

# 가스계소화설비의 방호구역 신뢰성평가

박 영 근

(사)한국화재보험협회

(ygpark@ktpa.or.kr)

## 1. 서 론

전역방출방식(Total Flooding System) 가스계(CO<sub>2</sub>, Halon1301, HFC-227ea, NAFS-III 등) 소화설비는 수계소화설비와 달리 화재초기에 일시적으로 작동하여 발생한 화재를 초기단계에 소화하는 것을 목적으로 함에 따라 설계시 가연물의 종류, 방호대상물의 구조, 밀폐도, 작동시간 및 방법, 설계소화농도 및 방출시간 등에 의하여 소화 성공여부가 결정된다. 따라서 가스계소화설비의 신뢰도는 이들 각 요인에 의해 좌우될 수 있다. 가스계소화설비가 설치되어 방호하고 있는 대상물은 전산실, 통신기기실, 변전실 및 축전실 등의 보호가치가 높은 시설물들로서 이들에 대한 신뢰도는 화재로 인한 위험에 상당한 비중을 차지하고 있다. 이와 같은 상황을 고려하여 불 때 소화설비에 대한 소화 성능시험(Performance test)은 직접적인 소화약제 전량방출시험이 최선의 방법이나 환경문제, 소화약제의 고비용, 일회성 및 시험절차의 난이성으로 인한 실제 방출시험을 통한 신뢰성 확인이 현실적으로 어려움이 있어 NFPA(미국방화협회) 가스계소화설비의 성능확인을 위한 대안이 1980년대 후반에 활발히 검토되어 간접적인 소화성능 확인 방법으로 NFPA와 EPA(미국환경청)에서는 저비용, 편리성, 연소시간 및 환경오염방지를 감안하여 도어팬시험기(Door Fan Tester)를 이용한 신뢰도

시험이 실시되었다. 미국 IRI(Industrial Research Institute)에 의하면 전역방출방식의 할론1301설비 36%가 도어팬시험에서 설계농도유지시간을 유지하지 못하였고 그 원인의 70%가 개구부를 통한 누설이 원인이었다. 이 글에서는 전역방출방식 가스계소화설비의 소화능력을 좌우하는 개구부를 통한 누설 등 방호구역의 신뢰성시험에 대하여 제시하고자 한다.

## 2. 기본원리

### 2.1 방호구역의 기밀성시험

전역방출방식 가스계소화설비의 성능은 해당 방호구역에서 소화약제의 설계농도유지가 필수적이며 대부분의 심부화재용 가스계소화약제의 설계량은 거의 빈틈이 없는 방호구역을 전제로 상당시간동안 일정수준이상의 농도유지가 요구되나 실제방호구역에는 다양한 형태의 개구부가 존재하고 약제의 방출압력, 밀도 등에 따른 약제의 누출로 소화농도 유지시간이 기준에 미달되는 경우가 많다. 기밀성시험(Enclosure Integrity Test)은 약제방출시와 동일한 환경을 조성하여 직접적인 약제의 방출없이 도어팬(Door Fan)<sup>1)</sup>, 각종 압력계 및 컴퓨터프로그램을 사용하여 실내·외의 정압, 송풍량 등을 측정하여 이를 방호구역내의 누설면적(Leakage Area) 약제의 설계

<sup>1)</sup>누설특성을 측정하기 위하여 방호구역 벽체 등에 가압하거나 감압하기 위해 사용되는 장치 또는 팬 가압장치를 말한다.

농도 유지시간(Soaking Time)으로 환산하고 누설개구의 위치를 발견하여 설치된 가스계소화설비의 적정성에 대한 판단을 제공하는 간접적인 성능확인시험으로 ISO, NFPA 12A, NFPA 2001, ASTM E 779 등에 채택되고 있는 신뢰성이 입증된 간접적인 성능확인 시험기법으로 일명 도어팬시험(Door Fan Test)이라고 한다.

