

Moldflow를 이용한 드럼세탁기 케이스의 사출성형공정에 관한 연구

박 철 우†

(원고접수일 : 2008년 5월 22일, 원고수정일 : 2008년 10월 18일, 심사완료일 : 2008년 11월 14일)

A study on the Injection Molding Process of the Case of Drum Type Washer using Moldflow

Chul-Woo Park†

Abstract : Injection molding process is one of the most important methods to produce plastic parts with high efficiency and low cost. Today, injection molded parts have been increased dramatically the demand for high strength and quality applications. This report investigates that the optimum injection molding condition for minimum of shrinkage. Molding shrinkage is occurred by several reasons such as thermal shrinkage, a hardening process and compressibility. This report concentrate on shrinkage by a hardening process. As Change a holding pressure and holding time, checked deflections of X, Y, Z directions by shrinkage based on same condition. In conclusion, it was found that holding pressure is stronger and holding time is longer, the deflection by shrinkage is smaller because injection molding needs enough time for cooling and high density. The FEM Simulation CAE tool, Moldflow, is used for the analysis of injection molding process.

Key words : Ingection molding(사출성형), Shrinkage(수축), Holding pressure(보압), Holding pressure time(보압시간), FEM Simualtion(FEM 시뮬레이션), Moldflow (몰드플로)

1. 서 론

제품의 경량화 추세가 가속화되면서 기존의 금속 재료를 플라스틱재료로 대체 사용하는 기술이 개발되고 있다. 플라스틱재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편화 되어 있는 사출성형법이다. 플라스틱 재료의 활용도는 지속적으로 증가하고 있으며, 신소재 등의 개발로 그 적용범위 또한 확대되고 있

다. 사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡한 형상의 플라스틱 제품을 대량으로 신속, 정밀하게 생산할 수 있는 제조공정이다^[1]. 사출성형으로 플라스틱 제품의 생산량이 증가함에 따라 불량률도 높아지고 있다. 불량률의 원인은 웰드 라인(Weld line), 싱크(Sink), 미충전(Shoft shot), 취성(Brittleness), 유동자국(Folw marks), 휨(Warpage), 공기 갇힘(Air traps)등이 있으며

† 교신저자(부산대학교 기계공학부, E-mail:p016535@empal.com, Tel: 051)510-1013)

특히 금형 내에서의 성형수축은 성형품의 변형, 잔류응력 및 치수 오차들의 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있다.^{[2]-[5]}. 성형수축은 수지의 열적수축, 경화 또는 결정화, 압축성, 분자배향의 완화 등의 요인에 의해 발생하며 수지의 수축 및 역류에 따라 생기는 치수오차를 의미한다. 성형 수축을 줄이는 방법으로 수지의 선택, 제품의 형상 및 성형 조건을 조작하는 방법이 있다^[5].

본 논문에서는 금속으로 제작되고 있는 드럼세탁기의 케이스를 경량화하기 위하여 ABS수지(BASF, GRADE : GP35)로 제작하고자 한다. 먼저, 사출공정에 대한 시뮬레이션(Simulation)을 하였으며, 시뮬레이션 결과에 근거한 최적의 사출조건으로 초기 시제품을 제작하였다. 이와 같이 금형설계 전에 사출해석을 실시하는 목적은 성형수축이 최소화되는 사출성형조건을 확립하기 위한 것이며, 사출성형의 공정변수 중에서도 보압시간과 보압력이 성형수축에 가장 많이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 한편, 보압력은 수지의 역류를 방지하는 역할을 하며 수지의 충전에 영향을 미치며, 보압시간은 사출금형 중에 충전되어 있는 제품의 냉각에 영향을 미친다. 본 연구에서의 시뮬레이션에서는 사출성형해석용 소프트웨어인 Moldflow를 이용해서 해석을 수행하였다.

2. 본 론

사출성형공정은 용융된 수지를 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트를 지나 캐비티에 충전시키는 충전과정(filling), 충전된 수지가 캐비티 내에서 냉각되어 발생하는 수축을 보상하기 위한 보압과정(packing), 성형품을 취출(ejecton)이 가능한 온도 이하로 냉각시키는 냉각과정(cooling)으로 이루어진다. 성형수축의 발생요인은 열적수축, 경화 또는 결정화에 의한 수축, 탄성회복, 분자배향의 완화에 의한 수축 등으로 분류된다^[2-5].

