

방사특성 변화에 따른 미세물분무의 소화특성 Extinguishing Characteristics of Water Mist by Discharge Properties

이경덕 · 신창섭[†]

Kyoung Duck Lee · Chang Sub Shin[†]

충북대학교 공과대학 안전공학과
(2001. 09. 18. 접수/2001. 11. 02. 채택)

요 약

할론소화약제는 유류화재 및 전기화재의 진압에 가장 효과적으로 널리 사용되어 왔으나, 이들은 오존층파괴지수와 지구온난화지수가 높아 환경문제를 야기하고 있다. 이러한 환경에 악영향을 주지 않는 대체기술의 하나로 관심을 끌며 연구되기 시작한 소화방법이 미세물분무를 이용한 소화설비이며, 미세물분무는 스프링클러의 살수입자에 비해 물입자가 작고 표면적이 크기 때문에 화염면에서의 증발 및 냉각특성이 우수하며, 산소의 농도를 감소시키는 질식작용이 우수하다. 본 연구는 미세물분무 소화설비의 설계를 위한 기초단계로 유류화재에 대한 미세물분무의 입자크기, 유량밀도, 방사분포, 방사압력 및 화재의 크기에 따른 화염의 소화특성을 측정하였다. 그 결과 액체 pool 화재의 소화시간은 유량밀도가 증가함으로써 짧아지고, 유량밀도가 $0.5 \pm 0.05 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 이하인 경우 입자크기가 증가함으로써 짧아졌다. 또 방사주기를 변화시켜 실험한 결과 *n*-heptane 화재에 대하여 간헐적으로 방사한 미세물분무가 소화에 효과적이었으며, 이때 연속방사와 비교하여 화재를 소화하기 위해 필요한 물의 총량은 1/4로 감소하였다.

ABSTRACT

Halogen-based fire suppressing agents have been the most effective fire suppressants and widely used for flammable liquid and electric fire. However, they have environmental problems causing stratospheric ozone depletion and globe warming. As a substitution of halon, fire suppression system using fine water mist is one of an effective fire suppressant. Suffocating and cooling effects of water mist are increased by the evaporation characteristics because it has droplet size less than 1,000 μm and very large surface area. In this study, the extinguishing characteristics of fire was measured with changing of water mist droplet size, flow density, discharge pressure, and fire size. As a result, the extinguishing time of pool fire was shortened with the increase of flow density, and in case of low flow density less than $0.5 \pm 0.05 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$, the extinguishing time was shortened with the increase of droplet size. The cycling discharge was effective for *n*-heptane pool fire, and total amount of water mist required to extinguish fire was reduced to a quarter compare with continuous discharge.

Keywords : Water mist, Droplet size, Fire suppression, Fire size, Cycling discharge

1. 서 론

화재로부터 인명 및 재산 피해를 줄이고 신속·정확하게 화재를 진압하기 위하여 효율적인 소화약제 및 설비를 사용하여야 하며, 이들 소화약제 및 소화설비 중

현재 유류화재에 가장 효과적인 화학적 소화약제는 1960년대 말에 개발되어 최근까지 유류화재와 전기화재 등 화재진압에 사용된 할론 1301과 할론 1211 등 CFC 계통의 소화약제이다. 그러나 할론계 소화약제는 지구온난화지수와 오존파괴지수가 높아 환경문제를 야기하고 있다. 코펜하겐 회의에서 CFC의 사용을 선진국의 경우 1996년부터 금지시키고 있으며, 개발도상국은 2010년까

[†]E-mail: csshin@chungbuk.ac.kr

지 한시적으로 그 사용을 허용하였고, 그 이후에는 사용을 완전히 금지시키고 있다. 이에 각국은 대체소화약제로서 오존파괴지수가 낮은 제1세대 대체 할로겐화물인 HCFC계의 소화약제를 개발하고 있으나, 이 또한 완전한 환경친화적인 물질이 아니므로 2020~2030년까지의 일시 대체물질로 허용하고 있는 상태이다.

따라서 할론 소화약제의 단계적 「사용제한」에 대비하고, 전기화재, 인화성액체와 연료화재를 진화하기 위한 방법으로 환경에 악영향을 주지 않는 대체기술의 하나로 관심을 끌며 연구되기 시작한 소화방법이 미세물분무 소화설비이다.

