Introduction to injection molding

Injection molding machine

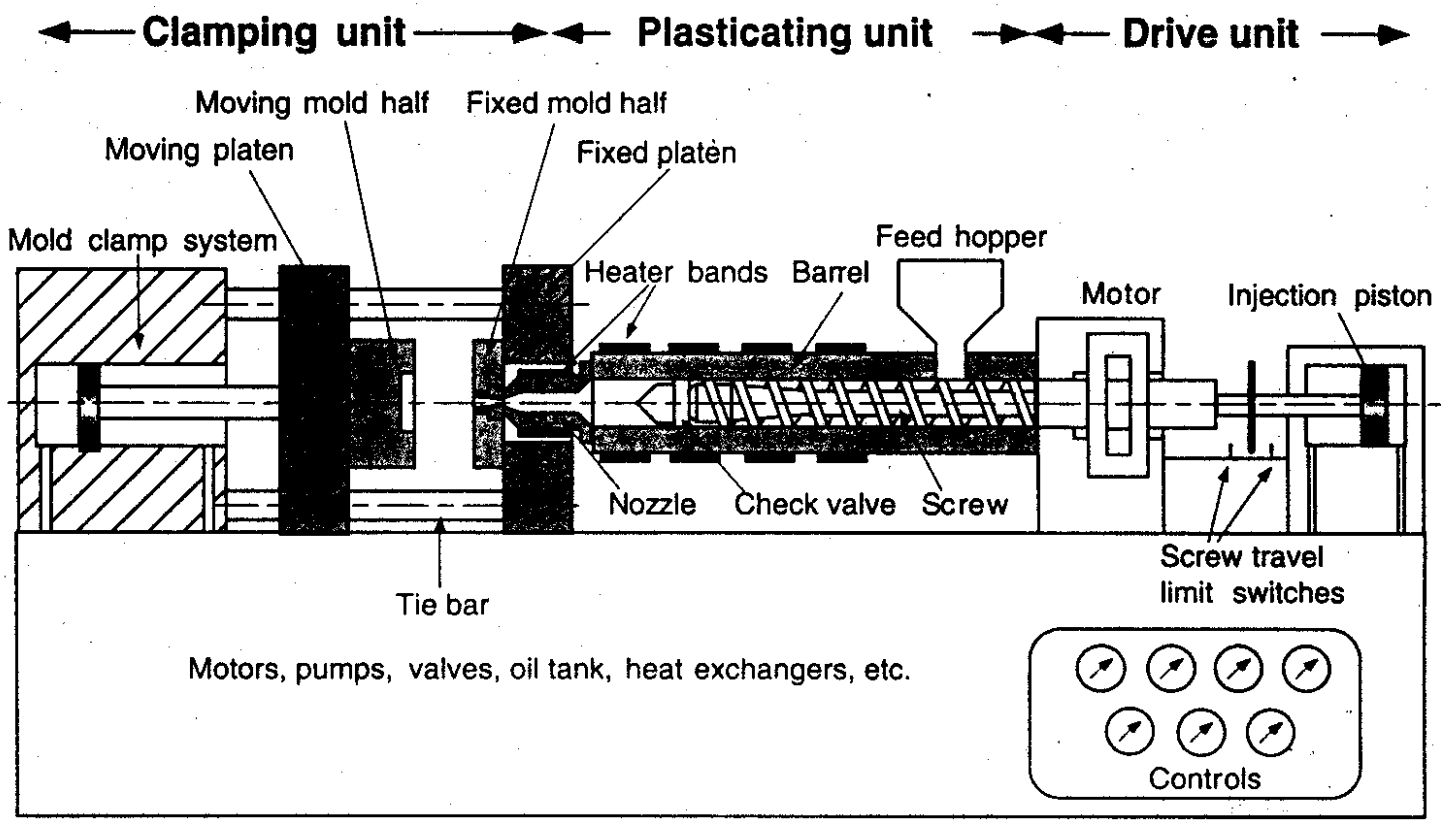


Figure 1.1 Schematic of a typical injection-molding machine

Injection molding cycle

- Injection of the melt into the mold
- Holding pressure and plasticating
  - Additional melt is injected to compensate for contraction due to cooling
  - As the melt cools and solidifies, the pressure should be high enough to avoid sinkmark
- Ejection

Injection molding cycle

t=0

Screw pushed forward	Hold time	Screw recovery	Soak time
Mold filling	Part cooling		Part ejected
Mold closed			Mold open

Characteristics

- Expensive molds – for large production runs
- Low assembly cost
- High pressure – limits the size of the product
- Long products require multiple gates
- Part thickness less than 5mm – limits the cooling time
- Part thickness larger than 0.5mm – premature solidification
- Cycle time is money

Clamping

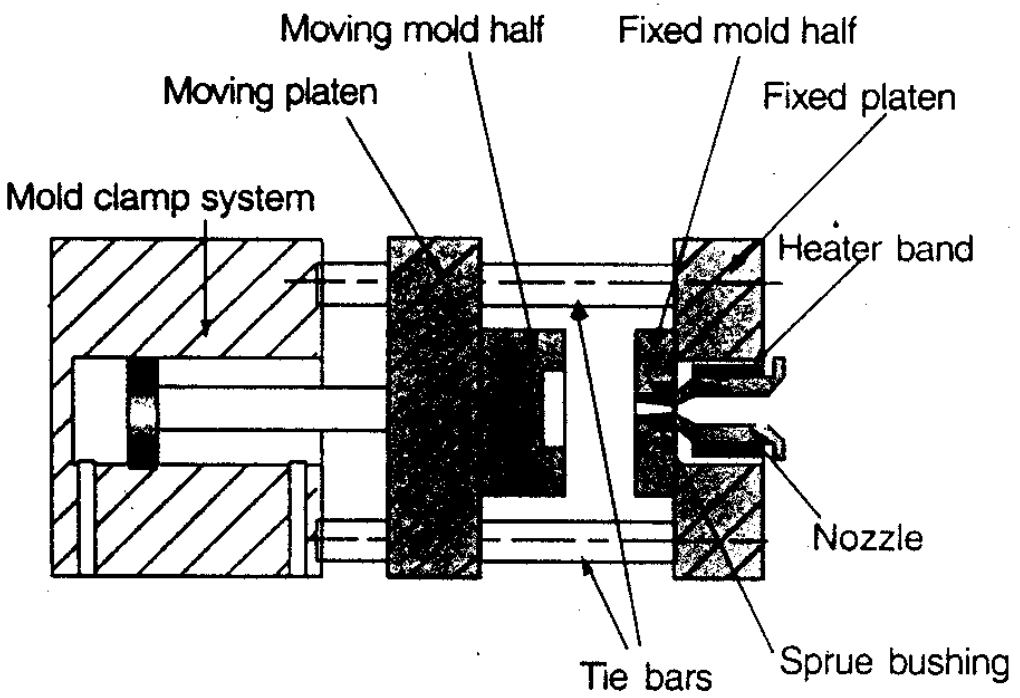
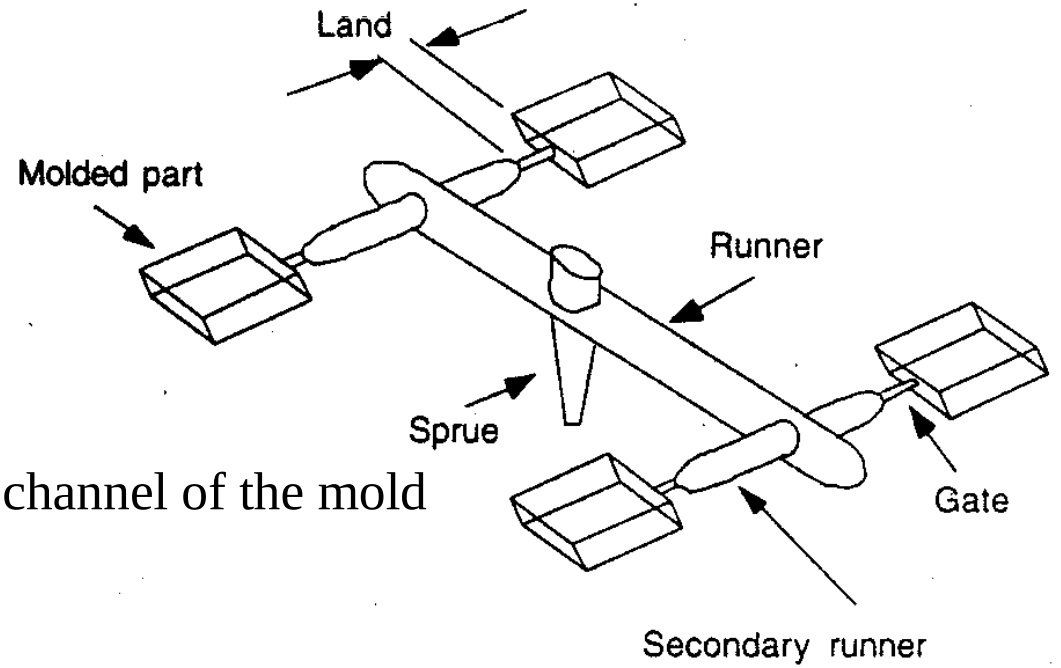


Figure 1.16 The main components of the clamping system

Clamping force pushes the mold halves together, while the pressure of the melt inside the mold pushes the mold halves apart.

