

# 화상분석 시스템을 이용한 지필도 평가

元鍾鳴

## Characterization of Sheet Formation by Image Analysis

Jong Myoung Won

### ABSTRACT

The possibility of the characterization of sheet formation by image analysis with transmitted light was evaluated. Specific perimeter, average perimeter and variation could not be used to predict the sheet formation because there were no correlation. Although image analysis method still have a lot of problems, it was found that the contrast intensity obtained by image analysis with transmitted light can be used to predict the sheet formation. In the case of highly filled sheet, the intensity of transmitted light was too low to characterize the sheet formation. However, it was possible to characterize the formation of unfilled heavy weight paper( $\leq 200$  g/m<sup>2</sup>).

### 1. 서론

지필도는 종이 내에 지료가 어느 정도 균일하게 분포하고 있는가를 나타내는 지표의 하나이다. 따라서 지필도는 이미 잘 알려져 있는 바와 같이 종이의 외관뿐만 아니라 대부분의 성질에 결정적인 영향을 미치는 인자로 작용하며, 공정중에서는 압착, 건조 및 캘린더링의 균일성에도 영향을 미친다. 또한 인쇄 및 필기용지뿐만 아니라 도공 및 합침지용 원지의 경우에도 양호한 지필도를 지니는 것이 매우 중요하다.<sup>1-5)</sup> 그러나 일단 초지기 상에서 지필도가 불량하게 만들어진 종이는 추후 캘린더링, 안료 도공 등 어느 수단을 동원한다고 할지라도 근본적인 문제 발생의 소지를 제거하기는 어렵다. 이러한 지필도는 원료의 특성,<sup>6,7)</sup> 초지기의 특성,<sup>8)</sup> 공정 조건<sup>9-12)</sup> 등 다양한 인자들에 의해

여 영향을 받는다. 따라서 종이의 품질 및 공정 관리를 효율적으로 하기 위해서는 가능한 한 원료의 선정 및 지료 조성에서 최적 조건을 적용하고, 초지 과정에서 최선의 품질, 즉 양호한 지필도를 지니는 종이를 생산하는 것이 매우 중요하다.

불행하게도 아직까지 지필도에 대한 이론이 충분히 정립되어 있지 못하고, 현재 지필도 측정을 위하여 주로 온라인 및 오프라인에서 사용되고 있는 장치들은 측정 결과의 신뢰성에 대한 의문이 제기되고 있으며, 그나마 사용되고 있는 지필도 측정용 장치들이 고가이기 때문에 쉽게 구입하기 어려운 문제점을 지니고 있다. 최근 소비자들에 의해 보다 우수한 종이 품질에 대한 요구가 커짐에 따라 제지업계 및 관련 연구 기관에서 중요성에 비하여 다소 소원했던 지필도에 대한 관심을 다시 갖게 되어 활발한 연구가 진행되고 있다.

• 본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비(971-0607-052-1) 지원으로 수행되었음.

• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea).

지필도에 대한 평가는 비록 정량화 또는 지수화되지는 못했지만 이미 오래 전부터 이루어져 왔다. 즉, 종이를 밝은 빛에 비추어 지료가 종이 내에 얼마나 균일하게 분포되어 있는가를 비교했었다. 그러나 문헌으로 발표된 이론적인 접근은 1970년대에 들어서면서 활기를 띠기 시작했다. Dodson<sup>13)</sup>은 지필도에 대한 연구의 일환으로 종이 내에서 섬유유 변형 패턴을 통계적으로 분석하는 것을 시도한 결과 다음 식 (1)과 같이 국부적인 변형( $\bar{A}$ )이 국부적인 평량( $\bar{\beta}$ )에 대하여 직선적으로 반비례 관계를 나타내는 회귀식을 유도하였으며, Herdman<sup>14)</sup>도 학위논문에서 유사한 상관 관계를 보고하였다.

Dodson<sup>13)</sup>과 Corte<sup>15,16)</sup>에 의하면 매우 희석된 현탁액으로 만들어진 종이는 지료가 랜덤하게 배열되어 식 (2)의 관계가 성립된다고 하였다. 그러나 실제로 초지기에서 만들어진 대부분의 종이는 광범위한 크기의 응집체로 구성되어 있기 때문에 지필도와 매우 밀접한 관계를 나타낼 수 있는 국부적인 지료 분포의 변이계수( $cv_{floc}$ )는 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$\bar{A}-\bar{A} = \frac{\bar{A}(\bar{\beta}-\bar{\beta})}{\bar{\beta}(1+(cv(\bar{\beta})))^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$cv_{random}(\bar{\beta}) = \sqrt{\frac{\delta\bar{\rho}}{\omega}} \sqrt{\frac{1}{\bar{\beta}}} \dots\dots\dots(2)$$

$\delta$  : mass per unit length  
 $\omega$  : fiber width  
 $\bar{\rho}$  : fractional between zone variance

$$cv_{floc}(\bar{\beta}) = \sqrt{n_f} cv_{random}(\bar{\beta}) = \sqrt{n_f} \sqrt{\frac{\delta\bar{\rho}}{\omega}} \sqrt{\frac{1}{\bar{\beta}}} \dots\dots\dots(3)$$

Dodson은 최근 지필도의 Universal law를 제안하였다.<sup>17)</sup> Universal law의 개념은 국부적인 평량의 변이계수는 평균 평량의 제곱근에 반비례한다는 것이다. 그 후 지필도 측정치의 해석을 위한 스프레드 시이트 포맷을 식 (4)와 같이 개발하고, 특정 지종을 생산하기 위한 공학적인 디자

