

정 보 분 석 보 고 서

자동차 경량화 탄소복합재의 개발동향 및 응용 제품

2015년 12월

정인수, 문민석

<목 차>

제 1 장 서론	1
제 2 장 자동차 부품 경량화 필요성 및 중요성	3
제1절 자동차의 부품 경량화 필요성	3
제2절 자동차의 부품 경량화의 중요성	6
제 3 장 자동차 부품 경량화 기술동향 분석	9
제1절 자동차 부품 산업 동향	9
제2절 자동차 부품 산업의 경량화 동향	14
제3절 자동차 부품 산업의 경량화 전략	18
제4절 자동차 부품 산업의 경량화 적용 사례	20
1. 유럽 자동차 업체의 경량화 적용 사례	20
1) 폭스바겐	20
2) 메르세데스 벤츠	23
3) BMW	25
2. 미국 자동차 업체의 경량화 적용 사례	27
가. Ford	27
나. GM	29
3. 아시아 자동차 업체의 경량화 적용 사례	31
가. 토요타	31
나. 혼다	33
다. 현대기아자동차	35
제 4 장 자동차 부품용 탄소복합소재 개발동향 분석	37
제1절 자동차 산업 탄소 복합소재 개요	37
1. 탄소섬유강화 복합재료	37
2. 플라스틱(레진) 재료	41
제2절 자동차 분야의 탄소 복합소재시장 시장 전망	43
제3절 탄소섬유 복합재료 동향	45
제4절 탄소섬유 강화 플라스틱 개발동향	51
1. 국내외 탄소섬유 강화 플라스틱 개발 동향	51

가. 해외 개발 동향	51
나. 국내 개발 동향	52
2. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 개발	53
가. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 중간재 개발	54
나. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 성형 기술	55
다. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 접합 기술	55
라. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 재활용 기술 개발	55
제5절 자동차 부품용 탄소복합소재 개발동향 분석	57
1. 자동차 부품용 탄소복합소재 국가별 동향	57
가. 독일	57
나. 미국	59
다. 일본	60
라. 한국	61
2. 자동차 부품용 탄소복합소재 기업별 개발동향	62
가. BMW	62
나. Oxeon	65
다. Ford	66
라. 토요타	68
마. 현대 기아자동차	71
제 5 장 자동차 경량화 부품 산업 전망	75
제 6 장 결론	79
<참고문헌>	81

<표 목차>

<표 1> 자동차용 복합소재 기술 분류	47
<표 2> CFRP 자동차 부품 적용 사례	48
<표 3> 자동차 경량화 재료 비교	49
<표 4> 시판 자동차 CFRP 적용 사례	73
<표 5> CFRP 성형 공법 및 특징	76

<그림 목차>

<그림 1> 국내 자동차 소재별 구성 비중	4
<그림 2> 주요 국가별 자동차 연비 규제 기준	5
<그림 3> 자동차 경량화 기술 동향	6
<그림 4> 자동차 연비개선 기술 동향	8
<그림 5> 연간 발생 온실가스 분포	11
<그림 6> 지구 온도 변화 그래프(1881년~2009년)	11
<그림 7> 국가별 연비 개선 중장기 계획	13
<그림 8> 자동차 에너지 소비 비율	16
<그림 9> EURO 배기가스 규제 동향	16
<그림 10> Volkswagen Golf 모델 BIW	20
<그림 11> Audi A6 Avant	21
<그림 12> Audi A8 e-tron BIW	21
<그림 13> Audi A8 BIW	22
<그림 14> 메르세데스 벤츠 S-Class 경량화	23
<그림 15> 메르세데스 벤츠 GLC 모델 플라스틱 엔진 서포트	24
<그림 16> BMW 5 GT의 BIW	25
<그림 17> BMW N52 Magnesium Engine	25
<그림 18> BMW i3 CFRP Body Frame	26
<그림 19> Figo Aspire의 고장력강 프레임	27
<그림 20> Ford CFRP Hood 적용 사례	28
<그림 21> 고장력을 이용한 Ford Transit Body Structure	28
<그림 22> Cadillac ATS 경량화 적용 사례	29
<그림 23> Corvette Stingray 알루미늄 프레임	30
<그림 24> Avalon 프론트 범퍼	31

<그림 25> Toyota Camry 하이브리드 자동차	32
<그림 26> Jazz 모델의 ACE 소재 변화	33
<그림 27> 2014년식 Odyssey 모델	33
<그림 28> 2014년식 Acura MDX	34
<그림 29> 현대자동차 차체 부위별 강판 적용 사례	35
<그림 30> 현대자동차 경량 스틸 프레임 적용	36
<그림 31> 탄소섬유 형상 및 적용 사례	38
<그림 32> 탄소섬유강화 복합재료의 분류	39
<그림 33> 자동차용 CFRP 세계시장 규모 전망	43
<그림 34> 탄소섬유를 적용시킬 경우 경량화 효과	49
<그림 35> 탄소섬유 수요 잠재력에서 요구되는 중요 기술	50
<그림 36> BMW i8 하이브리드 전기자동차	58
<그림 37> GM Spark 전기자동차	59
<그림 38> 미쯔비시의 전기자동차 ‘i EV’	60
<그림 39> 현대자동차의 수소연료전지 자동차 ‘Intredo’	61
<그림 40> BMW사의 M3 CSL	62
<그림 41> BMW 전기자동차 i3 BIW	63
<그림 42> BMW’ s Z22 CFRP side panel manufactured by RTM	64
<그림 43> CFRP 자동차 휠	65
<그림 44> SMC 공법으로 제작된 Ford의 화물 적재함	67
<그림 45> 토요타의 Lexus LFA	68
<그림 46> 토요타 연료전지 승용차 미라이 모델	69
<그림 47> 토요타 미라이 모델에 적용된 탄소 소재	70
<그림 48> 기아자동차 쏘렌토 CFRP 적용 썬루프	71
<그림 49> 현대자동차 Intrado BIW	72

<그림 50> N 2025 비전 그란 투리스모	72
<그림 51> 자동차 분야에서의 CFRP 적용 역사	75
<그림 52> 탄소섬유 활용 증가 예상치	77
<그림 53> 철강 대비 탄소섬유와 알루미늄과의 가격 예측	77
<그림 54> 자동차 경량화 감량 요구에 따른 소재별 예상 적용률	78

제 1 장 서론

화석연료의 유한성과 친환경 추진에 따른 세계 각국의 환경 규제가 엄격해지고 있고, 자동차 산업에서의 석유자원 의존도는 전체 석유생산량의 30% 가량을 소비하면서, 전체 온실가스 배출량의 25%를 차지하고 있다.

이로 인한 자동차 연비 규제는 완성차 업체 및 각국 정부로 하여금 엔진 효율 향상, 차량 경량화 및 배기가스 저감 등에 막대한 연구 개발비를 지출하도록 유도하고 있다.

미국의 Consumer Report에 따르면 미국 소비자의 37%가 연비를 자동차 선택에서 가장 중요한 요소로 꼽는다고 조사됐다. 이러한 변화의 이유는 유가 100불 시대로 진입하면서 연비가 소비자 인식에서 가장 중요한 문제가 되었다는 것이다.

자동차 연비를 개선하는 방법 중 소재의 경량화는 변화에 따른 리스크, 비용상승 등의 이유로 미뤄왔던 것으로 기타 경량화 방안 대비 개선 여지가 상대적으로 크다.

자동차의 구조를 크게 분류해 보면, 엔진, 변속장치, 새시(프레임, 브레이크, 현가장치), 차체(외장, 내장) 그리고 전장품으로 구성되어 있다. 여기에 사용되는 재료는 거의 대부분이 금속재료로 이루어졌다고 해도 과언이 아니다.

그러므로, 자동차 경량화를 위한 연구는 크게 다음과 같이 분류하여 진행되고 있다.

- 자동차 구조 자체를 합리화해 경량화를 추구하는 방법으로 자동차 구조 합리화는 차체 설계를 개선해 차체를 최적화하고 부품 모듈화 등을 통해 경량화를 추구하는 방법이다.
- 자동차 재료를 신규재료로 치환해 강도는 강화하고 중량은 줄이는 방법으로 자동차 신규재료 치환은 연비효율을 높이고 차체를 가볍게 하기 위해 세라믹스나 플라스틱 재료 및 알루미늄, 마그네슘 등을 중심으로 우수한 물성을 갖는 경량재료를 개발해 부품에 적용하는 방법이 개발되고 있다.

- 프로세스상에서 신 공법을 사용해 경량화를 추구하는 방법으로 프로세스는 자동차 제조상에서 공법을 활용해 경량화를 추구하는 방법이다.

자동차 경량화는 자동차업계의 영원한 과제라고 할 수 있다. 경량화가 자동차 업계에서 최우선적으로 고려되어야 할 이유는,

- 자동차의 기본성능인 가속력과 제동력의 향상,
- 환경규제 및 고유가 시대의 도래에 따른 연비 개선 필요성,
- 차세대 자동차인 EV(Electrical Vehicle)에서의 경량화 필요성 지속 등이다.

최근 자동차 소재 및 부품의 선택에서부터 가공기술의 개선, 모듈화까지 관련 기술개발 전반을 글로벌 완성차 업체들이 직접 주도하기 시작하면서 경량화 소재 적용은 완성차 업체들의 주된 관심사 중 하나가 되었다.

경량화 소재로 검토되고 있는 소재 중 자동차용 고분자 소재는 비중이 0.9~2.1g/cc 정도로 경량성이 뛰어나고 설계와 제조공정에 유연성이 있으며, 고성능화된 수지, 고성능 복합재료 등의 성능 개선 기술 발달로 내장부품을 벗어나 구조나 기능 부품 영역까지 확대되고 있는 추세이다.

본 보고서는 이러한 자동차 경량화 구현에 있어서 탄소복합재료의 종류와 용도에 대한 개발 동향과 응용 제품에 대한 기술 동향을 살펴보고자 한다.

제 2 장 자동차 부품 경량화 필요성 및 중요성

제1절 자동차의 부품 경량화 필요성

21세기는 다양한 산업 분야에서 기술적 진보를 통한 첨단 기술이 활성화되고 있으며 그 변화의 주기가 점점 짧아지고 있다. 그 중에서도 인류의 삶에 밀접한 관계가 있는 재료들은 지속적으로 가볍고, 질기고, 강인한 방향으로 개발되고 있다.

그 중에서도 운송수단에 관련한 소재는 가볍고 강도가 높아야 하는 필요성이 강하게 요구된다. 즉 경량화, 강성(stiffness)을 동시에 만족시키면서도 운송 수단 고유의 내구성을 가질 수 있는 재료의 필요성이 지속적으로 증대되고 있다.

자동차 산업은 점점 전자화, 고급화되고 있으며, 안전성 등에 대한 소비자들의 요구가 다양해짐에 따라 부대장비가 늘어나 자동차 중량은 1970년대부터 지금까지 지속적으로 증가하는 추세이다.

자동차 분야에서 경량화에 대한 화두는 오랜 시간동안 계속 진행형으로 지속되고 있는 자동차 업계의 당면한 과제이다. 이전에는 완성차업체들에서 경량화는 선택의 문제로 큰 이슈가 되지 않았지만, 작금의 시대에는 필수의 문제로 상황이 바뀌었다.

가장 간단한 자동차 부품 경량화는 고비중의 소재를 저비중의 소재로 변경시키는 방법이 있다. 하지만, 저비중 소재로 했을 경우, 대부분 현재의 철강 소재보다 고비용이 예상됨으로, 비용 절감 최적화를 위한 설계 및 성형 공정 개발이 필수적으로 필요하다.

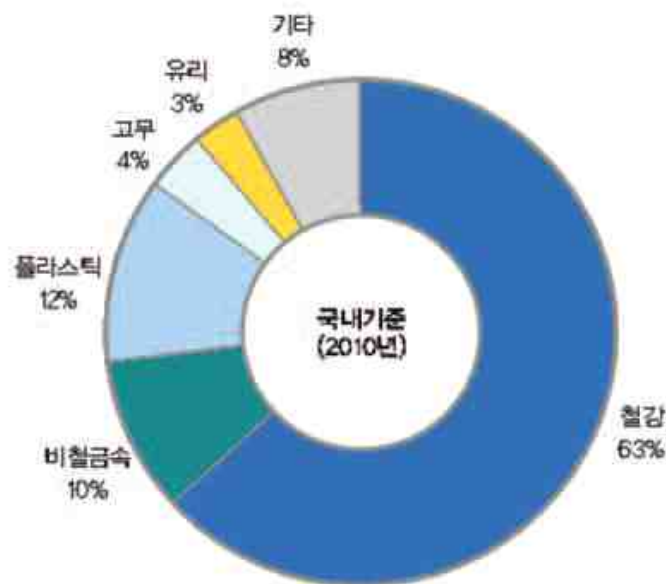
경량소재를 가장 적극적으로 사용하고 있는 유럽의 2020년 목표를 기준으로 보면, 국내 자동차의 철강 사용비중은 현재 68%에서 41%로 -27%p 낮아지면서 비철금속 및 합성수지의 사용비중은 각각 12%p 증가할 것으로 추정된다.

2010년 기준으로, 미국 자동차의 소재별 구성을 살펴보면 철강이 60.5%, 비철금속이 12.9%, 플라스틱 9.4%, 고무 12.7%, 유리 및 기타 4.5%로 구성되어 있다.

국내 자동차의 소재별 구성을 살펴보면, 철강이 63%, 비철금속이 10%, 플라스틱 12%, 고무 4%, 유리 및 기타 11%로 구성되어 있다.

자동차업계의 전문 컨설팅 기업인 A.T.Kearney는 2020년까지 자동차부품 소재 중 철강소재의 비중은 55%로 감소하고, 플라스틱 소재가 18%를 차지할 것으로 전망했다.

그리고, McKinsey는 자동차 중량이 현재보다 약490kg 감량할 경우, 탄소 섬유 사용량이 36%로 증가할 것으로 예측하였다.



[그림 1] 국내 자동차 소재별 구성 비중

자동차의 경량화는 엔진 효율을 극대화할 수 있고, 조향장치 및 제동장치에 가해지는 피로 저하와 운전자의 승차감 향상의 구현할 수 있고, 가속 성능과 운동 성능이 향상된다.

이러한 성능 개선 이외에도 화석 연료의 가채량 한계에 따른 유가의 지속적인 상승과 미국, 유럽, 중국 등의 자동차 연비 기준 강화 및 국가별 자동

차 환경 규제 등이 자동차 경량화를 가속화하고 요인으로 작용하고 있다.

따라서, 자동차 산업에서의 경량화 구현이 필요한 사항을 정리하면,

- 자동차의 본질적 문제인 가속력과 제동력 향상,
- 외적 요인으로는 국제적인 환경 규제와 고유가 시대의 연비 개선 필요성 증대,
- 향후 전기자동차 및 하이브리드 자동차에서의 지속적인 경량화 등의 이유로 자동차의 경량화는 필수이면서, 완성차의 당면한 중요 과제이다.



[그림 2] 주요 국가별 자동차 연비 규제 기준

이러한 시대적 필요성과 요구에 맞는 경량화 소재의 중심에 탄소섬유가 위치하고 있다. 탄소섬유는 상기에 언급한 내용을 충분하게 충족하고 있고, 그 외에도 강도와 탄성에서 특출한 우수성을 나타내어 모든 분야로 사용 범위가 확대되고 있다.

따라서, 자동차 산업 분야에서의 경량소재인 탄소섬유 적용은 자동차의 구조적 안정성을 부여하면서, 경량화 구현을 통한 주행시 CO₂ 배출량을 줄이고, 연비 향상과 제동거리 감소를 통한 안전성을 확보할 수 있는 중요한 특성을 갖고 있다.

제2절 자동차의 부품 경량화의 중요성

자동차 산업의 연비규제는 1990년대 이후 유럽을 중심으로 전 세계적으로 자동차의 연비와 배기가스 규제가 지속적으로 강화되고 있다. 자동차 주요 소비 국가인 미국과 일본, 중국까지 2015년을 전후로 연비와 온실가스 규제를 단계적으로 강화하고 있다.

이러한 연비규제가 2015년을 기준으로 규제가 강화 속도가 빨라지고 있고, 규제 미달시 업체에 총판매 차량에 비례한 벌금을 부과한다는 등 규제가 엄격해지고 있다.

미국은 0.1mpg당 5.5달러 벌금을 판매 차량 전체에 부과하고 있고, 유럽은 초과 배출량 기준 5~95유로 누진 벌금을 부과할 계획이다. 일본도 목표 미달시 벌금 부과 등의 제재를 강화할 예정이다.



[그림 3] 자동차 경량화 기술 동향

에너지 소비 중 높은 비중을 차지하는 자동차 연비 개선은 중요한 과제이다. 미국 에너지 총소비 중 28%가 운송이 차지하고 있고, 이 중 80%가 승용, 경상용 등을 포함한 자동차에 기인한다.

하지만, 자동차의 에너지 소비 중 실제 운행에 이용되는 비율(에너지효율)은 12%에 불과하다. 즉, 자동차 에너지 소비의 88%는 열이나 마찰의 형태로 소비된다. 이에 주요 국가는 연비, 온실가스(CO₂ 포함), 연료소비 등 형태만 다를 뿐 차량의 에너지 효율에 대한 규제를 강화하고 있다.

실제 소비자도 차량의 운행비용(Total Cost of Operation)에 민감해지면서, 고연비 차량에 대한 고객의 선호가 높아지고 있다. 소비자들의 고연비 차량 선호도는 2010년 66%에 불과했으나 2013년 85%로 높아졌다.

자동차의 완성차 업계는 빠르게 변화하고 있는 연비 규제를 만족시키지 못할 경우, 판매 규모에 비례한 벌금이 부과되는 물론 소비자들의 기호를 만족시키지 못할 경우 사업에 어려움을 직면하게 되는 상황으로 몰릴 수 있다.

연비개선 기술은 크게 네 가지로 정리할 수 있다.

○ 엔진/구동계(파워트레인) 개선

- 엔진/구동계 개선은 높은 연비 개선 효과에도 불구하고 상당 부분 완성된 기술로 추가적인 기술 개발에 한계가 있다.
- 기술 개발에 관련하여 많은 투자 비용과 투자 기간이 소요된다. 일반적으로 파워트레인 생산 주기는 투자회수 기간이 길어 일반적인 모델 생산 주기(5년)의 두 배 정도인 8-10년이 소요된다.
- 따라서, 현재까지는 파워트레인에 관련한 기술의 진보가 꾸준하게 있었고, 개선 효과도 컸지만, 급격하게 변화되는 연비규제에 충분하게 대응하기에 한계를 가지고 있다.

○ 공기저항감소(Aero dynamic) 디자인

- 차량의 디자인 단계에서부터 공기 저항을 최소화해 연료의 효율성과 주행 성능을 높이는 기술이다. 다른 연비 개선 기술에 비해 비용은 적은 장점이 있지만, 획기적인 연비 개선을 위한 유선형 및 곡선형의 일괄적인 디자인을 적용하는 한계를 갖고 있다.
- 그리고, 수요와 기능을 고려하지 않은 일관된 디자인만으로는 소비자와

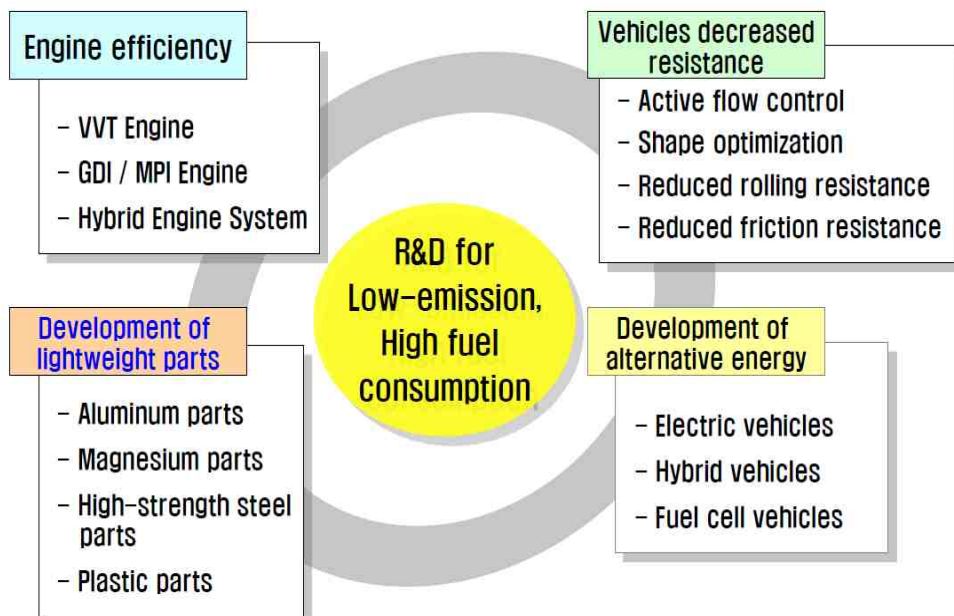
제품의 다양성을 충족하기에 어려움이 있고, 최근 소비자의 성향에 맞도록 제공하는 고객 맞춤 서비스에는 어려움이 있다.

