

ESP(electron speckle photography) system을 이용한 종이의 치수안정성 평가

이진호 · 민경은 · 박종문

충북대학교 산림과학부 임산공학과

1. 서론

목재섬유는 수분에 의해 팽윤한다. 종이나 판지 또는 지필의 치수나 형상은 함수율이 변함에 따라 다르게 나타나는데, 이는 종이의 원료인 섬유의 친수성과 섬유 네트워크인 수소 결합의 친수성 때문이다. 종이나 판지의 이 같은 변화는 대기 중 습도가 변하거나, 오프셋 인쇄에서 습수액의 공급, 복사기에서 가열 등에 의해서 발생하게 된다. 습도 변화에 대한 우수한 치수 안정성은 모든 판지나 백상지에 요구되는 특성이다. 종이가 수분을 흡수하는 과정에서 치수가 변한다는 것은 잘 알려진 사실이며, 낮은 치수 안정성은 많은 최종 사용상의 문제의 원인이 된다.

이에 본 실험에서는 외기 조건 변화에 따른 종이의 치수안정성을 평가 할 수 있는 ESP system을 이용하여 섬유 중간결합이 hygroexpansion에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

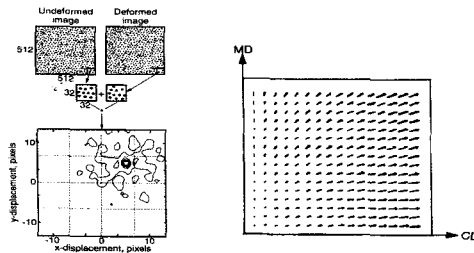


Fig. 1. Principle of electronic speckle photography(ESP). Cross-correlation technique is applied to the undeformed and deformed subimage area. The total area (512×512) is divided into 16×16 subimage areas(each 32×32 pixels).

표면에 흑연을 도포하여 반점을 생성하고, 표면을 512 픽셀로 구성한다. 한 구간을 32×32픽셀 한 단위로 구성하여 픽셀 안에 반점들의 변화 전후를 각각 측정하여 변이를 통계 처리하여 한 단위의 변형량으로 계산하게 된다. 이 경우 512×512 픽셀은 16×16으로 평가되고 그림 2의 B와 같이 평균 변형량이 나타나게 된다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 미세분 영향 실험

Sw-BKP를 실험실용 비터를 이용하여 400 ml C.S.F.로 고해한 후 미세분을 제거하여 장섬유만을 실험에 이용하였다.

Sw-BKP, Hw-BKP, BCTMP 펄프를 380 ml C.S.F.로 각각 고해한 후 실험실용 분급기를 이용하여 미세분을 분급 농축하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Fibers and fines mixing ratio(%).

	Mixing ratio (%)			
	100	95	90	85
Long fiber portion (%)	100	95	90	85
Fines portion (%)	0	5	10	15

2.1.2 Bulking agent 영향

Hw-BKP를 실험실용 비터를 이용하여 400 ml C.S.F.를 이용하여 고해하였다.
(주) 바이엘의 Bayvolum P를 전건 펄프대비 0.2, 0.4, 0.6%를 각각 내첨하였다.

2.1.3 지력증강제의 영향

Tapioca development CORP.의 지력증강용 양성전분 TAP-Link33과 Baystrength711을 전건펄프 대비 0.5, 1, 1.5%(dry solid chemical /dry solid pulp) 내첨하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지 제작

실험실용 수초지기를 이용하여 평량 60 g/m²로 수초한 후 실험실용 롤프레스를 이용하여 압착축정 농도를 42±1%까지 압착하였다. 압착된 수초지는 120℃ 드럼드라이어를

이용하여 건조하였다.

2.2.2 물성측정

각각 초지된 수초지는 열단장, 산란계수, 투기도, 제로스팬 인장강도를 측정하였다.

