

# 수성막포 약제를 첨가한 미분무수의 식용유 화재 소화특성

신창섭<sup>†</sup> · 김성룡

충북대학교 안전공학과

(2009. 8. 31. 접수 / 2009. 10. 12. 채택)

## Extinguishing Characteristics of Cooking Oil Fire by Water Mist added with AFFF Agent

Changsub Shin<sup>†</sup> · Seong-Yong Kim

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received August 31, 2009 / Accepted October 12, 2009)

**Abstract** : Effective way of cooking oil fire extinguishment is using water mist system which has cooling and smothering effects. Low pressure water mist system has advantage because it is compatible with existing sprinkler systems. To increase the effectiveness of low pressure water mist system, additives can be used which increase the momentum of water particle and the chemical effect. In this experiment, aqueous film forming form(AFFF) agent is used as additive and the effect of additive concentration and water pressure are experimented. For the extinguishment of cooking oil fire such as soybean and olive oils, AFFF agent is effective and can decrease the fire extinguishing time and water consumption.

**Key Words** : water mist, low pressure system, AFFF agent

### 1. 서론

경제 수준이 향상되면서 식생활의 다양한 변화, 냉동식품의 보급 및 패스트푸드점과 같이 식용유를 대량 사용하는 음식점이 날로 증가함에 따라 식용유 사용량이 크게 증가되어 관련 화재도 많이 발생하고 있다. 최근 5년간 우리나라 원인별 화재 발생 빈도를 살펴보면 식용유 화재는 점차 증가하고 있는 추세이다. 식용유 화재의 경우 1998년까지 유류화재인 B급 화재로 구분하였으나 연소형태나 소화작업이 유류화재와 큰 차이가 있어 식용유 화재를 일반유류와 차별화하려는 움직임이 활발하며, 1999년 NFPA(The National Fire Protection Association)에서는 식용유 화재를 유류화재와 구별하여 K급 화재(K class fire)로 분류하였고, 또한 ISO에서도 F급으로 분류하였다.

일반 석유화재는 낮은 비점에서 유면상의 증기가 연소함에 따라 그 화염을 끄면 재 착화할 가능성이 없으나, 식용유는 인화점과 발화점의 차이가 적

고 발화점이 비점 이하인 기름이 착화시 유온이 상승하면 유면상의 화염을 제거해도 기름온도가 발화점 이상이기 때문에 재 발화된다. 따라서 끓는 기름에 불이 붙은 경우 기름온도가 발화점보다 20~30℃ 낮아져야만 소화가 된다<sup>1)</sup>. 이러한 식용유 화재의 특성상 피해를 막기 위한 소방 설비로 좀 더 새롭고 효과적인 다양한 소화시스템 개발이 전 세계적으로 요구되고 있다.

근래에 식용유 화재에 대한 소화 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 그 중에서 소화약제 사용에 관한 연구로 소방검정공사<sup>2)</sup>에서는 ABC 분말소화약제, BC 분말소화약제, 알콜포 소화약제 등을 사용하여 소화약제에 의한 냉각효과를 측정하였다. 또한 캐나다 국립연구소<sup>3)</sup>에서도 단일 미분무수 소화 설비를 이용하여 식용유 화재에 대한 적응성을 연구하기도 하였다.

물소화제의 성능 향상을 위한 첨가제의 연구 대상인 계면 활성제는 양친매성의 균형에 의해 2상 계면에 잘 흡착되며 계면의 자유에너지를 현저히 저하시켜 물의 표면장력 약화에 따른 표면 접촉면적의 증가로 계면에서의 열전달을 향상시키게 된

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
csshin@chungbuk.ac.kr

다. 이러한 가연물의 냉각을 촉진시키는 원리를 이용하여 물소화제의 성능을 향상시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 방<sup>4)</sup> 등은 물 액적에 의한 미연소면에서의 냉각특성과 액적의 크기 및 고체의 열전도도에 따른 영향을 연구하였다.

미세물분무 소화설비에 대하여는 입자크기, 방사압력, 방사분포 등 방사특성에 의한 물리적 소화 성능을 향상시키고 단점을 보완하기 위한 방법 중 미세물분무에 첨가제를 첨가하여 소화 성능을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다.<sup>5-8)</sup>

Finnerty 등<sup>9,10)</sup>은 전투차량에 설치되는 물분무 소화시스템의 적용을 위한 실험에서 한랭한 지역에서 사용 시 소화약제의 동결방지가 중요한 사항이며, 이를 해결하기 위해 특정한 첨가제를 물에 혼합할 경우 동결문제를 해소할 수 있을 뿐만 아니라 화재억제 효과도 증대시킬 수 있다고 보고하였다.

