

[Research Paper]

소규모 hexan 풀화재를 이용한 2유체노즐의 소화 특성에 대한 실험적 연구

정찬석 · 이치영[†]

부경대학교 소방공학과

Experimental Study on the Extinguishing Characteristics of Twin-fluid Nozzle using a Small-scale Hexane Pool Fire

Chan Seok Jeong · Chi Young Lee[†]

Dept. of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

(Received May 15, 2018; Revised June 14, 2018; Accepted June 18, 2018)

요 약

본 연구에서는 2유체노즐을 이용하여 140 ml hexan 풀화재(Pool fire)에 대한 소화 실험을 수행하였다. 해당 풀화재의 화원(직경 80 mm인 원형) 면적은 0.005027 m²이고, 열방출률은 2.81 kW로 측정되었다. 물 공급 유량은 156-483 g/min (~0.156-0.483 l/min), 기체(공기와 질소) 공급 유량은 30-70 l/min이었다. 본 실험조건에서 기체 공급 유량이 많은 경우에 성공적으로 소화가 가능하였다. 소화 가능 영역에서 기체 공급 유량이 적은 경우, 물 공급 유량이 많을 때 화재 소화 소요 시간이 길었고, 물 소모량은 많은 것으로 나타났다. 반면, 기체 공급 유량이 많은 경우, 물 공급 유량에 따른 화재 소화 소요 시간 및 물 소모량은 상대적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, 본 실험조건에서 공급 기체의 종류는 소화 가능 여부, 소화 소요 시간, 물 소모량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 측정되었다. 마지막으로 본 실험결과와 단일유체노즐을 이용한 기존 실험결과를 이용하여, 2유체노즐과 단일유체노즐의 140 ml hexan 풀화재 소화를 위한 물 소모량을 선행적으로 비교 및 검토하였다.

ABSTRACT

Experiments were performed on 140 ml hexane pool fire extinguishment using a twin-fluid nozzle. For this pool fire, the area of the fire source (round shape of 80 mm in diameter) was 0.005027 m² and the measured heat release rate was 2.81 kW. The flow rates of water and gas (air and nitrogen) supplied to the twin-fluid nozzle were 156-483 g/min (~0.156-0.483 l/min) and 30-70 l/min, respectively. In the present experimental ranges, the high gas flow rate conditions led to the successful extinguishing of the pool fire. Under the low gas flow rate conditions in the extinguishment regime, the extinguishment time was long and the estimated water consumption was high. Under high gas flow rate conditions, however, the water flow rate conditions did not appear to have a great impact on the extinguishment time and estimated water consumption. On the other hand, in the present experimental ranges, the types of supply gas did not appear to affect the extinguishable flow rate condition, extinguishment time, and estimated water consumption. Finally, using the present experimental results with previous ones using a single-fluid nozzle, the water consumption of twin-fluid and single-fluid nozzles for extinguishing a 140 ml hexane pool fire were preliminarily compared and discussed.

Keywords : Twin-fluid nozzle, Hexane pool fire, Fire extinguishment, Water mist

1. 서 론

지구온난화 및 오존층 파괴로 인해 할론(Halon) 소화약제의 사용이 제한됨에 따라 이를 대체할 소화약제로 물을 기본으로 하는 미분무에 대한 연구가 이루어져 왔다⁽¹⁾. 물은 냉각효과가 크고 독성이 없으며 값이 싸고 쉽게 구할

수 있어서 널리 사용되는 소화약제⁽²⁾로, 미분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104A)⁽³⁾에 따르면 미분무는 물을 사용하여 소화하는 방식으로 A급(일반), B급(유류), C급(전기) 화재에 적응성을 갖는 것으로 정의하고 있다. 따라서 친환경적이고 경제적인 소화약제인 물을 이용하는 미분무소화설비는 비수계소화설비가 적용되고 있는 많은 부분을 대체

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

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

할 수 있는 가능성이 있다고 판단된다.

미분무소화설비 성능을 결정하는 중요한 구성 요소 중 하나는 미분무헤드이다. 미분무가 화재 소화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기존 대부분의 연구^(1,4-10)에서는 하나의 유체(즉, 물)를 공급하여 미분무를 생성하는 단일유체노즐을 이용하였다. 그러나 단일유체노즐을 이용한 미분무소화설비의 경우 고효율을 확보하기 위해서 비교적 높은 압력에서 운용되는데⁽⁴⁾ 높은 압력으로 인한 여러 가지 문제(예를 들면 높은 시스템 구축 비용 및 유지 관리 비용)로 인해 보다 낮은 압력에서 미분무를 생성할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다⁽¹⁾.

