

## 논·문

# Halon 1301과 Halon 대체 소화약제를 기포제로 이용한 포 소화약제에 대한 연구

A Study On The Application Of Foam Extinguishing Agent  
By Using Halon 1301 And Halon Alternatives

정 기 창\*

Jung, Ki-Chang

임 성 묵\*

Lim, Sung-Muk

이 창 섭\*\*

Lee, Chang-Sub

강 영 구\*\*\*

Kang, Young-Goo

김 흥 \*\*\*

Kim, Hong

### Abstract

The AFFF(Aqueous Film Forming Foam : 3M Company's Light Water) agent are synthetic compounds that foams which are similar to those produced by protein based materials. The foam extinguishing agent was used in the extinguisher was the AFFF agent. We sought, however, to make other foams by using halon 1301 ( $CF_3Br$ ) and halon alternatives, such as HCFC Blend A( $CHClF_2$  82%,  $CF_3CHCl_2$  4.75%,  $CF_3CHClF$  9.5%,  $C_{10}H_{16}$  3.75%), HFC-227ea ( $CF_3CHFCF_3$ ).

We selected these alternatives instead of air in order to raise the expansion ratio of the AFFF agent. By these means we discovered that it is possible to increase the expansion ratio of the AFFF agent up to 44:1 and up to 24:1 when HFC-227ea was used as a halon alternatives. Therefore our new foam extinguishing agents can be used in a portable extinguishers.

- Key Words : (1) AFFF (Aqueous Film Forming Foam)  
(2) Halon 1301  
(3) Halon Alternatives  
(4) Foam Extinguishing Agents  
(5) Expansion Ratio

\* 호서대학교 대학원 산업안전공학과, 석사과정

\*\* 내무부 중앙 소방학교 연구실

\*\*\* 호서대학교 공과대학 안전공학부, 교수

## 국문 요약

포 소화약제는 물보다 비중이 가벼운 액체 가연물 또는 입체면이 많은 건물에서 포 수용액을 팽창 발포 시켜 대상물을 덮어 씌우거나 봉쇄해서 질식소화 시킬 수 있다. 포 소화약제로 소화성능이 탁월한 수성 막포(AFFF) 소화약제를 노즐에 의해 공기와의 혼합으로 포를 형성하는 기존의 방법과 다른 방법으로 본 연구에서는 Halon 1301 및 Halon 대체 소화약제를 기포제로 사용하여 소화성능과 팽창비를 향상시킨 소화약제를 개발하게 되었다. 개발한 Halon 1301과 Halon 대체 소화약제를 기포제로 사용한 수성 막포 소화약제는 적은 양의 수성막포 수용액으로 많은 양의 포를 형성하므로 휴대용 포 소화기 또는 포 소화설비 등에 유용하게 사용할 수 있다.

### 1. 서 론

소화약제 중에서 가장 유효하고 경제적인 것은 물이다. 따라서 화재를 소화하는 데는 우선 물을 기본으로 생각해야 할 것이다. 그러나 물에 의한 소화가 곤란한 경우에는 포를 사용하면 효과적이다.

포 소화약제는 물보다 비중이 가벼운 액체 가연물과 벌딩이나 지하가 등 입체면이 많은 건물에서 직접 화염에 방수할 수 없는 화재의 경우에 포 수용액을 팽창 발포시켜 대상물을 덮어씌우거나 봉쇄해서 질식소화 시킬 수 있다. 즉 거품은 피복성과 체류성이 우수하기 때문에 물을 사용할 수 없는 화재에 사용할 있는 특징을 가지고 있다. 때문에 포 소화약제는 A급, B급 화재에 쓰이고 있다.<sup>1)</sup>

포 소화약제는 방출 방법에 따라 화학포와 기계포로 분류할 수 있는데 화학포는 현재 약제의 검정이 중단되었고 기계포는 포 소화약제 원액을 다량의 물에 혼입한 후 발포기에 의해 기계적인 수단으로 공기와 혼합하여 거품을 발생시키는 것으로써 혼합장치 및 가압송수장치, 노즐 등의 장치가 필요하다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 포 소화약제로 수성막포 AFFF (Aqueous Film Forming Foam : 3M Company's Light Water) 소화약제를 선택하였고<sup>3),4)</sup>,  
<sup>5)</sup> 포 소화약제에 기포제로 사용되는 공기 대신에 소화 성능과 팽창비를 높여서 적은 양으로 효과적으로 화재를 진압할 수 있는 소화약제를 개발하기 위하여 액화가스 소화약제를 포 소화약제에 기포

제로 사용하였다.

기포제로 사용할 수 있는 액화가스 소화약제로는 우선적으로 할로겐화물 소화약제<sup>6)</sup>와 CO<sub>2</sub> 소화약제가 있으나 CO<sub>2</sub> 소화약제는 기화열과 자체 증기압력이 너무 높기 때문에 부적당하여 할로겐화물 소화약제인 Halon 1301을 기포제로 포 소화약제에 적용하였다. 그러나 할로겐화물 소화약제는 너무 안정하기 때문에 대기 중에서 분해속도가 매우 느리므로 잔류 기간이 길어 오존층의 파괴와 지구 온난화에 크게 작용하고 있어 향후 사용 및 생산이 중단될 예정이다.

따라서 Halon 대체 물질에 대해서도 연구를 병행하여 소화 성능과 팽창비의 향상을 위해 기포제로 공기 대신에 Halon 1301과 Halon 대체 물질인 HCFC Blend A (CHClF<sub>2</sub> 82%, CF<sub>3</sub>CHCl<sub>2</sub> 4.75%, CF<sub>3</sub>CHClF 9.5%, C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> 3.75%), HFC-227ea (CF<sub>3</sub>CHFCF<sub>3</sub>)를 사용하였다.<sup>7),8),9)</sup> 포 소화약제의 포 형성 방법은 기포제와 포 소화약제를 하나의 소화용기에 저장하여 방출시 기포제로 쓰이는 Halon 1301과 HCFC Blend A, HFC-227ea 이 기화되면서 포 수용액과 섞여 포를 형성하는 방법으로<sup>10)</sup> 기존의 노즐에 의한 공기와의 혼합에 의해 포를 형성하는 방법에 비하여 팽창비를 향상시킨 소화약제를 개발하게 되었다.