저압시스템에서 미분무수의 소화성능을 향상시키기 위한 방법으로도 첨가제를 이용할 수 있으며, 첨가제를 첨가한 물 액적은 질량 증가에 따른 운동량 증가와 첨가제에 의한 물리적, 화학적 효과로 인해 미분무수의 화염에 대한 소화성능을 향상시킬 것으로 예상할 수 있다<sup>11)</sup>. 따라서 미분무수의 물리·화학적 소화성능 향상을 위하여 첨가제의 사용을 고려할 수 있으며, 첨가제가 소화 작용에 어떠한 영향을 끼치는지 분석하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 소화약제의 대표적 물질인 포 소화약제를 첨가한 미분무수를 사용해서 식용유 화재에 대한 소화 특성을 연구하고자 하였으며, 첨가제로는 대표적 포소화약제인 수성막포(AFFF-Aqueous Film Forming Foam)의 수용액을 사용하였다. 그리고 미분무수 분사압력 변화에 따른 수성막포가 첨가된 미분무수의 소화특성에 대해 알아보하고자 하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 첨가제 수성막포의 특성 및 물성값

수성막포(AFFF) 소화약제는 일명 Light Water라 불리고 현재 국내 소방서 및 소방분야에서 가장 많이 사용 중인 포소화 약제이다. 유류 화재에서는 그 성능이 제일 우수한 것으로 알려져 있으며 주성분은 불소계 계면 활성제이고 첨가제로서 포막안정제가 들어가 있다. 사용농도는 3%, 6%형이 가장 많이 사용 중이고 장점으로는 화학적으로 안정되고 보존성, 내약품성이 우수하며 포의 유동성, 침투성이 좋고 유류표면에 수성막을 형성하여 초기 소

Table 1. Physical properties of AFFF<sup>(2)</sup>

TYPE OF FOAM		STANDARD SPEC.	AFFF
Appearance			Yellow Brown
Density(20℃)		1.00~1.15	1.080±0.02
Viscosity(20℃)		Max. 200	16±20%
Pour Point		Min. -7.5℃	Min. -12.5℃
PH(20℃)		6.0~8.5	7.7±0.4
Fresh water	Expansion	Min 5	Min 6.0
	25% Drainage Time(Min)	1.00 over	3.00
Sea water	Expansion	Min 5	Min 6.0
	25% Drainage Time(Min)	1.00 Over	3.00
Precipitation	F. W.	Max. 0.1	0.03
	S. W.	Min 0.1	0.03

화 속도가 빠르다는 점이다. 단점으로는 내열성이 낮고 고발포용으로는 부적합하며 가격이 비싸다는 것이다.

식용유의 주성분은 식물성 유지이고 식용유 화재는 현 국내 소방법에서 유류 화재로 구분되어 있으며 소화 특성상 재발화의 위험성 때문에 질식, 냉각작용이 주효하므로 이런 특성을 지닌 수성막포를 본 실험의 첨가제로 선택하였다.

실험에 사용된 식용유는 두 종류로 대두유와 올리브유를 사용하였으며, 챔버 내에서 두 종류 식용유 화재에 대한 미분무수 소화실험을 실시하여 화염 및 표면의 온도변화를 측정하였다.

수성막포의 물성값은 Table 1에 나타내었고 본 실험에서의 사용농도는 현재 국내 소방분야에서 포소화 약제로 수성막포 3%형을 쓰고 있기 때문에 미분무수의 특성을 이용한 저 농도에서 수성막포의 소화 성능을 알아보기 위해 일반 수돗물에 부피비로 1%, 2%, 3%를 혼합하였으며 3가지 수성막포 수용액을 이용하여 각각 소화실험을 하였다.

