

Chapter 14. Synthesis, Fabrication & Processing of Metals, Ceramics & Polymers

(금속, 세라믹, 고분자재료의 합성, 제조 및 가공)

재료의 적합성 ~ 제조 및 가공 비용에 의해 결정

Fabrication of Metals (금속재료 제조)

금속 제조 ~ refining (정련)
alloying (합금화)
heat-treatment (열처리)
fabrication (제조)
processing (가공)

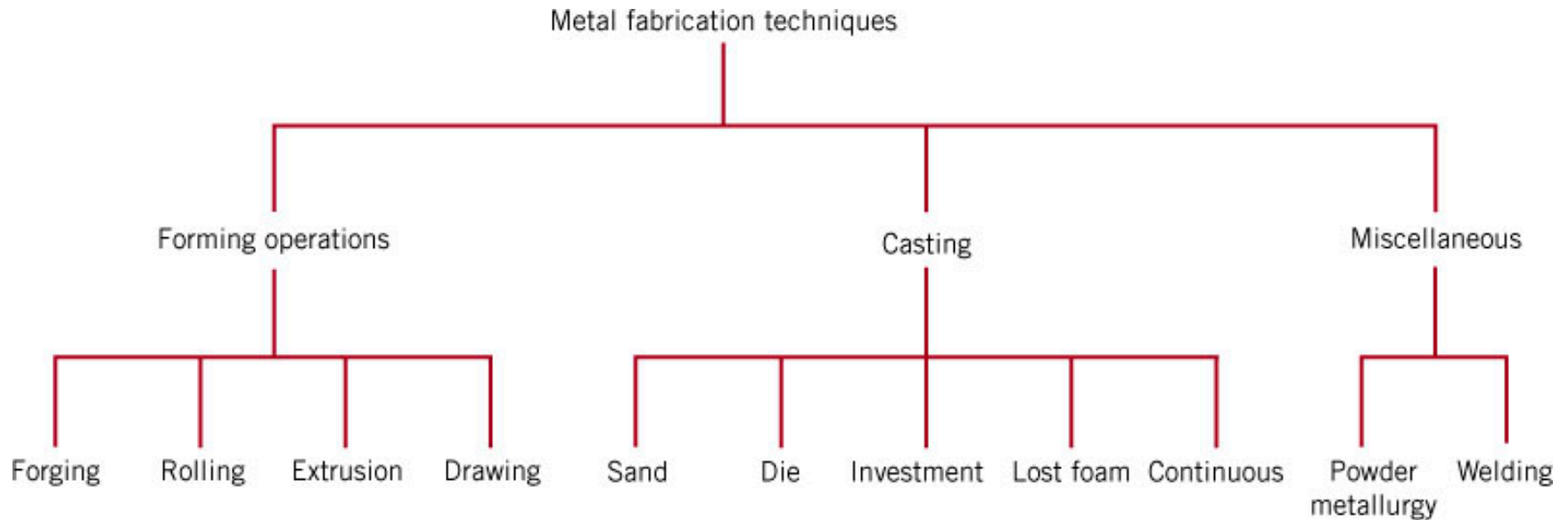


Fig. 14.1 금속 제조 기술의 분류.

Forming Operations (성형 작업)

~ Plastic deformation으로 metal shape을 변화시키는 작업

: forging (단조)

rolling (압연)

extrusion (압출)

drawing (인발)

가공온도에 따른 분류:

- { Hot working (열간 가공) ~ 재결정이 일어나는 온도 이상에서 가공
 - 연성 유지, 표면 산화
- { Cold working (냉간 가공)
 - 강도 증가, 연성 감소, 정밀제어 가능

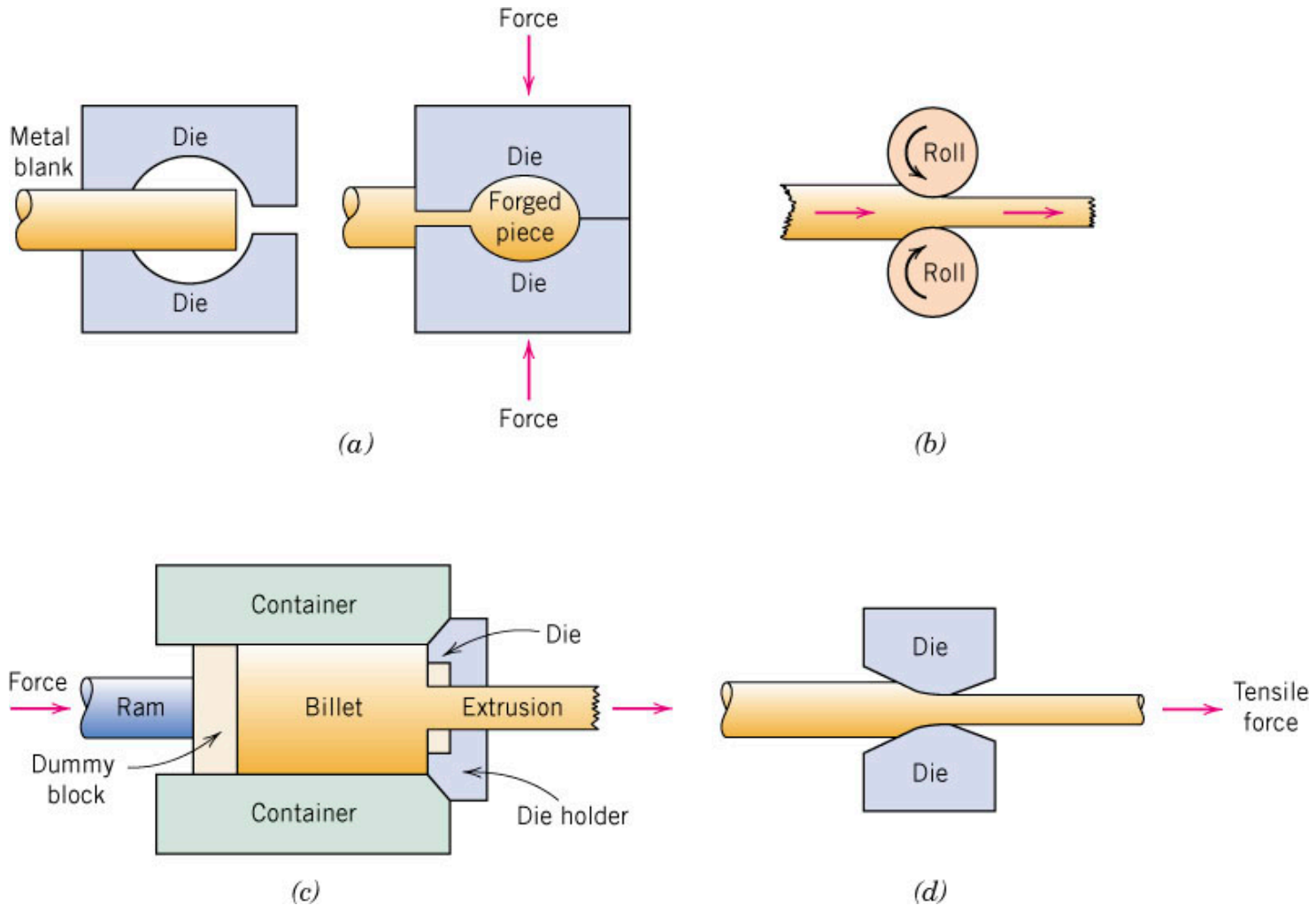


Fig. 14.2 금속의 성형방법: (a) 단조, (b) 압연, (c) 압출, (d) 인발.

Forging (단조)

~ 일련의 hammering, squeezing에 의해 이루어짐

Forged articles:

{ outstanding grain structure
“ mechanical properties

예) wrenches, crankshafts, connecting rods

Rolling (압연)

~ Two roll 사이에 금속을 통과시켜 변형 제조
(표면 품질 우수)

예) 판형: sheet, strip, foil

막대형: circular shapes, I-beams, railroad rails

Extrusion (압출)

~ Ram의 압축력으로 die orifice를 통과시켜 제조

예) 복잡한 형상의 단면적을 갖는 rods & tubing,
Seamless tubing

Drawing (인발)

~ 다이 출구 쪽에서 인장력으로 당겨 제조
면적 감소, 길이 증가

예) rod, wire, tubing 제품

Casting (주조)

~ Molten metal을 mold cavity에 부어 제조
응고시 shrinkage (수축) 발생

다음의 경우에 적합

- 제품의 모양이 복잡하고 다른 방법 적용이 어려운 경우
- 연성이 나빠 hot or cold working이 어려운 경우
- 금속 제조방법 중에서 가장 경제적임

주조 방법: sand casting, die casting, investment casting,
lost foam casting, continuous casting

Sand casting (사형 주조)

~ 모래를 금형(mold) 재료로 사용

성형품 주위에 모래를 packing시켜 두 조의 mold를 만듦

Gating system 설계가 중요함

← Molten metal의 유동을 용이하게 하기 위해

← 주조 제품 내부의 defect를 최소화 하기 위해

예) 자동차 cylinder block, 소화전, 큰 파이프 fitting류

Die casting (다이 주조)

~ Liquid metal을 금형 내에 압력을 가해 밀어 넣고 응고 시킴
빠른 주조 가능, 생산비 저렴

예) 작은 형상의 부품 및 용융점이 낮은 Zn, Al, Mg 등에 사용

Investment casting (or Lost-wax casting)

~ Wax or plastic으로 성형품 제조

→ 성형품 주위에 소석고(plaster of paris) slurry 주입

→ 가열하면 성형품은 타고 석고로 된 금형을 얻음

- 정밀 치수, 미세구조 재생, 우수한 외형

예) 귀금속 세공, dental crown, inlay,

turbine blade, jet engine impeller blade

Lost-foam casting

- ~ PS foam(폴리스티렌 발포체)으로 성형품 제조
 - 성형품 주위에 모래를 packing시켜 금형을 만듦
 - 용융 금속을 부으면 채워지면서 성형품을 증발시킴
 - 냉각하면 성형품 형상의 금속 제품을 얻음
(investment casting의 일종)
- 복잡 형상 가능, 사형 주조에 비해 간단, 저렴, 폐기물 절감
 - 예) engine blocks, cylinder heads, crankshafts, motor frames

Continuous casting (연속 주조)

- ~ 1차 성형(압연)과 2차 성형(단조, 압출, 인발 등)을 동시 수행
- 화학적 조성 및 기계적 성질 균일, 자동화 및 효율성 우수

Miscellaneous Techniques (기타 기술)

