

● 論 文

단섬유강화 고분자 복합재료의 압축성형에 있어서 섬유배향에 관한 연구

김 혁* · 전 상 기* · 이 동 기** · 한 길 영** · 김 이 곤***
(96년 5월 22일 접수)

The Planar Orientation of Fibers during Compression Molding of Short Fiber Reinforced Polymeric Composites

Hyuk Kim* · Sang Ki Jeon* · Dong-Gi Lee** · Gil Yong Han** · E Gon Kim***

Key Words : Closure Speed (압축속도), Fiber Orientation (섬유배향), Compression Molding (압축성형), Compression Ratio (압축비), Orientation Angle (배향각)

Abstract

In this study basic equations of fiber orientations is compared with experimental results. It is found that fiber orientations of short fiber reinforced polymeric composite under compression molding are governed by slope of flow speed in x y direction. Fiber orientation angle of mold is also found to increase with closure speed and the compression ratio. At the middle of the mold, the slope of flow speed is larger in x direction than in y direction. At the wall of the mold, the slope of flow speed in y direction occurs due to the effect of friction, hence affects the fiber orientation. The effect of partial flow, which incurs y direction orientation causes to increase the fiber orientation angle at the fore part of the flow.

1. 서 론

섬유강화 고분자 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법은 합침성형과 유동성형으로 크게 구분된다. 전자는 섬유강화 열경화성 플라스틱 복합재료(FRTS)에, 후자는 섬유강화 열가소성 플라스틱 복합재료(FRTP)와 SMC 및 스

템퍼블 시트에 적용된다. 합침성형은 유동성형과 비교하면 섬유길이, 섬유함유량을 크게 할 수 있어 일반적으로 고강도, 고강성이지만 생산성, 작업환경, 부품의 치수 정밀도가 떨어진다. 생산성, 치수 정밀도의 면에서 보면 유동성형이 훨씬 뛰어나다. 이 유동성형은 재료가 금형내에서 유동하기 때문에 성형품의 두께에 상당한 변화를 줄 수가 있어서 성형의

* 조선대학교 대학원

** 조선대학교 공과대학, 수송기계부품 공장자동화 연구센터

*** 국민대학교 공과대학, 정밀성형 및 금형가공 연구센터

자유도가 크고, 복잡한 형상의 부품성형이 가능하여 생산성도 높고, 또한 생산비도 낮은 특징이 있어 고온 유동성형에 관한 연구가 활발히 행하여지고 있다.

유동성형 중에서 근래 가장 각광을 받는 것이 유리섬유를 강화재로 하고 열가소성수지를 모재로 한 섬유강화 고분자 복합재료이다. 이 재료는 비중이 작기 때문에 구조 부품의 경량화에 유효하고 수지계의 복합재료이므로 내식성 및 생산성이 뛰어나며, 또한 열가소성수지이므로 재생이용이 가능하고, 최종처리로서 소각도 용이하다. 이러한 장점 때문에 항공기, 자동차 및 각종 산업분야에서 부품 소재로서 각광을 받고 있다.

섬유강화 고분자 복합재료를 고온 압축성형(2차 가공)하는 경우, 가장 큰 문제점은 압축성형시 재료의 유동속도차에 의한 섬유배향이 발생하여 성형품이 불균질하게 되고 이방성이 되어 성형품의 강도나 특성에 변화가 생긴다. 따라서, 이 섬유배향을 성형조건이나 재료와 관련시켜서 명확히 하고, 또 섬유배향을 제어하면 최적 성형조건을 결정할 수 있어 뛰어난 성형품을 얻을 수 있다.

Hojo¹⁾ 등은 섬유의 분리를 표현할 수 있는 분리방정식을 유도하여 분리계수를 제안 및 측정하였고, Yaguchi²⁾ 등은 섬유배향을 화상처리를 이용하여 측정하였다. 필자³⁾들은 장섬유 배향의 경우 유동장에 의존하는 것이 아니라 변위에 의존함을 밝혔다. 이때 분리의 척도는 불균질도, 배향은 배향함수를 사용하였고, 배향함수는 화상처리에 의해서 구하였다.

본 연구에서는 단섬유강화 고분자 복합재료의 프레스성형에 있어서 x축 방향의 속도구배를 고려하여 유리섬유의 엉킴이 없는 칩트 스트랜드(chopped strand) 섬유배향 기초식을 유도하여 실험결과와 비교 검토한다. 또한, 단섬유강화 고분자 복합재료의 고온압축 프레스성형시 유리섬유의 유동을 지배하는 인자인 유리섬유와 모재의 유동성에 관하여 연구하기 위하여 칩트 스트랜드의 교차각도를 30°, 45°, 60°로 배향하여 모재와 적층시킨 다음 열압축프레스를 사용하여 1차로 시트를 제작하고, 이 제작된 시트를 가열로로 가열하여 25톤 유압 열프레스로 2차 고온압축 프레스성형한다. 여기서, 압축속도와 압축비를 변화시켰을 때 발생하는 유리섬유의 배향에 관한 실험결과를 고찰한다.

