

3축 CNC 밀링을 이용한 치아 모형 제작 방법

최원창¹ · 서엄지² · 백지혜² · 정연찬[#]

Making Teeth Models using 3-axis CNC Milling

W. C. Choe, U. J. Seo, J. H. Baek, Y. Chung

(Received November 15, 2013 / Revised January 13, 2014 / Accepted January 14, 2014)

Abstract

The current study presents a simple setup method for making teeth models using a three-axis CNC milling machine. Physical teeth models can be made by several methods: casting, machining, and three-dimensional printing. Since the shape of a teeth model requires five-axis machining, the machining of a teeth model using a three-axis CNC milling machine requires careful setup operations. In this paper a simple datum shape is designed within the work piece of the teeth model. The datum shape is an n-sided prism with regular n-polygon ends and rectangular sides. In the present study a 12-sided prism is used, which easily makes 30 degree rotations for finish machining. The proposed setup approach does not require any special tools for making the teeth model using a three-axis CNC milling machine. A test was run and the results show that the proposed approach is useful for experimental makings with the limited facilities available.

Key Words : Machining Teeth Model, Three-axis CNC Milling, Setup Datum, Setup Fixture

1. 서 론

치아 교정, 충치 제거, 치아 임플란트 시술 등과 같은 치과 치료를 위해 치아 모형이 사용된다. 최근 3 차원 스캐너를 이용한 디지털 모형이 활발히 연구되고 있지만 실물 모형의 편리함과 사실감 때문에 실물 치아 모형은 여전히 활발하게 사용되고 있다[1].

실물 치아 모형 제작은 크게 캐스팅 방법과 절삭 방법으로 나뉜다. 캐스팅 방법은 알지네이트(alginate) 등으로 실물 치아 인상(physical dental impression)을 채득한 후 그것을 주형으로 사용해서 석고 모형을 제작한다. 절삭 방법은 치아의 디지털 인상(digital dental impression)을 얻은 후 절삭 가공을 통해 실물 치아 모형을 제작한다. 치아의 디지털 인상은 3 차

원 스캐너로 치아와 구강을 직접 스캐닝하거나 실물 치아 인상을 스캐닝해서 얻을 수 있다[2~4].

절삭 방법의 큰 장점은 디지털 인상의 사용이다. 디지털 인상은 실시간으로 전세계 어디든지 쉽게 전송할 수 있다. 일반적으로 치과에서 치아 인상을 채득하고 치기공소에서 치아 모형을 제작한다. 결국 치아 인상을 치기공소에 전달할 필요가 있다. 실물 인상을 주형으로 사용하는 캐스팅 방법은 치과에서 실물 주형을 치기공소에 전달한다. 디지털 인상을 사용하는 절삭 방법은 디지털 치아 인상을 인터넷을 통해 전세계 어디든 실시간으로 쉽게 전달할 수 있다[5~7].

치아 모형의 절삭에 사용되는 디지털 치아 인상 채득 방법은 크게 두 가지 방법으로 연구 개발되고 있다. 하나는 치아와 구강을 비접촉식 3차원 스캐너로

1. 서울과학기술대학교 일반대학원

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Corresponding Author : Seoul National University of Science & Technology, E-mail: ychung@seoultech.ac.kr

스캐닝해서 얻는 방법이다. 이때 얻어진 디지털 인상은 치아와 같은 포지티브 형상이다. 포지티브 형상은 절삭 가공에 곧장 이용될 수 있다. 디지털 치아 인상 채득의 또 다른 방법은 실물 치아 인상을 스캐닝하는 방법이다. 이때 얻어진 디지털 인상은 네거티브 형상이기 때문에 형상 조작을 통해 포지티브 형상으로 변환해서 절삭 가공에 사용한다[8].

치아 모형은 일반적으로 5 축 절삭 가공이 필요한 형상이다[9]. 작은 개별의 치아 형상인 크라운 치형과 임플란트 치형은 3+1 축으로 가공할 수도 있지만 일반적인 치아 모형의 경우 5 축 CNC 밀링 기계로 절삭 가공해야 한다. 3+1 축 기계는 일반 3 축에 회전축을 한 개 추가한 기계로 4 개의 축을 동시에 제어할 수 없고 필요한 시점에 다른 축은 고정된 채로 회전축을 회전한다. 주로 피삭재를 x 축으로 회전하는 장치를 추가 장착한다. 간이 회전축을 2 개 덧붙인 3+2 축의 기계에서는 5 축 절삭 가공 형상을 가공할 수 있다[10].

