

---

## **복합소재산업의 시장동향**

---

**2017. 06.**

## 제2장 복합소재산업의 개요

### 제1절 복합소재의 개요

#### 1. 복합소재의 정의

○ 복합소재(복합재료)란 종류가 다른 소재를 복합화한 소재를 통칭하는 것

- 개념적으로는 두 종류 이상의 소재를 복합화한 후에 물리적, 화학적으로 각각의 소재가 원래의 성질을 유지하면서 단독의 재료로는 얻을 수 없는 특성을 지니게 한 소재로서 원래의 소재보다 우수한 성질을 갖게 되는 특성을 지니게 되어 활용성이 높아지고 있음.

- 복합소재는 금속, 세라믹, 화학 계열 소재간의 결합을 통해 기존 소재의 성능한계를 뛰어넘는 소재를 통칭

○ 복합소재는 강화재(Reinforced Material)와 기지재(모재, Matrix)로 이루어지며 본질적으로 불균질한 특성을 가지고 있어 그 계면에서 상호작용이 일어남.

- 강화제는 섬유상과 구, 판, 타원체 등의 입자상 및 섬유 또는 입자의 혼합상으로 구성되며 기지재는 금속재료, 무기재료 등으로 구성됨.

- 복합재료는 섬유 또는 입자 등의 강화재가 모재 속에서 균일하게 분산되어 전체적으로는 한 개의 조직구조를 형성시키는 것으로, 요구되는 용도에 성능의 최적화를 도모시킨 소재

○ 복합소재는 재료들이 혼합된 상태와 구조를 제어함으로써 기존소재의 단독적인 특성을 뛰어넘는 새로운 성능을 가진 소재를 말함

○ 복합소재는 재료의 개발, 공정의 개발, 디자인과 이를 적용하는 시장으로 범위를

설정할 수 있음

### <복합소재의 범위>

범위	Materials	Processes	Design & Tooling	Markets
분야	Aramids Carbon Fiber Core Epoxy Glass Fiber High-Temperature Resins Nanomaterials Natural Fibers Polyesters Prepreg Thermoplastics Vinyl Esters	ATL/AFP Compression Molding Curing Technology Filament Winding Infusion Injection Molding Kitting/Cutting Machining/Drilling Pultrusion RTM Sprayup	CAD/CAM/FEA/Simulation Tooling Technology Testing	Aerospace Automotive Construction/Infrastructure Defense Marine Mass Transit Sports & Recreation Wind/Energy

## 2. 복합소재의 특성 및 종류

○ 복합소재의 중요한 특성은 경량화에 의한 우수한 비강도와 비탄성률을 나타내며 내식성, 피로특성, 충격충성, 흡음성 및 절연성 등의 특성을 지니고 있어 제품의 내구성과 안전성을 확보할 수 있음.

○ 특히, 복합소재는 금속(고강도/전도성), 비철금속(고강도/경량), 세라믹(내열성/내화성), 플라스틱(경량)의 각각들의 장점을 가지고 있으며 타-소재와의 융복합화가 우수하여 전 산업에 다양하게 사용되고 있음.

○ 복합소재는 기지재에 따라 고분자기지 복합소재(PMC: Polymer Matrix Composites), 금속기지 복합소재(MMC: Metal Matrix Composites), 세라믹기지 복합소재(CMC: Ceramic Matrix Composites)로 나누어짐.

- 이중에서 고분자기지 복합재가 타 복합재에 비해 상대적 우위에 있으며 강화재로 섬유를, 기지재로 고분자를 조합한 섬유강화고분자(FRP: Fiber-Reinforced

Plastics)가 현대 복합소재의 중추적 역할을 하고 있음.

### 1) 고분자기지 복합재(PMC)

○ 고분자기지 복합재가 타 복합재에 비해 상대적으로 우위에 있으며 강화재로 섬유를 기지재로 고분자를 조합한 섬유강화고분자(FRP: Fiber-Reinforced Plastics)가 현대 복합재의 중추적 역할을 하고 있음.

○ 강화재로 사용되는 강화용 섬유의 특성에 따라 FRP의 특성이 결정되며 복합재로 사용되고 있는 대표적인 강화용 섬유의 특성을 강선과 비교하면 아래의 표와 같음.

<강화용 섬유의 특성>

	유리섬유	붕소섬유	아라미드 섬유	탄소섬유	강선
직경( $\mu$ m)	6-25	130	12	6-8	-
밀도(g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.6	1.45	1.74-1.90	7.9
인장탄성률(GPa)	70	385	60-130	230-600	200
인장강도(GPa)	1.5-2.5	3.8	2.8-4.0	2.9-7.0	1
열신장률( $\times 10^{-6}K^{-1}$ )	5	4.9	-5.7	-0.5-0.1	11.5

○ 탄소섬유는 직경이 6-8  $\mu$ m 정도이고 일반적으로 3,000-12,000가닥의 연속된 섬유다발을 tow 상태로 감겨져 공장에서 출하되며, 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)은 미세한 섬유를 규칙적으로 배열시켜 수지로 결합시킨 것

- 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP) 뿐 아니라 일반적으로 복합소재는 육안으로 균질한 재료처럼 보이지만 복합소재의 단면을 확대해서 관찰하면 무수한 섬유가 배열하고 있음을 볼 수 있음.

- FRP는 강화용 섬유와 모재 모두 매우 종류가 다양하기 때문에 이들의 조합에 따라 복합소재의 특성은 커다란 차이를 나타내므로 용도에 따라 최적의 특성을 만들어내는 것이 관건



## 2) 금속기지 복합소재(MMC)

○ 최근 기계, 장치, 구조물, 디바이스 등의 사용 환경과 요구성능이 매우 엄격해짐에 따라 이러한 고도의 구조 성능을 단일 금속이나 플라스틱 재료로는 만족시키기가 어려워지고 있음.

○ 이에 따라 알루미늄, 마그네슘, 및 티타늄 등 금속을 기지재로 한 입자강화 및 휘스커 강화 복합재의 연구가 활발히 진행되고 있으며 특히 알루미늄 합금을 기지로 하고 SiC와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 분말과 휘스커를 보강재로 한 복합재가 개발되어 활용되고 있음.

○ 제조공정 측면에서는 컴포캐스팅과 프리프레그를 사용하는 응고공정, 금속분말을 이용한 분말야금 공정의 기술이 개발됨

- 터보팬, 컴프레서 블레이드 등과 항공기용 엔진 부품에 일부 적용되고 있으며 내열성 향상을 위한 Ti 합금, Super Alloy등에 실용화 단계에 있음.

- MMC는 기술축적을 결과로 많은 발전이 이루어졌으나 상용화의 단계까지는 시간이 필요할 것으로 보임.

## 3) 세라믹 복합소재(CPMC)

○ 세라믹 복합소재는 세라믹기지상에 나노크기(통상 수백 nm 이하)의 입자를 균일하게 분산시킨 소재

○ CMC는 내마모성, 고강도, 고인성 소재인 전통적인 구조세라믹의 특성을 획기적으로 개선하고, 세라믹자석, 센서, 세라믹고강도 내열성 전도체 등의 새로운 기능을 구현

○ CMC가 적용되는 산업은 우주, 국방, 원자력 산업등의 국가 전략산업 이외에 반도체 및 자동차, 에너지 환경, 일반 산업분야로 점차 적용분야가 확대되고 있음.

- CMC의 우수한 물성이 논문과 특허를 통해 실증되고 일부 상용화된 경우도 있으나 제조공정상 어려움으로 인하여 경제성을 갖는 제조방법을 확보하는 것이 가장 큰 과제

- 또한, 기존의 세라믹 소재의 한계물성을 뛰어넘는 물성의 확보 또는 비교 물성의 달성에만 의존하여 개발의 방향을 다양화 하지 못하는 한계를 드러내고 있음.
- 최근 새로운 기능 및 응용분야의 확보를 통하여 상업화 및 제품의 저변화에 노력하고 있음.
- 차세대는 신소재의 무한경쟁시장이 될 것이며 이에 대한 활발한 연구개발 투자가 필요
- 최근 신소재 분야의 최대의 성과는 복합소재의 탄생이며 그 효과는 전 산업 분야에 걸쳐서 나타나고 있음. 현재 온난화 방지와 그에 따른 에너지절약이 최대의 문제로 등장함에 따라 구조용 재료에는 그 경량화가 요구되어지고 있으며 이에 부응하는 비강도 및 비 탄성력이 우수한 복합소재의 발전이 매우 급속히 이루어 지고 있음.
- 복합소재는 최근에 우주항공분야, 선박해양분야, 국방방산분야, 자동차, 건축토목, 연료전지 등의 대체에서지 및 스포츠분야 등 모든 주요 분야에서 많이 사용되고 향후 수요가 크게 늘어날 것으로 보임.

### 3. 복합소재산업의 국내외 역사

- 복합소재의 시초는 1940년대 초에 미국에서 강화재로 유리섬유를 기지재로 플라스틱을 사용한 유리섬유강화플라스틱(GFRP: Glass Fiber-Reinforced Plastics) 일.
- 이후 1960년대부터 보론섬유를 시작으로 탄소섬유, 케블라(Kevlar)로 대표되는 아라미드 섬유, SiC 등의 섬유 보강재가 미국, 일본 등에서 차례로 개발됨.
- 또한 기지재로 당초에 불포화 폴리에스테르에 이어 에폭시, 폴리아미드, 폴리에스테르 에케르케톤(PEEK)등이 개발됨.
- 1970년대 석유파동 이후 에너지 절약이 산업계의 큰 화두로 대두됨에 따라 구조용 재료의 경량화가 요구되었고 이에 부응하여 비강도 및 비탄성률이 우수한 복

합소재의 발전이 급속도로 이루어짐.

