

論文

유동성형된 섬유강화 고분자복합판의 분리·배향의 상관계수에 미치는 섬유길이의 영향에 관한 연구

류형우* · 이동기** · 김이곤*

An Effect of Fiber Length on the Correlation between Separation and Orientation of Flow Molded Fiber-Reinforced Polymeric Composites

Hyoungh Woo Ryoo*, Dong Gi Lee** and E Gon Kim*

ABSTRACT

During compression molding of fiber-reinforced polymeric composites, the two main problems such as the fiber-matrix separation and the fiber orientation are produced by the flow. As the molded product tends to be nonhomogeneous and anisotropic due to the separation and the orientation, it is necessary to clarify these in relation to the molding process variables and the fiber structure (fiber entanglement). If the entanglement of fiber structure is strong, the separation increases and the orientation is not easily aligned. Namely, these are inseparably related to each other. The correlation between the separation and the orientation has to be clarified for designing the fiber structure.

In this study, first we made a sheet by means of a hot-press after accumulating a matrix and a glass fiber according to each fiber content by weight and length of glass fiber. We then manufactured sheet with secondary compression molding using a 30 ton hydraulic press with heating, in the dry oven. 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 defined and measured by the image processing using soft X-ray photograph and image scanner. During this time we give a definition of a correlation coefficient and find it out with the relation of the fiber-matrix separation and the fiber orientation. We are plan to study about length of the glass fiber which has an effect on the correlation coefficient.

Key Words : Flow Molded Fiber-Reinforced Polymeric Composites(유동성형된 섬유강화 고분자복합판), Correlation between Separation and Orientation(분리·배향의 상관관계), Fiber Length(섬유길이), Degree of Nonhomogeneity(불균질도), Orientation Function(배향함수), Correlation Coefficient(상관계수)

* 국민대학교 공과대학 기계설계학과

** 조선대학교 공과대학 정밀기계공학과

요 약 : 섬유강화 고분자복합판을 압축성형 할 경우 발생하는 두가지 문제점은 유동상태에 의한 섬유와 모재의 분리 및 섬유의 배향이다. 이 분리·배향에 의하여 성형품은 불균질하게 되고 이방성이 되기 때문에, 복합재료를 이용한 부품의 유동성형에 있어서는 분리·배향을 성형조건이나 섬유구조와 관련시켜 명확히 하는 것이 필요하다. 만일, 섬유구조가 서로 강하게 엉켜져 있다면 분리는 증가하나, 섬유의 배향은 잘되지 않게 된다. 즉, 섬유의 분리와 배향은 서로 불가분의 관계가 있다. 그러므로 섬유구조를 설계하는데 있어서 분리와 배향의 상관관계는 명확히 되어야 한다.

본 연구에서는 섬유의 함유량과 길이별로 모재와 적층시킨 다음 열압축프레스를 사용하여 1차로 시이트를 제작하고, 이 제작된 시이트를 가열로로 가열하여 30ton 유압프레스로 2차 고온압축 성형한다. 이때 성형품의 분리의 척도인 불균질도는 1차원 사각평판 압축시험하여 모재와 섬유의 분리를 측정하고, 섬유의 배향을 표시하는 배향함수는 성형품의 연 X-선 사진과 이미지스캐너를 이용하여 화상처리에 의해 구한다. 그리고 섬유와 모재의 분리 및 배향의 상관관계로부터 상관계수를 정의 및 구하고, 이 계수에 미치는 섬유길이의 영향에 대해 연구한다.

기 호 설 명

B	: 성형품 총길이의 1/2	$q(\theta)$: 섬유배향각분포
C	: 상관계수	R_{cr}	: 압축비($=1-h/h_0$)
\dot{h}	: 압축속도	W	: 금형의 폭
h	: 성형후의 두께	ΔG	: 인접화소와의 농도차
h_0	: 성형전의 두께	ΔH	: 수평방향의 농도차
$H_D(k)$: 농도정보에 의한 섬유배향각분포	ΔV	: 수직방향의 농도차
J	: 배향함수	Γ	: 불균질도
L	: 섬유길이	θ	: 물체의 윤곽선방향
q_f	: 성형후의 중량섬유함유율	σ_L	: 유동방향의 인장강도
q_{f0}	: 성형전의 중량섬유함유율	σ_T	: 유동방향과 직각방향의 인장강도
Q_{fr}	: 성형전후의 섬유함유율비 ($=q_f/q_{f0}$)		

1. 서 론

현재, 섬유강화 플라스틱(Fiber Reinforced Plastics:FRP로 약칭)에 이용되는 모재(Matrix)의 종류는 많지만 크게 나누어 열경화성수지(Thermosetting resin:TS로 약칭)와 열가소성수지(Thermoplastic resin:TP로 약칭)가 있고, 섬유강화 플라스틱 복합재료는 수지의 종류에 따라 섬유강화 열경화성 플라스틱 복합재료(FRTS)와 섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재료(FRTP)로 분류된다.

