

스팀사출성형에 의한 공정의 최적화

문영대*

대동전자(주) 금형부[†]

Process optimization for the steam injection molding

Yong-dae Moon*

Department of Mold, Daidong Electronic Co., Ltd.[†]

(Accepted May 28, 2015)

Abstract : The water has been the suitable for the cooling medium until now. But the water as cooling medium seem to have the limit for high speed injection. The steam plastic molding injection use the steam as the medium when raise the mold temperature. The weld line has been the major quality problems in a plastic injection parts to be difficult to be solved. These problems in injection-molded plastic parts are difficult to find the reason because these issues are usually in tradeoff realtions with each other. The purpose of this paper is to obtain the optimum injection moulding condition for improving the quality of plastic injection parts and to inquire the productivity improvement with the measured cycle time by steam plastic moluding injection. Based on these numerical results, the guidelines of mould design and injection processing condition were established. As a result, the improvement of quality and the reduction of cycle time was achieved.

Key Words : Weld line, Steam injection, Optimum injection moulding condition, Separator

1. 서 론

스팀사출성형(steam-molding)은 스팀으로 가열하고 찬물로 냉각하는 성형방법으로 도장이나 도금 등의 후가공 없이 고품택 표면을 갖도록 성형하기 위해 금형을 120℃이상의 스팀으로 급속 가열하여 성형한 후 급속 냉각시키는 성형방법이다. 대부분의 개선 효과는 웰드라인의 문제, 사이클타임의 단축, 환경 친화적인 무도장 또는 무도금 등에 있다. 그 외 금형의 가열방법에 따라 고주파 가열법, 적외선 가열법, 전기히터에 의한 가열법 등이 있다. 이와 같이 금형 급속가열-급속냉각 방식(Rapid Heat Cycle Mold)으로 Steam-Mold 외에 E-Mold, H-Mold, Ray-Mold 등의 유사 공법이 연구되었다.

Park과 Kim¹⁾은 고주파 전류의 표피효과(skin effect)를 이용하여 금형 표면만을 순간으로 유리전이 온도 이상으로 가열하는 방법으로 박육 사출성형의 유동특성을 개선하기 위한 실험적인 연구를 수행하였다. 사토 아츠시²⁾는 유동성이 나쁜 재료를 사용한 살두께 0.2mm이하의 극박육 제품을 대상으로 초음파 진동을 사출성형에 적용하여 소개한 바 있다. 한편 고속사출성형(High cycle injection)을 위해 점도를 고려한 수지의 선택 및 금형 온도 관리 방법이 오래 전부터 소개 되어왔다³⁾.

금형의 온도를 급속으로 100℃이상 고온으로 가열하고 냉각 시키는 급열과 급냉의 금형 온도조절을 효율적으로 수행하기 위하여, 우선 기존의 범용 사출 성형 시스템만으로는 제약이 따르고 고속사출 전용 성형기와 관계 장치의 변화를 요구 한다. 금형의 제작에 있어서도 열효율을 고려하여 금형의 제

* 교신저자 : 대동전자(주) 금형부
E-mail : ydmoon007@naver.com

질, 정도, 냉각 회로 및 매체 등의 세심한 변화가 요구된다. 냉각매체의 선택에 있어서 실질적으로 지금까지 가장 일반적이고 적합한 매체는 물이라고 생각한다. 보다 빠르고 정확한 생산성 효과를 얻을 수 있는 매체의 요구에 따라 대체 매체로 기름(oil) 등이 실험으로 사용되어 왔다. 그러나 이들 매체들은 금형의 가열과 냉각에 소요되는 시간이 상대적으로 길거나 불량률이 높아 생산성이 저하되는 문제점이 있어 왔고 큰 개선 효과를 보이지 못해왔다고 생각한다. 기름의 경우 점도는 높으나 비열, 열전도율이 물에 비해 상대적으로 낮기 때문이라 생각한다. 금형 온도의 가열 시에는 매체로 스팀(Steam), 즉 증기를 사용하고 냉각 시에는 물을 사용하는 사출성형(이후 스팀사출성형이라 부른다)법이 몇 년 전부터 개발되어 TV, 모니터, 노트북 등의 전자 제품에 사용되어 왔다. 스팀 사출 성형은 스팀을 매체로 170℃ 이상 고온으로 공급하여 금형 온도를 가열함으로써 수지의 유동특성을 좋게 하여 성형품의 웰드라인을 개선시키고 환경 친화적인 무도장 방법을 지향하여 제품의 외관 품질을 향상시켜 왔다.

