

내압력·온도센서를 갖는 표준 인장시험용 사출금형설계 및 성형

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

Design of Injection Mold with Cavity Pressure/Temperature Sensors and Molding for Standard Tensile Test Specimen

D. M. Lee(Korea Institute of Industrial Technology), B. K. Han(Dept. of Mech. Eng., Hongik Uni.),
O. S. Lee(PLAX Co., Ltd.), Sunghee Lee(Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

Design and manufacturing of plastic injection mold with cavity pressure/temperature sensors were performed in the present study for tensile test specimen. Standards of mold-base and tensile test specimen were used to design an injection molding system. Cavity pressure and temperature sensors were placed on the side of fixed platen of injection mold machine to prevent them from external impact damage. Injection molding experiments with variations of injection speed and melt temperature were performed and polycarbonate tensile specimens were prepared for the tensile test. It was shown that injection molding processing parameters can have effect on the mechanical properties of the plastic injection molded part.

Key Words : Cavity Pressure(캐비티 압력), Cavity Temperature(캐비티 온도), Injection Molding(사출성형),
Tensile Test Specimen(인장시험시편), Sensor(센서), Mechanical Property(기계적 특성)

1. 서론

정밀한 사출성형에 대한 분석/평가 및 결과물을 활용한 설계를 위해서는 우선 캐비티 내에서의 거동에 대한 측정이 가능해야하고, 성형이력이 고려된 기계적 특성 평가가 이루어 져야 한다. 플라스틱 인장시험을 제작하는데 있어서 기준에는 등방성, 이방성 방향의 성형품을 제작한 후, 인장시험 형상으로 절단하여 인장시험을 제작하거나, 플라스틱 제조회사들이 표준에 준하여 인장시험의 금형을 설계 하여 인장시험을 제작하였다. 즉, 형상적인 기준을 만족하는 수준이라고 할 수 있다. Cavity내에서 이루어지는 충진, 보압, 냉각의 공정은 두 가지 조건에 의해 크게 지배되는데 그것은 압력과 온도이다. 한편 기계 부품 중 금속재료들의 경제성 및 생산성 향상을 위해 플라스틱으로 대체되는 경우가 많아지고 있다. 자동차의 알루미늄 다이캐스팅 부품 및 프레스 부품이 플라스틱으로 바뀌어 가고 있고, 기계적 강도 및 내구성이 우수한 플라스틱이 알루미늄을 대체하고

있다^[1]. Kim^[2]등은 Cavity 내의 압력과 온도의 직접 측정이 가능한 센서를 이용하여 cavity내의 압력과 온도를 측정하여 분석하였다. Chen^[3]은 사출속도, 수지온도, 금형온도 보압 등의 사출성형과정과 잔류응력이 박육 사출품의 기계적 강도에 미치는 영향을 연구하였다. Park^[4]은 구조해석에 있어서 성형효과를 고려하기 위하여 구조연계 프로그램과 성형 및 구조 모델의 후처리 과정을 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 이미 정립된 국제규격에 의해 인장시험금형을 설계/제작하였으며, Cavity 내의 압력과 온도를 평가할 수 있도록 금형내에 압력 센서와 온도센서를 추가 설계/제작하였다. 즉, 플라스틱 인장시험의 사출금형을 설계하면서 압력 및 온도센서를 삽입할 수 있는, 가능한 한 표준이 될 수 있는 구조로 Cavity와 Plate를 설계하였다. 제작된 금형으로 성형조건의 변화에 따른 사출성형실험 및 해석을 수행하였으며, 각각의 성형과정에서 발생되는 금형내 온도와 압력데이터를 획득하여 상호 비교하였다. 또한 성형된 시편에 대해 인장시험을 수행하

였으며, 사출성형조건변화가 재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 본론

본 연구에서는 플라스틱 인장시편의 사출성형을 위해 ISO3167^[5]에 준하여 설계를 수행하였다. 표준에 준하여 만들어진 인장시편은 동일 조건에서 여러 개의 시편이 제작될 수 있으며, 수지종류와 성형조건들을 변화 시켜서도 제작할 수 있다는 장점이 있다. 또한 시편형상은 ISO294-1^[6]에 준하여 A Type으로 설계 하였다(Fig. 1).

