

화상처리에 의한 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도

이상동*, 박준식**, 이동기***, 한길영***, 김이곤****

Accuracy of Intersection Counting Method in Measurement of Fiber Orientation Angle Distribution Using Image Processing

S.D. Lee*, J.S. Park**, D.G. Lee***, G.Y. Han*** and E.G. Kim****

ABSTRACT

The fiber oriented condition inside fiber reinforced composite material is a basic factor of mechanical properties of composite materials. It is very important to measure the fiber orientation angle for the determination of molding conditions, mechanical characteristics, and the design of composite materials.

In the work, the fiber orientation distribution of simulation figure plotted by PC is measured using image processing in order to examine the accuracy of intersection counting method. The fiber orientation function measured by intersection counting method using image processing is compared with the calculated fiber orientation function.

The results show that the measured value of fiber orientation function using intersection counting method is lower than the calculated value, because the number of intersection between the scanning line and the fiber with smaller fiber aspect ratio is counted less than with larger fiber aspect ratio.

Key Words :Image Processing(화상처리), Fiber Orientation Angle Distribution(섬유배향각 분포), Intersection Counting Method(교차점합산법), Fiber Orientation Function(섬유배향함수), Fiber Aspect Ratio(섬유종횡비), Scanning Line(주사선)

1. 서 론

섬유강화 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법 중 고온압축 유동성형법은 소재를 융점이상으로 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 강판 프레스 성형품을 대신해서 현재 항공기, 자동차 등의 구조재 및 각 산업

* 조선대학교 대학원 정밀기계공학과

** 대구기능대학 금속기술학과

*** 조선대학교 기계공학부, 수송기계부품 공장자동화 연구센터

**** 국민대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

분야에서 부품소재로 사용되고 있으므로 앞으로 이용범위는 더욱 넓어질 것이라고 생각할 수 있다.

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

또한, 섬유강화 복합재료의 파괴응력을 구하는데 있어서 섬유배향각 분포측정이 매우 중요하므로 개개의 섬유배향각을 직접 측정하는 것이 정확하기는 하지만 많은 노력을 필요로 하기 때문에 이 점에 대해서는 측정법으로써 바람직하지 못하다. 지금까지 섬유배향각 분포의 표시식에 관한 연구는 부직포⁽¹⁾나 종이섬유⁽²⁾에 대해서 행하여지고 있으나, 섬유강화 복합재료 성형품의 경우에는 별로 없으며 섬유배향의 지표로서 섬유배향각 분포⁽³⁾, Fraunhofer 광회절상의 강도분포⁽⁴⁾, X선 회절강도분포⁽⁵⁾등의 측정으로부터 구한 표준편차, 반폭값(full half width mean value : FWHM), 피크(peak)주위의 2차모멘트, 평균배향각 등이 사용되었다.

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 합산하여 섬유배향각 분포를 측정하였다. 그러나 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도에 대해서는 정량적으로 언급하지 않고 있다.

본 연구에서는 화상처리에 의한 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도에 대해서 고찰하기 위하여, 임의로 섬유종횡비와 배향상태의 척도인 섬유배향함수를 변화시켜 플로터로 섬유배향 시뮬레이션 그림을 작도하여 섬유배향함수 값을 계산한다. 다음에 이 시뮬레이션 그림을 이미지 스캐너와 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 교차점합산법에 의해 섬유배향각 분포를 측정한다. 여기서 시뮬레이션 그림에 대해 계산된 섬유배향함수 값과 화상처리를 이용하여 교차점합산법으로 측정한 섬유배향함수 값을 비교 검토한다.

2. 이론

2. 1 섬유배향함수

현재, 국내외에서 사용되고 있는 대부분의 섬유강화 복합판재의 두께(3.8mm)는 폭(1,200mm)과 길이(1,300mm)에 비교하여 매우 얕기 때문에 섬유를 2차원 집합체로서 취급하여, x-y평면상에 섬유가 분포하고 있는 경우 x축과 이루는 섬유배향각 θ 는 $0 \leq \theta \leq \pi$ 의 범위에 있다. 따라서 섬유배향각 분포상태를 표시하는 섬유배향함수 J 와 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 J 는 2차원 섬유배향각 분포에 대한 섬유배향함수이며, 섬유배향이 무작위인 경우 $J=0$, 섬유배향이 한방향으로만 배열되어 있는 이방성인 경우는 $J=1$, $J=1$ 의 방향에 대해 90° 회전방향으로 배열되어 있는 경우는 $J=-1$ 이다. 이와 같이 섬유배향함수 J 값은 0에서 1사이에 있으나 0에 가까워지면 섬유의 배향상태가 무작위에 가깝게 됨을 나타낸다.

