

技術資料

마그네슘합금의 용해기술 개발 및 활용전망

황영하, 홍준표

Development of Melting Techniques and its Application Prospects in Magnesium Alloy

Y. H. Hwang and C. P. Hong

1. 서론

최근 산업계에서는 경량이면서 내구성과 내식성 및 가공성이 우수하고 기계적 특성이 좋은 소재에 대한 요구가 증대되고 있다. 마그네슘합금은 1909년 독일의 Internation Aviation Exhibition에서 엔진 하우징 구조재로서 처음 사용된 이후 경량성과 높은 비강도, 고온강도, 우수한 가공성 등으로 인하여 전통적으로 항공 및 방위 산업에서 주로 사용되어 왔으나¹⁾, 마그네슘의 낮은 밀도(1.8g/cm³)에도 불구하고 약한 부식저항성 때문에 적용에는 한계가 있었다²⁾. 그러나 최근 내부식성, 진동흡수능력, 피로특성 등 기계적 성질이 향상된 새로운 AZ91(Mg-9Al-1Zn) 마그네슘합금 등의 개발로 인하여 자동차산업, 컴퓨터기기 및 각종 생산기기에서 폭넓게 사용되고 있다³⁾. 마그네슘합금의 소비는 매년 증가하고 있으며 1992년도 세계 마그네슘 소비량의 70%를 자동차산업에서 차지하고 있다^{4~6)}. 일본의 경우 1989년도에는 자동차 전체중량비 마그네슘 사용량이 거의 전무하였으나 1995년에는 전체중량의 5%, 2000년에는 40%까지 사용이 확대될 것으로 전망하고 있다⁷⁾. 이와 같은 마그네슘합금의 사용량 증가는 해수를 이용한 마그네슘 원소재 확보의 용이성과 생산성 측면에서 금형수명이 길고 우수한 주조특성으로 인하여 대량생산이 용이하고 에너지절약에 대한 인식의 증대로 경량소재의 요구가 크기 때문이다. 마그네슘합금 생산을 위한 제조방법으로는 가장 많이 이용되고 있는 다이캐스팅법⁸⁾과 금형주조, 사형주조법⁹⁾의 원리

는 일찍이 확립되었으나 최근 제품생산에 이용되고 있는 용탕단조(squeeze casting)법¹⁰⁾ 그리고 70년대 Flemings¹¹⁾가 개발한 반응용가공법 등이 사용되고 있다. 그러나 마그네슘합금은 강한 폭발성에 따른 안전취급 문제와 용탕의 산화성, 개재물 혼입, 가스처리 등 제조공정상의 어려움과^{12~13)} flux 사용에 따른 도가니의 침식, 장치의 설계 등 제조설비와 같은 많은 문제점을 안고 있다^{14~15)}. 이러한 공정과 안전성의 어려움으로 인하여 아직 국내에서는 공업적으로 마그네슘의 용해·주조가 이루어지지 않고 있으며 최근 이에 대한 기술적 검토가 일부 발표된 실정이다^{16~18)}. 따라서 본 기술해설에서는 건전한 마그네슘합금 주조품을 제조하는데 필요한 용해와 용탕취급기술과 취급에 따른 안전 및 향후 마그네슘합금의 활용전망에 대하여 소개하고자 한다.

2. 주조기술

2.1 장입 및 용해법

마그네슘은 부식에 매우 취약하다. 따라서 부식이 된 장입재료는 shot-pinning법으로 처리하여 사용하는 것이 좋다. 마그네슘합금 주조에 사용되는 조성은 표 1과 같다.

기계가공후 나온 부스러기와 절삭후 나온 찌꺼기 등은 특별한 재용해, 정련과정을 거쳐 제조하여 다시 용해·주조한다¹²⁾. 그러나 회수재의 사용은 통상 60~80% 정도로 제한하고 있으며 나머지는 1차금속을 사용한다. 장입재료는 정련된 회수재, 1차금속 및 재용해 잉고트를 성분분석하여 사용한다. 마그네슘합금 주조를 위한 용해는

연세대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei University)

표 1. 마그네슘 합금 조성(DIN 1729)¹⁹⁾.

| 합 금 | 화 학 조 성 (%) | | | | | |
|-------|-------------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | Al | Zn | Mn | Si(max) | Cu(max) | 기타(총합,max) |
| AZ 91 | 8.0~9.5 | 0.3~1.0 | 0.1~0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.15 |
| AZ 81 | 7.0~8.5 | 0.3~1.0 | 0.1~0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.15 |
| A6 | 5.5~6.5 | max0.1 | 0.1~0.4 | | | 0.15 |
| AZ 61 | 5.5~6.5 | 0.2~1.0 | 0.1~0.4 | | | 0.15 |
| AS 41 | 4.0~5.0 | max0.1 | 0.2~0.5 | 0.4~1.0 | | 0.15 |

open-pot 방법, 도가니용해법, 반사로를 이용한 용해법 및 다이캐스팅용 특수용해법 등을 사용한다²⁰⁾.

2.1.1 Open-pot 방법

이 방법은 가공된 형태의 1차 주조품을 생산하는데 사용하는 용해방법이나 용탕이동에 수동 ladle을 사용하는 관계로 그 사용이 제한되어 있다. 용해법은 260°C로 예열된 용해용 pot에 fluid flux를 넣고 용해한다. 예열된 노에 합금재료를 장입하고 용해한 후 산화방지용 flux를 첨가하여 교반하여 정련한다.

2.1.2 도가니용해법

도가니용해법은 사형주조에 많이 이용되는 방법으로 작은 강도가니를 사용하여 용해한 후 용탕을 주형에 주입한다. 강도가니를 260°C로 예열한 뒤 cover flux를 장입하여 도가니의 바닥과 벽에 접촉되게 한다. 예열된 도가니에 작은 조각을 먼저 장입한 후 정련된 scrap을 넣고 그 위에 예조된 잉고트를 장입하여 용해한다. 합금의 용해가 완료되면 산화방지용 flux를 넣어 연소를 방지한다.

2.1.3 반사로용해법

이 방법은 도가니용해법과 유사하다. 정련된 scrap과 1차합금을 예열된 노의 한쪽에 장입하고 반대쪽에 알루미늄, 아연, 염화마그네슘을 장입한다. 용해가 완료되면 용탕에 flux를 첨가하여 연소를 방지한다. 용탕은 ladle이나 펌프를 이용하여 고정로로 이동하여 찌꺼기를 제거하고 탈가스하여 결정립을 미세화한다.

