

보스 벽 두께가 사출성형의 싱크마크 발생에 미치는 영향

김현필* · 김용조**

한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과 · 경남대학교 기계자동화공학부

Effect of Boss Wall Thickness on Sink Mark in Injection Molding

Hyun-Pil Kim* · Yohng-Jo Kim**

Abstract : The sink mark on boss parts is generated by the volumetric shrinkage that is caused by both the molding thickness and the boss wall thickness. The volumetric shrinkage is caused by packing pressure and its amount tends to decrease by increasing the packing pressure. The packing pressure can therefore increase the flow rate to a boss part and causes the depth of sink mark to increase. As the molding thickness and the boss wall thickness in the boss part can increase the part volume, these may yield bad solidifying and also extend the molding cycle. In this paper, both the injection molding test and the flow analysis were carried out to investigate the effect of sink mark that was generated in the boss wall thickness of injection molded products. The sink mark could also be caused by thickness ratio of boss part. For a given thickness ratio of boss, several molding process parameters such as packing pressure, packing time and melt temperature, affecting to generation of the sink mark were discussed

Key Words : Boss wall (보스 벽), Volumetric shrinkage (체적수축), Sink mark (싱크마크)

1. 서 론

최근 핸드폰 등 IT제품은 외관의 미려함을 중시하고 있어 성형표면의 트러블 해소에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 사출성형의 제품설계에 있어 보스(boss)는 성형 구멍이나 코너부 보강, 성형품을 여타 부품과의 조립을 위해 플라스틱의 유연성을 이용한 셀프 탭팅(self tapping)위치로 사용된다⁽¹⁾. 또한 보스는 리브 등과 함께 사출성형제품의 부형상으로 성형품의 주형상 하부에 주로 위치하기 때문에 형상이 복잡하게 되어 충전 시 유동을 어렵게 만든다. 따라서 깊은 보스나 리브의 끝단부와 유동이 합류되는 코너부에 미충전(short shot) 및 유동정체(hesitation)현상이 나타날 수 있다⁽²⁾, 보스가 설치되는 부분은 주형상의 살두께 증가를 피할 수 없는 관계로 싱크마크(sink mark)의 성형결함이 발생할 수 있다⁽³⁾. 싱크마크는 성형표면의 일부에서 수축으로 인해 발생하는 수축자국으로 정의하고 있다. Linhuo

Shi⁽⁴⁾ 등은 성형품의 보강을 위한 리브 부분에 발생하는 싱크마크 깊이에 관해 보압시간(packing time)과 수축(shrinkage)에 따른 실험식을 제시하고 보압시간 증가는 성형품 표면에 발생하는 싱크마크 깊이를 감소시키는 해석결과를 발표하였다. 또한, M. J. Liou⁽⁵⁾ 등은 실험을 통하여 싱크마크는 성형공정 변수인 금형의 온도, 수지온도, 보압의 영향에 따라 발생하는 결과를 발표하였다. 이들의 결과는 부형상 리브(rib)에 관한 연구이나, 본 연구는 보스에 있어서 형상변수인 보스 벽 두께(wt), 성형 살두께(t), 막힘보스의 높이(h), 보스의 형상비(thickness ratio) (tw/t)가 성형공정변수인 보압 및 보압시간에 따라 싱크마크 발생에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 보스 벽 두께가 싱크마크 발생에 미치는 영향을 분석고찰을 위해 시험사출성형과 보압해석(parking analysis), 냉각해석(cooling analysis)을 실시하고 보스 벽 두께가 싱크마크 발생에 미치는 성형공정변수의 영향을 분석하고자 한다.

