

투고일 : 2014. 5. 16

심사일 : 2014. 5. 16

게재확정일 : 2014. 5. 23

# CAD/CAM 보철물의 제작 과정에서 오류가 발생할 수 있는 요소들에 대한 경험적 고찰

부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실, 연세대학교 치과대학 치과보철학교실

허 중 보, 심 준 성

## ABSTRACT

### The factors caused errors in the production process of CAD/CAM prosthesis based on experience

<sup>1)</sup>Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Pusan National University,<sup>2)</sup>Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Yonsei UniversityJung-Bo Huh D.D.S.,M.S.D.,Ph.D.<sup>1)</sup>, June-Sung Shim D.D.S.,M.S.D.,Ph.D.<sup>2)</sup>

In recent years, precision machining of the dental prosthesis by computer assisted system is becoming pervasive in clinical dentistry. Prosthesis fabricating system that is designed by computer software and made by computer devices is called as a CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) system. By the use of dental CAD/CAM system, the improvement of marginal compatibility and mechanical properties in prosthesis can be obtained more effectively, an aesthetic quality by using new materials such as zirconia can be increased. Also, the restoration process can be simple and efficient, the production time can be shortened, the process of manufacture can be standardized, and the mass production is possible. What is clear is that these benefits are theoretically possible, but the dentist or dental technician must understand the CAD/CAM basic principles and limitations for obtaining the maximum advantages of CAD/CAM system. For this reason, this article will be presented about the basic principles of CAD/CAM system and the factors of error that might occur in the CAD/CAM process based on my empirical study.

Key words : Computer aided design, Computer aided manufacturing, Benefits, Limitations

Corresponding Author

Jung-Bo Huh, DDS, MSD, PhD

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Pusan National University, Beomeri, Mulguem, YangSan-si, Gyeongsangnamdo, 626-870, Korea

Tel: +82-55-360-5144, 5131, FAX: +82-55-360-5134, E-mail: huhjb@pusan.ac.kr

## I. 서론

고정성 치과보철물의 제작은 전통적인 방법인 lost wax technique에 의해 제작 되었지만, 최근에는 컴

퓨터 시스템에 의한 정밀기계가공으로 보철물을 제작 하는 방식이 널리 보급되고 있다. 이렇게 컴퓨터로 디자인하고, 컴퓨터에 의해 제작되는 보철물 제작 시스템을 CAD/CAM(Computer-Aided Design/ Com

puter-Aided Manufacturing) 시스템이라고 한다. 치과용 CAD/CAM 시스템은 변연 적합성과 보철 재료의 기계적 물성 향상 등 보다 효과적인 수복물의 질적 관리가 가능하며, 지르코니아와 같은 새로운 심미 재료를 정확하게 가공하여 사용할 수 있으며, 수복물의 제작 공정이 간결해 지고 효율적이며, 보철물 제작 시간이 단축되며, 표준화된 과정으로 제작될 수 있으며, 대량 생산이 가능하며, 기공 환경이 개선되는 장점이 있다고 보고되고 있다<sup>1)</sup>. 분명한 것은 이러한 장점들이 이론적으로는 당연히 가능하지만, 임상 상황에서 이런 장점들을 최대한 얻고자 한다면 치과의사나 치과기공사가 더욱 기본에 충실하여야 하며, CAD/CAM의 원리와 단점들을 충분히 이해하여야 한다. 본 저자는 몇 년간 임상의 상당부분에 CAD/CAM 시스템을 도입하여 기존의 술식들을 대체하고자 노력해 왔다. 그 과정에서 실질적으로 전통적 보철 방식과 비교하여 훨씬 쉽게 치료를 할 수 있는 장점도 있었지만 반대로 극복하기 어려운 경우도 경험하였다. 새로운 장비나 시스템은 장점만 있는 것은 아니며 사용자가 정확히 이해하고 사용하였을 때 최상의 결과가 있으리라 사료된다. 따라서 이번 글에서는 본 저자가 몇 년간 CAD/CAM을 사용하면서 얻은 경험을 바탕으로 CAD/CAM 제작 과정에서 오류가 발생할 수 있는 요소들에 대해 논해보고자 한다. 객관성이 부족한 부분도 상당수 있으나 아직

CAD/CAM을 이용한 치과 임상에 대한 과학적 근거들이 많이 부족한 실정이고, 이 글에서 제시한 오류의 요소들이 어떤 시스템에서는 나타나지 않을 수도 있으며, 내일 당장 극복될 문제일 수도 있다. 또한 본 저자가 사용한 CAD/CAM 시스템은 한정적이며 모든 시스템에 적용되는 문제들은 아닐 것이라 사료되지만 최대한 일반적으로 나타날 수 있는 오류에 한정하여 설명해 보고자 한다.

## II. CAD/CAM 시스템의 이해

### 1. 생산 개념에 따른 분류의 이해

지금 현재 임상에서 사용되는 CAD/CAM 시스템은 너무나 다양하여 각 시스템을 모두 설명할 수는 없지만 보통 그 처리 방식은 동일하다고 볼 수 있으며 이러한 데이터 처리 방식을 이해하여야 그에 따른 문제점들을 이해할 수 있기에 간단히 원리와 분류에 대해 설명해 보고자 한다. 보철물 생산 개념에 따른 분류는 크게 치과 기공실 생산 시스템과 치과 진료실 생산 시스템으로 분류가 가능하다.

구강내 스캐너를 기준으로 그림 1과 같이 Cadent사의 iTero, 3Shape사의 Trios가 대표적인 치과



그림 1. 구강내 스캐너를 기준으로 생산시스템에 따른 대표적인 제품

임상가를 위한 특집 1

기공실 생산 시스템이다. 이들 스캐너는 단순히 구강 내 인상만 채득 가능하고 채득된 데이터가 기공실로 전송된 후 기공실에 설치된 소프트웨어와 밀링 머신에 의해 보철물이 생산되는 방식이다. 결국 스캔 채득만 기계로 하고, 보철물 제작에 있어서는 인상재를 이용한 인상 채득 후 모델을 기공소에 보내어 모델 스캐너로 스캔하고 보철물을 제작하는 방식과 동일하다고 생각하면 된다. Sirona의 CEREC 시스템, D4D 사의 E4D 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 진료실에 밀링 머신이 설치되며 스캔 후 내장되어 있는 디자인 소프트웨어에 의해 즉시 디자인 되고 그 디자인된 보철물이 바로 가공 되는 방식이다. 이러한 방식을 치과 진료실 생산 방식이라고 한다. 그럼 이 두 방식간의 장단점은 무엇일까? 치과 진료실 생산 시스템의 경우 즉시 보철물을 제작할 수 있다는 큰 장점을 가진다. 하지만 다양한 보철물 제작이 어려우며 인레이, 온레이 또는 싱글 크라운 정도의 간단한 보철물 제작만 가능하다고 본다. 더 큰 범위의 보철물 제작을 위해서는 데이터를 센터로 보내는 중앙 생산 방식을 이용하든지, 아니면 이전 방식과 동일하게 모델을 제작하여 각 회사의 모델 스캐너로 스캔하고 보철물을 제작하여야 한다.

