[Research Paper]

스프링클러 설비의 동배관 부식 개선에 관한 연구

문철환 · 최유정* · 최재욱**†

부경대학교 소방공학과 대학원생, *부경대학교 소방공학과 연구원, **부경대학교 소방공학과 교수

Reduced Copper Piping Corrosion in Sprinkler Facilities

Chul-Hwan Mun · Yu-Jung Choi* · Jae-Wook Choi**†

Graduate Student, Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.,

*Researcher, Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.,

**Professor, Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ.

(Received February 17, 2021; Revised March 25, 2021; Accepted April 1, 2021)

요 약

소방용 수계시스템에 적용되고 있는 동(Copper)배관은 철(Steel)에 비해서 상대적으로 내식성이 우수한 제품으로 2010년도를 전후로 공동주택에 많이 적용하였으나, 공식(Pitting)에 따른 배관 누수로 인해 소방의 성능이 확보되지 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 배관을 다른 재질(STS, C-PVC 등)로 교체 할 경우 관계자들의 경제적 손실과 입주자들의 불편함이 확대될 수밖에 없는 실정이다. 2018년 E지역에서 27건의 누수가 발생하였으나 부식 억제제를 투입한 결과 1건으로 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 2020년 10월부터 2개월 동안 전국 5개 지역 2,000여 세대에 대하여 2차 배관 부식 개선 연구를 통해 A 지역 5개 동의 정제된 소화수(수돗물)에서 pH 8.34~9.08, ORP -94.9~-135.8 mV, EC 0.097~0.137 ms/cm의 범위 값이 도출되어 개선이 필요함을 확인하였다. 부식억제제를 투입한 결과 pH 11.13~11.26, ORP -257~-265.5 mV, EC 4.189~5.769 ms/cm로 나타났다. 수용성규산염은 양극부분의 금속배관 표면에 흡착되어 얇은 단분자막을 형성하여, pH를 증가시켜 알칼리화를 유도하고 ORP를 낮추어 환원성을 높임으로써 부식방지에 효과가 있는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Copper pipes used in fire sprinkler systems are somewhat superior to steel pipes in terms of corrosion resistance. They have been widely used in apartments since 2010, but their firefighting performance has not been firmly established due to leakage caused by pitting. In order to solve this problem, copper pipes need to be replaced by pipes made of other materials such as STS or C-PVC, which, however, would impose an economic burden on the party responsible for maintenance, as well as economic loss to other relevant parties and inconvenience to residents. Although 27 leakages occurred in the E region in 2018, it was found that the number of incidents was reduced to just one case after an application of corrosion inhibitor. Therefore, for 2 months beginning in October 2020, a second project to reduce piping corrosion was conducted with 2,000 households in five regions nationwide. During this period, the standing fire water of five apartment buildings in the A region was measured as having a pH 8.34~9.08, an ORP -94.9~-135.8 mV, and an EC 0.097~0.137 ms/cm, which indicated a need for improvement. Subsequently, a corrosion inhibitor was poured into the fire water, resulting in improved values of pH 11.13~11.26, ORP -257~-265.5 mV, and EC 4.189~5.769 ms/cm, which demonstrated the effect of preventing pipe corrosion. It was evident that water-soluble silicate was adsorbed on the metal pipe of the anode to form a thin monolayer, which induced basicity by increasing the pH and by decreasing the ORP, which eventually minimized corrosion.

Keywords : Copper piping, Plumbing leak, Fire water (tap water), Fire water (corrosion inhibitor), Sodium silicate

1. 서 론

스프링클러 설비의 종류는 습식, 건식, 준비작동식, 일제

살수시설비로 구분되며, 소방배관에는 강관, C-PVC관, 동관, STS관 등 있으며, 국내에서는 2010년을 전후로 공동주택 내부에 동 배관을 많이 적용하였으나, 배관에서 공식에

† Corresponding Author, TEL: +82-51-629-6470, FAX: +82-51-629-7078, E-Mail: jwchoi@pknu.ac.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

Figure 1. Pourbaix equilibrium diagram of copper water.

