

치과용 자동바렐연마기의 연마시간에 따른 3종 레진의 표면거칠기 관찰

정안나, 고현정, 박유진

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Observation of surface roughness on three types of resin based on grinding time of dental automatic barrel finishing

An-Na Jung, Hyeon-Jeong Ko, Yu-Jin Park

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

Article Info

Received May 10, 2021

Revised May 26, 2021

Accepted June 8, 2021

Corresponding Author

Yu-Jin Park

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

E-mail: most31@naver.com

https://orcid.org/0000-0001-8909-7416

Purpose: This study aimed to produce resin prosthetics using a dental automatic barrel finishing. Surface roughness and surface topography of resins were observed according to the grinding time of the dental automatic barrel finishing.

Methods: This study was performed with thermopolymer, autopolymer, and photopolymer resins. The dimensions of the specimen were 10×10×2 mm. Each specimen was polymerized according to the manufacturer's instructions. The polymerized resin was honed for 30 minutes at 5-min intervals in a dental automatic barrel finishing. The specimen was observed using a three-dimensional (3D) optical microscope, and the surface roughness was measured.

Results: After the polishing with the dental automatic barrel finishing, the heat-cured (HC) specimen showed the highest and lowest values of Ra after 10 and 15 minutes, respectively. The self-cured (SC) specimen showed the highest and lowest values of Ra after 10 and 25 minutes, respectively. Finally, the 3D specimen showed the highest and lowest values of Ra after 5 and 20 minutes, respectively.

Conclusion: After measuring the surface roughness of the three types of resins according to the grinding time of the dental automatic barrel finishing, the lowest Ra values for the HC, SC, and 3D specimens were measured after 15, 25, and 20 minutes, respectively. Therefore, we concluded that a limit on the grinding time of the resin using a dental automatic barrel finishing is needed.

Key Words: Barrel finishing, Grinding time, Ra, Resin, Surface roughness

INTRODUCTION

치과용 재료의 개발이 다양해지면서 레진을 사용한 치과 수복물의 제작이 늘어나고 있다[1]. 치과에서 사용되는 PMMA (polymethyl metacrylate)에 대한 연구는 꾸준히 이루어지고 있으며 그에 대한 물성도 향상되고 있다[2]. 치과용 레진은 개인트레이, 의치상, 교정장치, 임시 치관 등의 제작이 가능하다[3,4]. 치과용 레진의 활성화는 전통적인 방법으로 의치상의 제작에 사용되는 열중합방식과 교정장치

의 제작에 사용되는 자가중합방식, 그리고 개인트레이의 제작에 사용되는 광중합방식으로 분류된다. 디지털 프로그램을 이용한 three-dimensional (3D) printing 가공체의 제작에 사용되는 레진도 광경화 방식을 사용하고 있다. 일반적인 치과 수복물들은 구강 내에서 세균의 침착과 음식물 잔사에 의한 치태의 축적이 발생하는데[5,6], 레진으로 제작된 치과보철물 또한 장기간 장착시 세균이 침착되는 등의 단점이 있다[2]. 이와 같은 문제를 일으키는 레진의 표면 특성은 제작 단계에서 마무리와 연마방법에 따라 달라질 수 있다[7].

치과기공 과정에서 레진의 연마는 일반적으로 중합 후 레진의 잉여된 부분을 카바이드버(carbide bur)를 사용하여 제거하고 덴처패드(denture pad), 러버포인트(rubber point) 등의 연마도구를 사용하여 표면처리한 후 고속 회전이 가능한 연마기(lathe)에 퍼미스(pumice)와 루즈(rouge)를 사용하여 광택연마를 실시한다[8,9]. 연마과정을 수행한 레진 보철물의 표면은 낮은 표면조도와 높은 광택도를 보이지만 임상에서 연마과정의 일부를 제외하고 경험에 의존하여 연마를 마무리하는 경우가 종종 발생하고 있다[10]. PMMA의 전통적인 기계적 연마법에 대한 연구에 의하면 일부 연마과정을 제외하고 퍼미스와 연마기만을 이용한 마무리 방법은 표면의 거칠기를 감소시키지 못한다[10]. 또한 Laney 등[11]의 연구에 따르면 기계적 연마법과 퍼미스를 이용한 마무리 방법으로 얻은 표면거칠기는 $1.4 \pm 0.2 \mu\text{m}$ 로 Bollen 등[5]이 제시한 생물학적인 표면거칠기인 $0.2 \mu\text{m}$ 보다 훨씬 큰 값을 보인다[7].

