

초경량 탄소섬유소재

정용식, 김기영¹, 한진욱², 방윤혁³

¹전북대학교 공과대학 섬유소재시스템공학과, ²한국생산기술연구원 섬유융합연구부,

³한양대학교 자연과학부 화학전공, ⁴(주)효성기술원

1. 서론

최근 산업발전과 자동차 중심의 수송기기의 대량 보급은 환경파괴, 지구 온난화 및 에너지 자원의 고갈 등 여러가지 문제를 초래하고 있다. 또한 세계적으로 에너지 소비량 증대에 따른 석유자원의 공급불안, 고갈 우려에 따라 유가상승이 지속되고 있다. 에너지 소비 증대는 환경오염과 직결되기 때문에 에너지 절약 추진 및 에너지 이용효율 향상을 위해 정책적인 기술개발 노력이 요구되고 있다.

지구온난화 및 CO₂ 저감 관련하여 수송분야에서 자동차 및 항공기의 에너지 절약 및 효율향상이 전 세계적으로 요구되고 있으며, 유럽에서는 2008년까지 약 25%의 연비개선 목표가 설정되어 있다. 국내에서도 연비개선 및 에너지 절감을 위한 제도의 시행 및 연구개발이 검토가 적극적으로 진행되고 있다.

자동차 분야에서 연비향상의 주요 기술 중 하나는 차체의 경량화이며 방법으로서 철을 알루미늄 등의 경금속으로 전환과 더불어 첨단복합재료의 적용이 자동차 관련기업을 중심으로 검토되고 있다. 국내에서도 녹색성장 전략의 일환으로 에너지 절약 및 안전성의 높은 차세대 자동차를 실현하기 위한 경량 또한 강도가 뛰어난 혁신적인 소재의 개발이 계획되고 있다.

첨단복합재료인 탄소섬유 강화 복합재료(CFRP : carbon fiber reinforced plastic)는 알루미늄에 비해 2/3 경량(비중 1.6, 알루미늄 비중 2.7)이며, 5배의 고강도(2700 MPa, 알루미늄 500 MPa)로 경량화 소재로 가장 적합한 소재이다. 세계적으로 자동차용 CFRP 개발은 고강력 강철보다 고강도로 큰폭의 경량화를 달성할 수 있는 CFRP를 이용한 설계, 성형으로 리사이클과 관계되는 종합 기술을 개발하여 CFRP 소재 경량차체의 실용화를 목적으로 하고 있다. 일본, 미국, 유럽을 중심으로 자동차용 CFRP 기술 개발이 활발하게 진행되고 있지만, 경제성 있는 양산기술이나 조립가공 기술의 분야에서 아직 자동차 분야에 본격적으로 실용화되지 않고 있는 실정이다. 국내의 경우 탄소섬유 제조기업은 전무하지만 현재 여러 대기업을 중심으로 탄소섬유 개발 및 CFRP 개발이 진행되고 있다.

본 고에서는 자동차용 구조체 및 부품으로 응용 가능한 CFRP의 기술개발 동향을 선진국 사례를 중심으로 살펴보고자 한다.

2. 복합재료 강화용도의 탄소섬유

2.1. 탄소섬유의 정의 및 시장동향

탄소섬유(carbon fiber, CF)는 거의 100% 탄소 원자로 구성된 무기섬유로, 일반적으로 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile, PAN) 수지, 레이온, 석탄, 석유피치 등을 섬유화하고 이러한 프리커서(precursor)라 불리는 전 단계 섬유를 특수한 열처리 공정을 거쳐 만든 "미세한 흑연 결정 구조를 가진 섬유상의 탄소 재료"로 정의할 수 있다.

탄소섬유에는 성능, 형태, 제조방법 및 출발원료에 따라 다양한 제품이 있다. 예를 들면, 성능에 대해서도 고성능 그레이드, 범용 그레이드, 고강도 타입, 고탄성률 타입, 중탄성률 타입, 저탄성률 타입, 활성 탄소섬유 등 명칭, 호칭에 있어 혼란을 일으키는 경우도 있으며, 고성능 탄소섬유의 섬유 다발 굵기에 대해서도 과거에는 필라멘트 수가 1,000~12,000인

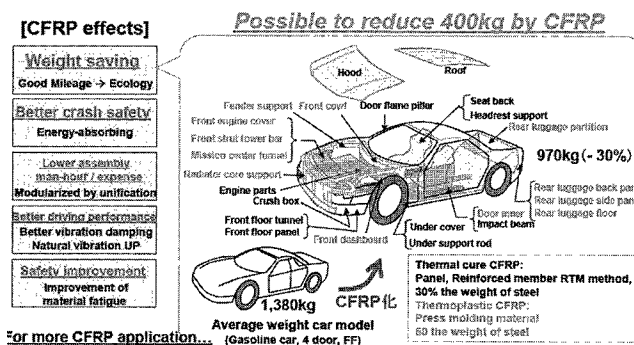


Figure 1. CFRP의 자동차부품 채용 경량화.

(출처 : Toray home page)

스몰 토우(small tow, 혹은 regular tow)가 주류를 이루었으나, 최근에는 48,000~320,000인 라지 토우(large tow)의 중요성이 증대되고 있다.