치과 기공실 생산 시스템은 즉시 보철물을 제작할 수 있는 당일 진료 시스템을 구축하기는 어려우나 다

양한 보철 치료를 할 수 있다는 장점이 있다. 그럼 이런 방식은 단순히 구강내 스캔만 할 수 있다는 장점만 있는가? 그 밖에 다양한 장점을 가지는데 기존 인상재를 이용한 방법에서 보이는 인상재의 변형에 의한 오차가 없으며, 인상이 잘 안 나온 부분만 반복적으로 인상 채득이 가능하고, 구강내 교합관계를 그대로 인기할 수 있다는 점등이다.

이러한 시스템들의 이해는 개인가에서 구강내 스캐너를 구입할 때 구입의 기준이 될 수도 있다. 즉, 진료의 상당 수가 인레이, 크라운등의 간단한 보철물이 많다면 진료실 생산 시스템을 구매하는 것이 맞을 것이며, 다양하고 복잡한 보철 증례에 활용하고자 한다면 당일 진료의 장점을 포기하고 치과 기공실 생산 시스템을 선택하면 되는 것이다. 하지만 치과 기공실 생산 시스템을 사용 하더라도 원내 기공실에 디자인을 위한 소프트웨어와 밀링 머신을 구비하고 있다면 당일 치료도 가능할 수 있다.

2. 데이터 공유 (Open 시스템)에 대한 이해

그림 2는 itero 구강내 스캐너로 스캔 후 데이터를 처리하는 방식을 보여준다. 스캐너로 치아를 스캔하면 처음에 point cloud를 채득하게 된다. 이것은 컴

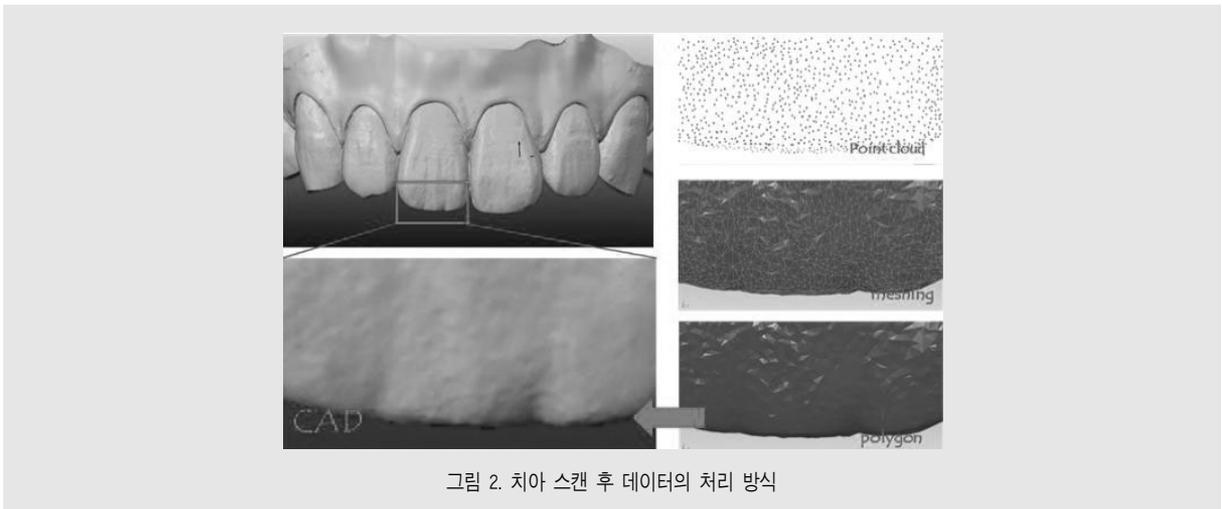


그림 2. 치아 스캔 후 데이터의 처리 방식

퓨터가 0과 1로 데이터를 처리하는 방식과 동일한 것이며 이런 과정을 통하여 스캔 대상을 점으로 표현하게 된다. 이후 소프트웨어에서 이러한 점들을 삼각형 형태로 연결하여 meshing과정을 거치게 되고, meshing된 삼각형을 면으로 바꾸게 되는데 이것을 polygon이라고 한다. 이러한 과정을 거친 후 점이 면으로 바뀌게 되고 이런 상태에서 이미지화되어 화면에 보여지게 된다. 결국 우리가 CAD/CAM으로 작업하는 과정은 채득된 point cloud를 이용하는 것으로 시스템 별로 point를 처리하는 방식이 약간씩 차이가 있으나 원리는 같다고 보면 되겠다. 채득된 점들이 많으면 그만큼 스캐너의 정밀도가 높다고 하겠지만 실상은 그렇지 않다. 왜냐하면 이후 디자인을 위한 소프트웨어, CAM을 위한 소프트웨어로 옮겨지는 동안 소프트웨어에서 처리 가능한 점들만 사용하기 때문이다. 여기서 꼭 알아야 할 점은 이런 데이터를 이용하는 CAD/CAM 방식의 가장 큰 장점은 이들 데이터를 다양한 소프트웨어, 다양한 시스템으로 전송이 가능하다는 것인데 이렇게 전송 가능하도록 개방한 시스템이 open 시스템이라고 보면 된다. 반대로 다른 시스템으로 전송하지 못하도록 막아둔 시스템이 closed 시스템이 되는 것이고 이러한 시스템은 원래 전송이 가능

한 데이터를 회사에서 전송하지 못하도록 막아둔 것으로 이해하면 된다.

그림 3의 예시를 보면 iTero 스캐너로 스캔 후 기공실에 있는 다양한 디자인 소프트웨어에서 작업할 수 있어 다양한 소재와 다양한 기공물을 제작할 수 있다.

### Ⅲ. CAD/CAM 보철 설계 시 나타날 수 있는 오류

앞에서 간단히 설명한 원리들은 보철물 설계 시 나타날 수 있는 오류를 이해하는데 있어 필수적인 것이다. 이러한 데이터를 이용하고 다른 소프트웨어에서 작업할 수 있는 CAD/CAM 시스템의 장점들은 부수적으로 보철물 설계과정에서 오류를 만들 수 있음을 세부적인 예시를 통해 논해 보고자 한다.

