

# POLYMER AND COMPOSITE MATERIALS PROCESSING

**Lecturer : Prof. Doojin Lee**

Department of Polymer Science and Engineering,  
Chonnam National University

# Ch. 6-1 Compression & Transfer Molding

## Introduction

- Compression molding
  - It is the oldest mass production process for polymer products
  - It is almost exclusively used for thermosets, although these are also processed by the injection method.
- Thermoplastic product
  - Gramophone record in black PVC copolymer
  - Compression molding gives low level of orientation in the moldings.
  - The compact disc is made from a specially developed grade of polycarbonate of low molecular weight to ensure good flow properties by using injection molding.

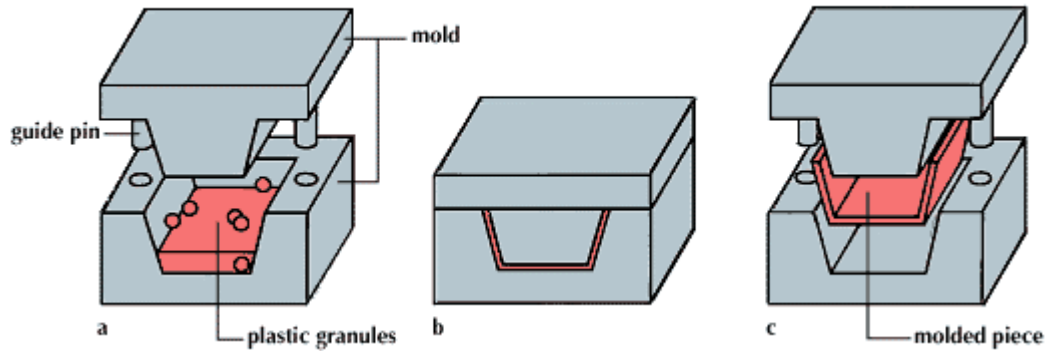
# Thermosetting compounds

- Resins (thermosets)
  - Phenol-formaldehyde resins (phenolics)
    - Condensation reaction
    - Earliest synthetic polymer
  - Urea-formaldehyde resins
    - Electrically insulating properties, in electric light fittings and plugs
  - Melamine-formaldehyde resins
    - The high chemical resistance has led to widespread use in decorative laminates
  - Epoxy resins
    - Often found in glass reinforced form
  - Silicones
  - Di-allyl phthalate and other alkyds
  - Unsaturated polyesters (uPE)

- Compounds
  - Incompletely reacted resin
  - Fillers, to reinforce or cheapen
  - Catalyst, where needed, to promote the cross-linking reaction
  - Accelerators, as processing aids and mold release agents
  - Colorants and other special in gradients
- Pot-life
  - SMC and DMC for days, up to 1-2 weeks
  - Alkyds, polyesters without initiator for weeks to months
  - Phenolics for up to 2 years

# Compression moulding process

COMPRESSION MOLDING (cutaway view)

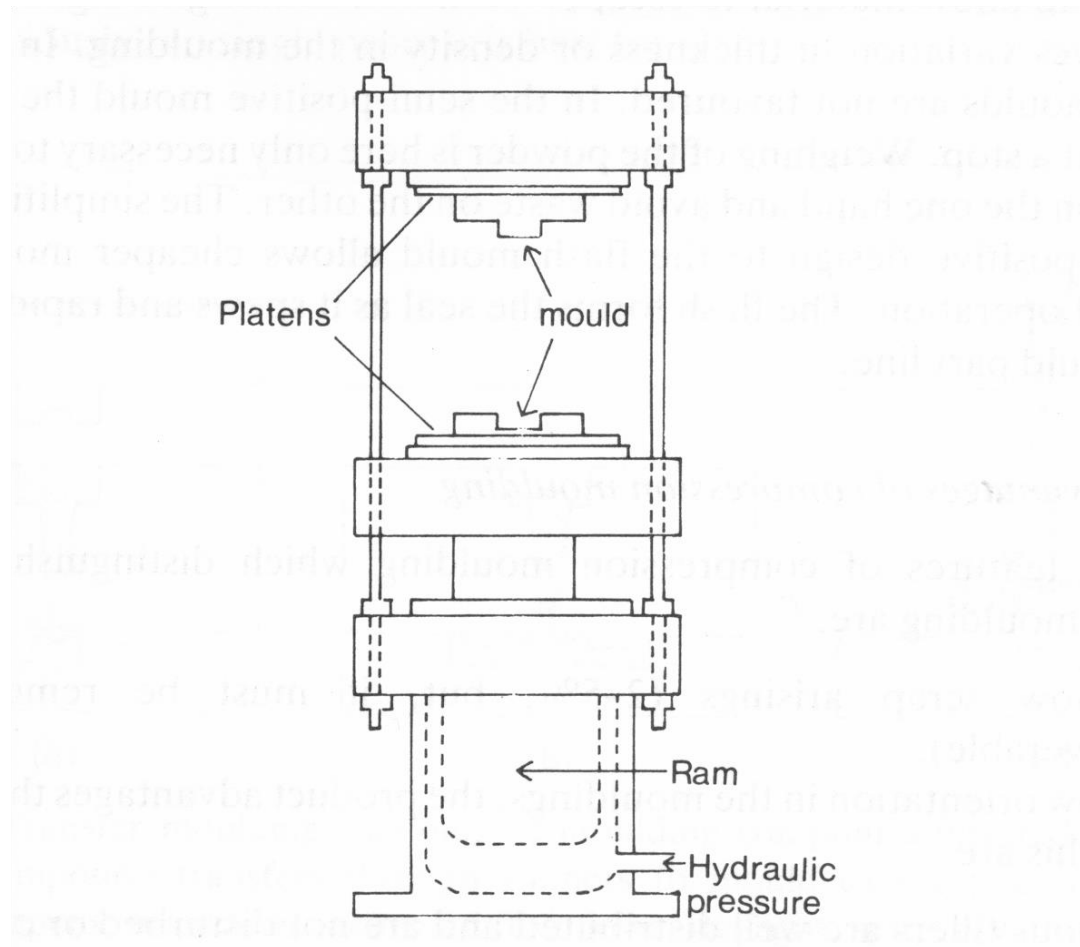


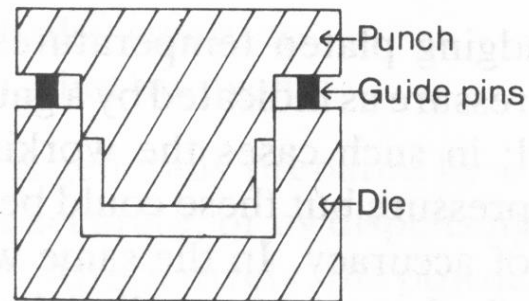
**Table 9.1** Moulding pressures for thermosets

<i>Material</i>	<i>Pressure</i>	
	<i>(mPa)</i>	<i>(p.s.i.)</i>
DMC	6–10	900–1500
Granular uPE and soft flow phenolics	14–18	2000–4000
UF, MF, stiff phenolics	20–40	3000–6000
Stiffer materials	40–55	6000–8000

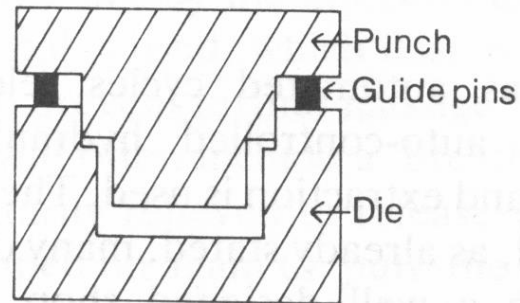
- The temperatures are in the range of 140-170 °C for the majority of thermoset resins, including rubber.
- Thermoplastics, on the rare cases of their compression molding, need generally higher temperature, e.g., 230 °C for polypropylene.

