치과용 바렐연마기의 연마시간에 따른 Co-Cr 합금의 표면거칠기 관찰

고현정, 박유진, 최성민

부산가톨릭대학교 치기공학과

Observations of surface roughness of Co-Cr alloys according to grinding time of dental barrel finishing

Hyeon-Jeong Ko, Yu-Jin Park, Sung-Min Choi

Department of Dental Laboratory Science, Catholic University of Pusan, Busan, Korea

Article Info

Received August 18, 2021

Revised September 10, 2021

Accepted September 13, 2021

Corresponding Author

Sung-Min Choi

Department of Dental Laboratory Science,
Catholic University of Pusan, 57 Oryundaero,
Geumjeong-gu, Busan 46252, Korea

E-mail: smchoi@cup.ac.kr

<https://orcid.org/0000-0001-6083-7732>

*This paper was supported by RESEARCH
FUND offered from Catholic University of
Pusan.

Purpose: The aim of this study was to observe the surface roughness and surface topography of cobalt-chrome (Co-Cr) alloys with grinding time in dental barrel finishing.

Methods: This study involved two types of Co-Cr alloys. Specimens were manufactured with the dimensions 10×10×2 mm. Each specimen was cast according to the manufacturer's instructions. The cast alloys were polished for 35 minutes at intervals of five minutes in an automatic barrel finishing. Specimens were imaged with a three-dimensional optical microscope to measure surface roughness.

Results: BC specimens and GM specimens had the highest roughness (Ra) values in the ungrained control group, and the lowest Ra values were measured 20 minutes after grinding.

Conclusion: The best conditions for grinding Co-Cr alloy using a dental barrel finishing were a weight ratio of polishing media, water, and compound of 150 g:200 g:5 g, and a rotation speed of 450 rpm. Grinding time to obtain appropriate surface roughness should be limited to 15 to 30 minutes.

Key Words: Barrel finishing, Co-Cr alloy, Grinding time, Roughness, Surface roughness

INTRODUCTION

노령 인구의 증가와 의치의 의료보험 적용으로 노인의 보철 제작에 주로 사용되는 국소의치 보철의 수요가 증가하고 있다[1,2]. 국소의치는 금속구조물, 의치상, 인공치로 구성된다. 금속구조물의 연결장치는 클래스프, 의치상 등의 구성요소를 연결하여 의치에 가해지는 교합력을 분산하는 역할을 한다. 그리고 유지장치는 의치의 탈락운동에 저항하여 의치를 구강내에서 유지하는 역할을 한다. 그러므로 금속구조물은 충분한 기계적 강도 및 치아와 치주조직을 손상시키지 않는 표면 상태가 요구된다[3].

국소의치의 금속구조물은 작업모형을 제작하여 복제한 후 복제모형에 납형을 제작하고 매몰 및 소환, 주조의 과정을 거쳐 완성된다[3]. 금속구조물의 제작에는 보편적으로 cobalt-chrome (Co-Cr) 합금이 사

용된다. Co-Cr 합금은 치과용으로 사용되는 비귀금속 합금 중 높은 기계적 강도를 가진다[4]. 그리고 nickel-chromium 합금에 비해 부식저항성과 생체적합성이 우수하여 구강 내에서 장시간 사용이 가능하므로 국소의치의 제작에 Co-Cr 합금이 선택되고 있다[5,6].

Co-Cr 합금으로 제작된 금속구조물은 기계적 강도가 높아 가공 시 많은 시간이 소요되며, 전체 악궁을 덮는 플레이트(plate)와 같은 크기가 큰 연결장치와 클래스프, 레스트 등의 작고 정밀한 부위가 복합적으로 구성되어 연마의 어려움을 갖는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국소의치 금속구조물의 연마는 전해연마법으로 사용한다. 전해연마(electro polishing)는 전기 분해 시 양극과 음극 전극을 이용하여 발생하는 전기적 힘을 이용하여 금속 표면을 용해하는 금속연마법이며 가공물 표면에 있는 돌출 부위와 개재물, 불순물 등의 표면특성을 저해하는 물질을 제거하여 연마한다[7]. 전해연마는 편의성이 높아 국소의

치 금속구조물의 연마에 활발히 적용되고 있으나 한 번의 작업 시 소량으로만 연마가 가능하여 생산성이 떨어지고 대량화가 불가능한 단점이 있다. 이에 일반산업에서 사용되는 바렐연마가 치과보철의 연마장비로 개발되어 소개되었다[8].