탄소섬유소재는 그 응용분야가 레저, 항공, 풍력, 연료전지, 자동차, 건설 등의 구조재 뿐만 아니라 반도체 패키징, 전도성 투명 판넬, 열관리 소재 등의 기능소재로 매우 다양하며 현 시장의 고도화에 중요할 뿐만 아니라 향후 잠재력이 매우 큰 원천 소재이다.

현재 세계 시장은 2005년을 기점으로 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있으나, 국내 시장은 현재 그 수요가 세계 시장의 5% 정도에 머물고 있으며 100% 수입에 의존하고 있는 실정이다.

탄소섬유 시장은 지난 23년간 연 12% 정도로 성장해 왔으며, 2011년 세계시장 규모는 \$ 12 Billion(16.2조 원, 1350억

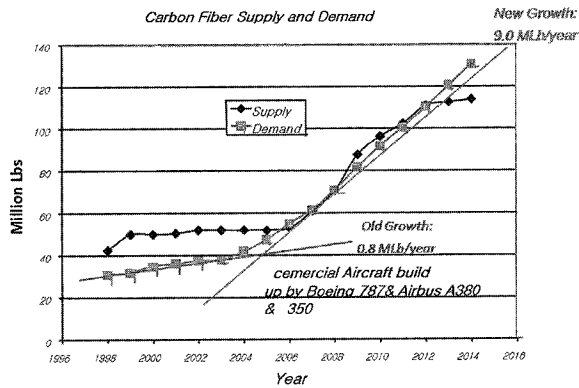
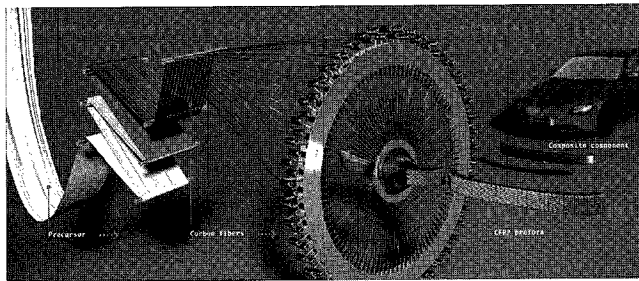


Figure 2. 탄소섬유 수요 공급 폭선. (출처 : Carbon Fiber 2008 Conference)



Value Chain				
형태	탄소섬유	중간재 (프리프레그, 프리프레그)	CFRP	CFRP제 부품
Value	200	400	2000	3000

Figure 3. 탄소섬유 및 복합재료의 value chain. (출처 : SGL carbon fiber catalog)

/달러 기준)에 달할 것으로 예측되고 있다(Harper International Corp., 2008). 이는 중간재 기준으로 하면 3~5배, 최종 제품 기준으로는 약 10배 정도 부가가치가 상승한다고 알려져 있는데, 탄소섬유강화 플라스틱(carbon fiber reinforced composites, CFRP)이 범용 재료로서 사용된다면 수백 조원의 거대 산업으로 발전될 것으로 전망된다.

2.2. 탄소섬유의 장점

세계적으로 자동차의 경량화에 철강, 알루미늄, 마그네슘,

Table 1. 탄소섬유 등 강화섬유의 물성

종류	Type	밀도 (g/cm ³)	강도 (MPa)	탄성률 (GPa)	비고	
PAN 계 탄소섬유	T 3 0 0	1.76	3,530	230	Toray Torayca	
	T 7 0 0 S	1.80	4,900	230		
	T 8 0 0 H	1.81	5,490	294		
	T 1 0 0 0 G	1.80	6,370	294		
	M 4 0 J	1.77	4,400	377		
	M 6 0 J	1.93	3,820	588		
	HTA	HTA	1.77	3,920	235	Toho Tenax
		UT 5 0 0	1.80	4,810	240	
		IM 6 0 0	1.80	5,790	285	
		UM 4 0	1.79	2,740	380	
		UM 6 8	1.97	3,330	650	
		Mitsubish rayon Pyrrfil	TR30R	1.77	4,410	235
	TR50S		1.82	4,900	240	
	MR40		1.76	4,410	295	
	HR40		1.82	4,610	390	
SR50	1.88		4,210	490		
피치계 탄소섬유	K1352U	2.12	3,600	620	DIALEAD ®n	
	K13D2U	2.21	3,700	935		
	K63B12	2.21	2,600	860		
	XN-05	1.65	1,180	55	GRANOC ®	
CN-60	2.12	3,450	620			
YS95A	2.20	3,510	900			
유리섬유	E glass	2.58	3,430	72.5		
	S glass	2.49	4,650	84.3		
아라미드 섬유	Kevlar 29	1.43	2,920	70	Toray · duPont	
	Kevlar 29	1.44	3,000	120		
	Technora	1.39	3,300	70	Teijin	
폴리아릴 레이트섬유	Vectran HT	1.41	3,230	75	Kuraray	
	Vectran UM	1.41	2,850	105		
PBO 섬유	Zylon AS	1.54	5,800	180	Toyobo	
	Zylon HM	1.56	5,800	270		

수지 관련 기업 등이 경쟁하고 있는 상황에서 항공기 경량화로 응용되면서 주목 받는 소재가 탄소섬유이다. 또한, 탄소섬유는 그 뛰어난 특성으로부터 차세대의 유망 소재로서 경제·생활환경을 급격하게 변화시킬 수 있는 소재이다.

