

단백포소화약제의 유동성 변화에 따른 소화 특성

신창섭[†] · 정현정

충북대학교 공과대학 안전공학과
(2013. 4. 19. 접수 / 2014. 3. 10. 채택)

The Extinguishing Characteristics by Fluidity Variation of Protein Foam Extinguishing Agent

Changsub Shin[†] · Hyunjeong Jeong

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received April 19, 2013 / Accepted March 10, 2014)

Abstract : Foam extinguishing agent is widely used for extinguishing combustible liquid fires. Compared to other foam type extinguishing agents, protein foam has relatively low cost and low toxicity and produces stable foam blanket which is excellent in heat resistance and sealability, despite it has weak fluidity. Therefore the study investigated foaming characteristics followed by various factors affecting the fluidity of the protein foam extinguishing agent. The extinguishing characteristics differentiated by the changes in fluidity were also experimented. Foaming performance was compared by measuring the expansion ratio and the 25% drainage time. Moreover, the 25% drainage time and the extinguishing time was compared. The results showed that the 25% drainage time and the expansion ratio were increased as the pressure of nozzle and the concentration of hydrolyzed protein liquid enlarged. However the foaming and extinguishing performance were not improved when the condition exceeded certain level of pressure and concentration. The fastest fire extinguishing condition was the nozzle pressure 4bar with the 85wt.% of concentration of hydrolyzed protein liquid.

Key Words : protein foam extinguishing agent, fluidity, foaming performance, extinguish

1. 서론

선박의 기관실이나 유류탱크에 화재가 발생할 경우 포소화약제로 진압이 가능하며, 선박용으로는 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서 정한 규정에 따라 소화약제의 성능을 평가한 후 선급의 승인을 거쳐 선박에 탑재하도록 되어있다.¹⁾ 포소화약제는 유류 화재 발생 시 포가 유류 표면 위에 전개되어 가연성증기의 발생을 억제·차단하기 때문에 질식소화를 할 수 있다. 그리고 냉각소화작용과 유화소화작용도 함께함으로써 탁월한 소화성능을 가진다.^{2,3)}

일반적으로 선박에서는 해수를 이용하여 단백포를 제조하며, 포소화약제 중 저팽창포인 단백포소화약제는 가격이 저렴하며, 포의 안정성이 커서 내화성 및 밀봉성이 우수하고 재연소 방지 효과가 좋다.⁴⁾ 그러나 단점으로는 냄새가 특이하고 유동성이 나쁜 특성이 있다. 단백포소화약제가 다른 포소화약제에 비해 유동성이

나쁜 것은 단백포소화약제의 포막이 두껍고 점성이 커서 유류표면 위에 단단하고 내열성이 있는 포막을 형성하기 때문이다.

포의 유동성은 포가 물로 환원되는 환원시간을 측정하여 알아볼 수 있다.²⁾ 환원시간이 긴 포는 안정적이고 내유성·내열성이 강하지만 유동성이 불량해지며 소화시간이 길어진다. 이러한 포는 빠른 화재 진압에는 어려움이 있지만 가연성 증기 확산의 효과적인 장벽을 제공하여 봉쇄성이 좋은 완전한 질식소화에 효과적이다. 반대로 환원시간이 짧은 포는 유동성이 좋아 유면에 전개하는 시간이 빠르지만, 포의 입자가 크고 균일하지 못해 내열성이 떨어지고 가연성 증기가 포 사이로 새어나와 완전한 질식소화를 하지 못하게 된다.^{5,6)}

단백포소화약제의 유동성에 영향을 주는 인자로는 여러 가지가 있지만 발포 노즐의 분사 압력과 단백질 가수분해물의 농도를 들 수 있다. 단백포는 발포기구의 형태와 발포 방법에 따라 성질이 다른 포를 생성하

[†] Corresponding Author : Changsub Shin, Tel : +82-43-261-2461, E-mail : csshin@chungbuk.ac.kr

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 52, Naesudong-ro, Heungdok-gu, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

