

Al고압주조공법에서 사출슬리브 온도 조절을 통한 Chill layer의 최적 제어

박진영[†] · 김어수* · 박용호 · 박익민

부산대학교 재료공학부

*한국생산기술연구원 부산분원

Optimal Control of Chill layers through Regulation of Temperature on Shot Sleeve in Aluminum High Pressure Diecasting

Jin-Young Park[†], Eok-Soo Kim*, Yong-Ho Park and Ik-Min Park

Dept. of Material Engineering, Pusan National University

*Pusan R&D Center, Korea Institute of Industrial Technology

(2006년 9월 27일 받음, 2006년 11월 13일 최종수정본 받음)

Abstract In this study, the effect of chill layers occurred in shot sleeve on the molten metal filling was analyzed through computer simulation. The behavior of chill layers with temperature variation of shot sleeve set from 200 to 280°C was also investigated. The simulation results showed the chill layers set in the in-gates during the injection process change the main filling direction and cause turbulent flow pattern, resulting in porosities inside the castings. The amount of chill layers with the increasing temperature of shot sleeve was considerably reduced. Particularly, at the setting temperature of 280°C by heat control unit, the biggest reduction in chill layers, excellent trimmed surface and the highest density were achieved, suggesting that as the optimal sleeve condition in aluminum high pressure diecasting, especially for highly complex parts like valve body.

Key words Aluminum diecasting, Chill-layer, Heat control unit, Filling simulation.

1. 서 론

알루미늄 다이캐스팅은 자동차를 비롯한 각종수송기기의 경량화 추세에 부합하여 AI의 경량화 효과와 다이캐스팅이 갖는 높은 생산성 및 우수한 치수정밀도 등의 장점으로 갈수록 적용 예가 증가하고 있다. 다이캐스팅 공법은 사출시 공기의 혼입에 따른 기포발생 및 응고시 극히 제한적인 압탕 효과로 후속부의 수축공 발생 등의 품질 문제점을 안고 있어 그 적용이 단순 구조체에 제한되어 왔으나 최근에는 진공시스템의 발전과 국부가압공법 적용 및 균형 특수냉각시스템 등의 발전으로 가스결함에 의한 품질 문제를 해결하여 기존의 중력주조 및 저압주조에 의한 주조물의 대체 적용이 늘어나고 있는 추세에 있다.^{1,2} 그러나 중력 주조와는 달리 사출 슬리브에 용탕을 주탕한 후 플런저 팁에 의해 사출하는 다이캐스팅의 경우에는 슬리브에 용탕을 주탕할 때 슬리브에 접촉하는 최초용탕이 응고되는 과정에서 chill layer가 형

성되고 이런 chill layer가 사출시 플런저 팁에 의해 제품의 게이트부 및 제품 내부로 강제 주입, 응고되어 주조 후 트리밍 불량 및 제품 가공시 박리 등의 품질 문제를 일으키는 것으로 알려져 있다.^{3,4} 이러한 chill layer의 제품내 혼입을 막기 위해서 일부 선진업체들 중심으로 Comb 게이트를 적용하거나 세라믹과 금속을 복합 코팅한 서멧 슬리브(Cermec sleeve)를 적용, 사출 슬리브의 보온성을 높이는 방안 등이 강구되어 적용되었으나 주조 압력의 저하, 고단가 및 보온효과 미흡 등으로 본격적으로 상용화는 되지 못한 실정이다. 특히 단순 구조체가 아닌 고내압 기밀성을 요하는 고기능성 부품의 다이캐스팅 주조에 있어서 이러한 chill layer가 제품의 주조성 및 내부품질에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 높은 내부품질 수준을 요하는 고기능성 제품을 중심으로 용탕 급탕시 발생하는 chill layer가 주조성에 미치는 영향을 분석하고 그에 따라 사출 슬리브의 온도를 적절히 변화시켜 온도변화에 따른 chill layer의 거동을 체계적으로 분석하여 주조물의 트리밍 불량 및 기포, 박리 등의 내부 결함을 최소화 할

[†]E-Mail : jpark7@paran.com

수 있는 최적의 사출 슬리브 관리 조건을 설정하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 Chill layer가 용탕 충전에 미치는 영향 해석

