

마그네슘 자동차 부품의 활용현황과 전망

Magnesium for Automotive Applications

김 동 화, 김 혜 성, 박 상 인
D. W. Kim, H. S. Kim, S. I. Park



김 동 화
· 1951년 12월생
· 한국과학기술연구원
· 금속연구부
· Mg-합금, 초소성 재료



김 혜 성
· 1963년 4월생
· 한국과학기술연구원
· 금속연구부
· Mg-합금개발 및 In-situ 복합재료

박 상 인
· 1957년 6월생
· 원경금속 대표
· Mg-합금 및 Al-합금

위한 대안으로, 경량화를 통한 접근방식의 한 방안으로 마그네슘이 고려되고 있다. 자동차 경량화를 위해서는 지난 십수년간 철강 재료를 알루미늄을 위주한 경량금속과 고분자재료 및 복합재료로 대체하려는 노력이 추진되어 왔다. 철강재료 대체는 항상 가격 상승을 수반하고 있어서 초기의 긍정적인 예측보다는 느리게 실현되고 있으나, 환경오염에 대한 규제가 강화되면서 경량소재의 활용도는 꾸준히 증가하고 있다. 이 중에서 금속재료는 성형과 가공법이 다양하고 금속재료에 대한 신뢰성이 다른 어느 재료보다 높아, 재료원가에 의한 가격상승요인을 제조공정의 생산성 향상으로 해결할 가능성이 많은 장점을 가지고 있다. 이와 관련하여, 지난 5~6년간 마그네슘의 자동차 부품화가 자동차 산업과 시장의 종주국인 미국으로부터 부각되기 시작하였다.

1. 서 론

자동차부품으로 마그네슘에 대한 관심은 차량의 범람에 의한 대기오염과 지구 온난화가 심각해지면서, 화석연료를 사용하는 수송기기의 경량화는 전 인류적인 이슈와 직접 연결된다. 자동차에 의한 매연발생을 줄이기

마그네슘이 자동차 경량화에 관심이 되는 이유는 근본적으로 CAFE 규제와 같이 경량화를 통한 화석연료의 소모를 크게 억제해야 한다는 사회적인 규제이나, 지난 10여년간의 기술발전으로 내식성이 나쁘다거나 취급이

위험한 금속이라는 인식이 크게 개선된 데에도 있다. 다른 경량금속에 대한 Mg 지금 가격의 비교조건이 호전되었고 향후 원소 재공급의 다변화가 추진되고 있는 것도 환경을 변화시킨 중요한 요인이다. 그간 중요한 경량화 대체 재료로 연구투자가 많았던 유기고분자 재료 및 FRP등과 같은 복합재료는 폐기부품의 재활용이 어려움 때문에 환경친화적인 단점이 부각되어, 이 소재의 증가가 주춤해 있다. 마그네슘의 경우에는 재활용이 가능하고, 진동흡수효과가 매우 커서 소음발생을 크게 줄일 뿐만 아니라, 주행 및 내구성 시험에서 치수안정성이 좋고 많은 종류의 전자기기 사용에 의한 전자파 차폐효과도 큰 장점을 가지고 있다.

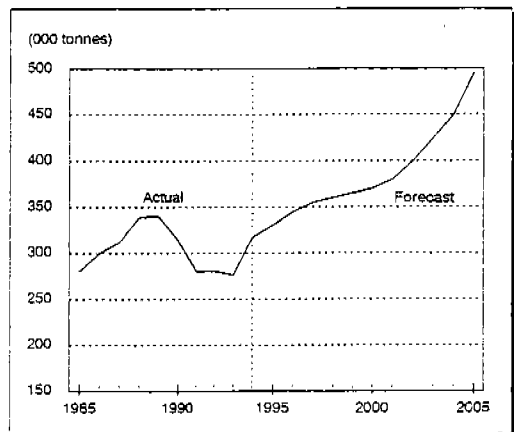
본 기술해설에는 Mg 다이캐스팅으로 자동차부품의 경량화 현황과 선진국에서 보는 전망을 미국을 중심으로 정리하고, 이와 관련한 Mg 기술적인 이슈와 시장전망도 서술하였다. 그리고 현재 우리나라의 연구계와 부품업계에서 추진하고 있는 연구개발 동향을 자동차 업계에 소개하는 의미도 있다. 이처럼 우리나라의 현황을 정리해 보는 것은 국내 자동차 산업이 국제적인 경쟁을 하고 있고 Mg기술과 원료확보에서 일본의 견제를 받고 있는 우리의 현실에서도 필요한 작업으로 생각된다.

2. 마그네슘의 수급현황

마그네슘의 연도별 수급추이를 살펴보면, 2차대전과 6.25 전쟁과 베트남 전쟁시기에 수요가 크게 증가했었는데, 1972년부터 미국 정부의 전략물자 규제에서 풀려서 이의 수급이 시장기능에 맡겨졌으며 1980년 후반부터 시장수요가 분명하게 증가되기 시작했다. 1990년 이후 마그네슘의 세계적 연간 시장은

28만~32만톤 규모로 1985년 이후 점진적인 증가추세이다. 최근의 Mg-수요 증가는 Al의 합금수요, 다이캐스팅을 위주한 구조용 부품과 탈황제 수요가 가장 빠르게 증가하고 있다. 국제마그네슘협회(IMA; International Magnesium Association)의 수요예측을 그래프화한 그림 1은 1994년의 317,000톤이 2000년에는 375,000톤 그리고 2005년에는 495,000톤으로 증가할 것으로 예측하고 있다.

전통적으로 미국의 Dow사와 노르웨이의 Norsk Hydro 사가 Mg-지금 생산과 관련기술의 개발을 주도해왔다. 공산권이 무너진 후 구소련과 동구권의 1차지금이 서구시장에 들어오기 시작했고, 중국의 생산량도 상당한 수준이다. 앞으로도 지속적으로 증가할 전망이다. 세계적으로 지금생산을 위한 투자가 본격적으로 시작되고 있다. 중요한 예로, 이스라엘이 사해프로젝트(DSW; dead sea work)에 60억불의 투자로 금년 말부터 생산을 시작하여 1997년에는 년 25만톤을 생산할 계획이다. 이외에 신규투자가 오스트레일리아의 Queensland 프로젝트로 본격 추진되



Source: Natural Resources Canada.

그림 1 세계적인 마그네슘 시장의 현황과 전망

고 있으며, 중국과 일본의 Hebi 프로젝트와 캐나다의 Noranda 프로젝트도 있다. Norsk Hydro 사와 러시아의 Solimansk 플랜트도 증설을 추진하고 있다. 따라서, 향후 마그네슘 시장의 공급은 다양하게 증가될 전망이다.

