

플라스틱 유동해석 프로그램을 이용한 자동차 도어 핸들의 유동예측

한성렬* (부경대 대학원 기계공학부), 강철민 (부경대 대학원 기계공학부),
유호종 (신원정공), 정영득 (부경대 기계공학부)

Plastic Flow Prediction of Automobile Door-Handle Using Injection Molding Simulation Programs

S. R. Han (Mecha. Eng. Dept. PKNU), C. M. Kang (Mecha. Eng. Dept. PKNU),
H. J. Yoo (Shinwon Precision Co.), Y. D. Jeong (Mechanical Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

Automobile door-handle is assembled with three parts that are base, skin and cover. Over-molding processing makes assembly of the base and skin. The skin part that was made by PVC polymer has various thickness. Plastic injection molding simulation of part including significant changed thickness as skin is an inaccuracy comparing with real injection molding. To solve this problem, two commercial flow prediction software that are Moldflow MPI and MAPS 3D were used in this study. Simulations were conducted for three types mesh. Taguchi method was applied for simulation experiments. It will be need to compare with simulation results and real over-molding behavior in the near future.

Key Words : Automobile door-handle(자동차 도어 핸들), Over-molding(오버몰딩), Flow prediction(유동예측), Moldflow(몰드플로우), MAPS 3D(맵스 3D), Taguchi method(다구찌 방법)

1. 서론

플라스틱은 가전제품, 자동차, 주방용품, 산업용품 등 거의 모든 사회분야에 사용되고 있지만, 실제 플라스틱 제품을 제작하는 현장에서는 설계자와 기술자의 과거 경험과 짐작으로 금형을 제작하고 있는 것이 현실이다. 그러나 보다 정밀하고 개량된 제품의 요구가 증가함에 따라 여러 가지 방법이 강구되고 있는 실정이다. 이런 많은 방법 중에서 플라스틱 사출성형에서는 실제 금형 형상을 컴퓨터에서 구현하고 시뮬레이션을 한 후 금형 내에서의 유동을 예측하여 그 결과를 금형 설계와 가공에 적용하여 보다 정밀한 금형을 제작하고 있다.¹⁾

이번 연구에서는 이러한 유동예측을 자동차 내장 도어 핸들에 적용하였다. 이 제품은 인서트 되는 베이스(base), 베이스를 감싸는 스킨(skin) 및 커버(cover)로 이루어져 있다. 이 중 커버는 단일 부품으로 조립되지만, 베이스를 스킨이 감싸고 있는

오버몰딩(over-molding)²⁾ 방법으로 일체화 성형을 하고 있다.

최근에 오버몰딩 성형은 자동차 부품, 면도기, 치솔과 같은 일용품 등 많은 제품에 적용되고 있다. 기존의 금속 인서트(insert) 부품을 사용하는 인서트 성형과는 달리 오버몰딩은 인서트 부품으로 플라스틱 부품이 사용되는 것이 특징이다. 인서트 부품을 플라스틱으로 하면 금속 인서트 부품을 적용하였을 때 보다 중량이 현저히 감소되고, 재료비의 절감 등의 이점이 있으나 용접이 다른 플라스틱 사이의 성형이므로 수지 주입시 주입되는 수지의 온도에 의해서 기존의 인서트 재료가 용융되면서 위치고정에 문제가 발생되며, 성형품의 스킨에는 베이스와의 견고한 결합을 위하여 두께가 1 ~ 2mm 의 얇은 리브(rib)가 10 여개 이상 있으므로 성형시 리브의 미성형 등으로 인한 베이스와의 미 접촉 등의 불량 이 발생하기 쉬운 구조를 갖으며, 그 두께가 0.5mm ~ 수 mm 까지 매우 불규칙적 이다. 따라서 기존의

중앙면을 이용한 성형해석의 유동예측은 정확성이 결여되고, 더욱이 인서트 물에 대한 유동해석에서의 고려는 되어 있지 않는 문제점이 있다.

