

## 회전체의 특성이 시각적 선호에 미치는 영향

박희영                      김청택\*                      박영진

서울대학교 심리학과, 동아대학교 컴퓨터공학과

{heeyoungpark, ctkim}@snu.ac.kr, yjpark@dau.ac.kr

### The Variables of Surface of Revolution and its effects on Human Visual Preference

Heeyoung Park

Cheongtag Kim\*

Youngjin Park

Department of Psychology, Seoul National University., Department of Computer Engineering, Dong-  
A University

### 요 약

본 연구는 곡선의 두 가지 물리적 속성인 파의 개수와 파고의 크기를 매끄러움을 구성하는 두 가지 주요 모수로 가정하고, 매끄러움의 감각에 어떠한 모수가 영향을 미치는지, 나아가 아름다움의 감각과 매끄러움 간 관계를 검증하였다. 이전 연구들 가운데 매끄러움이라는 감각을 곡률 개념을 사용해 정의한 연구는 없었으나 본 연구에서 이를 새로운 방법으로 정의하였다. 연구 재료는 3차 스플라인 곡선을 단면으로 삼아 이를 회전하여 만든 3차원 구체로 파의 개수와 파고의 크기를 각 3개 수준으로 나누어 둘을 조합시킨 9개 유형의 형상을 이용하였다.

9개 유형 가운데 어떠한 형상이 선호되는지 관찰한 결과, 파의 개수가 적은 조건이 가장 선호되었으며 파고의 크기에 따라서는 파고의 크기가 큰 조건이 가장 선호되었다. 다음으로 각 형상에 대해 선호를 측정하는 세 가지 문항과 친숙성 그리고 매끄러움을 평가하였다. 매끄러움의 두 가지 파라미터라 가정한 파의 개수와 파고의 크기를 고정효과로, 참여자 및 개인차 변인들을 확률효과로 설정한 선행 혼합 모형을 통해 분석한 결과 매끄러움 평정 값의 분산의 약 80%가 연구에서 가정한 모형으로 설명되었다. 개체의 물리적 속성의 지각에 성별 등의 개인차 변인의 역할은 확인되지 않았으며 형상의 물리적 속성이 중요하게 작용함을 확인하였다. 스플라인 곡선을 기반으로 만든 객체의 매끄러움의 지각에는 파의 개수보다 파고의 크기가 더 큰 영향을 미치는 경향을 확인할 수 있었다.

### Abstract

This study assumed two key parameters that describe smoothness. Previously, the number of studies that defined smoothness with the concept of curvature has been limited. The parameters were the two physical characteristics of curvature: the number of waves and the amplitude of them. The purpose of the study was to observe which of the two parameters influences the perception of smoothness and to examine the relationship between the sense of aesthetic beauty and smoothness. The visual stimuli used in the study were transformed three-dimensional spheres, based on the combination of the three levels of the two parameters of nine distinct conditions. We analyzed the three responses that measured the preference of each visual stimuli, the familiarity score, and the smoothness evaluation score, each with the linear mixed model whose fixed effects were the two parameters and random effects were the participants' individual differences. Nearly the eighty percent of the variance of the smoothness evaluation score was explained by the linear model with the two key parameters and their interaction. The physical characteristics of a viewed object were far more significant than individual differences such as personality factors and the manner of art appreciation.

In conclusion, the study examined the perception of smoothness based on the change of the physical characteristics of a shape. The study further recognized the relationship between smoothness and the aesthetic preference. No significant influence of the participants' individual difference such as gender, the degree in fine arts, personality factors, and the manner of art appreciation was observed. The amplitude of waves, rather than the number of them, was far more significant to the perception of smoothness.

**키워드:** 스플라인 곡선, 회전체, 매끄러움, 선호, 선행혼합모형

**Keywords:** Spline curve, Surface of revolution, Smoothness, Preference, linear mixed model

\*corresponding author: Cheongtag Kim/Seoul National University(ctkim@snu.ac.kr)

## 1. 서론

사람의 감각하는 경험은 객관적이고 물리적인 자극에 대한 주관적이고 심리적인 경험이라 정의할 수 있으며, 대상, 사람, 그리고 상황이 서로 연합되어 있다[1].

여러 유형의 감각 경험 중, 아름다움이라는 감각에 대해 여러 연구자들이 분석을 시도하였으나 전체를 아우르는 일종의 거대 이론이 등장하기는 어렵다는 암묵적인 합의가 도출되었다[2, 3, 4, 5]. 연구자들, 특히 심리학자들은 아름다움이라는 감각을 설명하기 위해 여러 사람들이 미적 형상들에 대해 가지는 공통된 미감(aesthetic sense)이라는 경험의 특징을 찾는 것이라 간주하였으며 연구 범위를 환경 전체로 확장하기보다 실험실이라는 한정된 범위 내에서 연구를 진행하였다[6]. Fechner[2]는 감각경험의 대상이 되는 형상의 속성과 그것을 사람이 어떻게 지각하고 인지하는가에 대해서 그리고 사람들이 선호하는 특정 형태에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 매끄러움이라는 심리적 감각에 대한 물리적 속성의 관계를 탐구하고 매끄러움이 아름다움에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

공감각이란 특정한 감각이 다른 감각과 공유되며 한 번에 여러 감각이 느껴지는 경우이다. 공감각의 생물학적 기제는 신경통로가 서로 교차하여 연결될 때, 한 감각 피질이 활성화되었을 때 다른 감각 피질이 직접 활성화될 경우에 발생한다. 대표적인 공감각 조합은 시각과 촉각이다. 시각과 촉각은 유사한 개념적 공간(perceptual space)을 공유한다는 연구들이 있다[7, 8, 9]. 본 연구는 매끄러움이라는 촉각적인 감각을 시각자극에 적용시킨다는 점에서 공감각이라 할 수 있다. 사람은 형상의 부피, 크기, 무게중심의 위치, 그리고 표면의 구조에 관한 정보를 시각을 통해 입력받는다. 시각을 통해 얻은 정보로 형상에 대한 지각적 예측값을 설정하게 되는데 이는 실제값과의 차이가 발생할 수 있다. 차이값의 보정(calibration)은 다른 감각 양상을 통해 추가로 들어오는 일종의 피드백을 통해 이루어진다[10].