종래, 플라스틱 복합재료는 열경화성수지를 모재로 한 성형품이 대부분이었으나 재생문제, 폐기물 처리 및 환경문제가 사회문제로 대두되고, 또 생산성이 좋지 않기 때문에 소재 자체를 보는 관점이 변화하고 있다. 따라서, 최근에는 각종 재료중에서도 이들 재료에 대응하는 재료로 고성능, 고기능, 성형성이 뛰어난 열가소성수지를 모재로 하고 유리섬유를 강화재로 한 섬유강화 열가소성 플라스틱이 대두되고 있다. 이 재료는 비중이 작기 때문에 구조 부품의 경량화에 유효하고 수지계의 복합재료이므로

내식성 및 생산성이 뛰어나며, 또한 열가소성수지 이므로 재생이용이 가능하고 최종처리로서의 소각 또한 용이하기 때문에 산업분야에서 각종 부품소재로서 각광을 받고 있다.

섬유강화 플라스틱 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법은 함침성형과 유동성형으로 크게 구별된다. 함침성형은 열경화성 플라스틱 복합재료에 적용되고, 유동성형은 섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재료에 적용된다. 함침성형은 유동성형보다 섬유길이, 섬유함유량이 크게되어 일반적으로 고강도, 고강성이긴 하지만, 생산성, 작업환경, 부품의 치수 정밀도, 성형부품의 균일성등이 떨어진다. 그래서 유동성형은 생산성과 치수정밀도의 면에서 함침성형보다 훨씬 뛰어나다.

섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재료의 고온압축 프레스성형에 관해서 검토하면, 그 성형방법으로는 고온고상성형(Solid-Phase Stamping)과 고온유동성형(Hot-Flow Stamping)이 있다. 고온고상성형법은 소재의 용점보다 10~30℃정도 낮은 온도에서 가열하여 금형 안에 넣어 가압하고, 5~20초정도 금형을 닫은채로 유지한다. 이 성형법은 상온소성 가공품과 같은 분자배향효과에 의해 재질의 개선효과도 얻을 수 있는 것 외에, 냉각에 의해 수축량이 용융성형법의 그것에 비해 반정도 작게되고 비교적 고정밀도의 성형법에 속한다고 할 수 있다. 이에 반해 고온유동성형은 소재를 용점이상으로 가열하여 유동성을 높혀 성형을 행하는 것으로, 재료는 금형내에서 유동하기 때문에 성형품의 두께에 큰 변화를 줄 수 있다. 복잡한 형상 성형품의 성형이 가능해서 생산성도 높고, 또 생산비도 낮다. 따라서 고온유동성형에 의한 성형품은 강판프레스 성형품에 대신해서 현재 자동차, 항공기의 준구조부재 및 각종 산업분야에서 부품소재로서 사용되고 있고 앞으로의 이용범위 또한 더욱 더 넓어지리라 생각된다.

섬유강화 플라스틱 복합재료를 유동성형하는 경우의 가장 큰 문제점은 성형시 재료의 유동속도차에 의한 플라스틱(모재)과 섬유(강화재)의 분리 및 변위에 의한 섬유의 배향이다. 이 분리·배향에 의해서 성형품은 불균질하게 되고 이방성이 되어 성형품의 강도나 특성에 변화가 생긴다. 따라서 복합재료를

이용한 부품의 유동성형에 있어서는 분리·배향을 성형조건이나 재료와 관련시켜서 명확히 하고, 또 분리·배향을 제어하는 것은 최적 성형조건을 결정할 수 있어 뛰어난 성형품을 얻을 수 있다.

복합재료는 강화재 및 모재로 구성되어 있으므로 이 두가지 성질에 의하여 소재의 기계적 특성이 달라진다. 복합재료의 성질은 모재의 성질에 의존하는 것은 당연하지만, 특히 섬유의 형태 즉, 섬유의 길이와 함유율, 그리고 배향, 분산상태, 엉킴상태 등에 크게 의존한다. 따라서, 복합재료를 이용한 부품의 성형에 있어서는 섬유의 형태를 제어하는 것이 매우 중요하다.

Hojo[1~4]등은 섬유의 분리를 표현할 수 있는 분리방정식을 유도하여 분리계수를 제안 및 측정하였고, 矢口[5,6]등은 섬유의 배향을 화상처리를 이용하여 측정하였다. 필자들[7]은 장섬유의 경우는 유동장에 의존하는 것이 아니라 변위에 의존함을 밝혔고, 또 시판되고 있는 고분자복합판(스텝퍼블시이트)을 사용하여 이 분리와 배향은 별개가 아니라 서로 불가분의 관계가 있으며 양자는 상관관계가 있음을 발표하였다[8]. 그러나 섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형에 있어서 강화재인 섬유의 길이 변화에 따른 섬유와 모재의 분리 및 배향의 상관관계는 아직 명확히 되어 있지 않다.

본 연구에서는 우수한 섬유강화 고분자복합판의 제조 및 개량을 위해 섬유길이를 분리·배향의 관점에서 연구한다. 섬유의 길이 및 함유율을 변화시켜서 모재와 적층시킨 다음 열압축프레스를 사용하여 1차로 시이트를 제작하고, 이 제작된 시이트를 가열로로 가열하여 30ton 유압프레스로 2차 고온압축 성형한다. 이때, 모재와 섬유의 분리에 의해서 야기되는 성형품의 불균질성을 나타내는 불균질도와 섬유의 배향을 표시하는 배향함수와 상관관계에 미치는 섬유길이의 영향에 대한 실험결과를 보고한다.

