

마그네슘합금의 자동차 부품 적용 현황

임창동, 유봉선, 손근용 | 한국기계연구원

1. 서 론

고갈되고 있는 석유자원의 효율적인 사용에 대한 필요성과 환경보전에 대한 관심이 부각됨에 따라 자동차, 항공기 등 수송기기의 연비 향상에 대한 필요성이 크게 증대되고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 세계 유수의 자동차 생산업체에서는 자동차의 연비 향상을 위해 막대한 투자와 연구개발을 수행하고 있는 반면, 자동차산업이 국가의 주요 기간산업으로 인식되고 있는 우리나라의 경우 완전 개방된 세계 시장에서 경쟁력을 갖추기 위한 선행 조건인 자동차의 연비 향상을 위한 노력은 아직도 미진한 실정이다.^[1,2]

자동차의 연비 향상을 위한 가시적인 방안으로서, 자동차 부품의 경량화가 강력하게 추진되고 있다. 자동차의 경량화 방법에는 저밀도의 경량재료를 사용하거나 고강도, 고탄성계수의 재료를 사용함으로써 사용재료의 부피를 줄여 경량화를 도모하는 방법이 있다. 전자의 경우에는 높은 비강도를 가지는 알루미늄합금, 마그네슘합금, 플라스틱 등이 제시되고 있다. 알루미늄합금의 경우, 기존의 주철계 부품을 성공적으로 대체하여 다양한 부품에 적용되고 있으나 경량화 효율 측면에서는 마그네슘합금이나 플라스틱 등에 미치지 못한다. 플라스틱은 고강도 엔지니어링 플라스틱의 개발과 함께 저렴한 가격, 미려한 외관, 완전한 내식성 등의 특징으로 인하여 자동차 부품에의 적용이 지속적으로 검토되어 왔으나, 고온에서 장시간 사용시 유발되는 치수불안정과 고온강도의 저하 등의 문제점이 지적되고 있으며, 재활용이 어렵거나 불가능하여 엄청난 양의 폐기물을 유발한다는 약점이 제기되었다. 따라서 최근 자동차 생산업체에서는 경량화를 위해 최경량 구조용 금속인 마그네슘합금을 이용한 부품 개발에 관심을 집중하고 있다. 본 고에서는 우리나라를 포함한 선진 각국의 마그네슘합금 자동차 부품 적용 현황에 대해 검토, 분석하고 향후 추이를 전망해 봄으로써 지금껏 태동기에 있는 국내 마그네슘 산업의 활성화에 기여하고자 한다.

2. 마그네슘합금 자동차 부품 적용 현황^[3-6]

마그네슘은 밀도가 1.74g/cm^3 으로 경량 구조용 금속재료이며, 비강도, 비강성, 기계가공성, 주조성, 피로 특성이 우수하고, 진동·충격 흡수능, 전기·열전도도가 탁월하다. 마그네슘합금을 자동차 부품에 적용하는데 있어서 가장 효과적인 성형방법은 다이캐스팅법이다. 다이캐스팅법을 이용할 경우, 알루미늄합금을 같은 공정으로 처리하는 경우보다 금형의 수명이 3~5배 정도 향상되며, 단위시간당 20~50%, 단위무게당 20~30% 정도의 생산성을

향상시킬 수 있다. 이는 마그네슘합금의 응고잠열이 작아 주조시 cycle time이 감소하는 것에 기인한다. 따라서 현재 마그네슘합금 자동차 부품의 90% 이상이 다이캐스팅법에 의하여 제조되고 있다. 그 외에도 마그네슘합금 다이캐스팅법은 복잡한 형상의 부품도 원하는 모양에 거의 가깝게 주조할 수 있을 뿐만 아니라, 주조상태에서 상대적으로 깨끗한 표면을 얻을 수 있고, 기계가공성도 우수하여 값비싼 공구 없이도 고속으로 trimming하여 곧바로 제품을 얻을 수 있는 등 후처리 공정을 간소화시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

