

Mg합금에서의 SF₆가스 대체기술 현황

유봉선, 최병호, 임창동 | 한국기계연구원

1. 서론

마그네슘합금은 전기화학적으로 전위가 낮은 매우 활성적인 금속으로 물, 공기, 화공약품과 접촉하면 쉽게 부식이 된다. 또한 알루미늄합금과 달리 고온에서 표면 산화층이 다공질로 변화하여 대기 중의 산소를 효과적으로 차단하지 못하므로 용탕 상태에서 대기 중에 노출되면 산소와 반응하여 급격하게 산화되거나 발화가 일어난다. 따라서 마그네슘합금의 용해·주조시에는 용제(flux)나 불활성 보호가스를 표면에 도포하여 용탕과 산소와의 접촉을 차단하여야 한다¹⁻⁴⁾. 현재 가장 널리 사용되는 용탕보호방법은 CO₂와 SF₆ 가스를 혼합한 보호가스를 용탕 표면에 도포하는 방법으로, 1ton의 마그네슘합금 부품을 제조하는데 사용되는 CO₂ 가스는 약 20ton이고 SF₆가스가 약 1.5kg인 것으로 보고되고 있다. 그러나 SF₆ 가스는 가격이 비싸고 지구 온난화(global warming) 효과가 CO₂에 비해 약 23,900배 정도 높다는 연구결과를 참조할 때, 1ton의 마그네슘합금 부품을 제조하기 위해 약 50ton의 CO₂ 가스를 사용하는 결과를 초래하므로 SF₆가스를 사용함에 따른 지구환경 파괴효과는 실로 엄청나다. 또한, 2008년 이전 도입 예정인 온실가스 배출권 거래제에서 CO₂ 가스 1ton의 배출권이 10~30불로 예상된다는 점을 감안한다면 SF₆ 가스를 사용하는 공정은 별도의 규제가 없더라도 경쟁력을 상실할 수밖에 없다. 이로 인해 마그네슘합금의 용해 및 주조시 용탕 표면을 효과적으로 보호할 수 있는, 경제적이면서 환경 친화적인 새로운 용탕보호방법의 개발이 시급히 요구되고 있다.

본 고에서는 마그네슘합금 관련 산업에서 SF₆ 가스의 사용현황 및 이를 대체하기 위한 기술동향을 분석·고찰함으로써, 환경에 유해한 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 새로운 용탕보호방법 확립의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. Mg합금의 용해·주조공정에서 용탕 보호 기술

2.1 용제를 이용한 용탕보호기술

마그네슘합금은 산소와의 친화력이 크므로 용탕 상태에서 대기 중에 노출될 경우 급격한 산화 및 발화가 일어나며, 이로 인해 용탕이 손실되거나 오염되며, 조업시 화재 발생의 원인이 되기도 한다. 마그네

습합금 용탕과 산소와의 반응을 억제하기 위하여 용제를 용탕 표면에 도포하여 표면에 치밀한 반응층을 형성시킴으로써 산소의 유입을 차단하는 용탕보호방법이 초기에 적용되었다. 표 1은 마그네슘합금의 용해 및 주조공정에 사용되는 용제의 종류를 나타낸 것으로^[10] 염화마그네슘(MgCl₂)을 주성분으로 하여 염화칼륨(KCl) 과 염화나트륨(NaCl)을 적절한 비율로 혼합한 염이 사용된다. 그러나 용제를 사용하는 경우 용제와 마그네슘합금 용탕과의 반응에 의하여 용탕의 손실이 발생하며, 반응 생성물이 용탕 내로 혼입될 경우 기계적 특성 및 내식성에 악영향을 미치므로 용제를 이용한 용탕보호방법은 현재 거의 사용되지 않고 있다^[11].

표 1. 마그네슘의 용해 및 주조공정에 사용되는 용제의 종류 및 조성

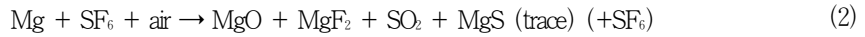
	MgCl ₂	KCl	NaCl	CaCl ₂	BaCl ₂	CaF ₂	MgO	Dow No.
Melting	60	40						
	50	30	20					
	34	55			9	2		230
		57		28	12.5	2.5		220
Melting & refining	50	25			20	5		234
	50	20			20	10		
Refining	50	20				15	15	310
	35	27	8			20	10	
Ignition prevention					(S)80	H ₂ BO ₃ 15	NH ₄ BF ₄ 5	181
					28	62	10	