단일유체노즐에 비해 낮은 압력 조건에서 미분무를 생성하기 위한 방법으로, 미립화를 위하여 2가지 유체(즉, 액체와 기체)를 이용하는 2유체노즐을 고려할 수 있다. 그러나 2유체노즐을 활용한 화재 소화에 대한 연구는 단일유체노즐에 비해 매우 부족한 상황이다. 2유체노즐을 이용한 화재 소화에 대한 기존 일부 연구들을 살펴보면, Gupta et al.⁽¹¹⁾은 1 m³ 크기의 공간 내 헵탄(Heptane) 풀화재(Pool fire)에 대해 2유체노즐의 미분무 분사 방법(즉, 연속 분사와 간헐적 분사), 미립화를 위한 공급 기체 종류, 화원(열방출률) 크기 및 분사 전 연소 시간이 화재 소화에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 해당 연구 그룹의 또 다른 연구⁽¹²⁾에서는 미분무 생성을 위한 질소 공급 압력 및 화원 위치 변화가 미분무에 의한 화재 소화 현상에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다. 한편, 본 연구 그룹⁽¹³⁾에서도 2유체노즐의 액체 풀화재 소화 성능에 대한 선행적인 연구를 수행한 바 있다. 액체 연료로는 1200 ml 에탄올(Ethanol)을 이용하였고, 소화 실험 시 2유체노즐에 공급된 물의 유량은 632 ml/min, 공기의 유량은 40 l/min과 70 l/min 조건이었다. 공기의 유량이 40 l/min인 경우에는 해당 화재가 소화되지 않았으나, 70 l/min인 경우에는 성공적인 소화가 가능하였으며, 이와 같은 결과에 대해 화재 소화 가시화 결과 및 2유체노즐의 분사 특성 측정결과를 이용하여 분석하였다. 또한 단일유체노즐을 이용한 기존 연구⁽¹⁴⁾의 실험 결과를 활용하여 2유체노즐과 단일유체노즐 간 소화 성능에 대하여 대략적인 검토를 시도했다. 그러나 본 연구 그룹의 기존 선행 연구⁽¹³⁾에서는 실험이 매우 제한적인 조건 하에서 이루어졌고, 따라서 2유체노즐의 화재 소화 성능을 파악하고 2유체노즐이 더욱 다양한 분야의 미분무소화설비에 적용되기 위해서는 보다 다양한 조건 하에서 많은 연구 및 실험이 수행되어야 한다. 또한, 다양한 조건 하에서 얻은 결과를 토대로 2유체노즐과 단일유체노즐 간 화재 소화 성능 관련 비교 및 검토가 요구된다.

본 연구에서는 화원(직경 80 mm인 원형) 면적이 0.005027 m², 열방출률이 2.81 kW인 140 ml 헥산 풀화재에 대해 2유체노즐을 적용하여 화재 소화 실험을 수행하였다. 액체로는 물을 이용하였고, 미분무 생성을 위하여 2유체노즐에 공급하는 기체는 공기와 질소를 이용하였다. 다양한 액체

및 기체 공급 유량 조건에서 해당 화재의 소화 가능 여부를 파악하였고, 해당 화재의 소화가 가능한 영역에서 소화 시간 및 물 소모량을 측정하였다. 본 실험데이터를 토대로 공급 유량과 공급 기체의 종류가 화재 소화에 미치는 영향에 대해 검토하였다. 또한, 단일유체노즐을 이용하여 140 ml 헥산 풀화재 소화 실험을 수행한 기존 연구⁽¹⁴⁾를 토대로 2유체노즐과 단일유체노즐 간 물 소모량을 선행적으로 비교 및 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 기존에 구축한 실험장치⁽¹³⁾를 활용하여 실험을 수행하였다. 2유체노즐은 액체와 기체가 공급되어 미분무를 생성하는 구조이므로 실험장치의 주요 구성부는 액체와 기체 공급부로 구성된다. 액체로는 물을 이용하였고, 기체로는 공기와 질소를 이용하였다. 물은 물탱크(Water tank)로부터 마이크로 기어펌프(Micro gear pump)에 의해 2유체노즐로 공급되었고, 공기는 공기 압축기로부터 Mass flow controller (MFC)에 의해 원하는 유량이 설정되어 공급되었다. 공기 압축기에 의해 MFC 입구에 공급되는 공기의 압력은 3 kgf/cm²으로 조절되었다. 공기가 아닌 질소를 사용하는 경우, 공기 압축기 대신 질소 탱크(Nitrogen tank)를 연결하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서 이용한 2유체노즐은 기존 실험⁽¹³⁾에서 이용한 것과 동일한 것으로, 물이 중심부에서 공급되고 기체가 물의 주위에서 공급된다. 물이 공급되는 홀(Hole)의 직경은 1.524 mm이고, 기체가 공급되는 갭(Gap)의 간격은 0.254 mm이다. 화원은 2유체노즐 바로 아래에 위치시켰고, 노즐과 화원 간 높이는 기존 연구^(13,14)와 동일하게 1.5 m로 설정하였다. 연료팬(Fuel pan)으로