2. 이 론

2. 1 섬유분리방정식

섬유강화 고분자 복합재료의 고온압축 프레스성형에 있어서 유동을 고체(섬유)와 액체(고분자) 2상인 하나의 유동으로 생각하고, 섬유는 구로 가정한다. 이때 섬유의 속도 V_f 모재의 속도 V_m 인 한 개의 섬유운동방정식은 2상 유동이론의 기초하에 식(1)과 같다¹⁾.

$$\frac{W_f}{g} \frac{dV_f}{dt} = C_D \frac{\gamma_m}{2g} (V_m - V_f)^2 a_f + W_f \frac{\gamma_f - \gamma_m}{\gamma_m} \cos \theta - f_f \quad (1)$$

여기서 W_f 는 섬유의 중량, C_D 는 항력계수, γ_m 은 모재의 비중량, γ_f 는 섬유의 비중량, a_f 는 유동방향에 직각방향의 투영단면적이다. 식(1)의 오른쪽 첫번째 항은 섬유와 모재의 속도차로 인한 항력을 나타내며, 두번째 항은 섬유의 중력과 부력이며, θ 는 중력과 유동방향 사이에 이루는 각이다. 또 세번째 항은 섬유의 형태, 섬유함유량 및 성형조건 등의 영향을 받은 섬유의 마찰 또는 뒤엉킨 힘을 받는 상호 구속력을 나타낸다.

뉴우톤 유체의 경우 항력계수는 αRe_f^β 로 표시할 수 있다(구인 경우는 $\alpha = 24$, $\beta = 1$ 이고, 원통인 경우는 $\alpha = 6.474$, $\beta = 0.883$ 이다). 유동성형 중의 섬유의 실제 항력계수 C_D 는 보정계수 j 를 주어

$$C_D = j \alpha \text{Re}_f^\beta \quad (2)$$

로 표시되며, Reynolds수 Re_f 는 식(3)과 같다.

$$\text{Re}_f = (V_m - V_f) d_f \rho_m \mu_m \quad (3)$$

여기서 ρ_m , μ_m 은 모재의 밀도와 점도이고, d_f 는 원통형인 경우의 섬유지름이다. 구인 경우의 상당 직경 d_{fs} 는 식(4)와 같다.

$$d_{fs} = \sqrt[3]{1.5 d_f^2 \bar{l}_f} \quad (4)$$

여기서 \bar{l}_f 는 섬유의 평균길이다.

모재와 섬유의 분리과정에서 속도 V_c , V_f , V_m 은 변화하게 됨에 따라 V_m 과 V_c 는 같다고 가정한다. 또한, 중력과 부력의 항을 무시하고, Reynolds수 ($\text{Re}_f < 0.1$)가 작기 때문에 정상상태로 가정한다. 위와 같은 가정을 사용하여 섬유를 구로 가정하고,

식(1), (2), (3), (4)로부터 섬유 속도 V_f 를 구하면 식(5)와 같이 표시된다.

$$V_f = V_c - \frac{f_f}{18 j_{sp} W_f} \frac{\gamma_f d_{fs}^2}{\mu_m}$$

$$= V_c - K_{sp} \frac{\gamma_f d_{fs}^2}{\mu_m} \quad (5)$$

여기서 V_c 는 복합재료의 속도, K_{sp} 는 분리계수이다.

Fig. 1과 같이 1차원 직사각형판의 압축유동(x, y방향의 길이와 폭에 비해서 z방향의 두께가 작으므로 z방향 속도는 무시)에서 분리계수와 x방향의 평균속도의 관계에 대해서 고찰한다. 복합재료의 속도와 모재의 속도가 같다고 가정하여 x방향의 평균속도 \bar{V}_m 을 구하면 식(6)과 같다.

$$\bar{V}_m = \frac{2}{h} \int_0^{h/2} V_m dz = \frac{\dot{\gamma}}{h} x \quad (6)$$

여기서 $\dot{\gamma}$ 는 프레스의 압축속도이고, h는 성형 후의 두께이다.

평균속도구배는

$$\dot{\gamma} = \frac{2}{h} \int_0^{h/2} \dot{\gamma} dz = 2C \frac{\dot{\gamma}}{h^2} x \quad (7)$$

여기서 $\dot{\gamma}$ 는 속도구배이고, $C = (2n_m + 1)/(n_m + 1)$, n_m 은 고분자 구조점도 지수이다.

복합재료가 의소성 유체이기 때문에 식(7)을 사용하여 점도 μ_m 을 의소성 모델로 표현하면

$$\mu_m = K_m \dot{\gamma}^{n_m-1} = K_m (2C \frac{\dot{\gamma}}{h^2} x)^{n_m-1} \quad (8)$$

여기서 K_m 은 고분자의 구조점도이다.

