가연성금속 화재에서 질식 효과를 이용한 질식소화포의 적응성에 관한 연구

박지현, 남기훈†, 신하림
창신대학교 소방방재공학과
pgh8545@naver.com

A Study on the Adaptability of Fire Blanket using Smothering Effect in Combustible Metal Fires

Ji-Hyeon Park, Ki-Hun Nam†, Ha-Rim Sin
Dept. of Fire&Disaster Prevention, Changshin University

요 약

가연성 금속(combustible metal)은 마그네슘(Mg), 지르코늄(Zr), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al) 및 아연(Zn)을 포함한 물질이며 다수의 금속은 공통의 위험 특징을 가지고 있다. 최근 가연성 금속의 사용량 증가와 함께 화재 발생도 증가하고 있다. 금속화재의 지속적인 발생에도 불구하고 금속화재에 관한 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 질식소화포를 활용하여 금속화재의 적응성에 관한 실험을 진행하였다.

1. 서론

가연성 금속(combustible metal)은 마그네슘(Mg), 지르코늄(Zr), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al) 및 아연(Zn)을 포함한 물질이며 다수의 금속은 공통의 위험 특징을 가지고 있다. 가연성 금속은 거대한 조각의 형태에는 일반적으로 가연성이 없지만 미세하게 분할된 형태에서는 쉽게 점화된다. 또한 물과 반응하였을 경우 수소(H)를 발생시켜 금속의 연소를 촉발시키는 금수성 물질이다. 이러한 물질의 화재는 금속화재 (Class D)라고 한다[1].

최근 휴대폰, 노트북 등 약전 분야의 케이스, 항공기 경량 전자기부품 및 자동차 부품에 가연성 금속을 사용되고 있다. 가연성 금속의 사용량이 증가하고 있으며 화재 발생도 증가하고 있다. 2016년부터 2020년까지 금수성물질 화재는 153건 발생한 것으로 조사되었으며 2020년에는 약 40건 발생된 것으로 나타났다(표 1).

[표 1] 금수성물질의 물과 접촉에 의한 화재 발생 현황 [2]

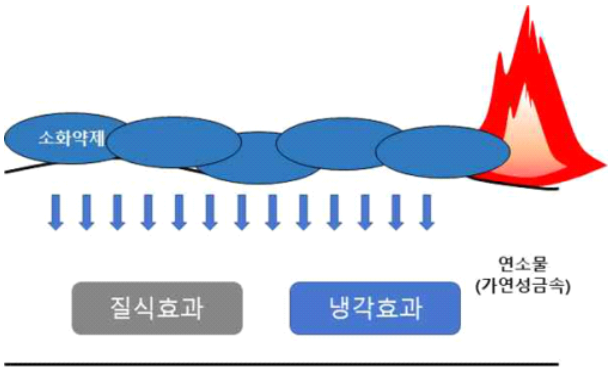
구분	합계	2016	2017	2018	2019	2020
금속화재 발생건수	153	25	32	31	25	40
발생피해액 (천원)	1,815,618	132,298	462,473	277,090	483,801	459,956

이와 같이 금속화재의 지속적인 발생에도 불구하고 금속화재의 소화 및 예방법에 관한 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 질식소화포를 활용하여 금속화재의 적응성에 관한 실험을 진행하였다.

2. 이론적 고찰

금속화재는 약 2,760 ~ 4,700℃의 범위의 화염온도를 가진다[3].이 온도는 물을 수소와 산소로 분해할 수 있으며 이산화탄소의 경우 탄소와 산소로 분해할 수 있다. 즉, 물계 소화약제 및 이산화탄소를 소화약제로 사용할 경우 화재 확산은 물론 폭발로 까지 이어질 수 있어 금속화재에서 이들 소화약제의 사용을 금지하고 있으며 건조사 또는 금속화재용 소화약제를 사용하도록 하고 있다[4-5].

소화약제의 경우 효과적으로 진화하기 위해서는 질식소화와 냉각소화가 동시에 이루어져야 하며 질식효과와 냉각효과 원리로 화재를 진화 시킨다(그림 1). 건조사는 금속화재의 표면을 건조된 모래로 덮어 산소를 차단해 질식효과 원리로 진화가 이루어진다.



