

가스계 소화설비의 소화약제 방출성능 연구

1. 머리말

할론소화약제의 생산 및 사용의 규제에 따라 할론을 대체할 수 있는 가스계 소화약제가 연구 개발되어 여러 종류의 할로겐계 물질과 불활성 가스가 신 소화약제로 소화설비에 사용될 수 있게 되었다.

소화활동만을 목적으로 한다면, 소화약제를 소염농도 이상의 고농도로 하여 방출하면 된다. 그러나 소화약제의 합리적인 방출량, 소화 목적의 달성과 경제성 및 환경의 문제 등을 고려하여 적절한 설계농도가 되도록 결정되어야 한다. 예를 들어 독성을 고려한다면, 설계농도는 소화약제의 NOAEL 이하로 억제하여야 하고, 소화에 필요한 설계농도는 보다 높은 안전율을 확보하여야 한다. 이 때문에 가스계 소화설비를 설치할 경우에는 방호구역의 특성에 따라 소화약제 방출실험을 실시하고, 구역 내에서 혼합이 균일한가, 또 사용한 소화약제량과 설계농도간의 관계가 예정대로 인가에 대한 확인이 중요하다.

가스계 소화설비는 가연물의 소염농도에 안전율을 곱하여 소화약제 설계농도를 결정한다. 방호구역을 설계농도가 되도록 하기 위하여 필요한 소화약제량은, 소화약제 농도와 주입 소화약제 체적간의 관계를 나타내는 「자유방출식」으로 계산된다. 이 자유방출식은, 주입된 소화약제가 순간적으로 공기와 균일하게 혼합한다고 가정하고, 소화약제 농도에 관한 미분방정식을 해석하여 도출된 것이다.

그러나, 최근 대규모 공간이나 벽체가 없는 공간에 가스계 소화설비를 설치할 필요가 있어, 자유방출식의 전제조건이 이 경우에도 성립하는가를 신중하게 검토할 필요가 대두되었다. 특히, 종래의 할론 소화약제에 비하여 안전율을 낮게 채택할 수밖에 없는 소화약제인 경우에는, 대규모 공간에서 소화설비의 설계농도를 정확히 실현하는 것이 중요한 과제이다. 따라서 방호구역에 방출된 소화약제가 공기와 혼합하여 균일하게 될 때까지의 혼합과정과, 혼합에 영향을 줄 수 있는 인자에 대하여 실험적으로 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 필요로 하는 소화약제 혼합 과정을 수치 시뮬레이션 할 수 있는 틀의 개발을 전제로, 화재방호구역에서 소화약제의 혼합 과정과 각종 분사헤드의 소화약제 방출 특성에 대하여 모형 실험에 의해 검토하였다. 소화약제 방출 후의 농도분포에 관한 실험은 제2장에, 대규모 공간에 방출된 소화약제의 확산 형상에 관한 실험 내용은 제3장에 각각 정리하였다.

2. 실험모형에서의 소화약제의 농도 분포

가. 실험의 목적

본 연구에서는, 비중이 다른 3종류의 소화약제에 대한 방출실험을 실시하고, 실험모형에서 소화약제 농도의 분포를 측정하여, 소화약제의 비중이 농도분포에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 또, 노즐의 부착 위치와 압력 방출구의 부착 높이를

변화시켜 노즐과 압력 방출구의 상대적인 배치 관계가 소화약제 농도의 분포에 미치는 영향을 조사하고, 구역 내에 칸막이 벽을 설치하여 소화약제 농도 분포에 미치는 장애물의 영향에 대하여서도 조사하였다.

나. 실험모형과 실험방법

(1) 실험모형 개요

방출된 소화약제의 농도 분포를 측정하기 위하여 가로, 세로, 높이 각 2m의 밀폐된 실험모형을 제작하고, 구역 내부의 온도와 소화약제 농도를 구역 중앙의 상하 방향 3개소에서 측정할 수 있게 하였다. 실험모형, 열전대, 가스 샘플링 플러그 및 계측기 등의 실험모형은 그림 1과 같다.

(2) 분사헤드의 종류와 부착 위치

실험에 사용된 분사헤드는 360° 원주방향으로 소화약제를 방출하는 원주분사헤드와 혼 모양의 제트형 헤드로서, 각각의 실험에서는 이들 헤드 중 하나를 사용하였다. 소화약제 용기에서 헤드까지의 배관은 외경 6mm, 내경 4mm의 동관을 사용하였다. 배관 중간에는 스톱밸브와 유량 조정용 니들밸브 및 절환용 3방밸브를 부착하였다. 다만, 이번 실험에서는 니들밸브를 상시 개방한 상태에서 측정하였으며, 분사헤드의 부착 위치 및 분사헤드까지의 배관 길이는 표 1과 같다.

