

사출성형공정에서 유리섬유함유량이 인장강도에 미치는 영향

김영수*, 김인관**

Effect of Glass Fiber Contents on the Tensile Strength in Injection Molding Process

Young Soo Kim*, In Kwan Kim**

ABSTRACT

The main target of this research is investigating the relations between mechanical properties and injection conditions, like injection pressure, packing pressure and packing time for various contents ratio of glass fiber and resin. In general idea, high injection pressure produces high strength of molded parts as a monotonic function. but it was revealed that high pressure does not make high strength directly through various experiments of injection molding. In this experiments, PA66 was selected as resin and Glass Fiber was selected as reinforcing fiber. Fiber reinforcement was controlled, as 14%, 25%, 33%, 44% of total volume and packing pressure was divided 55%, 65%, 75%, 85% of reference pressure, i.e. 100% equal to 1400kgf/cm². Finally, tensile testing was executed for injected test specimen. Optimum results based on authors' experiments have been obtained under conditions of 25% and 33% of glass fiber contents. Tensile strength rather depends on the packing pressure and packing time than injection pressure. Especially almost equal value of tensile strength was obtained for various percentage of packing and injection pressure as 65%, 75% and 85% of reference pressure.

Key Words : Injection molding(사출성형), Glass fiber(유리섬유), Injection pressure(사출압)
Packing pressure(보압), Tensile strength(인장강도), PA66(나일론66)

기호설명

ρ : 밀도
 \vec{v} : 속도
 g : 중력가속도
 σ : 응력
 C_p : 비열
 T : 온도
 β : 체적팽창 계수
 p : 압력

η : 점도
 $\dot{\gamma}$: 변형률

1. 서론

현대 산업에서 일상적으로 사용되는 여러 가지 사출성형은 플라스틱 제품의 생산적인 면과 비용적인 면에서 다른 성형방법보다 우월성이 인정되어 많이 채용되고 있다. 전형적인 사출공정¹⁾은 충전, 가압, 보압 및 냉각단계로 나뉘어진다.

충전단계는 사출성형기의 스크루가 전진함에 따라 수지가 금형의 캐비티로 유입되며 캐비티에

* 부경대학교 냉동공학과

** 부경대학교 대학원

채워질 때까지 지속된다. 가압단계는 스크루가 더욱 진전하여 금형의 캐비티에 압력이 가해지는 단계이며, 이때 스크루 속도는 감소되며 천천히 진전한다. 수지는 압축성 재료이므로 충전단계 보다 수지를 더 캐비티로 밀어 넣을 수 있다. 가압단계 이후에도 스크루는 완전히 정지하지 않고 한동안 전진을 계속한다. 일반적으로 수지는 용융상태에서 고체상태로 상변화를 일으킬 때 체적감소가 생기며, 이 체적 차이를 보상하기 위해 보압단계가 필요하다. 사출성형품의 품질은 수지 충전과정의 유동상태에 크게 의존하고 있으며, 보압, 냉각, 휨 등의 해석을 위하여 충전과정의 해석결과²⁾가 필요하다기 때문이다.

특히 플라스틱 제품을 생산하는 사출성형공정은 공정에 관련된 여러 가지 요소에 의해 수치적으로나 실험적으로 접근하기가 무척 어려운 점이 많다. 그 중에서 사출성형품의 기계적 성질중 인장강도에 영향을 미치는 여러 가지 요소, 즉 수지온도, 사출압력, 보압, 냉각시간 등에 대해 수지재료에 유리섬유 함량의 영향을 동시에 규명하는 것이 중요하다. 본 연구는 사출성형중에서 성형품의 인장강도를 높이는데 사용되는 유리섬유를 함유한 시험편의 인장강도와 사출성형 공정의 조건과의 관계를 규명하는데 목적이 있다.

2. 배 향(Orientation)

열가소성 수지는 일반적으로 긴 선 모양 또는 사슬 모양의 고분자에서 성립되고 있는데, 이러한 고분자는 상온에서는 실뭉치처럼 얽혀진 상태로 되어 있다.

