

사출 조건이 사출품의 기계적 성질에 미치는 영향

최양호*, 이용성**

The Effects of Discharge Condition on Mechanical properties of Injection Moldings

Yang-Ho Choi*, Yong-Sung Lee**

Abstract

In producing moldings by using an injection mold, several variables such as the metal mold status and the condition of injection molding should be selected properly in order to obtain good quality of moldings. In this study, focussed are the mechanical properties of injection moldings, since many researches on injection have been focussed mainly on the molding quality, injection pressure, and bulk temperature but the properties of injection moldings have not been studied extensively. The mechanical properties of present injection moldings can be improved simply by changing the molding material and the injection conditon without changind the metal mold. To have the final products meet the specified molding quality and mechanical properties at the same time, the bulk temperature of injection, pressure variation, volumetric shrinkage, stress, and cooling should be analized by CAE(computer aided engineering) after injection mold design. In this paper, the effects of dischare condition on mechanical properties of injection moldings are studied by testing the moldings which are injected by varying injection conditions.

1. 서론

사출성형은 금형 내부에 가소화된 수지를 높은 압력으로 사출한후 경화시켜 제품을 만드는 방법으로, 짧은 시간내에 적은 공정 및 노동력으로 후가공이 거의

필요없는 제품을 대량생산할 수 있기 때문에 플라스틱의 가공에 널리 이용되고 있다.

기계 부품중 금속재료들이 경제성 및 생산성 향상을 위해 플라스틱으로 대체되는 경우가 잦아지고 있다. 자동차의 알루미늄 다이캐스팅 부품인 라디에이터 커버, 로커 아암등이 플라스틱으로 대체되어 사용중이며, 각종 팬(fan)도 프레스 및 알루미늄 다이캐스팅 재료에서 플라스틱으로 바뀌어 가고있다. 그러므로 기계적 성질 및

* 단국대학교 대학원 기계공학과

** 단국대학교 기계공학과

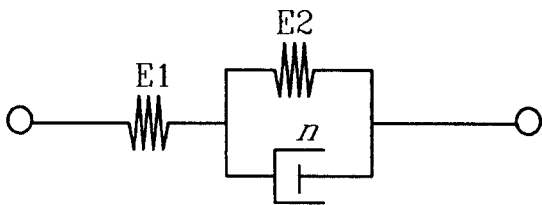
내구성이 우수한 플라스틱이 알루미늄을 대체하고 있으나 조립후 소음특성까지 만족해야 하는 경우가 증가하고 있다.

사출성형을 이용하여 제품을 생산할 금형의 상태, 사출성형 조건등 여러 변수를 잘 선택하여야 양질의 성형품을 얻을 수 있어 이런 기술은 일종의 know-how 이므로 공개되지 않는다. 사출에 대한 연구는 지금까지 성형성 및 금형의 압력, 온도 측정에 관심을 가지고 연구되어 왔다.¹⁾²⁾³⁾ 그러나 성형성에 못지 않게 사출품의 기계적 성질에 대한 연구가 필요하다. 즉 기존 사출품의 기계적 성질을 향상시키고자 할 경우 금형을 바꾸지 않고 수지 재료 및 사출조건을 바꾸어 줌으로서 해결이 가능하다. 또한 개발품의 경우 성형성과 기계적 성질을 동시에 만족하기 위해서는 금형설계후 CAE에서 응력, 냉각등의 해석을 하고, 사출품의 기계적 성질을 검토하여야 한다. 그러므로 본 연구에서는 기계적 성질 검토용 사출 금형을 제작하여 사출조건을 변화시켜 시사출한 시편을 이용하여 인장시험을 하므로써, 사출조건이 사출품의 기계적 성질에 미치는 영향⁴⁾을 검토하고자 한다.

2. 이론해석

2.1 점탄성 모델

플라스틱은 시간 의존성을 지닌 재료이며 점탄성 재료(Viscoelastic material)이다. 재료의 점탄성 거동을 보기 위한 간단한 모델을 Fig.1에 표시한다. 단축 응력계에서 점탄성 모델의 미분방정식은 다음과 같다.



