

수질안정화 약품 주입에 따른 상수도관 내부 부식제어 특성 연구

황병기^{1*}, 우달식²

¹상명대학교 건설시스템공학과, ²(재)한국계면공학연구소

Corrosion control technique for pipeline system through injecting water stabilizer

Byung-Gi Hwang^{1*} and Dal-Sik Woo²

¹Division of Civil and Engineering, Sang Myung University

²Korea Interfacial Science and Engineering Institute

요 약 최근 고품질의 수도물에 대한 소비자의 요구가 상승함에 따라 상수도 배급수관의 내부 부식에 의한 수질악화 및 부식제어 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 노후 관 교체 사업을 대신하여 수질 관리를 위한 부식제어 수단을 강구하지 않고서는 근본적인 문제 해결이 이루어질 수 없는 실정이다.

본 연구에서는 수질안정화 약품 주입에 의한 상수도관 내부 부식제어 효율을 평가하기 위해 Pilot Plant 실험을 실시하였으며, 부식성제어 효율은 물의 부식성을 나타내는 LSI(Langelier Saturation Index)값에 의해 평가되었다.

실험결과, Pilot Plant에 의해 제조된 반응수는 수질안정화 약품인 액상소석회(Ca(OH)₂, liquid lime)의 주입으로 부식성이 개선되어 철 용출이 억제되는 효과가 확인되었다. 강관과 동관을 절단하여 제작한 시편의 부식도 측정을 통해 각각 35.4, 44.5%의 부식제어 효과가 있음을 확인하였고 수질안정화 약품이 주입된 Sample관이 더 두터운 부식 생성물 층을 갖고 있는 것으로 밝혀졌으며, 결과적으로 수질안정화 약품을 투입한 배관이 부식 방지 측면에서 안정한 수질을 갖고 있음을 알 수 있었다.

Abstract Recently, demands for generating high quality tap waters are increasing with high concern of water pollution and corrosion of water pipelines. For the reasons, developing water quality stabilization technique in water purification system is sought rather than replacing to a new pipelines.

In this study, high-purity liquid lime(Ca(OH)₂) was introduced for a water quality stabilization technique in water purification process and simulated water distribution system of pilot-scale size was applied to evaluate anti-corrosion control effect. The effect of anti-corrosion control was calculated in terms of LSI(Langelier Saturation Index)

In conclusion, the result of pilot plant showed improvement of corrosiveness by liquid lime(Ca(OH)₂) with reduction of released iron(Fe). Application of anti-corrosion control technique to the mild steel coupon and the copper coupon were effective by indicating 35.4, 44.5% of improvements. Besides, sample pipes which were treated with liquid lime had formed more thicker layer of corrosion product inside of pipes.

As a result, the process of injecting water stabilizer can greatly contribute to the high quality of tap water.

Key Words : Liquid Lime, Water Stabilization, LSI(Langelier Saturation Index), Corrosion Control

1. 서론

상수도의 배급수관은 정수처리 후 가정 수요자에게 처

리된 수도물의 공급을 위해 양적으로나 질적으로 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 21세기에 들어서면서 국가 경제의 급속한 성장과 함께 생활의 변화를 가져와 일반

본 연구는 상명대학교 교내연구비와 환경부 차세대핵심환경기술지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

*교신저자 : 황병기(bh4a@smu.ac.kr)

접수일 10년 12월 03일

수정일 (1차 10년 12월 28일, 2차 11년 01월 05일)

게재확정일 11년 01월 13일

가정의 수도물 사용패턴도 깨끗하고, 맛있는 고품질의 수도물을 요구하고 있다[1-3]. 수도물에 대한 소비자의 요구 형태가 이렇게 변화함에 따라 수도물 수질악화의 원인 및 제어에 대한 관심도 높아지게 되었다. 수도물을 소비자에게 연결시켜주는 배급수관의 내부 부식에 의한 녹물출수로 인한 수도물 수질의 저하는 소비자들의 수도물 불신 원인 중 가장 커다란 원인이 되고 있다. 상수도관의 내부부식은 녹물출수 뿐만 아니라, 탁수 그리고 맛·냄새의 발생 등 심미적인 수도물 음용 거부의 원인이 되기도 하며, 더욱이 철, 망간, 구리, 납 등 인체에 유해한 중금속의 용출 문제가 발생할 수 있다[4,5].

