

포장지의 발수도 자동 해석 시스템 개발

- KS M 7057에 근거한 발수도 자동 측정 -

김철환[†] · 최경민* · 강진기 · 박종열

(2002년 8월 19일 접수; 2003년 2월 5일 채택)

Development of Automatic Analysis System for Water Repellency of Packaging Paper

- Automatic Measurement of Water Repellency Based on KS M 7057 -

Chul-Hwan Kim[†], Kyeong-Min Choi*, Jin-Gi Kang, and Chong-Yawl Park

(Received on August 19, 2003; Accepted on February 5, 2003)

ABSTRACT

The test results for water repellency of paper and paperboard according to KS M 7057 can readily be influenced by an operator's bias. In order to discard such bias, the automatic analysis program of water repellency was developed based on different shape features of a liquid trace formed on a specimen. That is, the shape of a liquid track flowing down on the specimen with an angle of 45° was evaluated according to width variation between head and tail of the trace (S_{HT}), uniformity of a liquid flow (S_d), length of long traces (L_{ST}), eccentricity of liquid traces (E_t), and then was recognized as a specific degree of water repellency. Finally, the automatic analysis system of water repellency based upon KS M 7057 made it possible to readily measure water resistance of paper and paperboards classified into R0 to R10.

Keywords: Water repellency, KS M 7057, Liquid traces, Shape recognition, Eccentricity

1. 서론

친수성 셀룰로오스를 주원료로 하여 제조된 종이

은 포장지는 물 혹은 수분과의 친화력이 매우 크다. 그러나 대부분의 지종은 어느 정도의 내수성을 필요로 하기 때문에 셀룰로오스의 표면을 사이즈제 혹은 발수

• 이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-003-G00029).

• 경상대학교 농업생명과학대학 임산공학과(농업생명과학연구원)(Department of Forest Products (IALS), College of Agriculture and Life Sci. Gyeongsang National University, JinJu, 660-701, Korea)

* (주)미래로시스템 기술연구소(Mirero Inc., Jie-Chang Bldg., 265-26 Yangjae-dong, Seoul, 137-130, Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: jameskim@nongae.gsnu.ac.kr

Table 1. Water repellency for paper and paperboard designated by KS M 7057

발수도	결과
R0	물이 흐른 자국이 연속적이고 일정한 폭을 나타냄.
R2	물이 흐른 자국이 연속적이고, 물방울보다 약간 좁은 폭을 나타냄.
R4	물이 흐른 자국이 연속해 있지만 군데군데 끊어져 확실히 물방울보다 좁은 폭을 나타냄.
R6	흐른 자국이 반이 적셔져 있는 것.
R7	흐른 자국의 1/4은 늘어진 물방울에 적셔져 있는 것.
R8	흐른 자국의 1/4 이상이 구형의 작은 물방울이 산재해 있는 것.
R9	곳곳에 구형의 작은 물방울이 산재해 있는 것.
R10	완전하게 굴러 떨어지는 것.

제로 처리함으로써 소수성을 부여하여 종이 내부로의 액체 침투를 지연시킨다.

사이즈제 혹은 발수제의 처리 정도에 따라 종이 및 판지의 인쇄 적성, 압축 및 파열강도, 포장 물품의 상태 및 선도 등이 상당히 달라지기 때문에 최종 용도에 따라 발수제를 적절하게 처리해 주어야 하며 또한 이를 정확하게 평가할 수 있어야 한다. 특히 골판지 제조 시 공장에서는 발수제가 처리된 판지 표면의 발수 특성을 평가하기 위해서 한국과 일본에서는 KS M 7057과 JIS P 8137에 규정된 종이 및 판지의 발수도 시험 방법을 주로 사용한다.^{1,2)} KS M 7057에 규정된 발수도 시험법은 일정량의 액체가 1 cm 높이에서 시험편 위에 투하되었을 때 45° 각도를 따라 흘러 내려가는 액적의 형상을 해석하여 Table 1에 제시된 R0-R10 중에서 해당되는 발수도로 평가한다.¹⁾ 이렇게 측정자가 시험편의 발수도를 해석할 때 평가자의 주관이 개입될 수 있는 여지가 충분히 내재되어 있다. 이러한 이유로 일본산업표준(JIS)에서는 1998년 이와 같은 발수도 시험법을 폐기하였다. 그러나 국내에서는 판지의 발수도 평가 시에 이와 같은 방법을 여전히 사용하고 있기 때문에 객관적 측정 원칙에 근거한 방법이 개발되어야 할 필요성이 강하게 요구되었다.