○ 대체 에너지 구동 기술

- 대체 에너지 구동의 대표적 예시는 전기자동차, 수소 연료전지 자동차, 하이브리드 자동차 등을 들 수 있다. 배기 가스 저감에 가장 높은 개선 효과가 있는 이 기술은 대량 생산 및 가격 절감 방안 등의 장기적인 계획을 가져야 하는 어려움이 있다.
- 현재 기술을 감안할 때 높은 적용 비용과 인프라 구축 비용이 필요하며, 현재 사용 중인 내연기관의 성능과 효율성을 충분히 만족시킬 수 있는 추가적인 기술 개발이 진행되어야 하는 과제를 가지고 있다.

○ 차량경량화

- 이에 비하여 차량 경량화 기술은 기존의 자동차에 적용되고 있는 부품들의 소재를 변경하여 사용하는 기술로, 다른 기술 개발에 비하여 적용 주기가 짧고 다양한 경량화 방법을 통해 개선 여지가 많다.
- 또한, 파워트레인의 개선과 달리 완전 신 모델 주기가 짧은 차량의 모델 변경(차량 풀 모델 체인지 5년 vs. 파워트레인 풀 체인지 8-10년)이나 상품성 개선을 통한 연식(Model year) 변경을 통하여 다양한 방법으로 경량화 진행이 가능한 특징을 갖고 있다.



[그림 4] 자동차 연비개선 기술 동향

제 3 장 자동차 부품 경량화 기술동향 분석

제1절 자동차 부품 산업 동향

자동차 산업에서 1970년대 이후로 안전성과 주행성 및 소비자 편의성 제공을 위하여 자동차 무게는 700kg대에서 1,300kg대까지 공차 무게가 증가하였다. 하지만, 유가의 가파른 상승과 화석연료 개채량의 한계 및 엄격해지는 환경 규제 및 연비규제로 인하여 차츰 경량화 추세를 보이고 있으며 관련 기술 개발이 이루어지고 있다.

자동차의 연비를 개선하기 위한 방법으로는 고효율 GDI(직분사)엔진 장착, 엔진 다운사이징, 6/8단 변속기 채용 확대, xEV 개발 등 고효율 구동기술 채택, 차량 경량화 등이 있다. 특히 자동차 중량이 10% 감소되면 연료소비가 7% 감소되어 연비가 1l 당 1 km 개선되는 것으로 알려져 있다.

이에 따라 글로벌 완성차업체들은 차량 경량화를 위한 투자를 확대하고 있는 추세이다. 차량 경량화를 위한 방안으로는 최적설계 및 부품성능 극대화를 통한 부품수 감소, 고장력강, 알루미늄, 마그네슘, 엔지니어링 플라스틱, 섬유강화 플라스틱, 섬유강화 복합재료 등 경량 대체소재 적용 등이 있다.

이 가운데 경량 대체소재 적용은 부품의 자체중량 감소뿐만 아니라 최적설계 및 부품통합을 가능하게 하여 경량화 효과를 극대화할 수 있다.

자동차 내외장 부품의 경우 주로 PP, ABS 등 범용 플라스틱이 사용되고 있으며, 플라스틱화 할 수 있는 부품은 이미 대부분 플라스틱화 되어 있는 상황이다.

그러나 향후에는 엔진 및 공조, 연료부품 등에서 금속 대체수요 증가, 전장 및 안전대책 부품 채택 증가, xEV시장 확대에 따른 2차전지, 모터 등 신규 무거운 부품의 경량화 요구 증대 등으로 범용 및 수퍼 엔지니어링 플라스틱, 슈퍼섬유, 섬유강화 복합재료 등 고기능성 소재의 채용이 증가할 전망이다.

특히 내외장재에서 공조부품, 연료부품, 전자부품, 엔진부품으로 갈수록 내열성과 강도, 난연성 등의 특성을 지닌 고성능 경량 대체소재가 요구된다.

한편, 자동차의 경량화 측면에서 섬유소재는 소재 자체가 가지고 있는 경량 특성 및 기타 특성으로 인해 매우 각광받고 있는 소재이다. 자동차에 사용되는 섬유소재의 형태는 직물/편물, 부직포, 복합재 등이 있으며, 직물/편물 원단이 여전히 주류이지만 부직포 및 복합재 형태의 소재 사용량이 증가 추세에 있다.

경량화 등의 목적으로 기존 자동차 부품 소재의 대체 용도 및 광섬유, 도전성 섬유 등과 같은 고기능 섬유소재에 의한 새로운 용도로 적용 범위가 확대될 전망이다.

자동차 완성차 1대당 사용되는 섬유소재의 양은 1990년대 20kg, 2006년에는 28 kg, 현재는 약 35 kg 정도로 그 사용량이 증가하고 있으며, 향후에도 꾸준히 증가할 것으로 전망된다.

현대 사회에서 지구 온난화 문제와 고유가 시대의 도래 등 환경과 에너지 문제는 더 이상 간과할 수 없는 현안과제가 되었다.

1999~2008년 지구의 평균온도는 1940~1980년대에 비해 최대 2도 정도 상승하였으며, 이를 토대로 2070~2100년 지구의 평균온도를 예상해보면 1960~1980년에 비해 최대 8도 상승할 것으로 예측된다.

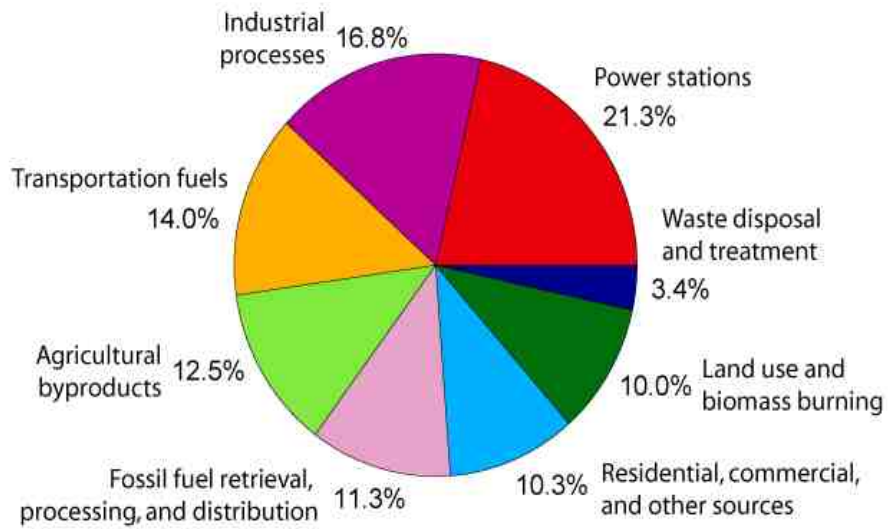
이러한 지구온난화는 가뭄, 홍수, 폭염 및 생태계파괴 등을 유발하며, 기후변화로 인한 경제손실은 매년 세계 GDP의 5~20%일 것으로 추정된다. 세계은행은 2010년 탄소배출권 시장규모가 1,500억 달러에 달할 것으로 전망하였고, 모건스탠리는 신재생에너지 시장이 2020년에는 1조 달러에 달할 것으로 예상하였다.

지구온난화의 원인 중 자동차를 비롯한 수송기기의 대부분은 화석연료를 주요 에너지원으로 사용하고 있으며, 이로 인한 온실가스 배출은 전기 발전과 산업 분야에 이어 세 번째로 큰 비중을 차지하고 있다.

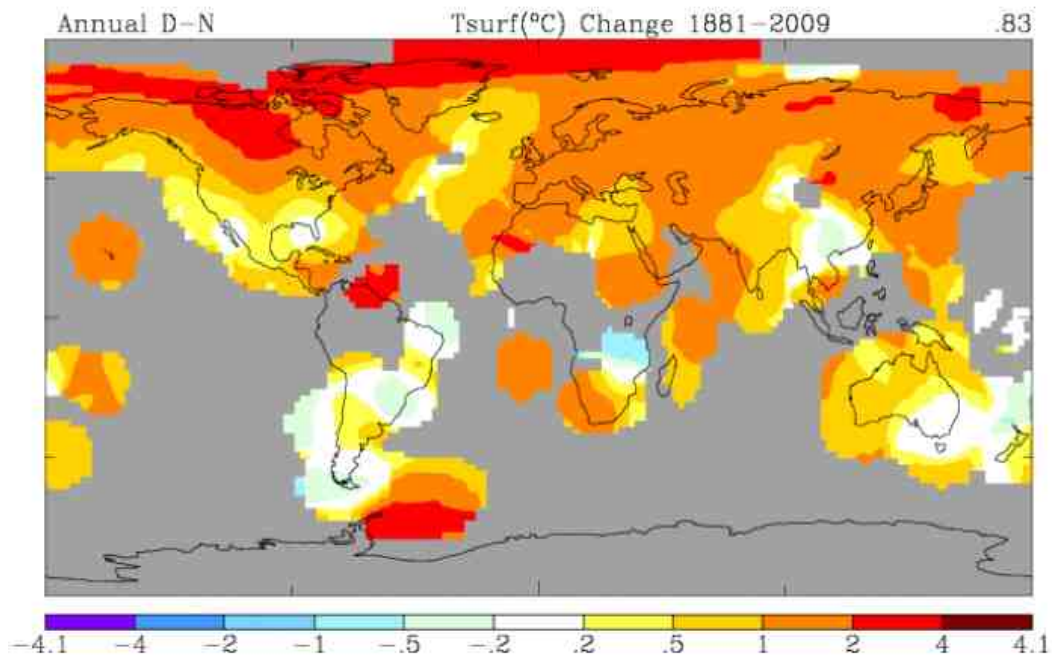
온실가스 배출문제 외에도, 수송기기의 폐기 과정에서 발생하는 폐기물 및 재활용 문제, 그리고 배기가스에 의한 스모그 문제 등이 있다.

1997년 12월 체결된 교토의정서(Kyoto Protocol)는 기후변화협약에 따른 온

실가스 감축목표에 관한 구체적인 이행 방안으로 선진국의 온실가스 감축 목표치를 규정하였다. 교토회의에서 2008 ~ 2012년에 걸쳐 선진국 전체의 CO₂ 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축목표가 설정되었다.



[그림 5] 연간 발생 온실가스 분포



[그림 6] 지구 온도 변화 그래프(1881년~2009년)

미국은 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)과 교통부(DOT: Department of Transportation)를 중심으로 자동차 분야의 온실가스 규제 방안을 제정하고, 이산화탄소 배출기준을 2016년부터 155g/km이 적용시킬 예정이다.

유럽연합에서는 온실가스를 장기적으로 감축하기 위한 방법으로 ‘EURO 법규’를 제정하여 1991년부터 자동차의 이산화탄소 배출량을 규제하고 있으며, 2008년 147g/km(Euro 5)에서 2012~2015년 130g/km(Euro 6)로 약 13% 수준으로 CO₂ 배출량을 낮추고 있으며, 추가적으로 2020년까지 105g/km로 이산화탄소 배출기준을 설정하였다.

미국은 1975년부터 1만대 이상의 차량을 판매하는 회사들을 기준으로 자동차 기업 평균연비 규제(CAFE: Corporate Average Fuel Economy)를 적용하였다. 이 규제를 적용한 이후 10년 만에 자동차 연비를 5.7km/l에서 11.7km/l로 획기적으로 개선시켰다.

현재는 2008년 12km/l의 연비를 2016년까지 15.1km/l로 약 26% 향상시키는 목표를 설정하였고, 향후 2025년까지 평균연비를 23km/l까지 올리려는 목표를 설정한 바 있다. 그리고 이러한 기준에 미달성시 기준 미달분에 비례하는 과태료를 부과하고 있다.

또한, 2017년부터 승용차는 연간 5%씩 연비를 향상시켜야 하고, SUV, 소형 트럭, 승합차는 연간 3.5~5%씩 연비효율을 높이도록 유도하고 있다. 이를 인하여 미국 정부는 2017~2025년에 60억 톤의 2008년 CO₂ 배출 감축을 예상하고 있다.

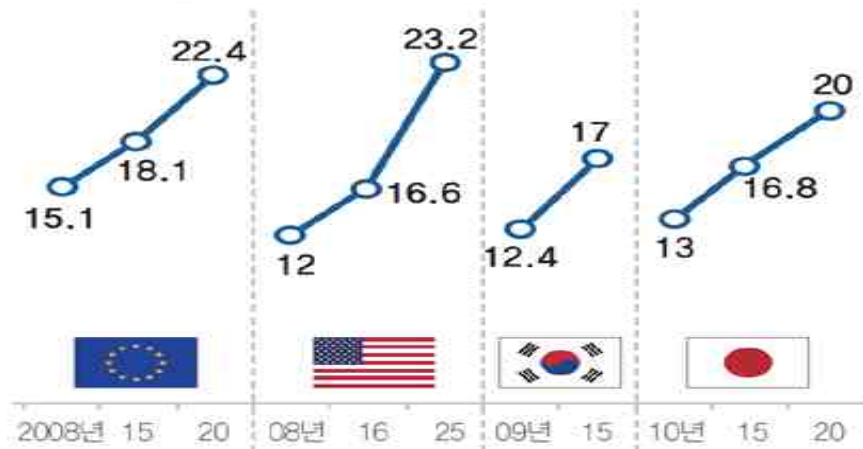
국내의 경우에는 2008년 12.3km/l의 연비를 2012~2015년까지 17km/l로 약 38% 연비향상을 목표로 하고 있다.

위와 같이 전 세계적으로 환경오염과 지구온난화에 대한 관심이 급증하고 있는 상황에서 이산화탄소에 의한 지구 온난화를 막기 위한 효율적인 방법으로는 수송기기로부터 발생하는 이산화탄소의 최소화라 할 수 있다.

더욱이 환경문제와 관련된 배기가스 및 연비규제 관련 법안이 제정되고 있어 이에 대한 대처여부가 향후 자동차 업체의 생존과도 직결되는 문제로 대

두되고 있다. 이러한 환경 문제를 해결하기 위해 자동차 업체들은 여러가지 노력을 기울이고 있는데, 그 중 하나가 바로 차량의 경량화이다.

탄소섬유 복합재료를 자동차에 약 17% 수준으로 적용한 경우 온실가스 절감효과는 고급 자동차의 연료소비를 약 18만 톤 정도 절감할 수 있는 양으로, 연비가 자동차 중량에 비례하여 증가하므로 탄소섬유 복합재료의 적용을 통한 자동차의 경량화는 연비향상과 배기가스 감소를 위해 필수적이라 할 수 있다.



[그림 7] 국가별 연비 개선 중장기 계획

이러한 차체 경량화를 위하여 알루미늄합금 등의 비철금속류가 사용되어 왔으나, 최근에는 고분자, 특히 적절히 강도가 보강된 고분자 복합재료가 선두 주자라 할 수 있다. 현재 국내에서 일반소형 승용차를 1대 제조하는데 있어 사용재료별로 보면 철강재료 40%, 특수강 20%, 알루미늄 15%, 고분자(고무류 포함) 14% 수준이며, 특히 향후 고분자의 사용량은 크게 증가될 것으로 예상된다.

또한, 최근에는 탄소섬유 복합재료는 금속소재 대비 우수한 물성과 낮은 비중으로 자동차뿐만 아니라 각종 수송기기의 경량화 소재로 각광을 받고 있다.

제2절 자동차 부품 산업의 경량화 동향

차량 경량화는 가장 현실적이고 효과적인 연비 개선 방법이다. 부분 변경 모델이나 모델 연식 변경을 통해서 부분적인 경량화가 가능해 적용 주기가 짧아 오랜 기간과 많은 비용이 들어가는 타 기술 대비 적용이 용이하다. 경량화로 인한 연비 개선 효과도 명확하다.

공차중량 1,500kg의 5인승 승용 차량을 10kg 경량화하면 연비는 2.8% 향상되고, 배기가스인 이산화탄소와 질소산화물은 각각 4.3%, 8.8% 감소된다. 이는 신차 등록 8백만대 기준일 평균 60km, 주행과 평균연비 12km/L로 가정할 경우, 하루 16만리터의 연료 절감과 20만kg의 온실 가스 감소 효과와 동일하다.

경량화의 중요성이 증가하고 있음에도 지난 30년간 차량의 중량은 지속적으로 증가해 왔다. 미국 EPA에 따르면 미국 승용 및 경상용 차량의 공차 중량은 1980년 3,210파운드에 불과했으나 2009년에는 875파운드(27.3%) 증가한 4,085파운드까지 증가하였다.

차량 중량 증가의 주된 요인은 안전 및 편의 사양의 확대이다. 안전 규제 강화와 소비자들의 편의 요구 증가로 차량 1대당 안전과 편의에 투여된 중량의 비중은 1980년 4.3%, 8.5%에서 2010년 7.5%, 15.6%로 각각 3.2%, 7.1% 증가하였다. 반면 기존 구동에 이용되는 차량의 중량은 같은 기간 86.5%에서 75.0%로 11.5% 감소하였다.

VW Golf의 사례에서와 같이 세대를 거듭할수록 엔진 및 변속기의 성능도 개선되었지만, 크기(공간)이 커짐에 따라 공차 중량 또한 지속 증가해 왔다.

최근에는 스톱 오버랩 테스트로 대표되는 안전 규제의 강화와 안전 차량에 대한 수요 증가에 부합하기 위해 현대차 신차의 중량도 증가했음을 확인할 수 있다. 제네시스와 쏘나타 신차 출시 사례와 같이 차량의 성능이 개선되었음에도 공차 중량 증가로 연비는 오히려 악화되었다.

안전과 편의 요구에 부합하기 위한 차량 중량화가 지속된 반면, 연비 규제 강화에도 내연 기관의 성능 개선이 실질적인 연비 개선으로 이어지지 못했

다. 앞서 살펴본 1980년 이후 차량의 무게가 증가한 기간 동안 내연 기관의 성능 개선으로 차량의 가속 능력은 무게와 무관하게 괄목할만한 개선을 지속했다. 중량을 조정한 연비 또한 해를 거듭할수록 지속 개선되어왔다. 하지만 실질 중량의 증가는 실질 연비의 개선을 둔화시키는 요인으로 작용하였다.

게다가 최근 자동차 산업의 연비에 부정적인 영향을 미치고 있는 인자로 유가하락과, 레저 인구 증가 및 개인에서 가족 중심으로 차량 소비패턴이 변화됨에 따라 연비가 우수한 하이브리드 차량의 판매는 감소하고, 연비가 상대적으로 열악한 픽업트럭, SUV 등의 경상용차의 판매가 증가되고 있기 때문이다.

