

Physical Surface Roughness and Perceived Roughness

JooHo Lee¹, Jihong Hwang^{2*}

¹Department of Product Design & Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Korea

²Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Korea

The present study made an attempt to evaluate suitability of the standard physical surface roughness parameters in representing roughness perceived for artificially fabricated random surfaces. These random surfaces imitated complex natural surfaces, consisting of peaks and valleys whose heights and widths are randomly given. The results showed that the amplitude parameters (Ra, Ry, Rz) rather than the spacing parameters are correlated better for the random surfaces, among which Ry is best. On the other hand, it was found that the spacing parameters (Sm, S) are correlated better for the simple surfaces which consist of regularly spaced peaks and valleys.

Keywords Random Surface, Perceived Roughness, Surface Roughness Parameter, Correlation

Citation: Lee, J., & Hwang, J. (2014). Physical Surface Roughness and Perceived Roughness : *Archives of Design Research*, 27(2), 157-169.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2014.05.110.2.157>

Received Nov. 20. 2013 **Reviewed** : Jan. 22. 2014 **Accepted** : Feb. 10. 2014

pISSN 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

Corresponding author: Jihong Hwang (hwangjh@seoultech.ac.kr)
This study was financially supported by Seoul National University of Science & Technology.

Copyright : This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 IT 산업의 고성능화, 다양화 추세에 맞춰 눈에 띄는 특징은 제품의 표면을 정보 전달을 위한 차원 높은 표현 수단으로 이용하려 한다는 점이다. 즉, 최근의 IT 제품은 표면의 자극을 통해 정보를 보다 효율적으로 전달하고 나아가 소비자의 감성을 만족시키려는 다양한 시도를 하고 있다. 그 결과, 제품의 표면은 제품의 선정 과정에서 다른 제품과의 차별성을 확립시키면서 동시에 소비자의 결정에 지대한 영향을 미치는 중요한 요소로 부각되고 있다(Chen, Shao, Barnes, Childs & Henson, 2009; Karlsson & Velasco, 2007).

현재 IT 제품의 표면 설계에 있어 촉각적인 정보 전달 수단으로 가장 많이 사용되는 것은 진동과 표면 거칠기이다. 그 중 진동은 보다 다양한 자극을 발생시킬 수 있다는 점에서 장점이 있으나 진동을 생성하기 위한 별도의 장치가 필요하다는 점에서 경제적, 기술적 한계가 있을 수 있다. 반면에 표면 거칠기는 자극을 주기 위한 별도의 장치가 필요치 않아 넓은 면적에 걸쳐 또는 오랜 시간에 걸쳐 정보를 지속적으로 전달할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 표면 거칠기는 진동과 달리 소음과 같은 다른 형태의 자극이 동반되지 않으므로 남의 눈에 띄지 않고도 보다 개인적으로 정보를 전달할 수 있다는 장점이 있다.

표면 거칠기가 가지는 이러한 특징을 제품에 적용시킨 예로는 표면 거칠기의 차이에 의해 핸드폰의 키들을 조작할 수 있도록 한다든지, 촬영 중 시야를 피사체에 고정된 채 카메라의 버튼을 조작할 수 있게 한다든지, 운전 중 전방을 주시한 채 오디오의 버튼을 조작할 수 있게 하는 경우들이 있다(이건효, 최인환 & 양승무, 1999). 또한 키보드의 자판들을 기능별로 묶어 서로 다른 거칠기로 표현한다든지 터치 스크린상의 영역들을 서로 다른 거칠기를 통해 분할하여 정보의 입력 중에 발생할 수 있는 실수를 줄이는 것도 이에 해당한다고 할 수 있다.

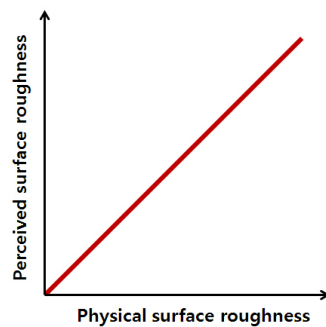


Figure 1 Representation of perceived surface roughness using a physical surface roughness parameter

이처럼 표면 거칠기를 정보 전달을 위한 차원 높은 표현 수단으로 이용하기 위해서는 물리적인 표면 거칠기와 인간에 의해 인지된 표면 거칠기 사이의 관계를 명확하게 알아야 한다. 즉, Figure 1에 묘사된 것처럼 인간에 의해 인지된 표면 거칠기를 대표할 수 있는 물리적인 표준이 존재해야만 디자이너는 소비자의 요구를 만족시킬 수 있는 표면을 디자인할 수 있다. 하지만 물리적인 표면 거칠기와 인간에 의해 인지된 표면 거칠기 사이의 관계에 대한 정보는 충분치 않은 실정이며 설명 있다 할지라도 대부분이 기하학적으로 잘 정의된, 단순한 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면들에 대한 것이어서 이보다 훨씬 복잡한, 자연적인 표면에 대해서 적용 가능한지는 확실치 않다. 따라서 본 연구에서는 형상이 불규칙한, 보다 자연적인 표면을 상대로 인간에 의해 인지된 표면 거칠기를 측정하고 이를 물리적인 표면 거칠기와 비교함으로써 둘 사이의 상관관계를 밝히는데 초점을 둔다.

