

종이 평량의 차이에 따른 자동 사이즈도 측정 시스템의 신뢰성 평가

이지영¹ · 김철환[†] · 이지영² · 남혜경 · 이경선 · 조후승 · 박형훈
접수일(2014년 5월 8일), 수정일(2014년 5월 20일), 채택일(2014년 5월 21일)

Evaluation of Reliability of Automatic System for Measuring Sizing Degree by Basis Weight Variation of Paper

Ji-Young Lee¹, Chul-Hwan Kim[†], Ji-Young Lee², Hye-Gyeong Nam, Gyeong-Sun Lee, Hu-Seung Jo and Hyung-Hun Park

Received May 8, 2014; Received in revised form May 20, 2014; Accepted May 21, 2014

ABSTRACT

Reliability of the novel automatic system capable of measuring both Stöckigt sizing degree and contact angle at a time was evaluated through the calculation of its repeatability and reproducibility based on TAPPI Standard Method T 1200. As the basis weight of paper specimen increased, the repeatability and reproducibility of the automatic system became more improved than those from Hercules sizing test and contact angle test designated on TAPPI Standard Method T 530 and T 558. The more improved repeatability and reproducibility implies that a single tester can obtain the similar results under similar test conditions in spite of repetitive testing using the automatic system, and likewise that multiple testers can respectively reproduce similar data without big variation from the same paper specimen using the automatic system. In conclusion, this study is greatly meaningful in having developed the world's first automatic system to measure both Stöckigt sizing degree and contact angle simultaneously with excellent repeatability and reproducibility.

Keywords : *Stöckigt sizing test, contact angle, Hercules sizing test, repeatability, reproducibility*

• 경상대학교 환경재료과학과/IALS (Dept. of Env. Material Sci./IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

1 경상대학교 환경재료과학과/IALS, 부교수 (Associate Professor)

2 대학원생, 경상대학교 임산공학과(Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

† 교신저자(Corresponding author) E-mail : jameskim@gnu.ac.kr

1. 서론

종이는 친수성 천연 고분자인 셀룰로오스 섬유로 만들어진다. 따라서 종이와 갖는 친수성 성질을 내수성 성질을 갖는 소재로 변환시키기 위해서는 로진, AKD, ASA 등과 같이 사이즈제라 불리는 낮은 에너지를 갖는 약품들을 처리한다. 사이징을 하는 목적은 사이즈 프레스나 도공과 같은 가공공정에서 액체의 침투 속도를 조절하고, 인쇄공정에서 액체 흡수나 습윤 속도를 조절하고, 마지막으로 우유 팩 원지, 포장지, 벽지 등과 같이 많은 지중에 내수성을 부여하기 위한 것이다.¹⁾ 따라서 첨가된 사이즈제의 종류, 양, 처리 방법 등에 따라 종이의 사이징 발현 정도에 차이가 있는데 이를 정량적으로 평가하는 것은 매우 중요하다.

종이나 판지의 사이즈도를 정량적으로 측정하는 방법에는 여러 가지가 있는데 주로 많이 사용되는 방식은 콥 사이즈도 측정법, 허쿨리스 사이즈도 측정법, 스테키히트 사이즈도 측정법, 접촉각 측정법 등이 있다.²⁾ 이들 측정 방법들은 액체 침투 거동, 액체 흡수 특성, 종이 표면에서의 액체 거동 등에 따라서 적절하게 사용되어야 하지만 액체 흡수 및 침투 거동과 액체 표면 거동을 동시에 평가하는 것은 불가능하고 두 개 이상의 측정기기를 사용하여 별도의 측정값을 얻은 후 그 거동을 유추하여야 한다. 따라서 액체 침투 특성과 액체의 표면 거동을 동시에 측정할 수 있는 측정기기가 사용된다면 종이의 내수 특성을 보다 더 정확하고 빠르게 평가할 수 있을 것이다.

현재까지 사용되고 있는 측정 방식들은 단점을 포함하고 있다. 허쿨리스 사이즈도 측정법은 액체의 침투에 대한 종이 저항성을 측정하는 방식인데 formic acid의 사용으로 인하여 중성 초지된 종이에서 CaCO_3 이 갖는 Ca^{2+} 이온의 용해가 발생하여 정확한 사이즈도 측정을 어렵게 한다.^{3,4)} TAPPI Useful Method 429에 규정된 스테키히트 사이즈도 측정법은 FeCl_3 (II)와

NH_4SCN 사이의 반응에 의해 생성되는 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 의 적갈색이 완전하게 발색되는 시간으로 나타내는데 측정자별로 적갈색 인지 시점에 차이가 나고, FeCl_3 (II)의 투하량, 투하 높이 등이 차이가 나기 때문에 재현성 있는 사이즈도의 측정이 어렵다.^{5,6)} 그리고 콥 사이즈도 측정법은 고평량 지종의 사이즈도 측정에 많이 사용되지만⁷⁾ 강사이징 혹은 약사이징된 종이에 있어서 민감한 차이를 보여주지 못한다.⁸⁾