E1, E2 : Modulus of elasticity

η : coefficient of viscosity

Fig.1 Model of viscoelastic behavior

$$\sigma + p_1 \dot{\sigma} = q_0 \epsilon + q_1 \dot{\epsilon} \quad (1)$$

단,

$$p_1 = \frac{\eta}{E_1 + E_2}, \quad q_0 = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2},$$

$$q_1 = \frac{E_1 \eta}{E_1 + E_2}$$

특성 정수를 이용하면 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$\sigma + \frac{\eta}{E_1 + E_2} \dot{\sigma} = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \epsilon + \frac{E_1 \eta}{E_1 + E_2} \dot{\epsilon} \quad (2)$$

특성 정수 E₁, E₂, η는 다음과 같다.

$$E_1 = \frac{\sigma_{t_0}}{(\epsilon_{t_0} - \epsilon_{\infty})}, \quad E_2 = \frac{\sigma_{\infty}}{\epsilon_{\infty}}$$

$$\eta = \frac{E_1}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{d \ln \epsilon_{\infty}(t)}{dt} \quad (3)$$

축방향으로 일정한력을 가지고 유동하는 Fig.2와 같은 요소에서의 질량보존 방정식은 다음과 같다.

$$Q = 2 \int_{-y/2}^{y/2} u \cdot u \cdot dy = \text{일정} \quad (4)$$

층류의 운동량 보존 방정식은

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = \frac{-\partial \tau_{zy}}{\partial y} \quad (5)$$

로 되고, 압력이 Z 함수인 경우 식 (5)는 다음과 같다.

$$\frac{y \partial P}{\partial Z} = -\tau_{zy} = \frac{\eta \partial u}{\partial y} \quad (6)$$

벽면속도를 0이라하면 식(6)은 다음과 같다.

$$u = \frac{-dp}{dz} \int_{y/2}^y \frac{y}{\eta} dy \quad (7)$$

축방향의 열전도와 횡축방향의 대류를 무시하고, 열특성이 일정하다고 하면 에너지보존의 방정식은 다음과 같다.

$$\rho C_p u \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{k \partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\tau_{zy} \cdot \partial u}{\partial y} \quad (8)$$

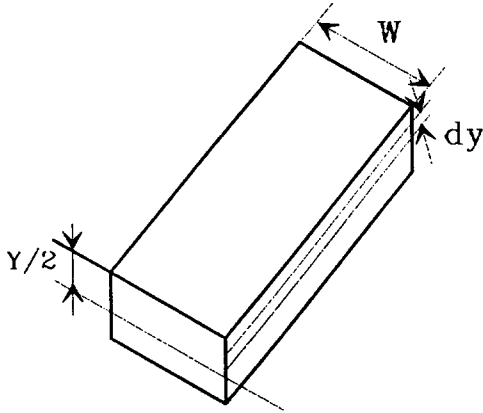


Fig. 2 Slab element

플라스틱의 점성은 온도와 변형율의 2차 함수이므로, 포물선 방정식은 다음과 같다.

$$Z = A_{00} + A_{10} + A_{01}\theta + A_{20}X^2 + A_{11}X\theta + A_{02}\theta^2 \quad (9)$$

단, $Z = \ln(\theta)X = \ln\left[\frac{\partial u}{\partial y}\right]\theta$, 즉 온도의 함수이다.

2.2 사출과정

가소화란 재료에 소성을 준다는 의미로 수지는 최초에 호퍼에서 실린드로 수지를 공급해서 히터의 발생열과 스크루 회전에 의한 마찰열에 의해 용융을 시작한다. 용융된 수지는 온도변화에 따라 점성이 변화하면서 스크루, 런너, 게이트를 통하여 금형의 캐비티 공간에 채워진다. 충전시 금형의 온도가 용융수지의 온도보다 낮으므로 용융수지가 금형내로 흐를 때, 열을 금형으로 빼앗겨서 굳기 시작하면 점도가 높게되어 유동성이 저하된다. 이러한 유동성 저하는 용융수지가 흘러갈 수 있는 거리인 유동거리를 단축시켜 캐비티의 말단까지 용융수지가 채워지지 못하므로 미성형이나 웰드라인이 심하게 나타나 불량률의 원인이 된다. 반대로, 너무빠르면 게이트로부터 초기에 캐비티내로 사출되는 용융수지가 직선적으로 뻗어나가, 후에 들어오는 수지와 합치되지 못해서 발생하는 젯팅(jetting)의 원인이 된다. 따라서 충전과

