

부식억제제에 의한 상수도관의 부식제어

황병기*

¹상명대학교 건설시스템공학과

Corrosion control of drinking water pipes by corrosion inhibitor

Byung-Gi Hwang^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Sangmyung University

요약 상수도관의 부식은 수도물이 공급되는 과정에서 관 표면의 금속과 물 사이의 일련의 복잡한 산화/환원 반응이다. 부식으로 인해 발생할 수 있는 1차적인 고려사항은 철, 납, 동과 같은 독성이 있는 중금속이 물속에 존재할 수 있다는 것이며, 이는 상수도관에 악영향을 미치며, 세탁물을 훼손하거나 맛을 낼 수 있는 심미적인 문제도 발생된다. 본 연구에서는 부식억제제가 상수도관의 부식도, 수도물 중의 철 및 동의 용출 농도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 평가하였다. 부식저감 효과는 인산염계 부식억제제와 큰 관련성이 있었다. 부식반응은 물과 관의 표면에서 이루어지는 일련의 전기화학적 반응을 고려하면 철의 용출농도와 부식도는 양(+)의 상관관계에 있다.

Abstract Corrosion is a complex series of oxidation/reduction reactions between at the water-metal surfaces and materials in which the water is stored or transported. With respect to the corrosion potential of drinking water, the primary concerns include the potential presence of toxic metals, such as lead and copper; deterioration and damage to the household plumbing, and aesthetic problems such as stained laundry, and bitter taste. This study was performed to evaluate the effects of corrosion inhibitors on corrosion rates, Fe and Cu release concentration in water distribution pipes. Decrease of corrosion rates were strongly related to phosphate corrosion inhibitors. Considering that typical corrosion processes consists of a series of electrochemical reaction at the metal surface in contact with water, corrosion rates were positively correlated with Fe release.

Key Words : Corrosion control, Phosphate corrosion inhibitor, Corrosion rate, Red water

1. 서론

우리나라에서 상수원으로 이용하고 있는 하천수, 댐호수, 지하수 등의 수질은 일부 석회암지질대를 제외하면 대부분이 연수로서 침식성과 부식성을 띄고 있다. 이러한 특성으로 인하여 수요자의 수도전에서 적수발생 등 수질 저하는 물론이고 배급수관의 빠른 노후화로 경제적 부담을 안겨 주고 있다. 현재 상수도관의 부식제어는 정수장의 수질관리차원에서 다루어지고 있는 것이 아니라 수도물의 이용자들이 그 대책의 일환으로 아파트, 연립주택 등의 공동주택의 경우 저수조 전후에 부식억제제를 무분

별하게 투여하거나 막여과와 같은 추가 처리시설을 하는 곳이 점차 늘고 있는 실정이다.

관 재질과 수질 조건에 따른 부식억제제의 선정과 효율평가에 관한 연구는 국내의 경우 아직 초보적인 단계인데 비해, 선진 외국에서는 부식억제제의 현장 적용기법은 물론이고 부식제어 비용과 배급수관의 수명연장 효과 등 종합적인 경제성 평가를 비롯한 세부설계사항까지 구체적으로 검토되어, 상수도관의 부식억제제를 위한 용도로 부식억제제가 널리 이용되고 있다.[1,2]

특히 1991년부터 미국 연방환경청(USEPA)에서는 음용수 중의 LCR(Lead and Copper Rule)을 제정하여 배급

본 연구는 상명대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 황병기 (bh4a@smu.ac.kr)

접수일 10년 02월 22일

수정일 (1차 10년 05월 26일, 2차 10년 06월 15일)

계재확정일 10년 06월 18일

수관망에서 부식제어 대책으로서 수도꼭지에서의 구리와 납의 허용농도를 각각 1.3, 0.015mg/L로 강화됨에 따라 이 기준을 만족시키면서 동시에 부식현상을 효과적으로 감소시킬 수 있는 부식억제제에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되었다.[3,4]