# Compression moulding press

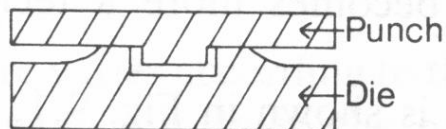




**Fig. 9.2** Positive mould.



**Fig. 9.3** Semi-positive mould.



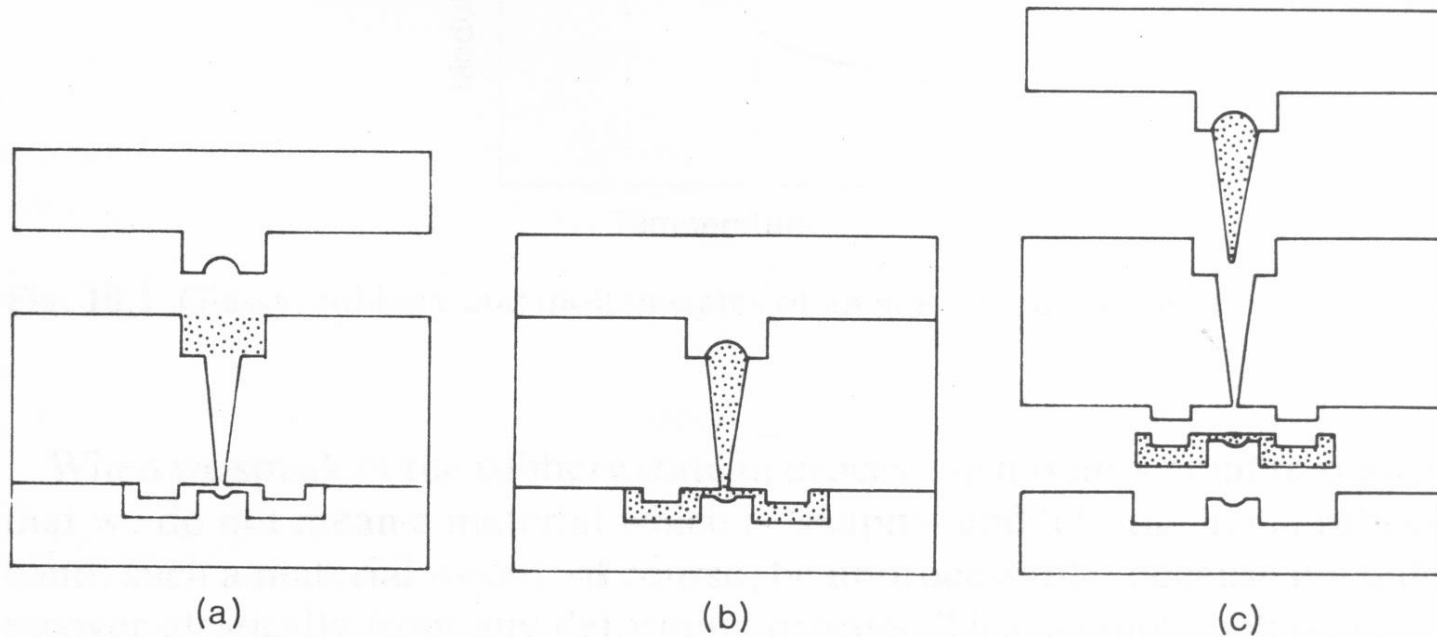
**Fig. 9.4** Flash mould.



# Transfer molding

- Transfer molding is a development of compression molding in which a reservoir of molding compound is located in the mold and, upon closure, is transferred via runners to the cavities.
- Transfer molding is used:
  - To give many small parts more easily;
  - To reduce the risk of damage or movement of thin or delicate mold parts or inserts;
  - Because it is claimed to be faster due to better heat transfer through the runner.



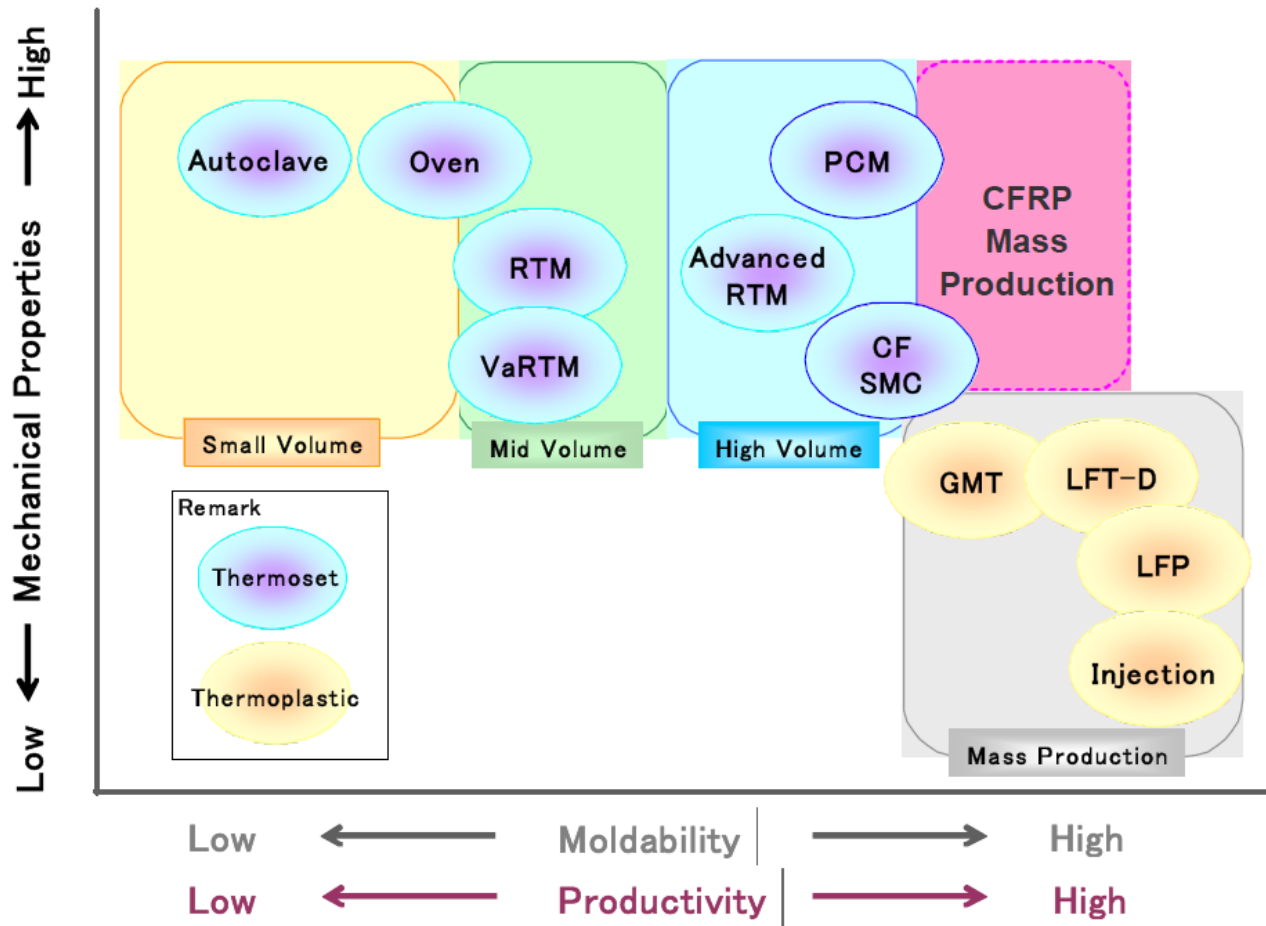


**Fig. 9.5** Transfer moulding: (a) plug of moulding compound inserted; (b) press closes; compound transfers through runners to mould cavities; (c) three-plate assembly opens; mouldings recovered from lower daylight, sprue is withdrawn with top member.

# Ch. 6-2 Composites Manufacturing: Thermoplastics & Thermosetting

- 열경화성 고분자를 이용한 섬유복합재 제조 공정
  - Hand layup, spray up
  - Filament winding
  - Pultrusion
  - Resin transfer molding
  - Autoclave molding
  - Wet compression molding (WCM) = Liquid Layup Molding (LLM)
  - Etc.
- 열가소성 고분자를 이용한 섬유복합재 제조 공정
  - Injection molding (short fibers, long fibers)
  - Film stacking
  - Thermoplastic tape laying (Automated Fiber Placement, AFP)
  - Compression molding, Continuous Compression molding
  - Etc.

