

미래차용 경량 고분자 소재 연구 개발 동향

| 저자 | 한정우 화학공정PD / KEIT

장동규 책임연구원 / KEIT

하진욱 센터장, 이평찬 선임연구원 / 자동차부품연구원

SUMMARY

// 환경규제 강화로 촉발된 자동차 경량화 이슈로 경량 고분자 소재 급부상

- ★ 자동차 온실가스 및 연비 규제 강화 대책으로 차량 경량화가 가장 효율적인 방안으로 주목
- ★ 차량 경량화는 내연기관의 연비 규제 대응과 친환경차의 효율성 향상에 따른 판매 확대를 위한 핵심 기술임
- ★ 기존 내장부품에 한정되어 사용되어 오던 고분자 소재가 물성 향상 및 성형공정 기술 개발을 통해 외장부품을 비롯한 엔진룸 주변 부품, 전장부품 등으로 확대 적용되는 추세

// 시사점 및 정책제안

- ★ 고분자 기반 경량 소재 및 성형 기술이 급속하게 진화하고 있어 적용 가능 부품군이 다양해지고 있으며, 이로 인해 자동차 경량화 고분자 소재는 지속적으로 성장할 것으로 예측
- ★ 선진국은 자국의 자동차 산업의 경쟁력 강화 및 신성장 산업으로 육성하기 위해 소재 기술에 집중 지원
- ★ 미래차용 경량 고분자 소재 산업에 대한 지속적인 지원을 통하여 국내 자동차 및 화학 산업의 동반 성장과 이를 통한 신산업 및 신시장에 적극 대응이 필요

1. 자동차 경량화 배경

// 국제 환경 규제 강화

- ★ 환경 문제 및 에너지 자원의 가격 상승으로 야기된 각국의 각종 환경 규제는 석유자원의 30%를 소비하며 전체 온실가스 배출량의 25%를 차지하는 자동차 산업에 직접적인 영향을 주고 있음 [1,2]
- ★ 대표적인 자동차 환경 규제는 대기오염과 온난화 대책임. 대기오염 대책은 유해가스 배출 억제에 초점을 두고 있으며, 온난화 대책은 온실가스 배출 억제에 초점을 두고 있음
- ★ 내연기관 자동차에 대한 다양한 환경규제 제도 시행 중
 - 자동차 제작자와 이용자에 대한 다양한 방식·유형의 자동차 환경규제 제도가 시행되고 있거나 시행 추진 중
 - 국가·지역별로 자국의 상황을 감안하여 선택적으로 자동차 환경규제 제도를 시행
 - 각 규제의 시행 강도가 대폭 강화되는 추세
 - 우리나라는 거의 모든 자동차 환경규제 제도를 동시에 추진하고 있는 유일한 국가

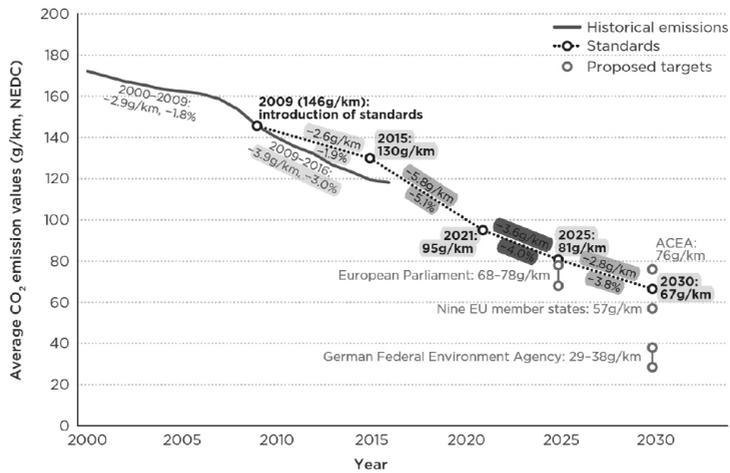
표 1. 내연기관 자동차에 대한 환경 규제 유형 [3] |

규제 유형	적용기준	시행지역		주요동향
		해외	우리나라	
배출가스 규제	개별차/기업평균	대부분 국가	0	국내기준 '16→'25년 3.3배 강화
연비 규제	기업평균	미국, 일본, 중국	0	미국 CAFE '17→'25년 약36% 강화
온실가스 규제	기업평균	미국, EU	0	미국 온실가스 기준 '17→'25년 약 33% 강화
무배출차 의무판매제	기업평균	미국(캘리포니아주 등) 중국(추진 중)	검토 중	캘리포니아 ZEV 비율 '18년 4.5% →'25년 22.0% 중국 NEV 의미비율 '18년 8% →'20년 12%
보너스-말러스 제도	개별차	프랑스	시행 예정	우리나라 '친환경차 협력금 제도'
고배출차량 운행제한	개별차	유럽 주요 도시	0	저배출지역(LEZ)→무배출지역(ZEZ) 확대 전망
내연기관 판매금지	개별차	독일, 영국, 프랑스, 네덜란드, 노르웨이, 중국, 인도 등 추진		국가별 '25~30년 시행 목표 설정

★ EU는 온실가스(CO₂) 배출 규제 적용 중 [3,4]

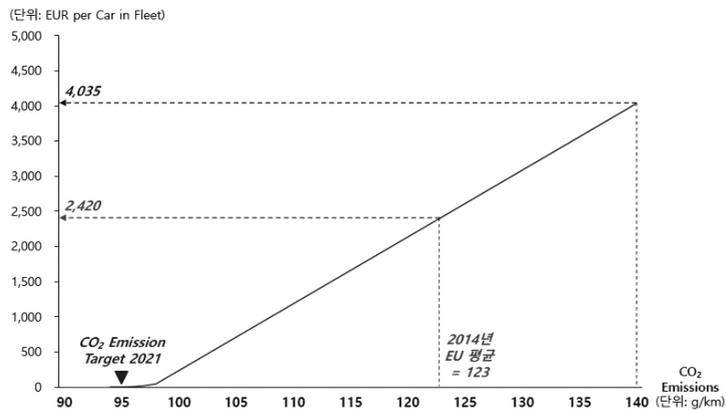
- (현행) 130 g/km → (2021년) 95 g/km → (2025년) 2021년대비 15% 감축 → (2030년) 2021년 대비 30% 감축안을 EU 집행위원회에서 발표
- 최근 EU 회원국은 35% 감축안(62 g/km, '30년)에 합의하였으나, EU 집행위원회, 의회, 이사회 3자간 협의에 의한 승인이 필요함

| 그림 1. EU의 CO₂ 기준 강화 추세 [4] |



- 환경 규제 미 충족시 벌금 부과, 초과 배출량 기준 5 ~ 95 유로 누진 벌금 부과 예정

| 그림 2. EU 연비 규제 미충족시 해당 예상 벌금 (2021년 Target 기준) [5] |



★ 미국은 연비규제(CAFE)와 온실가스 배출 규제를 동시 적용 중 [3]

※ CAFE : corporate average fuel economy

- 승용차 온실가스 배출 기준 : '18년 232 g/마일 → '25년 163 g/마일(29.7%강화)
- 소형승용차 평균연비 기준 : '18년 45마일/갤런 → '25년 60마일/갤런(33.3%강화)
- 미국 캘리포니아 주 등 10개 주(Section 177 ZEV States)는 무공해차(ZEV) 의무 판매 제도 시행 중
- 트럼프 행정부 2021~2026년 CAFE 기준 재검토 지시('18.04). '18년 8월 새로운 중장기 연비규제안(SAFE, The Safer Affordable Fuel-Efficient) 발표
- 새로운 규제안의 핵심 내용은 연비규제 기준치 동결로 규제를 완화하고, 주정부의 독자 입법권한을 박탈하는 것이며, 이에 대해 주정부와 환경단체 등이 강하게 반발하고 있는 상황

