[UCI]I804:24011-200000231604

2007년 2월
교육학석사(기계·금속교육)학위논문

# FRP의 사출성형에 있어서 기계적 특성과 섬유함유율 분포에 관한연구

조선대학교 교육대학원

기계·금속 교육전공

신 동 현

# FRP의 사출성형에 있어서 기계적 특성과 섬유함유율 분포에 관한연구

A Study on the Fiber Content Distribution and Mechanical Characteristics for the Injection Molding Fiber Reinforced Polymeric composites.

2007년 2월 일


조선대학교 교육대학원

기계·금속교육전공

신 동 현



조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

100373552 2007-04-09

# FRP의 사출성형에 있어서 기계적 특성과 섬유함유율 분포에 관한연구

지도교수 윤 성 운

이 논문을 교육학석사학위신청 논문으로 제출함.

2006 년 10 월 일

조선대학교 교육대학원

기계·금속교육전공

신 동 현

# 신동현의 교육학석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 홍 석 주

위 원 조선대학교 교수 최 병 기

위 원 조선대학교 교수 윤 성 운

2006 년 12 월 일

# 조선대학교 교육대학원

# 목 차

목 차 ---------- I
List of Figures ---------- II
List of Tables ---------- III
ABSTRACT ---------- IV

제 1 장 서 론 ---------- 1
1. 1 연구배경 ---------- 1
1. 2 연구목적 및 내용 ---------- 4

제 2 장 실 험 ---------- 7
2. 1 실험재료 ---------- 7
2. 2 실험방법 ---------- 9

제 3 장 실험 결과 및 고찰 ---------- 13
3. 1 사출성형품의 기계적 성질에 관한 실험 결과 및 고찰 ---------- 13
3. 2 성형품의 섬유함유율 분포에 관한 실험 결과 및 고찰 ---------- 25

제 4 장 결 론 ---------- 35

참 고 문 헌 ---------- 36

# List of Figures

Fig. 1 Specimen geometry ---------- 9
Fig. 2 Molded specimen geometry ---------- 11
Fig. 3 Parts for measuring fiber content by means of burning --- 12
Fig. 4 Measurement fiber content by means of burning for circular parts ---------- 12
Fig. 5 Effect of injection molding conditions and fiber content on tensile strength ---------- 16
Fig. 6 Effect of injection molding conditions and fiber content on elastic modulus ---------- 18
Fig. 7 Effect of injection molding conditions and fiber content on elongation ---------- 20
Fig. 8 Effect of injection molding conditions and fiber content on flexural strength ---------- 22
Fig. 9 Effect of injection molding conditions and fiber content on flexural modulus ---------- 24

Fig. 10 Distribution of the fiber content ratio by injection pressure ---------- 28
Fig. 11 Distribution of the fiber content ratio by barrel temperature ---------- 30
Fig. 12 Distribution of the fiber content ratio by injection pressure in case of circular plate ---------- 31
Fig. 13 Distribution of the fiber content ratio by barrel temperature in case of circular plate ---------- 32
Fig. 14 Distribution of the fiber content ratio by mold temperature in case of circular plate ---------- 33
Fig. 15 Distribution of the fiber content ratio by injection rate in case of circular plate ---------- 34

# List of Table

Table 1 Classification of polymeric composite materials --------- 3
Table 2 Material matural properties of LFC ---------- 7
Table 3 Material properties of LFC ---------- 8
Table 4 Injection molding conditions ---------- 10
Table 5 Injection molding conditions ---------- 11

# ABSTRACT

## A Study on the Fiber Content Distribution and Mechanical Characteristic for the Injection Molding Fiber Reinforced Polymeric composites.

Shin, Dong-Hyun
Advisor : Prof. Yoon, Sung-Un Ph.D.
Mechanical & Metallurgical Education
Graduate School of Education, Chosun University

This study was performed for the assessment of various phenomenons that occur in cases of injection molding of long fiber thermoplastic composites and in the dimension of establishing systematic research of such occurrences and the main results gained through this experiment are organized as follows.

1. It was shown that mechanical properties within long fiber thermoplastic composites that had gone through injection molding were dominantly affected more by material factors such as the fiber content ratio within the composite rather than by molding factors.

2. Fiber content ratio increases up to 30wt% but when it exceeds 50wt%, it shows a decline.

3. The affect of fiber content on the distribution of fiber content

ratio is that as content increased, distribution became equal in all areas excluding the flow front.

4. As opposite lengths increase, the distribution of fiber content ratio increases and as fiber content increases, the affect on injection molding conditions becomes small.

# 제 1 장 서 론

## 1. 1 연구배경

복합재료란[1] 이질이형의 재료를 조합시켜 소재 단일체로서는 발휘할 수 없는 특성을 갖게 하고 필요한 요구에 적합하며 우수한 성질을 갖는 재료를 총칭하고 있다. 이와 같은 복합재료중에서 비강도, 비탄성율이 높은 고분자재료(플라스틱)을 모재로 한 복합재료가[2] 있는데 이것을 모재와 강화재의 종류에 따른 분류를 하면 Table. 1 과 같다.

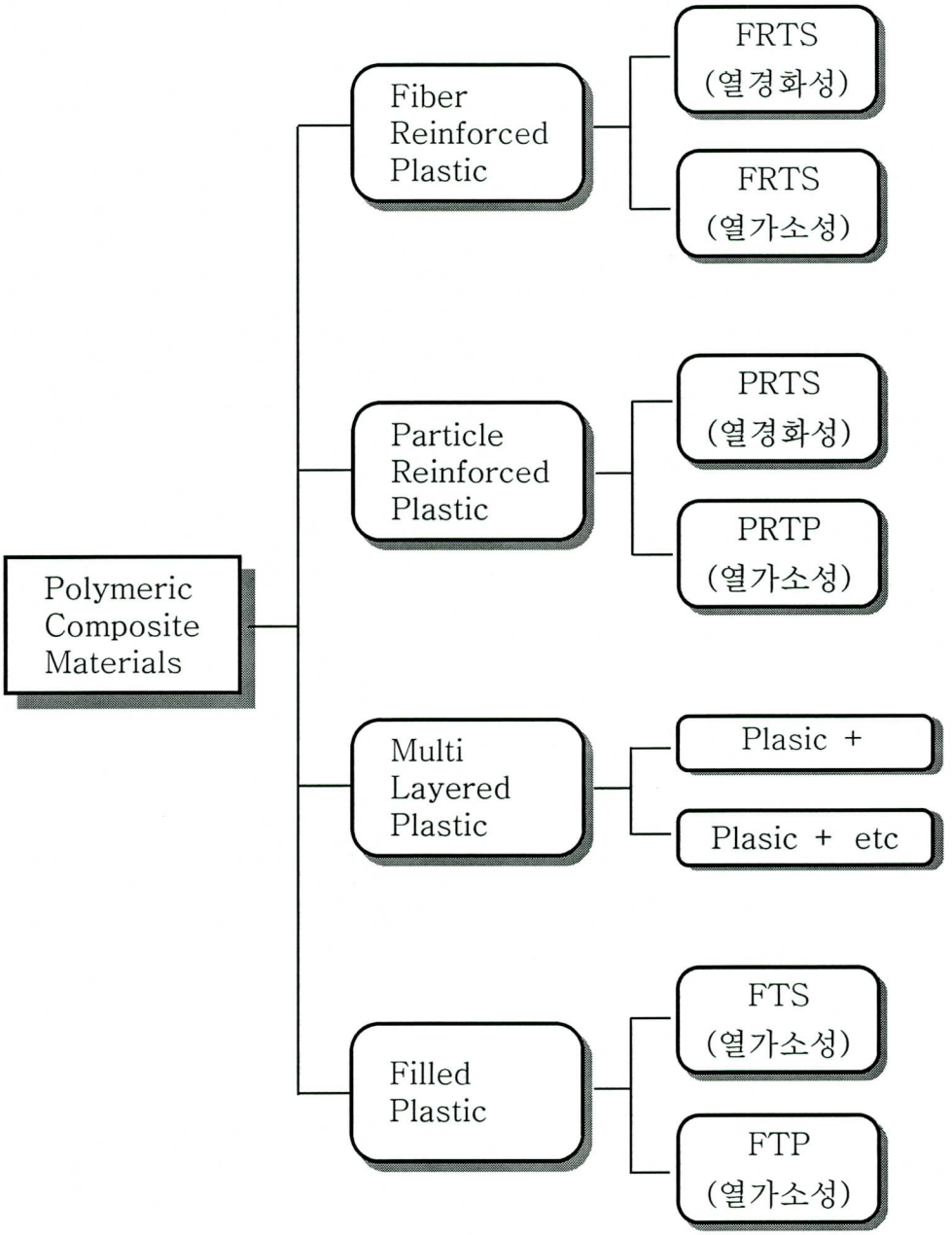
이 복합재료는 모재인 플라스틱의 종류에 따라서 열경화성 플라스틱, 열가소성 플라스틱 복합재료로 나눌 수 있는데 종래의 플라스틱 복합재료는 열경화성 수지를 모재로 하는 성형품이 대부분이었으나 재생문제, 폐기물처리 등과 같은 환경문제가 대두되면서 소재에 대한 관점이 변화하고 있으므로 열가소성 수지를 모재로 하는 섬유강화 고분자 플라스틱계 복합재료의 이용이 확대되고 있다. 그리고 강화재의 종류에 따라서는 섬유상 물질을 이용하는 섬유강화 복합재료 및 입자강화 복합재료 등이 있다. 또 섬유의 길이에 따라서는 장섬유, 단섬유강화 복합재료로 분류할 수 있다.

이와 같은 복합재료의 성질은 플라스틱의 성질에 의존하는 것은 당연하지만, 특히 보강재인 섬유의 형태 즉 섬유의 형상, 치수, 배향 분산상태, 엉킴상태 등에 크게 의존한다. 따라서 복합재료를 이용한 부품의 성형에 있어서는 강화재인 섬유의 조직 및 모재의 조성에 대하여 연구하고 섬유의 형태를 제어하는 것이 매우 중요하다.

이러한 소재의 성형법 중에서 사출성형은 강화재와 모재가 섞인 펠렛을 스크류의 혼련과정과 가열을 통해 수지를 용융상태로 만들어 제품을 생산하는 것으로서, 사출성형기의 실린더 내에서 성형재료가 가소화되는 용융공정, 가소화된 성형재료가 캐비티 내로 유입되는 유동과정과 충전된 수지의 보압 및 사출된 수지의 보압 및 사출된 수지의 냉각과 고화 등의 과정으로 크게 나눌 수 있다.

이때 유동과정 동안 섬유는 모재와 유동속도차에 의해 섬유의 배향 및 섬유와 모재의 분리 현상이 발생하고, 성형된 제품은 배향과 분리현상 때문에 불균질하게 되고 이방성을 나타나게 된다. 즉, 섬유함유율의 분포가 사출성형품의 각 부분마다 다르게 되고 섬유의 배향이 발생하면, 이 결과로서 모재와 강화재간의 분리현상이 유발된다. 여기서 성형품의 분리와 배향의 양상은 섬유의 직경, 섬유길이, 섬유함유율에 따른 섬유 상호간의 간섭력 등과 같은 재료요인과 사출속도, 압력 및 온도 등과 같은 성형인자에 의해 그 정도가 다르게 나타난다. 이러한 분리·배향 등의 현상들은 성형품의 미시적 구조, 기하학적 모양, 기계적 성질 등의 특성에 큰 영향을 미친다.

Table. 1 Classification of polymeric composite materials



## 1. 2 연구목적 및 내용

본 연구에서는 장섬유로 강화된 플라스틱 복합재의 사출성형 하는 경우에 대한 체계적인 연구의 확립과 소재의 개발차원에서 수행하였으며, 연구에 대한 내용을 요약하여 기술하면 다음과 같다.

