

# 투명 사출성형품 품질향상을 위한 금형온도 제어기술 Mold Temperature Control for Quality Improvement of a Transparent Part

\*박근<sup>1</sup>, 손동휘<sup>2</sup>, 서영수<sup>2</sup>, 김경민<sup>2</sup>, 이광우<sup>3</sup>

\*K. Park(kpark@snut.ac.kr)<sup>1</sup>, D. H. Sohn<sup>2</sup>, Y. S. Suh<sup>2</sup>, K. M. Kim<sup>2</sup>, K. W. Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 서울산업대학교 기계설계자동화공학부, <sup>2</sup> 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 원, <sup>3</sup> (주)로베이스 연구소

Key words : Injection molding, Induction heating, Mold temperature control, Weldline, Birefringence

## 1. 서론

사출성형 과정에서 고온의 수지 내부에서 상대적으로 온도가 낮은 금형면으로 열전달이 발생하고, 금형과 인접한 부분에서는 급속하게 온도가 저하되어 수지의 응고가 진행된다. 부분적인 수지의 응고층(frozen layer)은 일반 사출성형에서는 전체 두께에 비해 상대적으로 적은 부분으로 전체적인 유동에 큰 영향을 미치지 않는으나 두께가 매우 얇은 제품의 경우 고화층의 상대적 비율이 증가하게 되고, 결과적으로 수지 유동이 저하되어 미성형의 원인이 된다.<sup>1</sup> 또한 성형품 표면의 분자 배향을 증가시켜 제품의 잔류응력을 유발함으로써 이형후의 변형을 초래하고 투명한 광학제품의 경우 복굴절을 발생시키는 원인이 된다.<sup>2</sup>

사출성형품의 잔류응력은 유동에 의한 잔류응력(flow-induced residual stress)과 열에 의한 잔류응력(thermally-induced residual stress)으로 구분하여 생각할 수 있다. 이중 복굴절 특성은 유동에 의한 잔류응력의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며,<sup>3</sup> 이를 줄이기 위해 사출성형시 금형 온도를 유리 전이온도 이상으로 가열하는 방법이 연구되어 왔다.<sup>4,5</sup> 본 연구에서는 투명 사출성형품의 품질향상을 위해 고주파 유도가열(High-frequency induction heating)을 사용하여 급속 금형가열에 대한 연구를 수행하였다. 고주파 유도가열은 사출금형에 고주파 전류를 인가할 때 금형표면에 전류가 집중되는 표피효과(skin effect)를 이용하여 금형표면을 급속으로 가열하는 기법으로 사출성형품의 웰드라인 향상에 응용되고 있다.<sup>6,7</sup> 본 연구에서는 투명 전자부품의 성형공정에 고주파 유도가열 시스템을 사용한 금형온도 제어 기술을 적용시켜 제품의 외관품질을 향상시키고자 한다.

## 2. 리모컨 커버 부품의 웰드라인 예측

본 연구에서는 리모컨 커버 제품을 대상으로 사출성형시 웰드라인 및 복굴절 특성을 개선하기 위한 기술을 개발하고자 한다. Fig. 1에 리모컨 커버 제품 및 사출성형을 위한 유동안내부의 형상을 도시하였다. 리모컨 커버 제품은 다수의 구멍이 존재하고 다점게이트를 사용하면서 웰드라인이 발생하게 되며, 투명 제품인 만큼 도장 등의 후공정도 불가능한 만큼 웰드라인을 최소화할 수 있도록 성형조건을 설정해주어야 한다. 또한 제품 두께(1mm) 대비 유동길이 길어 복굴절이 심하게 발생할 것으로 예상된다.

