

자동차용 경량금속재료의 개발동향

Development in Light Weight Metals for Automotive Application

박 우 진, 박 익 민, 김 낙 준
W. J. Park, I. M. Park, N. J. Kim



박 우 진
• 1966년 3월생
• 금속재료/상변태
• 포항공대 재료금속공학과



박 익 민
• 1954년 6월생
• 금속재료/주조
• 부산대학교 금속공학과



김 낙 준
• 1953년 5월생
• 금속재료/강도
• 포항공대 재료금속공학과

1. 서 론

자동차 재료와 관련된 연구방향은 소재의 경량화에 집중되어 왔다. 왜냐하면 자동차 소재의 경량화는 엔진효율을 높일 수 있는 최적의 방법이며 궁극적으로 자동차의 연비향상을 도모할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 선진국에서는 새로운 재료의 개발과 기존소재의 제조공정개선에

많은 연구투자를 집중하였으며, 실제로 10여년 전까지만 해도 소재개발의 주요한 목표는 원가 절감과 성능향상을 이루는 것이었으며, 그 결과 이와 관련된 많은 연구성과를 얻을 수 있었다.¹⁾ 그러나 최근들어 지구의 심각한 환경오염과 자동차수요의 급격한 증가에 따른 에너지자원의 고갈로 인해 이미 선진각국에서는 자동차의 연비 및 배기가스 규제를 한층 심하게 강화하고 있는 실정이어서 자동차재료의 개발동기도 단순한 연비향상이라는 수준을 넘어 환경규제에 따른 경쟁력 향상을 위한 새로운 기술개발이 자동차산업에서도 절실히 요구되고 있다.^{2,3)}

따라서 최근의 자동차 관련 기술개발동향은 무공해자동차, 전기자동차에 대한 연구와 함께 기존 자동차의 연비향상 뿐 아니라 차체수명연장, 안정성향상, 배기가스의 정화, 소음방지, 그리고 자원재활용을 위한 리사이클링 등을 위한 폭넓은 연구개발 투자가 이루어질 전망이다. 이를 위한 방법으로는 엔진효율향상, 공기저항감소를 위한 새로운 차체 Design, 그리고 재료의 경량화 등이 있으며 그중에서 특히 소재의 경량화는 엔진효율을 높여 자동차의 성능향상을 극대화시키고 그로 인해 연비향상효과를 도모할 수 있어서, 결국 소재의 경량화는 환경오염방지와 연료절감에 가장 적합하고 효과적인 방법이라 할 수 있다. 이러한 이유로 범 세계적으로 모든 자동차부품에

대한 경량화가 시도되고 있으며 지금까지 상당한 성과를 거두어 왔다.

자동차의 경량화 방안은 우수한 물성을 갖는 경량재료의 개발과 기존재료의 제조변수개선을 통한 기계적 성질을 향상시키는 방법 등이 있으며, 이를 위해 사용되는 재료로는 Al 합금, Mg 합금, Ti 합금, 철강재료 등의 금속재료와 플라스틱이나 세라믹 재료 등이 있으며, 또한 이들 재료를 기지재료로 하는 복합재료가 있다. 이 중에서 플라스틱과 세라믹은 가볍다는 이유로 현재 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 이들 재료가 안고 있는 기계적 특성상의 결정적인 한계로 인해 금속재료가 여전히 자동차 재료를 주도할 것이라 생각된다.

우리나라의 자동차산업도 최근 10여년간 급속한 성장을 거듭하였으나, 아직까지 자동차 설계 기술이나 소재기술가 핵심부문은 선진국에 비해 매우 뒤져 있는 실정이다. 특히, 소재기술 부분과 같은 취약한 부분을 개선하여 자동차분야의 선진화를 위해서는 새로운 재료개발을 위한 폭넓은 연구와 대상재료에 대한 깊이 있는 지식이 요구된다. 본 재료에서는 금속재료를 중심으로 현재 세계적으로 연구 개발되고 있는 자동차용 금속재료의 특성, 제조기술 개발현황에 대해 광범위하게 기술하고자 한다.

