

B-11

## 수계소화설비 시스템의 매립배관 누수에 관한 연구

허 만 성

우송공업대학 소방안전관리과

### A Study on the leakage of the underground piping of water systems in Fire Suppression

Man-Sung Hur

#### I. 서론

최근 빈번한 화재의 발생과 이로 인한 많은 피해가 속출됨에 따라 소화설비에 대한 시설상태의 점검, 보수 및 유지관리에 대한 인식이 고조되고 있는 실정이다. 특히 대단위 공장이나 밀집지역의 건물에 대한 소화설비의 중요성은 더욱 커지게 되었다. 본 연구는 수계소화설비의 가압송수장치의 적합성, 소화배관의 부식 및 누수정도, 옥내·외소화전설비, 스프링클러설비 등에 대한 진단 분석으로 최적의 소화수 공급은 물론 화재발생시 즉각적이고 완전무결하게 화재를 진압하기 위한 개선방향을 제시하여 수계소화설비에 대한 불신을 해소하고 신뢰감을 조성하는데 있다.

본 연구의 내용과 범위는 수계소화설비에 사용된 공급배관계통에서 부식 등에 의한 유지관리상의 문제점과 배관의 누수내용을 체계적으로 분석하여 이에 대한 대안을 제시하는 것으로 주요 연구내용은 다음과 같다. 수계소화설비에 대한 문제점 분석을 하기 위한 가압송수장치, 소화배관에서의 소화수 공급방식과 장비류의 위치에 대한 진단, 소화배관에서의 방수량과 방수압에 대한 진단, 소화수 배관계통에서의 누수진단과 누수지점에 대한 진단, 배관부식의 정도 및 원인 등에 대한 연구를 하고자 한다.

#### II. 이론적 방법

수계소화설비에 대한 이론적인 연구는 옥내·외 소화전설비, 스프링클러설비에 대한 법적인 방수압력과 방수량을 충족시키고 법적기준에 적합하게 설치되어 있는지 점검하기 위한 것이다.

##### 2.1 옥내·외 소화전설비

옥내·외 소화전설비는 비상전원으로 교체한 상태에서 직접조작 또는 원격조작에 의해 가압송수장치를 기동시키고 임의의 옥내소화전에서 방수하고, 다음의 사항에 관해 확인하여야 한다. 단, 병원 등에서는 비상전원으로 교체하여 점검하는 일이 단시간이라도 곤란한 경우는 상용전원으로 점검할 수 있다.

- (1) 가압송수장치가 정상으로 작동하는가.
- (2) 표시, 경보등이 적절히 행해지는가.
- (3) 전동기의 운전전류가 적정한가.
- (4) 옥내소화전 말단에서의 방수압력은  $1.7[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이상  $7[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이하이고, 방수량은  $130[\text{l}/\text{min}]$  이상이 되는가.
- (5) 옥외소화전 말단에서의 방수압력은  $2.5[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이상  $7[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이하이고, 방수량은  $350[\text{l}/\text{min}]$  이상이 되는가.
- (6) 방수량은 다음의 식으로 계산한다.

$$Q = 0.653 d^2 \sqrt{P}$$

여기서, Q : 방수량( $\text{l}/\text{min}$ )

d : 노즐지름(mm)

P : 방수압력( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

## 2.2 스프링클러설비

스프링클러설비는 옥내소화전설비와 같이 비상전원으로 교체한 상태에서 말단시험장치의 밸브개방에 의해 가압송수장치를 기동시키고 다음의 사항을 확인한다. 또 동일구역에서의 반복 점검이 아니고 순차적으로 바꾸어 행한다. 단, 병원 등에서는 비상전원으로 교체하여 점검하는 일이 단시간이라도 곤란한 경우는 상용전원으로 점검할 수 있다. 건식 및 준비작동식의 점검 및 점검 종료 후에 복원은 당해설비의 구조 및 기능을 충분히 숙지한 자가 한다.

