

미분무수 분무특성이 액체연료 Pool 화염의 소화에 미치는 영향

오상엽** · 김호영** · 정진택**

The Effects of Spray Characteristics of Water Mist on the Fire Suppression of Liquid Pool Fire

Sang Youp Oh, Ho Young Kim, Jin Taek Chung,

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 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 μ m with nozzle A and 130~190 μ 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 O₂ concentration.

Key Words : Water Mist[미분무수], Pool Fire[풀 화염], Fire Suppression[소화], Extinguish Time[소화 시간]

1. 서 론

산업사회의 발달과 각종 건축물들이 대형화, 고층화 및 밀집화 되고 건물의 기능과 용도의 다양화로 인하여 전기설비 또한 복잡화되고, 국민 소득 증가와 국민 생활수준의 향상으로 전기기구 및 각종 가전제품의 사용이 많아지는 등 전기에너지 사용이 증가하고 있으며, 그와 함께 전기화재의 발생 역시 점차 증가하고 있다. 최근에는 전력, 통신, 제어 배선들이 도시의 미관과 유지보수를 위하여 지상보다는 지하공동구를 통하여 설치되는 추세다. 그러나 이러한 지하공동구는 화재발생시 공간적 제약으로 인하여 화재진압을 위한 접근이 어렵고, 전선 피복이 연소될 때 배출되는 유독가스로서 인하여 화재에 매우 취약한 면

이 있다[1,2].

전기화재 및 유류화재에 주로 사용되던 CFC 계열의 소화약제는 환경오염물질을 내포하고 있으며, 지구 온난화 지수와 오존파괴지수가 높아 세계 각국은 1992년 몬트리올 의정서를 통하여 할론 소화설비의 단계적 철수 및 사용 중단을 결정하였다. 이에 각국은 대체 소화 약제로써 오존파괴지수가 낮은 HCF 계열의 소화 약제를 개발하고 있으나 이것 또한 환경에 악영향을 주기 때문에 2040년까지 전면 사용금지를 결의한 실정이다. 이로 인하여 환경친화적 소화설비 개발이 계속 연구 개발되고 있으며, 그 대안으로 연구되기 시작한 소화기술이 분무노즐을 이용한 미분무수(Water mist) 소화설비이다[3,4].

현재 주로 사용되고 있는 스프링클러(Sprinkler)는 액적이 매우 크기 때문에 유류화재에 부적합하고, 일반 화재시 다량의 물을 사용하기 때문에 소화 후 물에 의한 2차적 재해를 가중시킬 수 있는 가능성을 내포하고 있다[4]. 이러한 스프링클러의 단점을 보완하기 위하여 현재 미분무물이

* 고려대학교 기계공학과 대학원

† 연락처, ob76@korea.ac.kr

** 고려대학교 기계공학과

용한 소화에 대한 연구가 많이 수행되고 있다.

미분무수 소화시스템은 탄화수소계열의 화재소화에 대하여 주로 연구되고 있으며, 비교적 우수한 성능을 나타낸다. 게다가 이 시스템은 물의 사용을 최소화하기 때문에 항공기, 선박, 열차, 해양설비 등의 공간 및 중량에 제한이 있는 곳에 적용되기에 알맞은 시스템이다[5]. 최근의 연구 결과로 Bin Yao 등[6]은 제한된 공간에서 미분무수와 화염과의 상호 작용에 관하여 실험을 실시하여 미분무수 소화 능력에 많은 영향을 미치는 인자는 연료 특성과 환기 조건이라는 걸 보였다. 또한 액체 연료보다 고체 연료에서 더 효과적인 소화 능력이 있음을 보였다 Hiroshi 등[7]은 매탄 화염에 미분무수를 첨가하였을 때의 형상과 특성에 대해 실험과 수치해석을 병행하여 미분무수가 얼마나 많은 화염의 에너지를 흡수하는지, 산소를 얼마나 많이 차단시켜 화염을 질식시킬 수 있는가에 대해 연구하였다.

