

# 분무수 분무특성이 액체연료 Pool 화염의 소화에 미치는 영향

김호영<sup>†</sup> · 오상엽\* · 정진택\*\*

(2004년 7월 12일 접수, 2004년 9월 8일 심사완료)

## Effects of Spray Characteristics of Water Mist on The Extinction of a Liquid Pool Fire

Ho Young Kim, Sang Youp Oh and Jin Taek Chung

**Key Words:** Extinguish Time(소화시간), Fire Suppression(화재 진압), Pool Fire(풀 화염), Water Mist(분무수)

### Abstract

A series of experiments were conducted to study the effectiveness of the extinction of a liquid pool fire with two different water atomizing nozzles. Fire source is a small-scale circular stainless steel pan of 120mm in diameter with the fuels of hexane and ethanol. K-type thermocouples were used to measure the flame and fuel temperature along the pool centerline and under fuel surface. A digital camera was used to visualize the process of the fire suppression. The experimental results show that water mist droplet size is 115~180 $\mu$ m with nozzle A and 130~190 $\mu$ m with nozzle B. The extinguishing time of pool fire was reduced with the increase of pressure. When water droplets are small, they do not reach the flame base since they may be deflected or evaporated by the fire plume. However, influence of flow rate is more important than droplet size on fire extinction. Among the fire extinction mechanisms, drop of flame temperature is superior to suffocation of O<sub>2</sub> concentration.

### 1. 서 론

산업사회의 발달로 건물의 기능과 용도는 다양화되고 있으며, 또한 전기설비가 복잡화되고 전기기구와 각종 가전제품의 사용이 많아지는 등 전기에너지 사용의 증가로 인하여 전기로 인한 화재의 발생 역시 점차 증가하고 있다. 최근에는 전력, 통신 제어 배선들이 도시의 미관과 유지보수를 위하여 지상보다는 지하 공동구에 설치하는 추세다. 그러나 이러한 지하 공동구는 화재발생

시 공간적 제약으로 인하여 화재진압을 위한 접근이 어렵고, 전선 피복이 연소될 때 배출되는 유독가스로 인하여 화재에 매우 취약하다.<sup>(1,2)</sup>

소화 약제로서 가장 널리 사용되어진 물에 관한 연구는 1950년대부터 시작되었으나 CFC 계열의 소화약제의 사용으로 중단상태에 있다가 최근 들어 다시 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 전기에 의한 화재 및 유류화재에 주로 사용되던 CFC 계열의 소화약제가 환경오염물질을 내포하고 있으며, 지구 온난화지수와 오존파괴지수가 높아 세계 각국은 몬트리올 의정서를 통하여 할론 소화설비의 단계적 철수 및 사용 중단을 결정하게 되었기 때문이다. 이에 각국은 대체 소화약제로써 오존파괴지수가 낮은 HCF 계열의 소화약제를 개발하고 있으나 이것 또한 환경에 악영향을 주기 때문에 2040년까지 전면 사용금지를 결의한 실정이다. 이로 인하여 환경친화적 소화

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 고려대학교 기계공학과

E-mail : kimhy@korea.ac.kr

Tel : (02)3290-4265, Fax : (02)926-9290

\* 고려대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 고려대학교 기계공학과

설비에 대한 연구 개발이 계속되고 있으며, 그 대안으로 제시된 소화기술이 분무노즐을 이용한 분무수(water mist) 소화설비이다.<sup>(3-7)</sup>

현재 주로 사용되고 있는 스프링클러(Sprinkler)는 액적의 크기가 크기 때문에 유류화재에 부적합하고, 일반 화재 시 다량의 물을 사용하기 때문에 소화 후 물에 의한 2차 재해를 가중시킬 수 있는 가능성을 내포하고 있다.<sup>(4)</sup> 이러한 스프링클러의 단점을 보완하기 위하여 현재 분무수를 이용한 소화에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

