

마그네슘 화재의 효과적인 초기소화를 위한 금속화재용 소화기 활용방안에 관한 연구

A Measure on the Use of Metal Fire Extinguisher for Effective Early Extinguishment of Magnesium Fire

남기훈¹, 이준식^{2*}

Ki-Hun Nam¹, Jun-Sik Lee^{2*}

〈Abstract〉

Magnesium fires require early fire extinguishment due to impulsive and rapid-fire expansion that makes difficult fire fighting. For this reason, efficient early fire fighting and appropriate prevention of fire spread are considered mainly as significant fire extinction measures. However, there is a limit to developing tools for metal fire fighting, such as devices, facilities, and fire extinguishing agents, due to a lack of regulatory instruments in South Korea. It often generates challenges to early fire fighting implementation by fire responders. Thus, the aim of this study is to investigate a measure for securing the efficiency of early fire fighting in magnesium. This study identified the applicability of the metal fire extinguisher used in the United States for magnesium fire through a performance test of a fire extinguishing agent for metal fire. Moreover, we implemented a free burning experiment using magnesium powder to compare varying combustion and extinction process that could occur during applying metal fire extinguishers. Finally, this study suggests measures of the use and application of metal fire extinguishers for magnesium.

Keywords : Fire, Magnesium Fire, Class D Fire Extinguisher, Combustion Process

1 정회원, 창신대학교 소방방재공학과

2* 정회원, 교신저자, 창신대학교 항공기계공학과
E-mail: jslee@cs.ac.kr

1 Dept. of Fire & Disaster Prevention Engineering, Changshin University

2* Corresponding Author, Dept. of Aeronautical Mechanical Engineering, Changshin University

1. 서론

금속화재(Class D, combustible metal fire)는 일반, 유류, 전기 화재와 비교해 고온의 연소를 동반하며 물, 이산화탄소 등과 반응해 수소와 같은 인화성 가스와 탄소를 발생시킨다. 또한, 분말 소화기는 고온으로 인해 충분한 소화효과를 발휘할 수 없다. 금속화재를 소화하기 위한 소화약제의 조건은 크게 질식 및 냉각소화 효과와 함께 고온에 견뎌야 하며 충분한 두께로 연소표면을 덮을 수 있어야 한다. 또한, 가연성 금속과 반응하지 않아야 한다. 하지만 국내에서 상용화 되어 있는 수계, 가스계 소화약제 및 분말소화약제는 이러한 조건을 만족하지 못해 활용이 불가능 하다[1].

일반적으로 마그네슘(magnesium) 금속화재 발생 시 진화 방법은 마른모래, 팽창질석을 이용한 소화방법과 자연소화방법이 적용된다[1-2]. 마른모래와 팽창질석은 연소표면을 덮어 소화하는 형태로 질식소화 방식이며 자연소화 방식은 별도의 소화약제 또는 진화 활동 없이 연소가 자연적으로 끝날 때까지 기다리는 방식이다. 마른모래와 팽창질석을 적용할 경우 표면연소와 확대를 방지할 수 있지만 내부에서는 지속적으로 느린 연소가 진행되기 때문에 자연소화 방식에 비해 완전진화까지 많은 시간이 소요된다. 또한, 현장에 안전 인력을 배치하고 지속적인 관찰이 요구된다. 자연소화방식의 경우 팽창질석, 마른모래 등을 활용한 소화

방식 보다 작은 시간이 소요되지만 별도의 연소화대방지를 위한 활동이 필요하다. 더욱이, 두 가지 진화방법 모두 초기진화 실패 시 장기간 연소가 진행될 수밖에 없으며 연소가스 등으로 인한 사람 및 환경에 대한 영향이 야기된다.

국내 금속화재의 관련 규정으로 위험물안전관리법에서는 금수성 물질에 대한 소화방법으로써 팽창질석, 마른모래를 사용한 질식소화방법만을 제시하고 있다[3-4]. 국내에는 아직 금속화재와 관련된 구체적인 법안이 마련되어 있지 않다[3]. 이는 금속화재용 소화약제, 소화기구, 소화설비의 개발에 영향을 미치고 있다. 이로 인해 금속화재 발생 시 초기진화 활동 및 현장대응에 마른모래 또는 팽창질석에 의존할 수밖에 없는 실정이다. 하지만 마른모래와 팽창질석은 평상 시 유지 및 관리에 습도 조절, 보관장소 등의 확보 등과 같은 어려움이 있으며 초기 화재 발생 시 사용에 많은 제약이 따른다(Fig. 1(a)).

