

플라스틱 사출인장시편의 단순인장시험 및 선형구조해석

이도명¹, 한병기², 이성희[#]

Linear Structural Analysis and Simple Tensile Test of Plastic Injection Molding Tensile Specimen

D. M. Lee, B. K. Han, Sunghye Lee

Abstract

In this study, the effects of residual stress induced by plastic injection molding process on the tensile behavior of plastic tensile test specimen were investigated. To manufacture plastic tensile test specimens, an injection mold based on the international standard system was designed and made. Cavity pressure and temperature sensors were installed inside of the presented mold to monitor pressure and temperature values during the cycle of injection molding. Injection molding simulation was performed with the same condition of experiment and linear structural tensile analysis was also performed with the initial condition of the residual stress. It was shown that the residual stress induced by injection molding has an effect on the experiment of tensile test and linear structural tensile simulation.

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

1. 서론

컴퓨터, 이동통신 기기 및 전자제품에 사용되는 플라스틱 부품을 생산하는데 있어서 사출성형기술을 많이 이용한다. 사출성형공정은 고분자 용융체를 금형의 캐비티로 높은 압력과 온도를 가하여 충전시킨 후 급속하게 냉각하여 원하는 제품을 얻는 공정이다. 이 과정에서 발생하는 잔류응력은 성형품의 품질뿐만 아니라 광학적 특성에도 영향을 미친다. 잔류응력은 다양한 제품 형상, 수지의 물성, 금형설계 그리고 성형공정 요소들 간의 상호작용으로 기계적 특성을 예상하기 어렵고 치수 불안정성과 성형품안에 크랙이 발생 할 가능성이 높아지며, 제품의 예상 수명에도 영향을 미친다. 잔류응력은 크게 유동에 의해 발생하는

것과 열에 의해 발생하는 것으로 나뉜다. 유동에 의한 잔류응력은 충전과 보압 단계에서 발달하고 이것은 냉각 동안에 긴 분자 사슬이 불완전하게 이완되기 때문이다. 열에 의한 잔류응력은 유리전이 온도 부근에서 급속 냉각하는 동안에 고분자의 수축이나 불균일한 밀도 변화에서 기인된다. 또한 유동에 의한 잔류응력은 thin-wall 사출성형품에 가장 큰 영향을 주고, 비교적 두꺼운 사출성형품은 열에 의해 발생된 잔류응력에 영향을 많이 받는다^{[1][2][3]}.

한편 사출성형품의 품질뿐만 아니라 인장특성을 유지하기 위해서는 사출금형 캐비티내의 환경이 측정되고 일정한 조건을 유지할 수 있어야 한다. 이러한 이유로 최근에 캐비티내의 환경을 측정하는 기술이 발달하고 있다. 사출금형 내부의 이러한 측정기술을 적용하는 연구가 활발하며^{[4][5]},

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 홍익대학교 기계시스템 디자인 공학과
한국생산기술연구원 정밀금형팀,
E-mail: birdlee@kitech.re.kr

그 중에서 압력 및 온도는 사출성형품의 인장특성을 분석하는데 중요한 인자로 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구는 국제규격에 준하여 설계된 사출금형(Fig. 1)을 이용하여 플라스틱 인장시편을 사출성형조건변화에 따라 제작한 후, 온도 및 압력센서에서 측정된 캐비티내 조건을 성형해석(MOLDFLOW: 이후 MF)에 반영하고, 잔류응력 결과를 ABAQUS 와 연계하여 구조해석을 수행하였다. 잔류응력이 발생한 플라스틱 시편에 대해 인장시험을 수행하고 그 결과를 구조해석 결과와 비교하였다.

2. 본 론

일반적으로 고분자 플라스틱 제조사에서는 국제규격 ASTM D638^[6]에 의하여 플라스틱 인장시험을 수행하나, 사출금형의 구조와 사출성형의 조건에 대한 정보가 명확하지 않다. 하지만 ISO 294-1 은^[7] 플라스틱 인장시험용 시편에 대한 규격이 인장시험에만 국한 되어 있지 않고 사출금형에 캐비티의 배치, 스푸르의 직경, 런너의 형상 등의 설계적인 측면뿐만 아니라 인장시편의 사출성형 공정 까지도 규정하고 있다. 그래서 ISO 294-1 규격을 이용하여 압력 및 온도센서를 사출금형 캐비티내에 장착하여 실험 하였다(Fig. 1).