2.2.3 Hygroexpansion 측정

Fibro사의 DST1250을 이용하여 수초지의 치수안정성을 평가하였다. 상대습도의 변화는 50%(2시간) → 25%(4시간) → 45%(4시간) → 65%(4시간) → 85%(4시간) 로 변화를 주어서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세분 첨가에 따른 수초지의 물성변화

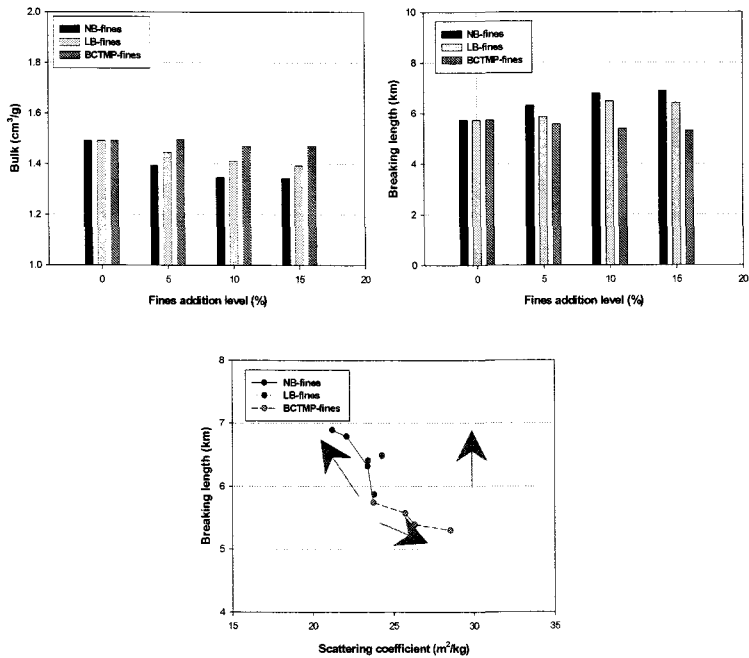


Fig. 2. Physical properties of handsheets depending on types and mixing ratio.

Fig. 2는 분급 처리한 침엽수 펄프 장섬유에 3가지 다른 미세분을 첨가함에 따른 수초지의 물성 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 미세분은 작은 크기로 인하여 섬유간 결합을 증가시킨다고 알려져 있지만 분급 실험 결과 수종 및 펄핑방식에 따라 물리적 특성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 침엽수 미세분의 경우, 대부분 섬유의 세포벽에서 분리되어진 피브릴로 구성되어 있기 때문에 미세분 첨가량의 증가에 따라 벌크는 감소하고 강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 산란계수와 강도간의 비교 시 섬유간 계면이 감소하면서 강도를 증가시키는 것으로 나타났다. 활엽수 미세분의 경우, 펄프섬유 세포벽에서 분리되어진 피브릴과 유세포와 도관에서 분리되어진 비결합성 성분이 혼합되어 있기 때문에 벌크나 강도는 침엽수 섬유와 유사한 경향을 나타내나 그 효과는 상대적으로 적어지는 경향을 나타내었다. 산란계수와 강도의 관계에서, 침엽수 미세분과는 다르게 계면을 감소시키지 않으면서 강도가 증가되는 경향을 나타내고 있다. 이에 반해 BCTMP 미세분의 경우는 첨가량의 증가에 따라 벌크와 강도가 변화가 없는 것으로 나타났다. BCTMP 펄프는 강도와 산란계수와 비교에서 미세분의 첨가량이 증가함에 따라 계면의 증가되면서 강도가 약간 감소하는 경향을 나타낸 것으로 알 수 있다. 이는 BCTMP 펄프 섬유 세포벽 내에 다량의 리그닌을 포함하고 있기 때문에 미세분이라 할지라도 미세분에 의한 결합력의 증가를 기대할 수 없기 때문으로 판단된다.