사출성형품의 기계적 성질에 관한 연구에서는 섬유로 강화된 플라스틱 복합재는 비강성, 비상도, 내열성 등의 기계적 성질이 수지 단일체에 비하여 우수하므로 고강도와 제품의 정밀성, 경량화, 높은 생산성이 요구되는 공업제품에 널리 이용되고 있다. 이러한 섬유강화 플라스틱 복합재료에 대한 사출성형 공정은 수지의 가소화 과정을 거쳐 캐비티 내로의 충전, 보압, 냉각 및 이형과 같은 일련의 과정을 거침으로써 성형이 완료된다.(3) 이 과정에서 성형품의 기계적 특성에 영향을 미치는 것은 사출압력, 금형과 실린더온도와 같은 성형인자와 강화재인 섬유의 길이, 섬유함유율과 같은 재료요인 등이다. 그러므로 섬유로 강화된 플라스틱 복합재의 사출성형에 있어서 최적성형 조건의 확립이나 기계적 특성이 뛰어난 성형품을 얻기 위해서는 이와 같은 성형인자와 재료요인 등에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

지금까지 사출성형에 있어서 기계적 특성에 미치는 성형인자 등의 영향을 고찰한 예를 살펴보면, Filbert는 단섬유로 강화된 복합재의 사출성형 조건에 따라 섬유의 분산상태 및 섬유의 길이와 기계적 성질과의 관계를 연구하였으며, Murphy는 게이트의 치수와 그 위치에 따른 기계적 물성을 나타내었다. Hubbauer 와 Crawford 등은 여러 가지 재료에 대해 사출성형 하였을 때 생기는 웰드라인 부분의 기계적 강도저하에 관한연구를 하였으며, 우중학 등(4)은 사출속도, 사출압력, 보압과 냉각시간을 일정하게 놓고, 금형온도와 수지온도 및 보압 시간 변화에 따른 캐비티 압력 측정하여, 이 조건으로 성형된 제품의 인장강도를 평가하였다.

그러나 사출성형된 섬유강화 플라스틱 복합재의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 미치는 성형공정 인자와 재료요인 등을 고려하여 평가한 연구는 거의 없는 실정이므로 본 연구에서는 사출성형된 성형품의 기계적 물성치에 미치는 사출압력, 금형온도, 실린더온도 및 섬유길이와 섬유함유율 등의 영향에 대해서 고찰한 내용을 보고한다.

성형품의 섬유함유율 분포에 관한 연구에서는 FRP 소재의 성형법중 사출성형은 강화재와 모재가 섞인 필렛을 스크류의 혼련과정과 가열을 통해 수지를 용융상태로 만들어 제품을 생산하는 것으로서, 사출 성형기의 실린더 내에서 성형재료가 가소화되는 용융공정, 가소화된 성형재료가 캐비티 내로 유입되는 유동과정과 충전된 수지의 보압 및 사출된 수지의 냉각과 고화 등의 공정으로 크게 나눌 수 있다.

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

이 사출성형시 캐비티 내 유동선단의 이론해석과 여러 가지 성형조건에 대해서 연구한 예를 살펴보면, 성형과정 중의 수지내의 입자들을 타원 형태로 가정하여 이에 대한 배향상태에 관한 연구가 Jeffery[5]에 의해서 처음으로 수행되었으며, 임의의 형상과 복잡한 금형 내에서 섬유 배향에 대한 수치해석적인 고찰을 Henry de Frahan[6]등에 의해 수행되었다.

그리고 Gubat 등[7]은 유리섬유로 강화된 폴리에틸렌과 폴리아미트 Spiral mold test를 이용하여 섬유의 분리상태를 실험적으로 밝혔고, Wu 등[8]은 압

출성형하는 경우에 발생하는 섬유배향과 분포상태에 대한 실험적인 연구를 하였다. Filbert는 단섬유강화재의 사출성형조건에 따라 섬유의 분산상태 및 섬유길이와 기계적 성질과의 관계를 연구하였으며, Murphy는 금형설계상에서 게이트의 치수와 위치에 따른 기계적 물성을 나타내었고, Heglere등은 유리섬유로 강화한 SAN, PA6재의 사출성형시 발생하는 분리효과를 섬유의 직경 및 성형조건과 연관시켜 연구를 하였다.

그러나 섬유강화 플라스틱 복합재료의 성형과정 중에는 모재와 섬유의 유동속도 차이에 의해서 분리 및 배향이 일어난다. 이러한 문제점에 대해서 섬유매트로 구성된 복합재의 압축성형인 경우에는 많은 검토와 연구가 이루어져 있으나, 사출성형된 섬유강화 복합재 내의 섬유함유율에 미치는 성형조건 등에 관한 연구는 아직 없는 상태이므로 본 연구에서는 성형품 내 섬유함유율 분포에 미치는 섬유함유량 및 사출압력, 금형 및 실린더온도 등과 같은 성형인자의 영향에 대해 실험적으로 고찰한 내용을 보고 한다.

이 두 가지 연구를 통해 사출성형품의 섬유 배향을 예측하고 제어하는데 도움이 되고 궁극적으로는 최적 성형조건을 확립하고 성형품의 기계적 성질을 개선하여 고강도와 경량성을 지닌 신뢰성 있는 제품을 제작할 수 있다.

# 제 2 장 실 험

## 2. 1 실험재료

사출성형품의 기계적 성질에 관한 실험에 사용된 재료는 모재가 폴리프로필렌(PP)이고 강화재가 유리섬유인 섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재이다. 강화재로서 사용된 필렛은 장섬유 피복법에 의한 장섬유 이다.

장섬유는 (주)三井東壓化學제의 LFP-C(Long Fiber-reinforced Plastic-Compound : 이하 LFC)로 사출성형용 장섬유 강화 플라스틱 복합재료이며 섬유함유량은 10wt%, 20wt%, 30wt%, 50wt%, 70wt%이며 섬유길이는 10mm로 섬유와 필렛이 혼합되어 있다.

Table. 2은 섬유함유율이 30wt%, 40wt%인 경우에 대해서 LFC의 성질을 표시해 놓은 것이다.

Table. 2 Material natural properties of LFC

| Type | LFC | |
|---|---|---|
| Fiber content (wt%) | 30 | 40 |
| Density | 1.1 | 1.21 |
| Elongation (%) | 4 | 4 |
| Tensile stength ($kg_f/mm^2$) | 12.1 | 14.4 |
| Elastic modulus ($kg_f/mm^2$) | 430 | 480 |
| Flexural strength ($kg_f/mm^2$) | 15.2 | 18.1 |
| Flexural modulus ($kg_f/mm^2$) | 580 | 760 |

성형품의 섬유함유율 분포에 관한 실험에 사용된 재료는 사출성형품의 기계적 성질에 관한 연구 실험에 사용된 재료와 동일 하지만 강화재로 사용된 필렛은 2종류로 장섬유 피복법에 의한 것과 촙트스트랜드 분산법에 의한 것이다. Table. 3은 장섬유강화 플라스틱(LFC)의 기계적 성질을 나타내었다.

Table. 3 Material properties of LFC

| Type | LFC |
|---|---|
| Fiber content (wt%) | 30 |
| Density | 1.1 |
| Elongation (%) | 4 |
| Tensile stength ($kg_f/cm^2$) | 1210 |
| Flexural strength ($kg_f/cm^2$) | 1520 |
| Flexural modulus ($kg_f/cm^2$) | 58000 |

## 2. 2 실험방법

사출성형품의 기계적 성질에 관한 실험에 사용된 사출성형기는 스크루직경이 45mm이고, 형체력이 150ton, 최대사출중량은 9.2oz(260g), 사출압력 1994kg/cm$^2$, 사출률은 140cm$^3$/sec 이다. 성형품의 기계적 물성치를 파악하기 위하여 Fig. 1과 같이 직사각형 금형 내에서 인장시편과 굽힘시편을 각각 2개씩 채취하여 정밀가공한 후 인장시험(ASTMD638M, Instron제 만능시험기, 용량 15ton, cross head speed 5mm/min)과 굽힘시험(JIS F2242, Instron제 만능시험기, 용량 15ton, crosshead speed 2mm/min)을 하였다. Table. 4는 사출성형 조건을 나타낸 표이다.

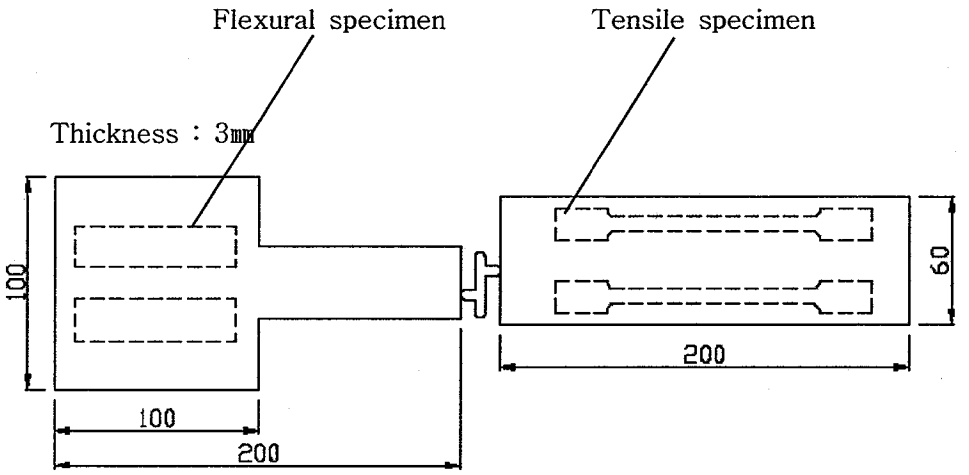



**Fig. 1 specimen geometry**

Table. 4 Injection molding conditions

| Type | LFC-C |
|---|---|
| Fiber length(mm) | 10 |
| Glass fiber content (wt%) | 10, 20, 30, 50, 70 |
| Injection pressure ($kg_f/cm^2$) | 700, 1000, 1200, 1500, 1700 |
| Holding pressure ($kg_f/cm^2$) | 500 |
| Cooling time (sec) | 25 |
| Mold temperature (℃) | 30, 70, 110 |
| Barrel temperature(℃) | 220, 250, 280 |

성형품의 섬유함유율 분포에 관한 실험에 사용된 사출성형기는 사출성형품의 기계적 성질에 관한 연구에 사용된 것과 동일하다.

성형품내의 섬유함유율 분포를 파악하기 위한 시험편의 형상은 Fig. 2와 같이 직사각형 금형을 이용하였다. 성형품은 2개의 캐비티로 되어 있고, 케이트는 사이드게이트인 금형을 이용하였다.

Table. 5에서는 실험에 적용된 사출조건을 나타내고 있다. 펄렛 형태의 원료를 60℃에서 2시간동안 Hopper dryer로 건조시킨 다음 성형하였다.

성형품의 각 부분에서 섬유함유율분포를 파악하기 위해서는 Fig. 3과 같이 폭을 10㎜, 길이 10㎜ 간격으로 절단하고 610±10℃의 온도로 연소하여 연소전후의 중량으로 부터 섬유함유율분포를 계산한다.

이 때 섬유함유율분포 Qfr은

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

여기서 $q_{f0}$ 는 성형전 중량섬유함유율 $q_f$ 는 성형후 중량섬유함유율 이다.

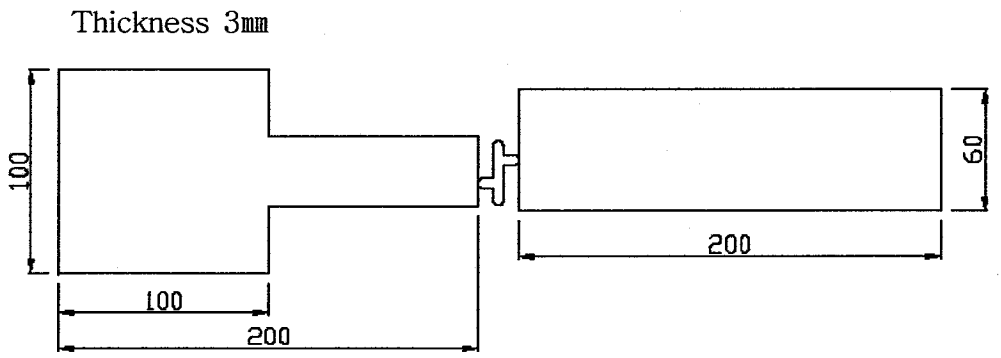



Fig. 2 Molded specimen geometry

Table. 5 Injection molding conditions

| | |
|---|---|
| Glass fiber content (wt%) | 20, 30, 50 |
| Injection pressure ($kg_f/㎠$) | 700, 1000, 1300 |
| Holding pressure ($kg_f/㎠$) | 720 |
| Cooling time (sec) | 25, 60 |
| Mold temperature (℃) | 30, 70, 110 |
| Barrel temperature(℃) | 220, 250, 280 |