분무수 소화시스템은 유류화재 증선박의 기관구역 화재에 그 효용성이 입증되었으며, 전산실 및 변압기 화재에도 일부 적용되고 있다. 이 시스템은 물의 사용을 최소화하기 때문에 항공기, 선박, 열차, 해양설비 등 공간 및 중량에 제한이 있는 곳에 적용하기에 알맞은 시스템이다.<sup>(6)</sup> 최근의 연구 결과로 정진용<sup>(8)</sup> 등은 실내공간에서 화원의 위치에 따른 벽의 영향이 화염 구조와 연기거동에 중요한 요소임을 확인하였고 김성찬<sup>(9)</sup> 등은 분무수의 분무각이 화재실내부의 온도분포에 미치는 영향에 대해 실험과 수치해석을 비교하였다. 분무각이 증가함에 따라 화재실내부의 평균온도가 감소함을 보였고 수치해석에 이용한 FDS 모델은 온도장에 대해서는 비교적 타당한 결론을 얻었다. Ndubizu 등<sup>(10)</sup>은 가스 확산 화염에 분무수를 분사할 때 소화 기구(mechanism)에 대한 연구를 수행하여, 물의 증발 잠열과 열용량이 화염의 온도를 낮추는데 크게 기여하여, 분무수에 의한 산소 차폐보다는 화염의 온도 하강이 소화에 더 큰 요인으로 작용함을 보였다. Yao 등<sup>(11)</sup>은 제한된 공간에서 분무수와 화염과의 상호 작용에 관한 실험을 수행하여 분무수의 소화 능력에 많은 영향을 미치는 인자는 연료 특성과 환기 조건이라는 것을 보였다. 또한 분무수에 의한 소화는 액체 연료에 의한 화재보다 고체 연료에 의한 화재에 더 효과적인 소화 능력이 있음을 보였다. Hiroshi 등<sup>(12)</sup>은 메탄화염에 분무수를 분사하였을 때 화염의 형상과 특성에 대한 실험과 수치해석을 수행하여, 분무수가 흡수한 에너지와 산소 차단량에 대한 결과를 보고하였다. Richard 등<sup>(13)</sup>은 헵탄을 이용한 액체 풀 화염에 분무수를 분사하였을 때 화염의 특성변화를 연구하였다. 이들 연구의 대부분은 분무되는 분무수의 분무량을 변수로 한 연구로서 분무수의 크기 및 분포상태 즉

분무특성을 고려한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 개방된 공간에서 분무수의 분무특성이 액체연료에 의한 풀(Pool) 화염의 소화와 소화기구에 미치는 영향을 규명하기 위한 목적으로 실험을 통한 고찰을 수행하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치 및 실험조건

Fig. 1은 실험장치의 개략도로서 물은 질소에 의하여 일정 압력으로 가압된 물탱크로부터 분무노즐로 공급되어 분무수를 형성하며 화염은 원형용기에 연료를 공급하여 풀(pool) 화염을 형성하였다. 실험에 사용된 분무수 생성을 위한 노즐은 Solid Cone Type의 분무를 형성시키는 저압 분무기로서 오리피스 직경이 0.8mm와 1.0mm인 두 종류를 사용하였으며 분무수의 액적 분포상태

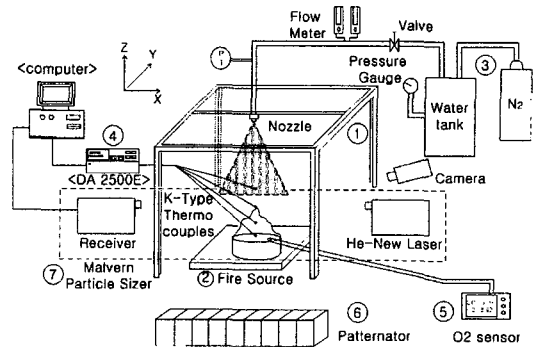


Fig. 1 Schematic diagram of water mist system

Table 1 Fuel properties

Fuel	Ethanol	Hexane
Molecular weight	46.7	86.177
Liquid Density(kg/m <sup>3</sup> )	801	659
Boiling Temperature(°C)	78.5	68.9
Ignition Point(°C)	365	225
Heat of Combustion (MJ/kg)	High	29.7
	Low	26.9
		45.1

Table 2 Experimental Parameters

Fire Source (d: mm)	Fuel	Nozzle	Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )
60	Ethanol	A	3
120			5
180	Hexane	B	7
			9

는 Malvern Particle sizer를 이용하여 SMD를 측정하였고 액적의 분포상태 즉 위치에 따른 유량밀도는 유량 채집기를 사용하여 측정하였다. 노즐과 화원 간의 거리는 1.5m로 일정하게 하였으며, 화원과 바닥 면 사이에는 단열재를 설치하여 열전달을 차단하였다. 스테인레스 스틸로 제작된 원형화원 용기의 지름은 60, 120과 180mm로 변화시켰으며 화원 내 연료의 초기 깊이는 50mm로 하였다. 실험에 사용된 연료는 에탄올과 헥산으로 화원 120mm에서 에탄올과 헥산을 초기에 480ml를 공급하였고, 화원의 지름이 180mm에서는 1200ml, 화원 60mm에서는 140ml의 연료를 초기에 공급한 후 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 연료의 특성은 Table 1에 나타내었다. 본 실험에서는 중요 변수로 연료의 종류, 노즐의 종류, 분사압력과 화원의 크기를 택하였으며, 실험조건을 Table 2에 제시하였다.

