

고분자 기반의 소재 적용을 통한 자동차 경량화 기술 동향

융복합섬유팀



ECO융합섬유연구원

Korea Institute of Convergence Textile

1. 서론

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, 비용 상승 등의 이유로 미뤄왔던 것으로 기타 경량화 방안 대비 개선 여지가 상대적으로 크다.

또한 자동차 편의성과 안전성에 대한 요구 수준이 높아지면서 관련 기능성 부품들의 채용이 증가함에 따라 자동차 중량이 점차 증가하고 있다. 예를 들어 Toyota Corolla의 경우 공차무게가 1992년 1,090kg에서 2013년 1,255kg, 2014년 1,300kg으로 증가하였으며, HMC 제네시스의 경우 2013년형 모델이 이전 모델에 비해 135kg이 증가하였다. 결국 자동차의 연비를 개선시키기 위해서는 경량화 소재 대체와 같은 특단의 조치가 필요한 상황이 되었다.

자동차 경량화 방안은 디자인 재검토 및 부품 모듈화 등의 구조 최적화 기술과 기존 소재 물성 향상 및 신소재 적용 등의 경량화 소재 기술이다□. 이를 위해 사용되는 재료는 철강, 알루미늄, 마그네슘 등의 금속재료와 고분자 등의 비금속 재료가 있으며, 이들 재료가 가지고 있는 장점을 최대화하여 적재적소의 부품에 적용함으로써 경량화 효과를 보고 있다.

본 자료에서는 자동차에 사용되고 있는 경량화 플라스틱의 시장 및 기술 개발 동향에 대해 알아보려고 한다.

2. 자동차용 고분자 소재 적용 추이

자동차 산업에 있어서 소재의 선택은 매우 어려우며, 소재 선정시 우선 고려 사항으로는 가격 경쟁력과 경량화, 성형성으로 조사되었다. 20세기 초 자동차의 주된 소재가 나무에서 철로 대체된 이후 100여년 동안 자동차의 대부분은 철로만 들어지고, 내장과 외장재 일부에만 플라스틱과 유리가 채용되고 있다.

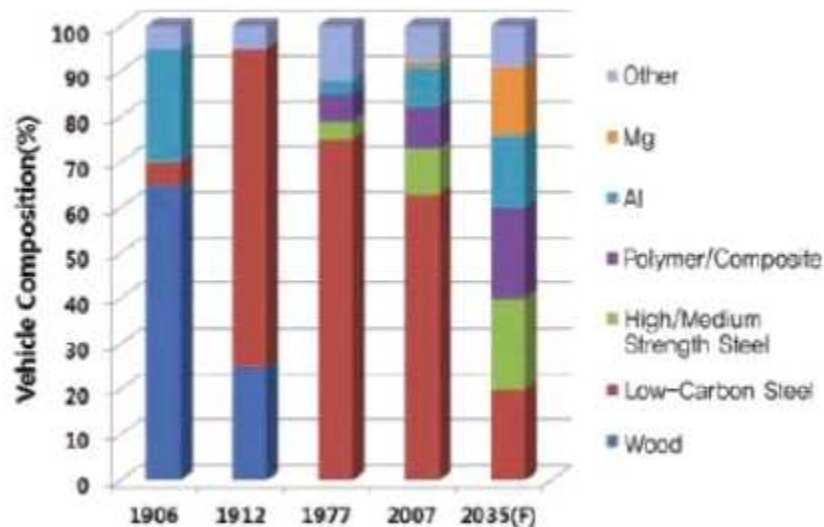


그림. 자동차 소재 구성 추이

그러나 근래에는 자동차 소재의 대체와 진화에 대한 연구들이 자동차 업계 주도로 현실적이고 구체적으로 시도되고 있다. 최근 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 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.