표 1에는 1차시장의 시장규모를 용도별로 정리하였다. 마그네슘의 주요 용도는 알루미늄의 합금원소로서가 가장 크고, 전기화학 및 화학산업, 제철 및 제강산업의 원료와 구조용 부품 등이 중요한 수요처이다. Al의 합금용 수요가 전체의 50% 내외로 가장 크며, Al의 시장이 크게 팽창함에 따라서 합금용 마그네슘의 수요도 편승하여 연평균 3.2%씩 증가한다. 전기화학, 화학산업 등을 포함한 기타 산업의 마그네슘 수요는 50,000톤 수준에 포화되어 마그네슘 전체 시장에 대한 비중은 1983년도의 25.6%에서 점진적으로 감소하여 1995년도에는 15% 수준이다. 90년대부터 제강공정에서 탈황제 수요가 커다란 폭으로 증가하고 있다. 구조용 부품 수요를 표시한 다이캐스팅 합금수요의 경우는 전체의 20%이하이지만, 최근의 증가속도

가 더욱 커서(1993년 이후 전년대비 증가비율이 20~30%에 이룸), 향후 마그네슘 시장을 증대시키는 가장 중요한 수요처로 인식되고 있다.

3. 마그네슘 합금의 종류와 특성

3.1 마그네슘의 성질

마그네슘은 원자번호가 12이고 지구상에 여섯 번째로 많은 원소이다. Mg는 해수에 가장 많이 매장되어 있어서 대부분 해수처리의 부산물로 추출된다. 지하에는 마그네사이트 등의 광물로도 많은 양이 지하자원으로 존재하여, 이로부터 정련도 산업화되고 있으며, 한반도에도 양질의 마그네사이트가 다량 매장되어 있다. 마그네슘의 추출에는 많은 양의 전력을 필요로 해서 원소재 가격이 Al의 약 2.5배 정도로 비싸다. 70년 초까지 미국정부의 관리대상 물자로 통제되어 지금의 생산이 제한된 탓으로, 시장기능에 맡겨진 지금에도 공급자 주도 시장으로 가격이 형성되고 있어서 원소재 값이 높게 유지되고 있다.

표 1 주요 용도별 마그네슘의 시장현황

(단위 : 1000M/T)

	1983	1988	1992	1993	1994	1995
Al합금	110.8 (54.2%)	134.3 (53.5%)	137.8 (50.6%)	126.0 (50.0%)	143.0 (49.8%)	157.1 (51.7%)
탈황제	13.4 (6.6%)	28.6 (11.4%)	44.6 (16.4%)	40.6 (16.1%)	42.5 (14.8%)	36.3 (11.9%)
다이캐스팅	27.9 (13.6)	28.5 (11.3%)	34.5 (12.7%)	38.6 (15.3%)	51.2 (17.8%)	64.1 (21.1%)
기 타	-	-	-	-	-	-
	52.3 (25.6%)	59.8 (23.8)	55.4 (20.3%)	46.9 (18.6%)	50.7 (17.6%)	46.5 (15.3%)
계	204.4	251.2	272.3	252.1	287.4	304.0

()는 전체의 비율을 표시함.

IMA 자료.

표 2에 마그네슘의 물리적인 성질을 Al과 Fe의 특성들과 비교하였다. 마그네슘은 상온에서 비중은 1.74g/Cm³인데, 알루미늄에 밀도의 약 2/3이고 철강재료의 약 22%에 해당하여 구조용 재료로 쓸 수 있는 가장 가벼운 금속에 속한다. 용해온도가 Al처럼 낮아서 다이캐스팅 공정으로 복잡한 형상의 부품을 대량생산이 가능하다. 단위부피당 용해잠열이 Al 보다 45% 높아서, 다이캐스팅 공정의 생산성이 Al에 비하여 훨씬 좋다. 탄성계수는 Al이나 Fe에 비하여 훨씬 낮으나, 구조용 부품설계의 척도가 되는 비탄성치(탄성계수/비중)는 Al 및 Fe에 비하여 나쁘지 않다. 전기화학적 표준전위는 -2.37볼트로서 어느 금속보다 높다.

마그네슘은 불이 잘 붙는 위험하고 부식이 잘되는 금속이라는 인식이 되어 있다. 실제로 마그네슘 분말이 타는 섭광이 사진관의 조명으로 사용되었고, 기계가공중에 불이나거나 혹은 용체화 열처리 과정에서 부품이 불이나는 경우가 있다. 이는 분말이나 혹은 작은 조각으로 표면적이 큰 경우에 한정되는 현상으로, 덩어리 형태의 부품을 발화점 이상의 온도에서 열처리할 경우에는 이산화탄소 등의 분위기를 사용하면 발화점이 올라가

서 안전하게 열처리 할 수 있다. 마그네슘은 전기화학적 음성도가 가장 높은 원소여서 습한 환경이나 염분이 있는 곳에서 부식은 매우 심하다. 마그네슘의 부식성에 관하여 지난 10여년간에 근본적인 발전이 있었는데, 제조공정에서 천이금속 화합물이 미세한 조각으로 혼입되면 부품의 표면에 전기화학적 회로가 국부적으로 형성되기 때문에 밝혀졌다. 천이금속 원소의 혼입을 극미량으로 억제시킨 마그네슘은 부식 저항성이 매우 우수하다. 최근에는 천이금속(특히 Ni)을 10ppm(0.001%) 이하로 한정시킨 고순도 마그네슘 합금의 내부식성은 상품화된 알루미늄 합금과 유사하거나 떨어지지 않는다. 이런 기술발전이 마그네슘이 자동차용 부품으로 새롭게 주목받도록 하고 있다.

마그네슘의 용융온도는 650°C로 알루미늄과 비슷하여 Al과 유사한 방법으로 주조공정이 가능하다. 다만, 용융된 마그네슘은 대기 중의 산소 및 질소와 반응이 심하게 발열반응하므로, 용해공정에서 대기와 차단시켜야 한다. 고전적으로는, 다른 금속과 마찬가지로, 플럭스로 용탕을 공기와 차단시키는 방법이 사용된다. 최근에는 불활성 불화가스(SF₆)로 차단하여 공기와 반응 억제하고

표 2 마그네슘의 물리적인 성질

항 목	마그네슘	알루미늄	철
밀도 (Mg/m ³)	1.74	2.70	7.87
융점 (°C)	650	660	1539
비점 (°C)	1110	2060	2740
용해잠열 (J/g)	372	397	312
비열 (J/g·°C)	1.045	0.899	0.528
결정구조	세밀육방	면심육방	체심입방
영율 (N/mm ²)	45000	70000	200000
선열팽창계수 (10-6/°C 20-200°C)	27.0	24.0	12.3
열전도율 (J/cm·s·°C)	1.59	2.22	0.86
표준단극전위 (V, 25°C)	-2.37	-1.66	-0.44

동시에 플럭스 사용에 의한 과다한 슬러지의 발생과 불순물의 혼입을 방지할 수 있는 용해기술이 정착되었다. 이 용해공정을 흔히 비플럭스 용해법(Fluxless melting)이라 한다.

