

국내 유통 티슈 제품의 물 풀림 특성 평가

박나영¹, 이지은¹, 유선화², 우관수³, 김형진^{4†}

접수일(2021년 7월 13일), 수정일(2021년 8월 6일), 채택일(2021년 8월 9일)

Evaluation of the Disintegration in Water of Tissue Papers Distributed in Korea

Na Young Park¹, Ji Eun Lee¹, Sun Hwa Ryu², Kwan Soo Woo³, Hyung Jin Kim^{4†}

Received July 13, 2021; Received in revised form August 6, 2021; Accepted August 9, 2021

ABSTRACT

In this study, water disintegration was evaluated according to ISO 12625-17 for a total of 51 types of tissue products, primarily bathroom tissue distributed in Korea. Moreover, the strength, surface, and softness properties of tissue were measured to investigate the effect of each property on the water disintegration of tissue. As a result of the water disintegration of bathroom tissue distributed in Korea, most products showed 100% disintegration within 30 s, and all of them showed 100% disintegration except for D8 ($P_{600} = 94.5\%$) in the 600 s test. The water disintegration results of facial tissue, paper towel, travel tissue, and hanky tissue were very low. Therefore, it is difficult to determine if the quality of the bathroom tissue is the reason for the clogging issue. As a result of mechanical, surface, and softness, it was found that wet strength, loss of strength, surface roughness and friction, and surface softness affect water disintegration. The results of this study are expected to solve user confusion, to be used as a basis for the management of sewage systems, and to be used as data for the development of tissue products with excellent water disintegration.

1 국민대학교 과학기술대학 임산생명공학과(Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea), 학생

2 국립산림과학원 임산자원이용연구부 목재산업연구과(Div. of Wood Industry, Dept. of Forest Products and Industry, National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Republic of Korea), 연구사

3 국립산림과학원 임산자원이용연구부 목재산업연구과(Div. of Wood Industry, Dept. of Forest Products and Industry, National Institute of Forest Science, Seoul, 02455, Republic of Korea), 연구관

4 국민대학교 과학기술대학 임산생명공학과(Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin University, Seoul, 02707, Republic of Korea), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: hyjikim@kookmin.ac.kr (Address: Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin Univ., Seoul, 02707, Republic of Korea)

Keywords: Disintegration, bathroom tissue, tissue product, strength, surface property, softness

1. 서론

위생용지는 오염물질을 닦아낼 목적으로 사용되는 박엽지의 일종으로 화장실용 화장지, 미용 화장지, 페이퍼타올, 냅킨, AFH (Away-from-home) 등의 티슈 제품으로 분류할 수 있다.¹⁾ 최근 위생에 대한 관심이 증가함에 따라 용도에 맞게 적절한 위생용지를 구분하여 사용하는 등 위생용지 사용법에 대한 인식이 크게 개선되었으며, 위생용지를 사용한 후에 처리하는 방법에 대한 인식 또한 변화되고 있다. 특히 화장실용 화장지의 경우 과거에는 화장실 대변기 옆에 휴지통을 비치하여 사용한 화장지를 휴지통에 버리도록 하는 것이 대부분이었으나 이러한 처리 방법은 미관상 좋지 않을 뿐더러 오랜 시간 방치 시 악취 및 해충 발생, 세균 전염 등의 이유로 위생에 좋지 않다고 인식되고 있다. 이러한 인식이 확산되자 행정안전부에서는 2018년 1월 1일부터 공중화장실의 휴지 등을 없애도록 공중화장실 등에 관한 법률을 개정하였다. 공중화장실 등에 관한 법률 시행령 제7조(공중화장실의 관리기준) 제3호에서는 대변기 칸막이 안에는 휴지통을 두지 않도록 규정하고 있다. 이에 따라 사용한 휴지는 휴지통이 아닌 대변기에 버려 처리하는 방법이 정착해가고 있으며, 공중화장실뿐 아니라 민간화장실에서도 이러한 방법이 정착되고 있다. 그러나 화장실용 화장지를 대변기에 버려 처리하면 화장지가 물에 충분히 풀리지 않아 변기 또는 배관 막힘을 유발한다는 인식도 여전히 공존하고 있으며 많은 사람들이 이용하는 식당, 카페, 빌딩 등의 민간 운영 화장실에서는 대변기 칸막이 안에 휴지통을 비치하고 있는 사례가 여전히 많아 화장실용 화장지를 처리하는 방법에 대해 사용자들의 혼란을 초래하는 경우가 다수 발생하고 있다. 이에 국내 유통 화장실용 화장지의 물 풀림 특성 분석을 통해 사용한 화장실용 화장지의 적절한 처리 방식을 제시하기 위한 기반 자료를 마련하여 사용자의 혼란을 해소해야 할 필요가 있다.

한편, 화장실용 화장지 등 물에 버릴 수 있는 제품들(Flushable consumer products, FCPs)의 물 풀림 특성은 하수처리 시스템에서도 매우 중요하다. 화장실용 화

장지와 같은 FCP는 하수 처리 시 배설물, 음식물 쓰레기, 세제, 화장품 등의 폐기물과 혼합되며, 이때 FCP는 다른 폐기물과 화학적·생물학적으로 상호작용할 수 있다. 하수로 유입되는 폐기물 중 지방, 기름 등의 성분들은 긴 사슬을 지닌 지방산을 포함하고 있는데, 이들은 하수에 포함된 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 와 같은 양이온과 반응하여 침전물을 형성한다.²⁾ 이 과정에서 FCP는 흡수를 통해 지방산을 축적할 수 있으며 하수 내 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 와의 침전 반응을 촉진할 수 있다. FCP는 물리적 분해를 통해 폐수와 함께 흐를 수 있는 작은 크기의 고형물 형태로 만들어 지는데, 이러한 고형물은 긴 사슬을 지닌 지방산을 흡수하여 하수 처리장으로 전달할 수 있으며 침전물의 형성을 최소화할 수 있다. 따라서 화장실용 화장지를 포함한 다양한 티슈 제품의 물 풀림 특성 분석을 통해 하수도 시스템에서의 흐름, 분해, 화학적·생물학적 작용 메커니즘을 체계적으로 해결할 수 있는 기반 자료로 활용 가능할 것이다.³⁾