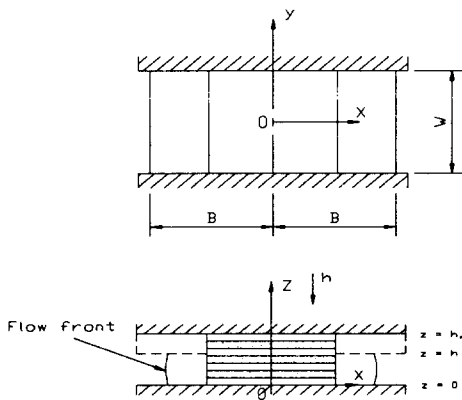


Fig. 1 Nomenclature for slab-shaped part compression molding

고온압축 성형중 섬유의 속도 V_f 는 식(5), (6) 및 (8)로부터 구하면 식(9)와 같다.

$$V_f = \frac{\dot{\gamma}}{h} x - \frac{K_{sp} \gamma_f d_{fs}^2}{K_m} (2C \frac{\dot{\gamma}}{h^2} x)^{1-n_m} \quad (9)$$

2. 2 섬유배향식

복합재료를 Fig. 1과 같이 평행판 사이에 끼우고 y방향의 흐름을 구속하여 압축성형하므로 x축 방향의 속도구배만 고려한다. Fig. 2와 같이 흐름의 가운데에 놓인 길이 L인 섬유는 x축 방향의 속도차에 의해서 회전한다. 섬유의 각속도 $\dot{\theta}$ 는 식(10)과 같다.

$$\dot{\theta} = \left[\frac{V_{fa} - V_{fb}}{L} \right] \sin \theta \quad (10)$$

여기서 V_{fa} 및 V_{fb} 는 섬유양단의 속도이며, 식(11)과 같다.

$$V_{fa} = \frac{dV_f}{dx} \left(x + \frac{L}{2} \cos \theta \right)$$

$$V_{fb} = \frac{dV_f}{dx} \left(x - \frac{L}{2} \cos \theta \right) \quad (11)$$

여기서 dV_f/dx 는 x축 방향의 속도구배이다.

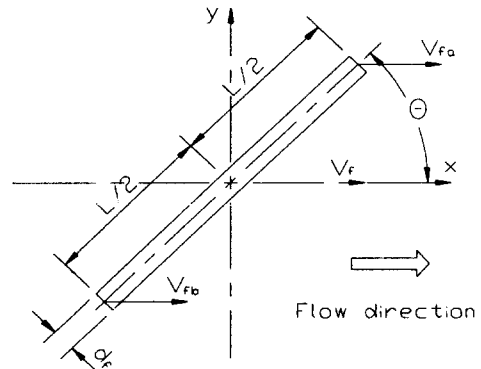


Fig. 2 Flow direction of fiber

섬유의 양단에 있어서 속도차는 식(12)와 같다.

$$V_{fa} - V_{fb} = \frac{dV_f}{dx} L \cos \theta \quad (12)$$

식(10), (12)로부터 섬유의 각속도 $\dot{\theta}$ 는

$$\dot{\theta} = \frac{dV_f}{dx} \cos \theta \sin \theta \quad (13)$$

또, 성형품의 중심으로부터 거리 x 의 위치에 있는 섬유의 분리가 생기는 경우, 속도구배는 식(9)를 x 로 미분하면 식(14)와 같다.

$$\frac{dV_f}{dx} = \frac{\dot{h}}{h} - \frac{K_{sp} \gamma_f d_{fs}^2}{K_m} (1 - n_m) \left(2C \frac{\dot{h}}{h^2} x \right)^{-n_m} \quad (14)$$

식(14)를 식(13)에 대입하여 사각형평판 압축성형품의 섬유각속도 $\dot{\theta}$ 를 구하면 식(15)와 같다.

$$\dot{\theta} = \left[\frac{\dot{h}}{h} - \frac{K_{sp} \gamma_f d_{fs}^2}{K_m} (1 - n_m) \left(2C \frac{\dot{h}}{h^2} x \right)^{-n_m} \right] \cos \theta \sin \theta \quad (15)$$

3. 실험

섬유강화 고분자 복합재료의 고온압축 프레스성형시 유리섬유의 유동을 지배하는 인자인 유리섬유와 모재의 유동성에 관하여 고찰하기 위하여 Fig. 3과 같이 x 축 방향으로 칩트 스트랜드의 교차각도 θ_0 를 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 로 배향하여 모재와 적층시켰다. 1차로 시트를 제작하기 위해 두께 0.25mm의 폴리프로필렌 시트를 60mm(폭)×60mm(길이)로 절단해서 18장 적층한 다음 열압축프레스를 사용하여 시험편으로 제작하였다. 이때 시험편의 성형 조건은 금형온도, 재료온도 모두 200°C 로 하였고, Fig. 3과 같이 적층할 때 시험편의 중간층 9개소에 길이 13mm(한국 베토렉스(주) 제품, 스트랜드 Tex: 75, 필라멘트 직경 $14\mu\text{m}$)인 섬유를 서로 교차하도록 놓았다.