★ 중국은 기존 기업평균연비(CAFC) 제도에 더해 2019년부터 신에너지자동차(NEV) 크레딧 제도 시행 [3]

※ CAFC : corporate average fuel consumption, NEV : new-energy vehicle

- 2013년부터 CAFC 제도 시행 : 공차 중량 기준으로 설정된 목표 연비를 판매비중으로 가중평균한 목표 연비 달성 의무
- 미국의 ZEV제도와 유사한 NEV 크레딧 제도 시행 확정

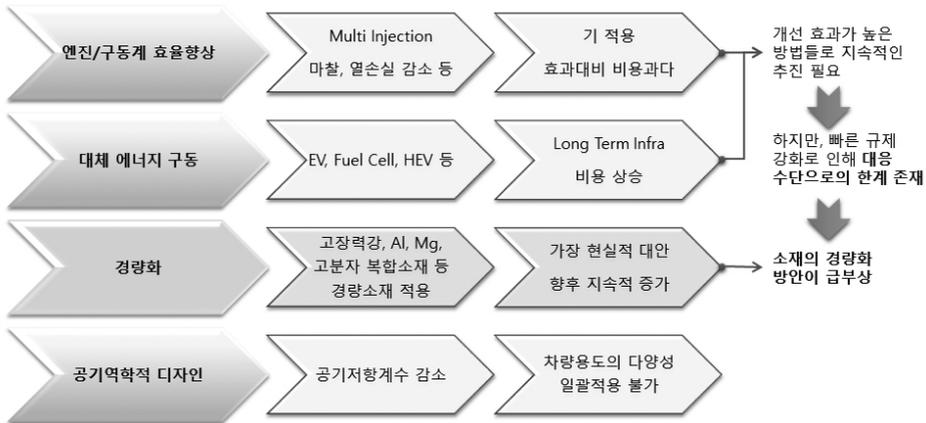
// 연비 규제와 경량화

★ 그 동안 완성차 업체는 연비규제 수준이 높지 않아 비용 대비 효과가 높은 옵션을 선택적으로 실행해 왔음

★ 하지만, 엔진/구동계 개선 및 친환경차 개발/판매 확대로는 빠른 규제 대응에 한계가 있어 차량 경량화가 필수적으로 병행 수반되어야 하는 상황임 [5]

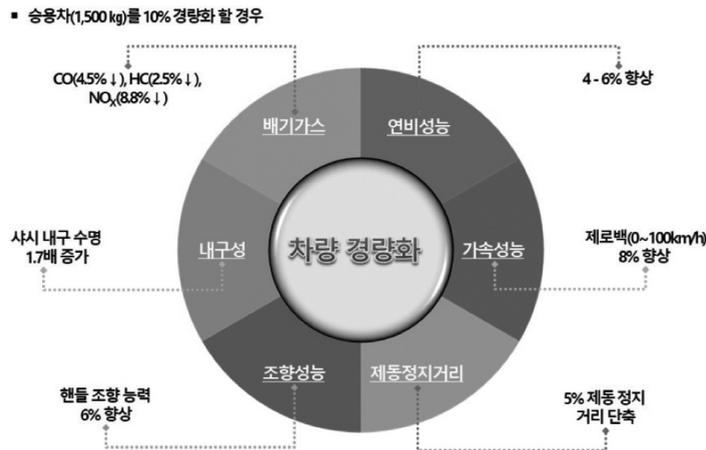
- 연비 향상을 위해 일반적으로 수행되는 연구는 엔진/구동계 효율 향상, 주행 저항 감소, 경량화 등으로 구분
- 엔진효율 향상을 위해서는 엔진 다운사이징, GDI(gasoline direct injection), 다단 변속기(6속 및 8속) 등과 같은 연구를 들 수 있으며, 기술 수준이 상당 부분 성숙되어 추가적인 개선을 위해서는 많은 연구비와 기간이 소요됨
- 주행저감 감소의 경우 차체의 공기역학적 설계, 타이어 패턴 최적화 및 타이어 소재 개선을 통한 구름 저항 감소 등의 연구가 진행되고 있으나, 차량 디자인 요소와 연관되어 있어 적용에 한계가 있음

| 그림 3. 연비 개선/배기가스 저감 방법 및 경량화 중요성 부상 [5] |



- 차량 경량화의 경우 최소 변경을 통한 빠른 적용이 가능하다는 장점이 있으나, 경량화 소재 적용에 따른 비용 부담 및 신소재 기술 및 성형기술 등 추가적인 기술 개발이 필요함. 최근 차량의 연비 향상을 위한 가장 효율적인 방안으로 차량 경량화가 주목

