

論文

사출성형된 섬유강화 플라스틱 복합재의 섬유함유율 분포에 관한 연구

박성순* · 윤성운*** · 조선희** · 김이곤*

A Study on Fiber Content Distribution of Injection Molded Fiber - Reinforced Polymeric Composites

Sung-Soon Park*, Sung-Un Yoon***, Seon-Hyung Jo** and E-Gon Kim*

ABSTRACT

Fiber - reinforced polymeric composite are finding wider usage in the aerospace industry and in commercial applications. Injection molding is a very important industrial process for the manufacturing of plastics objects. During an injection molding of glass fiber reinforced thermoplastics, the separation of matrix and fiber is caused by the flow of molten polymer / fiber mixture. Fiber length, fiber content, process condition, and matrix have an effect on the fiber distribution due to nonhomogeneity in injection molded product.

In this paper, the effects of fiber length, fiber content, matrix, and molding condition on the distribution are studied experimentally. Using the burning method, fiber content distribution in injection molded product is assessed.

초 록

섬유강화 플라스틱 복합재료는 항공우주 산업응용 분야에서 이용되고 있는 매우 유용한 재료이다. 이러한 소재의 성형법중에서 사출성형은 플라스틱 제품의 제조에 있어서 매우 중요한 공정이다. 유리섬유강화 플라스틱 복합재료는 사출성형 과정중의 모재와 섬유 분리는 성형과정중의 유동속도 차이에 의해서 일어난다. 사출성형된 성형품에서 불균질도를 일으키는 섬유함유율 분포는 강화제인 섬유의 형상, 섬유함유율, 사출성형조건 및 모재에 영향을 받는다. 본 연구에서는 섬유함유율 분포에 미치는 섬유의 길이, 섬유 함유율, 모재, 성형조건 등에 대해서 실험을 하였다. 연소법에 의해서 사출 성형된 제품의 섬유함유율을 분포를 고찰한 내용을 보고한다.

1. 서 론

섬유를 강화재로 하고 플라스틱을 모재로 하는 섬유강화 플라스틱 복합재료는 중량에 대비한 우수한 기계적 물성, 높은 생산성 등의 장점이 있으므로, 경량구조재로서 기능이 확인되고 재료의 신뢰성이 증가됨에 따라 자동차와 항공기 등 첨단산

업에까지 이용되고 있는 매우 유용한 재료이다.

이러한 소재의 성형법중에서 사출성형은 강화제와 모재가 섞인 펠렛을 스크류의 혼련과정과 가열을 통해 수지를 용융상태로 만들어 제품을 생산하는 것으로서, 사출 성형기의 실린더내에서 성형재료가 가소화되는 용융과정, 가소화된 성형재료가 캐비티내로 유입되는 유동과정과 충전된 수지의

* 국민대학교 공과대학 기계설계학과

** 대우공업전문대학 금형설계학과

*** 조선대학교 공과대학 기계공학과

보압 및 사출된 수지의 냉각과 고화 등의 공정으로 크게 나눌 수 있다.

이 유동과정중의 섬유는 유동속도차에 의해 성형품내 섬유함유율 분포가 다르게 되어 분리 및 배향이 발생한다. 이는 최종 성형품의 기계적 물성에 영향을 미치기 때문에 각종 성형조건의 변화에 대해서 이 분리와 배향을 할 필요가 있다. 여기서 성형품의 분리의 양상은 섬유의 직경, 섬유길이, 섬유함유량에 따른 섬유상호간의 간섭력 등과 같은 재료요인과 사출속도, 압력 및 실린더와 금형의 온도 등과 같은 성형인자에 의해 그 정도가 다르게 나타난다.

이 사출성형시 캐비티내 유동선단의 이론해석과 여러가지 성형조건에 대해서 연구한 예를 살펴보면, 성형과정중의 수지내의 입자들을 타원체로 가정하여 이에 대한 배향상태에 관한 연구가 Jeffery [1]에 의해서 처음으로 수행되었으며, 입의의 형상과 복잡한 금형내에서의 섬유배향에 대한 수치해석적인 고찰을 Henry de Frahan[2]등에 의해 수행되었다.

