

## 장섬유강화 플라스틱 복합재의 사출성형에 있어서 두께방향의 섬유배향 분포측정

윤성운\*, 박진국\*\*, 조선희\*\*\*, 김이곤\*\*

\* 조선대학교, \*\* 국민대학교, \*\*\* 대우전문대학

### Measurement of the Fiber Orientation Distribution for Thickness direction of Injection Molded Long Fiber Reinforced Polymeric Composites

S. U. Yoon\*, J. K. Park\*\*, S. H. Jo\*\*\*, E. G. Kim\*\*

\* Chosun University, \*\* Kookmin university, \*\*\* Daeyoo Tech. College

#### Abstract

In this study, a method is presented which can be used to measure the fiber orientation distribution for thickness direction during injection molding using image processing. The intensity method is used for measuring the distribution. And the effects of fiber content, injection molding conditions on the orientation function are also discussed.

Key Words : Long Fiber Reinforced Polymeric Composites, Injection Molding, Fiber Orientation for Thickness Direction

#### 1. 서 론

사출성형된 섬유강화 열가소성 플라스틱(FRTP)은 수지 단일체에 비하여 비강성, 비강도, 내열성 등의 기계적 강도와 생산성이 뛰어나기 때문에 고강도와 제품의 정밀성 및 경량화가 요구되는 자동차나 기타 산업용 부품 등의 구조부재로 널리 이용되고 있다.

섬유로 강화된 플라스틱 복합재를 성형하는 경우, 성형과정 중에는 수지의 유동속도와 섬유의 속도차에 의해서 강화재와 모재간의 분리현상과 섬유의 배향이 발생하며<sup>(1,2)</sup>, 특히 사출성형인 경우에는 금형내를 흐르는 유리섬유가 모재인 수지의 유동속도 분포의 영향을 받아 캐비티 두께방향에 대해서 서로 다른 배향거동을 나타낸다. 이러한 현상들로 인하여 사출성형품은 불균질하고 이방성인 특성과 유동불량의 결과인 웰드라인도 나타나기 때문에 성형품의 휨, 변형 및 강도저하 등의 다양한 성형품의 불량을 초래하게 된다. 섬유강화 복합재의 사출성형에 있어서 성형인자 및 섬유함유율, 섬유길이 등의 재료인자에 대한 분리·배향과의 관계 등을 명확히 하는 것은 설계의 관점에서 볼 때 구조물의 기계적인 물성을 향상시키기 위해 매우 중요하며,

특히 성형품의 두께방향에 대한 장섬유의 배향상태를 파악하고 예측 제어하는 것은 유동장에 미치는 장섬유의 배향상태의 영향을 알아볼 수 있는 중요한 데이터로 이용할 수 있다. 특히 금형벽면에 가까워질수록 전단유동의 영향으로 유동방향으로 섬유는 배향되는데, 이 배향층 형성 메카니즘에 대해서는 사출율, 캐비티 두께 등의 조건에 따라서, 3층, 5층, 7층 구조라고 일컬어지고도 있으나<sup>(3)~(5)</sup> 화상처리기법을 이용하여 성형품의 두께방향 배향상태를 파악하고 이에 미치는 성형조건에 대한 고찰한 연구는 아직 없는 실정이다.

그러므로 본 논문에서는 섬유의 배향상태에 대한 이론해석과의 연계해석의 일환으로, 사출성형중에 발생하는 섬유배향에 대해서, 전단유동의 영향으로 생기는 두께방향의 섬유배향층 생성상태를 가시화해서 나타내고 이 상태에 미치는 섬유함유율의 영향 및 섬유배향 함수의 변화에 대해서 고찰하였다.

#### 2. 섬유배향 이론

##### 2.1 섬유배향함수<sup>(6)</sup>

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 나타낼수 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>(7)</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.

Fig. 1은 사출성형된 성형품의 섬유배향상태를 보여준다. 여기서서는 무방향의 배향상태에 있는 섬유의 배향이 유동방향으로 배열되지 않는 것을 관찰할수 있다. 이 때 섬유배향각  $\theta$ 는 유동방향에 대해서 시계방향과 반시계방향으로 측정된다.

