

◎ 論 文

# 섬유강화 고분자 복합재료의 압축성형에 있어서 분리·배향에 미치는 금형온도의 영향

이 동 기\* · 한 길 영\*\* · 김 이 곤\*\*\*  
(95년 8월 29일 접수)

Effect of Mold Temperature on the Separation and the Orientation During  
Compression Molding of Fiber-Reinforced Polymeric Composites

Dong-Gi Lee\* · Gil-Young Han\*\* · E-Gon Kim\*\*\*

**Key Words** : Mold Temperature(금형온도), Compression Molding(압축성형), Fiber-Reinforced Polymeric Composites(섬유강화 고분자 복합재료), Degree of Nonhomogeneity(불균질도), Orientation Function(배향함수), Compression Ratio(압축비)

## Abstract

During compression molding of fiber-reinforced polymeric composites, microstructural changes such as the fiber-matrix separation and the fiber orientation are occurred by the flow of composite materials. Since the nonhomogeneity and anisotropy of composites are caused by the separation and orientation of fibers. On the other hand, the separation and the orientation of fibers are inseparably related to each other.

In this paper, the degree of nonhomogeneity which is a measure of the separation is obtained using one-dimensional rectangular shaped part compression molding. And the orientation function is measured by the image processing using soft X-rayed photograph and image scanner. We study effects of the mold temperature on the degree of nonhomogeneity and the orientation function.

+ 이 논문은 1993년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

\* 조선대학교 정밀기계공학과, 수송기계부품 공장자동화 연구센터

\*\* 조선대학교 선박해양공학과, 수송기계부품 공장자동화 연구센터

\*\*\* 국민대학교 기계설계학과, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

## 1. 서 론

최근, 각종 재료중에서도 유리섬유매트를 강화재로 하고 플라스틱을 모재로 한 섬유강화 열가소성 고분자 복합재료는 열가소성 수지를 모재(매트릭스)로 하고 있기 때문에 재생 이용이 가능하여 주목을 받고 있다. 이 복합재료는 비강도(인장강도/밀도) 및 비강성(탄성율/밀도)이 높고 내식성이 뛰어나며 금속에 비해 20~50% 정도의 중량을 경감시킬 수 있다. 이 특성 때문에 구조 경량화가 강하게 요구되는 각종 부품소재로서 각광을 받고 있으며 그 용도가 점차 확대되고 있다.

섬유강화 고분자 복합재료의 성형법 중에서 고온 프레스 성형법은 소재를 용점까지 가열해서 성형하는 것으로, 이때 유동속도차에 의해 섬유와 모재는 분리가 발생하고, 변위차에 의한 섬유배향이 나타난다. 결과적으로 소재는 불균질해지고 이방성이 되어 성형품의 기계적 특성에 영향을 미치게 된다. 이는 모재의 성질에 의해서도 영향을 받지만, 매트를 구성하는 섬유구조에 의해서도 영향을 받는다.

고온 프레스 성형 후 성형품의 역학적 특성은 보강재인 섬유에 크게 의존하고 있기 때문에 소재의 구성과 성형조건에 의한 유동거동, 섬유배향 및 섬유함유율 등을 파악해 둘 필요가 있다. 따라서 소재 개발과 제품의 최적설계를 위해 섬유의 길이, 섬유함유량, 유리섬유 매트의 니들편칭 등의 섬유구조에 영향을 미치는 인자와 압력, 압축속도, 금형온도 등의 성형조건에 대해 분리·배향을 명확히 할 필요가 있다.

모재와 섬유의 분리 및 섬유의 배향에 관한 지금까지의 연구를 보면, Hojo<sup>(1)-(4)</sup> 등은 고액혼상류(solid-liquid two-phase flow) 이론에 근거하여 모재와 섬유의 분리현상을 나타내는 분리방정식을 유도하고 분리계수의 개념을 도입하였다. 矢口<sup>(5),(6)</sup> 등은 섬유의 배향을 화상처리를 이용하여 측정하였다.

필자들<sup>(7),(8)</sup>은 화상처리에 의하여 섬유함유량 분포측정을 하였으며, 섬유의 배향에서 장섬유의 경우 유동장에 의존하는 것이 아니라 변위에 의존함을 밝혔다. 또, 스텝퍼블 시트를 사용하여 이 분리와 배향은 별개가 아니라 서로 불가분의

관계가 있으며, 양자는 서로 상관관계가 있음을 발표하였고<sup>(9)</sup>, 유동성형된 섬유강화 고분자 복합재료의 분리·배향의 상관계수에 미치는 섬유길이의 영향에 관한 연구에서 섬유길이가 길수록 상관계수는 증가함을 고찰하였다<sup>(10)</sup>. 그리고 압축성형된 섬유강화 고분자 복합판의 섬유 배향 각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 미치는 섬유함유율과 배향상태의 영향에 대해 발표하였고<sup>(11)</sup>, FRTP의 프레스 성형에 있어서 평균 분리계수를 측정하는 방법을 제안하였다<sup>(12)</sup>.

그러나 섬유강화 열가소성 고분자 복합재료의 압축성형에 있어서 분리·배향에 미치는 금형온도의 영향에 관한 연구는 아직 없다.

