

A-03

헵탄 pool fire 소화에서 아세트산 칼륨의 효과

박재만, 신창섭
충북대학교 안전공학과

Effects of Potassium Acetate on *n*-heptane Pool Fire Extinguishment

Jaeman Park, Changsub Shin

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

1. 서 론

할론 1301은 탁월한 소화성능에도 불구하고 지구의 오존층을 파괴하는 환경문제 때문에 몬트리올 의정서에 의거 사용을 금지하고 있는 물질이며 이에 따라 대체 소화약제의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이다.

최근에 미분무수는 할론계 물질을 사용하는 가스계 소화설비의 대체로써 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 미분무수 시스템의 주요 소화 메커니즘은 냉각, 산소치환, 복사열 차폐 등과 더불어 증기/공기 혼합 및 역학적(kinetic) 효과로 알려져 있다.

일련의 연구자들의 보고서에 의하면, 미분무수로 인해 연소를 억제하는 반응이 존재한다는 것이 입증되었으며, 금속염 등의 첨가제에 의해서 이러한 화학적 소화효과는 향상될 수 있다^{1,2)}.

본 연구에서는 소화성능을 향상시킬 수 있는 첨가제로 아세트산 칼륨을 물에 소량 첨가하여 헵탄 pool fire에 대한 소화실험을 실시하였고, 이때 화염의 온도, O₂(Oxygen) 농도 및 CO(Carbon Monoxide) 농도를 측정하여 미분무수 소화특성을 분석하였으며, 금속염의 소화성능 비교를 위해 아세트산 나트륨을 선택하여 동일한 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

소화실험은 스테인리스강 재질의 환기가 원활한 연소실 (0.75 m × 0.75 m × 1.3 m)에서 수행되었다. 연소실의 전면은 소화현상을 관찰할 수 있도록 강화유리로 제작하였으며, 좌우 하부에 개구부(0.5 m × 0.1 m)를 설치하여 0.58 m/s의 유량으로 상온의 주변공기가 유입될 수 있도록 하였다.

연료팬(0.15 m × 0.15 m × 0.05 m)은 연소실 바닥의 중앙에 위치하였고, 화염의 온도 측정을 위해 연료팬 상부 5 cm 높이에 K-type 열전대를 설치하였으며 A/D 컨버터를 통해서 PC로 1초마다 화염의 온도가 저장되었다. 연소실의 덕트 부위에 프로브를 삽입하여 연소

가스 분석기(KM-9106)로 배기가스 중의 O₂와 CO의 농도를 측정하였다. 점화 후 180 sec 후에 미분무수를 방출하였으며 각각의 소화실험은 3 내지 4회의 반복실험을 통해서 평균적인 소화시간 및 화염온도, 가스농도를 얻을 수 있도록 하였다.

미분무수가 방수되지 않는 조건에서 자유연소를 통한 300 ml 헵탄 pool fire의 연소속도를 측정하였고, 이를 통해 평균연소속도(mean burning rate, kg/m²s)와 열방출률(heat release rate, kW)을 계산하였다³⁾.

실험에 사용된 중공 원추형 와류 미분무수 노즐은 바닥으로부터 1.1 m 높이에 설치하였다. 플런저 펌프를 사용하여 1.2, 2, 4 MPa의 가압수를 생성하였고 노즐 상부에 압력계를 설치하여 정확한 방수압력을 측정할 수 있도록 하였다. 액적 크기 분포는 광산란 기법을 이용한 Malvern 입자 측정 장치(Mastersizer S)로 노즐로부터 하방 1 m 높이에서 방수압력 2, 4 MPa에서 측정하였다.

첨가제에 의한 소화효율을 분석하기 위해서 아세트산 칼륨과 아세트산 나트륨을 각각 중량비율 10%로 수돗물에 용해하여 첨가제를 넣지 않았을 경우의 소화특성과 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 노즐 특성

Malvern 입자 측정 장치를 이용하여 노즐로부터 1 m 떨어진 지점에서 측정한 체적 중간값 직경(volume median diameter, D_{v0.5})은 방수압력 2 MPa에서 96 μm, 4 MPa에서는 91 μm이었으며, 분무각은 55°를 나타냈다. 또한 실험상의 작동압력 1.2, 2, 4 MPa에서의 유량은 각각 0.42, 0.54, 0.72 l/min이었다. Fig. 1과 2에는 방수압력 2 MPa과 4 MPa에서의 누적 체적 분을 나타내었다.