Powder Metallurgy (분말 야금)



모재와 동등한 밀도 가능
열처리시 확산공정이 핵심

연성이 낮은 재료에 적합 (분말체의 소성변형만 겪으면 됨)
용융온도 높은 재료에 적합

예) 정밀 치수 요구되는 gear, bearing 등

Welding (용접)

~ 둘 이상의 금속 부위를 접합

종류: arc welding (or gas welding),
brazing (땜질),
soldering (땜납)

문제점:

강도, 경도, 인성이 열화
냉각시 residual stress 발생
미세구조의 변화
Steel은 부식에 취약

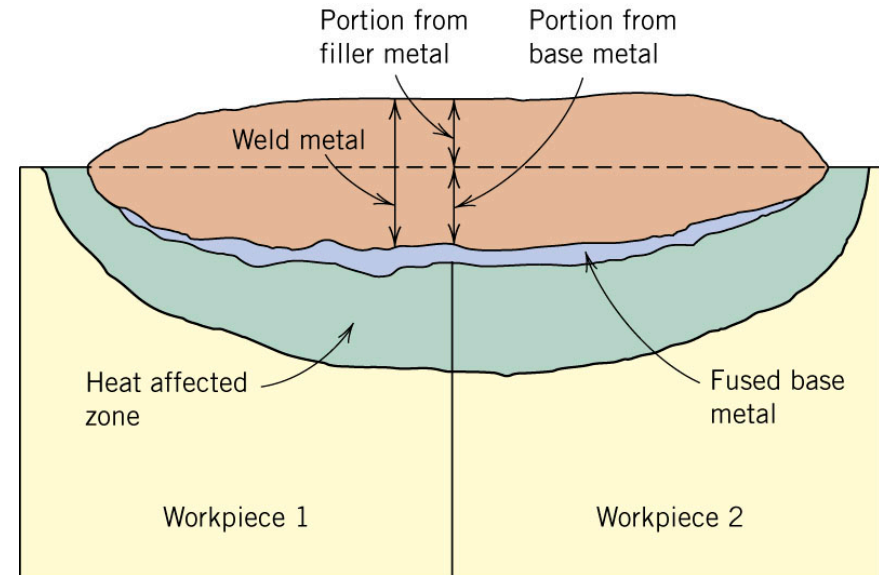


Fig. 14.3 용접 부위의 단면.

→ Laser beam welding은 이런 문제점을 상당히 해소함

Fabrication of Ceramics (세라믹재료의 제조)

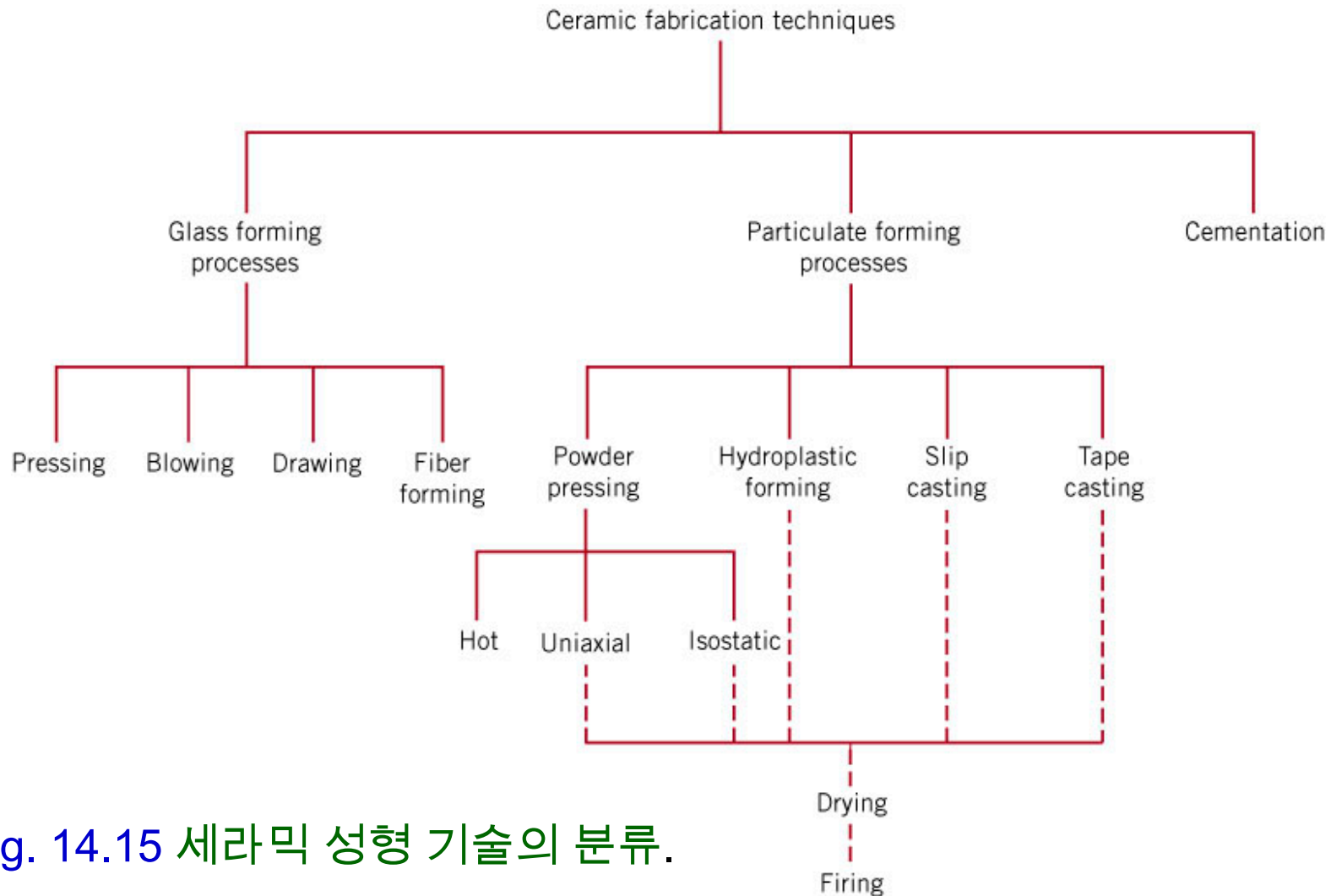
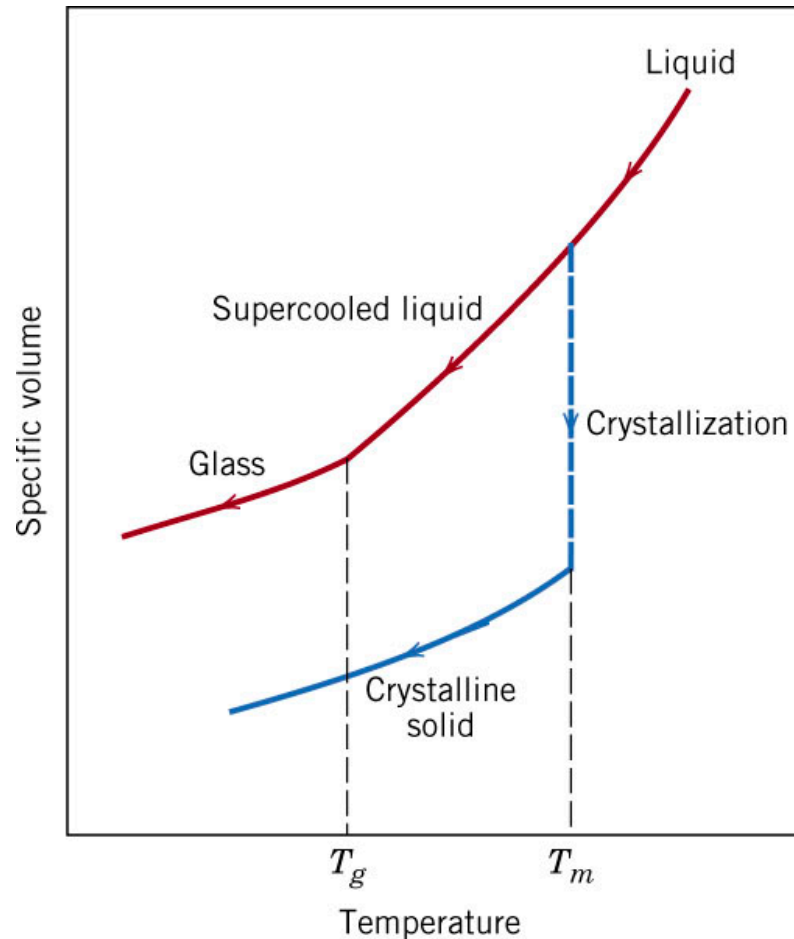


Fig. 14.15 세라믹 성형 기술의 분류.

Fabrication & Processing of Glasses & Glass-Ceramics

Glass Properties



Specific volume (비체적)
 ~ 단위질량당 체적
 (즉, 밀도의 역수)

냉각에 따라 비체적이 감소
 → 점도가 연속적으로 증가

Fig. 14.16 결정질 재료 및 비결정질 재료의 온도에 대한 비체적 거동.