미세물분무 소화설비는 소화약제로서 물을 사용한다는 점에 있어서 스프링클러설비와 같으나 고압에서 물을 방사하여 DV_{99} 1,000 μm 미만의 물분무를 만들며, 전역 방출가스설비의 특성과 같이 장애물 주위를 움직이면서 소화작용을 한다는 점에서 스프링클러설비와 소화메카니즘이 다르다. 또 스프링클러의 살수입자에 비해 물입자가 작고 표면적이 크기 때문에 화염면에서의 증발특성이 우수하며, 화염속에 공급된 미세물입자는 증발되어 산소의 농도를 감소시키는 질식작용과 화염원의 온도를 저하시키는 냉각작용에 의해 소화작용을 상승시킨다. 또한 물을 소화약제로 이용하기 때문에 환경문제에 영향을 주지 않으면서 유독성이 없고, 화재진압에 효과가 크며, 소화후 물에 의한 2차적 손실이나 위험성이 적거나 없다. 그러므로 스프링클러설비와는 달리 유류화재나 전기화재에 적용이 가능하다는 것이 특징으로 유류화재에 대한 기존의 가스계 소화설비의 대체 소화기술로 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이다.

외국에서는 적용화재의 보다 효과적인 소화를 위하여 분무노즐을 이용하여 고압방사시켜 최적의 물입자를 만들려는 연구가 진행되고 있으며, 고압방사에 따른 설치 및 유지보수 비용을 줄이기 위하여 저압방사에 의한 미세물분무 소화설비에 대한 이론적인 연구와, 소형 화재시험으로부터 넓은 분야로의 응용을 위

한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 유류화재를 진압하기 위한 미세물분무 설비 개발의 기초단계로 미세물분무 입자크기, 방사분포 및 화염 크기에 따른 유류화재의 소화특성과 소화시간을 규명하고자 하였으며, 낮은 방사압력에서 유류화재에 효과적인 입자크기를 선정하고자 하였다.

2. 이론적 배경

물은 높은 비열과 증발잠열로 인해 다른 소화약제보다도 화재를 억제·소화하기 위한 가장 좋은 물리적 특성을 가지고 있으며, 증발될 때 약 1700배의 증기팽창을 하게 되므로 화염주변에서의 산소농도 희석과 연료로부터 발생하는 증기를 희석시킨다. 또한, 물을 50~300 μm 로 미립화하여 분산시키게 되면 입자의 표면적이 넓어지므로 물과 화염 표면 사이의 열전달 속도가 증가하고, 이로 인해 물방울은 빠르게 수증기로 바뀌면서 주위의 수증기 함량이 늘어나 화재의 확대가 억제되고 연소실내의 산소농도의 저하와 증기의 희석 및 질식효과로 소화효과를 증대시킨다.

이러한 미세물분무의 적용에 따른 화재의 소화메카니즘은 화재영역으로부터 미세물분무의 증발에 의한 산소의 제거속도와 화재로부터 발생하는 열의 흡수량과 제거량에 의해 소화성능이 결정되며, 화염위 미세물분무의 동력학적 영향, 유입되는 공기에 의한 연료 증기/공기 희석작용에 의해 소화성능을 향상시키게 된다. 이러한 속도와 양에 영향을 미치는 인자는 유량밀도의 분배, 물방울의 크기, 속도, 분무각도, 분무 형태, 운동량 및 분사특성과 같은 여러 인자들에 의해 그 영향정도가 결정된다. 이중 열의 흡수 및 제거와 산소농도의 제거에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 미세물분무의 입자크기와 방사분포 및 화염에 작용되는 유량밀도로 이들은 물의 비중, 점도, 온도 및 표면장력과 같은 물의 물리적 특성과 방사압력, 오리피스 크기 및 형태와 같은 노즐특성에 따라 좌우된다. 이러한 미세

Table 1. Performance of a spray nozzle

	Increase in pressure	Increase in specific gravity	Increase in viscosity	Increase in liquid temperature	Increase in surface tension
Flow rate	Increase	Decrease	Deteriorates	*	No effect
Spray angel	Increase/Decrease	Negligible	Decrease	Increase	Decrease
Droplet size	Decrease	Negligible	Increase	Decrease	Increase
Velocity	Increase	Decrease	Decrease	Increase	Negligible
Impact	Increase	Negligible	Decrease	Increase	Negligible

*노즐 형태와 분사되는 액체에 의존

물분무의 분사특성에 영향을 미치는 인자들을 Table 1에 나타내었다.

3. 실험장치 및 방법

미세물분무의 소화효과는 액체의 물성과 함께 액체 미립자를 발생시키는 노즐의 특성 즉, 분무압력에 따른 입자크기, 분무유량밀도, 분무각도, 방사분포 등에 따라 소화성능이 결정된다. 이러한 분사특성에 대한 유류화재의 소화특성을 실험하기 위하여 소규모 화재 실험장치를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 이때 실험장치는 단면적이 85 cm×85 cm이고 높이가 130 cm인 연소실, 가압수조, 미세물분무의 방사분포를 측정하기 위한 채수통으로 구성된다. 이때 화염의 크기는 연료의 형태, 연료량, 연소용기의 크기에 따라 변할 것으로 판단되어 *n*-heptane과 ethanol을 100 ml 사용하였으며, 연소용기는 단면적이 11 cm×11 cm(pan1), 15.5 cm×15.5 cm(pan2), 19.5 cm×19.5 cm(pan3)와 22 cm×22 cm(pan4)를 사용하여 화염크기와 연료량에 따른 미세물분무 소화설비의 소화성능을 측정하였다.

