

# 금속폐기물 리사이클링 공정의 화재 위험성

박지현\*, 남기훈\*, 신하림\*, 박혜정\*\*

\*창신대학교 소방방재공학과

\*\*창신대학교 소방방재공학과 연구원

pgh8545@naver.com

## Fire risk in combustible metal recycling process

Ji-Hyeon Park\*, Ki-Hun Nam\*, Ha-Rim Shin\*, Hye-Jeong Park\*

\*Dept. of Fire&Disaster Prevention, Changshin University

\*\*Dept. of Fire&Disaster Prevention Researcher, Changshin University

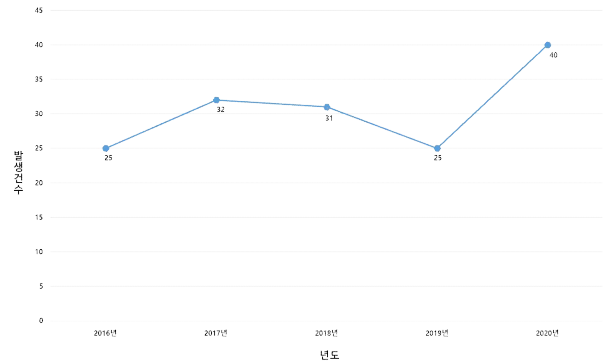
### 요약

가연성금속(combustible metal)인 알루미늄(Al)과 마그네슘(Mg)이 연소하는 화재는 금속화재이다. 가연성금속은 금속성물질로 수계소화약제 또는 일반 소화약제의 사용이 금지되어 있다. 화재는 금속화재용소화약제 또는 건조사를 이용하여 진화가 가능하다. 최근 가연성금속을 재료로 사용하는 합금의 사용이 증가하고 있다. 사용된 합금은 재사용이 가능하여 많이 리사이클링 되고 있다. 현재 리사이클링 공정에서 금속화재가 지속적으로 발생하고 있음에도 금속화재에 관한 연구가 이루어지고 있지 않다. 이에 본 연구는 리사이클링 과정과 사고사례 3건을 분석하였다. 이를 통해 금속화재의 위험성을 강조하였다.

## 1. 서론

알루미늄과 마그네슘은 비강도가 높고 가벼우며 재활용이 가능하다는 장점으로 많이 사용되고 있다. 알루미늄의 경우 자동차, 항공기, 철도차량, 선박 등 수송기기용으로 사용 되고 있으며 최근 휴대용 전자제품과 로봇 등에 사용 되고 있다. 마그네슘은 수송기기, 휴대용 가전기기, 의료기기, 조명기기 등 다양한 분야에서 사용되고 있다[1][2]. 마그네슘과 알루미늄의 사용이 증가함에 따라 화재 또한 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 알루미늄(Al)과 마그네슘(Mg)은 가연성금속(combustible metal)으로 물과 접촉 시 반응하는 금속성물질이다. 가연성금속은 물과 접촉 시 인화성 가스인 수소 가스(H<sub>2</sub>)를 발생시키며 폭발의 위험성 있다[3].

2016년에서 2020년까지 5년간 발생한 금속성 물질 화재 현황을 나타낸 그래프이다(그림 1).[4]. 금속성 물질 화재는 2016년 25건에서 2020년 40건으로 60% 증가하였으며 화재 그래프를 통하여 가연성금속 화재가 지속적으로 발생되고 있는 것으로 나타났다.



[그림 1] 최근 5년간 발생한 금속성 물질 화재 발생 건수

현재 금속화재와 가연성 금속에 관한 법적 기준이 마련되어 있지 않다. 금속화재가 지속적으로 발생하고 있음에도 금속화재에 관한 연구가 제대로 이루어지고 있지 않아 금속화재 기술 개발 분석과 예방 및 대응이 이루어지고 있지 않다. 이에 본 연구는 금속화재가 발생하는 리사이클링 과정과 리사이클링 공장 화재 사고사례를 분석하여 금속화재의 예방 및 대응에 필요한 방안을 제시하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 금속화재의 특성

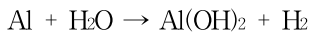
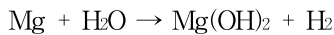
금속화재(combustible metal fire)는 가연성 금속이 물과 반응하여 수소(H<sub>2</sub>)를 발생시키고 연소를 촉발시키는 화재이다. 가연성 금속(combustible metal)은 다양한 형태로 보관되며 마그네슘(Mg), 지르코늄(Zr), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al) 및 아연(Zn) 등 포함한 물질이다[3].