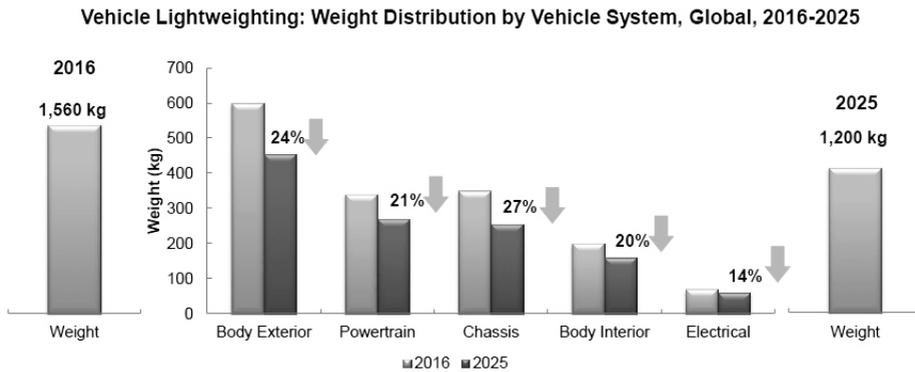
| 그림 4. 차량 경량화에 따른 효과 분석 [2] |



★ 연비 규제 만족을 위해서 차량은 ‘25년까지 약 23% 이상 무게 절감(‘16년 대비)이 필요한 것으로 예상되고 있음

- 일반적인 차량의 경우, 외장부품 및 차체새시 부품이 전체 차량 무게의 50% 이상을 차지하고 있어, 경량화 주요 대상이 되고 있는 실정임

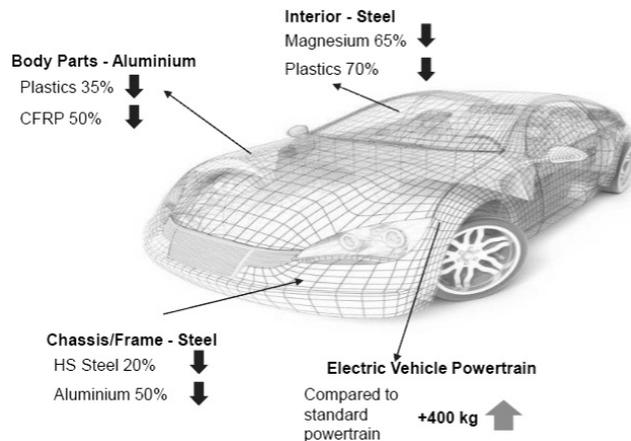
| 그림 5. 부품별 무게 분포 및 경량화 목표 [6] |



★ 기존 내연기관 차량의 연비가 꾸준히 개선된다 하더라도 친환경차 판매 확대 없이는 장기적인 연비 규제 충족이 어려운 상황임

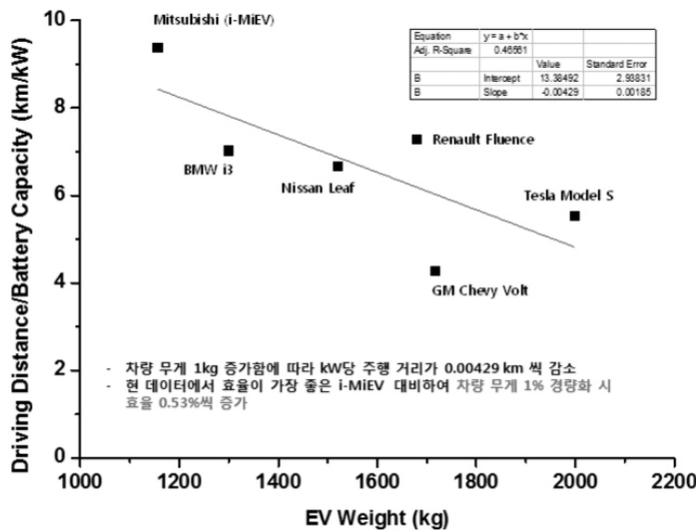
- 과거 연비 개선 속도는 연평균 약 2% 수준이었으나 향후 요구되는 개선 속도는 연평균 약 5%로 BEV를 비롯한 친환경차 판매는 꼭 필요한 상황
- 낮은 1회 충전 주행거리, 높은 가격, 충전 인프라 부족 등으로 인해 친환경차 매력도가 낮은 상황에서 친환경차 판매 확대를 위해서는 1회 충전 주행거리 개선 및 배터리 가격 하락이 주요 기술 포인트
- 1회 충전 주행거리 개선을 위해서는 배터리 성능 개선과 더불어 배터리 무게로 인한 차량 중량 증가분을 상쇄할 수 있는 차량 경량화가 필수적임

| 그림 6. EV의 부품별 적용 검토 소재 및 경량화율 [6] |



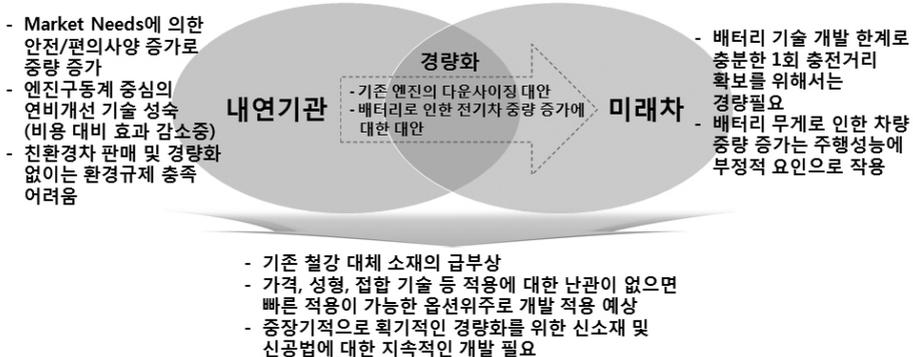
- 기존 내연기관의 파워트레인 대비 EV의 파워트레인의 무게는 400 kg 더 무거울 것으로 예측되고 있어, 내장부품, 외장부품 및 차체새시부품의 경량화를 위해 더 비싼 신소재 적용을 추진하고 있는 실정임 [6]
- 양산화된 EV 차량의 주행거리와 무게와의 연관성을 분석한 결과, 차량 무게 1% 경량화시 효율 0.53%씩 증가하는 것으로 나타남 [2]

| 그림 7. EV 중량에 따른 주행 효율 향상 관계 그래프 [2] |



★ 차량 경량화는 내연기관의 연비 규제 대응과 친환경차의 효율성 향상에 따른 판매 확대를 위한 공통분모에 위치해 있음

| 그림 8. 패러다임 전환에 따른 경량화 중요성 [5] |



// 경량화 방안

- ★ 차량 경량화 방법으로는 구조 합리화, 저비중 소재 적용, 첨단 고기능성 소재 개발 등을 들 수 있음 [2]
- ★ 구조 합리화는 공정기술의 발전과 함께 최근 들어 다양한 연구가 진행되는 분야임. 차량의 안전에 문제가 되지 않을 경우 불필요하게 보강되었던 부분을 최소화하는 연구 등을 예로 들 수 있음. 대표적인 예로는 샌드위치 구조, 부품 모듈화 등을 들 수 있음
- ★ 저비중 소재 적용의 경우 금속 소재를 비철금속 혹은 화학소재와 같이 비중이 낮은 소재로 대체하는 기술임. 이 경우, 기존에 사용하는 금속 소재 대비 동등 이상의 물성을 구현해야하기 때문에 많은 어려움이 따름
- ★ 첨단 고기능 소재 개발은 기존 여러 소재 및 단위 부품으로 구성된 부품을 다기능을 갖는 소재를 적용하거나, 기존 소재의 성능을 향상시켜 소재 사용 중량 또는 부품수 삭감 등을 통해 부품 경량화를 달성하는 기술임. 예를 들어 배터리의 효율을 향상시킴으로써 배터리 모듈 무게 절감 방안 등을 생각할 수 있음

2. 자동차 경량화 소재

// 자동차 소재

- ★ 자동차 산업에 있어서 소재 선택의 폭은 매우 좁으며, 소재 선정시 가격 경쟁력, 경량화, 성형성 등이 고려됨
- ★ 이 중 약 73%의 금속과 약 16%의 고분자 기반 소재 등이 적용되고 있으며, 금속 소재는 주로 차체채시 부품 쪽에 적용되고, 고분자 기반 소재는 주로 내장 및 외장부품용 소재로 사용되고 있음 [2]
- ★ 따라서, 획기적인 경량화를 위해서는 차체채시 부품의 금속을 신소재로 대체하는 방안이 모색되고 있음. 하지만 고분자 기반 소재의 경우, 낮은 기계적 물성으로 인해 적용에 한계가 있는 실정. 이를 개선하기 위해 (슈퍼)엔지니어링 복합소재 및 성형공정 등의 연구가 진행되고 있음

// 자동차 경량화 금속 소재

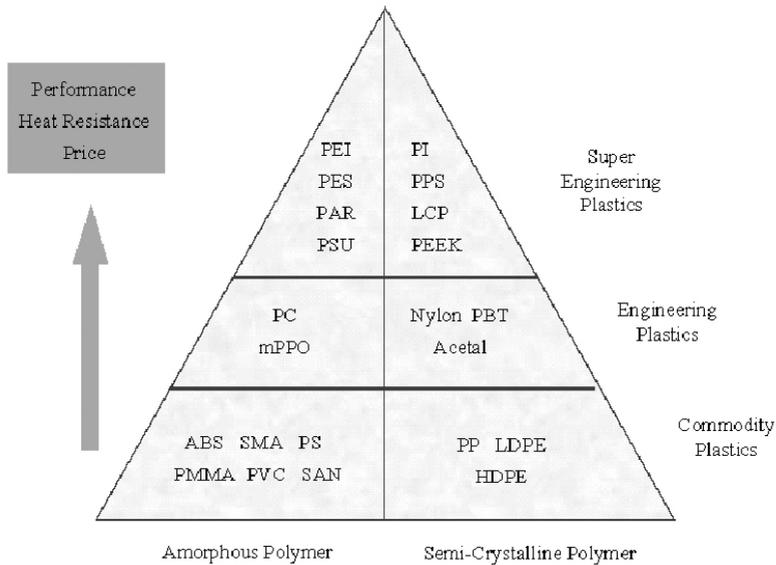
- ★ 과거 자동차는 주로 철강위주의 소재를 주로 활용하여 왔으나 경량화를 위해서는 철강보다 밀도가 낮은 알루미늄, 마그네슘, 타이타늄 등의 경량 금속 사용의 필요성이 증가하였음 [7]
- ★ 알루미늄은 철강의 1/3 무게이면서 비슷한 강도를 낼 수 있어 자동차 엔진 실린더블럭, 유압부품, 내장재 등 많은 부품들이 적용되어 왔으며 최근에는 자동차 차체부품에 적용도 크게 증가하고 있는 추세
- ★ 마그네슘은 철강의 1/4 무게 정도로 경량화 효과가 크나 성형성 및 내식성 등의 문제로 인하여 주로 다이캐스팅의 방법으로 제조된 내장부품 위주로 사용되고 있으나, 이를 개선하여 자동차 차체부품으로 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중