- (1) 가압송수장치가 확실히 기동하는가.
- (2) 표시, 경보등이 적절히 행해지는가.
- (3) 전동기의 운전전류가 적정한가.
- (4) 운전중에 불규칙 또는 불연속한 잡음 또는 이상한 진동, 발열등이 없는가.
- (5) 스프링클러설비 말단헤드에서의 방수압력은  $1.0[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이상  $12[\text{kgf}/\text{cm}^2]$  이하, 방수량은  $80[\text{l}/\text{min}]$  이상이 되는가.

## 2.3 누수탐사방법

### (1) 누수탐사

누수탐사는 미세한 노상누수 또는 지하누수가 되는 지점을 발견하는 작업으로 누수음을 청각으로 청취할 수 있도록 음을 증폭시켜주는 기계에 의한 노면음청조사와 초음파유량계 등의 상관조사에 의한 누수지점탐사가 가능하나 여기에서는 초음파 유량계를 사용하였다.

### (2) 누수의 원인

누수의 원인은 여러 가지가 있으나 주원인으로는 수압, 토지의 움직임, 관의 노후화, 교통하중, 타공사, 년수 등이다.

- ① 수압 : 수압의 고·저가 누수율, 관의 파손 빈도에 관계된다. 수압을 높이면 누수량이 많아져 누수지역 탐지가 용이하게 된다. 펌프나 밸브의 개폐에 따른 수격작용등의 수압변동에 따라 설계 수압이상의 상황이 생길 경우는 배관의 파손이 빠르게 된다.
- ② 토지의 움직임 : 함수율의 변화에 따를수록 팽창, 온도변화나 동결, 침하, 지진에 따른 변동 등에 따른 토지의 움직임은 배관의 파손, 계수의 어긋남 국부적인 하중집중에 연결된다. 최근 관로 주변 특히 하부의 틈이 발생하는 이유가 관로를 방치상태로 해 파손됨이 주목되고 있다.
- ③ 관의 노후화 : 금속관의 경우 내부의 부식과 녹(scale)의 발생이 누수의 주원인이고, 외부부식은 토질이 전식을 일으키는 등 여러 가지 원인에 의해 생긴다. 부식에 따른 관두께의 얇아짐, 내력의 약화를 초래 먼저 핀홀부터의 누설이 시작되어, 관의 균열에 이어져 누수가 된다. 콘크리트 관이나 석면관의 부식과 유량을 포함한 물이나 토지에 따라 생기기 쉽다.
- ④ 교통하중 : 중차량이나 차량의 교통에 따른 진동과 하중이 배관 손상의 주요원인이 되고 있다.
- ⑤ 타공사에 따른 손상 : 다른 지하 공사에 따른 소화 매설배관이 손상을 받거나, 기초의 느슨함 등 미래의 파손에 이어지는 영향을 받는 일이 많다.
- ⑥ 년 수 : 위의 원인을 제외한다면, 관의 부설년수, 자재 및 시공기술미달, 토지의 상태 등이 원인이 된다.

### III. 진단방법

#### 3.1 방수압 및 방수량 측정

방수압이 약한 경우는 방수구로부터 방수량이 적을 뿐만 아니라 화재시 화재진압이 불가능해진다. 또한 수압이 과다한 경우는 배관계통에서 수격작용이 발생하거나 방수구에서 과다유량의 토출로 인한 물의 낭비가 발생한다. 따라서 펌프의 설정압력의 적정성과 배관의 누수 등을 판단하기 위하여 각 건물의 방수압과 방수량을 측정하여야 한다.

- (1) 방수시험은 수원의 방출시 가장 먼 곳에 위치한 옥내·외소화전 및 스프링클러 헤드의 방수압과 방수량을 측정하여 펌프의 설정압력에 따른 배관의 마찰손실을 확인한다.
- (2) 옥내·외소화전의 방수압력측정은 피토키이지가 부착된 직사형 노즐을 기준으로 하였다.
- (3) 직사형 노즐 구경은 18.5mm, 스프링클러 구경은 10mm이었다.
- (4) 방수량 측정은 200ℓ 용 드럼통을 사용하였다.