2.1 실험

본 논문은 경화 또는 결정화에 의한 성형수축을 줄이기 위한 성형조건 중 보압에 중점을 두어 실험

을 진행하였다. Fig. 1은 드럼세탁기 케이스의 시제품 제작에 사용한 사출성형장치를 나타내고 있다. ABS수지는 비결정성 엔지니어링 열가소성 플라스틱으로서, 충격저항, 경도, 광택 및 성형성이 우수하고 다른 엔지니어링 열가소성 플라스틱에 비해 가격이 낮으며, 자동차, 설비, 건축자재, 전자제품 및 사무기기 하우징의 외관물과 장난감 등을 포함한 여러 가지 제품에 사용되고 있다. Table 1은 본 연구에서 사용한 ABS수지의 물성치를 나타내고 있다.

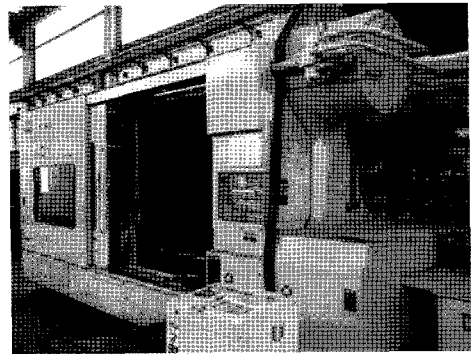


Fig. 1 Toshiba 1,300(ton) Injection machine

Table 1 Physical Property of ABS(BASF, GP-35)

Manufacturer		BASF	
Commercial		Terluran GP-35	
Family Name		Acrylonitrile Copolymer	
Density	Melt	g/cm ³	0.93
	Solid	g/cm ³	1.04
Ejection Temperature		℃	84
Transition Temperature		℃	94
Melt Tem.	Min.	℃	220
	Max.	℃	270
	Suggested	℃	250
Mold Tem.	Min.	℃	40
	Max.	℃	60
	Suggested	℃	50
Max. Shear Stress		MPa	0.3
Max. Shear Rate		1/s	50,000

2.2 Moldflow 시뮬레이션

보압 해석의 목적은 런너 시스템, 보압 조건, 보압 전환시점 등을 결정하는 것이다. 특히 제품의

양산단계에서 생산량 증가와 밀접한 관계가 있는 보압 시간의 단축은 보압 해석을 통해 결정할 수 있다^[6].

2.2.1 게이트와 러너

메쉬 모델(Mesh mode)은 제품의 중간부분을 3차원 형상을 모델링을 한다. 모델링되어진 제품의 각부분에 대해서 제품의 하여 두께를 부여하였다. 시뮬레이션 조건은 Table 2와 같다. Fig. 2는 게이트와 러너의 형상을 나타내고 있다. 게이트는 총 7개로 설계하였다.

Table 2 Mold injection conditions of moldflow

Mesh Model	Mid plane	
	mesh number	50,493
	aspect ratio	2.37
	remark	length : 750mm width : 625mm
Molding Material	Terluran, GP-35 : BASF	
Molding Condition	Mold Tem.	60℃
	Material Tem.	250℃

게이트와 러너의 형태는 제품의 형상을 고려하였으며, 면적이 넓은 아래 부분에는 게이트를 4개 설치하고, 상대적으로 면적이 좁은 윗부분에는 게이트를 3개만 설치하여 주어진 시간 내에 상하부분이 동시에 충전 완료되도록 Fig. 2와 같은 형태로 설계하였다.

