논 문

# CaO가 첨가된 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 발화 저항성 평가

이진규† · 김세광
한국생산기술연구원

# Ignition resistance of CaO added Mg-3Al, Mg-6Al and Mg-9Al Eco-Mg alloys

Jin-Kyu Lee† and Shae K. Kim
Foundry Tech. Ctr., Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

## Abstract

Molten magnesium alloys and magnesium products are easily oxidized and burned when they are exposed to high temperature for manufacturing process and by accident. In order to solve these problems, CaO addition in magnesium alloys has been developed. The ignition resistance of CaO added Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Eco-Mg alloys were investigated in comparison with those of magnesium alloys without CaO. The ignition resistance was examined by three methods : DTA, furnace chip ignition test, and torch ignition test. DTA was carried out for obtaining quantitative ignition temperature data with respect to specimen geometry and test environment; the furnace ignition test for burr and chip ignition temperature data; and the torch test for ignition temperature data for manufactured products. The ignition resistance of magnesium alloys under all conditions greatly increased by CaO addition.

**Key words:** Mg alloys, Eco-Mg, Ignition resistance.

(Received December 30, 2010 ; Accepted March 21, 2011)

## 1. 서 론

마그네슘 합금은 용해 및 주조 공정 시 대기에 노출될 경우 급격히 산화 및 발화가 발생하여 작업자에게 위험을 초래하고 주조재의 결함 및 용탕 손실이 발생한다. 용해 및 주조 공정 시 마그네슘 합금의 산화 및 발화 방지를 위하여 $SO_2$ 및 $SF_6$ 등의 보호가스가 사용되고 있으나, 인체에 유해하거나 지구환경에 악영향을 주는 단점을 가지고 있다[1]. 특히, $SF_6$ 가스의 경우 선진국에서 엄격한 사용 규제가 시행되고 있다. 이러한 보호가스의 사용은 밀폐된 용융상태에서만 산화 및 발화를 방지 할 수 있으나 공정 중, 대기에 노출되거나 부품으로 제조된 후 발생하는 산화 및 발화 방지에는 전혀 도움이 되지 않는다. 한편, 마그네슘의 합금에 칼슘 및 베릴륨을 첨가하여 산화 및 발화를 방지하는 연구가 진행 중에 있다 [2-6]. 마그네슘 합금에 칼슘을 첨가하면 산화 및 발화를 억제하여 $SF_6$ 가스를 저감하고 용탕 청정도 및 고온 특성을 향상시킨다. 그러나 칼슘은 고가이며 대기 중 취급, 운송 및 보관이 어렵고, 칼슘이 첨가된 마그네슘 합금은 유동성이 떨어지고 열간균열 및 금형 소착이 발생하며, 또한 재활용 시 칼슘이 소실되는 문제점을 가지고 있다. 상용 마그네슘 합금에 산화 및 발화 방지를 위하여 베릴륨을 미량 첨가하고 있으나, 독성의 물질이기 때문에 제한적으로 사용되고 있으며 향후 사용제한이 논의되고 있다.

화재와 같은 고온 환경에 노출된 마그네슘 부품은 발화되어 큰 화재로 이어질 수 있다. 마그네슘 부품의 적용이 늘어남에 따라 마그네슘 합금 발화 저항성 평가방법의 확립이 요구되고 있으나, 아직 전 세계적으로 마그네슘의 발화에 대한 평가방법은 확립되어 있지 않다. 구체적으로 마그네슘 부품의 공정 또는 가공단계에서 발생하는 burr 및 chip의 발화저항성 평가방법과 마그네슘 부품의 발화저항성 평가방법, 그리고 형상에 의존하지 않는 정량적인 평가방법의 확립이 요구되고 있다.

Eco-Mg 합금은 기존 마그네슘 합금에 CaO등 칼슘계 화합물을 첨가한 것으로, 요구되는 특성에 따라 CaO 함량을 조절하여 첨가하면 된다[7-14]. 상용 마그네슘 합금에 CaO를 0.3wt.% 이하로 첨가하여 (1) non-$SF_6$ 공정, (2) 베릴륨 첨가 배제, (3) 용탕 청정도 개선, (4) 주조, 성형, 접합, 표면처리 등 합금 본래의 공정 능력 확보, (5) 조직 미세화 및 내부 건전성 확보로 기계적 성질 향상, (6) 산화 및 발화 특성 향상으로 합금제조나 활용에 따른 안전성 확보, (7) 재활용성 향상, (8) 비용 절감 등이 가능하다.