복합재료용 강화섬유에는 유리섬유, 탄소섬유, 세라믹 섬유, 금속섬유, 각종 고성능 유기섬유가 있으며 그 특성은 Table 1과 같다. 기존의 유리섬유 강화 플라스틱은 자동차 용도에 사용되고 있지만, 탄소섬유와 비교하여 비중이 크며 강도 및 탄성률이 낮고 선팽창 변화가 크다.

열가소성 수지 탄소섬유 복합재료용으로는 비중이 낮고 강도 및 탄성률이 높고, 특히 철과 비교했을 경우, 비중을 고려한 비강도가 약 5배 이상 비탄성률이 약 10배 이상 있는 탄소섬유가 가장 적합한 강화 섬유이다.

탄소섬유에는 범용 탄성률 섬유, 중탄성률 섬유, 고탄성률 섬유가 있지만 자동차 등 일반 기계부품에 사용하려면 물성, 공급능력, 가격 등에서 범용 탄성률 섬유가 적합하다. 또한 탄소섬유에는 PAN 계와 피치계가 있지만 성능, 공급능력, 가격 등에서 일반적으로 자동차 부품, 일반 기계부품 등의 넓은 분야에서 대량소비가 기대되는 열가소성 수지 복합재료용으로는 PAN 계 탄소섬유가 적합하다.

PAN 탄소섬유는 일본기업이 전세계적으로 생산·판매를 전개하여, 세계 약 70% 시장을 차지하고 있다. 주로 열경화성 수지와 복합에 의한 탄소섬유 복합재료는 스포츠·레저용품, 항공기 부품, 각종 기계 부품 등에 30년 이상 사용되고 있으며, 슈퍼카, 반송용 로봇트 암, 원심분리기 등과 같은 자동차 부품이나 기계부품에도 이용되고 있다.

Table 2. 탄소섬유의 장단점 비교

	탄소섬유	철	알루미늄
원재료	아크릴섬유		
세계생산량 (2006년, 단위·톤)	39,000	1,239,494,000	33,967,000
가격(kg)	\$30~50	~ \$0.1	\$0.5~0.6
장점	경량, 고강도, 고탄성률, 비부식성	저가, 범용소재, 가공 및 리사이클 용이	철보다 경량, 범용소재, 비부식성
단점	열경화성 복합재료 제조비용 고가, 리사이클 문제	높은 비중, 부식성	흡집발생 용이

3. CFRP의 특징

복합재료용 강화섬유로 유리섬유, 탄소섬유, 세라믹 섬유, 금속섬유, 각종 고성능 유기섬유가 있다. 유리섬유 강화 플라스틱은 자동차 용도에도 사용되고 있지만 탄소섬유에 비교해 비중이 크고 강도 및 탄성률이 낮으며 선팽창 계수가 크다.

따라서 복합재료용 강화섬유로서 비중이 낮고 강도 및 탄성률이 큰(철 대비 비강도 약 5배 이상, 비탄성률 약 10배 이상) 탄소섬유가 주목 받고 있다. 또한, CFRP는 GFRP와 비교해 강성이 50~ 100% 높기 때문에 부품의 경량화를 이룰 수 있다.

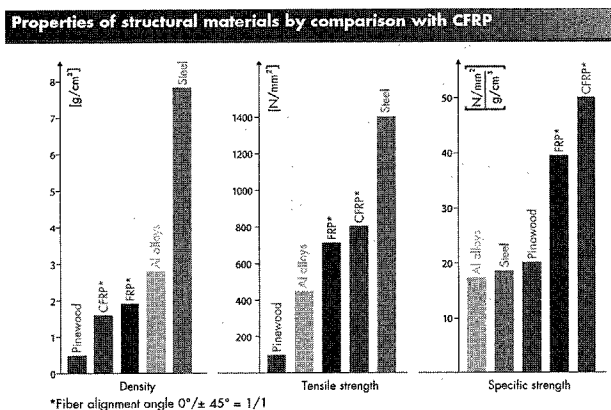


Figure 4. 각종 소재의 기계적 성질 비교 (출처 : SGL carbon fiber catalog)

3.1. 열경화성 수지 탄소섬유 복합재료(CFRTS)의 문제점

CFRP는 경량, 고강도 등 뛰어난 특성 때문에 기존 금속재료와 비교하여 경량화를 이룰 수 있는 매우 유망한 소재이며, 다양한 용도로의 전개가 기대되고 있다. 그러나 기존의 열경화성 수지를 이용한 CFRP는 고속성형 등 가공성, 리사이클링 등에 문제가 있어 한정된 용도로만 사용되고 있다.

지금까지 탄소섬유는 주로 CFRTS로 실용화되어 항공기, 스포츠, 일반 산업용도 등으로 수요가 확대되고 있다. 고성능 복합재료의 매트릭스로 현재는 주로 열경화성의 에폭시 수지가 사용되고 있다. 이러한 열경화성 수지는 높은 품질을 요구하는 항공기 분야에서는 큰 문제가 되지 않지만 생산성이 중요한 자동차 등의 산업용에 전개하려면 해결해야 할 아래와 같은 문제가 있다.

