

투고일 : 2014. 5. 16

심사일 : 2014. 5. 16

게재확정일 : 2014. 5. 23

CAD/CAM 기술을 이용한 총의치 제작의 현재와 전망

강릉원주대학교 치과대학 치과보철학교실 및 구강과학연구소

박 찬 진

ABSTRACT

Current status and future perspectives of CAD/CAM fabricated complete denture

Department of Prosthodontics and Research Institute of Oral Science, College of Dentistry,
Gangneung-Wonju National University
Chan-Jin Park, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Currently, computer-aided technology becomes one of main issues in clinical dentistry. About 25 years ago, the development of dental CAD/CAM systems for the fabrication of crowns and fixed partial dentures leads to be able to fabricate complete denture today. The fabrication of milled complete denture prostheses with digital scanning technology may decrease the number of patient appointments. However, the precise tooth arrangement and evaluation by patient is not promising relatively. The purpose of this review was to analyze the existing literature on computer aided technology for fabricating complete denture with historical background, current status, and future perspectives. In addition, two available commercial systems were introduced.

Key words : Computer-aided design(CAD), Computer-aided machining(CAM), Complete denture, Digital scanning technology,

Corresponding Author

Chan-Jin Park, DDS, MSD, PhD

Department of prosthodontics, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University.

7 Jukheongil, Gangneung-si, 210-702, Korea.

Tel: +82-33-640-3153, Fax: +82-33-640-3103. E-mail: doctorcj@gwnu.ac.kr

I. 서론

과거로부터 현재에 이르기까지 치과의사와 기공사는 완전무치악 환자를 위한 총의치 제작을 위해 통상적이고 전통적인 방법을 제작에 이용하여 왔다. 이는 개별적인 단계와 임상적인 술식으로 이루어지는 모든

과정을 환자와 함께, 때로는 진료실과 기공실에서 행하는 과정인 최종인상 채득, 최종모형 제작, 교합제 제작 및 악간관계기록 채득 과정, 교합평면의 결정 및 인공치아 배열, 레진의 전입 및 온성, 의치 연마에 이르는 일련의 과정이다¹⁾. 1980년대에 상업적인 용도로 CAD(Computer-aided design)/CAM(Compu

ter-aided machining) 기술이 공업 일반에서 각광을 받으면서 치과영역에서도 고정성 보철물에 대한 가능성이 타진되었으나, 초창기 치과영역에의 적용은 1) 비용문제와 가공시간, 2) 스캔의 부정확성, 3) 보철물의 디자인에 대한 수리적인 복잡성, 4) 정밀하지 못한 가공기술 등의 한계를 보였다²⁾. 산업기술이 고도화 및 가속화됨에 따라 필요한 알고리즘이 개발되고 기술력이 진보됨에 따라 Duret의 Sopher[®] system³⁾, Moermann의 Cerec[®] system⁴⁾, Andersson의 Procera[®] system⁵⁾ 등이 치과영역에서 CAD/CAM기술의 적용을 보여 주었으며 산업화를 가능하게 하였다. 그러나, 이러한 산업기술들은 고정성 보철에 주로 국한되었고 총의치와 같은 가철성 보철에 사용되기에는 무리가 있었다. 실험실내 혹은 일정 한계 내에서 가철성 영역의 보철물을 위한 CAD/CAM 기술은 1990년대 중반의 Maeda 에 의해 개발되었다⁶⁾. 비록 평균적인 데이터를 이용한 총의치 제작기술이었으나 그는 3차원적인 스캔과 제작방식을 제안하였다.

이에 본 글에서는 과거로부터 현재까지 알려져 있는 지식들을 통해 총의치 제작을 위한 일반적인 CAD/CAM기술의 개요, 역사적인 기술 개발 과정, 상업적인 제품, 그리고 개발 방향에 대해 알아보고자 한다.