- 섬유복합재 제조 공정별 단가 vs. 물성 특성 비교

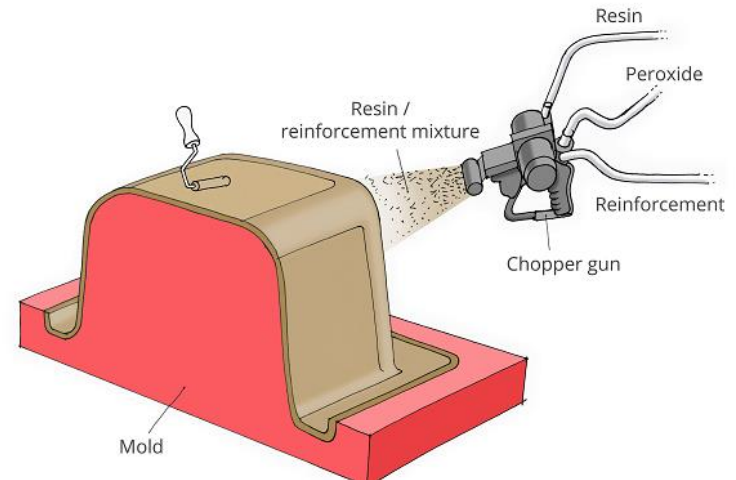
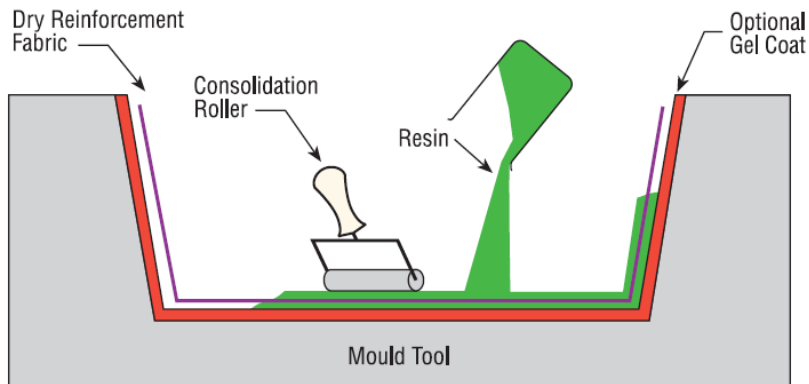


Source: Mitsubishi Rayon Co. LTD.

# Hand Layup, Spray-up method

## □ 공정의 특징

- 섬유복합재 제작의 가장 기초적인 방법
  - : 작업자 숙련도에 따른 생산품 품질 변동
  - : 대체적으로 생산품 품질이 낮음
  - : VOC 배출에 따른 유해한 작업 환경
- 섬유의 부피비가 낮고 고분자 내 기포 발생 단점



Source: Aliancys©

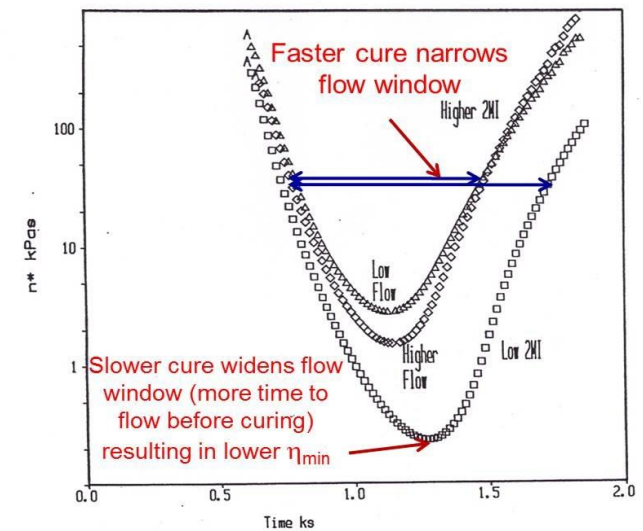
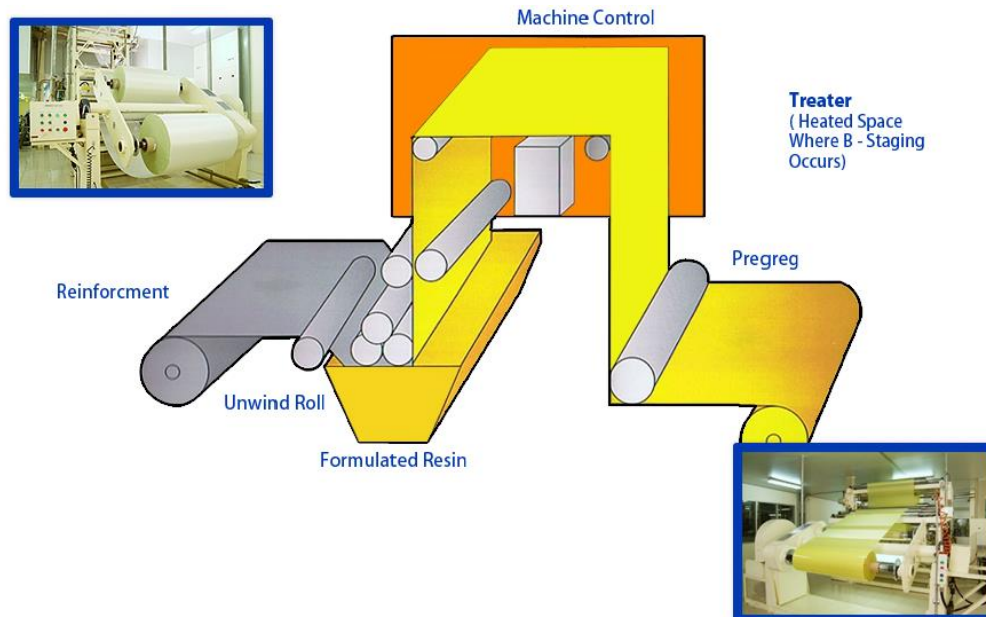
# Prepreg process

## □ 프레프레그 Prepreg (=pre-impregnated)

- 열가소성 혹은 열경화성 고분자 기지재 내에 섬유를 강화한 상태로서, 복합재 제조 전의 중간 단계 물질

## □ 공정

- Prepreg 를 롤러(roll)가 있는 공정 단계를 통과할 때 온도 변화를 주어 prepreg를 경화 혹은 연신하여 얇은 시트(sheet) 사태로 제작하고 최종적으로 롤러에 와인딩(winding) 함



Source: [www.tlm.co.rh](http://www.tlm.co.rh)

# BMC/SMC/XMC

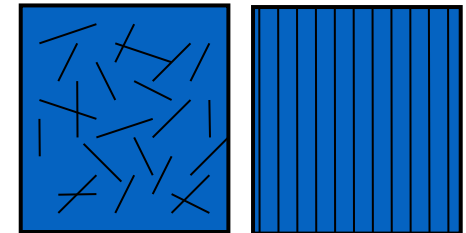
❑ Bulk Molding Compound (BMC)

❑ Sheet Molding Compound (SMC)

- SMC-R : 무배열(Random) short fiber
- SMC-C : 연속(Continuous) 일방향 fiber
- SMC-CR : 연속 일방향 + 무배열 short fiber reinforcement

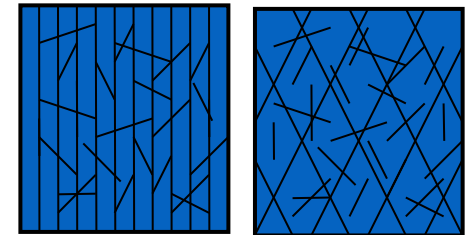
❑ X-patterned Molding Compound (XMC)

