약간의 변화가 있었으나, 큰 영향은 없었다. 탁도의 경우 부식억제제를 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시 주입하지 않은 것에 비해 약 10배 정도 낮게 나타나 부식억제제가 탁도 유발 억제에 큰 효과가 있음을 확인하였다. 부식억제제의 주입농도가 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L일 때까지는 부식억제제 농도가 증가함에 따라 철(Fe) 용출농도와 부식도가 서서히 감소하는 경향을 보였으며, 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시 급격히 감소하여 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 각각 약 12.2배, 약 24배의 저감 효과를 보였다. 결론적으로 인산염계 부식억제제 약 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입은 옥내급수관 내부 표면에 치밀한 방식 피막을 형성하여 부식제어에 효과가 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** This study was performed to estimate the water quality parameters on corrosion such as pH, turbidity, Fe released concentration, corrosion rate by using batch reactor for corrosion control of phosphate corrosion inhibitor in carbon steel pipes. The pH, conductivity, alkalinity, and Ca hardness showed a slight change for dosing the phosphate corrosion inhibitor with carbon steel pipe in batch reactor. The turbidity was about ten times lower with 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L of the corrosion inhibitor than that without. The Fe released concentration and corrosion rate was decreased by about 12.2, 24 times with 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L of the corrosion inhibitor than that without. In conclusion, the optimum concentration of the phosphate corrosion inhibitor was found to be 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L. The effect of the corrosion inhibitor was significant for the carbon steel plate samples tested in this study. The corrosion inhibitor can be an effective cure for corrosion and red water problem preventing the service pipe from further corrosion.

**Key Words** : phosphate corrosion inhibitor, corrosion rate, red water, carbon steel pipe, service pipe

## 1. 서론

1980년대 말 수도물에서 발암물질인 THM 검출의 언론 보도로부터 시작하여 1990년대 초 연이은 하천 수질 오염 사건, 1997년부터 2003년까지 이어온 수도물에서의 바이러스 검출 파문으로 인해 국민들의 수도물 불신은 극에 달해 전 국민의 1% 정도만이 수도물을 직접 마시는 상황이다. 이에 따라 정부는 국민들의 수도물 불신에 대

한 신뢰 회복을 위해 그동안 상수원수의 수질개선을 위해 천문학적인 예산을 투입하여 대처해 왔으며, 정수장에 서는 고도정수처리공정으로 오존 + 활성탄여과시스템 도입에 이어 최근에는 막여과(membrane)에 대한 연구 사업도 활발히 진행되고 있다. 부가하여 옥내급수관을 제외한 노후 상수도관을 내식성관으로 교체하는 노후관 개량 사업도 2000년부터 2011년까지 매년 약 2,500억원의 예산이 투입될 예정이다.[1] 그러나 국민들이 수도물을 평가하는 가장 중요한 잣대인 수도꼭지에서 발생하는 녹물 대처방안에 대한 투자와 연구는 거의 없었던 것이 현실이다.

<sup>1</sup>(재)한국계면공학연구소 물환경연구소

<sup>2</sup>상명대학교 토목환경공학부

\*교신저자 : 우달식(ds\_woo@kisei.re.kr)

수돗물의 녹물 발생 원인은 대부분 수요가의 옥내급수관 관리 소홀에서 비롯되었다고 해도 과언이 아니다. 옥내급수관은 일반 송배수관과는 달리 관경이 적고 건물 내부에 위치하고 있어 체계적인 관리가 어려우며, 옥내급수관의 재질, 수질의 영향, 그리고 옥내급수관이 설치된 환경에 따라 부식현상이 증가할 수 있다. 부식으로 인해 발생하는 옥내급수관의 홈, 구멍, 누수, 결절 등은 옥내급수관의 물 수송기능을 현저히 저하시키고 심할 경우 관의 교체에 따른 경제적 비용을 가중시키게 된다. 옥내급수관의 교체 작업은 건물 내부에 존재하는 관의 특성상 공사가 어렵고, 주민들의 불편을 야기하며, 경제적 손실 또한 막대하다.[2, 3]

