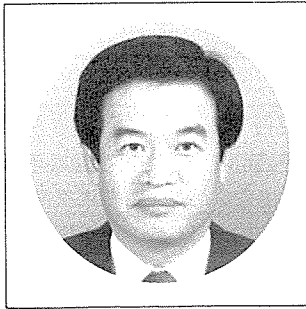


자동차용 금속재료의 현황과 전망

高性能化 · 輕量材料 各광



徐 相 箕

한국기계연구소 선임연구부장

최근의 자동차개발 추세는 소형화, 경량화, 고연료효율, 전자화, 고성능화 등을 목표로 하고 있다. 이러한 목표에 맞추려면 새롭고 용도에 알맞은 고성능재료가 요구되며 선진국에서는 새로운 재료의 개발과 함께 기존소재의 공정개선에 많은 연구개발 투자를 하고 있고 이에 따른 성과를 거두고 있다. 80년대 중반에만 해도 개발된 새로운 재료의 개발동기와 실제적용여부는 원가절감과 성능향상이 가장 중요한 요소로 작용했었다. 그러나 최근에는 세계각국에서 배기가스 규제를 본격화함에 따라 가격이 조금은 비싸지더라도 환경공해를 적게 일으키고 연비효율이 높은 승용차를 개발해야 한다는 식으로 인식이 바뀌고 있어, 자동차용 재료개발에 또 하나의 새롭고 강력한 동기를 부여하게 되었다. 자동차 배기가스 규제는 점점 더 엄격해질 전망이며 이미 미국에서는 CAFE(기업별 평균 연비 기준) 법안을 상정하여 연비효율을 향상시킬 것을 의무화하고 있을 뿐만 아니라 자동차 배기가스의 대폭적인 감소를 요구하는 「신 대기정화법」을 제정하였다. EC와 일본도 미

국 수준이상의 배출가스 기준을 설정하였다. 따라서 무공해자동차 개발노력과 병행해서 기존자동차의 연비향상이나 배기가스 감소를 위해 더 많은 연구개발 투자가 될 전망이며 이를 위해서는 엔진출력 향상, 공기저항 감소, 경량화의 방법이 있으며 그중 경량화는 연비나 배기가스 개선에 가장 효과적일 뿐 아니라 자동차소재 선택문제와 가장 많이 관련되어 있다.

현재 경량화를 위하여 사용되는 재료로는 알루미늄, 마그네슘, 티타늄, ADI(Austempered Ductile Iron), HSLA강(High Strength Low Alloy) 등의 금속재료와 플라스틱, 세라믹 등이 많이 사용되고 있다. 이중 플라스틱은 경량화를 위한 자동차재료로 각광을 받고 있으며 그 이유는 철강재료에 비하여 공구비가 저렴하고 설계와 제조공정에 유연성이 있으며 내구성이 좋을 뿐 아니라 최근 추세인 aerodynamic형인 곡선형으로 제조 가능하기 때문이다. 그러나 플라스틱과 세라믹은 그 재료로는 뛰어난 특성이 많지만 당분간은 금속재료가 여전히 자동차재료를 주도할 것이다.

우리나라의 자동차산업은 최근 10년간 급성장하여 연간 130만대가 넘는 자동차생산국으로 성장하였으나 아직도 설계기술과 소재기술은 선진국에 상당히 뒤져 있는 것이 사실이다. 특히 소재 부분에서는 새로운 재료의 과감한 도입과 연구가 필요하며 이를 위해서는 대상재료에 대한 폭넓은 지식과 세계적인 자동차회사의 동향을 파악하는 것이 매우 중요하다. 예를 들면 개발된 새로운 재료의 특성에 가장 알맞은 부품의 선정, 생산기술적 문제와 재료특성의 단점을 극복할 수 있는지 여부, 고성능 고가부품에 대한 수요자의 채택가능성, 적합한 부품가격의 수준 등을 예측할 수 있어야 한다. 새로이 부품에 적용코자 하는 소재는 보통 한가지의 뛰어난 특성으로는 기존소재를 대체하기에는 충분치 않으며 제조, 용도, 환경 등의 전반적인 성능과 가격이 중요하게 된다. 그래서 새로운 재료의 개발과 함께 값싸고 성능이 잘 알려진 기존소재를 이용하는 것도 매우 중요한 일이다. 이와 함께 표면처리에 의하여 성능개선을 추구하는 것도 매우 효과적이다. 여기에서는 미국, 유럽, 일본 등에서 자동차용으로 새로 개발되어 실제 적용되었거나 현재 연구개발중인 금속재료중에서 알루미늄, 마그네슘, 철강재 재료 등을 중심으로 기술하고자 한다. 국내 완성차 제조업체는 최근 괄목할 성장은 하였지만 아직 연륜이 짧은 관계로 새로운 재료를 개발해서 부품에 적용하려는 독자적인 노력보다는 외국의 추세에 따라가고 있는 상황이기 때문에 많은 사례를 수

집하지 못했으나 앞으로의 기본 방향은 외국과 거의 비슷하리라고 전망된다.

■ 금속재료의 최근동향

최근 엔지니어링 플라스틱의 개발로 100% 플라스틱 자동차의 출현을 예고하고 있어 일부에서는 금속재료의 수요가 감소할 것을 우려하고 있으나 일본 Toyota에서 승용차의 재료구성을 보면 (그림 1) 플라스틱의 비율이 증가하고는 있으나 88년 현재로는 80% 이상이 금속재료로 구성되어 있다.