Mold



Sprue: entry channel of the mold

Figure 1.19 A runner system for a four-cavity mold

Mold

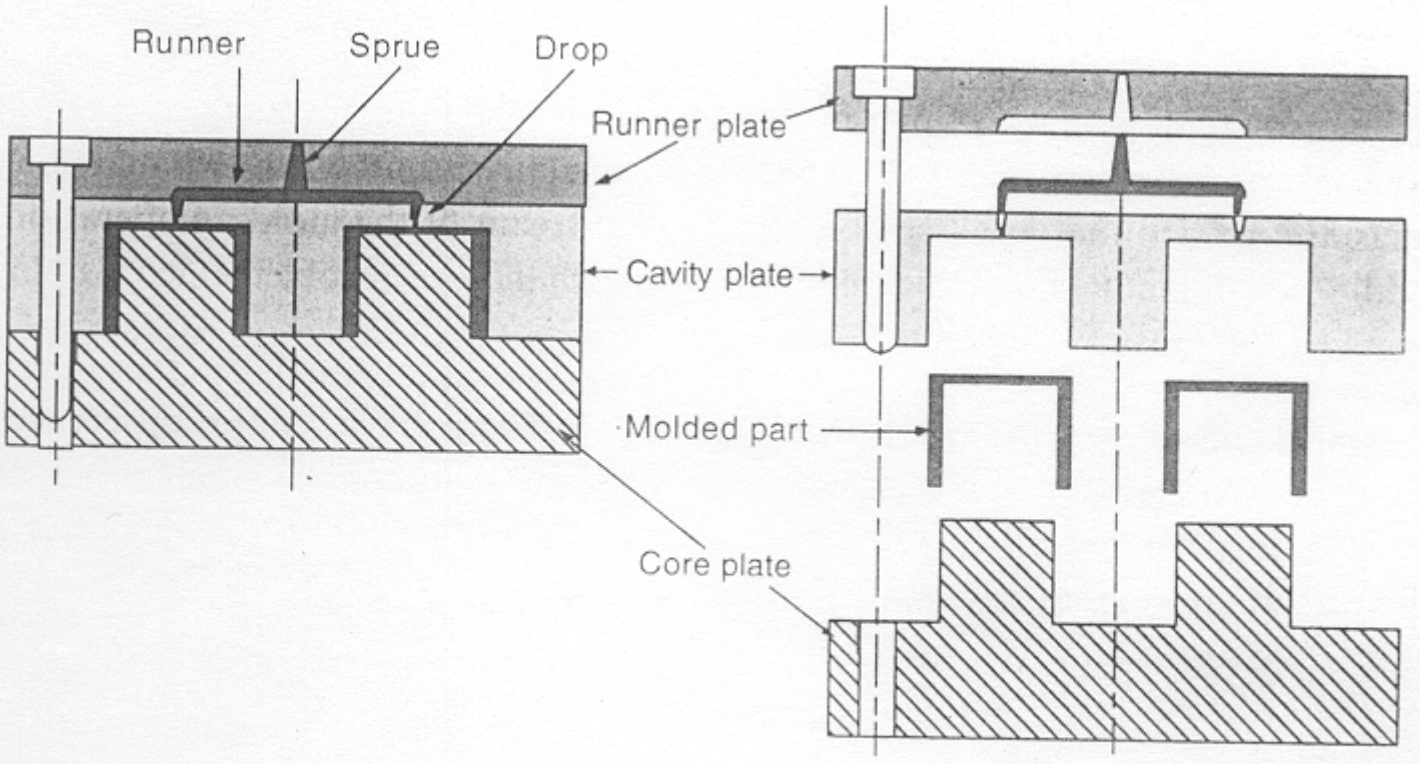
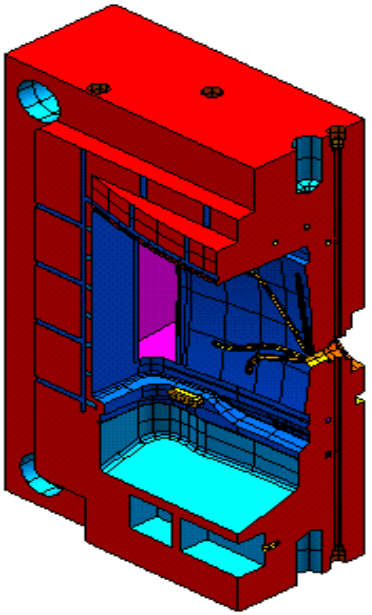


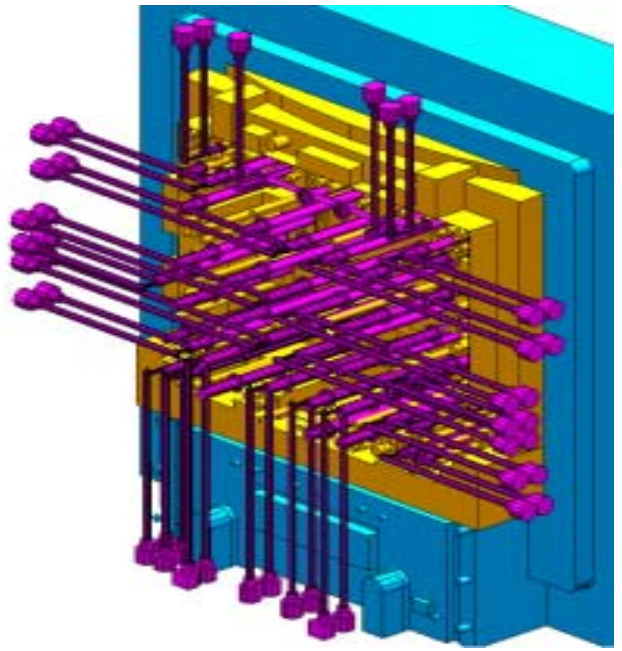
Figure 1.21 Example of a three-plate mold

설계 가이드

금형설계

금형제작





- 고정밀 기계 채용
- 균일한 금형온도를 유지하기 위한 최적의 냉각 시스템
- 충분한 가스빼기 설치
- CAE에 의해 게이트와 개스채널시스템 설계

Runner

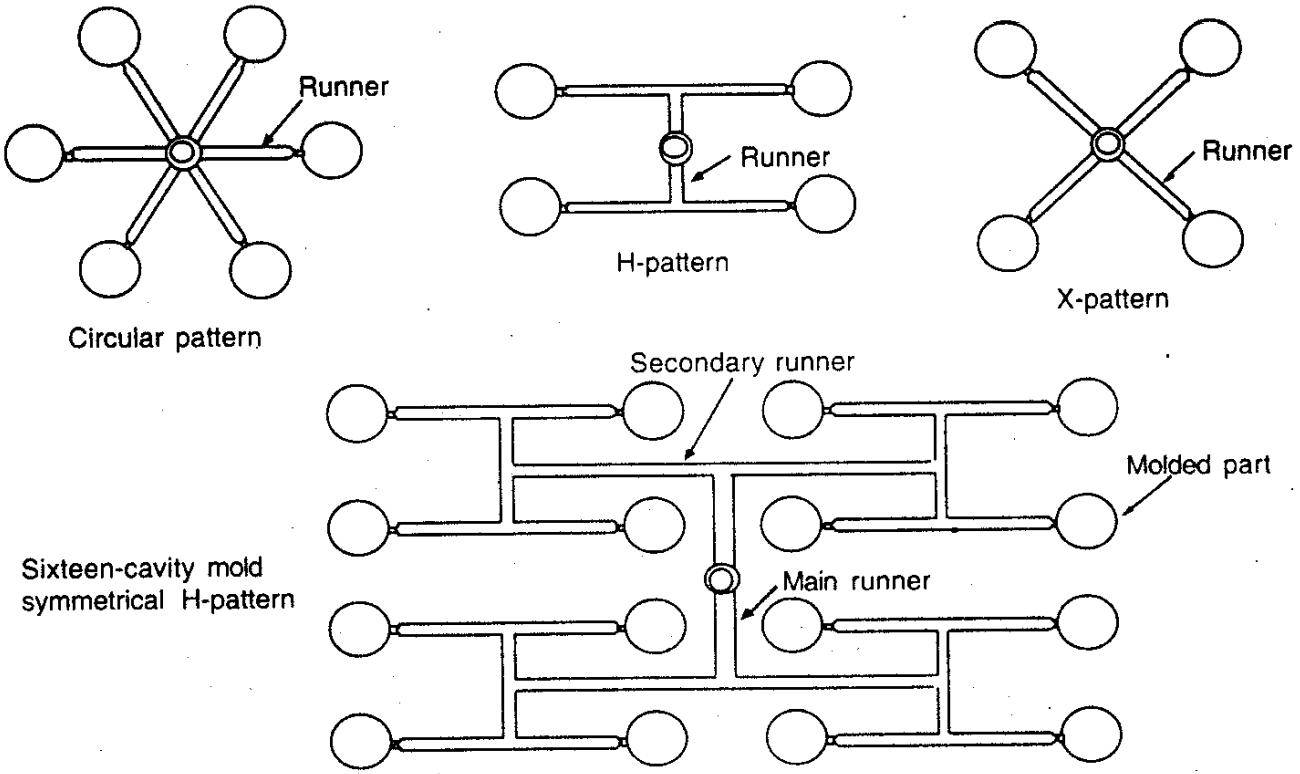


Figure 1.22 Several layouts of runner systems

The objective is to have the plastic reach all gates at the same time.