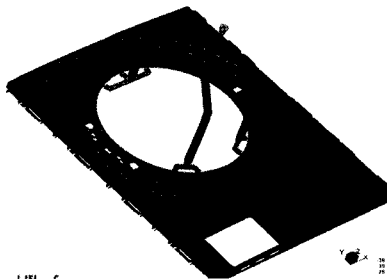


Fig. 2 The shape of gating and runner

2.2.2 보압 시간에 대한 시뮬레이션

성형공정 변수 중에서 보압시간 변화가 수지의 두께방향으로 수축하는 변화량을 알기 위해서 보압

력을 고정하고 시간을 변화시켜 실험 하였다. 보압 시간에 대한 실험은 Table 3과 같다. 보압력은 제작 단계별로 일정하게 하였으며, 보압시간은 합계 시간으로 1.5초에서 6초의 범위로 변화시켰다.

Table 3 Processing parameters of holding pressure time

	Holding pressure (Holding Pressure time) ((MPa)(s)) Filling - Packing - Cooling
CASE 1	40(0.5) - 50(0.5) - 30(0.5)
CASE 2	40(1.0) - 50(1.0) - 30(1.0)
CASE 3	40(1.5) - 50(1.5) - 30(1.5)
CASE 4	40(2.0) - 50(2.0) - 30(2.0)

2.2.3 보압력에 대한 시뮬레이션

성형압력의 요소 중 보압력 변화가 수지의 두께 방향으로 수축하는 변화량을 알기 위해서 보압시간을 고정하고 보압력을 변화시켜 실험하였다. 보압력에 대한 실험은 Table 4와 같다.

Table 4 Processing parameters of holding pressure

	Holding pressure (Holding Pressure time) ((MPa)(s)) Filling - Packing - Cooling
CASE 5	30(2.0) - 40(2.0) - 20(2.0)
CASE 6	40(2.0) - 50(2.0) - 30(2.0)
CASE 7	50(2.0) - 60(2.0) - 40(2.0)
CASE 8	60(2.0) - 70(2.0) - 50(2.0)
CASE 9	70(2.0) - 80(2.0) - 60(2.0)

3. 고찰

3.1 사출성형 실험

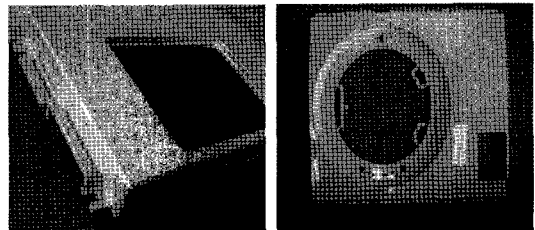


Fig. 3 Final product of processing parameters with CASE 6

Fig. 3은 Table 4의 CASE 6의 조건으로 사출 성형기를 사용하여 제작된 드럼세탁기의 케이스를 나타내고 있다. 최적조건에서 사출성형 한 제품과 시뮬레이션 결과 값은 일치하였으며 사출 상태도 아주 양호하였다.

3.2 보압 시간에 대한 수축의 변형량

사출 성형 시 수지 수축에 의한 두께의 변화량을 최소화하기 위해 보압 시간을 변화시킨 Table 3의 조건으로 시뮬레이션하였으며, 얻어진 결과를 Table 5에 표시하였다. Table 5의 두께 감소량은 제품의 모서리부분에 대한 값이다. Table 5의 두께 감소량에 미치는 보압 시간의 영향은 Fig. 4에 표시하였다. Fig. 4에 의하면, 보압 시간이 증가함

Table 5 Part shrinkage of deformation according to holding pressure time

	Holding Pressure (Holding Pressure Time)((MPa)[s]) Filling - Packing - Cooling	Deformation (mm)
CASE 1	40(0.5) - 50(0.5) - 30(0.5)	4.416
CASE 2	40(1.0) - 50(1.0) - 30(1.0)	4.135
CASE 3	40(1.5) - 50(1.5) - 30(1.5)	3.990
CASE 4	40(2.0) - 50(2.0) - 30(2.0)	3.959

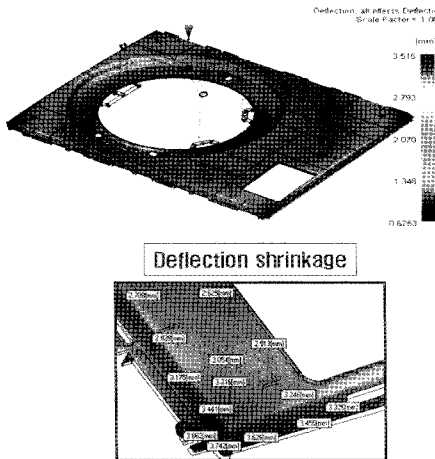


Fig. 4 Part shrinkage of deformation(CASE 4)

에 따라 두께 감소량은 급격하게 감소되며, CASE 4의 6초가 두께 감소량이 가장 작게 나타났다. 즉 본 연구에 사용한 Moldflow에서는 보압 시간과 제품의 두께 감소량사이에는 반비례관계가 성립되고 있음을 반영하고 있다.