2.1 금형설계

플라스틱 인장시편을 성형하기 위한 사출금형을 설계 하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 스프루(Sprue)는 노즐사이 $\varnothing 4\text{mm}$ 가 되도록 하였으며, 1? 구배를 주었다. 런너(Runner)는 $\varnothing 5\text{mm}$ (사다리꼴 런너일 경우는 5mm 이상, 빼기 구배는 10° 이상 30° 미만이 추천됨), 게이트(Gate) 두께는 캐비티(cavity) 시편 두께의 $2/3$ 으로 하였다. 즉, 시편 두께가 4mm 이므로 2.7mm 의 게이트 두께로 설계하였다. 게이트의 폭은 시편의 폭과 같도록 하였고, 길이는 3mm 로 하였다. 캐비티 시편부의 빼기 구배는 1로 하였다. 쥐출핀(ejector pin)은 시편의 표점거리 바깥쪽에 설치하였고, 중심에서 20mm 이상 벗어나도록 하였다. Heating/cooling system은 작동 상태 하에서 캐비티 표면 어느 곳을 측정해도 5°C 이상의 격차가 나지 않도록 가능한 한 설계하였다. 인장시편에 하중이 작용되는 방향으로 표점거리 사이는 사상처리 하였으며, 냉각과 냉각 사이의 거리는 22mm , 시편 사이의 거리 60mm 로 설계하였고, SC type 2단 금형(SC2530)의 Futaba 규격을 사용하였다. Runner 형상의 결정은 인장시편을 성형하는데 있어서 가장 중요한 인자라고 볼 수 있다. ISO294-1 규격에 맞추어 Double T runner와 T Runner 및 Z runner를 설계하였다(Fig. 3). 특히 Double T runner는 인장시편의 성형 과정에서 weld line을 인위적으로 형성시켜 인장특성을 관찰하고자 하는 목적으로 설계하였다. 금형 코어부에 Runner 형상이 가공되도록 설계 하였으며, 입자 탑입으로 설계하여 다양한 런너 부의 형상만 바꿔 조립해서 새로운 runner를 생성 할 수 있도록 하였다.

2.2 압력 및 온도센서 설계

압력센서는 직접식과 간접식의 2가지 종류가 있다. 그중 직접식 측정 센서는 센서설치 부분에 대한 추가적인 금형 가공이 필요하고 센서 설치에 필요한 상대적으로 큰 공간이 요구되어, 밀판, 냉각관 등

과 간섭이 발생될 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 4에서와 같이 압력센서사이의 거리는 134mm 로 설계하였고, 온도센서는 인장시편의 중심부를 피하는 범위 내에서 센서간 거리를 44mm 로 하였다.

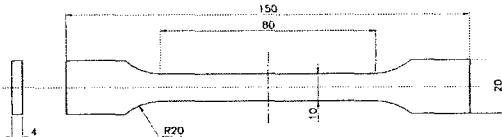


Fig. 1 Standard dimensions of tensile test specimen

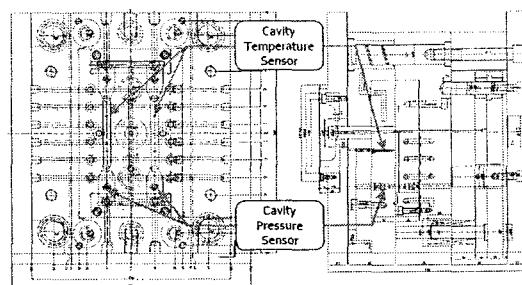


Fig. 2 Assembly drawings for designed mold and mold-base of tensile test specimen with pressure / temperature sensors