바렐 연마(barrel finishing)란, 연마조(barrel)에 연마재(polishing media)와 컴파운드(polishing compound), 물과 함께 가공품을 넣어 연마조가 회전할 때에, 가공할 제품과 연마재의 마찰력과 중력에 의해서 생기는 힘의 상대 운동력의 차이에 의해 과잉부(Fin)를 제거하거나 표면의 거칠기를 향상시키는 가공법을 말한다[9]. 바렐연마기는 마찰운동력을 일으키는 상대 운동력에 따라 진동모터의 진동수를 이용한 진동연마기, 고속회전에 의한 원심력을 이용한 원심연마기, 연마재와 가공품의 혼합과 미끄러짐의 반복운동을 이용한 회전바렐연마기 등으로 분류된다[9]. 바렐연마는 정밀하게 생산된 제품의 마무리 공정에서 표면조도 향상, Fin 제거, 도금 전 처리 연마, 광택연마 등의 작업에 효과적으로 사용된다[9].

최근 소개되고 있는 치과용 바렐연마기는 산업용 바렐의 종류 중 원심바렐의 축소된 구조물로 이루어져 있다. 치과용 바렐연마기는 사용하였을 때 표면거칠기의 감소에 효과적이고, 임상적으로 경제성과 효율성이 있다고 소개되고 있다[8]. 바렐연마는 본체 상태와 연마재 및 컴파운드 그리고 물과의 상관관계, 연마재와 가공물과의 상관관계, 연마 목적에 맞는 연마재와 가공물의 혼합 비율 변화 등에 의해 민감하게 변화하므로 공정의 선택에 주의해야 한다[10]. 또한 원심바렐연마기의 경우 가공시간 및 가공속도 등이 표면거칠기와 상관관계가 있으며, 바렐의 회전속도와 가공물의 위치, 가공물과 연마재의 접촉 깊이도 결과물에 영향을 줄 수 있으므로 조건 설정 시 최적의 운용 조건을 맞춰 주어야 한다[11]. 바렐연마는 절삭연마와 광택연마의 공정으로 나누어 진행된다. 각 단계에 맞추어 치과보철물의 제작에 적용하기 위해서는 소재의 특성에 따라 공정을 표준화하기 위한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 선행연구에서 Lee [9]는 연마 시간에 제한을 두고 연구를 진행하였고, Jeong [8]은 바렐연마의 적용가능성을 확인하였으나 연마 시간의 증가가 가공물의 표면조도에 미치는 영향에 대한 연구가 부족하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 치과용 바렐연마기의 활용을 위하여 Co-Cr 합금의 연마시간에 따른 연마정도 비교하기 위한 방법으로 표면형상 및 표면거칠기를 관찰하고, 효율적인 연마 공정 선택에 도움이 될 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 실험재료

본 연구에서는 치과용 바렐연마기의 절삭력을 관찰하기 위하여 다음과 같은 실험장비와 소재를 사용하였다. 시편의 연마에 사용된 실험장비는 Snow Barrel (DK Mungyo, Gimhae, Korea)을 이용하였다. 그리고 실험에 사용된 Co-Cr 합금은 국소의치용 합금 2종(BC-Cast R [BC], Bukwang, Busan, Korea; GM 800+ [GM], Dentaureum, Ispringen, Germany)을 사용하였다(Table 1).

2. 시편 제작

연구에 사용된 시편은 Modelling wax (Kimsdent, Seoul, Korea)를 이용하여 10 mm×10 mm×2 mm 크기를 가지는 판형태의 납형을 제작하였다. 납형에 주입선을 달고 인산염계 매물재(BC-VEST P-Plus; Bukwang)를 이용하여 제조사의 지시대로 매물, 소환 후 2종의 합금을 고주파주조기(Fornax T; BEGO, Bremen, Germany)를 이용하여 주조하였다. 주조 후 매물재와 주입선을 제거하고, 표면을 Sandblasting 후 초음파 세척하였다. 시편은 각각 10개씩 제작하였다(Fig. 1).

