

증점제를 함유한 미분무수의 목재화재 소화효과

김민형 · 신창섭^{**}

식품의약품안전평가원 · *충북대학교 안전공학과
(2014. 2. 5. 접수 / 2014. 7. 9. 채택)

Efficiency of Water Mist Suppression System Containing Viscosity Agent to Extinguish Wood Cribs Fire

Min Hyung Kim · Changsub Shin^{**}

National Institute of Food and Drug Safety Evaluation

*Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received February 5, 2014 / Accepted July 9, 2014)

Abstract : Viscosity agents were added to water to improve extinguishing performance of low pressure water mist suppression system on wood cribs fire, and a small scale wood cribs fire experiment was conducted to measure the extinguishing performance. CMC and agar were used for viscosity agent and as the amount of viscosity agent enlarges, it showed the increase of the viscosity of aqueous solution and the decrease of the fluidity. On wood cribs fire experiment, the extinguishing efficiency was improved with supplemental viscosity agent as it enhanced the adhesive time of aqueous solution on the wood, and therefore expanded the contact time of fire surface. The surface tension of aqueous solution was decreased with the addition of agar which to be assumed as an increase factor of extinguishing efficiency. By the extinguishing experimental result, the most effective extinguishing agent was CMC 0.6 wt.%, with the flame suppression time and the extinguishing time were reduced by 70s and 93s respectively at this concentration.

Key Words : water mist, wood cribs fire, viscosity agent, CMC, agar, extinguishing

1. 서론

화재를 소화하기 위해 많이 사용되는 소화약제는 포, 강화액, 산알칼리, 이산화탄소, 분말, 할로겐 화합물 등이 있다. 이 중 특히 소화약제로서 대표되던 할로겐화합물 소화약제는 전기적 비전도성 및 화재 침투성, 탁월한 소화능력이 입증되면서 사용 영역이 매우 확대되었으나 1976년 미국 국립과학원에서 오존층파괴에 대한 과학적 증거를 제시한 이후 미국, 캐나다, 스웨덴 등에서 사용을 금지 하였으며, 주요 CFC 생산국의 오존층 보호를 위한 빈 조약 서명 이후 몬트리올 의정서로 발전하였다. 이에 따라 우리나라 역시 할론의 생산을 2010년부터 금지하고, 그 사용이 제한되었다.¹⁾

이에 할로겐 소화약제의 대체 소화설비로서 일반화재는 물론 소화약제를 저장하거나 방출할 수 있는 양이 한정된 항공기나 선박의 화재에도 사용할 수 있으며, 소화가 곤란한 전기화재, 인화성 액체 화재의 진압

도 가능하고, 또한 환경에 악영향을 주지 않으며 화재의 진압성능이 우수한 시스템이 미분무수 소화설비이다. 미분무수 소화설비는 물을 소화약제로 사용한 설비로 물은 가격이 저렴하고, 장기간 저장하여도 쉽게 부패, 변질되지 않아 유지 관리적인 면에서 비용이 절감되는 장점이 있다. 또한 물이 소화약제로써 널리 사용되고 있는 이유는 큰 열용량과 증발잠열을 갖고 있어 냉각소화효과가 우수하고, 액체로부터 기체로 변할 때 약 1,700배로 체적이 증가하는 특성이 있어 화염영역에서의 물의 증발은 연료와 산소의 농도를 희석시켜 질식으로 인한 소화효과가 우수하기 때문이다.²⁾

하지만 소화약제로서 물은 저점도의 특성을 갖고 있어 유동성이 좋지 때문에 목재와 같은 일반화재를 소화하는 경우 화재 표면에 장시간 점착하지 못하고 흘러내림에 따라 사용되는 물의 양보다도 실질적으로 소화에 적용되는 물의 양은 소량에 불과하게 되고, 소화효율이 떨어지게 된다. 따라서 이러한 수계 소화시스

^{*} Corresponding Author : Changsub Shin, Tel : +82-43-261-2461, E-mail : csshin@chungbuk.ac.kr
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, 361-763 Korea

템의 문제점을 개선하기 위한 방안으로 첨가제를 이용하는 방법이 여러 측면에서 고려되어져 왔다.