글로벌 자동차용 고분자 시장은 지난 3년간 높은 성장세를 유지하고 있으며, 2012년 약 7.1백만t 규모의 시장(승용차 기준)이며, 추후 5년 동안 약 8%의 성장세를 유지할 것으로 예측되고 있다□. 주요 자동차용 고분자 소재는 폴리프로필렌(PP), 폴리카보네이트(PC), 폴리우레탄(PU), 폴리메틸 메타크릴레이트(PMMA), 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 아크릴로나이트릴-뷰타다이엔-스타이렌 공중합체(ABS) 및 복합재료를 들 수 있으며, 엔지니어링플라스틱(EP) 소재 적용이 증가하고 있다. 지역별로 사용량을 살펴보면, 중국·일본·한국이 위치하고 있는 Asia-Pacific 지역이 전체 사용량의 50.5%를 소비하고 있으며, 그 다음으로 유럽이 28.0%, 북미지역이 11.3%를 소비하고 있다. 또한 Asia-Pacific 지역은 승용차의 높은 성장세와 시장 요구로 인해 추후 5년간 약 9.8%의 성장세가 예측되고 있으나 상대적으로 유럽의 경우 4.4%의 낮은 성장세가 예측되고 있다.

3. 자동차용 경량화 고분자 소재 기술 개발 현황

3.1 EP 및 Super EP 소재

엔지니어링플라스틱(EP)은 범용 플라스틱(PP, PE, PMMA, PS, PU 등)의 최대 약점인 열적 특성과 강도, 마모성 등 기계적 특성이 우수한 소재로 그 특성에 따라 범용 EP(PA, POM, PC, PBT 등)와 Super EP(Polyether Ether Ketone(PEEK), Polyphthal Amide(PPA), Polyphenylene Sulfide(PPS), Polyether Sulfone(PES) 등)로 나뉜다.

EP 중 가장 많이 사용되는 소재는 높은 기계적 물성과 열안전성을 가진 PA로 단독 사용보다는 대부분 강화복합소재로 사용되고 있다. 투명소재인 PC는 투명성, 기계적 강도, 내충격성, 치수 안정성 등이 우수하여 유리 대체용 소재로 각광받고 있다. 하지만 내약품성 및 내후성이 취약하여 자동차용 유리창을 대체하기 위해서는 코팅 기술이 동시에 확보되어야만 한다. PC Glazing을 적용한 차종은 Smart Fortwo(2008년)을 비롯하여 다양한 차종이 있으나, 내마모성 및 안전성 문제로 인해 전면 유리 상용화까지는 기술개발이 더 필요한 상황이다. 국내에서도 Sabic 소재를 적용한 컨셉카 카르막을 선보였으며, 최근 40% 경량화된 PC 파노라마썬루프 개발에 성공하였다.

2012년 영국 Victrex는 PEEK 수지를 이용하여 자동차 오일실, 부상, 베어링 벨브 등에 적용하여 부품의 68% 경량화뿐만 아니라 노이즈 수준도 50%이상 감소함을 보고하였으며, 프랑스 Airbus는 PEEK 수지를 이용한 파이프 시스템을 항공기에 적용하여 금속소재를 이용한 파이프 시스템 대비 33% 이상의 경량화를 얻을 수 있다.

PPA는 방향족 PA로 불리는 결정성 수지로 고강도, 고강성, 고내열, 저흡수율, 치수안정성 등이 우수하여 엔진룸 주변 부품과 같은 고내열성 부품에 적용 사례가 증가하고 있다.



그림. PEEK 복합재료의 경량화 효과



그림. Engine Cover

Dupont에서는 Zytel이라는 고내열성 PPA 그레이드를 다양하게 선보이고 있으나 가격 경쟁력을 확보하지 못해 확대 적용에 어려움이 있다.

PES는 유색의 비결정성 수지로 내열성, 내가수분해성이 뛰어나고 내크립성이나 내약품성도 양호하여 Headlight Reflector, Water Pump Impeller 등에 사용되고 있다□. 최근 BASF에서는 PES 소재의 시장수요를 충족시키기 위해 여수에 공장을 준공했다.

3.2 강화복합소재

복합소재는 두가지 이상의 물질을 혼합하여 더 우수한 물성을 구현한 소재를 의미한다. 기본 구성은 고분자 매트릭스에 Talc, Glass Fiber(GF) Choped 또는 Long Fiber, Carbon Fiber(CF), Glass Bubble 등의 첨가제로 이루어져 있다. 1990년대부터 많이 사용되어온 PP-Talc 복합소재는 대부분 내장부품에 적용되어 왔으나, 최근 소재의 높아진 요구 물성을 만족시킬 수 없어 다양한 복합소재가 개발되고 있다. 그 대표적인 예가 PA(Polyamide)-GF 복합소재, 장섬유 강화 복합소재(D-LFT), 탄소섬유 강화 복합소재(CFRP) 등이 있다.