2.2 용탕처리

마그네슘합금 제조품은 합금이 용해된 후 용탕의 산화방지, 탈가스, 온도조절, 정련, 결정립 미세화, 이송과정 등에서 용탕의 처리에 따라 품질이 달라진다. 표 2에 탈가스와 결정립 미세화가

표 2. 탈가스와 결정립 미세화처리가 기계적특성에 미치는 영향³⁰⁾.

| 탈가스 방법 | 결정립 미세화 | 결정립크기 (0.0001in) | UTS (Kpsi) | 연신율 (%) |
|-----------------|------------------|------------------|------------|---------|
| None | None | 15 | 23.4 | 4.1 |
| Solid flux | 과열 | 4 | 27.3 | 5.0 |
| Chlorine | 과열 | 4 | 28.4 | 4.8 |
| Chlorine | CCl ₄ | 3 | 30.6 | 6.5 |
| Ferric Chloride | | 4 | 30.2 | 6.0 |
| Hexachlorete | | 3 | 29.6 | 5.2 |

기계적 특성에 미치는 영향을 나타내었다.

2.2.1 산화방지

마그네슘합금은 용융상태에서 산소와 활발히 반응하여 공기중에서 연소하기 때문에 공기와 접촉을 방지하기 위하여 flux를 사용한다. Flux는 마그네슘보다 용점이 훨씬 낮고 표면장력이 크기 때문에 용탕표면에 막을 형성하여 연소를 방지한다. 최근에는 SF₆ 가스를 사용하여 종래의 염화물계 flux 사용으로 인한 도가니와 노의 침식 및 부식문제를 해결하여 품질을 향상시킬 수 있게 되었다. 그러나 SF₆ 가스는 다량사용시 강도가니 및 노를 부식시키므로 사용량을 0.1~0.5% SF₆, 15~50% CO₂, 건조된 공기를 균형있게 조절하여 사용하여야 한다. 그림 1에 SF₆ 가스첨가를 위한 장치 모식도를 나타내었다.

2.2.2 탈가스

마그네슘합금의 용해와 주조과정에서 많은 양의 수소가스가 함유된다. 이들 수소가스는 주조시 혼입되면 마그네슘합금의 내식성과 기계적 성질을 저하시키는 원인으로 작용하기 때문에 탈가스처리하여 최소화하여야 한다²¹⁾.

탈가스방법으로 Ca와 헥사클로로에탄을 포스포라이저를 이용하여 용탕중에 장입한 후 교반하여 탈가스하는 방법이 있으나, 최근에는 graphite degasser를 이용하여 불활성가스(He, Ar) 또

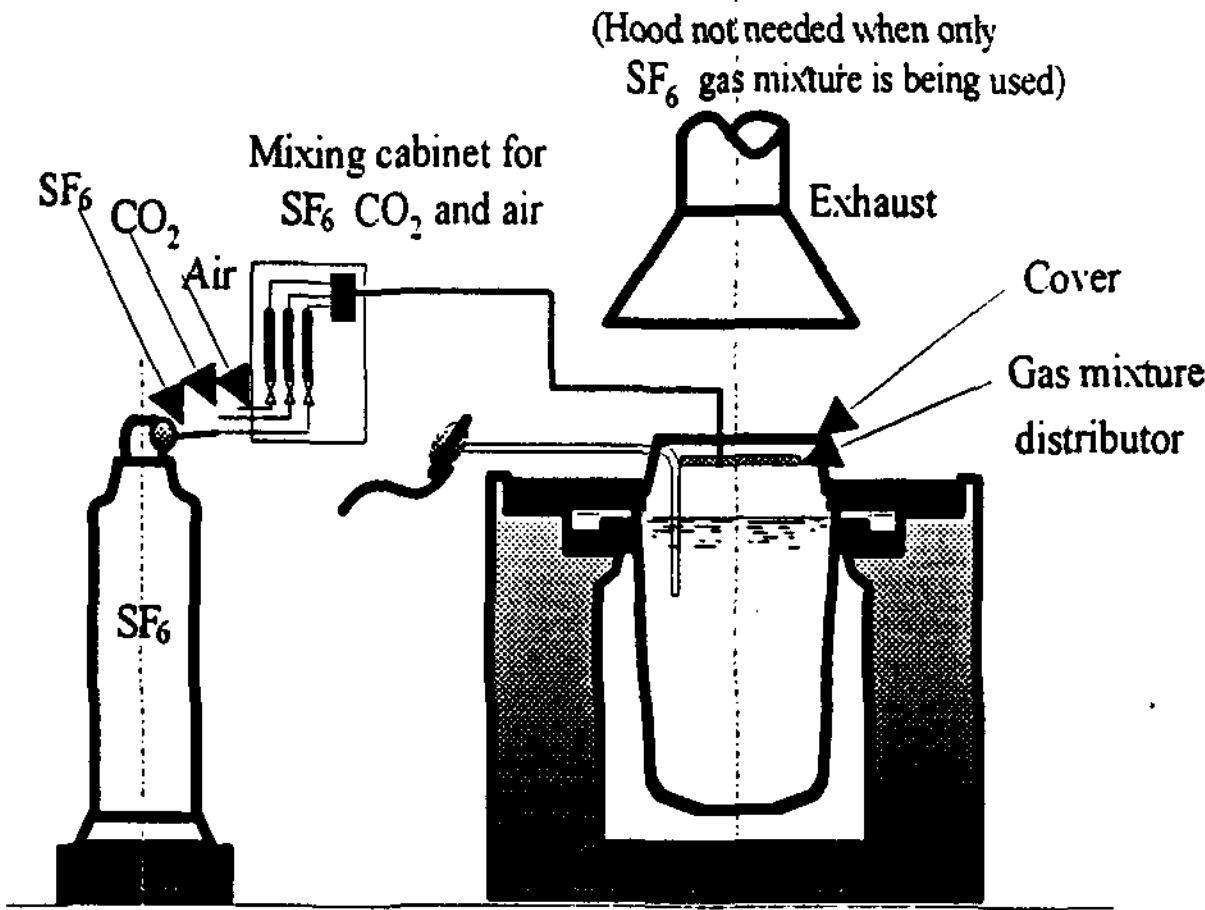


그림 1. SF₆ 가스 첨가장치 모식도¹⁾

는 화학적 활성가스(N)를 이용하는 방법이 있다.

