

첨가제가 혼합된 미세물분무의 소화성능에 관한 연구 A Study on the Extinguishing Performance of Water Mist with Additives

이경덕 · 신창섭[†]

Kyoung-Duck Lee · Chang-Sub Shin[†]

충북대학교 안전공학과

(2002. 01. 04. 접수/2002. 02. 06. 채택)

요 약

할론 소화약제는 오존층파괴지수와 지구온난화지수가 높아 환경문제를 야기하며, 이의 대체기술의 일환으로 미세물분무에 대한 관심이 집중하고 있다. 미세물분무에 대한 연구로는 적용화재에 보다 효과적인 소화를 위한 최적의 물입자를 만들려는 연구와 함께 첨가제를 이용하여 미세물분무의 소화성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 이전 연구¹⁾에서 제시한 순수한 미세물분무의 입자크기, 방사분포 및 화염크기에 따른 ethanol과 n-heptane 화염의 진압특성과 소화시간에 대한 연구를 기반으로, 여기에 미세물분무의 물리적 소화성능의 향상과 화학적 소화성능을 부여하기 위해 첨가제를 첨가하였을 때의 성능을 평가하고 최적의 조건을 구하고자 하였다. 실험결과, ethanol pan1 화염에 7N3노즐을 4 kg/cm²로 방사한 경우 0.3% AFFF와 2.5 wt% NaCl를 첨가한 미세물분무는 순수한 미세물분무 보다 27%와 60% 빠른 소화시간을 나타냈다. AFFF의 첨가는 연료표면 위에서 얇은 막을 형성하여 화염으로부터 연료표면으로 되돌아오는 열을 감소하므로 연료표면에서의 화염온도 감소와 함께 n-heptane 연료의 증발을 감소함으로써 소화가 이루어지는 것으로 판단되며, 또한 알칼리 염인 2.5 wt% NaCl을 첨가한 경우 화염면에 알칼리염 결정체가 형성되는 현상이 나타났다.

ABSTRACT

Halogen-based fire suppressing agents have environmental problems because they cause the stratospheric ozone depletion and globe warming. Hence, fire suppression system using fine water mist became the center of interest as a substitution of halon. As a study about this, it is in progress to make the optimum droplet size by using water mist nozzles and to improve the extinguishing performance of water mist by using additives. Before this study, the extinguishing time of ethanol and n-heptane pool fire was measured with changing of water mist droplet size, flow density, discharge pressure, and fire size. In this study, on adding the additives to improve physical and chemical extinguishing performance of water mist, the extinguishing performance would evaluate and the optimum condition would find out. As a result, in case of ethanol pan 1 pool fire, the extinguishing time of the water mist by adding of 2.5 wt% NaCl and 0.3% AFFF got shorter 27% and 60% than the pure water mist. Adding of AFFF was to decrease the flame temperature by forming thin film on the fuel surface and to decrease the evaporation of n-heptane fuel. In case of NaCl, alkali salt crystals showed on the flame surface.

Keywords : Water mist, Additives, Droplet size, Fire suppression

1. 서 론

물을 이용한 소화설비에 대한 연구는 과거 50년 전

부터 진행되어 왔으나, 1960년대 말에 개발되어 최근 까지 유류화재와 전기화재 등 화재진압에 사용된 할론 소화약제의 등장으로 인해 그 연구가 주춤하였다. 그러나 할론계 소화약제는 지구온난화지수와 오존파괴지수가 높으므로 환경문제를 야기하며, 선진국에서는 할

[†]E-mail: csshin@chungbuk.ac.kr

론계 소화설비의 단계적 철수 및 환경에 악영향을 주지 않는 청정소화약제의 장점을 가지는 대체기술의 일환으로 미세물분무에 대한 관심이 집중되고 있다. 또한, 스프링클러 소화설비의 단점인 소화 후 물에 의한 2차적 피해를 방지하고, 유류화재 및 전기화재에 적용 가능하게 하기 위한 방안으로 미세물분무 소화설비의 개발을 촉진하기에 이르렀다. 이와 함께 미세물분무 연구에 대한 촉진제로는 1990년 초 상업용 선박의 소화설비를 개조하려는 IMO(International Maritime Organization: 국제해사기구) 협약에서 할론소화설비의 설치를 금지하고, 이에 대한 대체설비로 고정식 수계국소방출소화설비를 설치하여야 한다고 규정한 것이다. 즉, 국제적으로 해상 당국자들은 이미 미세물분무 소화설비를 할론 또는 CO₂ 소화설비의 대체 설비로 받아들이고 있다.

