We care for the future
Healthcare, Earthcare

따뜻한 프로페셔널

탄소섬유와 복합재료

2020. 06. 30.

이지컴퍼지트
EZ Composites

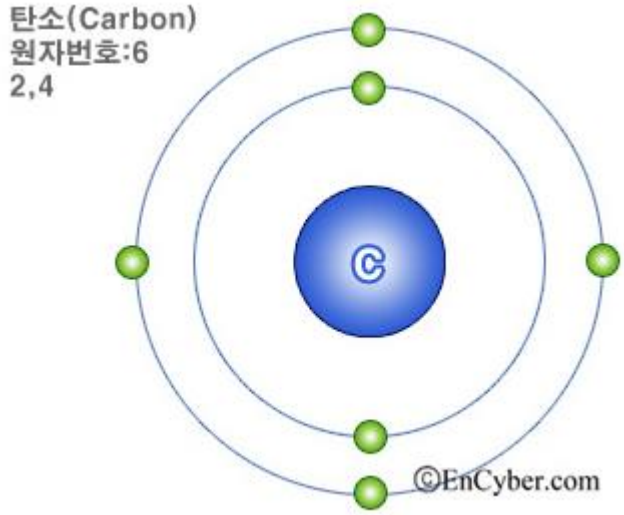
정 연 중

1. 탄소섬유 (Carbon Fiber)

탄소소재 (Carbon Material)

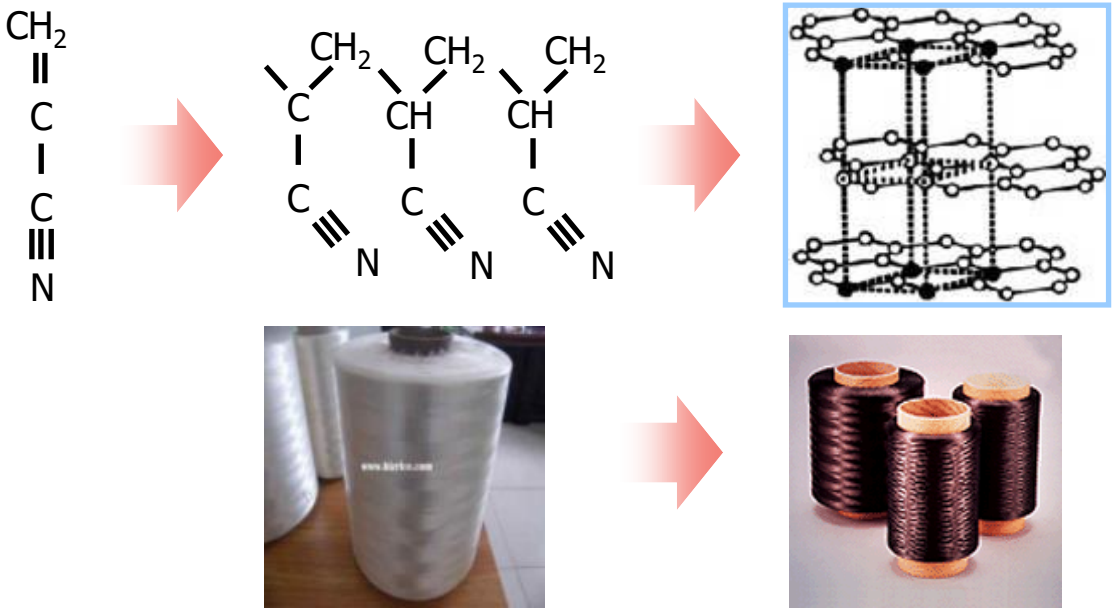
흑연			초고온 내열재로 경량(밀도1.8~2.0) 낮은 열팽창계수 높은 열전도율 온도가 증가하면 강도도 증가 내식성 자기 윤활성
탄소섬유			초경량/고강도 재료 경량(밀도1.7) 고강도(490MPa) 낮은 열팽창계수 높은 열전도율 전기전도성 내화학성 내식성
활성탄소			초비표면적 재료 경량 높은 비표면적 (1500 m2/g) 전기전도성 내화학성 내식성

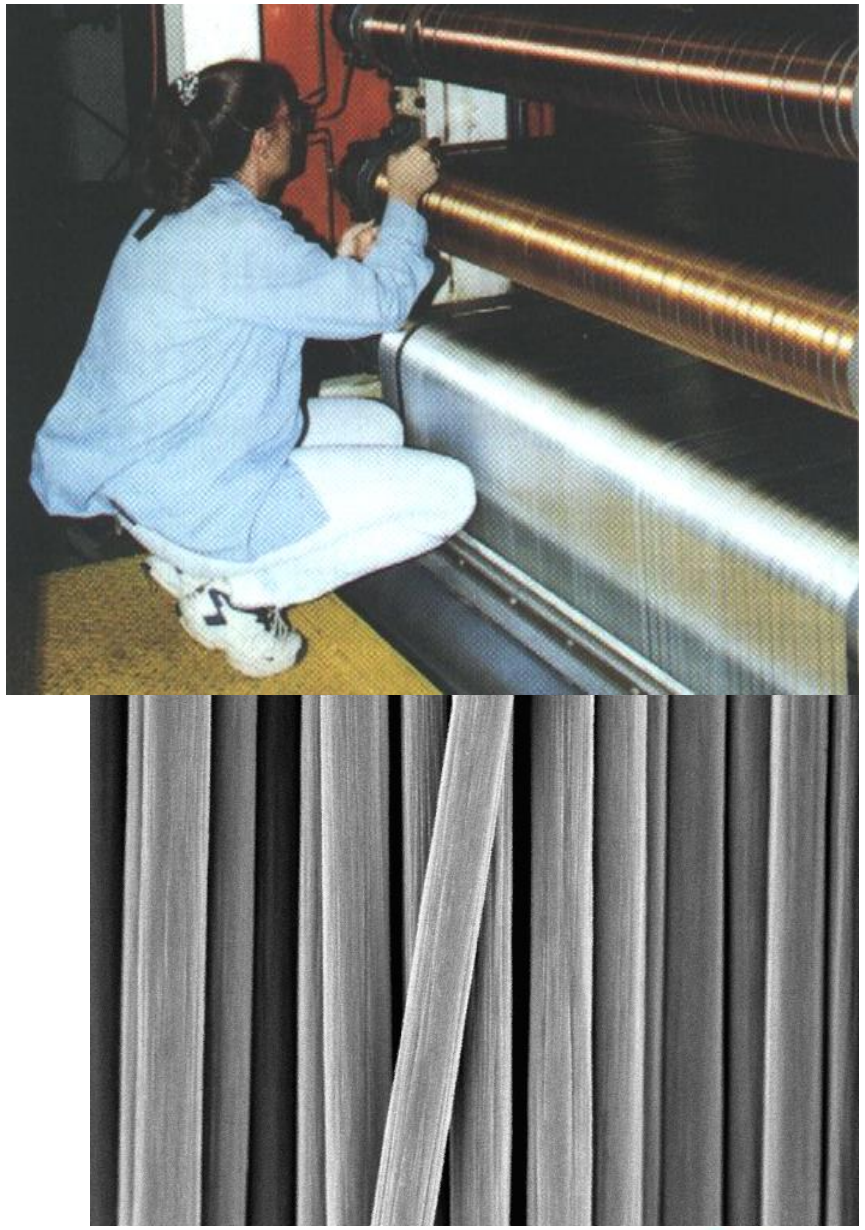
탄소나노튜브			나노소재의 꽃 경량 고강도 높은 열전도율 전기전도성 내화학성 내식성
다이아몬드			초고온 내열재로 경량 고강도 내마모성 내화학성 내식성



탄소섬유 (Carbon Fiber)

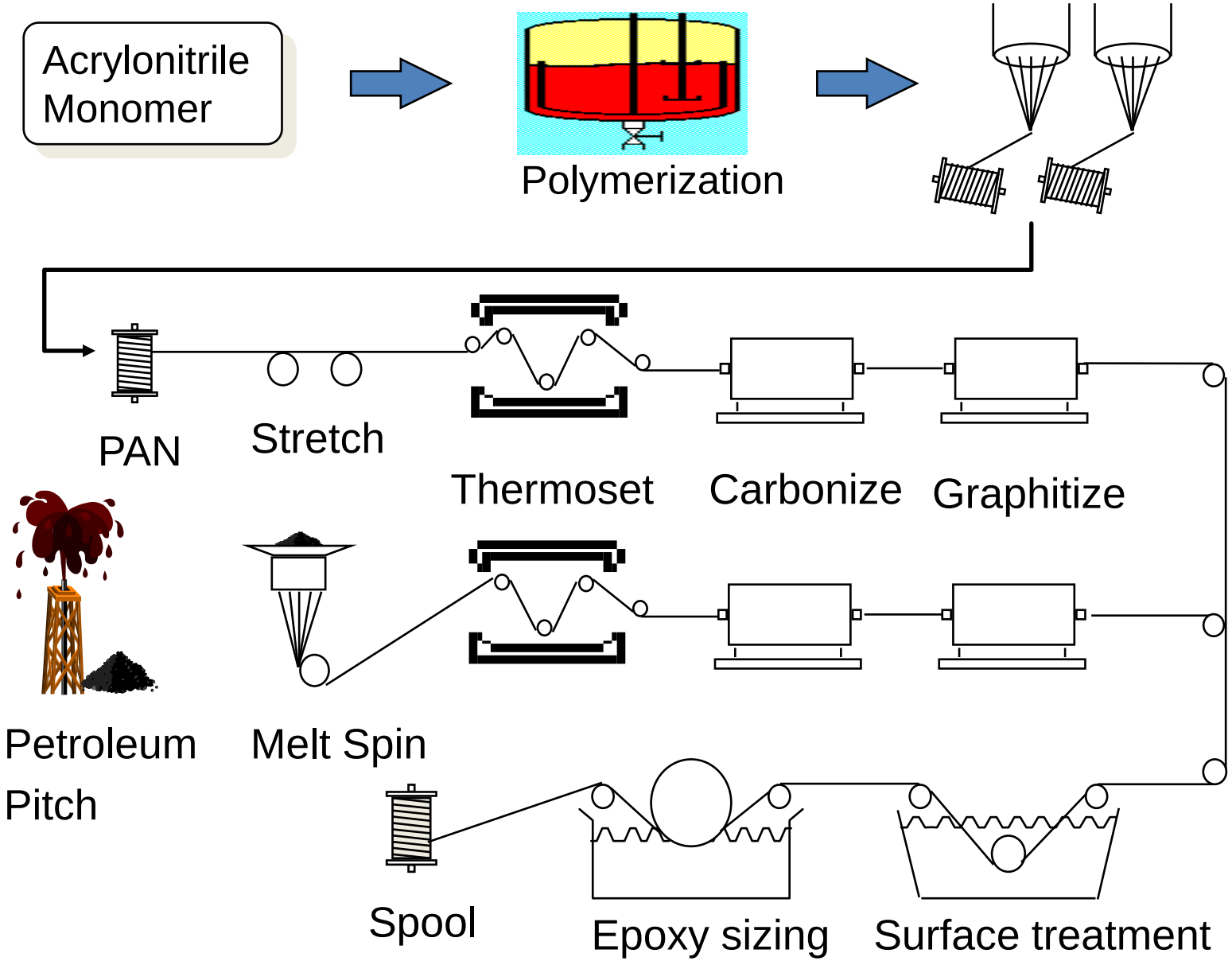
• 탄소섬유





- MRC TR50 15K 24ton
- Toray T700 12K 24ton
- SGL 50K 24ton : Large Tow
- Hexcel, Formosa, AKSA, Zolteck
- Zhongfu Shenying

