

[Research Paper]

2유체노즐의 액체풀 화재 소화 성능에 대한 검토

정찬석 · 이치영[†]

부경대학교 소방공학과

Examination on Liquid Pool Fire Extinguishment Performance of Twin-fluid Nozzle

Chan Seok Jeong · Chi Young Lee[†]

Department of Fire Protection Engineering, Pukyong Nat'l University

(Received August 16, 2017; Revised August 22, 2017; Accepted August 23, 2017)

요 약

본 연구에서는 2유체노즐의 액체풀 (Liquid pool) 화재 소화 성능에 대하여 선행적인 검토를 수행하였다. 액체풀 화재의 경우, 에탄올 (Ethanol) 1200 ml를 이용하였으며, 물 공급 유량은 632 ml/min, 공기의 공급 유량은 40 l/min과 70 l/min으로 설정하였다. 본 실험조건에서 2유체노즐을 이용하여 화재 소화 실험을 수행하였고, 2유체노즐의 분사 특성 (액적 크기 및 유량 분포)을 측정하였다. 실험 결과, 공기의 유량이 많은 조건에서 빠른 시간 안에 성공적으로 화재를 소화할 수 있었고, 이러한 결과에 대하여 가시화 및 2유체노즐 분사 특성 데이터를 토대로 분석하였다. 또한, 기존 연구의 일부 결과와 비교를 통하여, 2유체노즐이 단일유체노즐에 비해 더욱 작은 물의 유량 조건에서도 화재 소화를 할 수 있을 가능성이 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In the present experimental study, the liquid pool fire extinguishment performance of twin-fluid nozzle was preliminarily examined. For the liquid pool fire, the ethanol of 1200 ml (volume) was prepared, and two kinds of air flow rate conditions (40 l/min and 70 l/min) were tested at the constant water flow rate condition of 632 ml/min. In the present experimental ranges, the fire extinguishment experiments were carried out using the twin-fluid nozzle and its spray characteristics (i.e., SMD (Sauter Mean Diameter) and flow distribution) were investigated. As a result, at the higher air flow rate, the liquid pool fire was extinguished quickly and successfully, which was discussed using the visualization and spray characteristics of twin-fluid nozzle. In addition, through the comparison with some of previous results, it was found that potentially, the twin-fluid nozzle can extinguish the liquid pool fire under the smaller water flow rate condition, as compared with the single-fluid nozzle.

Keywords : Twin-fluid Nozzle, Water Mist, Liquid Pool Fire, Extinguishment Performance

1. 서 론

미분무소화설비는 환경 파괴 문제로 인해 할론 소화약제의 사용이 제한되면서 친환경적인 미분무수를 이용한 소화설비가 이를 대체할 수 있는 가능성이 있는 것으로 판단됨에 따라 해당 연구가 수행되어 왔다.⁽¹⁾ 미분무소화설비에 대한 규정은 국내 화재안전기준인 National Fire Safety Code (NFSC) 104A에 기술되어 있으며, 해당 규정에 따르면 미분무소화설비에 사용되는 미분무는 가장 낮은 설계 압력에서 헤드(Head)를 통해 방출되는 물입자 중 누적체적 분포 기준으로 99%가 400 μm 크기 이하로 분무되는 것을 의미한다.⁽²⁾ 이러한 미분무소화설비는 A, B, C급 화재에 모

두 적응성을 가지고 있고,⁽²⁾ 미분무수는 복잡한 소화효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

화재 시 미분무수의 소화효과는 대표적으로 냉각효과, 희석효과, 질식효과 등으로 보고되고 있고 이에 대해 간략하게 정리하면 다음과 같다.^(3,4) 미분무수는 물의 미립화로 인해 넓은 표면적을 갖게 되고, 물의 특성 상 증발 잠열이 크므로, 화재 시 미분무수를 방사할 경우 열전달 효과가 증대되어 화염에 의한 열을 효과적으로 흡수하고 차단할 수 있다. 또한, 미분무수가 액체에서 증기로 상변화(Phase change)하는 경우 약 1700배의 부피 팽창을 하게 되므로, 이로 인해 화염 주변의 산소 농도 및 연료로부터 생성되는 증기를 희석시킬 수 있다. 그리고 미분무수에 의해 생성되는 수증기 막은 연

[†] Corresponding Author, E-Mail: cylee@pknu.ac.kr, TEL: +82-51-629-6493, FAX: +82-51-629-7078

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

소하는데 필요한 산소 유입을 차단하여 화재를 소화하는데 기여할 수 있다. 그러나 이처럼 현재, 화재 시 미분무수의 소화효과에 대한 일반적인 설명은 가능하지만, 화재의 특성과 미분무수에 의한 화재 소화 간 세부적인 상관관계가 정량적으로 명확하게 규명되어 있지 않은 실정이다.