본 실험은 개방된 공간에서 미분무수의 분무특성에 따라 액체 Pool 화염의 소화 메커니즘 중에서 화염의 온도 하강과 산소 차폐 중 어느 것이 주 인자로 작용하는지 알아보기 위함이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험조건

Fig. 1은 실험 장치도를 개략적으로 나타내고 있다. 노즐과 화원 사이의 거리는 1.5m로 설정하였다. 화원과 바닥면 사이에는 단열재를 설치하여 열전달을 막았다. 화원은 지름이 60, 120, 180mm 원형으로 화원의 깊이는 모두 50mm로 Stainless steel을 이용하여 제작 하였다. 연료량은 화원 120mm에서 에탄올과 헥산 모두 480ml로 하였다. 그리고 화원 180에서는 1200ml, 화원 60에서는 140ml의 연료를 사용하였다. 연료의 특성은 Table 1과 같다.

물탱크에서의 공급압력은 질소가스를 이용하여 일정한 압력상태에서 미분무수를 공급하도록 하였으며 화염의 온도는 K-Type 열전대를 이용하여 DA2500E장치와 컴퓨터를 이용하여 실시간으로 측정을 하였다. 열전대는 화원 중심으로부터 수직 방향으로 7cm 간격으로 설치를 하였다. 또한 연료온도 측정을 위해 열전대를 연료 표면으로부터 5mm깊이로 설치를 하였다. 산소농도는 Horiba사의 MEXA-554JK를 이용하여 화원의 가장 바깥쪽에서 측정을 하였다. 또한 화염의 형상은 디지털 카메라를 이용하여 측정하였다. 본 실험 조건은 Table 2와 같다.

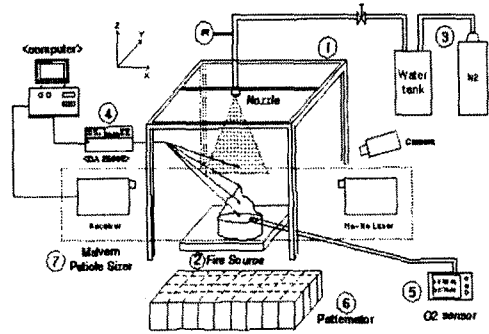


Fig. 1 Schematic Diagram of Water Mist System

Table 1 Fuel Properties

Fuel	Ethanol	Hexane
Molecular weight	46.7	86.177
Liquid Density (kg/m ³)	801	659
Boling Temperature (°C)	78.5	68.9
Ignition Point (°C)	365	225
Heat of Combustion (MJ/k)	Hight	29.7
	Low	26.9

Table 2 Experimental Parameter

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

2.2 실험 방법

먼저 화원이 120mm인 경우에 대해 노즐과 압력변화에 따라 실험을 실시하였다.

화원 60mm과 180mm의 경우에는 대표적인 압력 5, 7 kgf/cm²에서 소화 시간을 측정하였다. 화염은 순수 확산화염이며 에탄올은 점화 후 3분 동안, 헥산의 경우 2분 동안 자유 연소 후 미분무수를 분무하였다. 분무 후 3분이 지난 후에도 소화가 이루어지지 않았을 경우 소화불능으로 판단하였다. 화염의 변화가 심하기 때문에 측정값은 3회 실험 후 평균값을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 노즐의 분무특성

본 연구에서는 미분무수를 생성하기 위한 노즐로 Solid Cone Type의 저압방사 노즐을 선정하였다. 노즐A의 오리피스 직경은 1.0mm이고 압력이 3~9 kgf/cm²까지 변화할 때 유량이 958~1672 ml/min이고 노즐B의 오리피스 직경은 0.8mm이고 유량은 574~940 ml/min이다. Fig. 2는 두 노즐의 압력에 따른 유량변화를 나타내고 있다.

Malvern Particle sizer를 이용하여 미분무수의 SMD를 측정하였다. Solid Cone Type인 노즐A와 B 모두 Fig. 3과 같이 압력이 높아짐에 따라 SMD의 크기가 작아짐을 볼 수 있다. 화원중심으로 부터 1cm간격으로 측정 하였으며 노즐A의 경우 전 영역에 걸쳐 고른 분포를 보이지만 노즐B의 경우 중심부분의 SMD값은 작고 분무영역의 끝 쪽은 크게 나타난다.