본 연구에서는 DTA, furnace chip 발화시험 및 토치 발화시험을 통하여 마그네슘 합금의 발화저항성 평가방법을 확립하고, 마그네슘 합금의 알루미늄 함량에 따른 발화저항성 및

†E-mail : bebecoro@kitech.re.kr

CaO 함량에 따른 발화저항성을 평가하였다. 대기 중 발화의 정량적인 data를 확보할 수 있는 DTA 시험을 dry-air 분위기에서 수행하였으며, DTA 시험편은 구형태로 가공하여 발화편차를 최소화 하였다. 또한, 다이캐스팅 공정 시 발생하는 burr 및 가공 단계에서 발생하는 chip의 발화저항성을 평가 할 수 있는 furnace chip 발화시험 및 마그네슘 부품의 안전성을 평가 할 수 있는 토치 발화시험을 수행하였다.

## 2. 실험 방법

Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Mg합금을 연강 도가니에 장입하여 $SF_6+CO_2$ 혼합가스 분위기 하에서 용해한 후, 680°C의 Mg 용탕에 CaO을 첨가 및 교반 후 100°C로 예열된 금형에 주입하였다. 이후 ICP 분석을 통하여 Eco-Mg 합금내 검출된 Ca량을 표기하였다. CaO 첨가량 증가에 따른 발화온도를 조사하기 위하여 DTA, Furnace chip 발화시험 및 토치 발화시험을 실시하였다. DTA에 사용되는 시험편은 약 1 mg으로 날카로운 모서리의 부분발화를 방지하기 위하여 구 형상으로 제작하였다. DTA는 100 ml/min로 공급되는 dry-air 분위기에서 10°C/min로 승온 하였으며 급격히 발화 하는 온도를 측정하였다. Furnace chip 발화시험은 드릴링 머신을 이용하여 100~200 μm 두께의 칩을 제조한 후, steel 소재의 보트에 담아 대기분위기의 800°C로에 장입한 후 육안으로 관찰하여 발화가 일어나는 시점의 온도를 각각 10회씩 측정하였다. 발화온도 편차는 1~2°C로서 편차가 크지 않았다. 토치 발화시험은 시험편의 두께 5 mm의 판재로 가공하여 대기상태에서 3회 시험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Pure Mg, Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금의 dry-air 분위기에서 실시한 DTA 발화온도 결과를 나타낸다. Pure Mg, Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금의 발화온도는 642°C, 590°C, 560°C 및 559°C로 알루미늄 함량이 증가 할수록 발화온도는 감소하였다. 이는 알루미늄 함량이 증가함에 따라 고상선 저하에 기인하는 것으로 판단된다.

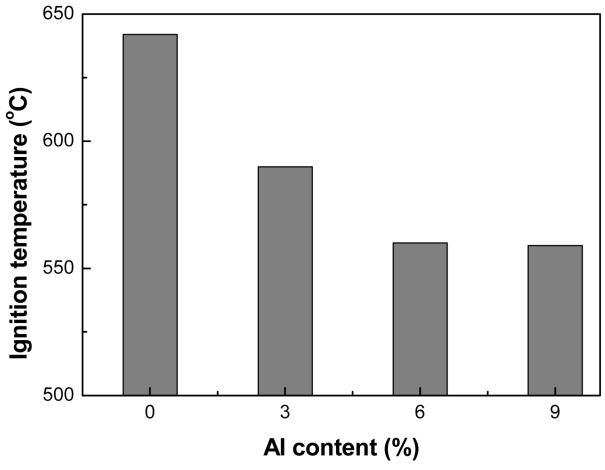


Fig. 1. Dependence of the ignition temperatures for Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys without CaO as a function of Al contents under dry air atmosphere by DTA.

Fig. 2는 CaO이 첨가된 Eco-Mg 합금의 dry-air 분위기에서 실시한 DTA 발화온도 결과를 나타낸다. Fig. 2(a)는 CaO이 첨가된 Mg-3Al Eco-Mg 합금의 DTA 발화온도 결과이다. Mg-3Al 마그네슘 합금은 590°C에서 발화되었으며, Mg-3Al-0.32wt%CaO, Mg-3Al-0.82wt%CaO 및 Mg-3Al-1.22wt%CaO Eco-Mg 합금은 691°C, 806°C, 1,177°C에서 발화되었다. Eco-Mg의 경우 CaO이 첨가량이 증가 할수록 발화온도는 향상되었으며, 약 0.3wt%의 CaO 첨가로 100°C의 발화온도가 향상되었고, 1.22wt%의 CaO이 첨가된 Mg-3Al 합금의 경우 1200°C에

