

원통형 플라스틱 성형품의 싱크 마크를 최소화하기 위한 사출성형 조건의 최적화

권윤숙[†] · 제덕근 · 정영득

부경대학교 대학원 · 제산정공 · 부경대학교 기계공학부
(2007. 12. 28. 접수 / 2008. 3. 28. 채택)

Optimization of injection molding to minimize sink marks for cylindrical geometry

Yun-Suk Kwon[†] · Duck-Keun Je · Young-Deug Jeong

Graduate school of pukyung national university · Jesan presion mold · Pukyung national university
(Received December 28, 2007 / Accepted March 28, 2007)

Abstract : This paper describes the optimization of injection molding conditions to minimize sink marks. Sink marks, which refer to a small depression on the surface opposite a thick wall thickness, are often encountered in injection molded plastic parts. Part geometry, material properties and processing conditions during injection molding can affect the sink mark depth. We designed the runner system which is possible balanced filling to cavities using CAE program and then obtained optimal processing conditions by Taguchi's Robust Design technique. By actual injection molding using optimized mold and molding conditions, it confirmed that sink mark depth decreased zero compared to 1mm level in the conventional mold and process.

Key Words : Sink mark, Taguchi's method, Filling balance, Volumetric shrinkage, ABS, S/N ratio

1. 서 론

일반 플라스틱 재료에 대한 사출 성형공정, 성형품의 잔류응력, 수축 및 성형품의 품질에 관한 연구는 활발히 진행되어 오고 있다⁽¹⁾. 성형품질에 관한 것으로서 성형품에서 두꺼운 부분이 있을 때 두꺼운 부분이 완전히 고화되기 전에 게이트가 고화되는 경우와 금형설계상 스프루, 러너 및 게이트의 위치가 적적하지 않아 두꺼운 부위까지 보압을 전달하지 못하게 되는 경우에 싱크마크가 발생한다^(2,3).

본 연구에서 대상으로 하는 성형품은 정수기의 필터 제품으로 정밀 사출성형공정을 통하여 제조되며 구조는 $\phi 17, 260\text{mm}$ 긴 원통 구조를 가지고 있으며, 정수되어진 물이 빠져 나올 수 있도록 구멍이 있는 것이 특징이다. 이를 사출성형 하는데 있어서 기존의 공정에서는 싱크마크가 눈에 띄게 많이 발생하는 것을 최소화 하고자 실험계획법을 이용하여 최소화 할 수 있는 최적의 사출 성형조건을 찾으려고 하는 것이다.

2. 실험계획법에 의한 공정 최적화

2.1 공정 해석

본 연구는 사출성형에 있어서 금형의 캐비티 말단까지 수지가 유입하는지, 즉 완전충전이 가능 한 지가 중요하며 완전충전이 되더라도 용융수지가 게이트에서 제품의 끝단까지 흘러들어 갈 때 동시충전이 중요하다⁽⁴⁾.

또한 동시충전이 되고 난 후의 부품의 품질에 영향을 미치는 인자가 어떤 것들이 있는지를 조사하는 것이 중요한 요소이다. 첫 단계에서는 기존의 성형공정조건으로 해석을 실행 한 후 싱크마크와 연관되어 있는 인자들의 영향을 다구찌 실험계획법으로 분석하였다.

러너와 게이트는 대칭적인 형상의 동시충전이 가능하게 하기위하여 Fig. 3과 같이 기존의 성형 해석용 모델링을 게이트의 크기를 각각 $\phi 0.8, \phi 0.9$, 스프루와 러너의 크기를 $\phi 4 \times 100\text{mm}, \phi 7 \times 130\text{mm}$ 이용하여 우선 시뮬레이션 하였으며, Fig. 4와 같이 게이트의 형상과 크기를 $\phi 1$ 로 수정하여 시뮬레이션하여 제품의 싱크마크에 영향

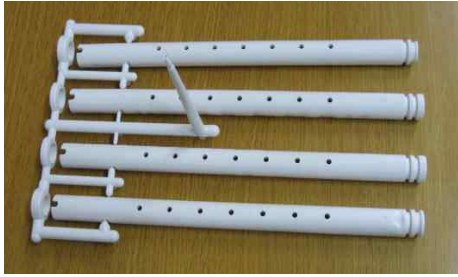


Fig. 1 Parts for central pipe



Fig. 2 Detailed sink mark for pipe

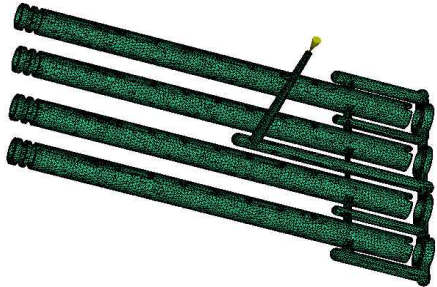


Fig. 3 Solid molding for central pipe

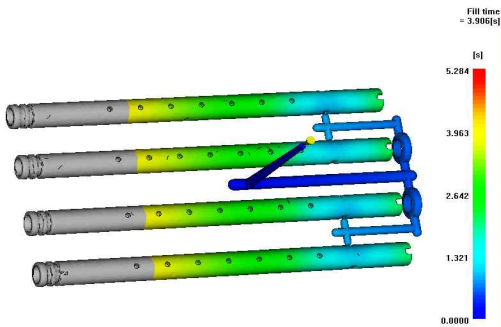


Fig. 4 A molding for central pipe after modification gate

을 미치는 인자를 선정하였다.