- ★ 타이타늄의 경우 철강의 1/2정도로 경량화 효과는 낮지만 부식 및 열에 견디는 능력이 뛰어나 엔진 부품 등에 활용하기 위한 연구가 진행 중

// 자동차 경량화 고분자 소재

- ★ 고분자 소재는 금속이나 세라믹 소재에 비하여 내열성, 난연성 등의 특성이 떨어지는 반면, 경량성, 디자인 유연성 및 성형 가공성 등의 장점으로 다양한 산업 분야에서 사용
- ★ 수지의 종류 또한 다양하여 범용 플라스틱에서부터 엔지니어링 플라스틱, 슈퍼 엔지니어링 플라스틱까지 수많은 종류가 개발되어 다양한 기능 및 성능을 요구하는 분야에 널리 응용

| 그림 9. 열가소성 고분자의 구분 [9] |

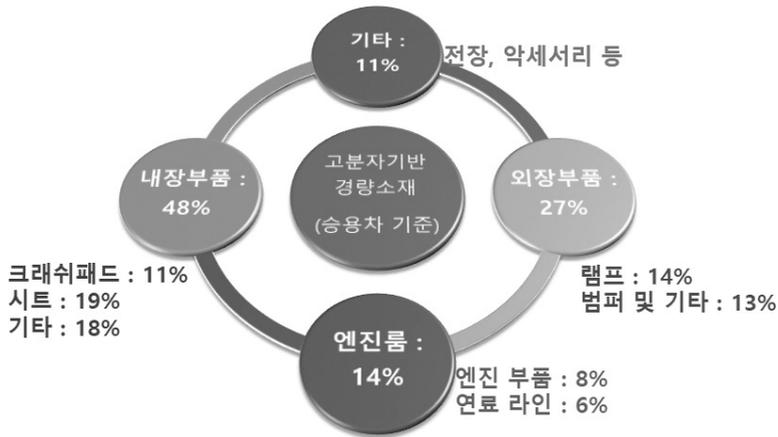


- ★ 자동차용 경량화 고분자 소재는 PP, PA, ABS, PC, PET 등의 열가소성 고분자와 에폭시, 불포화폴리에스터 등의 열경화성 고분자를 기반으로 한 복합소재가 적용 중에 있음

※ PP: polypropylene, PA: polyamide, ABS: acrylonitrile butadiene styrene, PC: polycarbonate, PET: polyethylene terephthalate

- ★ 기존 내장부품에 한정되어 사용되어 오던 고분자 소재가 물성 향상 및 성형 공정 기술 개발을 통해 외장부품을 비롯한 엔진룸 주변부품, 전장부품 등으로 확대 적용되는 추세

| 그림 10. 고분자 기반 경량소재의 차량 부품별 적용 비중 [1,8] |



자동차 주요 부품군별 소재 변화 예측

★ 적용 부품에 따라 요구되는 물성이 다르기 때문에 부품별 주요 경량 소재 역시 다르게 연구되고 있음. 즉 차종별 요구물성, 가격, 생산성 등을 고려하여 최적의 경량화 소재가 적용될 것으로 보임

| 그림 11. 자동차 주요 부품군별 소재 변화 예측 [1,6] |

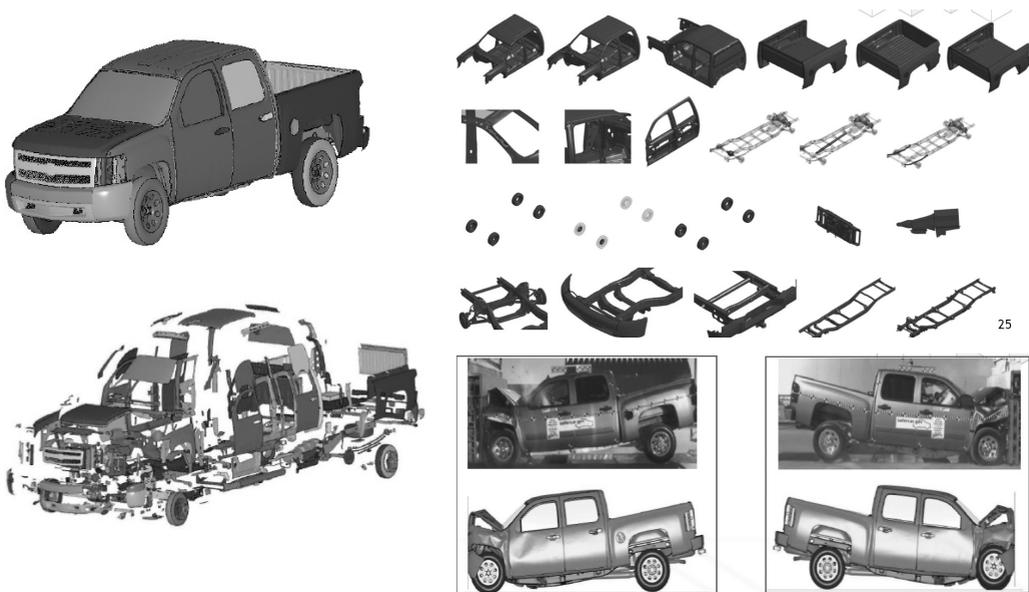
	Current(2016)			Future(2025)		
	Body	Interior	Chassis	Body	Interior	Chassis
Standard	Steel	Steel	Steel	Aluminium	Plastics	HS Steel
	Plastics	Plastics	HS Steel	Plastics	Magnesium	Aluminium
Performance	Aluminium	Aluminium	Aluminium	CFRP	Plastics	CFRP
		Plastics	CFRP		CFRP	

3. 자동차 경량화 고분자 소재의 국외 연구 개발 동향

// 자국 자동차 산업의 경쟁력 강화 및 신성장산업으로 육성하기 위한 소재 기술 집중 지원

- ★ 미국 교통부에서는 2009년 이후 PCIV(Plastic and Composite Intensive Vehicles)에 관한 혁신 플랫폼을 제시하고 2020년까지 자동차 무게의 30%를 플라스틱 및 복합체로 대체하는 프로그램을 실시 [10]
 - Chevy Silverado Pickup 트럭을 분석하여 7 그룹-30 단위부품을 대상으로 경량화 연구를 추진함. 이를 통해 2307 kg을 1977 kg까지 경량화(14.3%)하였으며, 충돌 안전에 대한 연구도 동시에 진행함

| 그림 12. PCIV 연구 결과 예 [10] |



- ★ 유럽 및 일본은 소재산업의 글로벌 경쟁력 제고와 신성장산업으로 육성하기 위한 소재 기술에 집중 지원 중이며, 소재 분야와 제조 기술 분야에 투자

