

밀링 공구의 마모가 PMMA 임플란트 임시보철물 변연 및 내면적합도에 미치는 영향

신미선

경희대학교치과병원 중앙기공실

Effect of milling tool wear on the internal fit of PMMA implant interim prosthesis

Mi-sun Shin

Central Dental Laboratory, KyungHee University Medical Center, Seoul, Republic of Korea

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the effect of CAD/CAM system milling tool wear on the marginal and internal fit of PMMA implant interim prosthesis three-dimensional manner.

Methods: A total of 20 crowns were fabricated with CAD/CAM method. Their designs were unified to first molar of the left maxilla. The Customized abutments were prepared and scanned with on optical model scanner. Five crowns were milled by the newly replaced tool (1st milling), and 15 crowns were milled by 2nd, 3rd, 4th milling tool. The marginal and internal fit of 20 interim crowns were measured using the triple-scan protocol.

Results: Statistically significant difference was found between the 1st milling group ($51.8 \pm 14.6 \mu\text{m}$) and the 3rd, 4th milling group ($128.6 \pm 43.8 \mu\text{m}$, $146.2 \pm 38.1 \mu\text{m}$, respectively) at the distal margins. In the mesial margins, There was a statistically significant difference between the 1st milling group ($63.6 \pm 25.9 \mu\text{m}$) and the 3rd, 4th milling group ($137.2 \pm 25.9 \mu\text{m}$, $186.8 \pm 70.6 \mu\text{m}$, respectively). In the distal line angle, significant difference was found between the 1st, 2nd, 3rd milling groups and the 4th milling group. In the mesial axial wall, significant difference was found between the 1st milling group ($52.2 \pm 20.3 \mu\text{m}$) and the 3rd, 4th milling groups ($22.8 \pm 8.8 \mu\text{m}$, $7.8 \pm 5.7 \mu\text{m}$).

Conclusion: As a result of the experiment, decrease of the marginal and internal fit was statistically significant as the number of machining cycles increased. In order to produce clinically excellent restorations, it is recommendable to consider the condition of the milling tool wear, when designing the restoration with CAD program.

◉ **Key words:** CAD/CAM, triple-scan protocol, milling tool, PMMA implant interim prosthesis

Corresponding author	Name	신 미 선	Tel.	02-958-9351	E-mail	fox2609@naver.com	
	Address	서울 동대문구 경희대로23 경희대학교치과병원					
Received	2019. 4. 19		Revised	2019. 6. 7		Accepted	2019. 6. 12

I. 서론

임플란트 보철물은 상실된 치아의 수복에 성공적으로 사용되어지고 있다(Al-Omari et al., 2010; Bayramoglu et al, 2015). 임플란트에서의 임시보철물은 연조직을 물리적, 화학적으로 보호하며, 치아의 불필요한 움직임도 막아준다(Burns et al, 2003; Yao et al, 2014; Karaokutan et al, 2015). 또한 구치부 임플란트의 저위 교합 양상과 같은 치료 실패(Thilander et al, 1994)를 예방하기도 한다.

임시보철물은 기존의 수작업으로 제작될 수 있는데 이는 기공사의 숙련도가 품질에 영향을 줄 가능성이 높다. 반면에 CAD/CAM(Computer aided design/Computer aided manufacturing) 시스템은 생산 효율이 높은 공정 기술로 보철물 제작에 필요한 비용도 절감되며, 밀링 장비를 이용해서 보철물을 가공하기 때문에 일률적인 보철물을 제작할 수 있다(Lebon et al., 2016). 또한 임시보철물을 기반으로 최종보철물을 제작할 수도 있어 최근에 치과에서 CAD/CAM 시스템으로 보철물을 제작하는 비율이 증가되고 있다. CAD/CAM 시스템의 재료로는 PMMA(Polymethyl methacrylate)를 사용하는데 이 PMMA 블록은 미리 중합 시켜 출시되기 때문에 재료 표면의 다공성을 방지하고, 기계적인 특성을 증가시켜 줄 뿐 아니라, 구강 내 환경에서도 친화력이 높다(Nejatidanesh et al, 2006; Yao et al, 2014).