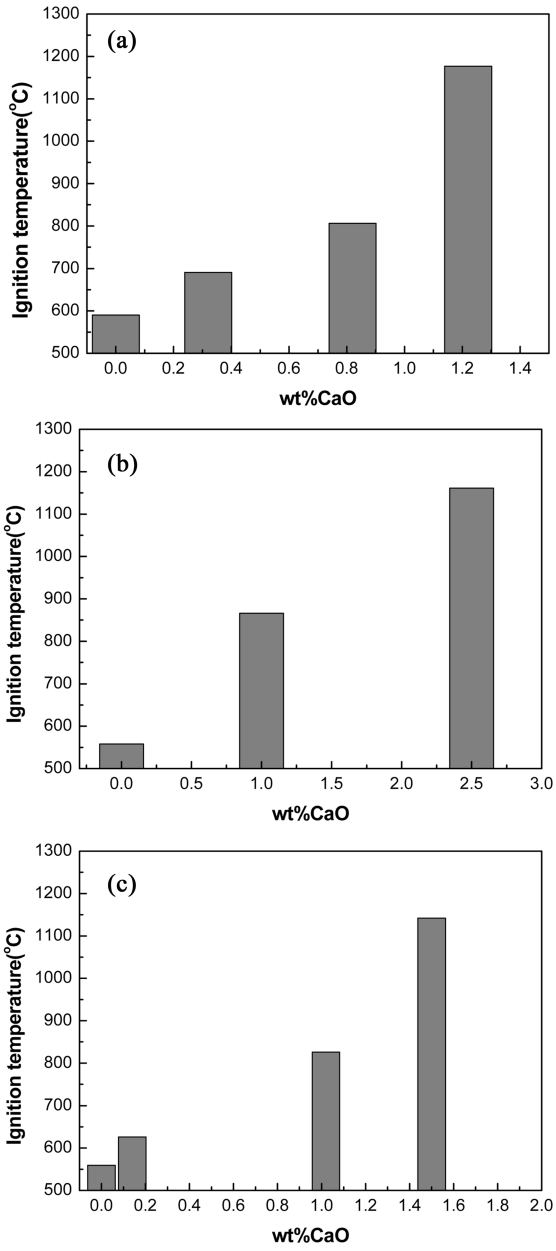


Fig. 2. Dependence of the ignition temperatures for (a) Mg-3Al, (b) Mg-6Al, and (c) Mg-9Al Mg alloys with CaO under dry air atmosphere by DTA.

가까운 발화온도를 나타내었다. 1,100°C 이상의 발화특성 결과는 향후 화재에 특히 취약한 철도차량 부품 및 항공기 부품 등의 내화(Fire-proof) 목적의 부품으로 적용될 것으로 기대된다. Fig. 2(b)는 CaO이 첨가된 Mg-6Al Eco-Mg 합금의 DTA 발화온도 결과이다. Mg-6Al 마그네슘 합금은 560°C에서 발화되었으며, Mg-6Al-1wt%CaO 및 Mg-6Al-2.5wt%CaO Eco-Mg 합금은 842°C 및 1,161°C에서 발화되었다. Fig. 2(c)는 CaO이 첨가된 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 DTA 발화온도 결과이다. Mg-9Al 마그네슘 합금은 559°C에서 발화되었으며, Mg-9Al-0.14 wt%CaO, Mg-9Al-1.02wt%CaO 및 Mg-9Al-1.5wt%CaO Eco-Mg 합금은 각각 626°C, 826°C 및 1,142°C에서 발화되었다.