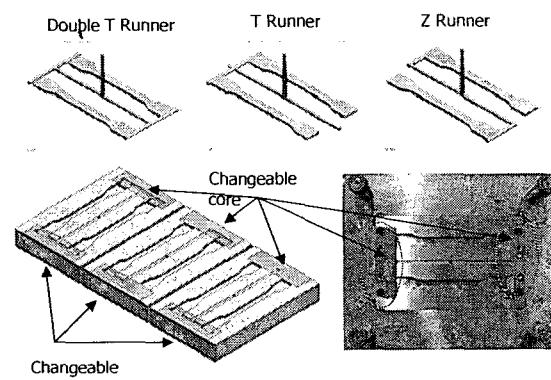


Fig. 3 Designed and manufactured view of runner system for tensile test specimen

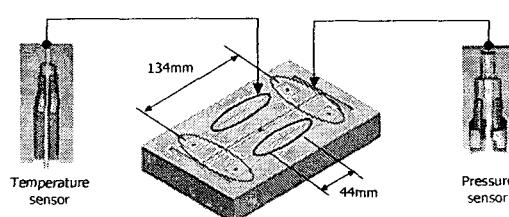


Fig. 4 Location of pressure and temperature sensor

3. 사출성형실험

플라스틱 인장시편의 사출성형에는 삼양사의 투명 PC(Polycarbonate)를 사용하였다. Grade는 3022IR이며, 수지재조업체에서 추천하는 성형온도 300~310 °C이다. 또한 사출성형기는 우진의 Selex S50를 사용하였다. Closed-loop 방식의 servo pump를 장착하여 Feed-back 제어에 의한 재현성이 뛰어나고, 형개폐 속도가 빠르므로 동일 방식의 다른 기계에 비하여 30% 이상의 절전효과를 얻을 수 있는 기종이다. 플라스틱 인장시편의 성형 및 성형 과정 중 금형내 발생되는 온도와 압력을 측정하기 위한 장치구성 및 흐름도를 Fig. 5에 제시하였다. 압력과 온도측정을 위해 PRIAMUS 센서를 사용하였으며, 압력 센서(Type 6001A, Ø4mm)는 압전방식의 센서로써 캐비티내의 압력을 직접 측정할 수 있는 센서이다. 온도 센서(Type 4001A)는 전면부의 직경이 1mm이고 부적절한 설치에 대해 측정데이터의 왜곡현상이 거의 없는 정밀한 센서이다. 금속튜브와 일체형 구조로 되어 있으며, 고정 및 제거를 위한 나사산과 신호 전달 케이블을 포함하고 있다. Multi DAQ(Type 8101B)는 센서에서 감지한 데이터를 케이블을 통해 받아 들여서 무선 기능을 이용하여 PC로 보내는 역할을 한다. D-max 900으로 수집된 신호를 그래프로 출력 후 분석하였다.

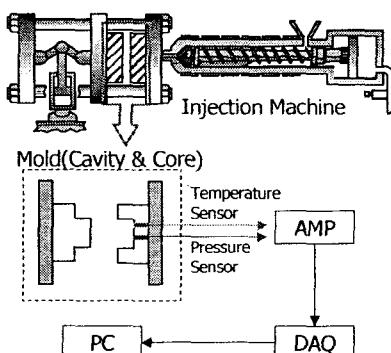


Fig. 5 Experiment setup and flow for data aquisition

3.1 성형조건

본 연구에서 사용된 수지의 성형조건 및 실험 조건을 Table 1에 제시하였다. 수지온도의 변화는 285, 295, 305, 315, 335 °C로 하였고, 사출속도의 변화는 Flow rate 75cm/s를 100%하고, 각각 10, 30, 50, 70, 90%에 대하여 실험을 수행하였다. 후자의 경우 수지 온도는 295 °C 고정한 후 사출속도를 변화시켰으며, 전자의 경우는 사출속도 50%에서 수지온도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 각 조건에 해당하는 인장시편을 5개씩 성형하였다.

Table 1 Recommended processing parameters and scope of injection molding experiment

	PC(Trirrex 3022IR)
Recommended mold temperature range(°C)	70~90
Recommended melt temperature range(°C)	275~315 (285, 295, 305, 315, 335)
Coolant temperature(°C)	80
Cooling time(sec)	15
Injection control(Flow Rate:FR) (75cm/s, 100%)	43→9mm(Velocity control), 9→6.4mm(Pressure control) (10, 30, 50, 70, 90)
Packing time(sec)	10
Packing pressure(MPa)	4

3.2 성형 결과

Fig. 6은 Flow Rate를 50%로 하고 온조기 온도를 80°C로 하여 수지온도의 변화를 통한 압력의 측정 결과이다. 본 실험의 결과로 수지온도가 증가 할수록 캐비티에 걸리는 압력이 높아지는 것으로 나타났다.

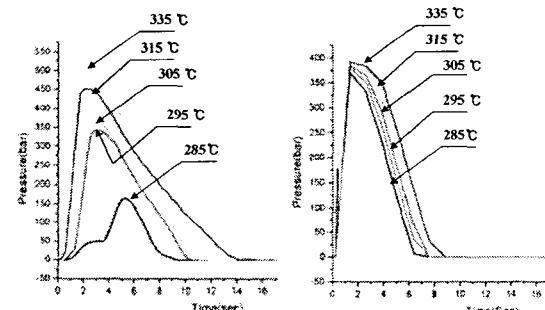


Fig. 6 Effects of melt temperature variations on cavity pressure(left: exp., right: numerical(Moldflow))

Fig. 7은 수지온도를 295 °C를 기준으로 하고 보압을 40bar로 고정한 상태로 Flow rate을 변화시켜 측정한 결과이다. 사출속도는 75cm/s를 기준으로 변화를 주었으며, 사출속도가 증가 하더라도 최초 10%를 제외하고는 캐비티에 걸리는 압력은 크게 변화가 없는 것으로 나타났다.