본 연구에서는 섬유강화 고분자 복합재료를 압축성형할 때 섬유와 모재의 분리 및 섬유의 배향에 미치는 금형온도의 영향을 고찰하기 위하여 금형의 온도를 변화시켜 성형한다. 이때, 모재와 섬유의 분리에 의해서 야기되는 성형품의 불균질성을 나타내는 불균질도와 섬유의 배향상태를 나타내는 배향함수를 측정하여 분리와 배향에 미치는 금형온도의 영향에 대한 실험결과를 고찰한다.

## 2. 이 론

### 2-1. 압축비 및 섬유함유율비

Fig. 1은 섬유강화 고분자 복합재료의 프레스 압축성형에 있어서 분리·배향의 관계를 보다 효율적으로 고찰하기 위하여 사용된 30톤 유압 프레스의 개략도이며, 이 가압은 Fig. 2와 같이 1차원 평판성형하는 경우에 대해서 생각한다. 재료의 흐름은 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 되게 하여 초기두께  $h_0$ 를  $h$ 까지 압축성형한 경우의 압축비  $R_{cr}$ 은<sup>(1)</sup> 식(1)로 표현된다.

$$R_{cr} = 1 - \frac{h}{h_0} \quad (1)$$

또, 섬유함유율비  $q_{fr}$ 은<sup>(13)</sup> 식(2)와 같이 정의한다.

$$q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \quad (2)$$

여기서  $q_{f0}$ 는 성형전의 중량 섬유함유율,  $q_f$ 는 성형후의 중량 섬유함유율이다.

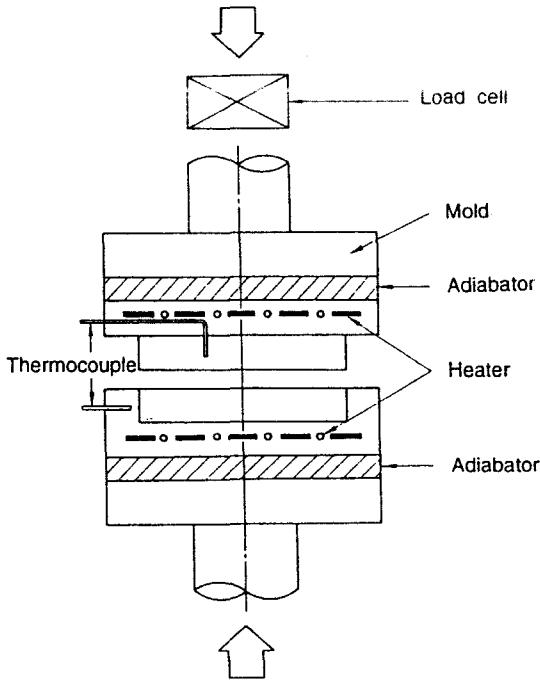


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

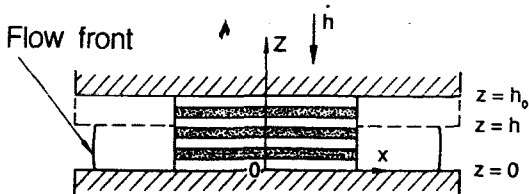
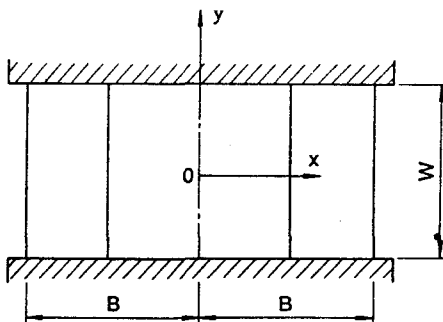


Fig. 2 Nomenclature for compression mold slab-shaped part

2-2. 섬유 배향함수 및 불균질도

유동성형할 때 분리·배향의 관계를 고찰하기 위해서는 모재와 섬유의 분리에 의해서 야기되는 불균질도와 섬유의 배향상태를 나타내는 섬유 배향함수의 측정이 필수적이다.

섬유 배향함수는 山田<sup>(14)</sup> 등이 제안한 식을 사용하고, 섬유 배향각의 분포측정은 농도법에 의하여 구한다<sup>(9)</sup>. 이때, 화상처리 측정영역은 압축성형시 시트의 평균속도 부분을 기준하여 측정한다.

섬유의 배향은 성형품의 두께가 폭과 길이에 비하여 매우 얇기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급한다. x-y 평면상에 섬유가 분포하고 있는 경우, x축과 이루는 섬유 배향각  $\theta$ 는  $0 \leq \theta < \pi$ 의 범위에 있다. 섬유 배향상태를 나타내는 섬유 배향함수 J와 섬유 배향각분포  $q(\theta)$  사이에는 식(3)과 같은 관계가 있다<sup>(14)</sup>.

$$q(\theta) = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{1-J}{1+J} \right) \cos^2 \theta + \left( \frac{1+J}{1-J} \right) \sin^2 \theta \right]^{-1} \quad (3)$$

여기서 J는 2차원 섬유 배향각분포에 대한 섬유 배향함수이다.