옥내급수관의 부식에 대한 실제적으로 가능한 해결책은 현재 환경부의 수처리선진화사업단 등에서 연구 개발되고 있는 옥내급수관의 세척/재생 등이 추가 될 수 있지만, 아직까지 이에 대한 기술 개발의 부진 등으로 현실적인 대안은 저수조에서의 부식억제제(일명 방청제라 칭함)의 주입방법이 그동안 가장 많이 사용되어 왔고, 실제적인 대안으로 시행되고 있는 실정이다. 부식억제제는 그동안 방청제로 불리어 왔는데, 2007년 6월 4일 환경부 수처리제 고시 개정을 통해 부식억제제로 명칭이 변경되었고, 그 적용대상도 급수관에서 수도관으로 변경되었다.[4] 국내에서 부식억제제에 관한 연구는 그동안 상수도관의 부식제어를 위해 그동안 일부 연구[5, 6, 7, 8]되었으나, 아직까지는 옥내급수관에 대한 연구는 일부[9, 10] 있었으나, 국민들의 부식억제제에 대한 심미적 거부감이 원인이 되어 그다지 많이 진행되지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 1994년 이후 옥내급수관에는 사용이 금지되었으나 그 이전에 사용되어 현재 약 50% 이상 차지하고 있는 아연도강관의 표면 도금이 벗겨지면 곧바로 노출되는 상태인 탄소강관을 대상으로 인산염계 부식억제제의 농도에 따른 수질인자의 변화특성, 시편의 부식특성 및 형상에 대해서 고찰하였다.

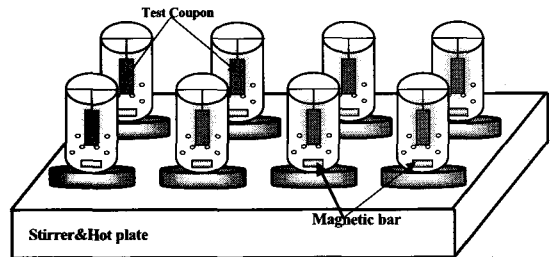
## II. 연구 방법

### 2.1 실험시편 및 제작

본 실험에 사용된 시편은 옥내급수관으로 가장 많이 사용되어 왔던 아연도강관의 내부 성분인 탄소강관으로 하였으며, 직사각형으로 가공하여 12.7×38×1.7 mm의 크기로 만든 후 상부에 지름 5 mm의 구멍을 내어 매달 수 있도록 제작하였다. 시편의 처리는 #150의 Sand paper로 연마하여 요철부분과 녹을 제거하고 아세톤과 증류수로 세척한 뒤 건조하여 무게를 측정하는 순으로 실시하였다.

### 2.2 실험 장치

본 실험에 사용된 회분식 실험 장치의 개략도는 그림 1에 나타내었다. 실험 장치는 1 L의 비이커와 교반을 위한 Magnetic bar, 교반장치와 Hot plate로 구성되어 있으며, 자동 온도조절장치와 자동 Timer 기능을 가진 교반장치가 부착된 Hot plate 위에 시편과 실험수가 들어있는 1 L 비이커를 올려놓고 외부의 오염물질 유입을 방지하기 위해 상부를 밀폐시켰다.