실제 미세물분무 설비에서는 펌프를 사용하여 미세물분무를 생성하나, 본 실험에서는 일정한 분무량을 얻기 위하여 고압질소로 수조를 3 kg/cm²~10 kg/cm²로 가압하여 분무하였으며 노즐은 풀콘(full cone)노즐을 사용하였고, 이때 관내의 마찰손실은 무시하였다.

평균입자크기(SMD : Sauter Mean Diameter)는 Malvern 2600모델의 입자분석계를 사용하여 분사압력에 따라 미세물분무의 평균입경과 입경분포를 측정하였으며, 방사밀도분포를 측정하기 위해 동일한 크기의 채수통을 노즐에서 1 m 아래에 설치하여 3 kg/cm², 6 kg/cm², 8 kg/cm², 10 kg/cm²로 1분간 방사후 각 채수통의 평균방사량을 측정하였다.

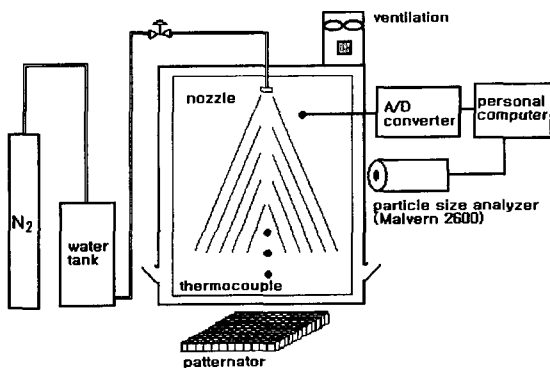


Fig. 1. Schematic of the experimental apparatus.

n-heptane과 ethanol을 담은 연소 pan을 연소실의 중앙에서 화염의 온도가 정상상태가 될 때까지 연소시키기 위하여 2분 동안 연소시킨 후 미세물분무를 방사하였다. 방사후 소화·억제효과를 확인하기 위해 K-type 열전대를 연소 pan으로부터 10 cm 간격으로 4개를 설치하였으며, 화염주위의 연소실 벽면에서의 온도 분포를 측정하기 위해 바닥으로부터 25 cm, 55 cm, 85 cm에 열전대를 설치하였고, 이를 A/D converter를 이용하여 화염온도를 2초 간격으로 측정하였다. 소화는 미세물분무를 방사한 후 20초 이내에 화염이 소멸되는 것을 소화로 간주하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 미세물분무 노즐의 특징

실험에 사용된 노즐은 Table 2와 같은 특성을 가지

Table 2. Characteristics of nozzle (discharge pressure : 3 kg/cm²)

Characteristics Nozzle	Orifice diameter (mm)	Flow rate (l/min)	Droplet size (μm)	Angle (°)
D1	0.79	0.59	178.7	40
D3	1.2	0.95	161.09	65
TG1	0.94	0.74	176.42	57
TG2	1.19	1.5	195.23	51
7N-1.5	-	0.69	122.96	-
7N-3	-	1.4	134.96	-

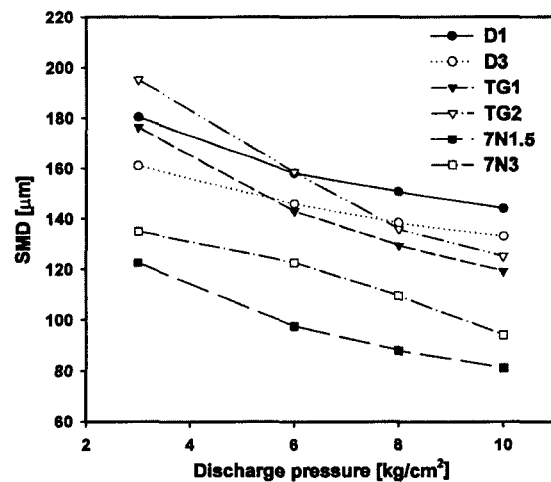


Fig. 2. Droplet size of water mist by the change of discharge pressure.