- Directionally oriented continuous fiber 배열



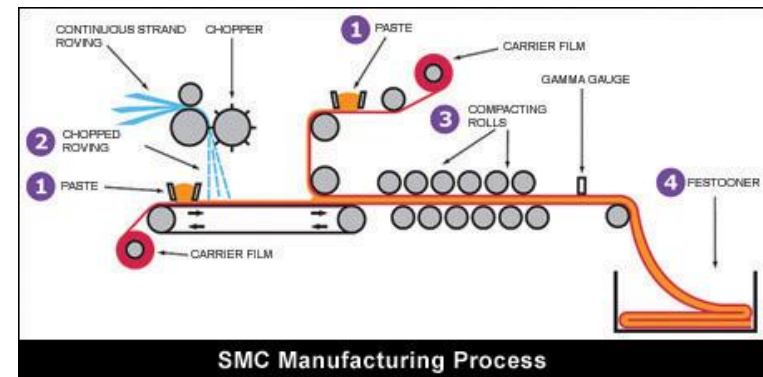
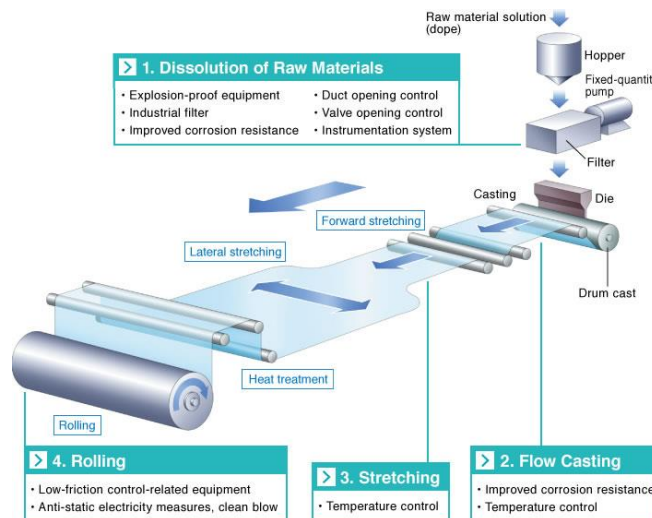
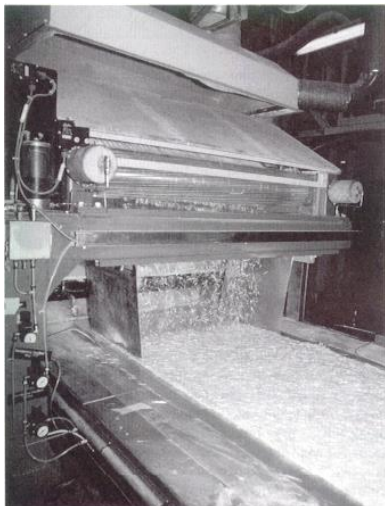
SMC-R

SMC-C



SMC-CR

XMC



Source: [www.idicomposites.com](http://www.idicomposites.com)  
[www.smcworld.com](http://www.smcworld.com)



# Filament winding

## □ 공정

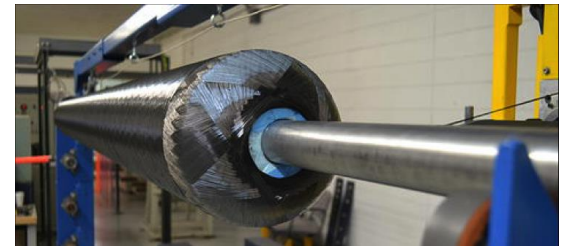
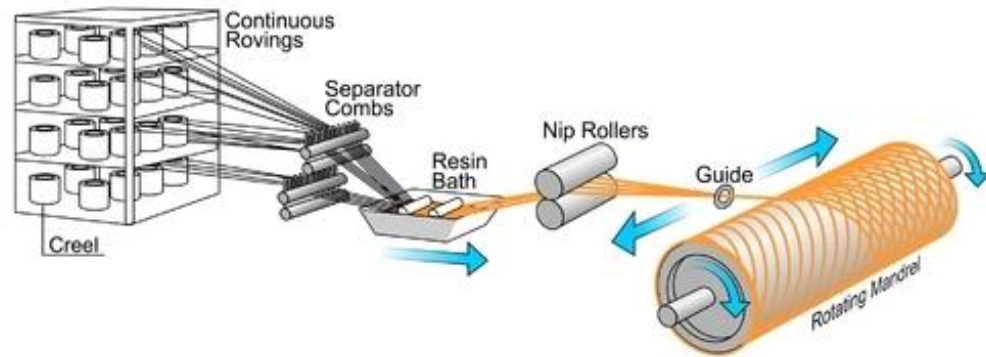
- 회전형 mandrel 에 이미 짜여진 프리프레그 혹은 연속 섬유를 필라멘트 와인딩

## □ 생산품

- 파이프, 압력 용기 등

## □ 공정 장비

- two axes of motion
  - : mandrel rotation and carriage travel
- more axes of motion
  - : four or six axes motion for more complex geometry



## □ 특징

- 장점: 축방향으로 제조된 복합재 중 가장 높은 기계적 강도를 가진 복합재 제조 가능
- 단점: 생산 단가 대비 낮은 생산 속도, 생산품 형상 제약

Source: Shah polymers  
Compositeworld.com



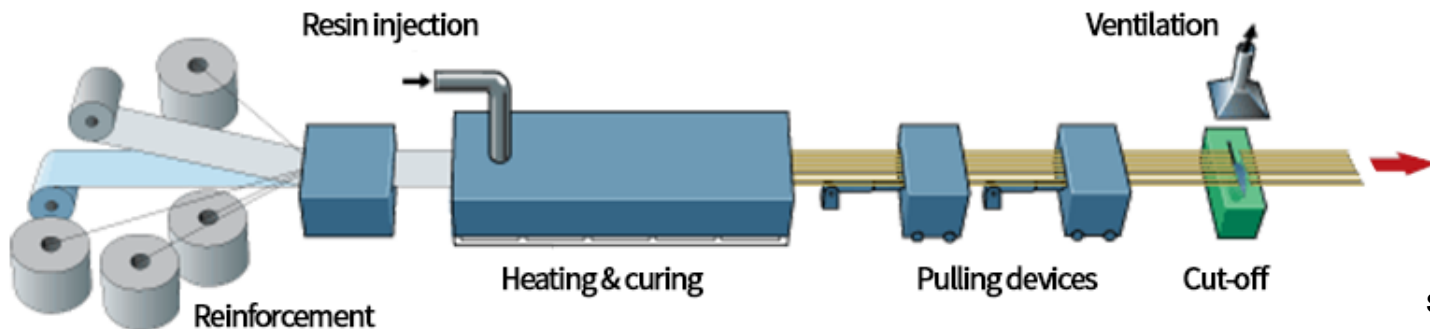
# Pultrusion

## □ 공정

- Pultrusion = Pull + Extrusion 압출과 잡아당김의 복합적 공정
- 균일한 형상(cross-section)을 갖는 섬유복합재를 연속적으로 제조 가능
- 섬유 혹은 섬유패브릭을 고분자 모재와 함께 삽입하고 연신하며 승온 공정 통과하여 섬유복합재 제조

## □ 특징

- 균일한 형상을 갖는 복합재 제조
- 빠르고 연속적인 공정으로 복합재 제조 (3~5 m/min)
- 단점: 낮은 섬유 부피비만 제조 가능



Source: [www.craftechind.com](http://www.craftechind.com)  
[www.songwoltech.com](http://www.songwoltech.com)

