韓國精密工學會 2001年度 春季學術大會論文集 pp.350~353 KSPE 01S077

볼시트 품질 안정화에 관한 연구 - I

김인관, 최준영*(부경대 대학원 냉동공학과),
김대식, 정영득, 김영수(부경대 기계자동차공학부)

A Study for Quality of Stabilization of Ball-Seat - I

I. K. Kim, J. Y. Choi*(Ref & Air. Eng. Dept., PKNU),
D. S. Kim, Y. D. Jung, Y S. Kim(Mech & Auto. Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

Due to the widen demand of plastic part in automobiles, more accurate numerical simulation works are needed to find optimum molding process like filling fiber orientation pressure control Therefore, C-mold software was applied for the simulation of injection molding process and cooling process in this research.

The purpose of this study is developing a ball seat which made by injection process with PA66 resin and it is applied to the automobile suspension system. It must secure low friction, wear resistance and dimensional accuracy. Specially this study aims to get the quality stabilization of injection molded ball-seat parts.

Key Words · Injection Molding (사출성형), PA66 (나일론 66), Mold Temperature (금형온도), Melt Temperature (수지온도), C-Mold (성형해석프로그램)

1. 서론

사출성형을 통한 플라스틱 제품은 기계적 성질에 있어서 무게 대 강도비가 뛰어나며, 우수한 성형성 및 생산성을 지니기 때문에 그 적용성은 매우 큰 의미를 가진다 단순한 형상의 플라스틱 부품은 금형설계, 공정조건 산출을 경험한 직관, 시행착오(Trial & Error method)에 의존하여 왔다. 그러나 점차 형상의 복잡성, 고정밀성이 요구됨에 따라 사출성형해석 프로그램을 이용한 제품의 개발 과정이 요구되어지고 있다. 프로세스의 기술적인 핵심은 개발단계에서 나타 날 수 있는 모든 불합리한 요소들을 사전에 검토하여 가장 효율적인 방법을 수립하는 것이다. 이로 인해 종래의 방법에서 빈번하게 발생되는 시험사출의 반복과 금형수정, 개발기간 지연으로 인한 제품의 원가상승을 방지할 수 있고 따라서 가장 빠르고 경제적인 개발 공정을 구축할 수 있다.

본 연구의 사출성형에 사용된 PA66 수지는 강인성, 윤활성, 내마모성, 내약품성 등 뛰어난 물성으로 인해 엔지니어링 플라스틱으로 수많은 부품이나 제품 생산에 사용되어져 왔으며, 유리섬유(Glass fiber), 광물섬유(Mineral fiber), 고무(Rubber)와 같은 충전재 및 강화제를 첨가한 새로운 재료들이 개발되어 사용되어지고 있다 본 연구에서의 사출 성형품은 성형품의 치수 정밀도에 주안점을 둔 제품으로서 이에 영향을 주는 요인으로 성형수축, 냉각 및 제품 취출을 고려한 금형설계와 사출성형 시 사출압력, 보압, 성형온도, 금형온도, 냉각시간 등 여러가지의 성형조건이 있다.

이에 본 연구에서는 엔지니어링 플라스틱인 PA66(Nylon 66)를 사용하여 현재 생산중인 자동차 현가장치 부품의 일부인 볼시트(Ball-Seat) 사출 성형품에 제기되고 있는 제품불량에서 생산공정에 이르기까지의 치수 안정성과 품질안정화를 위한 최적의 사출 성형 조건을 도출하기 위해 사출성형해석 프로그램인 C-MOLD를 이용하여 해석하였고, 그 결과를 토대로 보다 안정적인 최적의 사출 성형 조건을 제안한다.

2. 사출성형 해석

2.1 사출성형 해석의 이론

사출성형해석의 경우는 크게 3가지로 분류할 수 있는데, 사출유동과 관계되는 유동해석, 사출냉각과 관계되는 냉각해석, 사출성형품의 변형상태와 관계되는 변형 해석으로 나뉘어 진다.