3. 바렐 가공

치과용 바렐연마기(Snow Barrel; DK Mungyo)의 연마조에 3:1의 비율로 혼합된 연마재 CRF (DK Mungyo)와 Sintermorundum SR (DK Mungyo) 150 g, 물 200 g, 컴파운드 5 g을 혼합하여 넣은 후 450 rpm의 회전속도로 연마하였다(Table 2). Sandblasting 후 연마하지 않은 시편을 대조군으로 설정하였고, 실험군은 연마시간이 10분 경과한 후부터 측정을 시작하였다. 5분 간격으로 10분, 15분, 20분, 25분, 30분, 35분동안 가공한 시편으로 나누어 Table 3과 같이 분류하였다. 각 단계의 연마 후 5분간 초음파 세척을 하고 건조시켰다(Table 3).

Figure 1. Shape of specimens.

Table 1. Alloy and their composition (unit: wt%)

Product name	Manufacturer	Co	Cr	Mo	W	Si	Other
BC-Cast R	Bukwang, Busan, Korea	65.0	28.0	5.5			
GM 800+	Dentaureum, Ispringen, Germany	58.3	32.0	6.5	1.5	1.0	

Co: cobalt, Cr: chrome, Mo: molybdenum, W: tungsten, Si: silicon.

Table 2. Composition of abrasive used in auto polishing machines (unit: wt%)

Media	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	TiO ₂	Other
CRF	38.14	54.44	2.64		0.98		0.72	3.08
Sintermorundum SR	≥97.50	≤1.00		≤0.50	≤0.50	≤0.50		<0.10

Table 3. Classifications of specimens

Specimens code		Procedures time (min)
BC	GM	
BCC	GMC	0
BC10	GM10	10
BC15	GM15	15
BC20	GM20	20
BC25	GM25	25
BC30	GM30	30
BC35	GM35	35

BC: BC-Cast R, GM: GM 800+, C: control.

4. 표면형상 및 표면거칠기 관찰

치과용 바렐연마기를 이용한 연마시간에 따른 Co-Cr 합금의 표면 형상을 관찰하고 표면조도를 측정하기 위하여 3차원 광학실체현미경 (RH-2000; Hirox Korea, Anyang, Korea)을 이용하여 시편을 촬영하였다. 그리고 촬영된 파일을 이용하여 표면 형상을 나타내는 3차원 이미지를 획득하고 표면거칠기(Roughness, Ra)를 측정하였다. 시편의 표면거칠기는 4개의 방향에서 각각 측정하여 평균값을 산출하였다.

5. 통계분석

표면거칠기 측정 결과의 유의차 검증을 위하여 IBM SPSS Statistics ver. 26.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석 (one-way ANOVA)을 시행하였으며, Tukey's honestly significant difference (Tukey HSD) 분석을 이용하여 95% 유의 수준에서 사후 검정을 실시하였다.

RESULTS

1. 표면형상 관찰

치과용 바렐연마기를 이용한 Co-Cr 합금의 연마시간에 따른 2종 금속의 표면형상을 관찰하기 위하여 3차원 광학실체현미경을 이용하여 시편을 촬영하고 다음과 같은 표면형상의 이미지를 획득하였다(Fig. 2, 3). BC 시편군에서 대조군인 BCC (BC control) 시편의 표면은 고도차가 높고 불규칙한 형상이 나타났다. 시편 중 고도차가 가장 낮게 나타난 BC20 시편은 거친 표면이 연마되어 편평하게 나타났으며, 연마 시작 후 고도차가 가장 높게 나타난 BC35 시편의 표면은 연마시간의 증가에 따라 타흔이 발생하여 거친 표면 형상이 나타났다. GM 시편군에서 대조군인 GMC 시편은 고도차가 뚜렷하고 거친 표면을 나타냈으나,

Figure 2. Three-dimensional images of BC specimens on surface characteristics. (A) BCC specimens, (B) BC20 specimens, (C) BC35 specimens (×2,500).

20분 동안 바렐 연마된 GM20 시편은 활택한 표면형상을 나타내고 모든 시편군에서 가장 낮은 고도차를 나타냈다. 그리고 연마 후 고도차가 가장 높게 나타난 GM35 시편은 편평한 표면에 타흔이 다시 발생하여 거친 표면형상을 나타냈다.

2. 표면거칠기 측정

치과용 바렐연마기를 이용한 연마시간에 따른 금속의 표면거칠기를 측정된 결과 BC 시편의 표면거칠기는 BCC 시편의 Ra 값이 0.48

Figure 3. Three-dimensional images of GM specimens on surface characteristics. (A) GMC specimens, (B) GM20 specimens, (C) GM35 specimens ($\times 2,500$).

