

간이스프링클러 설비의 소화성능 향상에 관한 실험적 연구

허민녕 · 신창섭**

한국소방산업기술원 · *충북대학교 안전공학과

(2017. 11. 27. 접수 / 2018. 3. 13. 수정 / 2018. 5. 29. 채택)

An Experimental Study on Improvement of Fire Extinguishing Performance of Basic Sprinkler System

Min Noun Hur · Changsub Shin**

Korea Fire Institute

*Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received November 27, 2017 / Revised March 13, 2018 / Accepted May 29, 2018)

Abstract : A basic sprinkler system is a fire extinguishing system that can be easily installed in a fire-vulnerable place such as a publicly used establishments. However, the publicly used establishments are not only complicated in structure, but also have a large amount of flammable interior materials, and the users are not normally in a normal state, which is a very dangerous fire-fighting object. Therefore, due to the low fire extinguishing performance of the basic sprinkler system installed in the publicly used establishments, the fire suppression control can not be performed quickly in case of fire, which may increase the life and property damage. In this study, the cases of quantitative changes of extinguishing water used in basic sprinkler system and the cases of addition of additives such as wetting agents, reinforced agents to improve extinguishing performance were compared. Experimental results showed that the extinguishing performance was improved as the quantity of extinguishing water increase and the reinforced agents showed similar performance to that of 60% increase in the amount of extinguishing water. The cooling time to 200 °C and oxygen concentration were improved up to 14.3% and 34.5%, respectively. In the case of using the wetting agent, the cooling time to 200 °C and oxygen concentration did not show any significant improvement, but showed the effect of preventing deep seated fire. In order to prevent loss of life and property, it is necessary to improve the performance of the basic sprinkler system by increasing amount of extinguishing water or using additives like reinforced agents.

Key Words : basic sprinkler system, extinguishing performance

1. 서론

간이스프링클러 설비는 『다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법』 및 『화재예방·소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률』에 따라 다중이용업소, 노유자 시설 등에 설치되는 소화설비이다.

다중이용업소는 불특정 다수가 이용하는 다양한 영업 시설로서 대다수가 소규모인 건축물로 안전 관리보다는 영업활동에 주안점을 두고 건축물을 운용하고 있어 소방시설 및 피난시설 등의 유지·관리가 원활하게 이루어지지 않고 있다. 다중이용업소는 미로와 같은 내부구조로 이루어진 경우가 많고, 이용자가 건물구조에 익숙하지 않은 상태로 화재 시 신속한 피난의 확보가 곤란하

며, 이용자는 음주 등으로 인해 정상적인 상태가 아닌 경우가 많아 화재 시 발생하는 유독가스나 연기 등에 의해 공황에 빠질 우려가 커 인명 및 재산피해의 우려가 큰 소방대상물이다. 소방청 화재현황통계¹⁾에 따르면 다중이용업소에서 발생하는 화재는 2014년 586건, 2015년 552건, 2016년 794건이 발생하였고, 그로 인한 인명 피해는 27명, 35명, 69명 재산피해는 33억원, 30억원, 43억원으로 지속적으로 피해가 발생하고 있는 추세이다.

국내의 경우 1995년 부산 자이언트 노래방 화재(사망 8, 부상 3) 서울 진실노래방 화재(사망 8, 부상 3), 1996년 서울 롤링스톤 락카페 화재(사망 12명, 부상 2명)등 대형 사고가 발생한 화재이후 안전관리규정이 강화되었다. 다중이용업소에 대한 소방시설완비증명 제도가

* Corresponding Author : Changsub Shin, Tel : +82-43-261-2461, E-mail : cs shin@chungbuk.ac.kr

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Chungju 28644, Korea

확대 실시되고, 다중이용업소등에 설치되는 소방설비에 대한 설치기준인 『다중이용업소의 소방시설 등의 화재안전기준』이 2004년 제정되어 체계적으로 소방시설을 설치하도록 하고 있으며, 2007년 『다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법』이 제정되어 화재위험도가 큰 다중이용업소에 대하여 안전관리를 강화하고 있다.