### 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 포 원액으로 수성막포 소화약제 (AFFF)를 물과 혼합하여 소화용기에 넣은 후 Halon 1301과 HCFC Blend A, HFC-227ea

을<sup>7),8),9)</sup> 각각 기포제로 사용하여 소화용기에 충진하고 방출밸브를 통하여 내경 8mm, 길이 50cm인 분사 호스를 통해 방출시켰다. 노즐은 액화되어 있던 Halon 1301 및 HCFC Blend A, HFC-227ea이 기화되면서 부피가 팽창하고 수성막포(AFFF) 소화약제와 혼합하기 때문에 기존의 포소화약제의 발포 방법인 노즐에 의한 공기와의 혼합이 필요 없으므로 노즐은 사용하지 않았다.

필요한 양만큼 Halon 1301과 HCFC Blend A, HFC-227ea을 충진 시키기 위해 일제 방출 방식의 Cylinder 밸브의 구조를 변경하였다. 소화용기 재질은 고압용으로 부식에 견딜 수 있는 SUS 304로 하고 소화용기의 내용적은 2.75ℓ 와 3.55ℓ 로 150kg/cm<sup>2</sup>의 압력에까지 견딜 수 있게 제작하였다. 발생된 포의 양을 측정하기 위하여 최대 75ℓ 까지 측정할 수 있는 측정용기를 가지고 포의 양을 측정하였다.

최적의 팽창비를 갖는 혼합비율을 찾기 위해 수성막포(AFFF) 소화약제와 물의 혼합비와 Halon 1301 또는 HCFC Blend A, HFC-227ea의 각각의 양 변화에 따른 방출되는 포의 체적과 형상을 관찰하였고, 그 개요도는 Fig. 1에 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Halon 1301을 기포제로 이용한 포 소화약제

Halon 1301을 기포제로 이용한 포 소화약제에 대한 실험은 내용적이 2.75ℓ 인 소화용기를 가지고 실험하였고, Fig. 2와 같이 수성막포(AFFF) 원액과 물과의 혼합비율이 6% 이하에서는 방출시 Halon 1301의 기화에 의한 결빙 현상으로 방출된 포의 체적은 적었고 11%에서 가장 높은 팽창비를 나타내었으며 이때의 포 체적은 75ℓ 였다. Fig. 3에서는 수성막포 수용액이 1.7ℓ 일 때 팽창비가 가장 높았고 1.4ℓ 이하에서는 수성막포 수용액이 적기 때문에 방출 후 반기에는 Halon 1301만이 방출되었다. Fig. 4에서는 앞의 Fig. 2와 Fig. 3의 결과로부터 수성막포 수용액 혼합비율은 11%, 수용액 양은 1.7ℓ 일 때 Halon 1301의 양을 변화시킨 결과 Halon 1301이 0.53kg 이하에서는

팽창비가 떨어지는 것을 알수 있었으며 0.76kg일 때 포의 체적이 75ℓ로 팽창비는 44배 였다. Halon 1301을 기포제로 사용한 수성막포 소화약제는 수성막포(AFFF) 원액과 물의 혼합비율이 11%, 수성막포 수용액 양은 1.7ℓ, 소화용기 내의 압력은 25kg/cm<sup>2</sup>, 할론은 0.76kg에서 최적의 혼합조건으로 포 형성 능력이 가장 높았고 이 때의 포 발생량은 75ℓ로 팽창비는 44배였다. 결과적으로 Halon 1301의 양은 포 팽창비에 소화용기 압력은 포 팽창비 보다는 방출시간에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

#### 3.2 Halon 1301 대체물질을 기포제로 이용한 포 소화약제

Halon 1301은 오존층 파괴 및 지구 온난화 물질로 오존층 파괴 물질의 규제 조약인 몬트리올 의정서에 의하여 2000년부터 생산과 사용이 완전히 금지되고 한국은 2004년까지 Halon을 사용 가능하다. 따라서 향후 Halon을 대체할 수 있는 물질을 가지고 Halon 1301을 기포제로 이용한 포 소화약제와의 팽창비를 비교하기 위하여 국내에 고시되어 있는 Halon 대체 소화약제 중에서 HCFC Blend A(North American Fire Guardian Technology, Inc.)와 HFC-227ea(Great Lakes Chemical Co.)를 기포제로 사용하였다.

HCFC Blend A를 기포제로 이용한 포 소화약제에 대한 실험은 내용적이 3.55ℓ 인 소화용기를 사용하였고, Fig. 5와 Fig. 6에서 보는 바와 같이 수성막포 원액과 물과의 혼합비율이 10%, 수성막포 수용액 2.5ℓ, HCFC Blend A의 양이 0.5 kg 일 때 최적의 혼합조건으로 소화용기의 압력은 25kg/cm<sup>2</sup>, 포의 체적은 27ℓ, 이때의 팽창비는 12배였다.

HCFC Blend A가 Halon 1301에 비하여 팽창비가 적은 이유는 기화열이 225.6 kJ/kg으로 Halon 1301의 기화열( 118.9 kJ/kg )보다 2배 가량이나 높기 때문에 수성막포 수용액이 포를 형성하지 못한 것으로 판단된다.

다른 Halon 대체 물질인 HFC-227ea은 기화열이 132.6 kJ/kg으로 기포제로 이용하여 실험한 결과 Fig. 7과 Fig. 8에서 보는 바와 같이 수성막포 원액과 물과의 혼합 비율이 25%이고 수성막포