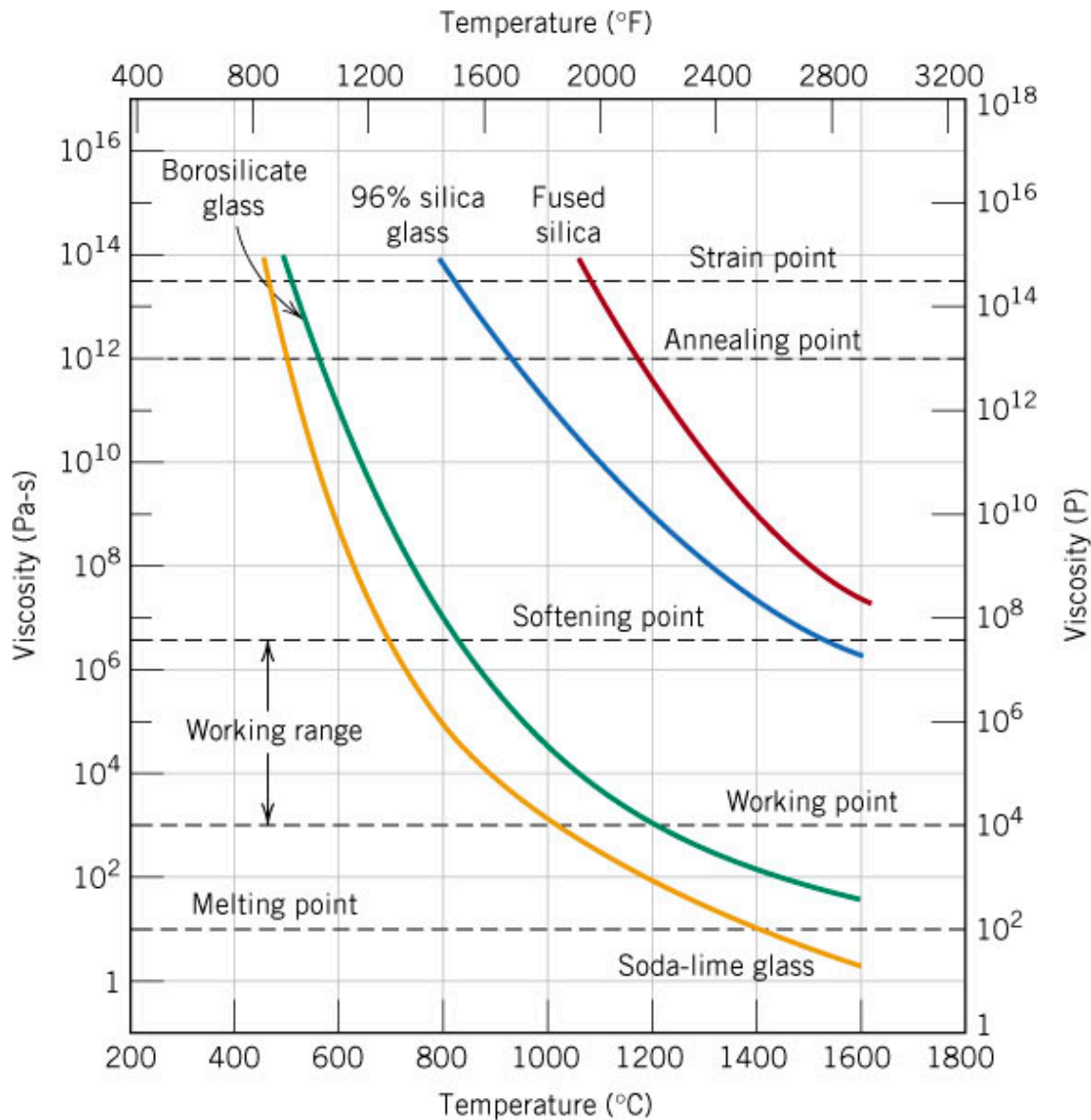


Fig. 14.17 여러 가지 유리에 대한 점도의 온도 의존성.

→ 유리의 경우 점도와 온도와의 관계를 이해하는 것이 성형 공정에 중요

- 1) Melting point (용융점): 액체의 유동성을 갖는 온도 ($10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Soda-lime glass의 경우 $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도에 해당
- 2) Working point (작업점): 쉽게 작업이 가능한 온도 ($10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Soda-lime glass의 경우 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도에 해당
- 3) Softening point (연화점): 유리의 형상이 변하는 온도 ($4 \times 10^6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Soda-lime glass의 경우 $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도에 해당
- 4) Annealing point (열풀림점): 잔류응력 제거 가능한 온도 ($10^{12} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Soda-lime glass의 경우 $550 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도에 해당
- 5) Strain point (변형점): 소성 변형 가능한 최저 온도 ($3 \times 10^{13} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Soda-lime glass의 경우 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도에 해당

일반적인 유리 성형 온도 범위 (working range):
작업점과 연화점 사이에서 이루어짐

Glass Forming (유리 성형)

Soda-lime silica 유리가 일반적인 제품
(투명성 확보 위해서는 균일한 재질과 기공이 없어야 함)

* 유리제품 제조를 위한 성형기술

Pressing (압축, 누름) ~ 접시 등 두꺼운 제품

Blowing (취입) ~ 유리용기, 병, 전구 등

: gob(유리 덩어리) → parison(용융 예비성형물) → article(제품)

Drawing (인발) ~ sheet, rod, tubing, fiber

Fiber forming (섬유 성형) ~ glass fiber (drawing 기술을 개선)

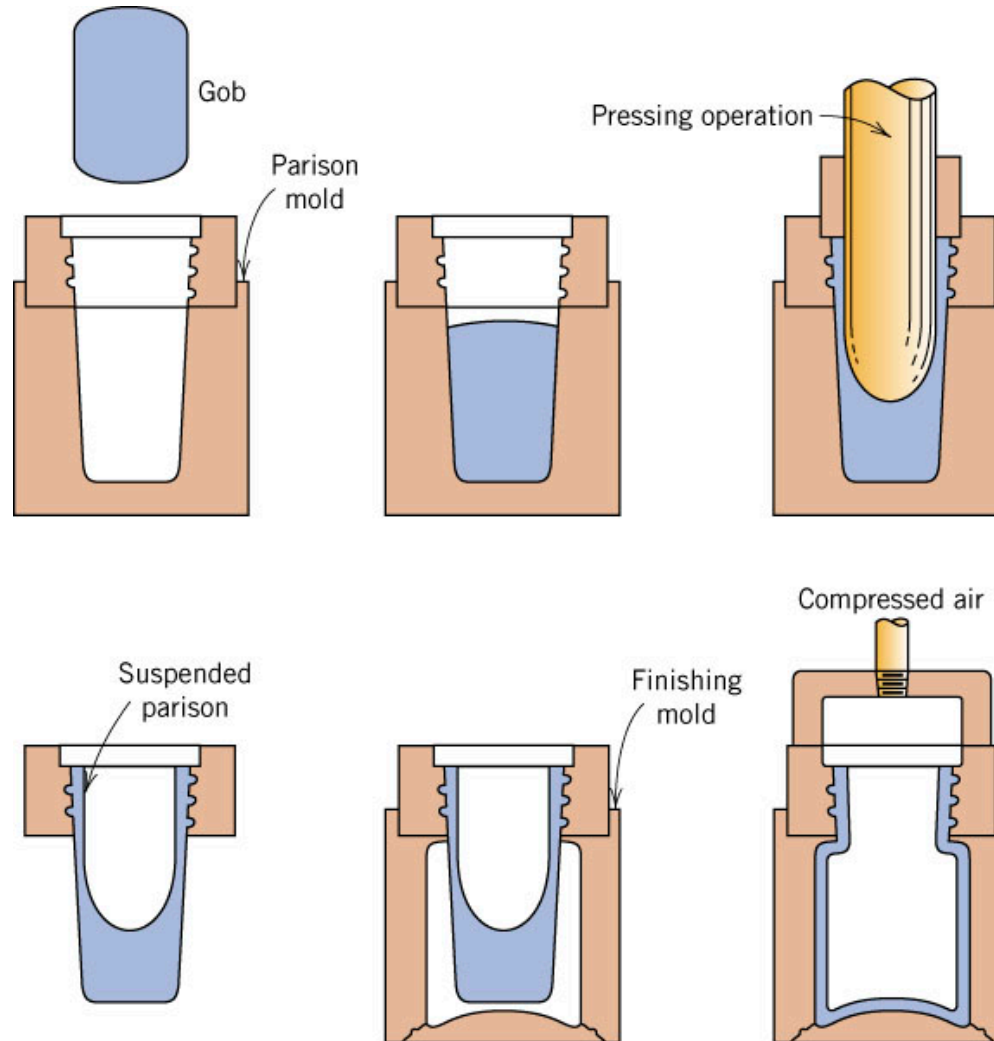


Fig. 14.18 유리 병 제조를 위한 press & blow 성형 기술.

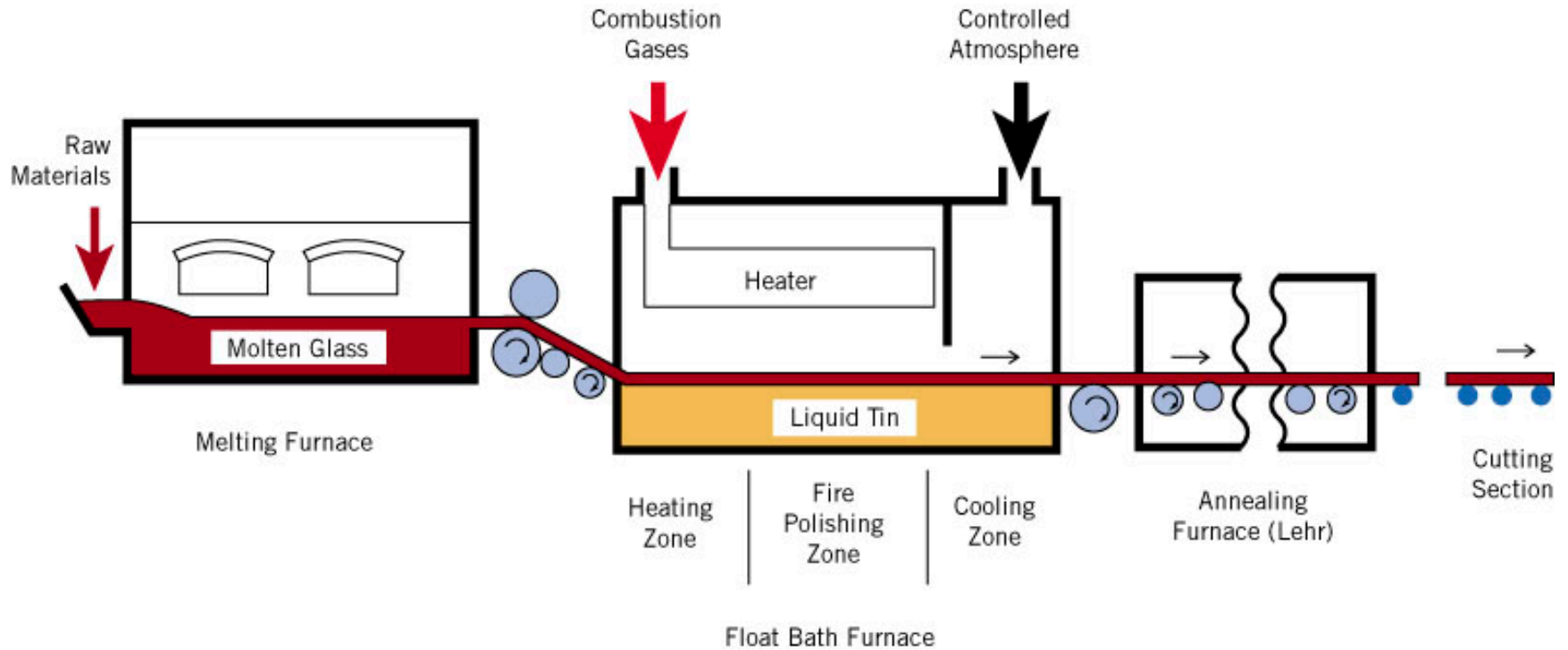


Fig. 14.19 판 유리 제조를 위한 float process 개략도.