따라서 화장실용 화장지를 포함한 티슈 제품의 물 풀림 특성을 평가하는 것은 매우 중요하지만 국내의 경우 우수재활용제품(GR) 품질인증기준에서 제시한 시험 방법 외에 표준화된 시험 방법이 부재한 실정이다. GR M 7008-2006에서는 물에서의 풀림성 시험방법으로 규정된 조건에서 회전자에 화장지가 멎쳐져 있다가 완전히 풀릴 때까지의 시간을 측정하는 방법을 제시하고 있으나 ‘완전히 풀릴 때’에 대한 기준이 명확하지 않으며, 화장지가 물에 풀린 정도를 육안으로 평가하기 때문에 시험자에 따른 오차 발생 가능성이 높다. 또한 해당 시험 방법은 국내 폐지를 질량 기준 50%를 사용한 두루마지 화장지를 시험 대상 제품으로 규정하고 있어 재활용 펄프를 사용하지 않거나 재활용 펄프 사용률이 기준보다 낮은 제품에 적용하기에는 한계가 있다. 화장실용 화장지의 물 풀림 특성 평가 방법에 대한 필요성은 국내뿐 아니라 국제적으로 요구되고 있으며, 최근 티슈 제품의 물 풀림 특성 시험 방법인 ISO 12625-17이 제정되었다. 이 표준에서는 규정된 조건에서 티슈 제품을 탈이온수에 넣어 교반 후 규정된 크기의 sieve에 부어 잔류물의 무게를 측정함으로

써 티슈 제품의 물 풀림 특성을 정량적으로 평가할 수 있다. 그러나 현재까지 해당 시험 방법을 활용한 국내 유통 티슈 제품에 대한 물 풀림 특성 평가 결과가 보고된 바 없어 국내 티슈 제품에 대한 기반 자료 마련이 필요하다.

한편 화장실용 화장지는 우수한 물 풀림 특성과 함께 소비자가 기대하는 소프트니스(Softness), 강도, 흡수성 등의 특성을 충족할 수 있는 품질을 유지해야 한다.³⁻⁵⁾ 이에 본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 화장실용 화장지를 중심으로 총 51종의 티슈 제품에 대해 ISO 12625-17에 따라 물 풀림 특성을 평가하였다. 또한 티슈 제품의 강도 및 표면 특성을 측정하여 각 특성이 물 풀림 특성에 미치는 영향을 확인하였으며, 우수한 강도 및 소프트니스 특성을 나타내는 동시에 우수한 물 풀림 특성을 나타내기 위한 조건을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

티슈 제품의 물 풀림 특성을 평가하기 위하여 국내에 유통되고 있는 티슈 제품 40종을 지역 마트 또는 인터넷 쇼핑몰을 통해 구입하였으며, 해외 유통 티슈 제품 11종을 인터넷 해외 직구 쇼핑몰을 통해 구입하여 사용하였다. 수집된 티슈 제품은 화장실용 화장지 34종, 미용 화장지 6종, 페이퍼 타올 3종, 여행용 티슈 3종, 티슈 손수건 3종, AFH (Away-From-Home) 2종으로 분류된다. 시료는 임의로 D1~D51로 코드를 부여하였으며, 물 풀림 특성 평가에 사용된 시료의 제품 유형 및 제조 국가에 대한 정보를 Table 1에 나타냈으며, 제품 유형별 특성을 Table 2에 요약하여 나타냈다.

물 풀림 특성 평가에 사용된 시료 중 8종의 화장실용 화장지 시료를 선택하여 기계적 특성과 표면 특성을 분석하였다. 기계적 특성 및 표면 특성 분석에 사용된 시료에 대한 정보를 Table 3에 나타냈다. 시험에 사용된 모든 시료는 KS M ISO 187에 따라 온도 23±1℃, 상대습도 50±2%에서 조습 처리하였다.

2.2 물 풀림 특성 평가

물 풀림 특성 평가는 ISO 12625-17에 따라 실시하였다. 티슈 제품 시료는 ISO 638에 따라 건조 함량을 측정하였으며, 물 풀림 시험을 위해 시편의 무게가 1.0±0.1g이 되도록 기계 폭 방향(cross direction, CD)으로 재단하였다.

Table 1. Information of tissue samples

Product type	Sample code	Manufactured country
Bathroom tissue (BT)	D1~D26	Korea
	D27~D30	USA
	D31	Canada
	D32	Germany
	D33	Denmark
	D34	Japan
Facial tissue (FT)	D35~D38	Korea
	D39~D40	USA
Paper towel (PT)	D41	USA
	D42~D43	Korea
Travel tissue (TT)	D44 ~ D46	Korea
Hanky tissue (HT)	D47 ~ D49	Korea
	AFH	D50 ~D51

Table 2. Properties of tissue samples

Property	Product type					
	BT	FT	PT	TT	HT	AFH
Basis weight, g/m ²	31.0-56.9	27.3-45.1	39.1-53.3	26.9-30.1	45.9-64.1	20.4-27.8
Thickness, mm	0.14-0.25	0.11-0.33	0.17-0.28	0.13-0.14	0.15-0.24	0.10-0.16
Apparent density, g/cm ³	0.18-0.27	0.13-0.25	0.19-0.24	0.21-0.22	0.25-0.31	0.18-0.20
Plies	2-4	2	2	2	3-4	1
Dry matter content, %	93.5-99.0	94.2-95.4	95.4-96.5	94.6-95.8	93.9-94.7	95.8-96.2

The values are summarized as the range of minimum and maximum values for each property of a specific product type.