고온압축 프레스성형시 사용한 압축속도는 1mm/s, 10mm/s, 18mm/s 및 25mm/s이고, 압축비($R_{cr} = 1 - h/h_0$, h : 성형 후의 두께, h_0 : 성형 전의 두께)는 0.25, 0.36, 0.48, 0.61, 0.73이다. 이때, 금형캐비티의 치수는 60mm×240mm이고, 블랭크의 온도는 200°C , 금형의 온도는 200°C 로 유지하였다. 가압장

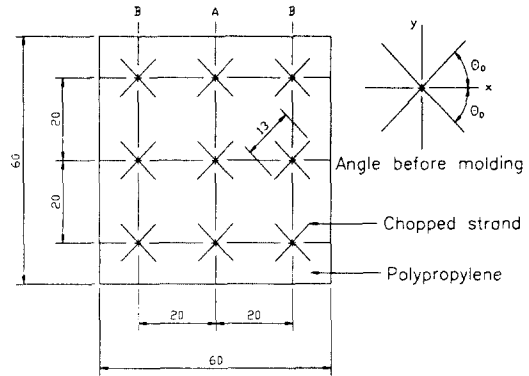


Fig. 3 Specimen for one-dimensional square shaped

치는 25톤 유압 열프레스(CARVER, MODEL: 2518)를 사용하고, Fig. 4에 이 유압프레스의 개략도를 나타냈으며, 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판 히터를 사용하였다. 또한, 칩트 스트랜드의 교차각도 θ_0 를 갖는 시험편의 고온압축 프레스성형에 있어서 재료의 흐름은 Fig. 1과 같이 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 되게 하여 1차원 평판 고온압축 성형한 후 이 성형품의 섬유배향각도를 측정하여 θ 로 하였다.

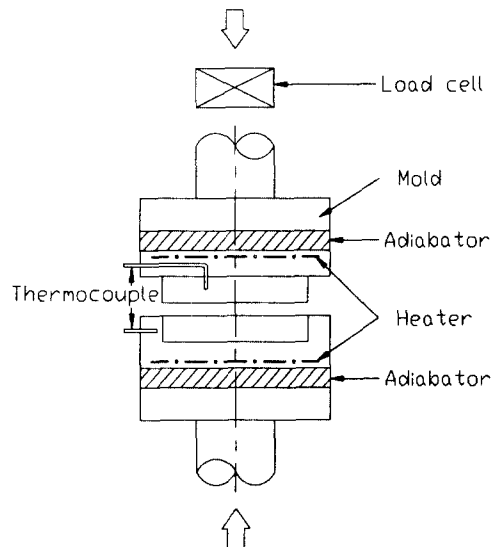


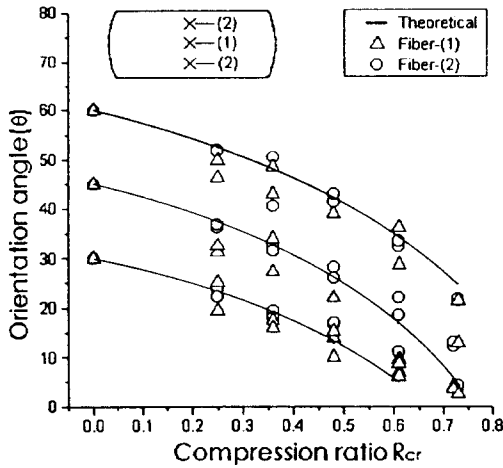
Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

4. 결과 및 고찰

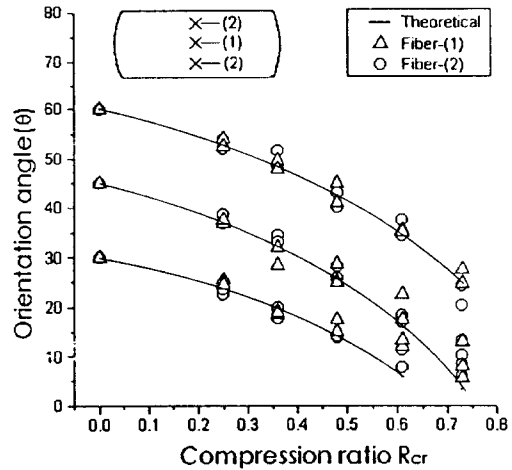
직사각형판 압축성형시 발생하는 섬유배향에 대해서 식(15)의 타당성을 검토하기 위해 시험편의 섬유교차각도 θ_0 와 압축속도 및 압축비를 변화시켜서 Fig. 1과 같이 압축성형한 후 섬유의 배향각도 θ 를 측정하여 식(15)에 의한 계산결과와 비교하였다.

