

자동차용 재료의 전망*

Prospect of Materials for Automotive Engineering

임 병 수**
Byeong Soo Lim

1. 머리말

연료비의 증가에 따른 차량의 경량화나 안전성에 입각한 차량의 구조 혹은 제작비의 절감을 위한 생산공정 등에 이르기까지, 차량생산의 여러 분야에서 가장 중요한 문제의 하나는 적합한 재료의 선택과 이용이다.

자동차산업 뿐 아니라 모든 공업분야에서 이용되는 재료들은 과학과 기술의 발전에 따라 부단히 변화되어 왔고 또 변화될 것이다. 따라서, 급진적 발전을 계속하며 신소재가 끊임없이 개발되는 현재, 어떠한 재료들이 앞으로의 차량생산에 이용될 것인가를 전망하는 것은 매우 어렵고 가변적인 것이나, 현존 재료를 더욱 효과적으로 이용하고 만족스런 신재료를 개발하며, 더욱 효율적인 자동차의 생산을 위하여는 현재 이용되는 주요 재료를 살펴 보고 앞으로 이용될 재료를 전망해 보는 것은 의미있는 일일 것이다.

2. 현재 사용되는 재료별 일반적 경향

차량의 생산에 관련되는 수많은 재료를 모두 열거하는 것은 어려운 일이며, 현재 이용되는 주요 재료들의 일반적 특성을 간략히 살펴 보면 다음과 같다.

(1) 저탄소강 : 자동차의 발명 이래로 차체제작

의 주축을 이루어 사용되어 왔으며, 높은 강도와 탄성계수, 성형성 등 여러가지 기계적 성질의 우수성에 의하여 앞으로도 계속 주축을 이룰 것으로 전망된다.

(2) 알루미늄 : 강도/밀도 비의 우수성, 즉 같은 강도에서의 재료의 경량화를 이룰 수 있으며, 저온에서의 기계적 성질과 내식성 등이 뛰어나 종래 저탄소강이 사용되던 영역을 많이 대체하게 되었다. 특히 승용차에서 bumper, trim, 박판 등 여러 형태로 차량의 경량화에 이용되고 있으며, 앞으로도 사용범위가 더욱 확대될 전망이다.

(3) 플라스틱 : 차량의 경량화, 일반적인 재료비의 경감, 금속재료로는 불가능한 독특한 멋과 설계상의 이점 등 광범위에 걸친 특성으로 특히 승용차에서 이용이 급증하는 추세이다. 발전된 플라스틱 재료로 특히 기계적 성질이 우수한 섬유충진 복합재료나 graphite 충진 복합재료 등은 종래 금속재료만이 사용되어온 분야에서도 이용되고 있으며 더욱 사용범위가 증대될 전망이다.

(4) 구상흑연주철 : 회주철보다 강도, 내피로성 등이 뛰어나며, 철강재료의 단조보다 비용이 절감되는 이점으로 60년대 초 crank축 재료로 이용된 이래, con. rod, steering knuckle, 치차, 현가장치 부품 등으로 폭넓게 이용되고 있으며, Austemper 열처리되어 엔진부품의 경량화와 자동차

*본문의 자료, 사진등은 '84년 12월부터 '85년 2월까지 3회에 걸쳐 Automotive Engineering (Vol. 92 #12~ Vol. 93 #2, S. A. E.)에 연재된 저밀도 재료에 관한 Albert W. Demmler, Jr. 의 기고에서 인용되었음.

**정희원, 성균관대학교 공과대학 기계설계학과

어, pinion 등에 이용될 전망이다.

(5) 스테인레스강 : 상온, 고온에서 내식성이 탁월하여, 외부 trim이나 배기계통에 매우 적합하게 이용되는 재료이나, 가격상의 이유로 차체 박판재료로는 고급 특수차량에만 사용될 전망이다.

(6) 저합금 고장력강 : 고가이면서 성형성 등이 낮아 차체 박판재료로서 폭 넓은 이용은 기대되지 않으나, 높은 강도/중량의 비가 요구되는 승용차, 트럭의 차체부품이나 bumper 등에 계속 사용될 전망이다.

(7) 회토류 자성재료 : 차량의 전동기 구동부품과 발전기부품 등에 이용이 예상되며 소형화, 경량화를 이룰 것으로 기대 된다. 일부 전동부품들도 경량화의 추세에 의해 구리보다 알루미늄도체의 이용이 전망된다.

