FRACTAL GEOMETRY 에 의한 직물의 구김, 심 퍼커 평가

이재열, 강태진
서울대학교 섬유고분자 공학과

1. Introduction

복잡한 자연물의 형태는 1,2,3차로 이루어지는 일반적인 classical integral dimension으로는 분석이 곤란하다. 예를 들면, 해안선의 모양, 산맥이나 강의 형태, 자연적인 식물의 성장 패턴, 인체의 혈관계, 구름이나 carbon의 profile, 단백질 표면 구조의 분석 등과 같이 구불구불하고 복잡하여 규칙성이 없어 보이는 대상물들은 유클리드 기하의 차원과 형태를 정의하기가 어렵다. 따라서 이런 형상을 묘사하기 위해서는 fractal geometry를 이용하면 편리하다.

Fractal geometry는 Mandelbrot가 자연물의 자기 닮음성(self-similarity)을 기술할 수 있는 필수적인 구조로서 제안했는데, 기하학, 지질학 그리고, 카오스의 특징인 비선형 동력학의 기하학적 해석과 같은 분야에서 활용되고 있다.

Fractal geometry를 이용한 필라멘트 사의 크림프에 대한 정량적인 분석의 결과는 앞서서 발표한 바 있는데, 이번의 실험에서는 직물의 구김이나 심 퍼커와 같이 필라멘트 사보다 한 차원 증가된 대상물에 대해서 fractal geometry를 적용할 수 있는 가능성을 시도해 보았다.

2. Experimental

2.1. 시료

실험에 쓰인 시료는 AATCC 표준 wrinkle replica 5 등급과, 표준 seam pucker replica 5 등급으로서, 각각의 시료는 1등급의 경우에 구김과 심 퍼커가 가장 심하며, 5등급으로 갈수록 평탄해지는 시료이다.

2.2. 실험 방법

Replica의 surface randomness를 측정하기 위해서는 그 높이 값을 필요로 하므로 replica의 높이를 추출하기 위해서 Fig.1.과 같은 장치를 하였다.

Replica에 수직인 방향으로 규칙적인 point grid를 입사시킨 다음 CCD camera는 입사광과 일정한 각도를 이루도록 하여 설치한다. 이때 대상물이 완전한 평면이라면 camera에 잡힌 point grid의 image도 규칙적인 격자를 이루지만, 대상물에 굴곡이 있을 경우에는 point grid의 image의 위치가 변하게 된다. 이 정보로부터 각 point grid에서의 높이를 추출할 수가 있다.

여기서 grid의 형태는 point, line, mesh 등의 형태가 있을 수 있지만, point grid를 사용하면 image의 noise처리가 쉽고 빠르다. 또, point image는 시료의 색상에 따른 영향이 없으므로 fabric의 조직이나 색에 관계없이 적용할 수 있다.

Fig.2.는 camera setting을 보다 자세히 그린 것이다. 여기서, 시료와 camera의 거리를 충분히 멀리하여 Young의 이중 슬릿 회절 실험과 같은 형태를 취하면, camera의 lens 수차를 최소화할 수 있다.

평면에 입사시킨 grid point O와 시료에 입사시킨 grid point A를 차례로 촬영하면, O와 A는 거리 d 만큼 이동되어서 상으로 잡히는 데, 여기서 A 지점의 높이는 다음 식과 같이 유도할 수 있다.

$$\cos r = \frac{OB}{OA}$$

$$\therefore OA = \frac{OB}{\cos r} = \frac{d}{\cos r}$$

OA : Height at point A
d : point difference between two images
r : camera angle

본 실험에서 camera와 시료와의 거리를 804mm, camera angle(r)을 15° 로 하였으며, 실제 길이 1mm는 6.02pixels가 되었다.