마그네슘 합금에 CaO을 첨가하면 반응상 형성을 통하여 순 마그네슘에서는 $Mg_2Ca$(C14), 알루미늄을 포함하는 마그네슘 합금에서는 $Al_2Ca$(C15) 및 $(Mg,Al)_2Ca$(C36) 상을 형성하며, 결정립계 또는 일부 결정립내에 존재한다. Ca을 첨가된 마그네슘 합금의 경우, Ca이 마그네슘 α상으로 먼저 고용되며, 제조조건에 따라 고용한을 초과하는 경우, 공정상을 형성하나, CaO가 첨가된 마그네슘 합금은 CaO의 첨가비율이나 제조 조건에 무관하게 마그네슘 α상 내에 Ca 고용체를 거의 형성하지 않는다. 표면에서의 산화 및 발화거동은 Pilling-Bedworth 체적비, R(R = (금속산화물 체적)/(금속 체적))로 설명될 수 있다[15]. Pilling-Bedworth 체적비가 R > 1일 경우 치밀한 구조로 형성되지만 R < 1일 경우에는 다공질의 구조로 형성되어 보호피막으로 작용하지 못한다. 이 식에 의한 마그네슘의 체적비 R은 0.84로 산화나 발화에 의해 표면에 생성된 MgO 피막은 치밀한 산화층으로 형성되지 못한다. 그러나 CaO을 첨가할 경우 산화층 외부에는 CaO이 우선적으로 형성되고 MgO 층이 형성되어 산화층 내에는 CaO과 MgO이 공존하게 되는데, CaO의 체적비 R은 0.78로 MgO의 0.84보다 더 낮은 값을 나타낸다. 이 발화억제의 원인으로 다공질의 MgO 피막에 또 다른 다공질의 CaO 피막이 복합적으로 형성되어 치밀한 보호피막으로 작용하는 것으로 보고되고 있으나 아직 명확한 발화억제에 대한 원인은 밝혀지지 않았으며 차후 연구가 필요하다.

Fig. 3은 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금 및 ICP 분석에 의해 칼슘량이 1wt%인 Eco-Mg 합금의 dry-air 분위기에서 실시한 DTA 발화온도를 나타내었다. 알루미늄 함량이 증가 할수록 1wt% CaO가 첨가된 Eco-Mg 합금의 발화온도는 감소하였다. Mg-Al 합금에 CaO을 첨가하면 $Al_2Ca$상을 형성하며, $Al_2Ca$상 형성에 따른 Mg-Al 합금내 알루미늄량은 감소한다. $Al_2Ca$의 2Al 및 Ca의 원자량 비는 약 54 : 40 이며, CaO이 1wt% 첨가된 Eco-Mg의 경우 Mg-Al 합금내 1.35wt%의 알루미늄이 감소된다. Mg-Al 합금 내 알루미늄량의 감소는 고상선 및 액상선의 상승을 초래한다. 발화저항성의 향상은 표면 치밀한 MgO 및 CaO 산화층이 주된 인자이며, 고상선 및 액상선의 상승도 발화저항성 향상에 일부 도움이 된다. CaO이 첨가된 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 CaO 첨가량에 따른 고상선 및 액상선의 거동을 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 5는 Mg, Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금의 대기분위기에서 실시한 furnace chip 발화시험 결과를 나타낸다. Furnace chip 발화시험은 다이캐스팅 시 발생되는 burr 또는 가공 중 발생하는 chip의 안전성 확인을 위하여 수행되었다. Furnace chip 발화시험은 chip의 두께, chip의 양, 분위기 온도 및 chip 충진 정도에 따라 결과값이 차이를 보일

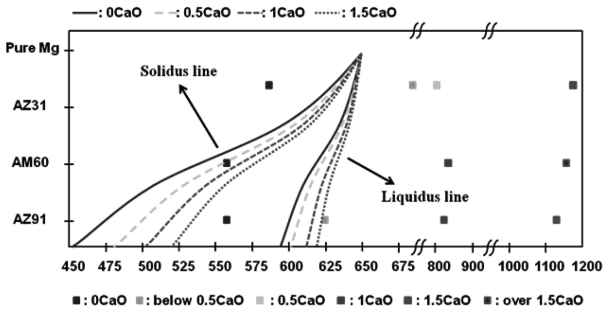


Fig. 4. The ignition temperatures for CaO added Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys on the solidus and liquidus lines by DTA.

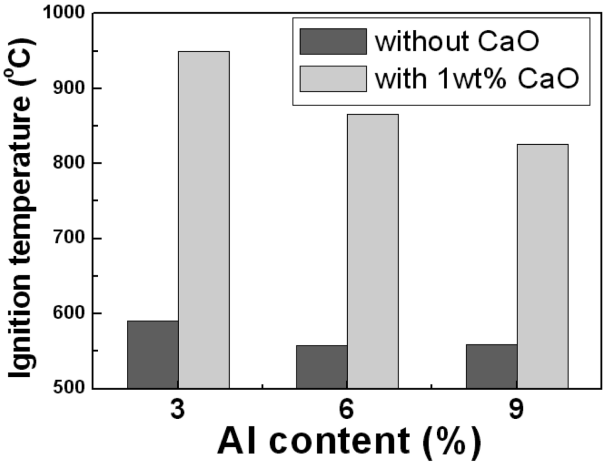


Fig. 3. Dependence of the ignition temperatures for Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys without CaO and 1wt% CaO as a function of Al contents under dry air atmosphere by DTA.

