

A-8

## 스프링클러 소방설비의 부식에 관한 연구

김동준\* · 고 흥 · 남궁승태  
대불대학교 대학원\*, 대불대학교

## A Study on Corrosion of Sprinklers System Fire Protection

Kim, Dong-jun\* · Kou, Heung · Namkung, Seung-Tae  
Daebul University Graduate School\*, Daebul University

## Abstract

We studied on corrosion of sprinklers system fire protection, a cause on corrosion of fire installations and a source of the problem.

We investigated the influence of fluid mechanics on the corrosion shape of sprinklers system fire protection installations. And we known a problem of early fire extinguishing in fire protection with corrosion.

## Key Words

Corrosion, Sprinklers system, Fire protection, Fluid mechanics, Corrosion shape.

## 1. 서 론

1971년 서울 대연각화재(최성룡, 2007), 2003년 대구 지하철화재(최수근, 2007), 2008년 이천 냉동 물류창고화재(류보혁, 2008)로 인하여 소방설비에 관심이 증가하고 있다.

최근 소화수의 질적 향상이 큰 문제로 대두되고 있으며, 노후된 소방시설의 작동불능의 장애로 안전이 우려되고 있는 실정이다(김홍배, 2001).

소방설비의 기계적 장애원인은 부식문제라 생각된다. 소방설비 부식에 관한 연구는 스프링클러 배관의 부식 특성과 대책에 관한 연구(김동성, 2008), 축벽형 스프링클러헤드 부분의 부식(민인홍, 2002) 등이 있다. 이 들의 연구는 스프링클러 구성요소 중 배관, 헤드 만을 연구하였다.

소방장비 및 시설의 부식과 부식 스케일 문제로 소방설비의 소화수 공급 상 기계적 장애 원인이 되어 화재의 초기진압 실패 문제가 발생하는 경우가 있다고 생각된다. 소방설비 부식은 스프링클러 헤드의 막힘, 각종 펌프 및 밸브 등의 부품이 고착되는 문제가 발생된다. 또한 배관의 부식으로 누수율을 증가시키고, 관의 통수 능력을 감소시키는 직접적인 원인이 되며, 적수(철의 농도가 0.3mg/l경우 물이 붉은색을 띄게 되는 것) 발생시 소방시설 센서의 미작동 등에 문제를 발생시키고, 각종 부속장비의 작동을 불가능하게 하는 원인이 된다. 소방설비의 부식은 제철 문제와 설치 후의 경과 년수, 소화수의 수질과 외부환경에 따른 여러 조건에 의하여 결정될 수 있다.

본 연구에서는 스프링클러 소방설비에서 구성요소별 부식을 조사하여, 실제 소방설비의 부식에 대한 원인과 문제점을 고찰하고, 물리적 부식방지 대책을 밝힌다. 또한 부식에 의한 유체역학적 영향을 고찰하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 스프링클러

스프링클러 소방설비는 1850년경 영국에서 개발하였다. 그 후 미국인 Frederick Grinnel 에 의하여 공업화 되었으며 유럽 및 일본, 한국(표 1) 등에 널리 보급되었다. 이 설비는 산업이 고도로 발달함에 따라 고층건물, 공장, 기타 특수건물 등 다수인이 출입 또는 근무하는 장소에 설치하여 보다 신속하게 소화하여 인명 및 재산 재해를 미연에 방지하는데 목적이 있다.

표 1. 전국 스프링클러 소방설비 건축물현황(소방방재청 조사결과 2007.12.31 기준).

대상	개소	대상	개소
문화집회 및 운동시설	23,359	교육연구시설	9,018
판매시설 및 영업시설	9,153	노유자시설	6,614
숙박시설이 있는 청소년시설	842	11층 이상	4,530
정신보건시설(의료시설포함)	2,835	지하가	558

스프링클러 소화설비의 구분은 헤드의 형태에 따라 분류하고, 이에 따른 방식별 특성을 표 2에 나타내었다.

