

3D프린터를 이용한 겨울철 대류난방기구의 온도 성층화 해결을 위한 무동력 서큘레이터 디자인에 관한 연구

강희라

인하대학교 디자인융합학과 교수

The A Study on the Non-powered Circulator to Solve the Temperature Stratification of a Convection Heating Device during Winter Using 3D Printer

Hee-Ra Kang

Professor, Department of Convergence Design, INHA University

요 약 최근 코로나19 사태로 캠핑 문화가 급속하게 많은 사람들에게 관심을 받고 있다. 많은 캠퍼들이 겨울철 사용하는 대류난방기구는 온도 성층화 문제를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 동력 서큘레이터가 활용되고 있다. 몇 가지 무동력 서큘레이터도 판매가 되고 있으나, 서큘레이터의 방향이 대류난방기구와 직각으로 디자인되어 있어 실제 공기 순환의 역할을 제대로 하지 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 3D 프린터를 이용하여 대류난방기구의 방향과 같은 무동력 서큘레이터를 디자인하였다. 펠티어소자와, 세라믹페이퍼 등을 이용하여 무동력으로 전기를 만들어 냈으며, HTPLA-CF 필라멘트를 이용하여 열에 강하게 제작하였다. 3D 프린터를 이용하여 원가를 절감할 수 있었으며, 다양한 대류난방기구의 크기에 맞게 제작 할 수 있는 장점이 있다. 본 연구는 효율적인 대류순환을 통해 온도 성층화 문제를 해결할 수 있는 하나의 방법을 제시한다. 또한 3D 프린터를 이용하여 보다 저렴하게 제품을 제작하는 것이 본 연구의 목적이다.

주제어 : 무동력 서큘레이터, 펠티어소자, 3D 프린트, HTPLA-CF, 성층화, 대류난방기구

Abstract Due to the recent Corona 19 outbreak, camping culture is rapidly drawing attention from many people. Convective heating devices, which many campers use during winter, have the temperature stratification problem. To solve this problem, various power circulators are being used. Several non-powered circulators are also on sale, but the direction of the circulator is designed to be at the right angle relative to the convection heating mechanism and the circulator does not properly play the role of air circulation. To solve this problem, a 3D printer is used to design a non-powered circulator in the same direction as the convection heating mechanism. Electricity is generated without power using Peltier element and ceramic paper and the circulator is produced to withstand heat using HTPLA-CF filament. This study presents a method to solve the temperature stratification problem through efficient convective circulation. In addition, the purpose of this study is to manufacture products at a lower cost by using a 3D printer.

Key Words : Non-powered Circulator, Peltier, 3D print, HTPLA-CF, Stratification, Convection Heating System

*This work was supported by INHA UNIVERSITY Research Grant. (INHA-65413)

*Corresponding Author : Hee-Ra Kang(whitish@inha.ac.kr)

Received February 25, 2021

Revised March 16, 2021

Accepted June 20, 2021

Published June 28, 2021

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 코로나19 사태로 인해 급속히 발전하고 있는 캠핑문화에서 겨울철 많은 캠핑들이 대류난방기구를 사용하고 있다. 대류난방기구를 사용하면서 대류순환을 위해 다양한 서큘레이터를 사용한다. 그 중 가장 사람들에게 많은 관심을 받는 것이 미군의 무동력 에어서큘레이터¹⁾(TEF 팬)이다.

현재 미군의 무동력 서큘레이터는 비매품으로 불법 유통되어 사용되어 지고 있다. 또한 유통과정에서 많은 수요와 적은 공급으로 서큘레이터의 가격은 한화 80~90만원 을 호가 하고 있다. 국내에서 제작되는 무동력 서큘레이터는 5~8만원 가격에 판매되고 있으나, 서큘레이터의 공기 순환 방향이 대류난방기구와 직각을 이룬다. 이러한 이유로 공기를 순환하는 장치로서 비효율적이다.

본 연구는 3D 프린터를 이용하여 보다 저렴하고 효과적인 무동력 서큘레이터를 디자인, 개발하는 것이 목표이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

3D 프린터와 펠티어소자²⁾, 모터를 이용하여 대류난방기구의 대류순환을 위한 서큘레이터의 프로토타입을 디자인 제작한다. 3D 프린터의 필라멘트는 열에 강한 HTPLA-CF(High Temp PLA - Carbon Finer)를 사용하여 난로위에 서큘레이터를 놓았을 때 3D 프린트의 결과물이 녹지 않게 한다. 이러한 방법으로 제작된 프로토타입의 정상 작동 테스트를 완료하는 것이 본 연구의 범위이다.