다이캐스팅용으로 사용되는 마그네슘합금의 종류는 그 용도에 따라 AZ 계열의 범용합금, AM 계열의 고인성합금, 그리고 AS와 AE 계열의 내열합금으로 구분할 수 있다. 범용합금의 경우, 대표적인 합금은 AZ91D로서 비강도, 주조성 및 내식성이 우수하여 주로 engine bracket류나 valve cover 등에 사용되고 있다. 한편, 주조상태에서 고강도 및 고인성을 가지는 AM50 또는 AM60B를 주축으로 하는 고인성합금은 steering wheel이나 seat frame 등으로 적용이 확대되고 있으며, 내열합금은 transmission case 또는 transmission side cover 등에 적용되고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 상용 마그네슘합금은 알루미늄합금이나 철강 재료에 비하여 절대강도가 낮기 때문에 주로 하중이 심하게 가해지지 않는 cover류나 interior 부품에 한정되고 있다. 다음의 표 1은 마그네슘합금의 특성에 따른 적용예를 나타낸 것이며, 표 2는 자동차 차체의 주요 구성품에서 마그네슘합금 부품의 적용예를 나타낸 것이다.

표 1. 특성에 따른 자동차 부품에의 마그네슘합금 적용예.

특 성	부 품
경량성, 가공성, 치수안정성, 저가 다이캐스팅 용이성	Cylinder Head Cover, Clutch Transmission Housing
경량성, 가공성, 저가 다이캐스팅 용이성	Carburetor
경량성, 방진성	Pan, Pan Housing
경량성	Grill, Clutch Pedal Bracket Panel, Steering Column Component
경량성, 인성	Seat Frame, Steering Wheel Core

표 2. 자동차 차체 구성품에 따른 마그네슘합금 부품의 적용예.

Interior/Exterior	Instrument Panel, Air Bag Housing, Door Frame Seat Frame, Headlight Bracket, Air Intake Grill
Engine	Crankcase, Oil Pump, Cylinder Head Cover Intake Manifold, Transfer Case, Camshaft Housing
Power Train	Transmission Housing, Gearbox Cover, Clutch Housing Wheel
Chassis	Steering Wheel/Column, Pedal Bracket

2.1 선진 각국의 현황

마그네슘합금을 자동차 부품에 적용하기 위한 연구가 가장 활발하게 진행되는 곳은 유럽으로 국가별로 독자적인 연구 개발 프로그램을 운영하는 동시에 국가간 공동연구도 활발하게 진행하고 있다. 1934년 Volkswagen사에서서는 Kaefer(Beetle)의 crank case (AS41), transmission housing (AZ81)에 총 중량 17kg의 마그네슘합금을

사용하여 주철에 비해 50kg의 경량화 효과를 얻었으며, 연간 42,000톤의 잉고트를 소비한 바 있다. 1990년대 초에는 Porsche 911과 Fiat Dino에도 각각 52kg, 26.7kg의 마그네슘합금이 사용되었는데, Porsche 911의 경우 crank case L/H 및 R/H 15.2kg, wheel 22kg, gear box, belt cover 등 총 27개 부품에 적용되었으며, Dino의 경우 wheel, cylinder head cover, oil pump 부품 및 bracket 부품 등 18개 부품에 적용된 바 있다.

유럽지역 연구개발의 특징은 door inner panel, roof panel, cowl cross beam, intake manifold, trunk lid 등 3,000톤 이상의 기계용량이 요구되는 대형 부품에서부터 speed meter ring, navigation parts 등 소형 부품까지 폭넓은 부품으로의 적용연구가 이루어지고 있다는 것이다. 아울러 다이캐스팅 방법이 아닌 판재 성형기술을 통하여 bumper beam, suspension 부품으로 적용확대를 위한 연구개발이 확산되고 있다.

특히 독일의 경우 EFM (Europäische Forschungsgemeinschaft Magnesiumguss)에 6개 대학과, Hydro Magnesium 등을 포함한 50 여개 업체가 가입하여 MADICA (Magnesium Die Casting) Project, MAGUS project, REMACAF (Recycling of Mg-chip and Flash/Fines) 등 연구 컨소시엄이 구성되어, 마그네슘합금 부품 생산을 위한 공정 기술, 자동차 부품, 레저·스포츠 용품 등의 신제품 적용기술, 표면처리기술, 재활용기술, 우수한 기계적 특성을 가진 광폭·박판 다이캐스팅 소재의 생산기술, 금형주조기술, 가공기술, 용해 및 압출기술 등 폭넓은 분야에 대한 연구 과제를 수행하고 있다. 표 3은 2000년 유럽에서 생산된 자동차의 마그네슘합금 적용량을 나타낸 것으로 Volkswagen과 Audi사가 가장 활발하게 마그네슘합금을 적용하고 있는 것을 알 수 있다. 표 4는 유럽에서 마그네슘합금 자동차 부품을 생산하고 있는 주요 업체와 수요처 현황을 나타낸 것으로, 다이캐스팅 기술이 가장 앞서 있는 독일 회사들이 대부분의 마그네슘합금 제품을 생산, 공급하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 1~4는 현재 유럽 지역에서 생산되고 있는 주요 마그네슘합금 자동차 부품을 나타낸 것이다. 표 5는 BMW사의 2001년도 마그네슘합금 적용 현황을 나타낸 것으로, body 부품의 적용량이 가장 많은 것이 특징이다.