섬유의 교차각도 θ_0 를 Fig. 3과 같이 배향하여

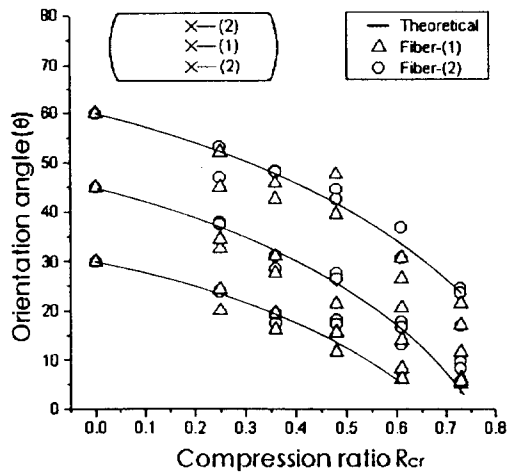
프레스의 압축속도 \dot{h} 및 압축비 R_{cr} 을 변화시켜 고온압축 프레스성형한 후 변위차에 의해 발생한 섬유배향각의 실험결과 중 A부분의 섬유배향상태를 Fig. 5에 나타냈고, B부분의 섬유배향상태를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에서 곡선은 식(15)를 이용해 분리는 생기지 않는 것으로 하여 분리계수 $K_{sp} = 0$ 으로 계산하였다. Fig. 5에서 성형품의 중심부분에 있는 섬유(1)의 배향각도 θ 는 이론각도와 잘 일치함을 알 수 있다. 이것은 직사각



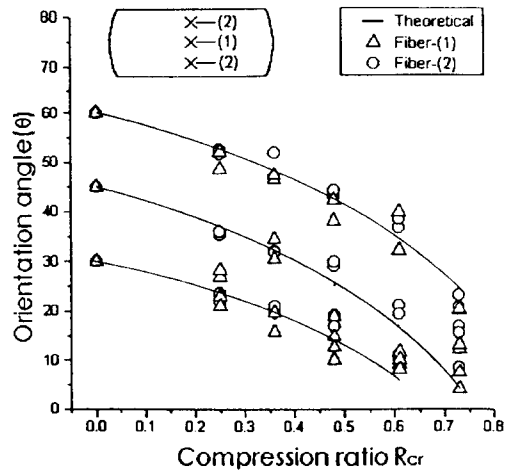
(a) Closure speed (1mm/sec)



(b) Closure speed (10mm/sec)

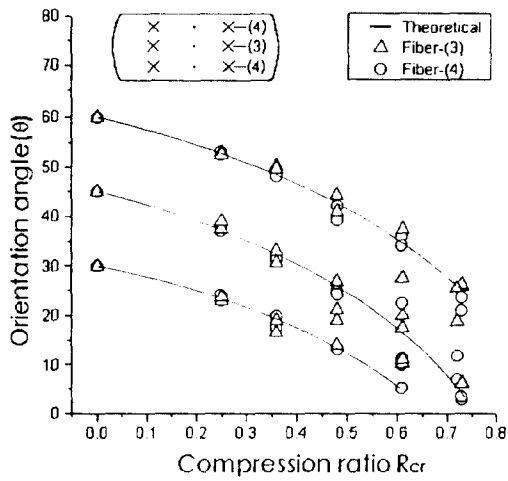


(c) Closure speed (18mm/sec)

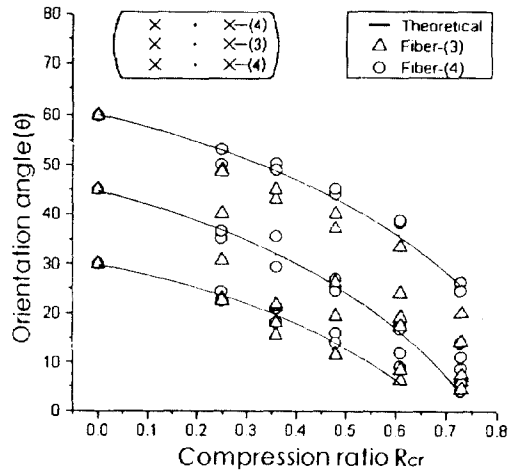


(d) Closure speed (25mm/sec)

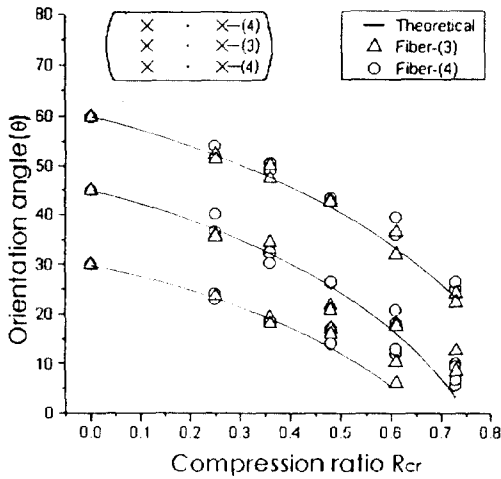
Fig. 5 Relationship between compression ratio and orientation angle (A-part)



