KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 2 149~160 (2024)
https://doi.org/10.20909/kopast.2024.30.2.149

감성디자인 구현을 위한 플라스틱 필름 표면의 거칠기와 감각 특성의 상관관계 도출

김도엽[1] · 이용주[2] · 주민정[1]* · 유하경[3] · 김형진[2]

한국건설생활환경시험연구원[1]
국민대학교[2]
소프트팩㈜ [3]

Correlation of Texture and Sensory Analysis on Film Surfaces for Implementing Emotional Design

Do Yeop Kim[1], Yong Ju Lee[2], Minjung Joo[1]*, Ha Kyoung Yu[3], and Hyung Jin Kim[2]

Korea Conformity Laboratories[1]
Kookmin University[2]
Softpack Co., Ltd[3]

Abstract One of the main functions of packaging is promoting the products. Competitive markets demand that products appeal more to consumers in many perspectives. Other than its original purpose, which is protection, packaging has been tasked with implementing the emotional appeal of a product through unique shapes, textures, and visual designs. Understanding emotional appeals to consumer is a potential marketing strategy so that research have been done about techniques to visualize the design and print the specific textures. Especially, paper-like films are known as eco-friendly or emotional design and they are able to protect the products from oxygen or water vapor better than papers. In this study, paper-like films, which is printed with inks to have rougher surfaces, are analysed in terms of roughness, friction, imaging and sensory evaluation of subjective softness from consumers. Also, the prediction model was established with the correlation of the measured results and sensory panel test (SPT) of consumer preferences by touch. The results showed that the prediction of subjective texture preference was contributed by 63.9% for surface roughness and 36.1% for friction profile parameters. It confirmed that surface roughness characteristics should be prioritized to improve tactile preference for paper-like films.

Keywords Surface texture, Roughness, Friction, Sensory panel test, Correlation

서 론

포장의 세 가지 주요 기능은 외부 환경으로부터 제품의 손상을 방지하고 소비자에게 안전하게 전달을 위한 보호성, 유통 과정에서 소비자나 판매점에게 취급상의 편의를 제공하는 편리성, 그리고 제품을 소비자에게 홍보하고 소비자의 호기심을 자극하도록 마케팅하는 판촉성이 있다[1]. 세 가지 주요 기능을 만족하는 포장은 효과적인 포장이라 할 수 있으며, 이는 제품의 성공적인 판매와 소비자 만족도를 높이는 데 중요한 역할을 한다. 포장의 보호성과 편의성에 대한 연구가 활발하게 진행됨에 따라, 소비자의 구매 의사를 높이기 위한 시각적 및 촉각적 디자인의 중요성이 더욱 커지고 있다.

독특한 모양, 질감, 시각적인 특성을 구현한 감성디자인 포장은 제품의 감성적 매력을 향상시키며, 소비자의 제품 선호도에 영향을 미친다. 식품 포장재의 표면 질감이 소비자의 구매 선호도와 이어진다고 Chen 등은 설명하였다[2]. 종이 질감을 구현하기 위해 포장재용 코팅 조성물은 수지 혼합물, 첨가제, 용제등을 통해 거칠기 구현이 가능하다. 플라스틱 필름에는 폴리에틸렌계 왁스를 포함하여 코팅하는

*Corresponding Author: Minjung Joo
Korea Conformity Laboratories, 199, 1st Gasan Digital Road, Gumchun-gu, Seoul, 153-803 Korea
E-mail: mjjoo@kcl.re.kr

방법 등 다양한 방법들이 활용되고 있다. 종이 질감 필름의 경우 태블릿 적용 코팅에 적용되고 있으며 이는 마찰력을 높여 종이 질감을 구현한 방식이며, 보통 거칠기와 마찰력이 높을수록 종이 질감이라고 표현되며 종이 질감은 필름 자체의 특성과 표면 처리로 인한 최종 특성이 정해진다.

표면 분석은 이미지 분석, 접촉각 및 표면 에너지 분석, 표면 시험기와 같은 장비를 활용하여 다양한 기법으로 분석 가능하다[3-8]. 주사탐침현미경 (AFM)과 주사전자현미경 (SEM) 과 같은 전자현미경 분석은 나노 구조 재료의 표면 특성을 분석하는데 유용하며, 필름 표면의 미세구조의 형태와 질감 특성을 관찰하고 평가하기 위한 방법으로 널리 활용되고 있다[4,6,7,9]. 필름 표면에 질감 특성을 부여하기 위해 적용된 인쇄 기법은 필름의 종류와 잉크에 따라 젖음성에 영향을 줄 수 있기 때문에 접촉각 및 표면 에너지 분석을 통해 필름의 인쇄성 평가를 하고 있다[8]. 표면 시험기는 탐침 사용을 통한 접촉 방식을 이용하여 동일 시험 조건 하에서 표면 거칠기와 표면 마찰에 대한 프로파일을 동시에 분석할 수 있는 기기로서 표면 구조 해석을 위한 다양한 연구에 적용된 바 있다 [10-16]. 소비자들이 체감하는 주관적 특성인 표면 부드러움을 기계적으로 정량화함에 있어 Ko 등[13] 은 표면 시험기의 사용이 효과적임을 보고하였으며, Lee 등[12] 은 측정된 기계적 표면 거칠음도와 마찰을 Sensory Panel Test (SPT)를 시행하여 얻은 주관적 부드러움을 비교하는 일련의 과정을 통하여 부드러움의 예측 모델을 개발하는 연구결과를 보고하였다. 또한 상기 시험 장치의 경우 최근 규정된 표면 프로파일 추출을 통한 종이 및 판지 재료의 표면 거칠음도 시험 방법인 ISO 24118-1 재정 당시 표준 시험 장치로 활용된 바 있다.

본 논문에서는 감성디자인 구현을 위해 플라스틱 필름 표면에 질감 특성을 적용하여 필름의 이미지 분석과 표면 특성 분석을 통해 필름의 종류 및 인쇄 정도에 따른 차이점을 분석하였다. 이와 함께 소비자의 주관적 촉감 선호도를 정량화하고 예측 모델을 수립하는 데 있어 활용가치가 입증된 표면 시험기를 통해 필름의 표면 거칠음도와 마찰 프로파일을 추출하였다. 최종적으로 포장 소재의 감성디자인 질감 특성 부여를 위한 소비자 촉감 선호 정량 평가 가능성을 탐색하고자 하였다. 감성디자인을 정량화하는 방법이 현재 부재하기 때문에 소비자의 촉감 선호도를 반영한 예측 모델을 구축함으로써 포장 소재의 감성 디자인 구현을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에서 사용된 샘플은 총 6종류로 Table 1에 나타나 있으며 소프트팩 (South Korea, Gyeonggi Gwangju)에서 제공받았다. KP는 크라프트지로 거친 표면의 특성을 가지고 있어 종이 포장재의 감성을 구현하기 위해 많이 활용되고있다. MDOPE는 단축 연신 된 PE 필름이고, BOPE는 이축 연신 된 PE 필름을 지칭한다. 연신 필름은 높은 강성과 탄력성, 우수한 인쇄성을 가지는 특징이 있어 다층 구조인 복합소재를 극복하기 위한 기술로 연포장재에 광범위하게 활용되고 있다[17-19].