2.2 실험 방법

실험은 먼저 분무수의 분무상태를 측정하기 위하여 화염이 없는 조건에서 두 종류의 노즐에 대하여 연료와 분무압력을 변화시켜가며 액적의 크기분포와 유량밀도를 측정하였다. 화염이 있는 본 실험에서는 화원의 크기가 120mm인 경우 노즐과 압력을 변화시키면서 실험을 수행하였고, 화원의 지름이 60mm와 180mm의 경우에는 대표적인 압력 5, 7kgf/cm<sup>2</sup>에서 분무수의 분무특성, 화염의 온도분포, 산소농도와 화염의 소화 시간을 측정하였다. 화염은 순수 확산화염으로 에탄올은 점화 후 3분 동안, 헥산의 경우 2분 동안 자유 연소를 시켜 정상상태로 만든 후 분무수를 분무하여 실험을 시작하였다. 본 연구에서는 분무 후 3분이 지난 후에도 소화가 이루어지지 않았을 경우 소화불능으로 판단하였다.

화염의 온도 변화는 화원 중심으로부터 수직방향으로 7cm 간격으로 설치된 K-Type 열전대, DA

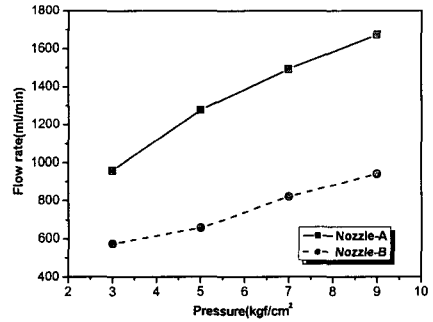


Fig. 2 The flow rate of injected water mist

2500E장치와 컴퓨터를 이용하여 실시간으로 측정을 하였다. 또한 연료의 온도를 측정하기 위해 열전대를 연료 표면으로부터 5mm깊이로 설치하였다. 산소농도는 Horiba사의 MEXA-554JK를 이용하여 화원의 가장 바깥쪽에서 측정을 하였으며 화염의 형상은 디지털 캠코더를 이용하여 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 노즐의 분무특성

본 연구에서 분무수를 생성하기 위하여 사용한 노즐은 두 가지로서, 노즐 A의 오리피스 직경은 1.0mm이고 압력이 3~9kgf/cm<sup>2</sup>까지 변화할 때 유량이 958~1,672ml/min이고, 노즐 B의 오리피스 직경은 0.8mm이고 유량변화는 574~940ml/min이다.

Fig. 2는 두 노즐에 대한 압력에 따른 유량변화를 도시한 것으로서 압력이 증가함에 따라 유량은 거의 선형적으로 증가함을 보여주며, 유량은 노즐 A가 노즐 B에 비하여 큰 값을 나타낸다.

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 노즐 A와 B에서 분무되는 분무수의 반경방향 SMD분포를 노즐로부터 아래쪽 1.5m 즉 화원이 설치되는 위치에서 분무 압력에 따라 비교 도시한 것으로, 두 경우 모두 압력이 증가할수록 SMD는 작아지는 것을 알 수 있다. 노즐 A의 경우는 분사압력이 5kgf/cm<sup>2</sup> 이상이면 전 영역에 걸쳐 고른 SMD 분포를 보이지만, 노즐 B의 경우 중심부분의 SMD값은 작고 분무 영역의 중심으로부터 외부로 갈수록 서서히 증가함을 나타낸다. 이때 노즐 A에 비하여 오리피스 직경이 작은 노즐 B에서 분무되는 분무수의 SM