마그네슘합금이 자동차 부품에 본격적으로 적용되기 시작한 1990년대 초반에는 주로 중·소형의 case 및 cover류에 적용 분야가 한정되었으나, 최근에는 부품 제조기술의 발전으로 인하여 대형 부품의 개발 및 적용이 활발해지고 있으며, 적용 분야 또한 instrument panel carrier, seat frame, steering wheel frame 등으로 다양해지고 있다. 특히 대형 부품이 많은 body 부품에 마그네슘합금의 적용이 증가함에 따라 전체 자동차 부품 내에서 마그네슘합금 부품이 차지하는 비중 또한 점차 증가하고 있다.

표 3. 유럽지역 자동차 업계의 마그네슘합금 적용량(2000년 5월).

AUDI A6-2.8VL30	Max. 20.3kg
VW Passat, AUDI A4 & A6	13.6 ~ 14.5kg
AUDI TT	11.5 ~ 12.5kg
PORSCHE : Boxster roadster	9.9kg
Alfa Romeo 156	9.3kg
VW Golf & Polo	8.2~9.2kg

by Hydro Magnesium & Morimura Bros.

미국은 유럽과 함께 마그네슘합금의 적용 및 실용화가 가장 활발하게 이루어지고 있는 국가이다. 특히 최근 10여년 동안 그 수요가 급격히 증가하고 있으며, 대부분의 마그네슘합금 부품이 자동차에 적용되고 있다. 그림 5에 나타낸 바와 같이 1990년 이후 북미 지역의 자동차에 적용된 마그네슘합금 부품은 자동차 한 대당 약 1.2kg에서

2002년 후반 약 4 kg에 이르기까지 연평균 20% 이상씩 증가되어 왔으며, 향후 적용량은 지속적으로 증가할 전망이다. 적용대상 부품은 꾸준히 개발되어 1990년대 말부터 instrument panel, clutch housing, 4륜 구동으로 전환하는 transfer case, front end module의 방열판지대 등 중·대형 제품을 중심으로 확대되고 있다.

표 4. 유럽지역 다이캐스팅 업체와 제품 및 수요처.

Company	Location	Products	Customers
Meridian	Italy	Instrument Panels Cross Car Beams Seat Frames Steering Wheel Steering Column Brackets	Fiat Auto, Gallino Jaguar, BMW Daimler Chrysler Lear, Opel
Mahle	Germany	Door Frame Steering Wheel Core	Benz
Stihl	Germany	Crank Case Cylinder Head Case Seat Frame Oil Pump Cover & Housing Wheel Cover	Benz, BMW Volkswagen
Zizmann	Germany	Drawer Carrier Instrument Panels Steering Column Speedometer Housing Sunroof Frame & Cover	ArvinMeritor Bosch/Blaupunkt Delphi Automotive Systems Haldex Brake Products
Kolbenschmidt Pierburg	Germany	Intake Manifold	Mercedes AUDI Daimler Chrysler

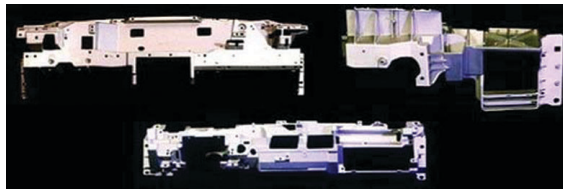


그림 1. Instrument panel, 기존에는 32piece의 제품을 용접하여 적용하였으나 마그네슘으로는 1 piece로도 가능함.