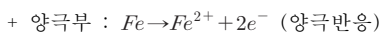
표 2. 스프링클러 소방설비 방식별 특성

구분		특성
헤드형태	방식	
폐쇄형	습식	건식설비에 비하여 구조가 간단하고, 즉시 소화가 가능한 장점이 있는 반면, 동결의 우려가 있는 장소에는 부적합한 것이 단점이다.
	건식	동결의 우려가 있는 장소 등에 설치하며, 화재시 소화활동 시간이 다소 지연되고 습식보다 설비비가 고가인 것이 단점이다.
	준비 작동식	동결우려가 있는 장소 등에 설치하며, 준비 작동식 밸브의 작동을 위한 화재감지장치를 별도로 설치하므로 설비비가 고가인 것이 단점이다.
개방형	일제 살수식	일제살수식 설비의 작동원리는 준비작동식과 유사하며, 기동 방식에 따라 화재감지기에 의한 방식과 수압개폐장치에 의한 방식이 있으며 두 가지를 혼용하는 경우도 있다.

### 2.2 부식

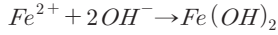
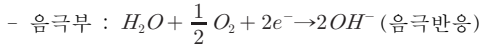
금속은 주위 환경사이의 전기·화학적 반응으로 인해 재료의 파괴가 야기된다. 금속은 산화되어 안정한 상태로 돌아가려는 경향이 있는데 이런 현상이 일어나면 부식생성물이 발생되면서 안정 상태로 된다. 재료가 그 환경과 전기·화학적 작용에 의해 산화되어 소모, 파괴되어 가는 현상을 부식이라고 한다.

부식의 발생기구(Mechanism)는 물(전해질)과 금속의 전기·화학적 반응에 의해 철은 양극부에서 철이온과 전자로 나누어지며 전자를 방출하는 산화반응을 한다.

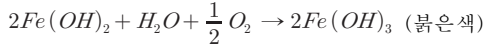


$Fe$ 은 철이온이 되어 전해질 속에 녹아들고 전자는 금속체를 통해서 음극부로 이동하며, 음극부는 물속( $H_2O$ )에 녹아 있는 산소에 의해 수산이온을 만들게 된다. 이후 철이온이 수산이온( $OH^-$ )과 결

합하여 수산화 제1철을 만든다.



물속에 녹아 있는 산소와 수산화 제1철과 작용하여 적색의 수산화 제2철을 만들게 된다.



다음은 부식의 내·외적 요인의 영향에 대하여 알아보자. 먼저 외적요인의 영향으로는 pH영향, 용존 산소 영향, 용해성분 영향, 온도 영향, 유속 영향 등이 있다. 내적요인의 영향으로는 금속표면 조직의 균일정도 및 금속표면의 형상 등의 금속조직의 영향, 금속 가공시 잔류응력의 정도의 영향, 금속의 열처리의 영향 등이 있다.

부식의 종류에는 전식(Cathodic Corrosion), 국부 부식, 틈 부식, 입계 부식, 침식 부식, 갈바닉 부식(Galvanic Corrosion), 응력 부식(Stress Corrosion) 등이 있다.

### 2.3 유체역학적 고찰

소방설비의 부식과 관련된 유체역학적 이론은 부식에 의한 유체의 점성변화의 관계, 질량유량의 관계, 관의 표면상태 변화에 의한 에너지 손실과 부식에 의한 관의 축수로 손실수두 등을 생각할 수 있다. 이와 관련된 식을 다음에 나타내었다.

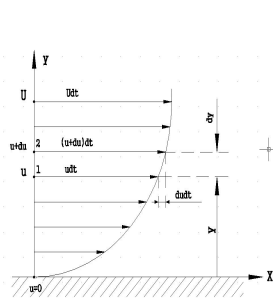


그림 1. 점성유동

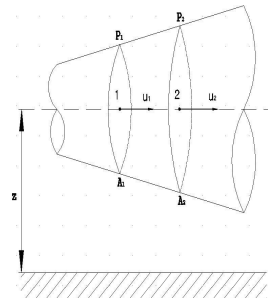


그림 2. 연속방정식

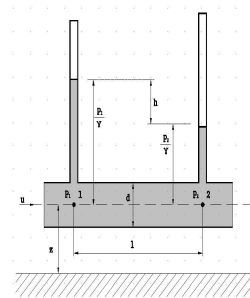


그림 3. 관마찰손실

Newton 점성식  $\tau = \mu \frac{du}{dy}$  (1)

여기서,  $\tau$ 는 전단응력,  $\mu$ 는 점성계수,  $du$ 는 속도변화,  $dy$ 는 입자간 미소거리를 나타낸다(그림 1).