본 연구에서는 현재 사용 중인 사이즈도 측정법의 단점을 보완하면서 액체 침투 거동과 표면 거동을 동시에 평가할 수 있는 새로운 사이즈도 자동측정방법을 개발한 후⁹⁾ 상이한 평량을 갖는 종이에서 신뢰성 있는 사이즈도 및 접촉각 측정이 가능한 지를 분석하고자 하였다. 또한 이를 토대로 사이즈도와 접촉각을 측정하는데 있어서 자동측정시스템의 적절성을 분석하기 위한 반복성 계산과, 복수의 사용자가 자동측정시스템을 통하여 측정한 사이즈도와 접촉각 결과 값의 변이를 계산하여 재현성을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

침엽수 표백크라프트 펄프와 활엽수 표백크라프트 펄프를 ISO 5264-1에 근거하여 실험실용 Valley beater를 이용하여 각각 여수도 350 mL CSF로 고해한 후 3:7로 혼합하였다. 고해 후 혼합된 지료는 Table 1의 조건과 같이 지료를 조성한 후 실험실용 사각 수초지기를 이용하여 ISO 5269-1에 기초하여 평량 40, 60, 80, 100, 200 g/m^2 , 크기 25×25 cm의 수초지를 제조하였다. 사이징은 중성사이즈제인 Alkyl ketene dimer (AKD)를 각 평량별로 펄프 전건 중량에 대하여 0-1.0% 첨가하였고, 정착제로는 양이온성 전분 (cationic starch)을 사용하였다.

Table 1. Stock preparation condition

Pulp	Softwood BKP : Hardwood BKP = 3:7					
Basis weight (g/m^2)	40, 60, 80, 100, 200					
Beating (mL CSF)	350 mL CSF					
Cationic starch	0.4% based on OD pulp weight					
AKD(%)*	blank	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

* Based on OD pulp weight

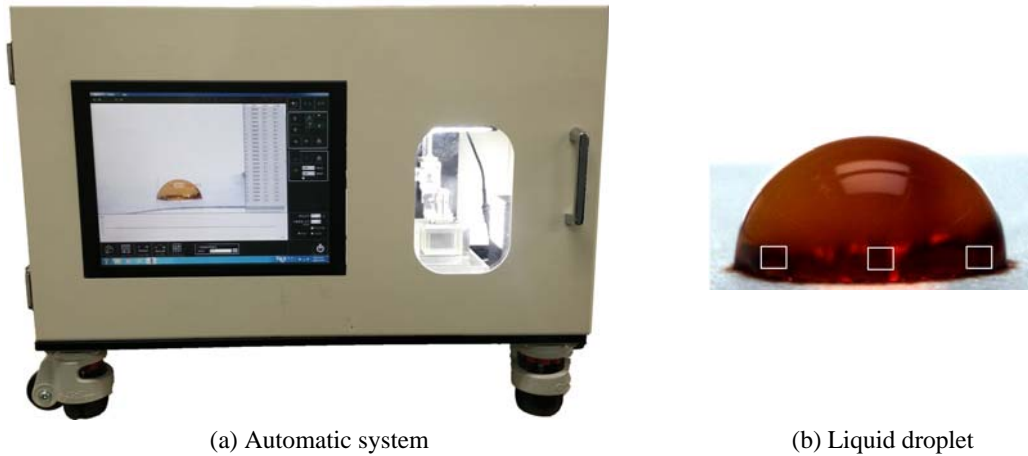


Fig. 1. Automatic system for measuring sizing degree and contact angle simultaneously, and liquid droplet with three spots for calculating mean hue values.

Table 2. Calculation of repeatability and reproducibility from an intra- and interlaboratory study

Repeatability for intra-lab analysis	Repeatability and reproducibility for inter-lab analysis
<p>x = test results n = the number of results \bar{x} = the average of test results S_x = the standard deviation of test results r = repeatability $\%r$ = repeatability ratio</p>	<p>x = test results n = the number of results \bar{x} = the average of test results $\bar{\bar{x}}$ = grand material mean p = the number of laboratory material mean S_x = the standard deviation of test results S_p = the materials standard deviation S_r = repeatability standard deviation S_R = reproducibility standard deviation r = repeatability R = reproducibility $\%r$ = repeatability ratio $\%R$ = reproducibility ratio</p>
<p>$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ $S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$ $S_r = S_x$ $r = (2.77)S_r$ $\%r = 100(r/\bar{x})$</p>	<p>$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ $S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$ $\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}}{p}$ $S_x = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - \bar{\bar{x}})^2}{(p-1)}}$ $S_p = \sqrt{\frac{\sum S_x^2}{p}}$ $S_r = S_p$ $S_R = \sqrt{\frac{S_x^2 + S_p^2(n-1)}{n}}$ $r = (2.77)S_r$ $\%r = 100(r/\bar{\bar{x}})$ $R = (2.77)S_R$ $\%R = 100(S_R/\bar{\bar{x}})$</p>

