

2종류의 버와 3종류의 버를 이용해 제작된 크라운 보철물의 정밀도 평가

김충명, 전진훈, 이재준, 김지환, 김웅철
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Precision evaluation of crown prosthesis manufactured by two bur and three bur

Chong-Myeong Kim, Jin-Hun Jeon, Jae-jun Lee Ji-Hwan Kim, Woong-Chul Kim
Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to assess precision of crown prostheses that were fabricated by using 2 kinds of bur or 3 kinds of bur.

Methods: The crowns were fabricated by using the first molar of the right maxillary in this study. The abutments that were prepared were scanned by using a scanner and designed by using CAD software. Based on the crown design, NC data were created with CAM software. The created NC data were used while fabricating the crown prostheses by using 5-axis milling machine. Scanning was done for the internal and external surface of the completed crown prostheses and 3-dimensional measurement was conducted for precision assessment.

Results: The RMS \pm SD value for the external surface of the crown prostheses that was fabricated by using two burs and three burs were $28.5 \pm 4.1 \mu\text{m}$ and $19.1 \pm 2.8 \mu\text{m}$, respectively; and the value for two burs were bigger than that for three burs with statistical significance ($p < 0.001$). The RMS \pm SD value for the internal surface of the crown prostheses that was fabricated by using two burs and three burs were $14.9 \pm 1.9 \mu\text{m}$ and $13.3 \pm 2.5 \mu\text{m}$, respectively; and the value for two burs were bigger than that for three burs but with no statistical significance.

Conclusion: Based on this study, the prostheses that were fabricated by using 3 bur presented better stability compared to those that were fabricated by using 2 bur and statistically significant difference was found only in the external surface.

○Key words : Dental CAD/CAM systems; Milling bur; Milling machine; Precision; Three-dimensional evaluation; 5-axis milling

교신저자	성명	김 웅 철	전화	010-8257-8592	E-mail	kuc2842@korea.ac.kr	
	주소	서울 성북구 안암로 145 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공					
접수일	2015. 12. 30		수정일	2016. 4. 9		확정일	2016. 6. 3

I. 서 론

과거에는 크라운 보철물을 제작하기 위해 lost wax technique을 주로 사용했다. Lost wax technique은 작업 모형을 제작하고, 왁스조각, 매몰, 소환, 주조과정을 거쳐 크라운 보철물을 제작하게 된다(Al Wazzan & Al-Nazzawi, 2007). 하지만 lost wax technique은 작업 모형을 제작할 때 생기는 오차, 왁스를 조각할 때 생기는 오차, 매몰 소환 및 주조과정을 거치면서 생기는 오차 등이 다양하게 포함되어 있어서 발생하는 오차를 통제하기 어렵다(Kim KB et al, 2014; Kim KB et al, 2013). 이러한 문제를 해결하고 일률적인 크라운 보철물을 제작하기 위해, 현재에는 치과 캐드캠을 이용해 보철물을 제작하고 있다. 치과 캐드캠은 스캐너, 캐드 디자인 프로그램, 캠 프로그램, 절삭가공 장비로 구성되어 있고 치과 캐드캠 시스템 장비들은 보철물 제작 공정의 단순화를 주도하고 있다(Penate et al, 2015; Ng et al, 2014; Fasbinder, 2013; Tinschert et al, 2004). 따라서 lost wax technique에서 생기는 복잡한 과정에서의 오차를 통제할 수 있고, 일률적인 보철물 제작이 가능해졌다(Bidra et al, 2013; XB et al, 2013; Moldovan et al, 2011; Miyazaki et al, 2009; Beuer et al, 2008).

치과 캐드캠은 주로 밀링 가공을 이용해 크라운 보철물을 제작하고 있다. 밀링 가공은 황삭(Rough machining), 중삭(Semi-rough machining), 정삭(Finish machining) 과정을 거쳐서 가공을 한다(Kim DH et al 1998). 치과 캐드캠 밀링 가공에서는 황삭은 ϕ 2 mm, 중삭은 ϕ 1 mm, 정삭은 ϕ 0.6 mm의 볼 엔드밀 버(Ball-end mill bur)를 사용하고 있으며, 크라운 보철물의 형태와 상황에 따라서 황삭, 중삭에 ϕ 2 mm, 정삭에 ϕ 1 mm의 볼 엔드밀 버로 크라운 보철물을 제작하고 있다. 하지만 3종류의 버를 이용해 크라운 보철물을 제작하면, 2종류의 버를 이용해 크라운 보철물을 제작하는 방법보다 툴 패스의 계산 시간이 늘어나고, 밀링 가공 시간이 오래 걸리며, 추가적인 공구의 비용이 소모되는 단점이 있다(Bosch et al, 2014).