독일 Mercedes-Benz사에서 1986년도의 재료사용비와 추정된 96년의 예측재료 사용비율을 비교하여 보면 86년 승용차의 67%가 철강이었지만 고강도강, bake-hard강, 단조성 pearlite강 등의 신강종 개발에도 불구하고 96년에는 5%가 감소한 62%로 추정되고 플라스틱류는 10년간 12%에서 18%로 사용량이 증가할 것으로 예측된다. 같은 기간동안 알루미늄은 4%에서 6%로 약간 증가할 것이며 이와같은 소폭증가는 강성, 부식성, 가격등의 문제때문이지만 소재의 재활용이 90% 이상으로 매우 높기 때문에 의외로 예상보다 높아질지 모른다.

또 이전의 자료를 분석한 결과 철 및 강재는 70년 76%로 강점에 도달한 후 계속 감소하며 플라스틱은 2045년 50~75%로 최고치에 도달할 것으로 추정되나 플라스틱이 갖고 있는 재활용률이

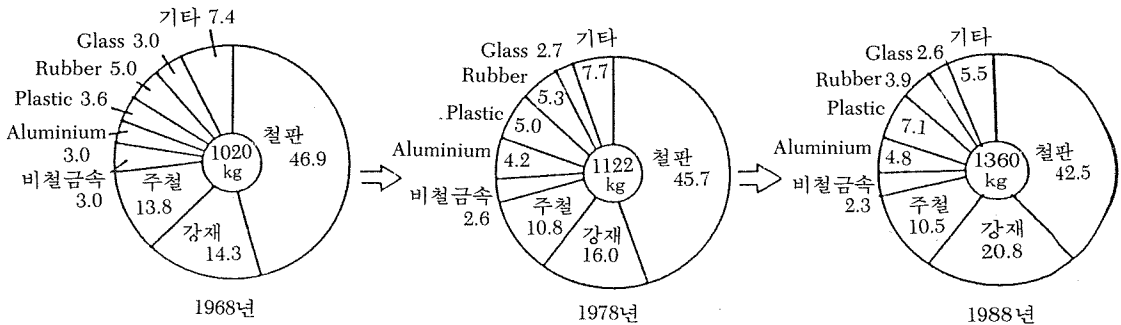


그림 1. 차량재료구성의 추이(Toyota 마크 III)

낮은 등의 단점때문에 50% 이상의 사용은 불가능할 것으로 보인다.

이상에서 판단해 보면 자동차재료는 엔지니어링 플라스틱의 사용비율이 점차 높아지고 있는 추세이지만 적어도 급세기 말까지는 금속재료가 자동차 재료로 가장 많이 쓰이는 소재로 남아 있게 될 것이고 지금은 사용량이 감소 추세이지만 여전히 철강계 소재가 대부분을 차지할 것이다.

1. 알루미늄

알루미늄 합금은 최고 경량화가능율이 40%에 이르고 재료의 재활용율이 90% 이상되며 기존 자동차 생산라인 설비를 약간의 개조 혹은 그대로 사용할 수 있는 등의 장점이 있어 자동차 차체용 뿐아니라 엔진재료로의 사용에 대하여도 폭넓은 연구가 진행되고 있다.

승용차에 알루미늄 합금이 채용된 역사를 살펴

보면 승용차에 알루미늄 합금으로 body panel을 제작한 것은 Ford pomeroy(1923)가 최초로 기록되어 있다. 그후 BMW, Rover, Benz 등이 문, 후드, 트렁크 등의 보디의 대부분을 알루미늄으로 사용하였으나 가격이 비싸 일부 고급 차종을 중심으로 제한적으로 사용되었다. 그후 73년의 석유위기후 에너지절약 및 연비향상과 안전, 배기가스, 소음규제 등의 대책으로 차체무게를 줄이기 위해서 알루미늄의 사용이 활발하게 검토되어 오고 있다.

특히 최근 미국의 CAFE의 규제강화 움직임에 따라 경량화는 필히 요구되며 그 수단으로 알루미늄의 사용이 시급이 검토되고 있고, 차체중량의 큰 비율을 차지하고 있는 보디에서는 알루미늄 사용은 가속화될 것으로 보인다. 그 예로 89년 일본 Honda에서는 NSX sport car를 100% 알루미늄 차체로 제작하여 양산중이며, 그의 세계 각

표 1. 최근의 auto-show에 전시된 Al body차

국 명	제조회사	차 종	부 품	사 용 재 료
서 독	Porsche	928	Hood, fender, door	AC120(6016)
	Benz		Hood, 트렁크	Al-Mg-Mn
이 태 리	Ferrari	테스터로사	Hood, rear fender	AC120, 5xxx
	람보기니	카운다크	외판 전부	5xxx계, 6xxx
	차가드	스텔비오	"	
영 국	Ac Cobra	Cobra	front 외판	5xxx
	Land Rover	렌나로버	전후 fender	"
		Vogue 3.9	door, roof	"
Sweden	Volvo	760 GLE 740 GTE 440	Hood, 트렁크 " 뒤문	5xxx, 6xxx
미 국	G.M	캐딜락	Hood, 트렁크 roof	Ac 120, 5xxx
	그라만 올슨	L.L.V	외판전부	3xxx, 5xxx
일 본	Mazda	New Savanna	hood,	5xxx, 6xxx
		RX-7	"	"
		MX-5	"	"
	Nissan	Fair lady	fender	6xxx
		Sky line	외판전부	"
	CT-R	"	"	
	Honda	NS-X	"	"

국이 알루미늄 차체를 제작하여 양산중이다. 표 1은 세계 각국의 알루미늄체용 자동차에 대한 것이다.