Xiaomeng 등³⁾은 미분무수의 소화성능을 향상시키기 위한 방안으로 계면활성제, 증점제, 요소 등을 순수한 물에 첨가하여 에탄올, 디젤, 목재 화재에 적용시킨 결과 물의 향상된 물리·화학적 소화효과로 인하여 소화성능을 상당히 향상시킬 수 있다고 보고하였으며, Madrzykowski⁴⁾는 수계소화약제의 실 규모 실험을 통해 적절한 첨가제를 함유한 수용액의 경우 순수한 물의 1/3의 양으로도 똑같은 소화성능을 발휘할 수 있다고 보고하였다.

Grove 와 Aidun⁵⁾은 목재 화재의 경우 중요한 요소는 초기에 화재를 제어하는 것과 화염을 억제하는 것이며, 순수한 물로 목재 화재를 소화하는 경우 재발화가 가능한 잔열이 존재하지만, 점성이 있는 물의 경우 순수한 물보다 효율적으로 화재를 소화할 수 있다고 보고하였고, Chattaway 등⁶⁾은 물로부터 겔화된 소화약제는 점도의 증가에 의해 화재 표면과의 접촉시간이 향상됨에 따라 목재 화재에 향상된 냉각소화효과를 나타낸다는 보고를 하였다.^{7,8)}

또한, Davis 등⁹⁾은 첨가제로 Gelgard를 첨가할 경우 물이 구슬과 같은 입자의 무리로 구성되기 때문에 물 입자의 표면은 거칠게 되고, 이에 따라 순수한 물 입자보다 증발을 위한 더 큰 면적을 갖게 되어 증발속도가 더 빠르다고 보고하였다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 목재 화재에 대한 저압식 미분무수의 소화성능을 향상시키고자 증점제를 첨가하고 그 효과를 분석하였다. 증점제를 순수한 물에 첨가하여 소화약제의 점도 증가에 따른 소화효과를 분석하고자 하였으며, 또한 첨가제를 함유한 소화약제의 물성변화에 따른 영향을 분석하고자 증점제의 종류 및 농도 변화에 따른 표면장력 등 물성을 측정하고, 소규모 목재화재의 소화실험을 실시하여 소화성능을 고찰하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 재료

소화약제용 증점제는 적은 양으로 높은 증점 효과를 가져야 하며, 소화 장비에 대한 부식성이 없고 동물 또는 식물에 대한 독성이 없어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 물의 점도를 향상시키기 위해 첨가되어지는 증점제로 한천(agar)과 Sodium Carboxy Methyl Cellulose (CMC)를 선택하여 사용하였다.

한천은 우무를 동결탈수하거나 압착하여 건조시킨

것으로서 단백질 2 wt.%, 회분 3.5 wt.%, 지방 0.5 wt.%, 수분 15 wt.%로서 대부분은 다당류로 구성되어 응고한 것으로 비교적 용융점이 높고 잘 부패하지 않으며, 물과의 친수성이 강하여 수분을 일정한 형태로 유지하는 능력이 크고 또한 친환경적이다. 그리고, CMC는 알칼리에 용해된 셀룰로오스를 모노클로로아세트산나트륨(Sodium Monochloro Acetic Acid)을 반응시켜 만든 물질로써 보통 0.4~0.6의 치환도가 사용되며, 분말, 입상 또는 섬유상의 물질로 물에 잘 녹고, 용액은 중성 또는 미 알칼리성으로 고 점도액이 되는 특징을 갖고 있다.

본 실험에서는 한천의 경우 순수한 물에 0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15 wt.%를 첨가하였으며, CMC는 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 wt.%를 첨가하여 소화약제를 제조하였다.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 증점제의 첨가에 의한 소화약제의 물리적 성질변화를 측정하기 위해 밀도, 점도, 표면장력을 측정하였다. 밀도는 고유진동주기 측정방식을 사용하는 밀도계(KEM사, DA-130)를 사용하였으며, 점도는 회전 원통 점도 측정법을 기초로 하는 점도계(Brookfield사, DV-II+)를 사용하였다. 또한 표면장력은 금속 환과 수면이 분리 되어지는 순간에 필요로 하는 힘을 측정하여 표면장력 값을 구하는 표면장력계(Kruss사, K-11)를 사용하였다.