는데 발포 노즐의 분사 압력이 높은 경우 포의 입자가 미세해지고 환원시간이 긴 유동성이 불량한 포를 생성하게 된다.²⁾ 기포제 역할을 하는 단백질 가수분해물의 농도를 변화시켜 발포성능을 변화시킬 수 있으며 발포성능이 우수한 포는 환원시간이 길고 발포배율이 높은 포이며, 발포배율이 높아질수록 포가 균일하고 미세해지며 환원시간이 길어지게 된다. 여기서 발포배율이란 포 수용액의 체적에 대해 발생하는 포 거품의 체적비를 말한다.^{1,2)} 따라서, 유류화재의 효과적인 진압을 위하여는 적정 조건의 유동성과 내화성·발포성이 있는 포를 제조하여 발포하여야 한다.

본 연구는 선박화재에 적용할 수 있는 단백질소화약제의 발포 노즐의 분사 압력, 단백질 가수분해물의 농도에 따른 발포성능을 측정하고, 발포성능 측정 실험은 IMO MSC/Circ. 1312¹⁾ 기준에 의해 발포배율과 25% 환원시간을 측정하여 비교하였으며 각 변화 조건에 따른 소규모 유류 화재 실험을 통해 유동성에 따른 소화 특성을 연구하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

본 실험에 사용된 단백질소화약제의 조성을 Table 1과 2에 나타냈으며 단백질 가수분해물, 황산제1철, 헥실렌글리콜, 에틸렌글리콜, 물이 첨가되었다. 단백질 가수분해물은 주성분으로 기포제로 사용되었고, 황산제1철은 포의 내화성을 향상하기 위해 안정제로 첨가되었고, 헥실렌글리콜과 에틸렌글리콜은 포소화약제의 동결방지를 위한 부동제로 첨가하였다.

노즐의 분사압력을 변화하여 실험할 때는 첨가제의 농도를 고정하여 실험하였다. 단백질 가수분해물의 농도를 85wt.%로 하였고 나머지 첨가제의 농도는 Table 1과 같다. 단백질 가수분해물의 농도를 변화하여 실험할 때는 단백질 가수분해물의 혼합비를 45~95wt.%로 변화를 주었고, 물의 혼합비는 단백질 가수분해물의 농도에 따라 조절하여 배합하였다. 단백질 가수분해물의 농도 45~90wt.%일 때의 조성은 Table 1과 같다. 단백질 가수분해물의 농도가 95wt.%일 때는 다른 첨가제의 농도를 고정시키면 농도의 합이 100wt.%가 넘기 때문에 2종류의 약제를 제조하였으며, 그 조성을 조성 I과 II로 구분하여 Table 2에 나타냈다. Table 2의 조성은 Table 1의 단백질 가수분해물과 물을 제외한 첨가제의 농도를 같은 비율로 조정하였으며, 조성II는 안정제인 황산제1철의 농도를 1wt.%로 고정시켜 제조하였다.

Table 1. Composition of Protein foam extinguishing agents used in the experiment by the variation of nozzle pressure

Component	Mixing ratio(wt.%)	Function
Hydrolyzed Protein Liquid	45~90	Foaming agent
Ferrous Sulfate	1	Stabilizer
Hexylene glycol	2	Antifreeze agent
Ethylene glycol	5	Antifreeze agent
Water	Balance	Solvent

Table 2. Composition of Protein foam extinguishing agents used in the 95wt.% concentration of hydrolyzed protein liquid

Composition name	Component	Mixing ratio(wt.%)	Function
I	Hydrolyzed Protein Liquid	95	Foaming agent
	Ferrous Sulfate	0.5	Stabilizer
	Hexylene glycol	1	Antifreeze agent
	Ethylene glycol	2.5	Antifreeze agent
	Water	1	Solvent
II	Hydrolyzed Protein Liquid	95	Foaming agent
	Ferrous Sulfate	1	Stabilizer
	Hexylene glycol	1	Antifreeze agent
	Ethylene glycol	2	Antifreeze agent
	Water	1	Solvent

발포성능 및 소화실험에 사용된 포수용액의 물은 단백포를 선박화재에 적용시키기 위하여 해수(海水)를 사용하였으며 해수는 인공해수로서 IMO MSC/Circ. 1312¹⁾에 의거해 제조하였다. 인공해수의 조성을 Table 3에 나타냈으며, 시료는 1시간동안 교반하였고 주위 온도, 포원액, 포수용액의 온도는 25~27℃ 였으며 인공해수의 온도는 22~26℃ 였다.

