

## 모바일폰 커버의 휨특성 평가를 위한 금형 제작에 관한 연구

김옥래<sup>#</sup>·김무연<sup>1</sup>·이성희<sup>1</sup>·권창오<sup>2</sup>

### A Study on Manufacturing of Plastic Injection Mold for Warpage Characteristics of Mobile Phone Cover

O.R. Kim, M. Y. Kim, S.H. Lee, and C. O. Kwon

#### Abstract

In the present study, warpage characteristics of mobile phone cover through injection molding process were investigated by using design of experiments. Warpage in plastic injection molding process has a significant effect on quality of product. Effects of injection time, packing pressure, packing time, mold temperature and melt temperature on warpage of mobile phone cover were considered by CAE analysis and experiment with Taguchi method. The degree of warpage for the injection molded product was measured by using three dimensional CMM. It was shown that temperature parameter has more significant effect on the warpage of mobile phone cover than pressure parameter.

**Key Words** : Injection molding(사출성형), Taguchi Method(다구찌법), Flow analysis(유동해석), Warpage(휨) Deflection(변형), Robust Design(강건설계)

#### 1. 서 론

플라스틱 사출성형은 복잡한 형상의 family 성형이나 대량생산이 가능하기 때문에 전기전자 제품은 물론 자동차, 항공기의 부품에 이르기까지 많은 공업 제품의 제작에 이용되고 있다. 사출성형은 고온의 용융된 수지를 이용하여 제품생산이 이루어지므로 성형직후 또는 성형 후 여러 변형이 발생된다. 이러한 성형 불량은 제품자체에 치명적인 결함을 줄 뿐 아니라 하나의 부품으로 완제품에 조립되었을 경우 전체 조립성에도 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 이러한 성형불량을 최소화하기 위하여 수치해석 기법이 널리 사용되어 왔으며, 제품 설계, 금형 설계 및 성형 조건의 최

적화 등 다양한 목적으로 활용되고 있다. 그러나 CAE 해석의 경우에도 금형 설계 변수와 사출성형 조건 모두를 고려한 최적의 사출성형 조건을 도출하기 위해서는 많은 시간과 노력이 소요된다. 최적의 사출성형 조건을 도출하기 위해 여러 가지 최적화 기법을 도입한 연구가 진행되어 왔다. 이중 특히 사출성형에 널리 적용되는 기법이 실험계획법이다. 실험계획법은 사출성형 분야에서 최적 공정변수를 도출하기 위한 방법으로 활용되어 왔으며, 특히 다구찌 방법은 신호인자의 효과를 유지하면서 잡음인자의 종합적 영향을 최소화할 수 있도록 설계변수를 설정해 주는 방법으로, 강건한 설계의 중요한 도구로서 사용된다.

본 연구에서는 다구찌 방법을 이용하여 사출성형품의 변형량에 영향을 주는 인자를 선정하고 실험계획법을 수립하여 사출성형유한요소프로그램을 이용한 CAE 성형해석과 사출성형실험을 병

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀  
2. (주)동아정밀 기술연구소  
# 교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀.  
E-mail : kor@kitech.re.kr

행하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 프로세스를 이용하여 휨 및 변형을 최소화하고 사이클 타임을 최소화 할 수 있는 최적화된 금형 설계 및 성형 조건을 찾고, 그 결과를 제작된 금형에 적용하여 최적의 성형을 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 제품 설계 및 금형 설계

### 2.1 모델 선정

본 연구에서 선정된 모델은 모바일폰의 백커버이다. 이러한 제품은 사출성형에 의해 제작되며 후면에 부착되어 외관상 눈에 잘 부각되는 제품이다. 그러므로 제품의 특성상 제품 표면에 결함을 줄 수 있는 웰드라인, 유동자국, 타버림 등의 성형 불량률이 있어서는 안된다. 또한 모바일폰의 프론트 커버와 결합되어야 하므로 변형, 휨 등으로부터 치수적 안정성이 확보되어야 한다. Fig. 1은 핸드폰 후면 커버의 제품 형상, 유한요소 모델 및 러너 시스템을 나타낸 그림이다. 금형 설계 과정에서 외관상의 성형 불량률을 최소화하기 위하여 사이드 게이트를 적용하였다. 여기에서 게이트와 러너의 크기 및 위치의 설계에 따라 유동 패턴(충전성) 및 웰드라인의 차이가 발생하며, 이러한 결과는 성형성 및 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다.