2.2 무용제 용탕보호기술

마그네슘합금의 용탕을 보호하기 위하여 용탕 표면에 용제를 도포하는 방법의 문제점으로 인하여 용탕 표면에 보호성 가스를 도포하는 무용제 용탕보호방법이 개발되었다. 초기에는 SO₂ 가스가 주로 사용되었지만, SO₂ 가스는 인체에 유해할 뿐만 아니라 수분과의 친화성으로 인하여 철계 장비의 부식을 촉진시키는 단점이 있다. 또한 SO₂ 가스의 반응 생성물이 용해로의 상부에 축적될 경우 “sulphur dome effect” 라고 불리는 현상이 발생하여 폭발이 일어날 수 있으므로, 구미의 몇몇 국가에서는 사용이 금지되고 있다. 이후 Ar이나 N₂ 등의 불활성 가스를 이용하여 용탕을 보호하는 방안이 시도되었으나, 실제 산업 현장에 적용하기에는 용탕 보호효과가 미미하였다. 용제를 사용하지 않고 보호성 가스를 이용하여 용탕을 보호하는 무용제 공정(fluxless process)이 산업 현장에 본격적으로 적용되기 시작한 시점은, 보호성 가스로서 SF₆ 가스의 응용 기술이 확립된 1970년 이후이며, 그 후 무용제 공정에 기초하여 마그네슘 관련 산업은 현재까지 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 마그네슘합금 용탕을 보호하는 SF₆ 가스의 역할은 다음과 같이 SF₆ 가스의 농도에 따라 구별될 수 있다. SF₆ 가스의 농도가 0.5%이하인 경우에는 마그네슘과 SF₆ 가스 사이에 어떠한 반응도 일어나지 않으며 용탕 표면은 식 (1)과 같이 MgO로 이루어져 있다.



SF₆ 가스의 농도가 증가함에 따라 식 (2)에 나타난 바와 같이 마그네슘과 SF₆ 가스가 반응하여 용탕 표면에 MgF₂, MgS가 형성되며 SO₂ 가스가 발생한다.



상기 반응에서 보호성 피막으로 작용하는 물질은 MgF₂ 층으로 여겨지나, MgF₂ 층의 형성에 따른 발화억제 기구에 대해서는 아직까지 명확하게 규명되지 않고 있다. 용탕 보호에 사용되는 SF₆ 가스의 농도가 일정농도 이상이 되면 SF₆ 가스는 HF 및 SO₂ 가스로 분해되고, 수분이 존재하는 분위기 하에서는 두 종류의 가스 모두 산을 형성하면서 도가니로 사용되는 철계 소재의 벽에 다공질의 scale을 생성한다. Scale중 FeF₂ 및 FeO는 용탕과 극렬하게 발열반응을 일으켜 다음과 같이 폭발의 원인을 제공하기도 한다.



이와 같은 반응은 SF₆ 가스의 농도가 증가함에 따라 급격하게 증가하기 때문에 IMA (International Magnesium Association)에서는 보호성 가스로 사용하는 SF₆ 가스의 농도를 0.5% 이하로 유지하며, 혼합가스에 함유되어 있는 수분의 함량을 줄이도록 권장하고 있다. 표 2는 용탕온도에 따라 적절한 혼합가스 조성을 나타낸 것이다^[2].

표 2. 마그네슘 용탕보호용 혼합가스의 농도

Melt temperature		Recommended atmosphere over the melt(vol%)	Operating conditions		
(°C)	°F		Surface agitation	Flux contamination	Melt protection
650~705	1200~1300	Air + 0.04SF ₆	NO	NO	Excellent
650~705	1200~1300	Air + 0.2SF ₆	Yes	NO	Excellent
650~705	1200~1300	75air + 25CO ₂ + 0.2SF ₆	Yes	Yes	Excellent
705~760	1300~1400	50air + 50CO ₂ + 0.3SF ₆	Yes	NO	Excellent
705~760	1300~1400	50air + 50CO ₂ + 0.3SF ₆	Yes	Yes	Very good

