

## 사출공정에서 휨 변형을 최소로 하는 호퍼 설계 연구

김영석<sup>1\*</sup>, 이의주<sup>2</sup>, 손재환<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 기계공학부, <sup>2</sup>경북대학교 대학원, <sup>3</sup>대구기계부품연구원

### A Study on Hopper Design for Minimizing the Warpage Deformation at Injection Molding Processes

Young-Suk Kim<sup>1\*</sup>, Eui-Joo Lee<sup>2</sup>, Jae-Hwan Son<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, <sup>2</sup>Graduate School, Kyungpook National University,  
<sup>3</sup>Daegu Mechatronics and Material Institute

**요약** 사출성형은 플라스틱 제품의 대량생산에 적합한 제조기술이지만 사출성형공정에서 사출품의 휨 변형이 항상 문제가 되고 있다. 본 연구에서는 전자동 정제분류 포장시스템의 호퍼 제품을 기존의 ABS 수지에서 PP 수지로 변경하는 경우에 생기는 사출품의 휨 변형을 최소로 하는 것을 목적으로 하였다. Moldflow 소프트웨어를 이용하여 호퍼의 사출성형 공정을 해석하여 호퍼의 휨 변형을 최소로 하기위한 게이트의 형상과 리브 형상을 결정하였으며 실 제품의 사출성형을 통해 사출성형 해석결과의 타당성을 입증하였다. 결정성 수지인 PP 재료의 사출성형 시에는 유동선단의 면적이 넓은 경우가 유리하며 리브를 보강하는 것이 휨 변형을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

**Abstract** Injection molding is a high efficient manufacturing technology for producing plastic parts. On the other hand, the warpage of molded plastic parts is an ubiquitous problem in the injection molding process.

The main objective of this study was to minimize the amount of warpage occurring in the injection molding process of a hopper of ATDPS made of crystalline polymer (PP) instead of amorphous polymer (ABS).

The moldflow CAE simulation was conducted for the molding process of the hopper to clarify the injection moldability, shear rate, shear stress, warpage by changing the gate shape and the number of ribs installed on the top of the hopper flange. The wide gate shape of runner system and multiple rib installation were found to be useful for minimizing the warpage of the hopper. The validity of the CAE simulations was supported by the injection molding experiment for the optimized design case.

Key Words : *Hopper, Injection Molding, Moldflow, Rib, Warpage*

### 1. 서론

일상 생활용품, 전기전자 제품, 자동차, 항공기 부품 등 여러 분야에서 널리 이용되고 있는 플라스틱 제품의 대부분은 사출성형(injection molding)으로 생산된다. 플라스틱 사출성형은 용융된 고분자 수지(polymer)를 금형 안으로 충전시킨 후 냉각시켜 제품을 만드는 가공공정이

다. 이때 사용된 고분자 수지, 금형형상, 사출조건 등과 관련된 설계변수들에 의해 사출성형된 제품에 다양한 성형불량 -휨(warpage), 뒤틀림(twist), 웰드라인(weld line)이나 과도한 수축(shrinkage) 등 - 이 발생하거나 제품의 품질이 결정된다. 이들 성형불량은 품질저하 뿐만 아니라 제품개발의 납기지연과 원가 측면의 손실로 기업 경쟁력의 약화를 초래한다.[1]

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비 지원으로 수행된 연구임

\*Corresponding Author : Young-Suk Kim(Kyungpook National Univ.)

Tel: +82-53-950-5580 email: caekim@knu.ac.kr

Received August 14, 2014

Revised October 21, 2014

Accepted January 8, 2014

과거에는 이들 성형불량을 줄이기 위해 주요 설계변수들 -살 두께, 게이트의 위치와 종류, 수지종류, 제품형상, 사출조건 등 - 을 제품설계자의 경험에 의해 결정하는 시행착오(try-and-error) 방식에 의존하였다. 그러나 최근에는 사출해석전용소프트웨어를 이용한 컴퓨터응용해석 (computer aided analysis, CAE)을 통하여 수지의 충전과정->냉각과정->보압과정->휨 변형해석과정에서 성형불량을 사전에 예측하고 성형불량이 최소화된 최적의 설계안및 공정조건을 도출하고 제품설계-금형설계-양산화로 이어지는 제품개발기간을 단축하고 있다. [2, 3, 4]