2. 질감처리방법

필름 표면의 거칠기 구현은 다양한 방식으로 접근되고 있다. 본 연구에서는 종이 질감을 구현하기 위해 무광인쇄방식과 질감바니쉬 인쇄방식을 활용하였으며 관련 사항을 Table 2에 표기하였다. 무광인쇄방식에서는 필름에 무광 특성을 구현하기 위해 소광제 (Matting Agent)를 활용하였다. 소광제는 최종 제품 표면의 광택성을 줄여주는 첨가제로 소광제의 양이 많아질수록 매끈한 느낌을 구현한다. 그리고 질감바니쉬 특성을 구현하기 위해 소광제와 유색안료를 활용하였다. 안료 (Pigment)는 물체에 색을 입힐 수 있는 색소로 물에서 녹는 염료와 달리 물이나 기름, 알코올 등에 녹지 않는 성질을 가지고 있으며 질감 강도를 높일 경우 소광제의 입자 크기를 줄이고 유색안료 입자 크기를 키우는 특징을 가진다. 질감처리방법에 따라 잉크용제 휘발 작업에 따른 시간차이로 인해 인쇄방법에 따라 경화시간차이가 발생하였다.

3. 이미지 분석

3.1. Scanning Electron Microscope (SEM)

샘플은 MCM-100 (SEC, South Korea)을 이용하여 금이온 코팅 되었고, 주사전자현미경(SEM) 분석은 SNE3200M (SEC, South Korea) 장비를 사용하여 10 kV 가속 전압으

Table 1. Sample properties and codes

Film surface	Kraft	PET	PE	PET	MDOPE	BOPE
Surface properties	Kraft paper	Matte printed PET	Matte printed PE	Varnish textured PET	Varnish textured MDOPE	Varnish textured BOPE
Sample codes	KP	PET-M	PE-M	PET-V	MDOPE-V	BOPE-V

*PET: Polyethylene terephthalate
*PE: Polyethylene
*MDOPE: Machine Direction Oriented Polyethylene
*BOPE: Biaxial Orientation Polyethylene

Table 2. Texture processing methods

Texture processing	Matte printing	Varnish textured printing
Definition	To achieve a matte in printing by increasing the content of matting agents	Create texture by adjusting the particle size of matte ink and pigments
Ratio	Matting agents 80% Ink 20%	Matting agents 75% Pigment 25%
Curing time	24~48 hr	24 hr

로 500배 확대한 단면 이미지를 관찰하였다. 또한, 입자 크기는 ImageJ 소프트웨어 (National Institutes of Health, Maryland, USA)를 활용하여 샘플 마다 20회 측정하였다.

3.2. Atomic Force Microscope (AFM)

주사탐침현미경 (AFM) 분석은 XE-100 (Park Systems, South Korea)으로 수행되었으며, 30 μm × 30 μm인 샘플을 0.2 Hz의 속도로 스캔 되었다. 비접촉 모드에서 NCHR 캔틸레버를 사용하여 air 조건에서 테스트되었으며 샘플 당 2회 테스트되었다.

4. 표면 특성 분석

4.1. 마찰계수 분석

마찰계수는 마찰재 위의 시편에 1.96 N(200 g)의 수직하중을 가한 후 Withlab (WL2100, South Korea)을 활용하여 정적 및 동적 마찰계수를 측정하였다. ASTM D1894에 따라 거칠기는 29 N 로드 셀을 사용하여 150 mm/min의 테스트 속도에서 측정되었으며, 각 샘플에 대해 5회 측정이 수행되었다.

4.2. 접촉각 및 표면 에너지 분석

접촉각 및 표면에너지 분석은 23°C ± 2°C의 온도 조건과 45% ± 5%의 습도조건에서 Phoenix300Touch (SEO, South Korea) 장비를 활용하여 샘플 당 5회 분석이 진행되었으며, Diiodomethane 과 증류수 물방울을 샘플에 떨어뜨려 10초 후의 결과값을 측정하였다.

4.3. 표면 프로파일 주출

필름의 표면 거칠음도 및 마찰 프로파일은 탐침(stylus)에 의한 직접 접촉이 가능한 표면 시험기(KES-SESRU surface tester, Kato, Japan)를 사용하여 추출하였다. Fig. 1에 KES-SESRU surface tester의 작동원리를 도시하였다. KES-SESRU surface tester는 기존의 표면 시험기와 달리 탐침이 샘플 표면을 스캔하는 것이 아니라 탐침은 고정되어 있고 샘플 플레이트가 스캔 방향으로 이동하도록 설계된 장치이다. 따라서 탐침의 직경이 곧 분해능이었던 일반적인 표면 시험기와 달리, 본 장치의 경우 샘플 플레이트의 이동속도와 데이터 수집속도가 분해능을 결정한다[20-22]. 탐침의 경우 ASTM A681-08:2015에 의거하여 직경 1.0 mm의 탐침을 자체 제작하여 사용하였다.

분석 조건의 경우 접촉 압력(contact force) 5 gf, 스캔 속도(scan speed) 1 mm/s, 데이터 수집 속도(Data acquisition rate) 1,000 Hz로 설정(Midi logger GL900, Graptec, Japan) 하였으며 기계 방향과 기계 폭 방향 20 mm에 대하여 각 시료 별로 10회 반복 측정하였다. 상기 조건에 따라 분석된 표면 프로파일의 분해능(resolution)은 1 μm (20 mm/20,000 data point) 이었다. 탐침은 ASTM A681-08:2015에 의거하여 직경 1.0 mm로 자체 제작하여 사용하였다. Fig. 2는 상기 조건에 의거 추출된 표면 프로파일을 나타낸 것이다.

4.4. 표면 거칠음도 프로파일 파라미터

추출된 표면 거칠음도 프로파일로부터 거칠음도 평균값(roughness average, R_a)과 거칠기 평균 절대 편차(mean absolute deviation of roughness, *R*-MAD)를 산출하였으며 이의 계산식은 식 (1)과 (2)에 나타냈다. 여기서 N은 지정된 스캔 영역에서 데이터 수집 개수를 의미하며 R_i는 지점 i에서의 거칠기를 나타낸다 [11,20,21,23].

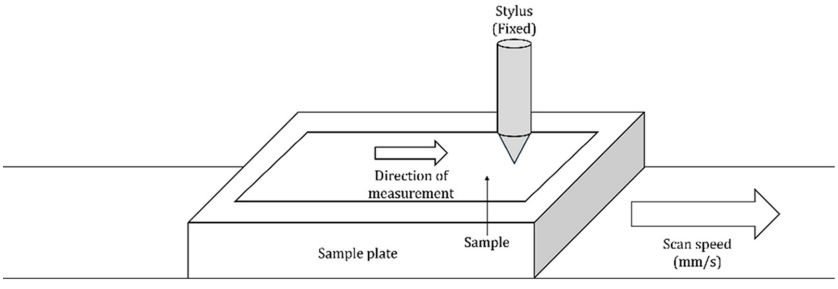

Fig. 1. Configuration of the profilometer with the stylus[11].

