



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2024학년도
석사학위논문

소화 설비 배관 내 부식 점검 방법 개선 연구

지도교수 : 김 홍 열

경기대학교 공학대학원

소방 · 방재전공

장 광 우



소화 설비 배관 내 부식 점검 방법 개선 연구

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2024년 12월 일

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

장 광 우



장 광 우의 석사학위논문을 인준함

심 사 위 원 장	_____	인
심 사 위 원	_____	인
심 사 위 원	_____	인

2024년 12월 일

경기대학교 공학대학원



목 차

표 목 차	iii
그림목차	iv
논문개요	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	2
1.3 기존의 연구	3
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 소화 설비 배관의 부식 특성	4
2.1.1 부식의 정의	4
2.1.2 부식의 종류	5
2.1.3 부식 영향 인자	13
2.1.4 소화 설비 배관과 일반배관의 차이점	22
2.1.5 부식이 소화 설비 배관에 미치는 영향	23
2.2 소화 설비 배관 부식 방지 공법	25
2.2.1 부식억제제(Corrosion inhibitor)	25
2.2.2 전기방식(Electrical corrosion protection)	27
2.2.3 피복방식	29
2.3 소화 설비 배관의 국내·외 부식 점검 방법 조사·분석 ·	30
2.3.1 국내(소방법)	30
2.3.2 미국(NFPA)	30



제 3 장 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 문제점 도출	35
3.1 배관 부식 사례 조사 · 분석	35
3.1.1 OO캠퍼스 옥외소화배관 점검(2012년)	35
3.1.2 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 점검(2007, 2012, 2015년)	36
3.1.3 OO캠퍼스 옥내 · 외 소화전 소화수 탁도 측정 분석(2015년)	39
3.1.4 OO캠퍼스 스프링클러 헤드 육안 점검 분석(2020년) ·	41
3.2 배관 부식 분석 실험 고찰	42
3.3 배관 부식 점검 방법 문제점 도출	44
3.3.1 기술적 기준 문제점	45
3.3.2 제도적 기준 문제점	46
제 4 장 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 개선 방안 제시	47
4.1 기술적 개선 방안	47
4.1.1 시험 방법	47
4.1.2 시험 장비	49
4.1.3 평가 기준	49
4.2 제도적 개선 방안	50
4.2.1 현행 법규	50
4.2.2 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조 별표 3 개선	51
4.2.3 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 개선	53
제 5 장 결 론	54
참고문헌	55
Abstract	56

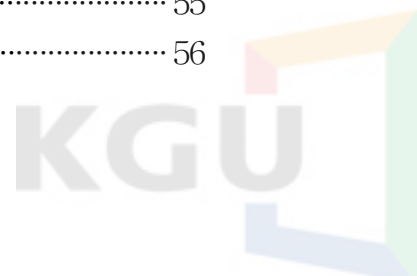


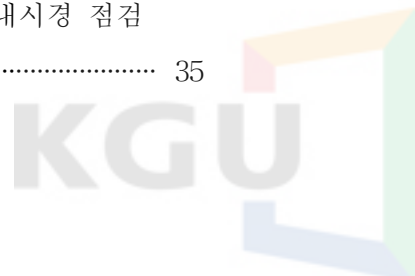
표 목 차

<표 2-1> 소화 설비 배관과 일반배관의 차이점	22
<표 2-2> NFPA 25 수계소화설비 성능 테스트	34
<표 3-1> 2007년 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과	36
<표 3-2> 2012년 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 배관 육안 점검 결과	38
<표 3-3> 2015년 OO캠퍼스 옥내·외소화전 소화수 탁도 측정 결과	40
<표 3-4> 사용 연한에 따른 단면 감소율	42
<표 4-1> 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조 별표 3 개선	52
<표 4-2> 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 점검표 개선 방안	53
<표 4-3> 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 수계소화설비 점검표 개선 방안	53



그 립 목 차

<그림 1-1> 연구흐름도	2
<그림 2-1> 균일 부식	5
<그림 2-2> 갈바닉 부식	6
<그림 2-3> 틈 부식	7
<그림 2-4> 공식	8
<그림 2-5> 입계 부식	9
<그림 2-6> 선택 부식	10
<그림 2-7> 침식 부식	11
<그림 2-8> 응력 부식	12
<그림 2-9> pH가 철 부식에 미치는 영향	15
<그림 2-10> CaCl_2 를 포함하고 있는 수중의 용존산소가 철 부식에 미치는 영향	16
<그림 2-11> 온도와 산소 유·무에 따른 부식속도	17
<그림 2-12> 소화관 재질에 따른 생물막 형태	19
<그림 2-13> 도관에서 생성된 돌기	21
<그림 2-14> 미생물에 의한 부식이 촉진된 상태	21
<그림 2-15> 부식억제제 종류	26
<그림 2-16> 강의 부식도	27
<그림 2-17> 외부전원법	28
<그림 2-18> 희생 양극법	29
<그림 3-1> 2012년 OO캠퍼스 옥외소화배관 육안 점검 및 내시경 점검 결과	35



<그림 3-2> 2012년 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 배관 육안 점검 결과	37
<그림 3-3> 2012년 OO캠퍼스 스프링클러 배관 육안 점검 결과	37
<그림 3-4> 소화수 탁도 측정 기준	39
<그림 3-5> 부식된 스프링클러 헤드	41
<그림 3-6> 아연도금 강관의 연도별 부식 경과 현황	43

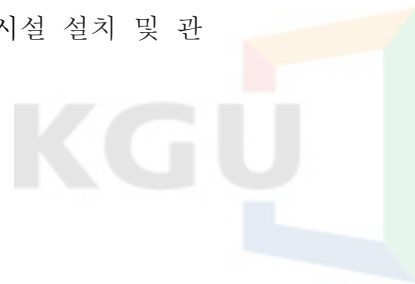


논 문 개 요

화재 구역에서 최초로 사용되어야 할 수계소화설비가 막히면, 그 구역의 화재를 진화할 수가 없거나 근처의 인화 물질에 방수하여 연소 확대를 방지하는 것이 불가능하게 된다. 이러한 상황에서, 화재는 제어할 수 없는 규모로 성장하게 되고 더 큰 손해와 과도한 수계소화설비 작동을 야기하며 화재 심각성에 따라서는 건물의 구조적 안전성을 위협하게 된다. 수계소화설비는 화재로부터 재산 및 인명을 보호하기 위한 설비로 화재 발생 시 소화수를 가압 방사하여 초기 진화를 목적한다. 그러나 많은 이유들로 인해 오작동을 일으켜 소화 실패로 이어지게 되고 그 중 부식으로 인한 배관 막힘 등은 소방 시설 작동에 대한 신뢰성 확보를 어렵게 만들고 있다.

이에 본 연구에서는 부식의 일반적인 형태와 원인을 조사하여 부식 주기를 확인하고 문제점을 제안하고자 하였다. 이를 위해 소화 설비 배관의 부식 특성, 배관 부식 방지 공법, 국내·외 부식 점검 방법 조사·분석을 고찰하였고 배관의 부식 사례 조사·분석, 배관 부식 분석실험을 고찰하여 문제점을 도출하였다. 또한 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 개선 방안에 대하여 연구를 수행하였다.

연구를 수행한 결과, 내부 상태 육안 점검 항목, 내부 상태 육안 점검이 불가능 할 경우에 대한 기준, 미생물 부식(MIC) 유무를 점검하는 기준 및 이물질 점검을 수행하는 기준을 제안하였다. 또한 배관 부식 점검 시험 장비는 소화수를 필터링하여 고체 물질을 수집할 수 있는 $5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 필터, 소화수의 pH를 측정할 수 있는 측정기, 육안 점검이 불가능할 경우 내시경 장비 또는 초음파 장비를 제안하였다. 배관 부식 평가 기준으로서는 배수관에서 방출된 고체 물질에 대하여 A~F등급으로 구분한 평가 기준, 소화수의 pH 정상 범위를 pH 4~10로 제안하였다. 마지막으로 소방 시설 설치 및 관



리에 관한 벌칙 시행규칙 제20조에 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시하도록 제안하였으며, 점검 장비에 대한 기준 신설, 소방 시설 자체 점검 사항 점검표에서 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 사항을 추가하는 방안을 제안하였다.



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

화재의 효과적인 제어 및 진화를 위해서, 수계소화설비는 물의 유동에 장애가 없어야 한다. 수계소화설비의 전반적인 성능 기록이 매우 만족스러운 결과였다고 하더라도, 배관의 스케일이나 부식에 의한 생성물로 막혀 성능에 결함이 발생한 경우가 많이 있었다.

화재 구역에서 최초로 사용되어야 할 수계소화설비가 막히면, 그 구역의 화재를 진화할 수가 없거나 근처의 인화 물질에 방수하여 연소 확대를 방지하는 것이 불가능하게 된다. 이러한 상황에서, 화재는 제어할 수 없는 규모로 성장하게 되고 더 큰 손해와 과도한 수계소화설비 작동을 야기하며 화재 심각성에 따라서는 건물의 구조적 안전성을 위협하게 된다.

부식은 관의 설치 후의 경과 년수와 재질, 온도, 생물학적 인자, 소화수의 수질 등과 같은 환경에 따른 배관 내의 여러 조건에 의하여 발생한다. 소방 시설은 부식과 같은 문제로 관 벽에 낀 부식생성물로 관의 직경 감소에 의한 유량 감소, 균열 발생 등의 문제가 발생하고 있다.

소방 시설의 자체 점검은 작동기능점검 및 종합정밀점검을 일년에 두 번 시행하고 있지만 그러나 배관에 대해서는 하지 않고 있다. 일반적으로 소화수 배관은 보이지 않는 곳에 설치되어 점검하고자 하여도 쉽지 않은 상황이지만 미국 등 해외에서는 부식에 대해 점검하고 관리하고 있다.

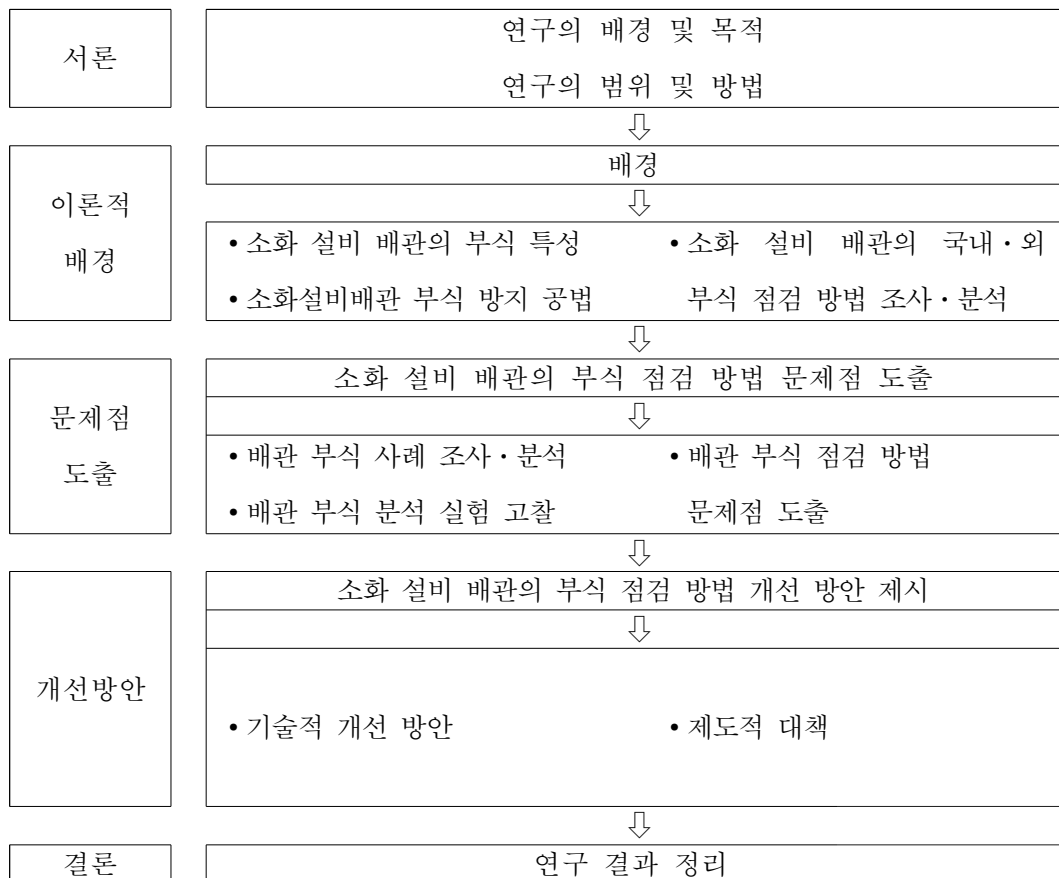
따라서 본 논문에서는 배관 부식의 원인과 일반적인 행태를 조사하고, 현재 사용하고 있는 실제 소방설비의 부식에 대하여 실험 결과 고찰을 통해 문제점을 도출하고 배관 부식 점검 방법 및 개선 방안을 제안하고자 한다.



1.2 연구의 범위 및 방법

소화 설비 배관 내 부식 점검 방법 개선 방안 제시를 위해 본 연구의 2장에서 소방 배관의 부식 특성, 배관 부식 방지 공법, 국내·외 부식 점검 방법 조사·분석을 고찰하였고 3장에서 배관의 부식 사례 조사·분석, 배관 부식 분석실험을 고찰하여 문제점을 도출하였다. 4장에서 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 개선 방안에 대하여 연구 하였다.

<그림 1-1>에 FLOW CHART 통하여 본 연구의 흐름을 나타내었다.



<그림 1-1> 연구흐름도



1.3 기존의 연구

소화 설비 배관 부식에 관한 기존의 연구를 조사·분석하였다.

장석용[1]은 소화 배관의 경년변화에 따라 예상되는 문제점과 배관 내부 부식의 생성 방지 및 제거를 위한 장치 설치의 필요성에 관하여 연구하였고 아연 이온화 장치를 이용한 부식 억제에 대해 제안하였다.

김동준[2]은 스프링클러 설비가 부식이 되었을 때 정상 작동을 연구하였고 부식 방지 대책으로 수질 제어법 및 물리적 방법, 방청제 이용법, 관내 스케일 제어법, 수중의 경도 유발 물질 제어법, CaCO_3 이용법 등을 제안하였다.