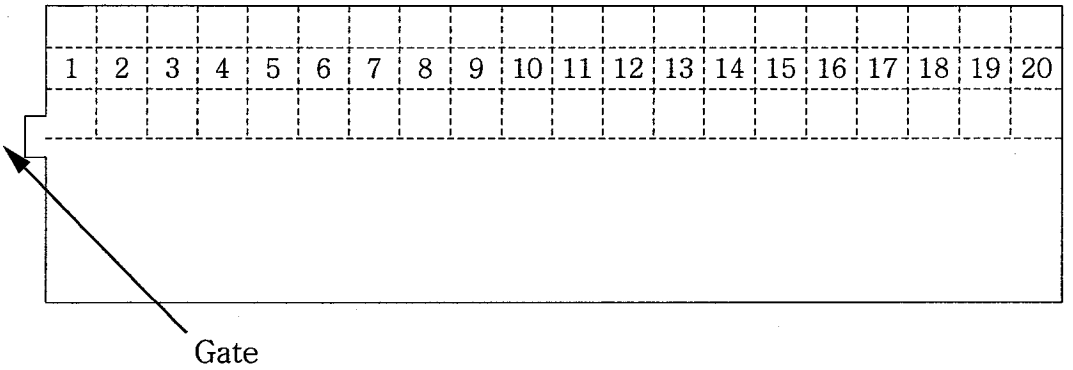



Fig. 3 Parts for measuring fiber content by means of burning

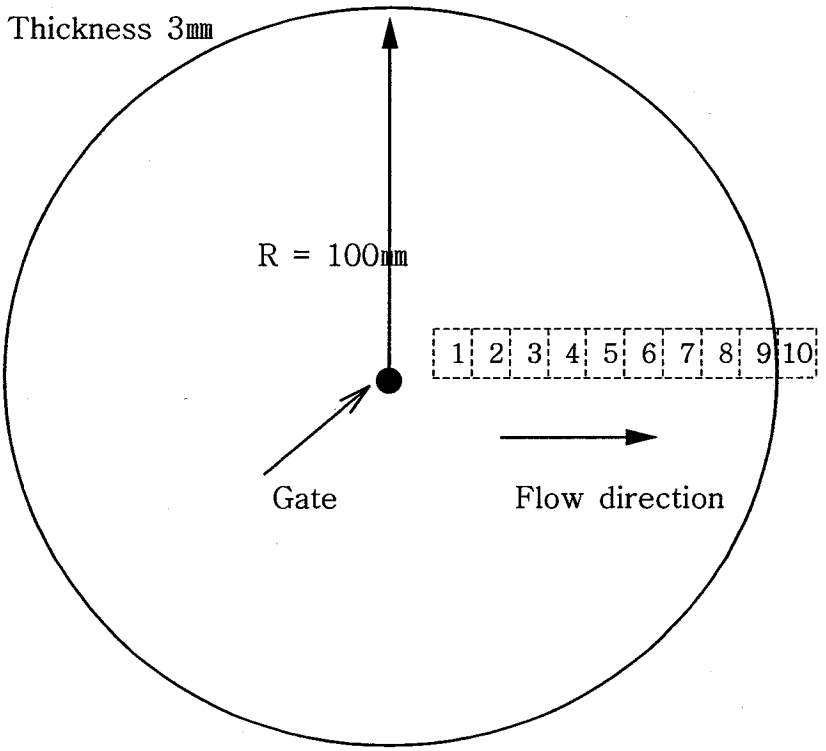



Fig. 4 Measurement fiber content by means of burning for circular part.

# 제 3 장 실험 결과 및 고찰

## 3. 1 사출성형품의 기계적 성질에 관한 실험 결과 및 고찰

Fig. 5 (a)~(c)는 성형품의 인장강도에 미치는 섬유함유율의 영향을 각 성형 조건과 섬유의 길이에 따라서 나타낸 그림이다. 이들 그림에서 성형조건 즉 사출압력, 실린더온도, 금형온도 등의 영향은 대체적으로 인장강도에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 성형품 내에 함유되어 있는 섬유함유율의 영향을 이론적으로 살펴보면, 섬유함유율이 증가할수록 복합재의 인장강도는 증가하지만 본 실험에서는 섬유함유율이 30wt%까지는 증가하지만 50wt%이상이 되면 복합재의 인장강도는 저하하는 경향을 나타낸다. 이것은 복합재 내에 함유되어 있는 섬유함유율이 50wt%를 넘게 되면 강화재를 모재가 강화시키는 복합의 역효과를 나타내기 때문이라고 생각한다.

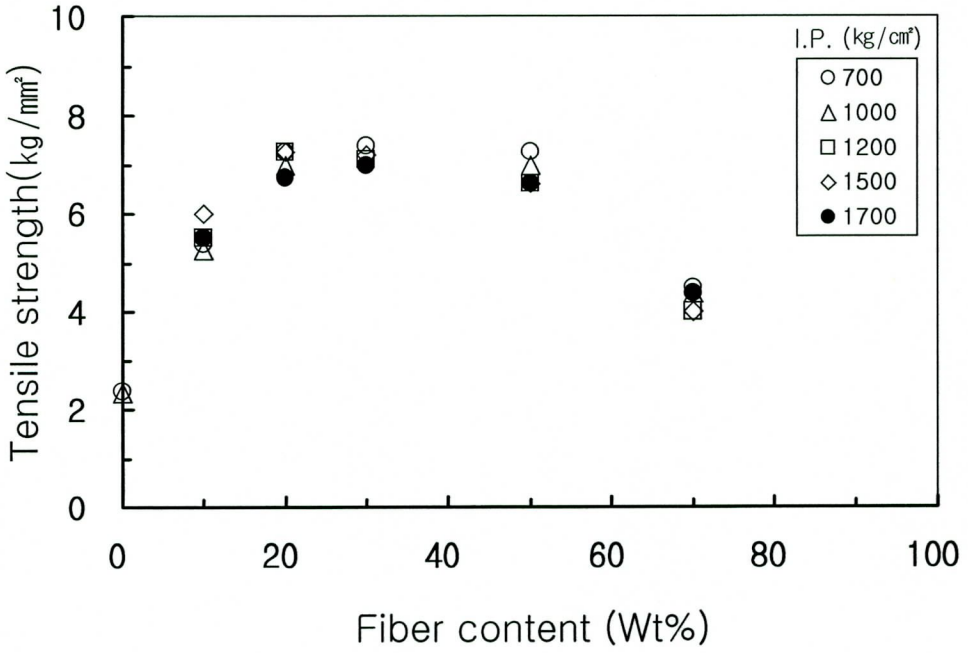
Fig. 6 (a)~(c)는 성형품의 인장 탄성률에 미치는 섬유함유율의 영향을 각 성형조건과 섬유의 길이에 따라서 나타낸 그림이다. 이들 그림에서도 성형조건 즉 사출압력, 실린더온도, 금형온도 등의 변화에 대해서 인장 탄성률에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있으며, 또한 섬유함유율이 증가할수록 인장 탄성률이 증가함을 알 수 있다.

Fig. 7 (a)~(c)는 성형품의 연신율에 미치는 섬유함유율의 영향을 각 성형조건과 섬유의 길이에 따라서 나타낸 그림이다. 이들 그림에서도 사출압력, 실린더온도, 금형온도 등과 같은 성형조건 변화에 대해서 연신율에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있으며, 또한 섬유함유율이 증가할수록 성형품내의 고체부분이 차지하는 비율이 크기 때문에 연신율은 당연히 감소하고 있음을 알 수 있다.

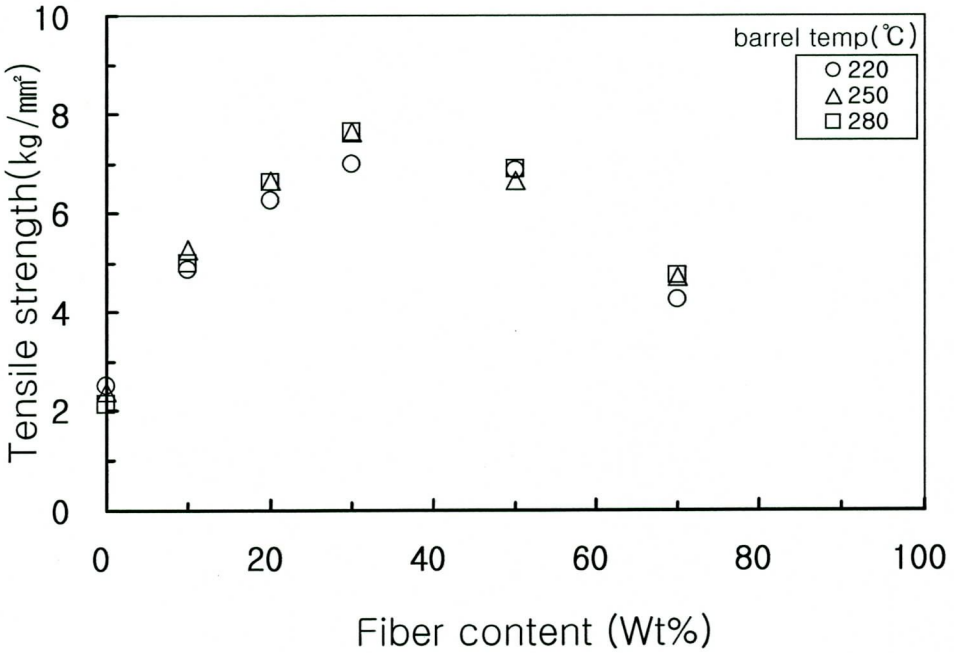
Fig. 8 (a)~(c)는 성형품의 굴곡강도에 미치는 섬유함유율의 영향을 각 성

형조건과 섬유의 길이에 따라서 나타낸 그림이다. 이들 그림에서도 사출압력, 실린더온도, 금형온도 등의 변화에 대해서 굴곡강도에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 성형품 내에 함유되어 있는 섬유함유율의 영향은 Fig. 5와 같이 50wt%이상이 되면 강화재를 모재가 강화시키는 복합의 역효과를 나타내기 때문에 복합재의 굴곡강도는 저하하는 경향을 나타낸다.

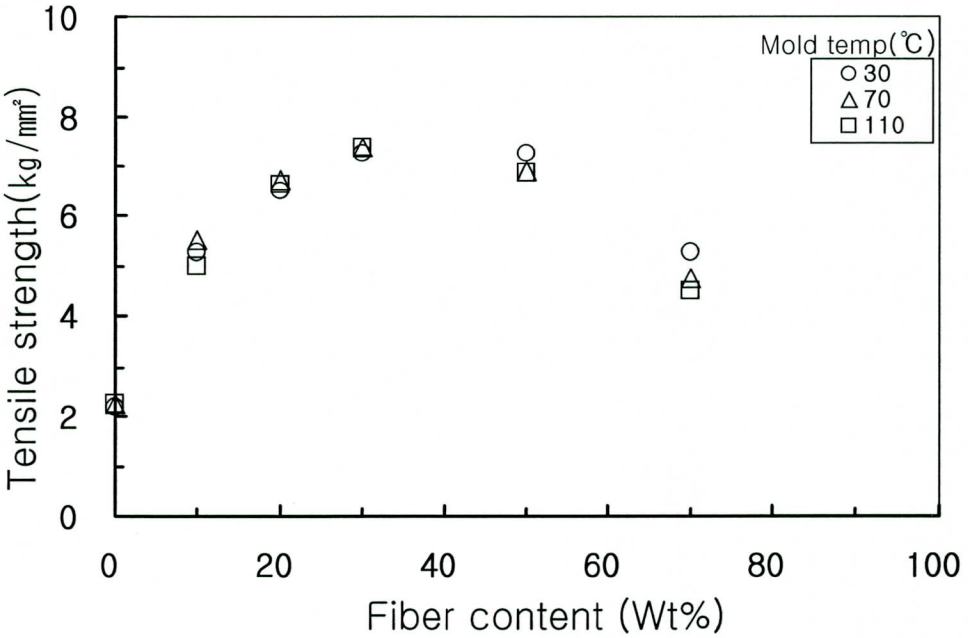
Fig. 9 (a)~(c)는 성형품의 굴곡 탄성률에 미치는 섬유함유율의 영향을 각 성형조건과 섬유의 길이에 따라서 나타낸 그림이다. 이들 그림에서도 사출압력, 실린더온도, 금형온도 등의 변화에 대해서 굴곡 탄성률에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 성형품 내에 함유되어 있는 섬유함유율의 영향은 Fig. 6과 같이 섬유함유율이 증가하면 굴곡 탄성률도 증가함을 알 수 있다.




