

Title

Visual Perception Characteristics with Surface Unevenness - Focused on orange peel effect -

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study is to identify visual perception and satisfaction with the orange peel effect of surface. The orange peel effect is a type of finish on painted or cast surfaces.

Background: Gloss paint sprayed on a smooth surface (such as car body, smart phone, and electric home appliances, etc.) should also dry into a smooth surface. Then, a surface resembling the texture of an orange peel can be caused by some factors. The orange peel effect can degrade user's satisfaction for a product.

Method: Visual perception and emotional satisfaction were subjectively evaluated using Likert scale. The significance of orange peel effect on visual perception and satisfaction were then analyzed by the analysis of variance. The correlation between visual perception and satisfaction was also analyzed.

Results: Surface roughness significantly influenced visual perception and emotional satisfaction. The level of visual perception increased and emotional satisfaction decreased with the increase of orange peel effect. Emotional satisfaction decreased with the increase of visual perception level.

Conclusion: It was identified that orange peel phenomenon on surface was a very important factor for emotional satisfaction. Orange peel effect on the surface of a product should be minimized to improve the emotional satisfaction of the product.

Application: The result of this study can be applied to the texture design of the body of car, smart phone, and electric home appliances, etc.

Keywords

Orange peel effect, Surface unevenness, Visual perception, Emotional satisfaction

1. Introduction

자동차 차체, 가전제품이나 스마트폰 등의 표면 처리의 품질은 제품에 대한 고객의 만족도에 중요한 영향을 주는 요소들 중의 하나이다(Kang, et al., 2000). 즉 제품의 구매자는 제품을 고를 때 눈으로 보고, 손으로 만져 보면서 제품의 품질을 판단하는데, 이때 제품의 표면이 갖는 광택이나 질감 등은 고객의 제품 선택에 중요한 영향을 미친다(Lee, et al., 2000). Burrows(2012)는 고광택, 매끄러운 마무리는 고품질의 제품을 결정하는 가장 중요한 요소중의 하나라고 하였다. 따라서 제품의 표면이 거칠거나 평탄하지 않다면 제품의 구매에 부정적인 영향을 미치게 되고, 제품을 사용하는 사용자의 입장에서라도 제품에 대한 감성적

측면에서의 만족도에 부정적인 영향을 갖게 된다(Kim, 2007). 표면 거칠기는 표면의 가공, 코팅, 또는 도장 등의 과정에서 생기는 미세한 요철의 정도를 말한다. 기하학적으로 완벽한 표면을 가공한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 가공된 표면을 확대한 사진을 보면 표면에 많은 굴곡이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

오렌지 필(Orange peel) 현상은 표면의 코팅, 도장 등의 과정에서 발생하는 표면의 불규칙성이다(Cao, et al, 2005, Burrows, 2012)). 오렌지 필 현상을 최소화하는 것은 표면의 처리과정에서 매우 중요한 문제이고, 실제 자동차 산업 등에서 고급 차량과 그렇지 않은 차량 사이를 구분하는 요소중의 하나는 차체에서 나타나는 오렌지 필 현상의 존재 유무이다(Konieczny and Meyer, 2011). 인간의 시각은 광택있는 표면에서의 오렌지 필 현상 등에 의하여 발생하는 질감 효과(texture effect)에 매우 민감하기 때문에 시각적으로 그러한 현상이 지각되지 않을 정도로 잘 마무리 되는 것이 필요하다(Burrows, 2012).

따라서 본 연구에서는 제품의 표면질감에 중요한 영향을 미치는 오렌지필 현상을 사람들이 시각적으로 지각하는 특성과 이를 통한 감성적 만족도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다.

2. Surface Roughness of product

제품의 표면은 원재료와 원재료를 싸고 있는 표면처리에 의해 만들어진다. 이런 표면처리는 단순히 원재료의 외부를 포장한다는 의미를 넘어 원재료의 물리적, 화학적 한계를 확장시키거나, 심리적, 심미적 기능을 확장하는 등의 목적을 갖는다 (Kim, 2007). 제품 표면의 거칠기는 원재료의 가공과정과 도장이나 코팅과 같은 표면처리과정에서 발생되는데 표면의 거칠기는 제품에 대한 소비자의 만족도에 부정적인 영향을 주게 된다.

