

화상처리에 의한 단섬유배향각 분포측정에 있어서 교점계수법의 정밀도

Accuracy of Intersection Counting Method in Measurement of Short Fiber Orientation Distribution by Image Processing

이 상 동(조선대학원)*, 이 동 기(조선대 공대), 한 길 영(조선대 공대), 김 이 곤(국민대 공대)
S.D.Lee(Chosun Univ.), D.G.Lee(Chosun Univ.), G.Y.Han(Chosun Univ.), E.G.Kim(Kookmin Univ.)

Key Words : Image Processing(화상처리), Short Fiber Orientation Distribution(단섬유배향각 분포), Intersection Counting Method(교점계수법), Orientation Function(배향함수)

Abstract : In order to examine the accuracy of intersection counting method, the fiber orientation distribution of simulation figure plotted by PC is measured using image processing. The fiber orientation distribution obtained by an image processing method is compared with those by the intersection counting method. The result shows that the errors of the intersection counting method are large because its measurement is made by the cross point of the scanning line and the fiber.

1. 서 론

섬유강화 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법 중 고온압축 유동성형법은 소재를 용접이상으로 가열해서 유동성을 높여 성형하는 것으로서, 재료는 금형내에서 유동하므로 성형품의 두께에 상당한 변화를 줄 수 있을 뿐만 아니라, 성형의 자유도가 커서 복잡한 형상의 부품성형이 가능하여 생산성도 높고 또한 생산비도 낮다. 따라서 고온압축 유동성형품은 관판 프레스 성형품에 대신해서 현재 항공기, 자동차 등의 구조재 및 산업분야에서 부품소재로서 사용되고 있으므로 앞으로 이용범위는 더욱 넓어질 것이라고 생각할 수 있다.

섬유강화 복합재료를 고온압축 유동성형하는 경우의 문제점으로는 성형중에 금형내 유동길이가 매우 길거나 금형의 측면에서 유동이 저항을 받을 때 섬유배향이 발생하여 강도나 특성에 큰 변화가 생긴다. 이와같이 섬유강화 복합재료를 이용한 압축성형에 있어서 성형품의 섬유배향은 각종 물성치의 지표가 되는 가장 기본적인 인자이므로, 섬유배향각 분포가 어떠한 식으로 표시되는가를 밝혀두고, 섬유배향각 분포의 측정법을 확립하여 배향상태를 밝혀두는 것은 성형조건의 결정, 성형품의 역학적 특성 및 재료설계에 대한 지침을 주는데 있어서 매우 중요하다.

지금까지 섬유배향각 분포의 표시식에 관한 연구는 부직포⁽¹⁾나 종이섬유⁽²⁾에 대해서 행하여 지고 있으나, 섬유강화 복합재료 성형품의 경우에는 별로 없으며 섬유배향의 지표로서 섬유배향각 분포⁽³⁾, Fraunhofer 광회절상의 강도분포⁽⁴⁾, X선 회절강도분포⁽⁵⁾ 등의 측정으로부터 구한 표준편차, 반가폭, 피크(peak)주위의 2차모멘트, 평균배향각 등이 사용되었다.

섬유강화 복합재료의 파괴용력을 구하는데 있어서 섬유배향각 측정이 매우 중요하므로 개개의 섬유배향각을 직접 측정하는 것이 정확하기는 하지만 많은 노력을 필요로 하기 때문에 이 점에 대해서는 측정법으로써 바람직하지 못하다. 최근, Yaguchi⁽⁶⁾ 등은 섬유강화 열가소성 복합재료의 섬유배향각 분포를 화상처리하여 측정하였고, 압축 및 사출 성형품에 있어서는 개개의 섬유를 식별할 수 있는 측정대상에 대해서 섬유와 주사선이 만나는 점을 계수하여 섬유배향각 분포를 측정하였으나, 섬유배향각 분포측정에 있어서 교점계수법의 정밀도에 대해서는 정량적으로 언급하지 않고 있다.