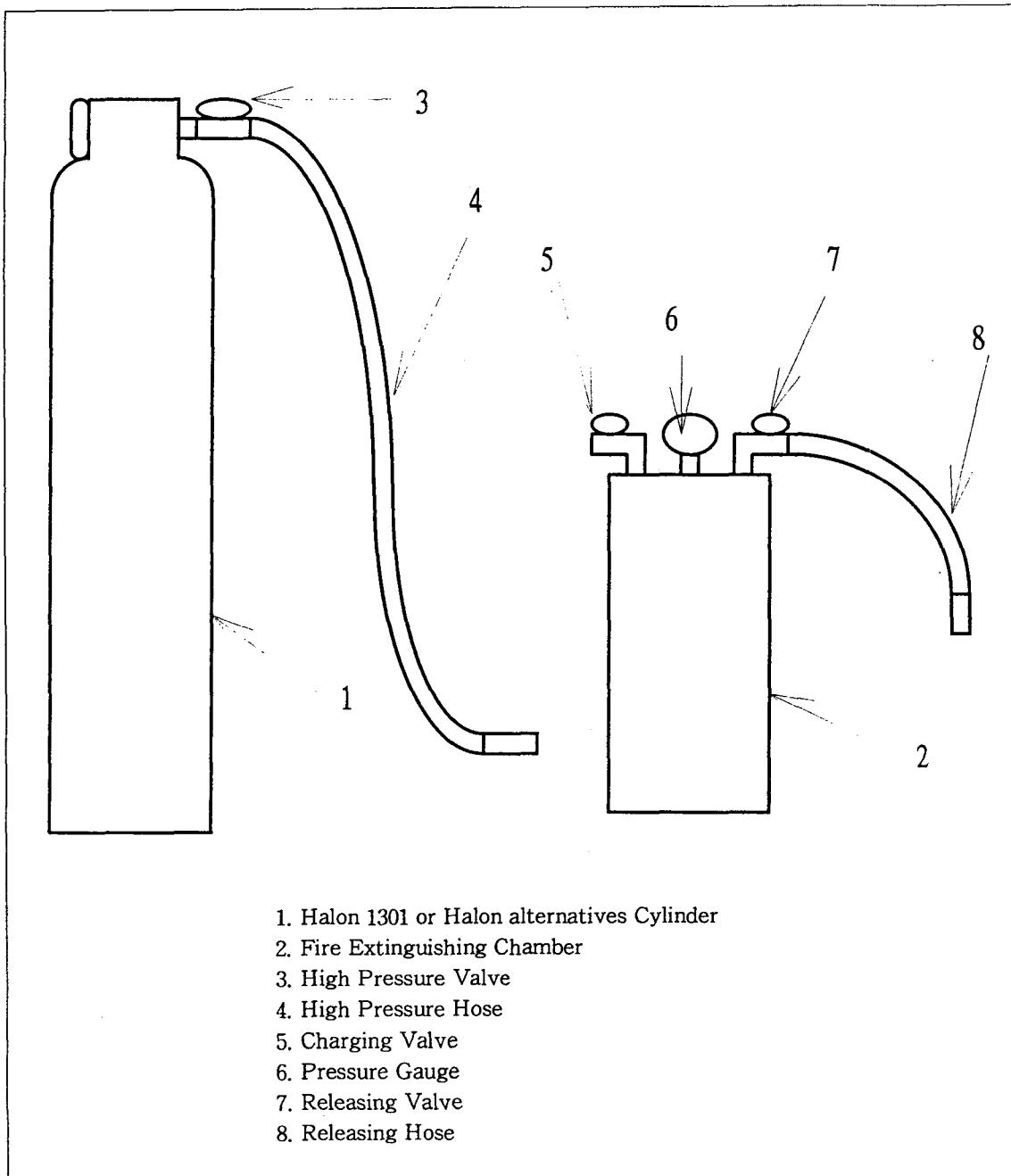


Fig. 1. Structure diagram of testing device of foam extinguishing agent.

수용액 양은 2.5ℓ, HFC-227ea의 량이 0.54kg일 때 60ℓ로 가장 많은 체적의 포가 방출되었고 이 때의 소화용기의 압력은 25 kg/cm<sup>2</sup>, 팽창비는 24배였다.

위의 두 가지 Halon 대체 물질을 기포제로 이용한 실험결과 수성막포의 팽창비를 높이는 요인은 노즐에 의해서 공기와 혼합시켜 포를 형성하는 기존의 방법과는 다른 액화되어 있는 소화약제가