$\pm 0.24 \mu\text{m}$ 로 가장 높게 나타났다. 연마시간이 10분 경과한 후 측정된 BC10 시편의 Ra 값은 $0.25 \pm 0.11 \mu\text{m}$ 로 측정되었고, 15분 경과한 후 측정된 BC15 시편의 Ra 값은 $0.19 \pm 0.17 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 연마시간이 20분 경과한 후 측정된 BC20 시편의 Ra 값은 $0.17 \pm 0.08 \mu\text{m}$ 로 가장 낮게 측정되었다. 그리고 BC25 시편은 $0.20 \pm 0.08 \mu\text{m}$, BC30 시편은 $0.19 \pm 0.07 \mu\text{m}$ 로 BC20 시편보다 높은 Ra 값이 측정되었다. 그리고 BC35 시편은 $0.25 \pm 0.17 \mu\text{m}$ 로 Ra 값이 다시 증가하였다. GM 시편의 표면거칠기는 GMC 시편의 Ra 값이 $0.52 \pm 0.18 \mu\text{m}$ 로 가장 높게 나타났다. GM10 시편의 Ra 값은 $0.23 \pm 0.12 \mu\text{m}$ 로 측정되었고, GM15 시편의 Ra 값은 $0.17 \pm 0.13 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 연마시간이 20분 경과한 후 측정된 GM20 시편은 $0.14 \pm 0.03 \mu\text{m}$ 로 가장 낮은 Ra 값이 측정되었다. 그리고 GM25 시편과 GM30 시편은 각각 $0.18 \pm 0.09 \mu\text{m}$, $0.14 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로 측정되었고, 연마시간이 35분 경과한 후 측정된 GM35 시편은 $0.23 \pm 0.11 \mu\text{m}$ 로 Ra 값이 다시 증가하는 것으

Table 4. Mean $\pm$ SD of surface roughness for 2 groups (unit: μm)

Measurements	N	BC	GM
		Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
CON	10	0.48 ± 0.24	0.52 ± 0.18
10 min		0.25 ± 0.11	0.23 ± 0.12
15 min		0.19 ± 0.17	0.17 ± 0.13
20 min		0.17 ± 0.08	0.14 ± 0.03
25 min		0.20 ± 0.08	0.18 ± 0.09
30 min		0.19 ± 0.07	0.14 ± 0.06
35 min		0.25 ± 0.17	0.23 ± 0.11

SD: standard deviation, CON: control, BC: BC-Cast R, GM: GM 800+.

Figure 4. Graph of the result of measuring the surface roughness of the specimens. (A) BC specimens, (B) GM specimens.

로 나타났다(Table 4, Fig. 4).

3. 통계분석

표면거칠기 측정 결과를 각 시편군별로 일원배치분산분석과 Tukey HSD 분석을 이용하여 사후검정을 실시하였다. 일원배치분산분석 결과 BC 시편군과 GM 시편군에서 유의차가 나타났다($p < 0.05$; Table 5). 사후검정 결과 BC 시편군에서 대조군 BCC 시편과 모든 시편 사이에 유의차가 나타났고, GM 시편군에서도 대조군 GMC 시편과 모든 시편 사이에서 유의차가 나타났다($p < 0.05$).

Table 5. Roughness analysis of specimens, as analyzed by one-way ANOVA

Specimens		Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
BC	Between group	0.843	6	0.141	6.978	0.001*
	Within group	1.551	77	0.020		
	Total	2.394	83			
GM	Between group	1.294	6	0.216	17.085	0.001*
	Within group	0.972	77	0.013		
	Total	2.266	83			

*p<0.05.

DISCUSSION

본 연구에서는 치과용 바렐연마기의 연마시간이 치과용 Co-Cr 합금의 표면거칠기에 미치는 영향을 확인하여 효율적인 연마 공정 선택에 도움이 될 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다. 치과용 바렐연마기를 이용한 Co-Cr 합금의 연마는 2종의 연마재를 혼합하여 사용하고 있으며 이 중 회사가 공개한 성분 자료는 Table 2와 같이 제시하였다. 바렐연마시 양쪽 연마조의 무게가 동일하지 않으면 기기 회전 시 진동이 발생하므로 연마재, 컴파운드, 물의 양을 무게비로 정확하게 측정하여 혼합 후 사용하였다.