본 연구에서는 화상처리에 의한 단섬유배향각 분포측정에 있어서 교점계수법의 정밀도에 대해서 고찰하기 위하여, 임의로 섬유의 종횡비와 배향상태의 척도인 섬유배향

합수를 변화시켜 플로터로 섬유배향 시뮬레이션 그림을 작도하여 섬유배향함수 값을 계산한다. 다음에 이 시뮬레이션 그림을 이미지 스캐너와 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 교점계수법에 의해 섬유배향각 분포를 측정한다. 여기서 시뮬레이션 그림에 대해 계산된 섬유배향함수 값과 화상 처리를 이용하여 교점계수법으로 측정한 섬유배향함수 값을 비교 검토한다.

2. 이 론

2.1 섬유배향함수

현재, 국내외에서 사용되고 있는 대부분의 섬유강화 복합재료의 두께는 폭과 길이에 비교하여 매우 얇기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급하여 섬유배향각 분포상태를 측정한다. x-y평면상에 섬유가 분포하고 있는 경우, x축과 이루는 섬유배향각 θ 는 $0 \leq \theta \leq \pi$ 의 범위에 있다. 따라서 섬유배향각 분포상태를 표시하는 섬유배향함수 J와 섬유배향각 분포 $q(\theta)$ 사이의 관계는 식(1)과 같다⁽⁶⁾.

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

여기서 J는 2차원 섬유배향각 분포에 대한 섬유배향함수이며, 섬유배향이 무작위인 경우 $J=0$, 섬유배향이 한 방향으로만 배열되어 있는 이방성인 경우는 $J=1$, $J=-1$ 의 방향에 대해 90° 회전방향으로 배열되어 있는 경우는 $J=-1$ 이다. 이와같이 섬유배향함수 J값은 0에서 1사이에 있으나 0에 가까워지면 섬유의 배향상태가 무작위에 가까게 됨을 나타낸다.

Fig. 1은 식(1)의 섬유배향함수 J값 변화에 따른 섬유배향각 θ 와 상대 섬유길이와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서, 상대 섬유길이는 배향된 전섬유의 총 길이에 대한 개개의 섬유배향각 θ 를 갖는 섬유의 총 길이와의 비이다. 이 그림에서 섬유배향함수 $J=1$ 일때는 배향주축과 일직선인 관계를, $J=0$ 일때는 배향주축과 직각의 관계를 각각 나타내고 있다.

2.2 교점계수법

개개의 섬유를 식별할 수 있는 측정대상에 대해서는 간단히 섬유배향각 분포를 측정할 수 있는 간측정법인 교점계수법⁽⁶⁾이 있으며, 이 방법은 피측정 대상위에 놓인 주사선과 섬유와의 교점수에 의해 섬유배향각 분포를 구하는 것이다. 즉, 섬유가 분포하고 있는 평면위에 그은 주사선과 섬유와의 교점수를 계수함으로써 섬유배향각 분포를 구하는 것이다.

Fig. 2에서 x축과 이루는 각 α 는 주사선의 각도이고, θ 는 섬유의 배향각이다. 각도 α 인 주사선이 섬유의

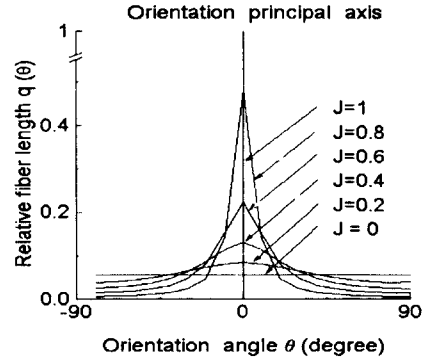


Fig. 1 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

배향각도 θ , 섬유길이 d 인 선분과 교차할 수 있는 확률은 $|\sin(\alpha - \theta)|$ 이고, 각도 θ 와 $d\theta$ 의 사이에 있는 섬유의 총 길이가 단위 면적당 $q(\theta)d(\theta)$ 이므로, 단위 길이당 주사선상의 교점수는 $|\sin(\alpha - \theta)| q(\theta)d(\theta)$ 로 된다. 이것을 모든 θ 에 대하여 계수하면 단위 길이당 교점수는 식(2)와 같다⁽⁶⁾.