이에 외국에서는 적용화재에 보다 효과적인 소화를 위하여 분무노즐을 이용한 물을 고압방사시켜 최적의 물입자를 만들려는 연구와 함께 미세물분무의 소화성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있으며, 이의 일환으로 미세물분무 소화설비의 소화제로 사용되는 물에 첨가제를 첨가하여 소화성능을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다. 이에 관한 연구로 Yang과 King²⁾ 등은 순수한 물에 potassium lactate와 potassium acetate 함량을 변화시켜 표면온도의 함수로서 증발시간에 관한 실험과 수학적 모델을 제시하였으며, Quiao³⁾는 sodium dodecyl sulfate를 첨가한 경우 증발특성과 함께 표면장력 및 분무된 입자의 체적변화를 측정하였고, Wigfus⁴⁾는 첨가제를 첨가한 미세물분무의 경우 순수한 미세물분무가 소화할 수 없는 화재를 소화하고 물분무로부터 차단된 바닥면에서의 누출화재의 억제에 매우 효과적이라고 발표하였다.

본 연구는 기존 연구결과¹⁾인 순수한 미세물분무의 입자크기, 방사분포 및 화염크기에 따른 ethanol과 n-heptane 화염의 진압특성과 소화시간을 기반으로, 물의 물리적 소화성능 향상과 화학적 소화성능을 부여하기 위해 NaCl, AFFF 등 첨가제가 용해된 미세물분무와 순수한 미세물분무의 소화성능을 비교 실험하였다.

2. 미세물분무의 소화메카니즘

미세물분무는 물입자의 직경이 1 mm이하로 분무체적의 99%를 차지하는 것을 의미하며, 이러한 미세물분무를 화재에 적용시켰을 경우 미세물분무에 의한 화재의 소화메카니즘은 다음과 같다. 첫째, 물은 증발될 때 약 1700배의 증기팽창을 하므로 화염주변에서의 산소농도 희석과 연료로부터 발생하는 증기의 희석에 의

해 소화를 하고, 둘째, 물을 미립화함으로써 입자의 표면적이 넓어져 물과 화염표면사이의 열전달 속도가 증가하고 주위의 수증기 함량이 늘어남에 따라 화염으로부터 발생하는 열을 흡수·차단시켜 화재의 억제와 소화를 용이하게 하며, 셋째는 물이 미립화됨으로써 연료증기와의 혼합 및 수증기 막 형성에 따른 유입산소농도를 저하시켜 질식효과에 의한 소화효과를 증대시키게 된다. 이상의 미세물분무 적용에 따른 화재의 소화메카니즘은 화재영역으로부터 열흡수 및 산소의 제거속도 뿐만 아니라 화재로부터 발생하는 열의 흡수량과 제거량에 의해 소화성능이 결정된다. 이러한 속도와 양에 영향을 미치는 인자는 유량밀도의 분배, 물방울의 크기, 속도, 분무각도, 분무 형태, 운동량 및 분사특성과 같은 여러 인자들에 의해 그 영향정도가 결정된다. 이들 중 열의 흡수 및 제거와 산소농도의 제거에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 미세물분무의 입자크기와 방사분포 및 화염에 작용되는 미세물분무의 유량밀도로 이들은 물의 물리적 특성과 노즐특성에 좌우된다. 이들 방사특성은 방사압력이 증가됨으로써 방사유량, 방사속도와 화염에 작용하는 충격 즉, 타격효과가 증가되는 반면 미세물분무의 입자크기는 감소하게 된다.

이와함께 화재진압용 미세물분무의 성능은 유동성이 좋은 불소계 계면 활성제를 주성분으로 한 AFFF의 첨가함으로써 유류표면에 수성막을 형성함으로써 유면에서 내부분자의 확산을 방지하고 유류표면에서의 증기의 발생을 억제하여 질식에 의한 소화가 이루어지며, 표면장력이 낮기 때문에 무겁고 수분이 많은 포를 형성하여 화재의 열 상승 기류에 급속히 침투하여 미세물분무의 소화효과를 높여 준다. 또한 Mawhinney⁵⁾는 해수를 이용한 미세물분무의 소화성능은 순수한 미세물분무보다 낮은 유량밀도에서 화염의 소멸을 나타내고 장애물의 영향을 덜 받는다고 보고하였다.

