미세물분무의 소화성능 개선을 위한 증점제(잔탄검)의 영향

The Effect of Viscosity Agent(Xanthan Gum) for Improving Extinguishing Performance of Water Mist

김승일* · 신창섭**

Kim, Seungil · Shin, Changsub

Abstract

Water is an economical extinguishing agent and has a variety of extinguishing effect. Since water does not adhere to the fire surface due to low viscosity, which causes to reduce extinguishing effect, secondary damage to unburned materials and loss of water. In this study, xanthan gum as a viscosity agent added to water and using water mist nozzle xanthan gum solution applied to wood crib fire and heptane fire to improve extinguishing performance. The results show that in case of wood crib fire in 0.2 MPa, flame suppression time and fire extinguishing time of xanthan gum 0.2% solution are 7.9 times, 2.9 times shorter than pure water, respectively. In heptane fire, fire extinguishing time of xanthan gum 0.025% solution is 5.2 times shorter than pure water in 0.2MPa, but extinguishing is failed after concentration of xanthan gum increase. Also, it is identified that water consumption decrease with extinguishing time and extinguishing performance of xanthan gum on wood crib fire and heptane fire improved according to increase of discharge pressure.

Key words : Viscosity agent, Xanthan gum, Extinguishing time, Extinguishing performance

요 지

물은 다양한 소화효과를 지니고 있는 경제성 있는 소화약제임에도 점성이 상대적으로 낮아 방사시 화재표면에 점착하지 못함으로 인한 소화효과의 감소 및 손실되는 물, 물로 인한 2차 피해의 단점도 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 증점제인 잔탄검을 첨가하였으며 이를 미세물분무 노즐을 사용하여 목재화재 및 헵탄화재에 적용시켜 소화성능을 개선해 보고자 하였다. 실험결과 목재화재에 적용시킨 경우에는 0.2 MPa의 방사압에서 잔탄검 수용액 농도 0.2%가 순수 물에 비해 화염억제 시간 및 소화시간이 각각 7.9배, 2.9배 빨랐으며 헵탄화재에 있어서는 잔탄검 수용액 농도 0.025%가 순수 물에 비해 약 5.2 배 빠른 소화시간을 나타내었지만 이후의 증점된 농도에서는 소화에 실패하였다. 또한 소화에 필요한 물소모량도 소화시간에 비례하여 감소하였으며 방사압 증가에 따른 목재 및 헵탄화재의 소화성능도 향상되는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 증점제, 잔탄검, 소화시간, 소화성능

1. 서 론

소화약제로 사용되는 물질에는 여러 가지가 있으나, 그 중에서 물은 가격이 저렴하고 변질의 우려가 없으며, 인체에 무해하여 소화약제로 가장 많이 사용된다. 물은 비열이 매우 커서 많은 열량을 흡수하며, 큰 증발잠열로 인하여 기화시 다량의 열을 주위에서 빼앗는 냉각효과로 소화작용을 한다. 이러한 냉각효과를 높이기 위한 방법 중 하나는 열을 흡수할 수 있는 표면적을 넓히기 위해 액적의 크기를 미세화하는 방법인데 Mawhinney는 이러한 미분무수의 소화원리를 열흡수(Heat extraction), 산소회석(Oxygen displacement), 복사열차

폐(blocking of radiant heat)로 설명하고 있으며 세가지 요소가 같이 맞물려야 효과가 있다고 밝히고 있다(Mawhinney, 1993).