2. 이 론

2-1. 배향함수(J)

재료를 Fig.1과 같이 평행판 사이에 끼우고 y

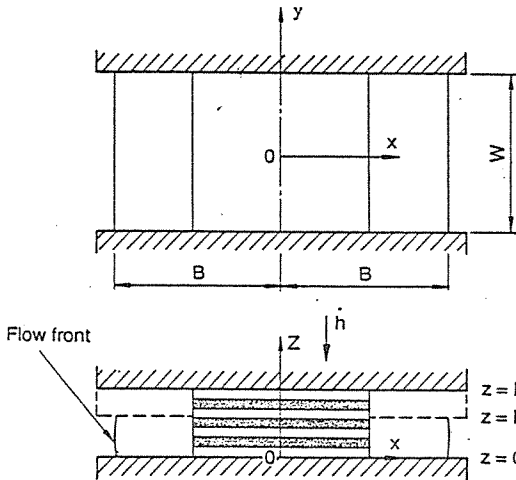


Fig. 1. Nomenclature for compression mold slab-shaped part.

방향의 흐름을 구축하여 압축한다. 섬유 배향은 성형품의 두께가 폭과 길이에 비하여 매우 얇기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급하면 섬유배향 각분포 $q(\theta)$ 는 다음과 같다[9].

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

여기서 J 는 2차원 배향각분포에 대한 배향함수이며, 섬유배향이 등방성인 경우 $J=0$, 한 방향으로만 배열되어 있는 경우는 $J=1$, $J=1$ 의 방향에 대해 90° 회전 되어있는 경우는 $J=-1$ 이다.

Fig. 2는 식(1)의 섬유배향각 θ 와 상대섬유길이와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서 상대섬유길이는 전체섬유의 총길이에 대한 개개의 섬유배향각 θ 와의 비이다. 이 그림에서 섬유배향함수 $J=1$ 일 때는 배향주축과 일직선의 관계를, $J=0$ 일 때는 배향주축과 직각의 관계를 각각 나타내고 있다. 배향함수 J 가 0에 접근 할수록 섬유배향은 등방성이고, 또 배향함수 J 가 1에 접근 할수록 섬유배향은 이방성이다.

2-2. 농도법

사진의 농도차로 화상처리를 함으로써 물체 윤곽선(Edge)의 검출은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 Sobel

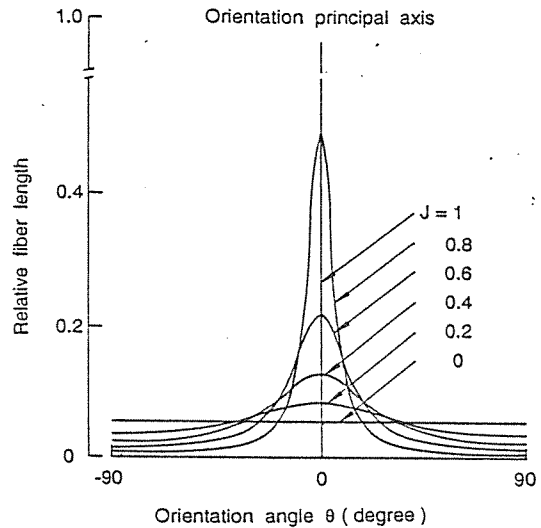


Fig. 2. Distribution of the fiber orientation angle.

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

Observation pixel (i, j)

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

ΔH

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

ΔV

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

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

Fig. 3. Sobel operator of 3 x 3 pixel.

오퍼레이터를 이용하여 중심화상요소(이하 화소라고 함)의 수평, 수직 양방향으로 ΔH , ΔV 를 계산한다. 인접화소와의 농도차 ΔG 로 윤곽선을 검출하며, ΔG 값이 Threshold값보다 큰 경우를 윤곽선으로 한다 [7].

$$\Delta G = (|\Delta H| + |\Delta V|) / 2 \quad \dots (2)$$

또, 물체의 윤곽선방향 θ 는 다음식과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}(\Delta V / \Delta H) + \pi / 2 \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

화성처리하여 얻어진 연X-선 사진의 농도정보에서, 모든 화소에 대하여 배향각 θ 와 ΔG 를 구하였을 때 섬유배향각분포는 다음식과 같다.

$$H_D(k) = N_\theta(k) / \sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i), \quad k=0, 1, 2, 3, \cdots, n-1$$

..... (4)

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 있는 물체의 윤곽선방향 화소수이다. 이와 같이 식(4)로 측정된 $H_D(k)$ 로부터 최소자승법에 의하여 섬유의 배향함수 J 를 구한다. 섬유강화 고분자복합판의 고온유동성형에 있어서 섬유가 서로 강하게 엉켜져 있는 상태, 즉 섬유 하나 하나를 식별할 수 없는 경우의 섬유 배향각 분포를 구할 수 있다. 본 실험의 제측에서 θ 의 범위는 10° 이고, 연X-선 사진농도정보를 이용하여 측정된 $H_D(k)$ 로부터 배향함수 J 를 구하면 성형품의 섬유의 배향정도를 알 수 있다.