목재 화재에 대한 저압식 미분무수의 소화특성은 Fig. 1과 같은 스테인리강의 환기가 원활한 연소실(0.75 m×0.75 m×1.3 m)을 사용하였으며, 미세물분무의 노즐 압력은 0.5 MPa로 하였다. 연소실 전면은 소화 현상을 관찰할 수 있도록 강화유리로 제작하였으며, 좌우 하부에 개구부(0.5 m×0.1 m)를 설치하여 주변 공기가 유입될 수 있도록 하였다.

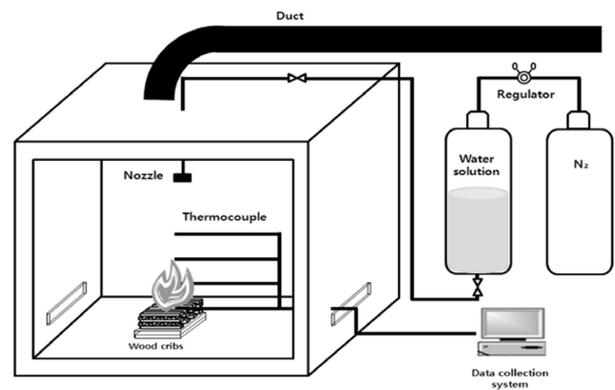


Fig. 1. Schematic diagram of wood cribs fire extinguishing experiment.

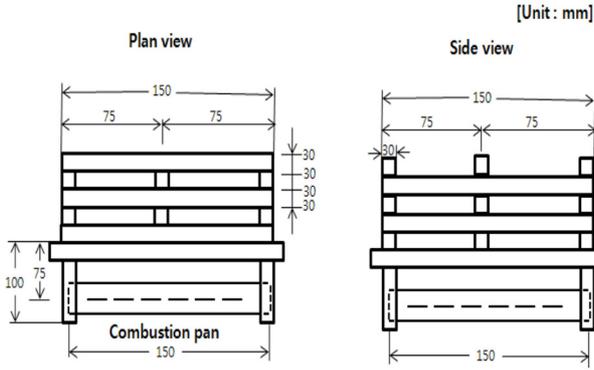


Fig. 2. Experimental set-up of wood cribs.

목재 화재를 위한 가연물로는 수동식소화기의 형식 승인 및 검정기술기준에 의거하여 소나무를 사용하였으며 Fig. 2와 같이 1/5로 축소하여 실험하였다.

Chattawaty 등⁶⁾의 연구 보고에 의하면 목재 화재를 실험하는 경우에 있어 충분히 건조된 시료를 사용하지 않았을 때 실험의 재현성이 저하된다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 105℃에서 목재를 건조시켜 항량에 도달하는 시간을 측정하였으며, 측정 결과 약 16시간 이후에 항량에 도달하는 것을 확인하였고, 이에 따라 본 실험에서는 목재 화재의 소화 실험을 진행하기 전 시료를 약 105℃에서 24시간 동안 건조시켰다.

또한, 철재 앵글연소대를 제작하여 최하단의 목재와의 거리를 0.075 m 이격시키고, n-Heptane 10 ml를 점화시킨 후 약 1분 뒤에 목재에 착화시켰으며, 화염의 온도를 측정하기 위해 철재 앵글 연소대로부터 0.1, 0.15, 0.3, 0.45 m에 네 개의 열전대를 설치하여 화염의 온도를 A/D 컨버터를 통해 컴퓨터로 매 1 s 마다 저장하였다.

노즐로부터 생성된 미분무수는 점화 후 120 s 후에 0.5 MPa의 압력으로 방출시켰으며, 또한 각각의 소화 실험은 반복 실험을 통해 평균적인 소화시간 및 화염 온도를 얻을 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 증점제를 함유한 수용액의 물성

증점제를 함유한 소화약제의 물성변화에 따른 소화 성능을 고찰하기 위하여 밀도, 점도, 표면장력을 측정하였고, 그 측정 결과를 Table 1에 나타내었다.