며, Fig. 2는 방사압력이 3 kg/cm², 6 kg/cm², 8 kg/cm², 10 kg/cm²인 경우 각 노즐의 입자 크기(SMD)를 Malvern 2600모델의 입자분석계를 이용하여 측정한 결과이다. 이때 분무압력이 3 kg/cm²인 경우 TG2 노즐이 195.2 μm로 실험에 사용된 노즐 중 가장 큰 입자 크기를 나타냈으며, 7N1.5 노즐이 122.9 μm로 가장 작은 입자크기를 나타내고 있다. 또한 방사압력이 증가할수록 물입자의 크기는 선형적으로 감소하였다.

Fig. 3은 3 kg/cm²의 방사압력에서 1분간 방사하여 patternator에 의해 측정된 방사분포를 측정한 그림이다.

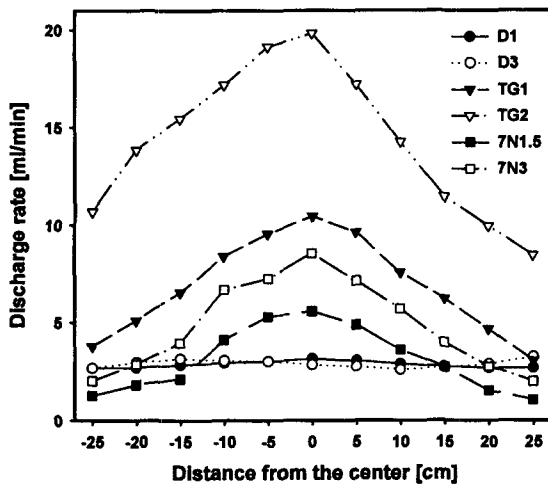


Fig. 3. Discharge distribution of nozzle by the change of discharge pressure.

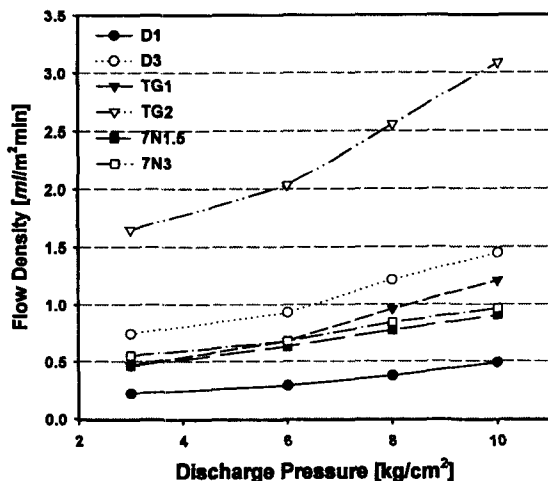


Fig. 4. Flow density of nozzles by the change of discharge pressure.

다. 본 연구에서 사용된 노즐은 풀콘노즐로 그림에서 방사분포는 좌우대칭의 방사분포를 나타내고 있다. 여기서 방사유량이 0.59 l/min과 0.95 l/min을 나타내는 D1과 D3노즐은 중심으로부터의 거리에 관계없이 일정한 유량을 나타내며, TG2노즐은 노즐 중앙부에서 20 ml/min의 유량으로 본 연구에서 사용된 노즐 중 가장 큰 유량을 나타내며, 7N1.5노즐은 5 ml/min의 유량을 나타내었다.

방출압력의 변화에 따른 11 cm×11 cm의 patternator에서 1분간 방사시켜 측정된 유량밀도를 Fig. 4에 나타내었다. 측정결과 3 kg/cm²의 방사압력에서 D1노즐은 0.22 ml/cm²·min의 유량밀도를 나타내며, TG2노즐은 유량밀도가 1.65 ml/cm²·min로 실험에 사용된 노즐 중 가장 높은 유량밀도를 나타내었다. 실험에 사용된 노즐은 방출압력의 증가에 따라 유량밀도가 선형적으로 증가하였다.

4.2 가연성 액체에 대한 미세물분무의 소화특성

미세물분무의 소화특성에 영향을 미치는 인자는 방사압력, 유량밀도, 입자크기이다. 본 연구에서는 이들 인자들의 변화에 따른 ethanol과 n-heptane 화염의 소화특성을 실험하였으며, 또한 연소팬의 크기, 즉 화염의 크기 변화에 따른 미세물분무의 소화특성을 비교하여 소화를 최적화할 수 있는 조건을 찾고자 하였다.

화염의 크기는 연소팬의 크기에 따른 열방출량으로 나타낼 수 있으며, 본 연구에서는 ethanol과 n-heptane 100 ml의 연소시 연소 팬의 크기에 따른 열방출량(RHR)를 식 (1)을 이용하여 계산하였으며, 계산결과를 Table 3에 나타내었다.

$$RHR = H_c \times \dot{m}'' \times A \quad (1)$$

여기서 A는 연소면적(m²), H_c는 연소열(MJ/kg), \dot{m}'' 는 질량손실율(kg/m²s)이다. 이때 Table 3에 나타낸 바와 같이 열방출량은 ethanol 보다 n-heptane이 크게 나타났다.