가연성금속은 알칼리금속, 알칼리토금속, 전이금속, 기타 합금 및 금속으로 구분 된다. 알칼리금속 원소주기율표 상에서 1족 원소로 구분되며 알칼리토금속은 2족 원소로 구분되어 있다 (그림 2). 알칼리금속은 물과 접촉 시 폭발을 일으키며 공기와 접촉 할 경우 발화를 일으킨다. 알칼리토금속은 물에서 분해하여 화학적 반응을 일으키나 폭발하지 않는다. 알칼리토금속, 전이금속, 기타 합금 및 금속은 알칼리금속만큼 위험이 크지 않으나 화재가 발생 시 소화약제로 수계소화약제를 사용하게 되면 화재확대 및 폭발의 위험이 있으므로 주의하여야한다[5].

[표 1] 원소주기율표에 따른 가연성금속 분류

알칼리금속	알칼리토금속	전이금속	기타 합금 및 금속
리튬, 소듐, 포타슘, 루비듐, 세슘	베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 스트론튬, 라듐	타이타늄, 지르코늄, 하프늄	알루미늄

가연성 금속은 물과 반응하는 금속성 물질로 연소된 마그네슘과 알루미늄이 물과 반응 할 경우 위의 식과 같이 인화성 가스인 수소(H<sub>2</sub>)를 발생시킨다.

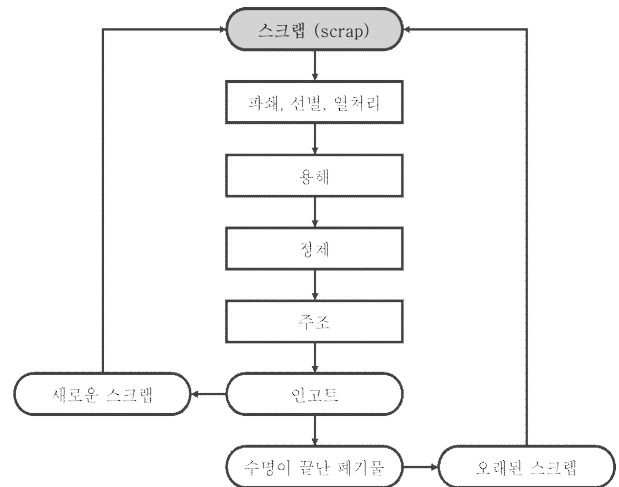


수소는 연소를 촉발시키는 특성이 있어 화재확산의 위험성이 있다. 분말소화약제는 열분해반응에 의하여 물을 생성시켜 화재 확산과 폭발을 일으킬 위험성이 있어 사용이 금지되어 있다. 수계소화약제와 이산화탄소 소화약제도 금속화재에서 사용할 경우 폭발과 화재 확산의 위험성이 있어 사용을 금지하고 있다. 금속화재에서 진화가 가능한 소화약제로 금속화재용 소화약제(dry powder) 또는 건조사(dry sand)를 제시하고 있다[3].

### 2.2 가연성금속 리사이클링 공정

현재 가연성 금속 폐기물을 취급하는 공장 중 리사이클링 공장에서 화재가 많이 발생하고 있다. 이에 본 연구는 리사이클의 공정 과정화재가 발생하는 공정의 위험성에 관하여 분석하였다.

스크랩은 마그네슘과 알루미늄은 공정 내에서 발생하는 스크랩과 사용 수명을 다한 제품의 부품의 스크랩이 있다. 그림 2와 같이 수집한 스크랩을 파쇄, 선별, 열처리, 선별의 과정을 거친 후 스크랩 용해하는 과정에서 용탕 표면의 발생한 부유물을 드로스라 하며 바닥에 침전된 검은빛을 띤 분말 형태의 찌꺼기를 재 또는 슬러지라고 한다. 드로스는 공정 상 용해로에서 걸러낸 후 실온에서 식힌 후 덩어리 형태로 유지한다. 드로스잔회는 드로스 재처리과정에서 원료를 추출 후 남은 분말 형태의 찌꺼기이다. 용융상태에서 드로스와 슬러지등을 제거하고 정제 후 틀에 붓는 주조작업을 거쳐 생산된 제품을 인고트라고 한다. 새로 생성된 인고트는 절삭하여 다시 여러 분야에 사용된다[1].