#### 3.2 배관부식 및 누수탐사

##### (1) 배관부식

배관부식에 대한 조사는 수계소화설비의 설치현황 조사가 완료된 다음에 공장 또는 건물별로 주밸브를 폐쇄한 후 배관내의 압력변화를 측정하여 누수 가능성이 큰 지점을 선정하여 표본추출하고 배관의 부식상태 확인이 용이하고 내부환경 조사가 가능한 부근의 매립배관을 파헤쳐 검사하였다.

##### (2) 배관누수탐사

배관누수에 대한 조사는 배관부식과 같이 공장 또는 건물별로 주밸브를 폐쇄한 후 공장 또는 건물내의 압력변화를 측정하여 배관 누수가능성이 큰 곳을 위주로 초음파 유량계를 이용한 유량측정 작업위치를 선정하였다. 선정된 배관의 위치에 비접촉 시간차 전송방법인 초음파유

량계를 사용하여 유량을 측정하였다. 배관누수 측정은 활용성, 정밀성, 장착성 등 모든 면에서 매우 뛰어나며 극심한 와류와 기포가 존재하는 액체에서도 배관두께 0.5mm~76mm, 최대유속  $\pm 12\text{m/sec}$ , 최소유속  $\pm 0.036\text{m/min}$  까지 측정이 가능한 휴대용 초음파유량계(Controtron in USA, 1010WDP)를 사용하였다.

측정방법은 배관의 표면에 설치된 보온재를 측정 후에 보수가 용이하도록 절단기로 50cm 정도의 폭으로 단정하게 절단하고, 관 표면의 상태에 따라 측정이 불가능하거나 정확성이 떨어지기 때문에 배관의 표면에 녹, 보온재 등이 부착되어 있는 경우에는 샌드페이퍼, 와이어 브러시 등을 이용하여 완전히 제거한다. 측정점은 유체의 흐름방향으로 밸브나 배관부속으로부터 직경의 10배이상 떨어진 위치거나 밸브나 배관부속의 뒤쪽으로 직경의 5배이상 떨어진 위치에 측정점을 정하였다.

펌프의 기동상태는 각 공장 및 주 배관에 초음파 유량계를 설치하여 순간유량을 측정할 때 50HP 충압펌프 만이 가동되도록 하였으며, 펌프의 기동점은  $3.5\text{kg/cm}^2$ , 정지점은  $5.7\text{kg/cm}^2$  으로 하였다. 이때 기동 및 정지압력은 공동구 내 펌프의 기동용 수압개폐장치의 압력계상의 압력이다.

유량측정은 최초 펌프의  $3.5\text{kg/cm}^2$ 에서 기동을 시작하여  $5.7\text{kg/cm}^2$ 에서 정지하고, 압력이 하강하여 다시  $3.5\text{kg/cm}^2$ 에 이르러 기동할 때까지의 시간, 즉 50HP 1cycle 동안 측정배관 내에서의 유량변화를 측정하였다.

### (3) 배관누수량 산정

배관누수량의 정확한 파악은 매우 중요하다. 따라서 배관의 누수량을 확인하기 위하여 소화구조에 인입되는 배관을 폐쇄한 후 24시간 동안 수위의 변화를 측정하여 1일 누수량을 측정하였다. 탱크의 누수량과 지하 매설배관 등으로의 총누수량은 일치하여야 하므로 지하 매설배관으로 누수되는 수량의 계산식은 서울시에서 사용하는 누수공 면적과 수압에 의한 산정방식인 다음 공식을 사용하였다.

$$Q = 3.2 \cdot A \cdot P^{1/2}$$

여기서, Q : 시간당 누수량( $\text{m}^3/\text{hr}$ )  
A : 누수부위면적( $\text{cm}^2$ )  
P : 수압( $\text{kg/cm}^2$ )