Fig. 1은 식(1)의 섬유배향함수 J 값 변화에 따른 섬유배향각 θ 와 상대 섬유길이 $q(\theta)$ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 여기서, 상대 섬유길이는 배향된 전체 섬유의 총길이에 대한 개개의 섬유배향각 θ 를 갖는 섬유의 총길이와의 비이다. 이 그림에서 섬유배향함수 $J=1$ 일때는

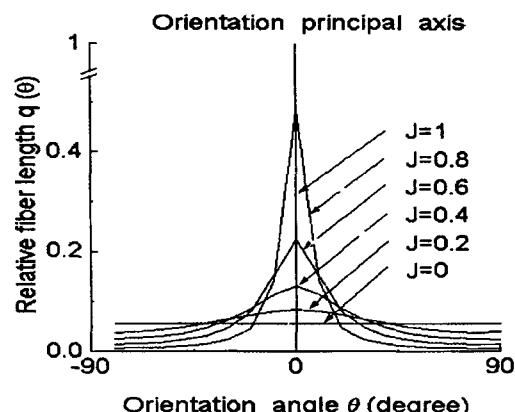


Fig. 1 Distribution of relative fiber length according to the fiber orientation angle

배향주축과 일직선인 관계를, $J=0$ 일 때는 배향주축과 직각의 관계를 각각 나타내고 있다.

2. 2 교차점합산법

개개의 섬유를 식별할 수 있는 측정대상에 대해서는 간단히 섬유배향각 분포를 측정할 수 있는 간이측정법인 교차점합산법⁽⁶⁾이 있으며, 이 방법은 피측정 대상위에 놓인 주사선과 섬유와의 교차점수에 의해 섬유배향각 분포를 구하는 것이다. 즉, 섬유가 분포하고 있는 평면위에 그은 주사선과 섬유와의 교차점을 합산함으로서 섬유배향각 분포를 구하는 것이다.

Fig. 2에서 x축과 이루는 각 α 는 주사선각도이고, θ 는 섬유배향각이다. 각도 α 인 주사선이 섬유의 배향각도 θ , 섬유길이 dl 인 선분과 교차할 수 있는 확률은 $|\sin(\alpha - \theta)|$ 이고, 각도 θ 와 $d\theta$ 의 사이에 있는 섬유의 총길이가 단위 면적당 $q(\theta)$ 이므로, 단위 길이당 주사선 상의 교차점수는 $|\sin(\alpha - \theta)| q(\theta) d\theta$ 로 된다. 이것을 모든 θ 에 대하여 합산하면 단위 길이당 교차점수는 식(2)와 같다⁽⁶⁾.

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

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

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

여기서 $N(\alpha)$ 를 측정하면 섬유배향상태의 척도를 나타내는 섬유배향함수 J 를 결정할 수 있다.

2. 3 섬유면적비 및 종횡비

섬유배향을 할 x-y평면상의 면적과 섬유가 놓여있는 면적을 계산하여 구한 섬유면적비는 섬유함유율을 의미하며 식(4)와 같이, 배향된 섬유종횡비는 식(5)와 같이 정의된다^{(7), (8)}.

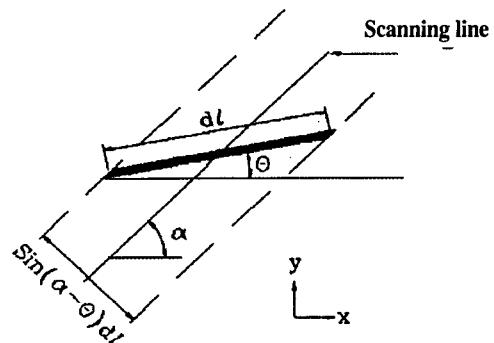


Fig. 2 Relationship between the fiber and scanning line

$$\text{섬유면적비}(F_{ar}) = \frac{\text{섬유직경} \times \text{섬유 총길이}}{\text{섬유배향의 면적}} \quad (4)$$

$$\text{섬유종횡비}(l/d) = \frac{\text{섬유길이}}{\text{섬유직경}} \quad (5)$$

3. 화상처리에 의한 교차점수 측정

섬유배향각 분포의 표시식을 검토하고, 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도에 대해 비교 검토하기 위하여 임의로 섬유종횡비(l/d)와 배향상태의 척도인 섬유배향함수 J 값을 변화시켜 플로터로 작도한 섬유배향 시뮬레이션 그림에 대한 섬유배향함수 J 는 0.1에서 1.0사이에 0.1간격이고, 섬유종횡비는 4, 7, 10, 17, 20, 33, 50, 83, 100, 167, 250, 500의 12종류이다. 이때 플로터로 작도한 시뮬레이션 섬유의 스트랜드 길이는 2mm, 5mm, 10mm, 25mm, 50mm의 5종류이고, 이 섬유의 스트랜드 직경은 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm의 3종류이다. 이 작도한 섬유배향 시뮬레이션 그림의 섬유총길이는 1,000mm, 2,000mm의 2종류이며, 섬유배향의 작도범위는 50mm(가로) × 50mm(세로)이다.