(a) Injection pressure

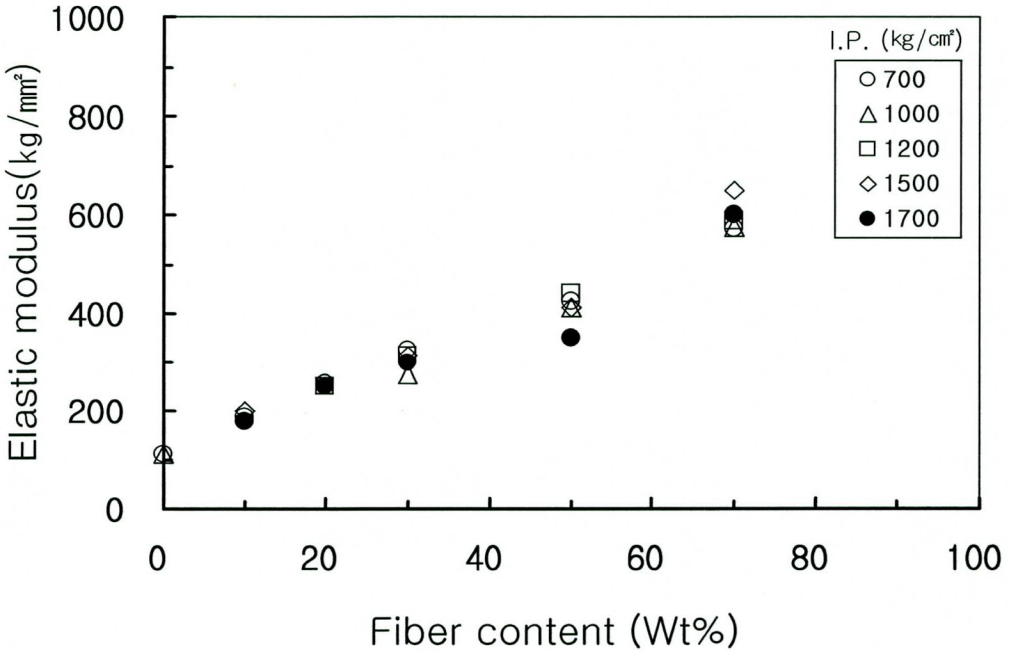



(b) Barrel temperature

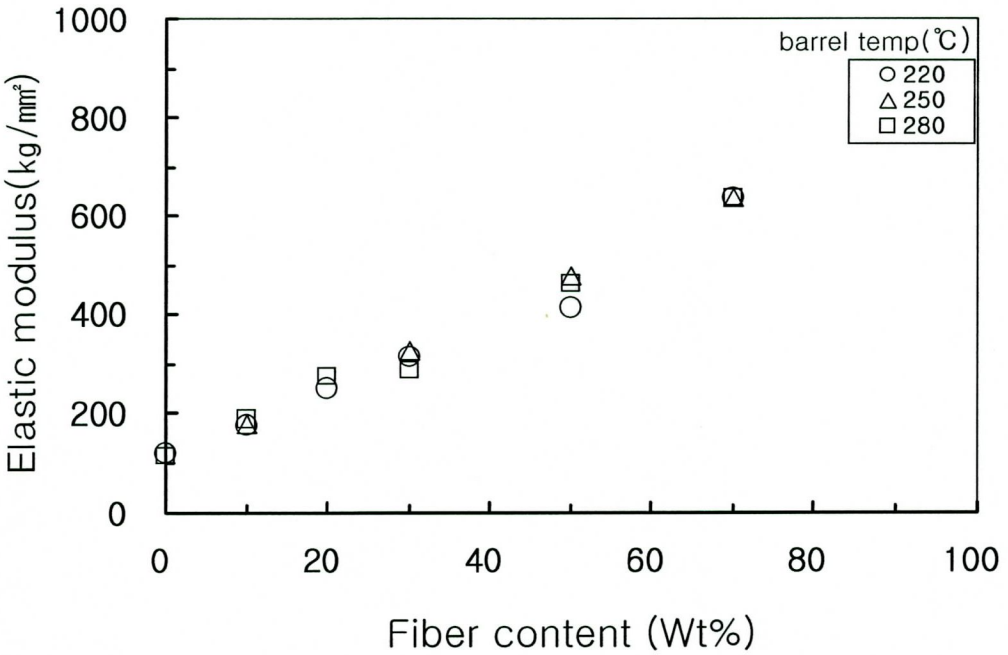



(c) Mold temperature

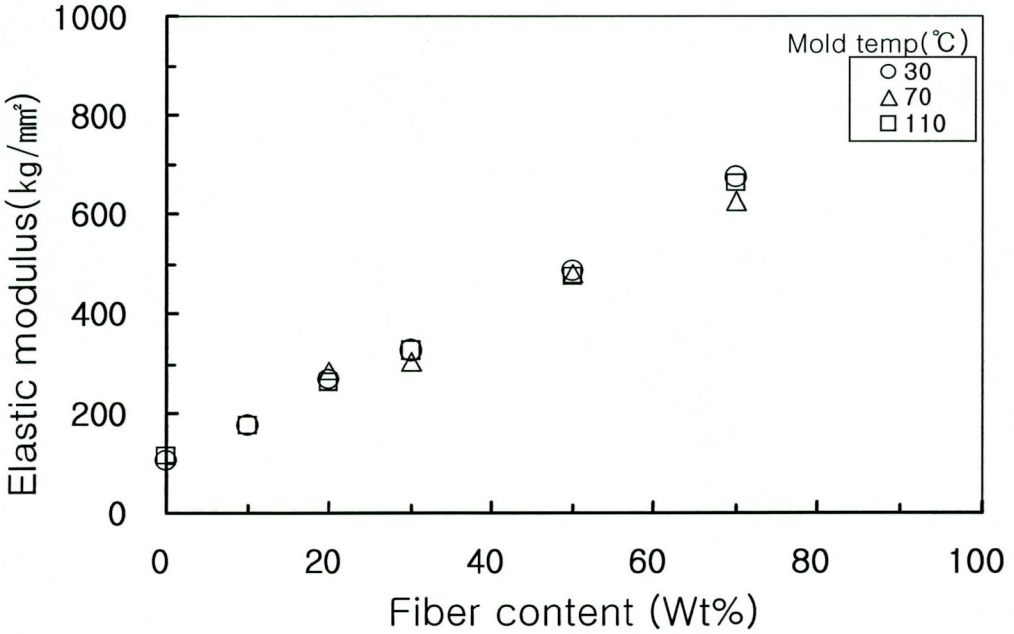
Fig.5 Effect of injection molding conditions and fiber content on tensile strength




(a) Injection pressure

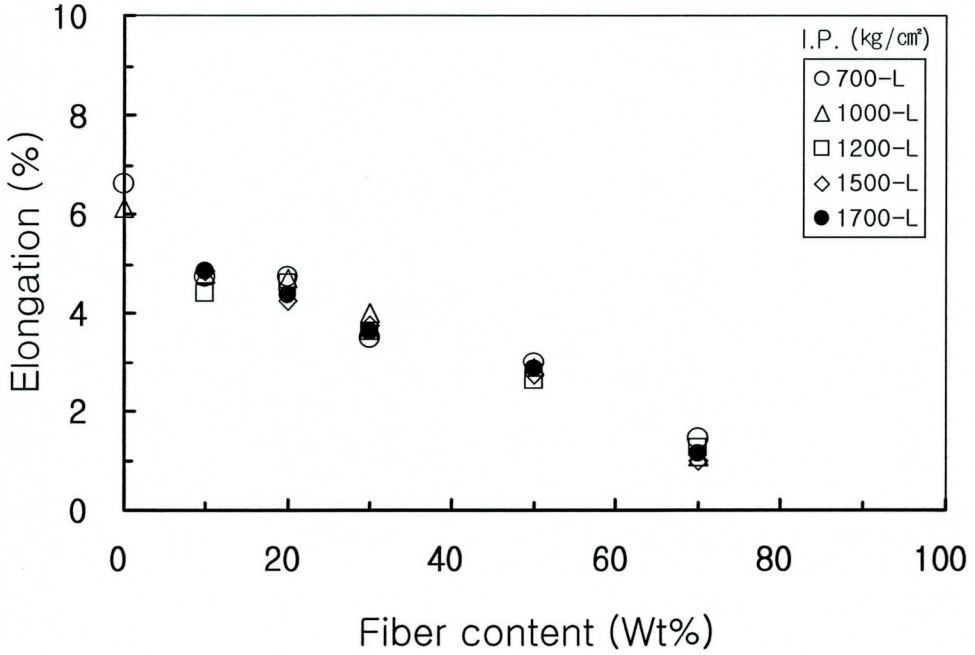



(b) Barrel temperature

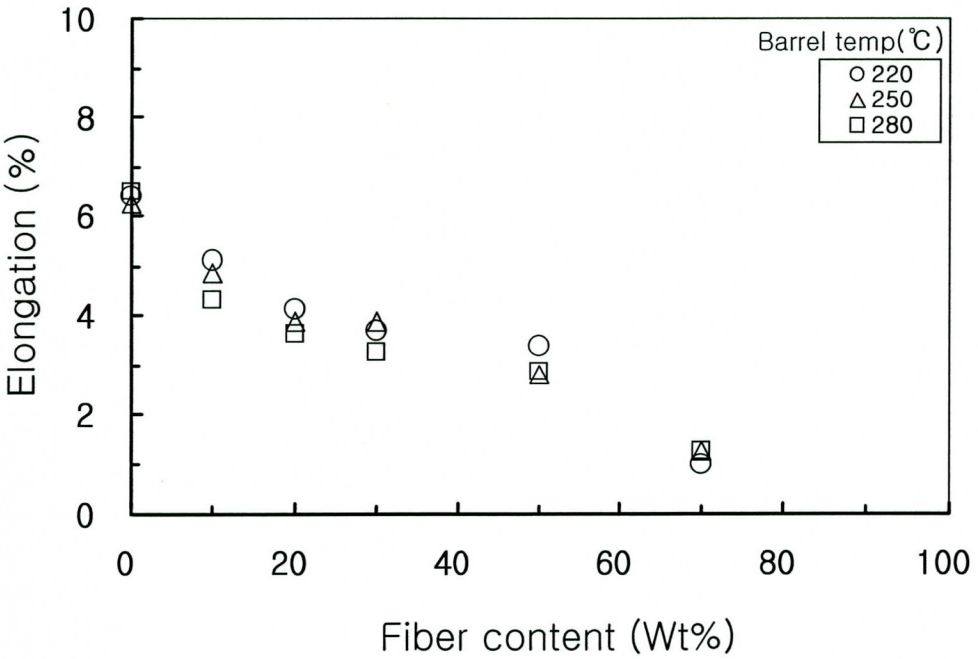



(c) Mold temperature

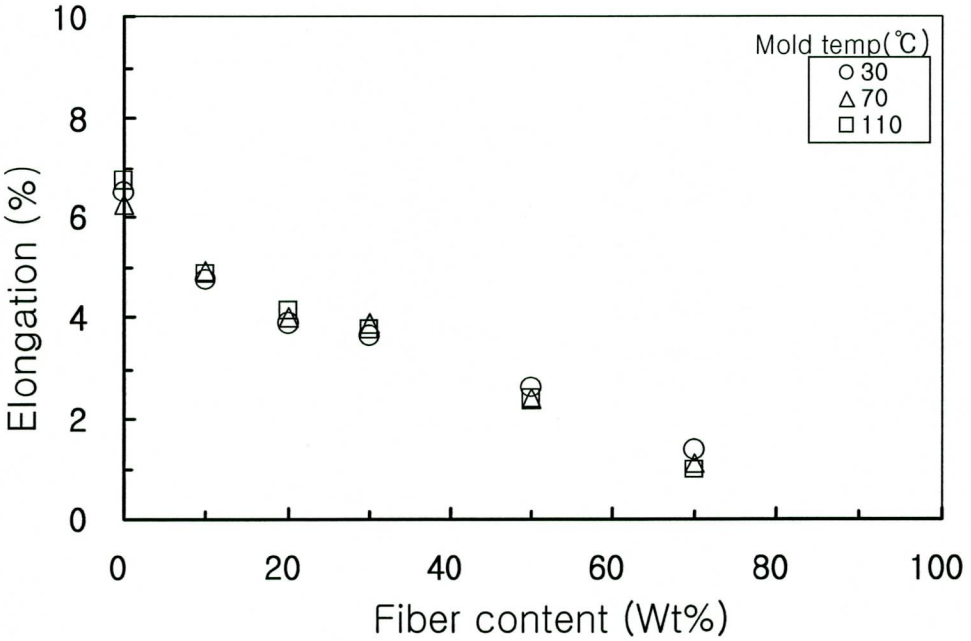
Fig.6 Effect of injection molding conditions and fiber content on elastic modulus