본 연구는 실제 오버몰딩 사출성형실험에서 얻은 결과와 인서트를 고려하지 않은 상태로 성형해석했을 경우 얻어진 결과와의 차이에 대해 고찰하여 성형해석 결과를 오버몰딩 성형에 적용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

이번 연구에서 유동예측을 위하여 사용된 프로그램은 두 가지 상용 소프트웨어인 Moldflow MPI 4.1³⁾과 MAPS 3D 이며, 유동예측 실험의 효율을 높이고자 몰드플로우의 실험계획법(design of experiment; DOE) 모듈을 이용하였다. 실험계획법에 의하여 예측된 최적 성형조건을 다시 몰드플로우와 맵스 3D 를 이용하여 성형해석을 실시하여 두 결과를 비교하였다.

2. 다구찌 실험계획법

2.1 성형인자

사출성형에서의 성형인자에는 수지온도, 사출압, 보압, 사출속도, 금형온도, 사출시간, 냉각시간 등 여러 인자 중에서 Table 1 에서 보는 바와 같이 수지온도, 금형온도, 사출시간, 성형품 두께변화율 등 4 개의 성형인자를 실험용 인자로 택하였다. 그리고 각각의 인자에 대한 수준(level)은 현재 생산 현장에서 사용 되고 있는 기준을 기준 수준으로 두고 수지온도와 금형온도를 각각 $\pm 10^{\circ}\text{C}$, 사출시간은 20% 값의 변화를 감안하여 첫번째와 세번째 수준으로 정하였다. 마지막의 성형품 두께 관련 인자는 전체 성형품의 두께를 1 로 두고 나머지 수준에 대하여 ± 0.05 로 정했다.

Table 1 Injection molding variables for DOE

Factors	Level		
	1	2	3
Melt temp. ($^{\circ}\text{C}$)	170	180	190
Mold temp. ($^{\circ}\text{C}$)	30	40	50
Injection time (sec)	2.4	3.0	3.6
Thickness multiplier	0.95	1.0	1.05

2.2 Moldflow 와 다구찌 방법

성형 인자가 다수인 것을 감안하면 각각의 인자들이 성형에 미치는 영향을 알아 본다는 것은 변수들의 다양한 조합으로 이루어진 많은 조건들로 실험하여야 하나 이는 실험 숫자가 매우 많게 된다. 이러한 문제에 대하여 다구찌 방법⁴⁾은 직교 배열표(Orthogonal array)를 이용해서 각 변수의 영향을

분석하는 방법으로 모든 인자들의 조합으로 된 실험회수를 현저하게 감소시키면서 감소된 실험만으로 그 영향력을 구별할 수 있는 이점이 있다.

몰드플로우내의 실험계획법은 다구찌 방법, 모든 인자들을 조합하여 계획한 팩토리얼(factorial experiment) 방법, 이 둘을 조합한 다구찌와 팩토리얼 방법 등 세가지 있다. 이번 연구에서는 다구찌 방법을 선택하였다. 몰드플로우의 다구찌 방법은 가장 큰 영향을 미치는 인자를 몇 가지 기준에 대하여 작은 실험 횟수로 최적의 실험계획을 설계하며 각 인자에 대하여 순위를 나타내어 그 영향력을 보여준다. 그리고, 최적 성형조건을 산출을 위해 프로그램이 판단하는 기준은 유동전단 온도(flow front temperature), 전단 응력(shear stress), 사출압력(injection pressure), 클램핑력(clamping force), 수축(volumetric shrinkage), 싱크 마크 깊이(sink mark depth), 성형품 중량(part weight), 싸이클 타임(cycle time)으로 구성되어 있다.