### 2.2 Descend Interface Mode

가스계소화설비가 작동하여 방호대상물이 설치된 실내로 소화약제가 방출될 때 순간적으로 실내압력이 상승하면서 실내공기와 혼합하게 된다. 실내에 충분한 혼합가스 중 비중이 1보다 무거운 가스는 하단부의 누설부위를 통해 빠져나가게 되고 상단 누출부위로부터 외부공기가 유입되면서 혼합가스의 농도는 상부로부터 점차 낮아지게 되는 현상이 발생한다. 따라서 도어팬시험기를 이용하여 이와 같은 조건을 조성한 후 이 때 누설되는 양을 측정하여 컴퓨터 프로그램으로 누출면적을 산출하고 최종적으로 약제의 소화농도 유지시간을 측정하게 된다.

### 2.3 Mixing Mode

기류의 이동에 있어 Descend Interface Mode처럼 가스 누출시 하단부와 상단부 공기 유입이 아니라 소화약제 방출 후 누설틈새로 인해 혼합가스 농도는 점차 낮아진다. 초기의 소화약제 농도에서 최소 설계농도까지 내려갈 때 시간을 측정한다

## 3. 시험절차

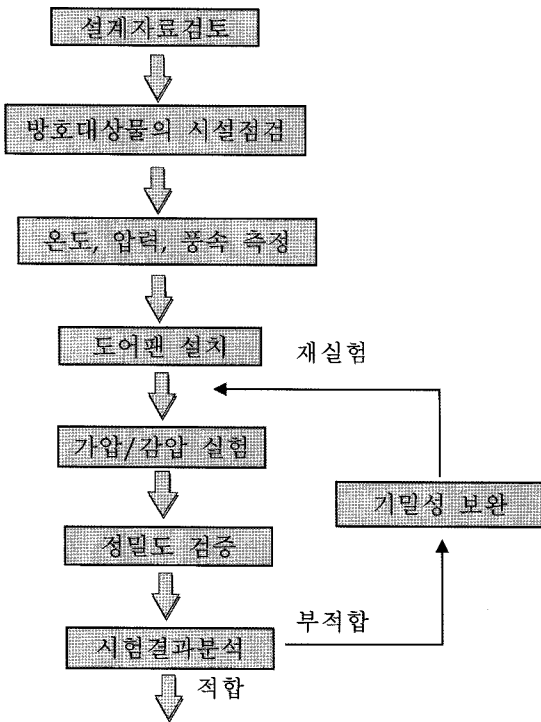
### 3.1 측정장비

- ① 누출면적 및 소화농도 유지시간 산출 프로그램
- ② Computer & Printer
- ③ Calibrates door fan blower
- ④ Molded panel system
- ⑤ Hand held pressure gauge
- ⑥ Smoke puffer
- ⑦ Fan blower speed controller
- ⑧ 온도계
- ⑨ 줄자, 누설 밀폐용 실링제(테이프 등), 다용도 칼

### 3.2 시험절차

- ① 설계자료 검토
  - 방호대상물의 구조 : 방호대상물의 체적 및 최대 높이, 출입구의 크기
  - HVAC 설계 구조 : 공기 순환방법, 공조기 Duct의 damper 및 Interlock system
  - 소화설비 설계기준 : 약제의 종류, 소화농도, 소화약제의 소화농도유지시간, 소화설비의 작동방법, 소화설비의 약제량
- ② 방호대상물의 시설점검
  - 공조기 Duct의 damper 및 Interlock system
  - 누출부위 육안검사
  - Door Fan 설치 가능 장소
  - 방호대상물의 체적 및 최대높이
  - 방호대상물의 설비명
- ③ 실내온도, 압력, 풍향, 풍속 측정
- ④ Door Fan Tester 설치
  - 방호구역 출입구에 도어팬 설치
  - 방호구역 출입구 개방
  - 대형 누출부위 밀폐
  - 계측기 유량계(5%의 정확도)와 압력 측정장치(1Pa의 정확도)
- ⑤ 가압/감압시험
  - 실내·외 정압차 측정
  - 약제별 설계농도에 따른 감압/가압범위 설정
  - Door Fan Blower 가동
  - 가압, 감압 및 유량 측정
  - 실내·외 공기온도 측정
- ⑥ 시험결과 분석
  - 시험 자료를 보전성 프로그램에 입력
  - 누출량 및 누출등가면적(ELA) 산출
  - 소화농도 유지시간 산출
- ⑦ 정밀도 검증
  - 시험결과의 정밀도 검증시험
  - 누출 등가면적의 30% 범위내 도어팬 패널 개방 후 시험
  - 등가면적 10% 이내 : 정밀도 적정
- ⑧ 조치
  - 누출부위 확인 및 기밀보완
  - 소화설비의 적합성 검토 및 개선방안제시

3.3 실험 흐름도



4. 설계농도 유지시간 계산

전역방출방식 방호구역내의 설계농도 유지시간을 계산하기 위해 사용되는 공식은 다음과 같다.