(a) Injection pressure

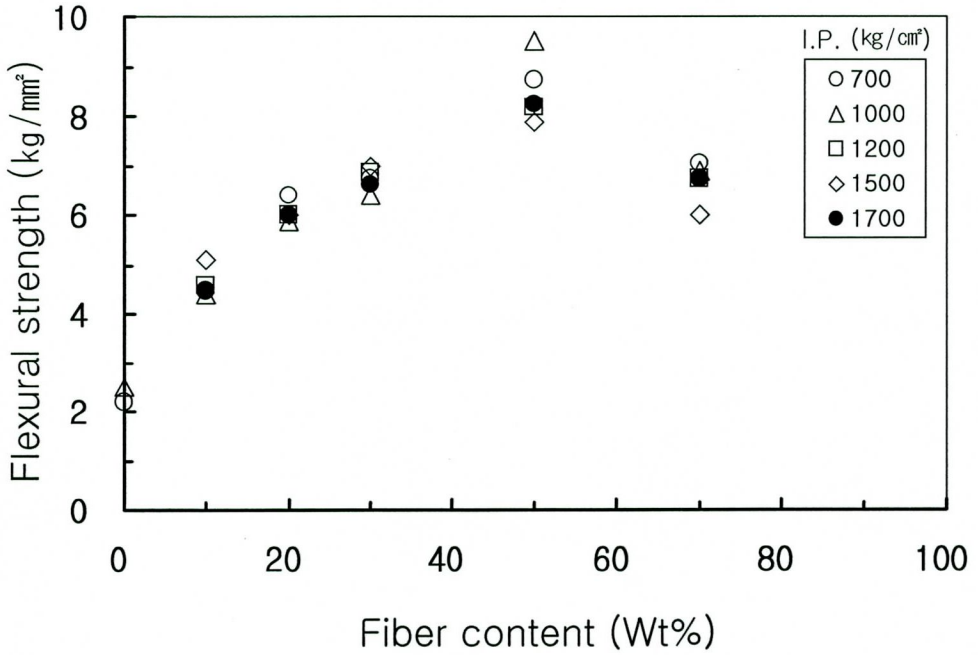



(b) Barrel temperature

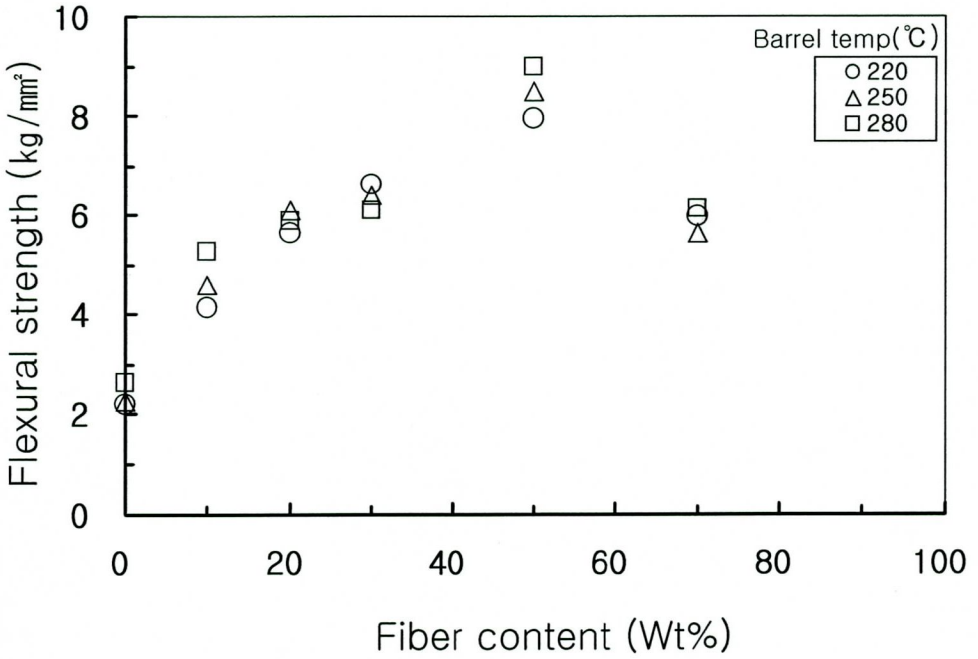



(c) Mold temperature

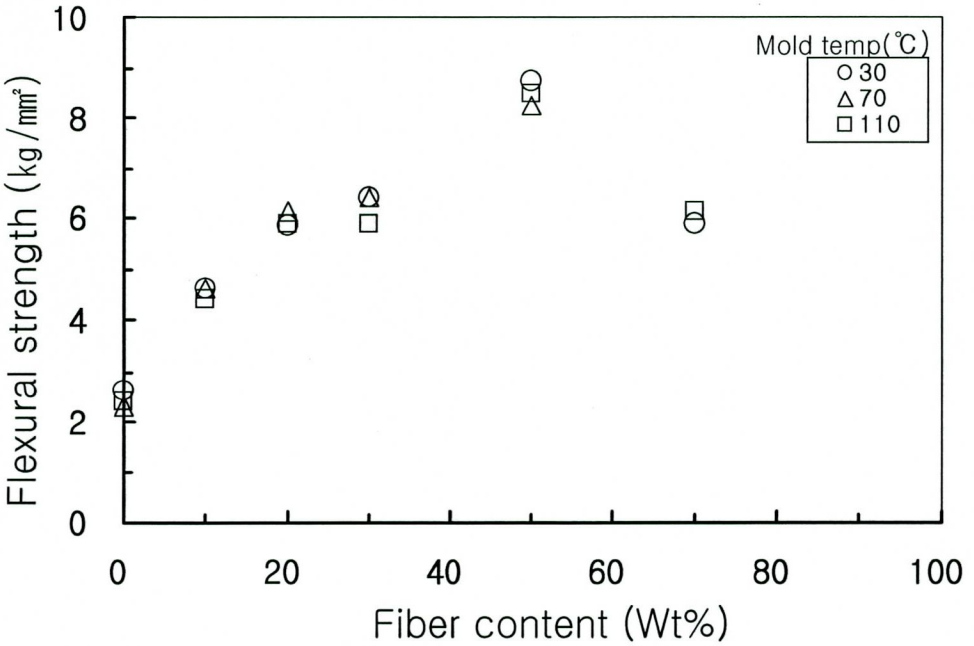
Fig.7 Effect of injection molding conditions and fiber content on elongation




(a) Injection pressure

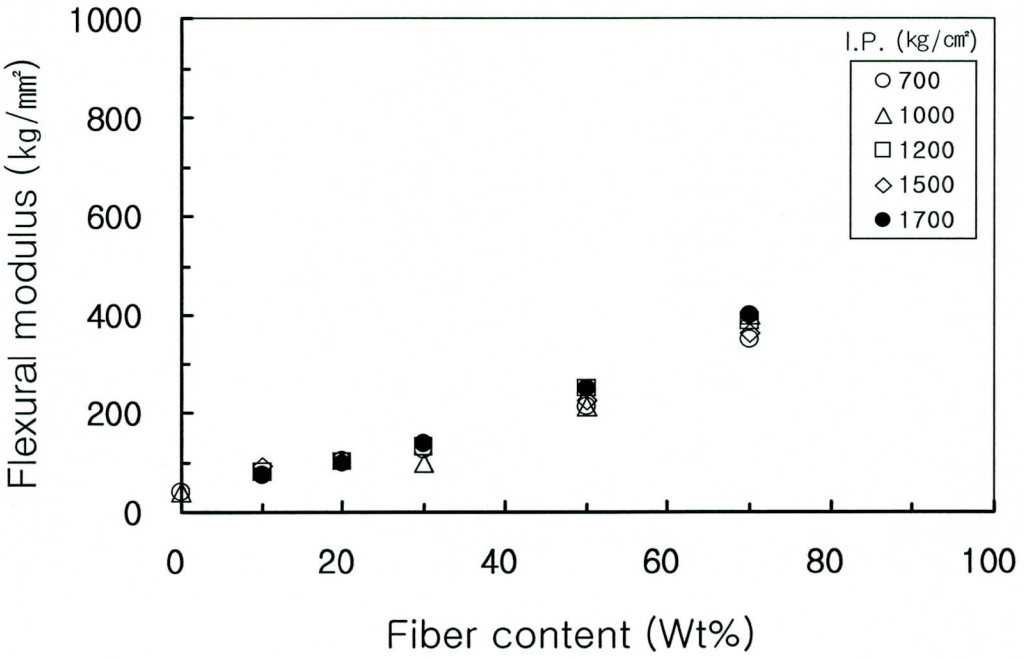



(b) Barrel temperature

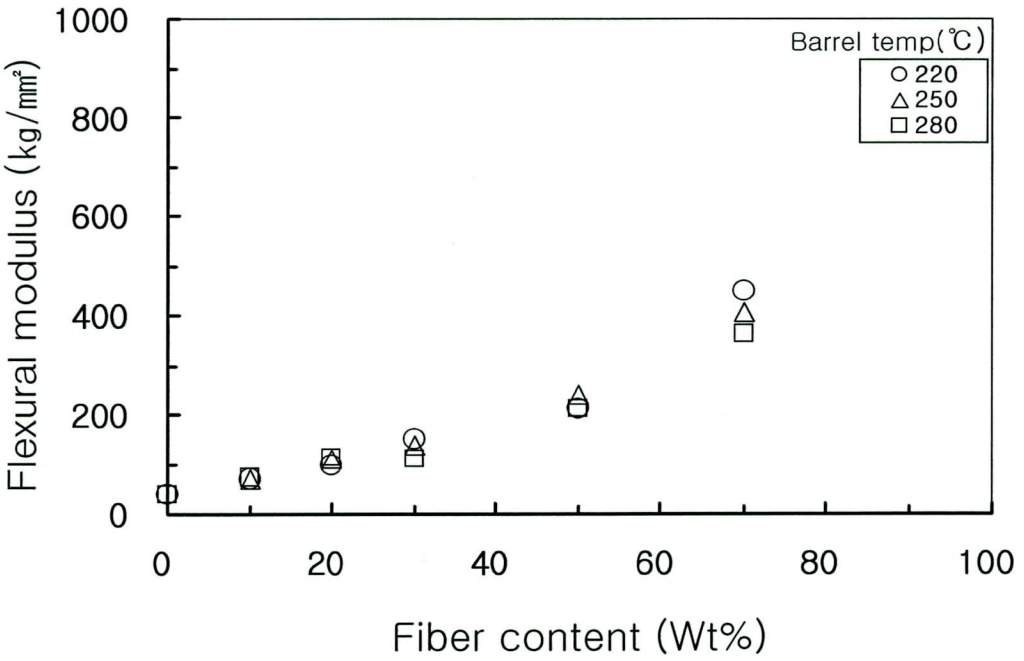



(c) Mold temperature

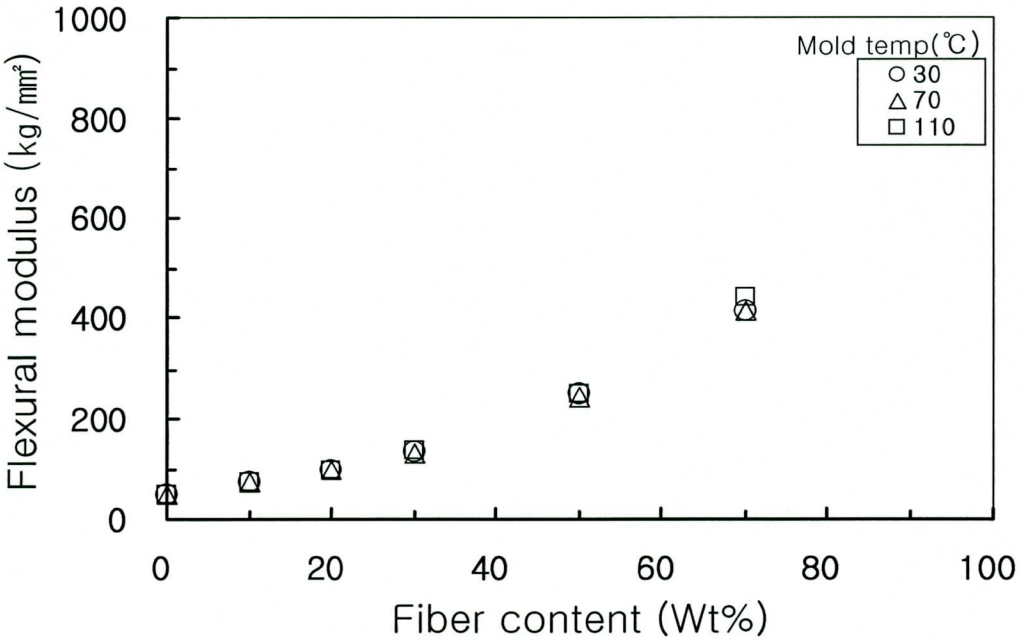
Fig.8 Effect of injection molding conditions and fiber content on flexural strength




(a) Injection pressure




(b) Barrel temperature




(c) Mold temperature

Fig.9 Effect of injection molding conditions and fiber content on flexural modulus

## 3. 2 성형품의 섬유함유율 분포에 관한 실험 결과 및 고찰

섬유강화 플라스틱의 사출성형품에서의 성형조건을 변화시켜 섬유길이, 섬유함유량 변화와 모재의 변화에 따른 성형품 내의 섬유함유율비 Qfr의 변화를 연소실험으로 구하였다. Fig. 3과 같은 직사각형 성형품과 Fig. 4와 같은 원형판의 성형품을 절단하여 연소전의 무게와 연소후의 무게를 측정하고 섬유함유율비 Qfr의 분포를 측정하였다.

