Journal of Korea TAPPI
Vol.38.No.4, 2006
Printed in Korea

평량에 따른 수초지와 기계지의 지합 특성

윤혜정† · 진성민

(2006년 4월 7일 접수: 2006년 10월 26일 채택)

Effect of Basis Weight of Handsheet and Machine Made Sheet on Formation

Hye Jung Youn† and Seong Min Chin

(Received April 7, 2006: Accepted October 26, 2006)

ABSTRACT

Formation which is an indicator of nonuniformity in fiber distribution is concerned with small scale variation in roughness, optical properties, print density, and so on. This study evaluated the formation of sheets which were made usning handsheet former and paper-machine with hydraulic headbox. Optical method and β-ray method were used for formation test. The fiber type, freeness and basis weight of sheet were considered as variables. The formation of handsheet was affected by fiber type and freeness, and floc size distribution was influenced by basis weight. For machine made sheet, its formation seemed to be dependent on the hydraulic forces in headbox and former. When two formation test methods were compared, there was the highest relationship between optical formation index and normalized standard deviation from β-ray method.

Keywords : nonuniformity, formation, base paper, handsheet, basis weight, freeness

1. 서 론

전형적인 내수 산업이었던 제지산업은 1990 년대에 접어들어 생산량이 국내 수요량을 초과하면서부터 외국 시장으로 진출하기 시작하였으며, 현재 생산량 중 약 25%에 해당되는 물량이 수출되고 있다.[1] 국내 제품은 해외 시장에서 유수의 선진 제지업체 제품과 경쟁할 뿐 아니라 관세없이 유입되고 있는 수입지와 국내 시장에서 경쟁하고 있다. 글로벌 시장이라는 것을 제지산업에서도 실감하

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 (Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-921, Korea)
† 주저자(Corresponding Author) :E-mail; page94@snu.ac.kr

고 있는 셈이다. 이와 더불어 국내, 외 소비자들의 품질에 대한 요구수준이 최근 몇 년 사이에 급격히 높아지고 까다로워지고 있다. 이는 특히 백상지와 도공지 등 수출 물량이 많고 고품질을 요구하는 인쇄용지에서 두드러지는 현상이다. 과거에는 인쇄 작업성, 인쇄 잉크 농도 및 백지 광택 등 중간소비자의 편이성과 전체적인 평균 품질만이 고려되었으나, 근래에서는 불균일성 및 미세 변이에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 불균일성은 제품의 등급과 가격 경쟁력을 떨어뜨리는 주요 요인이 되며, 최근 클레임의 한 부분을 차지하기도 한다.

종이 불균일성은 주로 섬유의 분포를 나타내는 지합(formation)의 관점에서 평가될 수 있다. 지합은 섬유 분포의 균일성으로서, 이는 결국 모든 물성의 균일성을 좌우하기 때문에 이에 대한 연구는 많이 수행되어 왔다. 불량한 지합을 갖는 종이는 그렇지 않은 종이에 비해 강도가 두 배이상 떨어지는 것으로 보고되었는데, 이는 섬유량의 차이로 인해 섬유가 주변에 비해 극단적으로 적은 부분이 결국 하중을 견디지 못하는 weak point로 작용하기 때문이다.[2] 또한 지합의 불균일성은 최종 제품의 수분 및 두께 불균일성을 야기한다. 만약 지합 불량에 의해 야기된 두께 변이를 캘린더 처리를 통해 제거할 경우 이는 종이의 밀도 변이를 발생시킨다.[3] 밀도 변이는 결국 이후 코팅 공정이나 인쇄 공정에서 제 2의 불균일성을 유발하는 원인으로 작용하게 된다. 즉 도공액 도포 시 도공량의 편차를 가져오게 되며 이는 광학적 성질의 불균일을 유발한다고 알려져 있다. 또한 인쇄 시 잉크 수리성의 차이를 야기하여 인쇄모틀을 발생시키기도 한다. 특히 도공지의 표면 광택 및 인쇄의 불균일성은 최고의 품질로서 경쟁해야 하는 아트지의 경우 매우 심각한 문제이다. 따라서 좋은 지합을 갖는 종이를 생산하기 위해 제지업체에서는 원료와 공정에서 많은 노력을 수행하고 있다. 일반적으로 원료와 약품이 종이 지합에 미치는 영향은 실험용 수초지기로 제조된 종이를 이용하여 평가하여 왔지만, 수력학적인 힘의 차이로 인해 현장에서 생산되는 종이와 실험용 수초지의 지합 스케일은 다를 것이다. 평량이 높을 경우 대체로 지합이 불량하지만, 이는 제조방식과 섬유 종류 등에 따라 영향이 다르게 나타날 것으로 생각된다. 따라서 본 논문은 종이의 불균일성 평가의 일환으로서, 수초지기와 초지기라는 제조방식의 차이 및 평량, 섬유 타입에 따른 종이의 지합을 평가하고자 하였다. 특히 측정법[4]에 따라 제공하는 지합의 다양한 정보를 이용하여 상기한 변수의 영향을 살펴보고자 대표적인 두 가지 지합 평가법인 광학적 방법과 β-ray 방법을 이용하여 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 펄프 및 원지

