

## 3D 프린팅에서 자동차용 Inner ring의 내부밀도에 따른 치수 특성

김해지\*, 김남경\*,#

\*경남과학기술대 학교 자동차공학과

### Dimensional Characteristics according to Internal Density of Automotive Inner Ring in 3D Printing

Hae-Ji Kim\*, Nam-Kyung Kim\*,#

\*Department of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology  
(Received 1 October 2019; received in revised form 4 November 2019; accepted November 2019)

#### ABSTRACT

Reverse engineering involves duplicating a physical part by measuring and analyzing its physical dimensions, features, and material properties. By combining reverse engineering with three-dimensional (3D) printing, engineers can simply fabricate and evaluate functional prototypes. This design methodology has been attracting increasing interest with the advent of the Fourth Industrial Revolution. In the present study, we apply reverse engineering and 3D printing technologies to evaluate a fabricated automotive inner ring prototype. Through 3D printing, inner rings of various densities were prepared. Their physical dimensions were measured with a 3D scanning system. Of our interest was the effect of inner ring density on the physical dimensions of the fabricated prototype. We compared the design dimensions and physical dimensions of the fabricated prototypes. The results revealed that even the 20% density of inner ring was effective for 3D printing in terms of satisfying the design requirements.

**Key Words :** Automotive Inner Ring(자동차 내륜), 3D Printing Density(3D 프린팅 밀도), Dimension Characteristics(치수 특성), FDM Method 3D Printer(FDM 방식 3D 프린터)

#### 1. 서 론

4차 산업 혁명분야의 기술발달로 인하여 역설계, 시제품 제작 및 치수 검증 측면에서 다양한 응용 기술들이 적용되고 있다. 역설계 측면에서는 3D 스캐너를 사용하여 제품을 스캔한 후에 파일을 편집하여 3차원으로 설계하는 기법들을 적용하고 있다<sup>[1-5]</sup>. 그리고

시제품 제작 측면에서는 3차원으로 설계된 형상의 시제품 제작을 위해 다양한 3D 프린터들이 사용되고 있어 제품 개발 과정을 크게 단축시키고 있다. 특히 3D 프린터 분야에서는 상대적으로 저가인 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터가 많이 보급되어 다양한 산업분야에 적용되고 있고, 이를 이용한 다양한 연구들이 진행되고 있다<sup>[6-8]</sup>. 최근에는 3차원 설계 형상을 3D 프린팅하여 3D 스캐너로 3D 프린팅된 형상을 스캔한 후 설계 형상과 3D 프린팅된 형상의 치수를 비교하여 기술들이 적용되고 있다<sup>[9-11]</sup>.

# Corresponding Author : nkkim@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3642, Fax: +82-55-751-3649

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 논문 연구에서는 자동차용 Inner ring 부품의 3차원 형상을 적용하여 3D 프린팅 시에 Inner ring의 내부밀도에 따라 3D 프린팅을 수행하여 프린팅된 형상을 스캔하여 설계 모델과 내부밀도에 따라 프린팅된 형상의 치수를 검사 소프트웨어로 측정하여 치수 변화 특성과 제품 제작 시 프린팅 시간 및 재료 소모량을 고찰하였다.

## 2. 자동차용 Inner ring의 3D 프린팅

### 2.1 3D 프린터 연구 장비

자동차 Inner ring 부품의 3D 프린팅은 FDM 방식의 Ultimaker S5 프린터를 사용하였다(Fig. 1). 필라멘트는 Ultimaker PLA(직경 2.85mm, 은색)를 사용하였으며, 서포터는 PLA(직경 2.85mm, 은색)를 사용하여 자동차 허브 부품을 프린팅하였다. 3D 프린팅 조건을 설정하기 위해 Ultimaker S5 프린터의 전용소프트웨어인 CURA를 사용하였다. Table 1에서는 자동차 Inner ring 부품의 3D 프린팅 조건을 나타내고 있다.