웰드라인(weld line)은 사출성형 과정에서 설계상의 문제와 사출 성형 시 공정조건상의 복합적인 문제 등으로 발생하는 성형품 외관상 불량으로 현재까지의 사출기술로는 해결하기 어려운 과제라고 여겨 왔다. 웰드라인을 최소화하기 위하여 기존의 사출 성형 공정조건상에서 높은 사출 온도와 사출압력, 노즐온도와 같은 기계변수를 제어변수만으로는 최적화를 진행하기에 어렵고 후 가공이라는 도장(printing)을 사용하거나 게이트의 위치 변경, 두께 조절 또는 타이밍 밸브의 시간차 등의 유동조절법을 이용하여 눈에 보이지 않는 위치로 조절하여 최소화하는 방법 등이 소개된바 있다⁴⁾. 그러나 스팀 사출 성형법을 도입함으로써 웰드라인의 문제는 좀처럼 볼 수 없게 되었다. 본 실험에서는 고풍택 성형품을 대상으로 제작된 금형을 이용하여 스팀사출성형을 통한 사출 실험으로 사이클타임의 개선과 외관상의 품질 문제인 웰드라인의 개선을 위한 최적 공정조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 실험제품 및 장비

제품 형상은 Fig. 1과 같이 제품 크기가 799(W)mm × 495(D)mm × 22(H)mm, 기본 살두께는 2.5mm,

중량 430g 이며, 금형의 기본 사양은 Table 1과 같다.



Fig. 1 The shape of plastic Front parts & delivery system

Table 1 Specifications of the mould

Main Core Material	KP4	Cavity Material	CENA1
Gate type	Side Gate	Hot runner	Air operation valve system
Schedule (by Try1)	52day	Resin	PMMA +ABS

금형 재질은 Table 1에 나타난 것처럼 캐비티(cavity)에는 경면사상성, 피삭성과 부식 가공성을 고려하여 일본 Hitachi Metals의 CENA1을 사용하였다. Fig. 2와 같이 고정측 캐비티에는 스팀 사출성형을 위해 금형 제작 시 열효율을 고려하여 비교적 형상 적응형 냉각수로⁹⁾에 맞추어 설계하였으며 냉각수로의 홀 크기는 $\varnothing 8\text{mm}$, 홀간 간격은 16mm로 제품부위로부터 14mm거리에 가공 하였다. 사출 성형 중 캐비티의 금형 온도 컨트롤을 위해 온도 센서(TYPE C.A $\varnothing 3.2\text{mm}$)를 사용하였으며 이를 위하여 금형 캐비티에 냉각라인으로부터 16mm거리의 위치에 센서홀을 가공하여 설치였다. 유동기구의 사양은 수지의 유동 특성을 좋게하기 위하여 핫 런너(Hot runner) 6점을 사용하였다.