[그림 1] 금속화재용 소화약제의 소화효과

마그네슘 화재가 자주 발생하는 폐기물 재활용 공장의 경우 드로스가 공장에 적재되어 있다. 드로스는 대기 중 물과 반응하여 수소가스와 수산화마그네슘을 형성하여 화재를 발생시키기 때문에 위험하다. 드로스에서 연기가 발생하였을 때 표면의 산소를 차단하여 질식소화를 진행하여야 한다(그림 2). 드로스 등 금속화재가 발생할 때 건조사를 사용하여 질식소화한다. 이에 건조사와 같은 질식효과를 가지는 질식소화포를 활용하여 마그네슘 연소의 적응성에 관한 실험을 진행하였다.

[그림 2] 대기 중 드로스의 연기 발생

질식소화포의 경우 건조사와 같은 질식효과를 가지며 연소 중 산소를 차단하여 질식소화 하는 원리이다.

3. 실험 방법

3.1 실험 물질

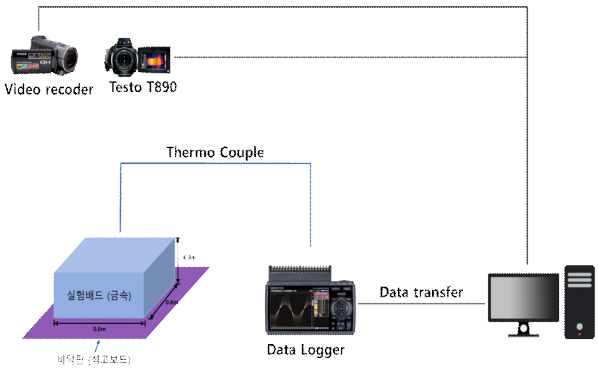
실험 물질은 가연성금속중 폐기물 공장들의 주요 사용 물질인 마그네슘으로 선정하였다[6]. 마그네슘의 형태는 분말(powder)로 ISO 7165의 성능 실험 기준에 따라 99.5% 순도인 것을 사용하였으며 입자크기는 150 μm 크기의 표준망체(Standard sieve)에 걸러낸 분말을 사용하였다[7].

본 연구는 빠르고 간편한 사용이 가능한 질식소화포를 사용ㄴ하여 금속화재 적응성 실험을 진행하였다. 화재진압을 위해 질식소화포는 Bridgehill Car Fire Blanket를 사용하였다. 질식소화포는 전기 자동차에 사용이 가능하며 약 1200℃의 고온에서 견딜 수 있는 불연성 재질이다. 무게는 25kg으로 돌가루와 유리섬유 등 불연성 재질로 제작되었으며 가로 8m, 세로 6m 크기로 성인 2명이서 사용 가능하도록 제작되었다(그림 3).

[그림 3] 질식소화포 Bridgehill Car Fire Blanket

3.2 장치 및 구성 방법

화재의 특성을 분석을 위해 데이터 로거 (GL840), 열전대 (K-type, P-type), 조도계 (LX-1128SD), 적외선열화상카메라(Testo T890), 비디오 레코더를 활용하여 실험을 진행하였다(그림 4)(표 2).



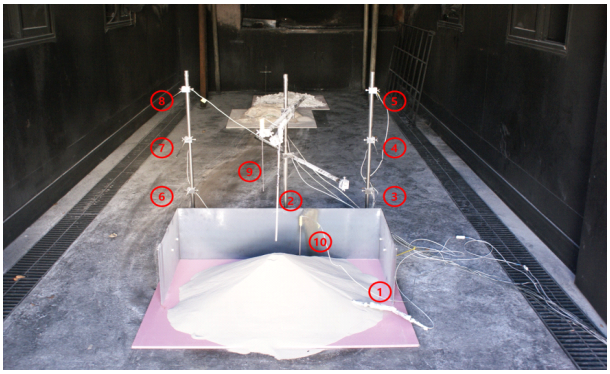
[그림 4] 실험 장치 구성

[표 2] 실험장비현황

구분	장비명	측정범위	측정	모델명
1	데이터로거	-200 ~ 2,000℃	온도	GL-840
2	적외선 열화상 카메라	0 ~ 1,200℃	온도	Testo 890
3	K-type thermo couple	0 ~ 1,260℃	온도	
4	P-type thermo couple	1,000 ~ 1,800℃	온도	백금
5	캠코더	-	-	

열전대는 마그네슘 분말의 내부 2지점과 외부 8지점에 설치하여 온도를 측정하였다(그림 5)(표 3). 질식소화포 사용으로

외부의 온도 측정이 불가하여 외부온도는 질식소화포 사용 전 까지만 측정하였으며 내부온도는 질식소화포 안에서 측정이 가능하여 질식소화포 사용 후에도 계속 측정을 하였다.