인을 하거나, 지필도 및 그 안정성을 조절하기 위해 필요한 지필도 지수  $n_f(x)$ 는 식 (5)에 의하여 산출될 수 있으며, 대부분의 장망 초지기에서 생산된 종이의  $n_f(1)$ 의 값은 1-7 사이에 포함된다고 보고하였다.<sup>18)</sup>

$$v_i = u_i m_i g_i \dots\dots\dots(4)$$

$v_i$  : Variance contribution  
 $u_i$  : Fractional between zones variances of coverage  
 $U_i(W_a) = (W_a/W_b)u_i(W_b) = (W_a/0.02)u_i(0.02)$   
 $W_a$  : Fiber width  
 $m_i$  : Fiber mass fraction  
 $g_i$  : Unit factor,  $5 \times 10^7 k_i B$   
 $B$  : Mean grammage, g/m<sup>2</sup>  
 $k_i$  : Coarseness, g/mm

$$n_f(x) = \frac{Var_{Real}(x)}{Var_{Random}(x)} \dots\dots\dots(5)$$

Deng 등<sup>19)</sup>은 시판 신문용지의 변이계수가 동일한 지료로 랜덤하게 만든 종이의 약 2배에 달하며, 이러한 결과가 얻어지는 것은 섬유가 별 모양으로 응집체를 형성하기 때문이라고 하였으며, Farnood 등<sup>20,21)</sup>은 지필도를 평가하기 위하여 랜덤 디스크 모델을 도입하여 분석한 결과 대부분의 시판용 종이 및 판지의 경우 평량 0.3-7 g/m<sup>2</sup>, 직경 1-3 mm인 디스크로 구성된 것으로 비유될 수 있다고 하였다. Jordan 등<sup>22)</sup>과 Laleg 등<sup>23)</sup>은 지필도를 평가하기 위한 새로운 기준으로 Specific perimeter(SP)를 제안하였다. SP는 종이 내 응집체의 크기 분포와 관련된 값으로 화상분석기에 의하여 측정되며, 총 스캔한 면적에 대한 응집체 둘레의 합의 비로 정의되었다.

종이 내 국부적인 평량의 분포를 측정하는 방법은 대개 전자기 또는 핵 입자 빔의 감쇠에 근거한 것으로 Light transmission,<sup>24-26)</sup> Laser transmission,<sup>27)</sup>  $\beta$ -ray transmission,<sup>16)</sup> Alpha radiography,<sup>28)</sup> Beta radiography,<sup>3,29-31)</sup> Soft x-radiography,<sup>24,30,32)</sup> Electrography<sup>24)</sup> 및 Gravimetric method 등이 있다. 상기 방법 중 종이의 질량 밀도

(Mass density)의 분포를 측정하는 데는  $\beta$ -radiography가 가장 신뢰성 있는 결과를 제공해 주며, 판지의 경우에는 x-radiography의 사용이 바람직한 것으로 알려져 있다. 최근 Ng<sup>33,34)</sup>는  $\beta$ -radiography와 화상분석에 의한 지필도 측정 방법을 개발하였으며, Berni 등<sup>35)</sup>은 국부적인 평량 분포 상태를 가장 잘 나타내어 줄 수 있는 것으로 알려진  $\beta$ -radiography의 결과와 Light transmission 사이에 높은 상관관계가 있음을 보고하였다. 한편 Popil 등<sup>36)</sup>은 투과 광에 의한 지필도 측정시 파장에 의한 영향이 있음을 밝혔다.

$\beta$ -radiography가 지필도의 측정시 가장 정확한 값을 제공해 줄 수 있으나, 판지의 어려움 및 장치가 고가이기 때문에 폭 넓은 보급과 활용에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 비록 광 투과 화상분석에 의한 방법이  $\beta$ -radiography에 비하여 지필도 측정에 적합치 못한 방법으로 알려져 있으나, Bernié 등이 보고한 바와 같이  $\beta$ -radiography에 의해 얻어진 결과와 매우 높은 상관관계를 나타내고 있는 점과 Multi-purpose형인 화상 분석장치가 비교적 많이 보급되어 있는 점을 감안하여, 광 투과 화상분석에 의한 지필도 측정 방법을 개발하고자 하였다.

투과 광 화상분석 시스템을 이용하여 지필도를 측정하고자 할 경우 부딪히는 가장 큰 문제는 빛의 흡수가 항상 일정하지 않다는 데 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 이러한 빛의 흡수에 가장 영향을 미치지 않는 파장 및 필터를 선정하고, 투과광의 빛의 세기를 측정하여 지필도 측정에 적합한 광원의 세기를 결정하고, 화상분석 시스템을 이용하여 투과된 빛의 세기를 그레이 레벨로 전환하여 변이계수를 구하였다. Dodson<sup>18)</sup>은 식 (5)에 나타난 바와 같이 동일한 지료를 이용하여 랜덤하게 지료가 분포 및 배열된 종이의 변이계수를 사용하여 지필도 지수를 사용하는 것을 제안하였으나, 이 방법을 사용할 경우 지필도를 측정할때마다 동일 지료로 종이를 만들어야 하기 때문에 시간이 많이 걸리고, 품질 및 공정 관리를 하는 데 사용하기 어렵다. 따라서 본 연구를 통하여 얻어진 기초 자료를 근거로 분석을 통하여 변이계수를 사용할 것인지 아니면 이를 각종 영향 인자로 보정한 지필도 지수로 표시할 것인지를 결정하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

수초지용 공시 펄프로는 시판 침엽수 표백 크라프트 펄프와 활엽수 표백 크라프트 펄프가 사용되었으며, 충전제로는 탄산칼슘을, 보류제로는 양이온성 전분을 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 초지실험

원료 및 종이의 특성이 빛의 산란 및 흡수에 영향을 크게 미치기 때문에 이들 인자에 의하여 가장 영향을 적게 받는 파장을 선정하기 위하여 펄프 종류별(침·활엽수 펄프의 혼합비 조절), 평량별(40, 80, 120, 160 및 200 g/m<sup>2</sup>), 충전량별(10, 20 및 30%) 및 압착조건별(30, 50, 80, 110 psi)로 초지하여 기초 자료를 얻기 위한 시료로 사용하였다.

