

내압력·온도센서를 갖는 표준 인장시편용 사출금형

이도명*, 한병기**, 이성희#

Injection Mold with Cavity Pressure/Temperature Sensors for Standard Tensile Test Specimen

Do-Myoung Lee*, Byoung-Kee Han** and Sung-Hee Lee#

ABSTRACT

In this study, design and manufacturing of plastic injection mold with cavity pressure/temperature sensors were performed for tensile test specimen. International standard system for plastic tensile specimen was applied to design an injection molding system. Cavity pressure and temperature sensors were placed on the side of fixed platen of the injection mold to prevent them from external impact damage. Injection molding experiments with variations of injection speed and melt temperature were performed and then tensile test of the manufactured polycarbonate specimens was also performed. 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

사출성형은 플라스틱을 가열하면 용융되고 냉각하면 고화하는 성질을 이용하여 사출금형 캐비티(Cavity)에 특정한 형상으로 가공된 빈 공간 사이로 용융된 플라스틱을 채워 원하는 형상을 만들어 내는 제품 생산 공정이다. 캐비티에서 충전, 보압, 냉각의 공정이 진행되며, 이 공정들은 두 가지 조건에 의해 크게 지배되는데 그것은 압력과 온도이다. 따라서 정밀한 사출성형에 대한 분석/평가 및 결과물을 활용한 설계를 위해서는 우선 캐비티 내에서

의 압력과 온도에 대한 측정이 가능해야 하고, 성형이력이 고려된 기계적 특성 평가가 이루어져야 한다.

기계적 특성을 평가하기 위한 가장 기본적인 방법으로 인장시편을 활용하였으며, 플라스틱 인장시편을 제작하는데 있어서 기존에는 등방성, 이방성 방향의 판형성형품을 제작한 후, 인장시편 형상으로 절단하여 인장시편을 제작하거나, 플라스틱 제조회사들이 표준에 준하여 인장시편의 금형을 설계하여 인장시편을 제작하였다. 기계 부품 중 금속재료들의 경제성 및 생산성 향상을 위해 플라스틱으

☞ 접수일: 2006년 8월 29일; 게재승인일: 2007년 8월 21일

* 한국생산기술연구원(KITECH)

** 홍익대 기계시스템디자인공학과

교신저자: 한국생산기술연구원(KITECH)

E-mail: birdlee@kitech.re.kr Tel. (032) 850-0341

로 대체되는 경우가 잦아지고 있고, 자동차의 알루미늄 다이캐스팅 부품 및 프레스 부품이 플라스틱으로 바뀌어 가고 있으며, 기계적 강도 및 내구성이 우수한 플라스틱이 알루미늄을 대체하고 있다.¹ 한편 사출성형과 성형품의 구조적 문제가 같이 언급된 연구 사례를 살펴보면, Kim² 등은 Cavity 내의 압력과 온도의 직접 측정이 가능한 센서를 이용하여 성형조건변화에 따른 캐비티내의 압력과 온도를 측정하여 분석하였다. Chen³ 등은 사출속도, 수지온도, 금형온도, 보압 등의 사출성형공정과 잔류응력이 박육 사출품의 기계적 강도에 미치는 영향을 연구하였다. Yoo⁴ 등은 수지온도 및 보압시간의 변화에 따른 캐비티내 압력을 측정하고 취출 성형품의 인장시험을 수행하였고, 최적성형을 위한 캐비티내 압력 패턴의 기본 자료를 제시하였다. 엔지니어링 플라스틱 뿐만 아니라 유리섬유강화 플라스틱에서도 Stokes^{5,6,7,8} 등이 유리섬유 플라스틱은 복잡하고 비등방성의 성질을 가지고 있으며, 유리섬유의 배향이 수지의 유동방향으로 직각이거나 랜덤하게 형성하여 매우 불균일하다. 그리고 사출성형 동안에 섬유가 끊어지는 경우가 많아서 장섬유의 플라스틱을 얻기 힘들다. 시편의 두께 변화와 사출성형조건 및 수지의 흐름 방향과 직각 방향에 대한 인장시편을 절취하고 탄성한도내에서 인장시험을 수행하여 각 인장시편의 탄성계수의 변화를 측정하여 기계적 특성에 대한 변화를 연구하였다. 또한 John⁹ 등은 유리섬유 강화 플라스틱에 ISO Standard(ISO 294-5: 2001) 규격을 적용하여 섬유의 배향성에 대하여 수지의 유동 방향과 직각 방향에 대해서 사출성형조건이 기계적 특성에 미치는 연구를 수행하였다. 이러한 결과는 구조해석 및 제품설계에 정확하게 적용되기 위해서 필요하며, 또한 유리섬유뿐만 아니라 여러 가지 섬유가 첨가된 복합재에 관한 연구도 활발하다. Su와 Chen^{10,11,12} 등은 사출성형조건이 나노복합재의 기계적 특성 및 강도에 미치는 영향과 잔류응력에 의한 광학적 특성 변화에 대한 실험과 해석을 수행하였다. 그러나 사출금형설계적인 설명이 부족하며 실험에 사용된 사출성형조건과 실제로 측정된 캐비티의 압력 및 온도의 연관성 여부를 확인할 필요가 있다. Zhou¹³, Mo¹⁴ 등은 사출성형 조건이 talc가 함유된 수지나 고분자의 기계적 특성에 미치는 영향에 대해서 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 인장시편의 기계적 특성에 영향을 주는 사출성형조건의 변화 및