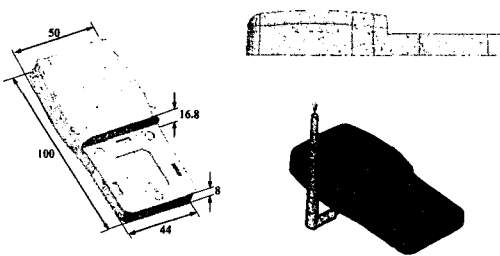


Fig. 1 Geometry, runner system and mesh of mobile-phone back cover

### 2.2 금형 설계

여러 설계사항에 대해 모든 금형을 제작하는 것은 현실적으로 어려우므로 금형 설계 조건의 선정은 수치해석을 통하여 접근하였다. 수치해석에서 얻어진 결과를 분석하여 최적의 금형 설계 변수를 도출한 뒤 이를 토대로 금형을 제작하였다. 실험용 금형 180mm × 180mm × 200mm 의

크기를 가지는 2 단 금형이며, 금형 재질은 일반 탄소강 S45C 을 사용하였다. 사이드 게이트에 의해 성형이 이루어지며, 실험에 사용된 수지는 ABS(LG Caltex HF380)이며 열풍 건조기에서 4 시간의 건조 과정을 거친후 실험을 수행하였다. Fig. 2 은 제시된 모델에 대한 금형설계의 2D 도면을 나타내고 있다.

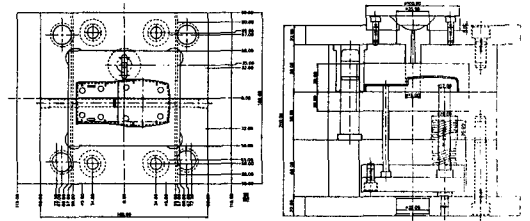


Fig. 2 Result of mold design for the presented model

## 3. 실험 계획법의 적용

### 3.1 실험 방법론

사출성형과 같은 실제 문제를 해석 할 경우 그 변수들이 결과에 미치는 영향을 정확하게 예측할 수가 없고, 많은 경우 실험 또는 해석을 통하여 최적값을 결정하게 된다. 실험계획법은 해결하고자 하는 문제에 대하여 최적의 해석법과 실험 방법을 제시한다. 즉, 최소의 실험 또는 해석으로 어떤 인자가 어느 정도의 영향을 미치고 이러한 인자들의 최적조건을 선정, 확인하는데 사용된다. 결과적으로 이를 통해 목표로 하는 결과 즉 목표 특성치에 대한 인자들의 영향력을 파악하고 최적조건을 만족하는 인자들의 값 및 수준을 결정할 수가 있다. Fig. 3 은 실험계획법을 이용하여 최적의 조건을 찾기 위해 다구찌 방법을 적용하기 위한 순서도를 보여 주는 그림이다.

### 3.2 목표 특성치 및 인자, 수준의 선정

설계에서 사용되는 특성치는 최종 제품의 성능을 결정짓는 중요한 성질을 의미한다. 목표 특성치는 각각의 특성에 따라서 망소, 망목, 망대 특성치로 나눌 수가 있다. 모바일폰의 백커버 경우 후면에 부착되어, 상하 형상이 조립되는 제품이다. 그러므로 휨과 변형 및 웰드라인 등과 같은 성형불량 현상이 나타나면 좋지 않으며, 경제적인 측면에서 볼 때 냉각시간을 최소화 할 수 있는

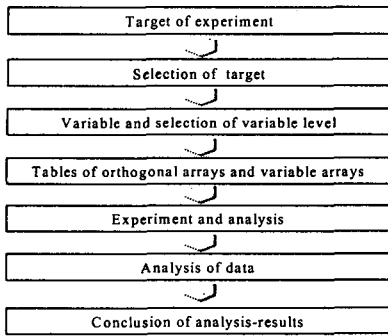


Fig. 3 Flow chart for the design of experiments

Table 1 Processing control factor and level

Processing control factor	Levels	
	Level 1	Level 2
Injection time (sec)	2	1
Packing pressure (%)	40	80
Packing time (sec)	1	3
Mold temperature (°C)	35	65
Melt temperature (°C)	235	255

Table 2 Factor used in experiment

Factor	Description
A	Injection time
B	Packing pressure
C	Packing time
D	Mold temperature
E	Melt temperature
F	Error
G	Error