평량을 변화시키는 경우를 제외하고는 모두 평량을 80 g/m<sup>2</sup>로 조절하였다. 본 연구에 사용된 모든 펄프는 초지하기 전에 실험실용 고해기로 400 mL CSF까지 고해를 실시하였으며, 펄프의 배합 비를 변화시키는 경우를 제외하고는 모두 침엽수 표백 크라프트 펄프 20%와 활엽수 표백 크라프트 펄프 80%를 혼합하여 지료로 사용하였다. 특히 평량을 변화시킬 경우 지료 농도의 변화에 따른 지필도의 변화를 방지하기 위하여 초지시 지료의 농도를 일정하게 유지하였다.

충전시에는 펄프 중량만을 기준으로 평량을 80 g/m<sup>2</sup>로 조절하였다. 보류된 충전제의 양의 조절은 탄산칼슘의 첨가량을 조절하는 방법을 이용하였다.

#### 2.2.2 광 투과 화상분석 시스템에 의한 지필도 평가

본 실험을 수행하기 위하여 화상분석기(범미유니버스)와 광섬유를 이용한 할로젠 램프(100 W)가 사용되었으며, 각 파장의 영향을 조사하기 위하여 filter(400, 450, 500, 550, 600, 650

및 700 nm)가 사용되었다. 먼저 빛의 흡수에 가장 적은 영향을 미치는 조건을 설정하기 위하여 각 파장별 빛의 흡수 또는 투과 특성을 조사하여 최선의 결과를 얻을 수 있는 파장을 선정하였다. 이 과정에서 각 파장에 따른 빛의 세기를 측정하여 지필도의 변화에 따른 그레이 레벨의 차이가 명확히 얻어질 수 있는 광원의 세기를 결정하였다.

이와 같이 수행하여 얻어진 기초 자료를 근거로 광 투과 화상분석 시스템을 만들어 종이 내 지표의 분포 변이를 그레이 레벨로 전환하여 변이계수를 구하였다. 이때 광 투과 화상분석 시스템에 의한 지필도 측정 결과의 정확성, 신뢰성 및 반복성을 평가하고, 기존 시판되고 있는 장치(Paprican micro-scanner)를 이용하여 측정된 지필도 값과 비교하였다.

### 2.2.3 종이 물성 측정

광 투과 화상분석 시스템에 의하여 얻은 지필도와 종이의 물성과의 관계를 분석하기 위하여 TAPPI Standard에 준하여 주요 물성을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 빛의 투과에 영향을 미치는 인자

종이의 균일성을 평가하는 수단인 지필도를 측정하기 위하여 본 연구에서는 투과광을 이용하였는데, 이때 투과된 빛의 세기는 여러 가지 원인에 의하여 영향을 받는다. 이러한 현상이 나타나는 것은 빛과 물체의 상호작용에 의하여 빛의 반사, 흡수 및 투과되는 비율이 달라지기 때문이다.

특히 본 연구에서 접근하는 방법은 투과광의 세기를 그레이 레벨로 전환하여 그 변이를 지수화하는 것을 목표로 하고 있기 때문에 원료, 종이의 특성 및 측정 방법에 따라 매우 다른 결과가 얻어질 수 있다. 따라서 침·활엽수 펄프의 혼합 비율, 습부 압착 압력, 충전, 평광 및 측정에 사용된 빛의 파장에 의한 투과 광 세기의 변화를 측정하였다.

#### 3.1.1 침·활엽수 펄프의 혼합비

과거에는 종이의 강도적 성질에만 관심을 두고 종이를 제조하였기 때문에 주로 침엽수 펄프가 많이 사용되어 왔으나, 최근에는 강도적 성질도 중요하지만 인쇄적성이 보다 중요시됨에 따라 활엽수의 사용 비율을 높여 과거와는 정반대의 경향을 보여 주고 있다. 이와 같은 추세를 보이고 있는 것은 활엽수 펄프의 사용을 증가시키므로써 종이의 평활도 및 지필도의 개선이 가능하기 때문이다.

지필도의 변화는 결국 종이의 구조적 성질의 변화에서 비롯되는 것이기 때문에 필연적으로 종이와 빛의 상호작용에도 변화가 수반될 것으로 예상되어, 침·활엽수 펄프의 혼합비에 따른 투과 광의 세기를 측정된 결과 Fig. 1과 같이 광원의 세기 15,040 lux를 적용하여 측정된 결과 활엽수 펄프를 100% 사용하여 초지한 종이의 경우에는 51.46%(7,740 lux)밖에 빛이 투과되지 못하였으나, 침엽수 펄프의 비율이 증가됨에 따라 빛의 투과율이 증가되어 100% 침엽수 펄프를 사용하여 초지한 종이의 경우 약 61.90%(9,310 lux)의 빛이 투과되었다. 이와 같이 빛의 투과량이 증가된 원인에 대하여 구체적으로 밝혀지지는 않았지만 침엽수 펄프 함량의 증가에 따른 장섬유분의 증가에 의하여 빛의 산란이 감소되었기 때문인 것으로 사료된다.

#### 3.1.2 습부 압착 압력

습부 압착 압력의 증가는 시이트 내 물의 제거 뿐만 아니라 동시에 섬유간의 간격을 좁혀 줌으로써 Campbell's effect를 높여 주어 보다 치밀한 구조를 만들어 주고 섬유간 결합을 개선시켜 주는 것으로 잘 알려져 있다. 섬유간 결합의 증가는 시이트 내에서 빛을 굴절 또는 산란시켜 줄 수 있는 부위를 감소시켜 주기 때문에 종이의 불투명도가 감소된다. 그러나 본 연구 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 습부 압착 압력이 증가됨에 따라 다소 투과광의 세기가 높아지기는 하였으나 그다지 크게 증가되지는 않았다.