#### 1. 각 시스템에 따라 데이터 채득 방식의 차이

같은 치아를 스캔하였다더라도 스캐너에 따라 얻어지는 mesh 데이터는 달라진다. 그림 4는 같은 치아를 3Shape 모델 스캐너로 스캔 시 얻어진 mesh 데이

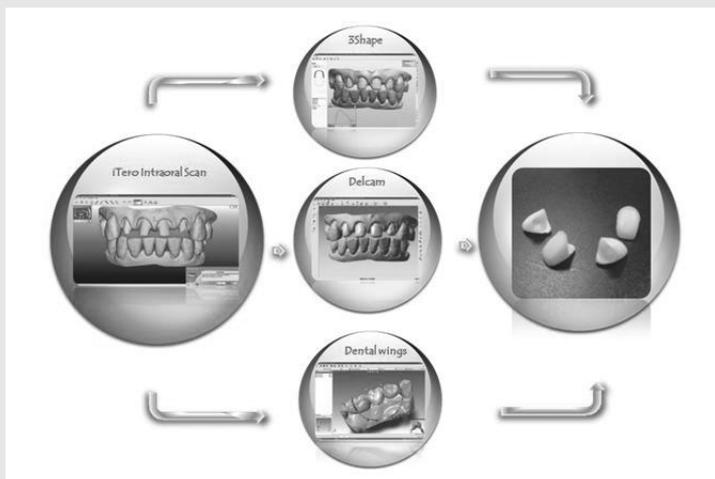


그림 3. Open system의 예시. iTero 스캐너의 경우 스캔된 데이터가 다양한 디자인 소프트웨어에서 열릴 수 있다.

임상가를 위한 특집 1

터 (좌)와 iTero 구강내 스캐너로 스캔 시 얻어지는 mesh 데이터를 보여주는데 채득된 점들과 이를 이용한 mesh 데이터가 확연히 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이러한 데이터의 차이는 최종 보철물의 질적 차이를 가져올 수 있는데 데이터를 최대한 많이 채득하고 많은 데이터를 이용하여 디자인하는 경우가 당연히 정밀도가 우수 할 수 있겠다. 하지만 우리가 꼭 알아야 하는 것은 iTero 와 같은 open 시스템은 다른 시스템으로 전송되는 과정에서 처리가 어려운 데이터는 일부 소실됨으로 최종 보철물의 질과 직접적인 영향이 없을 수도 있다. 그러나 최대한 많은 양의 데이터를 전송함으로써 처리 할 수 있는 데이터의 양은 늘어나므로 더욱 정확한 보철물 설계가 가능할 것이라는 기대는 할 수 있겠다. 모델 스캐너로 채득된 데이터는 매칭되어 있는 CAD 디자인 소프트웨어나 CAM 장비와 최적화되어 있어 채득한 데이터를 소실 없이 효율적으로

처리 할 수 있기 때문에 이상적인 데이터의 양을 획득하게 된다. 이는 효율성을 극대화 할 수 있고 처리 시간이 짧아 질 수 있어 오히려 최종 보철물의 질을 향상시킬 수도 있을 것이다.

2. 데이터의 변환 시 나타나는 변형

스캐너로 스캔된 데이터는 보통 STL(Stereo lithography) file 로 저장되는데 이 파일은 3D 프로그램에서 고체 모델링에 대한 정보를 다각형화된 표면(polygon 형태)인 작은 삼각형의 면으로 배열하여 각진 형태에서 부드러운 곡면까지 인식시키는 파일 형태로 rapid prototyping 과 CAM을 위해 가장 널리 사용되어지는 형태이다. 앞서 설명한 open 시스템의 경우 이들 STL file을 저장하여 CAD/CAM 장비로 전송하게 되는데 이러한 전송과정에서 파일들이 변

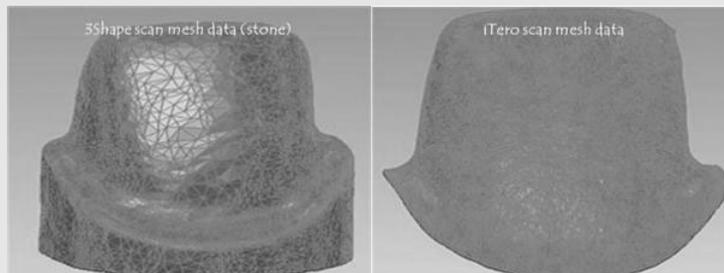


그림 4. 같은 치아를 다른 스캐너로 스캔 시 얻어지는 mesh 데이터의 차이. 좌: 3Shape model 스캐너, 우: iTero 구강내 스캐너

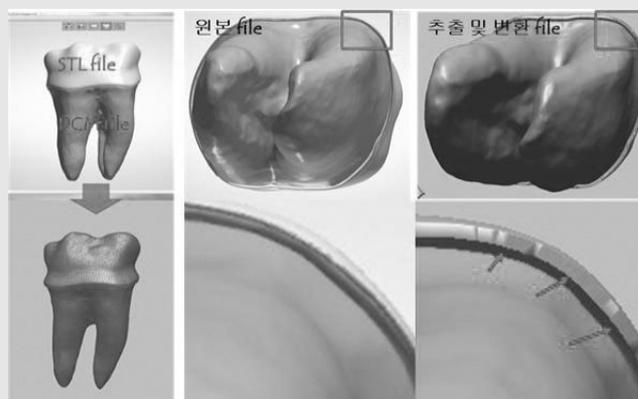


그림 5. 기존의 STL file을 다른 시스템으로 전송 시 생기는 오차

형될 가능성이 있다. 실제 임상에서도 같은 STL file 을 다른 CAD장비로 전송 시 오차가 발생하는 경험을 하게 된다. 그림 5는 원본 STL file을 다른 CAD 소프트웨어에서 열었을 때 디자인된 코핑의 마진부위 형태가 달라 졌음을 보여주는 것이다. 이러한 오류의 원인은 정확히 알 수 없으나 이 때문에 최종 보철물의 적합도가 떨어질 가능성이 있음을 임상가는 알아야 한다. 이러한 오류를 예방하기 위해서는 제조사가 추천하는 CAD/CAM 소프트웨어간에 STL 파일 전송을 하도록 추천(예를 들면, Trios로 스캔한 데이터는 3Shape 기반 소프트웨어로만 전송)하고 있지만 이것은 결국 open 시스템의 한계점일 수 있다.

### 3. CAD 소프트웨어에서 디자인 시 오류

스캔한 데이터를 바탕으로 코핑을 제작 시 소프트웨어 상에서 일정한 cutback 양을 설정하게 되는데 이때 지대치의 적합성 혹은 제대로 형성하였는지에 따라 코핑의 두께가 아주 얇아지는 경우가 발생 할 수 있다. 하지만 3차원 영상에서는 이를 확인할 수 없으며 반드시 2차원 영상으로 변환하여 모든 부분을 꼼꼼히 확인할 필요가 있는데 보통 디자인 작업 중에 이를 수정해 주어야 한다. 이 과정을 소홀히 한다면 형태적으로는 이상적인 보철물 디자인을 했다 하더라도 최종 보철물의 강도는 약해지고 파절의 원인이 될 수 있음을 명심하여야 한다. 그림 6은 일반적인 방법으로 지르코니아 코핑 디자인을 시행한 경우로 최종 보철물 형태에서

동일한 cutback 양을 부여하면 좌측과 같은 코핑 디자인이 형성되는데 이 상태로 바로 가공할 경우 우측과 같은 코핑의 두께가 부족한 부분을 가지는 보철물이 만들어 질 가능성이 있으므로 반드시 2차원 영상으로 절단하여 각 부위를 검사하고 코핑의 외형을 조절해야 한다.