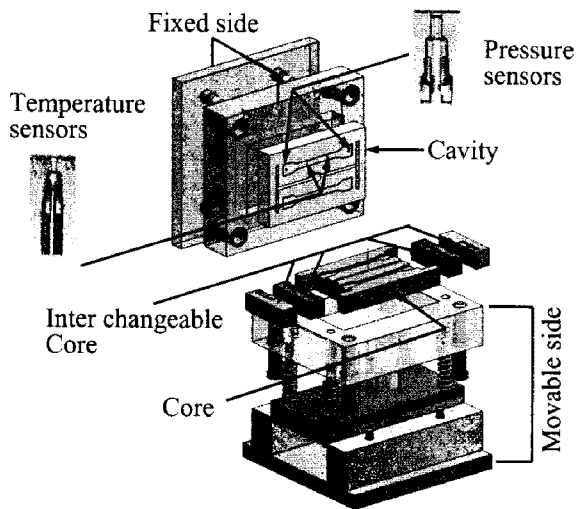


Fig. 1 Designed injection mold and mold-base with sensors for manufacturing tensile test specimen

플라스틱 인장시편성형용 사출금형 캐비티내의

압력과 온도측정을 위해 PRIAMUS 센서를 사용하였으며, Fig. 1 에 제시된 압력 센서(Type 6001A, Φ 4mm)는 압전방식의 센서로써 캐비티내의 압력을 직접 측정할 수 있는 센서이다. 온도센서(Type 4001A)는 전면부의 직경이 1 mm이고 부적절한 설치에 대해 측정데이터의 왜곡현상이 거의 없는 정밀한 센서이다. 금속튜브와 일체형 구조로 되어 있으며, 고정 및 제거를 위한 나사산과 신호 전달 케이블을 포함하고 있다.

2.1 사출성형실험

플라스틱 인장시편의 사출성형에는 삼양사의 투명 PC(Polycarbonate)를 사용하였다. 사용된 수지의 성형조건 및 실험 조건을 Table 1 에 제시하였다. 수지온도의 변화는 285, 295, 305, 315, 335 $^{\circ}$ C로 하였고, 사출속도의 변화는 Flow rate 75 cm³/s 를 100%하고, 각각 10, 30, 50, 70, 90%에 대하여 실험을 수행하였다. 후자의 경우 수지온도는 295 $^{\circ}$ C로 고정한 후 사출속도를 변화시켰으며, 전자의 경우는 사출속도 50%에서 수지온도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 각 조건에 해당하는 인장시편을 5 개씩 성형하였다.

Table 1 Recommended processing parameters and scope of injection molding experiment

	PC(Trirex 3022IR)
Recommended mold temperature range($^{\circ}$ C)	70~90
Recommended melt temperature range($^{\circ}$ C)	275~315 (285,295,305,315,335 $^{\circ}$ C)
Coolant temperature($^{\circ}$ C)	80
Cooling time(sec)	15
Injection control(Flow Rate) (75cm ³ /s, 100%)	43 \rightarrow 9mm(Velocity control), (10, 30, 50, 70, 90%) 9 \rightarrow 6.4mm(Pressure control)
Packing time(sec)	10
Packing pressure(MPa)	40

2.2 사출성형해석 및 선형구조해석

사출성형 실험조건에 따라 인장시편에 대한 수지온도와 사출속도의 입력값을 MF 에 적용하고, 성형해석 형태를 3D 로 하여 Flow 해석과 Cooling

해석에 의한 결과까지도 포함하는 잔류응력을 추출하였다. 해석시 유리섬유가 있는 경우와 없는 경우 모두 해석이 가능한데 본 연구에서 사용된 수지는 유리섬유가 들어있지 않은 투명한 PC를 사용하므로 Unfilled 로 설정하여 해석을 수행하였다(Fig. 2). 섬유 배향성을 포함하는 모든 기계적 특성에 관한 것은 MF 에 의해서 계산되고 유한요소 메쉬 파일과 잔류응력 파일을 별도로 생성한 후 ABAQUS 에서 이 파일을 이용하여 input 파일을 생성하게 된다. MF 해석에서 런너와 스프루 냉각채널과 같은 1D 요소는 ABAQUS 구조해석에서는 포함되지 않는다. MF 와 ABAQUS 연계 해석에서 MF 의 4 면체 메쉬(Fig. 3)를 사용하였고 잔류응력을 구조해석의 초기조건으로 설정되도록 하였다[8].