제품 표면의 거칠기는 표면에 작은 간격으로 나타나는 미세한 굴곡으로 가공방식이나 표면처리 방식에 따라 크기와 모양이 다르게 나타난다. 표면의 거칠기는 여러 형태의 거칠기가 복합적으로 구성되어 있어, 거칠기 자체를 하나의 숫자로 표시할 수 없고, 거칠기 높낮이를 말하는 진폭크기의 평균, 거칠기 간격의 평균 등과 같이 통계적 처리를 통하여 표현하게 된다. 이런 거칠기의 정도를 나타내는 통계적인 값을 거칠기 파라미터(roughness parameter)라 한다.

실제로 표면 거칠기를 가장 잘 나타낼 수 있는 방법은 미세한 표면 형상을 확대하여 보여 주는 것이지만, 이 방법은 표면을 확대하여 촬영하고 그 사진을 다시 해석해야 하는 등 번거로움이 많고, 비효율적이기 때문에, 표면 전체의 거칠기를 대표적인 값으로 나타내는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 표면의 거칠기를 나타내는 파라미터로 제곱평균 거칠기를 사용하였는데, 제곱평균거칠기는 제곱평균제곱근(root-mean-square, rms)의 방법을 써서 구한다. Figure 1은 표면거칠기의 중심선을 나타내는데, 제곱평균거칠기는 중심선으로부터 거칠기를 나타내는 산과 굴곡까지의 거리의 제곱평균제곱근을 나타낸다 (KS B 0161, 1999)..

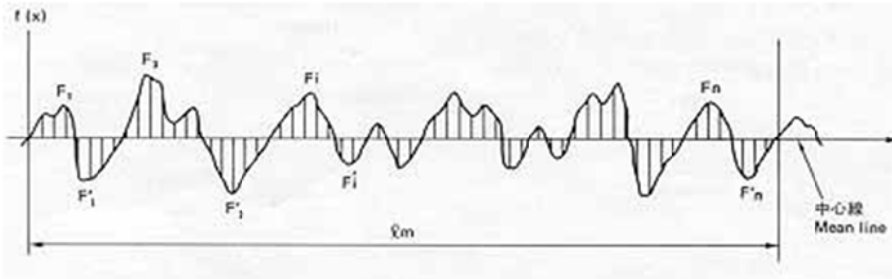


Figure 1. Mean line of surface roughness

표면의 거칠기를 나타내는 중요한 원인중의 하나는 표면의 가공이나 도장, 코팅 등의 과정에서 발생하는 오렌지필 현상인데, 일반적으로 휴대폰 커버, 제품 표면, 자동차 차체 등의 표면질감의 고른 정도는 표면이 오렌지 껍질처럼 울퉁불퉁한 현상에 의하여 좌우된다. Figure 2에서 볼 수 있는 바와 같이 표면 질감은 성형이 고르게 이루어졌어도 확대하여 보면 미세한 굴곡이 존재하는 경우가 많다.

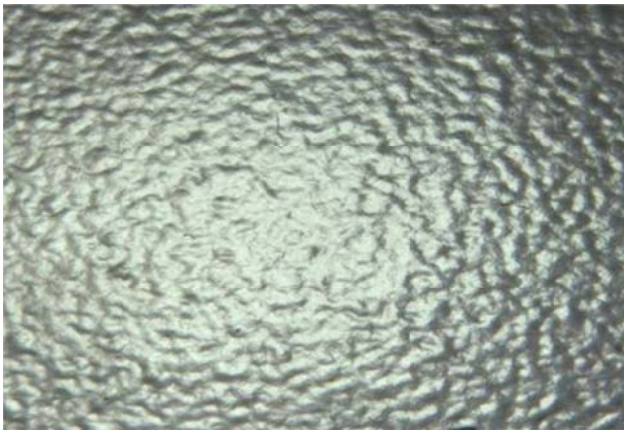


Figure 2. Orange Peel Effect

표면의 오렌지필 현상은 시각적 측면에서의 제품의 표면질감에 부정적인 영향을 미치기 때문에, 이러한 현상이 나타나지 않도록 표면의 마무리 처리를 하는 것이 중요하다. 표면의 도장 과정중에 나타나는 오렌지 필 현상의 원인은 도장 점도가 높을 때, 신나 휘발이 빠를 때, 스프레이 압력이 부족할 때, 스프레이 도막두께 부족할 때, 스프레이 거리가 부적절한 경우 등에 발생하는 것으로 알려져 있다.