[그림 1] 회분식 실험 장치의 개략도

### 2.3 실험 방법

본 연구에서는 실험수를 수도수로 하였고, 온도 20±1 °C, 교반 50 rpm의 조건하에서 용량 1 L의 비이커에 탄소강관 시편을 장착한 후 인산염계 부식억제제를 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L로 주입 후 3일째와 7일째에 시료를 채취하여 pH, 전기전도도, 알칼리도, 칼슘 농도, 탁도 등의 부식성 수질인자의 변화, Fe 용출농도를 분석하였고, 시편의 부식도, 부착도를 평가하였다.[5, 6, 7, 8]

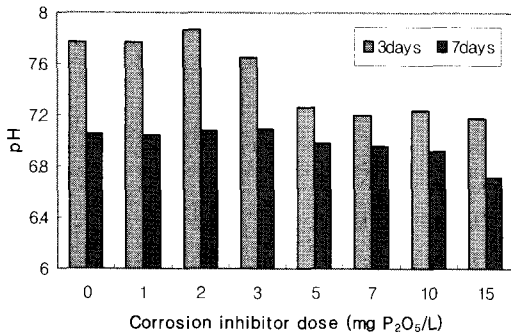
## III. 결과 및 고찰

### 3.1 부식억제제 주입에 따른 부식성 수질인자 변화

#### 3.1.1 pH

부식억제제 주입에 따른 pH의 변화 결과는 그림 2와 같다. pH는 금속의 용해도를 결정하는 가장 중요한 인자로 금속성 물질들은 낮은 pH에서 잘 용해된다. 또한 수소이온이 전자수용체로 작용하면 낮은 pH에서 부식속도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 그러나, 환경부의 연구 [11]에 따르면 pH는 부식에 영향을 미치는 주요한 인자 중에 하나지만 일반적인 정수처리 범위인 pH 6~8에서 부식속도에 크게 관여하지 않는다고 보고하고 있다. 자연 상태의 물은 보통 pH가 4.3~10 사이이며, 이 조건에서 약간의 pH 변화로는 금속의 부식에 심각한 영향을 미치

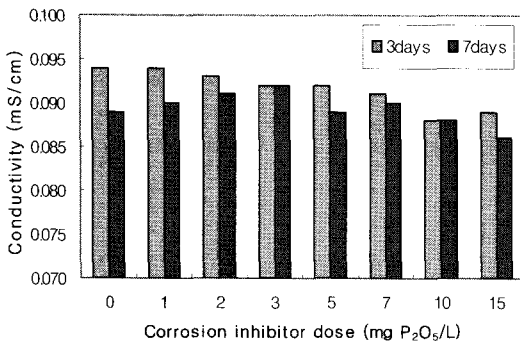
지 않는다. 최적의 방식을 위해서는 pH 6이상을 유지할 필요가 있으나 pH 8이상에서는 탄산칼슘이나 인산칼슘의 석출이 용이하기 때문에 따로 부식 생성물의 억제에 필요하다.[12, 13, 14] 본 연구에서도 부식억제제를 주입하였을 때 3일 경과 후에는 부식억제제의 농도가 3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 까지는 pH가 약 7.6이상을 유지하다, 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상에서는 약 7.2 정도로 약간 저하하였다. 7일 경과 후에도 3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 까지는 pH가 약 7 정도의 유지하였고, 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상에서는 약간 감소하였다. 결론적으로 부식억제제에 의한 pH의 변화는 부식억제제 농도가 높아짐에 따라 약간씩 감소하지만 부식성에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 확인하였다.



[그림 2] 부식억제제 주입농도에 따른 pH의 변화

3.1.2 전기전도도

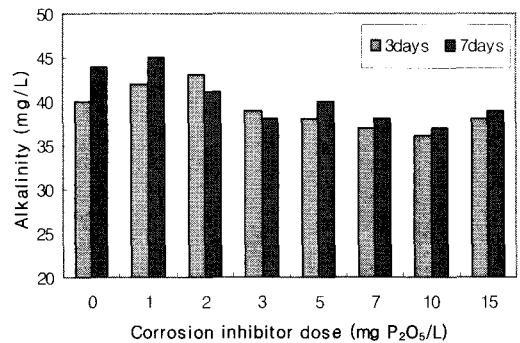
전기전도도는 부식 촉진, 인자로서 일반적으로 전도도가 높은 물에서는 부식이 증가한다.[15, 16] 본 실험의 결과, 그림 3과 같이 3일째 채취한 시료의 전기전도도는 부식억제제 농도가 증가할수록 감소한 반면, 7일째의 시료에서는 전기전도도가 3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L까지는 서서히 증가하다 이후 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상에서는 서서히 감소하는 경향을 나타내었으나, 그 범위는 크지 않았다. 전기전도도 또한 pH와 마찬가지로 부식억제제의 주입에 따른 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.