3. 성형 해석 실험

성형해석을 위한 모델은 자동차 도어 손잡이로 세가지 부품으로 조립되어 하나의 제품을 이룬다. 이번 연구에서 대상이 된 부품은 플라스틱 인서트와 감싸는 스킨 층으로 PVC(polyvinyl chloride) 수지를 사용하여 성형한다. 스킨층의 내부는 인서트 물과의 견고한 접착을 위하여 얇고 긴 리브가 여러 개 있다. Fig. 1 은 오버몰딩 된 성형품을 나타낸 것이다.

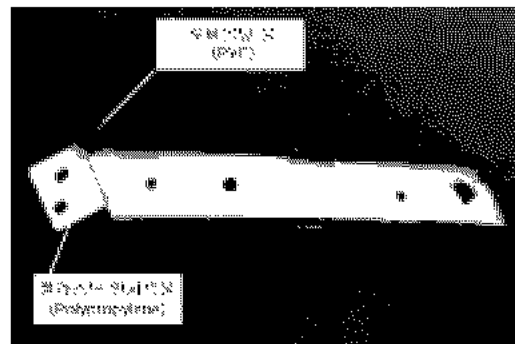


Fig. 1 Assembly from insert and skin parts

이번 연구에서는 세가지 경우에 대하여 해석 실험을 하였다. 첫번째 경우는 스킨의 중간층(midplane) 만을 메싱(meshing)하여 성형해석하고, 두 번째는 스킨의 표면만 메싱하는 퓨전(fusion) 매시를 이용하여 성형해석 하였고, 마지막 세 번째는 스킨의 표면과 내부를 3 차원 메싱하여 성형해석하여 그 결과들을 비교하였다. Fig. 2 는 몰드플로우에

서 3 차원 퓨전 메시지를 나타낸 것이다.

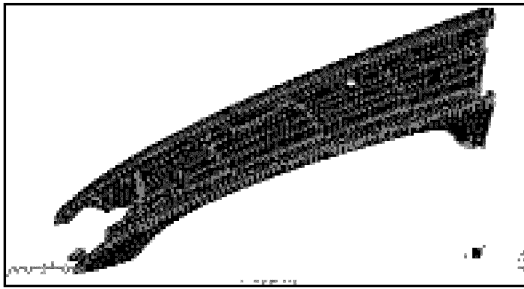


Fig. 2 Meshed Fusion model

먼저 퓨전 메시된 모델을 몰드플로우 MPI 4.1에서 다구찌 실험계획법으로 성형해석을 수행하여 최적 성형조건이 산출하여 그 조건을 다시 중앙면 모델, 퓨전모델, 3 차원모델에 각각 입력하여 성형해석 한 후 그 결과를 비교하였다.

4. 결과 분석

4.1 기존의 성형인자에 의한 유동해석

기존의 사출성형인자는 수지온도 180℃, 금형온도 40℃, 사출시간 3 초이다. 이에 대하여 성형해석을 수행하여 몰드플로우가 가진 기준에 따라 Table 2와 같이 성형인자의 순위가 결정되었다.

Table 2 Taguchi criterion ranking results for analysis

Rank Criterion	1	2	3	4
Flow front temperature	Melt temp.	Injection time	Thickness multiplier	Mold temp.
Shear stress				
Injection pressure	Melt temp.	Thickness multiplier	Injection time	Mold temp.
Overall quality	Melt temp.	Thickness multiplier	Injection time	Mold temp.

위와 같은 결과를 종합하여 프로그램이 산출한 최적의 성형 조건은 수지온도 190℃, 금형온도 50℃, 사출시간 2.4 초로 나타났다. 그리고 프로그램 상에서 성형품 두께와 관계 있는 성형인자의 순위는 구체적으로 나타나 있지 않았다.

4.2 최적 성형조건에 대한 성형해석

산출된 최적 성형조건을 중앙면, 퓨전, 3 차원 모델에 각각 적용하여 성형해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다.