#### 3.1.3 충전

대부분의 인쇄 및 필기용지 제조시에는 종이의

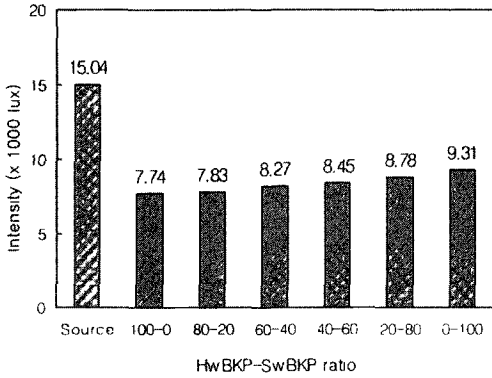


Fig. 1. Effect of HwBKP-SwBKP blending ratio on the intensity of transmitted light.

광학적 성질 및 인쇄적성을 개선하기 위하여 충전제를 사용하고 있다. 특히 충전제는 입자 크기가 섬유에 비하여 현저히 작기 때문에 비표면적이 현저히 커서 빛을 보다 많이 산란시킴과 동시에 빛의 투과를 현저히 감소시켜 종이의 불투명도를 크게 개선시켜 줄 수 있다.

회분 함량의 증가에 따른 종이에 의한 빛의 투과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 회분의 함량이 증가됨에 따라 빛의 투과가 크게 감소되어 회분 함량 30%일 때 투과 광의 세기는 광원 밝기의 단지 20.74%(3,120 lux)를 나타내었다. 본 연구에서는 간단한 조건이 적용되었으나, 만약 충전제의 종류를 변화시키거나 보류 시스템을 달리하여 floc의 형성 상태를 변화시키는 등 현장에서와 같

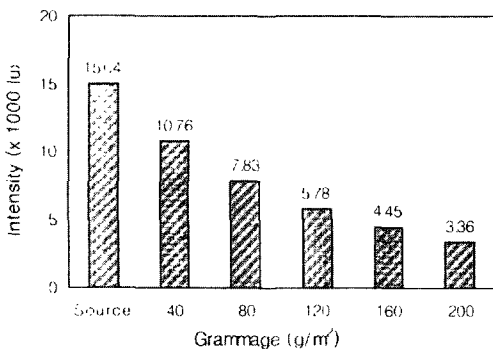


Fig. 3. Effect of ash content on the intensity of transmitted light.

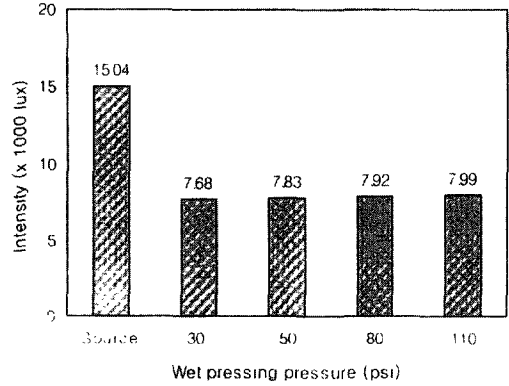


Fig. 2. Effect of wet pressing pressure on the intensity of transmitted light.

이 다양한 조건이 적용될 경우 빛의 투과도 다르게 나타날 수 있다. 이와 같은 현상을 감안할 때 충전제가 사용된 종이에 대하여 광 투과 방식을 이용한 지필도 평가를 하고자 할 경우 이에 대한 보완이 이루어져야 할 것이다.

3.1.4 평량

종이의 평량에 따른 투과광의 세기는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 충전제 함량의 증가에 따른 변화와 유사한 경향을 보여 주었다. 이와 같은 현상은 평량이 증가됨에 따라 빛이 통과해야 할 섬유의 개수가 증가하여 결국 빛이 투과되는 과정에 흡수되는 양이 증가되었음을 알 수 있었다.

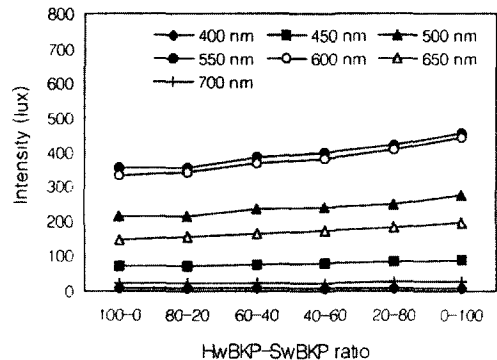


Fig. 4. Effect of grammage on the intensity of transmitted light.

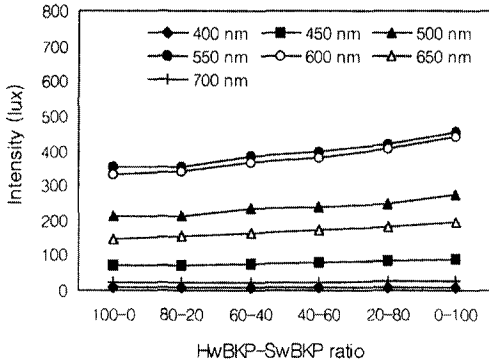


Fig. 5. Effect of wavelength and HwBKP and SwBKP ratio on the intensity of transmitted light(light source 15,040 lux).