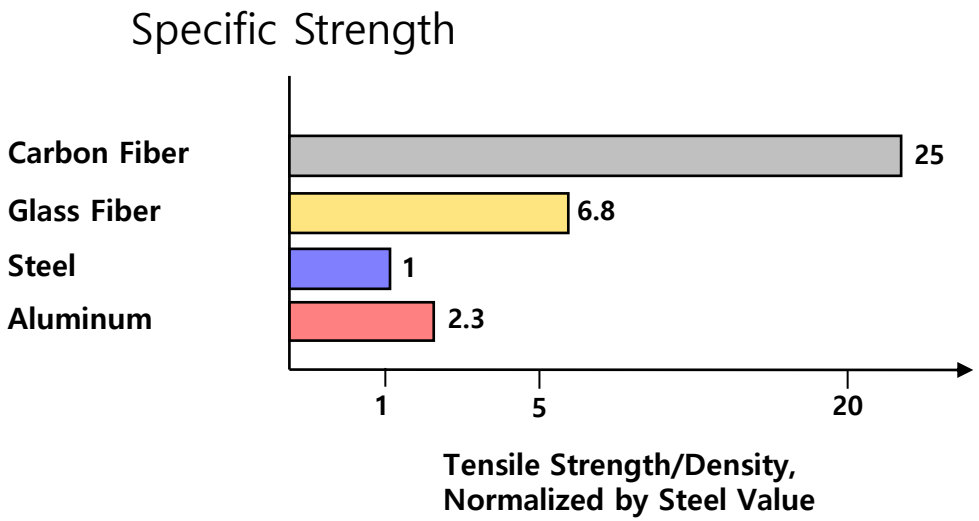
탄소섬유 (Carbon Fiber) 제조공정

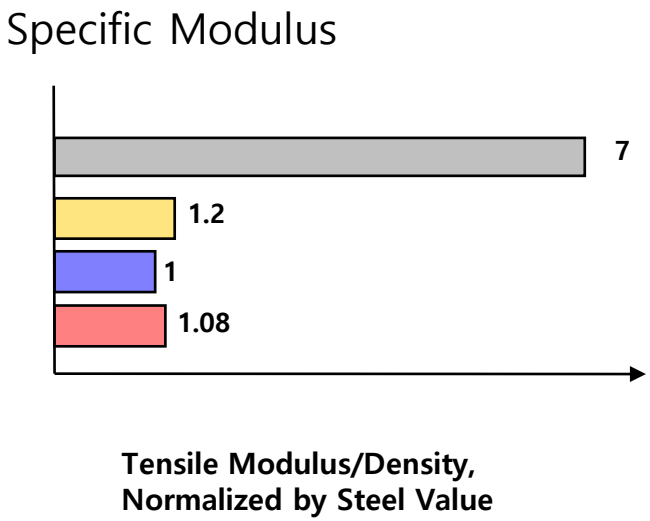


탄소섬유 특성

• **알루미늄보다 가볍고 철보다 강하다!!**

구 분	유리섬유	탄소섬유	아라미드섬유	강선	알루미늄
직경 (㎛)	6~25	**6~8**	12	-	-
밀도 (g/㎤)	2.54	**1.74~1.90**	1.45	7.9	**2.7**
인장탄성률 (GPa)	70	**230~600**	60~130	200	69
인장강도 (GPa)	1.5~2.5	**2.9~7.0**	2.8~4.0	**1**	0.3





We care for the future
Healthcare, Earthcare

2. 복합재료 (Composites)

복합재료 (Composites)

- **정의**

가. 두 가지 이상의 재료가 조합(혼합)되어 서로 다른 상(Phase)을 형성하면서 보다 유효한 기능을 발현하는 재료

나. 재료적 의미

성분이나 형태가 다른 두 종류 이상의 재료가 거시적으로 조합

→ 각 재료의 장점을 취하고 단점을 보완 / 두 재료간 상승효과(Synergy Effect)

다. 구성

보강재 (Reinforcement material) 와 기지재 (matrix) 로 나누어지며,

일반적으로 복합재료라 하면, 섬유 및 입자상의 보강재와 플라스틱 기지재(모재)가 합쳐진 재료를 말함

※ 구성 재료가 미시적으로 조합되어 거시적으로 균질성을 갖는 경우는 복합재료라 하지 않음

예: 합금재료

청동 : 구리 + 주석

황동 : 구리 + 아연

탄소강 : 철 + 탄소

생활 속의 복합재료 (Composites)

■ 제비집

- 지푸라기로 기초 틀을 세운 후에
  점성이 있는 진흙으로 공간을 채워서 견고한 집을 완성
- 보강재 : 지푸라기, 기지재 : 진흙

■ 철근 콘크리트

- 철근 : 인장력을 부담
- 시멘트 : 압축력을 부담

인용: 포항공대 한경섭 교수 "Composite Material"

복합재료 (Composites)의 분류

- **재료에 따른 분류**
  - 보강섬유 : Glass, Carbon, Aramid, Boron, Aluminum, Natural Fiber 등
  - 기지재
    - Plastic
      - 열경화성 수지 (Thermoset)
        : 에폭시, 불포화폴리에스터, 비닐에스터, 페놀, 폴리이미드
      - 열가소성 수지 (Thermoplastic)
        : Nylon, PET, PBT, POM, PAI, PEEK, PPS 등
    - Metal
    - 세라믹 : 실리콘계 세라믹, 알루미늄계 세라믹, 탄소 (C)

※ 보강섬유와 기지재의 종류에 따라 다양한 복합재료 구성이 가능함

우리가 대상으로 하는 복합재료 : 탄소섬유강화 복합재료
(Carbon Fiber Reinforced Plastic)

섬유강화 복합재료 (Fiber Reinforced Composite)

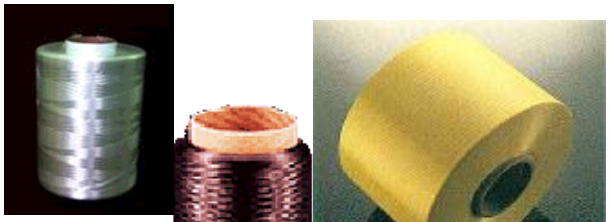
보강재 (Reinforcement)	기지재료 (Matrix)	복합재료 (Composite)

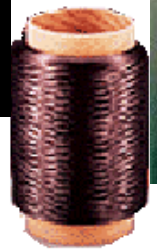
보강재
- 하중을 주로 지탱
- 용도별로 Fiber 선택

보강재의 형태
- 연속섬유(UD, Textile)
- 단섬유, 입자

기지 재료
- 등방성
- 보강재 간 응력전달
- 보강재 보호

복합재료
- 이방성 (Anisotropic)
- 높은 비강도 및 비강성
- 내부식성
- 맞춤성 (Tailor-ability)
- 다양한 유효 물성 구현 가능

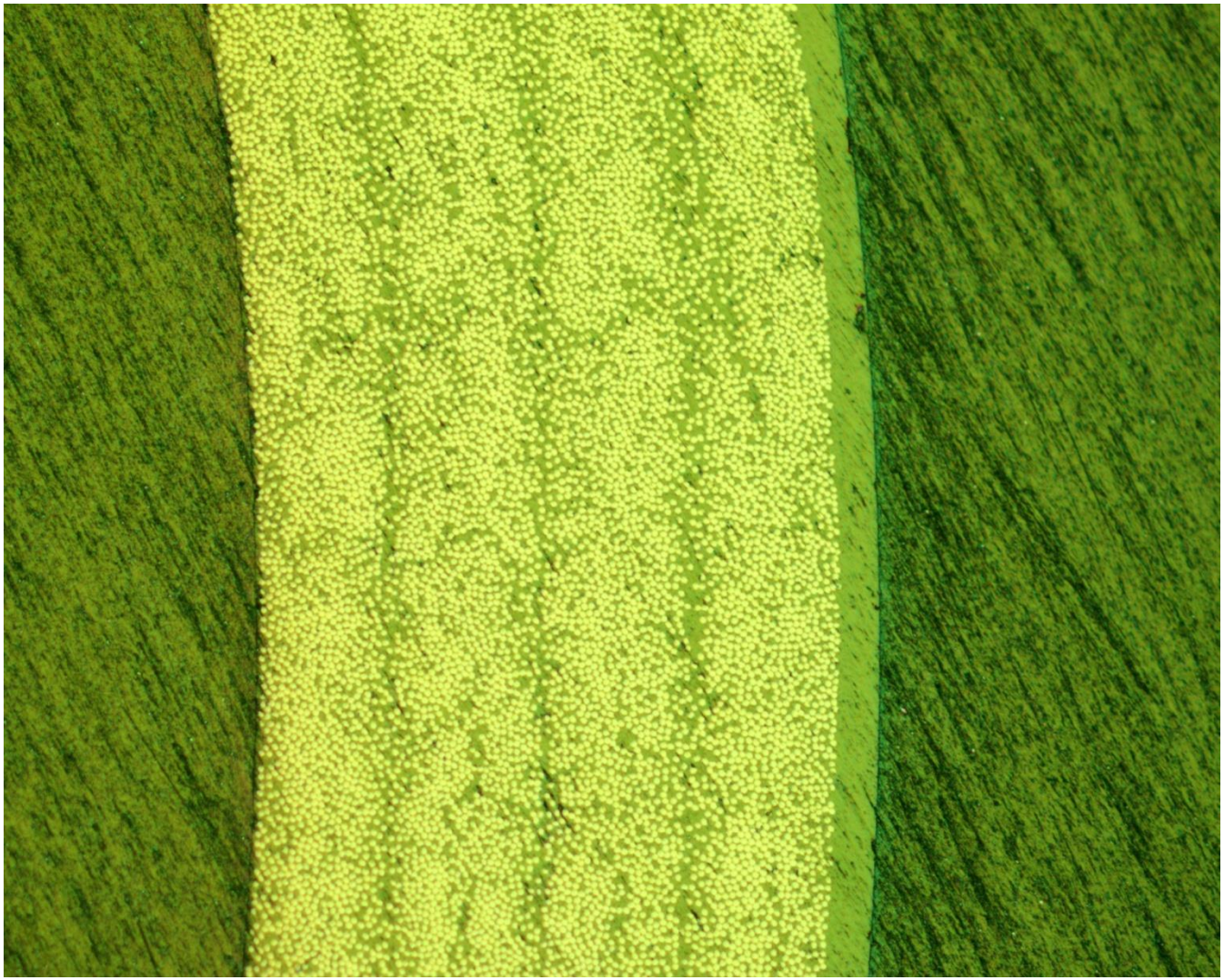

Glass


Carbon

Aramid

Polymer

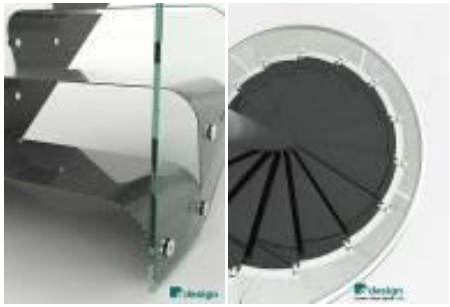
탄소섬유강화 복합재료 (Carbon Fiber Reinforced Composite)



Application

Sports / Leisure

토목 / 건축



산업용

We care for the future
thcare,
Earthcare

Application

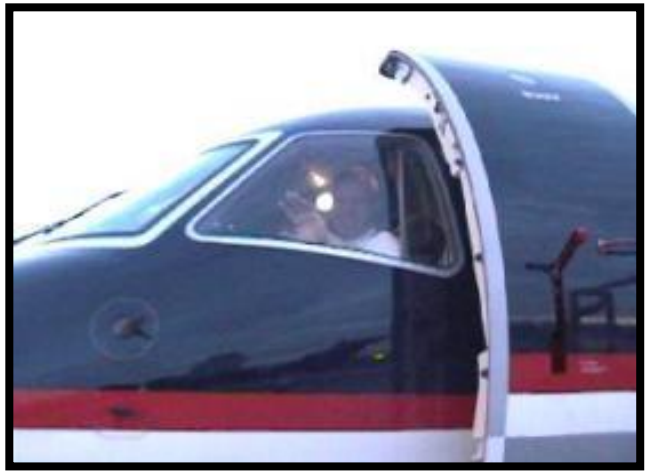
자동차

항공 / 우주

방위산업 外

탄소섬유강화 복합재료 특성

- **장점**
  - 경량화 : 높은 비강도, 비강성
  - 물성 설계의 가능성 : 하중방향으로 강도 및 강도 설계 가능
  - 재료의 생명 연장 : 부식에 강한 특성
  - 복잡한 형상의 제품 성형가능 : 부품수 감소