정부에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 16년 이상된 노후관 교체사업으로 1997년부터 2011년까지 약 3조 8천억원의 예산을 투자할 계획을 수립하여 시행하고 있다. 그러나 상수도관 부식문제는 근본적인 부식제어 수단을 강구하지 않고 관교체 사업만을 추진하게 되면 또 다시 주기적으로 수도물의 수질악화와 배급수시설의 수명단축을 초래하므로 노후관의 교체사업만이 주요대안이 될 수는 없다[6,7].

상수도관의 내부 부식방지 대책은 정수장에서의 고도정수처리 및 막여과(membrane)공정 도입과 함께 국민들에게 맛있고 안심하게 마실 수 있는 수도물 공급을 위한 주요한 대책임을 강조하지 않을 수 없다. 그러나 아쉽게도 현재 대부분의 국내 정수장의 경우 정수장 차원에서의 상수도관 내부 부식문제에 대한 구체적인 해결 방안은 전무한 실정이다[8-10].

본 연구에서는 상수도관 내부 부식문제를 제어하는 방안으로 고순도의 액상 석회제품[Ca(OH)₂, 소석회]를 이용하여 수질안정화 약품 주입에 따른 방식효율을 평가하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구는 석회제품의 수질안정화 효율 및 부식제어효율을 평가하기 위해서 Pilot 규모의 모의 배·급수관망 실험 장치를 사용하였다. 모의 배급수관망을 통한 실험은 안정화조(제 2 반응조)를 설치하고 그리고, 이산화탄소와 소석회를 주입하기 위한 주입장치 및 pH control box를 구성하였다. Pilot Plant 내에 설치된 배관은 20A의 탄소강관(흑강관)과 동관을 사용하였으며, 각각의 관중에 대하여 Blank(수돗물) 및 반응수에 대한 평가를 위하여 2개 모의 배급수관망 2set로 구성하였다. 수도물과 반응수에

대한 부식성을 평가하기 위하여 모의 배급수관망에 37mm × 12mm × 1.2mm의 시편(coupon)을 3개씩 설치하였으며, 모의 배급수관망 끝단에 동일 배관의 시편관 9개를 설치하였다. 관망에서 유속은 0.2m/s이었으며 관의 길이는 총 45m이었다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 수질안정화 약품의 효율을 평가하기 위하여 pH 연동에 의한 비연속식 Pilot Plant 방법으로 실험을 하였다.

pH와 수온은 현장에서 pH meter(Orion 5-Star Multi-meter, USA)와 온도계(Orion 5-Star Multi-meter, USA)를 이용하여 측정하였고, 총경도, 칼슘경도, 알칼리도는 표준시험법에 준하여 분석하였다. 전기전도도(conductivity)는 EC meter(Orion 5-Star Multi-meter, USA)를 이용하여 측정하였다.

철(Fe), 구리(Cu), 납(Pb)농도는 유도결합 플라즈마 원자 방출 분광기(LABTAM 8400, Australia)를 이용하여 분석하였으며, 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 칼륨(K), 나트륨(Na), 질산성질소(NO₃), 염소이온(Cl⁻), 황산이온(SO₄²⁻)은 이온크로마토그래피(DX-500 4000i, USA)로 분석하였다.

부식도 측정은 시편의 표면에 부착된 부식생성물 및 스케일을 제거하여 건조한 후 무게감량을 측정하여 계산하였다. 부식도는 다음 식 (1)에 의해 산출하였다[11].