Table 3. Physical properties of the bathroom tissue sample used in mechanical and surface test

Sample code	Plies	Basis weight, g/m ²	Thickness, mm	Apparent density, g/cm ³
D1	3	46,4	0,20	0,23
D5	2	31,0	0,14	0,22
D6	3	50,3	0,20	0,25
D8	4	56,9	0,24	0,24
D11	3	40,6	0,17	0,24
D14	3	52,4	0,21	0,25
D27	2	52,0	0,25	0,21
D30	2	46,7	0,23	0,21

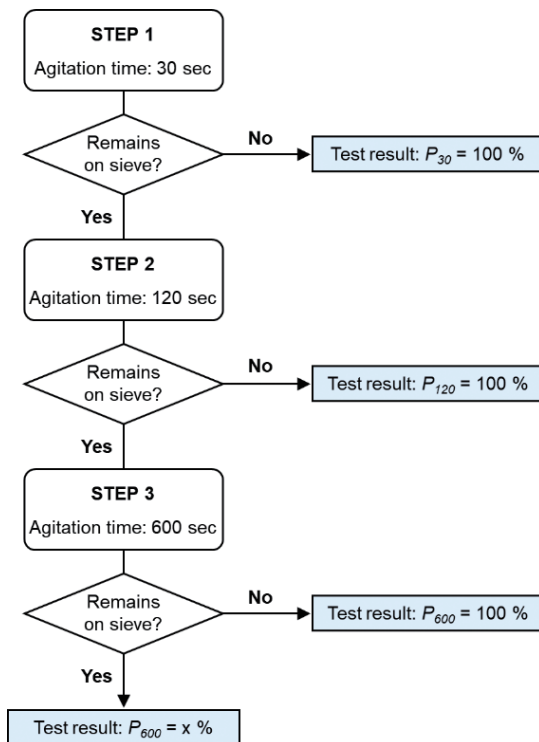


Fig. 1. Schematic of test procedure.

Fig. 1은 ISO 12625-17의 시험 절차를 도식화한 것으로 시편을 탈이온수에 해리하기 위한 교반 시간이 다르게 지정된 총 3단계의 시험으로 구성되어 있다. 1~3단계 시험에 지정된 교반 시간은 각각 30초, 120초, 600초이다.

ISO 12625-17의 시험 절차에 따라 1단계 시험에서는 준비된 시편을 넣은 비커에 600 mL의 탈이온수를 넣은

후 교반봉을 사용하여 800 r/min으로 30초 동안 시편을 교반하였다. 해리된 용액은 ISO 3310-2 규격에 해당하는 직경 12.5 mm의 hole을 갖는 stainless-steel test sieve 위에 고르게 부은 후 유속이 4.0 L/min으로 설정된 샤워기를 사용하여 sieve의 상단 표면으로부터 10~15 cm의 거리를 유지하며 고의적으로 sieve 위의 물질에 물을 분사하여 sieve를 통과시키지 않도록 주의하면서 1분간 원형을 그리며 고르게 물을 분사하였다. 그 후 sieve의 양면에 잔류물이 남아있는 경우 집계를 사용하여 채취한 후 105 °C 건조 오븐에 넣어 ISO 638에 따라 건조 함량을 측정하였다. 물 풀림 특성 측정 결과는 Eq. 1에 따라 계산하여 나타냈다.

$$P_T = 100 \times \left(1 - \frac{m_{dT}}{m_{o,T} \times \frac{x}{100}} \right) \quad [1]$$

P_T : 물 풀림성, T (30, 120, 600 초) 동안 교반 후 12.5 mm 체를 통과한 물질에 대한 백분율, %

m_{dT} : T 동안 교반 후 수집된 잔류물의 건조 무게, g

$m_{o,T}$: 시험에 사용된 시편의 무게, g

X : ISO 638에 따라 측정된 시료의 건조 함량, g

만약 Fig. 2a와 같이 물을 분사한 후 sieve 위에 잔류물이 없다면 물 풀림성은 100%로 2단계와 3단계 시험 결과도 100%로 간주하고 1단계에서 시험을 종료하였으며, Fig. 2b와 같이 sieve 위에 잔류물이 존재할 경우 시험 절차에 따라 다음 단계의 시험을 실시하였다.

2단계와 3단계 시험은 1단계 시험과 동일한 방법으로 실시하였으며, 교반 시간만 각 시험 단계에서 지정된 시간으로 2단계 시험에서는 120초, 3단계 시험에서는 600초로 변경하여 실시하였다. 모든 시험은 3회 반복하여 실시하였다.

2.3 화장실용 화장지의 기계적 특성 측정

화장실용 화장지의 볼 파열강도 및 습윤 볼 파열강도 측정은 STM 사의 만능시험기(Universal testing machine, STM, Korea)를 사용하였으며, KS M ISO 12625-9 및 KS M ISO 12625-11에 의거하여 시험을 실시하였다. 습윤 볼 파열강도의 경우 5 mL의 증류수를 3~4초 동안 시편에 떨어뜨려 적신 후 시험을 실시하였다.

인장강도 및 습윤 인장강도 측정을 위해 MTS 사의 만능시험기(Criterion® 41, MTS, USA)를 사용하였다. 인

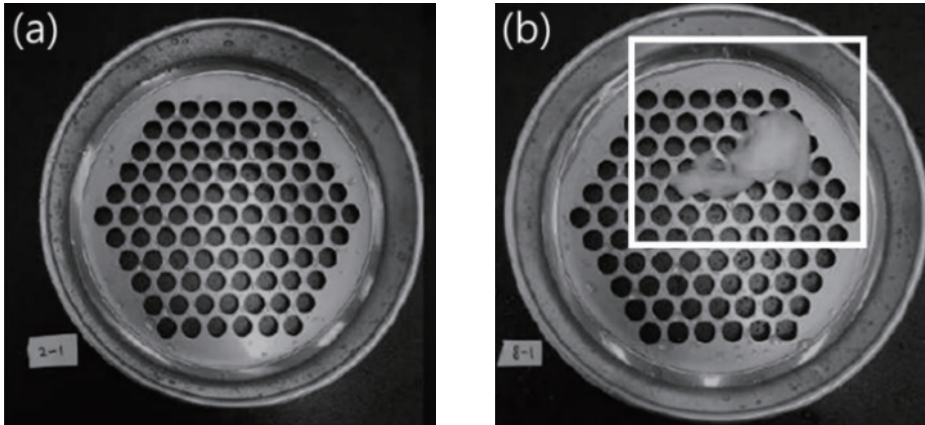


Fig. 2. Examples of residue on the sieve. (a) example of 100 % disintegration; (b) example of remains on sieve.