사출 슬리브에서 형성된 chill layer가 플런저 타입에 의해 강제 유입되어 제품의 용탕 충전에 미치는 영향을 알아보기 위해 컴퓨터 충전해석을 실시하였다. 해석에 사용한 소프트웨어는 주조해석 전용 코드인 MAGMASoft (Vr.4.2 SR2)를 사용하였으며 해석 대상 제품은 자동차 오토 밸브 바디(Auto Valve Body)로서 오토 트랜스미션의 유압제어 부품으로 매우 복잡한 유로 및 두꺼운 두께의 형상을 갖고 높은 내압기밀성과 주조 후 밸브 조립을 위해 몸체에 많은 홀 가공이 이루어지는 것을 특징으로 한다. Fig. 1에 본 연구 대상 제품과 주조방안의 모델링을 나타내었다. 해석은 주조시 제품부(cavity)로 용탕이 유입되는 게이트 부에 chill layer가 형성되지 않고 충전되는 경우(Case 1)와 게이트부에 chill layer가 형성되어 있는 경우(Case 2)로 나누어서 해석을 진행하였다. Case 2 경우의 모델링을 작업에 있어서 chill layer의 형상과 크기는 게이트부에 chill layer가 형성되어 있는 실 주조품의 경우를 반영하였으며 Fig. 2에 각 경우에 대한 모델링 결과와 Case2의 모델이 된 실주조품(Fig. 2(c))을 나타내었다. 실제로 사출 슬리브에 형성된 chill layer가 Case 2의 가정처럼 용탕의 충전 전 100% 게이트에 걸쳐있는 상태에서 충전이 이루어진다고 가정할 수는 없지만 chill layer가 게이트에 형성될 때 이미 제품부 내에 충전된 용탕량에 상관없이 용탕 충전 완료시까지 영향을 미칠 것으로 사료되는 바 Case 2에 대한 충전해석은 용

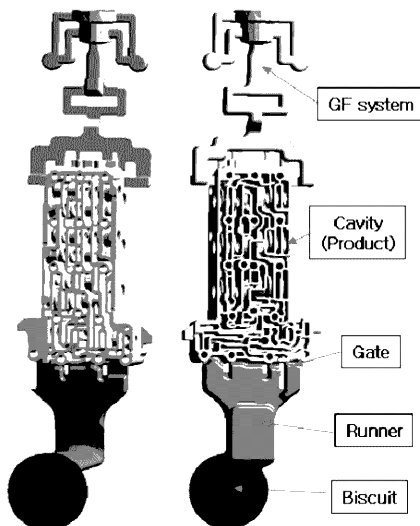


Fig. 1. Solid modeling of casting system for Auto transmission Valve body.

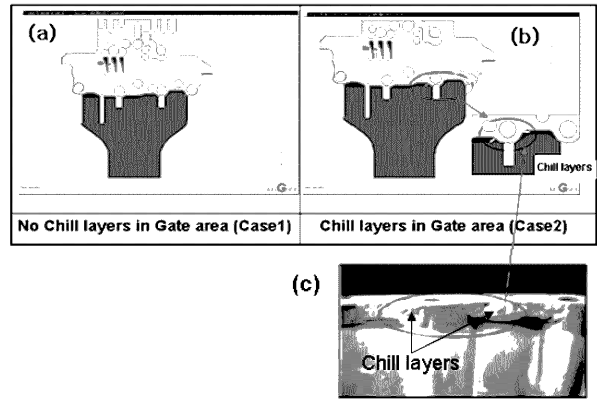


Fig. 2. Solid modeling of (a) Case 1 and (b) Case 2 condition. (c) As-diecasted and trimmed sample with chill layers occurred in gate area.

Table 1. Simulation condition.

Classification	Case 1	Case 2
Material	ALDC 8	ALDC 8
Pouring temp.	660°C	660°C
Velocity	Low	0.25 m/s
	High	2.7 m/s
Casting pressure	1150 kgf/cm ²	1150 kgf/cm ²
Chill layer	Material	ALDC 8
	Temp.	480°C
Number of mesh	25,000,000	30,000,000

탕 충전 방향, 흐름상태, 기포발생량 등 chill layer가용탕 충전에 미치는 영향을 알아보는 데 중요하다 판단된다. 각 해석 경우에 대한 해석 조건을 Table 1에 요약하였다.