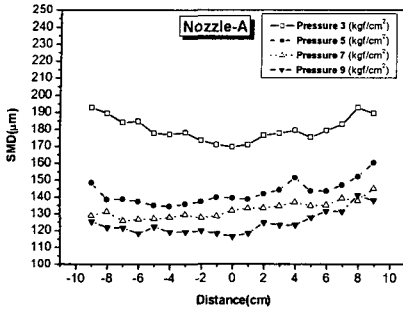


Fig. 3 SMD Distribution for different pressure of nozzle A

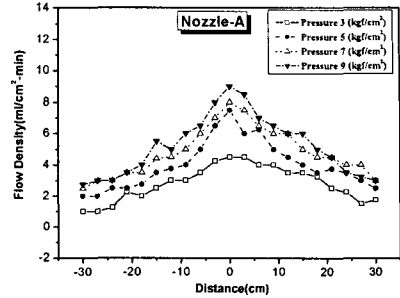


Fig. 5 Distribution of flow density for different pressure of nozzle A

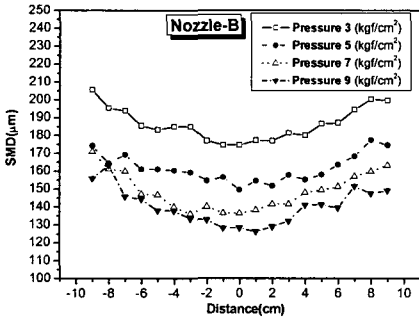


Fig. 4 SMD Distribution for different pressure of nozzle B

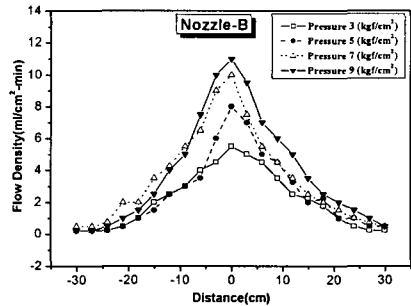


Fig. 6 Distribution of flow density for different pressure of nozzle B

D가 노즐 A의 것보다 크게 나타나는 것은 노즐의 구조적인 특성에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 노즐 A와 B의 경우 분무수의 반경방향 유량밀도를 여러 분사 압력에 대해 비교 도시한 것이다. 실험에 사용한 두 노즐 모두의 경우 유량은 중심에서 최고치를 보인 후 외부로 갈수록 감소하며 분무 압력이 클수록 분무유량은 중심부에 더욱 집중됨을 나타낸다. 또한 노즐 B가 노즐 A에 비하여 분무가 중심부에 더욱 집중됨을 나타낸다. 위의 결과로서 노즐 A와 B에서 분무되는 분무수는 화원의 중심부에서 작은 크기로 공급되나 공급유량은 집중적으로 공급됨을 알 수 있으며, 본 실험에서 사용된 화원의 최대 지름이 180mm이고 분무수가 공급되는 지름이 약 400mm 이상이므로 분무수는 화원 전체에 공급되며 노즐 B가 노즐 A 보다 화원의 중심부에 보다 많은 양이 공급됨을 알 수 있다.

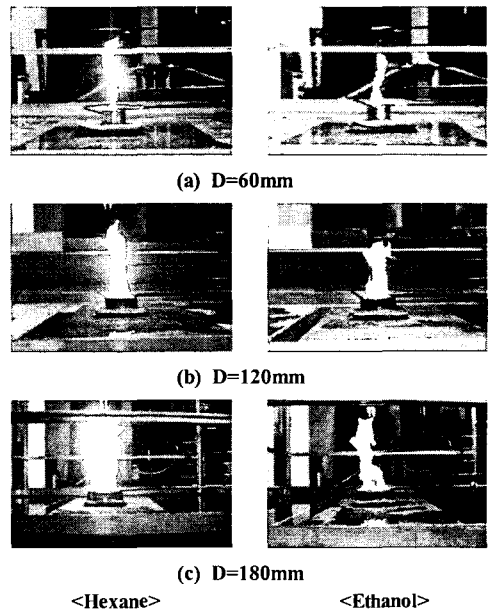


Fig. 7 Direct photos of hexane and ethanol fires

3.2 화염의 형상

Fig. 7은 크기가 다른 화원에 대하여 연료가 핵산과 에타놀일 때 화염의 형상을 나타낸 것으로 이는 Table 1에 나타난 것 같이 핵산의 연소열에 탄올에 비해 크고 연료의 비등온도가 낮기 때문에 증발 열이 상대적으로 큰 핵산에 의한 화염이 에타놀화염보다 더 큰 것을 볼 수 있다. 또한 화원의 크기가 클수록 연료의 증발면적이 커지므로 큰 화염을 형성함을 보여준다. 이상의 경우들은 화염이 없는 경우 분무수의 특성과 분무수를 공급하지 않은 경우의 화염특성을 고찰한 것이다.

3.3 화염과 액체연료의 온도 분포

실험은 연료가 점화된 후 화염이 정상상태로 유지된 후 얼마간의 시간이 지난 시점에서 분무수를 공급하였으며, 온도 및 산소농도는 점화부터 화염이 소화될 때 까지 즉 화염의 존재기간동안 계속하여 측정하였다. Fig. 8~10은 노즐 A와 B에서 분무수가 공급될 때 화염의 중심축을 따라 여러 위치에서 시간에 따른 온도변화를 비교 도시한 것으로 이 경우들은 분무수를 공급하여도 화염이 소화되지 않는 경우에 대한 것들이다. Fig. 8과 9는 노즐 A와 B로부터 분무수가 핵산 화염으로 공급될 때의 화염의 축 방향 여러 위치에서의 시간에 따른 온도변화를 비교 도시한 것이다. 분무수의 분무 전에는 화원 위  $x=7\text{cm}$ 에서 가장 높은 온도를 보이며 축 방향 위쪽으로 갈수록 온도는 낮아져서 화원 위  $28\text{cm}$ 의 경우는 A 노즐의 경우 화원표면의 온도보다도 낮게 나타난다. 또한 분무수를 공급하면 화염의 온도분포는 화원근처에서 제일 높은 온도를 나타내고 화원위쪽  $x=20\text{cm}$  이상에서는 물의 온도와 같아진다. 이로서 화염의 주 반응영역은 화원 위쪽 약  $x=7\text{cm}$  정도이며, 분무수가 공급되면 분무수의 유동에 의하여 화염은 아래쪽으로 세게 눌러져 수평방향으로 퍼짐으로서 화원근처에서 주 연소영역이 형성되어 화원 표면 근처에서 높은 온도를 보인다. 또한 화원 위쪽의 온도변화는 노즐 A일 때가 노즐 B일 때에 비하여 급하게 변한다. 이는 노즐 A에서 공급되는 분무수의 유량이 노즐 B 보다 크기 때문에 화염이 화원 쪽으로 더욱 압착되기 때문에 나타나는 현상으로 해석된다.