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 미세물분무의 분사특성에 따른 n-heptane과 ethanol의 소화특성과 NaCl과 AFFF의 첨가에 따른 미세물분무의 소화성능을 실험하기 위하여 소규모 화재 실험장치를 제작하였다.¹⁾ 실험장치는 85 cm × 85 cm × 130 cm인 연소실과 노즐로부터 방사되는 미세물분무의 일정압력을 얻기 위하여 고압질소로 50의 물을 저장한 수조를 가압하기 위한 가압수조, 노즐로부터 1 m 떨어진 위치에 설치한 채수통을 이용하여 화염이 없는 경우 각 노즐의 압력변화에 따른 방사분포

를 측정하였다.

미세물분무의 방사후 화염의 온도분포와 소화·억제효과를 확인하기 위해 K-type 열전대를 연소 pan으로부터 10 cm 간격으로 4개를 설치하였으며, 화염주위와 연소실 벽면에서의 온도분포를 측정하기 위해 바닥으로부터 25 cm, 55 cm, 85 cm의 위치에 열전대를 설치하였다. 이를 A/D convertor를 이용하여 화염온도를 2초 단위로 측정하였다.

화염의 크기에 따른 미세물분무의 소화특성을 측정하기 위해 연소 pan의 크기는 높이 6 cm이며, 단면적이 11 cm×11 cm(pan1)와 15.5 cm×15.5 cm(pan2)를 사용하였다. 이때 연료는 n-heptane과 ethanol 100 ml를 사용하였으며, 화염의 크기는 Babrauskas⁶⁾에 의해 계산된 연소시에 발생하는 열방출량(RHR: rates of heat release)으로 계산하였다.

미세물분무의 평균입자크기(SMD: Sauter Mean Diameter)는 Malvern 2600모델의 입자분석계를 사용하여 분사압력에 따라 화염이 없는 경우 순수한 미세물분무의 평균입경과 입경분포를 측정하였다.

또한, 미세물분무의 물리적 소화성능의 향상과 화학적 소화성능을 부여하기 위하여 불소계 습윤제를 기초로 수성막과 거품의 이중효과에 의해 B급 화재시에 탁월한 효과를 발휘하는 3M Light water AFFF를 0.3%를 첨가하였으며, 선박에서 발생하는 화재의 경우 손쉽게 구할 수 있는 소화약제는 해수이므로 미세물분무의 소화성능을 측정하기 위하여 2.5 wt% NaCl 용액을 만들어 실험하였다.

실험은 연료 100 ml를 각 연소 pan에서 점화시켜 화염의 온도가 정상상태가 될 때까지의 시간인 2분 동안 연소시킨 후, 소화를 위해 미세물분무를 방사하였다. 방사시간은 화염의 소멸이 이루어질 때까지 방사하였으며, 이때 소화는 미세물분무를 방사 후 20초 이내 화염이 소멸되는 것을 소화로 간주하였으며, 20초 이내

화염이 소멸되어도 20초까지는 미세물분무를 방사하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 미세물분무 노즐의 특징

Table 1은 Malvern 2600모델의 입자분석계를 이용하여 방사압력 3 kg/cm²에서 각 노즐의 입자크기를 측정된 결과이다. 이때 입자크기는 총체적에 대한 총표면적의 비로 나타내는 SMD(Sauter Mean Diameters) 즉, D[3, 2]와 체적(또는 질량) 누적치의 50%에 해당하는 입경인 D(v, 0.5)로 나타내는 VMD(Volume Median Diameters)를 3 kg/cm²의 방사압력에서 측정된 결과이다. 이때 TG2 노즐은 분무압력 3 kg/cm²에서 SMD는 195.2 μm이며, VMD는 231.3 μm로 본 실험에서 사용한 노즐 중 가장 큰 입자크기를 나타내고 있다. 또한, 7개의 오리피스로 이루어진 7N 노즐은 1 m의 높이에서 미세물분무를 방사하는 경우 7N1.5와 7N3은 직경 0.8 m와 1.1 m 안에 미세물분무의 총 분포밀도의 65%를 차지하며, 이론상의 분사범위안에서 전체분포의 약 35%를 차지한다. 이때 3 kg/cm²에서 7N3노즐의 SMD와 VMD는 134.9 μm와 152.8 μm를 나타내며, 7N1.5 노즐은 본 연구에서 사용한 방사압력에서 가장 작은 입자크기인 122.6 μm와 137.08 μm를 나타냈다.

