

5축 밀링으로 가공한 PMMA 3본 브릿지의 내면 적합도 평가

김충명, 김재홍*, 김지환, 김웅철

고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공, 경동대학교 치기공학과*

Evaluation of internal adaptation of PMMA 3-unit bridge manufactured by 5-axis milling machine

Chong-Myeong Kim, Jae-Hong Kim*, Ji-Hwan Kim, Woong-Chul Kim

Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University
Department of Dental Technology, Medical campus, KyungDong University*

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to assess the internal fitness of the PMMA 3-unit bridge that was fabricated with 5-axis milling machine and to verify the clinically allowable values.

Methods: For fabrication of the crown bridge in this study, 25-27 abutment teeth were used. The prepare abutment teeth were scanned with a scanner and 3-unit bridge was designed by using design software. Upon the completion of the design, the 3-unit bridge was fabricated by using a PMMA block with 5-axis milling machine. The internal surface of the fabricated 3-unit bridge was scanned by using a scanner and the difference between the 3-unit bridge and the abutment teeth was assessed by merging them together.

Results: RMS \pm SD values for PRE group, MOL group, and BRI group were 51.2 ± 18.2 , 44.8 ± 10.0 , and $52.1 \pm 8.3 \mu\text{m}$, respectively. The mean of the PRE group was bigger than that of the MOL and BRI group; however, statistically significant difference was not found ($p > 0.05$).

Conclusion: The PMMA 3-unit bridge that was fabricated with 5-axis milling machine presented stable internal values for each crown and overall internal values were within the range of clinically allowable values.

○ **Key words :** Dental CAD/CAM; Internal adaptation; Provisional crown; Subtractive method; Three-dimensional; 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	2016. 1. 15		수정일	2016. 4. 5		확정일	2016. 6. 3

I. 서 론

성공적인 최종 보철물 제작을 위해서는 임시보철물의 역할이 매우 중요하다(Ehrenberg et al., 2006; Strassler, 2009). 임시보철물은 최종 보철물이 환자의 구강 내에 장착되기 전까지 삭제된 치아의 상태를 보존하고 삭제 전의 구강상태를 유지시켜 주기 때문에 불편감도 감소시킬 수 있다. 또한 치료 중인 치아에 임시로 장착되어 심미성을 향상 시켜줄 수도 있으며, 치아 주변의 연조직을 물리적, 화학적으로 보호하며, 치아의 불필요한 움직임도 막아준다(Burns et al., 2003; Yao et al., 2014; Karaokutan et al., 2015).

최근에 치과 CAD/CAM 시스템으로 보철물을 제작하는 방법이 증가하고 있으며, 이에 따라 임시보철물의 제작도 치과 CAD/CAM 시스템으로 제작하게 되면서 매우 중요하게 여겨지고 있다. 특히 치과 CAD/CAM 시스템은 모형 제작, 스캔, 디자인, 밀링 가공의 과정을 거쳐 보철물을 제작하게 되면서, 보철물 제작 시 소모되는 시간도 짧아졌으며, 보철물 제작에 필요한 비용도 절감된다. 또한 높은 반복재현성을 보여주고 있어, 정확한 보철물의 제작이 가능하다. 따라서 임시보철물도 치과 CAD/CAM 시스템으로 제작하는 방법이 사용되고 있다.

성공적인 보철치료를 위해 치과 CAD/CAM 시스템을 이용해 임시보철물의 제작도 중요하지만, 가장 중요한 것은 내면 적합도이다. 왜냐하면 CAD/CAM 방식을 이용한 밀링 가공은 절삭을 통해 제작되기 때문에 내면 적합도에 가장 큰 영향을 주게 된다. 내면 적합도가 적절하지 못하면 저작압에 의해 보철물이 손상을 입게 되고 나아가 파절까지 일으킬 수 있다(Colpani et al., 2013). 하지만 치과 CAD/CAM 시스템의 발달로 반복재현성이 높은 보철물을 제작할 수 있게 되면서 치과 CAD/CAM 시스템으로 제작한 임시보철물의 활용이 더 높아지고 있으며, 일률적인 내면을 가진 보철물의 제작이 가능해지고 있다. 하지만 치과 CAD/CAM 시스템 중 밀링 가공을 이용해 제작된 임시보철물의 내면 적합도에 관련된 연구가 적은 실정이다.