(8) 페인트류 : 금속재료의 부식방지 등 표면처리분야의 이용이 증가될 것이며, 플라스틱 재료가 차량외부에 많이 사용됨에 따라 특히 저온에서 속히 반응하여 굳는 종류, 또한 유해물질을 적게 방출하는 페인트류의 이용이 확대될 전망이다.

(9) 기타 : 이외에도 수많은 자동차용 재료가 있으나, 요업금속, Si세라믹 등 고온작동이 가능한 재료가 보다 효율 높고 소형화된 엔진에 이용될 전망이며, 여러 밀도의 분말야금재료들이 주로 구동장치의 소형치차나 베어링 등에 이용될 것이다. polycarbonate 등 발전된 재료가 차량의 유리부품(windshield 등)에 이용될 것이고, 브레이크 슈우의 asbestos도 복합재료로 대체되는 경향이 계속될 것이다. 배기가스의 정화에 이용되는 촉매재로서 Pt, Pd, Rh 등도 가격과 산출량의 문제등에 의해 다른 재료로 대체하는 연구가 진행되고 있다.

이상 현재 사용되는 자동차용 재료들의 일반적 경향을 대략 살펴 보았으나, 이러한 경향이나 전망은 새로운 사실의 발견이라든가, 원자재의 수입과 공급에 관련된 각국의 시책 등 여러 요인에 의하여, 언제나 예기치 못한 급격한 변화를 겪을 수 있다 하겠다. 예를 들면, 브레이크 라이닝의 재료로 별 문제 없었던 asbestos는 발암성 물질이라고 밝혀져 이용이 급격히 줄게

되었다.

그러나, 자동차산업의 일반적 불변의 목표중의 하나로 차량의 경량화를 생각할 수 있다면, 이러한 관점에서는 많은 재료중 특히 Al, Ti 그리고 복합재료가 미래 차량의 중요 재료로 의미를 갖게 된다.

3. Al, Ti 합금 및 복합재료의 성질

주기율표상에 처음부터 나타나는 구조용 금속 재료로는 Be, Mg, Al, Ti 등 4종류가 있으나, Be는 항공 및 우주선재료와 원자로용 재료로 약간 이용되는 정도이며, 가장 가벼운 실용 금속재료의 하나인 Mg은 매우 쉽게 부식되는 이유로 자동차 산업이나 항공기 산업분야에서 거의 이용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 경금속재료로는 Al과 Ti이, 높은강도/밀도의 값을 갖는 복합재료와 함께 미래 차량에 폭넓게 이용될 전망이다.

현대의 공업재료로 가장 광범위하게 이용되는 철강재료의 탄성계수는 약 $30 \times 10^6 \text{psi}$ 이며, 제조공정에 따라 차이는 있으나 일반적으로 Al은 약 $10 \times 10^6 \text{psi}$, Ti은 약 $16 \times 10^6 \text{psi}$, 복합재료에 이용되는 탄소섬유는 약 $34 \times 10^6 \text{psi}$, Kevlar 섬유는 약 $17 \times 10^6 \text{psi}$ 정도이다.

온도상승에 따라 야기되는 열응력이나 변형률에 영향을 끼치는 열팽창계수는 Al은 Fe의 ($\alpha_{Fe} = 11.7 \times 10^{-6} \text{cm/cm}^\circ\text{C}$) 약 2배, Ti은 약 0.5배이나, 탄소섬유, Kevlar 섬유재료 등은 본질적으로 온도의 영향을 거의 받지 않는다.

3.1 Al 합금

표 1은 자동차산업에서 이용되는 미국 Alcoa 회사의 몇가지 표준 Al합금 판재들의 기계적 성질이다.

