

## 미소 렌즈가 내재화된 이중사출 성형제품의 웰드라인 최소화

신주경\* · 민병권\*\* · 김영주\*\*\* · 강신일\*\*

(2004 년 2 월 10 일 접수)

### Minimization of Weld Lines in Two Shot Molded Parts with Microlenses

J. K. Shin, B-K. Min, Y-J. Kim and S. Kang

#### Abstract

A new design based on the appropriate geometry of molded part and type of runner system under the optimal processing conditions was proposed to minimize the micro weld lines on the sub deco surface molded by two shot molding. Theoretical and experimental studies were conducted to examine the cause of the weld lines during the overmolding process in two shot molding. Various dimensions and geometries of substrate(1<sup>st</sup>shot) and the wall thickness of overmold(2<sup>nd</sup>shot) have been proposed to avoid the weld lines which are the most inevitable appearance defects occurred on the sub deco. The each design proposal was analyzed by mold flow analysis after part modeling. The analysis results were compared with molded part from mass production tool. It could be seen that from the analysis that the proper geometry of plastic part and type of runner system considering pressure drop under the optimal processing conditions were the most influential factors to avoid weld lines occurred on the sub deco.

**Key Words** : Sub Deco, Two Shot Molding, Weld Lines, Runner System, Gate, Cavity, Overmold, Substrate

#### 1. 서 론

다재 사출 성형(multi-material injection molding)은 기존의 사출 성형 기술을 응용하여 2개 혹은 그 이상의 유사하거나 서로 다른 성형 수지를 가지고 복잡한 제품을 성형할 수 있도록 한 것이다. 이것은 두 가지의 다른 성형 수지가 같은 캐비티(cavity) 금형으로 동시에 사출 되어 첫 번째 재료는 제품의 외관을 성형하고 두 번째 재료는 제품의 내부를 성형하게 되는데, 크게 코 인젝션 성형(co-injection molding)과 이중 사출 성형(two shot

molding)으로 나눌 수 있다.<sup>(1-2)</sup> 이 기술이 주로 사용되는 제품으로는, 통신 분야의 housing, decorat-eonn part, 의료용의 syringe component, 그리고 자동차 분야의 knob, interior panel 등에 응용되고 있고 사출 성형 부문에서도 가장 빠른 성장을 거듭하고 있다.

휴대폰의 하우징 전면에 조립되는 sub deco에 있어서, 사출 성형기의 실린더로부터 런너 시스템(runner system)을 통과하고, 제품의 복잡한 형상들을 거치게 되면, 캐비티 표면 온도의 저하로 용융 수지 스킨층(skin layer)으로 인해서 성형품 표면에

\* (주)뉴젠 텔레콤 연구개발부

\*\* 연세대학교 공과대학 기계공학부

\*\*\* 연세대학교 정보지장 협동과정

는 가느다란 실 모양의 웰드라인(weld lines)이 발생하게 된다.<sup>(3-4)</sup> 이러한 경우 성형품에서는 잘 보이지 않았던 가는 선이 표면 결함(surface defect)으로 나타나 디자인을 중시하는 제품에 많은 영향을 주고있다.<sup>(5-6)</sup>

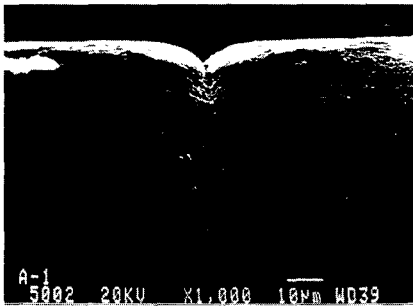


Fig. 1 SEM photograph of weld line fault

Chang 과 Faison<sup>(7)</sup>은 사출 금형 설계, 성형품 설계 및 사출 성형 조건이 웰드라인의 위치와 외관(appearance finish)에 관련이 있으며 특히 성형 수지의 온도가 웰드라인 폭(weldline width)에 큰 영향을 주고 있음을 밝혔다. 또한 Susumu Ohoka 등<sup>(8)</sup>은 성형 조건에서는 열적 요소인 금형 온도와 사출 속도가, 수지 물성에 있어서는 비열과 성형 수지의 표면 온도 강하 속도가 영향을 주고 있음을 비교, 분석하였다.