Fabrication of Clay Products

Characteristics of Clay

- { Hydroplasticity (수가소성)
 - ~ 물이 첨가되면 가소성을 지님
- { Wide range of T_m
 - ~ 일부만 용융시켜 제조 가능

결정구조 복잡하지만 layered structure 지님
 → 물을 첨가하면 silicate layer 사이로 들어감

Composition of Clay Products

- { Clay (점토) 50%
- { Quartz (수정) 25% ~ T_m 높음, 강도 (충전제 역할)
- { Feldspar (장석) 25% ~ T_m 낮음, flux (용제) 역할

Fabrication Techniques

광물 → milling → grinding → screening → powder

Hydroplastic forming (수가소 성형)

: 점토 + 물 → 성형

압출 (extrusion)이 일반적 → 예) 건축용 벽돌

Slip casting (슬립 주입 or 니장 주입)

→ 점토액 (점토가 물에 혼합된 현탁액)

: slip 속의 물이 석고로 된 mold에 흡수

{ Solid slip casting ~ mold 내부에서 응고

{ Drain slip casting ~ mold 표면에 고체층 형성

예) 화장실 변기, 예술작품, 세라믹 튜브

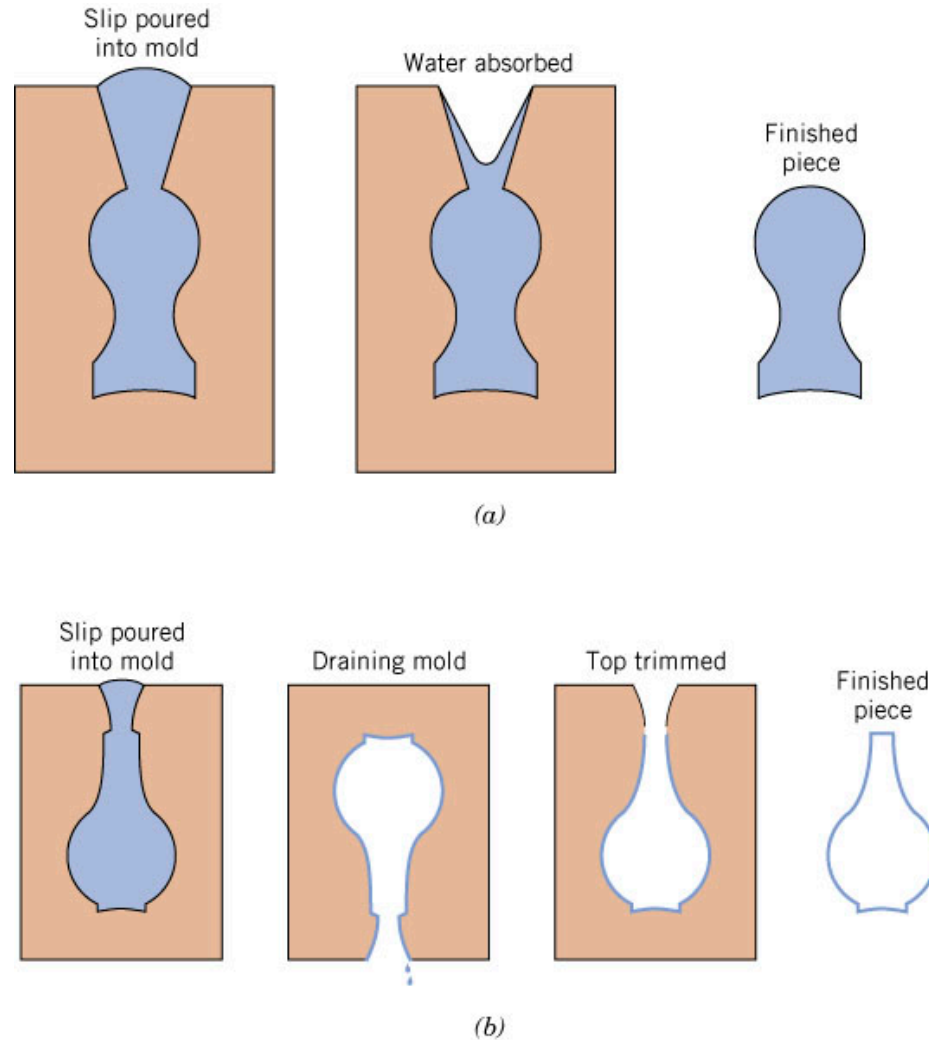
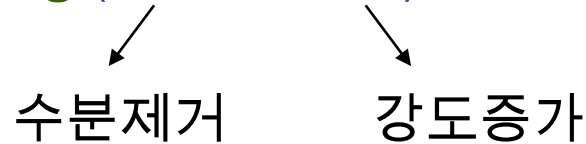


Fig. 14.22 석고 몰드를 이용한 slip casting 단계: (a) solid, (b) drain.

Drying & Firing (건조 및 소결)



Drying

~ 건조시 입자 간의 간격 감소 → 제품의 수축
표면 증발속도가 확산속도보다 작도록 조절

수분 함량이 많을수록
두꺼운 제품일수록
입자크기가 작을수록 } 수축 큼

→ Microwave E 이용: 고온 공정을 피할 수 있음
민감한 부품 건조시 유리

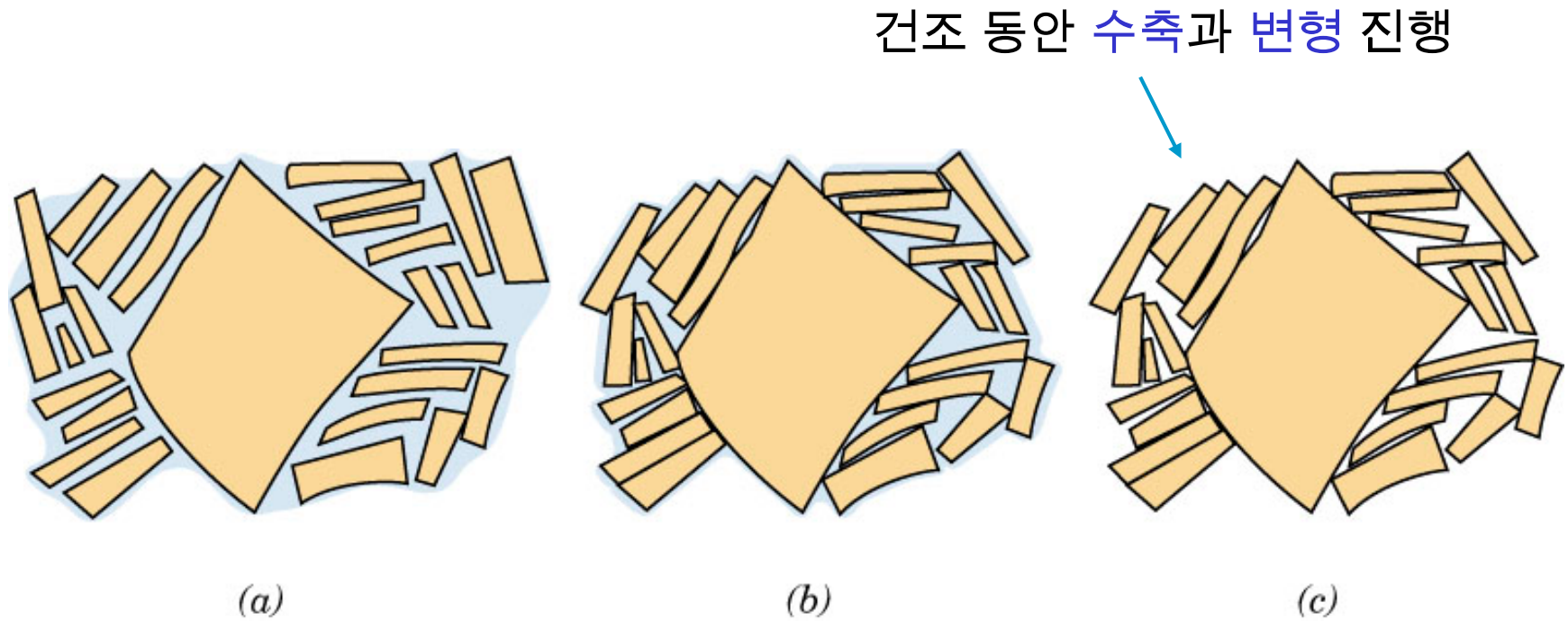


Fig. 14.23 점토 제품에서 점토 입자 사이의 수분이 제거되는 단계:
(a) 미건조, (b) 부분건조, (c) 완전건조.