소비 트렌드와 외부 환경 변화로 완성차 업체가 판매하는 차량의 평균 무게가 증가하고 평균 연비가 악화되고 있다. 이에 완성차 업체는 단기적으로 효과적인 연비 개선, 차량 중량화에 대한 보완 전략이 시급한 실정이다.

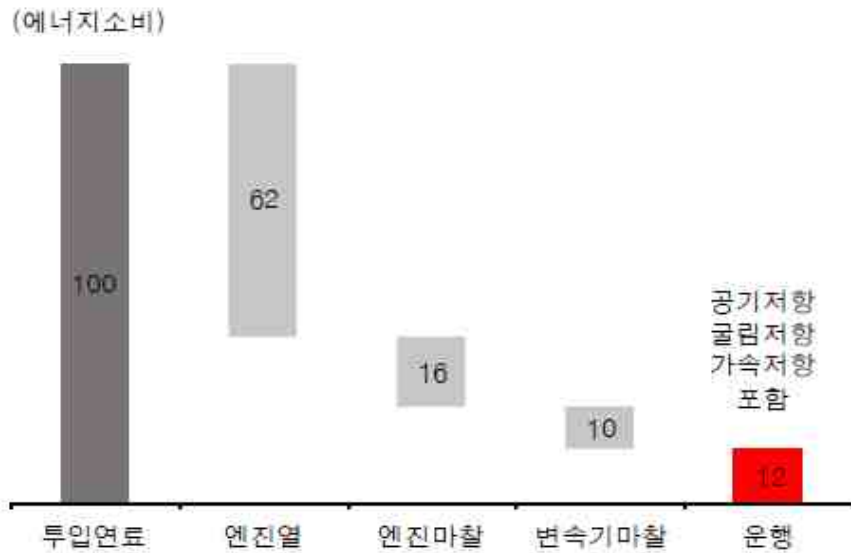
차량 경량화는 강화된 규제 부합을 위해 다른 연비 개선 기술의 한계를 보완하고 있다. 차량 경량화의 명확한 연비 개선 효과에도 불구하고, 차량은 안전과 편의 강화에 따른 중량 증가가 계속되어 왔으며, 이에 연비 개선 기술이 발전했음에도 비용과 개발 및 효율성 측면에서 한계를 나타내고 있다.

연비 개선 기술의 적용 주기의 차이로 급격히 높아지는 연비 개선 요구에 부합하기 위해서는 경량화가 현실적인 대안이다. 앞서 살펴본 바와 같이 내연기관의 개선이 지속적으로 이루어져 왔음에도 실질적인 연비 개선 효과는 미미했다. 즉 파워트레인 개선이 연비 개선(배기 가스저감)에 가장 효과적인 기술임에도 심화되는 규제에 부합하기에는 부족하다는 판단이다.

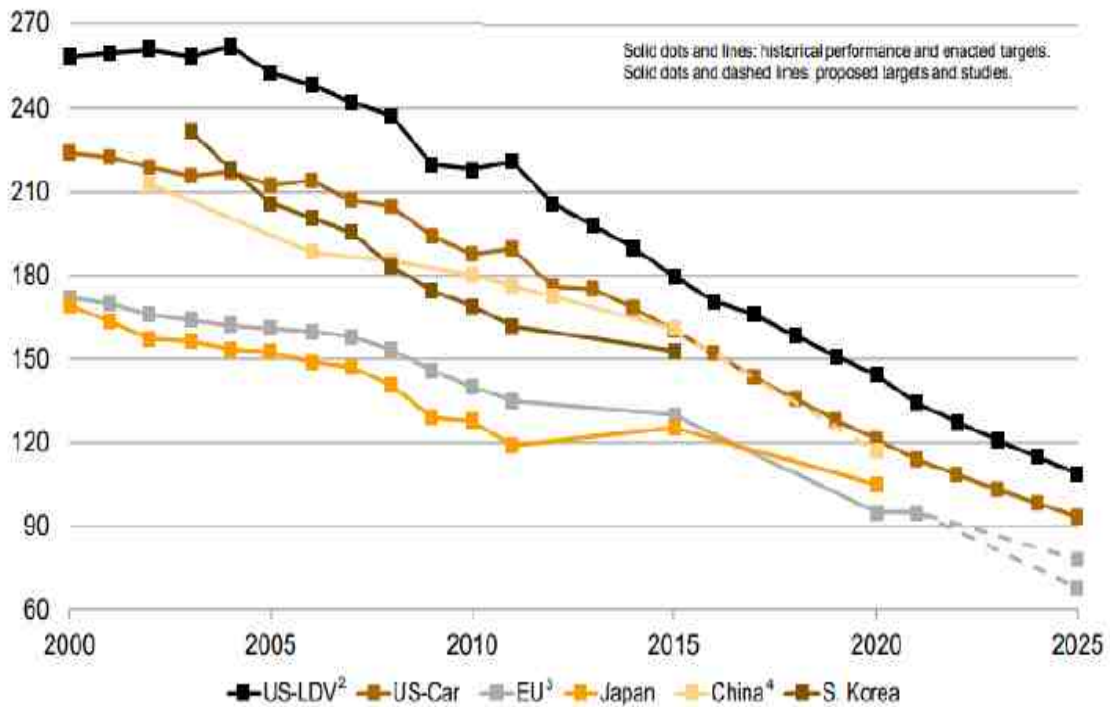
유럽 기준 기술별 배기가스 절감에 대한 기여도를 살펴보면, 현재 141g/km에서 2020년 목표인 95g/km를 맞추기 위해 파워트레인 개선(32g/km)이 절대적인 것으로 보인다. 하지만, 세그먼트 효과(Fleet Downsizing)과 전기차 보급으로도 높아진 규제를 모두 맞출 수 없는 상황이다.

차량의 중량화라는 트렌드가 지속됨에도 완성차 업체는 5g/km의 빈 부분을 경량화를 통해 메워야하는 실정이다. 또한 완성차 업체는 파워트레인 개선의

기술적 한계(비용 대비 체감효과)라는 부담을 짊어지고 2025년까지 추가로 강화(25g/km)되는 규제에 부합해야 한다. 이를 감안할 때 경량화의 중요성은 부각될 수 밖에 없다는 판단이다.



[그림 8] 자동차 에너지 소비 비율



[그림 9] EURO 배기가스 규제 동향

경량화는 상품성 개선 모델(연식 변경, Model Year Change, 연 1회)이나 신 모델(FMC, Full Model Change, 4-5년 주기) 변경을 통해서 부분적으로도 빠르게 적용이 가능하다는 장점이 있다.

반면 파워트레인 변경은 투자 기간이나 비용이 높아 투자 회수를 위해 교체주기(Product Cycle)가 8년~10년으로 길어 지속적인 투자와 획기적인 개선이 있음에도 단기간의 높은 성과를 기대하기는 어렵다는 판단이다.

또한 파워트레인 기술 수준이 대부분 성숙되어 투입 비용대비 효과가 점점 한계에 다다르고 있다는 점도 경량화의 필요성을 부각시키는 요인이다. 엔진 다운사이징, 변속기 다단화와 DCT가 연비 개선의 대안으로 지목되나 투입비용 대비 효용 개선의 체감 또한 한계로 지적되고 있다.

- 이미 성숙 단계의 디젤 터보 차저와 달리 가솔린 터보 차저의 경우 기술적, 고비용 한계로 디젤 T/C 수준의 높은 장착률을 기대하기에 시기 상조이다.
- 엔진 다운사이징이 전체 중량의 24%~28%를 차지하는 파워트레인의 중량을 감소시킨다는 점에서 광의의 차량 경량화로 볼 수 있다.
- 변속기의 경우도 다단화에 따른 투입비용 대비 연비 개선효과가 8단 변속기 이후 체감하는 것으로 평가되고 있다.
- DCT가 대안이 되고있으나 절대 다수인 자동, 수동 변속기를 대체하는데는 시간이 필요할 것으로 예상된다.

하이브리드 등 추가적인 연비 개선 기술 또한 개선 정도에 따라 비용이 기하급수적으로 증가해 무조건적인 탑재가 용이하지 않다. 특히 대중 브랜드에서 투입 기술에 대한 추가 비용을 소비자에게 가격 전가가 가능한지 여부 또한 중요한 요소이기 때문에 기술의 효율만큼 투입 비용이 중요한 선택 요건으로 작용한다.

제3절 자동차 부품 산업의 경량화 전략

자동차 업체들의 차량 경량화 전략이 구체화되고 있다. 차량 경량화는 친환경차나 고급차에 한정된 것으로 인식되었으나, 대중차에서 픽업트럭까지 확대 적용되고 있다. 특히 최근 자동차 업계는 모델의 포지션에 상관없이 고가로 인식되는 알루미늄 소재나 기존 대비 강성이 개선된 초고장력 강판 적용으로 경량화된 모델을 앞다투어 확대 출시하고 있다.

친환경차의 대표차종인 BMW의 i8은 CFRP 및 알루미늄 소재를 활용하여 총무게를 1,540kg까지 경량화하였다. 고급차 Audi A8은 초경량 알루미늄 ASF를 적용해 일반 강철대비 강성을60% 이상 강화하고, 무게를 기존대비 140kg 경량화하였다.

유럽 대중차의 대표인 VW의 Golf는 7세대 변경 모델에서 초고장력강판을 확대 적용해 기존 모델대비 연비를 23% 개선하고 100kg 경량화 하였다. Ford는 차량의 무게가 많이 나가 연비나 경량화와는 무관할 것 같은 픽업트럭의 대표모델 F150에서 알루미늄 바디를 적용하여 기존 대비340kg 경량화 시킨 새로운 모델을 공개했다.

이와 같은 경량화의 필요성 증대에 따른 사업화 전략이 필요하며 규제와 환경 및 기술적 측면에서 고려할 수 있다.

○ 규제측면

- 규제 측면에서는 지속적으로 강화되고 있는 연비 규제에 부합하기 위한 전방위적 연비 개선 기술 개발이 집중되고 있다.
- 특히, 대부분 국가들의 자동차 연비 규제강화 시점이 2015년에서 2020년 사이에 집중되어 있다.
- 따라서, 현재 시점부터 개별 모델 차원의 연비 개선에 대한 집중적인 기술개발과 투자가 시급한 실정이다.

○ 환경 측면

- 환경 측면에서는 자동차 완성차 기업에서 제공하는 평균 연비에 대한 부정적이었던 소비자의 신뢰 환경이 긍정적인 변화가 생기고 있다.
- 안전 및 편의 요구 증가로 차량의 중량이 증가되고 있어 자동차의 연비

에는 지속적인 악영향을 미치고 있다.

- 최근 유가 하락으로 친환경 자동차 판매가 감소되고 있고, 레저 및 가족 수요 증가로 SUV 등 경상용 자동차의 비중이 꾸준히 증가하고 있어서 자동차 완성차 기업의 평균 연비에 부정적 요소로 작용하고 있다.

○ 기술 측면

- 기술 측면에서는 기존 기술의 한계와 효율성 극대화에 한계에 있는 실정이고, 타 기술의 성숙도, 투자비용, 비용대비 효과 고려시 한계점을 갖고 있다.
- 특히, 파워트레인 개선이 효과가 가장 크지만 비용이 높고, 생산 주기가 긴 상황이라는 문제점을 갖고 있다. 친환경에너지 이용은 기술 개발의 한계와 고비용, 인프라 구축 부족 등의 문제점을 나타내고 있다.

이에 따라, 업계 내부적으로는 과거보다 경량화에 대한 관심이 높아지고 있다. 업종내 관계자의 서베이에 따르면 자동차 기술 트렌드의 중요도 중 경량화 소재에 대한 관심이 2012년 2%(8위)에서 2014년 16%(2위)까지 급속도로 증가한 부분도 상기 요인에 기인하는 것과 관련이 있다.

제4절 자동차 부품 산업의 경량화 적용 사례

1. 유럽 자동차 업체의 경량화 적용 사례

- 유럽 완성차의 경우, 고급차부터 대중차까지 다양한 라인업별로 경량 소재를 차등 적용하고 있다.
- 고급차의 경우 알루미늄, 마그네슘 등의 적용을 확대하여 급진적인 차량 경량화 전략을 추진하고 있다.
- 대중차의 경우 초고장력 강판 확대를 통한 차량 경량화 전략을 추진하고 있다.

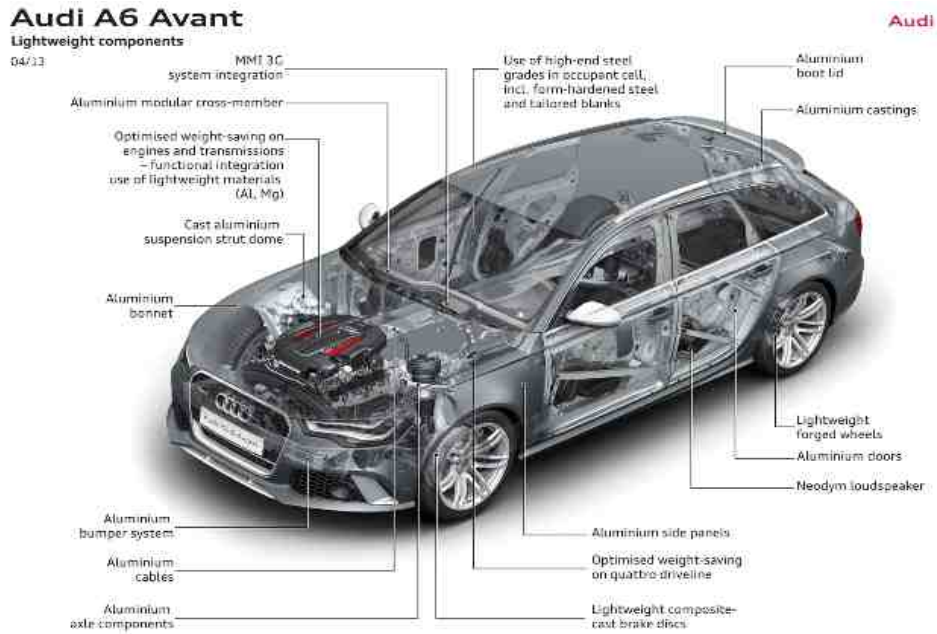
1) 폭스바겐

- Volkswagen은 고급차의 소재 변경을 통한 연비 절감에 초점을 맞추고 있다. Golf 신형을 220파운드 경량화, 그 결과 연료소비 23% 절감하였다.



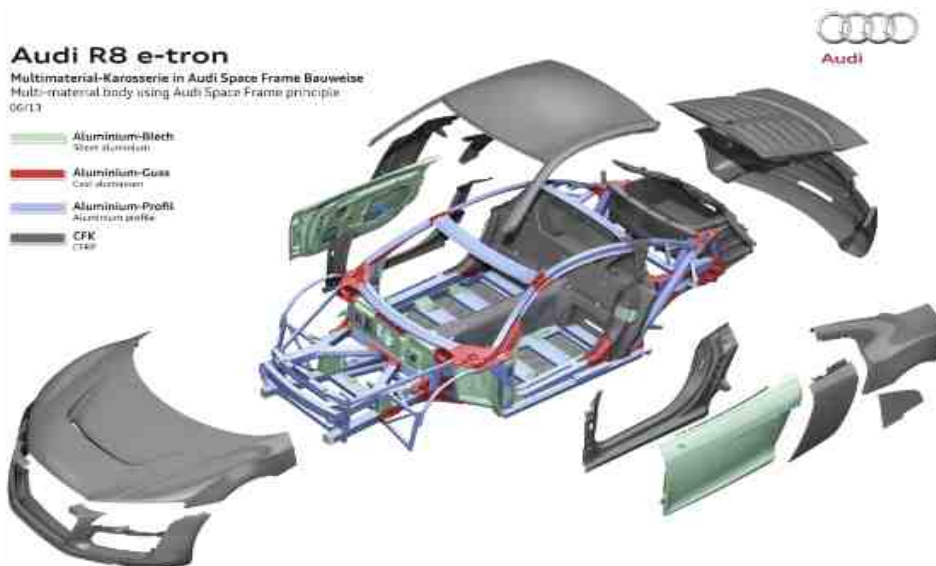
[그림 10] Volkswagen Golf 모델 BIW

- Audi RS6는 약 20%가 알루미늄 부품이고, 다른 부품류는 초고장력 강판 재료도 포함하고 있다.

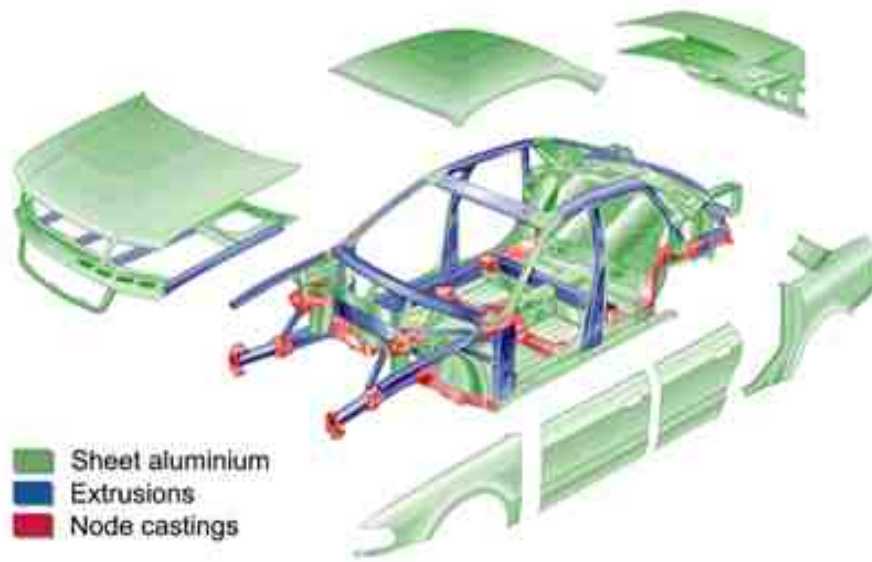


[그림 11] Audi A6 Avant

- A8과 R8은 무게를 줄이는 동시에 강도(stiffness)를 높이기 위해 ASF(아우디 알루미늄 프레임)에 고강력 알루미늄 재료의 프레임 적용하여 제작하였다.