[그림 3] 부식억제제 주입농도에 따른 전기전도도의 변화

3.1.3 알칼리도

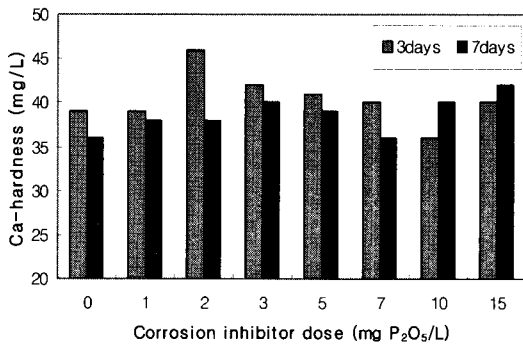
알칼리도의 조절은 금속의 부식성을 결정하는데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 금속 표면의 음극 부위에 형성된 수산화 이온은 국부적인 pH의 상승을 초래하여 음극 주변에 탄산칼슘의 석출을 유발한다. 이러한 스케일의 형성으로 금속 표면에 산소의 확산을 억제하여 더 이상의 음극반응이 진행되는 것을 막게 되고 이로써 금속의 부식을 감소시키게 된다.[12, 15, 16] 알칼리도는 부식억제 인자로서 알칼리도가 높다는 것은 부식이 일어날 가능성이 적다는 것을 의미한다. 반대로 알칼리도가 낮은 물은 산을 중화시킬 능력이 없어 금속의 부식을 유발하기 쉽게 된다.[17] 그림 4는 부식억제제를 주입한 후 알칼리도의 농도 변화를 나타낸 것으로서, 부식억제제를 주입한 경우와 주입하지 않은 경우의 차이는 크지 않았다. 따라서 본 연구에서 사용된 인산염계 부식억제제는 알칼리도의 변화에 크게 기여하지 않았으며, 또한 pH 상승으로 인한 부식제어 효과는 기대하기 어려운 것으로 생각된다.



[그림 4] 부식억제제 주입농도에 따른 전기전도도의 변화

3.1.4 칼슘(Ca) 정도

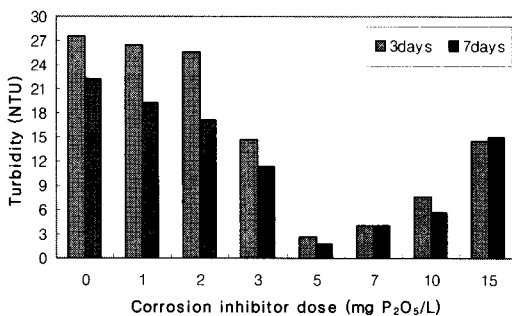
칼슘경도는 알칼리도, pH와 함께 완충효과를 강화하여 부식을 억제하는 인자로 알려져 있다. 적정한 양의 칼슘이온은 인산염계 부식억제제를 사용시 인산칼슘형태로 방식피막을 형성하여 금속의 부식을 억제하는 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다.[13, 15, 18] 그림 5는 부식억제제의 주입에 따른 Ca 정도의 변화를 나타낸 것이다. 부식억제제가 주입되지 않은 경우의 칼슘 정도가 부식억제제를 주입한 경우보다 다소 적었으며, 이는 Ca 이온이 부식억제제의 인산염과 일부 결합되어 시편에 인산칼슘의 스케일 형태로 발생되었기 때문으로 사료된다.