최근 치과보철물의 연마과정에서 제품의 품질을 균일하게 유지하여 안정성을 높이기 위한 방법으로 산업용 자동바렐연마기를 치과 보철의 제작에 적용하는 연구가 이루어지고 있다[12]. 바렐연마(Barrel finishing)는 일정한 크기의 연마조(barrel)에 연마재(media), 컴파운드(compound), 물, 가공품을 넣고 연마조가 회전할 때 발생하는 원심력 또는 중력, 진동모터의 진동을 이용하여 가공품과 연마석의 마찰과 중력에 의해서 생기는 힘의 상대 운동력의 차이에 의해 표면의 거칠기를 향상시키는 가공법이다[13]. 자동바렐연마기를 치과 보철의 연마에 적용한다면 소량 다품종의 연마작업에 용이하고, 수작업으로 진행되는 치과 기공작업에서 술자의 숙련도에 의해 결정되는 균일성의 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 그러나 치과용 자동바렐연마기를 이용한 치과용 보철소재의 연마공정에 대한 연구가 부족하여 공정의 표준화를 위한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 치과용 자동바렐연마기를 이용한 레진의 연마시간에 따른 표면 거칠기의 변화를 측정하여 최종 연마 선택을 위한 정보를 제공하고자 한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 실험 재료

본 연구에서는 치과용 자동바렐연마기를 사용한 치과용 레진의 마모도를 관찰하기 위하여 다음과 같은 실험장비와 소재를 사용하였다. 연구에 사용된 실험장비는 치과용 자동바렐연마기(Snow barrel; DK Mungyo, Gimhae, Korea)이며, 실험에 사용된 레진은 충의치의 제

작에 사용되는 열중합레진 1종(Vertex Rapid Simplified; Vertex-Dental, Zeist, Netherlands)과 교정장치 제작에 사용되는 자가중합레진 1종(Ortho-Jet; Lang Dental, Wheeling, IL, USA), 그리고 3D printing을 이용한 투명교정장치(clear aligner)의 제작에 사용되는 광경화성레진 1종(Tera Harz TC-85DAC; Graphy, Seoul, Korea)을 사용하였다(Table 1).

2. 시편 제작

연구에 사용된 시편은 10 mm×10 mm×2 mm 크기의 판형태로 제작하였다. 열중합레진을 이용한 시편은 파라핀 왁스(Modeling Wax; Kimsdent, Seoul, Korea)를 이용하여 납형을 제작하였다. 매물함(flask)에 경석고(Snow Rock; DK Mungyo, Gimhae, Korea)를 이용하여 납형을 1차 매몰하고, 경석고가 경화한 후 석고분리제(Magic Sep; Talladium, Valencia, CA, USA)를 도포하여 2차 매몰하였다. 매물함은 스티클리너(SESY2014 New Beginning; SEKI, Seoul, Korea)에 넣어 6분간 스티처리 한 후 왁스제거(wax wash)하였다. 왁스(wax)가 제거된 음형에 레진분리제(GC Acro Sep; GC, Tokyo, Japan)를 도포하고 열중합레진의 분말(polymer)과 액(monomer)를 2:1의 혼합비로 혼합하여 주입한 후 열중합하였다. 실온에서 70℃까지 서서히 온도를 높인 후 1시간 동안 계류시키고 100℃까지 온도를 높여 20분간 계류시켜서 중합하였다. 중합이 완료되면 실온까지 서냉 후 매물재를 제거하고 초음파세척하였다. 자가중합레진은 납형을 실리콘(Dublisil; Dreve Dentamid, Unna, Germany)을 이용하여 복제하고, 적층법(sprinkle-on method)으로 레진의 액을 주입한 후 분말의 도포를 반복하였다. 레진이 주입된 복제 주형(molds)은 중합이 진행되는 동안 가압하였다. 경화 후 레진 표면의 잉여된 부분을 카바이드바로 제거하여 초음파세척하였다. 3D printing을 이용한 광중합 레진의 시편은 CAD 프로그램(Creo 4.0; PTC, Boston, MA, USA)을 이용하여 3D 형태로 설계하였다. Digital light processing (DLP) 방식의 치과용 3D print (SLASH 2; UNIZ, San Diego, CA, USA)를 이용하여 레이어 두께를 100 μm 로 설정하고 가공체의 지지대는 2 mm의 폭을 가지는 측면에 부착하여 출력하였다. 출력된 가공체는 광중합기(CureM U102H; Grarhy)를 이용하여 15분동안 광중합한 후 피셔버(Fissure bur)를 이용하여 지지대를 제거하고 초음파세척하였다. 각 시편은 10 개씩 제작하였다.