2. 물리적 표면 거칠기와 인지된 표면 거칠기 사이의 상관관계

2.1. 기하학적으로 잘 정의된, 단순 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대한 연구
1970년대 이후, 물리적 표면 거칠기와 인지된 표면 거칠기 사이의 상관관계를 체계적으로 밝히는 시도가 몇몇 학자들에 의해 행해졌다(Lederman & Taylor, 1972; Connor, Hsiao, Philips & Johnson, 1990; Lawrence, Kitada, Klatzky & Lederman, 2007). 이러한 연구의 대부분은 기다란 직육면체(Lederman & Taylor, 1972; Morley, Goodwin & Darian-Smith, 1983; 황지홍 & 황원일, 2009), 반구(Lamb, 1983), 원뿔대(Connor & Johnson 1992), 사각뿔대(Hollins, Bensma a & Washburn, 2001) 등과 같이 기하학적으로 잘 정의된, 단순한 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대해 이루어졌다(Figure 2 참조).

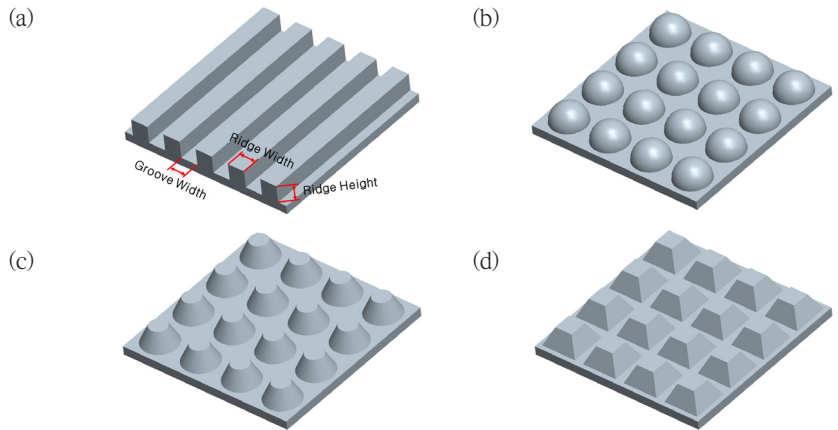


Figure 2 Examples of geometrically well-defined surface shape

이러한 연구의 결과를 요약하면, 인간에 의해 인지된 표면 거칠기의 크기는 이웃하고 있는, 기하학적으로 잘 정의된 형상들 사이의 거리가 커질수록 증가한다는 것이었다. 예를 들어, 기다란 직육면체가 규칙적으로 반복된, 인위적인 표면(Figure 2 (a))에 대해 행해진 로렌스, 키타다, 클라츠키 그리고 레더만(Lawrence, Kitada, Klatzky & Lederman, 2007)의 연구에 따르면, 인간에 의해 인지된 표면 거칠기의 크기는 이웃하고 있는 기다란 직육면체 사이의 거리(groove width)가 커질수록 증가한다는 것이었다. 이에 반해, 기다란 직육면체의 너비(ridge width)나 높이(ridge height)는 인간에 의해 인지된 표면 거칠기의 크기에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

2.2. 복잡한 형상이 불규칙적으로 배열된, 자연적인 표면에 대한 연구

앞서 언급된 기하학적으로 잘 정의된, 단순한 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면에 대해 얻어진 연구 결과가 형상이 불규칙적인 자연적인 표면에 대해서도 적용될 수 있는지는 의심스럽다. 그 이유는 형상이 불규칙적인 자연적인 표면의 경우 이웃하고 있는 형상들 사이의 거리가 일정치 않기 때문이다. 따라서 형상이 불규칙적인 자연적인 표면에 대해 인간에 의해 인지된 거칠기를 대표할 수 있는 새로운 물리적 거칠기 인자의 개발은 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

이와 관련하여, 최근 황지홍, 박태준 그리고 황원일(Hwang, Park & Hwang, 2008)은

자연적인 표면의 물리적 거칠기를 나타내는 데 사용되는 표준 값들인 Ra(산술평균 거칠기), Ry(최대높이 거칠기), Rz(10점평균 거칠기), Sm(요철 평균간격), S(국부산봉우리 평균간격)가 기다란 직육면체가 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 인지된 거칠기의 크기를 나타내는데 적당한지를 검증하였다. 이를 위해 먼저 황지홍, 박태준 그리고 황원일은 기다란 직육면체가 규칙적으로 반복되는 표면을 직육면체의 너비(ridge width), 직육면체의 높이(ridge height), 이웃한 두 직육면체 사이의 거리(groove width)를 바꿔가면서 가상적으로 구현(simulation)하고 이렇게 구현된 표면들에 대해 Ra, Ry, Rz, Sm, S 값들을 구하였다. 그 다음으로는 Ra, Ry, Rz, Sm, S 값과 이웃한 두 직육면체 사이의 거리와 상관관계를 살펴보았는데 이 값들 중 어느 하나도 이웃한 두 직육면체 사이의 거리와는 상관관계가 높지 않은 것으로 나타났다. 기다란 직육면체가 규칙적으로 반복되는 표면의 경우 인지된 거칠기의 크기는 이웃한 두 직육면체 사이의 거리와 높은 상관관계를 가진다(Lawrence, Kitada, Klatzky & Lederman, 2007)는 점을 고려할 때, 이는 Ra, Ry, Rz, Sm, S는 인지된 표면 거칠기의 크기를 나타내기에 적절치 않다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

