

**Autodesk Moldflow RoadShow 2015**

# Moldflow 해석의 신뢰성 확보를 위한 점검 포인트

David Lee (이대희 부장)

Sr. Technical Specialist

May 22, 2014



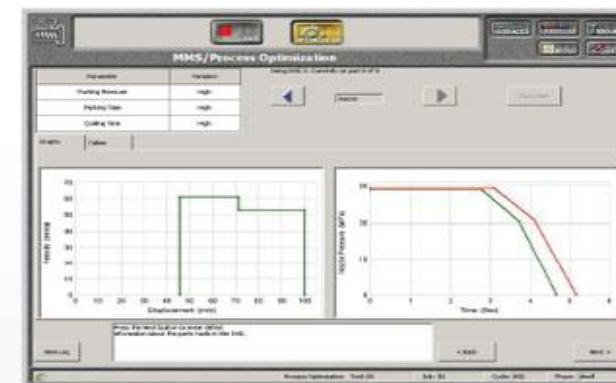
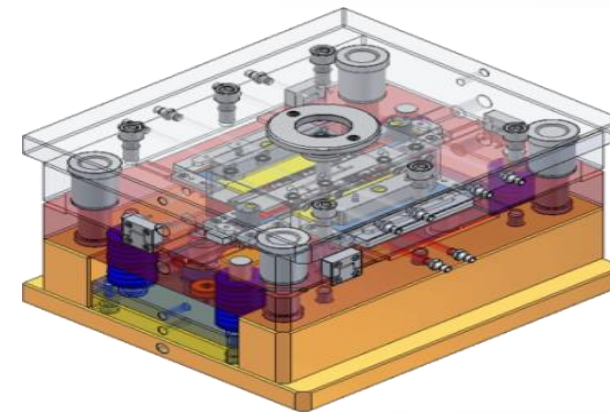
# Purpose of Moldflow Simulation

- **Part thickness and Rib structure**
  - deflection by differential shrinkage
  - cycle time
  - sink marks
- **Gate size, Number of gates and Locations of gates, Runner layout**
  - deflection by differential shrinkage and orientation effects
  - short shot, flash
  - weld lines, air trap, flow marks, sink marks
  - cycle time
- **Cooling layout**
  - deflection by differential cooling
  - cycle time

# Checking points for Moldflow simulation

To get reliable and feasible simulation results, the below items should be checked.

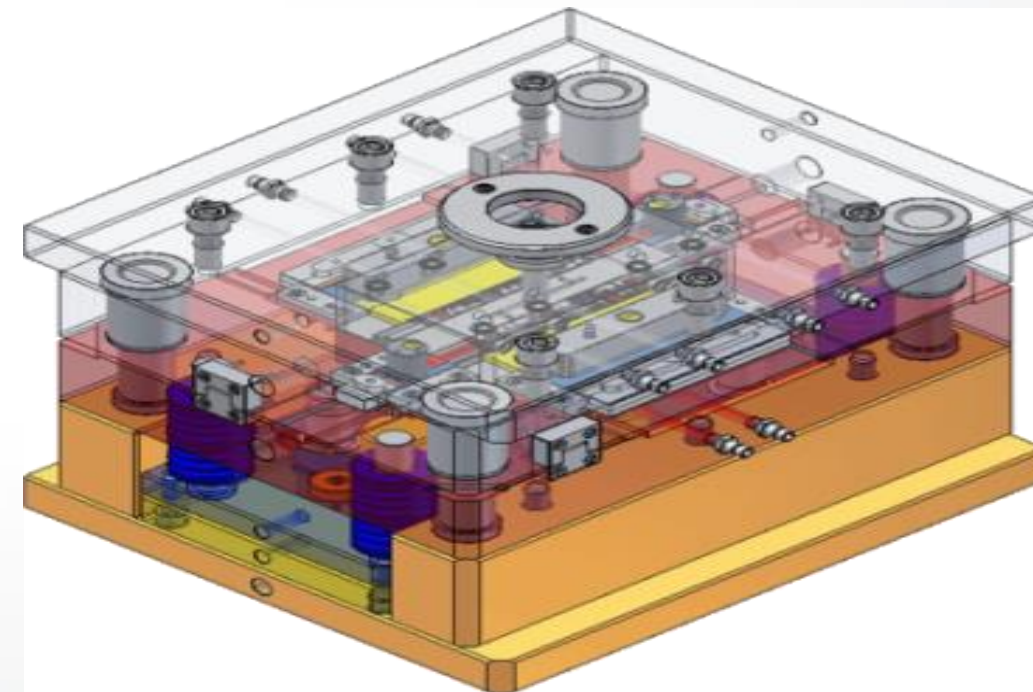
- ✓ Modeling
- ✓ Solver options
- ✓ Material properties
- ✓ Process conditions
- ✓ Correlation with Injection molding



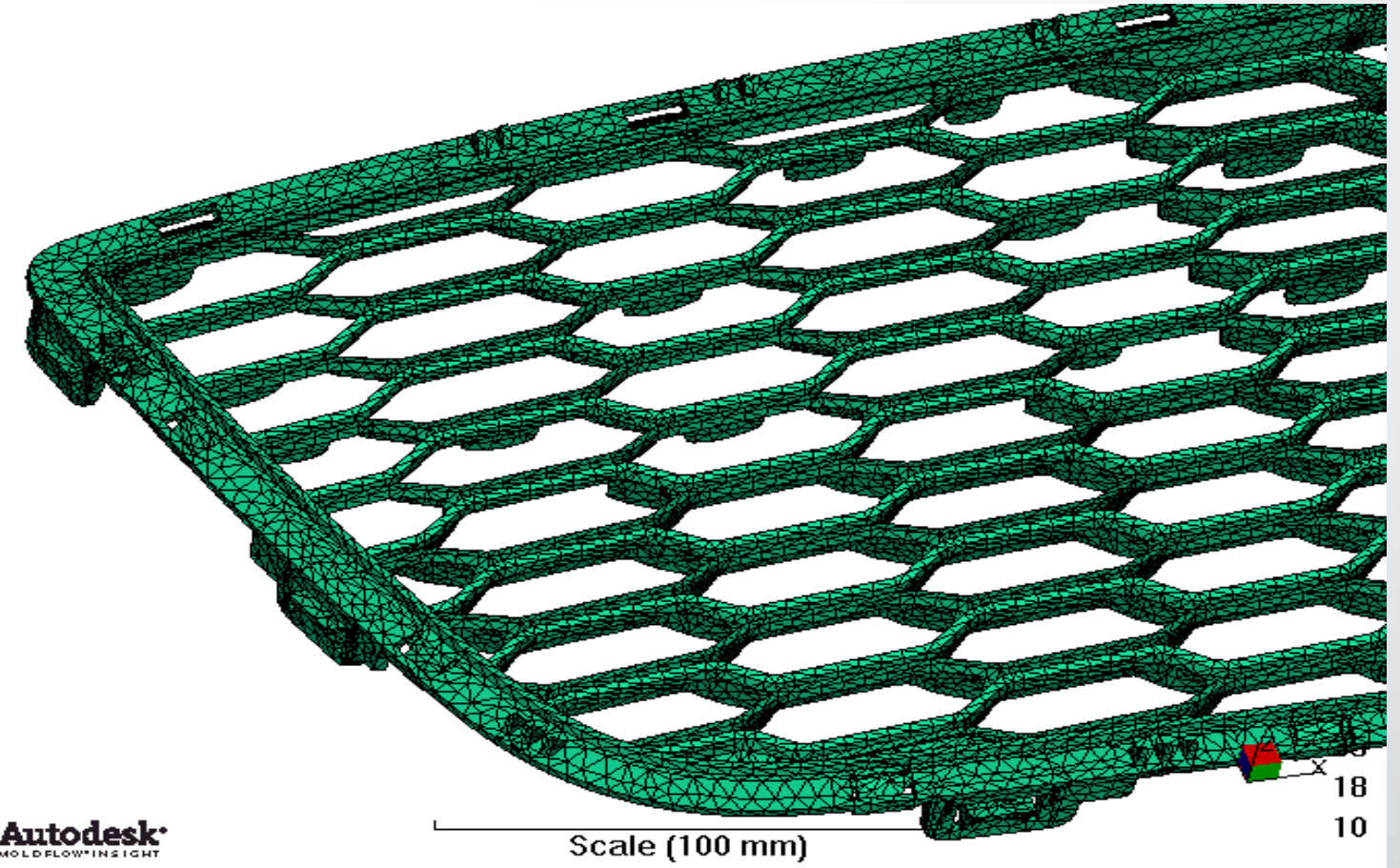
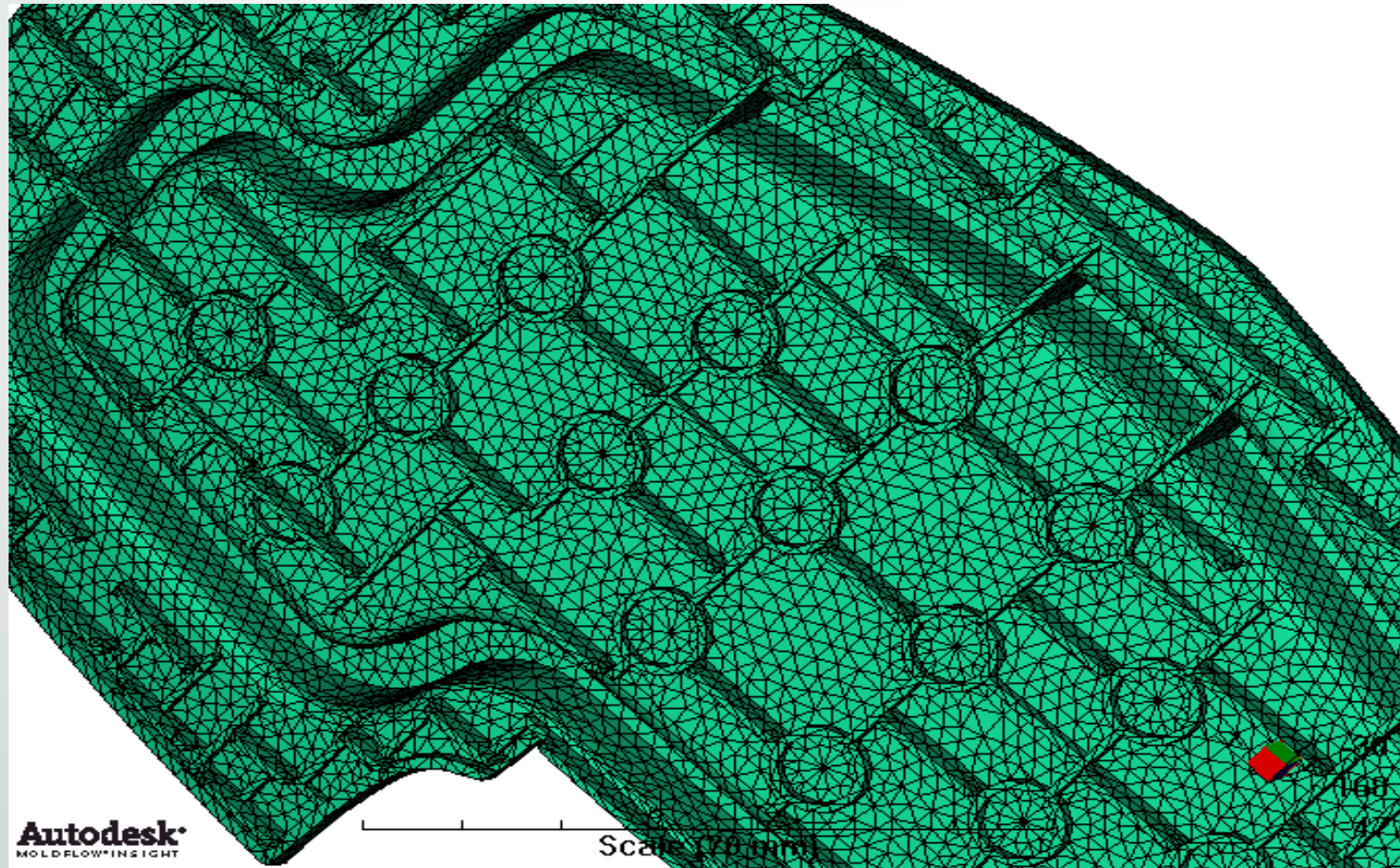
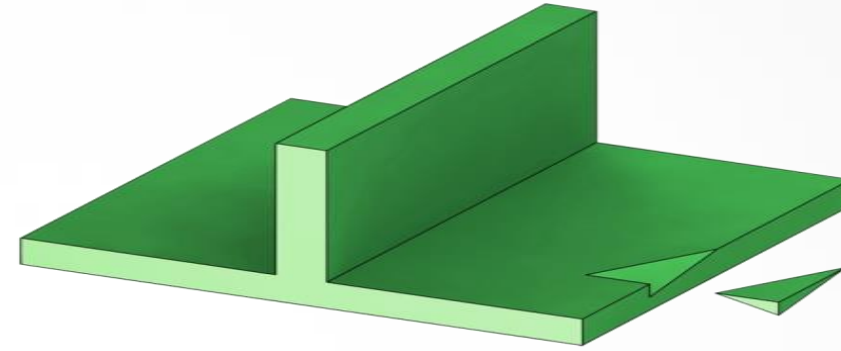
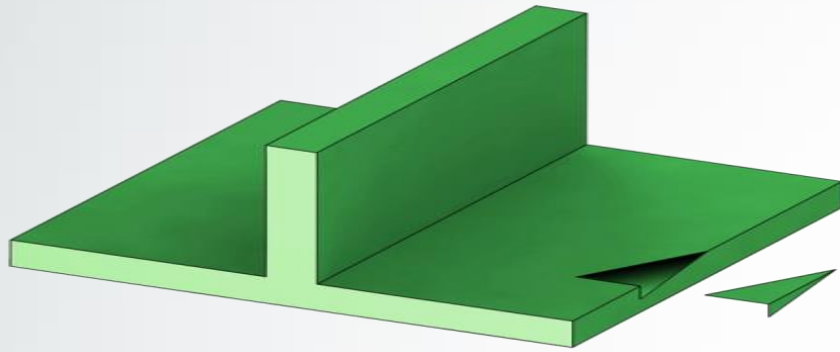
# Modeling

Proper mesh types should be used to get reliable results and also Proper runner & gate sizes should be decided to get feasible data.

- Mesh type (DD or 3D)
  - part geometry
  - purpose of Moldflow simulation
- Gate sizes
  - shear rates and flow marks
  - packing time
- Runner sizes
  - cycle time
  - injection pressure
- Number of gates
  - pressure drop in the cavity, volumetric distribution

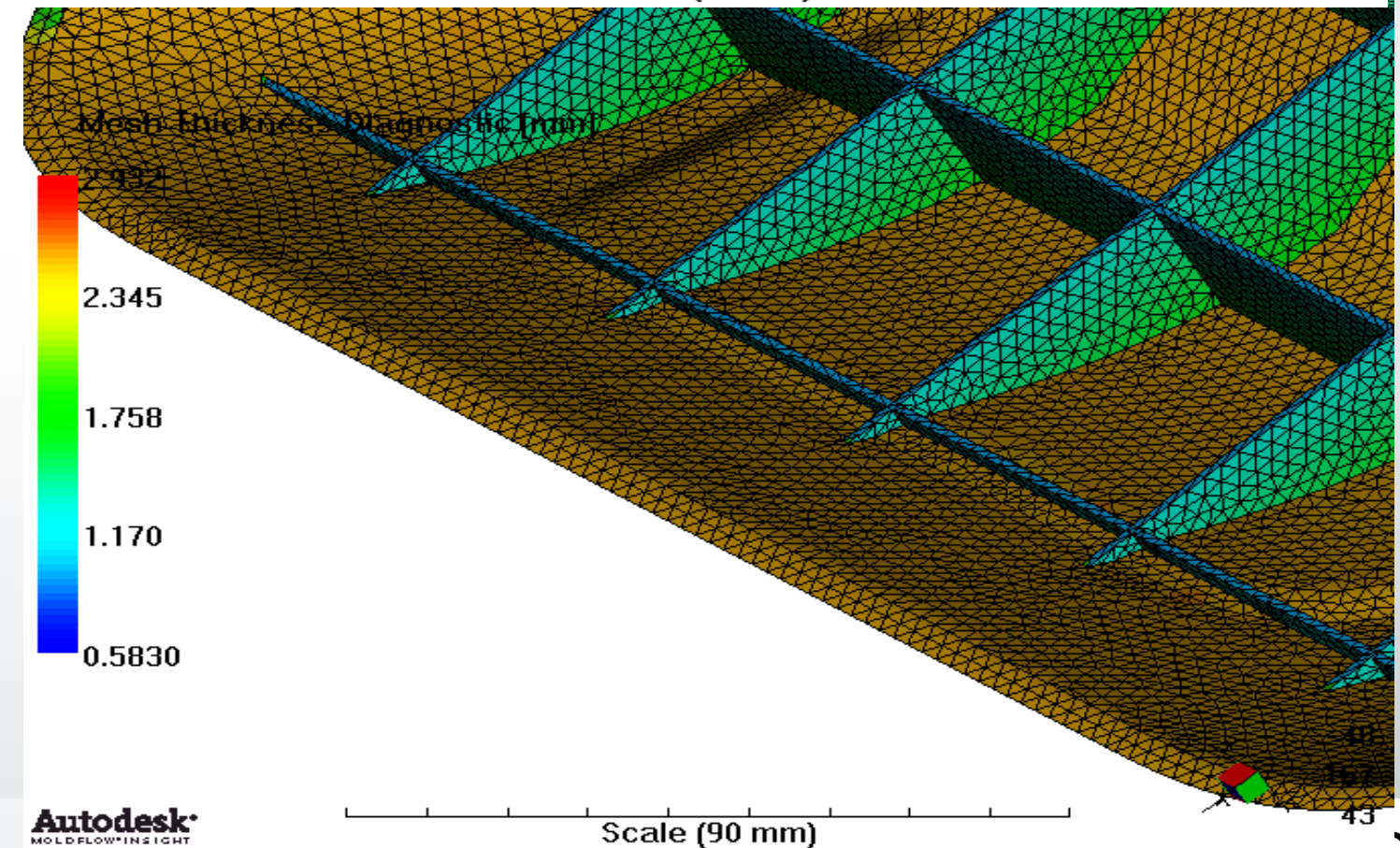
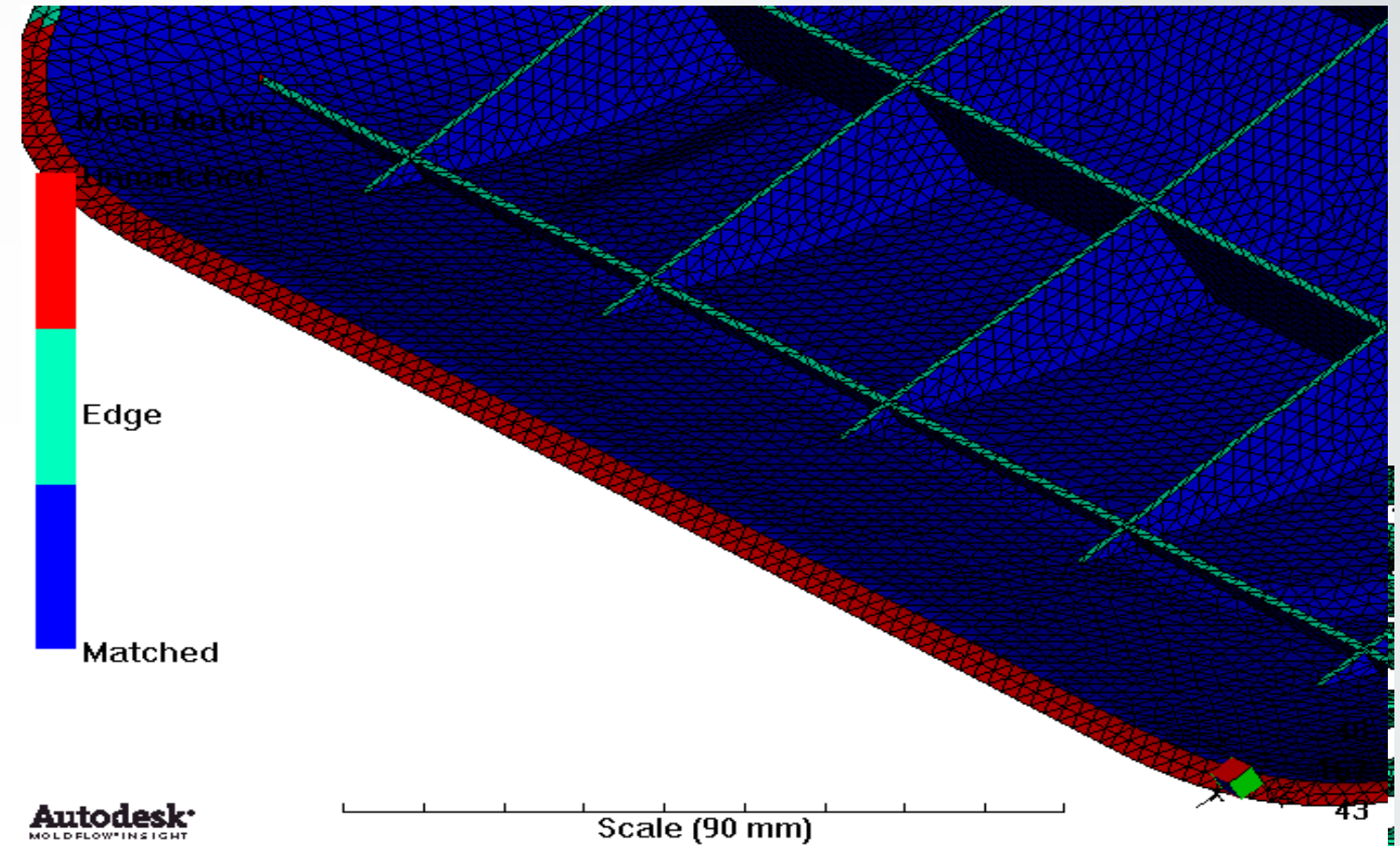
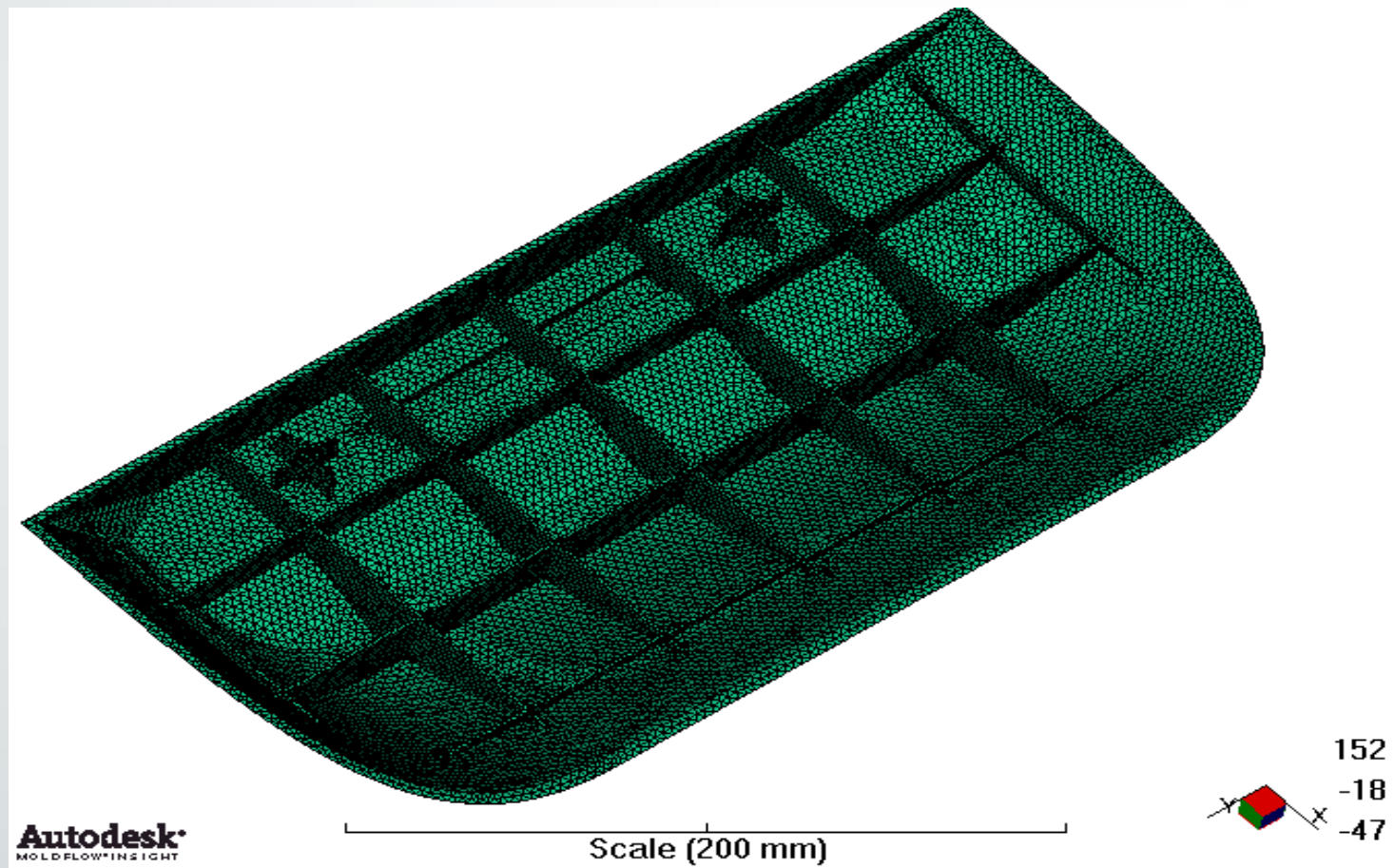