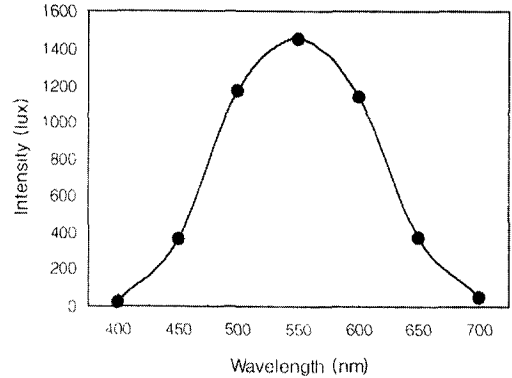


Fig. 6. Intensity of transmitted light through the different filter(light source 4,240 lux).

### 3. 1. 5 파장

빛의 굴절 및 산란은 두 인접한 물질 사이의 간격과 빛의 파장에 의하여 큰 영향을 받는다. 일반적으로 두 물체 사이의 거리가 입사된 빛의 파장의 1/2 이상일 경우 빛이 한 물체에서 다른 물체로 통과할 때 빛이 굴절되면서 반사 또는 산란 현상을 일으킨다. 그러나 물체간의 간격이 빛의 파장의 1/2 이내인 경우 굴절지수가 같은 물체에서는 빛은 굴절도 반사도 되지 않고 그대로 통과하게 된다.

따라서 투과 광을 이용하는 본 연구의 경우 측정에 사용된 빛의 파장에 의하여 영향을 받을 것으로 예상되어 파장별로 투과 광의 세기를 조사한 결과 Fig. 5와 같이 침·활엽수의 혼합비를 달리 하였을 경우 백색광의 경우와 마찬가지로 모든 파장에서 침엽수 펄프의 함량이 증가됨에 따라 투과 광의 세기가 증가하는 경향을 보여 주었다.

그러나 매우 흥미로운 사실은 가시광선 중 400 nm의 단파장과 700 nm의 장파장에서 가장 낮은 투과 광의 세기를 나타내었을 뿐만 아니라 침·활엽수 펄프의 혼합비에 따른 투과 광 세기의 차이가 현저하지 않았다. 그러나 550 nm에서는 비록 백색광을 사용했을 때에 비하여 매우 낮은 값이기는 하지만 가장 높은 투과 광의 세기를 나타내었으며, 침엽수 펄프의 함량 증가에 따른 변화를 분명히 나타내었다. 이러한 현상은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 550 nm filter 사용시 가장 높은

투과 광의 세기를 나타낸 것과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

그러나 습부 압착 압력을 변화시킨 경우에는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 단지 550 nm 및 600 nm에서만 미미한 변화가 관찰되었을 뿐 다른 파장에서는 거의 변화가 나타나지 않았다.

충전지의 경우에는 Fig. 8과 같이 충전제의 함량이 증가됨에 따라 투과광의 세기가 현저히 낮아졌으며, 충전제를 첨가하지 않은 경우와 마찬가지로 400 nm와 700 nm에서 가장 낮은 값을 나타내었고, 550 nm에서 가장 높은 투과 광의 세기 및 뚜렷한 투과 광 세기의 변화가 관찰되었다.

Fig. 9에서 관찰할 수 있는 바와 같이 평량을 변화시킨 종이의 투과 광의 세기가 측정에 사용된 빛의 파장에 의하여 각기 다른 반응을 나타내었다. 즉, 파장 550 nm 및 600 nm에서 가장 뚜렷한 변화를 나타내었으며, 이들 파장을 중심으로 하여 단파장 또는 장파장쪽으로 이동될수록 투과 광의 세기 및 경향이 완화되었으며, 이러한 현상은 충전지의 경우에서도 관찰되었다

### 3. 2 Floc의 평균둘레(average perimeter), 변이(variation) 및 specific perimeter

지필도는 시이트 내 지료가 얼마나 균일하게 분포되어 있는가를 나타내는 수단으로 사용하기 위

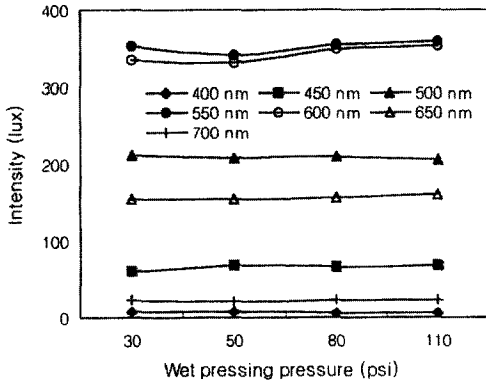


Fig. 7. Effect of wavelength and wet pressing pressure on the intensity of transmitted light(light source 15,040 lux).

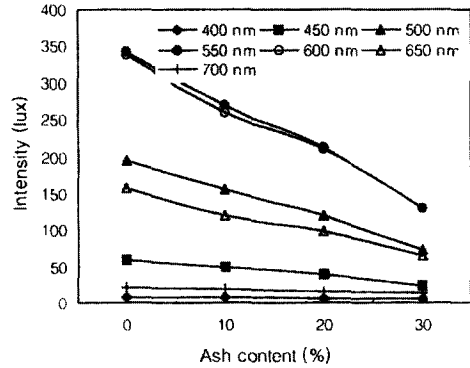


Fig. 8. Effect of wavelength and ash content on the intensity of transmitted light(light source 15,040 lux).

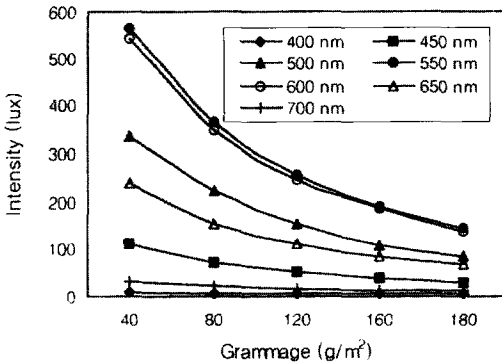


Fig. 9. Effect of wavelength and grammage on the intensity of transmitted light(light source 15,040 lux).