다른 배관 누수로 인하여 소방시스템의 신뢰성이 확보되지 못하고 있다. 또한 하자 원인 및 하자 책임의 주체가 불분명하여 분쟁이 확대되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 기존 배관을 철거하고 신규배관(STS, C-PVC 등)으로 개선실험을 진행하여야하나, 입주자의 불편함과 보수 관계자의 경제적 부담도 확대될 수밖에 없는 실정이므로 비교적 경제적 부담이 적은 부식억제제 첨가에 대해 긍정적으로 생각해볼 필요가 있다.

동은 철에 비해서 상대적으로 내식성이 우수한 제품이나, 슬러지(Sludge)와 접촉 시 산소 농담 전지, 이중 금속 부식 전지 등의 양극반응에 따라 전지부식이 발생할 수 있는 단점이 있다. 또한 동관 내부에 채워진 수돗물(소화수)에 고체 성분의 이물질이 존재할 때 국부적으로 전지부식이 발생하여 공식으로 진행될 수 있다.

Figure 1은 pH와 전위에 따른 금속의 부식에 대한 안정한 상태를 나타낸 것으로서 Pourbaix diagram을 통해 확인할 수 있다⁽¹⁾. 점선(a) 아래 영역에서는 수소 환원반응으로 모든 pH에서 Cu가 열역학적으로 안정한 불활성영역이며, 점선(b) 아래 영역으로서 pH가 7이하, 12이상인 영역에서는 부식이 발생하는 부식 영역에 해당한다. 또한 pH가 7~12 사이에서는 산화물이 금속 표면에 Cu_2O 또는 CuO 의 보호 피막을 생성함으로써 부식속도가 현저히 느려지는 부동태 영역에 해당한다.

용존산소가 존재하지 않는 물에서의 동 배관은 열역학적으로 안정되어 부식이 발생하지 않으나, 대부분의 수돗물(소화수)은 3~5 ppm 가량의 산소를 함유하고 있어 동관이 부식될 수 있는 조건이 충족됨을 알 수 있다⁽²⁾.

따라서 본 연구에서는 동배관의 부식에 대하여 부식 영역을 부동태영역으로 개선하기 위해 2회에 걸쳐 실험을 실시하였다. 2018년 7월부터 2개월 동안 OO시 OO마을 915세대 중 1개동(106세대)에 대하여 기존의 소화수를 배출하고

Table 1. A~E Area Piping Corrosion Improvement Work Status [2nd]

Division	By region				
	A	B	C	D	E
Number of households (total households)	11 (826)	8 (678)	9 (1117)	11 (870)	10 (915)
Number of households for improvement work	5 (392)	4 (358)	5 (492)	5 (314)	5 (400)
Improvement period	2020. 10~2020. 11 (2 months)				
Corrosion inhibitor	Silicate corrosion inhibitor (Na_2OSiO_2)				

규산염계 부식억제제(Na_2OSiO_2)를 첨가한 소화수를 재 충수하는 1차 개선 실험을 통해 pH의 증가 및 ORP의 감소 현상을 확인할 수 있었다. 또한 Table 1에서는 2020년 10월부터 11월까지 전국 5개 지역(A~E) 1,956세대로 실험을 확대하여 부식억제제를 첨가한 소화수를 재 충수하는 2차 배관 부식 개선 실험을 진행하였다. pH의 증가는 부식을 최소화하는데 도움이 된다.

2. 본 론

2.1 스프링클러 동배관 부식 발생 메커니즘

금속에서 부식(Corrosion)은 주위 환경과 반응해서 소모, 변형되는 현상으로 전자(Electron)를 잃고 금속이온으로 떨어져 나가는 금속의 산화반응 현상으로서 물과의 접촉에 따라 습식과 건식으로 구분된다. 또한 부식의 종류에는 금속표면 전체가 동일한 속도로 부식이 진행되는 전면부식과 일부에서 발생하는 국부부식으로 나눌 수 있다.

습식은 수분이 부식전지에서 회로 역할을 하는 전기화학적 반응으로써 부식이 진행되며, 두 금속 간 또는 금속표면의 두 점 사이에 전위차가 존재할 때 상대적으로 전위가 낮은 양극부에서 산화반응에 의한 금속의 이온화가 발생한다. 또한 전위가 높은 음극에서는 양극부에서의 이온화 반응으로 발생하는 전자를 받아서 환원반응이 일어난다. 금속의 이온화 경향에서 화학적으로 활성인 금속들은 원자가 전자를 잃고 양이온이 되기 쉬워져서 부식이 잘 일어나는 금속에 해당되며, 불활성 금속은 이온화가 어렵기 때문에 부식이 잘 진행되지 않는 내식성 금속에 해당한다⁽³⁾.