$$\text{부식도[MDD, mg(dm}^2 \cdot \text{day)}] =$$

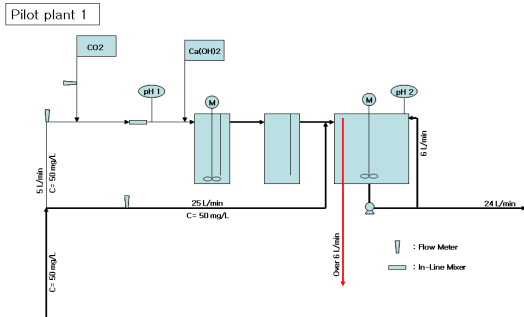
$$\frac{[\text{실험전 시편의 무게(mg)} - \text{실험후 시편의 무게(mg)}] \times 1000}{$$

$$[\text{시편의 표면적(dm}^2) \times \text{실험일수(day)}] \quad (1)$$

부식도 실험을 위한 시편의 전처리에는 초음파세척기에서 5분 동안 아세톤을 사용하여 세척하고, 80℃ 오븐에서 30분간 건조한 후 데시케이터에 넣어 보관하였다. 시편의 후처리는 시편의 표면에 부착된 부식생성물의 제거를 위해 ASTM G1에 제시된 방법으로 세정액을 제조하여 세정한 후 아세톤으로 5분간 초음파 세척하여 80℃ 오븐에서 30분간 건조시켜 사용하였다.

한편 수도물과 접촉하여 부식된 관 내부 표면에 대한 관찰은 각각의 실험군당 9개의 시편 관을 채취하여 실시하였으며, 이에 대하여 SEM(주사전자현미경 ; scanning electrode microscopy)으로 표면을 분석하여 각 조건에 따른 부식의 진행정도를 비교하였다. 또한 XRD(X선 회절

분석기 ; X-ray Diffractometer)를 이용하여 부식생성물 (corrosion product)를 분석하였다.



[그림 1] Pilot 플랜트 모식도

본 연구기간 동안 Pilot Plant는 옥내급수관의 배관재질인 아연도강관의 아연도금층이 모두 탈리된 것을 가정한 탄소강관과 동관으로 배관을 부착하였으므로, 옥내급수관의 흐름상태를 고려하여 1일 6회 통수 조건으로 운전되었다. 통수시간은 1회 통수 시간이 20분으로, 총 1일 120분이었으며, 06시 30분에서 50분, 07시 30분에서 50분까지 오전시간에 2회 운전되었으며, 11시 30분에서 50분, 12시 30분에서 50분까지 점심시간에 2회 운전되었고, 18시 30분에서 50분, 19시 30분에서 50분까지 저녁시간에 2회 운전되었다. 시료의 채취는 매일 오전 11시에 채취하였으며, pH, 수온, 전기전도도, 경도 등은 현장에서 바로 측정하였으며, 이온 및 중금속 분석용 시료는 4℃ 냉장보관 후 분석하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 수질 특성 평가

본 연구에 사용된 Pilot Plant의 운전기간동안 유입수의 수질은 표 1과 같다. 유입수의 수질은 평균 pH 7.1, 칼슘경도 47.9mg/L(as CaCO₃, 칼슘농도 19.2 mg/L), 총 경도 76.5mg/L(as CaCO₃), 총 알칼리도 40.3 mg/L(as CaCO₃), 전기전도도 146.7μS/cm이었다.

유입수에 액상소석회와 탄산가스를 주입하여 제조된 반응수의 특성은 표 2에 제시하였다. Pilot Plant에 의하여 소석회와 탄산가스로 안정화된 반응수의 수질은 평균 pH 7.8, 칼슘경도 60.8mg/L(as CaCO₃, 칼슘농도 24.2 mg/L), 총 경도 88.1mg/L(as CaCO₃), 총 알칼리도 52.0 mg/L(as CaCO₃), 전기전도도 155.1μS/cm이었으며, LSI값은 -0.5로 나타났다.

유입수에 비하여 Pilot Plant에 의하여 제조된 반응수는 평균 pH 0.7, 총경도 11.6 mg/L(as CaCO₃), 칼슘경도 12.8mg/L(as CaCO₃), 총 알칼리도 11.8mg/L(as CaCO₃)가 증가되어 부식성 수질이 개선되는 것으로 나타났다.