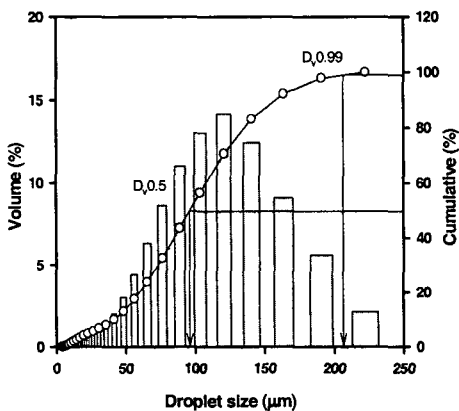


Fig. 1. Cumulative volume distributions of the measured droplet size at a pressure of 2 MPa.

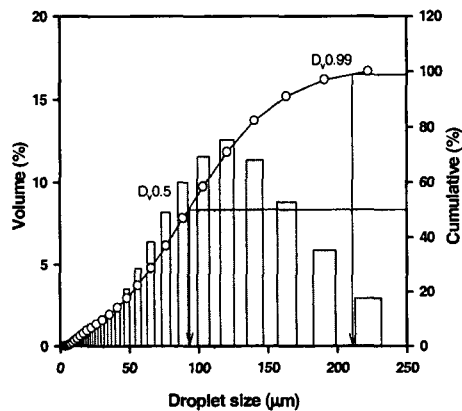


Fig. 2. Cumulative volume distributions of the measured droplet size at a pressure of 4 MPa.

3.2 소화 특성

미분무수가 방수되지 않는 조건에서 자유연소를 통한 헵탄 pool fire의 연소속도를 측정 한 결과, 평균연소속도는 $0.025 \text{ kg/m}^2\text{s}$, 열방출률은 25.09 kW 이었다. 300 ml의 헵탄을 자유 연소 시킬 경우 평균적으로 380 sec(6'20")동안 연소가 이루어졌다. Table 1에는 각 경우에 있어서의 화염이 소화 혹은 소멸되는 시간을 나타내었다.

Table 1. Fire out times of n-heptane pool fire.

		1.2 MPa (Low)	2 MPa (Intermediate)	4 MPa (High)
Tap water	1st	7'29"81	6'33"85	3'44"08 ^{a)}
	2nd	7'29"80	6'04"66	3'10"52 ^{a)}
	3rd	7'01"54	6'11"19	3'31"29 ^{a)}
	4th	.	.	3'09"70 ^{a)}
10 wt.% Na-acetate	1st	7'16"71	6'25"34	3'12"22 ^{a)}
	2nd	7'14"06	6'20"41	3'04"87 ^{a)}
	3rd	7'20"43	6'30"72	3'07"36 ^{a)}
	4th	.	.	.
10 wt.% K-acetate	1st	7'37"69	3'18"22 ^{a)}	3'20"84 ^{a)}
	2nd	7'48"84	3'57"29 ^{a)}	3'04"42 ^{a)}
	3rd	7'43"90	4'52"81 ^{a)}	3'07"45 ^{a)}
	4th	.	4'35"11 ^{a)}	3'08"74 ^{a)}

a) fire extinguished

첨가제를 넣지 않은 일반 수돗물의 경우는 고압(4 MPa)에서만 화염이 소화되었고, 저압(1.2 MPa)에서는 자유연소시 보다 더 오랫동안 연소가 지속되었으며, 중압(2 MPa)에서는 자유 연소시와 비슷한 화염소멸 시간을 나타내었다.

노즐로부터 방수되는 물 액적의 운동량(momentum)이 화염의 플럼을 뚫을 만큼 충분치 못한 경우, 액적은 화염 주변으로 빙겨나가 화염을 감싸게 되고 이로 인해 열방출률과 연소율은 줄어들게 된다. 따라서 본 실험에서 저압의 경우 헵탄의 총 연소시간은 늘어나게 되었다^{4,5)}. 이러한 현상은 첨가제를 넣었을 경우 더욱 뚜렷이 나타나는데 칼륨에 의한 부 촉매 효과 및 단일 액적의 평균증발속도 감소로 인해서 연소가 더욱 지연되었기 때문이다.

물 액적이 화염의 플럼을 뚫고 화염의 심부까지 도달한 경우, 연소반응은 순간적으로 격렬하게 진행되어 화염이 확대되는 flare-up 현상이 발생한다. Flare-up 현상은 연료표면에서의 물 액적의 충돌 혹은 미분무수와 함께 유입되는 공기에 의해서 발생하는데, 많은 경우 화염의 순간적인 소화가 이루어지기도 하지만 그렇지 않다면 화염은 격렬하게 지속된다. Fig. 3에서 중압의 경우 소화는 되지 않으면서 연소시간이 저압, 자유연소시 보다 더 짧아진 것은 이상과 같은 이유에서이다.