현재 운영중인 『간이스프링클러 설비의 화재안전기준』²⁾은 NFPA 13D (Standard for the Installation of Sprinkler Systems in One and Two Family Dwellings and Manufactured Homes)를 준용하여 제정되었다. NFPA 13D의 경우 방호대상을 1가구나 2가구의 주택으로 하여 다중이용업소와 같이 다량의 가연성 실내장식물 등이 설치된 불특정 다수가 이용하는 시설에 대한 설비로서 소화성능이 다소 미흡할 우려가 있다. NFPA 13 (Standard for the Installation of Sprinkler Systems)에 따른 용도별 위험등급을 보면 주거용도의 경우 경급 위험등급으로 분류되어 높은 수준의 소방설비를 요구하고 있지 않고 있으나, 실제 다중이용업소의 화재 하중에 의해 위험등급을 산정해보면 중급위험 등급³⁾으로 분류할 수 있어 보다 우수한 소화성능을 갖는 소화설비를 설치할 필요가 있다.

본 연구에서는 다중이용업소 등의 안전성 확보를 위해 설치되고 있는 간이스프링클러 설비에 대하여 표준 화원에 의한 실화재 시험을 실시하여 방수량의 변화 및 첨가제의 추가에 따른 화재실 온도변화, 실내 산소농도 변화 등을 측정하여 간이스프링클러 설비의 소화성능을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 실험 대상 및 방법



2.1 실험조건

Table 1은 간이스프링클러 설비의 소화성능비교를 위한 시험조건을 나타낸 것으로, 기존 간이스프링클러 설비에 사용되고 있는 방수상수 K50 헤드를 사용한 경우, 일반적인 스프링클러 설비에 사용되는 K80 헤드를 사용한 경우, K50 헤드에 방수압력을 0.25 MPa로 증가시켜 K80 헤드와 동일한 방수량을 갖는 경우 및 K50

Table 1. Test conditions of fire extinguishing performance

	S/P Head	Pressure	Additive	Water flow rate
#1	K50	0.1 MPa	-	50 ℓ/min
#2	K80	0.1 MPa	-	80 ℓ/min
#3	K50	0.25 MPa	-	80 ℓ/min
#4	K50	0.1 MPa	Reinforced	50 ℓ/min
#5	K50	0.1 MPa	Wetting	50 ℓ/min

Table 2. Specification of the tested sprinkler head

	K50 head	K80 head
K	50	80
Q	50 ℓ/min	80 ℓ/min
d ₀	9.0 mm	11.5 mm
d _r	10 mm	12 mm
Photo		

K : Discharge coefficient, d_r : Distance between orifice and reflector,
d₀ : Orifice diameter, Q : Water quantity per minute (p=0.1 MPa)

헤드에 물의 소화성능을 향상시키기 위하여 침윤제(1%)와 강화액(K₂CO₃) 등의 첨가제를 추가한 경우에 대하여 소화실험을 실시하였다.

실험에 사용된 스프링클러 헤드의 사양은 Table 2에 표시하였으며, 방수상수 K는 헤드의 형상, 크기 등에 의해 결정되는 고유값으로 $Q = K\sqrt{10p}$ (Q:방수량(ℓ/min), p:방수압력(MPa))⁴⁾의 공식을 이용하여 실험적으로 추정할 수 있다.

물의 소화성능을 향상시키기 위한 첨가제는 물의 표면장력을 낮추어 표면적을 크게 하여 냉각성능 및 침투력을 향상시키는 침윤제, 부촉매 효과를 이용하여 소화성능을 향상시키는 강화액을 사용하였으며, 첨가제를 함유한 소화약제의 물성비교를 위해 밀도, 점도, 표면장력을 측정하여 Table 3에 표시하였다.