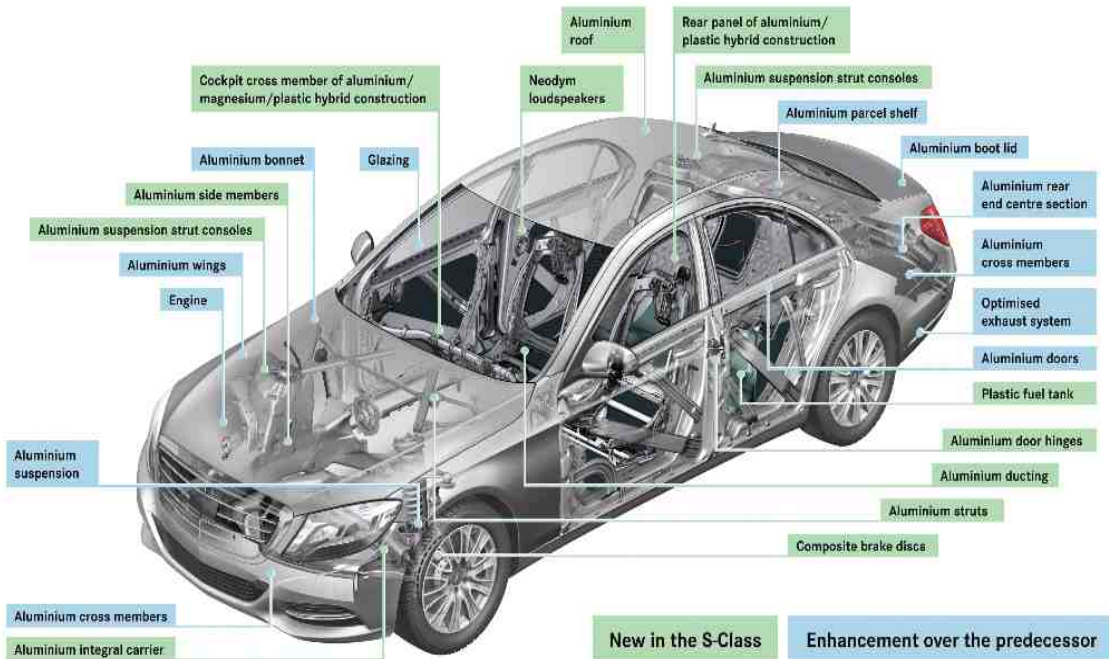
[그림 12] Audi A8 e-tron BIW



[그림 13] Audi A8 BIW

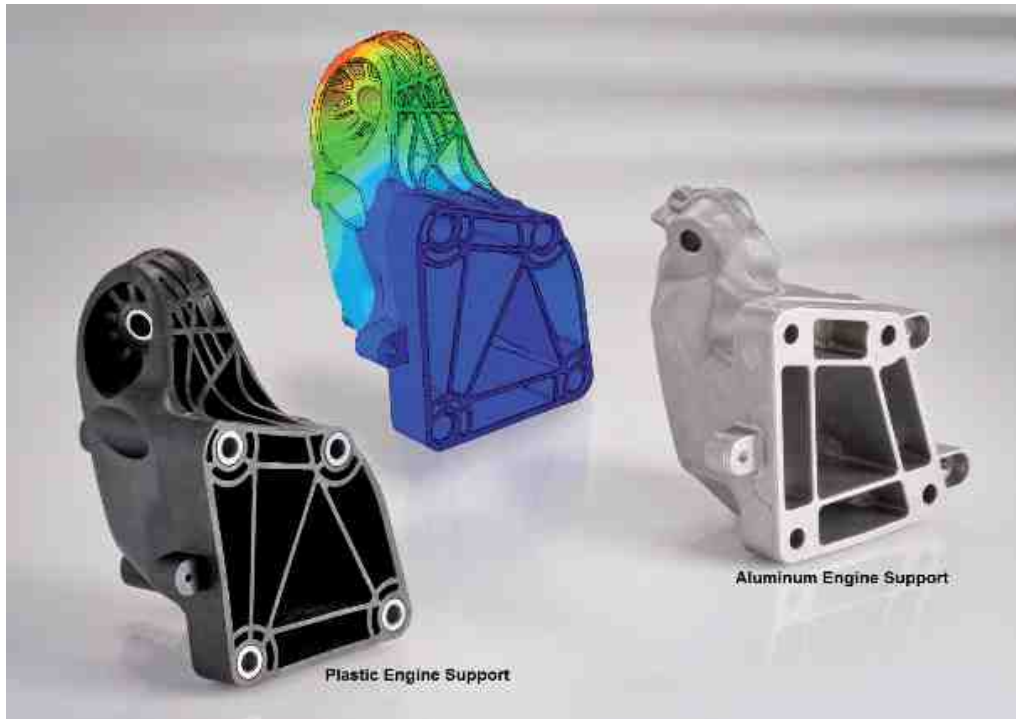
2) 메르세데스 벤츠

- 벤츠는 자동차 본체에 알루미늄과 고장력 강판을 사용하고 있다. 그리고, 다양한 부품들에 있어서 알루미늄 및 플라스틱, 고강도 강판 확대를 경량화 구현하였다.
- 2014년식 S-Class는 하이브리드 알루미늄 차체 외각으로 제작되어졌고, 외관 패널은 알루미늄 재료를 이용하여 제작하여 이전 동일 모델보다 약 220파운드 더 경량화시켰다.



[그림 14] 메르세데스 벤츠 S-Class 경량화

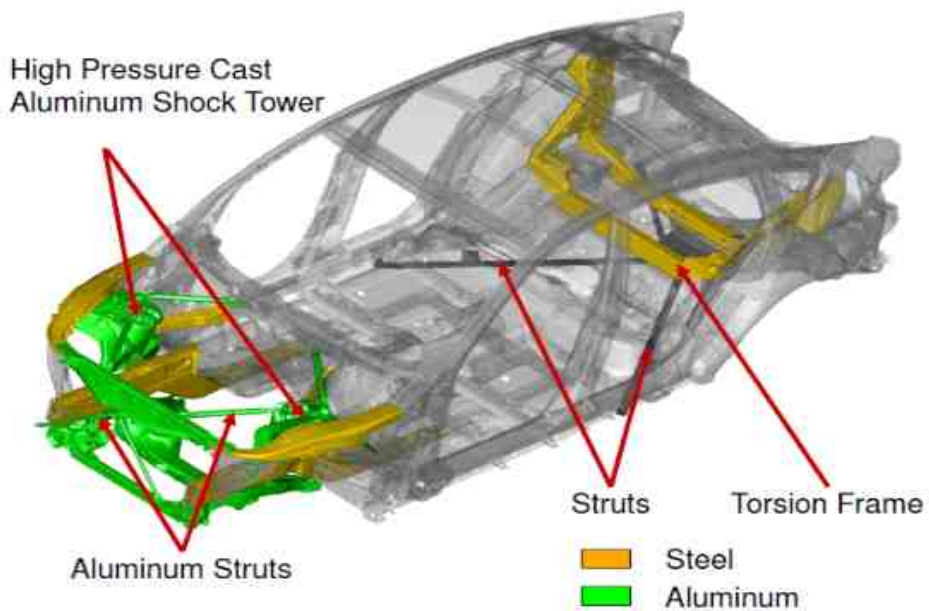
- 그리고, 벤츠는 세계 최초로 plastic engine support를 사용하였고, GL class의 경우 플라스틱 엔진 서포트가 알루미늄으로 제작된 6-cylinder diesel engine보다 약 30% 더 경량화시켰다.



[그림 15] 메르세데스 벤츠 GLC 모델 플라스틱 엔진 서포트

3) BMW

- BMW는 마그네슘 및 알루미늄 강화 플라스틱 등을 도입하여 경량화를 하고, 비틀림경도(torsional stiffness)를 높이기 위해 front-end와 body shell에 알루미늄 소재를 사용하였다.
- 엔진과 파워트레인을 기존 부품 대비 24% 더 가벼운 advanced magnesium 합금을 사용하여 경량화 하였다.



[그림 16] BMW 5 GT의 BIW



[그림 17] BMW N52 Magnesium Engine

- 자동차 본체에 사용될 수 있는 강화재료(reinforced composites)같은 경량화 기술을 개발하기 위해 Toyota와 협력하여 고강도 플라스틱 채용을 통한 경량화를 구현하였다.



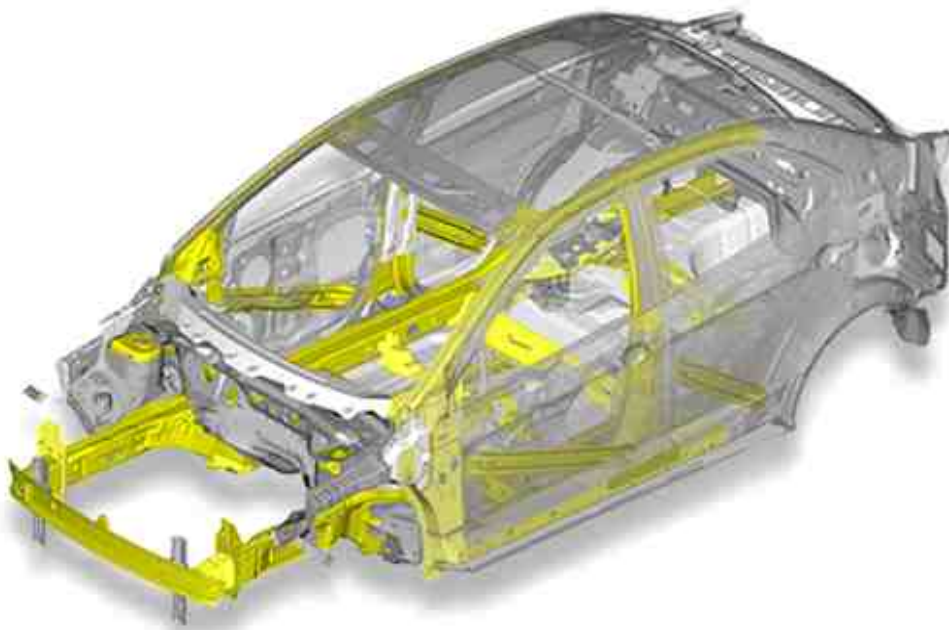
[그림 18] BMW i3 CFRP Body Frame

2. 미국 자동차 업체의 경량화 적용 사례

- 미국 완성차의 경우, 다양한 소재 활용을 위한 기술 개발에 대한 투자가 활발한 실정이다.
- 전통적 방식의 구조 경량화와 초고장력 강판 사용을 확대하여 경량화를 구현하고 있다.
- 알루미늄, 마그네슘, CFRP, 플라스틱 복합체 등의 다양한 자동차용 소재 활용을 위한 기술 개발을 추진하고 있다.

1) Ford

- 대형 트럭 플랫폼을 unibody 디자인으로 대체해 경량화를 진행하고 있다.
- 자동차 경량화를 위해 고장력 강판, 알루미늄, 마그네슘 등의 신소재 채택하여 사용하고 있다.
- 2015년식 F-150 플랫폼을 최신 모델보다 약 750파운드 더 가볍게 제작하였다.
- MY2012의 자동차/트럭의 평균연비를 30mpg로 그 이전인 MY2011에서는 자동차/트럭의 평균 연비인 27.8mpg보다 약 8% 평균연비를 향상시켰다.



[그림 19] Figo Aspire의 고장력강 프레임



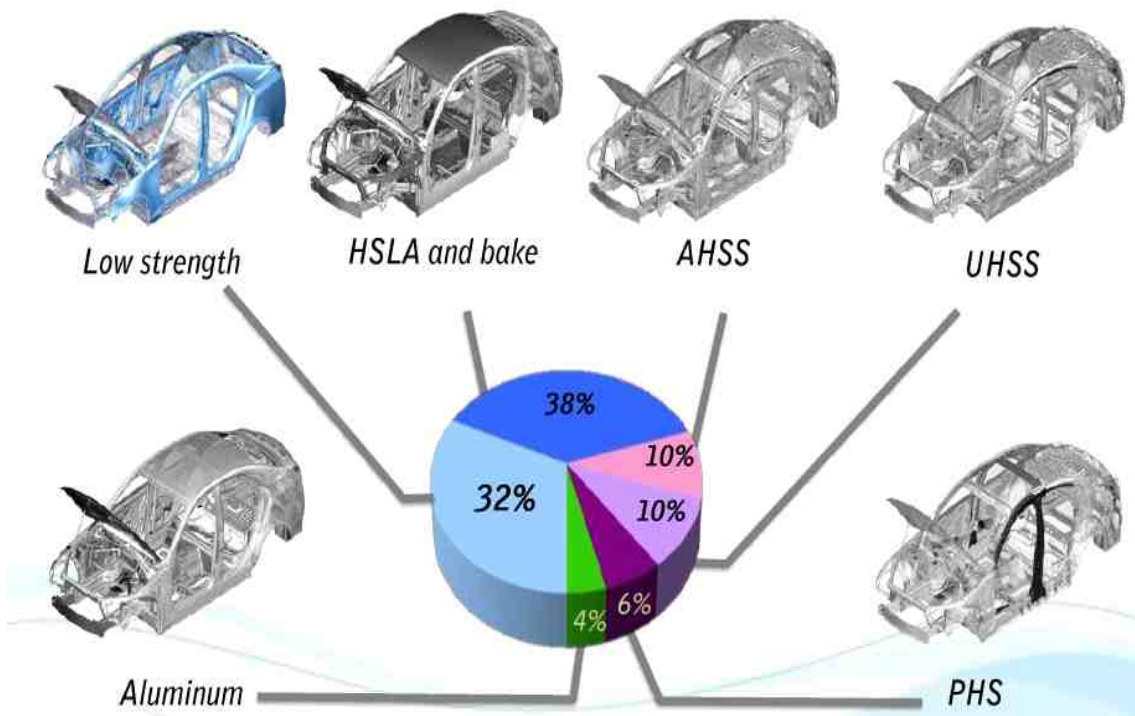
[그림 20] Ford CFRP Hood 적용 사례



[그림 21] 고장력을 이용한 Ford Transit Body Structure

2) GM

- 알루미늄, 고장력 강판, 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)의 광범위한 활용에 투자함으로써 MY2016까지 자동차 무게를 약 15% 정도 감량할 계획이다.
- 효율적인(cost-effective) 소재를 선택하여 부품을 제작 및 활용할 수 있는 방법을 개발하기 위해 일본 탄소섬유 공급업체인 Teijin사와 파트너십을 체결하였다.
- GM은 2012년 미국에서 EPA fuel economy rating이 30mpg 또는 그 이상인 차량 100만대를 판매하였다.



[그림 22] Cadillac ATS 경량화 적용 사례



[그림 23] Corvette Stingray 알루미늄 프레임

3. 아시아 자동차 업체의 경량화 적용 사례

- 아시아 지역의 완성차의 경우, 초고장력 강판 사용과 플라스틱 재료의 적용 확대를 추진하고 있다.
- 대중차 중심으로 볼륨 비중이 높은 아시아 완성차 업체들은 경량화를 위해 고장력 강판 확대 적용을 계획하고 있고, 적용 범위를 확대하고 있다.
- 일부 고급차의 경우 마그네슘, 알루미늄 적용 계획이 있지만 비용이 저렴한 플라스틱 확대에 주력하고 있다.

1) 토요타

- Avalon은 프론트 범퍼와 리어 범퍼의 두께를 얇게 제작할 수 있는 고성능 polypropylene resin을 적용하여 기존 제품 대비 약 50kg 정도를 경량화했다.
- 경량화를 진행함에 있어서 자동차의 crash performance를 유지하기 위하여 자동차 필러류와 락커 부품류에 대하여 고장력 강판 비중을 증가시켰다.
- 2012년식 Camry Hybrid 차량은 기존 모델에 비해 약 113kg이상 경량화를 구현하였다.



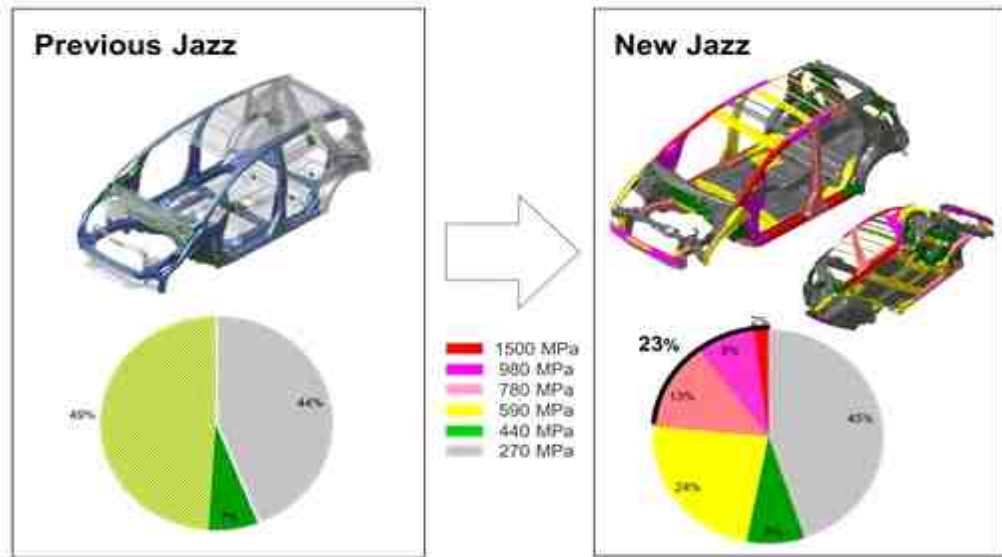
[그림 24] Avalon 프론트 범퍼



[그림 25] Toyota Camry 하이브리드 자동차

2) 혼다

- 모든 신차에 고장력 강판 ACE(Advanced Compatibility Engineering) body structure를 적용시켰다.
- 2014년식 Odyssey에도 ACE body structure를 적용했고, hood, front fender에 알루미늄을 활용함으로써 추가적인 경량화를 달성하였다.
- 2014년식 Acura MDX 본체의 55%를 고장력 강판, 알루미늄, 마그네슘으로 구성하였고, 2013년식 MDX보다 약 125kg 경량화를 실현하였다.



[그림 26] Jazz 모델의 ACE 소재 변화



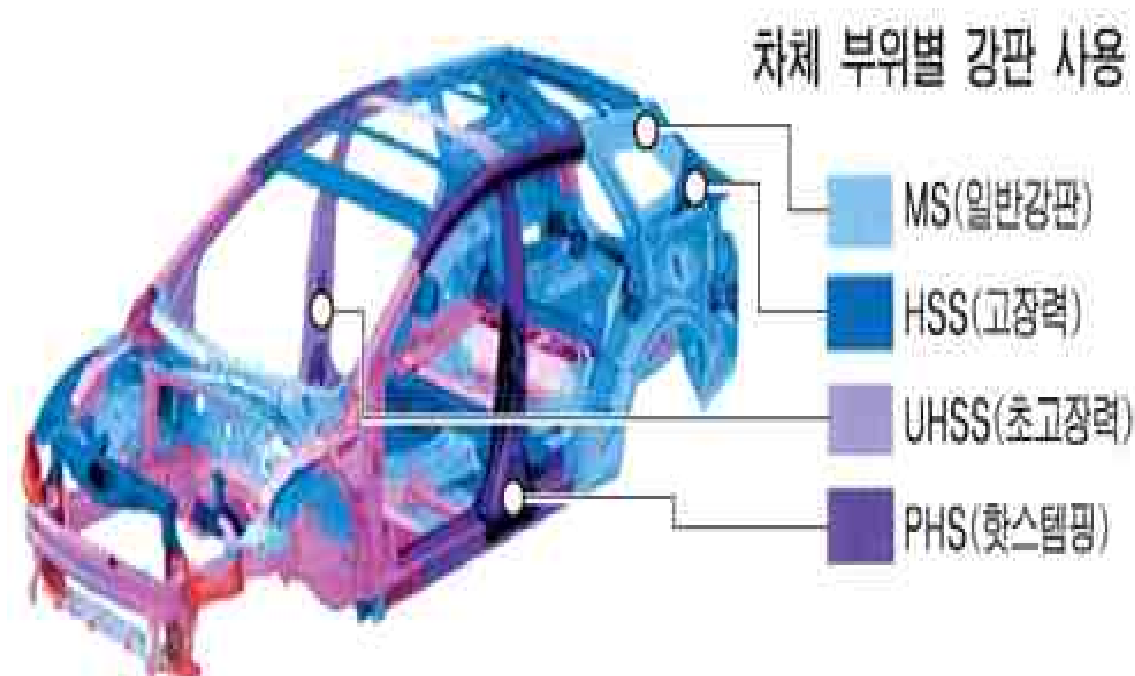
[그림 27] 2014년식 Odyssey 모델



[그림 28] 2014년식 Acura MDX

3) 현대·기아자동차

- 현대·기아자동차는 2015년까지 자동차 강판의 절반을 초고장력 강판으로 채우는 것을 골자로 한 획기적인 승용차 경량화 추진계획을 마련했다. 이를 통해 차체 무게를 10kg 이상 줄인다는 구상이다.
- 초고장력 강판은 일반 강판보다 얇고 가벼우면서도 강도는 오히려 훨씬 높은 게 특징이다. 자동차 무게가 줄면 연비가 개선되고 가속 성능도 향상돼 소비자들에게 직접적 혜택을 주게 된다. 또 강도가 크게 높아지는 만큼 자동차 안전성도 대폭 향상된다.
- 또한, 자동차 부품 중 적용이 가능한 곳은 어떤 부품이든 Advanced lightweight metal, 플라스틱, 복합소재 등을 사용함으로써 경량화를 위한 단계 진행 중이다.
- 상당수의 철강 부품들을 알루미늄, 마그네슘, 탄소섬유로 대체하였고, 이를 통해 철강을 사용하던 부품의 두께를 약 30% 줄이고, hollow inner structure를 보강하는 방식으로 경량화를 추진하고 있다.