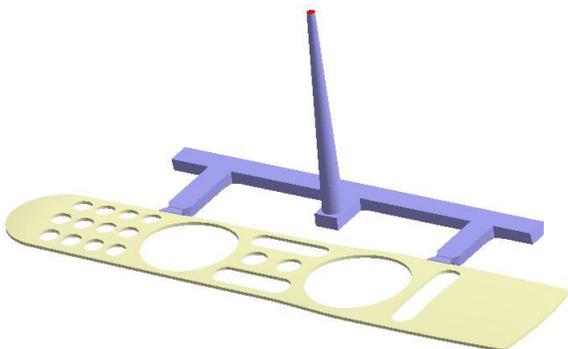


Fig. 1 A remote-control cover part with its delivery system

사출성형시 수지의 유동패턴과 웰드라인의 생성을 예측하기 위하여 사출해석 프로그램인 Moldex3D를 이용하여 해석을 수행하였다. 수지는 LG Chemical社의 Lupoy SC-1004A(Polycarbonate)를 사용하였으며, Table 1에 사출성형 조건을 요약하였다. 해석모델은 3차원 육면체 요소(hexahedral element)를 사용하였으며, 두께방향으로 6개의 요소층을 갖도록 요소망을 생성하였다. Fig. 2에 사출성형 해석을 통한 유동패턴 및 웰드라인 생성 위치를 도시하였다. 측면 2점의 게이트에서 시작된 유동이 다수개의 구멍 주위에서 만나며 여러 지점에서 웰드라인이 발생됨을 확인할 수 있었다. 상기 웰드라인 발생지점에서의 금형온도를 높이기 위해 Fig. 3과 같이 유도가열용 코일을 설계하여 제작하였다. 코일은 웰드라인이 주로 발생하는 구멍부 주변에 가열효과가 집중될 수 있도록 제작하였다.

Table 1 Injection molding conditions

Molding conditions	Values
filling time (sec)	1.0
packing time (sec)	1.6
cooling time (sec)	20.0
melt temperature (°C)	310
mold temperature (°C)	90
packing pressure (MPa)	120

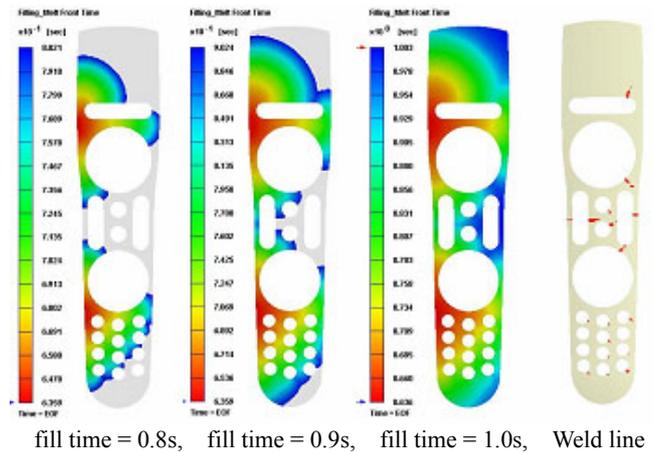


Fig. 2 Estimated filling patterns and the weldline locations

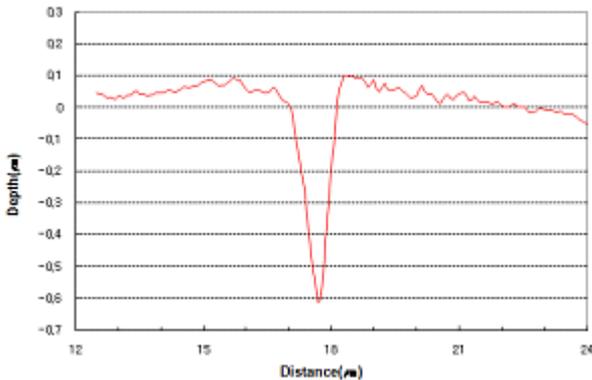


Fig. 3 An elliptic coil designed for induction heating

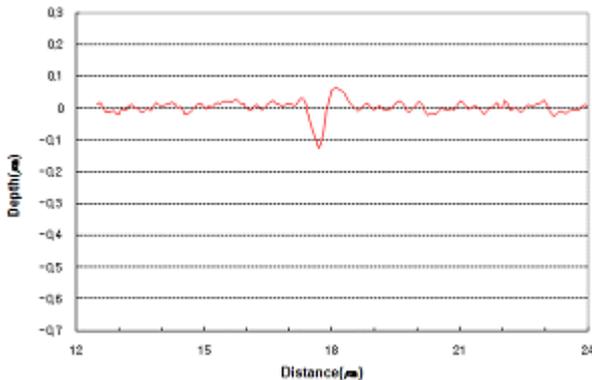
### 3. 고주파 유도가열을 적용한 품질 개선

#### 3.1 성형품 표면의 웰드라인 개선

사출품의 웰드라인 발생부위 관찰을 위해 고주파 유도가열을 적용유무에 따라 상태에서 시사출을 실시하였다. 이때 각각의 경우 온수를 사용하여 금형온도를 90℃로 유지하였다. 고주파 유도가열 적용시 가열조건으로는 출력을 10kW로 설정하고 100kHz의 주파수로 5초간 유도가열을 실시하였다. 각각의 경우에 대해 웰드부의 정량적인 비교를 위해 웰드부에 대한 표면조도를 측정하여 Fig. 4에 비교하였다. 표면조도는 RugoSurf 90G(분해능: 0.001 μm)를 사용하였다. 표면조도 측정 결과 고주파가열 미실시의 경우(Fig. 4 (a)) 웰드부의 폭은 1.374 μm이며, 깊이는 0.552 μm에 해당한다. 반면 고주파가열을 실시한 경우(Fig. 4 (b)) 웰드부의 폭은 0.771 μm, 깊이는 0.142 μm로 감소하였음을 알 수 있다.