4.2.1 충전해석

스킨의 중앙면을 모델링 한 후 최적성형 조건을 적용하여 성형해석을 수행하였다. Fig. 3은 몰드플로우에서 충전해석 결과를 나타낸 것이다. 산출된 최적 충전 시간을 2.4 초로 적용하여 충전해석을 해본 결과 충전이 완료될 때까지는 약 2.54 초가 걸렸다. Fig. 4는 몰드플로우에서 퓨전 메시지를 이용하여 충전해석한 결과이다. 중앙면을 이용한 성형에서와 같이 충전 시간은 약 2.53 초로 나타났다. Fig. 5는 CAPA 에서 3D 모델을 이용하여 충전해석한 결과이다. 충전완료 때까지는 약 2.43 초로 최적 충전 시간에 근접하게 해석되었다.

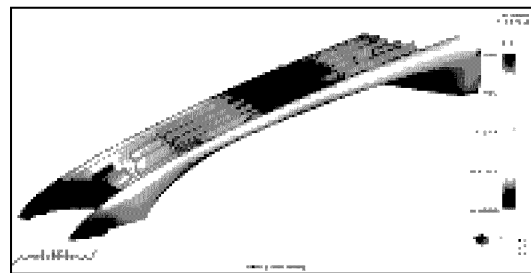


Fig. 3 Filling analysis for Mid-plane model

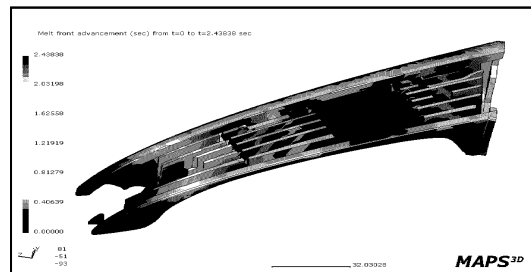


Fig. 4 Filling analysis for Fusion model

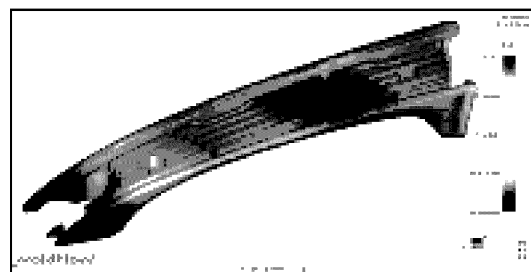


Fig. 5 Filling analysis for MAPS 3D model

4.2.2 압력해석

Fig. 6은 중앙면 모델을 이용하여 해석하였을 때 수지를 금형에 주입하기 위하여 필요한 사출압력을 나타낸 것이다. 성형품의 아래면의 중앙점에서의 압력은 약 44MPa로 나타났다. Fig. 7은 퓨전 모델을 대상으로 성형했을 때 압력 분포를 나타내 것이다. 이때 성형품의 아래면의 중앙부의 압력은 약

40MPa 로 나타났다. Fig. 8은 3D 모델을 이용하여 유동해석 했을 때 성형품에 가해지는 압력을 나타낸 것이다. 이전과 동일하게 성형품의 아래면의 중앙점에서의 압력은 약 40MPa 로 나타났다.