2.2 사이즈도와 접촉각 측정

각 평량별 시편에 대하여 실험실 내 (intra-lab), 그리고 실험실 간 (inter-lab) 사이즈도와 접촉각을 새로이 개발한 자동측정시스템(Fig. 1의 (a) 참조)을 이용하여 측정하였다. 사이즈도는 hue 값이 20이 될 때까지 소요된 시간을 측정하였고 이와 함께 접촉각도 동시에 측정하였다. 사이즈도 측정 시에는 종이 시편 상에 형성된 약 18.5 mg의 3% FeCl₃ (II) 액적 상에 세 지점을 정한 후 그 세 지점이 갖는 hue 값들의 평균값을 자동으로 계산한 후 경시적으로 기록하였다 (Fig. 1의 b 참조). 3% FeCl₃ (II)와 반응하는 NH₄SCN의 농도는 2%로 고정하였고, 2.8×2.8 cm 크기의 시편을 시편 거치대에 올려 놓은 후 자동측정시스템 상의 시작 버튼을 누름과 동시에 실험 종점에 도달할 때까지 사이즈도와 접촉각 측정이 자동으로 이루어진다. 사이즈도와 접촉각의 측정은

각 조건별로 네 명의 측정자에 의해 열 번 반복 측정된 평균값을 기록하여 반복성과 재현성을 계산하였다.

2.3 사이즈도와 접촉각의 반복성과 재현성 계산

각 평량별 사이즈도와 접촉각의 반복성과 재현성을 계산하기 위해서 TAPPI Standard T 1200에 근거하여 Table 1의 식을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험실내, 그리고 실험실간 평량 차이에 따른 사이즈도와 접촉각 분석

동일한 실험 공간 내에 설치한 사이즈도 및 접촉각 자동측정시스템을 이용하여 상이한 평량을 갖는 종이

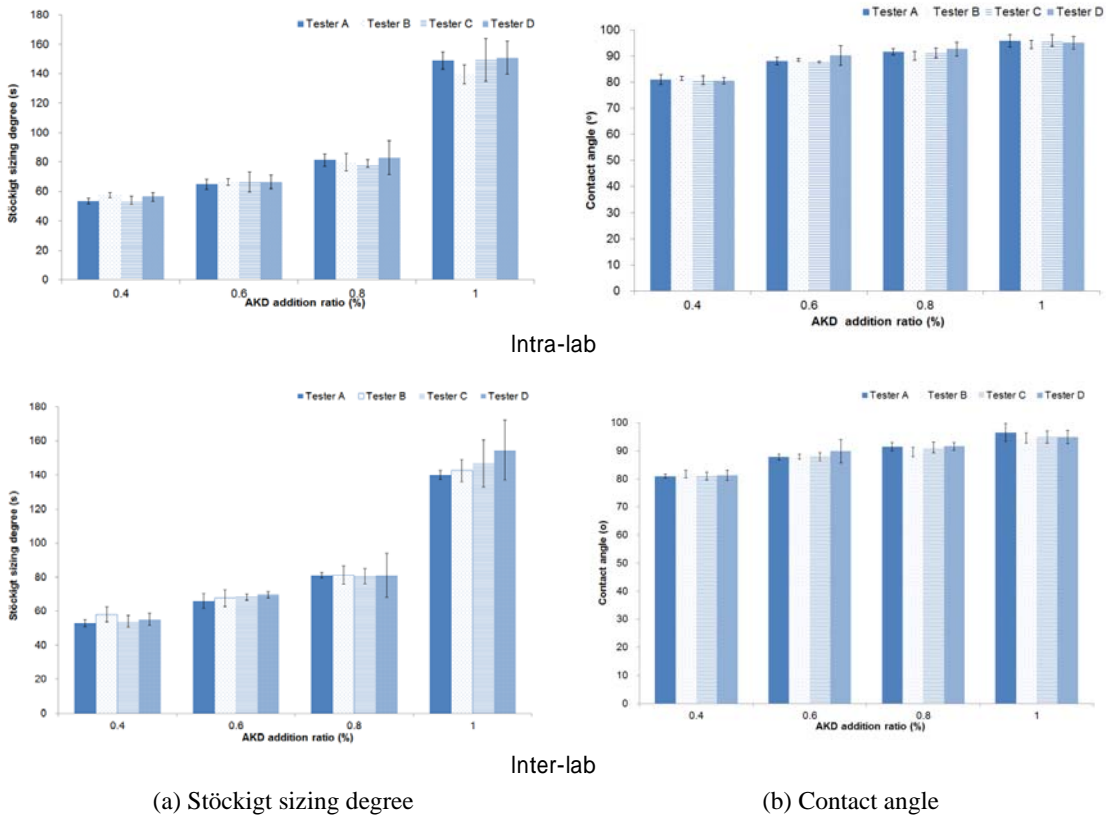


Fig. 2. Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 40 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.