유동해석은 구속방정식과 제품의 형상을 이용하여 주어진 경계조건과 수지의 물성을 이용하여 지배방정식의 미지수를 푼다. 이때 수지의 비 압축성 효과와 두께 방향에 대한 속도 및 압력이 미소하다고 가정하여 무시하고, 평면방향의 전단응력도 두께방향에 대하여 지극히 작다고 가정하였다. 또한 관성력은 점성력에 비하여 미소함으로 무시한다. 유동해석시 사용되는 유동방정식은 식(1)과 식(2)와 같고, 에너지 방정식은 식(3)과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

$$0=\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial z}[\eta\frac{\partial u}{\partial z}]$$
$$B.C.:\ u=y=0 \quad z=\pm b$$
$$\frac{\partial u}{\partial z}=\frac{\partial v}{\partial z}=0 \quad z=0 \qquad (2)$$
$$\eta=f\,[shear\ rate,\ P,\ T]$$

$$shear\ rate=\left\{(\frac{\partial u}{\partial z})^2+(\frac{\partial v}{\partial z})^2\right\}^{1/2}$$
$$Density\times C_p\,[\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}] \qquad (3)$$
$$k\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\eta(\bar{\gamma})^2$$

냉각해석의 열전달 관계는 제품의 열량과 냉각선의 관계를 주로 이용하여 그 해를 구한다. 사출제품에 대한 열전달 관계는 식(4)와 같은 열전도 방정식을 이용하고, 냉각선내의 냉각수의 열전달 관계는 식(5)와 같은 대류 방정식을 이용한다. 금형표면의 복사에너지는 금형의 온도가 85℃ 이상일 경우에만 적용하여 계산한다.

$$Density\times C_p\frac{dT}{dt}=k\frac{d^2T}{dz^2} \qquad (4)$$

$$Q=h(T_w-T_b) \qquad (5)$$

변형의 근본적 원인은 수축차에 기인한다. 즉 수지 유동 방향에 따라 수직방향과 수평방향의 수축량의 차이와 복합적인 요인에 의한 국부 수축량의 차이가 수축차의 주요 요인이 된다. 따라서 사출후 제품의 변형양상을 예측하는데 사출조건은 중요한 요소가 되며, 사출조건에 대한 고려해야 할 사항은 다음과 같다

첫째 잔류 응고층의 전단응력과 냉각속도 및 유동각(Flow angel)에 의한 수지 방향성 효과. 둘째 수지의 결정화(Crystallization)효과 셋째 보압 해석 과정에서의 수지의 압력, 체적, 온도 데이터를 이용하여 계산되어지는 체적감소. 마지막으로 수지의 수축하려는 현상에 대한 금형의 구조적 조건에 의한 잔류응력의 몰드억제(Mold restraint) 효과이다.

그 외의 변형을 발생시키는 원인으로 제품 국부의 두께 및 단면 형상의 차에 의한 면적 수축차, 제품 부위별의 수지유동 방향성의 효과 그리고 냉각에 의한 제품 부위별 온도차 등이 있다.

위에서 언급된 각종 요인에 의하여 사출품의 멤브레인 응력등급(Membrane stress level)이 너무 높게 되면 제품은 좌굴을 일으키게 되고, 이는 물리적으로 멤브레인 응력 에너지(Membrane stress energy)가 굽힘 응력 에너지(Bending strain energy)로 바뀌어서 발생하게 된다.