* 한국폴리텍VII대학 컴퓨터응용금형과
(김현필 kimhp58@kopo.ac.kr)

** 경남대학교 기계자동화공학부

2. 성형실험장치와 조건

2.1 보스설계와 성형실험장치

보스의 성형실험편의 형상은 사각 30mm, 두께(t) 2mm, 보스의 외경 10mm, 높이 11mm이며 보스의 벽 두께(tw)는 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm로 하여 보스의 형상비를 75~150(%)까지 변화시켜 싱크마크 발생결과를 확인할 수 있도록 설계하고 실험 금형을 제작하였다. Fig. 2와 같이 성형된 보스부분의 성형실험편을 얻기 위해 단순화한 보스형상을 유동기구와 함께 설계하였으며 성형실험편의 러너 배치는 4-캐비티(four cavity)형태로 충전 밸런스를 고려하여 성형실험편 각각의 유동거리를 같게 배치하였다.

본 연구에서 사용된 사출 성형기는 DONG SHIN HYDRAULIC(DHC-60)이며, 형체결력 60ton, 1회 최대 사출용량 16온스(oz)인 수평식 사출 성형기(horizontal injection molding M/C)이다. Fig. 1은 보스부분의 성형실험을 위하여 제작된 사출성형 금형과 사출성형 시 압력변화 및 보압시간, 냉각시간 등 사출성형 조건을 정확히 실시하기위해 러너 및 캐비티에 EP 압력센서(Max. 200MPa) 3개를 금형 내에 설치한 실험장치를 나타내고 있다.

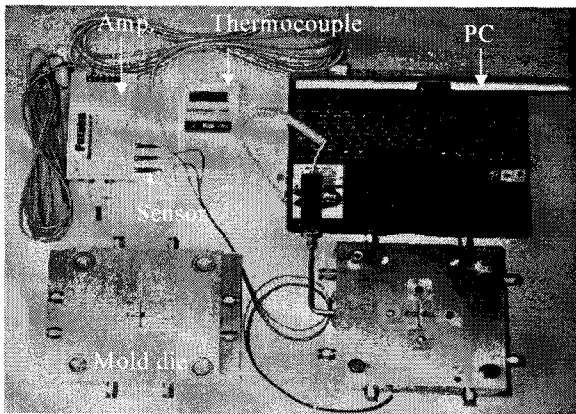


Fig. 1 Experimental molding set used for injection molding

금형의 온도제어를 위해 서모커플(thermocouple)을 상·하형에 장착하고 일정한 금형 온도를 유지시키기 위해 상·하형 모두 냉각라인을 금형온도 조절기와 연결시켜 제어되도록 하였다.

실험금형은 교환형 코어(core)방식으로 설계하였으며 금형의 크기는 200×200×190mm이고 사이드 게이트 타입의 2매 구성금형(two plate mold) 타입으로 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 제작하고 본 연구에 사용

하였다.

2.2 성형실험 조건

보스의 실험성형을 위한 사출성형공정 조건은 Table 1과 같으며, 보압(packing pressure)과 보압시간을 사출성형공정변수로 하였다. 실험에 사용된 수지는 PP (Hi-Prene M540)이고, 건조로에서 80℃로 3시간 동안 충분히 건조시켜 수분의 영향을 최대한 억제하였다. 성형실험편은 후수축의 영향을 고려하여 72시간 동안 등온 20℃로 유지시켜 사용하였으며 본 연구에 사용된 수지의 물성치는 Table 2와 같다.

Table 1 Conditions for the injection molding process

Filling pressure (MPa)	Packing pressure (MPa)	Packing time (sec)	Melt temp. (°C)	Mold temp. (°C)	Cooling time (sec)
20	20	1, 4, 7	215	30	60
35	35		215		
50	50		215		
65	65		215		

Table 2 Properties of plastic PP(Hi-Prene M540)

Max. and min. melt temperature	200~260.0℃
Generic shear stress (Max.)	0.25 MPa
Generic shear rate (Max.)	100000.00 1/s
Specific heat	2878.000 J/kg/°C
Melt density	720.700 kg/cu.m
Viscosity (temperature 230℃)	80.199 Pa.s
No-flow temperature	145.50℃
Conductivity	0.130 w/m/°C