밀도의 증가는 분무 시 액적의 운동량을 그만큼 증가시킬 수 있는 효과가 있고, 이에 따라 화염면으로의 액적의 침투를 증진시킬 수 있어 소화효율을 향상시킬 수 있으나 본연구에서는 첨가된 증점제의 함량비가 증가

Table 1. Physical properties of solution

Fluid	Density @20℃ (g/cm ³)	Viscosity @20℃ (cP)	Surface tension @20℃ (mN/m)
Pure Water	0.998	1.00	72.75
Agar (wt.%)	0.03	0.996	2.48
	0.06	0.996	3.52
	0.09	0.996	10.77
	0.12	0.996	18.30
	0.15	0.996	174.20
CMC (wt.%)	0.2	0.996	6.94
	0.4	0.997	14.90
	0.6	0.998	25.40
	0.8	0.999	53.70
	1.0	1.001	98.00

하여도 밀도는 순수한 물과 큰 차이를 보이지 않았다.

점도는 순수한 물의 경우 20℃에서 1.00 cP를 나타냈으며, 한천을 증점제로 첨가한 경우 첨가량이 증가할수록 점도가 증가하여 0.15 wt.%에서 174.2 cP이었다. 또한 CMC의 경우도 첨가량의 증가에 따라 증가하여 1 wt.%에서 98 cP가 되었다. 이러한 점도의 증가는 고체 가연물을 소화하는 경우 소화수의 유실을 막고 목재, 건물, 수목 등의 입체면에 부착되어 잔류하기 때문에 소화효과가 높아질 수 있을 것이다.

표면장력의 측정결과 순수한 물의 경우 72.75 mN/m로 측정되었으며, CMC의 경우 첨가량의 증가에 따라 순수한 물과 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 한천의 경우는 순수한 물에 0.12 wt% 첨가되었을 때 58.27 mN/m로서 19.9% 감소하였다. 이러한 표면장력의 저하는 소화수의 침투력 및 분산력을 키울 뿐 아니라 고체 표면에 대한 부착력 및 흡수 속도를 증가시켜 소화효과를 향상시킬 수 있을 것이다.

3.2. 한천이 첨가된 미분무수의 소화효과

한천이 첨가된 미분무수의 소화성능을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 목재화재의 소화시간은 화염이 억제되더라도 목재 표면에 잔열의 존재로 인한 재발화의 가능성이 있기 때문에 화염억제시간(Flame suppression time)과 목재 표면의 잔열의 소화시간(Extinguishing time)으로 나누어 소화시간을 구분하였다. 소규모 소화 실험의 결과 한천의 첨가량이 증가할수록 목재 화재의 화염억제시간 및 소화시간이 순수한 물에 비해 감소하였다. 이는 증가된 점도에 의해 화재 표면과의 접촉시간이 길어지고, 감소된 표면장력의 결과로서 소화수의

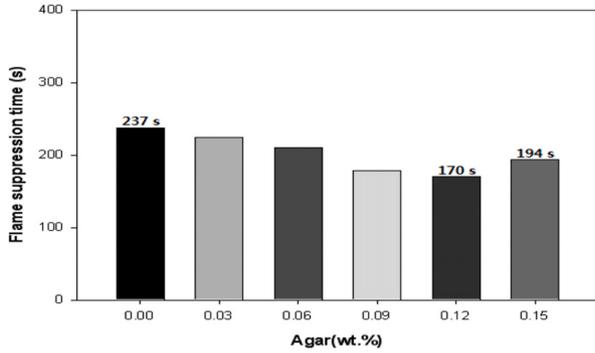


Fig. 3. Flame suppression time by Agar concentration.

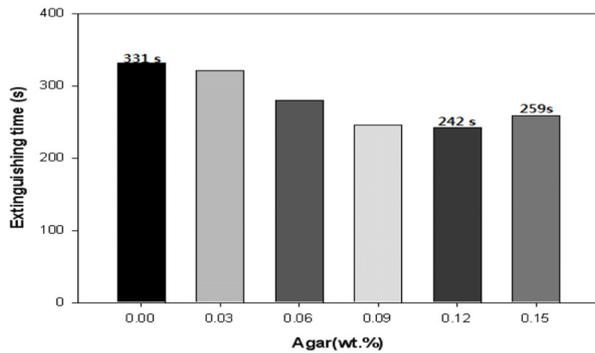


Fig. 4. Extinguishing time variation by Agar concentration.