김우창[3]은 스프링클러 각종 밸브류의 부식, 설비 펌프의 부식, 배관의 부식을 분석하여 가장 많이 발생하고 있는 부식의 원인과 그에 따른 스프링클러 설비의 사용 가능 횟수를 제시하였고, 주요 구성 부재들의 내구연한 특성을 재질별로 분석하고 실제 건축물의 경과 연수에 따른 스프링클러 설비의 작동상태를 조사·분석하였고 강관의 산화 반응 속도를 제어하거나 강관의 보호를 위해 다른 물질이 산화되도록 하는 방법을 제안하였다.

임정삼[4]은 스프링클러 설비 배관의 경년변화에 따른 노후도가 소화 성능에 얼마나 영향을 미치는지 검증하여, 노후 된 건축물의 소화 배관에 대한 문제점 및 성능 확보 방안을 제시하였다.

문철환[5]은 스프링클러 설비 배관에 대한 부식의 원인 분석을 규명하기 위하여 설계단계의 문제점 도출과 유지관리를 위한 소화전용 수조의 수질분석을 통해 문제점을 파악하고 개선 방안으로 부식억제제를 적용하는 실험을 수행하였다.

기존의 연구를 조사·분석한 결과, 스프링클러 설비의 부식에 대한 연구들이 수행 되어졌지만 소화 설비 배관 부식 점검 방법에 대한 연구들은 수행되지 못한 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 기존의 연구에서 수행되지 못한 현실에 적용 가능한 부식 점검 방법 개선 방안에 대한 연구를 수행하고자 한다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 소화 설비 배관의 부식 특성

2.1.1 부식의 정의

물질은 안정한 상태를 이루려고 한다는 자연법칙이 있으므로 부식은 자연적인 현상으로써 자발적인 과정이라고 할 수 있다. 부식은 이처럼 자발적인 과정으로 돌아감으로써 금속재료의 열화현상 즉 재료가 환경과의 전기화학적 또는 화학적 상호 작용에 의해서 결국은 녹슬게 되어 못쓰게 되는 현상을 말한다. 엄밀한 의미에서 모든 재료는 항상 자유에너지가 최소가 되는 평형상태로 돌아가려는 성질이 있다.

금속은 자연의 금속산화물을 인간이 에너지를 가하여 인공적으로 용도에 맞게 제련 가공한 재료로써 에너지적으로 불안정한 상태에 있다. 따라서 금속에서 발생하는 부식은 불안정한 에너지 상태의 금속이 주위 환경과 반응하여 안정한 상태의 에너지를 가진 본래의 금속산화물로 복귀하려는 현상을 나타내는 말이다.

금속의 부식은 금속이 황(S)이나 산소(O)와 같은 비금속 원소와 결합하여 자연 상태에서 존재하는(에너지가 낮은) 광물의 상태로 되돌아가는 것을 말한다. 다시 말해서 대부분의 금속은 자연 상태에서 황화물이나 산화물의 형태로 존재하는 광물(Ore)에 에너지를 가하여 얻게 되는데, 이러한 에너지가 방출하고 자연 상태로 되돌아가는 과정이 부식이다. 제련 과정에서 많은 양의 에너지가 투입된 금속은 불안정하여 부식되려는 경향이 크고, 반면에 제련이 용이한 금속은 부식되려는 경향이 작다고 할 수 있다.

예를 들어서 구리나 구리합금 등은 강이나 철에 비해 제련에 필요한 에너지가 훨씬 작으므로 부식에 대한 저항성이 크다. 자연 상태에서도 금속의 형태로 존재하는 금이 부식되지 않는 것도 이러한 이유이다[6].

2.1.2 부식의 종류

1. 균일 부식[7]

균일 부식은 금속 표면 전체에 균일하게 발생하는 부식으로써 부식이 발생하게 되면 금속은 점점 두께가 감소하게 되고 마침내 사용이 불가능하게 된다.

<그림 2-1>과 같이 표면 전체에 걸쳐서 균일하게 발생 되지만 다른 형태의 국부 부식은 금속의 표면에서 어떤 국부적인 영역에 국한되어 발생하며, 부식이 금속의 특수한 영역에 한정되기 때문에 부식 정도를 예측하기는 힘들다. 이러한 형태의 부식은 장비, 공장, 기계, 기구 등에 손상을 초래하는 경우가 많으며 균일 부식을 방지 또는 감소하는 방법으로는 다음과 같다.

- ① 적절한 재료 선택
- ② 부식억제제 사용
- ③ 음극방식
- ④ 피복



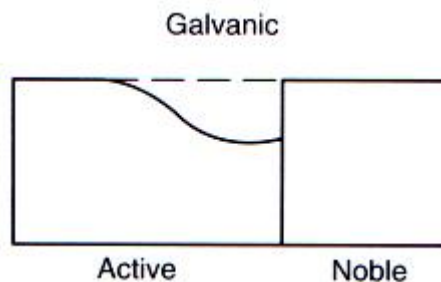
<그림 2-1> 균일 부식[8]

2. 갈바닉 부식[7]

두 종류의 금속을 용액 속에 저장하면 전위차가 발생하게 되고 이들 사이에서 전자의 이동이 일어난다. 이로 인해 귀 전위(Noble potential)를 가진 금속에서 부

식 속도는 감소하고 활성 전위를 가진 금속의 부식 속도는 증가하게 된다. 즉, 귀 전위는 음극이 되고 활성 전위는 양극이 된다. 이러한 유형의 부식을 갈바닉 부식이라 하며, <그림 2-2>와 같이 나타내고 있다. 갈바닉 부식을 방지 또는 감소하는 방법으로는 다음과 같다.

- ① 이종 금속을 함께 사용해야 할 경우, 갈바닉 계열에서 가까이 위치한 금속 또는 합금을 선택하여야 한다.
- ② 소양극-대음극의 위험원리를 항상 기억한다.
- ③ 이종 금속을 완전히 절연시킨 후 도장 한다. 파이프를 밸브에 연결하는 경우 두 플랜지를 볼트로 조이는 연결점 같은 곳에 절연이 완전히 되지 못하는 수가 있다. 이런 곳에는 볼트 헤드 또는 너트 밑에 베이클라이트 와셔를 받치면 두 부분을 완전히 절연시키게 될 것이다.
- ④ 환경에 대한 영향을 줄이기 위해 부식억제제를 사용한다.
- ⑤ 갈바닉 계열에서 멀리 떨어진 금속의 경우 나사 접합은 피한다.
- ⑥ 양극 부분을 쉽게 대체할 수 있게 또는 양극 부분을 보다 두껍게 설계한다.
- ⑦ 갈바닉 접촉을 이루는 두 금속보다도 활성 전위를 가진 희생양극을 설치한다.



<그림 2-2> 갈바닉 부식[8]

3. 틈 부식[7]

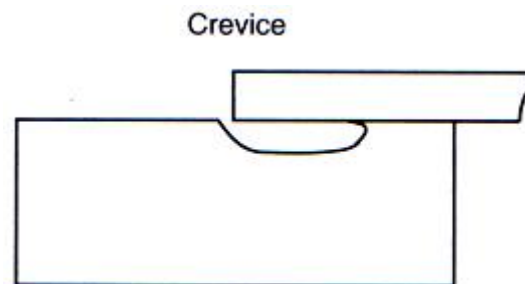
전해액에 노출된 금속 표면상에 어떠한 틈이나 가려진 부분 내에서 국부적으로

심한 부식이 발생하는 것을 틈 부식이라 하며, <그림 2-3>과 같다.

볼트와 리벳 헤드 밑 틈새, 표면침전물, 포개어 있는 부분, 가스켓 표면 등에 정체된 적은 양의 용액과 관련된다. 틈 부식을 때로는 가스켓 부식 또는 침전 부식이라 일컫기도 한다.

틈 부식을 방지 또는 감소하는 방법으로는 다음과 같다.

- ① 장비의 접합부를 리벳 또는 볼트로 연결하지 말고 용접해서 잇도록 한다. 이때 기공이나 틈이 존재하지 않도록 용접에 신중을 기해야 한다.
- ② 완전한 배수가 되도록 장비를 설계한다. 배수가 완전히 됨으로 인하여 장비를 청소하기도 편리할 뿐만 아니라 장비의 바닥에 고형물이 침전되는 것을 막을 수 있다.
- ③ 장비를 자주 검사하여 침전물들을 제거하고 고형물들은 가능한 한 침전 되기 전에 제거하는 것이 좋다.
- ④ 가능하면 테프론 등과 같은 비흡수성의 고체를 가스켓으로 사용한다.
- ⑤ Cl^- 이온과 같은 할로젠이온을 용액 중에서 감소 또는 제거 시킨다.
- ⑥ 금속을 표면 처리하여 균일하게 한다.



<그림 2-3> 틈 부식[8]

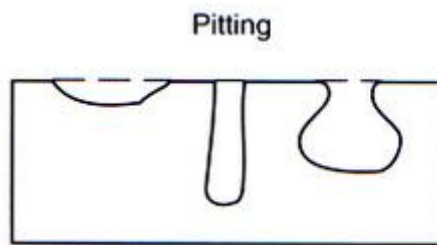
4. 공식[7]

부식이 금속 표면의 국부에만 집중하고 이 부분에서의 부식 속도가 특히 빨라서

금속 내로 깊이 뚫고 들어가는 심한 국부 부식의 형태를 공식이라 한다.

공식은 그 진행 속도가 빠르기 때문에 짧은 시간에 금속 내부로 뚫고 들어가 기계장치를 못 쓰게 하며 <그림 2-4>와 같다. 공식을 방지하거나 감소 시키기 위한 방법으로는 다음과 같다.

- ① 어떠한 환경에서도 공식이 발생하지 않는 재료를 선택하여 사용한다.
- ② 부식억제제를 첨가하는 것이 좋다.



<그림 2-4> 공식[8]

5. 입계 부식[7]

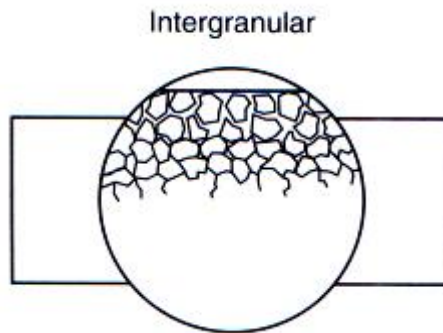
금속은 대부분의 환경에서 입계(결정 입자가 서로 접하는 경계)의 영향을 크게 받지 않는데, 어떤 조건에서는 결정립계(다결정 재료에서 결정과 다른 결정의 경계)가 대단히 큰 반응성을 가지게 되어 입계에서 선택적으로 부식이 일어난다. 이처럼 결정립계 부근에서 발생하는 국부적 부식을 입계 부식이라 하며 <그림 2-5>와 같다.

입계 부식에 대한 가장 일반적인 이론은 입계 영역에서 Cr의 결핍이다. 입계 부식을 방지하거나 감소시키기 위한 방법으로는 다음과 같다.

- ① 일반적으로 스테인리스강을 만드는 데에는 12~13%의 Cr이 필요하다. 일반탄소강에 Cr을 첨가하면 내식성이 크게 향상되며 Cr의 첨가량이 12~13% 이하로 내려가면서 내식성도 상대적으로 감소한다.
- ② 용체화열 처리로 약 1,050~1,150℃ 정도의 온도까지 가열한 다음 수냉 시킨다.

이 영역의 온도에서 Cr 탄화물은 분해되어 균일한 합금이 얻어지게 된다.

- ③ 안정화제를 첨가시키는 방법으로써 Ti(Titanium), Ta(Tantalum), Nb(Niobium) 등 강한 탄화물 형성제를 첨가한다. 이러한 원소들은 C와 결합하려는 경향이 Cr에 비해서 훨씬 크기 때문에 Cr 탄화물의 생성을 막는다. 이러한 탄화물 형성제가 첨가된 스테인리스강을 안정화가 되었다고 말한다.
- ④ C 함량의 저하를 위해 탄소 함량을 0.03% 이하로 낮춘다. 이렇게 탄소 함량을 낮추게 되면 입계 부식이 일어날 정도의 탄화물 형성이 발생하지 않는다.



<그림 2-5> 입계 부식[8]

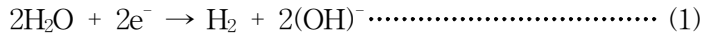
6. 선택 부식[7]

합금 중의 한 성분이 부식에 의해 선택적으로 제거되는 현상으로 <그림 2-6>과 같다. 가장 흔히 볼 수 있는 것으로는 황동에 있어서의 Zn을 제거하는 탈아연 부식이 대표적이며, 황동의 색과는 반대로 붉은색을 띄고 있다. 탈아연 부식 발생 기구는 다음과 같이 3단계로 나타낼 수 있다.

- ① 황동이 분해한다.
- ② Zn^{2+} 이온이 용액 속에 남는다.
- ③ Cu^{2+} 이온은 용액 속에 머무르지 않고 황동에 침전된다.

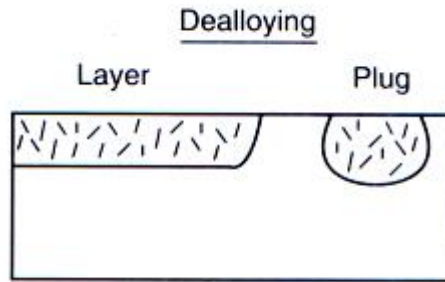
Zn은 반응성이 대단히 강하며 Cu는 Zn에 비해 더욱 귀 전위를 가지고 있다. Zn은

순수한 물에서도 식 (1)과 같이 H_2O 의 음극 이온반응에 의해서 느리게 부식될 수 있다.



따라서 탈 아연 부식을 감소 또는 방지시키기 위한 방법으로는 다음과 같다.

- ① 환경의 부식 촉진 성분을 감소시킨다.
- ② 음극방식 등에 의해서 탈 아연 부식을 방지할 수 있다.
- ③ 70~30% brass에 1% Sn을 첨가한 것이다.



<그림 2-6> 선택 부식[8]

7. 침식 부식[7]

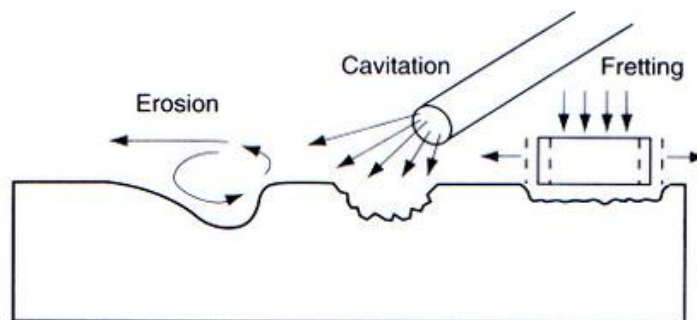
침식 부식은 금속 표면과 부식 용액 사이의 상대적인 운동으로 인하여 금속의 부식 속도가 더욱 증가 또는 촉진되는 현상으로써 <그림 2-7>과 같다. 일반적으로 용액과 금속 표면 사이의 상대적인 운동은 빠르게 닳아서 없어지는 기계적인 현상도 포함된다.

