

모바일폰 커버의 휨특성 평가를 위한 사출 성형에 관한 연구

김옥래[#]· 김무연¹· 이성희¹· 권창오²

A Study on Plastic Injection Molding for Warpage Characteristics Evaluation of Mobile Phone Cover

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

(Received September 9, 2005)

Abstract

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

Key Words : Injection Molding, Mobile Phone, Taguchi Method, Flow Analysis, Warpage, Deflection

1. 서 론

사출성형은 고온의 용융된 수지를 이용하여 제품생산이 이루어지므로 성형직후 또는 성형 후 수축차이에 의한 여러 변형이 발생된다. 수축차이의 원인은 고분자 수지의 분자 또는 섬유배향, 금형 냉각의 불균일함, 불합리한 성형공정, 제품의 두께차이 등으로 발생한다. 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 휨을 발생시키는 수지의 유동현상이나, 수축과 잔류응력을 예측하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. Lee 와 Kim 은

6 가지의 주요인자로 사출성형품의 휨을 제어할 수 있는 최적화 기법을 제시하였으며[1], Huang 과 Tai 는 얇은 셸 구조물의 사출성형 조건을 결정하기 위해 실험 계획법을 사용하였다[2]. 또한 Lee 등은 직교보강 구조물이 휨에 미치는 영향을 사출전용 S/W 를 사용하여 성형해석과 비교분석하였다[3]. 휨예측을 위한 다른 방법으로 최소화 수치해석 기법이 널리 사용되고 있으며, 제품 설계, 금형 설계 및 성형 조건의 최적화 등 다양한 목적으로 활용되고 있다.

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 가

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

지 최적화 기법을 도입한 연구가 진행되어 왔다. 이중 특히 사출성형에 널리 적용되는 기법이 실험계획법이며, 최적 공정변수를 도출하기 위한 방법으로 활용되어 왔다. 특히 다구찌 방법은 신호인자의 효과를 유지하면서 잡음인자의 종합적 영향을 최소화할 수 있도록 설계변수를 설정해 주는 방법으로, 설계의 중요한 도구로서 사용된다.

본 연구에서는 다구찌 방법을 이용하여 사출성형품의 변형량에 영향을 주는 인자를 선정하고 실험계획법을 수립하여 사출성형 유한요소프로그램을 이용한 CAE 성형해석과 사출성형실험을 병행하였다. 결과적으로 본 연구는 휨을 최소화하고 사이클 타임을 최소화 할 수 있는 최적화된 금형설계 및 성형 조건을 CAE 로부터 도출하고, 그 결과를 제작된 금형에 적용하여 최적의 사출 성형을 수행하는데 그 목적이 있다.

2. 제품 설계 및 금형 설계

2.1 모델 선정

본 연구에서 휨 특성 평가를 위해 선정된 모델은 모바일폰의 백커버이며, Fig. 1 에 모바일폰 백커버의 제품 형상, 유한요소 모델 및 러너 시스템을 제시하였다. 본 제품은 사출성형에 의해 제작되며 제품의 특성상 제품 표면에 결함을 줄 수 있는 웰드라인, 유동자국, 타버림 등의 성형 불량 이 있어서는 안된다. 또한 모바일폰의 프론트 커버와 결합되어야 하므로 변형, 휨 등으로부터 치수적 안정성이 확보되어야 한다.

2.2 금형 설계

금형 성형 조건의 선정은 수치해석을 통하여 접근하였다. 수치해석에서 얻어진 결과를 분석하여 변형을 최소화하는 최적의 성형조건 변수를 도출한 뒤 이를 토대로 금형을 제작하였다. 금형설계 과정에서 게이트와 러너의 크기 및 위치에 따라 유동 패턴(충전성) 및 웰드라인의 차이가 발생하며, 이러한 결과는 성형성 및 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 외관상의 성형 불량을 최소화하기 위하여 러너직경을 6mm 로 하고 폭 3mm, 높이 1mm, 랜드길이 2.24mm 의 사이드 게이트를 적용하였다. 시험용 금형은 180mm×180mm×200mm 의 크기를 가지는 2 단 금형을 제작하였고, 이때 금형 재질은 일반 탄소강 S45C 을 사용하였다. 실험에 사용된 수치