3. SF₆ 가스의 사용과 지구 온난화 효과

SF₆ 가스는 무색무취(無色無臭)로 다른 보호성 가스에 비해 특별히 인체에 해롭지는 않은 것으로 알

려져 있다. SF₆ 가스는 공기와 비교하여 비중이 약 5배이며, 800°C까지는 열적으로 안정하여 마그네슘 용탕 보호에 적합하다(마그네슘의 녹는점은 650°C이며, 현재 제품 제조에 가장 널리 적용되는 다이캐스팅 공정의 경우 670~720°C에서 조업이 이루어진다). SF₆ 가스의 주된 사용 분야는 electric power industry로서 circuit breakers, gas-insulated substations 및 gaseous dielectric switchgear 등에 적용되고 있으며, 세계적으로 매년 생산되는 6,500~7,500ton의 SF₆ 가스 중 70%정도가 이 분야에 사용된다. 사용한 SF₆ 가스는 철저한 관리에 의해 대기 중으로 방출되지 않도록 해야 하지만, 1998년 미국의 통계에 의하면 연간 7백만ton의 CO₂ (MMTCE: million metric tons of carbon equivalent)에 해당하는 SF₆ 가스가 대기 중으로 방출되는 것으로 추정된다. 이 양의 대부분은 electric power industry에서 방출되는 것이지만 마그네슘합금의 용해 및 주조공정에서의 사용량 및 배출량도 약 30%(1997년 미국통계)에 이른다. 이와 같은 SF₆ 가스의 방출량은 현재 방출되는 온실 가스의 총량을 기준으로 할 때 많은 양이 아니지만, 표 3에 나타낸 바와 같이 SF₆ 가스는 GWP (global warming potential)가 23,900으로, 온실가스로 분류되고 있는 가스 중 그 효과가 가장 큰 가스이다.

즉 1kg의 SF₆ 가스가 대기 중에 방출될 경우 약 24ton의 CO₂가 방출되는 것과 같은 영향을 미친다. 또한 대기 중에서 분해되지 않고 잔류하는 기간으로 볼 때 메탄은 약 10년, CO₂ 및 프레온 가스 등이 약 100년으로 추정되는 반면, SF₆ 가스는 3,200년으로 극히 오랜 기간 분해되지 않고 대기 중에 잔존하기 때문에 연간 방출되는 양이 적더라도 오랜 기간 누적되면 그 파장이 엄청난 가스이다. 대기 중의 SF₆ 가스의 농도를 조사한 결과에 의하면 1953년 이래 SF₆ 가스의 농도가 수백 배 증가한 것으로 보고되고 있다. SF₆ 가스의 사용을 줄이기 위한 노력으로 EPA (Environmental Protection Agency)는 미국 내 12개의 마그네슘 관련 산업체와 SF₆ 가스의 사용을 억제하는 내용의 MOU (Memorandum of Understanding)을 체결하였으며, IMA를 중심으로 2010년까지 SF₆ 가스의 사용을 완전히 배제하는 방안이 추진되고 있다.

4. SF₆ 가스 대체기술

앞서 언급한 바와 같이 SF₆ 가스는 지구 온난화를 유발하는 온실가스로 향후 그 사용이 완전히 금지될 것으로 예상되며, 이에 SF₆ 가스를 대체하여 효과적으로 마그네슘합금 용탕을 보호하면서 환경 친화적인 새로운 용탕보호방법을 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재 연구가 진행되고 있

표 3. 여러 가지 가스의 GWP (100 year)

Gases	GWP(100 years)
Carbon dioxide (CO ₂)	1
*Methane(CH ₄)	21
Nitrous oxide (N ₂ O)	310
HFC-23	11,700
HFC-125	2,800
HFC-134a	1,300
HFC-143a	3,800
HFC-152a	140
HFC-227ea	2,900
HFC-236fa	6,300
HFC-4310mee	1,300
CF ₄	6,500
C ₂ F ₆	9,200
C ₄ F ₁₀	7,000
C ₆ F ₁₄	7,400
PFCs	6,500~9,200
CFCs	16,000
SF ₆	23,900

는 새로운 용탕보호방법은 크게 새로운 대체가스를 개발하여 SF₆ 가스를 대체하는 방법과 합금 원소 첨가 등을 통하여 합금 용탕의 내산화성을 증가시켜 발화를 억제하는 방법으로 구분할 수 있다.