미분무수를 이용한 화재 소화 관련하여, 대부분 단일유체노즐(Single-fluid nozzle)을 이용하여 액적 크기, 분사 압력, 노즐 높이, 분사각, 분사 방법, 화원 위치, 첨가제 등이 화재 소화에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다.^(1,3-8) 그러나 단일유체노즐의 경우 액체의 분사 압력에 의하여 그 이외의 분사 특성(예를 들면 액적 크기 등)이 결정되어 다양한 분사 특성을 독립적으로 제어할 수 없고, 미세한 액적을 얻기 위해서는 일반적으로 높은 압력을 이용해야 한다는 단점이 있을 수 있다. 이에 대한 대안으로 2유체노즐 (Twin-fluid nozzle)을 이용한 화재 소화 적용을 고려해 볼 수 있다.

2유체노즐은 높은 속도의 기체를 노즐의 내부나 외부에서 분사 액체와 충돌시켜 기체의 운동 에너지를 이용하여 미세한 액적을 얻을 수 있는 장치이다.⁽⁹⁾ 이러한 2유체노즐을 이용하여 화재 소화에 대한 연구가 일부 수행된 바 있다.⁽¹⁰⁻¹³⁾ Gupta et al.^(10,11)은 2유체노즐을 이용하여 분사 방법, 공급 기체 종류 및 압력, 구획실 내 미분무수 분사 전 연소 시간, 화재 크기 및 위치 등이 화재 소화에 미치는 영향에 대하여 파악하였다. 국내에서는 Park et al.⁽¹²⁾이 2유체노즐을 이용하여 저압용 미분무 건(Water mist gun)의 소화 성능을 목재 화재 및 유류 화재에 적용하여 연구를 수행하였으며, Kim et al.⁽¹³⁾은 무인 자동소화시스템을 위한 2유체 미세물분무 소화노즐 개발을 위한 연구를 수행한 바 있다. 기존 연구를 살펴볼 때, 2유체노즐의 경우 단일유체노즐에 비하여 화재 소화를 위해 다양한 방법으로 운용될 수 있는 자유도가 많을 것으로 예상됨에도 불구하고, 관련 연구는 아직 미흡한 실정이다. 또한, 2유체노즐의 분사 및 화재 소화 특성은 다양한 인자(Factor)에 의해 영향 받을 수 있는데 이에 대한 기초 연구 역시 매우 부족하며, 2유체노즐과 단일유체노즐 간 소화 성능 비교 등에 대한 연구를 거의 찾아볼 수 없는 상황이다. 따라서 2유체노즐을 폭넓게 화재 소화 시스템에 적용하기 위해서는 다양한 연구가 활발하게 수행되어야 한다.

본 연구에서는 2유체노즐을 이용하여 화재 소화 성능 실험을 선행적으로 수행하였고, 화재 소화 실험조건에서의 2유체노즐의 분사 특성(예를 들면, 액적 크기, 유량 분포)을 측정하였다. 또한, 본 실험결과와 기존의 단일유체노즐을 이용한 실험결과⁽¹⁴⁾ 중 일부를 비교하여, 2유체노즐의 화재 소화 성능에 대하여 선행적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Figure 1에 본 연구에서 구축한 화재 소화를 위한 실험장치의 개략도를 나타내었다. 2유체노즐의 한쪽 입구에는 순

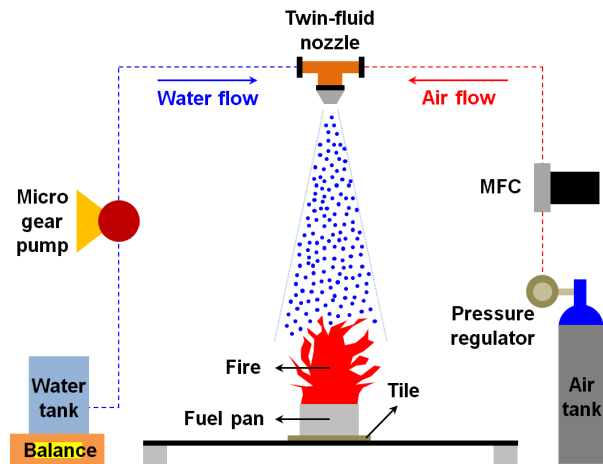


Figure 1. Experimental set-up.