$$N(\alpha) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |\sin(\alpha - \theta)| q(\theta) d\theta \quad (2)$$

이것은 2차원 Buffon 변환이라 불리는 식으로서, 섬유배향각 분포 $q(\theta)$ 를 교점수 $N(\alpha)$ 로 변환하는 식이므로 식(2)에 식(1)을 대입하면 $N(\alpha)$ 는 식(3)과 같다.

$$N(\alpha) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |\sin(\alpha - \theta)| \frac{1}{\pi} \left[\left(\frac{1-J}{1+J} \right) \cos^2 \theta + \left(\frac{1+J}{1-J} \right) \sin^2 \theta \right]^{-1} d\theta \quad (3)$$

여기서 $N(\alpha)$ 를 측정하면 섬유배향 상태의 척도를 나타내는 섬유배향함수 J를 결정할 수 있다.

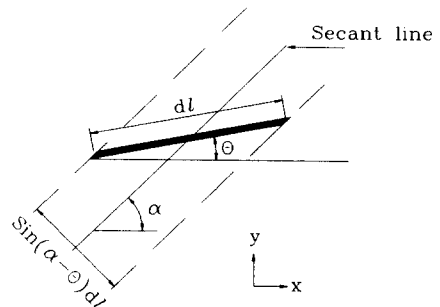


Fig. 2 Relationship between the fiber and secant line

3. 실험

섬유배향각 분포의 표시식을 검토하고, 섬유배향각 분포 측정에 있어서 교점계수법의 정밀도에 대해 비교 검토하기 위하여 임의로 섬유의 중량비와 배향상태의 척도인 섬유배향함수 J 값을 변화시켜 플로터로 작도한 섬유배향 시뮬레이션 그림에 대한 섬유배향함수 J 는 0.2에서 1.0 사이에 0.1간격이다. 또, 이 그림의 섬유직경은 0.3mm, 0.5mm이고, 단섬유의 길이는 5mm, 10mm, 15mm이며, 배향된 전 섬유의 총길이는 1,000mm, 2,000mm로 하였으며, 섬유배향 작도범위는 50mm(가로)×50mm(세로)이다.

섬유배향각 분포를 측정할때 화상처리에 이용한 화상입력부의 이미지 스캐너(image scanner)는 일본 세이코 엠슨제 GT-4000V이며, 섬유배향 시뮬레이션 그림의 농도정보를 수치 데이터로 읽어들이는 측정영역은 50mm(가로)×50mm(세로)이다. 이미지 스캐너의 해상도(resolution)는 Fig. 3과 같이 400×400화소로 1화소는 1/8mm×1/8mm, 농도계조 8비트(gray level: 256계조, 흑: 0, 백: 255)이다.

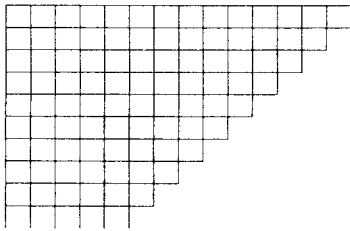


Fig. 3 Resolution of the image processing(400×400 pixel, 1 pixel 1/8mm×1/8mm, intensity contrast 8 bit)

이미지 스캐너로부터 입력된 화상에 대해서 Fig. 4와 같이 a 화소간격으로 주사하고, 주사선각도는 α 방향으로 그어 섬유와의 교점을 계수하였을 때 교점수 분포도는 식(4)와 같다.

$$N(\alpha) = \frac{N_{\theta}(k)}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{\theta}(i)}, \quad k=0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (4)$$

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 있다. 이 $N(\alpha)$ 의 측정 은 $0 \leq \alpha < \pi$ 범위에서 주사선각도 α 를 단계적으로 변화시켜 행하면 교점수 분포도를 구할 수 있고, 이 분포도로부터 식(3)에 의해 섬유배향함수 J 값을 계산할 수 있다. 이때 섬유배향각 α 는 시험편의 x 축을 기준으로 시계방향과 반시계방향의 전 섬유에 대하여 측정한다.