2.2. 실험장치 및 방법

발포성능은 발포배율과 25%환원시간을 측정하여 실험하였으며, 발포성능 실험 장치는 발포 노즐, 포 저장

Table 3. Composition of simulated sea water

Component	Weight(g)
Sodium chloride(NaCl)	25
Magnesium chloride(MgCl ₂ · 6H ₂ O)	11
Calcium chloride(CaCl ₂ · 2H ₂ O)	1.6
Sodium sulphate(Na ₂ SO ₄)	4
Potable water(H ₂ O)	958.4

탱크, 포 수집 용기, 포 수집 장치, 공기압축기 등으로 구성하였다. 실험 방법은 단백포 원액을 3%, 해수를 97%로 포 저장탱크에 담아 혼합하여 공기 압축기를 통해 노즐로 이송시켜 발포하였다. 발포 노즐의 유량은 11.4 l/min로 실험하였으며 노즐은 IMO MSC/Circ. 1312¹⁾에 의거해 설계 되었다. 포 수집 장치와 발포 노즐 간의 간격이 3 ± 0.3m 되는 지점에서 포를 발포하고, 포 수집 장치의 중앙 부분에 맞춰 흘러내리는 포를 수집용기를 이용하여 채집하였다. 채집한 후 포 수집용기 겉면에 묻어있는 포를 닦은 후 수집용기의 무게를 측정하여 발포배율 및 25%환원시간을 구하였으며 발포배율 및 25%환원시간 계산은 IMO MSC/Circ. 1312¹⁾에서 제시한 방법을 이용하여 구하였다. 발포성능을 측정하기 위한 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타냈으며 발포하여 포를 채집하는 과정을 Fig. 2에 나타냈다.

소화성능을 측정하기위해 소규모 유류 화재 소화 실험을 실시하였으며 실험 장치의 개략도를 Fig. 3에 나타냈다. 실험 장치는 크게 연소실, 포 저장탱크, 발포 노즐, 공기 압축기, 연료팬, 열전대, 데이터 수집 장치, 비디오 카메라 등으로 구성되어 있다. 연소실은 연소실 외부로부터 공기유입이 가능한 개방 공간에서 실험하였으며 연소실의 크기는 4.5m × 3.2m × 2.6m 이다. 연소실 바닥의 중앙에 연료팬을 설치하였으며 연료팬의 크기는 0.3m × 0.3m × 0.1m이며 연료 팬 위에 수직으로 백보드(backboard)가 연결되어있다. 백보드는 0.3m × 0.3m의 크기로 발포 시 포소화약제가 백보드 중앙에 맞고 흘러내려 연료팬에 전개된다. 연료팬에 해수를 밑에 붓고 그 위에 연료를 부어 점화하였으며 해수는 1.44 l, 연료로는 n-heptane 0.9 l를 부어 점화하였다.

연료 점화 후 60초 동안 자유연소 시간을 두었으며 화염이 최성기에 올랐을 때 발포하기 시작하였고, 발포 후에 화염이 소화되는 소화시간을 측정하였다.