Table 3 The orthogonal arrays  $L_8(2^7)$  used in the research

Case	1	2	3	4	5	6	7
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	1	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

것이 좋다. 그러므로 본 연구에서는 휨 및 변형을 최소화하고 성형 시간을 최소화 할 수 있는

최적화된 금형 설계 및 성형 조건을 찾는 것이 목적이다. 그래서 이러한 조건을 최적화 대상으로 선정하고 변형량을 목표 특성치로 선정하였다. 변형량을 목표 특성치로 선정하고 변형량의 결과에 영향을 미치는 요소(인자)와 실험이나 해석에 사용되는 변수 값의 수(수준)을 결정하기 위하여 생산 및 공정을 담당하는 현장 기술자의 의견을 수렴하여 결정하였다. 제어인자로는 금형 설계에 관련된 변수 및 공정에 관련된 공정변수로 구분하였다. 공정변수로는 사출시간, 보압, 보압시간, 금형온도 및 용융수지온도로 선정하였다. 그리고 제어인자의 수준은 재료를 공급하는 업체에서 제공되는 재료의 물성치를 바탕으로 성형범위의 한계 내에서 설정하였다. Table 1 은 사출성형 시험조건에서 설정한 성형 인자와 수준을 나타낸다.

### 3.3 직교배열표를 이용한 실험 배치

인자와 수준이 결정되었다면 조정 가능 인자들의 자유도와 직교 배열표의 자유도를 비교하여, 적절한 직교배열표를 선정하여야 한다. 제어인자 배치는 직교배열표를 이용하여 배치를 하며, 잡음인자를 고려하지 않으면 직교배열표만으로 실험을 할 수가 있다. 본 연구에서도 잡음인자는 고려하지 않았으며, 제어인자를 이용하여 직교배열표를 할당 하였다. 본 연구에서는  $L_8(2^7)$ 의 직교배열표를 사용한 실험배치를 하였다.

## 4. 성형해석 및 사출성형

### 4.1 성형해석

휨 및 변형을 최소화하고 성형 시간을 최소화 할 수 있는 최적화된 금형 설계 및 성형 조건을 찾기 위해 Table 1 에 제시된 성형 인자와 수준으로 사출성형전용 유한요소해석 프로그램을 사용하여 성형해석을 수행하였다. 성형해석을 위해 해석모델을 Shell 요소를 사용한 mid-plane 과 fusion 모델, Solid 요소를 사용한 3D(Tetrahedral) 모델을 준비하였다. 냉각해석, 유동해석, 보압해석, 휨해석을 통한 사출 성형품의 충전패턴과 변위와 변형을 측정하였다.

### 4.2 사출성형

본 연구에서는 최종적으로 제품의 변형량 및 수축률에 영향을 주는 요인들을 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 사출기는 시

협사출기로 운용중인 220 톤 앵겔 사출기를 사용하였다(Fig. 4). 성형조건의 구성요소 중 Table 1에 제시된 성형 인자와 수준으로 성형실험을 하였으며 성형에 사용된 수지는 ABS(LG Caltex HF380)이다. 재료의 수분 흡수로 인해 변형량에 영향을 주지 않기 위하여 열풍건조기로 4 시간 건조한 후 실험을 수행 하였으며, 변화된 성형조건에 대해 10 개의 제품을 사출한 후 샘플 성형품으로 취득하였다. 연속된 사출 작업으로 설정된 금형 온도보다 상승하지 않도록 시간적 여유를 두고 사출 실험을 하였으며 취출된 사출성형품은 일정시간이 지난 후 3 차원 측정기(CMM)를 이용하여 힘을 측정하였다.

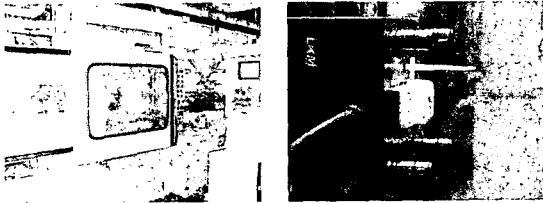


Fig. 4 Injection molding machine(ENGEL 220ton<sub>f</sub>) and mold

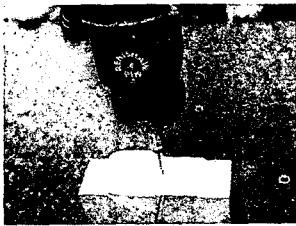


Fig. 5 Measurement method for injected part model using CMM

## 5. 결과 분석 및 고찰

### 5.1 해석 모델의 영향

Table 1에 제시된 성형 인자와 수준이 충전패턴에 미치는 영향을 알아보기 위해 사출성형해석과 사출실험을 수행하였으며 사출성형전용 유한요소해석 프로그램에서 지원하는 해석모델(midplane, fusion, 3D)과 실제의 사출성형품을 비교 분석하였다. Fig. 6은 Table 3의 case4를 적용했을 때의 3가지의 성형해석 모델과 실제의 사출유동패턴을 short shot을 이용하여 비교한 것이다.