화상처리에 의한 교차점합산법의 정확도를 측정하기 위해 섬유배향 시뮬레이션의 그림의 색상은 흑색으로 한다. 섬유배향각 분포상태를 측정할 때 화상처리에 이용한 화상입력부의 이미지 스캐너(image scanner)는 일본 세이코 엠슨제 GT-4000V이며, 섬유배향 시뮬레이션 그림의 높도값을 수치 데이터로 읽어들이는 측정영역은 50mm(가로) × 50mm(세로)이다. 이미지 스캐너의 해상도(resolution)는 Fig. 3과 같이 400 × 400화소(pixel)

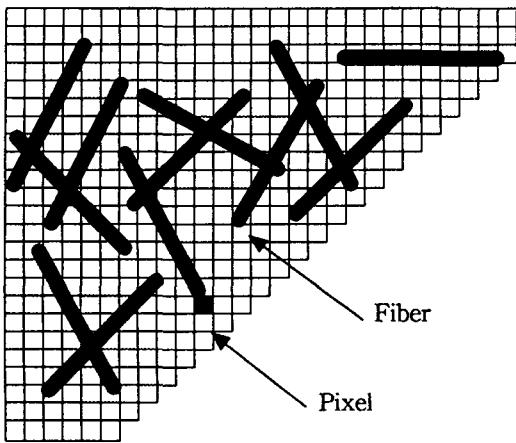


Fig. 3 Resolution of the image processing(400 × 400 pixel, 1pixel $\frac{1}{8}\text{mm} \times \frac{1}{8}\text{mm}$, intensity contrast 8 bit)

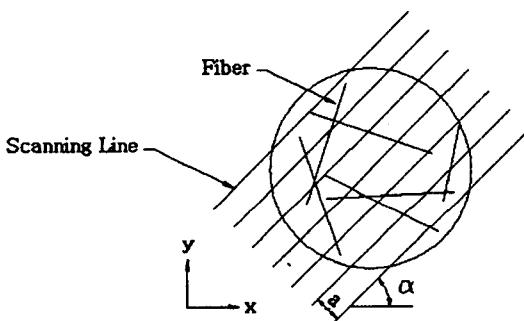


Fig. 4 Measurement of the intersections number by scanning line

로 1화소는 $1/8\text{mm} \times 1/8\text{mm}$, 농도계조 8비트(화소의 농도값을 읽을 때 명암 정도를 나타내는 gray level: 256 계조, 흑:0, 백:255)이다.

이미지 스캐너로부터 입력된 화상에 대해서 Fig. 4와 같이 a화소 간격으로 주사하고, 주사선각도는 α 방향으로 그어 섬유와의 교차점을 합산하였을 때 교차점수 분포도는 식(6)과 같다.

$$N(\alpha) = \frac{N_\theta(k)}{\sum_{i=0}^{n-1} N_\theta(i)}, \quad k = 0, 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

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 측정은 $0 \leq \alpha < \pi$ 범위에서 주사선각도 α 를 단계적으로 변화시켜 행하면 교차점수 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 전체 섬유에 대하여 측정한다.

교차점의 합산에는 측정대상을 화소로 분해하여 이미지 스캐너로 화소의 농도값을 측정하고, 얻어진 농도값을 2 치화 처리하여 2치화의 임계값(threshold) 보다도 농도 값이 높은 화소를 섬유로 한다. 섬유배향 시뮬레이션 그림의 색상이 흑색이므로 화상처리에 의한 교차점의 측정에서 임계값의 변화에는 영향을 거의 받지 않아 임계값은 128, 섬유배향 주축은 x축을 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(6)에 의해 상대 교차점수 $N(\alpha)$ 를 측정한다. 이 측정된 상대 교차점수 $N(\alpha)$ 를 $N(\alpha)'$ 로 하고 상대 교차점수 분포 $N(\alpha)'$ 를 식(3)에 의해 최소자승법으로부터 섬유배향함수 J 를 구하여 측정된 섬유 배향함수 J_M 으로 한다.