또한 Braidech 등은 소화약제로서의 미세물분무 성능의 한계를 정하고 소화메커니즘을 설명하였는데 여기에서 미세물분무의 소화작용은 수증기에 의한 산소회석효과에 기인하며 이것은 액적 증발의 결과로 나타나는 것이므로 많은 화재에 있어서 냉각효과가 중요한 소화요인이 된다고 밝히고 있다(Braidech, 1955). 하지만 물은 상대적으로 점성이 낮아 화염을 뚫고 화재표면에 점착하지 못하여 실제 소화에 관여하는 물의 양이 극히 적을 뿐만 아니라 소실되는 물로 인한 2차

*정회원. 한국소방안전협회 교수(E-mail: soccey@hanmail.net)
Member. Researcher, Korea Fire Safety Association

**교신저자. 정회원. 충북대학교 안전공학과 교수(Tel: +82-43-261-2461, Fax: +82-43-265-2457, E-mail: cs shin@chungbuk.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Safety Engineering, Chungbuk Nation

수손피해를 입기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 물에 증점제를 첨가하여 냉각효과를 개선하기 위한 연구도 진행되고 있다. 산림화재로부터 구조물 보호를 위한 코팅제개발을 목적으로 한 실험에서 겔화제인 벤토나이트를 기반으로 전분을 함유한 것과 미함유한 것과의 연소실험에서 전분자체의 막형성 특성과 고착성능을 강화시키는 특성으로 인해 전분을 함유한 샘플의 성능이 더 우수하다고 밝히고 있다(Gregory *et al.*, 2012). 또한 석탄화재와 목조화재에 겔화제를 적용시켰을 때의 평가에서 석탄에 겔을 도포하였을 경우와 석탄화재 시 소화할 경우 화재확산방지 및 효과적인 소화를 나타내며 목조화재 시 또한 화재지연 및 방사 후 28초만에 소화하는 것으로 나타나 겔화제가 효과적인 구조물 보호제이며 소화약제로 평가하였다(Alex *et al.*, 2010). 따라서 본 연구에서는 미세물분무의 소화성능을 높이기 위해 첨가제로 잔탄검을 사용하여 목재화재 및 헵탄화재에 적용시켜 보았으며 이를 통해 잔탄검 수용액의 농도에 따른 소화성능을 확인하고 방사압에 따른 소화시간을 측정하여 순수 물의 소화성능과 비교해 보고자 하였다.

2. 실험재료 및 물성

본 연구에서 사용한 소화약제로는 기준물질인 물과 증점제로 사용한 잔탄검이다. 증점제는 식품, 의약품, 화장품 등 여러 분야에서 활용되고 있으며 소방분야에서는 주로 항공기를 이용한 산림화재 진압용, 산불화재로부터의 구조물 보호용으로 사용되어 왔다. 증점제로 이용되는 것으로 잔탄검, 구아검, CMC, alginate, 펙틴, 젤라틴, 한천 등을 들 수 있으며, 이 중 잔탄검은 양배추의 엽소병 원인균인 *xanthomonas campestris*의 배양생산물로서 다당류이며 냉수에 분산되고 열수에 용해되는데 용해온도에 따라 점도차가 거의 없다. 잔탄검은 평상온도 및 상승된 온도에서도 장기간 저장하였을 때 동일한 점도의 안정성을 유지하며 응집되어 있는 그물망을 파괴하는 항복치가 다른 중합체보다 월등히 높고 수팽윤성 점도와의 혼합에 의한 유동학적 시너지 효과가 크다. 또한 우수한 내열성을 가지고 있으며 pH에 의한 점도저하가 없고 pH 2~13의 범위에서도 안정한 물질이다. 다른 증점제에 비해 점도가 좋은 편이고 농도 증가에 따라 점도가 크게 향상된다. 본 연구에서 사용한 잔탄검 수용액의 농도 간격은 목재화재에 사용하는 경우 농도 간의 간격을 크게 하였으며 헵탄화재에 사용하는 경우에는 작게 하여 최적의 소화농도를 찾기 위해 예비실험을 실시한 후 Table 1과 같이 확정하였다. 또한 Table 2에서는 실험에 사용된 물과 잔탄검의 물리적 특성을 나타내었다.