[그림 29] 현대자동차 차체 부위별 강판 적용 사례



[그림 30] 현대자동차 경량 스틸 프레임 적용

제 4 장 자동차 부품용 탄소복합소재 개발동향 분석

제1절 자동차 산업 탄소 복합소재 개요

자동차 업계의 경량화를 위한 신소재 개발이 활발하게 진행되고 있고, 관련 시장 규모도 증대되고 있다. 특히 최근에는 금속 외에도 대표적인 경량소재인 플라스틱의 적용이 확대되면서 자동차 경량화 소재의 다양화가 진행되고 있다.

1. 탄소섬유강화 복합재료

탄소섬유는 가벼우면서도 강하고 단단한 특성을 갖고 있어서 항공, 자동차, 선박 등의 구조재료와 압력용기, 풍력 블레이드 등의 산업분야 외에도, 골프 클럽, 낚시대 등의 스포츠 분야 및 전기/전자, 국방 분야 등 다양하게 적용되는 미래형 신소재이다.

탄소섬유는 일반적으로 유기섬유를 비활성 기체 상태에서 가열, 탄화하여 제작한 섬유로 무게는 강철의 1/4 수준이지만, 강도는 10배, 탄성률은 7배에 달하는 것으로 보고되고 있다.

탄소섬유는 세계 시장 규모가 현재 20억 달러 규모에서 2020년에는 약 50억 달러 규모까지 성장할 것으로 예상된다. 현재 탄소섬유 전 세계 시장의 40%를 일본의 Toray가 점유하고 있다.

국내의 탄소섬유 시장 현황은 (주)효성이 전주에 연간 2,000톤 규모의 탄소섬유를 생산하고 있으며, 토레이첨단소재가 구미에 연간 2,200톤 규모의 탄화 라인을 구축하고 있고, 태광산업이 울산에서 연간 1,500톤 규모의 탄소섬유를 생산하고 있다.

(주)효성은 2020년까지 1조 2천억원을 투자하여 연간 생산능력 1만 4,000톤 규모로 확대하여 세계적인 탄소섬유 전문 기업으로 발전해 나갈 예정이다. 또한 현재 국내의 탄소섬유를 전량 수입하는 상황에서 탄소섬유 국산화는 국내 기업의 생산 경쟁력 확보도 가능할 것으로 기대된다.

탄소섬유 강화 복합재료에 관련한 상용화를 위한 연구는 1950년대 일본에서 시작되어 1980년대에는 구조용 재료 및 낚시대와 같은 레저용으로 응용되고 상용화되었다. 특히 탄소섬유 강화 고분자 복합재료는 항공우주용 재료로써 각광받고 있다. 여러 가지 특성을 가진 탄소섬유와 다양한 플라스틱재료가 개발됨에 따라 탄소섬유 강화 고분자 복합재료는 더욱 발전하게 되었다.



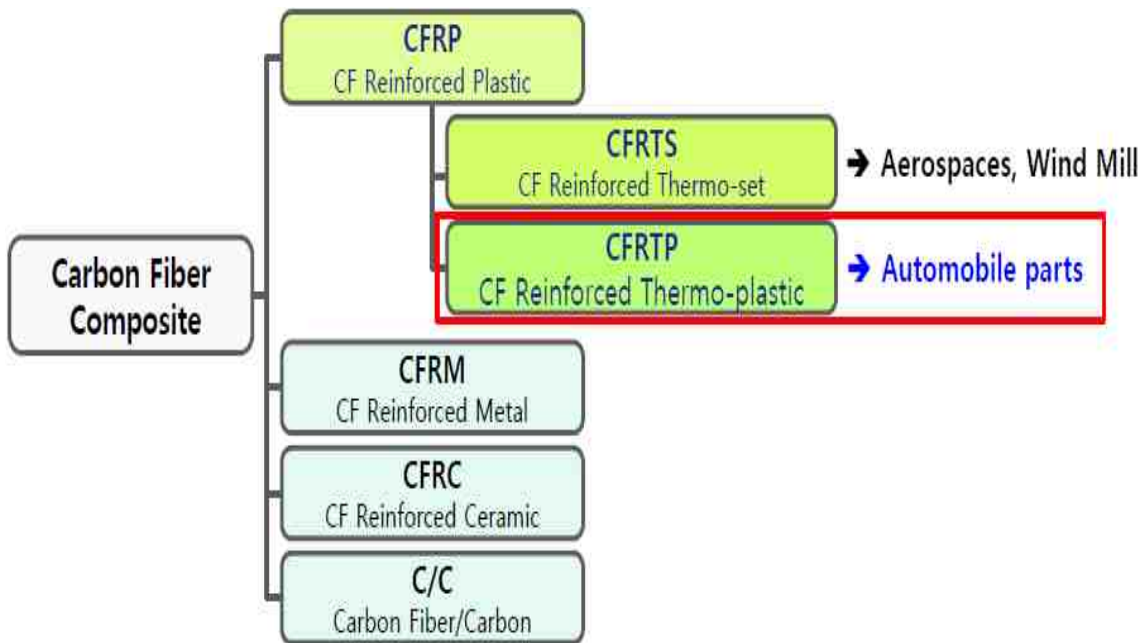
[그림 31] 탄소섬유 형상 및 적용 사례

탄소섬유를 이용한 탄소섬유복합재료(CFRP)는 기존 금속 대비 약 50% 이상의 경량화 효율을 나타낼 수 있으며 연료도 40% 이상의 효율을 나타낸다. 또한 에너지 흡수 용량이 좋아 F1 경주용 자동차 재료로도 사용되고 있다.

탄소섬유 복합재료는 매트릭스에 의해 고분자, 탄소, 세라믹, 금속 등으로 분류되며, 그 중에서 탄소섬유 고분자 복합재료(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)가 주종을 이루며 실용화가 되고 있다. CFRP는 매트릭스인 수지에 의해 열경화성(TS, Thermosetting Resin)과 열가소성(TP, Thermoplastic Resin)으로 분류된다.

CFRP란 탄소섬유 강화 플라스틱으로서 탄소섬유를 강화재(Reinforce)로 하고 매트릭스 수지(Matrix Resin)를 플라스틱으로 하며 결합한 탄소섬유 복합재료이다. 탄소섬유는 우수한 성능을 가지고는 있지만 그자체로는 구조물의 형상을 유지할 수 없기 때문에 플라스틱에 강화재로 더해지는 것이다.

CFRP에 사용되는 일반적인 매트릭스 수지는 열경화성수지로 에폭시가 주종을 이루며, 사용 환경 및 요구 특성에 따라 불포화폴리에스테르, 비닐에스테르, 페놀수지, 폴리이미드 등이 사용되고 있다.



[그림 32] 탄소섬유강화 복합재료의 분류

고분자 기지재료 중에서 폴리에스터, 폴리설폰, 폴리이미드 그리고 열가소성수지 등이 이용된다. 탄소섬유 강화 복합재료는 특히 전기전도 특성이 우수하여 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 탄소 단섬유를 함유한 열가소성 고분자 복합재료는 전하축적이 발생하는 재료에 자주 사용된다.

탄소섬유 강화 고분자 복합재료의 제조는 일반적으로 복합재료의 제조법과 동일한 풀트루전, 진공성형, 필라멘트 와인딩, 프리프레그에 의한 적층법 등이 모두 이용된다. 열가소성 또는 열경화성 수지를 기지개로 한 촛(chopped) 형태의 탄소섬유는 분사 또는 압축 몰딩법을 이용한 가장 경제적인 제조법으로서, 특히 기계적 특성이 크게 요구되지 않는 재료의 제조법으로 많이 사용된다.

탄소 섬유를 제작한 후, 에폭시, 페놀, 불포화 폴리에스터 수지 등에 함침하여 반경화 상태로 만든 것으로 부품제작에서 작업의 효율을 증가시킬 수 있는 제품으로서 접착 및 성형성이 우수하여 일반적으로 카본시트라고 하여 전자제품이나 자동차 등에 부착할 수 있는 형태로 많이 볼 수 있다. 이는 자동차의 성능(Performance)향상을 목적이 아닌 익스테리어나 인테리어의 목적으로 많이 사용된다.

프리프레그 시트나 테이프를 이용한 탄소섬유 강화 복합재료는 고부피 분율을 얻을 수 있어 항공우주산업에 이용된다. 프리프레그는 약간 경화된 수지에 섬유가 일방향으로 배열된 것이다. 프리프레그의 백(back)시트는 제거할 수 있으며, 프리프레그의 경화를 방지하는 역할을 한다. 프리프레그는 적층 후 오토클레이브에서 성형을 하면 복합재료가 된다.

탄소섬유 복합재료는 기지재에 의해 분류되며, 고분자 수지를 기재로 하는 CFRP가 가장 주목받고 있다. CFRP의 기지재는 수지에 따라 열경화성 수지와 열가소성 수지로 분류된다. 일반적으로 열경화성 수지 중 에폭시가 주종을 이루고 있으나 최근에는 성형성 및 재활용성의 측면에서 열가소성수지 복합재료가 각광을 받고 있다.

탄소섬유 강화 탄소-탄소 복합재료는 세라믹 복합재료에 더 가깝기 때문에 다른 제조공정이 필요하다. 탄소/탄소 복합재료를 얻기 위한 방법은 주로 다음의 세 가지 방법이 있다.

- 첫째, 탄소섬유의 예비성형체는 석유나 콜타르에서 생성한 피치 내에 열간 가압에 의해 섬유가 함침되어 있으며, 열분해를 실시한다. 이러한 과정을 반복하여 조밀한 성형체를 제조할 수 있다.
- 둘째, 탄소/고분자계 복합재료는 열분해에 의해 고분자가 분해되어 페놀이 형성된 후 재 함침 및 열분해를 통하여 탄소섬유와 탄소계 기지간의 결합을 유도함으로써 고강도를 얻을 수 있다.
- 셋째, 기체상(메탄+질소+수소)을 이용하여 예비성형체에 화학증착(CVD)을 실시한다. 탄소/탄소 복합재료를 얻을 수 있는 페놀 또는 피치계의 경우를 개략적으로 살펴보면, 초기의 재료인 탄소섬유는 페놀계의 프리프레그나 콘 형태를 가진 3차원 구조를 가진 것으로서 주로 수지나 피치계에 함침되어 있다. 프리프레그의 경우는 최종 형태와 비슷하게 절단 후 적층을 하게 된다. 그리고 불활성 분위기에서의 탄화과정과 수지 또는 피치의 재함침 과정을 통하여 원하는 밀도를 얻을 수 있다. 이러한 조밀화는 함침→재탄화→탄화의 과정이며, 기공을 원하는 상태까지 반복을 통하여 줄여 나간다. 이러한 조밀화는 탄화수소가스(또는 메탄, 아세틸렌, 벤젠 등)을 이용하여 탄소의 화학증착(CVD)도 가능하며, 수지나 피치의 열분해는

약 10 ~ 60%정도의 손실이 있어 수축공을 형성한다.

2. 플라스틱(레진) 재료

플라스틱 소재는 비중이 혼합되는 레진에 따라 다르지만 0.9~2.1g/cc 수준으로 낮으며, 최근에는 내구성과 내열성이 우수한 ‘엔지니어링 플라스틱’ 소재가 개발되어 구조용 재료로 활용되고 있다.

고내열성, 내화학성이 탁월한 PPS(Poly Phenylene Sulfide)는 세계적으로 슈퍼 엔지니어링 플라스틱은 연간 28만 톤 규모의 시장을 형성하고 있으며, 그중 PPS는 약 9만 4000톤에 달한다. 그리고 2020년까지 PPS의 성장률은 약 7%이상의 고성장을 이어갈 것으로 전망되고 있다.

하이브리드 및 전기자동차의 수요가 확대와 경량화 부품 개발 가속화에 따라 현재 연간 50,000톤인 자동차 분야 수요시장은 2019년에는 약 100,000톤까지 늘어날 것으로 관련 업계에서는 전망하고 있다.

SK케미칼은 2015년 후반까지 2,300억원을 투자하여 PPS 생산 설비를 구축할 계획을 갖고 있으며, SK케미칼에서 생산하는 PPS는 기존의 PPS와 달리 클로린(염소) 성분을 포함하지 않고 생산될 예정이다.

Daimler는 신형 벤츠 GL 클래스의 6기통 디젤 엔진에 플라스틱 엔진 서포트를 설치하였다. 기존 알루미늄 소재와 비교했을 때 소음 저감과 단열 성능 향상 및 약 30%의 경량화를 동시에 구현하는 특징을 갖고 있다.

독일 특수화학기업인 랑세스는 홍콩 과학기술단지에 ‘아시아 하이테크 플라스틱 응용부품 개발센터’를 개관하였다. 이곳에서 컨셉트 개발, CAD/CAM 지원, 금형설계 및 자동차 부품 평가를 수행하는 것으로 알려져 있다.

영국의 빅트레스(Victrex)는 고기능성 엔지니어링 플라스틱인 PEEK(Polyether Ether Ketone)을 개발하였다. 영하 40℃에서 영상 260℃까지 사용할 수 있는 고내열성, 고강도, 고내마모성, 내화학성 등의 우수한 물성을 갖는 소재를 개발하였고, 2015년까지 연간 7,000톤을 생산할 계획이다.

PEEK는 금속보다 무게가 가볍지만 수명이 2~3배 정도이고, 복잡한 디자인 부품의 적용이 가능하여 자동차 엔진 및 ABS 부품, 베어링, 워 기어나 항공용 시트 프레임 및 블랭킷 등의 자동차, 전기/전자, 의료 분야 등의 다양한 분야에 적용이 예상되고 있다.

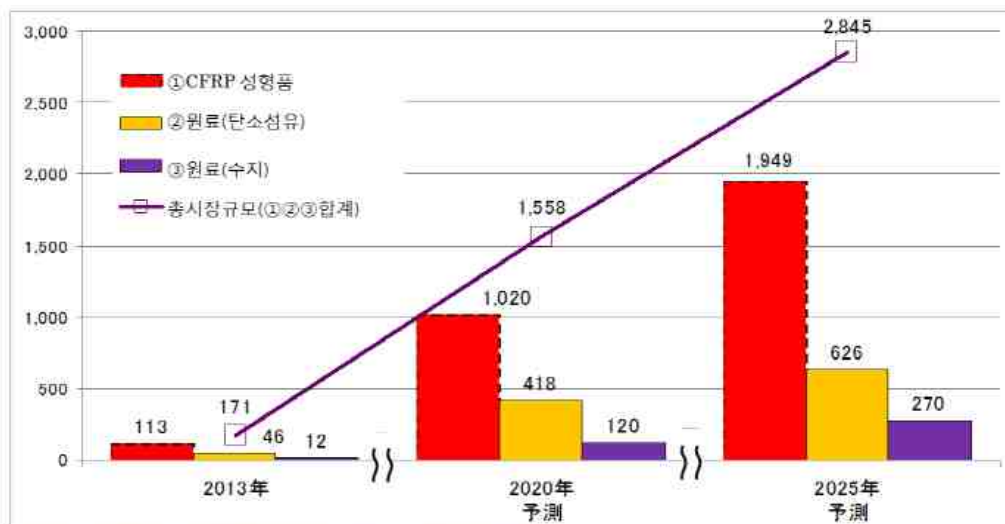
제2절 자동차 분야의 탄소 복합소재시장 시장 전망

일본 도레이가 2012년 탄소섬유 양산에 착수한 뒤 후발 업체들도 속속 상용화에 성공했다. 2012년 1월부터 가동을 시작한 경북 구미 제1공장은 연산 2200톤 규모를 생산하고, 라인을 증설하는 목표로 연산 2500톤 규모 제2공장을 준비하여 향후 약 4700톤 가량의 탄소섬유 생산 능력을 갖출 계획이다.

태광산업은 원재료인 프로필렌부터 탄소섬유 완제품에 이르기까지 전공정을 보유했다. 울산에 전구체 기준 연산 3000톤, 탄소섬유(PAN계) 생산량은 1500톤에 이른다.

(주)효성은 전북 전주에 2013년부터 연산 2000톤 규모의 공장 건설을 시작으로 오는 2020년까지 1만7000톤까지 생산 능력을 갖출 계획이다.

SK케미칼도 일본 미쓰비시레이온과 합작사를 만들고 삼성석유화학은 독일 SGL과 합작사를 설립하는 등 탄소섬유 시장에 뛰어들었다. LG화학 역시 탄소섬유 사업 진출을 검토중인 것으로 알려졌다.



(단위 : 억엔, 수소연료전지차용 제외)

[그림 33] 자동차용 CFRP 세계시장 규모 전망

가벼우면서도 튼튼한 신소재로 각광받고 있는 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)이 자동차 부품과 골격에 적용이 확대되면서 시장규모도 급성장할 것이라는 전망이 나왔다.

야노경제연구소가 2012년 5~8월까지 세계 자동차·탄소섬유·성형가공 제조업체를 대상으로 조사해 발간한 자동차용 CFRP의 세계 수요예측 보고서에 따르면 2025년 CFRP 성형품 시장(출하금액 기준)규모는 2,845억엔(2조8천억 원)으로 예측됐다.

이중 CFRP 성형품이 1,949억엔, 탄소섬유가 626억엔, 수지재료가 270억엔을 각각 차지했다. 이는 2013년 CFRP 산업규모인 171억엔(CFRP 성형품 113억엔, 탄소섬유 46억엔, 수지재료가 12억엔)과 비교하면 16배나 성장한 수치다.

이처럼 관련 시장이 급성장하는 배경은 CFRP 적용이 차량의 일부 부품에서부터 골격으로 확대되는데 있다. 특히 운행거리 확대를 위해 경량화가 절실한 전기차는 CFRP를 주요 골격으로 채용할 가능성이 높다.

보고서에 따르면 2016년까지는 BMW 등 기업들이 CFRP를 일부 골격과 일부 외관·내관 등에 적용하면서 수요량이 증가할 것으로 예측됐다. 특히 사고 등으로 파손된 경우에도 비교적 교체가 용이한 보닛과 루프 등의 파트에서 채용 가능성이 높은 것으로 나타났다.

2017년~2019년엔 성형시간 단축, 재료비 저감으로 인해 성형가격이 내려가면서 BMW 외에도 CFRP를 주요 골격에 채용한 차종(EV)이 등장할 것으로 예측됐다. 2019년경에는 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱(CFRTP) 성형품이 출시될 전망이다.

이후 2020년~2025년에는 성형품의 가격저하로 차량의 CFRP 채용 부품수가 늘어날 것으로 예측됐다. 이후 바퀴부분 제품에서 CFRP 중공물품을 채용할 가능성도 있다.

제3절 탄소섬유 복합재료 동향

고강도 초경량 탄소섬유강화 플라스틱(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)의 적용은 자동차 경량화 및 안전성 향상에 큰 방향을 제시하였다. 현재까지는 원소재 비용과 성형 공정의 양산성의 문제가 있어서 CFRP 자동차 부품이 많이 적용되지는 않고 있지만, 원소재 비용 저감 공정 개발과 성형 공정 개선으로 향후 다양한 CFRP 자동차 부품이 제작될 것으로 예상된다.

현재 적용 중이거나 적용 검토 중인 CFRP 자동차 부품들은 알루미늄 소재 대비 약 30%의 경량화와 스틸 대비 약 50% 정도의 경량효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다. CFRP 재료를 자동차의 차체 및 각종 부품들에 적용할 경우 차량 전체의 중량은 약 100kg 이상 경량화가 가능할 것으로 예측된다.

그리고, 자동차가의 기존의 화석연료 기반에서 하이브리드 또는 전기자동차로 플랫폼이 변경되면서, 차량 경량화는 더욱 중요한 인자로 작용하고 있다. 이로 인하여 Tesla Motors의 Roadster, Myers Motors의 Duo, Fisker Automotive의 Karma Sunset, Bright Automotive의 IDEA 등 대표적인 미국의 전기자동차 전문업체에서는 차체 부품 및 다양한 내장재 및 외장재에 CFRP를 적용하여 경량화를 진행하고 있다.