## IV. 진단 및 측정 결과

### (1) 방수량 및 방수압

Table 1은 건물별 옥외소화전 및 스프링클러 헤드에서의 방수압 및 방수량 측정 결과를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 옥외소화전의 경우 법정 방수압력  $2.5[\text{kg/cm}^2]$ 에 A, B, C 건물이 미달되었으나 방수량은 A, B, C, D 모두  $350[\text{l/min}]$ 에 미치지 못하였다. 스프링클러설비의 경우도 옥내·외 소화전설비와 마찬가지로 지하매립 주배관이 공통으로 되어 있는 관계로 주배관의 누수로 인하여 방수압력은 A건물만  $1[\text{kg/cm}^2]$ 이하 이었으나 방수량은 A, B 건물이  $80[\text{l/min}]$ 에 미치지 못하였다. B건물의 경우는 법정방수압력은 유지되지만 방수량이 부족한 것은 배관이 부식되어 관로가 폐쇄되었다고 생각되어 진다. 펌프실에서 가깝고 배관의 누수가 없는 건물에서는 법정방수압과 방수량이 나왔지만 지하 매설배관의 누수가 많고 펌프실에서 먼 곳에 위치한 A건물은 방수압력 및 방수량 모두가 법정 규정치에 미치지 못하였다.

Table 1. 건물별 시스템의 방수압과 방수량 측정결과

시스템 건물	M.C.C. 압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	옥외소화전(65mm)		스프링클러헤드		비고
		압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	방수량 (ℓ/min)	압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	방수량 (ℓ/min)	
A	5.5	0.2	84	0.7	55	50HP 펌프 기동
B	4.5	0.9	210	2.4	78	
C	5.4	2.4	200	3.5	136	
D	5.5	2.9	196	3.5	116	

## (2) 배관부식 및 누수

Fig. 1은 매립배관의 부식상태를 잘 나타내 주고 있다. 사진에서 볼 수 있듯이 부식이 아주 심하여 부식부위를 떼어내고 용접을 한 부분도 있었고, 부식부위의 샘플에서는 오리피스 구경이 3.5mm, 5.0mm 2개가 생긴 것도 발견되었다. 배관 곳곳에서 산발적으로 부식이 심하여 점점 더 많은 곳에서 부식이 일어나고 있다는 것을 쉽게 알 수 있었다. 옥외매설 배관망의 부식정도는 생각보다 상당히 심각한 편이었다.

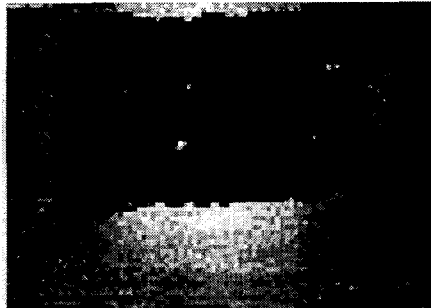


Fig. 1 매립된 주배관의 누수공

배관의 누수량은 소화수조에 인입되는 배관을 폐쇄한 후 24시간동안 수위의 변화를 측정하여 1일 누수량을 측정하였다. 또한 펌프실에서 토출되는 관에 초음파 유량계를 설치하여 펌프실에서 토출되는 유량을 측정 후 표본추출된 배관의 부식된 오리피스나 크랙(crack)의 크기로부터 누수량을 계산한 결과 1일 누수량은 1100[m<sup>3</sup>/day]~1300[m<sup>3</sup>/day] 이었다. 누수량 산출식은 서울시에서 사용하는  $Q = 3.2 \cdot A \cdot P^{1/2}$  공식을 이용하였고, 누수공의 면적은 배관부식 측정 샘플에서 측정된 오리피스의 구경 3.5mm와 5.0mm를 누수면적으로 사용하였다. 또한 압력은 압력측정장치를 이용하여 배관 내에서 측정된 압력이 2.9[kg/cm<sup>2</sup>]~5.0[kg/cm<sup>2</sup>] 일 때 누수량은 Table 2와 같았다.