정은 사출기의 노즐에서 사출되는 수지의 속도인 사출속도와 스크루 선단부에 발생하는 최대압력인 사출압력의 적절한 제어가 필요하다. 사출이 진행되어 캐비티가 70%-90%정도 채워졌을 때 보압으로 변환시켜 지속적인 압력을 걸어준다. 이 작업은 용융수지가 사출된 직후 시작되는 과정으로 냉각에 따른 체적의 감소를 보충하기 위하여 소량의 수지를 공급해 주고, 캐비티로부터 용융수지가 역류(back flow 또는 discharge)하는 것을 방지하기 위해 적당한 크기의 압력, 즉 보압이 일정시간 동안 작용하는 과정이다. 이 때 캐비티내의 내압이 급격히 상승한다. 보압과정이 끝날 때 까지 스크루는 전진 상태로 유지되고, 스크루가 전진상태로 유지되는 시간을 보통 플런저 전진시간(plunger-forward time)이라 부른다. 따라서 플런저 전진시간은 사출시간과 보압시간을 합한 시간이다. 보압의 크기는 성형품의 밀도, 수축율, 기계적 성질등에 영향을 미친다.

A.I.Isayev와 T.Hariharan⁵⁾ 등은 PS와 PMMA를 이용한 실험을 통하여 보압을 크게 할수록 성형품의 밀도가 증가하고 수축율이 감소함을 밝혔다. 그러나 보압이 클수록 잔류응력이 커지게 되고 어느정도 이상에서 오버패킹(orientation)에 의한 잔류응력발생 등을 방지하기 위하여 보압시간을 적절히 유지해야 한다.

Y.T.Koita⁶⁾는 전화기를 PVC를 이용하여 사출성형하는 과정에서 보압시간에 따른 성형품의 무게, 치수, 잔류응력, 성형품의 기계적 강도 등을 관찰한 결과 보압시간을 게이트의 경화시간 이상으로 하는 것이 최소한 수지의 역류로 인한 잔류응력을 방지할 수 있다고 하였다.

게이트의 경화시간은 보압시간의 변화에 따른 성형품의 무게 변화를 측정하여 결정하거나, 열전달이론을 이용하여 구한 근사식을 이용하여 계산하기도 한다. 성형품의 무게를 측정하여 게이트의 경화시간을 결정하는 것은 수지의 역류현상을 이용한 측정방법이다. 만일 보압과정이 게이트가 완전히 경화하기 전에 끝나면 캐비티내부와 외부간의 압력차에 의하여 용융상태로 남아있는 수지가 캐비티로부터 흘러나오는 역류현상이 일어난다.

따라서, 보압시간이 짧을수록 용융수지의 역류의 정도가 커짐에 따라 성형품의 무게가 감소하므로 보압시간을 변수로하여 성형품의 무게를 측정하면, 성형품의 무게가 일정하게 유지되기 시작하는 점이 게이트의 경화시간(gate sealing time)임을 알 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

사출기의 동작은 호포 안에 수지를 넣고 금형을 체결한다. 배럴(barrel)안의 수지는 밴드 히터에 의해 용융된다. 사출압력을 가하면 스크루가 전진하여 배럴선단에 있는 용융된 수지를 노즐을 통하여 금형안으로 사출한다. 다음 사출을 위하여 모터를 회전하면 스크루는 회전하며 후진하여 위에 있던 용융된 수지를 배럴선단으로 이송하는 계량(metering)을 한다.

실험에 사용한 사출기는 Fanuc autoshot 1508B (150t)으로 사출기의 자세한 사양은 Table 1에 나타났다. 금형을 원하는 온도로 유지하기 위하여 기름 순환식 금형온도 조절기를 사용하여 금형을 필요한 온도로 유지시켰다.