그림 2와 3에 본 연구실에서 개발하여 사용한 탈가스제 첨가를 위한 graphite 포스포라이저와 가스주입을 위한 다기공(>40%) 고순도 graphite degasser를 나타내었다. 불활성가스를 이용할 경우 용탕온도를 740~750°C에 유지시킨 후 고순도 graphite degasser 등을 이용하여 용탕이 튀지 않도록 용탕 깊숙히 미세한 기포를 형성시키며 약 30분간 실시한다^{22~23)}. 이때 장시간 교반하게 되면 주물조직의 결정립이 약간 조대하게 된다. 화학적 활성가스에 의한 탈가스시에는 용탕온도를 660~685°C에 유지시킨 후 질소기포를 용탕중에 통과시킨다. 이때 온도가 700°C 이상이 되면 가스가 마그네슘과 부분적으로 반응하여

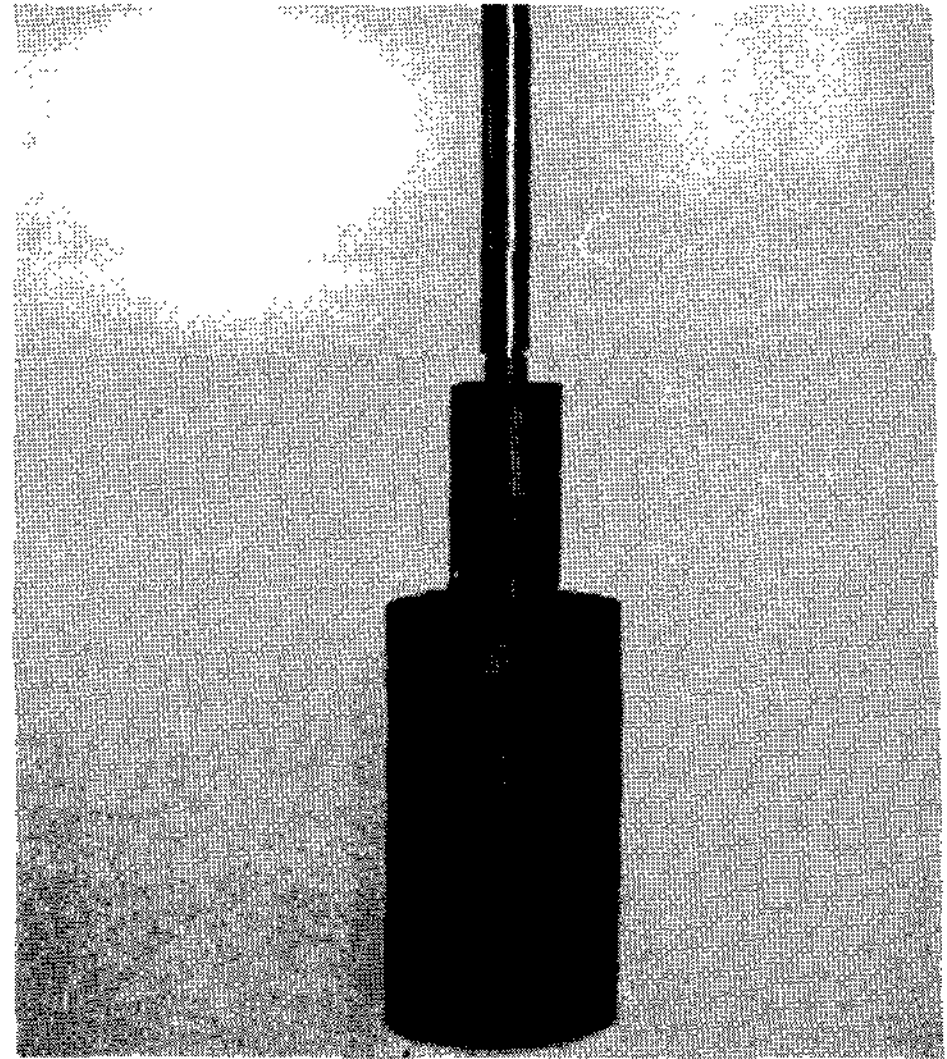


그림 2. 첨가용 포스포라이저.

질화마그네슘을 형성하여 비금속개재물로 남게 되므로 온도조절에 유의하여야 한다¹⁸⁾. 탈가스전 graphite degasser는 예열하여 수분을 완전히 제거하여야 한다.

용탕의 추가 탈가스는 염소가스를 5~8분간 주입한 후 15~20분간 교반하여 용탕을 청정하게 유지하여야 한다. 그러나 염소는 마그네슘과 반응하여 염화마그네슘을 형성하여 용탕의 손실을 가져오며 염소의 독성에 작업자가 중독될 수 있으므로 그 사용에 특히 유의하여야 한다.