하여 정의가 내려졌으나, 실제로 사용되는 지료의 종류가 다양할 뿐만 아니라 표면 화학적 특성과 상호작용에 의하여 매우 복잡한 거동을 나타낸다. 따라서 보다 균일한 지료의 분포를 얻기 위해서는 제지 공정에서 불가피하게 수반되는 지료의 floc 형성이 가능한 한 micro scale이 되도록 하는 것이 중요한 것으로 알려져 있다.

그러나 실제로 측정해 보면 이러한 이론과는 달리 Figs. 10-15에서 도시된 바와 같이 매우 복잡한 결과를 보여 준다. 이들 그림에는 화상분석기를 이용하여 측정된 평균둘레, 변이 및 지필도 측정기(Paprican micro-scanner)로 측정한

specific perimeter가 도시되었는데, 이들만을 가지고는 일정한 경향을 관찰하기 어려웠으며, 특히 지필도 측정기로는 고평량(본 실험의 경우 160 g/m<sup>2</sup> 이상)지의 경우 측정이 불가능하였다. 비록 이론적으로는 floc size를 micro scale로 만들어 줌으로써 지필도의 개선이 가능한 것으로 알려져 있지만 본 실험 결과를 검토하여 보면 오히려 다분산성을 지니는 floc이 고무 섞여 분포되도록 해 주는 것이 오히려 바람직한 것으로 생각되었다.

### 3.3 지필도

본 연구에 사용된 화상분석기는 그레이 레벨의 변이에 대한 값을 수치화하는 것이 불가능하고 단지 평균 값만을 얻을 수 있기 때문에 동일한 시이트의 여러 지점에서 화상을 잡은 다음 solid fraction에 대한 밀도 값(그레이 레벨을 이용하여 얻어진 값)을 측정하고 그 변이를 계산하였다.

아직은 초보 단계이기 때문에 가능한 한 단순화하기 위하여 지료의 조성을 일정(HwBKP 80 : SwBKP 20)하게 하고, 평량만을 변화시킨 종이에 대하여 측정을 실시하였다. 이로부터 얻어진 값을 이용하여 평균치와 표준편차의 값을 구하고, contrast intensity를 산출한 결과 Fig. 16과 같이 평량이 40 g/m<sup>2</sup>에서 160 g/m<sup>2</sup>로 증가됨에 따라 contrast intensity도 증가되었으며, 그 후 다소 감소되는 경향을 보여 주었다. 이러한 결

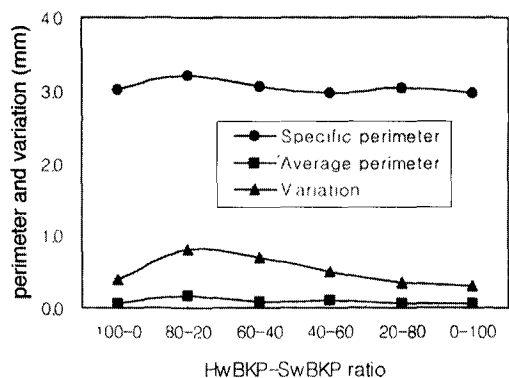


Fig. 10. Effect of HwbKBP and SwBKP blending ratio on the specific perimeter, average perimeter and variation of floc.

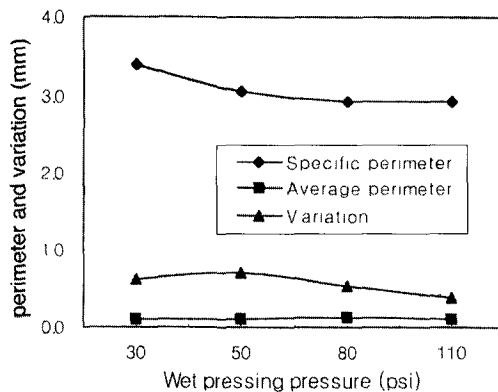


Fig. 11. Effect of wet pressing pressure on the specific perimeter, average perimeter and variation of floc.

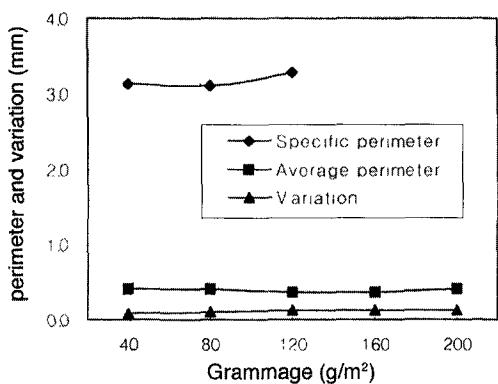


Fig. 12. Effect of grammage on the specific perimeter, average perimeter and variation of floc.

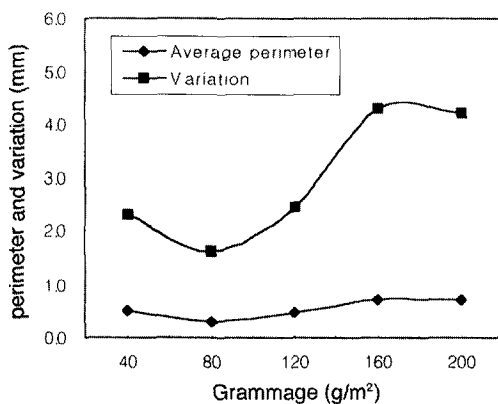


Fig. 13. Effect of grammage on the average perimeter and variation of floc at 550 nm.