준비된 시편은 치과용 자동바렐연마기(Snow barrel; DK Mungyo)

Table 1. Information about resin used in study

Material	Group	Trade name	Manufacturer	Hardness (Hv)
Heat-cured resin	HC	Vertex Rapid Simplified	Vertex-Dental, Netherlands	19.3
Self-cured resin	SC	Ortho-Jet	Lang Dental, USA	18.48
3D printing resin	3D	Tera Harz TC-85DAC	Graphy, Korea	10.4

3D: three-dimensional.

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

Media	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Other
CRF	38.14	54.44	2.64	0.98	0.72	3.08

Table 3. Classifications of specimens

Group	Code	Procedures time (min)
HC	HCC	Control
	HC5	5
	HC10	10
	HC15	15
	HC20	20
	HC25	25
	HC30	30
SC	SCC	Control
	SC5	5
	SC10	10
	SC15	15
	SC20	20
	SC25	25
	SC30	30
3D	3DC	Control
	3D5	5
	3D10	10
	3D15	15
	3D20	20
	3D25	25
	3D30	30

HC: heat-cured, SC: self-cured, 3D: three-dimensional, C: control.

의 연마조(barrel)에 연마재 160 g과 물 20 g, 그리고 compound 5 g을 혼합한 후 넣고 450 rpm의 회전속도로 연마하였다(Table 2). 연마 시작 전의 시편을 대조군으로 하고, 5분 간격으로 연마하여 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분 동안 처리한 시편으로 나누어 Table 3과 같이 분류하였다. 각 단계의 연마 후 5분간 초음파 세척을 하고 건조시켰다(Table 3).

3. 표면거칠기 측정 및 표면형상 관찰 실험

치과용 자동바렐연마기를 이용하여 연마시간에 따른 레진의 표면거칠기를 측정하고 표면형상을 관찰하기 위하여 3차원 광학실체현미경(RH-2000; Hirox, Tokyo, Japan)을 이용하여 시편을 촬영하였다. 그리고 촬영된 파일을 이용하여 표면거칠기를 측정하고, 표면형상을 나타내는 3D 이미지를 획득하였다. 표면거칠기 측정은 각 변수별 시편의 정중앙을 촬영한 후 4개의 방향에서 각각 측정하여 평균값을 산출하였다.

4. 통계 분석

표면거칠기 측정 결과의 유의차 검증을 위하여 IBM SPSS ver. 26.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way