CAE 해석을 통해 사출성형 제품의 대표적인 성형불량인 휨 변형을 최소화하기 위한 공정설계를 위한 연구로 Taguchi의 직교배열실험(Taguchi orthogonal experiment)을 이용한 강건설계[5,6], 인공신경망 (artificial neural network, ANN) [7,8]및 유전알고리즘 (genetic algorithm) [9] 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 또한 게이트 형상및 위치의 최적화[10] 및 사출제품의 두께 최적화[11,12], 최적 수지의 선정[13] 등에 의해 휨 발생을 최소로 하기위한 노력들이 행해지고 있다.

본 연구에서는 전자동 정제분류 포장시스템 (Automatic Tablet Dispensing & Packaging System, ATDPS) 장비 하단부에 위치하며 정제약을 한 곳으로 모아주는 역할을 하는 사각컵 형태의 호퍼를 대상으로, 기존의 비결정 수지인 ABS 재질의 진공성형품을 결정성 수지인 PP 재질의 사출성형품으로 제작 시 발생하는 휨 변형량을 최소화하기 위한 방안을 강구하였다.

호퍼 재질과 제조방법의 변경을 시도한 이유는 ABS 재질의 경우에 높은 단가와 진공성형공정에서 얻어진 제품의 두께 불균일과 과도한 휨 발생으로 제품의 불량률이 높으며, 또한 ABS 수지로 제작된 호퍼는 장비 상단부에 위치하는 정제약이 낙하하여 호퍼에 부딪칠 때 약이 파손되는 현상도 다발하였기 때문이다.

본 연구에서는 사출성형해석용 소프트웨어인 Moldflow[4]를 이용하여 PP 재질의 호퍼 사출공정을 해석하여 게이트 형상을 선정하고, 휨 발생(z-axis deflection)을 최소로 하는 리브(rib) 형상 및 구조를 결정하였다. 또한 그 결과에 따른 최적의 조건으로 실제 금형을 제작하여 제품을 제작하여 사출성형품의 휨 발생이 품질 합격기준 내에 있음을 확인하였다.

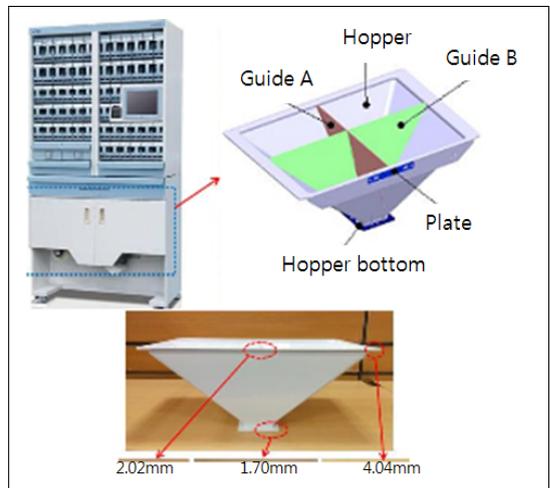
## 2. 수치해석 모델

### 2.1 해석 모델 및 재료물성

본 연구에서는 대상으로 하는 전자동정제분류포장시스템의 호퍼의 형상은 Figure 1과 같이 가로, 세로, 높이가 (550\*338.5\*198)mm 이며 전체적인 두께는 3mm이다.

호퍼에는 각종 성형불량이 없어야 되며, 호퍼를 ATDPS 장비에 조립 후 정제약 낙하 시에 장비 본체와 호퍼 사이에서 정제약이 빠져나오지 않아야 된다는 조건을 만족하도록 호퍼 상부면 평면도는 일정값(2.0mm) 이하이어야 한다.

본 연구에서 사용하는 결정성 수지인 PP 수지는 반투명으로 강인하고 가벼우며 내열성(결정용점 160~168C)이 있는 결정성 플라스틱으로 ABS 수지와 비교하여 사출성형성이 우수하며 굴곡피로에 잘 견디는 반면 성형수축률(16/1,000mm)이 크고 휘거나 비틀리기 쉬운 치수가 정밀한 사출품은 얻기 어려운 단점이 있다고 알려져 있다. Table1에 PP 수지의 물성값을 나타내었다.