# Mesh type (DD or 3D)



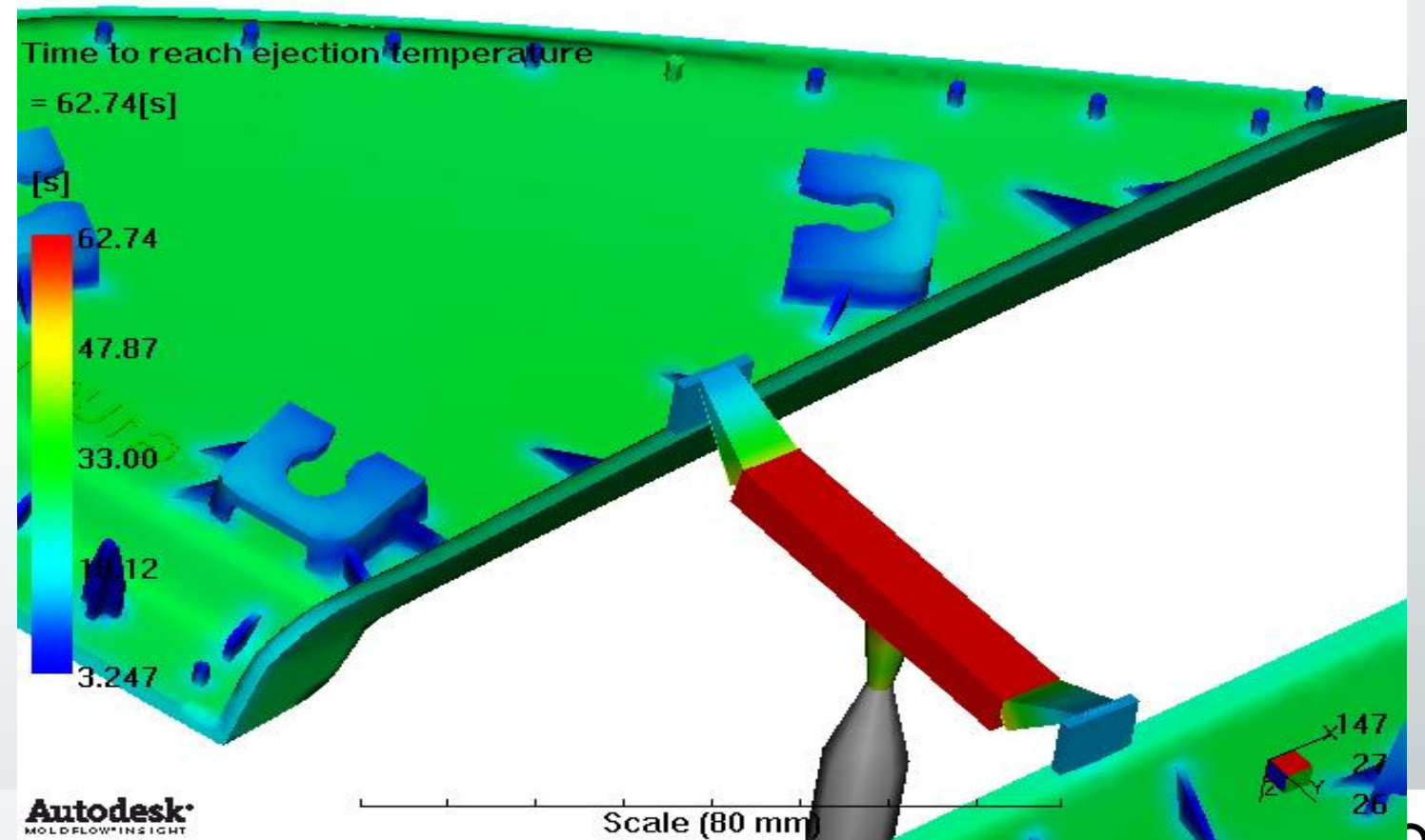
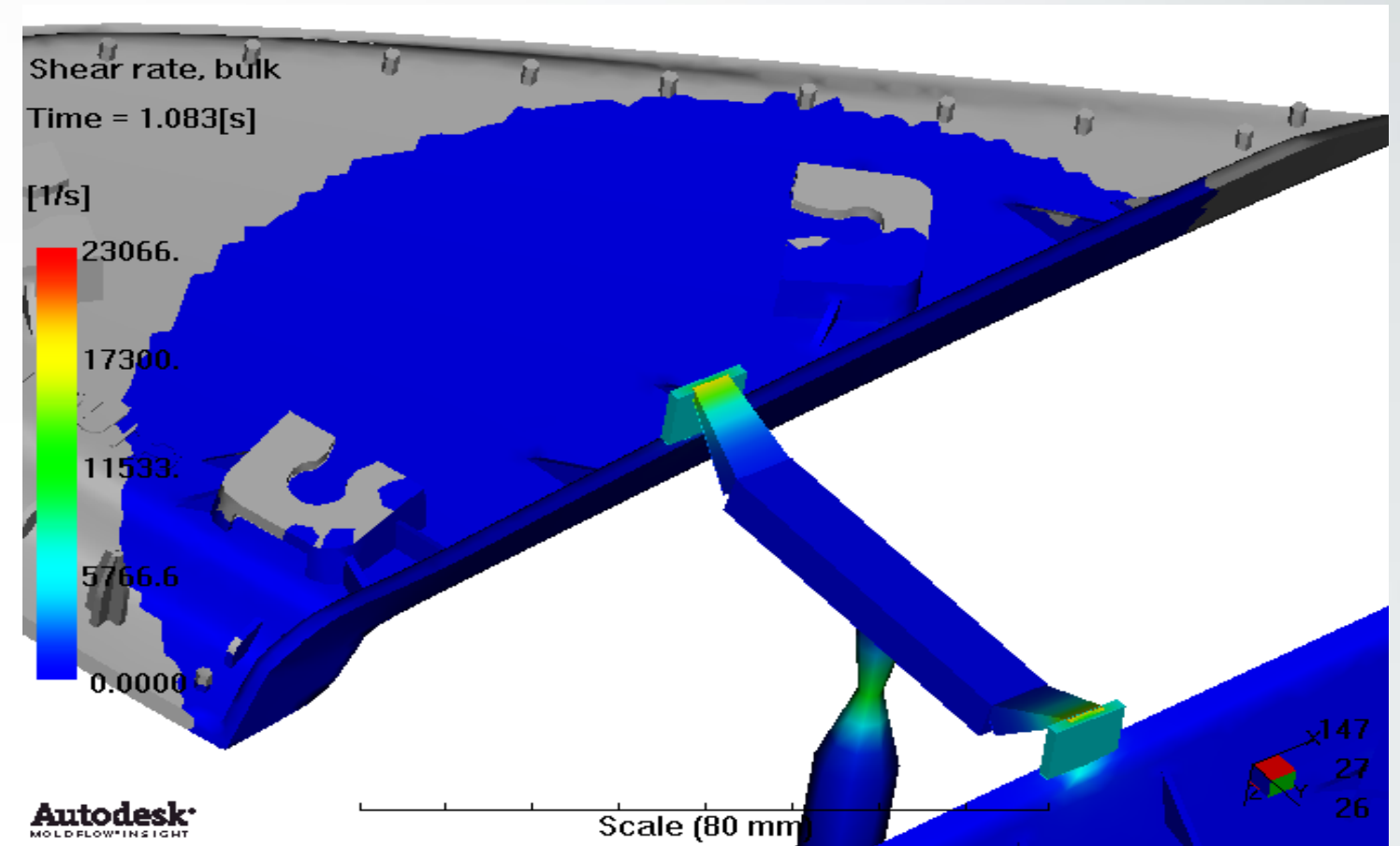
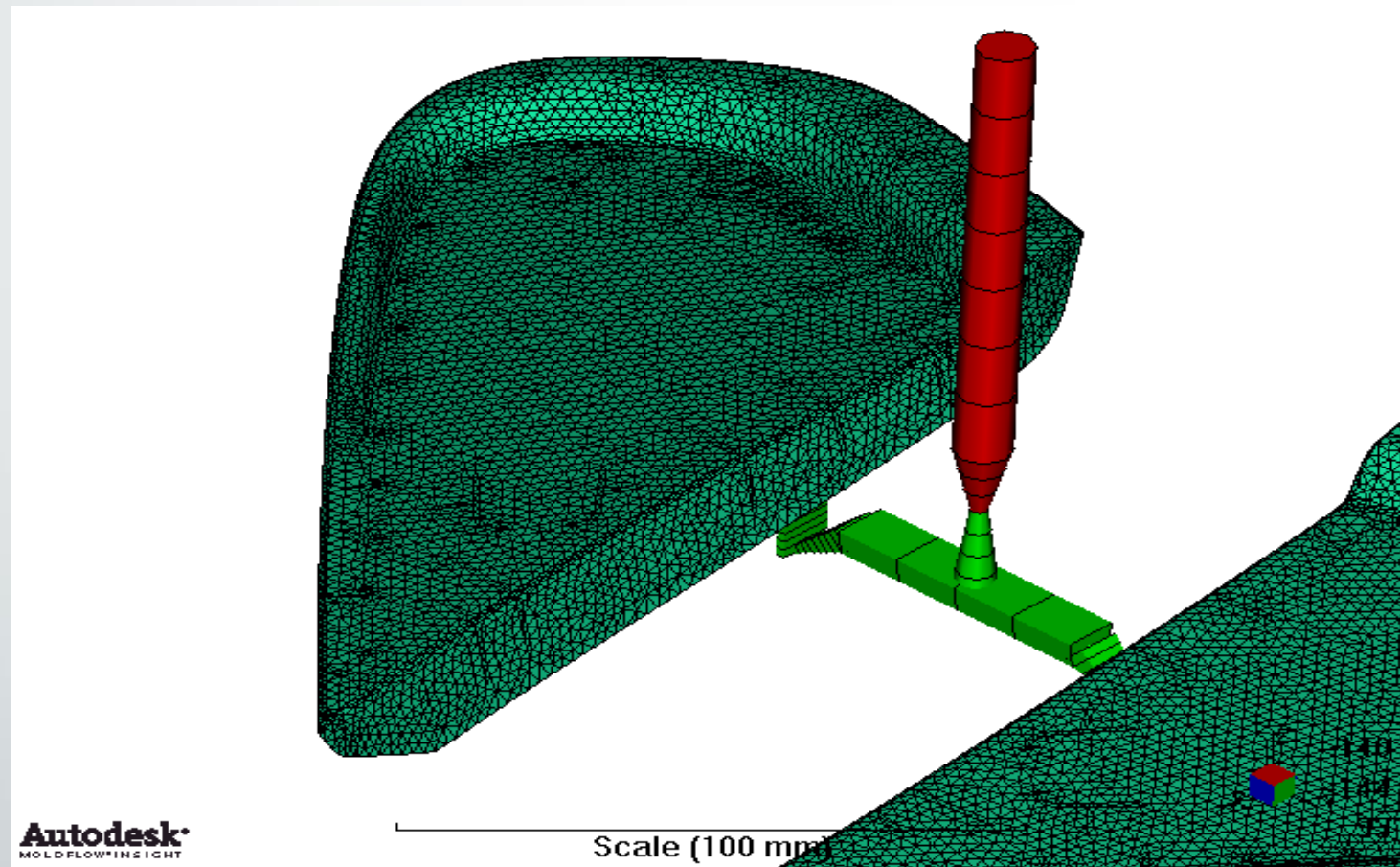
## Mesh type (DD or 3D)