[그림 5] 부식억제제 주입농도에 따른 칼슘 정도의 변화

3.1.5 탁도(Turbidity)

일반적으로 탁도는 정수처리 공정 평가의 중요한 기준이 되며, 급수과정에서 발생하는 수도관 내부의 2차 오염을 알려주는 지표로도 사용된다. 옥내급수관에서 철의 용출은 그 자체로 녹물 발생의 원인이 되며 또한 탁도 증가에도 기여한다. 관 내부에서의 체류 시간 증가에 따른 철의 용출 농도는 일반적으로 높게 나타나기 때문에 부식반응과 탁도는 높은 상관성을 가진다.[12, 16, 17] 부식억제제 주입에 따른 탁도의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보듯이 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시 탁도가 약 10배 정도 낮게 나타나 부식억제제가 탁도 유발 억제에 큰 효과가 있음을 확인하였다. 이는 부식억제제를 주입하지 않은 경우 부식으로 인한 부식생성물의 탈리로 인해 탁도가 높아진 것으로 판단된다. 부식억제제를 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상 주입시에는 오히려 탁도가 증가하였는데, 이는 과도한 인산염의 증가로 인해 오히려 방식 피막현상을 방해하여 철의 용출로 인한 탁도가 증가한 것으로 판단되나, 이러한 현상은 추후 보완실험으로 규명되어야 할 것으로 사료된다.



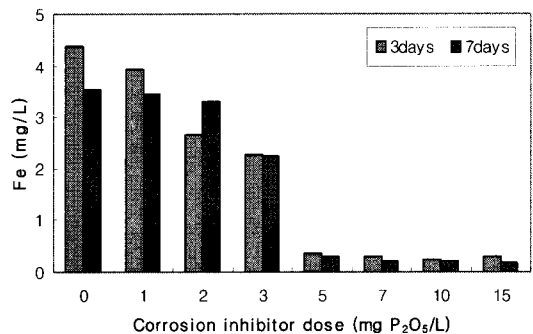
[그림 6] 부식억제제 주입농도에 따른 탁도의 변화

3.2 부식억제제 주입에 따른 Fe 용출의 변화

pH가 중성인 수도수라 할지라도 물의 표면이 공기와

접해있거나, 관로와 같이 흐르는 수도수에 용존 산소가 풍부한 조건이라면 금속재질의 관은 부식이 진행되어 녹물과 녹의 침전물을 형성하게 된다. 전기화학적 부식반응이 일어나기 위해서는 금속내부를 통한 전자의 이동과 용액 속으로 전류의 이동 그리고 전류의 이동을 가능하게 하는 전해질, 즉 전류를 잘 운반해 줄 수 있는 이온들이 용액 속에 존재하여야 한다. 만일 이들 중 한 가지라도 결핍되면 부식반응은 일어나지 않게 된다.[11, 19]

부식억제제 주입 농도에 따른 철(Fe)의 용출농도 변화를 그림 7에 나타내었다. 탄소강관의 경우 철의 용출농도 변화를 살펴보면 부식억제제를 주입하지 않은 경우 7일째 철의 용출농도는 3.54 mg/L이었으며, 부식억제제를 3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L를 주입한 경우 철의 용출농도는 2.2 mg/L, 부식억제제 5, 15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시는 각각 0.29, 0.19 mg/L이었다. 본 실험의 결과로 판단한 때 철 용출을 감소하기 위한 최적의 부식억제제 주입농도는 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L이었으며, 부식억제제를 주입하지 않은 경우와 비교하여 철의 용출 저감효과가 약 12.2배 우수하였다. 실험 초기(3일째)에 철의 용출이 높고, 그 이후(7일째)에 용출농도가 낮아지는 경향을 보였는데 이는 부식반응이 운전 초기에 빨리 진행됨을 알 수 있었다. 부식억제제를 주입하였을 때 실험시편에서 보호피막의 형성으로 인해 철의 용출농도가 감소한 것으로 판단된다. 철의 용출농도가 적다는 것은 시편의 부식도가 적었다는 것을 의미하는 것으로 금속 부식시편의 부식도 실험과 동일한 결과를 얻었다.