이것이 성형 조작에 있어서 가열되고, 용융 상태에서 높은 압력을 받으면서 좁은 통로를 통과하면 분자는 흐름 방향에 따라서 배열하려고 하며, 이와 같은 현상을 수지의 분자배향(molecular orientation)이라 한다. 또한 용융수지 중에 유리섬유가 포함될 경우에는 수지의 흐름방향³⁾에 따라 유리섬유도 일정한 방향의 배열을 한다. 이것을 섬유배향(fiber orientation)⁴⁾이라 한다.

분자 배향에 의해 일단 연신된 분자는 원래의 상태로 되돌아가려고 하기 때문에 내부 응력이 발생하고, 이것이 성형 수축발생의 원인이 되고, 분자의 배향이 일정하지 않아서 국부적인 재료의 강도가 떨어지는 원인이 되기도 한다.

분자 배향의 발생 상태는 성형품의 설계, 금형의 설계 등에 의해 그 형상이 일정하지 않다. 그러나 분자 배향의 발생에 의해 흐름 방향과 직각 방향에서 성형수축량이 차이가 나기 때문에 성형품은 변형을 일으키게 되고 강도가 떨어진다. 분자 배향이 나타나는 현상은 수지의 종류에 따라 차이가 있고, 일반적으로 결정성 수지가 비결정성 수지에 비교하여 현저하게 나타난다.

본 연구에서는 유리섬유가 함유된 수지의 경우 특히 분자배향에 따라 현저한 기계적 강도의 차이를 파악하기 위해 인장시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 유리섬유의 모양을 보았다. 인장시험편의 사진은 사출압과 보압은 65%, 보압시간은 1초로 하였고, 순서대로 14, 25, 33, 44%의 유리섬유 함유량에 따른 파단면을 100배로 확대하였다. 여기서 사출압, 보압의 100%는 1400kgf/cm²를 나타낸다. 유리섬유의 직경은 약 10μm정도가 되고 유리섬유량이 증가할수록 파단면에서의 층이 더 많이 발생한 것을 알 수 있고, 특히 유리섬유 함유량 44%의 경우는 섬유의 방향들이 일정하지 않은 것이 보였다.

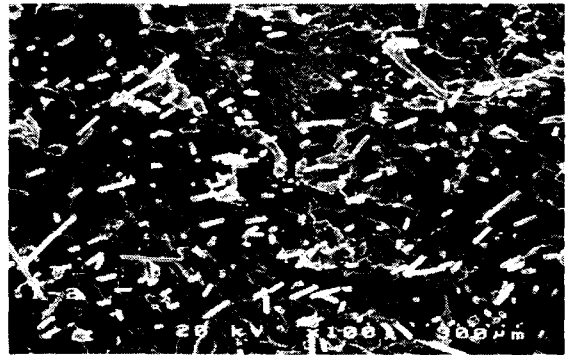


Fig. 1 Section of fracture (×100), fiber 14%

3. 성형 해석 및 실험

3.1 성형실험

플라스틱 인장 시험편을 모델링하여 성형해석을 하였고, Fig. 5에 성형품의 캐비티형상을 나타내었다.