2.2.3 온도조절 및 측정

마그네슘합금의 용해·주조시 온도조절은 주조품의 품질에 큰 영향을 미친다. 마그네슘합금은 고온에서는 수소와의 강한 반응 때문에 수소가스

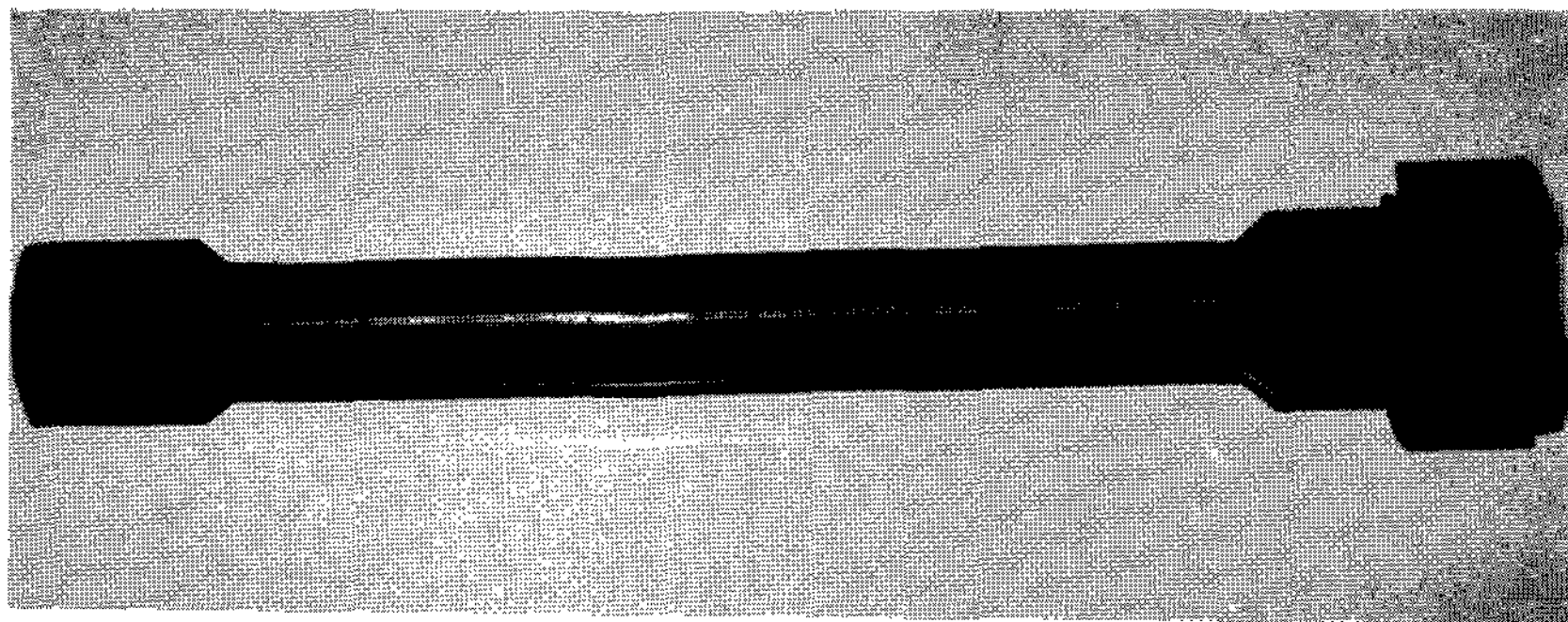


그림 3. 다기공 고순도 graphite degasser.

가 용탕중에 많이 존재하게 되며, SO₂와 같은 flux는 온도가 700°C를 초과하게 되면 보호막효과가 저하되어 연소될 수 있다. 마그네슘합금의 온도측정은 강관으로 보호관을 씌운 열전대를 용탕중에 장입하여 측정한다. 마그네슘합금의 용해·주조시 적절한 온도를 표 3에 나타내었다.

2.2.4 정 련

용해·주조중 발생한 scrap과 가공 및 절삭에서 나오는 scrap 표면의 산화물과 다이 윤활유, 모래 등 불순물을 제거하여 재활용하기 위하여 정련한다²⁴⁾. 이러한 불순물이 용탕내에 혼입되면 용탕의 점도를 증가시켜 주조시 용탕의 유동도를 감소시켜 주조특성을 저하시키며 용탕표면 산화를 더욱 빠르게 하여 찌꺼기와 같은 형태로 도가니 바닥에 고이게 한다. 그러므로 이와 같은 불순물은 flux를 이용하여 완전히 제거하여 정련한다. Scrap의 정련은 한쪽 용해로에서 용해하여 저급 flux로 1차 정련한 뒤 다른 용기에 옮겨 깨끗한 flux로 다시 정련하는 연속처리방식을 많이 사용한다. 이러한 처리방법을 그림 4에 나타내었다.

용탕온도가 700~730°C 되면 준비된 flux를 용탕속에 첨가하여 완전히 혼합되도록 수동교반기로는 5~10분간, 기계식 교반기로는 3~5분간 교반시켜 준다. 교반후 산화물이나 flux 조각을 제거하고 보호막 flux를 다시 첨가한다. 탈가스한 용탕은 유지로나 주입 ladle에 옮기기 전에

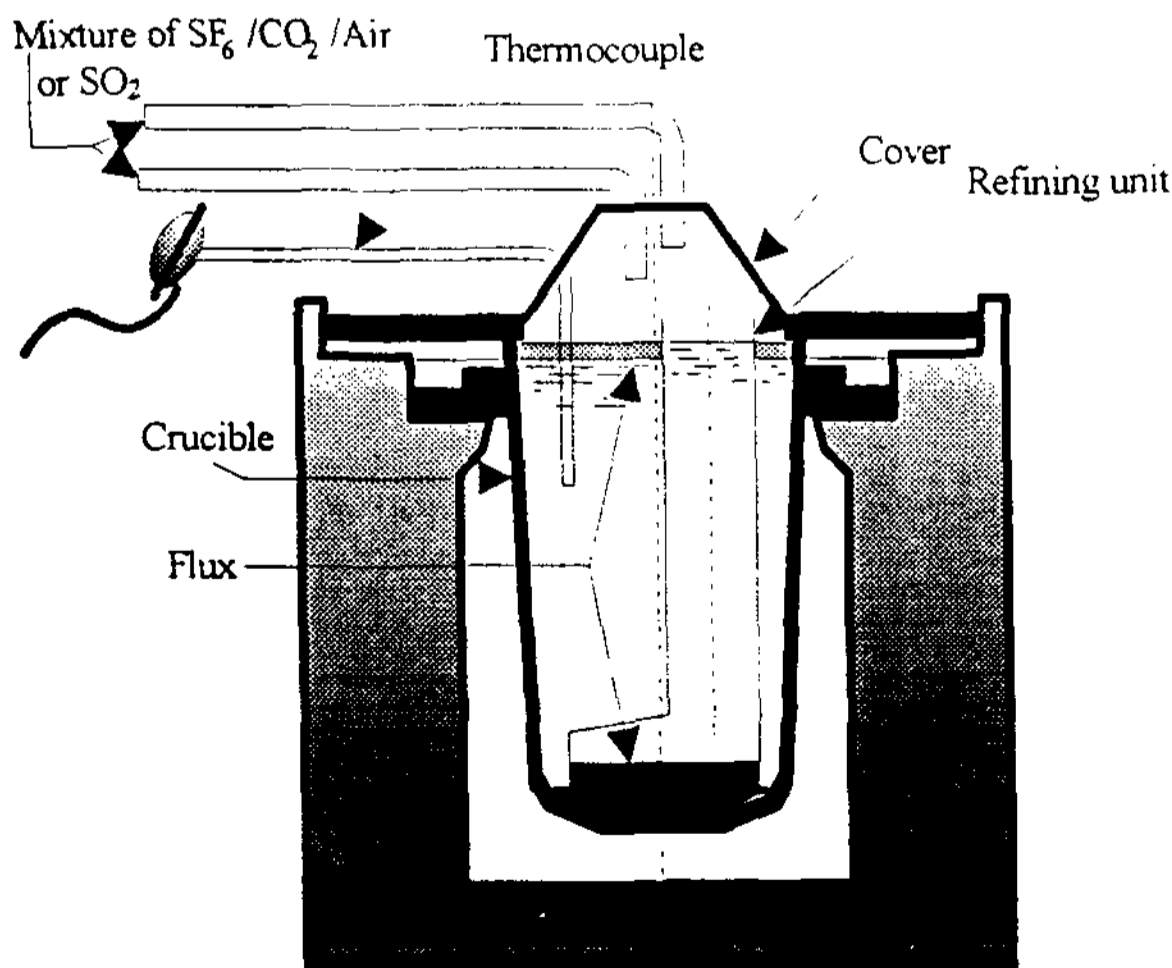


그림 4. 연속처리 방식의 정련 용해로!

