

# 가스사출성형을 이용한 휴대용 화장품 보관함의 일체화 성형 연구

이 호 상\*, 류 연 선\*\*

## A Study on the Unified Molding of a Portable Cosmetic Chest Using Gas-Assisted Injection Molding

Ho-Sang Lee, Yeon Sun Ryu

Key Words: Gas-Assisted Injection Molding(가스사출성형), Sink Mark(싱크마크), Gas Channel(가스채널), Cycle Time(사이클시간), Design of Experiments(실험계획법)

### Abstract

The gas-assisted injection molding process is often perceived to be unpredictable, because of the extreme sensitivity of the gas. Since a slight change in design or process parameters can significantly change the resulting gas penetration, few designers and molders have the level of experience with the new gas-assisted injection molding process required for the development of new parts. This paper is concerned with the unified molding for a thick cosmetic chest by using gas-assisted injection molding. CAE analysis was carried out to design the part and the gas channel without inducing sink marks. And based on the part weight measurement, the processing parameters to control gas penetration percentage were chosen through the method of design of experiments. A thick cosmetic chest was successfully produced using the gas assist technology. The sink mark issue associated with the conventional injection molded parts was resolved. Weight savings and cycle-time reduction were also achieved.

### 1. 서 론

본 연구에서 적용한 휴대용 화장품 보관함은 디자인 특성상 두께가 6mm이고 화장품을 종류별로 구분하여 보관할 수 있도록 칸막이용 리브가 설치되어 있다. 일반 사출성형법을 적용할 경우 수축과 싱크마크가 심하게 발생하여 표면불량이 될 뿐만 아니라 수지 사용량이 과다하고 중량이 커 휴대하기 불편한 문제가 있다. 그러므로 기존 생산에서는 각각 두께 2mm의 내피와 외피

를 별도로 사출성형하고 내피와 외피 사이에 2mm의 내부 공간을 갖도록 조립하여 전체적으로는 6mm의 두께를 갖는 화장품 보관함을 제작하였다. 그러나 각각의 금형과 별도의 사출성형기를 사용하여 성형하고, 다시 조립하는 과정에서 제조원가가 크게 상승하고 생산성이 낮아 소요 수량을 만족시키는데 한계를 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 가스사출성형을 이용하여 내피와 외피를 일체형으로 하면서 싱크마크 문제를 해결한 휴대용 화장품 보관함을 개발하는데 목적을 두고 있다. 가스사출성형은 플라스틱 성형 공정 중에 질소가스를 성형품에 주입하는 새로운 공법으로 일반 사출성형법에서 해결하지 못했던 잔류응력에 의한 변형, 수축 및 싱크마크를 감소시키는데 큰 효과를 발휘할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

\* 충주대학교 기계설계학과

\*\* 충주대학교 대학원

그러나 가스사출성형의 단점은 가스채널의 배치와 성형조건 선정이 매우 어렵다는 것이다. 지금까지 CAE 해석 또는 실험계획법을 활용하여 공정변수가 수지층 두께, 가스 침투길이 등에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 있었다<sup>(3~8)</sup>. Yang은 제품의 두께에 대한 리브의 폭과 필렛의 형상이 성형성과 강성에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며<sup>(9)</sup>, Ahn은 수지가 충전된 후 저압의 공기를 주입하여 내부 공동을 생성시키는 PFP 공정에서 실험계획법을 사용하여 공정조건이 공동의 성장길이에 미치는 영향을 연구하였다.<sup>(10)</sup> 그리고 Lu는 실험계획법을 사용하여 가스 팽거림 현상에 가장 중요한 인자는 수지 충전량, 가스 지연시간, 가스압력을 주장하였으며, 아울러 가스채널의 형상이 팽거림에 미치는 영향을 연구하였다.<sup>(11)</sup> 조재성은 TV 하우징에 가스 사출성형을 적용하여 외관품질, 강성보강, 사이클 시간 단축의 효과를 설명하였다.<sup>(12,13)</sup>

본 연구에서는 CAE 해석을 적용하여 내피와 외피를 일체화하여 성형할 수 있도록 제품 및 가스채널을 설계하였다. 또한 다구찌 방법을 적용하여 공정조건을 도출하였으며, 확인실험을 통해 개발결과를 검토하였다.