에 대한 값들을 측정하였다. Fig. 2는 평량 40 g/m²를 갖는 종이의 실험실 내, 그리고 실험실간 사이즈도와 접촉각을 측정된 결과이다. 실험실내 측정과 실험실간 측정에 관계없이 각 AKD 첨가량별로 4명의 측정자가 거의 유사한 사이즈도와 접촉각을 얻을 수 있었다. 이것은 사이즈도 자동측정시스템을 통하여 상이한 측정자나 상이한 측정 장소에도 불구하고 동일 조건의 시편에 대하여 재현성 있는 측정 결과를 얻을 수 있음을 의미한다.

Fig. 3은 평량 60 g/m²를 갖는 종이의 실험실 내, 그리고 실험실간 사이즈도와 접촉각을 측정된 결과이다. 앞서 본 평량 40 g/m²의 결과와 마찬가지로 측정자별로, 그리고 상이한 실험실별로 각 AKD 첨가량에 대하여 재현성 있는 결과가 얻어졌다. 특히 평량 40 g/m²를 갖는 종이의 사이즈도와는 달리 평량 60 g/m²의 종이는 동일한 AKD 첨가량에 대하여 발색 중점까지 더 많

은 시간이 소요되었다. 이는 평량이 증가하면서 AKD와 결합할 수 있는 셀룰로오스 분자의 수가 증가하여 섬유 네트워크 내 AKD의 보류가 늘어난 것에서 그 원인을 찾을 수 있다. 반면에 액체의 침투 특성을 평가하는 사이즈도 측정 방식과는 달리 종이의 표면에서의 발수 특성을 평가하는 접촉각 측정 방식은 실험실내, 그리고 실험실간 평량의 차이에 따른 변이를 확인하기가 어려웠다.

Fig. 4는 평량 80 g/m²를 갖는 종이의 실험실 내, 그리고 실험실간 사이즈도와 접촉각을 측정된 결과이다. 앞서의 결과와 마찬가지로 동일 시편에 대하여 4명의 실험자가 동일한 실험실 내에서 측정된 사이즈도와 접촉각 모두 유사한 결과를 나타내었으며, 자동측정시스템을 다른 실험실로 옮겨 측정된 결과 역시 동일 조건의 시편에 대하여 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 사이즈도의 경우에는 평량 60 g/m²의 결과보다 더 큰 값을