Fig. 4는 화원의 중심을 기준으로 3cm 간격으로 측정한 유량분포이다. 노즐A의 경우 유량분포가 전 영역에 걸쳐 고르게 나타나고 있지만, 노즐B에서는 노즐의 중심부분에 집중되고 있다. 즉 화원에 집중적으로 유량이 공급됨을 의미하고 있다.

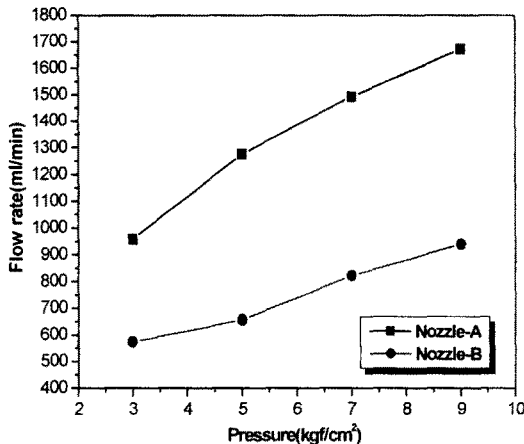


Fig. 2 The amount of Water Mist injection

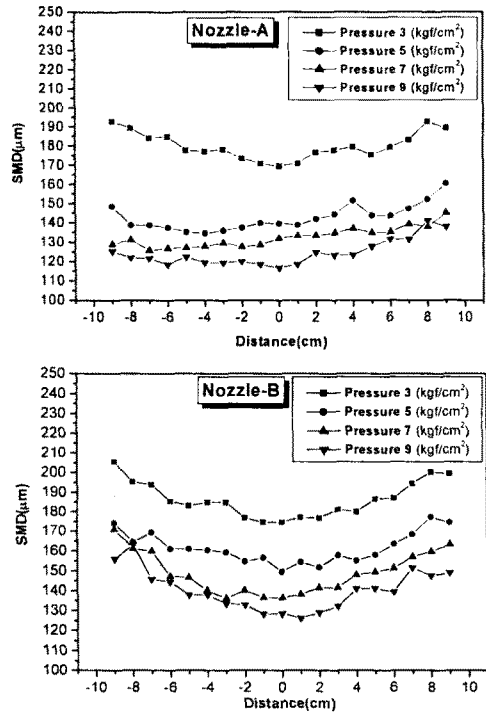


Fig. 3 SMD Distribution for different pressure for Nozzle A and B

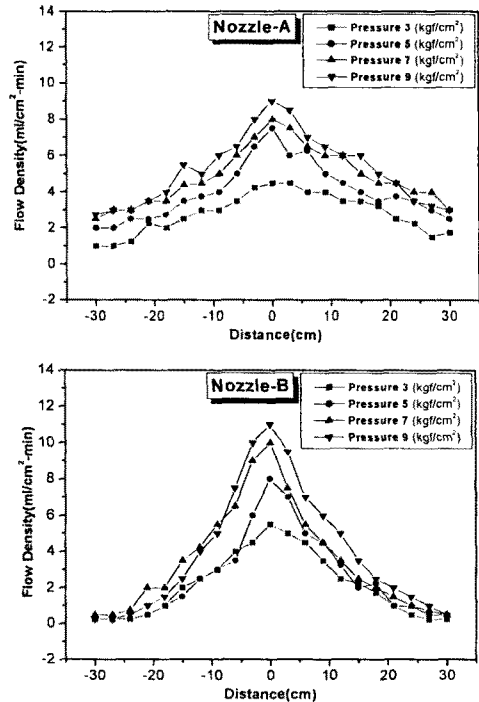


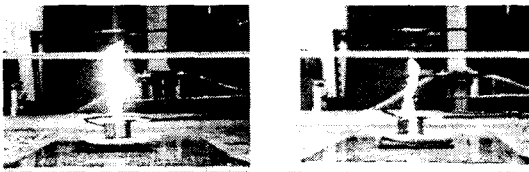
Fig. 4 Distribution of Flow Density for different pressure for Nozzle A and B