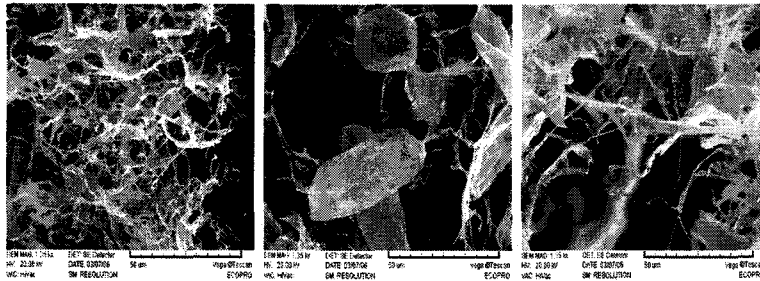


Fig. 3. SEM images of three different fines(Sw-BKP, Hw-BKP and BCTMP)

Fig. 3은 세 가지 다른 펄프미세분의 SEM 촬영결과이다. Sw-BKP 미세분의 경우, 피브릴로 구성되어 있는 것을 확인할 수 있으며, Hw-BKP 미세분의 경우, 피브릴 이외에 도관이나 유세포에서 유래된 성분이 관찰된다. BCTMP 미세분의 경우 피브릴성 미세분과 얇은 판상의 미세분이 동시에 관찰된다. 이처럼 미세분의 형태적 차이는 펄프

섬유의 수종과 펄핑 방식의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다.

3.2 지력 증강제 영향

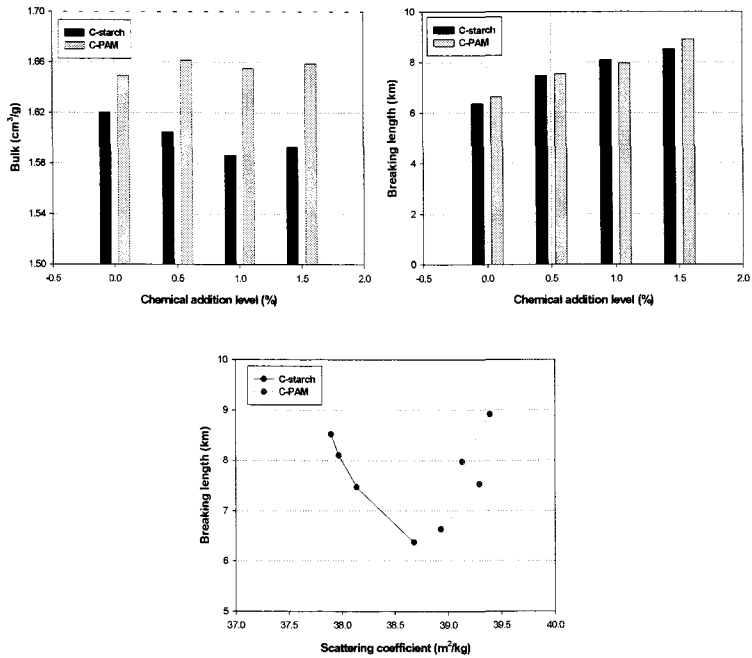


Fig. 4. The effect of dry strength additives on the physical properties of handsheets.

Fig. 4는 지력증강제로 사용되는 C-starch와 C-PAM의 첨가량에 따른 수초지의 물성변화를 나타낸 것이다. 두 고분자 모두 첨가량에 따라 종이의 강도를 증가시키지만 강도 발현 기작은 서로 다른 것으로 판단된다. 첨가량에 따른 벌크의 변화를 비교해 보면, C-starch의 경우 첨가량 증가에 따른 벌크의 감소가 나타나는 반면, C-PAM 경우 수초지의 벌크를 감소시키지 않는 것을 알 수 있다. 강도와 산란계수의 관계에서도 마찬가지로 PAM과 starch는 다른 거동을 나타내는 것을 알 수 있는데 starch의 경우 계면의 감소를 유발하면서 강도가 증가되는 반면, PAM의 경우는 계면이 약간 증가되면서 강도가 증가되는 상이한 결과를 나타내었다. 이는 고분자가 가지는 분자량 및 양성기의 차이로 판단되는데 상대적으로 분자량이 작은 starch의 경우 응집에서의 patch와 같은 형태로 섬유 표면에 결합하는 것으로 판단되며 PAM의 경우 긴 분자량에 의해

bridge와 같은 형태로 표면에 결합하기 때문에 판단된다.