따라서 본 연구의 목적은 3종류의 버로 제작한 크라운 보철물과 2종류의 버로 제작한 크라운 보철물의 정밀도를 3차원으로 비교하여 오차가 발생하는 부분을 평가하

는 것이다. 본 연구의 귀무가설은 3종류의 버로 제작한 크라운 보철물과 2종류의 버로 제작한 크라운 보철물의 정밀도는 차이가 없다는 것이다.

II. 연구 방법

1. 시편 제작 및 스캔 데이터 획득

본 연구에서는 크라운 보철물 제작을 위해 상악 우측 제 1대구치 지대치(AG-3 ZPVK, Frasco GmbH, Tettngang, Germany)를 준비했다. 지대치는 개인 트레이와 고무 인상재(Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany)를 이용해 인상 채득을 실시 하였고, 채득 된 인상체에 Type IV 경석고(GC Fujirock EP, GC Corp, Leuven, Belgium)를 부어서 석고 지대치를 제작 하였다. 석고 지대치는 치과용 블루 라이트 스캐너(Identica[®] BLUE, Medit, Seoul, Korea)로 스캔하여 스캔 데이터를 얻었다.

2. 크라운 디자인 및 밀링

석고 지대치 스캔 데이터를 이용해 치과용 캐드 소프트웨어(Dent CAD, Delcamplc., Birmingham, UK)로 크라운 보철물 형상을 디자인 하였고, 치경부 변연의 위치는 컴퓨터가 자동으로 계산된 위치로 설정하였다. 크라운 보철물의 형태는 수정하지 않고 자동으로 디자인된 형상으로 저장하였다. 크라운 보철물 디자인이 완성된 캐드 파일은 치과용 캠 소프트웨어(GO2dental, GO2cam International, Terreaux, Lyon, France)를 이용해 툴 패스를 계산하였다. 툴 패스를 계산할 때 3종류의 버를 사용하는 툴 패스(Pmma_crown_5XP(2-1-0.6))와 2종류의 버를 사용하는 툴 패스(Pmma_crown_5XP(2-1))를 계산하였고, 툴 패스 계산이 끝난 후 각각 NC(Numerical Control, 수치제어)데이터로 저장하였다. 저장된 NC 데이터 파일을 이용해 5축 밀링 장비(DWX-50, Roland DG Corporation, Shizuoka, Japan)로 크라운 보철물을 각각 5개씩 제작하였다. 밀링 가공에 사용된 공구는 볼 엔드밀 형태이며(Fig. 1), 크라운 보철물 제작에는 우레탄 블럭(innoBlanc[®] model, innoBlanc GmbH, Gewerbepark,

Engelsbrand)을 이용했으며, 제작된 순서에 따라 번호를 부여하였다.

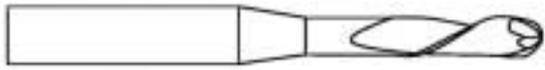


Fig. 1. Schematic of the ball-end mill bur used in this study

3. 3차원 측정

우레탄 블록으로 제작된 크라운 보철물은 치과용 블루라이트 스캐너를 이용해 크라운 보철물의 외면(Outer)과 크라운 보철물의 내면(Inner)을 스캔 하였다. 스캔 된 데이터에서 불필요한 부분을 3차원 평가 프로그램(Geomagic Verify 2015; Geomagic GmbH, Leipzig, Germany)으로 제거하였다. 데이터의 수정이 끝난 후 1번 크라운을 기준으로 2번부터 5번 크라운까지 중첩시켰고, 2번 크라운을 기준으로 3번부터 5번 크라운까지 중첩, 3번 크라운을 기준으로 4번, 5번 크라운을 중첩했으며, 4번 크라운을 기준으로 5번 크라운을 중첩시켜 정밀도를 평가하였다(각 n=10)(Fig. 2, 3). 이러한 방법으로 얻어진 데이터는 root mean square (RMS)와 standard deviation (SD) 값으로 산출하였고, 2종류의 버로 제작된 보철물 그룹은 Two bur로, 3종류의 버로 제작된 보철물 그룹은 Three bur로 명명하였다.