- wrong recognition of the thickness in DD can make the results unreliable



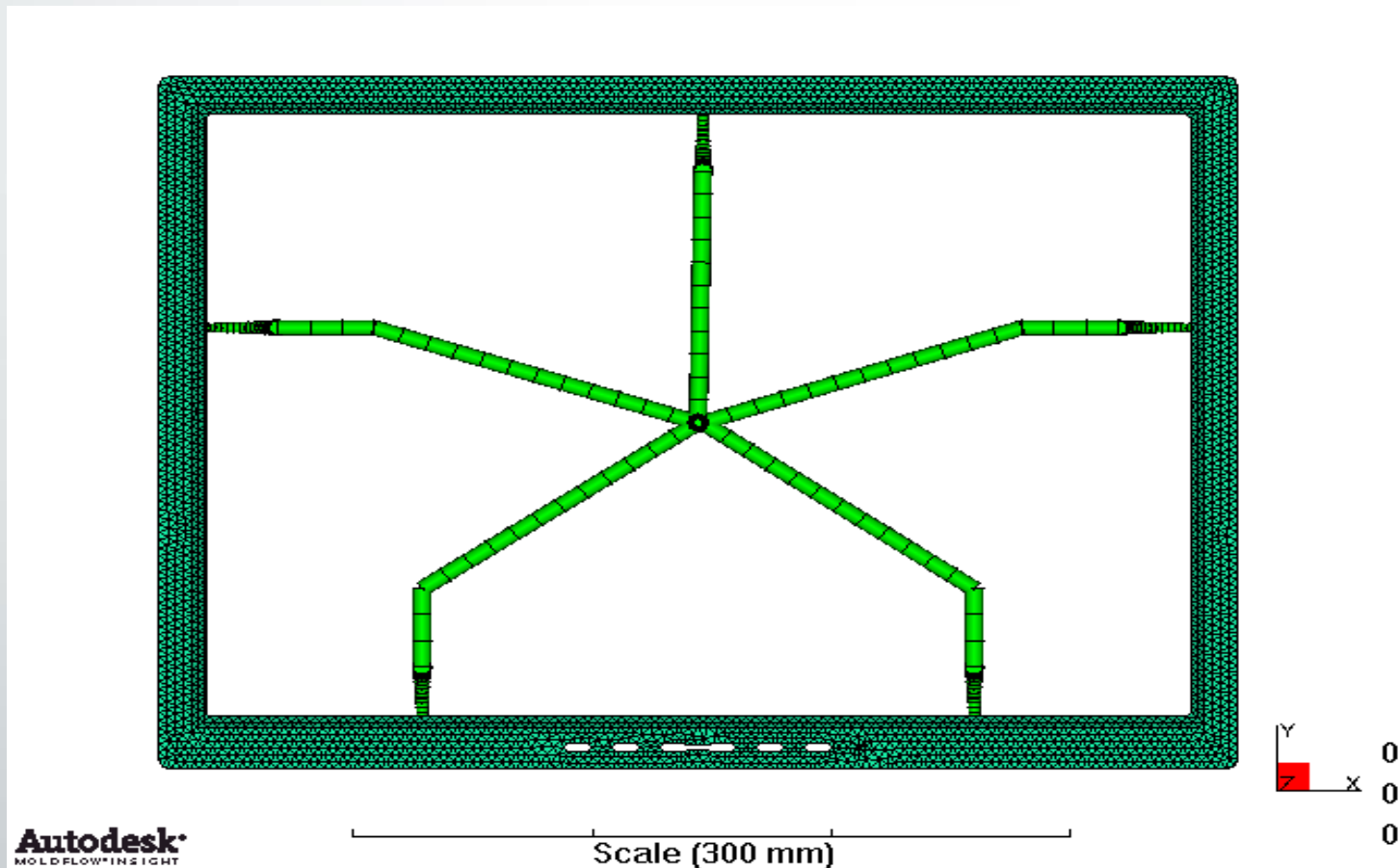
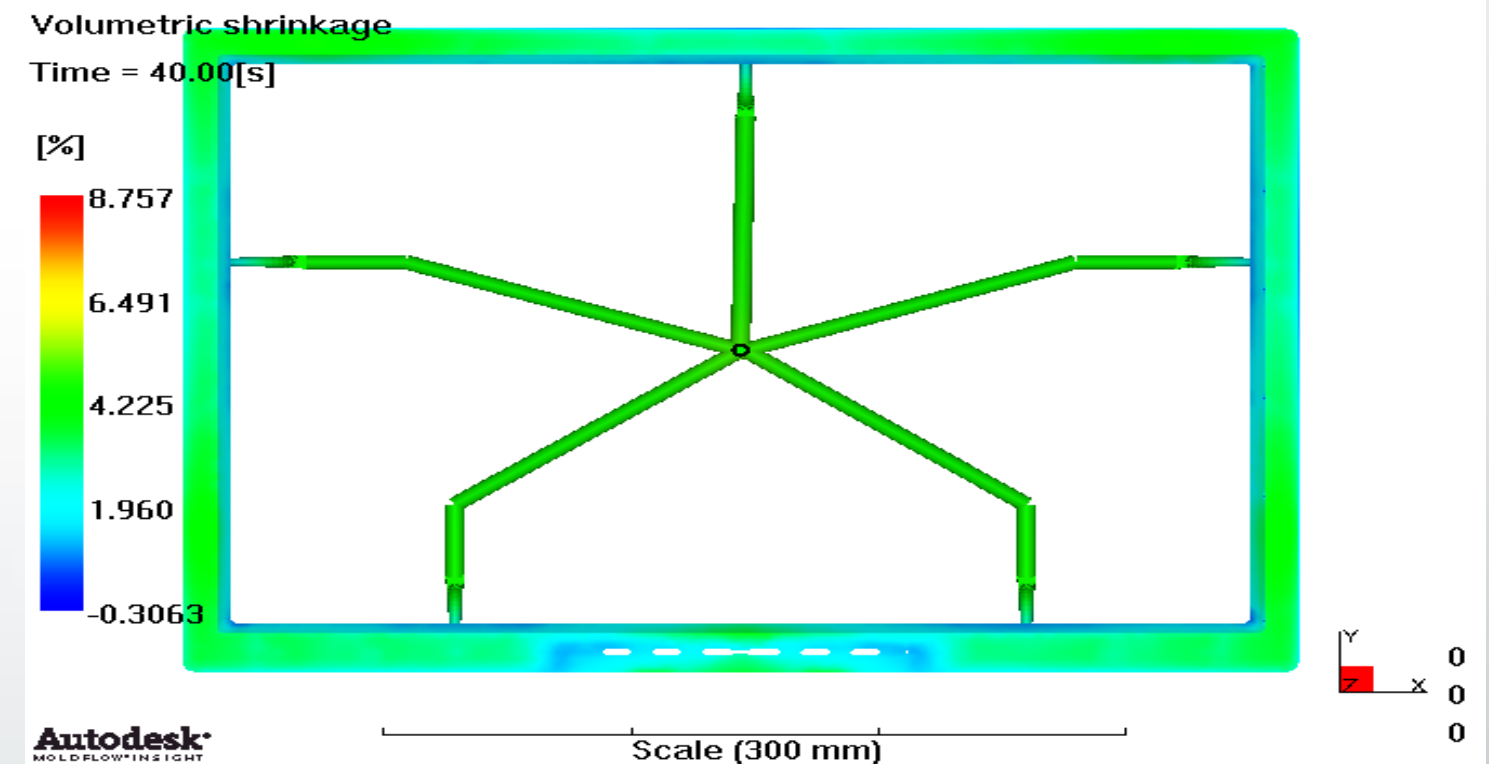
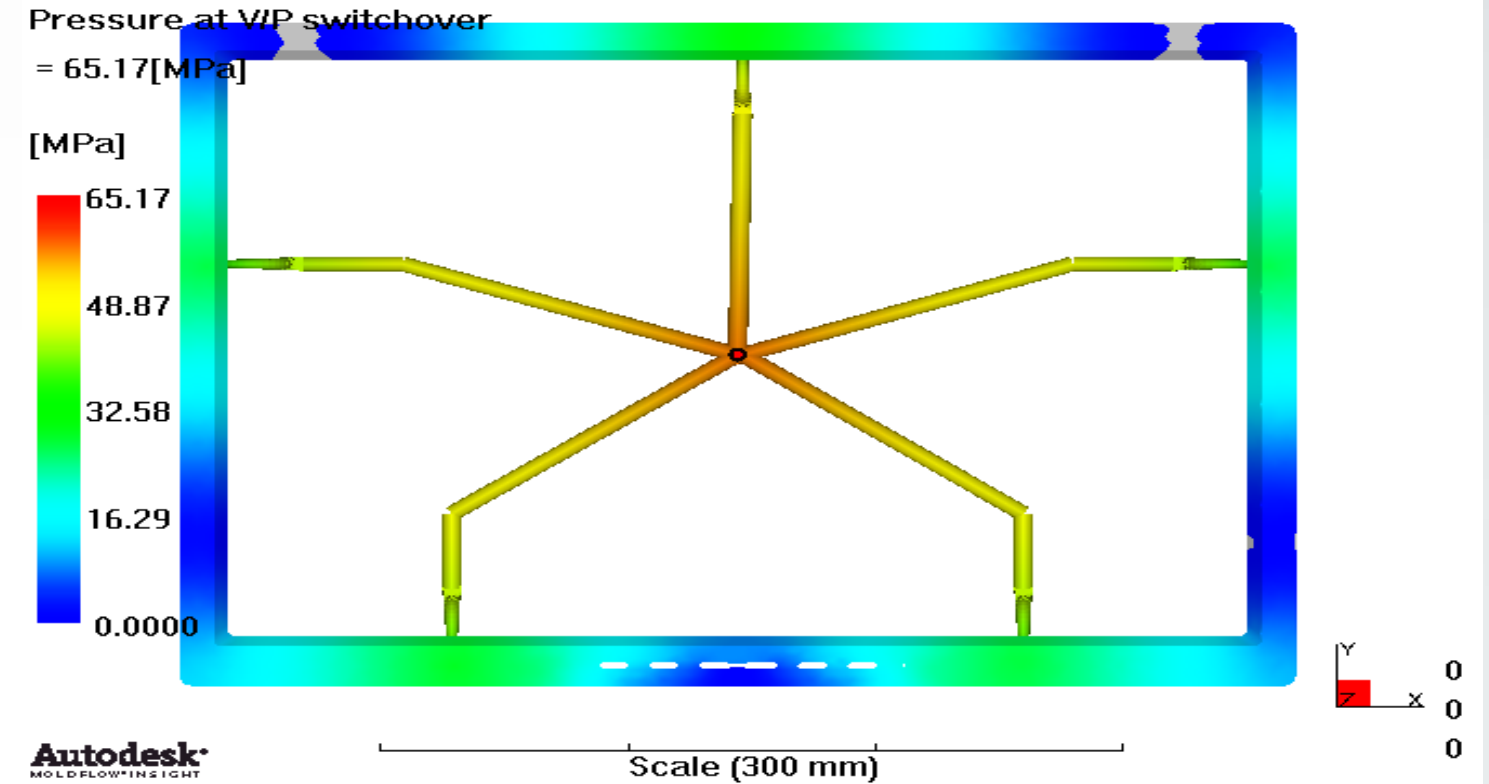
## Gate & Runner sizes

- abnormally small gates can cause polymer cutting, flow marks and sink marks
- abnormally big runners can cause long cycle time and material waste



## Number of gates

- abnormally high pressure drop in the cavity can cause sink marks and dimensional stability problems
- abnormally high pressure drop in the runner and cavity can cause short shot problems

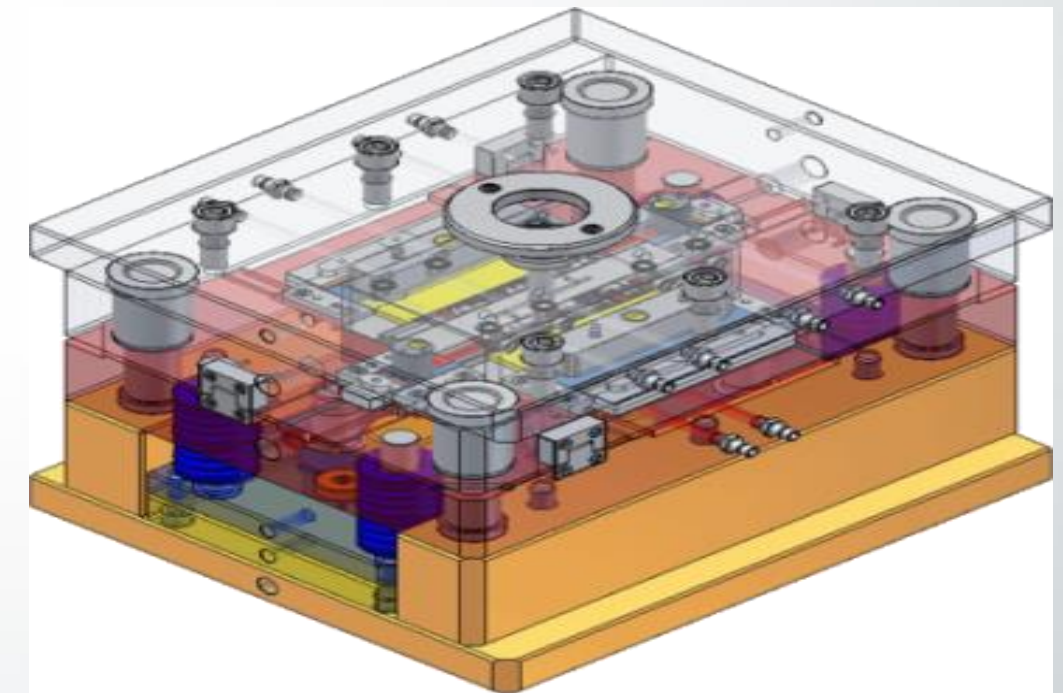




# Solver Options

Proper solver options should be used to get reliable results.

- **Cool Solver Option**
  - BEM( averaged with cycle)
  - FEM( transient with cycle, conduction solver or flow analysis on every iteration)
- **Fiber Solver Option**
  - Folgar-Tucker model with Ci
  - RSC or ARD
  - Fiber Breakage
- **Crystallization Option**
  - flow induced crystallization & morphological change
  - cavity pressure, solidification, shrinkage & warpage
- **Shrinkage Model Option**
  - Uncorrected
  - CRIMS (Default, RSC and ARD, Crystallization)



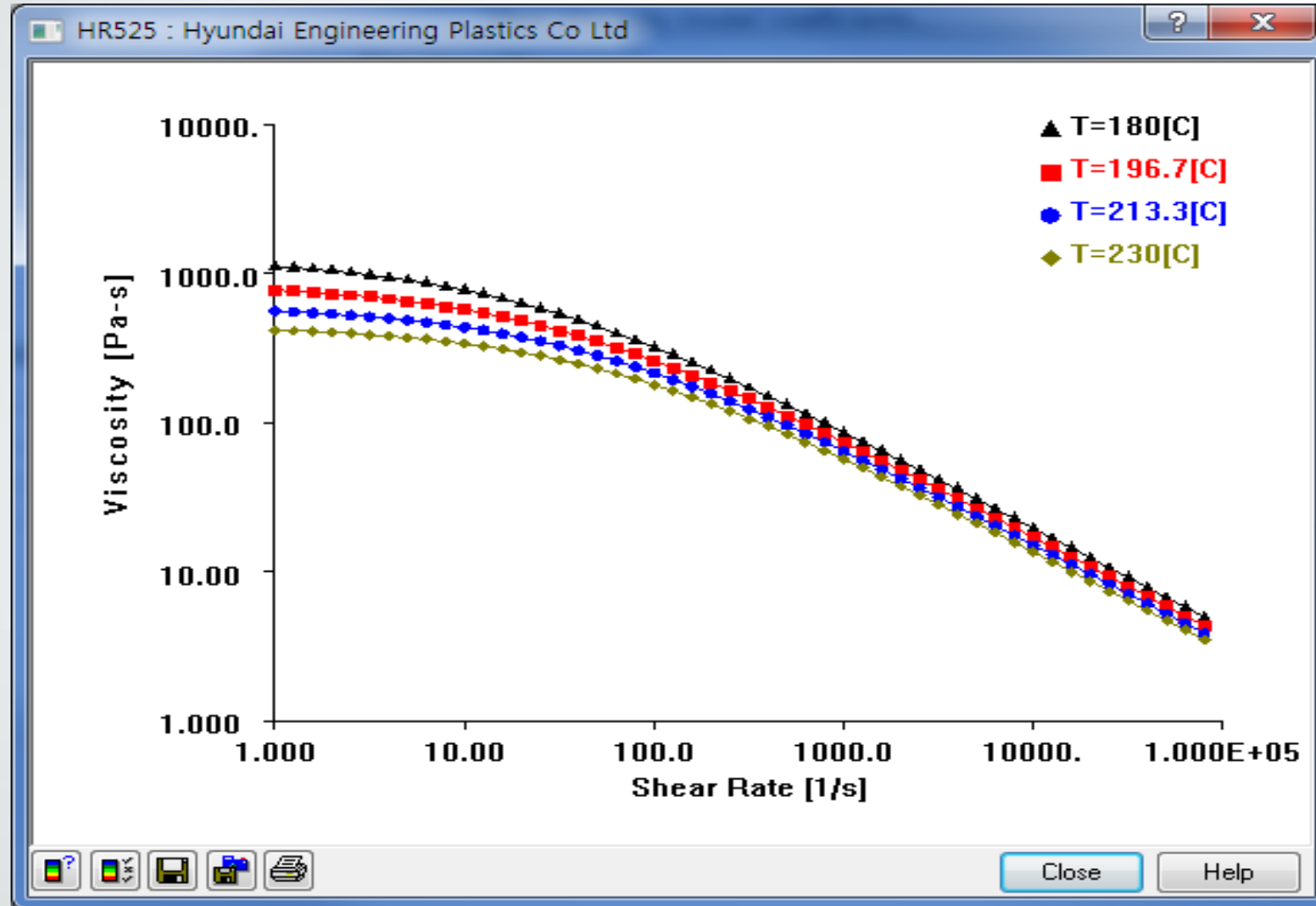
# Material Properties

More accurate material data provide more accurate results.

- Viscosity : [Fill results](#)
- pvT : [Pack results](#)
- Thermal : [Fill & Pack results](#)
- Mechanical : [Warp results](#)
- Shrinkage data : [Warp results \(DD-CRIMS\)](#)
- Transition temperature & Ejection temperature  
: [Fill result \( fill time\) & Pack results \(time to reach ejection temperature\)](#)
- Juncture Loss : [Fill result\( injection pressure\)](#)



# Viscosity



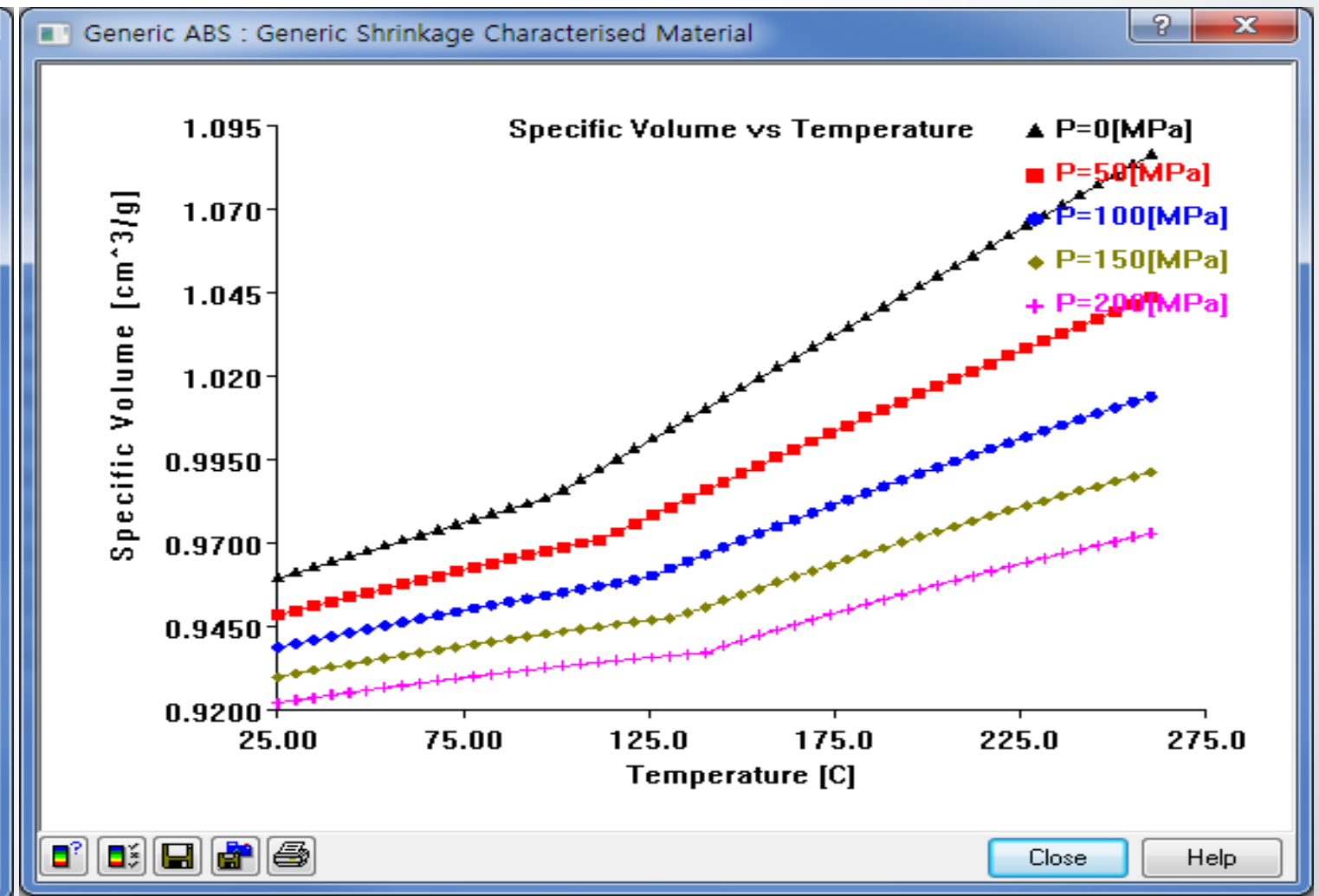
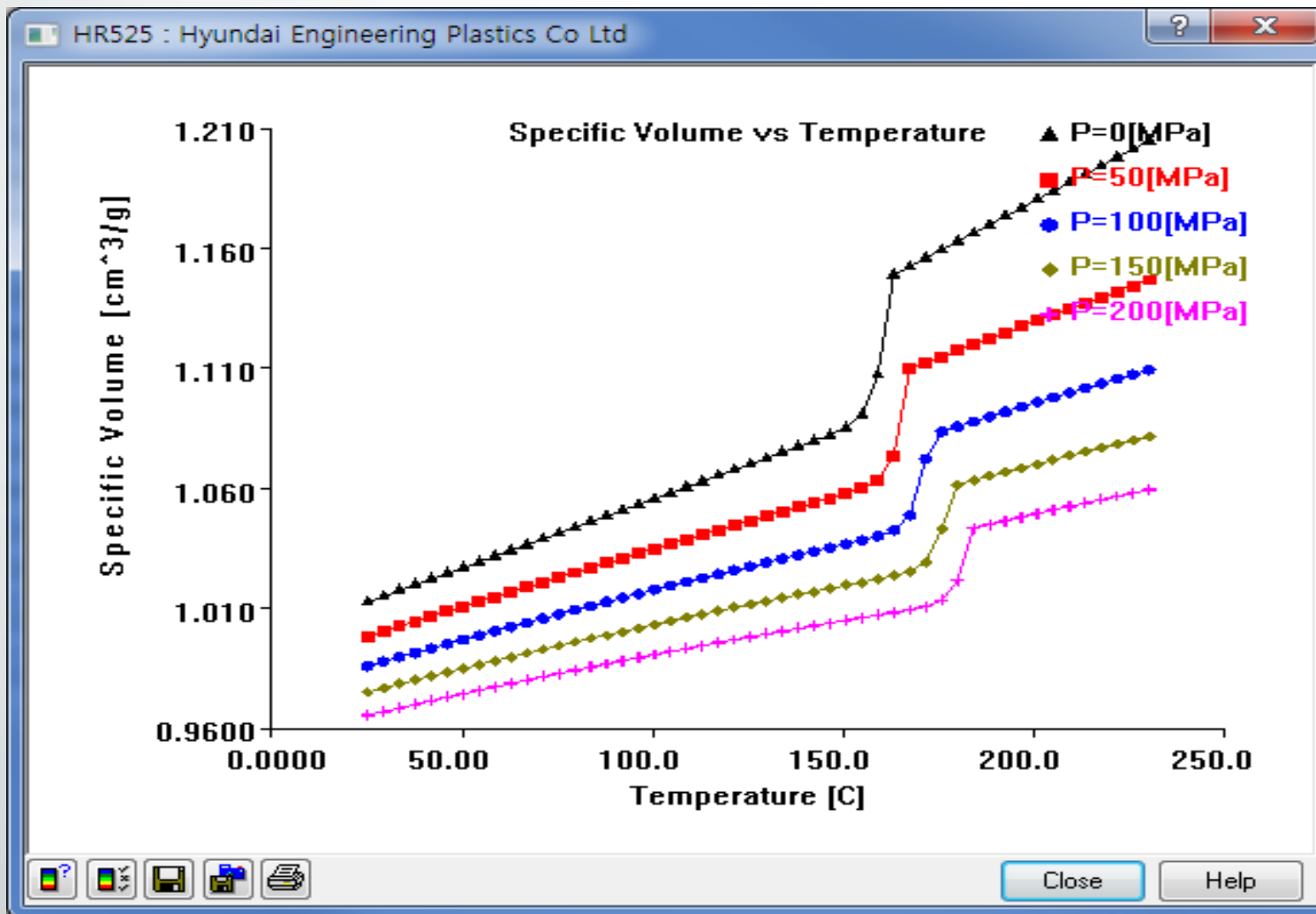
- Cross WLF model
- depends on T, P and Shear rate
- D3 represents pressure dependency
- D3 is important under high pressure