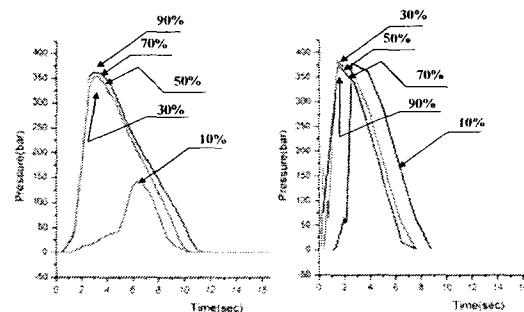


Fig. 7 Effects of flow rate variations on cavity pressure(left: exp., right: numerical(Moldflow))

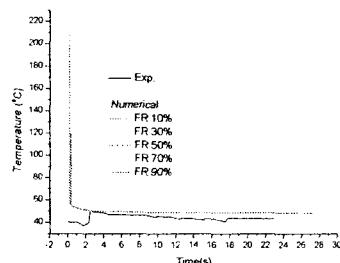


Fig. 8 Comparison of temperature between exp. and numerical analysis

Fig. 8에서는 온도센서로 측정된 값과 사출성형해석을 통해 동일한 위치에서 얻어진 온도결과의 비교를 보여주고 있다. 해석결과에서 보듯이 주입된 용융수지는 각 조건에 대해 급격히 온도가 감소되어 금형의 온도까지 지속적으로 하강됨을 알 수 있다.

4. 인장시험 및 결과

본 연구에서는 사출속도와 수지온도가 플라스틱 인장시편의 기계적 물성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 인장시험을 수행하였다. 각 사출성형조건에 대해 3개씩 인장시험을 수행하였다. 시험에 사용된 인장시험기는 제조사 MTS Systems (USA)의 MTS 810이다. 서보 유압 시스템에 의한 최대 하중 25톤의 동적 재료시험기로 최대 변위는 150mm이고 금속, 세라믹, 플라스틱 복합재 등 구조재의 각종 기계적인 물성을 측정 할 수 있다. 하중속도는 모든 시편에 대해 5mm/min로 하였다. Fig. 9(a)은 사출속도를 변화 시켜 성형된 인장시편의 인장시험을 수행한 결과를 나타내며, 주어진 범위에서 인장강도가 사출속도에 크게 영향을 받지는 않지만, 결과에서 보듯이 유동 속도의 증가에 따라 인장강도가 다소 증가됨을 볼 수 있다. 이는 수지의 배양성과 관계된 것으로 사료된다. Fig. 9(b)은 플라스틱 인장시편의 성형조건 중 수지온도의 변화를 주어 인장시험을 수행한 결과이다. 용융수지온도의 증가는 인장강도의 증가에 영향을 미침을 볼 수 있으며, 사출속도의 변화 때 보다는 상대적으로 큰 영향이 있음을 알 수 있다.

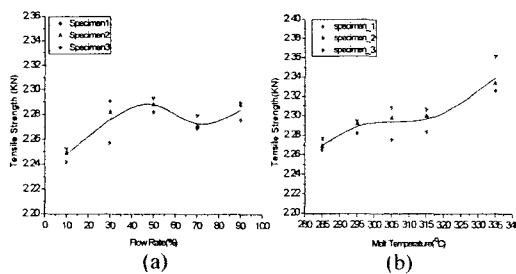


Fig. 9 Effect of flow rate and melt temperature on tensile strength

결 론

본 연구에서는 플라스틱 인장시편성형을 위한 사출금형을 표준규격에 준하여 설계 제작하였다. 성형 조건의 변화에 따른 캐비티내 압력 및 온도를 측정하기 위해 압력센서와 온도센서를 각각 설치하고, 사출성형실험을 수행하였다. 사출속도와 수지온도가 증가함에 따라 캐비티내의 온도 변화는 거의 없었으나, 압력에 변화는 크게 발생되었다. 또한 성형된 인장시편으로 인장시험을 수행하여 성형조건의 변화에 따른 인장강도의 변화를 관찰하였다. 본 연구에서 수행한 실험의 범위 내에서는 사출속도와 수지온도의 변화가 시편의 인장강도에 최대 5%이내에서 영향을 미치고 있었으며, 각 조건의 증가는 강도증가에 영향을 미침을 확인하였다. 하지만 좀 더 다양한 실험을 통해 사출성형조건이 인장강도에 미치는 영향을 조사 해 볼 의미가 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 2005년도 산업자원부의 부품소재종합 기술지원 사업의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 본 연구를 수행함에 있어 실험에 도움을 준 한국생산기술연구원 이해진, 박형필 연구원에게도 감사드립니다.

참고문헌

- Y. Choi and Y. Lee, "The Effect of Discharge Condition on Mechanical properties of Injection Moldings," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.6, No. 1, PP. 84~91, 1997.
- S.W. Kim, H.C. Park, M.Y. Lyu, Y.J. Jin and D. Kim, "Variation of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditional of Injection Molding," Proceedings of the JTMR autumn annual meeting, PP. 70~74, 2004.
- 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.
- S.H. Park, Y.H. Kim, S.W. Kim, S.H. Lee, "A Study of structural analysis for Plastic Parts considering Injection molding effects," Proceedings of the JTMR autumn annual meeting, PP. 217~220, 2003.
- ISO 3167, "Plastics-Multipurpose test specimens," 2002.
- ISO 294-1, "Plastics-Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials," Part1, 2001.