본 연구에서는 성형 해석(mold flow analysis)을 실시하고 실제의 실험을 통하여 결과를 비교, 분석하여 렌즈 주위의 표면에 발생하는 웰드라인을 최소화하고자 한다.<sup>(9)</sup> 또한 이러한 외관상의 결함을 개선시킬 수 있는 인자를 도출한 후에 이를 최소화시킬 수 있는 사출 성형 조건에서의 적절한 성형품 형상(part geometry), 벽 두께(wall thickness) 및 압력 손실(pressure drop)을 고려한 런너, 게이트 시스템(runner, gate system) 결정에 대한 방법을 제시하고자 한다.<sup>(10-11)</sup>

## 2. 모델링

### 2.1 모델제안

Sub deco의 미세한 웰드라인을 없애는 구조를 위해서는 렌즈의 직경과 성형품의 벽 두께에 있어서는 2차 캐비티로 사출되는 ABS 수지가 이미 폴리카보네이트 수지로 성형한 substrate와의 사이

에서 충분한 사출 압력이 유동 선단에 작용하여 용융 수지가 잘 흐르도록 하는 구조의 성형품 설계가 필요하다.

최적의 유동 흐름을 알아내기 위해서 몇 가지의 서로 다른 치수로 설계된 제품을 제안하였다. (Table 1) 그리고 Fig. 2는 본 연구에서 제안된 모델의 구조 및 평면도와 단면도를 나타낸다. (C) 와 (A) 구조는 industrial designer에 의해서 최초로 제시된 디자인이었고 (B) 는 알루미늄 재질인 QDM (quick delivery mold)에 의해서 1차 성형 결과를 분석하여 제안한 구조를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 QDM에서 얻은 결과를 바탕으로 substrate 렌즈의 직경과 오버몰드(overmold)의 벽 두께를 바꾸도록 제안하였다. 또한 유동 거동에 근거한 sub deco 윗면에 있는 두 개소의 광택면 (high glossy surface)에서 보이는 웰드라인을 없애는 충전(filling) 및 적절한 성형품 벽 두께의 설정을 위해 성형 해석을 수행하였다.

성형품에서 최적의 게이트 구조 및 성형 조건을 얻기 위해서 압력 손실 및 용융 수지의 온도 저하를 크게 줄일 수 있는 오버랩 게이트 (overlap gate or straight top gate)를 적용하였다. Pro Engineer 2001로 3D solid 모델링 한 것을 STL 포

Table 1 Various designs of sub deco parts

	Lens dia (mm)	Mean wall thickness(mm)	
		1 <sup>st</sup> shot	2 <sup>nd</sup> shot
(A)	Ø1.10	0.80	1.02
(B)	Ø0.80	0.80	0.82
(C)	Ø1.10	0.80	0.82

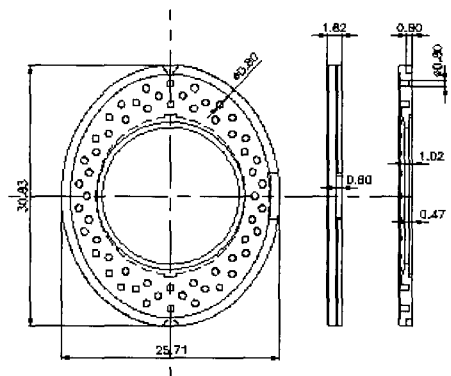
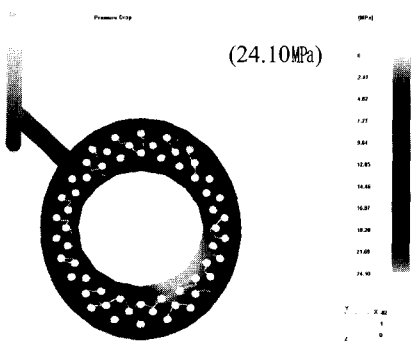
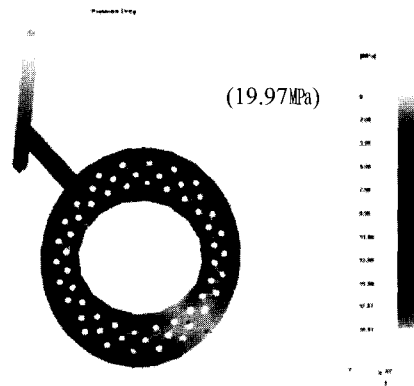