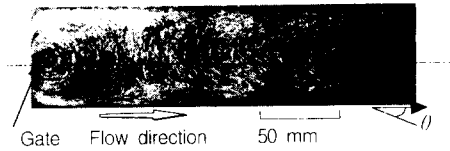


Fig.1 Fiber orientation state of rectangular shaped part after injection molding.

## 2.2 농도법<sup>(8)</sup>

연X선 사진의 미소부분의 모델은 Fig. 2에 나타내었으며, 그림에서 검은부분은 섬유이다. Fig. 2(a)에서 중심과 주변의 농도차가 거의 없으므로 이런 경우에는 어떤 방향성을 가지지 않는다. 본 연구에서는 농도차를 이용하여 섬유의 방향을 긴장하므로 약간의 농도차가 있다면 섬유의 방향이 결정될 것이다. Fig. 2(b)는 약간의 농도차가 있는 그림이다. 이런 경우에는 화살표 방향으로 약한 방향성을 지니게 된다. Fig. 2(c)는 농도차가 큰 경우인데 여기서는 화살표 방향으로 강한 방향성을 지니는 것을 알수 있다. 이와같이 농도차는 섬유배향각을 결정한다. 경계는 유한차분법의 Sobel operator를 이용하여서 검출하였다.

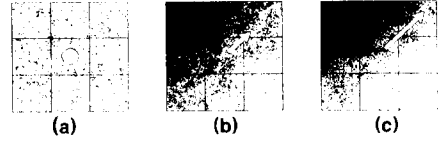


Fig. 2 Model of the minute part of the soft X-ray photograph.

## 3. 실험

사출성형품의 섬유배향함수 J를 측정하기 위해서 화상처리는 5mm × 5mm의 영역에 대해서 한다. 섬유배향각  $\theta$ 는 시편의 y축에 대해서 시계방향과 반시계방향에 대해서 전체 섬유에 대해서 측정하고, 농도정보는 이미지 스캐너에 의해서 측정된 후 컴퓨터에 의해서 처리되며, 농도를 가진 화소는 Threshold보다 농도가 높으면 섬유로 간주된다. 실험에 사용한 재료는 섬유강화 열가소성 필렛(모재: 폴리프로필렌, 강화재: 장섬유강화플라스틱 콤파운드, 초기 섬유길이 : 10mm) 이다.

Table. 1에는 실험에 사용된 사출성형조건을 나타내었다.

Table. 1 Injection molding conditions

Type	LFP-C
Glass fiber content (wt%)	50, 70
Injection pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	1000
Holding pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	500
Cooling time (sec)	25
Mold temperature (°C)	70
Barrel temperature (°C)	250
Injection rate (cm <sup>3</sup> /s)	70

Fig. 3은 성형품의 두께방향과 이에 수직인 단면에 대한 배향상태를 파악하기 위한 시험편의 채취부분과 크기를 나타낸 그림이다. 게이트를 중심으로 상하 대칭이기 때문에 중심부의 윗부분인 1.5mm를 제거하고 남은 1.5mm에 대해서 두께 0.5mm인 얇은 시험편으로 하여 그 단면방향에서 촬영된 연 X선 사진을 화상처리 하였다.

Fig. 4는 직사각형의 형태를 가진 사출성형품의 섬유배향상태를 파악하기 위한 화상처리영역을 나타낸 그림이다. 성형품의 크기는 200mm × 60mm × 3mm이나 게이트를 중심으로 대칭이기 때문에 윗쪽 부분을 5mm × 5mm의 영역에 대해서 섬유배향 해석을 하였다.

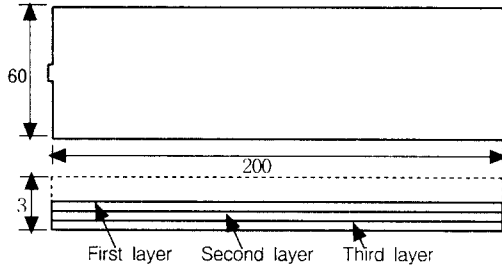


Fig. 3 Specimen of injection molded product.