그리고 Gubat 등[3]은 유리섬유로 강화된 폴리에틸렌과 폴리아미드를 Spiral mold test를 이용하여 섬유의 분리상태를 실험적으로 밝혔고, Wu 등[4]은 압축성형하는 경우에 발생하는 섬유배향과 분포상태에 대한 실험적인 연구를 하였다. Filbert [5]는 단섬유강화재의 사출성형조건에 따라 섬유의 분산상태 및 섬유길이와 기계적 성질과의 관계를 연구하였으며, Murphy[6]는 금형설계상에서 게이트의 치수와 위치에 따른 기계적 물성을 나타내었고, Hegler 등[7]은 유리섬유로 강화한 SAN, PA 6재의 사출성형시 발생하는 분리효과를 섬유의 직경 및 성형조건과 연관시켜 연구를 하였다.

그러나 섬유강화 플라스틱 복합재료의 성형과정중에는 모재와 섬유의 유동속도 차이에 의해서 분리 및 배향이 일어난다. 이러한 문제점에 대해서 섬유매트로 구성된 복합재의 압축성형인 경우에는 많은 검토와 연구가 이루어져 있으나[8, 9], 사출성형된 섬유강화 복합재내의 섬유함유율에 미치는 성형조건 등에 관한 연구는 아직 없는 상태이므로 본 연구에서는 성형품내 섬유함유율 분포에 미치는 섬유길이, 섬유함유량 그리고 모재의 종류 및 사출압력, 금형 및 실린더온도 등과 같은 성형인자의 영향에 대해 실험적으로 고찰한 내용을 보고한다.

2. 실험

실험에 사용된 재료는 모재가 폴리프로필렌(PP), ABS 혹은 Nylon6(PA6)이고 강화재가 유리 섬유인 섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재료이다. 강화재로서 사용된 필렛은 2종류로 장섬유 피복법에 의한 것과 초트스트렌드 분산법에 의한 것이다.

전자는 일본 三井東壓化學(주)제의 LFP-C (Long Fiber-reinforced Plastic-Compound: 이하 LFC)로 사출성형용 장섬유강화 플라스틱 복합재료이며 섬유함유량은 20wt%, 30wt%, 50wt%이며 섬유길이는 10mm로 섬유와 필렛이 혼합되어 있다. 그리고 후자는 럭키(주)에서 생산되는 필렛으로서 섬유함유량은 30wt%이고, 섬유길이가 3mm로 절단되어 컴파운드 된 단섬유강화 플라스틱 복합재료(Short Fiber-reinforced Plastic-Compound: 이하 SFC)이다. Table 1은 사출성형한 시험편을 나타내었으며, Table 2는 장섬유강화 플라스틱(LFC)과 단섬유강화 플라스틱(SFC)의 성질을 비교하여 나타내었다.

본 실험에 사용된 사출성형기는 스크류직경이 45mm이고, 형체력이 150ton, 최대사출중량은 9.2oz(260g), 사출압력 1994kg/mm², 그리고 사출

Table 1. The designation of injection molded specimen

Type	Matrix	wt%
Long fiber compound(LFC)	PP	20
	PP	30
	PP	50
Short fiber compound(SFC)	PP	30
	ABS	30
	PA6	33

Table 2. Material properties of LFC and SFC

Type	LFC	SFC
Fiber content(wt%)	30	
Density	1.1	1.15
Elongation(%)	4	2.5
Tensile strength(kg/cm ²)	1210	950
Flexural strength(kg/cm ²)	1520	1300
Flexural modulus(kg/cm ²)	58000	55000

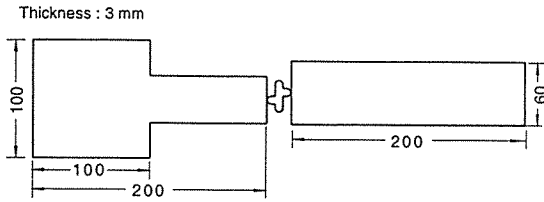


Fig. 1. Molded specimen geometry

물은 140cm³/sec이다. 성형품내의 섬유함유율 분포를 파악하기 위한 시험편의 형상은 Fig.1과 같이 직사각형 금형을 이용하였다. 성형품은 2개의 캐비티로 되어 있고, 게이트는 사이드게이트인 금형을 이용하였다.