마그네슘이 다시 구조용 부품으로 각광을 받게 된 데에는 비플럭스 용해법의 신뢰성이 확보된 것도 커다란 변화이다.

마그네슘도 다른 금속재료와 마찬가지로 압출, 단조, 압연 및 기계가공 등과 같은 소성공정과 기존의 용접방법과 리벳트도 가능해서, 이미 군사용으로 오래 전부터 활용되고 있었다. 특히 유사한 비강도를 갖는 다른 금속재료에 비하여 훨씬 빠른 속도로 기계가공할 수 있는 장점도 가지고 있다. 성형 후 치수의 안정성이 우수하고, 충격이나 흠의 발생에 저항성도 우수하다. 특히 충격흡수능력이 가장 우수한 금속에 속해서, 진동이 심하거나 속도가 급격하게 변하는 부품에 장점이 많다.

3.2 마그네슘 합금 종류

순수한 마그네슘에 Al, Zn, Mn 등의 원소를 첨가하여 기계적 특성을 향상시키고, 공업적으로 용도가 확인된 여러 종류의 마그네슘 합금이 규격화되어 있다. 자동차 부품으로 활용하기를 위해서는 Mg-합금규격에 대한 이해가 필요하다. 세계적으로 ASTM 규격을 따르는데, 2개의 주 합금원소를 기준으로 다음과 같이 4개 혹은 5개의 지수로 규격화 되어 있다.

□□○○××

첫 두글짜는 알파벳으로 구성되고 뒤의 두 글짜는 아라비아 숫자이다. 셋째자리는 첫 자리 원소 그리고 넷째 자리는 둘째 자리 원

소의 대체적인 합량을 의미한다. 알파벳트는 다음과 같이 주합금원소를 뜻한다.

A;알루미늄(Al)	S;실리콘(Si)
M;망간(Mn)	Z;아연(Zn)
E;희토류금속	H;토륨(Th)
Q;은(Ag)	

주조용 Mg-합금에는 Al, Zn, Mn과 Si 이 주요 합금원소 쓰이고 있고, 특별한 경우를 제외하고는 다른 원소(특히 천이금속)는 흔히 불순물로 간주되어 최대치로 제한되어 있다. 예를 들면,

AZ91은 약 9wt%Al와 약 1wt%Zn인 합금이고

AM60은 약 6wt%Al과 0.5wt%Mn인 합금이다.

다섯째 자리가 붙은 경우는 다시 알파벳트로 A에서 E까지 표시되는데, 이는 앞의 네 자리가 의미하는 화학조성을 가진 것 중에서 ASTM에 등록된 순서로 순도나 혹은 주용도를 지칭한다. X1 등으로 표시되는 것은 아직 ASTM 규격으로 인정되지 않은 새로운 합금을 뜻한다. 예로, AZ91A는 과거에 사용되던 합금으로 고순도 합금인 AZ91D나 AZ91E에 비하여 천이금속의 최대 규정값이 높다. AZ91의 경우 D는 다이캐스팅용이고 E는 중력주조(예;사형주조)용이다. 이외의 방법이나 기호로 표시된 것은 회사의 상표이다. 표 3에는 보편적으로 쓰이는 주조용 Mg-합금의 화학조성을 ASTM 규격으로 정리하였다.

3.3 Mg-합금의 기계적인 성질

Mg이 구조용 부품으로 관심이 있는 첫째 이유는 부품화할 수 있는 가장 가벼운 원소 이면서 강도나 견고함에 있어서도 다른 재료에 비하여 크게 손상이 없기 때문이다. 따라서 자동차의 경량화뿐만 아니라, 가벼워야

표 3 주조용 마그네슘 합금의 화학조성

합금명	합금 조성(wt%)							
	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	기타
AZ91A	8.5~9.5	0.45~0.90	≥0.15	≤0.20	—	≤0.08	≤0.01	0.30
AZ91B	8.5~9.5	0.45~0.90	≥0.15	≤0.20	—	≤0.25	≤0.01	0.30
AZ91D	8.5~9.5	0.45~0.90	≥0.17	≤0.05	≤0.004	≤0.015	≤0.001	0.01
AM60A	5.7~6.3	≤0.20	≥0.15	≤0.20	—	≤0.25	≤0.01	0.30
AM60B	5.7~6.3	≤0.20	≥0.27	≤0.05	≤0.004	≤0.008	≤0.001	0.01
AM50 ^{*1}	4.5~5.3	≤0.10	≥0.27	≤0.10	≤0.004	≤0.008	≤0.001	0.01
AM20 ^{*1}	1.7~2.2	≤0.10	≥0.5	≤0.10	≤0.004	≤0.008	≤0.001	0.01
AS41A	3.7~4.8	≤0.10	0.22~0.48	0.60~1.4	—	≤0.04	≤0.01	0.30
AS41B ^{*2}	3.7~4.8	≤0.10	0.35~0.60	0.60~1.4	0.0035	≤0.015	≤0.001	0.01

*1 HYDRO MAGNESIUM 규격합금

*2 DOW CHEMICAL 규격합금

좋은 기계나 전자기기 장치의 통과 회전하거나 동적인 작동을 하는 부품의 경우에는 초기 모멘텀이 적어서 장점이 있는 곳에 쓰인다. 그리고, 80년 초에 내부식성이 크게 향상된 고순도 합금(예; AZ91D와 AZ91E)과 80년 후반에는 연성이 크게 개선된 합금(예; AM60과 AM50)이 개발되었다. 90년 초에 내열성이 우수한 합금(예; AE42 합금)의 출현은 Mg-부품의 가능성을 더욱 확대시키고 있다. 표 4에 다이캐스팅용 Mg-합금의 주요한 기계적 특성을 나열했고, 같은 종류의 부품에 쓰이는 주조용 Al과 Zn-합금의 성

질과 비교하였다.