- 최근에는 고성능 섬유(탄소섬유, 아라미드섬유)와 수지를 조합한 첨단복합소재 (ACM: Advanced Composite Materials)가 등장하여 항공우주산업을 필두로 인간생활을 다양한 분야에서 중요한 소재로 성장하고 있음.

○ 현재 복합소재산업은 범위가 광범위하고 신산업분야인 IT, BT, NT산업과의 연계가 매우 높은 산업임.

- 국내에서는 1970년대 초반에 유리섬유의 개발과 함께 범용 FRP산업이 시작되었고 일부 방위산업 제품과 스포츠레저용품에 응용되었음.

- 1980년대에는 아라미드 섬유인 케블라의 개발(코오롱), 탄소섬유의 국내생산(태광산업)이 이루어지고 1988년에는 한국복합재료학회와 1999년에는 한국탄소학회가 창립되었으며 한국화학연구원(고분자), 한국요업기술원(세라믹), 한국기계연구원(금속)등의 정부출연연구소가 관련 복합소재를 중심으로 상호 유기적인 협력하에 연구개발을 추진하고 있음.



## 제2절 복합소재 산업동향

### 1. 복합소재산업의 중요성

#### 1) 산업적 중요성

○ 세계적으로 완제품의 조립생산능력이 평준화 되면서 부품소재산업이 기업 및 산업경쟁력의 핵심으로 등장하고 있으며 복합소재는 산업기술의 발달, 제품의 고급화, 고유가 및 환경문제 해결의 대안으로 21세기를 이끌어갈 신소재로 각광받고 있으며 파급효과는 전 분야에 걸쳐 나타나고 있음.

○ 복합소재산업은 산업구조상 전체산업의 근간이 되는 뿌리를 이루고 있어 전방산업의 성능, 품질, 가격 경쟁력을 결정하므로 산업의 구조 고도화와 국제경쟁력 향상을 위한 중요한 역할을 하고 있음.

○ 복합소재는 정부가 국가전략산업으로 육성하고 있는 '10대 차세대 성장동력산업' 분야에서 소프트웨어 산업인 디지털 콘텐츠/SW 및 솔루션 분야를 제외한 9개 산업 전반에 걸친 핵심적인 부품소재 역할을 담당하고 있으며 그 중요성은 갈수록 커질 전망이다.

○ 특히 차세대 전지, 미래형 자동차, 지능형 로봇 및 차세대 이동통신 산업분야에서 제품의 성능을 좌우하는 핵심소재 역할을 하고 있으며 차세대 반도체 및 디스플레이 산업에서 복합소재의 비중이 점차 증가하고 있음.

○ 우리나라는 세계적으로 드물게 20기 이상의 원자력발전소를 보유하고 있으며 대규모 제철제강 설비와 자동차, 조선산업의 발달, 그리고 천문학적 군비투자와 높은 석유 의존도 등을 감안할 경우 복합소재 시장규모와 성장잠재력은 매우 큼.

○ 특히, 최근 신재생에너지, 선박, 기계, 자동차, 항공 산업의 경량화, IT산업의 급속한 발전에 따른 기술의 슬림화 및 스포츠, 레저산업이 폭발적인 증가로 복합재 산업은 기술과 시장 양면에서 급속한 발전추세에 있음.



## 2) 기술적 중요성

○ 복합소재 기술은 에너지, 자동화 등의 생산활동 지원 기반기술, 통신, 운송 등의 사회적 기반기술 등을 떠받쳐 주는 가장 중요한 기술분야이며, 막대한 시장규모를 가지고 있어 이에 따른 경제적 파급효과를 고려할 경우 21세기 한국 경제의 새로운 성장동력을 창출한다는 측면에서 관심을 가져야 할 분야임.

○ 현재 우리나라는 복합소재의 원소재 대부분을 선진국에서 수입하거나 부품 형태로 수입하고 있어 경쟁력이 취약하고 공급이 수요를 충족시키지 못할 정도로 심한 불균형을 낳고 있음.

- 고성능 복합재의 국내 기술수준은 기반기술, 핵심소재 제조기술, 가공 및 응용기술적인 3가지 측면에서 가공 및 응용기술은 비교적 높은 제조수준을 지니고 있지만 기반기술과 핵심소재 제조기술은 상대적으로 매우 낮은 수준

- 복합소재 기술의 대부분은 고부가가치 산업에 적용되므로 선진국들의 기술이전 기피 대상이므로 향후 일본 및 선진국들의 핵심소재를 전략적으로 공급을 조절하게 되면 국내 군사무기와 첨단산업 분야는 독자적인 발전을 할 수 없고 기술 후진국으로 전락할 가능성도 배제하지 못함.

○ 복합소재의 기술진보에 따라 복합소재에 관한 연구, 기술개발, 제품개발은 더욱 더 광범위하게 진행되고 있으며, 복합소재는 재료기술, 계면기술, 성형기술, 가공기술, 설계기술, 평가기술 등이 밀접하게 관련되고 있기 때문에 향후 기업, 국공립연구기관, 대학 등의 공동연구개발이 필요하며, 인프라 등과 같은 필수요소의 공동 활용 방안을 모색하는 것이 필요

## 3) 복합소재산업의 발전 가능성

○ 복합소재는 국가 정책과제로서 복합소재의 중요성이 인식이 되어 성장과 미래지향적인 복합소재산업을 중점 육성하기 위한 국가차원의 노력이 있으며 이와 더불어 복합소재 산업의 국내외 시장이 지속적으로 성장하고 있으며 이에 대한 연구개발 및 투자도 증가하고 있는 추세로 향후 성장이 가속화 될 전망

○ 친환경제품의 수요 증가, 제품의 다기능화와 경량화로 인한 적용분야의 다양성, 의학소재의 필요성 제기 등 많은 분야에서 수요가 증가할 것으로 예상되며 투자의 증가에 따른 복합소재의 성장환경이 조성되고 나노기술의 발전으로 인하여 신소재개발 영역이 확대되어 복합소재의 적용가능 분야가 크게 확대될 전망

○ 반면, 다국적기업이 시장지배력증가에 따른 소재강국의 독점체제 유지와 복합소재기술 개발방향에 대한 불확실성이 증가한다는 측면에서는 해결해야 할 문제로 대두

○ 복합소재시장은 적용분야의 다양성, 고부가가치성으로 인하여 성장잠재력이 매우 높은 산업으로 각 국에서 경쟁적으로 산업육성을 위한 전략적인 투자를 수행하고 있음

#### <복합소재산업의 OT 분석>

	기회(O)	위협(T)
P (Political)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•성장과 미래지향의 복합소재산업 중점 육성</li> <li>•국가 정책과제로서 복합소재의 중요성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•규제조치로 인한 무역장벽 가능성</li> <li>•신사업영역에 대한 인력양성 및 관리 필요성 증가</li> </ul>
E (Economic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•복합소재 산업의 국내·외 시장규모의 꾸준한 성장</li> <li>•국가 간 전략적 제휴에 의한 투자유치의 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•소재강국 독점체제 유지</li> <li>•다국적기업의 시장지배력증가, 제도의 미비</li> </ul>
S (Social)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•친환경제품, 다기능화, 경량화, 저가화 요구증가</li> <li>•의학소재분야 필요성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•복합소재 기업 대다수가 중소기업, 대기업 진출 드물</li> <li>•연구개발 인력도 학사 이하가 주류, 혁신역량 부족</li> </ul>
T (Technological)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•투자의 증가등 복합소재산업의 성장환경 조성</li> <li>•나노기술의 발전으로 신소재개발의 영역 확장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•복합소재기술 개발 방향에 대한 불확실성 증가</li> </ul>

자료: KIST 전북분원 내부자료

## 2. 주요 복합소재 세계시장 현황 및 전망

### 1) 세계시장 규모 및 공급현황

○ E composite에서 발간한 세계 복합소재 분야 시장규모를 보면 아래와 같이 응용시장이 가장 큰 비중을 차지

- 산업응용분야가 전체의 57%인 27조원의 시장규모를 가질 것이며 원료물질 생산에서 21%인 9.8조에 달할 것으로 예측

<세계 복합소재 분야 시장규모>

분야	billion \$	조원	비중
원료물질 생산	10.1	9.8	21
중간재 공정	4.8	4.7	10
설비제조	3.3	3.2	7
판매업자	2.4	2.3	5
최종공정(산업응용)	27.7	27	57
합계	48.3	47	100

자료: Growth Opportunities in the Global Carbon Fiber Market, 2004-2010, E-Composites, 2004

○ 이 가운데 원료물질 생산분야의 시장규모를 보면 전체의 규모는 9.8조에 달할 것으로 보임,

- 열경화수지 부문에서 3.7조, 열가소성수지에서 3조, 유리섬유에서 2.5조인 반면 탄소섬유는 0.4조에 불과한 것으로 나타났으나 향후 탄소섬유의 시장은 커질 것으로 보임.

○ 일본이 세계시장 주도

- 일본의 화학섬유업체들은 하나 이상의 고성능 섬유소재를 생산하고 있으며 이를 통해 일본업체는 세계 슈퍼섬유 시장을 주도하고 있으며 세계 산업용 섬유제조업에서 차지하는 비중이 72%임.

○ 복합소재는 1차적으로 고성능 섬유가 탄생하면 이를 재료로 사용하는 다양한 2차제품(복합소재)이 개발되는 파급효과를 가지며 용도개발에 비례해 시장이 확대되는 특성을 가짐.