한편, 티스트와 캐퍼스(Tiest & Kappers, 2006, 2007)는 실제의 자연적인 샘플을 이용하여 물리적인 표면 거칠기 인자와 인간에 의해 인지된 거칠기 크기 사이의 관계에 대한 연구를 수행하였다. 이 연구에서 티스트와 캐퍼스는 기하학적으로 잘 정의된, 단순한 형상이 규칙적으로 반복된 인위적인 표면이나 사포를 이용한 기존 연구의 한계점을 지적하면서 일상에서 쉽게 발견할 수 있는 다양한 소재의 샘플들을 연구에 사용하였다. 하지만 이 연구에서, 티스트와 캐퍼스는 물리적인 표면 거칠기 인자와 인간에 의해 인지된 거칠기 크기 사이의 상관관계보다는 거칠기 인식에 있어 촉각과 시각의 유사성을 밝히는 데 초점을 맞추었다. 또한, 실제의 자연적인 샘플의 경우 실험에 사용된 물리적 표면 거칠기 인자의 개별적 제어가 어렵다는 점에서 이들 사이의 독립성이 의심되었고, 다양한 소재의 샘플이 사용된 결과, 물리적인 거칠기 외에 샘플의 단단한 정도, 마찰, 미세 표면 형상과 같은 인자들이 인간에 의해 인지된 거칠기 크기에 미치는 영향을 배제할 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 티스트와 캐퍼스의 연구에서 제기되었던 문제점을 해결하기 위해 다양한 소재로 만들어진 실제의 자연적인 샘플을 사용하는 대신, 단일 소재의 불규칙적인 형상을 갖는 자연스런 표면을 쾌속 조형 기계를 이용하여 제작하였다. 샘플 제작 시에는 표면의 설계 변수를 적절히 제어하여 관심이 되는 표면 거칠기 인자들이 서로 독립적인 관계를 유지할 수 있도록 주의를 기울였다. 이렇게 제작된 샘플에 대해 물리적 표면 거칠기 인자와 인지된 거칠기 사이의 상관관계를 파악하기 위한 실험이 수행되었고 그 결과는 동일한 형상이 규칙적으로 반복되는 표면에 대해 얻어진 실험 결과와 비교했다.

3. 시편 제작 및 표면 거칠기 측정

3.1. 시편 표면의 형상 조건

물체의 표면은 산(peak)과 골(valley)로 구성되며 물리적 표면 거칠기는 산(peak)과 골(peak)의 중앙선(center line)으로부터의 높이(height), 그리고 산 또는 골이 중앙선과 만드는 두 교점 사이의 너비(width)에 의해 결정된다. 대부분의 자연적인 표면은 일정하지 않은 산과 골로 구성되므로 본 연구에서는 자연적인 표면의 구현을 위해 Figure 3과 같이 산과 골의 높이, 그리고 산 또는 골이 중앙선과 만드는 두 교점 사이의 너비를

변수(factor)로 선정하여 특정한 물리적 표면 거칠기를 갖는 시편을 제작하였다.

시편은 4개의 세트로 구성되었는데 그 단면 형상은 Table 1과 같다. 시편 세트 각각의 특징을 살펴보면, 세트 1은 산과 골의 높리와 너비가 모두 일정한 반면 세트 2는 산과 골의 너비는 일정하나 높리는 주어진 범위 내에서 무작위로 선정된다. 세트 3의 경우 산과 골의 높리는 일정한 반면 너비는 주어진 범위 내에서 무작위로 주어지고 세트 4의 경우에는 산과 골의 높리와 너비가 주어진 범위 내에서 무작위로 선정된다. 이 때 각 세트의 시편에 부여된 산과 골의 높리 및 너비 조건은 Table 2와 같은데, 산과 골 높리의 무작위 선정(세트 2, 4) 시 범위는 그 최대치가 세트 1, 3의 값과 동일하도록 결정되었고 산과 골 너비의 무작위 선정(세트 3, 4) 시 범위는 그 기대치(평균)가 세트 1, 2의 조건과 동일하도록 결정되었다.