### 4. 잘못된 지대치 형성(tooth preparation) 시 소프트웨어에서 나타나는 오류

보통 CAD/CAM을 이용한 최종 보철물이 잘 맞지 않는 경우는 지대치 형성의 문제가 가장 큰 것 같다. 치아 삭제는 전통적인 주조 방식과 비교하여 더욱 명확하고 깨끗한 변연 형성, 언더컷이 없는 측벽 형성, 결손부위나 기포가 없는 인상채득(모델스캔의 경우)이 필요하다. 특히 디자인시 나타나는 문제점 외에 밀링을 통해 보철물을 제작하는 방식을 잘 이해하여야 하며, 최대한 적합이 좋은 보철물을 만들기 위해서는 line angle이 남아 있지 않는 지대치 형성, shoulder 또는 deep chamfer 변연 형성, 최소 1mm 이상의 폭을 가지는 절단 형성, 형성된 치아 면에 돌기나 거친 부분이 없도록 매끈한 치아의 연마 등이 필요하다. 밀링 과정의 오류는 뒤에서 다시 설명한다.

그림 7은 치아형성 시 술자가 변연 부위를 깨끗하게 정리하지 않았을 때 소프트웨어상에서 발생하는 문제점을 보여준다. 그림에서 붉은 화살표와 같이 울퉁불퉁한 면이 있을 경우 소프트웨어에서는 그 부분을

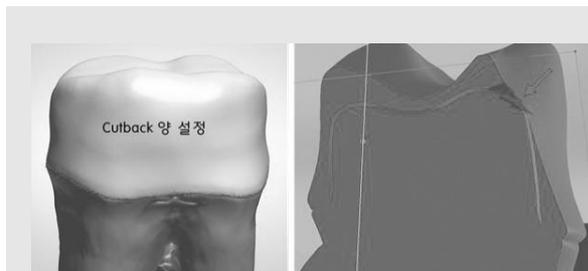


그림 6. 디자인 시 2차원적 검사를 시행하지 않았을 때 발생하는 오류

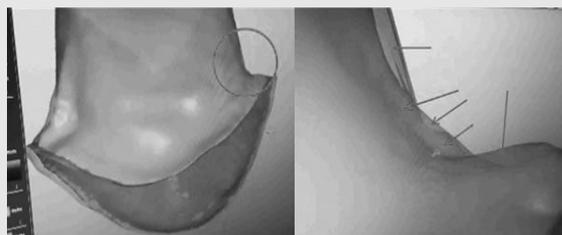


그림 7. 소프트웨어상에서 변연형성의 부주위로 야기되는 과량의 block out

임상가를 위한 특집 1

block out 시켜 버리고 실제 치아의 형태보다 훨씬 큰 치아의 외형을 만들게 된다(파란색 화살표). 이러한 block out 기능은 적절하게 활용된다면 적합도가 우수한 보철물을 제작할 수 있지만, 변연 부위에서 잘못된 block out은 오히려 최상의 변연 적합도를 얻기 어렵게 만든다. 명확하면서도 부드럽게 이행되는 변연부 형성이 반드시 필요함을 명심해야 한다.

치아의 측벽 형성에도 주의해야 하는데 전통적인 주조방식에서는 기공사에 의해 약간의 언더컷은 조절이 가능하지만 CAD/CAM 에서는 심각한 보철물의 부적합을 야기하게 된다. 그 대표적인 예가 그림 8에 보여지는데 측벽을 최대한 평행하게 삭제하여 보철물의 기계적 유지력을 증진시키려는 노력은 당연히 필요하지만 그 과정에서 생길 수 있는 측벽의 언더컷은 보철물의 내면 적합도를 떨어뜨리고 마진부의 적합도 또한 영향을 줄 수 있다. 그림 8의 빨간색 화살표는 치과의사가 지대치 형성 시 충분히 삭제하지 않아 생긴 측벽의 풍용부를 보여준다. 보통 디자인 과정에서 디자인 후 변연 상방 1mm 범위에서 block out 금지 구역을 설정하게 되며, 이렇게 영역을 지정하면 검은색 화살표처럼 변연부가 치아와 밀접한 접촉을 형성하게 된다. 만약 측벽에 풍용부가 있다면 자동으로 측벽에

block out 이 이루어지고 그림에서 보는 바와 같이 마진 부위가 측벽보다 더 작은 직경을 갖게 되는데, 이 경우 마진의 적합도는 얻을 수 있을 지 모르지만 측벽에는 엄청난 양의 공간이 형성되게 되어 보철물의 안정성과 유지에 문제를 야기할 소지가 있다. 따라서 CAD/CAM을 위한 치아 삭제 시 약간은 taper한 형태가 디자인 시 유리하며 내면 적합도가 우수한 보철물 제작을 가능케 함을 명심하고 측벽의 적절한 형성에 주의를 기울여야 한다.

치아 형성 시 오류가 발생할 가능성과 함께 모델 스캔을 위한 인상채득과 석고 모형 제작 시 부주의로 인해 최종 보철물의 큰 오차를 만들 가능성도 있다. 그림 9는 그 예시를 제시한 것으로 석고 모형상에 형성된 기포등을 적절히 제거하지 않았을 때 발생하는 오류를 보여준다. 앞서 설명한 바와 같이 CAD/CAM 디자인 과정에서 언더컷 부위는 자동으로 block out된다. 그림 9는 석고 모형의 순측에 기포가 있다고 가정해 본 것이다. 좌측의 붉은 화살표처럼 기포가 있다고 가정하면 우측 붉은 화살표처럼 소프트웨어 상에서 자동으로 과도하게 block-out하게 되고 이 상태로 보철물 제작 시 보철물의 강도 저하, 비니어 도재의 파절, 내면 적합도의 저하등의 문제점을 보이게 된다. 치과



그림 8. 치아의 측벽에 형성된 언더컷이 디자인 시 오차를 발생하는 예시

그림 9. 모델 스캔을 위한 모형에서 기포등에 의해 생길 수 있는 오류의 예시

의사 뿐만 아니라 위생사, 기공사들도 제작된 모형의 정리에 신경을 써야 하며 치과의사는 인상채득 후 내면 검사를 통하여 인상의 결손 부위나 기포의 함입을 확인하고 적절한 조치를 취해야 한다.