- ① 가공성
 - 철과 같은 주물, 프레스, 절삭 가공 불가능

② 생산성

- 에폭시 수지는 일반적으로 장시간의 경화시간 필요
- 자동차에 필요한 고생산성 불가능

③ 리사이클

- 현재 리사이클 불가, 매립 처분
- 대량 사용 시 문제, LCA 관점에서도 문제

④ 코스트

- 범용 열가소성 수지에 비해 고가

- 열융착에 의한 접합 가능 → 조립 가공의 단순화

- 용매 무사용으로 작업환경 양호

② 단점

- 수지 점도가 높고, 섬유간에 함침이 어려움
- 성형품의 Tg가 낮고, 크리프 열변형을 일으키기 쉬워 제품 설계상 어려움 발생
- 계면접착성 불량

3.2. 열가소성 수지 탄소섬유 복합재료(CFRTP)의 특징

열가소성 수지 탄소섬유 복합재료는 탄소섬유를 강화섬유로 열가소성 수지를 매트릭스로 하는 복합재료이며, 자동차, 항공기, 산업기계 등의 폭넓은 분야에서 경량·고강도의 특성을 살린 용도전개가 기대된다.

CFRTP의 매트릭스 수지로서 이용되는 열가소성 수지는 용점(또는 연화점)을 가지기 때문에 가열하면 연화·용융되고 냉각하면 고체화 된다. 한편 열경화성 수지는 가열되면 고분자 체인의 가교가 진행되어 삼차원 구조를 형성하여 재가열에 용융되지 않는다.

기존의 탄소섬유 강화 플라스틱은 고성능의 경우 에폭시, 비닐에스터, 불포화 폴리에스터 수지 등의 열경화성 수지가 사용되고 있으며, 그 중 우수한 기계적 특성 때문에 에폭시 수지가 대부분의 경우에 사용되고 있다.

그러나 폴리프로필렌이나 나일론 등의 열가소성 수지를 열경화성 수지와 비교해 볼 때, 열가소성 수지는 다음과 같은 장단점을 가지고 있다. 자동차 부품이나 기계부품 등 대량으로 사용될 가능성이 높은 분야에서 CFRTP 개발에 적합한 수지는 생산성이 매우 높고 수지 가격이 낮으며 리사이클이 용이한 특징을 보유해야 한다.

CFRTP에서 매트릭스용 열가소성 수지의 장단점은 다음과 같다.

① 장점

- 열가소성 수지는 일반적으로 인성이 높아 복합재료의 내충격성, 진동흡수성 등이 우수
- 선택 가능한 수지 종류가 다양하여 다양한 기능부여 가능(내열성, 내약품성, 내후성, 난연성 등)
- 성형 시에 화학반응을 일으키지 않고 단시간 성형 가능
- 열가소성 수지 성형기술의 전용 가능
- 가열해도 화학구조가 변화하지 않음 → 재활용, 리페어가 가능(가공손실 감소)

CFRTP는 탄소섬유와 열가소성 수지의 장점을 모두 겸비할 수 있는 복합재료를 성형 및 가공, 코스트 측면에서의 특징은 다음과 같다.

- 일반적으로 인성이 높고, 내충격성, 진동흡수성 우수
- 성형 시 화학반응이 없어 단시간 성형이 가능하여 대량생산 가능성이 높음.
- 열가소성 수지 성형기술 전용이 가능하기 때문에, 프레스 성형이나 사출 성형 등의 양산기술에 적용 가능성 높음
- 가열해도 화학구조가 변하지 않기 때문에 가열/냉각 반복 시행 및 재활용 가능
- CFRTS와 달리 중간기재의 보관 상태에 따른 품질변동이 적음
- 열융착 접합 가능성에 따른 조립공정의 단순화 가능
- 리사이클성
- 열경화성 수지에 비해 일반적으로 저가격

열가소성 수지를 매트릭스로 하는 CFRTP는 CFRTS와 비교할 때 아래와 같은 문제점이 존재하지만, 이러한 문제를 해결한다면 자동차 분야 등 대량생산 분야에 본격적인 적용을 기대할 수 있다.

- 열가소성 수지는 일반적으로 탄소섬유와의 젖음 특성 및 친화성이 부족하기 때문에 복합재료의 역학적 특성 발현이 어려움
- 열가소성 수지는 일반적으로 용융 점도가 높아 균일한 함침과 보이드 제거가 어려워 복합재료의 역학적 특성 발현이 어려움
- 복합재료중의 탄소섬유의 체적분율을 증가시키기 어려움
- 연속섬유 이용시 복잡한 형상의 제작이 어려움
- 범용수지(PP 등)를 이용하면 복합재료의 내열성 문제 발생
- 높은 Tg의 고성능 수지를 이용하면 일반적으로 코스트 상승

4. 선진국의 개발동향

4.1. 일본의 개발동향

일본의 경우 자동차 분야에서 플라스틱의 사용이 서서히 증가하고 있지만, 최근에도 전체 중량의 8%에 불과하다. 복합재료는 주택, 건축자재용이 주요 용도이고, 자동차용은 2004년 8% 정도에 불과하다. 항공기 분야에서는 보잉 787 구조재료 중량의 약 50%를 CFRP가 차지하지만, 자동차 분야에서는 성능을 중시하는 레이싱카 등을 제외하면 일반의 승용차에 적용은 극히 일부에 머물고 있다. 이는 항공기와 생산규모 차이에 의한 양산 기술이나 조립가공기술, 제조 코스트 등의 문제가 원인으로 지적되고 있다.