처음 2가지 합금은 모두 Al-Zn-Mg-Cu계로, 성분 순도에서만 차이가 나며, 고순도의 Al을 이용한 7029는 담금질, 시효처리, 성형가공이 가능하며, buffing, bright dipping, anodizing 등의 처리에 적합하여 차량의 bumper 제작 등에 이용되며, 일반순도의 Al을 이용한 7129는 bum-

per 지지대나 bracket 등 강도는 요구되나 표면 다듬질이 불필요한 곳에 이용된다. Al-Mg계인 5182는 적당한 강도와 우수한 성형가공성이 요구되는 곳에, Al-Mg-Si계인 60××계열중 6061은 단조 wheel과, platform trailer의 frame rail 등과 같이 상업용 차량에 많이 이용되고 있다. '84년형 Corvette는 6010 bumper, 단조된 chassis 부품 등 1대당 400 lb이상의 Al부품을 갖고 있으며, 일단의 차량에는 Al합금의 head, 흡기 분배관, 피스톤, 엔진 block 등이 사용되고 있으며, Al방열기도 '60년대 이래 재등장하고 있는 실정이다. 6009, 6010등은 6061계열의보다 개량된 합금이며, 모두 시효처리가 가능한 것으로, 성형가공성은 6009가, 강도는 6010이 나은 편이다.

표 1에는 나타나 있지 않으나, 성형성과 인성이 더욱 뛰어난 개량된 6010 합금으로 ×6013이

표 1 Alcoa 회사 자동차용 Al박판합금의 기계적 성질

Sheet Alloys	Ultimate Tensile Strength, ksi	Tensile Yield Strength, ksi	Elong., %
7029-T6	55	49	10
7129-T6	55	49	10
5182-0	37	16	18
6009-T62	39	34	9
6010-T62	49	45	8
6061-T62	42	35	10

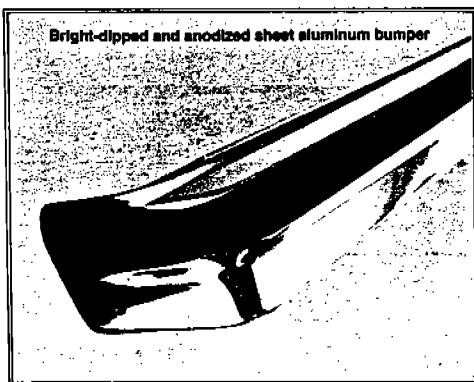
있으며, 최근 항공기의 엔진 덮개와 같이 성형성이 특히 강조되는 부품에 이용되고 있으며, 앞으로 자동차용 재료 6061은 그 후속개량 합금들인 6009, 6010, ×6013 등으로 대체될 전망이다.

Al분말야금 부품들은 Porsche사의 소결된 con. rod나 다른 몇 가지 소품들을 제외하고는 별달리 자동차용 재료로 이용되지 못하였으나, 앞으로는 낮은 온도 범위(약 600°F 이하)에서 Ti제품들과 이용에 경합을 이룰 것으로 생각된다.

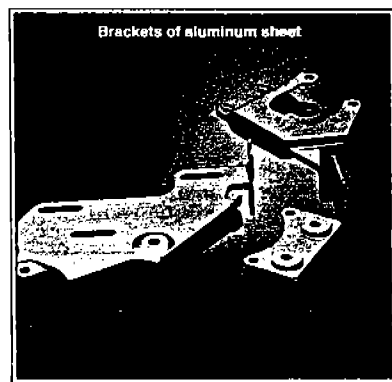
표 2는 역시 미국 Alcoa 회사의 최신 항공기용 Al합금 판재(0.75~3 inch 두께) 재료의 몇 가지 기계적 성질을 보여주고 있다. 모두 용체화 처리, 담금질, 시효처리 등 열처리가 가능한 재료이며, 응력부식파괴(S. C. C.)에도 매우 잘 견디는 합금이다.

특히 7475 합금은 낮은 응력과 낮은 변형속도 하에서, 연신율이 50%이상 증대될 수 있는 소성변형능력이 뛰어난 재료이다. 이러한 항공기용 Al합금재료들은 가격 등의 문제가 해결되면 뛰어난 기계적 성질에 의하여 자동차용 재료로도 이용될 것으로 전망된다.