따라서 침식 부식을 마모부식이라고 하며, 그 형태에 따라 파도(Wave), 도랑(Gully), 홈(Groove), 골짜기 또는 둥근 구멍 모양을 하며 방향성을 가지고 있으며, 침식 부식을 방지하거나 감소시키기 위한 방법은 다음과 같다.

- ① 재료의 선택이 중요하며 침식 부식에 대한 저항력이 큰 재료를 선택 할 경우 피해를 줄일 수 있다.



- ② 설계과정에서 재료의 수명을 연장시킬 수 있는 방법으로 파이프의 직경을 크게 하면 유속이 감소 되고 침식 부식은 줄어든다. 또한 관경을 크게 하고 굴곡부를 유선형으로 만들어도 침식 부식은 감소한다.
- ③ 환경의 변화에 대응하기 위해 탈기 또는 부식억제제의 첨가도 좋은 방법이긴 하지만, 경제적인 면에서 볼 때 바람직하지는 못하다. 가능한 환경의 온도를 낮추는 것도 부식을 감소시키는 한 방법이다.
- ④ 침식 부식을 방지하기 위해 여러 종류의 피복(Coating)을 입히는 것도 좋은 방법이며, 침식 부식된 부분을 용접에 의해 보수하기도 한다. 다음은 침식 부식의 특수한 형태인 캐비테이션 부식으로써 금속 표면에 가까운 액체에서 증기 포(Vap or bubble)가 소멸 또는 생성되는 것과 관련되며 캐비테이션손상이라 한다. 캐비테이션 부식을 감소 또는 방지 시키기 위한 방법은 다음과 같다.
- (1) 수압의 차이가 최소화되도록 설계한다.
 - (2) 내식성이 강한 재료를 선택한다.
 - (3) 표면 조건을 균일하게 함으로써 캐비테이션 기포의 우선적인 발생 장소를 없앤다.
 - (4) 플라스틱이나 고무 등으로 금속 부분을 피복 한다.
 - (5) 음극방식을 실시하여 수소 기포의 발생으로 캐비테이션 기포의 소멸에서 생성되는 충격파를 완화 시킬 수 있다.



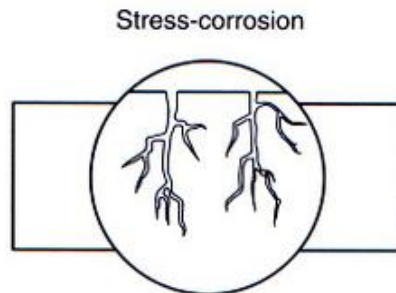
<그림 2-7> 침식 부식[8]

8. 응력 부식[7]

응력부식균열이란 인장응력과 부식 전해액이 동시에 존재하면 균열이 발생되며, <그림 2-8>과 같다. 응력부식균열이 발생하면 합금 또는 금속의 표면은 거의 손상을 받지 않으며 매우 가느다란 균열이 금속 표면을 통과하게 된다.

응력부식균열의 발생은 합금의 종류에 따라 다르며, 순금속에서는 발생하지 않는다. 대표적인 특징은 인장응력과 특정 환경이 함께 작용하여 발생한다는 것이다. 따라서 응력 부식을 감소 또는 방지 시키기 위한 방법은 다음과 같다.

- ① 응력부식균열은 응력을 감소시키는 것이 직접적인 방법이 된다.
- ② 응력부식균열에 영향을 미치는 환경의 유해 성분을 제거한다.
- ③ 합금을 변화시켜서 응력부식균열을 방지할 수 있다.
- ④ 외부 전원 공급 또는 희생양극을 이용한 음극방식을 적용한다.
- ⑤ 부식억제제를 첨가시켜 응력부식균열을 감소시킨다.



<그림 2-8> 응력 부식[8]

9. 미생물 부식(MIC)

박테리아와 균류를 포함하는 미생물의 존재 및 활동으로 인해 시작되고 가속화되는 부식. 다양한 유형의 미생물로 둘러싸인 배관의 표면에 군체(바이오 막, 점액이라고도 한다)를 형성한다. 군체는 축축하게 젖어 있는 배관의 표면에 형성된다. 또한 미생물은 철, 망간 및 다양한 염류를 배관 표면 위로 침전시켜서 별개의 작은 혹, 결

절, 용이를 만든다. 이러한 침전물은 유수의 장애를 유발하고 설비 배관, 밸브 막힘을 유발하기도 한다.

일반적으로 미생물 부식에는 두 가지 유형, 즉 황산 환원균(SRB)과 산성 생성균(APB)이 있다. 황산 환원균은 혐기성(산소가 필요 없음)이며 일반적으로 탄소강 설비에서 발견된다. 산성 생성균도 혐기성이지만 혐기성 환경뿐만 아니라 호기성 환경(산소가 필요함)에서도 생존할 수 있다. 산성 생성균은 황산 환원균의 성장을 촉진하는 산을 생성한다.

미생물 부식은 0~100%의 산소 포화수와 pH 1~10의 물 등 다양한 환경에서 생존할 수 있다. 미생물 부식은 회색이나 흑색 진흙 모양의 점액(전형적인 혐기성 박테리아) 또는 갈색이나 적갈색(전형적인 호기성 박테리아)의 존재를 통해 인식할 수 있다.

미생물 부식은 일단 시작되면 배관 내부 표면에 결절을 생성한다. 이러한 부식을 방지할 경우 배관 벽의 공식으로 이어질 수 있으며 결국 편향 누수가 발생할 수 있다. 또한 결절의 크기가 증가하여 유동에 장애를 일으킬 수 있다.[9]

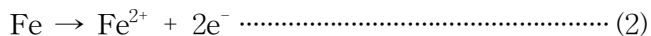
지금까지 부식의 종류별 발생 방지 및 감소 방안으로 부식억제제의 적용 대책이 많은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 소화 설비 배관에 규산염계의 부식억제제 주입을 통해 pH의 증가로 동 표면에 단분자막이 생성된다. 또한 단분자막의 상부에 저항성 피막인 실리카(SiO_3^{2-}) film이 만들어지고 양극부에서 산화반응이 억제되면서 부식 감소에 효과가 있는 것으로 알려져 있다.[5]

2.1.3 부식 영향 인자

1. pH가 부식에 미치는 영향[2]

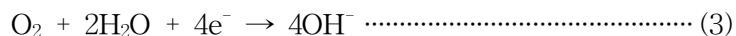
통기(aeration) 되고 있는 수중의 철(Fe)은 <그림 2-9>와 같으며 철의 부식에 미치는 pH의 영향을 나타내었다. pH4와 10 범위에서는 산화철이 침전물의 표면을 보호하게 되며, 침전물 내부의 pH는 9.5 정도로 유지된다. 이 범위 pH 값에서는

부식 속도가 일정하며, 침전값은 용존산소의 균일 확산에 의하여 결정된다. 양극 반응은 모든 pH 값에서 식 (2)과 같이 나타낸다.

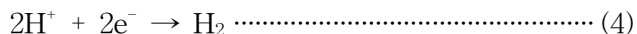


그러나 pH4와 10 사이의 범위에서는 느슨한 다공성의 산화철 침전물이 표면을 보호하게 되면서 침전물의 내부의 pH 값은 9.5 정도로 유지된다.

pH 9.5 범위의 값에서는 부식 속도가 거의 일정하게 되며 그 값은 침전물을 통한 균일 확산에 의하여 이루어진다. 침전물의 금속 표면에서 산소는 식 (3)과 같이 반응, 음극 환원된다.

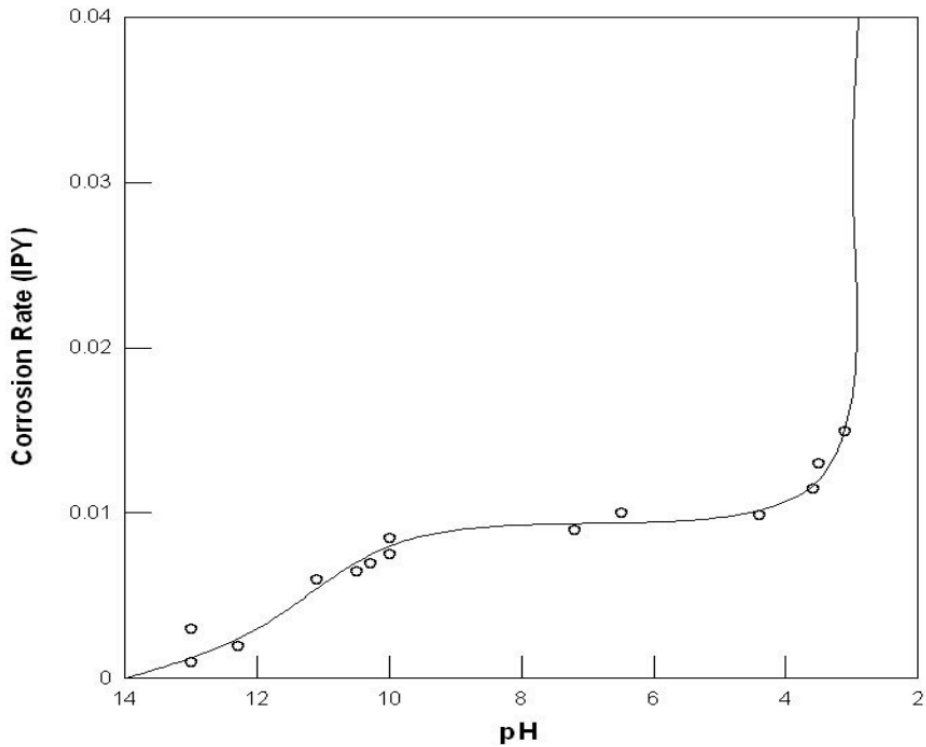


pH 4 이하의 산성용액에서 산화물은 침전되지 않고 용해되며 식 (4)과 같이 환원 반응을 일으킬 수 있는 H^+ 이온이 많으므로 부식 속도는 증가하게 된다.



표면에 산화물이 침전되지 않으면 용존산소의 접근이 용이해져 부식 속도는 증가하게 된다. 용존산소는 산성용액에서 식 (5)과 같이 반응하여 음극 환원된다. pH10 이상에서는 용존산소의 존재 하에 산화철 부동태 피막이 형성되어 부식 속도가 감소 되며, 용존산소가 없는 상태에서 pH 값이 14 이상이 되면 가용성의 페라이트 이온이 생성되어 부식 속도가 가속된다.

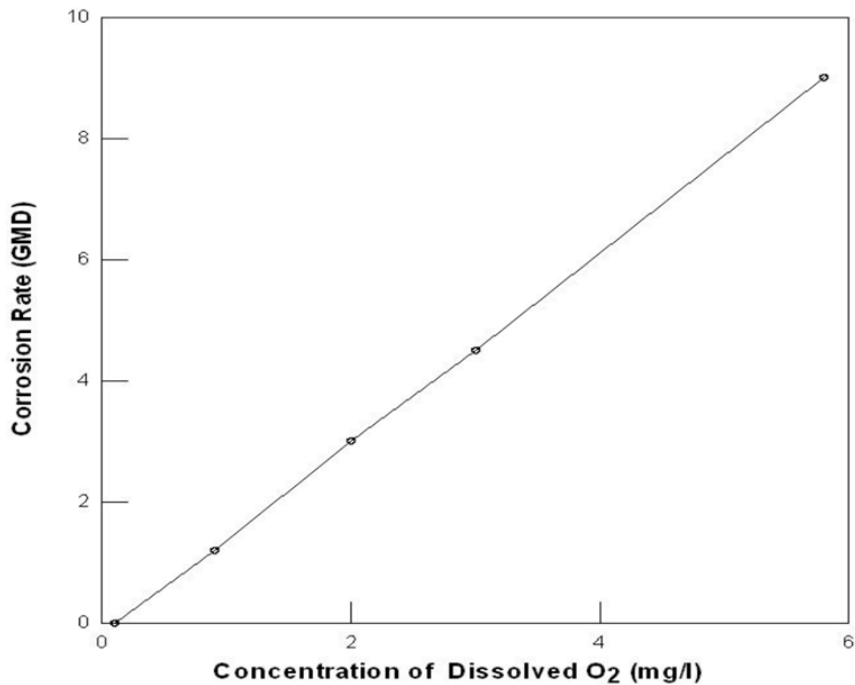




<그림 2-9> pH가 철 부식에 미치는 영향

2. 용존산소가 부식에 미치는 영향[2]

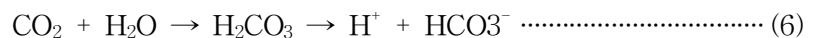
수중의 용존산소(dissolved O_2)는 <그림 2-10>과 같이 실온에서 아연과 철의 부식을 촉진하며 용존산소가 수중에 존재하지 않으면 마그네타이트 보호막은 안전하게 되어 부식은 감소하게 된다. 용존산소의 이동 차이로 인하여 산소 농도전지(differential aeration cell)가 쉽게 형성될 수 있으며 상온에서의 부식을 발생하게 되며, 용존산소의 접근이 용이한 지점은 음극이 보호되어 안전한 반면 인접한 지점은 양극이 되어 우선 부식이 발생된다. 산화 침전물 하에서는 pH 값이 낮아지게 되어 양극을 감싸고 있는 음극영역의 반응은 식 (3)과 같이 용존 산소의 환원으로 인하여 pH 값이 증가하게 된다.



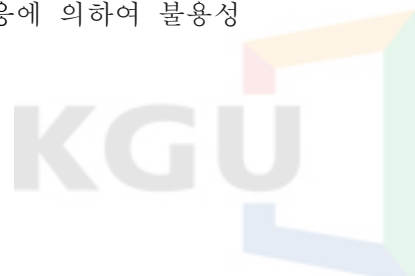
<그림 2-10> CaCl₂를 포함하고 있는 수중의 용존산소가 철 부식에 미치는 영향

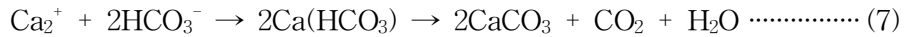
3. 물의 경도가 부식에 미치는 영향[2]

경수(hard water)는 보호성의 탄산 피막이 표면에 생성되어 있으며, 칼슘 및 마그네슘 양이온을 포함하고 있어 부식이 크게 발생하지 않는다. 수중에 용해되어 있는 이산화탄소는 H₂CO₃를 생성하게 되며 이중 중탄산염 이온 HCO₃⁻과 수소 H⁺를 생성함으로써 pH를 감소시키게 되며, 반응식은 식 (6)과 같다.



pH가 증가함에 따라 식 (6)의 평형이 유지되기 위하여 중탄산염의 생성이 더욱 촉진되며, 중탄산염 이온은 알칼리 용액에서 식 (7)과 같은 반응에 의하여 불용성 탄산칼슘(CaCO₃) 표면 피막을 생성하게 된다.