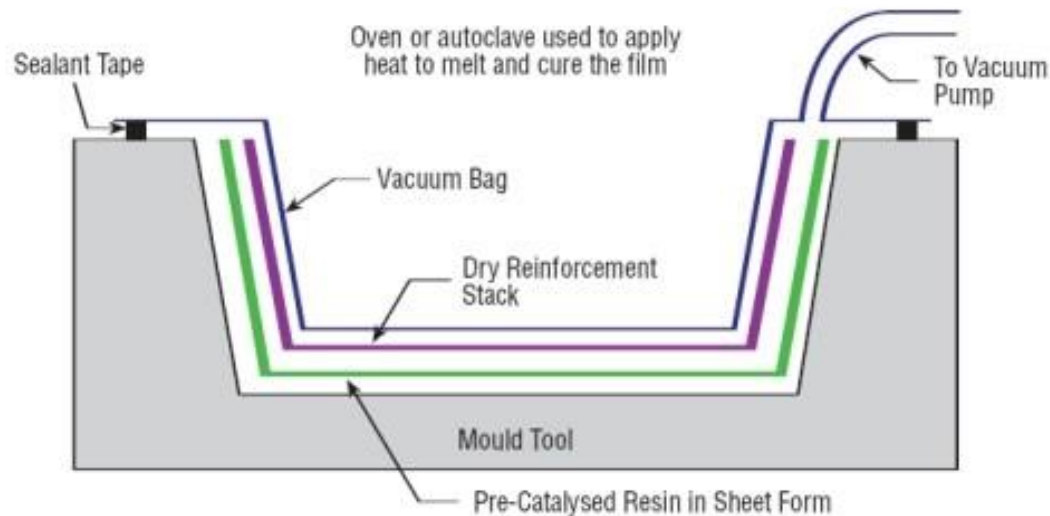
# Resin Film Infusion

## □ 공정

- 건조된 섬유 패브릭을 반경화 된 고분자 필름 사이에 위치하여 라미네이팅 된 복합재 제조
- 진공 상태(vacuum bag)를 이용하여 수지 내에 있는 기포를 제거 한 후 온도를 가하여 경화된 복합재를 제조

## □ 특징

- 장점: Prepreg 공정보다 상대적으로 낮은 공정 단가  
얇은 형태의 film을 만들기에 유리한 공정
- 단점: Semi-solid 고분자 수지를 사용하므로 100% 기포 제거가 힘든  
한정된 수지만 사용 가능 (예: 에폭시)

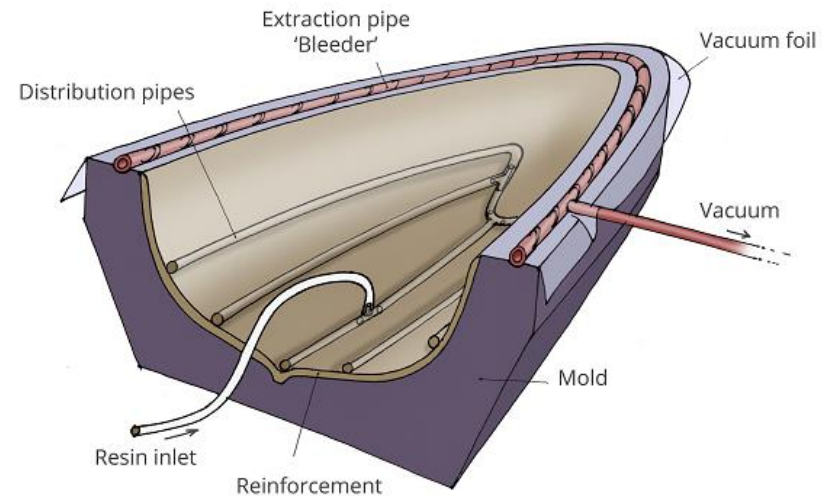
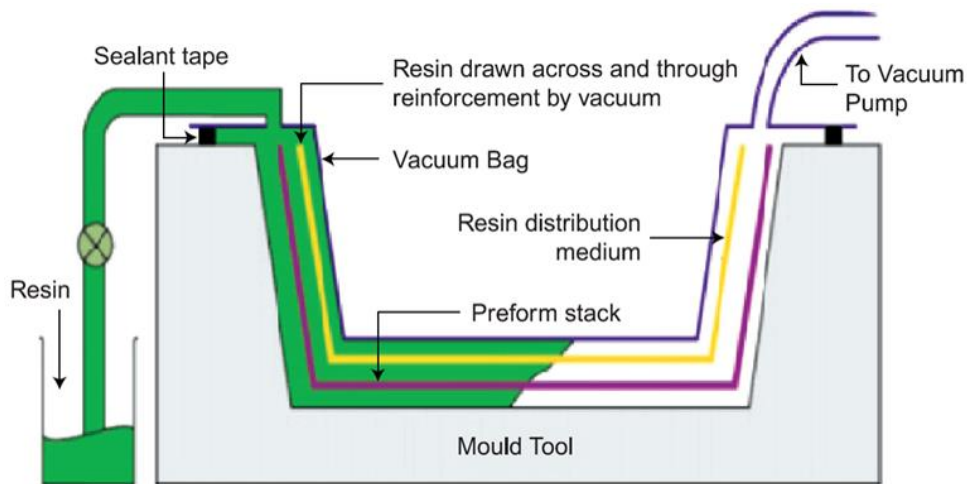


Source: [www.b-composites.net](http://www.b-composites.net)

# Resin Infusion

## □ 공정

- Resin Film Infusion 공정과 유사하게 진공 조건(vacuum bag)을 이용하여 기포를 제거하고 라미네이팅하는 공정 = Vacuum assisted resin infusion (VARI)
- 출구에서 진공을 생성하여 고분자 수지를 라미네이트 사이로 주입하고 승온하여 경화
- 일 방향 몰드 : 아래 부분에 몰드가 있고 위 쪽 부분은 몰드가 없이 Vacuum bag 이 있는 구조
- 낮은 압력을 이용한 공정 ( $\sim 1$  atm)
- Resin Film Infusion 대비 큰 부품을 제작할 때 용이함 (예: 보트)

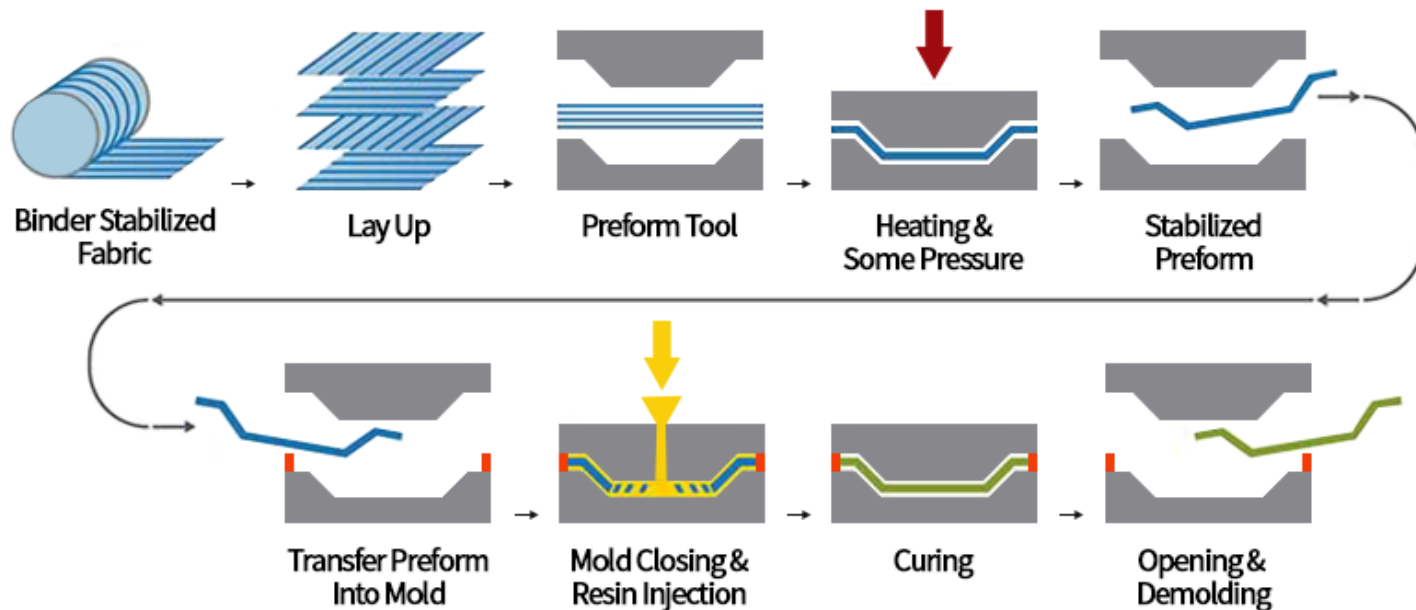


Source: CSIR-National Aerospace Lab  
Aliancys©

# Resin Transfer Molding

## □ 공정

- 프리폼(pre-form): 장섬유 혹은 연속상 섬유를 이용하여 2차원 혹은 3차원 형태 웹으로 제작
- 개폐형 몰드 내에 프리폼을 미리 삽입하고 수지를 주입한 후 승온하여 경화  
(Preforming + Resin injection + Curing)
- 열경화성 수지를 이용한 공정 방법 중 중간 정도의 공정 속도 (30분 ~ 1시간)



