

불규칙한 형상들이 임의적으로 배치된 표면에서의 표면거칠기와 촉각 감성과의 상관관계

Relationship between Surface Roughness and Touch Perception on the Surfaces with Randomly Spaced, Irregular Features

정지연¹, 황지홍^{2,#}
Jiyeon Jung¹ and Jihong Hwang^{2,#}

¹ 서울과학기술대학교 금형기술연구소 (Research Center for Die and Mold, Seoul National University of Science & Technology)
² 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 (Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology)
Corresponding Author / E-mail: hwangjh@seoultech.ac.kr, TEL: +82-2-970-6396
ORCID: 0000-0002-0758-3590

KEYWORDS: Random surface (불규칙적 표면), Surface roughness (표면 조도), Touch perception (촉각 감성), Relationship (상관관계)

The objective of the present study was to investigate the relationship between surface roughness and touch perception of surfaces with randomly spaced, irregular features. Two sets of specimens with top surfaces consisting of triangular peaks and valleys were modeled and 3D-Printed by varying the height of the peak, the depth of the valley, and the width between two intersections of the peak or valley with the center line. For one set of specimens, values of these variables were kept constant within a specimen but varied across specimens. For the other set of specimens, values of these variables were randomly selected in given ranges within a specimen while ranges were varied across specimens. The level of touch perception of each specimen was then measured using a questionnaire consisting of 16 adjectives related to touch perception and a 7-point Likert scale. Measured data were statistically analyzed and compared between different sets of specimens. Results indicated that it was inappropriate to directly apply findings of the previous studies for surfaces with regularly spaced, geometrically well-defined features to surfaces with randomly spaced, irregular features.

Manuscript received: March 28, 2021 / Revised: May 30, 2021 / Accepted: June 10, 2021

1. 서론

2000년대 들어 소비자 행동 연구에서는 제품 접촉 욕구(Need for Touch) 성향이 중요한 관심사로 대두되었다. 제품 접촉 욕구 성향은 접촉을 통해 제품 평가를 위한 정보를 탐색하고 즐거움을 경험하고자 하는 성향이라고 할 수 있는데, 이러한 성향은 소비자의 구매 판단에 직접적으로 영향을 미치기 때문이다.^{1,2} 따라서 제품 표면이 주는 촉각적 감성은 형태가 주는 시각적 감성만큼이나 제품 설계에 있어 중요한 요인 중 하나로 인식되게 되었는데, 그 결과로서 최근 제품 표면이 주는 촉각적 감성에 대한 연구에 관심이 모아지고 있다.³⁻⁵

표면이 주는 촉각적 감성에 영향을 미치는 인자로는 표면 경도,

냉각률, 마찰, 표면거칠기 등이 있는데, 그 중에서도 표면거칠기와 관련된 연구가 촉각 감성과 관련된 연구의 주를 이루고 있다. 그 이유는 다른 인자들의 경우 재료가 정해지게 되면 해당 물성값에 크게 변화를 주기 어렵지만, 표면거칠기는 동일한 소재에 대해서도 비교적 자유롭게 변화를 줄 수 있기 때문이다. 그러나 표면거칠기와 인지된 촉각 감성에 관한 연구들은 대부분 일상에서 쉽게 구할 수 있는 시편들을 사용^{6,7}함으로써 다른 물성들로부터 독립된 표면거칠기 인자의 개별적 제어가 어려웠다는 단점을 지니고 있다. 그 결과 지각 감성에 대한 표면거칠기만의 독립적인 영향을 파악하는데 한계가 있었다. 또한 단일 소재를 사용하여 표면거칠기를 통제할 경우라 하더라도 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 배열된 인위적인 표면들에

대한 것이어서 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면에 대해서도 적용가능한지 확실치 않다는 한계를 지니고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에 앞서 Lee & Hwang은 단순하지만 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 보다 자연적인 표면을 상대로 인간에 의해 인지된 표면거칠기를 측정하고, 이를 물리적인 표면거칠기와 비교하여 인지적 거칠기를 대표하는 물리적 인자를 찾는 연구를 수행하였다.⁸ 본 연구에서는 여기에서 한 걸음 더 나아가 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 배열된 표면과 단순하지만 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 보다 자연적인 표면을 대상으로 촉각 감성 요인을 도출하고, 도출된 감성 요인들과 표면거칠기와의 상관관계를 밝히는데 초점을 둔다. 또한 분석된 결과를 토대로 서로 다른 두 종류의 표면과 촉각 감성과의 차이점을 밝히는데 초점을 둔다.