2.2 사출 슬리브 온도 변화에 따른 chill layer의 거동 실험

사출 슬리브에서의 온도 변화에 따른 chill layer의 거동을 평가하기 위해 사출 슬리브에 가열, 냉각을 위한 유로(Oil Channel)를 설계, 제작하였다. 사출 슬리브는 SKD61 재질로 직경 Ø 80, 길이 660 mm의 일체형 슬리브를 적용하였으며 주조기는 TOSHIBA 800Ton(CL type)을 적용하였다. Fig. 3에 사출 슬리브 시스템과 실험장치의 개략도를 나타내었다. 사출 슬리브 하부의 양편측에 각각 3개의 채널을 길이 방향으로 설치하였고 끝단부에는 링 타입의 채널을 설치하였다. 유로를 설치한 사출 슬리브에 온도 조절기(Max. Temp. 300°C, Capa. 6 kW for heating, 70 kW for cooling)를 내열 호스를 통해 연결하였고 슬리브 온도 조절용 오일은 특수 고온용 합성유(Therminol 66)를 사용하였다. 또 각 실험 조건에 따른 슬리브의 온도 측정을 위해 Fig. 3와 같이 사출 슬리브에 열전대를 슬리브의 용탕 주입 직하부(T1), 기

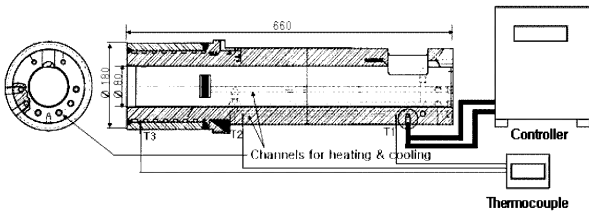


Fig. 3. Schematic drawing of experimental setup.

계 플래틴 삽입부(T2) 그리고 금형 슬리브와 만나는 부위(T3)에 각각 장착 한 후 온도 기록계(Yokogawa SR1000)에 연결하여 온도를 연속 측정하였다.

시출 슬리브의 온도 변화는 온도 조절기를 적용하지 않은 경우를 포함해서 온도 조절기 설정온도를 200, 250, 280°C로 변화시켜 가며 조건 당 30개씩 시험 주조하였으며 설정 온도 변경시 마다 온도 안정화를 위해 10개씩 주조 후 시험 주조하였다. 각 조건에 따른 실험 결과 분석을 위해 각 조건에 따른 샘플의 비스킷을 절단하여 chill layer의 형성량을 비교하고 또 제품의 게이트부를 절단하여 절단부의 조직과 트리밍 파면을 관찰하였다. 아울러 각 조건에 따른 제품의 기공도를 밀도계(Densimeter, SD120L)를 이용하여 밀도를 측정하여 상호 비교 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Chill layer가 용탕 충전에 미치는 영향 해석 결과 게이트부에 chill layer가 없는 경우(Case 1)와 존재하

는 경우(Case 2)에 대한 용탕 충전해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Case 1과 Case 2의 경우 충전시간은 동일하였고 충전 완료시까지 용탕온도가 액상선 이하로 떨어지지 않는 양호한 충전거동을 나타내었다. 그러나, 40% 충전시 Case 1의 chill layer가 없는 경우에는 탕흐름의 주방향이 직진하며 또 전체적으로 균일하게 충전되는 반면 chill layer가 형성되어 있는 Case 2의 경우에는 탕흐름의 주방향이 한쪽으로 치우쳐 충전되고 전체적인 충전 양상도 Case 1에 비해 불균일한 것으로 나타났다. 특히, 60% 충전상태에서 Case 2의 경우가 상대적으로 제품의 가장자리가 먼저 충전되는 속도가 커서 제품 중심부에 가스고립(Air entrap)현상이 두드러지는 것으로 나타났다. 이와 같이 Case 2의 용탕 충전 방향이 Case 1에 비해 바뀐 것은 게이트에 걸쳐진 chill layer의 형상이 일정치 않고 게이트 입구 정방향에서 비스듬하게 놓여 있어 고속으로 충전하는 용탕의 흐름을 순간적으로 chill layer의 방향으로 변경시키기 때문인 것으로 판단된다. MAGMAsoft의 기포결함 예측 도구인 Air pressure criteria를 이용하여 100% 충전완료 후의 압력 분포 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 예상한 바와 같이 Case 2의 경우에서 충전 거동시 와류가 나타난 부위를 중심으로 더 높은 압력분포를 나타내 기포결함 가능성이 전반적으로 높은 것으로 나타났으며 특히 chill layer가 존재하는 부위에서는 새로이 기포 결함이 생성될 가능성이 높아졌다. Case 2의 경우에서 기포 결함 가능성이 상대적으로 Case 1보다 높아진 것은 충전 해석 결과 용탕의 충전 양상이 Case 1에 비해 전체적으로 불균일하여 그로 인한 용