단순히 특성을 비교해도, 마그네슘은 인장 및 압축강도, 경도, 피로강도와 내크리프 성질 및 충격흡수와 내진동 특성도 우수한 금속이다. 그러나 자동차용 경량화 재료로 무게를 감안한 특성(부품 설계의 중요한 요소임)을 비교하면, 경쟁대상인 Al과 Zn에 비하여 장점이 더욱 드러난다. Mg의 비탄성계수(E/ρ)는 약 25로 Al-380 합금의 26.9에 비하여 약간 낮으나, Zn-AC41A의 12.6보다 훨씬 높다. 굽힘에 의한 저항성의 척도를 인장강도/무게비로 계산한 비강도를 비교

표 4 다이캐스팅 용 마그네슘 합금의 기계적인 특성

	AZ91D	AM60B	AS41XB	Al-380	Zn-AC41A
비중 (g/cm^3)	1.81	1.79	1.77	2.69	6.6
인장응력UTS (MPa)	230	220	210	315	383
항복강도 Y.S (MPa)	150	130	140	160	—
연신률 (%)	3	—	—	5	—
경도 (BHN)	63	—	—	80	82
피로강도 (MPa)	97	—	—	90	56.5
탄성계수 (GPa)	45	45	45	72.4	83
비탄성계수 (E/ρ)	24.9	25.1	25.4	26.9	12.6

하면, Mg을 1로 볼 때 Al과 Fe는 각각 0.56과 0.48여서 정해진 강도를 갖게하기 위해서 Al과 Fe로는 각각 1.8배와 2.1배 많은 양이 필요하다.

습한 분위기에 노출된 마그네슘은 대체로 내식성이 좋지 않고, 염소를 함유한 환경에서 특히 나쁘다. Mg이 내식성이 나쁜 금속으로 인식된 데에는 전기화학적 음성도가 다른 금속원소에 비하여 높기 때문이다. 특히 소량 함유된 천이금속(Fe, Cu, Ni, Si 등)이 기지내에서 금속간화합물이 작은 입자로 석출되면, 기지상에 비하여 음극을 형성하여 경계면에서 전기화학적인 부식이 국부적으로 일어난다. 그리고, Mg 금속표면에 형성되는 자연적인 피막도 상당한 부동태 성질을 갖으나, 이 피막은 흔히 염기성을 띄고 있고 모든 환경에 잘 견디지 못한다. 따라서, 표면처리를 필요로 한다.

최근에는 고순도의 Mg-합금만이 구조용 부품의 제조에 사용되는데, Fe, Ni과 Cu를 각각 0.001wt%, 0.0009wt%와 0.002wt% 이하로 규제하므로써 Mg-합금의 내부식성이 크게 개선되었다. 다음의 표 5에 비교되어 있는 것처럼, 고순도 Mg-합금의 내부식성은 Al-합금이나 철강재에 비하여 나쁘지 않다. 따라서, 고순도 마그네슘 합금의 개발로 Mg은 잘 부식된다는 기존의 인식이 해소되었고, 고순도 Mg-합금으로 만들어진 자동차용 다이캐스팅 부품은 내식성을 부여하

기 위한 표면처리나 후처리가 필요치 않아도 되는 것으로 인식되고 있다.

3.4 마그네슘의 다이캐스팅 공정

고순도 Mg-합금이 구조용 부품으로 쓰이기 시작한 바탕에는 비플럭스 용해법과 다이캐스팅 공정의 발전이 있었음을 설명하였다. 자동차 경량화와 전자기기용 마그네슘 부품은 주로 다이캐스팅법으로 제조되는데, 다음은 이의 기술적인 진보에 대한 설명이다.

다이캐스팅 공정이란 고압 금형주조법으로, 고압의 플런저로 형상을 깎아낸 금형의 캐비티에 용융금속(용탕)을 빠른속도로 채우면서 식히는 주조방법으로 주조장치의 개요도를 그림 2에 나타내었다. 이 방법은 알루

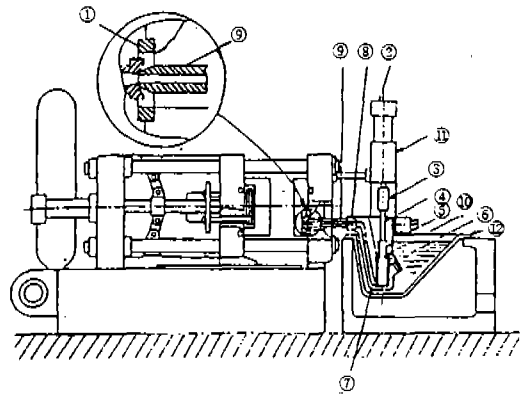


그림 2 다이캐스팅 장치의 개요도

표 5 염수분무시험에 의한 마그네슘 합금의 부식속도

합금종류	부식속도 (mils/yr.)	합금종류	부식속도 (mils/yr.)
AZ91B	680	AS41A	680
AZ91D	4	AS41XB	4
AM60A	700		
AM60B	13	C-Steel	30
AE42XA	6	Al-380	15

미늄과 아연과 같이 용융온도가 낮은 금속과 합금으로 구조용 부품을 제조하는 방법 중의 하나이다. 이 주조방법은 역사가 길고 이미 많은 종류의 중소형 부품이 이 방법으로 제조되고 있어서, 주조기술과 장치가 잘 발달되어 있다. 연속작업과 자동화가 가능하여 대량생산에 적당하고, 생산성이 확보되면 제조공정 비용이 저렴하여 중소형의 Mg-부품을 제조하는 데에도 가장 적절한 방법이다.

다이캐스팅 공정은 금형에 용탕을 공급방법에 따라서 고온 다이캐스팅(hot chamber D/C)과 저온 다이캐스팅(cold chamber D/C) 공정으로 구분된다. 전자의 경우에는 용해로 내에 용탕공급 펌프(흔히 구스넥크라함)를 설치하고 용탕이 금형 캐비티에 직접 공급되는데, 공급관을 고온으로 가열시켜야 한다. 아연합금에는 이 방법이 주로 사용된다. 후자는 알루미늄의 다이캐스팅에 주로 쓰이는데, 래들링 방법으로 용탕을 외부에 노출된 공급구에 채워지면 플런저가 작동하는 형식이다. 알루미늄 합금에는 이 방법이 많이 사용되며, 대형 부품의 제조에 적당하다.

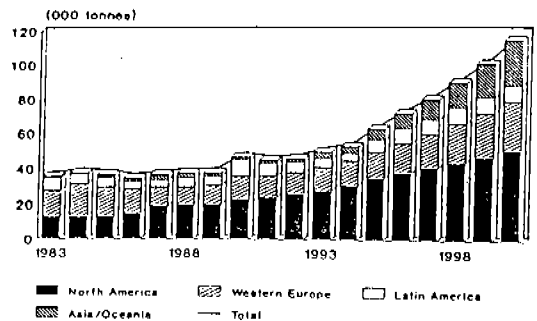
마그네슘 부품을 제조하는 다이캐스팅 공정은 다음과 같은 장점이 있다.