[표 1] 수돗물의 특성

Items	Tap water		
	Ave.	Max.	Min.
pH	7.1	7.3	6.9
Temperature(°C)	16.9	25.1	12.1
Conductivity(μS/cm)	146.7	243.0	91.2
TDS(mg/L)	70.6	115.0	43.0
Total Hardness (mg/L as CaCO ₃)	76.5	90.0	64.0
Calcium Hardness (mg/L as CaCO ₃)	47.9	55.0	38.0
Total Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	40.3	50.8	32.0
Calcium	19.2	22.0	15.2
Magnesium	6.9	9.7	2.9
LSI	-1.4	-1.0	-1.7

[표 2] 제어된 수돗물의 특성

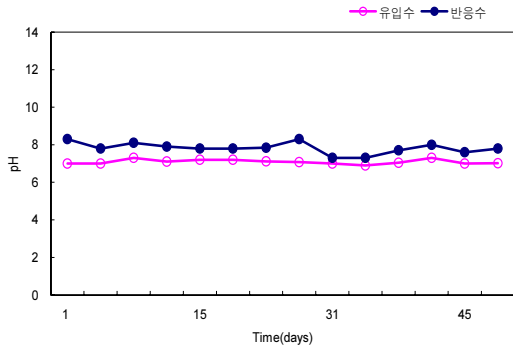
Items	Control water		
	Ave.	Max.	Min.
pH	7.8	8.3	7.3
Temperature(°C)	17.6	25.5	12.3
Conductivity(μS/cm)	155.1	239.0	93.6
TDS(mg/L)	73.6	113.0	44.0
Total Hardness (mg/L as CaCO ₃)	88.1	102.0	68.2
Calcium Hardness (mg/L as CaCO ₃)	60.8	76.0	46.0
Total Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	52.0	72.3	38.0
Calcium	24.2	30.5	18.4
Magnesium	6.6	9.7	2.3
LSI	-0.5	0.1	-1.2

3.1.1 pH

액상소석회 주입 유무에 따른 pH 변화는 그림 2와 같다.

본 연구에서 Pilot Plant의 운전기간 반응수의 pH 변화

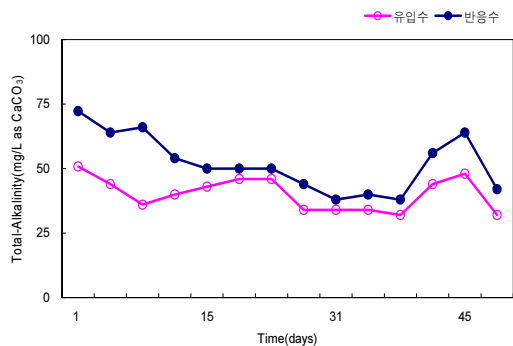
는 pH 7.3~8.3으로 평균 pH 7.8로 유입수의 평균 pH 7.1(pH 6.9~7.3)보다 pH값이 0.7 증가되는 것으로 나타났다.



[그림 2] Pilot plant에서의 pH 변화

3.1.2 알칼리도

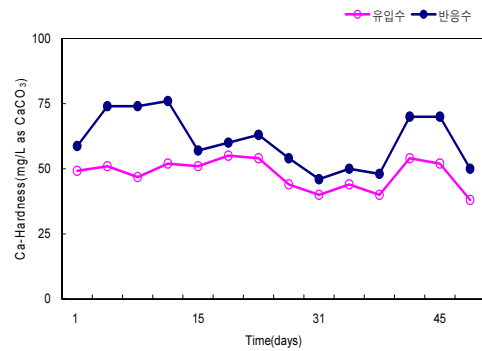
그림 3은 Pilot Plant의 운전기간동안 알칼리도 변화를 나타낸 것으로서, 유입수의 알칼리도는 32.0~50.8mg/L(as CaCO₃)까지 변화가 있었으며, Pilot Plant에 의하여 소석회화 주입된 반응수의 알칼리도는 32.0~72.8mg/L(as CaCO₃)로 나타나 유입수에 비하여 반응수의 알칼리도는 평균 11.8mg/L(as CaCO₃)가 증가되었다.