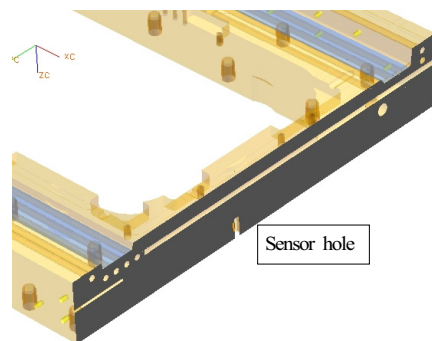


Fig. 2 The sectioned diagram of mould steam line

열교환을 방지하기 위하여 원판과 코아 간에 10mm 두께의 베이클라이트(Bakelite)를 부착하였다. 금형 내의 잔류공기나 수지는 웰드라인 또는 기타의 외관품질에 중요한 영향을 미치기 때문에 이로부터 발생하는 가스의 원활한 배출을 위해 상측에 에어 벤트 홀(air venting hole)을 설치하였다. 경면부는 컴파운드(compound) #8000기준으로 사상하였다. Fig. 3에 고정측 금형의 캐비티를 나타내었다.

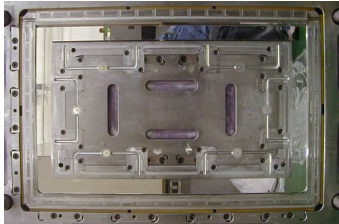


Fig. 3 The Cavity shape for the high glossy mold

2.1.1. 스팀온도조절기

스팀 온도 조절기는 SYSKO사의 FC-STA모형을 사용하였다. Fig. 4에 스팀 온도 조절기의 개념도를 도시하였다.

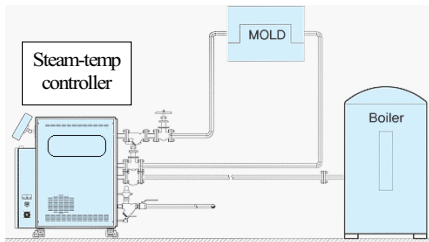


Fig. 4 The schematic setup of steam controller

2.2. 스팀사출성형 실험방법

본 연구에서는 모델 Fig. 1의 제품으로 스팀사출성형으로 사이클 타임 및 웰드라인 개선을 위한 최적 공정 조건 도출하고자 제작된 금형을 갖고 반복적으로 시 사출성형 실험을 수행 하였다. 실험에 사용된 사출 성형기는 LG기계사의 850톤으로써 유압에 의한 직압식 수평성형기를 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 최종공정조건도출

모델 Fig. 1의 스팀사출성형 실험을 통하여 사이클 타임 및 웰드라인(weld line)의 개선하기 위하여 최적화를 실행한 결과로 얻어진 최적 공정조건은

Table 2에 나타내었다.

Table 2 Optimum injection molding condition

Speed(%)	1	2	3	4	
	45	65	42	35	
Screw position(mm)	1	2	3	4	S0
	70	20	18	10	88
Pressures(%)	1	2	3	4	
	85		75	45	
Injection time	15 sec				
Cooling time	28 sec				
Cylinder Temperature(°C)	NH	H1	H2	H3	H4
	225	235	235	235	195
Cavity Temp. Condition	Mold Max		90 °C		
	Mold Min		80 °C		
	Spplly Max		165 °C		
	Spplly Min		31 °C		

이동측 금형 온도는 49°C에서 웰드라인이 개선되었으며 사이클타임은 68sec로 측정되었다. 이때 스팀의 공급온도는 Max. 165°C로 나타났다. 금형 캐비티 온도가 Max. 86°C이하 일 경우 사이클 타임은 단축되었으나 웰드라인이 발생하기 시작였다. Fig. 5와 Fig. 6에 웰드라인의 발생 위치와 개선된 성형품을 각각 나타내었다.