인장 시험은 Instron 만능 인장 시험기를 사용하였으며 파탄(break) 충격시험은 시편을 Notching

Table 1. Major Specification of Injection Molding M/C

Model Unit	AS-150
Screw Diameter	40 mm
Theoretical Injection Capacity	203 g
Injection Pressure	1900 kgf/cm ²
~ Injection Rate	266 cm ³ /sec
Plasticizing Capacity	80 kg/hr
Max. Screw r.p.m	350 r.p.m.
Clamping Force	150 ton
Distance between Tie-Rods	460×460mm
Die height max. /min.	450.200 mm
Clamping Stroke	420 mm
Max. opening width of mold	870 mm
Ejecting Force	4 ton
Ejecting Stroke	100 mm
Electric Motor	10.5 kw, 9.5 kw
Electric Heater	30 kw, 22 kw
Machine Dimension	4.99×1.3×1.93m
Machine Weight	9.5 ton

machine과 충격시험기를 사용하였으며 사용한 수지는 사출성형용으로 생산되고있는 G.E. Plastics사의 변성 PPO 수지중 SE1을 사용하였다. 이 수지는 90℃~150℃의 높은 열변형 온도를 갖고 있으며 우수한 치수 안정성과 낮은 수분흡수성, 높은 충격강도와 전기적, 기계적 특성이 있어 자동차 부품 산업에서 전기, 전자 부품산업에 이르기까지 널리 이용되고 있는 수지이다.

3.2 실험방법

사출성형을 위한 준비작업으로 수지를 제품의 물성저하를 막기위하여 수지 업체에서 권장하는 조건인 110℃에서 4시간 건조시켰다. 시편을 사출하기위하여 사출조건을 정하고 금형온도, 수지온도, 사출압중 먼저 금형온도와 수지온도를 성형을 만족하는 조건범위안의 온도인 각각 80℃, 280℃로 고정하고, 사출압을 550kg/cm², 700kg/cm², 850kg/cm², 1000kg/cm², 1150kg/cm²로 변화시키면서 사출하였다. 이때, 사출압력, 수지온도는 사출 성형기에 내장된 제어기를 사용하였으며, 금형온도는 온도조절기의 온도를 설정하여 모든 실험에 대하여 각각의 경우 동일한 조건을 갖도록 하였다.

각 조건의 최초 사출품은 조건이 안정될 때까지 무시하고, 조건당 시편은 15회씩 사출을 실시하였으며, 사출순서에 따라 일련번호를 부여하여 시편이 섞이지 않도록 하였다.

인장강도 및 충격시험은 프라스틱 재료의 기계적 강도를 나타내는 대표적인 특성항목으로 본 실험은 사출성형시 중요한 변수라고 예상되는 사출압력, 수지온도, 금형온도의 조건을 다르게하여 얻은 시편의 인장강도 및 충격강도를 측정하였다. 프라스틱의 기계적 성질은 제품이 사용되는 주위의 온도, 습도, 공기등 사용환경의 조건에 민감하기 때문에 실험실의 온도는 23℃, 습도는 50%로 유지한 동일한 조건하에서 시험을 실시하였다. 인장 시험기는 Instron 인장 시험기(허용하중 1 ton 이하)를 사용하여 인장시험한 후 A/D converter를 통해 PC에서 응력-변형률 선도의 데이터를 처리했고 충격 시험은 충격 시험편을 Notching machine를 사용하여 노치작업을 한 후 시험하였다. 시편은 JIS 규격의 3호 인장시험편 및 충격 시험편을 Fig.3 및 Fig.4와 같은 규격으로 제작하여 사용하였으며, Fig.5는 Schematic Diagram의 구성도이다.