2. 자동차용 경량재료의 개발동향

자동차에 사용되는 재료는 크게 철강재료, 주철, 비철금속, Plastic, 유리 등 매우 다양하지만 크게 금속재료, 세라믹재료 그리고 Plastic 재료로 구분할 수 있다. 그 중 Plastic 재료는 금속이나 세라믹에 비해 매우 낮은 비중, 우수한 가공성 및 성형성 그리고 Aerodynamic 설계에 적합함 등으로 인해 현재 자동차재료에서 차지하는 구성비율이 증가하는 추세를 보이고 있지만 생산단가가 높고 생산성이 낮으며 특히 내열성과 탄성계수가 매우 취약하고 또한 Plastic 재료의 폐기물처리가 곤란하고 자원재활용이 까다롭다는 점 등의 문제로 인해 그 응용성에 있어서 점차 한계를 드러내고 있다. 또한 세라믹재료는 우수한

내열성, 저비중과 높은 강도때문에 뛰어난 비강도를 나타내지만 생산단가가 높고 가공성 및 연성이 저조하다는 문제점으로 인해 그 사용이 매우 미미하며, 결국 아직까지 개발되는 대부분의 자동차는 금속재료로 구성되어 있다.

실례로 일본에서 생산되는 승용차의 경우 재료구성면에서 플라스틱류의 비율이 꾸준히 증가하였지만, 92년 현재 전체 사용된 재료의 80% 이상이 금속재료로 이루어져 있으며(Table 1⁴⁾), 이러한 차량재료의 구성추이는 대부분 대동소이하여 미국에서 생산되는 자동차의 경우에도 마찬가지로 경향을 보이고 있다.⁵⁾ 또한 Mercedes-Benz사의 경우에도 80년대 중반의 재료사용비와 1996년도 예측재료 사용비율을 비교해 보면, 약 10여년간 철강재료는 꾸준히 새로운 강종을 개발하였으나 사용비율은 67%에서 62% 정도로 사용량이 감소하여, 플라스틱류의 사용은 10여년간 10% 정도에서 18% 정도로 증가할 것으로 추정되며 특히 같은 기간동안 알루미늄 합금의 사용량은 6%까지 증가할 것으로 예상되고 있다.⁵⁾

자동차의 연비향상과 배기가스를 감소시킬 수 있는 방안으로는 엔진출력향상, 공기저항감소, 그리고 경량화 등이 있으며, 엔진출력향상과 공기저항감소를 이용하는 방법은 이미 한계점에 도달해 있으며, 경량화만이 자동차의 연비향상과 배기가스를 감소시킬 수 있는 유일한 방법이다. 세계 각국에서 자동차 경량화를 위해 연구되고 있는 경량금속재료는 Al 합금, Mg 합금과, 티타늄합금 등이며, 현재 자동차 부품 중에는 이들 경량재료로 대체된 부품도 많으나, 이들 재료의 성능을 더욱 향상시키고자 하는 노력도 꾸준히 계속되고 있다. 자동차재료를 새로운 경량재료로 대체하기 위해서는 재료의 물성향상은 물론이고 반드시 가격경쟁력을 갖추어야 하며, 또한 대량생산에 적합하여 제조단가가 저렴하고 안정된 공급이 보장되어야 한다.

2.1 알루미늄 합금⁶⁻⁹⁾

알루미늄 합금은 차량경량화에 기여할 수 있는 가장 대표적인 금속재료로서 이는 Al의 우수한 특수성에 기인한다. Al은 경량성 뿐 아니라 비

강도, 내식성, 열전도도 등이 우수하여 자동차용 재료로 사용하게 되면 최고 40% 가량 경량화를 이룰 수 있으며, 종래 자동차 생산라인 설비를 약간 혹은 그대로 사용할 수 있다는 장점으로 인해 자동차 경량화를 위한 대체재료로 주목받고 있다. 알루미늄합금이 승용차에 최초로 사용된 것은 1923년 Ford사가 Pomeroy의 Body Panel을 제작하면서 부터였으며, 그 후 1973년 오일쇼크 이후 자동차 경량화에 대한 절박한 요구로 인해 자동차재료로서 알루미늄에 대해 활발히 연구되고 있어서 조만간 알루미늄 합금의 응용분야는 더 확대될 것으로 기대된다. 특히 경량성과 함께 90% 이상 자원재활용률이 가능한 알루미늄 합금은 급격한 산업화로 인해 초래된 자원의 고갈과

환경오염이라는 측면에서도 사용비율이 꾸준히 증가하여, 80년대초 전체 자동차재료에서 알루미늄이 차지하는 비율이 3% 이하였으나 92년에는 6%로 증가하였으며, 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 기대되고 있다.(Table 1)

자동차경량화를 위해 알루미늄 합금이 응용될 수 있는 분야는 차체와 엔진부품으로 나누어진다. 자동차무게의 20~30%를 차지하는 차체부분을 강판에서 알루미늄 합금으로 대체하면 가장 큰 경량화 효과를 얻을 수 있다. 이러한 이유로 선진국에서는 이미 미래형차량과 고급승용차 그리고 상용차에 이르기까지 AI을 사용하고자 하여, 그 결과 Audi사와 Alcan사는 공동으로 All AI차를 공동제작하여 차량무게를 131kg 가량 경량화 시