KS M 7057에 근거하여 발수도를 측정할 때 측정자의 주관이 개입되는 예를 들어보면, 만약 종이 시편 위에 떨어진 최초 액적의 크기보다 작게 흘러 내려간 형상을 가지고 해석을 할 때 측정자에 따라 물이 흐른 자국이 갖는 폭을 어떻게 해석하느냐에 따라 R2 혹은

R4의 발수도가 적용될 수 있다. 즉, 측정자에 따라 발수도의 값이 변화될 수 있는 개연성이 충분히 내재되어 있어 신뢰성 있는 값을 제시할 수가 없다. 따라서 현 KS M 7057에 규정된 방법에 따라 발수도를 측정한다면 측정 방법이 간편하다는 장점의 이면에는 객관화된 발수도 값을 제시하기 어려운 단점을 내포하게 된다.

본 연구에서는 KS M 7057법에 명기되어 있는 표준 방법에 기초하는 것을 원칙으로 하고, 이것을 측정자의 주관적 판단을 배제하여 객관화된 수치로 측정할 수 있는 자동화된 발수도 측정시스템을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 즉, 1cm 높이에서 굴러 떨어지는 액적의 형상을 디지털 영상으로 입력(image acquisition)한 후 새로이 개발한 알고리즘을 적용한 화상분석법을 통하여 액체 흔적에 대한 형상 분석을 실시하여 Table 1에 규정된 발수도(R0-R10)로 자동으로 표기할 수 있는 시스템을 개발하는 것에 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 발수 처리

발수 처리를 달리한 시험편의 제조에는 실험실용 Valley beater에서 400 mL CSF까지 고해한 국내 D사의 미표백 활엽수크라프트펄프를 이용하였다. 고해

Table 2. Treatment of water-repellent chemicals

(unit: % based on OD pulp weight)

	R0	R2	R4	R6	R7	R8	R9	R10
AKD	0.3	1	3	5	7	9	12	Soaking in Wax

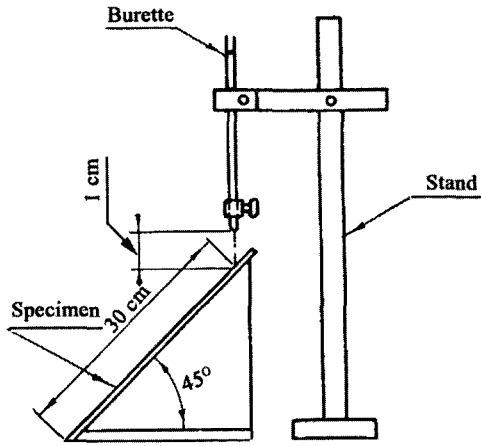


Fig. 1. Apparatus for measuring water repellency

된 펄프를 이용하여 Table 1에 나타난 발수도를 나타내도록 적정 사이즈제 혹은 발수제를 처리하여 평량 150 g/m²이 되도록 초지하였다. KS M 7057에 규정된 발수도를 얻기 위하여 Alkyl Ketene Dimer (AKD)와 석유계 왁스를 Table 2와 같은 조건으로 처리하였다.

2.2 발수도 분석

발수 처리된 포장지에 대한 발수도 분석을 위해 KS M 7057에 규정된 방법에 따라 Fig. 1과 같은 장치를 이용하였다. KS M 7057의 규정에는 시험에 사용할 액체로써 물 혹은 증류수를 사용하게 되어 있지만, 본 연구에서는 포장지와 포장지 상에서 45°의 각도로 흘러 내려간 액체의 흔적을 쉽게 구분하기 위하여 Toludine Blue를 사용하였다.

발수도 자동 측정을 위한 디지털 영상을 얻기 위해서 컴퓨터(Pentium III 866 MHz)에 연결된 디지털 카메라를 Fig. 1의 시편대에 대하여 평행으로 설치한 후 액체 투하 직후에 형성된 액체의 흔적을 촬영하여 컴퓨터로 전송하였다. 전송된 액체의 영상은 본 연구에서 개발된 자동해석시스템을 통하여 분석된 후 특정 발수도로 표기되었다.