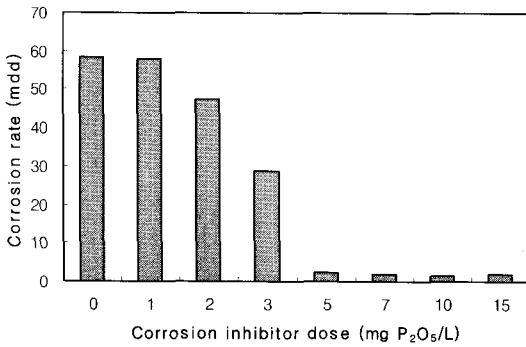


[그림 7] 부식억제제 주입농도에 따른 철 용출농도의 변화

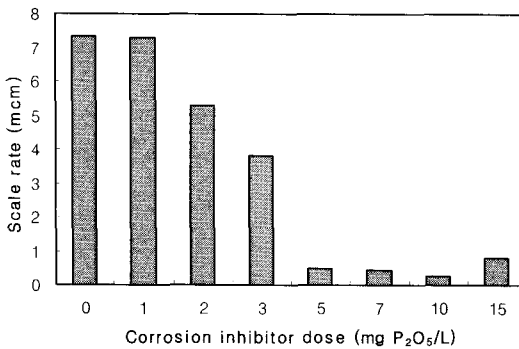
3.3 부식억제제 주입에 따른 부식도 평가

부식억제제 주입 농도를 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L로 변화시키고 7일 후의 탄소강관의 부식도(mdd) 및 부착도(mcm)를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 보듯이 부식억제제의 주입농도가 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L일 때까지는 부식도가 감소하는 경향을 보였으나, 그 이상의 농도에서는 부식 제어 효율이 거의 일정하게 나타났다. 탄소강관

시편에 대해 부식억제제를 주입하지 않은 경우의 부식도는 58.38 mdd였으며, 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입한 경우 시편의 부식도는 각각 2.44 mdd로 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 부식도 측면에서 약 24배 정도 부식 제어 효과를 보였다. 부착도의 경우 부식억제제를 주입하지 않은 경우의 시편의 부착도는 7.35 mcm이었으며, 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입한 경우 시편의 부착도는 0.5 mcm으로 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 부착도 측면에서 약 15배의 스케일 제어 효과를 보였다. 따라서, 적수 발생의 문제와 결부시켜 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L를 주입한 경우에 부식도 뿐만 아니라 철 용출도 적게 나타나 부식 및 적수 발생의 문제를 해결하는데 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.



(a) Corrosion rate



(b) Scale rate

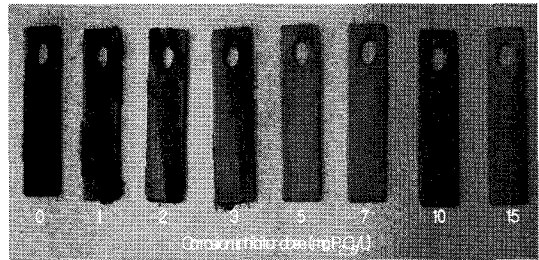
[그림 8] 부식억제제 주입농도에 따른 부식도와 부착도의 변화

### 3.4 부식 시편의 형상

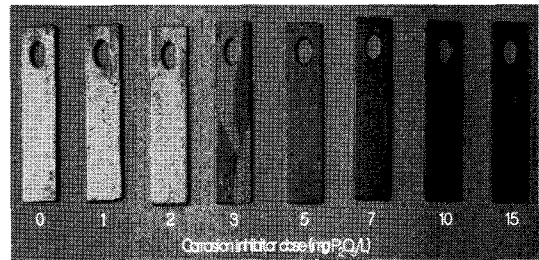
#### 3.4.1 부식생성물

실험 종료 후 탄소강관 시편을 건조한 후 시편 표면에 부착된 부식생성물을 관찰한 결과는 그림 9와 같고, 시편 표면을 염산(HCl)으로 처리한 후 부식생성물을 제거한

후의 시편 표면은 그림 10과 같다.