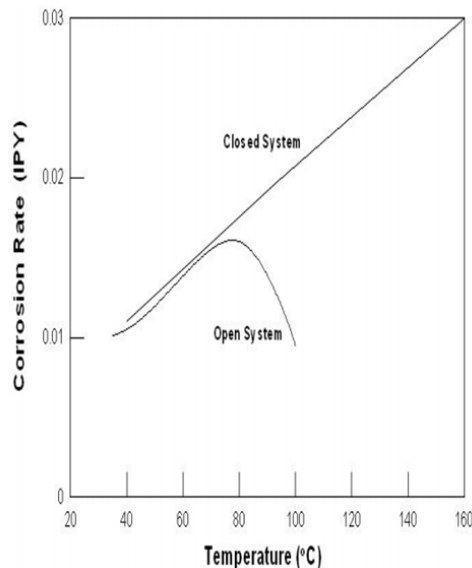




물의 SI값을 양(+)의 값으로 유지하면 수중의 부식이 최소화된다. 소다회(Na_2CO_3)나 석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)를 첨가하여 pCa와 pAlk를 감소시키면 SI를 양(+)의 값으로 유지된다.

4. 온도가 부식에 미치는 영향[2]

온도는 실온 이상으로 증가하게 되면 초반에는 부식 속도가 증가하게 된다. <그림 2-11>과 같이 용존산소가 빠질 수 없는 밀폐계(closed system)의 경우에는 80℃ 이상의 온도에서도 부식 속도는 증가한다. 그러나 온도가 증가하게 되면 용존산소의 농도가 감소하게 되어 개방계(open system)에서는 80℃ 이상이 되면 부식 속도가 감소하게 되며, 용존산소가 없는 경우 부식 속도는 균일하고 낮아진다. 소화 설비관의 온도에 의한 부식은 용존산소에 의존한다.

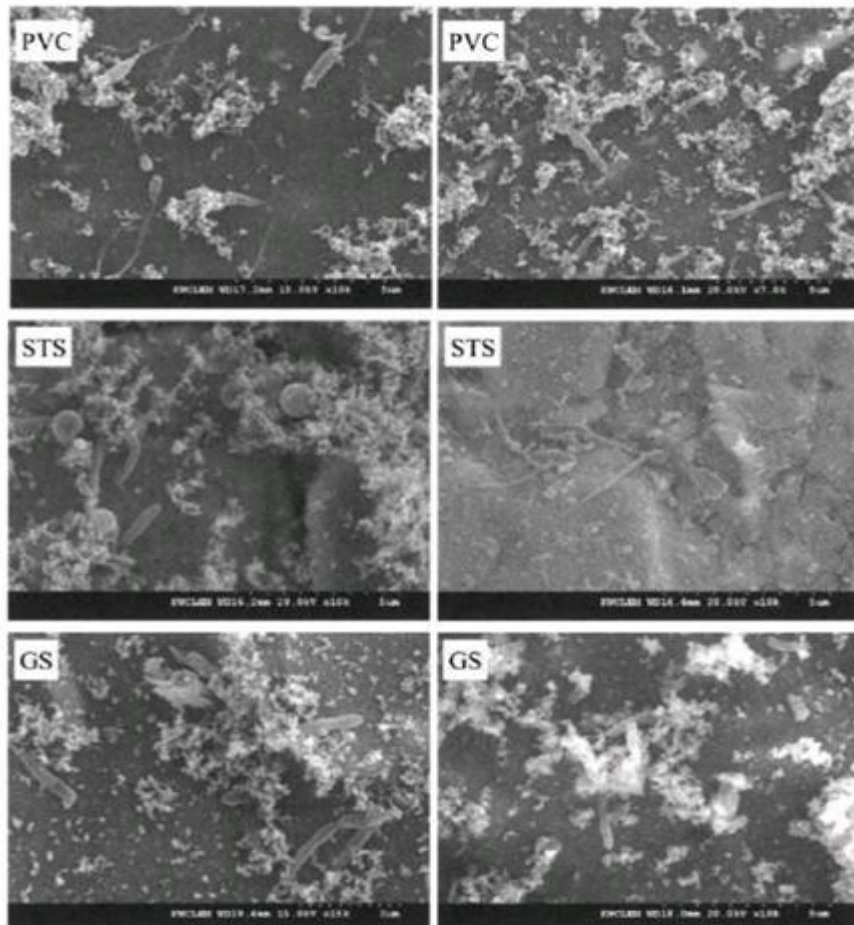


<그림 2-11> 온도와 산소 유·무에 따른 부식속도



5. 생물학적 인자가 부식에 미치는 영향[10]

미생물 부식(MIC : Microbiologically Induced Corrosion)은 pH4~9, 온도 10℃~50℃의 중성수에서 소화 설비 배관과 지속적으로 접촉하고 있을 때 발생되며, 과량의 용착물이나 작은 돌기들이 생성되는 특징이 있다. 용착물을 제거하면 달걀 썩는 냄새가 나는 황화수소와 흑색의 마그네타이트, 생물학적 스케일과 함께 존재한다. 미생물 부식의 특성은 금속조직 내에서 철이 용출되어 흑연구조만 남게 되는 흑연화 부식의 양상을 나타내며, 미생물부식의 방지를 위해서는 박테리아의 증식을 통제하기 위하여 살균 처리가 필요하며 기계적 처리와 화학적 처리가 동시에 수행되어야 한다. 같은 소화수를 3개월 동안 STS, PVC, GS관에 흘려보냈을 경우 관을 SEM으로 관찰한 결과 모든 표면에서 생물학적 스케일이 확인되었다. 소화관의 종류에 따른 생물학적 스케일의 형태는 <그림 2-12>와 같으며, 전반적인 SEM 관찰에서는 재질에 따른 생물막 형성 세균의 차이는 없었으며, 소화관의 수질과 유속에 영향을 받은 것으로 나타났다.



<그림 2-12> 소화관 재질에 따른 생물막 형태

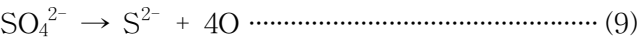
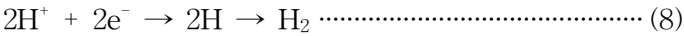
6. 미생물과 철이 부식에 미치는 영향[2]

철과 미생물이 부식에 미치는 영향은 크게 혐기성 박테리아 영향과 호기성 박테리아 영향으로 구분할 수 있다.

① 혐기성 박테리아와 철이 부식에 미치는 영향

혐기성 박테리아는 황산염과 환원하여 물과 함께 부식성 황화수소를 형성하며, 황산염-환원 박테리아(SRB : Sulfate-reducing Bacteria)는 부식을 촉진하는 미소

유기체가 된다. SRB가 성장하기 위해서는 혐기성 조건이어야 하지만 많은 종류의 박테리아들은 오랜 기간 동안 호기성 조건에서도 존재하게 된다. 혐기성 SRB가 관의 부식을 증가시키는 원인은 식 (8)과 같으며, 환원반응에 의한 산소 O가 발생기 수소 H와 반응할 때 가속화되는데, 이때 산소는 식 (9)와 같이 황산염 반응에 의하여 생성된다. 소화관에서는 황화합물의 부식이 중요시 되며, 용존 상태와 고상 황화물 모두 부식을 가속화 하는 것으로 관측되었다.

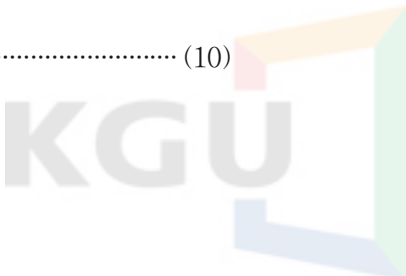
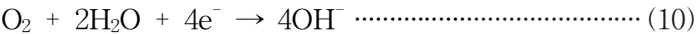


② 호기성 박테리아와 철이 부식에 미치는 영향

부식의 관점에서는 산소를 소모하는 호기성 박테리아는 철의 산화 부산물, 황화합물의 산화, 스케일 형성과 같은 여러 가지 기능을 제공하게 된다. 철-산화 박테리아는 가용성 ferrous 이온을 이보다 용해도가 낮은 ferric 이온으로 산화시킨다. 철 산화제는 Fe^{2+} 를 Fe^{3+} 로 전환하여 결과적으로 ferric oxide와 분비물인 생물학적 슬라임으로 이루어진 불용성 돌기를 표면에 생성한다.

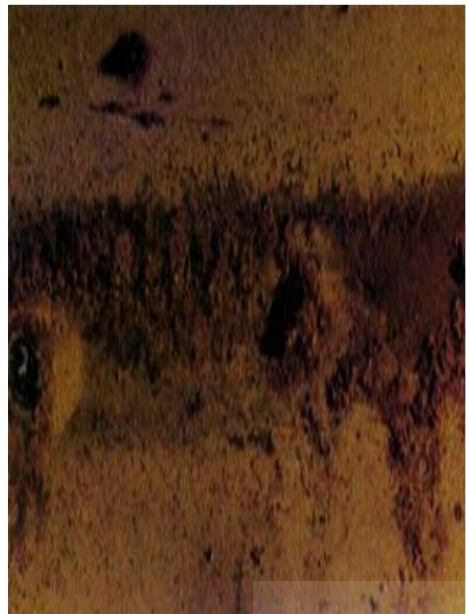
<그림 2-13>은 도관에서 성장한 스케일을 나타내며 깊고 깊숙하게 침투되었음을 알 수 있으며, 스케일은 성장하여 파이프의 흐름을 막을 수 있는 것으로 나타났다.

스케일 하부의 밀폐된 공간에서의 산소는 식 (10)과 같은 반응에 의하여 환원되며, 증가된 OH^- 의 표면 농도는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 석출을 촉진하게 된다. 혐기성 SRB는 돌기에 잠복하여 융착물 밑에서 부패하는 생물체는 이용하여 서식하며 산성의 H_2S 를 생성한다. <그림 2-14>는 미생물에 의하여 발생 가능한 생물학적, 전기화학적 절차가 나타나 있으며, 호기성 박테리아의 주요한 역할은 배관에서 부식을 촉진하는 것이다.





<그림 2-13> 도관에서 생성된 돌기



<그림 2-14> 미생물에 의한 부식이 촉진된 상태

2.1.4 소화 설비 배관과 일반배관의 차이점

소화 설비 배관과 일반배관의 차이점은 크게 용도, 기능, 재료, 압력, 사용 환경으로 <표 2-1>과 같이 구분할 수 있다. 재료의 차이를 보면 소화 설비 배관은 강관 및 아연도금 강관을 사용하여 습기와 산소에 노출되면 시간이 지나면서 아연층이 부식되고 그 아래의 철도 부식된다. 또한 연결된 금속 재질이 다르면(이중 금속 접촉) 전기화학적 부식이 더 잘 일어난다. 일반배관은 부식 저항성이 더 좋은 재질을 사용하는 경우가 많아 부식 위험이 적다. 사용 환경의 차이를 보면 소화 설비 배관은 평상시에는 사용되지 않고 물이 정체된 상태로 유지되어 물이 고여 있으면 산소 농도가 일정해져 부식이 더 쉽게 일어난다. 일반배관은 물이 지속적으로 흐르는 경우가 많아 물의 순환으로 부식 가능성이 상대적으로 낮다.

<표 2-1> 소화 설비 배관과 일반배관의 차이점

구분	소화 설비 배관	일반배관
용도	화재 발생 시 소화수를 전달하거나 소화 약제를 분사하기 위한 배관.	생활용수, 공업용수, 하수 등 물이나 기타 유체를 전달하기 위한 배관. 수도관, 하수도관, 난방관 등이 포함.
기능	안전과 직결되므로 신뢰성과 즉각적인 작동이 중요.	주로 일상생활 편의
재료	강철 배관, 아연도금 강관, 동관, 스테인리스강 등	PVC, PE, PP등의 플라스틱 배관, 구리, 스틸 등
압력	고압 설계가 일반적이며, 화재 시 순간적으로 높은 압력이 발생하는 조건을 견딜 수 있어야 함.	저압에서 중압 설계가 대부분이며, 지속적인 고압 환경은 드뭄.
사용 환경	평상시에는 사용되지 않고 물이 정체된 상태로 유지.	물이 지속적으로 흐르는 경우가 많음.

2.1.5 부식이 소화 설비 배관에 미치는 영향

배관은 가압되어 있는 소화수를 화재지점까지 이송하는 통로 역할을 하기 위한 것으로 배관이 정상 상태가 아니라면 소화수의 방수량 및 압력 부족으로 화재진압이나 화세 제어가 불가능하게 된다. 배관 부식에 따른 피해는 누수 발생으로 인한 소화 설비의 정지 및 그로 인한 소화 설비의 신뢰도 저하, 화재 발생으로 소화수를 방사할 때에 규정 방사량과 규정 방사압력의 미달에 따른 화재 진압의 불가, 원치 않는 장소에서의 소화수 방출에 따른 수손 피해, 배관의 기계적 강도 저하 등의 피해가 발생하게 된다.

1. 배관의 기계적 강도 저하

소화 설비 배관은 상시 소화수가 가압 상태로 채워져 있어 배관의 자중만이 아니라 소화수의 중량까지 하중으로 받고 있어 배관재의 부식으로 배관의 기계적 강도가 약해지게 되면 정지시의 수충격이나 소화 펌프의 기동을 견디지 못하고 배관 파손과 누수가 발생하게 된다.

2. 소화수 방출에 따른 수손피해

배관의 부식으로 인한 누수 발생 시 간접적인 피해로는 소화수에 의한 보수기간 중에 소방 시설 정지, 당해 구역의 사용 불가, 누수된 실내 인테리어 및 주변 시설 교체 등이 있다. 직접적인 피해로는 노후 시설 보수 및 배관 교체를 위한 경제적 손실이 발생하게 된다.

3. 규정 방사압력과 규정 방사량의 미달

배관의 부식은 배관 외부 및 내부 부식이 동시에 발생하게 되는데 내부 부식의 경우에는 배관 내 스케일의 형성과 동시에 발생하게 된다. 최초에는 배관 내면에 균일한 두께로 스케일이 형성되나 배관 내 유수의 흐름 상황에 따라 내부 부식이

발생하여 배관의 단면적이 축소되고 그에 따라 소화수의 방사량과 방사압력이 규정되어 있는 방사량과 방사압력에 미달되어 기대하는 화재진압이나 화세 제어의 소화 효과를 갖지 못하게 된다.