합금의 개량에 관한 일반적 연구개발은, 새로운 합금이 적합한 수준까지의 내구성과 외부로부터의 손상을 견디어주는 성질만 유지된다면, 되도록 재료의 밀도는 낮추고 강성은 증가시키는 방향으로 진행되고 있다. 이러한 경향은 최근



Al 7029 bumper



Al 7129 brackets

그림 1 Al합금 자동차 부품

표 2 Alcoa 회사 항공기용 Al 판재 합금의 기계적 성질

	Tensile Ultimate Strength, ksi (a)	Tensile Yield Strength, ksi (a)	Elong., %	K_{Ic} , (L-T) ksi $\sqrt{\text{in.}}$ (b)	Outstanding Characteristic
7050-T7651	76	66	7	31	Best property balance
7475-T7351	68	57	9	50	Highest fracture toughness
2124-T851	66	57	5	29	High toughness and elevated temperature properties
2419-T851	62	47	7	39	Weldable, high toughness, and elevated temperature
2324-T39	66	56	8	34	Strength and fatigue resistance
7150-T6151	84	78	9	27	Highest strength
2024-T3 (sheet)	64	47	15	130 (c)	Standard alloy
2024-T351	62	47	7	34	Standard alloy
7075-T6 (sheet)	78	70	8	90 (c)	Standard alloy
7075-T651	75	66	5	26	Standard alloy

(a) Minimum design allowables
 (b) K_{Ic} values are typicals
 (c) K_c values

Data, other than those noted, were obtained in the longitudinal direction and were obtained from plate samples ranging from 0.75 to 3.0 inches thick.

표 3 Alcoa 회사 계획의 항공기용 Al 합금의 기계적 성질

Alithilite Alloys	Tens. Ult. Str., ksi	Tens. Yield Str., ksi	Elong., %	K_{Ic} , ksi $\sqrt{\text{in.}}$	Stress Corros. Crack. Rating	Density, lb/in ³	Outstanding Characteristics
Goal A Plate (2024-T3 replacement)	68-73	52-57	8-12	32	B	0.091-0.093	Low density, high modulus, improved fatigue
Goal B Plate (7075-T6 replacement)	78-84	72-76	8-10	25	C	0.092-0.094	Low density, high modulus, improved fatigue
Goal C Sheet (minimum density)	67	44	6	—	—	0.088-0.090	Low density, high modulus, improved fatigue
Goal D Plate (7075-T73 replacement)	68-73	58-64	12-15	31	A	0.091-0.093	Low density, high modulus, improved fatigue
2nd Generation Powder/Metallurgy Alloys							
Goal A	109	101	8	27	C	0.101	Highest strength
Goal B	96	86	9	35	B	0.101	Highest strength
ARALL (Aramid Aluminum Laminates)							
ARALL I	111	86	1.0	High	—	0.085	Fatigue insensitive, high mechanical properties, low density

Tensile properties are in the longitudinal direction
 K_{Ic} values are L-T
 SCC values are short transverse per ASTM C64

알루미늄 제조회사들이 개발을 진행하고 있는 Al-Li 합금에서 잘 나타나고 있다. Li은 Al합금의 밀도도 낮추어 주지만, 탄성계수도 약 10% 가량 증가시키는 이점을 갖고 있다. 곧 알루미늄제조회사들이 상품화하여 선보일 이 합금은, 단점으로 용해시켜 주물을 만든는데 몇가지 어려움을 갖고 있다.

표 3은 Alcoa 회사에서 미래의 항공기용 Al제 품재료로 개발을 계획하고 있는 각종 Al합금과

Al 복합재료의 기계적 성질을 보여주고 있다.

뛰어난 성질을 갖게될 표 3의 제품들은 가까운 장래에 자동차용 재료로 이용되리라 전망하기는 현재 어려우나-Goal B와 같은 제품은 Alcoa 회사에서 2090년까지 개발을 완료할 것으로 예상하고 있음-연구가 활발히 진행되고 있는 Al 매트릭스 복합재료 등은(탄성계수가 표준 Al합금의 2배 가량인 $18 \times 10^6 \text{psi}$) 기대를 가질만하다 하겠다.

3.2 Ti 합금

지구상에 비교적 많은 성분의 하나인 Ti은 1950년대 실용되기 시작하여 철강, 비철재료의 합금 원소와, 높은 강도/밀도 비에 의하여 항공기, 로켓 재료로서 또한 용융점이 높고 내식성, 크리프 강도 등 고온 성질이 좋아 가스 터빈 재료로서 중요성이 높게 평가되고 있다.

그러나 자동차용 재료로서 Ti은 그다지 많이 이용되지 못한 실정이다. 경주용 차량의 현가장치 부품들과, 구동축, 엔진 밸브와 밸브 스프링, 그리고 변속기 하우징 등에 종종 이용되어 온 일이 있기는 하나, 주로 가격상의 문제로 대량 생산을 하는 승용차와 같은 차종에서는 Ti은 이용되지 못하였다.