3.2 화염의 형상

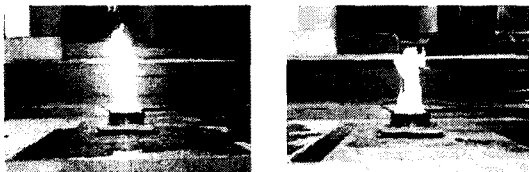
Fig. 5는 화원의 직경과 연료에 따른 화염의 형상을 나타내고 있다. 에탄올에 비해 헥산 화염의 길이가 더 크다. Table 1에서 볼 수 있듯이 헥산의 연소열이 크고 증발온도는 낮기 때문에 이러한 경향을 보인다고 할 수 있다.

3.3 소화시간

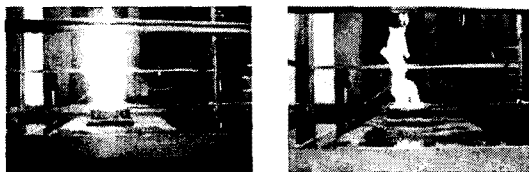
Fig. 6과 7은 노즐 변화에 따른 소화 시간을 나타내고 있다. 노즐A의 경우 노즐B에 비해 유량이 크고 유량이 고르게 분포되기 때문에 소화 시간이 짧게 나타나고 있다. 노즐A의 경우에는 압력 3 kgf/cm²일때 A와 B 둘 다 소화가 이루어지지 않았고 압력 4 kgf/cm²에서는 헥산만 소화가 이루어지지 않았다. 노즐B의 경우 압력이 5 kgf/cm²일때 까지도 헥산의 소화가 이루어지지 않았다. 헥산이 에탄올에 비해 화염의 크기와 연소열이 크고 증발온도가 낮아 소화가 쉽게 이루어지지 않는다. 화원 60mm과 180mm에서의 실험결과를 Fig. 8과 9에 도시하였다. 화원 120mm에서와 같이 노즐B에 비해 노즐A에서 소화시간이 짧게 나타나고 있다. 또한 화원이 커짐에 따라 소화에 거리는 시간이 늘어나며 헥산의 경우 각각의 노즐에서 소화가 이루어지지 않았다. 화원이 커짐에 따라 화염의 크기가 커지고 연료량이 많아 화염과 연료 표면의 온도 하강 효과가 작아져서 소화가 이루어지지 않는다.