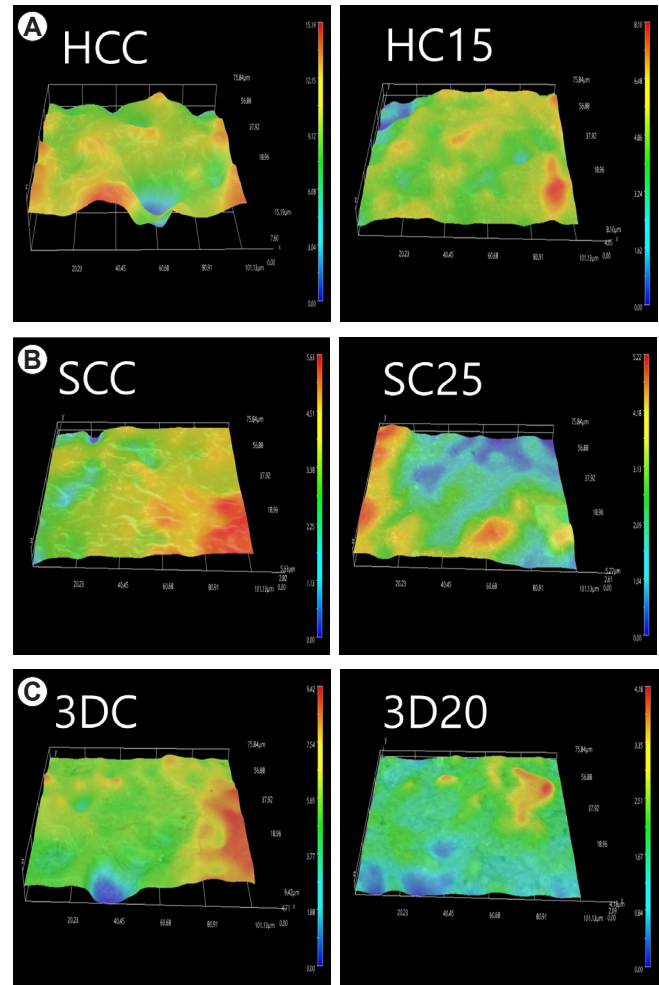


Figure 1. Three-dimensional (3D) images of specimens on surface characteristics. (A) HC specimens, (B) SC specimens, (C) 3D specimens. HC: heat-cured, SC: self-cured, C: control.

ANOVA)을 시행하였으며, Tukey's honestly significant difference 분석을 이용하여 95% 유의 수준에서 사후 검정을 실시하였다.

RESULTS

1. 표면형상 관찰 실험

치과용 자동바렐연마기를 이용하여 연마시간에 따른 3종의 레진의 표면형상 관찰을 위해 3D 광학실체현미경(RH-2000; Hirox)을 이용하여 시편을 촬영하고 3차원의 표면형상 이미지를 획득하였다. 표면거칠기를 측정했을 때, Ra (arithmetical average roughness, center-

line average roughness) 값이 최소로 측정되는 시간이 지난 후에는 다시 Ra 값이 증가하는 결과가 나타나므로 대조군과 각 그룹내에서 가장 낮은 Ra 값을 가지는 시편의 3차원 표면형상 이미지를 비교하였다 (Fig. 1).

2. 표면거칠기 측정 실험

치과용 자동바렐연마기를 이용하여 레진의 연마시간에 따른 표면거칠기를 측정된 결과는 Table 3으로 나타내었다. Heat-cured (HC) 시편군의 연마를 시행하지 않은(control, C) 대조군 HCC의 Ra 값은 평균 $0.56 \pm 0.17 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 바렐 연마한 후 Ra 값을 측정된 결과, 10분 후에 측정된 HC10 시편의 Ra 값이 평균 $0.76 \pm 0.12 \mu\text{m}$ 로 가장 높게 나타났고 HC15 시편에서 평균 $0.64 \pm 0.11 \mu\text{m}$ 로 가장 낮은 Ra 값이 측정되었다. Self-cured (SC) 시편군의 연마를 시행하지 않은 대조군 SCC의 Ra 값은 평균 $0.37 \pm 0.13 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 바렐 연마한 후 Ra 값을 측정된 결과, 10분 후에 측정된 SC10 시편의 Ra 값이 평균 $0.74 \pm 0.23 \mu\text{m}$ 로 가장 높게 나타났고 SC25 시편에서 평균 $0.59 \pm 0.16 \mu\text{m}$ 로 가장 낮은 Ra 값이 측정되었다. 그리고 3D 시편군의 연마를 시행하지 않은 대조군 3DC의 Ra 값은 평균 $0.91 \pm 0.40 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 바렐 연마한 후 Ra 값을 측정된 결과, 5분 후에 측정된 3D5 시편의 Ra 값이 평균 $0.57 \pm 0.18 \mu\text{m}$ 로 가장 높게 나타났고 3D20 시편의 Ra 값이 평균 $0.30 \pm 0.04 \mu\text{m}$ 로 가장 낮게 나타났다(Table 4, Fig. 2).

3. 통계 분석

표면거칠기 측정 결과를 각 시편군별로 일원배치분산분석과 사후 검증으로 분석하였다. 일원배치분산분석 결과 HC 시편군에서는 유의차가 나타나지 않았으며($p > 0.05$), SC 시편군과 3D 시편군에서는 유의차가 나타났다($p < 0.05$; Table 5). 그리고 사후검증 결과 SC 시편군에서 대조군과 SC5, SC10, SC15, SC20 시편 사이에 유의차가 나타났고, 3D 시편군에서 대조군과 모든 시편 사이에 유의차가 나타났다.

