

3차원형상 고분자 복합재



김 준 경

한국과학기술연구원

- 재료연구부 고분자하이브리드연구센터 센터장
- 관심분야 : 나노재료, 정보전자용 복합재료
- E-mail : jkkim@kist.re.kr

이 건 응

한국과학기술연구원

- 재료연구부 고분자하이브리드 연구센터 위촉연구원
- 관심분야 : 고성능 및 기능성 복합재료
- E-mail : lgw811@kist.re.kr

박 민

한국과학기술연구원

- 재료연구부 고분자하이브리드 연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 기능성 복합재료, 정보전자용 복합재료
- E-mail : minpark@kist.re.kr

이 상 수

한국과학기술연구원

- 재료연구부 고분자하이브리드 연구센터 연구원
- 관심분야 : 나노재료, 정보전자용 복합재료
- E-mail : s-slee@kist.re.kr

변 준 형

한국기계연구원

- 공정연구부 복합재료그룹 그룹장
- 관심분야 : 직조형 복합재료, 복합재료의 mechanics
- E-mail : bjh1673@kmail.kimm.re.kr

1. 서 론

구조용으로 사용되는 고분자 복합재료는 크게 열경화성수지계와 열가소성수지계로 구분되며 서로 독자적인 응용분야를 구축하고 있다. 최근 친환경적인 문제가 대두되면서 점차 재활용이 가능한 열가소성 수지계의 적용이 증가하고 있으나 기존 열가소성계 복합재료의 물성 구현에 한계가 있어 응용분야에 제한이 있어왔다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 보강섬유의 길이를 증대시켜야 하며 또한 우수한 계면접착력을 수반하여야 한다. 열가소성수지계의 장점으로는 보존기간의 증가, 제품성형을 위한 짧은 공정 시간(cycle time), 제품 형상의 다양성, 내충격성의 개선 등을 들 수 있다.

열가소성 수지를 매트릭스로 사용하는 복합재료는 중간재 또는 프리프레그 내에 존재하는 강화섬유의 형상 또는 크기에 따라 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 이는 각각 단섬유(chopped strand, 6mm 이내), 장섬유(long fiber, 25mm 이내), 연속섬유(continuous fiber)로 명명하여 통용되고 있으며 최종제품에 존재하는 섬유 형상비에 따라 기계적, 열적 특성 등의 급격한 차이를 보여주게 된다. 또한 각각의 중간재를 얻기 위한 성형방법과 중간재의 2차가공방법도 달라지며 기술적 난이도는 섬유 길이 증가에 따라 매우 높아지게 된다.

열가소성수지에 유리섬유, 탄소섬유 등과 같은 강화재를 보강하게 되면 섬유 자체가 지니

는 강화 효과에 의해 수지의 물성이 현저하게 개선되어진다. 이와 같은 소재에 있어 최종성형품의 물성을 극대화시키기 위해서는 보강섬유 함량 및 보강섬유 길이를 최대로 유지하는 것이 필수적인 관건이다. 기존의 열가소성 수지계는 단섬유(길이 3-6mm)를 이축압출기에서 수지와 혼합하여 펠렛화하는 컴파운딩 공정에 의해 제조되며 일차(압출) 및 이차(사출) 성형시 필연적으로 발생하는 섬유파쇄에 의해 최종성형품의 물성을 현저히 감소시키는 원인이 되어왔다.

이상과 같은 한계를 극복하기 위한 방법의 일환으로 열가소성 장섬유 복합재료 제조방법인 Glassfiber Mat Thermoplastics(GMT) 공정(IDEMITSU, AZDEL, BASF), Slurry계 장섬유 복합재 공정(EXXON, SYMALIT), CPI공정(CPI), 펄트루전 성형공정(LNP-KAWASAKI, TICONA, DSM, 칫소)에 의한 Long Fiber Thermoplastics(LFT) 등이 개발되었으며 최근 GMT, LFT 소재는 국내에 출시되어 활발한 적용 중에 있다.

열가소성 복합재에 대한 최근 국내 개발 동향

은 범용 열가소성 수지 복합재료, 특히 사출성형용 단섬유 컴파운드에 국한되어 있는 상황이다. 사출용 단섬유 컴파운드는 국내의 경우 많은 기업에서 생산되고 있으나, 이보다 물성이 우수한 사출용 장섬유 복합재료(LFT)는 90년대 중반부터 일부 기업에서 연구를 시작하였으나 IMF를 겪으면서 대부분 연구 및 생산을 중단한 상태이며 현재 한개 업체에서 독자적으로 생산하고 있는 실정이다. 또한 범용 재료를 이용한 열가소성 복합재료 sheet라 할 수 있는 GMT는 범용 열가소성이면서도 비교적 높은 기계적 강도를 보여주기 때문에 주로 자동차의 구조재 부품으로 사용되고 있다. GMT는 mat 형상의 유리섬유에 열가소성수지를 함침시킨 sheet로서 프레스에 의한 압축성형 방법으로 성형 가공된다. 현재 널리 사용되고 있는 대부분의 GMT는 유리 장섬유 mat에 폴리프로필렌(PP) 수지를 함침시킨 형태이며 한화-바스프에서 기술도입하여 생산 중에 있다. 반면 소위 장섬유 복합재료라 하는 LFT는 GMT 중간재 성형기법과 전혀 다른 용융 펄트루전(pultrusion) 기법을 사용하고 있다. 열경화성 수지에서 널리 사