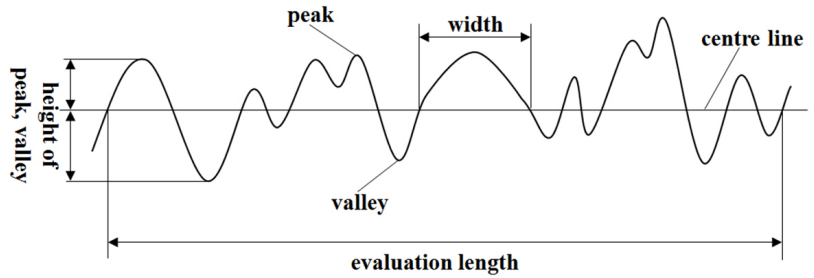


Figure 3 Typical shape of line profile for natural surfaces

Table 1 Cross-sectional shape of sample surface

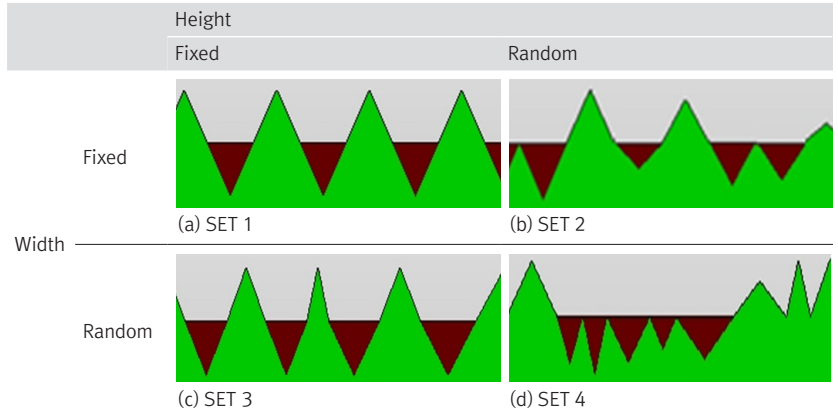


Table 2 Conditions for fabrication of sample sets

	Height[mm]	Width[mm]
SET 1	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0	0.8, 1.2, 1.6, 2.0
SET 2	0.1-0.2, 0.1-0.4, 0.2-0.6, 0.3-0.8, 0.6-1.0, 0.6-1.2, 0.8-1.4, 0.8-1.6, 1.0-1.8, 1.0-2.0	0.8, 1.2, 1.6, 2.0
SET 3	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0	0.4-1.2, 0.6-1.8, 0.8-2.4, 1.0-3.0
SET 4	0.1-0.2, 0.1-0.4, 0.2-0.6, 0.3-0.8, 0.6-1.0, 0.6-1.2, 0.8-1.4, 0.8-1.6, 1.0-1.8, 1.0-2.0	0.4-1.2, 0.6-1.8, 0.8-2.4, 1.0-3.0

3.2. 시편 표면의 제작

본 연구에 사용된 시편 제작은 고해상도 쾌속 조형기(Rapid Prototyping Machine)인 Object Geometries Ltd. 사의 Eden 330을 사용하여 이루어졌다. Eden 330은 광경화성 수지(photo-polymer)로 된 최대 340mm×330mm×200mm 크기의 조형물 제작을 가능케 하며 600dpi(x축, 42 μ m) × 300dpi(y축, 84 μ m) × 1600dpi(z축, 16 μ m)의 고해상도를 가진다. 시편의 표면 형상은 Matlab을 이용하여 모델링되었는데 표면 형상에 대한 정보는 Eden 330이 받아들일 수 있는 *.stl 형태로 저장되었다. Figure 4는 Matlab을 이용하여 모델링된 시편의 형상과 쾌속 조형기를 이용하여 실제로 제작된 시편의 형상을 보여주는데, 시편의 크기는 대부분의 사람들이 손끝으로 시편을 접촉할 때 무리가 없는 크기(40mm×20mm×5mm)로 제작되었다.

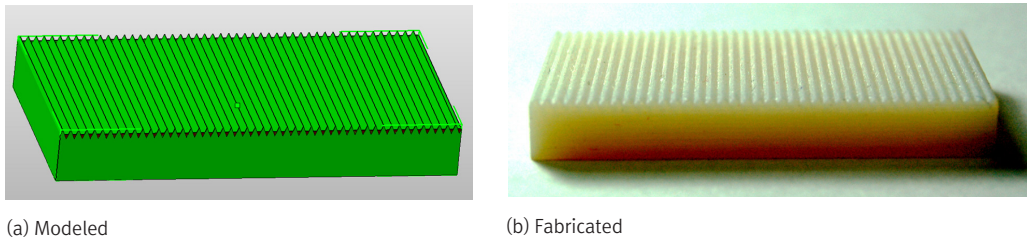


Figure 4 Shape of sample surface.

3.3. 시편의 물리적 표면 거칠기 측정

시편의 실제 표면 형상은 쾌속 조형기의 해상도, 수지의 수축, 시편 제작 방식의 특성 등으로 인해 모델링된 표면 형상과 달라질 수 있다. 따라서 시편 표면의 정확한 형상을 알기 위해서는 별도의 측정이 요구되는데, 일반적인 접촉식 표면조도 측정기(surface profiler)를 사용할 경우에는 자체적인 한계로 인해 측정할 수 있는 표면 형상이 제한된다. 즉, Figure 5의 (a)와 같이 산부터 골까지의 높이가 표면 조도기의 측정 범위를 초과하거나 Figure 5의 (b)처럼 골의 경사 각도가 스타일러스의 경사 각도보다 작을 경우에는 측정이 불가능하거나 표면 형상이 잘못 측정된다.

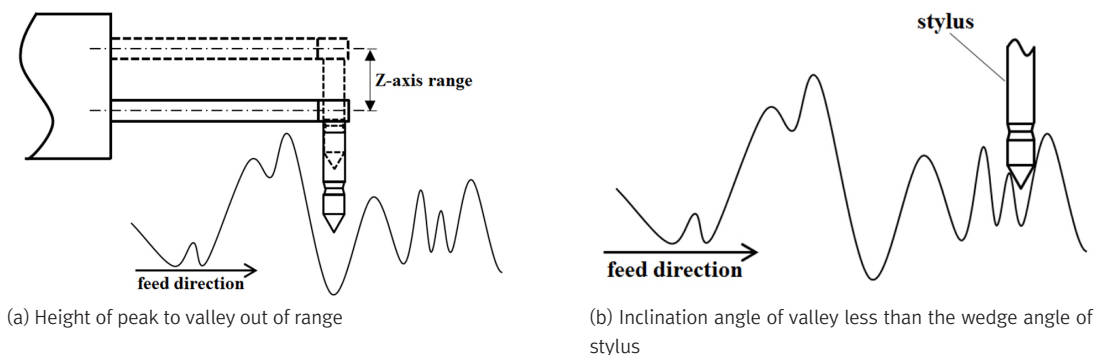


Figure 5 Cases that the roughness of samples surface is immeasurable or incorrectly measured when using a contact-type surface profiler