차체용 알루미늄은 많은 종류가 개발되어 있지만 강도, 성형성, 내식성, 용접성, 표면처리성, 외관등의 재료특성에 있어서 냉연강판이상의 성능이 요구되며 이와함께 시설비절감을 위하여 현재의 자동차 제조라인에 적용 가능한 Al재료 및 그 처리방법까지 요구되고 있다. 현재까지 body panel 용으로 개발된 재료는 2xxx(Al-Cu), 4xxx(Al-mg), 6xxx(Al-Mg-Si) 등의 재료가 있다. 2xxx계열은 강도가 높지만 내식성이 약하고 5xxx 계열은 내식성은 뛰어나지만 stretcher strain의 발생과 bake-hard성의 개량이 요구되는데 비하여 6xxx 합금은 내식성과 성형성, 기계적 성질이 좋기 때문에 Volvo 760GLE와 GM 6000 TSE 등의 외장 panel로 실용화가 진행되고 있다.

89년 일본 Honda XSX 차종에 차체를 모두 알루미늄으로 대체하여 140kg의 경량화를 이루었고 표면 윤활의 정도에 의해 성형성이 좌우되므로 면조도와 윤활유의 조건을 맞추어서, 알루미늄 합금판도 강판과 같이 표면을 거칠게한 roll에서 제조된 laser dull sheet을 사용하여 플라스틱이나 강판과의 경쟁력을 높이려고 노력하고 있다.

일본에서는 90년대 중반부터 차체용 알루미늄의 수요가 급격히 증가할 것을 대비하여 원재료인 알루미늄 주괴를 비축하고 있을 정도이나 국내에서는 아직 알루미늄 차체 적용에 대하여 시도된 바가 없다.

알루미늄합금은 차체용 뿐아니라 알루미늄합금 그 자체 혹은 SiC, 알루미늄나 섬유 등으로 강화한 복합재료로서 엔진용으로도 많은 연구가 진행되었다. 이것은 알루미늄 합금이 저밀도, 고내식성을 갖고 있으며 성형성과 주조성, 열전도성이 우수하기 때문에 이를 이용한 부품에는 에어컨용, 컴프레서, 베어링, 래디에이터, 인테이크 밸브, 코네팅로드, 피스톤, 드라이브샤프트, 실린더 블록 등 많은 부품이 있다. 미국의 Chrysler사에서는 Viper V-10엔진에 120kg의 알루미늄 합금 부품을 사용하였는데 이는 미국에서 제작된 어느

차 보다도 많은 양의 알루미늄이 사용된 것이다. 사용부품은 cylinder block, head, dual throttle body, front cover, oil adapter, intake manifold 등이다. 특히 cylinder block을 알루미늄으로 대체하여 큰 경량화를 이룰 수 있었다. al cylinder block은 주철 liner를 사용하거나 혹은 liner 없이도 제작 가능한데 이때 liner로 주철을 쓰면 내마모성이 우수하고, liner없이 block을 과공정 Al-Si 합금으로 제작하면 무게감량 효과는 커지나 마모량이 많아지고 제조단가가 비싸다.

Cylinder block을 알루미늄 합금으로 제조하는 것이 경량화측면에서 유리하였으나 내마모성이 나빴기 때문에 이를 개선하기 위하여 일본의 혼다사는 알루미늄나 Graphite단섬유 강화 알루미늄 liner를 사용한 알루미늄 cylinder block을 개발하였다.

국내에서는 아직 MMC(Metal Matrix Composite)에 의한 cylinder block 개발에는 미치지 못하였으나 기존의 회주철인 FC25를 알루미늄으로 대체하는 제조연구가 진행중이다. 주철, 알루미늄 그리고 MMC block의 무게와 출력과의 관계를 보면 주철이나 알루미늄보다 MMC 복합재료로 cylinder block을 제조할 경우 출력무게, 성능면에서 우수하였다.

엔진부품에 알루미늄합금을 이용한 또다른 예로 valve 부품이 있다. Toyota에서는 연비향상과 소음감소를 위해서 valve lifter를 단조 알루미늄 합금으로 제작하였다(32 valve IUZ V8 engine Toyota Lexus). Valve train의 무게감소로 스프링의 하중이 감소하고 camshaft를 기동하는데 필요한 torque가 감소하여 소음감소와 함께 연비가 증가하였다. Valve train에서 밸브 자체가 가장 무거운 부품이지만 valve lifter의 무게도 26%를 차지하고 또한 비교적 저온에서 사용되므로 밸브보다 알루미늄으로 대체하기 적합하다고 생각되어 150℃(lifter의 최고온도)에서도 좋은 강도와 내마모성을 갖는 Al-Si-Cu 단조합금(4T 12)에 Strontium을 첨가(9Si입자 미세화)하여 제조한 결과 train 전체무게가 15% 감소하고 camshaft torque는 11% 감소하여 1.0~1.2%의 연비증가와 소음의 현격한 감소효과를 얻을 수 있었다.

종래 강으로 제조되던 부품을 알루미늄으로 대체 시도한 것에는 compressor rotor가 있다. 스미또모 전기에서는 알루미늄으로 에너지용 컴프레서의 제작을 시도하였는데, compressor rotor는 강과 같은 강도를 가지면서 실린더 내부와의 기밀성을 유지하기 위해 열팽창계수가 작은 재료가 요구되기 때문에 2024 합금에 17~20%의 실리콘과 소량의 철, 니켈을 첨가한 2024 합금분말을 CIP 성형후 열간압출로 near-net-shaping하여 제조하였다. 그결과 40%의 무게를 감소시킬 수 있었다. 이외에도 분말을 이용하여 자동차 부품제작에 이용하려는 연구가 많이 진행되고 있으나 특히 급냉응고된 알루미늄 분말로 near-net-shaping하여 intake valve, connecting rod, 피스톤 제작시 내열성, 내마모성, 강도등의 증가가 예상되어 이에 대한 연구가 진행중이다.