하지만, 자동차 산업의 경우 탄소섬유 복합재료의 적용은 일부 고급 자동차에 한정적으로 적용되고 있고, BMW의 i3 모델을 제외하고는 본격적으로 실용화 단계에는 들어가지 않은 상태이다.

유럽에서는 Volvo, VW, Reno와 EPFL 등의 대학이 컨소시엄을 이루어서 2000년부터 2004년까지 약 520만 유로의 비용으로 TECABS(Technologies For Carbon Fibre Reinforced Automotive Body Structures) 과제를 수행하였고, 미국에서는 ACC(Automobile Composite Consortium) 프로그램으로 탄소섬유 복합재료 연구를 수행하였다.

TECABS 과제는 기존차 대비 경량화 50% 구현, 부품수 70% 절감 및 고속 성형공법 개발을 주요 목표로 하였으며,

과제의 주요 개발 내용은,

- 고속 저가 성형 프로세스, 고효율/고속 preform 및 레진 기술 개발,
- 정적/충돌 거동 및 경제/환경 영향 시뮬레이션,
- 성능 요구조건을 만족하면서 실현 가능한 부품 컨셉 설계를 수행하는 것이었다.

일본에서는 NEDO(신에너지 산업기술 종합 개발 기구)에 의해 ALSTECC(Automobile Lightweight Structural Elements of CFRP Composite) 프로그램을 통하여 지구온난화 방지 신기술 프로그램 및 자동차 경량화 탄소섬유강화 복합재료 개발을 2003년부터 2007년까지 수행하였다.

최근에는 미국, 일본의 자동차 업계에서 경량화 효과를 증대시키기 위하여 탄소섬유를 사용한 복합재료 부품의 사용을 추진하고 있다.

미국의 Ford사에서는 100% 탄소섬유 복합재료로 시작차를 제조하여 SAEC(The Annual Society of Automotive Engineers Convention)에 전시하였다. 이 차량의 연비는 동일 모델의 Ford사 TD의 7.2km/l에서 9.7km/l로 약 34.7% 향상시켰다.

Toyota사는 2007년 시카고 오토쇼에서 차체 골격을 CFRP로 적용하여 차량 중량을 대폭 감소시킨 컨셉트카인 “1/X”를 출품하였다. 이 차량은 하이브리드 차량인 “Prius”와 동등한 실내 공간을 가지면서 차량중량을 약 420kg으로 하여 기존 Prius의 1/3 수준으로 감소시켰다. CFRP를 사용하여 골격을 가볍게 하고 엔진의 배기량을 줄이면서, 파워트레인의 경량화와 협폭 타이어를 채용하여 차량의 중량을 대폭 감량시켰다.





자동차 차체 경량화는 구동계의 손실 감소 이외의 전부에 기여할 수 있으므로 충돌 안전성 보안을 통하여 차량 경량화에 따른 안전성 확보를 지속적으로 기술 개발할 것으로 예측된다.

탄소섬유강화 복합재료의 가장 큰 난관은 생산성과 직결되는 제조 기술의 혁신이 필요하다. 국내의 경우 일반 사출성형과 같은 생산기술 분야에서 경험이 축적되어 있지만, 원천 소재 개발 및 신공법 성형 장비 등 전반적인 기술 인프라가 많이 부족한 상황이다.

[표 1] 자동차용 복합소재 기술 분류

구분	공정	특징
열가소성 복합재료	사출성형 (Injection Molding)	<ul style="list-style-type: none"> • 가장 보편적인 성형 공정 • 디자인 자유도가 우수하고, 연간 10만대 이상 생산 적합 • 내장재, 외장재 및 파워트레인 부품 적합
	압축성형 (Compression Molding)	<ul style="list-style-type: none"> • 대면적의 단순 형상 부품 제작에 적합 • 연간 5만대 이상 생산에 적합 • 범퍼 백 빔, 프론트 앤드 모듈 캐리어 등에 적합
열경화성 복합재료	RTM (Resin Transfer Molding)	<ul style="list-style-type: none"> • 대면적의 단순 형상 부품 제작에 적합 • 연간 3천에서 1만대 소량 생산에 적합 • 버스 또는 트럭의 의장 및 차체 부품에 적합
	SMC (Sheet Molding Compound)	<ul style="list-style-type: none"> • 대면적의 단순 형상 부품 제작에 적합 • 표면 외관이 우수하고, 연간 2만~5만대 생산에 적합 • 승용차의 차체 외판, 버스 또는 트럭 외판에 적합

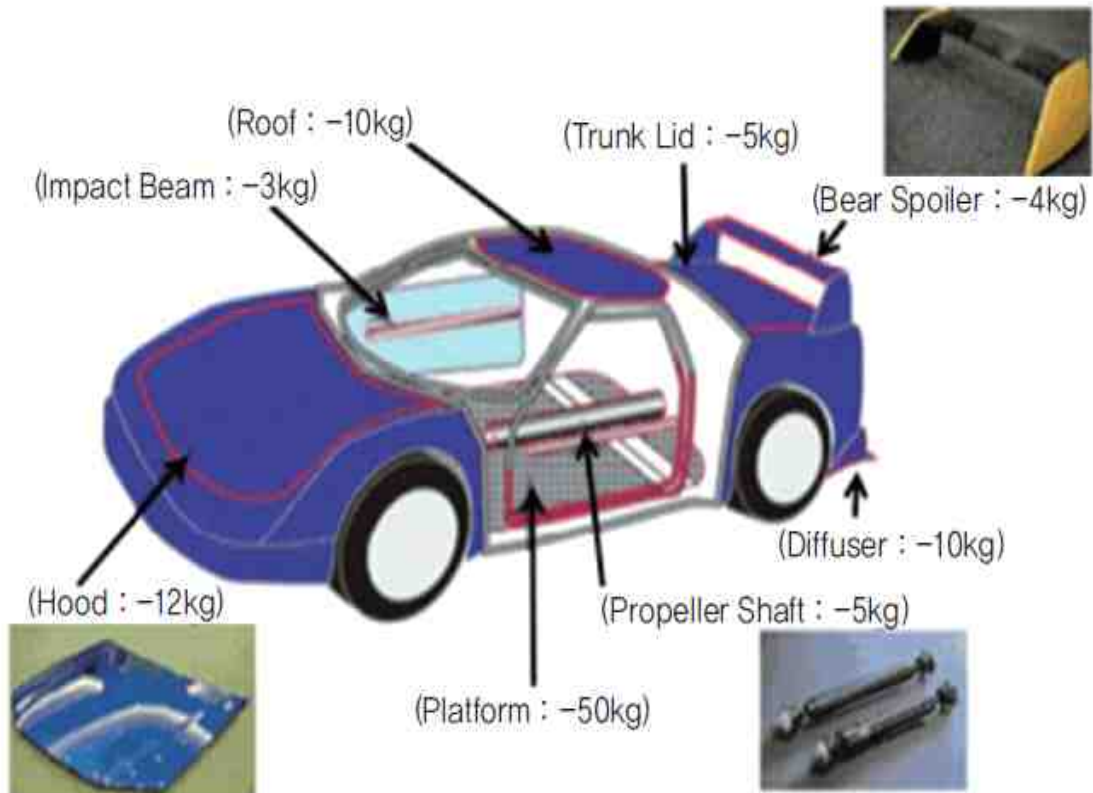
[표 2] CFRP 자동차 부품 적용 사례

Maker	Model	Materials(Process)	Parts
GM Cadllacetc	Solsticeetc	E-glass/ polyester E-glass/ vinyl ester (SMC)	Trunk, Radiator support, bumper, beam, roof frame, door frame, engine valve cover, timing chain cover, oil pan etc
Fordetc	Various trucks	E-glass/ polyurethane (SRM)	Cargo box
GM chevrolet	Corvette	E-glass/epoxy	Leaf spring
BMW	M6	CF/epoxy (RTM)	Roof panel
Bar 1	Formula 1	CF/epoxy	Gear box, rear suspension
Dodge	Viper	E-glass/thermoset resin (RTM)	Body panels
Hyundai	QarmaQ (concept)	E-glass/pp +core sandwich	Hood
GM Chevrolet	Corvette ZR1	CF/epoxy (autoclave)	Hood, fender, roof
Examples of CFRP indroduced cars			
			
Mecedes Benz SLR McLaren (2004)	BMW M3 (2007)	Toyota 1/X (2007)	Chevoret Corvette ZR1 (2008)

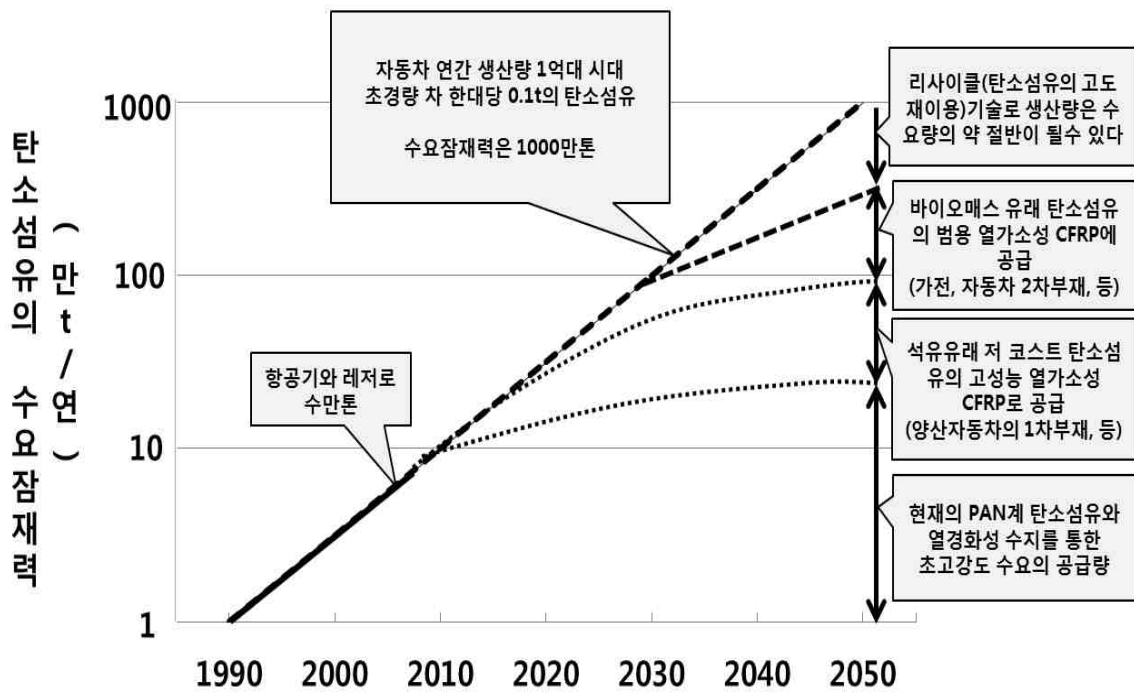
[표 3] 자동차 경량화 재료 비교

Property	Unit	CFRP	FRP	Al	Steel
Specific Gravity	-	<2	<2	2.7	7.8
Tensile Strength	MPa	2,550	90	190	450
Tensile Modulus	GPa	135	10	70	200
Flexural Strength	MPa	1,670	196	-	-

(*: Toray T700S data)



[그림 34] 탄소섬유를 적용시킬 경우 경량화 효과



[그림 35] 탄소섬유 수요 잠재력에서 요구되는 중요 기술

제4절 탄소섬유 강화 플라스틱 개발동향

1. 국내외 탄소섬유 강화 플라스틱 개발 동향

1) 해외 개발 동향

유럽의 고급차 제조업체들은 고가 차종에 강철보다 가볍고 강성은 훨씬 뛰어난 경량화 복합소재인 탄소섬유강화 플라스틱(CFRP)를 적용하고 있다.

BMW코리아가 시판 중인 M6 쿠페 및 M6 그란쿠페, M5 등 일부 고성능 모델엔 차체 지붕을 탄소섬유강화 플라스틱으로 만들어 공기 저항 감소와 연료소비효율을 높였다. 특히 BMW i3는 전기자동차로 배터리의 무게가 많은 단점을 보완하기 위하여 차체를 탄소섬유강화 플라스틱을 적용시켰다.

독일BMW 란츠후트 공장의 CFRP 생산 부문에서는 ‘BMW M카’에 장착되는 CFRP 재질의 루프를 생산하고 있으며, 200여명이 직원들이 관련 재료와 프로세스 개발에 집중하고 있다.

아우디의 고성능 S 모델과 RS 모델의 실내 인테리어(대시보드, 도어트림, 센터콘솔 등)엔 탄소섬유 소재를 쓰고 있다. R8은 엔진룸 테두리에 탄소섬유 소재가 쓰여졌다. 2012년에 출시된 아우디 R8 GT 스파이더는 백미러 커버, 리어 스포일러가 탄소섬유 소재이다.

아우디는 지난 2011년 독일 기계제조사인 포이트(voith)와 탄소섬유강화 플라스틱 산업 생산을 위한 전략적 파트너십을 체결했고 모기업인 폴크스바겐도 XL1에 탄소섬유강화 플라스틱을 21%를 사용하였다. 특히 VW는 부품 공정 효율화로 납품업체와 함께 진전된 공정을 개발해 특허를 확보하였다.

메르세데스-벤츠의 최고급 스포츠카인 SLS AMG 역시 탄소섬유를 활용한 복합재료가 적용되었다.

미국의 다임러는 일본의 Toray와 협력 사업을 추진하고 있다. 이처럼 탄소섬유강화 플라스틱 재료는 몇 년 전만해도 람보르기니 같은 슈퍼카 또는 F1 레이싱 차량을 중심으로 사용되었으나, 경량화 기술 연구의 필요성이 강조되

면서 독일의 완성차 업체를 중심으로 적용 범위를 늘리고 있는 추세이다.

CFRP는 탄소섬유에 플라스틱 레진(수지)을 함침하여 제작하게 된다. CFRP는 매우 탁월한 에너지 흡수능력을 지녀 충격에 강하다. 또한 안전성을 유지하면서도 차체 제작에 사용될 수 있는 재료 중 가장 가벼운 소재로 꼽힌다.

독일 함부르크-하르부르크 공과대학에서는 나노 소재를 CFRP 소재와 접합하는 연구개발을 수행하고 있다.

2) 국내 개발 동향

일본과 미국에 이어 세계 세 번째로 고강도 탄소섬유 개발에 성공한 효성은 전주에 탄소섬유 전용라인을 구축하여 매년 2,000톤의 탄소섬유를 생산하였다. 향후 2020년까지 1조 2,000억원을 투자하여 연간 생산량 1만 4,000톤을 생산할 계획이다. 이를 기초하여 국내에서도 탄소섬유 산업의 상업화가 본격화되고 있다. 최근 GS칼텍스도 전주에 Pitch계 탄소섬유 제작을 위한 공장을 전주에 건립하여 시제품을 생산에 돌입하였다.

그리고, 국내 시장에 가장 먼저 진출했던 태광산업은 탄소섬유의 원료에서부터 완제품까지 수직계열화를 구축하여 2012년 3월부터 연간 프리커서 3,200톤, 탄소섬유 1,600톤 규모로 양산을 시작하였다.

삼성도 탄소섬유 시장에 진입하기 위하여 2013년 삼성석유화학과 독일 SGL 그룹과의 탄소섬유와 복합재료 사업을 위한 전략적 파트너십을 구축하고 합작법인을 설립하는 것으로 협의하였다.

삼성석유화학은 합작법인(삼성SGL)을 통하여 항공, 스포츠 분야를 비롯하여 자동차 부품, 풍력 블레이드, 전자제품 등에 사용되는 경량화 소재를 목표로 하고 있고, 주요 판매 제품은 탄소섬유와 다양한 형태의 프리프레그(Prepreg) 및 복합소재 형태로 판매할 예정이다.

SK케미칼은 미쓰비시와 함께 산업용 프리프레그를 공동개발하여 생산을 추진하고 있다. 프리프레그는 섬유강화 복합재용의 중간 기재로, 미쓰비시가 SK케미칼에 탄소섬유를 공급하여 SK케미칼이 프리프레그를 생산하는 방식이

다.

또한, 탄소섬유 세계 시장에 40%의 물량을 공급하고 있는 Toray가 경북 구미시에 탄소섬유 공장을 2013년 완공하여 연간 2,200톤 규모의 탄소섬유를 생산하고 있고, 공장 증축을 통하여 4,700톤 규모의 탄소섬유를 생산할 계획을 가지고 있다.

다만, 아직은 원재료 가격이 고가여서 현대·기아자동차에서 대중차에 적용하기가 어려운 현실로 (주)효성과 현대기아자동차가 자동차용 탄소섬유 생산을 위한 양해각서(MOU)를 작성하고 공동연구를 수행하는 것으로 합의를 보았다.

전 세계적으로 친환경 및 연비 개선 등의 필요성이 증가되는 현 시점에서 파워트레인 분야의 연구 개발만으로는 연비 향상에 한계가 있기 때문에 향후에는 하이브리드 자동차 및 전기자동차 분야 등과 연계하여 자동차 경량화 소재로 탄소섬유의 활용도가 점차 증가되고, 가격도 저렴해 질 것으로 예측된다.

2. 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 개발

일본 NEDO 프로젝트에 의해 도쿄대학, 도레이, 미쯔비시 레이용, 토요보, 다카기 세이코 등의 그룹은 가열하면 성형하기 쉽게되는 열가역성 수지를 이용한 아주 새로운 ‘탄소섬유 강화 열가역성 플라스틱’ (CFRTP)의 개발에 성공하였다.

기존 CFRP로는 곤란하였던 고속 성형가공 및 높은 범용성을 가진 접합을 수행할 수 있기 때문에 양산차의 양산용 성형 공정에 적합하여, 차체 경량화(현행 대비 30% 정도) 및 에너지 소비 저감 등의 효과가 기대된다.

높은 강도와 경량 특성을 가진 탄소섬유는 세계 생산량의 70% 이상을 일본계 업체들이 차지하고 있고, 그 중 Toray는 전 세계 물량의 약 30%를 담당하고 있다. 하지만 탄소섬유로는 제품을 제작하는 것에 한계가 있으며, 에폭시 수지 등의 열경화성 수지와 일체화시킨 탄소섬유 강화 열경화성 플라스

틱(CFRP)은 설계가 어렵고, 금속과 같은 균일한 재료를 얻기 어렵고 배합시 점별로 물성의 변화가 있는 점과 그리고 성형 가공시간이 Autoclave에서 작업을 하므로 제작 공정시간이 길고, 장비가 고가인 점 등의 해결해야할 과제를 갖고 있다.

Toray에서 개발된 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱(CFRTP)은 열경화성 수지 대신에 열가소성 수지를 이용함으로써 대량 생산에 한계를 가지고 있는 CFRP 재료의 과제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 일본 Toray에서 개발한 탄소 섬유 강화용 폴리 페닐렌 설파이드 (Polyphenylene Sulfide;PPS) 수지는 내열성, 난연성, 내약품성을 보유하고 있어서 기존 유리섬유 강화 PPS 수지와 같은 사출 성형기를 이용한 성형이 가능하고, 성형품의 디자인의 자유도가 높다.

이를 통하여 기존 Toray가 보유하고 있던 PAN계 탄소섬유인 ‘트레카’를 사용하여 열가소성 수지인 PPS를 함침하여 사출 성형이 가능한 탄소섬유 강화 열가소성 수지인 ‘트레카’를 공급하고 있는 것으로 보고되고 있다.