측정이 가능한, 국제 규격에 준한 인장시편 사출성형용 금형을 설계/제작하였다. 금형 캐비티내의 압력과 온도를 측정할 수 있도록 압력센서와 온도센서를 금형내부에 추가 설계/제작하였다. 제작된 금형으로 사출성형조건변화에 따른 사출성형 실험을 수행하였으며, 각각의 성형과정에서 발생하는 금형내 온도와 압력데이터를 획득하여 상호 비교하였다. 또한 성형된 시편에 대해 인장시험을 수행하였으며, 사출성형조건변화가 재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 본론

대부분의 고분자 플라스틱 제조 업체에서 시행하는 수지에 대한 인장시험은 국제규격 ASTM D638에 의해 수행된다. 본 시험규격은 사출금형의 구조적 설명과 사출성형에 대한 언급이 명확하지 않고, 각종 고분자 수지의 인장시험 규정에 대한 정보만을 수록하고 있다. 반면에 국제규격 ISO 294(ISO 294-1~ISO 294-5)시리즈는 플라스틱 인장시험용 시편에 대한 규격이 인장시험에만 국한되어 있지 않고 사출금형 캐비티의 배치, 스프루의 직경, 러너의 직경, 러너의 형상, 게이트의 크기 등의 설계적인 측면뿐만 아니라 인장시편의 사출성형 공정까지도 규정하고 있다. 또한 ISO규격은 ASTM D638과 기술적으로 동등한 ISO 527시리즈를 정해 놓고 있지만 좀 더 다양한 플라스틱 수지의 인장시험에 관한 규정을 설명하고 있다. 따라서 본 연구에서는 플라스틱 인장시편의 치수를 규정하기 위해 ISO3167¹⁵에 준하여 A Type으로 설계를 수행하였다(Fig. 1). 표준에 준하여 만들어진 인장시편은 동일 조건에서 여러 개의 시편이 제작될 수 있으며, 수지종류와 성형조건들을 변화 시켜서도 제작할 수 있다는 장점이 있다. 또한 인장시편 성형용 사출금형을 제작하기 위한 금형설계적인 규정은 ISO294-1¹⁶에 준하여 설계 하였다.

2.1 금형설계

플라스틱 인장시편을 성형하기 위한 사출금형을 본 연구에서는 성형 수축율을 고려하여 직접 설계 하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 스프루(Sprue)는 노즐쪽이 $\varnothing 4\text{mm}$ 가 되도록 하였으며, 1° 구배를 주었다. 러너(Runner)는 $\varnothing 5\text{mm}$ (사다리꼴 러너일 경우는 5mm 이상, 폐기 구배는 10° 이상