치과용 보철물을 CAD/CAM 시스템을 이용하여 제작하는 방식 중 밀링 방식은 비교적 정확한 보철물의 제작이 가능하지만, 밀링 공구(tool)에 의한 오차가 발생한다. 그 중에서 마모된 밀링 공구를 통해서 절삭량의 균일성이 감소되면서 발생하는 오차, 그리고 재료에 맞지 않는 가공속도와 가공에서 발생하는 밀링 공구의 변형 등에 의해서 다양한 오차가 발생할 수 있다(Cho&Lee, 2007; Cho et al, 2009; Schaefer et al, 2013). CAD/CAM 시스템의 밀링 가공에서는 앤드밀 버(End mill bur)를 사용하여 보철물을 제작하고 있으며 그 결과 밀링 공구의 사용으로 생기는 오차를 평가한 연구들이 발표되고 있다.

보철물을 평가하는 방법으로는 2차원적인 방법과 3차원적인 방법이 주로 소개되고 있다. 2차원적인 방법은 보철물과 지대치 사이의 공간을 정확히 재현하기 어렵고 단면 측정 만 가능하다는 단점이 있다. 이에 반해 3차원적인 방법 중 triple-scan 방식은 방향이나 횡수에 제한 없이 다양한 단면을 관찰 가능하고 3차원적인 공간 분석이 가능하다는 장점을 가지고 있어(Holst et al, 2011) 이 방법에 의한 보철물을 평가하는 방법에 관한 비교 연구도 소개되고 있다(Shin & Lee, 2017). 기존 연구인 밀링 버의 사용 횡수에 따른 내면 적합도에 관한 연구에서는 2차원적인 방법으로 평균값들에 대한 변화를 평가하였다는 한계가 있었다(Song, 2015).

따라서 본 연구에서는 CAD/CAM 시스템에서 밀링 공구의 마모가 PMMA 블록으로 제작된 임플란트 임시보철물에 미치는 영향을 알아보기 위해 내면 적합도를 3차원으로 평가하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 지대치 제작 및 스캔

본 연구에서는 CAD/CAM 시스템으로 임플란트 임시보철물을 제작하기 위해 상악 우측 제1대구치의 customized abutment(EZEN Dental Lab., Daegu, Korea)를 지대치로 사용하였다(Fig. 1). 제작된 지대치는 모델 스캐너 (rainbow™ Scanner, Dentium, Yongin, Korea) 로 스캔 해서 지대치 스캔데이터를 생성하였다.



Figure 1. Customized abutment of titanium used in this study

2. 크라운 디자인 및 밀링

지대치 스캔 데이터와 CAD program(exocad[®] Dental CAD, Exocad, Darmstadt, Germany)을 이용하여 크라운을 디자인하였다. 디자인 오차를 줄이기 위해 지대치 변연은 컴퓨터로 자동 설정했으며, 숙련된 전문가가 디자인을 실시하였다. 디자인의 세부적인 사항은 밀링 가공 후 내면을 조정하지 않기 위해 변연선 상방 0.5mm에서부터 100 μ m의 cement space를 설정해주었다. 대조군으로는 5축 밀링 장비(Rainbow[™] Mill-Zr, Dentium, Yongin, Korea)에 2종류의 앤드 밀 버(\varnothing 2mm, \varnothing 1mm)를 새로 교체하여 PMMA 블록(Huge Dental Material Co., Ltd. Rizhao, China)을 이용해 5개의 크라운을 제작하였고(1st milling) 같은 STL(Standard Tessellation Language)파일을 이용하여 실험군으로 5개씩 3번의 밀링을 시행하여(2nd milling, 3rd milling, 4th milling) 총20개의 크라운을 제작하였다(Fig. 2).