Toray에서 개발한 CFRTP 재료의 개발 내용을 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 중간재 개발

○ 등방성 CFRTP 재료

- 등방성 CFRTP 재료는 폴리프로필렌 수지(PP)를 탄소섬유에 함침하여 탄소섬유가 일방향을 갖거나 또는 등방성을 갖도록 분산시킨 재료이다.
- SMC(Sheet Molding Compound) 및 GMT(Glass-mat reinforced thermoplastics) 등 종래의 복합재료 기재와 비교하여 상당히 우수한 강도 특성을 가지고 있으며, 단위 중량당 강성, 강도(비강성, 비강도) 우수하며, 성형품은 연속섬유를 이용한 항공기용 CFRP에 대응할만한 경량화 효과를 실현할 수 있을 것으로 기대한다.

○ 일방성 CFRTP 재료

- 일방성 CFRTP 재료는 독자적인 표면처리 기술 및 수지 개질기술에 의해 탄소섬유에서 PP를 농축적으로 함침시켜서 프리프레그를 테이프 형태로 개발하는 것에 성공하였다. Matrix(기지면)에 수지를 함침시킨 것으로 PP

대신 폴리아미드 수지(PI)를 사용할 경우 더욱 높은 물성을 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다.

2) 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 성형 기술

○ 고속 스탬핑 성형 기술

- 자동차용 구조재료용으로 등방성 CFRTP 기재를 사용하여 금형 점유 시간이 짧고 성형 후 재료의 편차를 줄일 수 있는 고속 스탬핑(stamping) 성형기술의 개발에 성공하였다.

○ 고속 내압 성형 기술

- 자동차용 구조용 재료는 강도, 강성이 우수한 스페이스 단면 구조를 가진 중공 형태의 폐단면 구조체를 이용하는 것이 효과적이기 때문에 일방향 기재를 사용한 고속 내압 성형기술을 개발했다.
- 고속 내압 성형기술은 심리스(seamless) 중공단면 구조체를 성형하는 방법이지만, 지금까지 열가소성 복합재료의 기술이 확립되어 있지 않기 때문에 시중에서 판매된 성형 가공품은 전혀 없지만, 이번에 개발한 기술은 저압에서의 양호한 성형성을 가지고 있어 높은 역학특성을 발현하는 고도의 블레이드 설계기술과 그 성형기술을 확립한 것이다.

3) 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 접합 기술

CFRTP 중간재는 기존의 금속 용접기술과 비슷한 속도와 접합강도를 가질 수 있는 접합기술의 개념으로 용착 방법을 채용하였다.

열관용착, 진동용착, 초음파용착 등 접합면을 중첩시켜 가열 가압하는 방법을 개발하였고, 접합부를 일체화하여 섬유 함유율을 증가시키고 섬유끼리의 얽힘에 의한 고인성화를 달성하여 접합부의 강도를 높였다.

4) 탄소섬유 강화 열가소성 플라스틱 재활용 기술 개발

기존 CFRP는 사용된 수지가 열경화성 수지로 재활용에 대한 방법이 제한적으로 이루어졌고, 비용적인 측면과 재활용에 대한 측면에 제한이 많이 있었다.

CFRTP 재료는 기지의 수지가 물질 재활용이 가능한 열가소성 수지이기 때

문에 재활용이 가능하며 환경적인 오염 문제를 줄일 수 있고, 재활용에 사용되는 비용이 기존 CFRP보다 저렴하기 때문에 CFRTF 재료의 보급이 활발하게 이루어질 것으로 예상되고 이와 관련된 연구는 계속 진행될 것으로 예측된다.

제5절 자동차 부품용 탄소복합소재 개발동향 분석

1. 자동차 부품용 탄소복합소재 국가별 동향

1) 독일

지난 40년간 소비자들의 편의성과 안전성 및 안락성에 대한 요구가 증가하면서 차량의 안전과 기능성이 중시되면서 차량의 부품 수가 점차 증가하게 되었고, 이를 통하여 차체의 무게가 계속해서 증가하였다.

예로, 1974년형 폴크스바겐사 Golf 모델이 750kg이었던 것에 비해 가장 최신 모델의 무게는 1,200kg에 달하게 되었다.

2011년도 발표된 세계 각국의 배기가스 규제 강화와 이에 대한 대응 방안 마련과 더불어 자동차 제조 산업에서 자동차 연비향상을 위한 차체 경량화가 중요한 기술개발 테마로 자리 잡았고, 완성차를 중심으로 경량화 기술개발을 수행하고 있다.

차량 경량화는 차체, 차내 설비, 동력장치 등 차량 전체 분야에 걸쳐 있으므로 전체를 경량화하는 것도 중요하지만, 차체는 차 전체 무게의 35~40%를 차지하기 때문에 차체 부분의 무게를 줄이는 것에 집중하고 있다.

아우디는 ‘경량화 센터’를 운영하며 경량화 소재 개발을 하고 있고 2012년에는 섬유복합재료 강화를 위해 섬유강화플라스틱 기술센터(FRP Technical Center)를 설립하기도 했다. BMW도 전기차 i3와 플러그인 하이브리드 전기차 i8에 알루미늄 차체와 탄소섬유를 적용했다.

독일 다임플로사는 일본 도레이사와 공동으로 에쓰링엔(Esslingen)에 설립할 합작 업체(다임플러 44.9%, 도레이 50.1%, 구조해석분야 엔지니어링업체 ACE 5%)를 통해 탄소섬유 강화 플라스틱 부품을 대량 생산할 계획이다.

다임플러사는 2012년부터 탄소섬유 부품을 양산, 다임플러사의 스포츠카 모델인 SL에 투입할 예정이며, 점차적으로 벤츠 승용차, 버스, 상용차 등으로 활용범위를 확장해 갈 계획을 갖고 있다.

BMW사, AUDI사 등도 차량경량화 전략을 추진해 왔으며, 특히 배터리 중량

때문에 경량화가 중요한 전기자동차의 개발과 함께 이러한 노력이 더욱 가속되고 있다.

BMW사는 차량경량화에서 선도적인 역할을 하고 있는데, 2013년 출시 예정인 자사 전기자동차 Megacity Vehicles 차체 전체를 탄소섬유 강화 플라스틱으로 제조할 계획임. 이를 위해 BMW사는 독일 SGL그룹과 공동으로 미국에 탄소섬유 강화 플라스틱 공장을 설립하였다.

독일 자동차업체가 자동차부품용으로 탄소섬유 강화 플라스틱 양산체제를 구축하게 되면서 그동안 높은 가격 때문에 주로 항공기, 골프채 등 한정된 제품에만 사용되어 온 탄소섬유 강화 플라스틱의 가격이 전반적으로 하락할 것으로 전망되고 있다.

탄소섬유업계에서는 최근 세계적으로 생산시설 증설붐이 일어나고 있으며 향후 자동차업체의 자동화생산기술이 접목되면서 생산량 증가와 가격 하락이 빠르게 진행될 것으로 예측되고 있다.



[그림 36] BMW i8 하이브리드 전기자동차

2) 미국

미국은 1975년부터 1만대 이상의 차량을 판매하는 회사들을 기준으로 자동차 기업 평균연비 규제(CAFE: Corporate Average Fuel Economy)를 만들어 적용하고 있으며, CAFE 적용 후 10년 만에 자동차 연비를 5.7km/l에서 11.7km/l로 개선시킨 실적이 있다.

현재 미국 자동차 연비 향상 노력은 2008년 12km/l의 연비를 2016년까지 15.1km/l로 약 26% 향상시키고, 향후 2025년까지 평균연비를 23km/l까지로 하는 목표를 갖고 있다. 그리고 이러한 기준에 미달성시 기준 미달분에 비례하는 과태료를 부과할 예정이다.

금융위기 이후 미국의 자동차업계는 연비 절감을 위하여, 전기자동차, 하이브리드 차량 등 친환경차량 개발과 더불어 기존 가솔린 차량의 연비 개선을 위한 부품개발에 이르기까지 각 완성차 기업들과 부품기업들은 연비 절감을 위한 기술개발에 더욱 집중하고 있다.



[그림 37] GM Spark 전기자동차

3) 일본

전 세계 탄소섬유 시장의 40%를 차지하고 있는 Toray가 1999년 양산차용 프로펠러 샤프트를 철 대신 탄소섬유를 사용하여 제작하였다. 탄소섬유로 제작된 프로펠러 샤프트는 철강 재료보다 중량을 줄였고, 회전 부품의 소음 감소와 부품 수를 줄여서 제작하였다.

Toray는 2011년 9월 전기자동차(EV)의 콘셉트 카를 발표하였다, 탄소섬유는 20% 정도를 사용하였고, 차체 중량도 철강 차체에 비하여 36% 경량화를 구현하여 연비 향상에 따른 CO₂ 저감 효과가 클 것으로 예측된다.

미쓰비시 자동차는 현재 6개 차종에 대하여 탄소섬유 부품을 사용하고 있다. 특히, 철강 재료를 사용하는 제품은 60개 부품이 필요하나, 탄소섬유로 제작된 제품은 3개의 부품만으로 조립으로 가능하므로 제작 시간이 단축되는 장점을 갖고 있다.

전기자동차(EV)시대에는 휘발유자동차와는 달리 엔진, 변속기, 냉각장치 등이 필요없게 되었고, 강화된 자동차의 연비 규제를 충족시키기 위하여 일부 고급차량을 중심으로 탄소섬유를 사용하여 경량화 제품 개발을 수행하고 있다.



[그림 38] 미쓰비시의 전기자동차 ‘i EV’

4) 한국

기아자동차는 2014년부터 올 뉴 쏘렌토의 파노라마 선루프를 탄소섬유 복합체를 적용시켜 양산하고 있다. 탄소섬유를 선루프 프레임에 적용함으로써 차체 윗부분 무게를 가볍게 하여 차량의 무게 중심이 아래로 내려갈수록 주행 안정성을 확보하였다.

현대·기아차는 내년 출시되는 신형 ‘올 뉴 K5’를 비롯한 자사 세단급 차종 선루프에 탄소섬유강화플라스틱(CFRP) 적용을 시도 중이다. 현재 탄소 복합소재가 적용된 현대·기아차 모델은 올 뉴 쏘렌토가 유일하다. 이 회사는 신형 K5 외에도 복수의 세단에 CFRP 선루프 적용을 검토 중인 것으로 알려져 적용 차급과 차종 모두 확대가 예상된다.

현대자동차는 2015년 3월 세계 최대의 복합소재 박람회인 JEC2015에서 ‘Intrado’라 이름붙인 수소연료 전지 컨셉카의 프레임을 탄소섬유 복합체로 제작하여 JEC2015 Innovation Award를 수상하였다.



[그림 39] 현대자동차의 수소연료전지 자동차 ‘Intrado’

2. 자동차 부품용 탄소복합소재 기업별 개발동향

1) BMW

BMW M3루프 모듈에 탄소섬유보강 에폭시 수지를 적용하여 RTM(Resin Transfer Molding) 공법을 이용하여 제작하였다.

기본적인 카본 패턴을 외장재에 적용하여 고급스러움을 부여하였고, 자동차 상부의 무게를 경량화시킴으로써 차체 하부에 무게 중심을 이동시켜서 안정적인 주행을 구현할 수 있도록 설계하였다.

Coupe Sport Lightweight의 약자를 갖는 CSL 모델은 상당한 무게감량과 더불어 360마력에 달하는 출력을 가지게 되었고, 더 커진 안티 롤바(anti-roll bars)와 더 단단한 스프링, 그리고 세미슬릭 레이싱 타이어(미쉐린 파일럿 스포트 컵스)를 통해 일반 M3보다 더 날카로운 핸들링을 지닌다.

CSL은 새로운 휠 디자인, 범퍼에 내장된 리어 스포일러, 그리고 앞 범퍼 왼쪽의 커다란 공기 흡입구를 통해 일반 M3와 외적인 차별화를 꾀했다.



[그림 40] BMW사의 M3 CSL

또한 카본 파이버(carbon-fiber)루프, SMC(Sheet Molding Compound; 흠집과 손상에 강한 특수고무와 부식 방지용 첨단복합 소재)로 만들어진 트렁크, 더 가벼워진 배기 매니폴드, 더 얇아진 뒷 유리창, 카본 파이버로 만들어진 앞 범퍼와 리어 디퓨저(rear diffuser), 달라진 내부 도어 패널과 콘솔, 그리고 경량화된 레이싱 시트를 통해 추가 경량을 했으며, 소음 차단재와 사이드 에어백이 삭제되었다.

CSL의 엔진 역시 일반 M3와 다른 캠샤프트, 카본파이버 흡기 매니폴드와 알파-엔(Alpha-N)엔진 매니지먼트를 통해 차별화되었다. CSL은 일반 M3에서는 기본 옵션이었던 에어컨과 라디오 역시 삭제되었지만, 구매자의 요청에 따라 옵션으로 추가 장착할 수 있다. 또한 SMG II 기어박스가 기본옵션으로 장착된다.

BMW i3는 독일 BMW가 생산하는 전기 자동차로, 탄소 섬유 강화 플라스틱(CFRP) 등 초경량 소재를 적용하고, 드라이브 모듈에도 대부분 알루미늄을 사용해 공차 중량을 1,300kg으로 줄였다. B 필러를 없애고, 도어가 양쪽으로 열리는 코치 도어를 적용해 공간 활용성을 높였다.



[그림 41] BMW 전기자동차 i3 BIW

100% 충전하는데 완속 충전은 3시간이 걸리며, 급속 충전은 30분 만에 80%를 충전할 수 있다. BMW가 자체 개발한 i 리모트 앱을 스마트 기기에 설치하면 기기가 차량과 연동돼 문, 창문, 트렁크 등을 원격 조작할 수 있고, 예약 충전 등도 할 수 있다.



[그림 42] BMW' s Z22 CFRP side panel manufactured by RTM

2) Oxeon

2012년 8월 Tour de France 2012에서 우승한 팀이 경기에서 새로운 PRO TeXtreme 디스크 휠을 사용했다고 발표했다. PRO TeXtreme 휠은 무게를 줄이고 기계적인 성능을 향상시킨 TeXtreme Spread Tow 탄소 섬유를 사용한 것이 특징이다.

전문적인 사이클링 팀들은 PRO의 개발팀에게 현재 PRO의 휠들과 같은 승차감을 유지하면서도 가볍고 공기역학적인 휠을 디자인해 줄 것을 요청했다. 이런 도전적 과제에 개발팀은 새로운 디스크 휠을 연구하기 시작했고, 그 결과가 PRO TeXtreme 휠이다.

TeXtreme 기술과 레진 시스템의 신중한 선택으로 PRO는 1kg이하의 무게를 가지는 휠을 제작할 수 있었다. 명시된 PRO TeXtreme 디스크 휠의 무게는 975g 이다.



[그림 43] CFRP 자동차 휠

PRO TeXtreme은 전반적인 넓은 에어포일 형상을 지니고 24mm 의 림을 가지고 있다. Woven Spread Tow 구조는 최고의 표면 평활도(smoothness)를 가지고 있다. 다른 휠에 비하면 PRO는 표면을 반반씩 붙여서 만드는 방법 대신에 회사로부터 모노코크 시공을 가능하게 하는 특별한 wheel-building 방법(압력오븐)을 이용하였다.

TeXtreme은 탄소 섬유를 직물을 짜는데 사용되는 얇은 단방향 테이프로 직조하여 만들어진다. 이 방법을 통해 최적화된 Spread Tow Tapes과 Spread Tow Fabrics이 만들어지며 20-30 퍼센트 가볍고 향상된 기계적 성질을 가지는 복합재료의 생산을 가능하게 한다.

3) Ford

Ford는 구매자들에게 연비 개선을 통한 연료비를 절약할 수 있는 탄소섬유 후드의 프로토타입을 시연하였다. 탄소섬유 복합재로 만들어진 Focus의 후드의 무게는 기존의 철로 만든 제품보다 50% 이상 경량화를 구현하였다.

Ford European Research Centre의 프로젝트 결과로서 탄소섬유 후드의 단품의 제작시간이 실제 생산라인에 적용될 만큼 빨라졌다. 이 중요한 진보는 Ford 자동차의 가벼운 물질의 사용을 증가시킬 것으로 예측된다.

후드는 폼코어를 둘러싸고 있는 탄소 섬유의 샌드위치 형태로 구성되며, 레진을 미리 성형된 탄소 직물에 추가시키는 refined gap-impregnation 방법을 이용하여 만들어지며 최고의 품질을 만들어낸다. 최초의 테스트에서 Ford 포커스의 후드와 같은 탄소 섬유 복합재료로 만들어진 부품들은 Ford의 높은 기준의 강성, 텐트 저항과 충격 성능을 만족시켰다. 또한 후드의 샌드위치 구조로 덕분에 보행자 머리 충격 테스트에서도 좋은 성능을 나타냈다.

“차량의 무게가 줄어든다면 연료에 이득이 있다는 것은 당연한 말이지만, 많은 수의 탄소 섬유 자동차 부품을 만들어 낼만큼의 저렴하고 빠른 생산라인을 만든다는 것은 불가능한 일이었다.” 라고 Ford European Research Centre의 고성능 재료 및 제작 연구 공학자인 Inga Wehmeyer는 언급했다. “Hightech.NRW의 연구 프로젝트를 통해 재료 전문가들과 함께함으로써 Ford는 탄소 섬유 부품을 가격 효율적으로 만들 수 있는 방법을 개발하고 있다.”

Ford사의 Dow Automotive Systems와의 파트너십 이후로 Hightech.NRW 연구 프로젝트의 Ford European Research Centre의 참여가 이루어졌다. 이

협업을 통해 이번연도 초에 새로운 물질과 디자인 공정과 그리고 제조 기술에 대해 연구를 진행할 것이라고 발표했었다.



[그림 44] SMC 공법으로 제작된 Ford의 화물 적재함

Dow Automotive Systems와 Ford는 자동차 급의 탄소섬유의 경제적인 자원과 대량생산방법 체계를 세우는데 집중할 것이다. 이는 차후 Ford의 배터리 전기차와 플러그-인 하이브리드 전기차의 역량을 키워주는데 중요한 요소이다. 탄소섬유와 같이 진보된 재료는 Ford가 향후 10년 안에 차340kg줄이는 계획의 열쇠라 볼 수 있다.

4) 토요타

토요타 자동차는 2013년 12월 렉서스 LFA 모델을 상용 판매 모델로 시판하였다. 렉서스의 LFA 모델은 전체 BIW(Body In White; 자동차 차체 스페이스)를 탄소섬유로 제작하여 알루미늄 BIW를 사용하던 동일 모델에 비하여 자동차 무게를 193kg 감량시켰고, 탄소 섬유 적용량도 자동차 무게의 약 65% 수준으로 채택하였다.



[그림 45] 토요타의 Lexus LFA

또한 토요타 자동차는 2015년 1월 연료전지 자동차 미라이를 도레이의 탄소섬유를 사용하여 제작하였다.

도레이 산업은 2014년 12월 도요타 자동차에서 공개될 연료전지 자동차 미라이 모델에서 탄소섬유를 적용할 것이라고 밝혔다. 미라이 모델에서 사용될 도레이의 탄소섬유 재료의 재원들을 아래와 같이 소개하였다.

- 자동차 구조용 부품을 위해 개발된 열가소성 탄소섬유
- 연료전지의 전극소재를 위한 탄소 페이퍼
- 고압수소 탱크용 고강도 탄소섬유

도요타 연료전지 차량인 미라이 모델은 세계 최초의 승용 연료전지 자동차로 열가소성 탄소섬유 복합재를 사용하여 차량의 바닥 부품을 제작하고 고압 수소탱크 제작을 위해 열경화성 탄소섬유 복합재가 사용되었다.



[그림 46] 토요타 연료전지 승용차 미라이 모델



[그림 47] 토요타 미라이 모델에 적용된 탄소 소재

5) 현대 · 기아자동차

기아자동차는 신형 쏘렌토와 2014년형 스포티지 차체의 천장 부위에 탄소섬유를 적용해 차체 무게를 가볍게 하고 연비와 주행성능을 향상 시켰다.

