

## 가스사출성형을 이용한 두꺼운 박스형 제품의 일체화 성형 연구

이호상\*

(2001년 5월 30일 접수)

### A Study on the Unified Molding for a Box Shaped Thick Part Using Gas-Assisted Injection Molding

H. S. Lee

#### 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.

**Key Words** : Gas-Assisted Injection Molding, Sink Mark, Gas Channel, Cycle Time,  
Design of Experiments

#### 1. 서론

최근의 외장형 사출성형 제품은 부드럽고 안정감 있는 디자인 특성을 강조하기 위하여 매우 두꺼운 형상을 요구하는 경우가 많다. 그러나 기존의 사출성형 방법에서는 두께가 크거나 보강 리브가 설치되는 부분에는 체적

수축율의 증가에 따른 싱크마크가 발생하여 외관 표면 품질에 문제가 되는 경우가 많다. 이러한 이유로 하나의 두꺼운 제품을 생산하기 위하여 2~3개 이상의 부품으로 분할하여 성형한 후 별도의 조립 공정을 거쳐 제품을 완성하는 것이 일반적이다.

본 논문에서 적용한 두꺼운 박스형 제품은 휴대용 화

\* 충주대학교 기계설계학과

장품 보관함으로서 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 Fig. 1과 같이 각각 두께 2mm의 내피와 외피를 별도로 사출성형하고 내피와 외피사이에 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 논문에서는 가스사출성형을 이용하여 내피와 외피를 일체형으로 하면서 싱크마크 문제를 해결한 휴대용 화장품 보관함을 개발하는데 목적을 두고 있다. 가스사출성형은 플라스틱 성형 공정 중에 절소가스를 성형품에 주입하는 새로운 공법으로 일반 사출성형법에서 해결하지 못했던 잔류응력에 의한 변형, 수축 및 싱크마크를 감소시키는데 큰 효과를 발휘할 수 있다.<sup>(1,2)</sup> 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, 가스압력임을 주장하였으며, 아울러 가스채널의 형상이 팽거림에 미치는 영향을 연구하였다.<sup>(11)</sup> 조제성은 TV 하우징에 가스 사출성형을 적용하여 외관품질, 강성보강, 사이클 시간 단축의 효과를 설명하였다.<sup>(12,13)</sup> 그러나 일반 사출성형과는 달리 가스 사출성형은 수지와 가스의 이종 재료가 온도와 압력변화를 겪는 동일 캐비티 내에서 유통하기 때문에 그 과정을 예측하기가 어렵고 아직까지 연구해야 할 부분이 많다고 할 수 있다. 특히, 가스 사출성형은 점성이 없는 가스의 사용으로 인해 수지의 성질, 제품 및 금형 설계조건, 다양한 성형조건이 약간만 변해도 가스 침투길이, 성형품의 벽두께 등이 크게 달라지므로 적용 제품에 따라 응용기술에 많은 차이가 있다.

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

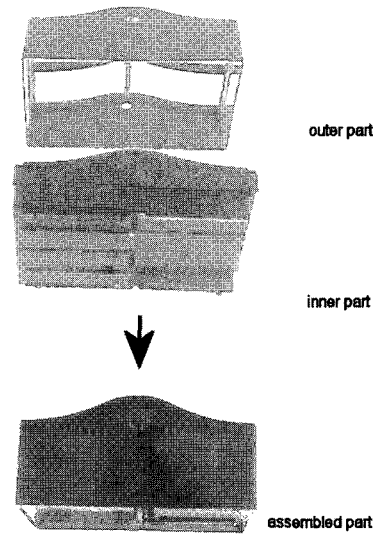


Fig. 1 Conventional manufacturing process for a cosmetic chest

## 2. 가스채널설계

가스사출성형을 적용하기 위해서는 기존의 외관 디자인을 만족하는 범위에서 효과적인 가스 침투를 고려하여 제품과 가스채널을 설계하는 것이 중요하다. 본 논문에서의 적용 제품은 261.46mm×190.21mm×125.63mm인 박스형이며 내부에 2개의 교차 칸막이가 설치되며, 한쪽 면에는 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. 2와 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. 3에서 나타낸 바와 같이 교차 칸막이와 만나는 외벽 중앙부위 “C”에서 수축에 의한 싱크마크가 없어야 한다.