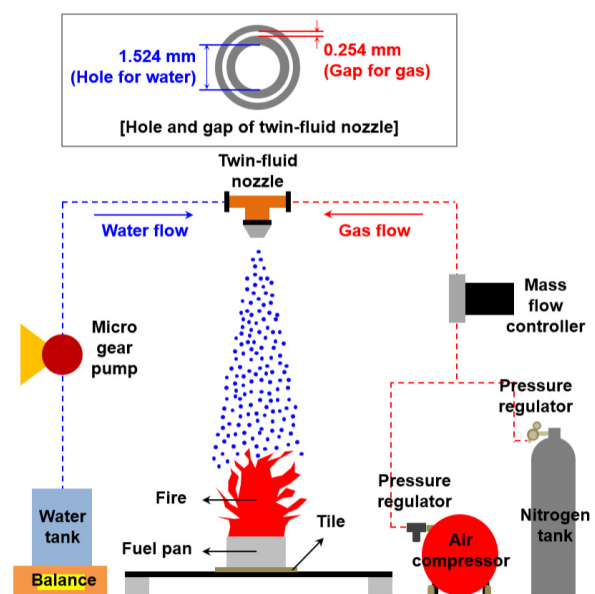


Figure 1. Experimental set-up.

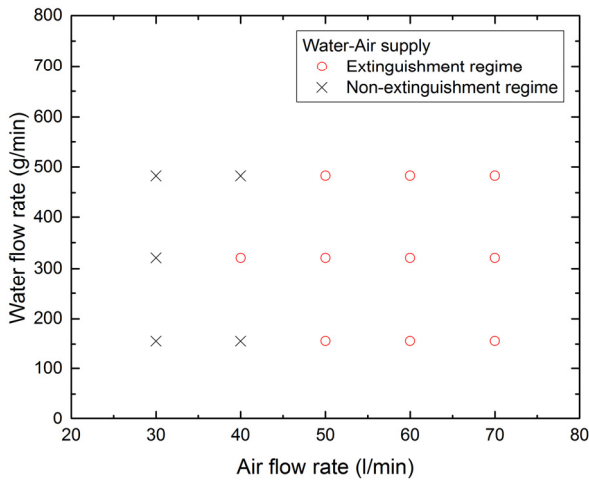


Figure 2. Extinguishment map using water and air.

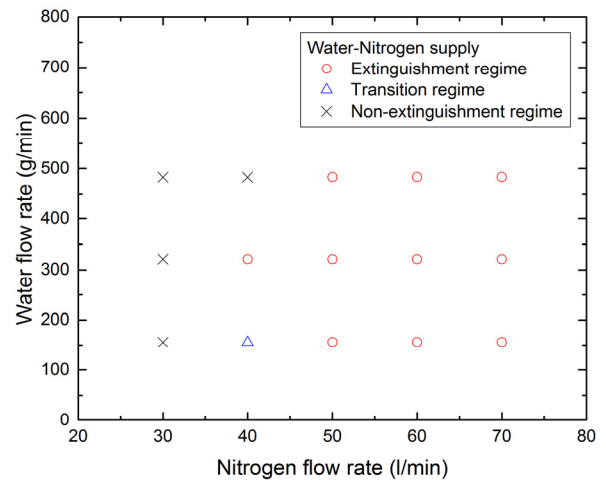


Figure 3. Extinguishment map using water and nitrogen.

직경 80 mm, 높이 45 mm의 원형 스테인리스 스틸 팬(Stainless steel pan)을 사용하였다. 직경이 80 mm인 원형 연료팬을 이용하였으므로 화원 면적은 0.005027 m²이다. 본 연구에서는 기존 연구⁽¹⁴⁾를 토대로 액체 연료로 140 ml의 핵산(Hexane)을 이용하였고, 다음과 같은 방법으로 열방출률(Heat Release Rate; HRR)을 측정하였다. 메스실린더(Graduated cylinder)를 이용하여 핵산 140 ml를 계량하고, 직경 80 mm의 연료팬에 부은 후 로드셀(Load cell) 위에 올려놓았다. 해당 연료를 자유연소 시켰고, 모두 연소하는데 걸린 시간을 초시계를 이용하여 측정하였다. 연료의 양 및 연소 시간으로부터 연소 속도를 도출하였으며, 기존 연구⁽¹⁴⁾에서 사용한 연소열(45.1 MJ/kg)을 이용하여 열방출률을 결정하였다. 총 3회의 반복 실험을 수행하였으며, 실험을 통해 해당 연료의 자유연소 시 연소 시간은 1541초, 열방출률은 2.81 kW로 측정되었다. 실험 시 디지털 카메라(Digital camera)를 활용하여 화재 소화 현상을 가시화하였고, 실험은 2410 mm × 3570 mm × 2450 mm 크기의 화재실 내에서 수행하였다.