재료는 LG 화학의 나일론66(PA66)⁵⁾이 사용되었

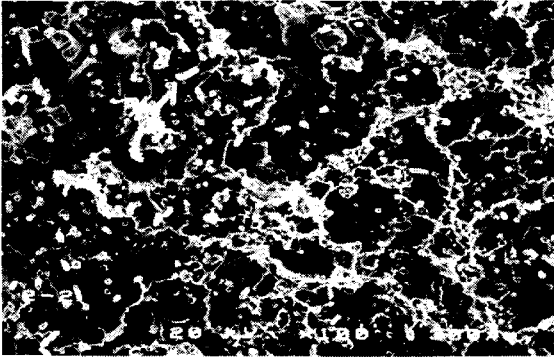


Fig. 2 Section of fracture (×100), fiber 25%

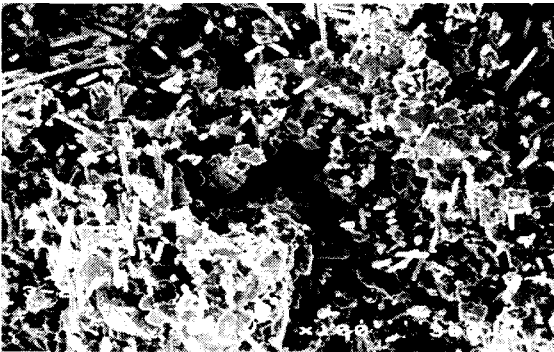


Fig. 3 section of fracture (×100), fiber 33%

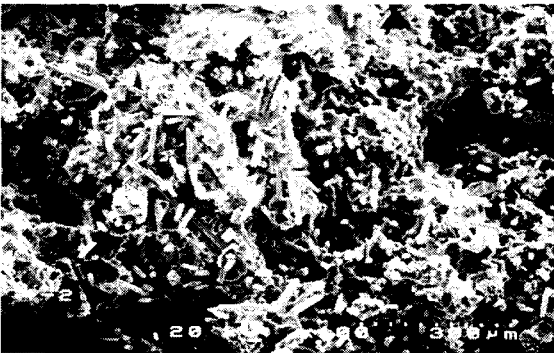


Fig. 4 Section of fracture (×100), fiber 44%

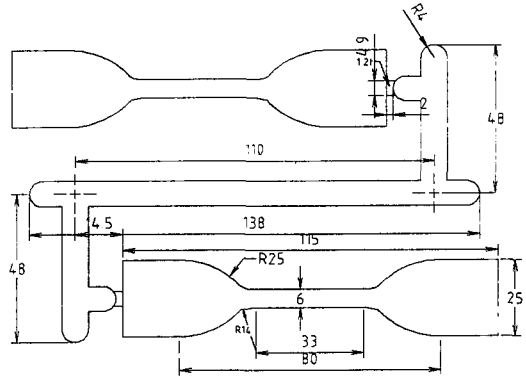


Fig. 5 Cavity configuration of test piece

었고, 성형조건은 Table 1과 같다.

인장강도 시험에 큰 영향을 주는 성형조건중 수지온도와 사출압, 보압은 Table 1과같이 수지온도를 280℃로 일정하게 하고, 사출압 55, 65, 75, 85%로 하였고, 보압도 동일하게 하였다. 실험시 주위환경은 실내온도 22℃, 습도 55%였다.

Table 1 Modeling condition of test piece

금형온도	45℃
냉각시간	15sec
유리섬유 함유량	14, 25, 33, 44%
수지온도	280℃
사출압, 보압	55, 65, 75, 85%
보압시간	0, 1, 2sec
사출속도	2.5cm ram/s
사출시간	4sec

3.2 성형 해석 이론

본 연구에 있어서 성형해석의 이론식은 다음과 같이 단순화된 지배방정식을 기초로 하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) = \rho \vec{g} + [\nabla \cdot \sigma] - [\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v})] \quad (2)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla p \right) + p \nabla \cdot \vec{v} + (\rho \nabla \vec{v}) - \Delta \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

즉, 다음과 같은 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식으로부터 단시간내에 이루어지는 초기충전과정에서 연속방정식은 식(1)로 나타내며 시간에 따른 밀도변화를 무시하고, 비압축성 유체로 가정 할 수 있으므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\nabla \cdot \vec{v}) = 0 \quad (4)$$

운동량 방정식은 재료의 점탄성 효과를 무시하고 비압축성 유체로 가정하므로써,

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \rho \vec{g} - \nabla p + [\nabla \cdot \eta \dot{\gamma}] - \rho [\vec{v} \cdot \nabla \vec{v}] \quad (5)$$

과 같이 하고 에너지 방정식은 온도변화가 크지 않으므로 열전도 계수를 상수로 가정하고 비압축성 유체임을 고려하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla p \right) + \eta \dot{\gamma}^2 + k \Delta^2 T \quad (6)$$

그러나 보압공정시에는 용융수지의 압축성을 고려하여야 하므로 연속방정식 식(1)은 일반적인 뉴턴 유동 양식을 따라 식(7)과 같이 주어진다.

$$[\nabla \cdot \sigma] = -\nabla p + [\nabla \cdot \eta \dot{\gamma}] \quad (7)$$

3.3 성형 해석

성형해석의 목적은 인장강도에 영향을 주는 시험편에서의 흐름양상을 파악하기 위해 해석하였다. 해석을 수행한 방법은 Table 2와 같이 하였다. 해석결과와 그림은 유리섬유함유량-사출압-보압-보압시간의 순으로 나타내었다.