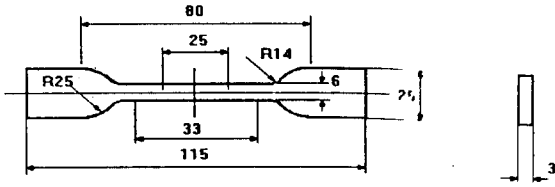


Fig. 3 Specimen for tensile strength

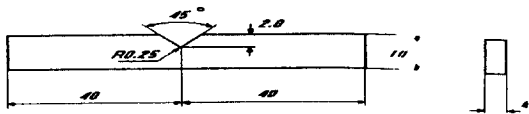


Fig. 4 Specimen for Impact strength

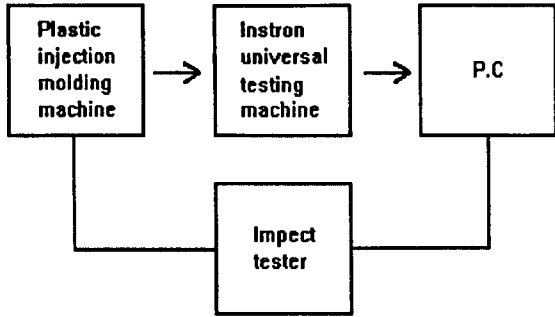


Fig. 5 Schematic diagram of testing apparatus

4. 실험결과

4-1. 금형온도 변화

Fig.6에 금형온도에 따른 최대 응력의 변화를 표시한다. 금형온도 범위는 폴리프로필렌 수지의 추천 온도인 40℃-70℃로한다. 금형온도를 증가시키면 최대응력이 감소하다 증가하는 경향을 보인다. 즉 금형온도가 어느 한계 이상이 되면 수지의 결정이 변화하여 인장력이 증가한다. Fig.7에 금형온도와 극한 하중에서의 변형율을 표시한다. 금형온도를 높이면 변형율이 감소한다. 그러므로 금형온도60℃인 경우가 외력에 의한 변형이 제일 적으므로 폴리프로필렌수지의 경우는 금형온도를 60℃

부근에서 결정하는 것이 좋다. Fig.8에 금형온도와 탄성계수의 관계를 표시한다. 탄성계수도 최대 응력과 같은 경향을 보인다. 또한 금형온도에 따라 탄성계수가 변화하므로 점성계수도 변화할 것으로 보인다. 이것에 대한 정확한 측정은 별도의 연구로 진행할 필요가 있다