### 5. 정밀하지 못한 변연부 인상 채득으로 인한 오류

CAD/CAM 보철물 설계과정에서도 변연부의 정확한 인상이 중요한데, 구강내 스캐너를 사용할 때는 인상재를 이용한 인상채득방식과 비교하여 변연 부위 인상 채득이 더욱 어려운 단점이 있는데 이것은 앞서 설명한 언더컷 부위(광학 방식에서 직접 보이지 않는 부위는 채득이 안된 부위)를 스캔할 수 없다는 이유에서 발생된다. 변연부의 경계와 조금이라도 잘못 형성된(울퉁불퉁한 변연 형성등) 변연부위의 경계가 명확하지 않기 때문에 보철물 디자인 시 어려움을 겪게 된다. 그림 10은 이러한 문제점을 보여주는 그림으로 좌측의 붉은 화살표처럼 변연부위의 경계가 명확하지 않은 상태로 스캔이 채득되었을 경우 가공의 정확성을 위하여 변연의 결손부위 내측으로 변연 경계를 형성해야 하는데 이것이 실제 형성한 치아 형태과 다를 수 있어 마진 부위에 스템을 형성할 가능성이 있다. 그렇다고

임의로 변연 외형을 조절하면 block out된 부분은 절벽처럼 인식됨으로 변연의 적합도가 현저히 떨어질 수 있다. 일부 소프트웨어에서는 그림 10의 우측 그림처럼 면으로 인식하여 변연의 경계를 조절할 수 있도록 하는 툴이 개발되어 있지만 이것 또한 명확한 변연 설정에 오차의 소지가 크다. 따라서 술자는 반드시 double cord를 이용하여 인상 채득을 해야 하며 반복적으로 스캔할 수 있는 스캐너의 장점을 활용해 스캔된 화면을 확인하면서 명확한 변연이 얻어질 때까지 반복적으로 스캔을 해야 한다.

이러한 CAD/CAM의 한계는 심미 수복의 경우에 약간의 문제점을 야기할 수 있는데, 전통적인 보철 제작 방식에서 인상을 통해 얻을 수 있는 sub-gingival contour를 스캐너를 통한 인상에서는 얻기 어렵다는 것이 문제이다. 보철물 변연부(특히 전치부 순측 치은 등)의 치은은 외부 반응에 민감하며 기계적 외상을 받기 쉬우므로 심미 수복 부위에서 보철물의 변연을 치은연하에 설정하는 경우 변연하방의 sub-gingival contour가 중요한 요소가 될 수 있다<sup>2)</sup>. 이러한 sub-gingival contour를 인기 하기 위해 전통적인 인상방법에서는 double cord를 삽입하고 그림 11의 B와 같이 일명 “technical key”를

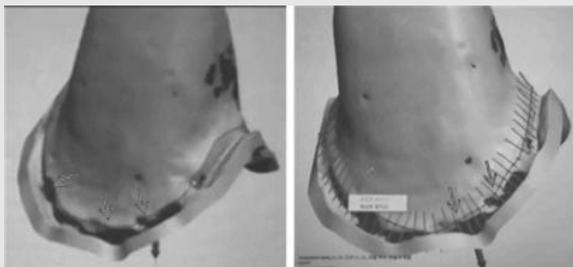


그림 10. 부적절한 변연부 스캔데이터에 의한 변연 설정의 오류에 대한 예시



그림 11. CAD/CAM 모형과 전통적 인상방법을 이용한 석고 모형에서 sub-gingival contour의 차이

임상가를 위한 특집 1

얻고자 노력한다. 이 부분은 변연 하방 0.5~1mm 정도의 sub-gingival contour를 인기 한 부분이다. 그림 11C는 CAD/CAM 방식으로 제작된 모형과 전통적 방식으로 인상 채득하여 제작된 석고 다이의 모습으로 우측 석고 모형의 경우 sub-gingival contour가 인기 되어 그 부분을 기준으로 보철물의 emergency profile을 예측할 수 있지만 CAD/CAM 모형에서는 sub-gingival contour가 인기 되지 않아 보철물 제작 시 emergency profile을 예측할 수 없어 기공사의 주관적 판단 하에 보철물이 제작되게 된다. 이런 이유로 본 저자는 전치부 심미 수복에 한해서는 아직도 전통적인 인상방법을 사용하여 석고 모형을 제작하고 다이를 제작하고 있다.

6. 복제 시 나타날 수 있는 오류

본 저자는 임상에서 고정성 보철물을 CAD/CAM

으로 제작함에 있어 대부분의 증례를 임시 보철물을 그대로 복제하는 방법을 사용하고 있다. 임시치아를 통해 적절히 형성된 교합과 치아 외형을 그대로 최종 보철물로 옮기는 방법은 CAD/CAM을 통해 새롭게 시도될 수 있는 방법이라 하겠다. 특히 전방 유도의 복제, 전악수복에서 임시치아의 복제 등에 효과적으로 이용할 수 있는 방법이다<sup>30</sup>. 그림 12는 임시치아를 복제하는 과정으로 A는 임시치아가 장착된 상태에서 인상 채득된 영상이고 B는 임시치아를 제거하고 삭제되어 있는 치아를 스캔한 영상이다. 이 두 영상에서 일치한다고 생각되어지는 부분들을 지정해 주면(C), 그림 12D와 같이 중첩되게 된다. 결국 소프트웨어에 의한 디자인이 아니고 임시치아를 디자인 된 보철물의 형태처럼 사용하게 되는 것이다.

하지만 이런 복제 과정은 쉽거나 간단한 술식이 아니다. 본 저자는 이런 술식을 대부분의 술식에 적용하기 까지 많은 노력이 필요하였다. 치과 의사가 해야 하