[그림 5] 50kg 자유연소, 질식소화포 열전대위치

[표 3] 번호에 따른 열전대 위치 및 거리

구분	위치
①	마그네슘 내부 하단 중앙 (P-type 열전대)
②	마그네슘 중앙 상단 5cm (P-type 열전대)
③,⑥	마그네슘 중앙으로부터 높이 30cm, 거리 65cm (K-type 열전대)
④,⑦	마그네슘 중앙으로부터 높이 60cm, 거리 65cm (K-type 열전대)
⑤,⑧	마그네슘 중앙으로부터 높이 90cm, 거리 65cm (K-type 열전대)
⑨	마그네슘 중앙으로부터 높이 30cm (K-type 열전대)
⑩	마그네슘 내부 중앙 (K-type 열전대)

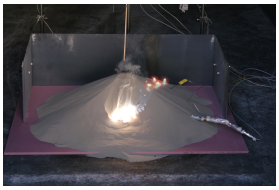
질식소화포 진압실험은 자유연소 후 질식소화포로 소화하였다(표 4). ISO 7165기준에 따라 점화는 가스토치를 이용하여 배드 중앙에서 25-30초 점화 후에 토치를 제거하고 질식소화포의 경우 연료의 25% 또는 연료 표면의 50%가 연소 되었을 경우 질식소화포를 사용하여 진화한다.

[표 4] 실험 방법

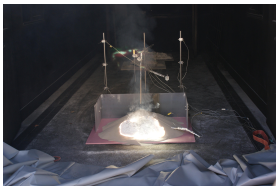
구분	세부실험절차	측정
질식 소화포	1. 마그네슘 50kg 실험배드 위에 비치 2. 가스토치로 점화(25~30초) 3. 20분 연소 후 질식소화포로 소화(열전대 제거 후 내부온도 2곳만 측정) 4. 약 2시간 50분 경과 후 질식소화포 제거	내외부 온도, 적외선 열영상, 조도

4. 실험 결과

마그네슘 연소 시작 약 20분 후 질식소화포로 연소물을 덮어 진압을 하였으나 일시적인 화염의 분출과 연소 지연 효과는 보였지만 근본적인 화재의 소화효과는 없는 것으로 판단된다(그림 6).



(1) 연소 2분 경과



(2) 연소 10분 경과

(3) 연소 16분 30초 경과

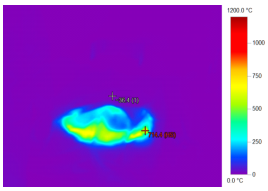
(4) 연소 19분 30초 경과

(5) 연소 2시간 5분 경과

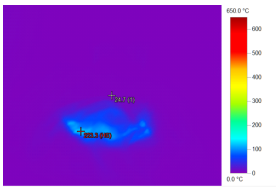
(6) 연소 2시간 50분 경과

[그림 6] 50kg 자유연소, 연소 및 질식소화포 사용

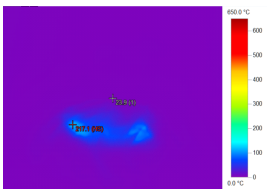
적외선열화상카메라를 통하여 표면 온도를 확인한 결과 마그네슘 화염으로 인해 초기의 온도는 높았으나 점차 온도가 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이후 질식소화포 제거 후 온도가 500℃까지 올라가는 것을 확인 할 수 있었으며 20분 경과 후 표면온도가 1,000℃가 넘는 것을 확인 할 수 있었다. 질식소화포 제거 1시간 후의 표면온도는 1,220℃로 질식소화포 사용 전 온도와 비슷해졌음을 확인 할 수 있었다(그림 7).



