

빛 투과법을 이용한 평량과 지합의 인장 및 인열 강도에 미치는 영향 분석

남 원 석*¹ · 박 중 문*²

The Study of the Effects of Basis Weight and Formation on Tensile and Tear Strengths Using Light Transmittance Method

Won-Seok Nam*¹ and Jong-Moon Park*²

ABSTRACT

This study is intended to analyze how formations affect the tensile and tear strengths of paper at the same basis weight. Light transmittance method using a scanner was employed to measure the degree of formation in terms of gray scale. Scanning method showed close relationship between gray scale value and basis weight. At the same basis weight a sheet of paper with good formation had higher tensile strength in terms of breaking length than that of a paper with poor formation. There was little difference in tear strength depending on formations.

1. 서 론

종이의 지합이 좋아야 하는 이유는 여러 가지가 있으며 각종 강도와 치수 안정 및 평활도 등에 있어 특히 중요하다. 여기에서는 종이의 함수율과 연관된 치수안정성 및 평활도 등은 다루지 않았으며 인장 강도 및 인열 강도와 연관된 지합의 중요성을 다루었다. 종이의 지합 정도를 측정하기 위해 스캐너를 사용한 빛 투과법을 적용하여 그 응용 여부도 알아보았다.

외부에서 종이에 힘을 가했을 때 섬유들이 많이 뭉쳐있는 지역 즉 평량이 높은 부분과 그렇지 않은 지역 즉 평량이 낮은 부분에서의 변형율이 다

르기 때문에, 기타 조건이 같을 경우엔 평량이 낮은 부분에서 지절이 생기는 것으로 추정되고 있다.^{1,2)} 실질적으로 섬유 배열 등의 기타 요인들로 인하여 지역 평량(local basis weight)이 가장 낮은 부분에서 항상 지절이 생기는 것은 아닌 것으로 알려져 있다. 지역 평량이 균일할 경우 지절이 생기기가 어려워지며 전반적으로 인장 강도는 증가할 것으로 추정되고 있으나 실험적으로 증명된 것은 많지 않다.¹⁻³⁾

강도 향상 이외에 평활도 향상 및 치수 안정성 향상을 위해 지역 평량 분포를 정확하고 빠르게 측정할 필요가 있다.

잘 만든 수초지는 섬유 배열이 모든 방향으로 고르며, 섬유 뭉침이 적어 지역 평량 차이도 거의

*1 쌍용제지 연구소(Paper R & D Team, Ssangyong Paper Co. Ltd., Osan-si, Kyunggi-do, 447-140, Korea)

*2 충북대학교 산림과학부(School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

없으며, 종이의 표리차도 잘 나타나지 않는다. 이러한 점들을 고려하고 지합의 영향만을 찾기 위하여 수초지를 사용하기로 하였다. 초지기에서 생산되는 종이가 갖는 문제점들을 밝히기 위해 많은 시도들이 행해져 왔고, 많은 부분들이 예측되어 왔다. 사실 종이에서 일어나는 대부분의 현상들은 과거의 경험으로 예측이 가능한 것들이 많았으며 컴퓨터 모델 실험으로 어느 정도 예측 가능한 것들도 있었다.^{1,2)} 그러나 실험적으로 증명된 것은 그다지 많다고 할 수 없는데 가장 큰 이유는 적합한 측정 기기가 없었기 때문이다. 스캐너와 같은 지역 평량 측정기의 출현으로 과거에는 불가능했던 실험들이 가능케 되었으며 새로운 데이터들을 제공해주고 있다.⁴⁾