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left( \frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{1-n}}$$

$$\eta_0 = D_1 \exp \left[ \frac{-A_1 (T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right] \quad \begin{aligned} T^* &= D_2 + D_3 P \\ A_2 &= \tilde{A}_2 + D_3 P \end{aligned}$$

## pvT

- 2-domain modified Tait pvT model
- different between crystalline and amorphous
- Crystalline shows more bigger warpage and more serious sink marks



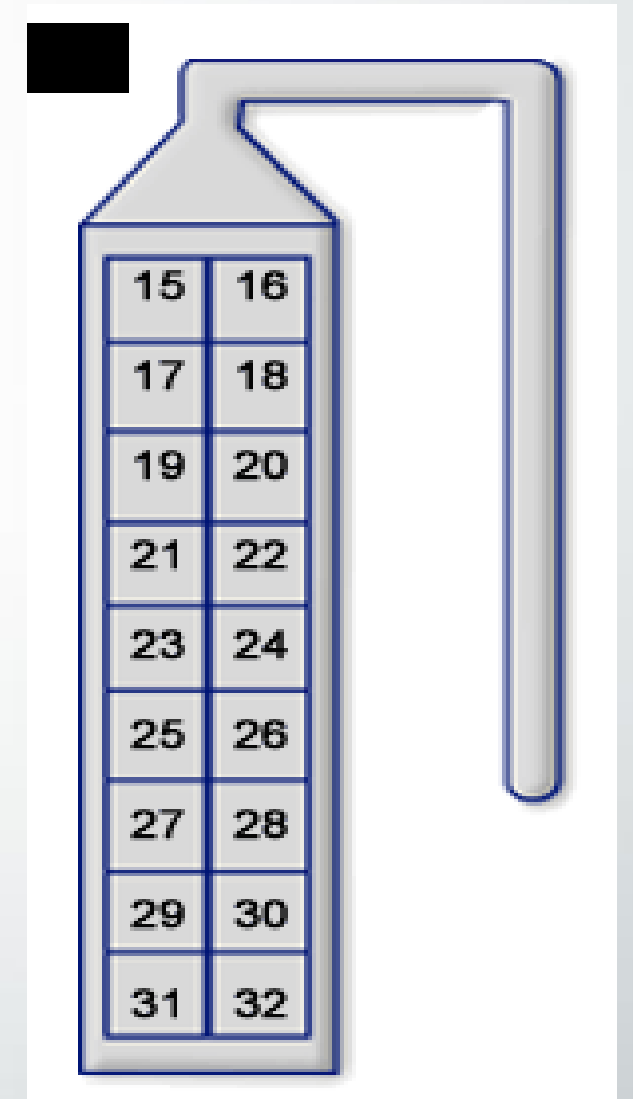
## Shrinkage Data

- used for CRIMS in DD and Midplane, not in 3D
- CRIMS = theoretical residual stress + experimental correction with “Shrinkage data”

$$\sigma_{ij} = \int_0^t c_{ijkl} \left( \xi(t) - \xi(t') \right) \left( \frac{\partial \varepsilon_{kl}}{\partial t'} - \alpha_{kl} \frac{\partial T}{\partial t'} \right) dt'$$

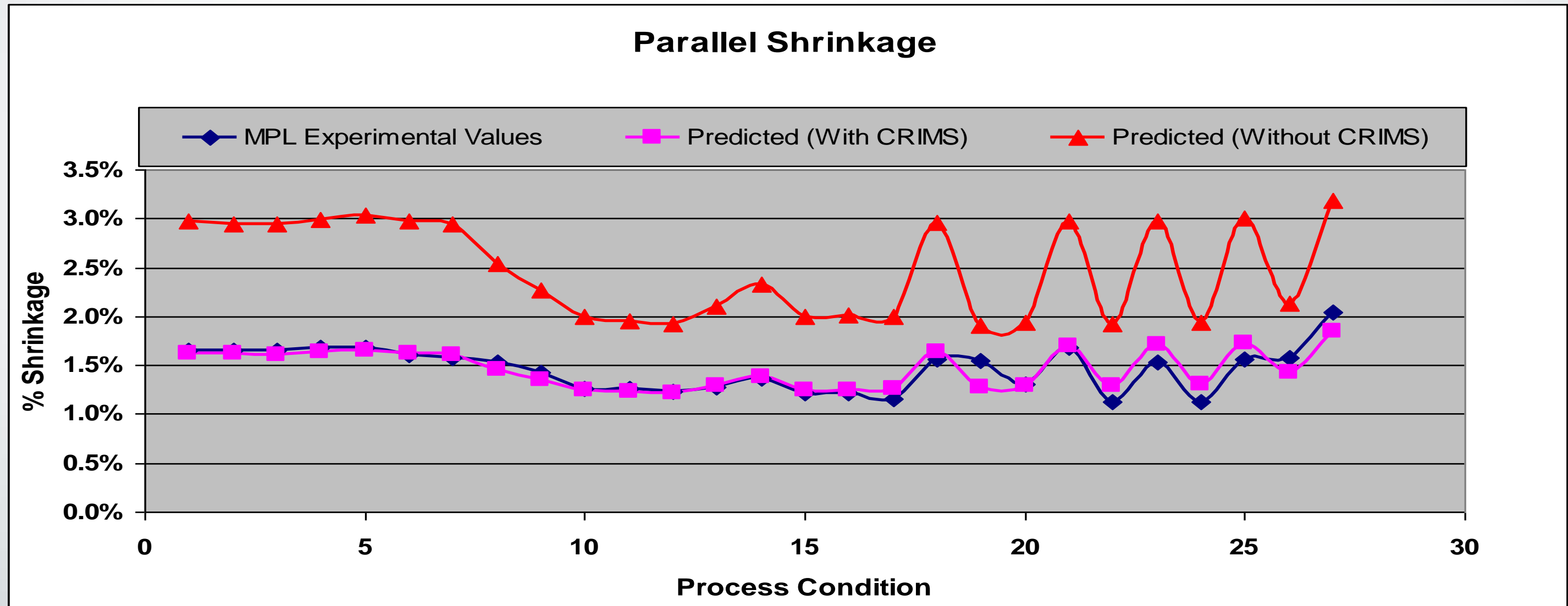
- No provision for molecular orientation
  - No crystallinity effects
  - No relaxation spectrum data for viscoelastic calculation
- 3D uses Generic shrinkage model

$$\varepsilon_i = \int_{T_r}^{T_0} \alpha_i(T) dT$$



## CRIMS (Corrected Residual in Mold Stress)

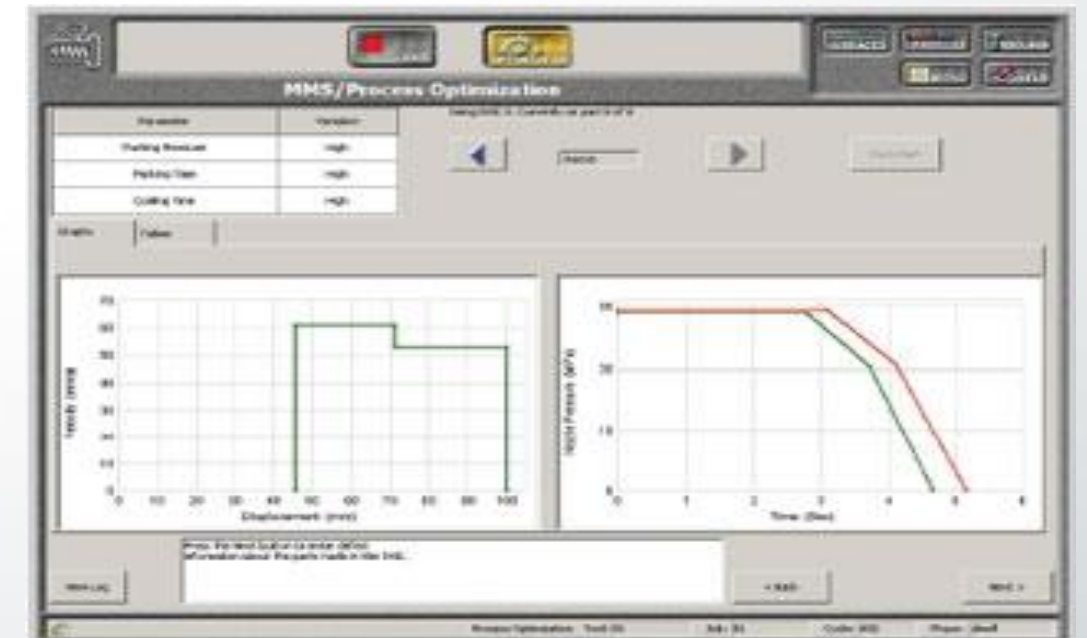
- CRIMS shows more correlated results with the experimental values



# Process Conditions

Feasible process conditions should be used to correlate simulation results with the actually molded part.

- Injection profile
  - flow length & number of gates
  - temperature at flow front, weld lines, short shot by hesitation
  - injection pressure
  - flow marks & gas venting
- Packing profile
  - part thickness (cooling time) & gate freeze time
  - pressure in cavity
  - sink marks & part dimensions
  - shear stress & warpage
- Cooling time
  - part & runner cooling time



# Correlation with Injection Molding

The same process conditions that were used at the simulations should be used at molding trial to check the accuracy of Moldflow simulation.

- Melt and mold temperature
  - melt temperature and mold temperature should be checked and fixed by controlling temperatures of heaters and coolant.
- Shot volume
  - shot volume should be checked and fixed by controlling the position of the screw to be the same with the result of “injection pressure at V/P switch-over”.
- Injection profile
  - injection time of the machine should be checked and fixed by controlling the ram speed to be the same with that of the simulation.
- Packing profile
  - packing time should be the same with that of the simulation, but packing pressure should be fixed by checking the dimensions and sink marks of the part.



# Checklist of Moldflow simulation

## Flow Results

Flow Balance	(1) Fill time at end of fill	유동 밸런스가 달성되지 않은 경우 사출압력과 형체력이 높아지고 성형품 치수 문제가 발생할 가능성이 높습니다. 따라서 특별한 사유가 없는 경우 게이트 위치를 유동밸런스를 고려하여 설정하여야 합니다.
	(2) Fill time by contour plot	유동 등고선 간격을 통하여 캐비티내에서의 수지 흐름 속도를 예측할 수 있습니다. 가스에 의한 외관 불량 및 플로우마크 문제가 발생하는 경우 이 결과를 바탕으로 다단 충전 프로파일을 적용하여야 합니다.
Pressure	(3) Maximum Injection pressure during filling	최대 사출압력 결과는 사출기의 최대 사출압력의 80% 를 넘지 않아야 합니다. 이 경우 사출압력 부족에 의한 미성형 가능성이 있습니다.
	(4) Maximum pressure drop in cavity	캐비티내의 최대 압력강하가 50Mpa 이상이 되는 경우 게이트 주변에는 높은 압력이 가해지고 충전 말단부는 충분한 보압이 가해지지 못하여 싱크마크, 치수문제, 변형문제가 발생할 수 있습니다.
	(5) Maximum pressure at end of fill during packing	적절한 크기의 보압이 가해졌는지를 파악하기 위해서는 충전말단부의 최대 내압을 확인하여야 합니다. 최대 내압의 크기가 최소 30 Mpa 이하고 40 Mpa 이하 이어야 바람직 합니다.
	(6) Maximum pressure at end of cooling	취출시에 캐비티 내압은 모든 부분에서 0 Mpa이어야 합니다. 그렇지 않은 경우 취출시에 굽힘이나 백화현상이 발생할 수 있습니다.
Clamp Force	(7) Clamp force at end of fill	충전 끝나는 순간의 형체력이 사출기의 최대 형체력 90%를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 형체력 부족에 의한 미성형 및 플래시가 발생할 수 있습니다.
	(8) Maximum clamp force during packing	보압 공정에서의 최대형체력이 사출기의 최대 형체력 90%를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 형체력 부족에 의한 플래시, 싱크마크 또는 치수문제가 발생할 수 있습니다.

## Flow Results

Temperature	(9) Temperature at flow front drop on outer surfaces	제품 외관부분의 수지의 유동선단 온도는 충전과정에서 10°C이상 낮아지면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 웰드라인이 선명해지고, 사출압력과 형체력이 증가할 수 있습니다.
	(10) Temperature at flow front rise on outer surfaces	제품 외관부분의 수지의 유동선단 온도는 충전과정에서 5°C이상 높아지면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 수지의 열화에 의한 물성저하가 발생할 수 있습니다.
	(11) Temperature at flow front on thin sections	제품의 얇은 부분수지의 유동선단 온도가 수지의 천이온도 이하로 내려가면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 정체현상에 의한 미성형이 발생할 수 있습니다.
Shear	(12) Maximum bulk shear rate at gates during filling	충전 공정에서 게이트에서의 최대 전단률이 수지의 허용 최대 전단률을 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 고분자 체인이 파손되고 플로우마크 발생가능성이 높아집니다.
	(13) Maximum shear stress at wall on outer surfaces during cycle	성형 공정에서 제품의 일부 얇은 외관 부분의 전단응력이 수지의 허용 최대 전단응력을 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 크랙이 발생할 가능성이 높아지고, 도금 및 도장 불량 현상이 증가합니다.
Weld line	(14) Contact angles of flow front	웰드라인을 최소화하기 위해서는 수지의 충돌각도(접촉각)가 증가하도록 설계 변경을 하여야 합니다. 그렇지 않은 경우 웰드라인에 의한 외관문제와 구조적 강성 문제가 발생할 수 있습니다.
	(15) Flow front temperature at weld lines	웰드라인을 최소화하기 위해서는 수지의 충돌시 수지유동선단 온도가 충분히 높아야 합니다. 그렇지 않은 경우 웰드라인에 의한 외관문제와 구조적 강성 문제가 발생할 수 있습니다.
Air trap	(16) Air traps in the middle of part	에어밴트 설치가 어려운 제품 중심부에 에어트랩이 발생하지 않도록 설계 변경을 하여야 합니다. 그렇지 않은 경우 에어트랩에 의한 탄화, 미성형 및 가스에 의한 외관 불량이 발생할 수 있습니다.

## Flow Results

Sink mark	(17) Proportion of rib and boss thickness to part thickness	리브 또는 보스의 두께는 제품 두께의 최대 50%를 넘지 않아야 합니다. PP와 같이 수축률이 큰 소재는 40%를 넘지 않아야 한다. 그렇지 않은 경우 싱크마크가 발생할 가능성이 높아집니다.
	(18) Volumetric shrinkage difference on outer surface between start of fill and end of fill	제품의 동일 두께 외관면의 수축률 편차는 2.5%를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 충전말단 부분의 리브 또는 보스 상단에 싱크마크가 발생할 가능성이 높아집니다.
	(19) Average volumetric shrinkage on outer surface	제품의 동일 두께 외관면의 수축률 평균은 금형가공 수축률의 3배 보다 크고 5배 보다 작아야 합니다. 그렇지 않은 경우 제품 치수 문제가 발생할 가능성이 높아집니다.
	(20) Maximum volumetric shrinkage on outer surface	제품의 외관면의 수축률이 평균 수축률의 2배 보다 크면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 싱크 발생 가능성이 높아집니다.
Cycle time	(21) Maximum time to reach ejection temperature of runner	러너의 고화시간은 제품 고화시간의 2배보다 크고 3배 보다 작아야 합니다. 그렇지 않은 경우 사이클 시간이 증가합니다.
	(22) Maximum time to reach ejection temperature of part	러너 고화시간의 50%와 제품 고화시간의 80%중에서 긴시간과 금형 개폐시간의 합이 사이클 시간이 됩니다.
	(23) Time to reach ejection temperature at start of fill	게이트 주변이 초소 50~60% 정도 고화될때 까지 보압이 가해져야 합니다. 그렇지 않은 경우 충분하지 못한 보압시간에 의하여 싱크마크 발생 가능성이 높아집니다.
	(24) Freeze time of gates	게이트의 고화시간이 충전시간과 보압시간의 합과 유사하여야 합니다. 그렇지 않은 경우 싱크마크가 발생할 가능성이 높아집니다.

## Cool Results

Coolant Control	(25) Coolant temperature rise in cavity	출수부의 냉각수의 온도는 입수부의 냉각수 온도에 비하여 3°C이상 증가하면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차가 심해질 가능성이 높아집니다.
	(26) Coolant temperature rise in core	출수부의 냉각수의 온도는 입수부의 냉각수 온도에 비하여 3°C이상 증가하면 안됩니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차가 심해질 가능성이 높아집니다.
	(27) Coolant flow rate in cavity (for turbulence)	금형 캐비티 냉각수의 Reynolds Number가 10000 이상이 되어야 합니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차가 심해질 가능성이 높아집니다.
	(28) Coolant flow rate in core (for turbulence)	금형 코어 냉각수의 Reynolds Number가 10000 이상이 되어야 합니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차가 심해질 가능성이 높아집니다.
Mold Temperature	(29) Mold temperature difference in cavity	금형 캐비티의 금형온도 편차가 10°C를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차에 의한 변형 발생 가능성이 높아집니다.
	(30) Mold temperature difference in core	금형 코어의 금형온도 편차가 10°C를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차에 의한 변형 발생 가능성이 높아집니다.
	(31) Mold temperature difference between cavity and core	금형 상하의 금형온도 편차가 10°C를 넘지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 금형온도 편차에 의한 변형 발생 가능성이 높아집니다.
	(32) Hot spots	금형 온도가 주변에 비하여 20°C 이상 높은 hot spot이 존재하지 않아야 합니다. 그렇지 않은 경우 사이클 시간이 증가할 가능성이 높아집니다.

## Warp Results

Deflection	(33) Maximum deflection in X axis(not including linear shrinkage in X axis)		X축 방향의 최대변형량과 최소변형량의 차이를 표시합니다. 다만 X축 방향의 선형 수축량은 포함시키지 않습니다.
			X축 변형의 주요 원인을 선택합니다.
	(34) Maximum deflection in Y axis(not including linear shrinkage in Y axis)		Y축 방향의 최대변형량과 최소변형량의 차이를 표시합니다. 다만 Y축 방향의 선형 수축량은 포함시키지 않습니다.
			Y축 변형의 주요 원인을 선택합니다.
	(35) Maximum deflection in Z axis(not including linear shrinkage in Z axis)		Z축 방향의 최대변형량과 최소변형량의 차이를 표시합니다. 다만 Z축 방향의 선형 수축량은 포함시키지 않습니다.
			Z축 변형의 주요 원인을 선택합니다.