2. 2 사출성형 공정 최적화

본 연구에서는 주어진 조건을 최적화하는 데 소요시간을 최소화하기 위해 다구찌 실험계획법을 사용한다. 품질특성치가 싱크마크 이므로 망소특성에 해당되며 SN비는 식(1)에 의해서 계산된다^(5,6,7). 각 인자에 대한 수준(level)은 Table 1에서와 같은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 각각 2수준으로 정하였으며, 성형품의 품질 특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 싱크 지수(sink index)를 다구찌 실험의 데이터로 사용하였다. 싱크 지수에 영향을 미치는 성형조건은 Table 2에서와 같이 게이트의 형상, 사출시간, 용융 수지온도, 금형온도, 성형조건들을 배치하기 위한 직교표는 $L_{12}(2^6)$ 표로 선정하여 성형조건을 할당하였다.

$$SN_i = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) \quad (1)$$

싱크지수에 대한 값과 SN비를 구한 값은 Table 3과 같다. 본 논문에서는 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 게이트의 형상(A)와 사출시간(B)이 실험에 가장 유의한 인자로 작용 한다는 것을 알 수 있다. Table 3에서와 같이 싱크 지수를 부품의 5곳을 선정하여 품질의 특성치로 정하였다. Table 4에 나타난 것과 같이 가장 싱크 지수가 적은 최적 공정은 게이트의 형상(A₁), 사출시간 10초(B₁), 금형의 온도 60°C(E₁), 수지의 온도 235°C(F₁) 이다. 최적공정을 적용시켜 시뮬레이션한 결과를 Fig. 6에서 나타내고 있다.

3. 최적조건에 의한 사출성형 시뮬레이션

본 연구에서는 실험적 모델을 사용하여 다구찌 실험계획법의 하나인 파라미터 설계(parameter design)를 이용하기로 한다. 무한하게 많은 선택조건에 대해 해석을 수행하게 되면 많은 시간과 비용이 소요되고 남기가 지연 될 수 있다. 따라서, 해석에 대한 경우의 수를 최소화하고 주어진 조건을 최적화하는 데 시간을 최소화 하기 위해 실험계획법을 사용했다.

Table 1 Material properties of ABS

Conductivity	0.15	W/m/degC
Specific Heat	1968	J/kg/degC
Melt Density	0.9283	g/cm ³
Ejection Temperature	89	deg.C

Table 2 Control factors and level

Control factors		Level	
		1	2
Type of gate shape (A)		current	modification
Injection time (B)	sec	10	5
Mold temperature (E)	℃	60	55
Melt temperature (F)	℃	235	230

Table 3 S/N ratio for Injection molding of central pipe

A	B	e	e	E	F	y1	y2	y3	y4	y5	SN ratio
1	1	1	1	1	1	1.332	0.4132	0.5718	0.8519	1.322	0.22703
1	1	1	1	1	2	1.521	1.018	1.014	1.269	1.48	-2.13715
1	1	2	2	2	1	1.709	1.021	0.9493	1.139	1.517	-2.28549
1	2	1	2	2	1	1.878	1.451	1.438	1.622	1.893	-4.44496
1	2	2	1	2	2	1.769	1.365	1.418	1.539	1.846	-4.07545
1	2	2	2	1	2	1.937	1.531	1.525	1.674	2.099	-4.94979
2	1	2	2	1	1	1.952	1.349	1.454	1.697	1.919	-4.56566
2	1	2	1	2	2	1.544	1.211	1.128	1.335	1.631	-2.78682
2	1	1	2	2	2	1.690	1.188	1.117	1.349	1.448	-1.94917
2	2	2	1	1	1	2.039	1.577	1.758	1.883	2.087	-5.47437
2	2	1	2	1	2	2.031	1.674	1.712	1.802	1.878	-5.21981
2	2	1	1	2	1	2.110	1.665	1.646	1.774	1.931	-5.26584