지역 평량을 측정 하는데 스캐너와 CCD 카메라와 같은 기구들이 사용되고 있으며 섬유용침 즉 플러시 사이의 거리와 플러시를 통과하는 빛의 세기를 광학적으로 측정하는 방법을 이용하고 있다. 소프트 x-선이나 베타 선도 종이의 질량 분포를 재는데 쓰이고 있으며 더 정확하다고 하지만 장비가 비싸고 측정시간이 매우 길다.^{4,8)} 측정 시간이 길다는 점은 종이와 같이 수분 함량에 따라 수시로 변하는 물질의 측정에 있어서는 단점이라 할 수 있으며 결과가 빨리 요구되는 공장 품질 관리면에서는 부적합하다 할 수 있다. 빛 투과 측정법은 충전제(필러)가 많이 들어간 종이나 캘린더를 통과한 종이 등 평량이 같은 종이라도 처리 방법에 따라 그 측정 수치가 다르게 나타나는 단점이 있다.^{7,8)} 그러나 크라프트 종이 등 약품 첨가가 거의 없는 종이는 충분히 적용될 수 있는 방법이라 생각되며, 비용이 적게 들고 처리 속도가 빠르기 때문에 빛 투과 측정 방법이 쓰이고 있다.⁴⁾ 스캐너를 이용한 빛 투과 측정 방법은 그러한 시도들 중의 하나이다.

이번 실험에서는 평량이 같아도 종이 처리 방법 및 지합 형성 정도에 따라 측정 수치가 다르게 나타나는 빛 투과법의 단점을 역이용 하였다. 평량이 같은 조건에서 종이 처리 방법은 같게 하고 지합 형성 정도만 다르게 하여 빛 투과 정도를 측정하여 그 수치를 읽어 들여 지합의 차이를 찾아내는 방법이다. 스캐너로 읽은 그레이 값으로 평량을 계산하기 위해서는 평균 그레이 값과 평량과의 관계를 먼저 찾아야 하며 그 공식을 이용하여 평량을 역으로 계산해 낼 수 있다. 그 결과 경험으로만 대책을 마련해오던 일들을 현실적으로 대응

할 수 있게 된다. 예를 들면 플러시 형성이 종이에 어떠한 나쁜 영향을 주는지 경험으로는 알고 있었지만 수치로 파악하지는 못했었다. 종이 평량이 같을 때 왜 지역 평량이 균일한 종이가 인장 강도에 유리한가 또는 왜 함수율이 변화되었을 때 치수가 보다 안정화되는가 등이 구체적으로 드러나게 된다. 지역 평량의 불균일한 분포를 개선하기 위한 첫 단계로 평량은 같지만 지합이 다른 경우 스캐너를 사용하여 그 차이를 인식할 수 있는지를 알아보고 이를 이용하여 지합 정도가 인장 및 인열 강도에 미치는 영향을 알아보는 것이 이 실험의 목적이다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료 및 조건

생산현장의 원질 처리과정중에서 펄프를 채취하였는데 채취시의 온도는 40℃이었으며 원료펄프는 UKP이고, 부 원료는 알럼과 사이즈제를 사용했다. 고해도는 21.2°SR(17℃에서 측정)이었고 수초지 제조시 물의 온도는 16-17℃이었다. 수초지의 평량은 60, 80, 100g/m²으로 하였다.

2.2 실험 방법

수초지 제조 시 물과 섬유를 잘 섞은 다음 탈수 전 유지시간을 각각 0초와 60초를 주어 섬유간 뭉치는 정도를 달리하여 평량은 같지만 지합이 다른 종이를 만들었다. 스캐너를 이용하여 각 샘플들의 (측정면적: 6.55cm×6.55cm) 빛 투과 정도를 그레이 값으로 읽어 들인 뒤 그 자료들을 마이크로 엑셀에서 불러들여 평균값을 구하고, 표준 편차를 계산했다. 이미지 분석기를 이용한 그레이 값 측정이 끝나면 수초지를 항온항습실에서 5시간 이상 조습시키고 인장 및 인열 강도를 측정했다.

위 결과를 바탕으로 평량과 인장 및 인열 강도와의 관계, 그레이 값과 평량과의 관계, 그레이 값과 지합과의 관계, 그레이 값으로 읽은 지합과 인장 및 인열 강도와의 관계 등을 알아보았다.