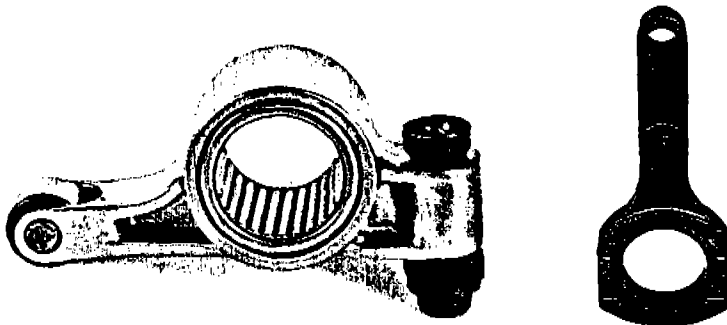
앞으로 Ti은 엔진부품, 특히 밸브와 밸브 스프링 그리고 로커 아암에 제일 먼저 이용될 전망이다. 미국 자동차 업계는 늦어도 1987년형 차종 한 두가지는 Ti 밸브를 갖고 등장하리라 기대하고 있다. 이러한 Ti 부품들은 엔진무게를 경감시켜 출력을 향상시키며, valve floating 현상 없이 엔진의 고속작동을 가능하게 하며, 철강부품과 비교하여 60%밖에 되지않는 관성으로 캠축에 걸리는 부하도 많이 경감시켜 줄 것이다. 그러나 Ti은 1500°F 정도의 온도에서 주변 환경의 영향(주로 N₂, O₂, C 등 원소와 반응)을 받아 재질이 불량해지는 까닭으로, 단열 디젤기관 등에는 쉽게 이용되지 못할 것으로 생각된다.

Ti은 강도/밀도의 면이나, 내식성, 또는 내피

로성 등에서 Al이나 Fe보다 유리한 편이다. 사용온도 범위도 Al합금류와는 현저한 차이가 있어 1150°F까지 사용이 가능하다. 현재 항공기용 재료로 이용되는 Ti합금 중, Ti-13V-11Cr-3Al은 열처리에 어려움이 있으나 성형성이 특히 뛰어나고, Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn은 용접성, 성형성이 뛰어나며, 열처리하여 인장강도를 190ksi 까지 높일 수 있다. Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr은 경화능력이 뛰어나며, 강도, 인성, 내피로성, 내크리이프성이 우수하여 항공기 엔진부품으로 이용되고 있다.

1984년형 미국내 생산차에 Al이 평균 135lb나 이용되고 있는데, Ti은 가격의 문제로 자동차용 재료로 이용되지 못한 것은 Ti의 생산량이 Al의 생산량에 크게 뒤지는 점(미국의 경우, Al의 0.3%에 불과)에 큰 이유가 있다. 그림3은 Ti과 Al의 미국 국내생산량을 보여주는 것으로 각각의 처음 30년간의 생산량이 거의 비슷함을 나타내고 있으며, 이는 앞으로도 Ti이 Al과 비슷한 경향을 갖고 생산, 이용되리라는 것을 시사한다 하겠다.

따라서 자동차용 재료로 Ti은, 비록 재질상의 차이 등으로 Al과 비슷한 추세로 이용되지는 못하겠으나, 최소한, 생산량의 증가에 따른 가격의 이점으로 앞으로 그 이용량이 급격히 높아질 것으로 전망된다. 아직 자유세계에는 Ti을 원광석으로부터 시작하여 완제품까지 처리한 종합적인 생산업체가 없으나, 앞으로 이러한 공장이 건설될 경우, Ti가격이 상당히 낮아질 것이며, 따