수초지 제작을 위해 Sw-BKP (Softwood Bleached Kraft Pulp)와 Hw-BKP(Hardwood Bleached Kraft Pulp)를 공시펄프로 사용하였으며, 수초지와의 비교를 위해 실제 제지공장에서 생산된 도공원지 및 백상지를 공시재료로 이용하였다. 공시재료로 사용된 상용지의 경우 하이드롤릭 헤드박스를 갖춘 hybrid former에서 생산된 종이였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지 제조

Sw-BKP와 Hw-BKP를 실험용 Valley beater로 여수도 640 mL CSF와 450 mL CSF가 되도록 고해한 후 수초하였다. 수초지의 평량에 따른 영향을 살펴보기 위해, 평량은 75 g/m^{2}과 150 g/m^{2}이 되도록 실험용 사각 수초지기를 이용하여 제조하였다.

2.2.2 종이 지합 평가

제조된 수초지와 분양받은 상용지의 지합을 평가하기 위해 본 연구에서는 두 가지 방법을 이용하였다. 하나는, TechPAP사의 지합측정기로서 광학을 이용하여 평가하는 방법이며, 다른 하나는 β-ray를 이용하여 실제 섬유의 무게를 측정하는 Ambertec 사의 지합측정기이다. TechPAP사의 지합측정기는 광학을 이용하여 종이의 플록 이미지를 촬영하고, 플록의 사이즈별 분포를 분석함으로써 LT라는 지합지수를 계산하여 제시한다. 광학적 방법은 손쉽게 측정될 수 있으나, 반사율에 영향하

는 물질의 함량 또는 캘린더 처리 등에 의해 측정치가 달라질 수 있다는 단점이 있다고 알려져 있다.[5] 반면 β-ray를 이용하는 측정기의 경우 실제 무게를 측정하기 때문에 다른 인자들에 의해 영향받지 않는다는 장점이 있으나, 장비가 고가라는 단점을 갖고 있다. 1 mm의 크기로 평가하며, 일정 면적에 대해 측정한 값의 표준편차, 정규화된 표준편차(NSD, normalized standard deviation) 또는 분산계수(COV, Coefficient of variation)으로 지합지수를 나타낸다. 여기서 정규화된 표준편차와 분산계수는 Eq. 1 및 2에 의해 계산되었다.

$$NSD(\sqrt{g/m}) = \frac{Standard\,deviation}{\sqrt{basis\,weight}} \quad [1]$$

$$COV(\%) = \frac{Standard\,deviation}{Basis\,weight} \times 100 \quad [2]$$

본 실험에서는 두 방법을 측정하여 얻은 지합지수를 비교하였으며, 플록 크기별 분포를 분석하였다.