일반적으로 5 축 CNC 기계는 3 축에 비해 상당히 고가다. 3 축의 기계를 3+2 축의 기계로 변형하는 것도 초기 투자 결정이 필요하다. 5 축 가공 형상을 3 축 기계에서 가공하려면 여러 번의 공작물 셋업이 필요하다. 각각의 공작물 셋업에서 실수를 하거나 정도를 충분히 확보하지 않으면 최종 가공 형상의 정확도와 정밀도를 보장할 수 없다. 기계가공에 익숙하지 않은 치기공소 작업자에게 공작물 셋업은 매우 어려운 작업이다[11, 12].

3 차원 스캐너를 이용한 디지털 인상의 채득과 CNC 기계를 이용한 임플란트 제작 기술이 치과 치료에 매우 활발히 보급되고 있다. 그러나 국내 치기공소에서 치아 모형을 CNC 절삭 방법으로 제작하는 것은 매우 제한적이다. 보급된 대부분의 CNC 기계는 크라운 혹은 임플란트 제작용으로 3 축 혹은 3+1 축 기계다. 또 치아 모형 제작이 가능한 5 축 CNC 기계와 관련 소프트웨어 시스템은 가격이 비싸기 때문이다. 결국 치기공소에서 치아 모형을 절삭으로 제작하기 어려운 실정이다.

이 연구에서는 추가적인 치공구 없이 5 축 가공 형상인 치아 모형을 3 축 CNC 밀링 기계에서 제작할 수 있는 간이적인 셋업 방법을 제시한다. 별도의 추가적인 투자가 필요 없기 때문에 치아 모형을 시험적으로 절삭 제작하거나 치아 모형 제작을 위해 5 축 CNC 기계의 도입을 검토하는 경우에 유용하게

활용할 수 있다. 3 축 기계에서 5 축 가공 형상을 가공하기 때문에 여러 번의 공작물 셋업이 필요하지만 피삭재에 추가 설계된 기준 형상을 통해 간편히 셋업 할 수 있다. 이 연구에서 제안한 방법을 사용하면 기계 가공이 익숙하지 않은 치기공소 작업자도 3 축 CNC 밀링 기계에서 쉽게 치아 모형을 제작할 수 있다.

2. 3축 CNC 밀링 가공

2.1 공작물 셋업 개요

CNC 밀링 작업에서 공작물 셋업은 공작물의 위치와 자세를 설정하고 공작물을 단단히 고정하는 일이다. 공작물의 고정(clamping)은 절삭 가공 중에 공작물이 움직이지 않게 한다. 기계 테이블에 공작물을 직접 고정하거나 고정구(fixture)를 사용하는 등의 다양한 공작물 고정 방법이 있다[13]. 이 연구에서는 치기공소에서 쉽게 구할 수 있고 쉽게 사용할 수 있는 일반 밀링 바이스로 공작물을 고정한다. 밀링 바이스는 조(jaw)를 열고 닫는 간단한 조작으로 공작물을 고정할 수 있다.

공작물의 자세 설정은 공작물의 좌표축과 기계의 좌표축을 서로 평행하게 만드는 일이다. 예를 들면 기계의 X 축과 평행하게 공작물의 X 축이 놓이도록 공작물의 자세를 잡고, 기계의 Y 축에 평행하게 공작물의 Y 축이 놓이도록 공작물의 자세를 잡는다. 공작물의 특정한 면을 기준으로 좌표축을 정렬할 수도 있다. 이 연구에서 제안하는 방법은 바이스를 통해 간편하게 공작물의 좌표축을 정렬한다.

공작물의 위치 설정은 공작물 좌표계 원점과 기계 좌표계 원점을 일치하는 일이다. 공작물의 특정한 점을 기준점으로 사용하거나 좌표축 정렬에 사용한 기준면을 이용해서 위치를 설정한다. 이 연구에서 제안하는 방법은 셋업을 바꿔도 공작물의 원점이 같기 때문에 위치 설정은 한번만 수행된다.