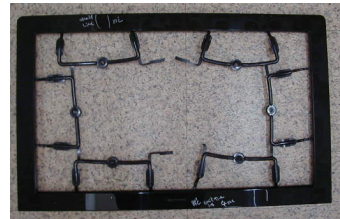


Fig. 5 The weld line position of part molded by low steam temperature

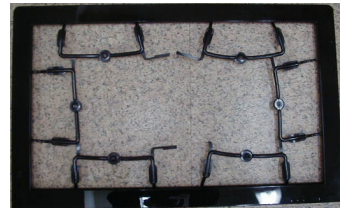


Fig. 6 The parts molded by the optimum injection molding condition

금형의 성형 시 최고 온도와 냉각 시 최저온도의 차가 클수록 사이클타임이 길어지고 휨에 의한 변형이 발생하는 반면 최고온도와 최저온도의 차가 짧을수록 사이클 타임은 단축되나 금형의 최고온도가 너무 낮아질 경우 웰드라인이 발생하였다. 사출

시 금형의 열림이 완료된 순간부터 고온의 스팀이 공급된다. 금형의 캐비티 온도가 최고온도까지 올라가는데 소요되는 시간이 32초로 측정되었다. 그 원인은 첫째로 스팀 온도 조절기부터 금형에 까지 연결된 호스로 부터의 열 방출, 둘째로는 온도센서의 설치 위치, 마지막으로 주요 원인은 스팀 온도 조절기로부터 고온의 스팀이 금형에 공급되고 금형의 온도를 최고 온도까지 상승하는데 소요되는 시간으로 매체인 스팀과 철의 열전도율 차이만큼의 열 저항이 예상된다. 들어간 열 유량과 나오는 열 유량이 일정하지 않으면 내부에서는 열전도율 만큼의 열 저항이 있기 때문에 두 물체간의 열평형을 유지하기 위하여 그 만큼의 시간차가 발생한다. 이 때 각 단면을 단위시간당 통과하는 열량은 다음 식과 같다.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k1 \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{l1} = k2 \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{l2} \quad (1)$$

Q : 열량 (kcal) , t :시간(h), k : 열전도율(kcal/mh²C), A : 단면적(m²), Δ : 온도차(°C)를 나타낸다.
물과 철에 대한 열전도율과 비열(specific of heat)을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Thermal conductivity and specific of heat about water and iron

Material	Iron	Water	Water
Temperature(°C)	20	40	200
Specific gravity	7900	992.3	864.7
specific of heat	0.108	0.998	1.076
Viscosity coefficient	-	0.659	0.160
Thermal conductivity(k)	62	0.540	0.572
Temperature conductivity	0.073	5.45	6.15

Fig. 7에 스팀공급온도와 금형의 캐비티온도 변화를 그래프로 나타내고 있다. 적색선은 스팀공급의 온도변화, 파란선은 냉각수의 공급온도변화, 노란선은 금형의 온도변화를 각각 나타낸다.

