http://doi.org/10.14347/kadt.2018.40.4.231

치과용 3D 프린팅 기술로 제작된 가공물의 정밀성 분석

최성민
부산가톨릭대학교 치기공학과

Precision Analysis of Workpieces made with Dental 3D Printing Technology

Sung-min Choi
Department of Dental Laboratory Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: The development of the dental technology industry has digitized the dental process. Definition of Digitalization of Dental Implantation Digitalization is the process of model making and prosthodontic processing using 3D CAD and CAM. Currently, it is becoming popular due to the spread of various devices. However, precision evaluation at this stage is an important factor in precision-based dental procedures. Therefore, in this study, we want to analyze the precision of the processed body made with digital dental machine.

Methods: The accuracy of digital dental pore devices was evaluated. Specimens were fabricated with 5 types of 3D printers. The external shape was measured with the prepared specimen. The surface roughness was measured.

Results: As a result, precision was excellent in order of EP2 specimen, EP1 specimen, and EA2 specimen. The precision of EP3 specimen and EA1 specimen is not excellent. And the precision of the specimen processed with polymer 3D printer is excellent. The accuracy of LCPS type polymer 3D printers is considered to be excellent.

Conclusion : 1. Observation of the shape The 3D printer for LCPS system and the 3D printer for SLM 40μm system were found to be precisely processed.

2. Surface roughness results The LCPS system polymer 3D printer has been shown to have a precise surface.

Key words: Digital dentistry, Dental CAD/CAM, Dental SLM, Precision

* 이 연구는 2016년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

Corresponding author	Name	최 성 민	Tel.	051-510-0594	E-mail	smchoi@cup.ac.kr
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교				

Received	2018. 4. 30	Revised	2018. 12. 10	Accepted	2018. 12. 17

I. 서 론

디지털 치과기공산업에 대하여 기술적, 사회적 관심이 높아가고 있다. 디지털이란 0과 1의 이진법 논리로 모든 정보를 구성, 표현하는 기술이다. 디지털로 생성된 정보는 다양한 방법으로 조합, 가공하여 활용이 가능하여 무한한 잠재력을 가지고 있는 기술이라고 할 수 있다.

디지털 치과기공산업의 대표적인 기술은 치과용 CAD/CAM 시스템이다. 치과용 CAD/CAM 시스템은 CAD(computer aided design)로 치과보철을 설계하고 CAM(computer aided manufacturing)으로 가공하는 기술이다. 치과용 CAD/CAM 시스템은 디지털 가공기술인 CNC(computer numerical control)기술을 기반하고 있다. CNC기술은 디지털 수치화 된 정보를 활용하여 설계와 가공을 함으로 가공체의 두께 및 외형을 정확하게 조절 및 가공을 할 수 있어 정밀가공에 널리 사용하고 있다(Kim, 2017). CNC기술 기반의 치과용 CAD/CAM 시스템은 디지털 절삭가공(milling)기술이다. 그러나 디지털 절삭가공(milling) 기술은 가공범위의 한계와 절삭기구와 가공소재의 과도한 손실로 인하여 생산성이 떨어지는 것으로 보고되었다(Kim et al, 2016).

디지털 절삭가공(milling) 기술의 단점을 보완하기 위하여 소개된 기술이 3차원 프린팅(3 dimensional printing, 3D printing)기술이다.

3D 프린팅 기술은 활용성을 높게 평가 받아 다양한 산업분야에 적용이 가능하다고 보고되었다(Pfister, 2004; Bose et al, 2012). 이중 치과분야가 가장 효과적인 활용분야로 기대된다고 보고되었다(Jakab et al, 2006; Hockaday et al, 2012; Lee, 2016. Kim et al, 2016).

3D 프린팅 기술은 디지털화 된 3차원 형상정보를 2차원 형상으로 적층하는 기술이다. 일반적으로 적층가공방법은 소재에 따라 고분자 또는 세라믹을 적층하는 방법과 합금분말을 레이저로 적층하는 방법으로 분류할 수 있다.