(a) D=60mm



(b) D=120mm



(c) D=180mm

<Hexane> <Ethano>

Fig. 5 Visualization of the hexane and ethanol pool fire

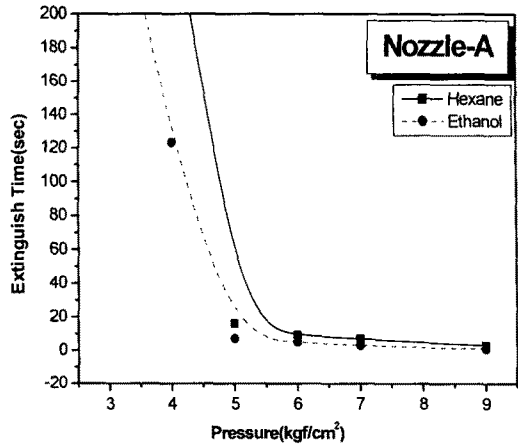


Fig. 6 Extinguish time of Nozzle-A for different pressure and fuel with d=120mm

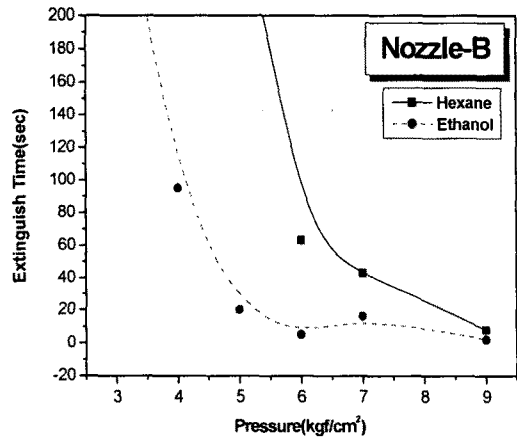


Fig. 7 Extinguish time of Nozzle-B for different pressure and fuel with d=120mm

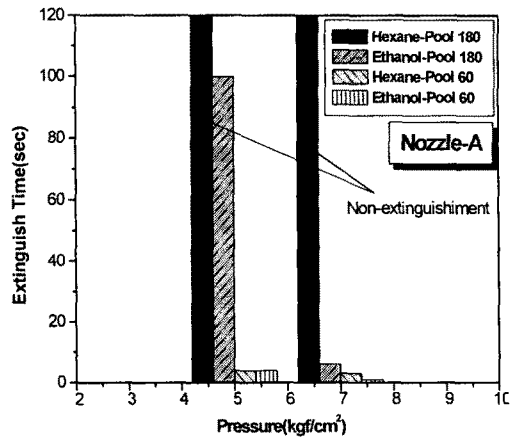


Fig. 8 Extinguish time of Nozzle-A for d=60 and 180mm

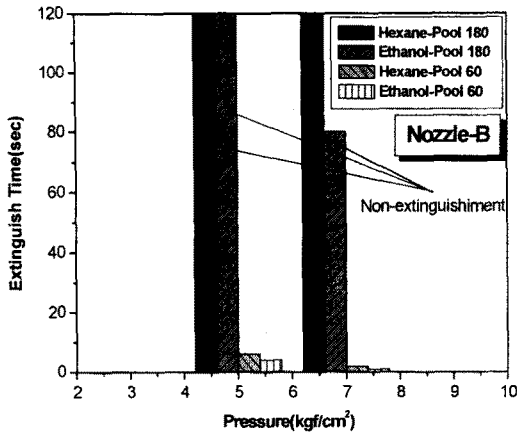


Fig. 9 Extinguish time of Nozzle-B for d=60 and 180mm

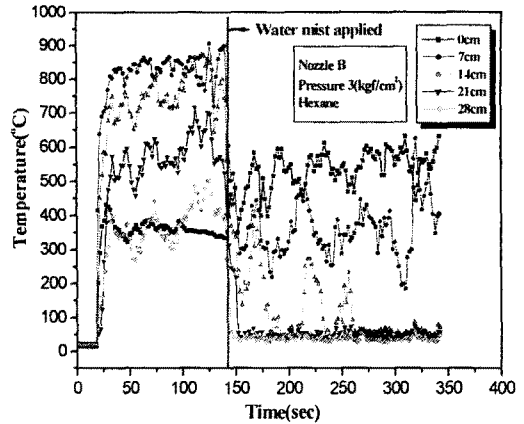


Fig. 11 Distribution of hexane flame temperature for Nozzle-B and d=120mm

3.4 노즐에 따른 화염의 온도 분포 경향

분무되는 도중 화염의 온도변화를 관찰하기 위해 화원 120mm, 압력 3 kgf/cm²에서의 온도를 분포를 Fig. 10, 11에 도시 하였다. Fig. 10은 노즐A에서 핵산의 온도분포를 나타내며 Fig. 11은 노즐 B에서 핵산의 온도를 나타내고 있다. 미분무수 분무 후 화염은 반경 방향으로 흐트러지게 되고 연료와 공기의 접촉면이 증대되어 연소를 촉진한다. 그래서 0cm의 경우 분무 후 온도가 상승 하는 것을 볼 수 있다. 또한 7cm의 경우 화염이 그 근방에서 요동을 하기 때문에 온도 변화가 심하게 나타나고 있다. 14cm부터는 화염이 형성되지 않기 때문에 낮은 온도분포를 나타내지만 노즐B의 경우 압력 3 kgf/cm²에서 미분무수의 유량과 운동량이 적어 상대적으로 화염의 부력 영향이 증대되어 미분무수의 침투가 이루어지지 않아 온도 변화가 노즐A에 비해 크다.