※ 비행기 도어

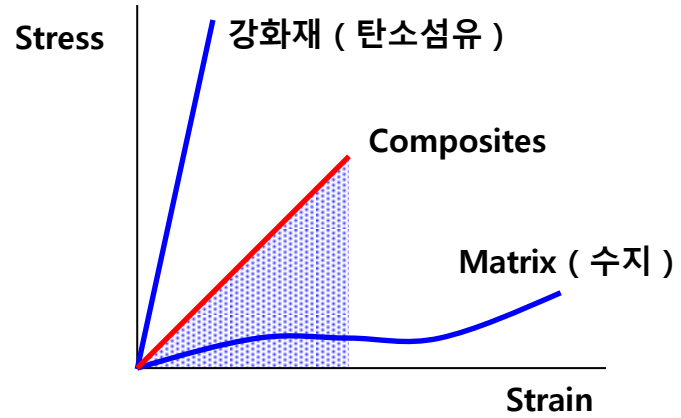
- 경량
- 복잡한 형상 제조 가능

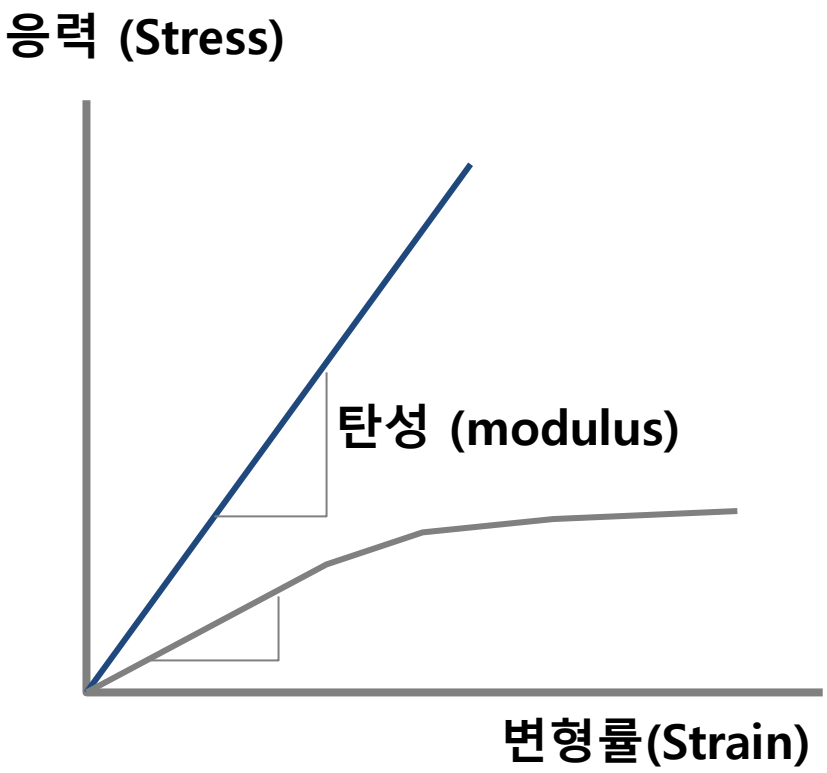
  금속 72개 부품 → 복합재료 3개 부품

- **단점**
  - 고가의 자재 : 높은 가격의 섬유
  - 성형비용이 매우 높음
  - 재료간 열팽창계수 차이에 의한 열응력 존재
  - 기지재 물성의 한계 : 낮은 인성과 내열도
  - 접착의 어려움
  - 수학적 해석의 어려움 : 유한요소 예측과 실측값 간 차

복합재료 기계적 물성

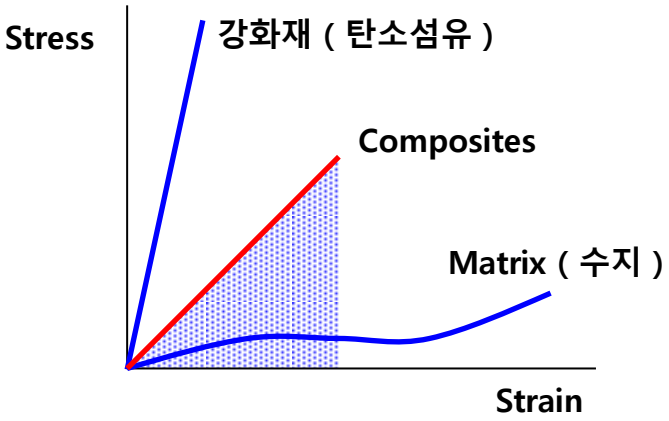
- 탄성이란 ?
- 강도와 탄성 중 어떤 것이 더 중요 ?

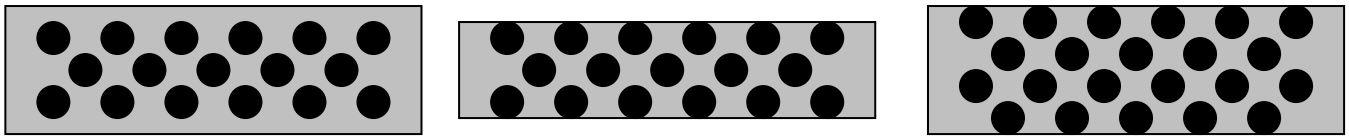




- 응력 (Stress) = 힘 (Load) / 시편단면적
- 변형률 (Strain) = 늘어난 길이 / 본래 길이
- 강도 (Strength) = Max. Load / 시편 단면적
- Elongation = Max. Load시 변형률
- 탄성 (Modulus) = 응력 / 변형률 (접선 기울기)

복합재료 기계적 물성



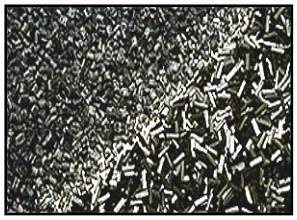


	USN 125A (수지함량 36%)	USN 125E (수지함량 25%)	USN 150E (수지함량 25%)
V_f (%)	53.1	67.8	67.8
Wt (g/M^2)	195	167	200
Thick.(mm)	0.128	0.103	0.125
강도 (kgf/mm^2)	245 (265)	310 (339)	310 (339)
탄성 (Ton/mm^2)	11.6 (12.7)	14.9 (16.3)	14.9 (16.3)

3. 복합재료 성형공법 : Direct

Composite 성형 공법

- **탄소복합재는 한번의 성형으로 최종제품을 제조하거나,**
  먼저 프리프레그(Prepreg)와 같은 중간재를 만든 후 2차 성형을 통해 최종제품을 제조함



Chopped

Fabric

Roving

한번의 공정으로
복합재 성형

Hand Lay-up
RTM
Pultrusion
Filament Winding
Resin Infusion

+ Resin

Composites

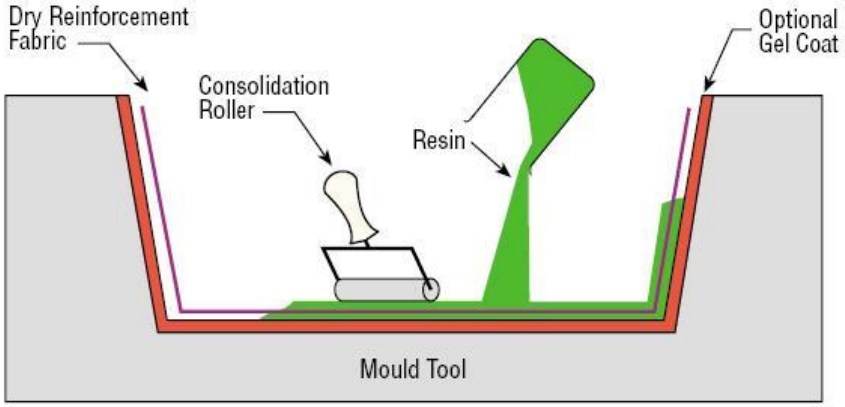
+ Resin

중간재 제조

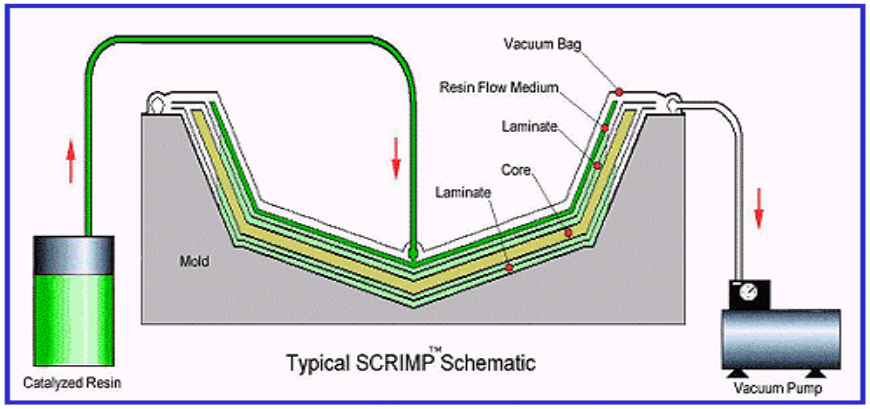
Prepreg
SMC/BMC
GMT
Compound
LFT

Rolling, Lay-Up, 사출,
Compression

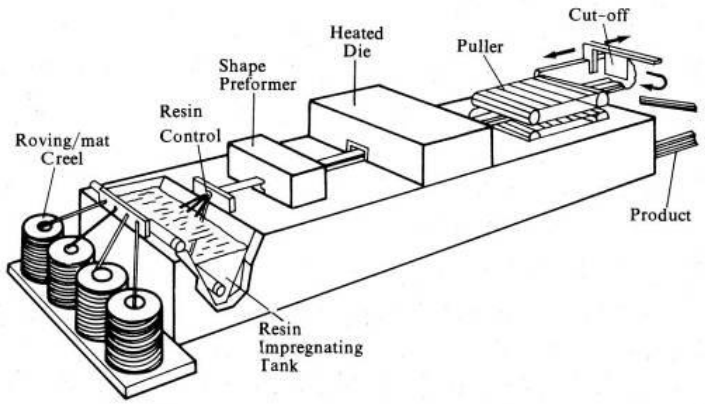
Composite 성형 공법 : Direct



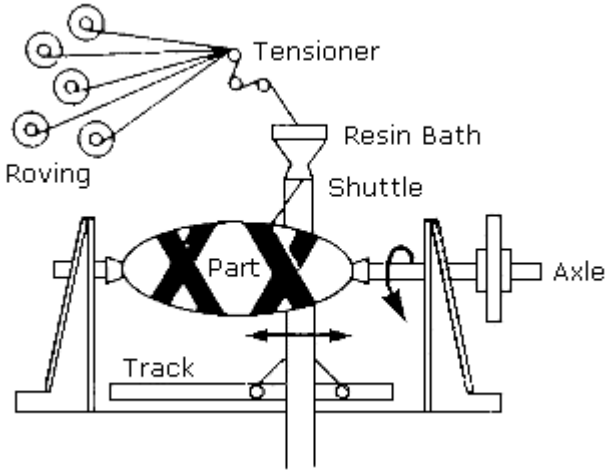
- **Hand Lay-up**



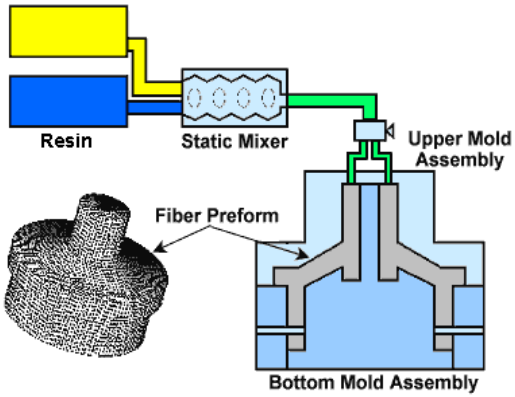
- **Resin Infusion (RI)**



- **Pultrusion**



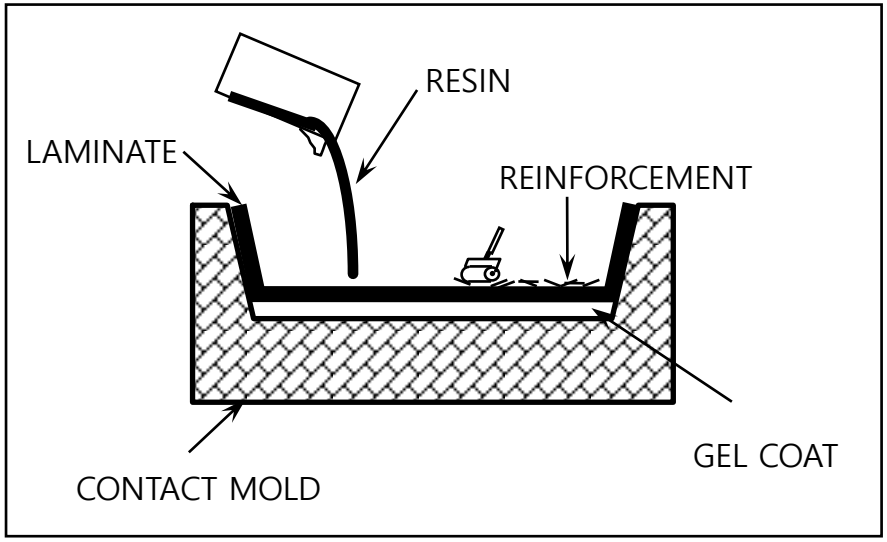
- **Filament Winding**



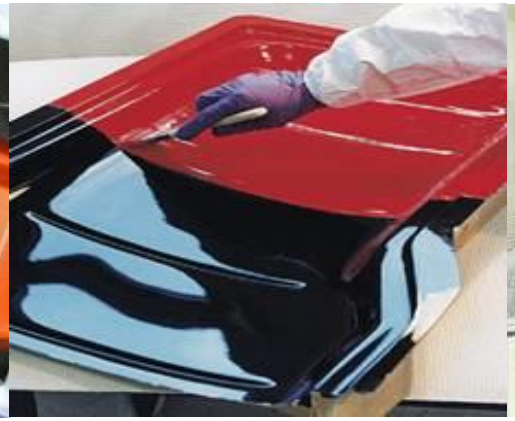
- **Resin Transfer Molding (RTM)**

Hand Lay-up

- **Unsaturated Polyester, Vinyl Ester, Epoxy Resin**
- **상온 경화, 저~중점도 수지**
- **적절한 흐름성 유지, 충분한 가사시간 확보 필요, 표면 Gel Coat 적용 (선택)**