고분자 또는 세라믹을 적층 가공하는 방법은 출력방식에 따라 광경화수지조형방식(stereo-lithography apparatus, SLA), 마스크투영이미지경화방식(digital light processing, DLP), 폴리젯방식(Polyjet), 액정판고형화방식(Liquid Crystal Planar Solidification, LCPS) 그리고 압출적층조형방식(fused deposition modeling; FDM) 등이 있다(Stampfl and Liska, 2005). 합금을 적층 가공하는 방법은 합금분말을 레이저로 가공하는 방식에 따라 합금분말을 용융하는 선택용융가공법(selective laser melting, SLM)과 합금분말을 소결하는 선택소결가공법(selective laser melting, SLS) 등이 있다.

다양한 3D 프린팅 기기들을 디지털치과기공영역에서 적용하고 평가하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다(Han, 2016). Moon et al(2017)은 가공방식이 다른 4종의 고분자용 3D 프린터로 각각의 모형시편을 제작하여 원본모형과 변형도 평가를 실시한 연구에서 모형시편의 정밀도가 우수하다고 판단되지만 4종의 모형시편간에 유의차를 나타나는 것으로 평가하였다. 그리고 고분자용 3D 프린터로 구치부 교의치를 제작하여 내면적합도를 관찰한 연구에서는 모든 변수에서 임상적으로 적용가능한 적합성을 가진다고 보고하였고(Kim et al, 2014), 고분자용 3D 프린터(SLA법)로 제작된 모형의 정확도를 평가한 연구에서 체적의 안정성에 다소 차이기 있으나 임상적으로 적용이 가능한 정도라고 보고하였다(Kim, 2017).

합금용 3D 프린터(SLS법)로 가공한 치관과 주조법으로 제작한 치관의 변연과 내면 간격을 관찰한 연구결과 SLS법으로 가공한 치관의 변연간격이 주조법으로 제작한 치관에 비하여 크며 유의차를 보인다고 보고하였다(Kim and Kim, 2017). 그리고 합금 소재용 3D 프린터(SLM법)로 가공된 합금체 시편이 주조법, 절삭가공법으로 제작한 합금체 시편에 비하여 표면 거칠기(Ra)가 높아 내면적합도가 양호하지 않는 것으로 보고하였다(Jeon, 2011. Hong, 2012).

이같은 선행연구와 같이 3D 프린팅 기술로 제작된 가공물이 기존 가공방법으로 제작된 가공물에 비하여 정밀성이 떨어지는 것으로 나타나지만, 임상적으로 적용이 가능한 것으로 평가하고 있어 치과용 3D 프린터 사

용자가 선택할 수 있는 정밀성에 관한 연구 자료가 부족하다.

따라서 본 연구자는 현재 치과용으로 사용되는 3D 프린터로 가공한 가공물의 특성에 대한 연구 자료가 필요하다고 판단된다. 이러한 3D 프린터의 특성을 관찰한 연구 자료는 사용자가 가공작업 시 3D 프린터를 선택하는 기준이 될 것이며, 나아가 보다 정밀한 디지털 치과기공 기기용 3D 프린터 개발에 활용이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 치과용 3D 프린터 5종으로 제작한 가공물의 정밀성을 관찰하고자 가공방법이 다른 고분자용 3D 프린터 3종과 합금용 3D 프린터 2종을 선정하여 실험하였다. 또한 대조군으로 일반산업용 3D 프린터로 제작한 가공물을 비교 실험하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 재료

치과용 3D 프린터로 제작된 가공물의 정밀성을 비교 관찰하기 위하여 5종의 치과용 3D 프린터와 1종의 일반산업용 3D 프린터를 사용하였다. 연구에 사용된 3D 프린터는 각각 가공특성이 다른 기기를 선택하였다. 실험군용으로 사용된 5종의 치과용 3D 프린터 중 고분자용 3D 프린터의 가공특성은 SLA방식, LCDP방식, DLP방식으로 적층가공두께가 50 ㎛인 기기를 선택하였고, 합금용 3D 프린터의 가공특성은 SLM방식으로 적층가공두께가 15 ㎛와 40 ㎛인 기기를 선택하였다. 그리고 대조군용으로 사용된 일반산업용 3D 프린터는 FDM방식으로 적층가공두께가 50 ㎛인 기기를 선택하였다. 3D 프린팅 가공 시 최적의 조건을 위하여 각각의 기기에서 주된 가공소재를 사용하였다.