장강도 시험은 KS M ISO 12625-4에 따라 시험을 실시하였다. 습윤 인장강도는 KS M ISO 12625-5에 따라 증류수가 담긴 핀치 컵(Finch cup)에 시편을 15초 동안 침지 후 습윤 인장강도를 측정하였다.

각 샘플에 대해 기계 방향(MD) 및 기계 폭 방향(CD)으로 각각 10회씩 측정하였으며 결과는 기하평균(GM)으로 나타냈다. 또한 Eq. 2에 따라 습윤에 따른 강도 손실률(Loss of strength, LoS)을 계산하여 나타냈다.

$$LoS = \frac{(F_d - F_w)}{F_d} \times 100 \quad [2]$$

F_d : 건조 상태 시편에 대한 최대 하중, N

F_w : 습윤 상태 시편에 대한 최대 하중, N

추가적으로 인장 시험 결과로부터 load-elongation curve의 하중 2~22 N/m 사이의 기울기를 계산하여 벌크 소프트니스를 나타낼 수 있는 tensile modulus를 결정하였으며 결과는 기하평균(GM)으로 나타냈다.⁵⁻⁷⁾

2.4 화장실용 화장지의 표면 특성 측정

화장실용 화장지의 표면 특성은 촉침에 의한 직접 접촉 측정이 가능한 표면 시험기(KES-SESURU, Kato Tech Co., Ltd., Japan)를 사용하여 표면 마찰과 거칠음을 동시에 측정하였다.^{1,7)} 각 시료에 대해 MD 및 CD로 각각 10회씩 측정하였으며, 시험 결과는 기하 평균(GM)으로 나타냈다.

표면 마찰은 KS M 7150에 의거하여 측정하였으며, 규정된 측정 거리를 이동하였을 때 얻은 표면 마찰 프로파일 데이터로부터 계산된 마찰계수의 평균값($\bar{\mu}$)으로부터 편차의 절댓값 평균인 F-MAD(mean absolute deviation from the $\bar{\mu}$)를 Eq. 3 및 Eq. 4로 계산하여 나타냈으며,⁸⁾ F-MAD 결과로부터 표면 소프트니스를 나타냈다.

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_i^N \mu_i \quad [3]$$

$$F-MAD = \frac{1}{N} \sum_i^N |\mu_i - \bar{\mu}| \quad [4]$$

μ_i : 데이터 포인트 i 에서의 마찰계수

N : 측정 거리로부터 얻은 데이터 포인트의 수

표면 마찰 프로파일 측정과 동시에 동일한 표면으로부터 표면 거칠음도 프로파일을 측정하였다. 표면 거칠음도 프로파일 데이터로부터 계산된 평균 거칠음도(R_a)로부터 편차의 절댓값 평균인 R-MAD (mean absolute deviation from the R_a)를 Eq. 5 및 Eq. 6으로 계산하여 나타냈다.⁸⁾

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_i^N |R_i| \quad [5]$$

$$R-MAD = \frac{1}{N} \sum_i^N \|R_i - R_a| \quad [6]$$

R_a : 데이터 포인트 i 에서의 거칠음도

N : 측정 거리로부터 얻은 데이터 포인트의 수

3. 결과 및 고찰

3.1 국내 및 해외 유통 화장실용 화장지의 물 풀림 특성

Fig. 3a는 국내 유통 화장실용 화장지(D1~D26)에 대한 물 풀림 특성 평가 결과를 나타낸 것으로 1단계 시험인 교반 시간 30초 조건에서 물 풀림성이 100%인 시료를 제외한 나머지 시료의 시험 결과를 나타냈다. 국내 유통 화장실용 화장지 시료 26종 중 18개의 시료는 교반 시간 30초 시험에서 물 풀림성이 100%였으며, 30초 시험에서 sieve에 잔류물이 남은 8개의 시료에 대해 120초 시험을 실시한 결과 4개의 시료는 100%의 물 풀림성을 나타냈다. 나머지 4개의 시료에 대해 600초 시험을 실시한 결과 D8을 제외하고 모두 100%의 물 풀림성을 나타냈으며, D8은 600초 시험에서 94.5%의 물 풀림성을 나타냈다.

Fig. 3b는 해외 유통 화장실용 화장지(D27~D34)에 대

한 물 풀림 특성 평가 결과를 나타낸 것이다. 해외 유통 화장실용 화장지 8종에 대한 물 풀림 특성 평가 결과 30초 및 120초 시험에서 물 풀림성이 완전히 100%인 제품은 없었으나, D31과 D34의 경우 30초 시험과 120초 시험에서 건조 중량이 0.01 g 미만인 극소량의 잔류물이 sieve를 통과하지 못했으며, 99% 이상의 물 풀림성을 나타내는 것으로 평가되어 100% 수준의 물 풀림성을 나타낸다고 판단하여 600초 시험을 실시하지 않았다. 나머지 시료 중 3종은 600초 시험에서 100%의 물 풀림성을 나타냈으며, D29의 경우 96.7%의 물 풀림성을 나타냈다. D27과 D28의 경우 30초 시험에서 각각 9.1%, 3.2%의 매우 낮은 물 풀림성을 나타낸 것과 비교해 교반 시간을 600초로 증가시킨 후 각각 83.2%, 75.8%로 물 풀림성은 향상되었으나 충분한 교반시간에도 불구하고 다른 화장실용 화장지 시료에 비해 매우 낮은 물 풀림성을 나타냈다.