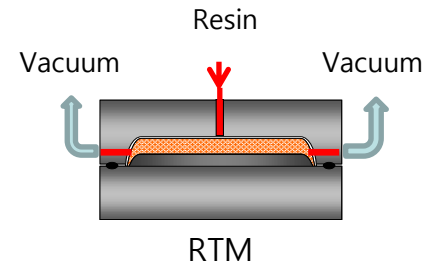
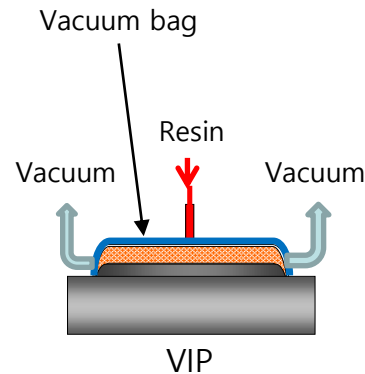
	Mold Close	Gap adjust	Vacuum	Injection	Curing	Demolding
Cycle time	1m	1m	2m	5-30m	10-60m	10m
30min~hour						

Source: [www.songwoltech.com](http://www.songwoltech.com)

# Advanced Liquid Molding

## ❑ 다양한 액상 주입 공정

- VIP (VARI, RIM) : 반 몰드 이용
- RTM : 몰드 이용
- 단점: 느린 생산 속도



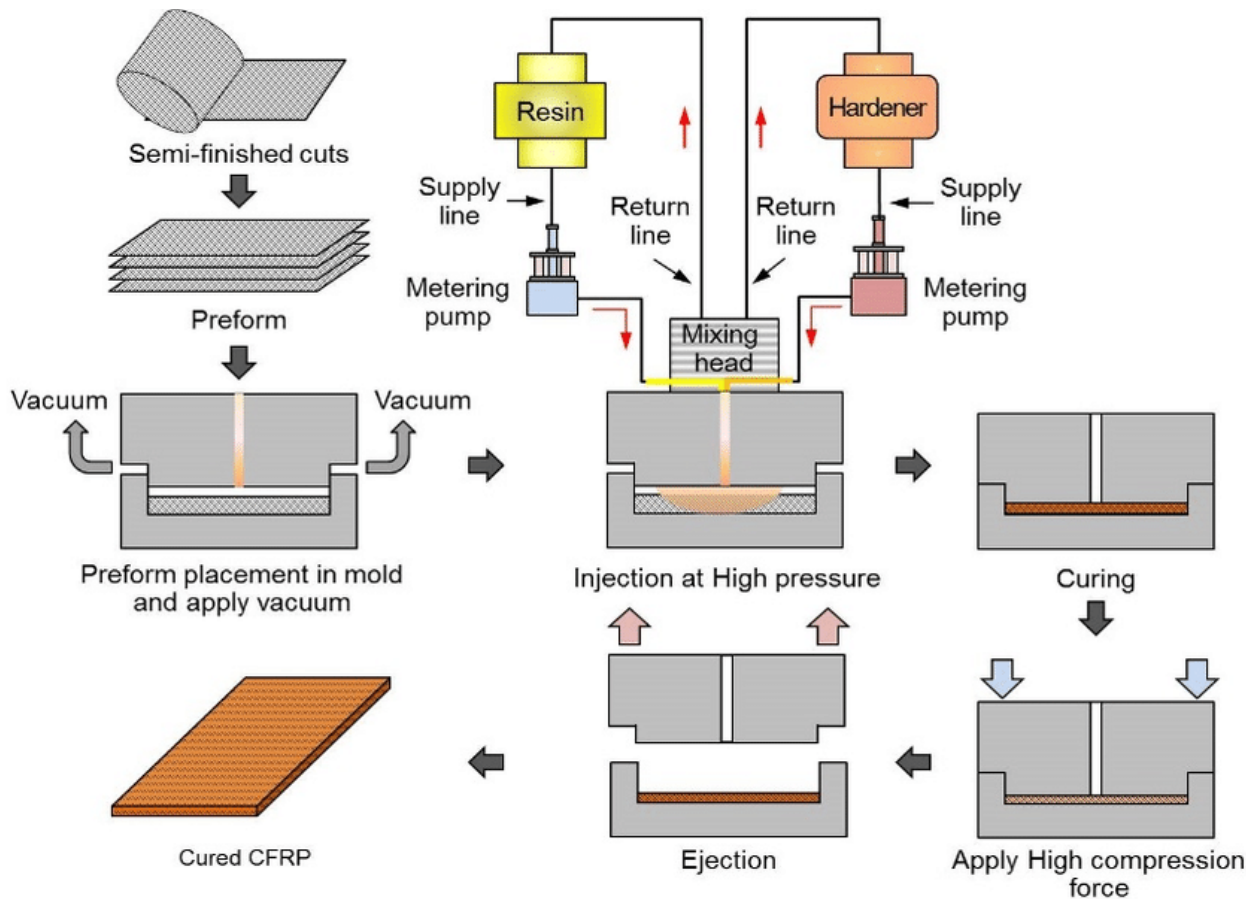
## ❑ 빠른 생산 속도를 위한 공정

- High pressure + Fast curing type polymer resins + Automation
- High Pressure RTM (HPRTM) : 빠른 생산 속도, 비싼 공정 단가
- Compression RTM (CRTM) : 상대적으로 빠른 생산 속도, 중간 정도의 공정 단가
- Surface RTM (SRTM) : 국부적인 영역의 RTM

# HP-RTM

## □ 공정

- 프리폼을 삽입 후 고분자 레진과 경화제를 고압(~100bar)으로 주입하고 승온하여 경화시키고 높은 형체력을 유지하여 최종 생산품 제작
- 장점: 빠른 생산 속도, 두께가 비교적 얇고 면적이 넓은 부품 성형에 적합

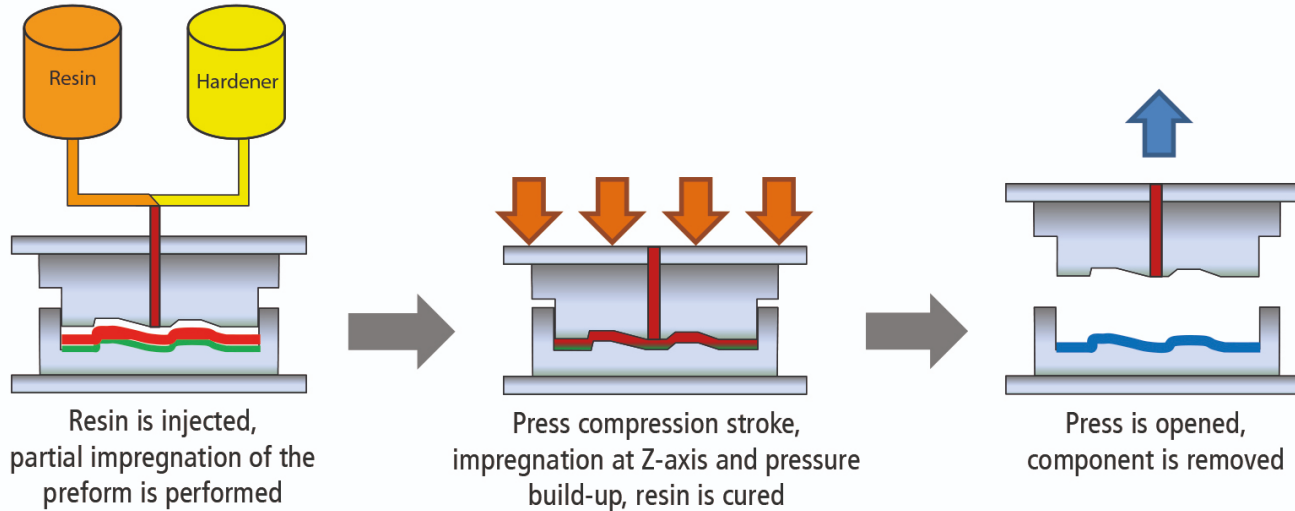


Source: Appl. Sci. 9(9), 1795 (2019)