### 2.2. 소화 실험

수성막포 첨가 미세 물분무에 의한 식용유 화재의 소화특성을 실험하기 위하여 소규모 화재실험을 실시하였다. 실험 장치는 크게 연소실, 가압수조, 채수통으로 구성되어 있다. 소화실험은 Fig. 1에 나타냈듯이 스테인리스 강재질의 환기가 원활한 연소실 0.75m×0.75m×1.3m에서 수행하였다. 연소실의 전면은 소화현상을 관찰할 수 있도록 강화유리로 제작하였으며 급기는 좌우 하부에 개구

부 0.5m × 0.1m를 설치하여 0.58m<sup>3</sup>/s의 유량으로 상온의 주변공기가 유입될 수 있도록 하였고 배기는 배기팬에 의한 강제배기 시스템으로 하였다.

연료팬 0.15m × 0.15m × 0.05m는 연소실 바닥의 중앙에 위치하였고, 식용유 화염온도 및 표면온도 측정을 위해 연료팬 상부, 그리고 바닥에서 5cm 높이에 각각 한 개씩 열전대를 설치하였다. 본 연구에서의 화염온도는 자유연소 결과 온도가 가장 높은 지점인 15cm 높이에서의 온도를 나타내며, 화염온도는 A/D 컨버터를 통해서 컴퓨터로 1초 마다 저장되었다.

실험에 사용된 미분무수 노즐은 바닥으로부터 1.1m 높이에 설치하였고 플런저 펌프를 사용하여 1.2MPa, 2MPa의 가압수를 생성하였으며 노즐 상부에 압력계를 설치하여 정확한 방수압력을 측정할 수 있도록 하였다.

소화실험을 위한 연료인 대두유 및 올리브유에 대한 특성은 Table 2에 나타냈다<sup>13)</sup>.

소화실험은 첫째, 2가지 식용유 300mL을 각각 분젠버너로 착화시켜 미분무수가 방수되지 않는 조건에서 자유연소를 통한 pool fire 연소특성을 측정하였고, 이를 통해 연소시간, 화염온도, 표면온도를 측정하였다.

둘째, 연소점에서 수용액 농도별로 미분무수를 각각 방수하여 유면온도 변화를 측정하였다.

셋째, 점화 후 최성기에서 화염온도가 500℃에 도달시 수용액 농도별 미분무수를 각각 방수하여 화염온도 변화를 측정하였다.

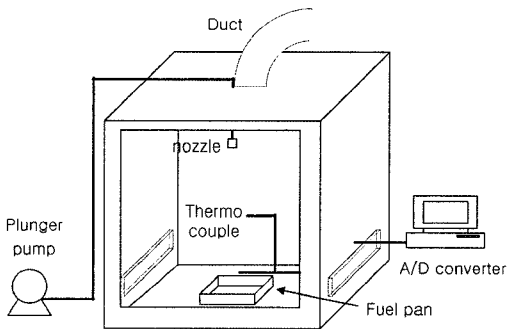


Fig. 1. Schematic of pool fire extinguishing experiment.

Table 2. Characteristics of cooking oil<sup>13)</sup>

Properties	soybean oil	olive oil
Ignition point (°C)	338	320
Flash point (°C)	346	348
AIT (°C)	415	427

각각의 소화실험은 3회 반복실험을 통해서 평균적인 소화시간 및 표면온도와 화염온도를 얻을 수 있도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 소화실험 결과

##### 3.1.1. 식용유의 연소 특성

미분무수가 방수되지 않는 조건에서 자유연소를 통한 식용유 pool fire의 연소 특성을 측정한 결과, 300mL의 대두유와 올리브유의 경우 평균적으로 660sec 동안 연소가 이루어졌다.

Fig. 2와 3은 300mL의 대두유와 올리브유를 연소팬의 면적이 225cm<sup>2</sup>에서 미세물분무를 방사하지 않은 자유 연소시 연소시간에 따른 화염온도 및 연료 표면 온도의 변화이다. 대두유와 올리브유의 화염온도는 510℃와 550℃를 나타내었고, 연료 표면 온도는 대두유와 올리브유의 경우 약 630℃와 650℃를 나타냈다.

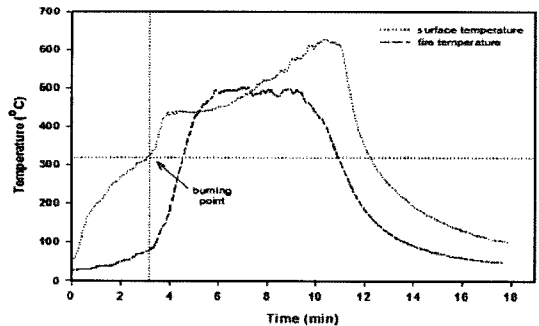


Fig. 2. Surface and flame temperature variation of soybean oil pool fire.