Fig. 10(a)~(c)는 LFC 20, 30, 50wt%인 경우 각 사출압력의 변화에 대해서 섬유함유율비 Qfr에 미치는 게이트로부터의 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 여기서 상대길이란 성형품 전체의 길이와 섬유함유율 분포를 파악하기 위하여 10㎜씩 절단한 길이와의 비를 말한다.

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

Fig. 11(a)~(c)는 실린더의 온도를 변화시켰을 때 섬유함유율비 Qfr에 미치는 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 섬유함유량 20wt%, 30wt%인 경우는 성형 조건에 따른 섬유함유율비 Qfr의 변화가 뚜렷한 반면 섬유함유량

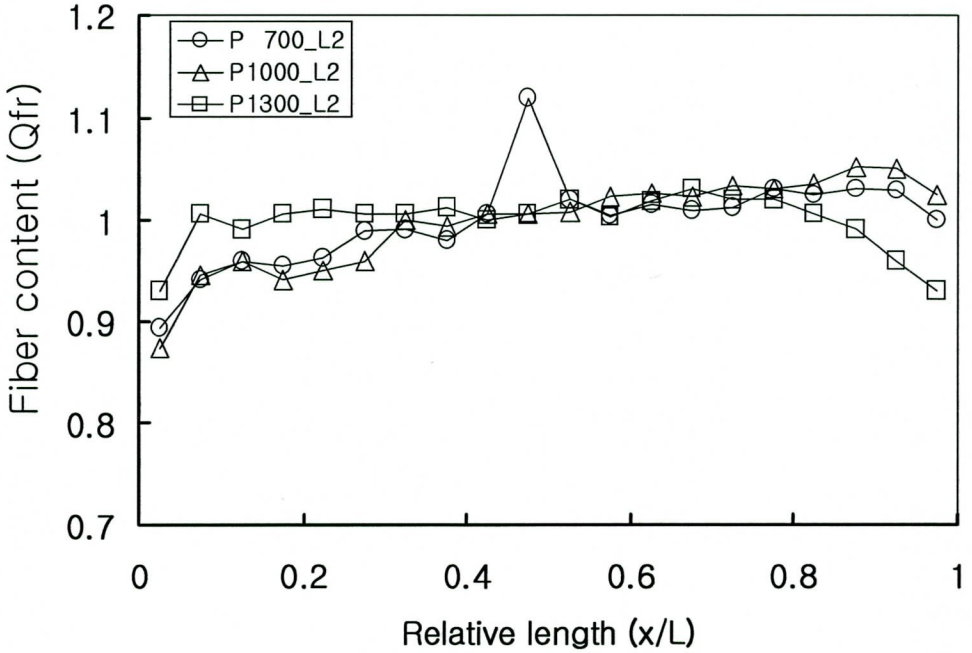
50wt%인 경유 성형조건의 변화가 일정하게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 12(a), (b)는 성형품의 형상이 원형인 상태에 대해서 압력을 변화시켰을때 섬유함유율은 LFC 30, 50wt%인 경우 섬유함유율비 Qfr에 미치는 게이트로 부터의 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 이들 그림에서 상대길이가 증가함에 따라서 Qfr이 증가하는 것은 섬유함유량 30wt%, 50wt%인 경우 거의 동일한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

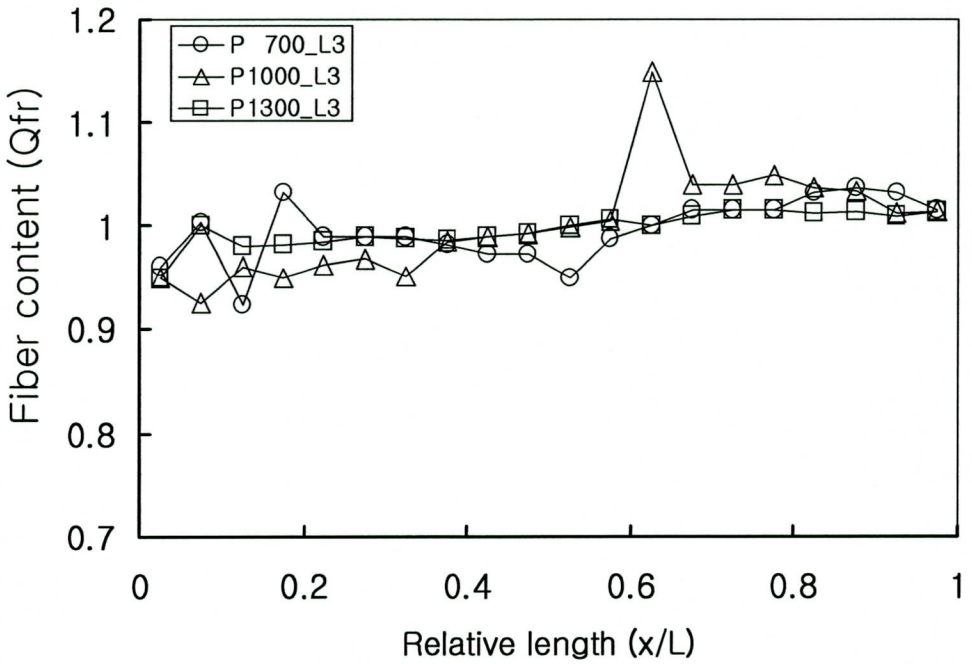
Fig. 13(a), (b)는 실린더의 온도 변화를 변화시켰을 때 섬유함유율비 Qfr에 미치는 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 섬유함유량 30wt%인 경우는 성형조건에 따른 섬유함유율비 Qfr의 변화가 뚜렷한 반면 섬유함유량 50wt%인 경우 성형조건의 변화에 대해서 Qfr이 일정하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 14(a), (b)는 금형온도의 변화에 따른 섬유함유율비 Qfr에 미치는 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 이 그림에서도 섬유함유량 30wt%인 경우는 성형조건에 따른 섬유함유율비 Qfr의 변화가 뚜렷한 반면 섬유함유량 50wt%인 경우 성형조건의 변화에 대해서 Qfr이 일정하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

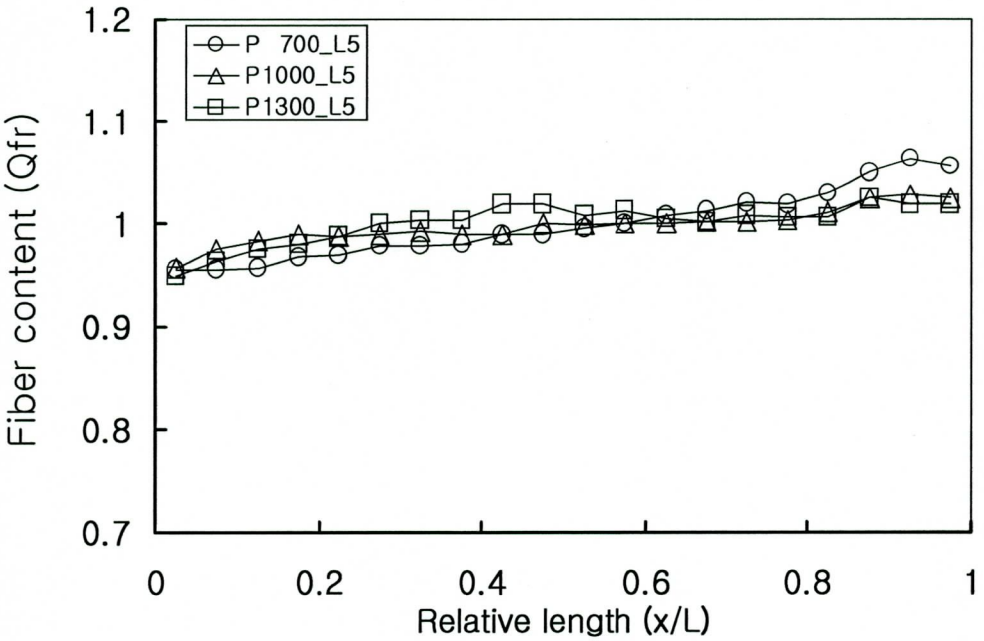
Fig. 15(a), (b)는 사출속도 변화에 따른 섬유함유율비 Qfr에 미치는 상대길이의 영향을 나타낸 그림이다. 이 그림에서도 섬유함유량 30wt%인 경우는 성형조건에 따른 섬유함유율비 Qfr의 변화가 뚜렷한 반면 섬유함유량 50wt%인 경우 성형조건의 변화에 대해서 Qfr이 일정하게 증가하고 있음을 알 수 있다.




(a) Fiber content 20wt% (LFC)

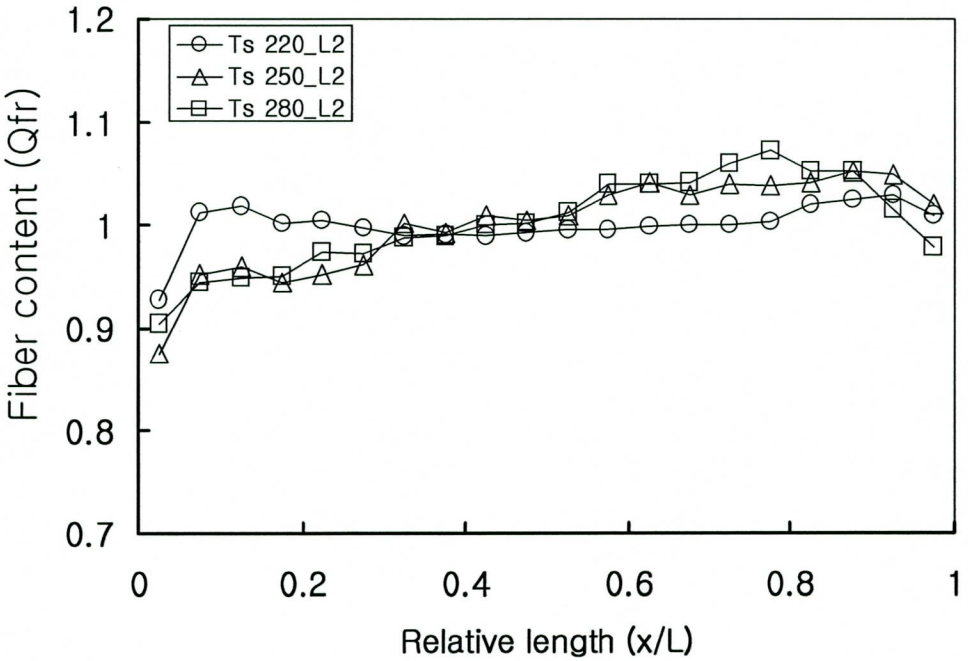



(b) Fiber content 30wt% (LFC)