Fig. 1은 미세물분무 노즐을 이용하여 방사한 미립자들의 누적 체적 즉, 체적의 누적분률로 방사압력 10 kg/cm²에서 Malvern analyzer에 의해 측정된 결과이다. 이때, 체적 누적치의 50%에 해당하는 체적평균입자는 D1노즐이 177.42 μm이며, TG1은 149.93 μm, 7N3은 98.21 μm를 나타냈으며, SMD는 D1이 143.95 μm, TG1이 119.3 μm, 7N3가 81.2 μm를 나타냈다.

Fig. 2는 10 kg/cm²에서 유량이 2.5 l/min인 7N3노즐의 방사분포를 patternator를 이용하여 측정된 결과이다. 이때 patternator는 하나의 cell이 4 cm×4 cm×40 cm

Table 1. Nozzle characteristics (discharge pressure : 3 kg/cm²)

Nozzle	Droplet size (μm)		Angle (°)	Theoretical coverage at 1 m (cm)
	SMD (Sauter Mean Diameters)	VMD (Volume Median Diameters)		
D1	178.7	207.7	40	72.8
D3	161.1	197.4	65	127
TG1	176.4	206.6	57	108.4
TG2	195.2	231.3	51	95.4
7N1.5	122.9	137.1	-	140
7N3	134.9	152.9	-	170

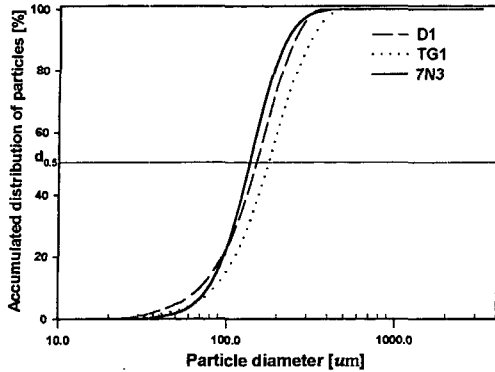


Fig. 1. Accumulated distribution of particle size measured by Malvern analyzer at 10 kg/cm² discharge pressure.

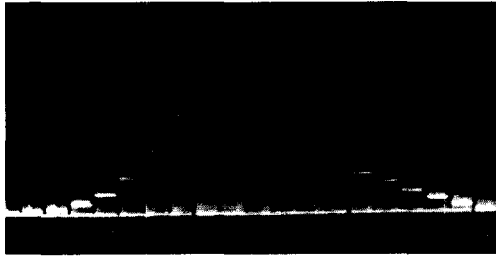


Fig. 2. Discharge distribution of 7N3 nozzle measured by patternator at 10 kg/cm².

로 20개의 cell로 이루어져 있으며, 노즐과 patternator와의 거리를 1m로 하여 1분간 방사하여 측정된 결과 patternator 중앙을 중심으로 좌우대칭의 정규분포의 형태를 나타내는 풀콘(full cone) 형태의 방사분포를 나타내었다.

4.2 미세물분무의 소화특성

액체연료 화재의 종류는 spray fire와 pool fire의 형태로 나눌 수 있으며, 미세물분무의 소화특성은 연료의 종류, 화재 종류 및 크기에 따른 방사압력, 입자크

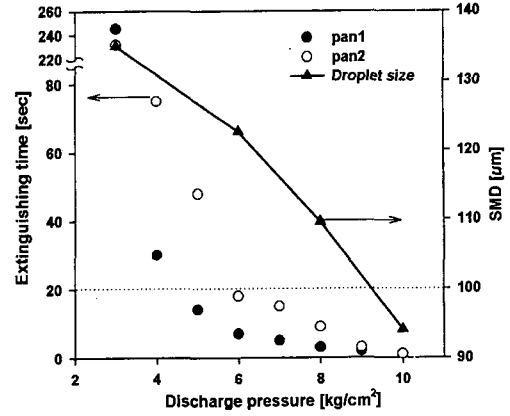


Fig. 3. Extinguishing time of ethanol pool fire and droplet size by changing the discharge pressure for 7N3 nozzle.