Fig. 5는 주사선각도와 상대 교차점수와의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 섬유와 주사선과의 총교차점수에 대한 섬유와 각도 α 를 갖는 주사선과의 교차점수 비를 상대 교차점수 $N(\alpha)$ 라 한다. 섬유배향이 무작위인 경우 섬유배향함수 $J=0$ 이며, 모든 각도에서 섬유와 주사선이 교차되어 그림에 나타난 바와 같이 주사선각도에 평행하다. 그리고 $J=1$ 일 때는 섬유배향이 x축방향으로 평행하다.

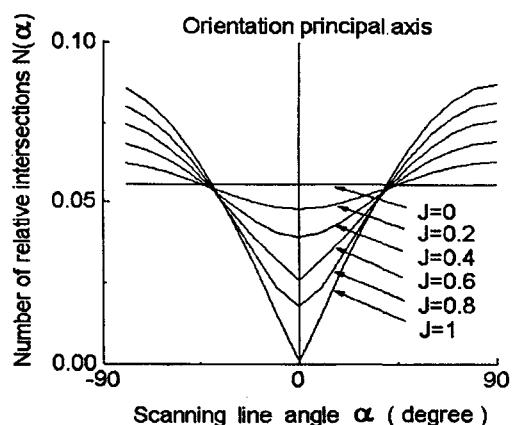


Fig. 5 Distribution of relative intersection numbers according to the scanning line angle

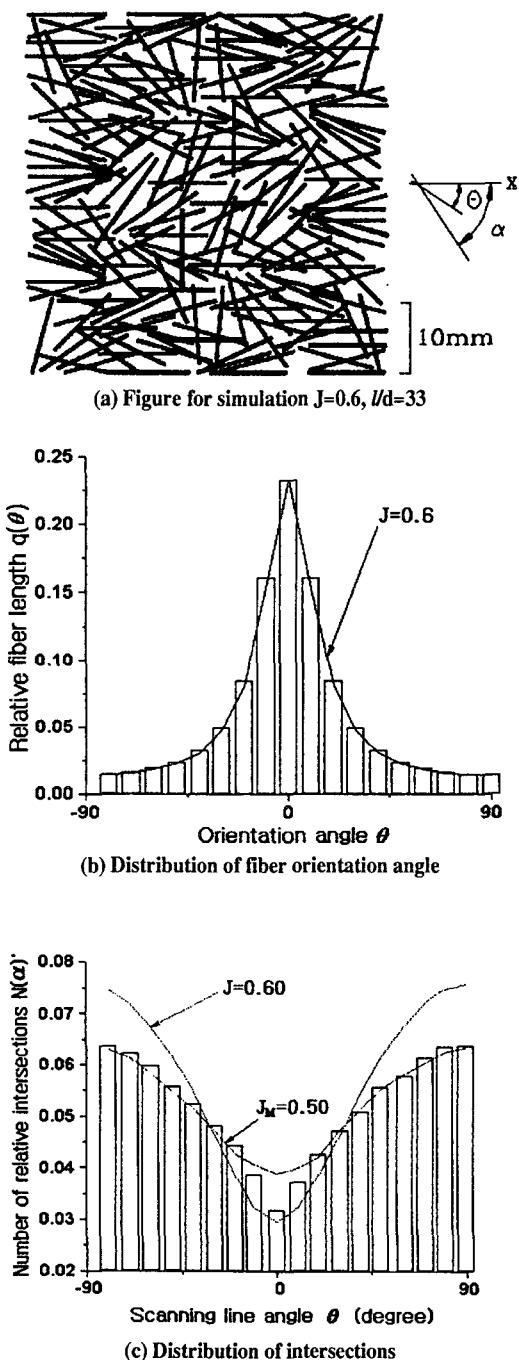


Fig. 6 Angle measurement and distribution of intersections by intersection counting method ($L=2,000\text{mm}$)

게 배열되어 있으므로 0° 방향의 교차점이 없음을 나타낸다.

4. 결과 및 고찰

교차점합산법의 유용성을 섬유배향 시뮬레이션 그림을 이용하여 알아보기로 한다. 한 예로서 Fig. 6(a)는 섬유 배향 시뮬레이션 그림이고, 이 그림에서 섬유의 스트랜드 직경은 0.3mm, 섬유의 스트랜드 길이는 10mm, 배향된 섬유의 총길이는 2,000mm, 섬유배향 면적은 50mm(가로) \times 50mm(세로)이고 섬유면적비는 0.24이다. Fig. 6(b)는 식(1)에 의해 나타낸 Fig. 6(a)의 섬유배향각 분포상태를 나타낸 그림이다. Fig. 6(a)의 그림을 교차점합산법에 의해 섬유배향각 분포를 구하기 위하여 섬유배향 시뮬레이션 그림을 Fig. 3과 같이 400×400 화소로 분할해서 농도값을 입력하고 식(6)에 의해서 교차점수 $N(\alpha)$ 를 합산한 후, 식(3)에 의해 최소자승법으로 구한 섬유배향함수 J 를 측정된 섬유배향함수 J_M 으로 하여 Fig. 6(c)에 나타냈다.