2. 겨울철 캠핑인구의 증가로 인한 서큘레이터의 사용

1) 에어서큘레이터(air circulator)또는 공기순환기는 쾌적한 환경을 위하여 공기를 순환시켜 주는 기기이다. 간단히 서큘레이터라고도 한다. [1]

2) 1834년에 발견되어 1900년대 초에 이론적으로 확립된 기술, 전기 냉동 시스템으로 불리기도 한다. 펠티에 효과는 프랑스의 물리학자 장펠티에(Jean Charles Athanase Peltier)가 소개하였다. 전류를 흘려주면 전도성 물질 여러 층의 양 끝에 온도 차이가 지속되는 현상을 이용한 것으로 저온 냉각을 필요로 하는 반도체의 고온부분을 강제 냉각시키면 저온부의 열이 고온 쪽으로 전달되는 것이다. [2]

2.1 겨울철 캠핑인구의 증가

“국토교통부에 따르면 2019년 전국 캠핑카등록대수는 2만4천869대에 달했다. 2011년 1천300대이던 캠핑카 수는 불과 8년 만에 19배 늘어났다. 같은 기간 전국 캠핑 인구가 60만명에서 600만명으로 10배 정도 성장.”³⁾ [3]

위에서와 같이 캠핑인구는 기하급수적으로 늘고 있다. 또한 코로나19 사태로 해외여행이 불가능해지면서, 국내 야외 여행이 가능한 캠핑이 유행 중이다.

2.2 겨울철 캠핑인구의 증가

캠핑인구가 증가함에 따라 겨울철 많은 캠핑들이 대류난방기구를 이용한다. 대류난방기구는 주로 등유를 사용하는 것이 일반적이다.

대류난방기구를 사용할 때 텐트 안에 성층화 현상이 생겨 서큘레이터를 이용하게 된다.

국내에 판매되는 무동력서큘레이터의 경우 아래 Fig 1과 같이 난로의 방향과 직각방향으로 프로펠러가 디자인되어 있는 것만이 판매되고 있어 캠핑을 즐기는 사람들이 많이 사용하지 않고 있다.



Fig. 1. Non-Powered Circulator [4]

위와 같은 모형의 서큘레이터는 약 50,000원에 국내에서 판매되고 있다. 하지만, 대부분의 캠핑에서 사용되는 대부분의 대류난방기구의 경우 아래 Fig. 2와 같이 열이 아래서 위로 올라오게 되어 있는 구조를 갖고 있어 열이 발생하는 방향과 직각 방향을 이루고 있는 국내 판매되는 서큘레이터는 열을 분산시키기에는 효율이 좋지

3) 영남일보, 경제, 2020. 06. 23

않다. 아래와 같이 디자인된 대류난방기구를 사용할 경우 가장 좋은 서큘레이터의 방향은 위에서 아래로 바람을 불어주어 위로 올라오는 열기를 아래쪽부터 사방으로 퍼트리는 것이다.



Fig. 2. Convection Stove [5]

그래야 아래 사람이 거주하는 공간부터 서서히 위로 따뜻한 연기가 퍼지게 된다.

3. 무동력 서큘레이터의 재료 구성

3.1 펠티어소자

서큘레이터의 모터를 구동시키기 위해서는 동력이 필요하다. 하지만, 펠티어소자를 이용하면 앞면과 뒷면의 온도 차이에 의해 전기를 발생시킬 수 있다. 보통 겨울철 캠핑에서는 텐트 혹은 야외의 차가운 공기와 대류난로위의 뜨거운 열기로 펠티어소자를 이용하여 전기를 만들어 낸다.

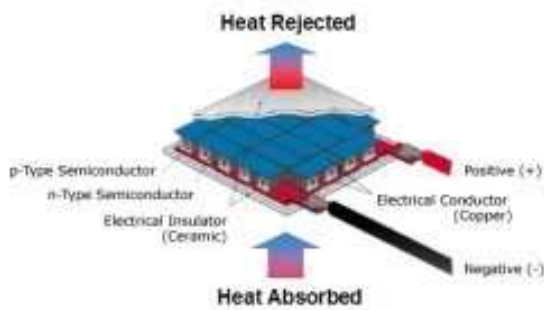


Fig. 3. Peltier Effect, Thermolectric Effect [6]

본 연구에서는 12V 3A, 40mm × 40mm의 펠티어 소자를 이용하였다.