2.2 기존 금형설계에 대한 성형해석

2.1.1 기존 제품에 대한 성형해석 및 고찰

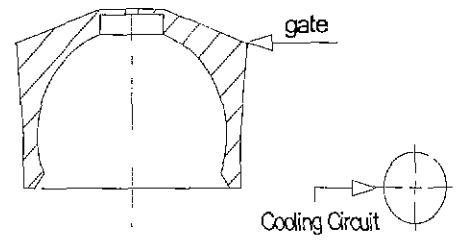

Fig 1 Product design

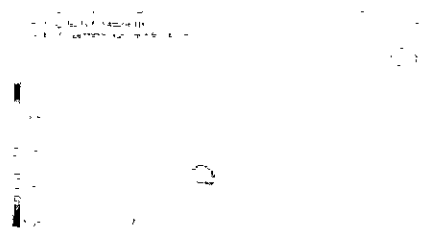

Fig. 2 Melt front advancement analysis result of side-gate type

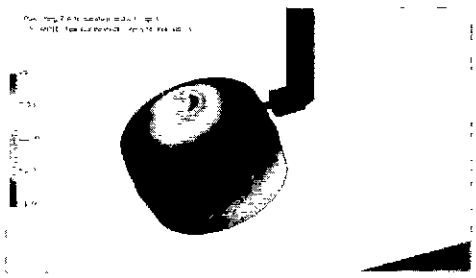

Fig. 3 Bulk temperature analysis result of side-gate type

Fig. 1은 기존 제품인 Side-gate 방식의 설계도이다. Fig. 2는 시간에 따라 수지가 스푸루, 런너, 게이트를 거쳐 제품 형상부로 충진 되어지는 과정을 등고선으로 나타낸 것으로 비대칭적으로 수지가 충진 되어짐을 알 수 있다. Fig. 3 Bulk temperature는 Filling 후 수지 당 재료의 부피가 가지는 온도분포로써 대개 20℃이상의 온도편차가 발생하면 제품의 변형이 일어나는 것이 일반적이다. 해석결과 게이트부와 제품 각부분의 온도편차가 50℃이상 발생함을 볼 수 있다. 따라서 제품의 변형이 예상되어진다.

2.3 보완된 금형 설계에 의한 성형해석

2.3.1 기존 제품의 해석을 통한 개선방법

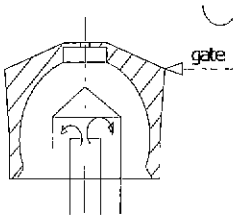

Fig 4 Side gate & bubbler

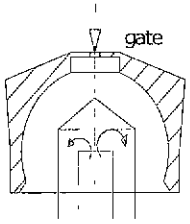

Fig 5 Pin-point gate & bubbler

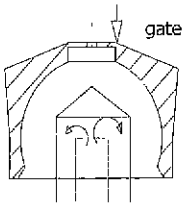

Fig. 6 Pin-point gate & bubbler-Ⅱ

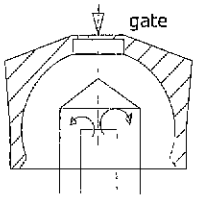

Fig 7 Pin-point gate & bubbler-Ⅲ

Fig. 4 에서는 기존 금형에서의 문제점인 냉각을 고려하여 Bubbler를 설치한 방법으로 개선을 하였으나, 사이드 게이트를 사용함으로써 기존의 금형 설계에서 나타나는 수지 흐름의 비대칭에 의한 웰드라인의 발생과 극단적인 분자 배향을 예상할 수 있다 Fig. 5는 기존의 형상에 Bubbler 및 핀 포인트 게이트를 사용함으로써 대부분의 문제점을 해결할 수 있으나, 제품 취출 후 상측 홀을 가공해야하는 문제점이 생긴다. 즉 공정 프로세스가 늘어나는 단점을 가지게 된다. Fig. 6은 Fig 5의 방식을 개선하여 게이트를 정 중앙부에서 5mm 편심을 주어 설치한 방식으로 Fig. 5보다 안정적이라 할 수 있으나 사출이 제품의 중앙부에서 이루어지지 않아 사이드 게이트에서의 문제점들이 발생할 수 있다고 예상된다. Fig. 7은 위에서 열거한 개선방법들의 문제점들을 고려한 게이트의 위치를 정 중앙부에 설치하고, 3.5mm 편심을 주어 설계한 방법으로 용융수지의 대칭적인 충진, 안정적인 분자배향, 제품 전체의 고른 냉각이 이루어져 제품의 품질 안정화에 최적 금형설계 방법으로 고려되어진다.