Flow into the mold

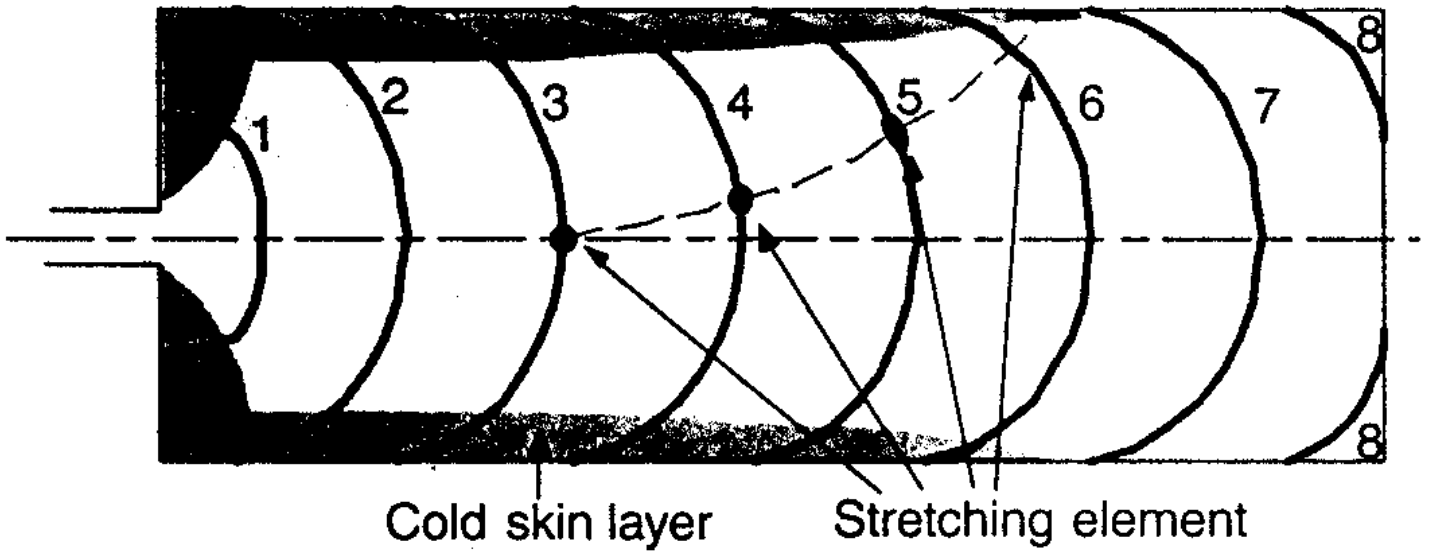
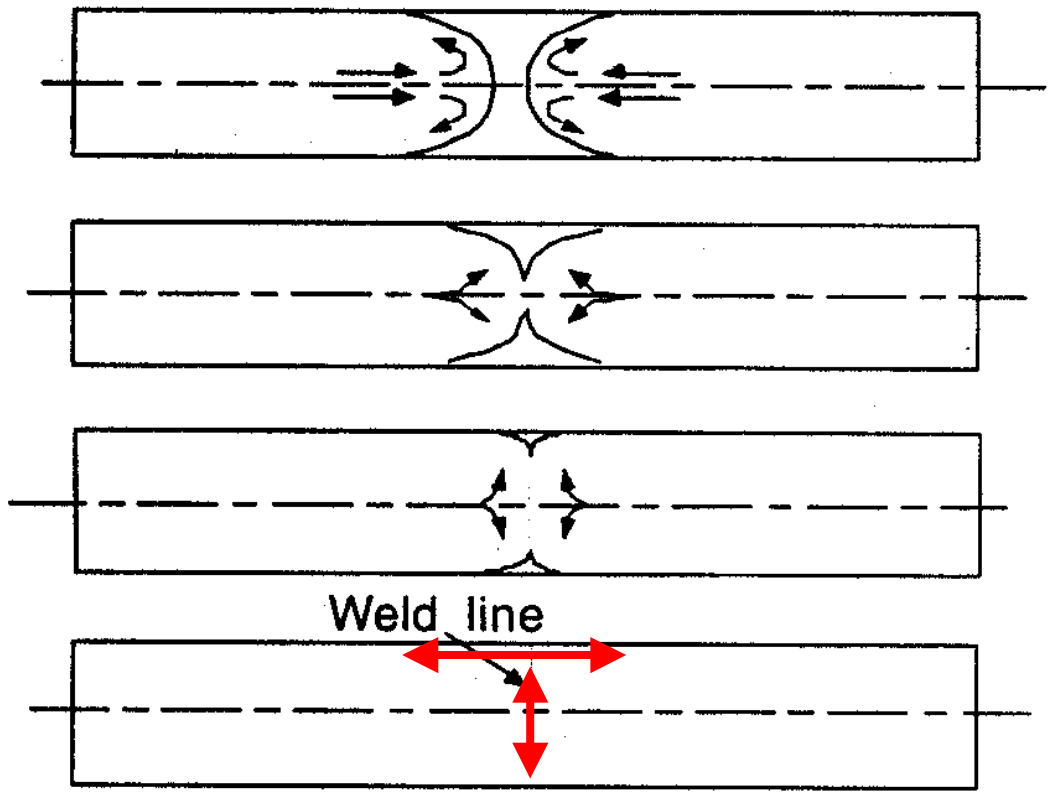


Figure 1.28 Illustration of fountain flow into a mold cavity

high degree of orientation of the surface layers
significant gradient in orientation and morphology

Weldline



orientation

Figure 1.31 Formation of a weld line

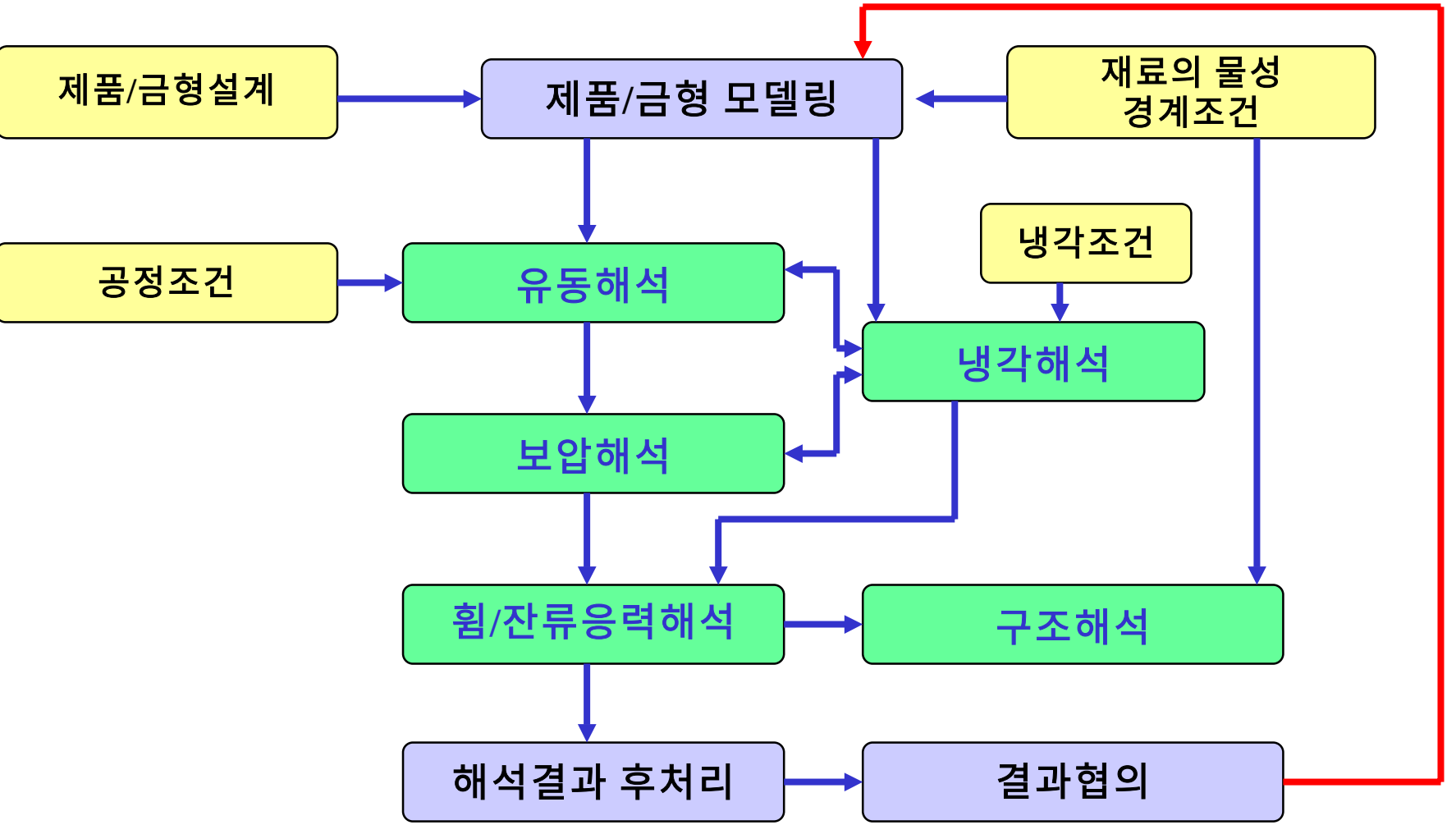
Important process parameters

- Product parameters
  - Product dimension, weight, appearance
- Main process parameters
  - Cavity pressure, injection pressure, fill time
- Additional process parameters
  - Melt temperature, mold temperature, hold pressure, cooling time, total cycle time, barrel temperature, screw speed, power consumption (screw, barrel heater)

사출성형CAE 의 목적

- 제품개발 비용 및 시간 절감
- 원류관리(Concurrent engineering)
- 금형설계 및 가공공정의 최적화
- 생산성 및 신뢰성 향상
- 성형불량 감소

CAE 해석 흐름도


제품/금형설계
제품/금형 모델링
재료의 물성
경계조건
공정조건
유동해석
냉각조건
냉각해석
보압해석
휨/잔류응력해석
구조해석
해석결과 후처리
결과협의

CAE S/W

MOLDFLOW
- MF/VIEW : Pre/post processing
- MF/FLOW : Mold filling analysis
- MF/PACK : Packing analysis
- MF/COOL : Cooling analysis
- MF/GAS : Gas-assisted injection molding,PFP
- MF/FIBER : Fiber orientation analysis
- MF/WARP : Shrinkage/Warpage analysis
- MF/STRESS : Structural/stress analysis