물 풀림 특성 평가 결과 26종 중 18개의 시료가 30초 이내에 100%, 나머지 8종 중 4개의 시료가 120초 이내에 100%의 물 풀림성을 나타낸 국내 유통 화장실용 화장지와 비교해 해외 유통 화장실용 화장지는 시험에 사용된 8종 중 단 2개의 시료만 120초 이내에 100%의 물 풀림성을

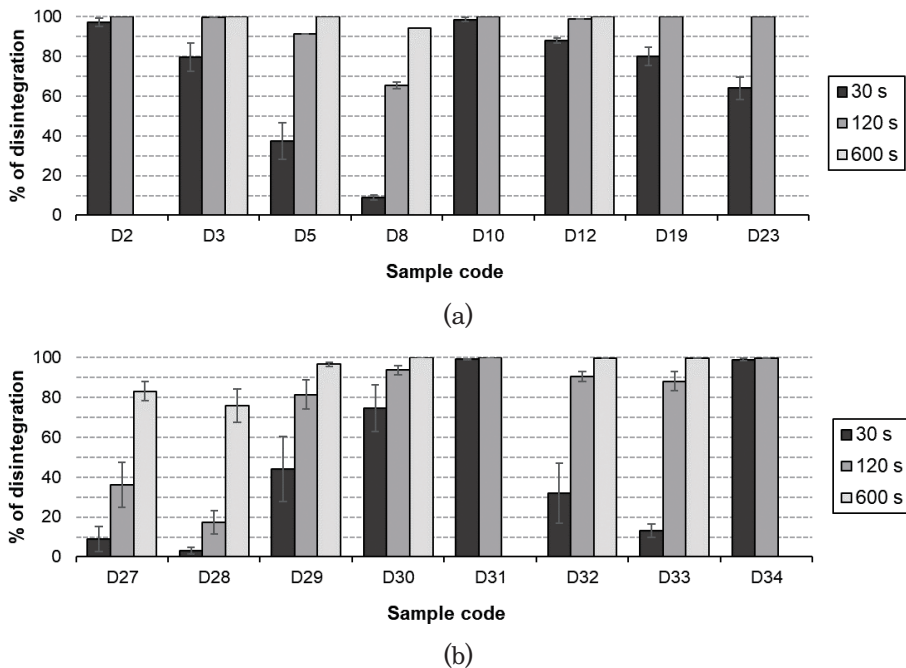


Fig. 3. Disintegration test results of bathroom tissue (a: Korea products, b: Other countries products).

나타냈다. 따라서 국내 유통 화장실용 화장지와 비교해 해외 유통 화장실용 화장지는 단시간 내 물 풀림성이 대체로 낮은 수준인 것으로 확인되었다. 그러나 본 실험에 사용된 해외 유통 화장실용 화장지 시료의 제조 국가들은 화장실용 화장지를 대변기에 버리는 처리 방식이 오래전부터 정착된 국가들로 해당 제품들이 해당 국가 하수 배관시스템에서 크게 문제를 일으키지 않았음을 유추할 수 있었다. 이에 Drukan과 Karadagli⁹⁾의 보고에서도 화장실용 화장지는 일반적으로 하수 시스템에서 문제를 일으키지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 국내에서 발생하는 변기 또는 배관 막힘 등에 대한 이슈는 화장실용 화장지의 품질을 원인으로 판단하기에는 무리가 있다는 것을 확인할 수 있었으며 수압, 배관, 사용자의 사용법 등을 종합적으로 고찰하여 원인을 진단해야 할 것으로 사료된다.

3.2 기타 티슈 제품의 물 풀림 특성

화장실용 화장지 외의 기타 티슈 제품 사용이 변기 및 배관 막힘을 유발할 가능성을 검토하기 위해 미용 화장지, 페이퍼 타올, 여행용 티슈, 티슈 손수건, AFH 제품

에 대한 물 풀림 특성을 평가하였다.

국내의 미용 화장지(D35~D40) 및 페이퍼 타올(D41~D43)에 대한 물 풀림 특성 평가 결과를 Fig. 4a에 나타냈다. 미용 화장지 및 페이퍼 타올 9종은 모두 30초 시험에서 10% 미만의 매우 낮은 물 풀림성을 나타냈으며, 120초 내에서도 D35, D38을 제외한 나머지 시료들은 10% 내외의 매우 낮은 물 풀림성을 나타냈다. 600초 시험에서는 미용 화장지 제품인 D38이 유일하게 90% 이상의 물 풀림성을 나타냈으며, 특히 페이퍼 타올의 경우 600초 시험에서도 모든 시료가 8% 이하의 매우 낮은 물 풀림성을 나타냈다. 따라서 미용 화장지 및 페이퍼 타올은 물 풀림 특성이 매우 낮은 수준으로써, 이를 대변기에 버려 처리할 경우 단시간 내에 빠르게 해리되지 않아 변기 및 배관 막힘을 유발할 가능성이 높을 것으로 사료되며, 이러한 처리 방식은 부적절한 처리 방식으로 판단된다.

여행용 티슈(D44~D46), 티슈 손수건(D47~D49), AFH(D50~D51) 제품에 대한 물 풀림성 시험 결과를 Fig. 4b에 나타냈다. 여행용 티슈 및 티슈 손수건은 휴대가 편리하여 공중화장실에 화장지가 비치되어 있지 않은 경우 사용할 가능성이 높은 제품이며, AFH 제품은 일반적으로

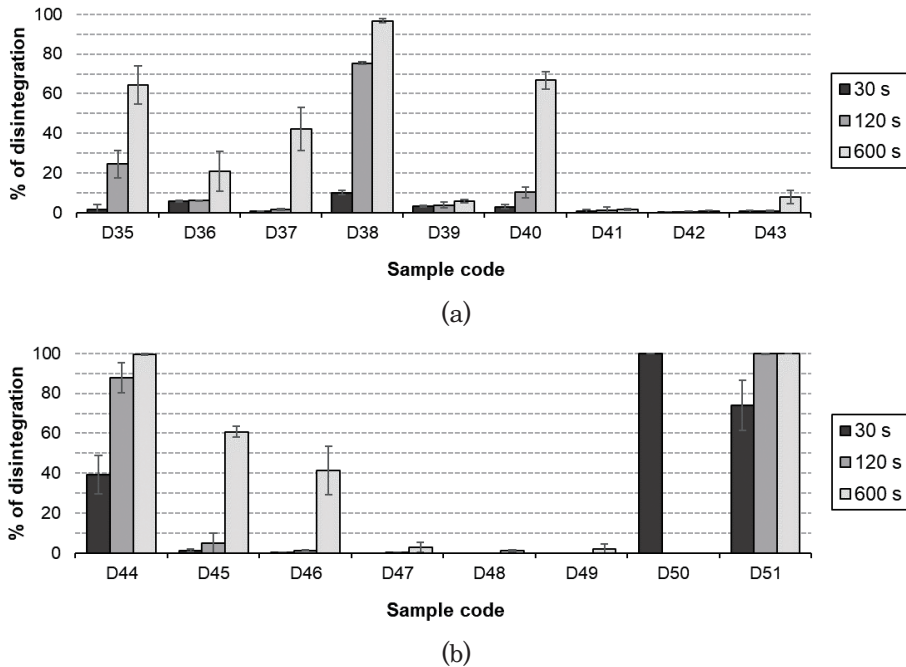


Fig. 4. Disintegration test results of facial tissue, paper towel, travel tissue, hanky tissue and AFH (a: facial tissue and paper towel, b: travel tissue, hanky tissue and AFH).