Firing

~ 건조한 제품을 900 ~ 1400 °C로 소결

소결과정을 거치면

기공 감소 → 밀도 증가 → 강도 증가

소결 온도 ↑ → 저융점 성분의 **vitrification** (유리화) ↑

→ 액상의 유리는 기공을 채움

→ 모세관 현상에 의해 입자들이 끌어당겨져 수축 발생

→ 냉각되면 유리상 matrix를 형성해 강도 ↑

최종 microstructure: {
vitrified phase
unreacted quartz particle
porosity

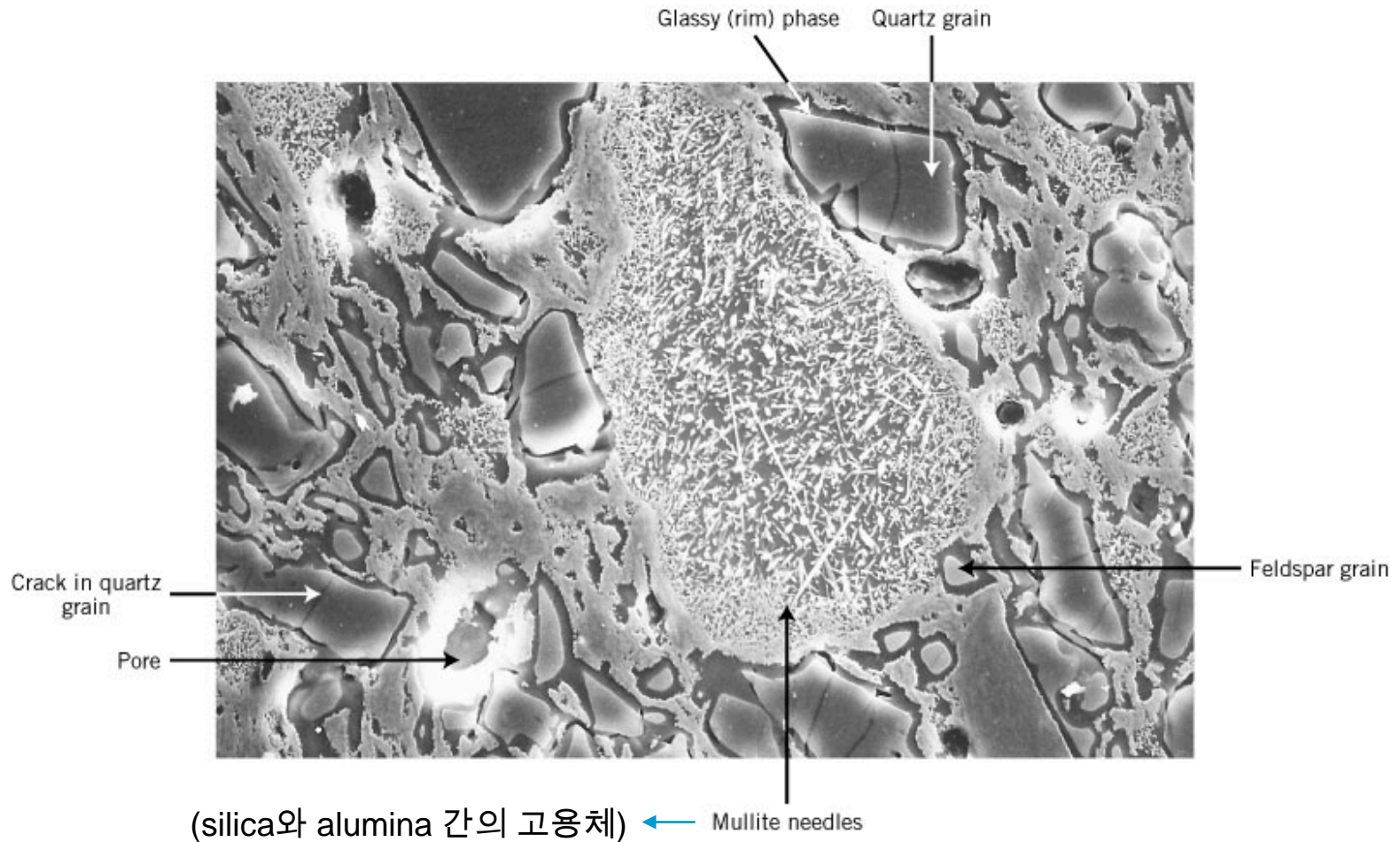


Fig. 14.24 소결된 자기의 확대 사진 (수정 결정립 주위를 유리상이 둘러싸고 부분적으로 녹은 장석 결정립과 기공이 보임. 수정 입자 내에는 냉각시 열팽창 계수의 차이에 의한 crack이 관찰됨).

Powder Pressing (분말 압축)

← Electronic & magnetic ceramics 또는 내화벽돌 제조시 활용
금속 제품 성형기술의 하나인 powder metallurgy와 유사
약간의 물 or binder + 분말 혼합 → 압축 후 소결

Uniaxial pressing (일방향 압축)

: 다이 내에서 일방향 압축 성형 (단순한 형태 제조)

Isostatic pressing (등방향 압축)

: 유체를 이용해 등방향으로 압력 부과 (복잡한 형태 가능)

Hot pressing (고온 압축)

: 가열한 상태에서 압축 (고온에서도 용융 않는 재료에 이용)

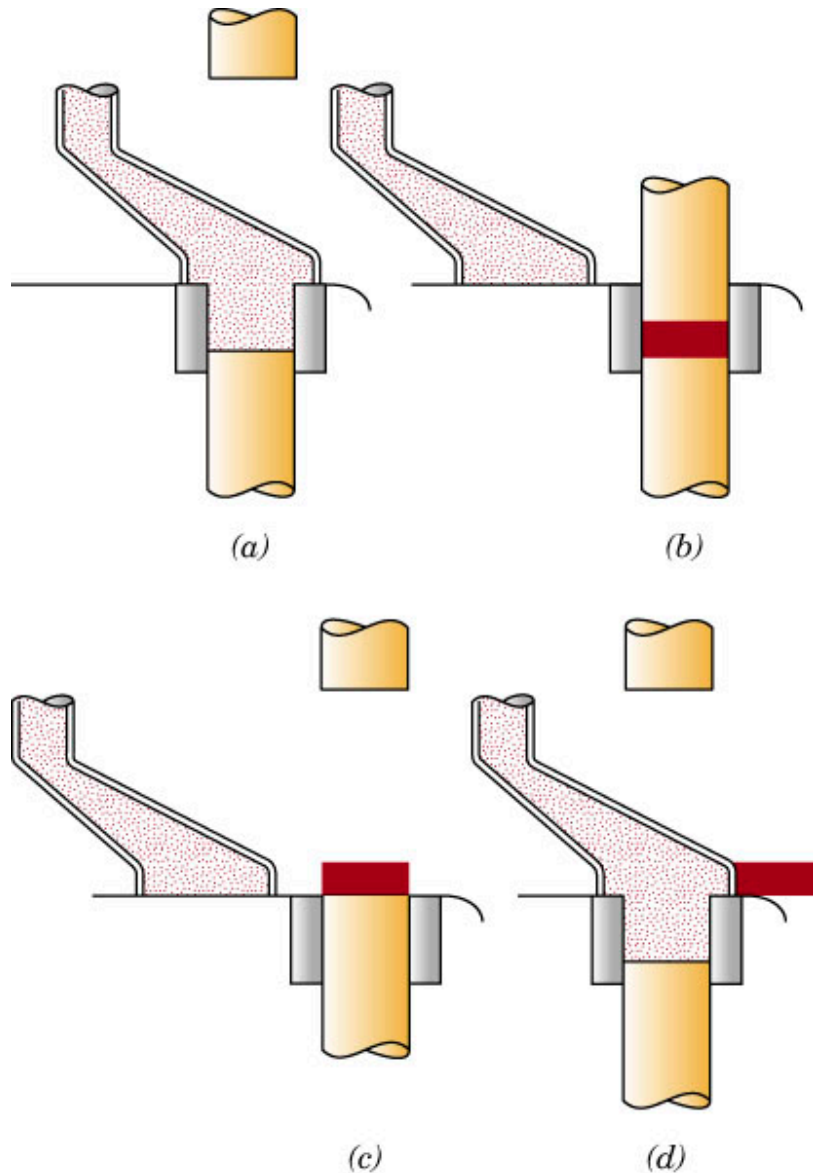


Fig. 14.25 Uniaxial powder pressing
공정의 단계별 모식도: (a) 분말
공급, (b) 압축, (c) 압축 제품 밀어
올림, (d) 배출 및 분말공급.

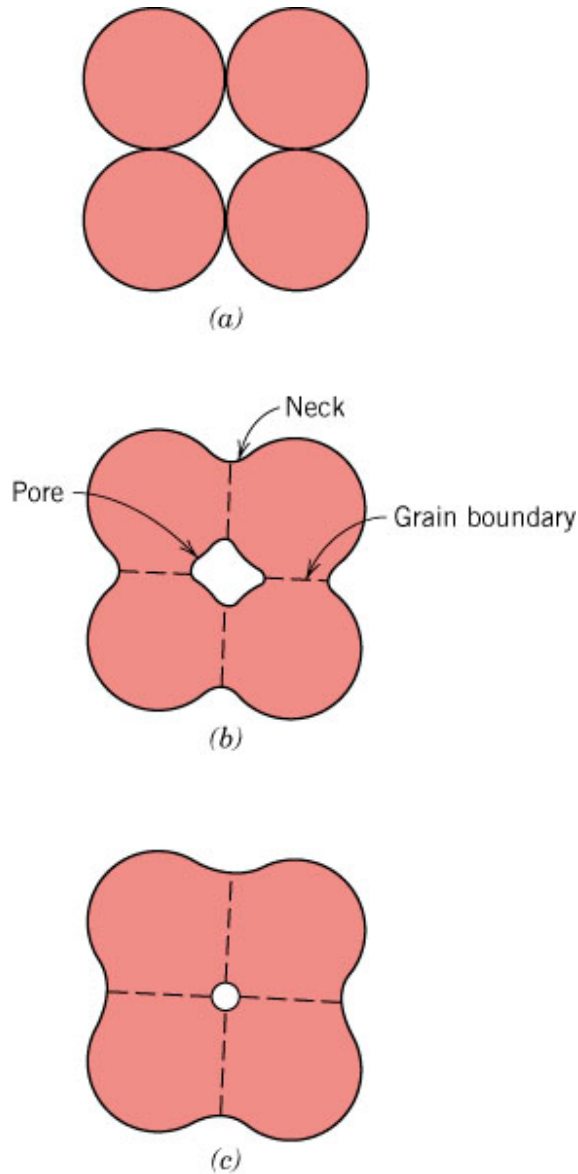


Fig. 14.26 분말 재료의 소결 과정 중에 일어나는 미세구조 변화:

- (a) pressing 후의 분말,
- (b) 소결이 시작되면서 형성되는 입자 간 결합(coalescence) 및 pore 생성,
- (c) 소결 중의 pore 크기 및 형상 변화.