실험은 기존 연구^(13,14)를 참고하여 수행하였다. 메스실린더를 이용하여 핵산 140 ml를 계량하고, 직경 80 mm의 연료팬에 부었다. 핵산 연료에 점화 후 2분 간 자유연소 시켰고, 미분무 분사 후 3분 내에 소화가 되면 소화 가능으로 판단하였다. 실험은 물 공급 유량이 156-483 g/min (~0.156-0.483 l/min), 기체(공기와 질소) 공급 유량이 30-70 l/min인 영역에서 수행하였다.

3. 실험결과 및 분석

Figure 2에 2유체노즐의 물과 공기 공급 유량에 따른 핵산 폴화재의 소화 가능 여부를 나타내었다. 해당 그래프를 도출하기 위하여, 다양한 물 및 공기 유량 조건에 따라 해당 화재의 소화 가능 여부를 1회 실험을 통해 선행적으로 파악하였고, 이후 소화 가능 영역(Extinguishment regime)과

소화 불가능 영역(Non-extinguishment regime)의 경계 부근 유량 조건에서 각 2회씩 추가적인 실험을 수행하였다. 즉, 소화 가능 영역과 소화 불가능 영역의 경계 부근 유량 조건에서는 총 3회 실험하였고, 그 이외의 유량 조건에 대해서는 1회 실험하였다. 본 실험조건인 모든 물 공급 유량 조건에서 비교적 공기 공급 유량이 많은 경우에 소화가 가능하였고, 적은 경우에는 소화가 불가능한 것으로 나타났다.

핵산 폴화재 소화는 2유체노즐에 공급되는 기체의 종류에 의해 영향을 받을 수 있다. 이를 확인하기 위하여 공급 기체로 질소를 이용하여 동일한 실험을 수행하였으며, 이에 대한 소화 가능 여부 결과를 Figure 3에 나타내었다. Figure 2와 동일한 방법으로 실험을 수행하였으며, Figure 3에서 천이 영역(Transition regime)은 해당 유량 조건에서 반복 실험을 했을 때, 화재가 소화 가능한 적도 있었고, 불가능한 적도 있었음을 의미한다. 예를 들면, 물 공급 유량이 156 g/min, 질소 공급 유량이 40 l/min인 조건에서는 총 3회 반복 실험에서 소화 가능성이 1회, 불가능이 2회로 나타났고, 이를 천이 영역으로 구분하였다. 한편, 동일한 물 공급 유량에서 질소 공급 유량이 50 l/min인 조건에서는 3회 반복 실험에서 모두 소화가 가능하였으므로 소화 가능 영역으로 판단하였다. 본 실험조건인 모든 물 공급 유량 조건에서 비교적 질소 공급 유량이 많은 경우에 성공적으로 소화가 이루어졌으며, 이는 공기를 이용한 Figure 2의 실험결과와 유사함을 알 수 있었다. 또한, 소화가 이루어진 질소 공급 유량 조건의 경우(Figure 3), 천이 영역을 고려할 때 소화가 이루어진 공기 공급 유량 조건(Figure 2)과 거의 동일하다는 것이 관찰되었다. 즉, 본 실험조건에서 2유체노즐의 공급 기체의 종류는 화재 소화 가능 여부에 큰 영향을 미치지 않았다.

Figure 2와 Figure 3의 소화 가능 영역에서 공급 기체가 각각 공기와 질소인 경우에 대한 소화 소요 시간 측정 결과를 Figure 4에 나타내었다. 오차막대(Error bar)가 있는 유

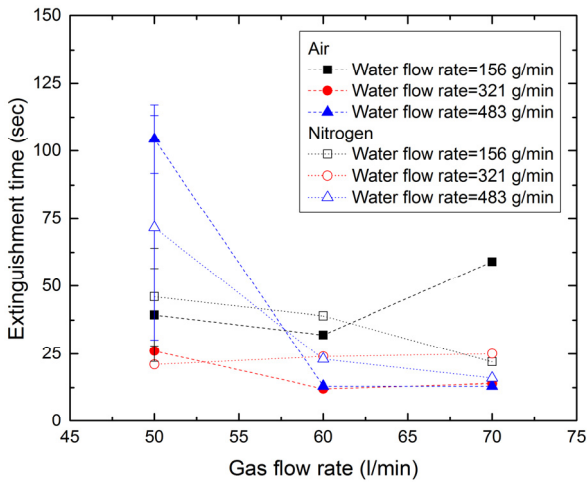


Figure 4. Extinguishment time under various water and gas flow rate conditions.