4.1 대체가스 개발 현황

SF₆ 가스를 대체하기 위한 연구의 일환으로 SF₆ 가스를 사용하기 이전에 용탕보호를 위해 CO₂나 SO₂ 가스를 사용하던 공정의 문제점을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다. SO₂ 가스의 경우 지구 온난화를 야기하지 않으며 공기와 일정량 혼합하여 사용하면 용탕의 표면에 두꺼운 산화층을 형성하여 산화속도를 낮추지만, 형성되는 산화층이 SF₆ 가스를 사용할 때의 산화층에 비해 용탕 보호 효과가 떨어지고, 작업자의 눈이나 목에 손상을 주며, 산 성분의 물질을 생성할 수 있다는 문제점이 있다. 그러나 최근의 연구 결과에 의하면 SO₂ 가스를 사용하는 경우에도 이산화탄소를 적절하게 혼합하여 사용할 경우 700°C 이상의 고온에서 뿐만 아니라 일상적으로 습기가 있는 분위기에서도 내산화성을 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 따라서 SO₂를 사용하는 공정 연구의 대부분은 SO₂ 가스와 혼합하여 사용하는 가스의 종류 및 양을 변화시키면서 가장 효과적인 가스의 종류 및 혼합 비율을 선정하는데 초점이 맞추어져 있다. 최근 이와 같은 SO₂ 사용에 관한 많은 연구가 진행되면서 공기와 1~4%의 SO₂ 가스를 혼합한 보호성 가스의 경우 산화 억제 효과가 크고 인체에 크게 해롭지 않으며, 폭발의 원인이 되는 퇴적 현상도 나타나지 않는 것으로도 보고되었다. 다만 SO₂ 가스의 저장, 취급 및 방출에 따른 기술적 어려움은 현재까지 문제점으로 지적되고 있다. 식 (5)는 마그네슘 용탕과 SO₂ 가스와의 반응을 나타낸 것으로 용탕 표면에 안정한 MgSO₄(s) 층이 형성되어 산소의 유입을 차단함으로써 용탕의 발화를 억제한다.



표 4는 SO₂를 포함하는 여러 가지 보호가스 분위기에서 상용 마그네슘합금 용탕의 산화 및 발화 거동을 비교하여 나타낸 것이다. Ar 가스만을 사용할 경우 보호성 피막이 용탕 표면에 형성되지 않으므로 용탕이 산소와 반응하여 발화가 일어나는데 비하여 SO₂와 Ar을 적절한 비율로 사용할 경우 용탕의 발화를 효과적으로 억제할 수 있다.

표 4. 다양한 보호성 가스 분위기에 따른 상용 마그네슘합금의 용탕 산화 거동

Protective gas	Temperature(°C)	Protective layer	Observations
0.5 SO ₂ /Ar	675~705	thin	no burning
	715	thick	burning
	720~750	thick	burning; smoking of melt
0.2 SO ₂ /Ar	680~725	thin	no burning
	740	thick	no burning
Ar	680~715	thick	burning; smoking of melt

한편, 기존에 알려진 보호성 가스 대신에 새로운 보호성 가스를 적용하기 위한 연구도 활발하게 진행

되고 있다. 최근 호주에서는 hydrofluorocarbon 1,1,1,2 tetrafluoroethane (HFC-134a or R-134a)을 이용하여 마그네슘 용탕을 보호하는 기술을 개발했다고 발표하였다^[3]. 원래, HFC-134a 가스는 오존 파괴 효과가 있는 Freon-12, CFC (chlorofluorocarbon)를 대체하여 자동차 냉매 가스로 사용하기 위해 80년대 초에 개발된 가스로, HFC-134a 가스의 용탕 보호 효과는 SF₆ 가스의 용탕 보호 효과 이상이며, GWP가 SF₆ 가스의 1/18 정도이고, 가격도 SF₆ 가스의 1/3인데다가 인체에 유해하지 않다는 장점이 있는 것으로 보고되었다. 그림 1은 마그네슘합금 용해시 보호가스로 HFC-134a를 사용한 경우의 용탕 표면 상태를 나타낸 것으로 용탕의 발화가 일어나지 않고 안정한 표면 상태를 유지하고 있음을 알 수 있다.



그림 1. HFC-134a를 보호가스로 사용한 경우의 마그네슘합금 용탕의 표면 상태

그림 2는 동일한 조건에서 SF₆ 및 HFC-134a 가스를 용탕 표면에 도포하여 용탕 보호 효과를 상대적으로 비교한 것으로, SF₆ 가스를 사용한 경우에는 시간의 경과에 따라 연소가 일어나 용탕의 손실이 발생하지만 HFC-134a를 이용할 경우에는 시간의 경과에도 불구하고 용탕의 손실이 발생하지 않는 건전한 상태를 유지하고 있다.

그러나 그림 3에 나타난 바와 같이 용탕 온도가 650°C 이상으로 상승할 경우 인체에 유해한 HF 발생량이 급격하게 증가하고 있으며, HFC-134a 가스 또한 GWP가 1,300으로 SF₆ 가스의 GWP에는 미치지 못하나 역시 강력한 온실 가스이며, 현재 그 사용을 제한하고자 하는 가스중의 하나로서 SF₆ 가스의 사용을 완전 대체하기는 곤란할 것으로 예상된다. 이 외에도 BF₃ 및 SOF₂ 등 새로운 보호가스에 대한 연구 결과가 보고되고 있지만 가격이 비싸거나 저장시 특별한 저장방법이 요구되는 등의 문제점으로 인하여 아직까지 SF₆ 가스를 대체하여 새로운 보호가스를 사용하는 기술은 완전하게 확립되어 있지 않다.