일본에서는 자동차의 경량화에 의해 연비를 개선하여 에너지 소비를 억제하면서 지속적인 경제성장을 확보하는 것을 목적으로, NEDO에서는 에너지 절약 기술개발 프로그램의 일환으로 2003년부터 5년간의 산학공동으로 「자동차 경량화 탄소섬유 강화 복합재료의 연구개발」 과제로 실용화 연구개발을 진행하고 있다.

자동차용 강판 대비 중량을 50% 경량화 할 수 있는 한편 안전성(에너지 흡수량 : 최종 목표치는 25 kJ, 철대비 1.5배)

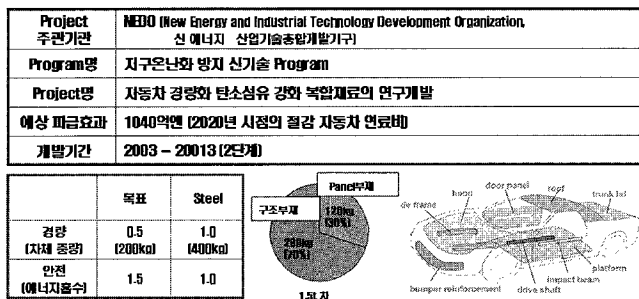


Figure 5. 일본의 자동차용 CFRP 개발.

을 갖춘 CFRP 차체 구조 개발과 성형시간을 10분 이내로 하는 저비용, 대량생산 가능한 제조 기술의 개발을 목표로 하고 있다. 제조기술로는 고속성형기술(초고속 경화형 성형수지, 입체성형 기술, 고속 수지함침 성형기술)의 개발, 차체 구조에 관련해서 이종재료와의 접합기술 및 안전설계기술(복합재료의 동적 해석기술, 철, 알루미늄 등 복합재료 하이브리드 구조의 설계·해석 기술, 에너지 흡수기술)의 개발 및 리사이클 기술 개발을 진행하고 있다.

초경량·안전 차체 실현을 위한 주요 과제의 목표는 다음과 같다.

① 고속 성형기술 개발

- 초고속 경화형 성형 수지의 개발(Toray)
- 입체 성형부형 기술의 개발(Toray)
- 고속 수지 함침 성형 기술의 개발(Toray)

② 이종 소재 접합기술 개발

- 철, 알루미늄 등 복합재료 접착기술 개발(Nissan, Toray, 도쿄공대)

③ 안전 설계기술 개발

- 수지(CFRP)의 동적 해석기술의 개발(Nissan, Toray, 日大)
- 철, 알루미늄 등 복합재료 하이브리드 구조체의 설계, 해석 기술 개발(Nissan, Toray, 日大)
- 에너지 흡수 기술 개발(Nissan, Toray, 교토공예섬유대학)

④ 리사이클 기술 개발

- 철, 알루미늄 등 수지의 분리기술 개발(Toray, 도쿄공대, 兵庫県大)
- 재가공 기술 개발(Nissan, Toray, 도쿄대)

4.1.1. 고속 성형기술

고속 성형기술은 에폭시계 열경화성 수지를 사용하는 RTM(resin transfer molding) 성형과 비교하여 각 공정요소의 시간단축, 기존 160분 소요되던 것을 10분 이내로 단축을 목표로 하고 있다. 수지경화시간의 대폭적인 단축방법은 경화속도가 빠른 음이온 중합계 에폭시 수지를 이용하여 수지 함침 시에는 일정시간 저점도를 유지할 수 있도록 연쇄 이동제를 병용하여 경화 반응에 유도기를 마련하는 기술을 개발하고 있다.

또, 수지 함침을 단시간에 실시하기 위해 수지 주입구를 여러개 마련하는 다점식을 채용하는 등 신속하게 균일 함침을 하는 것 같은 금형의 설계도 포함되어 있다.

4.1.2. 접합 기술

접합기술은 조립가공상 중요한 공정이다. 특히 RTM 성형은 autoclave 성형에 비해 복잡한 형상으로 큰 부품의 성형은 어렵다. 따라서 금속재료와 CFRP 혹은 CFRP와 이종간 또는 동종간의 접합이 필요하다. CFRP의 접합에는 접착이 가장 효율적이다. 일반적인 고강도 접착제는 에폭시계이지만 접착강도에 문제가 있는 경우가 있으며 경화 시 가열이 필요한 단점도 있다. 따라서 실온에서 10분 정도로 경화가 가능한 2액 반응형의 아크릴계 접착제 개발도 진행되고 있다. 접합부위에 따라 접착과 리벳등의 기계적 이음새와의 병용도 고려할 필요가 있다.