2.2.3 종이의 물성 평가

수초지와 상용지의 특성을 파악하기 위해 지합 이외의 물성을 평가하였다. 종이의 밀도, PPS 거치름도, Bendtsen 평활도 등을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수초지와 상용지의 특성 평가

실험실에서 제조한 수초지와 제지공장에서 분양받은 상용지의 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 평량이 높은 종이가 대체로 밀도도 높게 나왔다. 수초지의 경우 평량에서 여수도의 영향을 보면, 고해의 진행에 따라 밀도가 높은 종이가 얻어졌다. 침엽수와 활엽수의 비교 시 침엽수가 밀도가 다소 높지만 거치름도도 더 높은 것으로 나타났다. 현장에서 생산된 상용지의 경우 도공원지에 비해 백상지의 밀도가 높은 편이었는데, 도공원지의 경우 도공 공정을 거치고 슈퍼캘린더 처리를 받기 때문에 원지의 경우 밀도를 의도적으로 높게 관리하지 않기 때문으로 생각된다. 유사한 평량을 갖는 종이라도 제조사에 따라 관리하는 두께와 거치름도 수준은 차이가 있었다. 이는 원료 및 제조 공정의 차이로 인해 기인되는 것으로 보인다.

3.2 수초지와 상용지의 지합 평가

일반적으로 평량이 증가할 경우 지합이 불량해지는 것으로 알려져 있다. 이러한 평량이 영향이 수

Table 1. Physical properties of sheets

		Grammage (g/m^2)	Thickness (μm)	Density (g/cm^3)	PPS roughness (μm)	Bendtsen Smoothness (ml/min)
Handsheet	Sw 640	75	122	0.617	10.3	1053
	Sw 640	150	224	0.670	12.5	1823
	Sw 450	75	111	0.674	10.8	976
	Sw 450	150	209	0.719	13.55	2653
	Hw 450	75	126	0.594	8.5	782
	Hw 450	150	229	0.656	11.3	1447
Commercial paper	FP	80	91	0.882	5.17	124
	BP 1	64	81	0.789	6.25	243
	BP 2	104	126	0.826	7.38	325
	BP 3	150	179	0.840	7.87	366
	BP 4	60	77	0.778	6.29	221
	BP 5	108	131	0.824	6.06	180
	BP 6	152	185	0.821	6.87	223

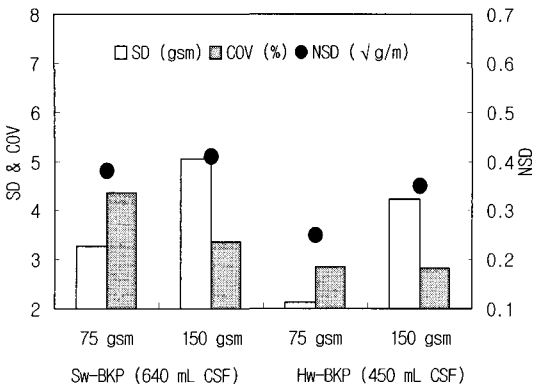

Fig. 1. Formation index of handsheet measured by *β*-ray method.

초지와 기계지에서 어떻게 발현되는지 알아보기 위해 평량을 달리하여 수초를 실시하였으며, 기계지의 경우 평량이 다른 종이를 분양받아 비교분석하였다. Fig. 1은 수초지의 평량에 따른 지합지수를 보여주고 있다. 표준편차는 두 펄프 모두 평량이 높은 종이에서 큰 수치를 보였으나, 정규화된 표준편차로 나타낸 지합지수는 그 차이를 줄여 주었다. 특히 평량으로 표준편차를 나눠 구한 분산계수의 경우 평량이 높은 종이에서 오히려 지합이 양호하게 나타났다. 이와 같은 결과는 TechPAP 지합측정기로 평가한 Fig. 2에서도 동일하게 나타났다. 섬유장이 긴 지료로 종이를 제조한 경우 평량에 따른 지합의 차이가 컸지만, 고해에 따라 그 차이는 줄어들었다. Sw-BKP 450 mL CSF로 제조한 저평량지와 고평량지의 지합 이미지가 Fig. 3에 제시되어 있다.

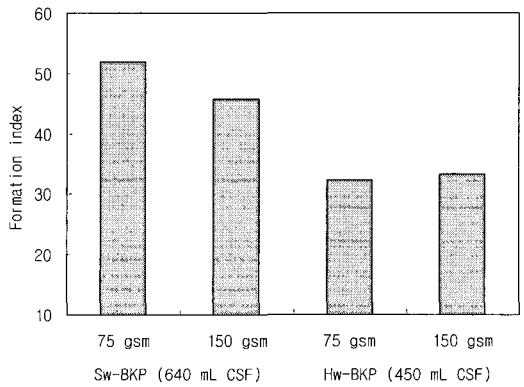

Fig. 2. Formation index of handsheet measured by optical method.