【표1】 분사헤드 부착 조건

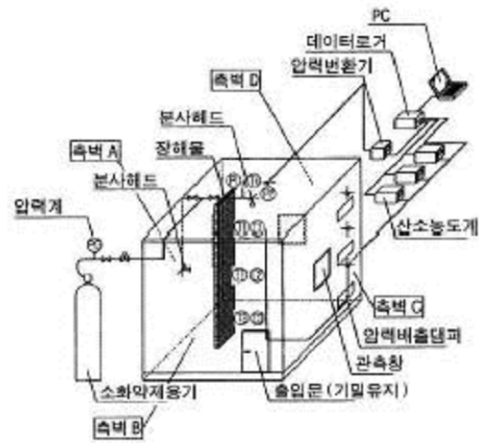
| 분사헤드 부착 위치 | 배관 길이 |
|------------|-------|
| 천장 중앙 | 4.9 m |
| 측벽 중앙 | 6.8 m |

(3) 압력 방출구 및 칸막이 벽의 설치

소화약제의 혼합 상태 및 압력 방출구 부착 높이의 영향을 조사하기 위하여 측벽 A에 부착한 분

사헤드와 맞은편 측벽 C의 중심선에서 600mm 동쪽에, 바닥에서의 높이 1,500mm(上), 900mm(中), 300mm(下) 등 3개소에, 압력 방출구를 설치하였다. 압력 방출구에는 유효폭 400mm, 유효높이 150mm의 미압조정범퍼를 이용하였다. 실험에서는 그 가운데 1개소만을 가동시키고, 나머지는 테이프로 봉쇄하여 압력 방출구 부착 위치의 높이를 변화시켰다.

구역 내의 장애물이 소화약제의 분포에 미치는 영향에 대하여서는, 일부 실험에서 분사헤드를 부착한 측벽에 평행하게 600mm 이격된 위치에, 높이 1,850mm, 폭 400mm, 두께 50mm의 칸막이 벽을 설치하여 조사하였다.



【그림 1】 실험 모형

(4) 실험에 사용된 소화약제의 종류, 방출량, 목표농도

실험에는 표 2에서와 같은 3종류의 소화약제를 사용하였다. 표에서는 각각의 소화약제별 방출량, 방출실험의 목표농도, 공기에 대한 비중을 나타내었다. 목표농도는 각각 실제 설계농도에 가까운 값이다.

【표2】 소화약제의 종류, 방출량, 목표농도

| 소화약제 | 방출량 | 목표농도 | 비 중 |
|-----------------|--------|-------|------|
| 질소가스 | 3.5 kg | 35 % | 0.97 |
| CO ₂ | 7 kg | 40 % | 1.52 |
| FM-200 | 4 kg | 7.5 % | 5.86 |

(5) 실험 내용

본 연구에서 실시한 실험 조건과 내용을 표 3에 나타내었다. 이 표에서, 방출시간은 실측값으로서, 초압이 15MPa인 질소소화약제를 제외하고는 소화설비의 설계값보다 3배에서 6배정도 길게 되어 있다.

(6) 측정항목과 사용 기기

본 실험에서는 다음의 각 항목에 대하여, 소화약제 방출 전 1분간 및 방출 개시부터 15분간의 데이터를 측정하였다. 각 측정 데이터는 데이터 로거와 PC로 기록하였다.

가) 산소농도

- 측정위치 : 구역 중앙의, 높이 1,554mm(상), 914mm(중), 310mm(하) 등 3개소
- 사용기기 : 자기식산소농도계(샘플 흡인량 1ℓ /min)

나) 구역내 온도

- 측정위치 : 구역 중앙의, 높이 1,554mm(상), 914mm(중), 310mm(하) 등 3개소
- 사용기기 : K형 시즈열전대 (시즈 외경 0.25mm 3개)