[Fig. 1] (a) ATDPS (b) ABS Hopper of ATDPS showing large thickness variation

### 2.2 지배방정식

일반적으로 사출 성형 공정으로 제작되는 제품은 얇은 두께를 성형하는 경우가 대부분이기 때문에 평면 방향의 유동에 비해 두께 방향으로의 유동은 상대적으로 무시할 수 있다 [1]

Moldflow [4]에서는 사출성형에서 고분자의 유동 및

보압과정을 해석하기 위해 연속방정식, 운동방정식, 에너지방정식 그리고 역학관계식을 사용하는데 구체적인 식의 형식은 Autodesk Moldflow Insight 2014 [4]의 설명서를 참고하기 바란다.

### 3. Moldflow 해석 조건

사출성형 해석에는 Moldflow [4]를 이용하였으며 냉각(Cool)→충전(Fill)→보압(Pack)→변형(Warp) 모듈을 이용하여 사출공정의 전 과정에 대해 해석을 진행하였다. 본 연구에서는 먼저 게이트(사이드 게이트) 형상의 변화에 따른 수지의 충전과정에서의 유동성(전단변형률과 전단변형률 분포)를 분석하여 적절한 게이트 형상을 결정 한 후, 동일한 사출성형 조건에서의 리브 형상을 변경하여 Z축 방향의 변형량을 최소화 하는 리브 형상을 찾 고자 하였다.

[Table 1] Physical property of PP (Sumitomo, AW564-JC)

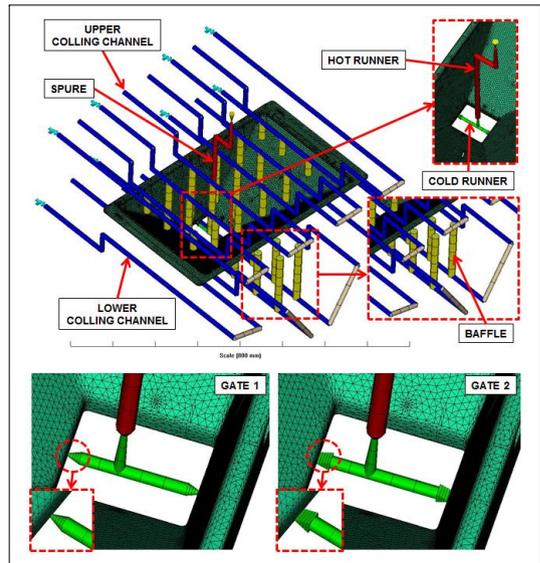
Manufacturer		SUMITOMO
Commercial		Noblen AW564-JC
Family Name		Polypropylene
Density (g/cm <sup>3</sup> )	Melt	0.73765
	Solid	0.9174
Ejection Temperature (°C)		114
Transition Temperature (°C)		128
Melt Tem. (°C)	Min.	180
	Max.	260
	Suggested	220
Mold Tem.(°C)	Min.	20
	Max.	80
	Suggested	50
Specific Heat (J/kg-K)		2842 (195°C)
Thermal Conductivity (W/m-K)		0.163 (236°C)

사출성형 해석에 사용된 격자(mesh)는 형상 변경이 필요 없는 모든 요소의 두께가 자동으로 계산되는 Dual-domain 으로 생성하였으며 생성된 격자의 수는 78,969 개이다.

Figure 2는 호퍼, 러너와 냉각 시스템 그리고 2종류의 게이트 형상에 대한 요소분할을 나타내고 있다. 게이트 1의 형상은 게이트의 유동선단이 뾰족한 원형뿔 형태로 좁은 반면, 게이트 2의 형상은 유동선단이 평평하게 넓은 원형뿔 형태이다.

Table 2에 본 연구에서 고려한 두 종류의 게이트 1과 게이트 2의 러너와 냉각 시스템의 재원을 나타내었다.

사출성형 해석조건으로는 사출시간 3초, 수지온도 220°C, 금형온도 50°C, 냉각시간 22초, 보압(Pack/holding control)은 3초간 35MPa 로 설정하였다.