2.3 발수도 해석의 기본 이론

발수도 자동 측정을 위한 분석 프로그램은 Pentium III 866 MHz의 컴퓨터에 설치된 Microsoft사의 Visual C++로 프로그래밍하였다. 먼저 R0-R10까지 세분화된 발수도를 인식시키기 위하여 Fig. 2와 같이 발수도

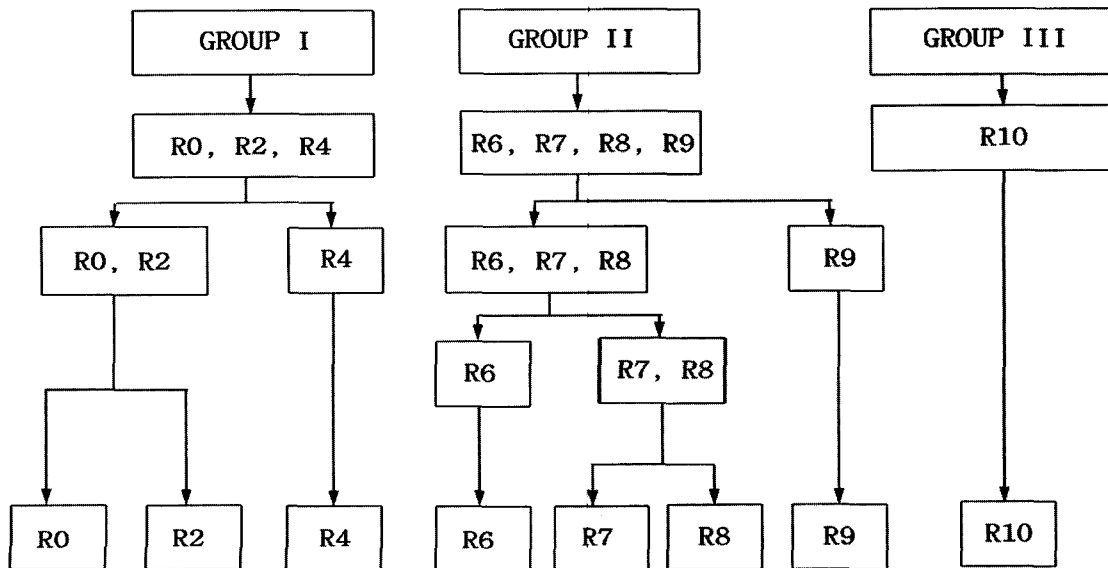


Fig. 2. Classification of water repellency degree to code the interpretation program

분석 항목을 크게 세 그룹으로 나누었다. 먼저 R10의 경우는 고도로 발수 처리된 경우이므로 액체의 흔적이 전혀 남지 않는다. 따라서 R10을 제외하고 흘러내린 액체의 흔적을 갖는 그룹들을 크게 R0, R2 및 R4를 포함하는 그룹 I과 R6, R7, R8 및 R9를 포함하는 그룹 II로 나누어 발수도를 결정하는 방법을 도입하였다. 그룹 I의 경우에는 뷰렛에서 투하된 액체의 흔적 중에서 머리와 꼬리 부분의 크기, 흘러내린 액체 흔적의 규칙성 등을 기준으로 발수도를 결정하였고, 그룹 II의 경우에는 대체로 투하된 액체의 흔적들이 끊어져서 내려가는 것을 근거로 하여 끊어진 액체 흔적들의 길이, 액체 흔적들의 분포 상태 등을 기초로 하여 발수도 측정 프로그램을 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 발수도에 따른 액체 흔적의 형상

Fig. 3은 발수 처리를 달리하여 얻어진 포장 원지에 일정량의 액적을 투하되었을 때 형성된 액체 흔적의 대표적 영상을 각 발수도 수준별로 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 발수도 처리 정도에 따라서 각 액체는 45°로 기울어진 종이 시편 상을 흘러 내려가는 형상이 각각 다르게 나타났다.

R0에서 R4까지는 액체의 흔적이 끊어지지 않고 연속적으로 흘러 내려가는 것을 볼 수 있고, R6에서 R9

Type	Images of the liquid tracks
R0	
R2	
R4	
R6	
R7	
R8	
R9	

Fig. 3. Liquid track images classified to each degree of water repellency

까지는 액체가 불규칙적으로 흘러 내려가면서 액체의 흐름이 끊어져 있었다. 이러한 형태적 특성을 기초로 하여 발수도 측정을 위한 프로그램을 구성하였다.