실험에 적용된 화원은 「소화기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」⁵⁾ 별표2에 따른 A급 화재용 제1모형

Table 3. Physical properties of solution(20°C)

	Density (g/cm ³)	Viscosity (cP)	Surface tension (mN/m)
Water	0.998	1.000	72.8
Reinforced	1.226	3.968	16.5
Wetting	1.006	1.118	20.1

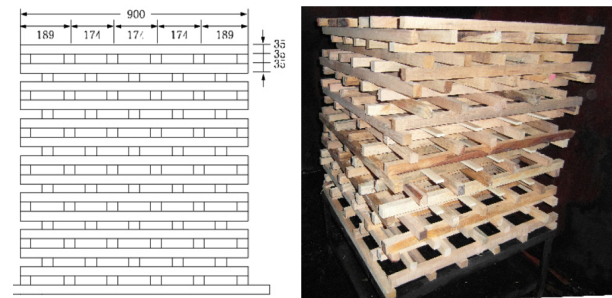


Fig. 1. Wood arrangement for fire test.

을 적용하여 35 mm × 30 mm × 900 mm인 소나무 144개를 철재 연소대 위에 적층하여 사용하였다.

Fig. 1은 소화실험용 목재의 배열 상태를 보여주고 있다. 목재는 충분히 건조시키지 않을 경우 소화실험의 재현성확보가 어려우므로 실험에 사용되는 목재를 105℃에서 24시간 건조시킨 후 실험에 사용하였다⁵⁾.

2.2 실험장치 및 방법

실험공간은 Fig. 2에서 보여주는 것과 같이 전체 2.5 m × 4.5 m × 2.5 m의 크기에 2.0 m × 0.8 m의 개구부가 있는 철재 공간을 사용하였으며, 실험실의 중앙부에 스프링클러헤드를 설치하고 실험공간 외부에 설치된 수조의 소화수를 펌프를 통해 헤드로 공급하여 소화실험을 진행하였다.

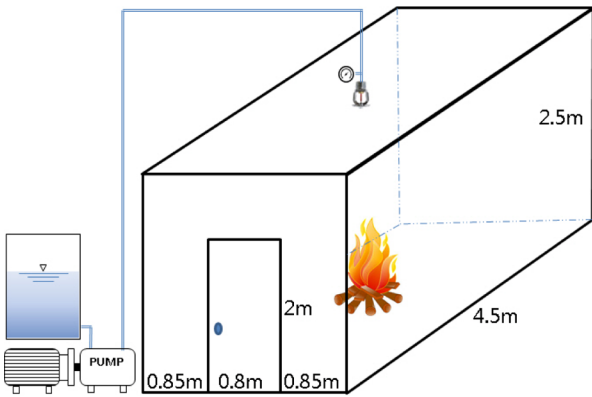


Fig. 2. Schematic of the experimental setup for fire test.

화재모형은 스프링클러헤드 하부에 설치하였고, 실험공간의 온도측정을 위해 K타입 온도 센서를 Fig. 3에서와 같이 화원의 직상부 천장면에 설치하였으며, 실험실 중앙 높이 1.5 m 지점에 실내 산소농도측정을 위한 공기 흡입구를 설치하였다.

화재실험은 외풍이 없는 주위온도 15℃ 상대습도 60%인 실내에서 개구부를 개방한 상태로 실시하였으며,

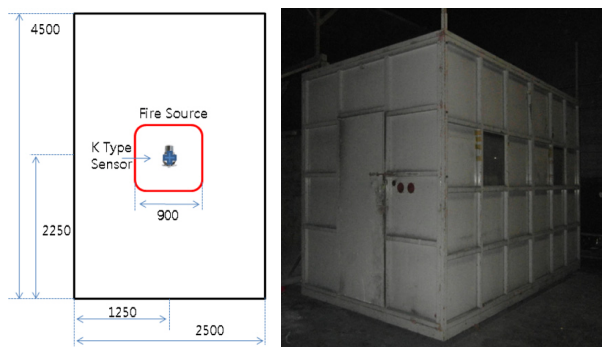


Fig. 3. Schematic of the installation and photo of fire test room.