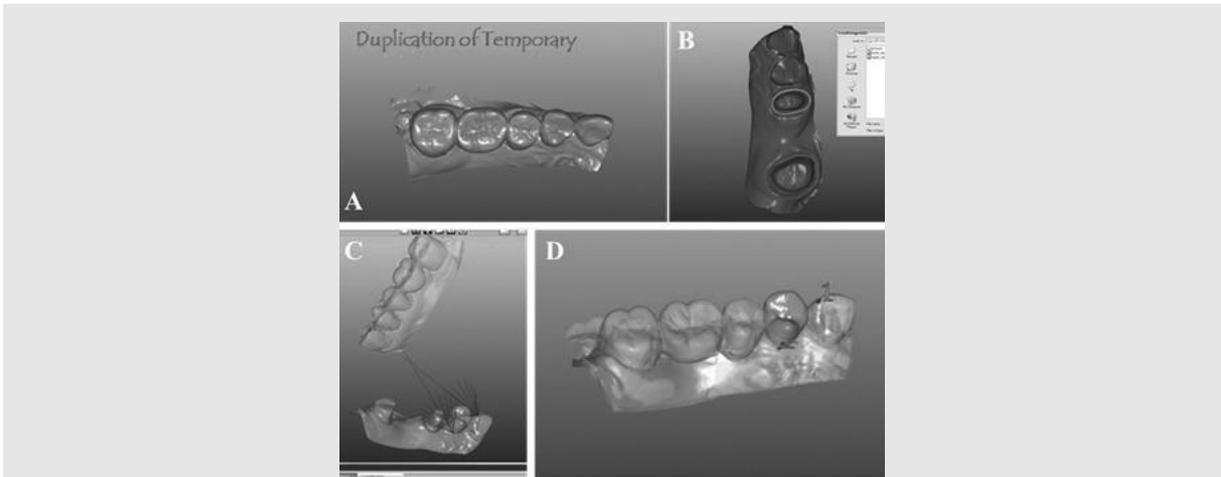


그림 12. 임시치아를 복제하는 과정

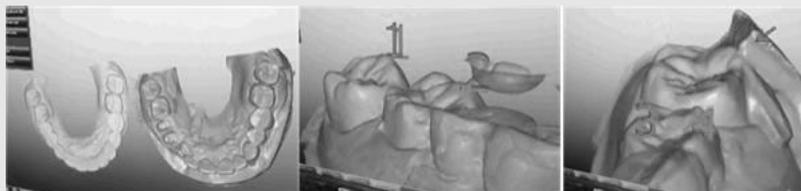


그림 13. 모델 중첩 과정에서 발생하는 오류

는 가장 중요한 포인트는 정확하고 충분히 넓은 범위로 인상 채득 하는 것이다. 즉, 치아 뿐 아니라 치아 주위 연조직을 넓게 채득하여 중첩할 부위를 설정할 수 있는 범위를 넓혀 줌으로써 충분한 면적에서 중첩이 이루어지도록 환경을 만들어 주어야 하며, 석고 모형을 이용하여 모델 스캐너로 스캔하고 중첩하는 경우(구강 스캐너가 없는 임상가들은 이런 방법으로 기공실에서 중첩이 가능하다.) 기포의 제거나 모델이 변형되지 않도록 신경써야 한다. 그림 13은 모형을 스캔하여 중첩할 때 나타나는 오류를 보여주는데, 숫자 1,2,3을 보면 이 부분에서 중첩이 제대로 되지 않았음을 보여준다. 이러한 원인은 그림의 화살표와 같이 잘못된 인기된 인상체에 의한 오류로 사료 된다. 이런 경우 중첩을 완벽하게 시키기 어려우며 기공사에 의해 조절이 필요한데 이 또한 시스템에 숙련된 기공사의 도움을 받아야 하므로 쉬운 작업이 아니다.

#### IV. CAD/CAM 보철 제작 시 나타날 수 있는 오류

CAD/CAM 보철물의 정밀도에 대한 많은 연구들이 있어 왔다. 전통적 방식에 의한 금속 도재관과 CAD/CAM 시스템에 의한 수복물의 적합도에 관한 실험 연구를 살펴보면, Kim 등<sup>4)</sup>은 그들의 in vitro 연구에서 금속도재관의 변연적합을  $50.6 \pm 13.9 \mu\text{m}$ , 내면적합을  $52.6 \pm 10.1 \mu\text{m}$ 로, Cerec inLab에 의한 지르코니아 기반 완전도재관의 변연적합을  $71.2 \pm 2.0 \mu\text{m}$ , 내면적합을  $73.7 \pm 10.7 \mu\text{m}$ 로 보고하여 변연, 내면 모두 지르코니아 도재관이 더 큰 변연 간극을 보였다고 하였다. Reich 등<sup>5)</sup>은 변연적합에 있어서 금속도재관의 경우  $54 \mu\text{m}$ , Cerec inLab에 의한 완전도재관의 경우  $65 \mu\text{m}$ 로 보고하여 유의한 차이가 없다고 하였고, 내면적합에 있어서는 각각  $75 \mu\text{m}$ 와  $154 \mu\text{m}$ 로 서로 유의한 차이가 있다고 하였다. Nakamura 등<sup>6)</sup>은 Cerec 3 CAD/CAM 시스템으로 제작된 완전도

재관의 변연 적합을  $53 \sim 108 \mu\text{m}$ , 내면 적합을  $116 \sim 162 \mu\text{m}$ 로 보고하였고, Zhang 등<sup>7)</sup>은 ceramic block을 milling하여 제작한 lithium disilicate crown의 변연 적합을  $51.4 \sim 71.1 \mu\text{m}$ 로 보고하였다. 하지만 이들 연구의 가장 큰 단점은 대부분 모델상에서 적합도를 측정하여 실제 임상에서 느껴지는 적합도와는 차이가 있을 수 있다는 점이다. 또한 내면 적합을 보기 전에 기공사에 의해 내면 조정(후 가공)을 시행했을 가능성이 있다. 기공사에 의한 후가공을 완전히 배제하며 임상 상황을 가정한 본 저자의 연구들<sup>8-10)</sup>에서는 이전 연구와 약간 다른 점들을 발견하였다. 변연의 적합도는 이전 연구와 비슷한 양상을 보였으나 절단 또는 교합면 쪽의 내면 간극은  $200 \mu\text{m}$  이상의 아주 큰 값이 관찰되었다. 이것은 여러 가지 원인이 있을 수 있으나 본 저자의 생각에는 술자가 CAD/CAM 보철물 제작 과정에서 나타나는 오류를 감안하지 않고 치아 삭제를 하였거나, 기공소에서 작은( $0.5\text{mm}$  직경) 직경의 바를 구비하여 사용하지 않기 때문에 나타나는 결과일 가능성이 있다고 본다.

##### 1. 밀링 바의 직경과 상태가 보철물에 미치는 영향

앞서 설명한 디자인 과정에서의 오류를 잘 이해하고 적절한 치아 삭제와 적절한 보철물 디자인을 시행하였더라도 밀링 과정에서 발생하는 오류가 있을 수 있는데 그 대표적인 것은 밀링 바의 직경과 밀링 기계의 검정과정(calibration)이다. 그림 14는 다양한 밀링 바의 직경과 그 직경에 따라 가공되는 보철물의 질이 달라짐을 보여주고 있다. 보통 직경  $1\text{mm}$  밀링 바를 최소 직경으로 많이 이용하고 있지만 시스템에 따라서는  $0.5\text{mm}$  직경의 바까지 제공되고 있다. 두꺼운 바를 사용하면 그림 14의 우측과 같이 거친 면으로 가공이 되게 되고 이것은 보철물의 적합도를 저해할 요소 중 하나가 될 수 있다. 이런 거친 면을 가지는 보철물은 기공사에 의한 후가공이 필수적이며 이런 가공 과정에서 의도한 바와 다른 보철물의 오차가 발생할 가능성이 있다.

임상가를 위한 특집 1

또한 이러한 바의 직경으로 인해 가공할 수 있는 범위가 한정되는데 1mm 직경의 바를 이용한다고 할 경우 보철물 내면에서 1mm 이하의 형태는 정밀 가공이 불가능할 것이다. 따라서 일반적으로 그림 15와 같은 치아 삭제를 권하게 되는데 변연 부위는 반드시 1mm 이상의 폭경을 가지는 deep chamfer 나 shoulder 변연을 형성하여야 하며, shoulder with bevel 이나 knife edge 변연 형성은 추천하지 않는다. 절단 부위와 교합면의 교두 부분은 1mm 이상의 둥근 형태를 가져야만 하고 둥근 inner edge를 가지도록 치아 삭제가 이루어 져야 한다.

