

# 압축성형된 리브형 성형품의 섬유배향에 관한 연구

조선형\* · 오영준\*\* · 이건설\*\* · 윤성운\*\*\*

## A Study on Fiber Orientation of Compression-Molded Rib type Products

S. H. Jo, Y. J. Oh, K. S. Lee, and S. U. Yoon

### Abstract

Compression molding is widely used process for the industrial forming of fiber reinforced plastic articles. Its applications are of an extreme variety and the products range from large parts, such as used in the automotive industry to much smaller objects. In this paper, distribution of fiber orientation by the image processing method for rib type compression molded products of each fiber content is measured. And the effects of fiber content, product size on the orientation state are discussed.

**Key Words** : Long Fiber Reinforced Plastic Composites, Fiber Orientation, Rib-type Compression Molding, Fiber content

### 1. 서 론

섬유로 강화된 플라스틱 복합재료의 가장 큰 특징은 우수한 기계적 성질에 있다. 보강재인 섬유의 높은 비강도 및 비강성 때문에 복합재료는 기존 금속재료에 비해 높은 강도와 강성을 가지고 있다. 또한 복합재료의 기계적 성질은 섬유의 배열 방향에 따라 달라지며 섬유방향과 그 직각방향과는 강성도가 약 20배 정도 차이가 날 수 있게 때문에 적절한 섬유방향을 선택하면 더욱 더 경량화 효율을 높일 수 있다. 플라스틱 복합재료를 구조재료로 이용하는 경우에는 얇은 판이나 두께가 두꺼운 상태로 2차 성형을 하게 되는데 이 플라스틱 복합재료의 가공법에는 크게 압축성형법과 사출성형법으로 나눌 수 있다.

압축성형은 장섬유를 그대로 유지할 수 있어 강도, 강

성면에서 사출성형보다 뛰어나므로 항공, 우주산업용의 구조부품 제작에 활발히 이용되고 있다. 또한 압축성형 공정은 사출성형공정에 비하여 간단한 금형을 사용할 수 있기 때문에 금형의 값이 저렴하고 재료의 낭비가 매우 적으며, 사출성형에서 사용되는 압력보다 낮으며, 따라서 같은 크기의 표면적을 갖는 제품을 생산하는 경우 사출성형보다 낮은 용량의 프레스를 사용할 수 있기 때문에 넓은 단면적을 갖는 제품을 생산할 때는 사출성형보다 압축성형이 더 적합하다. 이러한 압축성형법을 이용하여 복합재에 대한 2차 성형을 하는 경우의 가장 큰 문제점은 복합재내의 섬유의 거동이다. 즉 섬유의 배향과 섬유 분산상태이다. 그러므로 본 연구에서는 리브달린 성형품을 압축성형하였을 때, 섬유의 배향 상태에 미치는 성형품의 기하학적인 크기와 섬유함유율의 영향에 대해서 고찰한 결과를 보고한다

\* 동서울대학 기계공학부  
\*\* 국민대학교 기계·자동차 공학부  
\*\*\* 조선대학교 기계공학부

## 2. 섬유배향이론<sup>(1)</sup>

### 2.1 섬유배향함수

섬유의 배향에서 성형품의 두께가 폭과 길이에 비해 매우 얇으면 섬유를 2차원 집합체로 취급할수 있다. 섬유배향은  $0 \leq \theta < \pi$ 의 범위 안에 있을 때 섬유배향각  $q(\theta)$ 는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 J는 Stein<sup>(6)</sup>에 의해 정의된 2차원 배향각분포에 대한 배향함수로 식 (2)와 같다.

$$J = 2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^2 \theta q(\theta) d(\theta) - 1 \quad (2)$$

여기서, J=0 은 배향이 등방성을 나타내고 J=1 이거나 J=-1이면 x축이나 y축 방향으로만 배향되어 있음을 의미한다.

### 2.2 농도법<sup>(2)</sup>

연 X선 사진의 미소부분의 모델은 Fig. 1에 나타내었으며, 그림에서 검은부분은 섬유이다.