[Fig. 2] Design of cooling and runner systems

[Table 2] Injection process details

	GATE 1	GATE 2
Cold sprue	ø6-ø8mm	ø6-ø8mm
Hot sprue	ø7-ø12mm	ø7-ø12mm
Cold runner	ø8mm	ø8mm
Hot runner	ø12mm	ø12mm
Cold gate	1-8mm	8*1*8*8mm (length:8mm)
Hot gate	ø6-ø12mm	ø6-ø12mm
Channel	series channel	series channel
Channel size	ø12mm	ø12mm
Baffle size	ø19mm	ø19mm

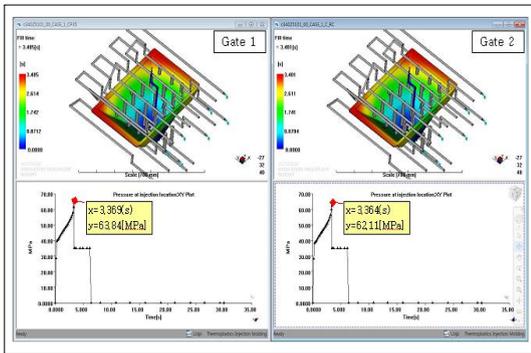
### 3. 해석 결과 및 고찰

#### 3.1 게이트 형상 분석

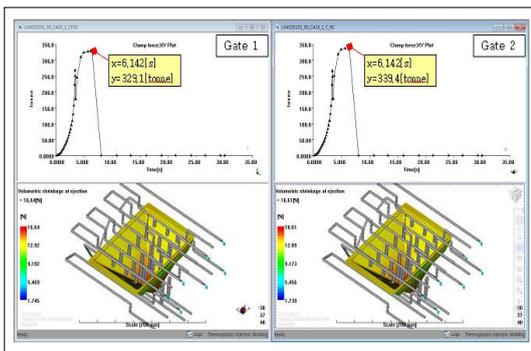
Figure 3에 게이트 1, 2에 대한 호퍼 성형 시 요구되는 최대 사출압력(pressure at injection)과 충전시간(filling time)을 나타내었다. 각각의 충전시간은 3.48초와 3.48초로 차이가 없으며 유동 패턴도 유사하였다.

하단 그래프는 수지가 금형을 채워가는 동안의 압력 분포이며 최대 사출압력은 각각의 경우에 63.84MPa 과 62.11MPa이다. 두 게이트의 경우에 전반적인 압력 분포는 유사하며 제품 크기와 충전량을 고려해 볼 때 3.48초에서 충진이 완료된 것으로 판단된다.

Figure 4는 게이트 1, 2에 대한 금형의 형체결력 (clamping force)과 제품 추출 시 체적 수축률(volumetric shrinkage)을 나타낸다.



[Fig. 3] Pressure at injection and filling time for two GATE types



[Fig. 4] Clamp force and volumetric shrinkage at ejection for two GATE types

게이트 1과 2의 경우에 형체결력은 각각 329.1톤과 339.4 톤으로 사용한 사출기의 최대 형체결력인 470 톤의 80% 이내로 사출하기에는 무리가 없음을 알 수 있다. 또한 하단의 추출 시 체적 수축률도 각각 16.64% 와 16.61%로 3% 밖에 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.

해석 결과를 Table 3에 정리하였다.

[Table 3] Comparison of the GATE 1 and 2 in filling time, pressure at injection, clamping force and volumetric shrinkage

	Filling Time (sec)	Pressure at injection (MPa)	Clamp force (ton)	Volumetric shrinkage (%)
GATE 1	3.49	63.84	329.1	16.64
GATE 2	3.48	62.11	339.4	16.61

한편 사출공정에서 불균일한 충전과 온도분포에 의해 발생한 고화층과 유동층의 계면에서 수지의 흐름에 의해 야기되는 전단률(shear rate)과 그에 따른 전단응력 (shear stress)은 사출제품의 휨과 수축률에 영향을 미친다. 전단률이 최대 허용치를 넘게 되면 고분자 체인 파손에 의한 물성저하가 발생하고 제품의 내부 저항이 커져 사출제품에 잔류응력이 크게 나타나서 제품의 품질에 나쁜 영향을 미친다. 또한 과도한 전단응력은 사출제품의 추출과정에서 파손과 사용 중의 충격에 파손을 야기하는 것으로 알려져 있다.

Table 4에 두 게이트 형상에 대한 사출공정에서 사출제품의 벽(게이트와 러너사이)에서의 최대 전단률과 전단응력을 정리하였다.