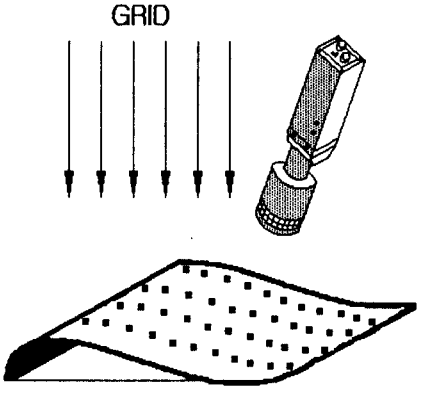


Fig1. Point grid method for the scan of fabric surface

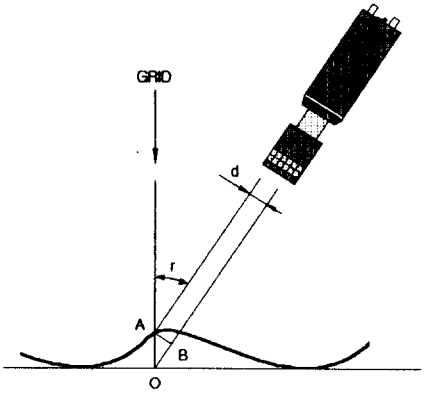


Fig.2. Configuration of the camera, grid and fabric

Fabric과 같은 2차원 이상의 대상물에 대해서 직접 fractal dimension 을 측정한 실험은 아직 이루어진 바가 없다. 따라서 본 실험에서는 가장 빠르고 일반적인 적용이 가능한 Box Counting Dimension을 사용하여 D_B를 측정을 시도하였다.

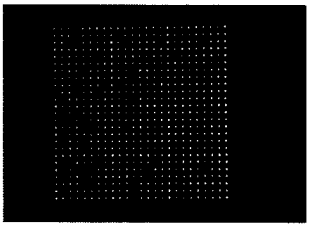
먼저 평면의 61.3mm×61.3mm 넓이에 가로와 세로 25개씩, 모두 625개의 point grid를 입사하고 digital image를 얻은 후에 다시 시료를 놓고 같은 조건의 point grid를 입사하여

image를 얻었다. 얻어진 image에서 point의 이동을 분석하여 위의 식을 이용하여, 각 point의 높이를 구하면, 시료의 형태를 재구성할 수가 있다. 이렇게 구성된 시료의 표면에 box를 씌워서 그 개수를 구하면 box의 크기와 개수 사이에는 logarithm plot의 관계에서 D_B를 구한다.

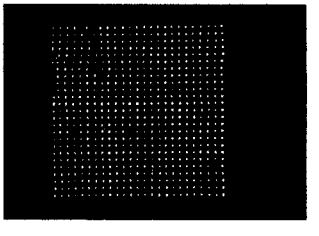
표준 seam pucker replica 실험에서는 Laser scan을 이용하여 각 지점의 높이를 직접 측정한 다음, 역시 같은 방법으로 D_B를 계산하였다.

2.3. 실험 순서

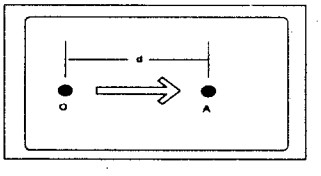
①Point Grid 입사
②Background Image 획득



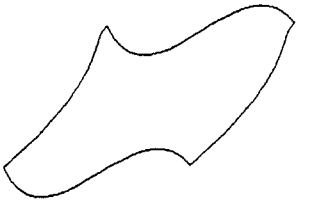
③Fabric Image 획득



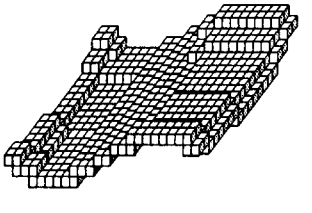
④Image Difference 검출



⑤3차원 좌표 획득, Surface 복원

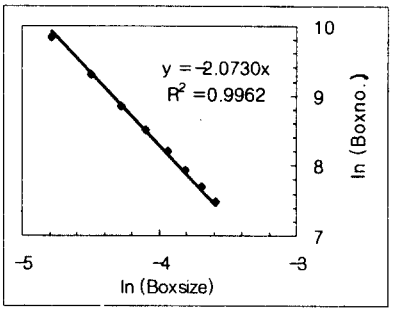


⑥Cube 덮기



⑦Cube 크기 증가 시켜 가며 반복

⑧ln (Boxsize)와 ln (Boxno.) 사이의 logarithm regression plot



3. Results

Fig.3.은 표준 wrinkle replica 5등급을 대상으로 D_B를 측정한 결과이다.

Wrinkle이 가장 심한 replica 1의 경우는 2.0730 차원을 보이며 wrinkle이 가장 적은 replica 5는 2.0461의 차원을 보인다. 여기서 dimension 2는 완전히 평탄한 2차원 평면을 의미하며 dimension 3은 육면체와 같은 입체를 의미한다. 그러므로 fabric은 완전한 2차원 평면에서 약간 벗어난 표면을 가지는 것으로 평가된다. 물론 그 값의 범위가 소수 이하 둘째 자리에서 차이가 날 정도의 작은 값이지만 그 차이를 가지고 wrinkle을 구분하고 평가할 수 있을 만큼 정교하고 일관된 값을 가진다. 즉, ln (Boxsize)와 ln (Boxno.) 사이의 logarithm regression plot에서 R^2 값이 모두 0.99이상으로서 매우 강한 상관성을 나타낸다. 따라서 fabric wrinkle의 fractal dimension 측정법은 매우 재현성 있고 신뢰성 있는 결과를 보인다는 것을 알 수 있다.