공중화장실에 비치하여 사용되는 제품이다. 따라서 이에 대한 물 풀림 특성 평가를 통해 공중화장실에서 사용되는 티슈 제품의 적절한 처리 방식을 탐색하였다. 여행용 티슈의 경우 본 연구에서 사용한 3종의 제품 간 물 풀림성 측정 결과의 편차가 큰 편이었으나, 모든 제품이 120초 이내에 100% 해리되지 않았으며, 600초 시험에서 D44가 유일하게 100%의 물 풀림성을 나타냈다. 티슈 손수건의 경우 3종의 시료 모두 600초 시험까지 3% 미만의 매우 낮은 물 풀림성을 나타냈다. 한편 AFH 제품인 D50은 30초 시험에서 100% 해리되었으며, D51은 120초 시험에서 99.8%, 600초 시험에서 100%의 물 풀림성을 나타냈다. 따라서 사용자가 올바른 방법으로 제품을 사용 및 처리할 경우 공중화장실에 비치된 AFH 제품을 사용하면 티슈로 인한 변기 및 배관 막힘 유발 가능성이 낮을 것으로 판단된다. 반면 여행용 티슈 또는 티슈 손수건과 같은 휴대가 쉬운 제품으로 대체하여 사용할 경우 단시간 내에 물에 풀리지 않아 변기 및 배관 막힘을 유발할 가능성이 있는 것으로 판단되며, 따라서 사용자에게 적절한 처리 방식을 제시할 필요가 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 600초 이상의 침지 및 교반 시간에 대한 조사는 실시하지 않았으며, 티슈 제품 자체의 물 풀림성 외에 배관의 직경, 길이 등 실제 하수 시스템에서 물 풀림성에 영향할 수 있는 인자들은 고려하지 않았기 때문에 실제 배관 및 하수 시스템에서 막힘 현상 발생 여부를 정확히 예측할 수 있는 자료로 활용하기에는 어려움이 있으며, 물 풀림성이 우수한 제품이라 하더라도 과도하게 많은 양을 한 번에 변기에 버려 처리하는 등 사용자가 부적절한 방식으로 처리할 경우에는 문제가 발생할 수 있음을 유의해야 할 것으로 판단된다.

한편 본 연구에 사용된 화장실용 화장지를 포함한 티슈 제품은 겉 수, 평량, 두께, 밀도가 다양한 제품들로 수집되었으나 이러한 특성들과 물 풀림 특성 간의 상관관계는 낮았으며, 동일한 제품군 내에서도 물 풀림 특성과의 상관관계는 낮았다. 따라서 겉 수 및 물리적 특성은 물 풀림 특성에 영향을 주는 주요 인자가 아닌 것으로 판단하였으며, 물 풀림 특성에 영향을 미치는 인자들에 대한 추가적인 조사를 위해 물 풀림 특성이 요구되는 화장실용 화장지 시료 중 8종을 선정하여 기계적 특성, 표면 특성, 소프트니스 특성을 측정하였다.

3.3 화장실용 화장지의 기계적 특성

화장실용 화장지 8종에 대한 건조 및 습윤 강도 측정 결과를 Table 4에 나타냈으며 Eq. 2에 따라 강도 손실률을 계산하여 나타냈다. 건조 인장강도의 경우 국내 유통 화장실용 화장지(D1, D5, D6, D8, D11, D14)가 대체로 높게 측정되었으나, 습윤 인장강도는 해외 유통 제품(D27, D30)과 비교하여 D5와 D8을 제외하고 모두 낮은 결과를 나타냈다. 볼 파열강도의 경우 국내 유통 화장실용 화장지는 건조 상태에서 50 mN·m²/g 이상으로 측정되었으며, 해외 유통 제품인 D27과 D30은 각각 38.8, 54.9 mN·m²/g으로 측정되었다. 습윤 인장강도와 마찬가지로 D5와 D8을 제외한 국내 유통 제품이 해외 유통 제품에 비하여 낮은 습윤 볼 파열강도를 나타냈다. 따라서 국내 제품의 경우 해외 제품에 비해 건조 상태일 때는 강도가 높고 습윤 상태일 때와의 강도 차이가 커 높은 강도 손실률을 갖는 것을 확인하였다.

화장실용 화장지의 경우 건조 및 습윤 상태에서 모두 우수한 강도 특성이 요구되는 지중이지만 습윤 상태에서

Table 4. Test results of tensile and ball burst testing

Sample code	Tensile index, Nm/g			Ball burst index, mN·m ² /g		
	Dry	Wet	LoS (%)	Dry	Wet	LoS (%)
D1	3.0±0.2	0.18±0.02	94.1	56.9±4.0	1.04±0.13	98.2
D5	4.1±0.2	0.46±0.02	88.8	74.8±11.4	3.28±0.36	95.6
D6	3.4±0.1	0.23±0.02	93.1	60.3±6.8	1.61±0.19	97.3
D8	3.7±0.2	0.47±0.03	87.4	83.7±6.6	5.09±0.89	93.9
D11	4.2±0.2	0.23±0.02	94.6	63.2±5.5	1.00±0.20	98.4
D14	2.5±0.1	0.25±0.01	90.2	50.5±4.0	1.69±0.25	96.7
D27	1.5±0.1	0.40±0.03	73.5	38.8±3.9	2.38±0.30	93.9
D30	2.6±0.1	0.34±0.02	86.9	54.9±6.9	4.75±0.62	91.3

의 강도가 높은 경우 물 풀림성이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 3에 나타난 결과와 같이 다른 시료에 비해 습윤 인장강도 및 습윤 볼 파열강도가 높은 D5, D8, D27, D30은 30초와 120초 시험에서 현저히 낮은 물 풀림성을 나타냈다. 한편, D1, D6, D11의 경우 30초 시험만으로 100%의 물 풀림성을 나타냈으나 건조 상태에서의 인장강도 및 볼 파열강도는 600초 시험까지 95% 미만의 물 풀림성을 나타낸 D27, D30과 비교하여 높은 값을 나타냈으며, 반대로 습윤 인장강도와 습윤 볼 파열강도는 D27, D30에 비해 낮은 값을 나타냈다. 따라서 인장강도와 볼 파열강도 모두 건조 상태에서의 강도는 물 풀림성에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단되며, 이에 물 풀림성을 향상시키기 위해서는 습윤 강도 특성 인자를 조절하는 것이 중요한 것으로 사료된다.