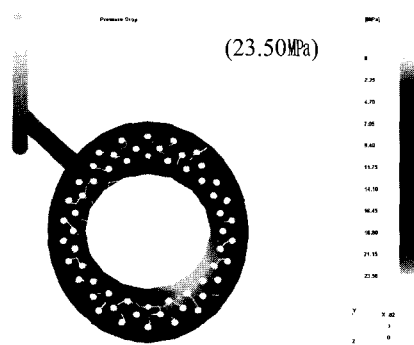
Fig. 2 Top and cross section views of sub deco part



Case A: Lens diameter = 1.10 mm,  
Wall thickness = 1.02 mm



Case B: Lens diameter = 0.80 mm,  
Wall thickness = 0.82 mm



Case C: Lens diameter = 1.10 mm,  
Wall thickness = 0.82 mm

Fig. 3 Distribution of weld lines predicted by the flow Analysis

맷의 파일로 변환시킨 후에 Moldflow 사의 Mold Adviser Module Rev 5.0을 이용하여 성형 해석을 수행하였다. 이때 substrate는 일체형인 고정된 코어(solid core)로 가정을 하였다. 성형 해석 조건으로 수지 온도를 245℃, 사출 시간 0.44sec 이며 오버몰드에 사용된 수지로는 LG Chem.의 도금용ABS 재질인 MP 220N을 이용하였다.

Fig. 3은 성형 해석한 결과의 웰드라인 상태를 그림으로 알 수 있는데 게이트(gate)로 부터 가까운 곳에서는 웰드라인이 적고 거기에서 멀어지면서 많이 나타나게 되는데 이것은 사출 압력과 용융된 수지의 온도가 게이트 부근에서 훨씬 높아지기 때문이다. 또한 성형 해석에서와 같이 충진이 가장 먼저 되는 파란색 부분은 압력 손실이 매우 크며 사출 압력도 상당히 낮아진다.

### 2.2 모델해석

이미 앞에서 제안하여 디자인한 세 가지 형태의 정확한 성형 해석을 위해서 런너(runner)와 게이트 시스템(gate system)을 포함한 성형품 형상을 에서 멀어지면서 많이 나타나게 되는데 이것은 사출 압력과 용융된 수지의 온도가 게이트 부근에서 훨씬 높아지기 때문이다. 또한 성형 해석에서와 같이 충진이 가장 먼저 되는 파란색 부분은 압력 손실이 매우 크며 사출 압력도 상당히 낮아진다.

## 3. 실험

### 3.1 금형설계 및 제작

성형 해석 결과를 바탕으로 오버몰딩을 위한 적절한 성형품 벽 두께 및 렌즈의 직경을 결정하였다. QDM(quick delivery mold)에서 얻은 정보와 성형 해석 결과를 바탕으로 금형 제작을 위한 설계를 한 후 먼저 58개의 직경 0.80mm인 substrate 부분의 렌즈를 폴리카보네이트 수지로 성형하기 위한 3단(three plate)금형 한 세트와 이어서 ABS 수지로 오버몰딩을 위하여 금형을 더 제작하였다.

특히, 런너 시스템에서는 많은 압력 손실을 줄일 수 있고 양호한 수지의 흐름을 위해서 변형된 사다리형(modified trapezoidal type)을 선택했으며 게이트 구조도 성형품 바닥쪽에서 바로 연결되는 오버랩 게이트로 결정하였다.