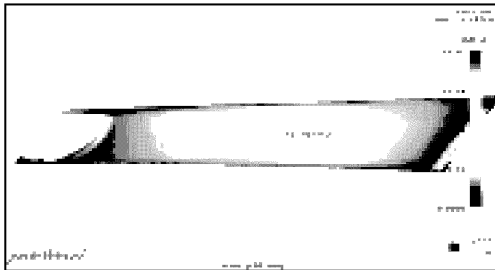


Fig. 6 Pressure analysis for Mid-plane model

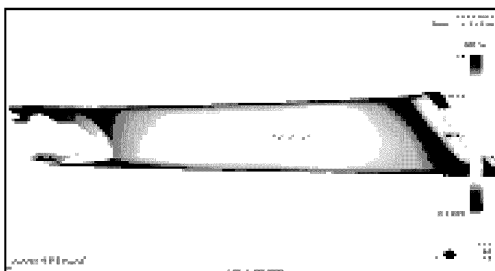


Fig. 7 Pressure analysis for Fusion model

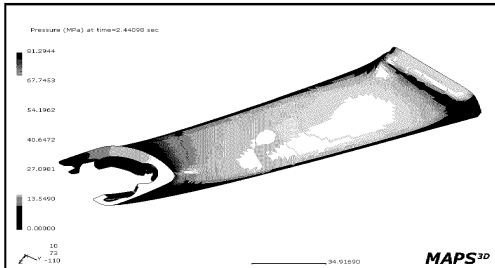


Fig. 8 Pressure analysis for MAPS 3D model

퓨진 메시와 3D 메시지를 이용한 해석결과는 거의 유사하게 압력이 나타났으나 중앙면 모델의 해석에서는 압력이 약간 높게 나타났다. 이것은 모델의 중앙면만을 모델링 한 후 리브와 같은 얇은 곳의 살두께를 입력하면서 실제의 리브 살두께 보다 입력값이 작기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 이러한 중앙면의 해석이 옳거나 잘못 된 해석이라 말할 수 없다. 단지 이러한 차이는 실제 오버몰딩 성형에서 얻을 정량적인 실측치를 기준으로 성형해석과 실제 성형사이의 수정계수를 구하면 이러한 차이는 해결되리라 생각된다.

4.2.3 결과비교 및 고찰

Table 3 은 이상의 해석결과를 정리한 것으로 충전시간은 메시 타입과 해석 프로그램 종류와는

상관없이 모두 유사한 결과를 보였다. 사출압에서 퓨진과 3D 해석은 동일하였으나 중앙면 메시의 경우 4MPa 정도 높게 나타났다.

Table 3 Results of flow analysis

Mesh type	Filling time (sec)	Pressure (MPa)	Analyzer
Mid-plane	2.4	44	Moldflow
Fusion	2.5	40	Moldflow
3D	2.4	40	MAPS 3D

5. 결론

자동차 도어 핸들의 스킨 부품은 살두께 편차가 크며, 플라스틱 인서트를 갖는 오버몰딩 성형에 있어서 상용프로그램의 효과적 사용을 목적으로 현재 사용되고 있는 상용프로그램 3 종에 대하여 충전과 압력 유동해석을 수행하였다.

해석결과는 충전은 비슷하고, 압력은 중앙면의 해석에서 약간 크게 나타났다. 그러나 이런 결과는 현재 진행되고 있는 금형제작이 완료된 후 시험사출 한 결과와 향후 비교할 예정이며, 비교 결과는 상용프로그램의 효과적 사용을 가능케 할 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 '04년도 중소기업기술혁신개발사업의 지원에 의한 것이며 이에 감사드리며, 또한, 3D 해석을 지원해 주신 (주)브이엠테크에도 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

1. I.S. Dairanieh, A. Haufe, H.J. Wolf and G. Mennig, "Computer Simulation of Weld Lines in Injection Molded Poly(Methyl Methacrylate)", Polymer Engineering and Science, Vol. 36, No. 15, pp. 2050 ~ 2057, 1996.
2. S. Ray and F.S. Costa, "Flow Prediction In The Presence Of Inserts For The Injection Over-Molding Process", ANTEC 2003, pp. 632 ~ 636, 2003.
3. C. Lotti, M.M. Ueki and R.E.S. Bretas, "Prediction of the Shrinkage of Injection Molded iPP Plaques Using Artificial Neural Networks", J. of Injection Molding Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 157-176, 2002.
4. J.S. Kwak and M.K. Ha, "Optimization of Grinding Conditions and Prediction of Surface Roughness Using Taguchi Experimental Design", J. of the KSPE Vol. 21, No. 7, pp. 37~45, 2004.