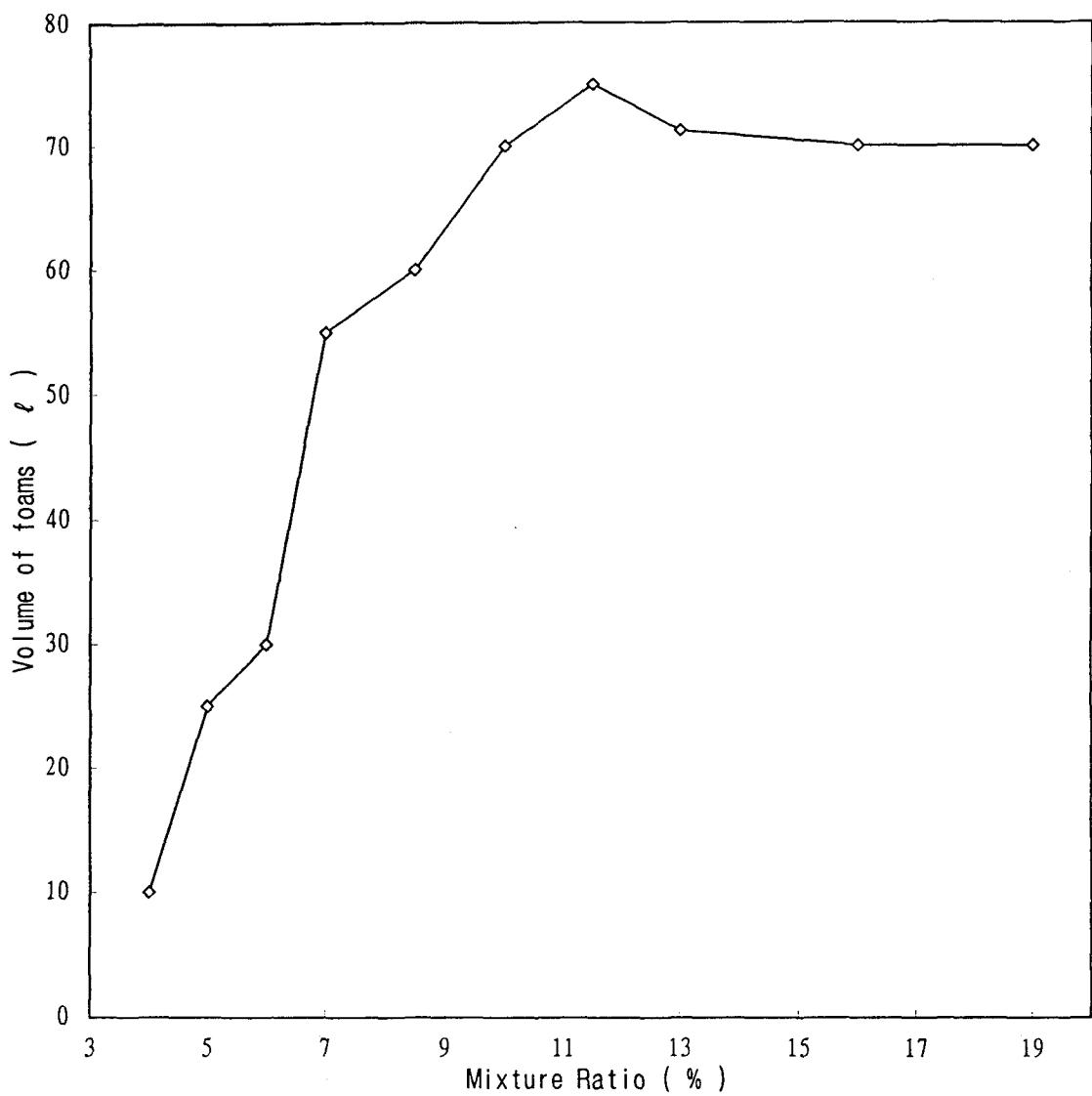


Fig. 2. Experiment of making for foams as the mixture ratio of AFFF and water by using Halon 1301.

소화용기 내용적 : 2.75 ℥  
 소화용기 압력 : 30kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : Halon 1301  
 기포제 사용량 : 1.3kg  
 수성막포 수용액 : 1.70 ℥  
 온도 : 15°C

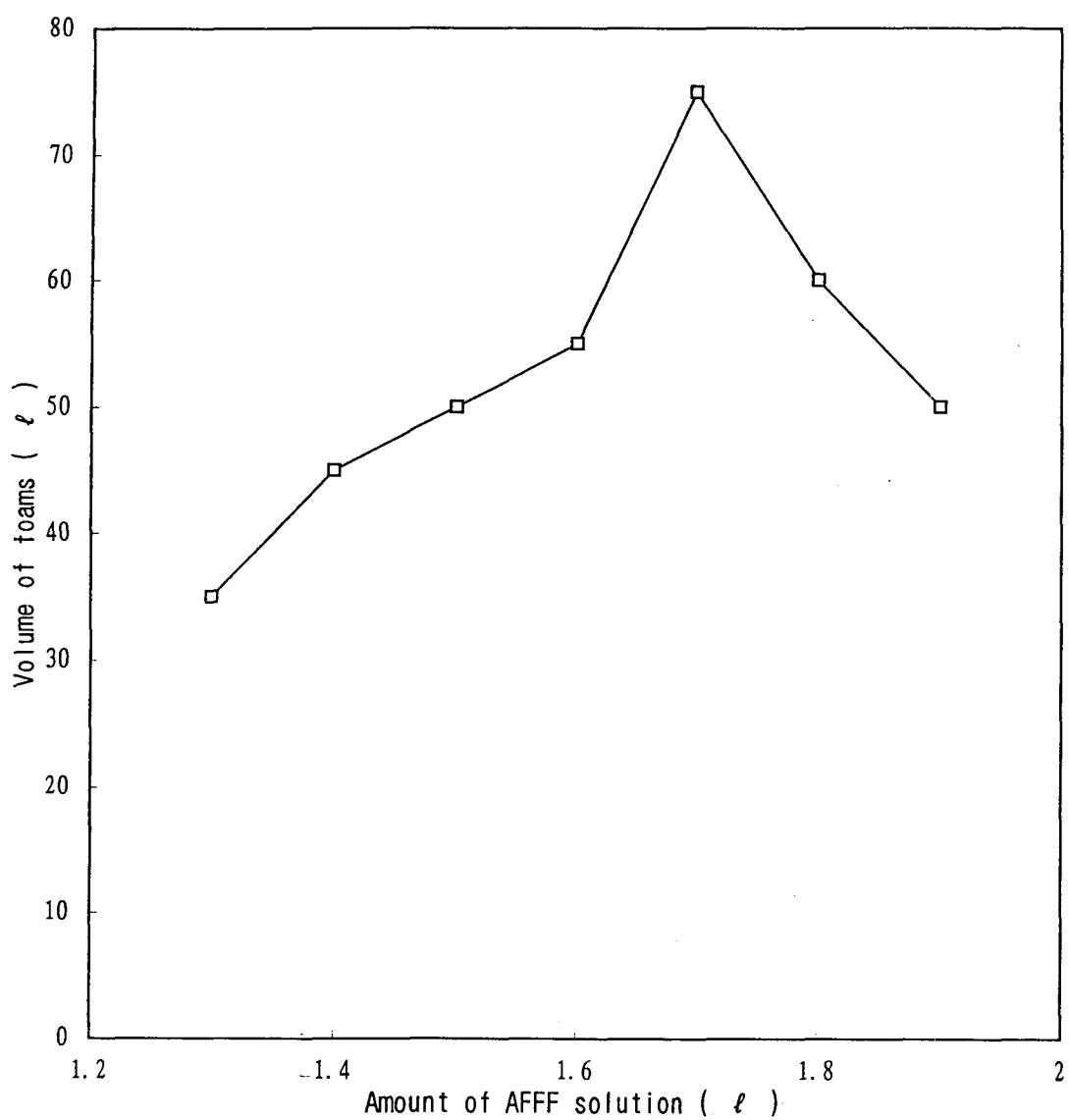


Fig. 3. Experiment of making foams as the amount of AFFF solution by Halon 1301.