수(Pure water)를 공급하였고, 다른 한쪽에는 공기를 공급하였다. 순수 공급을 위하여 물탱크(Water tank)에 마이크로 기어 펌프(Micro gear pump, Longer Pump, WT3000-1JB)를 연결하였고, 공기의 공급을 위하여 공기탱크(Air tank)에 압력 조절기(Pressure regulator)를 연결하였다. 순수 공급 유량은 초시계와 저울(AND, EK-4100I)을 이용하여 실험 시 일정 시간 동안 물탱크의 무게 감소를 측정하여 계산하였다. 한편, 공기의 공급 유량은 Mass Flow Controller (MFC, Line Tech, M3100V)를 이용하여 측정하였는데, 공기는 공기탱크와 MFC 사이에 연결된 압력 조절기를 이용하여 약 3 kgf/cm^2 의 압력으로 조절하여 MFC에 공급하였으며, MFC를 이용하여 원하는 공기 유량으로 제어하였다. 연료로는 에탄올(Ethanol)을 이용하였고, 연료팬(Fuel pan)으로 직경 160 mm, 높이 80 mm의 상용 스테인리스 스틸 팬(Stainless steel pan)을 사용하였다. 연료팬과 바닥 사이의 열전달을 막기 위하여 크기 200 mm(가로)×200 mm(세로)의 정사각형 타일(Tile)위에 연료팬을 위치시켰다. 해당 실험장치를 이용하여 크기 2410 mm(가로)×3570 mm(세로)×2450 mm(높이)의 화재실 내에서 실험을 수행하였으며, 실험 시 화재실의 문은 개방하였다.

Figure 2에 본 실험에서 이용한 2유체노즐의 개략도 및 사진을 나타내었다. 본 연구에서 이용한 2유체노즐(Spraying Systems Co.)의 경우, 안쪽에서 물이 공급되고, 둘레에서 공기가 공급되는 형태이다. 2유체노즐 사양서에 의하면 물이 분사되는 홀(Hole)의 내경은 1.524 mm(Figure 2의 ①)이고, 물의 미립화를 위하여 공기가 공급되는 환형(Figure 2의 ②)의 간격은 0.254 mm이다.

2.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 단일유체노즐 및 2유체노즐의 대략적인 화재 소화 성능 비교를 위하여, 단일유체노즐을 이용하여 연구를 수행한 Oh⁽¹⁴⁾의 연구 결과를 참고하여 실험조건 및 방법을 설정하였다. Oh⁽¹⁴⁾는 2가지 미세물분무용 단일유체노

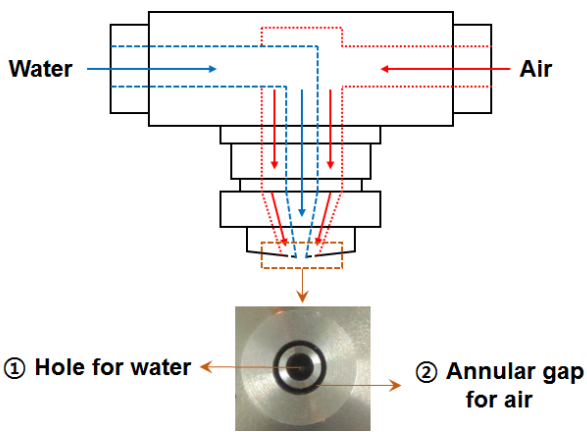


Figure 2. Schematic diagram and picture of twin-fluid nozzle.

Table 1. Summary of Present Experimental Conditions

Nozzle Type	Twin-fluid Nozzle
Water Flow Rate (Q_w)	632 ml/min
Air Flow Rate (Q_A)	40 l/min, 70 l/min
Fuel Type	Ethanol
Fuel Volume	1200 ml
Fuel Pan Diameter	160 mm
Distance Between Nozzle and Fuel Pan	1.5 m

즐 (Nozzle A, Nozzle B)을 이용하여 액체폴(Liquid pool) 화재에 대한 실험을 수행하여 실험데이터를 보고하였다. Nozzle A와 Nozzle B의 오리피스 직경(Orifice diameter)은 각각 1 mm와 0.8 mm 였다. 액체폴로는 에탄올 및 헥산(Hexane)을 이용하였으며 연료팬의 크기를 3가지(연료팬 직경 60 mm, 120 mm, 180 mm)로 설정하여 실험을 수행하였다. 각 연료팬에서 사용한 연료의 양은 각각 140 ml, 480 ml, 1200 ml 였다. 2가지 미세물분무용 노즐을 이용하여 분사 압력에 따라 분사 유량, 액적 크기, 유량 분포 등을 측정하였고, 화재 상황 하에서 화재 소화 가능 여부, 소화 시간, 온도 및 산소 농도 등을 측정하여 보고하였다. 본 연구에서는 $Oh^{(14)}$ 의 실험과 유사하게, 1200 ml의 에탄올 화재를 대상으로 하였

고, 비슷한 연료팬 크기(직경 160 mm)를 이용하였으며, 연료팬과 노즐까지의 높이를 기존 연구⁽¹⁴⁾와 동일하게 1.5 m로 적용하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 물의 공급 유량을 632 ml/min으로 설정하였으며, 2유체노즐의 경우 미분무수 생성을 위해서는 공기를 공급해야 하는 바, 공기의 유량은 40 l/min과 70 l/min으로 설정하여 화재 소화 실험을 수행하였다. Table 1에 본 연구의 실험조건을 정리하였다.