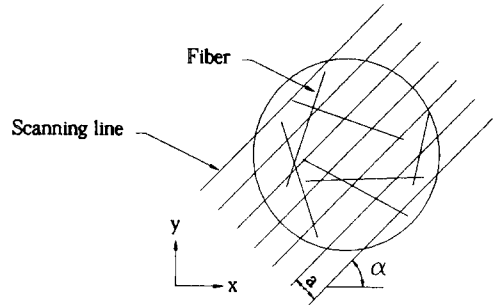


Fig. 4 Measurement of the intersections number by secant line

교점의 계수에는 측정대상을 화소로 분해하여 이미지 스캐너로 화소의 농도정보를 측정하고, 얻어진 농도정보를 이치화 처리하고, 이치화의 Threshold값 보다도 농도가 높은 화소를 섬유로 한다. 본 실험의 계측에서 Threshold 값은 128, 섬유배향 주축은 x 축을 0° 로, 시계방향을 정(+)으로 한다. 또, $0 \leq \theta < \pi$ 의 분할수는 18등분해서 θ 의 범위는 10° 이고, 주사선각도 α 의 간격은 10° , 주사선간격 a 는 5화소로 해서 식(4)에 의해 상대 교점수 $N(\alpha)$ 를 측정한다. 이 측정된 상대 교점수 $N(\alpha)$ 를 $N(\alpha)'$ 로 하고 상대 교점수 분포 $N(\alpha)'$ 를 식(3)에 의해 최소승법으로부터 섬유배향함수 J 를 구하여 측정된 섬유배향함수 J_M 으로 한다.

Fig. 5는 주사선각도와 상대 교점수와의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 섬유와 주사선과의 총 교점수에 대한 섬유와 각도 α 를 갖는 주사선과의 교점수 비를 상대

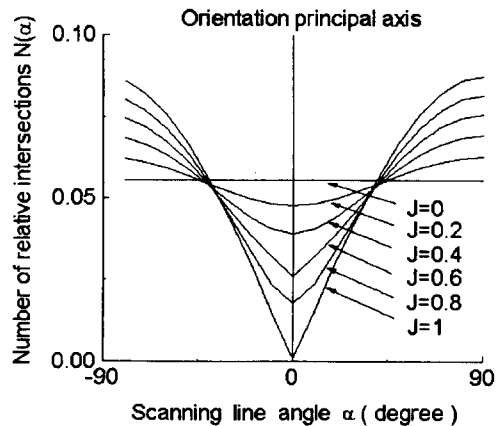


Fig. 5 Distribution of relative intersection numbers according to the scanning line angle

교점수라 하고, 섬유배향함수 $J=0$ 일때는 섬유배향이 등방성이므로 주사선각도에 평행하고, $J=1$ 일때는 섬유배향이 x 축방향으로 평행하게 배열되어 있으므로 0° 방향의 교점이 없음을 나타낸다.

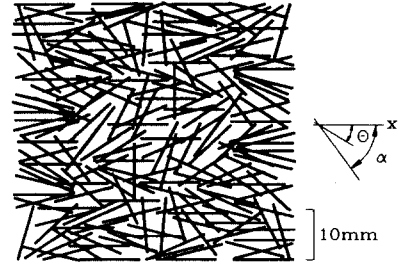
4. 결과 및 고찰

교점계수법의 유용성을 섬유배향 시뮬레이션 그림을 이용하여 알아보기로 한다. 한 예로서 Fig. 6(a)는 섬유배향 시뮬레이션 그림이고, 이 그림의 단섬유직경은 0.3mm, 단섬유길이는 10mm, 배향된 전 섬유의 총길이는 2,000mm, 섬유배향 면적은 50mm(가로)×50mm(세로)이다. Fig. 6(b)는 식(1)에 의해 나타낸 Fig. 6(a)의 섬유배향각 분포상태를 나타낸 그림이다. Fig. 6(a)의 그림을 교점계수법에 의해 섬유배향각 분포를 구하기 위하여 그림을 400×400화소로 분할해서 농도정보를 입력하고 식(4)에 의해서 교점수 $N(\alpha)$ 를 계수한 후, 식(3)에 의하여 측정된 섬유배향함수 J_M 을 구하여 Fig. 6(c)에 나타냈다.