3. 실험결과와 고찰

3.1 보스 벽 두께에 따른 싱크마크 발생

보스부분의 벽 두께에 따른 싱크마크 발생을 확인하기 위해 Table 1의 성형조건과 Table 2의 재료를 사용하여 보압 20MPa, 보압시간 1sec, 수지용융 온도 215℃로 설정하여 실험 사출한 보스부분의 실험성형편을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 보스의 형상변수인 벽 두께 영향으로 성형편 A, B, C, D의 성형표면에서 싱크마크가 발생하였으며, 성형편 B의 단면을 절단하고 Fig. 2와 함께 그 결과를 확인할 수 있도록 제시하였다. Fig. 3은 실험성형편 "A" 보스 벽 두께 (2mm)를 확인할 수 있도록 절단하여 나타내었으며, 3D 레이저 측정기

(Mahr OMS 600)를 사용하여 보스 벽 두께에 의해 성형 표면에 나타나는 싱크마크 깊이를 측정하는 결과이다.

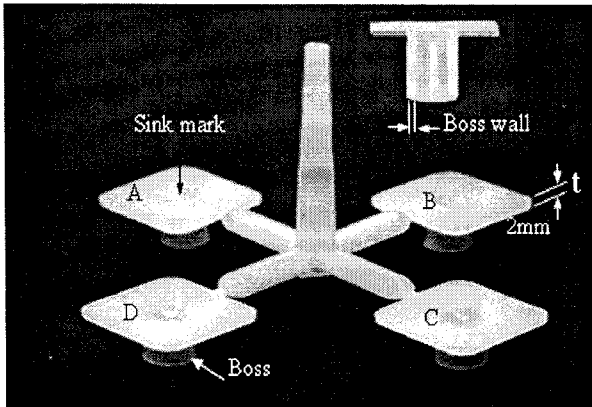


Fig. 2 Molded boss parts and sink mark appearances

Fig. 3의 결과에서 보스 벽 두께 (2mm)의 영향으로 보스 중앙부근이 솟아오르는 봉우리 형태로 싱크마크가 적게 발생되나, 보스 벽 두께의 직 상부는 중심부근보다 크게 가라앉은 골을 형성하면서 발생하는 결과를 확인할 수 있다.

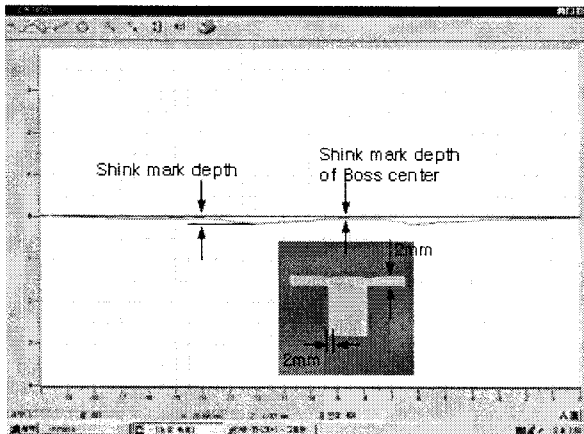


Fig. 3 Sink mark depth measured by the 3D laser measuring machine (for the boss wall thickness 2mm)

Fig. 4는 실험성형편 “B” 보스 벽 두께(2.5mm)를 절단하여 나타내었으며 3D 레이저 측정기를 사용하여 보스 벽 두께에 의해 성형 표면에 나타나는 싱크마크 발생과 깊이를 확인한 결과이다. Fig. 4의 결과 역시 Fig. 3의 결과와 같이 보스 벽 두께의 영향으로 보스 중앙부근은 적게 봉우리 형상으로 싱크마크가 발생되나, 보스 벽 두께의 직 상부는 중심부근보다

크게 가라앉은 골을 형성하면서 발생하는 결과를 확인할 수 있다.