# Issues of Plastic Parts

## 성형성 문제

미성형, 플래시, 치수편차

## 외관 문제

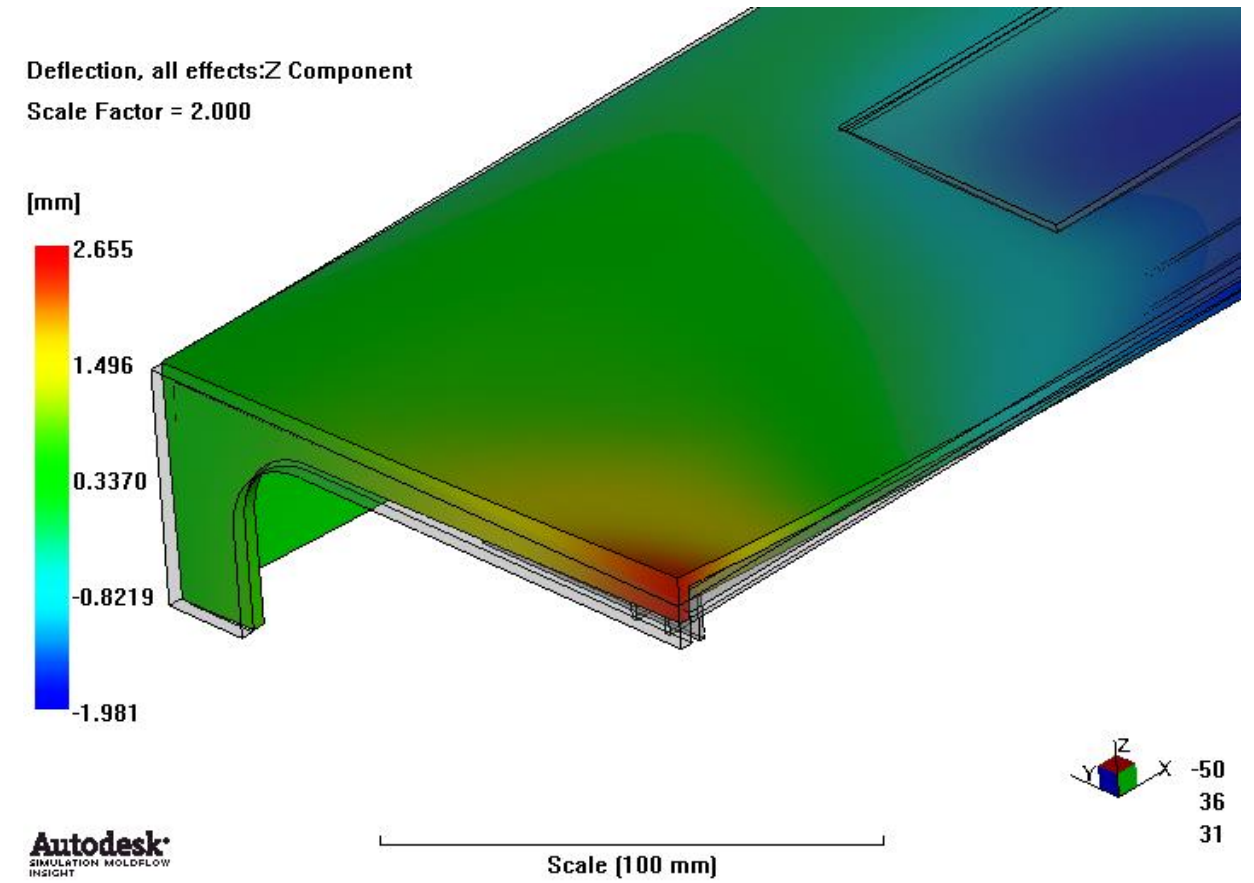
웰드라인, 에어트랩, 싱크마크, 플로마크

## 변형 문제

수축편차에 의한 변형, 냉각편차에 의한 변형, 배향편차에 의한 변형

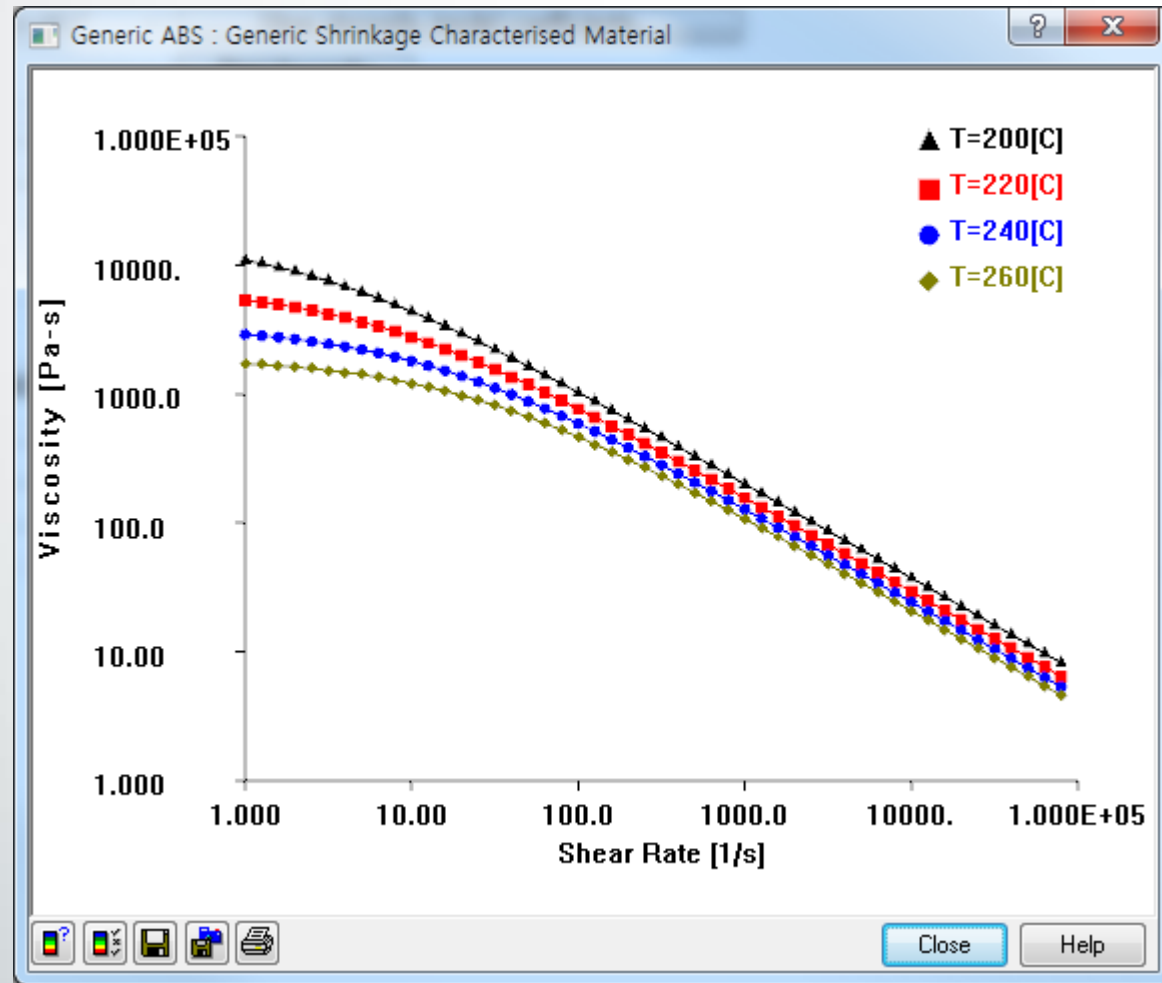
## 생산성 문제

사이클 시간, 스크랩

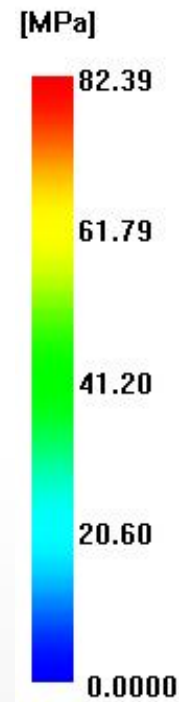


# 성형성 문제

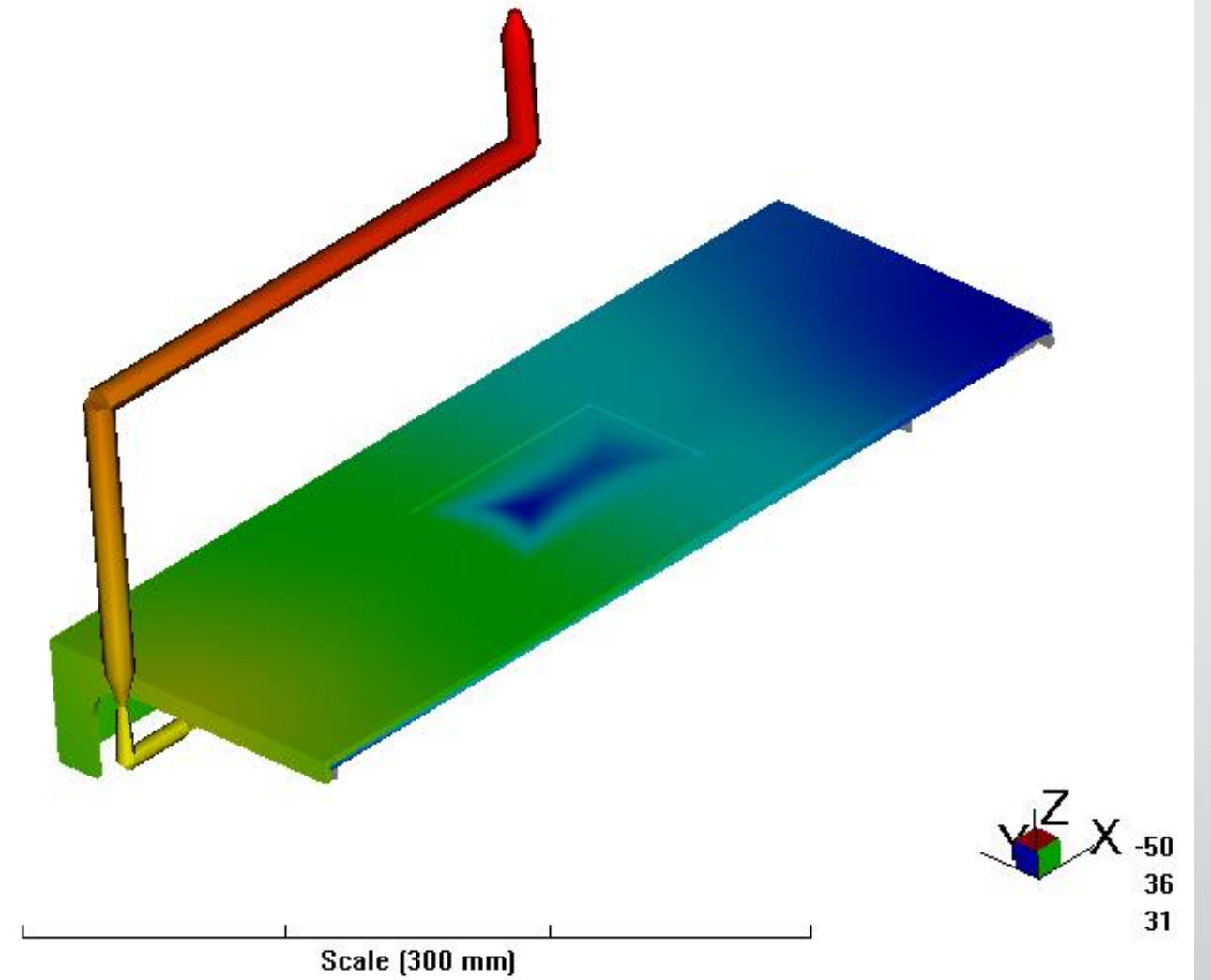
- 높은 사출 압력 또는 정체현상에 의한 미성형
- 높은 형체력에 플래시
- 내압 편차에 의한 치수편차



Pressure at V/P switchover  
= 82.39[MPa]