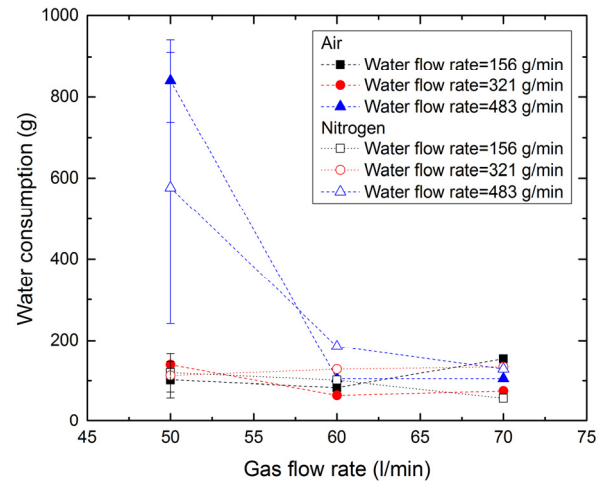


Figure 5. Estimation of water consumption under various water and gas flow rate conditions.

량 조건의 경우 3회 반복 실험의 결과이고, 그 이외의 유량 조건의 경우 1회 실험의 결과이다. 실험데이터에서 오차막대는 반복 실험을 통해 얻은 실험데이터의 표준편차를 나타낸다. 비교적 물 공급 유량이 많은 경우(예를 들면, 483 g/min), 기체 공급 유량이 많은 경우가 적은 경우에 비해 소화 소요 시간이 급격히 짧아지는 경향이 관찰된 반면, 물 공급 유량이 적은 경우, 기체 공급 유량이 소화 소요 시간에 미치는 영향이 상대적으로 크지 않은 것처럼 나타났다. 한편, 물과 공기를 이용한 경우 소화 소요 시간은 약 12초에서 약 104초로 측정되었고, 물과 질소를 이용한 경우 약 16초에서 약 72초로 측정되었다. 반복 실험을 수행한 소화 소요 시간 실험데이터의 표준편차를 고려할 때, 본 실험조건에서 공급 기체의 종류는 소화 소요 시간에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

화재 소화 시 노즐에 의해 소모되는 물의 양에 대한 정보는 해당 노즐을 실제 소화설비에 적용 가능한지 판단하는데 중요한 인자가 될 수 있다. Figure 4의 유체 공급 유량 및 소화 소요 시간 측정 결과를 토대로 Figure 5에 본 실험의 핵산 플화제를 소화하는데 소모된 물의 양을 나타내었다. Figure 4의 소화 소요 시간 결과와 유사하게, 물 공급 유량이 비교적 많은 경우(예를 들면, 483 g/min), 공기 공급 유량이 많은 경우가 적은 경우에 비해 물 소모량이 확연하게 적어지는 경향을 보였으나, 물 공급 유량이 적은 경우에는 기체 공급 유량에 따른 물 소모량이 상대적으로 크게 차이나지 않는 것으로 관찰되었다. 한편, 기체로 공기를 이용한 경우 물 소모량은 약 64 g에서 약 840 g, 질소를 이용한 경우 물 소모량은 약 57 g에서 약 577 g으로 두 기체 간 물 소모량은 크게 차이 나지 않았다.

Figures 2-5에 나타난 실험결과를 보면, 본 실험조건에서 기체의 공급 유량이 많은 경우에 핵산 플화제가 성공적으로 소화 가능하였고, 소화 가능 영역에서 기체 공급 유량이

많은 경우에 소화 소요 시간이 짧고 물 소모량이 적은 것으로 나타났다. 한편, 2유체노즐에 공급되는 기체의 종류가 소화 가능 여부, 소화 소요 시간 및 물 소모량에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