Table 1. Information about of 3D printers used in the study

Group	Operation Type	Layer thickness
Control	FDM	50㎛
Experiment	SLA	50㎛
	LCPS	50㎛
	DLP	50㎛
	SLM	15㎛
	SLM	40㎛

2. 시편 제작

치과용 3D 프린팅으로 제작된 가공물의 정밀성을 비교 관찰하기 위하여 사용된 시편은 직경 10 ㎜, 높이 5 ㎜의 원기둥 형태로 제작하였다. 시편의 원형은 CAD프로그램을 이용하여 설계하고 3D 프린터 각각의 전용프

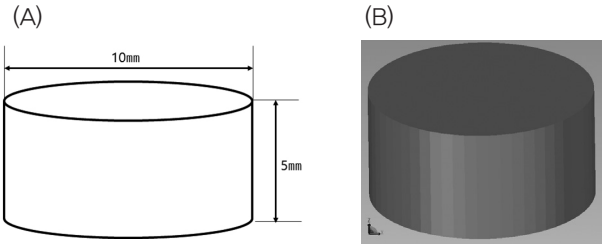
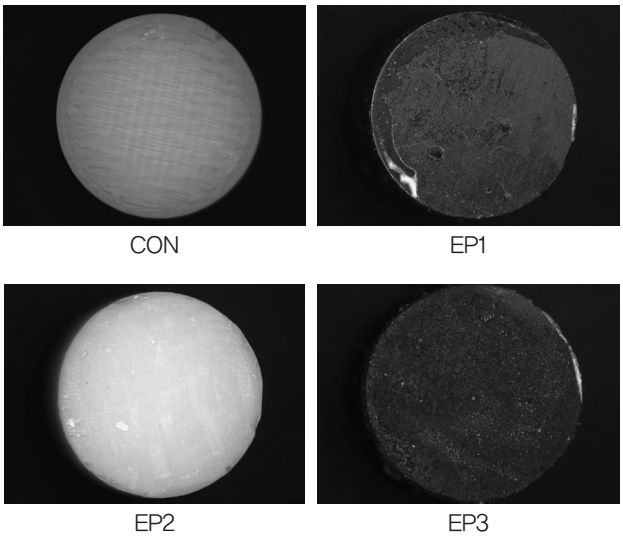


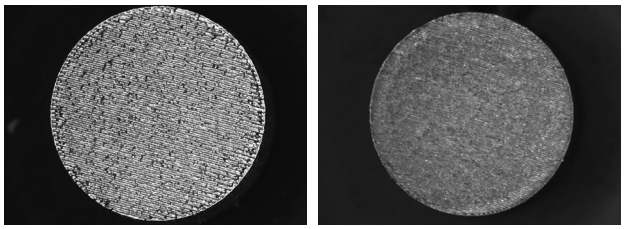
Figure 1. Shape of specimens,
a; size of specimen, b; 3D shape of specimens

Table 2. Classification of specimens

Group	Code	Operation Type
Control	CON	FDM
Experiment	EP1	SLA
	EP2	LCPS
	EP3	DLP
	EA1	SLM15
	EA2	SLM40

EP; Experiment for Polymer, EA; Experiment for Alloy





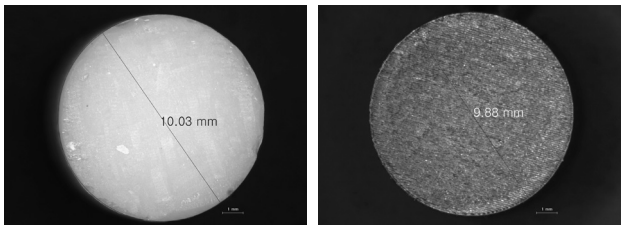
EA1 EA2

Figure 2. Specimens of 3D printing

로그램에서 변환하여 가공을 실시하여 각각 5개씩 제작하였다. 가공된 시편은 Table 2와 같이 분류하였다.