해석결과, 게이트 1에서는 충전과정 중에 최대 전단률이 약 115,200 [1/s]으로 게이트 2에 비해 두배 이상 높은 값을 나타내고 있으며, 전단응력에서도 게이트 1에서는 0.290MPa로 게이트 2보다 높은 값을 나타내고 있다.

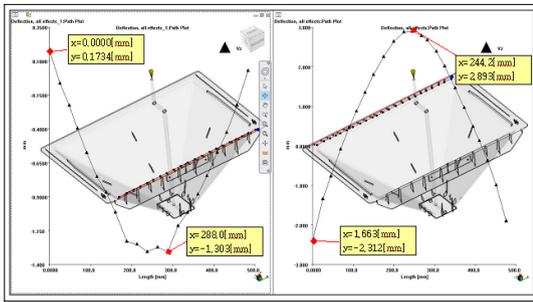
[Table 4] Result of shear rate and shear stress

	Shear rate at wall (1/sec)	Shear stress at wall (MPa)
GATE 1	115,200	0.29
GATE 2	49,689	0.22

이는 게이트 1의 경우에는 게이트의 유동선단 면적이 좁아서 속도가 빠르고 두께도 얇기 때문에 전단률과 전단응력이 크게 나타난 것이다.

본 연구에서 사용한 PP 수지의 허용 최대 전단률은 100,000 [1/s], 최대 전단응력은 0.25MPa이기 때문에 Table 4로부터 유동선단 면적이 좁은 게이트 1은 PP 수지의 사용가능한 범위를 넘어서기 때문에 유동선단 면적이 넓은 게이트 2만이 사용가능함을 알 수 있다.

Figure 5는 게이트 2의 경우에 호퍼의 상부 전면과 뒷면의 Z축 (상하방향의 변형)방향의 변형 해석 결과를 나타낸 것이다.

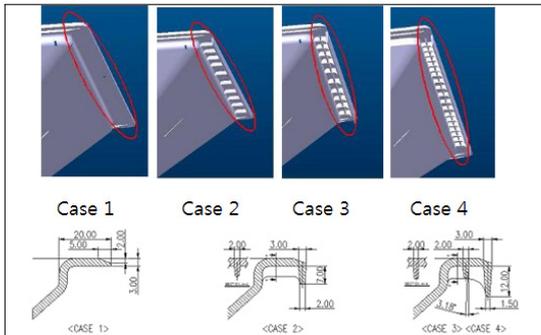


[Fig. 5] Z-axis deflection of hopper for the GATE 2 (Left : figure-front upper part, Right: figure-rear upper part)

그림에서 왼쪽 이미지의 붉은 점은 상부 전면부의 위치를 나타낸다. 변형량은 전체적인 손잡이 부분이 플랜지 형상으로 인해 Z축 방향으로의 변형량이 0.1734mm ~ -1.303mm 로 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 오른쪽의 상부 뒷면의 변형량은 -2.312mm ~ 2.893mm 로 높게 나타났다. 이는 호퍼의 품질관리 기준으로 상부면 평면도가 일정값(2.0mm) 이하이어야 한다는 조건을 벗어나는 것으로 휨 변형에 대한 기구적 구조 보강이 필요하다는 것을 의미한다.

### 3.2 Rib 형상 분석

사출제품의 휨 변형을 억제하기 위한 수단으로 적절한 위치의 벽 두께를 보강하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 앞에서 선정된 게이트 형상 및 사출조건에 대한 해석결과를 바탕으로 호퍼 상면부의 휨 변형을 억제하기 위해 Figure 6과 같이 리브를 보강하는 방법에 대해서 검토하였다. Figure 6에 추가된 리브 형상구조가 서로 다른 4가지 형상을 나타내었고 Table 5에 케이스 별 간격 및 리브의 개수를 나타내었다.