이와 외벽이 만나는 지점에서의 가스침투길이는 가로방향면 201 mm, 세로방향면 54mm인 것으로 나타났다. 따라서 가운데 부분에 두꺼운 교차 칸막이와 만나는 외벽에 수축과 싱크마크 발생을 방지하기 위하여 Case 2를 설계조건으로 선택하였다.

Case 2의 설계조건이 가스주입이 없는 기존 사출성형에 비하여 싱크마크의 원인인 체적수축을 차이가 어느 정도 인지를 검토할 필요가 있다. Fig. 6은 일반 사출성형에서의 교차 칸막이와 외벽이 만나는 부분(Fig. 3의 "C"부분)에서의 시간에 따른 캐비티 압력을 나타낸 것으로 약 10초 후에는 0으로 떨어짐을 볼 수 있다. 이 경우 보압유지시간이 20초임에도 불구하고 10초 이후에는 보압이 전혀 전달되지 못하고 있음을 알 수 있다. 이로 인하여 동일한 지점에서의 시간에 따른 체적수축을 추이를 나타낸 Fig. 7에서 보는 바와 같이 체적수축율이 크게 증가하여 10초에서 약 8%가 됨을 알 수 있다. 결과적으로 체적수축율 분포를 나타낸 Fig. 8에 나타난바와 같이 전체적으로 상부에서의 체적수축이 크며, 특히 칸막이와 측벽이 만나는 부위에서 최대 8.6%의 체적수축이 발생하여 수축 및 싱크마크를 피할 수 없게 된다.