3. 외형 측정

3D 프린터로 가공된 시편의 정밀도를 측정하기 위하여 실체현미경(SZX7, Olympus, Japan)과 이미지분석소프트웨어(i-solution image analyzer, Olympus, Japan)를 사용하였다. 외형 측정은 실체현미경의 광학배율 150배에서 이미지를 획득하고 이미지분석소프트웨어에서 측정하였다. 시편의 외형 측정 부위는 원형의



EP2 EA2

Figure 3. Measurement of specimen diameter

윗면의 직경을 각 변수별 시편 5개를 5회씩 측정하여 평균값을 산출하였다.

4. 표면 거칠기 측정

3D 프린터로 가공된 시편의 정밀도를 마이크로(㎛) 단위로 관찰하기 위하여 표면거칠기 측정기(SV-3000, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 평균 표면 거칠기(Roughness, Ra)를 측정하였다. 그리고 표면의 형상을 관찰하기 위하여 실체현미경(SZX7, Olympus, Japan)과 이미지분석소프트웨어(i-solution image analyzer, Olympus, Japan)로 디지털 배율 500배율에서 이미지를 획득하였다. 표면 거칠기 측정은 각 변수별 시편 5개를 그림 4와 같이 4개의 방향에서 각 5 ㎜를 측정하여 평균값을 산출하였다.

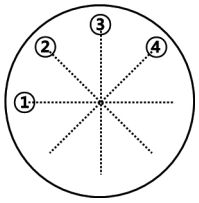


Figure 4. Measurement points of specimen roughness

Ⅲ. 결 과

1. 외형 측정 결과

3D 프린터로 가공된 시편의 정밀도를 관찰하기 위하여 시편의 직경을 측정한 결과 CON시편의 직경이 9.91 ±0.03 ㎜으로 측정되었으며, EP1시편이 10.04 ±0.03 ㎜, EP2시편이 10.01 ±0.01 ㎜, EP3시편이 10.46 ± 0.04 ㎜, EA1시편이 10.40 ±0.40 ㎜, EA2시편이 9.94 ±0.05 ㎜의 직경을 가지는 것으로 측정되었다. Table 3의 a는 각 시편의 직경 측정결과를 나타낸 것이며, b는 각 시편의 표준편차 값이다. 그리고 c는 원형의 직경인 10 ㎜에서 시편이 직경결과의 차(10-a=c)이며, d는 표준편자(b) 값에 원형과 시편의 직경 차이 값(c)에

Table 3. Diameter of specimens

(Unit. ㎜)

Specimens	CON	EP1	EP2	EP3	EA1	EA2
Diameter (a)	9.91	10.04	10.01	10.46	10.40	9.94
SD (b)	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02	0.05
1st Difference (10-a=c)	0.08	-0.04	-0.01	-0.46	-0.40	0.05
2nd Difference (b-|c|)	-0.05	-0.01	0.00	-0.42	-0.38	0.00

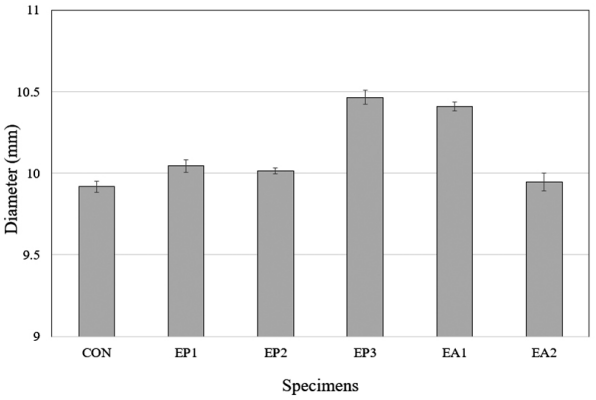


Figure 5. Graph of diameter measurement result

절대값을 적용하여 차(b− | c | =d)를 나타낸 것이다.