rocker arm

connecting rod

그림 2 개발중인 Buick의 Ti 합금부품들

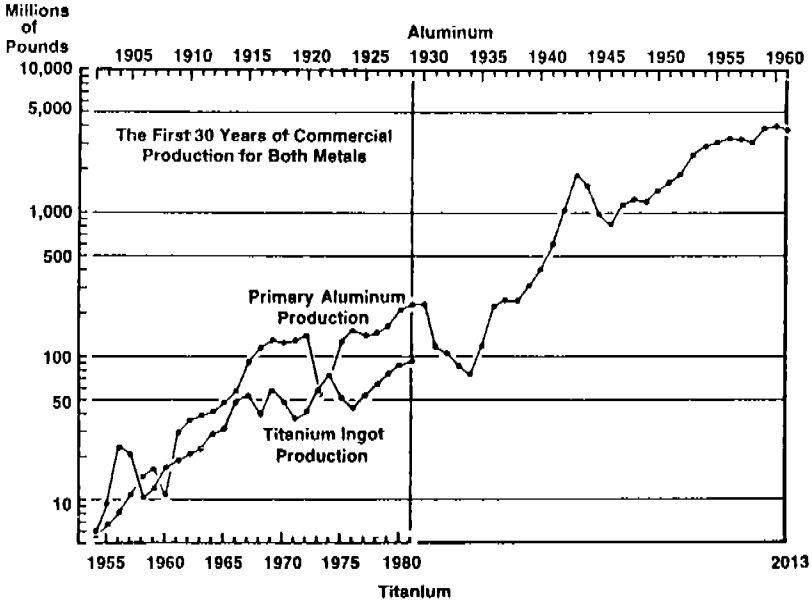


그림 3 미국내 Al과 Ti의 년도별 생산 이용량

라서 자동차산업을 포함한 여러 분야에서 Ti의 이용량이 폭 넓게 증가될 것으로 생각된다.

3.3 복합재료

금속속이나 합금에 뒤이어 복합재료는 가장 최근에 사용하게 된 가장 발전된 공업재료의 하나이다.

지난 15~20년 동안에 우주공학의 연구와 초음속 항공기의 개발에 힘입어 개발되어온 복합재료는 여러가지 구성 성분으로 형성된, 단일구성 성분에서는 볼 수 없는, 총체적 성질의 재료라 정의할 수 있다.

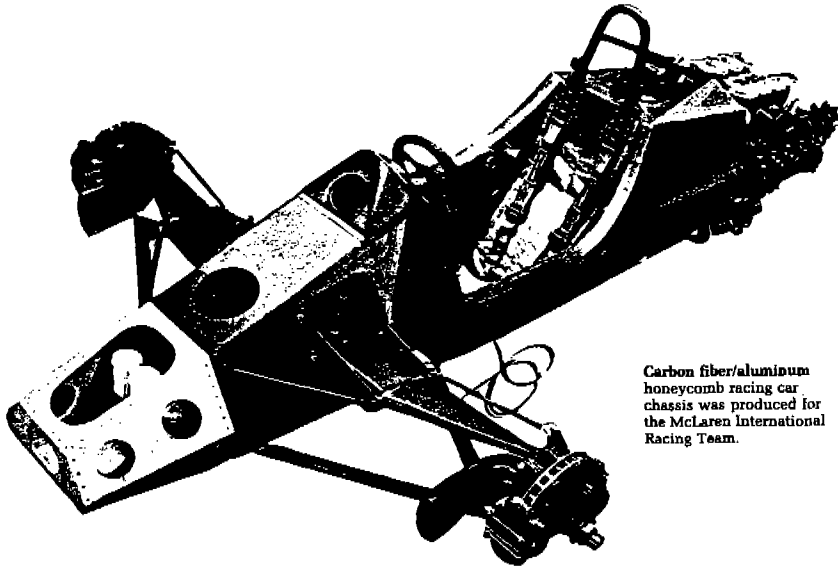
복합재료는 여러 형태가 있으나, 실제 자동차용 재료로 가장 중요하게 응용될 형태는 섬유상 재료로, 고강도의 섬유(탄소섬유, Kevlar 등)가 열 경화성 소지(matrix; epoxy, resin 등)에 함침되어 있는 구조이다.

금속재료와 비교하여, 복합재료가 갖는 가장 큰 우수성은 복합재료는 재료의 성질을 원하는 위치에서 원하는 방향으로 나타낼 수 있다는 점이다. 예를 들면, prepregged tow나 tape(prepreg: 섬유가 경화되지 않은 소지내에 함침되어 있는 형태)은 섬유방향에 의하여 일방향성 성질

을 나타내지만, prepregged fabric이나 그 조합물을 특정방향으로 쌓아서 만든 최종 재료는, 특정한 방향으로 높은 강도나 탄성계수, 혹은 쉽게 굽혀지는 성질을 갖게 된다는 점이다.