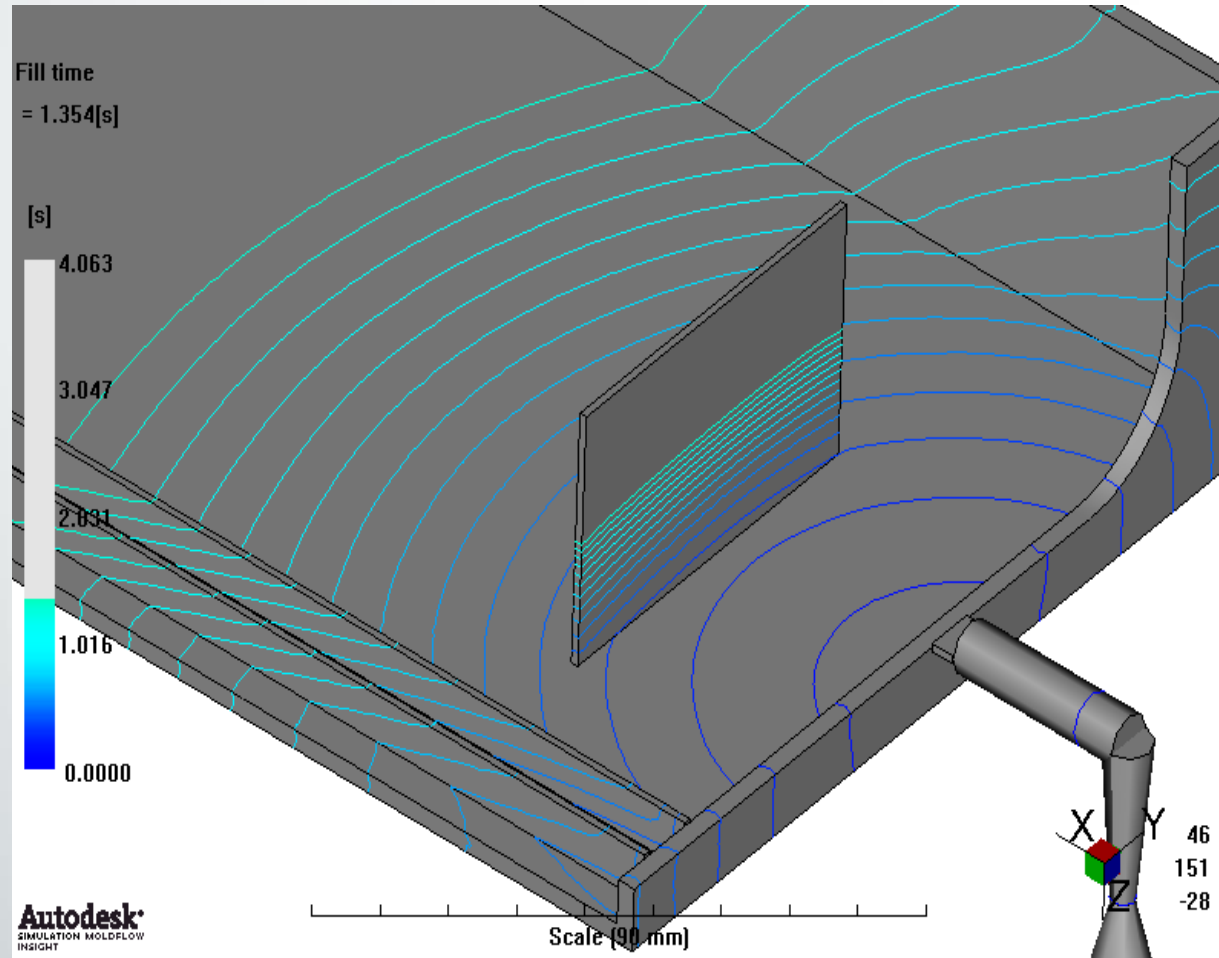


Autodesk  
SIMULATION MOLDFLOW  
INSIGHT

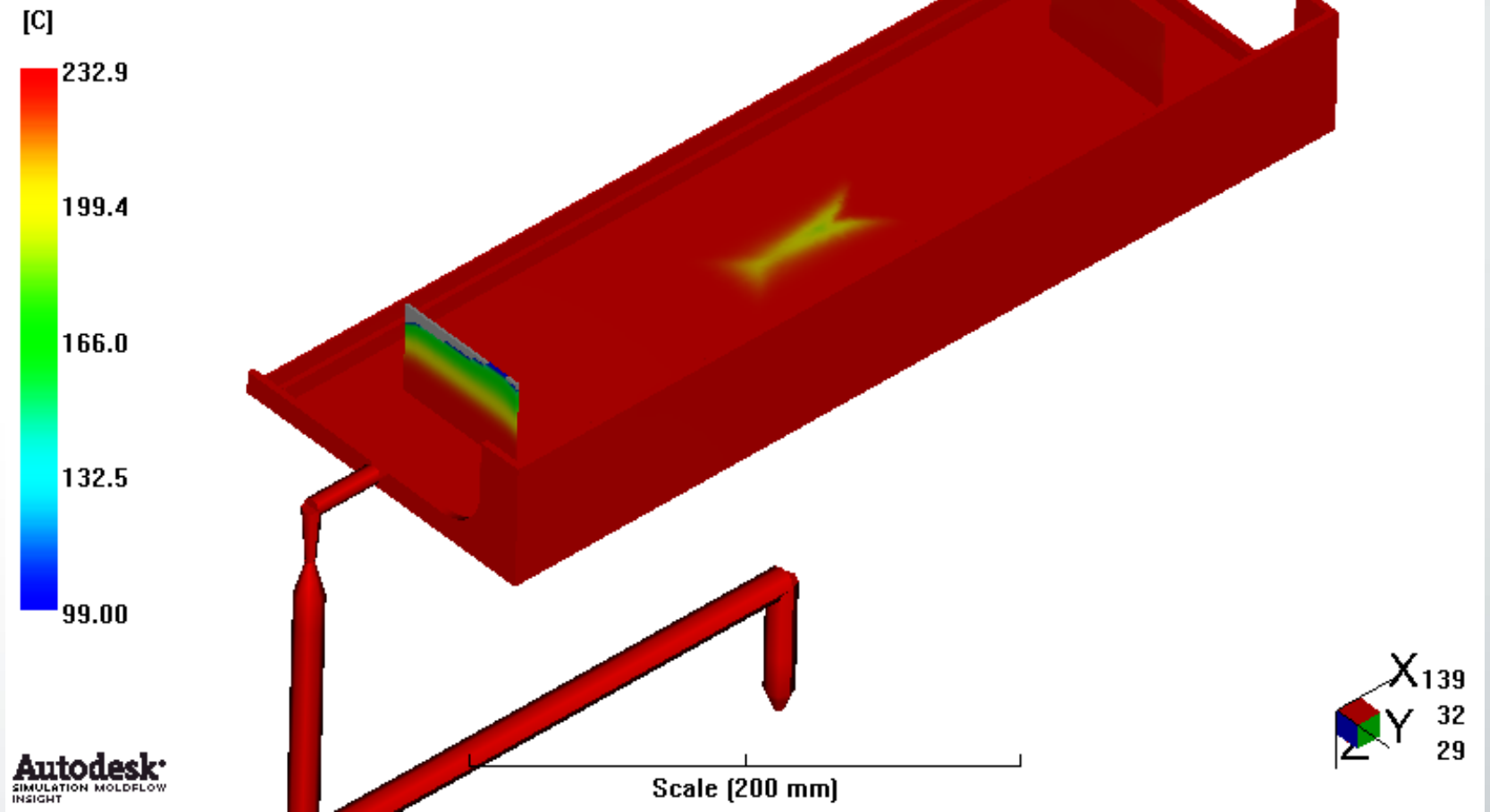


# 성형성 문제

- 높은 사출 압력 또는 정체현상에 의한 미성형
- 높은 형체력에 플래시
- 내압 편차에 의한 치수편차



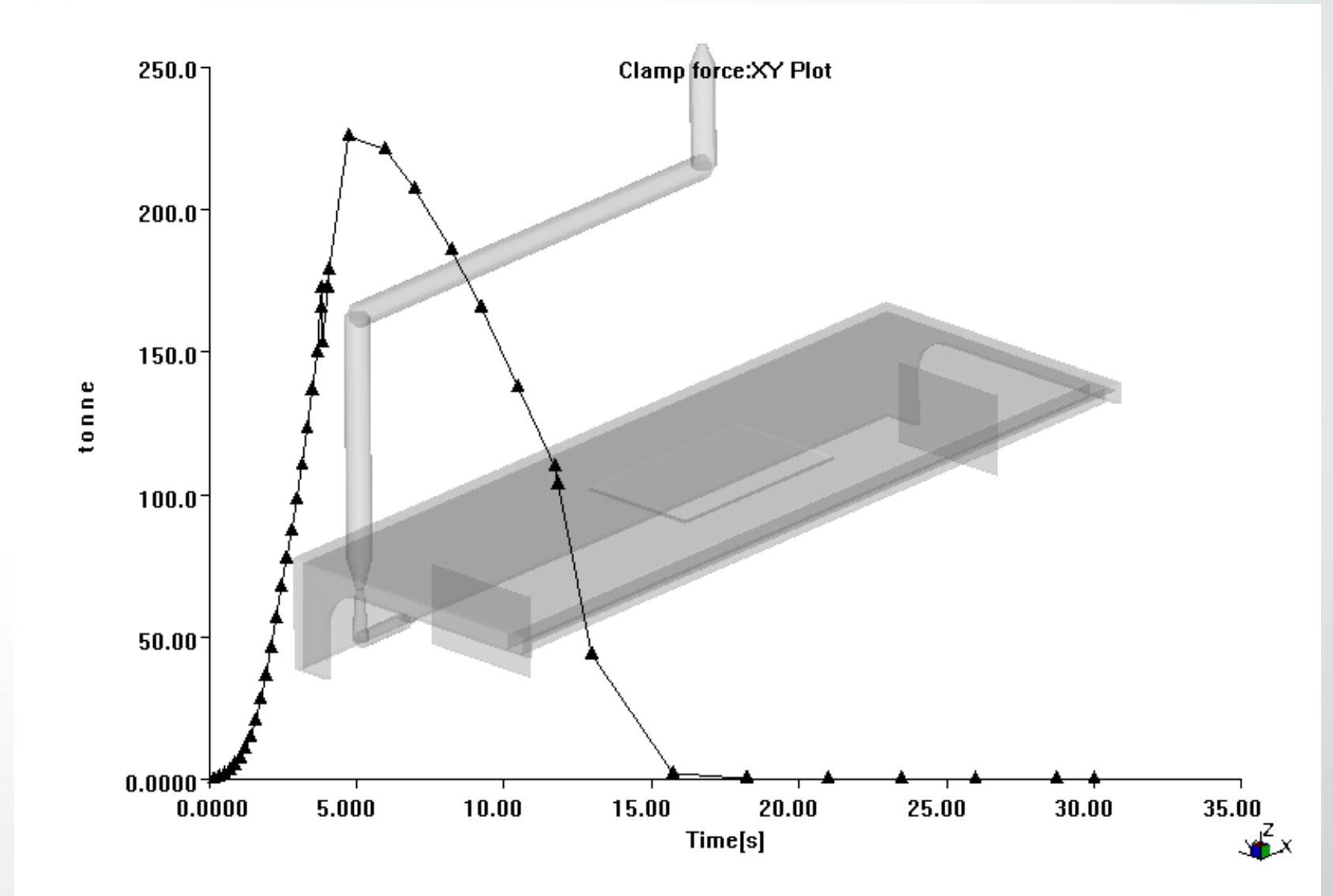
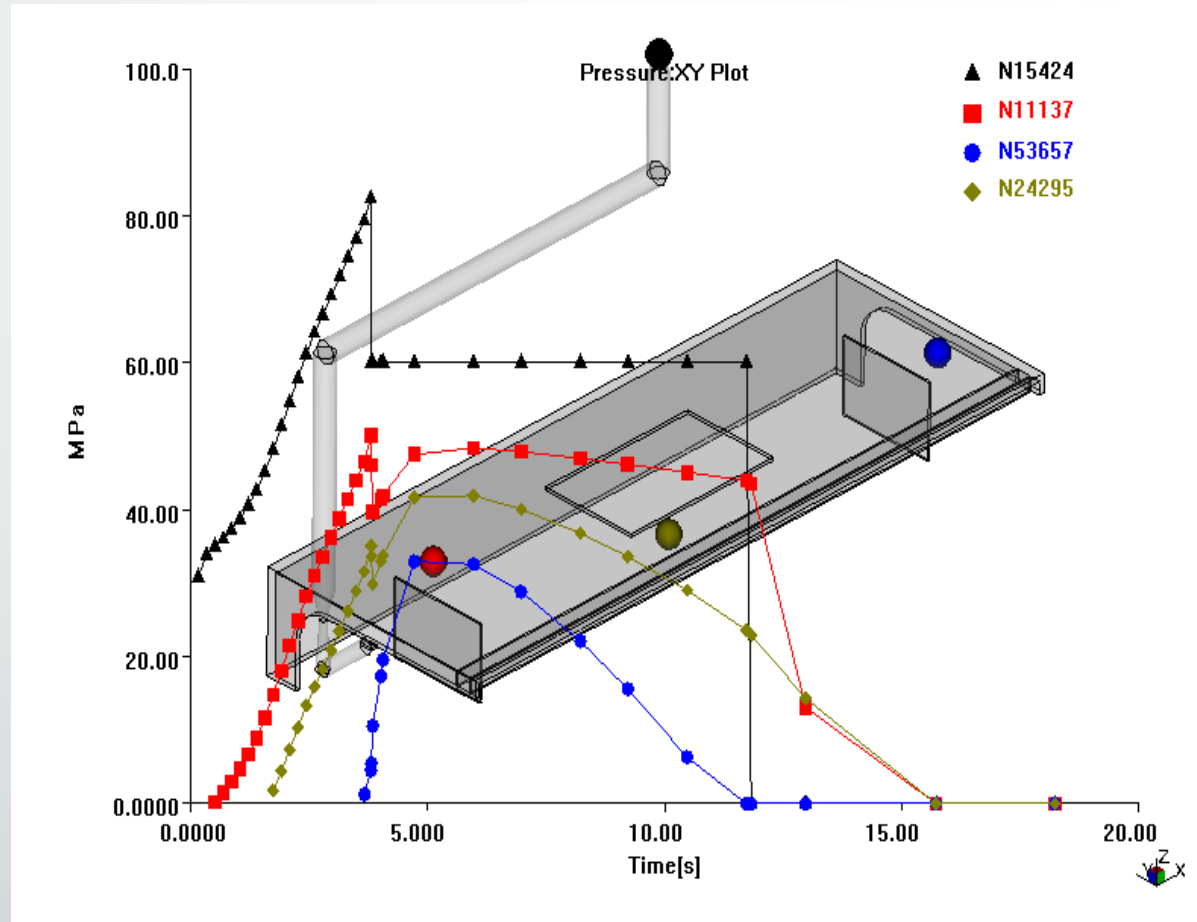
Temperature at flow front = 232.9[C]





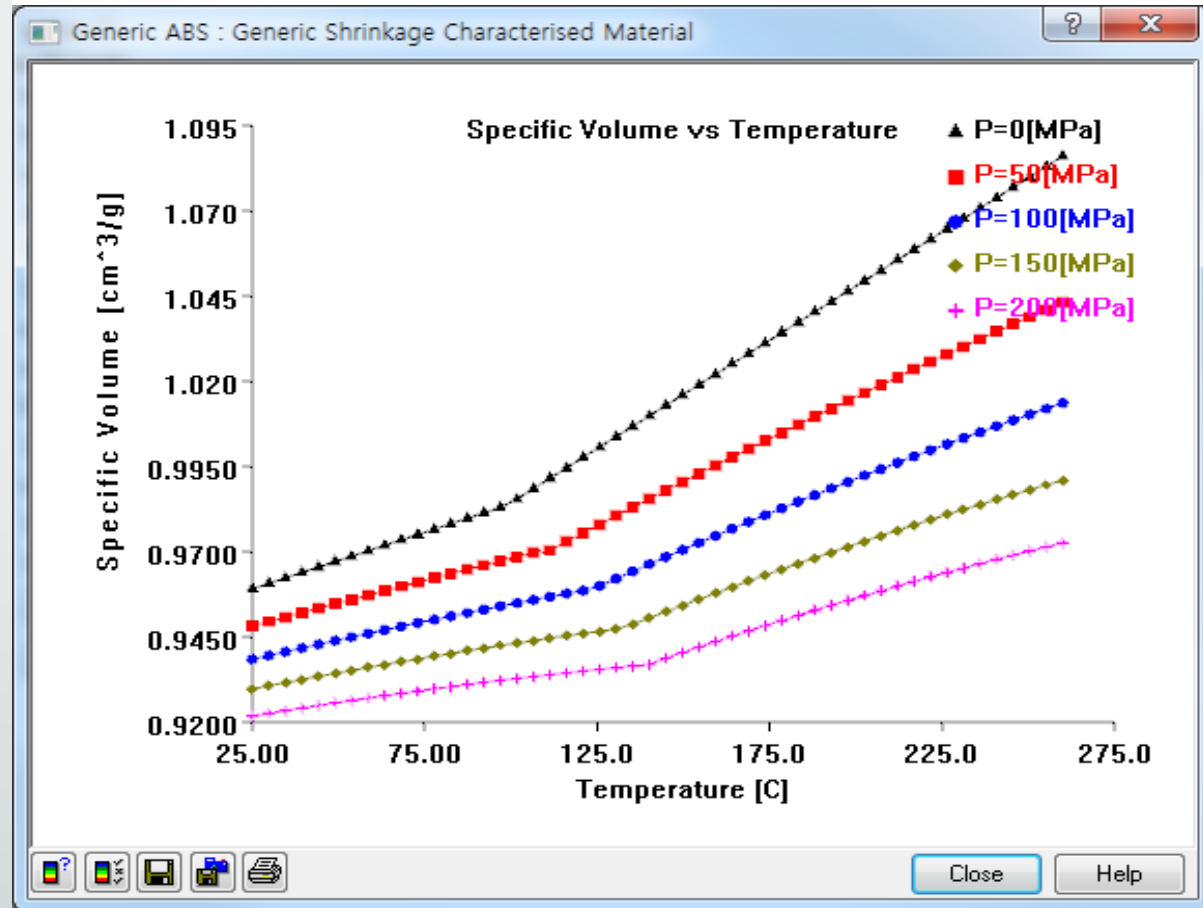
## 성형성 문제

- 높은 사출 압력 또는 정체현상에 의한 미성형
- 높은 형체력에 플래시
- 내압 편차에 의한 치수편차

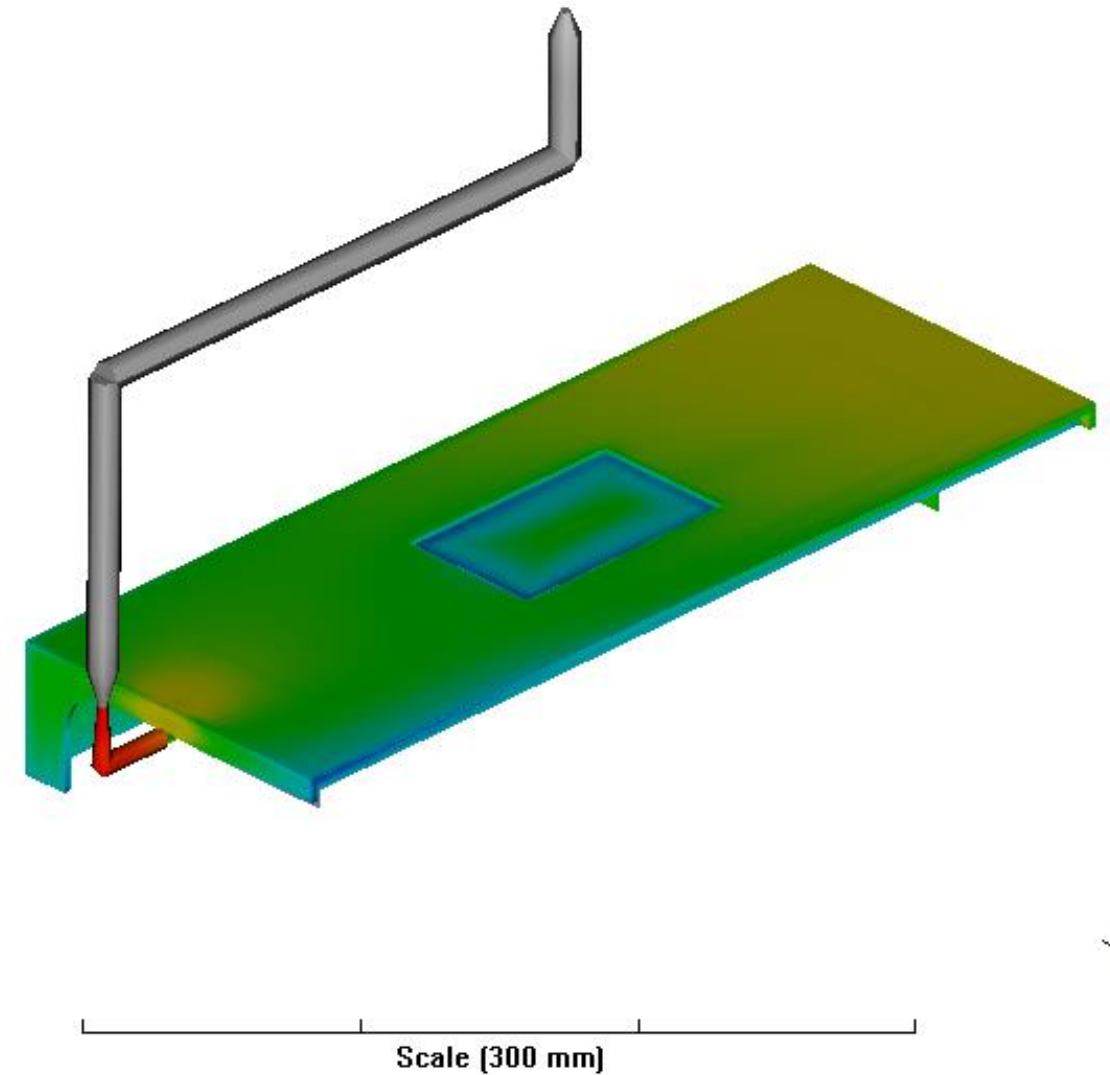
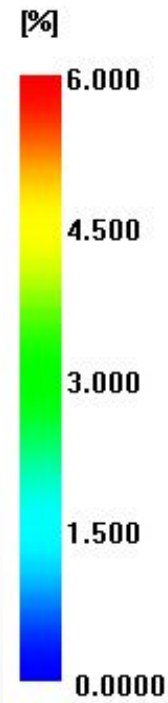


# 성형성 문제

- 높은 사출 압력 또는 정체현상에 의한 미성형
- 높은 형체력에 플래시
- 내압 편차에 의한 치수편차

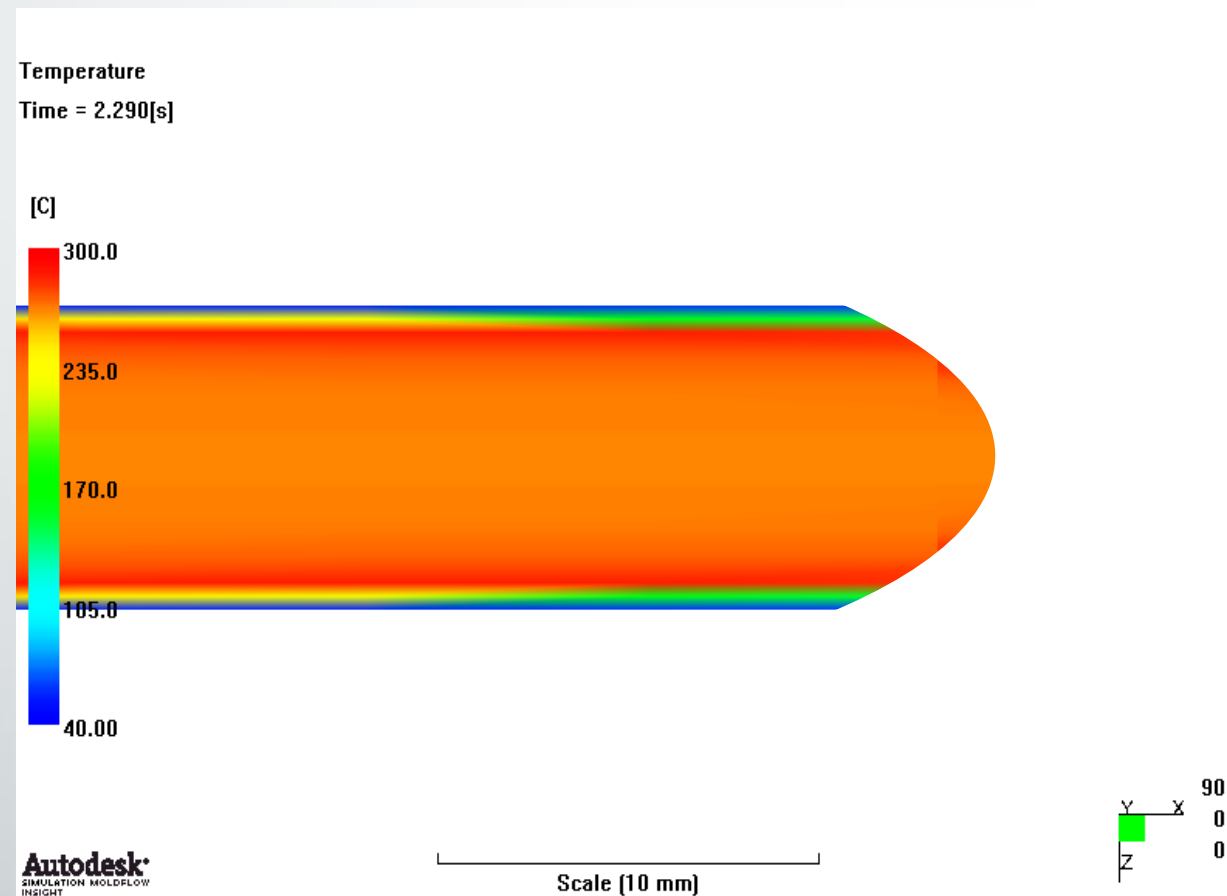


Volumetric shrinkage  
Time = 30.00[s]