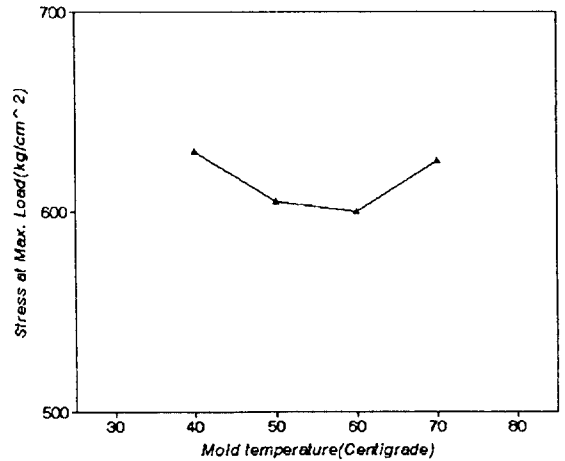


Fig. 6 Stress vs. mold temperature

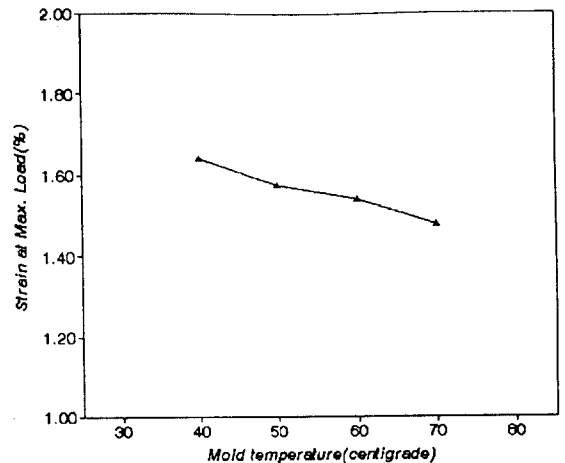


Fig. 7 Strain vs. mold temperature

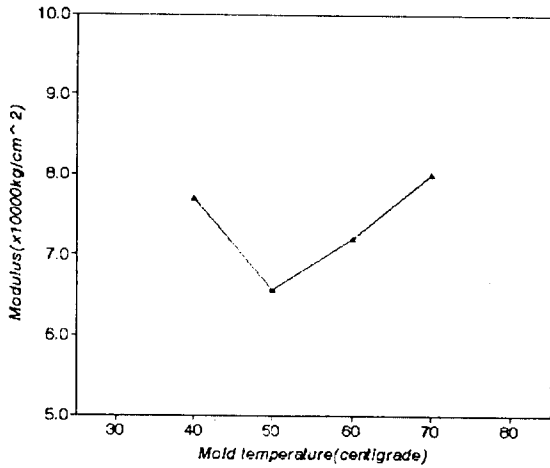


Fig. 8 Modulus vs. mold temperature

4-2. 수지 온도 변화

Fig.9에 수지온도 변화에 따른 최대응력을 표시한다. 수지 온도가 증가할수록 응력이 증가한다. 수지온도가 높아지면 수지의 흐름속도가 증가하여 점성이 작아지게 된다. 또한 배향성(region of orientation)이 높아진다. Fig.10에 수지온도와 변형율과의 관계를 표시한다.

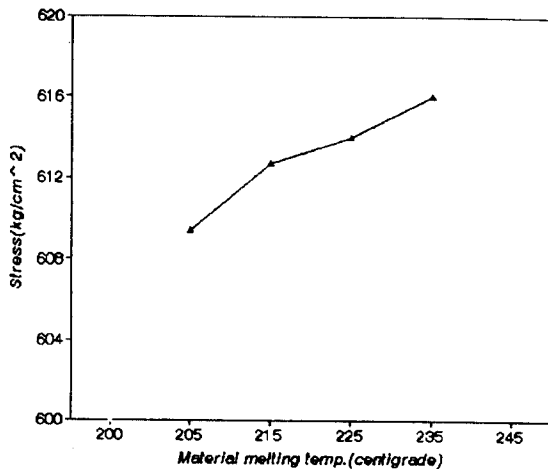


Fig. 9 Stress vs. Material melting temperature

수지온도가 증가하여도 변형율은 큰 변화가 없으며 특별한 경향을 보이지 않는다. Fig.11에 표시한 수지온도와 탄성계수도 수지온도 변화에 따른 일정한 변화가 일어나지 않는다.

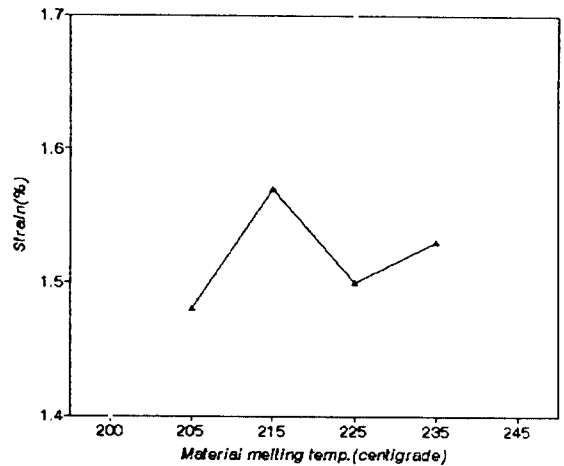


Fig. 10 Strain vs. Material melting temperature

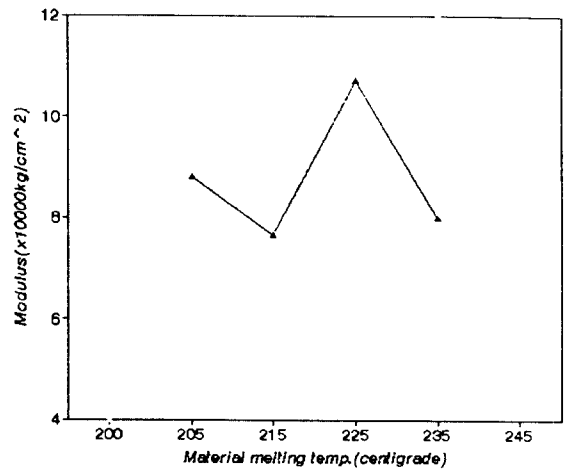


Fig. 11 Modulus vs. Material melting temperature

4-3. 사출압력 변화

Fig.12에 사출압력과 최대응력의 관계를 표시한다. 최대응력은 사출압력 40kg/cm²인 경우 613.40kg/cm²이고, 사출압력 160kg/cm²인 경우 613.08kg/cm²로 사출압력에 따라 최대응력의 차는 작으나 사출압력 120kg/cm²인 경우에 가장 작은 최대응력이 나타난다. Fig.13에 표시한 바와 같이 사출압력이 증가하면 변형