3.2 그룹 I 분석을 위한 알고리즘

Fig. 2에서 보는 바와 같이 그룹 I에는 R0, R2 및 R4가 포함되어 있다. 여기서 R0와 R2는 비교적 균일하게 흘러 내려가지만 R4는 흘러 내려간 흔적이 비교적 불규칙하다. 따라서 Fig. 4에서 보는 바와 같이 종이 상에 흘러 내려가는 액체의 자취에서 center line을 구한 후 Eq. [1]과 같이 이웃한 중간 값들 사이의 편차(S_d)를 구한다면 R0-R2와 R4를 구분할 수 있다.

$$S_d = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (M_i - M_{i+1})^2 \quad \text{Eq. [1]}$$

S_d = a deviation of a center line along a liquid track

N = a total number of pixels forming a center line

M = a coordinate value of a center line.

Eq. [1]을 이용하여 발수도를 구하였을 때, 실험적으로 계산된 임계 값(=0.35)을 기점으로 하여 R0-R2와 R4로 나뉜다. 즉, S_d 가 0.35 보다 크면 R4이고, S_d 가 0.35보다 작으면 R0-R2군으로 결정되었다.

R0와 R2를 구분하기 위해서는 Fig. 5와 같이 액체가 투하된 시점과 흘러 내려가는 흔적들이 형성한 폭을 비교하여 결정할 수 있다. R0은 액체가 흘러 내려

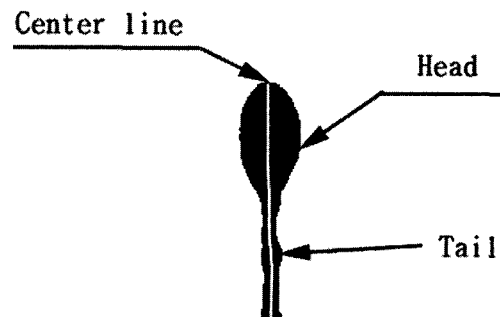


Fig. 4. The center line of a liquid track: the black area indicates a liquid track and a white line is the center line

가는 시점에 형성된 액적의 폭(이하 머리라 칭함)과 그 이하에 형성된 흔적의 폭(이하 꼬리로 칭함)이 거의 동일하지만, R2는 액체 흔적의 머리와 꼬리 사이의 폭이 차이가 나는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 따라서 아래의 Eq. [2]를 이용하여 머리와 꼬리의 폭 변이(S_{HT})를 이용하여 R0와 R2를 구분할 수 있다.

$$S_{HT} = \frac{1}{H} \sum_{i=0}^H (T_i - T_{i+1})^2 - \frac{1}{N-H} \sum_{i=H+1}^{(N-1)} (T_i - T_{i+1})^2 \quad \text{Eq. [2]}$$

S_{HT} = a width variation between head and tail

N = a total number of a width profile

H = a total number of a width profile in a head

T = a width of a liquid track.

즉, 머리와 꼬리 사이의 폭 변이의 차(S_{HT})가 작으면 발수도는 R0가 되고, 폭 변이(S_{HT})가 크면 R2가 된다. 여기서 “폭 변이가 크다 혹은 작다”를 나누는 기준이 되는 임계값은 실험적으로 1이 결정되었고, S_{HT} 가 1보다 작으면 R0, 1보다 크면 R2로 자동으로 나누어졌다.

3.3 그룹 II 분석을 위한 알고리즘

R6 이상의 발수도를 갖는 종이의 경우에는 종이 시편 상을 흘러 내려간 액체 흔적들이 연속성을 갖지 않고 불연속적으로 분리되어 나타난다. 특히 R6-R8에 해당하는 발수도는 액체가 흘러 내려간 자취 중에서 작은 액적(droplet)의 형태를 띠고는 있지만 발수 처리의 정도에 따라서 액체가 흘러 내려가는 시점에 형성된 액적의 길이가 상이하게 나타났다.

R6는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 R7-R8에 비해서 액적의 길이가 비교적 길게 형성되기 때문에 이러한



Fig. 5. Definition of the width variation between head and tail of a liquid track

액적의 길이를 비교하여 R6, R7, R8을 구분하였다. 즉, Eq. [3]과 같이 액체 흔적의 총 길이(L_T)에 대한 가장 긴 액적 길이(L_{MAX})와의 비(L_{ST})를 구하고, 이 때 $L_{ST} \geq 0.4$ 이면 R6, $0.2 \leq L_{ST} < 0.4$ 이면 R7, 그리고 $L_{ST} < 0.2$ 이면 R8로 구분한다. 이는 발수 처리가 강하게 될수록 종이 위를 흘러 내려가는 액적의 길이가 작아지면서 매우 작은 액적의 형태로 변형되는 것에 근거한다.