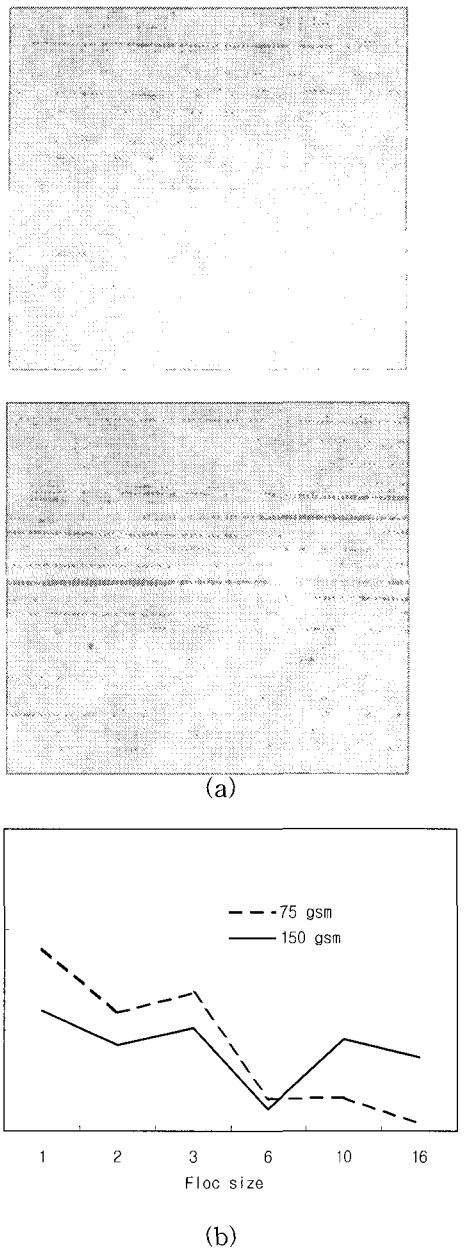

Fig. 3. Formation images and floc size distribution obtained from TechPAP formation tester. ((a) formation images (left: 75 gsm, right: 150 gsm, Sw-BKP 450 mL CSF), (b) floc size distribution)

두 종이는 50.6 (75 gsm)과 49.2 (150 gsm)의 유사한 광학적 지합지수를 갖지만, 보는 바와 같이 저평량 종이의 경우 플록의 이미지가 선명하고 고평량인 경우 더 큰 플록의 형태로 보이며 이들이 연속된 네트웍을 형성한 것으로 보인다. 플록 사이즈별 분포를 보면 75 gsm의 경우 작은 크기의 플록이 많은 분포를 차지하는 반면, 150 gsm의 경우 10 mm이상의 큰 플록이 차지하는 비중이 더 컸다. 수초지의 경우 농도가 매우 낮은 상태에서 수초가 되기 때문에 평량의 영향은 크지 않을 것으로 생각되었지만, 섬유장이 긴 경우에는 다소의 차이를 유발하는 것으로 보인다.

지합에 대한 섬유 종류 및 고해도의 영향을 살펴보기 위해, 침엽수와 활엽수 펄프를 일정 고해도로 고해한 후 수초지하여 평가하였으며, 그 결과가 Fig. 4에 나타나 있다. 동일한 450 mL CSF의 지료로 종이를 제조했지만, 활엽수의 경우 시트를 구성하는 섬유가 평균 0.59 mm의 섬유장을 나타내었으며, 침엽수 시트는 1.03 mm의 섬유장을 가졌기 때문에 활엽수로 제조된 종이의 지합이 더 나은 결과를 보인 것으로 생각된다. 이는 LT value로 평가된 지합지수 뿐 아니라 플록 사이즈 분포에서도 확연하게 차이남을 볼 수 있었다. Fig. 5는 침엽수 펄프의 고해도를 달리한 후 수초 후 평가한 지합의 결과이다. 여수도의 차이는 나지만, 두 종이의 지합지수 차이는 Fig. 4에 비해 적은 편이었다. 두 여수도를 갖는 지료의 섬유장은 각각 1.03 mm (450 mL CSF)와 1.36 mm (640 mL CSF)로서 동일 섬유의 고해는 지합을 개선시킬 수 있지만, 수초지기에서 그 차이를 보기는 어려운 것으로 판단된다.