// 자동차 내장부품 경량화

- ★ BASF社의 PA 기반 Ultracom은 연속 섬유강화플라스틱을 사용하는 열가소성 복합소재로 경량 카시트의 금속을 대체하는데 적용. 앞좌석은 최대 20% 경량화가 가능하고, 이로 인해 2열 승객에게 2.5 cm 더 넓은 공간을 제공할 수 있음
 - BASF社는 Johnson Controls社와 함께 중국 최초로 All plastic backrest and seat pan을 Chinaplas2015에서 선보임

| 그림 13. 고분자 기반 자동차 시트 구조 [11] |



- ★ 벤츠는 SL 차종의 콕핏 크로스 빔(cockpit cross beam)에 대해서 기존의 스틸 소재를 알루미늄, 마그네슘, 복합소재로 대체하여 용접점을 최소화하고 30% 경량화를 달성
 - 해당 복합소재는 고유동성 PA6 기반에 유리섬유 60%가 사용되었으며, 알루미늄과 접착성을 향상시키기 위하여 열가소성 열 활성화 아미이드계 접착촉진제가 적용되었음

| 그림 14. 하이브리드 콕핏 크로스 빔(벤츠 SL) [2] |



// 자동차 외장부품 경량화

- ★ 스틸 중심의 외장부품에서 비철 금속 중심으로 연구가 진행되어 왔으며, 최근 탄소섬유강화복합소재(CFRP, carbon fiber reinforced plastics) 및 범용/엔지니어링 복합소재 적용 연구가 추진 중
- ★ 금속으로 되어 있는 Wheel Rim을 고분자 소재로 제작하여 30% 경량화
 - 기존 금속 단일 소재로 된 휠을 long reinforcing glass fiber가 함유된 PA를 활용하여 BASF와 벤츠가 합작으로 스마트 포비전 컨셉카를 선보임
 - 기존 9 kg의 금속 휠을 6 kg으로 경량화하였음

[그림 15. PA-LFT 적용 일체형 Wheel Rim [12]]



<스마트 포비전>

- ★ 열경화성 플라스틱 및 열가소성 플라스틱을 적용한 경량 테일게이트 양산
 - 2000년 SMC(sheet molding compound) 소재를 적용하여 처음 양산
 - 닛산 자동차는 열가소성 플라스틱(TPO, thermoplastic olefin) 및 PP-LFT(long fiber thermoplastics) 소재를 적용한 테일게이트를 로그 차체에 양산 적용함

[그림 16. TPO를 적용한 닛산 로그 테일게이트 [13]]



★ 글레이징 소재는 자동차 경량화 측면에서 수요가 급진적으로 증가할 것으로 추정되나 해결해야 할 부분도 많음

- 자동차 유리를 폴리카보네이트로 대체하면 경량화에 많은 도움이 되고, 창 구동용 모터의 소형화 및 도어 패널의 경량화가 가능하다는 장점이 있음
- 사출과 플라즈마 코팅에 관한 연구, 표면 경도 및 열전도도 향상을 위한 연구, 공정비 감소를 위한 코팅 시스템 개발 등의 연구가 필요함

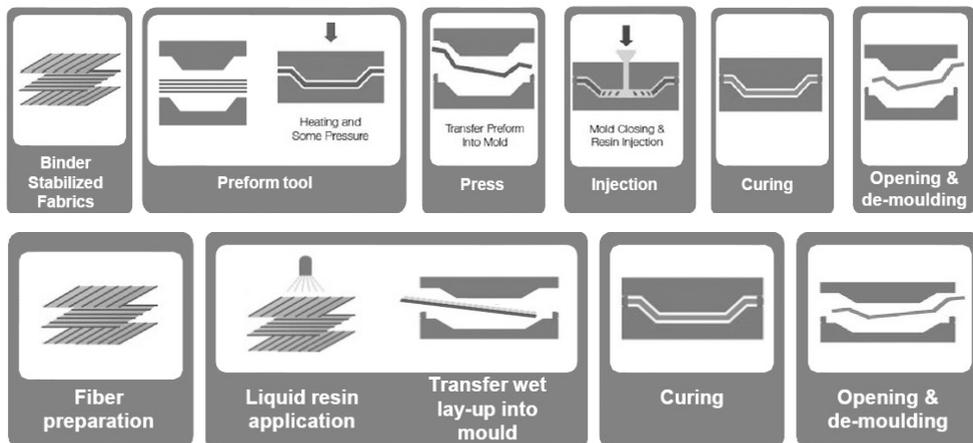
// 자동차 차체새시 부품 경량화

★ 전체 차량 중량에 큰 비중을 차지하고 있어 경량화 효과가 크기 때문에 다양한 소재 및 공법이 개발되고 있으나, 안전성 확보 및 생산성 확보를 통한 양산화까지는 아직 해결해야 될 문제가 산재

★ 금속 수준의 높은 강성이 요구되기 때문에 CFRP 위주의 개발이 진행 중이며, CFRP 확대 적용을 위해 소재 및 생산 비용 저감 연구가 추진 중

- CFRP는 다양한 성형 공법이 존재하나, 자동차 산업에 실제 적용된 주요 성형/가공 기술은 Resin-transfer Molding(RTM), SMC, Wet Compression Molding (WCM)임

| 그림 17. RTM(상) 및 WCM(하) 공정 개략도 [14] |

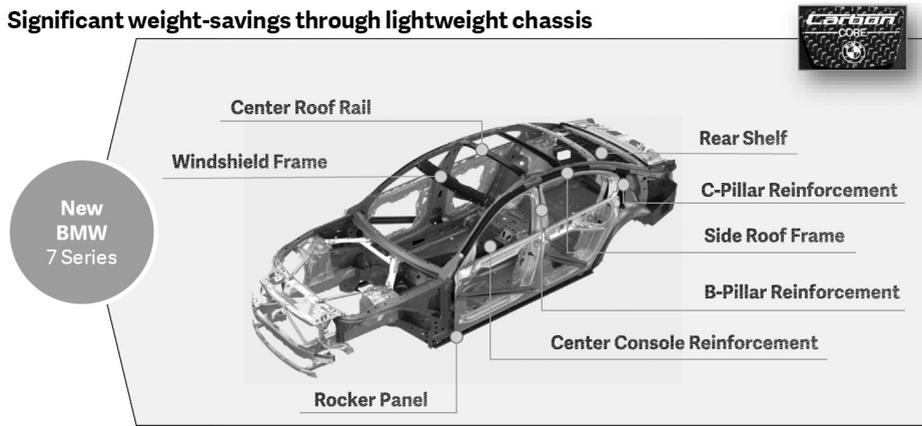


- 지금까지는 열경화성 CFRP에 대한 연구가 주를 이루었지만, 최근 성형공정이 간단하며, 생산비용이 낮고 대량 생산이 가능한 열가소성 CFRP 공법도 빠르게 발전하고 있음

- 또한, CFRP 적용하기 위해 CFRP 후가공 기술(드릴링 가공, 워터젯 가공 등), 이종소재 접착 기술(화학 접착, 기계적 접합 등)에 대한 연구도 꾸준히 진행 중

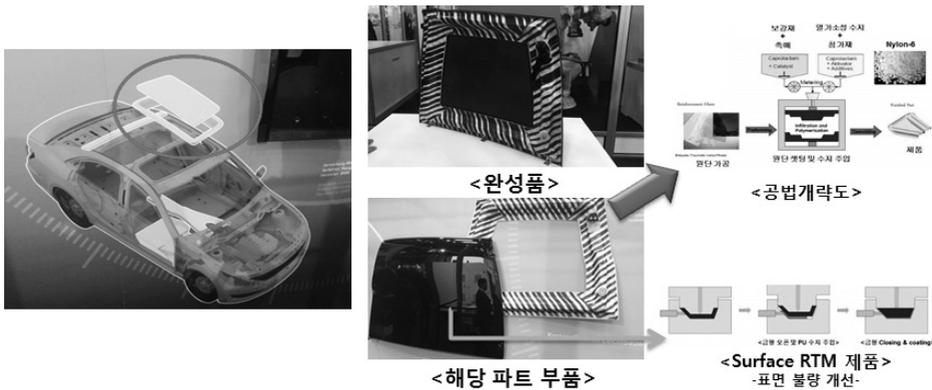
- ★ BMW는 SGL 그룹과 협력을 통해 CFRP 대량 생산에 집중하고 있으며, 7 시리즈의 16개 부품에 양산 적용하여 BIW(Body-in-White)의 13.4% 중량 저감 효과를 달성

| 그림 18. BMW 7시리즈에 적용된 CFRP 부품 [2,15] |



- ★ 장비 업체인 KraussMaffei는 2016년 K show에서 기존 열경화성 RTM 대체 열가소성 RTM 공정을 전시함. GF/CF 적용 원단을 부품 도면에 따라 제단 후 금형에 안착하여 레진 주입, 탈형을 통해 표면 불량률이 개선된 제품을 생산