- 마그네슘 합금의 주조성이 Al에 비하여 좋아서, 아연처럼 고온 다이캐스팅이 가능하고, 박육제품(thin-wall part)의 제조가 가능하다. 고온 다이캐스팅(hot chamber D/C) 공정으로는 마그네슘의 우수한 주조성을 십분 활용하여 박육 다이캐스팅이 가능해졌다.
- 단위 부피당 Mg의 열용량이 적어서, 용고과정에서 열의 방출이 적다. 따라서 시간당 약 250회의 성형이 가능하며, Al의 경우보다 훨씬 빠르게 작업할 수 있고 생산성이 높다.
- Mg-용탕은 금형재료인 공구강과 반응

하지 않으므로, 금형과 성형체의 분리가 매우 쉽다. 그리고, 연한 금속이므로 금형마모가 훨씬 적다. 따라서 Al의 경우보다 금형의 수명이 길어서, 금형비가 저렴하다.

따라서, 원소재값은 Al에 비하여 약 2.5배이지만, 대량생산 가격을 포함하여 총 제조비용은 Al의 경우에 버금간다. 그 이유는 다이캐스팅 가격에서 소재값이 차지하는 비중은 40~60%에 지나지 않기 때문이다. 예로 저온 다이캐스팅 Al 부품을 Mg으로 대체하는 경우에 단순히 34%의 무게감소(즉 재료의 절약)만으로는 고가인 원소재 값을 해소할 수 없다. Mg 다이캐스팅이 Al보다 훨씬 나은 생산성으로 가격상승을 극소화 할 수 있다. 저온 다이캐스팅 공정보다 스크랩의 발생을 10-20% 줄이고 생산성(즉, 작업속도)을 30-40%까지 증대시킬 수 있다. 최근에 정량급탕기술이 상품화되면서 저온 다이캐스팅 공정도 가능해졌고, 구미에서는 자동차 바퀴와 같은 대형 부품의 Mg화가 가장 활발하게 연구되고 있는 기술분야이다.

1995년에 구조용 Mg의 세계적 수요는 64,100톤으로 전 Mg시장의 21.1%에 해당하는데, 이는 1992년의 34,500톤(Mg수요의 12.7%)에 비하여 크게 증가하였다. 이런 증



Source: IMA, CRI forecasts

그림 3 구조용 Mg-합금의 시장규모와 전망

가경향은 앞으로 더욱 가속되어 2000년에는 104,000톤에 달할 것으로 예측되고 있다. 90년 이후의 빠르게 증가하기 전에 70년 후반에 Mg 부품 시장은 극히 미미했고 80년에 들어오면서 Mg-부품 시장이 서서히 자리잡게 되었다. 이와같은 경향이 그림 3에 나타나 있다. 80년 중반 이후에 구조용 마그네슘의 수요가 그림 3처럼 크게 증가하는 데에는 다음과 같은 사회적, 기술적 요인이 있다.

- 자동차 배출가스에 의한 환경오염의 규제(예;CAFE)가 구체화되었고
- Mg의 용해 및 주조 기술과 내부식성에 대한 개선에 커다란 발전이 이루어졌으며, Mg은 위험하고 부식이 심한 금속이라는 인식이 변화하였다.
- 경쟁적인 재료와의 상대적인 가격의 비교조건이 호전되고 원소재의 공급 다변화가 추진되고
- 전자파 차폐, 자원회수 및 재사용 등 새로운 요인이 대두되어 Mg의 장점이 부각되기 시작했다.

4. 자동차용 Mg-부품의 현황과 전망

4.1 자동차용 Mg-부품의 역사

자동차 부품으로 Mg의 장점은 오래전부터 인식되어 왔다. 대표적인 예가 VW의 Beatle로 2차대전 이후 최근까지 엔진몸체(engine block)를 위시하여 총 45lb까지 사용했고, 최근까지 총 5,000만대가 생산되었다. 자동차 경량화에 Mg-합금이 쓰인 중요한 이정표로 인식되고 있는 Porsche 911과 Fiat Dino도 각각 116lb와 59lb의 Mg를 사용하여, 벌써 오래전 부터 Mg-부품의 효용성이 증명되었다. 표 6에 Fiat사의 Dino와 Porsche 911에 적용된 부품들을 나열하였다. 고기능이나 커다란 하중에 견딜 필요가

적은 하우징, 커버, 브라켓트 등이 대표적인 Mg 부품이다. 그럼에도 안전성이 크게 요구되는 바퀴(wheel)가 포함되었음을 주목할 필요가 있다.

4.2 마그네슘 부품의 개발현황

이처럼 Mg-부품의 신뢰성이 확인되었음에도 1991년에 미국차의 평균 Mg 사용량은 3.1kg정도에 머무를 정도로 극히 제한되었다. 최근에 마그네슘 부품의 사용은 미국에서 가장 활발한데, 대표적인 예가 Ford Ranger의 클러치 하우징(clutch housing), Cadillac의 엔진 카버(cylinder cover)와 얼터네이터 받침(alternator bracket)이다. 최근 수년 사이에는 유럽에서도 크게 확장되고 있으며, Benz 등의 의자 받침(seat bracket)의 개발되어 고급차종에 쓰이고 있다. 그림 4에는 최근 개발된 자동차 부품들의 사진을 모아서 정리하였다.

80년 후반 이후 Mg의 자동차 부품화를 위한 접근 방법으로 이 분야의 발전을 선도하고 있는 미국의 동향이다. 원소재값이 비싼 마그네슘으로 이미 정착된 Al이나 플라스틱과 같은 경쟁 재료를 단순히 대체하는데에는 한계가 있다. 왜냐하면, Al이나 플라스틱(복합재료 포함)이 부품화되지도 얼마되지 않아서, 상당한 자본의 투자가 회수되는 데에는 상당기간이 필요하다. 그리고 단순한 Mg-부품화는 분명히 가격상승을 초래하기 때문에 단일품을 따지는 자동차 업계로는 받아들이기 어렵다. 미국에서 선호되고 있는 Mg-부품화는 Al이나 플라스틱의 단순대체보다는 Fe와 Zn처럼 훨씬 무겁거나 다수의 부속품으로 구성된 어셈블리를 한 번의 Mg 다이캐스팅 공정으로 대체하는 식으로 추진되고 있다. 대표적인 예가 그림 4의 브라켓트와 의자 틀(seat frame)이다. 여러 개의 스탬핑 철판이 용접으로 조립되는 과정에서 생

표 6 Fiat Dino와 Prosche 911에 사용된 Mg 부품

Components	No. per car	weight(lb)
Fiat Dino		
Cylinder head cover	2	4.25
Small cover for cyl. head	4	0.28
Distributor support	1	0.39
Oil filter support	1	0.85
Oil fume breather body	2	0.76
Oil pump body	1	0.37
Oil pump trumpet	1	0.27
Oil seal	1	0.54
Wheels	5	51.00
Total	18	59.71

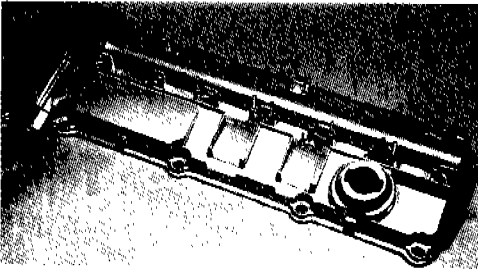
Porsche 911		
Crank case, L/H & R/H	2	33.55
Chain housing, L/H & R/H	2	2.6
Chain housing cover, L/H & R/H	2	1.63
Camshaft housing, upper & under	4	2.30
Shut-off cover	1	0.08
Blower housing	1	2.98
Rotor	1	1.19
Oil pump housing I & II	2	0.78
Cover ventilation	1	0.22
Suction tube L/H & R/H	2	2.70
Gearbox	1	12.94
Gear box cover, front	1	2.14
Intermediate plate	1	2.12
Side cover	1	1.75
Aperture disc wheel	5	48.5
Total	27	1116.59

산비를 다이캐스팅으로 단일품으로 제조함으로써 다음과 같은 장점이 있기 때문이다.