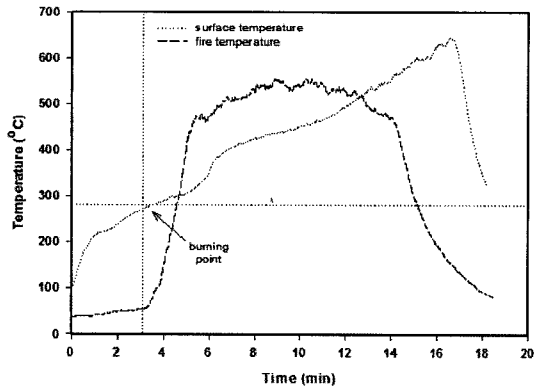


Fig. 3. Surface and flame temperature variation of olive oil pool fire.

### 3.1.2. 연료표면 온도변화

식용유는 연소 특성상 인화점과 발화점의 온도차가 적고 발화점이 비점 이하이므로 기름이 인화해서 화재가 나면 유온이 상승하여 바로 발화점 이상이 된다. 이때는 유온이 발화점보다 높으므로 유면 위의 화염을 소화해도 바로 재착화하고 유온을 발화점 이하로 내리지 않으면 화재를 소화할 수 없게 된다. 따라서 반드시 유온의 냉각 또는 완벽한 화염면의 질식이 이루어져야 한다. Fig. 4와 5는 미분무수를 적용한 소화시 연료팬의 높이인 5cm 위치에서 온도를 측정할 것이다. 발화점에서 일반 수돗물에 첨가제의 농도를 변화시켜 가며 미분무수를 사용하였을 경우의 실험 결과로 첨가제를 넣지 않은 미분무수에 비해 더 빨리 발화점 이하로 낮아졌다. 이는 우선 첨가제에 의한 화염의 소화가 빨랐고 연속해서 유면에 닿는 미분무수의 액적이 많아져 표면온도가 더 빠르게 낮아진 것으로 추정된다.

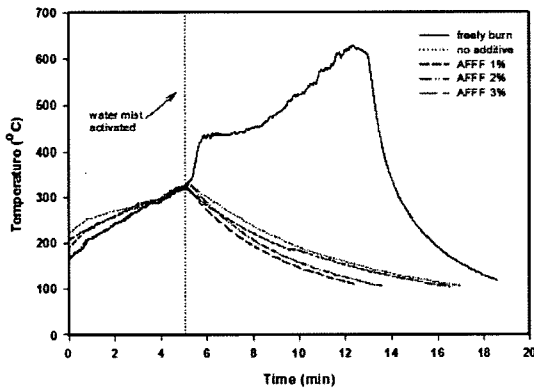


Fig. 4. Surface temperature variation of soybean oil pool fire with water mist.

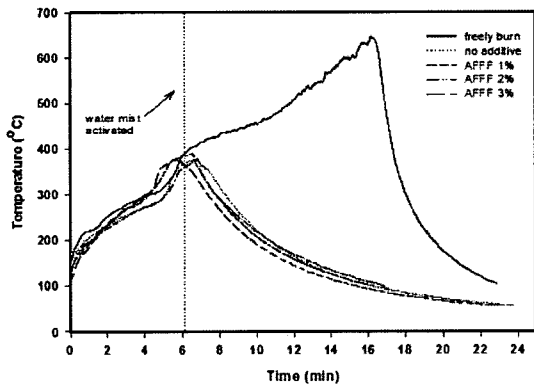


Fig. 5. Surface temperature variation of olive oil pool fire with water mist.

### 3.1.3. 첨가제 및 방수압에 따른 화염 온도의 변화

노즐로부터 방수되는 물 액적의 운동량이 화염의 플럼을 뚫을 만큼 충분치 못한 경우, 액적은 화염 주변으로 빙겨나가 화염을 감싸게 되고 이로 인해 열방출률과 연료의 연소속도는 줄어들게 된다.