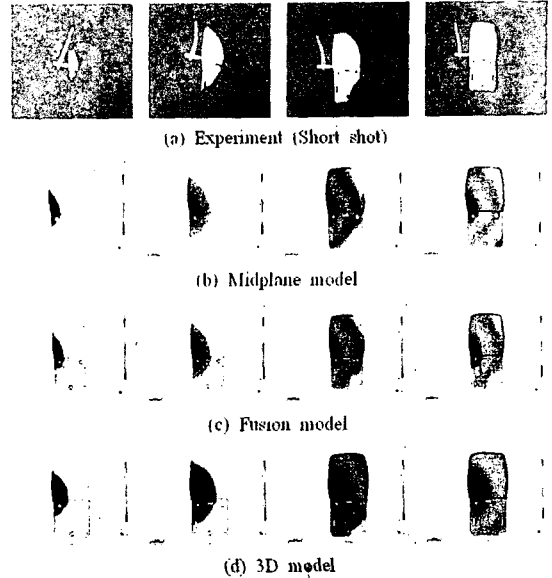


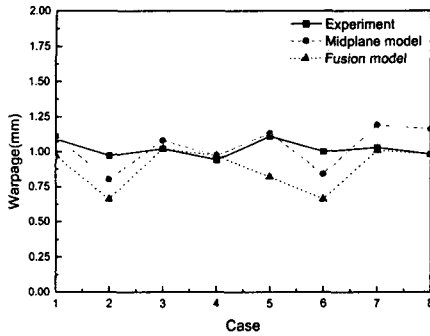
Fig. 6 Filling pattern for mobile phone back cover

midplane 모델과 fusion 모델에서는 성형 초기에 거의 유사한 충전 패턴을 보여 주고 있으나, 3D 모델에서는 두 모델 보다는 좀 더 과도한 충전 모델을 보여 주고 있다. 그러나 충전이 완료된 시점에서는 midplane 모델과 fusion 모델은 충전이 완료된 반면 3D 모델은 아직 미성형된 것으로 계산된다. 이러한 결과를 토대로 본 연구와 같은 거의 균일한 모델에서는 3D 모델보다는 midplane 모델이 좀 더 실제 사출 경향을 잘 묘사해 주고 있음을 알 수가 있다.

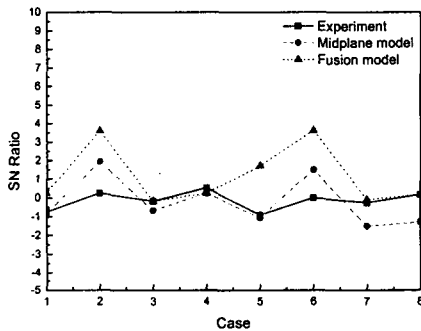
### 5.2 성형인자의 영향

해석 모델간의 비교를 통하여 midplane 모델이 실제 사출 경향을 잘 묘사함을 토대로 성형품의 변형량에 가장 큰 영향을 주는 인자에 대하여 계산해 보았다. Fig. 7은 휨 및 변형해석 후 발생한 변형량 측면에서 다구찌법에 의해 계산된 해석결과와 실험결과의 SN 비와 계산된 변형량을 나타낸 결과이다. Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 실험결과와 midplane은 거의 유사한 결과를 나타내나 fusion 모델은 case5와 6에서 다른 경향을 보여 주고 있다. 실험 결과를 살펴보면 case 4는 변형량의 SN 비가 가장 크게 계산되었기 때문에 변형량 측면에서는 case 4가 가장 망소 특성에 적합하다. 사출과정중에서 발생한 변형량에 의해 계산

된 SN 비는 case 4 에서 가장 높은 값이 계산되었기 때문에 case 4 가 변형량이 가장 낮게 발생한 모델임을 나타낸다.