- 고성능 섬유 탄생의 시초는 고내열성 합성섬유로서 1966년부터 시판된 미국 듀폰사의 메타아라미드 계열 섬유인 Nomex
- 미국 듀폰사는 연이어 1971년부터 파라아미드 계열 섬유인 Kevlar를 시판하였으



며 이는 다른 기업들의 고성능 섬유 연구개발에 뛰어드는 계기로 작용

○ 유럽에서 1970년대 이후 네델란드 DSM중앙연구소가 중심이 되어 복합소재와 관련된 연구를 진행

- 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌 등 합성하기 어렵지 않으나 분자사슬이 잘 구부러져 강도를 높이는 데 걸림돌이 되는 성질을 가진 굴곡성 고분자를 대상으로 분자사슬 길이를 되도록 길게 함과 동시에 배향성을 증가시켜 결정성이 높은 고분자를 개발함으로써 강도를 높이는 연구가 중점 과제

○ 세계 고성능 섬유 생산능력은 아리미드 섬유 등 유기계열의 섬유가 약 4만톤, 무기계열의 탄소섬유가 약 1.2만톤 수준으로 미국, 유럽, 일본 등 3개 지역에서 주로 생산되고 있음.

○ 최근 JEC에서 2011년도 예측한 2015년도의 복합소재 시장은 500억 달러로 예측하고 있으며 현재 시장수요는 대량생산 및 저가형 복합재료군이며 미국, 일본, 독일 등 소재강국이 세계시장을 선도하고 있음

○ 주력산업분야의 산업동향을 보면 저가의 탄소섬유소재기술, 고온용/내식성 수지 및 고속생산기술 개발에 주력하고 있으며 CNT등 나노소재를 활용한 나노복합소재가 기술적 한계극복과 시장수요를 만족할 수 있는 유일한 후보로 대두되고 있음

○ 산업의 문제점으로는 선진국에 대한 추격형 모방에서 벗어나 창조적 혁신을 달성할 수 있는 새로운 모델의 모색이 시급한 것으로 나타남

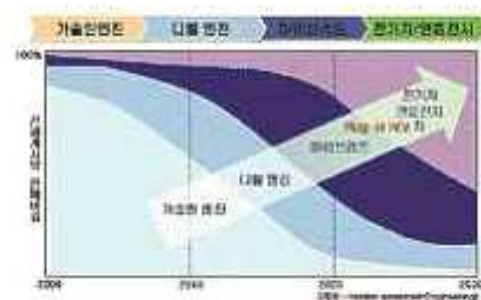
## 제3장 차량경량화 기술

# 제3장 차량경량화 기술

## 제 1절 자동차용 차체 경량화 기술 동향

### 1. 자동차 산업의 중요성

세계 자동차 시장규모는 2008년 1조 4,607억 달러에서 이후 연평균 3.5% 성장하여 2018년 2조 646억 달러로 전망되며, 지역별로는 미국이 전 세계 자동차 시장의 35.6%, 아시아-태평양 지역은 30.8%, 유럽은 29.7%를 차지하고 있다. 특히, 세계 각국 정부는 자동차 연비규정 및 환경규제를 계속 강화하면서 친환경 자동차 생산 및 보급을 장려하여, 현재 친환경 자동차 시장은 미국, 일본이 시장을 주도하고 있으나, 2020년에는 유럽이 세계시장의 35%를 점유할 전망이다. 이에 하이브리드 차와 전기차로 대표되는 그린 카 시장은 2008년 이후 연평균 50.1%의 고성장을 기록하여 2018년에는 3,000만 대 규모로 전 세계 신규 판매 차량 중 19%를 차지할 것으로 전망된다.



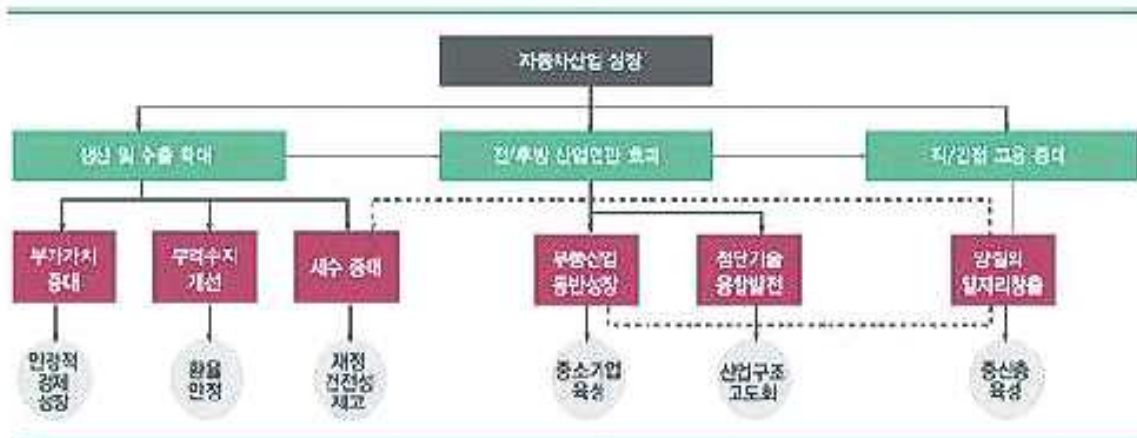
구분		2008	2013	2018	CAGR
시장규모 (천대)	그린카산업	530	22,669	30,007	50.1%
	자동차산업	71,486	91,536	103,232	3.7%
생산액 (억달러)	그린카산업	150	4,690	6,993	46.0%
	자동차산업	14,607	18,225	20,646	3.5%

자료출처: 지식경제부 신성장동력 실행계획 및 전략기술지원단 자체 조사자료



국내 자동차산업은 90년대 이후 우리 경제를 주도하는 제조업의 핵심 산업으로 지난 20년간 연평균 6%의 성장을 지속하였으며, 2012년 국내 자동차 생산량은 456만 대로 세계 5위의 생산국으로 317만 대 수출, 수출금액은 부품포함 718억 달러를 기록하였다. 또한 부품산업도 발전하여 매출액은 2000년 22.9조 원에서 2010년 58.9조 원, 수출은 21억 달러에서 231억 달러로 비약적으로 성장하였다. 특히, 경제적 측면에서 자동차산업은 생산, 수출, 고용 등 국민경제에서 차지하는 비중이 10%에 달하는 국가경쟁력의 근간이며, 제조업 생산 10.1% (113조 원), 부가가치 9.4% (35조 원), 수출 11.7% (544억 달러), 고용 10.2% (25만 명)를 담당하고 있다.

2012년 기준 자동차 및 부품산업의 무역수지는 617억 달러로, 선박류 (353억 달러), 석유제품 (293억 달러), 반도체 (182억 달러) 등 주력 기간산업과 비교해볼 때 국가 경제에서 차지하는 비중이 가장 크다. 또한 산업적 측면에서 자동차산업은 2만여 개 부품으로 조립되는 대표적 종합산업으로, 전후방 산업과 연계효과가 높은 산업적 특성을 가지며, 높은 전후방연계 및 생산유발 효과를 토대로 고용창출, 세수 확대, 무역흑자 등 경제 성장에서 주도적 역할을 담당하고 있다. 따라서 자동차 경량화 기술은 국내 자동차산업의 글로벌 경쟁력 뿐만 아니라 국가 경쟁력 강화를 위한 핵심기술로서 향후 자동차산업의 핵심 요소로 자리 잡을 가능성이 매우 크다.



<자동차산업 발전의 경제적/산업적 영향 분석>

## 2. 차체 경량화 기술의 필요성

자동차 분야에서 경량화는 오랜 시간 지속되어 온 기술적 화두이다. 최근 선진국에서 강화된 자동차 연비규제 및 배기가스 규제로 완성차 및 부품업체들에게 경량화 과제는 선택이 아닌 필수로, 자동차 업계의 생존의 문제로 등장하였다. 최근 전 세계적으로 큰 문제를 일으킨 폭스바겐 (Volkswagen, VW)사의 디젤엔진 배출가스 조작이나 몇몇 메이저급 OEM 회사들의 연비조작 등과 같은 일련의 사태에서 알 수 있듯, 내연기관의 성능이나 효율 향상만으로 강화된 환경 기준을 만족하는 것은 기술적으로 매우 어려우며, 현재 한계에 도달해 있는 것으로 알려져 있다. 특히 앞으로 자동차에 장착되는 각종 안전 및 편의장치에 대한 소비자의 요구가 더 강해질수록 자동차의 무게는 증가할 것이며, 결과적으로 자동차 차체의 경량화는 자동차 연비 요구 및 배기가스 규제를 만족시키기 위한 중요한 핵심기술로 더욱더 인식되고 있다.