Table 1 일본에서 생산되는 승용차의 연도별 재료구성비

사용재료	연도별 재료구성비(wt%)						
	1973년	1977년	1980년	1983년	1986년	1989년	1992년
철강재료	81.1	80.9	78	76	74.4	73.7	72.1
알루미늄	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6
비철금속	3.2	2.1	2.3	2.1	2.2	2.5	2
플라스틱	2.9	3.5	4.7	5.7	7.3	7.5	7.3
기타재료	13.9	14.4	16.4	18.4	19.5	18.9	19.7

Table 2 최근의 Body Panel의 AI 응용현황

국명	Maker	차종	응용부품	알루미늄합금
독일	Porche Benz	928	Bonnet, Fender, Door	AC 120
		420 SEC	Bonnet, Trunk Lid	Al-Mg-Mn Al-Mg-Mn
이태리	Ferrari 람보기니 자가르	Tester Rossa	Bonnet, Rear Fender	AC 120, 5xxx계
		카운테크	외판전체	5xxx계, 6xxx계
		스텔비오	외판전체	5xxx계, 6xxx계
영국	AC Cobra Land Rover	Cobra	Front 외판	5xxx계
		레이지, 로버	전후 Fender	5xxx계
		Vogue 3.9	Door Outer, Roof	5xxx계
스웨덴	Volvo	760 GLE	Bonnet, Sun	5xxx계, 6xxx계
		760 GLE	Bonnet	5xxx계, 6xxx계
		440 Wagon	Back Door	5xxx계, 6xxx계
미국	GM Graman Olson	Cadillac	Bonnet, Trunk Lid	AC 120, 5xxx계
		LLV	외판전체	5xxx계, 6xxx계

킨 바 있으며, 일본 Honda사의 경우에도 1989년부터 양산하기 시작한 NSX 스포츠카의 차체를 100% 알루미늄으로 변경함으로써 약 140kg의 경량화를 이루었다. 현재 알루미늄 차체에 대한 사용 예는 Table 2에 나타난 바와 같으며, 자동차경량화에 대한 꾸준한 요구에 따라 선진 각국의 자동차업체와 알루미늄제조 회사에서는 자동차 재료를 Al 합금으로 대체하기 위한 연구투자를 확대해 나가고 있다. 기존에 사용되고 있는 재료를 대체하기 위해서는 강도, 성형성, 내식성, Spot 용접성, 표면처리성 등이 우수하여야 하며, 냉연강판에 견줄 만하거나 더 나은 성능을 지녀야 한다. 지금까지 개발된 자동차용 알루미늄합금은 2xxx(Al-Cu)와 6xxx(Al-Mg-Si)계의 열처리 합금과 5xxx(Al-Mg)계의 비열처리 합금으로 대별된다. 이 중에서 열처리 합금은 주로 열처리 도장에 의해 강도가 향상(이하 Bake Hard성)되기 때문에 외판 등의 강도가 중요시되는 부분에 그리고 비열처리 합금은 성형성이 우수하기 때문에 주로 내판 등의 성형성이 중요시되는 용도에 적합하다.

그러나 고강도 Al 합금으로써 이미 항공기 재료로 광범위하게 응용되고 있는 2xxx계 Al 합금은 결정적으로 취약한 내식성으로 인해 자동차용으로는 그 응용이 제한되었으나, 최근 Cu 함량을 줄여서 Alcoa사에서 새로이 개발한 2008 Al 합금은 성형성이 향상되었고 또한 6xxx계와 동등한 내식성을 나타내어 미국에서는 이미 사용되고 있으며 앞으로 응용분야가 점차 확대되리라 예상되고 있다. 그리고 합금선호도에 대한 일반적인 경향으로 구미에서는 Bake Hard성이 뛰어나고 내식성이 우수한 6xxx계 합금을 선호하며, 일본에서는 성형성과 내식성이 우수한 5xxx계 합금을 주로 이용하고 있다. 특히, 일본에서는 Al-4.5Mg에 미량의 Cu를 첨가한 합금의 경우 성형성이 우수하고 프레스가공에 의한 가공경화 효과가 Baking에 의해 완화하지 않는 특징이 있기 때문에 현재 가장 많이 사용되고 있다. 한편 Al-Mg-Si 합금은 상대적으로 성형성이 저조하고 Bake Hardening 온도가 200°C 이상이므로 낮은 열처리 도장온도(160~180°C)에서는 Bake Hardening 효과가 작아서 거의 사용되고 있지 않다. 그러나