30° 미만이 추천됨), 게이트(Gate) 두께는 캐비티(cavity) 시편 두께의 2/3으로 하였다. 즉, 시편 두께가 4mm이므로 2.7mm의 게이트 두께로 설계하였다. 게이트의 폭은 시편의 폭과 같도록 하였고, 길이는 3mm로 하였다. 캐비티 시편부의 빼기 구배는 1°로 하였다. 취출핀(ejector pin)은 시편의 표점거리 바깥쪽에 설치하였고, 중심에서 20mm 이상 벗어나도록 하였다. 냉각채널은 작동 상태 하에서 캐비티 표면 어느 곳을 측정해도 5℃ 이상의 격차가 나지 않도록 설계하였다. 인장시편에 하중이 작용되는 방향으로 표점거리 사이는 사상처리 하였으며, 냉각과 냉각 사이의 거리는 22mm, 시편 사이의 거리 60mm로 설계하였고, SC type 2단 금형(SC2530)의 FUTABA 규격을 사용하였다. 러너 형상의 결정은 인장시편을 성형하는데 있어서 가장 중요한 인자라고 볼 수 있다. ISO294-1 규격에 맞추어 Double T 러너와 T 러너 및 Z 러너를 설계하였다(Fig. 3). 특히 Double T 러너는 인장시편의 성형 과정에서 웰드라인(weld line)을 인위적으로 형성시켜 인장특성을 관찰하고자 하는 목적으로 설계하였다. 금형 코어부에 러너 형상이 가공되도록 설계 하였으며, 입자 타입으로 설계하여 다양한 러너 부의 형상만 바꿔 조립해서 새로운 러너를 생성 할 수 있도록 하였다.

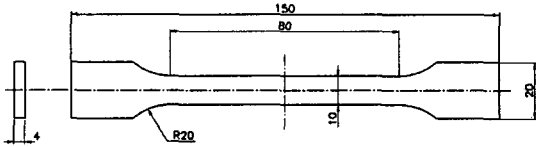


Fig. 1 Standard dimensions of A type tensile test specimen in ISO3167

2.2 압력 및 온도센서 설계

압력센서는 직접식과 간접식의 2가지 종류가 있다. 그 중 직접식 측정 센서는 센서설치 부분에 대한 추가 적인 금형 가공이 필요하고 센서 설치에 필요한 상대적으로 큰 공간이 요구되어, 밀핀, 냉각관 등과 간섭이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 4에서와 같이 압력센서사이의 거리는 134mm로 설계하였고, 온도센서는 인장시편의 중심부를 피하는 범위 내에서 센서간 거리가 44mm가 되도록 하였다.

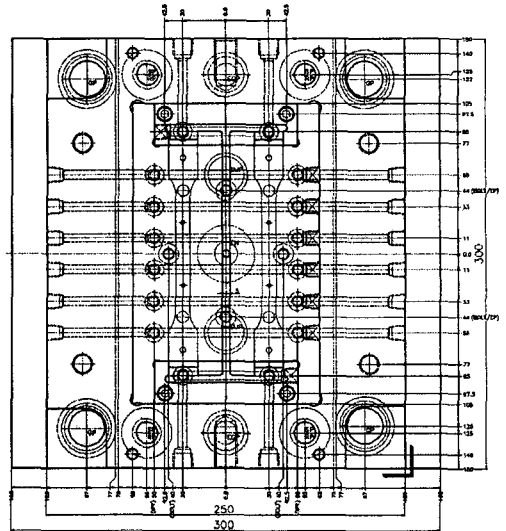


Fig. 2 Assembly drawings for designed mold and mold-base of tensile test specimen with pressure/temperature sensors

3. 사출성형실험

플라스틱 인장시편의 사출성형에는 삼양사의 투명 PC(Polycarbonate)를 사용하였다. Grade는 3022IR이며, 수지제조업체에서 추천하는 성형온도 300~310℃이다. 또한 사출성형기는 (주)우진의 Selex S50를 사용하였다. Closed-loop 방식의 servo pump

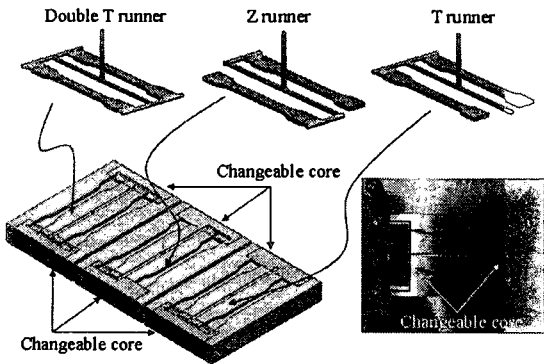


Fig. 3 Designed and manufactured changeable core of tensile test specimen for various runner configurations