미국의 경우 금속화재의 위험이 있는 장소에는 신속한 초기 진압을 위해 금속화재용 소화기를 비치하는 것이 법제화 되어 있다[5]. 또한, 금속화재용 소화기는 가연성 금속별로 소화약제 및 소화기가 개발되어 상용화 되고 있다. 국내에는 관련법이 마련되어 있지 않지만 국내 관련 산업현장에서 수입을 통하여 현장에 비치하는 곳도 있다(Fig. 1(b)). 하지만 화재 초기 금속화재용 소화기의 활용방안에 대한 연구의 부족과 금속화재용 소화기에 대한 인식 부족으로 인하여 활용성이 낮은 실정이다.

이에 본 연구에서는 마그네슘 금속화재용 소화기에 대한 소화능력 실험을 통한 마그네슘 금속화재 초기 대응의 효율성의 확보 방안을 제시하고자 한다.



Fig. 1 Dry sand (a) and class D fire extinguishers (b) in magnesium recycling factory

2. 실험방법

본 실험에서는 마그네슘 자유연소 실험(1회)과

마그네슘 금속화재용 소화기 실험(1회)을 진행하였다. 실험절차 및 방법은 International Standards Organization (ISO) 7165: 2017 Fire Fighting-portable Fire Extinguishers-Performance and Construction 의 금속화재용 소화기 성능테스트 기준에 따라 진행하였다[6].

2.1 실험물질

ISO-7165의 금속화재용 소화기 성능테스트 기준에서 제시하고 있는 연료는 크게 마그네슘 칩(chip)과 분말(powder or dust)형태로 구분된다.

본 연구에서는 마그네슘 분말을 연료로 사용하여 실험을 진행하였다. 연료로 사용되는 마그네슘 분말 기준 Table 1과 같다. 입자의 크기는 387 μ m 체를 모두 통과한 것 중 150 μ m 체를 통과하는 것이 80% 이상인 마그네슘이 99.5% 이상인 것을 사용하였다. 실험의 정확성을 높이기 위해 실험에 사용할 마그네슘은 24시간 동안 데시게이터 (23 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C) 에 보관 후 사용하였다. 연료량은 마그네슘 자유연소와 마그네슘 금속화재용 소화기를 사용한 연소 실험에서 각각 11kg을 사용하였다.

Table 1. physical properties of magnesium[6]

	Contents
Mg powder	<ul style="list-style-type: none"> containing not less than 99.5% magnesium all the particles shall pass a 387μm sieve and no less than 80% of the powder shall be retained on a 150μm sieve
Fuel	<ul style="list-style-type: none"> Mg powder : 11kg \pm 0.1kg Mg + cutting oil - Mg : 9.9kg \pm 0.1kg - cutting oil: 1.1kg \pm 0.1kg cutting oil density - relative density: 0.86 \pm 0.01 - flashpoint 146 \pm 5$^{\circ}$C (cleveland open cup)

2.2 실험장치 구성

마그네슘 연소 실험 및 소화약제 성능 실험을 위해 Fig. 2와 같이 바닥에는 석고보드(두께 10mm)를 설치하였으며 그 위에 외부실험배드(1m(L) \times 1m(W) \times 0.3m(H))와 내부실험배드(0.6m(L) \times 0.6m(W) \times 0.3m(H)) 각각 설치하였다. 내부실험배드에 마그네슘 분말 11kg을 쏟아진 형태로 석고보드 중앙에 위치시켰다. 내부실험배드는 점화 후 제거하였다.

마그네슘의 연소과정 및 금속화재용 소화약제를 사용한 진화과정을 비디오 레코더로 촬영하였다. 내부온도를 측정하기 위해 k-type 열전대 (0.32mm, -270~1,372 $^{\circ}$ C)를 사용하였으나 고온으로 인해 파손되어 본 연구내용에는 포함시키지 않았다.

본 연구에서 사용된 금속화재용 소화기는 Amerex B570 으로 마그네슘, 알루미늄 등의 가연성 금속 화재에 사용할 수 있다. 소화약제 성분은 sodium chloride 이며 방출시간은 약 24초로 저속으로 방출된다. 총 중량은 24kg 이며 소화약제량은 13.6kg 으로 방사거리는 1 ~ 2m 이다(Fig. 3).