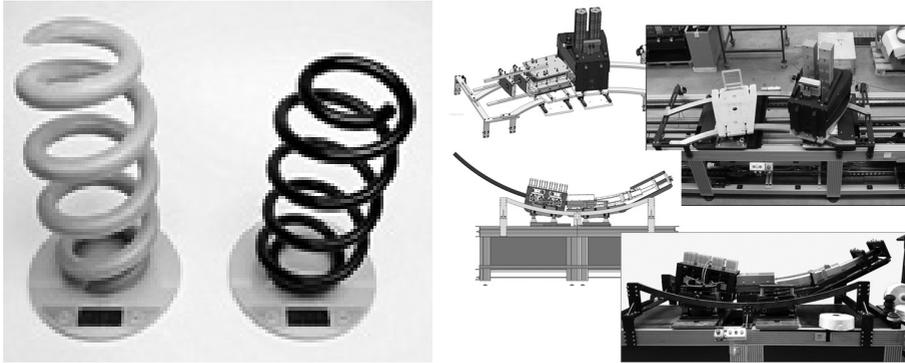
| 그림 19. T-RTM 공정 개략도 및 적용 부품 [16] |



- ★ 기존 금속의 코일 스프링을 섬유강화 복합소재로 대체하여 40% 경량화 달성

- Sogefi Group은 인발 공정과 장섬유 및 에폭시로 구성된 소재를 적용한 FRP 코일 스프링을 개발함. 기존 steel 대비 40% 경량화 달성(2.66kg→1.53kg/대)하였으나 아직 생산성 부분의 문제로 최고급차에만 적용되는 수준

| 그림 20. FRP 적용 코일스프링(좌) 및 생산 설비 모식도(우) [13,17] |



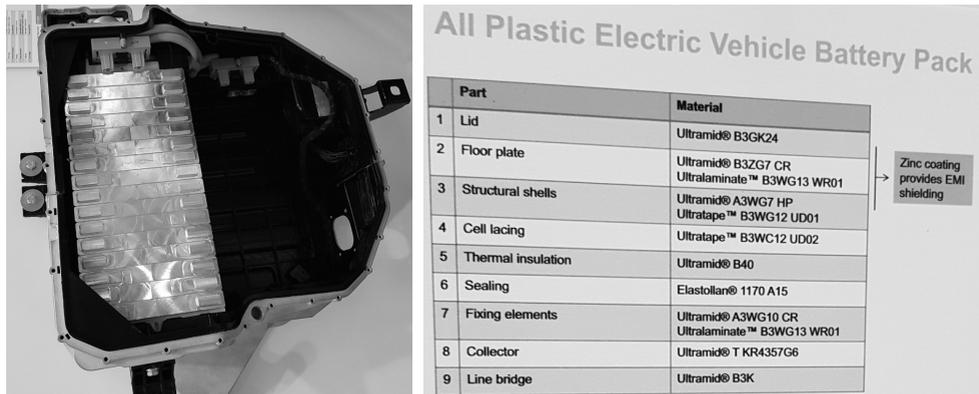
★ 엔지니어링 복합소재를 활용한 새시 부품 연구도 꾸준히 진행 중

- 변속기와 새시 사이의 동력 전달 라인에 있는 변속기 어댑터는 무거운 하중을 견뎌야 하며, 수명 및 충돌 안전면에서 높은 기준을 충족해야함. Conti'Tech는 PA 복합소재로 변속기 어댑터를 제작 양산하였으며, 기존 알루미늄 대비 55% 무게 절감 효과 달성
- 엔진 서포트는 엔진 무게를 온전히 받기 때문에 기존에는 알루미늄으로 만들어 졌으나, 최근 기존 알루미늄 대비 음향 특성 및 단열 특성이 우수하고 사출 성형이 가능하며 30% 경량화가 가능한 플라스틱 엔진 서포트가 개발되어 양산화됨
- 스프링 스트러처와 바디 사이에 장착되는 스트러처 마운트(structure mount)는 극도의 스트레스를 받으며 마모 특성과 높은 충격 하중 특성이 요구되기 때문에 알루미늄이 사용되어 왔으나, 최근 BASF社의 PA 기반 유리섬유강화 플라스틱을 사용하여 25% 경량화된 부품을 개발함

// 자동차 전장부품 경량화

- ★ 자동차의 전장화 및 지능화로 인해 무게 증가가 예상되는 전장부품에 대한 경량화 기술이 선도적으로 추진 중이며, 전장부품의 특성상 절연성, 전자파 차폐, 방열 등의 기능성이 동시 요구되고 있음
- ★ 선진사에서는 미래차용 신규 부품에 적용 가능한 다양한 복합소재를 개발 양산 중
- ★ 전기차는 배터리 팩 장착으로 인해 무게 증가를 상쇄시키기 위한 경량화 기술이 필수적임. BASF社는 All Plastic EV 배터리 팩을 2018년 NPE 전시회에 발표함
 - Lid, floor plate, structural shells, thermal insulation, fixing elements, collector, line bridge는 Ultramid 기반 그레이드를 적용하였으며, structural shells, cell lacing은 Ultratape 그레이드를 적용함. Sealing은 Elastollan 그레이드를 적용함. 또한, Lid, Floor plate, structural shells은 EMI shielding을 위해 Zinc 코팅을 함

| 그림 21. BASF社의 All Plastic EV Battery Pack [1,18] |



- ★ 열가소성 수지(플라스틱 사출물) 위에 레이저를 이용하여 선택적으로 패턴 가공 후, 도금 공정을 거쳐 전기적 특성 및 신뢰성을 확보하는 방법인 LDS(laser direct structuring)를 적용한 전장부품 경량화 추진
 - 와이어 및 커넥터를 삭제할 수 있으며, 조립 공정을 삭제할 수 있다는 장점이 있음. BMW는 LDS을 통해 15% 가격 절감 달성

| 그림 22. LDS 기술 적용 스티어링 휠 [19] |



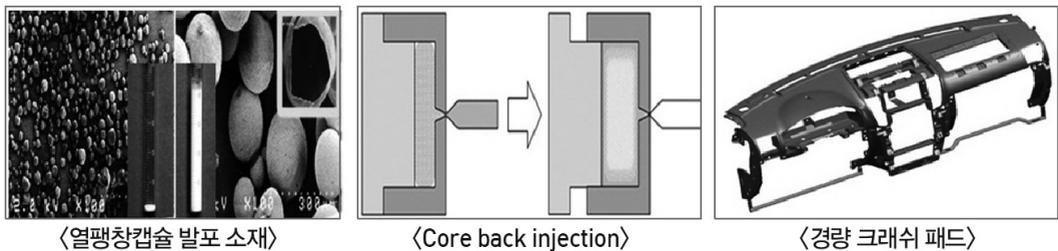
- ★ 현 자동차에서 약 34kg의 전선이 사용되면 친환경차의 경우 전선 무게는 더 증가할 것으로 예상됨. 이에 따라 구리 전선 대체 연구가 꾸준히 진행 중
 - 기존 구리 전선을 알루미늄 전선으로 변경하여 약 40% 경량화 효과를 보인 연구분 아니라 일본 AIST에서는 구리 대비 전류량이 100배 많은 CNT-구리 하이브리드 소재를 개발하여 전선의 두께를 감소시키는 연구가 진행 중 [2]