- 간단하고 수량이 적은 제품에 많이 응용
- 섬유는 주로 직물이나 Felt 형태로 사용됨
- 보트 외판, 작은 수영장, 욕조 등
- 쉽게 다룰 수 있는 공법이나 기포제거, 섬유함량 최적화 등의 문제가 있음



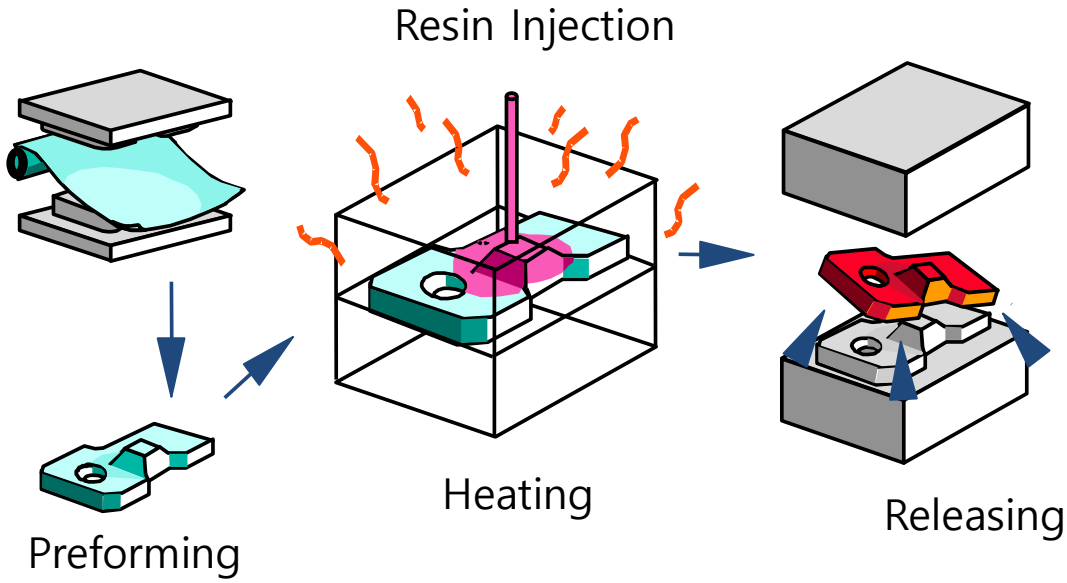
Resin Transfer Molding (RTM)

- **Urethane, Unsaturated Polyester, Epoxy Resin**
- **열경화가 일반적, 속경화 Trend**
- **Fiber Wetting 성능향상을 위한 첨가제 사용**

- Dry fiber Pre-foam 을 금형내 insert 후 Resin 주입하여 성형.

  ➔ **Prepreg 적층법 대비 간소화 / 자동화 용이**

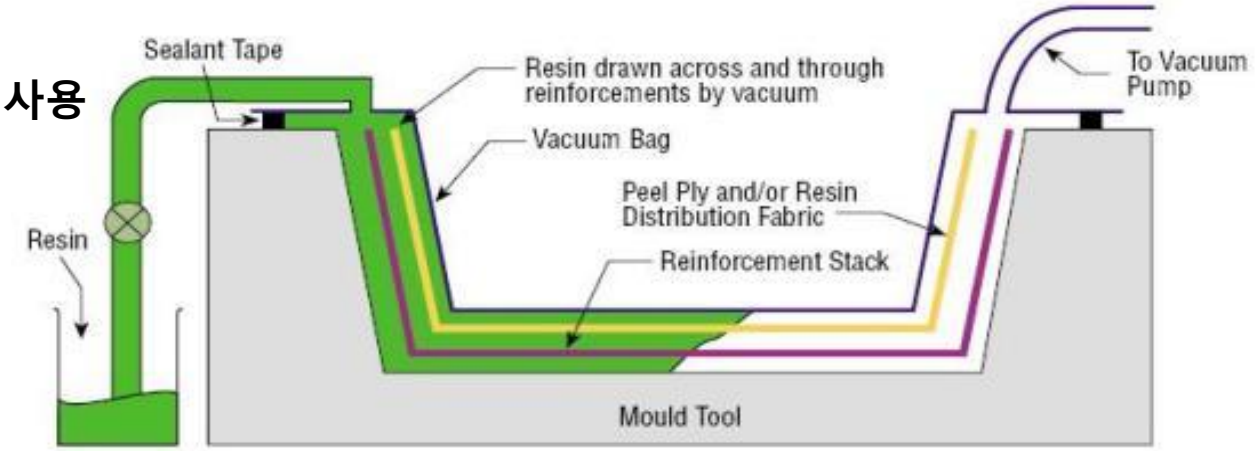
- 표면이 넓고 복잡한 형상 제품 제작에 유리
- 차량 부품, 캐비닛, 의자 등

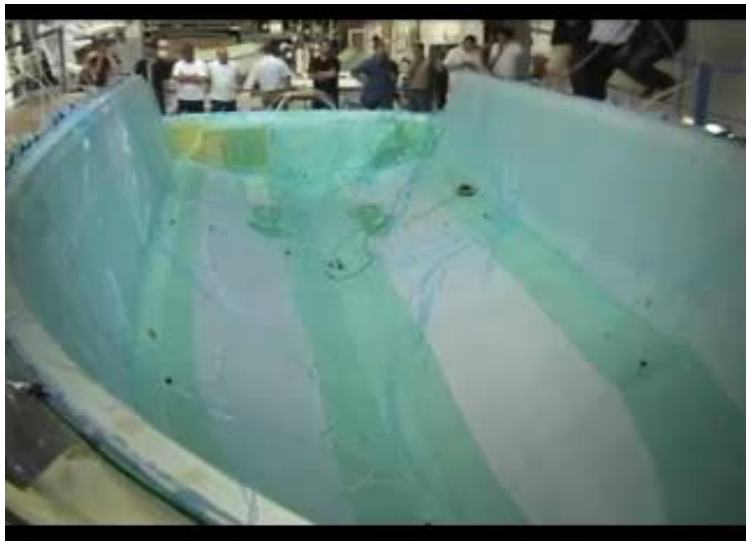


Ferrari's 2007 formula 1 car -Carbon fiber and honeycomb composite structure

Resin Infusion

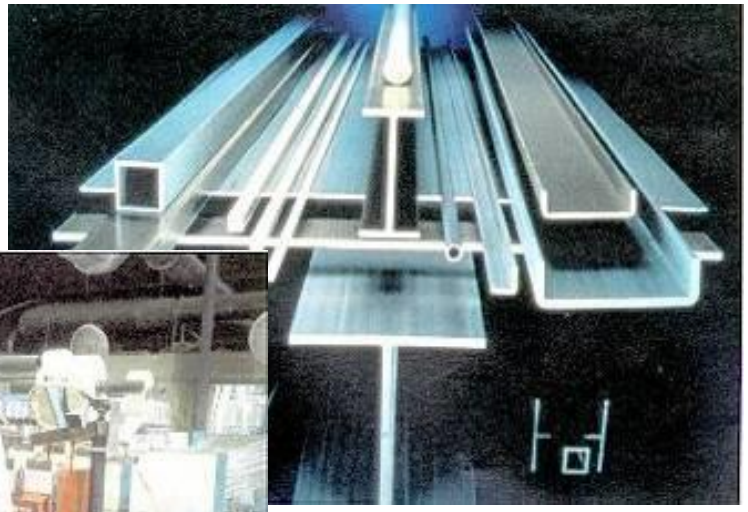
- **Unsaturated Polyester, Vinyl Ester, Epoxy Resin**
- **상온경화가 일반적이나, 생산성 향상을 위해 열경화 하기도 함.**
- **저점도 특성이 Key**
- **Fiber Wetting 성능향상을 위한 첨가제 사용**
  - 섬유는 주로 직물형태로 사용됨
  - RTM 과 유사하지만 정밀도 낮음
  - 대형 구조물 제작에 유리
  - 풍력 블레이드 등



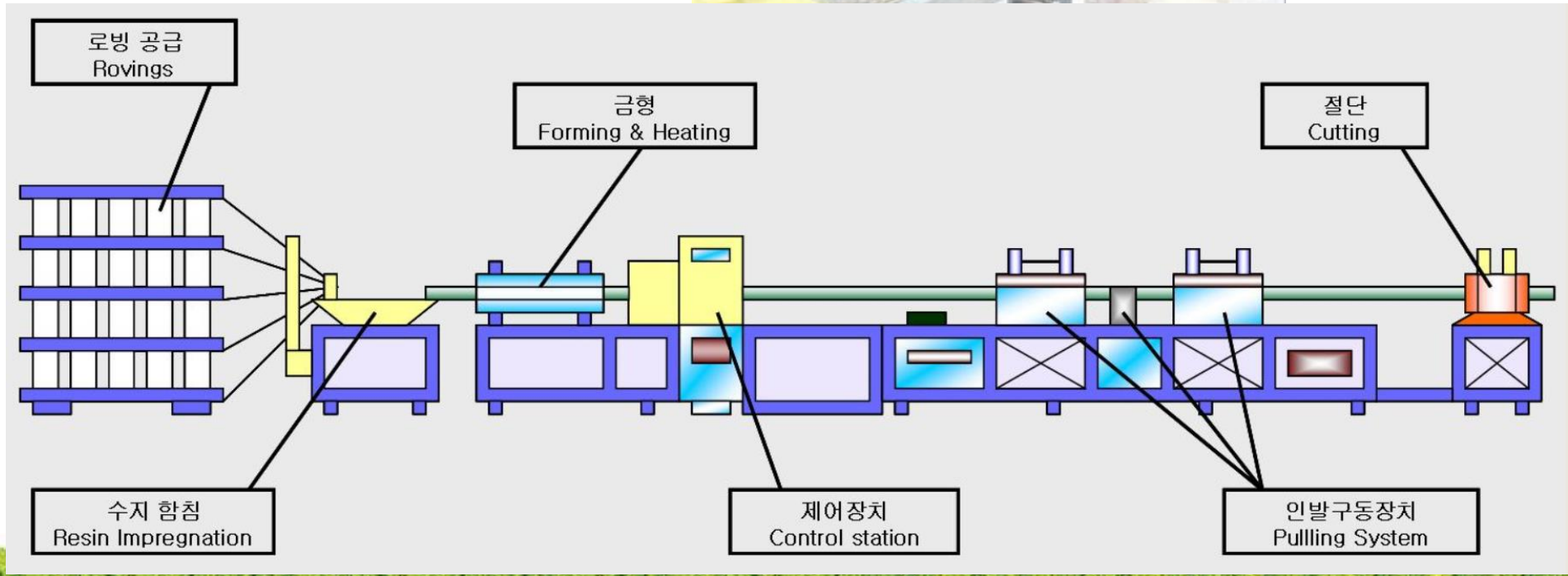


Pultrusion (인발성형)

- **Unsaturated Polyester, Vinyl Ester, Epoxy Resin**
- **열경화, 속경화**
- **원활한 제품 배출을 위한 내부이형제 적용**



- 일정한 단면을 가지는 긴 제품 제조
- 대량 생산에 유리
- 파이프, 빔 구조물

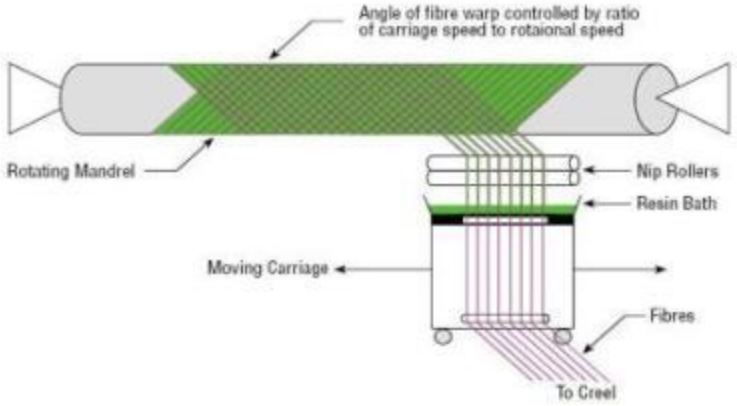


Filament Winding

- **Epoxy가 주로 사용됨**
- **상온경화, 열경화 모두 적용**
- **보다 정밀한 제어를 위해 Tow 형 Prepreg 사용하기도 함**

✓ 연속섬유에 수지를 함침시켜 원통형상의 회전하는 금형(Mandrel)에 돌려 감은 후 경화.