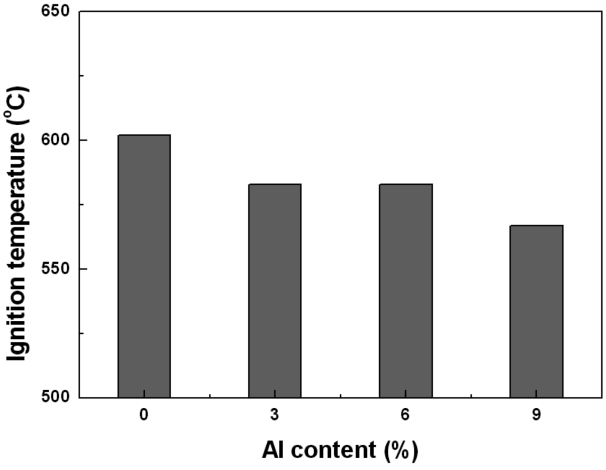


Fig. 5. Dependence of the chip ignition temperatures for Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys without CaO as a function of Al contents under an ambient atmosphere.

수 있으며 본 실험에서는 동일한 조건으로 수행되었다. Mg, Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금의 발화온도는 602°C, 583°C, 583°C 및 567°C로 알루미늄 함량이 증가 할수록 발화온도는 감소하였다. 이는 알루미늄 함량이 증가함에 따라 고상선 및 액상선은 낮아지며, 일부 용융된 마그네슘이 산소와 반응하여 발화된 것으로 사료되며 Fig. 1의 DTA 결과와 유사하게 나타났다.

Fig. 6은 CaO이 첨가된 Eco-Mg 합금의 대기 분위기에서 실시한 furnace chip 발화시험 결과를 나타낸다. Fig. 6(a)는 CaO이 첨가된 Mg-3Al Eco-Mg 합금의 furnace chip 발화시험 결과이다. Mg-3Al 마그네슘 합금은 583°C에서 발화 되었으며, Mg-3Al-0.14wt%CaO, Mg-3Al-0.82wt%CaO 및 Mg-3Al-1.5wt%CaO Eco-Mg 합금은 630°C, 643°C 및 653°C에서 발화 되었다. 0.14wt%의 미량의 CaO 첨가로 47°C의 발화온도가 향상되었으며 CaO 첨가량이 증가하여도 발화온도는 약 653°C로 수렴하는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b)는 CaO이 첨가된 Mg-6Al Eco-Mg 합금의 furnace chip 발화시험 결과이다. Mg-6Al 마그네슘 합금은 576°C에서 발화 되었으며, Mg-6Al-0.45wt%CaO, Mg-6Al-1wt%CaO 및 Mg-6Al-1.65wt%CaO Eco-Mg 합금은 621°C, 632°C 및 638°C에서 발화 되었으며, CaO 첨가량이 증가하여도 발화온도는 약 638°C로 수렴하는 것을 알 수 있다. Fig. 6(c)는 CaO이 첨가된 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 furnace chip 발화시험 결과이다. Mg-9Al 마그네슘 합금은 567°C에서 발화 되었으며, Mg-9Al-0.14wt5CaO, Mg-9Al-1.02wt%CaO 및 Mg-9Al-1.5wt%CaO Eco-Mg 합금은 603°C, 616°C 및 616°C에서 발화 되었으며, CaO 첨가량이 증가하여도 발화온도는 약 616°C로 수렴하는 것을 알 수 있다. Eco-Mg의 Furnace chip 발화시험 결과 CaO이 미량 첨가되어도 발화온도는 급격히 상승하였으며 이후 CaO이 증가하여도 일정 온도로 수렴하는 경향을 나타내었다. 800°C로 유지된 Furnace chip 발화시험은 열전도가 거의 없는 chip을 사용하여 일정 온도에서 포화되는 경향을 보인 것으로 판단된다.