표준 replica의 등급이 5에 가까워질수록 wrinkle이 적어지므로 fractal dimension의 값도 2에 가까워짐을 알 수 있다. 그러나 replica 등급은 wrinkle의 상대적인 순서일 뿐이므로 fractal dimension과 비례적인 관계를 보이지는 않는다. 따라서 wrinkle의 분류에는 fractal dimension과 같은 정량적인 값을 사용하는 것이 더 바람직할 것으로 보인다.

즉, fractal dimension의 값을 기준으로 하여 D_B 가 2.07이상인 시료를 1 등급, 2.07~2.06인 시료를 2 등급, 2.06~2.05인 시료를 3 등급, 2.05~2.04인 시료를 4 등급, 2.04이하인 시료를 5등급으로 정의하면, 선형적인 wrinkle분류 기준을 세울 수 있다.

Fig.4.에 표준 seam pucker replica의 fractal dimension 결과를 나타내었다. Wrinkle에서와 같이, replica 등급은 pucker의 상대적인 순서일 뿐이므로 fractal dimension과 비례적인 관계를 보이지는 않는다. 따라서 seam pucker의 분류에도 fractal dimension과 같은 정량적인 값을 사용하는 것이 더 바람직할 것으로 보인다.

Wrinkle에서와 같이, fractal dimension의 값을 기준으로 하여 D_B 가 2.04이상인 시료를 1 등급, 2.04~2.03인 시료를 2 등급, 2.03~2.02인 시료를 3 등급, 2.02~2.01인 시료를 4 등급, 2.01이하인 시료를 5등급으로 정의하면, 선형적인 seam pucker분류 기준을 세울 수 있다.

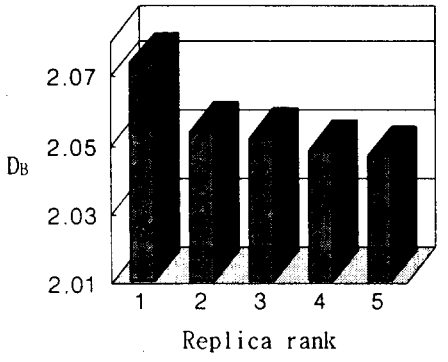


Fig.3. Box counting dimensions of AATCC standard wrinkle replica

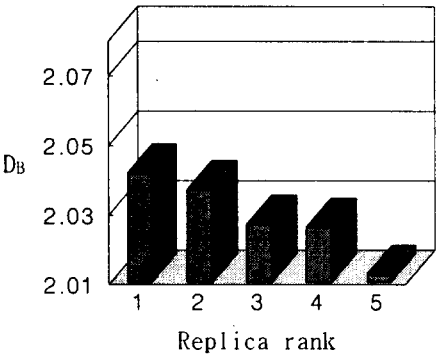


Fig.4. Box counting dimensions of AATCC standard seam pucker replica

4. Conclusion

AATCC 표준 wrinkle replica와 seam pucker replica를 사용하여 fractal dimension을 측정하여 보았다. Fabric 표면의 입체적인 좌표를 얻기 위해서 point grid와 camera angle을 이용한 방법을 제시하였으며, 이렇게 복원된 fabric surface를 육면체로 채워 나가면서 dimension을 측정하는 Box Counting Method를 시도하였다. ln (Boxsize)와 ln (Boxno.) 사이의 logarithm regression plot에서 $R^2 \geq 0.99$의 강한 선형성을 보였으며, 표준 wrinkle replica의 fractal dimension 은 2.0730(1등급), 2.0529(2등급), 2.0511(3등급), 2.0478(4등급), 2.0461(5등급)이고 표준 seam pucker replica의 fractal dimension 은 2.0413(1등급), 2.0366(2등급), 2.0265(3등급), 2.0256(4등급), 2.0120(5등급)으로 나타났다. 이것은 fabric이 평면(dimension=2.0)에서 약간 벗어난 형태임을 의미하며, wrinkle이나 seam pucker의 등급이 5 에 가까워질수록 fractal dimension도 2로 접근한다. 그러나, 상대적인 replica 등급보다는 정량적인 dimension을 이용하는 것이 더욱 이점이 있을 것이다.