Fig. 3은 식(3)의 섬유 배향각  $\theta$ 와 상대 섬유 길이와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서 상대 섬유길이는 전체섬유의 총길이에 대한 섬유 배향각  $\theta$ 방향을 갖는 섬유길이와의 비이다. 이 그림에서 섬유의 배향이 등방성인 경우는  $J=0$ , 일방향으로만 배열되어 있는 경우는  $J=1$ 이며,  $J=1$ 의 방향에 대해  $90^\circ$  회전 되어있는 경우는  $J=-1$ 이다<sup>(14)</sup>.

섬유강화 고분자 복합재료를 Fig. 2와 같이 압축성형중의 섬유를 고체, 모재를 액체로 한 고액혼상류는 성형이 진행됨에 따라 유동속도에 의해서 분리가 생기며, 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. 불균질도는 Hojo<sup>(4)</sup> 등이 제안한 식을 사용하고, 폴리프로필렌을 전기로에서 연소하여 측정한 섬유함유율비의 분포로부터 구한다.

Fig. 4는 압축성형 후 성형품의 섬유함유율 분포를 나타낸 한 예이며, 섬유함유율 분포는 모재와 섬유의 분리에 의해 시험편의 중앙부분에서는 성형전보다 섬유함유율이 높고 성형품의

중립면에서 끝으로 갈 수록 저하한다<sup>(7)</sup>. 즉, 분리가 심하면 심할 수록 성형품은 불균질하게 되어 그림에서 사선부분의 영역이 더 크게 된다.

섬유함유율 분포곡선  $Q_{fr}(q_f/q_{f0}, q_f$ : 성형후의 중량 섬유함유율,  $q_{f0}$ : 성형전의 중량 섬유함유율)을 2차함수로하고, 최소자승법에 의해서 계수  $C_1, C_2, C_3$ 를 구한 후 사선의 면적을 계산하여 불균질도  $\Gamma$ 를 식(4)와 같이 정의한다<sup>(2)</sup>.

$$\Gamma = \text{사선의 면적} / B \tag{4}$$

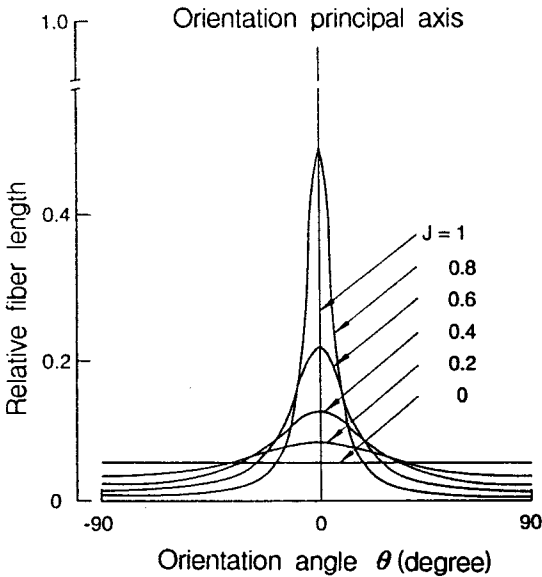


Fig. 3 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

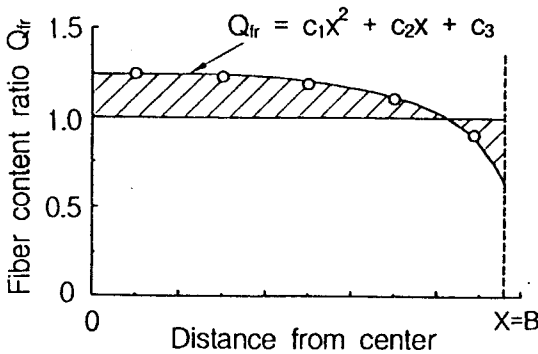


Fig. 4 Example of fiber content ratio and distance from center

여기서  $\Gamma$ 는 무차원 수이고 B는 성형품 중심으로부터의 길이이며, 0에서 1사이 에 있으나 0에 가까워지면 성형품은 균질에 가깝게 된다.

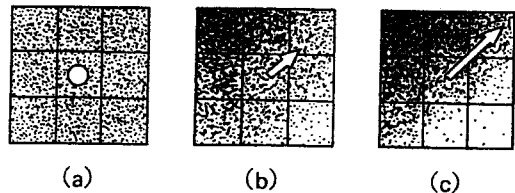
2-3. 농도법

농도법<sup>(9)</sup>은 섬유 배향각분포 측정영역의 모든 화소에 대하여 측정하기 때문에 섬유가 서로 강하게 엉켜져 있는 상태, 즉 섬유 하나 하나를 식별할 수 없는 경우의 섬유 배향각분포를 구할 수 있다.

Fig. 5에 나타난 바와 같은 연X-선 사진의 미소부분의 모델에 대해 생각한다. 이 그림에서 검은 부분이 유리섬유이다. 착목한 미소부분의 중심부와 주변부분과의 농도차가 없는 경우(a)는 그 착목부분에는 방향성이 없다. 농도차가 작은 경우(b)는 약간의 화살표 방향으로 방향성이 있다. 농도차가 더 큰 경우(c)는 방향성이 강하다고 생각할 수 있다. 그러므로 농도차가 있는 경우는 농도차에 의해 섬유 배향각의 방향을 판단할 수 있다.