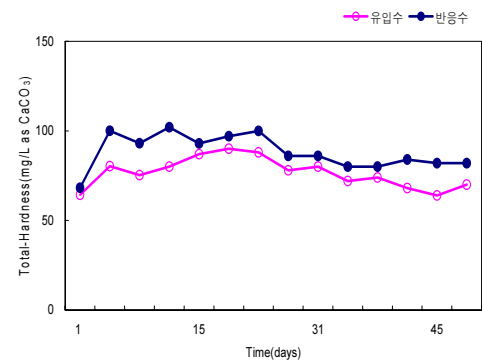
[그림 3] Pilot plant에서 알칼리도의 변화

3.1.3 경도

그림 4, 5는 Pilot Plant의 운전기간동안 칼슘경도와 총경도 변화를 나타낸 것이다. 액상소석회가 주입되지 않은 유입수에 비하여 액상소석회가 주입된 반응수의 칼슘경도 및 총경도가 평균 12.8, 11.8mg/L(as CaCO₃)가 증가 되는 것으로 나타났다.



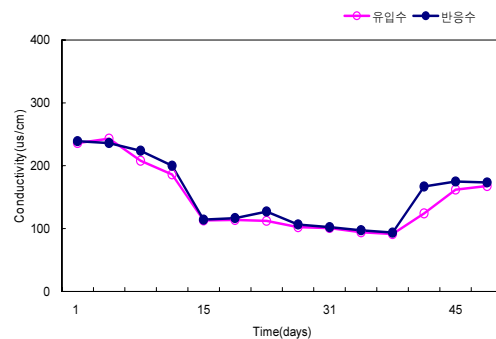
[그림 4] Pilot plant에서 칼슘 경도의 변화



[그림 5] Pilot plant에서 경도의 변화

3.1.4 전기전도도

그림 6은 Pilot Plant의 운전기간 동안 전기전도도 변화를 나타낸 것이다. 소석회를 주입하지 않은 유입수의 전기전도도와 액상소석회를 주입한 반응수의 전기전도도 차이는 반응수에서 약간 높았으나, 그 차이는 크지 않았다. 따라서 Pilot Plant를 이용한 액상소석회 주입에 따른 전기전도도의 영향은 미미한 것으로 판단된다.



[그림 6] Pilot plant에서 전기전도도 변화

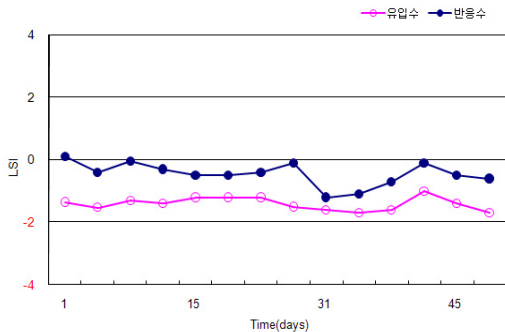
3.2 부식성 지수 평가

Pilot Plant 운전기간 동안 유입수 및 반응수의 부식성 지수(Langlier Saturation Index, LSI) 값은 표 3 및 그림 7과 같다.

그림 7은 Pilot Plant의 운전기간동안 유입수와 반응수의 LSI값을 나타낸 것으로 실험기간동안 유입수의 LSI값은 평균-1.4이었으며, 유입수에 비하여 Pilot Plant에 의하여 제조된 반응수는 평균적으로 pH 0.7, 총경도 11.6 mg/L(as CaCO₃), 칼슘경도 12.8mg/L(as CaCO₃), 총 알칼리도 11.8mg/L(as CaCO₃)가 증가되어 LSI값은 평균 -0.5로 나타났다.

[표 3] Langlier 포화지수 (LSI)