2. 이론적 배경

2.1 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대한 감성 연구

기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대한 감성 연구는 대부분 표면거칠기와 인지된 거칠기 사이의 관계를 밝히는데 초점이 맞춰져 있다. 그 결과를 요약하면, 인간에 의해 인지된 표면거칠기는 이웃하고 있는 기하학적으로 잘 정의된 볼록 형상들 사이의 골의 너비가 커질수록 증가하지만, 볼록 형상의 너비나 높이에는 크게 영향을 받지 않는다는 것이다.⁹

한편 Kawasegi et al.은 마이크로 절삭을 통해 산 모양의 단면 형상이 규칙적으로 반복되는 알루미늄 금형을 만들고 핫 프레스(Hot Pressing) 공정을 이용하여 플라스틱 시편들을 제작하였다.^{10,11} 이 시편들은 한 시편 내에서는 동일한 산 높이와 산과 산 사이 간격을 갖지만, 시편들 사이에는 서로 다른 값을 가지도록 제작되었다. 이렇게 제작된 시편들에 대해 10개의 대립 형용사 쌍(Uneven-Flat, Comfortable-Uncomfortable, Moist-Dry, Coarse-Fine, Hard-Soft, Thick-Thin, Cold-Not Cold, Sticky-Slick, Spiky-Not Spiky, Liked-Disliked)을 이용하여 손가락에 의해 지각되는 촉각 감성을 측정하고, 통계적 분석을 수행하였다. 그 결과 지각되는 감성들은 Uneven-Flat, Moist-Dry, Coarse-Fine, Thick-Thin, Cold-Not Cold, Sticky-Slick, Spiky-Not Spiky를 포함하는 첫 번째 요인(요인 1)과 Comfortable-Uncomfortable, Hard-Soft, Liked-Disliked를 포함하는 두 번째 요인(요인 2)으로 축약되었다. 그리고 지각되는 감성과 시편 표면의 물리적 특성(형상(산의 높이, 산과 산 사이의 간격), 거칠기, 마찰 등)과의 상관관계를 살펴본 결과 요인 1의 감성인 Uneven-Flat, Cold-Not Cold, Sticky-Slick는 산과 산 사이의 간격과 높은 상관관계를 갖는다는 것이 밝혀졌다. 이에 대해 저자들은 산과 산 사이의 간격이 100 μm 이상일 경우 시편 표면의 산과 손가락 지문의 산이 간섭을 일으켜 마찰 계수의 변동이 커지게 되고 결과적으로

로 Uneven 또는 Sticky 감성의 지각이 커진다고 설명하였다. 한편, Cold 감성에 대해서는 산과 산 사이의 간격이 커질수록 시편 표면과 손가락 사이의 실질적인 접촉 면적이 작아지므로 지각되는 Cold 감성이 작아진다고 설명하였다.

2.2 불규칙적인 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면에 대한 감성 연구

기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대해 얻어진 연구 결과가 불규칙적인 형상이 임의적으로 배치된 자연적인 표면에 대해서도 그대로 적용될 수 있을지는 확실치 않다. 이는 불규칙적인 형상이 임의적으로 배치된 보다 자연적인 표면의 경우 이웃하고 있는 형상들 사이의 거리가 일정치 않기 때문이다. 따라서 이러한 표면의 물리적 특성과 지각되는 감성과의 상관관계를 조사하여 이를 대표할 수 있는 물리적 인자를 찾아내는 것이 중요하다고 할 수 있다.

이와 관련하여 최근 Lee & Hwang은 단순하지만 불규칙적인 형상이 임의적으로 배치된 보다 자연적인 표면을 갖는 시편을 3D 프린팅을 활용하여 제작하고, 이를 이용하여 인간에 의해 인지된 표면거칠기와 5개의 대표적인 물리적 표면거칠기 인자(R_a , R_y , R_z , S_m , S) 사이의 상관관계를 조사하였다.⁸ 그 과정에서 저자들은 실제의 자연적인 시편을 이용하여 연구를 수행하는데 있어서의 한계, 즉 거칠기 인자의 개별적 제어가 어렵다는 점을 극복하기 위해 난수를 활용하여 불규칙적이면서도 개개의 표면거칠기 인자가 독립적으로 제어될 있는 방법을 고안하였다. 그리고 제작된 시편을 대상으로 인지되는 거칠기에 대한 평가를 수행한 결과, 산과 골의 높이와 깊이, 그리고 산 또는 골의 너비가 무작위로 주어진 표면의 경우 높이 거칠기 인자인 R_a , R_y , R_z 가 보다 높은 상관 계수를 갖는 반면, 이 값들이 일정하게 주어진 표면의 경우에는 너비 거칠기 인자인 S_m , S 가 보다 높은 상관 계수를 갖는다는 것을 밝혀냈다. 이는 동일한 형상이 규칙적으로 반복될 때만 너비 거칠기 인자가 인지되는 거칠기에 보다 큰 영향을 미침을 의미한다. 따라서 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대해 얻어진 연구 결과를 불규칙적인 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면을 상대로 적용하기에는 한계가 있다고 할 수 있다.

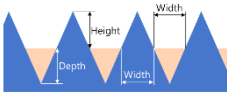

이러한 연유에서 본 연구는 단순하지만 불규칙적인 형상이 임의적으로 배치된 보다 자연적인 표면을 갖는 시편을 대상으로 촉각 감성과 표면거칠기 인자 사이의 관계를 밝히기 위해 수행되었다. 이를 위해 사람 대상 감성 평가 및 통계 분석 등 감성 공학적 연구 방법이 활용되었으며, 그 결과는 동일한 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 얻어진 실험 결과와 비교되었다.