(a) Deflection



(b) SN Ratio

Fig. 7 Comparison of numerical analysis and experimental results for deflection and SN ratio

Table 4 와 5 는 각각 최대 변형량의 SN 비에 의한 설계인자 기여도를 나타낸 표로서 표에서 수준의 범위는 각 성형 인자의 수준 합계 중에서 가장 큰 수와 가장 작은 수와의 차이이고, 기여율은 수준의 범위의 합에 대한 각 성형 인자 수준 범위의 백분율이다. Table 5 는 금형온도가 50.91% 로써 가장 큰 영향을 미치고, 보압이 27.85%, 충전시간이 14.46%로 성형품의 변형량에 영향을 미치며 보압시간이 0.4%로 가장 낮은 영향을 미친 것으로 나타난다. 그러나 midplane 의 계산결과 (Table 4)에서는 보압시간도 약 10.25% 정도 성형품의 변형량에 영향을 미치는 것으로 계산되었다. 이와 같은 결과는 최대 변형량은 온도에 대한 영향이 유동에 관련된 압력에 대한 영향보다 크게

받을 수가 있었다. 제어인자들의 최적수준은 SN 비를 최대도 하는 수준이므로 성형품에 관한 최적성형인자 요인은  $A_1, B_2, C_2, D_2, E_2$  임을 알 수가 있다.

Table 4 The response table of SN ratio in the midplane model

Factor	1	2	3	4	5
Level	A	B	C	D	E
1	0.71	1.56	-1.69	-4.07	-1.27
2	-2.35	-3.20	0.05	2.43	-0.37
Difference of level	3.05	4.77	1.74	6.50	0.09
Affecting ratio(%)	18.01	28.11	10.25	38.31	5.32

Table 5 The response table of SN ratio in the experiment

Factor	1	2	3	4	5
Level	A	B	C	D	E
1	-0.12	-1.39	-0.57	-2.08	-0.75
2	-0.99	0.28	-0.54	0.98	-0.36
Difference of level	0.87	1.67	0.02	3.06	0.38
Affecting ratio(%)	14.46	27.85	0.40	50.91	6.38

## 6. 결론

본 연구에서는 플라스틱 제품 개발에서 시행 착오를 최소화하며, 사출 성형의 과정에서 생산성과 품질 향상을 위해 실험계획법인 다구찌 방법을 활용하였다. 사출성형해석과 실험결과를 비교, 분석함으로써 대표적 성형불량 중 하나인 휨을 최소화 할 수 있는 금형을 설계, 가공, 제작하였고, 주어진 범위에서 최적의 사출성형 조건을 도출하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Midplane 의 성형해석결과에서 다른 성형조건에 비해서 금형온도와 보압이 성형품의 변형량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 2) 성형실험에서 최대 변형량에 대한 성형조건

인자들의 기여도를 계산한 결과 금형온도가 가장 높은 50.9%의 영향을 미쳤고, 상대적으로 mid-plane 성형해석결과에 비해 보압시간이 0.4%로 낮은 영향을 미친 것으로 나타났다.

이와 같이 실험계획법을 이용한 성형해석과 사출성형실험을 통해서 제시된 모델의 경우 사출 성형 공정 변수 중에서 온도가 압력에 비해서 변형량 더 크게 영향을 주는 것을 알 수가 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] Chiang, H. H., 1989, "Simulation and Verification of Filling and Post Filling Stages of the Injection Molding Process," Ph. D. Thesis. Cornell Univ.
- [2] Chiang, H. H., Hieber, C. A. and Wang, K. K., 1991, "A Unified Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding, Part I : Formulation," Polym, Eng, and Sci., Vol. 31, pp. 116~124.
- [3] Chiang, H. H., Hieber, C. A. and Wang, K. K., 1991, "A Unified Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding, Part II: Experimental Verification," Polym, Eng, and Sci., Vol. 31, pp. 125~139.
- [4] K. K. Wang, 1980 "A system approach to injection molding process," Polym. Plast. Tech. Eng., 14(1) 75-93.
- [5] Musa R. kamal, P. G. lafleur, 1982 "Computer simulation of injection molding", Polym. Eng. Sci., Vol. 22, No. 17, pp. 1066-1074.
- [6] 이상복, 2001, "기초부터 현장적용까지 알기쉬운 다구찌법", 상조사.
- [7] 박성현, 1998, "현대실험계획법", 민영사.