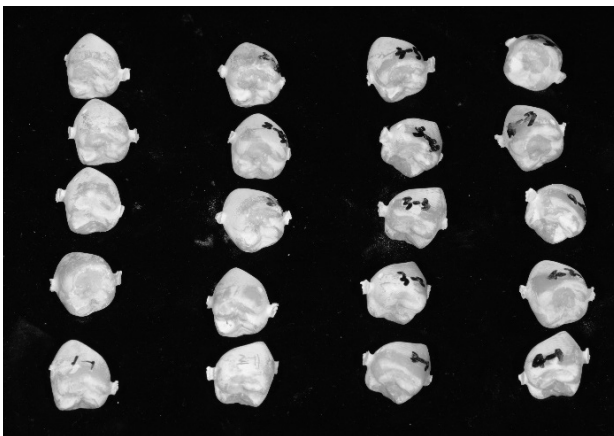


Figure 2. PMMA crown fabricated using CAD/CAM system

3. 3차원 측정

측정에 사용된 triple-scan 방식은 첫째 지대치 모형을 스캔하고 둘째 크라운이 지대치 상에 적절히 위치된 상태를 스캔 한 후 크라운의 내면 및 외면을 스캔하는 방법이다. PMMA 블록을 이용하여 제작한 크라운을 지대치 모형에 균일한 힘으로 적절한 위치에 위치시키기 위해서 고정용 장치를 이용하여 일정한 위치에, 나사

를 돌려서 크라운에 손상이 가지 않을 정도의 균일한 힘으로 고정시킨 후 지대치 모형에 장착된 상태를 스캔하고, 크라운의 내면 및 외면을 모델 스캐너 (rainbow[™] Scanner, Dentium, Yongin, Korea)를 이용하여 스캔하였다(Fig. 3). Gom Inspect software (GOM mbH, Braunschweig, Germany) 를 이용해 지대치 모형의 스캔 데이터 상에 크라운이 지대치 모형에 장착된 상태의 스캔 데이터를 중첩 시켜서 STL file로 저장시킨 후, 다시 STL file을 불러와 크라운의 데이터를 중첩 시켜서 STL file로 저장시켰다. 이렇게 Best-fit alignment 기능을 이용하여 지대치 모형에 중첩된 위치의 크라운 스캔 데이터를 얻었다(Fig. 4).

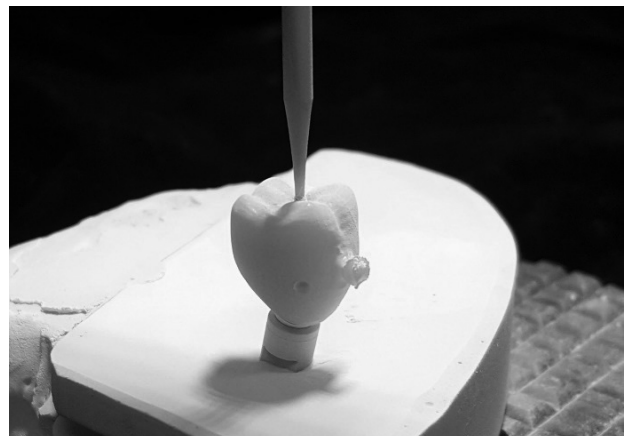


Figure 3. The constant seating force

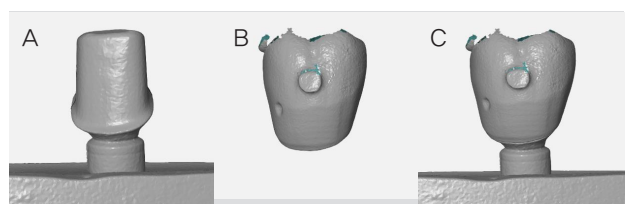


Figure 4. Scanner three dimensional surface data
(A) Titanium master die, (B) PMMA Crown
(C) Superimposed crown on the master die

지대치 모형의 스캔 데이터 상에서 근·원심 중앙을 각각 1회 절단하여 형성된 단면을 측정 프로그램 Gom Inspect software (GOM mbH, Braunschweig, Germany) 을 이용하여 변연 및 내면 적합도 측정을 시행하였다(Holmes et al, 1989). 내면 간극은 치아표면에서 크라운 내면에 이르는 수직 거리로, 본 연구에서는 지대치 표면과 크라운 내면의 단면상에서 측정 지

점을 선택하고 변연(marginal gap), 내면 간극(axial internal gap), 교합면에서 측벽과 이행되는 선각 내면 간극(line angle internal gap), 교합면에서 가장 깊은 부위에 교합면 내면 간극(occlusal internal gap)을 계측하였다(Fig. 5). 전체 계측 과정은 한 명의 숙련된 검사자에 의해 시행되었으며, 3회 반복 측정하여 평균값을 구하여 통계처리 하였다.