섬유배향 시뮬레이션 그림으로부터 계산된 섬유배향함수 J 와 교차점합산법에 의해 측정된 섬유배향함수 J_M 과의 관계는 섬유길이 2mm인 경우를 Fig. 7에, 섬유길이 5mm인 경우를 Fig. 8에, 섬유길이 10mm인 경우는 Fig. 9에, 섬유길이 25mm인 경우는 Fig. 10에, 섬유길이 50mm인 경우는 Fig. 11에 각각 나타냈다. 그리고 계산된 섬유배향함수 J 와 측정된 섬유배향함수 J_M 과의 비교값 $J_M = \Gamma J$ 는 Table 1에 나타냈으며, Γ 를 섬유배향함수의 기울기 값이라 하고 이 Γ 값은 화상처리에 의한 교차점합산법의 정밀도를 의미한다.

Fig. 7(a), (b)에 나타난 바와 같이 섬유길이 2mm인 경우에는 섬유종횡비가 작고 섬유면적비가 클수록 측정된 섬유배향함수 J_M 값이 낮게 나타났다. 이는 동일한 섬유길이에서 섬유종횡비값이 작을수록 섬유직경이 크기 때문에 섬유길이 방향에 수직인 측면이 주사선과 교차되어 방향성으로 측정됨을 알 수 있다. 섬유종횡비 값이 작은 섬유는 큰 섬유와 비교하여 측정된 섬유배향함수 J_M 값이 적어 섬유배향함수의 기울기 값이 낮게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8(a), (b)는 섬유길이 5mm인 경우로서 섬유길이 방향의 수직인 측면이 섬유길이 2mm인 경우보다 매우 적기 때문에 섬유길이 방향의 수직인 측면과 주사선이 교차하는 교차점수가 적게 합산되어 측정된 섬유배향함수

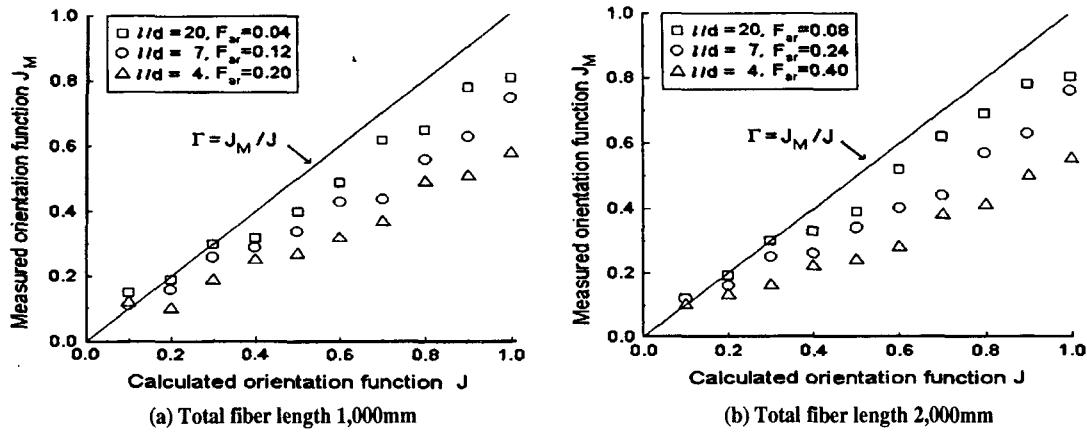


Fig. 7 Comparison between calculated orientation function and measured one for fiber length 2mm

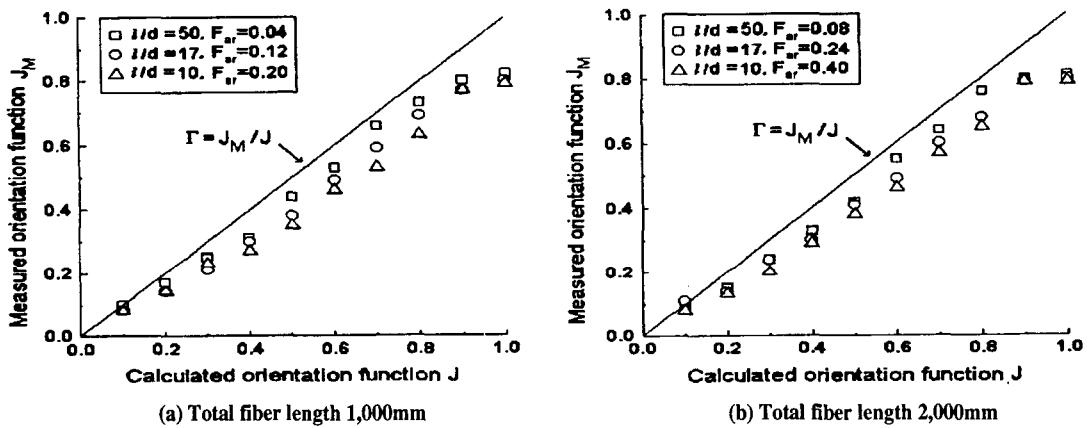


Fig. 8 Comparison between calculated orientation function and measured one for fiber length 5mm