습윤에 따른 인장강도 손실률과 볼 파열강도 손실률은 두 값이 모두 90% 이상인 D1, D6, D11, D14의 경우 30초 시험만으로 100%의 물 풀림성을 나타냈다. 반면 D5, D8, D27, D30의 경우 30초와 120초 시험에서 95% 미만의 물 풀림성을 나타냈으며, 특히 D8과 D27은 600초 시험까지 95% 미만의 물 풀림성을 나타냈다. 따라서 화장실용 화장지의 경우 건조 상태와 습윤 상태 사이의 강도 손실률이 90% 이상이어야 단시간 내 높은 물 풀림성을 나타낼 수 있으며, 이러한 결과는 Durukan과 Karadagli의 연구에서 보고한 것과 일치하는 결과였다.⁹⁾

따라서 화장실용 화장지에 요구되는 수준의 건조 강도와 습윤 강도를 유지하되, 건조 상태와 습윤 상태 사이의 강도 손실률이 90% 이상이 되도록 조절하여 단시간 내에 물 풀림성이 우수한 화장실용 화장지를 제조할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 화장실용 화장지의 표면 특성

화장실용 화장지의 표면 마찰 특성을 분석하기 위해 F-MAD를, 표면 거칠음도 특성을 분석하기 위해 R-MAD를 측정하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타냈다. F-MAD가 클수록 표면 마찰이 큰 것을 나타내며, R-MAD가 클수록 거친 표면을 나타낸다.

30초 시험만으로 100%의 물 풀림성을 나타낸 D1, D6, D11, D14는 비교적 물 풀림성이 낮았던 나머지 시료에 비해 F-MAD와 R-MAD 값이 낮았다. 거칠음도와 물 풀림성의 상관관계를 분석한 Knopp 및 Tice⁴⁾의 연구에서는 전자주사현미경 이미지를 활용하여 화장실용 화장

Table 5. Test results of surface test

Sample code	F-MAD	R-MAD, μm
D1	0.054±0.004	2.58±0.26
D5	0.147±0.029	5.03±0.36
D6	0.051±0.006	2.64±0.12
D8	0.071±0.071	3.02±0.61
D11	0.052±0.052	1.91±0.10
D14	0.060±0.010	1.94±0.26
D27	0.060±0.009	2.29±0.33
D30	0.138±0.023	3.85±0.37

지의 거칠음도 계수(coefficient of roughness)를 측정하였으며, 거칠음도 계수가 크면 물 풀림에 요구되는 시간이 더 길어질 수 있음을 보고하였는데, 본 실험에서도 이와 일치하는 결과를 나타냈다. 또한 해당 연구에서는 물 풀림 시간이 긴 경우 거칠음도가 물 풀림성에 영향하는 지배적인 요인이 아님을 밝혔으며, 거칠음도 외 다른 인자들에 의한 영향이 물 풀림성에 더 크게 작용할 수 있음을 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구의 30초 시험에서 100% 물 풀림성을 나타내지 않은 4종의 시료에 대한 결과에서도 확인할 수 있었다. 120초 시험에서 90% 이상의 물 풀림성을 나타내고 600초 시험에서 100%의 물 풀림성을 나타낸 D5, D30이 600초 시험까지 100%의 물 풀림성을 나타내지 않은 D8과 D27에 비해 더 거친 표면을 가졌다. 이는 물에서의 교반 시간이 길어짐에 따라 기계적 특성이 표면 특성보다 우세하게 영향하여 나타난 결과로 판단하였다.

따라서 화장실용 화장지의 표면 마찰과 거칠음도를 낮춤으로써 물 풀림성을 개선할 수 있지만, 물에서의 교반 또는 침지 시간이 길어짐에 따라 표면 특성보다 기계적 특성이 물 풀림성에 미치는 영향이 우세해질 것으로 사료되므로 적절한 기계적 특성을 확보함과 동시에 단시간 내에서의 물 풀림성 개선을 위해 표면 특성 인자를 조절할 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 화장실용 화장지의 소프트니스 특성

티슈 제품의 소프트니스는 표면 소프트니스와 벌크 소프트니스로 구성되어 있으며, 각각 F-MAD와 tensile modulus를 측정함으로써 나타낼 수 있다.¹⁾ F-MAD 값이 낮을수록 표면 소프트니스가 우수하다고 평가할 수 있으며, tensile modulus 값이 낮을수록 벌크 소프트니

스가 우수하다고 평가할 수 있다. 화장실용 화장지 8종에 대한 tensile modulus와 F-MAD 측정 값을 plot하여 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5에서 F-MAD 결과에 따라 표면 소프트니스가 가장 우수한 제품은 D6로 평가되었으며, tensile modulus 결과에 따라 벌크 소프트니스가 가장 우수한 제품은 D27로 평가되었다. 또한 표면 및 벌크 소프트니스가 동시에 낮은 값을 나타내는 D27이 소프트니스 특성이 가장 우수한 것으로 평가되었다. 국내 유통 화장실용 화장지의 tensile modulus 값은 14.1~23.8 N/(%·m) 범위에 분포하고 있으며, F-MAD는 0.051~0.071에 분포하였다. D5는 예외적으로 0.147의 높은 F-MAD 값을 나타냈다. 반면 해외 유통 제품인 D27과 D30은 각각 tensile modulus 값은 6.3, 8.0 N/(%·m), F-MAD 값은 0.060, 0.138로 측정되었다. 특히 본 실험에서 사용된 국내 유통 화장실용 화장지는 해외 유통 화장실용 화장지에 비해 현저히 높은 tensile modulus 값을 나타내는 것으로 확인되었다. 즉, 벌크 소프트니스는 해외 유통 제품이 우수하였다.