동배관의 부식원인으로는 크게 네 가지를 언급할 수 있다.

첫째, 동배관 시공단계에서 용접작업 후 수압시험을 진행하는 과정 또는 정해진 소화수에서 물이 배관 내에 완전히 채워지지 않고 공기층에 형성되면서 수면에 접하는 부위에서 산소농담전지가 형성되어 CuO 의 보호피막 일부가 탈락되면서 전위가 낮아지고 나머지 표면에서는 전위가 높

아저 전위차에 의한 소양극-대음극 전위가 형성되면서 집중적으로 부식이 발생한다.

둘째, 동배관 제조과정에서 원활한 인발을 위해 윤활유를 사용하고 있으며 윤활유의 산화에 따른 CuO의 보호피막 위에 탄소막이 형성되면서 탄소막의 일부가 전지를 구성하여 보호피막을 손상시키면서 소양극-대음극 전위가 발생하면서 부식이 진행된다.

셋째, 물속에는 불순물 등의 슬러지가 존재하며 이러한 슬러지가 배관 벽에 축적될 경우 배관과 용존산소의 접촉면적이 넓은 슬러지와 좁은 슬러지로 구분되며, 용존산소와의 접촉이 적은 슬러지에서 산소 농담 전지가 형성되고 CuO 보호피막의 일부가 손상되면서 소양극-대음극의 전위에 따른 국부부식으로 진행된다.

넷째, 동배관 용접 시 금속표면에 산화막이 생성되는 것을 방지하기 위해 Flux를 많이 사용하고 있다. Flux는 염소를 다량 함유하고 있으며 배관 내부로 유입되어 배관 표면에 체류하면서 부식을 가속화 시키는 것으로 알려져 있다.

동의 부식 거동에서 pH 7~12사이(중성 및 알칼리 영역)에서 식 (1)과 같이 Cu⁺가 생성되며, 이때 생성된 Cu⁺ 이온은 식 (2)와 같이 Cu₂O의 석출을 유도하게 된다.

이렇게 생성된 Cu₂O는 더욱 산화 될 경우 식 (3)과 같이 Cu²⁺ 이온으로 진행되며 알칼리의 pH 범위에서 식 (4)와 같이 CuO가 형성된다.

이와 같이 동배관 표면에서 생성된 Cu₂O 및 CuO가 부동태 피막을 형성하고 동배관의 부식 진행을 최소화 한다⁽⁴⁾.

또한 Alfantazi⁽⁵⁾ 등에 따르면 스테인리스는 pH 3~14까지는 안정적인 부동태 피막을 유지하지만 구리의 경우 pH 7~14까지는 부동태의 성질을 보이나, 중성 수돗물에서 구리는 수용액 내부 화학조성이 불균일한 조건이 되면 부식 가능성이 높아진다는 결론을 내렸다.

규산염계 부식억제제인 규산나트륨(Na₂OSiO₂)은 모래의 주성분으로 구성되어 있으며, SiO₂와 알칼리계 탄산염(Na₂CO₃, K₂CO₃)을 1,000~1,200 °C에서 열 융합하면 가용성 규산염이 제조된다. 규산나트륨 부식억제제의 방식원리는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 음극성의 단량체인 SiO₃²⁻가 동 표면의 양극부(Anode)에서 산화반응으로 생성되는 Cu²⁺와 반응하여 동의 표면에 CuO · Si(OH)₃⁺의 단분자막(Film)이 형성되고 단분자막 상부에 저항성 피막인 실리카(SiO₃²⁻) film이 형성되면서 양극부의 산화반응을 차단하여 부식방지에 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

2.2 스프링클러 동배관 공식 원인조사

Figure 2는 2차 동배관 부식개선실험 진행 전, 후 보수업체에서 누수배관을 수거한 것이며, Table 2는 배관에서 발생하는 동배관 공식의 유형에 따른 공식 전파 및 발생 조건을 나타내었다. 스프링클러 소화설비는 Type I 과 Flux induced corrosion 두 유형에 해당된다⁽²⁾. Type I 은 40 °C 이

Figure 2. Water leak piping collection according to copper piping formula.