II. 총의치를 위한 CAD/CAM 기술의 개요⁷⁾

CAD가 컴퓨터를 이용하여 디자인하는 것을 의미하는 반면, CAM은 컴퓨터를 이용하여 제작하는 것을 의미한다. 이것은 문자 그대로 시작부터 끝까지 전과정에 걸쳐 보철물을 디자인하고 제작하는데 컴퓨터가 이용된다는 것을 의미한다. 다년간 CAD/CAM 기술은 금관, 가공의치, 인레이, 온레이, 고정성 부분의치, 임플란트 지대주 및 임플란트 보철물 제작에 이용되어 왔다. 최근에는 CAD/CAM이 총의치 제작과 임플란트 지지 피개의치 제작에도 이용될 수 있다. CAD 기술을 살펴보면, CAD 자체로서 치과보철물에서 요구되는 해부학적 및 기하학적 형태를 결정할 수 있음을 쉽게 이해할 수 있다. 일단 컴퓨터 디자인이 마무리되면, CAM 기술은 원하는 보철물 제작을 바로 실행하게 된다.

CAM은 2가지 형태로 나눌수 있는데, 첨가(additive)술과 공제(subtractive)술이라 한다.

첨가술은 3D 인쇄(3D printing, 예/rapid prototyping[RP])로 더욱 잘 알려져 있다. 3차원적 대상물체는 3D 디지털 데이터 또는 디지털 모형을 이용하여 CAM 기계에 의해 형성된다(Fig. 1). 물체를 원하는 형태로 만들기 위해 재료의 층들을 연속적으로 쌓으면서 첨가 공정이 이뤄진다. 이는 공제 방법으로



Fig. 1. Additive method such as 3D printing.⁷⁾

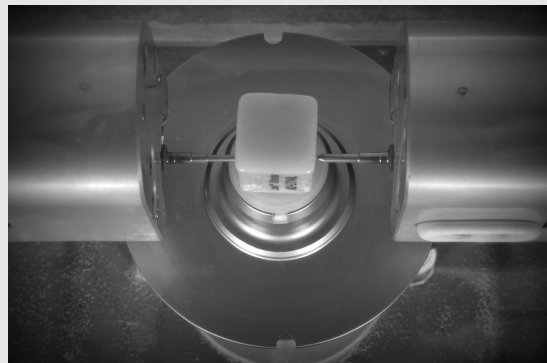


Fig. 2. Subtractive method such as CNC machining using resin block.⁷⁾

Table 1. Proposed advantages of CAD/CAM complete denture

Advantages	<ol style="list-style-type: none"> 1. reduced number of patient visit 2. superior strength and fit of dentures due to use of prepolymerized acrylic resin blocks for milling 3. reduced potential for dentures to harbor microorganisms and minimize resultant infections 4. reduced cost for the patient and the clinician 5. easily reproducible due to stored digital data 6. improved potential for standardization in clinical research 7. ability for better quality control
------------	---

재료를 제거하거나 삭제함으로써 물체를 만드는 다른 기계공정과는 차이가 있다. 공제술(예/computerized numerical control [CNC] machining)은 재료를 제거하는 시스템을 이용한다. 이는 의치 제작에 쓰이는 중합전 레진같은 모재로 블럭을 자르고 뚫어서 물체의 형태를 만든다(Fig. 2). 중합이 완료된 블럭을 사용하면 최종 보철물은 더욱 정확하고 좋은 체적안정성을 가지게 된다.

CAD/CAM 기술로 제작된 총의치는 수작업으로 제작된 것에 비해 여러 장점들을 가지고 있어서 환자에게 더욱 바람직한 치료 옵션이 된다(Table 1). 제작 공정동안 수작업에 의해 발생 가능한 오차없이 현저하게 높은 정밀도를 나타낼 수 있다. 진단모형 제작, 상악 하악 모형의 교합기 부착과 납형 형성이나 인공치아 배열의 과정같은 기존의 기공작업이 필요하지 않다. 치아 배열은 컴퓨터의 프로그램 상에서 처리되어 교합기 상에 개별 인공치아 배열시 발생하는 오차의 여지는 없다. 또한, 최종 의치 디자인이 프로그램 상에서 결정되고 나면, CAM 공정은 재료 자체에 의한 오차를 제외하고 그 자체로서는 오차가 없다.