2.3 사용 기구

IBM 호환 PC와 연결된 Umax Power Root 스캐너를 사용하였으며 사용 프로그램은 범미 유니버스사의 Bmi plus를 사용하였다. 수초지 측정 면적은 6.55cm×6.55cm이었고, 스캐너 해상도는 300dpi였다. Toyoseiki사 고해기와 Karl Frank사 초지기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1에서 보는 바와 같이 평량이 증가함에 따라 그레이 값은 정비례로 감소한다. 평량과 그레이 값 사이의 결정계수 R²은 탈수전 유지시간 0초인 수초지가 0.97, 탈수전 유지시간 60초인 수초지가 0.93으로 유지시간 0초인 수초지가 약간 높았다. 탈수전 유지시간 60초인 수초지가 평량이 같은 유지시간 0초인 수초지 보다 그레이 값이 높았다.

평량이 올라갈수록 지합지수(formation factor)는 내려간다(Tables 1-4). 평량이 같을 경우엔 탈수전 유지시간 60초인 수초지의 지합지수가 높게 나타난다. 표에 사용된 지합지수는 일반적으로 사용되는 평량 표준 편차를 평균 평량으로 나눈 일반식과는 개념은 같지만 그레이값을 기준으로 약간 변형된 다음 식으로 계산 되었다.

$$\text{지합지수} = (\text{그레이값 표준편차} \times 100) / (100 - \text{그레이값})$$

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 평량이 올라갈수록 인장 강도는 비례하여 증가한다. 평량이 같을 때 지합이 우수한 유지시간 0초인 수초지의 강도가 높게 나온다. 이는 평량이 같음에도 불구하고 탈수전 유지시간이 60초인 수초지 보다 섬유들이 고르게 분산되어 힘을 균등하게 받으므로 전체적으로 외부힘에 견디는 힘이 커지기 때문이라고 판단된다. 탈수전 유지시간 0초인 수초지는 평량과 인장 강도와의 관계가 R²=0.92로 상당히 밀접한 관계가 있다. 탈수전 유지시간 60초인 수초지는 평량과 인장 강도와의 상관 관계가 R²=0.80으로 수치가 약간 떨어지긴 하나 역시 인장 강도와의 밀접한 관계가 있다. 탈수전 유지시간이 60초가 되면 지합이 불량해지면서 실험시편을 얻는 과정에서 편차가 커지기 때문에 위와 같은 결과가 얻어진다고 판단된다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 인열 강도는 평량이 올라감에 따라 비례하여 증가한다. 초지 중 탈수전 유지시간 조절로 지합을 달리 했을 때는 평량에 상관없이 인열 강도에 영향을 미치지 못한다. 한 약한 부위에서의 강도로 결정되는 인장 강도와는 달리 인열 강도에서는 종이 전체 평균 값을 나타내기 때문에 지합의 영향을 받지 않는 것으로 추측된다.

Fig. 3에 나타난 결정계수 R² 에서 알 수 있듯

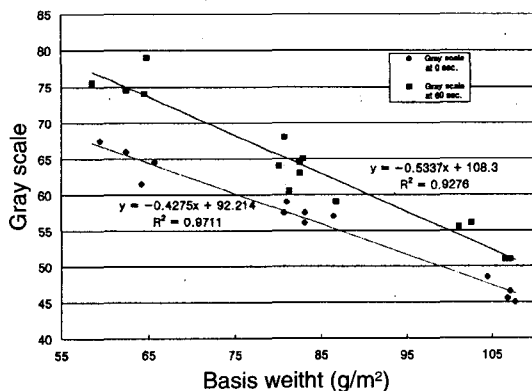


Fig. 1. The Relationship between Retention Time and Gray Scale and Basis Weight.