Fig. 10은 노즐 A를 사용한 경우, 에타놀 화염에 대한 시간에 따른 온도분포를 각각의 축 방향

위치에 대하여 도시한 것으로 대체적인 경향은 Fig. 8과 9의 핵산 화염과 같으나, 에타놀 화염은 핵산화염에 비해 화염의 크기, 연소열과 증발열이 작기 때문에 화염은 분무수의 유동에 의하여 화원 쪽으로 압착되어 화원 위쪽에서 온도는 핵산 화염에 비하여 낮은 값을 나타낸다.

Fig. 11과 12는 분무수의 공급에 의하여 화염이 소화된 경우에 축 방향 여러 위치에서 시간에 따른 온도분포를 비교 도시한 것으로, 노즐 A에서의 분무압력이  $5\text{kgf/cm}^2$ 이고 화원의 직경이  $60\text{mm}$ 인 경우 각각 핵산과 에타놀 화염에 대한 것이다. 분무수를 공급하기 전에는 이들 경우도 앞의 경우들과 같이 축 방향 위치  $x=7\text{cm}$  근처에서 최고 온도 즉 반응영역이 나타내며 화염에서 멀어질수록 온도가 낮아지고 요동이 심함을 보여준다. 또한 핵산 화염의 전체적인 온도 및 반응영역 위쪽의 온도가 에타놀 화염에 비하여 높으며

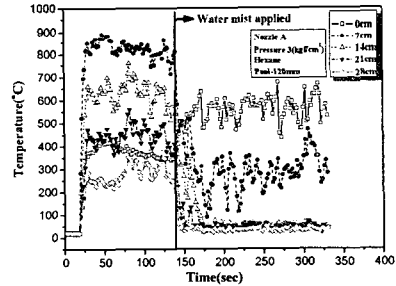


Fig. 8 Time variations of hexane flame temperature at various locations for nozzle A ( $p=3\text{kgf/cm}^2$ ,  $d=120\text{mm}$ )

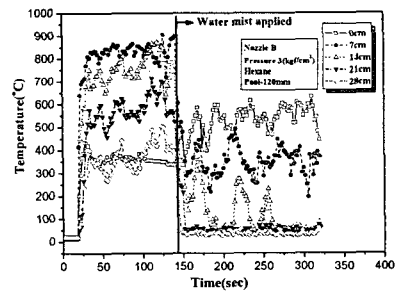


Fig. 9 Time variations of hexane flame temperature at various locations for nozzle B ( $p=3\text{kgf/cm}^2$ ,  $d=120\text{mm}$ )

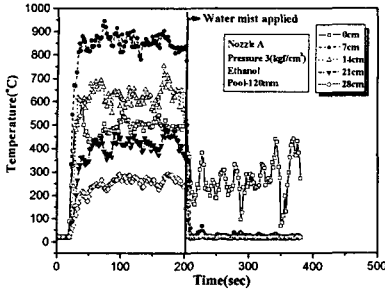


Fig. 10 Time variations of ethanol flame temperature at various locations for nozzle A ( $p=3\text{kgf/cm}^2$ ,  $d=120\text{mm}$ )

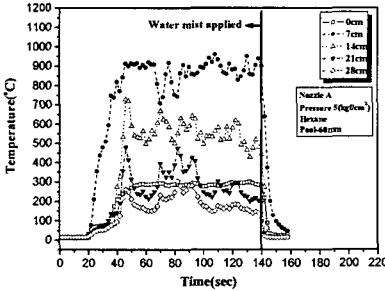


Fig. 11 Time variations of hexane flame temperature at various locations for nozzle A ( $p=5\text{kgf/cm}^2$ ,  $d=60\text{mm}$ )

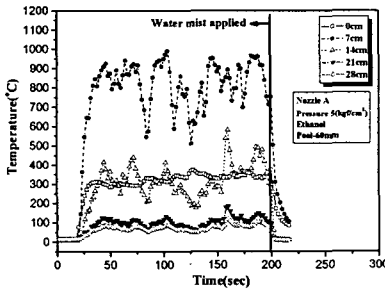


Fig. 12 Time variations of ethanol flame temperature at various locations for nozzle A ( $p=5\text{kgf/cm}^2$ ,  $d=60\text{mm}$ )