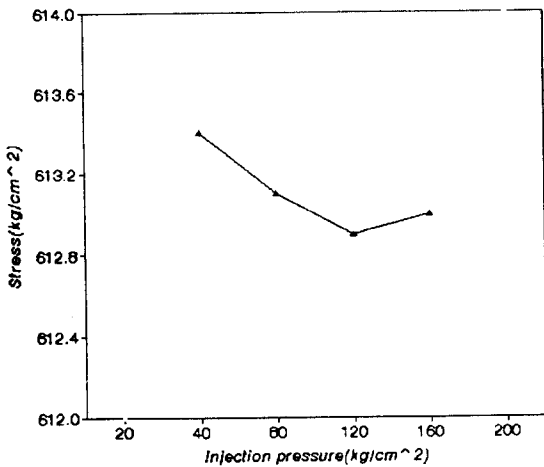


Fig. 12 Stress vs. injection pressure

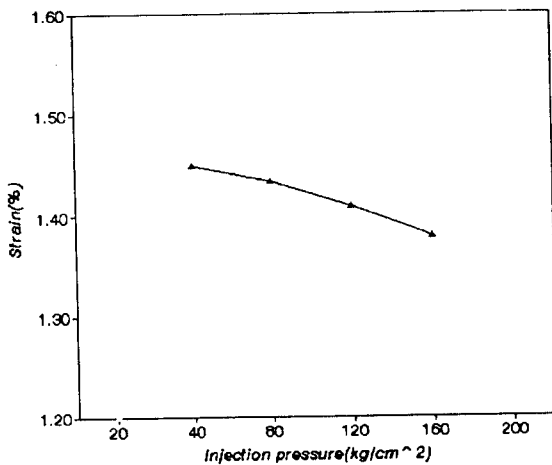


Fig. 13 Strain vs. injection pressure

율은 감소한다. 그러나 Fig.14에서는 사출압력이 증가하면 탄성계수도 증가한다. 그러므로 급변형저항을 요하는 플라스틱 제품에서는 사출압력은 크게 할 필요가 있다.

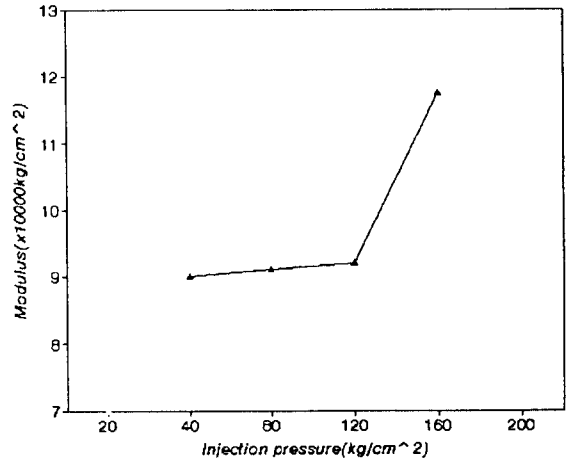


Fig. 14 Modulus vs. injection pressure

4-4. 충격 실험

Fig.15에 표시한 바와 같이 금형온도가 증가하면 충격치가 감소한다. Fig.16 및 Fig.17은 수지온도와 사출압력을 변화시킬 경우 충격치를 표시한 것이다. 즉 수지온도는 충격치에 큰 영향을 미치지 않으며 사출압력은 충격치의 변화에 특별한 상관관계를 찾아볼 수 없다.

5. 결론

사출품의 사출조건에 따른 기계적 성질을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사출품의 인장강도를 향상시키기 위해서는 금형온도를 낮추고 수지온도를 높여준다. 사출압력은 인장강도에 큰 영향이 없다.
2. 사출시 탄성계수는 사출압력이 증가하면 감소한다.
3. 사출품의 충격강도는 금형온도가 증가하면 감소하나 수지온도와 사출압력은 특별한 상관관계를 찾을 수 없다.

