

성형효과를 고려한 플라스틱 사출품의 구조해석

박상현* · 김용환* · 김선우** · 이시호**

A study of structural analysis for plastic parts considering injection molding effects

S.H. Park* · Y.H. Kim* · S.W. Kim** · S.H. Lee**

Abstract

Due to the lighter weight and the higher freedom of design than metals plastics have been spot lighted in a wide number of applications. In the making plastic parts injection-molding process is one of the most general methods. During the injection molding process, filling-packing-cooling process, plastics have exposed to several external stresses and then plastic parts injected have molding effects which are known as anisotropic properties, orientation, and residual stress. Those molding effects are often shown as unexpected phenomena which are warpage, strength decrease, stiffness reduction, etc. In case of glass fiber filled plastics these effects are more significant than the unfilled ones. Therefore the molding effects have to be considered in the parts design using glass fiber reinforced plastics. We have developed the interface program in order to consider the molding effects in structural analyses of plastic parts using Heirarchical structural searching and layer handling in direction of thickness algorithm. The advantages of this program are the freedom of FE mesh between molding and structural analysis, the variable layer to the thickness direction of parts and the conveniences of data transferring and checking

Key Words : Injection molding effect(사출성형효과), orientation(배향), Residual stress(잔류응력), Glass fiber reinforced plastics(유리섬유 강화 플라스틱)

1. 서 론

플라스틱 사출품은 자동차, 가전, 전자재 등 다양한 산업 환경에서 사용되고 있으며 그 수요가 점차 증가하고 있다. 특히 고온·고압, 고하중 혹은 장기적인 치수안정성등과 같은 특수 환경하에서 플라스틱 활용의 요구가 증가하면서 특수 목적의 플라스틱(Engineering plastics)이 개발되고 있다. 그 중 가장 널리 사용되는 특수 플라스틱이 유리섬유를 함유한 보강 플라스틱(Glass fiber reinforced plastics)이다. 플라스틱 사출품은 용융된 고온의 수지가 금형내에 주입되어 충전(Filling)-보압

(Packing)-냉각(Cooling)의 과정을 거치고 제품으로 탄생하게 된다. 이러한 과정은 노즐부의 높은 전단응력, 금형과의 열전달, 보압으로 인한 압축력과 같은 다양한 성형공정상의 외력을 플라스틱에 가하고, 플라스틱 사출품은 외력에 의한 잔류응력(Residual stress), 물성의 이방성(Anisotropic material properties) 및 유동에 따른 배향(Material orientation)을 가진다. 플라스틱 사출품의 성형효과는 임의 온도하에서 장시간 방치될 경우 제품설계자가 의도하지 않은 휨(Warpage)을 유발하거나 구조강성 및 강도의 저하를 수반하여 외부 충격을 받았을 때 설계하중보다 낮은 영역에서의 균열이 발생하거나 예기

* 충남대학교 기계설계공학과

** LG화학/테크센타, 응용기술팀

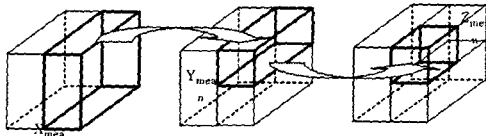
치 않은 부위의 파손과 같은 악영향으로 표출된다. 이러한 성형효과는 비보강 소재(Unfilled plastics)보다 보강 소재(Glass fiber filled plastics)에 있어 더욱 뚜렷하게 나타난다. 그러므로 보강소재(Glass fiber reinforced plastics)의 올바른 제품 설계를 위해 성형효과를 반드시 고려해야 한다. 제품의 구조 성능평가에 있어 성형효과를 고려하기 위한 시도가 점차 증대되고는 있으나 성형과 구조해석에 동일한 유한 요소^[1]를 사용한다거나 성형시 발생하는 배향^[2]만을 고려하는 등 보완해야할 점이 많다. 일반적으로 성형해석 프로그램은 삼각형요소를 사용하며 성형-구조 연계에 있어 성형해석에 사용된 삼각형 유한요소 모델을 그대로 구조해석에 사용해야하는 제약점이 있다. 이는 성형해석의 관심부위와 구조해석의 관심부위가 상이하므로 초기 성형해석 모델 생성 시, 구조해석의 관심부를 세밀하게 모델링해야하며, 구조해석을 고려하여 삼각형 요소 생성시 높은 형상비(Aspect ratio)를 갖는 요소가 발생하지 않도록 유의해야 한다.