Fig. 4는 substrate와 오버몰드에 적용된 게이트의 정확한 위치 및 크기를 나타낸 것이다. 캐비티 및

코어의 재질은 경면 다듬질이 용이하여 광택성이 좋고 성형 후에는 전사성이 우수한 NAK 80을 사용하였다. 특히 substrate 렌즈 주위의 디자인 측면 및 은폐 효과를 위해서 외측 테두리(outside ring)와 내측 테두리(inside ring)의 광택면을 제외한 나머지 캐비티 표면은 방전 가공기(Charmillles EDM)를 사용하였는데 Charmilles No에서 VDI 27번을 선택하였고 전극(electrode)은 Copper 재질로 부식 형태(textured pattern)를 주었다.<sup>(12)</sup> 여기에서의 VDI 27번은 대략 Ra 2.6 $\mu$ m, Rz 16.0 $\mu$ m, Rmax 19.0 $\mu$ m와 Pc 88 범위의 표면 거칠기를 의미하는 것이다.

3.2 실험결과 비교

실험에 사용한 이중 사출기(Nissei DC 100-200)는 최대 사출압력이 1830kg/cm<sup>2</sup>으로 각각 두 개의 실린더 부와 코어 측 형관을 회전시키는 구조로 구성되어 있다. Table 2에서는 실제의 이중 사출을 위한 성형 조건을 나타내고 있다.

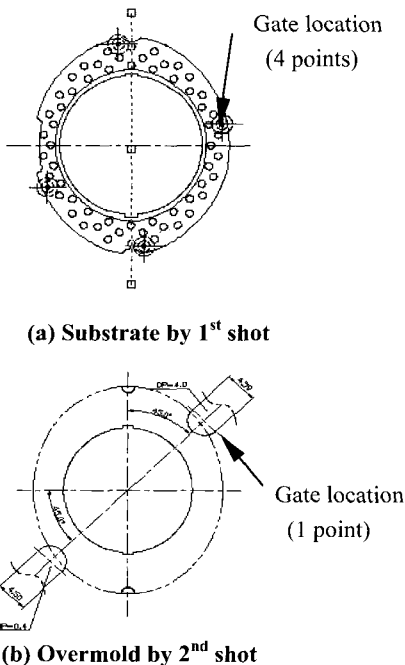


Fig. 4 Locations of the gate at the parts

Sub deco의 성형을 위해서 먼저 substrate 부분에는 광학용(optical grade) 폴리카보네이트 수지(Samyang 3022IR)를 사용했고 오버몰드(overmold) 부분에는 도금용(plating grade) ABS수지(LG Chem

MP 211N)를 적용하였다. 금형온도는 금형 온도기(tool temperature controller)에서 나타내는 값으로 실제로는 캐비티 벽 온도와 약 10 $^{\circ}$ C~15 $^{\circ}$ C의 차이가 있었다. 이에 대한 온도 측정은 정상적인 사출 성형을 하는 조건에서 캐비티 표면을 금형 온도계(thermocouple)로 10회에 걸쳐 측정하여 평균 온도를 구했다.

Table 3은 2차 성형 해석에서의 사출 성형 조건을 나타낸 것으로 사출 시간은 0.99sec이고 사출 압력은 19.97MPa에서 11.60MPa로 현저히 감소하였고

Table 2 Process conditions for actual two shot molding

Description	Unit	PC(1 <sup>st</sup> )	ABS(2 <sup>nd</sup> )
Melt temperature	$^{\circ}$ C	285	245
Tool temperature	$^{\circ}$ C	120	85
Injection pressure	sec	1	1
Injection time	sec	2	2
Cooling time	sec	13	13
Total cycle time	sec	28	28
Cushion		7	7

Table 3 Processing conditions for 2<sup>nd</sup> study

Material supplier	LG Chemical
Material grade	ABS MP 220N
Melt temperature	245 $^{\circ}$ C
Mold temperature	85 $^{\circ}$ C
Injection time	0.99 sec
Injection pressure(A)	12.78 MPa
Injection pressure(B)	11.60 MPa
Injection pressure(C)	11.50 MPa