그림 2. Intake manifold.



그림 3. Seat frame.



그림 4. Transfer case.

표 5. BMW사의 마그네슘합금 부품 사용현황(2001)

Component	Area of Vehicle	Mg(t/y)	sum.(t/y)
Oil Pan Cover	Power Train	22.5	307.5
Oil Scraper Plate and Cover		34	
Cylinder Head Cover		206	
Air Intake System		45	
Soft-top Cover	Body	121	371
Instrument Panel Carrier		156.1	
Functional Member		63.8	
Radio Flap		28.6	
Radio Retaining Hoop		1.5	
Steering Lock Housing	Chassis and Suspension	186.8	289.5
Steering Wheel Frame		102.7	
TOTAL : 968			

2002년 말을 기준으로 북미 지역에서는 자동차용 다이캐스팅 부품으로 연간 약 58,000톤(metric, MT)의 마그네슘합금이 사용되고 있으며, 이 중 GM이 약 28,000톤으로 가장 많고, 포드자동차가 20,000톤, 그리고 DCX (다임러크라이슬러)가 10,000톤을 사용하고 있다.

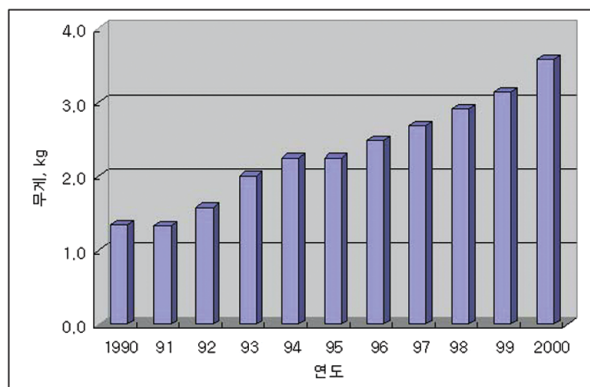


그림 5. 북미지역 자동차 1대당 사용된 평균 마그네슘합금의 적용량의 변화.

연구프로그램으로는 USCAR Magnesium 프로젝트와 Magnesium Powertrain Cast Component (MPCC) 프로젝트가 진행되고 있으며, USCAR, USAMP, DOE 및 북미 자동차 주요 3사의 지원 하에 차체, 내장재, 외장재 및 동력전달계 부품 등을 중심으로 기존 소재의 대체를 위한 연구를 진행하고 있다.

최근에는 'Freedom Car' 라는 프로젝트를 통해 연료전지 자동차 및 차체의 경량화를 위해 연구개발을 진행하고 있다. 일본의 경우 마그네슘합금의 최대 수요처는 휴대폰, 노트북 등의 휴대용 가전기기이며 자동차 부품의 적용은 유럽 및 미국에 비하여 상대적으로 활발하지 못하다. 마그네슘합금 부품의 최초 적용사례는 1960년 마쓰다 R360 (360cc 16마력의 공랭식 엔진)으로서 이 자동차에는 총 7개의 부품에 적용되었는데 clutch housing, transmission case가 사형주조로 제조되었으며, cooling fan, front cover, crank case vent cover, oil pan, rocket

cover 등 5개의 부품이 다이캐스팅으로 제조된 바 있다. 그 후 도요다에서 200GT의 wheel, 1989년에 렉서스의 steering wheel core, 1991년 크라운 등의 cylinder head cover, 1993년에 스피러에 brake pedal bracket, 2000년 세르시오의 seat frame, 2001년 카무라의 air bag plate 등에 마그네슘합금이 적용되었다.

주된 적용 부품은 용접부품을 다이캐스팅법으로 일체화한 부품으로 이를 통해 생산성을 향상시키고 경량화 효과를 기대하는 부품으로 집약되어 있다. 표 6은 일본 완성차 업계에서 적용하고 있는 마그네슘합금 부품을 나타낸 것으로 미국 시장 내 시장점유율 2위를 노리는 도요다가 가장 적극적으로 마그네슘을 적용하고 있음을 알 수 있다.