표 1. 열경화성 펄트루전 및 열가소성 복합재 제조 공정 비교

	TS Pultrusion	LFT	GMT
Matrix	Thermoset (UPE, epoxy)	Thermoplastic (PP, PA)	Thermoplastic (PP)
Degree of Impregnation	very good	good	poor
Filling time	fast	fast	medium
Cycle time	long	short	medium
Tooling cost	high	low	high
Surface finish	good	medium-good	poor
Post process	profile shaping post curing	injection molding extrusion	press molding
Material advantages	high modulus	easy handling property balance	high impact

용되고 있는 pultrusion 방법은 수천개 이상의 필라멘트로 구성된 강화섬유 로빙 내부로 고점도의 열가소성 수지를 용융 함침시키는 방법으로 기술적 난이도에 있어 우위에 있는 제품군이라 할 수 있다. 열가소성 펄트루전 기법은 장섬유 펠렛 외에 prepreg tape, prepreg sheet 등의 성형기법으로도 활용할 수 있다. LFT 소재는 열경화성 펄트루전 공정에 기반을 두고 있으며 용융함침법이나 입자 함침법 등으로 열가소성 수지를 함침시키는 공정으로 이루어진다. 표 1은 열경화성수지계 펄트루전과 LFT, GMT 공정을 비교하여 보여주고 있다. 표 2는 대표적인 열가소성 장섬유 복합재 제조공정의 현황을 정리하였다.

한편, 열가소성 수지를 이용한 연속섬유 프리프레그의 제조에 있어서는 저점도의 열경화성 수지계와 달리 고점도의 열가소성 수지 특성에 의해 입자 분말을 사용하는 방법(powder

coating impregnation), 용매를 사용하는 방법(solvent impregnation), co-mingled yarn, 용융 함침법(melt impregnation) 등이 사용되고 있다. 이들 중 가장 널리 사용되고 있는 것은 분말 코팅 방법과 용융 함침법이며 전자는 주로 슈퍼 엔지니어링플라스틱(super EP)을 중심으로 적용 중에 있으며, 후자는 범용수지 및 엔지니어링 플라스틱(EP)을 중심으로 적용 중에 있다. 특히 용융 함침법은 가장 경제적인 방법이라 할 수 있으나 고분자 수지의 높은 용융점도로 인해 함침도 향상 측면에서 기술적 어려움이 존재한다.

프리프레그 형태의 열가소성 중간재의 해외 연구 동향은 super-EP(PEEK, PI, PEI, PPS 등)급의 매트릭스를 분말 함침법으로 성형한 제품이 우주 항공 등의 제한된 용도에 사용되어져 왔으며 국내에서는 90년대에 많은 회사들이 관심을 갖고 연구를 하였으나 그 당시에는 기

표 2. 열가소성 장섬유 복합재료 제조공정 현황

Contents		LFT(Pultrusion)	CPI	TAFFEN	GMT
Status	Licensors	LNP-KAWASAKI(USA) HOECHST-CELANESE(USA) CHISSO(Japan)	CPI(USA)	AZDEL(USA)	AZDEL-GE(USA) IDEMITZ(Japan) BASF(Gemany)
	Oversea	Applied for car, construction, sports, leisure	Applied for car, construction	Applied for car, construction	Applied for car, construction
	Domestic	Commercialized by SAMBARK LFT	Not introduced	Introduced by LG	Introduced by Hanwha
2'nd Molding		Injection, Compression, Compressed injection, Extrusion(Compounding)	Compression	Compression	Compression
Advantage		Possible complicated molding(rib structure) Easily light-weight Replaced steel I-beam Cost competitiveness	Replaced steel I-beam Cost competitiveness	Cost competitiveness compare as GMT	Excellent impact strength
Weakness		Needs for mold design	Impossible independent compounding	Limited light-weight Impossible I-beam Structure Weak cost position	Limited light-weight Impossible I-beam Structure Weak cost position

수력이 낮고 시장성이 불투명해 연구를 중단하였었다. 90년대에 이루어졌던 연구는 주로 고성능 열가소성수지를 중심으로 행하여졌으며 범용 열가소성수지는 관심을 끌지 못하였다. 그러나 산업이 발달함에 따라 여러 분야의 수요가 증가하면서 최근에는 유리섬유를 포함한 범용재료의 복합재료도 각광을 받고 있다. 특히 국내에서는 열가소성수지와 연속섬유를 이용한 프리프레그 제조는 전혀 이루어지고 있지 않고 있으므로 이에 대한 대비가 절실한 상황이다.