## 2. 가스채널 설계

가스사출성형을 적용하기 위해서는 기존의 외관 디자인을 만족하는 범위에서 효과적인 가스 침투를 고려하여 제품과 가스채널을 설계하는 것이 중요하다. 본 연구에서의 적용 제품은 261.46mm×190.21mm×125.63mm인 박스형이며 내부에 2개의 교차 칸막이가 설치되며, 한쪽면에는 서랍이 조립될 수 있도록 공간을 갖고 있다. 두께 6mm를 균일하게 설계할 경우 면적이 넓은 평면부위에 균일하게 가스를 침투시키기 어렵고 수지 사용량이 많은 단점이 있다. 그러므로 Fig. 1과 같이 외피와 내피의 두께를 각각 2mm로 하고 그 사이에 2mm의 틈새를 갖도록 하였으며, 윗부분 15.08mm 구간에서 외피와 내피가 서로 연결되는 구조로 하여 가스채널의 역할을 하면서 일체형 성형이 가능하도록 설계하였다. 본 제품에서는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 교차 칸막

이와 만나는 외벽 중앙부위 “C”에서 수축에 의한 싱크마크가 없어야 한다.

본 연구에서는 게이트 및 가스주입기구 설계를 위하여 다음의 2가지를 검토하였다. 첫 번째는 Fig. 2와 같이 4군데의 모서리와 중앙부위에 각각 높이방향으로 직경 8mm의 가스채널을 설치하고 가스 주입구와 게이트를 동일하게 한 경우(Case 1)이다. 그리고 두 번째는 동일한 가스채널을 중앙부위에만 설치하고 가스 주입구와 게이트를 동일하게 한 경우(Case 2)이다. 2가지 설계안 중에서 적절한 가스 채널을 결정하기 위해 C-MOLD<sup>(14)</sup>를 사용하여 가스사출성형해석을 수행하였으며, 사용 수지는 LG ABS HF-380 이다. 해석결과 Case 1의 경우에는 가스 주입구가 설치된 모서리와 중앙 부위에는 가스가 채워지나 교차 칸막이와 만나는 외벽 중앙부위에는 가스가 침투하지 못하였다. 반면에 중앙부위에만 가스채널을 설치한 경우(Case2)는 교차 칸막이와 만나는 외벽 부위에 가스가 효과적으로 침투하여, 교차 칸막이와 외벽이 만나는 지점에서의 가스침투길이는 가로방향면 201 mm, 세로방향면 54 mm인 것으로 나타났다. 따라서 가운데 부분에 두꺼운 교차 칸막이와 만나는 외벽에 수축과 싱크마크 발생을 방지하기 위하여 Case 2를 설계조건으로 선택하였다. Case2를 적용한 경우 체적수축율은 3.7%로서 일반 사출성형에 비하여 1/2 이상 감소하였다. 그리고 이때 가스의 체적비율은 7.4% 로서, 중량감소 및 수지절감에 기여하게 될 것으로 판단하였다.

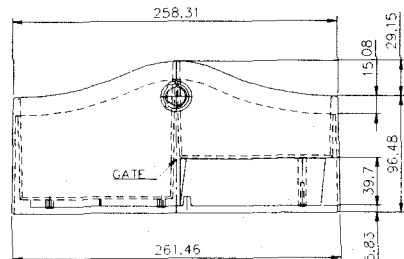


Fig. 1 Geometry and dimensions of the designed part (front view)

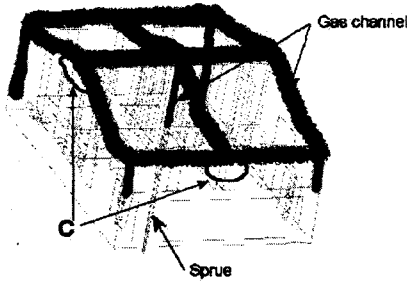


Fig. 2 Designed mold layout with gas channels

### 3. 다구찌방법을 이용한 성형조건 도출

#### 3.1 실험장치

CAE 해석 결과를 기초로 일체형 성형이 가능하도록 제품과 가스채널을 설계하고 이를 토대로 금형을 제작하였다. 그림3은 제작된 금형을 사출 성형기에 조립한 상태를 나타낸다. 본 실험에 사용된 사출기는 현대정공(모델명: SPF-350)에서 제작된 직압식 수평 사출기이며, 실험에 사용된 질소 발생장치는 바우어 컴프레서에서 제작한 모델명 SNG-1이다. 또한 실험에 사용된 압력조절 장치는 바우어 컴프레서에서 제작한 질소제어장치로써 사출기에서 입력받은 스트로크 신호로부터 가스 발생장치로부터 받은 질소가스를 주입하고 그 압력과 시간을 조절하며 네 개의 독립적인 출구로부터 각각 다른 압력과 시간을 제어할 수 있다. 가스주입을 위하여 노즐 주입방식을 사용하였으며, 이 방식은 수지의 주입구에 가스 키트를 설치하여 수지와 같은 경로를 따라서 가스를 유입시키는 것이다.