100 ml ethanol을 pan1에서 연소시켜 유량밀도가 비슷하고 입자크기가 다른 미세물분무를 방사시켰을 경

Table 3. Heat release rate of ethanol and n-heptane pool fire

Pan size	Pan1 (121 cm ²)	Pan2 (240 cm ²)	Pan3 (380 cm ²)	Pan4 (484 cm ²)
Fuel				
Ethanol	4.9 kW	9.7 kW	15.3 kW	19.5 kW
n-Heptane	6.2 kW	17.0 kW	33.1 kW	46.9 kW

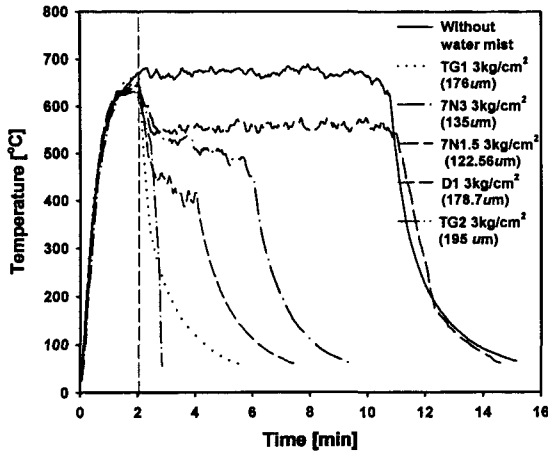


Fig. 5. Flame temperature profiles of ethanol pool fire by changing the droplet size at $0.50 \pm 0.05 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$.

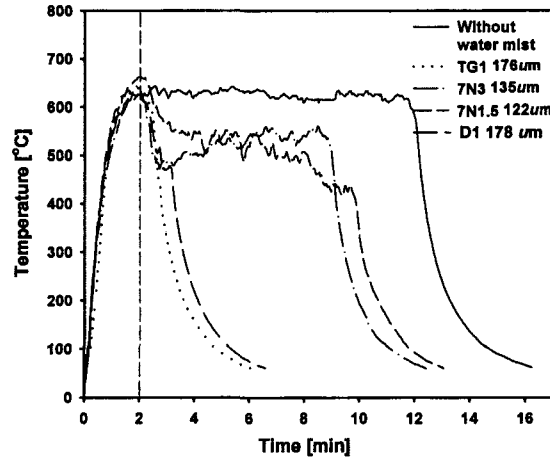


Fig. 6. Flame temperature profiles of *n*-heptane fire by changing the droplet size at $0.50 \pm 0.05 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$.

우 화염의 온도변화를 Fig. 5에 나타내었다. 실험에 사용된 노즐은 TG1, 7N3, 7N1.5노즐로 유량밀도는 $0.5 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 이며, 입자크기는 $176 \mu\text{m}$, $135 \mu\text{m}$, $123 \mu\text{m}$ 이었다. 이때 TG1 노즐은 미세물분무를 방사후 3초에 화염이 소멸되었으나, 7N3노즐과 7N1.5노즐은 화염이 소멸되지 않았다. 이는 7N3노즐과 7N1.5노즐에 의해 생성된 미세물분무는 입자크기가 작아 화염으로부터 발생하는 부력에 의해 입자가 화염면에서 이탈하여 화염면에서의 냉각작용과 수증기막의 형성이 이루어지기 어려웠기 때문에 화염이 오랫동안 지속된 것으로 판단되었다. 또 입자크기가 $178 \mu\text{m}$ 로 TG1노즐과 비슷하고 유량밀도가 $0.22 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 로 TG1보다 낮은 D1노즐의 소화시간은 1분 59초였다. 이는 비슷한 입자크기라 하더라도 화염면에 작용하는 미세물분무의 유량밀도가 큰 경우 화염을 통과하여 화염면에 도달하는 입자가 많아지므로서 연료표면의 냉각작용과 함께 화염의 냉각작용이 빨라져 소화시간이 짧아짐을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 3 kg/cm^2 의 방사압력에서 사용한 노즐 중 가장 큰 입자크기($195 \mu\text{m}$)와 유량밀도 ($1.65 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$)를 나타내는 TG2노즐은 ethanol pan1에 대한 소화시간은 8초로 TG1보다 길게 나타났으나 화염이 소멸된 후 250°C 에서는 입자크기가 큰 TG2노즐이 급격히 냉각되었다. 이는 입자크기와 유량밀도가 커짐으로서 냉각작용은 증가되나 입자의 증발속도가 느려져 수증기막의 형성이 이루어질 수 없으므로 화염의 소멸시간이 길게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 6은 *n*-heptane 화염에 대하여 같은 유량밀도를 나타내는 미세물분무 노즐에 대한 입자크기 변화에 따