사진의 농도차로 화상처리할 때 물체의 윤곽선(edge) 검출은 Fig. 6에 나타낸 Sobel 오퍼레이터<sup>(8)</sup>를 이용하여 중심 화상요소(이하 화소라고 지칭함)의 수평, 수직방향의 농도차  $\Delta H, \Delta V$ 를 계산한다. 인접화소와의 농도차  $\Delta G$ 로 윤곽선을 검출하여,  $\Delta G$ 값이 Threshold값 보다 큰 경우를 윤곽선으로 한다<sup>(6)</sup>.

$$\Delta G = \frac{(|\Delta H| + |\Delta V|)}{2} \tag{5}$$



(a) Slightly orientation (b) Medium orientation (c) Highly orientation

Fig. 5 Model of the minute part of the soft X-ray photograph

또, 물체의 윤곽선방향  $\theta$ 는 식(6)과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta V}{\Delta H} \right) + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

섬유강화 고분자 복합재료의 섬유 배향각분포는 연X-선 사진 농도정보를 이용하여 식(7)에 의하여 구한다<sup>(8)</sup>.

$$H_D(k) = \frac{N_\theta(k)}{\sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i)}, \quad k=0,1,2,\dots, n-1 \quad (7)$$

여기서  $n$ 은  $0 \leq \theta < \pi$ 의 분할수이며,  $N_\theta(k)$ 는  $(2k-1)\pi/2n \leq \theta \leq (2k+1)\pi/2n$ 의 범위에 있다. 이와 같이 식(7)로 측정된  $H_D(k)$ 로부터 섬유 배향각분포를 구한다.

본 실험의 계측에서  $\theta$ 의 범위는  $10^\circ$ 이고, 연X-선 사진 농도정보를 이용하여 측정된 섬유 배향각분포  $H_D(k)$ 로부터 섬유 배향함수  $J$ 를 구하면 성형품의 섬유 배향상태의 정도를 알 수 있다.

$f(i-1, j-1)$	$f(i, j-1)$	$f(i+1, j-1)$
$f(i-1, j)$	$f(i, j)$	$f(i+1, j)$
$f(i-1, j+1)$	$f(i, j+1)$	$f(i+1, j+1)$

Observation pixel  $f(i, j)$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$\Delta H$

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

$\Delta V$

$$\Delta H = \{f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1) - \{f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)\}\}$$

$$\Delta V = \{f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1) - \{f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1)\}\}$$

Fig. 6 Sobel operator of 3×3 pixel

### 3. 실험

실험재료는 미국 AZDEL사 시트(모재 : 폴리프로필렌, 강화재 : 유리장섬유매트)이며, 장섬유는 서로 강하게 엉켜져 있다. 섬유함유율은 40wt%, 두께  $h_0$ 는 3.8mm이고, 섬유 및 폴리프로필렌의 비중량은 각각  $2.5\text{kg/cm}^3$ ,  $0.9\text{g/cm}^3$ 이다.

섬유와 모재의 분리 및 배향을 측정하기 위하여 시트를 60mm(폭)×70mm(길이)×3.8mm(두께)의 직사각형판으로 절단하여 시험편으로 하였다. 또 금형 캐비티의 치수는 60mm×400mm이고, 블랭크의 온도는 190℃, 금형의 온도는 20℃, 60℃, 120℃, 190℃, 압축 속도는 24.6mm/sec이다. 가압장치는 30톤 유압프레스를 사용하였으며, Fig. 1과 같이 금형에는 열전대를 부착시키고, 가열은 봉 및 판 히터를 사용하였다. 압축성형에 있어서 재료의 흐름은 Fig. 2와 같이 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 되게 하였다.

화상처리에 이용한 이미지 스캐너는 일본 세이코 엡슨제 GT-4000V이며, 해상도는 400×400화소이고 1화소는 1/8mm×1/8mm, 농도계조는 8비트(gray level : 256계조, 흑(black) : 0, 백(white) : 255)이다. 그리고 연X-선(soft X-ray) 촬영은 일본 MIKASA MAMMO Graphic System으로 사용하였으며, 필름은 일본 후지사 제품(MI-NC 의료용 X-ray 필름, 180mm×240mm)이다.

불균질도를 구하기 위한 시험편의 연소는 Fig. 7과 같이 시험편의 중립면에서 x축을 따라서 가로 10mm×세로 10mm를 채취하여 전기로에서 폴리프로필렌을 620℃에서 30분간 가열 연소하고, 연소 전후의 무게를 정밀 전자저울(1/10,000g까지 측정)로 측정하여 섬유함유율 분포를 구하였다. 또, 섬유 배향함수  $J$ 를 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 성형품의 길이 B/2인 점을 기준하여 50mm×50mm의 영역을 화상처리함으로써 섬유 배향함수  $J$ 를 측정하였다.