Table 1. Water Solution Concentration of Xanthan Gum according to Fire Source

Fire source	Nozzle type	Concentration(wt.%)	Interval
Wood crib fire	Water mist	0.1, 0.15, 0.2, 0.25	0.05%
Heptane fire		0.025, 0.05, 0.075, 0.1	0.025%

Table 2. Physical Properties of Pure Water and Xanthan Gum Solution

Physical property		Viscosity @ 20°C (CP)	Surface tension @ 20°C (mN/m)
Extinguishing agents			
Pure water		1.002	72.75
Xanthan gum	0.025%	12	71.98
	0.05%	39	71.65
	0.075%	121	71.62
	0.1%	364	71.28
	0.15%	396	68.76
	0.2%	449	68.07
	0.25%	5,405	66.31

3. 실험 방법

3.1 소화실험 장치

본 연구에서 사용한 노즐은 미분무노즐(HG20, GS하이텍)이다. HG20은 1 MPa에서 91°의 분사각도 및 약 113 μm~239 μm의 입자크기로 분사되는 노즐인데 이는 NFPA 750의 입자크기별 분류에 의해 Class1에 가까운 가장 미세한 물입자크기로 분류된다(NFPA 2003).

순수 물 및 잔탄검 수용액을 사용한 고정식 소화실험장치 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 연소실(75 cm×75 cm×130 cm)의 재질은 스테인레스강 재질로 환기가 가능하며 소화약제로 사용될 재료를 압력챔버에 넣고 이를 질소가스로 가압하여 소화노즐을 통해 방사하였다. 본 연구에서는 0.2 MPa의 방사압으로 실험을 진행하였으며 각 소화약제별로 소화시간이 가장 짧은 농도만을 선별하여 방사압 증가에 따른 소화시간을 측정하였다. 또한 A급 화재 및 B급 화재의 적응성을 확인하고자 연료를 목재 및 헵탄으로 선정하여 실험하였다. 목재화재의 경우에는 연소실 중앙에 3 cm×3 cm×15 cm규격의 소나무를 3열 5단으로 쌓았으며 목재 바로 아래에는 헵탄연료 용기를 두어 초기의 원활한 연소를 위해 헵탄 10 mL를 연소시켰다. 목재는 실험의 재현성을 위해 105°C에서 24시간 건조시켜 사용하였으며 노즐로부터 생성되는 소화약제는 연료 용기내의 헵탄에 착화하여 연소연료가 최성기일 때의 시간인 2

Fig. 1. Schematic Diagram of Extinguishing Experimental Apparatus

분 만에 분사되었다. 목재화재 시 소화의 특성상 화염이 소멸될 때까지의 시간인 화염억제시간과 불씨가 보이지 않을 때까지의 시간인 소화시간으로 나누어 측정하였으며 각각의 소화실험은 반복실험을 통해 유의한 데이터를 얻도록 하였다. 헵탄화재의 경우에는 헵탄용기(15.5 cm×15.5 cm×5.5 cm)를 중앙에 위치시키고 200 mL를 담은 후 착화 후 최성기에 도달하는 시간인 3분 만에 소화약제 방사를 시작하였다. 200 mL의 헵탄은 약 7분 정도 자유연소 후에 소멸된다. 재발화 여부를 확인하기 위해 화염이 사라지고 1분 정도 관찰 후 재발화가 진행되지 않으면 완전 소화된 것으로 간주하였다. 본 연구에서는 노즐 및 연료의 종류에 따른 잔탄검의 최적의 소화농도를 찾아내어 순수 물과 비교해보고자 하였으며 해당 농도에서의 방사압에 따른 소화성능과 물소모량을 통해 순수 물과의 소화성능을 비교하고자 하였다.