연소대에 휘발유 1.5 L를 넣어 점화 시킨 후 10초 경과 후 펌프를 작동시켜 미리 개방 시켜 둔 스프링클러 헤드를 통해 방수하였다. 방수압력 및 방수 시간은 「간이스프링클러설비의 화재안전기준」을 참조하여 0.1 MPa의 압력으로 10분간 방사하였다.

간이스프링클러 설비의 소화성능 비교를 위한 성능기준은 인명안전, 재산보호 및 화재 확산방지등을 고려하여 「소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준」⁶⁾ 및 해외 선진 소방국의 성능기준⁷⁾ 등을 참조하여 다음과 같이 설정하였다.

성능 기준	범위
산소농도	15% 이상
천장면의 온도	200℃ 이하
방수 정지 후 잔염 유무	화염 육안 판단

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 소화실험

Fig. 4는 간이스프링클러 작동시의 소화실험 진행 과정을 보여주고 있다. 최초 점화 후 휘발유에서 발화한 화재는 목재로 전파되고 휘발유에 의한 화염과 목재에 의한 화염이 상승작용을 일으켜 화염의 최대성장 모습을 보여준다. 스프링클러 헤드를 통해 소화수가 방사되면 화재의 세기가 다소 약해지나, 간이스프링클러 설비는 B급 유류화재에 적응성이 낮아 화재가 계속 진행 된다. 실험 개시 약 110초 경과 후 휘발유가 완전

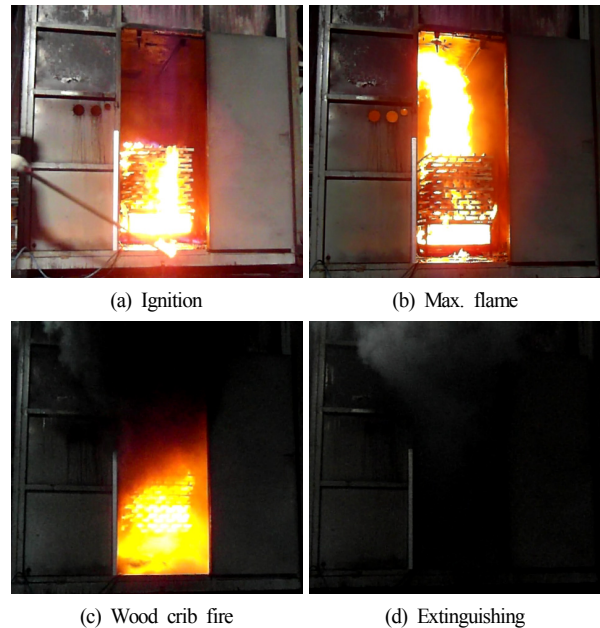


Fig. 4. Progress of fire test with reinforced agent.

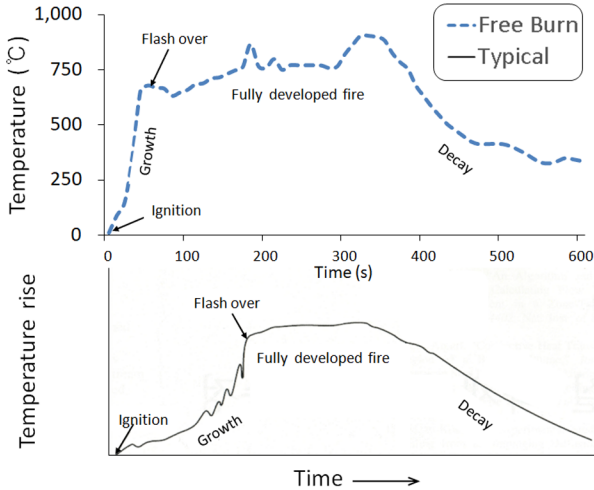


Fig. 5. Room temperature variation without sprinkler.