Table 3에서는 실험에 적용된 사출조건을 나타내고 있다. 펠렛형태의 원료를 60°C에서 2시간동안 Hopper dryer로 건조시킨 다음 성형하였다.

Table 3 Injection molding condition

Glass fiber content(wt%)	20, 30, 50
Injection pressure(kgf/cm ²)	700, 1000, 1300
Holding pressure(kgf/cm ²)	720
Cooling time(sec)	25, 60
Mold temperature(°C)	30, 70, 110
Barrel temperature(°C)	220, 250, 280

성형품의 각 부분에서의 섬유함유율분포를 파악하기 위해서는 Fig.2와 같이 폭을 10mm, 길이 10mm간격으로 절단하고, 690±10°C의 온도로 연소하여 연소전후의 중량으로 부터 섬유함유율분포를 계산한다. 이 때 섬유함유율분포 Q_{fr}은

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 q₀는 성형전 중량섬유함유율, q_r는 성형후

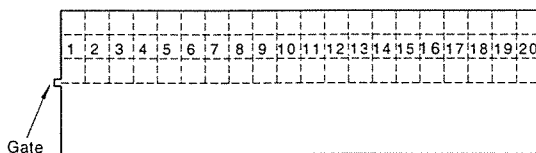


Fig. 2. Part for measuring fiber content by means of burning.

중량섬유함유율이다.

3. 실험결과 및 고찰

섬유강화 플라스틱의 사출성형품에서의 성형조건을 변화시켜 섬유길이, 섬유함유량 변화와 모재의 변화에 따른 성형품내의 섬유함유율비 Q_{fr}의 변화를 연소실험으로 구하였다. 성형품을 Fig.2와 같이 절단하여 연소전의 무게와 연소후의 무게를 측정하고 섬유함유율비 Q_{fr}의 분포를 측정하였다. Fig.3(a)~(c)는 사출성형품의 연 X선 사진을 나타낸 것이다. 이들 사진은 장섬유로 강화된 성형품으로서 섬유함유율이 많을수록 섬유에 해당하는 검은색 부분이 진하게 나타나 있음을 알 수 있으며, 성형품의 유동선단에 가까워질 수록 그리고 섬유함유율이 높을수록 이러한 현상이 뚜렷히 나타남을 알 수 있다.

Fig. 4(a)~(c)는 LFC 20, 30, 50wt%인 경우 각 사출압력의 변화에 대해서 섬유함유율비 Q_{fr}에 미치는 게이트로 부터의 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 여기에서 상대길이란 성형품 전체의 길이와 섬유함유율 분포를 파악하기 위하여 10mm씩 절단한 길이와의 비를 말한다.

이들 그림에서 상대길이가 증가함에 따라서 Q_{fr}이 증가하는 것은 섬유함유량이 20wt%, 30wt%, 50wt%인 경우 거의 동일한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 게이트로 부터 흘러나온 용융된 수지의 유동선단이 캐비티의 벽면에 닿는 순간 일어나는 분수흐름(Fountain flow)으로 인하여 되돌아올 때 섬유의 중량과 모재인 수지의 중량차이로 인하여 유동선단에서 섬유가 풀려있는 결과라고 생각한다. 그리고 섬유함유량의 영향에서 50wt%인 경우는 20wt%와 30wt%와는 달리 섬유함유량이 많기 때문에 20wt%와 30wt%에 비하여 유동선단에서의 Q_{fr}이 당연히 높게 나타난다. 그리고 섬유함유량이 50wt%인 경우는 동일한 유동장내에서 사출압력이 변화되어도 섬유함유율이 변화할 수 있는 확률이 적기 때문에 거의 변화의 폭이 적은 상태를 유지하면서 성형이 되어 있음을 알 수 있으며, 이러한 현상으로 인하여 섬유함유량이 적은 경우는 사출압력이 높으면 Q_{fr}변화의 폭이 약간 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5(a)~(c)는 실린더의 온도 변화를 변화시켰을 때 섬유함유율비 Q_{fr}에 미치는 상대길이의 영향