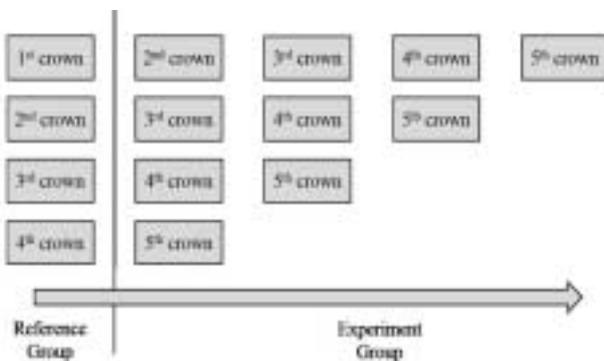


Fig. 2. Experimental methods for the precision evaluation

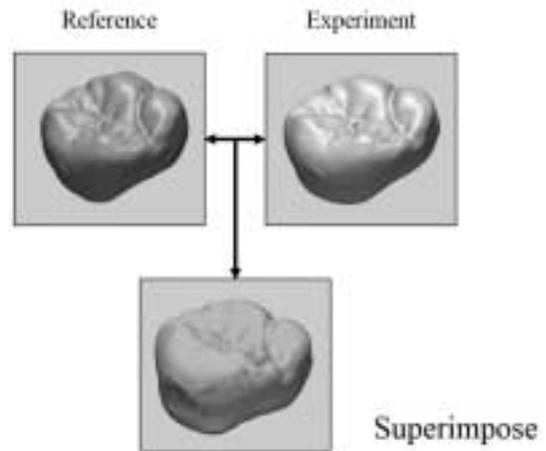


Fig. 3. Three-dimensional measurement

정밀도를 확인하기 위해서는 RMS(Root Mean Square, 평균 제곱근 편차)를 사용 하였는데, RMS는 양의 값과 음의 값이 공존하는 측정값에서 주로 사용되는 평균 값으로 다음의 계산식을 따른다(Schaefer et al, 2012).

$$RMS = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i})^2}}{\sqrt{n}}$$

n은 총 시편의 개수이며, $X_{1,i}$ 는 대조군의 측정점(measuring point), $X_{2,i}$ 는 실험군의 측정점이다. 본 연구에서는 RMS 값을 이용하여 오차를 평가하였는데, ISO 12836에 의해서 RMS 값이 낮을수록 정밀도가 우수한 것으로 간주하였다(ISO 12836, 2012).

4. 통계분석

Two bur와 Three bur를 이용해 5축 밀링 장비로 제작된 크라운 보철물의 외면과 내면의 정밀도 값이 유의한 차이가 있는지 평가 하기 위해 통계 소프트웨어(IBM SPSS Statistics 22; IBM SPSS Inc., USA)를 이용하여 독립표본 T-test를 시행하였다. 본 논문에서는 통계적 유의한 차이는 유의수준 0.05를 기준으로 판단하였다.

III. 결 과

정량적 분석을 통해 Two bur와 Three bur그룹의 외면 정밀도를 평가한 결과 Two bur 그룹의 외면 RMS±SD 값은 28.5±4.1 μm이며, Three bur 그룹의 외면 RMS±SD 값은 19.0±2.8 μm이었다. 두 그룹 사이의 RMS 값의 유의성을 확인하기 위한 독립표본 T-Test를 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.001). 또한 Two bur와 Three bur 그룹의 내면 정밀도를 평가한 결과 Two bur의 내면 RMS±SD 값은 14.9±1.9 μm이며, Three bur의 내면 RMS±SD 값은 13.3±2.5 μm이었다. 두 그룹 사이의 RMS 값의 유의성을 확인하기 위한 독립표본 T-Test를 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, Three bur의 내면 값이 더 안정적인 결과값을 확인할 수 있었다(p>0.05)(Table 1).

Table 1. RMS±SD values of prosthesis each part manufactured by Two bur and Three bur (Unit: μm)

	Two bur	Three bur
	RMS±SD	RMS±SD
Outer	28.5±4.1	19.0±2.8*
Inner	14.9±1.9	13.3±2.5

*Asterisk shows significant difference (P,05)

정성적 분석을 위해 color-difference map을 살펴 보았다. Color-difference map에서 빨간색으로 갈수록 기준에 비해 양의 차이를 나타내고 있으며, 파란색으로 갈수록 기준에 비해 음의 차이를 나타내고 있다. 크라운 보철물의 외면 스캔 데이터 비교를 살펴보면 Two bur 그룹의 외면은 주로 풍용부 아래 언더컷 부분에서 차이를 보이고 있었으며, 전체적으로 음의 차이를 보이고 있으며, Three bur그룹의 외면은 주로 풍용부 부근에서 양과 음의 차이가 공존했지만, 전체적으로 보통의 오차를 보이고 있었다. 또한 크라운 보철물의 내면 스캔 데이터 비교를 살펴보면 Two bur 그룹의 내면은 우각 부위에서 오차가 발생하지만 전체적으로 보통의 오차를 보이고 있으며, Three bur 그룹의 내면은 전체적으로 보통의 오차를 보이고 있다(Fig 4).