C-MOLD C-SET: Reactive molding

ANSYS : Structural analysis

CAD S/W : AUTO-CAD, Pro-engineer

CAE해석을 위한 재료의 물성

열적특성

열전도도	W/m/deg C
비열	J/kg/deg C
유동 밀도	kg/cu.m
이형 온도	deg C
No flow 온도	deg C

PVT data

Temperature	Pressure	Specific volume
deg C	MPa	cu.cm/g
-	-	-
-	-	-

수축률 data

Parallel shrinkage coefficients

Perpendicular shrinkage coefficients

점도

Temperature	Shear rate	Viscosity
deg.C	1/s	Pa.s
-	-	-
-	-	-

기계적물성

Tensile modulus parallel	MPa
Tensile modulus perpendicular	MPa
Poisson ratio	
Solid density	kg/cu.m

강화섬유의 기계적물성

Tensile modulus parallel filler	MPa
Tensile modulus perpendicular filler	MPa
Poisson ratio filler	
Shear modulus, Fiber length	
Fiber diameter, Fiber volume fraction	

해석전처리 (Modeling)

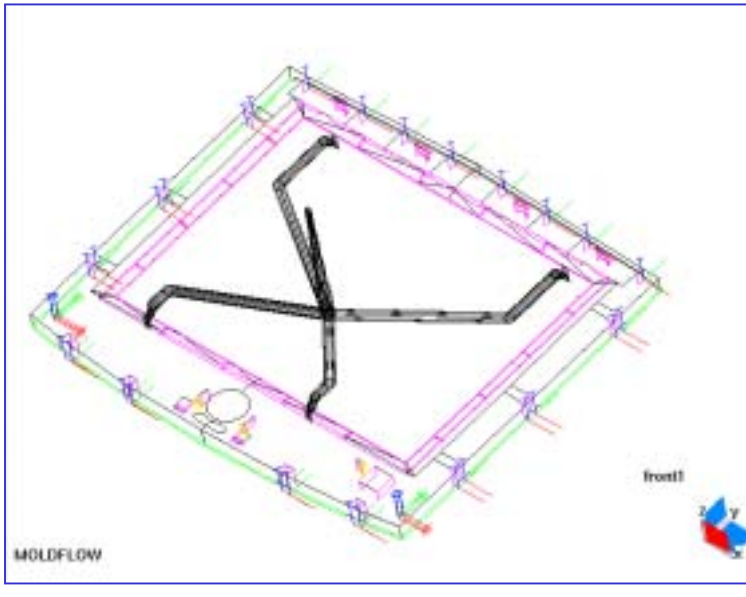
제품모델링(cavity)
- FEM 형상데이타
- 런너,스프루,게이트 시스템

금형모델링
- 금형
- 파팅라인
- 냉각채널

개스채널 모델링
- 개스사출성형을 위한 개스채널설계

경계조건
- 게이트 위치
- 개스주입위치
- 냉각수 온도,유량

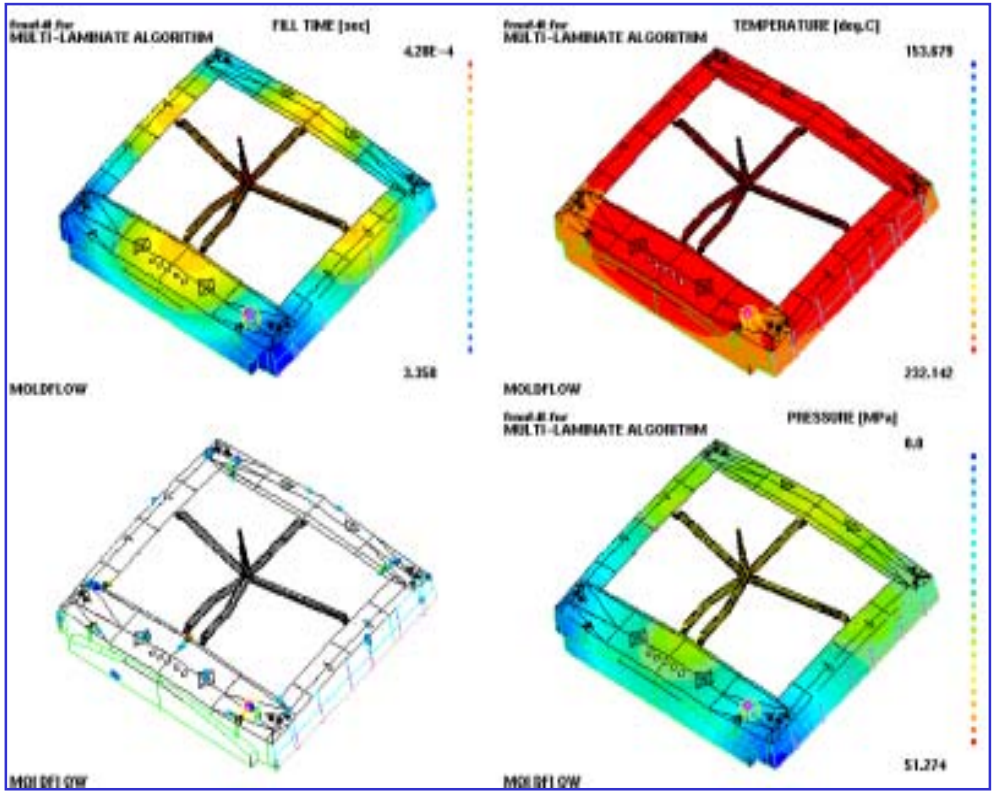
공정조건



유동해석

공정조건
- 금형온도
- 수지온도
- 충진시간

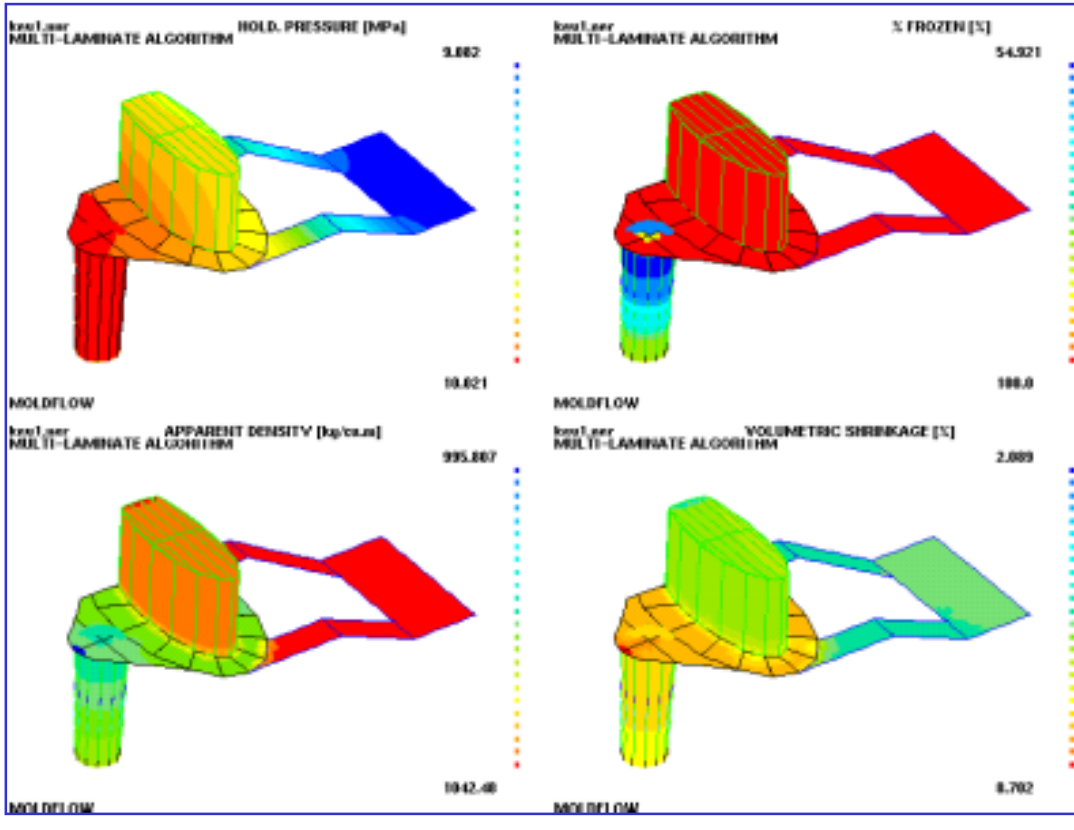
해석결과
- 유동패턴
- 유동선단온도분포
- 사출압
- 전단응력
- 미성형
- 웰드(멜드)라인
- 에어트랩
- 전단률