알루미늄 합금의 또다른 특성으로는 높은 열전도도를 갖는 것인데 비슷한 열전도도를 갖는 구리합금과 비교해 볼 때 1/3의 비중을 갖기 때문에 열전도도가 요구되는 라디에이터에 알루미늄 사용은 상당히 오래전부터 고려되어 왔으나 소재 가격과 제작상의 어려움, 그리고 내식성이 문제가 되어왔다. 특히 제작시 flux를 사용할 경우 잔존 flux가 부식을 일으켰으나 진공 brazing법의 개발로 flux에 의한 부식문제가 해결되었으며, 운행중 인산염계 부식억제제와 규산염계의 안정제 첨가로 수명이 구리 라디에이터보다 더욱 길어졌고 무게는 50%이상 감소되어 Ford에서는 92년까지 전차종에 대해 알루미늄 라디에이터로 대체할 예정이다.

현재 flux를 쓰지 않는 불활성가스 brazing법과 부식을 일으키지 않는 flux공법에 대한 연구도 진행되고 있어 알루미늄 라디에이터는 더욱 확산될 전망이다. 우리나라에서도 80년대 후반부터 알루미늄 라디에이터를 사용하여 왔으며 최근들어 전차종에 이용이 확산되고 있다.

한편 기존소재를 알루미늄으로 대체하여 경량화시키려는 노력과 함께 생산기술의 개발로 기존 Al부품의 성능을 향상시키는 방법도 연구되었다. Al/Al-Pb 베어링은 주 베어링과 crank pin 베어링

에 많이 사용되어 왔으나 최근 고출력 경량엔진을 사용함에 따라 베어링에 걸리는 하중이 커져서 새로운 재료로의 대체가 필요하게 되었다. 일본의 Daido Metal사에서는 bonding법에 의하여 Pb의 분포를 균일하게 하고 입자들간의 adhesion을 증가시키는 공법으로 피로수명을 30%이상 증가시켰다. Daido Metal사에서는 Al-Zn-Si합금(Alloy A4Z)으로 내마모성은 크게 개선되었으나 피로에 의한 파괴가 가끔 일어났다. 한편 Al-4.0Zn-6.0Si-1.2Cu-1.0Pb-0.5Mg 합금으로 제조된 베어링은 A4Z 합금보다 피로강도가 10% 증가하고 Cavitation, 고온기계적성질이 우수하였으며 이에 따라 고부하엔진에 사용을 고려중이다.

기계적성질의 이방성과 높은 강도를 갖는 것으로 알려진 알루미늄, SiC 섬유강화 알루미늄 composite 역시 connecting rod, rocker arm, piston, drive shaft 등에 응용이 연구되고 있다. Chrysler에서는 진공침투법에 의한 알루미늄 강화 Al-Li-composite로 connecting rod 제조를 연구중이고 Honda에서는 pin의 wear-ring에 알루미늄기지 composite의 사용을 고려중이다. 그의 drive shaft와 piston에 알루미늄기지 MMC를 사용하여 좋은 결과가 얻어졌다.

MMC drive shaft는 Hercules와 Dana에서 공동 개발되었는데 주목적인 중량감소외에도 1piece로 되어 있어 center bearing을 쓸 필요가 없는 것이 장점이다. 이 부품은 현재 GM Chevrolet two-wheel-drivepickup truck에 사용되고 있고 그의 truck, van, 승용차 등에도 사용될 예정이다. Piston에 MMC의 사용은 경량보다는 고온성능 향상을 이유로 시도되었다. SiC 강화재로 만든 piston crown이나 ring lands는 상온 인장강도는 알루미늄 합금과 큰 차이가 없으나 고온강도가 높고 열팽창계수가 작아 유리하다. PM(Powder Metallurgy)에 의한 공적성시 자동차용 MMC의 제작법으로 사용된다. Alcoa에서 SiC 단섬유강화 Al PM부품을 연구하였는데 자동차 업계에서는 상당한 흥미를 나타내었으나 가격이 비싸 큰 호응을 얻지 못하고 있다.

기존 알루미늄 보다 강도가 높고 경량이어서

차세대 항공기재료로 각광받고 있는 Al-Li 합금을 자동차부품에도 응용하고자 하고 있으나 Al-Li 합금의 값이 아직은 너무 비싸고 자원 재활용에 대하여 충분히 알려져 있지 않아 가까운 시일 내에 Al-Li 합금이 자동차에 이용될 수 있을 확률은 매우 낮다.

2. 마그네슘

마그네슘의 일반적인 특성을 살펴보면 우선 비중 1.8의 가장 가벼운 금속으로 철(비중 7.85), 알루미늄(비중 2.7)에 비하여 무게를 현저히 감소시킬 수 있을 뿐아니라 상온과 고온에서 강성과 강도, damping 성능이 좋기 때문에 엔진재료로서 유망하다. 또한 마그네슘을 쓸 경우 자체 무게감소에 의한 연료절감 뿐아니라 감속과 감속성능이 좋고 관성이 적어 급회전시 차체가 뒤집어지는 것을 막을 수 있는 특성이 있어 오래전부터 경주용차에 많이 이용되어 왔으며, 최근 차량 고급화와 경량화 추세에 따라 마그네슘 합금사용시 경량화 효과와 특성을 검토하기 위하여 가장 많이 쓰이고 있는 마그네슘 합금인 AZ91D를 4가지 열가소성 수지와 비교한 연구결과가 발표되었다. 30% glass filled polyethylene terephthalate(PET), acrylonitril butadiene styrene(Hi-Heat ABS), 30% glass filled polybutylene terephthalate(PBT), 30% glass filled polyamide(nylon 6/6)의 4가지 수지와 AZ91D의 가격, 제품성능, 설계 및 부가가치에 대하여 비교한 값을 그림2와 3에 나타내었다.