2. 표면 거칠기 측정 결과

3D 프린터로 가공된 시편의 정밀도를 마이크로(㎛) 단위로 관찰하기 위하여 시편의 표면거칠기를 측정한 결과 CON시편의 평균 표면거칠기가 107.43 ±22.94 ㎛으로 측정되었으며, EP1시편이 49.38 ±2.74 ㎛, EP2시편이 38.22 ±0.47 ㎛, EP3시편이 52.11 ±7.67 ㎛, EA1시편이 108.95 ±21.29 ㎛, EA2시편이 69.70 ±23.38 ㎛의 평균 표면거칠기를 가지는 것으로 측정되었다.

Table 4. Roughness of specimens surface

(Unit. ㎜)

Specimens	CON	EP1	EP2	EP3	EA1	EA2
Ra.	107.43 (±22.94)	49.38 (±2.74)	38.22 (±0.47)	52.11 (±7.67)	108.95 (±21.29)	69.70 (±23.38)

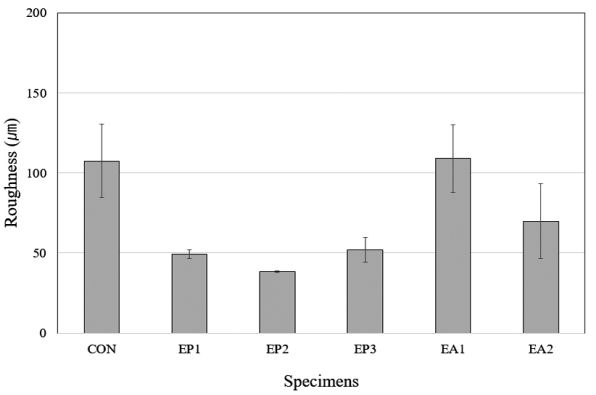


Figure 6. Graph of Surface Roughness Measurement Results

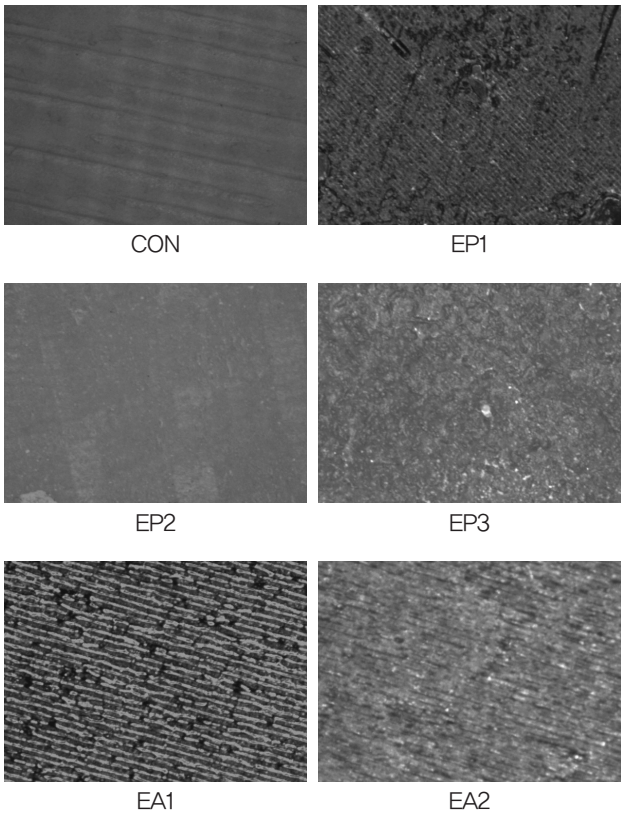


Figure 7. Image of the surface

그리고 표면의 형상을 관찰한 결과 Fig. 5와 같은 표면 형상을 가지는 것으로 나타났다.