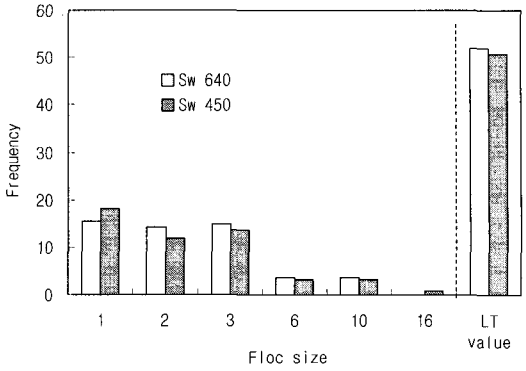

Fig. 5. Formation index and floc size distribution of handsheets depending on freeness.

제지공장에서 생산된 도공원지의 지합지수, NSD를 Fig. 6에 나타내었다. 두 공장에서 생산된 것을 분양받아 측정한 것으로, 제조사에 따라 지합지수에서 다소 차이가 있었으나, 평량에 따른 경향은 유사하였다. 평량이 낮거나 어느 일정 이상으로 높은 경우 지합이 모두 불량해짐을 알 수 있다. 이는 하이드롤릭 헤드박스의 특징으로 생각된다. 즉, 하이드롤릭 헤드박스를 갖는 초지기는 적절한 평량범위를 갖고 있기 때문에 그 평량을 벗어날 경우 오히려 지합이 악화될 수 있다. 평량이 낮을 경우에는 과도한 수력학적 힘에 의해 섬유의 분산이 악화될

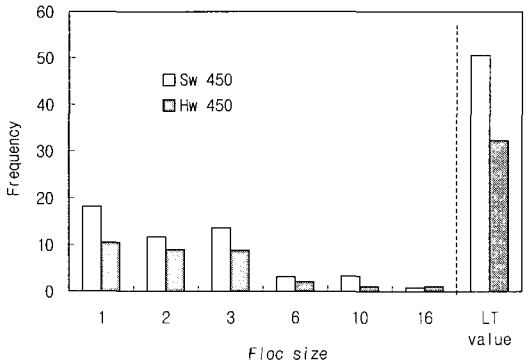

Fig. 4. Formation index and floc size distribution of handsheets depending on fiber type.

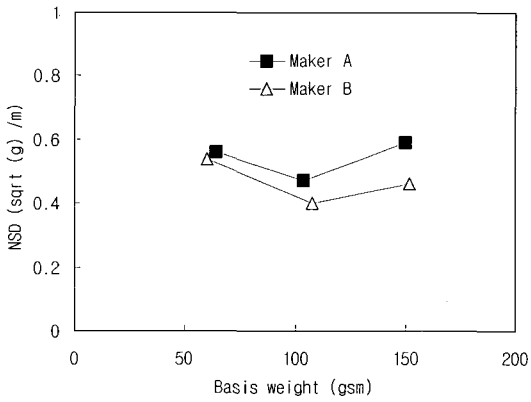

Fig. 6. NSD of formaton of mill made sheet.