또한 기공소에서는 밀링 머신의 calibration에 신

경을 써야 하는데, 이런 과정을 자주 해주지 않으면 아무리 새 밀링 바를 사용한다고 하더라도 정확한 보철물 가공이 어렵게 된다. 그림 16은 임시치아를 복제하여 가공된 최종 지르코니아 보철물을 보여주는 것으로 위의 것은 임시 치아, 중간 것은 처음 만들어진 보철물, 가장 아래 보철물은 동일한 데이터를 이용하여 3개월 뒤에 제작해 본 것이다. CAD/CAM의 가장 큰 장점은 디자인된 데이터를 보존 함으로써 차 후에 다시 제작할 필요가 있을 때 추가 인상 채득 없이 바로 가공할 수 있다는 것이다. 하지만 그림 16을 보면 동일한 데이터로 다시 만든 보철물의 미세 형태가 많이 차이가 나는 것을 관찰 할 수 있고, 이것은 가공 당시

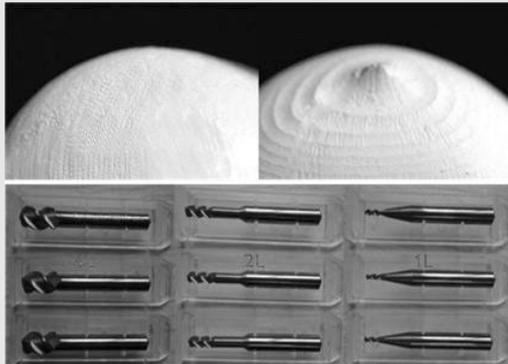


그림 14. 밀링바의 직경과 그에 따른 가공면의 거칠기

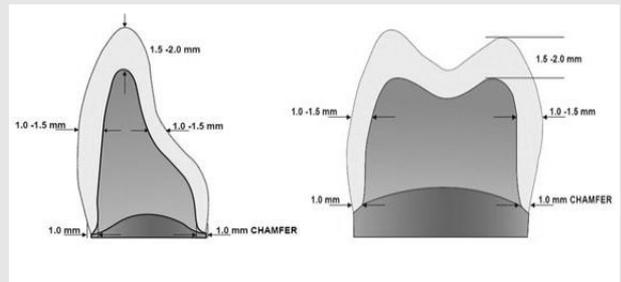


그림 15. CAD/CAM 밀링 시 오류를 최소화 할 수 있는 치아 삭제 형태

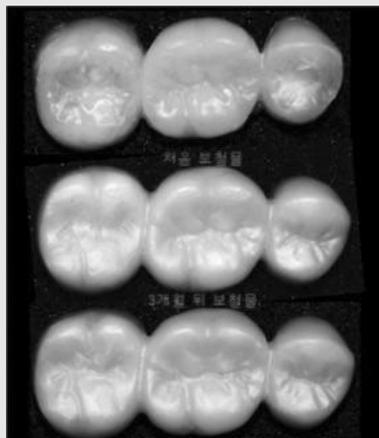


그림 16. 같은 데이터로 제작된 보철물에서 미세 형태의 차이가 보이는 예시

의 밀링 바의 마모도, calibration의 유무에 따라 나타나는 결과이다.

## 2. CAD/CAM 다이 제작에 따른 오차

저자는 최근 대부분의 보철과정에서 CAD/CAM 모델을 제작하여 최종 보철물의 적합도 및 교합관계를 확인하고 있는데, 이 과정에서 가끔 모델에 의한 가공 오차를 경험하게 된다. 보철물의 제작의 용이성을 위해 보통 모델상에 다이를 제작하게 되는데 CAD/CAM으로 제작된 모델 역시 다이를 제작할 수 있다. 그림 17은 전통적인 석고 모델과 밀링해서 가공하는 polyurethane 모델, rapid prototype 방식으로 제작된 모델의 다이 제작 모습을 보여 준다. 전통

적인 석고 모형에서 다이는 기성품인 다이 핀을 이용하는 반면 CAD/CAM으로 제작된 모델은 모델 내면을 가공하여 다이를 제작한다. 즉, 다이의 접합면 또한 CAD/CAM으로 가공된다는 것으로 이 접합면에 가공 오차에 따른 간극이 발생할 가능성이 있다. 물론 모형 자체의 오차가 있을 수 있으나 이전 본 저자의 연구에서 모델의 제작 방법에 따른 차이는 거의 없음을 확인 한바 있다<sup>9)</sup>.

또 다른 오류의 예가 그림 18과 같은 경우이다. 즉, 임플란트 보철 증례에서 모형상에서는 인접면 접촉이 좋으나 구강 내에 장착 시 접합이 없어지는 것을 가끔 경험하게 된다. 이러한 오류는 다이를 제작하는 과정에서 발생하는 오차라고 사료되는데(자연치라면 치주 인대로 인해 지대치 변위로 일시적으로 생기는 문제일

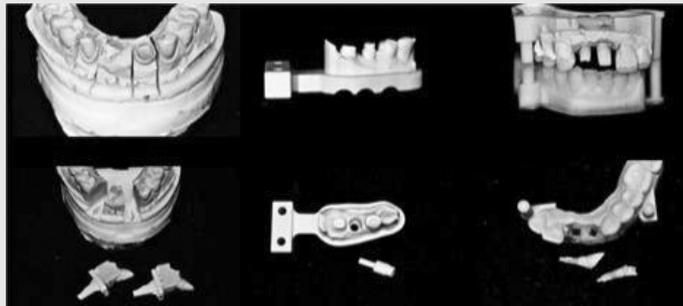


그림 17. 전통적 방식과 CAD/CAM으로 제작된 모형에서 다이의 제작 형태

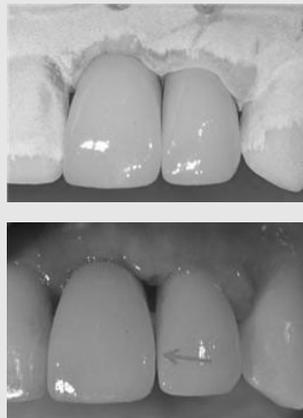


그림 18. Monolithic lithium disilicate 보철물의 CAD/CAM 모형과 실제 구강내에서 보이는 차이의 예시

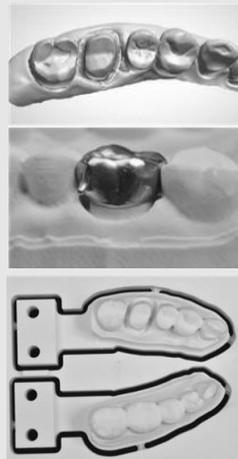


그림 19. Monolithic 보철물 제작에서 다이 제작을 하지 않고 제작된 CAD/CAM 모델

수도 있다) 그림 19와 같이 다이를 제작하지 않고 만든 보철물에서는 이런 현상을 한번도 경험해 보지 못한 본 저자의 경험을 바탕으로 한 가설로 앞으로 그 원인에 대한 연구가 필요하다. 하지만 우리가 다이를 만드는 이유를 생각해 보면 일부 CAD/CAM 보철에서는 만들 필요가 없지 않을까라는 조심스러운 생각을 해보는데, 다이 제작 이후 wax-up과정을 거치지 않는 CAD/CAM 보철물의 경우 모든 보철물의 디자인이 소프트웨어상에서 이루어지기 때문에 보철물의 가공 후 인접면과의 접합이나 변연의 적합을 보는 과정은 다이가 제작되지 않더라도 가능한 일일 것이다. 따라서 CAD/CAM으로 monolithic 보철물을 제작하는 경우는 그림 19와 같이 다이 제작을 하지 않는 것을 본 저자는 추천한다.