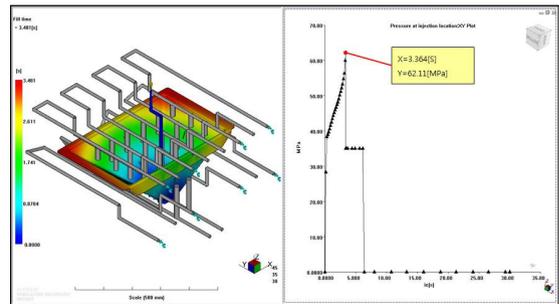


[Fig. 6] Model CASES 1, 2, 3 and 4 of hopper

[Table 5] CASE 1, 2, 3 and 4 of rib reinforcement

	vertical		longitudinal	
	Rib number (ea)	Rib width (mm)	Rib number (ea)	Rib width (mm)
CASE 1	0		0	
CASE 2	1	15.50	10	42.50 55.00
CASE 3	2	7.00 15.50	10	42.50 55.00
CASE 4	2	42.50 55.00	19	21.25 27.5

각 경우에 기본조건을 적용하여 충전시간과 최대 사출압력에 대해서 해석을 진행하였다. Figure 7에 대표적인 경우로 케이스 1에 대해서 충전시간 및 최대 추출압력을 나타내었다.

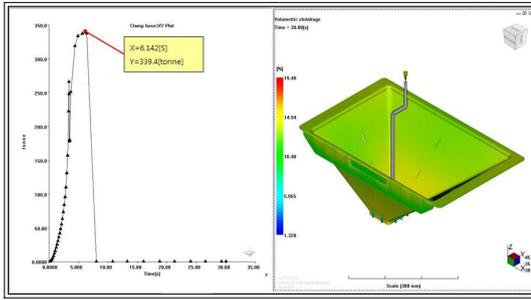


[Fig. 7] Filling time and pressure at injection location of CASE 1

유동해석결과, 케이스 1, 2, 3 및 4의 경우에 충전시간은 3.48, 3.49, 3.47, 3.48초 이었으며, 사출압력은 62.11, 62.25, 62.50, 62.56 MPa 이었다.

이 결과로부터 리브의 추가에 따른 충전시간의 차이는 거의 없으나 보압 전환 압력값이 케이스 순서별로 조금씩 높아지는 것을 알 수 있다. 압력값의 상승은 리브의 형상 추가에 따른 것이라 사료된다. 또한 동일 조건에서의 형체결력과 체적 수축률에 대한 해석을 진행하였다.

Figure 8에 대표적인 경우로 케이스 3에 대해서 형체결력과 체적 수축률을 나타내었으며 Table 6에 모든 경우에 대한 해석결과를 정리하였다.



[Fig. 8] Clamp force and volumetric shrinkage of CASE 3

[Table 6] Analyzed result of clamp force and volumetric shrinkage

	Clamp force (ton)	Volumetric shrinkage (%)
CASE 1	339.4	1.33 ~ 19.48
CASE 2	337.0	1.42 ~ 19.40
CASE 3	336.4	1.36 ~ 19.40
CASE 4	338.8	1.06 ~ 19.46

해석결과, 리브의 추가에 따른 형체결력의 차이는 거의 보이지 않음을 알 수 있다. 한편 수축률도 거의 동일한 수준을 나타내고 있으나 케이스 4의 경우 수축률이 좀 더 높은 것을 보인다. 전반적으로 리브구조 및 개수가 형체결력과 수축률에는 높은 영향력을 미치는 요소가 아님을 알 수 있었다.

다음으로 휨의 평가로 Z축의 변형량에 대해 해석을 진행 하였다. Table 7에 케이스 1, 2, 3 과 4의 경우에 대한 해석결과를 정리하였다. 호퍼 제품의 상면부 휨에 대한 해석에서 리브가 설치되어 있지 않는 케이스 1을 제외 하고는 리브를 설정한 케이스 2, 3, 4의 경우는 모두 호퍼 상면부의 품질기준인 z축 방향의 변형이 2.0mm 이하의 평면도를 만족하는 것을 알 수 있다.

[Table 7] Analyzed result of the z-axis deflection

	Z-axis deflection (mm)	Max. - Min. (mm)
CASE 1	-2.382 ~ 2.887	5.269
CASE 2	-1.647 ~ 1.894	3.541
CASE 3	-1.414 ~ 1.657	3.071
CASE 4	-1.751 ~ 1.450	3.201

이중에서도 케이스 3의 경우가 휨 변형이 가장 적다는 것을 알 수 있었다. 케이스 4의 경우 케이스 3보다 리브의 개수가 두 배 가량 많지만 오히려 케이스 3과 큰 차이가 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

지금까지의 해석결과를 Table 8에 정리하였다.