침투력 및 분산력, 고체 표면에 대한 부착력과 흡수속도의 증가에 따라 목재화재의 화염억제시간 및 소화시간이 순수한 물에 비해 감소한 것으로 판단된다.

또한, 한천의 경우 0.12 wt.%에서 가장 소화성능이 우수하였으며, 이 농도에서의 화염억제시간은 170 s, 소화시간은 242 s로 측정 되었고, 순수한 물과 비교하였을 때 화염억제시간은 67 s(28.3%) 단축되었고 소화시간은 89 s (26.9%) 단축되었다. 그러나 한천의 첨가량이 0.15 wt.%인 경우 화염억제시간 및 소화시간은 194 s, 259 s로서 0.12 wt.%인 경우보다 증가하였다. 이는 높은 점도로 인한 배관 내에서의 마찰로 소화약제의 유동성이 저하되어 소화효율이 감소된 것으로 판단

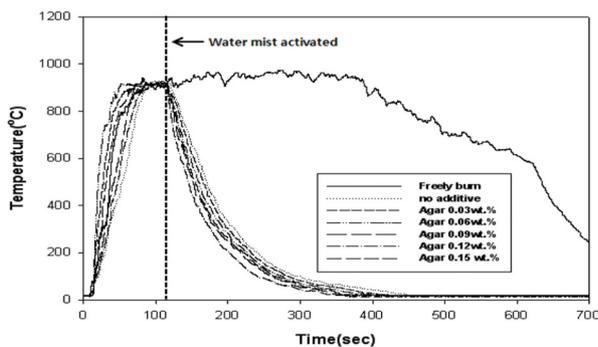


Fig. 5. Flame temperature variation by agar concentration.

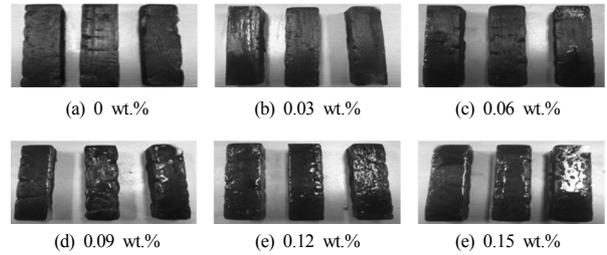


Fig. 6. Photographs of wood surface after extinguishment [Agar].

된다.

한천이 첨가된 소화약제에 의한 목재화재 소화시의 화염 온도변화를 Fig. 5에 나타냈으며, 그 결과 한천의 첨가량이 증가할수록 화염온도가 감소하였으나, 0.15 wt.%의 경우는 0.09, 0.12 wt.%의 경우보다 낮은 감소를 보였다.

Fig. 6은 소규모 목재 화재의 소화 후 목재의 표면 상태를 나타낸 것으로서 한천의 첨가량이 증가함에 따라 목재 표면에 점착된 물의 양이 증가한 것을 확인할 수 있다. 이 결과로부터 순수한 물을 방사한 경우보다 한천이 첨가된 물을 방사한 경우 화재표면에 장시간 점착함으로써 소화성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

3.3. CMC가 첨가된 미분무수의 소화효과

Fig. 7과 Fig. 8에 CMC의 첨가량에 따른 화염억제시간 및 소화시간을 나타내었다. CMC의 경우도 첨가량의 증가에 따라 점도가 증가하고 화재표면과의 접촉시간이 증가하여 화염억제시간 및 소화시간이 감소하였다. CMC 0.6 wt.%에서 화염억제시간은 167 s, 소화시간은 238 s로서 가장 소화효율이 높았으며, 이는 순수한 물 보다 화염억제시간은 29.5%, 소화시간은 28.1% 감소한 것이다. 그리고 CMC 0.8 wt.%와 1.0 wt.%의 농도에서는 높은 점도에 의해 배관내에서 소화약제의 유동성이 저하되어 소화성능이 감소하였다.