✓ 파이프 및 압력용기 등 단면이 원형인 부품, 구조물을 제조하는데 적합한 공정

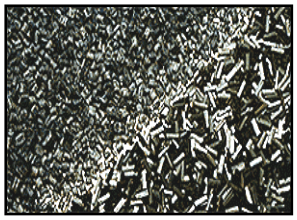


- 실린더 혹은 구형의 압력용기류 제작
- 조선해양용 파이프
- 압력 용기

4. 탄소복합재료 성형 중간재 : 프리프레그

Composite 성형 공법

- **탄소복합재는 한번의 성형으로 최종제품을 제조하거나,**
  먼저 프리프레그(Prepreg)와 같은 중간재를 만든 후 2차 성형을 통해 최종제품을 제조함



Chopped

Fabric

Roving

한번의 공정으로
복합재 성형

Hand Lay-up
RTM
Pultrusion
Filament Winding
Resin Infusion

+ Resin

Composites

+ Resin

중간재 제조

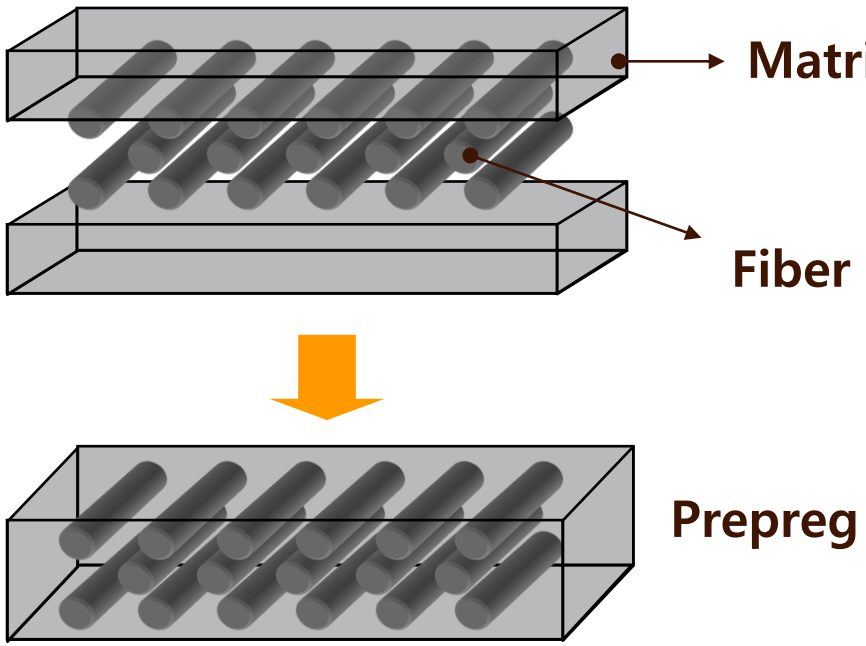
Prepreg
SMC/BMC
GMT
Compound
LFT

Rolling, Lay-Up, 사출,
Compression

Prepreg 개요

- 프리프레그(Prepreg)는 Pre-impregnated Material의 약어이며, 강화섬유 (Reinforced Fiber)를 결합재 (Matrix Resin)에 미리 함침시킨 Sheet 형태의 제품으로, 복합재료 성형을 위한 중간재료임

• Prepreg = Pre + Impregnated Material



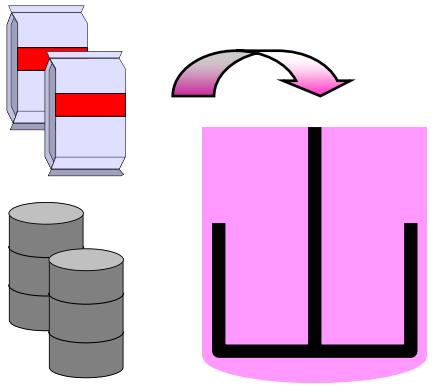
- Reinforcement Fiber의 종류
  - Carbon, Glass, Aramid, Natural Fiber
- Matrix Resin의 종류
  - 열경화성 (Thermoset Resin)
  : Epoxy, Unsaturated Polyester, Phenolic Vinylester, Polyimide, Cyanate Ester BMI
  - 열가소성 (Thermoplastic Resin)
  : PP, PA, PET, PBT, PPS, PEEK HDPE, POM, PC, PMMA, ABS

탄소섬유 프리프레그

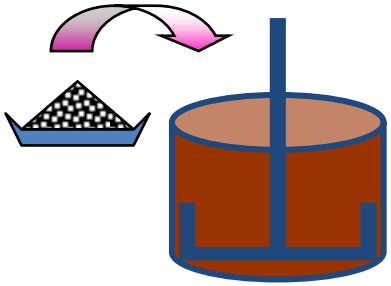
- 열경화성 탄소섬유 프리프레그 : 에폭시 레진
  - 일방향 탄소섬유 프리프레그 : Uni-Directional Carbon Prepreg
  - 스크림 보강 일방향 탄소섬유 프리프레그 : Uni-Directional Carbon Prepreg with Glass Scrim
  - 직물형 탄소섬유 프리프레그 : Carbon Woven Prepreg
  - 기타 : Tape Prepreg, Yarn Prepreg
  - 제품 규격 범위
    - 탄소섬유 중량 (FAW : Fiber Areal Weight) : 20 ~ 300 g/m2
    - 레진 함량 (RC : Resin Content) : 20 ~ 45 %
    - 탄소섬유 Modulus : 24 ~ 80 ton/mm2

- 열가소성 탄소섬유 프리프레그
  - 열경화성 프리프레그와 동일한 형태로 제작 가능
  - 일반적으로 적용되는 수지의 종류 : PP, 나일론, 우레탄, PEEK 등

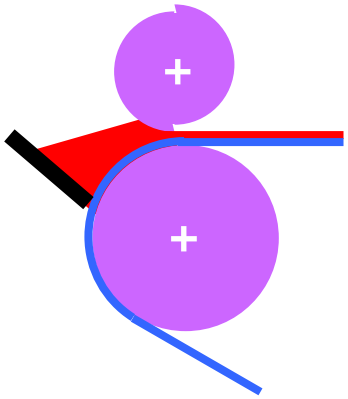
열경화성 Prepreg의 제조공정 : Hot Melt Process

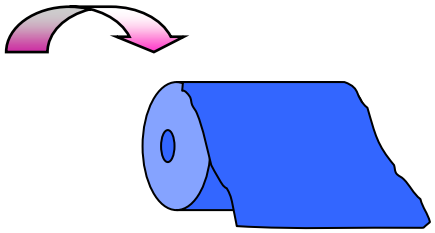


● 가열에 의한
에폭시원료 교반



● 경화제 교반

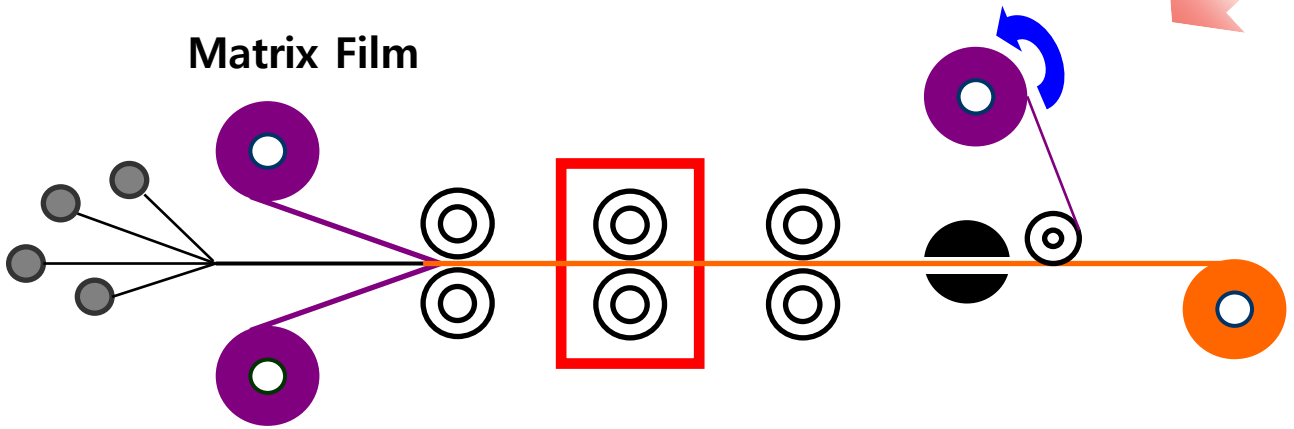


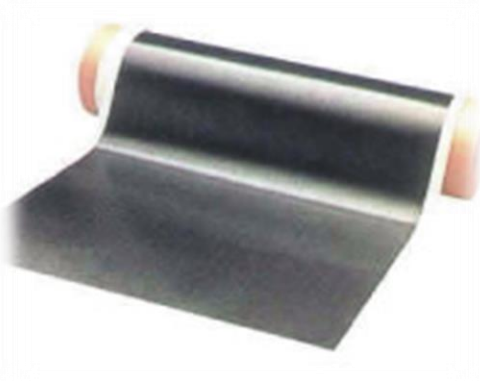


Matrix Film
(수지필름)

● 이형지에 수지 코팅

탄소섬유





Prepreg

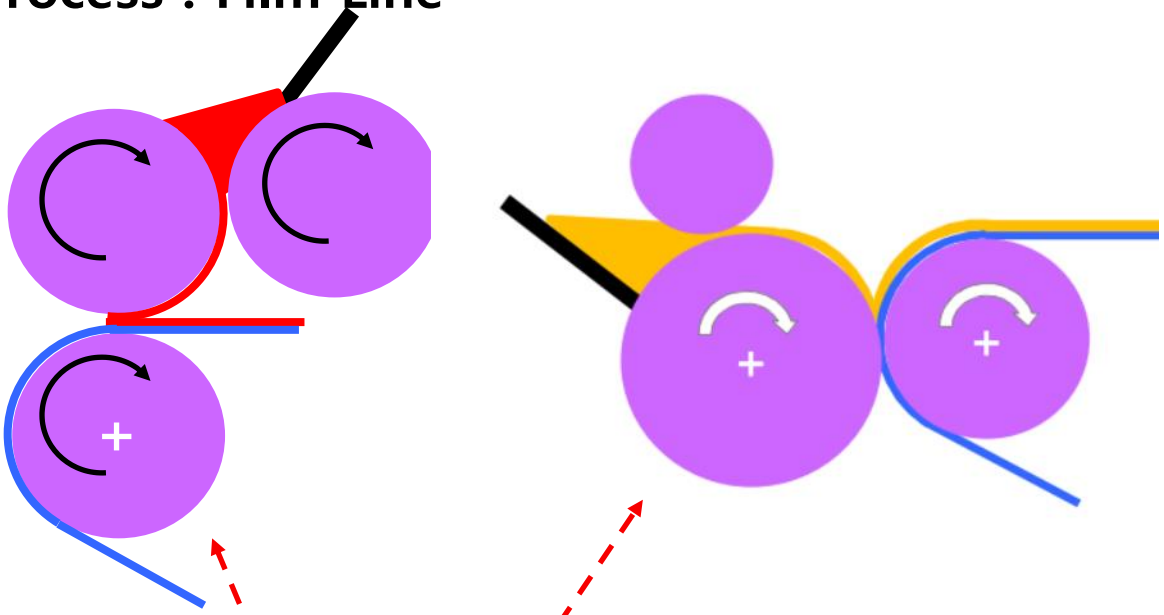
● Impregnation Process (함침공정)