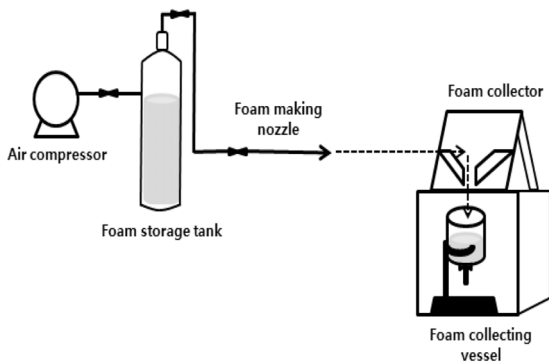


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for expansion ratio and 25% drainage time

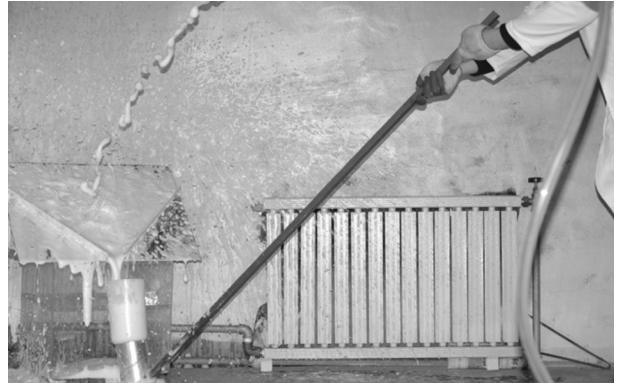


Fig. 2. Foam collecting process after discharge

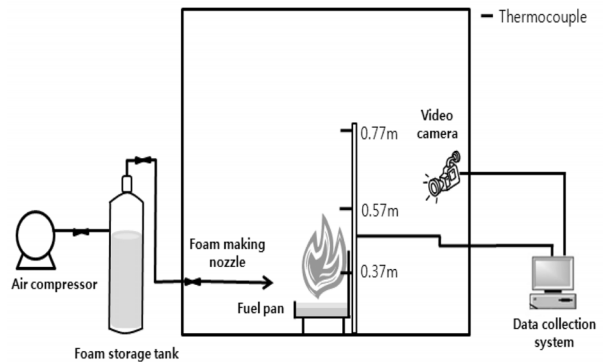


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus for extinguishing efficiency

3. 결과 및 고찰

3.1. 압력변화에 따른 발포특성

노즐의 분사 압력을 2, 4, 6, 8bar로 변화를 주어 압력변화에 따른 발포특성을 측정하였다. Fig. 4에 압력변화에 따른 발포배율과 25%환원시간을 나타냈다.

발포배율은 2bar에서 6bar까지 선형적으로 상승하였으며 8bar에서는 6bar와 유사하였다. 2bar에서는 압력이 약하므로 포 수집 장치까지 포가 닿지 않아 포 수집 장치로부터 2m 되는 거리에서 포를 수집하였다. 8bar에서는 압력이 너무 강하여 포 자체에도 수분이 거의 없고 유동성이 많이 떨어지는 단단한 포가 발생하며 포가 잘 흘러내리지 않아 포를 수집하는데 시간이 오래 걸렸다.

25%환원시간은 압력이 증가함에 따라 환원 시간도 길어졌으며 특히 8bar에서는 25%환원시간이 5분 가까이 길어졌다. 그에 비하여 2bar에서는 포를 수집하자마자 빠르게 물로 환원되는 현상을 보였다. 이와 같이 발포배율과 25%환원시간은 압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 6bar이상이 되면 발포배율은 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이는 수분이 소모되어