2-3. 압축비(R_{cr}), 섬유함유율비(Q_{fr}) 및 불균질도(I)의 정의

재료를 Fig. 1과 같이 평행판 사이에 끼우고 y 방향의 흐름을 구속하여 하중을 가해 초기두께 h_0 를 h 까지 압축한 경우의 압축비 R_{cr} 를 다음 식(5)와 같이 정의한다[2].

$$R_{cr} = 1 - h/h_0 \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

여기서 h 는 성형후의 두께, h_0 는 성형전의 두께이다.

섬유함유율비 Q_{fr} 은 식(6)과 같이 정의한다.

$$Q_{fr} = q_f / q_{f0} \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

여기서 q_{f0} , q_f 는 성형전후의 중량섬유함유율이다.

성형중의 섬유를 고체, 모재를 액체로 한 고액혼상류는 성형이 진행됨에 따라 유동속도 차이에 의해서 분리가 생기며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. Fig. 4는 압축성형후의 성형품의 섬유함유율 분포를 나타낸 한 예이며, 분리가 심하면 심할수록 성형품은 불균질하게되어 그림에서 사선부분의

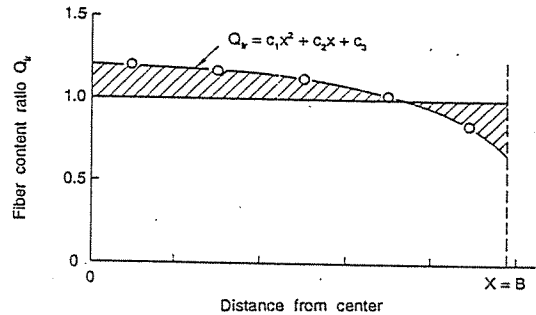


Fig. 4. Distribution of the fiber content ratio.

영역이 더 크게 된다. 섬유함유율 분포곡선 Q_{fr} 을 2차함수로 하고 계수 C_1 , C_2 , C_3 를 최소자승법에 의해서 구한 후 사진의 면적을 계산하여 불균질도(I)를 식(7)과 같이 정의한다[2].

$$I = \text{사진의 면적} / B \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

여기서 I 는 무차원 수이며, 0에서 1의 사이에 있으나 0에 가까워지면 성형품은 균질에 가깝게 된다.

3. 실험

실험에 사용한 섬유강화 고분자복합판(모재: 폴리프로필렌, 강화재: 유리섬유)은 유리섬유의 길이와 함유율(wt%)을 변화시켜 모재와 적층시킨 다음 열압축프레스(10ton)를 사용하여 제작하였다. 이때 유리섬유(강화재: 한국화이버 제품)를 로빙커터로 절단한 섬유의 길이 별은 3mm, 6mm, 25mm, 30mm로 하고, 폴리프로필렌(모재: 새론 제품)과의 섬유함유율(wt%)비는 5wt%, 10wt%, 20wt%, 40wt%로 하여 두께 3.5mm의 복합판을 만들었다. 분리·배향을 측정하기 위하여 강화재 길이와 wt% 별로 제작된 시이트를 60mm(폭)×75mm(길이)×3.5mm(두께)의 직사각형판으로 절단하여 시험편으로 하였다. 또 금형캐비티의 치수는 60mm×400mm, 성형온도는 190°C, 프레스의 압축속도는 21.5 mm/sec이다.

Fig. 5에 실험장치의 개략도를 나타내었으며, 이 가압장치는 30톤 유압프레스로 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판히터를 사용하였다. 압

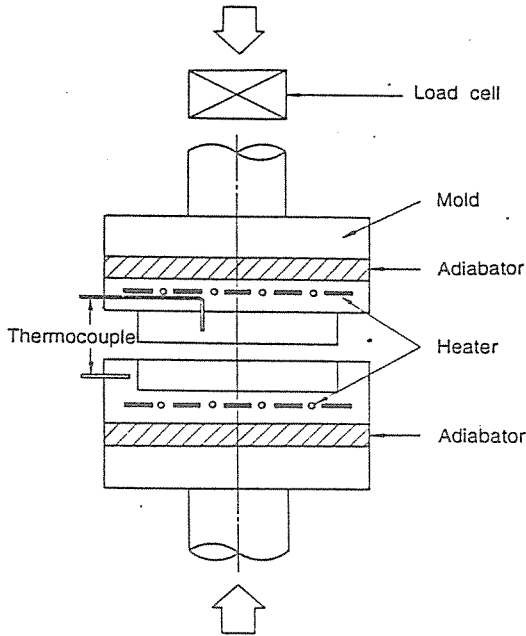


Fig. 5. Schematic diagram of the experimental apparatus.