Table 4 Comparison of weld lines from simulation and experiment

PC (1 <sup>st</sup> shot)	ABS (2 <sup>nd</sup> shot)	Number of weld lines on the gloss surface		
		Initial study	2 <sup>nd</sup> study	Mold shop
Lens dia (mm)	Mean wall thick(mm)			
(A) $\varnothing$ 1.10	1.02	7	5	3
(B) $\varnothing$ 0.80	0.82	4	1	0
(C) $\varnothing$ 1.10	0.82	6	3	2

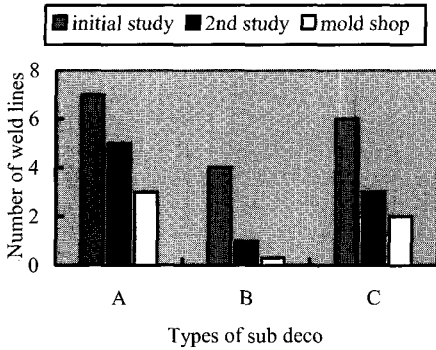
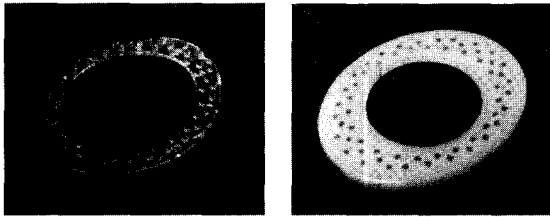


Fig. 5 Comparison of weld lines from simulation and Experiment



(a) Substrate (1<sup>st</sup> shot) (b) Overmold (2<sup>nd</sup> shot)

Fig. 6 Completed parts molded by two shot molding

Table 5 Co-relation of weld lines with cavity temperature

Description	Cavity temp(°C)	Number of weld lines	Length (mm)
Wall thick. 0.82 mm	90	0	-
	80	0	< 0.2
Lens dia. Ø0.80 mm	70	1	< 0.2
	60	5	-

\* Size of weld lines : L < 0.2 mm, W > 0.08 mm

결함도 같이 줄었다. Fig. 5와 Table 4에서는 1, 2차 성형 해석을 통해 나타난 웰드라인 상태와 실제 금형을 제작한 후에 성형한 결과를 비교하였다.

Case B가 Case A와 Case C에 비해서 sub deco의 렌즈 직경이 웰드라인의 위치에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다. 즉 Ø1.10mm의 경우에는 재차 융합한 웰드라인의 길이가 길었고 Ø0.80mm의 경우에는 융합한 후 추가적인 유동 변화로 광택면(high glossy surface)인 외측 테두리(outside ring)까지 퍼지지 않았고 웰드라인의 길이도 훨씬 짧았

다. (A)와 (C)는 (B)의 경우보다 웰드라인의 크기 및 숫자에 있어서 결함이 크게 나타났다. 특히 실제의 사출 성형에서는 성형 해석 결과에서 보였던 웰드라인 숫자보다 적게 나타났다

### 3.3 캐비티 온도와 웰드라인의 관계

다음은 도금용 ABS 수지로 성형한 제품의 캐비티 온도에 따른 미세 웰드라인과의 관계를 고찰하였다. 성형 해석과 실험 결과에서 웰드라인이 가장 적게 나타났던 (B) 모델링의 렌즈 직경 및 오버몰딩 부분의 평균 벽 두께를 고정시키고 캐비티 온도를 증가시키면서 웰드라인의 상태가 어떻게 변화하는지를 실험을 통해 분석하였다.

Table 5에서와 같이 캐비티 온도가 증가할수록 미세한 웰드가 감소하는 경향을 보여주고 있는데, 특히 80°C 이상에서는 크기에 있어서 길이가 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 캐비티 온도가 높다 하더라도 Tg 온도 이하이므로 캐비티 벽 온도의 상승이 사이클 타임(cycle time)을 길게하지는 않았다. 그 이유는 ABS 수지는 비 결정성 수지(amorphous polymers)로 보압 전환(switchover)을 기준으로 게이트 실(gate seal)이 시작되어 캐비티 내부에서는 더 이상의 유동이 없기 때문에 이형(demolding)에 걸리는 시간을 줄일 수가 있다. 즉 이미 폴리카보네이트 수지로 성형된 것은 인서트 코어(insert core)로 작용하고 ABS 수지에 의한 오버몰딩은 성형품의 벽 두께가 일정한 성형이 되어 총 사이클 타임에는 크게 영향을 주지는 않는다.