1차원 연속방정식(continuity equation)  $\rho Au = C$  (2)

여기서  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $A$ 는 관의 단면적,  $u$ 는 속도를 나타낸다(그림 2).

관 마찰 고려 Bernoulli의 식  $\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + Z + h = H$  (일정) (3)

여기서,  $g$ 는 중력가속도,  $p$ 는 압력,  $\gamma$ 는 비중량,  $Z$ 는 높이,  $h$ 는 관 마찰 손실수두,  $H$ 는 수두를 나타낸다(그림 2).

Froude의 유체마찰 저항식  $R = fSu^2$  (4)

여기서,  $R$ 은 마찰저항,  $f$ 는 마찰계수,  $S$ 는 접수면적을 나타낸다(그림 2).

관마찰손실(Pipe Friction Loss)식  $h = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g}$  (5)

여기서,  $h$ 는 관마찰손실,  $\lambda$ 는 관마찰계수,  $d$ 는 관의 직경,  $l$ 은 관의 길이를 나타낸다(그림 3).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 스프링클러 소방설비 구성요소별 부식

##### 3.1.1 소방펌프

소방펌프의 부식은 주로 펌프 케이싱에서 발생하고, 이 부식에 의해 회전 임펠러가 케이싱에 고착되어 펌프가 작동하지 않는다. 경기도 의정부시 A사의 소방펌프 관련 실무자에 의하면 펌프부식이 일어나는 부분은 케이싱 내부이며, 펌프케이싱 내부 원형부분과 임펠러와의 간격이 수 mm 정도로 좁근되어 있어 케이싱에 부식이 발생하면 부식 및 스케일에 의해 펌프의 임펠러가 케이싱에 고착이 일어난다고 밝혔다.



다단볼류트(주펌프)



주펌프 수리작업, 주펌프 부식상태

그림 4 주펌프 부식



원심(보조펌프)



보조펌프 수리작업, 부식상태 및 녹이 부착된 임펠라

그림 5 보조펌프 부식

즉, 고착의 이유는 펌프케이싱 부식의 영향인데, 이는 주 펌프 케이싱의 재질 문제와 주펌프의 가동시간에 원인이 있다고 판단된다. 주펌프의 재질은 주로 주철이다. 주철의 부식은 초기에는 탄소막이 형성되어 있어 늦게 진전되지만, 부식이 시작되면 표면이 거칠어 부식이 급성장 되는 것으로 나타났다. 또한, 주펌프의 가동시간에서는 주펌프의 가동시간이 극히 적는데 원인이 있다.

그림 4~5는 소방설비에 사용되는 주펌프와 보조펌프로 각각을 분해하여 펌프 내부의 부식상태를 보여준 것이다. 그림 4에서 다단 볼류트펌프인 주펌프가 부식에 의해 고착된 펌프의 수리작업에 대한

모습을 보여주고 있다. 그림 4와 같이 주펌프는 볼류트(체적)형 다단펌프이기 때문에 펌프 케이싱과 안내깃 사이에 여러개의 임펠러와 케이싱 사이에 녹이나 스케일이 고착 되어 부하가 많이 걸려 펌프가 작동하지 않는다. 그러나 보조펌프는 그림 5와 같이 1단으로 되어 있어서 주펌프에 비해서 임펠러와 케이싱 사이의 고착이 적게 일어난다. 이는 보조펌프가 원심형 1단 펌프이기 때문에 스케일이 약간 끼여도 가동시 작동되는 경우가 많다.