기, 유량밀도와 화재실의 환기조건에 따라 영향을 받는다.⁴⁾ 본 연구에서는 ethanol과 n-heptane pool fire의 경우 화염의 크기에 따른 소화특성을 실험하였다. 이때 화염의 크기는 연소시에 발생하는 열방출량(RHR: rates of heat release)을 화염의 크기로 간주하였으며, 열방출량은 연료의 종류와 연소 pan의 크기를 이용하여 계산하였다.

7N3노즐의 방사압력 변화에 따른 pan1과 pan2에서 ethanol 화염의 소화시간과 SMD를 Fig. 3에 나타내었다. 방사압력이 증가함에 따라 SMD는 감소하였으며, 소화시간은 pan1의 경우 5 kg/cm²에서 14초였으며, pan2는 5 kg/cm²에서 방사 후 48초에 화염이 소멸되었다. 이는 방사압력이 증가함에 따라 입자크기의 감소에 의한 증발속도의 증가와 함께 미세물분무 입자의 momentum 증가에 의한 화염면에서의 타격효과의 증가로 인해 소화시간이 짧아진 것으로 판단된다.

Table 2는 유량밀도의 변화에 따른 ethanol과 n-heptane 화염의 소화시간을 나타낸 표이다. 3 kg/cm²에서 유량밀도는 7N1.5노즐이 0.46 ml/cm²·min이며 TG1

Table 2. Extinguishing time of ethanol and n-heptane pool fire by changing the flow density

Flow density (ml/cm ² ·min)	Nozzle	Pressure (kg/cm ²)	Particle diameter (μm)	Extinguishing time			
				Pan 1		Pan 2	
				Ethanol	n-Heptane	Ethanol	n-Heptane
0.46	7N1.5	3	122.56	10 min	7 min	3 min	2 min
				10 sec	49 sec	43 sec	28 sec
0.467	TG1	3	176.42	3 sec	19 sec	5 sec	12 sec
0.91	7N1.5	10	81.19	6 sec	17 sec	20 sec	30 sec
0.97	7N3	10	94.05	1 sec	9 sec	1 sec	9 sec

은 $0.47 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 로 ethanol pan1 화염에 대하여 소화시간은 TG1이 3초로 미세물분무를 방사후 즉시 화염이 소화되었으나, 7N1.5노즐의 소화시간은 10분 10초로 나타났다. 또, n-heptane pan1 화염의 경우 미세물분무를 방사한 후 TG1은 19초, 7N1.5는 7분 49에 화염이 소멸되었다. 이는 3 kg/cm^2 에서 입자크기가 $122.5 \mu\text{m}$ 인 7N1.5노즐의 경우 $176.4 \mu\text{m}$ 인 TG1노즐 보다 화염면에서의 수증기 증발에 의한 질식효과에 있으나, 방사압력이 3 kg/cm^2 인 경우 7N1.5노즐은 입자크기가 작고 momentum이 낮기 때문에 화염에서 발생되는 부력으로 미세물분무 입자는 화염면에서 이탈하여 냉각작용이 이루어지지 않아 화염이 오랫동안 지속된 것으로 판단된다. 또한 TG1노즐은 7N1.5노즐 보다 입자크기가 크므로 momentum의 증가에 의한 화염면에서 침투력의 증가에 의한 냉각작용의 증가로 인해 소화시간이 짧게 나타난 것으로 판단된다.

또한 방사압력이 3 kg/cm^2 에서 10 kg/cm^2 로 증가시킨 7N1.5노즐은 유량밀도가 $0.46 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ 에서 $0.91 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 로 증가되고 입자크기가 $122.56 \mu\text{m}$ 에서 $81.19 \mu\text{m}$ 로 33.8% 감소됨에 따라 ethanol과 n-heptane pan1 화염의 소화시간은 각각 6초와 17초를 나타냈다. 이는 입자크기가 $81.19 \mu\text{m}$ 로 작아졌으나 노즐로부터 방사되는 압력이 10 kg/cm^2 로 증가됨에 따라 입자의 momentum이 증가됨으로 인해 화염의 냉각과 연료표면의 냉각작용이 증가되며, 또한 입자크기가 작아지므로 화염면에서의 수증기 증발에 의한 질식효과에 의해 소화시간이 짧아진 것으로 판단된다. 따라서 Table 2의 결과로부터 방사압력이 증가됨으로써 유량밀도 증가, 입자크기 감소와 미세물분무 입자의 momentum 증가에 의해 소화시간은 짧아진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 3 kg/cm^2 에서 입자크기가 비슷하고 유량밀도가 다른 경우 소화시간을 비교한 결과이다. 이때 ethanol 화염의 경우 유량밀도가 $0.47 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 인 TG1노즐의 소화시간이 3초였으며, $0.22 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 의 유량밀도를 나타내는 D1노즐의 소화시간은 2분 29초였다. 또한 n-heptane 화염의 경우 소화시간은 TG1이 19초이며 D1이 1분 59초였다. 이는 비슷한 입자크기라 하더라도 화염면에 작용하는 미세물분무의 유량밀도 증가는 화염면에 도달되는 미세물분무가 많아지므로서 화염의 냉각작용과 함께 연료표면의 냉각작용이 빨라지며, 또한 patternator에 의해 측정된 방사분포에 대한 기존 연구결과¹⁾에서 TG1은 방사분포가 중앙에 분포됨으로써 momentum이 집중되고 이로 인한 연소 pan에 분포하고 있는 산소를 순간적으로 밀어냄