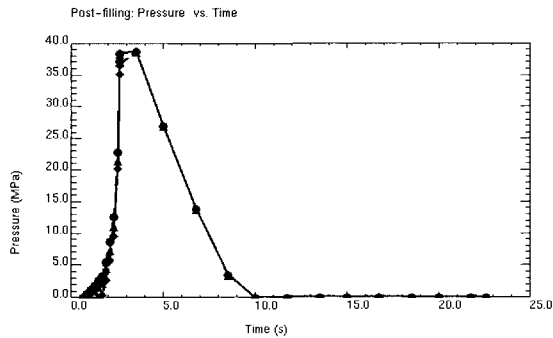


Fig. 6 Cavity pressure profile with time for conventional injection molding

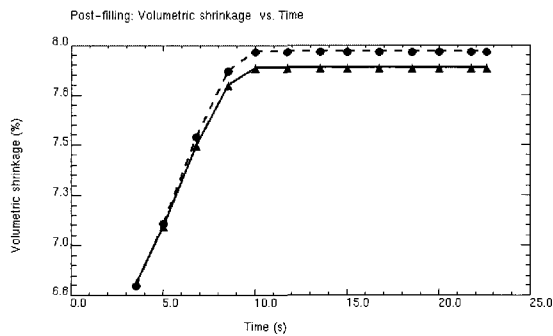


Fig. 7 Volumetric shrinkage profile with time for conventional injection molding

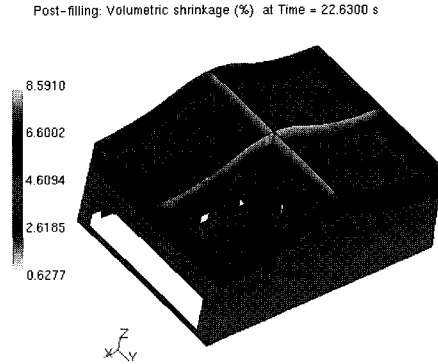


Fig. 8 Volumetric shrinkage distribution for conventional injection molding

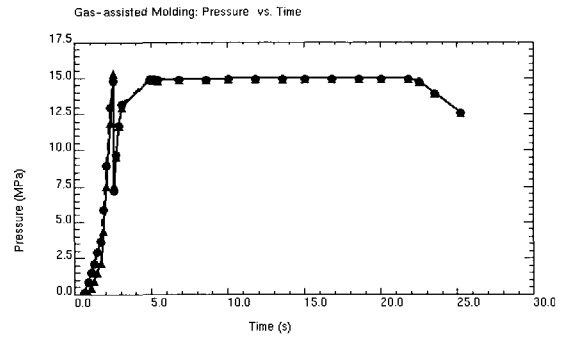


Fig. 9 Cavity pressure profile with time for gas-assisted injection molding

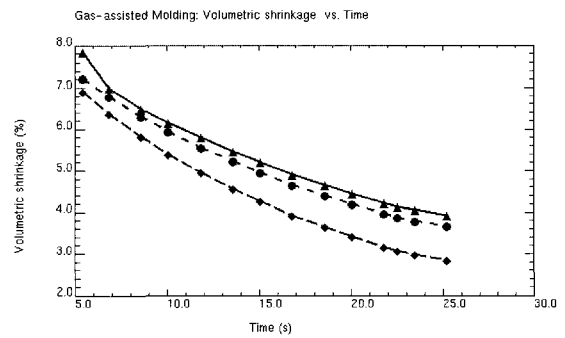


Fig. 10 Volumetric shrinkage profile with time for gas-assisted injection molding

한편 가스 사출성형에서는 싱크마크가 발생하기 쉬운 부분인 리브나 보스에 가스 채널을 연결하여 질소 가스가 유입 되도록 한다. 이때 가스 채널에 중공부가 형성되면서 수축을 줄이거나 없앨 수 있는 것이다. 즉 수지의 중심부가 가장 뜨거우므로 이곳에 중공부가 형성되고, 이로 인해 내부 중공부가 외부보다 빠르게 수축이

### 3. 다구찌방법을 이용한 성형조건 도출

#### 3.1 실험장치

CAE 해석 결과를 기초로 일체형 성형이 가능하도록 제품과 가스채널을 설계하고 이를 토대로 금형을 제작하였다. Fig. 13은 제작된 금형을 사출성형기에 조립한 상태를 나타낸다.

Gas-assisted Molding: Volumetric shrinkage (%) at Time = 25.2400 s

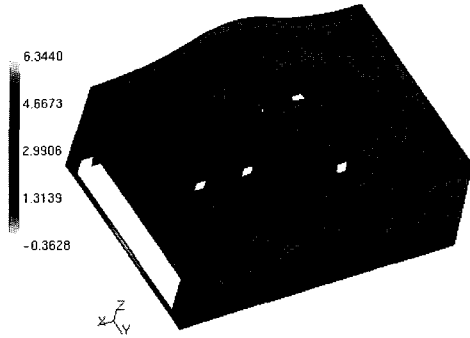


Fig. 11 Volumetric shrinkage distribution for gas-assisted injection molding

발생되어 외부의 수축을 보상해 준다. Fig. 9는 가스 사출성형에서의 교차 칸막이와 외벽이 만나는 부분(Fig. 3의 “C”부분)에서의 시간에 따른 캐비티 압력을 나타낸 것으로 가스 압력인 15MPa이 25초 동안 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이는 가스가 상부의 해당부분까지 효과적으로 침투하면서 압력을 전달하기 때문이다. 이로 인하여 시간에 따른 체적수축을 추이를 나타낸 Fig. 10에 나타난 바와 같이 3.7%까지 감소하게 된다. 이것은 Fig. 7에서 살펴본 일반 사출성형에 비하여 1/2이상으로 줄어든 수치이다. Fig. 11은 가스 사출성형시 전체적인 체적수축을 분포를 나타낸 것으로 상부에서의 체적수축율이 약 4% 정도로 일반 사출성형에서의 8.6%에 비해 크게 낮아지게 되어 수축에 의한 싱크마크 해결에 크게 효과가 있을 것으로 판단된다.

Gas-assisted Molding: Gas volume percentage vs. Time

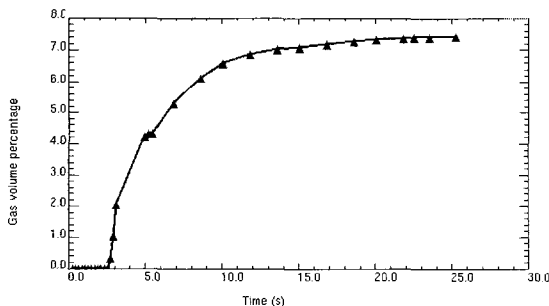


Fig. 12 Gas volume percentage vs. time

그리고 Fig. 12는 시간에 따른 가스의 체적비율을 나타낸 것으로 약 7.4% 가량의 가스 충전이 이루어짐을 알 수 있으며, 이는 중량감소 및 수지절감에 기여하게 될 것이다.