### 3.1.2 소방밸브

그림 6~7은 체크밸브, 게이트밸브에서 부식이 발생되어 있는 것을 보여주고 있다. 이 부분의 부식의 원인은 펌프의 부식원인과 동일하다고 생각된다. 즉 체크밸브, 게이트밸브의 케이싱 부분의 재질이 주철인 점과 펌프의 미작동으로 소화수의 순환이 없었기 때문에 발생하는 것으로 본다. 펌프의 가동을 자주하여 소화수를 장치내부에서 순환시켜 부식의 발생의 내·외부 요인을 제거하는 것이 중요하나 이를 시행하지 않은데 원인에 있다고 판단된다.



그림 6. 체크밸브 부식



그림 7. 게이트밸브 부식



그림 8. 소방배관 부식



그림 9. 소방 주배관 부식



### 3.1.3 노출 주배관 및 연결구

그림 8~9는 주배관에서 내·외부 부식을 보이고 있다. 소방배관이 덕트 등에 설치된 경우도 있지만, 콘크리트 내에 설치된 경우도 많이 있어 외부부식보다 관 내부 부식이 더 큰 문제점이라 판단된다. 이는 미생물학적 박테리아 때문이다(N. Femance, 2006). 건물의 벽이나 기둥에 매설된 부분에서는 펌프의 가동 횟수가 적어 배관의 부식이 진행된다. 건식 보다는 습식에서 부식이 많이 일어나고 있는 실정이다. 건물에 매설된 부분에서는 수손피해가 크기 때문에 건물주나 건물관리 관계자들이 펌프작동을 꺼리고 있는 실정으로 나타났다. 오래된 건물에서는 가동횟수가 매우 적어 심각한 경우도 있다고 생각한다. 소방관이 검사를 할 때에 펌프를 작동할 경우 배관에 수압이 걸리는데 이때 부식으로 인하여 배관 파열된다면 책임상의 문제가 발생할 가능성도 있기 때문에 검사가 일부 소극적으로 이루어질 수 있는 가능성도 있다고 본다.

표 3에는 배관 재질에 따른 관의 특성을 내식성, 내충격성, 내화성, 시공성, 경제성 등으로 나누어 표시하였다. 표에 나타난 바와 같이 소방설비에 규정에 따라 설치하는 아연도 강관(KSD-3507)은 부식에 많이 노출되어 있음을 보여주고 있다. 이에 대한 대책도 필요하다고 판단된다.

표 3. 배관 재질에 따른 관의 특성

관의 종류	관의 규격	관의 특성				
		내부식	내충격	내화성	시공성	경제성
수도용 아연도 강관	KSD-3507		○	○	○	○
일반 배관용 스테인레스강관	KSD-3576	○		○		
동관	KSD-5301	○		○	○	
수도용 폴리에틸렌 분체 라이닝 강관	KSD-3619	○	○		○	
폴리프로필렌 공중 합체관	KSD-3362	○	○		○	
폴리부틸렌관(PB)	KSD-3363	○		X	○	
수도용 경질염화 비닐관	KSD-3401	○		X	○	
수도용 폴리에틸렌관(PE)	KSD-3408	○		X	○	

“에너지 절약 건물 내 노후 급수관의 상태 진단 및 평가를 위한 안전진단 기술개발”, 2001, 한국건설기술연구원

그림 10~11 에서는 엘보, 관 연결구 심각한 부식이 나타나고 있음을 보여 주고 있다. 이 또한 재질이 주철인 점과 평소 소화수의 순환을 시키지 않은데 원인이 있다고 판단된다.



그림 10. 엘보의 부식



그림 11. 연결구의 부식



### 3.1.4 헤드의 부식

헤드는 부식에 의해 핀홀 부분에 녹이 생길 수 있다(그림 12). 더욱 문제점은 배관의 부식 스케일이 헤드로 흘러들어가 헤드가 막히는 현상이 발생된다.



