한국정밀공학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp. 579~580 KSPE 06S024

사출성형과정의 잔류응력을 고려한 표준인장시편의 선형구조해석

이도명*(한국생산기술연구원), 한병기(홍익대학교), 이성희(한국생산기술연구원)

Linear Structural Analysis of Standard Plastic Tensile Specimen with Residual Stress Induced by Injection Molding

D. M. Lee(Korea Institute of Industrial Technology), B. K. Han(Dept. of Mech. Eng., Hongik Univ.), Sunghee Lee(Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

In this study, an injection mold of tensile test specimen was manufactured by international standard. Pressure and temperature in the cavity of the injection mold was measured by sensors. Simulation of injection molding process was performed with the same condition of experiment and linear structural tensile analysis was also performed with the initial condition of the residual stress induced by injection molding analysis. Normalized elastic coefficient of tensile test was compared with that of structural analysis. It was shown that the residual stress induced by injection molding has an effect on both the experiment of tensile test and linear structural analysis.

Key Words : Injection molding(사출성형), Tensile test specimen(인장시험시편), Cavity sensor(캐비티센서), Mechanical property(기계적 특성), Molding analysis(성형해석), Structural analysis(구조해석)

1. 서 론

사출성형품은 디스플레이, 광학, 전자제품의 외관 및 특수 부속품에 이르기까지 폭넓게 사용되고 있다. 사출성형 공정은 고분자 용융체를 금형의 캐비티로 높은 압력과 온도를 가하여 충진 시키고, 이 과정에서 발생되는 잔류응력은 성형품의 품질 뿐만 아니라 광학적 특성도 영향을 미친다. 잔류응력은 다양한 제품과 금형설계, 수지의 물성 그리고 성형 공정 요소들 간의 다양한 상호작용으로 기계적 특성을 예상하기 어렵고 치수 불안정성과 성형품안에 크랙이 발생 할 가능성이 높아지며, 제품의 예상 수명에도 영향을 미친다. 잔류응력은 크게 유동에 의해 발행되는 것과 열에 의해 발생되는 것으로 나뉜다. 유동에 의한 잔류응력은 충진과 보압 단계에서 발달하고 이것은 냉각 동안에 긴 분자 사슬이 불완전하게 이완되기 때문이다. 열에 의한 잔류응력은 유리전이온도 부근에서 급속 냉각하는 동안에 고분자의 수축이나 불균일한 밀도 변화에서 기인된다. 또한 유동에 의한 잔류응력은 얇은(thin-walled) 사출성형품의 가장 큰 영향을 주고, 두꺼운 사출성형품은 열에 의한 잔류응력에 영향을 많이 받는다[1][2][3].

따라서 본 연구는 국제규격에 준하여 설계된 사출금형(Fig. 1)을 이용하여 플라스틱 인장시편을 사출성형조건에 따라 제작한 후, 온도 및 압력센서에서 측정된 캐비티내 조건을 Moldflow(이후M/F)의 성형해석에 반영하고, 잔류응력 결과를 Abaqus와 연계하여 구조해석을 수행하였다. 잔류응력이 발생한 플라스틱 시편에 대해 인장시험을 수행하고 그 결과를 구조해석 결과와 비교하였다.

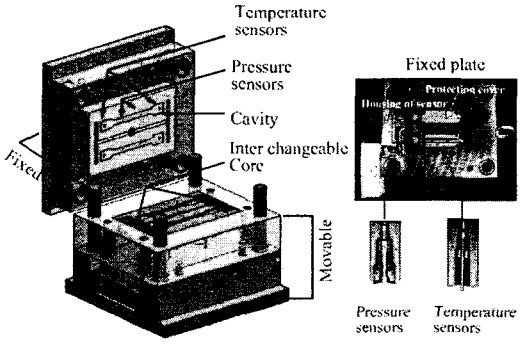

Fig. 1 Designed injection mold and mold-base with sensors for tensile test specimen

2. 사출 성형 실험

성형수지는 삼양사의 Grade가 3022IR인 투명 Polycarbonate를 사용하였고, 사출성형 실험에서 수지온도의 변화는 285, 295, 305, 315, 335℃로 하였고, 사출속도의 변화는 Flow rate 75㎤/s를 100%하고, 각각 10, 30, 50, 70, 90%에 대하여 실험을 수행하였다.

각 성형조건의 변화를 고려한 실험에 대해 대상인자 외의 성형조건은 295℃, 50%로 하여 실험을 수행하였다.