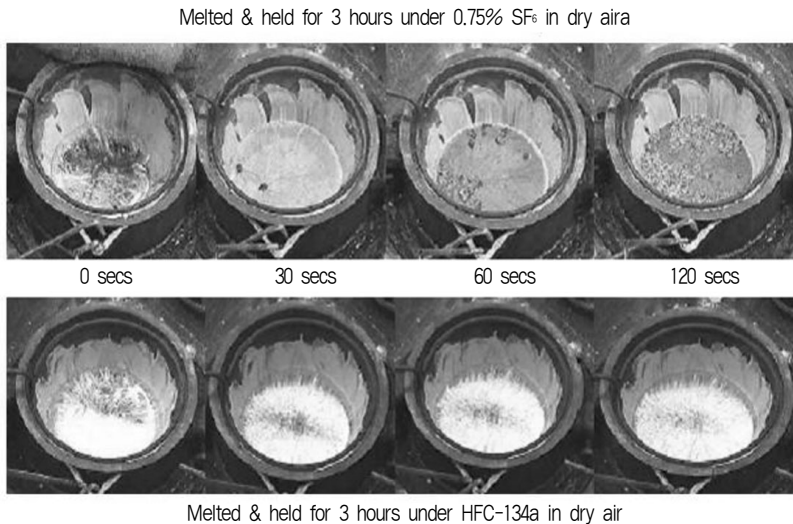


그림 2. 유지시간에 따른 상용 마그네슘합금의 용탕표면 상태 변화

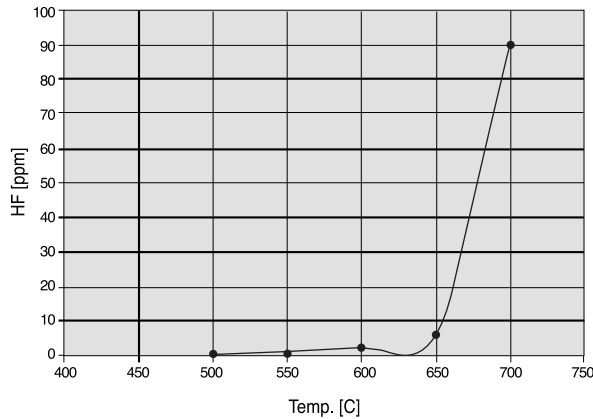


그림 3. HFC-134a 사용시 용탕온도에 따른 HF 발생량의 변화

4.2 난연성 마그네슘합금 개발 현황

SF₆ 가스 대신에 용탕 보호 효과가 있는 대체가스를 사용하는 방법 이외에 합금 원소를 첨가하여 마그네슘합금 용탕의 내산화성을 향상시킴으로써 발화를 억제하는 연구가 일본, 한국 및 중국 등의 아시아권 국가를 중심으로 활발하게 진행되고 있다^[14-17]. 현재까지 보고된 연구 결과에 의하면 마그네슘 용탕에 Ca, Be, Al 등을 첨가할 경우 고온에서도 용탕의 산화 및 발화가 상당히 억제되는 것으로 알려져 있다. 일반적인 다이캐스팅 공정에서도 산화 억제를 위해 합금에 약 5~30ppm의 Be를 첨가하고 있으나, SF₆ 가스 등의 보호성 분위기를 제거하는 경우 내산화성이 급격히 감소하며, Be 자체의 유독성으로 인하여 용해시 주의가 요구된다. 한편, Ca를 첨가하여 용탕의 발화를 억제하는 방법은 90년대초 Sakamoto 등에 의해 기초적인 연구가 시작되어^[17] 현재 실용화를 준비하는 단계에 있다. 그림 4는 Ca 첨가량에 따른 Mg-Ca 이원계 합금 칩(chip)의 발화온도 변화를 측정된 결과를 나타낸 것으로^[18], Ca를 첨가하지 않은 순수한 마그네슘 칩의 발화는 500°C 전후에서 시작되는 반면에, Ca 첨가량이 증가함에 따라 Mg-Ca 계 합금의 발화온도는 급격하게 상승하여 1wt.%의 Ca첨가에 의해서도 Mg합금 chip의 발화온도는 200°C 이상 증가하였다. 이와 같이 Ca의 첨가에 의해 마그네슘합금의 발화온도가 상승하는 것은 일반적으로 표면에 형성되는 산화층이 다공질의 산화층에서 치밀한 산화층으로 변화하여 산소의 유입을 효과적으로 차단하기 때문인 것으로 알려져 있으나 아직까지 명확한 기구는 규명되지 않았다.