Table 2. Official Occurrence of Copper Piping and Official Propagation Conditions⁽⁶⁾

Type of pitting	Initiation condition of pitting	Propagation condition of pitting
Type I corrosion	Presence of harmful film (usually carbon film) in the tube and cold water less than 40 °C	Unfavorable combination of six inorganic parameters such as dissolved oxygen, sulphate, chloride, nitrate, sodium and pH
Type II corrosion	Hot soft water with low pH	Unfavorable bicarbonate/sulfate ratio (HCO ₃ ⁻ /SO ₄ ²⁻)
Type III corrosion	Stagnation early in pipe's life; pH>8; aluminium sulfate coagulation	Soft water with pH above 8
Rosette corrosion	Copper hot-water cylinder with aluminium protector rod	Unfavorable of inorganic anions
Microbiologically induced corrosion	Development of a biological film in the pipe	Soft water with high level of assimilable organic carbon
Erosion	High velocity of water	Soft water
Flux induced corrosion	Presence of a flux run

Figure 3. Systematic diagram of the fire extinguishing system for the improvement of piping corrosion.

Table 3. Progress of the 1st and 2nd Piping Corrosion Improvement Work

Division	Primary (2018 year)	Secondary (2020 year)
Total number of households	915	4,406
Number of households for improvement work	106 [Area A]	1,956 [Area A~E]
Extinguishing water (Tap water) discharge method	Alarm valve secondary drain valve	Drain valve at the bottom of the upright pipe
Method of filling fire water (Corrosion inhibitor)	Pressure gauge filler on the secondary side of the alarm valve	*Drain valve at the bottom of the upright pipe *Sprinkler facility water outlet *Indoor fire hydrant waterproofing
Corrosion inhibitor	Silicate corrosion inhibitor (Na_2OSiO_2)	

하의 물에서 탄소막이 있는 경우에 적용되고, Flux induced corrosion는 동관의 용접 작업 시 표면의 산화를 방지하기 위한 용도로 사용되는 Flux의 잔유물이 있을 경우에 해당된다.

선행연구인 Lee 등⁽²⁾에 따르면 동관 제조회사에서 동관 압출 시 사용하는 윤활유가 완전히 제거되지 않은 상태에서 오일 성분이 산화되면서 탄소막을 형성하여 동배관의 공식이 발생하고, 동 배관 용접 작업 시 발생하는 잔류 플럭스에 의해 부식이 발생할 수 있는 공식 발생 조건 중 Flux induced corrosion 유형에 대해 분석하여 방지대책을 제시하였다.

또한 Choi⁽⁷⁾는 공식 전과 조건 중 Type I에 해당하는 주사현미경(SEM), 에너지 분산분광법(EDS)를 통하여 동관의 시편 표면을 분석하였으며, Suh 등⁽⁸⁾은 광학현미경, 주사전자현미경(SEM-EDX)을 이용하여 공식부위 및 배관 내부의 탄소막을 미세관찰 하여 성분을 분석하였다. 이는 동관의 공식부식 원인 중 Flux induced corrosion과 Type I의 공식의 원인으로 판단하였다.

선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 소화수에서 채집된 건조용 슬러지를 주사현미경(SEM-EDS)을 통해 성분 분석을 하고자 하였으며, pH와, ORP, EC를 통하여 부식억제제 첨

가 유무에 따른 부식억제 효과를 파악하고자 하였다. 따라서 공식 전과 조건 중 Type I에 가능성이 높다고 판단된다.

2.3 스프링클러 배관 소화수 퇴수 및 부식억제제 충수 방법

Figure 3은 2018년~2020년도에 동배관 부식 개선 실험을 진행하기 위한 스프링클러 배관 계통도를 나타내었다. 구성요소로는 배관(입상배관·교차배관·가지배관), 스프링클러 설비 송수구, 소화수 저장탱크(부식억제제 첨가), 스프링클러 헤드, 알람 밸브, 알람 밸브 2차측 압력계이지 주입구, 입상관 최하단 드레인밸브, 말단시험 밸브함 등으로 되어있다.