Fig. 4. Peltier [7]

위의 사이즈의 펠티어 소자를 선택한 이유는 본 연구에서 선정한 모터가 12V 3A정도의 전압과 전류를 사용하기 때문이다.

3.2 세라믹페이퍼

펠티어소자를 고열로부터 보호하기 위하여 세라믹페이퍼를 이용하였다. 세라믹페이퍼는 고온에서 우수한 단열성을 가지며 펠티어소자와 펠티어소자에 연결된 전선을 열로부터 보호 할 수 있게 된다.



Fig. 5. Ceramic Paper [8]

“세라믹페이퍼는 Bulk Fiber에 무기 및 유기바인더를 가해 paper상으로 만든 제품으로 고온에서 우수한 단열성을 가지며, 유연하기 때문에 작업성이 좋아 고온용 Gasket으로 특히 널리 사용된다.” [9]

3.3 DC 전동모터

아래 그림과 같은 12V, 24V 겸용 전동모터를 사용하였다. 모터의 경우 적은 소음과 강한 힘의 특징을 가지고 있어 본 연구에 적합한 모터로 판단하였다.



Fig. 6. DC motor 12v [10]

모터의 지름이 42mm이고 높이는 98mm이다. 보통 대류난로 위쪽의 원형지름이 300mm 미만으로 제작되어 있어 대류난로 무동력서클레이터 디자인 시 크기가 알맞다고 판단되었다.

3.4 HTPLA-CF

무동력서클레이터 디자인과 개발 시 3D 프린터로 프린트한 결과물이 대류난로에 가까이 있기 때문에 열에 취약하다. 그래서 열에 강한 High Temp PLA Carbon Fiber⁴⁾를 사용하였다. HTPAL-CF의 경우 열적왜곡온도가 120°C 이상으로 대류난로와 가까운 부분에서도 변형에 강하다. 펠티어소자의 밑 부분은 알루미늄을 사용하고 펠티어소자의 윗부분과 외곽 부분을 HTPLA-CF를 사용하여 프린트 하였다.

4) 탄소섬유. 탄소가 주성분인 0.005, 0.010mm 굵기의 매우 가는 섬유이다. [11]



Fig. 7. High Temp PLA-CF [12]

HTPAL-CF의 경우 일반 플라스틱과 카본파이버의 합성 소재로 되어 있어 열에도 강하지만, 강도가 일반 PLA와 비교하여 높다.



Fig. 8. High Temp PLA-CF [13]

위의 Fig. 8.은 HTPAL-CF를 사용해 출력한 결과물 예시이다. 출력된 결과물은 표면만 봐도 일반 PAL로 출력한 결과물과 재질의 차이를 느낄 수 있다.

3.5 고온 구리스

세라믹페이퍼와 알루미늄 그리고 펠티어소자가 접촉하는 부분에 고온 구리스를 사용하여 화재를 예방하였다. 본 연구에서 사용한 고온 구리스는 800°C까지 사용가능하며, 적점이 320°C이상이다. [14]

4. 무동력 서큘레이터의 디자인

서큘레이터의 구조는 여섯 개의 부품으로 이루어져 디자인 되어 있다. 아래의 Fig 9. 의 모습은 여섯 개의 부품이 조립되어 완성된 디자인의 모습이다. 디자인은 Shapr3d를 [15] 이용하여 디자인 하였다.

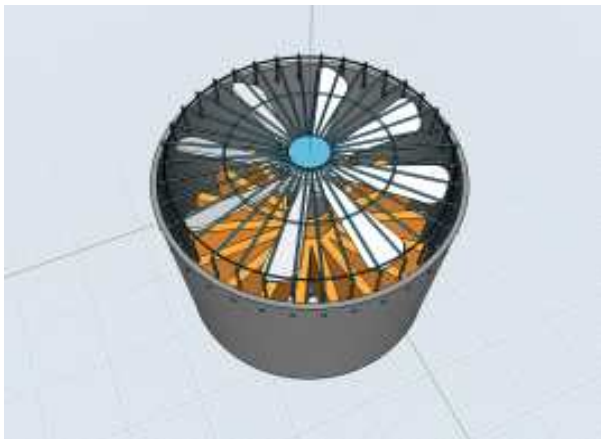


Fig. 9. Non-powered circulator design

위에서 보이는 것과 같이 여섯 개의 부품은 아래의 알루미늄 부분, 외형 부분, 알루미늄과 외형을 이어주는 마운트 부분, 바람을 골고루 분산시켜주고 모터를 지지해주는 바람 분리대 부분, 프로펠러 부분, 안전 망 부분으로 나뉘어 있다.