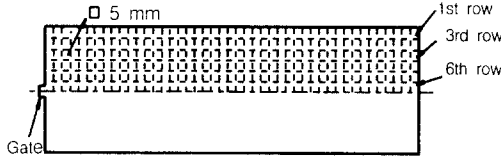


Fig. 4 Part for measuring fiber orientation function J.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 5와 Fig. 6은 섬유함유율이 각각 50wt%, 70wt%인 성형품에 대해서 게이트로부터 거리에 따른 섬유배향 함수 J의 변화를 나타내었으며, 성형품 두께방향의 수직인 단면에 대해서 정량적으로 섬유배향 상태를 알 수 있는 그림이다.

이들 그림에서 두께방향의 중앙부분인 Fig. 5와 Fig. 6의 (a)에서 금형벽면에서 가까운 1, 2, 3열의 배향상태는 대부분 x축 방향으로의 배향상태를 나타내고 있지만, 게이트와 가까운 4, 5, 6열은 y축 방향으로 많이 배향되어 있음을 알 수 있다. 그러나 두께방향에서 금형벽면에 모두 접해 있는 그림 (c)인 경우의 1, 2, 3열 및 4, 5, 6열의 배향상태는 거의 x축으로만 배향되어 있음을 쉽게 알 수 있으며, 중간층인 (b)는 앞의 (a)와 (c)의 배향상태의 중간정도인 섬유배향 상태를 나타내고 있다.

이러한 경향은 동일한 유동장내의 섬유함유율이 많으면 유동중의 모재와 섬유와의 분리현상이 크고, 또 두께방향으로 벽면에 가까울 수록 전단유동의 영향이 크기 때문에 섬유함유율이 70wt%인 경우의 배향함수 J값에 대한 변화가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 7 (a), (b)는 성형품의 연 X선 사진을, (c), (d)는 앞 그림 Fig. 5, 6에서 구한 배향함수 J를 각도로 환산하여 가지적으로 나타낸 그림이다. 이 사진에서 성형품의 가

장 중앙부에 위치한 층에서는 유동방향의 직각으로 섬유가 배향되어 있으나 금형면에 접하면서 충전된 표층부는 동일한 유동장일지라도 전단유동에 영향을 지배적으로 받기 때문에 섬유의 배향은 대부분 유동방향으로 되어 있음을 쉽게 알 수 있다. 배향함수 J의 표현에 있어서는 0인 경우에는  $45^\circ$ , 1인 경우에는 x축, -1인 경우에는 y축으로 배향되어 있는 것으로 나타내었다.