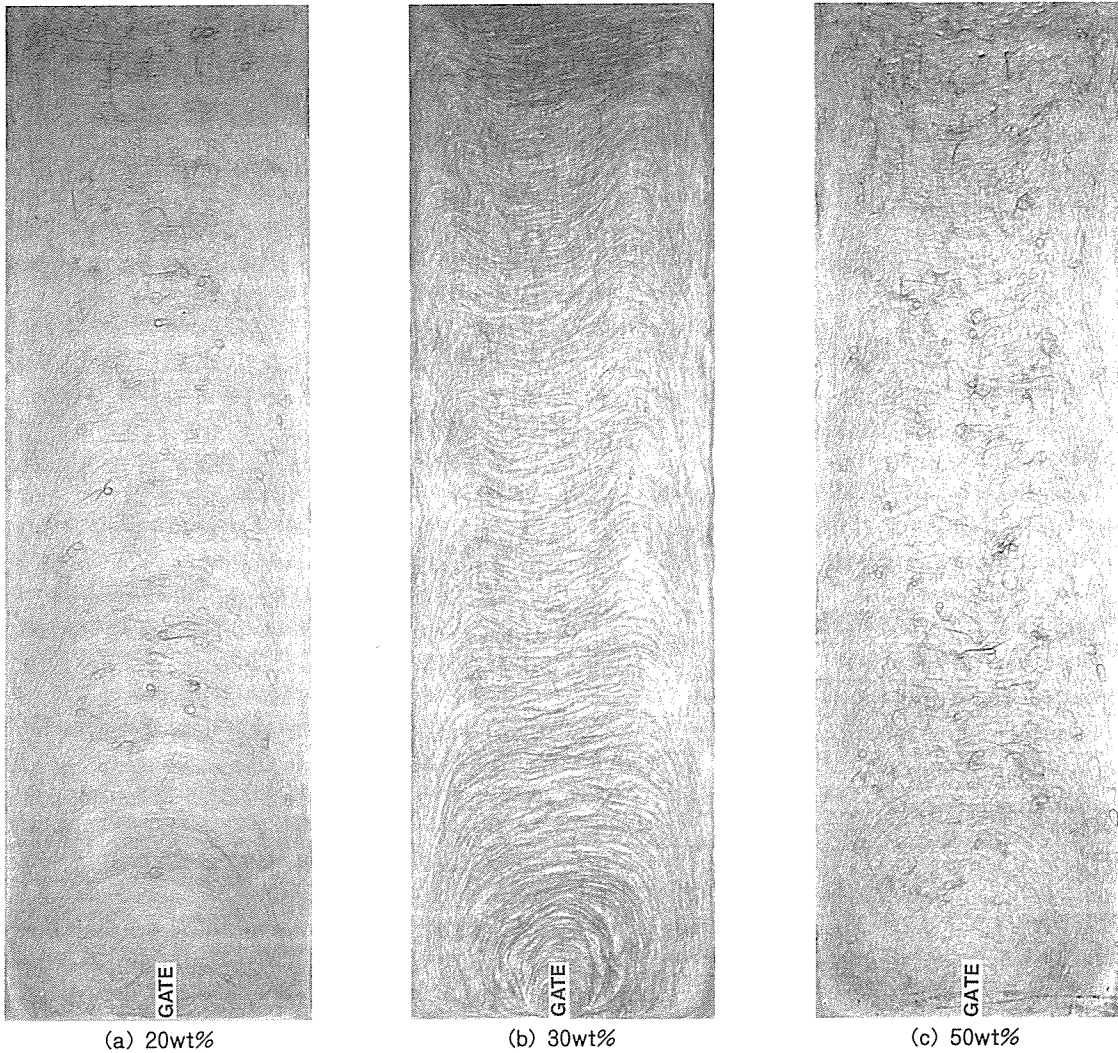


Fig. 3. Soft X - Ray photography of injection molding

을 나타낸 그림이다. 섬유함유량 20wt%, 30wt%인 경우는 성형조건에 따른 섬유함유율비 Q_r 의 변화가 뚜렷한 반면 섬유함유량 50wt%인 경우 성형조건의 변화가 일정하게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 6(a)~(c)는 섬유함유량 약 30wt%인 SFC, ABS, PA6인 경우 사출압력 변화에 따른 섬유함유율비 Q_r 과 상대길이와의 관계를 보여주는데 PP가 ABS 보다 게이트부에서 섬유함유율비 Q_r 의 감소가 있음을 알고 있고 PA6는 성형조건의 관계없이 섬유함유율비 Q_r 이 불규칙하게 변화함을 알 수 있

다. 이것은 모재의 성질중 유동도의 영향이라고 생각한다.