[그림 2] 알루미늄, 마그네슘의 리사이클링 공정 [1]

리사이클공정은 스크랩을 수집하여 용해시키고 정제 후 주조하여 인고트를 생산하는 과정으로 구분된다. 스크랩 용해 과정은 1차로 2차로 구분된다. 1차 용해과정에서 스크랩을 용해하여 알루미늄과 마그네슘을 추출한다. 이 과정에서 드로스가 발생한다. 2차 용해 과정은 1차 용해과정에서 알루미늄과 마그네슘을 추출하고 남은 폐기물에서 알루미늄과 마그네슘을 추출하기 위해 스크랩을 추가하여 용해한다[1][2]. 이 과정에서 발생하는 드로스는 화이트드로스 (White dross)와 블랙드로스 (Black dross)로 구분된다. 화이트드로스는 재사용이 가능한 드로스이고 블랙드로스는 사용이 불가능한 상태의 드로스이다.

### 2.3 리사이클링 공정의 위험성

금속리사이클링공장에서 발생하는 부산물은 스크랩, 드로스, 드로스잔회, 슬러지, 인고트가 있다(표 2)[1][2]. 금속 폐기물 중 드로스과 드로스잔회는 수분과 접촉할 시 화재가 발생시켜 위험성이 있다. 이러한 폐기물들은 법적으로 위험물로 분리되어 있지 않아 일반폐기물로 관리되고 있다. 보관에 있어 물과 반응하여 위험성이 있음에도 위험물 분류상 적용이 되지 않아 관리에 있어 취약성이 있다[6].

2020년 8월 19일 9시 13분 전라북도 군산시 폐금속처리업 창고에서 화재가 발생하였다(그림 3). 공장 내부에는 알루미늄분말이 혼합된 슬러지가 약 10,000톤이 적재되어 있었다. 화재로 알루미늄분말합성물 50톤 소실되었으며 10,450천원의 재산피해가 발생하였다. 화재진압을 위해 마른모래, 팽창질석 등을 사용하여 질식소화를 시도하였으나 실패하였다. 화재확산 방지를 위해 중장비를 이용하여 화점 주변 적재물을 제거하였다. 이후 수산화실리카30% 수용액을 활용하여 화재진압을 시도 하였으며 화재가 진압되었다. 화재 발생 4일이 지난 8월 23일 1시 41분 진화 완료 되었으며 약 88시간 28분이 소요 되었다. 화재가 공장 중앙부 지상 10m높이에서 발생하여 중장비 등의 접근이 어려웠다. 많은 양의 슬러지가 한 공간에 보관되어 있어 화재가 발생한 적재물이 주변 적재물과 밀접성이 높아 연소 확대 차단이 어려웠다. 전라북도 군산시 폐금속처리업 창고 화재는 폐기물의 취급 및 관리에 관한 규제가 마련되어 있지 않아 화재 진압에 어려움이 드러난 사고이다.

[표 2] 가연성금속폐기물 리사이클링 과정 중 발생하는 부산물

구분	내용
스크랩 (Scrap)	금속제품을 절삭할 때 발생하는 부스러기와 금속제품 또는 금속 재료의 폐기물을 총칭, 스크랩을 수거하여 재생
드로스 (Dross)	스크랩을 용해시키면 용탕의 표면 또는 바닥부에 발생하는 이물질, 공정과정 상 용해로에서 걸러낸 후 실온에 식혀 덩어리상태로 보관
드로스 잔회	드로스 재처리과정에서 원료 추출 후 남은 찌꺼기로 분말 상태
슬러지 (Sludge)	금속의 용해과정 중 바닥에 침전되는 찌꺼기, 주로 검은빛을 띤 분말형태로 “재”라고도 함. 화재 진압 상 가장 위험한 물질
인고트 (ingot)	“괴”라고도하며 용융상태에서 드로스, 슬러지 등을 제거하고 정제된 후 틀에 붓는 조괴작업을 거쳐 생산된 제품



[그림 3] 전라북도 군산시 폐금속처리업 창고 화재[7]

### 3. 금속화재 관련 기준 및 법규

국내에는 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률과 위험물안전관리법이 있다. 그러나 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률에 금속화재에 관한 정의 및 기준이 제시되어 있지 않으며 소방시설 등의 관련 기준을 제시 하고 있지 않다. 위험물안전관리법에서 위험물을 1류 부터 6류 로 구분한다. 위험물안전관리법에 포함된 가연성금속으로 2류 위험물 (가연성 고체)의 금속분과 마그네슘, 3류 위험물 (자연 발화성 및 금수성물질)의 알칼리 금속, 알칼리 토금속 등이 있다. 가연성 금속은 금수성물질로 화재 발생 시 수계소화약제 및 이산화탄소 소화약제의 사용을 금지하고 있다. 위험물 안전관리법 시행규칙 제41조에서 제1류 위험물 알칼리금속의 과산화물, 2류 위험물의 철분, 금속분, 마그네슘, 제3류 위험물 금수성물질에 사용가능한 소화설비로 탄산수소염류소화 설비, 건조사, 팽창질석, 팽창진주암을 사용하도록 되어있다[8].