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

Fig. 1 Model of the minute part of the soft X-ray photograph

Fig. 1 (a)에서 중심과 주변의 농도차가 거의 없으므로 이런 경우에는 어떤 방향성을 갖지 않는다. 본 연구에서는 농도차를 이용하여 섬유의 방향을 결정하므로 약간의 농도차가 있다면 섬유의 방향이 결정될 것이다. Fig. 1(b)는 약간의 농도차가 있는 그림이다. 이런 경우에는 화살표 방향으로 약한 방향성을 지니게 된다. Fig. 1(c)는 농도차가 큰 경우인데 여기서는 화살표 방향으로 강한 방향성을 지니는 것을 알수 있다. 이와같이 농도차는 섬유배향각을 결정한다. 경계는 유한차분법의 Sobel operator를 이용하여서 검출하였다.

사진의 농도차  $\Delta H, \Delta V$ 는 중심 화상요소의 수평과 수직방향 모두에 대해서 계산한다. 경계는 인접하는 화상사이의 농도차인  $\Delta G$ 에 의해서 검출되고 경계는  $\Delta G$ 의 값이 Threshold보다 클 때 결정된다.

$$\Delta G = (|\Delta H| + |\Delta V|)/2 \quad (3)$$

그리고, 물체의 윤곽선방향  $\theta$ 는 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}(\Delta V \times \Delta H^{-1}) + \pi/2 \quad (4)$$

식 (3)의  $\Delta G$ 는 검출된 화소와 인접한 화소의 농도차를 지칭하는 것이고 연X선 사진으로부터 얻어진 농도정보에서 모든 화소에 대하여 배향각  $\theta$ 와  $\Delta G$ 를 구하였을 때 섬유배향각 분포는 다음과 같이 얻어진다.

$$H_D(k) = N_\theta(k) / \sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i), (k=0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (5)$$

여기서 n은  $\pi$ 의 분할수를 나타내고  $N_\theta(k)$ 의 범위는

$$N_\theta(k) = (2k-1) \cdot \pi/2n < \theta \leq (2k+1) \cdot \pi/2n \quad (6)$$

이며, 배향함수 J는 화상처리를 이용해서 측정되는

$N_\theta(k)$ 로부터 계산된다.

Fig. 2는 배향주축과 배향각과의 상관 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 섬유 배향 함수 3=1 일 때, 배향주축과 일직선의 관계를, 3=0 일 때는 배향주축과 직각관계를 나타내고 있다.

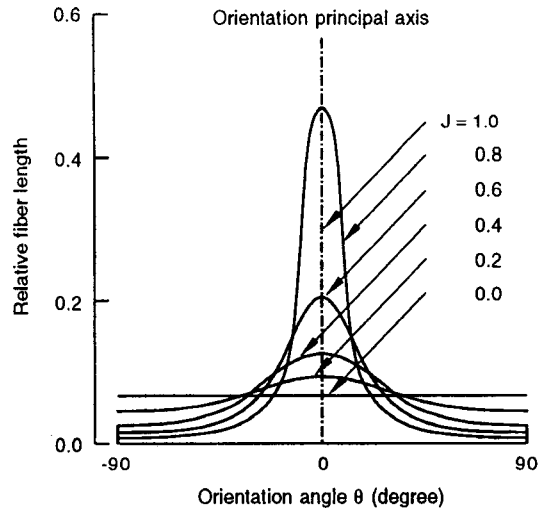


Fig. 2 Distribution of the fiber orientation angle

## 3. 실험

리브형 성형품의 섬유배향 상태에 미치는 성형품의 치수변화와 섬유함유율의 영향을 파악하기 위한 재료는 시제품(한화종합화학, GMT 매트, 섬유함유율 20wt%, 40wt%)을 이용하였다. 그리고 성형품을 리브형으로 압축성형하기 위한 금형의 개략도를 Fig. 3에 나타내었으

며, 가압장치는 50톤용량의 유압프레스이며, 재료를 전기 오븐에서 20분간 가열 한 후 금형에 충전하여 압축성형 하였다. 압축성형된 리브형 시험편을 높이방향으로 3mm 씩 절단하여 Soft x-ray사진을 촬영하였다.