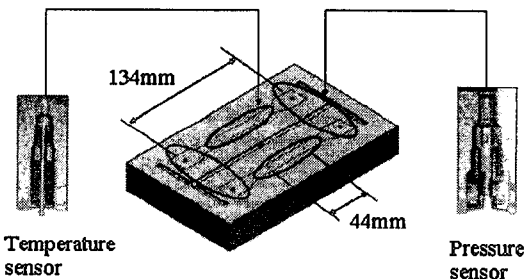


Fig. 4 Location of pressure and temperature sensor in cavity

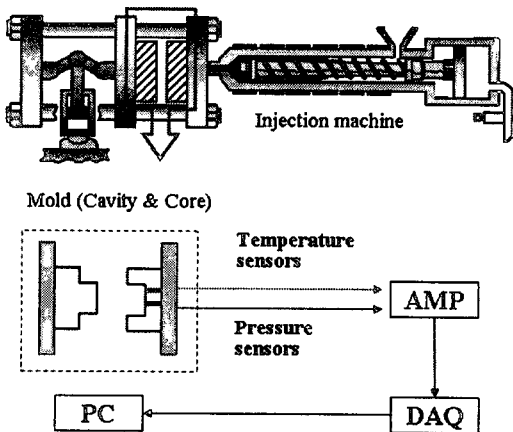


Fig. 5 Experimental setup and schematic diagram for acquisition

를 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 발생하는 온도와 압력을 측정하기 위한 장치구성 및 흐름도를 Fig. 5에 제시하였다. 압력과 온도측정을 위해 PRIAMUS 센서를 사용하였으며, 압력 센서(Type 6001A, $\varnothing 4\text{mm}$)는 압전방식의 센서로써 캐비티내의 압력을 직접 측정할 수 있는 센서이다.

온도센서(Type 4001A)는 전면부의 직경이 1mm 이고 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.

Table 1 Recommended processing parameters and scope of injection molding experiment

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

3.1 사출성형조건

본 연구에서 사용된 수지의 성형조건 및 실험 조건을 Table 1에 제시하였다. 몰드플로우 수지 DB에서 추천하는 수지온도가 275 $^{\circ}\text{C}$ ~315 $^{\circ}\text{C}$ 이므로 수지온도의 변화를 285, 295, 305, 315, 335 $^{\circ}\text{C}$ 로 하였고, 사출속도의 변화는 유동률(Flow rate) 75 cm^3/s 를

100%하고, 각각 10, 30, 50, 70, 90%에 대하여 실험을 수행하였다. 후자의 경우 수지온도는 295°C 고정 후 사출속도를 변화시켰으며, 전자의 경우는 사출속도 50%에서 수지온도를 변화시키면서 실험을 수행하였다. 각 조건에 해당하는 인장시편을 5개씩 성형하였다.

3.2 사출성형결과

Fig. 6은 유동률을 50%로 고정하고 온도조기 온도를 80°C로 하여 수지온도의 변화를 통한 압력의 측정 결과이다. 본 실험의 결과로 수지온도가 증가할수록 캐비티에 걸리는 압력이 높아지는 것으로 나타났다. Fig. 7은 수지온도를 295°C를 기준으로 하고 보압을 40bar로 고정한 상태로 유동률을 변화시켜 측정된 결과이다. 사출속도가 75cm/s를 기준으로 변화를 주었으며, 사출속도가 증가 하더라도 최초 10%를 제외하고는 캐비티에 걸리는 압력은 크게 변화가 없는 것으로 나타났다. Fig. 8에서는 온도센서로 측정된 값과 사출성형해석을 통해 동일한 위치에서 얻어진 온도결과의 비교를 보여주고 있다. 수치해석결과에서 보듯이 주입된 용융수지는 각 조건에 대해 급격히 온도가 감소되어 금형온도까지 지속적으로 하강됨을 알 수 있다. 또한 수지온도의 변화에 대해 캐비티내 온도는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 그러나 실제로 온도센서에서 측정된 온도는 그 지점에서 떨어진 온도가 먼저 감지되고 이후 점차적으로 감소함을 볼 수 있다.