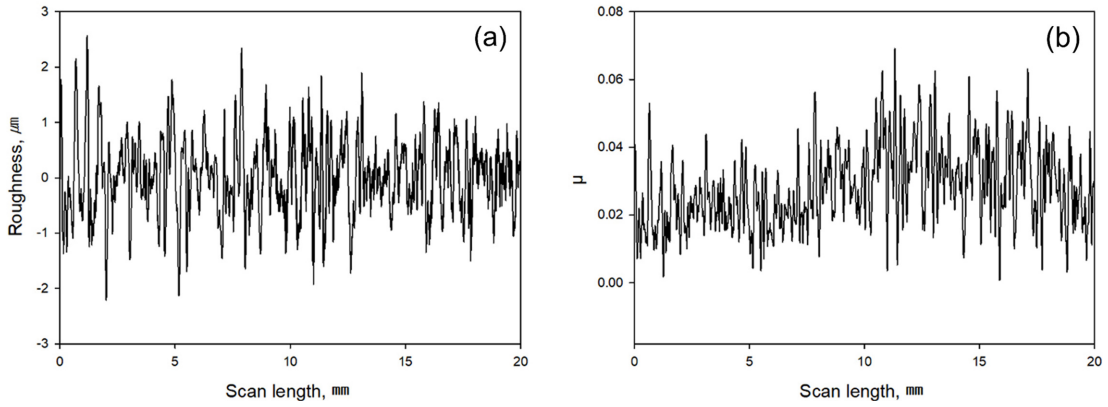

Fig. 2. Examples of surface profile (a: surface roughness profile, b: surface friction profile).

R_a는 추출된 프로파일 높이 평균을 나타내며 *R*-MAD의 경우 계산 시 각 데이터 포인트에서 R_a 값이 상수로 취급되어 빨셈 처리된 값, 즉 편차를 나타내므로 장비와 측정 조건에 따른 변위를 최소화하며 시료 자체의 변위를 반영한다[11,20].

$$R_a = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}|R_i| \quad (1)$$

$$R\text{MAD} = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\left||R_i| - R_a\right| \quad (2)$$

4.5. 표면 마찰 프로파일 파라미터

표면 거칠음도 파라미터와 마찬가지로 표면 마찰 파라미터의 경우 동일 시험 조건 하에서 추출된 표면 마찰 프로파일을 통해 식 (3)과 (4)에 의거하여 MIU (Average COF, $\bar{\mu}$)와 *F*-MAD (mean absolute deviation of friction)를 계산하였다. 여기서 *N*은 지정된 스캔 영역에서 데이터 수집 개수를 의미하며 μ_i는 지점 *i*에서의 거칠기를 나타낸다[11,20,21,23].

MIU 및 *F*-MAD 역시 상기 거칠음도 프로파일 파리미터와 마찬가지로 MIU는 추출된 마찰 프로파일에서의 항력 평균을 나타내지만 *F*-MAD에서 MIU가 상수 취급되어 빼어 짐으로써 시료 표면에서의 마찰 변동을 반영한다. 따라서 장비와 측정 조건에 따른 변위가 아닌 시료 자체의 변위를 보다 효과적으로 반영한다. [20,21]

산출된 표면 거칠음도 및 마찰 파라미터의 경우 10회 반복 측정에 대한 평균값을 변동계수(coefficient of variation, COV)와 기계 및 기계 폭 방향에 대한 기하평균(geometric mean, GM)과 함께 도시하였다.

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\mu_i \quad (3)$$

$$F-\text{MAD} = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\left|\mu_i - \bar{\mu}\right| \quad (4)$$

5. 촉감 선호 정량 평가

5.1. Sensory Panel Test (SPT)

포장 소재의 질감처리방법에 따른 소비자의 주관적인 촉감 및 질감 선호도 조사를 실시하였다. SPT는 Ko[13] 및 Lee 등[12] 이 보고한 결과를 참조하여 감성디자인 구현 제품으로써 선호도를 1에서 10점 사이의 점수로 질감 선호도가 높은 제품일수록 높은 점수를 기입하는 설문 시험을 통해 진행하였다. 본 설문은 50명의 일반인 (20-30대, 남자: 28명, 여자 22명)을 대상으로 수행되었으며 설문 결과에 대한 제품별 점수를 합산하여 주관적 질감선호도를 평가하였다.

5.2. 감성디자인 질감 선호도 예측 모델링

포장제품의 감성디자인 질감 선호도 예측 모델링은 주관적 질감 선호도 결과인 SPT 점수를 종속변수, KES-SESRU surface tester로 측정한 표면 파라미터를 데이터를 독립변수로 설정하여 식 (5)에 도시한 바와 같이 수행하였다 [12,13]. 여기서 *C*, *m*및 *n*은 curve fitting 결과에 따른 curve fitting coefficient를 나타낸다.

$$Preference = C + m\log Roughness + n\log \text{Friction} \quad (5)$$

모델링 결과에 따른 각 파라미터 별 질감 선호도에 대한 기여도는 식 (6)과 (7)에 의거하여 계산하였다[12,13].

$$Roughness,\ \% = 100 \times |\text{m}| / (|\text{m}| + |\text{n}|) \quad (6)$$

$$Friction,\ \% = 100 \times |\text{n}| / (|\text{m} + |\text{n}|) \quad (7)$$

이상의 모든 데이터 처리 및 모델링은 R software (R Core Team, ver. 4.3.3, Auckland, New Zealand)를 통해 수행하였다.

6. 통계분석

데이터 간의 상관관계를 구체적으로 확인하기 위해 SPSS 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 활용하여 통

계적 분석을 실시하였다. 95% 신뢰구간($\alpha < 0.05$)에서 데이터 정리 및 분산 분석(ANOVA) 등의 분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 이미지 분석

1.1. 주사전자현미경 (SEM) 분석

SEM은 전자빔을 이용하여 물체의 미세구조 표면 구조, 고분자 형태, 필름의 단면 분석, 입자 크기 분석 등이 가능하다[6,7]. Fig. 3과 Table 3은 SEM 분석 이미지와 평균 입자 크기에 대한 자료이다. 해당 SEM 분석에서는 샘플 표면과 경계가 있고 표면으로부터 독립적으로 존재하는 부분을 입자로 보았다. KP의 경우 SEM 표면 분석에서 크라프트 섬유가 관찰되었다. SEM 분석을 통해 질감바니쉬 인쇄를 한 필름의 입자 크기가 무광인쇄 필름보다 입자 사이즈가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 무광인쇄필름의 평균 입자 크기는 5.501 μm (PET-M)와 5.417 μm (PE-M)로 확인되었으며 질감바니쉬 인쇄필름의 평균 입자 크기는 18.740 μm (PET-V), 19.588 μm (MDOPE-V), 그리고 19.670 μm (BOPE-V)으로 확인되었다. 이는 질감바니쉬 공정에서 유색안료가