소화용기 내용적 : 2.75 l  
 소화용기 압력 : 30kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : Halon 1301  
 기포제 사용량 : 1.3kg  
 혼합비율 : 11%  
 온도 : 15°C

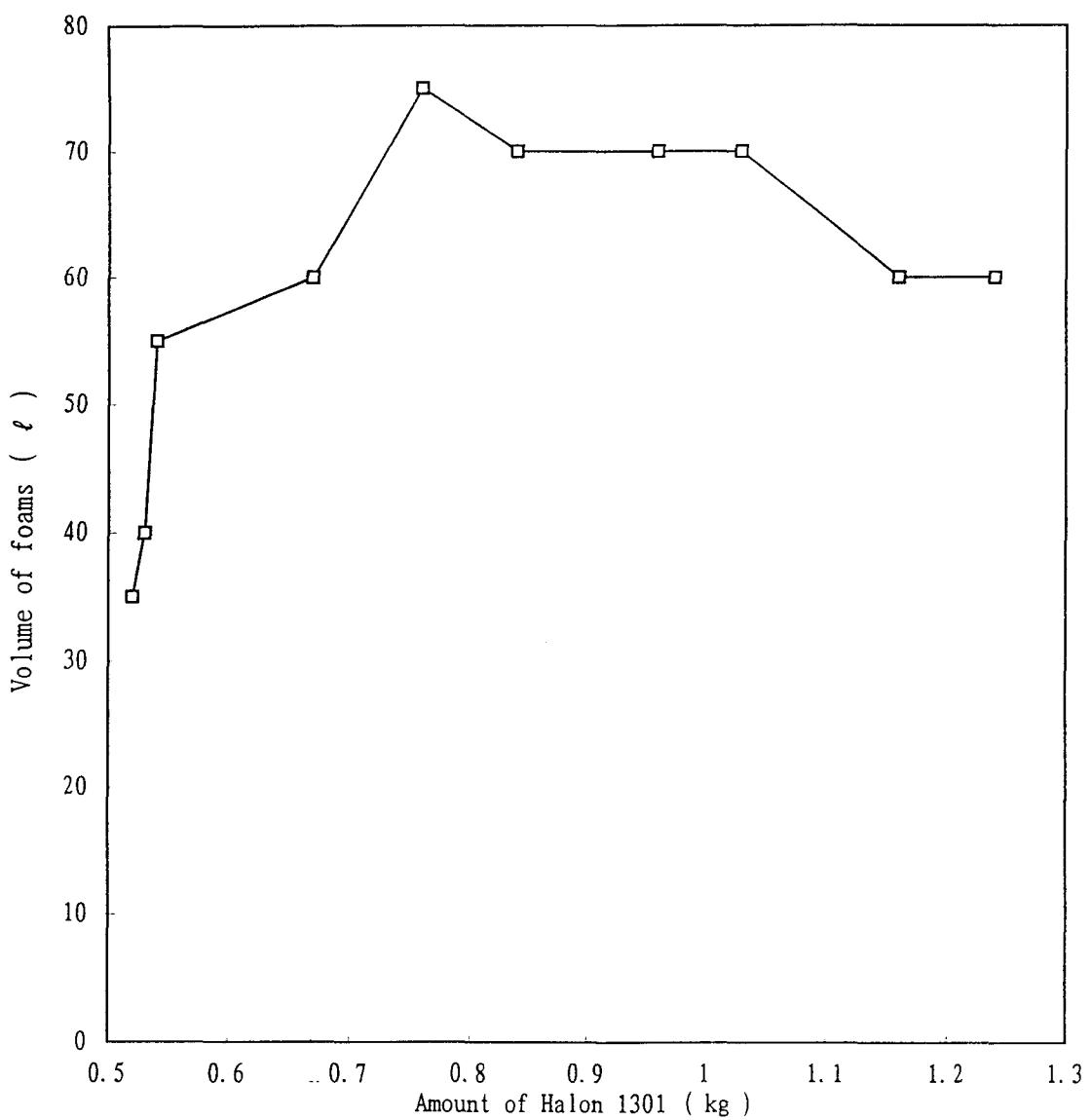


Fig. 4. Experiment making foams as the amount of Halon 1301.

소화용기 내용적 : 2.75 ℥  
 소화용기 압력 : 30kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : Halon 1301  
 수성막포 수용액 : 1.7 ℥  
 혼합비율 : 11%  
 온도 : 15°C