물 액적이 화염의 플럼을 뚫고 화염의 심부까지 도달한 경우, 연소반응은 순간적으로 격렬하게 진행되어 화염이 확대되는 flare-up 현상이 발생한다. 이 경우 화염의 순간적인 소화가 이루어지기도 하지만 그렇지 않으면 연료의 단위 시간당 증발량이 많아지기 때문에 화염은 격렬하게 지속된다.

본 실험에서도 저압에서는 전체적으로 안정적인 형태를 띠며 연소 및 소화가 이루어진다. 반면 일정압력 이상에서는 소화는 빠르게 되었으나 flare-up 현상 등에 의해서 간헐적으로 화염이 확대되며 매우 불안정한 화염의 거동을 나타내었다.

Fig. 6부터 Fig. 9는 첨가제의 농도를 변화시켰을 때와 저압, 중압에서의 화염의 온도변화를 나타낸

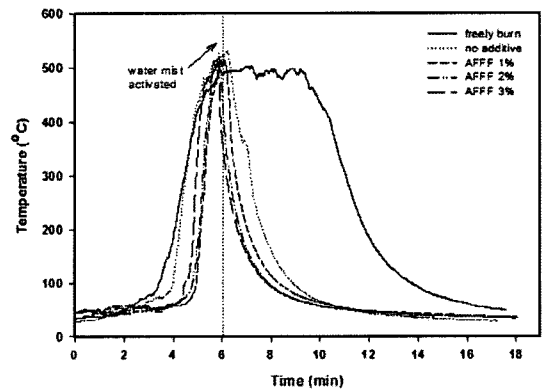


Fig. 6. Effect of AFFF on the soybean oil flame temperature at 1,2MPa.

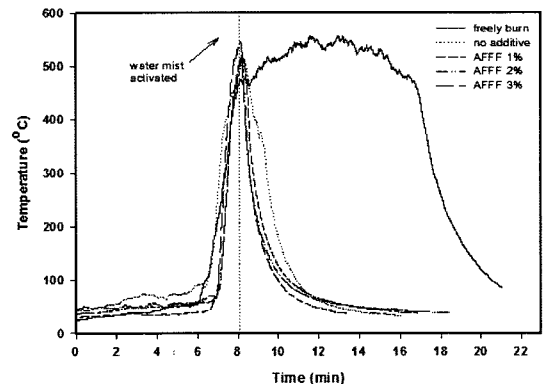


Fig. 7. Effect of AFFF on the olive oil flame temperature at 1,2MPa.

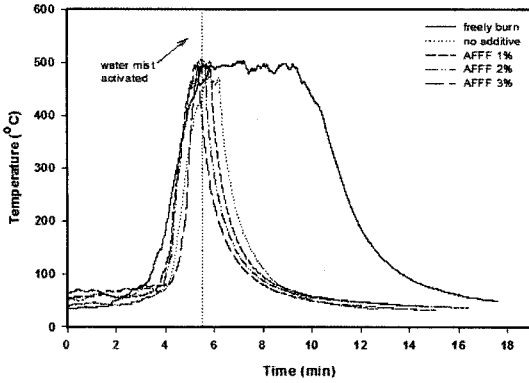


Fig. 8. Effect of AFFF on the soybean oil flame temperature at 2MPa.

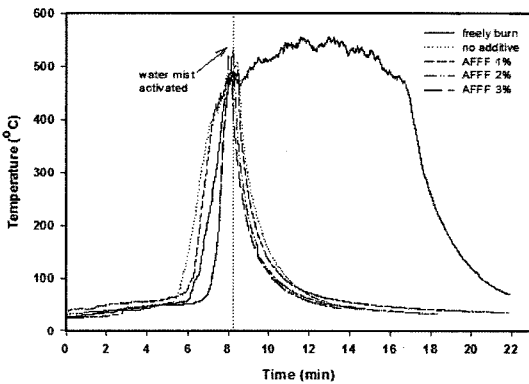


Fig. 9. Effect of AFFF on the olive oil flame temperature at 2MPa.

것이다. 수성막포를 각각 1, 2, 3%로 넣었을 때의 대두유와 올리브유의 실험 결과로 첨가제를 첨가한 단일 액적은 계면 활성작용에 의한 물의 표면장력 약화로 유동성 및 미분무수의 무화 성능향상과 오일표면에 형성된 수성막의 냉각, 질식 효과가 더욱 커져 소화성능을 향상시킨다. 수성막포 첨가제의 경우 첨가량이 많아질수록 화염은 더 빠르게 소화되었다.