상해 교통대학에서는 상용 마그네슘합금에 Be 및 RE를 첨가하여 용탕을 보호하는 방법에 대한 연구를 수행하고 있으며, 그림 5에 나타낸 바와 같이 Be나 RE를 마그네슘에 첨가할 경우 표면에 다층의 보호성 피막이 형성되어 내산화성이 향상된다고 보고하였다^[19]. 마그네슘합금의 용해가 일어나는 초기에는 대기/용탕 표면에서 마그네슘과 산소가 반응하여 다공질의 MgO층이 순간적으로 전체 용탕 표면에 형성되며 이후 산소가 지속적으로 용탕 표면에 공급됨에 따라 산화층은 빠른 속도로 성장하게 된다. 산화층이 성장함에 따라 용탕 표면과 산화층과의 계면에서 마그네슘의 농도는 감소하는 반면에 Be의 농도는 증가하게 되며 이로 인하여 열역학적인 상태가 변화함으로써 BeO층이 형성되고, 이러한 BeO층은 Mg²⁺의 확산에 대한 장애물로 작용하기 때문에 산화반응이 억제된다.

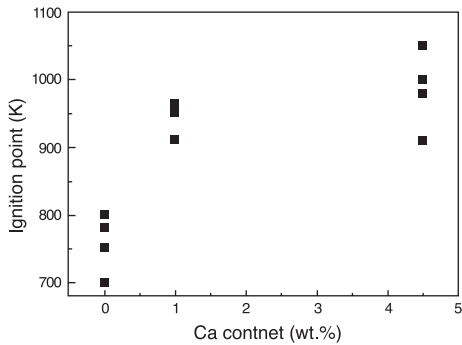


그림 4. Ca 첨가량에 따른 Mg-Ca계 합금 칩의 발화온도 변화

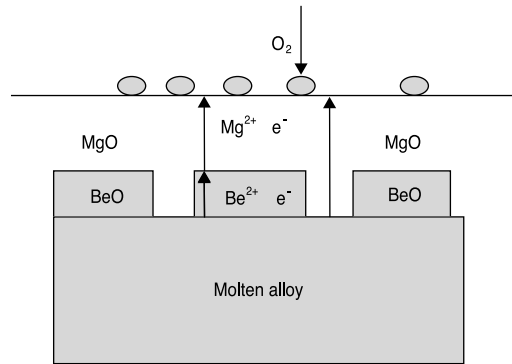


그림 5. Be를 함유하고 있는 상용 마그네슘합금 용탕의 산화 모델

그림 6은 Ca 첨가에 의해 마그네슘합금 용탕의 산화거동이 변화하는 과정을 모식도로 나타낸 것으로, 용탕 표면에 보호성 가스를 도포하지 않고 대기 중에서 마그네슘합금을 용해할 경우에는 용탕 표면에 다공질의 MgO 피막이 형성되어 용탕과 산소와의 접촉을 효과적으로 차단하지 못하므로 용탕 표면에서 격렬한 산화반응이 일어난다. 이를 방지하기 위하여 현재까지는 공기와 CO₂, SF₆ 가스를 적절하게 혼합한 보호가스를 표면에 도포하여 산소와 용탕의 접촉을 차단하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 그림 6 (b)에 나타낸 바와 같이 Ca를 함유하는 합금의 경우에는 용탕 표면에 치밀한 구조를 지니는 MgO + CaO 산화층이 형성되어 용탕과 산소와의 지속적인 접촉을 차단함으로써, 대기 중에서 보호가스나 용제를 사용하지 않고 용탕의 발화를 억제할 수 있다.