Table 2. 오리피스에서의 누수량

구 분	주배관(200mm)			
	3.5 mm		5.0 mm	
점부식 구경[mm]	3.5 mm		5.0 mm	
압 력[kg/cm <sup>2</sup> ]	2.9 kg/cm <sup>2</sup>	5.0 kg/cm <sup>2</sup>	2.9 kg/cm <sup>2</sup>	5.0 kg/cm <sup>2</sup>
누수량[ℓ/min]	8.7 ℓ/min	11.47 ℓ/min	17.83 ℓ/min	23.41 ℓ/min
평 균[ℓ/min]	10.085 ℓ/min		20.62 ℓ/min	
누수량평균[ℓ/min]	30.705[ℓ/min] → 1.8423[m <sup>3</sup> /hr] = 44.215[m <sup>3</sup> /day]			

계산결과에서 볼수 있듯이 압력의 변화가 2.9[kg/cm<sup>2</sup>]~5.0[kg/cm<sup>2</sup>] 인 경우에 30.705[ℓ/min]로 오리피스에 의한 1일 누수량은 30.705[l/min]=1.8435[m<sup>3</sup>/hr]=44.244[m<sup>3</sup>/day] 이므로 위의 결과로 볼 때 매립배관은 최소한 오리피스 크기 3.5mm와 5.0mm 의 구멍이 26개소 이상 존재하고 있다고 볼 수 있다. 따라서, 소화용 매립배관이 시공후 10년이 경과되어 배관 내부의 부식 및 스케일 생성에 의한 관의 폐쇄 또는 누수로 인하여 법정 방수압과 방수량 부족으로 화재 진압이 불가능하므로 배관을 전면적으로 교체하는 것이 효과적인 것으로 사료된다. 따라서 매립된 주배관의 유지관리를 위해 정확한 As-built drawing이 필연적이고, 도면이 없는 경우는 배관과 밸브의 위치 파악이 어렵고, 배관 방식도 Loop형으로 되어 있고, 구역마다 격리밸브(Post indicate valve)가 없으면 관로상의 어느 지점이 누설 또는 파손되면 전체배관에 송수가 불가능하게 되므로 배관 유지관리가 매우 어렵다.

## V. 결론

수계소화설비에 시스템에대한 전반적인 진단결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 매립 주배관의 누수로 옥내·외소화전, 스프링클러헤드의 방수압과 방수량이 법적인 규정압력과 방수량에 미치지 못하는 경우가 많았다.

둘째, 10년이상 경과된 매립배관은 부식과 누수가 많아 전반적으로 교체하는 것이 효과적이다.

셋째, 매립배관은 탄소강 강관보다는 부식의 염려가 없는 PVC계통의 강도가 있는 배관을 사용하는 것이 바람직하다.

넷째, 매립된 소화 주배관의 구성은 Loop형으로 하고 유지관리상 구역별로 Post Indicate Valve의 설치가 필요하다.

다섯째, 점검 및 수리를 위해 소화배관의 정확한 As-Built Drawing이 반드시 필요하다.

## 참고문헌

1. 허 만 성, "수계소화설비에 대한 정밀점검 및 기술검토 연구", 한국소방(주), 1999
2. 허 만 성, "소방기계시설론", 동일출판사, 1998
3. 허 만 성, "소방유체역학", 동일출판사, 1997
4. 박 승 익, "수용가 옥내배관에 대한 연구 보고서", 대전광역시 상수도사업본부, 1996
5. 한국수자원공사, "누수대책실무반", 한국수자원공사 연수원, 1998
6. 한국화재소방학회, "소방시설 점검수수료 산출을 위한 공수 요율산정에 관한 연구", 한국소방안전협회, 1997
7. Evett. J., "Fluid Mechanics and Hydraulics", Schaum's series, McGraw-Hill, 1989
8. NFPA, "Fire Protection Handbook", 16th ed., 1991