3.5 노즐에 따른 연료표면 온도 분포 경향

Fig. 12와 13은 화원이 120mm인 경우 각각 노즐A와 노즐B를 사용한 경우 핵산의 연료표면 온도를 나타내고 있다. 저압에서는 분무 후 연료의 온도가 계속 상승을 하지만 압력이 높아지면서 분무 후 연료표면 온도가 낮아짐을 볼 수 있다. 노즐A의 경우 압력 5 kgf/cm² 부터는 소화가 짧은 시간에 이루어지기 때문에 연료표면의 온도의 변화를 쉽게 관측하기 힘들지만 노즐B에서는 압력 5 kgf/cm²의 경우 연료표면 온도가 하강하지 못 하여 소화가 이루어지지 않고 압력 7 kgf/cm²에서는 연료표면 온도의 하강으로 소화가 됨을 볼 수 있다. 압력이 높아짐에 따라 미분무수의 운동량이 증가하며 유량 또한 증가하기 때문에 연료의 온도가 급격히 하강하여 연료의 증발을 억제함으로써 소화가 이루어진다.

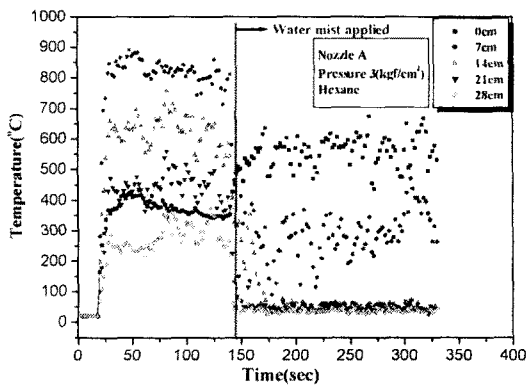


Fig. 10 Distribution of hexane flame temperature for Nozzle-A and d=120mm

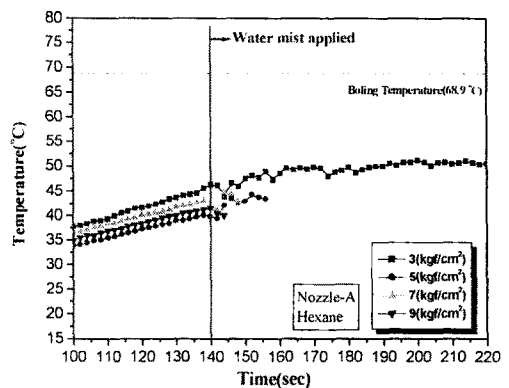


Fig. 12 Distribution of Surface temperature of Hexane for Nozzle-A and d=120mm

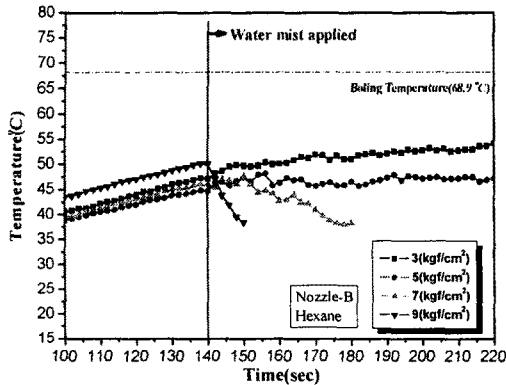


Fig. 13 Distribution of Surface temperature of Hexane at Nozzle-B and $d=120\text{mm}$

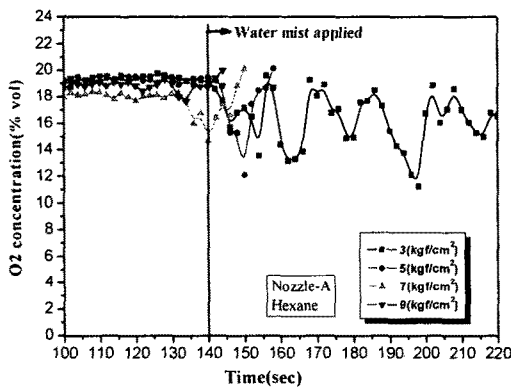


Fig. 14 Distribution of O₂ concentration of Hexane at Nozzle-A and $d=120\text{mm}$