높은 기계적 물성과 열안전성을 가진 PA와 GF를 혼합한 복합소재는 엔진룸 주변부품, 내장부품뿐만 아니라 외장부품으로 확대 적용되고 있는 추세이다. 2010년 크라이슬러는 PA-GF 35% 복합소재를 적용하여 올 플라스틱 오일팬 모듈을 개발하였으며 무게 41% 절감, 50%의 생산공정비용 절감 효과를 보였다. 또한 Intake Manifold(VW), Turbocharged Air Duct(Audi), Front Bolster Assembly(Ford) 등을 새롭게 개발하여 25% 이상 경량화, 50% 수준의 가격 절감을 달성하였다.

D-LFT(Direct Compounding Long Fiber Thermoplastics) 또는

E-LFT(Endless-LFT)는 기존 FRP 소재 보다 섬유 길이가 길어 강성, 굴곡 및 충격 특성이 우수하며 기존 공법 대비 저코스트로 제조할 수 있는 생산성 높은 컴파운딩 기술로 적용이 증가할 것으로 예상된다. 다만 성형 시스템 구축을 위한 초기 투자비가 많이 든다는 단점이 있어 국내 대기업 위주의 연구가 진행되고 있다. Smart Fortwo 모델의 테일 게이트 어셈블리에 E-LFT 기술을 적용하기 위한 연구를 진행하였으며 기존 솔루션보다 10% 저렴한 비용으로 부품 요구 조건을 충족시켰다□. 국내에서는 배터리 팩 캐리어를 기존 스틸에서 D-LFT를 적용하여 30% 이상 경량화 및 부품 단순화(35ea → 3ea)를 달성하였다.



그림. PES 적용 Headlight Reflector



그림. 오일팬 모듈



그림. LFT 적용 배터리 팩 캐리어

CFRP는 뛰어난 강도와 높은 경량성으로 인해 우주선이나 비행기, 풍력날개 등에 사용되어 왔으나, 최근 차세대 자동차 경량소재로 각광을 받고 있다. 일본 업체들이 1970년대부터 상용화를 실현하고 집중적으로 투자하여 현재 세계 최고의 기술력 보유 및 특허 독점, 난이도 높은 공정기술 분야의 다양한 경험을 소유하고 있어 신형업체들과의 기술 격차는 쉽게 좁혀지기 어려울 것으로 예상된다.

CFRP의 적용 확대를 위해서는 높은 가격과 가공생산성 문제의 선결이 꼭 필요하다. Lux Research는 최근 보고서에서 향후 5년 뒤에는 탄소섬유 가격이 규모의 경제 실현, 공급 경쟁 등으로 절반 가까이 하락(10\$/kg)할 것으로 보고있다□. 또한 가공생산성 문제를 해결하기 위해 열경화성 복합소재에 사용되는 에폭시 수지의 경화시간을 과거 30분 이상에서 5분 이내로 단축시키는 기술이 개발되었고, 빠른 성형이 가능하고 다양한 형상 성형이 가능한 열가소성 복합소재 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

CFRP를 자동차에 적용하기 위해 추가적으로 필요한 다중재료의 접합기술, 안전 설계 기술 등이 연구되고 있으며, 섬유간 배향에 따른 이방성 물성 예측 기술이 진행되고 있다.



그림. LifeDrive Architecture



그림. 발포 경량 도어 및 발포 에어덕트



그림. 엔진 실린더 블록 커버

최근 출시된 전기차 i3(BMW)의 Life Module을 CFRP로 제작하였으며 전기차 무게를 300kg이상 절감했으며, 또한 중장기 계획하에 약 5년간 개발 과정을 거쳐 상판 Body에 사용되는 부품을 절반으로 줄이고 자동화 접착공정을 통해 공정비용 절감을 추진 중이다. 이 외에도 양산차의 Hood, Roof(GM, Toyota), Decklid(Ford), Rear Wing(Chrysler) 등에 적용하였다.

3.3 발포 소재

발포 소재는 경량성과 함께 단열성, 완충성(내충격성), 차음성 등의 장점으로 채용이 확대되고 있다. 발포 소재의 물성은 발포 특성에 따라 달라지기 때문에 균일한 셀 크기, 높은 발포율이 요구되고 있다. 일반적인 발포는 화학 발포 또는 물리적 발포가 많이 사용되어 왔으나, 제품 표면 불량률이 자주 발생하여 이에 대한 개선 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. JSP(일)은 자동차의 17개 부품(시트 쿠션, 도어, 선바이저, 에어덕트 등)에 대해 발포 소재 활용에 의한 경량화를 제안(2011년)했으며, 이 중 약 40%는 이미 상품화되고 있다.