통상적으로 총의치 제작을 위해 최소한 5회의 환자 내원과 3시간 이상의 진료시간이 필요하다. 이에 비해, CAD/CAM으로 제작되는 의치는 단지 2회의 내원과 더 짧은 진료시간으로도 제작이 가능하다. 여러 번 치과 진료실에 내원하기 어려운 고령 환자들에게 2번의 내원으로 시적되는 CAD/CAM 의치는 더욱 더 편리하다. 게다가, 통상적인 방법으로 제작된 의치는

제작공정시간이 길어 시적하기까지 약 30일이 소요되는 것과 비교하면 최종의치는 시적하기까지 더욱 더 짧은 시간이 소요된다. CAD/CAM 의치는 환자 진료 시간을 단축시켜 치과의사에게 보다 높은 수익성을 낼 수 있다. CAD/CAM 의치의 높은 정밀성과 품질은 기공사의 개입을 최소로 반영한 결과이다. 이것은 제작공정에 필요한 노동력 절감 효과 뿐 만 아니라 환자에게도 비용 절감의 이익을 제공한다. 일단 환자의 정보가 등록되면, 환자의 기록이 영구적으로 저장된다. 만약, 환자가 어떠한 이유로 의치의 복제를 필요로 하면 컴퓨터에 저장된 기록을 재사용하여 인상채득과정을 반복하지 않고 새 의치를 제작할 수 있다. 따라서, 환자가 진료실에 다시 내원하는 번거로움을 없애준다. CAD/CAM 의치를 이용하여 보다 표준화된 연구를 시행할 수 있다. 의치에 관한 기존의 전통적인 연구들을 재평가 및 증명할 수 있으며, 의치를 더 잘 이해하고 알기 위해 새롭게 고안된 연구를 개발할 수 있다.

Ⅲ. 관련 기술 개발 과정

1. 3차원 laser lithography machining을 이용한 총의치 제작⁸⁾

Maeda 등은 적절한 수직고경과 중심위 위치를 조절하여 double 인상채득을 시행하고 채득된 인상체를 3D 레이저 스캐너를 이용하여 데이터화 하였다.

인공치아의 평균적인 위치, 교합관계, 연마면의 외형, 의치변연의 위치 등의 평균적인 데이터가 입력된 워크스테이션을 이용하여 가상공간 상에서 3차원적인 의치의 외형을 결정하였다. 이는 lithography 기술을 응용한 결과로 최종적인 3차원 의치 외형을 형성하는 과정이다. 즉, 껍질과 같은 의치 외형이 광중합형 레진에 의해 만들어지고 치아부위에는 치아색을, 조직면에는 의치상에 해당되는 색의 레진을 주입하여 완성하게 되었다(Fig. 3). 물성 자체는 약하더라도 무치악에 대한 평균적인 수치를 데이터화하고 컴퓨터를 이용하여 의치 외형을 설계하는 기술이 개발된 것이다.

2. 컴퓨터를 이용한 총의치 복제기술의 개발

Kawahata 등은 비접촉식 측정시스템을 이용하여 0.25mm 간격 및 X-, Y-축 방향으로 무치악환자의 총의치 외형을 계측하여 데이터를 얻었다(Fig. 4). 측정은 의치의 교합면으로부터 인상면까지 수행되었으며 3차원 측정치를 기반으로 삭제로(cutter path)를 결정한 후, CNC 밀링기법을 이용하여 복제하였다. CNC 밀링은 6mm와 1mm 직경의 볼 모양의 cutter를 이용한 2축 가공을 모델링 왁스에 시행하는 기술을 개발하였다. 이는 초기의 형태로 상용할 수 없는 단계이나, 블록형태를 가공할 수 있는 기술의 단초를 제공한

것이였다.

3. 가상공간 상에서 인공치아 배열 기술 개발

Busch 등⁹⁾은 무치악 모형을 스캔하고 인공치아 배열을 위한 중요한 해부학적 구조물을 지표로 삼기 위한 프로그램을 개발하였다. 소프트웨어 상에서 교합평면을 결정하고 상악과 하악의 잔존치조제 중심과 교합평면을 고려하여 치열궁 선을 결정하였다. 그들은 “구치부 배열 장치”라는 기구를 이용하여 인공치아가 자동적으로 위치되게 하였다. 하지만, 그들은 구체적으로 어떻게 배열할 수 있었는가는 부분에 대해 자세한 서술을 하지 않았다. Sun 등¹⁰⁾은 CAD와 RP 기술을 이용하여 가상공간 상에서 인공치아를 배열하는 기술을 발표하였다. 공저자인 Lü 등이 2000년대 중반까지 개발해 왔던 “치아배열 프로그램”을 구체화한 것으로 다음의 일련의 순서를 거치게 되고(Table 2) 최종적으로는 “virtual flask”를 통해 RP기술을 이용하여 의치를 제작하게 됨을 보여 주었다.