반면 우리나라의 경우 그동안 상수원수 및 그 처리과정인 고도정수처리 과정에서의 수질 향상에만 초점이 맞추어져 있고, 수도물의 공급단계인 상수도관에 대한 투자와 정책이 미흡하여 수 많은 수질 개선 노력에도 불구하고 국민들의 수도물 수질에 대해 불신감은 여전한 상태이다. 2000년대에 들어서면서 그동안 소홀히 해왔던 부식억제제에 관련된 국내에서의 연구[5-11]도 활발히 진행되어 미국에서와 같이 정수장에서 사용할 수 있는 기틀이 마련되었다. 그러나 아직도 일반 국민들에게 부식억제제에 대한 인체유해성에 대한 우려로 인해 그 사용에 있어서 거부감이 여전히 상존하고 있다. 인산염계 부식억제제의 모든 원료는 먹는물관리법 시행규칙 제20조1항의 별표6에 의거하여 식품첨가물에 지정되어 있는 성분을 사용하며, 수도물 중 부식억제제 농도를 5mg/L(P_2O_5 로서, P로서는 2mg임)로 가정할 때 일일 방청제 섭취량은 4mg으로 일본의 1일 섭취허용량 기준인 3,500mg의 875배나 적은 농도임으로 절대적으로 안전하다.[10] 현재 환경부 고시에 등록된 인산염계 부식억제제는 중합인산염으로서 Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$, H_3PO_4 를 원료로 만든 것인데, 미국 수도협회(AWWA) 자료에 의하면 중합인산염의 유해성을 평가하기 위해, NSF(National Sanitary Foundation), EPA(Environment Protection Agency), AWWARF (American Waterworks Research Foundation), 각 주의 보건환경책임자 협의회로 구성된 심의기구를 구성하여 도출된 결론은 중합인산염이 인체 유해성이 없는 물질로 분류하였다[10]는 것이다.

따라서 본 연구에서는 수도물의 녹물의 원인인 상수도관의 부식을 제어하기 위해서 사용되고 있는 부식억제제에 의한 탄소강관 및 동관 시편에서의 수질제어 효과를 분석하였으며, 동시에 인산염계 및 규산염계 부식억제제의 부식제어 효과를 비교분석하였다.

2. 연구 방법

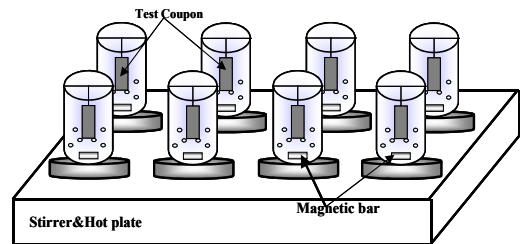
2.1. 실험 시편 및 제작

본 실험에 사용된 시편은 옥내급수관으로 가장 많이 사용되어 왔던 아연도강관의 내부 성분인 탄소강관과 1994년 이후 아연도강관 사용금지 이후 가장 많이 적용되었던 동관을 대상으로 하였으며, 직사각형으로 가공하

여 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 탄소강관과 동관 시편을 장착한 후 사전 연구를 통해 도출된 결과[10]를 근거로 인산염계 부식억제제의 경우 5mg P_2O_5 /L, 규산염계 부식억제제의 경우 5mg SiO_2 /L를 주입하고 5일 경과 후 시료를 채취하여 탁도제어, 철 및 동용출 제어효과를 분석하고, 부식도를 평가하였다. 부식실험에 사용된 시편은 1.5×15×0.1cm 크기로 제작하여 이용하였으며, 시편의 부식도는 ASTM G-31, NACE standard TM 0169의 방법을 참고하여 무게감량법으로 실험하였다. 부식도는 부식 전후 시편의 무게를 측정하여 다음 식에 의해 산출하였다.

$$\text{부식도}(\text{mdd}, \text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{day}) = \frac{(w_1 - w_2) \text{mg}}{A(\text{dm}^2) \times \text{day}}$$

w_1 : 초기 시편무게(mg)

w_2 : 부착물질 제거 후 시편의 무게(mg)

A : 시편의 단면적(dm^2 , 1dm = 10cm)

또한 인산염계 및 규산염계 부식억제제의 부식제어효

과를 평가하였다.

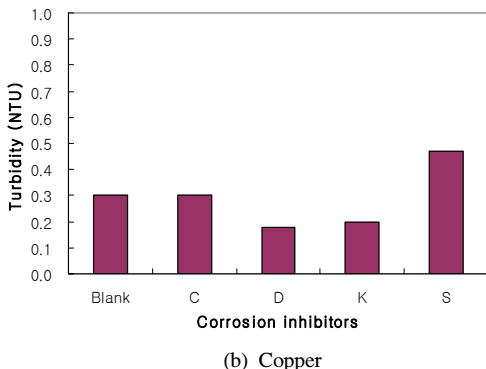
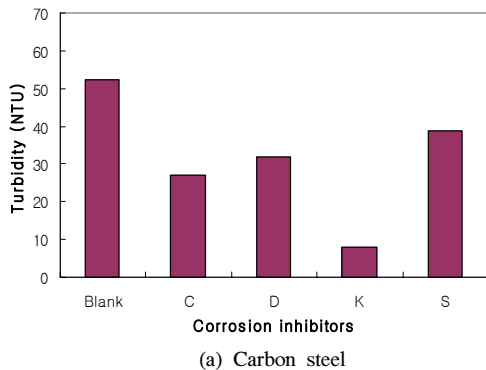
3. 결과 및 고찰