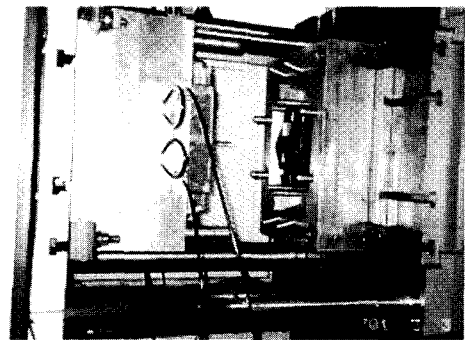


Fig. 13 Experimental setup of the injection molding machine and mold

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 압력조절장치는 바우어 컴프레서에서 제작한 질소제어장치로써 사출기에서 입력 받은 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 가스킷을 설치하여 수지와 같은 경로를 따라서 가스를 유입시키는 것이다.

#### 3.2 다구찌방법의 적용

가스사출성형은 제품의 형상, 수지의 물성, 제품 및 금형 설계조건, 성형조건등 미세한 변화에도 가스 침투길이, 성형품의 벽두께 등이 크게 달라져 아직까지 이론적인 모델이 정립되어 있지 않은 상태로서 기존의 실험적 결과들을 살펴보면 경향이 서로 상반되는 경우가 많이 나타나고 있다. 따라서 본 논문에서는 실험계획법을 사용하여 성형조건을 도출하였다. 성형조건과 성형품의 품질간의 관계 규명 및 최적화에 사용될 실험 방법은 실험횟수를 최소화하여 시간과 경제적 부담을 줄여야 하며, 실험에서 결정되는 성형조건이 잡음에 대하여 강건하여야 한다. 이러한 실험 요구 조건을 만족시키기 위한 대

표적인 실험계획법으로 다구찌 방법을 사용하였다.<sup>(15)</sup> 다구찌 방법에서는 교란 인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비(signal-to-noise-ratio)를 사용한다. SN비는 신호 대 잡음의 비율을 의미하는 것으로 신호입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비율로서 나타낸다. 즉, 각 조절인자의 SN비를 크게 만드는 값을 그 인자의 값으로 결정하면 이렇게 선정된 값은 잡음에 대하여 강건해 진다.

본 논문에서는 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 선정한 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 2와 같다. 여기서 사출시간은 실제 사출성형기의 스크류가 정지한 상태에서 이동하는 속도를 평균하여 환산한 것으로 순수하게 노즐에서 1차 충전되는 시간만을 의미하는 CAE해석에서 사용한 충전시간과는 차이가 있는 것이다.

Table 2 Factors and levels used in experiment

factors	levels		
	1	2	3
A. melt temperature (°C)	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

$L_9(3^4)$  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 3과 같다.

Table 3  $L_9$  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	3.52	10.9
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

서로 다른 인자들이 가스충전비율에 영향을 주는 정도는 서로 다르다. 인자효과들의 상대적 크기는 Table 2에서 나타낸 각 인자수준에 대해 평균 SN비로부터 판단할 수 있다. 이 상대적 효과는 분산을 분해함으로써 보다 잘 파악할 수 있는 데 이 기법을 일반적으로 분산분석(ANOVA)이라고 하며, 그 결과는 Table 4에 나타나 있다. 이들 값들은 다양한 파들의 세기와 유사한 것으로, SN비를 변동시키는데 있어 인자사이의 상대적 중요성에 대한 척도가 된다. 이렇게 보았을 때 수지온도(A), 사출시간(B)는 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 보여진다. 위 표에서 F로 표시된 것은 분산비로 인자의 제곱평균과 오차제곱평균과의 비를 나타낸다. 어떤 인자의 F 값이 클수록 그 인자가 공정응답 SN비에 보다 중요한 영향을 미치고 있음을 나타낸다. F값이 1보다 작다는 것은 그 인자효과가 가법모델의 오차보다 작음을 의미한다. F 값이 2보다 크면 인자효과가 아주 작지는 않다는 것을, 반면에 4보다 크면 꽤 크다는 것을 의미한다.