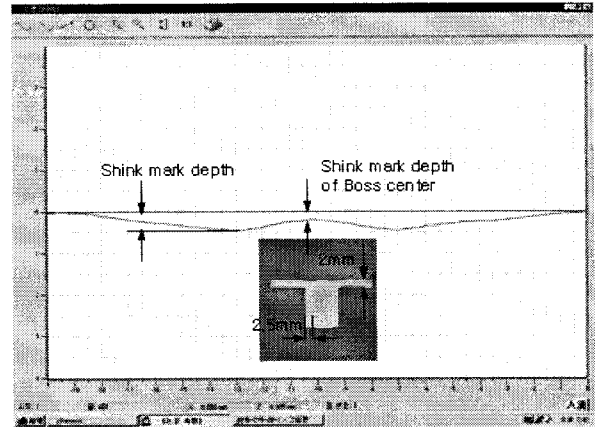


Fig. 4 Sink mark depth measured by the 3D laser measuring machine (for the boss wall thickness 2.5mm)

Fig. 3 및 Fig. 4의 성형품 표면에 발생하는 싱크마크 결과에서 보스 벽두께의 영향으로 인해 보스가 설치된 중앙의 성형 표면에 봉우리 형상으로 싱크마크가 발생되며, 보스의 외경 벽두께 위치 부근에서는 크게 수축하여 골을 형성하면서 싱크마크가 발생하는 결과를 확인할 수 있다.

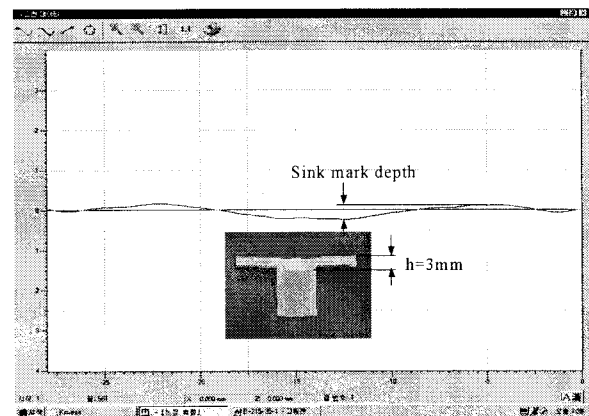


Fig. 5 Sink mark depth measured by the 3D laser measuring machine (for the close boss height $h=3\text{mm}$)

Fig. 5의 결과는 보스의 중심부 막힘보스의 높이 (close boss height)가 $h=3\text{mm}$ 일 때 싱크마크 발생 결과이다. 이 경우 보스 중심부근은 가라앉은 형태로 싱크마크가 발생되고, 보스의 외경 벽두께 위치 부근에서는 솟아오르는 형태로 발생되고 있다. Fig. 6의 결과는 막힘보스의 높이(h)가 각각 2mm, 3mm,

4mm, 5mm일 때 발생하는 싱크마크 형상 결과이다. Fig. 5 및 Fig. 6의 결과에서 막힘보스 높이(h)가 증가할수록 보스중심부근의 싱크마크는 점점 더 가라앉는 형태로 발생되고 있으며, 보스의 외경 벽 두께 위치 부근에서는 솟아오르는 형태로 발생되고 있다.

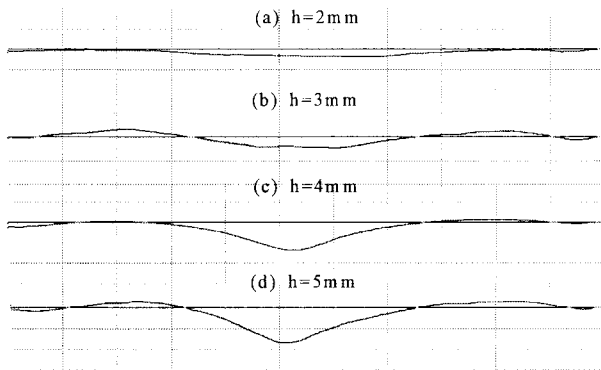
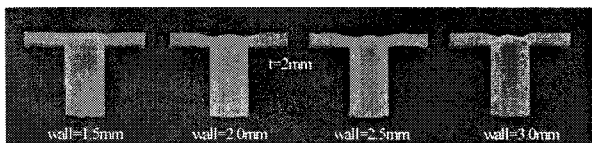