1) 가스계소화설비 방호구역의 칼럼 압력을 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$P_c = g H_o(\gamma_m - \gamma_a) \tag{1}$$

여기서  $P_c$  = 가스계 칼럼으로 인한 압력(Pa)

$g$  = 중력가속도(9.81 m/s<sup>2</sup>)

$H_o$  = 방호구역의 높이(m)

$\gamma_m$  = 소화약제/공기혼합물 비중(kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_a$  = 공기비중(1.202 kg/m<sup>3</sup>)

계산된 칼럼 압력이 10 Pa 미만이면 칼럼 압력을 10 Pa로 한다.

도어팬을 측정하기 위하여 목표 감압·가압범위

를 결정한다.

감압목표 = -1(측정한 정압( $P_{ST}$ )) - 10(계산한 칼럼 압력) = -11 Pa때까지 실내공기를 뺀다. 압력범위 = -1 - (10×1.3) = -14 Pa

가압목표 = -1(측정한 정압( $P_{ST}$ )) + 10(계산한 칼럼 압력) = +9 Pa때까지 실내공기를 불어 넣는다. 압력범위 = -1 - (9×1.3) = +12 Pa

2) 방호구역 내부( $T_i$ )와 외부( $T_o$ )의 공기온도를 측정한다.

3) 도어팬의 감압, 가압시 필요한 공기 유량은 다음과 같다.

$$Q_c = Q_u \left[ \frac{TL + 272}{TF + 273} \right]^{0.5} \tag{2}$$

여기서  $Q_c$  = 수정유량(m<sup>3</sup>/sec)

$Q_u$  = 미수정유량(m<sup>3</sup>/sec)

$TL$  = 실의 누설지점을 통해 이동하는 공기의 온도(°C)

$TF$  = 도어팬을 통해 이동하는 공기의 온도(°C)

감압할 때,  $TL = T_o$   $TF = T_i$

가압할 때,  $TL = T_i$   $TF = T_o$

4) 식 (2)의 경우 기압 수정은 삭제되기 때문에 필요하지 않으며 습도수정은 작으므로 무시한다. 다른 수정은 적용하지 않는다. 식 (2)을 사용하지 않는 경우는 다음 식을 적용한다.

$$Q_c = Q_u$$

5) 방호구역을 가압 및 감압하면서 측정 한 후에 각 방향에서의 누설면적을 계산하고 그 결과를 평균을 낸다. 각 누설면적은 공기밀도가 1.202 kg/m<sup>3</sup> 이고 하나의 평평한 판에 구멍 하나의 방출계수가 0.61이라는 가정하에 계산한다. 계산식은 다음과 같다.

$$A = \frac{1.271 Q_C}{\frac{P_m}{\sqrt{|P_m|}} - \frac{P_{ST}}{\sqrt{|P_{DT}|}}} \tag{3}$$

여기서  $A$  = 누설면적(m<sup>2</sup>)

$Q_C$  = 도어팬 수정유량(m<sup>3</sup>/sec)

$P_m$  = 도어팬 게이지에서 측정한 압력(Pa)

$P_{ST}$  = 도어팬 실험시 정압(Pa)

6) 등가누설면적은 다음 식을 적용한다.

$$ELA(\text{등가누설면적}) = \frac{(Ad+Ap)}{2} \quad (4)$$

여기서  $Ad$  = 누설면적(감압)  
 $Ap$  = 누설면적(기압),

$$AT(\text{총누설면적, m}^2) = 0.61(ELA) \quad (5)$$

7) 하한누설면적은 다음과 같다.

$$A_{LL} = \frac{AT}{2} \quad (\text{전체방호구역 누설법}) \quad (6)$$

$$= 0.61(BLCA)(\text{달반자중화법}) \quad (7)$$

여기서  $A_{LL}$  = 하한누설면적( $m^2$ )  
 $BLCA$  = 천장아래누설면적( $m^2$ )

8) 누설분율은 다음 식에 의하여 구한다.

$$F_A = \frac{ALL}{AT} \quad (8)$$

여기서  $F_A$  = 하한누설분율.  $F_A > 0.5$ 이면,  $F_A = 0.5$ 로 한다.