매우 높은 용융점도를 갖는 열가소성수지를 이용한 연속섬유 프리프레그 제조기술은 중간재 성형방법 및 2차 가공방법에 있어 기존의 범용 열가소성 복합재료와는 근본적으로 다른 성형기법을 사용하고 있다. 그림 1은 연속섬유 프리프레그 제조기술의 계통도를 보여주고 있다. 그림에서 장섬유 펠렛은 프리프레그의 범주에 들지않지만 중간재 성형기법이 동일하여 편

의상 프리프레그 범위에 포함하였다. 그림에서 보는 바와 같이 강화섬유 및 매트릭스는 고강성, 고강도를 충족하는 재료들로 구성되어 있으며 중간재(프리프레그) 제조방법은 크게 분말 코팅방법, 용융 함침방법 등이 주로 사용되고 있다. 2차 성형기법에 있어서도 기존 열경화성 프리프레그의 성형기법과 유사한 반면 경화단계를 거치지 않는 장점이 있다. 이상과 같이 엔지니어링 플라스틱을 도입한 열가소성 복합재료는 열경화성복합재료에 비해 비교할 수 없는 강인성(toughness)을 얻을 수 있으며 핵심 구조용 소재 분야를 대체해 가고 있다.

이상과 같은 열가소성 복합재 고속 성형 기술 개발은 건축, 토목 등의 보수/보강에 연관된 산업적 방면의 신분야를 창출할 수 있으리라 예상된다. 기존의 보수/보강은 체계화되지 못한 채 선진기술이 접목되지 못하였으나 이 기술의 개발로 인해 시공 시간을 대폭 단축시킬 뿐 아