따라서 본 연구에서는 이와 같은 제약을 피하기 위해 Figure 6과 같이 시편의 측면을 비전 시스템으로 근접 촬영한 후, 표면 형상을 추적(trace)하여 표면 거칠기를 구하는

방식으로 설계했다. 제안된 방법의 신뢰성은 제작된 샘플 중에서 접촉식 표면조도 측정기로 측정이 가능한 시편들에 대해 본 연구에서 제안된 방법과 접촉식 표면조도 측정기에 의해 얻어진 값들을 비교함으로써 확인할 수 있었다. 이 경우, 표면조도 측정기로는 Mitutoyo사의 SJ-401이 사용되었으며 화상 측정을 위한 비전 시스템으로는 MICrosopes INC.의 Eyecam2.0이 사용되었다. 표면 거칠기 파라미터로는 KS규격의 Ra, Ry, Rz, Sm, S이 사용되었으며 측정은 통계적 분석을 위해 3회씩 반복되었다. 그 결과로, Figure 7은 최대높이 거칠기(Ry)에 대해 접촉식 표면 조도기에 의한 측정값과 화상 분석에 의한 측정값 사이의 관계를 보여 주는데 둘 사이 관계식의 기울기가 1에 가깝고(1.06) 상관계수(R^2)가 0.9779로 매우 높음을 알 수 있다. 이는 화상에 의한 표면 거칠기 측정을 신뢰할 수 있음을 보여준다.

한편, Figure 8은 산과 골의 높이와 너비가 모두 일정한 시편들과(세트 1) 산과 골의 높이와 너비가 주어진 범위 내에서 무작위로 주어진 시편들(세트 4)에 대해 화상을 통해 측정된 최대높이 거칠기 Ry의 산포를 보여주는데 0.1 1.7mm 안에서 비교적 고르게 분포되어 있음을 확인할 수 있다. 따라서 0.1-1.7mm 범위 안에서 Ry와 인지된 표면 거칠기 사이의 상관관계를 살펴보는 것이 가능한데 이처럼 고른 분포는 비록 그 범위는 다를 지라도 다른 표면 거칠기 파라미터인 Ra, Rz, S, Sm에 대해서도 동일하게 발견되었다. 또한 이러한 현상은 세트 2와 세트 3의 시편에 대해서도 동일하게 발견되었다.

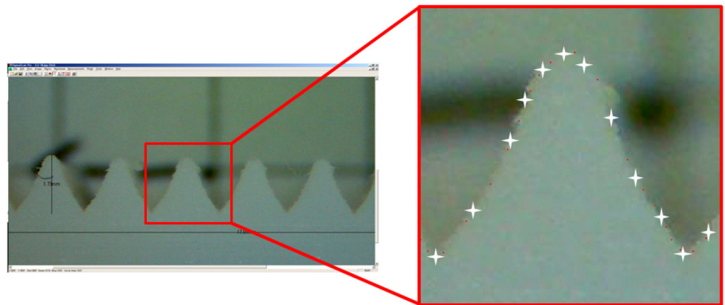


Figure 6 Surface roughness measurement by sample image analysis

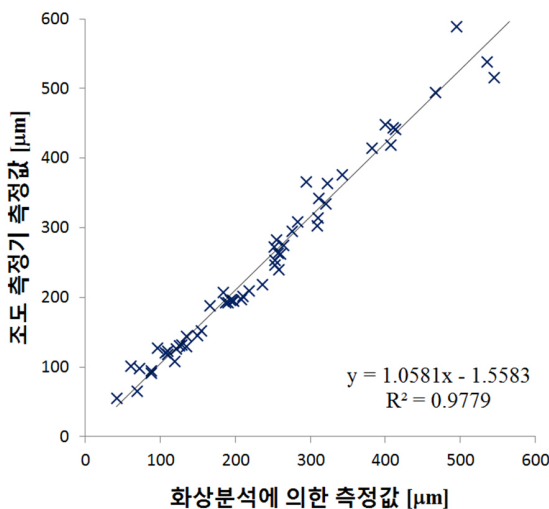


Figure 7 Correlation between the roughness values measured by the surface profiler and the image analysis (Ry)

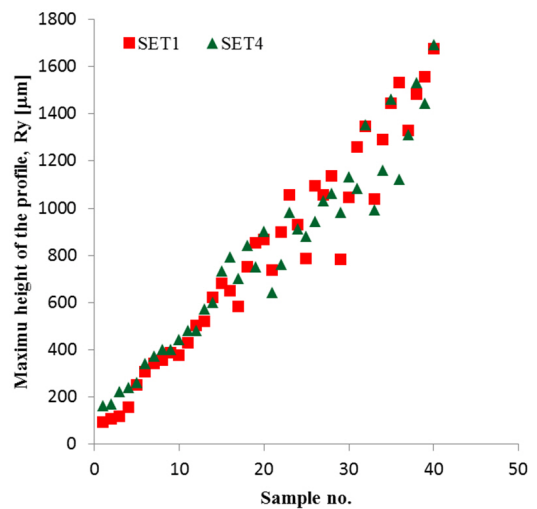


Figure 8 Distribution of surface roughness for the samples

3.4. 시편의 인지적 표면 거칠기 측정

인지적 표면 거칠기 측정을 위한 실험의 계획은 시편의 종류(4 세트) 및 물리적 표면 거칠기의 수준(40 수준)을 두 개의 독립 변수로 삼아 이루어졌다. 종속 변수인 인지적 표면 거칠기의 측정은 피실험자가 독자적으로 인지적 표면 거칠기의 배점 기준을 정하도록 하는 방법을 사용하였다. 즉, 피실험자 각각이 서로 다른 배점 범위 및 간격을 사용하도록 하였다. 이를 위해 실험 초기 피실험자에게 참고 시편(reference workpiece)을 주고는 실험 내내 언제든지 이를 참고할 수 있도록 하였다. 이 참고 시편은 피실험자가 인지적 표면 거칠기 측정을 위한 배점 기준을 세우고, 계속되는 실험에서 그 기준을 잊지 않게 하는 역할을 수행하였다.