2.2 국내의 현황

경량 구조용 소재로서 마그네슘 관련 기술 개발을 활발하게 진행해온 선진국에 비하여 1980년대 말까지 국내에서는 일부 연구소 및 대학에서 항공기용 Mg-Li 합금 설계에 관한 연구만이 제한적으로 진행되어 왔다. 그러나 1990년대에 들어서면서 자동차용 재료로서 마그네슘합금의 중요성이 인식되면서 정부 차원의 선도기술개발사업과 공업기반기술사업을 통해 마그네슘합금 부품 제조기술을 개발하기 위한 연구가 시작되었다. 본격적인 국내 마그네슘 관련 기술 개발의 시발점이 되었던 이 연구개발사업에는 국내 3대 완성차 제조업체인 현대, 기아, 대우의 주요 부품업체 및 연구소, 대학 등이 참여하여 다이캐스팅 공정을 이용한 부품(그림 6) 제조기술 연구를 수행하였으며, 이후 용해 및 주조기술, 합금 설계기술, 부품 제조기술, 재활용기술, 표면처리기술, 특성 평가기술 등의 관련 기술 전반에 걸쳐 체계적인 연구가 수행되고 있다.

표 6. 일본 자동차 업체의 마그네슘합금 부품 적용 예(2000. 5)

Parts Name	TOYOTA	NISSAN	MITSUBISHI	HONDA	MAZDA	SUZUKI	DAIHATSU	ISUZU
Cylinder Head Cover	○◇□			○		○◇□	◇	○◇□
Oil Filter Bracket	○							
Brk. Clutch Ped. Brack.	○							
Steering Hand. Lock Hsg.	○	○	○	○	○			
Steering Wheel	○		○	○	○	○		
Road Wheel	○				○			
Pass. Air Bag Retainer	◇							
Seat Component								○
Oil Pan				○				
ECU				○				
Steering Column brk.	○							
Seat Back	○							

○ : 국내생산, ◇ : 수입, □ : 해외 생산차

초기 국내 마그네슘합금 부품 제조기술과 관련한 연구 개발이 자동차 부품을 중심으로 진행되었던 것에 반하여 실제 마그네슘합금 부품의 적용은 휴대폰, 노트북 케이스, CD player 케이스 등의 휴대용 가전기기에서부터 시작되었으며, 현재에도 가장 적용량이 많은 분야가 휴대용 가전기기 케이스류이다. 국내에서 마그네슘합금 자동차 부품이 본격적으로 적용된 것은 1998년 이후로 현재 steering wheel core, air bag housing, pedal bracket 등에 적용되고 있으며, seat frame, instrument panel 등으로의 적용이 추진되고 있다. 표 7은 국내 마그네슘합금 자동차 부품 생산업체 현황을 나타낸 것이다.

3. 향후 전망^[7-13]

그림 7은 전세계 다이캐스팅용 마그네슘합금의 수요량 변화를 나타낸 것으로, 당분간 연평균 12% 이상의 성장율을 나타낼 것으로 예측되고 있다. 이는 자동차 경량화에 대한 요구가 증대됨에 따라 초기 중·소형 부품에서 점차 대형 부품으로 마그네슘합금의 적용 분야가 확대되고 있을 뿐만 아니라 적용 부품 또한 기존의 case 및 cover 류에서 seat frame, instrument panel, steering wheel, engine component 등으로 다양화되고 있기 때문이다.



그림 6. 국내 독자기술로 개발한 마그네슘합금 자동차 부품: (a) cylinder head cover (b) transmission case.

표 7. 국내 마그네슘합금 자동차 부품 제조사 현황

업체명	주요생산품목		마그네슘 전용설비
	전자부품	자동차부품	
(주)보고 마그네슘	<ul style="list-style-type: none"> ○ 휴대폰케이스 ○ EMI shield ○ 노트북케이스 ○ 디지털 캠코더 케이스 ○ 광 Pickup 부품 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Air Bag Housing 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hot chamber 10대 ○ Cold chamber 4대 ○ MSDC 1대
(주)신창전기 마그네슘 사업부	<ul style="list-style-type: none"> ○ MD 케이스 ○ 노트북 케이스 ○ 휴대폰 케이스 ○ 프로젝터 커버 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Key Set Lock Body ○ Pedal Bracket 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hot chamber 12대 ○ Cold chamber 1대
(주) NSC	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ Steering Wheel Core ○ Lower Arm ○ Seat Frame 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cold chamber 2대 ○ Rheocasting 1대
Gibbs Korea	-	<ul style="list-style-type: none"> ○ Steering Wheel Core ○ Air Bag Housing ○ 내충격부품 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저압주조기 3대 ○ Cold chamber 10대

현재 마그네슘합금 자동차 부품 제조기술과 관련하여 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야는 내열 마그네슘합금을 적용한 engine 부품 개발 및 가공용 소재를 적용한 body 및 chassis 부품 개발 분야이다.