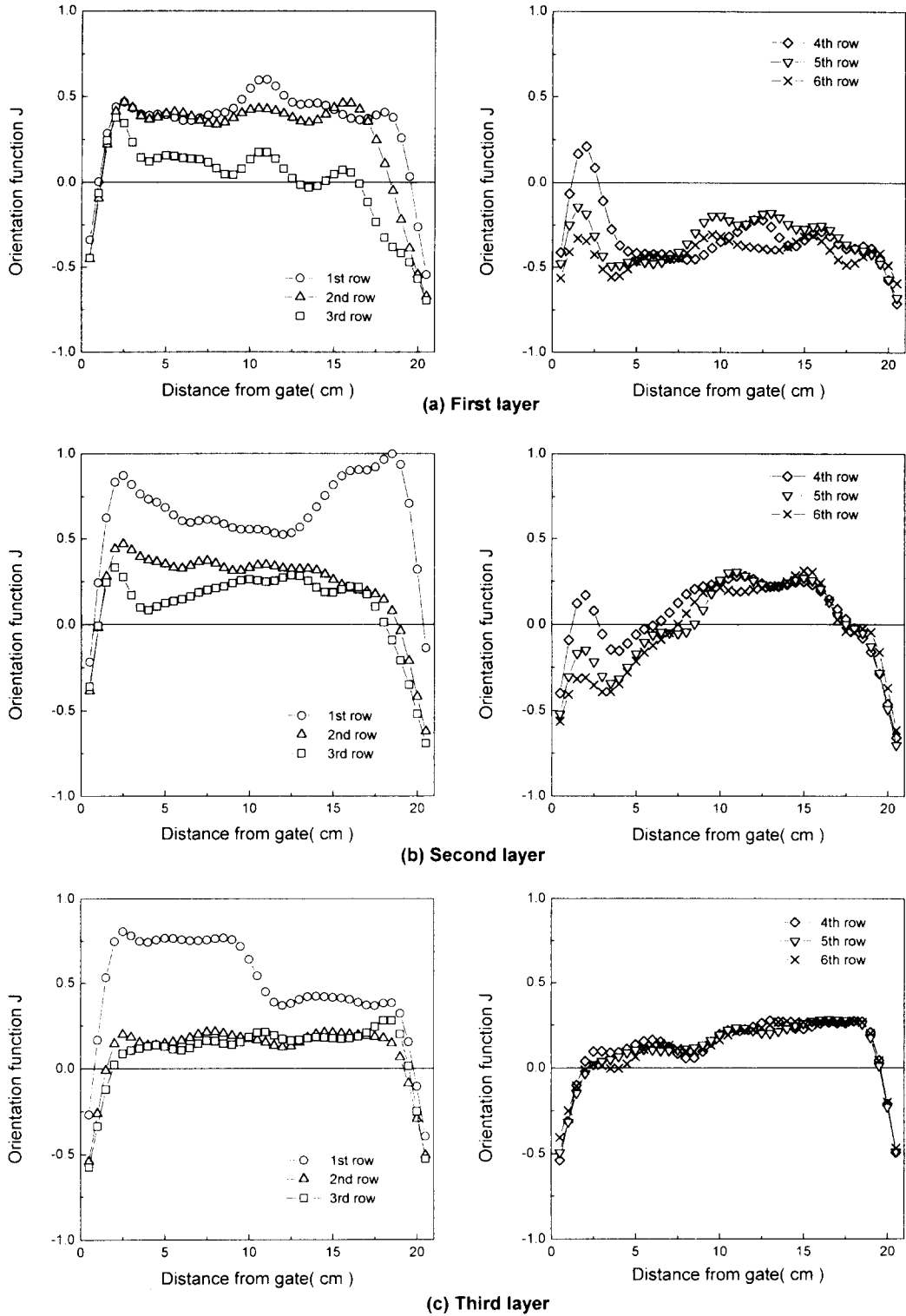
Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 금형벽면과의 마찰로 인하여 섬유는 유동방향으로 배향되지만 중심부는 유동방향과 거의 직각인 상태의 섬유배향을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 특히 70wt%인 성형품인 경우에는 50wt%와는 달리 섬유와 모재와의 심한 분리현상으로 배향상태가 더욱 불규칙적으로 나타나고 있다.