Table 4. Roughness of specimens surface (unit: μm)

Group	HC	SC	3D
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Control	0.56 ± 0.17	0.37 ± 0.13	0.91 ± 0.40
5 min	0.67 ± 0.31	0.72 ± 0.33	0.57 ± 0.18
10 min	0.76 ± 0.12	0.74 ± 0.23	0.43 ± 0.07
15 min	0.64 ± 0.11	0.68 ± 0.21	0.35 ± 0.06
20 min	0.73 ± 0.09	0.66 ± 0.18	0.30 ± 0.04
25 min	0.66 ± 0.25	0.59 ± 0.16	0.32 ± 0.02
30 min	0.66 ± 0.11	0.61 ± 0.06	0.42 ± 0.02

HC: heat-cured, SC: self-cured, 3D: three-dimensional, SD: standard deviation.

DISCUSSION

본 연구에서는 치과용 자동바렐연마기를 이용한 레진의 연마시간이 표면거칠기와 표면형상에 미치는 영향을 확인하고, 바렐연마를 치과보철물에 적용하기 위한 효율적인 공정 선택에 도움이 될 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

자동바렐연마기를 이용한 실험에 사용된 시편은 전통적인 방법으로

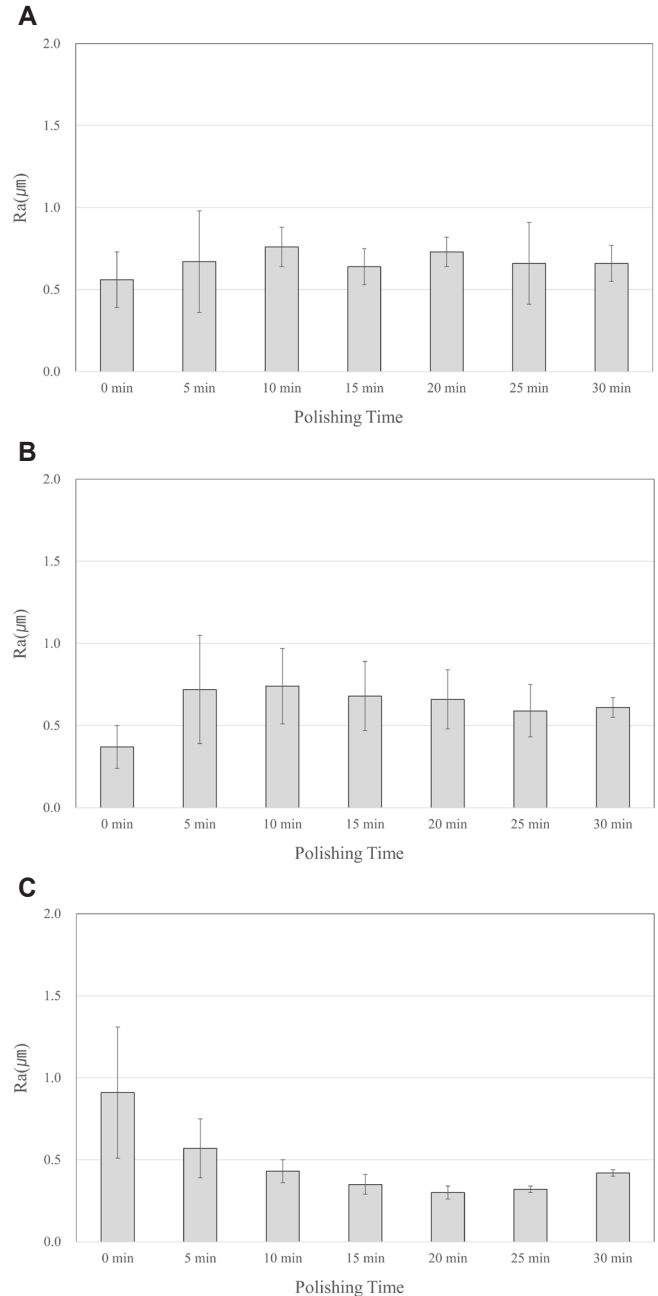


Figure 2. Graph of the result of measuring the surface roughness of the specimens. (A) HC specimens, (B) SC specimens, (C) 3D specimens. HC: heat-cured, SC: self-cured, 3D: three-dimensional.