기체 공급 유량이 많은 경우에 화재 소화가 가능하고, 화재 소화 가능 영역에서 기체 공급 유량이 많은 경우에 짧은 소화 소요 시간 및 적은 물 소모량을 나타낸 이유 중 하나는 해당 조건에서 많은 미분무 생성 및 2유체노즐에서 분사되는 강력한 하강 흐름의 복합적 효과⁽¹³⁾ 때문일 가능성이 있다. 일반적으로 동일한 액체 유량 공급 조건에서 기체 공급 유량이 증가함에 따라 생성되는 액적의 크기는 감소하고^(15,16), 액적 크기 감소에 따라 생성되는 액적의 수는 증가하게 된다. 즉, 기체 공급 유량이 증가함에 따라 많은 미분무가 생성되므로 빠른 소화가 가능할 수 있다. 한편, 2유체노즐에서 분사되는 기체의 강력한 하강 흐름 역시 화재 소화에 지대한 영향을 미칠 수 있다. Figure 6에 공기 공급 유량(30 l/min, 50 l/min, 70 l/min)에 따른 화재의 가시화 결과를 나타내었다. 공기 공급 유량이 적은 경우, 화염의 높이가 비교적 높은 반면, 공기 공급 유량이 많은 경우 공기의 강력한 하강 흐름에 의해 화염이 연료팬 근처에서 형성되는, 즉, 화재 플룸(Fire plume)이 억압되는 것처럼 관찰되었다. 따라서, 기체 공급 유량이 많은 경우, 강력한 공기의 하강 흐름에 의해 화재 플룸이 강하게 억압될 수 있고, 동시에 많은 미분무들이 생성 가능하여 이것들이 강력한 공기의 하강 흐름에 실려 화염 및 연료면에 효과적으로 도달할 수 있기 때문에 해당 화재 소화가 성공적으로 빠른 시간 내에 이루어질 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 분석을 검증하기에 현재 실험데이터는 제한적이고, 또한 이러한 실험결과가 나타난 이유가 본 논문에서 언급한 원인 뿐 아니라 다른 다양한 원인에 의한 것일 수 있다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 동일한 액체 공급 유량 조건에

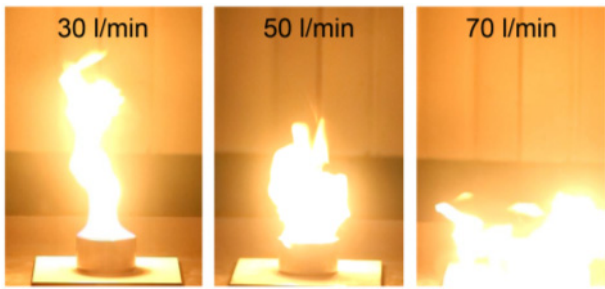


Figure 6. Visualization of hexane pool fire during discharge of air.

서 기체 유량 증가에 따라 액적 크기가 감소하여 표면적이 증가하고 액적의 수가 증가하는 것은 소화 성능 향상의 원인이 될 수 있으나 화재 소화 성능이 극대화되기 위한 최적의 액적 크기 범위가 있을 수 있다. 따라서 보다 정확한 실험결과 분석을 위해서는 추후 2유체노즐의 분사 특성(예를 들면 입경 크기, 유량 분포, 분사 속도 등) 및 화재 플룸 특성을 측정 및 파악하고, 이를 통해 분사 특성 및 화재 플룸 특성과 화재 소화 간 상관관계를 파악하기 위한 세부적인 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 2유체노즐에 공급되는 기체가 질소인 경우, 공기에 비해 질식 효과에 의한 소화 성능 향상이 기대될 수 있음에도 불구하고 본 실험조건에서는 2유체노즐에 공급되는 기체의 종류가 화재 소화 가능 여부나 소화 소요 시간, 물 소모량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 2유체노즐의 사양서에 따르면 해당 노즐의 분사각은 약 17°에서 약 19° 정도로, 생성된 미분무가 본 실험의 hexan 풀화재를 충분히 감싸기에는 부족할 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 다루고 있는 화재가 실험이 이루어진 공간(2410 mm × 3570 mm × 2450 mm 크기의 화재실)에 비해 소규모이고, 실험 시 덕트(Duct)를 통해 외부로 연결된 화재실 내 2개의 환기구(직경 200 mm)가 개방된 상태였다. 이러한 복합적인 상황을 고려하여 볼 때 본 실험의 hexan 풀화재에 질소 공급에 의해 미립화된 미분무가 분사되고 있을지라도 질식에 의한 소화 효과는 크게 기대할 수 없는 상황으로 추측된다. 따라서 2유체노즐에 공기나 질소가 공급되는 경우에 소화 성능에 큰 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 이처럼 본 실험이 제한적인 조건에서 이루어진 관계로 본 실험결과만을 가지고 공급 기체의 종류가 소화 효과에 미치는 영향을 일반화하기에는 무리가 있는 것으로 판단되며, 추후 공급 기체의 종류가 소화 성능에 미치는 영향을 파악하기 위한 추가적인 세부 연구가 필요할 것으로 판단된다.