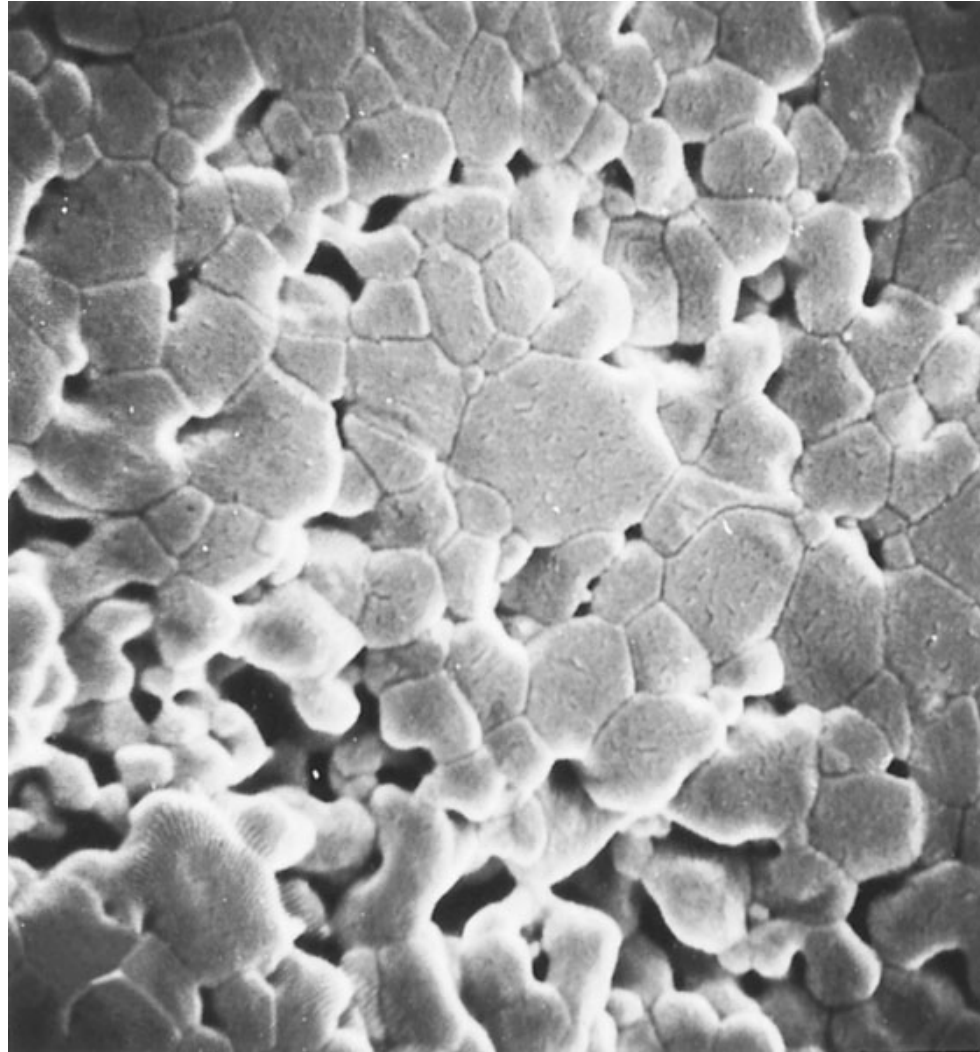


Fig. 14.27 1700 °C에서 6분간 소결한 aluminum oxide 확대 사진.

Tape Casting

0.1 ~ 2 mm 두께의 tape 제조시 활용

Slip (점토액) 이용

Ceramic 입자가 binder (결합제) 및 plasticizer (가소제)를 포함하는 유기용매에 분산된 형태

Slip을 유연한 tape 위에 주입

→ Doctor blade로 균일한 두께로 도포

→ drying & rolling

예) I.C. & 다층 capacitor의 얇은 세라믹 기판 제조에 활용

→ 필요시 절단 혹은 천공하고 소결시킴

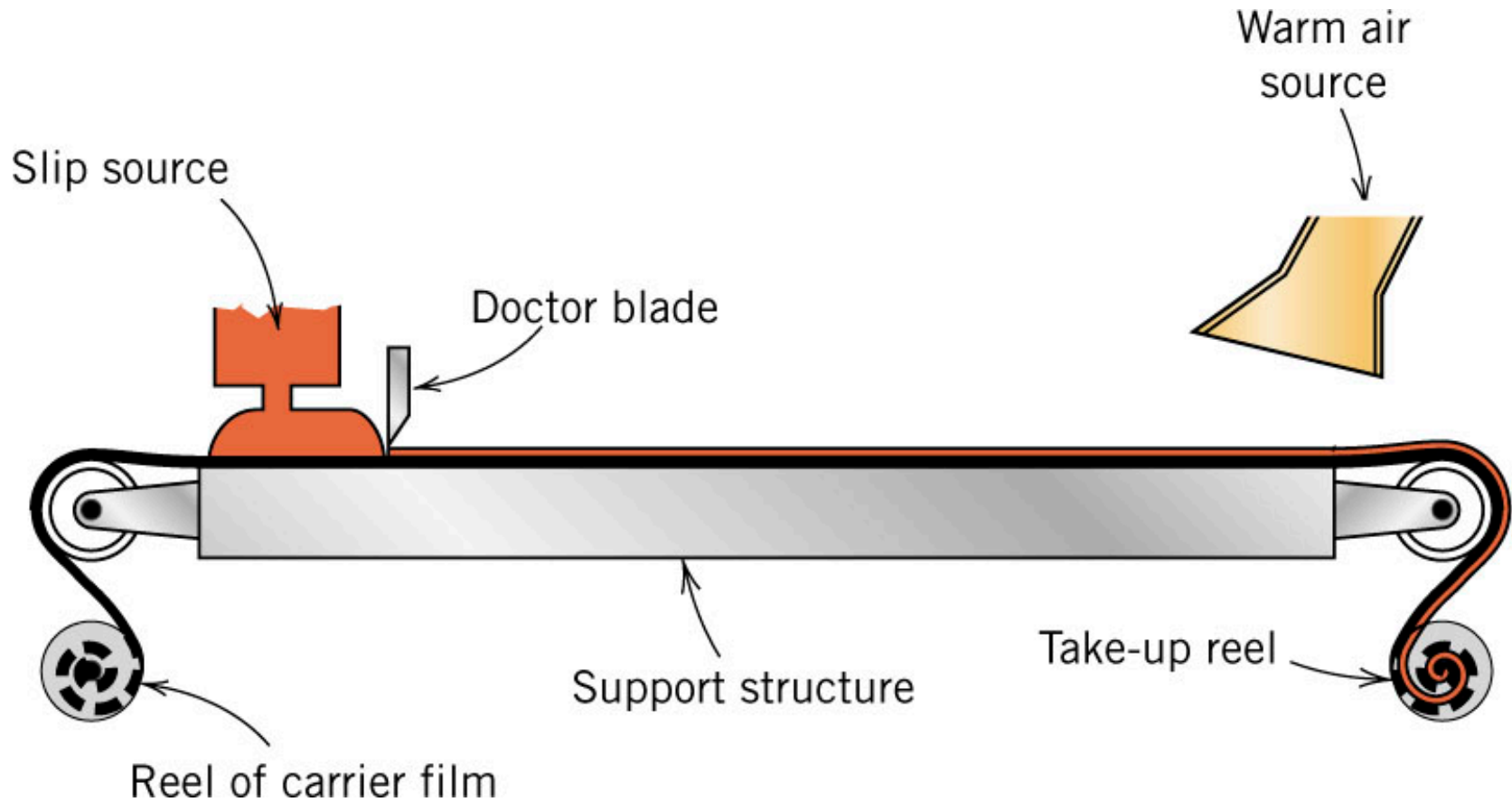


Fig. 14.28 Doctor blade를 이용한 tape casting 공정의 모식도.

Synthesis & Fabrication of Polymers

(고분자재료의 합성 및 제조)

Polymerization (중합)

Addition Polymerization (부가 중합)

or chain growth polymerization (사슬성장 중합)

~ 단량체 단위들이 사슬처럼 한번에 하나씩 연결되어
선형 거대분자를 형성시키는 중합 방식

세 가지 주요 단계:

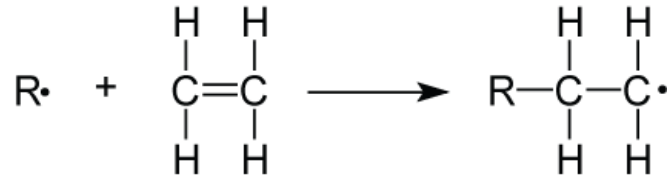
Initiation (개시)

Propagation (성장)

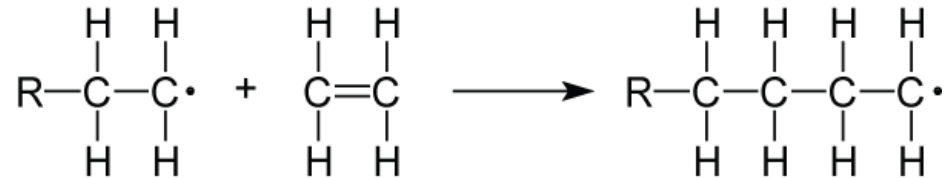
Termination (종료)

→ PE, PP, PVC, PS 및 다양한 공중합체의 합성에 사용

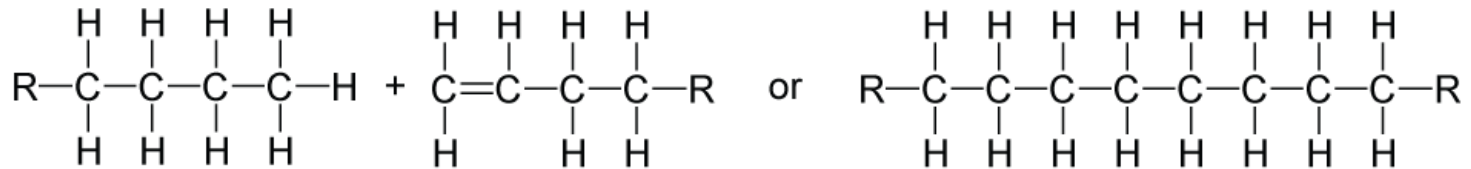
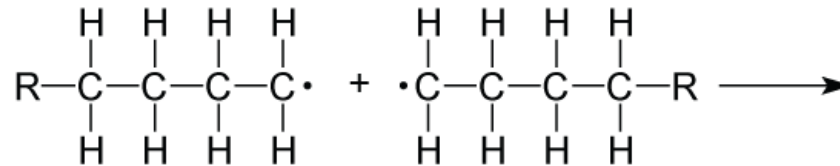
Initiation



Propagation



Termination



Disproportionation

(불균등화)

Combination

(결합)

Condensation Polymerization (축합 중합)

or step growth polymerization (단계성장 중합)