4. 소화 설비의 정지

배관 부식에 따른 피해 중 인지하지 못하고 있는 것 중 하나로 보수기간 중이나 보수 범위 및 보수 금액을 결정하는 기간에 소방설비의 정지로 인한 피해이다. 이는 화재가 발생하지 않는 경우는 피해가 발생하지 않으나 2009년 이천 냉동창고 화재와 같이 내부 공사로 인해 소화 설비를 폐쇄시키고 공사를 진행하였을 때의 화재는 대부분 대형 화재로 발전하며 화세의 제어나 화재의 규모 제한이 불가하여 재산 및 인명 피해의 발생이 불가피하다는데 문제가 있다.

5. 소화 설비의 신뢰도 저하

소화 설비는 평상시에는 감시 상태를 유지하고 있다가 화재가 발생하게 되면 작동하는 설비로 평상시에는 정상적으로 작동되고 있음을 인식하지 못하고 있게 된다. 하지만 소화 설비가 평상시에도 잦은 오동작으로 경보하게 된다면 점유자, 관리자, 건물주 등의 관계인은 무감각해지게 되는데 이와 같은 현상이 소화 설비의 신뢰도를 저하시키게 되어 실제 화재가 발생하면 정상적인 대처가 불가능하게 된다.

따라서 일반 설비는 평상시 사용하고자 하는 설비로 장애나 고장 여부의 인지가 빠르고 장애나 고장이 발생하였을 때 약간의 불편을 감내하는 정도이나 소화 설비는 평상시 필요한 설비가 아니라 화재와 같은 비상시 사용하는 설비로 평상시에는 정상 작동 여부를 확인 하기가 쉽지 않으며 장애나 고장으로 인한 소화 설비의 정지 시점에 화재가 발생하는 경우 피해를 가늠할 수 없다는 것에 문제가 있다.

일반 설비 배관 부식에 의한 영향은 누수로 인한 주변 시설의 수손 피해, 보수비

지출, 누수로 인한 설비 기능의 정지에 따른 배관의 교체로 일시적 불편 야기, 건물 구조체 내에서의 누수가 발생하면 구조체의 강도 저하, 지하 매설 배관에서의 부식은 누수에 의한 지반 함몰 및 토양 오염 등의 피해가 발생한다.

그러나 소화 설비 배관 부식에 의한 영향은 설비 기능의 정지, 보수비 지출, 누수로 인한 주변 시설의 수손 피해, 건물 구조체 내에서의 누수가 발생하면 구조체의 강도 저하, 지하 매설 배관에서의 부식은 누수에 의한 지반 함몰 및 토양 오염 등과 같은 배관 부식에 의한 영향 외에도 누수에 의한 다른 경보 발령 및 펌프의 잦은 기동으로 소방 시설에 대한 신뢰도 저하라는 문제가 발생한다.[3]

2.2 소화 설비 배관 부식 방지 공법

2.2.1 부식억제제(Corrosion inhibitor)

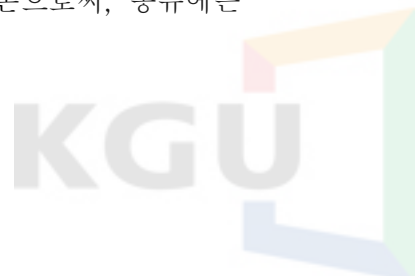
부식억제제는 부식 전지가 형성되는 환경으로부터 전해액을 첨가할 경우 금속의 표면에 균일하게 피막을 형성시켜 부식을 억제한다. 부식억제제는 양극 억제제, 음극 억제제, 혼합 억제제, 흡착 억제제, 기상 억제제 등이 있다.[7]

1. 양극 억제제(Anodic inhibitor)

양극 억제제는 양극 표면으로의 이동으로 양극 반응을 억제하거나 부동태화 시키는 음의 이온으로 용해된 산소와 작용한다. 종류에는 규산염, 정인산염, 크롬산염, 아질산염, 안식향산염 등이 있으며 <그림 2-15>와 같다.

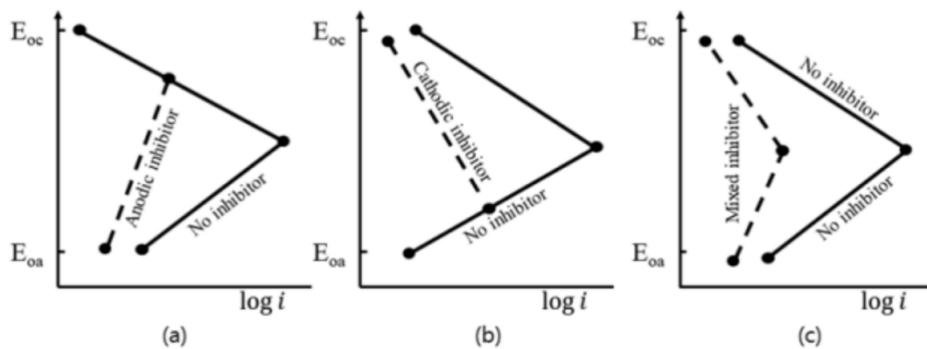
2. 음극 억제제(Cathodic inhibitor)

<그림 2-15>와 같이 음극 억제제는 음극 표면으로 이동하여 화학적 또는 전기 화학적으로 침전되어 음극 표면을 전해액과 분리시키는 양이온으로써, 종류에는 석회, 다인산염 등이 있다.



3. 혼합 억제제(Mixed inhibitor)

혼합 억제제는 규산염, 정인산염과 같은 비산화제와 크롬산염, 아질산염과 같은 산화제의 혼합으로 구성되어 있다. 두 개의 부식억제제를 동시에 첨가할 경우 우수한 효과가 있으며, 크롬산염 + 정인산염 또는 아질산염 + 안식향산염을 혼합하거나, 양극 억제제와 음극 억제제를 혼합하여 사용하기도 하며, <그림 2-15>와 같다.



<그림 2-15> 부식억제제 종류

4. 흡착 억제제(Adsorption inhibitor)

흡착 억제제는 대부분 질소(N)와 황(S)을 함유하고 있는 부식억제제로써 금속의 전체 표면에 양극, 음극 반응을 동시에 억제하는 기능을 가지고 있다.

5. 기상 억제제(Vapor phase inhibitor)

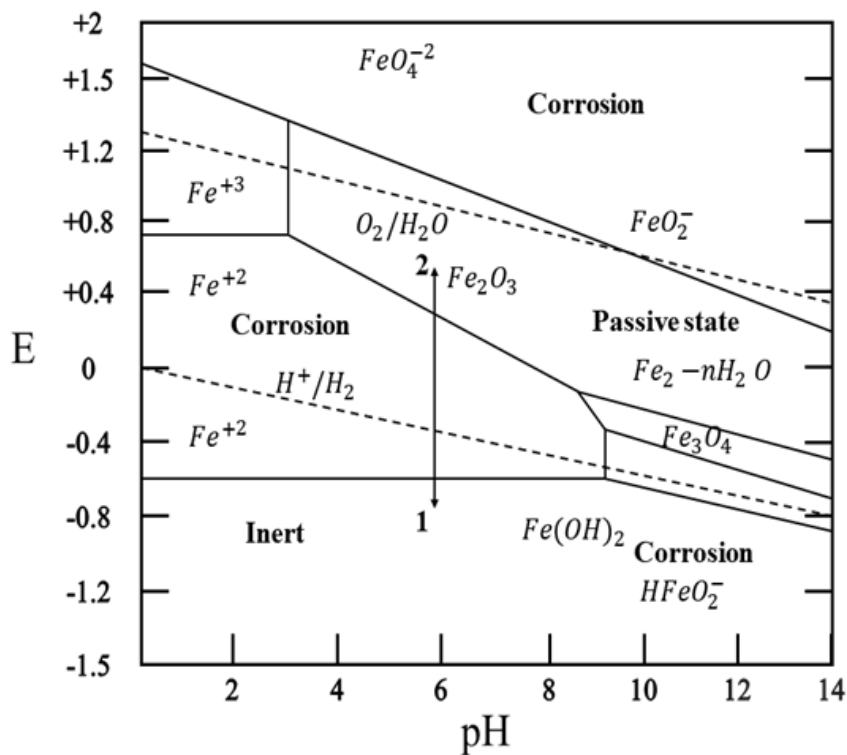
기상 억제제는 밀폐공간이나 수용성의 부식억제제를 적용할 수 없는 장소나 운반 또는 저장 중에 있는 물체의 부식을 방지하기 위해 휘발성 기상 억제제를 적용하고 있으며 주로 증기압이 높은 지방족 아민 또는 아질산염이 사용되고 있다.

2.2.2 전기방식(Electrical corrosion protection)

전기방식은 금속의 산화반응 현상을 제어하기 위해 전기를 이용하는 부식 방지에 해당하며 종류에는 양극방식과 음극방식으로 구분할 수 있다.[7]

1. 양극방식(Anodic protection)

<그림 2-16>은 강의 부식도(Pourbaix diagram)를 나타내었으며, 강에 전위를 높이면 녹이 비수용성 부동태 피막으로 바뀌어 부식의 진행이 억제된다. 또한 스테인리스강관의 경우 크롬을 합금하거나 양 분극 기능의 부식억제제를 주입하는 방법 등이 강에서 전위를 높이는 방법에 해당한다.



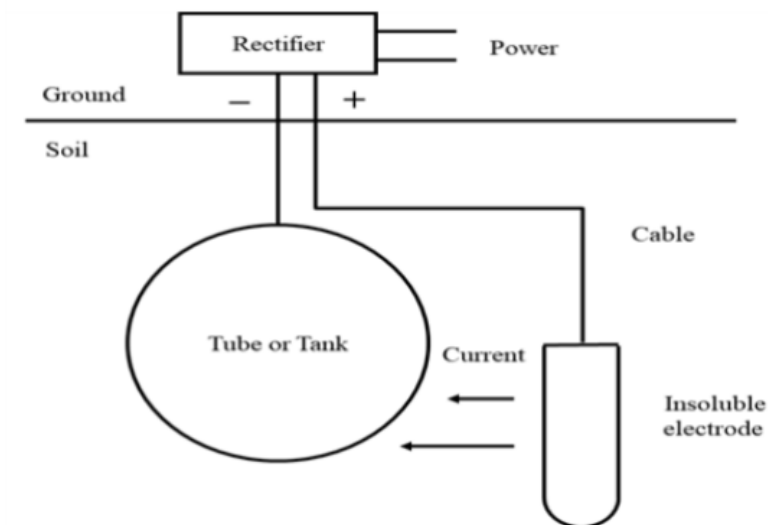
<그림 2-16> 양극방식

2. 음극방식(Cathodic protection)

금속에 전자(Electron)를 공급하여 전위를 낮추면 금속의 산화 반응이 억제되어 안정 영역에 도달하고 금속의 이온화 반응이 억제되어 부식이 방지되는 원리로 종류에는 외부전원법과 희생 양극법이 있다.

① 외부전원법

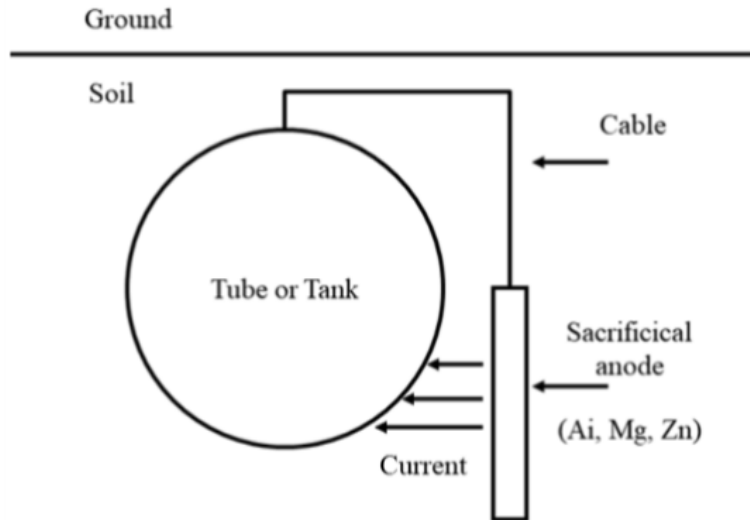
<그림 2-17>은 외부전원법을 나타내었으며, 강관 등의 부식 금속을 음극(-)이 되도록 하고 불용성 전극의 금속들(C, Pt, Ni, Fe)을 양극(+)으로 사용하며, 외부 전원(AC)을 공급하여 정류기를 거치면서 직류전원(DC)으로 변환시켜 음극에 전자를 공급하면서 전위를 방식 전위로 낮추어서 부식을 방지한다.



<그림 2-17> 음극방식

② 희생 양극법

<그림 2-18>은 강관 등의 부식 금속을 음극이 되도록 하고 전위가 낮고 이온화 경향이 큰 금속들(Mg, Al, Zn)을 희생양극으로 사용하며 희생양극이 부식될 때 발생하는 전자를 방식대상물(강관 등)에 공급하여 부식을 억제하는 방식이다.



<그림 2-18> 희생 양극법

2.2.3 피복방식

금속 표면에 수분 등의 전해질이 닿게 되면 부식 전지를 구성하고 상대적 양극 부에서 양극반응 전지부식이 발생하게 된다. 따라서 전해질이 전지의 회로 구성을 차단하는 것이 피복방식에 해당한다. 피복방식법에는 피복의 재질에 따라 유기 피복, 무기 피복으로 구분된다.[7]

1. 유기 피복

석유화학 제품에 해당하는 도료(Paint)를 금속의 표면에 칠하여 피막을 형성시켜서 수분 등의 접촉을 제어하는 방식법으로 도료의 종류에는 페인트, 바니쉬, 에나멜, 래커 등이 있다.

2. 무기 피복

무기질 방식의 제품을 금속의 표면에 도포, 도금하는 방법으로 금속 표면을 피복하는 방식과 금속 표면의 부식 생성물로 피막을 만드는 방법으로 구분할 수 있다.