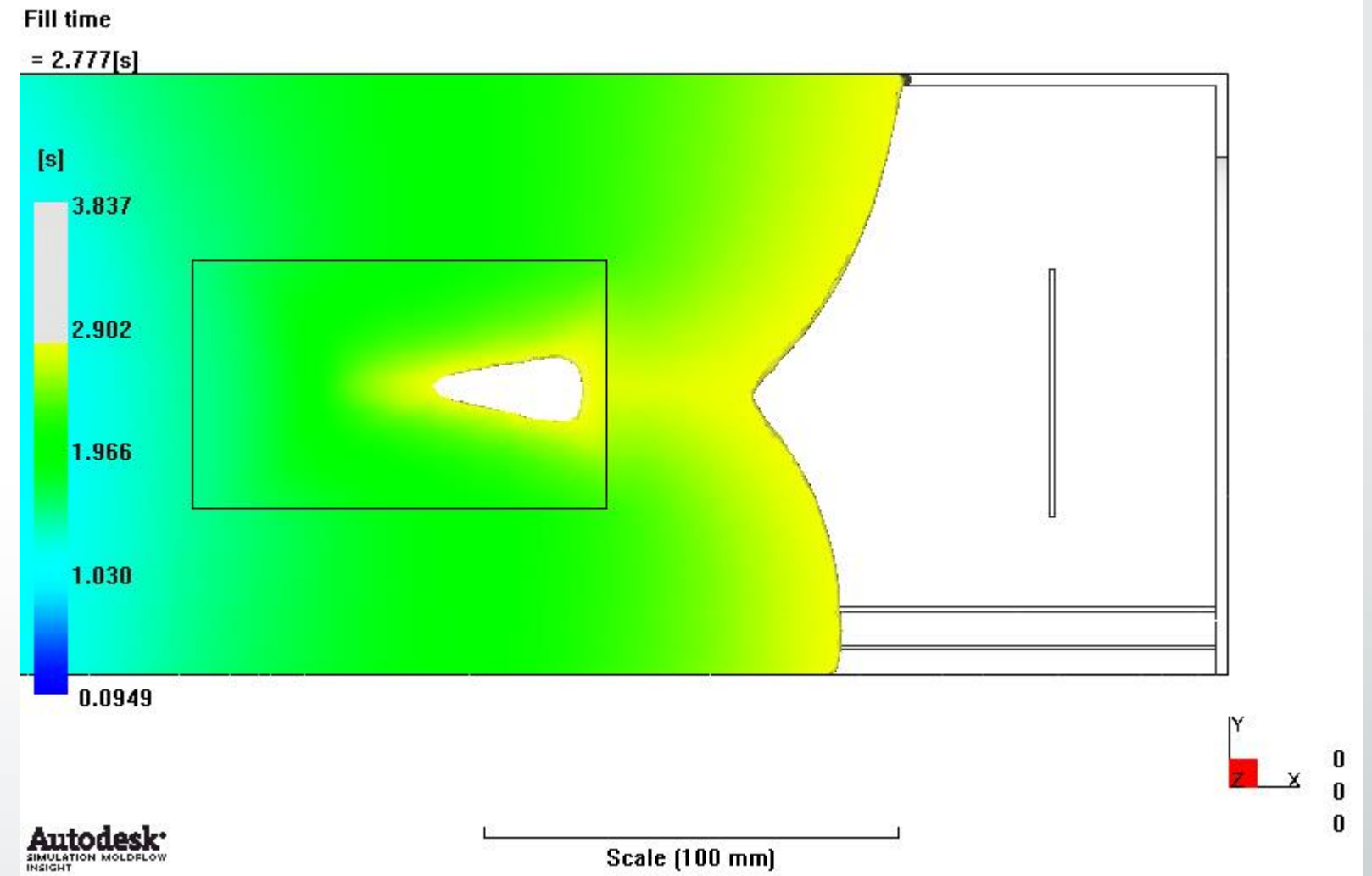
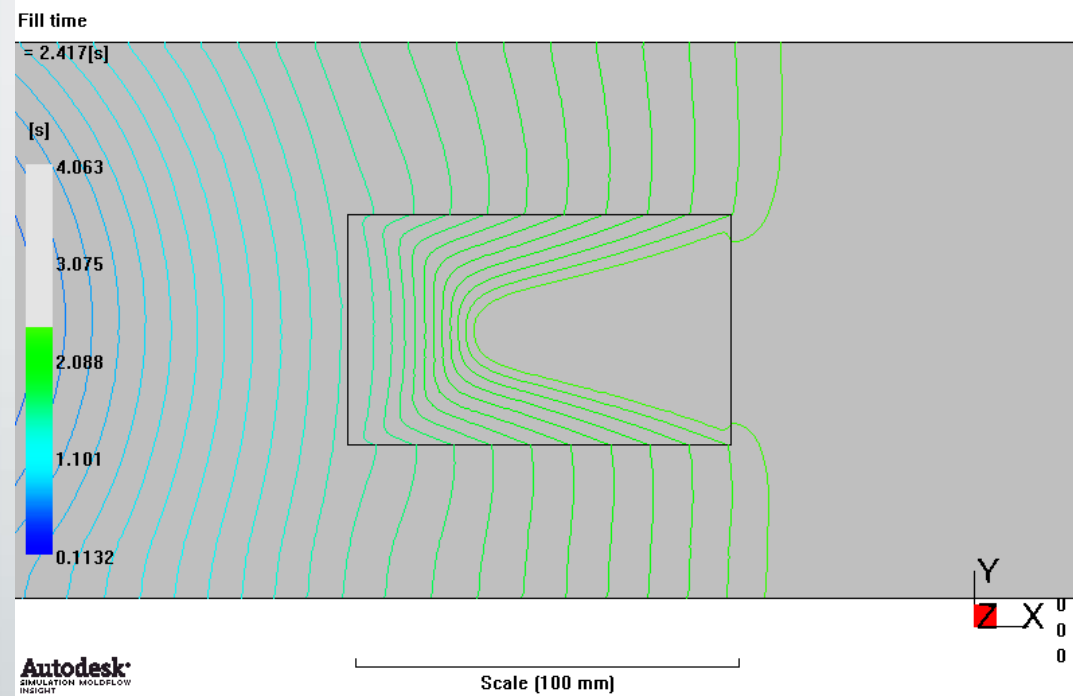
## 외관 문제

- 유동선단 충돌에 의한 웰드라인
- 공기 갇힘에 의한 에어트랩
- 내압 부족 또는 두께 편차에 의한 싱크 마크
- 급격한 유동선단 속도 변화에 따른 플로 마크



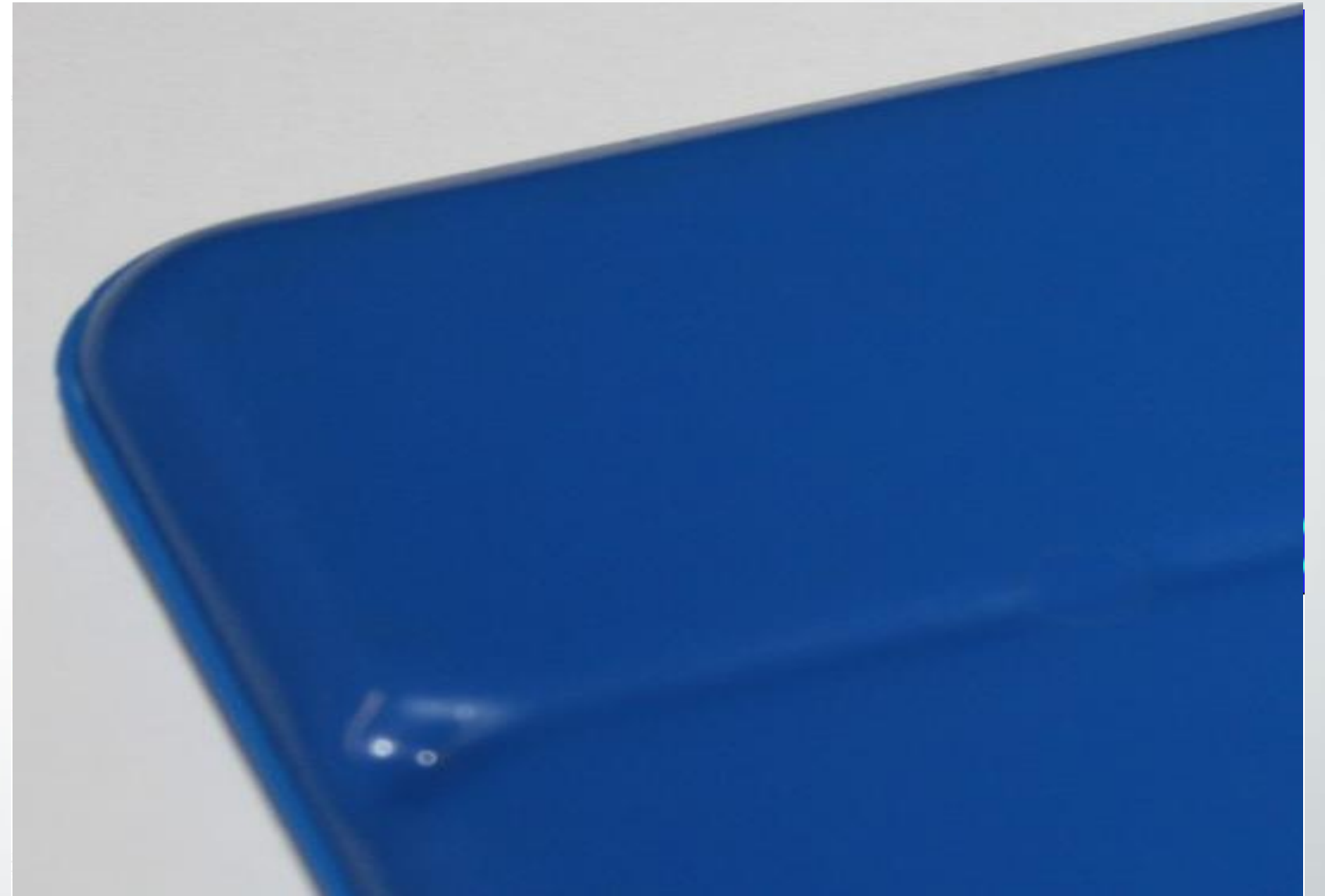
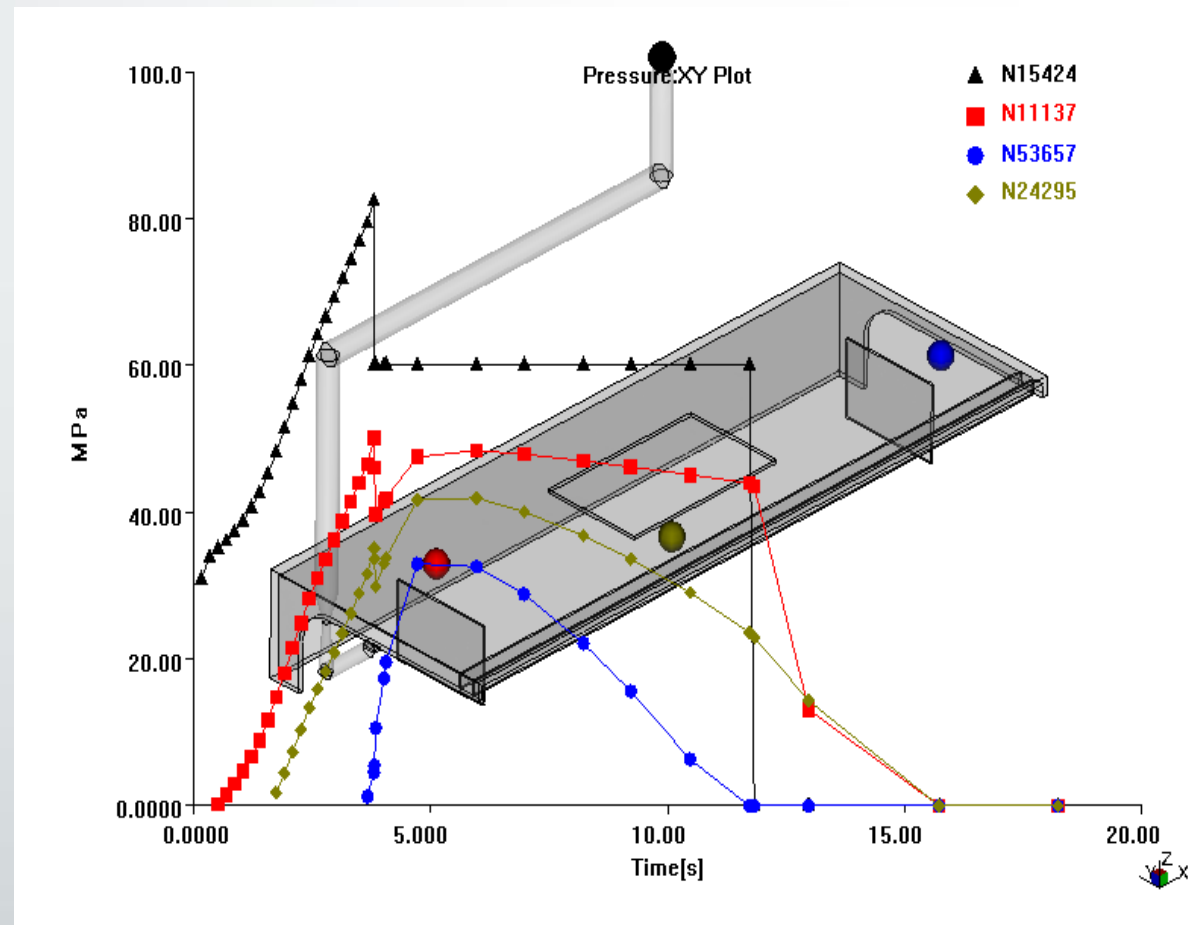
## 외관 문제

- 유동선단 충돌에 의한 웰드라인
- 공기 갇힘에 의한 에어트랩
- 내압 부족 또는 두께 편차에 의한 싱크 마크
- 급격한 유동선단 속도 변화에 따른 플로 마크



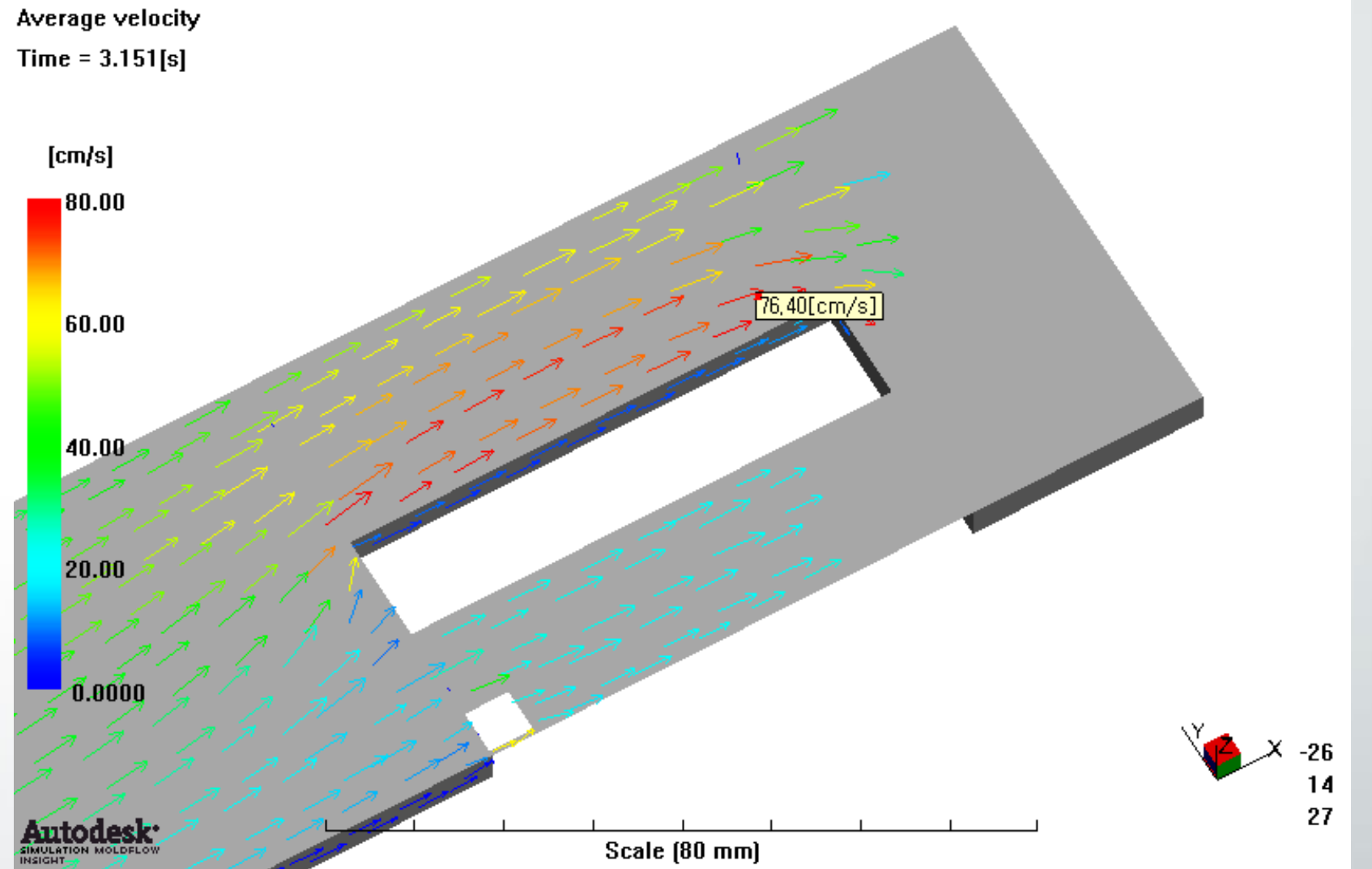
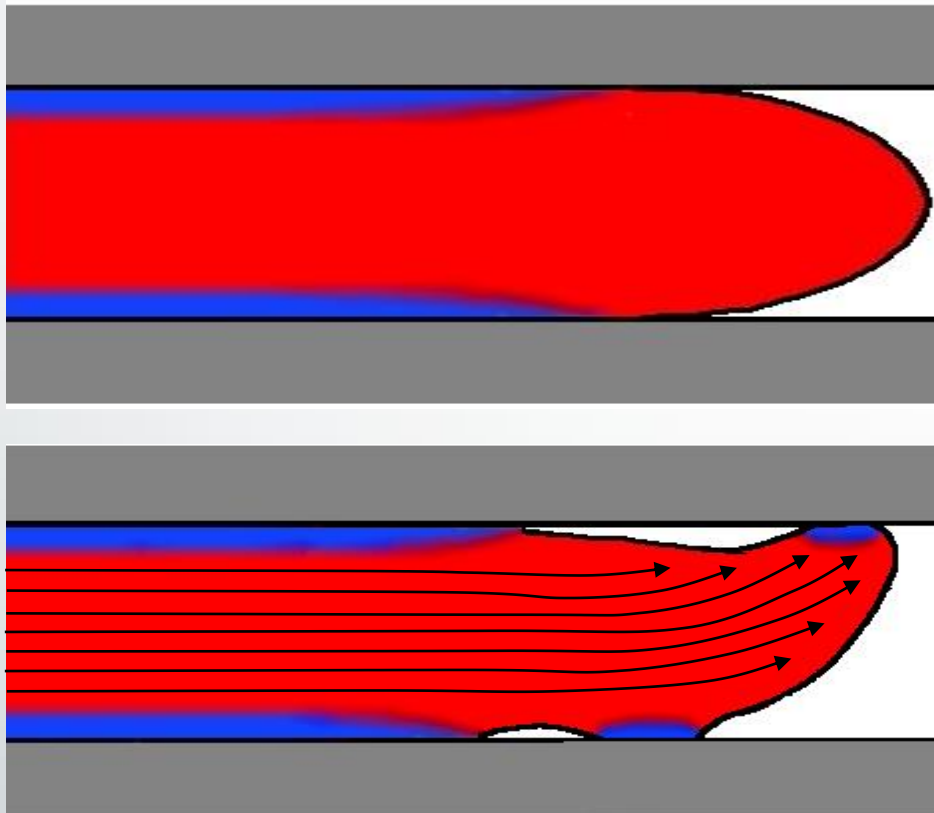
## 외관 문제

- 유동선단 충돌에 의한 웰드라인
- 공기 갇힘에 의한 에어트랩
- **내압 부족 또는 두께 편차에 의한 싱크 마크**
- 급격한 유동선단 속도 변화에 따른 플로 마크