Fig. 4에서 증압의 경우 첨가제를 넣었을 때, 화염이 소화된 것은 동일 압력에서 입자의 속도가 일정하다고 가정할 경우, 첨가제를 함유한 단일 액적은 증량 증가에 따른 운동량 증가로 더욱 화염의 심부, 즉 화학 반응과 공기 유입에 의해서 화염이 지속되는 영역(persistent zone)-연료표면까지 도달할 수 있다⁶⁾. 이곳에서 액적이 증발과정을 거치며 결정화 이루어지고 연소의 연쇄반응을 이끄는 H와 OH 라디칼의 포착제로 작용함으로써 연쇄반응의 연결고리가 끊어지게 된다. 이와 같은 이유로 인해서 소화가 이루어진다고 판단할 수 있다.

고압의 경우는 위에서 설명한 소화 메커니즘 이외에도 blowing(연료표면의 유증기를 날려버리는 것) 효과에 의해서 화염이 소화되는 것을 관찰할 수 있었다⁷⁾.

또한 알칼리 금속의 소화성능은 원자량 증가에 따라서 향상된다고 알려져 있다. 즉 소화성능은 $Li < Na < K < Rb$ 의 순으로 증가한다⁸⁾.

본 실험에서 측정된 O₂의 농도는 화염부근이 아닌 덕트에서 측정된 것이기 때문에 Fig. 5, 6의 결과로 질식효과의 유무를 판단하기는 어렵다. 단지 첨가제를 넣었을 경우 O₂ 농도가 적게 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 유입되는 공기량이 충분한 조건에서 화염의 크기가 작아짐으로써 상대적으로 연소반응으로 소모되는 O₂의 양이 적어지기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 7, 8에는 CO의 농도변화를 나타내었는데, 첨가제를 넣은 경우 불완전 연소로 인해서 CO의 발생량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다.

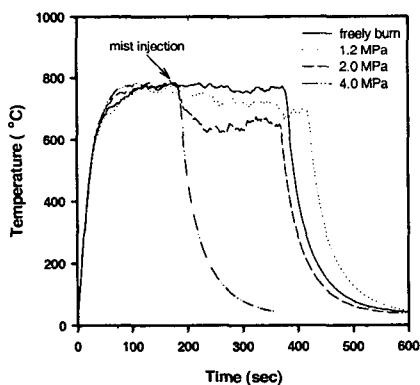


Fig. 3. Flame temperature variation of n-heptane pool fire under water mist application.

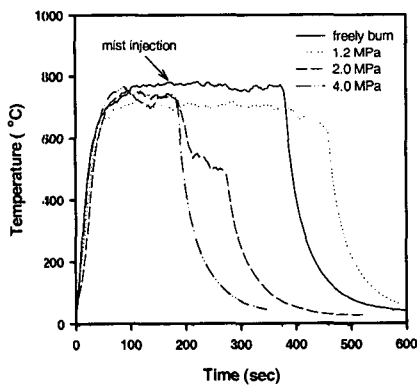


Fig. 4. Flame temperature variation of n-heptane pool fire under water mist application containing additives.

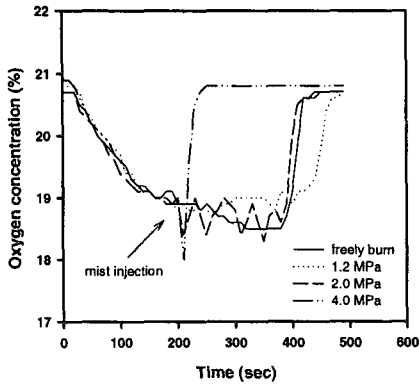


Fig. 5. Oxygen concentration in the n-heptane pool fire under water mist application.

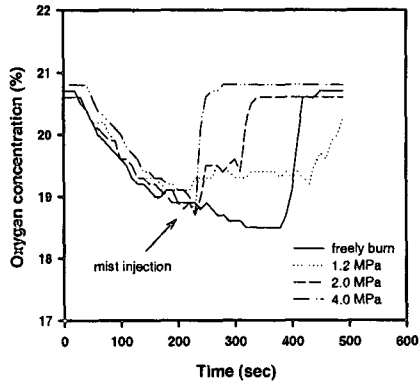


Fig. 6. Oxygen concentration in the n-heptane pool fire under water mist application containing additives.