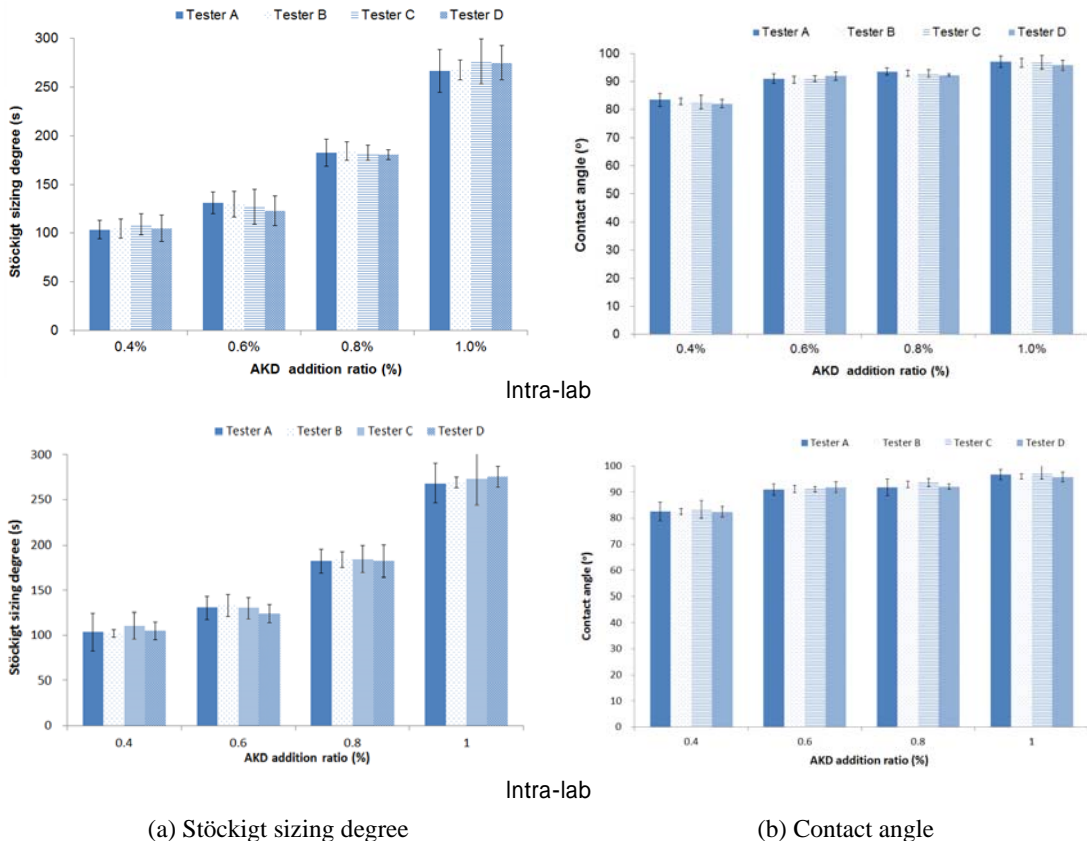
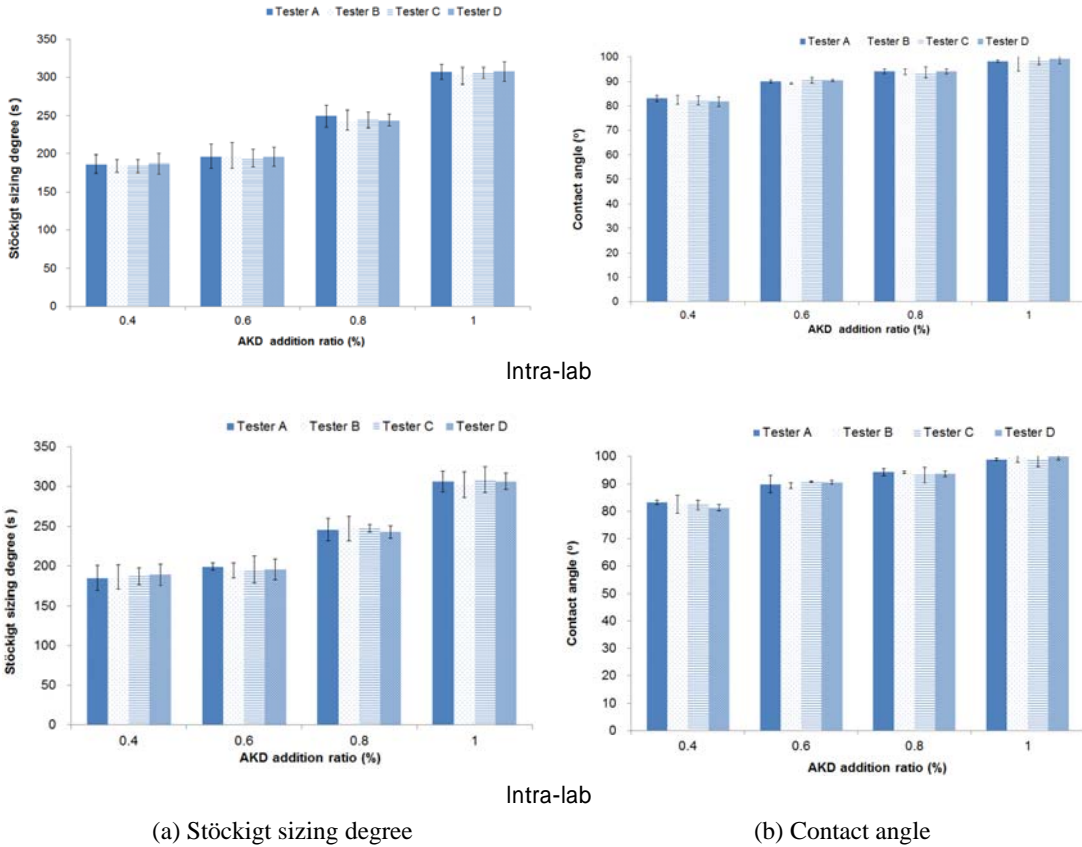


Fig. 3. Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 60 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.



(a) Stöckigt sizing degree

(b) Contact angle

Fig. 4. Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 80 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.

나타내어 평량의 증가에 따른 사이즈도의 증가를 확인할 수 있었다. 반면에 접촉각의 경우에는 실험실내, 그리고 실험실간 평량의 차이가 거의 나타나지 않았다.

3.2 실험실내, 그리고 실험실간 평량 차이에 따른 반복성 및 재현성 분석

Fig. 5는 스테키히트 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 수 있는 자동측정시스템을 이용하여 평량 40 g/m² 종이의 실험실내, 그리고 실험실간 데이터를 측정 한 후 이를 근거로 계산한 반복성과 재현성을 비교한 그래프이다. Fig. 5의 (a)에서 보는 바와 같이 AKD 사이즈제의 첨가량별로 반복성의 차이는 있지만 사이즈도의 경우 동일한 조건 하에서 대체로 11%미만의 반복성을 나타내었다. 보통 반복성이라 함은 동일한 조건 하에서 동일한 시편을 하나의 측정기기로 여러 번 측정