소모되면서 A급 화재인 목재화재로 전이되고, 스프링클러 헤드에서 방사 되는 소화수에 의해 열방출률이 점차 감소하면서 표면에서의 연소는 정지하나, 소화수의 방수량의 차이에 따라 일부 소화되지 않은 목재는 심부화재로 진행 된다.

Fig. 5는 전형적인 실내화재에서의 온도변화⁸⁾와 실험에서 측정된 자유연소 상태의 온도변화 양상을 보여주는 것으로 유사한 화재 진행 과정을 보여준다. 초기 점화 후 급속한 성장단계를 거쳐 최성기 화재로 전이 되는데, 최성기 화재에서는 가연물의 연소속도가 공급 되는 공기속도보다 빨라 유입되는 공기 중의 산소를 거의 소비하게 되는 환기 지배형 화재의 형태로 진행 된다. 최성기 단계 이후 가연물이 소모됨에 따라 온도가 서서히 감소하는 쇠퇴기 단계에 이르게 되고, 가연물의 종류 및 화재조건에 따라 심부화재로 진행 된다. 성장 및 쇠퇴 단계에서는 연소에 필요한 산소공급이 충분하여 화재진행이 가연물의 연소성질에 따라 결정 되는 연료 지배형 화재의 형태로 연소가 진행 된다.

자유연소의 경우 초기 약 700°C에서 최성기 화재로 전이되어 지속적인 열축적으로 인해 천장면의 최고 온도가 904°C에 이르렀으며, 10분이 경과한 후에도 200°C 아래로 냉각되지 않았다.

3.2 소화성능 비교

Fig. 6은 화재실의 산소농도 변화를 보여준다. K50 0.1 MPa의 경우 산소농도가 지속적으로 15% 이하로 유지되어 재실자의 거주가능시간을 충분히 확보하기가 곤란할 수 있으나, K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa 및 K50 Reinforced의 경우 산소농도가 15% 이하로 내려가지 않거나 신속히 회복되어 재실자의 거주가능시간 확

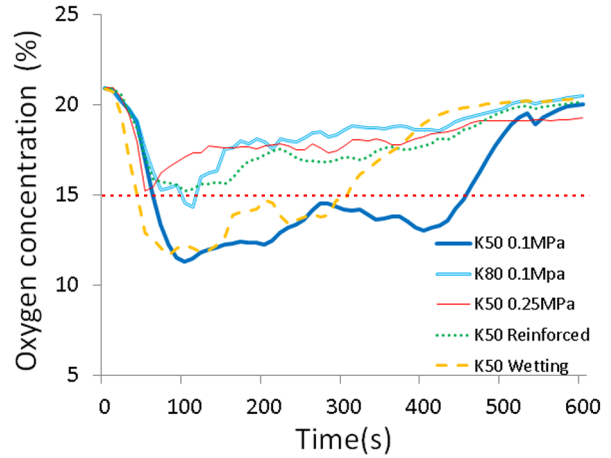


Fig. 6. Oxygen concentration variation by head type.

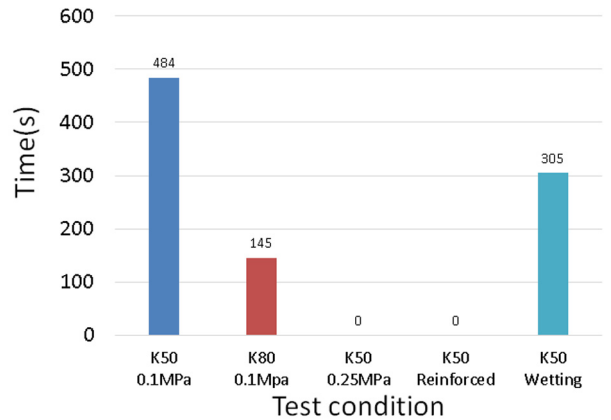


Fig. 7. Time of Oxygen concentration 15% recovery.

보가 가능할 것으로 판단되며, Fig. 7의 15% 산소농도 회복시간을 보면 K80 0.1 MPa의 경우 산소농도 15% 회복시간이 비교적 짧은 145초가 소요되었으며, K50 Wetting의 경우 K50 0.1 MPa의 경우에 비해 179초 단축되어 재실자의 안전 확보에 유리할 것으로 판단된다.