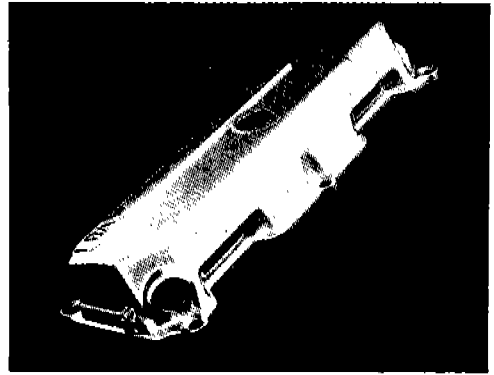
- 제조공정을 단순화하여 생산성을 높이고,
- 기계가공이나 용접과 같은 조립공정의 생략하거나 최소화할 수 있고
- 원소재 사용을 줄여서 소재비용의 감소와
- 인건비의 감소가 가능하여도

전체적인 생산비를 절약할 수 있다.

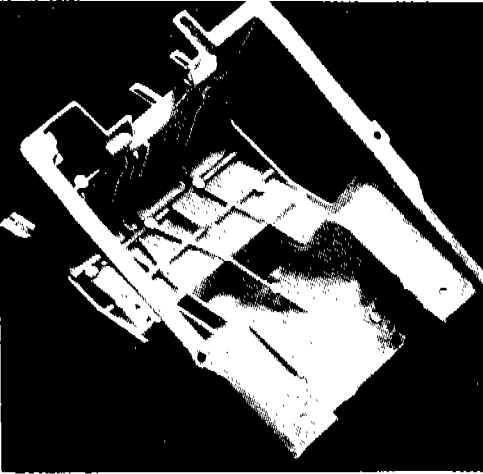
다음에는 마그네슘 부품화의 개발방법을 설명하였다. 기존의 부품들을 마그네슘화하는데에는 흔히 설계변경을 통해서 소재교체의 효과를 극대화한다. 예로 Al 부품은 Al의 기계적 특성과 주조성에 맞도록 되어 있는데, 마그네슘의 기계적 성질을 활용하려면



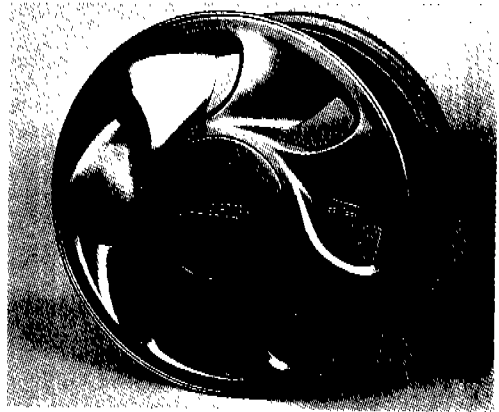
실린더헤드



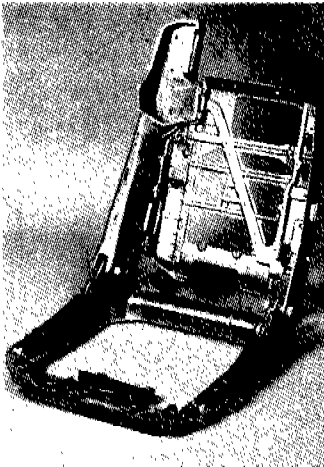
라키 암 커버



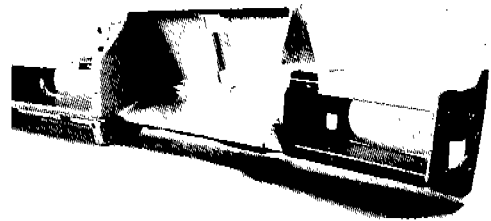
브라케 페달과 스티어링 휠 브라켓(3.51b/1.6kg)



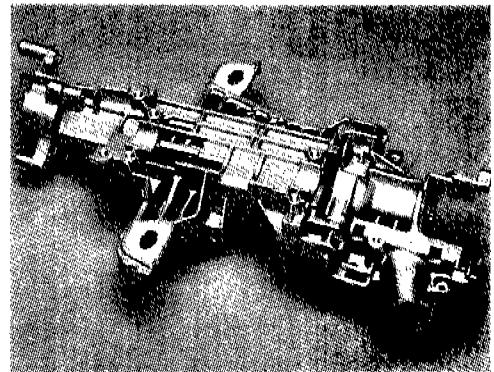
오토모빌 휠(211b/9.6kg)



시트 프레임(18b/8.5kg)



크로스 카 빈(9.41b/4.27kg)



스티어링 칼럼 3개

그림 4 Mg 자동차 부품

설계변경을 필요로 하는 경우가 많다. 그런데, 다이캐스팅 공정에서 금형비가 차지하는 비중이 크다. 최근의 마그네슘 부품화는 비교적 값싼 중력주조법으로 설계형상의 적절성을 확인하고 다음에 마그네슘의 다이캐스팅 공정 개발로 이어진다. 미국에서는 자동차 회사의 설계팀, 중력주조 회사(흔히 소규모의 작업장을 갖춘 영세기업임)와 다이캐스팅 전문 회사들이 공동으로 참여하고 있다. 따라서, 경제성을 고려한 신제품의 개발에는 자금, 인력 및 시간을 포함한 상당한 투자를 필요로 한다. 이런 이유 때문에 앞으로 상당 기간 최종 수요처인 자동차 회사들의 의지가 마그네슘 부품화의 견인차 역할을 할 전망이다.

자동차 경량화 부품으로 활용되었거나 고려되고 있는 대상부품에 대하여는 부록에 나열하였다. 그러나 마그네슘 부품의 실질적으로 사용증가는 기술적인 요인 외에 다음의 요인들에 의해서 결정된다는 것이 전문가들의 공통적인 견해이다.