Table 3의 결과를 Fig. 14에서 그래프로 나타내었다. 그림에서 수지온도는  $A_3$ 에 해당하는 260°C, 사출시간은  $B_3$ 에 해당하는 5.8초에서 SN비가 최대가 되므로 이

들 값을 성형조건으로 선택하였다. 그리고 가스 지연시간과 가스 압력은 SN비에 미치는 영향이 상대적으로 작아서 Table 4와 같이 오차항에 풀링시켰다. 이때 예상되는 SN비값( $\eta_{opt}$ )과 가스 충전비율( $y$ )을 계산하면 다음과 같다.

$$\eta_{opt} = m + (m_{A_3} - m) + (m_{B_2} - m) = 15.99dB \quad (1)$$

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

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

Table 4 ANOVA summary

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	

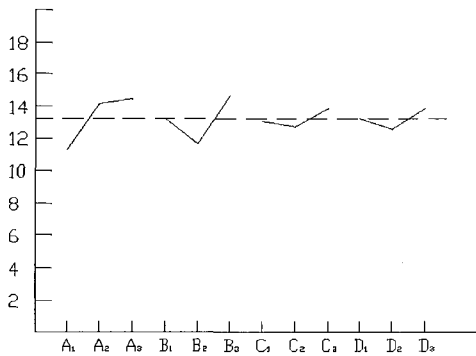


Fig. 14 SN ratio graph based on Table 3

#### 4. 가스사출성형 실험결과

다구찌 방법을 적용하여 도출한 성형조건인 수지온도 260°C, 사출시간 5.8초, 그리고 가스 지연시간 1.0초, 가스압력 18.94 MPa을 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 Fig. 12에서 살펴본 바와 같이 7.4%인 것과 비교할때 약 1.3% 차이를 보이고 있으며, 해석과 실제 실험에서의 공정조건 차이가 있음을 고려할 때 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. 15는 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 성형조건을 적용한 성형품은 수축 및 싱크마크가 발생하지 않았다. 그 원인을 확인하기 위하여 상부의 단면을 절단하여 측정된 결과 Fig. 16과 같이 가스채널 역할을 하는 성형품의 상부에 가스가 효과적으로 침투하고 있었으며, 특히 교차 칸막이와 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.

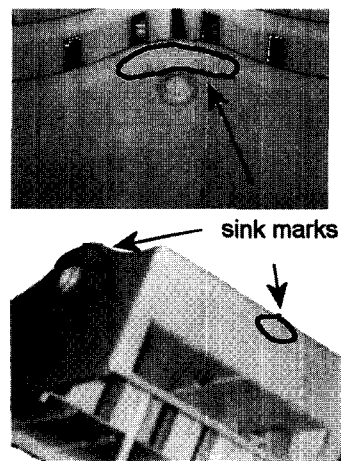


Fig. 15 Sink marks induced by conventional injection molding

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.

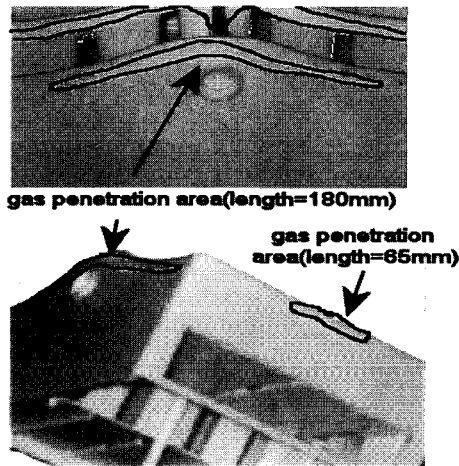


Fig. 16 Gas penetration areas by gas-assisted injection molding

## 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 칸막이와 외벽이 만나는 부분까지 효과적인 가스 침투를 유도하여 일반 사출성형에 비해 체적수축율을 1/2이상 감소시키고 싱크마크가 발생하지 않도록 하였다.

(2) 다구찌 방법을 적용하여 실험횟수를 최소화시키면서 수지온도, 사출시간, 가스지연시간, 가스압력 등 성형 조건을 도출하였으며 가법모델의 타당성을 확인하였다.

(3) 가스사출 실험결과 성형품의 가스 충전 비율은 6.1%로서 다구찌 방법에서의 예측결과 그리고 CAE해석결과와 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.

## 참고 문헌

- (1) Shah, S., 1991, "Gas Injection Molding : Current Practices", SPE Technical Papers, Vol. 37, pp.149 4~1506.
- (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, p.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, p.409.
- (9) Yang, S.Y., Liao, W.N., 1996, "A Study of Rib Geometry for Gas-Assisted Injection Molding", Polymer Engineering and Science, Vol. 36, pp.282 4~2831.
- (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



이호상

- 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.
- (15) 김호성의 4, 1992, 강건설계를 이용한 품질공학, 민영사.