Fig. 8의 화재실의 최저산소농도를 살펴보면 K50 0.1 MPa의 경우 최저산소농도가 11.3%까지 감소하게 된다. 산소농도에 따른 인체영향⁹⁾을 보면 산소농도 15~19%에서는 순환기 장애 초기증상이 유발되고, 12~14%에서는 호흡수와 맥박이 증가하고 지각능력과 판단력이 손상을 입으며, 10~12%에서는 호흡이 더욱 빠르고 깊어지며 청색 입술이 되고, 판단력 저하가 심하게 된다. 이에 재실자는 호흡증가, 판단력 저하 등으로 인해 신속한 피난활동이 어려울 것으로 예상된다. K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa 및 K50 Reinforced의 경우 최저산소농도는 K50 0.1 MPa의 11.3% 대비 각각 26.5%, 34.5%, 34.5% 향상된 14.3%, 15.2%, 15.2%로 나타나 재실자에게 큰 영향을 미치지 않는 수준으로 신속한 피난활동이

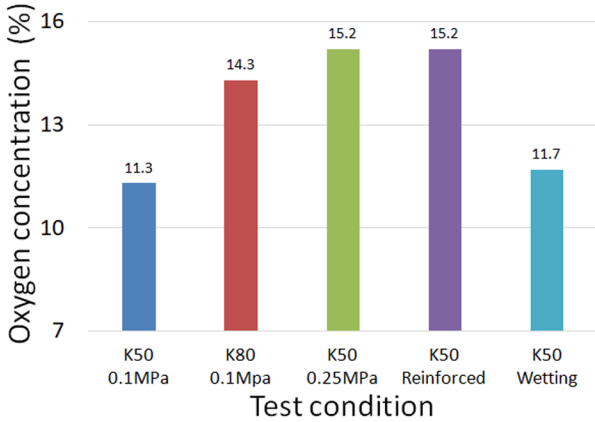


Fig. 8. Minimum oxygen concentration.

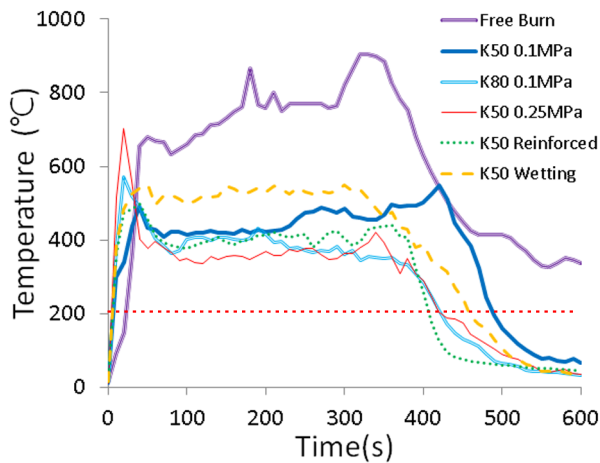


Fig. 9. Room temperature variation by test condition.

가능할 것으로 판단된다. K50 Wetting의 경우 11.7% 까지 산소농도가 감소하여 K50 0.1 MPa의 경우와 유사한 성능을 나타내었다.

Fig. 9는 실험조건에 따른 천장면의 온도변화를 보여주는 것으로 K50 0.1 MPa의 경우 소화성능 부족으로 화재실이 냉각되지 못하고 온도가 점진적으로 상승하는 모습을 보이나, K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa, K50 Reinforced의 경우 화재초기에는 K50 0.1 MPa과 유사한 온도변화를 보이다 화재 중기 이후 많은 방수량과 부촉매 효과 등에 의해 화재를 제어하여 화재실의 온도가 낮아지는 모습을 보여준다. 특히 K50 0.25 MPa의 경우 방사수량의 증가뿐 아니라 높은 방사압력으로 물의 분무 형태가 미분화되어 냉각효과 뿐 아니라 화염으로 유입되는 산소가 차단되는 질식효과¹⁰⁾에 의해 효율적인 소화작용이 나타난 것으로 생각된다. K50 Wetting의 경우 화재 중기까지는 K50 0.1 MPa에 비해 다소 높은 온도분포를 보이는데 이는 낮은 표면장력으로 인해 물방울 크기가 작아져 화염내부로 침투하지 못하는 것으로