3.3 Bulking agent의 영향

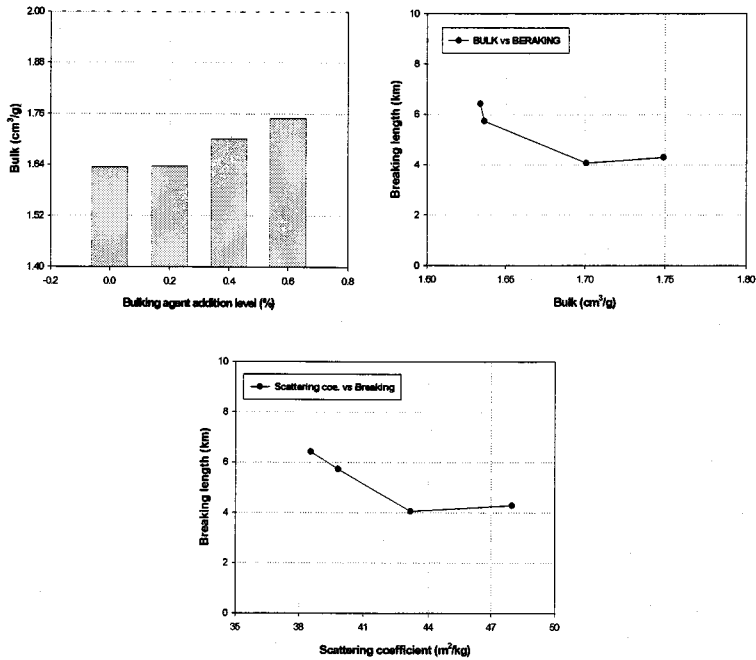


Fig. 5. The influences of bulking agent on the physical properties of handsheets.

Fig. 5는 bulking agent 첨가에 따른 수초지의 물성변화를 나타낸 것이다. bulking agent 는 종이의 벌크를 향상시키기 위해 사용되는 약품으로 최근 백상지 업계의 벌크 향상을 위해서 국내외적으로 사용되고 있는 약품이다. 실험결과 bulking agent 첨가에 따른 종이의 벌크는 증가하지만 종이의 강도는 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다. 강도와 산란계수와의 관계에서 bulking agent 첨가량이 증가함에 따라 계면은 증가하면서 강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 bulking agent가 섬유에 결합하여 섬유 간 발생되어지는 수소결합을 저해하기 때문인 것으로 판단된다.

3.4 Hygroexpansion

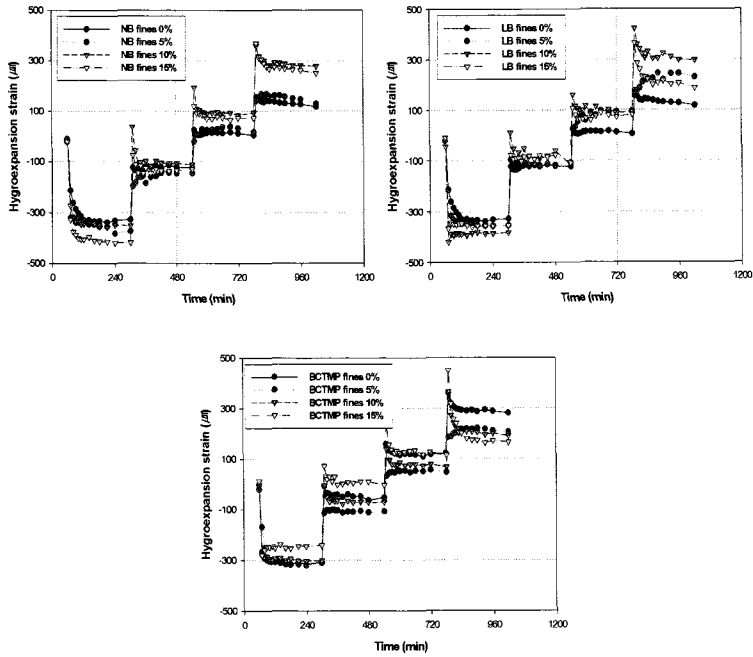


Fig. 6. The results of hygroexpansion strain depending on mixing ratio and type of fines.

