

# 소화설비의 최근 개발동향

## - 할로카본 소화설비 -

이상현 / 총무부 교육담당 과장

본 자료는 캐나다국립연구원 산하 건설연구소에 근무하는 김기홍 박사를 초청, '소화설비의 최근 개발동향'이란 주제로 열린 세미나에서 발표한 내용을 정리한 것으로, 최근 할론소화약제가 단계적으로 사용 금지됨에 따라 새로 개발된 소화설비들 중에서 할로카본 소화약제에 관해 소개하고자 한다.

### 1. 할로카본이란

할로카본 소화약제는 오존층 파괴의 주범인 염소와 휘소의 원자 수를 감소 혹은 제거하기 위해 분자구조를 바꾼 것을 제외하고는 할론과 유사한 화학물질이다. 할로카본 소화약제는 주로 냉각작용에 의해 소화시킨다.

### 2. 할로카본의 소화성능 측정

할로카본 소화약제는 주로 소규모 시험에 의해 소화성능을 측정한다. 시험실에서 가장 널리 사용하는 소화약제의 소화효과 측정방법은 컵버너 측정법(Cup Burner Method)이다. 소화약제는 컵 위에 있는 확산 불꽃으로 액체 연료를 점화하고 불꽃이 안정된 후 소화약제와 공기의 혼합물 공급설비를 통하여 액면 불꽃이 소화될 때까지 굽뚝으로 주입시킨다. 혼합물 중 소화약제의 농도가 컵버너 불꽃의 소화농도이다.

#### 가. 소화약제의 독성

소화약제는 2가지 독성독물학적 특성을 고려해야 한다. 한 가지는 소화약제 자체의 독성이고, 다른 하나는 화재 중에 발생하는 소화약제에 의한 연소반응 생성물의 독성이다. 규제기관에서는 대개 소화약제의 독성에 의하여 승인여부를 판단한다.

할로카본과 탄화수소를 흡입하면 심장은 높은 자극상태까지 비정상적으로 예민해짐으로써 심장 부동맥과 심장마비에 이를 수 있다. 심장 독성시험은 보통 심장 감작(Cardiac Sensitization)을 일으키는 소화약제의 농도를 평가하기 위해 작은 탐정견으로 실시한다. 시험결과는 심장에 영향을 미치지 않는 농도(NOEL, No Observed Adverse Effect Level)와 심장에 영향을 미치는 최소 농도(LOEL, Lowest Observed Adverse Effect Level)로 나타난다. 소화약제를 사람이 상주하는 공간에 전역방출방식으로 방출할 수 있는가를 판단하기 위하여 할로카본 소화약제의 심장 NOEL과 LOEL을 소화농도와 비

교하고 있다. 할로카본 화학물질 중에서 FM-200(HFC 227ea), FE-13(HFC-23), NAF S-III(HCFC Blend), CEA-410(FC-3-1-10) 등 이러한 4가지 소화약제는 실린더에 액화가스 상태로 저장하고, 환경친화적인 소화약제이며, 방출후 잔류물이 없고, 전기적으로 부도성이라는 공통적인 특징이 있다. 또한 이 4가지 소화약제는 NOAEL 농도가 소화농도보다 높아 미국 환경청의 신물질정책(SNAP, Significant New Alternatives Policy)에 따라 사람이 상주하는 공간에 사용할 수 있는 것으로 등록되어 있다.

## 나. 중규모 소화성능시험

통상적으로 가스계 소화약제는 소규모 시험에 의해 소화농도를 결정하지만, 소화약제의 실제 소화성능을 평가하기 위해 중간규모와 실제규모 소화시험을 실시하기도 한다. HFC-23, HFC-227ea, FC-3-1-10, HCFC Blend A는 소화약제와 산성가스 생성물의 실시간 FTIR 측정과 함께 중간규모 소화시험을 뉴멕시코대학 엔지니어링연구소(체적 18.3 m<sup>3</sup>)에서 실시하였다. 화재시나리오는 A급 목재화재, B급 헵탄 표면화재와 디젤 분무화재이었다.

헵탄 표면화재시험에서 4가지 소화약제는 화재억제성능이 별다른 차이를 보이지 않았다. 산성가스 생성물의 양을 최소화하기 위해 컵버너 방법에 의한 소화농도 40%(HCFC Blend A는 농도 12%)와 방출시간 5초는 화재를 7초 이내에 소화하는데 필요한 조건이다. 이러한 조건에서도 4가지 소화약제는 할론 1301보다 HF농도가 10배이상 높다. HFC-23과 HCFC Blend A는 다른 2가지 소화약제보다 많은 HF와 COF<sub>2</sub>를 발생한다.

미국 해군시험연구소(NRL, Naval Research Laboratory)는 방출 특성과 분포가 소화성능에 미치는 영향을 평가하기 위해서 HFC-23, HFC-227, FC-3-1-10에 대한 중간규모(체적 56m<sup>3</sup>)와 실제규모 시험을 실시하였다. 그 결과 3가지 소화약제는 설계농도에서 시험화재를 소화시켰지만 HF 발생량이 할론 1301과 비교하면 10배 이상 증가하였다. 일반적으로 소화약제의 농도를 증가시키면 동일한 방출시간에서 소화시간이 빨라지고 HF 발생량이 적어진다. 그러나 컵버너방법에 의한 소화농도가 75% 이상인 소화약제의 농도에서는 HF 발생량이 많은 영향을 받지 않는다. 또한 방출시간이 빨라지면 동일한 설계농도에서 소화시간이 빨라지고 HF 발생량이 감소한다.