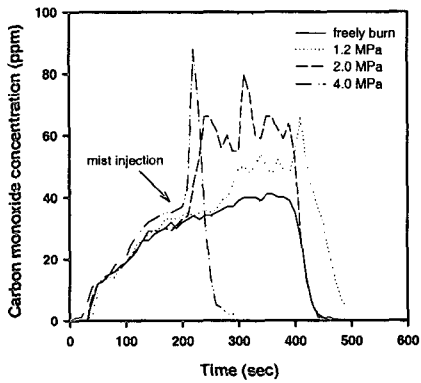


Fig. 7. Carbon monoxide concentration in the n-heptane pool fire under water mist application.

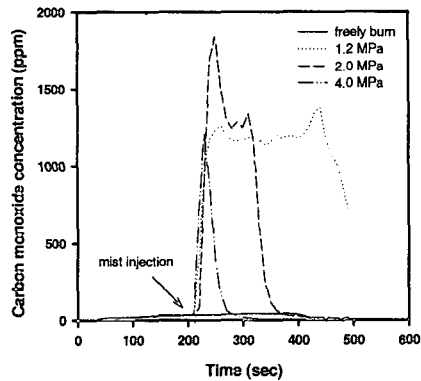


Fig. 8. Carbon monoxide concentration in the n-heptane pool fire under water mist application containing additives.

4. 결론

본 연구에서는 소화성능을 향상시킬 수 있는 첨가제로 아세트산 칼륨과 아세트산 나트륨을 각각 물에 중량비로 10% 첨가하여 헵탄 pool fire에 대한 소화실험을 수행하여, 화염의 온도 및 O₂ 농도, CO 농도를 측정하여 첨가제를 넣지 않았을 경우의 미분무수 소화 특성과 비교하였다.

저압(1.2 MPa)에서는 물 액적이 화염의 플럼을 뚫지 못하기 때문에 소화는 이루어지지 않았고, 단순히 화염의 크기를 작아지게 하였다. 중압(2 MPa)에서는 첨가제를 넣었을 경우 액

적의 운동량 증가에 따른 물리적 소화효과와 첨가제의 화학적 소화효과가 상승작용을 하여 화염을 소화시켰다. 고압(4 MPa)에서는 미분무수 시스템의 주요 소화 메커니즘 이외에도 blowing 효과에 의해서 화염이 소화되는 것을 관찰할 수 있었다. 첨가제의 성능은 나트륨 염 보다는 칼륨염이 소화 성능 면에서는 우수하였다.

본 실험조건에서는 산소치환에 의한 질식효과를 증명할 수 없었다. 또한 첨가제에 의한 불완전연소로 연소실내의 CO 농도가 급격히 증가하기 때문에 밀폐된 공간에서 사용되는 미분무수 소화시스템을 설계할 경우 역효과를 고려하여야 한다.

참고문헌

- 1) B.A. Williams, J.W. Fleming, "Suppression mechanisms of alkali metal compounds", Halon Options Technical Working Conference, pp.157-169 (1999).
- 2) M.D. King, J.C. Yang, W.S. Chien, W.L. Grosshandler, "Evaporation of a small water droplet containing an additive", Proc. of the ASME National Heat Transfer Conference, Baltimore(1997).
- 3) M.B. Kim, Y.J. Jang, M.O. Yoon, "Extinction limit of a pool fire with a water mist", Fire Safety Journal, Vol. 28, pp.295-306(1997).
- 4) B. Downie, C. Polymeropoulos, G. Gogos, "Interaction of a water mist with a buoyant methane diffusion flame", Fire Safety Journal, Vol. 24, pp.359-381 (1995).
- 5) B. Yao, W. Fan, G. Liao, "Interaction of water mists with a diffusion flame in a confined space", Fire Safety Journal, Vol. 33, pp.129-139(1999).
- 6) J. Richard, J. P. Garo, J. M. Souil, J. P Vantelon, V. G. Knorre, "Chemical and physical effects of water vapor addition on diffusion flames", Fire Safety Journal, Vol. 38, pp.569-587(2003).
- 7) A.K. Kim, "Improvement of water mist performance with foam additives", Proceedings of Fire Suppression and Detection Research Application Symposium, pp.439-447(2001).
- 8) R. E. Tapscott, J. D. Mather, "Thermodynamics of metal agent fire extinguishment", Halon Options Technical Working Conference, pp.1-7 (2002).