가상공간 상에서 인공치아를 배열하는 기술은 총의치를 위한 CAD 기술의 핵심적인 내용으로 이들은 인접치아를 배열할 때, “stepwise alignment”, 대합치와 관계를 결정할 때, “collision detection”이라는 coordinate system을 만들어 사용하였다. 이러



Fig. 3. The data of the artificial teeth and polished surface was matched with impression surface data.⁶⁾

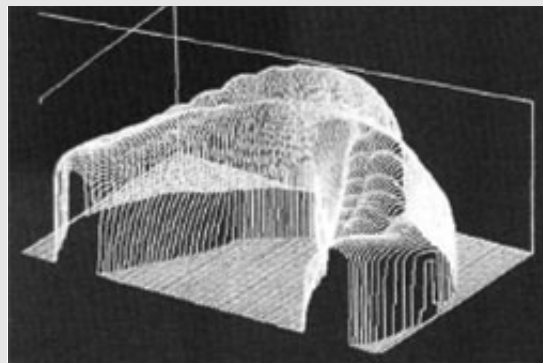


Fig. 4. Cutter path for mandibular complete denture.⁹⁾

Table 2. Artificial teeth set-up procedure by Sun et al.¹⁰⁾

1. Established 3D graphic database of artificial teeth for parameterization positioning
1.1. Created observation planes and observation major axis
1.2. Created parameters for each tooth
1.3. Set initial space stance for each tooth
1.4. Created marginal gingiva at labial/buccal surface
2. Got 3D data of edentulous models and rims in centric relation
3. Explored CAD route and develop software for removable complete denture
3.1. Created occlusal plane and world coordinate system
3.2. Created teeth set-up curves
3.3. Set up the artificial teeth
3.4. Design artificial gingiva and base plate
3.5. Design individual virtual flask
4. Fabricate physical flask
5. Finished the removable complete denture

한 알고리즘이 현실적으로 정확한가라는 부분은 다른 논쟁거리이겠지만, 이를 이용하여 의치를 제작할 수 있게 되었다는 점은 획기적인 것이라 생각한다. 최종적으로는 가상 플라스크가 형성되고 이를 실물의 플라스크 제작에 이용하였다.

4. 중립대 개념, 발음공간을 이용한 형태학적 데이터 축적

Goodacre 등¹³⁾은 실리콘 인상채득 후, 인상체 겹

면을 변형하여 중립대 개념을 이용하여 인공치아 위치를 대략적으로 결정한 후, 약간관계기록 채득을 시행하였다. 이후 발음을 통해 혀와 구개부의 접촉형태로써 palatal morphology를 얻고(Fig. 5) 이를 스캔한 후, 가상 공간에서 인공치아 배열을 하였는데, 특히 전치부의 인공치아 위치 선정에 많은 노력을 기울였다. 의치는 분홍색 레진블록을 CNC 밀링하고 여기에 인공치아를 접착하였다.

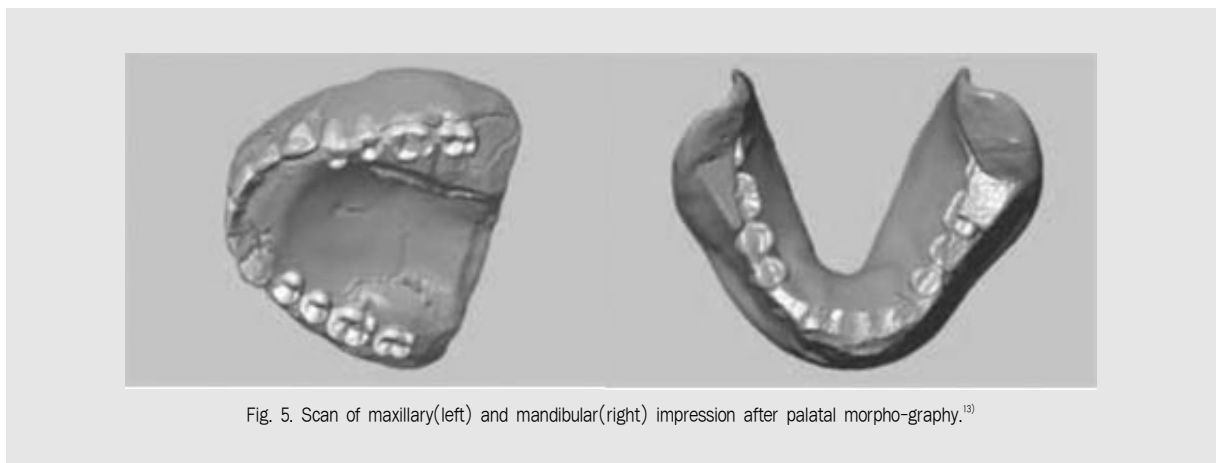


Fig. 5. Scan of maxillary(left) and mandibular(right) impression after palatal morpho-graphy.¹³⁾