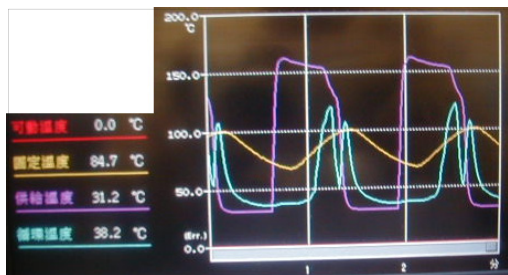


Fig. 7 Temperature variation on the cavity

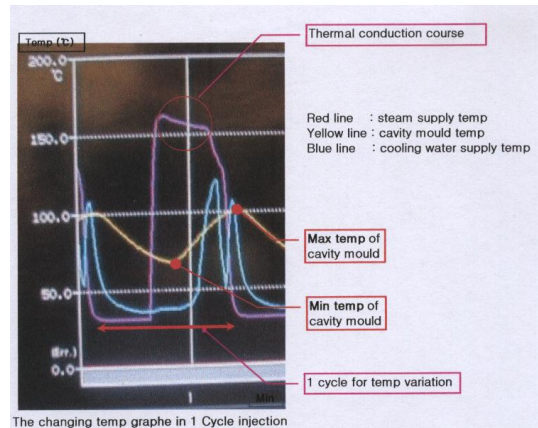


Fig. 8 One cycle temperature variation on the cavity

Fig. 8은 1회 성형 시의 온도변화를 나타낸 것이다. 스팀이 165°C의 고온으로 공급되고 금형의 캐비티 온도가 상승하면서 설정된 최고 온도까지 도달하고 사출공정의 완료 후 냉각수가 공급되면서 금형의 캐비티 온도가 하강하기 시작하면서 설정된 최저 온도까지 진행되는 과정을 보여주고 있다. 금형의 최고 온도와 최저 온도차가 클수록 금형온도 기울기는 보다 완만해지고 사이클 타임은 상대적으로 길어짐을 알 수 있다. 스팀의 공급온도와 냉각수의 냉각온도는 외부 요인에 의한 종속변수로 보고 공정의 최적화를 위하여 금형의 설정온도를 제어변수로 볼 때 금형의 최고온도와 최저온도의 차를 최소화함으로써 사이클 타임을 단축시킬 수 있었다. 그러나 성형 시 금형의 최고 온도를 낮게 설정 할 경우 웰드라인의 문제가 발생할 수 있다.

물의 열용량을 1로 볼 때 비열이 곧 열용량이 된다. 따라서 비열이 큰 물질은 온도변화를 위하여 시간이 증가하는 반면 비열이 작은 물질은 온도변화를 위하여 상대적으로 시간이 덜 걸린다. 벽면체의 열전달율은 표면적의 크기와 비례하여 평평한 면보다 우툴두툴한 쪽이 크다고 볼 때 스팀라인의 평평한 가공면을 개선할 필요가 있으나 가공상의 어려움이 있어 현실적으로 어렵다고 볼 수 있다. 동일한 도, 동일압력의 조건에서 열을 전도하는 것은 기체 입자이기 때문에 열의 빠른 전달을 위하여 기체의 이동속도가 빨라야 한다.

3.2. 세퍼레이터

스팀의 증기압과 냉각수 압력의 관계가 사양 범위를 벗어날 경우 스팀이 냉각수 배관으로 역류하

거나 냉각수가 스팀배관으로 역류할 가능성 있으며 이런 현상은 기기의 파손 원인이 될 수도 있으므로 압력은 반드시 적정치를 유지해야 한다. 이에 대한 방안으로 최초 보일러를 가동 할 때에 증기가 모여 있는 물을 배출하고 나서 사출성형을 실시하였으나 증기에는 다소의 물을 포함하고 있는데, 스팀 속에 포함된 물을 자동으로 스팀과 분리 후 가스만을 금형 내에 공급하고 응축액은 배관 밖으로 배출하는 장치, 즉 세퍼레이터(seperator)를 스팀 온도조절기에 설치한 후 사출실험을 실시한 결과 사이클 타임이 8sec 단축되었다.

Fig. 9에 세퍼레이터 밸브의 스팀과 물의 분리 과정을 나타내었다.

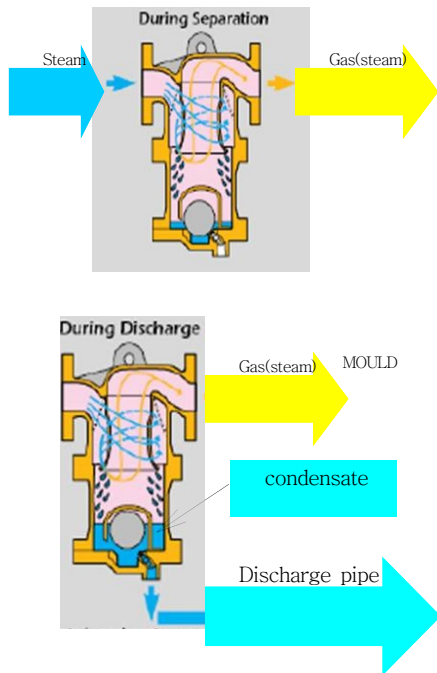


Fig. 9 Operation of separator system

따라서 스팀과 물을 분리 후 스팀만을 금형내에 공급하기 위해 스팀 온도조절기에 세퍼레이터(seperator)를 설치 후 사출실험 결과 9sec 단축되었다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 사출성형공정에서 웰드라인의 외관품질 문제를 해결하기 위하여 스팀을 사용한 반복적

인 시 사출 실험에서 최적 공정조건 도출을 위한 공정 최적화를 진행하였다. 최적 공정조건 도출 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 스팀 사출성형에 의한 시 사출 결과 웰드라인 문제를 해결할 수 있었다. 반면 성형 시 금형의 최고온도가 86℃이하로 떨어질 경우 웰드라인이 발생하기 시작하였다.

