

혼합 조건이 마그네슘 분말의 자기발열 특성에 미치는 영향

사상카*, 남기훈*, 이준식**, 윤지원*
 *창신대학교 스마트융합공학부 소방방재공학과
 **창신대학교 스마트융합공학부 항공기계공학과
 e-mail:nkh0712@gmail.com

Self-heating characteristics of magnesium powder under varying compositional factors

Heethawakage Sasanka Kavinda Seram*, Ki-Hun Nam*, Jun-Sik Lee**, Yoon-Ji Won*

*Dept. of Fire & Disaster Prevention Engineering

**Dept. of Aeronautical & Mechanical Engineering

요약

다양한 입자 크기를 가진 마그네슘 분말을 대상으로 실험을 수행한 결과, 입자 크기, 실험 조건, 그리고 첨가물의 종류에 따라 반응성의 현저한 차이가 관찰되었다. 실험 결과를 종합적으로 고찰한 결과, 마그네슘 분말의 자기발열 특성은 단순히 입자 크기 하나의 요인에 의해 결정되는 것이 아니라, 수분의 존재 유무, 실험 환경의 압력 조건, 그리고 첨가물의 종류 등 다양한 요인들의 복합적인 상호작용에 의해 좌우됨을 확인할 수 있었다. 특히, 밀폐된 환경에서의 압력 축적과 수분의 존재는 자기발열 반응의 촉진 및 진행에 있어 결정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

1. 서론

마그네슘은 금속 물질 중 하나로, 산업계에서는 주로 경량 합금 재료나 첨가제로 사용되고 있다. 가볍고 단단한 특성으로 인해 다양한 제품의 제조에 널리 사용되며, 소비량이 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 마그네슘은 가연성 금속으로 화재에 매우 취약하며 지속적으로 화재가 증가하는 추세이다[1,2].

국가화재정보시스템(National Fire Data System)에 따르면 마그네슘 같은 금속화재는 별도로 분류하고 있지 않지만 [3], 국내 위험물안전관리법상 제2류 및 3류 위험물 화재와 금속 물질의 화재로 분류되어 있다[4]. 또한, 한국산업안전보건공단 Korean Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) Guide G-77을 통해 금속화재에 대응하기 위한 기준을 마련하고 있으나, 소방 분야에서는 이에 대한 구체적인 대응 기준이 마련되어 있지 않다[5].

2017년 8월 16일 경남 김해시 소재 한 비철금속 제조공장 마그네슘 폐기물 화재, 2019년 7월 25일 경남 밀양시 소재 금속 제조공장 화재는 가연성 금속 폐기물의 자기발열성으로 인해 발생한 대표적인 사례이다[7,8]. 폐기물이 통풍이 불량한 환경이나 밀폐된 공간에서 장기간 보관되면서 열 축적되어 수분과의 반응이 겹쳐 자기발열성이 일어난 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 해당 환경을 실험적으로 재현하여, 마

그네슘의 자기발열성 발생 여부를 검증하고자 하였다. 실험 결과 마그네슘은 순수한 상태로 보관될 때보다, 수분과 혼합된 폐기물 형태로 보관되는 경우 자기발열성이 나타날 수 있는 경향을 확인했다.

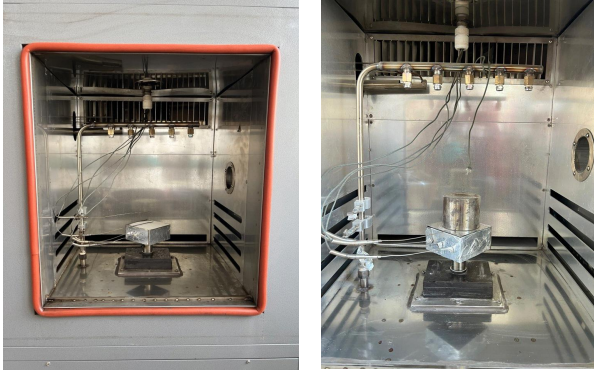
2. 실험 방법

자기발열성 재현 실험장치는 200℃까지 온도를 유지할 수 있으며 장치 내 온도 측정 및 시료 물질의 온도를 측정할 수 있도록 개발되었다. 화재 현장에서 수거된 증거물의 자기발열성 여부를 과학적으로 검증함으로써, 화재 원인 조사의 신뢰성과 정확성을 높이는 데 결정적인 역할을 할 수 있다. 입자크기는 325 μm 인 순수 마그네슘 분말(99.9%)을 사용하여 총 3번의 실험을 실시하였다[표 1].