Gibson [11] 이 시각과 촉각은 기능적으로 동일하다고 주장한 이후 여러 연구가 사물지각에 있어서 시각이 우수한지 또는 촉각이 우수한지에 대한 우열관계를 탐구하였다. Fishkin 등 [12] 과 Grunwald [13] 은 공간 파악과 같은 과제에서 다른 감각보다 시각이 우위에 작용한다는 결과를 보였다. 또한 시각이 촉각보다 사물의 크기, 모양, 깊이, 그리고 위치 측정의 경우 더 우수한 수행능력을 보인다는 연구결과가 보고되었다[14].

Yoshioka 등[15]은 시각을 이용한 간접적 탐지를 통해 사물 표면의 거칠기(roughness), 강직도(hardness) 그리고 끈적거림(stickiness)에 대한 구분이 충분히 가능하다는 결과를 제시한다. 현 단계에서 시각과 촉각 연구를 정리하자면, 시각과 촉각에 대한 사람의 감각경험은 입력된 시각 정보와 촉각 정보는 무엇이

더 신뢰로우며 정교한 입력을 갖는지 서로 우열을 겨루지만, 최종적인 감각 경험에 있어서 이 둘은 비슷하거나, 기능적으로 같거나, 개념을 공유할 가능성이 있다.

개개인에 따라 느끼는 감각은 다양하므로 모두가 인정하는 기준점을 정의하는 데는 여전히 어려움이 따른다. 사람이 갖는 심리적 느낌은 개인차가 발생하며 극히 정성적이어서 하나의 질문이나 형상에 하나의 응답이 1:1로 대응되지 않고 1:N, 심지어는 무한개의 응답들이 대응하며 탐구되어야 할 개념적 정의들이 남아있다.

본 연구에서는 이러한 아름다움이라는 감각에 대해 컴퓨터 그래픽스 기법으로 생성할 수 있는 개체의 어떠한 물리적 특성이 인간의 감각에 영향을 미치는가를 분석하고자 하였다. 수많은 형상 가운데 3차 스플라인(cubic spline)을 회전하여 만든 회전체를 기반으로 실험을 실시하고 결과를 비교하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 선호와 아름다움

사람의 선호(preference)와 아름다움에 대한 감각은 비교적 일치함을 보인다[3]. 심리학에서 진행된 여러 선호 연구들은 특정 집단을 대상으로 하여 실험실 환경에서 일련의 시각 자극을 통해 형상의 평균적인 미적 속성을 제시하는 것을 목표로 삼는다. 시각 자극의 종류로는 형상과 그림 등이 있으며 연구 참가자들은 시각 자극에 따른 반응과 물리적 속성을 응답한다. 응답의 종류로는 평정, 순위 매기기, 혹은 호불호 등이 있으며 실험 결과는 모두 참가자의 행동을 기반으로 측정된다.

Birkhoff[16]은 기하학적 패턴, 회화, 소설 그리고 음악의 속성을 분석하여 아름다움은 대상의 규칙성(order) 과 복잡도(complexity)의 선형적 관계로서 설명될 수 있다고 보았다. 반면, 가장 단순한 자극보다는 복잡도가 상대적으로 높은 자극이 해석을 요구하기 때문에 단순한 자극에 비해 더 흥미롭고, 더 오래 응시하고, 더 선호된다고 본다[3]. Winner [1] 또한 시각자극의 대칭성(symmetric)에 대해서는 대칭성이 모두 같은 자극의 경우에는 세부 요소들이 복잡할수록 더 잘 기억되며 잘 처리된다는 결과를 제시한다[17]. 사물의 형태에 대해서는 사람들은 직선적 윤곽보다 곡선적 윤곽을 가진 사물을 선호하며 이는 실제 사물에서나 추상적 사물에 대해서도 비교적 일관된 결과로 나타난다[18, 19].

Eysenck[20]는 특정 형상에 대한 사람들의 반응에서 개인차 변인의 작용을 연구하였다. 사람들에게 두 가지 패턴을 제시하고 그 중에서 어떤 것을 더 선호하는지 평정한 결과, 성별, 지능, 성격특성 그리고 동일한 문화권 내에서도 상이한 문화권 사이

에서도 높은 일치율을 보였다. McManus 등[21]은 삼각형, 사각형 그리고 비대칭적 도형의 신호에 대해 성격요인과 인지적 욕구, 모호성 인내력, 분열성 등의 개인차 변인으로 설명하려 하였지만, 개인차 변인이 신호에 미치는 영향을 관찰할 수 없었다.

이처럼 여러 연구가 도형 또는 실제 사물을 재료로 삼아 직선보다 곡선이 아름답다고 지각되며, 상대적으로 선호되는 과라 알려져 있지만 엄밀한 방식으로 곡선의 수치에 따른 시각적 선호의 상관관계를 계량적으로 표현하는 방법의 제안은 없었다. 따라서 본 연구에서는 곡선을 수치화하여 3차 스플라인 곡선으로 회전체를 만들고, 곡선을 체계적으로 변화시켜 매개변수에 따른 지각 차이를 비교하는 실험을 진행하였다.

## 2.2 매끄러움의 계량화 기법

파동은 두 지점 사이에서 물질의 이동 없이 한 지점에서 다른 지점까지의 에너지가 전달되는 것을 의미한다. 파동의 가장 낮은 지점에서 가장 높은 지점까지를 파고(wave height)라 하며, 진동수(frequency)는 파동을 포함한 주기적인 현상이 단위 시간 동안 몇 번 일어났는지를 뜻하며 주기는 반복하여 발생하는 상태의 기준이 되는 일정 시간을 뜻하고 이는 진동수의 역수이다. 파장(wave length) 파동의 주기 한번이 가지는 길이다. 파의 종류로는 규칙 파(periodic wave)와 불규칙 파(aperiodic, irregular wave)가 존재한다. 규칙파는 다시 단순 파(single sinewave)와 복합 파(multiple sine wave)로 나뉘며 불규칙파는 노이즈와 같은 연속 파(continuous wave)와 심장박동과 같은 과파(transient wave)로 나뉜다.