또 하나의 큰 이점은, 탄소 섬유와 같이 높은 강도($\sim 5 \times 10^5$ psi)를 가지면서, 밀도는 Al의 약 1/2배, 철강의 약 1/6배 정도로 낮출 수 있다는 점이다. 또한 3절의 첫 부분에 기술한대로 탄소섬유나 Kevlar 섬유는 거의 무시할만한 열팽창계수를 갖고 있는 이점이 있다. 그러나 이러한 섬유의 특성이 완제품인 복합재료의 강도나 밀도와 일치하는 것은 물론 아니다. 완제품 섬유 복합재료는, 섬유와 소지(epoxy 등)재료가 합쳐진 형태이기 때문이다.

최신의 탄소섬유 복합재료는 특히 강성이 우선적으로 요구되는 곳이나, 상당한 압축력이 존재하는 곳 등에 최적의 재료이다. 항공기의 경우, 착륙 기어등에 이용이 전망되며, 자동차의 경우에도 많은 부품에 이용이 기대된다. 탄소섬유의 가격이 고가이어서, 자동차에 이용이 국한되지만 앞으로 사용 가능성이 있는 부품들로는 bumper 지지 beam, 변속기 지지 bracket, 엔진 bracket, hinge 보강부품, 스프링, door intrusion



Carbon fiber/aluminium honeycomb racing car chassis was produced for the McLaren International Racing Team.

그림 4 탄소섬유 등 복합재료를 이용한 경주용 자동차 chassis

beam 등 여러 곳을 전망할 수 있다.

DuPont 회사에서 개발된 Kevlar 섬유에는 Kevlar 29와 Kevlar 49의 2 종류가 있는데, 인장강도는 모두 철강의 5 배 (5×10^6 psi) 가량이며 밀도는 탄소섬유보다 낮다. 탄성계수는 Kevlar 29가 약 9×10^6 psi, Kevlar 49는 약 17×10^6 psi 이며, 연신율은 Kevlar 29가 약 3.6%, Kevlar 49는 약 2.5%이다.

Kevlar 섬유는 asbestos의 대체재료로 브레이크, 클러치 등에 이용되고 있다. Kevlar 재료들은 이와같은 마찰이 수반되는 부품에 사용시, 상대 접촉면의 마모율을 낮게 유지시켜 줌으로써 부품의 내구성을 높여주는 이점도 있다.

또한 불에 녹거나 타지않는 장점을 갖고 있으며, 소리나 진동의 감쇠계수가 크기 때문에 소음을 줄일 수 있는 등 여러 이점을 갖고 있다.

높은 강도와 낮은 밀도의 이점으로 특히 트럭의 타이어 코오드로 Kevlar 섬유가 이용되듯이, 자동차용 복합재료들은 우선 트럭에 이용될 가능성이 크다. 트럭의 수명은 일반적으로 승용차보다 길며, 또한 숫자도 적어서 수공이 많이 드는 복합재료의 이용면에서도 타 차종에 비해 유리하며, 연료비가 많이 들기 때문에 가벼운 복합재료를 이용한 경우, 처음 재료의 제작과 설

계에 따른 비용을 승용차등에 비해 더 쉽게 회수할 수 있는 이점이 있기 때문이다.

항공분야에서는 Boeing사가 1982년 9월 약 1 ton에 해당하는 다량의 최신 복합재료를 처음으로 사용하여 만든 Boeing 767을 첫 취항시켰다.

4. 맺음 말

현재 자동차산업에서 이용되는 주요 재료들의 일반적 경향과, 차량의 경량화에 이용될 것으로 생각되는 Al 합금, Ti 합금과 복합재료에 대하여, 몇가지 제한된 범위의 기계적 성질과 이용에 관하여 정리해 보았다.

어떠한 재료들이 어떠한 형태로 미래의 자동차산업에서 이용될 것인가 하는, 이런 종류의 전망은 머리말에서 언급한대로 예상치 못한 발견과 과학과 기술의 발전에 의하여 언제나 변화될 것이다.

따라서 이 글의 목적도 정확한 전망을 밝힌다기 보다는, 오히려 현재 새롭게 연구, 개발되고 있는 여러가지 재료의 성질들을 부족한대로 소개함으로써, 자동차산업의 공학자들이 어떻게 앞으로 이들 신재료의 제품들 실제 생산분야에 이용할까 관심을 갖게 하는데 있겠다.