[표 1] 마그네슘 자기발열성 재현 실험

입자크기	물질 및 물질량	조건
325 μm	마그네슘 455g	140℃ + 덮개+무게 추
	마그네슘 430g + 마그네슘 탄화물 20g	
	마그네슘 430g + H ₂ O 20g +마그네슘 탄화물 20g	140℃ +덮개+무게 추

마그네슘 분말에 대한 자기발열성 재현실험은 시료 내부 3개와

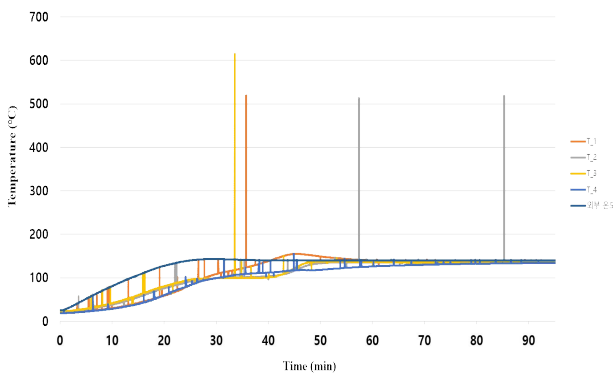


[그림 1] 자기발열성 물질 재현실험 장치 내부 구성

표면 지점의 온도 및 실험 장치의 내부 온도를 열전대(K-type thermocouple)로 측정하였다. 또한 가연성 금속폐기물에 대한 재현실험을 위해 물(H_2O)과 마그네슘 탄화물을 사용하여 진행하였다. 시료 용기 상부에 덮개를 씌운 뒤, 그 위에 무게 추를 올려 대량 적재 상황을 재현하여 실험을 진행하였다[그림 1].

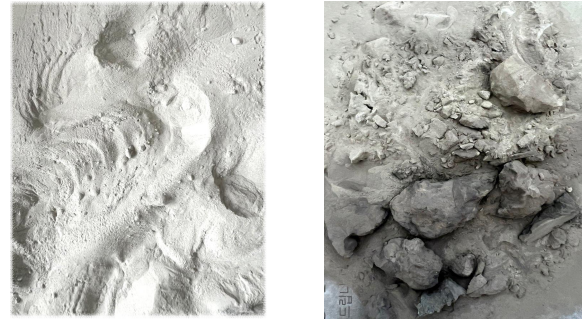
3. 결과

실험 결과, 마그네슘, 물 20g, 마그네슘 탄화물 20g의 시료에 무게추를 사용하여 140℃까지 상승시킨 실험에서 그림 2.와 같은 결과가 나타났다. 자기발열성 판정 기준은 챔버 내 설정온도 보다 시료의 온도가 60 ℃ 이상 상승했을 때 자기발열성으로 판정한다. 그림 2.의 경우 일반적으로 나타나는 온도 상승과는 달리 시료의 온도가 순간적으로 온도가 급격하게 상승하는 것으로 나타났다. 이는 내부에서 마그네슘과 마그네슘의 탄화물이 물과 급격하게 반응하면서 나타난 현상으로 판단된다. 이는 국제 및 국내 자기발열성 판정기준과는 차이가 있지만 화재현장의 환경 조건을 적용한 결과에서는 자기발열성을 판단할 수 있는 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[그림 2] 마그네슘 분말(325 μ m) 재현실험 온도변화

실험 후 마그네슘의 변화에서도 덩어리 상태의 마그네슘 생선이

되었으며 검정색 계열로 색이 변화하였다[그림 3].



[그림 3] 실험 후 시료물질의 상태 변화

4. 결론

본 연구는 가연성 금속인 마그네슘 분말의 자기발열성을 분석하는 연구다. 순수 마그네슘 분말 아니라 혼합 조건에서 첨가물과의 반응을 통해 내부 온도가 상승하는 결과들이 관찰되었다. 325 μ m 크기에 마그네슘 분말, 물과 마그네슘 탄화물 사용하여 진행한 실험에서 임계값을 넘어가 자기발열성이 발생했음을 확인했다. 결과적으로, 순수 마그네슘보다 수분과 첨가물이 혼합된 마그네슘 폐기물에서 자기발열성이 나타날 가능성이 더 높다는 결론에 도달하였다.

후기

본 연구는 국립소방연구원(과제번호 FRI-2024-SR-04)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Niansheng Kuai, "Experiment-based investigations of magnesium dust explosion characteristics", Journal of Loss Prevention Process, vol.24 no.4, pp. 302-313, 2011.
- [2] Lee J.K., "Experimental Study on the Combustion Characteristics of Magnesium using Infrared Thermography and FE-SEM", <https://koreascience.kr/>, 2020.
- [3] "National Fire Information Center E-Fire Statistics", 2018.
- [4] 국가법령정보센터. (n.d.). <https://www.law.go.kr/>
- [5] Korea Occupational Safety and Health Agency, "KOSHA Guide G-77-2013", pp.1-19, 2013.
- [6] Nam, K.H., "Study on the effective response method to reduce combustible metal fire", Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 19, No. 12, pp. 600-606, 2018.
- [7] "National Fire Information Center E-Fire Statistics", 2017.
- [8] "National Fire Information Center E-Fire Statistics", 2019.