한편, 단일유체노즐과 2유체노즐 간 화재 소화 성능을 비교하는 것은 소화설비 성능을 향상시키고 다양한 소화설비 개발 및 구축에 중요한 결과로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 화재 소화 시 물 소모량 측면에서 2유체노즐을 이용한 본 실험결과와 기존의 단일유체노즐 실험결과⁽¹⁴⁾ 간

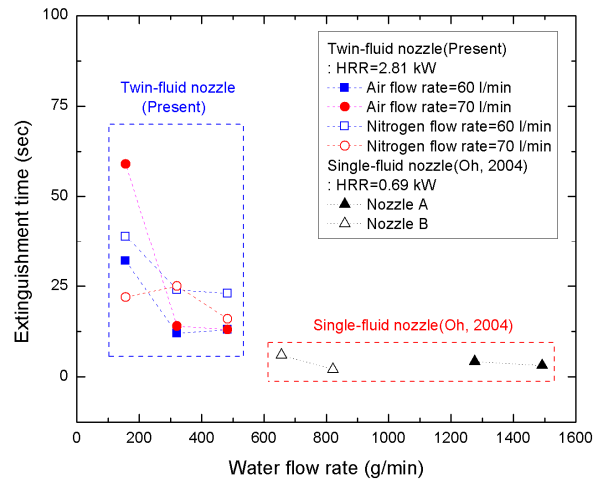


Figure 7. Comparison of extinguishment time between twin-fluid and single-fluid nozzles.

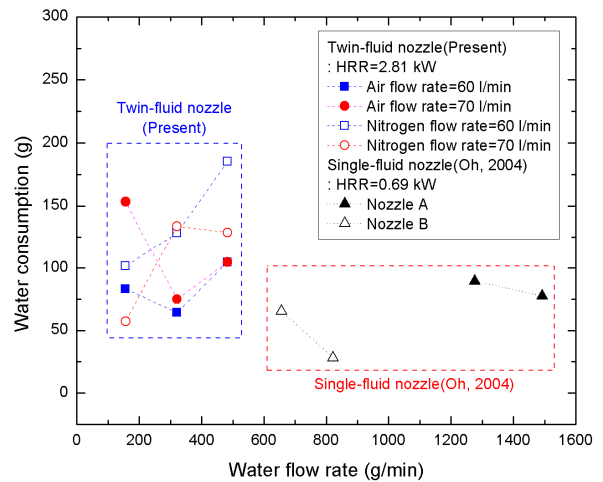


Figure 8. Comparison of estimated water consumption between twin-fluid and single-fluid nozzles.

비교를 수행하였다. Oh⁽¹⁴⁾는 단일유체노즐을 이용하여 직경 60 mm의 원형 연료팬 내 140 ml hexan 풀화재에 대한 소화 성능 실험을 수행한 바 있다. 해당 연구⁽¹⁴⁾에서는 두 종류의 단일유체노즐(Nozzle A와 Nozzle B)을 이용하였다. Nozzle A의 물 공급 유량 조건은 약 656 g/min과 약 822 g/min이었고, Nozzle B의 물 공급 유량 조건은 약 1275 g/min과 약 1492 g/min이었다. 140 ml hexan 풀화재의 열방출률은 약 0.69 kW로 측정되었다. Figure 7에 본 연구에서 사용한 2유체노즐과 기존 연구⁽¹⁴⁾에서 사용한 단일유체노즐의 물 공급 유량에 따른 소화 소요 시간을 나타내었고, Figure 8에는 물 소모량을 비교하여 나타내었다. 2유체노즐 실험데이터의 경우, 기체 공급 유량이 큰 경우(즉, 60 l/min과 70 l/min인 조건)에서 비교적 짧은 소화 소요 시간이 측정되었고, 해당 실험데이터를 이용하여 비교를 수행하였다. Figure 7과 Figure 8을 살펴보면, 본 연구의 2유체노즐이

기존 연구⁽¹⁴⁾의 단일유체노즐에 비해 적은 물 공급 유량 조건에서 실험이 이루어진 것을 알 수 있었다. 2유체노즐이 단일유체노즐에 비해 소화 소요 시간은 약간 길게 나타났으며(Figure 7), 소화가 이루어진 물 공급 유량이 적음에도 불구하고 소화 소요 시간 증가로 인해 물 소모량이 일부 영역에서 다소 많은 것처럼 나타났다(Figure 8). 그러나 이러한 결과는 본 연구와 기존 연구⁽¹⁴⁾ 간 핵산 플화재의 화원 면적과 열방출률 차이 때문일 수 있다. 본 연구와 기존 연구⁽¹⁴⁾에서 사용한 핵산의 양은 140 ml로 동일하였으나 본 연구에서의 화원(직경 80 mm인 원형) 면적은 0.005027 m², 열방출률은 2.81 kW로 기존 연구⁽¹⁴⁾에서의 화원(직경 60 mm인 원형) 면적 0.002827 m², 열방출률 0.69 kW에 비해 각각 약 1.78배, 약 4배 큰 조건이다. 이러한 화원 면적 및 열방출률 차이를 고려할 때 본 연구에서 사용한 2유체노즐이 기존 연구⁽¹⁴⁾에서 사용한 단일유체노즐보다 일부 조건에서 140 ml 핵산 플화재 소화 시 더 적은 물 소모량을 나타낼 가능성이 있음을 추측할 수 있다. 하지만, 이를 좀 더 세부적으로 정확하게 파악하고 2유체노즐을 여러 분야의 미분무소화설비에 폭넓게 적용하기 위해서는 추후 보다 다양한 조건 및 측면에서 2유체노즐과 단일유체노즐 간 비교 및 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2유체노즐을 이용하여 화원(직경 80 mm인 원형) 면적은 0.005027 m², 열방출률은 2.81 kW인 140 ml 핵산 플화재에 대한 소화 실험을 수행하였다. 물 공급 유량은 156-483 g/min (~0.156-0.483 l/min), 공기 또는 질소 공급 유량은 30-70 l/min인 영역이었고, 실험을 통하여 소화 가능 여부, 소화 소요 시간, 물 소모량 등을 측정 및 검토하였다.

