

지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향

남 원 석* · 백 기 현†

The Effect of Local Basis Weight on Local Strain

Won-Seok Nam* and Ki-Hyon Paik†

ABSTRACT

The purpose of this experiment was to see the effect of local basis weight on the local strain during changing moisture content in handsheets. The averaged strain value of the whole size of paper sheet did not give more valuable information to explain non uniform deformation in the paper sheet. The combination of intact strain measurement system LISA(Linear Image Strain Analysis) and local basis weight measurement method using a scanner made it possible to compare local basis weight with local strain to explain moisture induced paper deformation. Usually higher basis weight local area showed higher moisture induced local strain. However, the hygro-induced strain values were highly affected by the behavior of neighbor local areas. Well distributed local basis weight paper would give more uniform local strains than those of non-uniformed local basis weight paper.

1. 서론

종이의 함수율이 달라짐에 따라 종이는 불균일하게 변형을 한다. 대기 상태에서 평형을 이루어 평평한 상태를 유지하고 있던 종이는 외부 조건이 달라짐에 따라 이에 대응하여 새로운 평형 상태를 유지하려 한다. 종이는 수축과 팽창 과정 중 대부분이 불균일한 변형을 일으킨다. 수축과 팽창 과정에서 히스테레시스(hysteresis)와 크리프(creep) 현상으로 100% 원형회복이 불가능한 것도 한 가지 이유지만 섬유들이 많이 뭉쳐 있는 지역 평량이 높은 부분과 그렇지 않은 지역 평량이 낮은 부분에서의 변형률이 다르기 때문에 종이는 불균일한 변형을 일으키는 것으로 추정된다.

종이가 전체적으로 균일한 자유 수축 및 자유 팽창을 한다면 컬(curl)이나 코클(cockle)은 일어나지 않을 것이나 현실적으로 이를 막는 것이 불가능한 경우가 많다. 여기에서 컬이란 종이 외부 및 내부 환경이 변할 때 종이 앞뒷면에서의 수축 팽창 정도가 달라서 평평한 상태를 유지 못하고 한쪽으로 휘어지는 현상을 말한다.^{1~3)} 반면 코클이란 종이 표면에 나타나는 작은 컬의 분포를 말한다.⁴⁾ 이러한 불균일한 수축과 팽창은 코클의 배열에도 영향을 주게 된다.⁵⁾ 이러한 불균일한 변형을 일으키는 요소에는 섬유 배열 분포, 지역 평량 분포, 종이 윗면과 아래면의 구조 차이, 섬유 사이의 결합 정도 등이 있다. 정상적인 수초지에서는 불균형한 변형이 많이 일어나지 않으나 초지

• 고려대학교 자연자원대학 산림자원환경학과(Dept. of Forest Resources, Korea University, Seoul, Korea).

* 쌍용제지주식회사 기술연구소(Ssangyong Paper Co. R&D Center, Osan, Korea).

† 주저자(Corresponding author)

기에서 생산된 종이는 위에 열거한 여러 문제점들을 대부분 공유하고 있다.

초지기에서 일어나는 이러한 문제점들을 구명하기 위하여 여러 논문들이 발표되고 있다. 그러나 지역평량 분포와 이에 따른 종이의 불균형한 변형을 수치상으로 설명하는 데는 한계가 있었다. 과거에는 컴퓨터 모델실험으로 예측^{6,7)} 또는 광학적 측정방법,^{8,9)} 및 X선과 β 선을 이용하여 종이의 질량분포를 측정하는 방법이 이용되었으나^{8~11)} 최근에는 화상분석기와 지역평량측정기의 출현으로 지역 평량과 변형과의 관계를 수치상으로 구명할 계기가 마련되었다.

화상분석기와 지역 평량측정기의 자료를 조합하면 초지기에서 일어나는 지역 평량분포와 변형과의 관계를 설명할 수 있다. 즉, 함수율이 변함에 따라 지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향을 알 수 있다. 지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향이 주요한 이유는 수분 변화에 따라 지역 변형률이 각기 다른 지역에서 다르게 나타나 결국 불균일한 변형을 일으키기 때문이다. 지역 변형률을 정확하게 측정할 수 없으면 종이에 변형이 일어나는 원인을 찾기가 어려우며 따라서 해결 방안도 제시될 수 없다. 종이 전체 평균 변형률 값만으로는 종이의 불균일한 변형을 예측하는 데 큰 도움이 되지 못한다.

현재 종이의 지역 평량이 전체 인장 강도에 영향을 미치는 실험결과와 보고서와 모델을 이용한 변형 예측치는 있으나^{6,9)} 수분과 연관이 되어 지역 평량이 종이의 지역 변형에 미치는 실험은 아직 보고되지 않고 있다.