시편의 인지적 표면 거칠기 측정 실험은 21-29세 대학생 남녀 각각 10명을 대상으로 실시되었다 (평균 24.9세, 표준편차 2.2). 피실험자는 실험 계획에 따라 주로 쓰는 검지손가락 끝으로 시편을 만져 보고 표면이 거칠게 느껴질수록 자신의 배점 기준에 따라 높은 점수를 말하도록 하였다. 이 때 피실험자는 촉각을 극대화하고 시각, 청각 같은 외부 요인을 차단하기 위해 안대와 귀마개를 착용하였다. 또한 촉감이 무뎠다는 것을 막기 위해 각 세트의 종료 시 10분, 피실험자가 요청할 경우 5분의 휴식 시간을 가지도록 하였다. 실험은 반복 없이 피실험자마다 1회만 수행되었다. 참고로 다음 Figure 9는 인지적 표면 거칠기 측정 실험 모습을 보여준다.

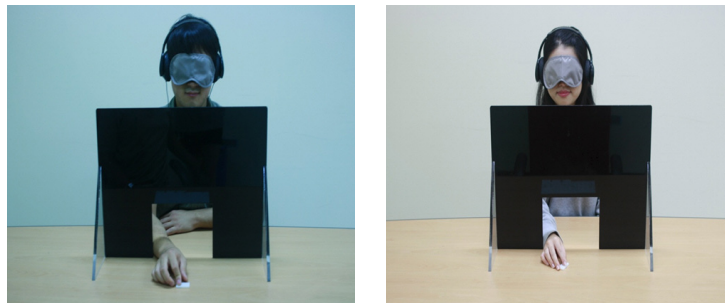


Figure 9 Measurement of perceived roughness

4. 분석 및 결과

분석은 20명의 피실험자 각각에 대해 물리적 표면 거칠기와 인지적 표면 거칠기 사이의 피어슨 상관계수를 구하고 이들의 산술평균값을 비교하는 방식으로 이루어졌다. Table 3과 Figure 10은 그 결과를 보여 주는데 수직 길이들의 산술평균으로 구해지는 표면 거칠기 파라미터 R_a , R_y , R_z 는 샘플의 종류(세트)에 관계없이 0.6 이상의 상관계수를 가짐을 알 수 있다. 특히 세트 2, 4는 0.8 이상의 높은 상관계수를 가지는데 이들 샘플들의 경우 산과 골의 높이가 무작위로 주어졌다는 공통점을 지니고 있다. 한편, 수평 길이들의 산술평균으로 구해지는 표면 거칠기 파라미터 S_m , S 는 세트 1을 제외하고는 0.5 이하의 낮은 상관계수를 가지므로 산과 골의 높이나 너비가 무작위로 주어지는 경우에는 인지적 표면 거칠기를 표현하기에는 적절치 못함을 알 수 있다. 즉, 산과 골의 높이와 너비가 무작위로 주어지는 자연적인 표면에 대해 인지되는 표면 거칠기를 나타내는 데에는 S_m , S 가 적절치 못함을 알 수 있다.

Table 3 Arithmetic mean of Pearson's correlation coefficient calculated for each of the subjects

	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
Ra	0.699	0.828	0.765	0.883
Ry	0.654	0.856	0.733	0.897
Rz	0.661	0.820	0.741	0.806
Sm	0.719	0.289	0.453	0.411
S	0.718	-0.053	0.481	0.264

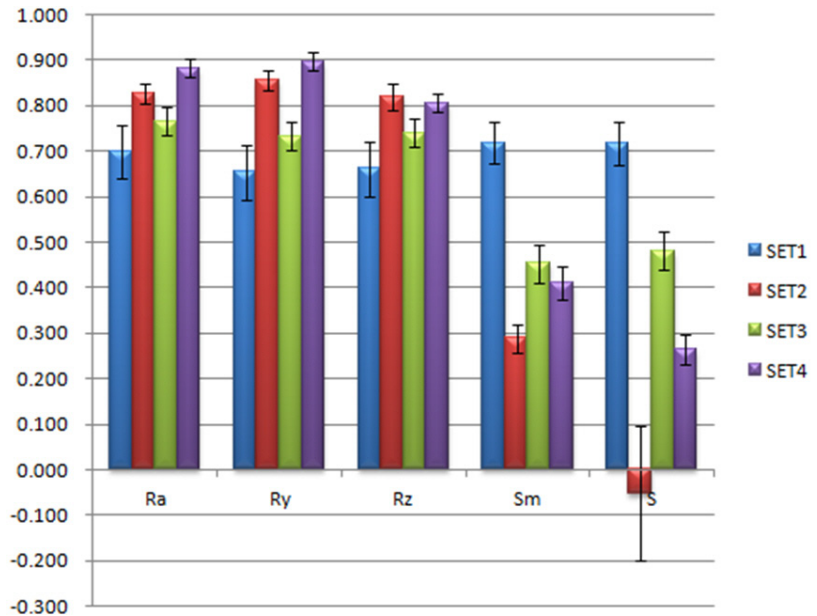


Figure 10 Arithmetic mean of Pearson's correlation coefficient calculated for each of the subjects