3. 시편 제작 및 감성 평가

3.1 시편 모델링

일반적으로 표면거칠기는 산과 골의 중앙선부터의 높이 및

Table 1 Cross-sectional shapes of the specimens and their feature sizes

Set	Uniform	Random
Cross-sectional shape		
Height/Depth [mm]	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0	0.05-0.1, 0.05-0.2, 0.1-0.3, 0.2-0.4, 0.3-0.5, 0.3-0.6, 0.4-0.7, 0.4-0.8, 0.5-0.9, 0.5-1.0
Width [mm]	0.4, 0.6, 0.8, 1.0	0.2-0.6, 0.3-0.9, 0.4-1.2, 0.5-1.5

깊이, 그리고 산 또는 골이 중앙선과 만드는 교점들 사이의 너비에 의해 결정된다. 따라서 본 연구에서는 먼저 이 값들을 변수로 지정하여 특정한 표면거칠기값을 갖는 시편을 모델링하였다. 시편은 Table 1과 같이 2가지 세트르 모델링 되었는데, 첫 번째 세트(Uniform)는 한 시편 내에서는 산의 높기와 골의 깊이, 그리고 산과 골의 너비가 일정한 값을 갖는 시편들로 구성되었고, 두 번째 세트(Random)는 산의 높기와 골의 깊이, 그리고 산과 골의 너비가 주어진 범위 내에서 임의의 값을 갖는 시편들로 구성되었다.

3.2 시편 제작

본 연구에서 사용된 시편들은 고해상도 패속 조형기(Object Geometries Ltd.사의 Eden 330)를 사용하여 제작되었다. 시편 제작을 위해 사용된 패속 조형기는 600 (x축, 42 μm) × 300 (y축, 84 μm) × 1,600 dpi (z축, 16 μm)의 고해상도로 광경화성 수지를 출력할 수 있으며, 출력 가능한 제품의 최대 크기는 340 × 330 × 200 mm이다. 시편의 형상은 Matlab을 이용하여 수치적으로 모델링한 후 Fig. 1(a)와 같이 STL 포맷으로 저장하였다. 시편의 크기는 사람들이 손끝으로 시편을 접촉하는데 무리가 없는 크기 (40 × 20 × 5 mm)로 Fig. 1(b)와 같이 제작되었다.

3.3 표면거칠기 측정

시편의 실제 표면 형상은 패속 조형기의 해상도, 수지의 수축 등으로 인해 모델링된 형상과 달라질 수 있기 때문에 제작된 시편의 정확한 표면 형상을 알기 위해서는 별도의 측정이 요구된다. 하지만, 일반적으로 사용하는 접촉식 표면 조도 측정기로 표면 형상을 측정할 경우 골의 경사각이 스타일러스(Stylus) 경사각보다 작으면 측정이 불가능하거나 측정값이 부정확해지는 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 시편 측면을 비전을 이용하여 근접 촬영한 후, 표면 형상을 추적하여 표면거칠기를 구하는 방식을 활용하였다. 화상 측정을 위한 비전 시스템으로는 MICrosopes Inc.의 Eyecam 2.0을 사용하였으며, 표면거칠기