치과 CAD/CAM 시스템으로 제작된 임시보철물의 내면 적합도를 측정하기 위해서는 3차원 평가가 필요하다. 최

근 발표되는 연구에서는 3차원을 이용해 평가하면 치아의 불규칙한 형태를 정확히 측정할 수 있고, 이를 수치화 및 그림으로 표현한 연구들이 존재한다(Ki-baek Kim et al., 2014; Schaefer et al., 2012; Schaefer et al., 2013). 3차원을 이용하면 다수의 측정점을 통해 평가되기 때문에 정확한 데이터 값을 얻을 수 있고, 컬러맵을 통해 시각적으로 보여지기 때문에 오차가 발생하는 부분을 알아볼 수 있다(Moldovan et al., 2011; Schaefer et al., 2012). 또한 측정과정에서 시편의 손상이 없기 때문에 데이터가 손실되는 문제가 없다(Keshvad et al., 2011; Persson et al., 2006; Schaefer et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지의 소구치 및 대구치의 내면 적합도를 3차원적으로 평가하여 임상적 허용수치를 입증하는 것이 목적이다.

II. 연구 방법

1. 시대치 제작 및 스캔

본 연구에서는 3본 브릿지 제작을 위해 상악 좌측 제2 소구치와 제2대구치(AG-3 ZPVK, Frasco GmbH, Tettngang, Germany)를 시대치로 사용하였다. 준비된 시대치의 인상채득을 위해 개인트레이와 인상재(Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany)를 이용했으며, 채득된 인상체에 Type IV 경석고(GC Fujirock EP, GC Corp, Leuven, Belgium)를 부어서 시대치 모형을 제작하였다(Fig. 1). 제작된 3본 브릿지는 치과용 블루 라이트 스캐너(Identica® BLUE, Medit, Seoul, Korea)를 이용해서 스캔을 실시 하였다.



Fig. 1. The 3-unit bridge abutments gypsum model used in this study

2. 디자인 및 밀링

스캔이 완료된 스캔 데이터는 치과용 캐드 프로그램 (Dent CAD, Delcampl., Birmingham, UK)을 이용해 3본 브릿지 크라운을 디자인 하였으며, 각 지대치의 언더컷의 값은 소구치는 97.2%, 대구치는 100%로 설정하였다(Fig. 2). 디자인된 파일을 이용해 치과용 캠 소프트웨어(GO2dental, GO2cam International, Terreaux, Lyon, France)로 툴 패스를 계산하였다. 툴 패스 계산이 끝나고 NC data를 생성한 후 5축 밀링 장비(DWX-50, Roland DG Corporation, Shizuoka, Japan)로 3본 브릿지 크라운을 11개 밀링하여 제작하였다. 시편 제작은 PMMA 블록(VIPI block monocolour, Dental VIPI Ltda, Sao Paulo, Brazil)을 이용해 제작하였으며, 밀링 전 밀링 장비의 calibration을 실시하여 밀링 오차를 최소한으로 줄였다.

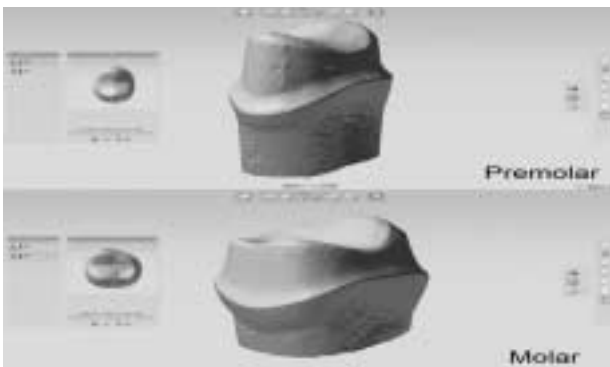


Fig. 2. The amount of undercut in each abutment tooth

3. 3차원 측정

제작이 완료된 3본 브릿지의 내면을 치과용 블루라이트 스캐너로 스캔하였다. 스캔된 데이터의 불필요한 부분은 삭제하여 저장하였다(Fig. 3). 실험을 위한 대조군은 처음 스캔했던 석고 지대치 스캔 데이터로 지정하였으며, 나머지 실험군은 밀링으로 제작된 3본 브릿지의 내면으로 지정하였다. 실험군 스캔 데이터는 matching-software (CopyCAD7.350 SP3, Delcampl., Birmingham, UK)를 이용해 각각의 STL 파일(Stereolithography file)들을 ASCII 파일(American Standard Code for information interchange file)로 변환시켰다. 그 다음 inspection-software(PowerINSPECT 2012, Delcampl., Birmingham, UK)를 이용해서 석고의 스

캔데이터와 3본 브릿지의 ASCII 데이터를 중첩시켜 그 차이를 산출하였다. 산출된 소구치 부분의 데이터를 따로 추출한 후, 석고 지대치와 다시 중첩시켜 그 차이를 산출하였다. 대구치 부분의 데이터도 따로 추출한 후, 석고 지대치와 중첩시켜 그 차이를 산출 하였다. 이때 각 그룹의 명칭은 소구치는 PRE, 대구치는 MOL, 브릿지는 BRI로 명명하였다.