축성형에 있어서 재료의 흐름은 Fig. 1과 같이 폭방향을 구축하여 길이방향으로만 되게 하였다. 화상처리에 이용한 이미지 스캐너는 일본 세이코 엠스제 GT-4000V이며, 해상도는 400×400화소, 1화소 1/8mm × 1/8mm, 농도계조 256계조(gray level: 흑=0, 백=255)이다. 그리고 연X-선 촬영은 일본 MIKASA MAMMO Graphic System(한양 종합건강센터)을 이용하였으며, 필름은 후지사 제품(MI-NC)의 의료용 X-ray 필름, 180mm × 240mm)이다.

Fig. 6과 같이 불균질도를 구하기 위한 시험편의

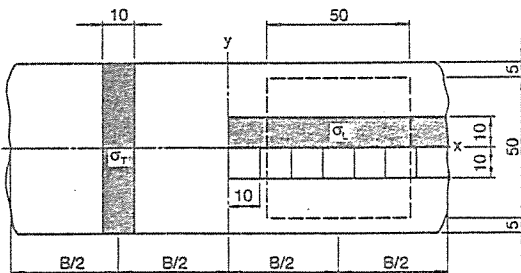
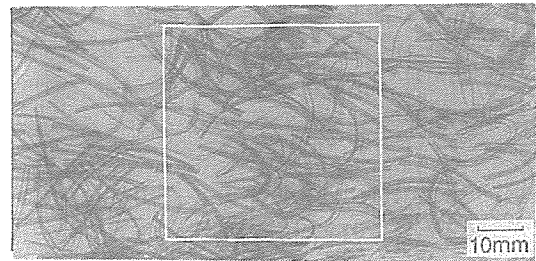


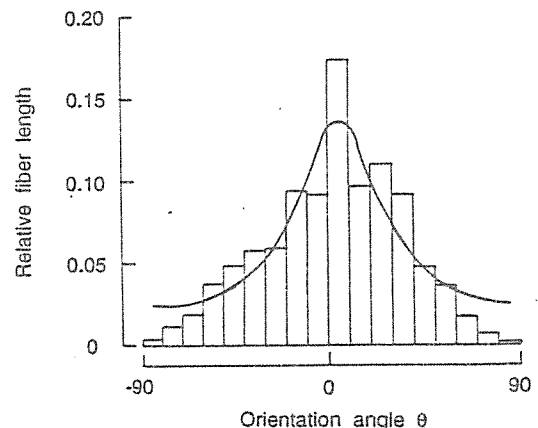
Fig. 6. Specimen for the measurement of tensile strength σ_L and σ_T , parts for measuring fiber content and measurement area for orientation function J.

연소는 성형품의 중립면에서 x축을 따라서 가로 10mm × 세로 10mm를 채취하여 전기로에서 폴리프로필렌을 620℃에서 30분간 가열 연소하고, 연소 전후의 무게를 천평으로 측정하여 섬유함유율 분포를 구하였다. 또 섬유배향함수 J를 측정하기 위하여 성형품의 길이 B/2인 점을 기준으로 하여 50mm × 50mm의 영역을 화상처리함으로써 배향함수 J를 측정하였다. 그리고 2차 가공한 성형품의 유동방향의 인장강도 σ_L 과 유동방향의 직각방향 인장강도 σ_T 의 비를 구하기 위하여 σ_L 은 성형품 총 길이의 1/2인 점을 기준으로 가로축을 따라서 폭 10mm를, σ_T 는 성형품의 길이 B/2인 점을 기준으로 세로축 폭 10mm를 각각 채취하여 두께별로 인장시험하였다.

Fig. 7은 유리섬유 길이 25mm, 압축비 0.77인 시편의 연X-선 사진과 배향함수와의 관계를 나타낸



(a) Soft X-ray photograph



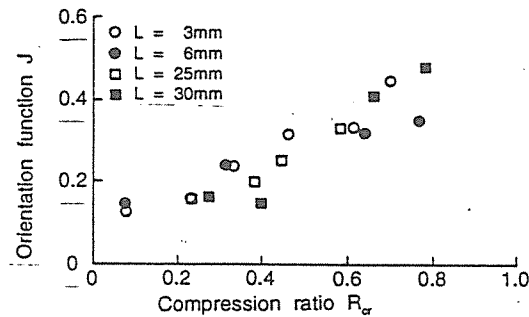
(b) Orientation function J

Fig. 7. Fiber orientation state of rectangular shaped part after molding ($L=25\text{mm}$, $R_{cr}=0.77$, $J=0.36$).