화재 소화 관련 실험방법의 경우, $Oh^{(14)}$ 의 연구결과와의 비교를 위하여 해당 연구⁽¹⁴⁾의 실험방법을 참고하여 실험을 수행하였다. 기존 연구⁽¹⁴⁾에서 언급한 바와 같이 에탄올 연료폴에 점화한 이후, 3분 간 자유연소 시켰으며, 이후 공기를 10초 간 먼저 분사한 후 물을 공급하여 미분무수를 생성, 화재 소화 실험을 수행하였다. 공기를 10초 간 먼저 분사한 이유는 공기의 유량이 원하는 값까지 도달하는데 일정 시간이 걸리기 때문이다. 가시화를 위하여 디지털 카메라(Digital camera, Canon, EOS M10)를 이용하여 동영상을 촬영하였으며, 소화가 되었는지 육안으로 확인하고, 해당 소화 시간을 초시계를 이용하여 측정하였다. 이후 15분-20분 간 배풍기(Ventilator)를 이용하여 화재실 내부를 환기시켰으며, 가열된 연료팬은 수돗물을 이용하여 충분히 세척하고 온도를 낮추었다. 화재 소화 여부 판단의 경우, 기존 연구⁽¹⁴⁾와 마찬가지로 미분무수 분사 후 3분 내 소화가 되지 않으면 소화 불능으로 판단하였다.

2유체노즐의 액적 크기(Sauter Mean Diameter; SMD)는 레이저 빔(Laser beam)의 회절(Diffraction)을 이용한 말번 타입(Malvern type)의 장비⁽¹⁵⁾를 이용하였고, 미분무수 분사 시 유량 분포 측정은 자체 제작한 채수통(Patternator)을 이용하였다. 채수통은 두께 5 mm의 아크릴판(Acrylic plate)을 이용하여 제작하였고, 하나의 셀(Cell)은 50 mm(가로)×50 mm(세로)×500 mm(높이)의 크기이며, 이러한 셀을 총 17개 수평 배열하여 구성하였다.

3. 실험결과

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 연료팬 직경 160 mm에 부피 1200 ml의 에탄올을 이용하여 화재 소화 실험을 수행하였다. 2유체노즐에 공급되는 물의 양은 632 ml/min

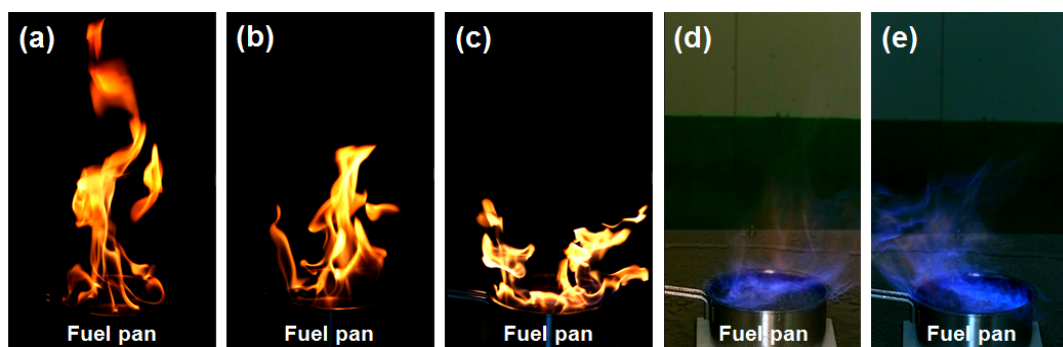


Figure 3. Sequential images of fire extinguishment test under $Q_w=632$ ml/min and $Q_A=40$ l/min.