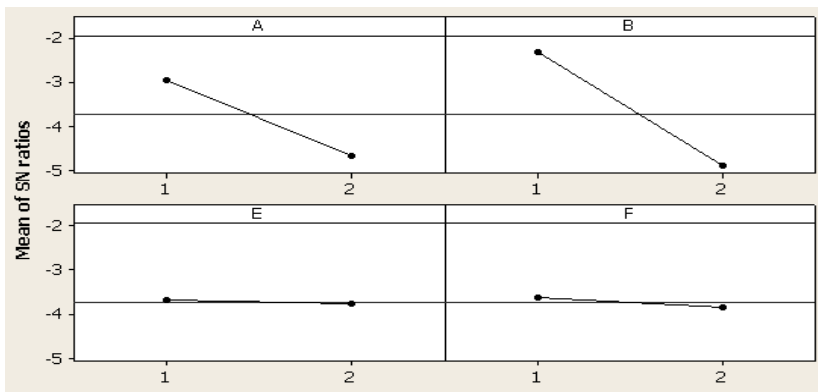


Fig. 5 Main effects for design variable

Table 4 Analysis of variance for design variable

	DF	SS	MS	F
A	1	8.051	5.861	5.861*
B	1	16.181	16.181	16.181**
error	8	7.376	7.376	0.922
Total	10	31.609		

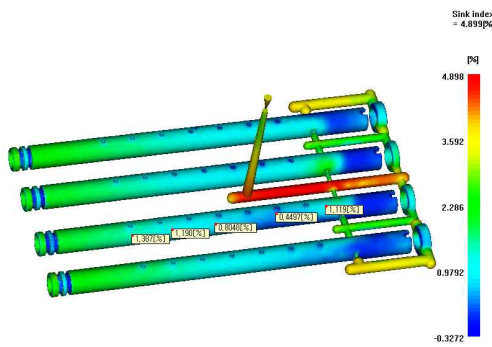


Fig. 6 Adopted optimization process for sink index for central pipe

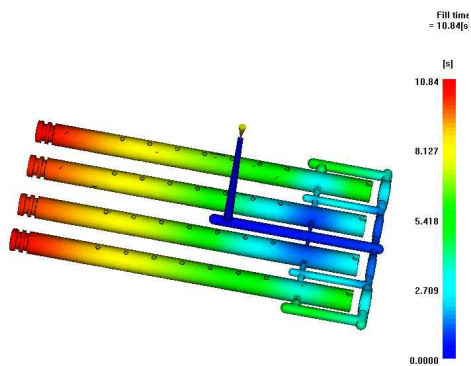


Fig. 7 Adopted optimization process for fill time for central pipe

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기 위하여 Fig. 6과 같이 3차원 모델링 도구 (Computer Aided Engineering)를 활용하였고 사출 성형해석을 위한 시뮬레이션 도구로는 Moldflow® 상용 소프트웨어로 모의실험을 하였으며, 충전, 보압 해석을 하였다. Tetrahedral 메쉬를 이용하여 싱크지수 예측을 수행하였다. 그리고 싱크지수가 가장 적은 성형 조건을 찾을 수 있었으면,

그 공정을 실제의 시험 사출에 적용하였다.

다구찌 실험계획법을 적용하여 시뮬레이션 한 후 시험 사출을 한 결과 싱크 마크를 최소화 하기 위해서는 Fig. 7과 낮은 압력으로 서서히 사출 하는 것이 싱크 마크를 줄이는 것임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기하학적으로 균형을 갖춘 러너를 가진 다수 캐비티 사출에서 균형충전과 싱크마크를 해결하기위한 실험연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 싱크마크를 줄이기 위한 성형공정 조건에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 다구찌 실험계획법을 이용 하였으며 그 결과 유의한 성형조건은 게이트의 형상(A)과 사출시간(B)을 알 수 있었다.
- (2) 싱크마크 최소화하기 위한 최적 공정조건은 게이트 개수 4개(A₁) 사출시간 10초(B₁), 금형의 온도 60℃(E₁), 수지의 온도 235℃(F₁)이다.
- (3) 위의 조건으로 실험을 한 결과 낮은 압력으로 서서히 사출 하는 것이 싱크 마크를 줄이는 것임을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 권윤숙, "실험계획법을 이용한 사출 성형공정의 최적화에 관한 연구", 부경대학교, pp. 9-10, 2002
- (2) 정영득, 구본홍, "사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계", 인터비전, pp. 250-252, 2005
- (3) R. Y. CHANG and B. D. TSAUR "Experimental and Theoretical Studies of Shrinkage, Warpage, and Sink Marks of Crystalline Polymer Injection Molded Parts", Polymer engineering and science, Mid-August, Vol. 35, No. 15, pp. 1222-1230, 1995
- (4) Kevin Alam, Musa R. Kamal, "A robust optimization of injection molding runner balancing," Computer and Chemical

Engineering, Vol. 29, pp. 1934-1944, 2005

- (5) Douglas C. Nontgomery "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, Inc, pp. 218-246, 2001
- (6) 이승훈, "Minitab을 이용한 공학통계 자료 분석", 이레테크, pp. 727-775, 2006
- (7) 박성현, "현대실험계획법", pp. 423, 2002