Fig. 3 Experimental setup of the injection molding machine and mold

#### 3.2 다구찌 방법의 적용

본 연구에서는 가스채널설계를 통하여 싱크마크를 해결하고 미성형이 발생하지 않는 조건하에 가스 충전량을 최대화시킬 수 있도록 가스사출성형조건을 도출하고자 하였다. 우선 가스 충전량이 많아지면 제품의 무게가 작아진다는 점에 착안하여 제품의 무게를 측정하여 목표의 특성치로 선정된 가스 충전 비율을 계산하고 다구찌 방법의 망대특성으로 간주하였다. 조절 가능한 변수로는 가스 사출에 있어서 가장 중요하다고 판단되는 수지온도, 사출시간, 가스 지연시간, 가스 압력의 네 가지 인자를 정하였고 각 인자에 대하여 세 가지 수준을 사용하였다. 실험에 사용된 인자와 각각의 수준은 Table 1과 같다.  $L_9(3^4)$  직교배열표를 작성하고 9가지 경우에 대하여 각각 3회의 반복 실험을 수행하였다. 이때 인위적인 잡음 인자를 실험에 적용시킬 수 없으므로 각 실험 순서는 직교배열표의 순서가 아닌 무작위로 진행함으로써 실험의 잡음 인자에 대한 영향으로 간주하였다. 가스를 주입하지 않은 상태에서 측정된 성형품의 무게는 540g 이었다. 가스를 주입하지 않은 성형품의 무게와 가스를 주입한 성형품의 무게차이를 계산하여 가스 충전비율을 추정하였다. 직교배열표와 실험을 통하여 얻어진 결과, 그리고 망대 특성에 대한 SN비 계산 결과는 Table 2와 같다.

서로 다른 인자들이 가스충전비율에 영향을 주는 정도는 서로 다르다. 인자효과들의 상대적 크기는 Table 1에서 나타난 각 인자수준에 대해 평균 SN비로부터 판단할 수 있다. 분산분석(ANOVA) 결과인 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 수지온도(A)와 사출시간(B)이 SN비의 변동에 중요한 역할을 한다. 그 중 인자 A는 52.9%, 인자 B는 35.5%의 기여를 한다. 그 이유는 수지의 온도와 사출시간은 수지의 점도 변화에 가장 영향을 미쳐 가스 충전 비율이 크게 달라지는 반면에, 가스 지연시간과 가스 압력은 적용 모델의 특성상 성형품의 벽 두께가 매우 커 상대적으로 미치는 영향이 작은 것으로 판단된다.

Table 2의 결과를 Fig. 4에서 그래프로 나타내었다. 그림에서 수지온도는  $A_3$ 에 해당하는

260℃, 사출시간은 B<sub>3</sub>에 해당하는 5.8초에서 SN비가 최대가 되므로 이들 값을 성형조건으로 선택하였다. 그리고 가스 지연시간과 가스 압력은 SN비에 미치는 영향이 상대적으로 작아서 Table 3과 같이 오차항에 풀링시켰다. 이때 예상되는 SN비값( $\eta_{opt}$ )과 가스 충전비율( $y$ )을 계산하면 다음과 같다.

$$\eta_{opt} = m + (m_{A_3} - m) + (m_{B_3} - m) = 15.99dB \quad (1)$$

$$y = 10^{\frac{\eta_{opt}}{20}} = 6.3 \quad (2)$$

결국 다구찌 방법에 의하여 도출한 성형조건을 적용할 경우 가스 충전비율은 6.3% 가량 됨을 예측할 수 있다.

Table 1 Factors and levels used in experiment

factors	levels		
	1	2	3
A. melt temperature (℃)	250	255	260
B. injection time (sec)	6.4	8.3	5.8
C. gas delay time (sec)	0.5	0.0	1.0
D. gas pressure (MPa)	20.67	17.22	18.94

Table 2 L9 orthogonal arrays and the measured weight

no	column no.				weight (g)			gas percentage (%)			SN (dB)
	A	B	C	D	W1	W2	W3	P1	P2	P3	
	1	1	1	1	1	522	520	521	3.33	3.70	
2	1	2	2	2	526	526	526	2.59	2.59	2.59	8.3
3	1	3	3	3	514	512	514	4.81	5.19	4.81	13.9
4	2	1	2	3	512	512	512	5.19	5.19	5.19	14.3
5	2	2	3	1	516	515	515	4.44	4.63	4.63	13.2
6	2	3	1	2	510	510	510	5.56	5.56	5.56	14.9
7	3	1	3	2	510	512	512	5.56	5.19	5.19	14.5
8	3	2	1	3	516	514	514	4.44	4.81	4.81	13.4
9	3	3	2	1	508	508	508	5.93	5.93	5.93	15.5