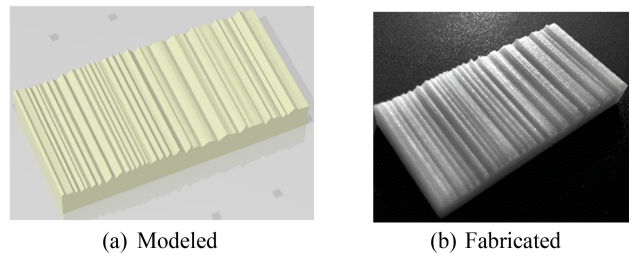


Fig. 1 Shape of specimen

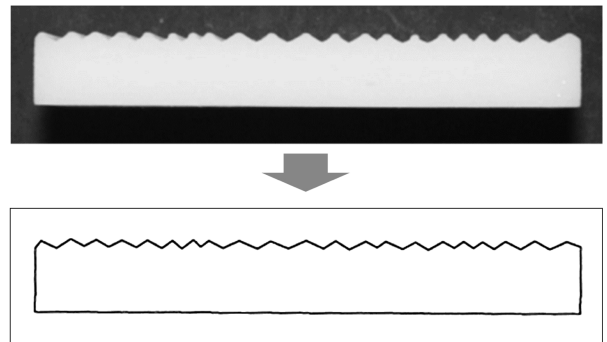


Fig. 2 Surface roughness measurement by the image analysis of specimen

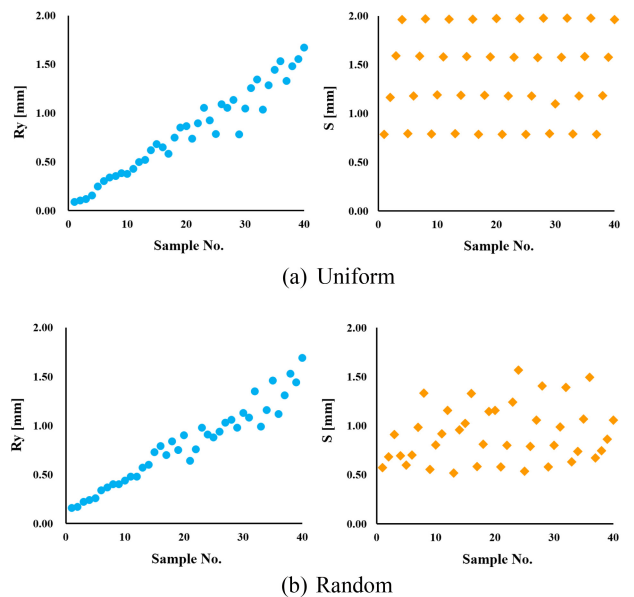


Fig. 3 Distribution of roughness values (Ry, S) measured for uniform and random specimens

인자로는 KS 규격의 Ra(중심선 평균 거칠기), Ry(최대 높이 거칠기), Rz(십점 평균 거칠기), Sm(단면 요철 간격), S(국부 산봉우리 평균 간격)을 사용하였다. 측정은 통계적 분석을 위해 3회 씩 반복하였다.

그 결과로서, Fig. 3은 2개의 시편 세트에 대해 측정된 표면 거칠기 값(Ry, S)의 분포를 보여준다. Fig. 3에서 2개의 시편 세트

Table 2 Pearson’s correlation between roughness values measured for uniform and random specimens

(a) Uniform					
	Ra	Ry	Rz	Sm	S
Ra	1.000				
Ry	.993	1.000			
Rz	.995	.999	1.000		
Sm	.284	.218	.227	1.000	
S	.282	.217	.226	1.000	1.000
(b) Random					
	Ra	Ry	Rz	Sm	S
Ra	1.000				
Ry	.978	1.000			
Rz	.954	.894	1.000		
Sm	.399	.475	.211	1.000	
S	.185	.279	.012	.662	1.000

모두에 대해 Ry의 값이 0.01-1.7 mm 범위 안에서 고르게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. S의 값은 Uniform 시편의 경우 0.8-2.0 mm, Random 시편의 경우 대략 0.5-1.6 mm의 범위 내에 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 한편 Table 2는 측정된 표면거칠기값 간의 상관성을 보여주는데, 높이 인자(Ra, Ry, Rz)와 너비 인자(Sm, S) 내에서는 서로 높은 상관성을 갖는 반면, 높이 인자와 너비 인자 사이에는 서로 낮은 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 높이 인자와 너비 인자 내에서의 상관성은 Uniform 시편들의 경우 Random 시편들의 경우보다 높은 것을 알 수 있다.

3.4 감성 평가

제작된 시편들에 대한 지각 감성을 평가하기 위해 피실험자에게 평가 시편을 무작위 순서로 제시하고, Table 3과 같이 선정된 16가지의 대표 촉감 형용사를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험에서 피실험자는 각 시편에 대해 느껴지는 감성의 정도를 7점 척도(1: 매우 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 약간 그렇지 않다, 4: 보통이다, 5: 약간 그렇다, 6: 그렇다, 7: 매우 그렇다)로 표시하도록 하였다. 16가지 대표 촉감 형용사는 촉감 감성과 관련된 앞선 연구들^{3-5,10-14}에서 감성 평가를 위해 사용된 형용사들 중 공통적인, 즉 대표성이 인정되는 형용사들을 추출한 결과이다. 이 촉감 형용사는 앞선 연구들과의 직접 비교를 위해 영어로 제시되었으며, 피실험자들이 그 의미를 명확히 알지 못하는 경우 사전에 활용하여 그 의미를 파악할 수 있도록 하였다. 실험 중 피실험자는 청각적, 시각적 자극을 배제하고, 촉각을 극대화하기 위해 눈가리개와 귀마개를 착용하였으며, 주로 사용하는 손의 검지 손가락 끝으로 시편을 능동적으로 접촉하도록 하였다. 실험에 참가한 피실험자 수는 총 20명(남자 16명, 여자 4명)이었으며, 피실험자의 평균 나이는 25.8세였다.