2.3 소화 설비 배관의 국내·외 부식 점검 방법 조사·분석

2.3.1 국내(소방법)

소방관계법규인 소방기본법, 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률, 소방시설공사업법 법령, 시행령, 시행규칙 중 어느 곳에도 부식에 관해 규제하고 있는 항은 없었다. 또한 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 제22조에 따라 자체 점검을 수행하고 소방시설 점검자는 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시에 따라 각 소화설비에 대해 점검 내용을 기재하고 점검표를 작성하여 관할 소방서에 제출하도록 하고 있다. 소방시설의 점검은 종합정밀점검과 작동기능점검으로 구분되며, 각각의 점검은 연 1회 이상 실시 하도록 되어 있다. 그러나 소방시설 자체점검사항 등에 관한 점검 항목에 대한 내용을 확인해보면 설비에 대한 시스템 작동 확인과 육안 점검에 대해서만 점검하도록 하고 있고 수질 검사, 이물질, Scale, 노후 된 배관에 대한 부식 등 유지관리단계에서 수계 시스템의 성능 확보를 위해 배관 부식에 대한 내용은 없다[11].

2.3.2 미국(NFPA)

NFPA 25는 수계수화설비에 대한 유지관리, 점검, 시험에 대해 각 설비별 점검 주기 및 점검 항목에 대해 상세하게 기술되어 있다. 아래 내용은 NFPA 25 14 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 상세 내용이다.

1. 배관 내부 상태 평가

설비 뒷부분에 대부분의 스케일 및 침전물이 모여 있을 가능성이 가장 크다. 그래서 시험 배관이 설치된 가지 배관에서 이물질을 설비 말단에서 플러싱하여 배출할 수 있을 것이다. 시험 배관이 설치된 가지 배관에 인접한 가지 배관을 점검하면 예상되는 이물질 양을 더 현실적으로 추산할 수 있다.

점검을 하지 않고도 미생물 부식(MIC) 유무를 확인할 수 있는 방법은 보통 핀홀 누출로써 드러난다.

소화 설비 소화수 샘플에 대한 분석은 주 배수관 및 시험 배관에서 방출된 소화수에서 고체 물질을 수집 및 점검하는 작업과 병행하면 부식, 미생물 부식 및 이물질 유무를 확인할 수 있다. 심각한 미생물 부식이 확인되었거나 상당량의 이물질이 확인된 경우, 설비 내 부식, 미생물 부식 또는 다른 이물질의 정도를 확인하기 위해 추가 검사가 필요할 수 있다. 고체 물질은 크기가 적합한 스트레이너로 수집한다. 고체 물질 점검으로 과도한 녹, 흑색 물 또는 황화물 냄새(썩은 계란 냄새)가 확인된 경우, 14.3항에 기술된 이물질 검사가 필요하다.

내부 상태 육안 점검은 배관 배수, 배관 개봉이 필요하기 때문에 일정 기간 동안 설비를 정지시켜야 하며, 이로 인해 병원, 발전소 등 지속적으로 가동되는 건축물의 소유주에게는 받아들일 수 없는 수준의 사업 중단으로 이어질 수 있다. 또한 고층 건물에서는 비용이 많이 소요될 수 있다. 내부 상태 육안 점검은 유일한 내부 평가 방법이 아니다. 비파괴 방법 또는 비관입식 방법이 있다. 대표적인 비파괴 방식으로는 초음파 기술이 있다. 초음파 기술을 통해 시험을 수행하면서도 설비를 정지시키지 않고 평가를 수행할 수 있다. 초음파 트랜스 듀서를 배관의 외부 표면에 부착시켜 내부 상태를 빠르고 정확하게 파악할 수 있다. 펄스 에코 기술과 유도파 기술이 두가지 초음파 기술이다. 펄스 에코 초음파 기술의 원리는 초음파 직선 빔 신호가 배관 벽을 주파한 후 뒤쪽 벽에 반사되어 돌아오는 데 걸리는 시간을 측정하는 방식으로, 이를 통해 ‘잔여 벽두께’를 최소 1/1000인치까지 측정할 수 있다. 유도파(또는 램파) 초음파 기술은 배관의 원주를 따라 주파하여 내부 표면 상태를 드러낸다. 이후 시험 대상 배관에 의해 발생된 파는 ‘실시간파(real-time wave)’라고 하기도 하며 이를 온전한 배관의 ‘에너지’ 형태로 표현한 ‘특징파(signature wave)’와 비교한다. 도출된 에너지 데이터는 초음파 표면파가 재료 및 벽 두께가 동일한 배관을 주파하는 양상을 표현한다. 특징파와 실시간파 사이의 불일치는 배관 내부 상태에 변화가 있음을 의미한다. 출력 데이터는 시험 진행 중에

휴대용 장치에 표시된다. 언급한 두 파 간의 차이가 배관 벽 열화, 결빙으로 인한 관 막힘, 미생물 부식, 재료 부식, 스케일링 또는 배관의 유량 특성을 바꿀 수 있는 기타 변화를 표현할 수 있다.

- ① 배관 내부 상태 평가 시에는 무기물 유무와 이물질 점검을 목적으로 5년마다 수행해야 한다.
- ② 결절(tubercule)이나 점액(Slime)이 확인된 경우, 미생물 부식이 일어나는 지 시험해야 한다.
- ③ 외부 유기물이나 무기물이 건물 설비에서 확인된 경우, 모든 설비를 평가해야 한다.

2. 이물질 점검 및 방지

다음 상태일 경우, 항상 설비나 주 배관에 이물질 점검을 수행해야 한다.

- ① 급수장치 본체 개방으로 인한 소화펌프 흡입 시 결함이 있는 흡수구
- ② 정기적인 급수장치 시험 중의 이물질 방출
- ③ 소화 펌프, 알람밸브 또는 체크밸브의 이물질
- ④ 시험 배관 막힘, 또는 배수 시험 중 물에 이물질이 있음
- ⑤ 배수, 재 충수 또는 물이 설비를 지나가는 동안 설비 배관에서 미상의 소리가 들림
- ⑥ 수계소화설비 막힘
- ⑦ 상당량의 외부 유기물이나 무기물이 배관에서 확인됨
- ⑧ 새로운 설치나 수리 후에 주변 배관 플러싱 실패
- ⑨ 주변부에 파손된 주 배관의 흔적
- ⑩ 비정상적으로 빈번한 오작동
- ⑪ 운전 중지 연장 후(1년 이상) 재가동한 설비
- ⑫ 수계소화설비에 규산나트륨이나 높은 부식성 용제가 안에 있다고 믿을 만한 원인이 존재함



- ⑬ 설비에 연결송수구를 통해 정수되지 않은 물이 공급됨
- ⑭ 핀홀 누출
- ⑮ 최초 설비 인수 시험과 비교했을 때 수계소화설비의 정격유량(full flow) 작동 시험 중에 밸브가 작동하는 시간에서 시험 배관으로 물이 이동하기까지 소요 되는 시간이 50% 증가

내부 점검은 다음의 최소 4개 지점에서 수행해야 한다.

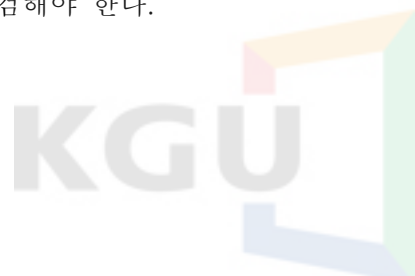
- ① 설비 밸브
- ② 입상관
- ③ 교차 배관
- ④ 가지 배관

대체 검사 방법에는 다음 사항이 포함된다.

- ① 영상 점검 장치를 사용하여 배관 내부 상태를 관찰하기 위해 설비의 주요 지점에 삽입한다. 이 장치를 사용하면 푸시 케이블(push cable) 뒷부분에 조명 장치와 카메라를 사용하여 대상 배관의 육안 검사가 가능하다. 영상 점검 장치는 설비 형상에 따라서 입상관, 공급 주배관, 교차 배관, 그리고 가지 배관을 검사하기 위해 적용할 수 있다. 체크밸브에 푸시 케이블을 삽입할 수 있으며, 연결송수구에 삽입할 수 있다.
- ② 미생물 부식 등의 부식으로 인한 열화의 정도를 확인하기 위해 초음파 기술이나 유사 기술을 사용하여 배관 벽을 검사할 수 있다, 결절이나 점액이 이물질 검사 동안에 확인된 경우에는 미생물 부식이 일어나는지 시험해야 한다.

3. 얼음 이물질

0℃ 이하에서 유지되는 냉동 공간을 통과하거나 방호하는 설비 배관의 내부는 배관이 냉동 구역으로 진입하는 지점에 얼음 이물질을 매년 점검해야 한다.



<표 2-2>은 NFPA 25에서 수계 소화 설비 시스템의 성능 테스트에 관한 내용이다. 스프링클러 장애물 검사 샘플링 테스트는 5년마다 실시하며 배관 내부의 이물질 제거 상태를 감시하도록 규정하고 있다. Sampling 검사는 대표적인 공인 시험기관에 의뢰하도록 요구하고 있다. 옥내소화전 및 옥외소화전은 유량 테스트를 5년마다 실시하며 옥외소화전은 배수 테스트는 매년 마다 실시하도록 규정하고 있다. 밸브 및 부품에 대해서는 내부 검사를 5년마다 실시하도록 하고 주요 배수 테스트는 1년마다 실시하도록 규정하고 있다. 수원에 대해서는 내부 검사를 부식 방지가 되어 있지 않으면 3년, 부식 방지가 되어 있다면 5년마다 실시하여 주기적인 관리가 이루어지게 하고 있다[9].

<표 2-2> NFPA 25 수계소화설비 성능 테스트[9]

NFPA 25		
분류	테스트 및 검사	주기
스프링클러	이물질 샘플링 테스트	5년
옥내소화전	흐름 테스트	5년
옥외소화전	흐름 테스트 배수 테스트	5년 매년
밸브 및 부품	내부 검사 주 배수 테스트	5년 1년
수조	내부 검사	3년 (부식이 없을 경우) 5년



제 3 장 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 문제점 도출

3.1 배관 부식 사례 조사·분석

3.1.1 OO캠퍼스 옥외소화배관 점검(2012년)

<그림 3-1>과 같이 2012년에 OO캠퍼스 옥외소화배관 육안 점검 및 내시경 점검 결과 국부 부식이 발생하여 배관의 기계적 강도가 저하 되어 배관 파손으로 인한 누수가 발생하게 되었다.



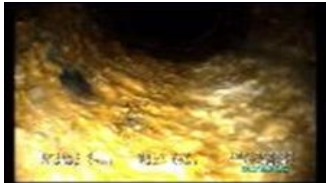
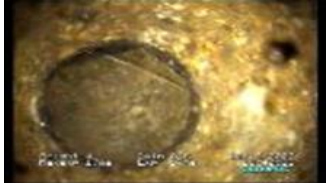
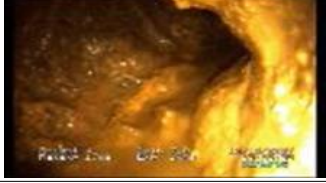
<그림 3-1> 2012년 OO캠퍼스 옥외소화배관 육안 점검 및 내시경 점검 결과

시간이 지남에 따라 14년 이상 사용된 강관 배관 부식 발생을 확인 할 수 있었고 부식으로 인해 배관의 기계적 강도가 저하 되어 배관 파손으로 인한 여러 가지 문제점이 발생하였다. 소화수 방출에 따른 수손 피해가 발생 되었고 규정 방사압력과 규정 방사량이 미달 되어 옥외소화배관 정지를 야기시키게 되어 소화 설비에 대해 소화수를 공급할 수 없게 되었다.

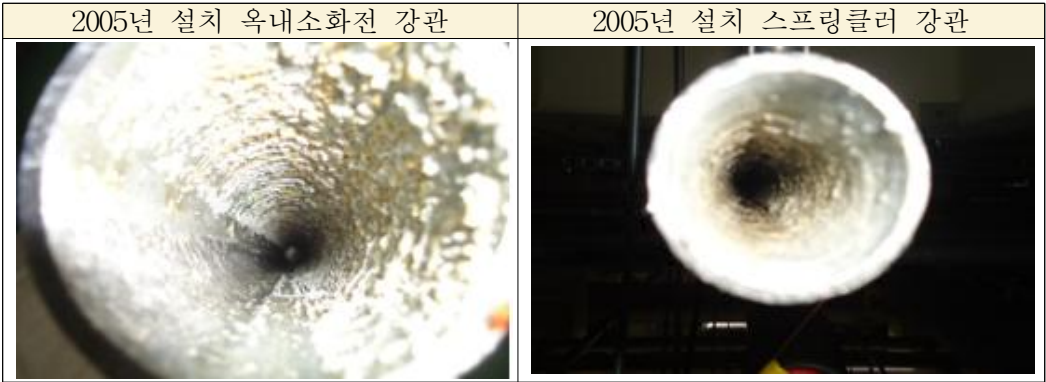
3.1.2 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 점검(2007, 2012, 2015년)

<표 3-1>과 같이 2007년에 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.

<표 3-1> 2007년 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과

위치	건물준공년도	소화배관 내시경 사진
1라인 옥상 및 1층 기계실(입상 배관)	1984.05	
2라인 3층 복도 및 1층 복도 소화전 (매립 배관)	1985.04	
U라인 소모품 창고 스프링클러 배관	1992.08	
여자기숙사 2동 5층 복도 및 1층 복도 소화전 (매립 배관)	1984.05	
여자기숙사 8동 6층 서편 복도 및 1층 서편 복도 (매립 배관)	1992.08	

<그림 3-2>, <그림 3-3>과 같이 2012년 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 배관 육안 점검 결과 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.



<그림 3-2> 2012년 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 배관 육안 점검 결과



<그림 3-3> 2012년 OO캠퍼스 스프링클러 배관 육안 점검 결과

<표 3-2>와 같이 2015년 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과 시간이 지남에 따라 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.



<표 3-2> 2015년 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과

건물명	층	배관 사진 (내시경 카메라 촬영)	상태	준공년도 (소화배관 공사)
2라인	옥상		나쁨	1984년
3라인	옥상		나쁨	1988년
기술동	옥상		나쁨	1989년
SR1동 용역동	지하		나쁨	1995년
진달래동	10층		나쁨	2004년
6-1, 2라인	옥상		나쁨	1994년
S1-Ph2라인	옥상		양호	2011년
신설자재동	2층		나쁨	1997년
월계수동	10층		나쁨	1995년

시간이 지남에 따라 7년 이상 사용된 배관에서 미생물 부식 발생을 확인 할 수 있었고 부식으로 인해 배관의 기계적 강도가 저하 되어 배관 파손으로 인한 여러 가지 문제점이 발생하였다. 소화수 방출에 따른 수손 피해가 발생 되었고 규정 방사압력과 규정 방사량이 미달 되어 소화 설비 정지를 야기시키게 됨으로써 소화 설비의 신뢰도가 하락됨을 확인하였다.