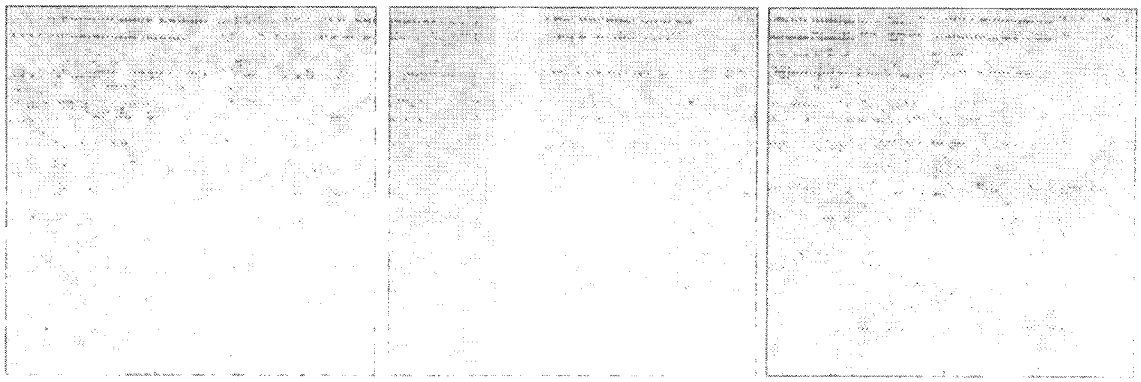

Fig. 7. Formation images of sheets with different basis weight (left: low, middle: medium, right: high).

수 있으며, 적절 평량범위를 벗어나 높을 경우 충분한 에너지를 부여하지 못하여 섬유의 응집을 깨뜨리기 어렵게 된다 (Fig. 7). 따라서 일반적으로 평량이 낮은 지종이 우수한 지합을 갖는다는 것은 헤드박스 내 지료 농도를 낮출 수 있기 때문이지만, 초지기 적절 평량 이하로 낮아질 경우에는 오히려 지합이 악화될 수 있을 것으로 판단된다.

수초지와 상용지 중 유사한 NSD와 LT value를 갖는 두 종이를 선정하여 플록 분포를 비교하였다 (Fig. 8). 커다란 차이는 보이지 않지만, 초지기에서 제조된 종이의 경우 큰 수력학적 힘에 의해 1 mm 이하 플록의 비중이 다소 높고, 또한 16 mm 이상의 플록이 보이는 것이 특징이었다. 다른 평량대에서 비교한 결과 대체로 수초지가 초지기에서 생산된 종이에 비해 수초 시 낮은 농도로 인해 지합지수가 낮게 나왔다.

3.3 지합 측정법간의 상관관계

초지 방식과, 섬유 종류, 고해도를 달리하여 제조한 종이의 지합을 광학적 방법과 β-ray 방법으로 평가하였다. 두 방법 모두 적절한 지합지수를 제공하였으며, 광학적 방법의 경우 플록 사이즈별 분포를 함께 제공하였다. 두 방법의 대표적인 지합지수간의 상관성을 Figs. 9-11에 도시하였다. Fig. 9는 표준편차와 LT value의 관계를 보여주는 것으로 가장 낮은 상관계수를 보였다. 정규화된 표준편차와 LT value를 도시한 것이 0.86이상의 높은 상관관계를 나타내었다. 특히, 초지기에서 제조된 종이

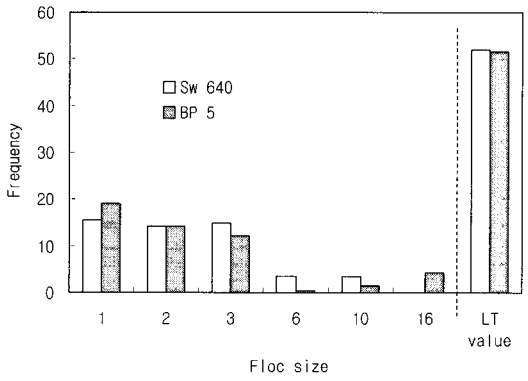

Fig. 8. Floc size distribution of sheets with similar formation index.

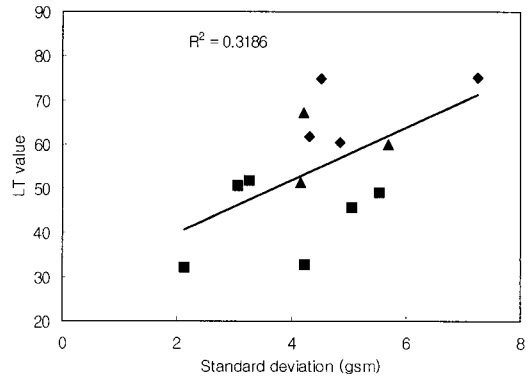

Fig. 9. The relationship between standard deviation and LT value. (■: handsheet, ◆ and ▲; papermachine sheet)