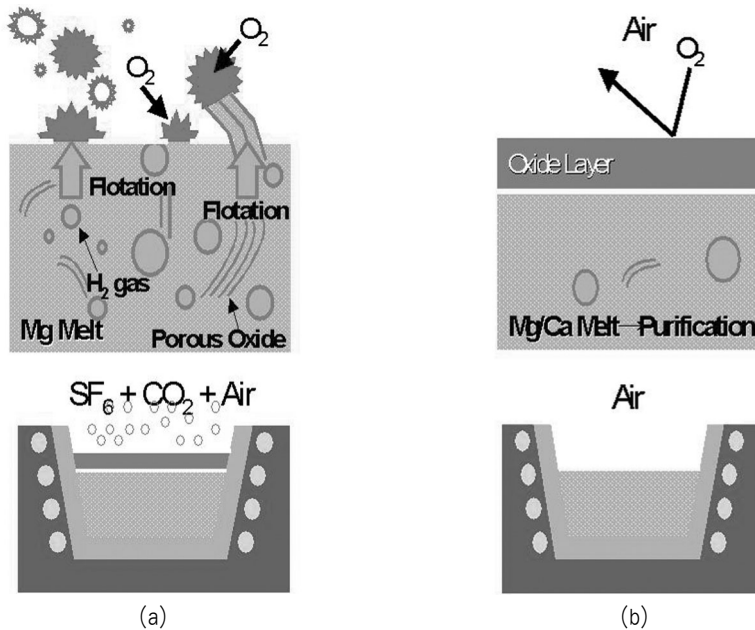


그림 6. 상용 마그네슘합금과 Ca를 첨가한 마그네슘합금의 용탕 산화 거동
(a) 상용 마그네슘합금 (b) Ca를 첨가한 마그네슘합금

그림 7은 당 연구팀의 연구결과로써, 대기 중에서 보호성 가스나 용제를 사용하지 않고 산화시킨 상용 마그네슘합금 및 Ca 첨가 마그네슘합금의 표면 상태를 비교하여 나타낸 것으로, 그림 7 (a)에 나타낸 바와 같이 상용 마그네슘합금의 경우 용탕 표면에서 격렬한 발화 반응이 일어난데 비하여, 그림 7 (b)에 나타낸 바와 같이 Ca를 첨가한 마그네슘합금의 경우 용탕 표면에서 발화가 일어나지 않았다.

이와 같은 특성 개선을 통해 당 연구팀에서는 그림 8과 같이 대기 중에서 보호성 가스나 용제를 사용하지 않고 Ca 첨가한 마그네슘합금을 용해·주조할 수 있는 기술을 개발하였으며, 용탕 표면에서의 발화 없이 안정적으로 용해 및 주조를 행할 수 있음을 알 수 있다.

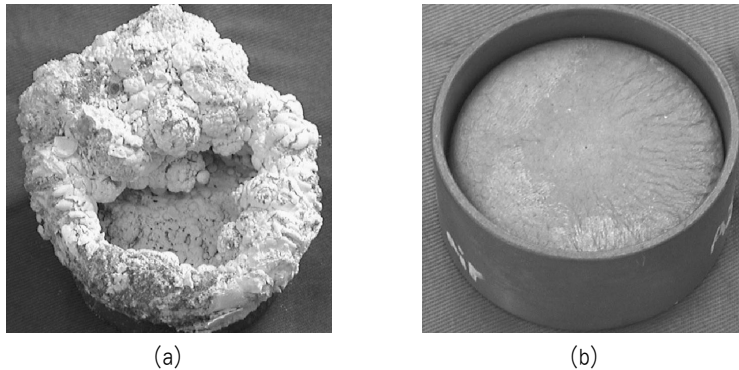


그림 7. 대기 중에서 산화시킨 상용 마그네슘합금 및 난연성 마그네슘합금의 표면 상태 비교
(a) 상용 마그네슘합금 (b) Ca 함유 마그네슘합금

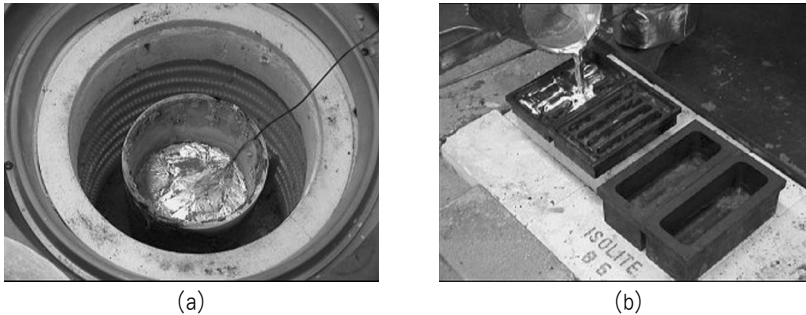


그림 8. Ca 함유 마그네슘합금의 대기 중 용해 및 주조 과정; (a) 용해 (b) 주조

지금까지의 연구 결과들에 의하면, Be과 희토류 원소 중 일부가 Ca를 대체할 수 있을 것으로 여겨지며, Ca과 함께 Al 또는 Zn 등을 첨가하였을 경우 용탕의 내산화 특성이 크게 향상된다는 연구 결과가 보고되고 있다. 그러나 이와 같은 내산화성을 얻기 위해서 첨가해야 하는 Ca의 양은 합금의 화학적 및 기계적 특성을 변화시킬 수 있는 양이기 때문에 특성 변화에 관한 연구와 더불어 용도에 따른 새로운 합금의 설계 및 적용에 관한 연구가 향후 SF₆ 가스의 질감 및 대체의 열쇠이다.