불규칙 파의 대표적인 예로는 해상파, 즉 파도이다. 잔잔한 수면에 바람이 불면 수면은 바람의 마찰로 인해 아주 짧은 주름 형태로 되고, 주름 모양의 수면은 그 모양으로 인해 더욱 큰 마찰력을 받으며 점차 큰 주름 형태로 발달하게 된다. 이렇게 형성된 주름 형태의 수면은 오랜 시간동안 넓은 지역에 부는 바람에 의해 소위 파도(또는 파랑)라 불리는 형태로 되어 사방으로 전파한다. 바람에 의해 생성된 파도는 일반적으로 대략 2초에서 25초 사이의 주기를 갖게 되며 실제 해상파는 다양한 주기의 파도가 섞여서 나타나게 되므로 불규칙한 주름 형상을 갖게 된다.

Figure 1은 불규칙 파의 대표적인 예를 나타낸다. 그림에서 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 시간에 따른 파면(wave elevation)의 변화를 나타낸다. 그림에 정의된 것과 같이 파면이 시간축을 기준으로 음에서 양으로 교차하는 것을 영점상향(zero-upcrossing)이라고 하며 각 사이의 시간을 영점상향 주기(zero-upcrossing period)라 한다. 각 영점상향 사이에서 가장 높은 점을 양의 진폭(positive amplitude), 가장 낮은 점을 음의 진폭(negative amplitude)이라 정의한다.

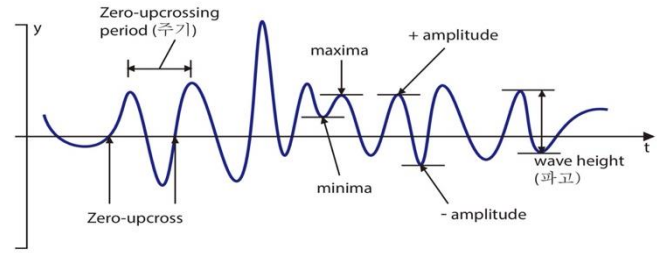


Figure 1: Example of irregular wave.

불규칙 파의 특성치는 파고와 주기의 대표치로 나타내는데 파고의 대표치로는 유의 파고를, 주기의 대표치로는 영점상향주기, 평균주기, 모달주기(modal period) 등이 사용된다.

함수  $f(x)$ 가 점  $p$ 에서 정의되고, 다음 식을 만족하면 함수  $f(x)$ 는 점  $p$ 에서 연속(continuous)이다.

$$\lim_{x \rightarrow p} f(x) = f(p) \quad (1)$$

이를  $C^0$ 연속이라 하며, 어떤 정의역이 주어졌을 때 정의역에서  $f(x)$ 가 정의되고  $C^0$  연속을 만족하면  $f(x)$ 는  $C^0$ 연속함수라 한다.

함수  $f(x)$ 를 미분한  $f'(x)$ 가  $p$ 에서 다음 식을 만족하면  $f(x)$ 는  $C^1$  연속이라 한다.

$$\lim_{x \rightarrow p} f'(x) = f'(p) \quad (2)$$

마찬가지로, 정의역에 대해  $f(x)$ 가 정의되고,  $C^1$  연속을 만족하면  $f(x)$ 는  $C^1$ 연속함수라 한다. 같은 방법으로  $n$ 번 미분한 식과 주어진 정의역에 대해 연속을 확인하면,  $C^n$  연속함수 여부를 확인할 수 있으며,  $n$ 은 함수  $f(x)$ 가 몇 번 미분가능한지에 따라 최대 차수가 결정된다.

매끄러운 함수는 삼각함수 등 무한히 미분가능한 함수를 뜻한다. 그러나 비행기, 자동차, 선박과 같은 유동장안에서 고속으로 움직이는 물체의 형상이 요구하는 매끄러움은 일반적으로  $C^2$  연속으로 충족되고 있으므로, 인간의 촉각과 시각에서 감지할 수 있는 매끄러움은  $C^2$  연속이면 충족된다고 간주하였다. 따라서 본 연구는 시각적 정보에 크게 의지하는 개체의 매끄러움도  $C^2$  연속을 만족할 경우 매끄럽다고 판단하였다. 본 연구에서는 조절점(control point)을 사용하여 회전체의 형상을 자유롭게 수정할 수 있으므로 3차 스플라인을 입력곡선으로 사용하였다.

### 2.3 3차 스플라인 회전체

3차 스플라인 곡선은 부분구간(span)에서 3차 부분곡선으로 표현 가능하고, 부분곡선들의 집합으로 구성되는 전체 곡선이

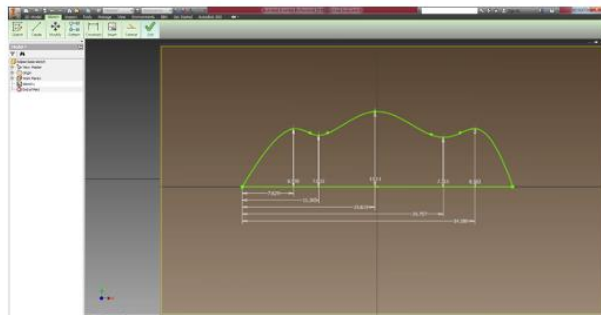
3차식으로 표현된다. 또한 부분구간들의 연결점에서는  $C^0, C^1, C^2$  연속조건을 모두 만족하는데, 이는 부분구간들의 양 끝단이 서로 연속이어야 하며, 연결점 양 끝단의 1차 및 2차 미분값이 유일하게 존재해야 한다. 3차 스플라인 곡선 위 한 점에서의 곡률  $\kappa$ 는 그 점에서 구성할 수 있는 접촉 원(osculating circle)의 반지름의 역수로 나타난다.  $\kappa$ 가 작아지면 접촉원의 반지름이 커지게 되고, 곡선은 점차 직선에 가까워진다. 이와 반대로  $\kappa$ 가 커지면 접촉원의 반지름이 작아지게 되고, 곡선은 접촉원 형태에 가까워진다. 우리가 아름다움을 느끼게 하는 매끄러움의 정도는  $\kappa$ 의 크기와 무관하며  $\kappa$ 의 연속에 따라 결정된다. 매끄럽지 않은 위치는 곡률  $\kappa$ 가 불연속인 위치이자 계량화할 수 있는 지표이다. 곡선의 곡률  $\kappa$ 는 양이나 음의 값을 가질 수 있으며,  $\kappa$ 의 부호가 변하는 것은 해당 지점에서 굴곡이 존재함을 의미한다.