제품표면에 나타나는 오렌지필 현상이 시각적 표면질감에 부정적인 영향을 주는 것이 알려져 왔지만, 오렌지필 현상의 정도에 따른 시각적 지각 수준의 정도, 감성적 만족도에 미치는 영향, 그리고 시각적 지각수준과 감성적 만족도와의 상관성 등이 명확히 밝혀진 바는 없기 때문에 이에대한 연구를 수행하는 것은 표면질감 디자인 측면에서 중요한 의미가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 휴대폰의 커버로 많이 사용되는 검은색 시편을 대상으로 오렌지필 현상이 인간의 시지각적 특성과 감성적 만족도에 어떠한 영향을 주는지를 연구하였다.

3. Experimental Method

3.1 Experimental Material and Subjects

본 연구에서는 표면거칠기가 다른 각 10개의 검은색 시편을 사용하여 피실험자들의 시지각 특성과 감성만족도를 평가하였다. 각 시편들의 표면거칠기의 정도를 나타내는 파라미터는 3D 스캐너로 측정된 제곱평균거칠기였고, 거칠기의 단위는 마이크로미터(μm)이다. Table 1은 실험에 사용된 시편들의 제곱평균거칠기의 측정값이다.

Table 1. Experimental materials (unit: μm)

Color \ No	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Black	4.01	4.42	4.92	5.19	11.82	12.98	19.77	14.20	14.01	16.90

실험에 참여한 피실험자는 시각에 장애가 없는 총 50명으로 남자 25명, 여자 25명이었으며, 연령대 및 성별 분포는 Table 2와 같다.

Table 2. Subjects

Gender \ Age	~25	25~35	35~
Male	10	10	5
Female	10	10	5

3.2 Evaluation Method

피실험자들은 무작위로 제시되는 표면처리가 다른 시편을 보고 오렌지필 현상에 대한 시지각 정도와 감성만족도를 7점 척도로 평가하도록 하였다. 다음은 실험에서 사용된 감성만족도와 오렌지 필의 시지각 평가를 위한 평가척도이다.

Table 3. Evaluation scale for emotional satisfaction

Material Number	Very Bad	Quite Bad	Somewhat Bad	Neither	Somewhat Good	Quite Good	Very Good
	1	2	3	4	5	6	7

Table 4. Evaluation scale for visual perception

Material Number	Very Weak	Quite Weak	Somewhat Weak	Neither	Somewhat Strong	Quite Strong	Very Strong
	1	2	3	4	5	6	7

실험에서는 표면처리에 대한 감성만족도와 시지각 평가외에 감성적 측면에서 만족 정도를 판단하는 기준이 무엇인지에 대한 주관적 의견도 수집하였다. Figure 3은 실험장면을 나타낸다.



Figure 3. Experimental scene

4. Results

4.1 Visual perception with the orange peel effect of surface

시편의 표면 가공이나 코팅 과정 중에 나타나는 오렌지 필 현상에 대한 시지각 특성을 알아보기 위하여 주관적 평가결과를 토대로 분산분석을 수행하였다. 분석결과를 보면, Table 5에서 보는 바와 같이 시편에서 오렌지 필 현상의 정도는 피실험자들의 시지각에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다($p=0.00 < 0.05$).