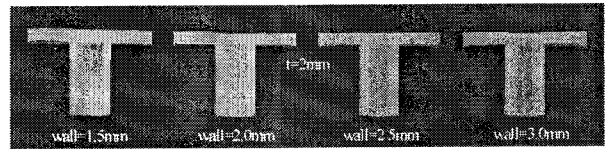
Fig. 6 Sink mark profiles according to the close boss height(h)

Fig. 3 및 Fig. 4의 싱크마크 발생결과는 보스의 벽 두께 영향으로 중앙부근이 솟아오르는 봉우리 형태로 싱크마크가 발생되고, 보스 벽 두께 직 상부는 중심부근보다 크게 가라앉은 골을 형성하면서 발생되나, Fig. 5 및 Fig. 6의 결과에서는 막힘보스 높이의 영향으로 인해 오히려 중앙부근이 가라앉은 골을 형성하면서 발생되며 보스의 외경 벽 두께 위치 부근에서는 솟아오르는 형태로 발생되고 있는 결과를 확인할 수 있다. 따라서 보스의 형상변수인 벽 두께(tw), 막힘보스의 높이(h)의 영향을 받고 있는 결과를 알 수 있다.

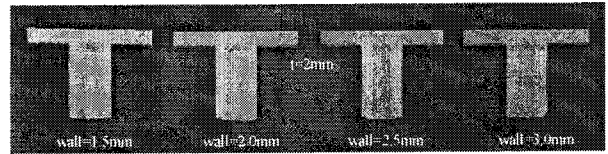
Fig. 7은 Table 1의 성형조건으로 실험 성형된 보스부분의 싱크마크 발생의 실험결과를 나타내고 있다. Fig. 7은 보스 성형편 두께(t) 2mm, 보스 벽 두께 (wt) 각각 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm에 대해 보압과 보압시간에 따라 실험 성형한 결과로 Fig. 3 및 Fig. 4의 싱크마크 발생 결과와 같이 보스 벽 두께의 영향과 사출온도, 보압 및 보압시간에 영향을 받고 있음을 확인 할 수 있다.



(a) Packing pressure 20MPa and time 1sec



(b) Packing pressure 35MPa and time 4sec



(c) Packing pressure 50MPa and time 7sec

Fig. 7 Cross-section views of different boss wall thickness for the melt temperature 215°C

3.2 보압과 보스 벽 두께 변화에 따른 싱크마크

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10의 결과는 Table 1의 성형실험 조건으로 실험 성형한 보스 벽 두께 각각 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm에 대해 보압과 보압시간에 따른 싱크마크 발생 깊이를 측정 한 결과이다. 보스 벽 두께 증가는 싱크마크 발생 깊이가 증가하며, 보압과 보압시간의 증가에 대해서 감소하는 결과를 알 수 있다.

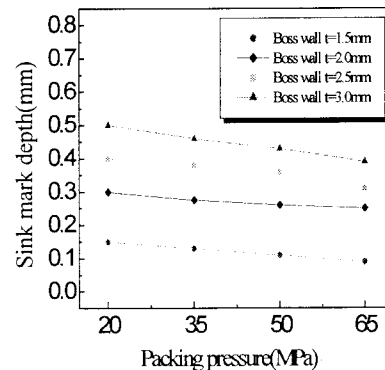


Fig. 8 Sink mark depth according to the packing pressure for the packing time 1sec and the melt temperature 215°C

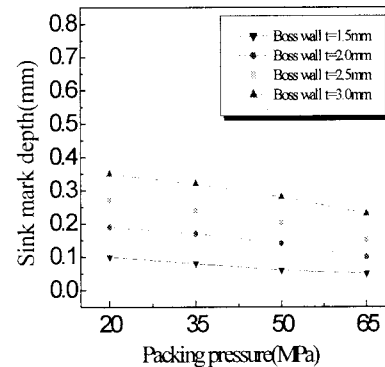


Fig. 9 Sink mark depth according to the packing pressure for the packing time 4sec and the melt temperature 215°C