이 합금계는 가공은 힘들어도 Stretcher-Strain Mark가 나타나지 않고 열처리 온도를 조절하면 Bake Hardening 효과를 기대할 수 있기 때문에 최근들어 각광받고 있다. 최근 Honda사에서 양산하고 있는 100% 알루미늄 차체의 스포츠카의 경우에 사용한 합금도 Al-Mg-Si 합금이며, 앞으로 이 합금계는 성형성과 160~170°C 부근에서의 Bake Hardening 특성을 향상시킬 수 있으면 장차 자동차 차체용 알루미늄 합금의 주류를 이룰 것이라 예상된다.

재료의 경량화와 함께 자동차의 연비향상을 위해 중요한 또 하나의 방법은 엔진과 동력전달 부분의 성능을 향상시키는 것이며, 이러한 연유로 차체부분과 동시에 엔진부분에 대한 알루미늄 사용을 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 주요 엔진부품으로는 실린더블럭, 실린더헤드, 피스톤, Intake Valve, Connecting Rod 등이 있으며, 기본적으로 150~300°C의 온도범위에서 엔진부품의 고속회전을 수반하므로 여기에 사용될 재료는 고온강도, 고온내마모성, 피로강도 등의 성능향상이 우수하여야 한다.

실린더블럭과 실린더헤드는 기계적 성질면에서 무엇보다도 우수한 내마모성이 요구되고 또한 제조면에서 불 때 형상이 복잡하기 때문에 우수한 주조성이 요구된다. 이러한 까다로운 요구조건 때문에 지금까지 주로 주철제가 이용되었으나, 1960년대부터 주철제 라이너를 삽입한 알루미늄 실린더블럭이 일부 사용되기 시작하였다. 알루미늄은 용융온도가 낮기 때문에 대량생산에 적합한 다이캐스팅, 중력주조, 저압주조 등의 제조방법을 이용할 수 있으며, 또한 주철제에 비해 중량면에서 2~3배 가볍고 열팽창 속도가 빨라서 엔진을 콤팩트하게 제작할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 더우기 최근에는 과공정 Al-Si 합금(A390, B390)으로 만든 실린더블럭은 기존의 알루미늄에 비해 내마모성이 월등히 향상되어 주철제 라이너의 사용이 불필요하게 되었으며, 실린더헤드 제조에 응용된 과공정 Al-Si 합금은 실린더헤드의 삽입부분을 없앨 수 있도록 하였다. 더구나 Si의 첨가에 따라 열팽창계수가 감소하여 이 합금의 응용분야는 이외에도 내마모성과 고

Table 3 과공정 Al-Si 합금의 물리적 특성

종 류	성분(wt%)				열팽창율 x10 ⁻⁶	경도(BHN)			인장강도 kg/mm ²	연신율 (%)	탄성계수 kg/mm ²
	Si	Cu	Ni	Mg		20°C	15°C	250°C			
공 정 계	12	1	1	1	20.5	90-125	75-95	35-50	21.8	0.3-1.0	7,500
과공정계	18	1	1	1	18.5	90-140	80-110	40-70	20.4	0.2-0.8	8,000
	21	1	1	1	17.5	90-120	90-105	50-70	20.0	0.2-0.5	8,600
	24	1	1	1	16.5	90-125	70-105	45-65	20.0	1.0-0.3	8,600

온강도, 피로강도가 요구되는 엔진피스톤에의 응용도 기대할 수 있어서 과공정 Al-Si 합금의 사용비율은 더욱 증가할 것이다. Table 3에는 이들 과공정 Al-Si 합금의 조성 및 물리적 특성을 나타내었다.

최근 들어서는 보다 많은 엔진부품을 Al 합금으로 대체하고자 하는 연구의 일환으로 과공정 Al-Si 합금의 내열성향상에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 연구는 과공정 Al-Si 합금에 Fe, V을 첨가한 합금을 중심으로 진행되고 있다. 이 합금의 특징은 기존의 Si 첨가로 인해 열팽창계수의 감소, 내마모성과 주조성의 향상이며, 그리고 이 합금에 Fe, V을 첨가하면 미세조직 내에 열적 안정성이 뛰어난 분산성이 형성되어 고온강도, 피로강도가 향상되어 우수한 내열성이 요구되는 자동차용 엔진재료에의 응용이 기대된다.