[Table 8] Summary of the present analyses for the 4 CASES of different rib shapes

	Fill time (sec)	Pressure at injection (MPa)	Clamp force (ton)	Volumetric shrinkage (%)	Z-axis deflection (mm)
CASE 1	3.48	62.11	339.4	1.33 ~ 19.48	-2.382 ~ 2.887
CASE 2	3.49	62.25	337.0	1.42 ~ 19.40	-1.647 ~ 1.894
CASE 3	3.47	62.50	336.4	1.36 ~ 19.40	-1.414 ~ 1.657
CASE 4	3.48	62.56	338.8	1.06 ~ 19.46	-1.751 ~ 1.450

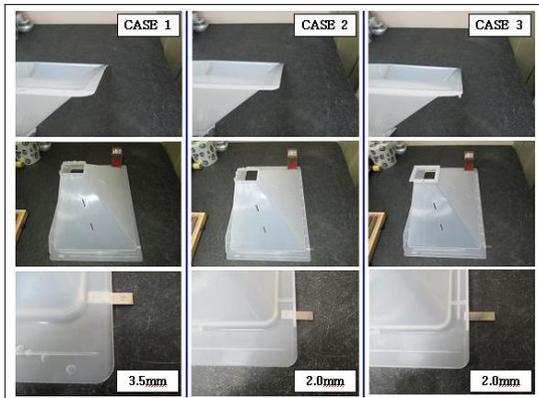
케이스 1과 케이스 2의 경우는 리브형상과 수량이 케이스 3과 케이스 4 보다 적기 때문에 충전시간과 사출성형 시 최대압력이 낮으며 Z축 변형량이 높게 평가되었다. 반면 케이스 4의 경우 많은 리브의 개수가 오히려 역효과를 나타내었다.

호퍼 제품의 상면부 휨의 휨 변형을 억제하기 위해 많은 수의 리브를 설정하면 추출 시 제품의 수축에 따라 급형에서 제품이 빠지지 않는 경우를 발생 시킬 수 있으며 급형비용 및 제작일정의 상승을 동반한다. 따라서 본 해석결과, 가장 이상적인 리브모델은 케이스 3 이라는 결론을 도출하였다.

#### 4. 실험 검증

Moldflow 성형해석 프로그램을 통해 게이트 형상의 변화에 따른 해석결과를 토대로 게이트 유동선단의 폭이 넓은 게이트 2를 선정하였다. 이를 바탕으로 호퍼 제품의 상면부의 변형을 최소화하기 위한 리브 모델을 결정하였으며 사출급형을 제작 후 실제 호퍼를 시험 사출하였다.

동일한 사출조건에서 리브에 따른 휨의 변화를 확인하기 위해서 케이스 1, 2, 3에 대한 급형을 제작하여 사출성형한 결과를 Figure 9에 나타내었다.



[Fig. 9] Manufactured hopper products for CASE 1, 2 and 3

사출성형품에 대해서 블록게이지(Block Gauge)로 호퍼의 상부면과 기준면 사이간격을 측정한 결과 케이스 1과 케이스 2는 모두 품질기준인 2.0mm의 평면도를 만족하지 못하였으면 오직 케이스 3만이 품질기준을 만족하였다.

본 연구를 통해 호퍼의 구조를 단순화 하여 호퍼 및 호퍼주위 부품들을 기존 7가지에서 4가지로 줄였다. 이로 인하여 조립시 세팅시간이 줄어들고 생산효율이 증가하였으며 원가절감으로 반영이 되어 기존 제품대비 1/10로 원가절감이 되는 결과를 얻었다. 또한 호퍼에서는 구조 및 재질의 변경으로 기존 1,152g에서 1,016g으로 10%의 무게 경량화를 달성하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 성형해석을 통한 전자동 정제분류 포장시스템 장비의 호퍼의 사출 성형품 개발을 목표로, ATDPS의 호퍼 제품의 사출공정에 대한 Moldflow 해석을 통하여 PP 재질의 호퍼 사출성형 공정에서 수지의 유동성, 전단률, 전단응력, 휨 변형 등을 해석하였다. 구체적으로는 사출공정의 성형해석을 통해 호퍼의 휨 변형을 최소화 하기위한 게이트의 형상과 리브 형상을 결정하였고, 실 제품의 사출성형을 통해 사출성형 해석결과와 타당성을 입증하였다.