온도 요동이 심함을 보여준다. 화염에 분무수를 공급하면 두 경우의 화염의 온도는 급격히 낮아져서 소화되며 반응영역 위쪽의 온도는 더욱

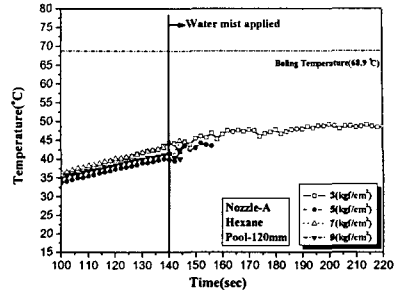


Fig. 13 Time variation of fuel temperature of hexane for nozzle A with  $d=120\text{mm}$

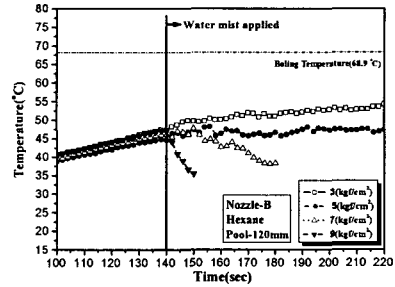


Fig. 14 Time variation of fuel temperature of hexane for nozzle B with  $d=120\text{mm}$

급격히 감소되어 분무수의 온도와 같아지며 연료의 온도보다도 낮아짐을 보여준다. 화염이 소화되는 시간은 분무수를 공급하는 순간부터 화염이 꺼질 때까지의 시간으로 정의하였으며 에탄올 화염의 소화시간이 헥산화염의 소화시간보다 짧게 나타났다.

Fig. 13과 14는 각각 노즐 A와 노즐 B에 대해 분무수를 화원의 직경  $d=120\text{mm}$ 인 헥산 화염에 공급할 때 시간에 따른 액체상 연료의 온도를 여러 가지의 분무압력에 대하여 비교 도시한 것이다. 분무수를 공급하지 않는 기간에는 액체연료의 온도가 서서히 증가하며 분무수를 공급하면 온도는 미세하게 증가하거나 급격히 하강함을 보여주며, 이 온도는 헥산의 대기압 하 비등점인  $68.9^\circ\text{C}$  보다 낮게 나타난다. 즉 저압에서는 분무 후 연료의 온도가 서서히 상승을 하지만 압력이 높아지면 분무 후 연료표면 온도가 하강함을 볼 수 있다. 노즐 A의 경우 압력  $5\text{kgf/cm}^2$ 부터는 소화가 짧은 시간에 이루어지기 때문에 연료표면의

온도의 변화를 쉽게 관측하기 힘들지만 노즐 B에서는 압력 5kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 연료표면 온도가 하강하지 못하여 소화가 이루어지지 않고 압력 7kgf/cm<sup>2</sup>에서는 연료표면 온도의 하강으로 소화가 됨을 볼 수 있다. 압력이 높아짐에 따라 분무수의 운동량과 유량이 증가하기 때문에 연료의 온도가 급격히 하강하여 연료의 증발을 억제함으로써 소화가 이루어지는 것으로 해석된다.

3.4 산소농도 분포

Fig. 15와 16은 핵산화염에 분무수를 공급할 때 시간에 따른 산소농도 분포를 노즐 A와 B 각각의 분사 압력에 대하여 비교 도시한 것이다. 이때 산소농도의 측정위치는 분무수의 공급이 화염으로의 산소유입 차단 여부를 확인하기 위하여 화원의 가장자리로 정하였다. 분무수를 공급하지 않은 자유 연소 상태에서는 산소농도가 약 19~17%로 일정하지만 분무수를 공급하면 분무수의 유동에 의하여 화염이 압착되어 심하게 요동하면서 반경 방향으로 확장되므로 산소농도 측정 흡입관 쪽에 화염이 형성 되어서 산소농도가 많은 요동을 보인다. 이때 산소 농도의 요동은 심하지만 평균값은 노즐 A의 경우가 노즐 B의 경우보다 약간 낮아짐을 보여준다. 이로서 공급유량이 큰 노즐 A의 경우가 상대적으로 공급유량이 작은 노즐 B보다 분무수의 공급에 의한 산소 차단 효과가 약간 크나 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

3.5 소화시간

Fig. 17과 18은 화원의 지름이 120mm인 경우

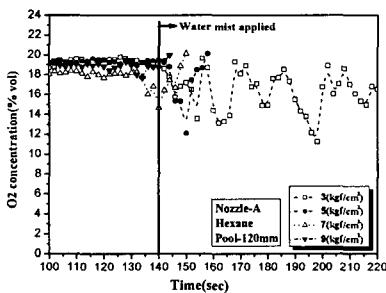


Fig. 15 Time variation of O<sub>2</sub> concentration for hexane flame with nozzle A and d=120mm

각각 노즐 A와 B에 대하여 분무수의 분무압력에 따른 소화시간의 변화를 도시한 것이다. 소화시간은 분무수의 공급 후 소화할 때까지의 시간으로 하였으며, 분무수 공급 후 180초가 지나도 화염이 그대로 연소할 때를 소화 불능으로 판단하였다. 노즐 A와 B 모두 분무압력이 증가하면 소화시간이 감소하며, 노즐 A가 노즐 B에 비하여