[그림 9] 실험 종료 후 표면처리하지 않은 시편의 형상



[그림 10] 실험 종료 후 표면처리한 시편의 형상

부식억제제를 주입하지 않은 경우는 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상 주입한 경우보다 육안으로 선명한 부식생성물이 관찰되었다, 부식억제제가 주입된 시편의 경우 부식억제제로 인한 피막이 형성되어 부식생성물이 상대적으로 적게 생성되었다. 이러한 피막의 형성은 산화 환원이 일어나는 금속표면의 한 부분을 봉쇄하여 반응이 더 이상 일어나지 않도록 하는 역할을 한다.[15, 19, 20] 또한 부식생성물을 제거한 후 부식 정도를 비교해 본 결과 부식억제제를 주입하지 않은 경우에 금속의 공식(Pitting)이 더 많이 발생됨을 확인할 수 있었다. 반면, 부식억제제 1~3 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입한 경우 부식억제제를 주입하지 않은 경우와 큰 차이가 없었으며, 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 이상 주입하였을 때에는 시편의 상태가 매우 양호하였다.

## IV. 결론

본 연구는 가정 옥내급수관에 적수 및 탁수 등을 유발하고 철, 구리 등 중금속이 용출될 수 있는 부식 문제 해결을 위한 기초 자료를 얻기 위해 옥내급수관으로 가장 많이 사용되고 있는 아연도강관의 표면 도금이 벗겨진 상태인 탄소강관을 대상으로 인산염계 부식억제제를 주입한 회분식 실험을 수행하여 7일 경과 후 주요 수질인자의 변화, 철의 용출농도 변화, 부식도 및 부착도 평가, 시

편의 상태를 고찰하였다.

인산염계 부식억제제를 대상으로 회분식 실험 후 수질 인자 변화를 살펴보면 pH, 전기전도도, 알칼리도, Ca-경도 등의 부식성 수질인자의 변화는 큰 영향이 없었으나, 탁도의 경우 부식억제제를 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시 주입하지 않은 것에 비해 약 10배 정도 낮게 나타나 부식억제제가 탁도 제거에 큰 효과가 있음을 확인하였다

인산염계 부식억제제의 주입농도를 변화시키면서 부식도를 관찰한 결과, 부식억제제의 주입농도가 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L일 때까지는 부식억제제 농도가 증가함에 따라 철(Fe) 용출농도와 부식도가 서서히 감소하는 경향을 보였으며, 부식억제제 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입시 급격히 감소하여 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 각각 약 12.2배, 약 24배의 저감 효과를 보였다.

결론적으로 인산염계 부식억제제 약 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L 주입은 옥내급수관 내부 표면에 치밀한 방식 피막을 형성하여 부식제어에 효과가 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

[1] 이현동, “상수도관망의 유지관리를 위한 갱생기술”, 대한환경공학회지, 29(12), pp.1297-1309, 2007.

[2] (재)한국계면공학연구소, “옥내급수관 및 저수조 관리 개선방안”, 서울시 상수도사업본부 최종보고서, 2005.

[3] (재)한국계면공학연구소, “환경친화적 위생저수조 및 옥내배관시스템의 유지관리기술 개발”, 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 최종보고서, 2004.

[4] 환경부, “수처리제의 기준과 규격 및 표시기준”, 환경부고시 제2007-92호, 2007.6.4.

[5] 우달식, 문정기, 구성은, 최종현, 김주환, 문광순, “배·급수 시스템에서 부식방지제의 적용 평가 연구”, 대한상하수도학회지, 17(5), pp.665-674, 2003.