- 경쟁재료인 Al과 플라스틱의 원소재 가격이 어떻게 변하느냐에 따라서, Mg으로 대체하는 가격상승이 얼마나 될 것인가?
- 소재 교체에 의한 자동차의 경량화를 보는 업계의 우선 순위와 긴급성에 대한 최고 경영자의 인식과 의지 여부
- CAFE 등과 같은 환경오염 등에 대한 사회적인 규제의 강제성과 수요자의 인지도.
- 사회적인 환경의 변화에 적응하는 자동차 회사들의 차별화와 판매 전략

4.3 일본의 현황

일본의 1991~1993년에 마그네슘 부품의 연간 수요가 약 1,100톤으로 Toyota사가 이 중의 80%를 차지했다. 이 규모는 자동차 총

생산을 비교한 일본의 수요량은 미국에 비하여 작은 양이다. 일본의 자동차 업계는 경량화를 위한 마그네슘 부품사용에 대하여 매우 긍정적이었고, 3년후 약 5배까지 신장될 것으로 예측하였다. 일본 자동차 산업의 마그네슘 생산은 당분간 크게 증가하지 않을 것이라는 예측도 있었다. 일본업계의 마그네슘 기술개발은 모든 분야에서 매우 활발해졌다. 일본마그네슘조합(Japan Magnesium Association)이 구성되어, 기술 및 정보교류의 장을 마련하고(1993년 106개 회사 및 단체), 마그네슘 기술을 종합 정리한 기술서의 발간과 관련 규격의 표준화사업을 추진하였다. 일본 정부가 무역마찰의 구실을 줄이기 위하여 북미지역에서 수입을 권장함("Buy American" Action Program by MITI)에 따라서, 일본 업계는 북미지역의 다이캐스팅 업계에 직·간접적인 자본투자로 관련기술을 확보하기 위한 교두보도 마련하였다. 일본업계의 적극성은 캐나다에서 시작한 마그네슘 연구소(Institute for Magnesium Technology, ITM)의 35개 회원사중에 15개의 일본 업체가 차지하고 있음에도 나타난다. Ube사가 Queensland 프로젝트에 투자한 것도 이 시기이며, 최근에는 중국의 Hebi 프로젝트에 파트너로 참가하여 원소재 확보에도 매우 적극적이다. 이런 현상은 엔화 절상 등으로 수출환경이 악화되면서 수년전의 전망보다 둔화된 경향을 보이나, 고급 차종을 중심으로 수개의 마그네슘 부품이 개발되어 채용되었으며 다수가 검토되고 있다

5. 우리나라의 연구개발 동향과 과제

5.1 Mg-부품 개발의 현황

우리나라에서 마그네슘 관련 기술의 수준과 활동은 초기단계 수준이고, 자동차용 부

품화를 위해서는 모든 관련기술의 확보가 필요하다. 따라서, 마그네슘 다이캐스팅 기술의 국내현황을 관련기술과 함께 정리하였다.

현재 마그네슘 부품화는 신창전기(주)에서 생산하고 있는 시동 키박스(key box)가 유일한 예이다. 신창전기는 자동차의 열쇄문치를 생산하는 전문회사로, Zn-합금으로 제조되던 부품의 일부를 AZ91D 합금으로 제조하여 엘란트라에 사용하고 있다. 일본의 기술을 턴키 형식으로 도입하여 1994년부터 생산하기 시작하여 Mg 부품화의 선구자적인 역할을 하고 있다. 전자기기용 마그네슘 부품을 생산하는 예로 원경금속이 팜 컴퓨터(palm computer)의 하우징을 개발하여 1993년에 시험생산을 하였고 현재는 휴대전화 케이스와 무전기의 하우징을 열간 다이캐스팅공정으로 생산하고 있다.

마그네슘에 대한 재료적인 연구는 90년 초부터 대학에서 소규모로 시작했으나, 1991년에 국민은행의 중소기업기술개발사업에서 마그네슘의 용해주조 기술개발(한국과학기술연구원과 삼풍전기(주))을 지원하기 시작했다. 1992년부터 마그네슘 관련 기술과제가 과학기술처의 선도기술연구개발사업과 당시 통산산업부의 공업기반기술개발지원사업에 지원되기 시작했다. 이들 연구개발사업에는 국내의 다이캐스팅 업체(대우정밀(주), 산기기공, 원경금속)와 대학(서울대학, 포항공대) 및 연구소(한국과학기술연구원, 생산기술연구원, 자동차부품연구소)가 공동 참여하여 실린더 헤드커버(cylinder head cover)와 운전대 심(steering wheel core)의 시제품을 제작하는 데에 이르고 있다. 이 연구개발사업에서는 단순히 다이캐스팅 제조공정의 개발뿐만 아니라, 비플럭스 용해기술, 합금화 연구, 표면처리기술, 금형설계기술과 스크랩의 재활용기술까지도 연구의 대상으로 하고 있으며, 새로운 연구개발사업으로 상당한 성

과를 얻고 있다. 이외에 소규모 마그네슘 관련 기술의 야금학적인 연구가 여러대학에서 다양하게 추진되고 있어서, 금년도 대한금속학회의 학술발표대회에 여러편의 학술논문이 발표되기에 이르렀다. 이처럼 학술계의 연구가 활발해지고 있음에도 중요한 수요처가 될 자동차 회사들의 참여는 수동적이거나 간접적으로 후원하는 정도에 머물고 있다.

5.2 자동차용 마그네슘화의 국내환경

우리나라에서 자동차의 Mg의 부품화에 대한 인식이 일어나기 시작한 때는 1992년 이후로, 그 당시 일본의 기술예측자료의 영향을 입은 탓이다. 아직까지도 자동차 경량화에 마그네슘의 필요성에 대한 인식은 학계와 연구원들의 주장에 머무는 경향이고, 자동차의 설계 기술자와 부품 구매부서에서 보는 시급성은 그다지 높지 않다. 경량화를 위한 원소재 교체는 Al이나 플라스틱을 주장하는 경우가 훨씬 많다. Mg 부품화는 앞으로 언젠가는 꼭 해야할 일이라는 의견을 가진 제한된 수의 소규모 연구단계에 머물고 있다.

이처럼 Mg-부품화가 저조한 데에는 국내의 여건이 외국에 비하여 훨씬 나쁜데에 기인한다.