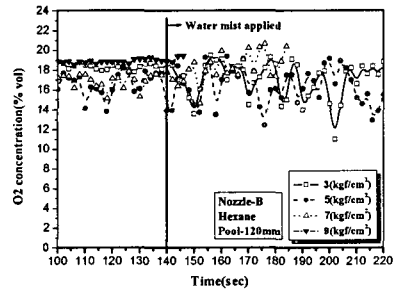


Fig. 16 Time variation of O<sub>2</sub> concentration for hexane flame with nozzle B and d=120mm

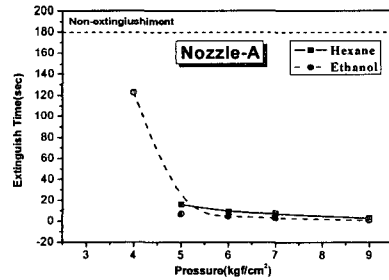


Fig. 17 Effect of injection pressure on the extinguish time for nozzle A and d=120 mm

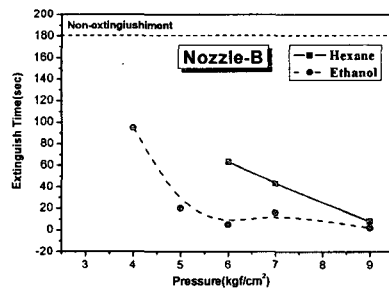


Fig. 18 Effect of injection pressure on the extinguish time for nozzle B and d=120 mm

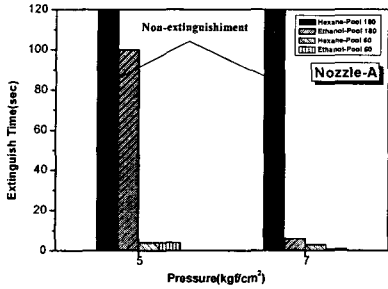


Fig. 19 Extinguish time of Nozzle-A for d=60 and 180mm

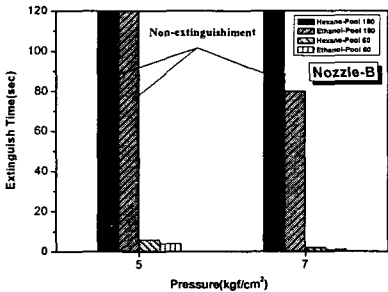


Fig. 20 Extinguish time of Nozzle-B for d=60 and 180mm

분무 유량이 크고 유량밀도가 고르게 분포하기 때문에 전체적인 소화 시간이 짧게 나타난다. 압력 3kgf/cm<sup>2</sup>인 경우 노즐 A와 B 모두 소화가 이루어지지 않았으나 압력 4kgf/cm<sup>2</sup>에서는 헥산 화염의 경우에만 소화가 이루어지지 않았다. 노즐 A의 경우 압력 5kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서는 헥산과 에탄올 모두 급격한 소화가 이루어지고 있는 반면, 노즐 B의 경우 압력이 5kgf/cm<sup>2</sup>일 때까지도 헥산의 소화가 이루어지지 않았다. 이는 헥산이 에탄올에 비해 화염의 크기와 연소열이 크고 증발온도가 낮아 소화가 쉽게 이루어지지 않는 것으로 해석된다. 에탄올 화염의 경우 노즐 A와 B 모두 분무 압력이 5kgf/cm<sup>2</sup> 이하 일 때는 압력이 증가함에 따라 소화시간은 급격히 감소하나, 5kgf/cm<sup>2</sup> 이상 되면, 즉 분무유량이 어느 수준 이상이 되면 소화시간은 압력이 증가할 때 서서히 감소함을 보여 준다. 그러나 화염이 크고 연소열이 큰 헥산화염의 경우 공급유량이 큰 노즐 A에서는 압력의 변화에 대한 소화시간의 변화가 거의 없

으나 공급유량이 비교적 적은 노즐 B의 경우는 분무압력이 증가할 때 소화시간은 이에 비례하여 감소함을 보여준다. 이는 화염에 공급되는 분무수의 유량이 어느 이상만 되면 소화가 이루어지는 한계유량이 존재하는 것으로 해석된다.