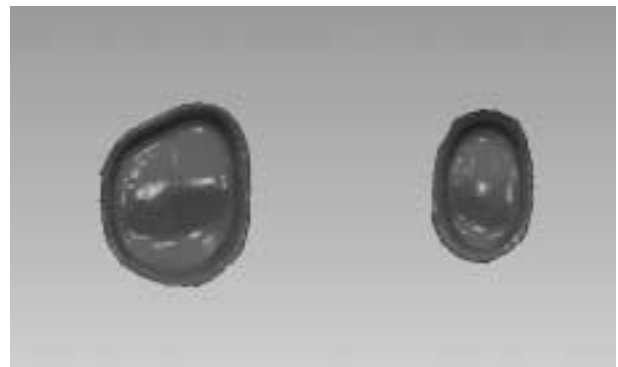


Fig. 3. The internal scan data of PMMA 3-unit Bridge

4. 통계분석

PRE, MOL, 그리고 BRI의 RMS값이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 평가하기 위해 통계소프트웨어를 이용해서 일원배치분산분석(1-way ANOVA)를 실시하였으며, 각 시편 사이의 통계적 유의성 검증을 위해 Tukey 다중범위검정(Tukey-HSD test)를 실시하였다. 본 논문에서는 통계적 유의한 차이는 유의수준 0.05를 기준으로 검정하였다.

III. 결 과

5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지의 내면 적합도를 정량적 분석으로 평가한 결과, PRE 그룹은 $52.2 \pm 18.2 \mu\text{m}$ 이고, MOL 그룹은 $44.8 \pm 10.0 \mu\text{m}$ 이며, BRI 그룹은 $52.3 \pm 8.3 \mu\text{m}$ 이다. PMMA 3본 브릿지의 적합도는 MOL, PREE 그리고 BRI 순서로 작게 나타났지만, 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았다($P > .05$)(Table 1).

5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지의 내면 적합도를 정성적으로 평가한 결과, PRE 그룹은 근심면 부분

Table 1. RMS±SD values comparison of PRE, MOL, and BRI (Unit: μm)

Group	n	RMS±SD	p
PRE		52.2±18.2	
MOL	11	44.8±10.0	.337
BRI		52.3±8.3	

에서 붉은 색의 positive error가 발생했으며, 원심면 부분에서는 변연 부위에서 negative error가 발생하였다. 또한 MOL 그룹은 협면, 원심면 그리고 설면에서 positive error가 발생했으며, 원심 우각 부위에서도 positive error가 발생하였다. 하지만 근심면 부분의 변연 부분에서는 negative error가 발생한 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 4).



Fig. 4. The three dimensional color difference map of the PMMA 3-unit bridge fabricated with 5-axis milling machine

IV. 고 찰

5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지의 임상적 허용 여부를 판단하기 위해 내면 적합도가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지의 내면 적합도 평가를 실시하였다. 내면 적합도 평가를 위해 3차원 분석을 실시 했으며, 3차원 분석을 통해 오차가 발생하는 부분을 확인할 수 있었다. 기존의 연구결과에 따르면 임상적으로 허용 가능한 내면 적합도의 값은 70 μm라고 이야기 하고 있으며(Colpani et al., 2013), 본

연구 결과 PRE 그룹, MOL 그룹, 그리고 BRI 그룹 모두 70 μm 이하로 임상적으로 허용 가능하다. 하지만 통계적으로 유의한 차이는 발생하지 않았기 때문에 귀무가설은 기각되지 않았다(P>.05).

정석적 분석을 살펴보면 PRE 그룹과 MOL 그룹의 근심면, 원심면 등 축의 방향에서 붉은색의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 절삭가공은 주로 볼 엔드밀을 이용해 밀링을 실시하게 된다. 하지만 볼 엔드밀은 절삭의 각도에 따라 절삭되는 양이 달라지게 된다. 본 연구에서 PRE 그룹과 MOL 그룹의 절삭각은 90도에 가깝기 때문에 볼 엔드밀에 의한 절삭량도 최대한 작용하게 된다(Ki-Joung Sim et al., 2004; Seung Doo et al., 2001). 따라서 PRE 그룹과 MOL 그룹에서 발생하는 축 부분의 positive error가 증가할 수밖에 없다. 하지만 PRE 그룹의 원심면과 MOL 그룹의 근심면에서는 초록색으로 오차가 거의 발생하지 않았는데, 이러한 이유는 PRE 그룹의 근심면과 MOL 그룹의 원심면에 비해 축의 각도가 크지 않아 절삭량이 크지 않았기 때문에 큰 오차가 발생하지 않은 것으로 추정된다.