미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)의 29 CFR 1910.157와 NFPA 10에서 금속화재용 소화기가 가연성 금속을 사용하는 작업장에서 22.9m 이 내에 비치하도록 규제하고 있다[9]. NFPA 484에서는 가연성 금속화재 종류에 따라 소화약제 적용성이 다르게 나타났다 [10]. ISO 7165는 금속화재의 기준과 금속화재용 소화기의 성능테스트, 설치 등에 관하여 제시하고 있다[11].

일본 소방법에서는 금속화재에 관한 기준이 제시되어 있지 않으나 가연성 금속에 관하여 유해물질로 분류되어 있다[12].

### 4. 고찰 및 결론

전가제품 및 수송기기 등의 사용이 증가하는 만큼 합금의 사용이 증가하고 있으며 합금의 사용되는 알루미늄과 마그네슘의 사용도 같이 증가하고 있다. 재

## 참고문헌

활용이 가능한 알루미늄과 마그네슘의 경우 매년 리사이클링 양이 증가하고 있다. 리사이클링 증가로 인해 리사이클링이 공장이 증가하였고 이에 따라 리사이클링공장에서 발생하는 화재 또한 증가하고 있다. 이처럼 금속화재의 지속적인 발생에도 금속화재에 관한 연구가 이루어지고 있지 않다. 이로 인해 금속화재의 예방 및 대응이 이루어지고 있지 않으며 연구 기술 개발이 이루어지고 있지 않다. 금속화재의 위험성 감소하기 위해 금속화재 정의 및 규제, 금속화재에 관한 규제, 가연성금속 폐기물에 취급 및 관리에 관한 규제 마련 필요하다. 가연성금속을 취급 및 관리 하는 공장에 가연성을 위험물로 분류하여 위험물질별 관리한다면 대응 및 예방이 가능 할 것으로 예상된다. 금속화재 규제 외에도 금속화재 발생 시 진화를 위한 소화약제에 관한 기준과 설비가 필요하다. 현재 소화약제로 사용가능한 건조사의 경우 수급의 문제가 있어 화재 확산이 빠르게 발생하여 대형화재로 이어지고 있다. 이러한 문제를 방지하기 위하여 소화약제에 관한 기준 및 설비가 필요하다. 금속화재의 문제점을 해결하기 위해 금속화재에 관한 실험 연구가 필요하다.

- [1] Ho-Sang Sohn, "Recycling Technologies of Aluminum," J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 28, No. 2 pp.3-13, (2019)
- [2] Ho-Sang Sohn, "Current Status of Magnesium Smelting and Recycling Technology" J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 29, No. 5 pp.3-14, (2020)
- [3] Eugene Meyer, "Chemistry of hazardous materials", Third Education Inc, USA, pp.329, 1997.
- [4] 소방청, "국가화재정보시스템", 국가화재정보센터, 2021년 10월18일, <https://www.nfds.go.kr/>
- [5] Korea Occupational Safety and Health Agency, "KOSHA Guide G-77-2013", pp.1-19, 2013.
- [6] 법제처, "국가법령정보센터", 위험물안전관리법 시행령, 2021년10월18일, <https://www.law.go.kr/>
- [7] 임태영, "군산소방서, 금속화재 획기적 진압 '눈길' ", 전라일보, 2020년8월25, 7면, <http://www.jeollailbo.com/news/articleView.html?idxno=606406>
- [8] 법제처, "국가법령정보센터", 위험물안전관리법 시행규칙, 2021년10월18일, <https://www.law.go.kr/>
- [9] Occupational Safety and Health Administration, "OSHA 29 CFR 1910.157 Portable fire extinguishers", Occupational Safety and Health Administration, 2021년10월18일, <https://www.osha.gov/>
- [10] National Fire Protection Association, "NFPA 484 Standard for combustible metals", National Fire Protection Association, pp.73-74, 2019.
- [11] International Organization for Standardization, "ISO 7165:2017 Fire fighting-Portable fire extinguishers-Performance and construction", International Organization for Standardization, pp.19-30, 2017.
- [12] Japanese Law Translation, "Fire Service Act", 2021년10월 18일, <http://www.japaneselawtranslation.go.jp/law/>