회전체(surface of revolution)는 평면위에 정의된 프로파일 곡선을 평면위의 한 직선을 축으로 회전시켜 생성할 수 있는 곡면이다. 회전체의 형상은 프로파일 곡선의 형상에 따라 결정된다. 예를 들어 평면 위 직선의 회전체는 원기둥이며, 반원의 회전체는 구이다. 본 연구는 회전체를 이용하여 인간이 감각할 수 있는 매끄러움을 측정하고자 한다. 이에 3차 스플라인 곡선을 프로파일 곡선으로 두고 형상을 변형시킬 수 있는 매개변수를 가지는 회전체를 생성하여 실험을 진행하였다.

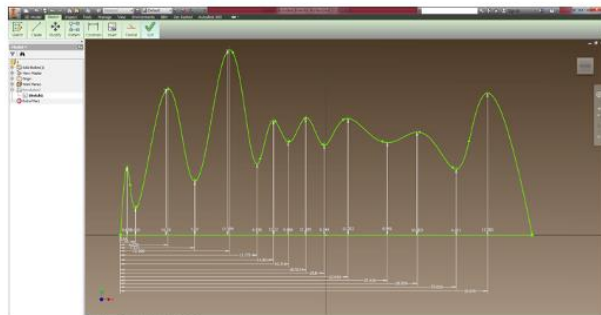
### 3. 설계 및 구현

본 연구에서는 프로파일 곡선을 파로 간주하고, 매끄러움의 매개변수인 주기의 개수와 파고의 크기를 체계적으로 변화시켜 두 매개변수의 조합으로 입력 데이터인 3D 회전체 모델을 구현한다. 모델의 프로파일 곡선, 표면 경계곡선을 일종의 파로 간주하였을 때 파의 부호변동 개수에 따라서 해당 곡선은 다르게 지각될 것이라 예상한다. 또한 사람의 지각 수준에서 부호변동이 많이 발생할 경우 굴곡진 곡선이 생성되며 이는 부호변동이 적게 발생하는 곡선보다 덜 매끄럽다고 지각될 것이라 예상한다.

특정 모델의 매끄러움 관정을 위해 프로파일 곡선을 불규칙 파형으로 나타낸다. 이때 매끄러움의 매개변수는 주기와 파고이며 이들을 각각 세 가지 수준으로 나누어 설정하였다. 주기의 경우 길고 짧은 주기가 섞여 있으므로 평균 주기값을 사용한다. 본 연구의 범위와 방향은 곡률개념을 통한 매끄러움의 정의와 함께 정의된 개념이 실제 매끄러움의 지각으로 이어지는지, 그리고 매끄러움의 수준에 따른 선호와 아름다움 지각을 알아보는 시도로 한정한다.

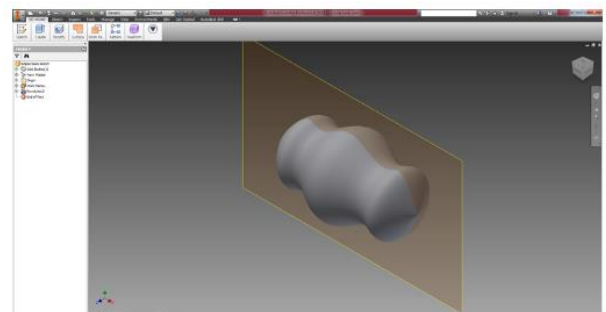


(a)

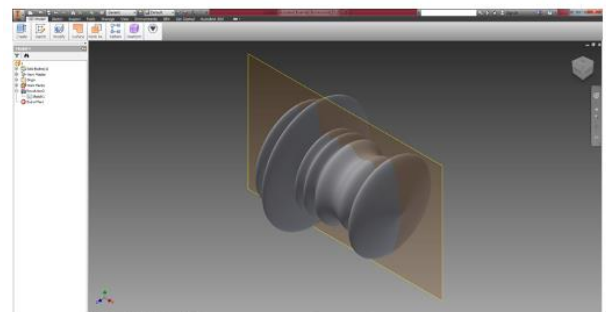


(b)

Figure 2. Profile curve: (a) FL type, (b) XH type.



(a)



(b)

Figure 3. Surface of revolution: (a) FL type, (b) XH type.



### 3.1 입력 데이터 설계

3차 스플라인 곡선 기반으로 3D 회전체 모델을 생성한다. 매끄러움의 지각에 영향을 미칠 것이라 예상되는 속성은 주기의 개수와 파고의 크기이며 이 두개를 매끄러움을 구성하는 매개변수로 가정하였다. 파형을 곡선으로 치환하였을 때 파형에서 주기의 개수는 곡선에서의 부분구간 혹은 파의 개수와 동일하다.

회전체 모델을 생성하기 위해, Autodesk 사의 AutoCAD와 Inventor를 이용하여 가로 40mm, 세로 20mm인 회전체를 기본 모형으로 설정하고, 프로파일 곡선의 매개변수를 변화시켜 다양한 모델을 생성하였다. 모델의 매개변수는 부분구간의 개수 3 수준(적음 – 중간 – 많음; Few – Medium – eXtra)과 파고의 크기 3 수준(낮음 – 낮고 큰 것이 섞임 – 큼; Low – Mix – High)으로 나누었다.

Figure 2는 프로파일 곡선을 2D로 나타내며, Figure 3은 이를 회전체로 변환한 결과이다. 최종적으로 부분구간의 개수와 파고의 크기 두개의 매개변수를 3×3으로 조합하여 9개 유형을 구성하였고, 각 유형당 매개변수의 조합을 달리하여 5개 형상을 생성하여 Figure 8과 같이 최종적으로 45개의 회전체 형상을 구현하였다. Figure 4는 두 매개변수의 수준에 따라 회전체의 단면을 겹쳐 나타내었으며 Figure 5은 주기 3수준과 파고의 크기 3수준이 조합된 9개 유형에 해당하는 회전체의 프로파일 곡선을 유형별로 합쳐 나타내었다.

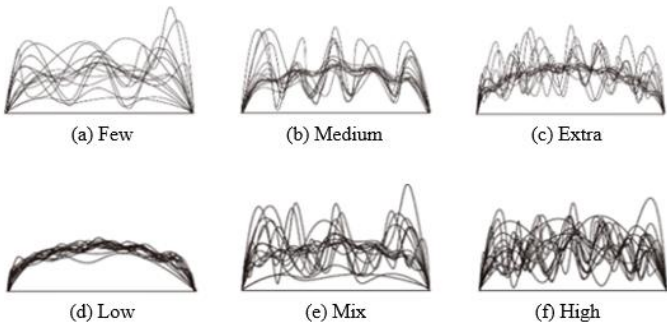


Figure 4. (a)-(f) Profile curve overlapped by two parameters.