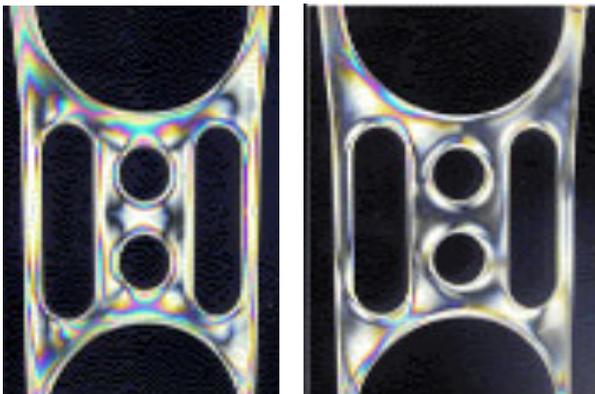


(a) without induction heating



(b) with induction heating

Fig. 4 Surface profiles around the weldline locations



(a) without induction heating (b) with induction heating

Fig. 5 Comparison of the birefringence patterns

#### 3.2 성형품의 복굴절특성 개선

고주파가열 유무에 따른 사출성형품의 중심부에 대해 복굴절 패턴을 측정하여 Fig. 5에 비교하였다. 고주파가열 미실시의 경우(Fig. 5 (a)) 복굴절 패턴의 색깔변화가 선명하게 나타났으며, 특히 Fig. 2에 도시된 웰드라인 발생 위치에서 패턴의 변화가 심하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 현상은 웰드라인 발생부에서 2개의 유동이 만남으로 인해 유동에 의한 분자배향의 변화가 생기기 때문으로 분석된다. 반면 고주파가열을 실시한 경우(Fig. 5 (b)) 전반적으로 복굴절 패턴의 변화가 상당부분 완화된 것을 알 수 있는데, 이는 금형가열에 의한 웰드라인 완화와 더불어 표면부에서의 응고층이 제거되어 유동에 의한 잔류응력이 상당부분 제거되었기 때문으로 판단된다.

### 4. 결론

이상으로 본 연구에서는 투명 전자부품의 외관품질 및 광학적 특성을 향상시키기 위해 고주파 유도를 사용한 급속 금형온도 제어기술을 적용하였다. 우선 사출성형의 유동해석을 통해 웰드라인의 발생위치를 예측하고, 이를 토대로 가열코일을 제작하여 사출금형의 고주파 유도가열을 실시하였다. 적용 결과 온수를 사용하여 금형온도를 90℃로 유지해준 경우에 비해 웰드부의 깊이를 1/3 이하로 감소시킬 수 있었으며, 복굴절 패턴도 획기적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였고, 결과적으로 제품의 품질을 향상시킬 수 있었다.

### 후기

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신사업 및 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업의 지원으로 수행된 연구결과임.

### 참고문헌

1. K. Park, B. Kim, and D. Yao, "Numerical simulation for injection molding with a rapidly heated mold, Part I: Flow simulation for thin wall parts," *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **41**, 897-902, 2006.
2. K. Park, B. Kim, and D. Yao, "Numerical simulation for injection molding with a rapidly heated mold, Part II: Birefringence prediction," *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **41**, 903-909, 2006.
3. A. I. Isayev and C. A. Hieber, "Toward a viscoelastic modeling of the injection molding of polymers," *Rheol. Acta.* **19**, 168-182, 1980.
4. K. M. B. Jansen and A. A. M. Flaman, "The influence of surface heating on the birefringence distribution in injection molded part," *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 898-904, 1994.
5. M. Chen, D. Yao and B. Kim, "Eliminating flow induced birefringence and minimizing thermally induced residual stresses in injection molded parts," *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **40**, 491-503, 2001.
6. S. C. Chen, W. R. Jong, and J. A. Chang, "Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance on weld line," *J. Appl. Polym. Sci.*, **101**, 1174-1180, 2006.
7. K. Park, D. H. Sohn and K. H. Cho, "Eliminating weldlines of an injection molded part with the aid of high-frequency induction heating," *J. Mech. Sci. Technol.*, **24**, 149-152, 2010.