4. 인장시험 및 결과

본 연구에서는 사출속도와 수지온도가 플라스틱 인장시편의 기계적 물성에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 인장시험을 수행하였다. 각 사출성형조건에 대해 3개씩 인장시험을 수행하였고, 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 물성치를 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

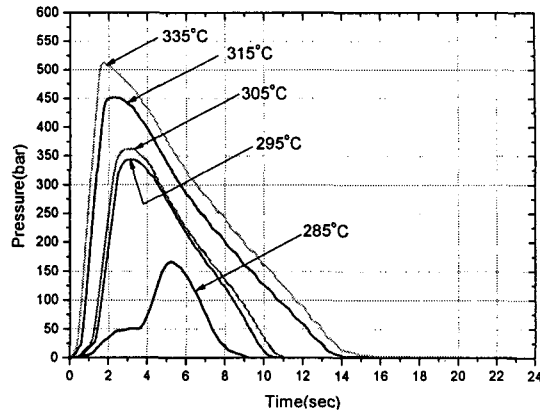


Fig. 6 Effects of melt temperature variations on cavity pressure

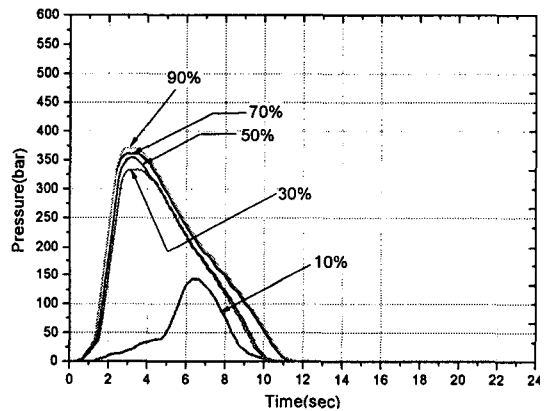


Fig. 7 Effects of flow rate variations on cavity pressure

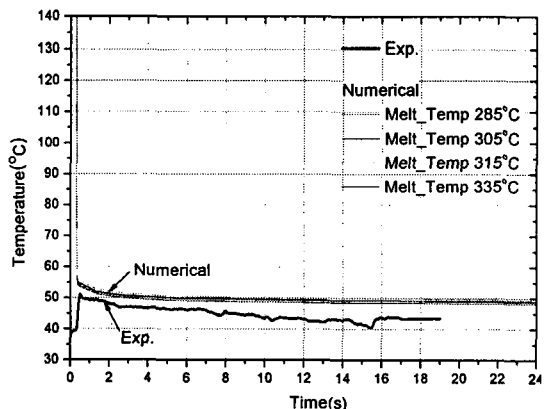
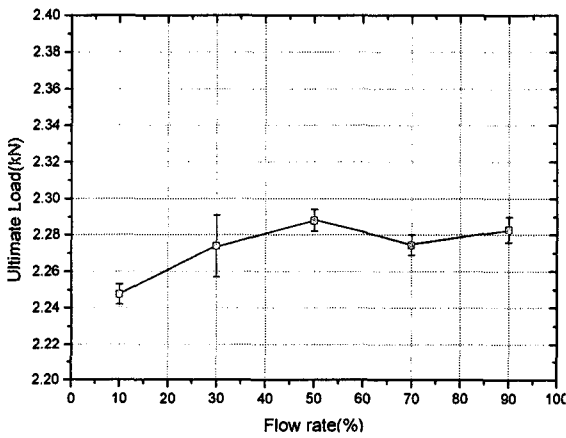
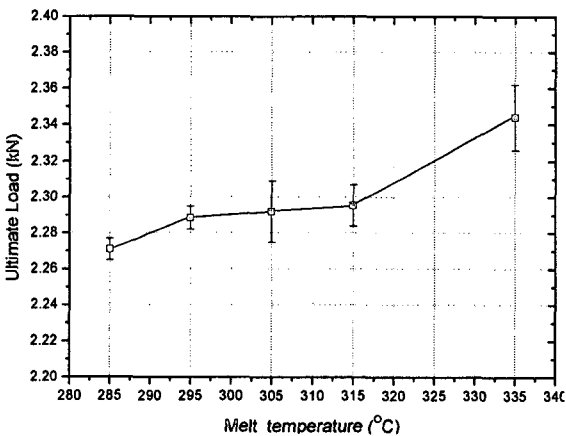


Fig. 8 Comparison of temperature between experiment and numerical ones

받지는 않지만, 결과에서 보듯이 유동속도의 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.