자동차용 재료로서 마그네슘합금이 가지는 가장 큰 장점은 무게가 가볍다는 점이며, 마그네슘합금을 적용하여 경량화 효율을 향상시키기 위해 경량화 효율이 가장 큰 구동부품(transmission case, engine block 등)에의 적용이 활발하게 추진되고 있다. 그러나 상용 마그네슘합금(AZ91, AM60 등)은 고온 특성이 열악하여 사용온도가 150℃ 이상인 automatic transmission이나 engine 부품에 적용하기가 곤란하다.

따라서 고온강도 및 내크리프 특성이 우수한 새로운 합금 개발이 절실히 요구되며, 독일(이스라엘), 캐나다, 영국을 중심으로 내열 마그네슘합금을 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있고, 국내에서도 한국기계연구원, 서울대, 포항공대, 부산대 등이 저가의 내열 마그네슘합금을 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다.

이러한 노력의 일환으로 이스라엘의 DSM, 캐나다의 Noranda 등에서 기존 상용 합금과 비교하여 어느 정도 가격 경쟁력이 있으면서 고온 특성이 우수한 신합금을 개발하였으며, 일부 합금의 경우 주요 자동차 제조업체의 시제품 개발에 적용되고 있다.

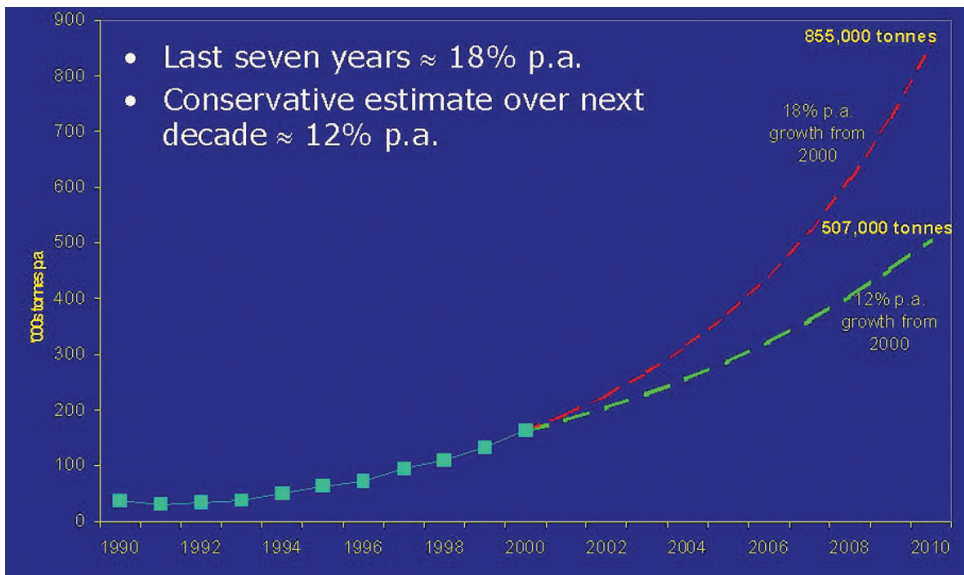


그림 7. 다이캐스팅용 마그네슘합금의 수요량 변화.

내열 마그네슘합금 관련 기술 개발과 함께 가공용 마그네슘합금을 자동차의 body 및 chassis 등에 적용하기 위한 연구가 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 그림 8에 나타난 바와 같이 2002년 4월 Volkswagen사는 마그네슘합금 및 알루미늄합금을 적용한 “1 Liter Car”의 개발을 발표하였다. 그림 8과 같이 마그네슘합금 주조재와 더불어 압출재 및 압연재 등이 채택되었으며, 향후 압출재, 압연재, 단조재 등의 가공용 마그네슘합금 제품의 적용이 급격히 증가할 것으로 예상된다.