하였을 때 얻어지는 측정값의 변이를 의미한다. 이것은 측정기기 자체의 변동을 의미하는데 측정기기의 적절성을 평가하는데 사용되고 있다. 따라서 반복성이 낮을수록 측정기기의 신뢰성이 더 높아진다. 참고로 TAPPI Standard Method T 530에 근거하여 인쇄용지 지종에 대한 허쿨리스 사이즈도 측정기기의 반복성은 26%로 자동측정시스템의 반복성에 비해서 그 변동이 2배 이상 크다. 이것은 허쿨리스 사이즈도 측정기기와 유사한 측정 원리를 이용하는 자동측정시스템이 측정기기의 변동이 훨씬 적고 보다 더 안정적임을 의미한다. 자동측정시스템으로 측정 한 접촉각의 경우에는 반복성이 4% 미만으로 매우 낮다. TAPPI Standard Method T 558에 근거한 자동접촉각측정시스템의 반복성은 7%이다. 본 연구에서 이용된 자동측정시스템의 접촉각 측정 방법이 동일 시편에 대하여 측정기기로

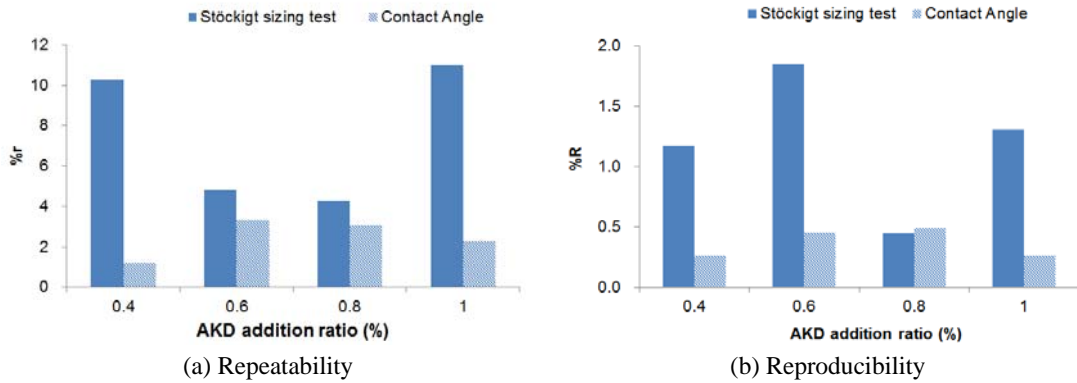


Fig. 5. Repeatability and reproducibility of the automatic system to measure both Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 40 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.

인한 변동이 훨씬 적음을 의미한다.

Fig. 5의 (b)는 사이즈도와 접촉각의 재현성을 나타낸 결과이다. 재현성은 동일 시편의 동일 특성을 하나의 측정기기로 여러 명의 측정자가 측정하였을 때 측정자 간에 나타날 수 있는 측정치의 변동을 보여준다. 따라서 동일한 시편에 대하여 측정자들에 의한 측정값의 변이가 클수록 재현성은 떨어진다고 말할 수 있다. 자동측정시스템으로 측정한 사이즈도의 재현성은 2% 미만으로 매우 우수한 재현성을 나타내었다. TAPPI Standard Method T 530에 근거하여 인쇄용지 지중에 대하여 측정된 허큘리스 사이즈도 측정기기의 재현성은 36%로 본 연구에 사용된 자동측정시스템보다 13배 이상 크게 나왔다. 자동측정시스템으로 측정된 접촉각

의 재현성은 0.5% 미만으로 매우 높다. 참고로 TAPPI Standard Method T 558에 근거한 자동접촉각측정시스템의 재현성은 13%이다.

Fig. 6은 스테키히트 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 수 있는 자동측정시스템을 이용하여 평량 60 g/m² 종이의 실험실내, 그리고 실험실간 데이터를 측정 후 이를 근거로 계산한 반복성과 재현성을 비교한 그래프이다. Fig. 6의 (a)에서 보는 바와 같이 자동측정시스템으로 측정한 사이즈도의 반복성이 6% 이하이고, 접촉각의 반복성은 4% 미만이다. 사이즈도의 경우 종이 평량이 40 g/m²일 때보다 반복성이 더 감소하였고, 접촉각의 경우에는 평량 차이에 따른 반복성의 변이가 크지 않았다. 결국 다양한 조건에서 종이 내부로