보압해석

공정조건
- 유동해석결과
- 보압시간
- 냉각시간
- 보압 프로파일

해석결과
- 보압분포
- 부피수축률
- 밀도
- 냉각시간
- 순간온도
- 고화층두께
- Sink mark 깊이



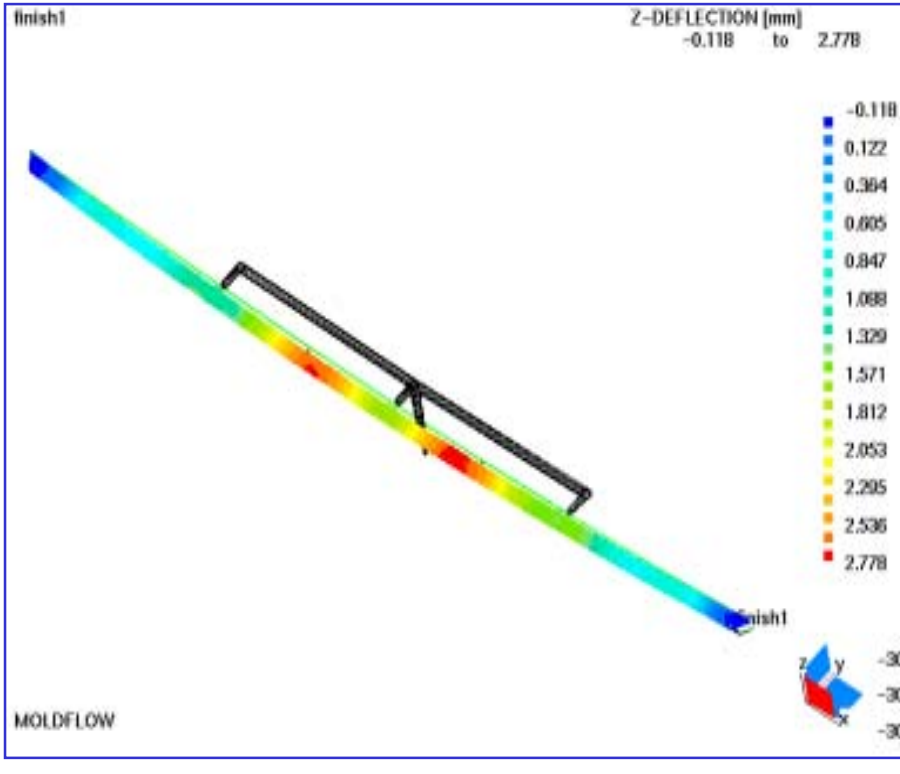
수축/휨해석

입력데이타
- 수축률데이타
- 휨해석을 위한 경계조건

수축률에 영향을 주는 인자
- 냉각 속도
- 배향 효과
- 금형제한효과
- 상하측 온도편차

휨의 종류
- **Stable (non-buckling) warpage**
- **Unstable (buckling) warpage**

해석결과
- 수축률분포
- **X-Y-Z 방향의 변형**
- 응력(**Residual strain**)



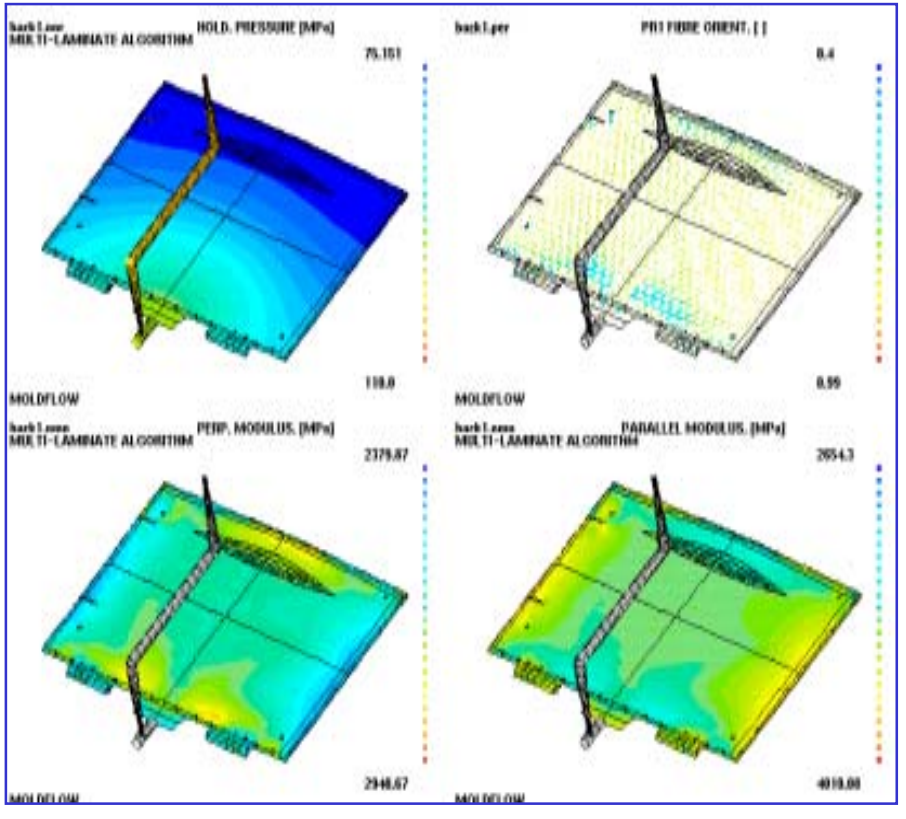
섬유배향해석

입력데이타
- 보강섬유의 기계적물성

해석순서
- 섬유강화 유동해석
- 섬유강화 보압해석

해석결과
- 캐비티내의 섬유배향분포
- 섬유배향방향
- 섬유배향방향의 강성분포
- 섬유배향 직각방향의 강성분포
- 포아송비

섬유보강수지의 휨해석
- 섬유강성분포와 보압결과 사용

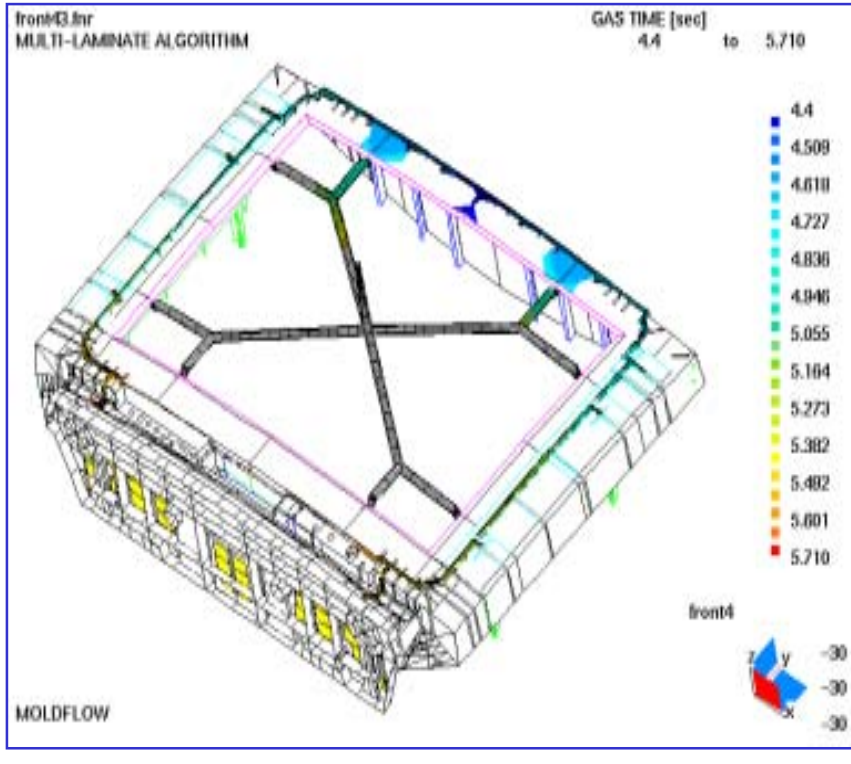


개스사출성형해석

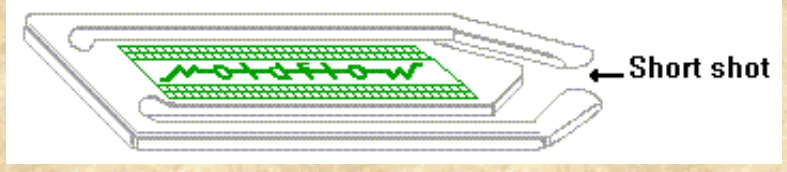
해석방식
- Constant volume filling/packing
- Constant pressure filling/packing

입력 데이타
- 모델링 데이타(캐비티, 개스채널)
- 수지 노즐 shut off시의 충진부피분율
- 가스 delay시간
- 가스 보압시간
- 가스압력 프로파일

해석결과
- 유동패턴
- 가스침투 거리
- 부피수축률
- Sink mark 깊이
- 가스 leakage , blow-through
- 미성형



사출성형불량 - 미성형



미성형
- 몰드캐비티의 불완전한 충진

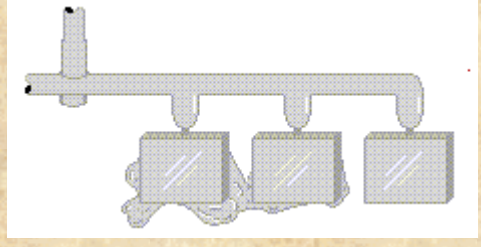
미성형을 발생시키는 요인
- 유동채널의 고화 또는 얇은 런너에 의한 유동방해
- 길거나 복잡한 유동거리, 얇은 부위의 흐름저항
- 에어트랩에 의한 **back pressure**

미성형 방지책
- 유동장의 말단이 동시에 충진될 수 있도록 런너 밸런스를 개선
- 유동을 원활하게 하기 위해 금형내의 압력강하를 균일하게 함
- 금형온도,또는 유동수지의 온도 증가
- 사출속도 증가
- 게이트 수 증가
- 유동지체가 없도록 게이트/런너 재배치

사출성형불량 - 바리

바리
- 금형의 파팅라인을 통해 빠져나온 얇은 수지막

바리의 발생요인
- 금형판이 낡거나 접합이 불량한 경우
- 이물(그리스, 방청제,오일등)
- 형체력 부족
- 캐비티 배치불량 또는 런너발란스 불량
- 사출압증가를 초래하는 과보압부위 형성
- 공정변수의 불균일 (점도, 사출속도, 수지주입시스템)