3.3 보압력에 따른 수축의 변형량

사출 성형 시 보압시간을 일정하게 하고 보압력을 변화시킨 Table 4의 조건으로 시뮬레이션하여 구하여진 두께 감소량을 Table 6에 표시하고 있다. Table 6의 두께 감소량도 Table 5와 같은 제품의 모서리 부분에 대한 두께 변형량을 표시한다. Table 6에 의하면, 보압력이 증가할수록 제품의 두께 감소량은 직선적인 비례관계로 감소함을 표시하고 있다.

Table 6 Part shrinkage of deformation according to holding pressure

	Holding Pressure (Holding Pressure Time)((MPa)[s]) Filling - Packing - Cooling	Deformation (mm)
CASE 5	30(2.0) - 40(2.0) - 20(2.0)	4.177
CASE 6	40(2.0) - 50(2.0) - 30(2.0)	3.959
CASE 7	50(2.0) - 60(2.0) - 40(2.0)	3.750
CASE 8	60(2.0) - 70(2.0) - 50(2.0)	3.535
CASE 9	70(2.0) - 80(2.0) - 60(2.0)	3.311

3.4 형체력(Clamp force)에 대한 보압 한계

형체력은 금형의 평면 방향 투영면적에 작용하는 사출압으로부터 계산된다. Moldflow해석에서는 각각의 요소에 작용되는 최대압력에 그 요소의 투영면적을 곱한 후, 전체 요소에 대한 힘의 합으로부터 산출된다. 그리고 층지의 후반부에서는 짧은 시간동안 매우 큰 사출압력이 넓은 면적에 걸쳐 작용하는데 이때의 힘을 최대형체력이라고 한다⁽⁴⁾. Fig. 6 및 Fig 7은 각각 CASE 7 및 CASE 8에 대한 형체력을 표시하고 있다.