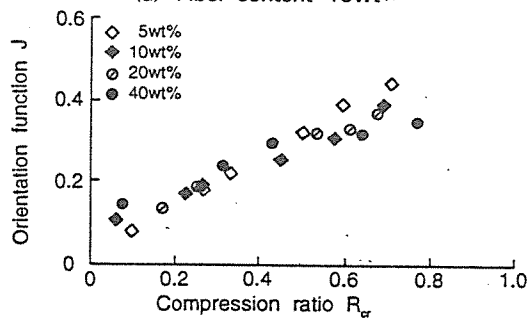
한 예이다. Fig. 7의 (a) 사진에서 검은부분은 강화재인 유리섬유이고, 흰부분이 모재인 폴리프로필렌이다. 사진의 가운데 부분이 성형품의 평균속도에 해당하는 B/2인 점이며, 이 점을 기준으로 가로, 세로 각각 50mm 영역을 확장처리하여 섬유의 배향상태(배향함수 $J=0.36$)를 그림(b)에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

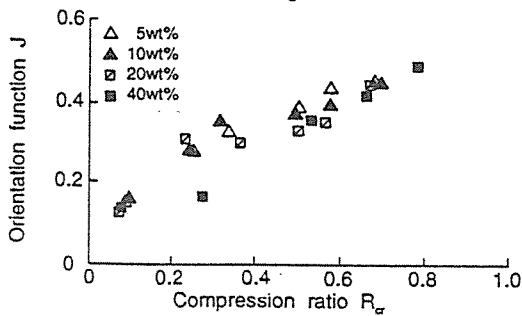
Fig. 8(a)는 섬유함유율 40wt% 인 경우 섬유길이(3



(a) Fiber content 40wt%



(b) Fiber length 6mm

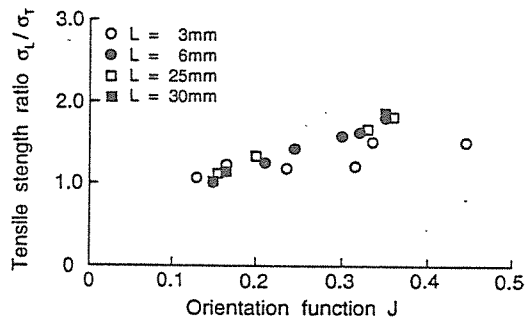


(c) Fiber length 30mm

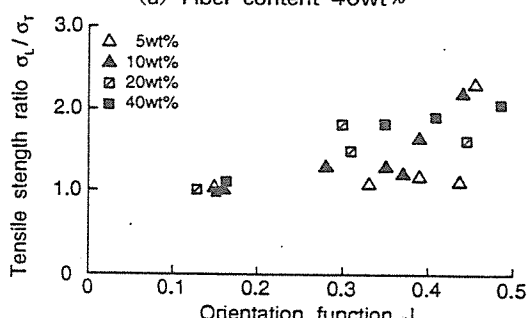
Fig. 8. Effects of the compression ratio R_{cr} on the fiber orientation function J .

mm, 6mm, 25mm, 30mm) 변화에 따른 섬유의 압축비와 배향함수와의 관계이며, (b), (c)는 섬유 길이가 6mm, 30mm인 경우 섬유함유율(5wt%, 10wt%, 20wt%, 40wt%) 변화에 따른 섬유의 압축비와 배향함수와의 관계이다. 이 그림들로부터 섬유의 길이와 섬유함유율은 배향함수에 영향을 미치지 않고, 압축비에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

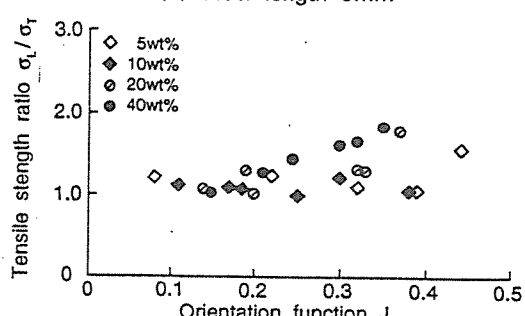
Fig. 9의 (a), (b), (c)는 섬유배향함수와 성형품의 인장강도비의 관계이다. 앞의 실험조건에서 폭방향을 구속하여 고온압축성형 하였기 때문에 섬



(a) Fiber content 40wt%



(b) Fiber length 6mm



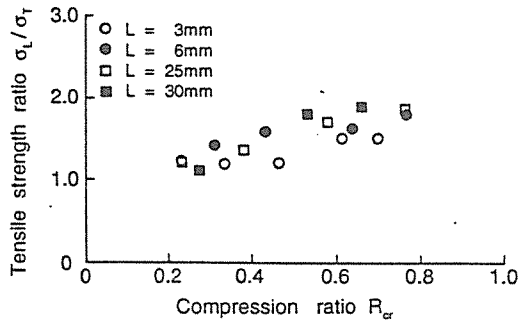
(c) Fiber length 30mm

Fig. 9. Effects of the fiber orientation function J on the tensile strength ratio σ_L/σ_T .

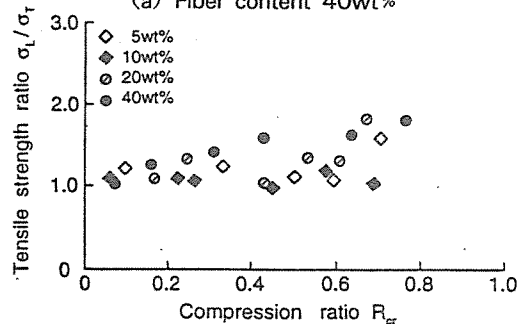
유는 길이방향으로만 모재와 같이 흐르므로 σ_L 이 σ_T 보다 크게되어 배향함수가 증가할수록 인장강도비가 증가함을 알 수 있다.