9) 가스계 소화약제/공기 혼합물의 비중( $\gamma_m$ )의 계산식은 다음과 같다.

$$\gamma_m = \kappa \frac{C}{100} + \left( \gamma_a \frac{100-C}{100} \right) \quad (9)$$

$\gamma_m$  = 가스계 소화약제/공기 혼합물의 비중( $kg/m^3$ )  
 $\gamma_a$  = 공기비중( $1.202 kg/m^3$ )

$C$  = 설계농도(%)

$\kappa$  = 상수(할론 1301 ; 6.283,  $CO_2$  ; 1.832)

10) 설계농도 및 약제방출 후 측정된 최종농도 기준으로 유지시간동안 하강하는 경계면에 의해 영향을 받지 않은 바닥 슬라브로부터 최소높이(H)는 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$H = Ho \quad (10)$$

여기서  $Ho$  = 최대 방호높이(m)

$C$  = 설계농도(%)

$H$  = 바닥으로부터 경계면(방호대상물)의 높이(m)

$CF$  = 설계농도에 의한 방사후 최종농도(%)

11) 방호구역이 하강하는 경계면 상부(H)에 유지되도록 예상된 최소시간(t)은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$C_3 = \frac{2g(\gamma_m - \gamma_a)}{\gamma_m + \gamma_a \left[ \frac{FA}{1-FA} \right]^2} \quad (11)$$

$$C_4 = \frac{2PAH}{\gamma_m} \quad (12)$$

$$t = 2A_R \left[ \frac{\sqrt{C_3 H_O} + C_4 - \sqrt{C_3 H + C_4}}{C_3 F_A A_T} \right] \quad (13)$$

여기서  $t$  = 시간(sec)

$C_3, C_4$  = 상수

$A_R$  = 방호구역의 바닥면적( $m^2$ )

$g$  = 중력가속도( $9.81 m/s^2$ )

$H_O$  = 방호구역의 높이(m)

$P_{SH}$  = 소화약제 방출시 정압(Pa), 음(-)이면 0으로 하며, 양(+ )이면 주어진 값을 이용한다.

$H$  = 방호대상물의 높이(m)

## 5. 결 론

전역방출방식 가스계소화설비의 성능확인을 위하여 경제적인 문제, 환경문제 등으로 인하여 전량방출실험이 어렵다 하더라도 간접적인 성능실험인 도어팬실험을 통하여 방호구역내의 누설면적과 설계농도 유지시간을 확인함으로써

- 1) 가스계소화설비의 신뢰성을 확보할 수 있으며
- 2) 방호구역내의 소화약제 누설량을 측정, 소화농도 유지시간을 분석함으로써 소화 설비의 적정성을 평가와 실험결과에 의거 밀폐도가 높을 경우 압력방출구의 필요성 여부를 판단하고 필요시 단면적을 결정할 수 있으며
- 3) 소화약제가 외부로 누설될 수 있는 부위를 확인, 차단하여 방호구역의 밀폐도를 향상시키므로 가스계소화설비 소화능력의 효율성을 더욱 높여 전산실, 통신기기실 등 고가의 자산을 보호할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. NFPA 12A : 1997, Standard on Halon 1301 Fire

Extinguishing Systems.

2. NFPA 2001 : 2004, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
3. ISO 14520-1 : 2000, Gaseous Fire-extinguishing Systems-Physical Properties and System Design - Part 1 : General Requirements.
4. ASTM E 779 : 1999, Test Method for Determining Air leakage Rate by Fan Pressurization.



〈저 자〉

박 영 근

(사)한국화재보험협회  
ygpark@kfpa.or.kr