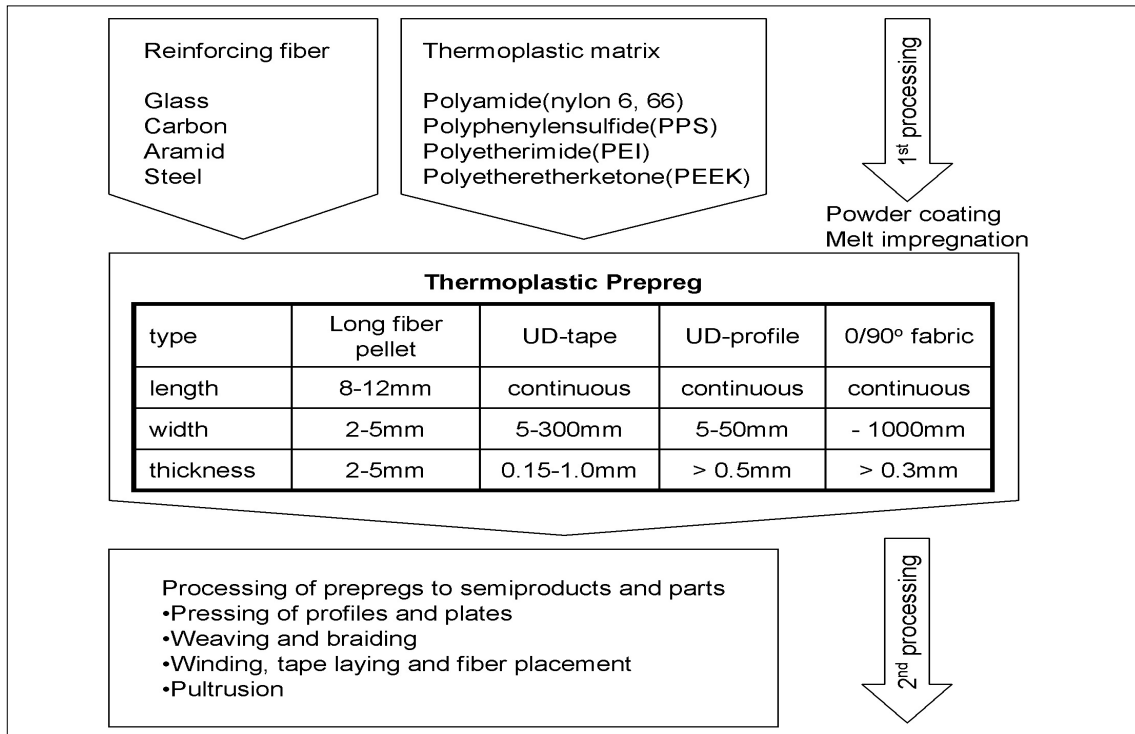


그림 1. 열가소성수지/연속섬유 프리프레그 계통도

나라 기계적 물성도 뛰어난 제품을 선보임으로써 기간산업의 발전에 큰 도움이 되리라 판단된다. 이에 따라, 자동차 및 선박용 연료전지관련 동력시스템, 개질기, 압축기 부품, 도시형 연료전지 발전소 부품, 가정용 연료전지 자가 발전소 시스템 및 온수공급 키트 등이 경제성 향상의 측면에서 복합재료로 만들어 질 것이라 예측된다. 본 연구에서는 21세기 프론티어연구사업(차세대소재성형기술개발사업단)의 일환으로 기술개발을 추진 중에 있으며 기술적 측면뿐만 아니라 경제·산업적 측면에서 절실한 요소기술인 열가소성 수지로 완전 함침된 프리프레그 중간재(tape, sheet, woven)의 성형기술과 새로운 고강도 소재의 응용 가능성에 관해 고찰하고자 한다.

2. 중간재 성형기법

열가소성수지/연속섬유 프리프레그의 성형기법은 열가소성수지의 높은 점도에 기인하여 열경화성수지계와 다른 방법이 사용되고 있다. 특히 고성능 열가소성수지가 될수록 기계적 및 열적 특성은 우수한 반면 용융온도 및 점도가

매우 높아 가공성 측면에서는 매우 불리하게 된다. 현재 super-EP 수지를 사용하는 열가소성 프리프레그는 대부분 powder coating 방법으로 제조되고 있다(그림 2참조). 그러나 powder coating 방법은 본질적으로 입자상으로 얻어지는 super-EP 수지에 있어서 유용한 방법이지만 범용 수지 및 범용 EP 수지에서는 오히려 성형비용이 증가하는 단점이 있어 용도개발에 한계가 존재한다. 반면, 용융함침 방법은 범용 수지계에서 적용되어 왔으며 함침기법의 발전과 함께 점차 EP 수지계에 적용이 시도되어지고 있다(그림 3참조). 열가소성 프리프레그 성형방법의 대표적인 두가지 공정은 서로 상반적인 관계에서 점차 영역을 확대해 가고 있으며 용도의 확대가 가능한 범용 EP/연속섬유 프리프레그 성형기법에서 경쟁하고 있는 상황이다. 즉 powder coating 방법은 super-EP 계에서 범용 EP 계로, 용융 함침방법은 범용 수지계에서 범용 EP 계로 영역을 확대하고 있으며 경제성 측면에서 두 공정의 우위가 결정될 것으로 보인다.

본 연구과제에서는 열가소성 연속섬유 프리프레그의 응용분야의 증대를 위해 경제성을 확보

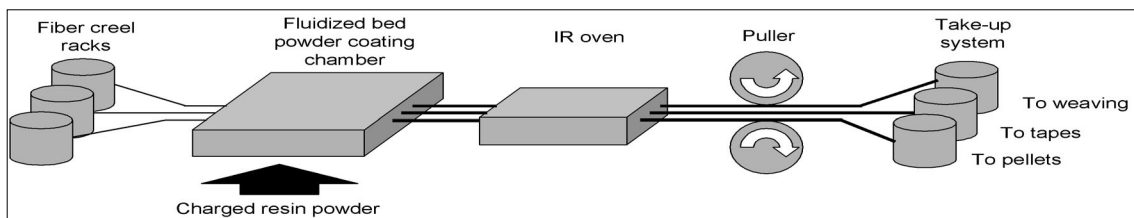


그림 2. Powder coating 방법의 개략도

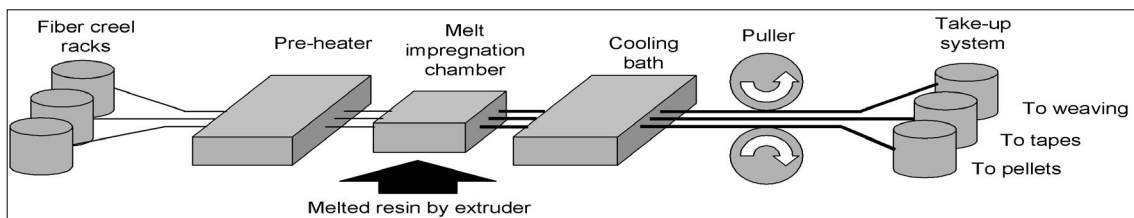


그림 3. 용융 함침(melt impregnation) 방법의 개략도

표 3. 열가소성 연속섬유 중간재 성형기법 비교

Precursor	product form	pros	cons
Commingled fibers	Tows of continuous fibers of glass or carbon intermingled with Continuous fibers of the polymer	· suitable for filament winding	· Incomplete impregnation · High material cost · Limited material combination
Prepregs (conventional)	Reinforcement fibers impregnated with a polymer matrix in the form of thin sheets	· accumulated experience	· high cost · rigid
Powder impregnated tows Fiber Impregnated thermoplastic, FIT	Continuous tows of fibers are impregnated with thermoplastic powder giving a flexible ribbon or sheet	· suitable for filament winding	· Incomplete impregnation · limited volume fraction
KIST prepregs (developmental)	Thin sheets of continuous reinforcement fibers fully impregnated with thermoplastic resin	· Low material cost · High speed · Full impregnation · High performance	None (Developmental!)