Fig. 7(a)~(c)는 섬유함유량 약 30wt%인 SFC, ABS, PA6인 경우 금형온도의 변화에 따른 섬유함유율비 Q_r 과 상대길이와의 관계를 나타낸 그림으로서 Fig. 5에서와 같은 경향을 나타내고 있다. Fig. 5~Fig. 7을 통해서 알 수 있는 것은 Fig. 4의 경향과 마찬가지로 성형품내의 섬유함유율 분포는 게이트부에서는 감소하고 있으나 유동선단에 이르러서는 증가하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

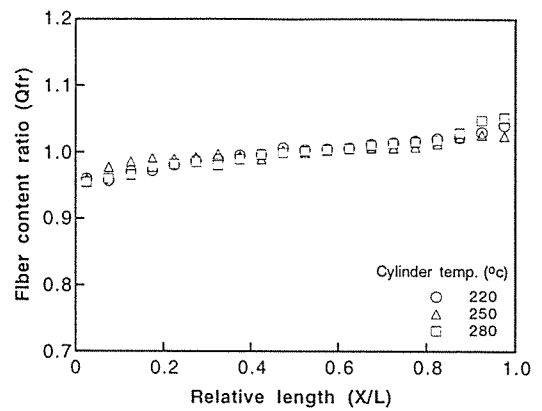
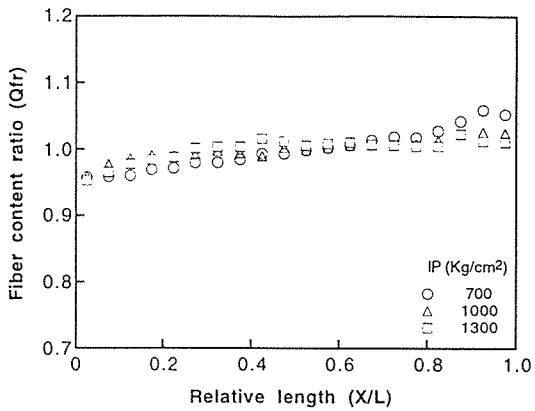
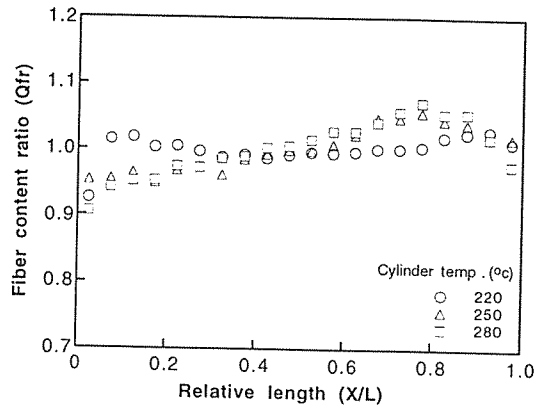
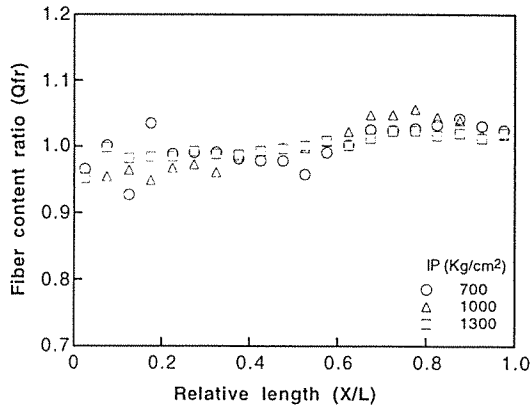
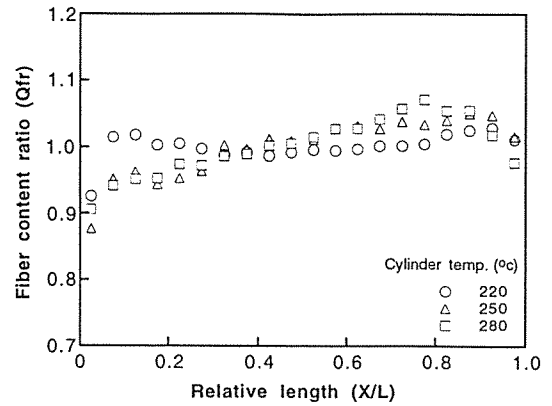
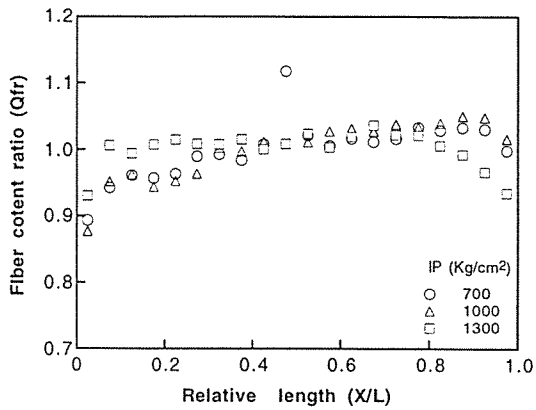