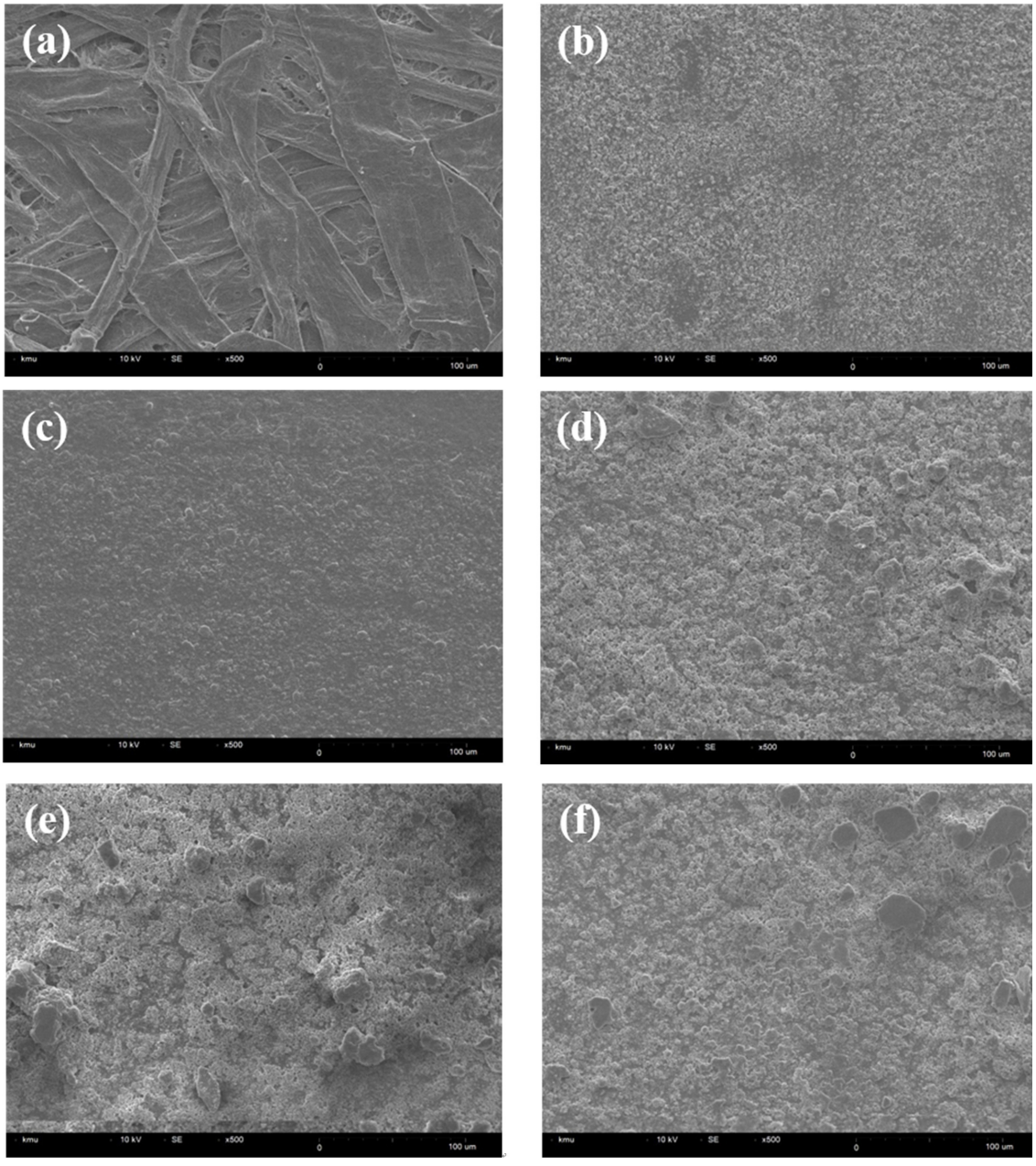

Fig. 3. SEM images of (a) KP, (b) PET-M, (c) PE-M, (d) PET-V, (e) MDOPE-V, (f) BOPE-V.

Table 3. SEM images cell size data

Samples	PET-M	PE-M	PET-V	MDOPE-V	BOPE-V
Cell size (μm)	5.501 ± 1.110[a]	5.417 ± 1.394[a]	18.740 ± 8.014[b]	19.588 ± 7.158[b]	19.670 ± 8.153[b]

입자의 크기를 키운 결과로 판단된다.

1.2. 주사탐침현미경 (AFM) 분석

입자 크기와 거칠기의 상관관계를 확인하기 위해 AFM 분석을 수행하였으며 관련 데이터를 Fig. 4와 Table 4에 표기하였다. AFM은 시료의 원자와 탐침 (캔틸레버) 사이에 작용하는 반데르발스 힘을 이용하여 시료 표면의 거칠기와 이미지를 구하는 분석으로 다양한 표면의 모양과 질감을 연구하는 데 사용되는 분석법이다[4]. AFM은 플라스틱, 필름, 포장재와 같은 재료의 다양한 표면 구조, 나노 구조 및 표면 거칠기를 분석하는 데 활용된다[9,24,25]. KP의 경우 SEM 표면 분석 결과, 크라프트 섬유로 인해 거친 표면 특성을 보였기에 AFM 분석을 수행하지 않았다.

AFM 분석 결과, 대부분 측정 파라미터에서 질감바니쉬 인쇄필름이 전체적으로 거칠기 데이터가 높게 측정되었다. 이는 SEM 데이터에서 확인된 바와 같이, 질감바니쉬 처리 과정에서 유색 안료가 입자의 크기를 증가시킨 결과로 판단되며, 입자의 높낮이 차이가 거칠기에 영향을 준 것으로 보인다. 이는 질감바니쉬 인쇄방식이 무광인쇄방식보다 필름의 거칠기에 더 큰 영향을 미치는 요소임을 나타낸다. 동일한 질감 처리 방법에 따라 유사한 통계적 중첩 구간이 형성되어, 필름의 거칠기에 영향을 주는 주요 인자는 필름의 소재보다는 질감 구현 방식인 것으로 나타났다.

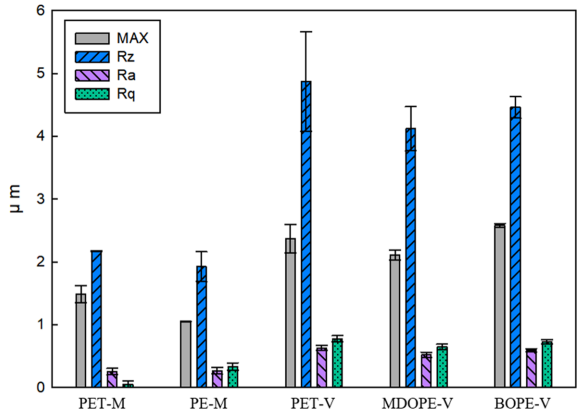

Fig. 4. AFM measurement data.

Table 4. AFM measurement data

Samples	Scan size (μm)	Max (μm)	R_z (μm)	R_a (μm)	R_q (μm)
PET-M	30 × 30	1.485 ± 0.135[ab]	2.17 ± 0.010[a]	0.256 ± 0.052[a]	0.3325 ± 0.053[a]
PE-M	30 × 30	1.055 ± 0.005[a]	1.925 ± 0.235[a]	0.269 ± 0.054[a]	0.333 ± 0.060[a]
PET-V	30 × 30	2.370 ± 0.230[c]	4.870 ± 0.790[b]	0.632 ± 0.037[b]	0.777 ± 0.050[b]
MDOPE-V	30 × 30	2.110 ± 0.080[bc]	4.120 ± 0.350[b]	0.521 ± 0.043[b]	0.648 ± 0.044[b]
BOPE-V	30 × 30	2.580 ± 0.030[c]	4.460 ± 0.170[b]	0.592 ± 0.028[b]	0.728 ± 0.032[b]

2. 표면 특성 분석

2.1. 마찰계수 분석

마찰계수는 물체와 지면이 쉽게 미끄러지지 않는 정도와 접촉면의 상태가 마찰력에 미치는 영향을 나타내는 지표이다[26,27]. 그렇기 때문에 재료의 고유 특성, 기계적 특성, 표면 거칠기와 같은 요인에 따라 영향을 많이 받는다. 마찰계수는 두 면이 상대적으로 움직일 때 접촉면을 결정하는 마찰력과 수직 항력의 비율로 정지마찰계수 (Static Friction Coefficient, SFC)와 동마찰계수 (Dynamic Friction Coefficient, DFC)로 확인할 수 있다. 정지 마찰이 가해지면 SFC가 발생하고 동적 마찰이 가해지면 DFC가 발생한다. 마찰력이 높을수록 미끄러짐이 발생하기 어렵고 마찰력이 낮을수록 미끄러짐이 더 쉬워진다[26]. 종이 질감을 구현한 KP를 대조군으로 설정하여 필름의 마찰계수를 비교 분석하였으며 Table 5에 관련 데이터를 나타내었다. 전체 필름의 SFC와 DFC 값은 필름의 종류와 인쇄 기법에 따른 유의미한 차이는 확인되지 않았다. 이를 자세하게 분석하기 위해 동일 시