Fig. 8은 금형온도 120℃, 압축비 0.64, 섬유 배향함수 0.38인 시험편의 연X-선 사진과 섬유 배향함수와의 관계를 나타낸 한 예이다. Fig. 8의 (a)사진에서 검은 부분은 강화재인 유리섬유이고, 흰 부분이 모재인 폴리프로필렌이다. 사진

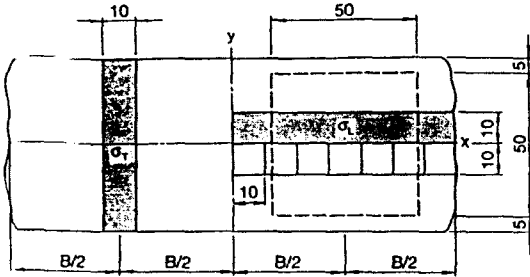
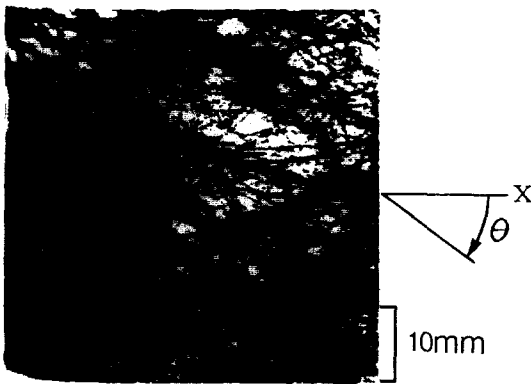
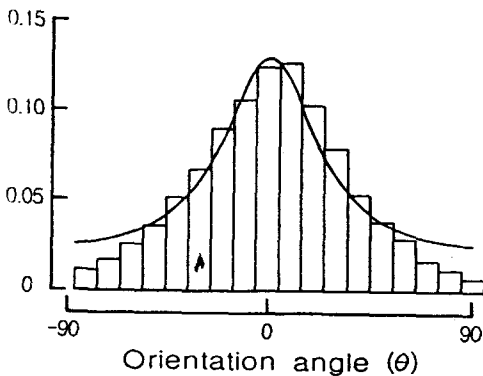


Fig. 7 Specimen for the measurement of tensile strength  $\sigma_L$  and  $\sigma_T$ , parts for measuring fiber content and measurement area for orientation function J



(a) Soft X-ray photograph of specimen



(b) Fiber orientation function J

Fig. 8 Soft X-ray photograph and orientation function of specimen ( $T = 120^\circ\text{C}$ ,  $R_{cr} = 0.64$ ,  $J = 0.39$ )

의 가운데 부분이 성형품의 평균속도에 해당하는  $B/2$ 인 점이며, 이 점을 기준으로 가로, 세로 각각 50mm 영역을 화상처리하여 섬유 배향상태(섬유 배향함수  $J=0.38$ )를 그림(b)에 나타내었다.

각 시험편에 대한 동역학적 특성은 Polymer Laboratory사의 DMTA(Dynamic Mechanical Thermal Analyser-MKII)를 사용하여 측정하였다. 크기가  $3\text{mm}(W) \times 2.35 \sim 1.2\text{mm}(T) \times 25\text{mm}(L)$ 인 시험편을  $-25^\circ\text{C}$ 에서 가열속도  $4^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 하여  $180^\circ\text{C}$ 까지 측정하였다. 실험조건은 진동수를  $10\text{Hz}$ 로 하였고, 변형율은 1로 하여 탄성계수와 변위값을 얻었다.

#### 4. 결과 및 고찰

섬유 배향함수와 불균질도를 구하기 위하여 유압프레스에 소재인 시트를 넣고 1차원 평판 압축시험을 실시하였다. 이 성형품의 섬유 배향함수는 성형품을 연X-선 촬영하여 얻은 사진으로 화상처리하고, 불균질도는 폴리프로필렌을 연소하여 섬유함유율 분포로부터 구하였다.

Fig. 9는 섬유 배향함수와 압축비의 관계이다. 이 그림에서 압축비가 크면 클수록 성형품의 변위량이 커지므로 섬유 배향함수 J가 커지고, 금형온도가 높을수록 재료의 유동이 잘 되어 섬유 배향함수 J가 증가함을 알 수 있다.

즉, 소재와 금형의 온도를 같은 온도인  $190^\circ\text{C}$ 로 가열하였을 경우 압축성형이 진행되는 동안 소재가 냉각되지 않으므로 유동용력이 낮게 유지되고 금형 캐비티내에서의 소재가 잘 유동됨을 알 수 있다. 그리고 고온의 소재를 온도가 낮은 금형으로 압축성형할때 소재와 금형 접촉부에서 재료는 급속히 냉각되어 변형에 대한 저항이 커진다. 결국 금형의 온도가 낮으면 소재가 냉각되어 유동저항이 증가되어 변형이 잘 안됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 불균질도와 압축비의 관계이다. 시험편의 불균질도는 그림에 나타난 바와 같이 압축비가 크면 클수록 성형품내의 섬유와 모재와의 분리로 인하여 불균질도가 약간 증가함을 알 수 있다. 이 그림에서 압축비가 클수록 성형품

의 변위량이 커지므로, 성형품의 불균질도는 유리섬유의 매트구조가 니들편칭되어 서로 강하게 엉켜 있어 금형온도의 영향보다는 압축비에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

Fig. 11은 압축비 변화에 따른 섬유 배향함수와 금형온도와의 관계이다. 이 그림에서 섬유의 배향함수는 금형온도가 높고 압축비가 클수록 증가함을 알 수 있고, 폴리프로필렌의 용점은 약 176°C이므로 프레스 압축성형 때 유동을 쉽게 한다든지 치수 안정성 및 물성을 향상시키기 위해 금형온도를 용점 이상으로 유지해야 함을 알 수 있다.