할 수 있는 용융함침방법을 사용하고 있으며 적용가능한 열가소성 수지는 PP, ABS, Polyamide(nylon 6, nylon 6,6), Polyester(PET, PBT), PC/ABS 수지 등이며, 강화섬유로는 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유 등을 도입하고 있다. 이상의 구성재료는 산업 기계, 자동차산업, 항공 우주 방산분야, 정보 전자기산업, 토목 건축분야, 의학 생체분야 등의 핵심부품에 적용가능한 저가형 프리프레그의 요소이다. 다음 표 3은 열가소성 중간재 성형기법을 비교한 것이다.

높은 용융점도를 갖는 수지를 단시간 내에 완전히 함침시키기 위해서는 별도의 함침기법이 필요하며 가장 널리 사용되고 있는 방법은 섬유 펼침을 이용한 함침 길이를 최소화 하는 것이다. 그림 4는 오목핀과 볼록핀을 사용하여 필라멘트 단위로 섬유펼침을 달성하고 수지를 함침시키는 개략도를 보여주고 있다.

고점도의 엔지니어링 플라스틱 수지를 수천 가닥이 집속된 연속섬유 내부로 함침시키기 위해 본 연구에서는 독자적인 섬유펼침 기구를

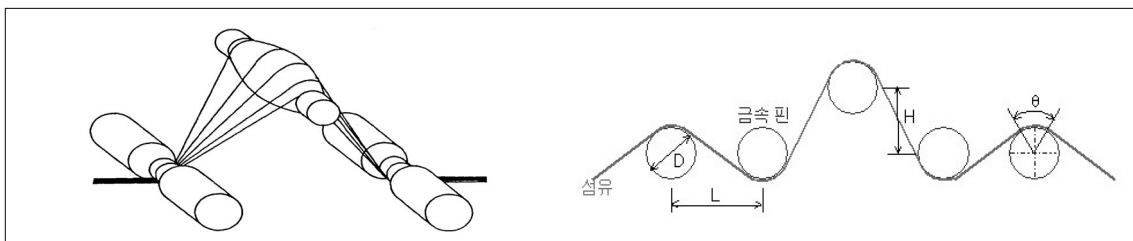


그림 4. 섬유 펼침 기구

사용한다. 즉 함침시간과 효율을 높이기 위해 수천가닥으로 되어있는 섬유 로빙을 최대한 펼쳐 전단 응력(shear stress)과 squeezing 유동을 이용해 함침시키는 방식이다. 그림 4에서 보는바와 같이 다양한 핀 조합에 의해 섬유는 펼쳐지고 다시 모이는 과정을 반복하고 핀을 통과할 때의 전단응력에 의해 원활한 함침이 이루어질 수 있다. 여기서 함침다이의 설계변수는 핀 사이의 수평거리(L), 핀 직경(D), 핀 상하거리(H), 섬유와 핀의 접촉각(θ), 핀 개수 등을 들 수 있다.

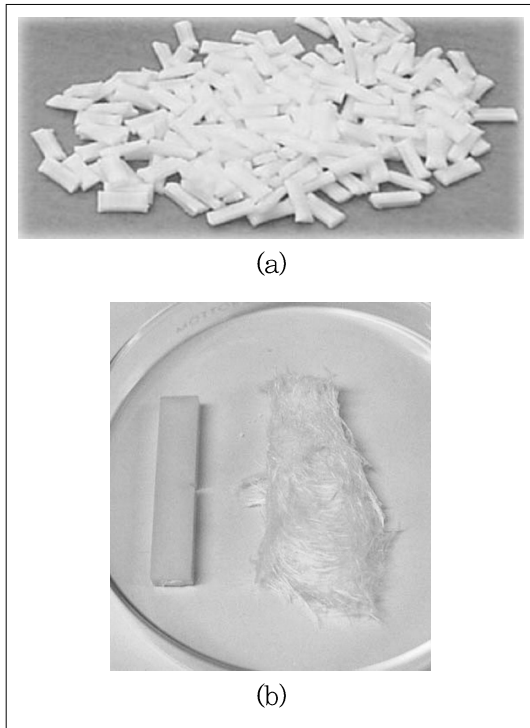


그림 5. 열가소성 장섬유 복합재

이상과 같은 함침기구에 의해 성형 가능한 중간재로는 우선, 연속섬유 스트랜드를 얻고 이를 일정 길이로 자른 장섬유 펠렛을 얻을 수 있으며 그림 5의 (a)와 같은 형상으로 얻어진다. 장섬유 펠렛은 LFT와 동일하게 사출성형이 가능하며 사출 후에도 최종 제품내에 평균 6mm 정

도의 섬유가 존재하여 3차원 네트워크 구조를 형성한다. 그림 5의 (b)는 사출성형한 ASTM 시편의 소각 후 섬유 형상을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 사출 성형 후에도 3차원 그물형상의 섬유 네트워크가 존재함을 알 수 있다.