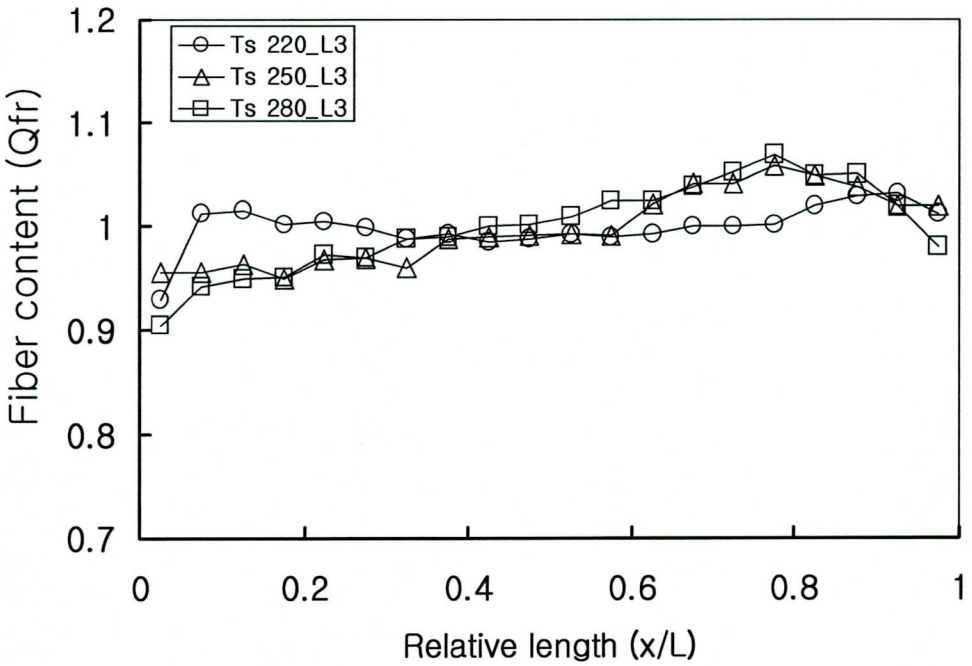



(c) Fiber content 50wt% (LFC)

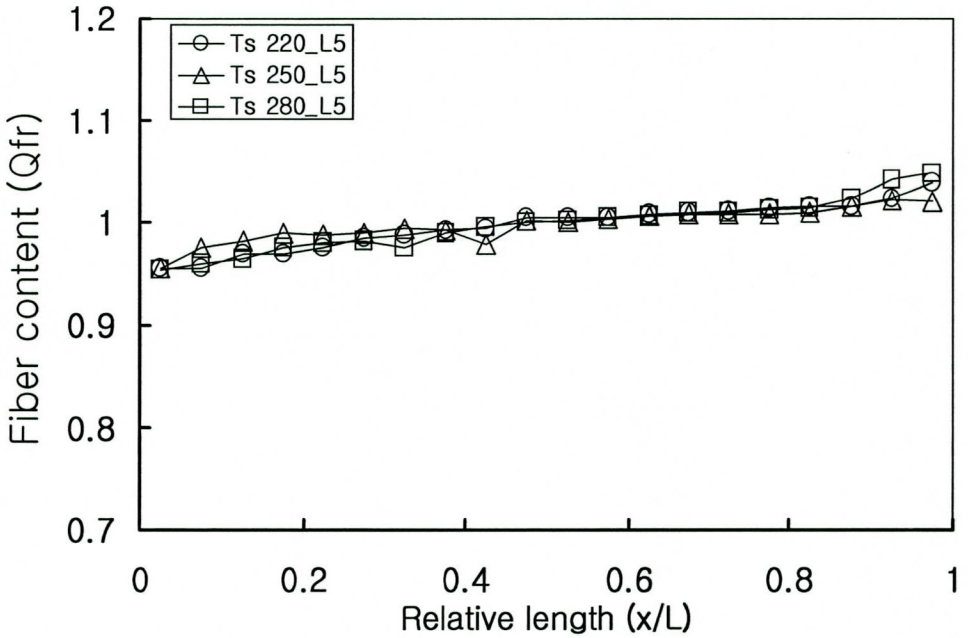
Fig. 10 Distribution of the fiber content ratio by injection pressure




(a) Fiber content 20wt% (LFC)

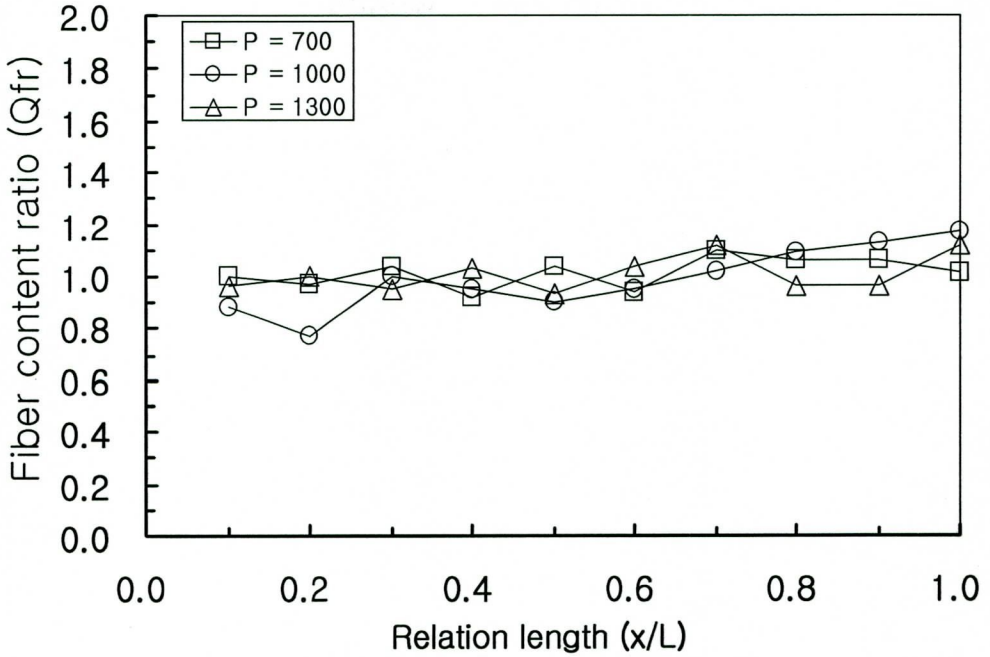



(b) Fiber content 30wt% (LFC)

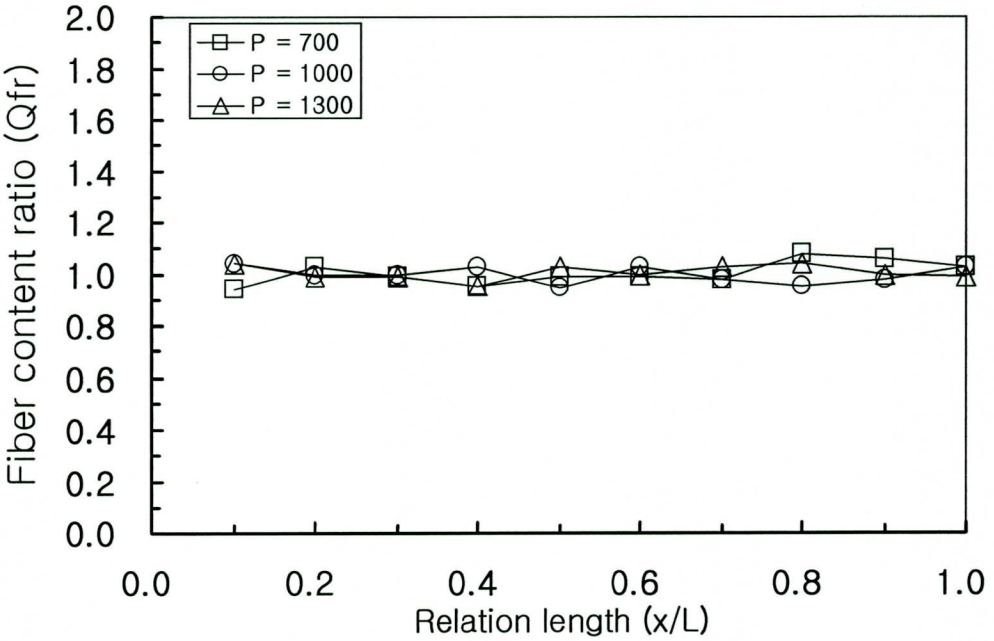



(c) Fiber content 50wt% (LFC)

Fig. 11 Distribution of the fiber content ratio by barrel temperature.

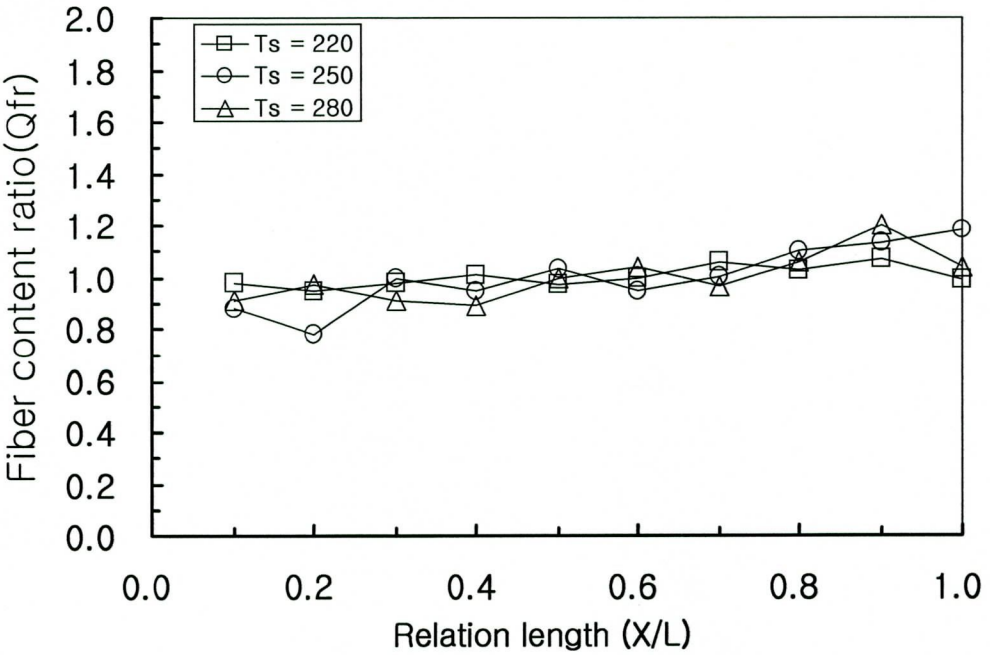



(a) Fiber content 30wt% (LFC)

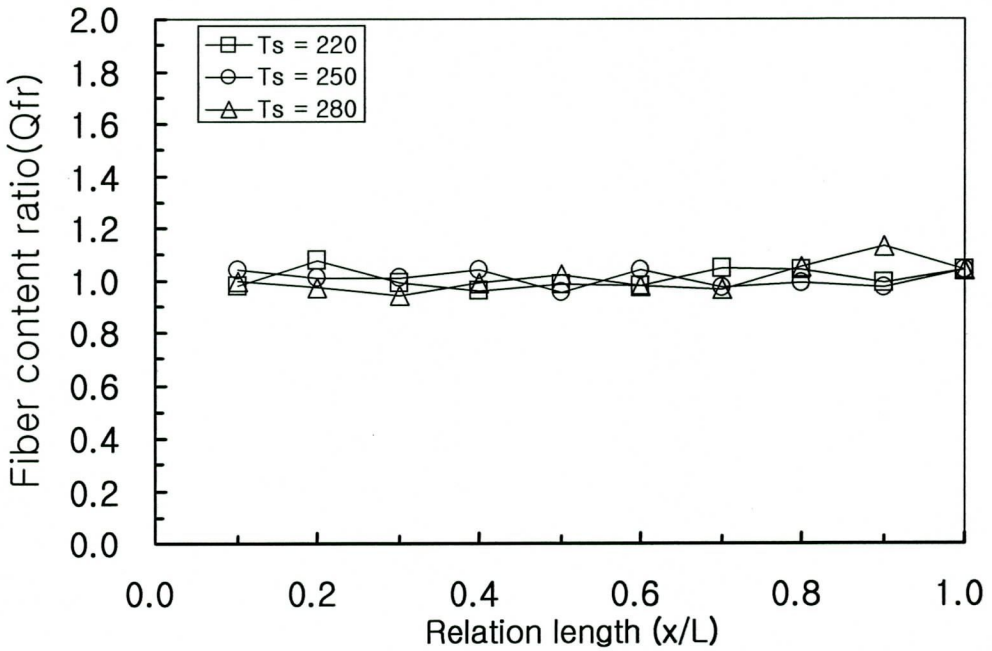



(b) Fiber content 50wt% (LFC)

