

# Hybrid Foam을 이용한 탱크화재 진압용 포 소화시스템의 개발

김 흥 · 정기창 · 연두희 · 함상근

호서대학교 안전공학부

## 1. 서론

현재 국내에 설치되어 사용중인 위험물 저장 탱크는 총 152,370 개로 이중 1만 리터 미만의 저장 용량을 가진 탱크가 약 50%를 차지하고 있으며, 화재나 폭발 시 진압의 어려움으로 인하여 막대한 손실을 초래할 우려가 있는 5만 리터 이상의 대형 탱크도 2만개 이상이 된다. 이러한 대형 탱크의 방호를 목적으로 설치된 기존의 포 소화시스템은 기포제로 공기를 이용한 기계 포 소화시스템으로써 설비 구성상 복잡하고 설치비용이 높아 경제적으로 불리하며 화재 진압에 적용된 포가 열적, 물리적 요인들로 인하여 파괴될 때 방출되는 것이 공기이므로 이는 화재를 성장시키는 원인이 되기도 하여 소화 성능 면에서도 불리하다. 소화효과의 우수성이 인정되어 전 세계적으로 널리 사용되어 왔던 Halon 계열의 소화 약제가 오존층 파괴물질로 규정되면서 1987년 Montreal Protocol에 의하여 그들의 생산이 금지되고 사용에 있어서도 단계적인 철수에 들어갔다. 이에 따라 현재 국내 및 세계적으로 소방산업에 있어서 청정소화약제의 개발(CFC 대체물질 개발)에 심혈을 기울이고 있으며 미국을 비롯한 선진국에서는 이미 수십 종류의 대체물질을 개발하여 시판하고 있다. 그러나 개발된 대체물질들은 가격이 너무 높아 경제적으로 불리하거나, 소화 성능이 Halon 약제에 비하여 크게 뒤떨어지거나, 또는 국내에 설치되어 있는 소방설비의 Drop-in 함에 있어 어려움이 존재하는 등의 단점을 가지고 있다. 이는 하론 계열의 소화약제를 대체할만한 청정소화약제 개발의 어려움을 단적으로 보여준다. 국내·외적인 현실을 바탕으로 Halon 소화약제 및 시스템을 대체하기 위하여 새로운 포 소화약제 개발에 심혈을 기울여 왔으며, Hybrid Foam이라 명명 되어진 탁월한 소화성능을 보유한 약제 개발에 성공하였다. Hybrid Foam 약제 특성상 Blowing agent로써 적은 양의 가스계 청정소화약제를 이용하고 있어 소화효과 면에서 기존의 포 소화약제 소화 성능에 가스계 청정소화약제의 성능을 부가한 것으로 그 우수성은 실험을 통하여 입증하였다.

## 2. 실험

### 2.1 Hybrid Foam 형성을 위한 실험장치

Hybrid Foam의 형성은 용기내부의 급격한 감압에 따른 포형성 이론을 바탕으로 하고 있으며 사용되어지는 Blowing Agent가 고압하에서 액화된 가스에 소화약제이므로 취급에 있어서 안전상 각별한 주의가 필요하다. 따라서 본 실험의 장치구성에 있어서 Foam Generator는 내부압력  $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서도 견딜 수 있는 내용적 3리터 크기의 스테인리스 재질로 주문 제작하였으며, 특히 포형성 과정을 디지털 캠코더로 촬영이 가능하도록 Generator 중앙에 방탄유리재질의 평면 Window를 부착시켰으며 또한 약제의 충전 및 감압 과정에서의 내부 온도 변화를 측정하기 위하여 3개의 씨스형 써머커플(K-Type)을 설치하였다.

Foam Generator로부터 형성된 Hybrid Foam의 점도측정을 위하여 Brookfield digital viscometer (DV-II+ model)가 이용되었으며 또한 CCD 카메라가 장착된 전자 현미경을 통한 포의 이미지를 개인용 컴퓨터에 설치된 이미지 분석 프로그램인 CompuScope 프로그램을 사용하여 캡처하였으며, 이를 통해서 포의 형상, 막의 두께와 같은 포의 구조 분석 행하였다.