4. 그러므로 좋은 기계적 성질을 갖기 위한 사출조건은 금형 온도를 낮추고 사출압력 및 사출온도는 플라스틱 수지의 허용범위내에서 가능한한 크게 한다.

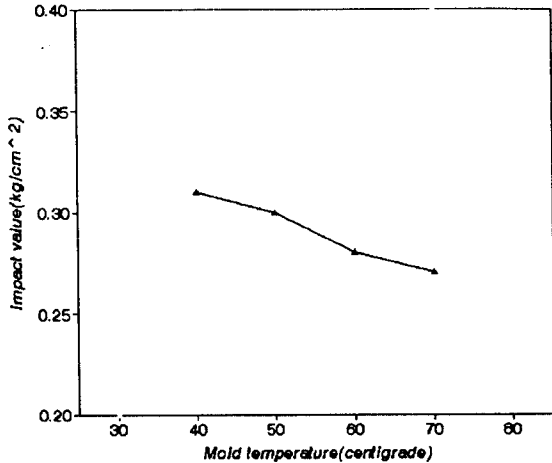


Fig. 15 Impact value vs. mold temperature

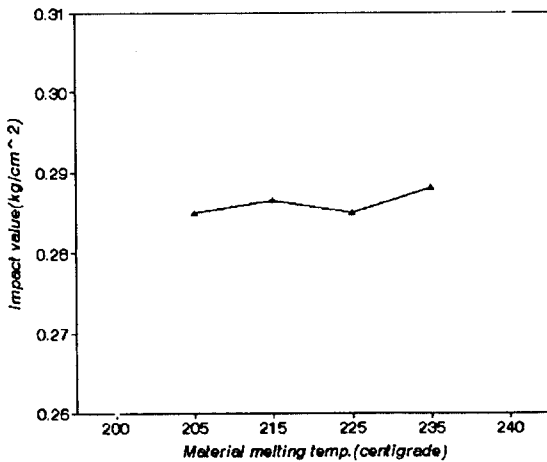


Fig. 16 Impact value vs. Material melting temperature

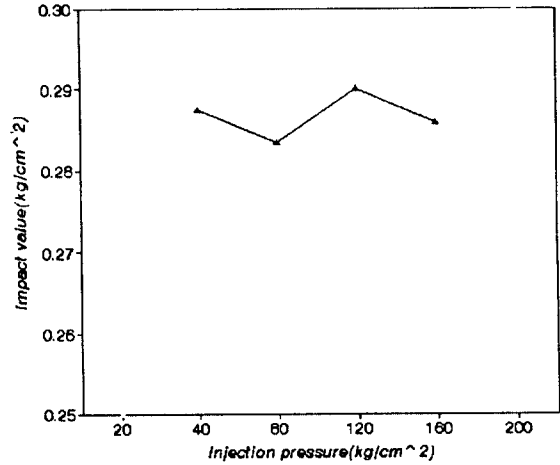


Fig. 17 Impact value vs. injection pressure

참고 문헌

1. Nam, P.S., "Knowledge-Based Synthesis System for Injection Molding", Robotics & Computer Intergrated Manufacturing, Vol.3, NO.2, pp.181-186,1987
2. Wu, J.L.etal., "Pattern analysis of cavity pressure cures", SPE ANTEC '90 pp.286-293, 1990
3. Wu J.L.etal., "Development of an On-Line Cavity Pressure Based Export System for Injection Molding Process," SPE ANTEC '91, pp.444-446,1991
4. A.Siegmann & A.Buchman, "Residual Stresses in Polymers III : the influence of injection molding process condition", Polymer Eng. & Sci., June, pp.560-568, 1982.
5. A.I.Isayev and T.Hariharan, "Volumeter Effects in the Injection Molding of Ploymers", Polymer Eng. & Sci., Mid-april, vol.25, NO.5, pp.271-178, 1985
6. Y.T.Koita, "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng.&Sci December, Vol.14, NO.12, pp.840-847, 1974