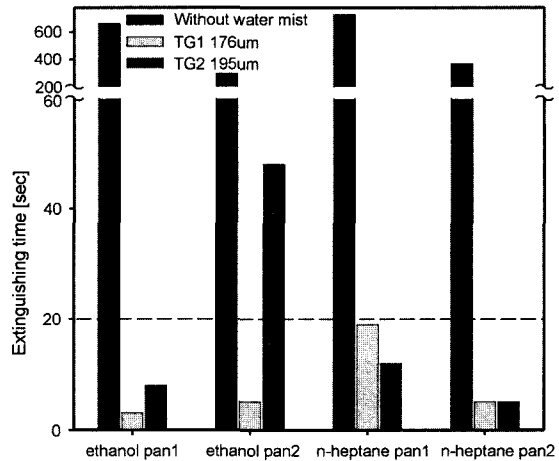


Fig. 7. Extinguishing time of ethanol and *n*-heptane pool fire using TG1 and TG2 nozzle.

른 화염온도변화를 나타낸 그림이다. 소화시간은 TG1 노즐이 19초, 7N3노즐은 6분 44초였으며, 7N1.5노즐은 7분 49초였으며, TG1과 입자크기가 비슷한 D1노즐은 화염의 소멸시간은 49초로 나타났다.

TG1과 TG2노즐을 이용한 ethanol과 *n*-heptane 화염의 소화시간을 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 입자크기가 $176 \mu\text{m}$ 이고 유량밀도가 $0.47 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ 인 TG1노즐의 ethanol pan1과 pan2에 대한 소화시간은 각각 3초와 5초를 나타냈으나 *n*-heptane 화염에 대한 소화시간은 19초와 5초를 나타냈다. 반면 TG2노즐은 ethanol pan2 화염에 대하여 48초의 소화시간을 나타

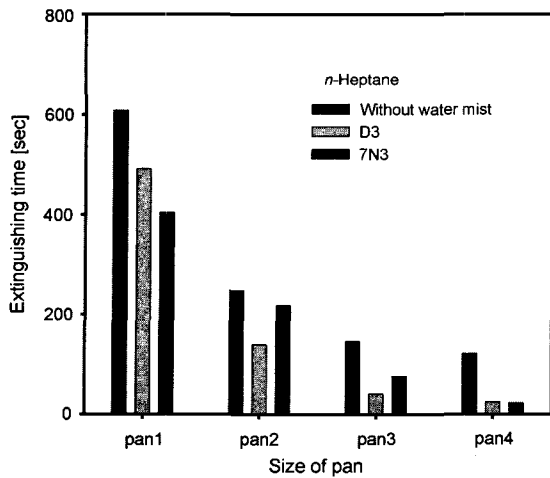


Fig. 8. Extinguishing time by the size of n-heptane pool fire.

냈으며, n-heptane 화염에 대한 소화시간은 pan1과 pan2에서 ethanol의 소화시간은 12초와 5초를 나타냈다. 따라서 입자크기가 176 μm에서 195 μm로 증가하고 유량밀도가 0.47 ml/cm²·min에서 1.65 ml/cm²·min로 증가함으로써 ethanol 화염은 소화시간이 길어진 반면 n-heptane 화염의 소화시간은 짧게 나타났다.

Fig. 8은 크기가 다른 연소팬에 100 ml의 n-heptane을 연소시켜 D3노즐과 7N3노즐을 3 kg/cm²의 방사압력으로 방사시켰을 경우 화염의 소화시간을 나타낸 그림이다. 화염의 크기가 커질수록 n-heptane의 자연연소시간은 짧아졌으며, 이때 SMD와 유량이 161.1 μm와 135 μm이며 0.95 ml/min과 1.4 ml/min을 나타내는 D3와 7N3을 이용한 소화시간은 연소팬의 크기가 커질수록 짧아졌다. 이는 n-heptane 화염이 커짐으로써 열방출량이 커지고 화재실내의 온도를 상승시키므로 화염면에서의 미세물분무는 빠르게 증발작용을 일으켜 산소농도 감소 및 연료증기와의 희석작용에 의해 소화시간이 짧아진 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 노즐 중 입자 크기가 가장 작은 노즐인 7N1.5을 사용한 경우 pan1에 낙하하는 미세물

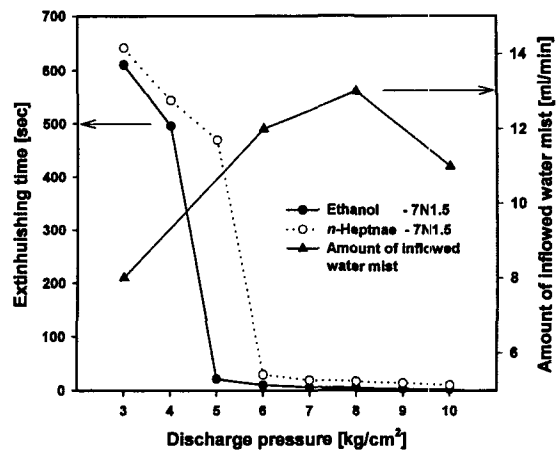


Fig. 9. Extinguishing time and amount of inflowed water mist by changing of discharge pressure.