압축비와 성형품의 인장강도비의 관계를 Fig. 10의 (a), (b), (c)에 나타내었다. 이 그림에 나타난 바와 같이 압축비가 증가할수록 섬유 배향이 잘되어 인장강도비가 증가함을 알 수 있다.

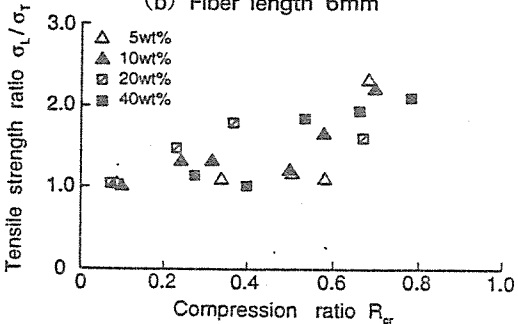
Fig. 11(a)는 섬유함유율 20wt%, 섬유길이가 6mm, 30mm인 경우 성형품의 압축비와 불균질도와와의 관계이다. 시험편의 불균질도는 압축비가 크면 클



(a) Fiber content 40wt%



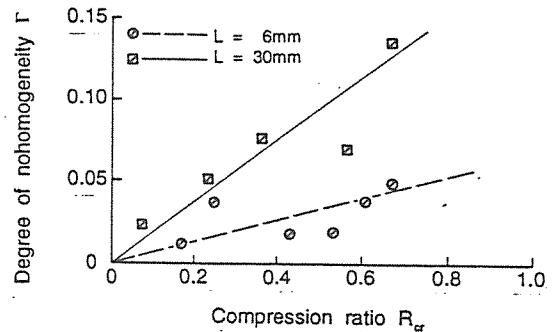
(b) Fiber length 6mm



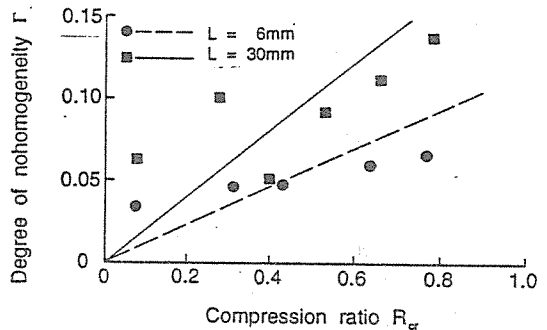
(c) Fiber length 30mm

Fig. 10. Effects of the compression ratio R_{cr} on the tensile strength ratio σ_L/σ_T .

수록 성형품내의 섬유와 모재와의 분리로 인하여, 그림에 나타난 바와 같이 섬유의 길이 30mm인 경우가 6mm인 경우보다 불균질도가 더 커짐을 알 수 있다. Fig. 11(b)는 섬유함유율 40wt%, 섬유길이가 6mm, 30mm인 경우 성형품의 압축비와 불균질도와와의 관계로서 (a)의 경우와 같이 섬유의 길이가 길어 질수록 불균질도가 증가함을 알 수 있다. 여기서 실험 데이터는 많은 편차가 있는데 복합재료 자체가 갖고 있는 불균질성 때문으로 판단된다.



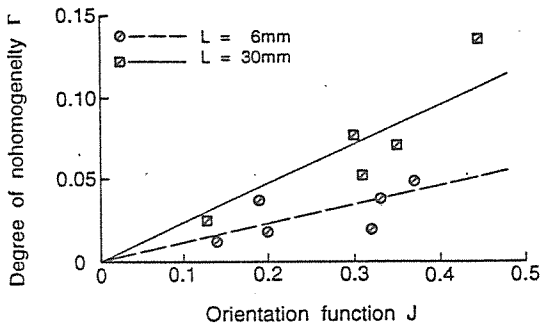
(a) Fiber content 20wt%, Fiber length 6mm, 30mm



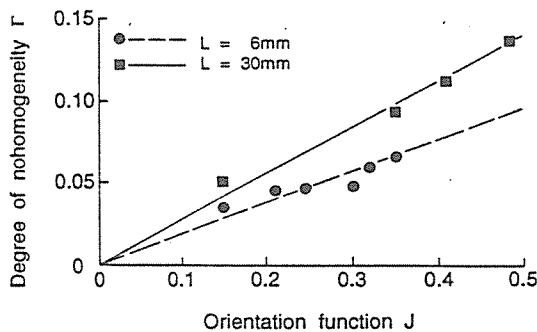
(b) Fiber content 40wt%, Fiber length 6mm, 30mm

Fig. 11. Effects of the compression ratio R_{cr} on the degree of nonhomogeneity Γ .

Fig. 12(a), (b)는 섬유함유율 20wt%, 40wt%, 섬유길이가 6mm, 30mm인 경우 배향함수 J 와 불균질도 Γ 와의 상관관계를 나타낸 그림으로서 배향함수가 증가하면 불균질도도 증가함을 알 수 있다. Fig. 12의 결과로부터 성형품의 불균질도 Γ 와 섬유의 배향함수 J 는 다음과 같이 1차함수로 표시하였다.