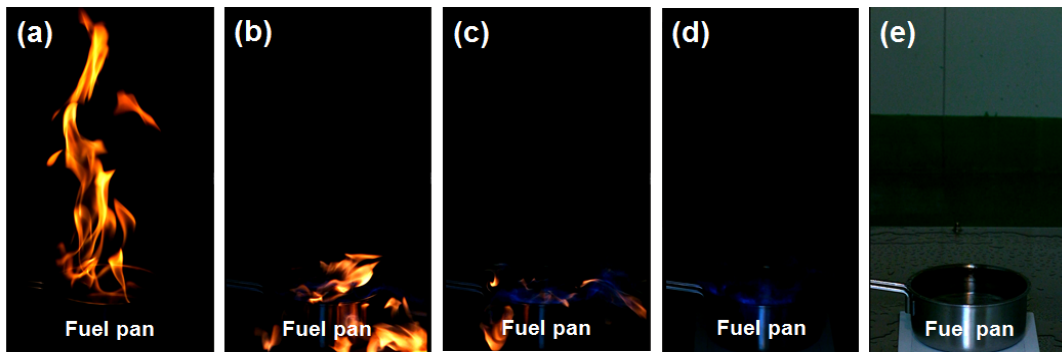


Figure 4. Sequential images of fire extinguishment test under $Q_w=632$ ml/min and $Q_A=70$ l/min.

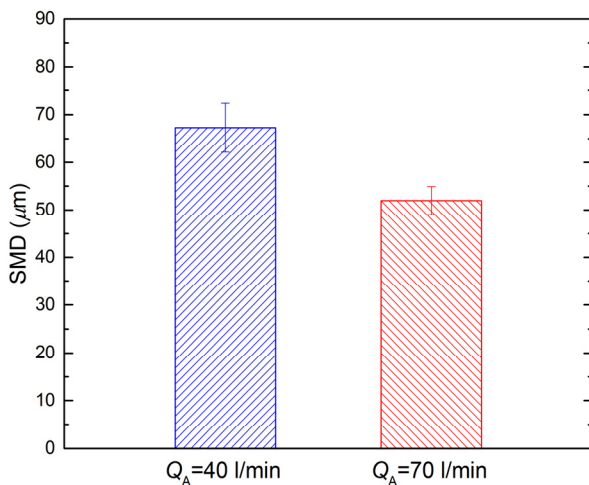


Figure 5. SMD measurement data under $Q_w=632$ ml/min.

이며, 공기의 유량이 40 l/min과 70 l/min의 경우에 대하여 2유체노즐의 소화 성능에 대한 실험을 선행적으로 수행하였다.

Figure 3에 공기의 공급 유량이 40 l/min일 때의 화재 소화 실험에 대한 가시화 사진을 나타내었다. 자유연소 기간 동안 화염은 연료면에 안정적으로 형성되었다(Figure 3(a)). 3분이 지난 이후 공기만 공급될 때(약 10초 간), 화염은 공급되는 공기의 하강 유동에 의해 불안정하게 흔들렸다(Figures 3(b) and 3(c)). 이후 2유체노즐에 의해 미분무수가 화염에 공급되면서 화염은 지속적으로 불안정하게 흔들렸지만 본 공기 공급 유량 조건에서는 3분 이내에 소화되지 않았다(Figures 3(d) and 3(e)).

Figure 4에 동일한 에탄올 화재 및 액체의 유량 조건(632 ml/min)에 대해 공기의 유량을 증가시켜(70 l/min) 화재 소화 실험을 수행하였다. 초기의 자유연소 영역에서는 Figure 3(a)의 사진과 같이 안정된 화염을 형성하였다(Figure 4(a)). 공기를 공급하는 순간 공기의 유량이 비교적 낮은 40 l/min의 경우와는 달리, 증가된 공기 유량에 의해 화염이 연료면 가까이까지 하강하여 연료팬 근처 주위에서 불안정하게 흔들리는 형상을 보였다(Figures 4(b) and 4(c)). 즉, 하강하는

공기의 유량이 많고 속도가 빨라서 화염에 의해 생성되는 상승 흐름을 하강하는 공기의 흐름이 강하게 억압하는 것처럼 보였다. 공기만 공급되는 10초 간 연료면 주위에서 화염이 불안정하게 존재하는 형상이 지속적으로 관찰되었고, 미분무수를 분사하는 순간, 화염은 빠른 속도로 작아졌으며(Figure 4(d)), 결국 급속도로 화재가 소화되었다(Figure 4(e)).

Figure 3과 Figure 4의 결과를 토대로 볼 때, 같은 물 공급 유량 조건($Q_w=632$ ml/min)인데도 불구하고 공기의 유량이 비교적 작은 조건($Q_A=40$ l/min)에서는 미분무수에 의해 화재 소화가 되지 않았으나, 공기의 유량이 비교적 큰 조건($Q_A=70$ l/min)에서는 빠른 속도로 화재가 소화된 것을 확인하였다.