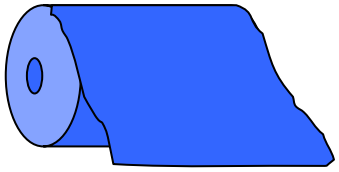
We care for the future
Healthcare, Earthcare

Prepreg의 제조공정 : Hot Melt Process

Coating Process : Film Line

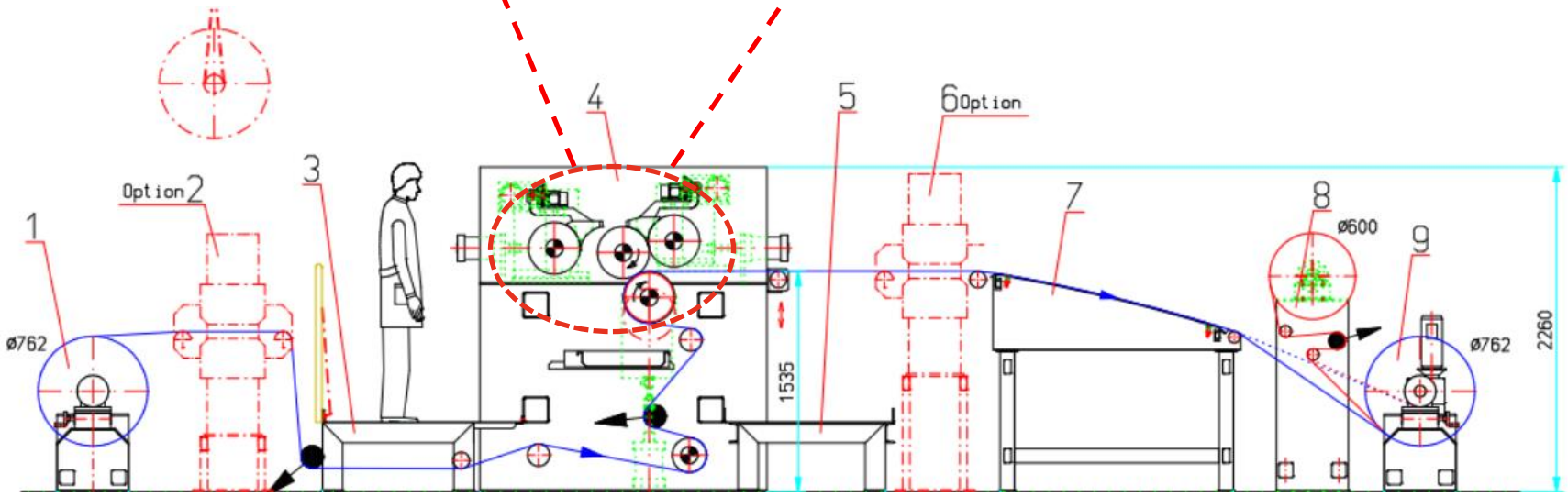
Coating Head





Matrix Film

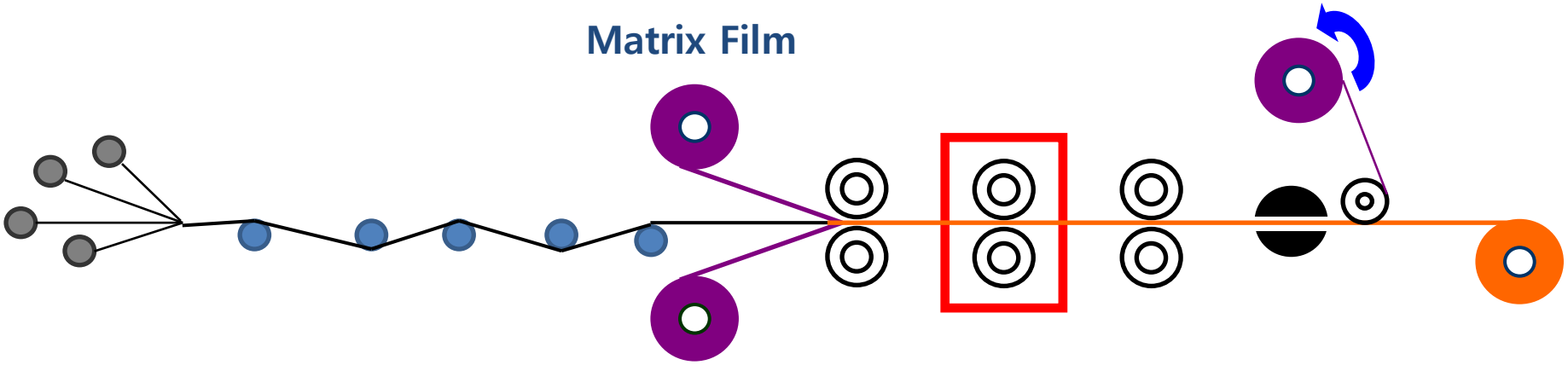
레진 필름

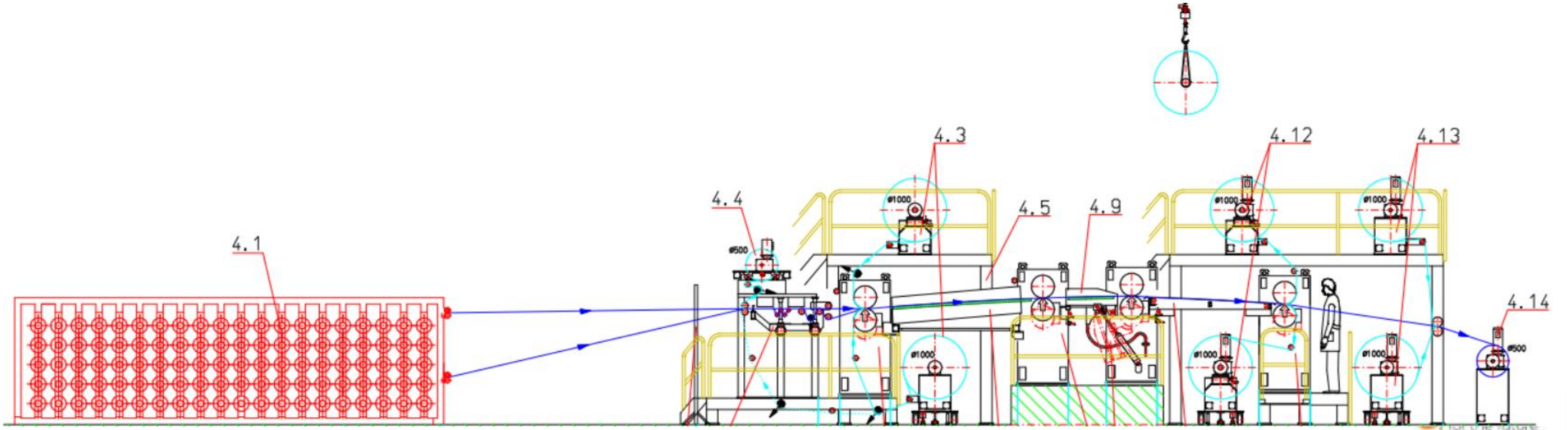


1 Unwind of silicon paper
2 Beta gauge
3 Operating platform
4 Caoting unit
5 Operating platform
6 Beta gauge
7 Cooling table
8 Unwind of interfoil
9 Rewind unit