단위무게당 가격은 PET Hi-Heat ABS와 AZ91D가 거의 비슷하나 단위 부피당가격은 PET가 가장 저렴하고 다음이 마그네슘 합금으로, 다른 비교된 수지들 보다 훨씬 경제적인을 알 수 있다. 이것을 같은 stiffness를 얻는데 필요한 단가를 기준으로 비교해 보면 마그네슘은 가장 비싼 수지인 nylon 6/6의 8%에 불과한 것을 알 수 있다. YS와 UTS는 가장 좋은 다른 것의 339%, 440%에 해당하는 높은 값을 갖는다. 특히 무게비 stiffness는 매우 뛰어나 다른 수지보다 1,150%의 차이를 보이고 있다. 내식성도 큰 문제가 없으며 그리고 얇고 복잡한 일체형 부품, 불균일한 두께, 치수허

용 등의 면에서 마그네슘이 유리하였다.

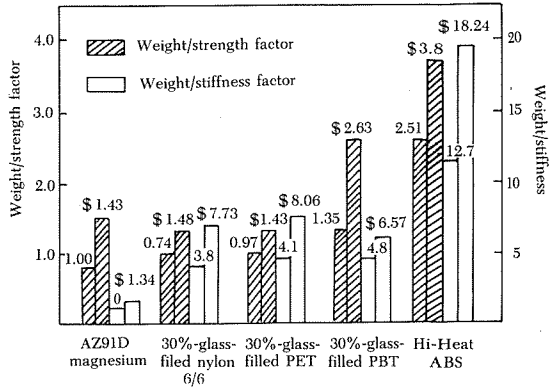


그림 2. 재료별 무게와 가격

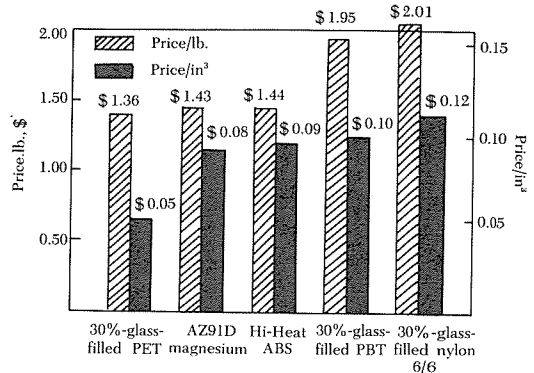


그림 3. 재료별 가격

마그네슘 합금이 승용차에 사용된 역사는 상당히 오래되었으며 본격적으로 채택한 것은 독일 Volkswagen(1946)이 효시이다. 공냉식 엔진인 이차에는 crankcase, transaxle housing, timing gear 등 18~23kg의 마그네슘을 사용하였으나 수냉식 엔진 개발이후 마그네슘은 승용차에는 더이상 사용되지 않았다. 그후 1967년 Fiat, 1970년 Porsche 914/6에 고압 die cast AM 60A 마그네슘 wheel을 승용차에 사용후 본격적으로 사용되기 시작하여 1980년까지 32종의 마그네슘 wheel이 상용으로 제조되었고, 1986년 Porsche에서는 저압 die cast 법에 의하여 AZ91D-T4 마그네슘 wheel이 road

test 결과 부식성은 크게 문제가 되지 않았다. Volvo 164E에 마그네슘 wheel 장착후 미국과 멕시코에서 177,000km 주행후 조사하여 본결과 무게 조절형 납추 바로 밑에 심하게 부식된 것 이외에 우려할 만한 부식은 일어나지 않았다.

Honda에서는 저압 die cast법 대신 진공 die cast법으로 AM 60B wheel을 주조하여 주조결합과 신뢰성을 높일 수 있었을 뿐아니라 생성된 chill층에 의하여 공기기밀성, 내식성, 강도가 증가되었다고 보고하였다. 또한 마그네슘 사용으로 알루미늄 wheel(7.5kg)보다 20%(2.6kg) 경량화 되었을 뿐아니라 주조시간 단축, gate 절단, 가공속도가 빨라지고 설계변경으로 가공시 chip이 22%에서 10%로 감소하는 부수적인 효과도 얻어졌다. 주조합금을 이용하여 wheel외에도 외부 부식성 분위기와 접촉하지 않는 내부용 부품제조에 주로 이용되고 있다. GM "W-car"인 Cutlass Supreme, Pontiac Grand Prix, Buick Regal 등에 clutch-pedal, brake peda, steering column bracket을 마그네슘 합금으로 교체하였다. 원래 이 부품들은 강판을 stamping 용접하여 사용하였으나 마그네슘으로 교체후 중량이 13.7kg에서 9.8kg으로 3.9kg이나 가벼워졌다.

뿐만 아니라 피로특성도 원래 설계치보다 3배이고 페달과의 미끄럼에 의한 마모문제도 해결되었다. 그외에도 최근 독일의 Mercedes Benz사에서는 신형 roadster의 좌석구조물을 고순도 마그네슘 die cast(AM 20, AM 50)로 제조하였다. 초기에 강판을 stamping하여 용접하는 방법으로 시도하였으나 무게에 비하여 강성이 나빠서 유리섬유강화 SMC, 탄소강(St 52-3 grade), 탄소강(St 14), Al-Mg-4.5Mn(AA 5083) 알루미늄합금, 그리고 압력 die cast 마그네슘합금(AM 20, A 50)에 대하여 가능성을 검토하였다. 그결과 Mg die cast 공정이 금속 혹은 plastic 판재보다 설계치수, 표면상태와 경제면에서 유리하였다. 또한 마그네슘 압력 die casting 부품은 알루미늄 중력 die cast보다 생산가격이 저렴하고 경량이므로 마그네슘 압력 die casting법으로 부품을 제조하여 강성과 내식성, 성능에 있어서 좋은 결과를 얻었다.