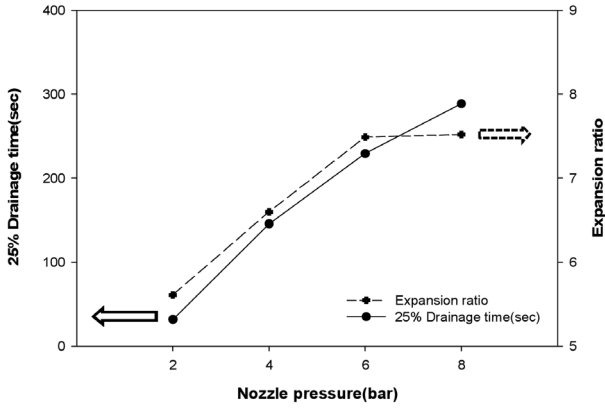


Fig. 4. Foaming performance by the variation of nozzle pressure

발포배율 증가가 최대치에 도달한 것을 알 수 있다.²⁾

3.2. 압력변화에 따른 소화특성

각 압력조건에 따라 단백포를 발포하여 화염이 소화되는 시간을 측정하였으며 Fig. 5에 이를 나타냈다. 실험 결과, 노즐의 분사압력이 2bar와 4bar일 때는 포가 연료 팬에 빠르게 전개되어 유동성이 좋았으며 6bar와 8bar에 경우 포가 단단하여 전개하는 시간이 느린 것으로 나타났다. 4bar에서 소화시간이 가장 빨랐으며, 2bar에서는 유동성이 가장 좋아 빠르게 화염 면을 덮었지만 포가 균일하지 않아 화염면을 덮은 후에도 작은 화염들이 계속 남아 있어 완전한 소화가 어려웠다. 2bar에서는 25%환원시간을 볼 때 질식효과보다는 냉각효과의 영향으로 소화된 것으로 판단할 수 있다. 8bar에서는 유동성이 불량하여 포가 앞으로 잘 밀리지 않아 작은 화염이 지속되었다. Fig. 6에 압력에 따른 25%환원시간과 소화시간과의 관계를 나타냈으며 환원시간은 압력이 증가할수록 증가하지만 적정25%환원시간의 특성이 있는 포에서 가장 빠르게 소화되는 것을 알 수 있다.

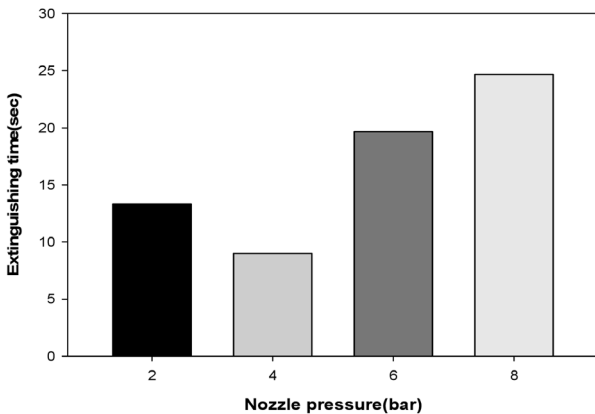


Fig. 5. Flame extinguishing time by the variation of nozzle pressure

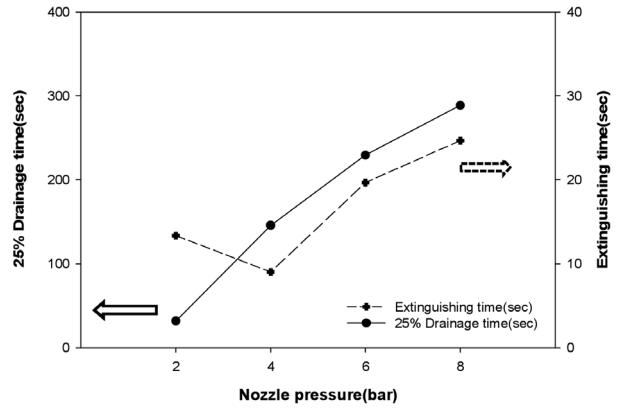


Fig. 6. Comparison of 25% drainage time and flame extinguishing time by the variation of nozzle pressure

따라서 압력이 증가함에 따라 발포성능은 향상되지만, 포가 단단해져 유동성이 떨어지기 때문에 적정 유동성을 가진 압력에서 소화하여야 한다. 본 실험 조건에서는 4bar에서 소화하기에 좋은 유동성 및 내화성을 나타냈다.

3.3. 단백질 가수분해물의 농도 변화에 따른 발포특성

단백질 가수분해물의 농도를 45wt.%에서 95wt.%로 변화를 주어 측정하였다. 농도가 95wt.%일 때는 2종류의 조성으로 실험하였으며 2종류의 조성은 Table 2에 나타냈다. 노즐의 분사압력은 4bar일 때 가장 소화성능이 좋았으므로 4bar로 고정하여 실험하였다. Fig. 7과 8에는 단백질 가수분해물의 농도 변화에 따른 발포배율과 25%환원시간을 나타냈다.