~ 하나 이상의 단량체 종이 참여하여 화학반응이 단계별로
진행되어 고분자를 형성하는 중합 방식

물과 같은 저분자량의 부산물(byproduct)이 함께 생성

반응물과 생성물의 repeat unit이 다름

분자간 반응이 일어날 때마다 repeat unit이 생성

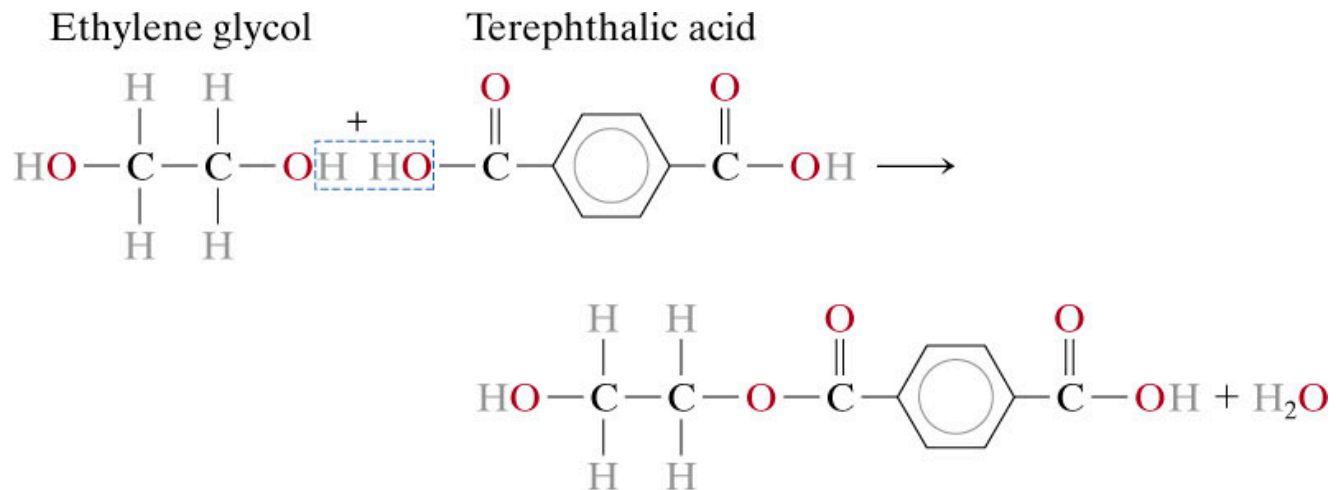
일반적으로 부가 중합보다 긴 반응 시간이 요구됨

Trifunctional monomers 등을 도입하면

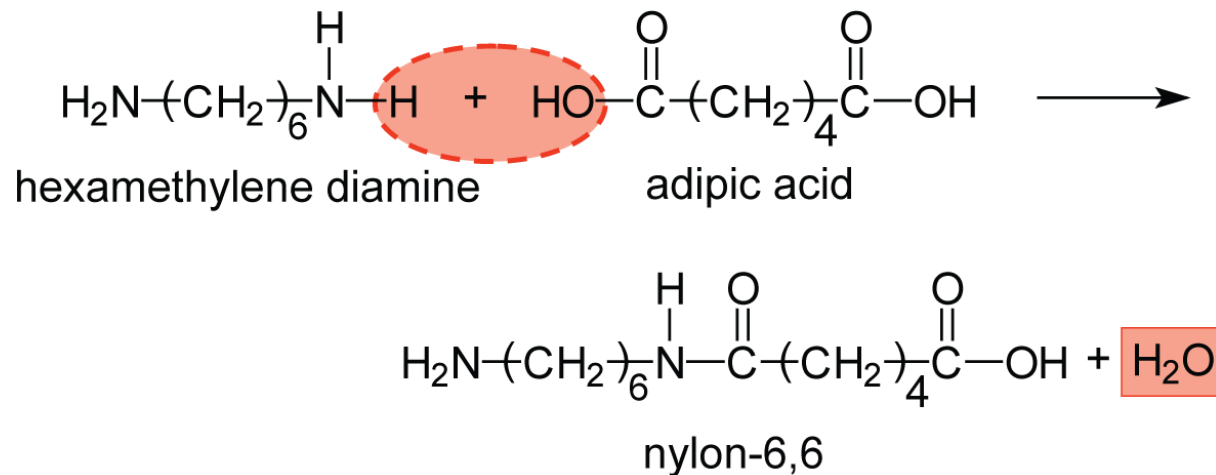
crosslinked & network polymers를 형성할 수 있음

→ polyethylene terephthalate (PET), polyamides (Nylon 6 & Nylon 6,6)
polycarbonate, phenol 수지 등의 합성에 사용

PET:



Nylon 6,6:



Polymer Additives (고분자 첨가제)

Fillers (충전재)

~ 고분자 재료의 인장강도, 압축강도, 내마모성, 강인성, 치수안정성, 열 안정성 향상 or 원가 절감 위해 첨가하는 물질

→ 목분, 실리카 분말, 모래, 점토, 활석(talc), 석회석 등

Plasticizers (가소제)

~ T_g or T_m 을 낮추어 주기 위해 첨가하는 물질
고분자 재료의 유연성, 연성 및 강인성 향상
경도와 강성도(stiffness)는 감소

얇은 sheet or film, 튜브, 비옷, 커튼 등 제조에 사용

Stabilizers (안정화제)

~ UV(자외선), O₂, O₃ 등에 의해 야기되는 재료의 열화를 방지하기 위해 추가하는 첨가제

UV 등 빛은 분자 사슬의 결합에 영향을 끼쳐 가교결합을 유도
→ 재료가 brittle해져 충격 강도 및 강인성이 약해짐

Colorants (착색제)

~ 재료에 색을 부여하기 위한 첨가제

{ Dye (염료) ~ 고분자 재료에 분자 수준으로 분산

{ Pigment (안료) ~ 분산되지 않고 독립된 상으로 존재

Flame Retardants (난연제)

~ 가연성 고분자 재료의 연소를 방지 or 억제하기 위한 첨가제

역할: 기상 연소반응을 방해함

연소반응을 변경시킴

Forming Techniques for Plastics (플라스틱 성형기술)

성형 방법을 결정하기 위해 고려할 사항

1. Thermoplastic or thermosetting ?
2. If thermoplastic, T_g and/or T_m ?
3. Stability of the material being formed ?
4. Geometry and size of the product ?

Molding (성형, or 몰딩): 플라스틱 pellet을 고온, 고압에서 녹여서 금형 형상대로 채우는 가공 방법
가장 일반적인 고분자재료 가공방법

종류: Compression molding, blow molding, injection molding
(extrusion, casting)

Compression Molding (압축 성형)

: 가열 용융시킨 플라스틱을 가압하여 금형 형상으로 제품을 제조

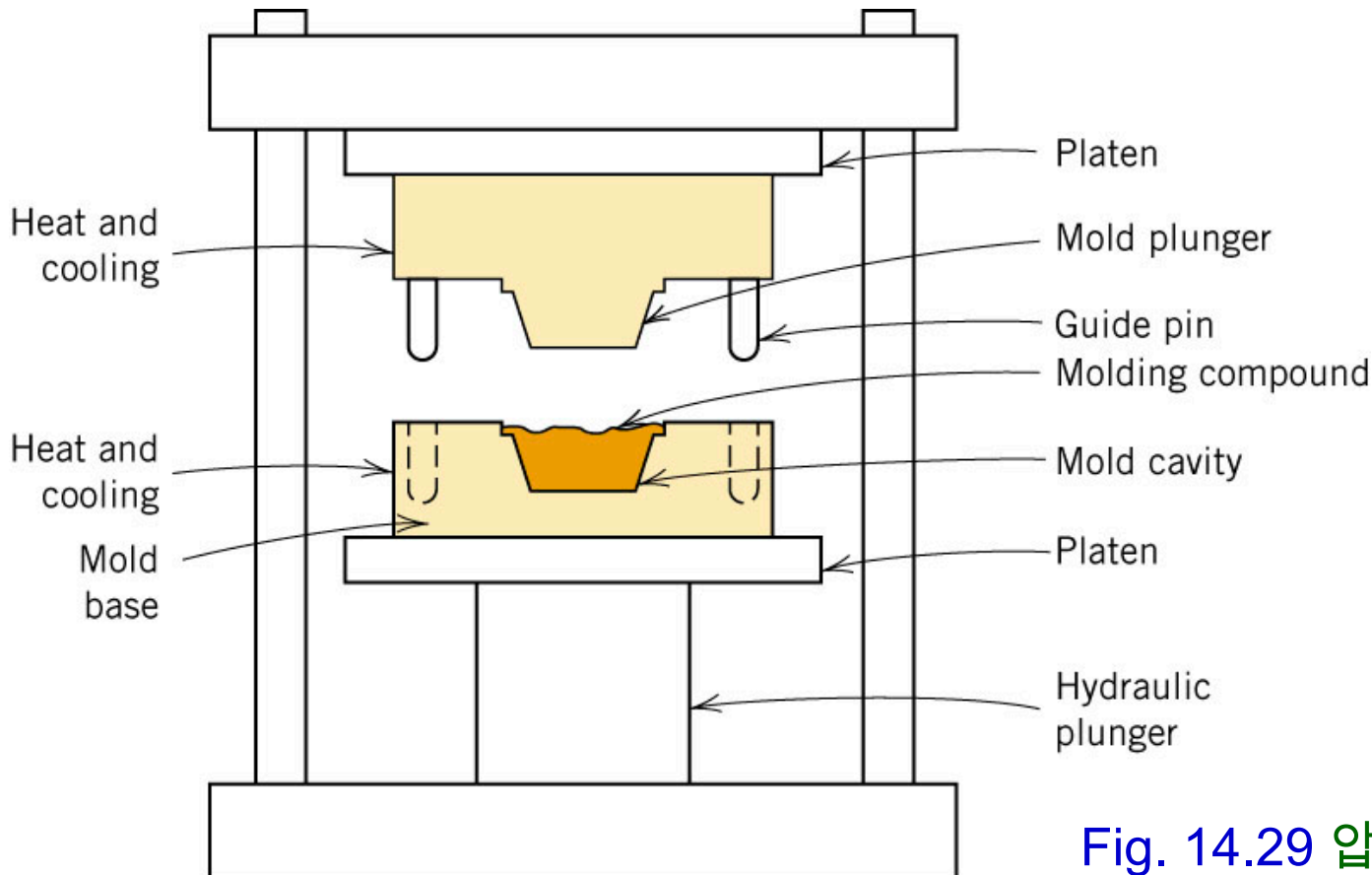


Fig. 14.29 압축 성형 장치.