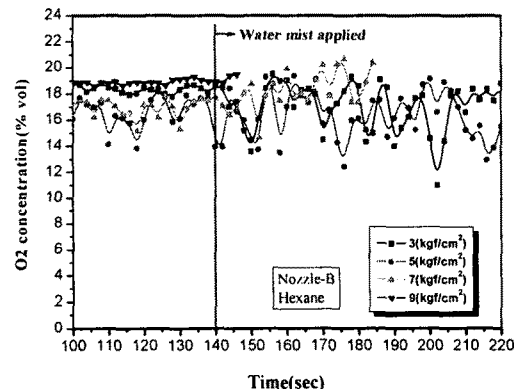


Fig. 15 Distribution of O₂ concentration of Hexane at Nozzle-B and $d=120\text{mm}$

3.6 노즐에 따른 산소농도 분포 경향

Fig.14와 15는 산소농도 변화를 나타내고 있다. 화원의 가장자리에서의 산소농도 변화를 나타내는데 자유 연소 상태에서는 산소농도가 약19~17%로 일정하지만 분무 후 화염의 불안정성과 화원 바로 위에서 화염이 형성되는 원인으로 산소농도가 많은 요동을 보이고 있다. 분무에서 소화까지 이루어질 때 산소농도는 급격한 상승을 보이며 소화의 주된 인자로 보기는 어렵다.

4. 결론

본 연구에서는 미분무수 분무특성에 따른 에탄올과 헥산 Pool 화염에서의 소화특성을 알아보기 위한 실험을 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 미분무수 액적의 크기가 작아지면 화염구역 내에서 증발하거나 그 경로가 바뀌게 되어 연료표면에 도달 하지 못하지만 압력이 높아짐에 따라 운동량과 유량증가로 인하여 화염과 연료 표면의 온도 하강에 의해 소화 시간이 짧아진다.
- (2) 노즐B의 경우 화원에 미분무수의 집중적인 유입으로 의한 소화보다 노즐A와 같이 화원 밖으로 폭넓게 분무가 이루어질 때 유입되는 공기량의 저하와 수증기 막 형성으로 소화 시간이 단축되었다.
- (3) 미분무수에 의해 유입되는 공기는 분무와 함께 화염을 화원의 반경방향으로 불어냄으로써 증발되는 연료와 공기와의 접촉면적을 증대시키는 역할을 하지만 미분무수가 연료 표면에 쉽게 도달할 수 있게 된다. 따라서 연료 표면의 온도 하강을 빠르게 하는 작용을 한다.
- (4) 소화 메카니즘 중에 개방된 공간에서 산소 차폐에 의한 소화보다는 화염과 특히 연료의 온도 하강에 의한 소화가 주된 인자임을 볼 수 있다.

후 기

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

참고문헌

- [1] 홍경표, 이영재, 김선정, "지하공동구의 연소방지설비에 관한 연구", 한국화재소방학회, 제15

권 제4호, pp. 57-63, 2001.

[2] 박승민, 김운형, J. R. Mawhinney, "공동구의 미분무 소화설비의 적용, 한국화재소방학회 추계 학술논문발표회, pp.294-300, 2001.

[3] 김명배, "미분무수 소화설비의 기술동향 및 NFPA 750의 소개", 한국화재소방학회, 제1권 제2호, pp.2-5, 2000.

[4] 이경덕, "저압식 미세물분무 시스템의 소화성능 최적화와 첨가제의 영향", 충북대학교 대학원 박사학위논문, 2002.

[5] A. Jones, P. F. Nolan, "Discussions on the Use of Fine Water Sprays or Mists for Fire Suppression", J. of Loss Prev. Process Ind. Vol.8 No.1, pp.17-22, 1995.

[6] B. Yao, W. Fan, G. Liao, "Interaction of water mists with a diffusion flame in a confined space, Fire Safety Journal 33, pp.129-139, 1999.

[7] H. Shimizu, M. Tsuzuki, Y. Yamazaki, A. Koichi Hayashi, "Experimental and numerical simulation on methane flame quenching by water mist, J. of Loss Prev. Process Ind. pp.603-608, 2001.