발포배율 및 25%환원시간 모두 농도가 증가할수록 증가하는 추세를 보였으며, 발포배율은 농도 85wt.%까지 증가하여 6.6배로 발포배율이 가장 높았지만, 전체 실험범위 내에서 6.16~6.6배로 크게 변화하지 않았다.

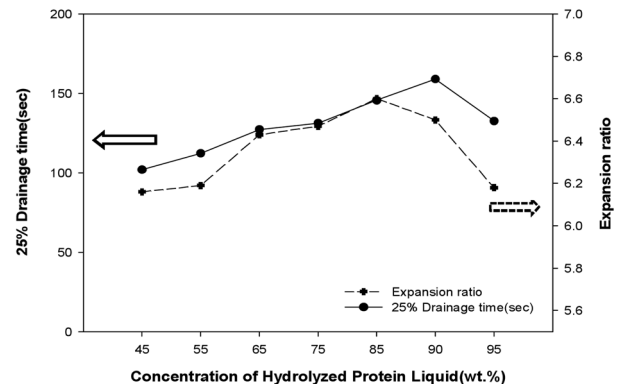


Fig. 7. Foaming performance by the concentration variation of hydrolyzed protein liquid with composition I

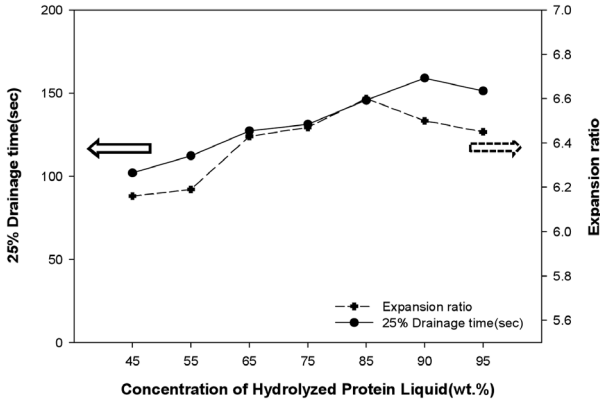


Fig. 8. Foaming performance by the concentration variation of hydrolyzed protein liquid with composition II

25%환원시간은 단백질 가수분해물의 농도가 90wt.% 일 때, 159초로서 가장 길어 우수한 성능을 나타냈다. 첨가제의 조성이 다른 조성 I 과 II를 비교하면, 조성 I 이 II보다 약 18초 짧아져 성능이 저하되었다. 이는 조성 I 의 황산제1철의 농도가 낮아 25%환원시간이 저하되었으며 이 결과 황산제1철의 농도가 포의 성능에 영향을 미친 것을 알 수 있다.

발포배율의 증가에 따라 25%환원시간도 같이 증가하였지만 발포배율의 최대값은 단백질 가수분해물 농도 85wt.%에서 나타났고 25%환원시간의 최대값은 농도 90wt.%에서 나타나 최대값을 나타내는 농도 조성에는 5wt.% 차이가 있었다.

3.4. 단백질 가수분해물의 농도변화에 따른 소화특성

소규모 유류화재에 대한 소화성능을 측정하기 위하여 단백질 가수분해물의 농도변화에 따라 4bar에서 단백포를 발포하여 소화 시간을 측정하였으며 소화시간과 25%환원시간을 Fig. 9~10에 나타냈다. 소화 시간은

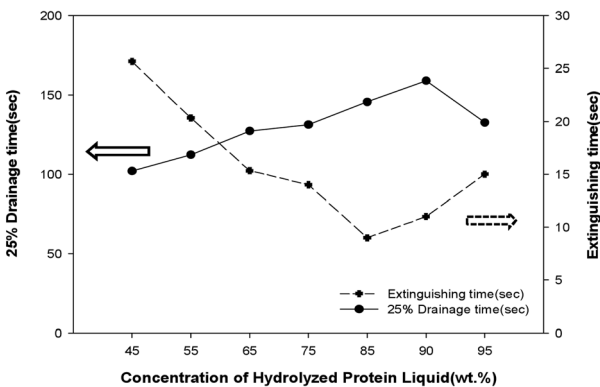


Fig. 9. Comparison of 25% drainage time and flame extinguishing time by the concentration variation of hydrolyzed protein liquid with composition I