Table 5. ANOVA for visual perception with orange peel effect

		Sum of Square	df	Mean Square	F.	Sig.
Perception	Between group	1351.178	9	150.131	125.130	.000
	Within group	587.900	490	1.200		
	Sum	1939.078	499			

Figure 4를 보면, 표면의 오렌지 필 현상의 정도가 증가함에 따라 시각적 지각 정도가 어떻게 변화하는지의 관계를 잘 파악할 수 있다. 즉, 오렌지 필 현상의 정도가 증가할 수록 시지각의 정도는 높아지는 것을 알 수 있고, 시편 1~4의 거칠기에 대해서는 시각적으로 오렌지필 현상을 잘 지각하지 못하지만, 시편 5이상의 거칠기에 대해서는 오렌지 필 현상에 대한 시각적 지각의 정도가 상당히 높은 것을 알 수 있다. Figure 4를 보면, 대략적으로 오렌지필 현상 (즉 거칠기)이 증가하는 순서로 시편의 번호를 지정하였지만, 오렌지필 현상이 가장 큰 시편이 7번으로 지정되어, 7번의 거칠기와 그에 따른 시지각 정도가 가장 크게 나타난 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 볼 때 피실험자들은 $5.19\mu\text{m}$ 이하의 거칠기에 대해서는 오렌지 필 현상을 시각적으로 잘 지각하지 못하지만, $11.82\mu\text{m}$ 이상에서는 잘 지각하는 것을 알 수 있다.

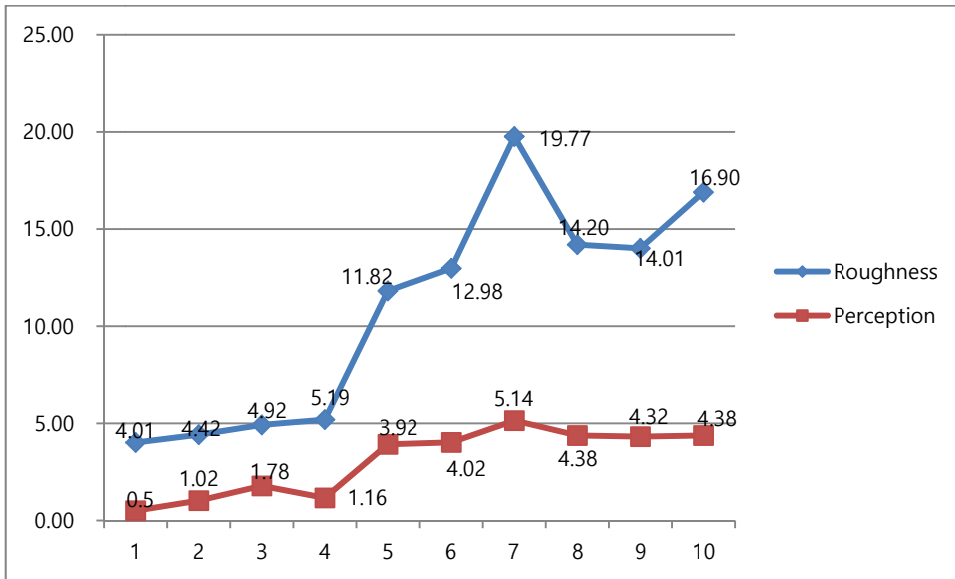


Figure 4. Visual perception level with surface roughness

이상의 결과를 좀 더 자세히 알아보기 위하여 군집분석을 통하여 오렌지필 현상에 따른 시지각 정도에 따라 시편들을 그룹핑하였다. Figure 5의 군집분석 결과를 보면, 시편들을 두개의 그룹으로 분류할 수 있는데, N1~N4가 한 그룹으로 분류되었고, N5~N10이 또 다른 그룹으로 분류되었다. 이러한 결과는 N4와 N5 사이의 시편에 대해 시지각 정도가 크게 차이가 나는 평균치에 대한 유의성 분석 결과와 동일한 것이다.