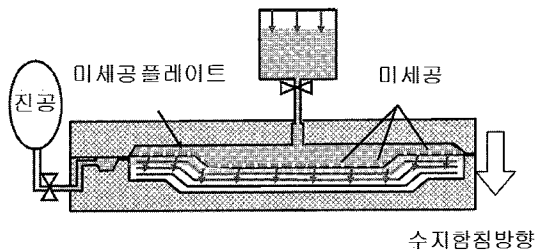
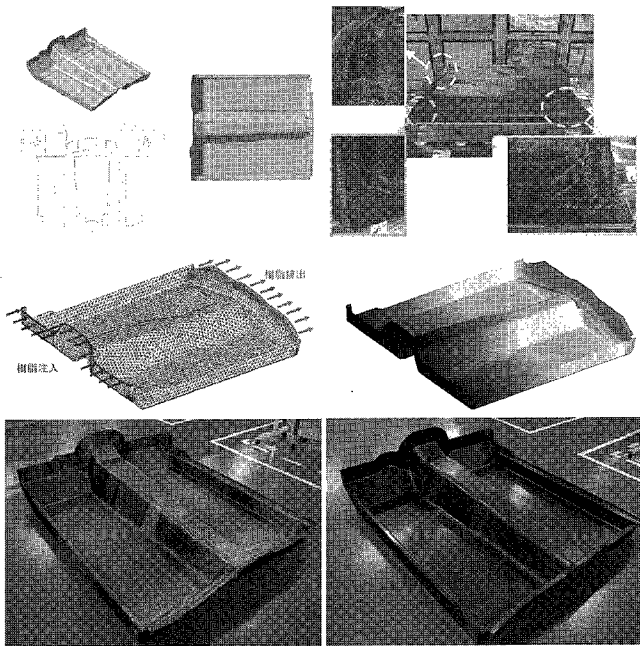


Figure 6. CFRP 프론트 플로어 설계, 제조과정¹⁾.

리사이클을 전제로 하면 접합 부품의 해체 용이성이 필요하다. 충분한 접착 강도를 가지지만 필요한 때 해체 가능한 접착제로서 팽창후연을 함유하는 해체성 접착제 개발이 진행되고 있다. 에폭시계 접착제를 대체하기 위해 실제 사용온도에서 내열온도 이상의 Tg를 유지하고 Tg 이상의 온도에서 급격하게 연화되는 조성이 검토되고 있다. 여기에 200 °C 이상의 온도에서 팽창하는 팽창후연을 첨가하면 250 °C, 5분의 가열로 CFRP 판과 금속과의 접착이 박리·해체할 수 있는 것이 확인되고 있다.

4.1.3. 안전 설계기술

안전설계에 있어 CFRP 제의 에너지 흡수부품의 적용이 검토되고 있다. 자동차의 충돌 형태는 전면(후면)충돌과 측면 충돌에 크게 나눌 수 있다. 전면 충돌에서는 주로 엔진 주위의 부품의 압축변형에 의해 에너지를 흡수한다. 여기에 CFRP 제의 기동모양 부품을 마련해 축방향에 순서대로 파괴하는

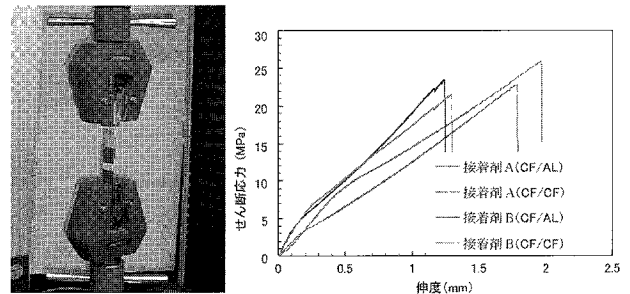
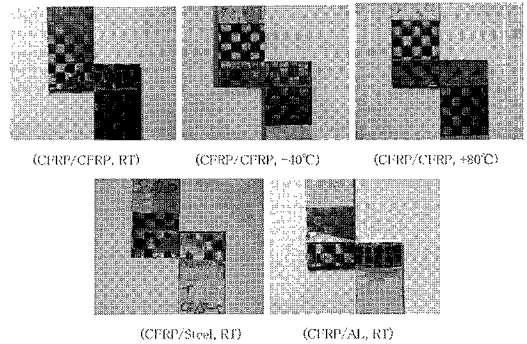


Figure 7. 이중 및 동중소재 집합테스트 예¹⁾.

것에 의해(progressive crushing) 충돌 에너지를 흡수한다.

측면 충돌은 횡방향의 에너지 흡수가 된다. CFRP는 파괴신율이 작기 때문에 단독으로는 사용하지 않고 알루미늄 합금빔에 인장응력이 작용하는 면에 CFRP를 접착한 하이브리드 구조가 검토되고 있다. 단위무게당 흡수 에너지는 철을 상회하는 결과도 얻을 수 있다.