$$L_{ST} = \frac{L_{MAX}}{L_T} \quad \text{Eq. [3]}$$

R9는 Eq. [4]와 같이 종이 위를 흘러 내려간 상대적으로 긴 액적의 길이(L_i)를 누적한 값과 액체 흔적의 총 길이(L_T)와의 비(L_{ler})를 구하여 결정하였다. 여기서 긴 개체를 구분하는 기준은 각 액적이 갖는 장축과 단축의 길이 비, 즉 편심율(eccentricity)을 구하고, 각 개체의 편심율(E_i)이 특정 상수값(C)보다 큰 액적들만 그 길이(L_i)를 누적하여 액체 흔적의 총 길이에 대한 비(L_{ler})를 계산하였다.

$$L_{ler} = \frac{\sum_{i=0}^n L_i}{L_T} \quad \text{only if, } E_i = \frac{A_{major}}{A_{minor}} > C \quad \text{Eq. [4]}$$

L_{ler} = the ratio of the cumulative length of long traces to the total track length

L_T = the total track length

E_i = eccentricity of liquid traces

A_{major} = the length of a major axis

A_{minor} = the length of a minor axis

여기서 $L_{ler} \geq 0.1$ 이면 발수도는 R6-R8 중의 하나에 해당하고, 0.1보다 작으면 R9으로 결정된다.

3.4 KS M 7057과 자동분석시스템과의 비교

발수도 측정을 위한 알고리즘을 구축하여 프로그램을 구성하였고, 이러한 프로그램 내에는 Fig. 1과 같이 설치된 장치에서 만들어진 발수도 측정용 시편 영상들을 자동으로 캡처(capture)하여 특정 발수도로 나타내는 프로그램을 모두 포함시켰다. 시편 상에 시험용 잉크를 떨어뜨린 후 영상 캡처, 발수도 분석에 이르기까지 소요되는 시간은 약 30~60초 정도에 불과하였다. 이는 KS M 7057에 규정된 방법에 따라 측정자의 육안으로 발수도를 판단하는데 걸리는 시간인 약 20초 정도인데 비해 그다지 많은 시간은 아니다.

그러나 측정자의 육안에 의존한 방법은 종이 시편 상을 흘러 내려간 액적의 형상을 판별하는데 주관이

개입될 수 있는 여지가 충분히 내재되어 있지만, 본 연구에 의해 개발된 자동 측정법은 R0에서 R10에 이르기까지 정해진 알고리즘에 따라 특정 발수도를 나타내기 때문에 발수도 측정 시 개입될 수 있는 평가자 주관에 의한 측정 오류를 배제시킬 수 있었다.

4. 결론

KS M 7057에 규정된 종이 및 판지의 발수도 측정법은 측정자의 주관에 따라 잘못된 발수도를 표기할 수 있는 가능성을 내재하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 R0-R10으로 나누어진 발수도에 따라 액체 흔적의 형상이 달라진다는 점에 착안하여 자동으로 발수도를 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 일정 경사를 따라서 흘러 내려간 액체 흔적의 형상 중에서 머리와 꼬리 사이의 폭(S_{HP}), 액체 흐름의 균일성(S_d), 액체 흔적 중 긴 액적의 길이(L_{ST}), 액적의 장축과 단축의 편심율(E_d) 등을 비교하여 각각의 발수도를 빠른 시간 내에 분석하기 위하여 수학적 알고리즘을 적용하였다. 이러한 알고리즘에 기초한 자동 발수도 분석 프로그램은 KS M 7057에 근거하여 종이 및 판지의 발수 특성을 평가하는데 있어서 매우 객관화된 분석을 가능하게 하였다.

인용문헌

1. KS M 7057, Testing method for water repellency of paper and paperboard.
2. JIS P 8137, Testing method of repellency of paper and paperboard (nullification in 1998).
3. Otsu, N., A Threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9: 62-66 (1979).
4. Ray, B. K. and Ray, K. S., Corner detection using iterative gaussian smoothing with constant window size, Pattern Recognition, 28(11): 1765-1781 (1995).
5. Li, J. C. and Schenk, A. F., Aerial Image Matching Using ψ -S Representation, Project Report No. 1 in Photogrammetry, Dept. of Geodetic Science, OSU (1989).
6. Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D., Snake: Active Contour Models, IJCV: 321-331 (1988).
7. Geiger, D., Gupta, A., Costa, L. A. and Vlontzos, J., Dynamic Programming for Detecting, Tracking and Matching Deformable Contours, IEEE Trans. on PAMI, 17(3): 284-302 (1995).