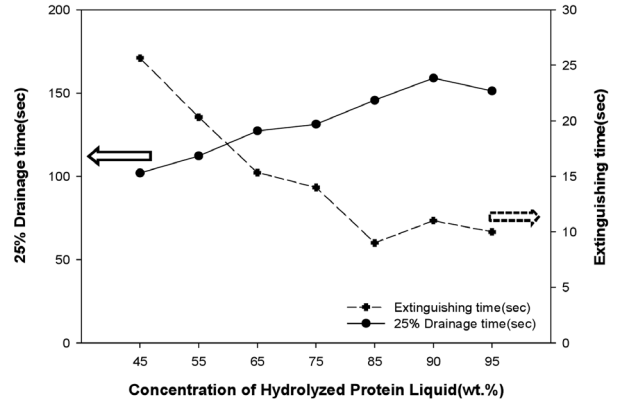


Fig. 10. Comparison of 25% drainage time and flame extinguishing time by the concentration variation of hydrolyzed protein liquid with composition II

단백질 가수분해물의 농도 85wt.%에서 가장 빨랐다. 농도 85wt.%까지 소화시간이 단축되었으며 90~95wt.%의 농도에서는 소화시간이 단축되지 않고 증가하거나 비슷한 특성을 보였다. 25%환원시간이 길어짐에 따라 소화시간이 단축되었지만, 적정 25%환원시간의 특성이 있는 농도까지 소화시간이 단축되며 그 이상의 농도에서는 더 이상 단축되지 않았다.

농도 95wt.%의 소화시간을 비교해볼 때, 발포성능과 마찬가지로 황산제1철이 1wt.%인 조성II가 더 좋은 성능을 나타냈다. 조성 I 보다 II의 소화시간이 더 빨라 황산제1철의 농도가 높을 때 소화 성능이 더 상승하였으며 이 또한 황산제1철이 포 성능에 영향을 준 것을 알 수 있다.

농도 90~95wt.%에서 85wt.%보다 소화시간이 길어진 이유는 단백포가 연료 팬에 전개될 때 연료 팬의 끝부분의 화염이 농도 85wt.%의 시료 보다 더 지속되었기 때문이다. 45~55wt.%에서는 유동성은 좋았으나 완전한 질식소화가 되지 않아 포가 유면을 다 덮고도 작은 화염들이 오래 남아 있어 소화 시간이 길어졌다.

따라서 단백질 가수분해물의 농도가 증가함에 따라 발포성능이 향상되지만, 일정 농도 이상에서는 성능향상에 한계가 있으며, 소화시간도 마찬가지로 농도가 증가함에 따라 소화시간이 단축되지만, 일정 농도에서 포의 유동성 저하로 인한 한계를 보였다.

본 실험 조건에서는 단백질 가수분해물의 농도 85wt.%에서 가장 빠르게 소화되었으며 Fig. 11에 대표적인 소규모 유류화재 소화 실험 사진을 나타냈다. 압력 4bar, 단백질 가수분해물의 농도 85wt.%인 시료의 실험 사진으로 자유연소 60초 후에 단백포를 시작하여 9초만에 소화되는 장면이다.