2.2 마그네슘 합금¹⁰⁻¹²⁾

마그네슘 합금은 비중면에서 알루미늄의 2/3, 철강재료에 비해서는 1/4 정도로 금속재료 중에서 가장 낮은 밀도를 지니며 동시에 비강도와 비탄성계수가 우수하고, 진동, 충격, 전자파동의 흡수력이 뛰어나고, 전기 및 열전도도, 가공성, 고온피로, 충격특성 등이 우수하여 여타의 경량재료에 비해 손색없는 특성을 갖추고 있어서 많은 연구의 대상이 되고 있다. 특히 중량면에서 마그네슘을 능가하는 플라스틱 재료는 경량성 등을 비롯한 많은 장점으로 인해 현재 사용량이 증가하고 있지만 폐차시의 폐기물 발생량이 크다는 단점을 갖고 있다. 그러나 마그네슘 합금은 거의 완벽한 재활용이 가능하여 가격절감은 물론 환경문제를 최소화할 수 있어서 자동차에 대한 마

그네슘 합금의 사용은 점차 확대될 전망이다.

자동차용으로 사용되는 마그네슘 합금에는 주로 경량성, 내식성 등이 요구되는데, 마그네슘이 실린더헤드 커버, 트랜스미션 하우징, 키펠더 하우징등의 하우징류로 사용될 경우에는 단일한 공정으로 부품을 제조할 수 있도록 양호한 주조성 및 깨끗한 표면이 요구된다. 그리고 휠 등과 같이 극도의 내식성을 요구하는 부분에서는 고분자를 이용한 다층 표면처리로서 해당 용건을 만족시키고 있다. 80년대 들어서 일본의 Honda사에서는 마그네슘 실린더 헤드커버를 사용하기 시작하였으며, Toyoda사에서는 Steering Column Upper Bracket과 Steering Wheel Core 제품을 마그네슘으로 제조하여 채용하였다. 또한 최근 경량성 이외의 성질을 응용하고자 하는 시도가 이루어지고 있는 바, 그 예가 Benz사의 시트프레임과 Audi사의 인스트루먼트 패널이다. 이 부품들은 경량이어야 함은 물론 충격시 휘어짐으로써 승객을 보호할 수 있어야 한다. 이 경우 고연성 마그네슘합금을 사용할 경우 이러한 요구를 충족시킬 수 있으며 또한 전체를 하나의 부품으로 주조하여 부착함으로써 플라스틱이나 철강 등 여타 재료를 사용할 때 필요한 추가의 조립공정을 생략하는 효과를 얻을 수 있다. Table 4에는 미국과 일본, 구미에서 마그네슘합금을 자동차에 적용한 예를 보여주고 있다.

마그네슘 합금의 실용화를 저해하는 가장 큰 이유중의 하나는 취약한 내식성에 기인하며, 특히 이러한 내식성저하를 촉진시키는 것은 합금내에 잔존하는 미량의 Fe, Ni, Cu등의 불순물이라는 것은 이미 알려진 바와 같다. 따라서 마그네슘 합금의 실용화를 위해서는 우선적으로 내식성을

Table 4 마그네슘 합금의 적용사례

제조업체명	차 종	응 용 부 품
GM	CADILAC	HEAD COVER OIL FILTER CASE
	CORVETTE	HEAD COVER, AIR CLEANER HS'G, T/M OIL PIPE RETAINER, GEAR SHAFT 수용부, STR' G HANDLE COLUMN' HEAD LIGHT DOOR
	PONTIAC	ENGIN BLOCK, HEAD LIGHT BARK, ENGINE COVER GRILLE
	CHEVORETE	HEAD COVER, AIR CLEANER COVER
	BUICK	HEAD LIGHT FRAME
FORD	THUNDERBIRD	INSIDE TRIM COVER PLATE
	LINCOLN MARK IV	STEERING HANDLE LOCK HOUSING, DISTRI BUTOR DIAPHRAM HOUSING
	輕 TRUCK	CLUTCH HOUSING, BRAKE&CLUTCH PAD AL BRKT, STEERING COLUMN LOCK HOUSING, TRANSFER CASE HOUSING
CHRYSLER	DODGE	GEAR SHIFT COVER
HONDA	CITY	CYLINDER HEAD COVER
TOYODA	CRESSIDA CROWN	STER'G COLU. UPR BRKT STER'G WHEEL CORE
	CONCEPT CAR	ROAD WHEEL
MAZDA		CYL. HEAD COVER SURGE TANK OIL PAN
VOLKSWAGEN	BEETLE	CRANK CASE, T/M HOUSING, END PLATE COVER, AXLE DRIVE COVER BLOWER HOUSING, TIMING GEAR
	GOLF	CLUTCH HOUSING, GEAR FORKS
	PORSCHE 911	FAN, FAN HOUSING
PORSCHE	TURBO 944 TURBO	WHEEL
VOLVO	VOLVO LCP2000	THROTLE LINKAGE, STEERING LOCK HOUSING, OUTER DOOR HANDLE
ALPHA ROMEO	GTV2	GEAR HOUSING, CLUTCH COVER, HEAD COVER SUMP, SUMP BOTTOM WHEEL
RENAULT	RENAULT	CARBURETER