용존해 있는 개재물이나 불순물이 침전되도록 10~15분간 정지하여 준다.

2.2.5 결정립 미세화

주조조직의 미세화와 기계적 성질의 향상을 위하여 제3원소 첨가, 과열, 교반, 염소철 처리, 탄산칼슘에 의한 방법 등을 사용하여 결정립 미세화 처리를 한다. 제3원소는 Al, Ar, Zn, Cs, Ca 등이 있으나 이중 Zr이 가장 효과적이다. 과열에 의한 미세화는 용탕을 용점보다 150~260°C 정도 높게 하여 15분간 유지한 후 주입온도까지 낮춘다²⁵⁾. 그러나 이 방법은 과열로 인한 연료소비량의 증가, 도가니의 마모와 합금산화도의 증대 등의 단점이 있다. 접종제에 의한 미세화는 C나 carbide, C가 함유된 가스나 고체를 730~840°C 사이에서 용탕속에 첨가하여 5~8분간 유

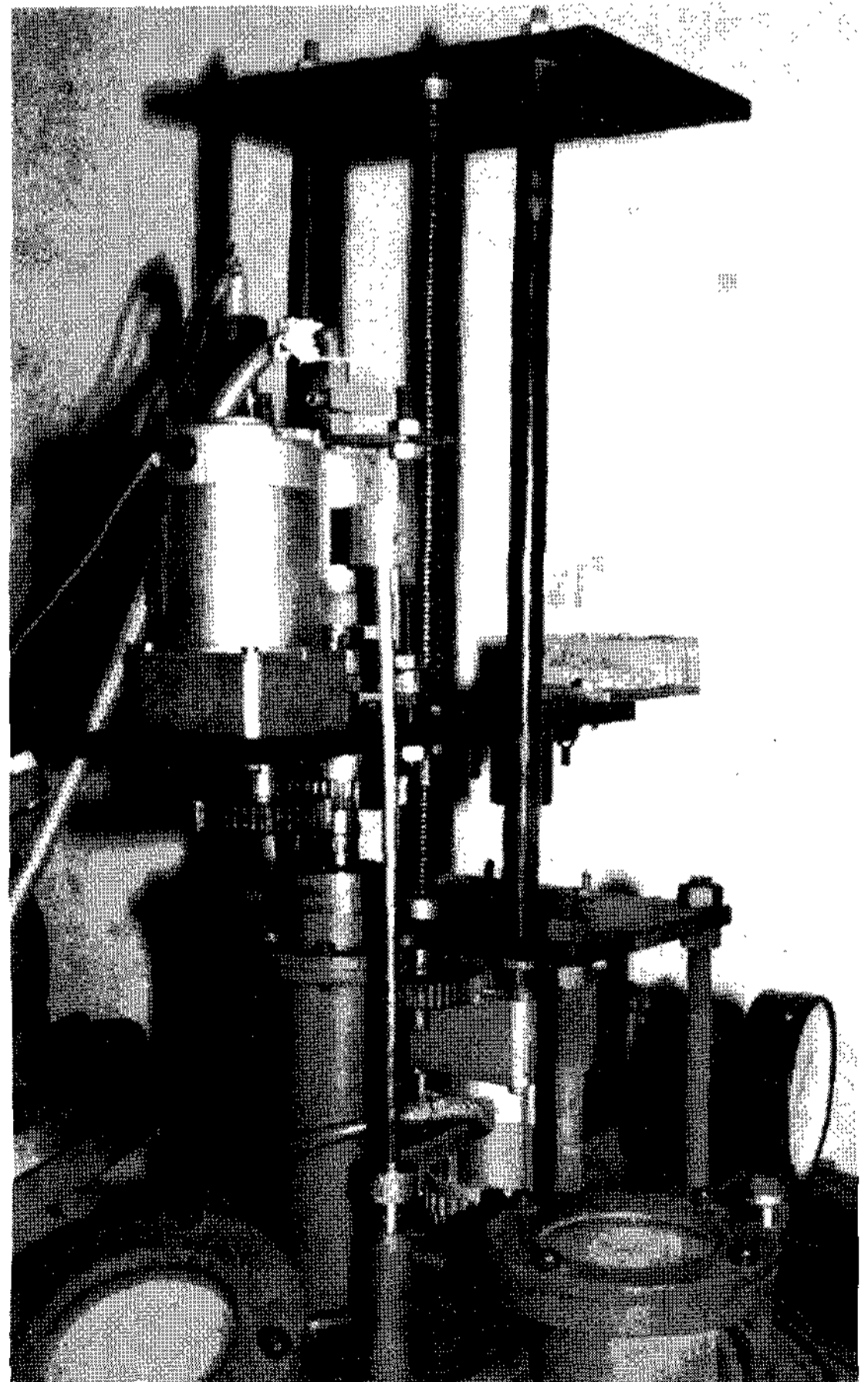


그림 5. 탈가스기 장착용 기계식 교반기.

지하면서 기포를 발생시킨다. 기계식 교반기를 사용하는 방법은 730~840°C에서 교반기를 용탕 깊숙히 장입하여 미세화시키는 방법이다²⁶⁾. 그림 5에 본 연구실에서 개발사용한 회전속도 조절과 상하위치 조절이 가능한 기계식 탈가스기를 나타내었다. 최근에는 전자장을 이용하여 용탕을 교반시켜 결정화하는 방법으로 결정립의 크기를 미세화하기도 하지만 장치설계 및 제작시의 비용과 많은 전력이 소모되므로 많이 활용되지는 못하는 실정이다²⁷⁾.

2.3 주 입

Mg용탕의 주입은 주조품의 크기, 규모, 장비에 따라 다르다. 큰 주조품의 경우 분리된 용해로에서 유지로로 이송한 후 유지로에서 주조장치로 옮겨 제조한다. 작은 주조품의 경우 한번에 유지로에서 용해 및 이송하여 주조하면 된다. 주입을 위한 용탕의 급탕에 관해 살펴보면 다음과 같다.

2.3.1 휴대용 ladle에 의한 이송

소규모 주조에 가장 많이 활용되고 있는 방법이다. 휴대용 ladle은 사용전 예열하여 수분을 제거하고 표면을 flux로 깨끗이 한 후 사용한다. 용탕을 주형에 주입한 후 다시 사용하기 전 ladle을 용탕에 주입한 후 2~3회 흔들여 준다. ladle로 용탕을 떠낸 후 즉시 분말 flux를 노의 용탕 표면에 뿌려 보호막을 만들어 오염을 최소화한다. 이때 용탕온도가 너무 높거나 큰 ladle을 사용하는 경우에는 용탕에서 불꽃이 일어나므로 온도를 최대한 낮추어야 용탕의 손실을 줄이고 기계적 성질이 향상된 건전한 주조품을 생산할 수 있다.