노즐 A와 노즐 B에서 분무수가 공급될 때 화원의 지름 60mm와 180mm, 압력 5kgf/cm<sup>2</sup>와 7kgf/cm<sup>2</sup>의 경우에 대한 소화시간을 Fig. 19와 20에 비교 도시하였다. 위의 화원 120mm에서와 같이 노즐 B에 비해 노즐 A에서 소화시간이 짧게 나타나고, 화원의 크기가 커짐에 따라 소화시간은 늘어나며, 화원이 큰 d=180mm 일 때 헥산의 경우 두 노즐 모두에서 소화가 이루어지지 않았다. 화원이 커짐에 따라 화염의 크기가 커지고 연료량이 많아 분무수에 의한 화염과 연료 표면의 온도 하강 효과가 적어져서 소화가 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 분무수 분무특성에 따른 에탄올과 헥산 Pool 화염에서의 소화특성을 알아보기 위한 실험적 연구를 수행하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 액적 크기는 작지만 분무 유량이 많고 반경 방향으로 비교적 균일하게 분무가 이뤄지는 노즐 A의 경우, 화염을 화원 쪽으로 압착시켜서 화염의 온도 하강과 연료 표면의 온도 하강 효과가 증대되어 소화시간이 단축된다.
- (2) 액적 크기는 크지만 상대적으로 분무 유량이 적고 분무가 상대적으로 중앙에 집중되는 노즐 B의 경우, 화원 전체에 대한 차폐막 형성이 어렵고 따라서 연료면 위쪽의 온도도 계속 높게 유지된다.
- (3) 노즐의 분사압력이 높아짐에 따라 분무수의 운동량과 유량의 증가로 화염과 연료 표면 온도 하강 효과가 증대되어 소화시간이 줄어든다.
- (4) 헥산은 연소열과 증발열이 에탄올에 비해 크기 때문에 동일한 화원에서 발생하는 화염의 크기도 크고 따라서 동일한 노즐에서 분사되는 분무수에 의한 소화시간도 상대적으로 길다.
- (5) 화원 가장자리의 산소 농도 변화를 볼 때 유량 공급이 큰 노즐 A가 상대적으로 유량이 작은 노즐 B에 비해 분무수에 의한 산소 차단 효과



는 크지만 그 차이는 미미하다. 따라서, 본 연구에서는 개방된 공간에서 산소차폐에 의한 소화보다는 화염과 연료표면의 온도하강에 의한 소화가 분무수에 의한 주된 메카니즘임을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 고려대학교 2003년 특별 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Hong, K. P., Lee, Y. J. and Kim, S. J., 2001, "A Study of Smokeproof in Underground Culvert," *Trans. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng*, Vol. 15, No. 4, pp. 57~63.
- (2) Park, S. M., Kim, W. H. and Mawhinney, J. R., 2001, "Water Mist Suppression System on Underground Utility Tunnel," *Trans. of Korea Institute of Fire Sci. & Eng Atom*, pp. 294~300.
- (3) Kim, M. B., 2000, "A State of the Art for Water Mist Fire Protection Systems and Introduction of NFPA 750," *Journal of Korean Institute of Sci & Eng*, Vol. 1, No. 2, pp. 2~5.
- (4) Lee, K. D., 2002, "Optimization of Extinguishing Performance and Effect of Additives for Low Pressure Fine Water Mist System," Dept. of Safety Engineering Chungbuk National University Doctor Thesis.
- (5) Jang, Y. J., Kim, M. B. and Kim, J. K., 1996, "Experimental Study of Extinguishment of the Pure Diffusion Flame Using Water Spray," *Trans. of the KSME B*, Vol. 20, No. 2, pp. 624~631.
- (6) Jones, A. and Nolan, P. F., 1995, "Discussions on the Use of Fine Water Sprays or Mists for Fire Suppression," *Journal of Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 8 No. 1, pp. 17~22.
- (7) Wang Xishi, Liao Guangxuan, Qin Jun and Fan Weicheng, 2002, "Experimental Study on the Effectiveness of the Extinction of a Pool Fire with Water Mist," *Journal of Fire Science*, Vol. 20, pp. 279~295.
- (8) Jeong, J. Y., Ryou, H. S., Lee J. H. and Hong, G. B., 2002, "An Experimental Study of Smoke Movement of the Various Fire Location in Room," *Trans. of the KSME B*, Vol. 26, No. 5, pp. 703~709.
- (9) Kim, S. C., Ryou, H. S., Park, H. T. and Bang, K. Y., 2003, "Effect of Spray Angle of Water Mist Nozzle on Temperature Field of Compartment Fire," *Proc. of the KSME 2003 spring*, pp. 1703~1708.
- (10) Ndubizu, C. C., Ananth, R., Tatem, P. A. and Motevalli, V., 1998, "On Eater Mist Fire Suppression Mechanisms in a Gaseous Diffusion Flame," *Fire Safety Journal* 31, pp. 253~276.
- (11) Yao, B., Fan, W. and Liao, G., 1999, "Interaction of Water Mists with a Diffusion Flame in a Confined Space," *Fire Safety Journal* 33, pp. 129~139.
- (12) Shimizu, H., Tsuzuki, M., Yamazaki, Y. and Koichi Hayashi, A., 2001, "Experimental and Numerical Simulation on Methane Flame Quenching by Water Mist," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14, pp. 603~608.
- (13) Richard, J., Garo, J. P., Souil, J. M., Vantelon, J. P. and Knorre, V. G., 2003, "Chemical and Physical Effects of Water Vapor Addition on Diffusion Flames," *Fire Safety Journal* 38, pp. 569~587.