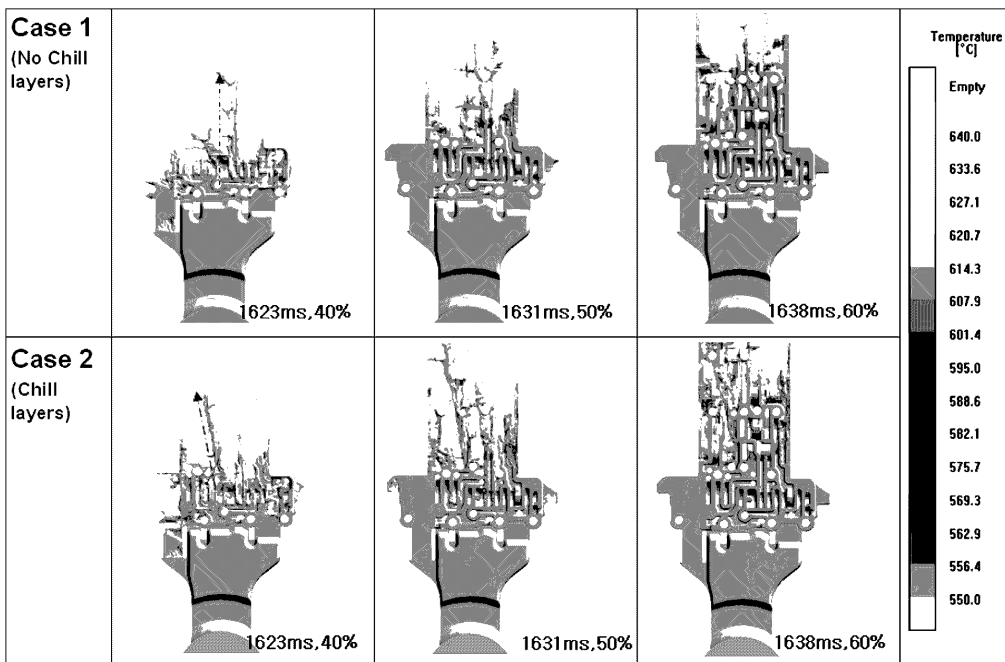


Fig. 4. Comparison of filling simulation results of Case 1 and Case 2.

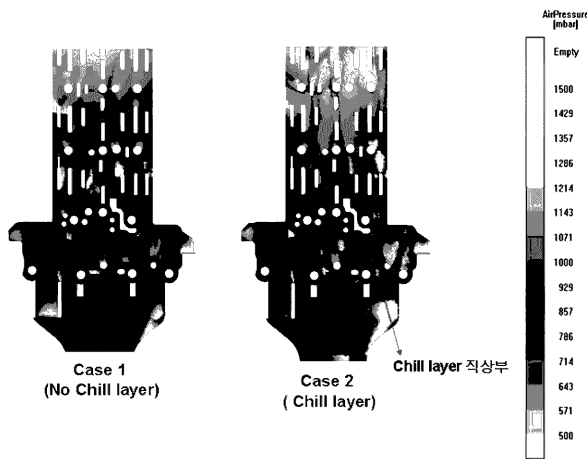


Fig. 5. Porosity possibility after 100% filled by air pressure criteria.