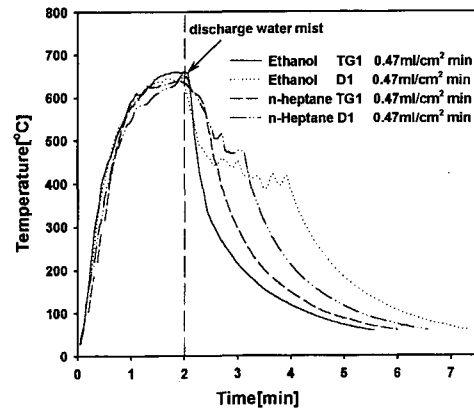


Fig. 4. Flame temperature profiles of ethanol and n-heptane pool fire by changing the flow density at the same droplet size (3 kg/cm^2).

으로써 화염의 소화시간이 짧아진 것으로 판단되며, D1노즐은 방사분포는 일정하게 넓게 퍼지면서 momentum이 분산됨으로 인해 D1노즐의 소화시간은 길게 나타난 것으로 판단된다.

4.3 첨가제의 영향

본 연구에서는 미세물분무의 물리적 소화성능의 향상과 화학적 소화성능을 부여하기 위하여, 첨가제로 불소계 습윤제를 기초로 한 3M Light water AFFF (Aqueous Film Forming Foam)와 해수를 사용하였다. 본 연구에서 AFFF의 농도는 Andrew⁷⁾에 의해 wood crib 및 diesel과 heptane pool 화재에 적용된 농도인 3% AFFF보다 낮은 0.3%를 첨가하여 실험하였으며, NaCl은 해수의 평균농도인 2.5 wt% NaCl을 첨가하였다.

4 kg/cm^2 의 방사압력에서 7N3노즐로 n-heptane pan1 화염에 미세물분무를 방사한 경우 화염의 온도분포를 Fig. 5에 나타내었다. 미세물분무를 방사하지 않은 n-heptane 화염은 미세물분무의 방사 시점부터 10분 8초까지 화염의 온도는 620°C 로 지속되었으나, 순수한 미세물분무를 방사한 경우 방사 후 1분 동안 화염의 온도는 480°C 까지 낮아졌으며, 이후 화염의 온도는 500°C 에서 화염이 지속되었으며 소화시간은 6분 42초로 나타났다. 그런데 2.5 wt% NaCl을 첨가한 미세물분무는 방사초기에는 순수한 미세물분무와 유사한 화염의 온도를 나타냈으나, 방사 후 41초에 소화가 이루어졌다.

n-Heptane을 pan2에서 연소시켜 D1노즐로 0.3% AFFF와 2.5 wt% NaCl을 첨가한 미세물분무와 순수한 미세물분무를 방사하였을 때 화염의 온도분포를 Fig. 6에 나타내었다. 미세물분무를 방사하지 않은 경우 n-

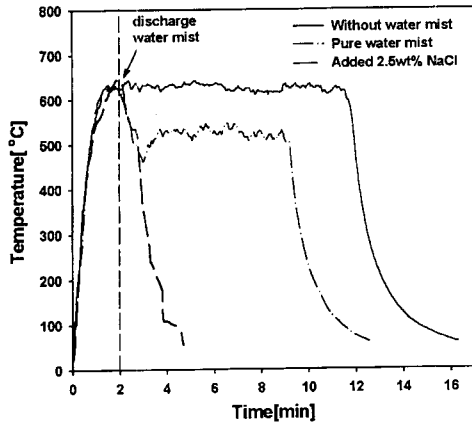


Fig. 5. Effect of additive for the n-heptane pool fire using 7N3 nozzle.