Fig. 12는 압축비 변화에 따른 불균질도와 금형온도의 관계이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 불균질도는 압축비가 클수록 성형품내의 섬유와 모재와의 분리로 인하여 증가함을 알 수 있다. 그리고 폴리프로필렌의 열변형온도

(18.5kg/cm<sup>2</sup>)는 52~60°C이고, 유리섬유 매트가 서로 엉켜 있어서, 금형온도에는 별로 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Fig. 13은 프레스의 금형온도 변화에 따른 섬유의 배향함수와 성형품의 불균질도와와의 관계도를 나타낸 그림으로서 섬유 배향함수가 증가하면 불균질도도 증가함을 알 수 있다. 섬유강화 고분자 복합재료를 유동성형 할 때 반드시 분리와 배향이 발생한다.

이<sup>(9)</sup> 등은 스텝퍼블 시트의 섬유함유율 변화에 따른 불균질도  $I'$ 와 섬유 배향함수  $J$ 사이의 기울기를 최소자승법으로 구하여 1차 함수로 표시하여 섬유함유율 25wt%인 경우  $I'=0.80J$ , 섬유함유율 40wt%인 경우는  $I'=0.86J$ 이고, 분리와 배향은 서로 상관관계가 있음을 밝혔다.

섬유강화 고분자 복합재료를 유동성형할 때 그

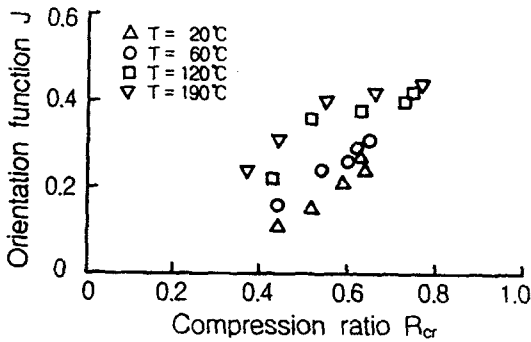


Fig. 9 Effect of compression ratio  $R_{cr}$  on fiber orientation function  $J$

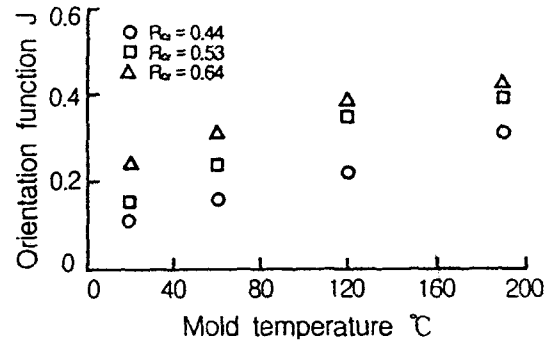


Fig. 11 Effect of mold temperature  $T$  on fiber orientation function  $J$

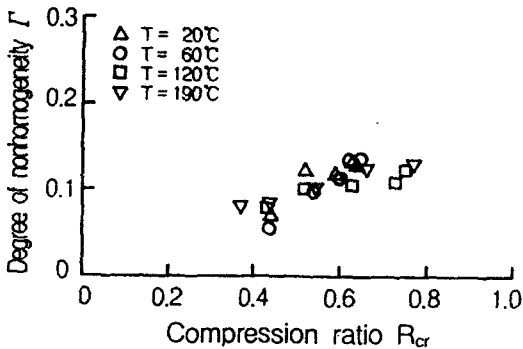


Fig. 10 Effect of compression ratio  $R_{cr}$  on degree of nonhomogeneity  $I$

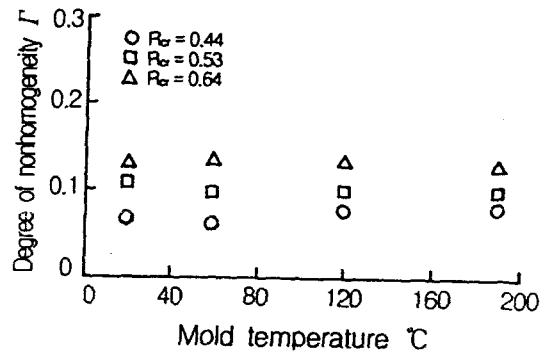


Fig. 12 Effect of mold temperature  $T$  on degree of nonhomogeneity  $I$

림에서 알 수 있듯이 금형온도가 높을수록 섬유 배향이 잘되고 금형온도가 낮아질수록 섬유배향에 따른 불균질도의 값이 증가함을 알 수 있다.

성형품의 유동방향 인장강도  $\sigma_L$ 과 유동방향의 직각방향 인장강도  $\sigma_T$ 와의 인장강도비를 구하기 위하여 시험편을 Fig. 7과 같이 채취한 후 인장 시험하여, Fig. 14에 성형품의 인장강도비와 섬유 배향함수와의 관계를 나타냈다. Fig. 2의 실험조건에서 폭방향을 구속하여 고온압축성형하였기 때문에 섬유는 길이방향으로만 모재와 같이 유동하므로  $\sigma_L$ 이  $\sigma_T$ 보다 크게 되어 섬유 배향함수가 증가할수록 인장강도비가 증가함을 알 수 있다.

Fig. 15와 Fig. 16은 2차가공 후 성형품의 압축비( $R_{cr}$ )가 각각 0.44, 0.64인 경우의 온도와 변위와의 관계이다.