Fig. 4. Distribution of the fiber content ratio by injection pressure

Fig. 5. Distribution of the fiber content ratio by Barrel temperature

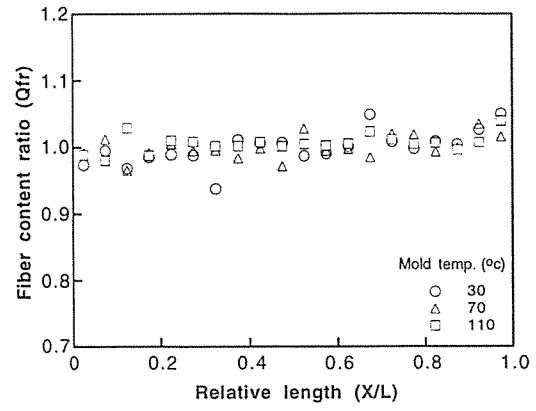
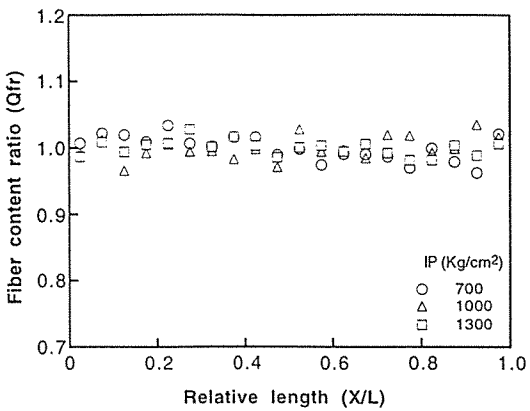
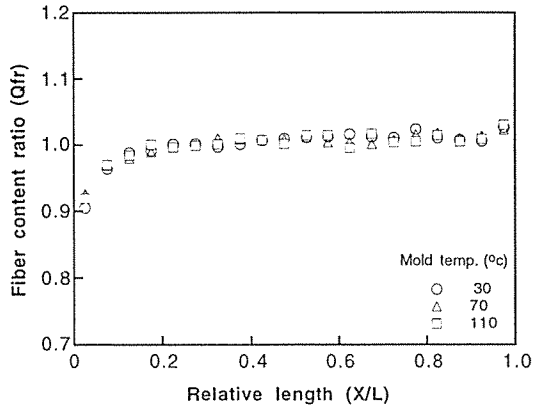
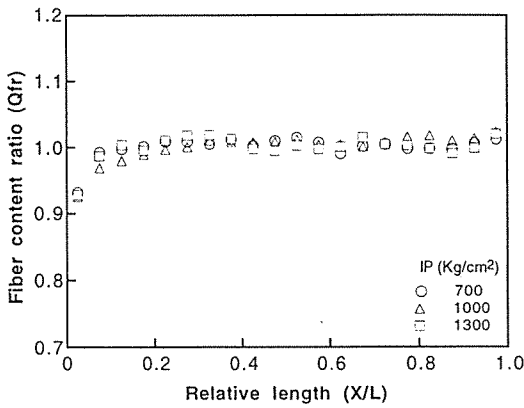
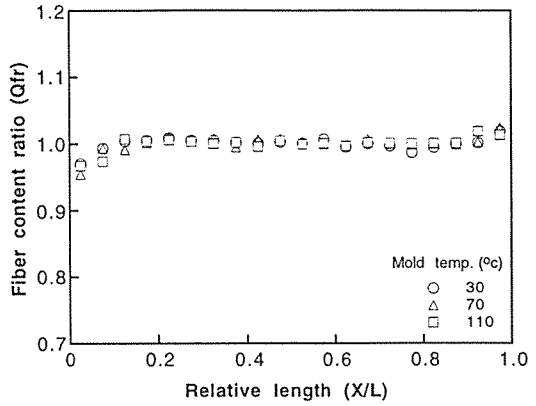
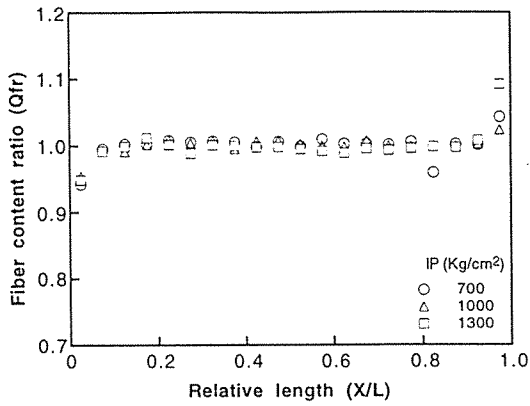