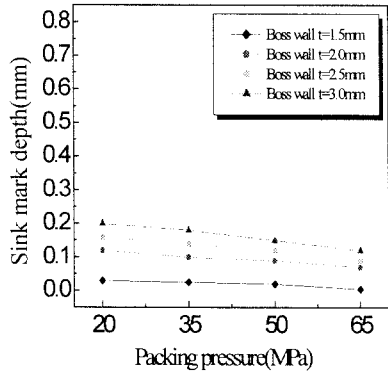


Fig. 10 Sink mark depth according to the packing pressure for the packing time 7sec and the melt temperature 215°C

Table 3 Sink mark depth for each of close boss heights

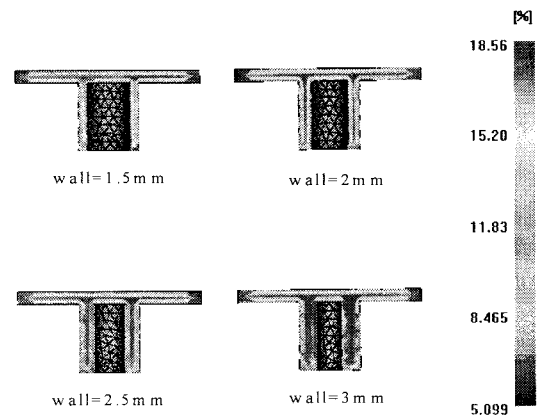
Packing time(sec)	Packing pressure (MPa)	Boss wall thickness(mm),(%)			
		1.5	2.0	2.5	3.0
1	20-65	0.15-0.09 (10.0-6.0)%	0.30-0.25 (15-12.5)%	0.40-0.31 (16-12.4)%	0.50-0.39 (16.67-13.0)%
4	20-65	0.10-0.05 (6.66-3.33)%	0.19-0.13 (9.5-6.5)%	0.27-0.18 (10.8-7.2)%	0.36-0.24 (12.0-8.0)%
7	20-65	0.03-0.005 (2.0-0.33)%	0.12-0.07 (6.0-3.5)%	0.16-0.09 (6.4-3.6)%	0.2-0.12 (6.67-4.0)%

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10의 결과인 Table 3에서와 같이 보압의 증가에 대해 보스 벽 두께 1.5~3mm사이에서 보압시간 1sec일 때 2.5%~4.0% 싱크마크 발생 깊이가 감소하고, 보압시간 4sec일 때 3.0~4.0%, 7sec일 때 1.67~2.8%감소한 것을 나타낸다. 보압시간에 대해서는 1sec와 4sec의 경우를 비교하면 벽 두께 1.5~3.0mm사이에서 2.67~6.0%감소하며, 7sec의 경우는 5.67~10.0% 감소되는 결과를 확인할 수 있다. 이것은 보압 증가에 따라 싱크마크 발생 깊이는 감소하며, 또한 보압시간이 증가함에 따라 더 크게 감소되는 결과를 나타내고 있다.

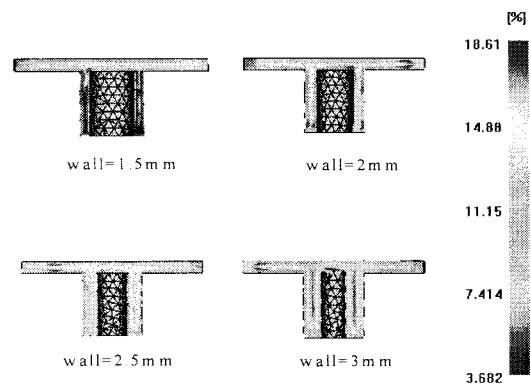
Fig. 8, Fig. 9 및 Fig. 10에서 보스 벽 두께(tw) 각각 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm에 있어 성형의 살 두께(t) 2mm에 대한 보스 형상비 (tw/t)로 나타내면 각각 75(%), 100(%), 125(%), 150(%에 해당한다. 보스의 형상비(thickness ratio) 75%에서 가장 적게 발생하였고, 형상비 100% 이상에서 크게 발생되어지는 결과를 알 수 있다. 따라서 보스의 벽 두께 증가는 막힘 보스 높이와 같이 싱크마크 깊이를 증가시키며, 보압과 보압시간의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타낸다.