본 연구의 목적은 수분과 연관되어 종이의 지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향을 수치상으로 구명하여 수분변화에 따른 종이의 불균일성을 이해하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

단풍나무 크라프트 펄프를 사용하여 85 g/m² 수초지를 TAPPI 방법에 따라 초지하였다. 고해도는 500 mL CSF였으며 사이즈제 등 기타 화학약품은 첨가하지 않았다. 인위적으로 평량 편차를 두기 위해 탈수 전까지의 시간을 30초 주어서 지

역 평량을 불균일하게 조작하였다.

2.2 실험방법

지역 평량측정: 각 수초지의 지역 평량은 수초지를 일정평량(85 g/m²)에서 지함이 불균일하게 초지한 후 이미지스타 프로그램을 내장한 IBM-PC와 연결된 스캐너(Umax Power Root)를 이용하여 측정하였다. 스캐너로 읽은 그레이 값으로 평량을 계산하기 위하여 평균 그레이 값과 평량과의 관계를 먼저 찾아내고 그 결과를 이용하여 지역 평량을 역으로 계산하였다.^{8,9,13)}

변형률값 측정: 시료를 상대습도 50%, 온도 23°C 조건에서 12시간 이상 조습한 후 Fig. 1과 같이 화상 변형률 분석시스템(LISA, Linear Image Strain Analysis System)을 이용하여 전체 변형률 평균이나 지역 변형률 값을 측정하였다.¹⁴⁾

Fig. 1에서와 같이 조습된 시료를 밀폐된 유리 상자 안 전자 저울 위에 옮겼다. 그리고 즉시, 종이 위에 복사기용 토너 가루를 뿌려 LISA가 인식할 수 있는 불특정 무늬를 만들었다. 측정 면적은 5.21 cm×3.73 cm였으며 유리 상자 안의 상대습도를 상승시키는 데는 염화나트륨 포화 용액을 사용하였고 상대 습도를 낮추는 데는 실리카겔과 탄산칼슘을 사용하여 종이의 수분 함량을 조절하였다. 샘플 질량을 전자 저울 위에서 30초마다 측

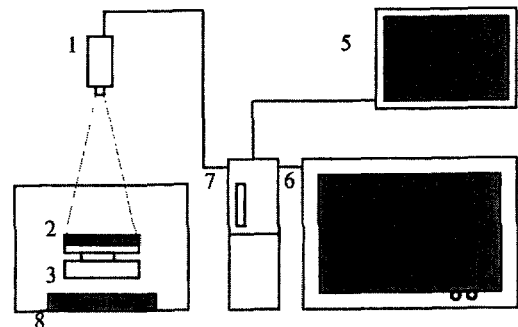


Fig. 1. LISA System.

- 1 : WV-CD20 CCD camera, 2 : Sample,
- 3 : Digital balance,
- 4 : Translucent Sealed box, 5 : Monitor,
- 6 : Sun Sparcstation 330,
- 7 : Androx ICS-400, 8 : NaCl salt solution

정하고 동시에 샘플 이미지를 촬영하였으며 그때마다 수분 함량을 조금씩 증감시켰다. 샘플의 수분 함량은 모든 실험이 끝난 후 전건 질량을 측정하여 역으로 이미지 촬영 당시의 수분 함량을 계산할 수 있었다.

LISA는 종이가 평면인 2차원에서 변형률 값을 잴 수 있다. 종이가 수분이 천천히 변함에 따라 3차원으로 변형되기 전인 2차원 상태에서 짧은 시간, 3분 이내에 이미지를 측정하였다.

지역 평량 분포도와 변형률 분포도를 그리는 데는 소프트웨어 매트랩(Matlab Co.)을 사용하였으며 계산에는 펄 프로그램 언어와 C-프로그램 언어를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

지역 평량을 측정하기 위해서는 스캐너로 읽은 그레이 값과 평량과의 관계를 먼저 정립해야 한다. 물론 Bernie 등¹⁰⁾은 그레이 값과 실제 전자저울로 측정한 평량간에는 직선관계가 성립한다고 하였으나 이 관계는 종이 종류에 따라 달라지므로 평량이 같으면서도 백색도가 다른 종이를 측정할 경우에는 그레이 값이 달라지게 되므로 종류가 같고 평량만 다른 종이를 측정하여 그레이 값의 연관성을 우선 구하여야 한다.