### 3.2 형상 구현 결과

Figure 6은 9개 유형의 프로파일 곡선을 기반으로 생성한 회전체의 대표 예를 나타낸다. 한 개의 유형에 대해 회전체의 형상 변형은 5가지 방식으로 분화하여 9개 유형에 각 5개 회전체가 있으며 총 45개의 회전체를 재료로 실험을 실시하였다[24].

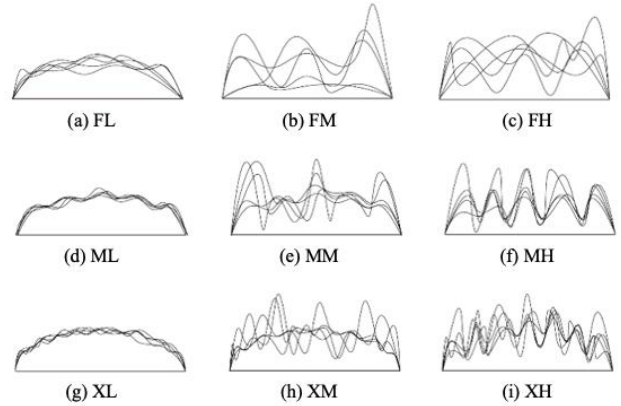


Figure 5. (a)-(i) Profile curve overlapped by nine types.

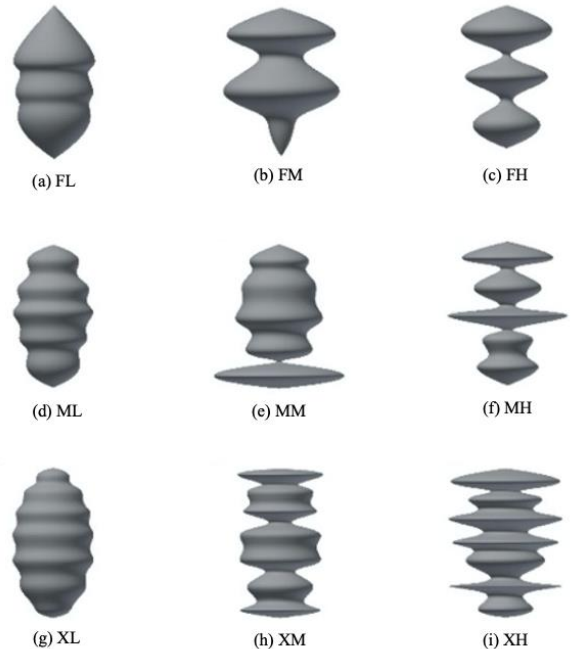


Figure 6: (a)-(i) Example of nine types of surface of revolution objects.

Table 1은 각 속성의 수준별로 프로파일 곡선 길이의 평균 및 표준편차를 나타낸 결과이며 주기 및 파고의 수준이 높아짐에 따라서 체계적으로 변화함을 확인할 수 있다. 루프 평균의 표준편차도 각 수준에 따라서 차이가 나며, 이는 매끄러움을 조작하려는 의도와 일치한다. Table 2는 회전체를 9개 유형으로 나누어 부피와 루프의 평균과 표준편차를 정리한 결과이다. 본 연구에서 목표한 바와 같이 매끄러움의 속성값이 회전체의 유형별로 분화되었다고 판단된다.

Table 1. Mean and standard deviations for the loop of the surface of revolution.

Span	Wave height			Total
	Low	Mix	High	
Few	49.52 (1.44)	66.82 (14.00)	74.60 (7.88)	63.65 (13.86)
Medium	51.97 (0.44)	81.09 (3.76)	103.03 (8.58)	78.78 (22.23)
Many	52.07 (2.50)	88.34 (19.02)	122.89 (19.52)	87.77 (33.31)
Total	51.19 (1.98)	78.75 (15.78)	100.18 (5.00)	

Table 2. Statistics of the surface of revolution volume and loop by type.

Span	Wave height	Type	volume (mm <sup>3</sup> )		loop (mm)	
			mean	sd	mean	sd
Few	Low	FL	7228.15	1063.20	49.52	1.44
Few	Mix	FM	8634.69	5681.89	66.82	14.00
Few	High	FH	12776.83	5353.32	74.60	7.88
Medium	Low	ML	8109.63	334.98	51.97	0.44
Medium	Mix	MM	10711.58	1404.52	81.09	3.76
Medium	High	MH	8297.65	1575.01	103.05	8.58
Many	Low	XL	8012.16	853.31	52.07	2.50
Many	Mix	XM	10179.54	1932.38	88.34	19.02
Many	High	XH	10754.31	1458.09	122.89	19.52

3.3 실험 및 검증

회전체의 매끄러움 검증을 위해 평균 만 21.8세의 대학생 대상으로 형상 평가 실험을 10일 동안 실시하였다. 불성실 응답을 제외한 159명의 응답을 사용하였다.

실험 구성은 ‘실험 전 심리검사’-‘형상 평가 실험’ 순으로 진행하였다. 심리검사는 성격검사, 미술지식 등 개인차 변인과 관련된 설문이다. 실험은 두가지 방식으로 나뉘어 진행하였다. 첫째 방식은 9개 유형의 회전체 중 가장 선호되는 하나를 선택하는 방식으로 진행하였다. 두번째 방식은 모니터 상에 하나의 회전체를 제시하고 이에 대해 5개 문항을 5점 척도로 평가하였다. 문항은 매끄러움과 친숙함 2문항 그리고 선호 관련 3문항(아름다움, 매력적인, 흥미로움)이다. 총 45개의 회전체가 무작위로 제시되었으며 2번 반복 측정하였다. 이러한 방식은 선행연구에서 대상의 선호를 측정할 때 사용되는 대표적인 방식이다.