3.1. 탁도 제어 효과

그림 2는 기존 시판 인산염계 부식억제제 C, D, 본 연구에서 자체 개발한 인산 아연계 부식억제제 K, 기존 시판 규산염계 부식억제제 S에 대해서 인산염계는 5mg P₂O₅/L, 규산염계는 5mg SiO₂/L 주입 후 탄소강관 및 동관에서의 탁도의 변화를 나타낸 것이다. 표 1은 본 연구에서 사용된 부식억제제의 성분을 요약한 것이다.

[표 1] 부식억제제의 인 함량

종류	C	D	K
P ₂ O ₅ 함량(%)	20%	25	16



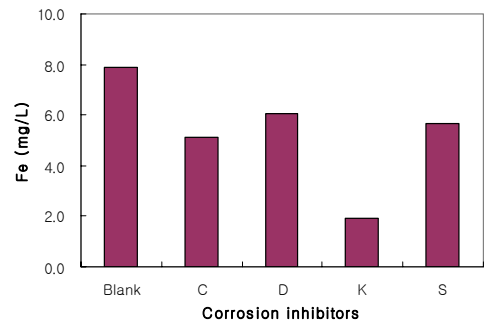
[그림 2] 탄소강관 및 동관에 대한 부식억제제에 의한 탁도 제어

본 연구에 이용된 탄소강관에 대해 부식억제제를 주입하지 않은 관중의 탁도가 더 높았는데 이는 운전기간 중 용출된 금속류에 의한 것으로 판단되며, 인산염계 부식억

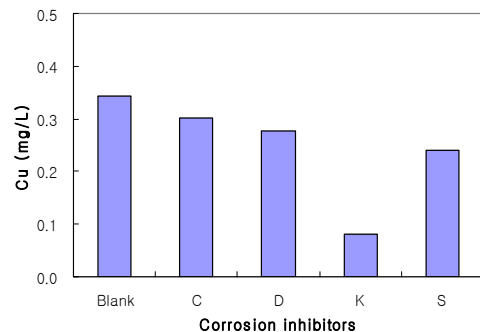
제제를 주입하였을 때 보다 최소 1.9배, 최대 6.5배 높았고, 규산염 부식억제제와 비교시 1.4배 높았다. 동관의 경우 탁도의 변화는 Fe 등의 금속 용출이 적어 인산염계 부식억제제에서는 큰 차이를 나타내지 않았으나, 오히려 규산염 부식억제제는 부식억제제를 주입하지 않은 경우보다 더 높게 나타났다.

3.2. 중금속 용출 제어 효과

탄소강관, 동관에 대한 금속 성분(철, 구리)의 용출 변화 농도를 그림 3, 4에 나타내었다. 탄소강관에서의 Fe 용출농도 변화를 살펴보면 부식억제제를 주입하지 않은 경우의 Fe의 용출 농도는 7.88 mg/L로 국내에서 시판중인 C, D회사와 규산염계 부식억제제인 S사 보다 약 1.5배 높게 증가하였으나, 본 연구에서 자체 개발한 부식억제제 K는 4배 정도의 Fe 용출 저감 효과를 나타내었다.



[그림 3] 부식억제제에 의한 탄소강 시편에서의 철 용출 농도



[그림 4] 부식억제제에 의한 동 시편에서의 동 용출 농도

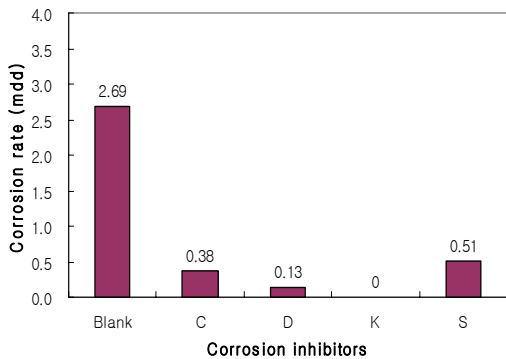
동관에서의 Cu 용출 농도를 평가한 결과 동관 자체가 내식성 자재이므로 실험기간 중 낮은 Cu의 용출 농도를 나타내었다. 즉, 부식억제제를 주입하지 않은 경우 0.344mg/L가 용출되었으며, 본 연구에서 자체 개발한 부

식억제제 K를 주입한 경우 0.081mg/L가 용출되어 4배의 Cu 용출억제 효과를 확인하였다. 반면, 그 외의 시판 인산염계 부식억제제 및 규산염계 부식억제제의 경우 동관에 대해 Cu의 방식 효과가 없는 것으로 판단된다.