핀홀에 청색 부식

그림 12. 헤드의 부식

### 3.2 소화배관의 물리적 부식 방지 대책

소화배관의 부식은 매우 복잡하고 다양하며, 한 가지 영향인자로 인하여 발생하는 것이 아니라 수

질의 특성에 따라 다르게 나타난다. 소화관의 부식이 발생하면, 철 성분이 용출되어 관 재질에 손상이 나타나며, 관 내부에 스케일이 축적되어 통수능력이 저감되어 펌프압력이 증가된다. 또한 금속이온 및 부식 생성물 입자들의 용출에 의하여 소화설비 장비에서 적수발생, 스케일 부착, 녹 발생, 구성품 고착 등의 문제가 발생한다.

소화배관의 부식 방지대책도 여러 가지 고려되지만, 현실적인 부분을 고려하여 관의 피복과 관세척 방법인 물리적 방법을 고찰 하였다.

### 3.2.1 관 피복 방법

관 피복공법은 관 라이닝이라 하며, 부식성이 있는 물로부터 관 벽에 전체적으로 일정한 보호 피막을 형성시키는 방법이다. 관을 제조하거나 소화설비를 설치하기 전에 사용할 수 있고, 이미 설치된 관에서도 사용할 수 있다. 가장 일반적인 라이닝 재료로는 콜타르-에나멜, 액상 에폭시도료, 시멘트-몰타르, 폴리에틸렌 등이 있다.

관 피복법은 관 갱신공법과 갱생공법으로 나누며, 갱신공법은 관의 부식이 심하게 진행되었을 때 관로의 모든 기능을 갱신하기 위한 공법으로 관로의 기능, 내구성, 장래계획 등의 계획을 세워 시공한다.

갱생공법은 기능이 떨어진 부분에 관의 성능을 회복하기 위한 방법으로 관을 삽입하는 공법과 피복재를 장착하여 라이닝 하는 방식이 있다.

소방설비 내부에 부식이 심각한 경우에는 갱신해야 한다. 그러나 현실을 고려할 때 소방설비의 재료개선과 소화수의 정기적 순환으로 부식을 줄이는 것이 시급하며, 이것이 지켜질 경우 설비의 부식상태에 따라 경제성을 고려하여 갱생을 추천하고 싶다.

### 3.2.2 관 세척 방법

관 세척법은 수세법, 스크레이퍼법, 충격파세척법 등이 있으며, 수세법은 관내부에 세정노즐과 터빈을 장착하여 제트류를 형성하여 관내 스케일을 제거하는 방식으로, 관의 갱생에 사용되는 방식이다.

스크레이퍼법은 관내부에 스크레이퍼를 원치로 이동시켜 스케일을 제거하는 방식으로 소구경 관에서는 적용하기가 곤란하며, 대구경 관에서 경제적이다. 그러나 관 표면처리가 완벽하지 못하며, 곡관부에서는 사용이 곤란한 단점이 있다. 충격파 세척법은 3~8kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 초음파를 관경에 따라 각각 다르게 전달함으로써 배관내의 스케일이나 이물질들을 제거하는 방식으로, 세관과정에서 초음파로 관내면에 부착되어 있는 철박테리아나 표면부착 물질만을 제거하여 관에 손상을 최소화하며, 분자구조를 파괴하는 원리로, 적은 압력으로도 세관이 가능하다. 관세척 방법은 관의 세정을 위하여 단독으로 사용하기도 하지만 관 갱생공법의 전 처리로 사용되기도 한다. 부식된 관을 세척한 후 배관 내부에 들어 있는 부식 스케일을 제거하기 위하여 스프링클러 소방설비의 경우 헤드를 분리한 후에 청소를 실시할 수 있다.

### 3.3 유체역학적 영향

소방설비의 부식과 관련된 유체역학적 이론은 부식에 의한 유체의 점성변화 관계, 질량유량의 관계, 관의 표면상태 변화에 의한 에너지 손실과 부식에 의한 관의 축소로 손실수두 등을 생각할 수 있다.