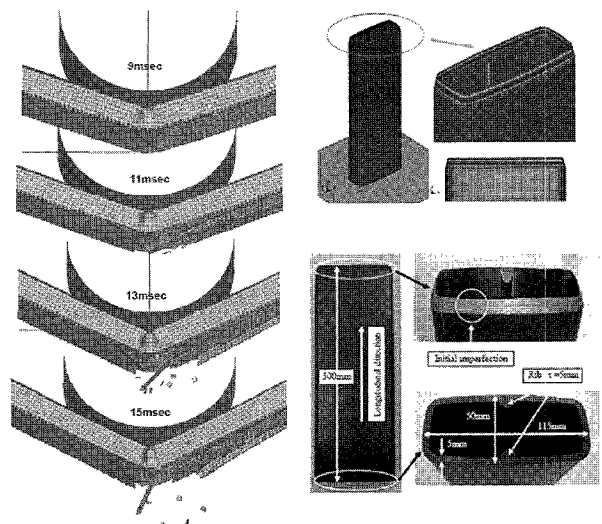


Figure 8. CFRP 충격에너지 흡수 구조체 설계, 제작 사례¹⁾.

4.1.4. 리사이클 기술

리사이클 기술에 관해서는 CFRP는 철에 비해, 탄소섬유 제조 단계에서의 에너지가 크다. 따라서 버진 탄소섬유의 에너지단위가 가장 커져 리사이클의 필요성의 높다. 특히 CFRTP는 리사이클품의 물성이 높고, 같은 성능의 부품이 보다 쉽게 얻을 수 있다. 리사이클 방법으로 사출 성형품을 파쇄하고 그대로 혼합해 ABS 및 PP에 의해 재차 사출 성형을 실시했다. 리사이클을 4회 반복해도 버진 제품과 거의 동등한 역학 특성이 얻어진다.

4.2. 미국의 개발 동향(From PNGV to FreedomCar)

Chrysler, Ford, GM 3사가 공동으로 조직한 ACC(Automotive Composites Consortium : 1988년에 설립되어 현재는 1992년부터 USCAR(United States Council for Automotive Research)로 변경)의 프로젝트로 검토된 승용차의 바디(body in white : BIW)를 철, GFRP, CFRP 3가지로 제조하는 경우의 코스트를 MIT에서 시뮬레이션한 결과, 철은 재료비는 싸지만 장치 위주의 고정비 비율이 높고, 양산하지 않으면 코스트 메리트를 살릴 수 없다. 100,000대/년 정도까지는 GFRP가, 45,000대/년 정도까지는 CFRP가 부품수를 줄일 수도 있어 고가의

재료비에도 불구하고 경제적으로 유리한 점이 있다. 이때 원료 섬유의 가격은 탄소섬유 \$20/kg, 유리섬유 \$2.5/kg 이며, 탄소섬유가 \$11/kg 이하이면 100,000대/년 규모에서도 경제성이 있다고 판단되었다.

미국에서는 1993년에 클린턴 정권이 승용차의 연비 개선의 종합적인 공동 연구 프로젝트 PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicle)를 발족시켰다. 연방정부의 7부처와 19곳의 국립연구기관 및 민간의 USCAR를 포함한 350개 이상의 기업 및 기관의 참가한 대형 프로젝트로 온난화 대책·환경보호와 함께 미국 자동차 산업의 국제 경쟁력을 강화하는 목적이 있다. 그러나 부시 정권의 성립과 함께 재검토되어 2002년에 새롭게 FreedomCar Partnership이 진행되었다. Freedom은 ①석유 의존도 탈피 ②오염물질 배출 감소 ③좋아하는 차로 가고 싶은 곳에 언제라도 갈 수가 있는 자유 ④간편하게 연료를 구입할 수 있는 자유를 의미한다. DOE 내 EERE(Energy Efficiency and Renewable Energy)에 설치된 OFCVT(Office of FreedomCar and Vehicle Technologies)가 프로젝트를 관할하고 있다. 전기 USCAR의 빅·쓰리를 시작해 연구기관으로는 ORNL(OakRidge National Laboratory)등이 주요한 역할을 하고 있다. 여기에서는 2010년을 목표로 경량화를 위한 재료 개발과 수소에너지의 이용을 목표로 구체적으로는 구조 및 하부구조를 포함해 50%의 경량화, 효율적 설계, 리사이클성이 있다. ALM(Automotive Lightweighting Materials) 팀이 재료 개발을 담당하고 있다.

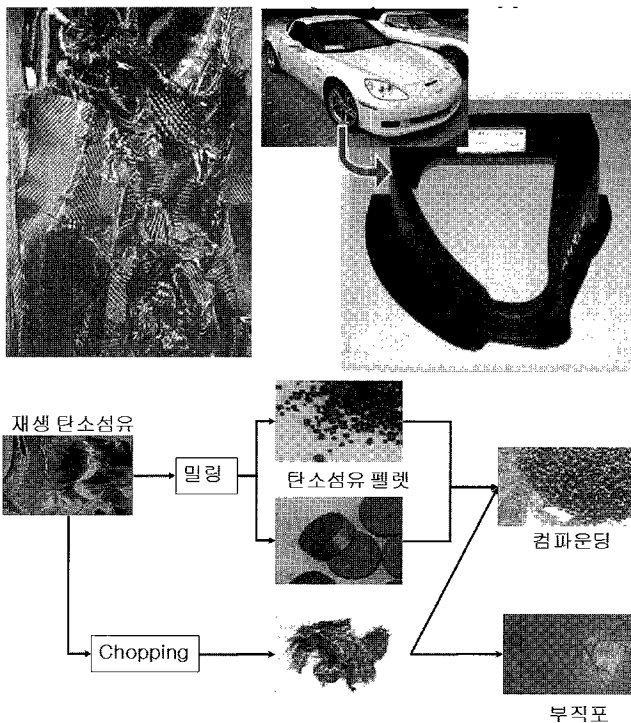


Figure 9. CFRP 리사이클 사례.
(출처 : Milled Carbon Ltd.)