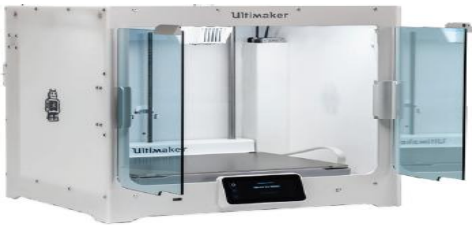


Fig. 1 Ultimaker S5 3D printer

Table 1 3D Printing condition

Material	PLA (Body)	PLA (Support)
Print core	AA 0.4	AA 0.4
Layer height(mm)	0.1	0.1
Wall thickness(mm)	1.2	1
Top thickness(mm)	1.2	1
Bottom thickness(mm)	1.2	1
Infill density(%)	20, 40, 60, 80, 100	70
Infill pattern	Triangles	Triangles
Printing temperature(℃)	200	215
Build plate temperature(℃)	60	60
Print speed(mm/s)	70	35
Material consumption(g)	136	36

### 2.2 Inner ring의 3D 프린팅 시뮬레이션

본 논문에서는 자동차 Inner ring 부품의 3D 프린팅 전에 Ultimaker S5 프린터의 전용소프트웨어인 CURA 소프트웨어를 사용하여 내부밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등에 관하여 내부형상특성, 필라멘트 소모량 및 제작시간을 사전 검증하였다. CURA 소프트웨어에서 내부 채움 형태는 삼각형 요소를 채택하고 있고, 설정된 내부밀도에 따라 삼각형의 크기는 자동으로 조절되는 방식이다. Fig. 2에서는 Inner ring의 3D 프린팅을 위해 CURA 소프트웨어에서 불러들인 형상을 나타내고 있고, 내부 형상을 정확히 분석하기 위해 1/4이 단면된 형상을 적용하였다. Fig. 3에서는 Inner ring의 3D 프린팅을 위해 CURA 소프트웨어에서 밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등을 설정하였을 때의 내부 형상을 나타내고 있다. Table 2에서는 자동차 Inner ring 부품의 내부밀도에 따른 프린팅 시간과 재료 소모량을 나타내고 있다.

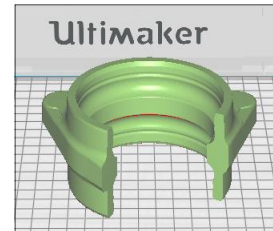
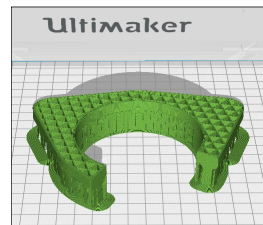
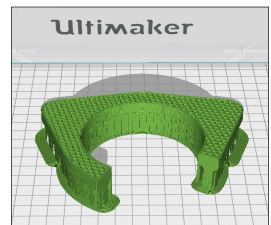


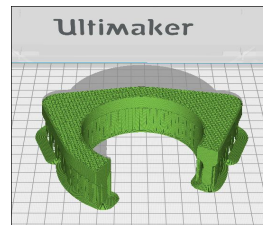
Fig. 2 CURA open model of inner ring parts



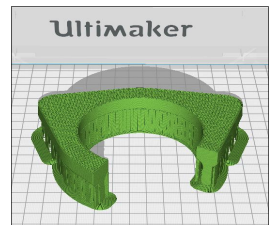
(a) 20%



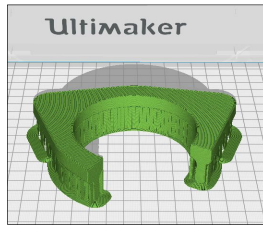
(b) 40%



(c) 60%



(d) 80%



(e) 100%

Fig. 3 Internal structure shape of inner ring according to density

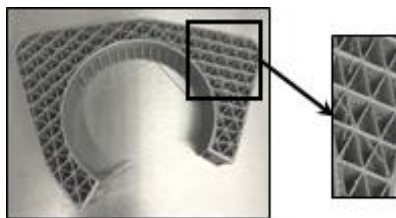
Table 2 Printing time and material consumption according to density

Density(%)	20	40	60	80	100
Printing time(hour)	15.25	17.04	18.50	20.31	38.37
Material consumption(g)	72	92	112	133	154

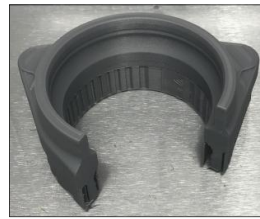
### 2.3 밀도에 따른 Inner ring의 3D 프린팅

Ultimaker S5 프린터의 전용소프트웨어인 CURA 소프트웨어를 사용하여 내부밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등으로 설정하여 3D 프린팅될 Inner ring의 최종 STL 파일을 생성하였다. Inner ring의 3D 프린팅은 FDM 방식의 Ultimaker S5 프린터를 사용하였다.