3.3 보스 벽 두께 변화와 체적수축

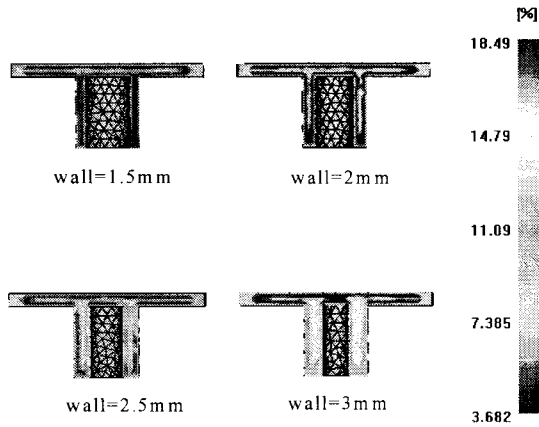
보스 벽 두께 부분의 싱크마크 발생에 대한 체적수축과의 관계를 확인하기 위해 성형시험편과 같게 유한요소해석 모델을 만들고 유동해석을 실시하였다. 성형해석에는 MOLD FLOW INSIGHT을 사용하였으며 해석조건은 Table 1 및 2와 동일하게 설정하고 해석한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14의 결과는 보압과 보압시간 변화에 따른 보스 벽 두께 직 상부 성형표면 부분의 체적수축 결과를 나타내고 Table 4에 정리하였다.



(a) Volumetric shrinkage for the packing pressure 20MPa and time 1sec.



(b) Volumetric shrinkage for the packing pressure 35MPa and time 4sec.



(c) Volumetric shrinkage for the packing pressure 50MPa and time 7sec

Fig. 11 Cross-section views of boss walls for each of packing pressures and times, and melt temperature 215°C by the packing simulation

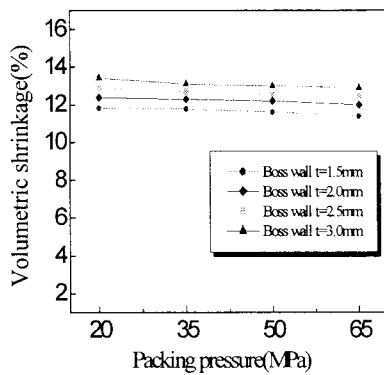


Fig. 12 Vol. shrinkage according to the packing pressure (1sec, 215°C) by the packing simulation

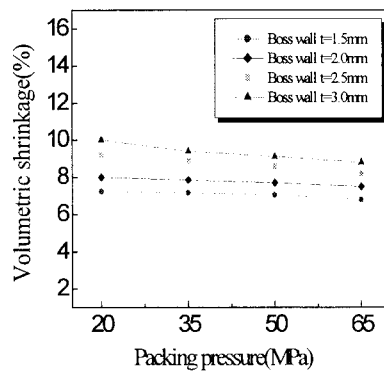


Fig. 13 Vol. shrinkage according to the packing pressure (4sec, 215°C) by the packing simulation

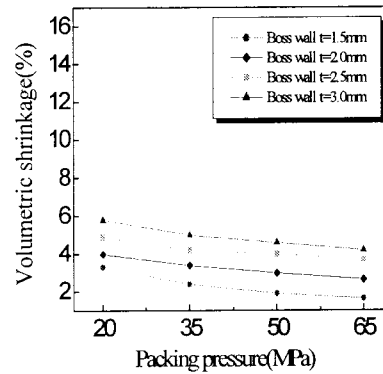


Fig. 14 Vol. shrinkage according to the packing pressure (7sec, 215°C) by the packing simulation

Table 4 Vol. shrinkage(%) for each of close boss heights

Packing time(sec)	Packing pressure (MPa)	Boss wall thickness(mm) Vol. shrinkage(%)			
		1.5	2.0	2.5	3.0
1	20-65	11.83-11.39(%)	12.40-12.2(%)	12.90-12.45(%)	13.43-12.9(%)
4	20-65	7.24-6.80(%)	8.0-7.5(%)	9.20-8.2(%)	10.0-8.8(%)
7	20-65	3.32-1.64(%)	4.0-2.65(%)	4.9-3.7(%)	5.8-4.2(%)

Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14의 보스 벽 두께에 대한 체적수축 발생 결과인 Table 4와 보스 벽 두께에 의한 싱크마크 발생 깊이의 결과인 Table 3과 비교하면, 보압시간 1sec에서 4sec로 증가시켰을 때 2.67~6.0%의 싱크마크 발생 감소에 대해서 3.43~4.7% 체적수축이 감소하였다. 또한, 7sec로 증가할 때는 5.67~10.0% 싱크마크 발생 감소에 대해서 7.63~9.75% 체적수축이 감소함을 비교할 수 있다. 따라서 성형공정변수인 보압과 보압시간의 증가는 보스 벽 두께 직 상부 성형표면의 체적수축을 감소시켜 발생하는 싱크마크 깊이를 감소시키게 되며, 보스 벽두께 증가로 인해 체적수축이 증가되어 싱크마크 깊이를 증가시키게 되는 결과를 확인할 수 있다.

4. 결론

보스 벽 두께가 싱크마크 발생에 미치는 영향에 관해 성형실험과 성형해석을 실시하였다. 보스의 형상에 대한 변수로 보스 벽 두께(t_w), 성형품의 살두께(t), 막힘보스의 높이(h), 수지용융온도(T)를 결정

하고, 성형공정조건인 보압, 보압시간, 수지 용융온도에 따라 보스 설치로 인해 성형표면에 나타나는 싱크마크 발생 결과에 있어서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 보스가 있는 성형표면의 싱크마크 발생은 보스 벽 두께, 성형 살두께, 막힘 보스의 높이 등은 보스의 형상변수에 영향을 받으며 이들의 증가는 싱크마크 발생을 증가시키게 되고, 보스의 형상비 (tw/t)가 75(%)일 때 가장 적은 싱크마크 발생을 나타내며, 형상비 100(%)이상에서 크게 발생하는 결과를 확인할 수 있었다.

2. 보스의 형상변수인 벽 두께의 영향으로 보스의 중심부근이 솟아오르는 봉우리 형태로 싱크마크가 발생되고 보스 벽 두께 직 상부는 중심부근보다 크게 가라앉는 골을 형성하면서 발생되나, 형상변수인 막힘보스 높이의 영향에 있어서는 반대로 보스 중심부근이 가라앉은 골을 형성하면서 발생되며 보스의 외경 벽 두께 위치 부근에서는 솟아오르는 형태로 싱크마크가 발생되고 있는 결과를 확인할 수 있었다.

3. 보스의 벽 두께의 형상비로 인해 발생하는 싱크마크는 성형공정공정변수의 영향을 받으며 보압과 보압시간을 증가시켰을 때 싱크마크 발생 부분의 체적수축을 감소시켜 결국 싱크마크 발생을 감소시키는 결과를 확인할 수 있었다.

참고문헌

- (1) R. A. Malloy, S. A. Oroth, and E. S. Arnold "Self Threading Screw Boss Design" pp. 744~748, ANTEC '85.
- (2) 김현필, 김용조, "충전과 보압과정이 사출성형 공정에 미치는 영향에 관한 연구" 한국공작기계 학회지, Vol. 11, No.4, pp.44~53, 2002.
- (3) 김현필, 김용조, "보스부분 사출성형의 싱크마크 발생에 관한 연구" 한국금형공학회 동계학술대회 Journal of the KSDME, Vol.1, No.1, 2007.
- (4) Linhuo Shi and Mahesh Gupta, "Empirical Equations for Predicting Sink Mark Depth in a Rib- Reinforced Plastic Part", pp. 815 ~ 819, ANTEC 1999.
- (5) M. J Liou, D. M. Ramachandra and K. Ishii, "Sink Mark Study in Injection Molded Parts", pp. 288 ~ 291, ANTEC 1990.