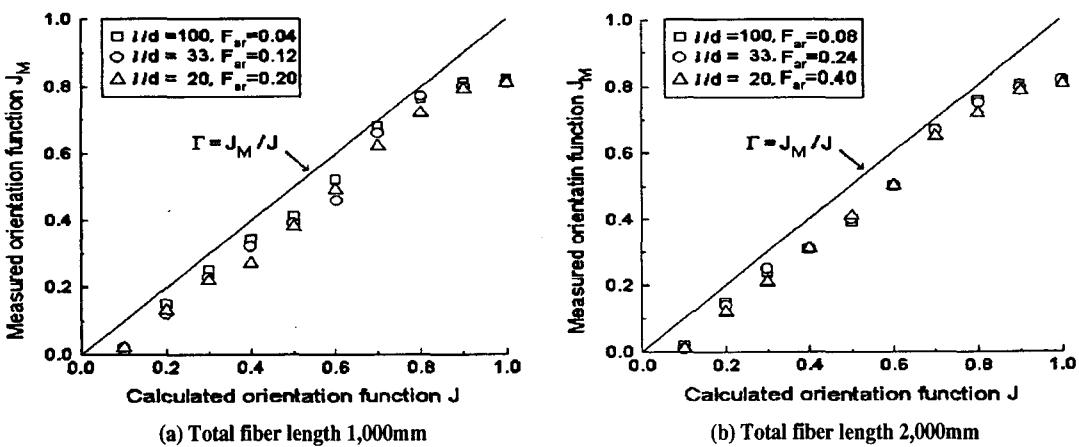


Fig. 9 Comparison between calculated orientation function and measured one for fiber length 10mm

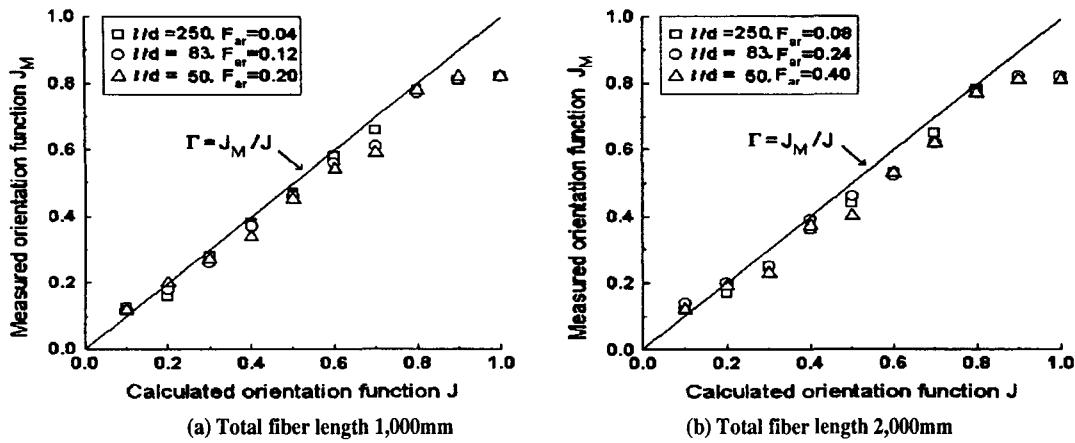


Fig. 10 Comparison between calculated orientation function and measured on for fiber length 25mm