미분무수에 의한 화재 소화는 미분무수의 여러 특성에 의해 영향 받을 수 있다. 본 연구에서는 화재 소화 실험을 수행한 물과 공기의 유량 조건을 중심으로 본 연구에서 이용한 2유체노즐을 적용하여 화재 소화에 영향을 미칠 수 있는 미분무수 특성(액적 크기 및 유량 분포)을 측정하였다.

Figure 5에 액적 크기(SMD) 측정데이터를 나타내었다. 동일한 액체 유량 조건에서 공기의 유량이 증가함에 따라 액적의 크기는 감소하는 경향이 관찰되었다. 공기의 유량이 40 l/min인 조건에서 SMD는 약 $67 \mu\text{m}$ 로 측정되었고 공기의 유량이 70 l/min인 조건에서 SMD는 약 $52 \mu\text{m}$ 로 측정되어, 공기의 유량 증가에 따라 약 22%의 SMD 감소가 측정되었다.

Figure 6에 화재 소화 실험의 물 및 공기 공급 유량 조건에서 측정된 미분무수 분사 시 유량 분포 측정 결과를 나타내었다. 유량 분포는 채수통을 이용하여 측정하였고, Figure 6에서 x축의 L 은 2유체노즐 설치 지점으로부터 채수통의 각 셀의 중심까지 떨어진 거리를 나타낸다. 여기서, $L=0$ 인 지점은 2유체노즐이 설치된 위치이다. y축의 H^* 는 각 유량 조건에서 측정된 최대 물기둥(Water column) 높이로 각 셀에서 측정된 물기둥의 높이를 나눈 값을 의미한다. 각 셀의 단면적은 동일하고, 모든 셀에서 동일 시간 동안 실험이 수행되었으므로, 각 셀에서의 물기둥 높이는 2유체노즐의 분사 시 유량 분포의 척도가 된다. 2가지 공기 유량 조건에서 모두, 2유체노즐이 설치된 중심부(즉, $L=0$) 지점

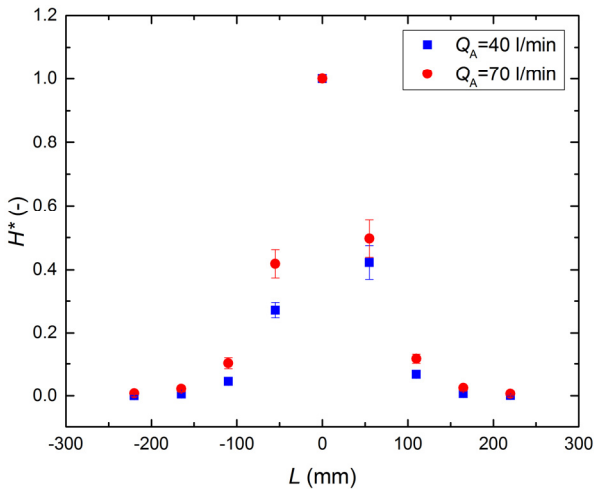


Figure 6. Flow distribution measurement data under $Q_w=632$ ml/min.

에서 최대 물기둥 높이가 측정되었으므로, $L=0$ 지점에서 H^* 는 1이고, 주변부로 갈수록 유량 분포의 척도인 H^* 의 수치가 감소하는 것을 알 수 있다. 본 실험에서 이용한 2유체노즐의 경우 노즐의 중심부에 유량이 집중되는 특성을 보였고, 공기의 유량이 작은 경우($Q_A=40$ l/min)가 큰 경우($Q_A=70$ l/min)에 비해 2유체노즐 중심부에 더욱 많은 액체 유량이 분포하는 것으로 관찰되었다.

본 실험에서 이용한 2유체노즐의 분사 특성 측정 결과를 정리하면, 동일한 물 공급 유량 조건에서, 공기의 유량이 작은 경우, 액적의 크기가 더 크고 분사되는 물이 노즐 중심부로 집중되는 경향을 보였다. 반면, 공기의 유량이 큰 경우, 액적의 크기가 더 작고, 노즐 중심부로 물이 집중되는 경향이 상대적으로 작았다. 액적의 크기가 큰 경우 액적이 화염을 관통하여 연료면까지 도달할 가능성이 증가하고, 이러한 조건에서 노즐 중심부로 물이 집중되면 화염 쪽으로 많은 물이 공급되어 화재 소화 성능이 증대될 가능성이 있다. 그럼에도 불구하고, 공기의 유량이 작은 경우에는 화재 소화에 실패한 반면, 공기의 유량이 큰 경우에는 성공적으로 화재가 소화되었다. 이러한 결과가 나타난 이유 중 하나로 다음과 같은 원인을 추측해 볼 수 있다. 화재 소화 실험 가시화 결과를 살펴보면, 공기의 유량이 작은 경우 (Figure 3), 화재에 의해 형성된 강한 상승 흐름을 2유체노즐에서 분사되는 공기의 하강 흐름이 충분히 제압하지 못하는 것처럼 보였다. 반면, 공기의 유량이 큰 경우 (Figure 4), 공급되는 공기가 화재에 의해 형성되는 상승 흐름을 강하게 억압하는 것으로 관찰되었고, 이로 인해 화염은 연료면 가까이에서 불안정한 형상으로 형성되었다. 이후 2유체노즐에 의해 생성된 미세한 크기의 많은 수의 미분무수가 빠른 공기의 흐름에 의해 용이하게 화염 및 연료면에 도달할 수 있었고, 침투한 다량의 미분무수에 의해 빠른 속도로 화재가 소화될 수 있었을 것으로 판단된다.