3.1.3 OO캠퍼스 옥내·외 소화전 소화수 탁도 측정 분석 (2015년)

2015년 OO캠퍼스 옥내·외소화전 소화수 탁도 측정을 <그림 3-4>과 같은 기준으로 측정하였다. <표 3-3>과 같이 점검 결과 녹물이 발생하여 부식을 확인 할 수 있었다.

구분	A등급	B등급	C등급	D등급
소화수 탁도				
	맑고 투명한 소화수	옅은 적색(녹물)띠 며 30초↓ 맑은 물 방수	적색(녹물)띠며 30초 ↑ 맑은 물 방수	짙은 흑색/적색의 오염된 소화수 방수

<그림 3-4> 소화수 탁도 측정 기준

<표 3-3> 2015년 OO캠퍼스 옥내·외소화전 소화수 탁도 측정 결과

옥내소화전				옥외소화전			
건물명	사진	탁도	준공 년도	건물명	사진	탁도	준공 년도
2L		D	1984	진달 래동		C	2004
3L		D	1988	6-1L		B	1994
기술동		D	1989	6-2L		B	1994
용역동		C	1995	6-3L		B	1994
6-1L		D	1994	S1 - Ph2L		B	2011
6-2L		D	1994	신설 차재동		C	1997
6-3L		D	1994	SR6동		D	1984

시간이 지남에 따라 4년 이상 사용된 배관에서 녹물이 방출되어 부식이 발생함을 확인 할 수 있었고 부식으로 인해 소화수가 오염됨을 확인 할 수 있었다. 규정 방사압력과 규정 방사량이 미달 되어 기대하는 화세 제어나 화재진압의 소화 효과를 갖지 못하는 것을 확인하였다. 배관 플러싱이나 부식억제제 등의 조치가 필요함을 확인하였다.

3.1.4 OO캠퍼스 스프링클러 헤드 육안 점검 분석(2020년)

2020년 OO캠퍼스 스프링클러 헤드 4097개에 대한 육안 점검 결과 <그림 3-5>과 같이 966개(24%)의 스프링클러 헤드에 청색염 확인을 통한 갈바닉 부식이 확인되었다.



<그림 3-5> 부식된 스프링클러 헤드

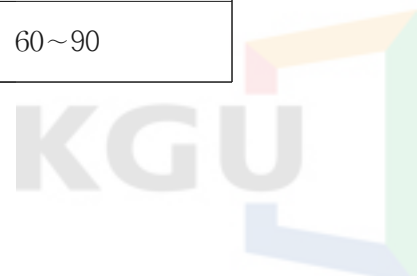
2003년 설치 후 17년 경과된 스프링클러 헤드에서 갈바닉 부식이 확인되었다. 헤드는 니켈 크롬 재질이고 배관은 아연도금 재질인 이종 금속 접합 방식을 사용하여 갈바닉 부식이 발생하고 갈바닉 부식으로 인해 나사 접속부에서 가장 가까운 곳부터 아연도금 탈락이 발생 되어 이후 틈 부식이 진행되어 나사 접속부에서 누수가 발생 됨을 확인하였다.

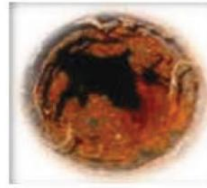
3.2 배관 부식 분석 실험 고찰

일반적으로 소화 설비 배관으로 주로 사용되고 있는 배관재료는 일반배관용 탄소강관, 압력 배관용 탄소강관, 동관, CPVC(Chlorinate polyvinyl chlorided)관, 스테인리스 강관으로 구분된다. 특히 주차장 같은 경우에 아연도금 강관을 많이 사용하고 있으며, 저가로 구하기 쉽고 작업성이 높으며 기계적 강도가 우수하여 소방 분야 및 기계설비에 다양하게 사용하고 있다. 하지만 건축물이 준공되고 10년 이상 지나게 되면 배관의 부식으로 인해 녹과 Scale이 형성되어 소화 설비 배관의 방사압력 및 방사량을 충족시키지 못하는 사례가 발생하고 있다. <표 3-4>은 소화 설비 배관으로 많이 사용되고 있는 탄소강관의 사용 연수에 따른 배관 내 단면 감소율을 나타낸 것이다. 내부 부식에 따른 Scale 생성으로 인해 배관 내 단면적이 작게는 10%, 많게는 70%까지 감소한 것으로 알려져 있다. 그리고 21년 이상 경과 된 아연도금 강관의 노후 배관은 내부 및 외부 면에서 부식이 많이 발생하여 아연도금을 통한 방식 기능을 대부분 상실하는 것으로 보고된 바 있다. <그림 3-6>은 7년 이상에서 21년 이상 된 아연도금 강관의 경과별 부식 상황을 나타낸 것으로 배관이 7년 이상만 되어도 내부 Scale 생성으로 인해 정상 방수량을 공급할 수 없는 상태임을 보여주고 있다[12].

<표 3-4> 사용 연한에 따른 단면 감소율[12]

Year of Use	Section Reduction Rate (%)	Pipe Thickness Reduction Rater(%)
5 Years	10~20	20~30
10 Years	20~50	50~70
15 Years	30~70	60~90



			
(a) Passing of seven years	(b) Passing of thirteen years	(c) Passing of seventeen years	(d) Passing of twenty-one years

<그림 3-6> 아연도금 강관의 연도별 부식 경과 현황[12]

2003년 설치 후 17년 경과 된 스프링클러 헤드에서 갈바닉 부식이 확인되었다. 헤드는 니켈 크롬 재질이고 배관은 아연도금 재질인 이중 금속 접합 방식을 사용하여 갈바닉 부식이 발생하고 갈바닉 부식으로 인해 나사 접속부에서 가장 가까운 곳부터 아연도금 탈락이 발생 되어 이후 틈 부식이 진행되어 나사 접속부에서 누수가 발생 됨을 확인하였다.

2007년에 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.

2012년 OO캠퍼스 옥내소화전 및 스프링클러 배관 육안 점검 결과 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.

2012년에 OO캠퍼스 옥외소화배관 육안 점검 및 내시경 점검 결과 국부 부식이 발생하여 배관의 기계적 강도가 저하 되어 배관 파손으로 인한 누수가 발생하게 되었다.

2015년 OO캠퍼스 옥내소화전 배관 내시경 점검 결과 시간이 지남에 따라 미생물 부식이 발생하여 별개의 작은 혹, 결절, 웅이 등이 생성되어 유수의 장애를 유발 함이 확인되었다.

2015년 OO캠퍼스 옥내·외소화전 소화수 탁도 측정을 하였다. 점검 결과 녹물이 발생하여 부식을 확인 할 수 있었다.

소화 설비 배관 및 스프링클러 헤드 부식 점검을 위해 육안 점검, 소화수 탁도 및 내시경 검사를 진행한 결과 옥외소화전, 옥내소화전, 스프링클러 배관과 헤드에서 4년 이상 사용된 배관에 대하여 부식이 발생되었다. 경년 변화에 따라 오래된 배관일수록 부식이 많이 진행 되었음을 확인 할 수 있었다. 부식으로 인해 배관의 기계적 강도가 저하 되어 배관 파손으로 인한 여러 가지 문제점이 발생하였다. 소화수 방출에 따른 수손 피해가 발생 되었고 규정 방사압력과 규정 방수량이 미달 되어 소화 설비에 대해 소화수를 공급할 수 없게 되었다. 그래서 기대하는 화세 제어나 화재진압의 소화 효과를 갖지 못하는 것을 확인하였다. 이에 배관 플러싱이나 부식억제제 등의 조치가 필요함을 확인하였다. 조치 기간 동안 소화 설비 정지가 발생함에 따라 많은 재산 피해를 발생시키게 된다.

3.3 배관 부식 점검 방법 문제점 도출

경년 변화에 따라 수계 소화 설비 배관 내 부식이 발생하면 소화수의 수량의 부족 및 압력 저하 등 구조 적정성을 상실할 수 있으며 배관 스케일 등의 부식생성물로 인해 막힐 수 있어 화세 제어나 초기 화재 진압이 불가능하게 된다. 또한 배관 및 헤드에 파손이 발생한다면 원하지 않는 장소에서의 소화수 방출에 따른 수손 피해가 발생하게 된다. 이로 인해 수계 소화 설비의 신뢰성이 저하 되고 회복을 위해 보수를 발생시키게 되고 수리 기간 동안 수계 소화 설비의 정지로 인한 대규모 피해를 야기시키게 된다. 그러나 현재 국내에서는 부식 점검이 전무한 상태로 적절한 부식 점검 방법이 필요한 상태이다.



3.3.1 기술적 기준 문제점

배관 부식 점검 방법에 대한 기술적 기준의 문제점으로는 배수관에서 방출된 소화수에 고체 물질 및 소화수 평가에 대한 기준 및 내부 상태 육안 점검 시 정해져 있는 포인트가 없다. 또한 내부 상태 육안 점검이 불가능 할 경우에 대한 기준이 없으며, 미생물 부식(MIC) 유무를 점검하는 기준이 없다. 부식에 대한 방지 기준과 제거 방법에 대한 기준과 시험 장비에 대한 기준도 없는 것으로 나타났다. 또한 다음과 같은 상태일 경우에는 이물질 점검을 수행하는 기준이 없는 것으로 나타났다.

- ① 급수장치 본체 개방으로 인한 소화 펌프 흡입 시 결함이 있는 흡수구
- ② 정기적인 급수장치 시험 중의 이물질 방출
- ③ 소화 펌프, 알람밸브 또는 체크밸브의 이물질
- ④ 시험 배관 막힘, 또는 배수 시험 중 물에 이물질이 있음
- ⑤ 배수, 재 충수 또는 물이 설비를 지나가는 동안 설비 배관에서 미상의 소리가 들림
- ⑥ 수계소화설비 막힘
- ⑦ 상당량의 외부 유기물이나 무기물이 배관에서 확인됨
- ⑧ 새로운 설치나 수리 후에 주변 배관 플러싱 실패
- ⑨ 주변부에 파손된 주 배관의 흔적
- ⑩ 비정상적으로 빈번한 오작동
- ⑪ 운전 중지 연창 후(1년 이상) 재가동한 설비
- ⑫ 수계소화설비에 규산 나트륨이나 높은 부식성 용제가 안에 있다고 믿을만한 원인이 존재함
- ⑬ 설비에 연결송수구를 통해 정수되지 않은 물이 공급됨
- ⑭ 편홀 누출
- ⑮ 최초 설비 인수 시험과 비교했을 때 수계소화설비의 정격유량(full flow) 작

동 시험 중에 밸브가 작동하는 시간에서 시험 배관으로 물이 이동하기까지 소요 되는 시간이 50% 증가

3.3.2 제도적 기준 문제점

배관 부식 점검 방법에 대한 제도적 기준의 문제점으로서 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 주기가 명시되어 있지 않다. 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 제22조에 따라 자체 점검을 수행하고 소방 시설 점검자는 소방시설 자체 점검 사항 등에 관한 고시에 따라 연 1회 이상 종합정밀점검과 작동기능점검을 실시하고 각 소화 설비에 대해 점검 내용을 기재하고 점검표를 작성하여 관할 소방서에 제출하도록 하고 있지만 점검 항목에 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 항목이 없다. 또한 내부 배관 상태 및 이물질 점검 시 장비에 대한 규정이 없으며, 단순히 작동 여부만 검사하고 소방시설등 점검 결과 내 내부 배관 상태 및 이물질 점검 결과와 어떠한 항목을 점검해야 하는지에 대한 기준이 없는 것으로 나타났다.



제 4 장 소화 설비 배관의 부식 점검 방법 개선 방안 제시

4.1 기술적 개선 방안

4.1.1 시험 방법

시험 방법에 대한 문제점으로는 내부 상태 육안 점검 시 정해져 있는 포인트가 없으며, 내부 상태 육안 점검이 불가능 할 경우에 대한 기준이 없다. 또한 미생물 부식(MIC) 유무를 점검하는 기준이 없고 부식에 대한 방지 기준과 제거 방법에 대한 기준이 없다. 마지막으로 이물질 점검을 수행하는 기준이 없다.

이에 본 연구에서는 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검 시험 방법 개선(안)을 다음과 같이 제시하고자 한다.

1. 배수관에서 방출된 소화수에 고체 물질을 수집 및 점검
2. 내부 상태 육안 점검
내부 점검은 다음의 최소 4개 지점에서 수행해야 한다.
 - ① 설비 밸브
 - ② 입상관
 - ③ 교차 배관
 - ④ 가지 배관
3. 내부 상태 육안 점검이 불가능할 경우 영상 점검 장치나 비파괴 기술인 초음파 기술 등을 활용하여 점검한다.
 - ① 영상 점검 장치는 내시경 기술을 사용한다.
 - ② 초음파 기술은 펄스 에코 기술이나 유도파 기술을 사용한다.
4. 편홀 누출, 결절, 점액이 발생한다면 미생물 부식(MIC) 유무를 점검한다.

5. 외부 유기물이나 무기물이 건물 설비에서 확인된 경우, 모든 설비를 평가해야 한다.
6. 다음 상태일 경우, 항상 설비나 주배관에 이물질 점검을 수행해야 한다.
- ① 급수장치 본체 개방으로 인한 소화 펌프 흡입 시 결함이 있는 흡수구
 - ② 정기적인 급수장치 시험 중의 이물질 방출
 - ③ 소화 펌프, 알람밸브 또는 체크밸브의 이물질
 - ④ 시험 배관 막힘 또는 배수 시험 중 물에 이물질이 있음
 - ⑤ 배수, 재 충수 또는 물이 설비를 지나가는 동안 설비 배관에서 미상의 소리가 들림
 - ⑥ 수계소화설비 막힘
 - ⑦ 상당량의 외부 유기물이나 무기물이 배관에서 확인됨
 - ⑧ 새로운 설치나 수리 후에 주변 배관 플러싱 실패
 - ⑨ 주변부에 파손된 주 배관의 흔적
 - ⑩ 비정상적으로 빈번한 오작동
 - ⑪ 운전 중지 연장 후(1년 이상) 재가동한 설비
 - ⑫ 수계소화설비에 규산나트륨이나 높은 부식성 용제가 안에 있다고 믿을 만한 원인이 존재함
 - ⑬ 설비에 연결송수구를 통해 정수되지 않은 물이 공급됨
 - ⑭ 핀홀 누출
 - ⑮ 최초 설비 인수 시험과 비교했을 때 수계소화설비의 정격유량(full flow) 작동 시험 중에 밸브가 작동하는 시간에서 시험 배관으로 물이 이동하기 까지 소요 되는 시간이 50% 증가
7. 0℃ 이하에서 유지되는 냉동 공간을 통과하거나 방호하는 설비 배관의 내부는 배관이 냉동 구역으로 진입하는 지점에 얼음 이물질을 매년 점검해야 한다.



