

■■■■■■■■■■
技術資料
■■■■■■■■■■

Pipe 형상의 입자강화형 금속 복합재료 부품의 Thixocasting 디지털 생산기술

허재찬 · 강충길†

Digital Manufacturing Technology for Thixocasting of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites with Pipe Shape

Jae-chan Heo and Chung-Gil Kang

1. 서 론

반응고 성형공정은 충전중 캐비티내의 공기, 개재물 혼입 및 미세한 기공등과 같은 결함과 충전 후 응고과정 중에 발생하는 결함등을 정확히 파악하여 제어하여야 한다. 위와 같은 주조결합의 발생원인을 정량적으로 파악하기 위하여 수 모델 등을 이용한 실험결과들이 보고되고 있다[1-3], 실험에 의하여 결함발생의 원인을 규명하는 것은 아주 복잡한 형상에 적용이 힘들 뿐만 아니라 경제성 및 효율성 측면에서 비효율적이며 범용으로 적용하기가 힘들기 때문에 실제 현장에서 그 응용이 제한적이다. 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 충전 및 응고에 관한 전산해석이 주조현장에서 많이 이용되어지고 있으나, 대부분 현장에서는 작업자의 경험이나 시행착오 법으로 주조결합을 예측하고 있다.

기존의 주물업체에서는 금형 설계자의 경험 등을 바탕으로하여 주조방안이 결정되기 때문에 생산비의 증가뿐만 아니라 급변하는 요구에 대응하기에는 역부족이므로 컴퓨터를 이용하여 제품을 설계, 생산하는 CAD/CAM/CAE 기술의 활용이 필요하다.

최근에, 반응용 주조 및 단조와 같은 성형 공정은 기존의 전통적인 주·단조를 대체하는 공정으로 급속도로 발전하고 있다[4]. 알루미늄과 마그네슘 재료가 주된 소재로서 반응용 주·단조 공정들은 고 강도의 복잡한 부품을 많이 차지하는 자동차 산업을 중심으로

하여 연구, 개발이 진행중이다. 이러한 새로운 공정은 기존의 성형 공정과는 달리 광범위하고도 경험적인 데이터베이스의 지원이 효과적이지 못하므로 컴퓨터 시뮬레이션의 역할이 주축을 이루고 있다[4]. 지금까지 전산 해석을 이용한 반응용 성형 공정의 금형 설계에 관한 연구사례는 거의 없었으나, 최근에 기존의 주조 공정에 이용되어진 알고리즘에서 수정을 가한 것 등을 이용한 연구사례가 보고되어지고 있다. Backer[5]는 전형적인 다이캐스팅의 충전과 응고에 이용되어지는 알고리즘에 수정을 가한 반응용 성형 공정의 CAE 소프트웨어를 소개하였다. Tims[6] 등은 상용 코드를 이용하여 반응용 재료의 금속학적 충전 거동을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 구현하였다. Lipinski[7] 등은 새로 개발한 알고리즘을 소개하여 3차원 충전 해석을 수행하였다.

Kang[8]등은 반응용성형공정에서 레오로지 모델의 차이가 유동성에 미치는 영향을 실험과 이론을 통하여 비교검토하였다. Lee[9]등은 캐비티내부에 방해물이 존재할 때 게이트의 형상에 따른 유동특성을 비교검토한 결과를 발표하였다.

지금까지 금속복합재료의 반응용 성형 공정에 관한 충전 및 응고 해석에 관한 결과를 금형설계 및 조업 조건설정에 이용한 사례는 보고되지 않고 있다. 또한 반응용 성형 공정으로 제조되어지고 있는 금속복합재료제품의 CAE해석에 관한 연구는 활발히 진행되지 못

부산대학교 기계공학부(School of Mechanical Engineering, Pusan National University)
†E-mail : cgkang@hyowon.pusan.ac.kr

했다.

따라서 본 연구에서는 반응고 성형공정 상에 발생되는 용탕 충전 및 응고과정을 수치해석을 통하여 신속하고 정확하게 예측함으로써 주조결함의 문제점을 미연에 방지하여 생산비 절감과 함께 단시간에 건전한 주조방안의 설정을 가능케 하는 공정설계에 이용하고자 한다. 반응용 단조의 경우 완전 용탕 상태의 주조와 완전 고체상태의 단조와는 유동과 응고의 양상이 틀리므로 본 연구에서는 MAGMASoft를 이용하여 자동차용 엔진 부품인 실린더 라이너의 충전 및 응고 해석을 통하여 금형 설계 및 조업조건을 도출하여 향후 부품개발에 응용하도록 하였다. 특히 금속복합재료의 실린더라이너는 중공형부품으로써 본 연구결과가 응용이 되도록 금형설계 및 조업조건등을 제안하여 디지털 생산기술에 활용하도록 한다.

2. 반응용 성형의 전산해석

2.1 유동 모델

반응용 소재의 유동 모델을 세우기 위해서는 전단변형률 속도(shear rate)의 변화에 따른 점도의 의존성을 이해하여야만 한다. 액체상태의 알루미늄 소재는 전단 변형률 속도가 증가함에 따라 급격히 점도가 감소한다.

Non-Newtonian 소재의 유동은 기본적인 전단 선도로서 설명할 수 있는데 Fig.1은 전단변형률 속도의 증가에 따른 점도의 감소를 나타내는 의사소성체의 전단 변형률 선도를 나타낸 것이다. Fig. 1의 전단 변형률 속도만 가지고는 틱소트로피 유동을 정확하게 이해하기는 힘들므로 Fig. 2에 레오로지 유동 모델을 좀더 자세히 이해하기 위해서 점도가 낮은 뉴토니안 영역과 점도가 높은 뉴토니안 영역, 그리고 power-law의 적용이 가능한 점도가 변화하는 3가지 영역으로 나누어서 전단변형률 속도와 점도와의 관계를 나타내었다[10].

주형(cavity) 내의 소재의 충전 해석에 이용되어지고 있는 방법으로는 SOLA-VOF(solution algorithm-volume of fluid)방법과 자유표면을 지닌 2차원 비 압축성 유체를 해석하기 위하여 개발한 MAC(marker and cell) 방법과 이를 개량한 SMAC(simplified marker and cell)방법이 충전 해석에 널리 이용되어지고 있다. 대표적인 상용 code는 MAGMASoft를 비롯하여 ProCAST, CastCAE 등이 있다[11]. 이와 같은 방법들과 해석

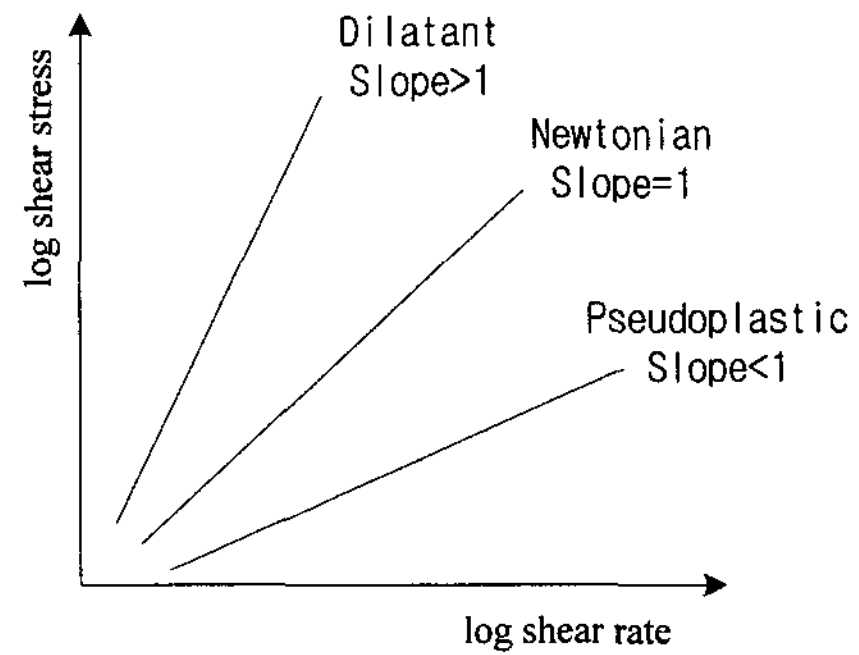


Fig. 1. Basic shear diagram for dilatant, Newtonian and pseudoplastic fluids.

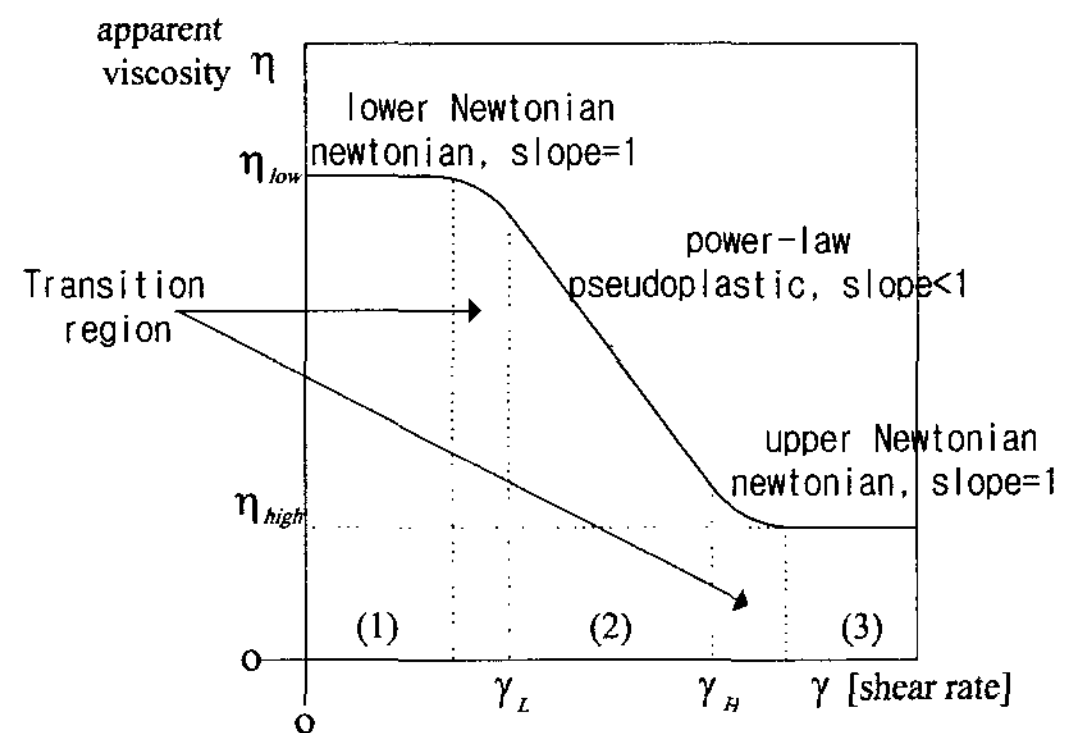


Fig. 2. The relationship between apparent viscosity and shear rate.

code들은 해석 대상이 3차원 형상일 경우에는 직육면체의 작은 사각형으로 검사체적이 나누어지므로 계산 영역이 계단식의 지그재그 모양이기 때문에 체적이 어느 정도 큰 검사체적에 대해서는 주형 내의 유동 양상을 예측하는데는 큰 문제가 없다. 그러나 주입구가 좁은 부분이나 경사부, 모서리부 등에서는 정확한 충전 양상을 예측하기가 힘이 들 수도 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 요소를 세분화 할 경우에는 가능하나 연산시간(solving time)이 증가된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 고려하여 수치해석 모델링을 설정하였다. 본 연구에 이용된 상용 code인 MAGMASoft의 기본 지배방정식은 식(1)~(4)에서처럼 연속방정식, Navier-stokes 방정식, 에너지 방정식, VOF(volume of fluid)법 등이다.