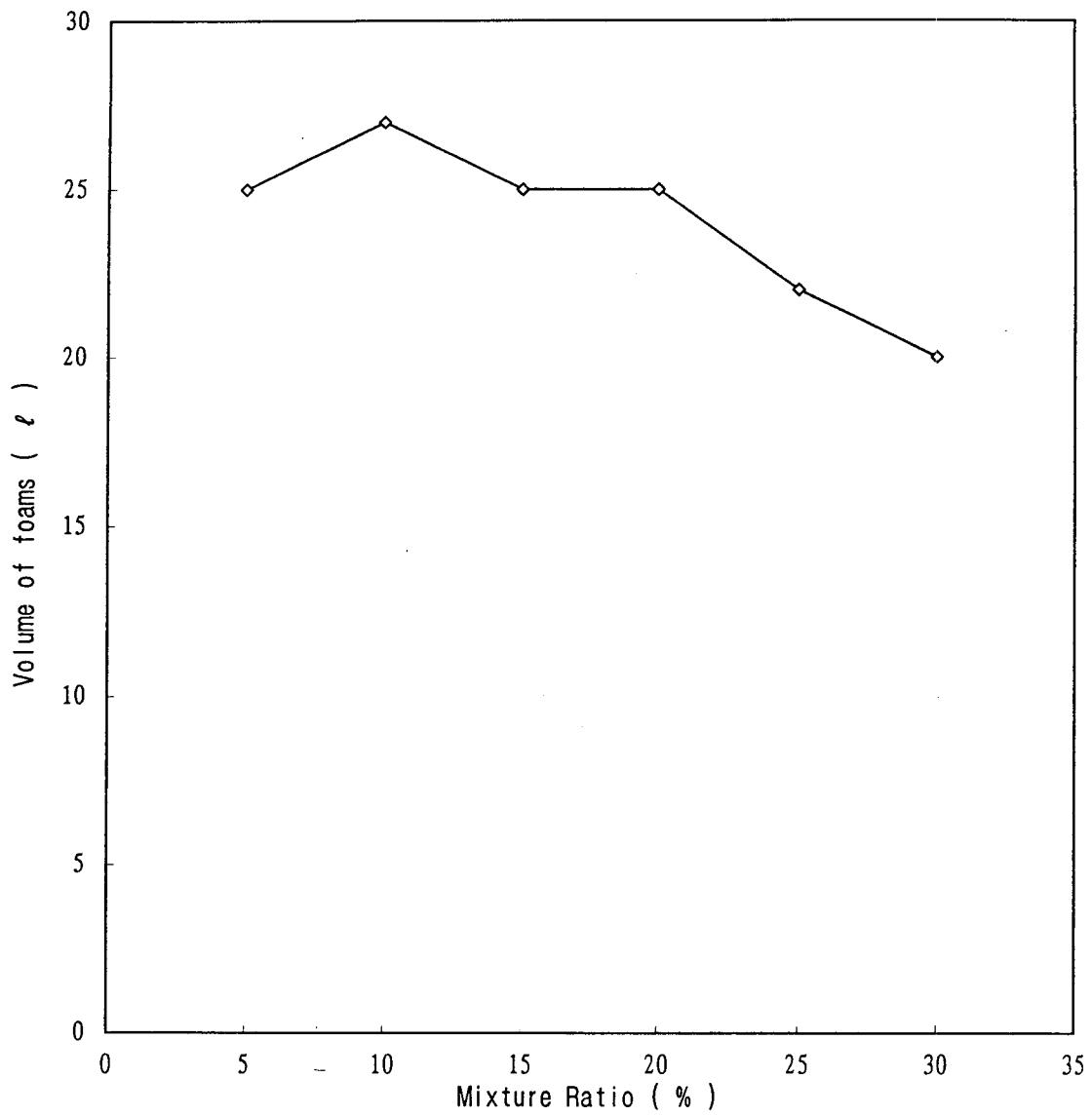


Fig. 5. Experiment of making foams as the mixture ratio of AFFF and water by using HCFC Blend A.

소화용기 내용적 : 3.55 l  
 소화용기 압력 : 25kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : HCFC Blend A  
 기포제 사용량 : 0.5kg  
 수성막포 수용액 : 2.50 l  
 온도 : 15°C

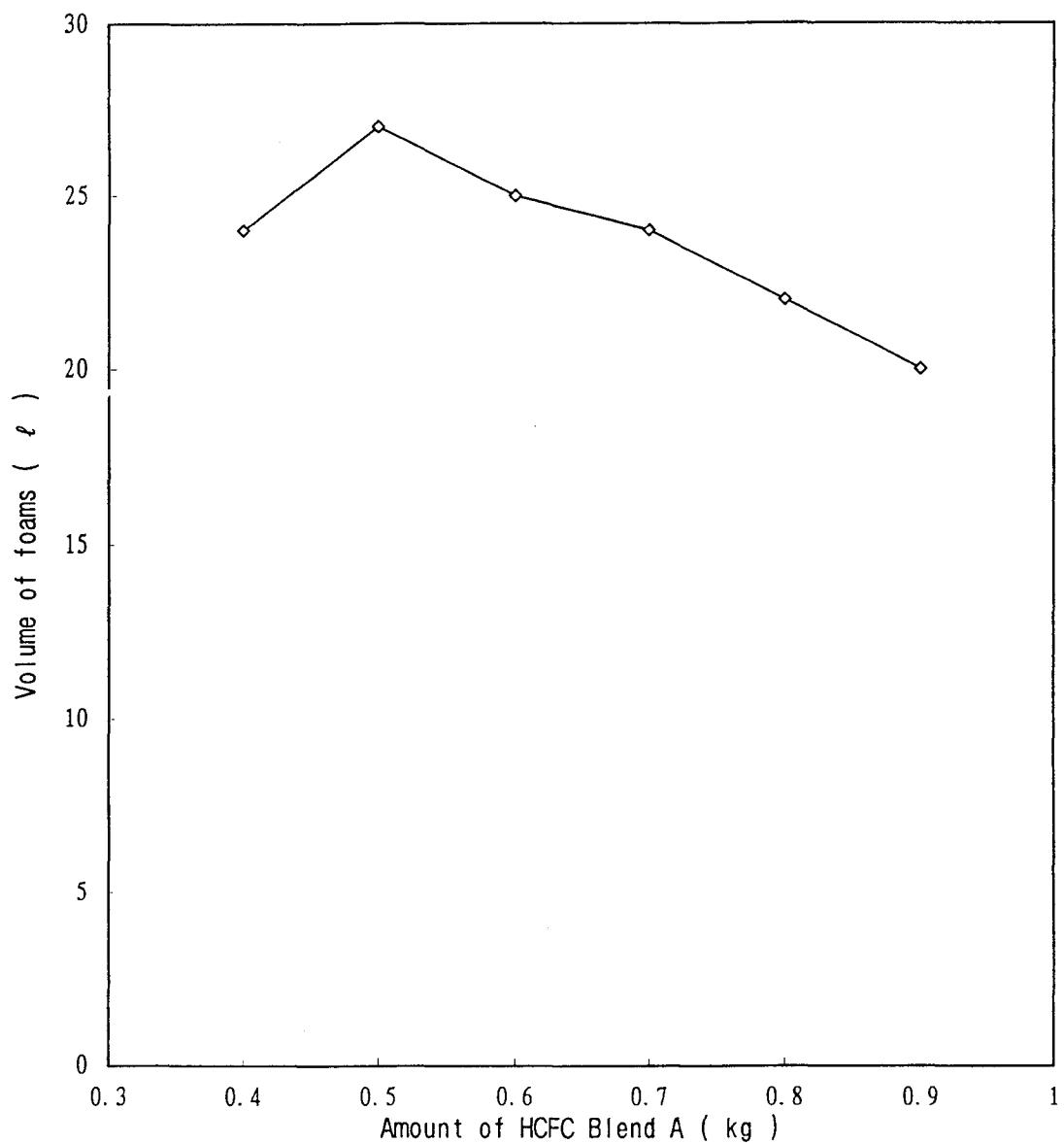


Fig. 6. Experiment of making foams as the amount of HCFC Blend A.