본 연구에서 보강소재의 구조해석에 있어서 성형효과를 고려하기 위하여 계층적(Hierarchical) 구조탐색 및 층별(Layer) 이방성 물성 처리 알고리즘을 사용한 성형-구조 연계 프로그램과 성형 및 구조 모델의 물성 동시비교를 위한 후 처리 과정을 개발하였으며, 이를 활용하여 성형효과가 구조해석에 미치는 영향도를 평가하였다.

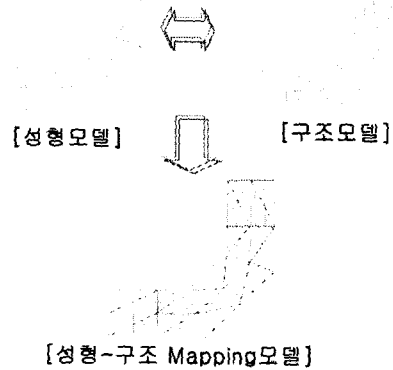
2. 성형-구조 연계 프로그램

2.1 탐색 알고리즘

[Fig. 1] 및 [Fig. 2]에서 보듯이 계층적 구조 탐색의 기본개념은 성형 및 구조, 두 모델의 전체를 포함하는 각각의 BOX를 생성하는 단계로부터 시작하여, 구조모델의 특정 요소의 중심이 속하는 성형모델의 요소를 찾는 과정을 수행하게 된다. 이러한 일련의 과정은 x, y, z방향에 따라 BOX를 분할하여 8개의 SUB-BOX를 생성하며, 생성된 8개의 SUB-BOX중 찾고자 하는 구조모델의 중심을 포함하는 SUB-BOX에 대하여, 다시금 x, y, z방향에 따라 BOX를 분할한다. 이러한 반복 과정을 수행하면서 하나의 SUB-BOX에 성형모델의 한 요소를 포함하거나 포함하지 않을 때까지 반복 수행하게 된다.



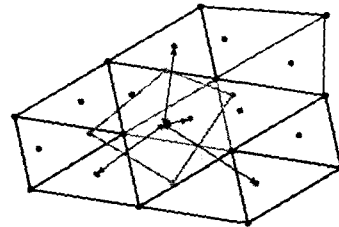
[Fig. 1] 계층적 구조탐색(Hierarchical searching)



[Fig. 2] 성형-구조 Mapping과정

2.2 물성변화 알고리즘

계층적 구조탐색을 통하여 탐색되어진 성형모델의 요소를 기준으로 자신 및 인접한 요소 값으로부터 구조모델의 요소 값을 참조하게 된다. 값의 참조에 있어 구조모델의 요소 중심을 기준으로 성형모델의 자신 및 인접 요소 중심과의 각 거리를 물성변환의 Scaling factor로 사용하였다. [Fig. 3]은 구조모델의 요소 중심이 속한 성형모델의 요소와 인접한 요소를 보여주며, [식 1]은 Scaling factor를 사용하여 인접한 n개의 성형모델의 요소로부터 구조모델의 요소 값을 참조하는 수식을 보여주고 있다.



[Fig. 3] Material transformation scheme

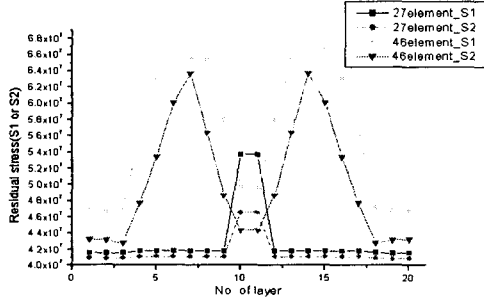
$$\sum_{j=1}^n f_j = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{f_j^m}{a_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{a_j}} \quad (1)$$

여기서, i (성형모델의 요소 번호), m (인접한 성형모델의 요소 수), j (구조모델의 요소 번호), a (구조모델의 요소 수), f_j (구조모델 j 번째 요소의 물성값), f_i (성형모델 i 번째 요소의 물성값), $a_i = \|x_i - x_j\|$ (Scaling factor), x_i (성형모델 요소의 중심), x_j (구조모델 요소의 중심)

2.3 층별 이방성 물성처리 알고리즘

[Fig. 4]는 [Fig. 2]모델의 층별 이방성 물성의 특징으로써 물성의 종류와 위치에 따른 두께방향의 물성 분포

를 보여주며, 서로 상이함을 볼 수 있다. 이는 사출성형의 특징으로써 Skin-Core구조를 보여주고 있다. 본 성형-구조 연계에서는 사용자 설정의 층수를 선형내삽법을 이용하여 처리하였으며, 이는 규칙적인 층수 선정방법으로써 두 층간의 물성차가 현저할 경우, 문제점이 발생함에 유의해야 한다.