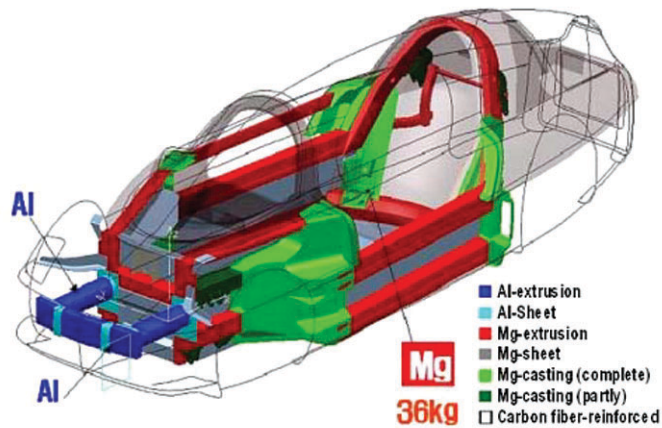


그림 8. Volkswagen사의 “1 Liter Car”에 적용된 소재의 종류.

4. 결 론

앞서 살펴본 바와 같이 마그네슘합금은 다양한 자동차 부품에 적용되고 있으며, 향후 그 적용범위는 지속적으로 확대될 것으로 예상된다. 특히, engine valve cover, engine head, engine block 등의 엔진 부품에 마그네슘합금을 적용하기 위해서는 고온특성과 내식성이 향상된 새로운 마그네슘합금의 개발이 절실히 요구되며, 자동차 내·외장재로 적용되는 경우에도 합금 자체의 경량성 뿐만 아니라 높은 강도와 인성이 요구되므로 향후 자동차 부품에 적용될 마그네슘합금은 매우 다양화될 것으로 예측된다. 마그네슘합금을 이용한 자동차 부품의 적용분야를 지속적으로 확대하기 위해서는 환경오염 억제형 대체 보호가스의 개발, 재활용기술 개발, 마그네슘합금의 강도, 인성 및 고온특성의 향상, 가공용 합금의 적용 확대 등 여러 가지 기술적 난제를 안고 있으나 마그네슘합금 부품 제조기술의 지속적인 연구개발은 자동차 경량화에 대한 가장 효과적이고 확실한 해결 방안을 제시해 줄 수 있을 것이다.

❁ 감사의 글

본 고는 과학기술부의 21C 프론티어사업 중 차세대소재성형기술개발사업단의 지원으로 작성되었습니다.

❁ 참고문헌

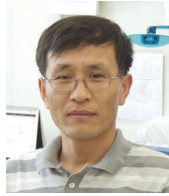
- [1] T. Chikada, 輕金屬, 40 (1990) 944.
- [2] 신광선, 김선용, 김낙준, 제1회 자동차 경량화 심포지엄, 산업과학기술연구소 (1992) 15.
- [3] 박순찬, 신광선, 대한금속학회회보, 9 (1996) 160.
- [4] 제1회 마그네슘 신기술 교육 워크샵 자료집, 한국마그네슘기술연구조합, 2004.
- [5] 마그네슘 특집호, 일본경금속협회, 51. No. 10-11, 2001.
- [6] 강민철, 김현식, 김대업, 한국자동차공학회 2003년 추계학술대회 논문집 (2003) 175.
- [7] 박순찬, 윤상훈, 신광선, 한국구조공학회지, 제 23권 (2003) 306.
- [8] 임창동, 장민용, 신광선, 이형규, 최성철, 대한금속학회회보, 10 (1997) 795.

- [9] G.S. Cole, Mater. Sci. Forum, 419-422 (2003) 43.
- [10] S. Schumann and H. Friedrich, Mater. Sci. Forum, 419-422 (2003) 51.
- [11] A.A. Luo, Mater. Sci. Forum, 419-422 (2003) 57.
- [12] T. Kaneko and M. Suzuki, Mater. Sci. Forum, 419-422 (2003) 67.
- [13] G. Dunlop, Magnesium Technology 2002, TMS (2002) 233.



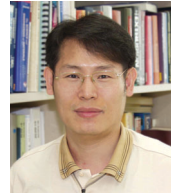
임 창 동

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



유 봉 선

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



손 근 응

- 한국기계연구원 재료연구부 선임연구원
- 관심분야 : Mg 합금개발, 주조 및 압출기술
- E-mail : khsohn@kmail.kimm.re.kr