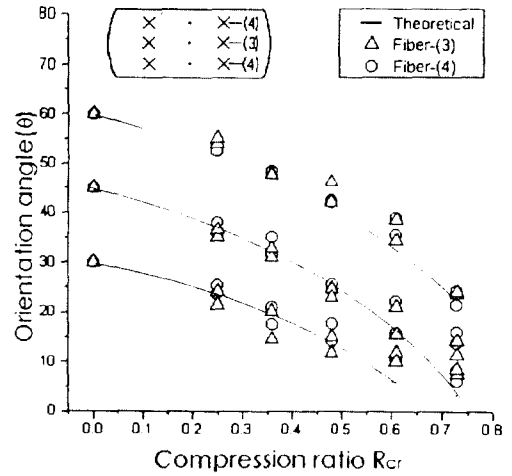
(a) Closure speed (1mm/sec)



(b) Closure speed (10mm/sec)



(c) Closure speed (18mm/sec)



(d) Closure speed (25mm/sec)

Fig. 6 Relationship between compression ratio and orientation angle (B-part)

형판의 중심축상에서 y축 방향의 속도구배 영향을 받는 부분이 매우 작아, x축 방향의 속도구배의 영향만을 받기 때문이다. 또 금형벽면 부근에 놓인 섬유(2)의 배향각도 θ 와 이론각도도 잘 일치하고 있다. 그러나 압축비가 증가할수록 벽면에서의 마찰영향으로 유동속도가 늦게 되어 압축속도의 영향보다는 금형벽면의 마찰영향을 많이 받아 측정된 섬유 배향각도가 이론각도보다 커짐을 알 수 있다.

Fig. 6에서 섬유(3)의 배향각도 θ 는 섬유(1)보다 크고, 섬유(4)의 배향각도 θ 는 섬유(2)보다 크다. 그 이유는 y축 방향 속도구배의 영향이다. 섬유(3)의 경우는 섬유(4)에 비해 상대적으로 중앙부에 위치하므로 금형벽면의 마찰영향을 덜 받게 되어 섬유의 회전하는 각도는 x축 방향의 속도구배에 의해서는 $+\theta$ 방향으로 회전하고, y축 방향의 속도구배에 의해서는 $-\theta$ 방향으로 회전한다. 섬유(4)는 흐름선단에서 재료가 중앙부분으로부터 금

형벽쪽으로 흐르기 때문에 섬유가 금형벽방향으로 흐르고 x축 방향의 속도구배에 의한 회전이 잘 되지 않아 x축 방향의 속도구배보다 $-\theta$ 방향으로 회전한다. 더욱이 y축 방향의 속도구배에 의해서도 $-\theta$ 방향으로 회전한다. 그 결과 섬유배향이 잘 되지 않아 섬유가 회전하는 각도는 이론각도보다도 크게 된다.

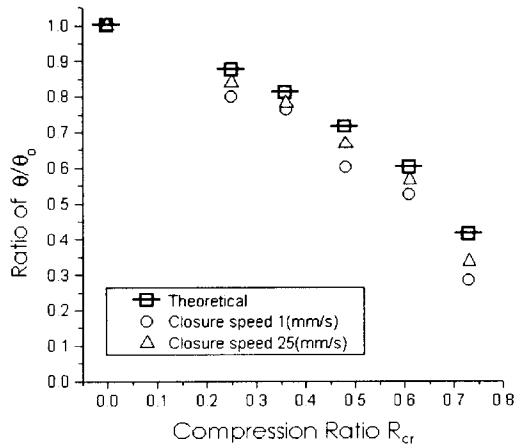
또, 압축비가 클수록 재료의 속도가 빠르게되고 흐름선단에서 재료가 중앙부분으로부터 금형벽면으로 빠르게 흐르기 때문에 y축 방향의 속도구배가 커지게 된다. 따라서 y축 방향의 속도구배에 의해서 회전하는 각도가 크게되어 이론각도와와의 차이가 크게 된다.

섬유의 교차각도 θ_0 , 프레스의 압축속도 \dot{h} , 압축비 R_{cr} 을 변화시켜 고온압축 프레스성형한 후 섬유배향각 θ 를 측정하여 그 평균값을 A부분의 실험결과를 Table 1에, B부분의 실험결과를 Table 2에 나타냈다. 이 Table 1, 2에 나타낸 바와 같이 압축비 0.48 이내에서는 이론의 배향각도와 측정된 배향각도가 매우 유사하게 나타났다. 또한 압축속도가 증가함에 따라 성형 후 측정된 배향각은 약간 증가하였으나, 시험편의 두께가 폭과 길이에 비해 매우 얇기 때문에 압축속도의 영향보다는 압축비 영향이 더 큼을 알 수 있다.