IV. 상용화된 CAD/CAM 총의치

1. DENTCA™ system^{7,11)}

2010년 3차원 의치 제작 프로그램을 개발한 회사의 제품으로 특별하게 제작된 3차원 트레이를 이용하여 실리콘 인상재로 상하악 인상을 채득한다. 플라스틱 트레이로써 삭제를 통해 크기 조절이 가능하고 인상채를 이용하여 약간관계기록 채득을 수행한다. 약간관계기록 채득시 묘기침과 묘기판을 이용하여 중심위를 찾게 된다. 이를 3차원 스캔하고 CAD 프로그램으로 스피만곡, 윗스만곡, 교합평면 등을 결정하게 되어 있다(Fig. 6). 최종적으로는 스캔이 된 인상면과 데이터화한 이상적인 인공치아 위치를 조율시켜 의치의 연마면을 결정한다. 의치의 형태가 완성이 되면 3D 프린터를 이용하여 임시의치를 제작 후 통상의 플라스틱 과정으로 의치를 만들든지, 밀링기계를 이용하여 공제술로 의치상만 제작하고 인공치아를 접착하게 된다.

2. AVADENT® system¹²⁾

전체적으로 DENTCA system과 과정은 유사하나 열가소성트레이를 사용하는 점과 약간관계기록용 트레이가 따로 있다는 점이 다르다. 열가소성 트레이를 사용하여 형태를 변형시킬 수 있다. heavy-body 실리콘을 이용하여 1차 인상채득 후, light-body를 이용하여 최종인상채득을 시행한다. 적절한 크기의 약간관계기록용 트레이(AMD, anatomic measuring device)를 이용하여 인상재를 이용하여 구강내 장착 후, 동공간선과 평행하게 조정하고 적정 수직고경을 결정한 후 약간관계기록을 완성한다. 상순의 지지도를 적정하게 하여 조정한 후 인공치아 크기를 transparent guide를 이용하여 결정하게 된다. 3차원 스캔 후 소프트웨어 상에서 인공치아를 배열하고 레진블록을 밀링하여 의치상을 제작하게 된다(Fig. 7).

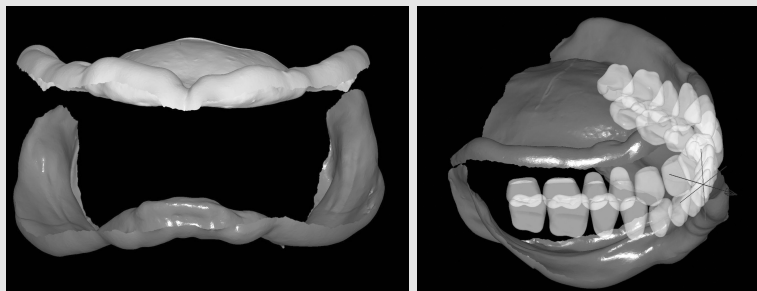


Fig. 6. Scan of edentulous area(left) and virtual arrangement of artificial teeth(right).⁷⁾

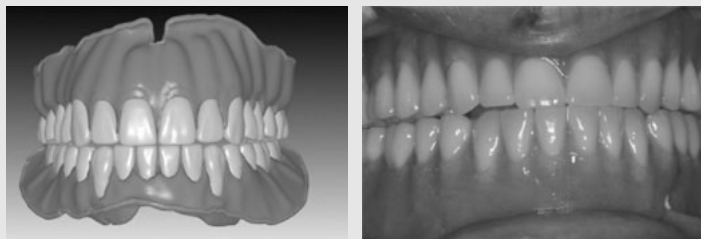


Fig. 7. Virtual artificial teeth arrangement(left) and definitive denture(right).¹²⁾

V. CAD/CAM 총의치의 발전 방향

역사적으로 치과영역에서 새로운 진보된 기술은 늘 논쟁거리였었다. 새롭게 등장한 CAD/CAM 기술 또한, 여기에서 예외일 수는 없겠지만, 기술이 진보됨에 따라 지적되는 단점들은 극복이 가능하리라 기대된다.