#### 5. 결론

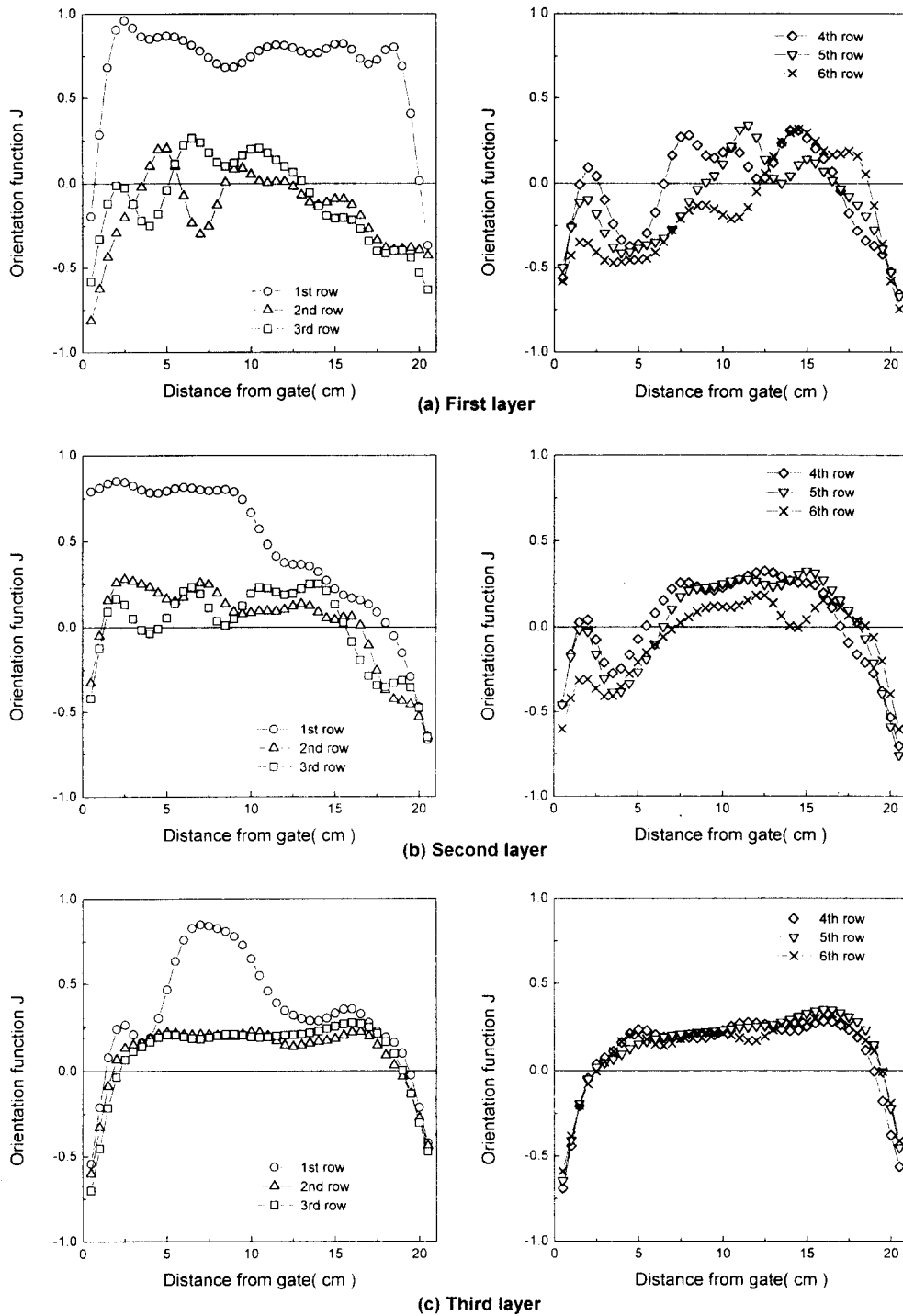
사출성형된 장섬유 강화 플라스틱 복합재에 대한 두께방향과 수직인 단면들의 섬유배향상태를 고찰한 결과, 동일한 유동장일지라도 중앙부와 표층부의 섬유배향상태가 상이한 것을 가지적으로 나타내었으며, 이 결과와 평면전단 흐름에 대한 수치모사 시스템과의 연계해석과 이에 대한 검증이 필요하므로 현재 진행중에 있다.