연속방정식(Continuity equation) :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Navier-stokes 방정식(Navier-stokes equation) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + g_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + g_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g_z \end{aligned} \quad (2)$$

에너지 방정식(Energy equation) :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Volume of Fluid :

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial uF}{\partial x} + \frac{\partial vF}{\partial y} + \frac{\partial wF}{\partial z} \quad (4)$$

u, v, w; x, y, z : 방향속도,
 ν : 동 점성계수(kinematic viscosity),
 p : 압력, g : 중력가속도, ρ : 밀도, F : 유체부피분율

그 중 MAGMASoft의 thixo module에 이용되어지고 있는 소재의 유동 모델은 다음과 같이 표현되는 Ostwald-de Waele 모델과 Carreau-Yasuda 모델이 있다[12].

$$\tau_{xy} = -m \left| \frac{dv_x}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv_x}{dy} \quad (5)$$

Carreau-Yasuda model

$$\eta = \rho \left\{ \nu_{\infty} + (\nu_0 - \nu_{\infty}) \cdot [1 + (\lambda \cdot \dot{\gamma})^a]^{-\frac{n-1}{a}} \right\} \quad (6)$$

ν₀ : low shear rate viscosity (zero shear rate viscosity, m²/s)
 ν_∞ : high shear rate viscosity (m²/s)
 λ : time constant which gives the position of the transition region(s)
 a : Yasuda coefficient
 n : exponent

Ostwald-de Waele model

$$\begin{aligned} \eta &= \rho \cdot m \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \\ \tau &= -\rho \cdot m \cdot \dot{\gamma}^n \end{aligned} \quad (7)$$

ρ : density (kg/m³)
 η : apparent dynamic viscosity (Pa · s)
 m : Ostwald-de Waele coefficient (m²/s)
 γ̇ : shear rate (1/s)
 n : Ostwald-de Waele exponent
 τ : shear stress (Pa)

식 (5)에 나타나 있는 변수들은 일반적으로 power law라는 식으로 알려지고 있다. 여기서 Ostwald-de Waele 지수가 1이면 m=μ가 되는 Newtonian 유동 모델식이 된다. Kang[8]는 유동모델을 Newtonian과 Ostwald-de Waele의 두 가지를 이용하여 MAGMASoft를 이용하여 주형 내의 충전 및 응고 해석을 수행하여 실험 결과와 비교하였을 때 Ostwald-de Waele 유동모델이 반응용 성형 공정의 해석에 더 적합하다는 결론을 얻었다. 따라서 본 연구에 이용한 유동 모델식은 Ostwald-de Waele 유동 모델식을 이용하여 전산 해석을 수행하였다.

2.2 형상 모델링 및 해석조건

본 연구는 Fig. 3과 같은 공정으로 해석을 수행하였다. 상용 CAD 소프트웨어인 CATIA Ver4.2.1을 이용하여 제품, 금형, 코어의 3차원 솔리드 모델링을 수행하고 MAGMASoft를 이용하여 게이트 방안을 설정하였다. CATIA를 이용한 실린더 라이너의 모델링 형상과 주조 전용 상용 코드에서의 형상 인식을 위한 STL 파일 형성 결과는 Fig. 4와 같다.

반응고 주조 전용 상용 코드인 MAGMASoft의 전 처리기에서 STL file로부터 제품, 게이트, 러너, 코어 등의 재료D/B를 생성한다. 고정다이, 이동다이 및 가상열전대 등은 MAGMASoft의 전 처리기 자체 형상 모델러를 이용하여 생성하였다. 주조방안을 도출하기 위하여 게이트형상을 Fig. 5와 같이 오버 플로어의 유무, 그리고 게이트의 직경변화 등의 4가지 형상에 대하여 비교 해석하였다. 반응용 가압 성형 중 가스의 유출을 위해 오버 플로어의 유무에 따른 유동특성을 비교하여 금형 설계에 응용하였다. 재가열 중 빌렛표면에 산화층이 형성되기 때문에 이러한 산화층이 라이너 소재내부에 포함되면 기계적 성질이 급격히 저하됨은 물론 라이너로써 기능을 발휘할 수 없다. 따라서 성형 중 산화층을 제어하기 위해서는 게이트의 크기와 형상이 극히 중요하다. 본 연구에서는 빌렛의 반경인 40 mm를 기준으로 하여 게이트의 직경을 35 mm,

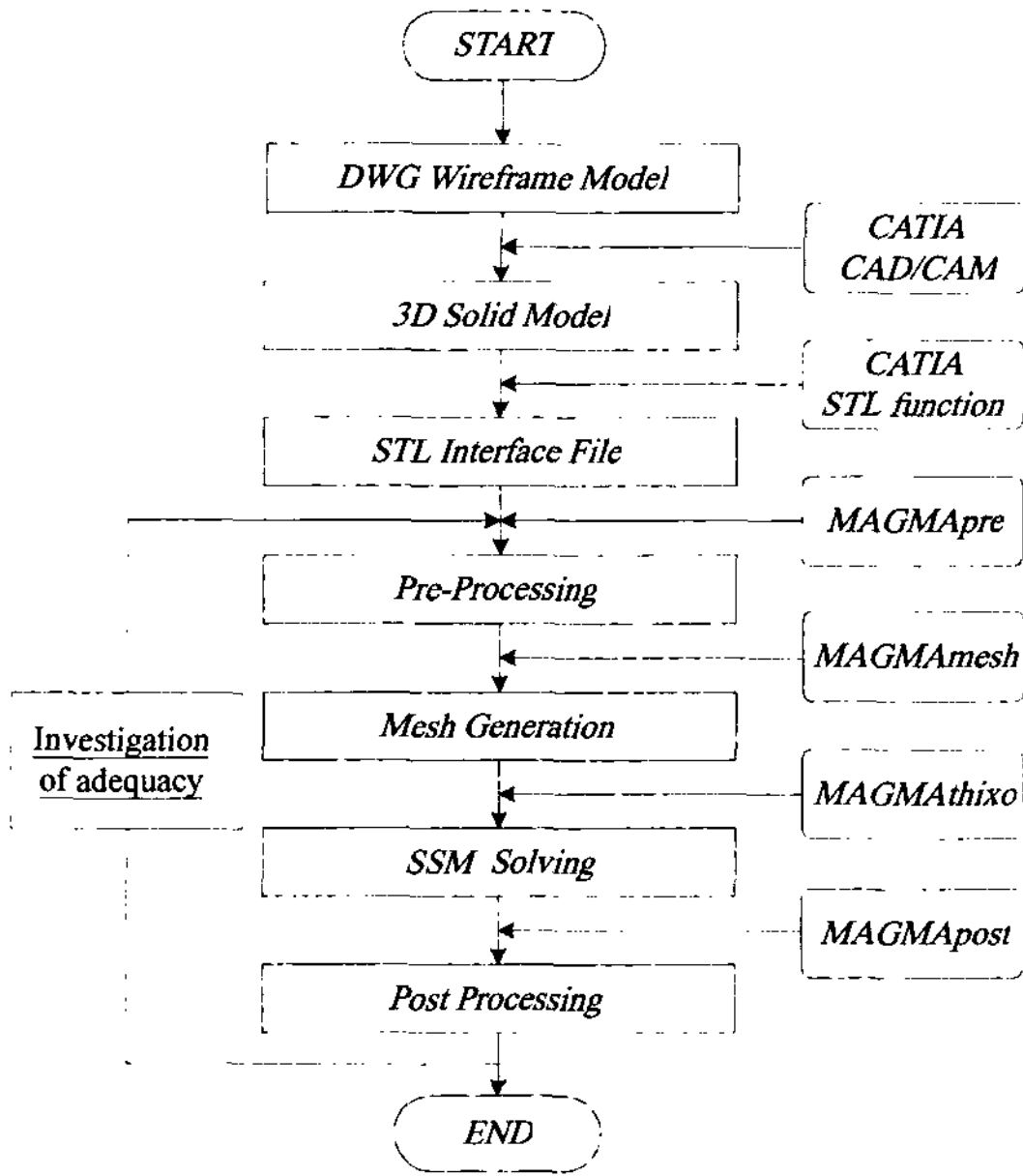


Fig. 3. The flow chart of thixoforging simulation.



(a) 3D modeling for CATIA (b) STL file for geometry transfer

Fig. 4. The geometry modeling of designed gating system.

45 mm로 하여 설계에 필요한 기준을 설정하였다.