3.2 점착성 실험 장치

Fig. 2는 본 연구에서 점착특성을 실험하기 위한 장치이다. 목재 표면에서의 액적의 점착성을 확인하기 위해 액적이 목재 표면 위에 접촉 후 흘러 내릴 수 있도록 표면을 45°의 경사로 고정대에 고정시킨 후 시린지펌프 및 바늘(17gauge)을 이용하여 일정크기의 액적을 생성하였다. 이때 목재 표면은 실험의 재현성을 위해 비닐 코팅하였다. 액적이 일정간격을 흘러내리는 시간을 확인하기 위해 목재표면위에 임의의 1 cm 간격을 표시하였고 액적이 표면에 접촉하여 임의의 간격을 통과할 때까지의 과정을 고속카메라로 촬영하였다. 촬영된 장면을 분석하여 이 간격을 통과할 때까지 걸리는 시간(transit time)을 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1. 잔탄검의 소화성능

Fig. 3에서는 잔탄검 수용액의 농도변화에 따른 소화시간을 나타내었다. 목재화재의 경우 잔탄검의 농도가 증가할수록 소화시간이 감소하고 있지만 0.25%에서는 다시 소화시간이 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 Table 2에서 나타난 것처럼 0.2% 이후의 점도가 급격히 증가하고 있어 이로 인한 배관내 유체의 유동성 저하로 인해 충분한 양이 분사되지 못하여 상대적인 소화성능의 감소로 이어진 것으로 판단된다. 또한 잔탄검 0.2%에서 화염억제시간 및 소화시간 모두 다른 농도

Fig. 2. Schematic Diagram of Adhesion Experimental Apparatus

Fig. 3. Flame Suppression and Fire Extinguishing Time for Xanthan Gum Solution by Concentration Variation (wood crib fire, 0.2 MPa)

Fig. 4. Comparison of Fire Extinguishing Time of Wood Crib Fire and Heptane Fire for Xanthan Gum Solution with Pure Water(0.2 MPa)

에 비해 빠른 결과를 보였는데 이는 적절한 점착성으로 인해 분사 후 화재표면에 오랫동안 점착 되어 냉각효과를 유지할 수 있어 나타난 결과로 추정된다. 가장 느린 시간을 보인 0.1% 수용액과 비교하였을 때 화염억제시간은 9.9배, 소화시간은 3.1배 빠른 결과를 나타내고 있다. 따라서 배관내 유체의 유동성 및 점착성을 고려한 최적의 소화농도를 찾아내는 것이 중요하다. 반면 헵탄화재의 경우에는 수용액 농도 0.025%가 18.5초로 가장 소화시간이 빨랐고 그 이외의 농도에서는 4분이 지나도 소화되지 않아 소화에 실패한 것으로 간주하였다. 이는 잔탄검의 점도가 증가할수록 배관내의 마찰손실로 인한 유동성 저하가 분사량을 감소시켜 충분한 기상냉각효과를 볼 수 없었으며 점도증가로 인해 화재표면에 유화층의 형성이 어려워 산소농도 저하효과 및 유증기 발생 억제능이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4는 목재화재 및 헵탄화재에 대하여 잔탄검 수용액 농도 중 가장 소화시간이 빠른 농도의 소화시간을 순수 물과 비교한 그래프이다. 목재화재에 있어서 화염억제시간은 잔탄검 수용액 농도 0.2%가 15초로 순수 물에 비해 약 7.9배 빨랐으며 소화시간은 약 2.9배 빠른 소화를 보였다. 또한 헵탄화재의 경우 잔탄검 수용액 농도 0.025%는 순수 물에 비해 약 5.2배 빠른 소화시간을 나타냈다.