Table 2 Analytical condition

유리섬유 함유량	14, 25, 33, 44%
사출압	55, 85%
보압	55, 85%
보압시간	0, 2sec
해석결과	동점도, 충전직후의 온도

보압시간과 사출압력이 높으면 동점도가 올라가고 압력이 0일 경우는 동점도가 불균일 하게 나타났다, 압력이 있을 경우 점도가 균일하게 나타났다

다. 이것으로 동점도의 균일하게 강도가 높아지는 것을 알 수 있다. 보압시간의 유무에 관계가 있으나 보압의 크기에서 보압이 크다고 일률적으로 크게 증가하지는 않는 것을 알 수 있다.

온도에서는 사출압과는 크게 관계하지 않는 것을 알 수 있고, 보압시간에 따라 온도분포가 균일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같은 해석 결과로써 사출압은 응력이나 온도⁶⁾의 분포에 크게 영향을 주지 않는 반면 보압은 상당한 영향을 주는 것을 알 수 있다.

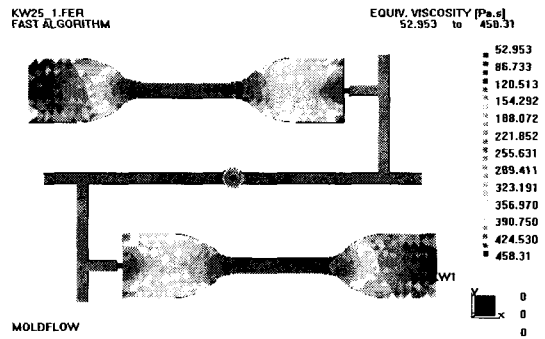


Fig. 6(a) Equivalent viscosity at 25-55-0-0

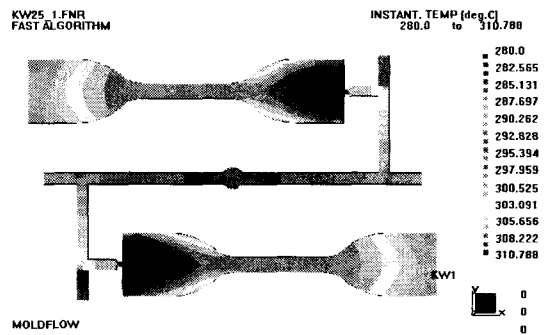


Fig. 6(b) Instant temp. at 25-55-0-0

3.4 시험 및 고찰

성형실험한 조건과 같이 인장시험을 하였다. 시험편의 개수는 각 동일 조건당 10개로 하고, 조건의 변화를 고려하여 조건변화전과 후의 시험편은 시험