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

Specimens	Sum of squares	df	Mean square	F	Significant
HC					
Between group	0.248	6	0.041	1.219	0.309
Within group	2.141	63	0.034		
Total	2.389	69			
SC					
Between group	0.960	6	0.160	3.943	0.002*
Within group	2.558	63	0.410		
Total	3.518	69			
3D					
Between group	2.707	6	0.451	15.272	0.001*
Within group	1.861	63	0.030		
Total	4.568	69			

HC: heat-cured, SC: self-cured, 3D: three-dimensional.

*p<0.05.

의치상을 제작하는 열중합레진, 교정장치를 제작하는 자가중합레진, 그리고 3D printing 가공체의 제작에 사용되는 3D printing용 광경화성 레진을 시편의 소재로 선택하였다.

선행연구에서 Won 등[14]은 초기의 거친 표면이 회전하는 연마제에 의해 굽힘 현상이 발생할 수 있다고 하였다. HC 시편과 SC 시편의 표면거칠기를 측정할 결과, 연마 시작 후 10분이 경과했을 때 측정된 Ra 값은 증가하였다. 초기의 거친 표면 일부는 연마에 의해 고도차가 낮아졌으나 연마제에 의한 굽힘 현상이 동시에 발생하여 Ra 값이 높아진 것으로 판단된다. HC 시편의 경우 모든 시편의 표면거칠기를 비교했을 때 대조군의 Ra 값이 평균 $0.56 \pm 0.17 \mu\text{m}$ 으로, 연마 15분 후에 측정된 HC15 시편의 Ra 값의 평균 $0.64 \pm 0.11 \mu\text{m}$ 보다 낮게 나타났다. 표면형상을 관찰한 Fig. 2의 A와 B에서 이미지를 비교해보았을 때 대조군인 HCC 시편과 SCC 시편은 높은 고도차와 거친 표면을 나타내어 높은 Ra 값을 가지고, HC15 시편과 SC 20 시편은 고도차가 낮아지고 전체적으로 균일한 표면을 나타내어 낮은 조도를 가질 것으로 예측하였으나, 결과는 그와 반대되는 결과 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 본 실험에서 표면거칠기를 측정할 때 사용된 Ra 값은 표면 측정물과 직각인 평면으로 절단하여 나타나는 표면거칠기 곡선의 중심선을 정하고, 중심선 양쪽 높이의 절대값의 평균으로 나타낸다. 그러므로 고도차가 높더라도 스크래치의 개수가 적을 경우 낮은 값이 나타나는 한계를 가진다. 따라서 단면곡선에서 가장 높은 곳에서 5번째까지의 평균점과 가장 깊은 곳으로부터 5번째까지의 평균값과의 차이를 측정해내는 Rz 값을 측정하여 비교하면 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3D 시편의 경우 연마 5분 후부터 Ra 값이 크게 감소하였다. 3D 시편의 경우 표면경도가 10.4 Hv로 HC 시편과 SC 시편의 표면경도 19.3 Hv와 18.48 Hv보다 낮은 경도를 가지므로 연마를 시작하였을 때 표면에 타흔이 생기지 않고 표면에 깃들려 연마되어 높은 조도를 가지

게 되는 것으로 사료된다.