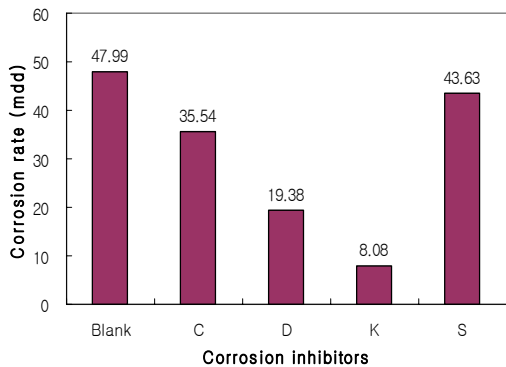
3.3. 부식도 제어 효과

실험 후 무게감량법에 의한 탄소강관 및 동관의 부식도(mdd) 측정 결과는 그림 5와 같다.

부식 실험의 결과, 본 연구팀이 개발한 부식억제제 K의 부식억제 효과가 부식억제제를 주입하지 않은 것과 국내에서 시판중인 인산염계 부식억제제 C, D 및 규산염계 부식억제제 S의 경우보다 매우 우수한 부식 제어 효과를 보였다.



(a) Carbon steel



(b) Copper

[그림 5] 부식억제제에 의한 탄소강 시편 및 동시편에서의 부식도

부식억제제를 주입하지 않은 경우의 탄소강관의 부식도는 47.99mdd, 국내 시판 부식억제제 C, D 및 규산염계 부식억제제 S는 각각 35.54, 19.38, 43.63mdd였다. 반면 본 연구팀이 개발한 부식억제제의 부식도는 8.08mdd로

부식억제제를 주입하지 않은 경우에 비해 약 1/6배의 매우 낮은 부식도를 보였다. 또한 동관의 경우 실험 기간이 재질 특성에 비해 짧았지만 부식억제제를 주입하지 않은 경우의 부식도는 2.69mdd였으나 부식억제제 K의 경우 거의 부식이 발생하지 않아 동관에 대한 부식 제어 효과가 큼을 확인하였다.

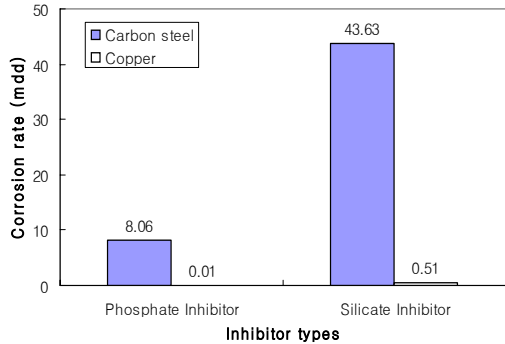
상기 회분식 실험의 결과, 탁도 등의 수질변화, 철, 구리 등의 용출금속 농도 변화, 시편의 부식도 평가를 종합적으로 판단할 때 부식 및 적수 발생의 문제를 해결하는데 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.

3.4. 인산염계 및 규산염계 부식억제제의 부식 제어 효과 비교

일반적으로 부식억제제는 물에 가용성이나 금속 표면에 불용성 또는 난용성의 피막을 형성하여 금속이온의 수화나 용존산소의 환원 반응을 방해함으로써 부식을 억제한다. 그러나, 부식억제제의 성분에 따라 각각의 방식 작용 기구와 효율이 약간의 차이를 나타낸다. 본 연구에서 개발한 부식억제제는 인산염 계통인데, 이의 성능에 대해 부식억제제 종류별로 비교를 위해 인산염계와 함께 많이 사용되고 있는 규산염계 부식억제제에 대해서 각 방식 효율을 검토하고자 하였다. 따라서, 동일한 농도인 5.0mg P₂O₅/L로 적용하여 각각의 방식 효율 및 부식억제제의 작용기구를 비교평가하였다. 그림 6은 탄소강, 구리 시편을 사용하여 인산염계 부식억제제에 대한 부식율을 측정하고 비교한 것이다.