Injection Molding (사출 성형)

- : 열가소성 플라스틱 pellet을 hopper로 공급 → Barrel 내에서 용융
- Ram or screw로 가압 및 이송 → 노즐에서 금형 내로 사출
- 고화될 때까지 가압 → 금형 분리(이형)

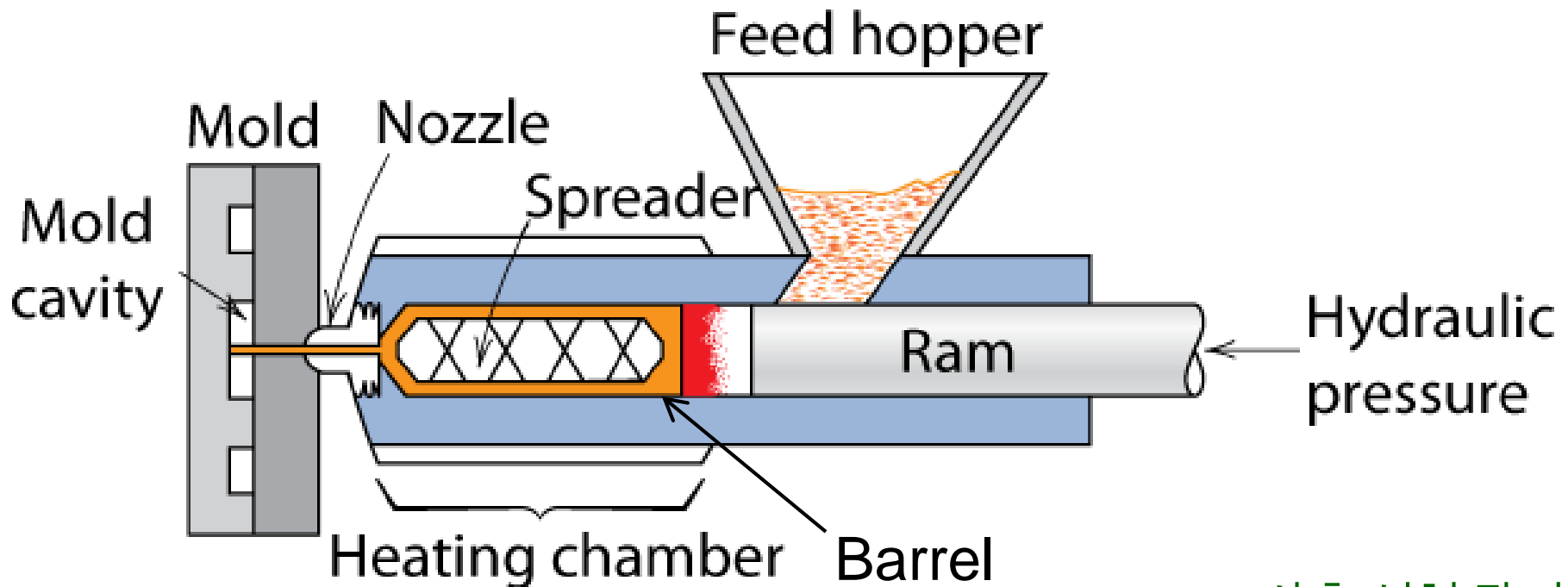


Fig. 14.30 사출 성형 장치.

Extrusion (압출)

: 열가소성 플라스틱 pellet을 hopper로 공급
 → Screw로 이송, 압축 및 용융 → 다이를 통해 압출
 (동일한 단면적을 갖는 제품을 연속적으로 제조)

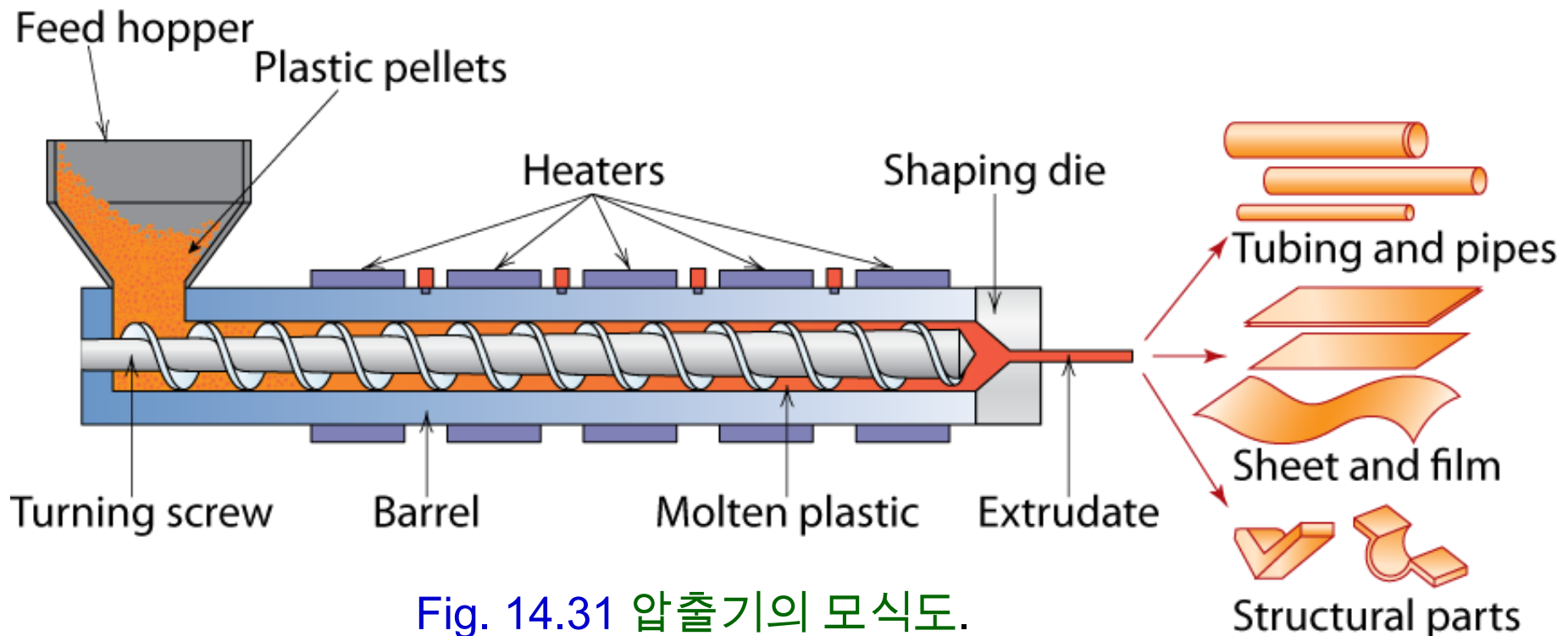


Fig. 14.31 압출기의 모식도.

Blow Molding (중공 성형 or 취입 성형)

: 가열 용융시킨 플라스틱을 튜브 형태로 압출한 후 공기를 불어 부풀린 다음 얇은 필름 형태의 제품 제조

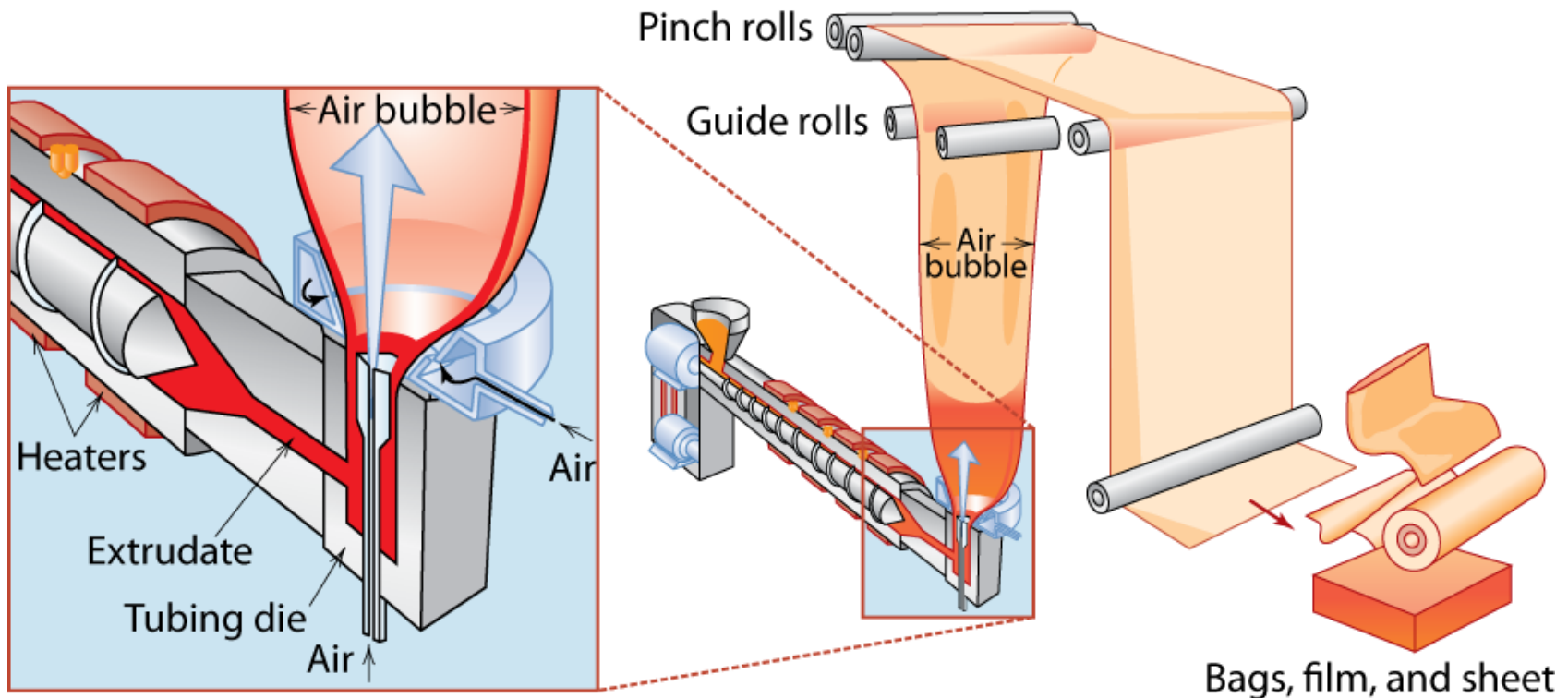


Fig. 14.32 필름 중공 성형 장치.

(Probs.)

14.1, 14.3, 14.20, 14.22, 14.25,
14.29, 14.35 & 14.39.