그림 6. 열가소성/연속섬유 프리프레그 (tape, woven)

열가소성 섬유 복합재는 엄밀하게 연속섬유 스트랜드로부터 파생되는 재료이며, 섬유 필침기구를 이용하면 두께 0.15~1.0mm, 폭 5~300mm의 연속섬유 tape 형을 성형할 수 있다. 또한 프리프레그 tape를 활용하여 직조형으로 weaving 또는 braiding 할 수 있다. 직조형 프리프레그는 열경화성수지계에서 많이 사용되고 있는 중요한 프리프레그의 일종으로 열가소성수지계에서는 함침의 어려움으로 인해 woven에 직접 함침시키는 것이 아니라 프리프레그 tape을 woven형으로 직조한 것이 차이점이다. 그림 6은 열가소성 프리프레그의 일종인 tape와 woven을 보여주고 있다.

이상과 같이 용융함침 또는 분말 코팅방법에 의해 열가소성/연속섬유 프리프레그를 성형할 수 있으며 이들은 기계적 물성에 있어 가장 중요한 특성인 섬유의 길이를 무한대로 증가시킨 새로운 형태의 중간재이다. 기존의 열경화성수지계 프리프레그와 달리 2차 가공의 편의성, 높은 강인성, 재활용성, 짧은 cycle time 등의 장점을 갖고 있어 앞으로 그 응용분야가 확장될 것으로 기대되는 재료이다.

3. 2차 가공기법

열가소성/연속섬유 중간재의 2차 가공기법은 열경화성 프리프레그의 방법과 매우 다르다. 이미 함침되어 있는 열가소성 프리프레그는 추가로 고화(solidification)에 필요한 별도의 공정이 필요 없고 단지 순간적인 용융상태에서 접합을 시키는 것으로 충분하다. 열가소성 프리프레그에서 적용가능한 2차 가공방법은 fiber placement 또는 tape placement, thermoforming, pultrusion 등을 들 수 있다. Tape placement는 기존 열경화성수지계의 filament winding 방법과 유사하며 단지 경화단계를 대신하여 접합 전에 순간적인 가열에 의한 열가소성수지 용융 단

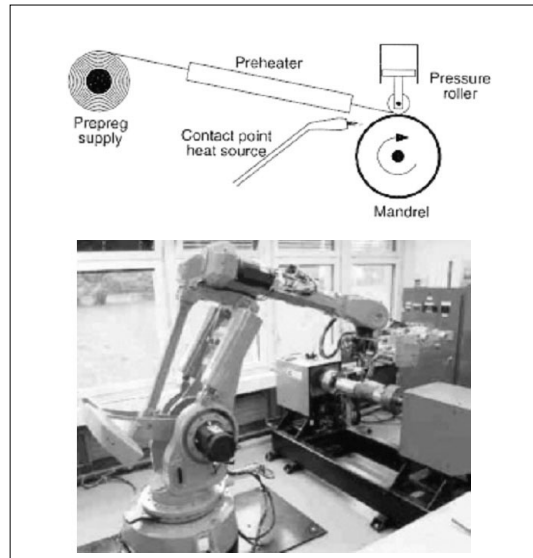


그림 7. Tape placement machine의 개략도

계가 포함된다. 그림 7에서 tape placement machine의 개략도를 보여주고 있다.

그림 7에서 보는바와 같이 맨드릴 또는 일정형상의 3차원 금형에 열가소성 프리프레그 tape를 층간 접착방식으로 적층하게되며 접착면 전에 표면 용융을 위한 열원(heat source)과 압착롤(pressure roller)을 두고 있는 것이 특징이다.

Thermoforming 방법은 sheet 또는 직조형의 프리프레그를 미리 가열한 후 일정형상의 금형에 주입하고 가압 성형하는 방식으로 보다 경제적인 방법이라 할 수 있다. 여기에서 오목 또는 볼록한 형상의 구조물을 성형하기 위해서는 보다 정밀한 중간재의 성형 및 제어가 필요하지만 전체적인 성형시간은 매우 단축할 수 있는 효과적인 방법이라 할 수 있다. 또한 연속작업을 위한 고속 thermoforming 기법도 개발되어 사용되고 있으며 그림 8에 개략도를 보여주고 있다.