Fig. 4에서부터 Fig. 8까지는 내부밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등으로 설정하여 3D 프린팅된 Inner ring 형상을 나타내었으며, 각각 밀도에 따른 내부격자 형상, 3D 프린팅 후의 서포트 제거 전의 형상 및 3D 프린팅 후의 서포트 제거 후의 Inner ring 형상을 나타내었다.

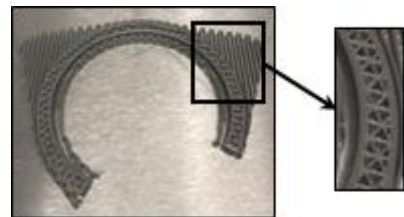


(a) Internal grid geometry

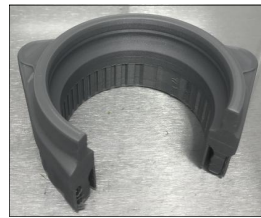


(b) Before support removal (c) After support removal

Fig. 4 3D Printing of inner ring with 20% density

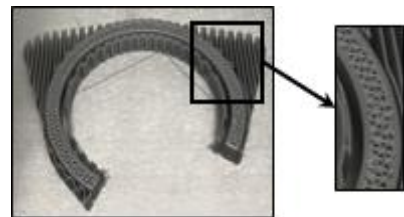


(a) Internal grid geometry



(b) Before support removal (c) After support removal

Fig. 5 3D Printing of inner ring with 40% density

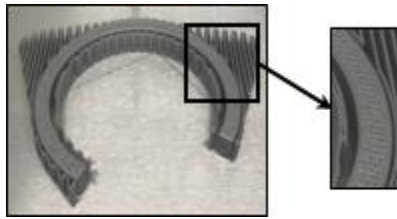


(a) Internal grid geometry

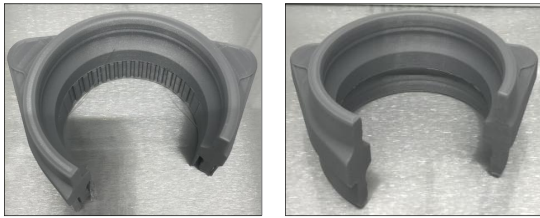


(b) Before support removal (c) After support removal

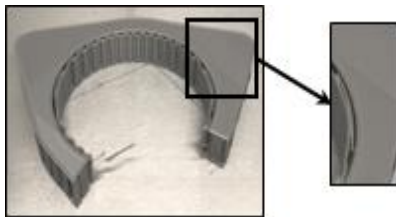
Fig. 6 3D Printing of inner ring with 60% density



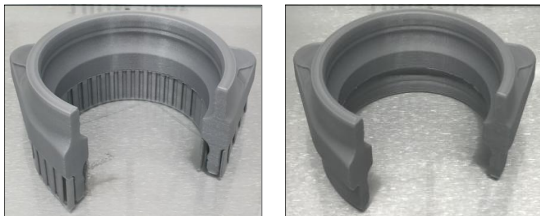
(a) Internal grid geometry



(b) Before support removal (c) After support removal  
Fig. 7 3D Printing of inner ring with 80% density



(a) Internal grid geometry



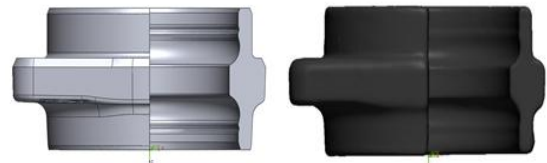
(b) Before support removal (c) After support removal  
Fig. 8 3D Printing of inner ring with 100% density