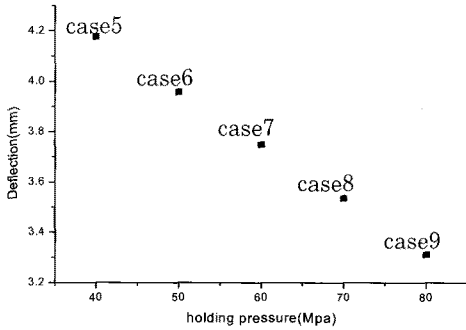


Fig. 5 Deformation according to holding pressure

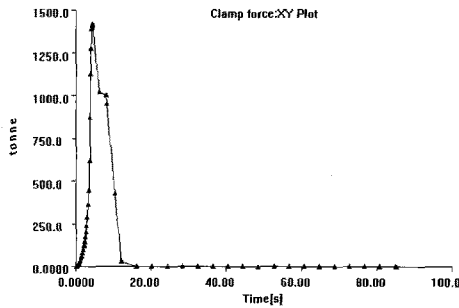


Fig. 6 Clamp force process of CASE 7

Fig. 6 및 Fig. 7에 의하면 CASE 7은 약 1,400톤, CASE 8은 약 1,530톤의 형체력을 요구한다. 그러나 본 연구에서 사용한 Fig. 1의 사출 성형기의 용량은 1,300톤이므로 CASE 7 보다 보압력이 큰 사출조건은 제품 생산을 위한 조건으로 적용할 수 없다. 따라서 실제의 제품 생산용 사출 성형기에 대한 보압력과 보압시간은 CASE 6이 가장 적합한 조건인 것으로 판명되었다. 즉, 사출 성형기의 용량이 1,300톤인 경우, 보압 시간 6초 및 보압력은 40MPa→50MPa→30MPa인 조건을 적용하였을 때 수지 수축에 의한 두께 감소량 (3.959 mm)이 최소화됨을 예측할 수 있다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 CASE 6의 조건을 적용하였을 때 Moldflow의 시뮬레이션으로부터 얻어진 제품 위치별 두께 감소량을 표시하고 있다. Fig. 8은 점선을 따라 하단부에서 상단부까지 수직방향의 각 위치에 대한 두께 감소량을 표시하고 있으며, Fig. 9는 점선을 따라 좌측 끝단에서부터 우측 끝단까지 수평방향의 각 위치에 대한 두께 감소량을 표시하고 있다. Fig. 8 및 Fig. 9에 표시되어 있

는 바와 같이 게이트 위치로부터 멀어질수록 두께 감소량이 증가되고 있다. 이와 같은 현상의 발생원인은 게이트 부근의 영역에서는 수지의 충전을 위한 압력이 충분히 작용하기 때문이다. 한편, Fig. 10은 게이트와 러너 부근의 위치별 충전 시간을 표시하고 있으며, 사출 성형시간이 5.185초이면 전체적으로 충전될 수 있음을 보여주고 있으므로 본

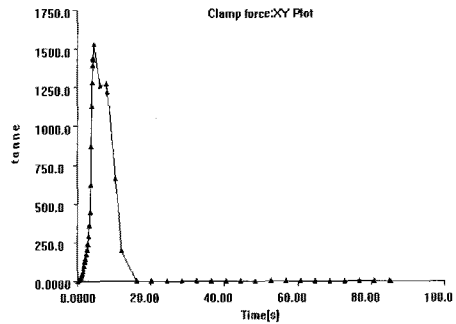


Fig. 7 Clamp force process of CASE 8

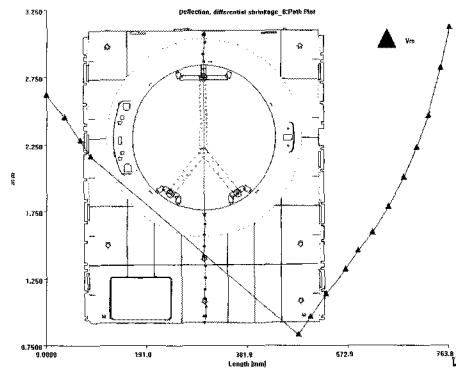


Fig. 8 Deformations of perpendicular(CASE 6)

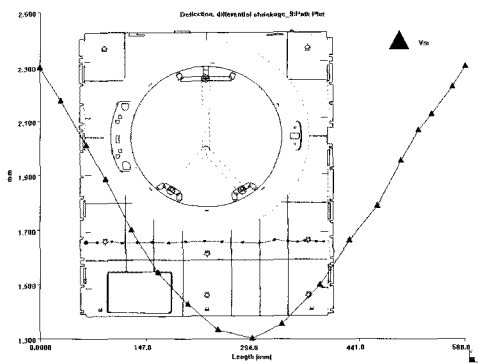


Fig. 9 Deformations of horizontality(CASE 6)

논문에서 채택한 보압 시간 6초는 최적 조건이 됨을 알 수 있다.

Moldflow 해석에 의한 변형량은 게이트와 멀어질수록 크게 나왔다. 이는 게이트 근처에는 압력과 수지의 충전이 충분히 보상되기 때문이다.

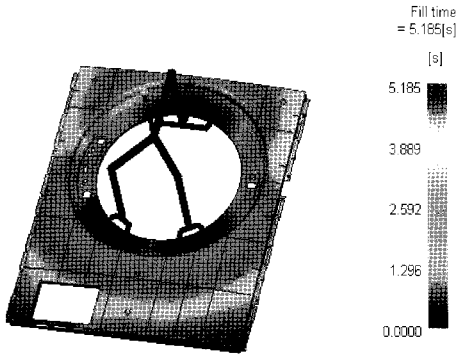


Fig. 10 The result of fill time analysis

3.5 Cooling system

제품의 모양 특성을 고려하여 배플 냉각 채널을 추가하여 냉각의 효율성을 증가시켰다. Fig. 11은 냉각 시스템을 나타내고 있다.