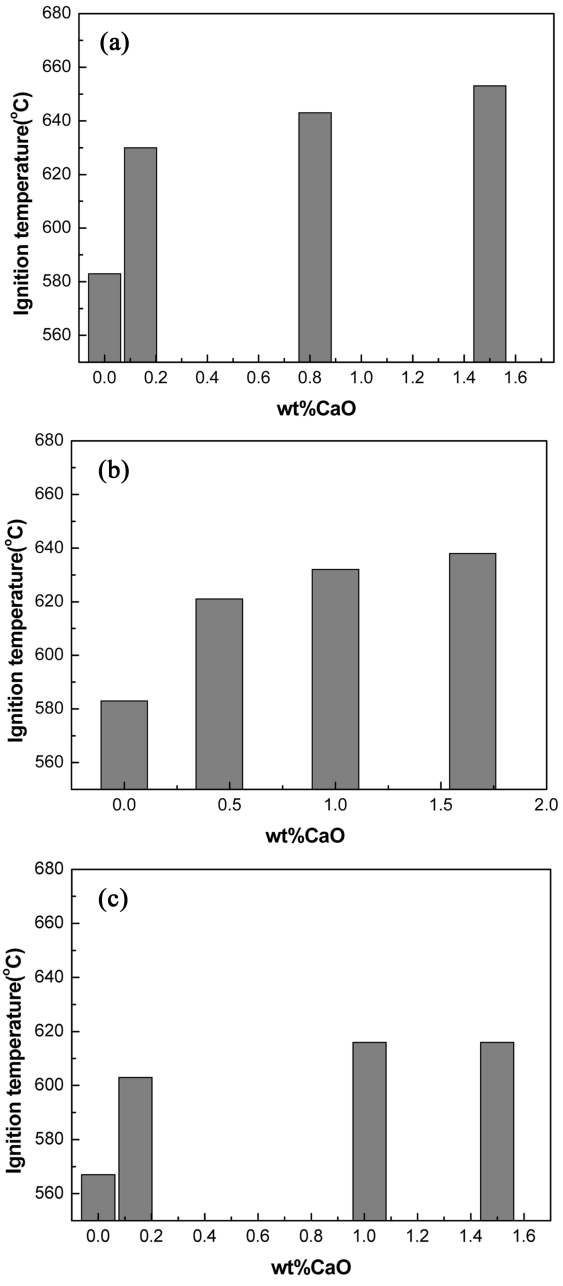


Fig. 6. Dependence of the chip ignition temperatures for (a) Mg-3Al, (b) Mg-6Al, and (c) Mg-9Al Mg alloys with CaO under an ambient atmosphere.

Fig. 7은 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al 마그네슘 합금 및 ICP 분석에 의해 칼슘량이 1wt%인 Eco-Mg 합금의 대기 분위기에서 실시한 furnace chip 발화시험 결과를 나타내었다. 알루미늄 함량이 증가 할수록 1wt% CaO가 첨가된 Eco-Mg 합금의 발화온도는 감소하였다. Mg-Al 합금에 CaO을 첨가하면 $Al_2Ca$상을 형성하며, $Al_2Ca$상 형성에 따른 Mg-Al 합금내 알루미늄량은 감소한다. Mg-Al 합금 내 알루미늄량의 감소는 고상선 및 액상선의 상승을 초래한다. 고상선 및 액상선의 상승은 발화저항성 향상에 도움이 되며 CaO이 첨가된 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 CaO 첨가량에 따른 고

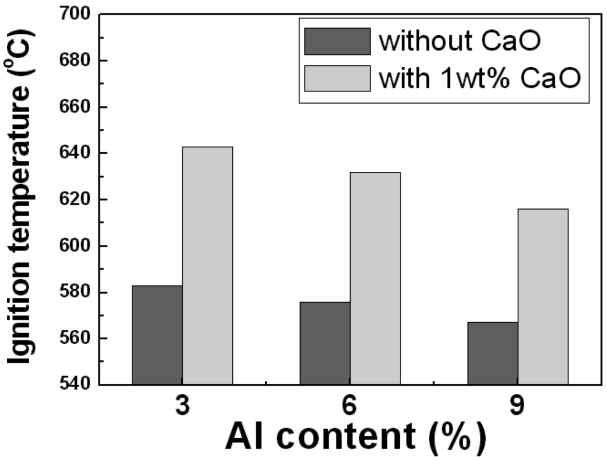


Fig. 7. Dependence of the chip ignition temperatures for Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys without CaO and with 1wt% CaO as a function of Al contents under an ambient atmosphere.