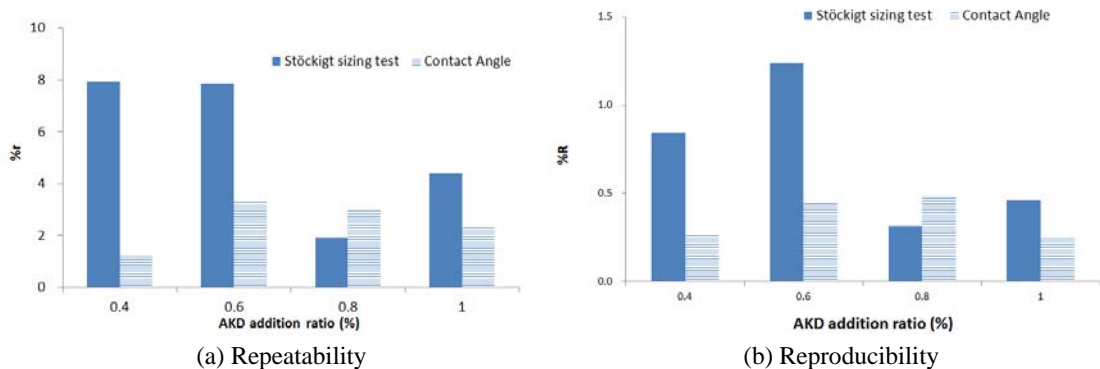


Fig. 6. Repeatability and reproducibility of the automatic system to measure both Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 60 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.

액체의 침투 특성을 분석하는데 있어서 새로이 개발된 자동측정시스템을 통하여 측정값의 변이가 적은 신뢰할만한 데이터를 얻을 수 있음을 나타내는 것이다. Fig. 6의 (b)는 사이즈도와 접촉각의 재현성을 보여주는데, 사이즈도의 재현성은 1.3% 이하이고 접촉각의 재현성은 0.5% 미만이다. 평량이 60 g/m²일 때 자동측정시스템의 값 재현성은 보다 더 향상되어 종이의 내수성을 판단하는데 있어서 신뢰할 만한 분석 도구로 이용할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 기존의 종이 내수성 분석 도구인 허쿨리스 사이즈도 측정 기기와 접촉각자동측정기보다 보다 더 신뢰할만한 분석도구로 이용될 수 있음을 의미하는 것이다.

Fig. 7은 스테키히트 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 수 있는 자동측정시스템을 이용하여 평량 80 g/m² 종이의 실험실내, 그리고 실험실간 데이터를 측정 후 이를 근거로 계산한 반복성과 재현성을 비교한 그래프이다. Fig. 7의 (a)에서 보는 바와 같이 자동측정시스템으로 측정한 사이즈도의 반복성이 3% 이하이고, 접촉각의 반복성은 2.5% 미만이다. 평량 60 g/m²일 때보다 반복성의 값이 더 감소하여 동일 시편에 대하여 결과 값의 변이가 훨씬 더 적은 내수성 지표를 얻을 수 있게 되었다. 즉, 반복성의 개선을 통하여 동일한 조건 하에서 동일한 시편에 대하여 동일한 측정기기를 이용하여 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 지라도 각각의 결과 값에 대한 변이가 훨씬 줄어든 결과 값의 확보가 가능함을 의미한다. Fig. 7의 (b)에서 보는 바와 같이 자동측정시스템으로 측정한 사이즈도의 재현성

은 1% 미만이고 접촉각의 재현성은 0.3% 이하이다. 복수의 측정자가 동일한 측정기기를 이용하여 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정하였을 때 각 측정자들이 얻은 사이즈도와 접촉각 사이가 변이가 거의 없음을 보여주는 결과이다. 이는 평량 60 g/m²일 때보다 더 개선된 재현성의 결과라 할 수 있다.

결론적으로 스테키히트 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 수 있도록 개발된 자동측정시스템은 동일한 조건 하에서 동일한 실험자가 하나의 측정기기를 가지고 반복 측정하였을 때 결과 값의 변이가 매우 작게 나타났다, 특히 종이의 평량이 높아지면서 보다 더 개선된 반복성을 갖게 되었다. 또한 복수의 측정자들이 동일한 조건 하에서 동일한 시편에 대하여 자동측정시스템으로 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정하였을 때 각 측정자별로 얻어진 사이즈도와 접촉각의 변이가 매우 개선된 재현성을 얻을 수 있었다. 앞서 언급한 바와 같이 TAPPI Useful Method 429에 규정된 스테키히트 사이즈도 측정법은 분석의 중점을 인식하는데 있어서 측정자의 주관이 강하게 개입될 수 있기 때문에 신뢰할만한 분석법으로 자리매김할 수 없었다. 하지만 스테키히트 사이즈도 측정법의 기본 원리를 도입하여 자동화시킨 측정시스템의 경우에는 측정자에 의해 일어날 수 있는 모든 주관적 요인을 배제하였기 때문에 반복성과 재현성이 기존 허쿨리스 사이즈도 시험법보다 훨씬 더 개선된 측정시스템으로 이용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 사이즈도와 동시에 측정되는 접촉각의 경우에도 종이의 표면발수특성, 젖음 등을 이해하는데