F-MAD는 R-MAD와 유사한 경향을 나타냈으며, 물 풀림성에 미치는 영향 또한 유사한 것으로 판단하였다. 즉 표면 소프트니스 인자를 조절하여 소프트니스 특성을 향상시키고 동시에 물 풀림성에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 앞서 설명한 표면 거칠음도와 마찬가지로 교반 또는 침지 시간이 길어짐에 따라 기계적 특성이 물 풀림성에 미치는 영향이 우세해질 것으로 사료된다. 한편, tensile modulus의 경우 건조 인장강도 결과와 마찬가지로 물 풀림성에 미치는 영향은

미미한 것으로 판단된다. 따라서 적절한 기계적 특성이 확보된 경우 소프트니스 특성 중 표면 소프트니스 인자를 조절한다면 단 시간 내에 물 풀림성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료되며, 벌크 소프트니스 인자의 조절은 물 풀림성에 미치는 영향이 미미할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 화장실용 화장지를 중심으로 총 51종의 티슈 제품에 대해 ISO 12625-17에 따라 물 풀림 특성을 평가하였다. 또한 티슈 제품의 강도 및 표면 특성을 측정하여 각 특성이 물 풀림 특성에 미치는 영향을 확인하였으며, 우수한 강도 및 소프트니스 특성을 나타내는 동시에 우수한 물 풀림 특성을 나타내기 위한 조건을 탐색하였다.

국내 유통 화장실용 화장지의 물 풀림 특성 평가 결과 대부분 30초 이내에 100%의 물 풀림성을 나타냈으며 600초 시험에서 D8 (P600=94.5%)을 제외하고 모두 100%의 물 풀림성을 나타냈다. 반면 미용화장지, 페이퍼타올, 여행용 티슈, 티슈 손수건에 대한 물 풀림성 평가 결과는 화장실용 화장지와 비교하였을 때 현저히 낮은 수준이었다. 따라서 국내에서 발생하는 변기 또는 배관 막힘 등에 대한 이슈는 화장실용 화장지의 품질을 원인으로 판단하기에 무리가 있다는 것을 확인할 수 있었으며 수압, 배관, 사용자의 사용법 등을 종합적으로 고찰하여 원인을 진단해야 할 것으로 판단된다.

화장실용 화장지 시료를 일부 선택하여 기계적 특성 및 표면 특성, 소프트니스 특성을 평가한 결과 습윤 강도, 건조 상태와 습윤 상태에서의 강도 손실률, 표면 거칠음도 및 마찰, 표면 소프트니스가 물 풀림성에 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 요구되는 강도 및 표면 특성과 소프트니스 특성을 나타내도록 인자들을 조절함과 동시에 물 풀림성을 조절할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 티슈 제품의 사용 후 적절한 처리 방식을 제시하여 사용자의 혼란을 해소하고, 하수 시스템의 체계적인 관리를 위한 기반 자료로 활용 가능할 것으로 기대되며, 우수한 기계적 특성 및 소프트니스 특성을 유지하며 물 풀림성이 우수한 제품 개발을 위한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

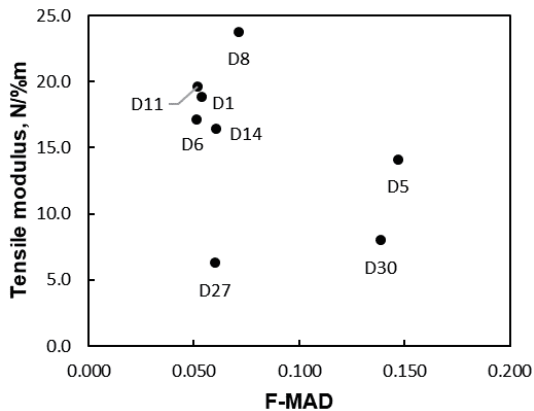


Fig. 5. Tensile modulus vs. F-MAD.

사 사

본 연구는 2020년 국립산림과학원에서 지원한 국내 유통 티슈제품의 물 풀림 특성 연구 및 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2019150B10-2123-0301)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Literature Cited

1. Ko, Y. C., Park, J. Y., Lee, J. H., and Kim, H. J., Principles of developing a softness evaluation technology for hygiene paper, *Journal of Korea TAPPI* 49(4): 184-193 (2017).
2. He, X., Iasmin, M., Dean, L. O., Lappi, S. E., Ducaste, J. J., and de los Reyes, F. L., Evidence for fat, oil, and grease (FOG) deposit formation mechanisms in sewer lines, *Environmental Science and Technology* 45(10): 4385-4391 (2011).
3. Eren, B. and Karadagli, F., Physical disintegration of toilet papers in wastewater systems: experimental analysis and mathematical modeling, *Environmental Science and Technology* 46(5): 2870-2876 (2012).
4. Knopp, K. L. and Tice, L. E., Physical properties affecting toilet paper disintegration, Worcester Polytechnic Institute (2015).
5. Park, N. Y., Ko, Y. C., Melani, L., and Kim, H. J., Mechanical properties of low-density paper, *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 35(1):61-70 (2020).
6. Park, N. Y., Melani, L., Kim, H. J., Lee, J. J., and Woo, K. S., Determination of the tensile modulus of facial tissue, *Journal of Korea TAPPI* 51(5):105-112 (2019).
7. Ko, Y. C., Park, J. Y., Melani, L., Park, N. Y., and Kim, H. J., Principles of developing physical test methods for disposable consumer products, *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 34(1):75-87 (2019).
8. Park, N. Y., Ko, Y. C., Kim, H. J., and Moon, B. G., Surface characterization of paper products via a stylus-type contact method, *Biore-sources* 16(3):5667-5678 (2021).
9. Durukan, S. and Karadagli, F., Physical characteristics, fiber compositions, and tensile properties of nonwoven wipes and toilet papers in relevance to what is flushable, *Science of the Total Environment* 697:134135 (2019).