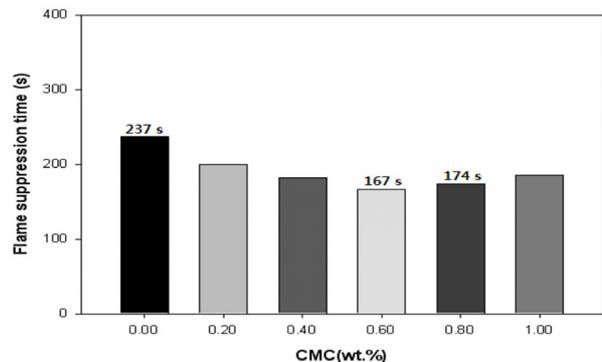


Fig. 7. Flame suppression time by CMC concentration.

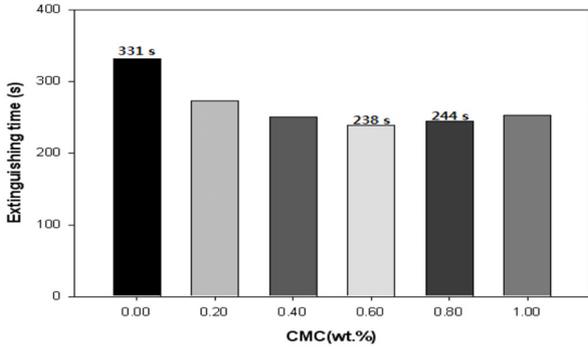


Fig. 8. Extinguishing time by CMC concentration,

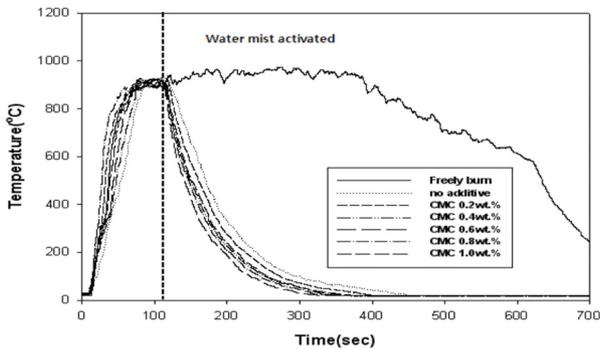


Fig. 9. Flame temperature variation by CMC concentration,

Fig. 9에 CMC의 첨가량에 따른 화염의 온도변화를 나타내었으며, CMC의 첨가량이 증가할수록 0.2~0.6 wt.%에서 화염의 온도 감소는 급격하게 이뤄졌으나, 0.8~1.0 wt.%의 농도에서는 0.6 wt.%의 경우 보다도 느리게 감소하였다.

Fig. 10에는 화재가 소화된 후 목재 표면에 점착된 소화약제의 형태를 촬영한 것으로서, CMC첨가량의 증가에 따라 표면에 점착된 물의 양이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

3.4. 목재 화재의 소화 실험 후 목재의 함수율

목재 화재에 대한 소화 실험을 진행한 후 증점제가 첨가된 물의 목재 표면에 대한 점착 정도를 알아보기

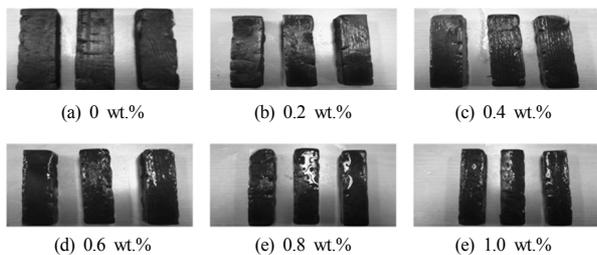


Fig. 10. Photographs of wood surface after extinguishment [CMC].

위하여 함수율을 측정하였다. 측정은 KS 규격의 목재 함수율 측정 방법에 준하였으며, 시험편을 105±2 °C로 유지되는 건조기 내에서 항량이 도달할 때까지 건조시킨 후 질량감소분을 측정하고 이 질량감소분을 시험편의 건조 후 질량으로 나누어 백분율로 계산하였다.¹¹⁾ 본 연구에서는 소화 후 목재의 표면에 점착된 수분의 함수율을 측정하기 위해 소화 실험을 진행한 즉시 목재의 질량을 측정하였으며, 목재 내부에 함유된 수분을 측정하기 위해서 표면에 점착된 수분을 제거한 뒤에 질량을 측정하고, 최종적으로는 105 °C에서 24시간 건조된 목재의 질량을 측정하여 함수율을 계산하였다.