Fig.2는 평량과 이 그레이 값의 관계로서 평량이 증가함에 따라 그레이 값이 직선상관관계($R^2=0.97$)로 감소하였다. 그레이 값과 평량 사이

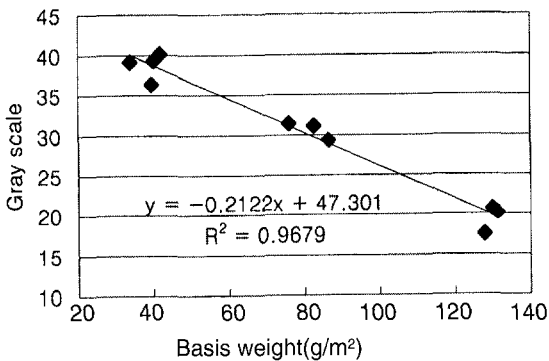


Fig. 2. The relationship between basis weight and grad scale.

$$\text{Basis weight} = -4.56 \times \text{Grey value} + 218.26$$

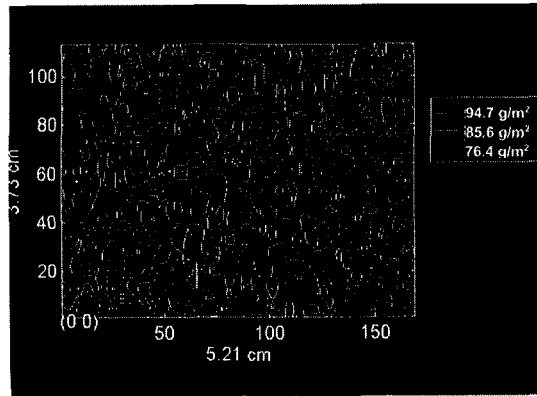


Fig. 3. Basis weight distribution plot of the hansheet 85 g/m² using a scanner.

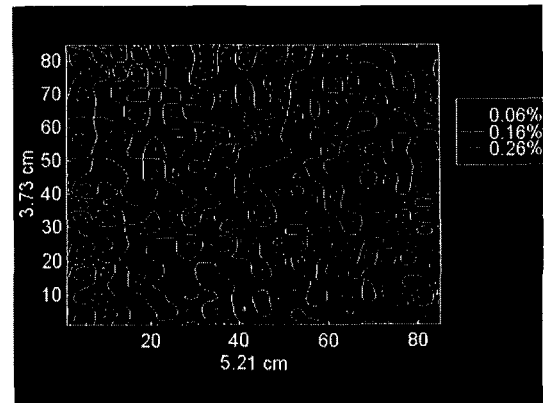


Fig. 4. Strain distribution plot of the hansheet 85 g/m² using a LISA.

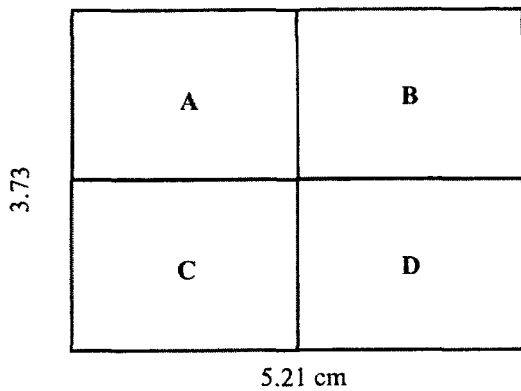
의 관계는 Bernie와 Douglas의 실험결과와¹⁰⁾ 거의 같은 결과로서 이들 두 인자간에는 밀접한 관계가 있었다. 남과 박¹³⁾도 평량이 증가함에 따라 그레이 값이 정비례로 감소하며 탈수 전 유지 시간이 짧을수록 상관관계가 높다고 보고한 바 있다. 한편 Uesaka¹²⁾에 따르면 전체 평량을 기준으로 하여 평량 100 g/m²까지는 종이의 수분량이 증가함에 따라 종이는 일정하게 팽창한다고 발표하였으나 본 실험에서는 130 g/m²까지도 일정한 팽창을 유지하였다. 이상에서 얻어진 관계식을 근거로 하여 전체 평균값과 지역 평균값을 계산하였다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 평량 85 g/m² 수초지를 스캐너로 읽은 평량 분포와 이 수초지를 3분 간 수분팽창 시킨 후 LISA로 측정한 변형률 분포를 등고선으로 나타내었다. 평량 85 g/m²의 수초지

Table 1. Gray scale and strain values of different local basis weight area in a handsheet 85 g/m²

Area	Gray scale	Basis weight(g/m ²)	Strain(%)
A	28.69	87.43	0.162
B	29.75	82.60	0.110
C	29.44	84.01	0.162
D	30.02	81.37	0.074

R² of gray scale and basis weight = 0.99, R² of gray scale and strain = 0.71, R² of basis weight and strain = 0.70

**Fig. 5. Sample size and sectioned area for handsheet 85 g/m².**

이지만 지역에 따라 등고선에서와 같이 94.2 g/m², 85.6 g/m², 76.4 g/m² 서로 다른 분포를 지녔다. 이와 마찬가지로 변형을 분포도 지역에 따라 서로 다른 변형량을 나타내었다.