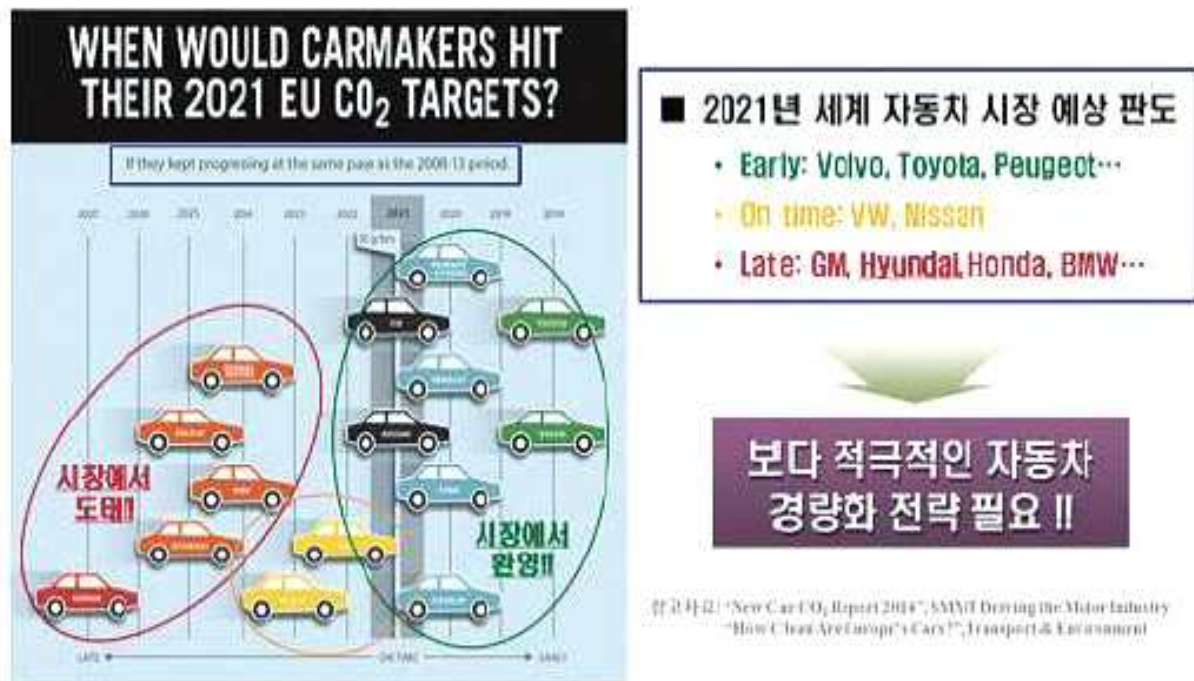


### <자동차 시장에서의 산업환경 및 소비환경 변화>

아래 그림 4는 2008년부터 2013년까지 세계 자동차 회사들의 배기가스 개선 실적으로 유추한 2012년 유럽연합 (EU)의 CO2 기준을 만족시킬 수 있는 각 OEM별 예



상 연도를 보여준다. 다른 자동차 회사에 비해서 GM, 현대자동차, Honda, Mazda, BMW 등이 현재의 추세를 그대로 유지할 경우 CO2 감축 경쟁에서 뒤처져 시장에서 도태될 수 있음을 알 수 있다. BMW사는 이러한 문제를 해결하려는 노력의 하나로 2015년에 탄소성유 복합재를 차체 구조에 적용한 BMW i3/i8 모델 등의 전기 자동차를 전략적으로 내놓고 있다.



#### <OEM들의 개발 추이로 살펴본 CO2 기준 만족 예상 연도>

현재까지 자동차 환경규제 (연비/배기가스 규제) 대응을 위한 다양한 기술이 개발되었다. 이러한 환경규제대응기술의 개발 방향은 크게 네 가지로 분류할 수 있으며, 가장 많이 연구된 분야가 엔진 및 구동계의 효율 향상 연구이다. 하지만 Multi Injection, Fine Grinding 등의 신기술들은 비용대비 효과가 미약하고, 엔진 및 구동계의 효율 향상만으로 기준을 만족시키기에 기술적으로 한계에 도달해 있다는 것이 많은 전문가들의 판단이다. 다음으로 공기저항 계수를 감소시키는 차체 디자인의 경우 차량 용도의 다양성으로 일괄 적용이 불가능하며, 이 역시 효과가 미약하다는 한계를 지닌다. 현재 환경규제를 만족하기 위한 가장 현실적이며 강력한 대안은 복합소재나 경량금속 같은 경량화 소재를 차체에 적용하여 자동차의 차체 구조를 경량화 시키는 방안으로 판단된다. 이에 최근 들어 고성능 슈퍼카나 고급 자동차가



아닌 일반 양산형 자동차에도 섬유강화 복합소재의 자동차 차체 및 내/외장 부품에의 적용이 증가하고 있는 추세이다.

<자동차 환경규제 대응 기술 및 방향>



자료출처: 친환경자동차의 경량화 기술, 자동차부품연구원

해외 주요 완성차 업체들은 환경규제와 소비자 요구를 충족시키기 위해 열경화성/열가소성 탄소섬유 복합재료 (carbon fiber-reinforced plastic, CFRP)로 경량 자동차 부품 및 차체 개발에 주력하고 있다. 예를 들어 자동차 무게가 100kg 감소하면 주행거리 100km당 0.3 ~ 0.5 리터의 연료를 절약할 수 있고, CO2 배출량은 8.0 ~ 12.5g/km 감소하는 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 특히 자동차 시장의 새로운 패러다임으로 자리 잡을 것으로 예상되는 전기 자동차 (EV), 하이브리드 전기 자동차 (HEV), 플러그인 하이브리드차 (PHEV) 등에도 대용량 배터리로 인해 높아진 차량 중량을 감소시키기 위해 CFRP의 적용이 증가할 것으로 예상된다. 지금까지 CFRP는 주로 자동차의 비 구조 파트인 루프 (roof)나 후드 (hood), 트렁크 리드 (trunk, lid) 등의 내외장 단품에 주로 적용되어 왔다. CFRP 적용에 따른 경량화 효과를 살펴보면 루프 적용 시 6.0kg 감소, 후드 적용 시 8.0kg 감소 등 매우 제한적인 경량화 효과만을 얻을 수 있다. 따라서 100kg 이상의 차량 중량 감소를 통해 환경규제 기준을 만족시키기 위해서는 경량금속이나 CFRP의 차체 구조 적용이 필수적이라 할 수 있다. 그 대표적 사례가 BMW사의 i3/i8로, i3 모델의 경우 CFRP의

차체골격 (body-in-white, BIW) 적용을 통해서 철강 대비 -120kg의 획기적 중량 절감 효과를 얻을 수 있었다.

주요 적용 부품				
	루프	프론트엔드	차체골격 (BIW)	후드
적용 모델 (메이커)	 M-series (2011, BMW)	 GT-R (2007, 닛산)	 i3/i8 (2013, BMW)	 LFA (2010, 도요타)
소재 공급처	헥셀 (미)	도라이 (일)	SGL Automotive Carbon Fibers (독) (SGL/BMW JV)	테이젠 (일)
경량화 효과	철강 대비 60% (~6kg)	철강 대비 60% (~2,4kg)	철강 대비 50% (~120kg)	철강 대비 65% (~8kg)

"차체골격에 적용될 경우 120kg 수준의 획기적 경량화 가능"

참고자료: "CFRP 적용 주요 부품 및 적용 효과", 한국자동차산업연구소

#### <탄소섬유 복합재 적용 주요 부품별 경량화 효과>

### 3. 다종소재 경량 차체 구조 기술

세계 자동차 시장에서 산업환경 (환경/연비 규제) 및 소비환경 (신뢰성/친환경)의 변화로 인해 경량화 기술에 따른 자동차의 성능차이가 완성차 및 자동차 부품·소재 업체들의 시장 경쟁력을 좌우하는 소비자의 선택 기준, 즉 기술적 패러다임으로 부각하고 있다. 이러한 자동차 경량화 요구에 대한 가장 현실적이며 강력한 솔루션으로 탄소섬유 복합재료가 대두되고 있으며, 해외 선진 완성차 및 복합재 업체를 중심으로 자동차용 복합재 기술 (Automotive Composites Technology)에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있다. 특히 기존 금속재 차체의 디자인 및 설계에 기반을 둔 단순 경량소재 전환이 아닌, 복합재료의 구조적 장점을 극대화한 차체 구조에 대한 연구가 필요하며, 다종소재 (Multi-materials)로 구성된 새로운 Carbody Architecture의 개발이 필요하다.

과거 자동차 경량화 연구개발은 두 가지 큰 흐름으로, ① 알루미늄, 마그네슘 등의



경량금속과 탄소섬유 복합재의 경량화 신소재를 적용하여 강도는 강화하고 중량을 줄이는 방향과, ② 자동차 구조자체를 합리화해 경량화를 추구하는 경량화 구조 방향으로 진행되었다. 경량금속과 CFRP를 이용한 차체 개발은 주로 유럽이 주도하였다. 특히 독일 Audi社 ALDC (Audi lightweight design center)가 경량금속 차체 연구를 통해 경량금속을 양산차에 적용하였으나, CFRP Monocoque 차체의 경우 소량 생산되는 슈퍼카에 주로 적용되었다. 하지만, 기존 금속재 차체의 구조적 특징을 그대로 유지했으며 단순 소재대체라는 한계를 가진다. 이러한 초기 기술개발 방향은 경량화를 달성할 수는 있으나, 구조적 효율성과 생산성, 비용 등의 측면에서 양산화에 분명한 한계를 가진다.