Table 2에 소화 실험 후 측정된 목재의 함수율을 나타냈다. 측정 대상은 순수한 물과 한천 0.12 wt.%, CMC 0.6 wt.%가 첨가된 소화약제이며, 상부에 위치한 3개의 목재를 대상으로 하였다.

측정 결과 순수한 물과 한천이 0.12 wt.%가 첨가된 소화약제의 소화 후 함수율을 비교하였을 때 7% 이상 큰 차이를 보였다. 그리고 순수한 물의 경우 소화된 후 목재의 함수율과 수분을 제거한 뒤의 함수율은 큰 차이를 보이지 않았지만, 한천이 첨가된 소화약제는 큰 차이를 보였다.

CMC의 경우도 0.6 wt.%에서 소화약제의 증가된 점도에 의해 소화 후의 함수율과 목재 표면의 수분을 제거한 뒤의 함수율이 큰 차이를 보였다.

따라서, 순수한 물과 증점제가 첨가된 소화약제의 소화 후 목재의 함수율을 측정된 결과로부터 증점제가 첨가된 소화약제의 경우 증가된 점도에 의해 목재 표면에 점착하여 장시간 소화 활동에 영향을 미침에 따라 화염억제시간 및 소화시간이 단축되는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Moisture contents of wood

	Condition of wood crib	Moisture content (%)		
		Left	Center	Right
Water	After fire extinguishment	35	36.3	29.7
	After surface water removal	34.7	36	29.5
Agar 0.12 wt.%	After fire extinguishment	42	45.1	37.7
	After surface water removal	35.6	39.7	31.5
CMC 0.6 wt.%	After fire extinguishment	43.4	44.8	41.8
	After surface water removal	36.6	38.8	36.8

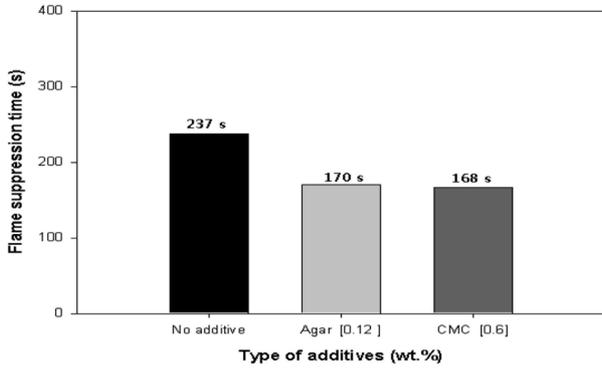


Fig. 11. Flame suppression time variation by additives.

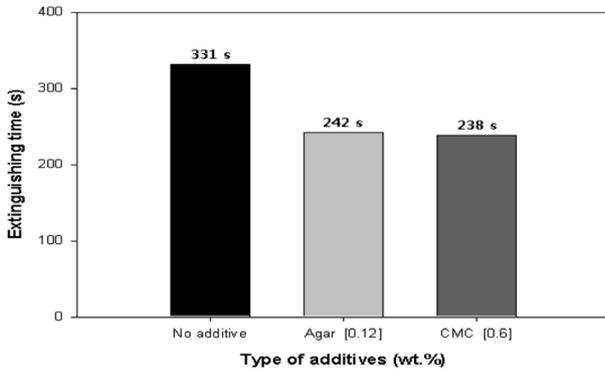


Fig. 12. Extinguishing time variation by additives.