Table 5. Friction coefficient measurement data

Samples	Friction coefficient	Result
KP	SFC	0.11
	DFC	0.10
PET-M	SFC	0.20
	DFC	0.19
PE-M	SFC	0.19
	DFC	0.19
PET-V	SFC	0.11
	DFC	0.10
MDOPE-V	SFC	0.09
	DFC	0.12
BOPE-V	SFC	0.08
	DFC	0.08

험 조건 하에서 표면 거칠기와 표면 마찰에 대한 프로파일을 동시에 분석이 가능한 표면 시험기를 활용하여 거칠음도와 마찰 프로파일 파라미터에 대한 표면 구조해석을 수행하였다.

2.2. 접촉각 및 표면 에너지 분석

Table 6에 샘플의 접촉각 및 표면 에너지 특성을 분석한 데이터를 나타내었다. 접촉각은 고체가 액체에 의해 젖을 수 있는 정도를 나타내며 접촉각이 작을수록 젖음성(친수성)이 커진다[8,28]. 젖음성이 큰 필름은 잉크, 접착제, 코팅 등 용액이 쉽게 도포가 되며, 젖음성이 작은 필름은 인쇄 성능이 좋지 않다. 질감구현방식에 따른 포장재의 인쇄 특성을 확인하기 위해 샘플 표면의 접촉각 및 표면 에너지를 측정하였다. 접촉각 측정 결과에서는 무광인쇄필름, KP, 질감바니쉬 인쇄필름의 순으로 접촉각이 커졌고 표면에너지는 질감바니쉬 인쇄필름, 무광인쇄필름, KP 순으로 표면에너지가 커지는 것으로 확인된다. Chau등은 접촉각을 증가시키는 요인으로 입자크기의 증가, 화학적 반응 등이 있다고 하였다[29]. 질감바니쉬 인쇄필름의 경우, 무광인쇄필름과 달리 안료가 첨가되었기 때문에 입자 크기가 증가되어 접촉각이 증가한 것으로 판단된다. 따라서 질감바니쉬 인쇄필름은 접촉각이 가장 크고 표면에너지가 가장 낮았기 때문에 인쇄성은 KP와 무광인쇄필름에 비해 인쇄 성능이 상대적으로 낮을 것으로 확인된다. 그러나 동일한 인쇄기법이 적용된 필름끼리 표면에너지를 비교한 결과 유의적인 차이가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다[30].

2.3. 표면 거칠음도 프로파일 파라미터

Table 7은 샘플 표면 거칠음도 프로파일 파라미터를 나타낸 것이며 괄호 안의 숫자는 10회 반복 측정에 대한 변동계수를 의미한다. 전반적으로 측정 방향에 따른 샘플 별 거칠음도의 차이는 미미한 것으로 분석되었다. 그러나 KP

Table 6. Contact angle and surface energy measurement data

Samples	Test type	Test method	Result
KP	CA(Distilled water)	ASTM D5946	117.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	23.6°
	Surface energy	ASTM D7490	52.5 dyne/cm
PET-M	CA(Distilled water)	ASTM D5946	108.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	25.6°
	Surface energy	ASTM D7490	48.2 dyne/cm
PE-M	CA(Distilled water)	ASTM D5946	83.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	30.1°
	Surface energy	ASTM D7490	44.5 dyne/cm
PET-V	CA(Distilled water)	ASTM D5946	119.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	44.9°
	Surface energy	ASTM D7490	40.9 dyne/cm
MDOPE-V	CA(Distilled water)	ASTM D5946	124.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	52.6°
	Surface energy	ASTM D7490	37.4 dyne/cm
BOPE-V	CA(Distilled water)	ASTM D5946	117.0°
	CA(Diiodomethane)	ASTM D5946	51.7°
	Surface energy	ASTM D7490	35.8 dyne/cm

Table 7. Test results of surface roughness

Sample	Roughness profile parameters					
	R_a (μm)			*R*-MAD (μm)		
	MD	CD	GM	MD	CD	GM
KP	0.67 (5.8)	0.78 (5.4)	0.72 (3.8)	0.67 (5.8)	0.78 (5.4)	0.72 (3.8)
PET-M	0.08 (9.4)	0.09 (7.9)	0.09 (5.9)	0.08 (9.3)	0.09 (8.1)	0.08 (6.0)
PE-M	0.47 (6.0)	0.42 (7.5)	0.44 (3.3)	0.47 (6.0)	0.42 (7.5)	0.44 (3.3)
PET-V	0.41 (9.7)	0.46 (3.7)	0.43 (4.8)	0.41 (10.0)	0.46 (3.7)	0.43 (4.9)
MDOPE-V	0.47 (7.6)	0.52 (5.5)	0.49 (4.8)	0.47 (7.6)	0.52 (5.5)	0.49 (4.9)
BOPE-V	0.42 (6.8)	0.44 (10.7)	0.43 (6.0)	0.41 (6.8)	0.44 (10.7)	0.43 (6.0)

( ): COV, %

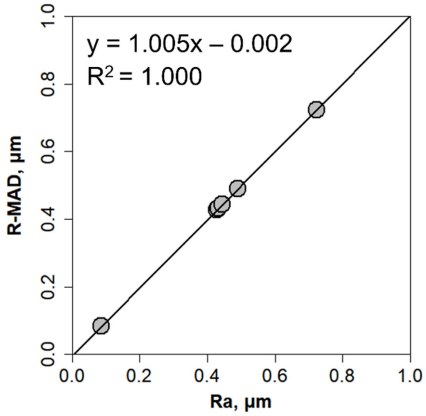

Fig. 5. *R*-MAD vs. R_a.

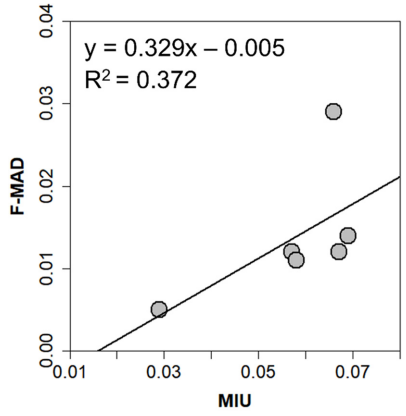

Fig. 6. *F*-MAD vs. MIU.

의 경우 측정 방향에 따른 거칠음도의 차이가 타 샘플에 비하여 상대적으로 큰 것으로 확인되었다. 이는 초지공정 상의 섬유 배향에 따라 물리적 및 기계적 특성이 크게 좌우되는 종이 재료의 특성에 기인한 결과로 판단된다.

Fig. 5에 표면 거칠음도 프로파일 파라미터 *R*-MAD와 R_a를 비교한 결과를 나타내었다. Park 등[20]과 Lee 등[11] 은 종이 재료에 대한 거칠음도 분석 시 측정 기기 및 조건 변화에 따른 실험 재현성에 있어 평균절대편차인 *R*-MAD가 산술 평균 거칠기를 의미하는 R_a에 비하여 안정적인 파라미터라고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구 샘플의 경우 표면의 균일성이 종이재료에 비하여 상대적으로 높기 때문에 파라미터에 따른 거칠음도의 변화는 유의미하지 않은 것으로 사료된다.