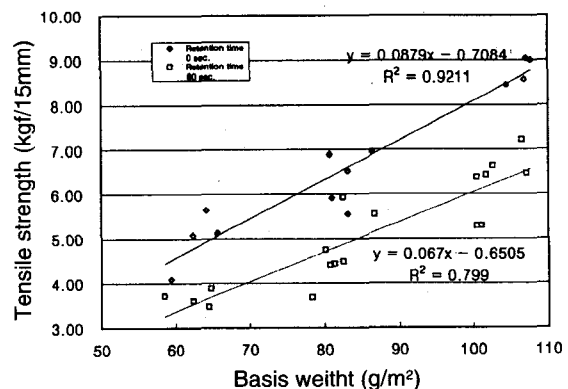


Fig. 2. The Effect of Retention Time on Tensile Strength for Different Basis Weight Handsheet.

Table 1. Basis weight and measured gray scale values for 60g/m² paper

Retention Time (sec.)	Formation factor	Weight (g)	Basis weight (g/m ²)	1 st measured gray scale		2 nd measured gray scale		Averaged gray scale	
				Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation
0	22.1	2.08	62.4	66	8	66	7	66	7.5
0	20.8	2.19	65.7	65	7	64	7	64.5	7.4
0	23.2	1.98	59.4	68	8	67	8	67.5	8
0	19.0	2.14	64.2	62	7	61	8	61.5	7.5
60	40.8	1.95	58.5	78	10	73	10	75.5	10
60	45.1	2.08	62.4	77	12	72	11	74.5	11.5
60	54.8	2.16	64.8	79	12	79	11	79	11.5
60	38.5	2.15	64.5	75	9	73	11	74	10

Table 2. Basis weight and measured gray scale values for 80g/m² paper

Retention Time (sec.)	Formation factor	Weight (g)	Basis weight (g/m ²)	1 st measured gray scale		2 nd measured gray scale		Averaged gray scale	
				Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation
0	20.0	2.77	83.1	57	8	58	9	57.5	8.5
0	20.7	2.7	81	56	8	62	9	59	8.5
0	19.3	2.77	83.1	56	8	56	9	56	8.5
0	19.8	2.88	86.4	57	8	57	9	57	8.5
0	18.8	2.69	80.7	57	8	58	8	57.5	8
60	28.0	2.89	86.7	55	14	63	9	59	11.5
60	31.6	2.71	81.3	63	14	58	11	60.5	12.5
60	31.0	2.75	82.5	61	8	68	14	64.5	11
60	27.4	2.69	80.7	56	8	60	15	58	11.5
60	28.4	2.75	82.5	57	11	69	10	63	10.5
60	35.7	2.67	80.1	62	16	68	9	65	12.5

Table 3. Basis weight and measured gray scale values for 100g/m² paper

Retention Time (sec.)	Formation factor	Weight (g)	Basis weight (g/m ²)	1 st measured gray scale		2 nd measured gray scale		Averaged gray scale	
				Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation	Gray scale	Standard deviation
0	17.5	3.48	104.4	45	11	52	7	48.5	9
0	10.9	3.59	107.7	44	6	46	6	45	6
0	14.7	3.56	106.8	43	9	48	7	45.5	8
0	12.1	3.57	107.1	47	6	46	7	46.5	6.5
60	20.4	3.57	107.1	53	11	49	9	51	8.5
60	20.4	3.55	106.5	52	11	50	9	51	10
60	21.3	3.37	101.1	56	9	55	10	55.5	9.5
60	28.4	3.42	102.6	53	8	59	17	56	12.5
60	34.7	3.35	100.5	66	14	62	11	69	10.5

Table 4. Gray scale and formation factor depending on basis weight and retention time

Basis weight (g/m ²)	Retention time (sec.)	Averaged gray scale	Standard deviation	Formation factor
60	0	64.9	7.4	21.08
	60	75.8	10.8	44.63
80	0	57.4	8.4	19.72
	60	62.9	11.4	30.73
100	0	46.4	7.4	13.81
	60	55.5	10.9	24.49