【표3】 실험 내용

| 실험번호 | 소화약제 종류 | 초기입력 (MPa) | 분사헤드 | | 방출시간 (초) | 방출구 위치 [b] | 킨막이벽 설치유무 | GC분석 유무 |
|------|-----------------|------------|--------|------|----------|------------|-----------|---------|
| | | | 종류 [a] | 부착위치 | | | | |
| N1 | N ₂ | 15 | C | 천장 | 60 | 상 | 무 | 무 |
| N2 | N ₂ | 7.5 | C | 천장 | 193 | 중 | 무 | 무 |
| N3 | N ₂ | 15 | C | 천장 | 63 | 하 | 무 | 무 |
| N4 | N ₂ | 7.5 | J | 측벽 | 235 | 하 | 무 | 무 |
| N5 | N ₂ | 15 | J | 측벽 | 71 | 중 | 무 | 무 |
| N6 | N ₂ | 7.5 | J | 측벽 | 225 | 상 | 무 | 무 |
| N7 | N ₂ | 15 | C | 측벽 | 60 | 하 | 무 | 무 |
| N8 | N ₂ | 7.5 | J | 천장 | 195 | 하 | 무 | 무 |
| N9 | N ₂ | 15 | C | 측벽 | 67 | 하 | 유 | 무 |
| N10 | N ₂ | 7.5 | J | 측벽 | 231 | 하 | 유 | 무 |
| C1 | CO ₂ | 7 | C | 천장 | 159 | 상 | 무 | 무 |
| C2 | CO ₂ | 7 | C | 천장 | 156 | 중 | 무 | 무 |
| C3 | CO ₂ | 7 | C | 천장 | 153 | 하 | 무 | 무 |
| C4 | CO ₂ | 7 | J | 측벽 | 180 | 상 | 무 | 무 |
| C5 | CO ₂ | 7 | J | 측벽 | 177 | 하 | 무 | 무 |
| C6 | CO ₂ | 7 | J | 측벽 | 177 | 하 | 유 | 무 |
| C7 | CO ₂ | 7 | C | 측벽 | 174 | 하 | 유 | 무 |
| H1 | FM-200 | 4.3 | C | 천장 | 60 | 하 | 무 | 유 |
| H2 | FM-200 | 4.3 | J | 측벽 | 60 | 하 | 무 | 유 |

[a] C : 원주노즐, J : 제트노즐

[b] 압력방출구 중심의 바닥에서의 높이
상 1,500mm, 중 90mm, 하 300mm

다) 분사헤드의 압력, 온도

- 측정위치 : 분사헤드 부착 부
- 사용기기 : 20MPa 소형 반도체 압력계, K형 시즈열전대(시즈 외경 0.25mm)

라) 소화약제 용기 내압 : 15MPa Bourdon관 압력계

마) 소화약제량 : 전자천평(하중용량 150kg, 분해능력 1g)

바) 구역내 압력 : 20mmAq(전자식미치압계)

FM-200의 방출실험에서는 계속 종료 직후 소화약제 농도가 안정되어있는 시기에 「중」 위치에서 샘플을 테트라팩에 포집하여 가스크로마토그래피(GC)로 분석하였다.

다. 구획 내에 방출된 소화약제 농도의 측정 결과

(1) 질소소화약제 방출에 의한 구역 내 온도 변화와 산소 농도

질소소화약제는 압축성 기체로서 비중은 대략 1이고, 기타 물성도 공기와 유사하기 때문에 가스계 소화약제 방출 후의 구획 내 온도 및 소화약제 농도 분포의 기본 데이터가 된다. 방출실험에서는 각 샘플링 점에서 시간 경과에 따른 산소농도의 변화를 측정하고, 이를 다음 절의 공식 (2)를 이용하여 질소소화약제 농도의 변화로 환산하였다.

방출시간 약 1분 또는 3-4분 동안 실험모형 내부로 방출된 질소소화약제는 공기와 혼합하여 바닥면 중앙 위치의 상, 중, 하 3개소에서 산소농도를 저하시켰다. 산소농도는 분사헤드의 종류와 부착 위치 및 압력 방출구 부착 높이의 변화에 따라 거의 변화가 없었고, 방출 종료 후에는 일정하게 유지되었다. 상, 중, 하 각 샘플 위치에서 산소농도는 실험오차 범위 내에서 일치하였다.

분사헤드와 압력 방출구의 배치 관계 및 칸막이 벽의 설치는 산소농도의 변화에 거의 영향을 주지 않았다. 구역 내의 온도는 질소소화약제의 방출시

간 중에 최대 3°C 정도 낮아졌다.