2.4. 표면 마찰 프로파일 파라미터

Table 8은 샘플의 표면 마찰 프로파일 파라미터를 나타낸 것으로 괄호 안의 숫자는 10회 반복 측정에 대한 변동계수이다. KP에서 이례적으로 측정 방향에 따른 차이가 확인되었던 거칠음도 파라미터와 달리 마찰 파라미터의 경우 PET-V 샘플에서도 측정 방향에 따른 차이가 상대적으로 큰 것으로 분석되었다. 이는 계측기의 측정한계치에 기인한 결과로 사료된다. AFM 분석 시 표면 거칠기가 가장 높게 분석된 샘플은 PET-V였던 것을 Table 4에서 확인할 수 있다. KES-SESRU surface tester의 surface roughness 측정을 위한 detector (differential transformer)의 센싱 범위는 40 mm에서 4 μm이다. 따라서 본 계측기에서 질감바니쉬 특성 구현을 위한 안료입자의 처리가 surface roughness에 미치는 영향은 미미하였을 것으로 사료된다. 그러나 마찰 측정을 위한 detector (potentiometer)의 경우에는 differential transformer에서 감지하지 못한 표면 특성의 변화가 감지되었을 것으로 판단된다.

Fig. 6은 표면 마찰 프로파일 파라미터 *F*-MAD와 MIU를 비교한 결과를 나타낸 것이다. 마찰의 경우 기기와 시료 사이에서 발생되는 직접적인 힘을 나타내는 지표로서 측정 기기 및 조건에 따른 변화가 보다 민감한 것으로 알려져 있다[21]. MIU는 시료와 장치에서 발생되는 마찰 프로파일에 대한 평균 값을 의미하며 *F*-MAD의 경우 마찰 프로파일의 변화에 따른 평균 절대 편차를 나타낸다. 따라서 힘과 힘의 변동을 나타내는 두 파라미터의 결정계수는 0.372로 상대적으로 낮았으며 선행연구 결과를 참조하였을 때 두 파라미터는 독립적인 지표로 간주되어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 7은 표면 거칠음도 프로파일 파라미터와 마찰 프로파일 파라미터를 비교한 것으로 표면 거칠음도와 마찰 특성은 상관관계가 비교적 낮은 것으로 분석되었다. 이는 Ko[23] 및

Table 8. Test results of surface friction

Sample	Friction profile parameters					
	MIU			*F*-MAD		
	MD	CD	GM	MD	CD	GM
KP	0.057 (32.1)	0.063 (23.7)	0.058 (13.6)	0.010 (12.8)	0.012 (11.5)	0.011 (5.5)
PET-M	0.030 (26.8)	0.028 (31.8)	0.029 (21.3)	0.005 (53.4)	0.006 (28.9)	0.005 (26.9)
PE-M	0.066 (16.2)	0.051 (20.5)	0.057 (14.8)	0.012 (8.9)	0.013 (18.8)	0.012 (9.4)
PET-V	0.065 (18.1)	0.051 (11.9)	0.057 (11.4)	0.013 (18.5)	0.069 (11.9)	0.029 (7.1)
MDOPE-V	0.066 (10.8)	0.069 (20.6)	0.067 (13.0)	0.012 (11.4)	0.013 (16.1)	0.012 (6.9)
BOPE-V	0.069 (18.2)	0.071 (16.8)	0.069 (13.5)	0.015 (34.4)	0.014 (11.8)	0.014 (20.0)

( ): COV, %

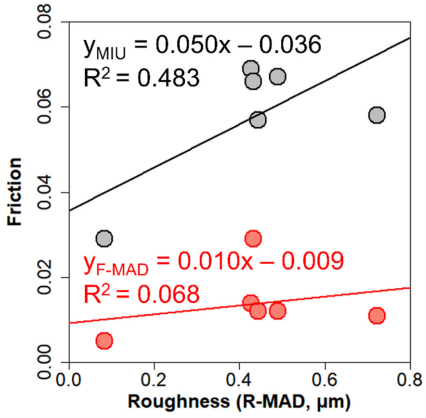

Fig. 7. Friction vs. Roughness.

Lee 등[11]의 연구결과에 부합하는 결과로 시료의 표면 특성화에 있어 표면 거칠음도와 마찰이 상호 독립적으로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

3. 촉감 선호 정량 평가

3.1. 포장소재 감성디자인 구현에 대한 주관적 질감 선호도

Table 9는 주관적 질감 선호도 조사를 위한 SPT 수행결과를 나타낸 것으로 패널들은 각 샘플에 대하여 질감을 평가하고 감성디자인 구현 제품으로써 선호도가 높은 제품일수록 높은 점수(1-10점)를 부여하도록 구성된 설문에 대한 시행결과를 나타낸다. Fig. 8은 질감 선호도 조사 결과에 대한 상자 도표를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 상자의 하단부는 첫 번째 사분위수(Q1)를 나타내며 상단부는 세 번째 사분위수(Q3)를 나타낸다. 따라서 상자의 길이는 사분위 범위를 대표한다. 상자 중앙의 수평선은 중위수, 상자 상단과 하단으로부터 나온 점선은 1.5배 범위 내에서 최소 및 최대값을 나타낸다. 이 범위를 벗어나는 값은 이상치(outlier)로 간주되며 도표상에 원으로 표기된다.

Table 9. Preference scores of emotional designed packages

Sample	Preference score
KP	330
PET-M	205
PE-M	231
PET-V	226
MDOPE-V	231
BOPE-V	223

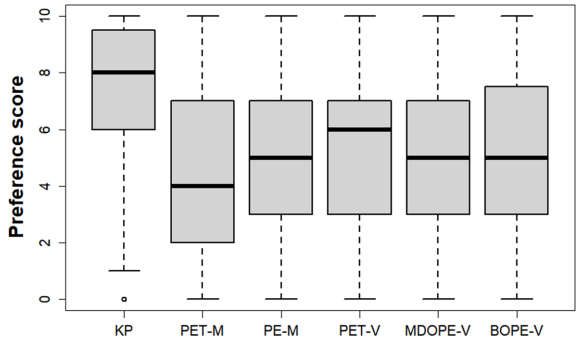

Fig. 8. Boxplot for preference score.

Table 9의 결과에서 확인할 수 있듯이 KP 샘플, 즉 종이 질감이 구현된 제품이 감성디자인 구현 제품으로 선호도가 높은 것으로 분석되었다. 따라서 고분자 필름을 이용한 감성디자인 제품 설계 시 종이 질감과 유사한 촉감을 표면에 구현한다면 소비자의 선호도를 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 주관적 질감 선호도에 대한 지표가 압도적으로 높았던 KP를 제외한 뒤 표면 프로파일 파라미터(GM)와 주관적 질감 선호도 결과를 비교한 것으로 포장지 질감에 대한 소비자의 선호도에 있어 거칠음도가 마찰보다 상대적으로 큰 비중을 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 마찰 파라미터의 경우 *F*-MAD에 비하여 MIU 파라미터가 주관적 질감 선호도와 상관성이 비교적 높은 것으로 나타났다.