## 다. 실제규모 소화성능시험

HFC-23과 HFC-227ea에 대한 미국 해군시험연구소의 4가지 실제규모 시험이 선상 기계실(체적 843m<sup>3</sup>)에서 실시되었다. 소화시험에서 방출시간은 10초이고 HFC-227ea의 설계농도는 8.2%, 9.2%, 10%, HFC-23의 설계농도는 16%, 18%이었다. 모든 화재는 각 시험 화재 시나리오에서 28초 이내에 소화되었으나 몇 가지 시험에서는 재발화하였다. HF의 최고 농도는 할론1301 기준시험에 의한 HF 농도의 약 10-12배로 2,400-7,300ppm이었다. 실제규모 화재시험결과는 중간규모 시험결과와 비슷한 것으로 나타났으며, 소화약제 농도가 증가하고 방출시간이 감소함에 따라 소화시간과 HF 농도는 감소하였고 규모가 큰 화재가 규모가 작은 화재(HF는 더 많이 발생함)보다 소화하기 더 용이하였다.

미국 해안경비대는 시험선의 기계실에서 실제규모 화재시험을 실시하였다. 제조자가 권장하는 설계농도로 시험한 소화약제는 HFC-23, HFC-227ea, FC-3-1-10 및 HCFC Blend A이었다. 소화약제는 3가지 시험 시나리오; 500kW 헵탄 접시화재와 함께 500kW 헵탄 분무화재, 500kW 헵탄 접시화재와 함께 5MW 헵탄 분무화재, 500kW PVC 케이블화재와 함께 5MW 디젤 접시화재로 성능을 평가하였다. 시험 결과 HFC-23, HFC-227ea, FC-3-1-10은 모든 시험화재를 22초 이내에 소화시켰지만 HCFC Blend A는 8.6%의 낮은 설계농도와 이러한 설계농도에 도달하는 것과 관련된 문제점으로 인하여 소화시간이 2분이상 필요하였다. HFC-23, HFC-227ea, FC-3-1-10은 할론 1301의 HF 발생량보다 약 5~10배이상, HCFC Blend A는 약 40배 이상 HF를 발생하였다. 이러한 실제규모 화재시험에 의하여 소화약제의 방출시간이 빠르고 설계농도가 높아지면 소화시간이 짧아지고 HF 발생량이 적어진다는 것이 밝혀졌다.

캐나다 국립연구원(NRC, National Research Council of Canada)은 화재실(체적 121m<sup>3</sup>)에서 HFC-227ea와 HCFC Blend A에 대한 실제규모 화재시험을 실시하였다. HFC-227ea는 설계농도 7.6%와 8.8%에서, HCFC Blend A는 설계농도 8.6%-14%에서 시험을 실시하였다. 시험결과 10% 미만 설계농도에서 HCFC Blend A는 모든 시험화재를 소화시키지 못했다. HFC-227ea는 7.6% 이상 설계농도에서, HCFC Blend A는 12% 설계농도에서 모든 시험화재를 소화시켰다. HFC-227ea와 HCFC Blend A는 화재시험 중에 HF와 COF<sub>2</sub>가 발생하였다.(HCFC Blend A는 시험 중 HCl도 발생함) 시험 중에 발생하는 산성가스의 양은 화재규모와 방출시간이 증가함에 따라 증가하였고, 소화약제 농도가 증가함에 따라 감소하였다. HFC-227ea와 HCFC Blend A의 시험 중 발생하는 HF와 HCl의 농도는 할론 1301 보다 훨씬 높았다. 또한, 시험결과 HFC-227ea와 HCFC Blend A의 시험 중 발생하는 일산화탄소의 양은 소화약제와 화염과의 상호작용에 의해 증가하는 것으로 나타났다.

### 3. 맺음말

시험데이터에 의하면 할로카본 대체소화약제는 설계 농도에서 화재를 소화시키는 것을 알 수 있다. 그러나 할로카본 소화약제는 설계농도가 할론 1301보다 훨씬 높기 때문에 체적과 중량 면에서 많은 단점이 있다. 또한 할로카본 소화약제는 소화 중 할론 1301보다 5~10배 이상 많은 HF와 COF<sub>2</sub>를 발생하였다. 시험화재 중 발생한 HF와 COF<sub>2</sub>의 농도는 사람에게 노출 가능한 농도보다 상당히 높았다. 소화 중 발생하는 HF와 COF<sub>2</sub>의 농도는 소화약제의 종류와 농도, 화재의 종류와 규모, 방출시간과 소화시간과 같은 많은 요소에 의해 영향을 받는다. 할로카본 소화약제는 소화 중 일산화탄소를 발생하기 때문에 또 다른 안전성 문제가 있으며, 일부 할로카본 소화약제는 대기수명시간이 길고 대기로 방출되었을 때 지구온난화에 장기간 영향을 미칠 수 있다. 요즈음 온실효과는 환경문제로 제기되고 있으며 할론대체 소화약제를 선정할 때 중요한 요소가 될 것이다.