(a) Variation of flow rate (melt temp.:295°C)



(b) Variation of melt temperature (flow rate:50%)

Fig. 9 Effect of flow rate and melt temperature on ultimate load

5. 결론

본 연구에서는 플라스틱 인장시편성형을 위한

사출금형을 표준규격에 준하여 설계 제작하였으며, 성형조건에 변화에 따른 캐비티 내에 걸리는 압력 및 온도를 측정하기위해 압력센서와 온도센서를 각각 설치하고, 사출성형실험을 수행하였다. 사출속도와 수지온도의 증가함에 따라 캐비티 내의 온도의 변화는 거의 없었으나, 압력에 변화는 크게 나타났다. 또한 성형된 플라스틱 인장시험을 사용하여 성형조건에 따른 인장강도의 변화를 관찰하였다. 본 연구에서 수행한 실험의 범위 내에서는 사출속도와 수지온도의 변화가 시편의 인장강도에 최대 5%이내에서 영향을 미치고 있었으며, 각조건의 증가는 강도증가에 영향을 미침을 확인하였다. 하지만 좀 더 다양한 실험을 통하여 사출성형조건이 인장강도의 변화를 관찰해 볼 의미를 알 수 있었으며, 플라스틱 부품이 점점 박육화되어가는 점을 고려하여 이에 대한 추가적인 연구가 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2005년도 산업자원부의 부품소재종합기술지원 사업의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Choi, Y. and Lee, Y., "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.
2. Kim, S. W., Park, H. C., Lyu, M. Y., Jin, Y. J. and Kim, D., "Variation of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditional of Injection Molding," Proceedings of the JTMP autumn annual meeting, pp. 70-74, 2004.
3. Chen, S., Peng, H., Huang, L. and Chung, M., "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.
4. Yoo, J. H. and Kim, H. S., "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.
5. Stokes, V. K., "Random Glass Mat Reinforced Thermoplastic Composites. Part III: Characterization of the Tensile Modules," *Polymer Composites*, Vol. 21, No. 5, pp. 696-710, 1990.
 6. Stokes, V. K., Inzinna, L. P., Liang, E. W., Trantina, G. G. and Woods, J. T., "A Phenomenological Study of the Mechanical Properties Long-Fiber Filled Injection-Molded Thermoplastic Composites," *Polymer Composites*, Vol. 21, No. 5, pp. 696-710, 2000.
 7. Liang, E. W. and Stokes, V. K., "Mechanical Properties of Injection-Molded Short-Fiber Thermoplastic Composites. Part 1: The Elastic Moduli and Strengths of Glass-Filled Poly(Butylene Terephthalate)," *Polymer Composites*, Vol. 26, No. 6, pp. 428-447, 2005.
 8. Pechulis, M. and Vautour, D., "The Effect of Thickness on the Tensile and Impact Properties of Reinforced Thermoplastic," *Conference proceedings: ANTEC*, Vol. 55, No. 2, pp. 1860-1864, 1997.
 9. John, F. O., Michael, G. W. and Glen, E. N., "Development of an ISO Standard for Determining Anisotropic of Glass-Filled Thermoplastics," *Conference proceedings : ANTEC*, Vol. 61 No. 3, pp. 2883-2889, 2003.
 10. Su, P. L., Chen, S. C. and Yeh, J. M., "Study on the Weld line Strength of Injection Molded Nylon6 Nano-Composites," *Conference proceedings : ANTEC*, pp. 672-676, 2005.
 11. Chen, H. L., Chen, S. C., Hsu, P. M. and Wang, Y. Z., "Study on the Mechanical Properties of Injection Molded nylon6 Nanocomposite," *Conference proceedings : ANTEC*, pp. 769-773, 2005.
 12. Chen, S. C., Li, H. M., Hu, C. H., Cao, W. and Lin, Y. W., "Numerical and Photoelastic Research on Residual Stress/Warpage of PC Plank," *Conference proceedings : ANTEC*, pp. 769-773, 2005.
 13. Zhou, Y. and Mallick, P. K., "Effect of Melt Temperature and Hold Pressure on the Tensile and Fatigue Properties of an Injection Molded Talc- Filled Polypropylene," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 45, No. 6, pp. 755-763, 2005.
 14. Mo, X., Sun, X. S. and Wang, Y., "Effect of Molding Temperature and Pressure on Properties of Soy Protein Polymers," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 73, No. 13, pp. 2595-2602, 1999.
 15. ISO 3167, "Plastics-Multipurpose Test Specimens," ISO, 2002.
 16. ISO 294-1, "Plastics-Injection Moulding of Test Specimens of Thermoplastic Materials: Part 1," ISO, 2001.