Table 3 ANOVA summery

factors	DOF	sum of squares	mean squares	F value
A	2.0	21.6	10.8	9.28
B	2.0	14.5	7.3	6.23
C	2.0	2.1	1.1	.00
D	2.0	2.5	1.3	.00
sum	8.0	40.8		
error	4.0	4.7	1.2	

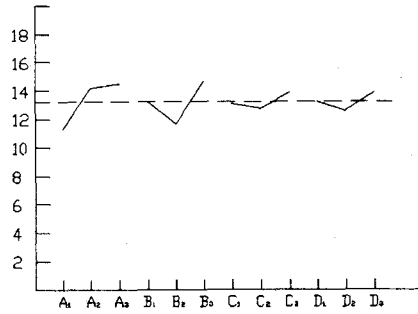


Fig. 4 SN ratio graph based on Table 2

#### 4. 가스사출성형 실험결과

다구찌 방법을 적용하여 도출한 성형조건인 수온도 260℃, 사출시간 5.8초, 그리고 가스 지연시간 1.0초, 가스압력 18.94 MPa를 적용하여 확인 실험을 수행하였다. 그 결과 성형품의 무게는 507g 으로 가스 충전 비율이 6.1%인 것으로 나타났다. 이는 다구찌 방법에서 예측한 6.3%에 매우 접근하는 결과로서 다구찌 방법에서 적용한 가법모델의 타당성을 확인할 수 있다. 또한 CAE 해석에서 예측한 가스 충전 비율은 7.4%인 것과 비교할때 약 1.3% 차이를 보이고 있으며, 해석과 실제 실험에서의 공정조건 차이가 있음을 고려할때 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 외피와 내피로 분리하여 일반 사출성형을 하고 조립하는 기존 제품의 경우 외피와 내피를 조립한 본체 중량은 648g이었음을 살펴볼 때 본체의 중량을 22% 감소시킨 것이다.

Fig.5는 가스를 주입하지 않고 일반 사출을 적용한 경우의 성형품으로 교차 칸막이와 외벽이 만나는 부분에서 심각한 수축과 함께 싱크마크가 발생하고 있음을 나타낸다. 반면에 본 연구에서 CAE해석을 적용한 제품 및 가스채널 설계 조건과 다구찌 방법을 적용하여 도출한 가스 성형조건으로 사출한 성형품은 수축 및 싱크마크가 발생하지 않았다. 그 원인을 확인하기 위하여 상부의 단면을 절단하여 측정한 결과 Fig. 6과 같이 가스채널 역할을 하는 성형품의 상부에 가스가 효과적으로 침투하고 있었으며, 특히 교차 칸막

이와 외벽이 만나는 지점에서의 가스침투길이는 가로방향면 180mm, 세로방향면 65mm 이었다. 이는 앞서 CAE해석에서 예측한 가스 침투길이 가로방향면 201mm, 세로방향면 54mm 와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있는 것이다.

한편 기존 사출성형에서 총 사이클 시간은 외피의 경우 78초, 내피의 경우에는 100초 였다. 반면에 내피, 외피를 일체형으로 한 가스 사출성형을 적용한 경우는 총 사이클 시간은 58초였다. 결과적으로 기존 사출의 내피를 기준으로 비교할 때 약 42%의 사이클 시간을 단축시킬 수 있었다.