Fig. 4. Color difference map of the three-dimensional measurement results

IV. 고 찰

본 연구에서는 2종류의 버와 3종류의 버를 이용해 5축 밀링 장비로 상악 우측 제 1대구치 크라운 보철물의 정밀도를 3차원을 이용해 분석, 평가하였다. 본 연구 결과에 따르면 2종류의 버로 제작된 크라운 보철물의 외면이 3종류의 버로 제작된 크라운 보철물의 외면에 비해 정밀도가 낮아 통계적으로 유의한 차이가 발생한 것을 확인할 수 있다(p<0.001). 정성적 분석을 살펴 볼 때 2종류의 버로 제작된 크라운 보철물의 풍용 부위에서 붉은 색의 양의 오차가 발생하는데, 그 결과 정량적 분석의 결과 값에서 Two bur가 Three bur 보다 정밀도 값이 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 크라운 보철물의 내면 값의 정성적 분석을 살펴 보면 비슷한 양상의 color-difference map을 보이고 있으며, 정량적 분석의 결과 값도 비슷한 것을 확인할 수 있다. 따라서, 3종류의 버를 이용해 크라운 보철물을 제작하게 되면, 최종 밀링 가공까지 3종류의 버를 교체하게 되면서 형상의 정밀도가 높은 것을 확인할 수 있다. 하지만 3종류의 버를 사용하게 되면 tool path 계산 시간의 증가, 버의 소모에 따른 교체 비용 증가, 밀링 가공 시간의 증가 등의 단점이 존재 한다. 2종류의 버를 사용하게 되면 3종류의 버를 사용할 때와는 반대로 tool path 시간의 감소, 버의 소모에 따른 교체 비용의 감소, 밀링 가공시간의 감소 등의 장점이 있지만, 본 연구에 결과에서 보여지듯이 정밀한 형태를 재현하기에는 어려움

이 존재한다. 그럼에도 불구하고 크라운 보철물의 외면에 비해 단순한 형태인 내면 정밀도를 평가한 결과는 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있지 않기 때문에, 크라운의 외형이 단순한 코핑과 같은 보철물을 밀링 가공으로 제작할 때에는 시간과 가격적인 측면에서 2종류의 버를 이용해 제작하는 것이 제작 시간과 제작 비용을 감소 시키는 효과를 볼 수 있다.

본 실험의 평가를 위해 사용한 3차원 분석방법은 2차원 분석방법의 한계점을 극복하고 3차원적으로 평가할 수 있는 방법으로, 최근 논문 등에서 많이 소개 되고 있다 (Bosch et al, 2014; Schaefer et al, 2012; Persson et al 2008; Persson et al 2006; Luthardt et al, 2004). 2차원 분석방법은 직접법으로 관찰 하거나, 시편을 절단해서 그 단면을 관찰하는 방법으로 주로 사용된다. 이러한 방법은 시편의 손상을 야기할 수 있고, 손상에 의한 시편의 데이터 값을 잃을 수도 있다. 하지만 본 연구에서 사용된 3차원 분석 방법은 시편의 손상을 막고 전체적으로 발생하는 오차를 분석할 수 있으며, 또한 2차원 분석으로 평가하기 어려운 외면도 평가할 수 있는 장점이 있다.

한편, 상악 제1대구치는 둥글고, 표면이 넓으며, 구와 교두가 많아서 캐드캠 평가로 많이 사용되었다 (Moldovan et al, 2011; Quaas et al, 2007). 하지만, 공구의 개수에 따라 제작 크라운 보철물의 정밀도를 평가한 연구는 별로 없다. 따라서 공구의 종류에 따라 제작된 크라운 보철물의 정밀도 평가는 의미가 있으며, 본 연구에 사용된 5축 밀링 장비는 복잡한 형상을 가공하기에 적합하고 언더컷의 밀링도 가능하기 때문에 사용하였다.