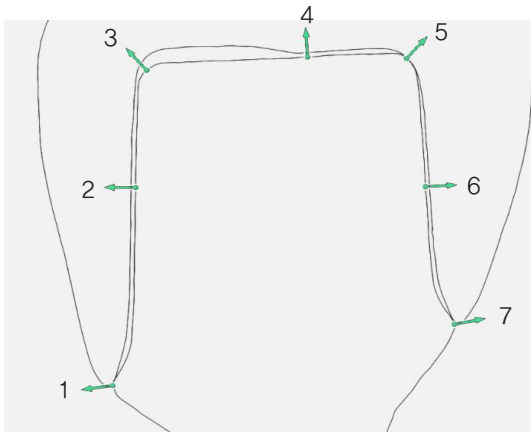


Figure 5. Measurement points for marginal gap (1,7) and internal gap (2,3,4,5,6,7)

4. 통계분석

통계 처리는 CAD/CAM 시스템에서 밀링 공구의 마모가 PMMA 블록으로 제작된 임플란트 임시보철물 내면 적합도에 미치는 영향을 알아보기 위해 통계 프로그램 (SPSS Statistics 21.0, IBM, Chicago, IL, U.S.A)으로 처리하였다. Levene의 등분산 검정을 시행하였고 모수검정으로 일원배치분산분석(one-way ANOVA) 및

Tukey HSD를 이용해 각 집단별로 적합한 사후검정을 시행하였으며 통계적 유의한 차이는 유의수준 0.05를 기준으로 시행하였다.

III. 결과

CAD/CAM 시스템에서 밀링 공구의 재사용으로 제작된 임플란트 임시보철물의 내면 적합도를 3차원으로 평가한 결과는 다음과 같다. 변연부인 원심 변연에서는 대조군인 1차 밀링 그룹 ($51.8 \pm 14.6 \mu\text{m}$)과 3차, 4차 밀링 그룹 (각각 $128.6 \pm 43.8 \mu\text{m}$, $146.2 \pm 38.1 \mu\text{m}$)간의 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 근심 변연에서는 1차 밀링 그룹 ($63.6 \pm 25.9 \mu\text{m}$)과 3차, 4차 밀링 그룹 (각각 $137.2 \pm 25.9 \mu\text{m}$, $186.8 \pm 70.6 \mu\text{m}$)간의 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 또한 내면 간극 중 원심 선각에서 1차, 2차, 3차 밀링 그룹과 4차 밀링 그룹에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 근심 측벽에서 1차 밀링 그룹 ($52.2 \pm 20.3 \mu\text{m}$)과 3차, 4차 밀링 그룹 (각각 $22.8 \pm 8.8 \mu\text{m}$, $7.8 \pm 5.7 \mu\text{m}$)간의 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 1)(Fig. 6).

Table 1. Marginal and internal gap discrepancy of PMMA crown(unit: μm)

milling times	N	Reference points						
		1	2	3	4	5	6	7
1 st milling	5	51.8 ± 14.6^a	48.4 ± 19.8	155.2 ± 43.0^a	286.2 ± 70.9	66.8 ± 26.8	52.2 ± 20.3^a	52.2 ± 20.3^a
2 nd milling	5	78.0 ± 21.7^{ab}	37.6 ± 8.4	189.0 ± 34.3^a	283.6 ± 96.5	53.2 ± 33.5	38.0 ± 15.2^{ab}	38.0 ± 15.2^{ab}
3 rd milling	5	128.6 ± 43.8^{bc}	35.6 ± 11.7	195.4 ± 35.5^a	267.0 ± 71.8	46.6 ± 32.2	22.8 ± 8.8^{bc}	22.8 ± 8.8^{bc}
4 th milling	5	146.2 ± 38.1^c	27.2 ± 14.5	88.4 ± 24.7^b	413.2 ± 113.3	88.2 ± 23.9	7.8 ± 5.7^c	7.8 ± 5.7^c

Different letter represent statistically significant differences within each column($p < 0.05$)