Table 3 Adjectives used for measuring the tactile emotion

No.	Adjectives	No.	Adjectives
1	Warm	9	Uneven
2	Cold	10	Flat
3	Slippery	11	Coarse
4	Sticky	12	Fine
5	Smooth	13	Dimply
6	Rough	14	Grainy
7	Hard	15	Sparse
8	Soft	16	Slick

4. 데이터 분석 및 결과

4.1 요인 분석

실험을 통해 수집된 감성 평가 데이터에 통계적 분석 방법을 적용함으로써 다양한 촉각 감성과 표면거칠기 인자 사이의 관계가 도출되었다. 먼저 요인 추출을 위해 주성분 분석(Principle Component Analysis)이 활용되었는데, 주성분 분석은 전체 분산을 토대로 서로 연관 가능성이 있는 고차원 공간의 표본들을 선형 연관성이 없는 저차원 공간(주성분)의 표본으로 변환시켜준다. 요인 회전 방법으로는 요인 간의 독립성을 지키면서 요인 구조가 뚜렷해질 때까지 요인을 회전시키는 직각 요인 회전(Orthogonal Factor Rotation) 중 하나인 베리맥스(Varimax)를 적용하였다.

Table 4는 그 결과를 보여 주는데, 두 가지 시편 세트(Uniform, Random) 모두 지각되는 감성이 3가지 요인으로 축약되는 것을 알 수 있다. 요인들을 설명하는 누적 기여율은 두 가지 시편 세트 모두에 대해 60% 이상(Uniform: 62.365, Random: 64.097%) 이어서, 3가지 요인만으로도 적합한 설명력을 가진다고 볼 수 있다. 한편, 각각의 요인에 대해 요인 적재값(Factor Loading)이 0.6 이상인 형용사들을 살펴보면, 형용사들의 구성이 두 가지 시편 세트에 대해 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

구체적으로 요인 1은 두 가지 시편 세트 모두에 대해 Dimply/Coarse/Grainy/Uneven/Sparse로 대표될 수 있는데, 이는 대체로 울퉁불퉁하고, 거친 느낌의 질감 형용사들인 것을 알 수 있다. 또한, Uniform 시편 세트의 경우 Random 시편 세트와는 달리 Hard가 함께 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 시편들이 동일한 재질로 만들어졌기에 물리적 단단함의 차이가 거의 없다는 점을 고려하면 울퉁불퉁하고 거친 느낌이 단단한 촉감을 야기한다고 해석할 수 있다.

한편 요인 2는 두 가지 시편 세트 모두에 대해 Fine/Smooth/Slick/Slippery/Flat으로 대표될 수 있는데, 이는 대체로 편평하고 매끄러운 느낌의 질감 형용사들인 것을 알 수 있다. 또한, Random 시편 세트에만 Soft가 포함되어 있는 것을 볼 수 있는데, 편평하고 매끄러운 느낌이 부드러운 촉감을 야기한다고 해석할 수 있다. 다시 말해 시편의 물리적 단단함에서의 차이가

Table 4 Result from factor analysis

Adjectives	Uniform			Random		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Dimply	.852	-.084	.035	.826	-.310	.021
Coarse	.850	-.102	.082	.799	-.202	.035
Grainy	.836	-.252	.081	.823	-.312	.031
Uneven	.828	-.300	-.038	.806	-.361	-.012
Sparse	.794	-.090	-.057	.766	-.244	.003
Rough	.795	-.389	-.065	.539	-.258	.005
Hard	.628	-.041	-.273	.578	.053	-.408
Fine	-.179	.853	-.004	-.235	.851	-.016
Smooth	-.194	.852	-.079	-.258	.861	.010
Slick	-.108	.852	-.084	-.199	.825	.005
Slippery	-.177	.782	-.082	-.249	.841	.036
Flat	-.149	.767	.003	-.276	.792	.032
Soft	-.110	.591	.111	-.253	.804	.041
Sticky	.108	.053	.851	.049	-.005	.764
Warm	-.270	.080	.497	-.218	.185	.488
Cold	.022	-.164	.245	.117	-.065	.590
Eigenvalue	6.207	2.625	1.146	6.991	1.938	1.326
Contribution ratio [%]	38.795	16.408	7.162	43.696	12.115	8.286
Cumulative contribution ratio [%]	38.795	55.203	62.365	43.696	55.812	64.097

없다면, 울퉁불퉁하고 거친 느낌 또는 편평하고, 매끄러운 느낌이 인지되는 단단함과 부드러움의 차이를 만들어낼 수 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

마지막 요인 3은 두 시편 세트 모두 Sticky로 대표될 수 있는데, 이는 냉온 질감과 약간의 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 하지만, 상반되는 질감으로 인식되는 Warm과 Cold 모두 양의 요인 적재값을 갖는 것을 볼 수 있다. 이는 시편이 모두 동일한 재질로 만들어져 냉각률에 있어 큰 차이가 없어 인식되는 냉온 질감에 모호함이 존재하기 때문이라고 판단된다.