Vander [15], Kim 등[16]은 일반적인 방법으로 연마 공정을 시행할 때 연마시간이 증가함에 따라 연마량은 증가하여 표면이 활택해진다고 보고하였다. 그러나 자동바렐연마기를 이용하여 연마 공정을 시행할 때 Lee [13]는 주석의 경우 연마시간을 10분에서 25분 이내로 제한하였고, Won 등[14]은 바렐연마에서 가공시간을 계속하여 증가시키면 연마제가 남긴 굽힘 현상으로 인해 표면 거칠기는 크게 감소하지 않고 일정해진다고 보고하였다. 본 연구에서 연마가 시작된 후에 Ra 값을 측정해 본 결과, HC 시편은 15분, SC 시편은 25분, 3D 시편은 20분이 경과했을 때 가장 낮은 값을 나타냈다. 그리고 그 후 3종의 시편 모두 연마시간이 증가함에 따라 표면의 거칠기는 증가하거나 크게 개선되지 않았다. 따라서 본 실험 결과는 Lee [13]와 Won 등[14]의 연구 결과와 일치하며, 자동바렐연마기를 이용할 때 레진의 종류에 따라 연마시간의 제한이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 일원배치분산분석 결과 HC 시편군에서 유의차가 나타나지 않고(p>0.05), SC 시편군과 3D 시편군에서는 유의차가 나타났다(p<0.05). 실험에 앞서 시편이 중합완료된 상태에서 표면에 전처리 를 하지 않고 실험하였으므로 실험결과에 오차가 컸을 것으로 사료된다. 모든 시편이 같은 변수를 가지도록 제한이 필요할 것이다. 그리고 본 실험에서는 절삭연마의 단계만 시행하였으나 최종 보철물의 완성을 위한 광택연마의 단계까지 시행한 결과를 연구하여 Bollen 등[5]이 제시한 생물학적인 표면거칠기인 0.2 μm 를 충족하는 표면을 가지는 것을 확인한다면 레진 소재의 보철물의 제작에 적용가능성이 높아질 것이다. 본 연구에서는 자동바렐연마기를 이용한 작업공정 시 연마시간의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 관찰하였으나, 바렐의 크기와 종류, 연마제(media)의 종류와 그에 따른 기계적 성질이 미치는 영향, 연마제의 장입량, compound의 종류와 장입량, 물의 장입량, 피가공물과 연마제의 혼합비, 연마시간 및 속도 등과 같은 작업조건은 결과물의 품질에 영향을 미치게 되므로 다양한 연구가 계속 이어져야 할 것이다.

CONCLUSIONS

치과용 자동바렐연마기의 연마시간에 따른 3종 레진의 표면거칠기 변화를 관찰한 결과, HC 시편은 15분, SC 시편은 25분, 3D 시편은 20분이 경과했을 때 가장 낮은 Ra 값이 측정되었으므로 자동바렐연마기를 이용한 레진의 연마시간은 제한이 필요하다는 결론을 내린다.

CONFLICT OF INTERESTS

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

ORCID

An-Na Jung, <https://orcid.org/0000-0003-0283-2081>

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

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

REFERENCES

1. Kuhar M, Funduk N. Effects of polishing techniques on the surface roughness of acrylic denture base resins. *J Prosthet Dent.* 2005;93:76-85.
2. Jo JK. Mechanical properties by resin injection method of orthodontic acrylic resin. *J Digit Converg.* 2020;18:341-346.
3. Chen H, Wang B, Gao D, Guan M, Zheng L, Ouyang H, et al. Broad-spectrum antibacterial activity of carbon nanotubes to human gut bacteria. *Small.* 2013;9:2735-2746.
4. Morimune S, Nishino T, Goto T. Ecological approach to graphene oxide reinforced poly (methyl methacrylate) nanocomposites. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2012;4:3596-3601.
5. 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.
6. Gungor H, Gundogdu M, Yesil Duymus Z. Investigation of the effect of different polishing techniques on the surface roughness of denture base and repair materials. *J Prosthet Dent.* 2014;112:1271-1277.
7. Lee JR, Jeong CH, Choi JH, Hwang JW, Lee DH. The effects of polishing technique and brushing on the surface roughness of acrylic resin. *J Korean Acad Prosthodont.* 2010;48:287-293.
8. Berger JC, Driscoll CF, Romberg E, Luo Q, Thompson G. Surface roughness of denture base acrylic resins after processing and after polishing. *J Prosthodont.* 2006;15:180-186.
9. Al-Kheraif AA. The effect of mechanical and chemical polishing techniques on the surface roughness of heat-polymerized and visible light-polymerized acrylic denture base resins. *Saudi Dent J.* 2014;26:56-62.
10. Hwang SS, Im YW, Kim SC, Han MS. Evaluation of surface roughness of heat-polymerized denture base resin according to the polishing step. *J Korean Acad Dent Technol.* 2015;37:205-212.
11. Loney RW, Moulding MB, Hacker CH, Ritsco RG. Finishing and polishing of a poly (fluoroalkoxyphosphazene) resilient denture liner. *Int J Prosthodont.* 1994;7:362-367.
12. 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, 2020.
13. Lee JS. A study on the Barrel finishing process selection [master's thesis]. Korea Polytechnic University, 2010.
14. Won JH, Oh RT, Kim JH, Kim WK. A study on the centrifugal barrel finishing of 3 dimensional form face (1). *JKSPE.* 1998;11:31-35.
15. Vander Voort GF *Metallography: principles and practice.* Materials Park (OH): ASM International, 1999. p. 119-164, 562-598.
16. 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.