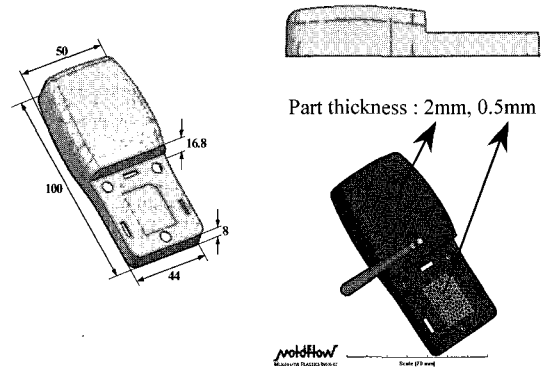


Fig. 1 Geometry, runner system and finite element model of mobile phone back cover

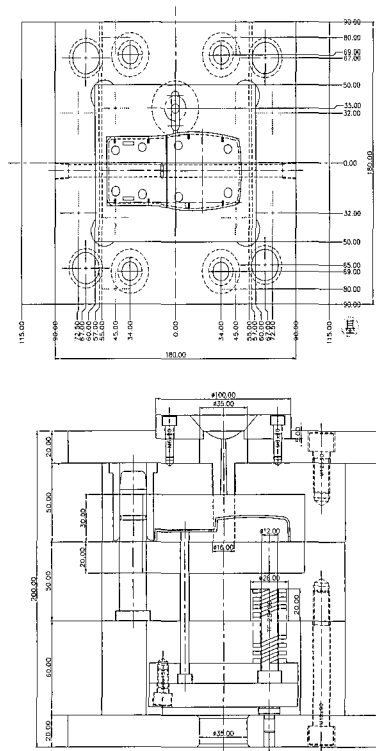


Fig. 2 Result of mold design for the presented model

는 ABS(LG Caltex HF380)이며 수평방향 0.51%, 수직방향 0.55%의 수축율을 가진다. Fig. 2 은 제시된 모델에 대한 사출금형설계의 이차원(2D) 도면을 나타내고 있다.

3. 실험 계획법의 적용

3.1 실험 방법론

플라스틱 사출성형품의 힘을 예측할 경우 공정 조건이나 수지, 제품형상 등의 변수들이 성형에 미치는 영향을 정확하게 예측할 수가 없어, 많은 경우 실험 또는 해석을 통하여 최적값을 얻게 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. 실험 계획법을 이용하여 최적의 조건을 찾기 위해 다구짜 방법을 적용하기 위한 순서도를 Fig. 3 에 제시하였다.

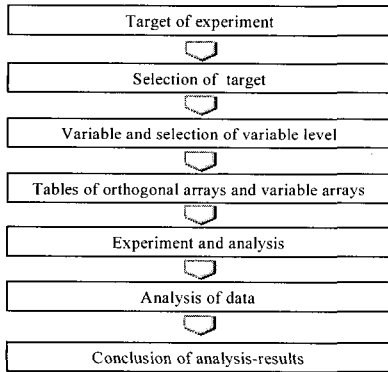


Fig. 3 Flow chart for the design of experiments

3.2 목표 특성치 및 인자, 수준의 선정

설계에서 사용되는 특성치는 최종 제품의 성능을 결정짓는 중요한 성질을 의미한다. 휨과 변형 및 웰드라인 등과 같은 성형불량 현상이 나타나면 바람직하지 않으며, 경제적인 측면에서 볼 때 냉각시간을 최소화 할 수 있는 것이 좋다.

그러므로 본 연구에서는 힘을 최소화하고 성형 시간을 최소화 할 수 있는 최적화된 금형 설계 및 성형 조건을 찾는 것이 목적이다. 따라서 사출 시간, 보압, 보압시간, 금형온도, 수지온도를 최적화 대상으로 선정하고 휨량을 목표 특성치로 선정하였다. 휨량을 목표 특성치로 선정하고 휨량의 결과에 영향을 미치는 인자와 실험이나 해석에

Table 1 Processing control factors 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

사용되는 변수 값의 수준을 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 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 할당하였다. 본 연구에서는 $L_8(2^7)$ 의 직교배열표를 사용한 실험배치를 하였다(Table 3).

4. 성형해석 및 사출성형

4.1 성형해석

힘을 최소화하고 성형 시간을 최소화 할 수 있는 최적화된 금형 설계 및 성형 조건을 찾기 위해 Table 1에 제시된 성형 인자와 수준으로 사출성형 전용 유한요소해석 프로그램(MPI 5.0)을 사용하여 성형해석을 수행하였다. 성형해석을 위해 해석 모델은 Shell 요소를 사용한 midplane 과 fusion 모델, Solid 요소를 사용한 3D(tetrahedral) 모델을 준비하였다. 냉각해석, 유동해석, 보압해석, 휨해석을 통한 사출 성형품의 충전패턴과 변위와 변형을 측정하였다.