그리고 본 실험 조건에서 방수압력이 높은 경우 화염은 더 빠르게 소화되는 것을 확인할 수 있었으며 따라서 미분무수의 소화 메커니즘에서 냉각효과가 지배적인 요인임을 알 수 있었다.

### 3.1.4. 화염 소화시간

Table 3 그리고 Fig. 10과 11은 소화약제의 농도 및 방수압을 변화시켜 소화 실험을 수행하였을 때 소화시간의 변화를 나타낸 것이다. 순수물을 사용하였을 때의 소화시간과 첨가제를 사용하였을 때의 소화시간을 비교한 것으로, 이때의 시간은 미분

무수가 분사된 이후 화염이 완전히 제거되는 시간을 목측으로 측정된 것이다.

Fig. 10에서와 같이, 올리브유가 대두유보다 소화시간이 더 지연되었다. 이는 두 가지 식용유 간의 물성 차이에 의한 것으로 올리브유가 대두유보

Table 3. Fire extinguishing times of cooking oil pool fire

		1.2MPa		2MPa	
		time (sec)		time (sec)	
soybean oil	Tap water	1st	50	11	
		2nd	52	12	
		3rd	49	10	
olive oil	Tap water	1st	55	12	
		2nd	56	11	
		3rd	55	13	
soybean oil	AFFF 1%	1st	15	4	
		2nd	16	5	
		3rd	16	6	
	AFFF 2%	1st	8	3	
		2nd	9	5	
		3rd	9	3	
	AFFF 3%	1st	6	4	
		2nd	6	4	
		3rd	5	5	
olive oil	AFFF 1%	1st	17	6	
		2nd	18	8	
		3rd	20	8	
	AFFF 2%	1st	13	5	
		2nd	15	6	
		3rd	14	5	
	AFFF 3%	1st	7	3	
		2nd	6	4	
		3rd	9	3	

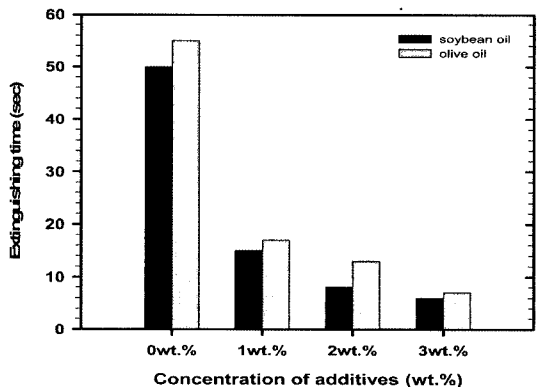


Fig. 10. Comparisons of extinguishing time with various AFFF concentrations at pressure of 1.2MPa.

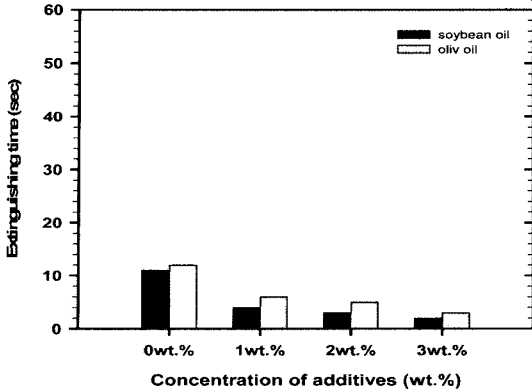


Fig. 11. Comparisons of extinguishing time with various AFFF concentrations at pressure of 2MPa.

다 인화점이 낮고 평균 화염온도가 더 높게 나타남으로서 미분무수에 의한 질식, 냉각 작용이 늦어진 것으로 판단된다. 중압 2MPa에서의 소화시간도 비슷한 경향을 나타냈고 첨가제의 농도가 증가할 경우 소화시간이 짧아지는 경향을 나타내었다.

유동성의 향상과 무화 성능 향상에 따른 미분무수 표면적 증가와 오일표면에 수성막 형성으로 인한 소화성능의 증대로 추정된다.

### 3.1.5. 소화에 필요한 분무량

Fig. 12는 각 소화약제별 소화에 필요한 분무량을 나타낸 것이다. 첨가제의 첨가량이 많을수록 소화에 필요한 분무량이 줄어드는 것을 알 수 있으며 특히 저압인 1.2Mpa에서 뚜렷이 나타났다.