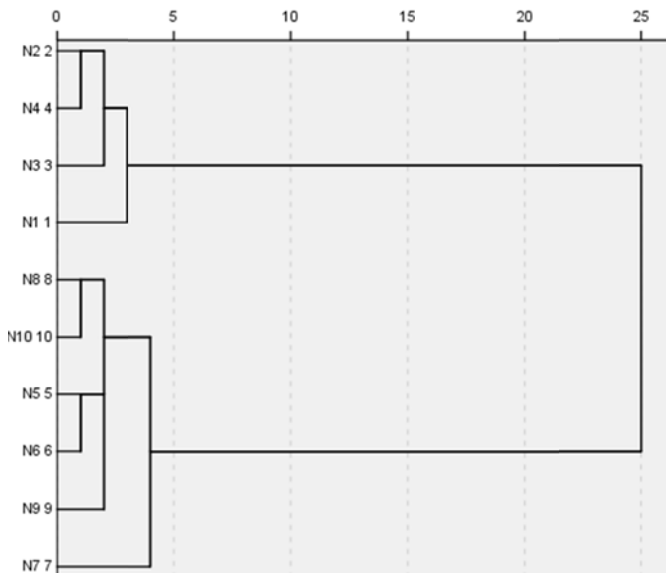


Figure 5. Dendrogram from cluster analysis

4.2 Emotional satisfaction for orange peel effect on surface

시편의 표면 가공이나 코팅 과정 중에 나타나는 오렌지 필 현상이 감성적 측면에서의 만족도에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위하여 주관적 평가결과를 토대로 분산분석을 수행하였다. 분석결과를 보면, Table 6에서 볼 수 있는 바와 같이 시편의 오렌지 필 현상의 정도는 피실험자들의 감성적 만족도에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다($p=0.00<0.05$).

Table 6. ANOVA for emotional satisfaction with orange peel effect

		Sum of Square	df	Mean Square	F.	Sig.
Satisfaction	Between group	509.459	9	56.607	30.708	.000
	Within group	897.736	487	1.843		
	Sum	1407.195	496			

Figure 6에서 볼 수 있는 바와 같이, 시편의 오렌지 필 현상이 두드러질 수록 표면질감에 대한 감성적 만족도는 전반적으로 낮아지는 것을 알 수 있고, 시지각에서와 동일하게 거칠기의 차이가 많이 나는 시편 4와 시편 5 사이에서의 감성적 만족도 차이가 두드러지는 것을 알 수 있다. 또한, Figure 6을 보면 감성적 만족도에 대한 평가에서도 시지각 평가와 동일한 시편을 사용하였기 때문에, 시편 7의 거칠기가 가장 컸고, 그에 따른 감성적 만족도도 낮게 나타났다.

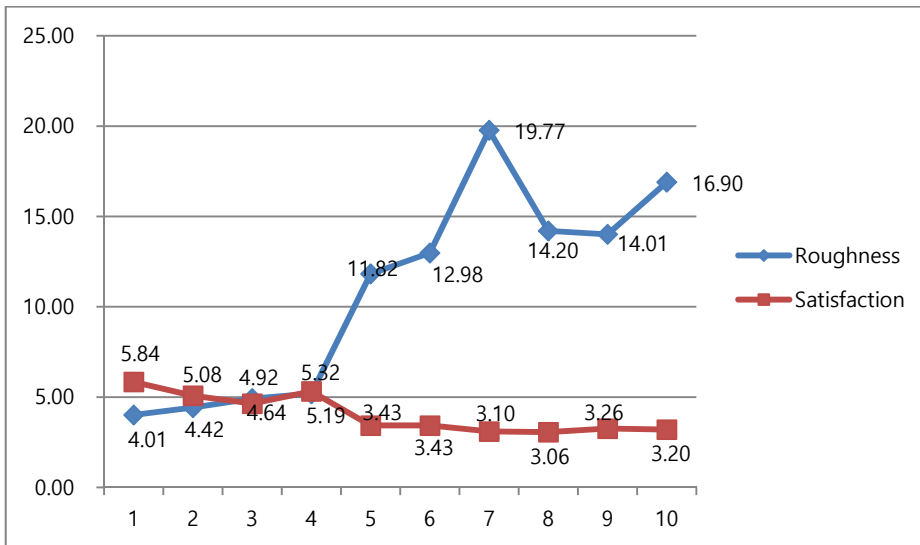


Figure 6. Emotional satisfaction with surface roughness

이상의 결과는 거칠기의 정도에 따른 시지각 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로, 피실험자들이 시편 4이하의 거칠기에 대해서는 시각적으로 지각하는 정도가 낮았고, 시편 5이상의 거칠기에 대해 시각적 지각 정도가 높게 나타났기 때문에 그에 따른 감성적 만족도도 낮게 나타난 것으로 해석될 수 있다.