Fig. 6은 DST(Dimension Stability Tester)를 이용하여 수초지의 습도 변화에 따른 치수 변화를 측정된 그래프이다. 침엽수 미세분과 활엽수 미세분을 첨가한 경우, 미세분의 첨가량 증가에 따라 종이의 팽창성이 증가하는 경향을 나타내었으며 BCTMP 미세분을 첨가한 경우, 무첨가에 비해 수초지의 치수변형이 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 습도변화에 따른 수초지의 치수 변형은 종이를 구성하고 있는 섬유 및 섬유간 결합의 친수성에 의한 영향으로 수분 흡수에 따른 섬유의 팽윤 및 섬유간 결합의 해체에 의해 변화하게 된다. 미세분양의 증가에 따른 치수변형의 증가는 미세분에 의한 섬유간 결합의 친수성에 크게 영향을 받게 된다. 침엽수와 활엽수 미세분 첨가 시 팽창성의 증가는 미세분에 의해 결합이 증가하였지만 수분에 의해 쉽게 해체되기 때문에 치수 변형이 크게 일어나게 되며 상대적으로 결합성이 약한 BCTMP 미세분의 경우 조습에 의한 결합의 변화가 크지 않기 때문에 상대적으로 치수변형이 적게 일어나게 되는 것으로 판단된다.

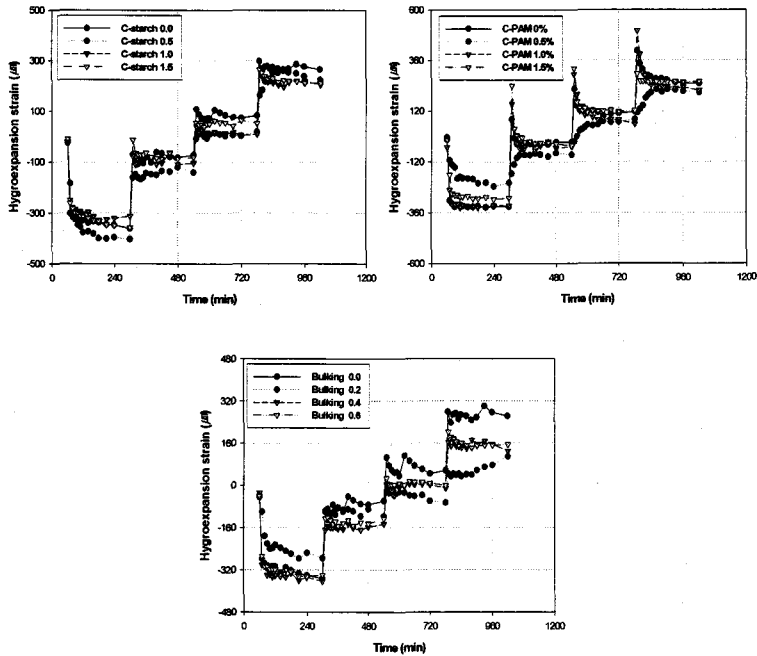


Fig. 7. The results of hydroexpansion strain depending on chemical and addition levels.