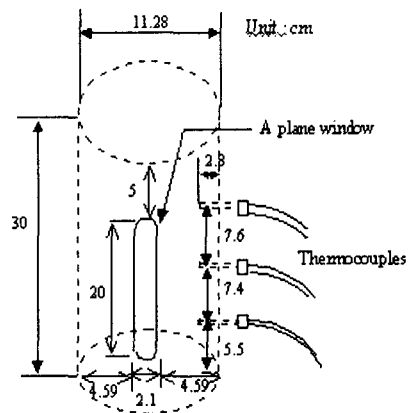
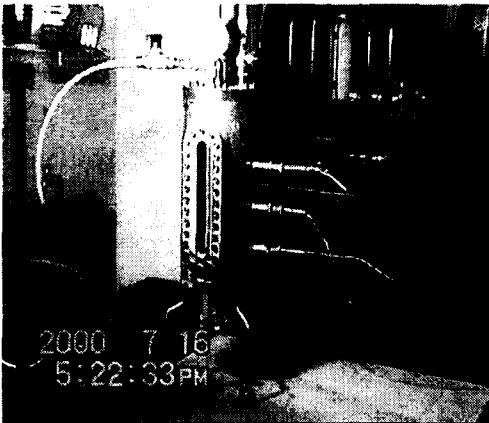


그림 1. Hybrid Foam Generator 의 사진 및 설계도면

### 2. 2 실험 결과

## (1) Hybrid Foams

액화된 가스계 소화약제와 포수용액이 충전된 Foam Generator 내부의 급격한 감압에 의한 포 형성에 있어서 Generator 중앙에 부착된 창을 통해 내부를 관찰할 수 있었는데 충전된 AFFF수용액의 액체밀도가 FM-200의 액체밀도보다 현저히 낮고 FM-200의 물에 대한 용해도가 거의 없으므로 이들 두 약제가 고압하에서 함께 충전되었을 때 두 액체 사이에는 계면이 존재하며, Generator 하부에는 액화된 FM-200이 상부에는 AFFF 수용액이 위치하는 것이 확인되었다. 따라서 효과적인 약제의 방출을 위하여 Generator내부에 길이가 서로 다른 두 개의 사이폰관을 설치하여 일정한 비율로 AFFF 수용액과 FM2-00을 혼합방출 할 수 있게 하였다. Generator 내부의 압력은  $9\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 고정시켰고 사용된 AFFF 수용액의 양도 1리터로 한정시켰다. 실험 결과 Generator내부의 감압과정동안 Hybrid Foam Bubble은 주로 사이폰관과 방출 호스를 통과하면서 형성되었으며, 감압 시작 후 1~7초 사이에 Bubble Formation이 거의 모두 이루어졌으며 감압의 마지막 단계에서는 아주 적은 부피의 Bubble이 Generator 하부에서 형성되었다. 감압에 의한 Hybrid Foam의 형성시간은 총 20초 내지 30초 정도 되었다. 그림 2는 감압에 의한 Hybrid Foam의 형성과정을 보여준다.

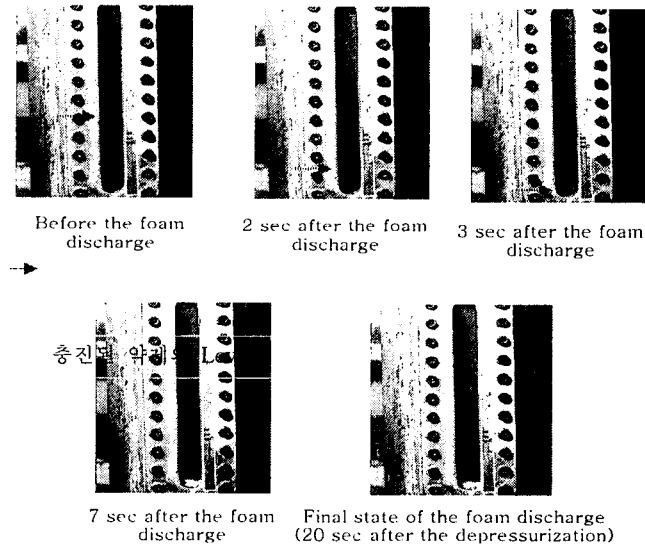


그림 2. 감압에 의한 Hybrid Foam의 형성

표 1. AFFF 와 FP Hybrid Foam의 구조비교

Type of the foam	AFFF hybrid Foam	FP hybrid Foam
Foam structure	Almost Pentagonal Polyhedron	Irregular Polyhedron
Average cross sectional area of a bubble	0.0886 mm <sup>2</sup>	0.0227 mm <sup>2</sup>
Average film thickness	9.7 μm	12.1 μm
Average diameter of a Plateau border	16.8 μm	25.9 μm
Average angles at a Plateau border	120 degree	120 drgree