Table 2 Factors 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 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

4.2 사출성형

본 연구에서는 최종적으로 제품의 휨에 영향을 주는 요인들을 알아보기 위하여 사출성형실험을 수행하였다. 실험에 사용된 사출기는 220 톤 Engel 사출기를 사용하였다. Fig. 4 는 휨특성 평가를 위해 제작된 모바일폰 백커버 금형이다. 성형조건의 구성요소 중 Table 1 에 제시된 성형 인자와 수준으로 성형실험을 하였으며, 재료의 수분 흡수율로 인해 변형량에 영향을 주지 않기 위해 열풍 건조기에서 4 시간의 건조 과정을 거친 후 실험을 수행하였다. 변화된 성형조건에 대한 성형기의 재연성 확보를 위해 10 개의 제품을 사출한 후 샘플 성형품으로 취득하였다. 연속된 사출 작업으로 설정된 금형 온도보다 상승하지 않도록 시간적 여유를 두고 사출 실험을 하였으며 취득된 사출성형품은 48 시간이 지난 후 3 차원 측정기(CMM)를 이용하여 휨을 측정하였다(Fig. 5).

5. 결과 분석 및 고찰

5.1 해석 모델의 영향

Table 1 에 제시된 성형 인자와 수준이 충전패턴

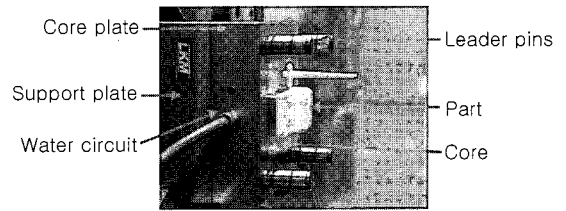


Fig. 4 Manufactured plastic injection mold and part

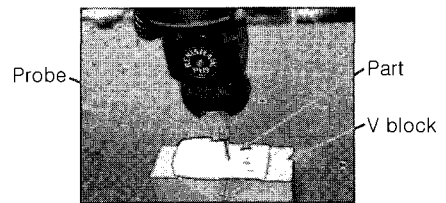
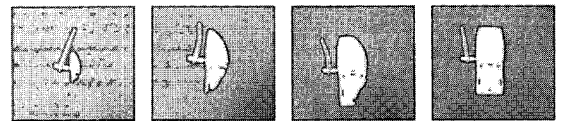
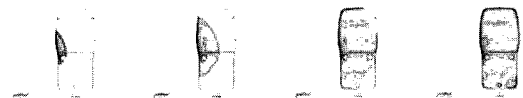


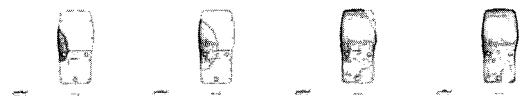
Fig. 5 Warpage measurement of injected part model using CMM



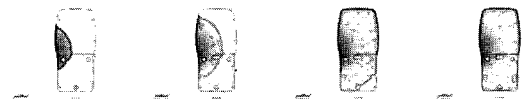
(a) Experiment (Short shot)



(b) Midplane model



(c) Fusion model



(d) 3D model

Fig. 6 Comparison of filling pattern for the presented model

에 미치는 영향을 알아보기 위해 사출성형해석과 사출실험을 수행하였으며 사출성형전용 유한요소 해석 프로그램에서 지원하는 해석모델(midplane, fusion, 3D)과 실제의 사출성형품을 비교 분석하였

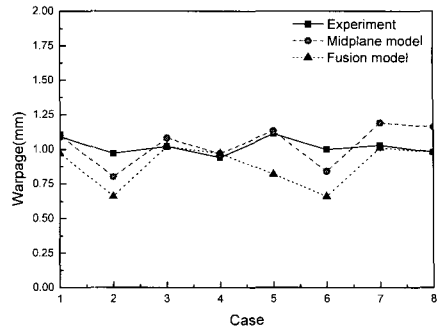
다. Fig. 6 은 Table 3 의 case4 를 적용했을 때의 3 가지의 성형해석 모델과 실제의 사출유동패턴을 이용하여 비교한 것이다.