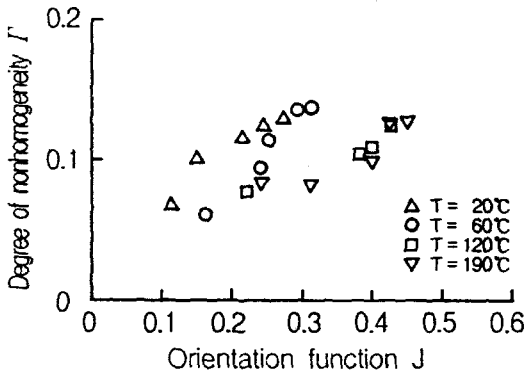


Fig. 13 Relation between the orientation function J and the degree of nonhomogeneity  $\Gamma$

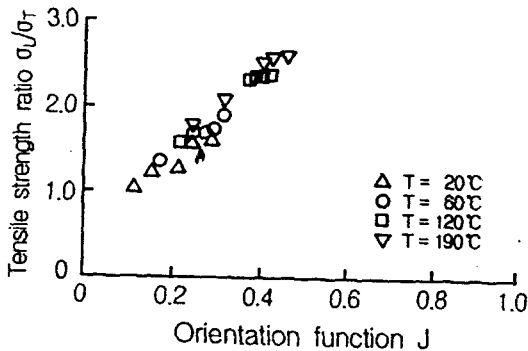


Fig. 14 Effect of fiber orientation function J on tensile strength ratio  $\sigma_L/\sigma_T$

시험편의 온도가 고온이 될수록 강화섬유가 하중의 대부분을 담당함으로 인장력이 작용하는 길이 방향으로 섬유배향이 잘된 시험편이 변위에 강한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 폴리프로필렌의 용융온도가 약 176°C이므로 금형온도가 높을수록 양호한 성형성, 즉 폴리프로필렌 분자간의 운동이 쉬워지고 점도가 작아져서 섬유배향이 잘됨을 알 수 있다.

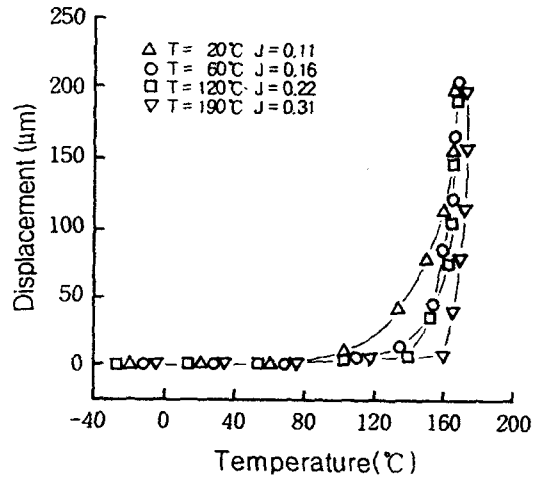


Fig. 15 Relation between displacement and temperature at compression ratio  $R_{cr}$  0.44

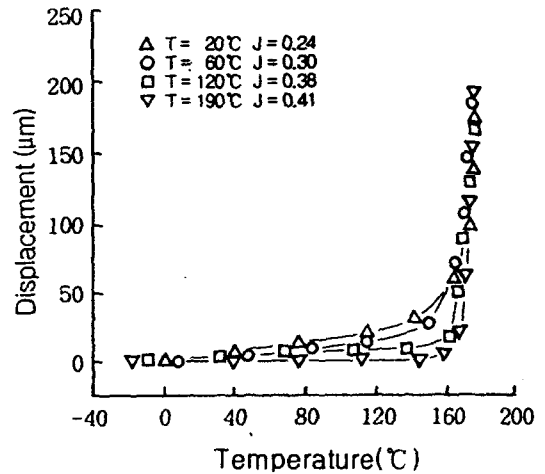


Fig. 16 Relation between displacement and temperature at compression ratio  $R_{cr}$  0.64



Fig. 17과 Fig. 18은 2차가공 후 성형품의 압축비( $R_{cr}$ )가 각각 0.44, 0.64인 경우의 온도와 탄성계수와와의 관계이다.

이 그림으로부터 금형온도와 섬유 배향함수가 큰 시험편이 탄성계수가 작을 알 수 있는데 이는 강화섬유가 배향이 잘되어 길이방향으로 배열될 때 인장에 대해 매우 강하고 강성이 있음을 의미한다.

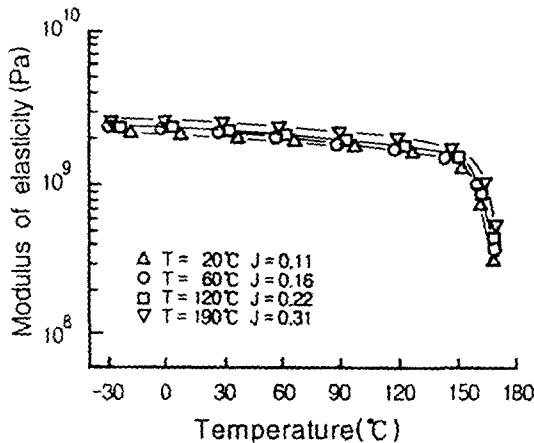


Fig. 17 Relation between modulus of elasticity and temperature at compression ratio  $R_{cr}$  0.44