3.5. 증점제에 따른 화염억제시간 및 소화시간

증점제에 따른 목재화재의 화염억제시간 및 소화시간을 비교하여 Fig. 11과 Fig. 12에 나타냈다. CMC 0.6 wt.%와 한천 0.12 wt.%가 첨가된 경우 점도는 25.4 cP, 18.3 cP로 각각 증가하여 소화효율을 증가시켰고 한천의 경우는 표면장력도 19.9% 감소하여 소화효과를 높였다. 소화성능은 CMC 0.6 wt.%가 첨가된 수용액이 가장 우수하였으며 그때의 화염억제시간은 167 s, 소화시간은 238 s로 측정되었고 이로부터 소화약제의 냉각 소화효과가 향상됨에 따라 순수한 물로 소화한 경우보다 소화시간이 크게 단축되었음을 알 수 있다. 이와 같이 저압식 미분무수의 목재 화재에 대한 소화성능을 향상시키고자 증점제를 이용하는 방법은 충분한 효과가 있음을 확인할 수 있으며, 따라서 목재화재를 대비한 수계소화시스템에 CMC 0.6 wt.% 등의 첨가법이 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 목재 화재를 소화하기 위한 저압식 미분무수의 소화성능을 향상시키고자 증점제인 한천과 CMC를 순수한 물에 첨가하였고, 증점제의 종류 및

농도 변화에 따른 수용액의 물성을 측정하고 소화성능을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 한천 및 CMC를 첨가하여 미세물분무에 적용한 경우 소화성능이 증가하였으며, 이는 증점제의 첨가로 인한 물의 점도 증가에 의해 소화약제가 화재 표면과 장시간 접촉하게 되기 때문이다.

2) CMC의 경우 0.6 wt.%의 농도에서 소화시간이 순수한 물을 방사한 경우보다 28.1% 감소하였고, 한천을 0.12 wt.%를 첨가한 경우는 26.9% 감소하는 등 소화효율이 향상되었다. 그러나 CMC 0.6 wt.%와 한천 0.12 wt.% 이상의 농도에서는 높은 점도로 인하여 배관 내에서 소화약제의 유동성이 저하되어 소화성능이 감소하였다.

3) CMC 0.6 wt.%와 한천 0.12 wt.%가 첨가된 수용액의 점도는 25.4 cP, 18.3 cP로 각각 증가하였고, 한천의 경우 첨가량이 증가함에 따라 표면장력이 19.9% 감소하였다. 이러한 표면장력의 감소는 점도 증가와 더불어 소화성능에 긍정적 영향을 미쳤다.

감사의 글: 이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) United Nations Environmental Program “Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer”, 1987.
- 2) G. Grant, J. Brenton and Dsysdale, “Fire Suppression by Water Sprays”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 26, No. 2, pp. 79-130, 2000.
- 3) Z. G. Xiaomeng and M. C. Liao, “Improvement of Water Mist’s Fire-Extinguishing Efficiency with MC Additive”, Fire Safety Journal, Vol. 41, No. 1, pp. 39-45, 2006.
- 4) D. Madrzykowski, “Water Additives for Increased Efficiency of Fire Protection and Suppression”, in Proceedings of Fire Fighting Future 50th Session, pp. 1-6, 1998.
- 5) C. S. Grove and A. R. Aidun, “Improving the Effectiveness of Water for Fire Fighting”, in Symposium on Fire Control Research, American Chemical Society, pp. 81-90, 1961.
- 6) A. Chattaway, G. G. Cox, S. R. Preece and D. J. Spring, “The Development of a Small Scale Class A Fire Test”, in Proceeding of Halon Options Technical Working Conference, pp. 498-508, 1997.
- 7) A. C. Smith, D. C. Fredley, D. Lauriski and E. D. Thimons,

- “Evaluation of a Novel Fire Blocking Gel to Prevent and Suppress Mine Fires”, in Proceeding of Society for Mining, Metallurgy and Exploration Annual Meeting, pp. 1-10, 2010.
- 8) S. Walkinshaw and A. Ray, “Use of Sprinklers and Aqueous Gel for Structure Protection from Wildfire Case Study 2”, FP Inovations Advantage Report, Vo.11, No. 3, pp. 1-12, 2009.
- 9) J. B. Davis, D. L. Dibble, S. S. Richards and L. V. Steck, “Gelgard- a New Fire Retardant for Air and Ground Attack”, in Guillermo Rein, Fire Technology Springer, Vol. 1, No. 3, pp. 216-224, 1965.
- 10) P. Anderson and G. Holmstedt, “Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent”, Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 9, No. 4, pp. 31-50, 1998.
- 11) Korean Standard, “General Requirements for Testing of Wood”, KS F 2201, 2001.