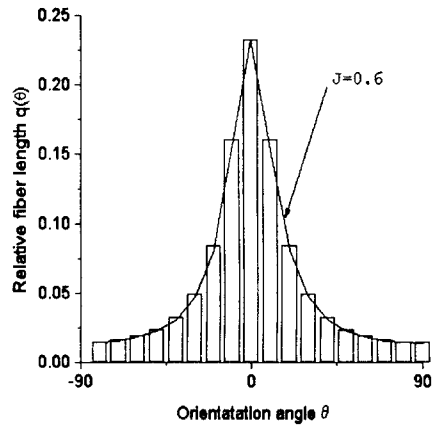
교점계수법에 의해 측정된 섬유배향함수 J_M 과 계산된 섬유배향함수 J 와의 관계를 Fig. 7에, 그 비교값을 Table 1에 나타냈으며 그 결과는 유사하게 나타났다. 측정된 섬유배향함수 J_M 이 계산된 섬유배향함수 J 보다도 작게 측정되는 이유는 이미지 스캐너로부터 입력된 화상을 측정할 때, 배향주축 방향에 있는 시뮬레이션 가상섬유가 서로 겹치기 때문에 교점수가 작게 계수되기 때문이다.

섬유의 겹침은 한 방향 배향에 가까울수록, 섬유배향의 면적에 차지하는 섬유길이가 길수록 늘어난다. 이와같이 이미지 스캐너와 퍼스널 컴퓨터를 이용한 교점계수법에 의하여 섬유배향각 분포를 간단하게 측정할 수 있으며, 섬유배향의 상태는 섬유배향함수 J 로서 정량적인 평가를 할 수 있다. 또 섬유를 미소부분으로 분할하므로 곡선의 경우에도 적용할 수 있는 특징이 있다. 그러므로 이 방법은 섬유강화 복합재료 성형품을 연X-선 촬영하여 섬유개개를 식별할 수 있는 경우에는 화상처리함으로써 비파괴적으로 섬유배향각 분포를 간이측정할 수 있어 유효하다고 생각된다.

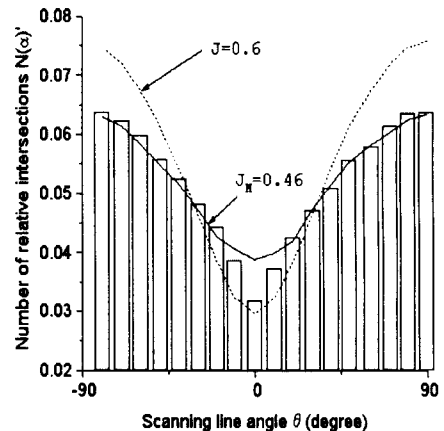
그러나, 교점계수법의 문제점으로는 교점을 계수해서 섬유배향각을 측정하기 때문에 섬유의 겹침이 작은 시험편에서는 교점계수법이 매우 유효하나, 겹침이 많은 시험편에서는 적당하지 않으므로, 앞으로 이 점에 대해서 연구하면 보다 정확하고 적용범위가 넓은 측정이 가능하게 될 것이다.



(a) Figure for simulation $J=0.6$, $l/d=33$



(b) Distribution of fiber orientation angle



(c) Distribution of intersections

Fig. 6 Angle measurement and distribution of intersections by intersection counting method ($L=2,000\text{mm}$)

Table 1 Gradient between orientation function J and J_M ($J_M = rJ$)

Total fiber length	Short fiber length	Aspect ratio l/d	Gradient r
1,000mm	5mm	10	0.67
		17	0.65
	10mm	20	0.77
		33	0.76
		30	0.76
2,000mm	5mm	10	0.67
		17	0.65
	10mm	20	0.77
		33	0.77
		30	0.72
15mm	50	0.70	