SUV는 대부분 무게 중심이 높아 운동성능이 떨어지기 쉬운데, 천장 부위를 가볍게 하면 전체 주행성능이 향상된다는 장점이 있고, 자동차 전체 무게가 가벼워져 연비 향상에 영향을 준다.

현대자동차는 탄소섬유 복합재료 최대 박람회인 JEC2015에서 인트라도를 출시하여 Innovation Award를 수상했다. 인트라도는 현대자동차, 롯데케미칼, 효성과 공동으로 제작한 탄소섬유 차체를 갖춘 수소연료전지차 콘셉트카이다.



[그림 48] 기아자동차 쏘렌토 CFRP 적용 썬루프

기존 개발된 자동차들은 비록 탄소섬유를 이용했다고 해도 차체의 일부를 탄소섬유로 하고 충돌시 힘을 받는 크로스멤버나 서브프레임 등은 철제를 이용하는 것이 일반적이었지만, 인트라도는 차체의 BIW(화이트바디) 전부를 탄소섬유로 개발했다는 특징이 있다.

‘N 2025 비전 그란 투리스모’의 파워트레인은 세계 최초로 수소연료 전지차 양산체제를 구축한 현대자동차의 기술 경쟁력을 강조하기 위해 차세대 동력원인 수소연료전지 시스템을 적용했다.

초소형, 초경량 차세대 연료전지 스택과 탄소섬유(CFRP) 모노코크 차체 구조를 통해 총 중량 972kg라는 차량 경량화를 실현하고 무거운 부품들을 차량의 하부에 최대한 배치해 차량의 무게중심을 최대한 낮게하였다.



[그림 49] 현대자동차 Intrado BIW



[그림 50] N 2025 비전 그란 투리스모

[표 4]. 시판 자동차 CFRP 적용 사례

차종	차명	국가	소재	성형법
슈퍼 스포츠	Pagani Zonda C12S	이탈리아	코크피트	프리프레그 (오토크레이브)
	B Engineering Edonis EX38	이탈리아	새시	프리프레그
	Ferrari Enzo	이탈리아	CF/Al허니콤 모노코크, 외판, 플로어패널	프리프레그
	Saleen S7	미국	알루미늄 허니콤 /판 프레임, 외판	프리프레그
	Bugatti Veyron 16/4	프랑스	CF/Al 모노코크, 후드, 플로어패널	프리프레그
고급 스포츠	Toyota Lexus LFA	일본	새시, 디퓨저, 스티어링 휠, 외	RTM, 프리프레그
	Aston Martin Vanquish	영국	A필러, 스트러트 타워 바, 터널, 외	RTM, 프리프레그
	Lamborghini Murcielago	이탈리아	후드, 펜더, 트렁크리드	프리프레그
	Porche Carrera GT	독일	모노코크, 서브프레임	프리프레그, RTM
	Mercedes Benz SLR Mclaren	독일	새시, 외판	RTM, 세미프레그, A-SMC
중급 스포츠	Honda NSX-R	일본	후드, 스포일러, 시트프레임	프리프레그
	TVR Tuscan R	영국	외판	세미프레그
	BMW M3 CSL/M6	독일	루프, 외	RTM
	Aston Martin Vantage	영국	프로펠러 샤프트	FW

	MG Xpower SV	영국	트렁크박스, 루프이너, 외판, 외	프리프레그, 세미프레그
	Farboud GTS	영국	바디 외	세미프레그
	Aero 8 roadstar	미국	하드 톱 가동 루프	프리프레그
일반	Renault Espace Quadra	프랑스	프로펠러 샤프트	FW
	Audi 80/90-A4/A8 Quattro	독일	프로펠러 샤프트	FW
	Honda Legent	일본	프로펠러 샤프트	FW
	MMC Pajaro	일본	프로펠러 샤프트	FW
	Mazda RX-8	일본	프로펠러 샤프트	FW
	Nissan fiarlady Z(350Z)	일본	프로펠러 샤프트	FW
	Nissan GT-R V-spec.II	일본	후드	VaRTM
	Nissan Skyline	일본	프런트엔드 모듈	사출성형
	MMC Lancer Evokution VIII	일본	스포일러	RTM
	FHI Imresza	일본	스포일러	프리프레그
	Ford GT Coupe	미국	리어 데크패널, 이너, 시트프레임	프리프레그
	Viper SRT-10 convertible	미국	A필러, 도어, 프런트엔드 프레임	SMC
Chevrolet Corvette Z06	미국	후드, 플로어 패널	프리프레그, 압축성형	

제 5 장 자동차 경량화 부품 산업 전망

에너지, 환경, 안전성에 대한 관심이 점차 높아지고 있는 시점에서 기존의 철강소재를 대신하여 경량화 할 수 있는 고장력강, 알루미늄, 마그네슘, 엔지니어링 플라스틱 및 탄소섬유강화 복합재료(CFRP) 등으로 경량화 기술이 자동차 산업을 중심으로 집중적으로 개발하여 적용되고, 점차 확대되고 있다.

현재 탄소섬유강화 복합재료는 패널, 후드 등의 2차 구조재로 적용되면서 하우징 등의 1차 구조재로 적용이 확대되고 있다. 이는 기존의 탄소섬유의 고유한 외관 특징을 활용하던 외관 및 디자인 성형 등의 외장재 중심에서 경량화와 안전성 등의 성능과 기능성을 중시하는 구조재로 적용이 확대되고 있다.

탄소섬유강화 복합재료를 채택하여 기존의 자동차에 적용할 경우 차량의 총 중량은 약 30% 경량화가 가능할 수 있다. 그리고, 안전성이 확보됨으로 운전성능 향상과 내구성 향상이 기대되고, 기존 부품과 달리 일체화를 통한 부품수를 저감할 수 있는 특징이 있어서 조립비용 절감이 가능한 장점이 있다.



[그림 51] 자동차 분야에서의 CFRP 적용 역사

이러한 장점을 기반으로 전기자동차 또는 하이브리드 자동차 등 기존 자동차보다 경량화 요구조건이 강하게 요구되는 산업 분야에서는 CFRP 적용이 더욱 많이 필요하게 될 것으로 기대된다.

하지만, 아직까지는 탄소섬유의 가격이 고가이고, 자동차 산업과 같은 대량 생산 구조를 갖는 산업에서 필요한 부품 공급을 위한 대량 생산 제작 공정에 대한 기존 기술의 개선과 신규 양산화 기술 개발이 필요하다.

탄소섬유강화 복합재료 분야는 1980년대 F1 경주용 자동차를 제작하는 것으로 오랜 기간 동안 CFRP의 설계, 성형 기술 개발 및 적층구조 개발 등의 실험적 경험을 갖고 있다. 지속적으로 CFRP를 활용한 F1 자동차의 수가 증가하면서 프리프레그 성형 공정에서 성형 시간을 단축시킬 수 있고, 가격 경쟁력을 확보할 수 있는 RTM(Resin Transfer Molding) 성형 공정으로 변화되었다.

탄소섬유강화 복합재료에 대한 고속성형의 필요성은 자동차 산업에서 CFRP 적용이 고급 세단 차량 중심에서 대중적인 차량으로 변화되면서, CFRP 부품 개발 과정에서 양산성을 고려한 성형 공정의 필요성을 대두되면서 기존의 RTM 성형 공정보다 대량 생산이 가능한 성형 공정 개발이 요구되고 있다.

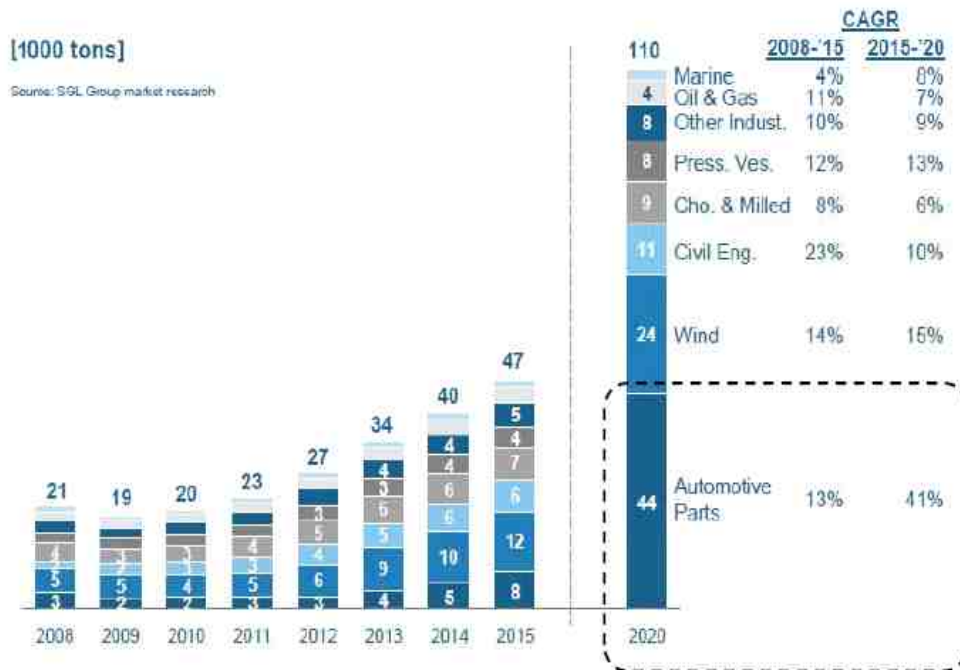
탄소섬유강화 복합재료 분야는 풍력에너지 발전용 블레이드를 중심으로 탄소섬유 시장을 주도하였으나, 자동차 산업의 급격한 경량화 요구에 따라 2020년 이후에는 자동차 산업이 탄소섬유 시장을 주도할 것으로 예상된다.

[표 5] CFRP 성형 공법 및 특징

구분	열경화성(현재)			열가소성(향후)
	Autoclave	VaRTM ^{*1)}	SMC ^{*2)}	Compression Molding
성형공법	Autoclave	VaRTM ^{*1)}	SMC ^{*2)}	Compression Molding
생산성	180분 이상 (낮음)	30분 이상 (중간)	5분 이상 (높음)	3분 이내 (높음)
경량화	높음	중간	낮음	높음
리사이클 특성	낮음	낮음	낮음	높음

*1) VaRTM: Vacuum Assisted Resin Transfer Molding *2) SMC: Sheet Molding Compound

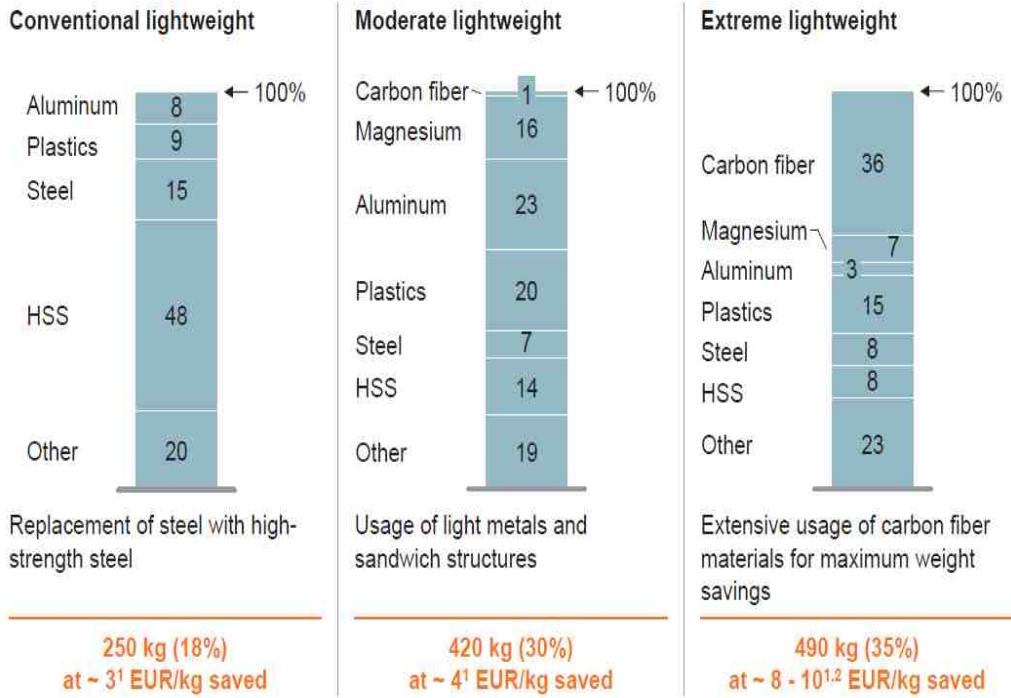
탄소섬유 가격은 2030년경에는 자동차 경량화를 위해 CFRP 부품 수요가 클 것으로 예측되고 있고, 자동차 경량화 요구가 높을수록 CFRP 가격 경쟁력이 급격하게 감소할 것으로 예측된다.



[그림 52] 탄소섬유 활용 증가 예상치



[그림 53] 철강 대비 탄소섬유와 알루미늄과의 가격 예측



[그림 54] 자동차 경량화 감량 요구에 따른 소재별 예상 적용률

제 6 장 결론

자동차 경량화의 문제는 각 국가들간에 합의된 국제 환경 규제를 만족시켜야하고, 갈수록 강화되고 있는 국가별 연비 문제 해결과 화석 연료의 개채량 한계에 직면한 에너지 비용의 끊임없는 상승 가능성을 해결해야 하는 복합적으로 어우러진 세계적 화두로 자리 잡고 있다.

이에 따라 자동차 완성업체들을 중심으로 기존의 자동차 산업에서의 자동차 경량화를 위한 기술 개발에 엄청난 에너지를 쏟고 있다. 특히 알루미늄 및 마그네슘을 중심으로 경량 금속 재료는 현재 자동차 산업에 진입하여 차량 경량화를 견인하고 있고, 기존의 시스템에서 소재를 변경하여 기존 공법을 이용하여 수행하고 있어 큰 어려움은 없는 실정이다.

자동차 산업에서의 경량화는 단순한 자동차 중량을 줄이는 것에 국한되지 않고, 기본적으로 경량화를 구현하는 것 외에도 운전자를 보호하기 위한 안전성 확보와 장기간 사용을 위한 내구성 확보가 필요하고, 대량 생산 시스템 구축과 재활용 시스템 구축 등 앞으로 장기적으로 해결해야할 과제들이 있다.

앞으로 자동차 경량화 요구가 점차 강화되면 금속 재료로서의 경량화에 한계가 드러나게 되는데, 이를 극복할 수 있는 소재로 부상하고 있는 재료는 탄소섬유이다. 탄소섬유를 이용한 CFRP 부품 개발은 향후 미래의 자동차 산업뿐만 아니라 다양한 산업분야의 중요한 핵심 기술로 자리잡고 있다.

그러나, 탄소섬유의 원천 기술은 선진 기술 보유국이 국가적 비밀유지를 위해 강력하게 보안 및 통제를 실시하고 있는 실정으로 후발 개발 국가는 선진 기업의 재료를 구매해서 사용하거나, 아니면 엄청난 기술개발 비용을 들여 그 기술을 개발해야 하는 어려움이 있다.

탄소섬유는 경량화 소재가 가져야 할 장점인 가볍고, 강하고, 내화확성이 있고, 고 탄성률 등을 갖고 있어서 활용 범위가 낚시대, 골프채, 요트 등의 스포츠 용품에서부터 자동차, 선박 철도 등의 운송수단을 포함하는 자동차 산업과 전기/전자와 반도체 산업을 비롯한 일반 산업 분야와 최첨단 항공우주 산업에까지 모든 산업 분야에 적용되고 있다.

또한, 탄소섬유는 소재의 특성상 잠수함, 미사일 등과 같은 방위 산업에 적용되고 있어 기술 이전은 물론 제품의 수입 자체에도 여러 가지 제약이 따르고 있다. 특히, 미국 일본 유럽 등의 선진국에서 고품질의 탄소섬유에 대해서는 수출을 규제하고 있다.

우리나라에서는 효성, 태광산업, GS칼텍스 등에서 탄소섬유를 연구 개발 중이나, 기술적으로 선진국에 비하여 미흡한 상태이고, 토레이 첨단소재가 구미에 탄소섬유의 탄화라인을 만들어 탄소섬유를 생산하고 있다. 하지만 적용할 분야가 산업용과 스포츠용으로 사용할 계획으로 선진 기술 보유국에서 제공하는 탄소섬유와는 기술적 차이가 있는 실정이다. 향후 이 부분은 국내 기업들의 투자에 의하여 다양한 분야의 탄소섬유를 제작할 수 있는 라인 증설이 뒷받침이 되어야 한다.

따라서, 국내 자동차 완성업체와 국내 탄소섬유 제작 업체들간의 상호 긴밀한 유대관계를 통하여 향후 CFRP 부품이 적용된 경량 고강도 자동차 제작을 위해서 자동차 전용 탄소섬유의 기능성과 제조 성형 방법, 설계 및 평가 방법 등 전반적인 기술 개발을 추진해야 할 것이며, 대량 생산을 위한 부품 성형 제작 기술 개발을 병행해야 할 것이다.

따라서, 자동차 산업의 고부가가치화 및 주요 부품 개발의 수요 증가와 해외 기술 의존도가 높아지는 현실을 고려할 때 지속적인 투자와 기술 개발이 필요하며, 현재 확보된 전문 인력의 활용을 통한 전문 기술 인력 양성과 재료 개발 및 성형 기술 개발 등의 상용화 기술 개발에 대하여 정부차원의 장기적인 계획과 적극적인 지원 및 관심이 절실하게 필요하다.

<참고문헌>

- 1) 자동차 경량화 관련 소재 및 부품 개발동향과 국내외 참여업체 사업전략, IRS Golbal, 2013.11
- 2) 최신녹색기술-미국 차량경량화 기술개발 한창, KOTRA, 2011.04.
- 3) 자동차 경량화 기술, 한국과학기술정보연구원, 2009. 02.
- 4) 김기석 외 공저, 자동차 경량화를 위한 탄소섬유강화 복합재료의 동향, Elastomers and Composites, 2012. Vol.47.
- 5) 일본의 소재혁명(2), 한일재단 일본지식정보센터, 2011.
- 6) 자동차용 복합재료의 현황과 전망보고서, A&D 컨설턴트, 2012.01
- 7) 전략시장 리포트_일본의 탄소섬유시장, 한일재단 일본경제연구센터, 2011.
- 8) 윤석한 외 공저, 자동차용 섬유화학소재 개발 동향, 공업화학전망, 2013. 06
- 9) 박형근, POSRI 보고서_기지개 켜 탄소섬유 시장, 그 가능성은?, 포스코경영연구소, 2013.01
- 10) 최치훈, 자동차산업 탄소섬유 적용현황 및 미래, 현대기아연구본부
- 11) Anthony J. Berejka, New York State Vehicle Composites Program, Automotive COMposite, 2015. 02
- 12) 일본의 탄소섬유 시장 분석, 한일재단 일본지식정보센터, 2011.
- 13) 박 훈, 섬유산업의 구조고도화를 위한 국내 산업용 섬유 발전전략, 산업연구원, 2013.12
- 14) 김익수 외 공저, PAN계 탄소섬유 산업의 동향과 기술개발 방향, 한국산업기술평가관리원, 2014.10
- 15) Lightweight, heavy Impact, McKinsey & Company, 2012. 02
- 16) Paul E. Krajewski, General Motors Lightweight Body Strategies and Executions, 2013. 04
- 17) Sanjay Mazumdar, Opportunity and Challenges in Automotive Composites Industry, Lucintel, 2013.12
- 18) Akihiko Kitano 외 공저, The CFRP automobile body project in Japan, NEDO, 2006. 11
- 19) Moriyuki Onishi, Toray' s Business Strategy for Carbon Fiber Composite

Materials, 2012. 09

20) World Car Trends 2014_ “Smart Efficiency and Digital Intelligence” ,
Prime Research, 2014.04

21) 나덕주, 수송기계 경량화를 위한 복합재 부품의 적용 현황과 성형기술
동향(上), 기계산업, 2015.06