Table 4와 Figure 11은 20명의 피실험자에 의해 측정된 인지적 표면 거칠기의 기하평균과 물리적 표면 거칠기 사이의 피어슨 상관분석 결과를 보여준다. 이 경우 분석을 위해 산술평균이 아닌 기하평균을 사용한 이유는 인지적 표면 거칠기 측정 시 피실험자 개개인이 서로 다른 배점 기준을 사용하였기 때문이다. 즉, 한 사람은 0-10의 배점 기준을 사용하고 다른 사람은 0-1000의 배점 기준을 사용할 경우 하나의 시편에 대해 측정된 인지적 표면 거칠기를 산술적으로 평균하면 보다 큰 배점 기준을 사용한 피실험자의 상대적인 영향력이 커지게 된다. 따라서 기하평균을 사용함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

Table 4와 Figure 11에서 20명의 피실험자에 의해 측정된 인지적 표면 거칠기의 기하평균에 대한 물리적 표면 거칠기의 피어슨 상관계수는 피실험자 개개인에 대한 피어슨 상관계수의 산술평균값(Table 3과 Figure 10 참조)과 동일한 양상을 보이나 약간의 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 즉, 표면 거칠기 파라미터 Ra, Ry, Rz는 모든 세트에서 0.7 이상의 상관계수를 가지며 특히 세트 2, 3, 4는 0.8 이상의 높은 상관계수를 가진다. 또한, 표면 거칠기 파라미터 Sm, S는 세트 1을 제외하고는 0.6 이하의 낮은 상관계수를 가진다.

Table 4 Pearson's correlation coefficient calculated for the geometric mean of roughness values perceived by the subjects

	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
Ra	0.761	0.897	0.868	0.956
Ry	0.710	0.923	0.829	0.970
Rz	0.718	0.888	0.838	0.872
Sm	0.806	0.316	0.521	0.442
S	0.806	0.033	0.553	0.286

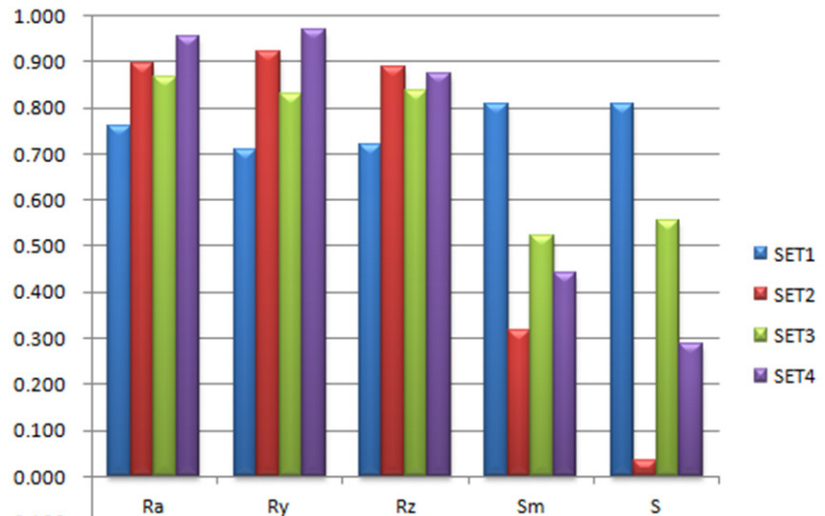


Figure 11 Pearson's correlation coefficient calculated for the geometric mean of roughness values perceived by the subjects

5. 결론 및 토론

본 연구에서는 산과 골처럼 높이나 너비가 무작위로 주어질, 보다 자연적인 표면을 상대로 인간에 의해 인지된 표면 거칠기를 측정하고 이를 물리적인 표면 거칠기와 비교함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 산과 골의 높이나 너비가 무작위로 주어질 경우 인지적 표면 거칠기는 Ra, Ry, Rz와 0.8 이상의 높은 상관계수를 가지며 특히 Ry가 가장 높은 상관계수를 가졌다. 따라서 형상이 불규칙적인 자연적인 표면에 대해서는 인지적 거칠기를 대표하는 물리적 거칠기 파라미터로 Ry를 사용하는 것이 유의하다.
- 산과 골의 높이가 일정한 표면의 경우 Sm, S가 0.7 이상의 높은 상관계수를 가졌다. 따라서 표면 형상이 규칙적으로 반복되는 인공적인 표면에 대해서는 인지적 거칠기를 대표하는 물리적 거칠기 파라미터로 Sm과 S를 사용하는 것이 유의하다.

이 결과에서 산과 골의 높이나 너비가 무작위로 주어질 경우 높이 파라미터인 Ra, Ry, Rz가 높은 상관계수를 가지는 반면, 산과 골의 높이가 일정한 표면의 경우에는 너비 파라미터인 Sm, S가 높은 상관계수를 가지는 점은 주목할 필요가 있다. 이는 표면 형상이 규칙적일 때만 너비 파라미터가 인지적 거칠기에 보다 큰 영향을 미침을 의미한다. 따라서 기다란 직육면체가 규칙적으로 반복된, 인위적인 표면에 대해 얻어진 로렌스, 키타다,

클라츠키 그리고 레더만(Lawrence, Kitada, Klatzky & Lederman, 2007)의 연구 결과는 산과 골의 높이나 너비가 무작위로 주어지는 보다 자연적인 표면을 상대로는 적용되기가 어렵다고 할 수 있다. 이는 이 연구에서 인지적 거칠기를 대표하는 물리적 인자로 파악된 골의 너비는 높이 파라미터인 Ra, Ry, Rz는 무관하기 때문이다.