향상시키는 것이 필수적이어서 이를 극복하기 위한 연구결과, 최근 이들 유해 미량원소들을 극도로 억제한 이른바 "고순도 합금"의 출현을 보게 되어 자동차에 대한 응용가능성이 한층 증가하였다. 전세계적으로 사용되고 있는 마그네슘합금 중 구조용 수요의 대부분이 다이캐스팅

방법으로 생산되어지는데, 마그네슘을 다이캐스팅으로 제조하면 다른 금속이나 플라스틱의 경우에 비해 설계치수, 표면상태 그리고 경제성 면에서 유리하다. 가장 많이 사용되는 합금은 AZ 91D로 고강도 및 우수한 주조성을 가지며 알루미늄합금 A380을 능가하는 내식성을 보인다. 또한

고연성을 요구하는 부분에는 중급의 강도이나 8~10%의 연신율을 보이는 AM계열의 합금이 사용되고 있다. 한편 기계가공성 측면에서 보면, 마그네슘합금의 경우 다이에서 떼어낼 때 휘어지지 않아 기계가공이 거의 필요치 않으며, 기계가공시 바이트의 소모량이 알루미늄의 절반에 불과한 장점이 있다.

2.3 티타늄 합금^{13,14)}

티타늄합금은 Al 합금이나 Mg 합금 등 다른 경량재료에 비해 비중은 크지만, 현재 대부분의 자동차용 재료로 사용되고 있는 철강재료에 비해서는 비교적 낮은 밀도(4.54g/cm^3)와 고융점(약 1670°C) 급속재료이다. 그러나 우주항공기 재료로 사용되고 있는 티타늄합금이 자동차용 재료로 그 응용이 기대되는 이유는 티타늄의 뛰어난 내식성과 우수한 고온 기계적 성질에 기인한다. 이러한 장점으로 인해 티타늄 합금의 응용분야는 자동차산업에까지 확대되어 경주용차량, 스포츠카 그리고 일부 고급승용차에 티타늄부품이 사용되고 있으며, 또한 일반 상용차에까지 그 범위를 늘리기 위한 연구가 계속되고 있다. 따라서 현재까지는 티타늄 합금의 세계소비량 중 자동차산업을 포함하여 일반산업용으로 소비되는 양이 우주항공기용 소비량에 비해 아직은 적지만, 배기가스 규제법안이 점차 강화되어지고 있는 점으로 미루어 일반산업용으로 사용되는 티타늄 양이 급속히 증가하여 20세기내에 우주항공용으로 소비되는 양을 앞지를 것으로 예상된다.

배기가스를 감소시키기 위해 자동차 산업분야에서 채택하는 방법은 자동차의 경량화와 엔진 성능의 고효율화이며, 이러한 추세에 따라 현재 티타늄 합금은 주로 Engine Valve, Valve Retainer, Connecting Rod, Valve Spring 등의 엔진부품으로 응용되고 있으며 그의 티타늄 합금의 응용현황은 Table 5에 보여주는 바와 같다. 이러한 부품에 사용될 재료는 우수한 고온강도, 크립강도, 피로강도 및 내열 내구성 등이 우수하여야 하며, 가공성과 경량성도 결비하여야 한다. 엔진부품 중에서 티타늄 합금이 가장 많이 이용되는 부품은 엔진의 흡기와 배기밸브이다. 현재 주로 사용되고

있는 내열강 엔진밸브를 티타늄으로 대체하게 되면 약 40% 정도의 무게절감과 함께 엔진성능의 큰 증가를 기대할 수 있으며, 티타늄의 탁월한 내식성을 인해 수명도 2~3배 증가하는 것으로 알려져 있다. 특히 배기밸브의 경우에는 배기가스에 의한 산화에 대해 우수한 저항성을 유지하여야 하기 때문에 어떠한 경량재료보다 티타늄 합금이 매우 적합한 특성을 나타내어 차량의 경제성과 신뢰도를 증가시킨다. Valve Retainer도 Engine Valve와 마찬가지로 내열강이 주로 사용되어 왔으나, 다른 부품에 비해 형상이 단순하여 간단한 기계가공이나 단조작업으로도 제조가 가능하므로 티타늄 합금으로의 응용이 기대되는 엔진부품이다.