### 3. 밀링 과정에서 나타날 수 있는 사용자의 오류

전치부의 경우 절단 부위의 간극이 크게 나타나는 가장 큰 원인은 앞서 설명한 바와 같이 밀링 바의 두께보다 적은 절단면 두께이다. 하지만 이러한 오류도 CAM 사용자에 따라 더 적게 나타날 수 있는데 그에 대한 설명을 그림 20에 나타내었다. 같은 두께의 절단부위를 가지는 전치부에서 밀링 바의 가공 방향에 따라 절단 부위의 내면 간극은 달라질 수 있다. 그림 20의 A나 B와 같이 가공하게 되면 절단 부위에 상당히 큰 결손부위를 만들게 되는데 이것은 보철물의 강도를 약하게 만들 뿐 아니라 상부 veneer의 두께가 얇아져 파절의 원인이 될 수 있으므로 조심하여야 한

다. 원칙은 보철물 삽입로와 밀링 바의 가공 방향이 동일하여야 하지만 모든 치아 삭제가 완벽한 것은 아니므로 2차원 영상으로 확인 후 적절한 방향으로 수정하여 밀링 바의 가공 진행방향을 설정할 필요가 있다.

## V. 결론

CAD/CAM 시스템은 최근 그 기술과 재료들이 혁신적으로 발전하고 있으며 너무나 다양한 제품들이 소개되고 있다. 이들 치과용 CAD/CAM 시스템은 변연 적합성, 기계적 성질 등 수복물의 보다 효과적인 질적 관리가 가능하며, 지르코니아와 같은 새로운 양질의 심미 재료를 정확하게 가공하여 사용할 수 있으며, 수복물의 제작 공정이 간결하고 효율적이며, 제작 시간이 단축되며, 표준화된 과정으로 제작될 수 있으며, 대량 생산이 가능하며, 기공 환경이 개선되는 장점이 있다. 하지만 아직은 완벽한 것은 아니며 사용자의 지식과 능력에 따라 그 결과물은 많은 차이를 보인다. 이 글에서 제시된 것들보다 더욱 많은 오류의 소지들이 있을 수 있으나 지금까지 본 저자가 경험적으로 느낀 오류의 소지들을 일부 고찰해 보았다. 임플란트가 처음 나오고 많은 시행착오를 겪으며 지금의 전성기를 맞았듯이 치과의 CAD/CAM 분야도 시작되어 번성하고 있는 이 시점에 그 한계점을 이해하고 그것들을 극복하고자 하는 시도들이 10년 아니 몇 년 뒤 치과 분야에서 CAD/CAM 전성기를 맞이하게 될 밑거름이라 생각한다. 스캔과정에서 발생가능한 오류, 디자

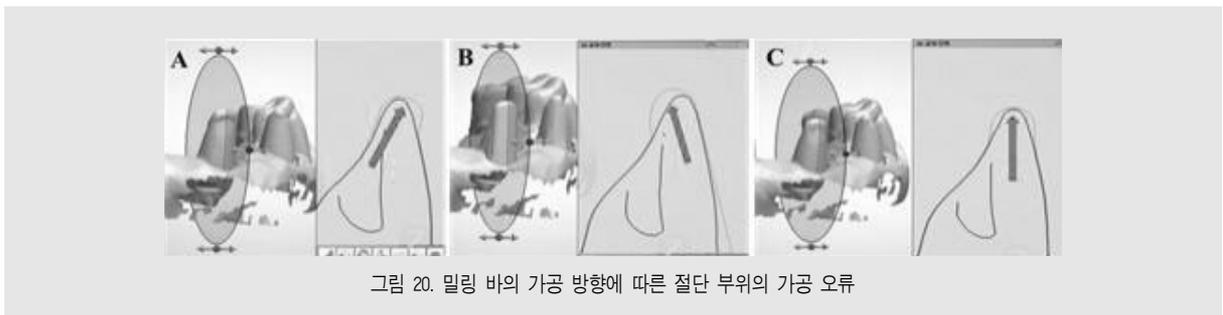


그림 20. 밀링 바의 가공 방향에 따른 절단 부위의 가공 오류

인과정에서 발생가능한 오류 그리고 제작과정에서 발생가능한 오류들을 극복할 수 있는 방법들을 잘 이해하여 임상에 적용함으로써 모든 임상가들이

CAD/CAM을 통해 최상의 진료 결과를 얻기를 희망한다.

## 참 고 문 헌

1. 고정성치과보철학교수협의회. 고정성치과보철학 원리와 임상. 대한나래출판사 2012 page 440.
2. Wagman SS. The role of coronal contour in gingival health. J Prosthet Dent. 1977 ;37:280-7.
3. 배지철, 김원희, 전영찬, 정창모, 윤미정, 허중보. CAD/CAM의 복제 기법을 이용한 전방 유도 의 재현 증례. 대한치과보철학회지 2014;52:121-127.
4. 김성준, 조광현, 이규복. 수종의CAD/CAM 시스템으로 제작한 지르코니아 기반 완전도재관의 적합도 비교. 대한치과보철학회지 2008;47:148-55.
5. Reich S, Wichmann M, Nkenke E, Proeschel P. Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. Eur J oral Sci 2005;113:174-9.
6. Nakamura T, Dei N, Kojima T, Wakabayashi K. Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM all-ceramic crowns. Int J Prosthodont 2003;16:244-8.
7. Zhang Y, Li J, Xue XQ, Chen ZY, Li XJ. A comparison of three-dimensional marginal adaptation among three all-ceramic crown systems. Shanghai Kou Qiang Yi Xue 2011;20:494-9.
8. 허중보, 김우식, 김하영, 김종은, 이정렬, 김영수, 전영찬, 신상완. 다양한CAD/CAM 시스템으로 제작된 3 분 고정성 가공의치 지르코니아 코어의 변연 및 내면 적합도 평가. 대한치과보철학회지 2011;49:236-244.
9. 허중보, 박청길, 김하영, 박찬경, 신상완. 수종의 CAD/CAM 시스템으로 제작한 지르코니아 코어에서 Replica Technique을 이용한 변연 및 내면 적합도 평가. 대한치과보철학회지 2010;48:135-142.
10. Kim SY, Lee SH, Cho SK, Jeong CM, Jeon YC, Yun MJ, Huh JB. Comparison of the accuracy of digitally fabricated polyurethane model and conventional gypsum model. J Adv Prosthodont. 2014;6:1-7.