성형품내 섬유배향 상태를 정량적으로 나타내기 위한 사진의 화상처리는 성형품이 좌우대칭이기 때문에 길이방향으로 1/2만 처리하였으며 처리한 섬유의 배향상태는 모두 벡터로 나타내었다.

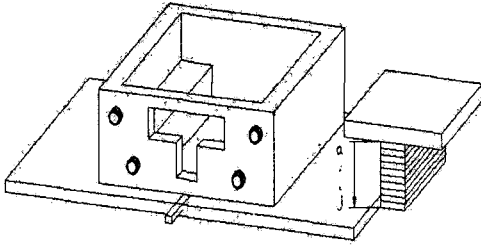


Fig. 3 Schematic diagram of the rib-type mold and specimen

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 섬유함유율이 40wt%인 경우 성형품의 높이 방향으로 시험편을 채취하여 섬유 배향함수 J의 변화를 나타내었는데 섬유 배향상태를 이 그림으로부터 정량적으로 알 수 있다.<sup>(3)</sup>

성형품의 리브 부분에 가까운 층일수록 섬유 배향상태가 크지 않은 반면 리브 부분에서 멀어질수록 모재인 폴리프로필렌과 강화재인 섬유의 유동속도 차이에 의해서 불균질해지기 때문에 성형품의 밑바닥에 가깝게 될수록 섬유 배향상태가 불규칙적임을 알 수 있다. 이것은 평면 상태에 있던 복합재가 위로 부터의 편치하강에 따라 흡으로 말려 들어가면서 1차로 각이진 리브 부분에서 유동이 차단되고, 계속하여 안으로 밀려가면서 섬유와 모재와의 분리가 일어나고, 섬유의 배향상태가 불일정하게 되기 때문이다.

따라서, 섬유함유율도 크게 차이가 날 것으로 생각되며 이 결과 성형품의 강도나 기타 기계적 성질에도 나쁜 영향을 미치게 된다.

Fig. 5(a)~(j)는 섬유함유율 20wt%, 40wt%인 성형품의 배향상태를 채취 층별로 나타낸 그림이다. 이 그림들에서 오른쪽 부분은 soft x-ray 사진, 왼쪽 부분은 앞 그림 Fig. 4에서 구한 배향함수를 각도로 환산하여 가시적으로 나타낸 그림이다. Fig. 5의 성형품의 폭 치수는 리브 부분으로부터 밑바닥에 이르기까지 8mm에서

13mm로 변화되기 때문에 약 2.5mm의 taper로 이루어진 성형품이다.

Fig. 6(a)~(j)는 폭치수가 윗부분 28mm에서 35mm까지 변화하는 성형품의 배향상태를 층별로 나타낸 그림이며, 섬유함유율을 Fig. 5와 마찬가지로 20wt%, 40wt%이다.

Fig. 5와 Fig. 6 그림을 통해서 알 수 있는 것은 평면 상태에 있는 복합재가 흡으로 밀려들어갈 때 모재인 폴리프로필렌의 유동속도와 강화재인 섬유의 유동속도가 다르기 때문에 생기는 섬유까지의 엉킴이나 불균일한 분산상태가 발생된다.

이러한 결과는 범퍼빔, 언더커버, 배터리 트레이, 흡반이 등과 같이 리브달린 성형품에 섬유로 강화된 플라스틱 복합재를 불균일한 분산상태 및 그로인해 발생하는 불균질도의 증가 등이 제품에 치명적인 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 이 연구결과는 복합재료를 이용한 구조재의 재료설계에 있어서 한 지침이 될 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

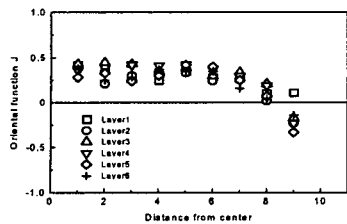
섬유로 강화된 플라스틱 복합재를 압축성형하는 경우에 대한 체계적인 연구와 최적 성형조건의 확립차원에서 리브 달린 성형품을 압축성형하였다. 그 결과 압축성형된 리브형 성형품의 배향상태는 리브부분에서 멀어질수록 불규칙적이고 섬유함유율 분포도 불균일 함을 알 수 있었다.