(a) Wood crib fire

(b) Heptane fire

Fig. 5. Comparison of Fire Extinguishing Time for Xanthan Gum Solution with Pure Water by Discharge Pressure Variation

Fig. 5는 잔탄검 수용액 농도 중 가장 빠른 소화시간을 나타낸 농도에 대해 방사압을 증가하여 소화시간을 측정하였으며 이를 순수 물과 비교한 그래프이다. 목재화재의 경우에 있어서 순수 물은 방사압이 증가할수록 소화시간이 늦어지지만 잔탄검 0.2%는 방사압에 따라 소화시간이 짧아진다. 목재 화재와 같은 일반화재에서는 화재 표면의 냉각효과가 소화성능을 좌우하기 때문에 순수 물의 경우 방사압이 증가하면 액적크기가 작아지고(Husted *et al.*, 2004) 이로 인한 운동량 저하로 화염 플럼을 뚫지 못하여 목재 표면까지 도달하지 못함으로 인한 소화성능의 저하를 가져올 수 있다고 판단된다. 반면, 잔탄검 0.2%의 경우 방사압 증가에 따라 방사량이 많아지고 화염 플럼을 뚫고 가연물 표면에 점착하는 양도 많아지게 되어 이로 인해 표면냉각효과가 증가한 결과로 추정된다. (b)의 헵탄화재에 있어서는 방사압 증가에 따라 순수 물 및 잔탄검 0.025% 모두 소화성능이 비슷한 수준으로 향상되는 것을 알 수 있다. 방사압 증가에 따른 입자크기 감소는 물입자의 표면적 증가로 인한 열 흡수능력이 증대되어 화염 주변의 온도를 크게 낮출 수 있게 되며 화염을 침투할 수 있었던 소화약제는 헵탄화재표면 상에 유화하여 유증기의 생성 및 산소공급을 제한할 수 있어 소화시간을 단축시킬 수 있었을 것이라 추정된다.

4.2. 물소모량의 비교

소화에 소모된 물의 양을 비교하기 위해 순수 물 및 잔탄

(a) Wood crib fire

(b) Heptane fire

Fig. 6. Comparison of Water Consumption for Xanthan Gum Solution with Pure Water(0.2MPa)

검 0.2% 수용액에 대해 0.2 MPa에서 분당방사량 및 소화시간 등을 고려하여 측정, 계산하였다. Fig. 6(a)에서 목재화재에 대한 순수 물 및 잔탄검 0.2% 수용액의 물소모량을 비교할 수 있다. 화염억제 및 완전소화에 소모된 잔탄검 0.2% 수용액의 물소모량은 순수 물보다 각각 약 90%, 71% 적게 소모되었다. 또한 목재화재에 있어서 방사압이 증가할수록 순수 물은 소화시간이 더 길어지는 반면 잔탄검 0.2% 수용액은 반대로 짧아지는 경향을 보이고 있어 소화에 소모되는 전체 물의 양은 순수 물에 비해 훨씬 더 적을 것이라고 예상할 수 있다. 반면 (b)의 헵탄화재에 있어서는 방사압 0.2 MPa에서 잔탄검 0.025%의 물소모량이 순수 물에 비해 약 80% 감소하였지만 Fig. 5에 나타난 것처럼 방사압이 증가할수록 소화시간의 차이가 크지 않기 때문에 물소모량도 순수 물에 비해 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4.3. 점착성능

Fig. 7은 코팅된 목재를 45°의 기울기로 고정시키고 표면 위에 직경 약 5 mm의 잔탄검 수용액을 떨어뜨렸을 때 임의의 구간을 통과하는 시간을 농도에 따라 측정된 그래프이다. 수용액의 농도가 0.1%에서는 통과시간이 1016 ms이지만 0.4% 일때는 11216 ms로 급격히 증가한다. 이는 잔탄검의

Fig. 7. Transit Time of a Droplet for Xanthan Gum Solution with Concentration Variation