2.3.2 pump에 의한 이동

이 방법은 많은 양의 용탕을 이동하는데 적합한 방법으로 gas에 의한 이동 pump식과 원심력에 의한 이동 pump식, 중력측정식, 자동이송식

이 있으며 원심력에 의한 pump식이 많이 이용되고 있다.

2.3.3 기 타

원거리 이동시 사용되는 launder 이동방식은 전기나 가스에 의해 이동중 가열하거나 2mm 두께의 fiber flux ceramic 용지를 내부에 장착하여 가열 없이 용탕의 온도를 유지하면서 이동하는 방법이다. 이때 용탕의 산화방지를 위하여 억제제로 sulphur나 sulphur dioxide를 사용한다. 노사이의 이동에 사용되는 siphons 이동방식이 있다. 이 방식은 처음 작동이 어려우나 작업중 멈추지 않고 지속적으로 할 수 있는 장점이 있다. 마그네슘 용탕의 급탕장치 비교를 표 3에 나타내었다.

3. 취급안전

마그네슘합금은 특성상 액체 및 고체상태에서 취급에 특별한 주의를 요한다. 여기에서는 용해시 각종 안전취급에 대하여 살펴보기로 하겠다.

3.1 마그네슘의 가연성

마그네슘은 371°C 이하에서는 대기중의 산소와 쉽게 반응하여 얇은 산화막을 형성하며, 371°C 이상이 되면 산화막이 두꺼워지고, 427°C 이상에서는 산화막이 공기와 접촉하여 연소하기 시작한다. 공기중의 질소와도 반응하여 500°C 이상이 되면 마그네슘 나이트라이드가 공기중의 수소와 반응하여 암모니아 냄새를 내게 된다¹⁾. 철산화물은 강의 용점 이상이 되면 마그네슘과 매우 강하게 반응하기 때문에 접촉하지 않도록 유의해야 한다. 마그네슘이 연소하기 시작하면 모두 연소될 때까지 계속되므로 주위의 가연성물질을 신속히 옮기고 불꽃이 확산되는 것을 방지한다¹⁵⁾.

표 3. 마그네슘 합금의 주조온도(AZ91)¹⁾.

| | 사 형 주 조 | 중력다이캐스팅 | 가압다이캐스팅 |
|-------------|---------|---------|---------|
| 용 고 온 도(°C) | 420~600 | 420~600 | 420~600 |
| 주 조 온 도(°C) | 700~780 | 650~730 | 630~680 |
| 다 이 온 도(°C) | | 200~300 | 200~300 |
| 수축공생성(cm/m) | 1.0~1.5 | 0.5~1.0 | 0.5~0.7 |

3.2 마그네슘 연소시 소화

마그네슘이 연소하기 시작하면 G-1 powder, MET-L-Y powder, 보통의 flux를 사용하여 주위 공기와 접촉되는 것을 차단하는 것이 가장 효과적이다. 다른 소화수단으로는 주철 turning이나 건조된 모래로 두겹게 덮거나, 분말소화기를 사용하여 불꽃이 확산되는 것을 억제한다. 그러나 보통의 소화기는 효과가 거의 없으며 모래와 주철 turning은 가공장비에 사용하면 기계에 손상을 초래하므로 사용하지 않는다. 소화용 모래와 주철 turning은 건조하여 밀폐된 용기속에 보관하여야 한다. 소화용으로 물, 포말, 탄소제2산화물, 과탄소제4염화물 등을 사용해서는 안된다.

3.3 작업장 및 저장소 환경

마그네슘합금은 지하실과 같은 밀폐된 곳에 저장하여서는 안된다. 용해·주조건물은 비가연성 구조재를 사용하여 건축하고 환기가 잘 될 수 있도록 천정을 높게 하여야 한다. 바닥은 비가연성 재료를 사용하여야 하며 방수가 되어야 한다. 수도관, 하수도 등은 마그네슘이 물과 접촉되지 않도록 충분한 거리를 두고 설치한다. 마그네슘 용해시 사용되는 가스용기는 바닥보다 높은 곳에 위치시키고 용탕으로부터 안전거리에 있어야 한다. 마그네슘이 저장된 건물은 비가연성 물질이

어야 하며 환풍이 잘 되어야 한다. 주조품과 scrap은 비폭발성 용기에 저장한다. 마그네슘합금 저장소의 바닥은 항상 건조되어 있어야 하고, 적재거리는 최소한 적재높이의 1.5배의 간격을 유지해야 한다.

3.4 마그네슘 용해시 안전수칙

마그네슘은 용융상태에서는 물과 반응성이 매우 높아 접촉시 폭발하게 되므로 작업장 주위에 물과, 오일, 솔벤트 등 액체성 물질과 인화성 물질을 두어서는 안된다. 마그네슘합금의 용해·주조시 장치취급과 작업자 안전수칙을 다음에 나타내었다.

- 1) 장비와 ladle은 가열하여 건조시킨 후 사용한다.
- 2) 습한 산화억제제나 첨가제를 사용하여서는 안된다.
- 3) 마그네슘 화재 소화시 물을 사용해서는 안된다.
- 4) 마그네슘 용탕 취급시 항상 안면보호대를 착용하여야 한다.
- 5) 손으로 취급시 절연장갑을 사용하여야 한다.
- 6) 옷은 가볍고 헐렁한 것으로 아래위를 분리하여 착용하고, 면은 불에 약하므로 입지 않도록

표 4. 마그네슘합금의 금탕장치 장·단점 비교²⁸⁾.

| 종 류 | 장 점 | 단 점 |
|----------|--|--|
| 수동 Ladle | -작업이 가장 간단하다 -취급이 간편하다 -소규모 주조에 적합하다 | -정밀주조에 숙련된 작업자가 필요하다 |
| 가스 이동식 | -부품의 이동이 불필요하다 -자동화로 이송 작업자가 불필요하다 | -소규모 주조(<1lb)는 할 수 없다 -작업중 밸브의 청결을 유지해야 한다 -이송튜브를 가열해야 한다 |
| 원심력 펌프식 | -자동화로 이송 작업자가 불필요하다 -많은 양의 용탕을 신속하게 이동시 적합하다 -도가니내 용탕량에 거의 구애받지 않는다 | -소규모 주조(<1lb)는 할 수 없다 -이송튜브를 가열해야 한다 -부품의 이동이 필요하다 |
| 중력측정식 | -자동화로 이송 작업자가 불필요하다 -부품의 이동이 불필요하다 | -도가니내 일정수준의 용탕이 있어야 한다 -이송튜브를 가열해야 한다 -소규모 주조(<1lb)는 할 수 없다 -밸브에서 누수가 발생하게 된다 |
| 자동이동식 | -이송 작업자가 불필요하다 -주조품의 크기에 관계없이 주조가능하다 -이송튜브의 가열이 불필요하다 -알루미늄용해 등에 적용할 수 있다 | -이송시 금속 sticks의 사용으로 연소되기 쉽다 -ladle의 세척이 필요하다 -생산성이 입증되지 않았다 |

한다.