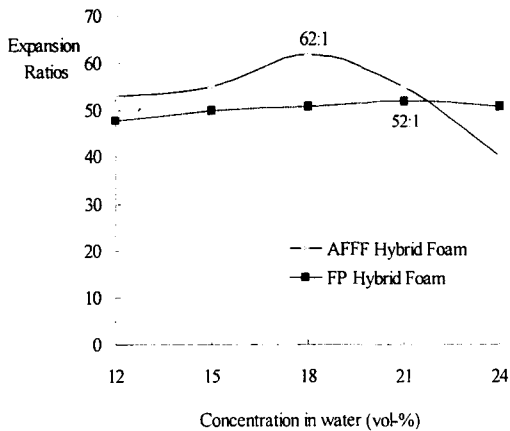


그림 3. 농도의 변화에 따른 AFFF와 FP Hybrid foam의 팽창비

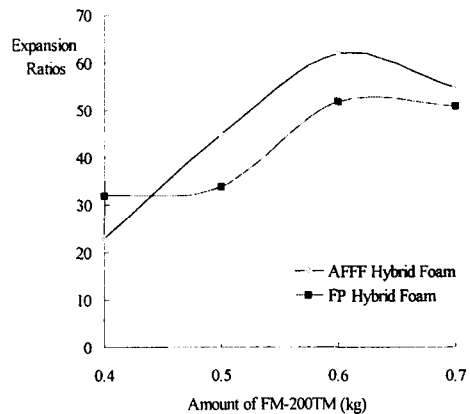


그림 4. FM-200<sup>TM</sup>의 양에 따른 AFFF와 FP Hybrid foam의 팽창비

### 2. 3 유류 화재의 소화 능력 Test(B-100단위)

B-100단위의 화재진압 실험에서는 연소대의 모형을 원형으로 제작하여 위험물 저장 탱크와 조건을 같게 하였고, 실험방법은 B-60단위 실험과 동일하게 설정하였다. 다만 소화 약제의 비용절감을 위한 2차년의 연구결과로 기포제겸 소화약제인 FM-200의 양을 줄일 수 있었으며 Halotron I를 첨가시켜 팽창비를 150:1 까지 상승 시켰다. 실험에 사용된 소화약제의 양은 총 16kg이었다.

실험 결과 시스템 작동 후 방폭구조형 UV/IR 화염 감지기가 B-100단위 화염에 반응하는데 걸리는 시간은 0.013초였으며, 방폭형 Ball valve의 구동에 의하여 포가 방출될 때까지 소요된 시간은 1.21sec로 측정되었고 12.5sec 만에 화재가 진압되었다. 약제의 완전방출시간은 27sec 이었다.



a. B-100단위 화재의 점화  
(연소면적 20M<sup>2</sup>)

b. 화재 진압의 Final Stage( 시스템 작동후 8sec)

c. 약제 방출 종료  
(시스템 작동후 27 sec)

그림 4. B-100단위 유류 화재의 소화능력 Test

### 3. 결론

Hybrid Foam을 이용한 탱크화재진압용 포소화 시스템 개발에 관한 연구 결과를 종합하여 보면 우선적으로 저비용의 소화약제의 대체가 Halotron I과 FM-200을 혼합 사용하는 방법에 의해 해결되었으며, 또한 발생된 포의 팽창비를 150:1 까지 향상시켰고, 이러한 소화약제의 구성을 바탕으로 탱크화재진압용 포소화 시스템이 성공적으로 설계 및 제작되었으며, 일반화재, 유류화재 등의 적용 실험을 통하여 시스템의 용도확대에 청사진을 제공하였다. 특히 유류화재의 진압능력시험에서는 연소면적이 20 M<sup>2</sup> 이나 되는 B-100단위의 화재를 16kg의 소화약제로 9.7초만에 완전 소화하였다.

최종적으로 본 연구를 통하여 개발이 완료된 탱크화재진압용 Hybrid 포소화 시스템은 현재 사용되고 있는 고정식 포소화시스템과 비용면에서 비교 크게 유리하며 성능면에서도 아주 우수하다고 하겠다.

다음은 본 연구를 통하여 개발된 탱크화재진압용 Hybrid 포소화 시스템의 특징을 간략히 열거하였다.

- 완벽한 화재진압 능력
- 짧은 약제 방출시간 (25~30sec)
- 화재 발생시 약제 방출장치의 즉각적인 작동 (1.25 sec after fires)
- 소화약제의 낮은 저장압력 (9 kg/cm<sup>2</sup>)
- 시스템 사용 온도 범위 (-20℃ ~ 80 ℃)
- 저렴한 시스템 설치 및 제작 비용

## 참고문헌

- 1) Clarke, M., Fire Fighting Foams, *Fire Surveyor*, Vol. 21 , No. 6, December 1992, pp. 11-13.
- 2) Jung, K. C., The Development of the FM-200 Gas-Filled AFFF Fire Extinguisher for Automatic Fire Suppression Systems in the Engine Compartment of Automobiles , *M.S. Thesis*, Hoseo University, Nov. 1996, pp. 1-53.
- 3) Rose, G. R., *Trifluorobromomethane Foam Fire Fighting System*, US Patent, No. 4390069, Jun, 1983, pp. 1-8.
- 4) Hilda, C., *Liquid Foaming Extinguisher Agent*, International Patent, No. WO 85/04109, September, 1985
- 5) 小野田セメント株式會社, ハロン消火性泡の發生方法, 日本國特許廳, 特許出願公告 - 昭62-11867, 3月, 1987年, pp. 141-144.