## 4. 결론

본 연구에서는 휴대폰에 조립되는 sub deco에서 1 차로 폴리카보네이트(PC)에 의한 성형에 이어서 ABS 수지로 오버몰딩(overmolding)한 후에 이들 성형상에서는 잘 보이지 않던 웰드라인(weld lines)이 마지막 공정인 Cr 도금(metal plating) 후에 나타나는 외관 결함(appearance defect)을 최소화시키기 위하여 유동 거동에 기초한 이론적인 고찰과 실험을 통하여 substrate에 있는 렌즈의 직경과 오버몰드(overmold)에서는 벽 두께를 변화시키면서 실험을 하였다.

특히 ABS 수지는 비 결정성(amorphous)이기 때문에 게이트 실(gate seal)이 일어나기 전까지는 캐비티 표면 온도를 최소 75°C 이상으로 높게하고

수지가 용융 온도 이상을 유지하여 성형품 표면에서 웰드라인 길이의 감소(length < 0.2mm)가 있었고 80℃ 부터는 현저히 없어진 것을 확인하였다.

이들 웰드라인의 발생 인자들에 대한 분석을 통해 유동 저항을 고려한 최적의 런너 시스템, 성형품 형상과 PVT 선도에서 보압 전환(switchover) 전까지는 ABS 수지가 용융 온도 이상을 유지하는 것이 웰드로 인한 외관상의 결함을 감소시킬 수 있음을 알았다.

그러나 본 연구에서는 이중 사출을 하는 동안에 온도 차이에 따른 용융 수지 점도 변화의 폭이 비교적 작은 비 결정성 수지에서의 웰드라인 감소를 목적으로 실험한 것으로 수지의 냉각 중에도 결정화(crystallization)가 계속 진행되는 결정성 수지(crystalline polymers)에서의 이에 관련한 실험이 필요하리라 사료된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광·열유체 마이크로부품 기술 개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) R. J. Digiantonio., 1992, "Two Shot Molding of Thermoplastic Elastomers", ANTEC '92 in Detroit, MI.
- (2) S. J. Schwartz., 2001, "Plastics Processing Technology Information", Modern Plastics – 2001 World Encyclopedia NY. pp. 44~ 47.
- (3) G. Menges, P. Mohren., 1933, "How to Make Injection Molds" Hanser, Munich, pp. 153~171.
- (4) 플라스틱스, 編集部, 1984, "射出成型用 金型設計技術", 工業調査會, Tokyo, pp. 141~147.
- (5) G. P. Gardner, R. A. Malloy., 1996, "Use Of the Moving Boundary Molding Technique to Strengthen Weld Lines", ANTEC '96, pp. 685~ 691.
- (6) T. Titchner., 1995, "The Effect of Transient Flow on Weld Line Strength and Visibility", ANTEC '95, pp. 4247~ 4251.
- (7) T. C. Chang, E. Faison., 1999, "Optimization of the Weld Line Injection Molding via an Experimental Design Approach", ANTEC'99, pp. 486~ 490.
- (8) S. Ohoka, K. Takada, K. Kidokoro, T. Tosa, S. Komiyama and M. Asanuma., 1996, "Factors Affecting the Shape of Weld Line" 高分子論文集 (Kobunshi Ronbunshu), Vol.53(6), pp. 339~334.
- (9) H. Bangert, 1989, "Predicting the Movement of the Flow Front in Injection Moulds", Bayer Plastic Business Group, Application Technology Information.
- (10) N. Rao, K. O'Brien., 1998, "Design Data for Plastics Engineer", Munich, pp. 186~191.
- (11) F. Johannaber., 1994, "Injection Molding Machines", Hanser, Munich, pp. 12~29.
- (12) D. Schauf., 1988, "Reproducing Textures from the Cavity Surface to the Surface of the Thermoplastic Moulding", Application Technology Information (ATI 584 e).