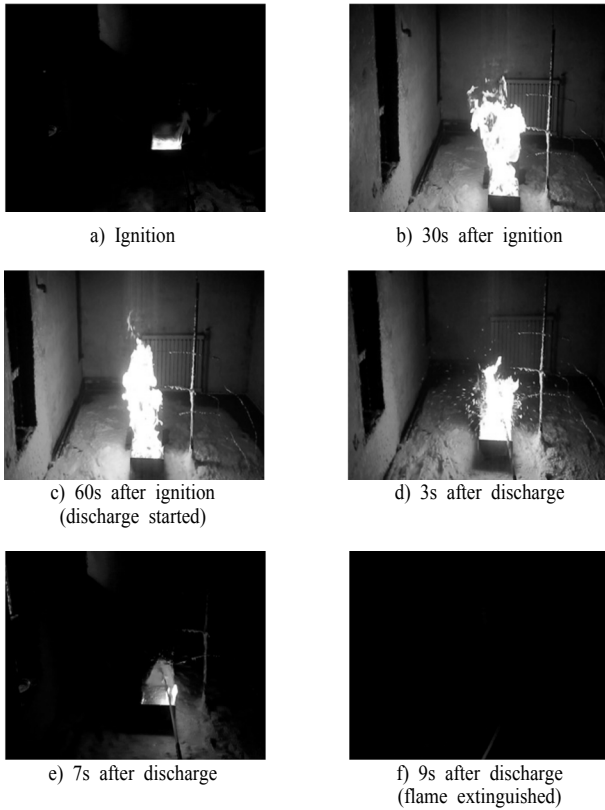


Fig. 11. Representative fire extinguishing photographs with 4bar and 85wt.% of hydrolyzed protein liquid

4. 결론

본 연구에서는 단백포소화약제의 유동성에 영향을 미치는 요인인 노즐의 분사압력, 단백질 가수분해물의 농도를 변화시켜 발포특성을 분석하였고 그에 따른 소화특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 발포특성은 발포배율과 25%환원시간을 측정하여 비교하였고, 소화특성은 소규모 n-Heptane 화재의 소화시간을 측정하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단백포소화약제의 발포성능이 향상됨에 따라 소화성능이 향상되었으나 일정한계 이상에서는 유동성이 불량해짐으로 인해 소화 성능은 더 이상 향상되지 않았다. 따라서 단백포소화약제의 유동성을 고려하여 발포 노즐의 분사압력, 단백질 가수분해물의 농도를 조절하여야한다.

2) 본 실험 조건에서는 압력 4bar, 단백질 가수분해물의 농도 85wt.%에서 9초로서 가장 빠른 소화시간을 나타냈으며, 이 때 발포배율은 6.6배, 25%환원시간은 145초를 나타냈다.

3) 발포 노즐의 분사압력, 단백질 가수분해물의 농도가 증가할수록 발포배율 및 25%환원시간의 영향을 받는 발포성능이 향상되었으며 일정 조건 이상에서는 성능 향상의 한계를 나타냈다.

4) 발포배율의 증감에 따라 25%환원시간도 같이 변하지만 최대점은 단백질 가수분해물 농도 조성에 5wt.% 차이가 있었다.

감사의 글: 이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) IMO MSC/Circ. 1312, "Revised Guideline for the Performance and Testing Criteria, and Surveys of foam Concentrates for Fixed Fire-extinguishing Systems", pp. 1-13, 2009.
- 2) K. Hong, K. H. Oh, S. J. In, I. S. Oh and D. M. Choi, "Chemistry of Fire Fighting Chemicals", Hyung-Suel, pp. 55-146, 1999.
- 3) H.A. Alsaati, D. Dizler, V. Burapatana and R.D. Tanner, "Using Egg Albumin Foam to Extinguishing Fires", Brazilian Archives of Biology and Technology, Vol.46, No. 4, pp. 735-740, 2003.
- 4) Kidde Fire Fighting, "A Firefighter's Guide to Foam", National Foam Inc., pp. 1-22, 2010.
- 5) S. W. Nahm, "Design and Construction of Fire Protection System", Sung-An, pp. 504-601, 2008.
- 6) B. Z. Dlugogorski, A. J. Laundess, M. S. Rayson and E. M. Kennedy, "Small Scale Test Protocol for Firefighting Foams DEF(AUST)5706: Effect of Bubble Size Distribution and Expansion Ratio", Fire Technology, Vol.47, Issue 1, pp. 149-162, 2011.