한편, 단일유체노즐을 이용한 $Oh^{(14)}$ 의 실험조건과 2유체

노즐을 이용한 본 실험조건이 정확하게 일치하지 않고 일부 유사하지만, 제한된 상황에서라도 두 실험결과를 비교하는 것은 의미가 있을 수 있다. 단일유체노즐을 이용한 $Oh^{(14)}$ 의 실험결과를 일부 살펴보면, Nozzle B의 5 kgf/cm^2 분사 압력 조건에서는 1200 ml의 에탄올 화재를 소화하는데 실패하였고, Nozzle A의 3 kgf/cm^2 분사 압력 조건에서는 본 실험에서 사용한 에탄올의 양보다 작은 480 ml 에탄올 화재를 소화가 불가능하였다. Nozzle B의 5 kgf/cm^2 압력 조건과 Nozzle A의 3 kgf/cm^2 압력 조건에서 물의 분사 유량은 각각 약 657 ml/min과 약 958 ml/min 인 것으로 파악된다.⁽¹⁴⁾ 이를 본 실험에서 이용한 물의 유량 조건인 632 ml/min과 비교하여 볼 때, Nozzle B의 5 kgf/cm^2 분사 압력에서의 물의 유량 조건과 유사하다고 판단되는데, 단일유체노즐인 Nozzle B의 경우, 해당 조건에서는 1200 ml 에탄올 화재에 대해 소화가 되지 않은 반면,⁽¹⁴⁾ 2유체노즐을 이용한 본 실험에서는 성공적으로 유사한 화재를 소화할 수 있었다. 더욱이 Nozzle A의 물의 유량 조건인 약 958 ml/min과 비교하여 볼 때, 기존 연구⁽¹⁴⁾의 단일유체노즐은 물의 유량이 많은데도 불구하고 본 실험에서 이용한 에탄올의 양보다 작은 480 ml 에탄올 화재의 소화에 실패하였고, 본 연구에서 사용한 2유체노즐의 경우 더욱 낮은 유량 조건임에도 불구하고 1200 ml 에탄올 화재를 소화할 수 있었다. 이러한 대략적인 비교를 통하여 볼 때, 단일유체노즐에 비해 2유체노즐의 경우 더욱 작은 물의 유량으로 소화를 할 수 있는 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 $Oh^{(14)}$ 의 실험조건과 본 실험조건 간 차이가 있으므로, 단일유체노즐 및 2유체노즐 간 정확한 비교를 위해서는 추후 더욱 다양한 비교 연구가 요구된다.

앞서 언급한 바와 같이 미분무수의 소화효과는 매우 다양하고 복잡하다. 이러한 상황에서 단순히 물의 유량 조건 및 화재 소화 가능 여부만으로 노즐의 성능 평가를 하는 것은 한계가 있을 수 있으며, 제한적인 조건 하에서 단일유체노즐 및 2유체노즐의 소화 성능을 직접적으로 비교하는 것은 무리가 있을 수 있다. 추후, 단일유체노즐 및 2유체노즐을 이용하여 미분무수와 화재 소화 성능 간 정량적인 상관관계를 파악하기 위한 활발한 연구가 이루어져야 하며, 더욱 다양한 조건에서 여러 종류의 2유체노즐을 이용한 화재 소화 성능 실험이 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 에탄올 1200 ml의 액체플 화재에 대하여 물 공급 유량은 632 ml/min, 공기의 공급 유량은 40 l/min과 70 l/min인 조건에서 2유체노즐을 이용하여 화재 소화 실험 및 분사 특성 측정에 대한 선행적인 실험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 도출된 주요 결과를 아래에 정리하였다.