#### 참고문헌

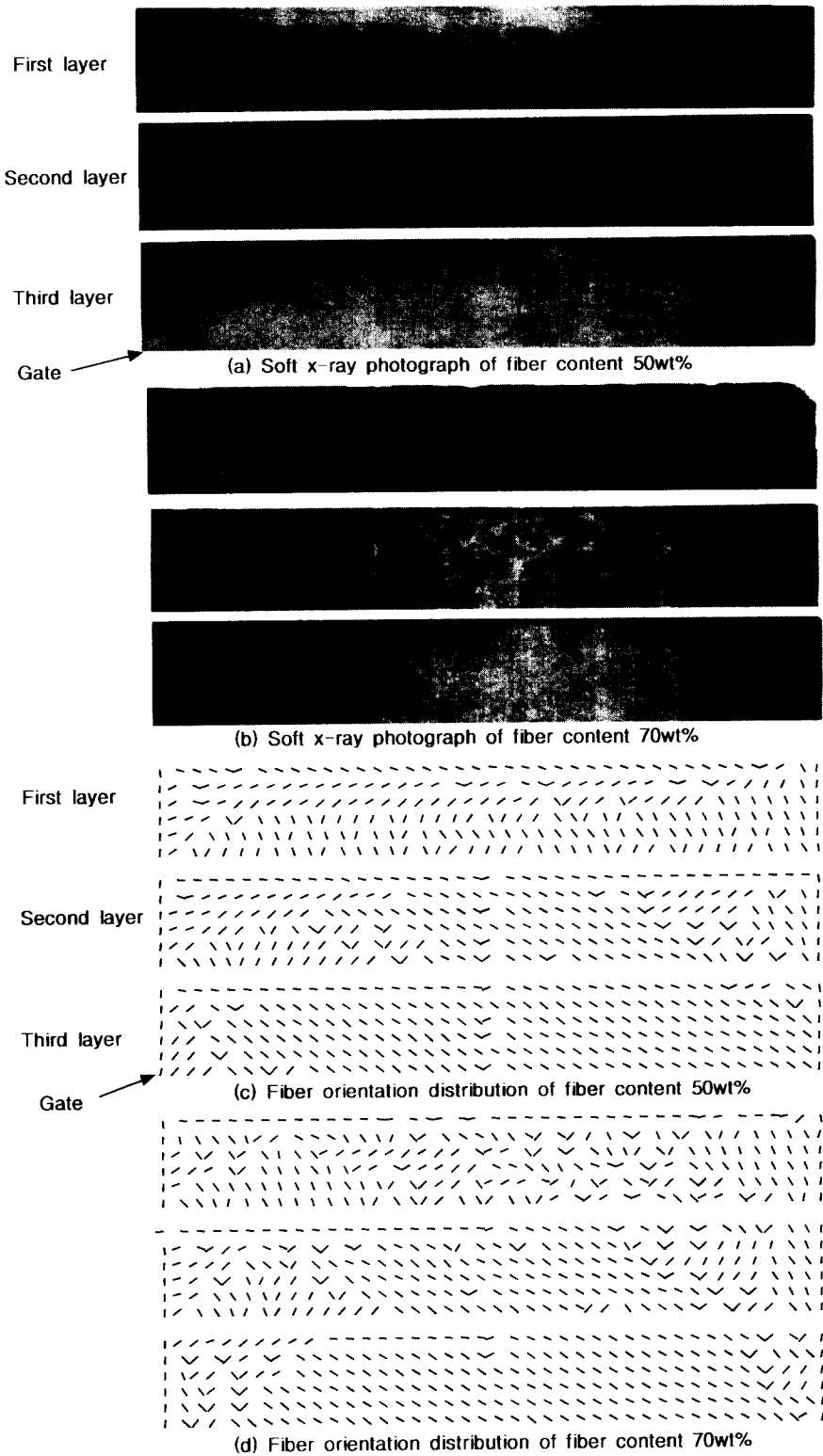
- (1) Hojo, H., Kim, E. G., Tamakawa, K., Nagatsuka, C., Proceedings of the 3rd Japan-U.S.C conference on Composite Materials, Tokyo, 1986, pp. 605~612.
- (2) Hojo, H., Kim, E. G., Yaguchi, H., and Onodera, T., International Polymer Processing, Vol. 3, Issue 1, 1988, pp. 54~61.
- (3) Bright, P. F., Crowson, R. J. and Folkes, M. J., J. matter. Sci., 13, 2497, 1978
- (4) Fakirov, S. and Fakirova, C. : Polym. Compos., 6, 41, 1985
- (5) 竹田 啓, 情野康男 : 成形加工, 1, 197, 1989
- (6) 山田國廣, 堀川 明, 纖維機械學會誌, 第37卷, 第12號, 1984, pp. 51~64
- (7) Richard S. Stein, S. N. Stidham., Vol. 35, No. 1, 1964, pp. 42~46
- (8) Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D. G., Kim, E. G., International Polymer Processing, Vol. 10, 1995, pp.262~269.



**Fig. 5 Fiber orientation distribution of fiber content 50wt% for thickness direction.**



**Fig. 6 Fiber orientation distribution of fiber content 70wt% for thickness direction.**



**Fig. 7 Soft x-ray photograph and fiber orientation distribution of injection molded specimen for thickness direction.**