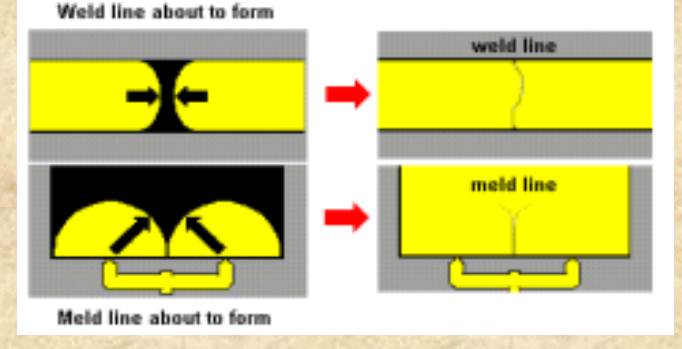
바리 방지책
- 금형판의 접합 개선
- 이물제거
- 형체력 증가
- 유동 및 보압을 균일하게 하기 위한 금형설계 개선
- 사출압,보압 감소
- 공정조건 최적화

사출성형불량 - 웰드라인

웰드라인
- 유동중에 두개이상의 수지흐름이 만날때 발생

웰드라인 불량감소 방안
- 외관 또는 강도가 중요한 부위선정
- 해석을 통해 웰드라인의 위치 또는 외관 결정
- 웰드라인의 위치를 옮기거나 웰드의 외관을 개선하는 디자인 변경

웰드라인의 위치를 옮기는 방안
- 게이트 위치 변경
- 제품 두께분포 변경
- 런너시스템 설계변경

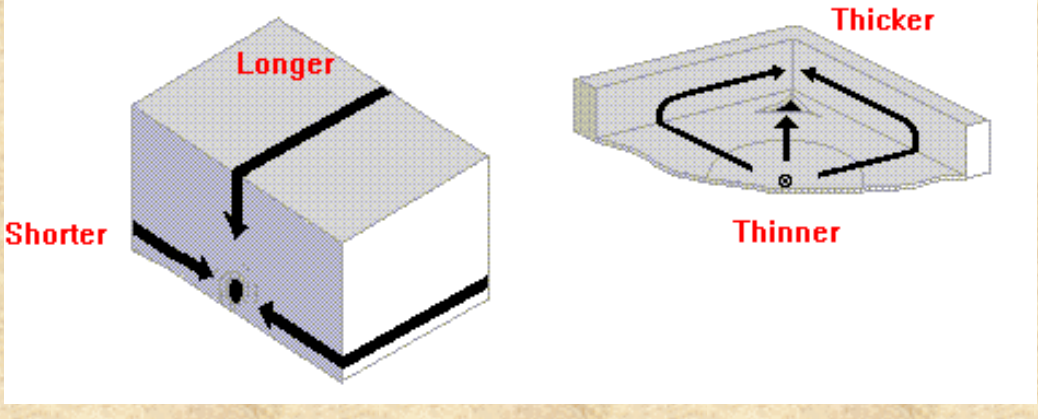


웰드라인의 외관을 개선하는 방안
- 용융수지 온도 증가
- 사출속도 증가
- 동일한 유속을 유지하면서 런너 크기 감소
- 금형온도 증가

사출성형불량 - 에어 트랩

에어 트랩
- 유동경로가 한부위에 둘러싸이거나 불충분한 유동 및 보압에 의한 기포의 포집이 발생

에어트랩의 발생원인
- 금형내의 유동경로가 다른 흐름이 모이는 경우
- 두께분포의 불균일



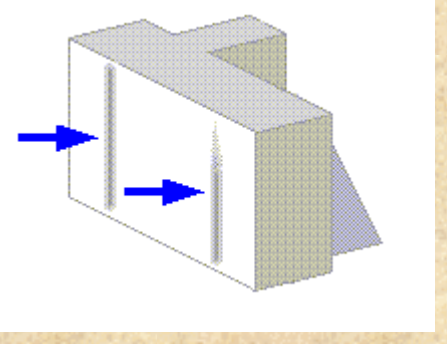
에어트랩 방지안

유동발란스 개선
- 게이트 위치 변경
- 런너발란스
- flow leader또는 물막이 설치
- 제품 두께분포 변경

사출성형불량 - 외관수축

외관수축

- 두께변경이 심한 부위 또는 반대편에 보스나 리브가 있는 부위에서 부피수축에 의한 함몰이 발생



외관수축을 줄이기 위해 개선할 점

냉각차를 줄이기 위한 공정조건

- 보압 또는 보압시간
- 용융수지온도
- 사출속도/사출압
- 냉각속도

제품설계

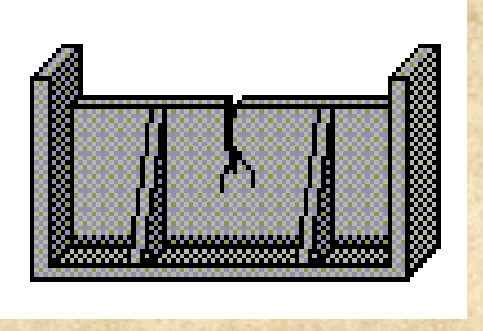
- 냉각차나 수축률차를 줄이기 위한 두께변경
- 두꺼운 부위를 외관에 덜 민감한 부위로 이동

금형설계

- 충분한 보압전달을 위한 게이트 런너시스템 변경

사출성형불량 - 크랙

크랙
- 제품내 잔류전단응력이 존재하는 부위에서 발생
- 생산후 수일 경과뒤에 발생하는 경우가 많음



크랙 발생요인
- 높은 사출압 /사출속도(in some cases)
- 보압후의 역류
- 보압시간이 긴 경우
- 유동말단의 고화(low melt temp)

크랙 방지방안
- 사출속도 감소
- 다단 사출
- 두께 증가
- 배향차나 수축률차를 최소화

사출성형불량 - 휨

휨
- 수축률차에 의한 잔류응력의 차이가 주 원인

휨을 발생시키는 인자
- 금형면의 온도차이로 인해 고화층의 생성이나 수축률차이가 서로 다른 분포를 가짐으로써 잔류응력의 차이를 초래
- 제품내 수축률차이를 초래하는 보압프로파일
- 재료의 배향분포에 따라 배향방향과 직각방향의 수축률차이 발생

휨을 방지하기 위해 고려할 점
- 유동발란스나 보압프로파일의 조절을 통해 제품부위별 수축률차이 감소
- 두께분포 변경이나 게이트 위치 변경을 통해 배향효과 감소
- 제품두께분포를 개선하거나 전체 제품이 고르게 냉각되도록 냉각라인의 배치를 개선하여 냉각차 개선
- 보강리브등을 추가하는 설계변경
- 재료 변경