이상의 분석에서 한 가지 가장 주목할 점은 울퉁불퉁하고 거친 느낌의 감성 요인 1과 편평하고 매끄러운 느낌의 감성 요인 2가 서로 독립적으로 존재한다는 점이다. 일반적으로 울퉁불퉁하고 거친 느낌은 편평하고 매끄러운 느낌과 서로 반대되는 느낌으로 인식된다. 만일 이것이 사실이라면 울퉁불퉁하고 거친 느낌의 감성 요인 1과 편평하고 매끄러운 느낌의 감성 요인 2에서 감성 요인 2에 속하는 형용사나 감성 요인 1에 속하는 형용사들은 상대적으로 반대 성향의 높은 요인 적재값을 가져야 한다. 하지만 Table 4에서 알 수 있듯이 이 값들은 서로 상당히 낮은 수치를 갖는다. 따라서 울퉁불퉁하고 거친 느낌의 감성 요인 1과 편평하고 매끄러운 느낌의 감성 요인 2는 서로 반대되는 개

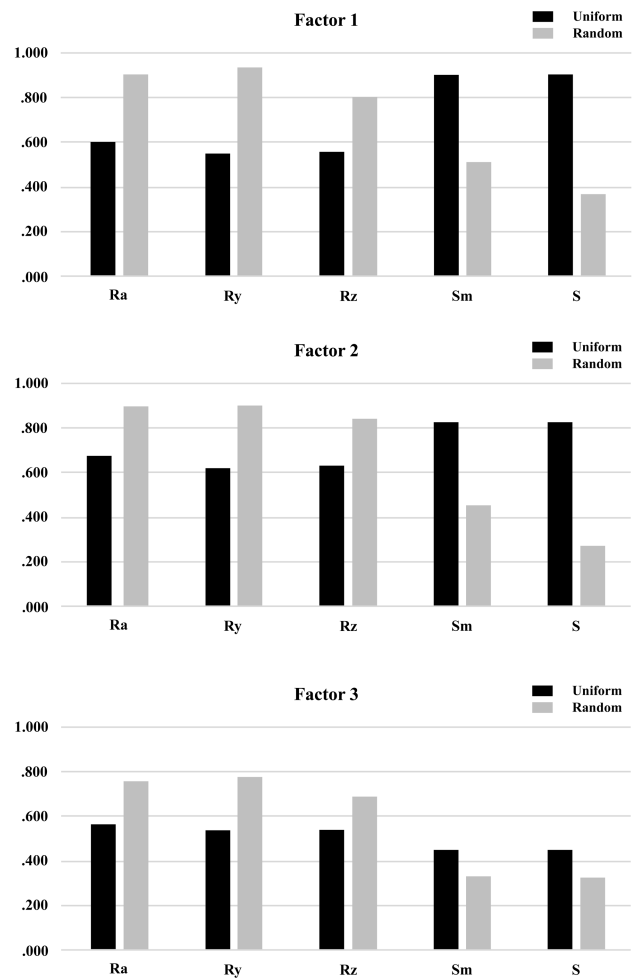


Fig. 4 Correlation coefficients between the emotion factors and surface roughness values for uniform and random samples

념의 종속적인 감성이 아니라 서로가 별개인 독립적인 감성이라는 것을 알 수 있다. 이는 울퉁불퉁하고 거친 느낌은 상대적으로 넓은 영역에 대한 촉각인 반면, 편평하고 매끄러운 느낌은 미세한 영역에 대한 촉각의 결과이기 때문이라고 판단된다. 이러한 현상은 거칠고 울퉁불퉁한 면의 인식에 사용되는 감각기와 매끄럽고, 고운 면의 인식에 사용되는 감각기가 서로 다르다는 Hollins et al.의 연구 결과¹⁵에 의해서도 뒷받침된다고 할 수 있다.

4.2 표면 물성과 감성 간의 상관관계

앞서 도출된 요인들과 표면거칠기 인자와의 상관관계를 살펴 보기 위해 상관관계 분석을 수행하였다. Fig. 4는 그 결과를 보여주는데, Uniform 시편 세트는 요인 1, 2에 대해 너비 거칠기 인자인 Sm, S와 보다 높은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있다. 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 수행된 앞선 연구들에서 반복되는 형상들의 사이 간격은 지각되는 감성과 높은 상관성이 있는 것으로 나타났는데, Uniform 시편 세트에 대한 본 연구 결과 역시 이와 유사한 결과를 보여준다고 할 수 있다.

Table 6 Regression model of uniform/random samples

(a) Uniform					
		β	t	P	R^2
Factor 1	Sm	.800	21.653	.000	.951
	Ra	.377	10.203	.000	
Factor 2	Sm	-.691	-12.349	.000	.888
	Ra	-.478	-8.543	.000	
Factor 3	Ra	.473	3.599	.001	.379
	S	.319	2.423	.020	
(b) Random					
		β	t	P	R^2
Factor 1	Ry	.933	15.993	.000	.867
Factor 2	Ry	-.903	-12.960	.000	.811
Factor 3	Ry	.780	7.674	.000	.597

한편 Fig. 4에서 Random 시편 세트는 높이 거칠기 인자인 Ra, Ry, Rz와 보다 높은 상관관계를 갖는 것을 알 수 있는데, 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 수행된 앞선 연구 결과와는 뚜렷하게 대비된다고 할 수 있다. 따라서 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 수행된 연구 결과를 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면에 대해서도 동일하게 적용하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