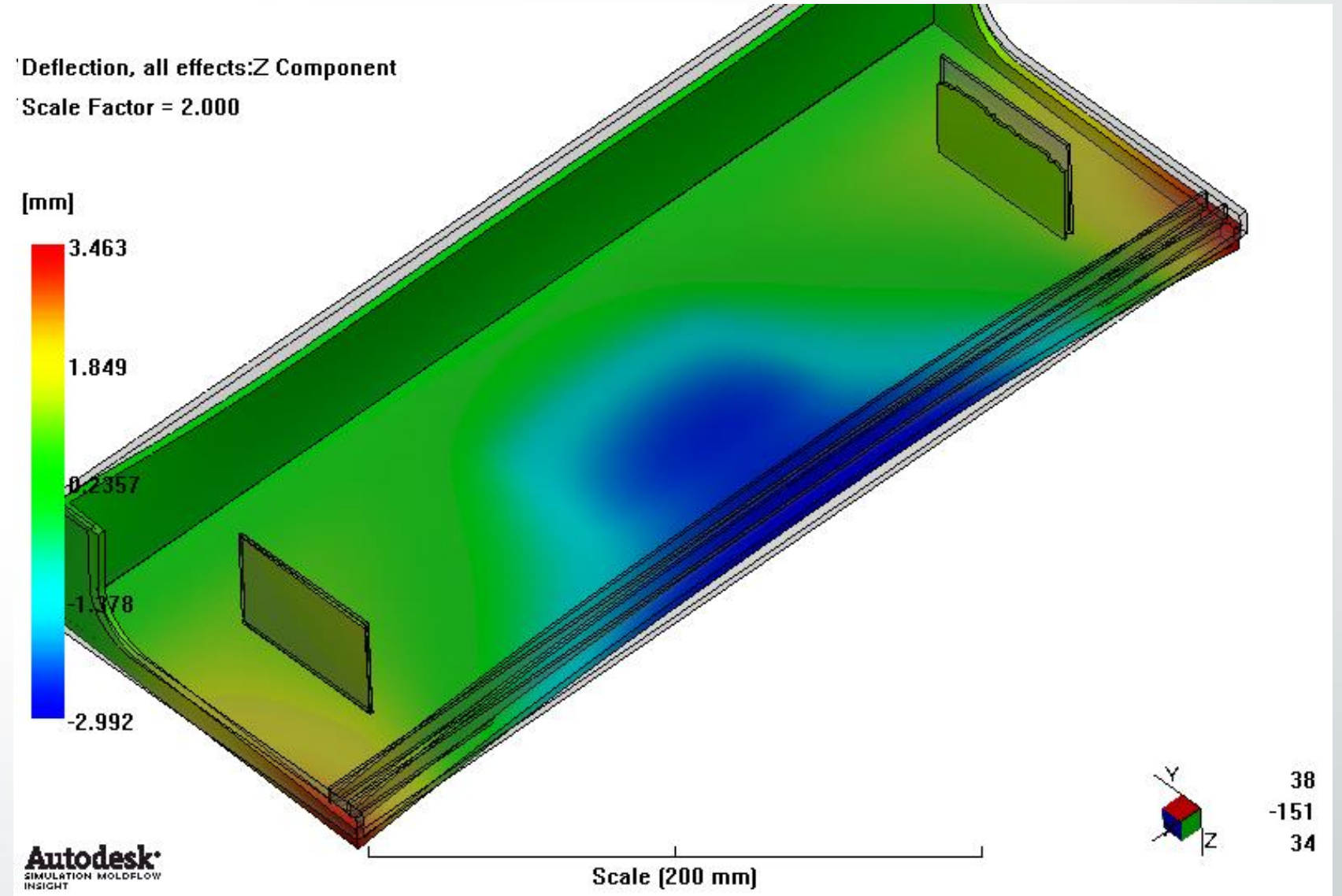
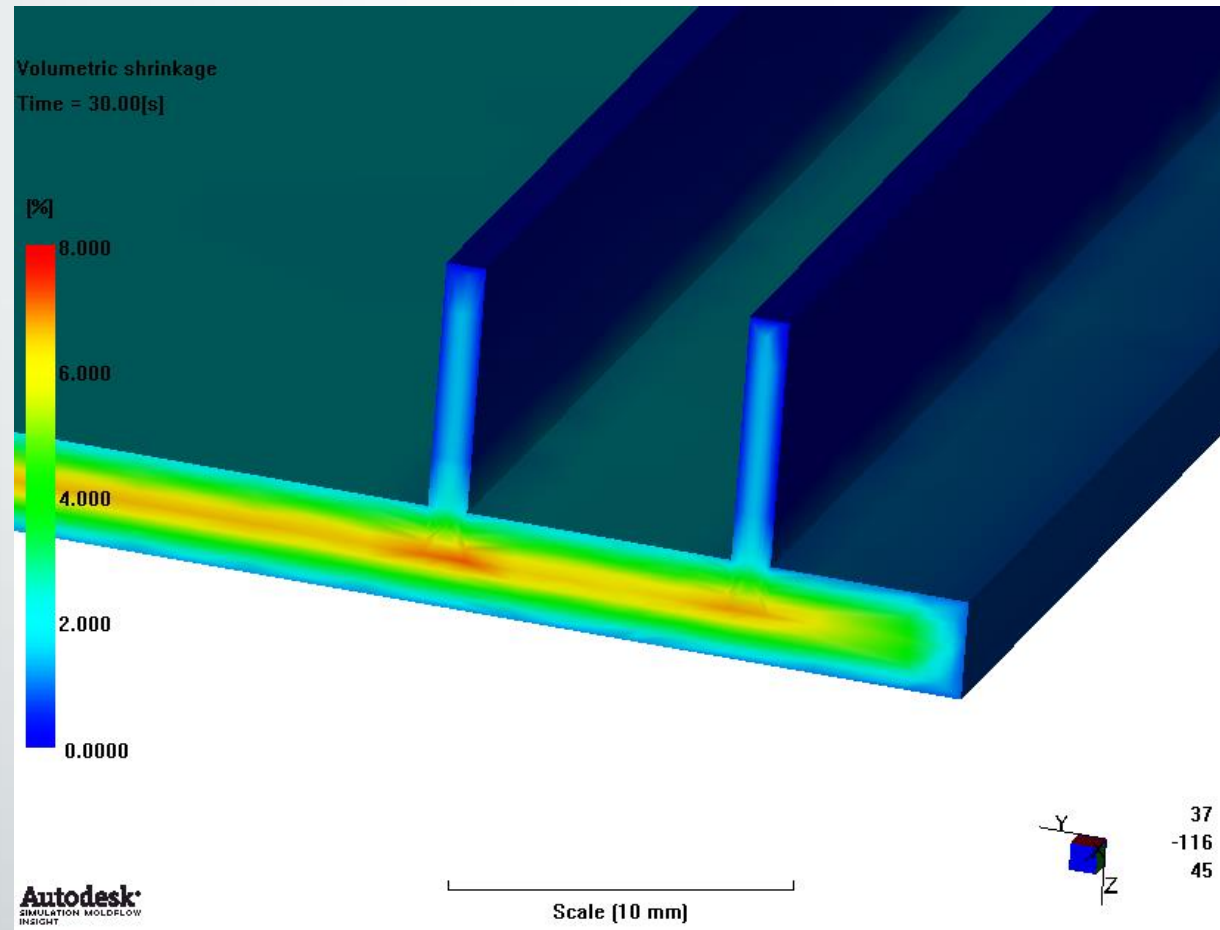
## 외관 문제

- 유동선단 충돌에 의한 웰드라인
- 공기 갇힘에 의한 에어트랩
- 내압 부족 또는 두께 편차에 의한 싱크 마크
- 급격한 유동선단 속도 변화에 따른 플로 마크



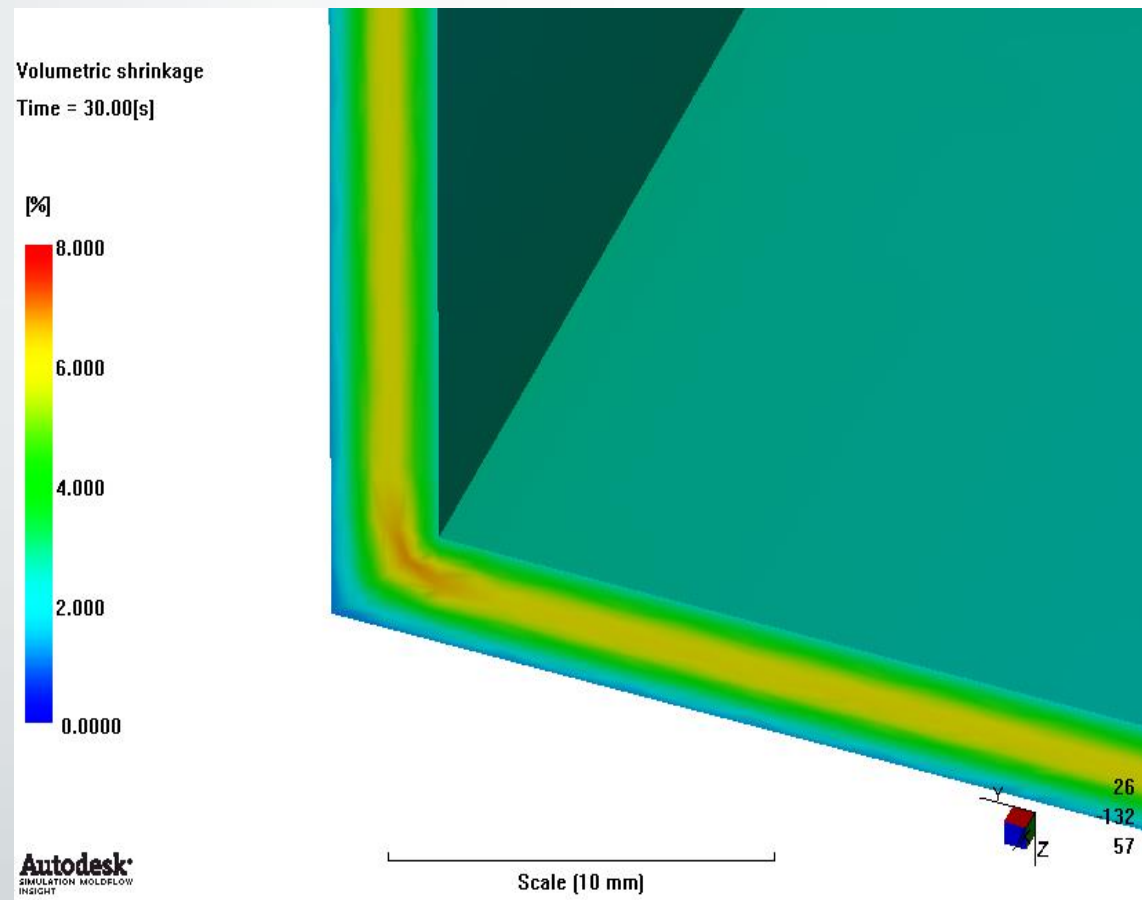
# 변형 문제

- 수축률 편차에 의한 변형
- 냉각 편차에 의한 변형
- 배향 효과에 의한 변형

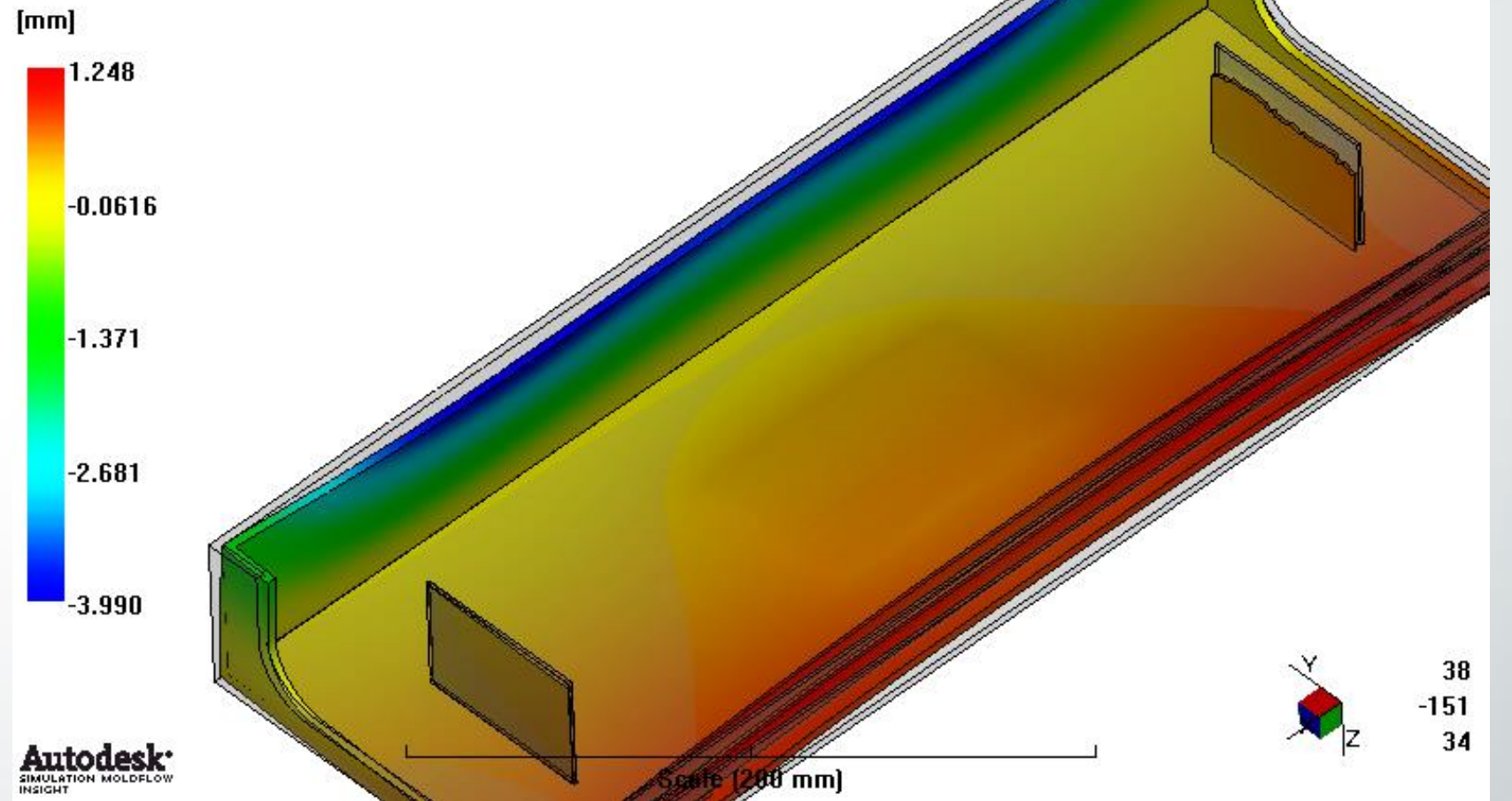


# 변형 문제

- 수축률 편차에 의한 변형
- 냉각 편차에 의한 변형
- 배향 효과에 의한 변형



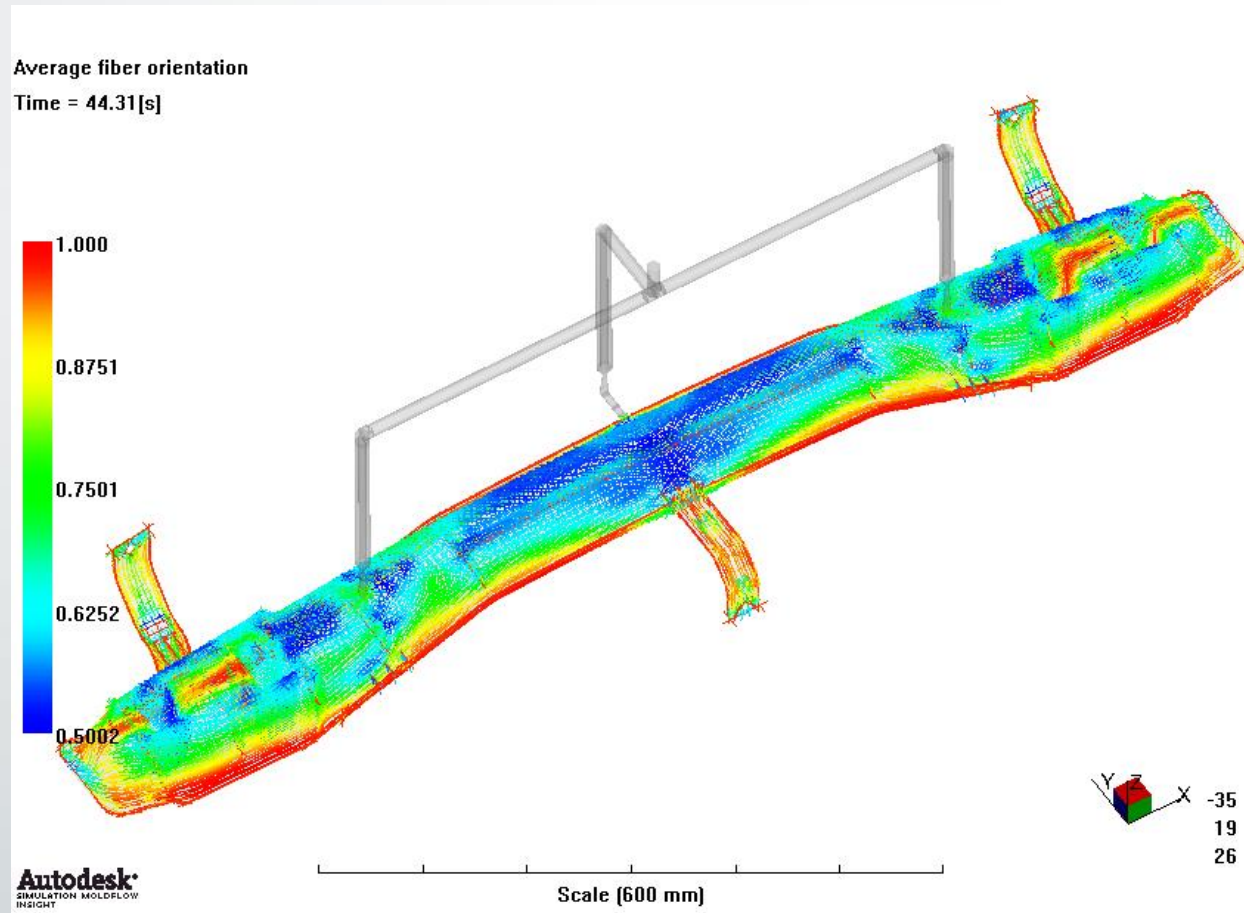
Deflection, all effects:Y Component  
Scale Factor = 2.000



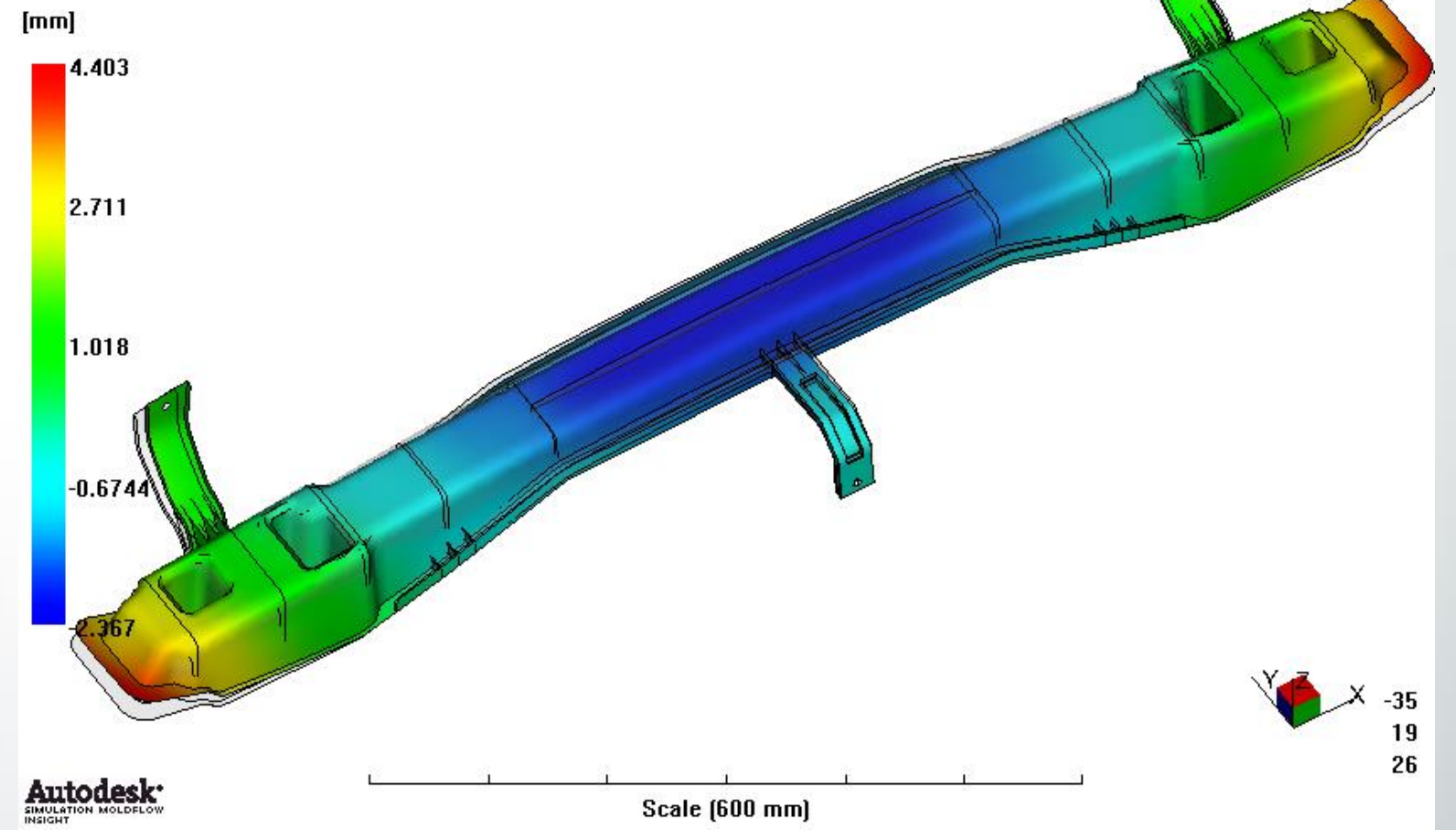


# 변형 문제

- 수축률 편차에 의한 변형
- 냉각 편차에 의한 변형
- 배향 효과에 의한 변형



Deflection, all effects:Z Component  
Scale Factor = 5.000



# Examples of IM Simulation