Table 3은 1,2차 배관 부식 개선실험을 진행한 현황으로 1차(2018년도)에는 E지역 총 915세대 중 1개 동인 106세대에 대해서 배관 부식 개선 실험을 진행하였으며, 2차(2020년도)에서는 전국 5개 지역 총 4,406세대 중 1,956세대에 대하여 규산염계 부식억제제를 주입하는 연구를 진행하였다.

2.3.1 1차 배관 부식 개선연구에서 이용된 충수방법

Figure 4에는 1차 배관 부식 개선연구를 진행하기 위해 보온재를 제거 후 알람 밸브 2차측 압력계이지 주입구를

Division	Piping corrosion improvement work [1st]
Pressure gauge filler on the secondary side of the alarm valve	[Before removing insulation]
	[After removing the insulation]
	[Installation of corrosion inhibitor injection port]
Storage tank and pressure pump installation

Figure 4. Auxiliary equipment for injection of corrosion inhibitor.

설치하는 것을 나타내었으며, 주입방법은 아래와 같다.

- 1) 공동구 지하층에서 동별 메인밸브를 폐쇄시킨 상태에서 스프링클러 입상배관 하부 말단에서 드레인 밸브(Drain valve)를 개방한다.
- 2) 입상배관 내에 충수된 소화수(수돗물)를 모두 퇴수시킨다. 배관 내부에 남아있는 잔류 수에 대해서는 세대 말단 시험 밸브함을 통해 퇴수를 진행하였다. 시험 밸브함이 없는 세대에서는 천장말단 헤드를 개방하여 퇴수 작업을 하였다.
- 3) 알람밸브 2차측 압력게이지밸브에 주입구를 설치하여 소화수(부식억제제 첨가)를 주입하는 실험을 진행한다.

2.3.2 2차 배관 부식 개선연구에서 이용된 충수방법

Figure 5는 2차 배관 부식 개선연구에서는 3 가지 주입구를 통하여 부식억제제를 주입하였다.

- 1) 입상 최하단 드레인밸브 주입구
- 2) 동 지하스프링클러 설비 송수구
- 3) 옥내소화전 주입구

2.4 소화수(수돗물) 슬러지 분석 실험

Figure 6은 2018년도에 진행된 1차 배관 부식 개선실험 진행 과정에서 채집한 슬러지(Sludge)를 나타내었으며, Figure 7은 Figure 6에 나타낸 건조된 슬러지를 SEM-EDS (주사전자현미경-에너지 분산분광법)에 의한 성분분석을 나타내고 있다.

부식생성물은 Fe, O, Zn, Cu, Si 순으로 나타났으며, 따라서 이러한 부식생성물이 동배관 내벽에 축적될 경우 산소농도 감소가 형성되면서 CuO 보호피막이 손상되고 소양극-대음극의 전위에 따라 공식에 의한 국부부식으로 판단하였다.

Division	Piping corrosion improvement work [2nd]
Upright pipe drain valve lower inlet
Sprinkler facility water outlet
Indoor fire hydrant inlet
Fire water (corrosion inhibitor), pressurized pump, and storage tank

Figure 5. Auxiliary equipment for injection of corrosion inhibitor.

Figure 6. Dry sludge collected during fire water discharge.

2.5 동(Copper)배관 부식억제제 적용에 따른 분석 실험 및 모니터링

2.5.1 1차 배관 부식개선연구

Table 4는 2012년부터 2019년까지 8년에 걸쳐 모니터링을 실시한 전국 5개 지역 4,406세대에 대하여 스프링클러설비 동(Copper) 배관의 전체 누수 건 수를 조사한 결과 1,080건으로 확인이 되었으며, 지역별 세부 사항은 다음과 같다.