4. 자동차 경량화 고분자 소재의 국내 연구 개발 동향

// 자동차 내장부품 경량화

- ★ 덕양산업은 발포 캡슐을 적용하여 셀 사이즈가 균일한 고경량 발포 내장부품 소재 개발을 추진하여, 기존 소재 대비 50% 경량화된 자동차 크래쉬패드를 개발함

| 그림 23. 열팽창캡슐을 활용한 경량 크래쉬패드 [20] |



- ★ 각핏 모듈의 구조재인 Cowl Cross Beam(CCB)는 일반적으로 철강소재가 적용되나, PA-LFT를 적용한 일체형 각핏 모듈 개발 연구가 진행
 - 점도 제어 고유동 엔지니어링 플라스틱 소재 기술, 소재/섬유간 계면 접착력 향상 및 고분산 가공 기술, 고강성 엔지니어링 복합소재 제조 기술, CCB 구조 부품화 성형 기술과 충돌 안전성 해석 기술 개발을 수행함
- ★ CFRP 및 LFT를 적용한 SUV 프론트 시트 백 프레임 25% 경량화 기술 개발 중
 - 생산 공정 자동화 및 부품의 재활용이 용이한 열가소성 복합소재 기반 제조 기술, 금속 부재와 체결을 위한 인서트 성형 공정 기술 및 최적 설계 기술 개발을 수행

// 자동차 외장부품 경량화

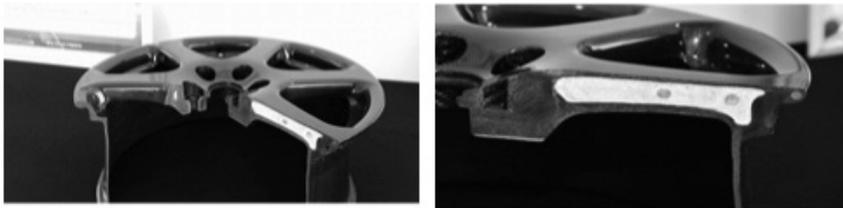
- ★ 기존 철강을 비철금속으로 대체하기 위한 연구 위주로 진행되었으며, 최근 복합소재를 적용하기 위한 연구가 간헐적으로 추진 중
- ★ 현대기아차에서는 선루프 프레임에 탄소섬유 복합소재를 적용 양산함. 초기 개발시 유리 섬유를 적용하였으나 크랙 발생으로 소재를 탄소섬유로 전환함
- ★ 복합소재 적용 35% 경량 테일게이트 개발 추진 중
 - SMC 및 TPO를 적용하여 기존 철강 소재를 대체하는 연구 추진 중. 구조 강성을 위하여 SMC를 적용하고 외관은 충격 흡수를 위해 TPO 소재를 적용

| 그림 24. 플라스틱 기반 테일게이트 모델 [21] |



- ★ 국내에서도 경량 휠 개발이 꾸준히 이루어지고 있으나, 양산화된 사례는 아직까지 없는 실정

| 그림 25. 플라스틱 기반 경량 휠 개발 사례 [22] |



// 자동차 차체새시 부품 경량화

- ★ 열경화성 복합재용 수지는 부품의 생산성을 위해 속경화 에폭시 수지 개발 중심으로 이루어졌으며, 국도화학, 신아티엔씨, 금호피앤비 등의 수지 제조 기업이 개발 완료
- ★ 열가소성 수지는 롯데케미칼, 한화, LG하우시스, 코오롱플라스틱, 삼양사, GS칼텍스 등의 기업이 탄소복합재용 기지로서 연구하고 있으나, 높은 점도와 탄소섬유와의 낮은 접착력으로 인해 복잡 형상의 구조 부품을 제조하는데 한계가 있음
- ★ LG하우시스는 연속섬유복합재를 이용한 범퍼 백빔 인서트 사출 기술 개발 추진하여 충돌안전 성능 보장 및 15% 중량 감소 효과 달성
- ★ 한화첨단소재는 저중량 열가소성 강화 플라스틱 기술을 적용하여 언더 커버 부품 개발 완료

- ★ 현대자동차 및 효성, 롯데케미칼은 탄소섬유기반 고성능 중간재 및 복합재 차체부품 기술을 개발하여 CFRP 프레임을 적용한 수소차 전용 컨셉카 제시

| 그림 26. CFRP 적용 수소연료 크로스오버 자동차 차체 [23] |



- ★ 현대성우오토모티브는 열경화성 탄소섬유 복합재를 이용한 50% 이상 경량화 모노타입 판스프링을 개발함
- ★ 차체새시 부품은 안전과 관련되어 있어 금속 수준의 물성을 요구하고 있어 대부분 열경화성 CFRP 위주의 연구가 수행 중

// 자동차 전장부품 경량화

- ★ 자동차의 전장화·지능화로 인해 채용이 증가되고 있는 전장부품의 경우, 전자제품의 하드웨어와 운영제어를 위한 소프트웨어 개발에 초점이 맞춰져 상대적으로 전장부품 경량화 연구는 미진
- ★ 전기차용 배터리는 배터리 효율 향상에 초점이 맞춰져 있으나, 배터리 팩 장착으로 인한 차량 무게 증가(+400kg, 150Wh/kg 기준)에 대한 대책 연구는 미진함. 배터리 음극·양극·전해질 등에 대한 연구 위주로 진행
- ★ 와이어하네스는 자동차 전체에 전력을 공급하기 위해 묶여있는 연결 시스템이 합쳐진 부품으로 차량 당 평균 36kg의 구리 전선과 절연체를 싣고 있음. 전자화의 진전으로 와이어하네스의 양은 2.5km, 커넥터는 1,800여개, 소형 모터도 100여개 이상으로 늘어났음. 최근 자동차에 수없이 많은 멀티미디어와 안전장치가 추가되면서 향후 5년 동안 이 무게는 거의 배가 될 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 경량화 요구가 증가하고 있는 실정임

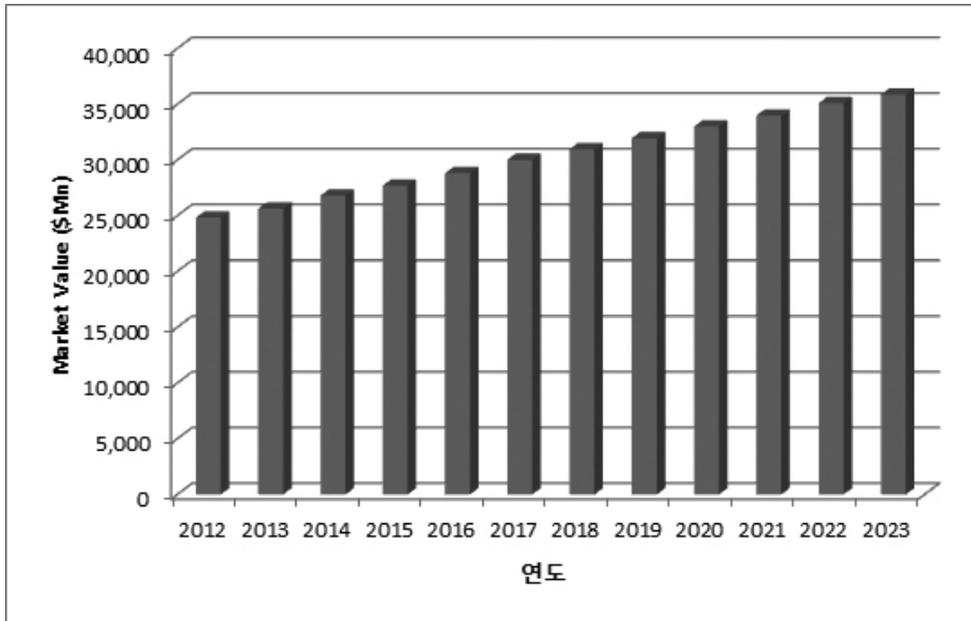
- ★ 와이어하네스를 대체하기 위해 MID(molded interconnect device) 기술(ex. LDS)에 대한 연구가 시작되었으나, 기초 단계 수준
- ★ 차량에 적용되는 대부분의 반도체 등의 하드웨어는 해외제품에 의존하고 있는 실정이며, 이를 국산화하기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있으나, 이들 제품의 금속 하우징을 대체하기 위한 연구는 미진함