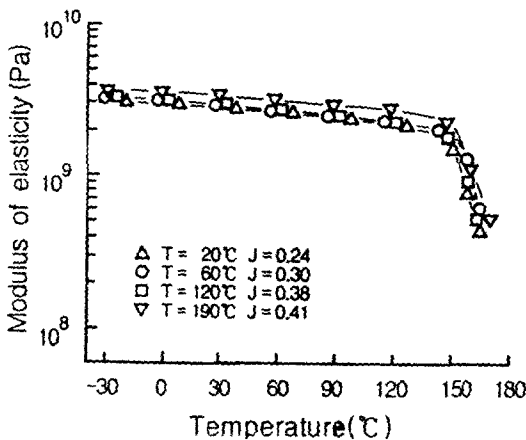


Fig. 18 Relation between modulus of elasticity and temperature at compression ratio  $R_{cr}$  0.64

### 5. 결 론

섬유강화 고분자 복합재료를 유동성형할 때

분리·배향에 미치는 금형온도의 영향으로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 섬유의 배향상태를 나타내는 섬유 배향함수는 금형온도가 높고, 압축비가 클수록 증가한다.
- 2) 성형품의 불균질성을 나타내는 분리의 척도인 불균질도는 섬유가 서로 강하게 엉켜있어 금형온도의 영향보다는 성형품의 변위에 지배적인 영향을 받으며, 압축비가 클수록 증가한다.
- 3) 폴리프로필렌의 용점은 약 176°C이므로 프레스 압축성형 때 유동을 쉽게 하든지 치수 안정성 및 물성을 향상시키기 위해 금형온도를 용점 이상으로 유지해야 한다.

### 참고 문헌

- 1) Hojo, H., Kim, E.G., Tamaka, K., and Nagatsukawa, C., "Separation of matrix and Fibers during Molding of Long Fiber-Reinforced Thermoplastics", Proceedings of the Third Japan-U.S. Conference on Composite Materials, Tokyo, pp. 605-612, 1986.
- 2) Hojo, H., Kim, E.G., and Tamakawa, K., "The Fibre Content Distribution of Compression Molded Long Fibre-Reinforced Thermoplastic Products", International Polymer Processing, Vol.1, Issue2, pp. 60-65, 1987.
- 3) Hojo, H., Kim, S.H., Baek, N.J., and Kim, E.G., "Prediction of Fibre Content Distribution in Compression Molded Fiber-Reinforced Thermoplastics", Proceedings of the 5th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Kyoto, Japan, pp. 12-20, 1989.
- 4) Hojo, H., Kim, E.G., Yajuchi, H., and Onodera, T., "Simulation of Compression Molding with Matrix-Fibre Separation and Fibre Orientation for Long Fiber-Reinforced Thermoplastics", International Polymer Processing, Vol.3, Issue 1, pp. 54-61, 1988.
- 5) 矢口 仁, 北條英典, 鬼海英夫, 玉川規一, 越本勝, "纖維充てん複合材料成形品の纖維配向

- 角分布の表示とその簡易測定”, 第39回 日本塑性加工連合講演會 論文集, No.232, 1988.
- 6) 矢口 仁, 北條英典, 鬼海英夫, 玉川規一, 越本 勝, “長纖維 集合體の纖維影濃度情報を用いた纖維配向角分布の測定”, 第39回 日本塑性加工連合講演會 論文集, No.233, 1988.
- 7) 이동기, 矢口 仁, 조선형, 김이곤, “晝像處理에 의한 纖維強化 高分子複合板의 纖維含有量 分布測定”, 大韓機械學會 論文集, 第15券 第4號, pp. 1177- 1183, 1991.
- 8) 조선형, 이동기, 김이곤, “長纖維強化 高分子複合板의 프레스成形에 있어서 晝像處理에 의한 纖維의 配向에 관한 研究”, 大韓機械學會 論文集, 第15券 第3號, pp. 834-842, 1991.
- 9) 이동기, 유정훈, 김이곤, “장섬유강화 고분자 복합판의 압축성형에 있어서 섬유의 분리와 배향의 상관관계에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집, 제17권 제1호, pp. 62-68, 1992.
- 10) 류형우, 이동기, 김이곤, “유동성형된 섬유 강화 고분자 복합판의 분리·배향의 상관관계에 미치는 섬유길이의 영향에 관한 연구”, 한국복합재료학회지, 제6권 제1호, pp.19-28, 1993.
- 11) 이동기, 한길영, 김이곤, “압축성형된 섬유 강화 플라스틱 복합판의 섬유 배향각분포 측정에 있어서 정밀도에 미치는 섬유 함유율과 배향상태의 영향”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 645-651, 1994.
- 12) 강진, 이동기, 김이곤, “FRTP의 프레스 성형에 있어서 평균분리계수에 관한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 658-663, 1994.
- 13) 장수학, 김석호, 백남주, 김이곤, “纖維強化 高分子複合板의 壓縮成形에 있어서 金型-材料界面의 미끄럼을 고려한 流動解析”, 大韓機械學會 論文集, 第15券 第1號, pp. 163-168, 1990.
- 14) 山田國廣, 堀川 明, “2次元纖維集合 體の確率幾何”, 纖維機械學會論文集, 37, 12, pp. 51-64, 1984.