A 지역의 경우 2016년부터 38건의 누수를 시작으로 2019년도에는 22건이 발생하여 총 105건의 누수가 파악되었으며, B 지역은 2014년에 39건을 시작으로 2019년까지 전체 105건의 누수 사례가 발생하였다. 또한 C 지역에서는 2016년에 37건을 시작으로 2019년까지 총 240건의 누수가 조사되었으며, D 지역은 2013년 23건의 누수를 시작으로 2019년까지 147의 누수가 집계되었다. E지역에 대해서는 2012년부터 2019년까지 총 483건의 누수가 발생하였다. 이와 같이 입주 후 3년이 경과 하는 시점에서 공동주택 스프

Figure 7. Drying sludge SEM-EDS analysis value.

Table 4. Number of Leaks in the Sprinkler Facility Copper Pipe by Year after Moving Into 5 Complexes (4,406 Households) Nationwide

Yearly	By region (Number of the households)				
	A (826)	B (678)	C (1,117)	D (870)	E (915)
2012	0	0	0	0	13
2013	0	0	0	23	21
2014	0	39	0	18	41
2015	0	17	0	18	60
2016	38	15	37	25	84
2017	26	17	57	19	75
2018	19	13	58	23	109
2019	22	4	88	21	80
Subtotal	105	105	240	147	483

링클러 설비의 동배관에서 누수가 발생하여 소방시스템의 신뢰성이 확보되지 못하고 있으며, 하자 원인 및 책임의 주체가 불분명하여 분쟁이 확대되고 있는 실정이다.

따라서 이러한 문제점을 파악하기 위해 Table 5에서는 누수 하자가 가장 많이 발생한 E지역에 대하여 2012년부터 2019년까지 발생한 동별 누수 현황을 분석하였다. 그 중 108동이 전체대비 22.2%를 차지하였으며, 다음으로 102동이 74건으로 15.3%를 차지하였다. 이에 따라 2018년도 7월부터 108동에 대하여 수용성 규산염 부식억제제를 첨가하는 개선실험을 진행한 결과, 2018년 부식억제제 투입 전 누수 건수가 27건에 달하였으나 배관부식 개선실험을 진행한

Table 5. Number of Leakage of Copper Pipes in Sprinkler Facilities Per Year (Total 483 Cases) after Moving into the E Area(915 Households)

Yearly	E area									
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
2012	1	1	0	3	0	1	1	6	0	0
2013	2	6	0	6	1	1	1	3	1	0
2014	3	6	2	1	4	3	3	14	3	2
2015	4	4	1	8	8	2	5	20	1	7
2016	9	12	6	11	4	6	5	18	3	10
2017	6	5	1	10	4	5	15	18	5	6
2018	5	26	6	9	9	8	9	27	4	6
2019	7	14	7	12	7	4	11	1	6	11
Subtotal	37	74	23	60	37	30	50	107	23	42

Table 6. Analysis of the Progress of 5 Complexes (1,956 Households) Secondary Piping Department Improvement Work Nationwide (Number of Experiments)

By region	Before improvement	After improvement
	Fire water (Tap water)	Fire water (Corrosion inhibitor)
A	5	5
B	3	4
C	5	5
D	5	5
E	6	5

후 2019년에는 1건만의 누수가 조사되었다. 이 또한 동배관이 아닌 신축 배관 연결부 고무패킹 부위에서 누수가 발생한 것으로 파악되었다. 이러한 결과를 토대로 규산나트륨(Na_2OSiO_2) 부식억제제의 주성분인 실리카(SiO_2)는 동배관의 양극부에서 동산화반응으로 생성되는 Cu^{2+} 와 반응하여 구리 표면에 단분자막을 형성하여 양극부의 산화반응을 억제시켜 부식영역에서 부동태영역으로의 개선에 효과가 있는 것으로 판단된다.

2.5.2 2차 배관 부식개선연구

Table 6은 5개 지역의 2차 배관 부식 개선실험 전, 후에 수거한 채수의 진행 건수를 나타내었으며, Figure 8에서는 Potential of hydrogen (pH) 및 Oxidation reduction potential (ORP, Model; Orion Star A211 Benchtop), Electrical conductivity (EC, Model; Orion Star A112)를 측정할 수 있는 장비를 나타내고 있다.