2) 금형의 최고온도가 140℃일 경우 웰드라인 문제는 해결되었으나 상대적으로 휨 변형이 크게 나타났다. 이는 이동측 과의 온도 차로 인한 잔류 응력 때문인 것으로 판단된다.

3) 성형 시 고온의 스팀이 공급되고 금형을 최고 온도 까지 가열하는데 걸리는데 시간이 32sec, 냉각 시간이 28sec로 측정 되었다. 금형을 가열하는데 시간이 소요되는 이유는 매체인 스팀과 철간의 열전도율의 차로 인한 열 저항 때문으로 판단된다. 그러나 일반 범용 사출 시와 비교하여 볼 때 물 100℃로 금형을 동일한 최고 온도로 가열하는 데는 식(1)과 Table 3를 이용하여 더 많은 시간이 걸림을 간접적으로 알 수 있다.

4) 사이클 타임의 단축을 위해 스팀 온조기에 세퍼레이터(seperator)를 설치하여 스팀 공급 시 스팀과 물을 분리시켜 물을 먼저 배출 시키는 방법을 시도한 결과 사이클 타임은 소폭으로 단축되었음을 알 수 있었다.

5) 고품택 성형품을 대상으로 웰드라인의 개선을 위하여 최적 공정조건을 도출하고자 스팀 온도조절에 의한 반복적인 시 사출 실험을 통하여 실험을 수행한 결과 최적 공정조건에서 웰드라인이 개선 되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Keun Park, Byung H. Kim, A Study on Improvement of Flow Characteristics for Thin-Wall Injection Molding by Rapid Mold Heating, Trans. Mater. Proc., Vol. 15, pp. 15-20, 2006.
- 2) Satou Athusi, The sum of the mould for ultrasonic injection moulding, Die & Mold Technology, Vol. 2, Chomdan co., 2003.
- 3) Tuyu Agaotuto, An introduction for HighCycle Injection moulding, A committee of inquiry into Japan industry, 1997.

- 4) O.R.Kim, "A study on the performance Evaluation of Injection of Thin Wall Molding," Incheon Univ, Doctorate thesis, 2010.
- 5) D. G. Ahn, Fabrication of Cores for the injection Mould Using the Fabricated Core, Trans. Mater. Proc., Vol. 16, pp. 549-554, 2007.
- 6) J. K. Kang, Y. K. Cho, H. K. Chang, B. O. Ree, Optimum Injection Molding Condition Search With Process Monitoring System, Trans. Mater. Proc., Vol.16, pp. 54-60, 2007.
- 7) Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics an engineering approach, McGrawHill, 2007.
- 8) Bruce.R Gregg(Edt), Bruce "Modern Materials and Manufacturing" Process Prentice-Hall, Inc., 2005.
- 9) Y. D. Moon, A Study on Gas-Assisted Plastic Injection Mould of Flat TV Front Cover, Trans. Mater. Proc., Vol. 12, pp. 738-743, 2003.
- 10) Chae. Sung. Cho, A Study on Paintless Molded Parts in TV Mask Front Using Gas-Assisted Injection Molding, Trans. Mater. Proc., Vol. 11, pp. 691-700, 2002.
- 11) J. C. Park, Byung H. Kim, Automatic Mold Design Methodology to Optimize Warpage and Weld Line in Injection Molded Parts, Trans. Mater. Proc., Vol. 9, pp. 512-525, 2000.