탕의 와류로 인한 가스의 함유 가능성이 높아졌기 때문에 여겨진다. 전술한 바와 같이 사출시 슬리브에서 형성된 chill layer가 실주조품의 chill layer의 형상을 모델링하여 해석한 결과라 할지라도 Case 2에서 가정한 바와 같이 반드시 사출 전 게이트에 chill layer가 먼저 게이트를 막고 있는 상태에서 사출이 진행된다고는 할 수 없다. 그러나 본 충전해석 결과를 통해서 Fig. 8의 비스킷에 형성된 chill layer의 형상이 Fig. 6의 T1부의 비교적 용탕의 온도 저하가 적은 슬리브 용탕 주입구 직하부에서 형성되었음에도 불구하고 그 수량이 많고 형상이 비교적 긴 것으로 판단할 때, Fig. 6의 T2부의 용탕의 온도 저하가 심한 사출시 초기에 주입되는 용탕을 통해 유입되는 chill layer의 수량은 T1부에 비해 훨씬 많고 길이 또한 더욱 길어 cavity 충전 중 본 해석에서 가정한 경우처럼 충전 중 chill layer가 용탕의 흐름을 방해하여 기포 발생 가능성이 높아진다고 판단된다. 이러한 해석 결과는 chill layer의 생성이 단순히 주조품의 트리밍 작업시 chill layer 파단으로 인한 치수 불량뿐 아니라 충전시 용탕의 탕흐름에 큰 영향을 미쳐 내부 결함에 큰 영향을 미치는 중요한 요소로 작용한다고 판단할 수 있으며 특히 본 과제에 밸브바디와 같은 복잡한 형상을 갖는 제품에서는 제품의 게이트부와 유로부에 chill layer가 사출시 걸쳐있을 가능성이 상대적으로 높아서 이로 인한 탕흐름을 방해할 가능성이 더욱 높아 chill layer의 형성 방지를 위한 근본적인 조치가 더욱 필요하리라 생각된다.

3.2 사출 슬리브 온도 변화에 따른 파단철층의 거동 실험 결과

사출슬리브에 온도 조절기를 적용하지 않은 경우와 온도 조절기 설정 온도를 200, 250, 280°C로 설정하면서 공

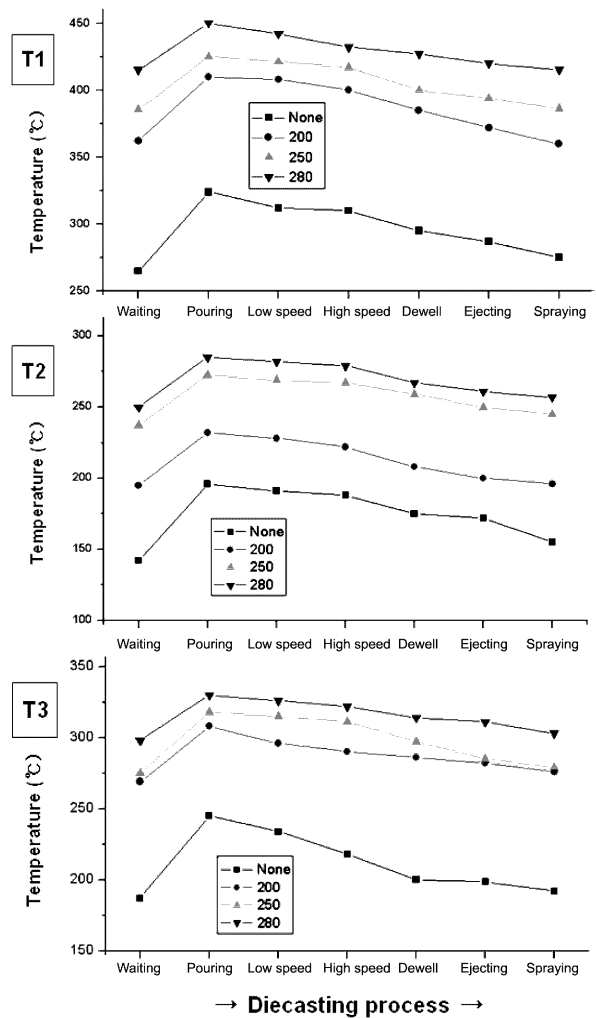


Fig. 6. Temperature profile at T1, T2 and T3 during diecasting process with the variation of temperature on shot sleeve.

정 중에 얻은 온도 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 먼저, 온도 조절기를 적용하지 않은 경우 용탕 주입구 직하부의 온도인 T1의 온도가 용탕 주입공정에서 325°C, 용탕 대기에서 265°C로 전 공정 구간에서 다른 T2, T3부 보다 높은 온도 값을 나타냈고 기계 플래턴 삽입부인 T2의 온도 용탕 주입공정에서 196°C, 용탕 대기상태에서 142°C를 나타내 전 공정 중 가장 낮은 값을 보였으며, 금형 슬리브와 만나는 지점인 T3의 온도는 각각 243°C 및 187°C인 것으로 나타났다. 용탕 주입 및 대기 상태에서 T2, T3의 온도가 T1부에 비해 현저히 낮았고 특히 T2부에서는 T1부에 비해 120°C 이상 차이를 보여 사출 슬리브에 용탕을 주입할 때 T2부를 중심으로 T3부에서 chill layer가 집중적으로 많이 생성될 것으로 판단된다. 이는 앞서 행한 충전해석에서 용탕 충전 초기 단계에서 chill layer가 용탕과 함께 유입되어 게이트 간섭을 일으킬 가능성이 높다는 사출 해석 조건의 가정과 일치한다. 슬리