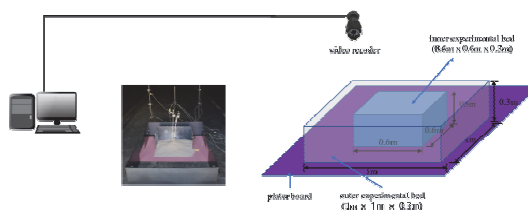


Fig. 2 Experimental setup for magnesium fire



model : Amerex B570
 shipping weight : 24kg(53lbs)
 capacity : 13.6kg(30lbs)
 size : 0.89m(H) \times 0.33m(W) \times 0.2m(D)
 discharge time : 24sec
 range : 1~2m

Fig. 3 Class D fire extinguisher(Amerex B570)

2.3 실험절차

착화는 ISO-7165의 기준에 따라 가스토치를 사용하여 약 30초가 화염을 직접 접촉시켜 점화 시켰다. 마그네슘 자유연소 실험에서는 점화 후 연소가 종료 될 때까지 과정을 관찰하였다. 금속 화재용 소화기를 사용한 실험은 마그네슘이 연소를 시작한 후 표면 연소가 약 50%가 진행되었을 때 금속화재용 소화기를 사용하여 진화하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 자유연소 진행과정

Fig. 4를 보면 마그네슘에 점화가 이루어진 후

강한 빛을 동반한 화염 및 흰색의 연소가스가 발생하였다. 점화지점으로부터 타원 모양으로 연소가 확대 되었다. 아래 방향으로 연소가 빠르게 이루어 졌으며 이후 연료의 외곽으로 연소가 진행되었다. 연료가 가장 많이 쌓여져 있는 중앙부분이 가장 나중에 연소가 이루어졌으며 화염을 동반하지 않고 천천히 연소가 진행되었다. 화염을 동반한 급격한 연소가 이루어진 연료의 외곽 부분과 표면에는 흰색 계열의 산화마그네슘(MgO)이 형성되었다. 내부에는 회색 계열의 탄화물이 생성되었으며 일부에서는 노란색 계열의 질화마그네슘(Mg₃N₂)이 생성되었다. 내부의 연소생성물은 굳어진 형태였으며 이는 느린 연소가 진행되면서 마그네슘의 용융과정이 발생하면서 나타난 형태로 판단된다.