마그네슘 합금은 경주용 차를 중심으로 오래전부터 엔진부품으로 사용되고 있었으며 최근 그 이용이 확대되고 있다. Oldsmobile의 "BE" Super Heavy Duty Quad 4엔진의 Cylinder block과 head, oil sump, camshaft, front cover 등을 Mg합금으로 대체하여 이 5가지 부품에서만 25kg(12.5%) 경량화 시켰다고 보고하였다.

이들 부품과 같이 움직이는 부품에서는 무게가 감소하면 그 자체 무게외에도 그를 지지하는 구조물의 무게감소가 가능하기 때문에 경량화에 매우 가치가 있다. 예를 들면 바퀴무게가 1kg감소하면 차체의 무게는 1.75kg이 추가로 감소된다. 마찬가지로 Oldsmobile 엔진에서도 25kg의 경량화뿐 아니라 설계변경에 의한 추가 경량화가 가능하다.

추후 자동차용 마그네슘합금의 수요확대는 내식성 개선에 달려있다. 현재 마그네슘합금은 부식이 쉽게 일어나기 때문에 integral seat 등 용도가 한정되어 있으나, 부식이 잘 일어나지 않는 저불순물 마그네슘합금 등의 개발에 관심이 모아지고 있다. 또한 극경량인 Mg-Li 합금의 개발도 새로운 용도 개발에 한몫을 할 것으로 보인다. 다만 이 합금의 문제점은 저온 creep현상(70°C), 과시효, instability 등의 문제가 남아 있는데 이것은 thermomechanical 처리와 합금원소(Al, Cd, Ag, Zn) 첨가에 의하여 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 현재 미국자동차 1대당 평균 1kg의 마그네슘합금이 사용되고 있으며 그중에서도 일부만이 엔진에 사용되고 있기 때문에 극히 일부분에 불과하나 Dow Chemical에 의하면 마그네슘 Die cast 부품이 자동차에 이용되는 비율이 최근 3년간 평균 35%씩 성장하고 있는 만큼 추후 경량화에 큰 역할을 할 것으로 생각된다.

현재 엔진부품에는 위의 부품외에도 transmission 과 differential housing, cylinder head liner, intake manifold, rocker arm cover, intake adapter, induction system, steering column shroud, four-wheel-drive transfer-case housing 등에 이용되고 있다. 이와 같은 추세에 따라 국내에서도 기존 알루미늄으로 제조하여 사용중인 transmission hou-

ing 을 마그네슘으로 대체하여 경량화시키려고 시도되고 있다.

3. 철강재료

철강재료는 현재 자동차재료로 가장 많이 사용되고 있는 재료로 일부부품에 대하여 플라스틱이나 다른 금속재료로 대체하려 하고 있음에도 불구하고 아직 자동차전체의 70% 이상이 철강재료로 구성되어 있을 정도로 많이 쓰이는데 그 이유는 자원이 풍부해 오랜기간동안 가용자원이었고, 자원재활용, 저장 그리고 철강에 관한 풍부한 경험과 지식등이 철강재료가 계속해서 사용되는 이유이다. 또한 충격시 에너지 흡수, 대량생산 용이성 등의 장점이 있는데다가 소성 변형성까지 포함된다면 왜 철강재가 자동차재료로 중요한 몫을 차지하는지 쉽게 이해가 된다. 이와 함께 계속적인 생산기술과 고성능소재의 개발로 철강재는 당분간 중심적인 위치가 유지될 것이다. 철강재료는 강판의 경우 이외에는 경량화보다는 성능향상과 생산성향상에 초점이 모아지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 분말야금에 의하여 자동차부품을 제조하는 방법이 엔진부품을 중심으로 연구되고 있는데 특히 분말야금 기술에 의하여 connecting rod와 camshaft를 제조하는 새로운 생산기술이 개발되어 많은 관심을 끌고 있다.

Camshaft에서는 종래의 일체형 단조품을 cam은 PM법으로 shaft는 steel tube로 각각 제작하여 두개를 brazing 혹은 plastic으로 접합하여 속이 빈형태로 제조하므로써 경량화와 생산효율 향상에 성공하였다. 국내에서도 개발에 성공하여 곧 사용될 예정이다.

Connecting rod는 종래에는 강을 열간단조하여 제조하였는데 제조원가 절감과 경량화를 위하여 알루미늄, 티타늄, MMC, ADI 등의 재료로 대체하고자 하였으나 큰성과는 얻지 못하였으며 오히려 기존의 철강재를 분말단조에 의하여 제조하여 좋은 성과를 얻고 있다. 분말단조에 의하여 connecting rod를 제조하는 방법은 70년대초에 개발되어 80년부터 Toyota Camry, Lexus와 Porsche에 사용되어 왔으나 절단, 연삭 등의 정밀가공을 거

쳐야 하기 때문에 생산비와 효율에 문제점이 되어왔다. 최근 이것을 분말단조에 의한 near-net-shaping후 인위적인 균열을 발생시켜 고가의 연삭가공공정을 없애고 아울러 베어링의 수명도 향상되어 원가절감과 성능이 크게 향상되었다.

Ford사에서는 이 기술로 제작된 connecting rod를 4.6 liter overhea-cam modular V-8 engine에 사용하고 있으며 향후 1.9 liter "Zeta" engine을 포함한 모든 새로운 엔진에 사용할 예정이다. 이 방법을 더욱 개선하여 분말야금의 특성인 preform 성형시 미리 균열을 만들어 생산효율을 향상시키는 방법도 독일에서 개발되었다. 국내에서도 분말야금 connecting rod 개발이 기업과 연구소 공동으로 진행중이다.