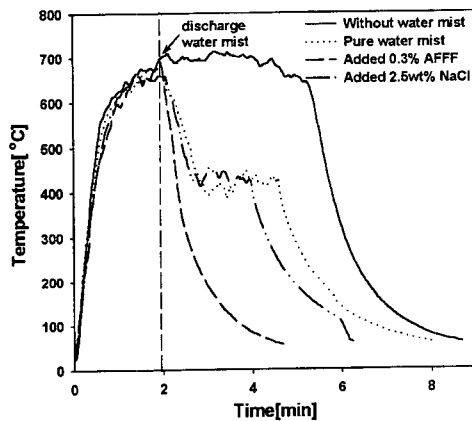


Fig. 6. Effect of additives for the n-heptane pool fire at pan2 using D1 nozzle.

heptane 화염의 소멸시간은 4분 8초 동안 지속되었으며, 순수한 미세물분무의 경우 4 kg/cm^2 에서 소화시간은 2분 29초, 2.5 wt% NaCl를 첨가한 미세물분무는 1분 57초로 순수한 미세물분무 보다 21% 빠른 소화시간을 나타냈다. 또한, 0.3% AFFF는 18초로 순수한 미세물분무 보다 소화시간이 많이 짧게 나타났다. 이는 0.3% AFFF 첨가로 연료표면 위에서 얇은 막을 형성하고, 화염으로부터 연료표면으로 되돌아오는 열을 감소하므로 연료표면에서의 화염온도 감소와 함께 n-heptane 증발감소를 유도하여 소화가 이루어지는 것으로 판단되었다. 한편, 알칼리 염인 2.5 wt% NaCl을 첨가한 경우 화염면에 알칼리염 결정체가 형성되는 현상이 나타났다.

7N3노즐을 이용하여 ethanol pan1 화염에 적용한 경

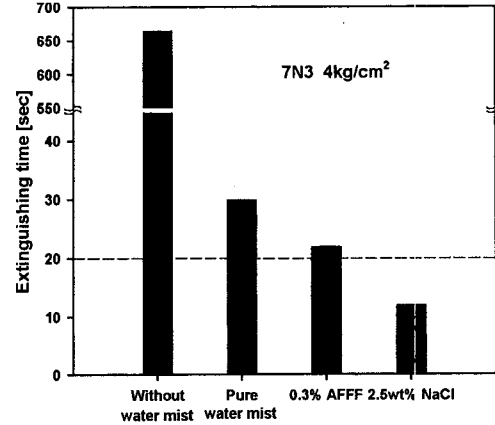


Fig. 7. Effect of additives for the ethanol pool fire using 7N3 nozzle (pan1).

우 소화시간을 Fig. 7에 나타내었다. 이때 미세물분무를 방사하지 않은 경우 ethanol 화염의 소화시간은 11분 5초였으며, 순수한 미세물분무를 4 kg/cm^2 의 방사압력으로 방사한 경우 ethanol은 30초, 0.3% AFFF와 2.5 wt% NaCl를 첨가한 경우는 22초와 12초를 나타냈다. 따라서 순수한 미세물분무 보다 첨가제를 첨가한 경우가 27%와 60% 빠른 소화시간을 나타냈으며, 첨가제 중 NaCl이 AFFF 보다 더 빠른 소화시간을 나타냈다.

첨가제를 이용한 n-heptane과 ethanol 화염에 대한 Fig. 5에서 Fig. 7의 결과로부터 순수한 미세물분무를 n-heptane 화염에 방사하면 미세물분무는 유류표면 아래로 가라앉으나, 0.3% AFFF를 첨가한 미세물분무는 불용성인 n-heptane 연료표면에 흰 얇은 수성막을 형성함으로써 연료의 증발을 막고 AFFF와 함께 방사된 미세물분무에 의한 냉각작용을 일으켜 화염이 소멸되는 현상이 나타났으며, 수용성 연료인 ethanol 화염에 AFFF를 첨가한 미세물분무는 용해되어 하얀 막이 형성되지 않았다. 또한 n-heptane과 ethanol 화염의 소멸을 위해 2.5 wt% NaCl를 첨가한 미세물분무를 방사한 경우 연소 pan에 하얀 소금 결정체가 존재하는 현상이 나타났다. 이때 n-heptane 화염보다 ethanol 화염의 소화시간이 짧게 나타났는데 이는 수용성인 ethanol과 2.5 wt% NaCl를 첨가한 미세물분무가 혼합하여 ethanol의 증발을 억제하므로써 화염의 소멸이 이루어지는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 ethanol과 n-Heptane 화염에 대한 미