그림 1과 같은 점성유동에서 부식에 의한 영향을 알아보기 위하여 적수의 점성계수를 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

부식에 의한 관 마찰손실의 영향을 알아보자. 그림 3과 같이 길이가  $l$ 이고, 내경  $d$ 가 일정한 수평 관로를 생각하면, 위치 수두  $Z$ 는 일정하고, 또 단면적  $\pi d^2/4$ 이 일정하므로 수평유속  $u$ 도 일정하다.

따라서 Bernoulli의 식 (3)은  $(p/\gamma) + h = H(\text{일정})$ 이 된다. 여기서  $h$ 는 마찰손실수두이며 식 (5)으로 계산한다. 즉 마찰손실수두  $h$ 는 유동거리  $l$ 에 정비례하여 증가한다. 식 (5)에  $u = Q/A$  ( $A = \pi d^2/4$ )를 대입하면

$$h = \lambda \frac{l Q^2}{[\pi/4]^2 2g d^5} \quad (6)$$

이 된다. 일반적으로  $\lambda$ 는 같은 관로에 있어서 유속  $u$ 의 값 여하에 따라서 변화하지만, 지금  $\lambda$ 가 일정하고, 또  $l$ 과  $Q$ 도 일정하다고 하면  $h \propto (1/d^5)$ 로 되어, 마찰에 의한 손실 수두가 대략 관로(Pipe Line) 지름의 5승에 역비례 하는 것을 표시한다. 즉 관의 내경  $d$ 를 조금만 가늘게 하여도 저항이 격심하여 짐을 알 수 있다. 여기서 스케일은 스프링클러의 성능을 감소시키는 작용을 함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

부식에 의한 내구성에 대한 소방법의 부재함을 알고 스프링클러 소방설비가 목적에 맞는 기능을 발휘 될 수 있도록 해야겠다는 생각으로 스프링클러 소방설비의 부식에 대하여 조사 하였다. 그래서 주요장치부분의 부식이 일어나는 원인을 무엇인지 고찰하고, 대책을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 스프링클러 소방설비의 배관, 헤드등의 구성요소 별 부식형태를 조사 확인하여 화재 초기진압에 심각성을 알았다.
- 2) 부식의 형태는 주철을 재료로 하는 펌프 케이싱, 엘보, 연결구 등에 부식의 심각성이 크다.
- 3) 유체역학적 고찰을 통해 부식의 영향으로 관의 직경이 작아짐으로 손실수두가 지름의 5승에 역비례 함을 알았다. 관 내부 부식에 주의를 요한다.
- 4) 실제 소방설비의 부식에 대한 요인과 문제점을 찾아 물리적 방지책을 밝혔다.

#### 참고문헌

1. 최성룡(2007). “소방검사의 시장중심 거버넌스 형성에 관한 연구”, 호서대학교 박사학위논문.
2. 최수근(2007). “大邱地下鐵 火災事故 以後 都市鐵道 安全管理政策 變化에 관한 研究”, 서울시립대학교 석사학위논문.
3. 류보혁(2008). “이천 냉동창고 화재확산 원인에 대한 고찰” 안전보건 연구동향, 산업안전보건연구원, Vol.8, pp.67-71.
4. 김홍배, 한상민, 이영재, 조병선(2001). “소방시설 관리실태조사에 관한 연구”, 화재·소방, Vol.15, No.3.
5. 김동성(2008). “스프링클러 배관의 부식 특성과 대책에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문.
6. 민인홍(2002). “측벽형 스프링클러 헤드 디플렉터의 성형후에 따른 부식특성에 관한연구”, 한국화재·소방학회, 제16권 제1호.
7. 소방방재청(2008). 정보공개청구 조사자료.
8. N. Fernance, P. A. Farinha, R. Javaherdashti(2006). “Initial Indications Of SRB-assisted MIC of Fire Sprinkler System In A High-rise Business Building”, NACE.
9. 건설교통부(2002). “에너지절약 건물내 노후급수관의 상태 진단 및 평가를 위한 안전진단기술 개발”, pp.431-440.
10. M. Setareh, R. Javaherdashti(2003). “Assessment and Control of MIC in a Sugar Cane Factory”, Weakstoffe und Korrosion/Materials and Corrosion, Vol.54, No.4.