Pure water					
Xanthan gum 0.2%					

Fig. 8. Comparison of Transit Time for Xanthan Gum Solution with Pure Water

농도증가에 따른 점착성능의 증가를 보여주고 있다. Fig. 8은 소화시간이 가장 빨랐던 잔탄검 수용액 0.2%의 목재 표면 위 접촉 후 임의의 구간을 통과할 때까지의 장면을 초고속 카메라를 이용하여 촬영한 사진이며 이를 순수 물과 비교한 것이다. 사진과 같이 순수 물은 통과시간이 83 ms 인데 반해 잔탄검 0.2% 수용액의 통과시간은 2633 ms로 약 32배 차이가 난다. 잔탄검 0.2% 수용액의 이러한 점착성능으로 인해 목재화재의 경우에 있어서 점착하여 화재표면에서의 냉각효과를 지속시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

미세물분무의 소화성능을 향상시키기 위해 잔탄검을 첨가제로 사용하여 목재화재 및 헵탄화재에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 목재화재에 있어서 방사압 0.2 MPa에서 잔탄검 수용액 0.2%의 화염억제 및 소화시간이 가장 빨랐으며 이는 순수 물에 비해 최고 약 7.9배 빠른 소화시간이었다. 또한 방사압이 증가함에 따라 순수 물은 소화시간이 지연

되었지만 잔탄검 수용액 0.2%의 경우에는 소화시간이 단축되는 것을 확인할 수 있었다.

- 2) 헵탄화재의 경우에는 방사압 0.2 MPa에서 잔탄검 수용액 0.025%가 가장 소화시간이 빨랐고 순수 물과 비교하였을 때 약 5.2배의 빠른 소화시간이었지만 그 이후의 증점된 농도에서는 소화에 실패하였다. 방사압이 증가함에 따라 순수 물과 잔탄검 0.025% 수용액은 소화시간에 거의 차이가 없이 비슷한 소화시간의 단축을 나타내었다.
- 3) 물소모량을 방사압 0.2 MPa에서 측정한 결과 목재화재의 경우에는 잔탄검 수용액 0.2%가 소화에 소모된 물의 양이 순수 물에 비해 최고 90% 적었으며 방사압이 증가함에 따라 소화시간의 격차가 더욱 벌어져 소모량도 훨씬 감소하였을 것이라 판단된다. 헵탄화재에 있어서는 잔탄검 수용액 0.025%가 순수 물에 비해 80% 감소하였지만 방사압이 증가함에 따라 소화시간의 차이가 크지 않았기 때문에 물소모량도 순수 물과 큰 차이가 없음을 추정할 수 있지만 잔탄검을 사용하였을 때 훨씬 적은 양의 물로 빠른 소화효과를 나타낼 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

References

- Mawhinney, J.R. (1993) Engineering Criteria for Water Mist Fire Suppression Systems, *Water Mist Workshop*, Proceedings, NIST, Gaithersburg, MD.
- Mawhinney, J.R. (1993) Design of Water Mist Fire Suppression Systems for Shipboard Enclosures, *International Conference on Water Mist Fire Suppression Systems*, Borb, Sweden.
- Braidech, M.M., Neale, J.A., Matson, A.F. and Dufour, R.E., (1955) The Mechanism of Extinguishment of Fire by Finely Divided Water, Underwriters Laboratories Inc. for the *National Board of Fire Underwriters*, N.Y., pp. 73.
- Gregory, M.G., Gokhan, B., Bor-Sen, C., Artur, P.K., Zhongli, P., (2012) Sodium bentonite-based coatings containing starch for protecting structures in wildfire emergency situations, *Fire Safety Journal*, 51, pp. 85-92.
- Alex, C.S., David, C.F., David, L., Edward, D.T. (2010) Evaluation of a novel fire blocking gel to prevent and suppress mine fires, *SME Annual Meeting*, Pheonix, AZ.
- NFPA 750 (2003) Standard on Water Mist Fire Protection System, NFPA, MA : Quincy, *National Fire Protection Association*.
- Husted, B.P., Holmstedt, G. and Hertzberg, T. (2004) The Physics Behind Water Mist Systems, *Proc. IWMA Conference*.

© Received August 14, 2013

© Revised August 22, 2013

© Accepted September 6, 2013