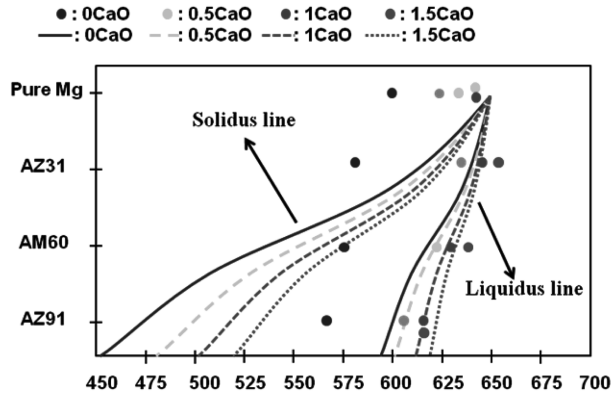


**Fig. 8.** The ignition temperatures for CaO added Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys on the solidus and liquidus lines by the chip ignition test.

상선 및 액상선의 거동을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 9는 CaO이 첨가된 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 대기 분위기에서 실시한 토치 발화시험 결과를 나타내었다. 토치 발화시험은 사고에 의한 화제 등 고온의 분위기에 노출된 마그네슘 부품의 안전성을 평가하기 위하여 실시하였다. Mg-3Al-1.13wt%CaO Eco-Mg 합금의 경우 약 60초가 지날 무렵 판재가 부분 용융되기 시작하였으며 시간이 지날수록 용융된 부분이 점차 증가하였으며 약 160초에 용융된 부분이 자중에 의해 흘러내렸으며 200초가 되었을 무렵 화염을 동반한 급격한 발화가 발생하였다. 이후 판재는 연속적인 발화가 일어나지 않고 소화되었다. Mg-6Al-1wt%CaO 및 Mg-9Al-1.02wt%CaO Eco-Mg 합금의 경우 Mg-3Al-1.13CaO Eco-Mg 합금과 비슷한 경향을 보였으며 120초에 발화되었으며 이후 연속적인 발화가 일어나지 않고 소화 되었다. 일반 마그네슘 합금의 경우 발화가 일어난 후 발화에 의해 발생된 열에 의해 연속적인 발화가 진행되는 것과 달리 Eco-Mg의 경우 토치가 제거된 후 바로 소화되는 경향이 관찰되었다.

## 4. 결 론

CaO이 첨가된 Mg-3Al, Mg-6Al 및 Mg-9Al Eco-Mg 합금의 발화저항성을 평가하기 위하여 DTA, furnace chip 발화시험 및 토치 발화시험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 대기 중 발화의 정량적인 data를 확보할 수 있는 DTA 시험을 dry-air 분위기에서 수행하였으며 주조 및 가공 시 발생하는 burr 및 chip의 발화 저항성을 평가할 수 있는 furnace chip 발화시험 및 마그네슘 부품의 안전성을 평가 할 수 있는 토치 발화시험을 수행하였다. DTA, furnace chip 발화시험 및 토치 발화시험을 통하여 마그네슘 합금의 발화저항성 평가방법을 확립할 수 있었다.

2) CaO이 첨가된 Eco-Mg 합금의 DTA 평가결과 CaO 첨가량이 증가할수록 알루미늄 양이 적을수록 발화저항성이 향상되었다.

3) Mg-Al 합금에 CaO을 첨가하면 $Al_2Ca$상을 형성하며, $Al_2Ca$상 형성에 따른 Mg-Al 합금내 알루미늄량은 감소한다. $Al_2Ca$의 2Al 및 Ca의 원자량 비는 약 54 : 40 이며, CaO이 1wt% 첨가된 Eco-Mg의 경우 Mg-Al 합금내 1.35wt%의 알루미늄이 감소된다. Mg-Al 합금 내 알루미늄량의 감소는 용융점 증가를 통한 발화저항성 향상에도 도움이 된다.

4) Mg-3Al-1.22wt%CaO, Mg-6Al-2.5wt%CaO 및 Mg-9Al-1.5wt%CaO Eco-Mg 합금의 DTA 발화시험 결과 1,100°C이상에서 발화 되었으며, 1,100°C 이상의 발화특성 결과는 향후 화재에 특히 취약한 철도차량 부품 및 항공기 부품 등의 내화(fire-proof) 목적의 부품으로 적용될 것으로 기대된다.

5) CaO이 첨가된 Eco-Mg 합금의 furnace chip 발화시험 결과 미량의 CaO 첨가되어도 발화온도는 급격히 상승하였으며 800°C로 유지된 furnace chip 발화시험은 열전도가 거의 없는 chip을 사용하여 일정온도에서 수렴하는 경향을 보인 것으로 판단된다. Furnace chip 발화시험 결과는 다이캐스팅 시 발생하는 burr 및 가공 중 발생하는 chip의 화재 위험성으로부터 작업자의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

6) 토치 발화시험결과 CaO이 첨가된 Eco-Mg의 경우 용융된 상태에서도 발화가 발생하지 않았으며, 발화에 의해 발생된 열에 의해 연속적인 발화가 진행되는 일반 마그네슘 합금과는 달리 Eco-Mg의 경우 토치가 제거된 후 바로 소화되는 경향이 관찰되었다. 이러한 안정된 발화저항성 결과는 철도차량 부품 및 항공기 부품 등의 내화 목적의 부품으로 적용될 것으로 기대된다.