Figure 9는 정제된 소화수(수돗물)와 부식억제제를 첨가하였을 때 pH를 측정한 결과 8.34~9.08에서 11.13~11.26으로 증가되었으며 수용성 규산염에서의 pH 증가는 동 배관 표면에 단 분자 실리카 필름이 증착되어 부식억제제의 효

Division	Analytical experimental measurement equipment
Fire water for collection
pH and ORP	pH Meter
Electrical conductivity	Conductivity benchtop meters

Figure 8. Analytical experimental measurement equipment.

Figure 9. pH measurements before and after corrosion inhibitor use in A area (2nd pipe corrosion improvement work).

과가 나타나는 것으로 판단된다.

Figure 10은 정채된 소화수(수돗물)의 산화-환원전위(ORP)를 측정 한 것을 나타내었다. ORP는 전자의 활동도를 나타내는 수치로써 ORP가 적을수록 환원효과가 높은 것을 의미하며, 부식억제제가 주입되기 전에는 -94.9~-135.8 mV가 측정되었으며, 부식억제제를 주입 후에는 -257~-265.5 mV가 측정되어 ORP가 낮아지는 것을 확인하였다.

Figure 11은 전기전도도(EC)를 측정한 결과를 나타내었으며, 물이 전류를 전달할 수 있는 능력을 의미한다. 소화수의 경우 부식억제제를 주입하게 되면 전기전도도가 증가하여 배관의 부식이 억제된다⁽⁹⁾.

전기전도도를 측정한 결과 정채된 소화수(수돗물)의 경

Figure 10. Measurement of ORP before and after corrosion inhibitor in A area (2nd pipe corrosion improvement work).

Figure 11. Measurements of electrical conductivity (EC) before and after corrosion inhibitor use in A area(2nd pipe corrosion improvement work).

우에는 0.097~0.137 ms/cm가 측정되었으며, 부식억제제를 주입 후에는 4.189~5.769 ms/cm로 증가되었다.

Table 7은 부식억제제의 구성성분을 나타내었으며, Na_2O 가 9~10%, SiO_2 가 28~30%의 비율로 구성되었다. 부식억제제를 첨가하기 전에 비하여 전기전도도는 증가하였으며, 이는 금속성 이온의 비율이 많아져 전기전도도가 높게 측정되었다.

수계 소화설비에서의 부식 문제는 소화설비 시스템의 구성요소가 아무리 완벽하게 작동되더라도 소화수를 공급하는 배관 계통에서 문제가 발생한다면 어떠한 수계 소화설비도 화재진압에서 요구하는 성능을 발휘할 수 없음을 말해주고 있다⁽¹⁰⁾.

2010년도를 전후로 공동주택의 경우 동관을 많이 사용되었으며, 부식의 주요 원인은 제조단계에서 인발 시 사용하는 오일, 시공단계에서는 배관 누수 확인을 위해 수압시험과정에서 사용한 지하수에서의 불순물 유입 및 용접 작업 시 사용하는 Flux, 유지관리단계에서는 정채된 소화수에서 배관 벽면 불순물 축적 및 공기층 형성 등의 다양한 요인으로 동의 보호피막이 손상되어 전위차에 의한 소양극-대음극 전위가 형성되어 공식이 발생하는 것으로 판단된다.

Table 7. Component Part of Liquid Soluble Silicates

Division	No. 3 (KS)
pH	12-13
Specific gravity (20 °C)	upper 1.380
Na ₂ O (%)	9~10
SiO ₂ (%)	28~30
Fe ₂ O ₃ (%)	under 0.03

따라서 수계소화설비에 대해서도 방식기술을 도입하여 경제성을 고려한 설계 · 시공 · 유지관리의 필요성이 요구되고 있으며, 습식설비에서는 친환경의 수용성 부식억제제를 도입하고, 건식설비의 경우 기화성 부식억제제를 적용하여 소방시스템의 성능확보가 요구되고 있다⁽¹¹⁾. 또한 부식에 영향을 미치는 주요인자로는 관의 재질, 유속, 수온, 용존산소, pH, 알칼리도, 유리탄산이온, 염소이온, 황산이온, 전기전도율 등 다양한 인자가 있다. 본 연구에서는 부식에 영향을 미치는 다양한 인자 중 pH, ORP, EC를 대상으로 실험을 진행 하였으며 부식억제제에 대한 세부적인 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