3.2. 감성디자인 구현을 위한 주관적 질감 선호도 예측 모델링

Fig. 10은 식 (5)에 의거하여 작성한 주관적 질감 선호도

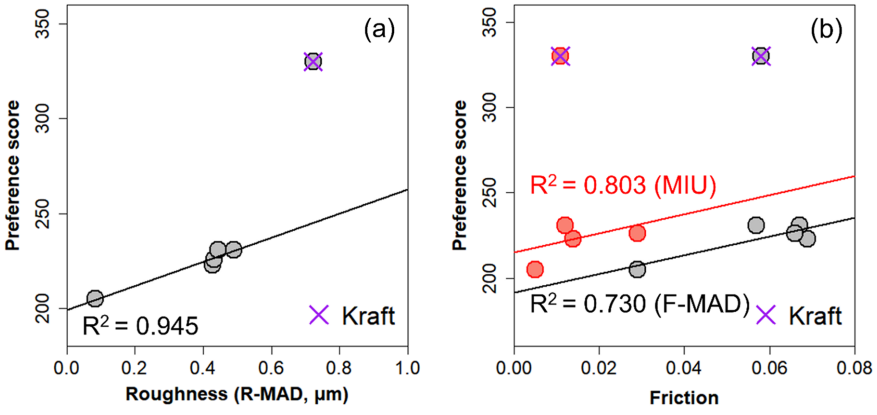

Fig. 9. Preference score vs. surface profile parameters (a: Roughness, b: Friction).

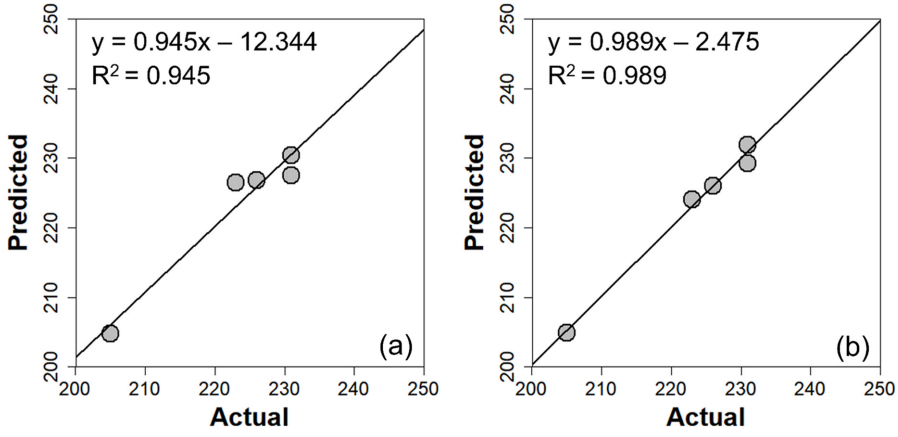

Fig. 10. Predicted preference score (a: 1-P Model, b: 2-P Model).

예측 모델의 예측 결과를 나타내었다. Fig. 10(a)의 경우 Fig. 9의 결과에서 표면 거칠음도와 마찰 파라미터 중 선호도와 상관성이 보다 높았던 *R*-MAD 파라미터를 단독으로 독립변수로 사용하였을 때 작성된 모델(1-P model)을 나타낸 것이며, Fig. 10(b)의 경우 *R*-MAD와 MIU 두 파라미터를 독립변수로 사용하여 작성한 모델 (2-P model)의 결과이다. 각 모델은 종속변수인 주관적 질감 선호도에 대하여 0.945 및 0.989의 결정계수를 나타냈다. 표면 거칠음도와 표면 마찰 파라미터를 모두 사용하였을 때의 모델 성능이 상대적으로 우수한 것으로 분석되었으나 분석 시간 및 입력 변수의 축소 등의 효율성을 고려하였을 때 거칠음도 파라미터 단독으로 작성된 모델의 효용성 역시 준수할 것이라 사료된다.

각 파라미터의 주관적 질감 선호도 예측에 대한 기여도는 식 (6)과 (7)에 의거하여 계산하였으며 본 결과를 Table 10에 나타내었다. 2-P Model의 경우 두 파라미터 간의 스케일(scale)을 고려하여 기여도 계산에 앞서 각 파라미터 수치에 대하여 최소-최대 정규화(min-max normalization) 처리하였다. 예측 성능이 우수하였던 2-P Model에서 표면 거칠음도 및 마찰 프로파일 파라미터의 주관적 질감 선호도 예측 기여도는 각각 63.9% 및 36.1%인 것으로 분석되었다.

Table 10. Contribution of surface roughness and friction to the preference for emotional designed package

	1-P Model (*R*-MAD)	2-P Model (*R*-MAD, MIU)
R^2	0.945	0.989
C (constant)	199.4	204.9
m (*R*-MAD)	63.2	53.6
n (MIU)	-	-30.3
Contribution, %		
R-MAD	100	63.9
MIU		36.1

Table 11. Changes of preference by varying *R*-MAD and MIU in the 2P-Model

	R-MAD	MIU
	Δ Preference (%)	
+30%	3.06	-1.73
+20%	2.12	-1.20
+10%	1.11	-0.63
0	0	0
−10%	-1.23	0.70
−20%	-2.60	1.47
−30%	-4.15	2.35

따라서 소비자의 질감 선호도 향상을 위한 감성 디자인 구현 시 거칠음도와 마찰 중 거칠음도 특성을 우선적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

Table 11은 상기 작성된 모델을 기준으로 질감 선호도 향상을 위한 감성 디자인 구현 시 각 표면 특성에 변화에 따른 질감 선호도 변화를 나타낸 것이다. 각 파라미터를 10%, 20%, 30% 감소 혹은 증가시켰을 경우 최대 약 3%의 질감 선호도를 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 특히 앞서 언급하였듯 질감 선호도 구현에 있어 거칠음도 조정에 따른 선호도의 개선이 마찰 특성의 영향 보다 지배적이었다. 한편 마찰 특성을 30% 감소시킴에 따라서도 2.35%의 선호도 향상이 가능한 것으로 나타났다.

요 약

본 논문에서는 플라스틱 필름에 종이 같은 거친 질감을 부여하기위해 필름 표면에 질감 처리를 하여 인쇄된 필름의 이미지, 거칠기 및 마찰 분석, 소비자의 주관적 부드러움에 대한 평가를 정량화 하였다. 또한 정량 지표와 촉감 선호도 조사를 반영하여 소비자 촉감 선호도 예측 모델을

구축하였다. SEM분석에서 질감바니쉬 인쇄필름의 평균 입자 크기가 무광인쇄필름의 평균 입자 크기보다 큰 것을 확인하였다. 이는 질감바니쉬 처리공정에서 유색안료가 입자의 크기를 키운 결과로 판단된다. 또한 AFM 분석에서 질감바니쉬 인쇄필름의 대부분의 거칠기 파라미터에서 높은 거칠기를 나타내 입자크기가 거칠기에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 접촉각 및 표면에너지에도 유사한 경향성이 나타났는데, 질감바니쉬 인쇄필름의 접촉각이 가장 컸고, 표면에너지가 가장 낮았다. 이 역시 입자크기와 연관성이 있을 것으로 확인되며 인쇄성은 떨어질 것으로 예상된다. AFM을 활용한 R_a 값은 질감처리방법에 따라 데이터의 편차가 발생하였지만, 표면 거칠음도 프로파일 파라미터에서는 실험 재현성에 있어 안정적인 파라미터인 *R*-MAD값 분석을 통해 거칠음도의 차이는 유의미하지 않은 것으로 확인된다. 표면 마찰 프로파일 파라미터에서 MIU와 *F*-MAD의 결정계수가 낮게 확인되어 두 파라미터는 독립적인 지표로 간주해야 할 것으로 판단된다. 표면 거칠음도 프로파일 파라미터와 마찰 프로파일 파라미터를 비교 분석하였을 때 표면 거칠음도와 표면 마찰의 상관계수는 낮았으며 이에 따라 재료의 표면 특성화에 있어 두 파라미터가 상호 독립적으로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