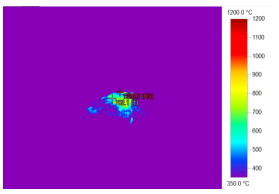
(1) 질식소화포 소화



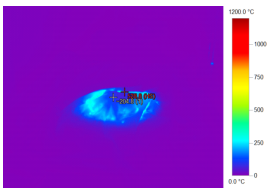
(2) 질식소화포 2분 경과



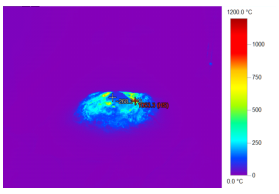
(3) 질식소화포 15분 경과



(4) 질식소화포 제거 6분 경과



(5) 질식소화포 제거 20분 경과

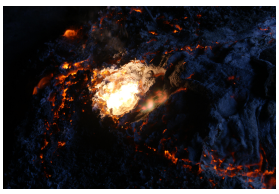


(6) 질식소화포 제거 1시간 경과

[그림 7] 적외선 열화상 분석

질식소화포 제거 후 마그네슘 내부에서 연소가 계속해서 진

행되고 있는 것을 확인할 수 있었으며 1시간이 지난 후 화염이 분출되어 재발화 되는 것을 확인할 수 있었다(그림 8).



(1) 질식소화포 제거 10분 경과

(2) 질식소화포 제거 1시간 경과

[그림 8] 질식소화포 제거 후

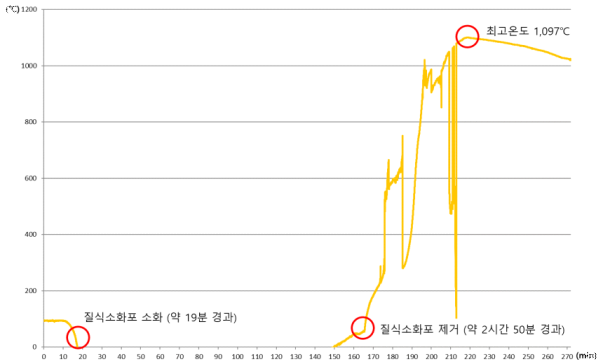
소화 직후 마그네슘 화염이 질식소화포에 표출되는 것을 확인 할 수 있었다(그림 9).

[그림9] 질식소화포 소화 후 화염 표출

화염 표출에 의한 열변형으로 질식소화포가 파손된 것을 확인 할 수 있었다(그림 10).

[그림 10] 열변형으로 인한 파손

50kg 연소 실험에서 질식포를 사용 전까지 이전 실험과 유사한 화재 확산 패턴을 보였다. 질식포 사용 후 표면온도(적외선 열화상 분석)는 1200℃ 이상으로 상승하였으며 질식포 제거 후 내부 온도가 약 1,097℃까지 상승한 것을 확인할 수 있었다(그림 11). 질식소화포는 화재의 확산을 늦추는 기능을 할 수 있지만 고온으로 인해 질식포가 손상되면서 기능을 상실하였다.



[그림 11] 질식소화포 내부 온도 변화

5. 결론

질식소화포는 금속화재에서 사용하지 않으며 주로 공기차단 효과를 통해 화재를 소화시키는 기능을 갖고 있다. 본 실험에서 질식소화포를 사용한 결과 일정시간 화재의 진행 속도를 감소시키지만 질식소화포가 고온으로 인해 파괴되는 현상이 발견되었으며 질식포를 제거 후 급격하게 연소가 진행되는 것이 관찰되었다. 이러한 점을 비추어 질식소화포는 금속화재 현장에서 활용은 어려울 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Eugene Meyer, “Chemistry of hazardous materials”, Third Education Inc, USA, pp.329, 1997.

[2] 소방청, “국가화재정보시스템”, 국가화재정보센터, 2021년 5월 18일, https://www.nfds.go.kr/

[3] Eugene Meyer, “Chemistry of hazardous materials”, Pearson Education Inc, USA, pp.308-343, 2013.

[4] Deukkwang An, Peter B. Sunderland, Daniel P. Lathrop,“Suppression of sodium fires with liquid nitrogen”, Journal of Fire Safety, Vol. 58, pp.204-207, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.02.001

[5] Fluegeman, C., Hilton, T., Moder, K., and Stankovich, R., “Development of detailed action plans in the event of a sodium hydride spill/fire”, Journal of Process Safety Progress, Vol. 24, No. 2, pp.86-90, 2005. DOI: https://doi.org/10.1002/prs.10064

[6] K. H. Nam, J. S. Lee, “Study on the effective response method to reduce combustible metal fire”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation, Society Vol. 19, No. 12 pp. 600-606, (2018).

[7] International Organization for Standardization, “ISO 7165:2017 Fire fighting-Portable fire extinguishers- Performance and construction”, International Organization for Standardization, pp.28, 2017.