### 3. 밀도에 따른 Inner ring의 3D 프린팅

#### 3.1 Inner ring의 설계 모델과 스캔 모델의 정렬

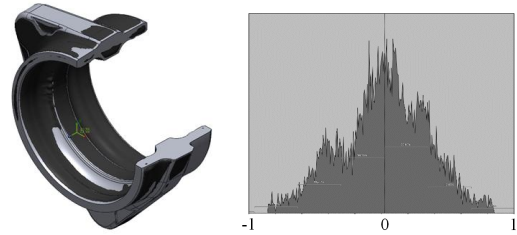
Inner ring 부품의 설계 모델과 3D 프린팅 Inner ring 형상의 치수 비교를 위해 Redmond사의 비접촉이동형 레이저 스캐너인 Artec Space Spider 3D Scanner를 사용하여 3D 프린팅 Inner ring 형상을 스캔하였다. 그리고

Inner ring의 설계 모델과 스캔 모델의 정렬은 Geomagic Control X 소프트웨어를 사용하였다. Fig. 9에서부터 Fig. 13까지는 Inner ring 설계 모델과 내부밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등으로 설정하여 3D 프린팅된 Inner ring의 정렬된 형상을 나타내었다. 그리고 각각의 그림에서는 설계 모델, 스캔 모델, 정렬된 Inner ring 모델과 합치도 그래프를 나타내고 있다.



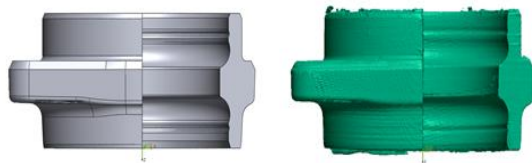
(a) Design model

(b) Scan model



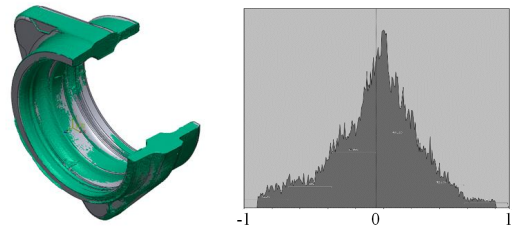
(c) Alignment of design model and scan model