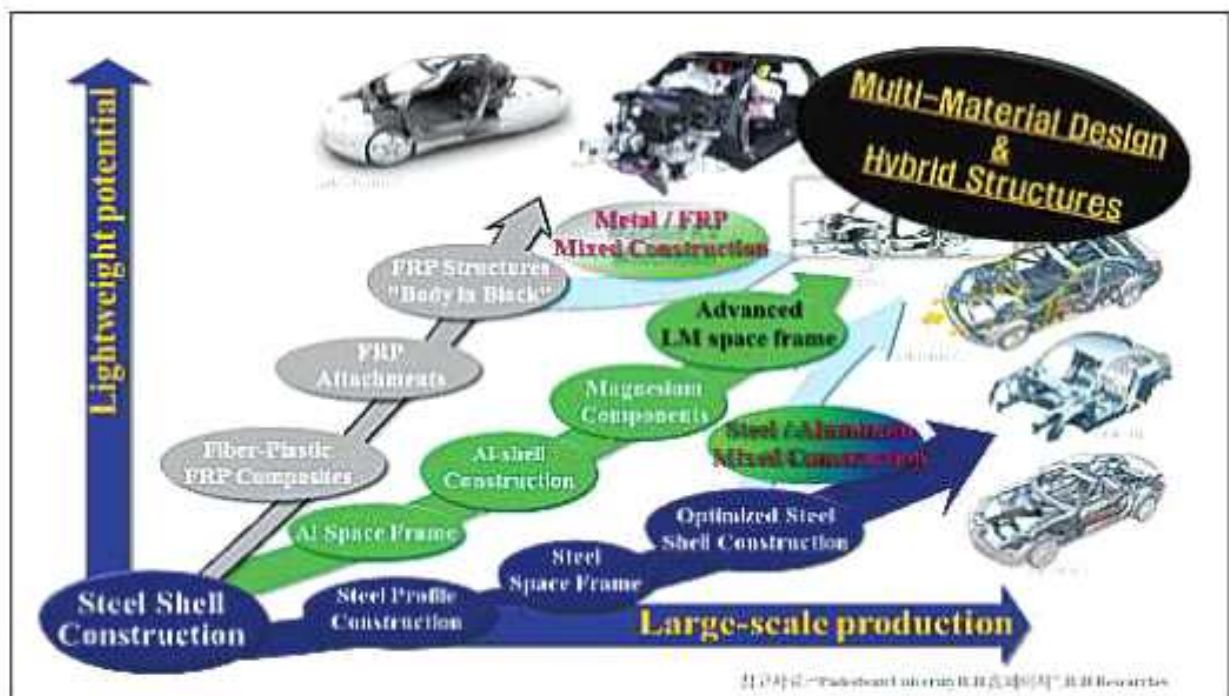
<차체 경량화 기술의 과거: 1st Stage>



<차체 경량화 기술의 과거: 2st Stage>



최근 유럽 여러 연구기관 및 완성차 OEM에서는 CFRP 중심의 다중소재 구조가 자동차 경량화 기술의 주요 방향이 될 것이라고 보고 있다. 기존의 차체 경량화 기술 방향에서 벗어나 구조형식 (space frame, monocoque 등)이나 경량소재 (알루미늄, 마그네슘, CFRP 등)의 종류에 제한 없이, 차체 경량화를 달성하기 위한 다양한 재료의 적용과 최적의 구조형식 개발에 노력을 기울이고 있다. 이에 독일 TU Dresden ILK (Institute for Lightweight Design and Polymer Technology)에서 InEco® 프로젝트의 결과로 Multi-Material 구조를 적용한 전기자동차를 개발 및 기술시연 하였으며, Audi사와 BMW사는 양산모델 (R8 e-tron, i3/i8)을 개발하였다. 독일 TUD ILK는 복합재료를 중심으로 하는 경량구조 기술 전문 연구기관으로, 세계의 전문 연구센터 (LIZ: Lightweight Innovation Ctr., KAZ: Polymer Application Ctr., PEZ: Process Development Ctr.)로 구성되어 있다.



<차체 경량화 기술의 미래 : Next Stage>

자동차 산업의 특성상 차체의 경량화 성능뿐만 아니라, 양산화 가능 기술을 바탕으로 하는 대량생산이 기술개발의 주요한 요구 성능이다. 탄소섬유 복합재의 경우 경량화 효과의 잠재력은 어떠한 소재보다 우수하나, 높은 원소재 가격과 공정비용, 낮

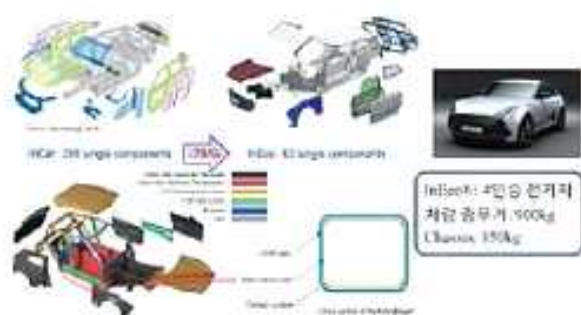
은 생산성으로 인해 대량 생산해야 하는 양산차에 적용하기엔 한계를 갖고 있다. 반면, 스틸 (steel)과 같은 금속재의 경우 낮은 원소재 가격과 공정비용, 우수한 성형성 및 높은 생산성의 장점으로 대량생산에 매우 적합하나, 차체 경량화 효과가 거의 없어 현재 또는 미래의 환경규제 기준을 만족하기에 불가능하다. 이에 국내외 주요 완성차 OEM 및 연구기관/대학에서는 차체 경량화를 위한 다양한 연구를 수행 중에 있으며, 미래 경량화 차체 구조를 위한 핵심은 경량화와 대량생산의 두 가지 목적을 만족할 수 있는 Multi-Material Design과 Hybrid Structures로 판단하고 있다.

이를 위해서는 기존 금속재 차체 설계에 기반한 경량화 차체 구조에서 벗어나, Multi-Material의 구조적 장점을 극대화 할 수 있는 Carbody Architecture (carbody concept & structural layout)의 개발과 Design Requirements의 구축이 필요하다. 또한 이러한 Structural Layout을 구현하기 위한 Hybrid Structural Element와 이를 구성하는 동종 및 이종재료간의 접합을 위한 대량생산 공정을 고려한 Structural Joint 기술의 개발이 핵심 기술로 판단된다.



<다종소재 경량 차체 구조의 Key Technology>





자료출처: [www.tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ilk](http://www.tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ilk), [www.verbundprojekt-visiom.tum.de/home/](http://www.verbundprojekt-visiom.tum.de/home/)

### <오그제틱 특성의 단위셀 형상 및 유한요소해석 예>

그림은 다중소재 경량 차체 연구개발의 대표 사례로 독일 연구기관인 TU Dresden ILK의 InEco® 프로젝트와 TU Munchen의 Visio.M 프로젝트의 결과물이다. InEco® 프로젝트는 독일 철강회사인 Thyssen Krupp사와 공동으로 Multi-Material & Hybrid 구조를 적용하여 차체에 필요한 부품수를 299개에서 63개로 75% 줄이는 설계를 바탕으로 기술시연용 전기차를 개발하였다. Visio.M 프로젝트에서는 양산화를 전제로 BMW, 다임러를 비롯한 16개의 기업과 공동으로 탄소섬유 복합재와 알루미늄을 차체에 적용한 2인승의 마이크로 전기차를 개발하였다.



## 제 2절 선진 OEM 복합재 경량 차체 분석

### 1. 복합재 차체 구조 분석 과정

자동차 분야에서 역설계(reverse engineering)는 OEM 경쟁사의 기술력을 분석하고, 다양한 정보를 획득하기 위한 방법으로 널리 이루어지고 있다. 완성된 차체를 분석하고, 실험을 수행함으로써 구조물의 설계에 녹아있는 설계개념을 이해하고, 기술 수준을 판단하는 등 다양한 정보를 얻을 수 있기 때문이다. 2014년도에 기존 양산 자동차 차체의 설계 패러다임을 뒤흔드는 모델인 i3/i8이 BMW사에서 발표 되었고, 이를 역설계하여 그 패러다임을 이해하고 분석하기 위한 시도가 다양하게 진행되었다.



BMW i3



BMW i8

**대량생산 (3만대/년 이상)**



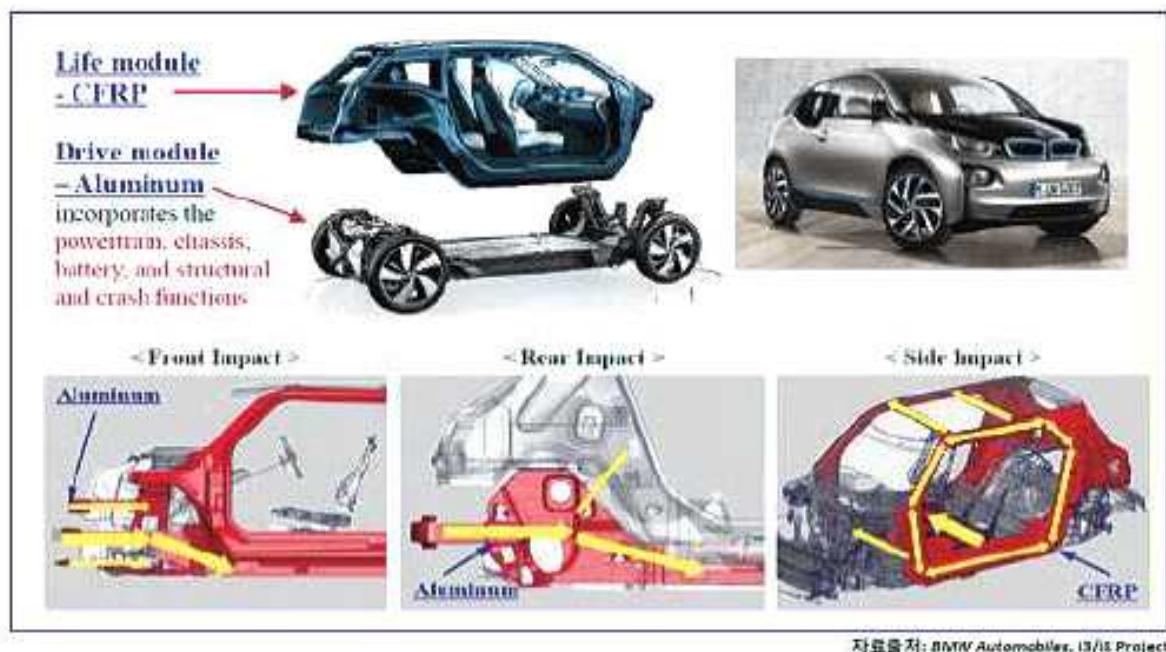
**탄소섬유 복합재 Full-Body 양산 공정 첫 적용!!**

<BMW사 i3/i8 모델의 복합재 차체 양산화 공정 적용>

독일 BMW사 i3 모델의 기본 구조는 탄소섬유 복합재료로 이루어지는 Life module 과 알루미늄 샤시와 배터리로 구성된 Drive module로 구분된다. i3 모델의 차체는 복합재를 대부분 사용하기는 하였지만, 차체의 구조 성능에 주요하게 작용하는 파트는 여전히 금속재가 많이 사용되고 있음을 알 수 있다. 특히 차체의 굽힘 강성과

비틀림 강성, 전방 및 측면 충돌 등에서 주요하게 작용하는 파트에서는 금속재가 사용되고 있다. 특히 샤시 구조에서 B-pillar가 없이 측면 충돌 에너지를 주요하게 흡수해야 하는 floor panel의 경우 중간 부분이 알루미늄으로 구성되어 있음을 통해서 이러한 부분들은 쉽게 알 수 있다. 하지만, 전방 충돌에서 충돌 에너지 일정 부분을 흡수하는 A-pillar 파트에서는 복합재료가 상당 부분 사용되는 것을 볼 때 BMW사에서 자동차 차체 구조에 복합재료를 적용하기 위한 상당한 노력을 했고, 또한 복합재 차체 제조 공정 부분에서는 괄목할 만한 발전이 있었음을 알 수 있다.