감성 요인들과 표면거칠기 인자와의 상관관계를 요인들 간에 비교해보면, 요인 1과 2에 비해 요인 3이 표면거칠기 인자와의 상관관계가 낮음을 알 수 있다. 이는 Uniform 시편 세트의 경우 좀 더 두드러지는데, Sticky로 대표되는 요인 3은 거칠기 이외에도 마찰과 같은 다른 물리적 특성의 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 또한 표면거칠기 인자들 사이에서만 비교를 했을 때 높이 거칠기 인자(Ra, Ry, Rz)가 너비 거칠기 인자(Sm, S)보다 는 요인 3에 보다 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6은 감성 요인별 선형 회귀 모델을 각각의 시편 세트에 대해 나타낸 것이다. 산과 골의 높이와 깊이, 그리고 산과 골의 너비가 일정한 Uniform 시편 세트의 경우 요인 1, 2 모두 Sm과 Ra가 선형 회귀 모델의 주요 인자가 되며, 이렇게 표현된 선형 회귀 모델의 상관 계수(R^2)가 각각 0.951, 0.888로 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 요인 3은 Ra와 S가 주요 인자가 되나, 상관 계수(R^2)가 0.379로 비교적 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 한편, 산과 골의 높이와 깊이, 그리고 산과 골의 너비가 주어진 범위 내에서 임의의 값을 갖는 Random 시편 세트의 경우에는 3개의 요인 모두에 대해 Ry가 선형 회귀 모델의 주요 인자가 됨을 알 수 있다. 상관 계수(R^2)는 각각 0.867, 0.811, 0.597로 요인 1, 2에 대해서는 높은 값을 가지나 요인 3에 대해서는 조금 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 요인들은 산과 골의 높이와 깊이, 그리고 산과 골의 너비가 일정한 표면의 경우에는 산과 골의 너비에

의해 보다 잘 대표될 수 있는 반면에, 이 값들이 주어진 범위 내에서 임의의 값을 갖는 표면의 경우에는 산과 골의 최대 편차에 의해 보다 잘 대표된다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 산과 골의 높이와 깊이 그리고 너비가 모두 일정한 표면(Uniform 시편 세트)과 이 값들이 주어진 범위 내에서 임의의 값을 갖는 표면(Random 시편 세트)을 대상으로 표면 거칠기 인자와 촉각 감성과의 상관관계를 밝히고, 그 차이를 비교하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

먼저, 두 가지 시편 세트 모두에 대해 지각되는 촉각 감성들은 3가지 요인으로 축약될 수 있다. 요인 1은 두 가지 시편 세트 모두에 대해 Dimply/Coarse/Grainy/Uneven/Sparse로 대표될 수 있는데, 이는 상대적으로 넓은 영역에서의 대체로 울퉁불퉁하고 거친 질감을 나타내는 형용사들이라고 할 수 있다. 요인 2는 두 가지 시편 세트 모두에 대해 Fine/Smooth/Slick/Slippery/Flat로 대표될 수 있는데, 이는 미세한 영역에서의 대체로 편평하고 매끄러운 질감을 나타내는 형용사들이라고 할 수 있다. 마지막으로 요인 3은 두 시편 세트 모두에 대해 Sticky로 대표될 수 있다. 본 연구에서 추출된 3가지 요인들은 성질이 매우 다른 두 가지 시편 세트 모두에 대해 공통된 것이므로 표면 형태에 관계없이 이를 그대로 활용하는 것이 가능하리라고 판단된다. 또한 울퉁불퉁하고 거친 느낌의 감성 요인 1과 편평하고, 매끄러운 느낌의 감성 요인 2는 서로 반대되는 개념의 종속적인 감성이 아니라 서로가 별개인 독립적인 감성이므로 각각의 감성 요인은 독립적으로 제어될 필요가 있다고 판단된다.

다음으로 두 가지 시편 세트에 대한 3가지 감성 요인과 표면 거칠기 인자와의 상관관계 분석은 서로 상반된 결과를 보여준다. 먼저, Uniform 시편 세트의 경우 3가지 감성 요인은 너비 거칠기 인자인 Sm, S와 보다 높은 상관관계를 갖는다. 이는 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 수행된 앞선 연구 결과, 즉 촉각 감성들이 형상들의 사이 간격(너비 인자)과 높은 상관성을 갖는다는 결과와 동일한 맥락에서 이해할 수 있다. 이에 반해 Random 시편 세트의 경우에는 3가지 감성 요인이 높이 거칠기 인자인 Ra, Ry, Rz와 보다 높은 상관관계를 갖는다. 따라서 기하학적으로 잘 정의된 단순 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 수행된 연구 결과를 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면에 대해서도 동일하게 적용하는 것은 바람직하지 않다고 할 수 있다.