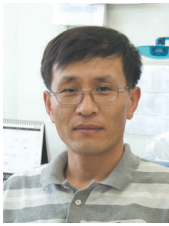
5. 결 론

현대 문명이 급속히 발전하면서 소형 경량화에 대한 소비자의 욕구가 급증함에 따라 마그네슘합금이 각종 산업에서 차지하는 비중이 점차 증가하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 마그네슘은 대기 중 산소와의 친화력이 매우 커 합금 및 제품 제조시 보호성 분위기를 유지하여야 하며, 현재 가장 널리 사용되고 있는 용탕 보호 방법은 SF₆ 가스와 CO₂ 가스를 혼합한 가스를 용탕 표면에 도포하는 방법이다. 그러나 CO₂ 가스는 대표적인 지구 온난화 가스로서 전 세계적으로 배출량을 제한하려 하고 있으며, SF₆ 가스 역시 향후에는 그 사용량이 극히 제한되거나 금지될 것으로 예측되고 있다. 실제로 최근 IMA는 자발적으로 2010년까지 마그네슘합금 지금 및 제품 생산 공정에서 SF₆ 가스의 사용을 완전히 배제하는 환경오염 방지안을 채택하였다. 따라서 향후 마그네슘 관련 산업뿐만 아니라 마그네슘합금 제품이 주로 적용되고 있는 자동차 및 전자산업의 경쟁력을 강화하기 위해서는 SF₆ 가스를 대체한 친환경적 마그네슘합금 용해·주조기술의 실용화가 절실하게 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 김연욱, 허보영, 한국재료학회지, 7권 6호, 464 (1997).
- [2] 박원욱, 최철진, 기계와 재료, 6권 2호, 38 (1994).
- [3] 日本特許: 公開 平6-49552.
- [4] B.S. You, W.W. Park and I.S. Chung: Proc. of the 2nd Israel Inter. Conf. on Magnesium Science & Technology, ed. by E. Aghion and D. Eliezer, 377 (2000).
- [5] B.S. You, W.W. Park and I.S. Chung: Scripta Mater., 42, 1089 (2000).
- [6] D.L. Modike and F. Hehmann, Magnesium Alloy and Their Application (1992).
- [7] E. Schmid, K. Von Oldenburg and G. Frommeyer, Z. Metall., 81, 809 (1990).
- [8] F.H. Froes, Y.W. Kim, and S. Krishnamurthy, Mater. Sci. Eng., A117, 19 (1989).
- [9] G.B. Evans, Magnesium Technology, The Institute of Metals, London, 103 (1987).
- [10] 김경현, 이정무, 기계와 재료, 4권, 3호 72 (1992).
- [11] O. Holta, H. Westengen and J. Roen, Proc. 3rd Inter. Magnesium Conf., ed by G.W. Lorimer, Manchester, 76 (1996).
- [12] H. Glestland and H. Westengen, Proc. 3rd Inter. Magnesium Conf., ed by G.W. Lorimer, Manchester, 33 (1996).
- [13] N. Ricketts, www.mst.csiro.au/castalloys/covergas.htm.
- [14] 유봉선, 김문희, 박원욱, 정인상, 대한금속·재료학회지, Vol. 39, No. 4, 446 (2001).
- [15] B.H. Choi, I.M. Park, B.S. You and W.W. Park, Mater. Sci. Forum Vols. 419-422, 639 (2003).
- [16] M. Sakamoto and S. Akiyama, Proc. 4th Asian Foundry Congress, Australia, 467 (1996).

- [17] M. Sakamoto, S. Akiyama, T. Hagio, and K. Ogi: J. Jpn. Foundry Eng. Soc., Vol. 69, No. 3, 227 (1997).
 [18] M. Sakamoto and S. Akiyama : J. Mater. Sci. Lett., 16, 1048 (1997).
 [19] X.Q. Zeng, Q.D. Wang, W.J. Ding, Y.P. Zhu, C.Q. Zhai, C. Lu, and X.P. Xu, Mater. Sci. Eng., A301, 154 (2001).



유 봉 선

- 한국기계연구원 재료연구부 책임연구원
- 관심분야 : 연속주조, 성형가공
- e-mail : bsyou@kmail.kimm.re.kr



최 병 호

- 한국기계연구원 재료연구부 위촉연구원
- 관심분야: 경량재료, 미세분석
- E-mail: bhchoi@kmail.kimm.re.kr



임 창 동

- 한국기계연구원 재료연구부 선임연구원
- 관심분야: 경량 재료, 에너지 재료
- E-mail: cdyim03@kmail.kimm.re.kr