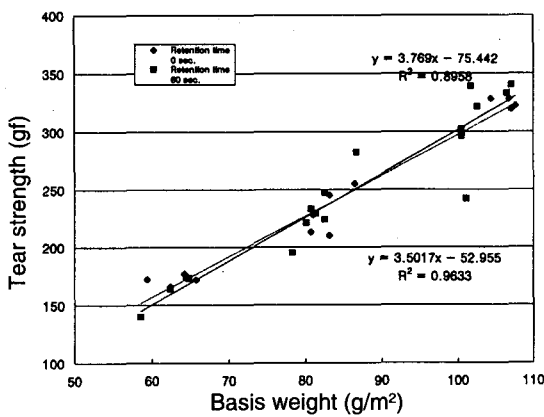


Fig. 3. The Effect of Retention Time on Tear Strength Distribution for The Different Basis Weight Handsheet.

이 탈수전 유지시간이 0초인 종이의 R² 값이 0.96으로 탈수전 유지시간이 60초인 종이의 0.90 보다 높게 나타나 지합이 균일한 종이에서 인자들 간의 상호 관계를 찾기가 쉽다는 것을 예측할 수 있다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 탈수전 유지시간이 0초인 조건으로 만든 수초지는 그레이 값과 인장 강도 사이에 반비례 관계가 성립한다. R²=0.93으로 두 값은 밀접한 관계가 있으며 이는 다시 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{인장 강도} &= -2.034 \times \text{그레이 값} + 181.3 \\ \text{그레이 값} &= -0.456 \times \text{인장 강도} + 86.75 \end{aligned}$$

탈수전 유지시간 60초인 수초지도 그레이 값과 인장 강도 사이가 반비례 관계에 있다. 이때 R²=0.71로 지합이 일정치 않을 경우 결정계수 값이 떨어진다.

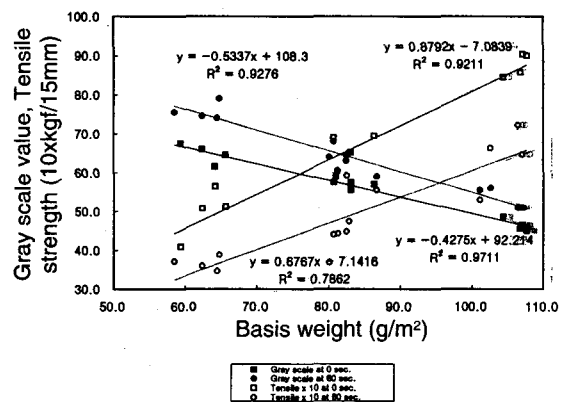


Fig. 4. Gray Scale and Tensile Strength Distribution Depending on Basis Weight and Retention Time.

$$\begin{aligned} \text{인장 강도} &= -1.162 \times \text{그레이 값} + 123.36 \\ \text{그레이 값} &= -0.612 \times \text{인장 강도} + 94.03 \end{aligned}$$

위 실험식들을 사용하여 그레이 값만 읽음으로써 일정 범위 안에서의 인장 강도를 예측할 수 있다.

Fig. 5에서와 같이 평량에 따른 탈수전 유지시간의 영향을 보면 지합이 우수한 수초지의 열단장이 더 높다는 것을 알 수 있다. 탈수전 유지시간이 0초일 때 평균 열단장이 5.28km, 탈수전 유지시간이 60초일 때 3.94km이었다.

열단장은 평량과는 상관 없고 지합과 관계가 밀접함을 보여준다.