펄트루전 방법은 열경화성수지 뿐만 아니라 열가소성 중간재 성형기법으로도 가능한 방법이지만 열가소성 중간재의 2차 성형기법으로도

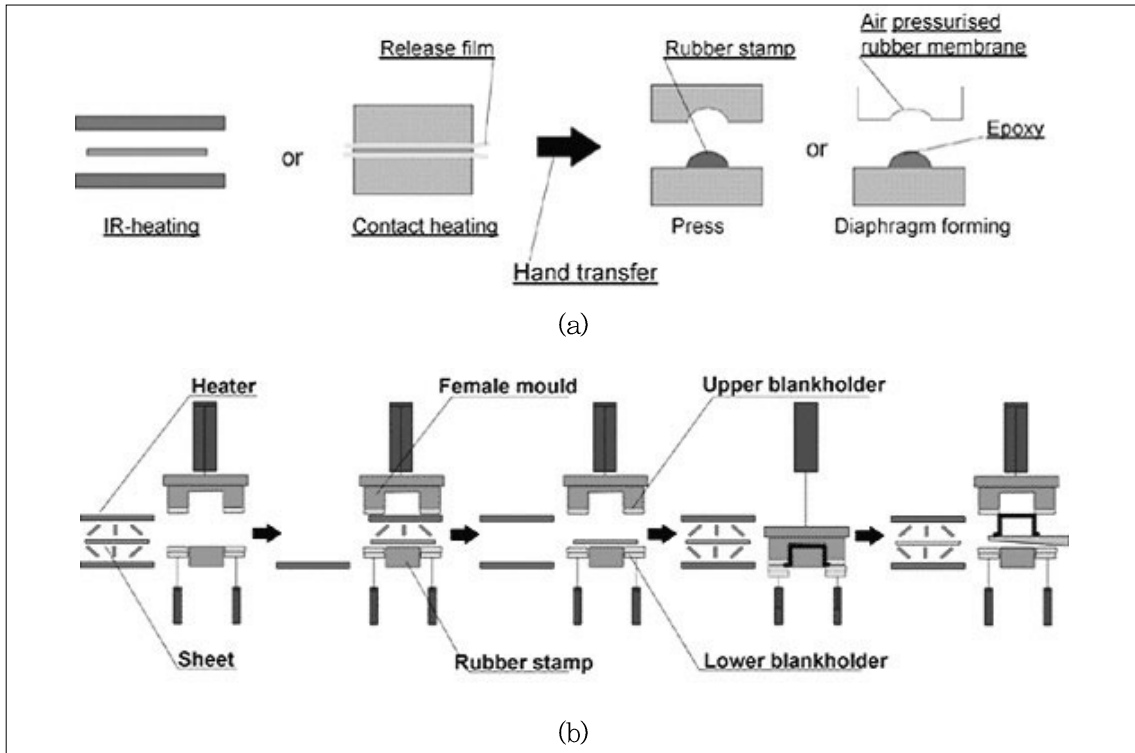


그림 8. 열가소성 프리프레그 2차 성형기법 (a) simple forming, (b) high speed forming

활용가능하다. 즉 열가소성/연속섬유 프리프레그를 활용하여 2차원 또는 3차원의 profile 제품을 성형할 수 있다. 그림 9는 열가소성 프리프레그의 펄트루전 개략도를 보여주고 있다.

이상과 같이 열가소성수지/연속섬유 프리프레

그의 2차 성형기법을 통해 3차원 형상의 제품을 성형할 수 있으며 경제성, 가공성 측면에서 기존 열경화성 프리프레그에 비해 비교우위에 있음을 알 수 있다.

4. 응용분야

열가소성수지/연속섬유 프리프레그는 앞절에서 설명한 바와 같이 성형기법과 구현하는 특성에 있어 열경화성수지계와 현저한 차이를 보여주고 있다. 특히 중간재 성형기법 및 2차성형기법의 발달을 바탕으로 경제성이 확보된다면 보다 많은 응용분야가 가능할 것으로 기대된다. 표 4에는 현재 적용중이거나 향후 적용 가능한 분야를 각 소재별로 정리하였다.