Fig. 6. Distribution of the fiber content ratio by injection pressure

Fig. 7. Distribution of the fiber content ratio by mold temperature

이러한 현상은 성형압력, 성형온도(실린더온도, 금형온도)등의 변화에는 큰 영향을 받지 않고 모두 분수흐름의 영향으로 섬유함유율 분포가 유동선단에서 증가하는 경향을 나타내었고 그 변화의 정도는 복합재내에 함유되어 있는 섬유의 량과 길이에 의해서만 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

섬유강화 플라스틱 복합재료의 사출성형에 있어서 실험과 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 사출성형된 섬유강화 복합재의 섬유함유율분포는 유동선단에서는 모두 증가하였다.

(2) 섬유함유율분포에 미치는 섬유함유량의 영향은 함유량이 증가할 수록 유동선단을 제외한 영역에서는 균질하게 나타나지만, 유동선단에서는 가장 많이 몰려있음을 알 수 있었다.

(3) 각종 성형조건변화에 대한 섬유함유율분포에 미치는 섬유의 길이의 영향을 장섬유인 경우가 단섬유보다는 불규칙한 변화를 나타내었다.

플라스틱 복합재에 대한 구조부재료의 이용이 확대되고 있으므로, 단섬유 강화 형태 보다는 장섬유 강화 복합재의 사출성형에 대한 연구가 더욱 필요한 실정이다. 즉 복합재내에 함유되어 있는 섬유의 량, 장섬유 배향상태 등에 미치는 금형의 기하학적인 상태나 성형조건 등에 대한 이론 해석과 실험적인 연구가 필요하므로 현재 진행중에 있으며, 특히 비뉴턴으로 한 3차원 유동문제에 대해서도 앞으로 연구해야 할 것으로 생각한다.

후 기

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원에 의하여 연구되었으며 한국과학재단(KOSEF)의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G. B. Jeffery, 1923, *proc. RotalSoc., Ser. A*, 102, pp.161.
2. H. Henry de Frahan, V. Verleye, F. Dupret and M. J. Crochet, 1992, *Polym. Eng. & Sci. Vol.32*, pp.254 - 266.
3. Josef Kubat, Akos Szalanczi, 1974, *Polym. Eng. & Sci. Vol.14, No.12*, pp.873 - 877.
4. Souheng Wu, 1979, *Poly. Eng. & Sci. Vol. 19, No.9*, pp.638 - 649.
5. W. Filbert, 1969, *SPE J., Vol.1, No.25*.
6. T. P. Murph, 1965, *Mod, Plastics, Vol.42, No.129*.
7. R. P. Hegler, G. Menning, 1985, *Polym. Eng. & Sci, Vol.25, No.7*, pp.395 - 405.
8. Hojo, H., Kim, E. G. and Tamakawa, K., 1987, *Int., Polym. Precess, Vol.1, Issue 2*, pp.60 - 65.
9. Hojo, H., Yaguchi, H., Onodera, T., Kim, E. G., 1988, *Int., Polym. Precess, Vol.4*, pp.179 - 182.