그림 6에서 보여지듯이, 모든 종류의 시편에 대해서 인산염계 부식억제제가 우수한 방식효율을 나타내고 있는 것이 관찰되었다. 각 부식억제제의 작용 기구를 고찰해 보면, 본 연구에서 개발된 부식억제제는 양극 부식방지제와 음극 부식방지제를 혼합 사용하여, 철이온과 같은 용해된 금속 염과 불용성의 염을 생성하여 양극부위에 부착력이 강한 피막을 형성함과 동시에, 자신이 직접 음용수 중에 용해된 상태로 존재하여 수중의 수산화 이온과 결합하여 음극 부위에서 전기적 부도체인 피막을 형성하고 산소의 투과를 저해함으로써 음극 반응속도를 감소시키는 역할을 한다.[10, 12] 이와 동시에 낮은 농도에서도 스케일 방지제로서의 역할을 하며, 음용수 처리시 철을 안정화시켜서 적수 문제를 해결하는데도 효과적이다. 반면에 규산염은 금속의 양극 부위에서 용해된 금속과 결합하여 겔(gel)상의 석출물 층을 형성하는 양극 부식방지제로서 작용을 한다. 일반적으로 규산염계 부식억제제는 약품의 무해성에서 기반하여 좋은 평가를 받고 널리 이용되고 있으나, 연구 결과에서 나타나듯이 인산염계 부식억제제에 비해 탄소강관의 부식도

가 5.4배 이상 높게 관찰되어 동일한 방식 효율을 얻기 위해서는 더 많은 양의 약품이 소요되며, 이로 인해 약품의 효율이나 경제성 면에서 한계가 있을 것으로 판단된다.



[그림 6] 인산염계 및 규산염계 부식억제제 주입에 따른 부식도

4. 결론

본 연구는 수도물 녹물 발생의 주요 원인인 상수도관의 부식을 제어하기 위해 사용되고 있는 부식억제제의 정수장 이용을 보다 원활하게 하기 위한 기초연구로서 옥내급수관의 재료로 가장 많이 사용되어 왔던 아연도강관의 외부 피복이 벗겨진 상태인 탄소강관 및 동관을 대상으로 부식억제제를 투입하여 나타난 철 및 동의 용출 특성 및 부식제어 효과를 분석하였다.

탄소강관 및 동관 시편을 대상으로 본 연구에서 자체 개발한 인산 아연계 부식억제제를 주입한 경우 탁도제어 및 철과 동 용출제어 효과가 가장 우수하였으며, 부식도 측면에서도 인산 아연계 부식억제제의 효과가 탄소강관의 경우 약 6배 정도 좋은 결과를 보였고, 동관의 경우는 부식이 거의 발생되지 않음을 확인하였다. 또한 인산염계 부식억제제가 탄소강관을 대상으로 하였을 경우 5.4배 이상 규산염계 부식억제제에 비해 부식제어 효과가 우수하였다.

참고문헌

[1] Edwards, M., "US Perspective on Corrosion Inhibitor Use in Potable Water Supplies", International Workshop on Corrosion Inhibitor for Public Water Supply, pp. 41-64, 2002.
 [2] Rushing, J.C., McNeill, L.S., and Edwards, M. "Some Effects of Aqueous Silica on the Corrosion of Iron",

Water Research, 37, pp.1080-1090, 2003.

[3] American Water Works Association Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, "Internal corrosion of water distribution systems", 1996.
 [4] 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.
 [5] 우달식, 문정기, 구성은, 최중현, 김주환, 문광순, "배수 시스템에서 부식방지제의 적용 평가 연구", 대한상하수도학회지, 17(5), pp.665-674, 2003.
 [6] 우달식, 최중현, 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] (재)한국계면공학연구소, "상수도 배급수시설의 부식방지를 위한 방청제의 개발 및 최적이용모델 개발" 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 최종보고서, 2003.
 [11] 우달식, 황병기 "인산염계 부식억제제에 의한 탄소강관의 부식특성 연구", 한국산학기술학회논문지, 9(2), pp.493-499, 2008.
 [12] 남상호, "국내 수도물의 수질특성 및 방청제 관리 현황", 수도용 방청제 국제워크샵 자료집, pp.13-37, 2002.

황 병 기(Byung-Gi Hwang)

[정회원]



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

<관심분야>

수질관리모델링, 수질영향평가, 상수도(관부식모델링), 하수도(I/I 및 누수 분석)