HSLA강을 단조하여 자동차 부품을 제작하는 연구도 계속되고 있다. 특히 quench tempering없이 단조품의 강도를 증가시키기 위하여 여러방법이 과거 20년동안 고안되었다. 제1세대 HSLA강 단조품은 V이나 Nb를 미소량 첨가하여 시효경화하는 방법으로 독일은 49Mn VS3(0.47C, 0.20Si, 0.72Mn, 0.060Sm, 0.10V)으로 1970년대 초반 con-rod를 제작하였다. 그러나 이 방법은 충격인성이 나빠서 탄소함량이 낮은(0.1~0.3wt%) ferrite-pearlite 조직 혹은 침상 ferrite 조직으로 제조하는 방법을 사용하였다. 이때 Ti첨가로 입자성장을 억제하고 0.1%의 Mo 첨가로 pearlite 형성을 억제하였으며 이것이 제2세대 HSLA 재료이다.

제3세대 HSLA 재료는 단조후 단조온도에서 직접 급냉하여 lath형의 martensite 조직을 갖게 하는 것이었다. 입도조절을 위하여 Nb를 첨가하여 Mf온도가 200℃가 되도록 조성을 조절하면 경도 38~43Rc와 좋은 인성을 갖는 조직을 얻을 수 있다. 피츠버그 대학에서는 직접 급냉법에 의하여 con-rod와 suspension control arm의 대량생산 공정을 연구하였으며 그결과 quench-tempered AISI 1541단조품과 필적할만한 강도와 인성을 갖으며 피로수명은 200×10^6 cycle로 quench-tempering 한 것의 80×10^6 cycle보다 우수한 단조품을 제작하였다. 이와같이 열처리를 하지 않았으므로 공정단축, 열처리 변형제거, 절삭성향상

등에 의해 connecting rod외에도 camshaft, steering 부품, gear 등에 많이 이용되고 있다. 우리나라에서도 이러한 미소합금강을 이용하여 crankshaft와 connecting rod를 개발중이다. 이와 함께 ADI 소재를 이용하여 camshaft, crankshaft, connecting rod 등의 단조재를 대체하려는 노력도 진행중이며 특히 camshaft는 조만간 실차에 적용될 예정이다.

이러한 새로운 철강재료의 개발뿐만 아니라 강재의 표면처리 기술발달도 철강재의 수요를 지속시키는 요인이 되고 있다. 외판재의 가장 중요한 특성은 내식성으로 강의 부식방지를 위해 가장 많이 사용되는 것이 아연도금법이다. 자동차용재료에 있어서 도금증량은 $20\sim 120\text{ g/m}^2$ 으로 그 수요는 증가하고 있다. 이러한 수요에 부응하기 위해 지난 수년간 US Steel은 새로 180만톤의 전기 아연강판의 생산라인을 증설하고 용융 아연도금 설비도 증설하였다. 전기아연강판이 처음 생산되었을 때 업계에서는 용융아연강판의 수요가 줄어들 것으로 생각하였으나 전기아연강판과 함께 용융 아연강판의 수요도 증가하여 1987년 미국에서 기록적인 320만톤의 용융아연 강판이 자동차제조에 사용되었으며 물론 전기아연강판은 공급이 모자라 생산되는 대로 수요되었다. 이들 두 강판은 서로 경쟁되는 것이 아니라 수요처가 일부 중복되는 부분도 있지만 용도가 다르게 사용되고 있다. 즉 전기아연도강판은 노출되는 외판 그리고 용융아연강판은 보이지 않는 부분에 주로 사용된다. 전기아연도강판은 면이 매끄럽고 균일하게 아연이 도금되어 성형성, 용접성이 우수하고 도금두께 조절이 쉬우며 단면, 양면도금 등이 가능하다. 또 Zn-Ni, Zn-Fe, Zn-Mn 등의 합금도금이 가능한 장점도 있다.

아연 단일도금이 아니라 복합도금에 의하여 내식성을 향상시키려는 연구도 진행되어 Metal Coating International사는 1970년대 초에 Zincrometal 도금법을 상용화하였다. 이 coating은 금속 아연 입자를 함유하고 있는 ZnO/Cr₂O₃층위에 Zincrich 에폭시 도포를 한 것이며 사용량은 양면 아연도강판이 사용됨에 따라 감소하고 있으나 1988

년에만 36만톤 이상이 자동차용으로 사용될 정도로 인기를 끌었다. 최근 Zincrometal을 개선한 Zincroplex 복합도금이 Akzo Coating사에서 개발되었으며, 이것은 3층으로 최하층에 금속 아연층을 도금하고 Zincrometal보다 저온에서 경화되는 유기물 피복을 한 것이다.

일본에서는 전기값이 비싸 미국과 같이 두꺼운 전기아연도금을 하는 것이 어렵기 때문에 일본 자동차회사에서는 복합도금된 강을 선호하고 있어 여러종류의 복합도금이 개발되었으며 대표적인 일본의 복합도금 강판은 Zn-Ni 합금도금 위에 얇은 chromate 피막유기 silicate 피복을 하는 것으로 Nissan사는 승용차와 트럭에 이 복합 피복된 강재를 사용하고 있다. 같은 복합도금이지만 자동차 제조회사마다 차이가 있으며 Toyota사는 Nippon Steel에서 생산된 2중 전기도금 Excelite 강판을 사용하고 있다. Excelite는 Zn-15Fe위에 Zn-80Fe의 2중 합금도금한 것으로 Fe가 많은 층은 전착도장에 좋은 표면상태를 갖고 내부의 Zn의 많은 층은 perforation 부식에 저항이 큰 장점이 있으며 press 성형성도 냉연강판과 거의 비슷한 특성을 갖는다. 국내에서도 2중 복합도금 강판의 개발에 성공하였으며 조만간 상용으로 사용될 예정이다.