Fig. 3과 Fig. 4의 결과를 좀더 명확하게 수치상으로 비교하기 위하여 평량 및 변형분포도를 Fig. 5와 같이 Figs. 3, 4를 각각 4등분하고 각 지역의 그레이 값, 평량 및 변형을 Table 1에 나타내었다. Table 1에서와 같이 평량 85 g/m² 수초지의 전체 평균 변형률 수치는 0.127%이나 이를 4등분하면 지역 평량에 따라서 각기 다른 수치를 나타내었다.

평량이 낮은 부분인 B와 D는 변형률 값이 낮았으며 평량이 높은 지역인 A와 C는 변형률 값이 높았다. 두 인자간의 관계를 나타내주는 R² 값에 있어서 지역 평량과 지역 변형률 값 사이, 그레이 값과 변형률 사이는 0.70과 0.71로서 그레이 값과 평량 사이의 0.99에 비하여 낮은 수치를 보여주었다. 이러한 경향의 이유는 수초지이지만 섬유 배열이 완벽한 무작위 방향이 아닐 수 있다는 점이

고 따라서 섬유 배열 방향의 영향으로 위와 같은 결과가 나왔다고 할 수 있다. 또 다른 이유는 섬유 배열이 완전 이등방성 구조를 가지고 있다는 가정 하에서 나온 것으로 평량이 높은 지역과 낮은 지역에서의 섬유 뭉치들이 서로 자유롭게 수축 및 팽창을 하지 못한다는 점이다. 예를 들면, 평량이 같은 두 지역이 있을 때 각각 인접한 지역의 평량이 다를 경우 이웃 지역의 영향으로 평량이 같은 두 지역에서의 수축 및 팽창은 영향을 받을 수밖에 없는 것이다. 이와 유사한 현상은 인장 강도 실험에서 유한요소분산법으로 예측되어졌다.^{6,7)}

본 실험 결과 지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향은 인장 실험에서뿐만 아니라 상대 습도 변화시 함수율이 변화할 경우도 같은 방법으로 작용한다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

화상 분석기를 이용한 지역 변형률 측정 결과와 스캐너를 이용한 지역 평량 측정 결과를 비교하여 지역 평량이 지역 변형률에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 수초지의 경우 전체 평량과 스캐너로 읽은 그레이 값 사이는 매우 밀접한 관계가 있으므로 그레이 값을 측정하여 평량을 예측하는 것이 가능하였다. 지역 평량과 지역 변형률과의 관계를 확립할 수 없는 가장 큰 이유는 지역 평량이 고르지 않을 경우 평량이 같은 지역이라 할지라도 이웃한 지역 평량의 높고 낮음에 따라 그 지역에서의 변형률 값이 영향을 받는다는데 있다. 그러므로 수분 편차에 따른 종이의 불균일한 변형을 이해하는 데 있어서 지역 평량과 지역 변형률과의 관계는 매우 중요하다 할 수 있으며 상대 습도 변화에 따라 반응하는 종이의 성질을 이해하는 측면에서 본다면 균일한 수축 및 팽창은 종이의 치수 안정에 있어서 매우 중요하다. 따라서 균일한 지

역 평량은 종이 각 지역에서의 균일한 변형을 가져오며 이는 외부 변화에 대하여 안정된 종이를 뜻한다.

인 용 문 헌

1. Glynn, P., Jones, H., and Gally, W., Pulp & Pap. Mag. Can. 65(10):T-316 (1959).
2. Glynn, P., Jones, H., and Gally, W., Pulp & Pap. Mag. Can. 67(1):T3948 (1961).
3. Gray, D.G.J., J. Pulp & Paper Sci. 15(3):J105 (1989).
4. Scott W.E., Properties of Paper: An Introduction, 2nd Ed., GA, TAPPI Press, Atlanta (1995).
5. Nam, W.S., Investigation of Curl and Cockle in Copypaper, Ph. D. Thesis, Coll. Envir. Sci. Forestry, SUNY, Syracuse (1997).
6. Wong, L., Kortschot, M.T., and Dodson, C. T. J., 1995 Int' l Paper Physics Conf. held in Niagara-on-the- lake, ON in Canada.
7. Thorpe, J., Appita, 36:198 (1982).
8. Waterhouse J. F., Tappi J. 76 (9):129 (1993).
9. Tomimasu, H., Kim, D., Suk, Mi., and Luner, P., Tappi J. 74(7):165 (1991).
10. Bernie, J. P. and Douglas W.J.M, Tappi J. 79(1):193 (1996).
11. Boeckerman P., Tappi J. 75(12):166 (1992).
12. Uesaka, T., J. Mats. Sci. 29(1):2373 (1994).
13. 남원석, 박종문, J. Korea TAPPI 30(3):57 (1998).
14. Choi, D., Thorpe, J., and Hanra, Ro, Wood Science and Technology, 25:251 (1991).