반면 Connecting Rod의 경우에는 엔진부품에서 차지하는 무게가 크기 때문에 일찍부터 철강재료보다 가벼운 재료로 바꾸고자 하여 티타늄 합금이 고려되어 왔으나, 복잡한 형상으로 인한 가공상의 어려움과 티타늄의 비싼 제조단가 등의 한계로 인해 다른 경량재료에 비해 그 응용이 제한되고 있다. 이러한 엔진부품에 이용되고 있는 티타늄 합금은 대부분 Ti-6Al-4V이지만, 배기밸브는 고온의 배기가스의 영향으로 인해 고온용 티타늄 합금인 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo의 사용이 고려되고 있으며, 부분별로 요구되는 독특한 특성에 따라 여러가지 Ti 합금의 응용이 가능하다.(Table 5) 앞에서 언급한 바와 같이 티타늄 합금은 여러가지 우수한 물성을 지니고 있어서 앞에서 언급한 부품외에도 Rocker Arm, Piston Pin, 그리고 Connecting Rod 연결용 Bolt 등의 엔진부품과 차체 등에도 사용하고자 하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

티타늄합금은 우수한 특성에도 불구하고 가격이 고가이고 제조 및 가공비가 비싸기 때문에 그 응용이 제한되고 있다. 그러나 최근 플라즈마 아아크와 전자빔 용융 등의 새로운 티타늄 용해 기술과 Near Net Shape 제조가 가능한 분말야금법의 발달로 인해 제조 및 가공비의 절감이 가능하게 되어 자동차용 재료로 더 많은 응용이 기대되고 있다. 또한 최대 사용가능 온도가 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 로 제한되어 있는 티타늄합금의 응용온도를

Table 5. 티타늄합금의 응용가능분야

응 용 부 품		Characteristics	Materials	Weight Reduction(%)
Engines	Connecting Rods	Machinability Anti-friction	Ti-6Al-4V Ti-3Al-2V	30
	Valves	Machinability Anti-friction	Ti-6Al-4V Ti-1100	40
	Valve Springs	Anti-friction	Beta-C Ti-6Al-4V	55
	Spring Retainer	Formability Anti-friction	Ti-22V-4Al	40
Undercarrage	Suspension Spring	Young's Modulus Machinability	Beta-C	50
Drive Shaft		Strength Machinability	Beta-C	30
Fittings and Others		Thermal Expansion Ultrasonic Transmission	CP-Ti	40
Moter Bike		Strength Anti-friction	Ti-15-3	

보다 고온으로 확장하기 위해 Ti_3Al , $TiAl$ 금속간화합물에 대한 연구가 진행되고 있다. $TiAl$ 은 기존의 티타늄합금에 비해 뛰어난 피로성질과 크립성질을 가지며 배기밸브에 사용되고 있는 다른 Superalloy와도 비슷한 성질을 가진다. 그러나 아직 이 재료는 상온연신율과 인성이 매우 낮아 문제점으로 지적되고 있다.

2.4 철강재료^{8,15,16)}

철강재료는 저렴한 가격, 철강에 대한 풍부한 경험과 지식, 대량생산의 용이함, 그리고 용접성과 기계적 특성이 우수함으로 인해 현재 자동차 재료의 70% 이상을 차지하고 있다. 자동차재료에 있어서 철강재료는 강판의 경우 이외에도 경량화보다는 성능향상과 생산성향상에 대한 연구가 진행되어 최근 기존 제조방법에 비해 자동차의 적용부위에 따라 그 특성을 더욱 향상시킬 수 있는 생산기술이 도입되어 성능과 생산성을 향상시키려는 노력이 이루어지고 있다.