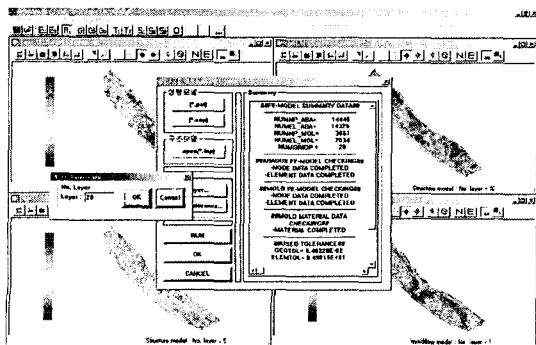
[Fig. 4] 물성종류 및 위치에 따른 층별 물성분포

2.4 후 처리 과정

성형-구조 연계의 물성변화 과정이 완료되면, 연계 전후의 물성 비교를 통하여 물성변환의 정확성을 파악하고자 함이 후처리 과정의 주된 역할로 볼 수 있다. 후처리 과정에서 처리하는 물성으로써는 [표 1]에 보는 것과 같다. [Fig. 5]는 후처리 과정을 보여주고 있으며, 이는 Visual C++6.0과 Open-GL을 사용하여 개발하였다.

[표 1] 후처리과정시, 처리하는 물성데이터

(* .mesh)파일	(* .material)파일
Node coordinate	Elastic modulus(E_1, E_2)
Element connectivity	Shear modulus (G_{12}, G_{13}, G_{23})
No. of layers Element thickness	Poisson's ratio(ν_{12})
	Thermal expansion coefficient(α_1, α_2)
	Material orientation
	Residual stress (S_1, S_2, S_{12})



[Fig. 5] 후처리 과정

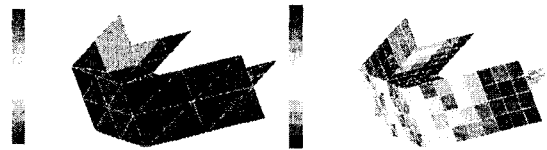
3. 해석 및 고찰

3.1 성형-구조 연계 전·후의 물성 비교

[Fig. 6]은 성형-구조 연계 프로그램을 통하여 성형모델의 물성을 구조모델로 물성변환 후의 탄성계수(E_1)값을 비교한 것으로 충분히 수렴함을 볼 수 있다.

[표 2] Simple모델의절점및요소수

	절점 수	요소 수	비고
성형모델	35	48	S3
구조모델	226	259	S3&S4



[성형모델]

[구조모델]

[Fig. 6] 물성변환 전·후의 탄성계수(E_1) 비교

3.2 열변형해석

[표 3]은 성형효과와 고려 여부에 따른 해석방법을 나타내고 있으며, 해석으로 ABAQUS/STANDARD을 사용하였다. [Fig. 7]은 본 모델의 열변형해석에 사용한 경계조건을 보여주고 있으며, 초기온도로 상온20°C 및 최종온도로 80°C를 사용하였다. [Fig. 8]는 최대처짐량 및 최대응력을 보여주고 있다. 이는 잔류응력, 섬유배향, 열팽창계수의 영향에 의한 것임을 알 수 있다.