# Compression RTM (C-RTM)

## □ 공정

- 섬유와 수지에 거리를 두고 함침한 후 한번 더 눌러주는 공정
- HP-RTM 에 비하여 적은 압력이 필요, 평면에 가까운 부품 성형에 적합

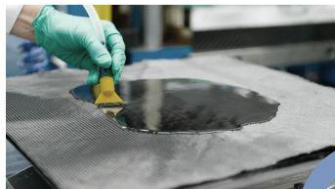
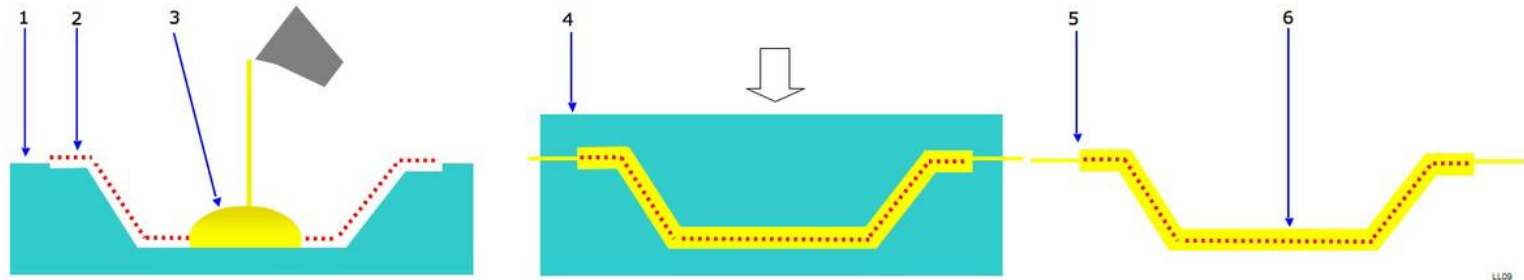


Source: Dieffenbacher composites

# Wet Compression Molding

## □ 공정

- 유동성이 적은 열경화성 수지를 프리폼 위에 적신 후 몰드를 닫고 높은 압력을 유지하여 생산품을 제조
- 장점: HP-RTM 보다 적은 공정 시간이 필요하여 생산 속도가 빠른 (~ 수 분)
- 단점: 최적화 된 공정 완료 까지 시간이 필요함



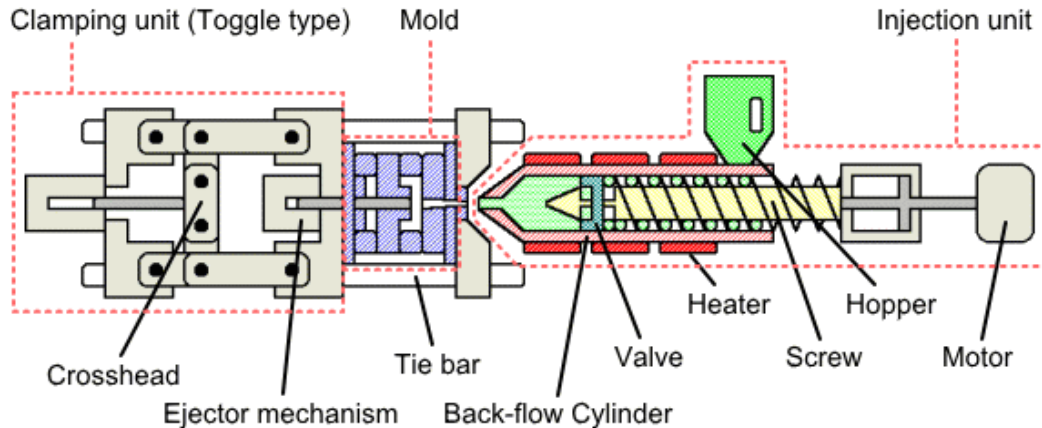
Source: Wikipedia  
Compositesworld



# Injection Molding

## □ 공정

- 열가소성 수지와 충전제(절단된 유리섬유, 현무암섬유, 탈크 등)를 몰드에 주입하여 원하는 형태의 부품 (밀리미터 크기 ~ 미터 크기) 을 제조
- 장점: 빠른 공정 시간 확보가 가능하며 균일한 제품의 생산이 가능
- 단점: 형체력에 따라 공정 기기의 가격이 달라짐

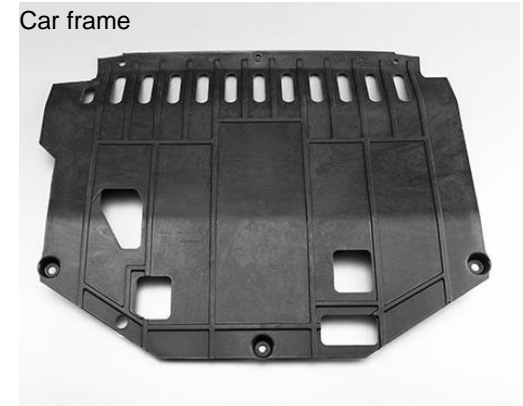
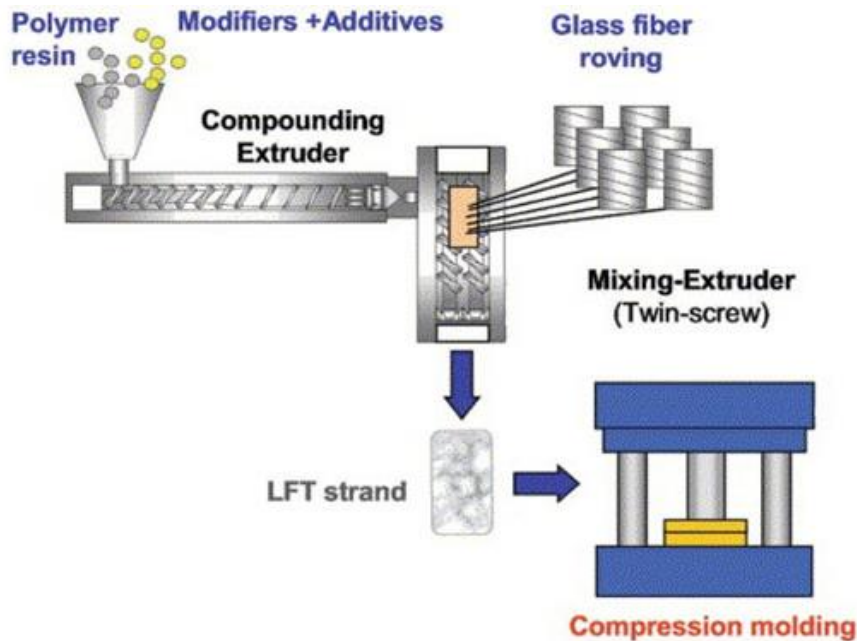


Source: [www.polyplastics.com](http://www.polyplastics.com)

# Direct Long Fiber Thermoplastic Molding (D-LFT)

## □ 공정

- 연속상의 섬유를 열가소성 고분자에 함침시킴과 동시에 긴 길이로 펠렛을 절단한 후 몰드에서 압축 혹은 사출 성형하는 방법
- 장점: 긴 길이의 섬유로 강화된 고분자 복합재의 제조가 가능하여 기계적 물성이 우수함
- 단점: 일반 사출성형 방법보다 성형 조건이 까다로움