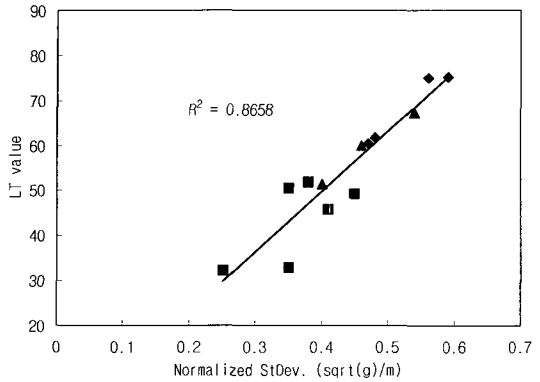

Fig. 10. The relationship between normalized standard deviation and LT value. (■: handsheet, ◆ and ▲; papermachine sheet)

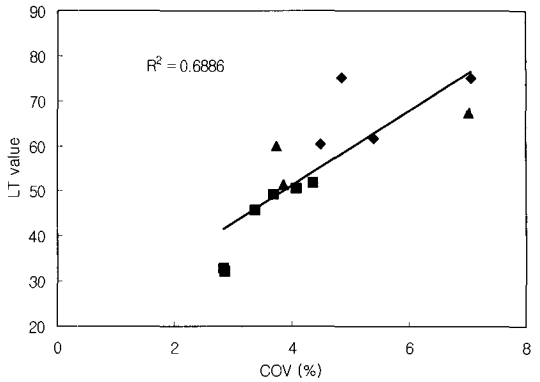

Fig. 11. The relationship between COV and LT value. (■: handsheet, ◆ and ▲; papermachine sheet)

의 경우 매우 높은 상관성을 나타내었으며, 수초지는 오히려 분산계수와 더 높은 상관성을 나타내었다. 충전물 함량이 낮거나 일정한 경우 초지기에서 생산된 종이의 광학적 지합계수로부터 β-ray 지합계수를 유추할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

원료 섬유의 종류, 고해도 및 평량을 달리하여 수초지기와 현장 초지기에서 제조된 종이의 지합을 광학적 방법과 β-ray 방법을 이용하여 평가하였다. 수초지의 경우 평량이 높은 경우 다소 낮은 지합지수를 보였는데, 플록 크기별로는 저평량의 경우 작은 크기의 플록이 많았으며 고평량일 경우 크기가 큰 플록이 많은 분포를 나타내었다. 하이드롤릭 헤드박스를 갖춘 초지기의 경우 제조사에 따라 수치의 차이는 있지만 평량의 증가에 따라 지합지수가 낮아지다 다시 높아지는 양상을 보여주었다. 이는 하이드롤릭 헤드박스에 의해 부여되는 난류에너지의 크기와 관련되는 것으로 생각된다. 활엽수 펄프가 침엽수 펄프보다 우수한 지합을 보였으며, 본 연구 수준에서 고해도의 차이는 수초지의 지합에 현격한 차이를 야기하지 않았다. 대체로 수초지가 수초 시 낮은 농도로 인해 초지기 생산 종이에 비해 우수한 지합을 보였다. 측정법간에는 광학적 지합지수와 β-ray 법의 정규화된 표준편차 지합지수와 매우 높은 상관성을 보여주었다. 따라서 충전물 함량이 낮거나 일정할 경우 광학적 지수로 정규화된 표준편차를 유추할 수 있을 것으로 인다.

사 사

본 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-003-F00015).

인용문헌

1. 2004 제지산업통계연보, 한국제지공업연합회 (2004).
2. Niskanen, K. and Kärenlampi, P., In-plnae tensile properties, in Paper Physics (vol.16), Fapet Oy, p.172 (1998).
3. Crotogino, R.H. and Gratton, M.F., Hard-nip and soft-nip calendering of uncoated groundwood papers, Pulp and Paper Canada, 88(12):T461-T469 (1987).
4. Peel, J.D. Paper Science and Paper Manufacture, Angus Wilde Publ., pp. 27-33 (1999).
5. Niskanen, K, Kajanto, I., and Pakarinen, P., Paper structure, Paper Physics, K. Niskanen(Ed.), Fapet Oy, Finland, p.29 (1998).