특히 열가소성 복합재 고속 성형 기술 개발은 건축, 토목 등의 보수/보강에 연관된 산업적 방

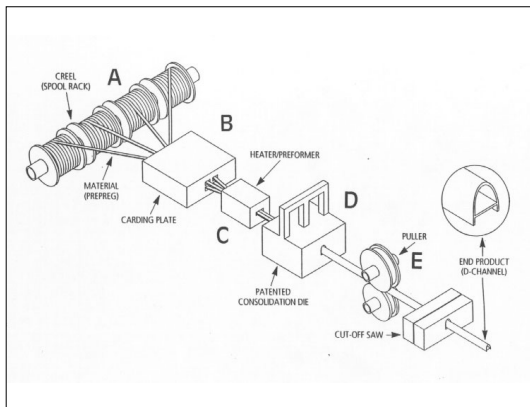


그림 9. Thermoplastic prepreg pultrusion의 개략도

표 4. 열가소성수지/ 연속섬유 프리프레그의 응용분야

Materials	Polyolefin/ short-GF	Polyolefin or EP/ long-GF	Super EP/ continuous GF	Super EP/ continous CF, Aramid
Automotive	Battery trays, fascia supports, tool boxes	Electronic covers, under protections, bumper component, heat ducts, seat back, noise suppression shields, load floors		Body panels, engine covers
Industrial	Valve housing, valve disks, chemical pump component, back pack frame	Heat exchangers, tank cover, pipe fittings, gear covers, pressure vessels, support beams and channels		Bearing, shafts and rolls electrical interconnect component high temp sleeves
Aircraft & defense	Arm rests interior panels	Seat backs, interior doors secondary structure, gear cover support structure		Electronic covers Ballistic armor, helmets, Brackets, missile fins, wing structure, jet engine mponent, skin panels, primary structure
target	Wood laminate Replacement	Steel replacement		Customer orientated very high reliability

면의 신분야를 창출할 수 있으리라 예상된다. 기존의 보수/보강은 체계화되지 못한 채 선진기술이 접목되지 못하였으나 이 기술의 개발로 인해 시공 시간을 대폭 단축시킬 뿐 아니라 기계적물성도 뛰어난 제품을 선보임으로써 기간산업의 발전에 큰 도움이 되리라 판단된다. 2004년경에는 약 20만대의 연료전지 자동차가 양산, 2005년께 세계 발전시장의 45% 점유 예고되는 등 기술체계에 있어서 대변혁이 예고되고 있다. 이에 따라, 자동차 및 선박용 연료전지관련 동력시스템, 개질기, 압축기 부품, 도시형 연료전지 발전소 부품, 가정용 연료전지 자가 발전소 시스템 및 온수공급 키트 등이 경제성 향상의 측면에서 복합재료로 만들어 질 것이라 예측된다. 고성능 3차원 고분자 복합재 제조 공정 개발로 인해 수지제어기술, 공정 모니터링기술, 프리폼 제조 기술 등의 핵심기술과 더불어 반응제어기술 등을 타 산업에 적용함으로써 산업 기계, 자동차산업, 항공 우주 방산분

야, 정보 전자기산업, 토목 건축분야, 의학 생체 분야 등의 핵심부품의 저가 생산이 가능하리라 예측된다.

5. 결 론

열가소성 중간재 제조 기술 개발은 독자적인 함침제어 기술의 확립과 함침다이 설계기술 및 공정 최적화 기술을 확보하여 선진국에서 기술 이전을 기피하는 고성능 구조재 개발을 위한 핵심기술을 얻게 될 것으로 기대된다. 본 연구에서 개발되는 열가소성수지 프리프레그를 이용한 3차원 고분자 복합재는 자동차, 건축 등 사회 기반산업에 경량화를 통한 에너지 절감과 환경친화적인 효과를 줄 뿐 아니라 차세대 고속전철의 소재로도 각광받고 있는 재료로서 고속전철 몸체의 국내 자체 생산이 가능해 질 수 있다. 교량의 보수 등 토목분야에 있어서도 이미 선진외국에서는 고분자 복합재의 수요가 증

대되고 있는 현실을 볼 때 본 연구의 결과들이 이러한 사회 기반산업에 크게 활용되는 것은 확실하리라 생각된다. 또한 2010년대에 국내에서 주력 사업으로 이끌어 나갈 인공위성사업에서도 발사체를 비롯한 여러 부품들이 고분자 복합재로 이루어져 있으므로 본 연구결과가 곧 활용이 되리라 예측되며 인공위성사업 외에도 비행기 등을 포함한 항공 우주분야에 크게 활용이 되리라 예측된다.

참 고 문 헌

- [1] J. B. Cattanach, G. Guff and F. N. Cogswell, J. Polym. Eng., 6, 1 (1986).
- [2] C. S. Temple and J. R. Matthews, US Patent 4481075, 1969.
- [3] E. M. Silverman, Polym. Compos., 8, 8 (1987).
- [4] K. P. Mcalea and G. Besio, J. Mater. Sci, Lett. 7, 141 (1988).
- [5] Teijin Ltd., US patent 4764427 (1988).
- [6] NASA USA, US patent 5205898 (1993).
- [7] Air Force USA, US patent 5236972 (1993).
- [8] Toray Ind., US patent 5543212 (1996).
- [9] G. W. Lee, J. S. Lee, H. G. Jeong, KOR Patent 300184, (2001).
- [10] J. S. Lee, H. G. Jeong, J. W. Lee, J. R. Lee, G. W. Lee, KOR Patent 343518, (2002).