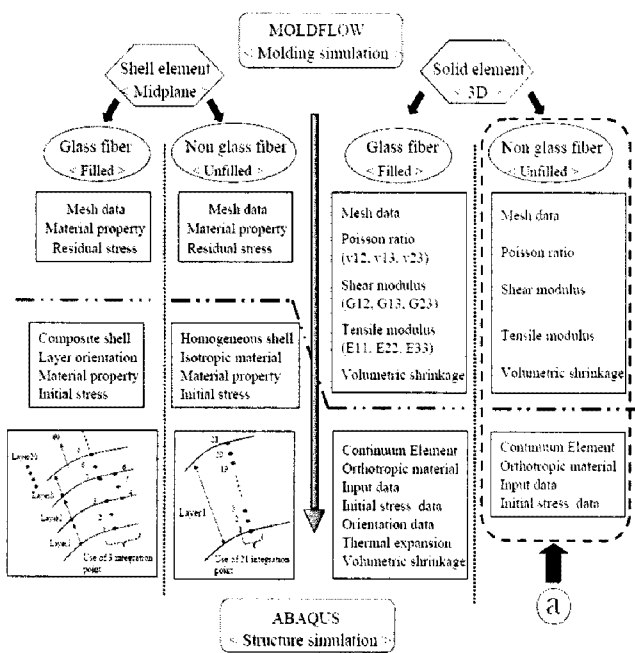


Fig. 2 Flow chart for analysis with shell or solid element (a) present case

해석은 Fig. 3 와 같이 진행되며, 인장시편의 재료 물성과 잔류응력 값을 포함한 MF 해석 결과 파일을 다시 선형구조해석에서 사출성형 조건에 따라 특성을 가진 ABAQUS input 파일로 생성하고, 추가로 하중과 구속조건을 입력 한 후 구조해석을 수행한다. 일정하중(2kN) 조건하에서 무차원화된 탄성 계수값을 계산하였다. 각 경우의 값은 해석결과 중 가장 큰 값으로 무차원화 되었으며, 실험결과와의 상호 비교를 위해 가중치 0.5 를 부여

하였다. Fig. 3 의 ㉑는 MF 에서 사용된 Tetra 메쉬이고, ㉒는 인장시편의 성형해석에서 나타나는 충전 패턴, ㉓는 하중을 부여하지 않은 상태에 있는 사출성형해석후 모델을 ABAQUS 로 불러들여 해석한 잔류응력분포 결과이고, ㉔는 하중이 없는 상태에서 편광판을 이용하여 촬영한 인장시편의 잔류응력 분포이다.

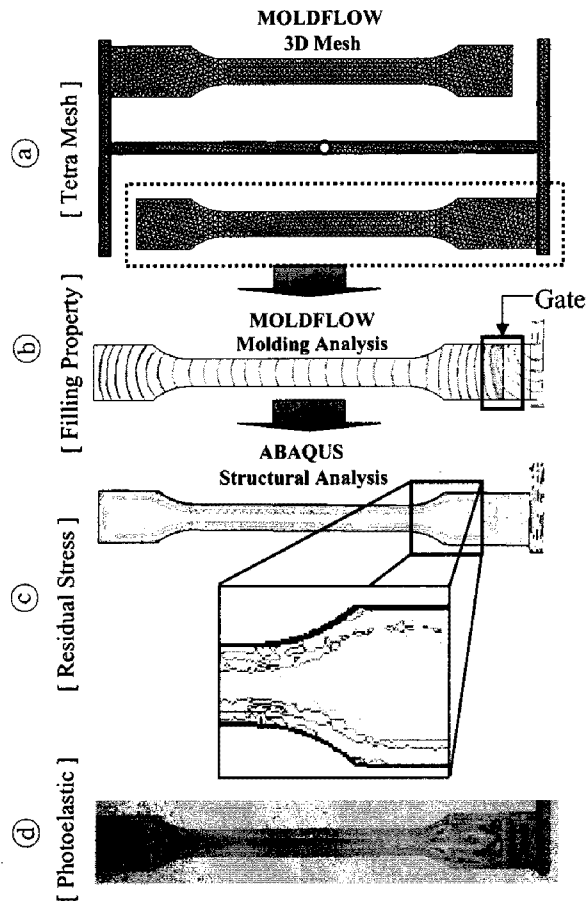


Fig. 3 Process of linear structural analysis interfaced with injection molding analysis

Fig. 2 에서와 같이 MF 와 ABAQUS 를 연계한 구조해석에서는 Shell 요소와 Solid 요소에 대해서 모두 해석이 가능하다. 본 연구에서는 Solid 요소를 적용 하였고, 수지는 유리섬유가 보강 되어있지 않은 Unfilled 경우로 구조해석을 수행하였다. 성형해석 조건 마다 재료물성 값과 잔류응력 값이 달라지므로 구조해석에서 나타난 결과 값은 사출성형 조건에 따라 서로 다르게 나타난다.