직교좌표 분할에 의해 분할된 요소 수는 약 393,040 개이고 제품에 해당하는 metal cell 요소의 수는 약 28,392개이다. 해석에 이용된 재료의 재질 및 대표적인 물성치는 Table 1에 나타내었고 해석에 필요한 조건을 Table 2에 나타내었다. 직교 좌표 분할에 의하여 생성된 요소인 control volume의 수와 주물의 제품에 해당하는 metal cell의 수는 Table 3에 나타내었다. 본 연구에서는 MAGMA社에서 제공하고 있는 A356의 물성치를 이용하였다. 유동 모델로는 Ostwald-de Waele

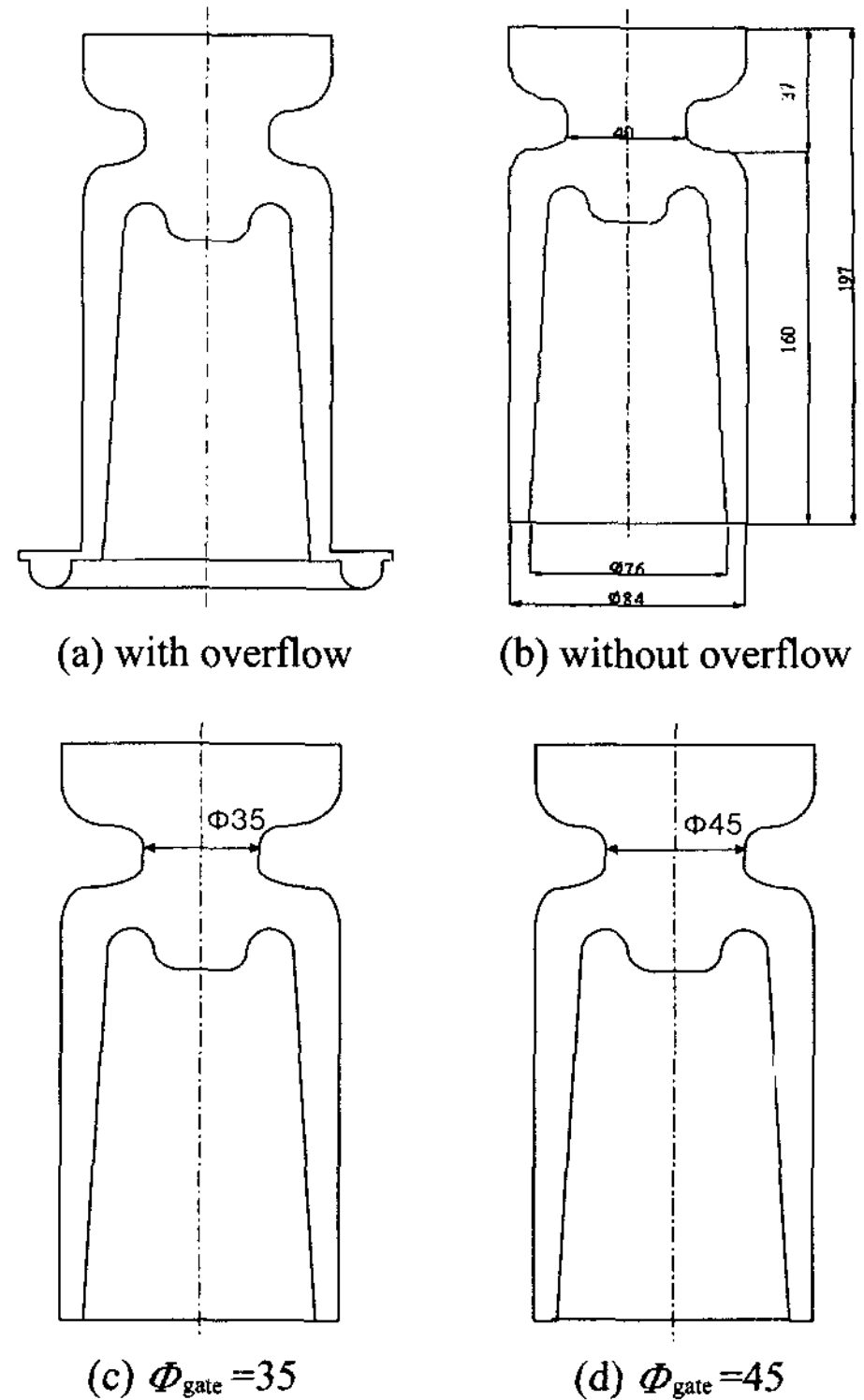


Fig. 5. The designed various gating system

Table 1. Material & Physical properties used in the thixo simulations.

	Material	Initial Temp.(°C)	Latent heat(KJ/kg)
Cast	A356	575	430.5
Mold	SKD61	250	278.43
core	SKD61	250	278.43

Table 2. Property values used to thixoforging simulation.

Parameters	Symbol	Unit	Values
Solidus temp.	T_{sol}	°C	547
Liquidus temp.	T_{liq}	°C	617
Punch speed	V_{punch}	mm/s	250
Pressurize parameter	P	MPa	80 (20sec)
Boundary condition	K	W/m ² K	500(mold&mold)
(heat transfer coefficient)	"	W/m ² K	1,000(cast&mold)

유동 모델을 이용하여 해석을 수행하였으며 충전 완료 후 20초 동안 80 MPa의 압력으로 가압하여 해석을 수행하였다. 계산에 필요한 금속복합재료의 열물성치 (ρ_{th})는 복합층의 원리에 의하여 구한 물성치를 이용하였다.

Table 3. Result of mesh generation.

Case	Control volume	Metal cell	Remark
(a)	393,040	28,392	with overflow
(b)	250,992	25,123	without overflow
(c)	250,992	25,123	$\Phi_{gate}=35$
(d)	251,352	25,435	$\Phi_{gate}=45$

$$P_{th}^c = P_{th}^m(1 - V_f) + P_{th}^c V_f$$

(V_f : 체적함유율, P_{th}^m : 기자재의 열물성치,
 P_{th}^c : 복합재료의 열물성치, P_{th}^f : 강화재료의 열물성치)

2.3 해석결과 및 고찰

Fig. 5를 기준으로 해석한 각각의 금형 형상에 대하여 아래와 같이 금형 내의 충전 및 응고 현상을 살펴 보았다. Table 3의 case(a)와 case(b)와 같이 오버 플로어의 유무에 따른 해석 결과를 Fig. 6~Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6은 70% 충전시 온도분포를 나타내었고 Fig. 7은 100% 충전시 압력분포를 나타내었다. Fig. 6의 결과에서 온도분포는 오버 플로어 유무에 관계없이 거의 동일함을 알 수 있지만 Fig. 7의 결과에서 100% 충전완료 시 압력 분포는 오버 플로어가 있는 경우가 더 큰 압력을 받는다는 것을 알 수 있었다. Fig. 6~Fig. 7의 결과로 오버 플로어가 있는 Table 3 case(a)가 오버 플로어가 없는 Table 3 case(b)보다 더 양호하다는 것을 알 수 있었다.

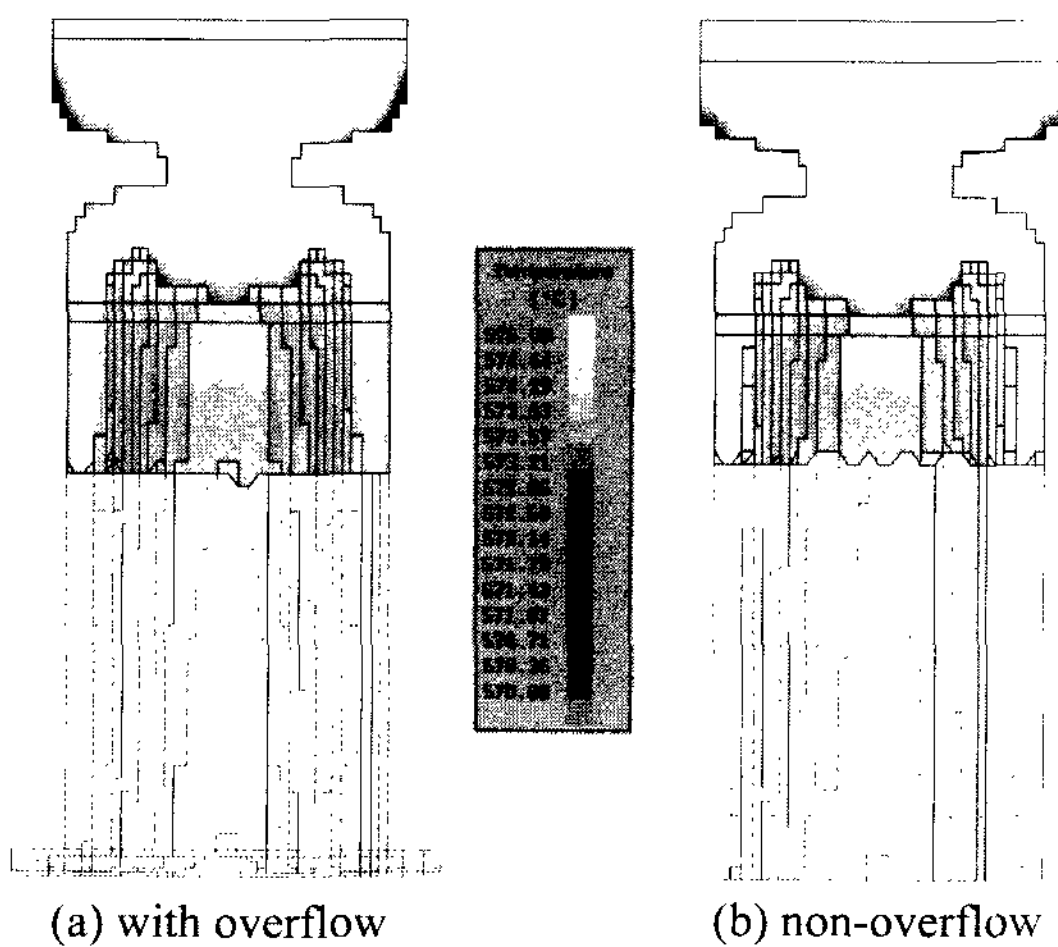


Fig. 6. The simulation result at 70% fill state. (80 MPa, 250 mm/s)

Table 3의 case(c)와 case(d)와 같이 gate의 직경에 따른 해석 결과를 Fig. 8~9에 나타내었다. Fig. 8을 보면 충전양상과 충전과정 중의 온도분포는 게이트의 직경과 관계없이 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. Fig. 9(a), (b)는 70% 충전 시 속도분포를 나타내었다. Fig. 9(a), (b)를 비교해 보면 게이트에서 속도는 Fig. 9(a)인 경우 즉 게이트가 작은 경우가 Fig. 9(b)의 경우 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있지만 게이트 통과 후 제품에 충전 될 때의 속도는 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 게이트의 직경이 작으면 상대적으로 속도가