소화용기 내용적 : 3.55 l  
 소화용기 압력 : 25kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : HCFC Blend A  
 혼합비율 : 10%  
 수성막포 수용액 : 2.50 l  
 온도 : 15°C

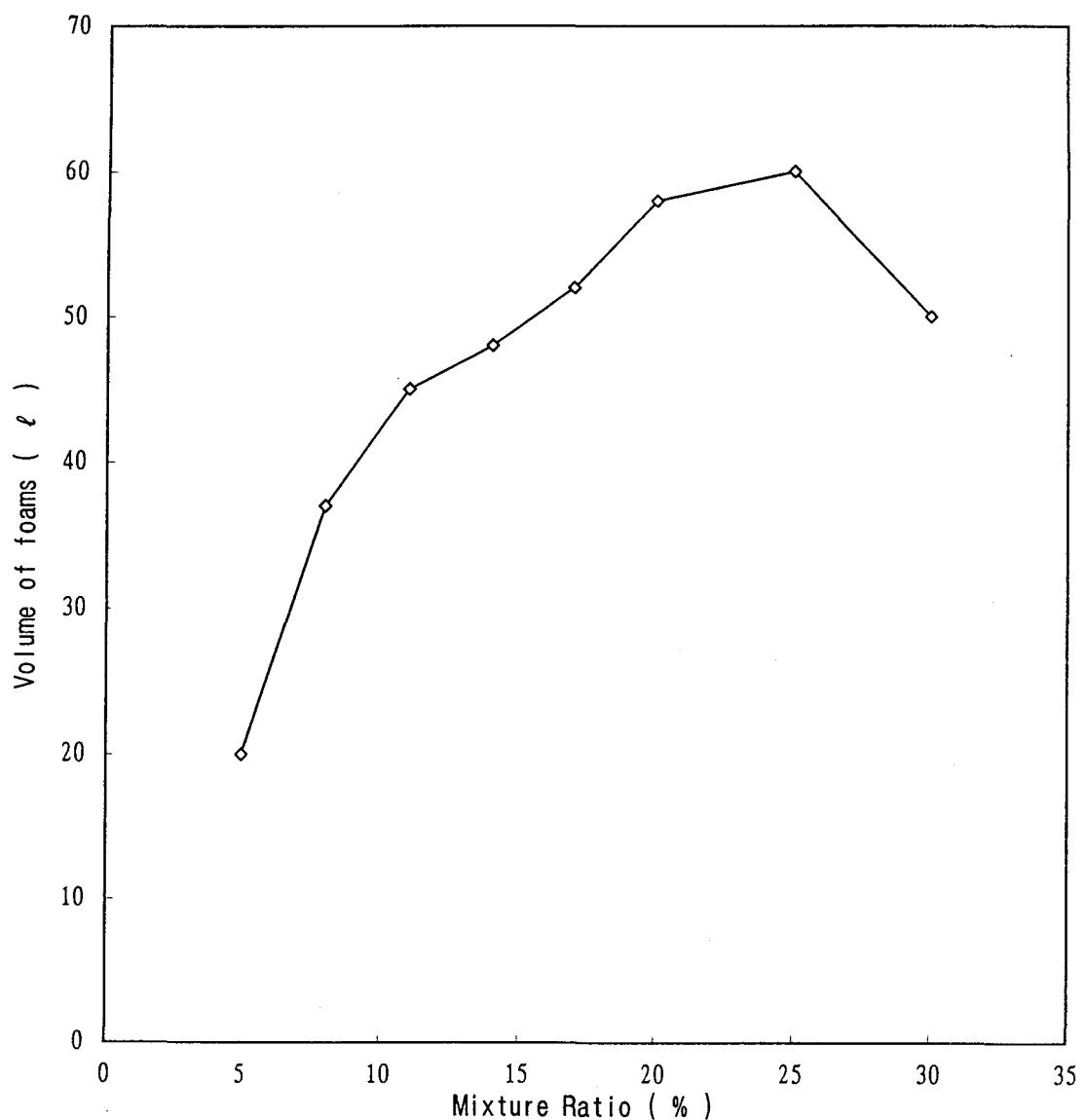


Fig. 7. Experiment of making foams as the mixture ratio of AFFF and water by using HFC-227ea.

소화용기 내용적 : 3.55 l  
 소화용기 압력 : 25kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : HFC-227ea  
 기포제 사용량 : 0.54kg  
 수성막포 수용액 : 2.50 l  
 온도 : 15°C