7) 용해로에서 연기가 배출되면 즉시 환기를 시킨다.

8) 비상급수장치는 마그네슘 용탕으로부터 안전거리를 유지하여 설치하고 용탕이 튀거나 옷에 붙이 붙었을 때 사용한다.

4. 마그네슘합금의 활용전망

전통적으로 마그네슘기 합금은 취약한 강도와 연성 및 내식성으로 인하여 그 사용에 커다란 제

표 5. 현재 사용되고 있는 주요 마그네슘 합금제품.

| 분 야 | 사 용 제 품 |
|------------------|---|
| 자 동 차 부 품 | -steering column lock body & bracket -steering wheel frame -cylinder head cover -T/M cover -clutch housing -road wheel -brake support bracket -mirror stator |
| 전 동 공 구 | -electric hand drill housing -electric disk grinder housing -chain saw parts -portable circular saws housing |
| 사 무 기 기 컴 퓨 터 | -notebook computer case -personal computer housing -printer carriage -disk driver carriage |
| 전 기 제 품 | -speaker frame -motor housing -stereo tone arm |
| 기 계 설 비 | -vibration testing equipment parts -vibration table |
| 항 공 부 품 | -tail wheels -direction finder -windshields supports |
| 가 정 용 품 | -vacuum cleaner impeller -shelf bracket -sewing machine parts |
| 무 기 | -machine gun mount -control system radar |
| 광 학 기 구 | -TV camera housing -camera housing |

약을 받아왔다. 그러나, 낮은 강도와 고강성으로 인하여 마그네슘기 합금은 항공기와 자동차를 포함한 수송기계분야로의 적용을 위해 수많은 연구자들에게 지속적으로 관심의 대상이 되어온 것 또한 사실이다. 또한 마그네슘합금은 우수한 쾌삭성, 방진성능, 주조성 등의 장점을 가지고 있으므로 수송기계들의 경량화를 통한 고효율화의 추세에 따라 현재 활발하게 응용이 추진되고 있는 자동차부품 소재 뿐 아니라 항공기용 소재로도 적용될 전망이다. 현재 활용되고 있는 마그네슘합금 제품을 표 4에 나타내었다. 이러한 활용은 특히 자동차부품을 중심으로 더욱 확대될 전망이다이며 그 활용 예를 표 5에 나타내었다.

이러한 마그네슘합금의 적용은 주로 내식성 향상과 강도의 향상이라는 두가지 문제에 직면하고 있는 바 각각에 관하여 다음과 같은 해결방안이 진행되고 있다.

첫째로, 마그네슘의 열악한 내식성은 이것이 다른 이종금속과 접촉하고 있을 때 가장 뛰어난 성질을 보인다는 것에서부터 기인된다. 따라서 주위환경이 해수 등과 같은 부식성 분위기일때는 적절한 합금설계 또는 코팅기술이 요구된다. 심지어는 마그네슘이 다른 금속과 접하고 있지 않다 하더라도 Ni, Fe, Cu, Si 등의 불순물이 함유된 분위기에 노출되면 부식을 일으킬 수 있다. 이러한 발견으로 인해 새로운 계열의 고순도 (high purity : HP) 내식 마그네슘합금이 개발되었다. 용해공정을 잘 제어하면 유해한 원소를 최저한도로 유지할 수 있으며 내식성을 향상시키게 된다.

예를 들어, AZ91HP(Mg-9Al-1Zn) 등의 내식성은 일반적으로 사용되는 380 다이캐스팅 Al합금이나 탄소강보다 우수한 내식성을 보여주고 있다. 이 고순도 내식합금은 그 화학조성이 상용 AZ91과 동일하기 때문에 동일한 기계적 성질을 나타낸다. 이 합금은 실제로 항공기를 제외한 여러 수송기계, 특히 자동차용 부품에 활발하게 쓰이고 있는 실정이며, 도색 또는 코팅이 바람직하지 않거나 그 가격이 비싼 부품에서 적용이 기대되고 있다.

둘째로, 마그네슘합금의 강도를 올리기 위하여 용해·주조공정에서 제시한 결정립계 미세화와 주조품의 열처리를 통한 제2상의 강화, 마그네슘

기지의 복합재료의 제조가 활발히 시도되고 있다. 이 중 연속 또는 불연속 흑연섬유로 강화시킨 복합재료가 주목받고 있는데, 낮은 밀도와 함께 약 -100Mpsi의 큰 modulus를 지닌 흑연이 강화재로 매우 바람직하기 때문이다. 실제로 마그네슘은 이용가능한 가장 가벼운 구조금속재료이므로, 흑연섬유 강화 마그네슘 복합재료는 고강도의 경량화재료로 우주항공기 부품으로의 적용전망이 가장 밝은 재료 중 하나이다. 또한 이 복합재료의 열팽창계수가 0에 근접한다는 사실도 이 합금의 장래를 밝게 하는 또 하나의 장점이다. 자동차 또는 항공기부품의 대부분이 등방성의 성질을 갖는 재료를 필요로 하기 때문에, 이러한 재료개발의 궁극적 목표는 강화섬유가 무질서하게 배열강화된(random chopped fiber (whisker) reinforced) 흑연/마그네슘 복합재료를 개발하는 것이며, 이를 위해서는 강화재와 기지간의 접착력을 증가시키는 연구가 선행되어야만 하고, 현재 진행중인 마그네슘합금에 대한 연구 중 상당수가 이 부분에 집중되어 있다.