본 실험 조건에서 순수물의 경우 대두유는 저압에서 약 0.35L, 중압에서 약 0.099L 올리브유는 저압에서 약 0.385L, 중압에서 약 0.108L의 분무량으로 화염을 진압할 수 있었다. 그리고 소화에 필요

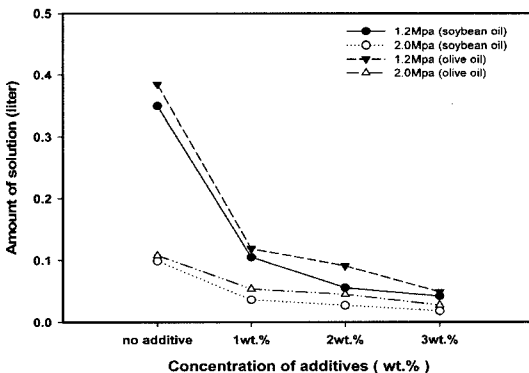


Fig. 12. Amount of solution to extinguish a fire with water mist containing various AFFF concentrations.

한 분무량은 저압과 중압에서 모두 올리브유가 소화에 필요한 분무량이 더 많은 것으로 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 수성막포를 첨가한 미분무수의 식용유 화재에 대한 소화성능을 분석하기 위해 첨가제 및 방수압력 변화에 따른 소규모 화재 실험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 대두유와 올리브유 화재에 있어 수성막포 첨가 미분무수의 경우 저압 1.2MPa과 중압 2MPa 모두 소화성능이 향상된 것으로 나타나 미분무수에 첨가제를 첨가한 것이 효율적이었다.

2) 식용유의 소화실험에서 수성막포를 첨가한 수용액은 수성막포 첨가제의 첨가량이 1, 2, 3%로 많아질수록 소화시간이 저압에서 1/3, 1/5, 1/9, 중압에서 1/2.5, 1/3, 1/4로 줄어들었다.

3) 식용유에 대한 표면온도의 변화를 측정한 결과 발화점에서 첨가제를 첨가한 미분무수 방수시 2~3sec 이후 발화점 이하로 냉각효과가 뚜렷이 나타났다.

4) 소화에 필요한 분무량은 첨가제의 첨가량이 많을수록 줄어들었으며 이의 영향은 저압인 1.2MPa에서 매우 크게 나타났다.

**감사의 글 :** 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- 1) 황태연, 안성일, 이택희, “식용유 화재 사례의 실험적 연구”, 소방검정공사 논문집, 제7권, 제1호, 2002.
- 2) 한국화재보험협회, “튀김기름 화재의 소화 방법 연구”, 소방검정 21호, 조사 연구, 2002.
- 3) Zhigang Liu, and Ping Li Yen, “Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression system”, Canada National Laboratory, Report, 2000.
- 4) 방창훈, 김정수, 예용택, “물액적에 의한 미연소면의 냉각에 관한 실험적 연구”, 화재소방학회 논문지, 제 14권, 제 3호, pp. 13 ~ 18, 2000.
- 5) National Fire Protection Association, NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems, NFPA, MA : Quincy, 2003.
- 6) National Fire Protection Association, Fire Protection

- Handbook, NFPA, MA : Quincy, 1997.
- 7) G., Grant, J. Brenton, and D. Dsysdale, "Fire suppression by water sprays", Progress in energy and combustion science, Vol. 26, pp. 79~130, 2000.
  - 8) 이경덕, "저압식 미세물분무 시스템의 소화성능 최적화와 첨가제의 영향", 충북대학교 대학원 박사학위논문, 2002.
  - 9) A.E., Finnerty, "Water-based fire-extinguishing agents", Halon Options Technical Working Conference, pp. 461 ~471, 1995.
  - 10) A.E, Finnerty, R. McGill and W.A. Slack, "Water-based halon replacement sprays", ART-TR-1138, U.S. Army Research Lab, 1996.
  - 11) 한완수, "계면활성제를 첨가한 물소화제의 특성에 관한 연구", 경상북도 소방학교 소방논문집, 제 5호, pp. 27~54, 2001.
  - 12) 삼전순약공업, <http://www.samchun.com>
  - 13) 하동명, 백병윤, 민성훈, "식용유 화재의 위험성 평가", 한국화학공학회 추계학술대회 논문집, 2007.