Prepreg의 제조공정 : Hot Melt Process

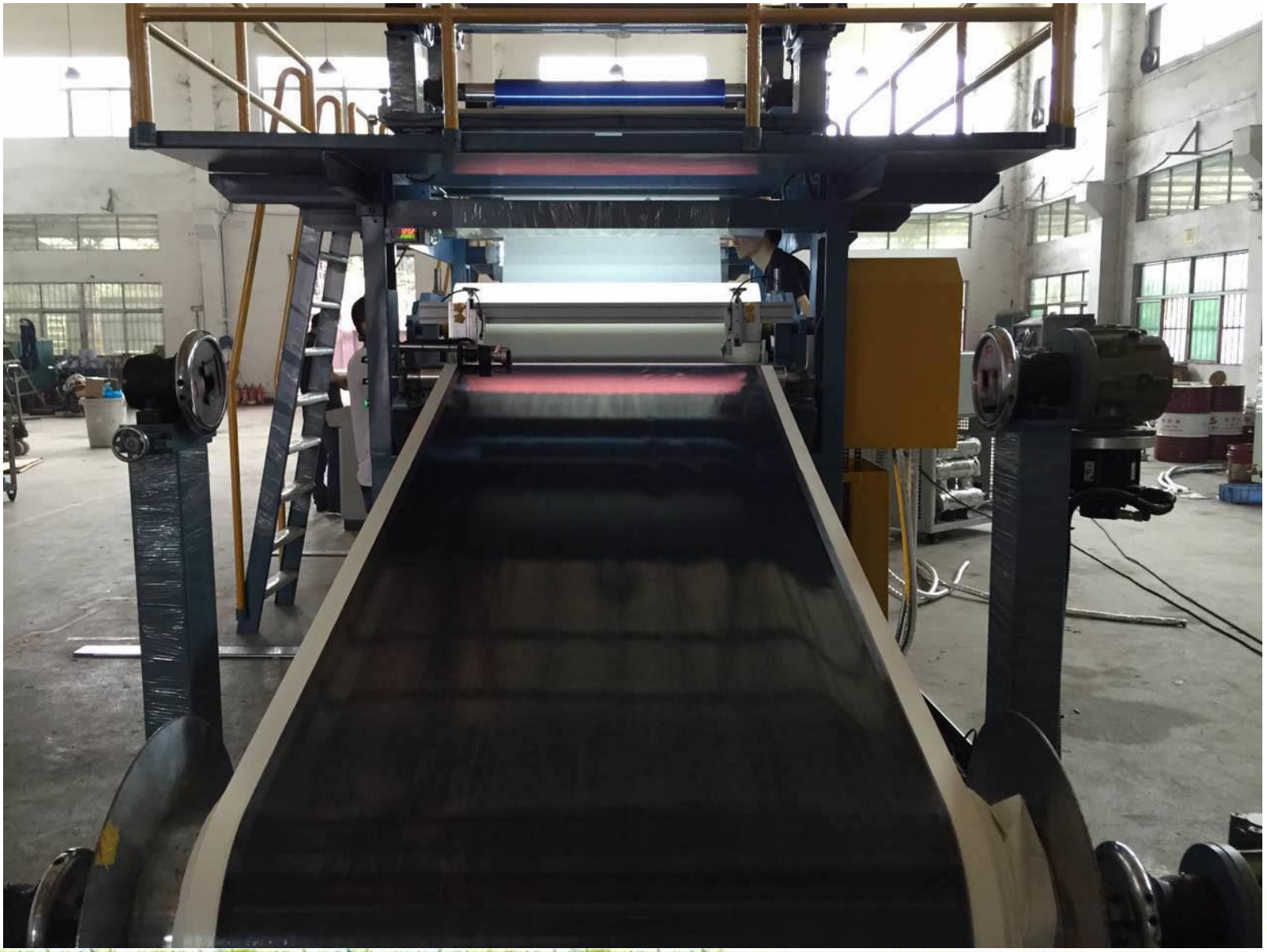
Impregnation Process : Tape Line





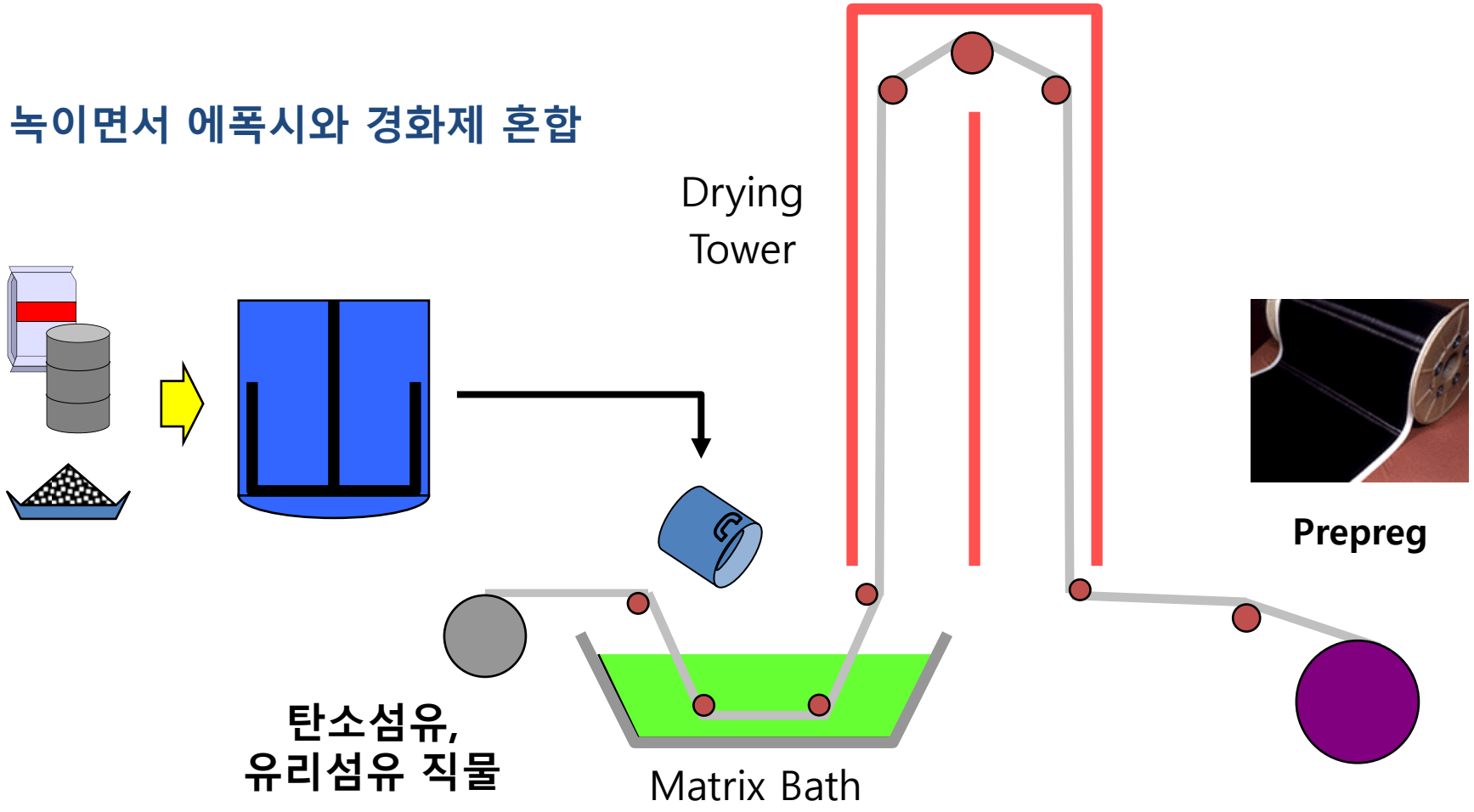
Prepreg의 제조공정 : Hot Melt Process

Impregnation Process : Tape Line



Prepreg의 제조공정 : Solvent Process

- 용제에 녹이면서 에폭시와 경화제 혼합

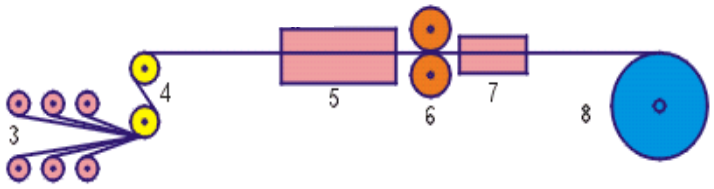


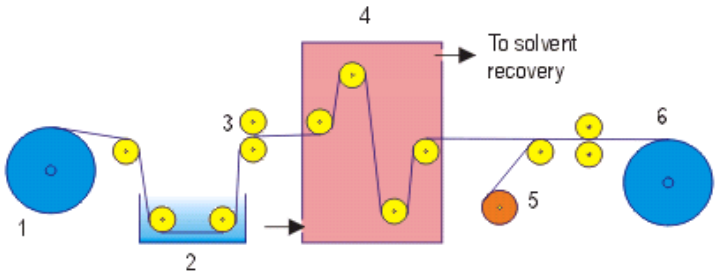
- **Wetting and drying process**

Prepreg의 제조공정 비교

- 함침을 위해 수지의 유동을 발생시키는 방식에 따라 핫멜트와 솔벤트 공정으로 나뉨

	Hot Melt Type	Solvent Type
장점	• 정밀한 품질관리 가능 • 휘발분이 거의 없음 : 경화후 물성 우수 • 생산 속도가 빠름 • 환경 친화적	• 생산공정이 비교적 간단 • 고점도의 수지 함침 용이 • 다양한 레진 시스템에 적용가능
단점	• 생산 공정이 상대적으로 복잡 • 고점도의 수지 함침이 어려움	• 일방향 프리프레그 생산 불가 • 휘발분을 완전히 제거하기 어려움 : 경화 후 물성저하 • 수지 함량 조절이 어려움



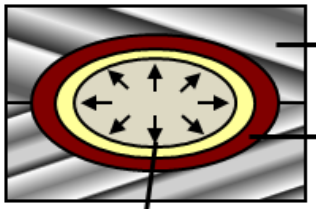


We care for the future
Earthcare

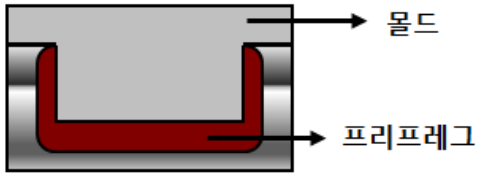
프리프레그 성형공정

프리프레그 성형공정

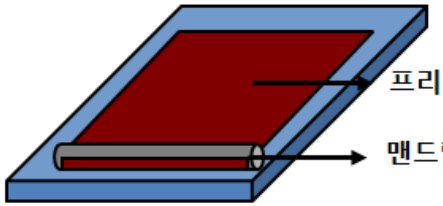
압력백 성형법



프레스 성형법

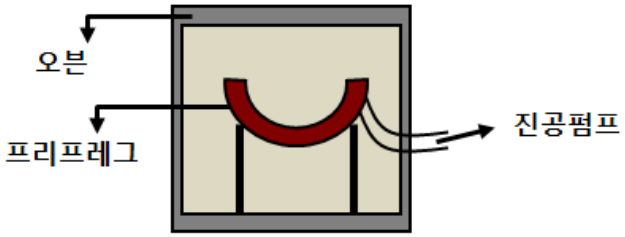


롤링법

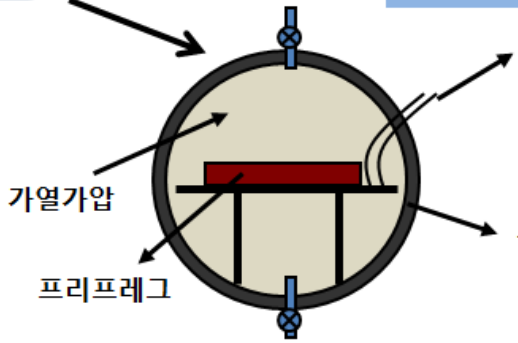


프리프레그 성형공정

진공백 성형법

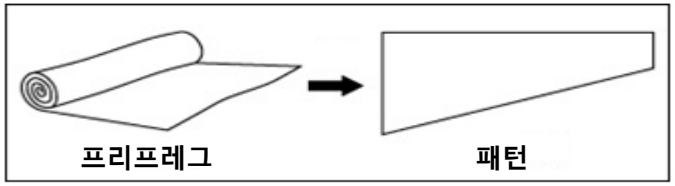


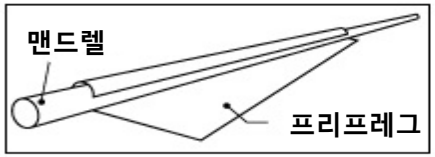
오토클레이브 성형법

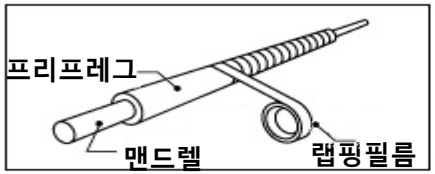


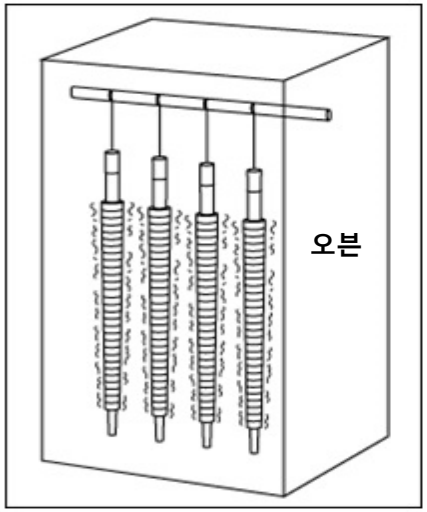
We care for the future
thcare, hcare

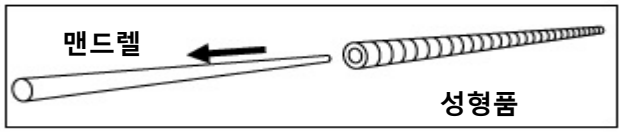
Rolling 성형











프리프레그 재단 (Cutting)

- 길이, 굵기, 강성 등 Rod 설계에 따라 프리프레그를 재단하는 단계
- Rod의 특성에 따라 사용하는 일방향, 직물, 역목 (Cross ply) 등의 다양한 설계가 가능함.

롤링 (Rolling)

- 맨드렐 (Mandrel)이라 불리는 내부금형에 프리프레그를 감아주는 공정
- 맨드렐과 성형품의 원활한 분리를 위한 맨드렐 표면에 이형처리 진행

랩핑 (Wrapping)

- 맨드렐에 감긴 프리프레그에 압력을 가하기 위해, 랩핑 필름으로 균일하게 감싸는 단계
- 랩핑필름은 OPP 또는 PET 필름을 사용함.