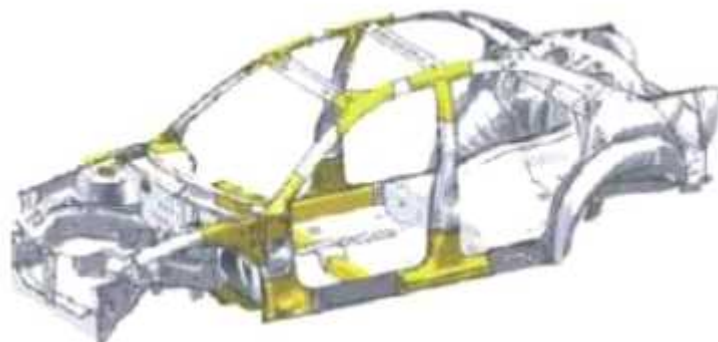


그림. 차체의 구조용 접착제 적용 사례

에어덕트의 경우 대부분 PP 사출품으로 제작되고 있으며, 에너지 보호 및 결로 현상으로 인해 두꺼운 부직포를 감싼 구조로 되어 있어 작업성 및 에너지 효율이 떨어진다. 또한 전기차의 경우 공조시스템 가동으로 주행거리가 최대 63%까지 줄어드는 경우가 발생하기 때문에□ 발포 소재를 적용하여 방열, 단열 특성을 제어함으로써 에너지 효율을 향상시킬 수 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

3.4 기타

현대자동차는 2013년형 아반떼 디젤에 아라미드 섬유를 적용한 실린더 블록 흡음 소재를 적용하였다. 이는 고온에서 높은 내구성을 보였으며, 기존제품 대비 93%의 경량화와 22%의 가격절감 및 소음 저감 효과까지 달성하였다.

다양한 부품 및 소재로 이루어진 자동차는 각 부품에 따라 요구 물성이 다르기 때문에 적재적소에 적합한 소재 선정이 매우 중요하며, 이로 인해 다종 재료가 적용되어 이를 위한 구조용 접착제 사용이 증가하고 있다. 구조용 접착제의 경우 강한 전단접착력을 가져야 하며, 바인더 수지에서 기본적으로 제공하는 전단 접착력을 강화시킬 수 있는 강인화제의 사용이 요구된다. 강인화제의 경우 고무 개질된 에폭시 수지 또는 코어/셸 나노입자, 탄성폴리우레탄을 사용하여 강인성을 향상시키고 있다.

4. 결론

국제 환경 규제 강화 및 연비규제 강화 추세, 에너지 자원의 가격 상승으로 자동차 경량화에 대한 요구는 필연적이다. 자동차 경량화는 신소재 적용 비율에 따라 좌우되므로 미래 신소재 개발이 경량화 기술의 핵심이 될 것이며, 경쟁력 있는 신소재 개발이 향후 자동차 경량화의 핵심 이슈이다. 신소재는 단순 무게 절감뿐 만 아니라 품질 수준과 제조 원가, 양산성, 안전성, 장기내구신뢰성 확보 등이 종합적으로 고려되어야 한다.

플라스틱 기반의 소재 적용을 통한 자동차 경량화 기술은 높은 디자인 자유도, 가공성, 내부식성, 재활용성등이 우수하고 추가적인 기능(단열, 소음저감 등)을 부여할 수 있어 자동차에서 사용량이 증가하고 있으며, 향후 높은 성장세가 예측되고 있다.

이를 위해 경량화뿐만 아니라 생산성, 가격 경쟁력 등을 포함하는 여러요인을

서로 균형있게 조절해야만 한다. 또한 단순 플라스틱 기반의 소재 적용뿐만 아니라 구조 변경을 수반한 소재의 변경이 경량화 효과를 높이므로 소재부터 설계, 공정, 모듈업체에 이르기까지 Value-Chain간의 유기적인 협조, 공동 개발 등을 적극 추진해야 할 것이다.

※ 출처 : 고분자 기반의 소재 적용을 통한 자동차 경량화 기술 동향(자동차부품연구원, 오토저널 3월호)