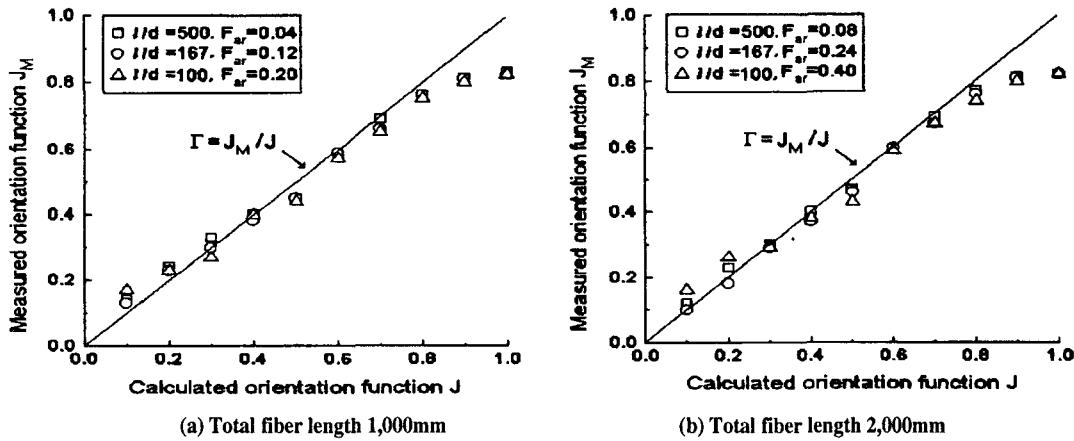


Fig. 11 Comparison between calculated orientation function and measured on for fiber length 50mm

J_M 값이 높게 측정되었다.

Fig. 9(a), (b)는 섬유길이 10mm인 경우로서 그림에 나타난 바와 같이 섬유길이 2mm, 5mm인 경우보다 섬유길이 방향의 수직인 측면과 주사선이 교차하는 교차점수가 매우 적기 때문에 섬유배향함수 J_M 값이 높게 측정되어 섬유배향함수의 기울기 값이 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 나타난 바와 같이 장섬유인 경우는 단섬유인 경우보다 섬유길이 방향의 수직인 측면이 방향성으로 적게 합산되기 때문에 측정된 섬유배향함수 J_M 값이 높게 측정됨을 알 수 있다.

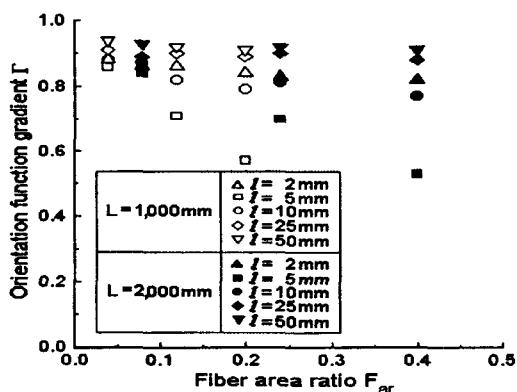
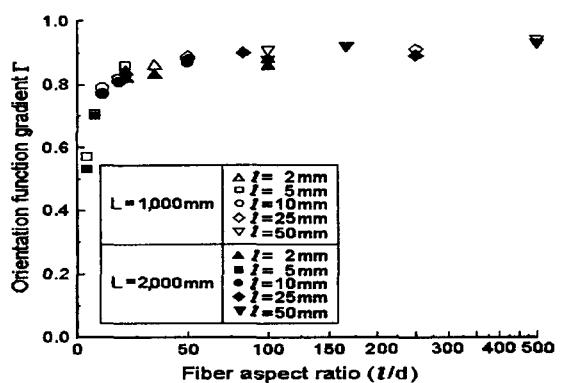
Fig. 12는 섬유배향함수의 기울기(Γ)와 섬유면적비(F_{ar})와의 관계이다. 섬유길이 25mm, 50mm인 경우는 섬유길이 2mm, 5mm, 10mm인 경우와 비교하여 섬유

배향함수의 기울기(Γ) 값은 섬유면적비가 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 즉, Table 1에 나타난 바와 같이 섬유종횡비가 같은 경우에 섬유면적비가 클수록 섬유측면이 많아 섬유길이 방향의 수직인 측면이 방향성으로 합산되어 측정된 섬유배향함수 J_M 값이 낮게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 13은 섬유배향함수의 기울기(Γ)와 섬유종횡비(I/d)와의 관계이다. 이 그림에서 섬유길이가 단섬유인 경우는 섬유배향함수의 기울기 값이 섬유종횡비에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 즉, 섬유길이가 장섬유인 경우는 섬유배향각의 분포상태를 측정할 때 섬유길이 방향의 수직인 측면이 단섬유인 경우보다 아주 적게 합산됨을 알 수 있다.