Ⅳ. 고 찰

본 연구에서는 치과용 3D 프린터의 특성을 관찰하여 사용자가 가공작업 시 3D 프린터를 선택하는 기준자료로 제시하고, 나아가 보다 정밀한 치과용 3D 프린터 개발에 활용하고자 수종의 3D 프린터의 정밀성을 평가하였다.

치과용 3D 프린터의 정밀성 관찰은 3D 프린팅 가공체의 외형과 표면의 거칠기를 측정하여 재현에 따른 정밀성과 마이크로미터(㎛)단위의 정밀성을 관찰하였다.

외형 측정 결과 각 시편을 직경이 10 ㎜인 원형과 비교하였을 때 0.01 ㎜가 크게 가공된 EP2시편이 가장 유사하게 가공되었다. 그 다음 유사정도에 따라 0.04 ㎜

크게 가공된 EP1시편, 0.05 ㎜ 작게 가공된 EA2시편, 0.08 ㎜ 작게 가공된 CON시편, 0.41 ㎜ 크게 가공된 EA1시편, 0.46 ㎜ 크게 가공된 EP3시편 순으로 나타났다. 표 3의 결과에서 표준편차 값 'b'는 각각의 3D 프린팅 과정에서 발생하는 가공편차 즉 공차(tolerance)라고 판단할 수 있으며, 원형 직경과 시편 직경 간의 차이 값 'c'는 재현오차로 판단할 수 있다. 따라서 가공편차와 절대 값을 적용한 재현오차의 차이 값 'd'는 가공시편의 정밀성이라고 판단할 수 있다. 이러한 분석은 3D 프린팅 과정에서 발생할 수 있는 공차를 감안한 정밀성 평가방법이라 할 수 있다. 이러한 가공시편의 정밀성을 기준으로 분석하였을 때 EP2시편과 EA2시편의 값 'd'가 0.00 ㎜ 이므로 정밀성이 가장 높으며, −0.01 ㎜의 EP1시편, −0.05 ㎜의 CON시편, −0.38 ㎜의 EA1시편, −0.42 ㎜의 EP3시편 순으로 정밀성을 평가 할 수 있다.

외형 측정을 통한 정밀성 관찰은 치과보철물 제작 시 재현성에 영향을 미치는 변수이다. 치과보철물의 정밀성 평가 시 기준 범위는 변연의 간격과 내면의 결합재 공간 그리고 교의치의 삽입로를 고려하였을 때 최대 200 ㎛ 까지 임상적으로 허용하고 있다(Kim, 2014). 이 임상적 허용 범위를 기준으로 외형 측정 결과를 평가한다면 EP1시편, EA2시편, EP1시편, 대조군의 CON시편은 80 ㎛ 이하의 차이를 가져 치과보철물 제작에 사용이 가능하며, EP3시편과 EA1시편은 400 ㎛ 이상의 차이를 가져 치과보철물 제작에 사용이 어려운 것으로 판단된다.

표면 거칠기 측정 결과 EP2시편의 표면이 가장 평탄한 것으로 나타났으며, 그 다음 EP1시편, EP3시편, EA2시편, CON시편, EA1시편 순으로 표면이 평탄한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 그림 5의 표면의 형태에서도 나타난다. EP2시편은 표면이 평탄한 반면 EA1시편은 적층된 층이 구분될 정도로 표면이 거칠게 나타났다. 이러한 표면의 형태는 치과보철물 가공시 외면뿐만 아니라 내면에도 형성되어 내면 적합도에 영향을 미치게 된다. 하지만 치과보철물의 임상적 허용 범위인 최대 200 ㎛ 이하의 차이를 가져 치과보철물 제작에 사용이 가능한 것으로 판단된다.