분무의 양을 측정된 결과와 ethanol과 n-heptane을 pan1에서 연소시킨 경우 노즐의 압력변화에 따른 소화시간을 나타낸 것이 Fig. 9이다. 그 결과 7N1.5 노즐의 방사압력이 3 kg/cm²에서 8 kg/cm²로 증가됨에 따라 1분 동안 pan1에 낙하되는 물의 양은 8 ml에서 13 ml로 유량의 증가를 나타내었다. 또한 3 kg/cm²의 방사압력에서 7N1.5노즐의 SMD는 122.6 μm로 ethanol과 n-heptane의 소화시간은 10분 10초와 6분 44초였다. Ethanol과 n-heptane 화염에 미세물분무를 방사후 20초 이내에 소화가 이루어지는 방사압력은 ethanol의 경우 6 kg/cm²에서 10초이며, n-heptane 화염은 7 kg/cm²에서 19초를 나타내었다. 또한 방사압력이 8 kg/cm²에서 10 kg/cm²로 증가함에 따라 pan1에 낙하되는 물의 양은 13 ml에서 11 ml로 감소되었으며 또한 SMD는 88 μm에서 81 μm로 작아졌으나 이때의 소화시간은 ethanol이 5초에서 3초로 n-heptane 화염이 17초에서 10초로 감소되었다. 이는 방사압력이 증가함으로써 입자의 momentum의 증가에 의해 소화시간이 빨라진 것으로 판단된다. 따라서 Fig. 9에서 방사압력을 증가시킴으로써 화염면과 연료표면에 작용하는 momentum의

Table 4. The extinguishing performance of continuous and cycling water mist discharge

Discharge mode	Continuous discharge(4 kg/cm ²)				Cycling discharge(4 kg/cm ²)			
	D3 (1.1 ml/min)		7N1.5 (0.79 ml/min)		D3 (1.1 ml/min)		7N1.5 (0.79 ml/min)	
	Pan1	Pan2	Pan1	Pan2	Pan1	Pan2	Pan1	Pan2
Extinguishing time (sec)	363	125	641	222	418	152	621	189
Amount of water discharged (ml)	6.66	2.29	8.44	2.92	3.26	1.14	3.42	1.05

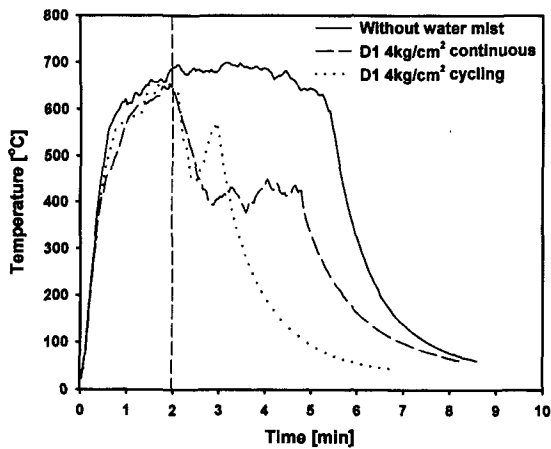


Fig. 10. Effect of cycling discharge of water mist for *n*-heptane pool fire.

증가에 의해 화염에 대한 타격효과의 증가와 화염의 소멸에 필요한 미세물분무의 양이 증가됨으로서 화염의 냉각작용이 증가되어 소화시간이 빨라진다는 것을 알 수 있다.

한편, 소화시간과 미세물분무의 양을 줄이기 위하여 간헐방사에 따른 소화실험을 실시하였다. 이때 간헐방사의 주기는 미세물분무를 20초 방사 후 30초 차단시켰으며, 화염이 소멸될 때까지 연속적으로 반복하였다. Table 4는 *n*-heptane 화염에 대한 D3와 7N1.5노즐을 이용한 4 kg/cm²의 방사압력에서 연속방사와 간헐방사한 경우 소화시간과 소화에 필요한 미세물분무의 양을 측정된 결과이다. 이때 D3노즐의 경우 간헐방사에 의한 소화시간은 연속방사에 따른 소화시간보다 길게 나타났으나, 화염의 소멸을 위해 필요한 미세물분무의 양은 연속방사보다 50% 감소하였다. 또한, 7N1.5노즐의 경우 연속방사에 따른 소화시간은 pan1과 pan2에서 641초와 222초였으며, 간헐방사시킴으로서 소화시간은 621초와 189초로 감소되었으며, 또한 방사된 미세물분무의 양은 40% 감소하였다.