종래에 일체형 단조품으로 제조한 Camshaft의

Cam은 분말야금법으로, Shaft는 Tube로 각각 제작하여 브레이징이나 플라스틱접합하여 제조함으로써 경량화와 생산성 향상에 성공하였으며, 또한 강재를 열간단조하여 제조하던 Connecting Rod를 최근 분말단조에 의한 Near Net Shaping후 인위적인 균열을 도입함으로써 가공비 절감과 베어링의 수명향상을 이루었다. 독일에서는 분말야금의 특성인 Preform 성형시 미리 균열을 만들어 생산효율을 향상시키는 방법을 개발하였으며, 국내에서도 기업과 연구소 공동의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 HSLA 강의 단조품을 이용하여 자동차 부품을 직접 제작하는 연구가 진행되고 있다. 최근의 HSLA강은 입도조절을 위해 Nb를 첨가하여 단조후 단조온도에서 직접 급냉함으로써 열처리를 하지 않고 공정단축, 열처리에 의한 변형제거, 절삭성 향상을 이루었다. 이러한 HSLA 단조품은 Connecting Rod, Camshaft, Crankshaft, Steering 부품, Gear 등의 부품에 적용하기 위해 연구가 진행중이다.

철강재료의 개발과 함께 표면처리 기술의 발

달도 철강재의 수요를 결정적으로 증가시켜왔다. 표면처리를 응용하여 개발된 강은 유기물 피복강과 도금강의 두 종류로 나눌 수 있다. 유기물 피복강은 기존의 도금강에 유기물 피막을 더한 것을 말하며, 유기물은 내식성을 향상시키고 성형작업시 윤활재로 작용하는 효과가 있다. 도금강은 아연 또는 아연 합금을 내연강 기판에 증착시키는 것을 말하며 제조 방법에 따라서는 전기도금과 용융도금 등이 있다. 전기아연도금강판은 표면이 매끄럽고 균일하게 도금되므로 성형성 용접성이 우수하고 도금두께 조절이 쉬우며 단면, 양면도금이 가능하여 자동차의 외장강판으로 사용되며, 이와 달리 용융도금강은 주로 내장용으로 사용된다. 아연단일도금 뿐 아니라 복합도금에 의한 내식성 향상연구도 진행되어 우수한 표면상태 및 Press 성형성도 냉연강판과 거의 비슷한 특성을 갖는 복합도금강판이 사용되고 있다.

3. 요약

이상에서 자동차용 경량재료의 개발동향에 대해 간략히 서술하였다. 국내외에서 자동차 경량화에 적합한 새로운 경량재료개발을 위해 많은 연구가 진행되어 다양한 가능성을 보여주었다. 현재 자동차 경량화에 대한 요구는 필연적이며, 대체재료에 적합한 재료시스템을 확립하기 위해서는 신소재의 기계적 성질을 비롯한 여러 특성 평가를 위한 공정한 기법을 정립하고 재활용가능성, 설계를 위한 신뢰성 구축 그리고 수급안정성이 충족되어야 하며, 또한 특히 기존재료와 비교해서 우수하여야 할 것이다. 이런면에서 국내의 각 대학, 연구소 및 기업체에서는 경량재료에 대한 연구를 나름대로 충실히 수행하고 있으나, 그 실적은 아직 미미한 상태이며, 장차 보다 훌륭한 연구결과를 기대하고 이를 바탕으로 세계 자동차분야에서의 경쟁력을 배가시키기 위해서는 범 국가적인 관심과 연구개발투자가 요구된다.

참고 문헌

1. J.C.Bittence : Advanced Materials & Processes, 135 (1987) 40
2. Norman G.Gjostein : Advanced Materials & Processes, 137 (1990) 73
3. Claus Razim : Advanced Materials & Processes, 138 (1990) 75
4. Yuki Kurihara : J.Metal, 2 (1994) 33
5. Claus Razim : Claudius Kaniut : Advanced Materials & Processes, 138 (1990) 43
6. J.Dinwoodie : SAE Technical Paper Series 87 0437 (1987)
7. T.Chikada : 경금속, 40 (1990) 944
8. 이종권, 서상기, "자동차용 금속재료의 현황과 전망", 대한금속학회회보 Vol.4 No3, (1991) 215
9. 이호인 : "자동차용 알루미늄 엔진재료", 대한금속학회회보 Vol.4, No.3, (1991) 227
10. 細見弱重 : アルトピア, 1 (1991) 49
11. R.S.Busk : Magnesium Production Technology (1989)
12. H.Barker : "The Road for Metals in Autos", "Magnesium Races Ahead", (1990) Vol.137, No.5, 29
13. J.E.Allison : "Trends in the Use of Lightweight Metallic Materials for Automotive Engine Components", 우주항공재료심포지움 (1991), 우주항공재료센터, 3
14. S.R.Seagle : "Titanium/Titanium Alloys", Advanced Materials & Process (1990) Vol.137, 29
15. Steven Ashley : Mechanical Engineering, 113 (1991) 54
16. J. Smith : "Automotive Steel", Automotive Engineer, (1990) Vol.15, No.5, 30