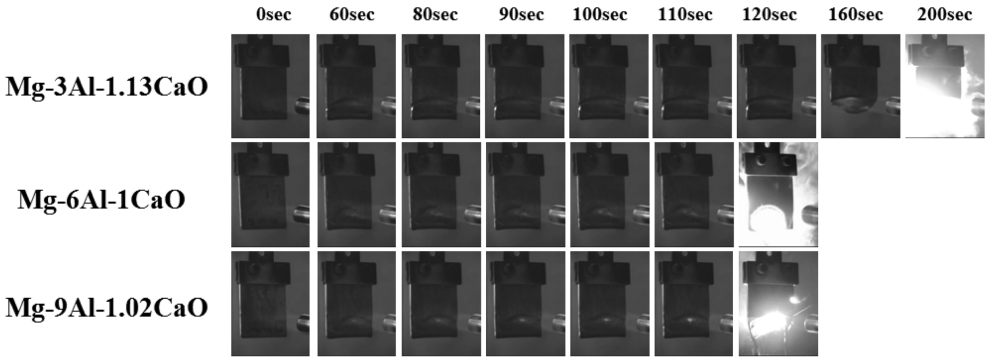


Fig. 9. The torch ignition test results of CaO added Mg-3Al, Mg-6Al, and Mg-9Al Mg alloys under ambient atmosphere.

## 참고문헌

[1] Won Ha et. al. : J. All. Com., “Effects of cover gases on melt protection of Mg alloys”, 422 (2006) 208-213
[2] Bong-Sun You et. al. : Scripta mater., “THE EFFECT OF CALCIUM ADDITIONS ON THE BEHAVIOR OF MAGNESIUM ALLOYS”, 42 (2000) 1089-1094
[3] Xiaoqin Zeng et al. : Mater. Sci. Eng.(A), “Behavior of surface oxidation on molten Mg-9Al-0.5Zn-0.3Be alloy”, A301 (2001) 154-161
[4] Bong-Sun You et al. : J. Kor. Inst. Met. & Mater., “Oxidation Behavior of Molten Magnesium Containing Calcium”, vol. 39 (2001) 446-450
[5] W. W. Park et al. : J. Kor. Foundrymen's, “state-of-the-Art of R&D for Noncombustible Mg-Ca Base Alloys”, vol. 19 (1999) 377-383
[6] B. S. You et al. : J. Kor. Foundrymen's, “state-of-the-Art of R&D for Noncombustible Mg-Ca Base Alloys”, vol. 19 (1999) 377-383.
[7] J. K. Lee et al. : Adv. Mater. Research, “Development of Novel Environment-friendly Magnesium Alloys”, 47-50 (2008) 940-943
[8] S. H. Ha et al. : Mater. Trans., “Effect of CaO on Oxidation Resistance and Microstructure of Pure Mg”, 49 (2008) 1081-1083
[9] S. H. Ha et al. : Rare Metals, “Behavior of CaO and Calcium in pure Magnesium”, 25 (2006) 150-154
[10] J. K. Lee et al. : J. Kor. Foundrymen's Soc., “Melt Protection Property and Ignition Resistance Property of CaO added AZ91D Mg Alloy”, 27 (2007) 131-134
[11] Shae K. Kim et al. : Proc. 66th International magnesium association (IMA), “Eco-Mg for magnesium future”, (2009) 9-24
[12] J. K. Lee et al. : Mater. Sci. Forum, “Thermodynamic consideration of CaO added Mg alloy in recycling process”, 620-622 (2009) 615-618
[13] S. H. Ha et al. : J. Kor. Foundrymen's Soc., “Effect of CaO and Ca additions on Microstructure and Ignition Resistance of Pure Mg”, 26 (2006) 146-151
[14] Shae K. Kim : Proc. Processing and Fabrication of Advanced Materials, “Effect of Al content on phase formation of CaO added Mg alloy”, (2009) 487-495
[15] N. B. Pilling, R. E. Bedworth : J. Inst. Metals, Vol. 29 (1923) 529-591