Fig. 10은 D1노즐을 4 kg/cm²의 방사압력에서 *n*-heptane 화염에 간헐방사한 경우 화염의 온도변화를 측정된 결과로 연속방사와 간헐방사에 따른 소화시간은 2분 29초에서 1분 10초로 48% 감소하였다. 또한 간헐방사한 경우 소화하기 위한 미세물분무의 총량은 연속방사한 미세물분무 양의 1/4로 감소하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 ethanol과 *n*-heptane 화염에 대한 미

세물분무의 소화성능을 측정하기 위하여 SMD가 80 μm에서 196 μm인 미세물분무를 이용하여 실험하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유량밀도가 0.50±0.05 ml/cm²·min이하인 경우 미세물분무의 입자크기가 증가할수록 소화시간은 짧게 나타났으며, 유량밀도가 증가할수록 소화는 성공적으로 이루어졌다. 이는 미세물분무의 입자크기가 작은 경우 입자의 속도가 낮아지고, 화염에 의해 발생하는 부력에 의해 입자가 화염면에서 흩날려 냉각작용과 수증기막의 형성이 이루어지기 어려워 화염이 오랫동안 지속되었다. 또한 비슷한 입자크기라 하더라도 화염면에 작용하는 미세물분무의 유량밀도가 큰 경우 화염을 통과하여 화염면에 도달되는 입자가 많아지므로서 연료표면의 냉각작용과 함께 화염의 냉각작용이 빨라져 소화시간이 짧아졌다.

(2) 크기가 다른 연소팬에 100 ml의 *n*-heptane을 연소시킨 경우 소화시간은 화염의 크기가 커질수록 짧아졌다. 이는 열방출량이 커짐으로써 화재실내의 온도를 상승시키고 화염면에서의 미세물분무는 빠르게 증발작용을 일으켜 산소농도의 감소와 함께 연료증기와와의 혼합에 의한 희석작용에 의해 소화시간은 짧아진다.

(3) 7N1.5노즐은 방사압력이 8 kg/cm²에서 10 kg/cm²로 증가함으로써 연소 pan 위에 유입되는 미세물분무의 양은 13 ml에서 11 ml로 감소하였으나, 화염면과 연료표면에 작용하는 미세물분무의 momentum의 증가에 의해 소화시간은 짧아졌다.

(4) *n*-Heptane 화염에 대해 D1노즐을 이용한 미세물분무의 방사를 주기적으로 반복시켰을 경우 연속방사와 비교하여 화염의 소멸에 필요한 시간은 48% 감소하였으며, 미세물분무의 총방출량은 1/4로 감소하였다.

참고문헌

1. Z.G. Liu, A.K. Kim, "A Review of Water Mist Fire Suppression System: Part I - Fundamental Studies", J. of Fire Prot. Engr., Vol. 10, No. 3, pp. 32-50 (2000).
2. Z.G. Liu, A.K. Kim, J.Z. Su, "Examination of the Extinguishment Performance of a Water Mist System Using Continuous and Cycling Discharges", Fire Technology, Vol. 35, No. 4, pp. 336-361(1999).
3. 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).
4. 鈴木弘昭, 敏 "ウォーターミスト(マイクロフォグ)による消火に関する研究開発(その1)", 消防検定協會, Vol. 7,

- pp. 20-23(1997).
5. 鈴木弘昭, 敏 “ウォーターミスト(マイクロフォグ)による消火に関する研究開発(その2)”, 消防検定協會 Vol. 7, pp. 23-27(1997).
 6. A. Jones, 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).
 7. R.G. Bill, Jr., R. Ferron, A. Braga, “Water Mist (Fine Spray) Fire Protection in Light Hazard Occupancies”, J. Fire Prot. Engr., Vol. 10, No. 3, pp. 1-22(2000).
 8. G.G. Back III, C.L. Beyler, R.H. Hansen “The Capabilities and Limitations of Total Flooding, Water Mist Fire Suppression Systems in Machinery Space Application”, Fire Technology, Vol. 36, No. 1, pp. 8-23(2000).
 9. J.R. Mawhinney, B.Z. Dlugogorski, A.K. Kim, “A Closer Look at the Fire Extinguishing Properties of Water Mist”, Ottawa: 4th IAFSS Conference, pp. 47-60(1994).