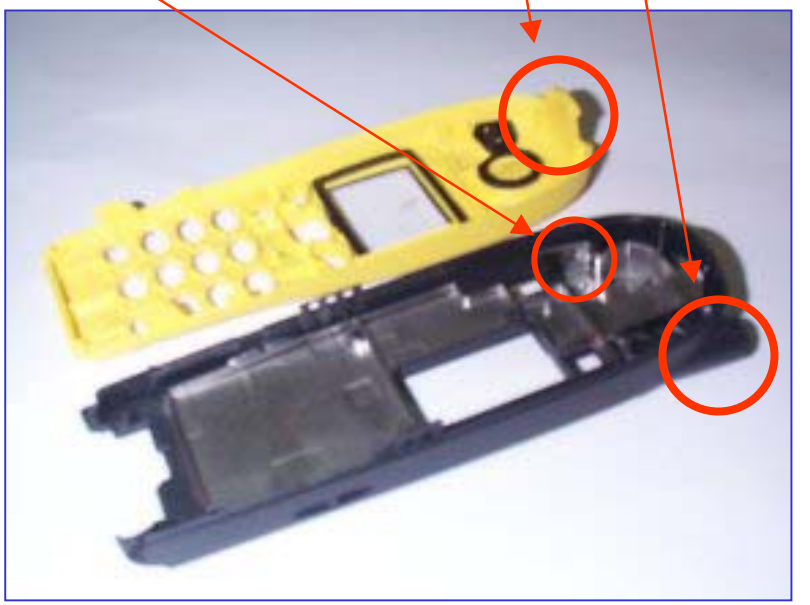
설계 주안점

충격시 크랙발생

웰드라인/개스 플로우 마크

스냅 조인트

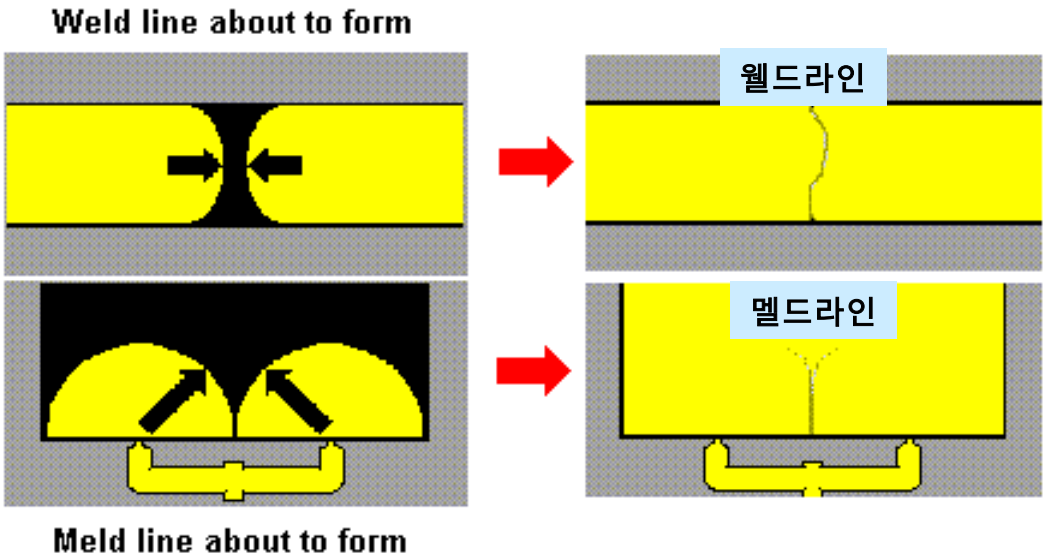
스크류 체결



설계가이드 - 웰드라인

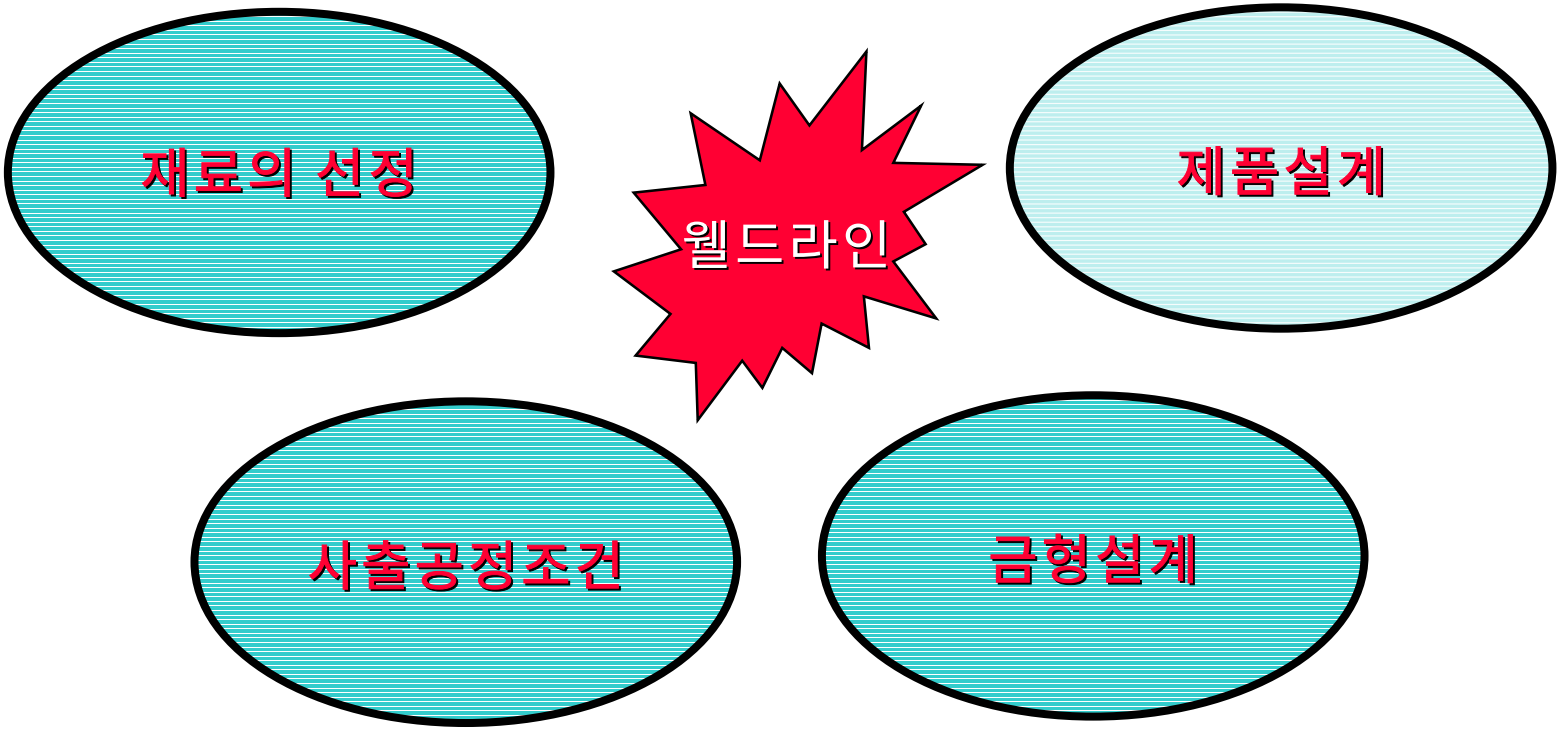
웰드라인

- 충진과정중에 두개이상의 흐름이 서로 만날 때 발생.



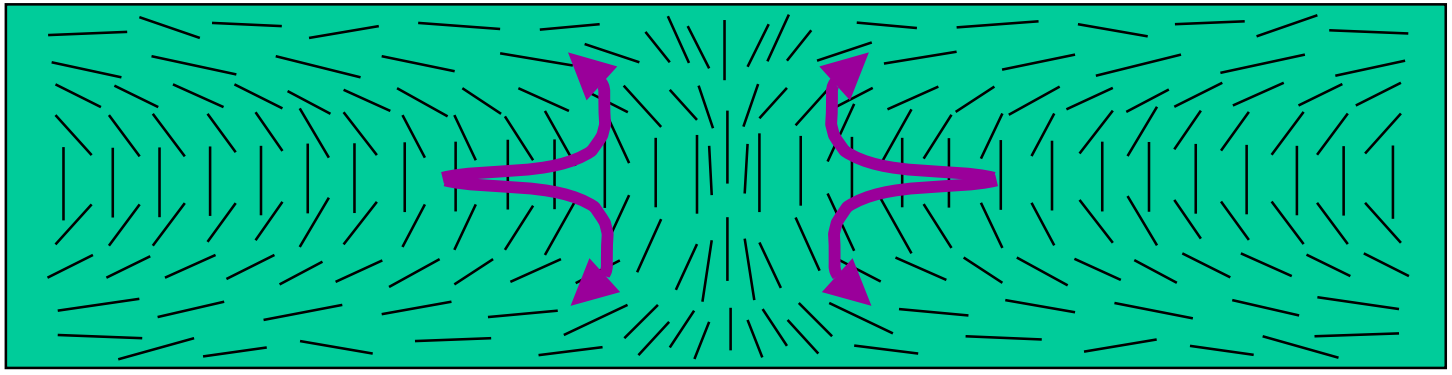
설계가이드 - 웰드라인

웰드라인의 강도, 내약품성, 외관등에 영향을 주는 주요인자;



설계가이드 - 웰드라인

잔류섬유배향



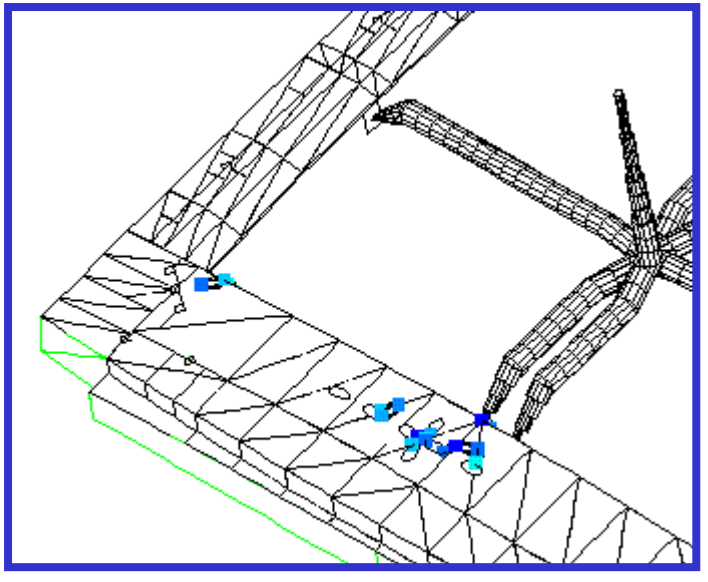
웰드강도의 유지문제는 장섬유강화열가소성수지에서 보다 심각함.

섬유강화수지에서의 웰드라인강도는 유동선단의 분수형태의 유동거동에 의한 웰드경계면의 바람직하지 못한 섬유배향등과 같은 여러가지의 원인에 의해 크게 저하될 수 있음.