4. 결론

이미 여러 문헌에서 지적된 바와 같이 빛 투과법은 빠르고 비용이 적게 드는 장점이 있는 반면 충전제 등이 많이 사용되는 종이 등을 측정할 때는

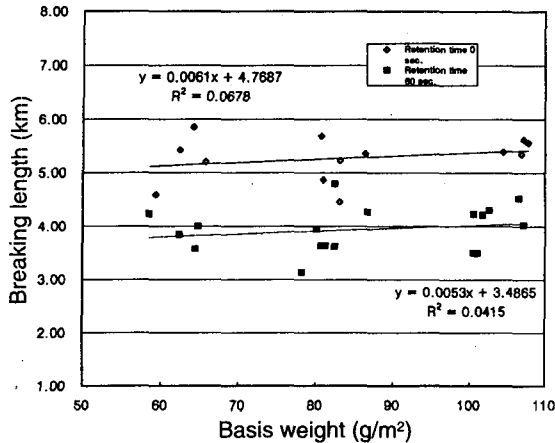


Fig. 5. Breaking Length Distribution Depending on Retention Time for The Different Basis Weight Handsheet.

정확도가 다소 떨어지는 것으로 알려져 있다. 크라프트 종이의 경우 충전제는 사용되지 않으며 기타 사이즈용 약품도 매우 적게 사용되므로 위와 같은 사항들은 큰 문제가 되지 않았다. 실험 결과, 빛 투과법으로 읽어 들인 그레이값과 실제 평량 사이엔 밀접한 상관관계가 있다는 것을 확인하였고, 평량이 같으면서 지합이 다른 두 종이를 구분해 낼 수 있다는 것을 보여주었으며, 그 지합이 종이의 물성에 어떠한 영향을 미치는가를 찾아냈다.

스캐너를 사용하여 종이를 측정하고 그 결과를 얻는 시간이 5분 안팎이므로 생산제품에 문제가 생길 경우, 즉 인장 강도와 지합에 변화가 생길 때 이를 신속히 발견할 수 있을 것으로 추정된다. 시중에서 유통되는 크라프트지와 동일한 배합비로 제조한 수초지에 있어서 스캐너로 읽어 들인 그레이 값을 사용하여 종이 평량 및 지합 정도, 인장 강도 등을 예측할 수 있었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 스캐너로 읽은 그레이 값과 평량 사이에 일직선의 비례 관계가 성립하므로 그레이 값 측정만으로 그 종이의 평량을 예측할 수 있다.
2. 평량이 같을 때는 지합이 좋은 종이 그

이 값이 낮게 나오므로 그레이 값과 평량 측정으로 지합지수의 높고 낮음을 예측할 수 있다.

3. 지합이 우수한 종이에서는 그레이 값과 인장 강도 사이에도 정 반비례 관계가 성립하므로 그레이 값만 알면 인장 강도도 예측이 가능하다.
4. 평량이 올라갈수록 지합지수는 낮아진다.
5. 평량이 같을 때 탈수전 유지시간이 짧은 수초지의 지합지수가 낮아져 인장 강도가 증가한다.
6. 평량이 올라갈수록 인장 강도 및 인열 강도는 비례하여 증가한다.
7. 평량이 같을 때 탈수전 유지시간의 차이는, 즉 지합의 차이는 인열 강도에 영향을 미치지 못한다.
8. 탈수전 유지시간이 낮은 수초지, 즉 지합이 우수한 종이의 열단장이 더 높게 나타난다.
9. 열단장은 평량과는 상관없이 지합과 관계가 있다.

인용문헌

1. Thorpe, J., Appita, 36:198(1982).
2. Wong, L., Kortschot, M.T., and Dodson, C.T.J., 1995 International Paper Physics Conference held in Niagara-on-the-lake, ON in Canada.
3. Waterhouse J.F., Tappi J. 76(9):129(1993).
4. Bernie, J.P. and Douglas W.J.M., Tappi J. 79(1):193(1996).
5. Tomimasu, H., Kim, D., Suk, Mi., and Luner, P., light transmission, and soft X-radiography, Tappi J. 74(7):165(1991).
6. Cresson, T., Tomimasu, H., and Luner, P., Tappi J. 73(7):153(1990).
7. Boeckerman P., Tappi J. 75(12):166(1992).
8. Komppa, O., 펄프 · 종이기술 29(2):76(1997).