5. 자동차 경량화 고분자 소재 시장 동향

// 자동차용 경량 소재는 연평균 성장률 9.2% 예상 ('19~'27)

- ★ 세계 자동차용 경량 소재는 환경 규제 강화 및 연비 규제 강화로 인해 사용량이 지속적으로 증가할 것으로 예측
- ★ 자동차 경량화 고분자 소재는 2017년 30,006 \$Mn에서 2023년 35,853 \$Mn로 성장할 것으로 예상됨

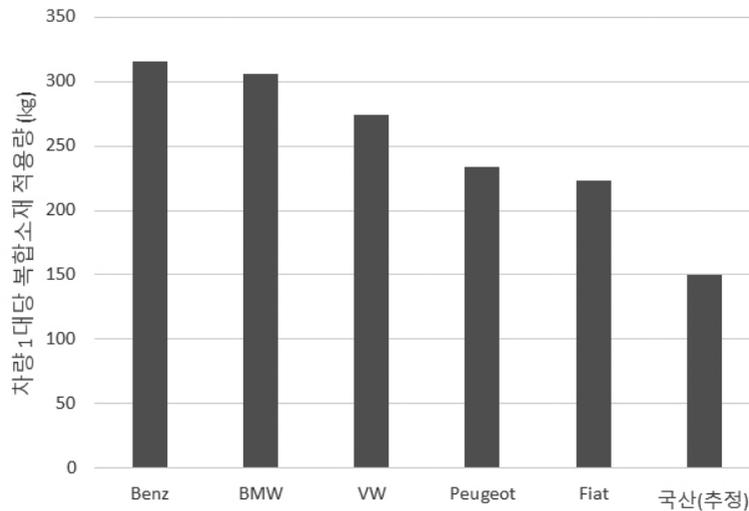
| 그림 27. 세계 경량화 고분자 소재 시장 동향 및 전망 [24,25] |



- ★ 국가별 시장을 살펴보면, 중국, 미국, 독일, 일본, 스페인, 케나다, 인도, 대한민국 순의 시장을 형성하고 있음. 일반적으로 자동차 생산량 순위와 유사하나, 경량소재 채용율이 나라별·업체별 다르기 때문에 시장 규모 순위는 서로 다름

- ★ 국내 시장 규모는 세계 8위 수준으로 자동차 생산 대비 낮은 수준을 유지하는 것으로 나타났으며, 이는 경량소재에 대한 기술적 수준이 낮기 때문으로 판단됨. 경량소재 기술력이 높은 유럽의 독일 및 스페인의 경우는 생산대수 순위보다 높은 시장 규모를 보이고 있음
- 국내 완성차 업체들의 경우, 해외 선진사 대비 낮은 복합소재 적용량으로 차량용 복합소재 적용을 늘릴 여지가 존재하나 국내 기술 개발이 뒷받침 되어야만 함

| 그림 28. 차량 1대당 완성차 업체별 복합소재 사용 중량 [5] |



[참고문헌]

1. “자동차 경량화를 위한 고분자 기반 소재 기술 동향”, 이현욱, 하진욱, 고윤기, 이평찬(2018), 고분자 과학과 기술, 29(6), 한국고분자학회
2. “연비향상을 위한 자동차 경량화 동향”, 정선경, 하진욱(2018), 오토저널, 40(8), 한국자동차공학회
3. “국내외 자동차 환경규제 정책 현황”, 김철환(2018), 한국자동차공학회 대전·세종·충청지회 추계 Workshop, 한국자동차공학회
4. “자동차 환경규제와 파워트레인 전망”, 이영재(2018), 한국자동차공학회 대전·세종·충청지회 추계 Workshop, 한국자동차공학회
5. “자동차 경량화 소재 및 부품 Global Target Research”, Nemo Partners Investment, 2016.09.
6. “Automotive OEMs Passenger Car and Light Duty Truck Lightweighting Strategies, Forecast to 2025”, FROST&SULLIVAN, 2018.01
7. “자동차용 경량금속소재”, 김형욱(2017), 오토저널, 39(6), 한국자동차공학회
8. “Global Automotive Plastics Market, Forecast to 2022”, FROST&SULLIVAN, 2016.01
9. “엔지니어링 플라스틱 기술 동향”, 최기대(2009), 고분자 과학과 기술, 20(1), 한국고분자학회
10. “Lightweighting Vehicles using Advanced Plastics and Composites” National Research Council, Committee on Fuel Economy of Light-Duty Vehicles, Phase 2, American Chemistry Council(ACC), 2012.02.
11. <https://www.slideshare.net/basf/josef-wuensch-at-basf-science-symposium-2015>
12. “자동차로 보는 화학소재의 미래”, 김동민(2012), SERI 경영노트, 삼성경제연구소
13. Automotive engineering, SAE, 2014.07
14. “Liquid Compression Molding(LCM) Technology for Mass Production of Continuous Fiber Composite Epoxy Matrix Components”, S. Greydanus, C. Ball, I. Swentek, T. Jaeger, E. Fries(2016), ACCE Conference-2016, SPE Automotive
15. “High Volume Automotive Applications Addressed by the Braiding Technology”, Andreas Erber(2017), JEC World Conference 2017.03
16. K-show, 2017
17. “Fiber-reinforced profiles with variable radii”, JEC World Conference 2016.03
18. NPE 2018; The Plastics Show

19. “Three-dimensional circuits with LDS”, LaserMicronics
20. PD 이슈리포트 2017-1호 - 15 화학공정, 한국산업기술평가관리원
21. “SMC 복합소재에 따른 테일게이트의 구조 강성 해석 연구”, 이평찬, 고윤기, 하진욱, 이상락, 이재용, 김광섭, 송기성, 김영민, 윤성현, 김동혁(2019), 한국자동차공학회 국문논문집,, 27(7), 한국자동차공학회
22. HMC R&D 모터쇼, 2014
23. “현대자동차, 탄소강화복합소재 수소연료 크로스오버 자동차 차체”, 플라스틱코리아, 2016.03
24. “Growth Opportunities in th Global Automotive Lightweight Materials Market, 2018-2023”, Lucintel, 2018.06
25. “Automotive Lightweight Materials Market Report, 2017-2027”, visiongain, 2017

[국내외 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간
NEDO (일본)	○ 혁신적 신구조 재료기술개발	○ 수송기기 경량화를 위하여 새로운 고비강도 철강, 비철 금속 합금, CFRP 소재 개발 및 접합 기술에 대한 연구 수행	2003 - 2008
ACS (미국)	○ PCIV	○ 플라스틱 및 고분자를 활용하여 사고시 안전성을 극대화 할 수 있는 안전 연구, 개발, 테스트, 평가 시스템 구축	2007 - 2020
덕양산업	○ 국제 환경규제 대응을 위한 천연물 유래 자동차 경량화 소재 및 제조공정 기술 개발	○ 천연물 유래 발포 캡슐 적용으로 셀 사이즈가 균일한 고경량 발포 내장부품소재 개발	2013.06-2017.05
우성케미칼	○ 고탍침 폴리아마이드 장섬유 복합소재 를 적용한 35% 중량저감 자동차용 CCB 부품 개발	○ 저점도화 Nylon66 기반한 장섬유 강화 복합재료 기반 기술 및 기초 공정 기술 개발 ○ 스틸 대체 엔지니어링 플라스틱 적용 CCB 설계 및 해석	2014.10-2019.09
광명산업	○ CFRP 다중소재 적용을 통한 SUV 프론트 시트 백 프레임 25% 경량화 기술 개발	○ LFT와 CFRP를 적용한 혼합형 시트 개발	2018.04-2020.12