바렐연마기의 빠른 회전수는 부품에 타흔을 발생시킬 수 있으므로 Lee [9]는 원심연마기의 회전속도를 120~180 rpm으로 제한하였으나 예비실험 결과 표면의 연마량이 부족하거나 연마시간이 길어지는 결과를 나타내어 본 실험에서는 바렐연마기의 제조사에서 제안하는 회전 속도인 450 rpm을 유지하여 실험하였다.

금속구조물의 거친 표면은 치태축적을 일으켜 금속의 부식이나 치아 우식, 치은염증을 초래할 수 있으므로 구강내에 장착하기 전에 표면을 활택하게 하는 마무리와 연마과정이 반드시 필요하다[12-14]. Quirynen 등[15]은 표면의 거칠기가 미생물의 부착에 큰 영향을 미치므로 구강내에서 임상적으로 받아들일 수 있는 Ra는 0.2 μm 를 초과해서는 안 된다고 하였다. 그리고 Bollen 등[16]은 평균 0.2 μm 이상의 표면 거칠기는 미생물의 유지를 유의하게 증가시킨다고 하였다. 본 연구의 실험결과 2종의 Co-Cr 합금 모두 바렐연마를 이용한 연마시간이 15분에서 30분 사이일 때 Ra 값이 0.2 μm 이하로 측정되었다. 따라서 바렐연마기는 Co-Cr 합금의 연삭에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 바렐연마기를 이용한 절삭연마를 진행하였으나 광택연마 시간에 따른 표면거칠기를 관찰하는 실험도 이어져야 할 것이다.

일반적인 방법을 이용한 치과보철물의 연마 시 Vander Voort [17], Kim 등[18]은 연마시간이 길어질수록 연마량은 증가하고 표면이 활택해진다고 보고하였다. 그러나 바렐연마를 이용한 금속의 연마 시 Won 등[11]은 약 10분 정도의 가공시간동안 표면거칠기가 감소하지만 가공시간이 길어질수록 굽힘 현상으로 인해 표면거칠기는 크게 감소하지 않는다고 보고하였고, Khorasani 등[19]은 가공시간이 일정시간 이상 이 될 경우 표면거칠기가 오히려 증가한다고 하였다. 또한 Lee [9]는 주

석의 바렐연마 시 연마시간은 10분에서 25분 이내가 되어야 한다고 보고하였으며, Jung 등[20]은 레진의 바렐연마 시 일정 시간의 경과 후에는 표면거칠기가 증가하거나 개선되지 않으므로 연마시간의 제한이 필요하다고 보고하였다. 본 실험 결과에서는 BC 시편과 GM 시편 모두 연마시작 후 20분이 경과했을 때 가장 낮은 Ra 값이 측정되었고 30분이 경과할 때까지 Ra 값은 0.2 μm 이내에서 증가하였다가 다시 감소하였다. 그리고 35분이 경과하였을 때 BC 시편과 GM 시편의 Ra 값은 0.2 μm 를 초과하여 부적절한 표면거칠기를 나타내었다. 이처럼 일정 시간이 지난 후 다시 표면의 거칠기가 증가하는 것은 선행논문의 연구결과와 일치하였다. 따라서 바렐연마기를 이용하여 Co-Cr 합금의 연마를 시행할 경우 연마시간은 15분에서 30분 이내로 제한하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

본 연구의 통계 분석 결과 BC 시편군과 GM 시편군 모든 시편의 Ra 값은 대조군과의 비교분석에서만 유의차를 나타내고(p<0.05), 나머지 시편간에는 유의차가 없는 것으로 나타났다(p>0.05). 그러나 Ra 값이 가장 낮게 측정된 BC20 시편과 GM20 시편의 표면 형상은 대조군에서 관찰되었던 고도차와 거친 표면 형상이 연마되어 활택한 표면을 나타내었으나, 연마 후 Ra 값이 다시 증가하여 가장 높게 측정된 BC35 시편과 GM35 시편의 표면 형상은 연마재에 의한 굽힘 현상으로 타흔이 발생하여 고도차가 높아지고 거칠어진 표면이 관찰되어 안정적인 비교에서 차이를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 금속의 종류를 Co-Cr 합금으로 제한하였고, 연마과정을 절삭연마로 제한하여 관찰하였으나 치과보철물의 제작에 적용하기 위해서는 다양한 소재와 연마과정을 고려한 실험이 설계되어야 할 것이다. 또한 연마재, 컴파운드, 물, 피가공물의 혼합비, 연마 속도 등과 같은 다양한 조건을 적용시킨 연구가 계속 이어져야 할 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 치과용 바렐연마기를 이용한 Co-Cr 합금의 연마시간에 따른 표면거칠기의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