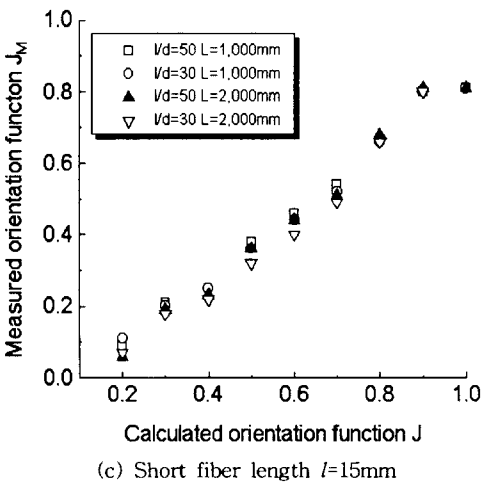
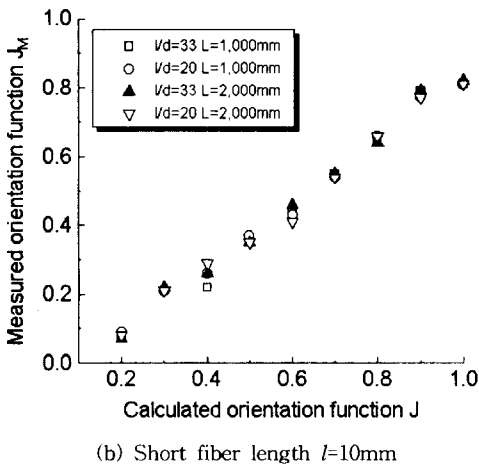
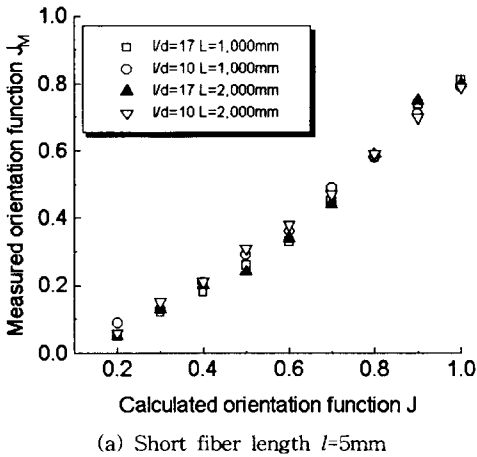


Fig. 7 Relationship between orientation function J and J_M

5. 결론

단섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 미치는 섬유종횡비의 영향에 대해 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 섬유배향의 상태는 섬유배향함수 J로 정량적인 평가를 할 수 있고, 개개의 섬유를 식별할 수 있는 경우는 교점계수법에 의해 섬유배향함수 J를 간단하게 측정할 수 있다.
2. 종횡비가 작은 섬유는 종횡비가 큰 섬유에 비하여 주사선과 섬유와의 교점수가 적게 계수되기 때문에 측정된 섬유배향함수 J_M 값이 낮게 나타났다.

참고 문헌

1. Hearle, J.W.S., Ozsanlav, V., "45-Studies of Adhesive-bonded Non-woven Fabrics. Part III : The Determination of Fibre Orientation and Curl", J. Text. Inst., No.11, pp.487-498, 1979
2. Kallmes, O.J., Cloria, Bernier, "The Structure of Paper VIII. Structure of Idealized Nonrandom Networks", Tappi. Vol.47, No.11, pp.694-703, 1964
3. 山田國廣, 堀川 明, "2次元纖維集合體의 確率幾何", 纖維機械學會誌, Vol.37, No.12, pp.51-64, 1984
4. 堀川 明, 寺岡文雄, "FRP中の纖維配向角評價法 (第2報) ファウンホーファ回折像による配向角評價の實際", 纖維機械學會誌, Vol.33, No.7, pp.47-50, 1980
5. Menendez, H., White, J.L., "A Wide-Angle X-Ray Diffraction Method of Determining Chopped Fiber Orientation in Composites with Application to Extrusion Through Dies", Polymer Eng. and Sci., Vol.24, No.13, pp.1051-1055, 1984
6. Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D.G., Kim, E.G., "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing", Intern. Polymer Processing, Vol.X, Issue 3, pp.262- 269, 1995