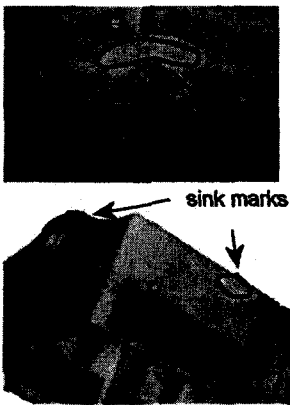


Fig. 5 Sink marks induced by conventional injection molding

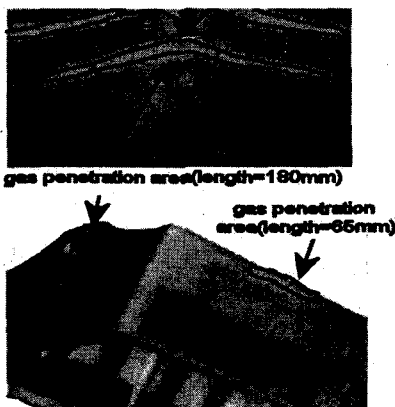


Fig. 6 Gas penetration areas by gas-assisted injection molding

## 5. 결론

가스 사출성형을 이용하여 두께가 두꺼운 박스형 제품인 휴대용 화장품 보관함의 일체화 성형에 대하여 연구하였다. 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) CAE해석을 적용하여 일체화 성형이 가능한 제품 및 가스채널을 설계하고, 교차 간막이와 외벽이 만나는 부분까지 효과적인 가스 침투를 유도하여 일반 사출성형에 비해 체적수축율을 1/2 이상 감소시키고 싱크마크가 발생하지 않도록 하였다.
- (2) 다구찌 방법을 적용하여 실험횟수를 최소화시키면서 수지온도, 사출시간, 가스지연시간, 가스압력 등 성형조건을 도출하였으며 가법모델의 타당성을 확인하였다.
- (3) 가스사출 실험결과 성형품의 가스 충전 비율은 6.1%로서 다구찌 방법에서의 예측결과 그리고 CAE해석 결과와 잘 일치하였으며, 중량은 507g으로 기존 사출성형 제품보다 22% 감소시킬 수 있었다.
- (4) 성형품의 상부에 가스가 효과적으로 침투하고 있음이 확인되었으며, 특히 일반 사출성형에서 심하게 발생한 싱크마크 문제를 해결할 수 있었다.
- (5) 가스사출성형시 총 사이클시간은 58초로 기존의 사출성형에 비하여 약 42% 단축시킬 수 있었다.

## 후기

본 논문은 중소기업청 기술혁신개발사업의 위탁연구과제로 수행된 것으로서 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Shah, S., 1991, "Gas Injection Molding : Current Practices", SPE Technical Papers, Vol. 37, pp.1494~1506.
- (2) Zheng, T., 1994, "An Investigation of Gas-Assisted Injection Molding : Effects of Process

- Variables on Gas Bubble Formation", Ph.D. dissertation, The Ohio State University.
- (3) Barton, K.S., and Trung, L.S., 1994, "General Design Guidelines for Gas-Assisted Injection Molding using a CAE Tool", SPE Technical Papers, Vol. 40, pp.421~423.
- (4) Kapila, V., Schott, N.R. and Shah, S., 1996, "An Experimental Study to Investigate the Influence of Processing Conditions in the Gas-Assisted Injection Molding Process", ANTEC '96, pp.649-654.
- (5) Jong, W-R., Huang, J.-S. and Chang, Y.-S., 1996, "Experimental Studies of Design Guidelines for Gas-Assisted Injection Molding Process", ANTEC '96, pp.668-673.
- (6) Chen S.C., Hsu, K.S. and Huang, J.S., 1995 "Experimental Study on Gas Penetration Characteristics in a Spiral Tube during Gas-Assisted Injection Molding", Ind. Eng. Chem. Res., Vo. 34, pp.416-420.
- (7) Chen, S.C., Hsu, K.S., and Jeng, M.C., 1994, "Numerical Simulations and Experimental Studies of Gas-Assisted Injection Molding", SPE Technical Papers, Vol. 40, pp.418.
- (8) Yang, S.Y., and Liou, S.J., 1994, "Influence of Processing Parameters on quality of Gas-Assisted Injection Molded Parts", SPE Technical Papers, Vol. 40, pp.409.
- (9) Yang, S.Y., Liau, W.N., 1996, "A Study of Rib Geometry for Gas-Assisted Injection Molding", Polymer Engineering and Science, Vol. 36, pp.2824~2831.
- (10) Ahn, K.H. and Kim, D.-H., 1998, "Mechanism of Void Growth in the Partial Frame Process", Polymer Engineering and Science, Vol.38, No.10, pp.1708-1715.
- (11) Lu, X., Chiang, H.H., Fong, L. and Zhao, J., 1999, "Study of Gas Fingering Behavior in Gas-Assisted Injection Molding", Polymer Engineering and Science, Vol.39, No.1, pp.62-77.
- (12) 조재성, 백영만, 1999, "가스사출성형을 이용한 하우징 성형품의 표면향상에 관한 연구", 한국표면공학회지, 제32권, 제5호, pp.618-624.
- (13) 조재성, 1999, "박스형태 제품의 가스 사출성형", 한국소성가공학회지, 제8권, 제3호, pp. 276-283.
- (14) C-Mold Reference Manual, 1995, Advanced CAE Technology Inc., Ithaca, N.Y.