4.3. 유럽의 개발 동향(TECABS)

유럽에서는 2000년부터 2004년에 걸쳐 Volkswagen, Volvo, Renault의 자동차 3사를 시작으로 소재 공급 기업, 대학·연구기관 등 6국, 14기관이 TECABS(TEchnologies for Carbon fiber reinforced modular Automotive Body Structure)라는 컨소시엄을 조직하여 연구개발을 진행하였다. 저비용 탄소섬유 토우 직물, 프리폼화, 수지 기술을 시작으로 파괴 시뮬레이션, 시험·평가, LCA 등도 포함한 광범위한 내용이다.

현존하는 A00 타입의 소형차(Volkswagen)의 BIW(body In white)를 대상으로 CFRP의 고속 RTM 기술에 의한 50% 경량화와 70%의 부품수를 감소시키기 위해 제조, 시뮬레이션, 설계기술과 공법을 개발하는 것을 목표로 하였다.

Volkswagen은 2009년 프랑크 모터쇼에 컨셉트카로 알루미늄 및 CFRP 차체로 L1을 출품하였다. 디젤-하이브리드 자동차로 최대시속 160 km/h, 연비 72 km/L의 엔진 효율 및 경

량화를 극대화 시킨 미래 자동차의 표본을 보여주고 있다.

Table 3. BIW 설계결과

	기존 강철	목표	Composite BIW
중량	203 kg	50% = 102 kg	79 + α kg
부품수	200	30% = 60	64 + α
정적강성	22.9 min	22.9 min	15.2 min
동적강성	40 Hz	100%	71 Hz
굴곡강성	43 Hz	100%	61 Hz

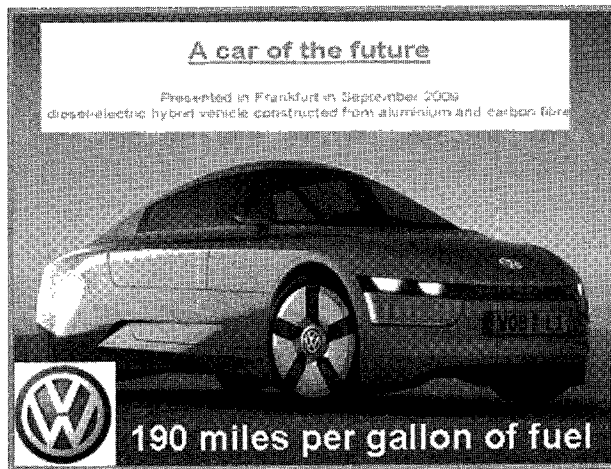


Figure 10. Volkswagon L1 Concept Car.

감사의 글 : 본고는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 지원으로 작성되었습니다.

참고문헌

1. “자동차경량화 탄소섬유 강화 복합재료의 연구개발”, NEDO 프로젝트 성과보고서, 2008.
2. “Sustainable hyper composite 기술의 개발”, NEDO 프로젝트 성과보고

서, 2008.

3. Carbon Fiber 2008 Conference, Hamburg, Germany.
4. 섬유산업의 녹색성장 전략, 지식경제부, 2009.
5. 소재원천기술개발사업 “나노기반 탄소계 복합기능 섬유 소재 기술” 연구기획 최종보고서, 2009.
6. <http://www.torayca.com>
7. <http://www.sgcarbon.com>
8. http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/freedomcar_plan.pdf
9. <http://www.tecabs.org/>

정용석

1994. 한양대학교 공과대학 섬유공학과 졸업
 1996. 한양대학교 공과대학 섬유공학과(석사)
 1999. 한양대학교 공과대학 섬유공학과(박사)
 2001-현재, 전북대학교 공과대학 섬유소재시스템공학과 교수
 e-mail: psdcolor@jbnju.ac.kr

김기영

1994. 한양대학교 공과대학 섬유공학과 졸업
 1996. 한양대학교 공과대학 섬유공학과(석사)
 1999. 호주, Department of Textile Technology, The University of New South Wales(석사)
 2003. 호주, School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, The University of Sydney(박사)
 2005-현재, 한국생산기술연구원 섬유융합연구부 선임연구원
 e-mail: kkim@kitech.re.kr

한진욱

1994. 서울대학교 화학과 졸업
 1996. 서울대학교 화학과(석사)
 1999. 서울대학교 화학과(박사)
 2000-2002. 일본 교토대학교 이학부 화학과(Post-Doc.)
 2003-현재, 한양대학교 자연과학대학 화학과 교수
 e-mail:jwhan@hanyang.ac.kr

방윤혁

1986. 부산대학교 공과대학 섬유공학과 졸업
 1988. 부산대학교 공과대학 섬유공학과(석사)
 1996. 부산대학교 공과대학 섬유공학과(박사)
 2000-현재, (주)효성기술원 팀장
 e-mail: yhbang@hyosung.com