5. 결 론

마그네슘합금은 그 활용도가 자동차, 항공기산업을 중심으로 전자, 기계 등 모든 분야에 걸쳐 꾸준히 증가되고 있으며, 국내 산업계에서도 사용량이 점차 증대되고 있는 추세이다. 또한 마그네슘합금의 관련기술 개발도 꾸준히 이루어져 SF₆ 가스를 이용한 용탕처리기술의 적용, 주입을 위한 금탕장치의 개발, 용탕의 청정성을 높이기 위한 탈가스법의 개발과 다이캐스팅, 금형 및 사형주조 등 기존의 주조법과 새로운 squeeze casting법, 반응용가공법과 최근 개발되어 이용되고 있는 급랭응고법 등으로 품질성과 생산성이 향상되고 있다. 그러나 아직 국내에서는 마그네슘합금의 강한 산화성, 용탕취급에 따르는 안전문제, 연구실 규모의 연구설비를 갖추기 위한 제조설비의 투자여건 미비 등으로 인하여 합금의 용해·주조에 대한 연구개발이 미흡한 실정이다. 향후 국내 실용화를 위한 용해·주조기술 개발을 위하여 내부식성과 고온특성을 갖는 합금의 지속적 개발과 이들 합금의 건전한 주조품을 생산하기 위한 용해로의 개발 및 용탕처리기술의 연구가

표 6. 마그네슘 합금의 경량화 부품²⁹⁾.

| 회 사 | 차 종 | 부 품 명 |
|---------|-------------|--|
| TOYOTA | CROWN | steering column lock housing |
| | LEXUS | steering wheel |
| HONDA | NSX | cylinder head cover, intake manifold cover |
| | CITY | cylinder head cover |
| | ACCORD | steering column lock housing, steering wheel |
| MAZDA | PRELUDE | wheel |
| | COUPE | clutch housing, transmission case |
| GM | CADILLAC | cylinder head cover, oil filter case |
| | COLBERT | cylinder head cover, air cleaner housing, oil pipe retainer, steering column |
| FORD | PONTIAC | engine block, head light brkt, engine cover grill |
| | CHEVROLETTE | cylinder head cover, air cleaner cover |
| | BUICK | head light frame |
| | THUNDERBIRD | inside trim cover plate |
| | LINCORN | steering lock housing, distributor, diaphragm housing |
| | TRUCK | clutch housing, pedal bracket, steering lock housing transfer case housing |
| PORSCHE | 911,944 | fan, fan housing, wheel |
| VOLVO | LC 2000 | hand brake linkage, steering lock housing, door handle |
| BENZ | 500 SEL | seat frame |

지속되어야 할 것이다. 이와 함께 마그네슘합금은 다른 합금에 비하여 산화성과 폭발성이 강하므로 보관 및 취급에 따르는 안전문제에도 많은 주의를 기울여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. HORSK HYDRO CO. "NORMAG" Sept. (1980) Section 1, 3, 6.
2. F. H. Froes, D. S. Rayan and E. Vovernia, "Synthesis of Light Metals for Aerospace Application", Science and Engineering of Light Metals, 10, (1991) p. 25
3. Yotro Murakami, "The present and Future of Light Alloys and Their Application", science and Engineering of Light Metals, 10, (1991)
4. D. M. Magers, "A Global Prerespective of Magnesium Casting Trends", LIMAT-93, June (1993) p. 539
5. Franz Hemann, "Diversity and Innovation : Keys Structural Mg Market", JOM, November, (1993)
6. NORSK HYDRO ESTIMATES, "Die Casting and End Users of Die Casting", June (1992)
7. Nippon Kogyo Shinban, "Elements of Japanese Automobile by Weight", Jul, (1990)
8. R. Cornell and C. e. Nelson, "Principles of Die Casting Magnesium Alloys", A. F. S. Transactions, Vol. 53, p. 328
9. M. E. Brooks, A. W. Winston, Bay City Mich, "Magnesium Foundry Practies", The 45th Annual A. F. A. convention, May (1941) p. 165
10. G. A. Chawick and T. M. Yue, "Principles and applications of squeeze casting", Metals and Materials, January, (1989), pp. 1~12
11. K. P. Young, R. G. Rick and M. C. Flemings, "Structure and Properties of Thixo-cast steels", Metals Technol, April, (1979) pp. 130~137
12. J. Dehaven, J.A. Davis and L. W. Eastwood, "Reduction of Microporosity in Magnesium Alloy Casting", American Foundryman, June(1945), p. 44
13. T. W. eselgroth, "Nitrogen Degassing of Non-Ferrous Metals", Metal Progress Vol. 55, No. 6, June, (1949)
14. E. F. Emley, "Principles of Magnesium Technology", Pergamon Press, 1966
15. Suan E. Housh and Hohn S. Waltrip, "Safe Handling of Magnesium Alloys", SAE Technical Paper series No. 900786, March, (1990)
16. 김도향, 한요섭, 이호인, "마그네슘 합금의 개발동향", 주조, Vol. 11, No. 5, (1991, 10)
17. 박익민, 최정철, 남태운, "마그네슘합금의 다이캐스팅", 주조, Vol. 11, No. 6, (1991, 12)
18. 김명현, 이정무, "Mg합금의 개발동향", 기계와 재료, Vol. 4, No. 3 (1993, 가을)
19. NORSK HYDRO CO, "NORMAG", November, (1979)
20. L. W. Eastwood, "Melting Aluminum and Magnesium Base-Alloy", Aluminum and Magnesium Sesion of 15th Annual Meeting, Book 1, May, (1946), p. 44
21. Metals Handbook, 9th Ed., Vol. 15, (1988), p. 445
22. 洪俊杓, 홍기혁, 최창우, 송염범, "대형진공분위기 용해 주조법에 의한 Al-Li합금의 제조", 주조 제11권 제2호 (1991) pp. 106~108
23. 大塚良達 : 輕金屬, Vol. 40, No. 4 (1990)
24. "Recommended Practices for Sand Cast Magesium Alloys", Report of Non-ferous Division Commites on Recommended Practies, (1936)
25. C. E. Nelson, "The Melting and Refining of Magnesium", AIME Tec, Pub, No 1708, Metals Technologym, Vol. 11, No. 5, (1994, 8)
26. R. Hultgren and D. W. Mitchell, "Grain Refinement of Magnesium Alloys Without Superheating", Transaction, Aime, Vol. 161, (1945), p. 323

27. B. I. Bondarev, G. S. Makarov and G. I. Eskin "Physical Methods of Metallurgical Processes Intensification in Light Alloys Production", Light materials for transportation Systems, (1993), pp. 611~612
28. S. O. Shook, "Technical Advancement in the Magnesium Castings Industry", 45th Annual World Magnesium Conference, Dearbon, Michigan, May 16-19, (1989), International Magnesium Association.
29. 상공부, 생산기술연구원, 수송기계 경량화 동향과 이에 대응한 소재부품 및 관련기술 종합개발 추진방안, 92, 5.
- 30 J. Dehaven, J. A. Davis and L. W. Eastwood, "Reduction of Microporosity in Magnesium Alloy Casting", Transaction, A. F. S, Vol. 53, (1945), pp. 180~189