3D 프린팅으로 제작된 시편들의 외형과 표면 거칠기를 관찰한 결과 전반적으로 EP2시편과 EP1시편 그리고 EA2시편의 정밀성이 우수한 것으로 판단되며, EP3시편과 EA1시편의 정밀성이 양호하지 않은 것으로 판단된다. 그리고 합금용 3D 프린터로 가공한 시편보다는 고분자용 3D 프린터로 가공한 시편의 정밀도가 우수한 것으로 판단되며, LCPS 방식과 SLA 방식의 고분자용 3D 프린터의 정밀도가 우수한 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결 론

치과용 3D 프린터의 정밀성을 관찰하고자 외형의 수치와 표면의 거칠기를 관찰하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 외형 측정 결과에서 LCPS 방식의 고분자용 3D 프린터와 SLM 40 ㎛ 적층방식의 합금용 3D 프린터가 정밀하게 가공하는 것으로 나타났다.

2. 표면 거칠기 결과에서 LCPS 방식의 고분자용 3D 프린터가 정밀한 표면을 가지는 것으로 나타났다.

REFERENCES

Bose S, Roy M, Bandyopadhyay A. Recent advances in bone tissue engineering scaffolds, Trends Biotechnol, 30, 546-554, 2012.

Hockaday LA, Kang KH, Colangelo NW, Cheung PYC, Duan B, Malone E, Wu J, Girardi LN, Bonassar LJ, Lipson H, Chu CC, and Butcher JT, Rapid 3D printing of anatomically accurate and mechanically heterogeneous aortic valve hydrogel scaffolds, Biofabrication, 4, 2012.

Hong MH. The Study on Inner Stability of the

Dental SLM Alloy Body by Conditions of the Electro-Polishing. Catholic University of Pusan, 2012.

Han MS, An evaluation of quality of dental prostheses printed by dental 3-dimensional printing system, The J Korean Acad Dent Tech, 33(3), 185-191, 2016.

Jakab KR, Damon B, Neagu A, Forgacs G. Three-dimensional tissue constructs builtby bioprinting, Biorheology, 43, 509-513, 2006.

Jeon BW. Comparison of the Marginal Fidelity of Ceramic Co-Cr Metal Crown by Selective Laser Melting, Catholic University of Pusan, 2011.

Kim MK, Lee JW, Kim YM, Lee KK, Han CH. Market Prediction Methodology for a Medical 3D Printing Business : Focusing on Dentistry, J Inf Technol Appl Manag, 23(2), 263-277, 2016.

Kim SC, Han MS, Choi BJ, Lee CJ, Lee HH. Internal fit of bridge patterns fabricated by a 3D printing technique, Korean J Dent Mater, 41(4), 239-244, 2014.

Kim SC, Lee HH, Marginal Accuracy of Three-Unit Bridge Fabricated Using Dental Co-Cr CAD/CAM Soft Metal Block, Korean J Dent Mater, 43(2), 177-184, 2016.

Kim SK, Comparison of the Workpiece by dental CAD/CAM system software and milling tool, Catholic University of Pusan, 2017.

Kim WS, Kim KB, An evaluation of marginal and internal gap of fixed dental prostheses printed by selective laser sintering, Korean J Dent Mater, 44(2), 141-149, 2017.

Kim WT, Evaluation of accuracy of orthodontic models fabricated by dental digital equipments. Korean J Dent Mater, 44(3), 255-261, 2017.

Lee SH. Prospect for 3D printing Technology in Mdecal, Dental, and Pediatric Dental Field. J Korean Acad Pediatr Dent, 43(1), 93-108, 2016.

Moon JM, Kim JM, Bae JM, Oh SE. Evaluation of acceleration aging effect on the deformity of dental 3D printer products. Korean J Dent Mater, 44(1), 53-60, 2017.

Pfister A, Landers R, Laib A, Hubner U, Schmelzeisen R, Mulhaupt R. Biofunctional Rapid Prototyping for Tissue engineeringApplications : 3D Bioplotting versus 3D Printing. Journal of Polymer Science : Part A : Polymer Chemistry, 42(3), 624-638, 2004.

Stampfl J, Liska R, New materials for rapid prototyping applications. Macromol Chem Phys, 206, 1253-1256, 2005.