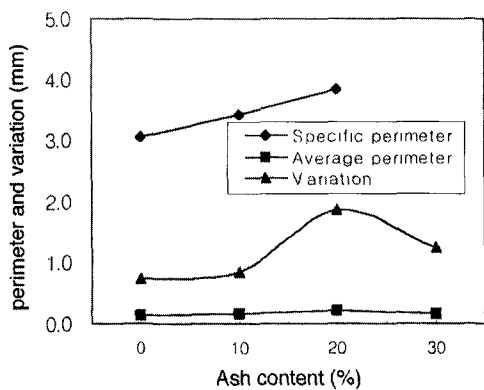


Fig. 14. Effect of ash content on the specific perimeter, average perimeter and variation of floc.

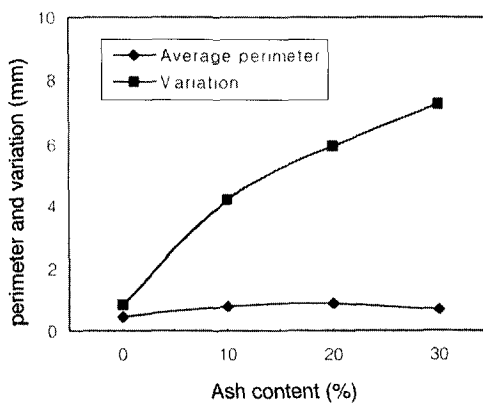


Fig. 15. Effect of ash content on the average perimeter and variation of floc at 550 nm.



과는 Fig. 17에서 보여 준 화상과 잘 일치하였으며, Paprican micro-scanner의 경우 비록 평량 120 g/m<sup>2</sup> 이상의 종이에 대하여는 측정이 불가능하였지만 이 장치를 이용하여 측정한 경향 (Fig. 18)과 유사한 결과를 보여 주었다.

### 3.4 지필도와 종이 물성

일반적으로 종이의 물성은 지필도와 매우 밀접

한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 관계가 존재하는 것은 지료가 균일하게 분포되어 있을 경우 외부에서 가해진 힘이 고루 분산되어 지필도가 불량한 종이에 비하여 보다 높은 저항력을 나타내기 때문이다.

본 연구에서 사용된 대부분의 실험 조건은 그 자체가 종이의 물성에 영향을 미치기 때문에 지필도의 영향을 정확히 표현하기는 어려우나 Fig. 19에서 보는 바와 같이 열단장의 경우에는 contrast index와 마찬가지로 평량 160 g/m<sup>2</sup>까지

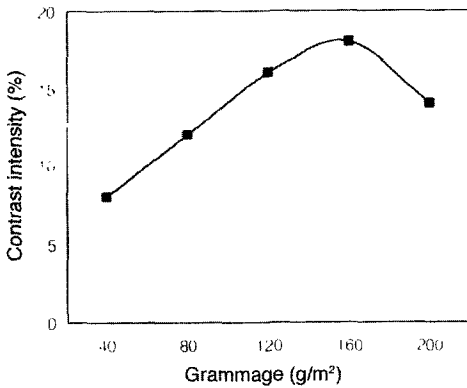


Fig. 16. Contrast intensity of paper at different grammage.

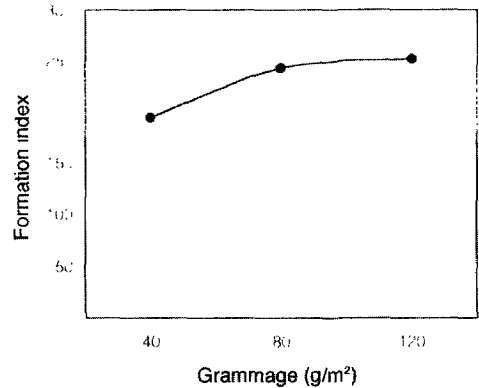


Fig. 18. Formation index of paper at different grammage.

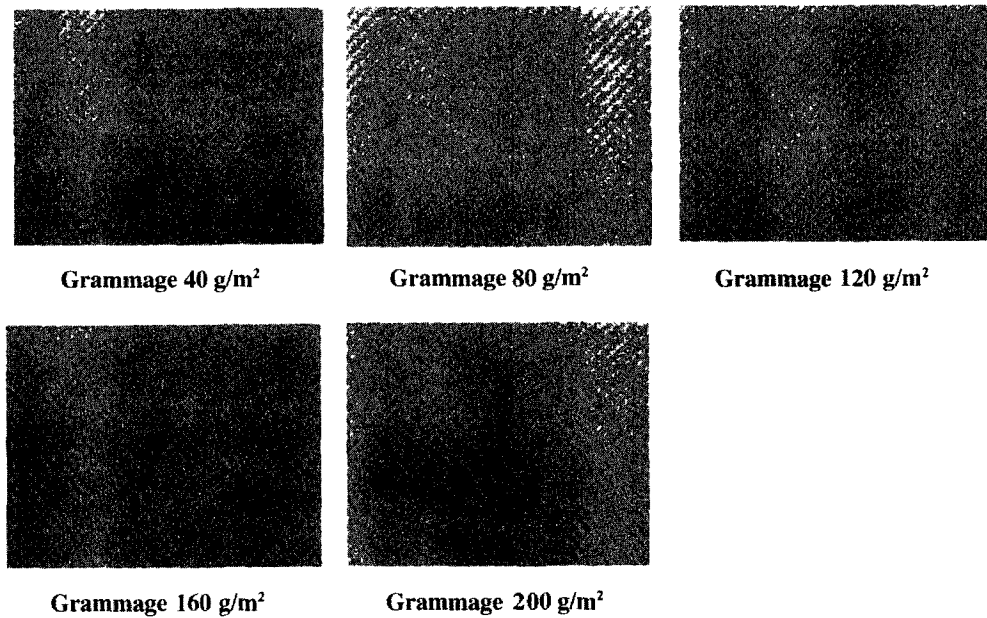


Fig. 17. Images captured by CCD Camera.

는 증가되다가 다소 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 투기도는 이미 잘 알려져 있는 바와 같이 평량이 증가됨에 따라 계속 증가되어 지필도의 영향이 명백하게 나타나지 않았다.