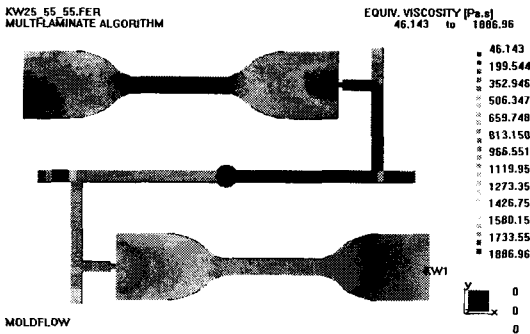


Fig. 7(a) Equivalent viscosity at 25-55-55-2

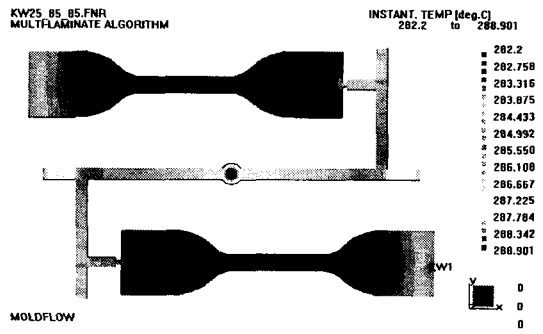


Fig. 8(b) Instant temp. at 25-55-55-2

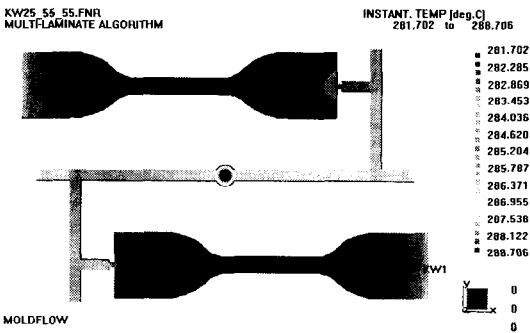


Fig. 7(b) Instant temp. at 25-55-55-2

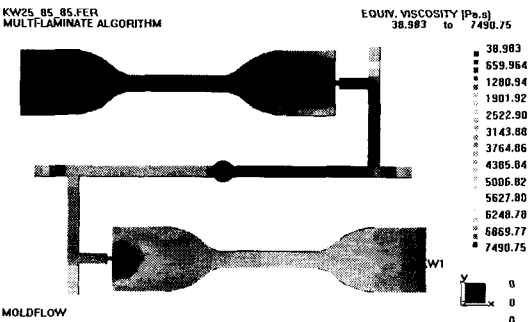


Fig. 8(a) Equivalent viscosity at 25-85-85-2

하지 않았다. 그리고 각각의 성형시편에 대해 유리섬유 함유량을 기준으로 보압, 사출압, 보압시간에 따른 최대 인장강도를 나타내었다. Fig. 9는 사출압을 65%로 일정하게 하고, 보압을 55, 65, 75, 85%로 변화시켜 각각의 인장강도를 시험하였다.

보압과의 관계에서는 보압 65%일 때 가장 큰 값을 나타내었다. 이것은 75, 85%와 같이 과도한 보압은 오히려 인장강도를 떨어뜨리는 경향을 나타내었다. Fig. 10은 위와 같은 최적의 보압조건으로 생각하여 보압을 65%로 일정하게 하고, 사출압을 55, 65, 75, 85%로 변화하여 시험하였다.

사출압 65%와 85%에서 거의 비슷한 인장강도를 나타내었다. 그리고 사출압 55%에서는 유리섬유 함유량이 높아질수록 인장강도의 변화가 적게 나타났다. 하지만, 사출압을 증가시킬수록 인장강도의 편차가 많이 발생하는 것을 알수 있다. Fig. 11은 사출압과 보압은 65%로 일정하게 하고, 보압 시간과 인장강도와의 관계를 시험하였다.

보압 시간과의 관계에서 0초일 때는 유리섬유 함유가 증가할수록 편차가 점점 심해지고 유리섬유 44%의 경우 매우 큰 편차가 보였다. 그리고 보압 시간 1, 2초의 경우 거의 동일한 값을 나타낼 수 있다. 인장강도에서 보압 시간의 관계는 보압 시간이 너무 짧으면 인장강도가 떨어지게 된다.

또, 과도한 보압 시간은 성형 시간의 증가로 인해 경제성이 떨어지게 된다.

4. 결론

유리섬유를 함유한 사출성형품이 성형조건과 인장강도에 관해 연구한 결론은 다음과 같다.