치과용 바렐연마기를 이용한 Co-Cr 합금의 연마 시 연마재와 물과 컴파운드의 무게비가 150 g:200 g:5 g이며 회전 속도가 450 rpm일 때, 임상적으로 수용가능한 표면거칠기를 가지기 위해서 연마시간은

15분에서 30분 이내로 제한해야 한다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Hyeon-Jeong Ko, <https://orcid.org/0000-0003-2912-8529>

Yu-Jin Park, <https://orcid.org/0000-0001-8909-7416>

Sung-Min Choi, <https://orcid.org/0000-0001-6083-7732>

REFERENCES

- Kang HW, Park YS, Hwang I, Lee CH, Heo Y, Won YG. Manufactures of dental casting Co-Cr-Mo based alloys in addition to Sn, Cu and analysis of infrared thermal image for melting process of its alloys. *J Korean Acad Dent Technol.* 2014;36:141-147.
- Kim JM, Choi SM. Spreadability observation of the denture adhesive by the amount of the water. *J Korean Acad Dent Technol.* 2015;37:17-21.
- Kang HW, Ko MW, Kim NS, Kim BS, Kim JH, Na JS, et al. Removable partial denture prosthodontics. Seoul: J.S Mall, 2019. p. 181-261.
- Ryu JH, Lee HJ, Cho HS, Paeng JM, Park JB, Lee JI. Effects of GPS heat-treatment on microstructure of as-cast Co-Cr alloy. *J Korean Cryst Growth Cryst Technol.* 2017;27:263-267.
- Choi YJ, Yook JI, Chung MK. Cytotoxicity of dental cast base metal alloys on human oral keratinocytes. *J Korean Acad Prosthodont.* 1999;37:717-729.
- Park SC, Choi SM, Kang JH. Corrosion resistance evaluation in the Co-Cr alloys for the full and removable partial denture metal frameworks and the porcelain-fused-to-metal crown. *J Korean Acad Dent Technol.* 2012;34:237-245.
- Jang JY, Song JS, Nah JS. Effect of polishing solution temperature and times by electro-polishing in dental casting Co-Cr-Mo alloy. *J Korean Acad Dent Technol.* 2012;34:145-153.
- Jeong YC. Effect of polishing time of surface roughness and surface topography on Co-Cr alloy by dental auto polishing system [master's thesis]. Busan: Catholic University of Pusan, 2019.
- Lee JS. A study on the barrel finishing process selection [master's thesis]. Siheung: Korea Polytechnic University, 2010.
- Hong SK. Quality improvement in centrifugal barrel finishing machine. *Korean Soc Precis Eng.* 1997;1:280-283.
- Won JH, Oh RT, Kim JH, Kim WK. A study on the centrifugal barrel finishing of 3 dimensional form face (1). *Korean Soc Precis Eng.* 1998;1:31-35.
- Craig RG, O'Brian WJ, Powers JM. Dental materials: properties & manipulation. 5th ed. St. Louis (MI): Mosby, 1995.
- Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Fundamentals of fixed prosthodontics. 3th ed. Chicago (IL): Quintessence, 1997.
- Park WK, Woo YH, Choi BB, Lee SB. A study on surface roughness of metals according to finishing and polishing procedures: an atomic force microscope analysis. *J Korean Acad Prosthodont.* 2003;41:1-19.
- Quirynen M, Papaioannou W, van Steenberghe D. Intra-oral transmission and the colonization of oral hard surfaces. *J Periodontol.* 1996;67:986-993.
- Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater.* 1997;13:258-269.
- Vander Voort GF. Metallography: principles and practice. Materials Park (OH): ASM International, 1999.
- Kim YM, Shin SJ, Song MJ, Park JW. The evaluation of surface roughness and polishing time between polishing systems. *J Korean Acad Conserv Dent.* 2011;36:119-124.
- Khorasani M, Gibson I, Ghasemi A, Brandt M, Leary M. On the role of wet abrasive centrifugal barrel finishing on surface enhancement and material removal rate of LPBF stainless steel 316L. *J Manuf Process.* 2020;59:523-534.
- Jung AN, Ko HJ, Park YJ. Observation of surface roughness on three types of resin based on grinding time of dental automatic barrel finishing. *J Tech Dent.* 2021;43:56-61.