설계가이드 - 웰드라인

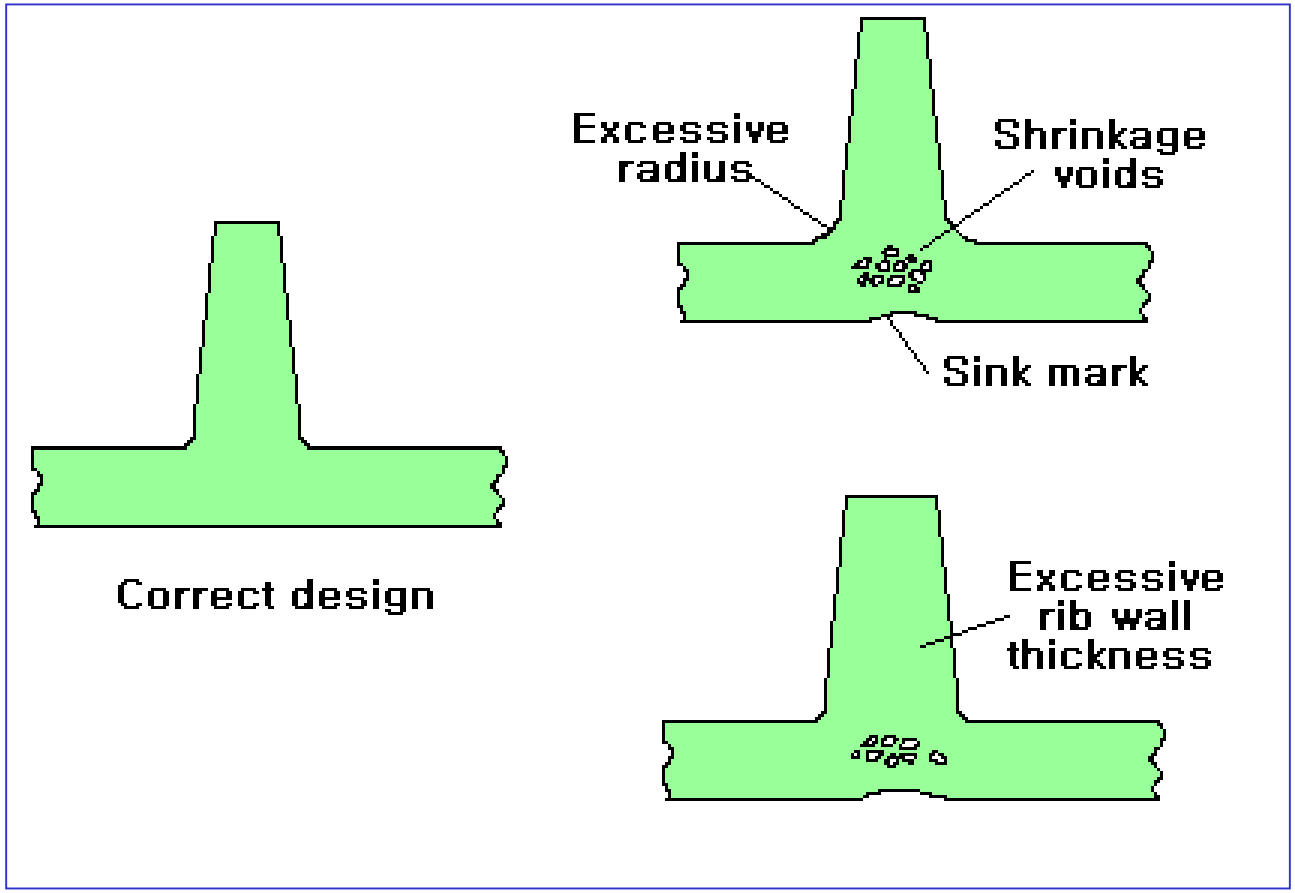
웰드라인의 강도나 외관을 개선하는 방안

- 적절한 게이트 런너 시스템 ← CAE 유동해석
- 금형온도 증가
- 적절한 개스빼기
- Solvent vapor exposure
- Multi-Live Feed injection molding
- Push-Pull molding
- In-mold Reciprocating pins
- Sequential gating



구조 설계 가이드 - 리브

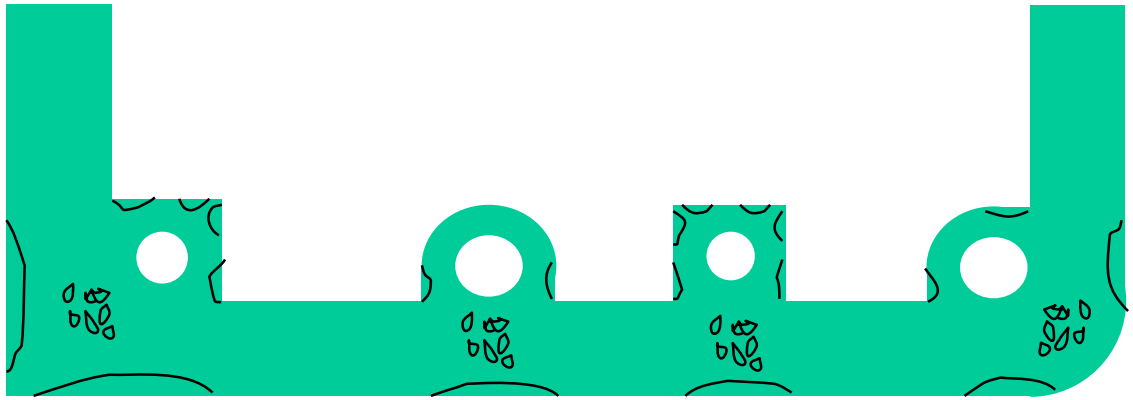
과다한 살두께를 갖는 리브의 문제점



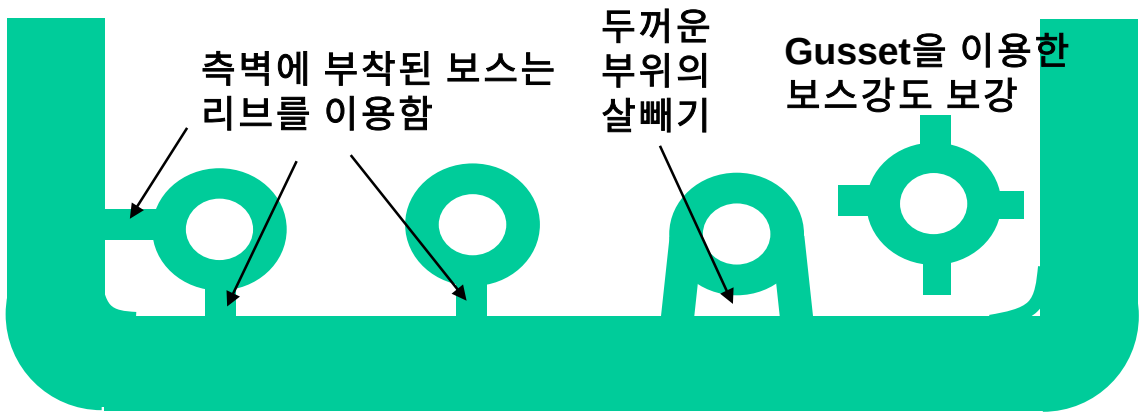
Adapted from Robert A, Malloy . Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

구조 설계 가이드 - 보스

Sink mark나 void가 발생하기 쉬운 잘못된 보스설계

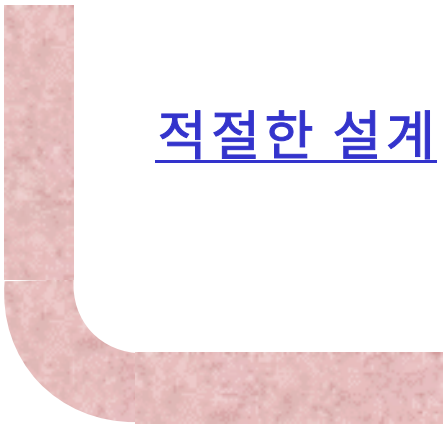


개선된 보스설계



Adapted from Robert A, Malloy . Plastic Part Design for Injection Molding (1994)

구조 설계 가이드 - 코너



적절한 설계

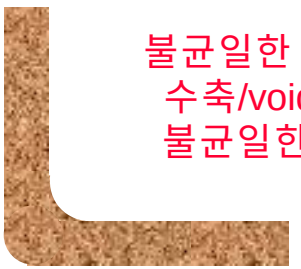
충분한 R

균일한 살두께

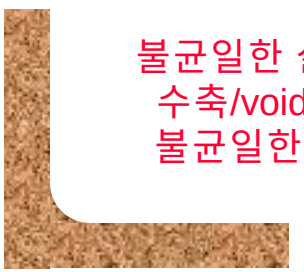
균일한 수지유동

부적절한 설계

응력집중
유동저항



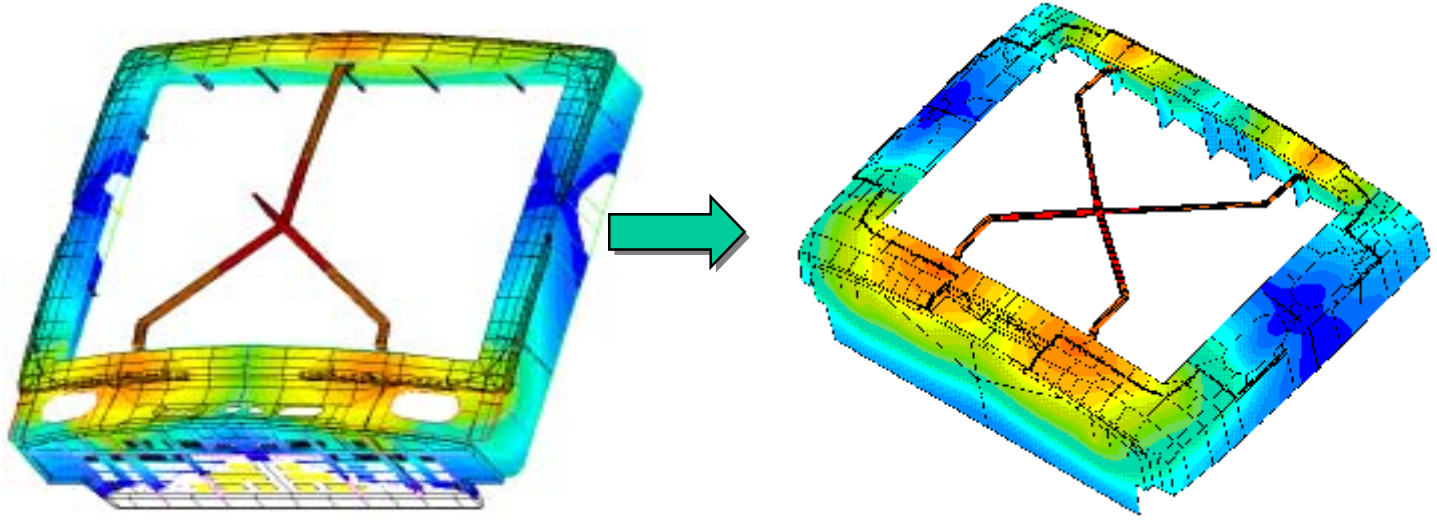
불균일한 살두께
수축/void/sink
불균일한 유동



불균일한 살두께
수축/void/sink
불균일한 유동

설계 가이드

설계 개념의 향상

성형이 ”**Shot short**”에서”**Full short**”으로 변경

Full short process의 필요조건
- 유동 밸런스를 위한 게이트 시스템
- 최적의 개스채널 치수 및 배치
- 가스 진행방향에 대한 이해
- PVT특성