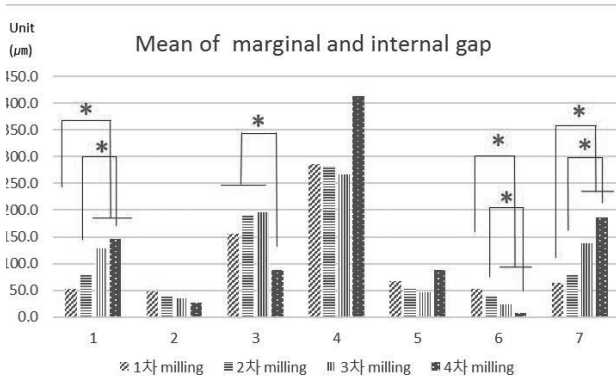


Fig. 6. Mean of marginal and internal gap of PMMA Crown

IV. 고찰

본 연구에서는 CAD/CAM 시스템에서 밀링 공구의 재사용이 PMMA 블록으로 제작된 임플란트 임시보철물의 내면에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 변연 및 내면 적합도를 3차원으로 평가하였다. 평가 결과, 밀링 공구를 재사용함으로써 대조군인 1차 밀링 그룹보다 밀링 공구의 가공 횟수를 거듭할수록 축벽과 선각에서 크라운의 내면과 지대치와의 간격이 감소하였고, 반대로 변연부에서는 크라운의 내면과 지대치와의 간격이 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 지대치를 근·원심으로 절단하여 형성된 단면을 살펴보면 대조군인 1차 그룹보다 밀링 공구의

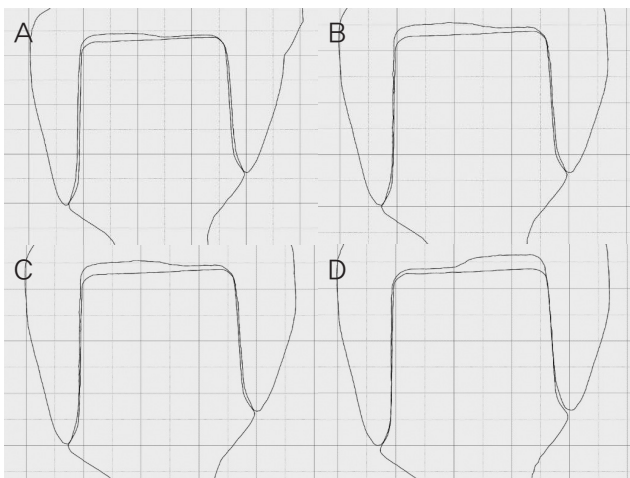


Figure 7. Mesiodistal section of crown superimposed on the master die. (A) 1st milling, (B) 2nd milling, (C) 3rd milling, (D) 4th milling

가공이 거듭될수록 지대치에 크라운이 덜 들어가는 양상을 확인할 수 있었다(Fig.7).

이와 같은 현상은 앞서 명시한 바와 같이 CAD/CAM 시스템의 단점 중 하나인 밀링 공구의 마모로 인해 절삭량의 균일성이 감소되면서 발생하는 오차로 생각할 수 있다. 일반적으로 공구의 마모는 절삭 부하를 높이고 가공 품질을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다(Gaugel et al, 2016; Won et al, 2017). 새로 교체한 밀링 공구로 1차, 2차 밀링 가공 시의 크라운의 변연 및 내면 적합도는 적절했던 반면 3차, 4차 밀링 가공한 크라운의 경우 공간 감소로 크라운이 적절하게 장착되지 않는 결과를 보였다. 하지만 PMMA 블록과 밀링 공구의 종류 및 크라운의 크기에 따라 결과값은 달라질 수 있으므로 가공 횟수가 내면 적합도에 영향을 미치는 크라운의 개수를 판단하기에는 어려울 것으로 사료된다. 다만, 밀링 공구의 사용 횟수에 따른 가공 밀링 공구의 마모로 인한 임시보철물의 내면 적합도 저하 및 부정확한 내면을 적합 하는데 소모되는 시간을 줄이면서도 밀링 공구의 교체에 따른 비용 증가를 막기 위해서는 밀링 공구의 가공 횟수가 거듭될수록 프로그램 디자인 상에서 축벽의 추가 시멘트 갭을 적절히 설정하여 밀링 가공하는 것이 제작 시간과 제작비용을 동시에 감소시키는 효과가 있을 것으로 사료된다.