4.1.2 시험 장비

내부 배관 상태 및 이물질 점검을 개선된 시험 방법에 맞춰 시행하려면 첫번째로 배수관을 통해 방출된 소화수를 필터링하여 고체 물질을 수집할 수 있는 필터가 있어야 한다. 두번째로 소화수의 pH를 측정할 수 있는 장비가 있어야 한다. 마지막으로 육안 점검이 불가능할 경우 내시경 장비 또는 초음파 장비가 필요하다. 이에 본 연구에서는 측정 시험 장비 개선(안)을 다음과 같이 제안하고자 한다.

1. 배수관을 통해 방출된 소화수를 필터링하여 고체 물질을 수집할 수 있는 필터
(예 : 5 μ m, 10 μ m)
2. pH 측정 장비(예 : 측정기 또는 리트머스지)
3. 내시경 장비 또는 초음파 장비(펄스 에코 또는 유도파 기술)

4.1.3 평가 기준

내부 배관 상태 및 이물질 점검을 개선된 시험 방법 및 장비로 점검하고 난 후 평가를 하려면 배수관에서 방출된 고체 물질에 대한 평가 기준이 필요하다. 또한 방출된 소화수의 pH 정상 범위가 필요하며, 마지막으로 상태가 양호하거나 불량할 때의 조치 방법이 필요하다.

이에 본 연구에서는 부식 평가 기준 개선(안)을 다음과 같이 제안하고자 한다.

1. 배수관에서 방출된 소화수에 고체 물질 평가

A등급 : 대부분 미세 입자(10 μ m 이하)

B등급 : 미세 입자가 주를 이루지만 일부 중간 크기 입자 존재(10~50 μ m)

C등급 : 중간 크기 입자가 다수 포함(50~100 μ m)

D등급 : 큰 입자가 다수 포함(100 μ m 이상)

F등급 : 매우 큰 입자 다수 포함 또는 결함된 덩어리 형태로 발견

2. 배수관에서 방출된 소화수 정상 pH 범위 4~10
3. 내부 배관 상태 및 이물질 점검 시 상태가 양호하고 이물질이 없다면 앞서 2장에서 언급한 부식억제제, 전기방식, 피복방식을 통한 부식 방지 대책을 적용하고 상태가 양호하지 않고 이물질이 있다면 플러싱을 실시 해야 하고 심각한 미생물 부식이 발견된 경우에는 화학 세정공정이 필요함으로 반드시 관련 절차에 풍부한 경험이 있는 전문인력이 수행하도록 한다. 이를 통해서도 제거가 되지 않는다면 부분적 교체 및 보수를 시행하도록 한다.

4.2 제도적 개선 방안

소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 제22조에 따라 자체 점검을 수행하고 소방시설 점검자는 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시에 따라 각 소화설비에 대해 점검 내용을 기재하고 점검표를 작성하여 관할 소방서에 제출하도록 하고 있다. 소방시설의 점검은 종합정밀점검과 작동기능점검으로 구분되며, 각각의 점검은 연 1회 이상 실시하도록 되어 있다. 그러나 소방시설 자체점검사항 등에 관한 점검 항목에 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 항목이 없으므로 NFPA 25 수계수화설비에 대한 유지관리, 시험, 점검에 대해 각 설비별 점검 항목 및 점검 주기 내 14 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 상세 내용을 바탕으로 5년에 한번 종합정밀점검이나 작동기능점검에 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시하여 관할 소방서에 제출하도록 해야 한다.

4.2.1 현행 법규

소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 제22조(소방시설등의 자체점검)에서는 특정소방대상물의 관계인은 그 대상물에 설치되어 있는 소방시설 등이 이 법이나 이 법에 따른 명령 등에 적합하게 설치·관리되고 있는지에 대하여 그 점검 결과를 행

정안전부령으로 정하는 바에 따라 관계인에게 제출하여야 한다.

또한 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조(소방시설등 자체점검의 구분 및 대상 등)에서는 자체점검 구분에 따른 점검사항, 소방시설등점검표, 점검인원 배치상황 통보 및 세부 점검방법 등 자체점검에 필요한 사항은 소방청장이 정하여 고시하도록 하고 있다. 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조(점검사항·세부점검방법 및 소방시설등점검표 등)에서는 특정소방대상물에 설치된 소방시설등에 대하여 자체점검을 실시하고자 하는 경우 별지 제4호서식의 소방시설등(작동점검·종합점검)점검표에 따라 실시하도록 규정하고 있다.

그러나 상기와 같이 국내의 현행 법규 내에서 소방시설 점검에 관하여 언급하고 있지만 부식 점검 방법에 대한 내용은 규정하고 있지 않다.

4.2.2 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조 별표 3 개선

소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조 별표 3에 대해서 <표 4-1>과 같이 작동점검 및 종합점검 연 1회 이상 실시할 때 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시하고 점검 장비에 고체 물질 수집 필터(예 : 5 μ m, 10 μ m), pH 측정 장비(예 : 측정기 또는 리트머스지), 내시경 장비 또는 초음파 장비(펄스 에코 또는 유도파 기술) 추가를 제안하고자 한다.



<표 4-1> 소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제20조 별표 3 개선 방안

구 분	현 행	개 선(안)			
별표 3	다. 작동점검은 연 1회 이상 실시한다.	다. 작동점검은 연 1회 이상 실시한다. 또한 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시한다.			
	다. 종합점검의 점검 횟수는 다음과 같다. 1) 연1회 이상(「화재의 예방 및 안전에 관한 법률 시행령」 별표 4 제1호가목의 특급 소방안전관리 대상물은 반기에 1회 이상) 실시한다	다. 종합점검의 점검 횟수는 다음과 같다. 1) 연1회 이상(「화재의 예방 및 안전에 관한 법률 시행령」 별표 4 제1호가목의 특급 소방안전관리 대상물은 반기에 1회 이상) 실시한다 또한 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시한다.			
	<신설>	<table> <tr> <td>소방 시설</td> <td>점검 장비</td> </tr> <tr> <td>내 부 배 관 상 태 및 이 물 질</td> <td>고체 물질 수집 필터(예 : 5μm, 10μm), pH 측정 장비(예 : 측정기 또는 리트머스지), 내시경 장비 또는 초음파 장비(펄스 에코 또는 유도파 기술)</td> </tr> </table>	소방 시설	점검 장비	내 부 배 관 상 태 및 이 물 질
소방 시설	점검 장비				
내 부 배 관 상 태 및 이 물 질	고체 물질 수집 필터(예 : 5μm, 10μm), pH 측정 장비(예 : 측정기 또는 리트머스지), 내시경 장비 또는 초음파 장비(펄스 에코 또는 유도파 기술)				

4.2.3 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 개선

소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호에 관하여 <표 4-2>, <표 4-3>과 같이 소방시설등 점검 결과 내 내부 배관 상태 및 이물질 점검 결과가 신설되어야 하고 수계소화설비 점검표 내 등 내부 배관 상태 및 이물질 점검 항목과 결과가 신설되어야 한다.

<표 4-2> 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 점검표 개선 방안

구 분	현 행	개선(안)
별지 제4호 점검표	[]방화문, 자동방화셔터 []비상구, 피난통로 []방 엄	[]방화문, 자동방화셔터 []비상구, 피난통로 []방 엄 []내부 배관 상태 및 이물질 점검

<표 4-3> 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 수계소화설비 점검표 개선 방안

구 분	별지 제4호 옥내소화전설비 점검표		
현행	<신설>		
개선	번호	점검항목	점검결과
	2-1. 내부 배관 상태 및 이물질		
	2-1-001	○ 배수관에서 방출된 소화수에 고체 물질 수집 및 점검	
	2-1-002	○ 내부 상태 점검	
	2-1-003	○ 핀홀 누출, 결절, 점액 발생 미생물 부식(MIC) 유무	
	2-1-004	○ 배관 외부 유기물이나 무기물 점검	
	2-1-005	○ 소화펌프 알람밸브 또는 체크밸브의 이물질	
	2-1-006	○ 배수, 재충수 또는 물이 설비를 지나가는 동안 배관에서 소음 유무	
	2-1-007	○ 수계소화설비 막힘	
	2-1-008	○ 배관 내부 얼음 이물질	



제 5 장 결 론

본 연구에서는 배관 부식 사례 실험에 대한 고찰을 통한 문제점을 조사·분석하였다. 수계소화설비의 배관 내 부식 점검 방법에 대한 개선 방안을 제시하기 위하여 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 시험 방법 개선 방안으로서는 내부 상태 육안 점검 항목, 내부 상태 육안 점검이 불가능 할 경우에 대한 기준을 제안하였다. 또한 미생물 부식(MIC) 유무를 점검하는 기준과 부식에 대한 방지 기준, 제거 방법에 대한 기준 및 이물질 점검을 수행하는 기준을 제안하였다.

둘째, 배관 부식 점검 시험 장비는 배수관을 통해 방출된 소화수를 필터링하여 고체 물질을 수집할 수 있는 5 μ m~10 μ m 필터, 소화수의 pH를 측정할 수 있는 측정기 또는 리트머스지와 육안 점검이 불가능할 경우 내시경 장비 또는 초음파 장비인 펄스 에코 또는 유도파 기술 장비를 제안하였다.

셋째, 배관 부식 평가 기준으로서는 배수관에서 방출된 고체 물질에 대하여 A~F등급으로 구분하여 한 평가 기준을 제안하였다. 또한 방출된 소화수의 pH 정상 범위를 pH 4~10으로 제안하였으며, 상태가 양호하거나 불량할 때의 조치 방법에 대하여 제안하였다.

넷째, 현재 소방 관련법은 연1회 자체 점검을 수행하고 각 소화 설비에 대해 점검 내용을 기재하고 점검표를 작성하여 관할 소방서에 제출하도록 하고 있지만 노후 된 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 항목이 없다. 이에 소방시설 설치 및 관리에 관한 벌칙 시행규칙 제20조에 5년에 한번 내부 배관 상태 및 이물질 점검을 실시하도록 제안하였으며, 점검 장비에 대한 기준 신설을 제안하였다. 또한 소방시설 자체점검사항 등에 관한 고시 제5조 별지 제4호 점검표에서 내부 배관 상태 및 이물질 점검에 대한 사항을 추가하는 방안을 제안하였다.



참고문헌

- [1] 장석용, “노후 소화 배관의 유지관리 및 배관 점검 제도 개선에 관한 연구”, 경기대학교 석사학위 논문, 2024.
- [2] 김동준, “스프링클러 소방설비의 부식에 관한 연구”, 대불대학교 석사학위 논문, 2009.
- [3] 김우창, “스프링클러 배관 부식에 따른 문제점 및 개선 방안”, 경기대학교 석사학위 논문, 2009
- [4] 임정삼, “Sprinkler 소화 성능 향상에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2020
- [5] 문철환, “스프링클러설비의 배관 부식에 대한 원인 분석과 개선 방안에 관한 연구”, 부경대학교 박사학위논문, 2010.
- [6] 박동현, “황산염 환원 박테리아에 의한 철강의 미생물 부식의 전기화학적 분석”, 한국해양대학교 석사학위 논문, 2002.
- [7] 이학렬, “금속부식 공학”, 연경문화사, 2013.
- [8] 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근, “부식과 방식의 원리”, 동화기술, 2014.
- [9] NFPA 25 수계소화설비 점검, 시험 및 유지관리, 2017.
- [10] 박세근, 이현동, 김영관, “수도관 재질에 따른 생물막 형성 미생물에 Community-Level Physiological Profile(CLPP) 특성”, 상하수도 학회지, 2006.
- [11] 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」 제22조, 2023.
- [12] 문철환, 강호정, 최재욱, “소방용 강관 배관 부식 계수를 고려한 수리 계산 적용 방안에 대한 연구”, Fire Science and engineering v.34 no.4, 2020.



Abstract

MS.Thesis

A Study on the Improvement of the Corrosion Inspection Method in Fire Extinguishing Equipment

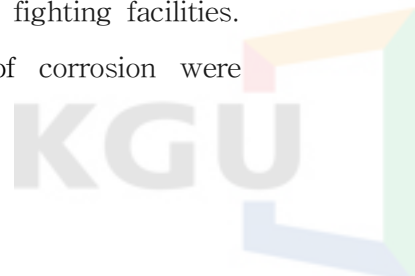
Jang Kwang U

Major of Fire Protection & Disaster Management

Graduate School of Engineering

Kyonggi University

When a water fire extinguishing facility that should be used for the first time in a fire area is blocked, it becomes impossible to extinguish the fire in the area or to waterproof it with nearby flammable materials to prevent the expansion of combustion. Under these circumstances, the fire grows out of control, causes greater damage and excessive operation of the water fire extinguishing facility, and depending on the severity of the fire, it threatens the structural safety of the building. The water fire extinguishing facility is a facility to protect property and human life from fire, and aims to initially extinguish the fire by pressurizing and emitting fire extinguishing water when a fire occurs. However, for many reasons, malfunctions lead to fire extinguishing failure, and among them, clogging of pipes due to corrosion makes it difficult to secure reliability for the operation of fire fighting facilities. Therefore, in this study, the general shape and cause of corrosion were



investigated to confirm the corrosion cycle and suggest problems. To this end, the corrosion characteristics of firefighting pipes, pipe corrosion prevention methods, and domestic and foreign corrosion inspection methods were investigated and analyzed, and problems were derived by investigating and analyzing pipe corrosion cases and pipe corrosion analysis experiments. In addition, research was conducted on ways to improve the corrosion inspection method of firefighting pipes.

As a result of conducting the study, the internal condition visual inspection items, the criteria for when the internal condition visual inspection is not possible, the criteria for checking the presence or absence of microbial corrosion (MIC), and the criteria for performing foreign matter inspection were proposed. In addition, the pipe corrosion inspection test equipment proposed a 5 μm –10 μm filter that can collect solid substances by filtering the digestive water, a measuring instrument that can measure the pH of the digestive water, and endoscopic or ultrasonic equipment if visual inspection is not possible. As the pipe corrosion evaluation criteria, the evaluation criteria classified by A to F grades for solid substances discharged from the drain pipe, and the normal pH range of the digestive water was proposed at a pH of 4 to 10. Finally, Article 20 of the Penalty Enforcement Regulations on Fire Protection Installation and Management proposed to conduct internal pipe conditions and foreign matter inspections every five years, newly established standards for inspection equipment, and measures to add matters on the internal pipe condition and foreign matter inspection from the fire fighting facility's own inspection point checklist were proposed.