이처럼 전체적으로 보았을 때 i3는 모노코크 구조 (monocoque structure)와 body-on-frame 구조를 섞어 놓은 듯한 구조 컨셉을 보이고 있다. 구조 강성에 지대한 영향을 미치는 샤시가 있고 그 위에 복합재료로 이루어진 Life module이 올려져 있는 body-on-frame 구조와 유사하지만, 연구 결과 Life module 자체도 전체 차체의 구조 강성에 상당한 정도의 영향이 있어 모노코크 구조 개념도 섞여 있는 구조로 판단된다. 아래 그림은 i3 모델 차체의 실제 사진과 이를 5가지 파트로 teardown해 놓은 사진이다.



<BMW사 i3 모델 차체 구성>



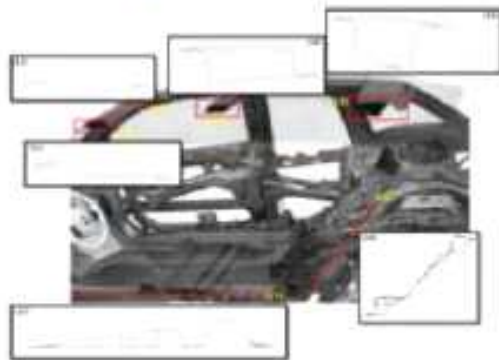


<BMW사 i3 모델 차체 Teardown>

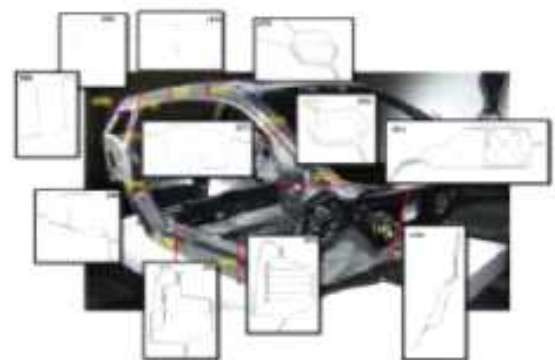
이처럼 life module 전체를 복합재료로 대체해 현재 가장 앞선 복합재 차체 기술을 보유한 것으로 보이는 BMW사도 아직 복합재료의 장점을 완벽하게 활용하고 있는 것은 아닌 것으로 판단된다. 그 이유로 각 파트의 단면을 보면 기존 메탈 차체의 부품 설계 개념이 그대로 녹아 있음을 알 수 있기 때문이다. 복합재료는 설유의 방향과 적층, 구조의 형상과 형식 등이 각 파트의 구조적 물성을 결정짓는데 주요하게 작용한다. 설유의 적진도를 향상시키기 위해서 복합재 구조물은 단순한 형태가 적절하며, 버클링이나 굽힘 강성 등이 필요한 부분에서는 형상을 복잡하게 하기 보다는 두께를 늘리는 방법으로 샌드위치 구조 등을 활용하는 방법을 사용한다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 대체로 i3 차체 모델의 단면들은 전형적인 메탈 차체의 복잡한 형태를 가지고 있다. 이는 기존의 차체 구조 형상을 그대로 적용하고, 소재만 메탈에서 복합재료로 대체하는 정도의 기술이 적용되었다고 판단할 수 있는 대목이다.

복합재료에 적합한 형태의 부품 형상은 가능한 굴곡을 없애고, 단순하며, 설유의 적진성이 잘 나오는 형태의 부품임을 감안할 때, i3 모델의 복합재 Life module은 복합재료에 최적화된 형상을 가지고 있지는 못한 것으로 판단된다. 따라서, 복합재료를 이용한 차체 설계 기술은 아직 완성된 수준이 아니며, 국내 복합재료 전문가와 차체 설계 전문가가 협력하여 개발한다면 세계적 수준의 기술을 선점 할 수 있음을 시사하고 있다.





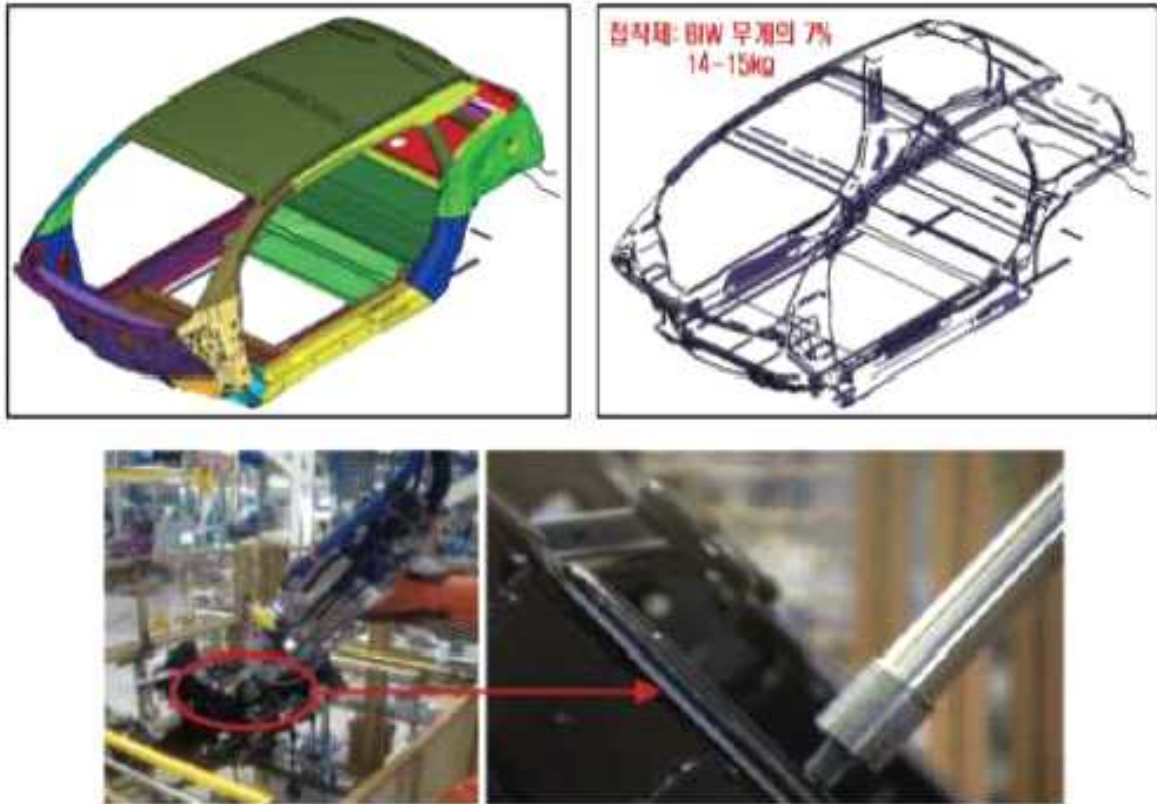
< Roof & Center Floor Panel Assembly >



< Side-frame Assembly >

#### <BMW사 i3 모델 차체 부품 대표 단면 형상>

다음으로 BMW사 i3 모델 차체의 특이한 점은 대부분의 구성품이 폴리 우레탄 (polyurethane, PU)접착제를 이용한 접착 조인트 (adhesive joint)를 가진다는 점이다. 20여종 정도의 기계적 조인트 부분도 있었으나, 도어, 보닛 및 외부/내부 패널 등 비구조 부재류의 연결에 적용되었으며, 차체 구조를 연결하는 구조 접합에는 거의 모든 부분이 접착조인트 또는 볼트 (bolt)와 PU 접착제를 함께 사용한 하이브리드 조인트 (hybrid joint)를 적용하고 있었다. 복합재료는 섬유유연성의 연속성이 중요한 만큼 흠이 있으면 그 부분의 강도가 급격히 저하하는 단점이 있고, 또한 탄소섬유 복합재와 금속재 사이의 이종 접합면에서는 갈바닉 부식 (galvanic corrosion) 문제가 발생한다. 이러한 문제점들을 고려하고, 보완하기 위한 접합 방식으로 폴리 우레탄을 이용한 접착 조인트를 선택하였을 것으로 판단된다. 따라서 복합재료 차체 구조물을 개발하기 위해서는 적용 가능한 접착제의 개발이 반드시 필요하다 할 수 있다.