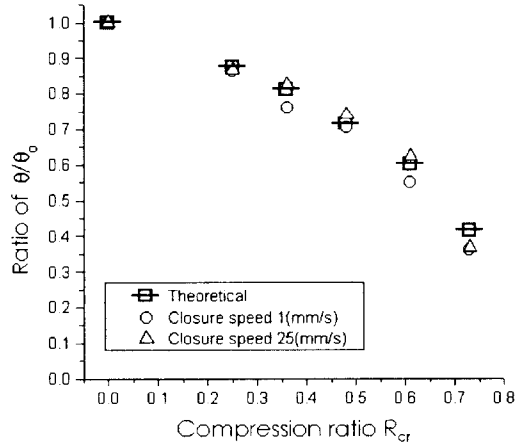
Fig. 7과 Fig. 8은 칙트 스트랜드의 교차각도를 60° 로 하여 모재와 적층시켜 제작된 시트에 대해서 고온압축 프레스성형시 압축속도를 변화시켰을 경우 압축비 변화에 따른 섬유의 배향각도비를 나타낸 한 예이다. 시험편 A부분 섬유의 경우가 B부분 섬유의 경우보다 중앙부에 위치하기 때문에 x축 속도구배의 영향만을 받고, 흐름선단에서 나타나는 y축 속도구배를 덜 받으므로 이론각도보다 약간 작아짐을 알 수 있다. B부분 섬유의 경우 중앙부에서의 섬유배향각도는 이론각도와 매우 유사하게 나타났으나 금형벽면 부근에서의 섬유배향은 벽면의 마찰과 y축 방향 속도구배의 영향으로 중앙부에 비해 이론각도와 약간의 차이가 나타났다.

단섬유강화 고분자 복합재료의 압축성형시 발생하는 섬유배향은 x축 방향의 속도구배와 y축 방향의 속도구배 양쪽에 의해서 생기고, 압축속도

가 빠를수록, 압축비가 클수록 재료의 유동이 길어져 측정된 섬유배향각이 이론각도보다 커짐을 알 수 있다. 또한, 성형품의 중앙부 부근에서는 x축 방향의 속도구배 영향이 크고, 금형벽면 부근에서는 마찰영향 때문에 y축 방향의 속도구배가 생겨 섬유배향에 영향을 미치고, 흐름선단부에서의 섬유배향각은 분류의 영향을 받아 y축방향으로 배향되므로 이론각도보다 커짐을 알 수 있다.



(a) Center of specimen



(b) Outside of specimen

Fig. 7 Relationship between ratio of θ/θ_0 and compression ratio R_{cr} (A-part)

Table 1 Comparison between orientation angle θ_0 and θ of specimens (A-part)

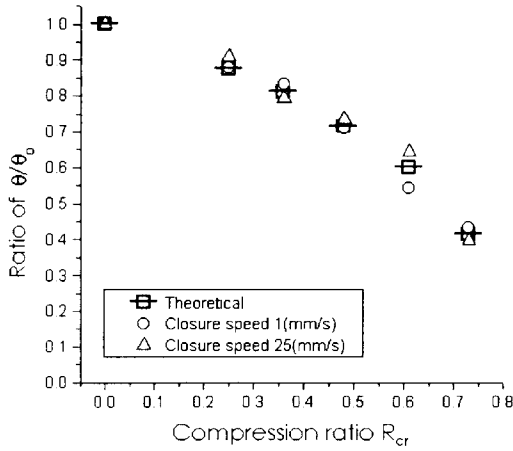
I.D	C.R	T.D	1 mm/sec		10 mm/sec		18 mm/sec		25 mm/sec	
			outside	center	outside	center	outside	center	outside	center
60	0.25	53.42	51.88	48.00	51.50	48.75	50.00	48.50	52.00	50.25
	0.36	48.55	45.50	45.75	49.25	43.25	47.50	45.75	49.38	46.88
	0.48	42.83	42.25	39.00	44.25	37.00	43.50	43.50	44.38	40.00
	0.61	35.99	33.00	31.50	38.38	28.70	33.75	28.58	37.38	33.88
	0.73	24.82	21.63	17.13	25.38	17.13	24.19	19.25	22.00	20.13
45	0.25	37.39	36.50	32.50	35.75	36.88	37.75	31.75	35.38	32.50
	0.36	31.75	32.00	30.63	32.43	26.25	29.75	29.25	31.88	28.25
	0.48	25.07	27.13	14.63	25.75	22.88	27.00	21.50	28.63	18.75
	0.61	16.98	20.25	8.25	17.25	18.38	17.13	17.25	20.13	12.63
	0.73	3.30	12.63	3.75	12.50	6.55	13.13	8.88	16.13	10.25
30	0.25	23.42	23.08	22.30	23.38	22.75	23.88	22.18	22.63	22.00
	0.36	18.55	18.75	16.75	19.50	16.75	18.45	17.83	20.30	15.83
	0.48	12.83	16.75	10.00	15.00	11.63	17.63	13.50	17.88	11.25
	0.61	5.99	10.88	7.38	10.50	7.38	10.25	7.13	10.50	9.00
	0.73	5.18	3.75	2.40	6.30	6.00	6.80	5.25	8.38	5.75