Fig. 5의 금속화재용 소화기를 사용한 실험과정을 보면 소화약제를 분사하지 전까지 연소과정은

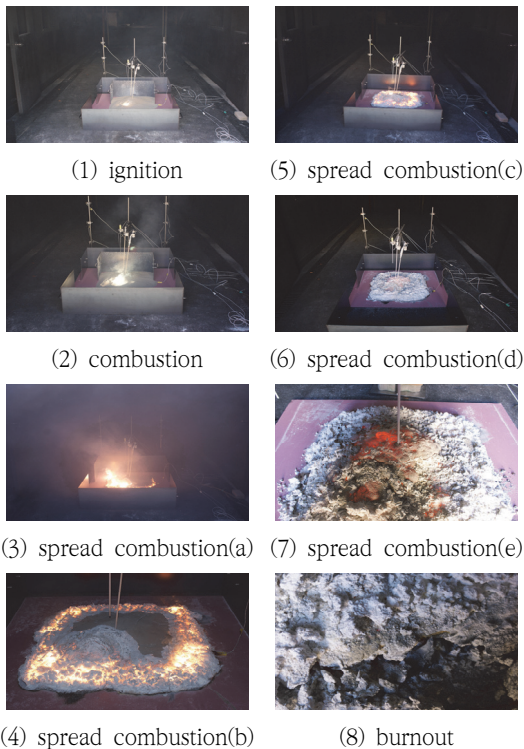


Fig. 4 combustion and extinguishing process

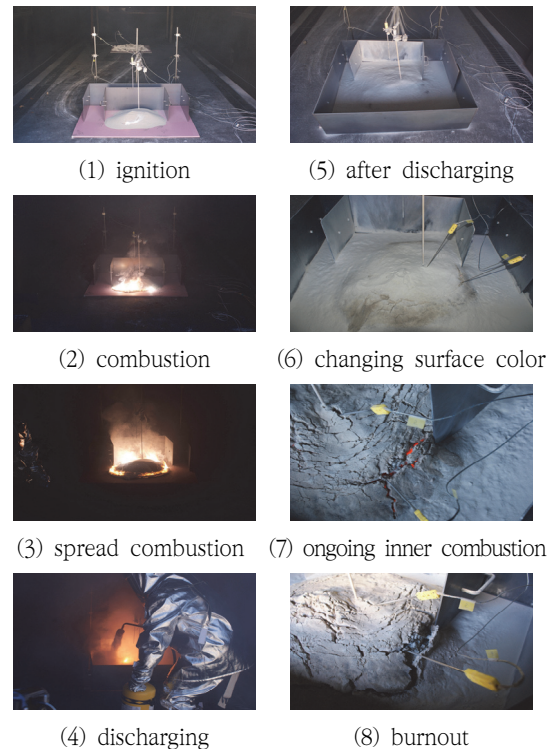


Fig. 5 combustion and extinguishing process

자유연소과정과 거의 유사하게 나타났다. 이후 표면 연소가 약 50% 진행되었을 때 금속화재용 소화기를 사용하여 진화하였다. 소화약제가 모두 방출된 후 표면으로 화염이 나타나지 않았다. 시간이 경과함에 따라 화재 표면의 소화약제 색깔이 연소가 급격하게 진행된 부분부터 흰색 계열에서 갈색계열로 변화하였다. 소화약제가 덮여 있는 상태에서 시간이 지남에 따라 표면에 균열이 발생하였고 내부에서 연소가 진행되고 있는 것이 관찰되었다. 하지만 외부로의 화염분출은 발생하지 않았다. 이러한 점으로 볼 때 금속화재용 소화기는 질식 및 냉각소화 능력을 모두 갖고 있지만 냉각소화효과는 상대적으로 낮아 직접적인 화재에 대한 소화는 어려운 것으로 판단된다. 즉, 팽창질식 또는 마른모래와 같이 표면으로의 외부로의 연소확대를 막으면서 고온으로 인한 내부연소는 장시간 진행될 것으로 판단된다.

두 실험에서 나타난 연소생성물을 보면 분명한 차이점을 나타냈다. 소화약제를 사용한 경우 좀더 내부의 연소생성물이 진한 회색을 나타냈으며 상대적으로 흰색 계열의 산화마그네슘이 작게 나타났다. 이는 소화약제 방출 후 연소 진행이 느려지면서 연소 반응 보다는 고온으로 인한 용융과정이 활발하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.



(a) by-product used extinguishing agent (b) by-product in free burning

Fig. 6 magnesium combustion by-product

4. 결론

본 연구는 마그네슘 금속화재의 신속한 초기 소

화를 위한 마그네슘 금속화재용 소화기의 활용성을 도출하기 위한 실험이다. 실험은 마그네슘 11kg 자유연소 실험과 금속화재용 소화기를 사용한 실험을 진행하였다. 실험결과 소화기를 사용 시 화재표면을 덮음으로써 화염의 분출 및 연소확대 막을 수 있었다. 하지만 시간이 경과함에 따라 표면을 덮은 소화약제가 균열이 발생하였다. 이때 내부에서 지속적으로 연소가 진행되는 것을 확인할 수 있었지만 연소확대 및 화염분출은 발생하지 않았다.

ISO-7165에서 제시하고 있는 금속화재용 소화기 성능테스트 기준에서 소화약제 13.6kg로 11kg의 마그네슘 화재 소화시험을 진행한다. 즉, 실험결과에서 알 수 있듯이 13.6kg의 소화약제가 저장되어 있는 금속화재용 소화기로 진화할 수 있는 화재의 크기는 매우 제한적이다. 특히, 가연성 금속의 형태, 환경, 적재 형태 등에 따라 활용성이 달라진다. 또한, 금속화재의 표면을 충분한 두께로 덮어 질식소화가 이루어지도록 해야 하기 때문에 소화기 1대가 충분한 효과를 발휘하기 어려울 것으로 판단된다.

이러한 측면에서 봤을 때, 금속화재용 소화기의 현장배치 하는 것은 현재의 건축물에 면적 및 용도에 따라 배치되고 있는 소화기 기준과는 다른 현장의 환경적 특성, 가연성 금속의 종류, 주요 공정 등에 따라 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 이와 함께, 금속화재 발생 시 화재의 확산을 막을 수 있는 건축물 기준과 함께 마련되어야 하며 이에 따른 가연성 금속의 종류, 적재량, 사용량 등에 따른 소화기 설치에 대한 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 분말형태의 소화약제 외에도 다양한 형태의 소화약제 및 소화설비에 대한 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)

의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된
연구임(No. 2021R1F1A1055898).

참고문헌

- [1] Eugene Meyer, "Chemistry of hazardous materials", Boston : Pearson Education Inc., (2013).
- [2] Lee, Euiyeong, "Analysis of the Problems and Safety Measures of Magnesium Fires", Journal of Korean Society Hazard Mitigation, vol. 20, no. 2, pp. 95-104, (2020).
- [3] Nam, K.H., and Lee, J.S., "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).
- [4] Act on the safety control of hazardous substance, 2017.
- [5] Occupational Safety and Health Administration, "OSHA 29 CFR 1910.157 Portable fire extinguishers", Occupational Safety and Health Administration, <https://www.osha.gov/>, 2018.08.
- [6] International Organization for Standardization, "ISO 7165:2017 Fire fighting-Portable fire extinguishers-Performance and construction", International Organization for Standardization, pp.10-65, (2017).

(접수: 2021.10.30. 수정: 2021.11.13. 게재확장: 2021.11.19.)