다른 관점에서 살펴보면, 현재 상업적으로 유용한 시스템들과 이를 뒷받침하는 개발 과정상의 많은 연구들은 컴퓨터 기반의 의치 제작에 있어서 일정 정도 수작업을 필요로 하고 있다. 이는 여전히 통상적인 방법과 재료를 이용하여 무치악 인상채득하는 과정을 반드시 포함하고 있기 때문이다. 고정성 보철을 위한 지대주나 임플란트의 디지털 스캔 기술은 정교해 지고 있는 반면에 무치악에 대한 스캔 기술은 아직도 답보상태이다⁴⁾. 이의 부가적인 이유는 무치악에 대한 구강내 스캔과정이 가능하다 하더라도 의치 유지에 필수적이 구강주위 근육조직들의 운동까지를 포함하기 어렵기 때문일 것이다. 무치악 주변의 근육과 악관절의 동

적인 운동 양상을 디지털 인상채득해 내는 과정은 상당히 도전적일 것으로 생각된다. 또한, 의치상에 인공치아를 접착하는 과정도 수작업을 필수로 하고 있다. 그러므로 이를 한번에 밀링하는 기술이 장래에 개발될 가능성이 많다.

그럼에도 불구하고, 의치제작의 간편성이 환자의 완전한 만족 - 특히, 심미적인 부분-을 이끌어 낼 수 있을까라는 의문은 항상 존재한다. 심미적인 분석치를 디지털화하고 통계적인 기법으로 데이터화한다 하더라도 개별 환자들이 느끼는 안모지지 정도 등의 심미적인 부분은 주관적인 요소를 배제하기 어렵기 때문이다.

마지막으로, CAD 기술을 이용한 총의치 제작은 환자에게 간편한 장점이 있는 외에 치과의사들에게도 교육의 기회나 공공의료, 임상연구 측면에서 긍정적인 면이 있다. 그러므로, 기존의 총의치를 이용하여 행해졌던 만족도 연구 등 다양한 임상연구들과 의치를 응용한 다양한 보철수복 방법들에 대한 연구들도 한층 활발하게 진행되리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. Korean council on complete denture education. Prosthodontic treatment for edentulous patients. 2nd ed. Seoul; Yenang Inc.; 2014. p. 14-8.
2. Miyazaki T, Hotta Y, Kuni J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009;28(1):44-56.
3. Duret F, Preston JD. CAD/CAM imaging in dentistry. *Curr Opin Dent* 1991;1:150-4.
4. Mormann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chair side computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989;20:329-39.
5. Andersson M, Oden A. A new all-ceramic crown: a dense-sintered, high purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontol Scand* 1993;51:59-64.
6. Maeda Y, Minoura M, Tsutsumi S, Okada M, Nokubi T. A CAD/CAM system for removable denture. Part I: Fabrication of complete dentures. *Int J Prosthodont* 1994;7:17-21.
7. Korean council on complete denture education. Prosthodontic treatment for edentulous patients. 2nd ed. Seoul; Yenang Inc.; 2014. p. 504-10.
8. Kawahata N, Ono Y, Nishi T, Hamano T, Nagaoka E. Trial of duplication procedure for complete dentures by CAD/CAM. *J Oral Rehabil* 1997;24:540-8.
9. Busch M, Kordaß B. Concept and development of a computerized positioning of prosthetic teeth for complete dentures. *Int J Comput Dent* 2006;9(2):113-20.
10. Sun Y, Lü P, Wang Y. Study on CAD & RP for removable complete denture. *Comput Met Pro Biomed* 2009;93:266-72.
11. Lee JH, Sohn DS, Kim TH. A novel method of complete denture fabrication with CAD/CAM. *J Kor Dent Ass* 2013;51(6):337-45.
12. Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E, Finger I. Fabrication complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent* 2014;111(5):351-5.
13. Goodacre CJ, Garbacea A, Naylor WP, Daher T, Marchack CB, Lowry J. CAD/CAM fabricated complete dentures: Concepts and clinical methods of obtaining required morphological data. *J Prosthet Dent* 2012;107:34-46.
14. Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future á perspectives. *J Prosthet Dent* 2013;109:361-6.