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 제품두께가 거의 균일한 모델에서는 3D 모델보다는 midplane 모델이 좀 더 실제 사출 경향을 잘 묘사해 주고 있음을 알 수가 있다.

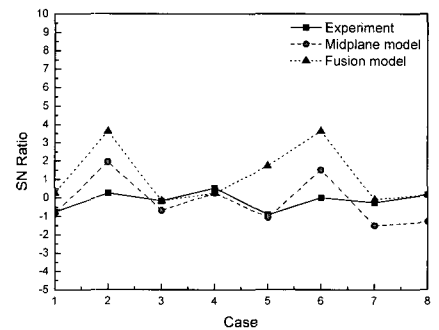
5.2 성형인자의 영향

해석 모델간의 비교를 통하여 midplane 모델이 실제 사출 경향을 잘 묘사함을 토대로 성형품의 변형량에 가장 큰 영향을 주는 인자에 대하여 계산해 보았다. Fig. 7 은 휨 및 변형해석 후 발생된 변형량 측면에서 다구찌법에 의해 계산된 해석결과와 실험결과의 SN 비와 계산된 변형량을 나타낸 결과이다. Fig. 7 에서 나타낸 바와 같이 실험결과와 midplane 은 거의 유사한 결과를 나타내나 fusion 모델은 case5 와 6 에서 다른 경향을 보여 주고 있다. 실험 결과를 살펴보면 사출과정 중에서 발생한 변형량에 의해 계산된 SN 비는 case 4 에서 가장 높은 값이 계산되었기 때문에 case 4 가 변형량이 가장 낮게 발생한 모델임을 나타낸다.

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%으로 가장 낮은 영향을 미친 것으로 나타난다. 그러나 midplane 의 계산결과 (Table 4)에서는 보압시간도 약 10.25% 정도 성형품의 변형량에 영향을 미치는 것으로 계산되었다. 또한 휨경향이 유동에 관련된 압력에 대한 영향보다 크게 받음을 수가 있었다. 제어인자들의 최적수준은 SN 비를 최대로 하는 수준이므로 성형품에 관한 최적성형인자 요인은 A₁, B₂, C₂, D₂, E₂ 임을 알 수가 있다.



(a) Warpage



(b) SN Ratio

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

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
Affecting ratio(%)	18.01	28.11	10.25	38.31	5.32

6. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 제품 개발에서 시행착오를 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, 제작할 수 있는 데이터를 확보할 수 있었으며, 주어진 범위에서 최적의 사출성형 조건을 도출하였다.

(1) CAE 해석을 수행한 midplane의 성형해석 결과에서 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 50.91%의 영향을 미쳤고, 상대적으로 midplane 성형해석결과에 비해 보압시간이 0.4%로 낮은 영향을 미친 것으로 나타났다.

(3) 성형해석실험에서 실제사출과의 충전패턴을 비교해 본 결과 제시된 모델에서는 다른 모델에 비해 midplane 모델이 실험적 결과와 가장 잘 일치함을 알 수가 있었다.

이와 같이 실험계획법을 이용한 성형해석과 사출성형실험을 통해서 제시된 모델의 경우 사출성

형 공정 변수 중에서 온도가 압력에 비해서 변형량 더 크게 영향을 주는 것을 알 수가 있었다. 따라서 금형은 일종의 열 교환기로서 금형제작 과정에서 금형의 냉각에 대한 중요성을 인지하여 금형의 열 교환이 잘 이루어 질 수 있도록 설계를 하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] B. H. Lee, B. H. Kim, 1997, Variation of Part Wall Thicknesses to Reduce Warpage of Injection Molded Part-Robust Design Against Process Variability, Polymer Plastics Technology & Engineering Journal, Vol.36, No.5, pp. 791~807.
- [2] M. C. Huang, C. C. Tai, 2001, The effective factors in the warpage problems of an injected-molded part with a thin shell feature, Journal of Materials Processing Technology, Vol.110, pp. 1~9.
- [3] S. H. Lee, C. J. Hwang, O. R. Kim, Y. M. Heo, 2004, The Warpage of Orthogonal Stiffened Structures in Injection Molding, PPS Asia/Australia meeting, pp. 45~46.
- [4] 박성현, 1998, 현대실험계획법, 민영사.
- [5] 이상복, 2001, 기초부터 현장적용까지 알기쉬운 다구찌법, 상조사.