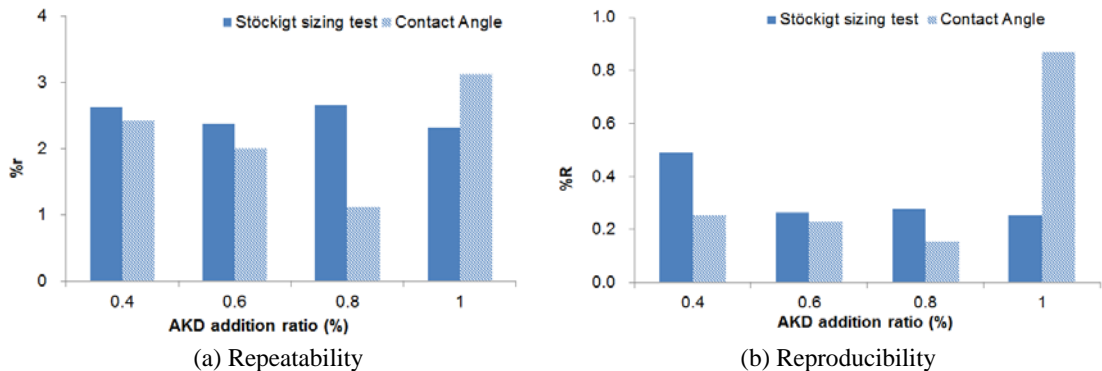


Fig. 7. Repeatability and reproducibility of the automatic system to measure both Stöckigt sizing degree and contact angle of paper with a grammage of 80 g/m² from an intra- and inter-lab analysis.

있어서 중요한 정보를 제공¹⁰⁾할 뿐만 아니라 반복성과 재현성 측면에서 보다 더 개선된 시스템임을 확인할 수 있었기 때문에 종이의 내수성을 평가하는데 있어서 중요한 측정기기로 이용될 수 있을 것이다. 따라서 새로이 개발된 자동측정시스템은 종이 내부로의 액체 침투 특성과 종이 표면에서의 액체 거동, 젖음 등을 동시에 분석할 수 있는 신뢰할 만한 자동측정도구로 이용될 수 있다.

4. 결론

스테키히트 사이즈도와 접촉각을 동시에 측정할 수 있는 자동측정시스템을 개발하여 TAPPI Standard Method T 1200에 근거하여 반복성과 재현성을 분석하였다. 종이의 평량이 증가하면서 반복성과 재현성은 더 많이 향상되었고, TAPPI Standard T 530과 T 558에 규정된 허큘리스 사이즈도와 접촉각 측정법의 반복성과 재현성보다도 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 새로운 자동측정법의 반복성과 재현성이 우수하다는 것은 유사한 조건의 시편에 대하여 유사한 결과를 얻을 수 있는 가능성이 크고, 복수의 측정자가 측정하더라도 변이가 적은 결과 값을 얻을 수 있음을 의미한다. 결론적으로 본 연구에서 종이 내부로의 액체 침투 특성을 예측할 수 있는 스테키히트 사이즈도와 종이 표면의 발수 특성 혹은 젖음 특성을 예측할 수 있는 접촉각을 우수한 반복성과 재현성으로 동시에 측정할 수 있는 기기가 세계 최초로 개발되었다는 점에서 매우 의미 있는 연구 결과라 할 수 있다.

사 사

이 연구는 2011년도 교육과학기술부 산하 한국연구재단의 지원(No.2011-0012469)을 받아 수행된 연구

입니다.

Literature cited

1. Gess, J.M. and Rodriguez, J.M., The Sizing of Paper, 3rd edition, TAPPI Press, Atlanta, 2005.
2. Neimo, L., Chapter 7. Internal Sizing of Paper, a Series of Papermaking Science and Technology, Vol.4: 150-203(1999).
3. Neimo, L., Measurement of the hydrophobicity of paper, Paper Science Centre Communication No. 61, KCL, Finland: 45(1994).
4. TAPPI Standard Method T 530, Size Test for paper by ink resistance (Hercules-type method), TAPPI Press, 1996.
5. TAPPI Useful Method UM 429, Sizing of Paper (Thiocyanate Flotation), TAPPI Press, 1991.
6. Song, D.B., Kim, C.H., Kim, J.O., Byeon, H.S., and Moon, S.O., Automatic Stöckigt sizing test using an automatic recognition principle of colour expression, APPITA Jr. 59(5): 396-400(2006).
7. TAPPI Standard Method T 441, Water absorptiveness of sized (non-bibulous) paper and paperboard (Cobb test), TAPPI Press, 1996.
8. Kumler, R.W., Testing paper and board for sizing, in The Sizing of Paper (W.F. Reynolds, Ed.) TAPPI PRESS, Atlanta: 103(1989).
9. Lee, J-Y, Kim, G-C, Kim, C-H, Sheikh, M.I., Park, H-J, Kim, S-H, Sim, S-W, and Cho, H-S, Automated Test Method of Sizing Degree by Analysis of Liquid Penetration and its Surface Behavior, Jr. of KTAPPI 44(2): 18-28(2012).
10. Yuan, Y. and Lee, T.R., Chapter 1. Contact Angle and Wetting Properties in Surface Science Techniques (Bracco, G. and Holst, B. Ed.), Springer: 1-34(2013).