한편, 이 같은 연구 결과는 제품 표면 설계 시 소비자가 원하는 수준의 인지적 표면 거칠기를 구현하기 위해 어떤 물리적 조건을 만족해야 하는지에 대한 표준을 제공한다는 점에서 제품 디자인 분야에 기여하는 바가 크다고 할 수 있다. 이의 적용을 위해서는 제품에 따라 소비자가 어느 수준의 인지적 표면 거칠기를 원하는지 연구를 통해 밝혀져야 하겠지만, 본 연구 결과가 이러한 연구의 기초가 될 수 있으리라 판단된다. 또한 물리적 표면 거칠기와 표면을 통해 얻어지는 감성 사이의 관계를 연구하는 데도 도움이 되어 궁극적으로는 감성 표면(emotional surface)을 갖는 제품의 구현에도 기여할 수 있으리라 기대된다.

References

- 1 Chen, X., Shao, F., Barnes, C., Childs, T., & Henson, B. (2009). Exploring relationships between touch perception and surface physical properties. *International Journal of Design*, 3(2), 67-76.
- 2 Connor, C. E., Hsiao, S. S., Phillips, J. R., & Johnson, K. O. (1990). Tactile roughness: neural codes that account for psychophysical magnitude. *The Journal of Neuroscience*, 10(12), 3823-3836.
- 3 Connor, C. E., & Johnson, K. O. (1992). Neural coding of tactile texture : comparison of spatial and temporal mechanisms for roughness perception. *The Journal of Neuroscience*, 12(9), 3414-3426.
- 4 Hollins, M., Bensmaïa, S. J., & Washburn, S. (2001). Vibrotactile adaptation impair discrimination of fine, but not coarse textures. *Somatosensory & Motor Research*, 18(4), 253-262.
- 5 Hwang, J., & Hwang, W. (2009). Difference thresholds in surface roughness perception. *Journal of Korean Society of Design Research*, 22(4), 231-244.
- 6 Hwang, J., Park, T., & Hwang, W. (2008). Physical surface roughness parameters and perceived roughness. *In proceedings of the 2nd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Las Vegas, USA.
- 7 Karlsson, M., & Velasco, A. V. (2007). Designing for the tactile sense : investigating the relation between surface properties, perceptions and preferences. *CoDesign: International Journal of CoCreation in Design and the Arts*, 3(1), 123-133.
- 8 Lamb, G. (1983). Tactile discrimination of textured surfaces: Psychophysical performance measurements in humans. *Journal of Physiology*, 338, 551-565.
- 9 Lawrence, M. A., Kitada, R., Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (2007). Haptic roughness perception of linear gratings via bare finger or rigid probe. *Perception*, 5, 547-557.
- 10 Lederman, S. J., & Taylor, M. M. (1972). Fingertip force surface geometry and the perception of roughness by active touch. *Perception and Psychophysics*, 12(5), 401-408.
- 11 Lee, K., Choi I., & Yang, S. (1999). A study of the difference threshold to understand the haptic discrimination element of the handling burron in electronic product. *Journal of Korean Society of Design Research*, 12(4), 221-229.
- 12 Morley, J. W., Goodwin, A. W. & Darian-Smith, I. (1983). Tactile discrimination of

- gratings. *Experimental Brain Research*, 49(2), 291–299.
- 13 Tiest, W. M., & Kapper, A. M. L. (2006). Analysis of haptic perception of materials by multidimensional scaling and physical measurements of roughness and compressibility. *Acta Psychologica*, 121(1), 1–20.
 - 14 Tiest, W. M., & Kapper, A. M. L. (2007). Haptic and visual perception of roughness. *Acta Psychologica*, 124(2), 177–189.

물리적인 표면 거칠기와 인지적 표면 거칠기

이주호¹, 황지홍^{2*}

¹ 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과, 서울, 대한민국

² 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, 서울, 대한민국

본 연구에서는 산과 골의 높이와 너비를 무작위로 설정한 자연적인 표면을 제작한 후, 인간에 의해 인지된 표면 거칠기와 물리적인 표면 거칠기를 측정하여 그 상관관계를 분석하였다. 그 결과 물리적 표면 거칠기 중 높이 파라미터인 Ra(산술평균 거칠기), Ry(최대높이 거칠기), Rz(10점평균 거칠기)가 인지적 표면 거칠기와 0.8 이상의 상관계수를 가지며 특히 Ry가 가장 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있었다. 따라서 형상이 불규칙적인 자연적인 표면에 대해 인지적 표면 거칠기를 대표하는 물리적 표면 거칠기 파라미터로 Ry를 사용하는 것이 유의함을 알 수 있었다.

한편, 산과 골의 높이가 일정한 표면의 경우 너비 파라미터인 Sm(요철 평균간격), S(국부산봉우리 평균간격)가 0.7 이상의 상관계수를 가졌다. 따라서 표면 형상이 규칙적으로 반복되는 인공적인 표면에 대해서는 인지적 표면 거칠기를 대표하는 물리적 표면 거칠기 파라미터로 Sm과 S를 사용하는 것이 유의함을 알 수 있었다.

주제어 주제어 물리적 표면거칠기, 인지적 표면거칠기, 상관관계

*교신저자: 황지홍(hwangjh@seoultech.ac.kr)

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.