<BMW사 i3 모델 Polyurethane Adhesive Bonding>

## 2. 복합재 차체 구조 역설계 과정

복합재 구조물의 역설계 과정은 금속과 같은 등방성 소재로 구성된 구조물을 역설계하는 과정에 비해서 다소 복잡하다. 그 이유는 잘 알려진 바와 같이 복합재료는 등방성 (isotropic)이 아니라 이방성 (anisotropic)소재이기 때문이다. 즉 방향별로 소재 물성이 다르기 때문에 역설계 중 소재 물성을 분석하는 기법이 등방성인 메탈에 비해서 매우 복잡하다. 더구나, 복합재료는 기본이 되는 라미나 (lamina) 층을 여러 층을 각각 각도를 달리하여 적층하는 구조로 되어 있고, 그 적층 정보에 따라서 적층판의 물성이 달라지기 때문에 복합재료 구조물에 사용된 소재의 물성을 판단하기 위해서는 여러 번의 시험이 필요하다. 또한, 이러한 시험 결과를 이용하여 고전 적층판 이론 (classical laminated plate theory)과 복합재료 마이크로 메카닉스 (micro mechanics)를 이용하여야 비로소 소재 물성을 정의할 수 있다.



일정한 두께의 평판 구조물에서 시편을 채취하여 몇 번의 시험으로 소재 물성을 판단할 수 있는 금속 재료와 비교하면 매우 까다로운 과정이라 할 수 있다. 그 외 차체 구조물의 3D 스캔을 통한 형상 정보 분석이나 두께를 측정하는 등의 분석은 기존의 금속재 구조물과 거의 유사하다. 이상과 같은 복합재료의 역설계 과정을 대략적으로 도식화하면 그림과 같다.



<복합재 차체의 역설계 과정>

복합재 역설계 과정에서 소재 물성을 분석하는 부분과 적층 정보를 분석하는 부분이 추가적으로 더 필요하며, 이를 수행하는 과정이 복합재료에 대한 이해를 요구하는 부분이기 때문에 자동차 업계에서 BMW사 i3 모델의 차체를 분석하고자 하나 많은 어려움을 안고 있는 것으로 판단된다. 이 부분을 해결하기 위해서는 단순한 시편 채취 및 인장 시험 뿐만 아니라, 시편의 단면 분석, 섬유 체적률 분석, 광학 현미경 관찰이나 burn-off 시험을 통한 적층 정보 분석 등이 동시에 수행되어야 한다.

우선 소재 적층 정보 부분을 살펴보면, 앞서 언급하였듯이 복합재료는 기본이 되는 다양한 적층각을 가지는 라미나의 조합으로 이루어지는 다양한 라미네이트(laminates)로 구성이 된다. 따라서 단면의 적층 정보가 다른 파트를 구분하고 분할하여 각 라미네이트의 적층 정보를 평가 하여야 한다. 이를 위해서는 두 가지의 방



법이 사용될 수 있다. 첫 번째가 복합재 시편의 일부를 채취하여 수지를 모두 태우고, 섬유만 남겨서 한 층씩 벗겨내며 분석하는 burnoff시험이 있다. 시험 방법은 시편을 채취한 후 고온 챔버에 넣어 650 °C에서 2시간 가량 소각하면 복합재료 내의 고분자 수지는 모두 소각되고 섬유만 남게 되며, 이를 층별로 걸어내며 적층각을 확인할 수 있다. 하지만 이 방법을 사용하면 사용된 라미나의 두께를 알 수 없는 단점이 있으나, 적층각은 명확하게 알 수 있는 방법이다. 두 번째로는 시편을 채취하고, 그 단면을 매우 높은 조도로 연마하여 표면을 광학 현미경으로 관찰하는 방법이다. 섬유의 단면을 원형으로 가정했을 때, 관찰되는 단면의 가로세로비를 계산하여 적층각을 분석하는 방법이다.

이 방법은 적층각 뿐만 아니라, 사용된 라미나의 두께를 동시에 평가할 수 있다. 그림 ③은 burn-off 시험으로 적층 정보를 확인하는 방법을 보여주고 있으며, 그림 ②는 광학 현미경을 이용하여 적층 정보를 분석하는 방법이다. 두 방법의 장단점이 있기 때문에, 역설계 과정에서는 대표적인 라미네이트 일부에 대해서 burn-off 시험을 병행하여 적층각 분석을 검증하고, 광학 현미경을 이용한 방법을 이용하여 단면을 분석하였다. 이를 통해서 구조물 전체의 라미네이트 정보를 획득한다. 특히 복합재료는 방향성을 가지기 때문에 시편을 채취할 때 기준이 되면 방향을 정하고, 그 방향을 표기하여 어느 방향에 대한 정보인지를 반드시 확인해야 한다.

적층 분석 결과 i3 모델에는 일방향 NCF 직물 (UD NCF fabric)과 이방향 NCF 직물 (Bi-axial NCF fabric)이 사용되었으며, 0°, 90°, ±45°의 기본적인 적층각이 사용되었음을 알 수 있다. 또한 이러한 적층각을 이용하여 대부분의 라미네이트가 준 등방성 적층구조 (quasi-isotropic)를 가지고 있었고, 일부 방향성이 명확한 부분에서는 하중을 많이 받는 방향으로 UD 라미나를 더 많이 배치하는 등의 설계 개념도 볼 수 있었다. 그리고 사용된 라미나의 두께도 각각 2종류씩 사용이 된 것으로 분석되었다.

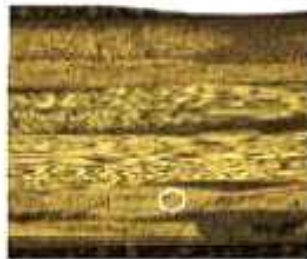
① 각 파트별 Cross-section Sample 채취: Section Analysis & Burn-off 시험 준비



Specimen for section analysis



② 복합재 Cross-section Microscope Image 분석: 적층 순서 / 적층 각 및 두께 측정



BI axial [ - 45 ]  
= 0.395 mm

UD [ 0 ]  
= 0.050 mm  
UD [ 0 ]

BI axial [ - 45 ]  
= 0.440 mm

◇ Stacking sequence  
: [ - 45/0 ]<sub>n</sub>



< FIBER CROSS SECTION OF 45° BW >

③ 복합재 Burn-off 시험: 복합재 적층 순서 / 적층 각 확인



< Specimen after burn-off >

◇ Stacking sequence: [ - 45/0 ]<sub>n</sub>



BI axial [ - 45 ]



UD [ 0 ]



UD [ 0 ]



BI axial [ - 45 ]

<복합재 구조물의 단면 적층정보 분석 기법>

다음으로 사용된 소재의 물성을 평가하는 방법에 대해서 소개하고자 한다. 복합재료는 이방성 소재이기 때문에 기본적으로 평가해야 하는 물성이 많다. 예를 들어 금속이 2개의 소재 물성을 갖는다면, 적교 이방성 (orthotropic) 복합재의 경우 9개의 소재 물성을 정의해야 한다. 또한, 라미네이트가 다양한 적층각과 다양한 두께 등을 가지며 적층되기 때문에 시편 하나를 채취해서 물성을 구하는 것은 불가능하다. 이에 복합재료의 기본 역학인 고전 적층판 이론을 바탕으로 역으로 그 물성을

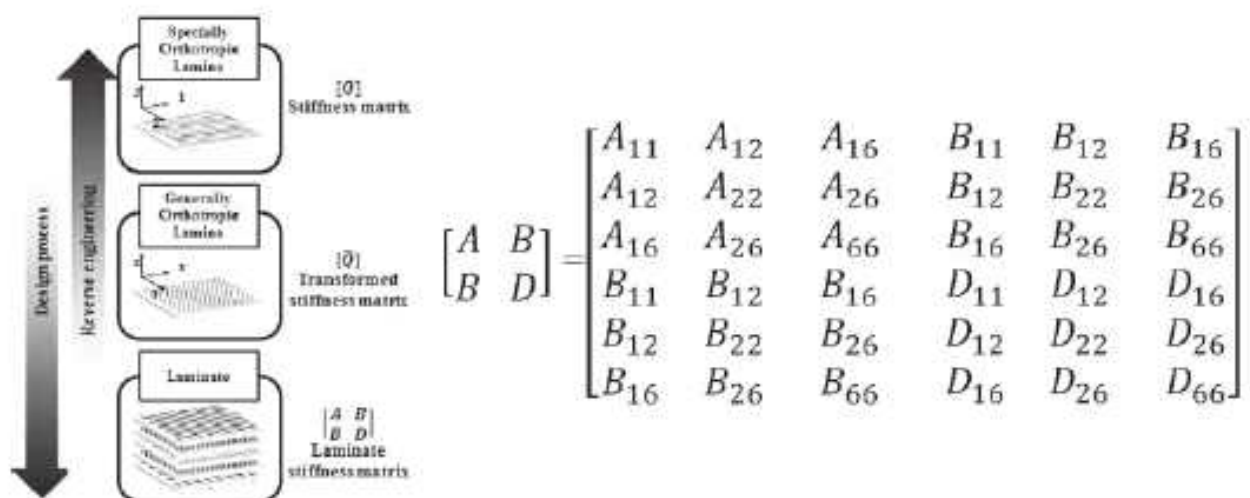


산출해야 한다. 복합재료의 물성 및 설계, 역설계 과정을 그림에 도식적으로 표현하였다.