4. 실험 결과

결과 분석을 위해 R 프로그램과 LME4[22] 패키지를 사용하여 파의 개수와 파고 크기 수준에 따른 사물지각의 선형 혼합 효과(linear mixed effects)를 분석하였다. 이는 회전체의 물리적 속성의 변화를 기반으로 주기와 파의 크기 조합에 따른 각 문항 값을

고려한 후, 연구 참가자 개인에 의한 추가적 분산을 설명할 수 있다는 장점이 있다. 선형 혼합 모형 적용시 5개 문항의 응답의 분포는 정규성 가정을 어긋나지 않는다는 점, 한 참가자에게서 얻어진 응답 간 상관성이 존재한다는 가정을 하였다. 고정효과로는 파의 개수와 파고의 크기 그리고 이 둘의 상호작용항을 투입하였다. 확률효과로는 개별 참가자를 투입하였고 y 절편을 추정하였다. 물리적 속성의 변화에 대한 확률효과가 유의미한 경우에는 개인차 변인을 고정효과로 투입한 연구모형을 설정하고 우도비 검정을 통해 연구모형의 적합성을 검증하였다.

Table 3은 5개 문항 간 상관 분석 결과이다. 매력, 흥미, 그리고 아름다움 3개 문항은 사람의 선호를 측정하기 위해 사용하는 대표적 문항이며, 이들 간 상관은 .813 ~ .910으로 강한 상관을 보인다. 매끄러움 문항과 매력, 흥미, 아름다움 문항 사이의 강한 상관을 기대하였으나 .229 ~ .311의 범위에 있었으며, 친숙함과 더 높은 정도의 상관(.413 ~ .487)을 보였다. 친숙함이 높거나 신기성(novelty)이 낮은 개체일수록 아름답다거나 선호된다는 결과들이 선행연구들[1, 16]에서 일관성 있게 보고되었으며 본 연구에서도 반복 검증됨을 확인할 수 있었다.

Table 3. Correlation of five items.

	Attract-iveness	Interest-ingness	Beauty	Smooth-ness	Familiarity
Attractiveness	1				
Interestingness	.868*	1			
Beauty	.910*	.813*	1		
Smoothness	.311*	.229*	.240*	1	
Familiarity	.459*	.413*	.487*	.178*	1

Table 4와 Table 5에서는 파의 개수와 파장의 크기에 따른 응답의 평균 및 표준편차를 각각 나타냈다. 회전체의 파의 개수가 적을수록 더 매력적이고, 흥미롭고, 아름다우며 매끄럽다고 지각된다. 파고의 크기의 경우 매력, 흥미, 아름다움의 세 문항 모두에서 작은 파와 큰 파가 섞인 조건이 가장 높은 값을 가졌으며 다음으로는 파고가 높은 조건이었다. 매끄러움 문항의 경우 파의 개수가 적은 조건이 가장 높은 값을 가졌다. 파의 개수가 적은 Few 조건을 제외한 나머지 수준에서는 모두 파고의 크기가 섞인 조건의 값이 컸다.

회전체에 대한 흥미 문항은 첫 번째 시행보다 두 번째 시행에서 전반적으로 감소하는 반면 친숙 문항의 경우 첫 번째 시행에 비해 두 번째 시행의 값이 높으며, 이는 참여자들에게 동일한 형상을 반복해서 제시하였기에 참여자들이 형상에 대한 친숙함이 높아진, 즉 형상의 신기성이 줄어들었을 가능성을 시사한다.

**Table 4.** Average and standard deviation of item scores by span.

Span	Few			Medium			Many		
	trial 1	trial 2	mean	trial 1	trial 2	mean	trial 1	trial 2	mean
Attractiveness	3.17 (0.94)	3.19 (1.11)	3.18 (0.97)	2.52 (0.9)	2.48 (1.1)	2.5 (0.95)	2.32 (0.96)	2.26 (1.05)	2.29 (0.95)
Beauty	2.97 (0.90)	3.09 (1.12)	3.03 (1.01)	2.32 (0.90)	2.31 (1.07)	2.31 (0.95)	2.06 (0.9)	2.05 (1.02)	2.05 (0.92)
Familiarity	3.08 (1.03)	3.35 (1.18)	3.21 (1.05)	2.35 (0.94)	2.58 (1.3)	2.47 (1.07)	2.24 (1.02)	2.41 (1.3)	2.33 (1.11)
Interestingness	3.08 (0.90)	3.05 (1.04)	3.06 (0.92)	2.75 (0.98)	2.58 (1.1)	2.66 (0.99)	2.69 (1.12)	2.45 (1.07)	2.57 (1.08)
Smoothness	3.97 (0.95)	4.01 (1.03)	3.99 (0.96)	2.96 (1.09)	2.89 (1.21)	2.94 (1.16)	2.46 (1.24)	2.41 (1.26)	2.43 (1.22)

**Table 5:** Average and standard deviation of item scores by wave height.

Wave height	Low			Mix			High		
	trial 1	trial 2	mean	trial 1	trial 2	mean	trial 1	trial 2	mean
Attractiveness	2.49 (1.03)	2.48 (1.2)	2.49 (1.08)	2.82 (0.97)	2.78 (1.13)	2.8 (1.01)	2.7 (0.93)	2.67 (1.09)	2.68 (0.95)
Beauty	2.33 (1.09)	2.36 (1.19)	2.35 (1.1)	2.55 (0.94)	2.6 (1.11)	2.57 (0.98)	2.46 (0.91)	2.49 (1)	2.48 (0.91)
Familiarity	2.87 (1.18)	3.04 (1.4)	2.96 (1.23)	2.44 (0.96)	2.7 (1.18)	2.57 (1.02)	2.37 (0.95)	2.61 (1.21)	2.49 (1.03)
Interestingness	2.55 (1.08)	2.43 (1.19)	2.49 (1.09)	3.04 (1.03)	2.89 (1.17)	2.96 (1.05)	2.92 (1.08)	2.76 (1.14)	2.84 (1.06)
Smoothness	3.65 (1.09)	3.65 (1.12)	3.65 (1.06)	3.03 (1.13)	3.04 (1.17)	3.03 (1.12)	2.72 (1.12)	2.65 (1.11)	2.69 (1.08)

선형혼합모형 분석 결과, 매끄러움 문항의 경우 참여자들의 평가와 프로파일 곡선의 파라미터 간 상호작용 또한 유의하였으며 ( $X^2(4) = 381.06$ ,  $p < 0.001$ )  $R^2$  값이 0.795로 분산의 79.5%를 본 연구모형으로 설명이 가능하다. 아름다움 문항의 평가 또한 상호작용이 유의하였으며 ( $X^2(4) = 137.37$ ,  $p < 0.001$ ),  $R^2$  값은 0.578이다. 흥미 문항의 평가와 파라미터 간 상호작용 또한 유의하였다( $X^2(4) = 26.532$ ,  $p < 0.001$ ).