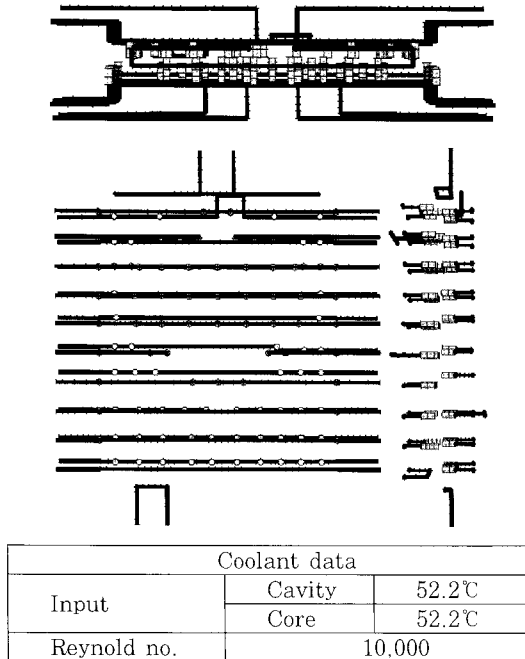


Fig. 11 Configuration of cooling channels

4. 결 론

사출 성형의 경우 수지 수축에 제품의 두께가 감소되는 현상이 발생된다. ABS수지로 드림 세탁기의 케이스를 제작하기 위한 본 연구에서는 제품의 두께 감소량에 미치는 보압력 및 보압시간의 영향을 조사하기 위하여 Moldflow 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션 해석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 보압력 변화에 따른 수축에 의한 변형량 : 보압에 따른 변형량의 크기는 반비례하고, 이는 보압이 클수록 수지의 역류를 막아 제품 밀도를 골고루 높여주기 때문이다.

(2) 보압 시간에 따른 수축에 의한 변형량 : 보압 시간에 따른 변형량의 크기 역시 반비례하는 형태를 보이나 보압 시간을 늘이는 것에 비해 변형량의 크기가 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 금형 내 제품의 냉각시간을 고려하여 보압 시간 충분히 늘려주어야 함을 의미한다.

(3) 용량 1,300톤의 사출성형기를 사용하여 제품을 생산하는 경우, 보압력은 40MPa(충전 단계)→50MPa(패킹 단계)→30MPa(냉각 단계), 보압 시간은 6초를 적용하였을 때 제품의 두께 감소량이 최소가 되는 것으로 산출되었다.

참고문헌

[1] Seong-Kwun Ahn, "Optimization of warpage of ABS injection molding part using Design of Experiments", Hanyang University Graduate, 2007.

[2] Byeong-Hyeon Min, "A Study on the Injection Molding Process of Plastic Pulley based on Design of Experiments", Dongeui University, Vol 13, pp. 145-149, 1999.

[3] Jung-Hyuk Mo, "A Study on the Part Shrinkage for Different Resins and Various Operational Conditions in

- Injection Molding”, Seoul National University of Technology, 2003.
- [4] Sang-Do Jang, “The Analysis of Cell Phone Housing by Moldflow Software”, Hanyang University Graduate, 2002.
- [5] Min-Young Lyn, Jung-Hyuk Mo, Wan-Jin Chung, “Shrinkage in Injecton Molded Part for Operational Conditions and Resins”, Elastomer Vol. 38, No. 4, pp. 295-302, 2003.
- [6] Sang-Hyuk Lee, “Mold Design of the Oil Seal Ring in Automobile Transmission by using CAE Program”, Yonsei University, 2001.
- [7] Yang-Ho Choi, Young-Sung Lee, “The Effect of Discharge Condition on Mechanical properties of Injection Moldings”, Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 6, No. 1, pp. 84-91, 1997.

저 자 소 개



박철우(朴哲雨)

1974년 4월생, 2006년 부산대학교 정밀 기계공학과(공학박사), 2007년 부산대학교 기계공학부 NURI BAEM 사업단 교수