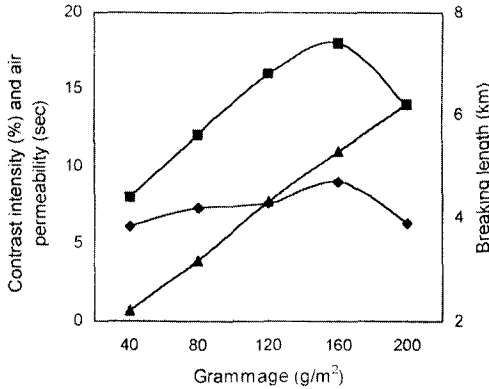


Fig. 19. Contrast intensity (■), air permeability (▲) and breaking length (◆).

#### 4. 결론

다목적형 화상분석기를 이용한 지필도 평가 가능성을 검토하기 위하여 지료 조성 및 초지 조건을 달리하여 제조한 종이에 대하여 투과 광을 이용한 지필도 평가를 위한 연구를 실시한 결과 종이의 경우 특성이 다른 매우 다양한 원료가 사용될 뿐만 아니라 종이의 구조 자체가 매우 복잡하여 기존 지필도 측정 장치들이 지니는 문제점과는 다른 형태의 어려움이 확인되었다. 그러나 투과 광을 이용한 화상분석장치를 이용할 경우 본 연구에서 비교용으로 사용된 지필도 측정기에 비하여 높은 평량에 대한 평가가 가능하였으며, contrast intensity를 적용할 경우 지필도 측정기의 대체가 가능할 것으로 기대된다.

#### 인용문헌

1. Brandon, C. E., Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, 3rd Edition, Vol. III, Casey, J. P., pp. 1737-1738 (1981).
2. Trollsås, Swedish Newsprint Research

- Centre Report No.2:26 (1983).
3. Norman, B., Paper Structure and Properties, International Fiber Science and Technology Series 8, Bristow, J. A. and Kolseth, P., pp. 123-150 (1986).
4. Dodson, C. T. J. and Sampson, W. W., JPPS 22(5):J165 (1996).
5. Herdman, P. T., Blinco, K. M., Dodson, C. T. J., and Ng, W. K., TAPPI International Paper Physics Conference Proceedings, 77-81 (1995).
6. Seth, R. S., Materials Research Society Symposium Proceedings, 197:125, 143 (1991).
7. Dodson, C. T. J., JPPS 18(2):J74 (1992).
8. Kiviranta, A. and Dodson, C. T. J., JPPS 21(11):J379 (1995).
9. Jokinen, O. and Ebeling, K., Paperi ja Puu 5:317 (1985).
10. Dodson, C. T. J. and Fekih, K., JPPS 17(6):J203 (1991).
11. Dodson, C. T. J. and Schaffnit, C., Tappi J. 75(1):167 (1992).
12. Waterhouse, J. F., Tappi J. 76(9):129 (1993).
13. Dodson, C. T. J., J. Phys. D. : Appl. Phys. 3:269 (1970).
14. Herdman, P. T., Physical Processes during the drying of paper, M. Phil. Thesis, Brunel University (1974)
15. Corte, H., Das Papier 24:261 (1970).
16. Corte, H., Handbook of Paper Science, Vol. 2, Rance, H. F., Elsevier (1982).
17. Dodson, C. T. J., JPPS 16(4):J136 (1990).
18. Dodson, C. T. J., Tappi J. 76(5):153 (1993).
19. Deng, M. and Dodson, C. T. J., Tappi J. 77(3):195 (1994).
20. Farnood, R. R. and Dodson, C. T. J., TAPPI International Paper Physics Conference Proceedings, 5-12 (1995).
21. Farnood, R. R. and Dodson, C. T. J., and Loewen, S. R., JPPS 21(10):J348 (1995).
22. Jordan, B. and Nguyen, N., Paperi ja Puu 68(6/7):476 (1986).
23. Laleg, M. and Nguyen, N., JPPS 21(10):J356 (1995).

24. Tomimasu, H., Kim, D., Suk, M., and Luner, P., *Tappi J.* 74(4):165 (1991).
25. Miller, C. and Kallmes, O. J., *Pulp Paper Mag. Can.* 79(2):T61 (1978).
26. Kallmes, O. J. and Ayer, J. A., *Pulp and Paper* 61(5):99 (1987).
27. Silvy, J., Couty, D., and Arcondara, E., *Revue A.T.I.P.* 45(3):115 (1991).
28. Radvan, B., Dodson, C. T. J., and Skold, C. G., *Transactions of the Symposium, BPBMA, Vol. 1*, 189-214 (1966).
29. Norman, B. and Wahren, D., *Svenk Papperstidn.* 77(11):397 (1974).
30. Cresson, T. M., Tomimasu, H., and Luner, P., *Tappi J.* 73(7):153 (1990).
31. Cresson, T. M., The sensing, analysis, and simulation of paper formation, Ph.D. Thesis, Syracuse Univ. (1988).
32. Yuhara, T., Hasuike, M., and Murakami, K., *Japan Tappi* 40(10):949 (1986).
33. Ng, W. K.,  $\beta$ -radiographic analysis of paper, B.Sc. Thesis, Dept. of Chemical Engineering and Applied Chemistry, Pulp & Paper Centre, Univ. of Toronto (1993).
34. Ng, W. K. and Dodson, C. T. J., *TAPPI International Paper Physics Conf. Proc.*, 49-53 (1995).
35. Berni, J. P. and Douglas, W. J. M., *Tappi J.* 79(1):193 (1996).
36. Popil, R. E. and Jordan, B. D., *Proceedings of TAPPI International Paper Physics Conf.* 61-69 (1995).