Body panel용으로 사용되는 강판 뿐아니라 배기계통, 연료탱크로 사용되는 강판에도 내식성을 증가시키기 위하여 용융염 전해법에 의하여 amorphous Al-25 Mn을 도포하는 법이 Sumitomo metal에서 개발되었다. 도금후 표면이 매끈하여 stamping, Spot용접성, 아크용접성이 좋고 여러 부식분위기에서 우수한 내식성을 나타내었다.

미국의 CAFE 규제나 신대기정화법에 대응하는 일환으로 철강재료에서도 공해문제를 줄이기 위하여 고성능소재로 대체하고 있다. 종래 주철로 사용하고 있던 exhaust manifold를 SUS 409 등의 내열용 스텐레스강으로 대체하는 것이 그것인데 스텐레스강으로 대체후 약 35%의 무게감소 효과를 얻었지만 이것은 경량화보다는 스텐레스강의 열전도를 막아 공해를 줄이기 위한 것이다.

주철제 exhaust manifold는 열전도도가 크기 때

문에 배기가스 온도가 manifold를 지나는 동안 냉각되어 catalyst가 가열되는 2~3분동안은 거의 정화가 되지 못하여 이 동안 공해요인의 70~80%가 배출된다. 이와 같은 이유로 주철재보다 열전도도가 나쁜 스테인리스강으로 exhaust manifold의 교체를 추진중이다.

이와 함께 배기가스의 온도가 점점 높아지는 추세에 있어(그림4) 스테인리스강을 이용하면 경량화, 저공해와 함께 내열성이 증가하는 효과도 부수적으로 얻을 수 있어 exhaust manifold용으로 스테인리스강의 사용이 증가할 것으로 기대된다. 국내 완성차 제조업체들에서도 응력부식을 일으키지 않는 exhaust manifold를 제작하는 생산기술을 연구중이다.

Exhaust manifold의 열전달을 억제하여 공해요인을 줄이기 위하여 항공기 gas turbine 엔진에 열전도를 막기위해 사용되고 있는 TBC(thermal barrier coating)을 하는 방법도 연구되었다.

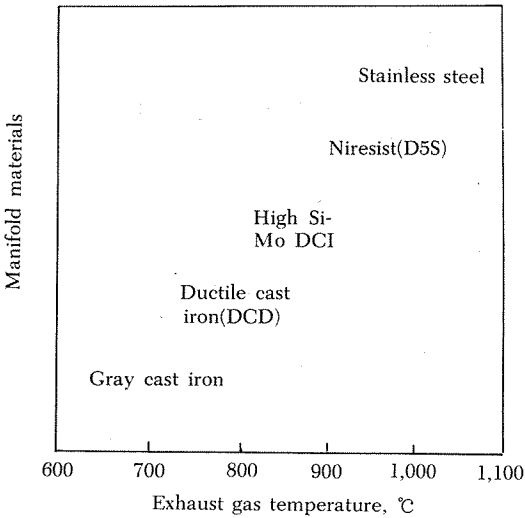


그림 4. Exhaust Manifold용 금속재료의 내열온도

Hino와 Hitachi 금속은 물유리를 결합재로 세라믹 반죽을 550℃에서 산화시켜 magnetite층을 형성시켰다. 또 내부는 주철과 같은 열팽창 계수를 갖는 coating을, 외부는 열차단 coating을 하는 2중 세라믹 coating도 시도하였다. Coating에 의

하여 산화속도를 줄이고 800℃까지는 균열이나 벗겨짐이 일어나지 않았으나 그보다 고온에서는 coating층이 수축되어 사용이 불가능하였다. 아직까지 열차단 coating에 의하여는 스테인리스강에 필적할 만한 결과는 얻을 수 없었으며 보다 고온에 견딜 수 있는 coating의 연구가 진행중이다.

■ 결 언

자동차용 재료의 변화를 결정하는 요소로는 원가절감, 성능향상, 경량화 등이나 최근 환경문제가 크게 부각됨에 따라 경량화의 비중이 커지고 있는 추세이다. 경량재료로서는 플라스틱이 가장 주목을 받고 있으며 그와 함께 금속재료로서 알루미늄, 마그네슘의 사용도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 철강재의 수요는 감소추세이나 새로운 합금성분과 생산기술의 향상으로 금세기말까지는 여전히 자동차재료의 주종을 이룰 것이다.

앞으로는 전혀 새로운 재료의 개발보다는 지금까지 단일부품으로 단일소재로 만드는 기법에서 벗어나 복합재료, copolymer, 금속과 플라스틱 등의 재료들의 기능을 살린 hybrid형의 부품으로 경량화와 성능향상을 얻는 방향으로 많은 연구가 진행될 것으로 전망된다. 이와 함께 기존의 재료에 성능향상을 위한 고기능화 표면처리 공정을 개발하는 것도 중요한 위치를 차지하게 될 것이다.

현재 우리나라는 자동차산업의 역사가 선진국에 비해서 짧고 자동차용재료에 대한 독자적인 연구도 활발하지 못한 실정이기 때문에 당분간은 외국의 연구결과와 실용화추세에 따라 소재를 대체해 나갈 수밖에 없을 것이다. 향후 관련된 여러 가지 국내여건에 맞추어서 소재와 부품을 독자적으로 개발, 적용하는데 노력을 경주해야 할 것으로 생각된다.

◇이 글은 李鍾權박사(한국기계연 표면공학실 선임연구원)과 공동으로 대한금속학회지 제4권3호에 발표한 내용을 전재한 것임편집자