4.1 펠티어소자 마운트 알루미늄

본 연구에서 사용되는 펠티어소자가 40mm×40mm로 알루미늄의 홈을 펠티어소자가 들어갈 수 있고, 전선이 빠질 수 있는 공간을 만들어 주었다.



Fig. 10. Sensor Mount Aluminum

위의 그림은 실제로 제작된 알루미늄이다. 펠티어소자를 보호하기 위해 열에 강한 알루미늄을 이용해 대류난로와 디자인된 무동력 서큘레이터가 접촉하게 디자인하였다.

4.2 마운트

위의 알루미늄 펠티어소자 마운트와 외형을 연결하는 마운트이다. 이 부분도 HTPLA-CF로 제작되었으며, 열에 가깝게 위치하기 때문에 열에 강한 PLA로 제작되었다.

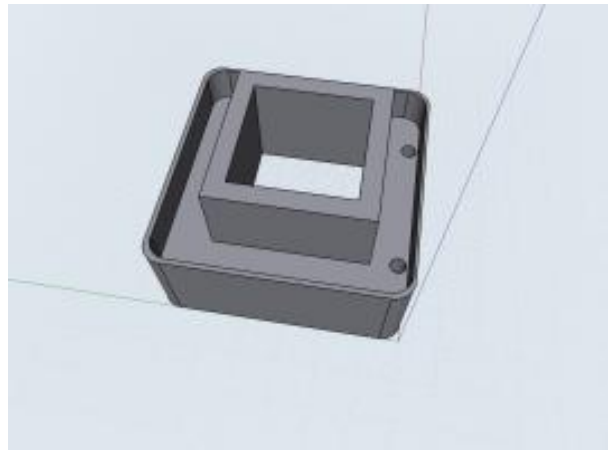


Fig. 11. Mount

Fig. 11.에서 보이는 것과 같이 가운데 부분이 뚫린 이유는 펠티어소자의 윗부분을 차갑게 만들어 주기 위해 공기가 통하게 디자인 된 것이며, 우측의 두 개의 구멍은 전선을 모터로 연결하기 위한 것이다.

4.3 외형

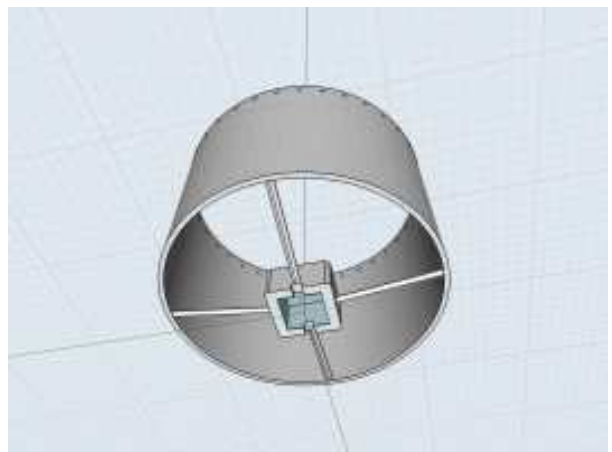


Fig. 12. Exterior Design

외형디자인의 경우 원통형의 모양을 하고 있다. 안에 프로펠러가 있기 때문에 안전을 위해 프로펠러를 감싸고 있는 기능과 바람이 외부로 빠져나가지 않게 디자인 하였다. 위쪽에는 안전망을 걸 수 있는 구멍이 있으며, 아래쪽에는 센서로 바람을 넣을 수 있는 사각형의 구멍이 있다.

4.4 바람 분리대

위쪽에 프로펠러가 돌면서 아래로 바람을 일으키면, 모든 방향으로 바람을 분산시키기 위한 분리대이다. 위쪽은 모터를 고정하기 위한 모터 마운트가 달려있다.