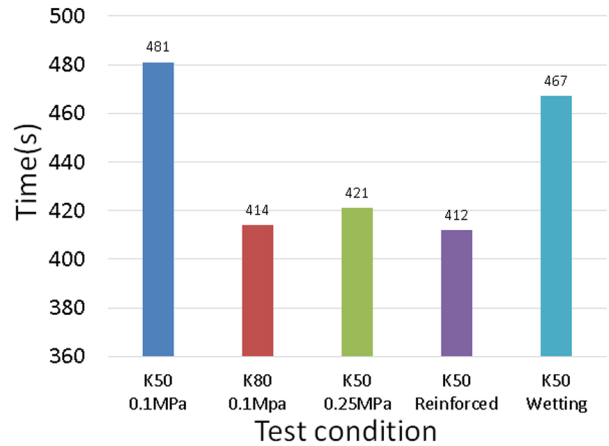


Fig. 10. 200°C cooling time variation by test condition.

판단되며, 이후 화재 중기 이후로 빠른 냉각속도를 보이는 것은 심부화재에 적응성을 갖는 Wetting Agent의 효과에 따른 것으로 판단된다.

Fig. 10은 200°C까지의 냉각시간을 나타낸 것으로 간이 스프링클러 설비에 사용되는 방수량이 50 l/min인 K50 0.1 MPa의 경우 200°C 냉각 시간이 481초가 소요되었으며, 방수량을 80 l/min로 증가 시킨 K80 0.1 MPa 및 K50 0.25 MPa의 경우 냉각시간이 각각 414초, 421초가 소요되어 13.9%, 12.5% 냉각속도가 향상 되었다.

강화액을 사용한 K50 Reinforced의 경우 200°C 냉각 시간이 412초가 소요되어 방수량을 80 l/min로 증가한 경우와 유사한 냉각특성을 보여 K50 0.1 MPa에 비해 약 14.3% 냉각속도가 향상되었으며, 침윤제를 사용한 K50 Wetting의 경우 K50 0.1 MPa인 경우와 유사한 냉각시간을 보여주었다.

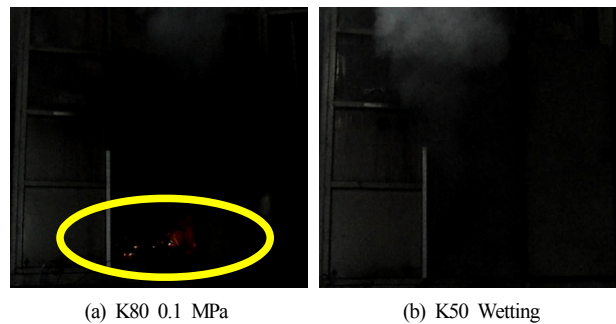


Fig. 11. Flame after sprinkler discharge.

스프링클러를 10분간 작동시킨 후 잔염 여부를 육안으로 확인한 결과 Fig. 11에서와 같이 K50 0.1 MPa, K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa 및 K50 Reinforced의 경우 목재가 전소되거나, 목재무너짐이 발생함에 따라 심부 화재로 진행되어 잔염이 발생하였다. 그러나 침윤제를

사용한 K50 Wetting의 경우는 화재 중기이후 화재 심부로 소화수가 침투하여 심부화재로의 진행을 제어하여 잔염이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 실험에서는 간이스프링클러 설비의 소화성능을 향상을 위하여 방사수량을 증가시키는 방법(K80 헤드 적용, 방사압력 0.25 MPa 적용)과 첨가제(침윤제, 강화액)를 이용하여 소화수의 소화능력을 강화시키는 방법을 적용하여 A급 화재용 제1모형에 대한 실화재 시험을 실시하고 다음의 결론을 얻었다.