Table 1 Gradient between the calculated orientation function J and the measured orientation function J_M ($J_M = \Gamma J$)

Total fiber length 1,000 mm				Total fiber length 2,000 mm			
Fiber length	Aspect ratio (I/d)	Area ratio (F_{ar})	Gradient (Γ)	Fiber length	Aspect ratio (I/d)	Area ratio (F_{ar})	Gradient (Γ)
2 mm	20	0.04	0.86	2 mm	20	0.08	0.84
	7	0.12	0.71		7	0.24	0.70
	4	0.20	0.57		4	0.40	0.53
5 mm	50	0.04	0.88	5 mm	50	0.08	0.87
	17	0.12	0.82		17	0.24	0.81
	10	0.20	0.79		10	0.40	0.77
10 mm	100	0.04	0.88	10 mm	100	0.08	0.86
	33	0.12	0.86		33	0.24	0.83
	20	0.20	0.84		20	0.40	0.82
25 mm	250	0.04	0.91	25 mm	250	0.08	0.90
	83	0.12	0.90		83	0.24	0.89
	50	0.20	0.89		50	0.40	0.88
50 mm	500	0.04	0.94	50 mm	500	0.08	0.93
	167	0.12	0.92		167	0.24	0.92
	100	0.20	0.91		100	0.40	0.91

Fig. 12 Relationship between orientation function gradient Γ and fiber area ratio F_{ar} Fig. 13 Relationship between orientation function gradient Γ and fiber aspect ratio I/d

섬유종횡비값 50부터는 섬유배향함수의 평균기울기 값이 0.90로 나타났고, 화상처리에 의한 섬유배향각 분포 측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도는 섬유종횡비에 큰 영향을 받으며, 섬유면적비의 영향은 장섬유인 경우 미소하나 단섬유인 경우는 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

섬유의 겹침은 무배향에 가깝고 섬유가 차지하는 섬유면적비를 클수록 많아짐을 알 수 있다. 이와 같이 이미지 스캐너와 퍼스널 컴퓨터를 이용한 교차점합산법에 의하여 섬유배향각 분포를 간단하게 측정할 수 있으며, 섬유

배향의 분포상태는 섬유배향함수 J 로서 정량적인 평가를 할 수 있다. 또한, 섬유를 미소부분으로 분할하므로 곡선의 경우에도 적용할 수 있는 특징이 있다. 그러므로 이 방법은 섬유강화 복합재료 성형품을 연X-선 촬영하여 섬유개개를 식별할 수 있는 경우에는 화상처리함으로서 비파괴적으로 섬유배향각 분포상태를 간이측정할 수 있어 유효하다고 생각된다.

그러나, 교차점합산법의 문제점으로는 교차점을 합산해서 섬유배향각을 측정하기 때문에 섬유의 겹침이 작은 시험

편에서는 교차점합산법이 매우 유효하나, 겹침이 많은 시험 편에서는 적당하지 않다. 앞으로 이 점에 대해서 3차원적으로 연구하고, 주사선 각도 α 의 간격을 작게 할수록 보다 정확하고 적용범위가 넓은 측정이 가능하게 될 것이다.

5. 결 론

화상처리에 의한 섬유배향각 분포측정에 있어서 교차점 합산법의 정밀도에 미치는 섬유종횡비와 섬유면적비의 영향에 대해 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 단섬유인 경우는 장섬유와 비교하여 섬유길이가 짧기 때문에 주사선과 섬유와의 교차 점수가 적게 합산되어 측정된 섬유배향함수 값이 낮게 나타났다.
- (2) 섬유종횡비가 큰 경우는 작은 경우와 비교하여 섬유 길이 방향의 수직인 측면이 매우 적기 때문에 이 수직인 측면이 방향성으로 적게 합산되어 섬유배향함수의 기울기 값이 높게 나타났다.
- (3) 섬유종횡비값 50부터는 섬유배향함수의 평균기울기 값이 0.90로 나타났다. 그리고 화상처리에 의한 섬유 배향각 분포측정에 있어서 교차점합산법의 정밀도는 섬유종횡비에 큰 영향을 받으며, 섬유면적비의 영향은 장섬유인 경우 아주 미소하나 단섬유인 경우는 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력 연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. Hearle, J. W. S. and 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. and Gloria Bernier, "The Structure of Paper III. Structure of Idealized Nonrandom Networks," Tappi, Vol. 47, No.11, pp. 694-703, 1964.
3. 山田國廣, 堀川明, "2次元纖維集合體の確率幾何," 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)ファウンホーフア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. and 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. and 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.
7. Lee, D. G., Lee, S. D., Han, G. Y. and Kim, E. G., "Effect of Aspect Ratio on the Accuracy of Intensity Method in Orientation Measurement of Fiber-Reinforced Composite Materials," Proceedings of the KSME 1996 Spring Annual Meeting A, pp. 549-554, 1996.
8. Lee, S.D., Kim, H., Lee, D.G., Han, G.Y. and Kim, E.G., "Effect of Fiber Area Ratio on the Accuracy of Intensity Method in Orientation Measurement of Fiber-Reinforced Composite Materials," Proceedings of the KSME 1996 Fall Annual Meeting A, pp. 1124-1129, 1996.