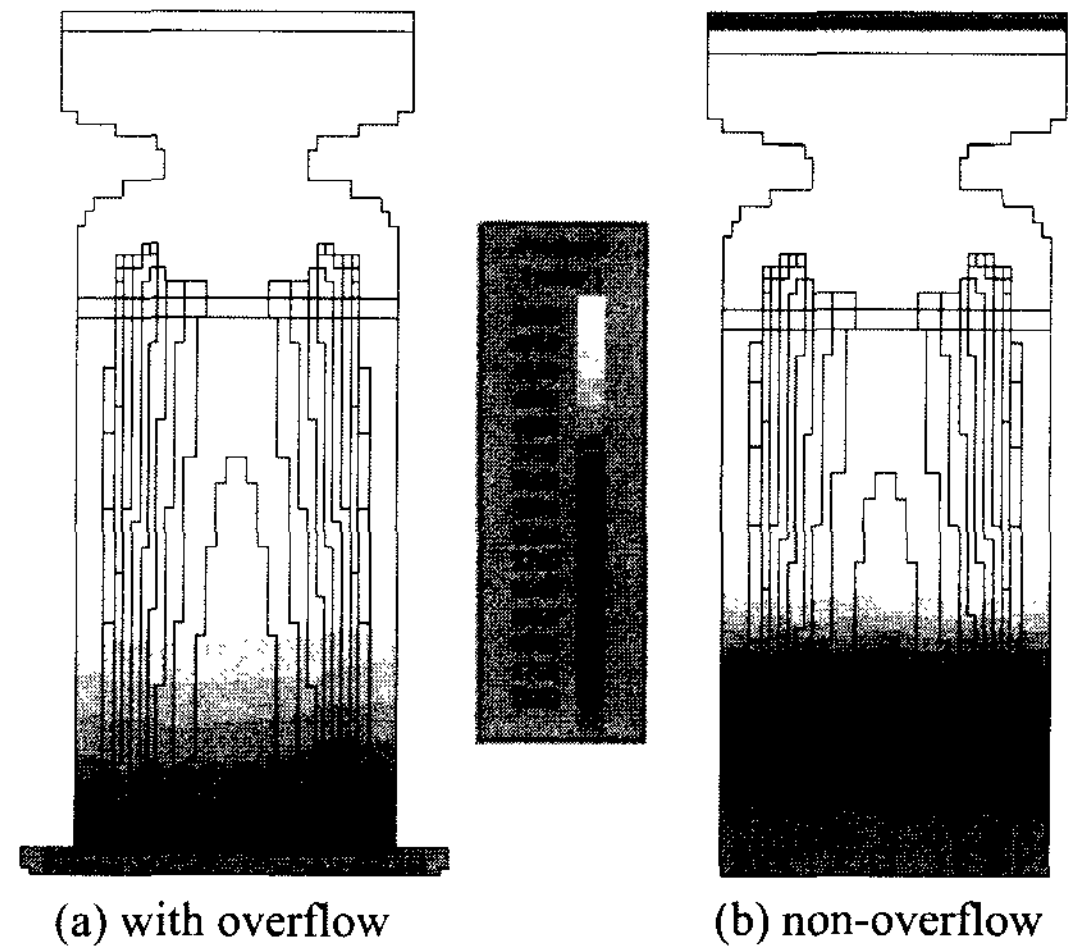


Fig. 7. The pressure distribution at 100% fill state. (80 MPa, 250 mm/s)

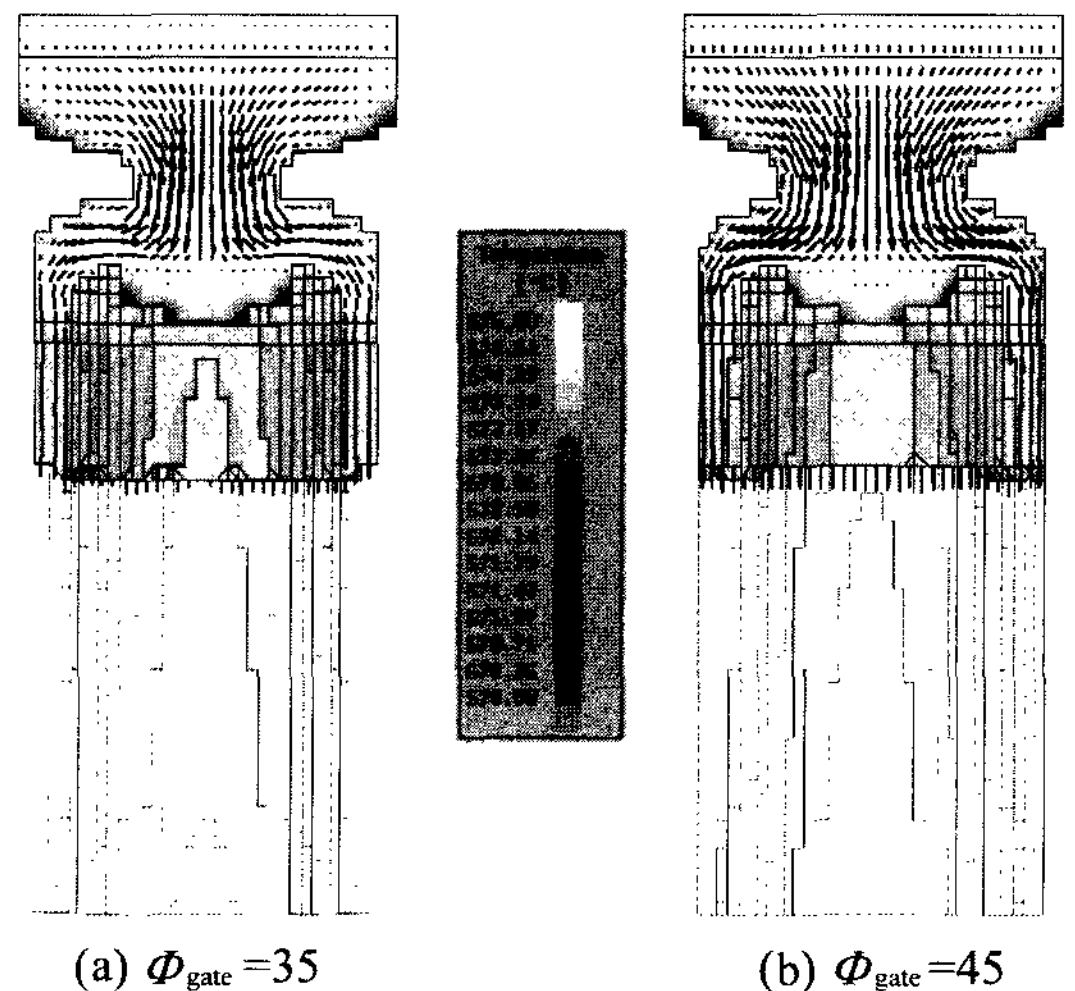


Fig. 8. The simulation result at 70% fill state. (80 MPa, 250 mm/s)

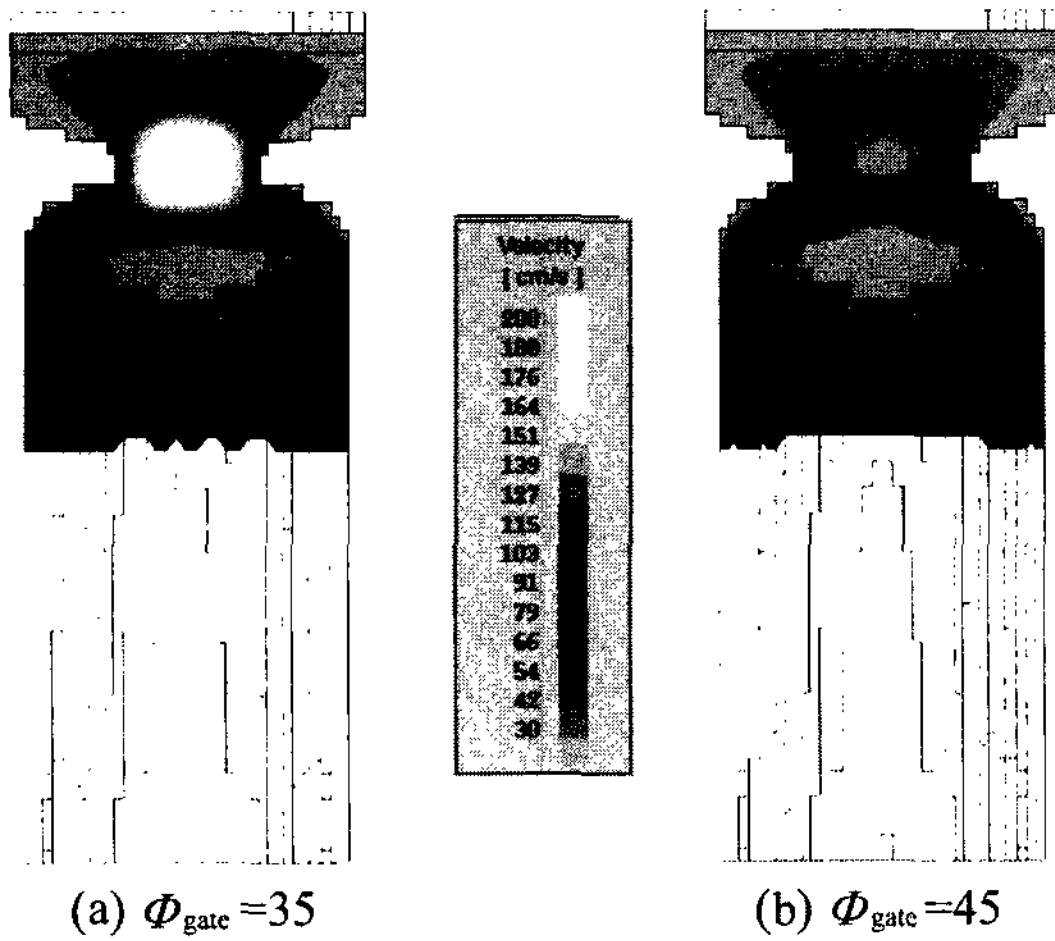


Fig. 9. The velocity distribution at 70% fill state. (80 MPa, 250 mm/s)

증가한다는 것을 알 수 있었고 충전 과정에서 충전되는 속도가 빠르면 그 만큼 빨리 충전이 되어 용탕이 충전시 응고되는 것을 방지할 수 있기 때문에 더 양호한 품질의 제품을 성형할 수 있을 것이라 사료된다.

Table 3의 4가지 case에 대한 전산 해석 결과를 비교해본 결과, 먼저 오버 플로어의 유무가 해석에 미치는 영향에 대해서는 Fig. 6~Fig. 7에서처럼 오버 플로어가 있는 경우가 없는 경우 보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 8~Fig. 9에서 보인 것처럼 게이트의 형상에 따른 해석결과의 차이는 게이트부에서의 속도 차이를 제외하고는 거의 없었다. 즉 게이트 직경이 해석결과에 미치는 영향은 속도를 제외한 충전해석에서 보면 미비하다고 판단할 수 있었다.

Thixoforming으로 제품을 성형하려면 먼저 재가열을 한 후 재가열 된 빌렛을 슬리브 부분에 넣고 펀치로 가압 성형한다. 그러나 재가열을 하면 빌렛의 표면에 산화막이 생기고 산화막이 제품부로 들어가면 결함이 생기는 원인이 된다. 따라서 이러한 산화막의 제품부 유입을 억제하기 위해 금형의 게이트를 Fig. 5와 같이 오리피스 형으로 만들었다.