1) 방사수량을 증가시킨 K80 0.1 MPa 및 K50 0.25 MPa의 경우 K50 0.1 MPa보다 60% 많은 소화수에 의해 화재의 확산이 제어되는 모습을 보여주었으며, K50 Reinforced의 경우 부족매 효과 등에 의해 소화수량이 많은 K80 0.1 MPa의 경우와 유사한 소화능력을 보여주었다. K50 Wetting의 경우 화재 중기까지는 K50 0.1 MPa의 경우와 유사한 특성을 보였으나 심부화재로의 전이를 방지하는 효과를 보여주었다.

2) 화재실의 최저 산소농도는 K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa, K50 Reinforced의 경우 K50 0.1 MPa의 경우에 비해 각각 26.5%, 34.5%, 34.5% 우수한 특성을 나타내었으나, K50 Wetting의 경우 산소농도 11.7%로 K50 0.1 MPa의 경우와 유사한 성능을 보였다. 방수개시 후 산소농도 15%가 회복되는 시간은 K50 0.25 MPa 및 K50 Reinforced의 경우 산소농도 15% 이하로 감소하지 않았으며, K80 0.1 MPa가 145초, K50 Wetting의 경우가 305초가 각각 소요되어 K50 0.1 MPa의 484초에 비해 향상된 성능을 보여주었다.

3) 화재실의 온도가 화재가 진압되는 200℃까지 냉각되는 시간은 K80 0.1 MPa, K50 0.25 MPa, K50 Reinforced 및 K50 Wetting의 경우 K50 0.1 MPa에 비해 냉각속도가 각각 13.9%, 12.5%, 14.3%, 2.9% 향상되었다.

4) 간이스프링클러설비는 관련법령에 따라 그 설치기준이 정해져 있으나, 다중이용업소와 같이 다량의 가연성 실내장식물 등에 의해 화재하중이 높은 경우 기존의 K50헤드는 소화성능이 다소 미흡하여 재실자의 안전성 확보를 위한 산소농도 확보 및 빠른 냉각효과를 기대하기 곤란하므로, 방사수량을 증가시키거나(K80 헤드 적용, 방사압력 0.25 MPa 적용) 강화액 등을 적용하여 재실자의 안전성을 확보할 수 있도록 소화성능을 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) NFA(National Fire Agency), <http://www.nfds.go.kr>
- 2) NFA(National Fire Agency), "National Fire Safety Codes of Basic Sprinkler Systems (NFSC 103A)", 2016.
- 3) D. J. Kim, S. S. Oh, J. K. Lee and S. W. Kim, "Developing Sprinklers on Space Characteristic Fit of Multiplex Use Facility", Autumn Conference of Korean Institute of Fire Science and Engineering, pp. 437-440, 2012.
- 4) NFA(National Fire Agency), "Standard of Model Approval and Inspection Technology for Sprinkler Head", 2016.
- 5) M. H. Kim and C. S. Shin, "Efficiency of Water Mist Suppression System Containing Viscosity Agent to Extinguish Wood Cribs Fire", J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 4, 2014.
- 6) NFA(National Fire Agency), "Performance-oriented Design Methods and Standards for Fire-fighting Systems", 2016.
- 7) H. J. Kim, W. K. Kim, H. J. Park, S. H. Choi and J. H. Chun, "A Study on the Performance Criteria for Performance-Based Design", Summer Conference of Korea Institute of Fire Science & Engineering, 2004.
- 8) W. D. Walton, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Section 3, National Fire Protection Association, 2008.
- 9) Korea Occupational Safety & Health Agency, <http://www.kosha.or.kr>
- 10) Y. J. Yeo, "Water-Based Fire Protection Systems Engineering", pp. 19, Korea Fire Safety Laboratory, 2006.