브 온도를 200°C로 올렸을 경우 T1부의 온도는 410°C, T2부에서 230°C로 나타났다. 또 가장 높은 설정 온도인 280°C로 설정 한 경우에는 역시 T1부의 용탕 주입상태에서 450°C, T2의 용탕 대기상태에서 250°C를 나타내었다. 온도 조절기를 적용하지 않은 경우 공정상 온도 편차는 약 60°C였으며 대체적으로 온도 조절기 설정 온도가 높아질수록 편차 값이 줄어들어 280°C 설정시는 약 35°C로 나타나 온도 조절기의 항온 효과가 나타난 것으로 판단되었다.

슬리브에서 선행 응고된 chill layer는 사출시 제품 내부로 유입되어 유로부와 같은 형상에 걸쳐 있다가 후속 충전되는 용탕과 만나 응고되면서 미세한 응고 층을 형성하게 된다. 이러한 사출시 형성된 응고층은 제품 가공시 박리 불량을 일으키게 된다. Fig. 7에 제품 가공시 chill layer에 기인한 박리 불량 현상을 나타내었다. Fig. 8에는 슬리브 온도변화에 따라 얻은 샘플의 비스킷을 절단하여 조직을 관찰한 사진을 나타내었다. Fig. 8(a)의 온도 조절기를 적용하지 않은 경우 비스킷 중심부와 탕도 등에 전체적으로 chill layer가 다량 분포하고 있고 chill layer의 개별 크기도 비교적 큰 것으로 파악되었다. 그러나 Fig. 8의 (b), (c), (d)의 경우에서 보는 바와 같이 사출 슬리브 적용 온도를 200, 250, 280°C로 증가시키기에 따라 비스킷부의 chill layer의 생성 수량이 감소하였고 280°C의 경우에는 chill layer의 발생 수량 감소뿐 아니라 개별 chill layer의 크기도 비교적 작은 것으로 나타났다.

각 사출 슬리브 온도 설정 조건에 따른 주조품의 품질을 확인하기 위해서 Fig. 9의 모식도와 같이 제품의 게이트부를 절단하고 다시 게이트 중심선인 A-A면으로

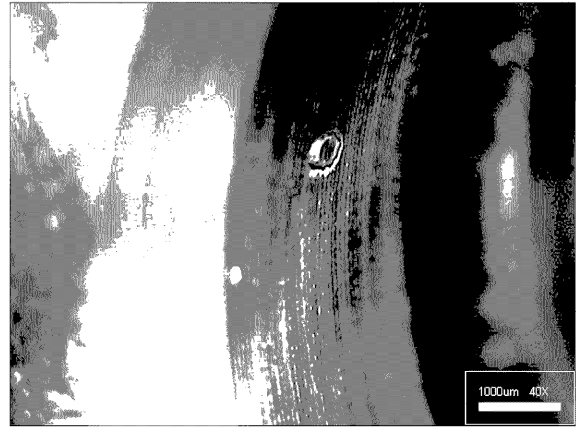


Fig. 7. Lamination defect caused by chill layer after machining.

절단하여 조직을 관찰하였다. Fig. 9(a)의 온도 조절기를 사용하지 않은 경우와 280°C 설정한 경우와 비교할 때 온도 조절기를 적용하지 않은 경우에서 역시 chill layer의 파단 잔류물이 많이 형성되는 것으로 나타났으며 또 트리밍 면의 거칠기도 280°C 설정한 경우에서 보다 상당히 거친 것으로 나타났다. 또 온도 조절기를 적용하지 않은 경우에는 트리밍 파단면에 화살표시와 같은 크랙이 발견되었는데 이러한 크랙은 제품의 강성 저하나 기밀 불량 등 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다. (a)에서 트리밍 파단면이 거칠고 또 크랙이 유발되는 곳에 chill layer의 파면이 존재하는 것을 확인할 수 있는 데 이런 chill layer가 사출시 게이트에 존재하여 응고 경계층을 이루고 있다가 트리밍시 쉽게 분리되어 트리밍 공정 중 치수 불량을 유발하거나 또 크랙을 유발하는 원인으로 작