4.3 Correlation analysis among surface roughness, visual perception, and satisfaction

표면의 오렌지 필 현상에 따른 시지각 및 감성 만족도에 대한 분석을 통하여 오렌지 필 현상이

두드러질수록 시지각 정도는 높아지고 감성적 만족도는 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이러한 사실로부터 표면의 오렌지 필 현상을 나타내는 거칠기, 시지각, 감성 만족도 사이에는 유의한 상관성이 존재하는 것을 추측할 수 있는데, 이에 대한 상관성을 알아보기 위하여 상관분석을 수행하였다.

Table 7. Correlation Analysis among roughness, satisfaction, and perception

Measure	Roughness	Satisfaction	Perception
Roughness	-	-0.555**	0.807**
Satisfaction	-0.555**	-	-0.583**
Perception	0.807**	-0.583**	-

** sig. at 0.01

Table 7은 오렌지 필 현상에 따른 거칠기, 감성 만족도, 시지각 사이의 상관분석을 수행한 결과를 보여주는데, 거칠기는 감성적 만족도와 음의 상관관계($r=-0.555$)를 보이는 것을 알 수 있고, 시지각 정도와는 양의 상관관계($r=0.807$)를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 시편의 거칠기에 따른 시지각을 보여주는 Figure 4와 만족도를 보여주는 Figure 6의 결과와도 일치한다. 또한 오렌지 필 현상에 대한 시각적 지각과 감성적 만족도와의 상관계수($r=-0.583$)는 음의 상관관계를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 피실험자가 오렌지 필 현상을 시각적으로 지각하는 만큼 표면질감에 대한 감성적 만족도에 유의한 영향을 주는 것을 알 수 있다.

4.4 Viewing patterns and evaluation criteria for the OP effect of surface in visual perception process

오렌지 필 현상에 대하여 피실험자들이 시각적으로 판단하는데 어떠한 기준을 활용하였는지를 조사하였는데(중복 응답 허용), 그에 대한 의견을 Table 8과 같은 6가지의 유형으로 그룹핑하였다. 피실험자들로 부터 다양한 의견들이 도출되었지만, 의견들의 유사성을 고려하여 6가지로 분류하였다. Table 7을 보면 피실험자들은 오렌지 필 현상의 강도를 시각적으로 판단하는데 있어 굴곡의 밀도를 많이 고려한 것으로 나고, 밀도가 높을수록 오렌지 필 현상이 강하다고 답변하였다. 그 다음으로는 입자 굴곡의 깊이와 높이를 중요한 판단기준으로 사용한 것을 알 수 있다. 입자 굴곡의 깊이와 높이가 높을수록 OP 현상이 심하다고 판단하였다.

Table 7. Evaluation criteria for the orange peel effect of surface

Evaluation criteria of visual perception	Frequency
Density of OP phenomenon	17
Depth and height of curve	12
Surface reflection for light	9
Smoothness of surface	4
Intensity of pattern	3
Others	8

또한 오렌지 필 현상의 시각적 탐색 과정에 대한 피실험자들의 시선 움직임을 알아보기 위하여 탐색하는 동안의 눈동자 움직임을 시선추적기를 활용하여 측정하였는데, 시선의 움직임을 나타내는 Figure 7을 보면 피실험자들은 시편을 전반적으로 훑어본 뒤에 오렌지필 현상이 나타나는 부분을 집중적으로 관찰하는 것을 알 수 있었다.