Fig. 7은 섬유간 층간 결합을 증가시키는 두 가지 건조지력 증강제와 섬유 간 결합을 저해하는 bulking agent 첨가에 따른 수초지의 팽창성 변화를 나타낸 것이다. 치료 내 건조지력 증강제를 첨가하는 경우, 지력 증강제에 의해 강도가 증가하게 되는데 일반적인 섬유와 섬유간의 수소 결합보다는 강한 결합이 형성되게 된다. 그림에서 습도가 증가함에 따라 두 지력증강제 모두 치수변형이 무처리에 비해 약간 적게 일어나는 것으로 나타났으며 이는 지력증강제에 의해 형성된 결합이 일반적인 섬유 간 수소결합보다는 강하기 때문에 외기조건 변화에 따른 종이 내 수분 증가 시 쉽게 해체되지 않기 때문으로 판단된다. C-PAM과 C-Starch는 섬유 간 결합형태가 다를 것으로 판단되며 이는 습전성 평가에서도 차이를 나타내고 있다. C-starch의 경우 급격한 습도 변화 시 점진적인 치수변형을 나타내는 반면 C-PAM의 경우 습도 변화 시 치수 변형이 일시적으로 변화한 후 다시 안정화되어가는 경향을 나타내었다. 이는 두 증강제간의 분자량 차이 및 결합기작의 차이에 의한 것으로 판단된다. bulking agent 의 경우 섬유 간 결합을 저해하여 수초지의 벌크를 증가시킬 목적으로 사용되는 약품으로 수소결합이 저

해진 만큼 습도 변화에 따른 종이의 치수안정성 또한 증가되는 것을 알 수 있다.

4. 결론

외기조건의 변화에 따른 종이의 치수안정성은 종이를 구성하는 섬유와 섬유 간 결합의 정도 및 형태에 따라 달라지는 것으로 DST를 이용한 실험결과 섬유 간 결합이 강할수록 종이의 강도는 증가될 수 있으나 증가된 결합만큼 외기변화에 따른 결합의 변화가 커지기 때문에 치수 변형 또한 커지는 것으로 판단된다. 현재 백상지에서 요구되는 특성은 인장이나 파열강도 같은 강도적인 특성보다는 인쇄성, 흡수성, 치수안정성과 같은 구조적 특성이 보다 중요한 인자로 요구되고 있으며 구조적 특성 향상을 위한 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 실험에 사용한 DST의 단점은 in-plane상에서의 상의 변화만을 측정하는 것으로 고습에 의한 종이의 코클과 켈과 같은 out of plane 변화가 발생하는 경우 DST로는 그 영향을 평가할 수 없는 단점이 실험 시 나타났기 때문에 실험결과에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

인용문헌

1. Uesaka, T., Kodaka, I., Okushima, S., and Fukuchi, R.(1989). History-dependent dimensional stability of paper. *Rheol. Acta* 28:238-245.
2. Uesaka, T., and Moss, C.(1997). Effects of fiber morphology on hygroexpansivity of paper: A micromechanics approach. In: *The Fundamentals of Papermaking Materials*, Vol. 1. C. F. Baker, ed. Pira Int., Cambridge, UK, PP.663-679.
3. Sunderland, P., Sollander, A., Mason J.-A., and Carlsson, L.A. Measurement of Process-Induced Residual Stresses in Linerboard. *Journal of Pulp and Paper Science*: VOL. 25 NO.4 April 1999.
4. Salmen, L., and Fellers, C., The nature of Volume Hygroexpansivity of Paper. *Journal of Pulp and Paper Science*: VOL. 15 NO. 2 March 1989.
5. Lif, J.O., Fellers, C., Soremark, C., and Sjodahl, M., Characterizing the In-Plane Hygroexpansivity of paper by Electronic Speckle Photography. *Journal of Pulp and Paper Science*: VOL. 21 NO. 9 September 1995.

6. Nanri, Y., Uesaka, T., Dimensional stability of mechanical pulps - drying shrinkage and hygroexpansivity. Tappi Journal, June 1993.
7. Uesaka, T., Qi, D., Hygroexpansivity of Paper - Effects of Fibre-to-fibre Bonding. Journal of Pulp and Paper Science: VOL. 20 NO. 6 June 1994.
8. Uesaka, T., Moss, C., and Nanri, Y., The Characterization of Hygroexpansivity of Paper. Journal of Pulp and Paper Science: VOL. 18 NO. 1 January 1992.
9. Gurnagul, N., Gray, D.G., The Response of Paper Sheet Surface Areas to Changes in Relative Humidity. Journal of Pulp and Paper Science: VOL. 13 NO. 5 September 1987.

사 사

본 연구는 2006년도 지역혁신인력양성사업의 지원에 의해 수행되었음.