Fig. 9 Internal density 20%



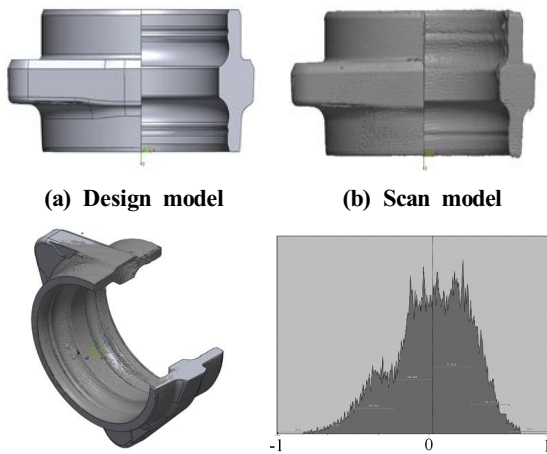
(a) Design model

(b) Scan model

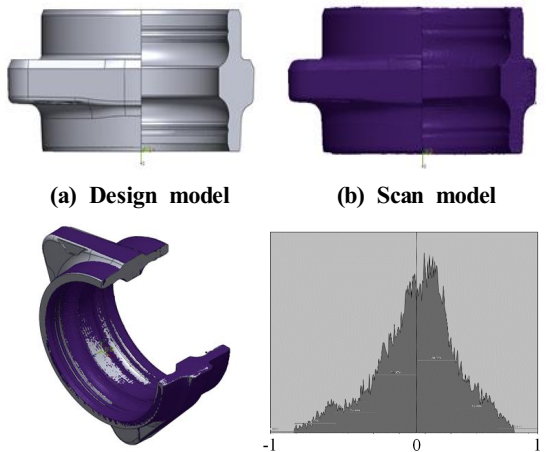


(c) Alignment of design model and scan model

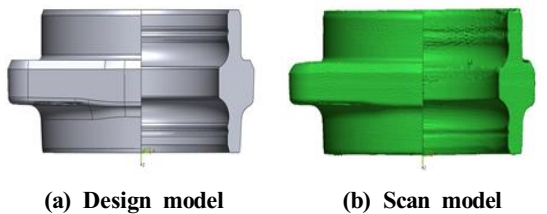
Fig. 10 Internal density 40%



(c) Alignment of design model and scan model  
Fig. 11 Internal density 60%



(c) Alignment of design model and scan model  
Fig. 12 Internal density 80%



(c) Alignment of design model and scan model  
Fig. 13 Internal density 100%

### 3.2 Inner ring의 3D 프린팅 치수 비교

3.1절의 Inner ring의 설계 모델과 스캔 모델의 최종 정렬 형상을 바탕으로 Inner ring의 밀도에 따른 3D 프린팅 치수를 비교하였다. 치수 검사는 Geomagic Control X 소프트웨어의 검사 기능을 사용하였으며, Inner ring의 치수 측정 개소는 Fig. 14에서 보는 바와 같이 선정하였다. 치수 공차는  $\pm 0.15\text{mm}$ 로 설정하여 검사를 실시하였다.

Table 3에서는 Inner ring 설계 모델과 내부밀도 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 등으로 3D 프린팅된 Inner ring의 치수 측정 결과를 나타내고 있다. 결과에서 보는 바와 같이, 참고 치수와 비교하여 실제 측정된 치수들은 (-)공차 값으로 나타났으며, 그 이유는 PLA 필라멘트의 3D 프린팅 시에 수축에 기인한 것으로 사료된다. 내부 밀도에 따른 치수 비교에서는 실험된 범위 내에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 본 실험을 통해 실험된 내부밀도 적용 범위 내에서는 설계된 형상의 검증에 의해 밀도 20%에서도 3D 프린팅이 가능함을 확인할 수 있었다.

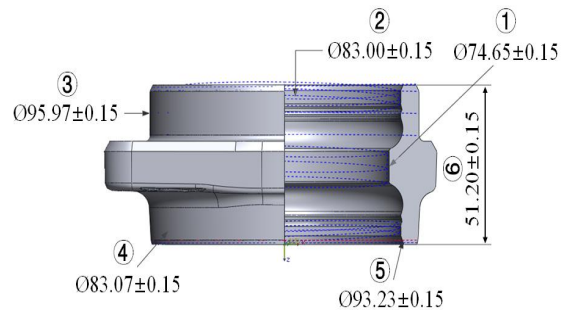


Fig. 14 Dimension measurement point of inner ring



**Table 3 Dimension comparison result with design model and 3D printing model**

**(a) Internal density 20%**

No.	Tolerance	Reference value	Measurement value	Deviation
①	±0.15	74.65	74.49	-0.16
②	±0.15	83	82.08	-0.93
③	±0.15	95.97	95.86	-0.11
④	±0.15	83.07	82.66	-0.41
⑤	±0.15	95.23	94.86	-0.37
⑥	±0.15	51.2	50.49	-0.71

**(b) Internal density 40%**

No.	Tolerance	Reference value	Measurement value	Deviation
①	±0.15	74.65	74.03	-0.62
②	±0.15	83	82.63	-0.37
③	±0.15	95.97	95.93	-0.04
④	±0.15	83.07	82.89	-0.18
⑤	±0.15	95.23	95.62	0.39
⑥	±0.15	51.2	50.19	-1.01

**(c) Internal density 60%**

No.	Tolerance	Reference value	Measurement value	Deviation
①	±0.15	74.65	73.93	-0.71
②	±0.15	83	82.36	-0.64
③	±0.15	95.97	96.23	0.26
④	±0.15	83.07	82.33	-0.73
⑤	±0.15	95.23	95.11	-0.12
⑥	±0.15	51.2	50.92	-0.28

**(d) Internal density 80%**

No.	Tolerance	Reference value	Measurement value	Deviation
①	±0.15	74.65	74.29	-0.36
②	±0.15	83	82.58	-0.42
③	±0.15	95.97	96.01	0.03
④	±0.15	83.07	82.7	-0.37
⑤	±0.15	95.23	95.34	0.11
⑥	±0.15	51.2	50.78	-0.42