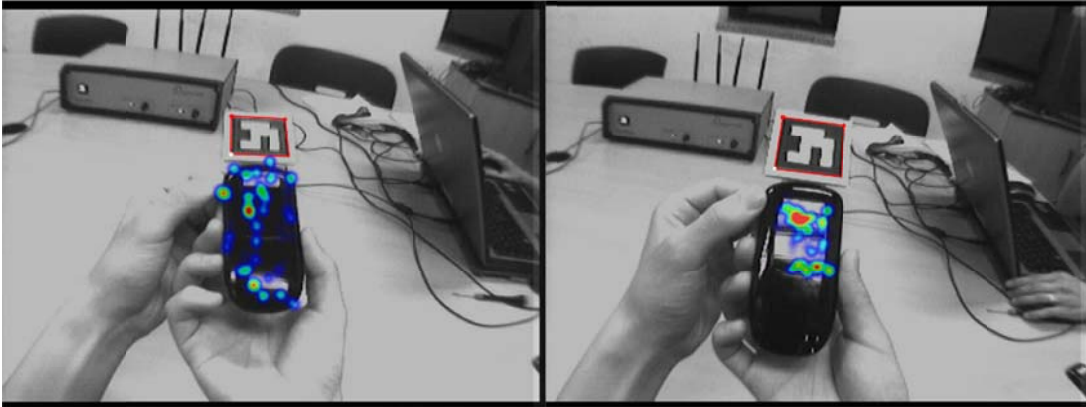


Figure 7. Heat map for scanning the orange peel effect of surface

5. Conclusion

제품의 구매자들이 요구하는 고품질의 제품은 균일한 표면처리가 필수적이다. 시각적으로 균일하지 못한 표면의 질감은 제품의 품질을 저해하는 중요한 요인이다. 오렌지 필 현상은 표면의 불균일성을 나타내는 대표적인 현상으로 제품의 감성적 만족도에 부정적인 영향을 주는 원인 중의 하나이다.

본 연구에서는 표면처리에 따라 사용자가 느끼는 감성만족도와 시각적인 균일성에 대한 지각이 어떻게 달라지는가를 연구하였다. 오렌지 필 현상이 두드러질 수록 시각적인 불균일성에 대한 지각 수준은 높아지는 것을 알 수 있었고, 그 결과는 감성적인 만족도 저하로 나타나는 것을 알 수 있었다. 오렌지필 현상이 존재하는 경우에도 시각적인 지각 수준이 높지 않은 경우에는 만족도에 별다른 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 볼 때, 제품의 표면질감에 대한 사용자들의 감성적 만족도를 높여주기 위해서는 표면의 오렌지필 현상을 시각적으로 지각할 수 없을 만큼 최소화해주는 것이 필요함을 알 수 있다.

Reference

Anderson, B., Visual perception of materials and surfaces, *Current Biology*, 21(24), 2006.

Burrows, T., Enhanced surface quality measurement, *Polymers Paint Color Journal*, 201, 32-33, 2012.

Cao, S., Zhang, J., Wu, J., and Chen J., Analysis of orange peel defect in St14 steel sheet by electron backscattered diffraction, *J. Master. Sci. Technol.*, 21(1), 17-20, 2005

Kim, H., A study on categorizing surface design for effective communication in product development process, Ph.D Thesis, Hongik Univ., 2007.

Kang, H., Butler, C., Yang, Q., Sacerdotti, F., and Benati, F., Appearance Measurement System Using Fuzzy Logic, Proceedings of the 17th IEEE instrumentation and measurement technology conference, 2000.

Kim, S., Kyung, K., Sohn, J., and Kwon, D. An Evaluation of Human Sensibility on Perceived Texture for Real Haptic Representation, Journal of the Korea Information Science Society, 34(10), 900-909, 2007.

Konieczny, J. and Meyer, G., Computer rendering and visual detection of orange peel, J. Coat. Technol. Res., 29, 2011.

KS B 0161, Surface roughness - Definitions and designation, 1999.

Lee, D., Yang, S., and Jung, K., User's Characteristics on the Tactile Perception of Surface Texture, Journal of Korean Society of Design Science, 13(4), 77-83, 2000.

Lee, G. and Seo, J., A Study on the Visual Tactility through Expression of the Finishing Materials in Commercial Spaces, Journal of Architectural Institute of Korea, 27(9), 39-46, 2011.

Lee, P., Piehler, H., Adams, B., Jarvis, G., Hampel, H., and Rollett, A., Influence of surface texture on orange peel in aluminum, Journal of Materials Processing Technology, 80, 315-319, 1998.

Todd, J., The visual perception of 3D shape, TRENDS in Cognitive Sciences, 8(3), 2004.