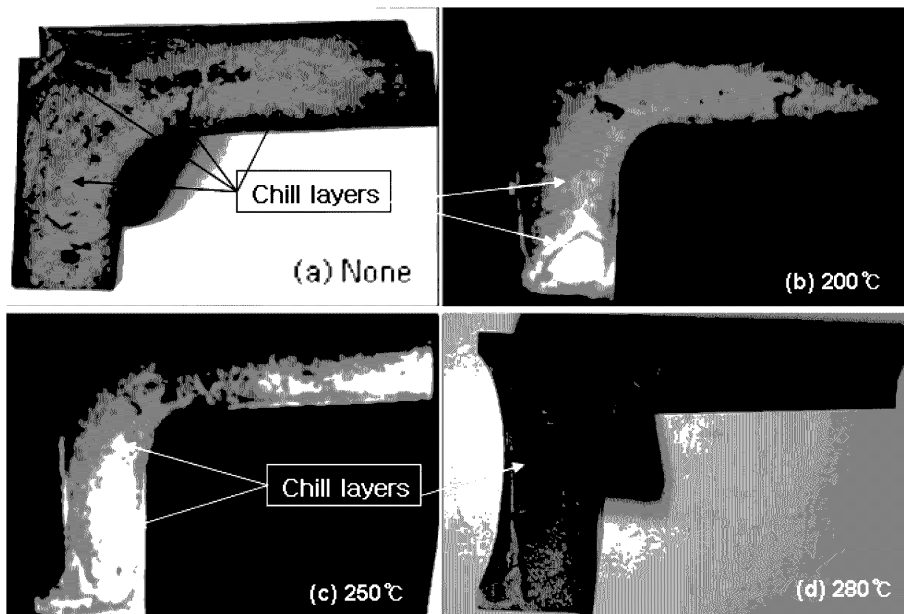


Fig. 8. Cross-sectional view of biscuits with temperature variation of shot sleeve.

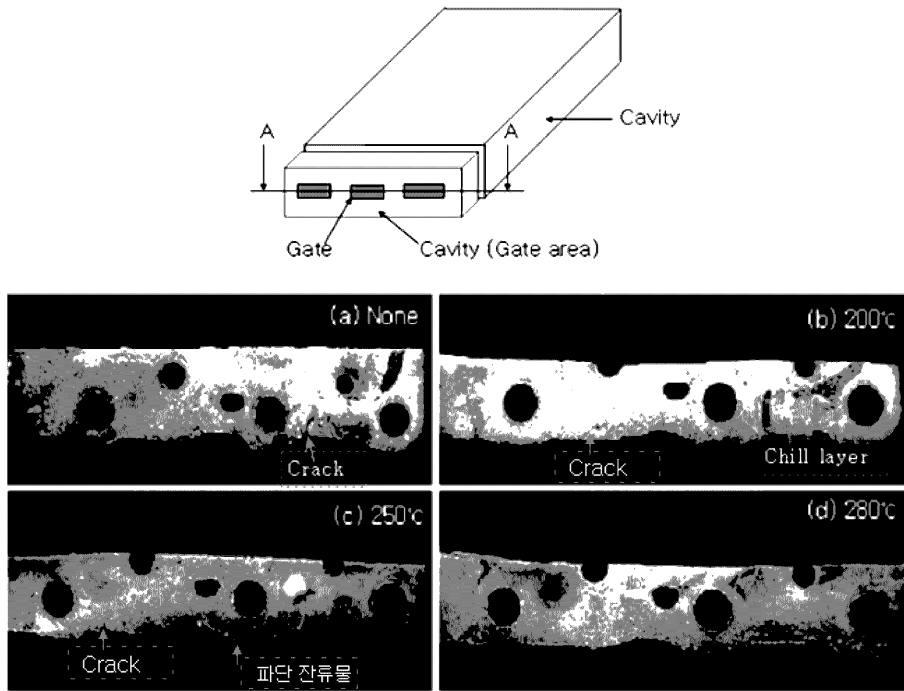


Fig. 9. Macro-morphologies of in-gate area with temperature variation of shot sleeve.