마지막으로 산과 골의 높이와 깊이 그리고 너비가 일정한 Uniform 시편 세트의 경우 감성 요인 1, 2 모두 Sm이 선형 회귀 모델의 주요 인자가 된다. 이에 반해 Random 시편의 경우 3개의 요인 모두에 대해 Ry가 선형 회귀 모델의 주요 인자가 된다. 따라서 불규칙한 형상이 임의적으로 배열된 자연적인 표면의 경우 산과 골의 최대 편차를 적절하게 제어함으로써 감성 요

인 1, 2, 3에 속하는 감성들을 원하는 수준에 맞게 구현할 수 있으리라 판단한다.

이와 같이 본 연구를 통해 밝혀진 사실들은 소비자의 감성을 고려한 제품 표면 디자인에 있어 가이드라인으로 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다. 그리고 그 결과로서 모바일 디스플레이, 자동차 내부, 가전 제품 등 접촉 욕구 성향이 중요시되는 제품들에 대한 소비자들의 만족도를 높이는데 기여할 수 있으리라 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Peck, J. and Childers, T. L., "To Have and to Hold: The Influence of Haptic Information on Product Judgments," *Journal of Marketing*, Vol. 67, No. 2, pp. 35-48, 2003.
2. McCabe, D. B. and Nowlis, S. M., "The Effect of Examining Actual Products or Product Descriptions on Consumer Preference," *Journal of Consumer Psychology*, Vol. 13, No. 4, pp. 431-439, 2003.
3. Karlsson, M. and Velasco, A., "Designing for the Tactile Sense: Investigating the Relation between Surface Properties, Perceptions and Preferences," *CoDesign*, Vol. 3, No. 1, pp. 123-133, 2007.
4. Chen, X., Shao, F., Barnes, C., Childs, T., and Henson, B., "Exploring Relationships between Touch Perception and Surface Physical Properties," *International Journal of Design*, Vol. 3, No. 2, pp. 67-76, 2009.
5. Choi, K. and Jun, C., "A Systematic Approach to the Kansei Factors of Tactile Sense Regarding the Surface Roughness," *Applied Ergonomics*, Vol. 38, No. 1, pp. 53-63, 2007.
6. Tiest, W. M. B. and Kappers, A. M., "Analysis of Haptic Perception of Materials by Multidimensional Scaling and Physical Measurements of Roughness and Compressibility," *Acta Psychologica*, Vol. 121, No. 1, pp. 1-20, 2006.
7. Tiest, W. M. B. and Kappers, A. M., "Haptic and Visual Perception of Roughness," *Acta Psychologica*, Vol. 124, No. 2, pp. 177-189, 2007.
8. Lee, J. and Hwang, J., "Physical Surface Roughness and Perceived Roughness," *Archives of Design Research*, Vol. 27, No. 2, pp. 157-169, 2014.
9. Lawrence, M. A., Kitada, R., Klatzky, R. L., and Lederman, S. J., "Haptic Roughness Perception of Linear Gratings via Bare Finger or Rigid Probe," *Perception*, Vol. 36, No. 4, pp. 547-557, 2007.
10. Kawasegi, N., Fujii, M., Shimizu, T., Sekiguchi, N., Sumioka, J., et al., "Evaluation of the Human Tactile Sense to Microtexturing on Plastic Molding Surfaces," *Precision Engineering*, Vol. 37, No. 2, pp. 433-442, 2013.
11. Kawasegi, N., Fujii, M., Shimizu, T., Sekiguchi, N., Sumioka, J., et al., "Physical Properties and Tactile Sensory Perception of Microtextured Molded Plastics," *Precision Engineering*, Vol. 38, No. 2, pp. 292-299, 2014.
12. Hollins, M., Bensmaïa, S., Karlof, K., and Young, F., "Individual Differences in Perceptual Space for Tactile Textures: Evidence from Multidimensional Scaling," *Perception & Psychophysics*, Vol. 62, No. 8, pp. 1534-1544, 2000.
13. Gescheider, G. A., Bolanowski, S. J., Greenfield, T. C., and Brunette, K. E., "Perception of the Tactile Texture of Raised-Dot Patterns: A Multidimensional Analysis," *Somatosensory & Motor Research*, Vol. 22, No. 3, pp. 127-140, 2005.
14. Kim, S. C., Kyung, K. U., Sohn, J. H., and Kwon, D. S., "An Evaluation of Human Sensibility on Perceived Texture for Real Haptic Representation," *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers: Software and Applications*, Vol. 34, No. 10, pp. 900-909, 2007.
15. Hollins, S. J. B., Sean Washburn, M., "Vibrotactile Adaptation Impairs Discrimination of Fine, But Not Coarse, Textures," *Somatosensory & Motor Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 253-262, 2001.



Jiyeon Jung

Researcher in Research Center for Die and Mold, Seoul National University of Science and Technology, Korea. Her research interest is industrial design and sensibility ergonomics of products.

E-mail: Jungjy@seoultech.ac.kr



Jihong Hwang

Professor in the Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea. His research interest is machining processes and tactile sensibility ergonomics.

E-mail: hwangjih@seoultech.ac.kr