#### 후 기

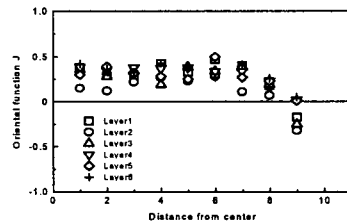
본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호R02-2000-00300)지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

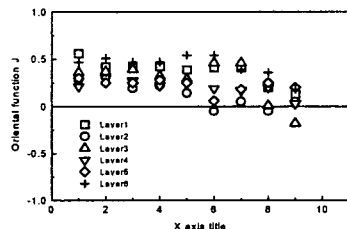
- (1) Yamada, K. & Horikawa, A., 1984, Textile Machinery Soc. of Japan 37, 12, p.51
- (2) Yaguchi, H., Hojo, H., Kim, E. G., 1995, "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing". Intern Polymer Processing, Vol. 10, pp. 262-269.
- (3) Kim, E. G., Park, J. K., Jo, S. H., 2001, "A Study on fiber orientation during the injection molding of fiber-reinforced polymeric composites(Comparison between image processing results and numerical simulation)", J. Materials Processing Technology, Vol. 111, Issues 1-3, pp.225-232.



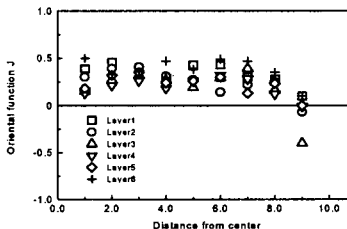
(a) 1st layer



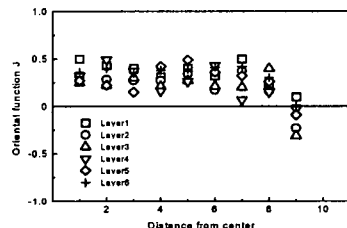
(b) 2nd layer



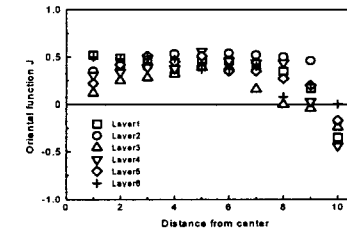
(c) 3rd layer



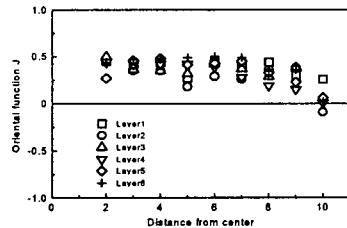
(d) 4th layer



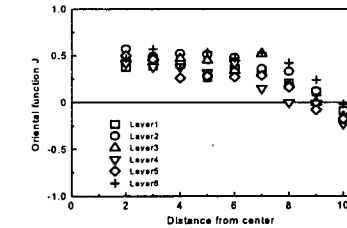
(e) 5th layer



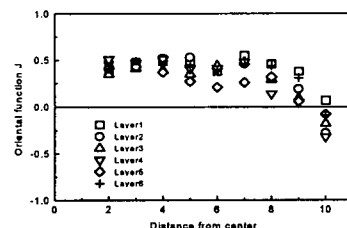
(f) 6th layer



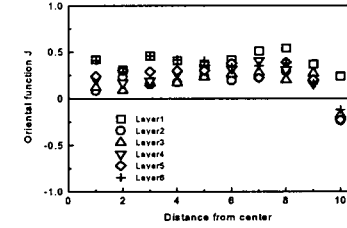
(g) 7th layer



(h) 8th layer



(i) 9th layer



(j) 10th layer

Fig. 4 Fiber orientation distribution for fiber content 20wt%

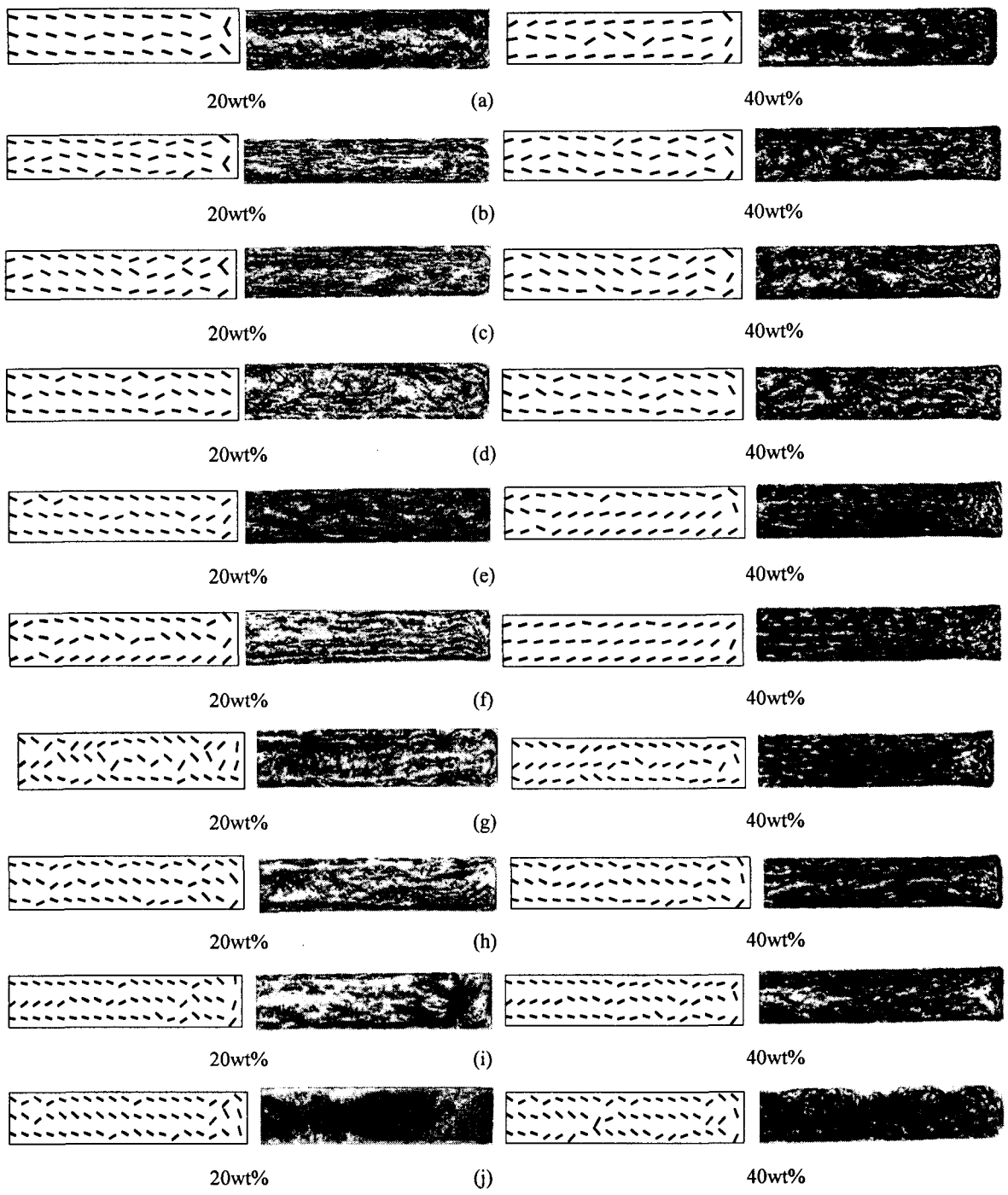


Fig. 5 Soft x-ray photograph and fiber orientation distribution of compression molded specimen I