layer가 현저히 감소하여 트리밍 파단면이 균일하고 또 크랙 발생이 없어진 것으로 여겨진다. 한편, 사출 슬리브의 온도 변화에 따른 주조품의 기공도 변화를 알아보기 위해 충전 해석상 기포함량이 높을 것으로 예상된 제품 상부측을 절단하여 각 조건 별로 10개씩 샘플링 한 후 밀도를 측정하여 Fig. 10에 평균치를 나타내었다. 슬리브 온도 조절기를 사용하지 않은 경우에 비해 200, 250, 280°C로 설정 온도가 높아 질수록 평균 밀도 값이 증가하여 기포 발생도가 감소하는 것으로 나타났으며 280°C의 경우에서 2.722 g/cm³로 최대 값을 나타내었다. 특히, 슬리브에 인위적으로 승온시킨 경우가 온도 조절기를 적용하지

않은 경우에 비해서 큰 폭의 밀도 상승이 일어났는데 이는 슬리브 승온에 따른 chill layer의 감소로 충전시 와류에 의한 기포 형성 가능성이 줄어들었기 때문으로 판단되며 이는 앞서 행한 chill layer에 의한 용탕 충전 거동 방해로 전체 부품의 기포 불량 가능성이 높아진 충전 해석결과와 잘 일치한다.

4. 결 론

알루미늄 고압 다이캐스팅에서 사출 슬리브에서 발생하는 chill layer가 제품의 품질에 미치는 영향과 사출 슬리브의 온도 변화에 따른 chill layer의 거동 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실 주조품의 게이트부에 형성된 chill layer를 모델링하여 행한 충전해석 결과 용탕의 충전 양상이 chill layer가 없는 경우에 비해 불균일하고 그로 인해 기포의 발생 가능성이 상대적으로 높아지는 것으로 나타났다.
- (2) 사출 슬리브 온도를 200, 250, 280°C로 변화시켜 가며 주조품의 비스켓 및 게이트부의 chill layer 생성량을 분석한 결과 온도가 증가할수록 chill layer의 생성량이 감소되었으며 280°C에서 가장 적은 chill layer가 관찰되었고 또 트리밍 후 가장 양호한 파면을 보였다. 이로써 사출 슬리브의 온도 조절을 통해 사이클 타임 증가 없이 효과적으로 chill layer를 저감할 수 있었다.
- (3) 슬리브 온도를 증가하며 주조품의 밀도를 측정할 결과 슬리브 온도 조절기를 적용하지 않은 경우와 비교

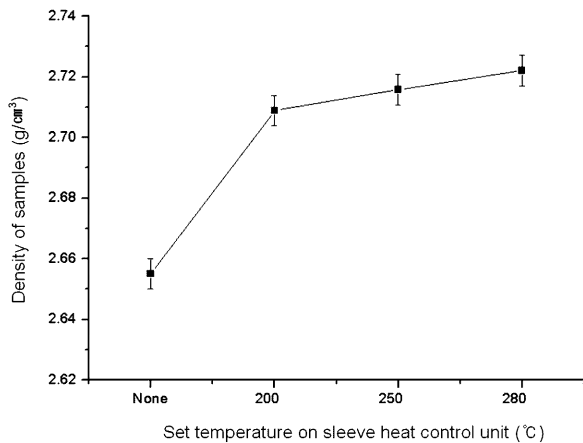


Fig. 10. Density changes of samples with the variation of set temperature on sleeve heat control unit.

하여 밀도 값 상승이 큰 것으로 나타났고 280°C의 경우에서 2.722 g/cm³로 최대 값을 나타내었다. 280°C로 설정한 경우에는 제불부 과열로 인해 간혹 소착 물량이 발생하여 향후 급형 냉각시스템 개선 및 용탕 급탕 온도 저감 등을 통한 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 사후과제 학술연구비(2년)에 의하여 이뤄졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. Y. Kim and M. S. Yi, J. KPS., 15(4), 339 (1995).
2. E. S. Kim, J. KPS., 17(6), 527 (1997).
3. E. S. Kim and K. H. Lee, J. KPS., 23(4), 171 (2003).
4. E. Kato, A. Kohketsu and H. Nomura, J. DC Congress., JD00-27, 171 (2000).
5. S. Sannakanish and K. Fujita, J. DC Congress., JD00-28, 179 (2000).
6. H. Kambe, M. Sayashi and T. Nakamura, J. DC Congress., JD98-33, 215 (1998).
7. J. Y. Park, E. S. Kim and I. M. Park, J. KPS., 24(6), 347 (2004).