[6] 우달식, 최종현, 구성은, 김주환, 안효원, 남상호, 문광순, “상수도 모의 배급수관망을 이용한 방청제의 부식특성에 관한 연구”, 대한환경공학회지, 26(3), pp.347-354, 2004.

[7] 우달식, 구성은, 이병두, 김주환, 문광순, “배급수 계통에서 부식억제제 적용에 따른 부식과 적수와의 상관관계”, 대한상하수도학회지 19(1), pp.68-77, 2005.

[8] 구성은, 우달식, 이두진, 김주환, 안효원, 문광순, “수질제어 및 부식억제제에 의한 상수도관의 내부부식 제어”, 상하수도학회지, 20(2), pp.215-223, 2006.

[9] 우달식, 황병기, “탄소강관에서의 인산염 부식억제제 농도 감소의 반응속도상수 평가”, 한국환경영향평가학회지 14(1), pp.17-24, 2005.

[10] 조관형, 김선일, 우달식, “동관에서 pH, 알칼리도,

염소이온이 부식에 미치는 영향”, 한국환경보건학회지, 33(1), pp.43-48, 2007.

[11] (재)한국계면공학연구소, “상수도 배급수시설의 부식방지를 위한 방청제의 개발 및 최적이용모델 개발” 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 최종보고서, 2003.

[12] 이광호, “급배수관망에서 부식 및 녹물발생의 영향 인자에 관한 연구(I)”, 대한 환경공학회지, 19(7), pp.949-958, 1997.

[13] 조순행, “급수관의 부식에 미치는 pH 및 Carbonate 농도의 영향에 관한 연구”, 대한상하수도학회지, 1(2), pp. 54-64, 1987.

[14] Sander, A., Berghult, B., Broo, A. E., Johansson, E. L., and Hedberg, T., “Iron corrosion in drinking water distribution systems-the effect of pH, calcium and hydrogen carbonate”, Corrosion Science, 38(3), pp.443-455, 1996.

[15] 경희대학교 환경연구소, “수도관의 부식과 방식 대책”, 1996.

[16] 서규태, 정해룡, 이현동, 정원식, 지재성, “배수시스템내 부식영향 수질인자의 변화특성”, 대한환경공학회지, 20(8), 1151~1160, 1998.

[17] 한수(주), “실무관리자를 위한 냉각수 처리기술”, 1996.

[18] 남상호, “국내 수도물의 수질특성 및 방청제 관리 현황”, 수도용 방청제 국제워크샵 자료집, pp.13-37, 2002.

[19] American Water Works Association Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, “Internal corrosion of water distribution systems”, 1996.

[20] Broo, A. E., Berghult, B., and Hedberg, T., “Copper corrosion in drinking water distribution systems-the influence of water quality”, Corrosion Science, 39(6), pp.1119-1132, 1997.

### 우 달 식(Dal-Sik Woo)

[정회원]



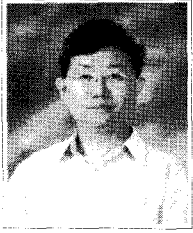
- 1986년 2월 : 건국대학교 환경공학과 (학사)
- 1988년 2월 : 건국대학교 환경공학과 (석사)
- 1998년 2월 : 건국대학교 환경공학과 (박사)
- 1999년 4월 ~ 현재 : (재)한국계면공학연구소 물환경연구실 (실장)

<관심분야>

상수도(관부식제어, 관세척/갱생, 정수처리), 하수도(관거 보수/보강, 하·폐수처리), 수질관리

황 병 기(Byung-Gi Hwang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 토목 공학과 (학사)
- 1990년 5월 : (미)Virginia Tech. (석사)
- 1995년 5월 : (미)U. of Virginia (박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 토목환경공학부 (교수)

<관심분야>

수질관리모델링, 수질영향평가, 상수도(관부식모델링), 하수도(LI 및 누수 분석)