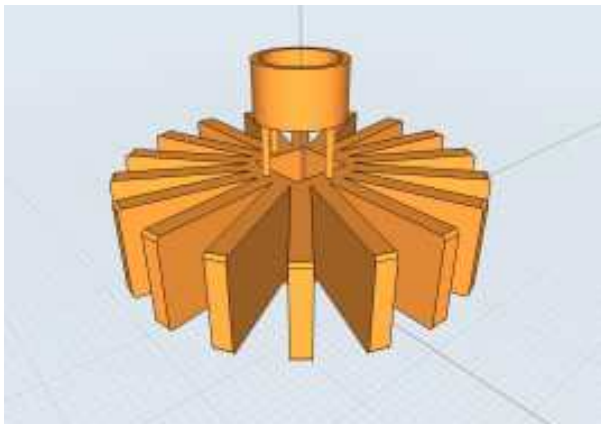


Fig. 13. AirSeparation

이 부분은 일반 PLA를 이용하여 제작되었다. 열에서 멀리 떨어져 있으므로 비용절감을 위해 일반 PLA가 사용되었다.

4.5 프로펠러

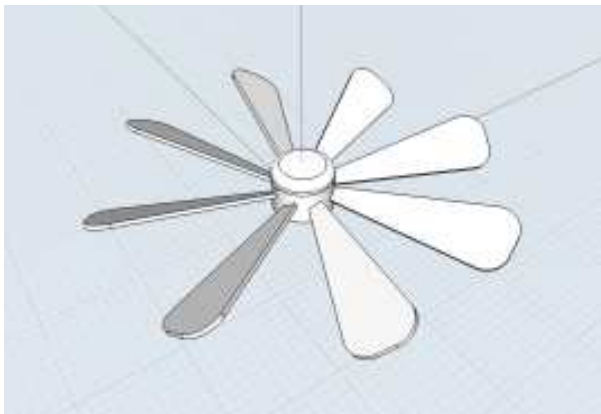


Fig. 14. Propeller

프로펠러의 경우 날개의 각도가 45도 기울어져 있어

모터의 방향을 반시계 방향으로 돌릴 경우 바람이 아래 쪽으로 내려 갈 수 있도록 디자인 하였다.

4.6 안전망



Fig. 15. Safety Net

안전망의 경우 바람을 프로펠러가 잘 흡입할 수 있도록 선풍기의 안전망과 비슷하게 디자인되었다.

안전망의 경우 3D 프린트가 어려운 점이 있다. 너무 얇은 살들이 3D 프린트의 단점을 잘 드러낸다. 서포터가 너무 많이 생겨 서포터의 제거가 어렵다. 3D 프린터의 경우 빈 공간을 서포터로 채우기 때문에 위의 그림과 같이 안전망 살 사이를 모두 서포터로 채우기 때문이다.

5. 무동력 서클레이터의 제작 및 테스트

무동력 서클레이터의 디자인에 의해 3D 프린트되어진 부품들을 조립하여 제작완료 후 테스트 하게 되었다.



Fig. 16. Aluminum and 3D printed Mount

Fig. 16.은 알루미늄과 펠티어소자, 세라믹페이퍼, 마운트를 결합한 모습이다. 알루미늄과 세라믹페이퍼 사이에는 고온 구리스를 발라 주었다.

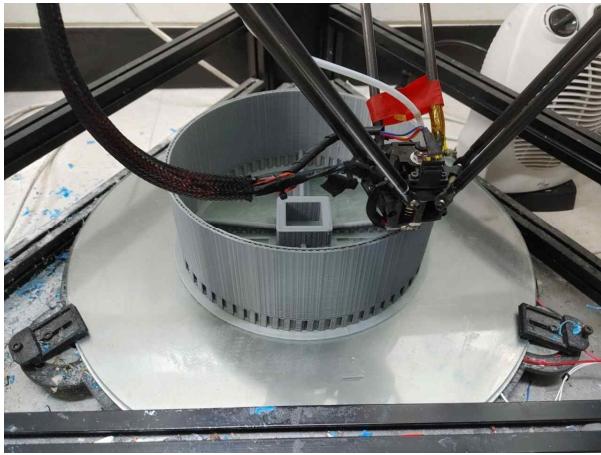


Fig. 17. 3D printed Circulator body



Fig. 18. 3D printed Non-Powered Circulator

Fig. 18은 완성된 무동력서클레이터의 모습이다. 회색 부분으로 프린트된 것은 HTPLA-CF를 사용하였고, 나머지 부분은 일반 PLA를 사용하였다.