(a) Fiber content 20wt%, Fiber length 6mm, 30mm



(b) Fiber content 40wt%, Fiber length 6mm, 30mm

Fig. 12. Relationship between the orientation function J and the degree of nonhomogeneity r .

$$r = C \cdot J \quad \dots\dots\dots (8)$$

여기서, 기울기 C 는 분리·배향의 상관관계를 나타내는 상관계수[10]이다. 이 C 의 값은 분리·배향의 관점에서 재료의 특성을 나타내는 값이며, C 가 크면 분리는 쉽게 되나 배향은 잘 되지 않고, C 가 작으면 그 반대의 현상을 나타낸다. 섬유함유율 40wt%인 경우 섬유길이(3mm, 6mm, 25mm, 30mm) 변화에 따른 상관계수 C 를 최소자승법에 의하여 구하고, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 분리의 척도인 불균질도가 크다는 의미는 모재인 폴리프로필렌만이 섬유

Table 1. Correlation coefficient (C).

Specimen	3mm	6mm	25mm	30mm
C Value	0.15	0.19	0.25	0.28

사이를 흘러가는 것이고, 불균질도가 작다는 의미는 모재와 섬유가 서로 같이 유동하는 것을 말한다.

Fig. 13은 상관계수에 미치는 섬유길이의 영향을 나타낸 그림으로서 섬유길이가 길어 질수록 섬유 상호간의 간섭이 커져 상관계수가 증가함을 알 수 있다. 그러므로 모재와 섬유의 분리 및 섬유의 배향은 별개가 아니라 서로 불가분의 관계가 있으며, 배향 함수와 불균질도의 상관관계도로부터 분리·배향의 관점에서 복합재료의 설계에 지침을 줄 수 있다고 생각된다.

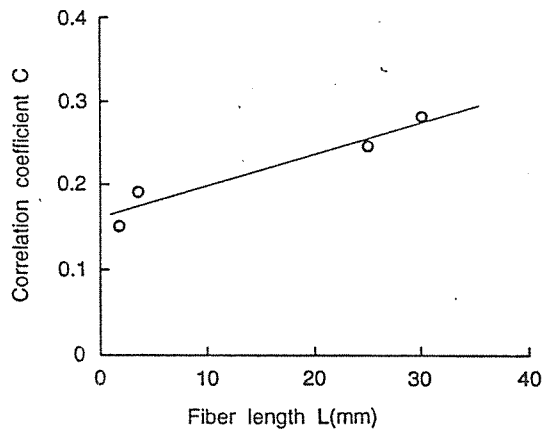


Fig. 13. Effects of the fiber length on the correlation coefficient C .

5. 결 론

- (1) 배향함수는 섬유길이, 섬유함유율 보다는 압축 비에 크게 영향을 받는다.
- (2) 섬유길이가 길고 섬유함유율이 많을수록 섬유 상호간의 간섭이 커져 불균질도가 증가한다.
- (3) 불균질도와 배향함수는 상관관계가 있으며 불균질도가 증가하면 배향함수도 증가한다.
- (4) 섬유길이가 길수록 상관계수는 증가한다.

후 기

이 논문은 1991년도 교육부 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며, 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Hojo, H., Kim, E.G., Tamaka, K., 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, 1986, pp.605-612.
2. Hojo, H., Kim, E.G., Tamaka, K., "The Fibre Content Distribution of Compression Molded Long Fibre-Reinforced Thermoplastic Products", International Polymer Processing, Vol.1, Issue 2, 1987, pp.60-65.
3. Hojo, H., Kim, S.H., Beak, N.J., Kim, E.G., "Prediction of Fibre Content Distribution in Compression Molded Fibre-Reinforced Thermoplastics", Proceedings of the 5th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Kyoto, Japan, 1989, pp.12-20.
4. Hojo, H., Kim, E.G., Yaguchi, H., Onodera, T., "Simulation of Compression Molding with Matrix-Fibre Separation and Fibre Orientation for Long Fibre-Reinforced Thermoplastics", International Polymer Processing, Vol.3, Issue 1, 1988, pp.54-61.
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, 1988, No.232.
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, 1988, No.233.
7. 조선형, 이동기, 김이곤, "長纖維強化 高分子複合板의 프레스成形에 있어서 畫像處理에 의한纖維의 配向에 관한 研究", 大韓機械學會 論文集, 第15卷 第3號, 1991, pp.834-842.
8. 이동기, 유정훈, 김이곤, "長纖維強化 高分子複合板의 壓縮成形에 있어서纖維의 分離와 配向의 相關關係에 관한 研究", 大韓機械學會 論文集, 第17卷 第1號, 1993, pp.62-68.
9. 山田國廣, 堀川 明, "2次元纖維集合體の確率幾何", 纖維學論文集, 37, 12, 1984, pp.51-64.
10. 이동기, 김정락, 김상필, 이우일, 김이곤, "Thermoforming用 長纖維強化 複合材料의 成形工程에 관한 研究-分離·配向의 相關係수에 대하여-", 大韓機械學會 論文集 第17卷, 第5號, 1993, pp.1106-1114.