**(e) Internal density 100%**

No.	Tolerance	Reference value	Measurement value	Deviation
①	±0.15	74.65	73.75	-0.89
②	±0.15	83	82.32	-0.68
③	±0.15	95.97	95.68	-0.3
④	±0.15	83.07	82.44	-0.63
⑤	±0.15	95.23	95.36	0.13
⑥	±0.15	51.2	50.54	-0.66

## 4. 결 론

3D 프린터에서 자동차용 Inner ring의 설계 모델을 적용하여 프린팅시 내부밀도에 따라서 프린팅된 Inner ring 형상을 스캔하였다. 설계 모델과 내부밀도 별로 프린팅된 형상을 검사 소프트웨어를 사용하여 치수 변화를 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 내부밀도에 따라 설계 모델의 치수와 비교하여 3D 프린팅된 Inner ring 형상은 PLA 필라멘트의 3D 프린팅 시에 수축에 기인하므로 치수들은 (-)공차 값으로 나타났다.
2. 내부밀도에 따른 치수 비교에서는 3D 프린팅 시 실험된 범위 내에서는 큰 차이가 없으므로, 시제품 제작시 제작시간과 재료 소모량을 줄일 수 있다.
3. 재료 소모량이 가장 적은 내부밀도 20% 범위에서도 설계된 형상의 검증을 한 결과 3D 프린팅이 가능함을 확인할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

1. Ross, T., Simon, S. and Kevin, P., "A Cost-Benefit Analysis of 3D Scanning Technology for Crime Scene Investigation",

- Forensic Science International: Reports, In press, journal pre-proof, 2019.
2. Dragan, L., Bogdan, N., Srđan J., Živče Š. and Milan, B., "Optical Inspection of Cutting Parts by 3D Scanning", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 531, 2019.
  3. Peng, F., Yichong, Z., Lili, H. and TianQiao, L., "Use of 3D Laser Scanning on Evaluating Reduction of Initial Geometric Imperfection of Steel Column with Rre-stressed CFRP", Engineering Structures, Vol. 198, 2019.
  4. Filippo, C., Lorenzo, S., Felice, S., Fabrizio, M. and Michele, M., "On the Morphology of the Abrasive Wear on Ploughshares by Means of 3D Scanning", Biosystems Engineering, Vol. 179, pp. 117-125, 2019.
  5. Lee, C. H., "Inspection of Composite Working Implement of Tractor using 3D Scanning and Reverse Design", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp.45-53, 2017.
  6. Gholamhossein, S., Saghar, G. and Ali, A. Y., "Preparation of Polypropylene/short Glass Fiber Composite as Fused Deposition Modeling (FDM) filament", Results in Physics, Vol. 12, pp. 205-222, 2019,
  7. Tomas, W. K., Hyounjun, L., Woong Y. J. and Gun, J. Y., "Characterization of Process-Deformation/damage Property Relationship of Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-printed Specimens", Additive Manufacturing, Vol. 25, pp. 532-544, 2019.
  8. Lee, K. M., Park, H. N., Kim, J. H. and Chun, D. M., "Fabrication of a Superhydrophobic Surface using a Fused Deposition modeling (FDM) 3D printer with Poly Lactic Acid (PLA) Filament and Dip Coating with Silica Nanoparticles", Applied Surface Science, Vol. 467-468, pp. 979-991, 2019.
  9. Tadeusz, M., Tomasz, M., Liviu, M., Hu, F. and Ileana, C., "CAD CAM System for Manufacturing Innovative Hybrid Design Using 3D Printing", Procedia Manufacturing, Vol. 32, pp. 22-28, 2019.
  10. Dehai, Z., Yanqin, L., Jianxiu, L., Guizhong, X. and Erwei, S., "A novel 3D Optical Method for Measuring and Evaluating Springback in Sheet Metal Forming Process", Measurement, Vol. 92, pp.303-317, 2016.
  11. Saoirse, O'T., Cecilie, O., David, B. and Andrew, K., "Investigation into the Accuracy and Measurement Methods of Sequential 3D Dental Scan Alignment", Dental Materials, Vol. 35, pp. 495-500, 2019.