Fig.12 Distribution of the fiber content ratio by Injection Pressure in case of circular plate

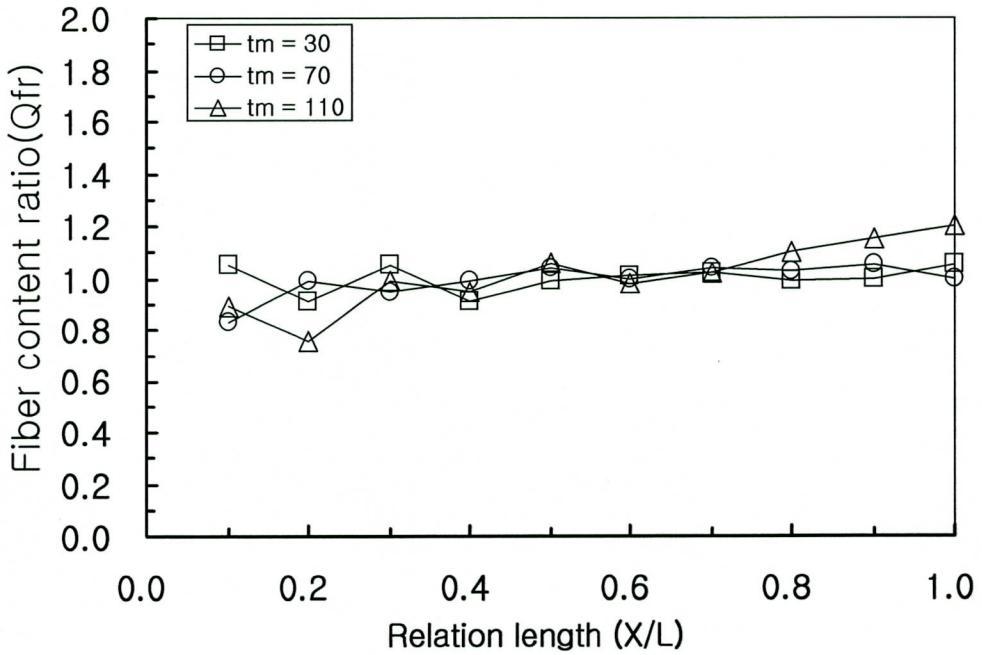



(a) Fiber content 30wt% (LFC)

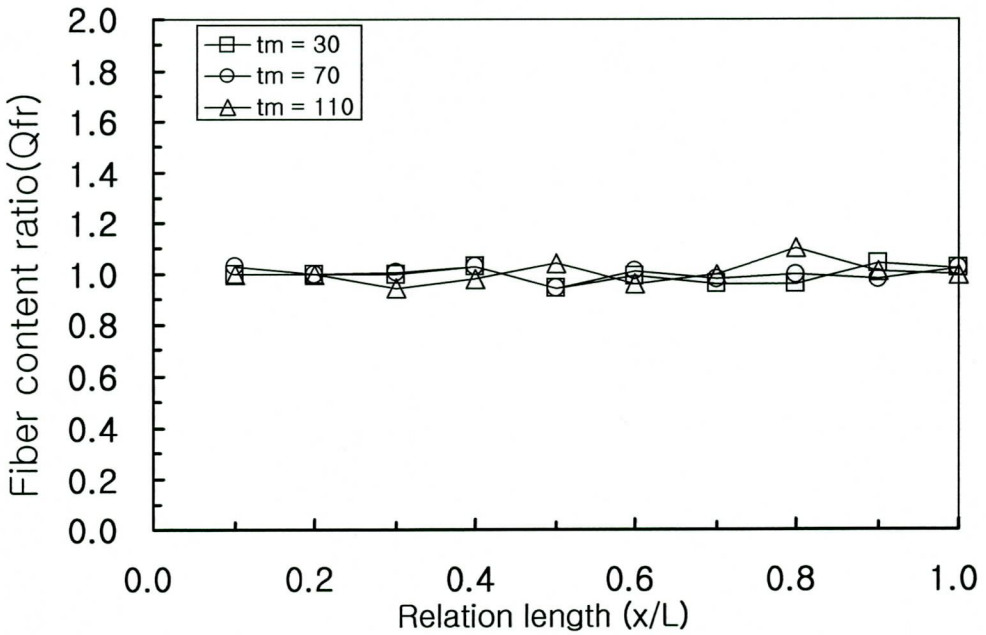



(b) Fiber content 50wt% (LFC)

Fig.13 Distribution of the fiber content ratio by barrel temperature in case of circular plate

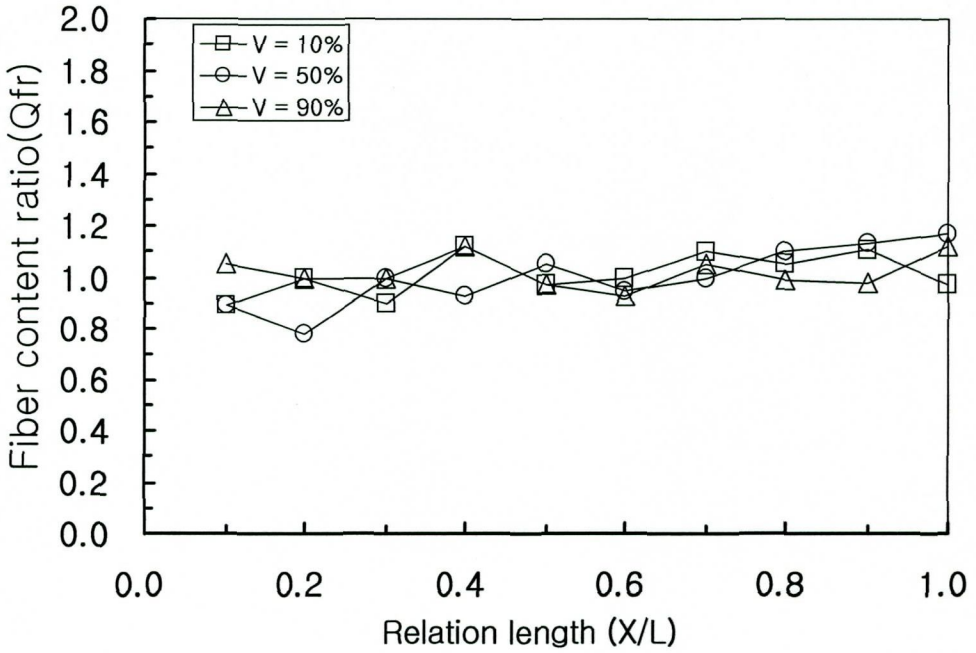



(a) Fiber content 30wt% (LFC)

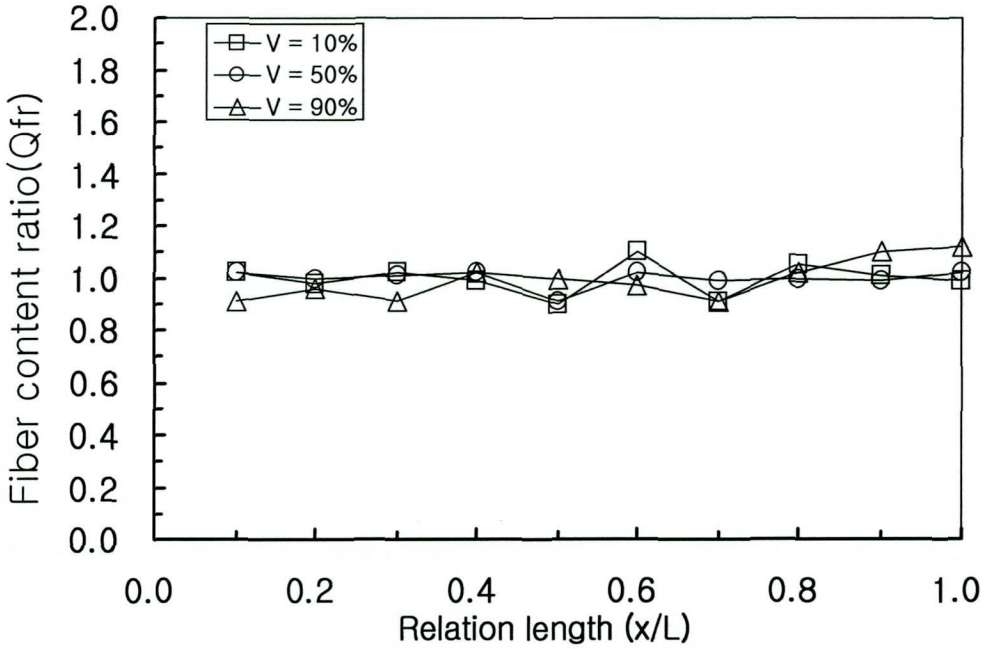



(b) Fiber content 50wt% (LFC)

Fig.14 Distribution of the fiber content ratio by mode temperature in case of circular plate




(a) Fiber content 30wt% (LFC)




(b) Fiber content 50wt% (LFC)

Fig.15 Distribution of the fiber content ratio by injection rate in case of circular plate

# 제 4 장 결 론

본 연구는 장섬유로 강화된 플라스틱 복합재의 사출성형 하는 경우에 대해서 발생하는 여러 가지 현상들의 파악과 이에 대한 체계적인 연구의 확립차원에서 수행하였으며, 실험을 통하여 얻은 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 사출성형된 장섬유강화 플라스틱 복합재 내의 기계적 물성치는 성형조건의 영향보다는 복합재 내에 함유되어 있는 섬유함유율과 같은 재료요인에 지배적인 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

(2) 섬유함유율이 30wt%까지는 증가하지만 50wt%이상이 되면 저하되는 현상이 나타남을 알 수 있었다.

(3) 섬유함유율분포에 미치는 섬유함유량의 영향은 함유량이 증가할수록 유동선단을 제외한 영역에서 모두 균일하게 분포되어 있다.

(4) 상대길이가 증가함에 따라 섬유함유율분포가 증가하고 섬유함유량이 증가할수록 사출성형조건에는 영향이 적다.

# 참 고 문 헌


(1) 牧 廣, 島村昭治 編, 1976, "複合材料技術集成". 産業技術センタ, p. 6.

(2) 大藏明光, 福田 博, 香川 豊, 西 敏夫, 1986, "複合材料", 東京大學出版會, p. 5.

(3) Rubin. I 1973, Injection Molding Wiley, New York, p.17.

(4) 유중학, 김희송, 1994, "사출성형에서 캐비티 압력과 인장강도에 관한 연구", *한국자동차공학회논문집*, 제2권 제6호, pp. 110~116.

(5) Jeffery, G. B., 1923, "The Motion of Ellipsoidal Partcles Immersed in a Viscous Fluid *"Proc. Rotal Soc., Ser.* A, 102, pp. 161.

(6) Henry de Frahan, H., Verleye, V., Duppret, F. and Crochet, M. J., 1992, "Numerical Prediction of Fiber Orientation in Injection Molding", *Polym. Eng. & Sci.* Vol. 32, pp. 254~266.

(7) Josef Kubat, Akos Szalanczi, 1974, "Polymer-Glass Separation in the Spiral Mold test", *Polym. Eng. & Sci.* Vol. 14, No. 9, pp. 638~877.

(8) Souheng Wu, 1979, "Oeder-Disorder Transitions in the Extrusion of Fiber-Filled Poly and Blends", *Polym. Eng. & Sci.* Vol. 25, No. 7, pp. 395~405.

# 감사의 글

본 논문의 처음 연구계획에서부터 완성에 이르기까지 많은 관심과 격려로 늘 변함없이 따뜻하게 지도해 주신 윤성운 교수님께 깊은 감사를 드리며 논문심사과정을 통하여 아낌없는 격려와 지도를 하여 주신 홍석주 교수님과 최병기 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

늘 한결같은 마음으로 아들의 곁에서 지켜보고 지지하고 지원해주시는 부모님과 항상 따뜻한 마음으로 동생을 격려주신 큰누님 내외, 작은누님 내외, 동생에게도 고마움을 전합니다.

본 논문을 수행하고 교육대학원을 다니는 동안 여러가지로 많은 양해를 해 주신 한국폴리텍V대학 컴퓨터응용기계과 백정환 교수님, 박경수 교수님, 고국주 교수님과 학생 여러분들께 감사의 마음을 전합니다.

항상 많은 관심과 도움을 주시는 전야협 고문 이은주님과 광야협 회장 오성자님 그리고 빛나리배움터야학 선배님과 후배님들에게도 감사의 말씀을 전합니다.