상호작용항 가운데 MM 유형과 MH 유형은 고정효과 절편이 유의하지 않았다. 이에 상호작용 없이 두 개의 고정효과가 있는 모형으로 분석한 결과  $R^2 = 0.520$ 이었으며, 상호작용이 투입된 모형의  $R^2$  값은 0.526으로 상호작용항을 추가로 투입했을 경우 분산의 설명력이 높지 않으며 AIC와 잔차 값의 변화도 작았다. 매력 문항의 경우 파라미터의 조건별 상호작용항도 모두 유의하였으며( $X^2(4) = 104.34$ ,  $p < 0.001$ )  $R^2$  값은 0.545이다. 마지막으로 친숙성 문항의 경우 연구 모형에서 프로파일 곡선의 상호작용항을 투입했을 때 조건별 상호작용항은 모두 유의하였으나 고정효과의 하위 수준 중 파고가 높은 수준의 계수의 신뢰구간이 0을 포함하였다( $X^2(4) = 155.83$ ,  $p < 0.001$ ).  $R^2$  값은 0.656으로 전체 분산의 65.6%를 해당 모형으로 설명할 수 있으며 프로파일 곡선을 기반으로 한 회전체의 속성 중 파고의 크기보다 파의 개수 수준에 따른 친숙성의 차이가 큰 결과를 보였다.

## 5. 결론

본 연구는 컴퓨터 그래픽스에서 자주 사용되는 회전체를 이용하여 다양한 매개변수에 따른 회전체의 형상이 미치는 심리적 감각의 영향을 파악하고자 하였다. 매끄러움의 파라미터라 가정된 형상의 물리적 속성 두 가지 가운데 매끄러움의 지각에 파의 개수 변화에 따른 값의 차에 따라 더 체계적인 변화를 보였으며, XL 유형은 ML 유형에 비해 덜 매끄럽지만 MM 유형이나 MH 유형보다는 더 매끄럽다고 지각되었다. 이 같은 결과는 형상의 매끄러움 지각에는 파고의 크기보다 파의 개수가 더 큰 역할을 할 가능성을 제시한다. 즉, 파의 개수가 적고 파고의 크기가 큰 형상이 가장 선호되었으며 이는 다시 매력적이고, 아름다우며, 익숙하다고 평가되었다.

실세계에서 일반적으로 많이 선호되는 3D 형상의 예로는 보물 제1437호로 등록된 조선시대 백자 달항아리를 들 수 있다. 조선자기 달항아리는 특유의 둥근 곡선을 통해 많은 사람들에게 미적 경험을 야기하는 3D 형상이다. 이러한 조선자기를 최영욱 작가는 캔버스라는 2D 공간에 표현하였으며, 이상민 작가는 유리판이라는 2D 공간에 3D로 나타내어 빛의 광도, 광원, 그리고 감상자의 시점에 따라 형상의

질감이 다르게 느껴지게 하여 감각을 다분화하고 대중의 선호를 이끌었다. 이처럼 실세계에서는 동일한 형상이더라도 관측자의 시점 및 객체의 질감에 의해 선호가 변화할 수 있으며, 이는 추후 확장 가능한 연구 주제이다.

본 연구의 후속 연구로는 사용한 회전체 데이터를 이용하여 3D 프린터로 출력한 후 선호도 조사를 진행하고, 2D 렌더링 이미지의 선호도 결과와 비교해보고자 한다. 또한 본 연구에서 검토한 곡선과 아름다움이라는 심리적 감각의 영향은 추후 HCI 또는 그래픽스 분야에서 또 다른 중요한 검토요소가 될 수 있을 것이라 예상된다.