본 실험조건에서 모든 물 공급 유량 조건에 대해 기체 공급 유량이 적은 경우에는 소화가 이루어지지 않았으나 기체 공급 유량이 많은 경우에는 성공적으로 소화가 가능하였다. 소화 가능 영역에서 비교적 물 공급 유량이 많은 경우, 기체 공급 유량이 많은 경우가 적은 경우에 비해 소화 소요 시간이 짧아지고 물 소모량은 적어지는 경향이 관찰된 반면, 물 공급 유량이 비교적 적은 경우, 기체 공급 유량에 따른 화재 소요 시간 및 물 소모량이 상대적으로 크게 차이나지 않는 것으로 관찰되었다. 한편, 본 실험조건에서 공급 기체의 종류(공기와 질소)는 소화 가능 여부, 소화 소요 시간, 물 소모량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 본 실험이 질소 공급에 의한 질식 소화 효과를 기대하기 어려운 제한적인 조건에서 수행되었기 때문으로 판단되며, 추후 공급 기체의 종류가 소화 성능에 미치는 영향을 일반화하기 위해서는 추가적인 세부 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1B03932585). 이 논문은 2018년도 한국화재소방학회 춘계학술대회(2018년 4월 26일-27일, 대구 EXCO)에서 발표한 내용(Paper No: D-10)을 보완 및 발전시켜 작성한 논문임.

References

1. K. D. Lee and C. S. Shin, "Extinguishing Characteristics of Water Mist by Discharge Properties", Transaction of Korean Institute Fire Science & Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 41-48 (2001).
2. W. C. Park, "The Latest Fire Suppression System", DongHwa Technology Publishing Co., Republic of Korea (2014).
3. NFSC 104A, "National Fire Safety Code on Water Mist Fire Protection Systems" (2017).
4. C. Shin, G. Jeon and K. Kim, "Extinguishing of Oil Fire by Water Mist Suppression System Using Compressed Inert Gas", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 25, No. 6, pp. 109-114 (2010).
5. K. D. Lee, S. W. Kim and C. S. Shin, "Fire Extinguishing Performance by Installation Condition of Fine Water Mist Nozzle", Proceedings of 2002 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 158-163 (2002).
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 Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 78-84 (2009).
7. P. Joseph, E. Nichols and V. Novozhilov, "A Comparative Study of the Effects of Chemical Additives on the Suppression Efficiency of Water Mist", Fire Safety Journal, Vol. 58, pp. 221-225 (2013).
8. T. Zhang, Z. Han, Z. Du, K. Liu and Z. Zhang, "Cooling Characteristics of Cooking Oil Using Water Mist During Fire Extinguishment", Applied Thermal Engineering, Vol. 107, pp. 863-869 (2016).
9. A. Jenft, A. Collin, P. Boulet, G. Pianet, A. Breton and A. Muller, "Experimental and Numerical Study of Pool Fire Suppression Using Water Mist", Fire Safety Journal, Vol. 67, pp. 1-12 (2014).
10. T. Liang, M. Liu, Z. Liu, W. Zhong, X. Xiao and S. Lo, "A Study of the Probability Distribution of Pool Fire Extinguishing Times Using Water Mist", Process Safety and Environmental Protection, Vol. 93, pp. 240-248 (2015).
11. 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).
12. 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).
13. C. S. Jeong and C. Y. Lee, "Examination on Liquid Pool Fire Extinguishment Performance of Twin-fluid Nozzle", *Fire Science and Engineering*, Vol. 31, No. 4, pp. 59-64 (2017).
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. G. Grant, J. Brenton and D. Drysdale, "Fire Suppression by Water Sprays", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 26, pp. 79-130 (2000).
16. H. K. Kwon, C. Y. Lee and S. Y. Lee, "Examination of 2-Fluid Nozzle and 3-Fluid Nozzle for Fuel Reformer of 5 kW SOFC System", *Journal of ILASS-Korea*, Vol. 13, pp. 16-21 (2008).