- 1) 본 유량 조건에서, 공기의 유량이 작은 경우에는 화재

소화가 되지 않았으나 공기의 유량이 큰 경우, 빠른 시간 안에 성공적으로 화재 소화를 할 수 있었다. 이는 공기의 공급 유량이 많을 때, 공기가 화재에 의해 생성되는 강한 상승 흐름을 제압하고, 미세한 크기의 다량의 미분무수가 용이하게 화염 및 연료면에 도달하도록 하여 효과적으로 화재를 소화하는데 기여하기 때문으로 판단된다.

2) 본 실험에서 사용한 2유체노즐의 경우, 공기의 유량이 큰 경우가 작은 경우에 비해 SMD는 감소되는 경향을 보였고, 공기의 유량이 작은 경우가 큰 경우에 비해 2유체노즐 중심부에 액체 유량이 집중되는 것으로 측정되었다.

3) 단일유체노즐을 이용한 기존 화재 소화 실험결과⁽¹⁴⁾와의 대략적인 비교를 통하여, 단일유체노즐에 비해 2유체노즐을 이용할 경우 더욱 작은 물의 유량 조건에서도 화재를 소화할 수 있을 가능성이 있음을 확인하였다.

4) 본 연구에서는 2유체노즐을 이용하여 제한적인 조건에서 선행적인 실험을 수행하였다. 추후, 여러 종류의 2유체노즐을 이용하여 다양한 조건 하에서 분사 특성 측정 및 화재 소화 관련 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 2유체노즐을 이용한 본 실험결과와 단일유체노즐을 이용한 기존 연구⁽¹⁴⁾의 일부 결과에 대해 제한적인 조건 하에서 비교를 시도하였으나, 본 연구와 기존 연구⁽¹⁴⁾ 간 실험조건의 차이로 인해 정확한 비교에는 한계가 있다. 따라서 단일유체노즐 및 2유체노즐의 성능 간 직접적인 비교를 위해서는 추가적인 세부 연구가 요구된다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2016R1D1A1B03932585).

References

1. K. D. Lee and C. S. Shin, "Extinguishing Characteristics of Water Mist by Discharge Properties", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 41-48 (2001).
2. NFSC (National Fire Safety Code) 104A.
3. K. D. Lee and C. S. Shin, "A Study on the Extinguishing Performance of Water Mist with Additives", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 1-7 (2002).
4. L. Liu and A. K. Kim, "A Review of Water Mist Fire Suppression Systems-Fundamental Studies", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 32-50 (2000).
5. S. C. Kim, H. S. Ryou, H. T. Park, and K. Y. Bang, "Effect of Spray Angle of Water Mist Nozzle on Temperature Field of Compartment Fire", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 18, No. 2, pp. 28-33 (2003).
6. W. J. Hwang, H. J. Kim, K. H. Oh, and S. E. Lee, "Experimental Study on the Fire Extinguishing Characteristics of Water Mist System", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 78-84 (2009).
7. S. I. Kim and C. S. Shin, "Comparison of Fire Extinguishing Effects for Water Mist Additives", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 6, pp. 23-28 (2013).
8. K. D. Lee, S. W. Kim, and C. S. Shin, "Fire Extinguishing Performance by Installation Condition of Fine Water Mist Nozzle", Proceedings of 2002 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 158-163 (2002).
9. S. Y. Lee, "Atomization of Liquid", Minumsa (1996).
10. M. Gupta, R. Rajora, S. Sahai, R. Shankar, A. Ray and S. R. Kale, "Experimental Evaluation of Fire Suppression Characteristics of Twin Fluid Water Mist System", Fire Safety Journal, Vol. 54, pp. 130-142 (2012).
11. M. Gupta, A. Pasi, A. Ray and S. R. Kale, "An Experimental Study of the Effects of Water Mist Characteristics on Pool Fire Suppression", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 44, pp. 768-778 (2013).
12. J. Y. Park, S. Y. Myoung and H. S. Ryou, "Study on the Fire Extinguishing Performance of the Water Mist Gun used Twin-Fluid having a Low Pressure Nozzle", Proceedings of 2011 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 175-178 (2011).
13. B. H. Kim, H. S. Choi and D. K. Kim, "Spray Flow Characteristics of Twin-Fluid Water Mist Nozzle for Fire Suppression", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 60-66 (2011).
14. S. Y. Oh, "The Effects of Spray Characteristics of Water Mist on the Fire Suppression of Liquid Pool Fire", Master's Thesis, Korea University (2004).
15. H. S. Park, S. J. Lee, D. H. Nam, M. H. Lee and J. G. Hong, "A Design of Twin Fluid Nozzle of Urea-SCR in Marine Diesel Engine", Proceedings of Institute for Liquid Atomization and Spray Systems-Korea-Korea Annual Meeting, pp. 50-51 (2016).