경화/성형 (Curing)

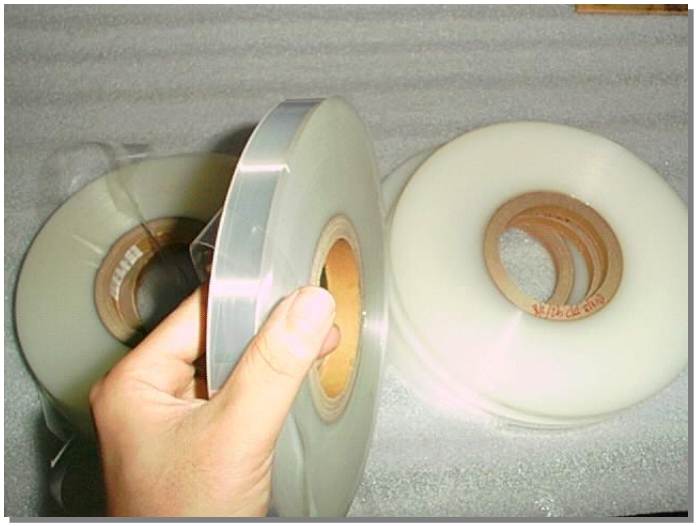
- 열경화성 수지가 적용된 프리프레그를 성형하기 위해 열을 가하여 프리프레그를 성형/경화시키는 단계
- 통상 125℃에서 약 90분간 가열하여 경화시킴

탈심 (De-mandrelling)

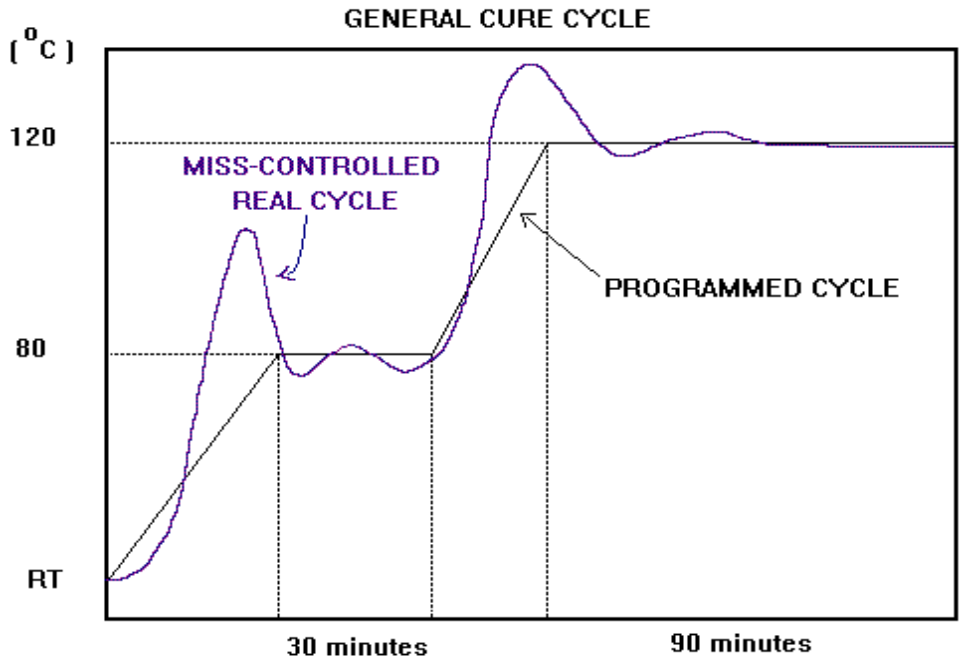
- 성형이 완료된 프리프레그 성형물을 맨드렐에서 제거함.
- 랩핑필름을 제거하고, 표면을 연마하면 성형품이 완성됨

Rolling 성형 공정조건

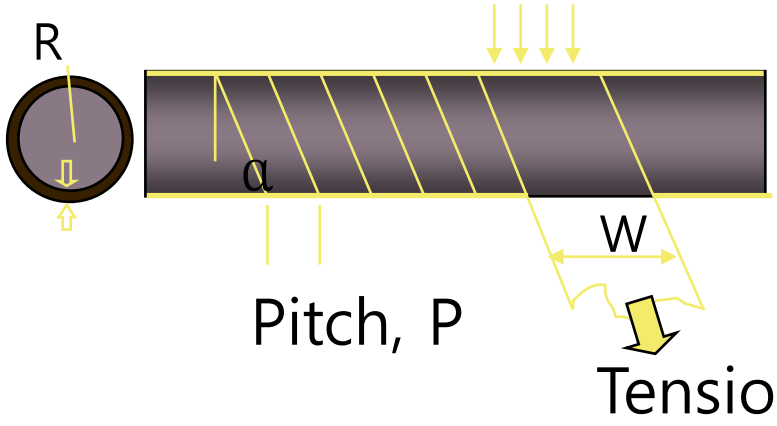
- 압력 : Wrapping을 통해 Mandrel에 감긴 Prepreg에 압력을 가함
  - 적절한 폭과 열수축율을 갖는 OPP Tape 선정
  - Pitch 간격과 장력 조절



- 온도 : 오븐에서 80도 30분 후 125도 90분 조건으로 경화



● Prepreg Rolling 성형 온도조건



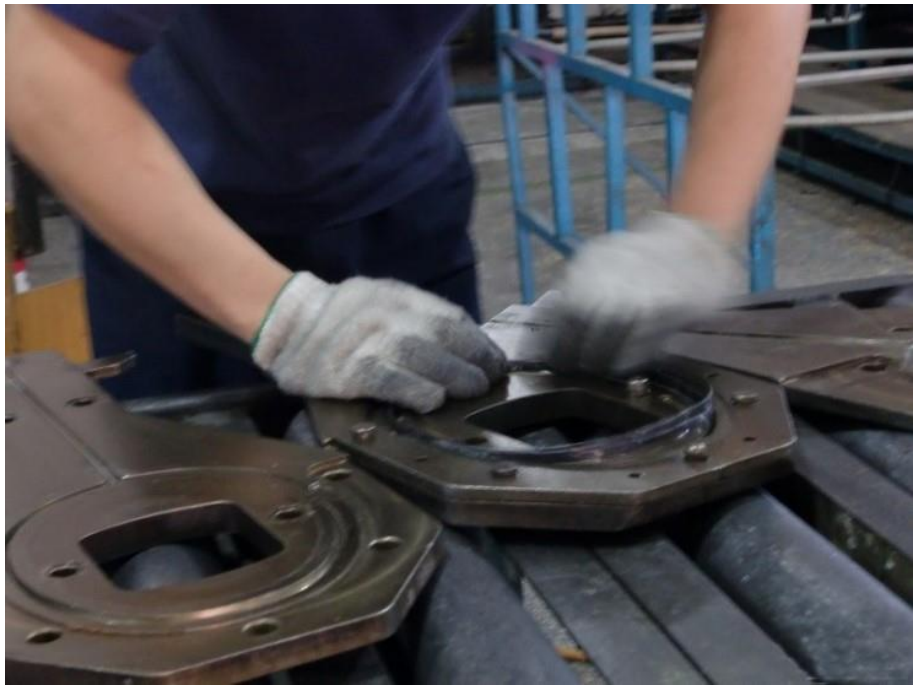
● Wrapping Film

We care for the future
Healthcare, Earthcare

Pressure Bag 성형 공정

- Prepreg를 재단 후 정해진 설계에 따라 Bladder Tube의 외부에 재단 된 Prepreg를 감아줌

- Bladder Tube의 한쪽 끝에 Air Connector를 연결



- Air Connector가 연결된 Prepreg를 Mold 내에 투입하고 프레스를 이용하여 가열

- Air Connector를 통해 압공을 공급하여 가압

- 성형 완료 후 Mold를 Open하고 경화된 제품을 빼냄

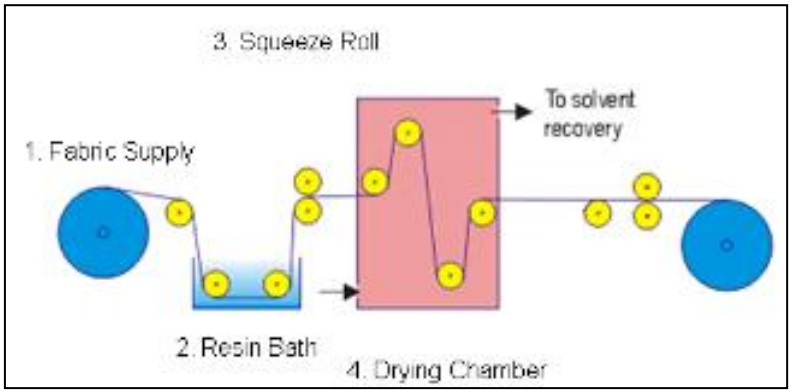
Pressure Bag 성형 공정

We care for the future
Healthcare, Earthcare

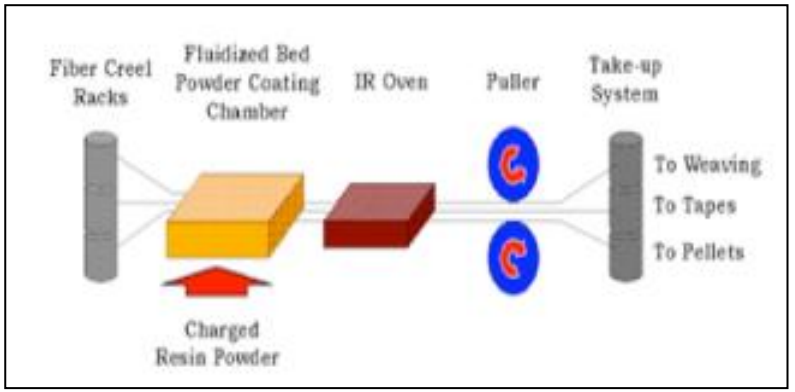
열가소성 프리프레그

- 열가소성 프리프레그의 제조

  - Powder를 사용한 프리프레그 제조

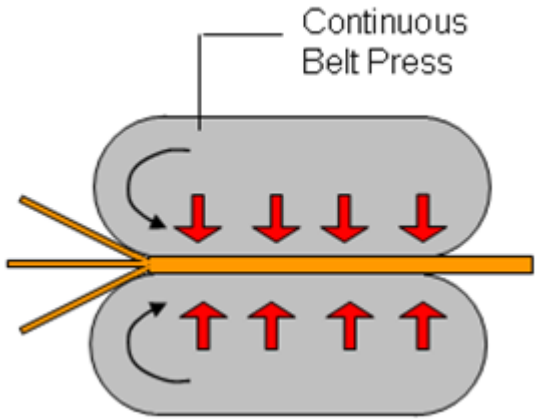


Solvent Coating

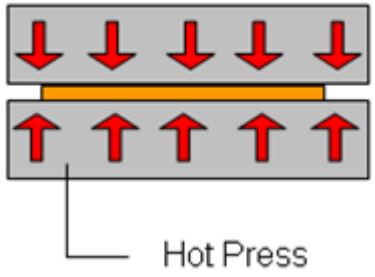


Powder Coating

  - Film을 사용한 프리프레그 제조



연속식 Double Belt Press

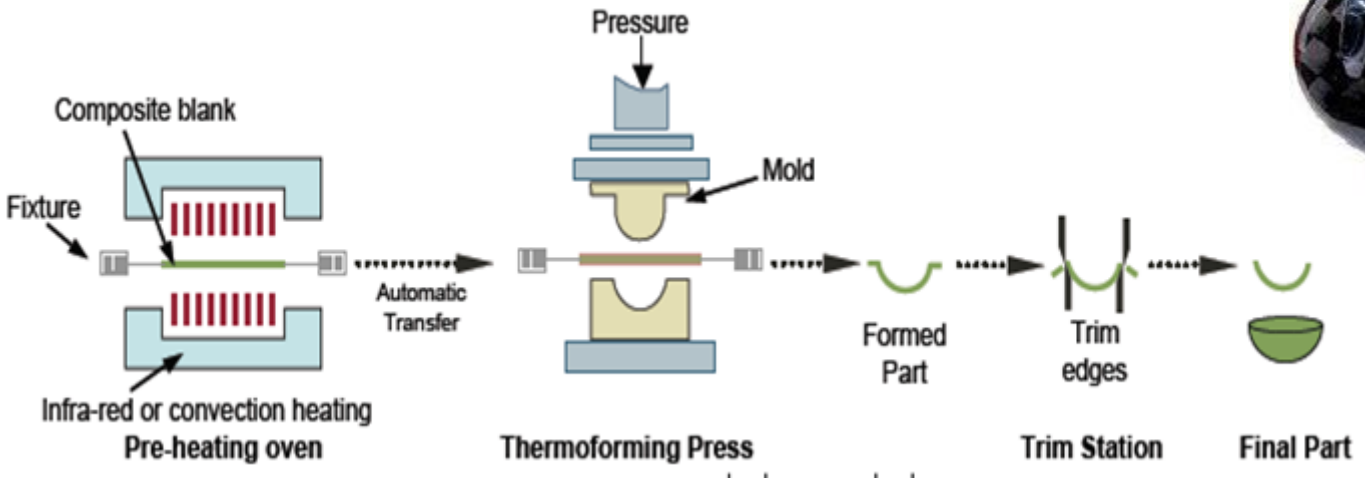


Batch식 Hot Press

열가소성 프리프레그

• 열가소성 프리프레그의 성형

■ Pre-heating 후 Matched Mold 성형



• 열가소성 / 열경화성 프리프레그 비교

	열가소성	열경화성
■ Shelf Life	무제한 보관	1 ~ 6개월
■ 성형시간	3분 이하	15분 이상
■ 성형조건	높은온도, 높은압력	낮은온도, 낮은압력

✓ 열가소성 프리프레그는 제조의 어려움 때문에 시장확대에 한계가 있음 : 연구개발 진행중

CF Industry Value Chain

■ 프리프레그는 탄소섬유와 CFRP를 연결시켜주는 핵심 중간재

We care for the future
Healthcare, Earthcare