게이트직경에 대한 측면에서는 Fig. 9와 같이 게이트에서의 속도가 Fig. 9(b) $\Phi_{gate} = 45$ 의 경우보다 빠른 Fig. 9(a) $\Phi_{gate} = 35$ 의 경우를 선택하였다. 오버 플로어의 유무에 따른 측면에서 살펴보면 Fig. 7(b)에서 보여주는 바와같이 오버 플로어가 없는 경우보다 Fig. 7(a)

의 오버 플로어가 있는 경우가 더 높은 압력분포를 보여주고 있다. 따라서 Fig. 5(a)와 Fig. 5(c)를 병합한 모델인 게이트의 직경이 35 Φ 이고 오버 플로어가 부착된 모델을 기준으로 가압속도의 변화에 따른 해석을 수행하였다. 금형설계 결과와 조업조건을 본 연구에서 실제로 라이너부품을 제조하는데 활용하도록 하였다.

2.4 전산 해석에 의한 성형조건외 도출

재가열중 빌렛 표면에 생성된 산화층제거 및 압력 분포등을 고려하여 설계한 금형모델링 data를 기준으로 하여 Table 4에서 제의한 성형조건에 대하여 해석을 각각 수행하였고 Table 5는 계산에 필요한 입력조건을 나타낸 것이다.

전체적인 충전양상은 Fig. 10과 같이 좌·우 대칭으로 거의 균일하게 충전 되는 것을 알 수 있다. 충전양상을 조사하기 위해 MAGMASoft 내의 fill tracer를 사용하여 해석한 충전결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 보여주는 바와 같이 용탕은 게이트부를 통과한 후 core부에서 한 번 걸려져서 충전 됨으로서 게이트와 코어부의 유동현상을 보다 자세히 알 수 있었다.

Fig. 12(a)는 응고시간을 예측하는 방법 중의 하나인 liq-to-sol criteria를 사용한 응고해석 결과이다. 비스킷

Table 4. Thixoforging conditions with particulate reinforced metal matrix composites for simulation.

Case	Pressure (MPa)	Punch velocity (mm/s)
A	80	200
B	80	250
C	80	300

Table 5. Property values used to thixoforming simulation.

No	Parameters	Values	
1	Material	Cavity	A357
		Mold	SKD61
		Core	SKD61
2	Initial Temp	Cavity	575 °C
		Mold	250 °C
		Core	250 °C
3	mesh	Control volume	393,040
		Metal cell	28,392
4	Velocity	Punch	each condition
5	Pressure	Punch	each condition
6	Boundary	HTC	500~1,000 W/m ² K
7	Machine	Press	200Ton Hydraulic Press

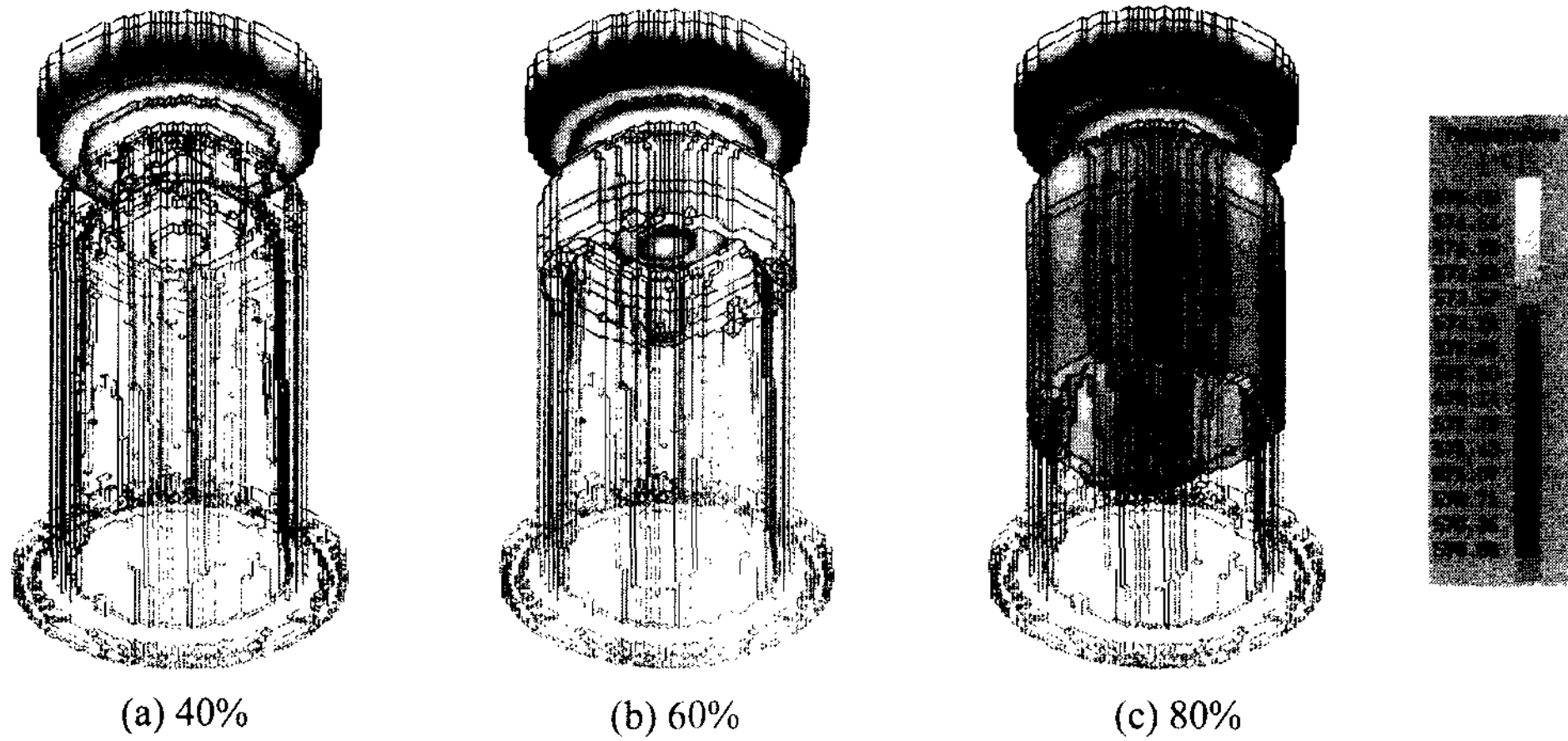


Fig. 10. The temperature distribution at each filled.

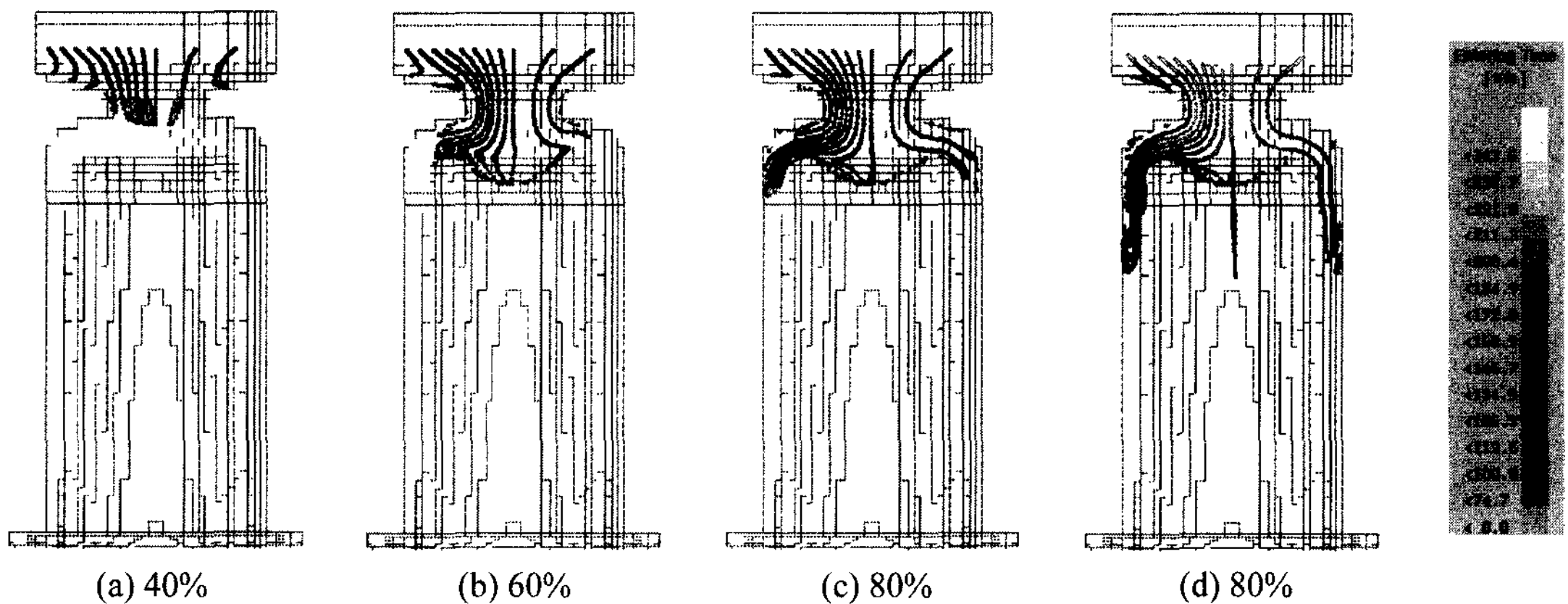


Fig. 11. Sequence of mold filling traced by tracer particles

부와 게이트부의 중앙부분이 액상에서 고상으로 변화 되는데 소요되는 시간이 가장 길게 나타남으로 수축공 발생을 예측할 수 있었다. Fig. 12(b)는 80% 응고가 이루어졌을 때 응고가 되지 못한 부분의 온도 분포를 나타낸 것이다. 따라서 Fig. 12의 해석 결과로부터 비스켓부와 게이트부의 중앙에서 수축공이 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다.

펀치속도에 따른 충전양상 및 응고양상을 알아보기 위해 Table 4에서 보여주는 바와같이 80 MPa로 일정하게 하게 한 상태에서 속도를 각각 200 mm/s 250 mm/s, 300 mm/s로 하여 충전해석과 응고해석을 수행하였다. Fig. 13은 속도편차에 따른 충전양상을 나타낸 것이다. Fig. 13을 살펴보면 속도가 가장 빠른 300 mm/s의 전체적인 온도분포가 높고 속도가 가장 느

린 200 mm/s의 경우가 전체적으로 온도분포가 낮다는 것을 알 수 있다. 즉 저속인 200 mm/s의 경우 충전되는 시간이 다른 조건보다 느리기 때문에 충전중에 금형과의 열전달 현상이 원만하게 이루어져 그만큼 온도가 빨리 감소되기 때문이다. 그러나 각 조건 별로 미세한 차이는 나타나지만 거의 동일한 온도분포와 충전양상을 보임을 알 수 있다.