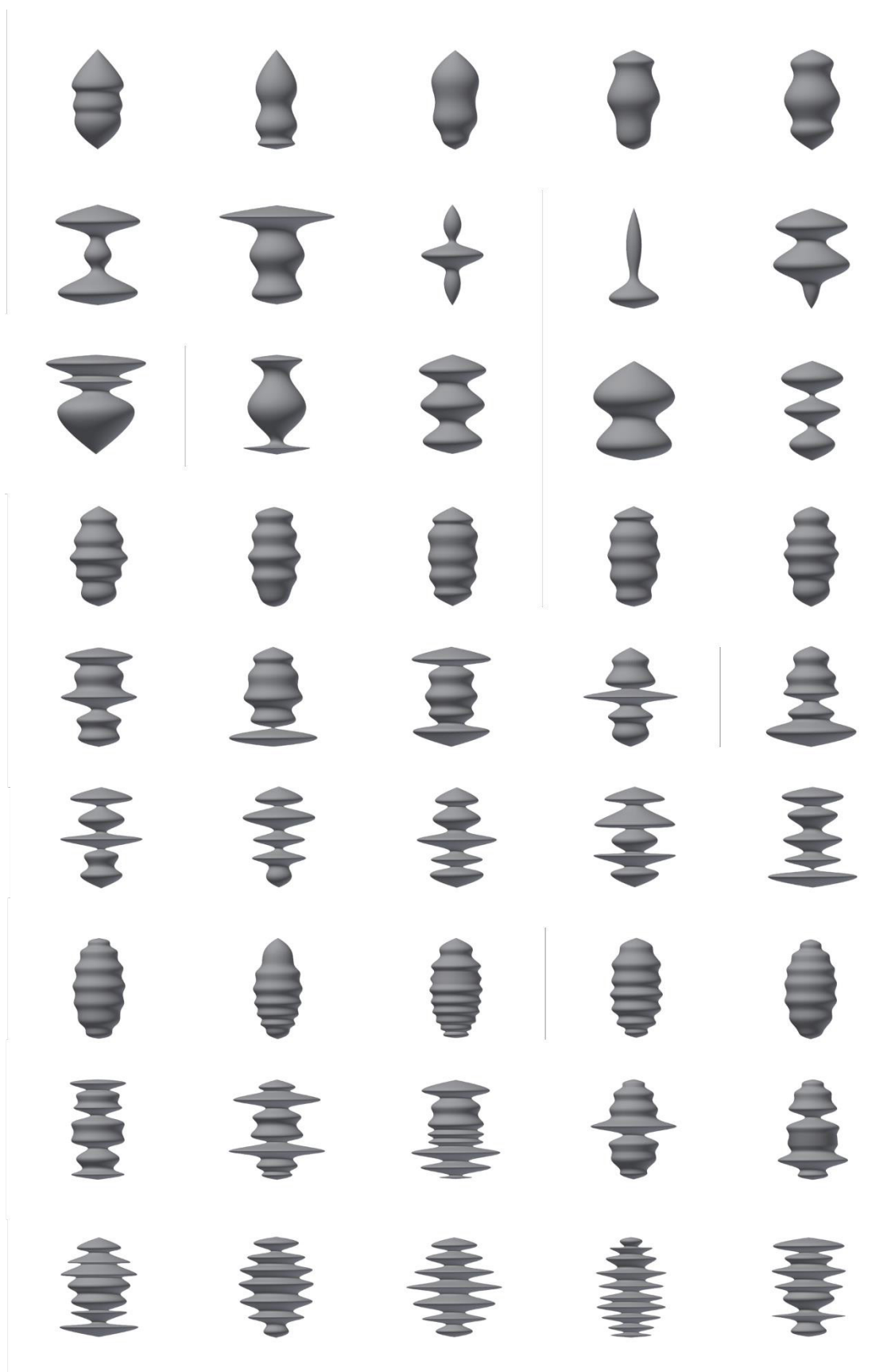
## 감사의 글

이 성과는 박희영 석사논문을 발전시켜 수행된 연구임[23].

## References

- [1] Winner, E, "Invented worlds: The psychology of the arts," *Harvard University Press*, 2006.
- [2] Fechner, G. T, "Preschool of aesthetics," *Breitkopf & Härtel, Leipzig*, 1876.
- [3] Arnheim, R, "Entropy and art: An essay on disorder and order," *Univ of California Press*, 1974.
- [4] Jacobson, R. S, "The Aesthetics of Everyday Life," *Environmental Ethics*, 28(3), pp. 331-332, 2006.
- [5] Shimamura, A. P., & Palmer, S. E, "Aesthetic science: Connecting minds, brains, and experience," *OUP USA*, 2012.
- [6] Tatarkiewicz, W, "History of Aesthetics," *A&C Black*, 2006.
- [7] Gaissert, N., & Wallraven, C, "Categorizing natural objects: a comparison of the visual and the haptic modalities," *Experimental brain research*, 216(1), pp. 123-134, 2012.
- [8] Norman, J. F., Phillips, F., Holmin, J. S., Norman, H. F., Beers, A. M., Boswell, A. M., & Ronning, C, "Solid shape discrimination from vision and haptics: Natural objects (*Capsicum annuum*) and Gibson's "feelies"," *Experimental brain research*, 222(3), pp. 321-332, 2012.
- [9] Norman, J. F., Adkins, O. C., Dowell, C. J., Hoyng, S. C., Gilliam, A. N., & Pedersen, L. E, "Aging and haptic-visual solid shape matching," *Perception*, 46(8), pp. 976-986, 2017.
- [10] Amazeen, E. L, "The effects of volume on perceived heaviness by dynamic touch: With and without vision," *Ecological Psychology*, 9(4), pp. 245-263, 1997.
- [11] Gibson, J. J, "Observations on active touch," *Psychological review*, 69(6), pp. 477, 1962.
- [12] Fishkin, S. M., Pishkin, V., & Stahl, M. L, "Factors involved in visual capture," *Perceptual and Motor Skills*, 40(2), pp. 427-434, 1975.
- [13] Grunwald, M, "Human haptic perception: Basics and applications," *Springer Science & Business Media*, 2008.
- [14] Warren, D. H., & Rossano, M. J, "Intermodality relations: Vision and touch," *The psychology of touch*, pp. 119-137, 1991.
- [15] Yoshioka, T., Bensmaia, S. J., Craig, J. C., & Hsiao, S. S, "Texture perception through direct and indirect touch: An analysis of perceptual space for tactile textures in two modes of exploration," *Somatosensory & motor research*, 24(1-2), pp. 53-70, 2007.
- [16] Birkhoff, G. D, "Aesthetic measure. In Aesthetic Measure," *Harvard University Press*, 2013.
- [17] Palmer, S. E., & Griscom, W. S, "Accounting for taste: Individual differences in preference for harmony," *Psychonomic bulletin & review*, 20(3), pp. 453-461, 2013.
- [18] Bar, M., & Neta, M, "Humans prefer curved visual objects," *Psychological science*, 17(8), pp. 645-648, 2006.
- [19] Silvia, P. J., & Barona, C. M, "Do people prefer curved objects? Angularity, expertise, and aesthetic preference," *Empirical studies of the arts*, 27(1), pp. 25-42, 2009.
- [20] Eysenck, M. W., & Eysenck, M. C, "Processing depth, elaboration of encoding, memory stores, and expended processing capacity," *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(5), pp. 472, 1979.
- [21] McManus, I. C., Cook, R., & Hunt, A, "Beyond the golden section and normative aesthetics: why do individuals differ so much in their aesthetic preferences for rectangles?," *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(2), pp. 113, 2010.
- [22] Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S, "Fitting linear mixed-effects models using lme4," *arXiv preprint arXiv:1406.5823*, 2014.
- [23] Heeyoung, Park, "The effects of cubic spline's curvature on human visual preference," MS thesis, Dept. of Psychology, Seoul National University, 2017.
- [24] Heeyoung Park. 45 Surface of Revolutions Data. <https://github.com/heeyngpark/2022kcgs>. (2022).





**Figure 7.** 45 Surface of revolutions used in our study.

## 〈 저자 소개 〉



박희영

- 2013년 부산대학교 심리학과 학사
- 2017년 서울대학교 심리학과 석사
- 2018년-현재 서울대학교 심리학과 박사과정
- <https://orcid.org/0000-0002-6432-1239>



김청택

- 1985년 서울대학교 심리학과 학사
- 1987년 서울대학교 심리학과 석사
- 1998년 Ohio State University 박사
- 2000년-현재 서울대학교 심리학과, 인지과학협동과정, 데이터사이언스대학원 교수
- <https://orcid.org/0000-0002-9641-3912>



박영진

- 2016년 부산대학교 정보컴퓨터공학부 학사
- 2021년 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
- 2021년 서울대학교 컴퓨터연구소 연수연구원
- 2022년-현재 동아대학교 컴퓨터AI공학부 조교수
- <https://orcid.org/0000-0002-3893-5421>