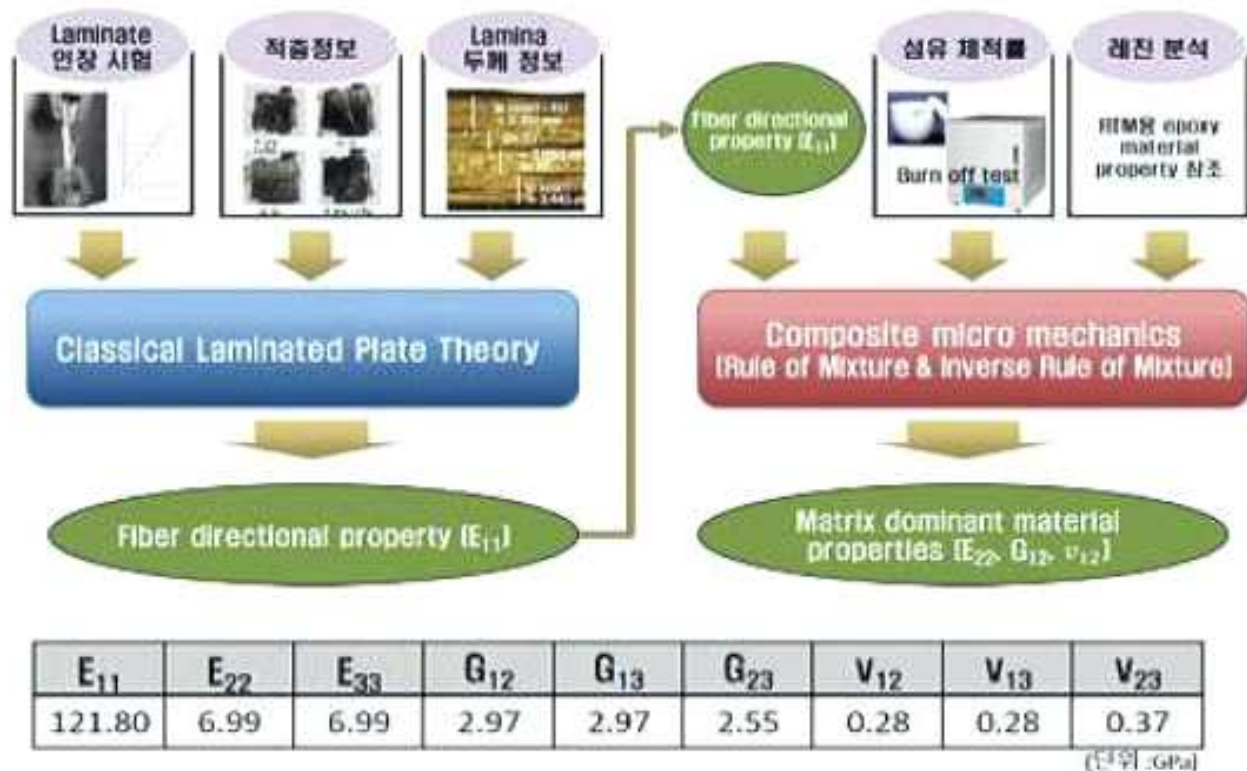
복합재료 라미네이트의 구조 강성을 나타내는 ABD 매트릭스에서 시험을 통해 가장 명확하게 이용할 수 있는 파라미터가 축방향 하중으로 당겼을 때, 그 하중 방향으로 늘어나는 강성을 나타낸  $A_{11}$ 이다. 이를 활용하여, 서로 다른 적층 패턴을 가지는 3개의 라미네이트를 선정하여 인장시험을 수행하면 소재의 물성을 정의 할 수 있다. 그러나, 인장시험의 결과만으로는 모든 라미나의 물성을 알아낼 수는 없다. 시험에서 오는 여러 가지 오차들로 인해서 최종 계산된 라미나 물성에 오차가 발생하는데 그 영향성이 각 물성마다 다르기 때문이다. 상대적으로 큰 물성을 나타내는 섬유방향 물성의 경우 그 영향이 적은 반면, 섬유 수직방향 물성은 수지 (matrix)가 지배적인 물성으로 강성이 섬유방향 물성에 비해 매우 낮다. 따라서 실험에 의해 발생한 오차가 섬유 수직방향에의 영향성은 매우 커서 의미 없는 값이 산출된다.

본 시험 결과에서는 섬유방향 물성만을 평가 할 수 있으며, 이를 통해서 사용된 섬유의 종류와 물성을 구할 수 있다. 그 외 수지의 물성은 사용된 폴리머를 분석하여 사용된 소재를 분석하고 그 수지의 물성을 조사하여야 한다. 이렇게 구해진 섬유 물성과 수지 물성을 이용하여 복합재료 마이크로 메케닉스를 이용하여 강성 정보를 구할 수 있다. 그리고 분석된 소재를 이용하여 직접 복합재 물성 시험용 시편을 만들어 물성 시험을 수행함으로써 최종적으로 강성 정보 및 강도 정보 데이터 베이스를 확보할 수 있다.





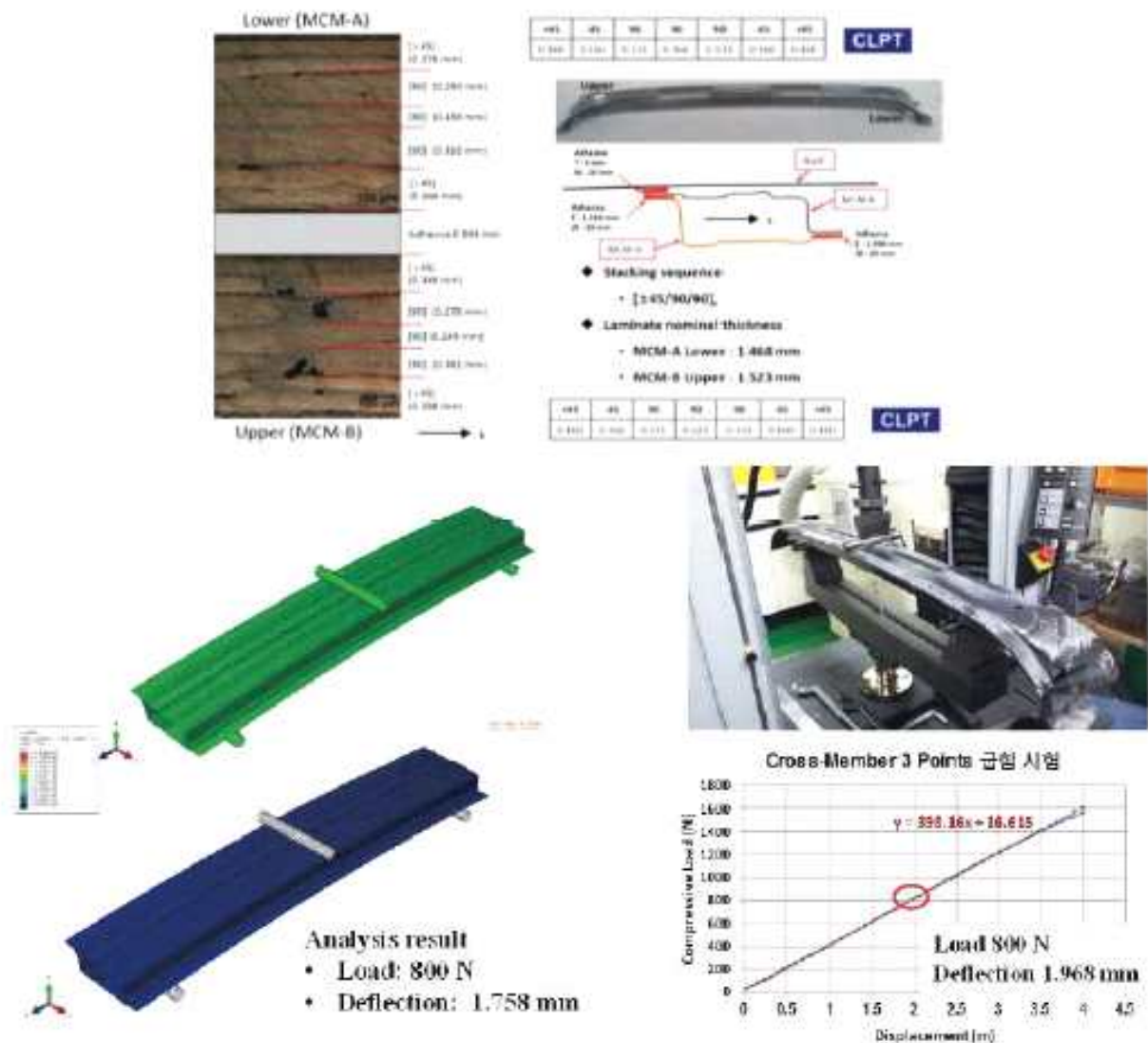
<복합재료 물성 및 설계, 역설계 개념>



<복합재 역설계 과정을 통해 얻어진 라미나 물성 정보>

복합재 역설계과정을 통해서 얻어진 적층 정보 및 물성 정보의 정확도를 검증하기 위해서 i3 모델의 차체 부품인 roof middle cross member의 구조시험 및 해석 비

교를 통해 검증하였다. 먼저 앞서 얻어진 복합재료 라미나 물성정보를 바탕으로 roof middle cross member에 대한 3차원 쉘 요소로 구성된 유한요소 모델을 구성하기 위해서 단면분석을 통해 적층각 및 두께 정보를 파악한다. 3차원 스캔을 이용하여 형상정보를 수정하여 유한요소 해석이 가능한 모델로 만들고, 각 파트에 상기 역설계 과정에서 구해진 적층정보 및 소재 물성을 부여하고 실험과 동일한 하중 및 경계조건을 부과하여 유한요소 해석을 수행하였다. 그림은 roof middle cross member의 굽힘 시험 및 굽힘 시험의 유한요소 해석을 보여주고 있다. 하중을 800 N을 부여하였을 때, 부재의 굽힘 변형량을 측정하고 계산한 결과와 비교하였을 때 잘 일치하는 것을 확인함으로써 최종 물성을 확정하였다.



<Roof middle cross member의 굽힘 시험 및 해석 결과>