Fig. 14~Fig. 16은 속도변화에 따라서 충전과정 중 속도분포를 나타낸 것이다. 계산결과로부터 보면 알 수 있듯이 펀치의 속도에 따라 충전 상의 속도분포는 차이가 나는 것을 알 수 있다. 또한 충전이 최종적으로 일어나는 오버 플로우 근처에서 속도분포가 증가함을 알 수 있었지만 전체적으로 속도분포의 차이는 크게 나타나지 않았음을 알 수 있다.

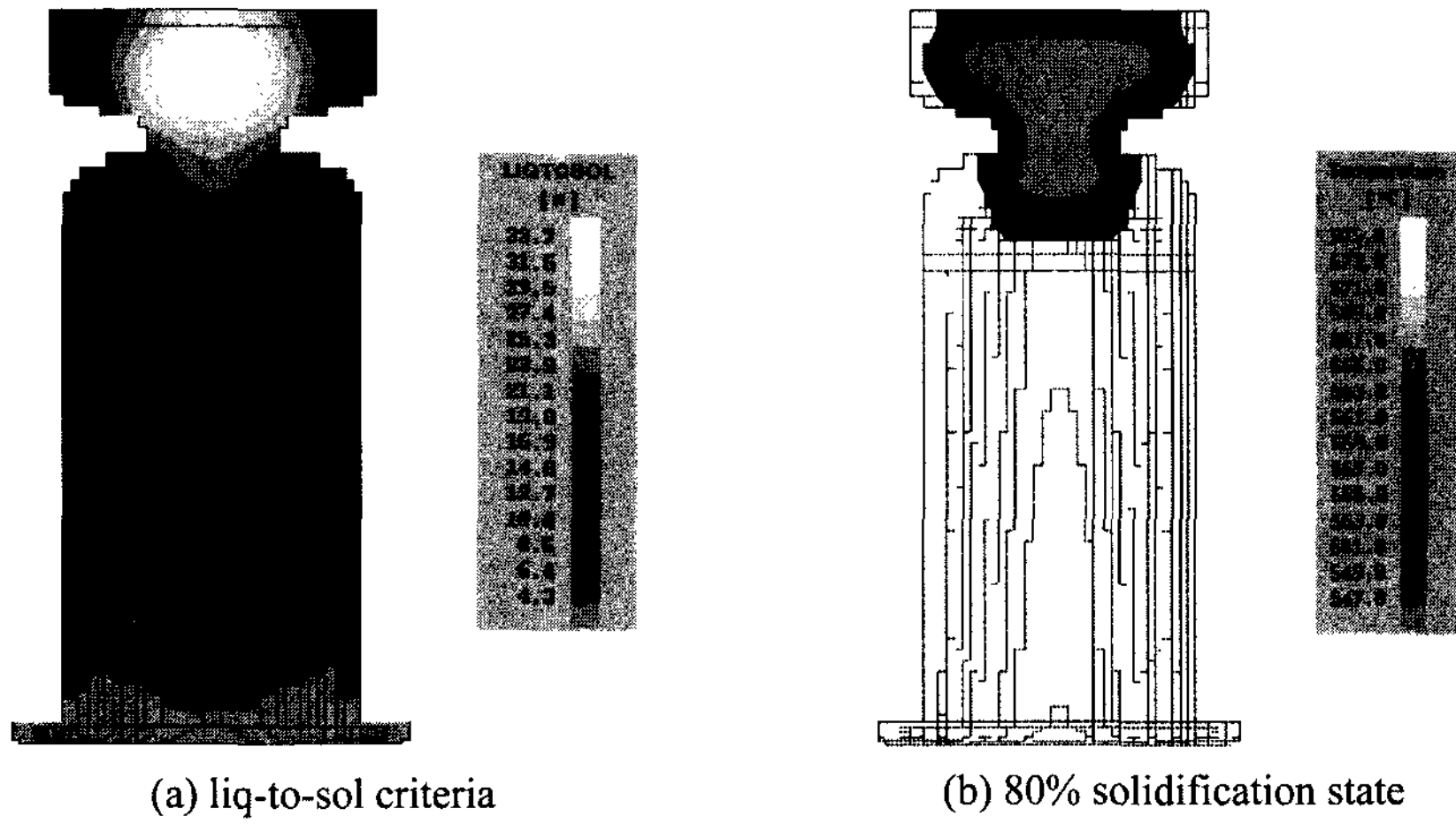


Fig. 12. The solidification analysis using criteria.

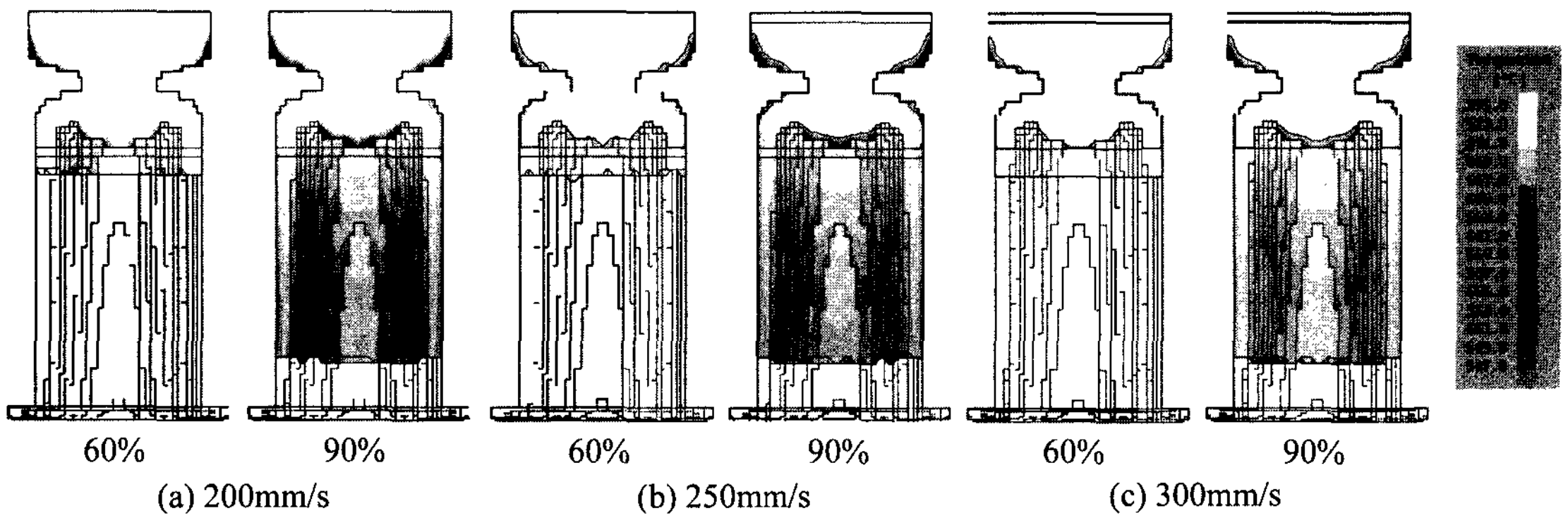


Fig. 13. Distribution of temperature during filling state.

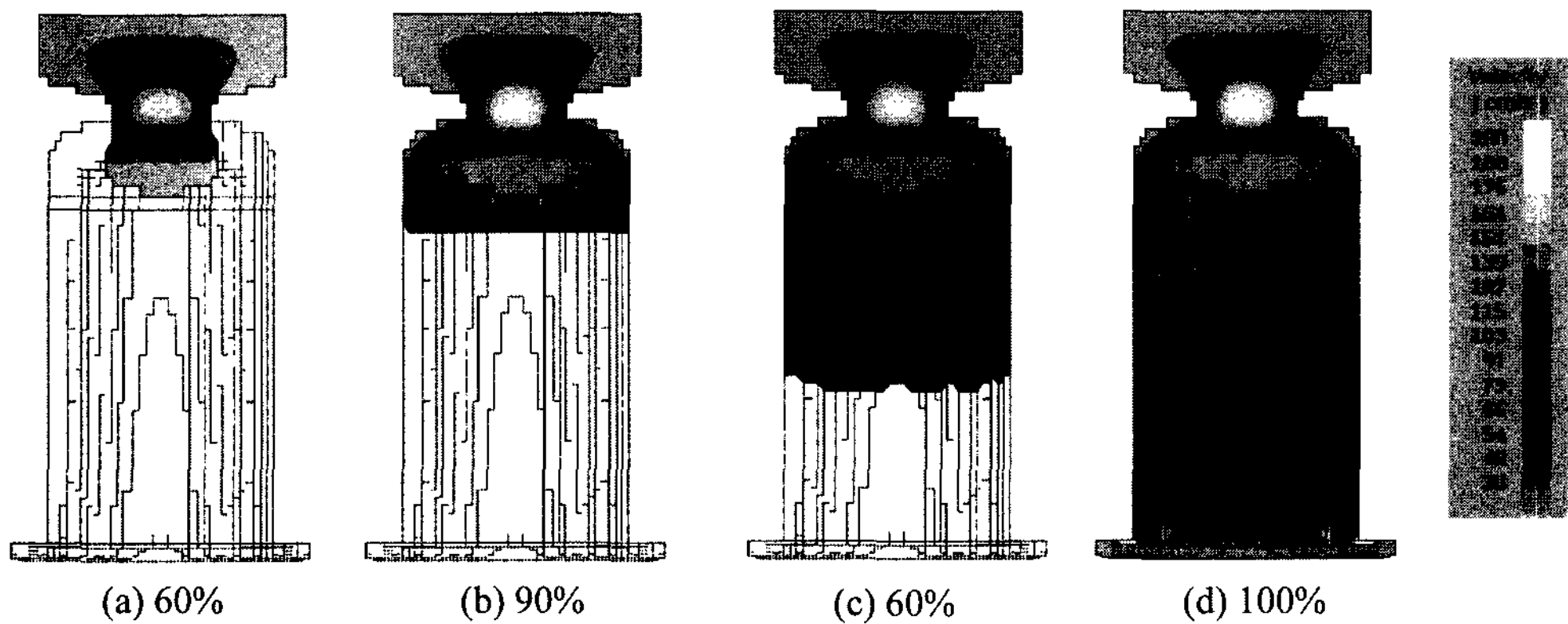


Fig. 14. The velocity distribution at each filled under forming with 80 MPa, 200 mm/s.

Fig. 17은 응고가 70%, 80% 일어났을 때 미응고 부분을 나타냄으로써 수축공의 발생 가능성을 예측할 수 있었다. Fig. 18~Fig. 19는 응고현상을 더 자세히

살펴보기 위하여 soltime criteria(응고현상이 100%될때 까지의 시간)와 hotspot criteria(응고가 가장 늦게 일어나는 부분)를 이용하여 해석한 결과를 나타낸 것이다.