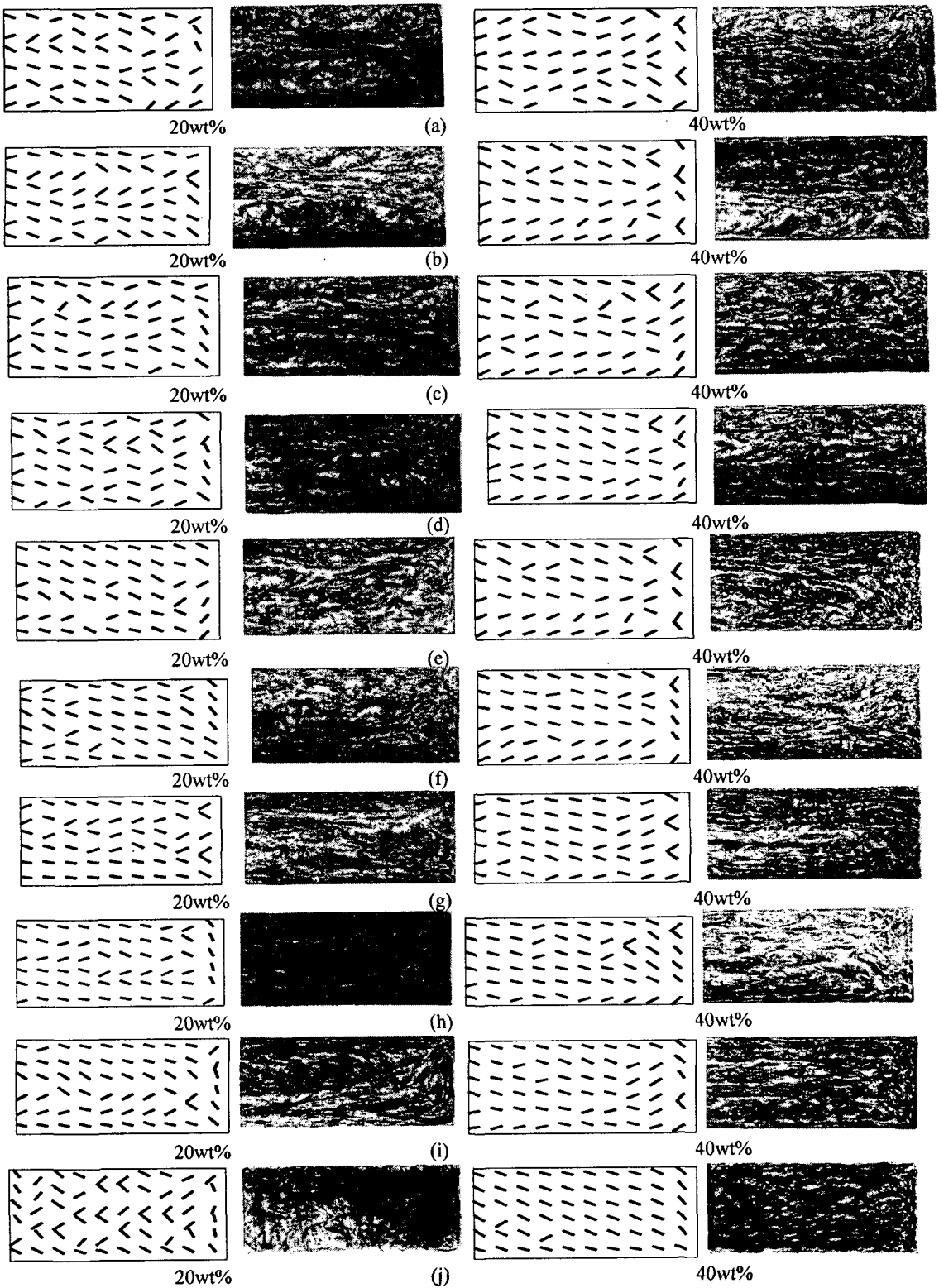


Fig. 6 X-ray photograph and fiber orientation distribution of compression molded specimen II