임시보철물 제작을 위해 사용되는 재료는 주로 PMMA(Polymethyl methacrylate)로 높은 강도 때문에 가장 유용하게 사용되고 있다. 기존의 PMMA 재료는 분말과 액체의 혼합으로 제작하였다(Karaokutan et al., 2015). 하지만 기존의 방법으로 혼합하게 되면 중합 후 수축과, 미 중합 단량체에 의해 인체에 해로운 영향을 주며, 구강 내 다양한 환경의 변화에 의해 임시보철물 내부의 적합도가 변한다고 보고되고 있다. 하지만 치과 CAD/CAM 전용으로 제작된 PMMA 블록은 공장에서 미리 중합시켜 출시되기 때문에 재료 표면의 다공성을 방지하고, 기계적인 특성을 증가시켜 줄뿐만 아니라, 구강 내 환경에서의 적응력도 향상 되었다(Nejatidanesh et al., 2006; Yao et al., 2014).

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 존재한다. 먼저 사용된 지대치 시편은 표준 형태의 지대치 이기 때문에 환자의 임상적인 상태를 대변할 수는 없다. 하지만 표준 형태이기 때문에 다양한 방면으로 적용 가능할 수 있다는 장점이 있다. 또한 밀링 장비의 기하학적 구조에 의해 발생하는 운동학적 오류와, 밀링 버의 회전력에 의해 재료 표면

에 발생하는 마찰열 등은 고려하지 않았다. 따라서 향후 연구에서는 밀링 장비로 제작 보철물의 오차 측정을 위해 임상에 가까운 지대치를 이용하고, 밀링 장비에서 발생하는 다양한 오차들을 고려한 평가가 이루어 졌으면 한다.

V. 결 론

본 연구는 5축 밀링으로 제작한 PMMA 3본 브릿지 내면 적합도의 임상적 허용 가능한 수치를 평가하기 위해 진행하였으며, 본 연구 결과에 따르면 PRE, MOL, 그리고 BRI 그룹에서 임상적으로 허용 가능한 수치 이하의 내면 적합도를 보였기 때문에 5축 밀링으로 임시 보철물 제작이 가능하다는 것을 확인하였다.

REFERENCES

- Burns DR, Beck DA, Nelson SK. Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 90(5), 474-497, 2003.
- Colpani, J. T., Borba, M., & Della Bona, A. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings. *Dental Materials*, 29(2), 174-180, 2013.
- Ehrenberg D, Weiner G, Weiner S. Long-term effects of storage and thermal cycling on the marginal adaptation of provisional resin crowns: a pilot study. *J Prosthet Dent*, 95(3), 230-236, 2006.
- Karaokutan I, Sayin G, kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont*, 7(1), 27-31, 2015.
- Keshvad A, Hooshmand T, Asefzadeh F, Khalilinejad F, Alihemmati M, Van Noort R. Marginal Gap, Internal Fit, and Fracture Load of Leucite-Reinforced Ceramic Inlays Fabricated by CEREC inLab and Hot-Pressed Techniques. *J Prosthodont*, 20(7), 535-540, 2011.
- Ki-baek kim, Jae-hong Kim, Woong-chul Kim, Ji-hawn Kim. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent*, 112(6), 1432-1436, 2014.
- Ki-Joung Sim, Jong-Sun Yu, Ki-Hyun Yu, Chun-Yong Cheong. A study on the machining error characteristics in ball-end milling of surface. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 3(1), 7-14, 2004.
- Moldovan O, Luthardt RG, Corcodel N, Rudolph H. Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings. *Dent Mater*, 27(12), 1273-1278, 2011.
- Nejatidanesh F, Lotfi HR, Savabi O. Marginal accuracy of interim restorations fabricated from four interim autopolymerizing resins. *J Prosthet Dent*, 95(5), 364-367, 2006.
- Persson A, Andersson M, Oden A, Sndborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prothet Dent*, 95(3), 194-200, 2006.
- Schaefer O, Kuepper H, Sigusch BW, Thompson GA, Hefti AF, Guentsch A. Three-dimensional fit of lithium disilicate partial crowns in vitro. *J Dent* 2013; 41:271-7.
- Schaefer O, Schmidt M, Goebel R, Kuepper H. Qualitative and quantitative three-dimensional

accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent*, 108(3), 165-72, 2012.

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.

Seung Doo, Joo-Won Hong, Nam-Sub Suh. A study on the cutting force and machining error on the inclined plane in ball-end milling. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 18(7), 112-119, 2001.

Strassler HE. In-office provisional restorative materials for fixed prosthodontics: part 1 - polymeric resin provisional materials. *Inside Dent*, 5(8), 70-74, 2009.

Yao J, Li J, Wang Y, Huang H. Comparison of the flexural strength and marginal accuracy of traditional and CAD/CAM interim materials before and after thermal cycling. *J Prosthet Dent*, 112(3), 649-57, 2014.