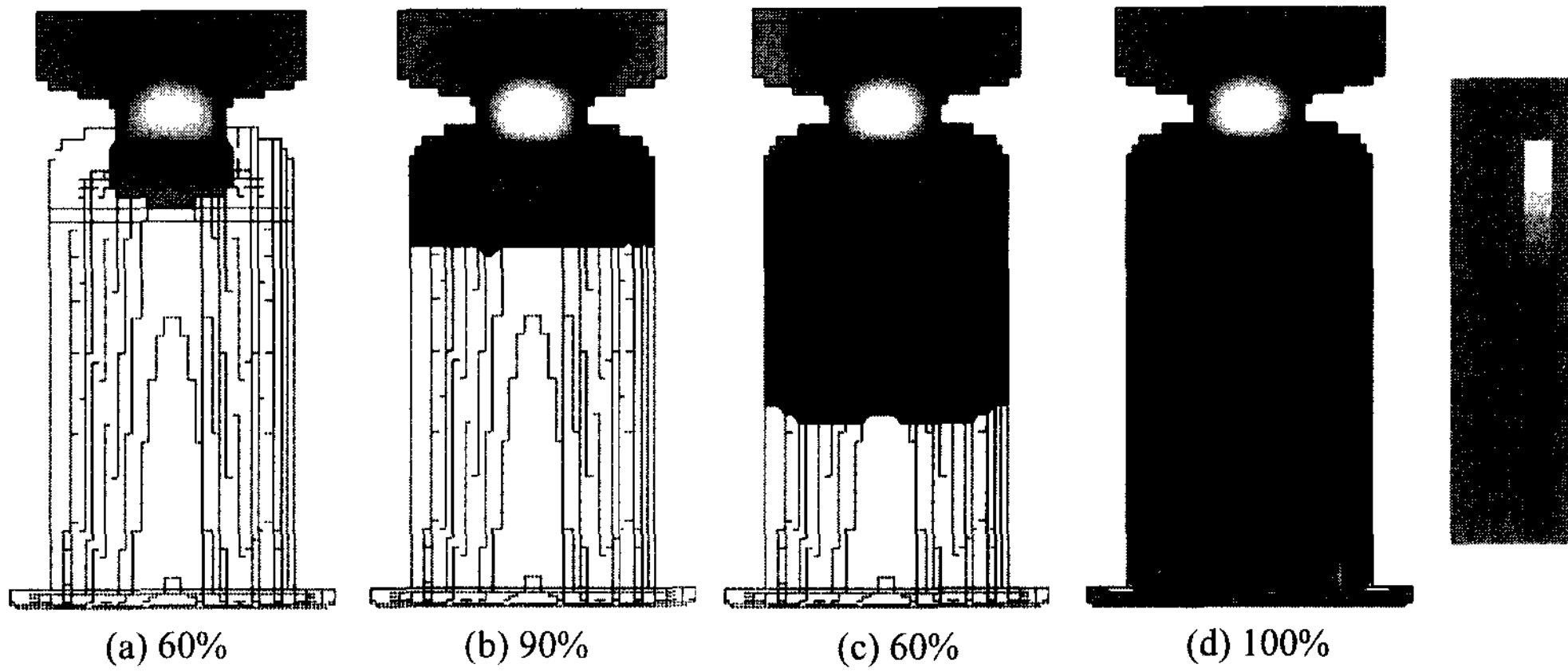


Fig. 15. The velocity distribution at each filled under forming with 80 MPa, 250 mm/s.

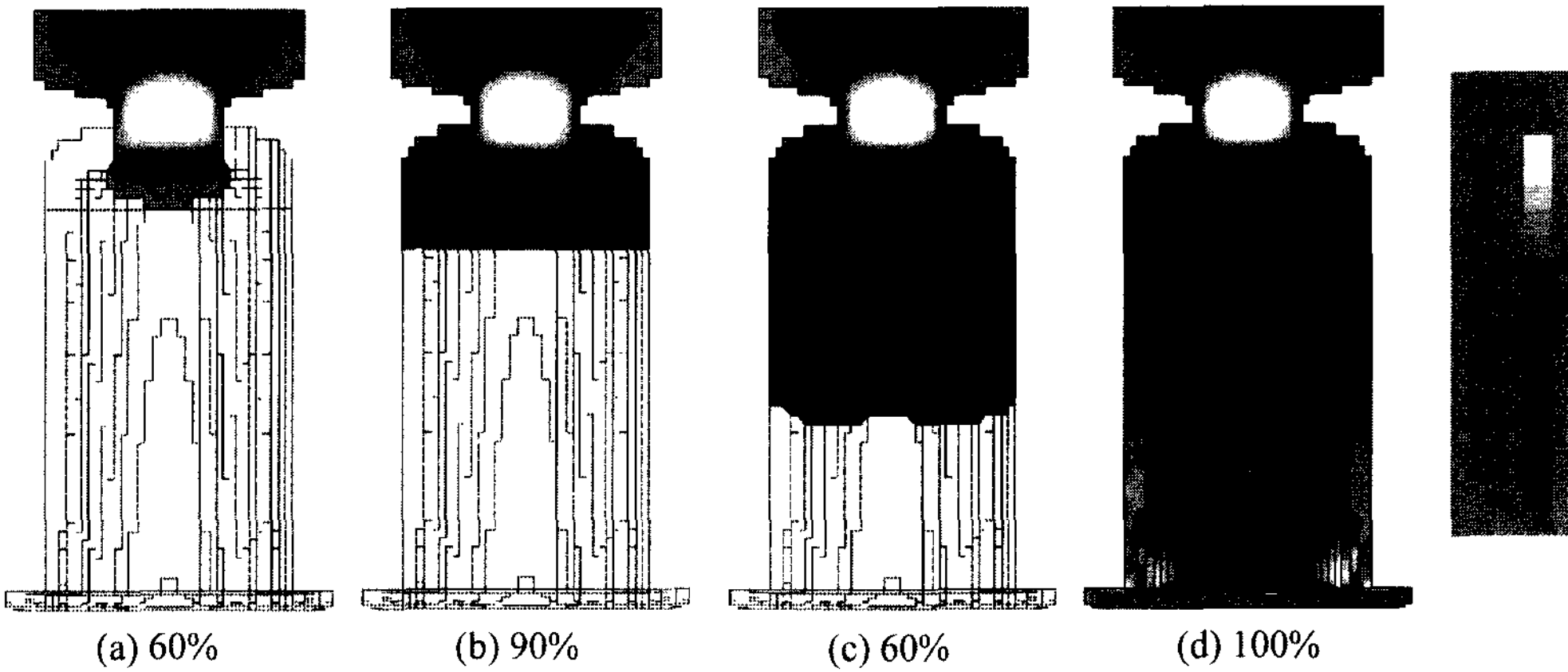


Fig. 16. The velocity distribution at each filled under forming with 80 MPa, 300 mm/s.

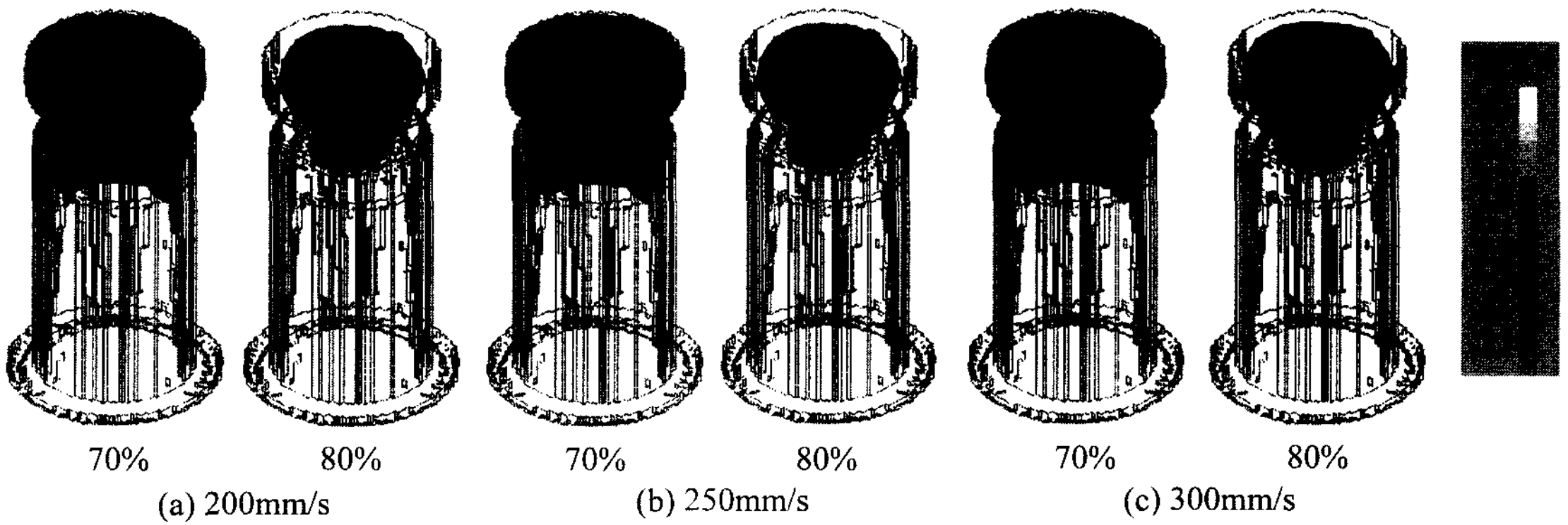


Fig. 17. Distribution of temperature during filling state.