Encastre

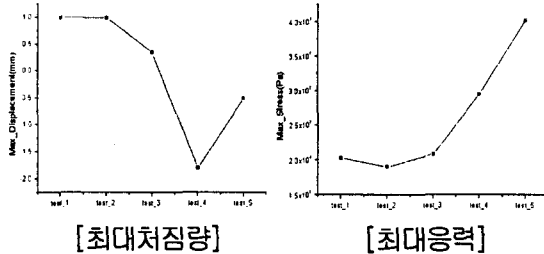
[Fig. 7] Simple모델의 열변형해석 경계조건

[표 3] 성형효과에 따른 해석방법

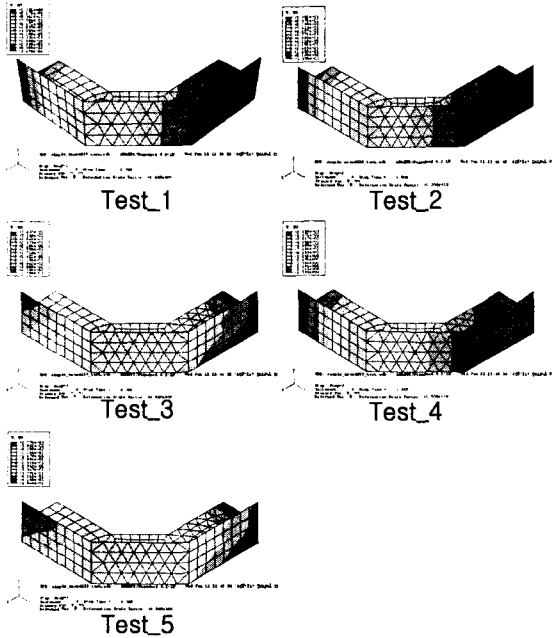
	이방성 물성	잔류응력	섬유배향
test_1	×	×	×
test_2	○	×	×
test_3	○	×	○
test_4	○	○	×
test_5	○	○	○

[표4] 성형효과에 따른 최대처짐량 및 최대응력

	최대 처짐량 (u3, mm)	최대응력 (Von-Mises, Pa)
test_1	1.001	2.03+10 ⁷
test_2	0.9902	1.901+10 ⁷
test_3	0.3437	2.085+10 ⁷
test_4	-1.793	2.949+10 ⁷
test_5	-0.5063	4.018+10 ⁷



[Fig. 8] 성형효과에 따른 최대처짐량 및 최대응력



[Fig. 9] 성형효과에 따른 최대처짐량

test_1은 등방성 물성으로 가정한 일반적인 구조해석이며, test_2는 물성의 이방성을 고려하였으나, 섬유배향을 Uniform하게 가정하였다. [Fig. 9]에서 보듯이 물성의 이방성 영향이 적음을 알 수 있다. test_2와 test_3은 섬유배향의 차이를 둬으로써 앞서 비교한 test_1과 test_2에서 물성의 이방성 영향보다, 섬유배향의 영향이 더 크음을 알 수 있다. 또한 test_2와 test_4에서 보듯이 섬유배향 및 물성의 이방성 영향보다 잔류응력에 의한 영향이 많이 작용함을 알 수 있으며, 이는 test_2의 열적 물성인

열팽창계수에 의한 모델의 퍼짐 현상보다 test_4의 잔류응력에 의한 오그라들 현상이 두드러짐을 알 수 있다. test_5는 잔류응력에 의한 오그라들 현상에 열팽창계수와 섬유배향의 퍼짐 현상이 작용하였음을 보여주고 있다. 결론적으로 위에서 보여진 모델을 바탕으로 성형효과와 고려 여부에 따른 열변형 해석을 하였으며, 잔류응력 및 섬유배향에 의한 영향이 크음을 알 수 있었다. 또한 열변형 해석에 따른 열적 물성인 열팽창계수의 영향도 적지 않음을 볼 수 있었다.

4. 결론

보강소재의 특징으로서 물성의 이방성, 섬유배향, 잔류응력을 가지며, 이러한 성형효과를 성형모델로부터 구조모델로 변환하는 성형-구조 연계 프로그램을 소개하였으며, 물성변환 과정에 있어 구조해석의 효율성을 극대화시킬 수 있는 FE-MESH의 독립성 확보 및 두께방향의 층별 이방성 물성 처리를 살펴보았다. 이러한 구조모델의 데이터를 바탕으로 Simple모델의 열변형 해석을 통하여 성형효과에 따른 최대처짐량 및 최대응력을 살펴보았다. 또한 종래의 일반적인 구조해석으로써는 성형효과를 고려한 구조해석이 되지 못함을 보았으며, 성형효과와 영향이 적지 않음도 알 수 있었다. 앞으로 본 연구는 플라스틱 제품의 다양한 모델을 대상으로 충돌해석, 진동해석, 열변형 해석, 반복하중 등의 해석을 통하여 성형효과가 구조에 미치는 영향에 대한 다양한 결과를 산출할 수 있을 것이며, 성형모델과 비교함으로써 두 모델의 동시 최적화를 추구할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 LG화학/테크센터, 응용기술팀의 지원으로 실시된 연구이며, 이에 감사의 말씀을 올립니다.

참 고 문 헌

1. A. Joop van der Lelij, "Shrinkage and warpage analysis with 3D finite elements using Moldflow and ANSYS", DuPont ETC Meyrin, 2001
2. M Glibmann and W. Michaeli, "Improved material modeling for the FEA by the specific use of CAMPUS-DATA", pp1597-1601, ANTEC2002