본 실험의 평가를 위해 사용한 triple-scan 방식은 지대치와 크라운 사이의 공간을 3차원적으로 분석 가능하고 다양한 방향으로 횟수에 제한 없이 관찰이 가능하며 수행하기 간편하다는 장점이 있다. 그러나 조사하는 물질의 표면 성질에 따라 스캔의 정확성이 달라질 수 있다는 한계점이 존재한다. 이에 물질의 표면 성질에 따른 정확성을 확보하기 위하여 titanium 지대치 표면과 PMMA 크라운의 내·외면에 스캔 전용 코팅 스프레이를 이용하였고, 한 명의 숙련된 검사자가 도포하였다. Holst 등과 Matta 등은 스프레이의 오차는 크게 유의하지 않다고 하였으며 이에 코팅 스프레이의 오차는 고려하지 않고 측정하였다(Holst et al, 2011; Matta et al, 2012).

보철물 제작 과정에서 전통적인 방법으로 제작 시 보철물의 적합성은 제작하는 치과기공사에 의해 영향을

받을 수 있다. 디지털 방식으로 제작 시에는 이론적으로 품질 관리 측면에서 표준화를 이루기 용이할 것으로 예상되지만 본 연구의 결과로 판단했을 때, 밀링 공구의 사용 횟수에 따른 크라운의 내면적합도에서는 유의한 차이가 나타났다. 따라서 밀링 공구의 가공 횟수에 따른 변연 및 내면 적합도를 측정하였다는 점에서 의의가 있다고 판단된다.

V. 결론

밀링 공구의 사용으로 인한 마모가 임플란트 임시보철물의 내면에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다. 실험 결과, 밀링 공구의 가공 횟수가 거듭될수록 변연 및 내면 적합도가 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 임상적으로 우수한 적합도의 수복물을 제작하기 위해서는 디자인 프로그램 내에서 공구의 마모에 따라서 적절한 조건을 적용해 밀링 가공하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Al-Omari WM, Shadid R, Abu-Naba'a L, El Masoud B. Porcelain fracture resistance of screw-retained, cement-retained, and screw-cement-retained implant-supported metal ceramic posterior crowns. *J Prosthodont* 19, 263-273, 2010.
- Bayramoglu E, Özkan YK, Yildiz C. Comparison of marginal and internal fit of press-on-metal and conventional ceramic systems for three-and four-unit implant-supported partial fixed dental prostheses: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 114, 52-58, 2015.
- 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.
- Cho BM, Lee DJ. A study on cutting characteristics according to cutting direction in ball-end milling. *Trans. of KSMTE*, 16, 191-197, 2007.
- Cho BM, Yoo IS, Lee DJ. A study on the geometric characteristics according to semi-cylindrical tool path in ball-end milling. *Trans. Of KSMTE*, 5, 362-367, 2009.
- Gaugel S, Sripathy P, Haeger A, Meinhard D, Bernthaler T, Lissek F, Kaufeld M, Knoblauch V, Schneider G. A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers(CFRP). *Composite Structures*, 155, 173-183, 2016.
- Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD. Considerations in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent*, 62, 405-8, 1989.
- Holst S, Karl M, Wichmann M, Matta RE. A new triple-scan protocol for 3D fit assessment of dental restorations. *Quintessence Int*, 42, 651-657, 2011.
- Karaokutan I, Sayin G, Kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont*, 7(1), 27-31, 2015.
- Lebon, N, TapieL, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations-dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. *Int J Comput Dent*, 19(2), 115-134, 2016.

- Matta RE, Schmitt J, Wichmann M, and Holst S. Circumferential fit assessment of CAD/CAM single crowns—a pilot investigation on a new virtual analytical protocol. *Quintessence Int*, 43, 801–809, 2012.
- 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.
- 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.
- Shin MS, and Lee JH. Marginal and internal fit of all ceramic crown using the replica technique and the triple-scan protocol. *J Korean Acad Prosthodont*, 55(4), 372–380, 2017.
- Song DB. Change in internal fit of dental CAD–CAM prosthesis after continuous milling. D.K.U thesis, 2015.
- Thilander B, Odman J, Grondahl K, Friberg B. Osseointegrated implants in adolescents. An alternative in replacing missing teeth? *Eur J Orthod*, 16, 84–95, 1994.
- Won SJ, Li C P, Park K M and Ko TJ. The Exit Hole Burr Generation of CFRP with Ultrasonic Vibration. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 16(1), 134–140, 2017.
- 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.