Fig. 18~Fig. 19의 결과로부터 비스킷부와 게이트부에 수축공이 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다. 위와

같은 현상은 Fig. 12와 비슷한 결과를 나타내고 있다. 원통형 부품의 경우 비스킷 부분과 게이트부분은 기능

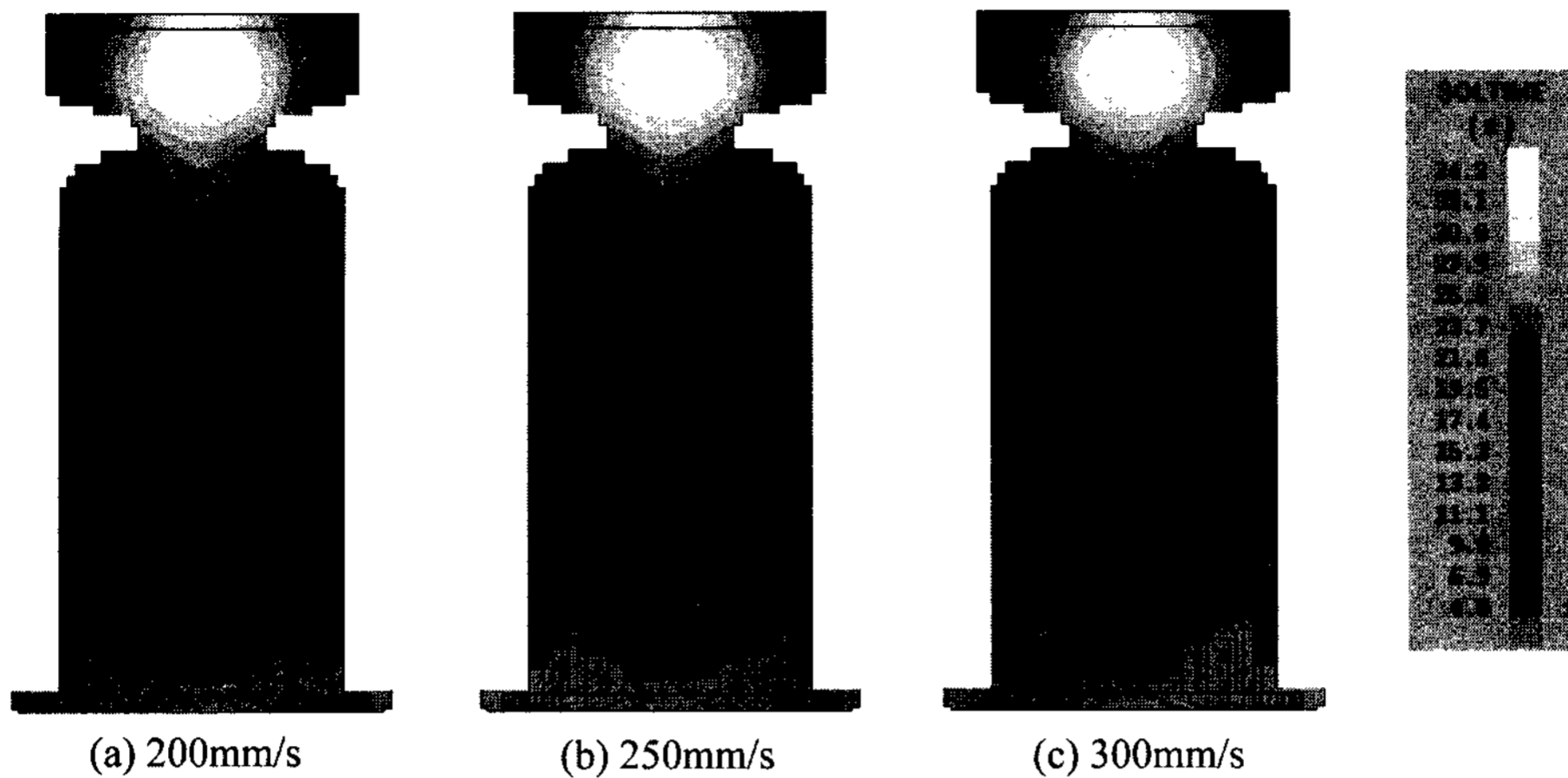


Fig. 18. Distribution of solid time during solidification.

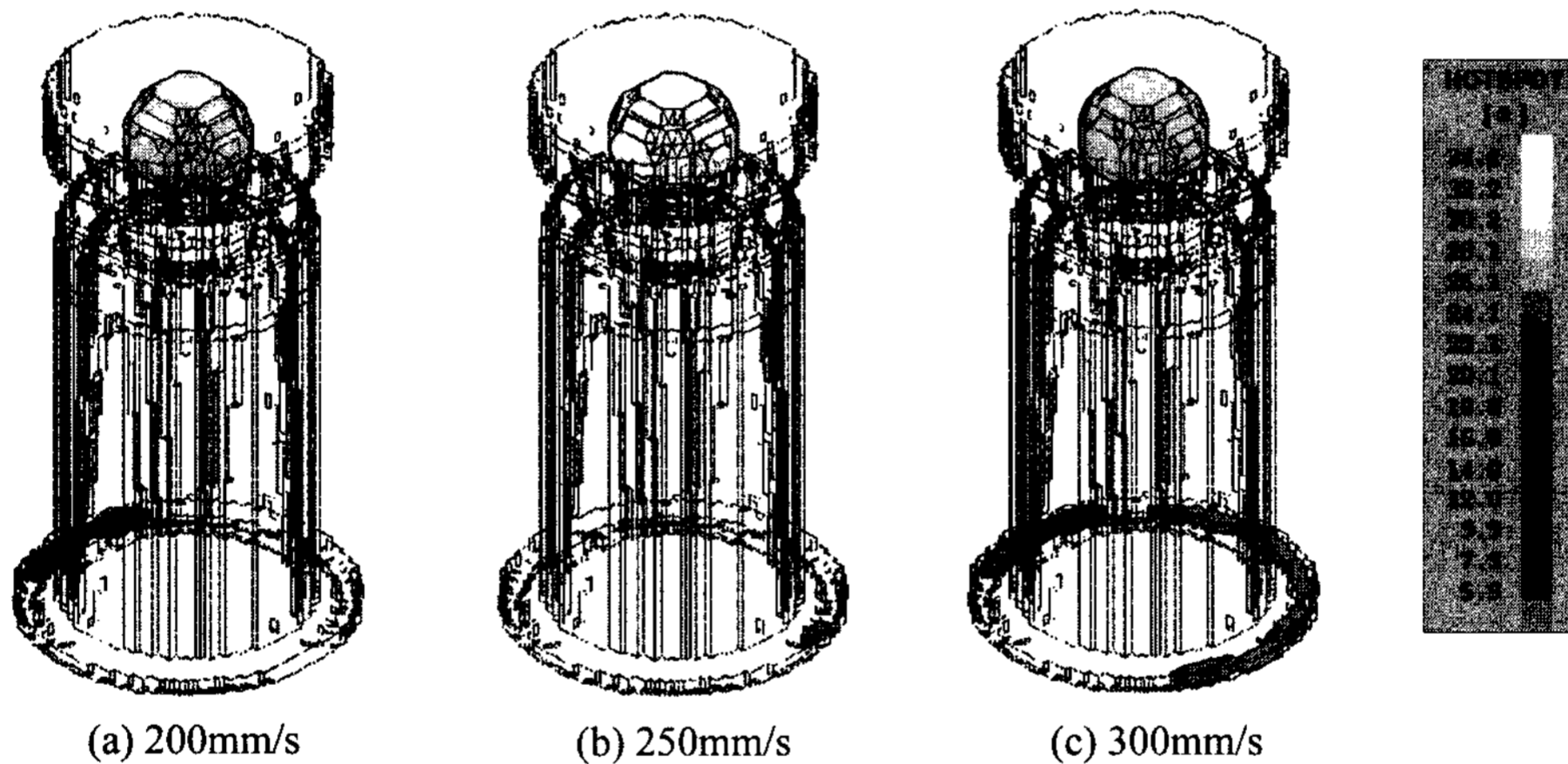


Fig. 19. Distribution of hot-spot during solidification.

상 중요하지 않기 때문에 금형설계측면에서 큰문제가 없을것으로 사료된다.

Fig. 13~Fig. 16에서 보여주는 바와 같이 속도변화에 따른 충전양상의 차이가 거의 없음을 충전해석의 결과로부터 알 수 있었다. Fig. 17~Fig. 19를 통해 충전해석의 결과와 마찬가지로 속도의 변화가 응고에 미치는 영향은 크게 작용하지 못하는 것을 알 수 있었다. 또한 거의 대부분의 criteria으로 예측한 수축공 발생부위가 거의 일치하게 나타났다. 발생 예측부위는 비스킷 부분, 즉 제품부에는 관계없는 게이트부에 집중되었기 때문에 기계가공 후 제품에는 앞에서 예측한 수축공 발생부위를 포함하고 있지 않기 때문에 문제가 되지 않을 것으로 사료된다. 금속복합재료를 이용한 입

의형상의 부품을 제조하기 위해서는 금형설계와 공정설계가 필요하다. 향후 컴퓨터를 사용하여 생산기술을 지원하는 연구가 활발히 진행되어 산업계에 보급이 되기를 기대한다.

4. 결 론

원통형 금속복합재료의 반응용 성형공정의 전산해석에 대한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CAE을 통하여 반응용 성형 공정의 유동 pattern을 쉽게 파악 할 수 있었고 해석 결과를 기초로 gate의 크기와 위치 등을 결정할 수 있는 금형설계방안을 제시하였다.

2) Ostwald-de Waele 유동 모델과 불압축의 이론을 복합하여 전산해석을 수행한 결과 금속복합재료의 부품성형에 필요한 금형설계와 공정해석에 응용이 가능함을 알 수 있었다.

3) 충전해석과 응고해석의 결과를 통하여 반응용 성형시 유동특성과 수축공의 위치를 예측하였고 이를 금형설계에 응용하였다.

4) 오버플로우가 있는 모델과 게이트의 크기가 35 mm인 금형을 이용하여 성형속도 별로 계산을 수행한 결과 결함의 위치는 제품의 기능에 무관한 게이트 입구부에서 발생함을 예측할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. Itamura and N. Yamamoto : J. of Japan Foundry Engineering Society, Vol. 68, No. 3 (1996) 235
- [2] T. Tsukamoto, K. Anzai and E. Niyama : 1996 Japan Casting Congress Transactions, Yokohama, Pacifico Yokohama, November (1996) 167
- [3] A. Seki, K. Usui and H. Itoh : 1996 Japan Casting Congress Transactions, Yokohama, Pacifico Yokohama, November (1996) 151
- [4] E. Flender, D. M. Lipinski and E. Hepp : Advances in Aluminum Casting Technology, Conf. Proc. from Materials Solutions'98 on Aluminum Casting Technology, eds. by M. Tiryakioglu, J. Campbell, Rosemont, Illinois, October (1998) 33
- [5] G. P. Backer : J. of the Minerals, Metals & Materials Society(JOM), August (1998) 21
- [6] M. L. Tims, J. Xu, G. Nickodemus and F. R. Dax : Proc. of 4th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, eds. by D. H. Kirkwood, P. Kapranos, Univ. of Sheffield, Sheffield, UK, June (1996) 120
- [7] D. M. Lipinski and E. Flender : Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, eds. by A. K. Bhasin, J. J. Moore, K. P. Young, S. Midson, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, June 23-25th (1998) 273
- [8] C. G. Kang and Y. C. Lee : Transactions of Materials Processing Vol. 8, No. 2 (1999) 188
- [9] J. C. Lee, H. K. Seok and H. I. Lee : Proc. of 6th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, eds. by G. L. Chiarmetta, M. Rosso, Turin, Italy, September 27-29th (2000) 629
- [10] MAGMASoft version 4.0 thixomodule manual : 5
- [11] C. P. Hong : J. of the Korean Foundry Society, Vol. 15, No. 1, 5
- [12] R. Byron Bird, Warren E. Stewart, and Edwin N. Lightfoot : John Wiley & Sons, Inc. (1960) 6