- 환경오염이 국내에서도 중요한 사회적인 문제로 제기되어 있으나, 미국의 CAFE 등과 같은 우리의 사회적인 규제나 강제조항이 없다. 그리고, 우리나라 자동차 산업이 아직은 소형차의 생산이 주를 이루고 있어서, 현대, 기아, 대우 등 자동차 3사는 모두 CAFE 환경규제를 이미 맞추고 있고 앞으로도 당분간 이 규제수치를 초과 달성할 전망이다.
- Mg 원소재의 수급면에서 전량 외국에서 수입해야하고, 다이캐스팅의 경제성 확보에 큰 몫을 차지하는 스크랩의 재

처리 산업이 없다. 당분간은 외국의 공급자가 국내에서 스크랩을 회수할 전망도 그다지 밝지 않다. 국산차의 해외수출이 저가격에 의존하는 실정에서 가격 상승 요인이 있는 Mg-부품으로 교체하는 것은 아직 설득력이 없다.

- 다음은 기술적인 현황으로, Mg의 용해, 주조와 금형설계를 포함한 Mg-다이캐스팅 기술과 경험이 모두 초보적인 단계이다. 따라서, 모든 기술적인 사항들을 외국으로부터 도입해야 하거나 자체 개발하여야 하는데, 수요처에서 인식과 후원해줄 의지는 높지 않다.

6. 전망과 과제

자동차 경량화로 Mg의 가치에 대하여는 미국의 자동차 3사들에 의해서 증명되었고, 유럽과 일본 업계들도 Mg를 채용하는 경향이 뚜렷해 지고 있다. 기술을 이미 확보한 구미의 Mg 다이캐스팅 업체들은 호기를 맞고 있고 시설확장을 서두르고 있다. 이스라엘의 프로그램 등과 같이 1차지급의 공급업체가 새롭게 생겨나고 있는 것도 향후 마그네슘 산업의 전체적인 전망을 밝게 해주고 있다. 우리나라의 자동차 산업의 장래가 세계시장 개척과 선진국과 경쟁해야 하므로, 자동차 경량화도 우리 산업이 관심을 갖고 있는 과제이며 구미의 동향에도 민감할 수밖에 없다. 특히 일본 업계의 움직임이 우리에게 미치는 영향이 크다. 따라서, 국내의 자동차 산업에서 마그네슘의 사용은 분명하리라 예측할 수 있다. 그러나, 마그네슘이 자동차 부품으로 사용되려면 업계의 실질적인 수요가 있어야하고, 이에 부응할 수 있는 기술이 납품업계에 확보되어야 한다. 국내 자동차 산업의 속성상 국내의 필요나 강제에 의해서 나

타나기보다는, 자동차 수출의 국제적인 환경에 의해서 강요될 가능성이 있다. 선진국의 공해오염규제의 강화, 국산 자동차의 고급화와 대형화 그리고 경쟁업체의 Mg 사용실적 등이 어떻게 변하느냐에 따라서 국내의 Mg 수요의 시기와 정도가 정해질 것이다. 이런 시기를 대비하기 위하여, 일본의 경우로부터 향후 기술적인 과제를 찾을 수 있다.

마그네슘 관련 기술은 구미에서는 오래전부터 산업화된 기술로 최근에 다시 활기를 띠고 있는 데에는 몇가지 기술적인 발전으로 경제성이 확인되었기 때문이다. 따라서, 우리나라도 이러한 기술확보를 통하여, 예상되는 Mg 수요에 대비해야 한다. 다음은 일본의 경우에서 상상할 수 있는 우리들의 과제이다.

- 구미선진국에서 축적된 기술자료의 한글화를 통하여 마그네슘 지식과 기술을 산업계에 보급하여 인푸라가 구축되도록 발판을 마련해야 한다.
- 마그네슘 관련기술의 규격 표준화가 이루어져야 한다.
- 안정적인 원소재 확보 대책이 마련되어야 한다.
- 주요 핵심기술을 확보해야 하는데, 이 중에는 Mg의 비플렉스 용해 및 주조 기술, 부품 설계기술, 다이캐스팅 공정 기술, 표면처리와 합금개발 그리고 스크랩의 재활용 기술이 포함된다.

앞의 세 가지는 정부와 관련 업계에서 정책적으로 추진되어야 할 것이며, 나머지는 자동차 업계와 부품업체들의 공동노력을 필요로 한다. 규격의 표준화는 설계기술자들이 마그네슘의 경량화 가치를 활용하게 하는 교두보이므로, 국가적 사업으로 추진될 사항이다. Mg의 부품화와 관련된 기술개발은 수요의 발생과 괴를 같이 할 가능성이 높다. 국내

의 기술개발 여건이 매우 열악한 점을 감안한다면, 초기에는 산·학·연의 공동노력이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Magnesium Properties and Applications for Automobiles, SP-962, Society of Automobile Engineers, Inc., 1993.
2. Magnesium in Automobiles, SP-932, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992
3. Past to Future, IMA Proceedings for 47th Annual World Conference, International Magnesium Association, 1989
4. Magnesium on the Move, IMA Proceedings for 49th Annual World Conference, International Magnesium Association, 1991
5. Magnesium Monthly Review, by R.E. Brown, MMR publisher
6. Metals Handbook, 9th Ed., vol. 2, American Society for Metals, 1993
7. Magnesium Products Design, by R.S. Bu, IMA, Marcel Dekker, Inc., New York, 1987
8. Potential for Vehicle Weight Reduction Using Magnesium, SAE Tech. Paper Series No. 910551, by J. Davis, SAE, 1991
9. M.O. Pekguleryuz and M.M. Avedisian, 경금속, vol. 42, No. 12, 679-689, (1992)
10. T. Ito and H. Shirai, 경금속 vol. 42, No. 12, 707-719(1992)

〈부 록〉

미국과 유럽에서 자동차 부품으로 사용된 Mg 부품들

Country	Power Train	Body & Chassis
United States	Oil reservoir over Generator end plate Starting motor end plate Main bearing oil seal Fan spacer Fuel pump-body, support air body, covers Glove box door Oil filter-body, by-pass Super charger impeller EGR valve Engine-oil seal plate Blower impeller Distributor housing Oil pump cover Torque converter housing Clutch housing Transmission-stator blade, rail guide, housing	Instrument panel & filler, shroud Steering column-bracket, clamp, shroud, lock house Shift lever-guide, bracket Gear shift-bowl, assembly Horn button bezel Winder actuator mechanism Internal window bracket Turn signal-cover switch housing Convertible, top mechanism, header Heater blower assy. Defroster grill Sail mirror cover
Europe	Crankcase, air cooled Clutch housing Transmission housing, bearing support Transaxle housing Autotrans. transfer plate Oil pump-housing, trumpet Valve covers Engine fan Trans. support bracket Dynamo bracket Steering gear cover Engine blower-housing impeller Timing gear Cylinder head cover Distributor support Oil filter support Oil fume breather body Timing chin housing Suction tube Camshaft housing cover Gearboxes and covers Regulator spindle bearing Belt pulleys Bearing-bushing, housing Adaptor flange Regulator box cover	Wheels Loud speaker frame Instrument panel Headlight support Steering column-support, housing Tool box and cover
Japan		