1. 보압과 유리섬유와의 관계에서 압력이 증가함에 따라 인장강도가 일정하게 증가하나 오히려 높은 압력일 때는 인장강도가 떨어지는 경향을 나타내었다.
2. 사출압과 유리섬유와의 관계에서도 사출압력에 따라 거의 동일한 인장강도의 값이 나왔다.
3. 보압시간과 유리섬유와의 관계에서는 보압시간이 0초일 경우 인장강도의 편차가 많이 발생하였으나 1초, 2초의 경우 인장강도값의 편차가 거의 없는 경향이 있다.
4. 유리섬유 함유량의 경우 대부분의 조건에서 25, 33%의 경우에서 인장강도의 편차가 작게 나타났다. 섬유함유량이 너무 적거나 많은 경우 배향의 문제가 발생하는 것으로 생각된다. 압력의 경우도 압력이 증가함에 따라 인장강도도 높아지지만 크게 증가하지 않고 완만한 증가를 보이고 있다. 이것은 고압의 경우에는 오히려 배향을 방해하는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Wang, K. K. et al., "Computer Aided Injection Molding System," CIMP Progress Report, No. 4, pp. 9~45, 1977.
2. Tadmor, E., Broyer, E. and Gutfinger, c, "Flow Analysis Network(FAN):A Method for Solving Flow Problems in Polymer Processing," Polymer Eng. and Sci., Vol. 14, No. 9, pp. 660-665, 1974.
3. Sherbelis, G. and Friedl, C., "The Importance of Flow Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation," SPE ANTEC Technical Paper, Vol. 49, pp. 954-957, 1992.
4. Kamal, M. R. and Kenig, S., "The Injection Molding of Thermoplastic," Polymer Eng. and Sci., Vol. 12, pp. 295-301, 1972.
5. Cox, H. W. and Mentzer, C. C., "The Injection Molding:The effect of fill time on Properties," Polymer Eng. and Sci., Vol. 26, 1986.

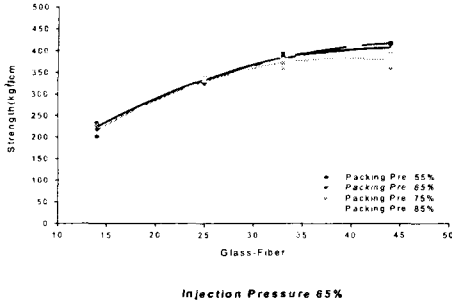


Fig. 9 The strength of relation glass fiber and packing pressure at the 65% of injection pressure

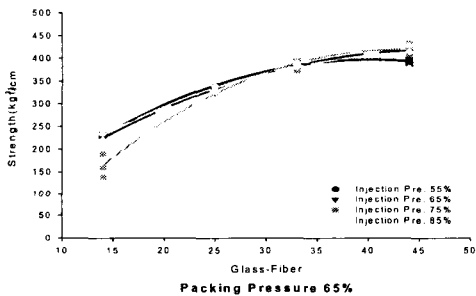


Fig. 10 the strength of relation glass fiber and injection pressure at the 65% of packing pressure

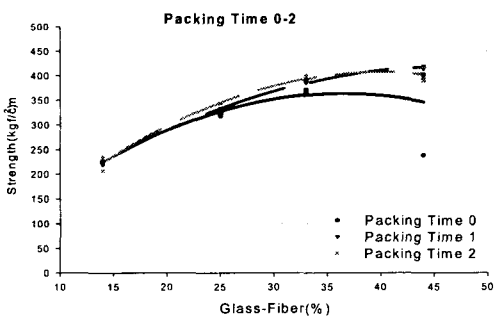


Fig. 11 The strength of relation glass fiber and packing time at the 65% of injection pressure and 65% of packing pressure

6. Barry T. Dale, "Compounding Processed Old News Print with Recycled high Density Polyethylene to make A substitute Lumber Product," ANTEC, pp. 4232-4236, 1995.
7. Scott T. Carter, "A Study to Determine The Effects of High Density Polyethylene Contaminant and Heat Histories on The Mechanical Characteristics of Polyethylene Terephthalate," ANTEC, pp. 3743-3747, 1995.
8. Michael J. Brues, Musa R. Kamal, David G. Cooper, "Thermolysis of Mixtures of Polyethylene and Polystyrene, Using Virgin Polymers and Recycled Plastics," ANTEC, pp. 3720-3725, 1995.