	Pilot Plant 1	
	유입수	반응수
평균	-1.4	-0.5
최대	-1.0	0.1
최소	-1.7	-1.2



[그림 7] Langlier 지수 변화

3.3 시편의 철과 동 의 용출농도 및 부식도

3.3.1 시편의 철과 동 의 용출농도

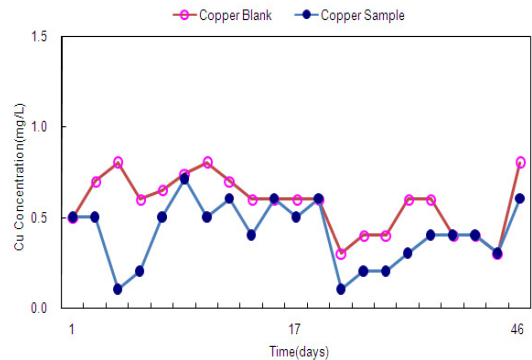
본 연구에서는 유입수인 수도물이 바로 통수한 곳을 Blank라 하였으며, Pilot Plant에 의하여 이산화탄소와 소석회로 안정화된 반응수가 통수한 곳을 Sample이라 표기하였다(표 4). Pilot Plant의 운전기간동안 강관의 Blank관과 Sample관에서의 평균 철 용출농도는 각각 17.2, 10.9mg/L로 액상소석회를 주입한 반응수가 수도물에 비하여 33.8%의 철 용출 억제효과를 가지는 것으로 나타났으며, 동관에서 구리의 용출 농도는 Blank관과 Sample관에서 각각 0.6, 0.4mg/L로 나타나 동관에 대해서도 반응수가 수도물에 비하여 구리 용출 억제효과를 가지나 그

효과가 강관에 다소 낮은 것으로 나타났다.

[표 4] Pilot plant에서 관종별 수질

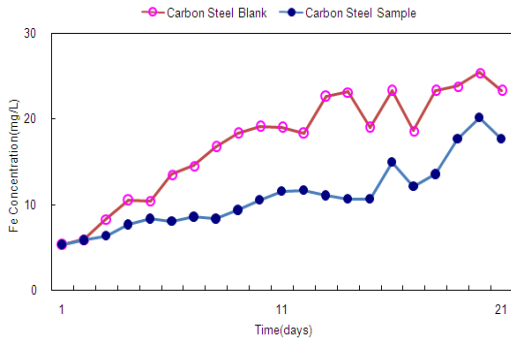
Items		Ave.	Max.	Min.
강관 (BLANK)	pH	7.0	7.5	6.1
	Temperature(°C)	21.7	25.4	17.2
	Conductivity(μS/cm)	178.4	235.0	89.8
	TDS(mg/L)	87.4	112.0	42.0
	Fe(mg/L)	17.2	25.4	5.3
강관 (SAMPLE)	pH	7.5	8.4	6.9
	Temperature(°C)	21.2	24.6	16.4
	Conductivity(μS/cm)	204.6	340.0	94.4
	TDS(mg/L)	97.7	162.0	45.0
	Fe(mg/L)	10.9	20.1	5.3
	Fe_Efficiency(%)	33.8	54.1	0.0
동관 (BLANK)	pH	7.2	7.6	6.3
	Temperature(°C)	21.3	24.6	16.7
	Conductivity(μS/cm)	160.7	235.0	86.4
	TDS(mg/L)	76.4	112.0	41.0
	Cu(mg/L)	0.6	1.6	0.3
동관 (SAMPLE)	pH	7.6	8.1	7.0
	Temperature(°C)	20.3	23.6	115.8
	Conductivity(μS/cm)	18.5	353.0	90.0
	TDS(mg/L)	87.8	168.0	43.0
	Cu(mg/L)	0.4	0.7	0.1
Cu_Efficiency(%)	30.1	87.5	0.0	

그림 8은 Pilot Plant에 의하여 소석회와 탄산가스로 안정화된 반응수가 강관에서 철 용출 억제 효과를 제시한 것이다. 철 용출 농도는 Pilot Plant 운전초기에는 Blank관과 Sample관에서 유사하게 용출되었으나, 시간이 경과할수록 Sample관에서 철 용출이 억제되는 효과가 증가되어 Blank관과 Sample관 사이의 용출 농도 차이는 시간이 지남에 따라 증가하는 것으로 나타났다[12].



[그림 8] 탄소강관에서 용출되는 Fe 변화

그림 9는 Pilot Plant 운전기간 동안 동관에서 Blank와 Sample에서의 구리 용출 농도를 나타낸 것이다. 동관에서는 소석회와 탄산가스로 안정화된 반응수가 통수된 Sample관에서의 구리 용출농도와 Blank관에서 용출된 구리 용출농도의 차이가 점차 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 9] 구리관에서 용출되는 Cu 변화

4. 결론

본 연구에서는 수질안정화 약품의 효율을 평가하기 위하여 Pilot Plant 실험을 하였다.