SPT 수행결과와 표면 프로파일 파라미터 (GM)을 비교하였을 때 소비자의 촉감 선호도 증진과 감성디자인 구현을 위해서는 표면 거칠음도의 영향이 지배적인 것으로 분석되었으며 종이 질감과 유사한 질감이 구현될수록 선호도가 증가하는 것으로 나타났다. 표면 프로파일 파라미터를 독립변수로 사용하여 구축된 질감 선호도 예측 모델의 경우 1-P Model 와 2-P Model에 대하여 결정계수는 각각 0.945 및 0.989를 기록하여 2-P Model이 상대적으로 우수한 것으로 확인되었다. 그러나 두 모델간의 결정계수가 유사하게 측정되었기 때문에, 분석 시간 및 입력 변수 등의 효율성을 고려하였을 경우 거칠음도 파라미터 단독의 모델의 효용성 역시 준수할 것이라 판단된다. 2-P Model에서 주관적인 질감 선호도 예측 기여도는 표면 거칠음도 63.9%, 마찰 프로파일 파라미터는 36.1%로 분석 되었다. 따라서 소비자의 촉감 선호도 향상을 위해서는 거칠음도 특성을 우선적으로 고려해야 할 것으로 사료된다. 본 모델을 통하여 거칠음도 혹은 마찰 특성의 조정에 따라 소비자의 포장지 질감 선호도 개선이 가능함을 확인할 수 있었다. 연구결과는 감성디자인 포장지의 인쇄 설계 및 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 이를 다양한 질감 처리 방식에도 해당 모델을 적용하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 디자인산업기술개발사업 (과제번호 : 20018682)의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

1. Yam KL, Takhistov PT, Miltz J. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. Journal of food science. 70(1): R1-R10.
2. Chen J. 2007. Surface texture of foods: Perception and characterization. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 47(6): 583-598.
3. Jeyapoovan T, Murugan M. 2013. Surface roughness classification using image processing. Measurement. 46(7): 2065-2072.
4. Kumar BR, Rao TS. 2012. AFM studies on surface morphology, topography and texture of nanostructured zinc aluminum oxide thin films. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 7(4): 1881-1889.
5. Saif AeA, Ramli N, Poopalan P. 2010. AFM study of multilayer sol-gel BaxSr1-xTiO3 thin films. Jordan journal of physics. 3(2): 61-68.
6. Zhou W, Apkarian R, Wang ZL, Joy D. 2007. Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). Scanning microscopy for nanotechnology: techniques and applications. 1-40.
7. Liu F, Wu J, Chen K, Xue D. 2010. Morphology study by using scanning electron microscopy. Microscopy: science, technology, applications and education. 3: 1781-1792.
8. Taylor M, Urquhart AJ, Zelzer M, Davies MC, Alexander MR. 2007. Picoliter water contact angle measurement on polymers. Langmuir. 23(13): 6875-6878.
9. Dazzi A, Prater CB. 2017. AFM-IR: Technology and applications in nanoscale infrared spectroscopy and chemical imaging. Chemical reviews. 117(7): 5146-5173.
10. Yokura H, Kohono S, Iwasaki MJJote. 2004. Objective hand measurement of toilet paper. Journal of Textiel Engineering. 50(1): 1-5.
11. Lee, Y.J. and Ko, Y.C. 2023. Surface characterization of paper products by profilometry with a fractal dimension analysis. BioResources. 18(2): 3978-3994.
12. Lee, J.M. and Ko, Y.C. 2023. Developing physical softness models for facial tissue products. BioResources. 19(1): 116-133.
13. Ko, Y.C. and Park, J.Y. 2019. Principles of developing physical test methods for disposable consumer products. Journal PR. 34(1): 75-87.
14. Kweon, S.W. and Lee, Y.J. 2024. The Characteristics of Wet-laid Nonwoven Sheet Using Lyocell/Wood pulp Fibers. J. Korea TAPPI. 56(2): 30-40.
15. Lee, Y.J. and Cha, J.E. 2023. Power Spectrum Analysis of Surface Roughness for Paper and Paperboard. J. Korea TAPPI. 55(6): 78-85.
16. Lee, Y.J. and Kang, N.Y. 2023. Fractal Dimension Analysis of Surface Roughness for Paper and Paperboard. J. Korea TAPPI. 55(4): 3-11.
17. Lee, J.G. and Park, S.H. 2010. Investigation of Properties of

the PET Film Dependent on the Biaxial Stretching. Polymer (Korea). 34(6): 579-587.
18. Soon K, Harkin Jones E, Rajeev RS, Menary G, Martin PJ, Armstrong CG. 2012. Morphology, barrier, and mechanical properties of biaxially deformed poly (ethylene terephthalate) mica nanocomposites. Polymer Engineering & Science. 52(3): 532-548.
19. Han, K.H. and Jang, M.G. 2018. The Effects of Compatibilizers on the morphological, mechanical, and Optical Properties of Biaxially oriented poly (ethylene terephthalate)/Syndiotactic polystyrene blend Films. Macromolecular Research. 26: 254-262.
20. Park, N.Y. and Ko, Y.C. 2021. Surface characterization of paper products via a stylus-type contact method. BioResources. 16(3): 5667.
21. Moon, B.G. and Park, N.Y. 2022. Characterization of paper surfaces by friction profilometry. BioResources. 17(4): 6067-6078.
22. Jeong, H.S. and Ko, Y.C. 2019. Effects of a stylus on the surface roughness determination in a contact method for paper and paperboard. Nordic Pulp & Paper Research Journal. 34(4): 442-452.
23. Ko, Y.C. and Melani, L. 2019. Surface characterization of paper and paperboard using a stylus contact method. Nordic Pulp & Paper Research Journal. 35(1): 78-88.
24. Fotiadis D, Scheuring S, Müller SA, Engel A, Müller DJ. 2002. Imaging and manipulation of biological structures with the AFM. Micron. 33(4): 385-397.
25. Chen, Y. and Huang, W. 2004. Numerical simulation of the geometrical factors affecting surface roughness measurements by AFM. Measurement science and technology. 15(10): 2005.
26. Branko I, Miroslav Đ, Dušan S. 2000. The influence of the contact surface roughness on the static friction coefficient. Tribology in industry. 22(3&4): 41.
27. Bhushan B. Surface roughness analysis and measurement techniques. Modern tribology handbook, two volume set: CRC press; 2000:79-150.
28. Chibowski EJ. 2005. Surface free energy and wettability of silyl layers on silicon determined from contact angle hysteresis. Advances in colloid and interface science. 113(2-3): 121-131.
29. Chau T, Bruckard W, Koh P, Nguyen A. 2009. A review of factors that affect contact angle and implications for flotation practice. Advances in colloid and interface science. 150(2): 106-115.
30. Lee, M.H. and Cho, I.S. 2023. The Evaluation of the Packaging Properties and Recyclability with Modified Acrylic Emulsion for Flexible Food Paper Coating. J. Korea Soc Packag. Sci. & Tech. 29(3): 153-161.

투고: 2024.07.15 / 심사완료: 2024.07.25 / 게재확정: 2024.08.07