(2) 질소소화약제량과 소화약제 농도

10회 반복한 실험에서, 질소소화약제 방출 후 산소농도의 평균값은 13.0%였다. 실험에서의 소화약제량을 소화약제 체적 V_c 로 환산한 뒤, V_c 와 V_R 을 「자유방출식」으로 알려진 식 (1)에 대입하여 구역 내의 소화약제 농도 C 를 구하고, C 를 공기 중의 소화약제 농도와 산소농도의 관계를 나타낸 식 (2)에 대입하여 구한 산소농도 $C(O_2)$ 의 평균값은 13.3%로 산출되어, 산소농도의 실측값과 소화약제량 계산값이 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.

$$C = 100 \{1 - \exp(-V_c / V_R)\} \quad (1)$$

$$C(O_2) = 21 (1 - C / 100) \quad (2)$$

여기에서,

C : 구획 내의 소화약제 농도 (%)

V_c : 체적으로 환산된 소화약제량 (m^3)

V_R : 구역 용적 (m^3)

$C(O_2)$: 구역 내의 산소농도 (%)

(3) 이산화탄소 및 FM-200 소화약제의 방출에 의한 온도 변화와 산소농도

이들 소화약제는 액화가스 상태로 방출되어, 구역 내의 온도는 0°C 이하까지 저하하였다. 분사헤드에서 액체상태로 방출이 종료되면, 온도는 처음에는 급격히 저하하지만 천천히 외기온도 수준으로 상승하였다. 방출 종료시 구획 내의 샘플링 위치에서 산소농도는 일정하였고, 방출 개시 5분 후와 10분 후의 농도 변화는 없었다.

이산화탄소의 경우, 「중」 위치의 샘플링 관 중간에 설치된 스톱밸브(꼭)에서 공기가 유입되어 산소농도가 상·하 양 위치보다도 0.5% 높게 계속 측정 미스가 있었다. 남은 상·하 양 위치의 산소농도는 7회 측정 평균값이 모두 12.3%로 일치하였다. FM-200 소화약제는, 본 실험에서 사용

한 자기식 산소농도계에서 실제 산소농도 보다 낮게 나타나 계측치의 보정이 필요하였다[1].

계측치를 보정한 산소농도는 상, 중, 하 3개소의 샘플링 위치와 같이 19.0-19.1% 범위로 일치되었다.

분사헤드와 입력 방출구 배치관계의 변경이나 칸막이 벽의 설치, 이산화탄소 소화약제의 경우에도 방출 후 농도와 농도분포에 거의 영향을 미치지 않았다. FM-200 소화약제의 경우에도, 분사헤드의 종류와 분사헤드의 부착 위치를 변경하였을 때 농도와 농도분포에 영향은 없었다.

(4) 이산화탄소와 FM-200 소화약제의 방출량과 소화약제 농도

이산화탄소 소화약제를 7회 방출한 실험 결과 평균 산소농도는 12.3%였고, 소화약제량과 식 (1), 식 (2)를 이용하여 계산한 산소농도 $C(O_2)$ 는 12.0%로, 양자는 일치하였다. FM-200의 경우에도, 「중」 위치에서 공기를 샘플링하여 GC 분석한 결과 FM-200의 농도는 약 7%로서, 소화약제량과 식 (1)에서 구한 농도 평균 7.4%와 거의 일치하였다. 그렇지만, 자기식 산소농도계의 산소농도에 보정을 가한 산소농도를 이용하여 환산한 FM-200의 농도는 9.1%로서, GC 분석치의 약 1.3배가 되었다.

3. 분사헤드의 소화약제 방출 패턴 측정

가. 연구의 목적

가스계 소화설비 분사헤드의 성능은, 주로 사용 조건에 따른 강도상의 내구성과 단위시간당 방출

할 수 있는 소화약제량에 의해 평가되고 있다. 그러나, 과거에 가스계 소화설비를 설치하지 않았던 대공간에 기존의 소화설비를 채용할 경우에도, 소화설비가 설치되어있는 지금까지 규모의 공간에서의 기능과 같은 수준으로 분사헤드가 기능을 다할 수 있을 것인가에 대하여 확인이 필요하다.

이 실험은, 대공간에서 소화설비에서 방출된 소화약제의 유동과 혼합과정 및 농도분포에 관한 수치 시뮬레이션으로 이용될 기초 데이터를 수집하기 위하여, 제2장의 실험에 사용된 분사헤드를 이용하여 소화약제 가스를 대공간에 방출하는 실험을 실시하고, 소화약제 방출 패턴과 분사헤드 근처의 소화약제 농도와 속도 등에 관한 분사헤드 특성을 측정하는 것이다.