3. 사출 성형해석 및 선형 구조해석

사출성형 실험조건에 따라 인장시편에 대한 수지온도와 사출속도의 입력값을 M/F에 적용하고, 성형해석 형태를 3D로 하여 유동(flow)해석과 냉각(cooling)해석에 의한 결과까지도 포함하는 잔류응력을 추출하였다. M/F와 Abaqus 연계 해석에서 M/F의 4면체 메쉬를 사용하고 잔류응력을 초기조건으로 하여 구조해석을 수행하였다[4]. M/F와 Abaqus를 연계한 구조해석은 Shell 요소와 Solid 요소에 대해서 모두 가능하나, 본 연구에서는 Solid 요소에 대해 해석을 수행하였다. 해석과정은 Fig. 2와 같이 진행되며, 플라스틱 인장시편의 재료 물성과 잔류응력 값을 포함한 M/F 해석 결과 파일로 사출성형이력이 고려된 선형구조해석을 위한 Abaqus 입력파일을 생성하였다. 이때 하중과 구속조건을 정의한 후 구조해석을 수행하고 일정하중(2kN)하에서 무차원화된 탄성계수 값을 계산하였다. 각각의 값은 해석결과 중 가장 큰 값으로 무차원화 되었으며, 실험결과와의 상호 비교를 위해 가중치 0.5를 부여하였다. Fig. 2의 C)는 하중이 가해지지 않은 상태에서 Abaqus로 계산된 잔류응력 분포이고, D)는 하중이 없는 조건에서 편광판을 이용하여 촬영한 인장시편의 잔류응력 분포 예이다.

4. 인장시험

사출성형조건 변화에 따라 제작된 인장시편을 조건별로 나눠서 MTS Systems(USA)의 만능인장시험기(MTS 810)를 이용하여 인장 속도 5㎜/min로 인장시험을 수행하였다. 실험결과는 해석결과에서와 마찬가지로 해석결과 중 구한 최대값으로 무차원화하여 제시하였다(Fig. 3). 인장시험에서 수지온도가 상승 할수록 탄성계수 값은 상승 하였고, 수지온도에 따른 구조해석에서는 탄성상수 값이 상승하면서 일정 값으로 수렴 하였다. 또한 인장시험에서 사출속도가 상승 할수록 탄성상수는 상승하다가 사출속도 50%를 기점으로 하강하는 형태를 보였다. 그러나 사출속도에 따른 구조해석에서는 사출속도 10%에서 탄성계수 값이 가장 높은 값을 보였으며, 점차로 감소하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 표준 플라스틱 인장시편을 사출성형 조건에 따라 성형한 후 M/F를 이용하여 사출성형해석을 수행하고, 해석에서 계산된 잔류응력 값을 추출하여 ABAQUS에 연계한 구조해석을 수행한 후 그 결과를 인장시험결과와 비교하였다. 사출성형조건에 따라 플라스틱 인장시편의 무차원화된 탄성계수값이 변함을 실험과 해석을 통해 확인하였다.

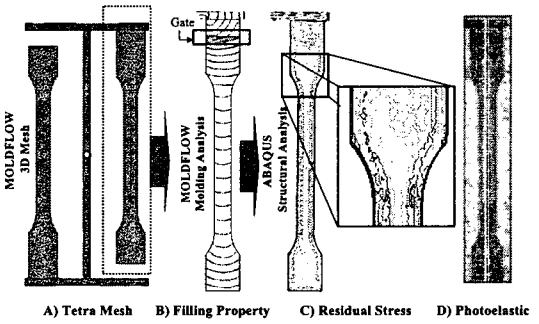

Fig. 2 Process of linear structural analysis interfaced with injection molding analysis

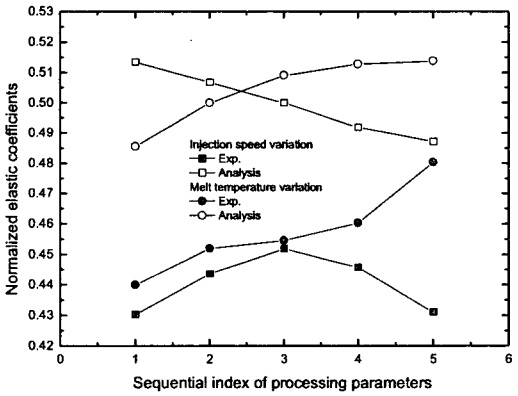

Fig. 3 Variation of normalized elastic coefficients with different injection speed and melt temperature

참고문헌

1. J. H. Yoo, H. S. Kim, "A Study on Cavity Pressure and Tensile Strength of Injection Molding," The Korean Society of Automotive Engineers, Vol.2, No.6, pp.110-116, 1994.
2. S. Chen, H. Peng, L. Huang and M. Chung, "Investigation of the Tensile Properties on Polycarbonate Thin-Wall Injection Molded Parts," Journal of Reinforced Plastic and Composites, Vol.22, No.5, pp.479-494, 2003.
3. A. Siegmann, A. Buchman, S. Kenig, "Residual stress in polymers III : the influence of injection molding process condition," Polymer engineering and science, Vol.22, No.9, pp.560-568, 2003.
4. ABAQUS Version 6.5 Document "ABAQUS Analysis User's Manual PART V: Element,"