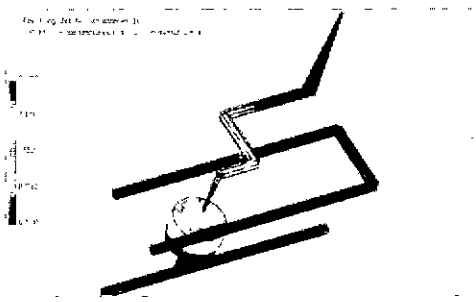

Fig. 8 Melt front advancement shade analysis result of pin-point type

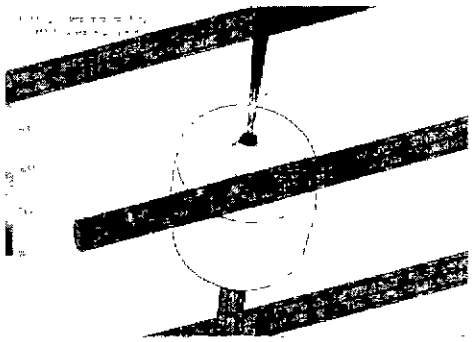

Fig. 9 Bulk temperature analysis result of pin-point type

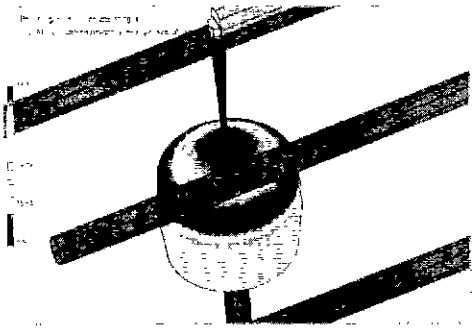

Fig. 10 Time to cool after filling analysis result of pin-point type

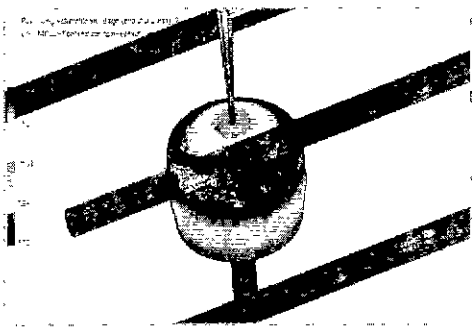

Fig 11 Volumetric shrinkage analysis result of pin-point type

Fig. 8은 유동선단을 나타낸 것으로 Fig. 2의 사이트 게이트의 경우와 비교하였을 때 시간에 따른 수지가 충진이 제품의 게이트 부위에서 제품 하단부분에 이르기까지 대칭적으로 수지가 충진되어짐을 볼 수 있다

Fig 9 Bulk Temperature에서는 게이트부와 제품 각부의 온도편차가 12 ~13℃로서 기존의 금형설계에 의한 제품해석, Fig. 3과 비교하여 볼 때 제품의 변형이 현저히 감소 할 것을 예상 할 수 있다

Fig 10은 수지 충진 후 제품의 각 부위를 냉각시키는데 걸리는 시간을 나타내고 있다. 여기에서 제품의 냉각시간은 15~20초가 적당함을 알 수 있다

Fig 11은 사출에서 냉각에 이르기 까지의 과정이 마무리 된 후에 발생하는 제품의 체적수축을 백분율로 나타낸 것으로 제품의 두께에 따라서 최저 10%에서 최고 17.1%의 체적 수축이 예상 되어진다

3. 결론

PA66(Nylon 66)를 사용하여 볼시트(Ball-Seat) 사출 성형품의 치수 안정성과 품질안정화를 위한 최적의 사출성형 조건을 도출하기 위해 사출성형해석 프로그램인 C-MOLD를 이용하여 성형해석 하였다.

그리고, 기존의 사이드 게이트 및 직선유로 냉각방식에 의한 금형설계 방식을 제품의 수직 중앙부위에 핀 포인트 게이트 및 버블 냉각방식에 의한 금형설계로 전환시켰을 경우에 대하여 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1 시간에 따른 수지의 충진이 게이트에서 제품의 하단부까지 대칭적으로 충진됨에 따라 볼시트 사출성형품에 발생하였던 웰드라인을 제거할 수 있다
2 제품의 각 부분의 온도차를 최소화하여 수지의 결정화를 일정하게 함으로써 고화도가 0.097~0.3으로 균일하게 분포한다.
3 성형공정의 최적화로 잔류응력의 감소와 제품의 변형을 최소화 하였다.

참고문헌

1. S F Walsh, "Shrinkage and Warpage Prediction for Injection Molded Components", Journal of Reinforced Plastics and Composites., Vol.12, pp.769~778, July 1993
2 Friedle C. F and McCaffrey N. J. "Crystallization Prediction in Injection Molding" SPE Technical Paper, Vol 5, pp.330-332, 1991
3. Isayev A. I. and Hariharan T. "Volumeter Effects in the Injection Molding of Ploymers", Polymer Eng. & Sci., Mid-april, Vol 25, No 5. pp.171-178, 1985
4 Koita, Y T., "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng. & Sci., December, Vol.14, No 12. pp 840-847, 1974
5. 유중학, 김희송, '폴리프로필렌의 사출성형조건이 성형품의 선형수축률과 중량에 미치는 영향' 대한기계학회논문집, 제19권 2호, pp.322~329, 1992