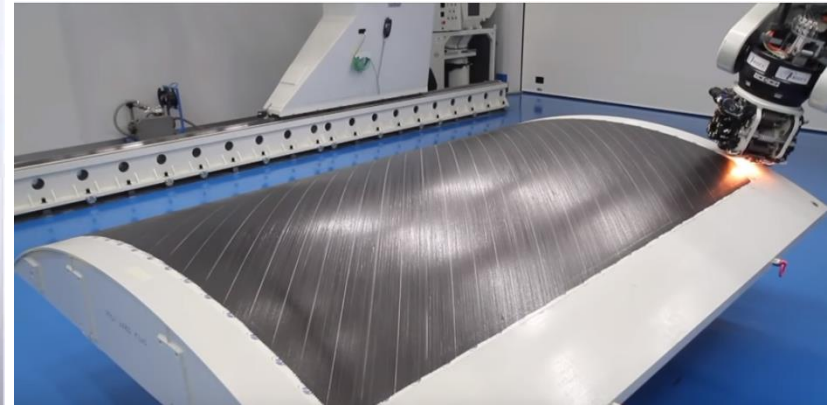
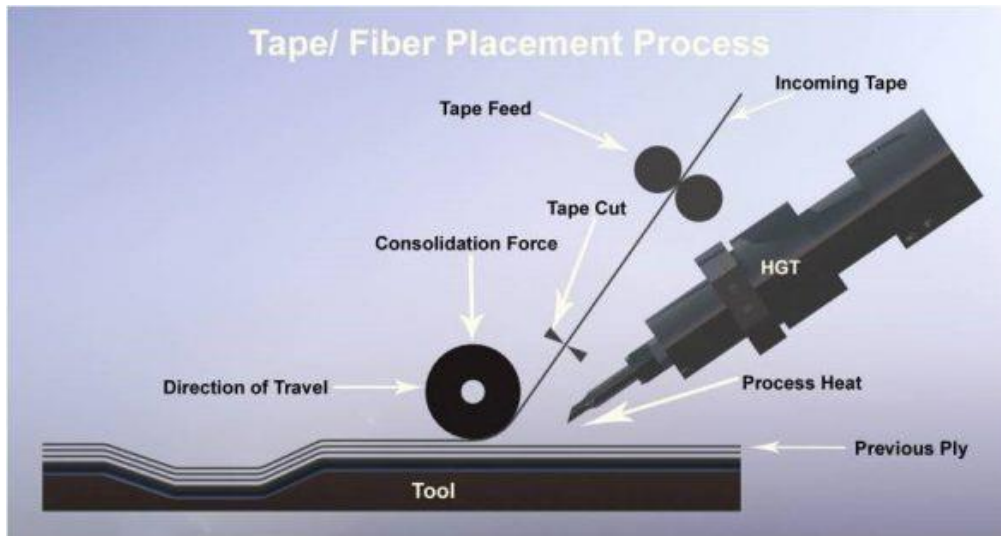


Source: [www.modifiedfiberglass.com](http://www.modifiedfiberglass.com)

# Automated Fiber Placement (AFP)

## □ 공정

- 미리 준비된 연속상의 Prepreg 를 이용하여 몰드 위에서 Prepreg 를 누름과 동시에 고온 처리하여 direct-writing 하는 방식
- 장점: 곡면 부위 및 대면적의 생산품 제조 가능
- 단점: 몰드 위에 direct writing 하는 방식으로 몰드가 존재해야 하며, 많은 양의 prepreg가 필요



Source: Mtorres®  
[www.Automateddynamics.com](http://www.Automateddynamics.com)

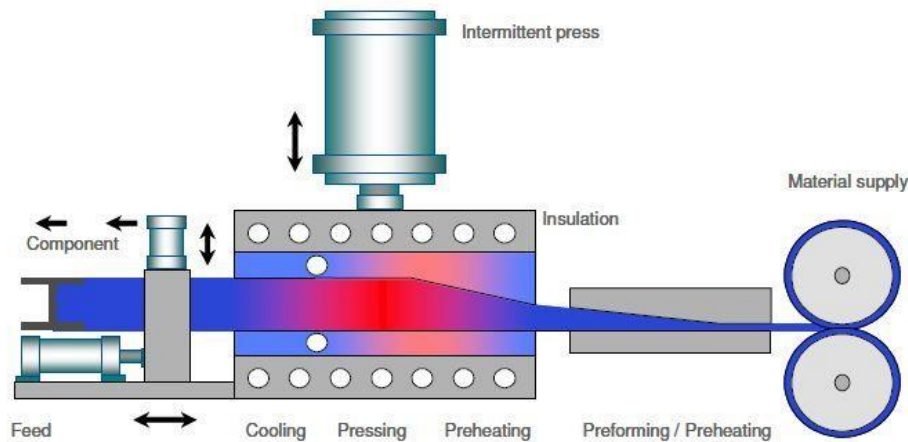
# Continuous Compression Molding (CCM)

## □ 공정

- 미리 준비된 열가소성 prepregs 혹은 라미네이팅 필름을 연속적으로 몰드 안으로 공급하고 가열된 몰드 안에서 압축하여 반복적으로 생산품을 생산
- 장점: 몰드 형상에 따라 다양한 형태의 제품이 연속적으로 생산이 가능
- 단점: 설비비가 비싸서 설비 장소 또한 커야 함

## Continuous Compression Molding (CCM)

### Equipment:



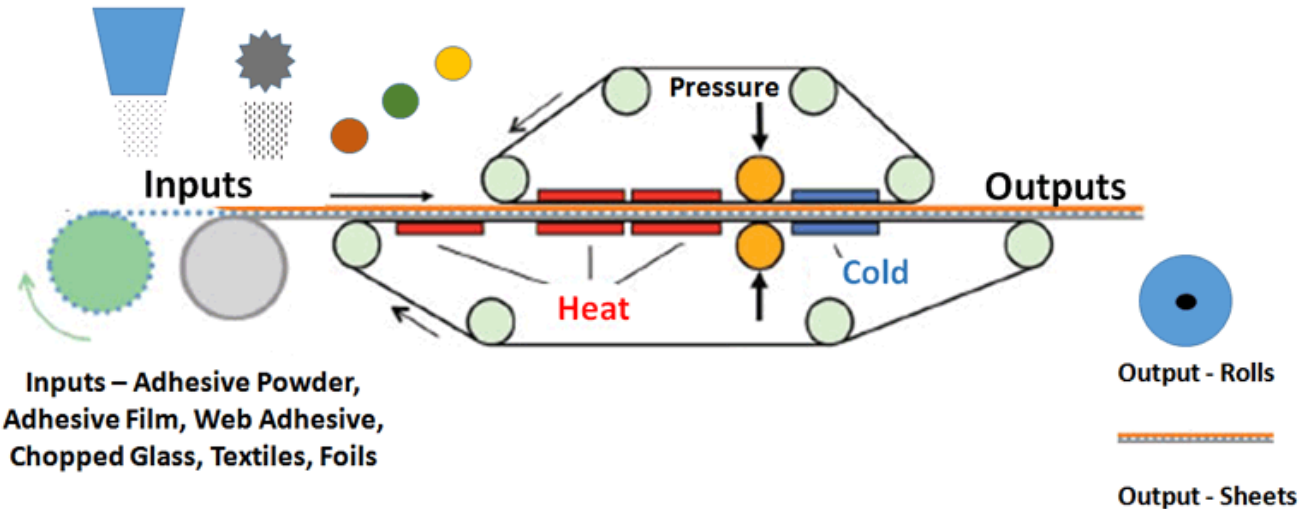
Source: Dupont®  
[www.jeccomposites.com](http://www.jeccomposites.com)



# Double Belt Laminating Press

## □ 공정

- 미리 준비된 1종 이상의 라미네이팅 필름과 충전제(filler, adhesive powder)를 이축의 프레스에 삽입한 후 열을 가함과 동시에 압착하여 최종적으로 균일한 형태의 라미네이팅 필름 중간재를 얻는 방식



Source: HR technologies Inc.  
Berndorf Band group