세물분무의 소화성능 향상을 위해 0.3%AFFF와 2.5 wt%NaCl를 첨가한 미세물분무의 소화성능을 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) n-heptane pan1 화염에 7N3노즐을 4 kg/cm²의 방사압력으로 방사한 경우 순수한 미세물분무의 소화시간은 6분 42초 였으며, 2.5 wt% NaCl를 첨가한 미세물분무의 소화시간은 41초 였다.

(2) 7N3노즐을 4 kg/cm²의 방사압력으로 순수한 미세물분무를 ethanol pan1 화염에 적용한 경우 소화시간은 30초, 0.3% AFFF와 2.5 wt% NaCl를 첨가한 경우는 22초와 12초로 나타났다. 따라서 순수한 미세물분무 보다 첨가제를 첨가한 경우가 27%와 60% 빠른 소화시간을 나타냈으며, ethanol 화염은 첨가제 중 2.5 wt% NaCl이 0.3% AFFF 보다 더 빠른 소화시간을 나타냈다.

(3) 0.3% AFFF의 첨가는 불용성인 n-heptane 연료 표면 위에 흰 얇은 수성의 막을 형성함으로써 화염으로부터 연료표면으로 되돌아오는 열을 감소하므로 연료표면에서의 화염온도 감소와 함께 n-heptane 연료의 증발을 감소함으로써 소화가 이루어지며, AFFF와 함께 방사된 미세물분무에 의한 냉각작용을 일으켜 화염이 소멸되는 현상이 나타났다

(4) 7N1.5 보다 입자크기가 큰 TG1노즐(176.4 μm)은 수증기의 증발속도가 낮으므로 질식효과는 저하되나, 입자크기가 7N1.5 보다 크므로 momentum의 증가에 의한 화염면에서의 침투력이 증가하여 냉각작용의 증가에 의해 소화시간이 짧게 나타 났다.

(5) 방사압력이 증가됨에 따라 입자크기 감소에 의한 증발속도가 빨라져 질식효과의 증가와 함께 유량밀도와 입자의 momentum의 증가에 의한 화염면과 연료표면으로 침투력이 증가되어 냉각작용이 빨라져 소화시간은 짧아졌다.

참고문헌

1. 이경덕, 신창섭, “방사특성에 따른 미세물분무의 소화특성”, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 15, No. 4, pp.41-48(2001).
2. M.D. King, WJ. Chien, J.C. Yang, and W.L. Grosshandler, “Evaporation of a Small Droplet Containing an Additives”, National Heat Transfer conference, Vol. 3, pp.1-6(1997).
3. Y.M. Qiao and S. Chandra, “The Effect of Dissolving a Surfactant in Water Sprayed on a Hot Surface”, NIST Annual Conference on Fire Research, pp.17-18(1996).
4. Z.G. Liu and A.K. Kim, “A Review of Water Mist Fire Suppression Technology: Part I-Fundamental Studies”, J. of Fire Prot. Engr, Vol. 10, No. 3, pp. 32-50(2000).
5. J.R. Mawhinney, “Water Mist Suppression System May Solve an Array of Fire Protection”, NFPA Journal, pp. 46-53, May/June(1994).
6. J.R. Mawhinney, “Principles of Water Mist Fire Suppression Systems”, NFPA Handbook-19th Edition(1996).
7. A.K. Kim, “Fire Suppression Performance of Water Mist Systems with Additives”, 2nd International Symposium on Safety Science and Technology, Beijing, China, August(2000).
8. P. Andersson, G. Holmstedt., “Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent”, J. of Fire Prot. Engr, Vol. 9, No. 4, pp.31-50(1999).
9. S.P. Andrews, “Literature Review : Fire Extinguishing by Water Sprays”, Private Communication(1992).
10. A. Jones and P.F. Nolan, “Discussions on the use of Fine Water Sprays or Mists for Fire Suppression”, J. Loss Prev. Process Ind, Vol. 8, No. 1, pp.17-22 (1995).