크라운 보철물을 제작하기 위해 사용된 폴리 우레탄 블록은 mock-up과 절삭가공 장비의 테스트를 위한 재료로 많이 사용되고 있다. 본 재료는 디자인 형상과 동일한 크기로 밀링을 할 수 있고, 재료의 표면 거칠기도 우수하며, 스캔을 위한 이상적인 색으로 이루어져 있어 3차원 형상을 평가하기에 적합한 재료로 알려져 있다(Kim JH et al, 2014).

5축 밀링 장비로 보철물을 제작하게 되면 밀링 시 장비에서 발생하는 열이나, 축에서 발생하는 마찰, 공구의 흔들림 등의 다양한 요소에 의해 오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 오차는 제외하고 단순히 공구의 종류

에 따른 오차만 측정하였다. 또한 본 연구를 위해 사용된 지대치는 표준치형이기는 하지만 환자의 임상적인 상태를 대변할 수는 없다. 따라서 차후 연구에서는 밀링 장비에서 발생하는 오차와 임상적인 치형을 이용한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 2종류의 공구로 제작한 보철물과 3종류의 공구로 제작한 보철물의 정밀도를 3차원으로 비교하여 오차가 발생하는 부분을 평가하는 것이다. 실험 결과 Three bur가 Two bur에 비해 크라운 보철물을 정밀하게 제작하였으며, 크라운 보철물 외면에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 하지만 임상적으로 큰 차이를 보였다고 할 수 없기 때문에, 제작되는 보철물의 종류나 형태에 따라서 적절한 조건을 이용해 밀링 가공하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Al Wazzan, KA, Al-Nazzawi A A. Marginal and internal adaptation of commercially pure titanium and titanium-aluminum-vanadium alloy cast restorations. *J Contemp Dent Pract*, 8(1), 19-26, 2007.
- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British dental journal*, 204(9), 505-511, 2008.
- Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent*, 109(6), 361-366, 2013.
- Bosch G, Ender A, Mehl A. A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM

- milling processes. *J Prosthet Dent*, 112(6), 1425–1431, 2014.
- Fasbinder DJ. Computerized technology for restorative dentistry. *Am J Dent*, 26(3), 115–120, 2013.
- International Organization for Standardization. ISO-12836:2015: Dentistry -- Digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations -- Test methods for assessing accuracy. International Organization for Standardization, Geneva: Switzerland; 2012. Available at: <http://www.iso.org/iso/store.htm>.
- Kim DH, Kim BH, Pyoun YS, Choi BK. Structured modeling of sculptured surface machining process. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers* 3(3), 192–200 (1998).
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim HY, Kim JH. Evaluation of the marginal and internal gap of metal-ceramic crown fabricated with a selective laser sintering technology: two- and three-dimensional replica techniques. *J Adv Prosthodont*, 5(2), 179–186, 2013.
- Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J prosthet Dent*, 112(6), 1432–1436, 2014.
- Luthardt RG, Bornemann G, Lemelson S, Walter MH, Huls A. An innovative method for evaluation of the 3-D internal fit of CAD/CAM crowns fabricated after direct optical versus indirect laser scan digitizing. *Int J Prosthodont*, 17(6), 680–685, 2004.
- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J prosthet Dent*, 112(3), 555–560, 2014.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*, 28(1), 44–56, 2009.
- Moldovan O, Luthardt RG, Corcodel N, Rudolph H. Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings. *Dent Mater*, 27(12), 1273–1278, 2011.
- Penate L, Basilio J, Roig M, Mercad? M. Comparative study of interim materials for direct fixed dental prostheses and their fabrication with CAD/CAM technique. *J Prosthet Dent*, 114(2), 248–253, 2015.
- Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent*, 95(3), 194–200, 2006.
- Persson A, Andersson M, Odén A, Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dent Mater* 24(8), 1123–1130, 2008.
- Quaas S, Rudolph H, Luthardt RG. Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/restorations. *J Dent* 35(12), 903–908, 2007.
- Schaefer O, Watts DC, Sigusch BW, Kuepper H, Guentsch A. Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate partial crowns in vitro: a three-dimensional analysis of accuracy and reproducibility. *Dent Mater*, 28(3), 320–326, 2012.
- Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, Spiekermann H. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent* 7(1), 25–45, 2004.
- XB Lei, F Xie, JW Zhao. Design of a 5-Axis CNC Machine Tool Applied to Dental Restoration. *Key Engineering Materials*, 568, 75–80, 2013.