유입수에 비하여 Pilot Plant에 의하여 제조된 반응수는 pH 1.2, 칼슘경도 12.9mg/L(as CaCO₃), 총 알칼리도 11.7mg/L(as CaCO₃)가 증가되었다. 물의 부식성을 나타내는 LSI값은 유입수인 수도물은 음(-)값을 가져 부식성을 가지는 것으로 조사되었으며, Pilot Plant에 의하여 제조된 반응수에서는 양(+값)으로 부식성이 개선되는 효과가 있었다. 철 용출 농도는 Pilot Plant 운전초기에는 Blank관과 Sample관에서 유사하게 용출되었으나, 시간이 경과할수록 Sample관에서 철 용출이 억제되는 효과가 증가되어 Blank관과 Sample관 사이의 용출 농도 차이는 시간이 지남에 따라 커지는 것으로 나타났다.

모의 배급수관과 같은 관종을 절단하여 설치한 시편의 무게감량에 의한 부식도는 강관 Blank 96.4MDD, Sample 63.9MDD로 35.4%의 부식 제어효과가 있었다. 동관 시편에서의 부식도는 Blank 26.5MDD, Sample 14.7MDD로 44.5%의 부식제어 효과가 있었다.

따라서 소석회를 투입한 배관이 부식 방지 측면에서 좀 더 안정한 수질을 갖고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 우달식, 문정기, 구성은, 최종현, 김주환, 문광순, “배급수 시스템에서 부식방지제의 적용평가 연구”, 상하수도학회지, 17(5), pp. 665~674, 2003.
- [2] 윤제용, 정현미, “수도물 2차 오염실태 및 오염저감 방안 강구”, 2003 대한 상하수도학회-물환경학회 공동 포럼, I-61~87, 2003.
- [3] 박노석, 주대성, 박희경, “배급수 관망내에서 상수 오염에 관한 연구(II)”, 대한환경공학회지, 20(8), pp. 1103~1109, 1998.
- [4] E. A. Vik, R. A. Ryder, I. Wagner, and J.F. Ferguson., “Internal Corrosion of Water Distribution Systems”, M.K. Kozyra, 2nd, ed. 389, AWWARF, Denver, 1996.
- [5] A. Eilen., “Internal Corrosion of Water Distribution Systems”, AWWARF Cooperative Research Report, pp. 389~394, 1996.
- [6] 곽필재, 이현동, 남상호, “상수도관로의 부식방지를 위한 수도물의 침식성 평가”, 상하수도학회지, 11(1), pp. 53~63, 1997.
- [7] 박노석, 주대성, 박희경, “배급수 관망내에서 상수 오염에 관한 연구(I)”, 대한환경공학회지, 20(8), pp. 1095~1101, 1998.
- [8] 이현동, 정원식, 안운주, “국내 중소도시 상수도관의 파손특성 및 영향인자 분석에 관한 연구”, 상하수도학회지, 16(4), pp. 383~388, 2002.
- [9] (재)한국계면공학연구소, “상수도 배급수시설 부식방지를 위한 방청제의 개발 및 최적이용모델 개발”, 환경부 차세대핵심환경기술개발 최종보고서, 2003.
- [10] American Water Works Association Research Foundation, “Internal Corrosion of Water Distribution Systems(second edition)”, pp.30~36, 1996.
- [11] 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근, “부식과 방식의 원리” 동화기술, 1999.
- [12] AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser "Internal Corrosion of Water Distribution System", AWWA Research Foundation and DVGW-Technologiezentrum Wasser, Denver, 2001.

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>

상수도(관부식모델링), 부식제어

우 달 식(Dal-Sik Woo)

[정회원]



- 1998년 2월 : 건국대학교 환경공학과 (박사)
- 1998년 3월 ~ 2010년 12월 : (재)한국계면공학연구소 물환경연구실 실장
- 2011년 1월 ~ 현재 : (재)한국계면공학연구소 대표

<관심분야>

해수담수, Membrane, 고도처리, 부식