I.D : Initial degree, C.R : Compression ratio, T.D : Theoretical degree

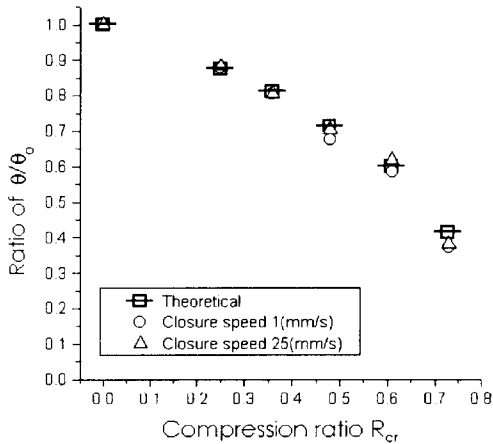
Table 2 Comparison between orientation angle θ_0 and θ of specimens (B-part)

I.D	C.R	T.D	1 mm/sec		10 mm/sec		18 mm/sec		25 mm/sec	
			outside	center	outside	center	outside	center	outside	center
60	0.25	53.42	52.75	52.75	52.85	53.25	52.75	51.75	53.00	54.50
	0.36	48.55	48.25	49.88	50.00	48.63	49.75	48.63	48.38	47.63
	0.48	42.83	40.70	42.63	41.50	43.00	43.13	42.75	42.35	44.10
	0.61	35.99	35.13	32.50	36.00	35.25	37.75	34.25	37.25	36.50
	0.73	24.82	22.25	26.00	22.25	26.13	25.75	23.13	22.88	23.75
45	0.25	37.39	37.50	38.25	37.68	37.13	38.25	35.75	37.00	35.75
	0.36	31.75	31.75	31.88	33.75	32.00	31.25	33.75	33.25	31.88
	0.48	25.07	24.63	24.13	27.00	26.88	26.38	20.38	24.88	23.88
	0.61	16.98	16.88	17.50	17.63	17.50	19.38	17.75	18.88	18.25
	0.73	3.30	9.38	11.07	11.75	12.93	9.63	10.50	14.88	12.75
30	0.25	23.42	23.50	23.38	23.00	25.00	23.50	23.38	24.38	22.75
	0.36	18.55	18.75	17.75	18.88	18.75	18.38	18.63	19.25	15.68
	0.48	12.83	13.25	16.50	14.13	16.25	15.50	16.50	15.75	13.38
	0.61	5.99	7.63	10.63	9.50	12.63	13.25	8.13	10.63	10.88
	0.73	5.18	2.94	6.13	7.25	6.75	6.75	8.50	7.13	8.00

I.D : Initial degree, C.R : Compression ratio, T.D : Theoretical degree



(a) Center of specimen



(b) Outside of specimen

Fig. 8 Relationship between ratio of θ/θ_0 and compression ratio R_{cr} (B-part)

5. 결 론

단섬유강화 고분자 복합재료의 압축성형에 있어서 섬유배향에 관한 연구로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 단섬유 배향기초식을 유도하였으며, 성형품의 중심부에서는 y축 방향의 속도구배의 영향이 거의 없이 x축 방향의 속도구배에 의해 배향하므

로 섬유배향의 이론각도와 측정된 섬유배향각도가 잘 일치하였다.

(2) 금형벽면 부근에서는 마찰영향 때문에 y축 방향의 속도구배가 생겨 섬유배향에 영향을 미치고, 흐름선단부에서의 섬유배향각은 분류의 영향을 받아 y축방향으로 배향되므로 이론각도보다 커짐을 알 수 있다.

(3) 고온압축 프레스성형시 압축속도와 압축비에 의한 섬유배향의 영향은 압축속도가 빠를수록, 또한 압축비가 클수록 재료의 유동이 길어져 측정된 섬유배향각이 이론각도보다 커짐을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 1995년도 조선대학교 우수연구센터의 기자재 구입지원과 교내연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고 문헌

- 1) Hojo, H., Kim, E. G., Tamakawa, K. and Nagatsuka, 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., Tamakawa, K., "The Fiber Content Distribution of Compression Molded Long Fiber-Reinforced Thermoplastic Products", Intern. Polymer Processing, Vol.1, Issue2, pp.60-65, 1987
- 3) Hojo, H., Kim, S. H., Beak, N. J. and Kim, E. G., "Prediction of Fiber Content Distribution in Compression Molded Fiber-Reinforced Thermoplastics", Proceeding of the 5th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Kyoto, Japan, pp.12-20, 1989
- 4) Hojo, H., Kim, E. G., Yaguchi, H., and Onodera, T., "Simulation of Compression Molding with Matrix-Fiber Separation and Fiber Orientation for Long Fiber-Reinforced

- Thermoplastic”, International Polymer Processing, Vol. 3, Issue 1, pp.54-61, 1988
- 5) Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D. G., Kim, E. G., “Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing”, International Polymer Processing, Vol.X, Issue3, pp. 262-269, 1995
- 6) 이동기, 유정훈, 김이곤, “장섬유강화 고분자복합판의 압축성형에 있어서 섬유의 분리와 배향의 상관관계에 관한 연구” 大韓機械學會 論文集, 第17卷 第1號, pp.62-68, 1993