결정성 수지인 PP 재료의 호퍼 사출성형시에 유동선단 면적이 넓은 경우(GATE 2)가 호퍼의 벽 부위에서의 전단률과 전단응력이 허용범위 내에 있음을 확인하였다.

또한 수직방향으로 2개, 수평방향으로 10개의 리브를 설정한 케이스 3의 경우가 충전압력, 사출압력, 형체결력, 휨 변형 상태 등을 고려하였을 때 가장 이상적인 제품형상인 것으로 판단하였다.

## References

- [1] R. Zheng, R.I. Tanner, X.J. Fan, *Shrinkage and warpage in injection molding*, Springer Berlin Heidelberg, pp.87-10, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-21263-5>
- [2] S.Y. Han, "The relation between injection molding conditions and gloss of ABS molding", J. Korea Academia-Industrial Coop. Soc., Vol.14(11), pp.5352-5356, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.5352>
- [3] J.W. Son, Y.S. Kim, C.W. Han, "A quality stability estimation of shock-absorber tube for automatic drawer", J. Korea Academia-Industrial Coop. Soc., Vol.12(7), pp.2919-2924, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.7.2919>
- [4] Moldflow, Autodesk Simulation Moldflow Insight/Synergy 2014, <http://www.autodesk.co.kr>
- [5] K.M. Kim, J.C. Park, H.I. Ahn, "Direct search-based robust design of wrapage in injection molded parts", J. Korean Soc. Quality Manag., Vol.29(3), pp.86-95, 2001.
- [6] M.S. Phadke, *Quality Engineering using robust design*, Prentice Hall, 1989.
- [7] G.H. Choi, K.D. Lee, N. Chan, S.K. Kim, "Optimization of process parameters of injection molding with neural network application in a rocess simulation environment", CIRP Annals, Vol.43, pp.449-452, 1994.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62250-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62250-1)
- [8] S. Taghizadh, A. Ozadimir, O. Ulure, "Warpage prediction in plastic injection molded part using artificial neural network", IJST, Trans. Mech. Engng., Vol.37(M2), pp.149-160, 2013.
- [9] C. Shen, L. Wang, Q. Li, "Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method", J. Mat. Proc. Technol., Vol.183(2-3), pp.412-418, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.10.036>
- [10] M. Zhai, Y. Xie, "A study of gate location optimization of plastic injection molding using sequential linear programming", Int. J. Adv. Manuf. Technol. Vol.49, pp.97-10, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-009-2376-1>

[11] R.K. Iranim, B.H. Kim, J.R. Dixon, "Towards automated design of the feed system of injection molds by integrating CAE, iterative redesign and feature". J Eng Ind Trans ASME Vol.117, pp.72-77, 1995.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.2803281>

[12] M. Studer, F. Ehrig, "Minimizing part wrapage in injection molding by optimizing wall thickness distribution", Adv. Poly. Technol., Vol.21454, pp.1-16, 2014

[13] M. Lee, J.H. Kim, S.R. Park, M.Y. Lyu, "A study on the wrapage in injection molded part for various part designs and non-reinforced resins", Elastomers Composites, Vol.44(4), pp.373-377, 2009

---

### 손 재 환(Jae-Hwan Son)

[정회원]



- 1999년 8월 : 경북대학교 기계공학 전공 (공학석사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2001년 11월 ~ 현재 : 대구기계부품연구원 중소기업지원본부책임연구원

<관심분야>

기계설계, 정밀가공시스템, 토탈에너지어링솔루션 기술개발

---

### 김 영 석(Young-Suk Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 4월 : 일본 Kobe 대학교 기계공학 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1994년 2월 : 포항산업과학연구원 연구실장
- 1994년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

생산공학, 소성역학, 나노/마이크로역학, FEM 및 Biomechanics

---

### 이 의 주(Eui-Joo Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 경북대학교 산업 대학원 기계공학전공(공학석사)
- 2006년 7월 ~ 현재 : JVM 연구개발본부 설계 2팀 책임연구원

<관심분야>

CAE, VE, 사출금형 및 프레스금형 설계