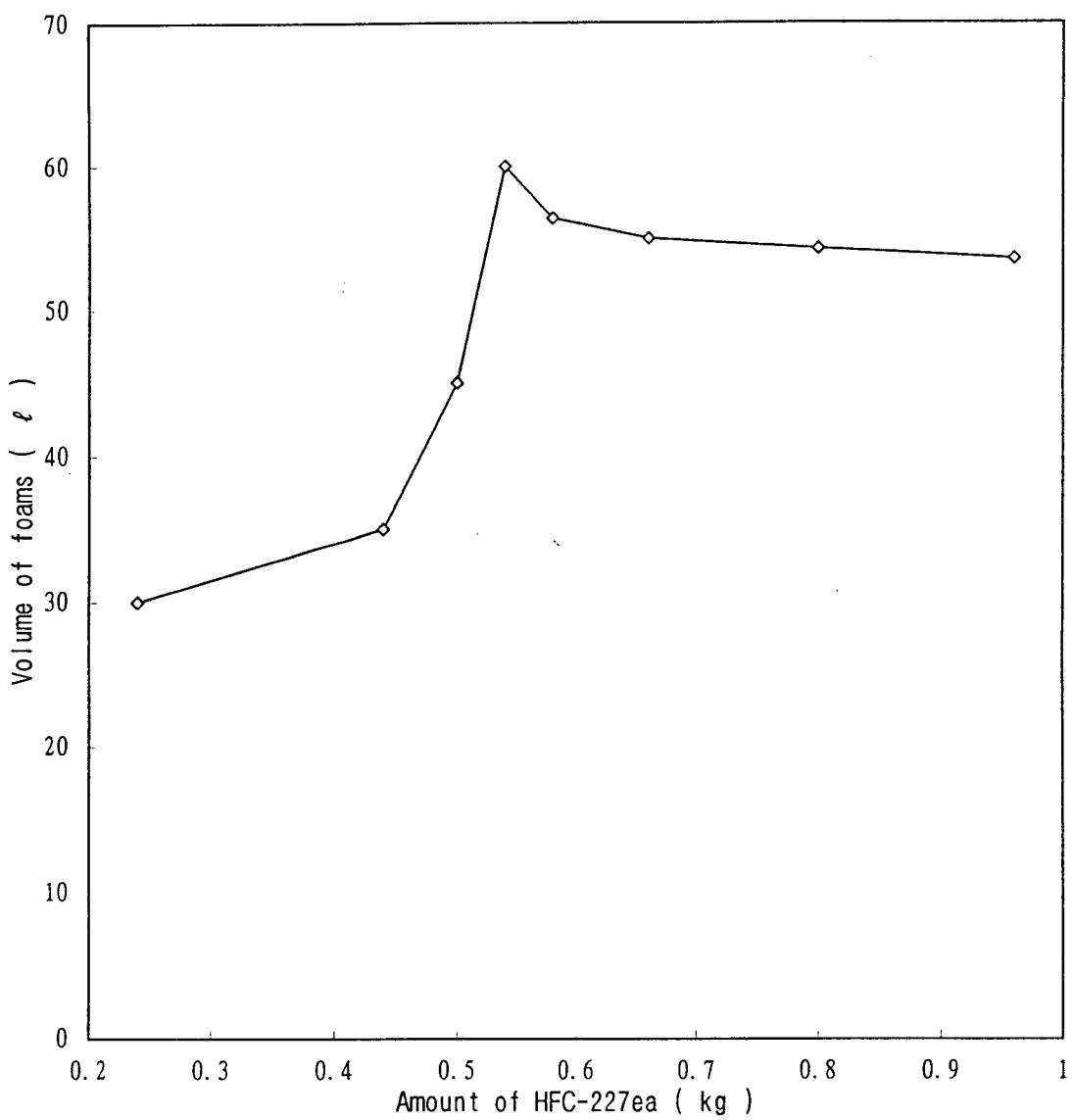


Fig. 8. Experiment of making foams as the amount of HFC-227ea.

소화용기 내용적 : 3.55 l  
 소화용기 압력 : 25kg /cm<sup>2</sup>  
 기포제 : HFC-227ea  
 혼합비율 : 25%  
 수성막포 수용액 : 2.50 l  
 온도 : 15°C

기화되면서 부피팽창과 함께 자체 증기압으로 소화용기 내의 수성막포 소화약제와 혼합되어 포를 형성하는 것으로 기화열이 높은 경우 수성막포 수용액의 결빙현상으로 팽창비가 적고 자체 증기압이 낮으면 방출시 소화용기 내에서 수성막포 소화약제와 혼합작용이 부족하여 Halon 대체 소화약제가 Halon 1301 보다 포를 팽창시키지 못한 것으로 판단된다. 그러나 Halon 1301 및 Halon 대체 소화약제를 기포제로 사용할 경우 포 속에 98%이상 Halon 1301<sup>10)</sup> 및 Halon 대체 소화약제가 존재하므로 기존의 공기를 기포제로 사용한 수성막포 소화기보다 소화성능 면에서 뛰어날 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

수성막포 소화약제는 노즐에 의해서 공기와 혼합 발포시키는 방법으로 기포제로 사용되는 공기의 양이 액화되어 있는 Halon 1301과 HCFC Blend A, HFC-227ea를 기포제로 사용한 것에 비하여 적다. 따라서 기존의 포 소화 설비에서 사용하는 부수적인 장치인 혼합장치와 가압송수장치 없이 간단한 방법으로 포를 형성하고 수성막포(AFFF) 소화약제는 기존의 팽창비인 5~7배에 비하여 Halon 1301을 공기 대신에 기포제로 사용한 경우 팽창비를 44배까지 향상시킬 수 있었다. 국내에 고시되어 있는 Halon 대체 소화약제인 HCFC Blend A와 HFC-227ea를 기포제로 사용하여 Halon 1301을 기포제로 이용한 포 소화약제와의 팽창비를 비교한 결과 Halon 대체 소화약제인 HCFC Blend A는 12배, HFC-227ea은 24배 까지 팽창비를 향상시킬 수 있었다.

Halon 대체 소화약제가 Halon 1301에 비하여 팽창비가 낮은 이유는 자체 증기압이 Halon 1301에 비하여 낮아서 방출시 수성막포(AFFF) 소화약제와 충분한 혼합 작용이 일어나지 않고 높은

기화열 때문에 수성막포(AFFF) 소화약제의 팽창비를 저하시키는 요인으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 개발한 Halon 1301과 Halon 대체 소화약제를 기포제로 사용한 수성막포(AFFF) 소화약제는 적은 양의 수성막포 수용액으로 많은 양의 포를 형성하므로 휴대용 포 소화기 또는 포 소화설비 등에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. J. Brittain, Environmental Concerns Produced By Foam Usage Fire, 1994.10
2. 內務部, 韓國消防檢定公社, 消防機械器具便覽, 1994
3. Fire Protection Handbook, 17th ed., NFPA, 1991
4. Dr.S. Szönyi and Professor A. Cambon, "A New Multipurpose AFFF /MP Extinguishing Foam with a Rheological Newtonian Behavior", Fire Technology, Vol. 28, No. 2, May 1992
5. Michael Clarke, Fire Fighting Foams, Fire Surveyor, 1992. 12
6. 韓國產業安全公團, 할로겐 화합물 소화제 대체 물질의 조사 및 안전성에 관한 연구, 1994
7. Joseph A. Senecal, "Halon Replacement Chemicals : Perspectives on the Alternatives", Fire Technology, Vol. 28, No. 4, November 1992
8. Kazuo Suzuki, Treatment Procedure on Fire Extinguishing Gas Systems as Halon Replacement 自治省 消防廳子防課, vol. 45, No. 6, 1995. 12
9. 井上康史, Halon代替清淨物質の消火性能と實用性評價 消防研究所報告, vol. 79, 1995
10. 墨田武, Halon 消火性泡の 発生方法, 特許公報, 1987. 3