2.3 인장시험

사출성형 조건에 따라 제작된 인장시편을 조건

별로 나눠서 MTS Systems(USA)의 만능인장시험기 MTS810 을(Fig. 4) 이용하여 시험 속도 5 mm/min 로 인장시험을 수행하였다.

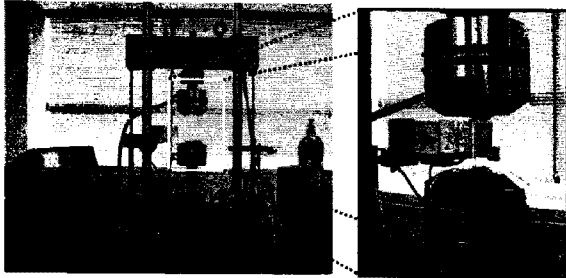
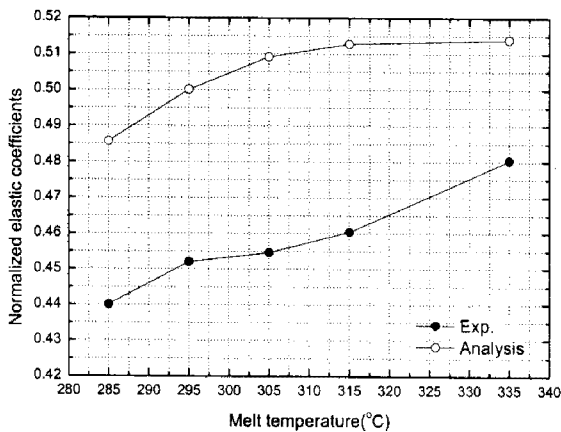
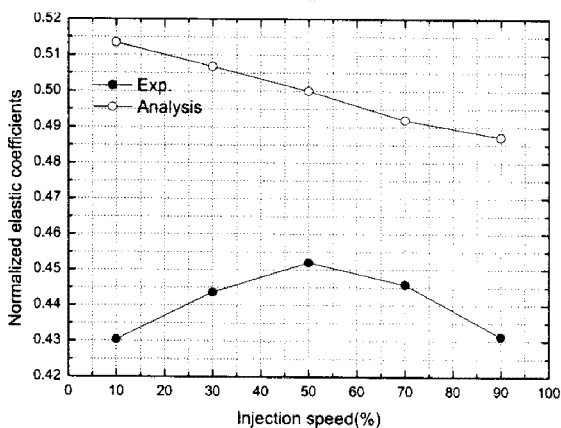


Fig. 4 Apparatus of tensile test for injection molded specimen(MTS80)



(a) Case of melt temperature variation



(b) Case of injection speed variation

Fig. 5 Variation and comparison of normalized elastic coefficient between experiment and numerical analysis

각각의 실험결과로부터 탄성계수값을 구하였으며, 마찬가지로 해석결과 중 최대값으로 무차원화 되었다. Fig. 5 에서 보듯이 인장시험에서 수지온도가 상승 할수록 탄성계수 값은 상승 하였고, 수지

온도에 따른 구조해석에서는 탄성계수 값이 상승 하면서 일정 값으로 수렴 하였다. 또한 인장시험 에서 사출속도가 상승 할수록 탄성계수는 상승 하다가 사출속도 50%를 기점으로 하강하는 경향을 보였다. 그러나 사출속도에 따른 구조해석에서는 사출속도 10%에서 가장 큰 탄성계수 값을 보였으며, 사출속도의 증가에 따라 점차로 감소하는 경향을 보였다.

3. 결론

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

참고 문헌

- [1] J. H. Yoo, H. S. Kim, 1994, A Study on Cavity Pressure and Tensile Strength of Injection Molding, The Korean Society of Automotive Engineers, Vol.2, No.6, pp.110~116.
- [2] S. Chen, H. Peng, L. Huang and M. Chung, 2003, 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.
- [3] A. Siegmann, A. Buchman, S. Kenig, 2003, Residual stress in polymers III: the influence of injection molding process condition, Polymer engineering and science, Vol.22, No.9, pp.560~568.
- [4] D. Kazmer, R. Gao, Y. Gui, S. Johnston, 2005, Concept design of a wireless pressure, temperature and flow rate sensor for injection molding, Conference proceedings : ANTEC, pp.3640~3644.
- [5] M. Candal, R. Morales, Y. Rondon, 2005, Geometry influence in cavity pressure curve registration, Conference proceedings: ANTEC, pp.729~733.
- [6] ASTM D 638, "Standard test method for tensile properties plastics, 2003.
- [7] ISO 294-1, "Plastics-Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials: Part1, 2001.
- [8] ABAQUS Version 6.5 Document "ABAQUS Analysis User's Manual PART V: Element,"