Table 1. Temperature Test (Measuring Distance 1m)

	-5℃
Not Used Circulator	-3℃
Used 90° Non-powered Circulator	-1℃
3D printed Non-powered Circulator	3℃

위의 결과물로 테스트를 진행하였다. 야외 온도 -5℃에서 가로, 세로, 높이 2m의 돔형 텐트를 쳐 놓고 위의

Fig. 2의 대류형난방기구를 이용하여 텐트 안의 온도변화를 기록하였다.

대류형난방기구만 사용하였을 경우 텐트안의 온도는 -3℃로 2℃ 상승하였다. 위의 무동력서클레이터를 사용하였을 경우 3℃로 텐트안의 온도가 8℃상승하였다.

또한 위의 Fig. 1과 같은 기준에 판매되는 대류형난방기구와 직각을 이루는 무동력서클레이터를 사용한 경우 -1℃로 텐트안의 온도는 4℃상승하였다.

이와 같은 실험 결과로 대류형난방기구와 같은 방향의 서클레이터 제작으로 보다 효과적인 난방효율을 낼 수 있다. 또한 3D 프린터를 이용하여 보다 저렴한 가격으로 무동력서클레이터를 제작 할 수 있으며, 각각의 대류난방기구의 크기에 맞게 맞춤제작이 가능하다.

REFERENCES

- [1] Wikipedia. (2021). *AirCirculator*. http://ko.wikipedia.org/wiki/air_circulator
- [2] NamuWiki. (2021). *Peltier*. <https://namu.wiki/w/%ED%8E%A0%ED%8B%B0%EC%96%B4%20%EC%86%8C%EC%9E%90>
- [3] YeongNamNewspaper. (2021). *Car*. <http://www.yeongnam.com/web/view.php?key=20200616010002410>
- [4] Non-powered Circulator. (2021). 11st. <http://www.11st.co.kr/products/2184971955?trTypeCd=PW24&trCtrNo=585021>
- [5] Coupang. (2021). *Convection Stove*. <http://www.coupang.com/vp/products/142726074?itemld=414929645&vendorltemld=4242562854&isAddedCart=>
- [6] DIY Mechasolution Open lab. (2015). *Peltier*. <http://m.blog.naver.com/roboholic84/220545370641>
- [7] NaverShoppingSmartStore. (2021). *Peltier*. <http://smartstore.naver.com/pthaus/products/3742387143?NaPm=ct%3Dkky4r6p%7Cci%3Dcheckout%7Ctr%3Dppc%7Ctr%3D%7Chk%3D024e7a3342b76d0a489f321e0e6be9454f9eddbesoz>
- [8] Woorim. (2014). *Ceramic Paper*. http://www.woorimgear.com/subE.html?id=woorim&code=20140423_161404_48165&o_search=&o_searchstr=&o_mode=view&page=3&o_seq=1&o_list_no=1
- [9] NaverShoppingSmartStore. (2021). *Ceramic Paper*. <http://smartstore.naver.com/dyinsuteck/products/2913580227?NaPm=ct%3Dkky4r6p%7Cci%3Dcheckout%7Ctr%3Dppc%7Ctr%3D%7Chk%3Df5126ff5b9a44a993f35fbf6ccd62683b5c4edc3/>
- [10] Coupang. (2021). *DC Motor*.

<https://www.coupang.com/vp/products/1080068777?vendorItemId=70031511270&isAddedCart=>

- [11] WikiPedia. (2021). *Carbon Fiber*.
<http://ko.wikipedia.org/wiki/carbonfiber>
- [12] Filaments. (2021). *HTPLA*.
<https://filaments.ca/products/carbon-fiber-htpla-light-grey-1-75mm>
- [13] Protopasta. (2021). Black Carbon Fiber Composite HTPLA.
<https://www.proto-pasta.com/products/high-temp-carbon-fiber-pla-composite>
- [14] Navimro. (2021). HT-800.
<https://www.navimro.com/g/60631/>
- [15] Shapr3d. (2021). *shapr3d*. <https://www.shapr3d.com>

강 희 라(Kang, Hee Ra)

[정회원]



- 2007년 3월 ~ 2009년 2월 : 계원예술대학 영상디자인과 교수
- 2009년 3월 ~ 2017년 2월 : 미니스타일 디자인팀
- 2017년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 디자인융합학과 교수
- 관심분야 : UI/UX 디자인, 인터랙티브

디자인

· E-Mail : whitishe@inha.ac.kr