나. 실험장치와 실험 방법

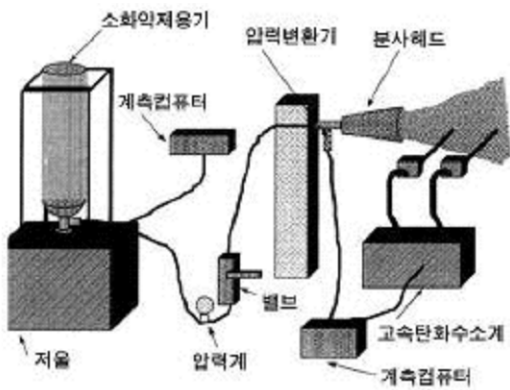
용적이 약 14,000m³인 옥내 공간에 그림 2와 같은 장치를 설치하여 실험하였다. 분사헤드는 제2장의 실험에 사용한 제트타입의 것으로 하고, 1%의 프로판을 혼합한 이산화탄소 7kg이 사용되었다. 측정 항목은 단위시간당 방출량, 방출패턴, 방출 소화약제의 농도분포와 온도, 분사헤드 부착부의 입력과 온도 등이다.

본 실험에 사용된 기기는 다음과 같으며, 또한 분사헤드를 원점으로 하였을 때 고속 탄화수소계 각 채널의 샘플링 위치에서 소화약제의 평균농도를 조사하기 위하여, 테트라팩으로 가스를 포집하고 GC 분석을 하였다.

【표4】 고속탄화수소계 탐침(Probe) 위치

| 실험번호 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 수평위치 (m) | 1.5 | 1.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 1.5 | 1.5 |
| 상하방향 (m) | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.20 | 0.40 | 0.25 | 0.25 |

- (1) 온도
 - 측정위치 : 방출 소화약제 플럼 내 1개소
 - 사용기기 : K형 시즈열전대
- (2) 분사헤드 압력, 온도
 - 측정위치 : 분사헤드 부착 위치
 - 사용기기 : 20MPa 소형 반도체 압력계, K형 시즈열전대 (시즈 외경 0.25mm)
- (3) 소화약제용기 내압 : 15MPa Bourdon관 압력계
- (4) 소화약제량 : 전자천평(하중용량 150kg, 분해능력 1g)
- (5) 소화약제 농도 : 고속탄화수소계 (2채널)



[그림2] 분사헤드 방출 패턴 실험장치

다. 실험 결과

제트노즐에 의한 소화약제 방출은, 바닥에서 2m 높이에 설치된 분사헤드에서 수평방향으로 약 7m 부근에서 바닥으로 낙하하는 패턴으로 나타났다.

4. 맺는말

대규모 공간이나 벽체가 없는 공간에 가스계 소화설비를 설치할 경우, 자유방출식의 전제조건이 성립할 수 있을가에 대하여 신중하게 검토할 필요가 있다. 특히 종래의 할론 소화약제에 비하여 낮

은 안전율이 적용되어야 하는 대체 소화설비에 대하여서는, 방출된 소화약제가 공기와 혼합하여 균일하게 될 때까지의 혼합 과정과, 혼합에 영향을 줄 수 있는 인자에 대하여 실험적으로 파악할 필요가 있다.

이를 위하여 가로, 세로, 높이가 각각 2m인 모형을 제작하고, 소화약제로서 질소, 이산화탄소, FM-200을 사용하여 소화약제 방출 후의 농도분포에 관계되는 소화약제의 비중, 분사헤드의 형상, 방출시간, 분사헤드와 압력 방출구의 배치, 장애물이 되는 칸막이 벽의 영향 등을 조사하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 실험에 사용된 모형에서, 3 종류의 소화약제 모두 방출 종료에서 실험 종료까지 사이에, 측정점에서의 산소농도는 일정하였다.

(2) 본 실험 조건에서는, 소화약제의 농도에 대하여 소화약제의 비중, 분사헤드의 형상, 방출시간, 분사헤드와 압력방출구의 배치, 칸막이 벽 등의 영향이 없었다.

(3) FM-200은 자기식 산소농도계에 영향을 받기 때문에, 이 농도계로 측정한 산소농도를 소화약제 농도로 환산하면 오차가 커서 부정확한 결과가 된다.

또, 분사헤드에서 방출된 소화약제의 확산 형상에 관한 실험에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

(4) 위 실험에 사용된 분사헤드를 바닥면에서 2m 높이에 설치하고, 이산화탄소를 방출하였을 때, 수평방향으로 약 7m 부근에서 속도가 떨어져 바닥면에 도달하였다.

(5) 분류 가운데 소화약제의 농도 분포는, 수평방향에 방출된 가스 농도의 분포식[2]과 거의 일치하였다. ☉

— フェスク(2000.6)

— 발췌: WS FHA 프로젝트팀 부장대우 김동일