3. 결 론

해당 지역에서 누수 하자에 대한 집계를 진행한 2012년부터 배관에서 공식에 의한 핀홀(Pin hole)발생으로 수계시스템의 성능이 확보되지 못하여 하자 원인 및 하자 책임의 주체가 불분명하여 분쟁이 확대되며, 기존 배관을 철거하고 신규배관으로 개선실험을 진행하여야하나, 입주자의 불편함과 경제적 부담도 확대될 수밖에 없는 실정이다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 기존의 소화수(수돗물)를 배출시키고 규산염계 부식억제제를 주입하는 배관 부식 개선실험을 1, 2차에 걸쳐 실시하여 수계소화시스템의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

1) 2018년도 E 지역 1개동 106세대에 대하여 배관 부식 개선실험을 진행한 결과 누수가 발생한 2014년부터 2018년까지 연평균 19건의 누수가 발생하였으나 개선실험이 완료된 2019년도에는 1건의 누수만이 발생하여 부식억제제가 배관 부식 방지에 효과가 있음을 입증하였다.

2) 2020년 전국 5개 지역(1956세대)에 대하여 2차 배관 부식 개선공사를 진행하였으며, 그중 A지역에 대한 pH, 산화-환원전위(ORP), 전기전도도(EC)를 측정하였다.

pH의 경우 정체된 소화수의 경우 8.34~9.08에서 부식억제제를 주입하였을 때 11.13~11.26으로 증가하였으며, ORP의 경우 정체된 소화수의 경우 -94.9~-135.8 mV에서 -257~265.5 mV는 감소되었다. EC의 경우 정체된 소화수의 경우에는 0.097~0.137 ms/cm에서 부식억제제를 첨가한 경우

4.189~5.769 ms/cm로 증가되었다.

References

1. M. Pourbaix, "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions", NACE, Houston Pergamon Press (1974).
2. J. B. Lee, and H. S. Jung, "Investigation on Causes of Pitting Corrosion in Sprinkler Copper Tubes", Corrosion Science and Technology, Vol. 13, No. 1, pp. 6-14 (2014). <https://doi.org/10.14773/cst.2014.13.1.6>.
3. Korea Corrosion Control Association (KCCA), "Explanation of the causes and solutions of domestic corrosion problems-1", Chapter 2, pp. 75-84 (2015).
4. S. C. Na, "Study on Corrosion Protection Technology of Copper Pipe for Potable Water Supply" Inha University Graduate School, p. 5 (2007).
5. A. M. Alfantazi, T. M. Ahmed and D. Tromans, "Corrosion Behavior of Copper Alloys in Chloride Media", Journal of Materials & Design, Vol. 30, No. 7, pp. 2425-2430 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.015>.
6. R. J. Oliphant, "Causes of copper corrossions plumbing systems", Foundation for water Research, Allen House, Marlow U.K. (2003).
7. H. Choi, "Analysis of Case Studies of Copper Pipe Pitting Corrosion", Hanyang University Graduate School, pp. 29-35 (2018).
8. S. H. Suh, Y. G. Suh, H. G. Yoon, J. H. Oh, Y. J. Kim, K. M. Jung and H. S. Kwon, "Analysis of pitting corrosion failure of copper tubes in an apartment fire sprinkler system", Engineering Failure Analysis, Vol. 64, No. 9, pp. 111-125 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.03.009>.
9. K. S. Han, J. H. Park, Y. B. Park, S. J. Kim, H. D. Kim, Y. J. Choi, I. C. Choi and S. H. Hong, "Effect of Residual Chlorine Concentration on Water Pipe Corrosion and Corrosion Control Plan", Journal of Corrosion Science and Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 12-19 (2018). <https://doi.org/10.14773/cst.2018.17.1.12>.
10. J. H. Park, C. Y. Oh, J. H. Kwark and B. S. Son, "An Experimental Study on Piping Feasibility of PE Compound Pipe for Fire Protection Service", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 3, p. 56 (2016). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2016.30.3.055>.
11. C. H. Mun, H. J. Kang and J. W. Choi, "A Study on the Application of Hydraulic Calculations Considering the Corrosion Coefficient of Steel Piping for Fire Protection", Fire Science and Engineering, Vol. 34, No. 4, p. 77 (2020). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.f8ecce5c>.