2.2 절삭 가공 공정 계획

3 축 CNC 밀링 가공기[14]에서 5 축 형상인 치아 모형을 절삭 가공하기 위해서는 공작물의 셋업을 여러 번 변경해야 한다. 이 연구에서는 Fig. 1 에서 보인 4 가지 셋업을 제안한다.

‘표준 셋업’ 자세는 Fig 1 의 a)와 같다. 대부분의 치아 윗면과 앞니 안쪽을 절삭 가공할 수 있는 셋업

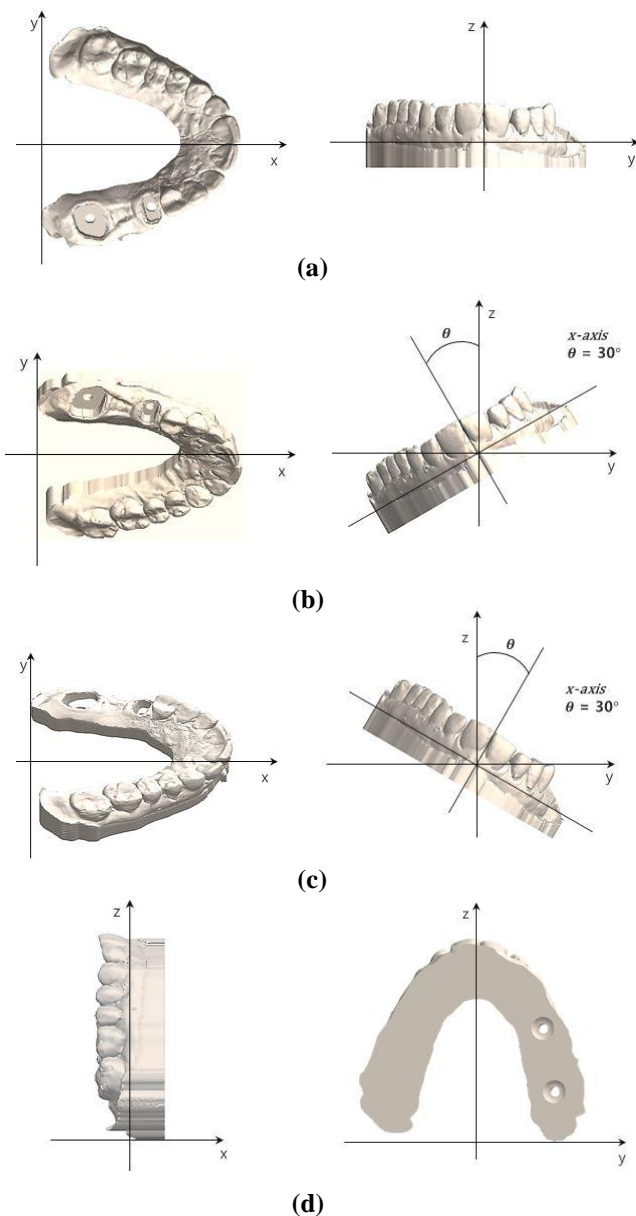


Fig. 1 Setup orientations: (a) standard setup, (b) left setup, (c) right setup, (d) front setup

자세다. 만일 앞니가 입 안쪽으로 기울어진 경우에는 표준 셋업 자세를 설정할 때 앞니의 안쪽이 Z 축과 평행을 이루도록 전체 치아 모형을 Y 축을 기준으로 회전한다. 즉 표준 셋업에서 앞니의 안쪽을 절삭 가공할 수 있도록 표준 좌표계를 설정한다.

Fig 1 의 b)와 c)는 ‘측면 셋업’ 자세다. 측면 셋업 자세로는 어금니에서 송곳니까지의 치아 측면을 절삭 가공할 수 있다. 이 연구에서 제안하는 방법은 측면 셋업을 위해 X 축을 회전축으로 치아모형을 좌

혹은 우로 30 도 회전한다. 치아 측면이 최대 30 도 경사진 경우에도 절삭 가공이 가능하다. 그림의 b)와 같이 좌(+방향)로 회전한 측면 셋업에서 왼쪽 어금니의 바깥쪽과 오른쪽 어금니의 안쪽이 가공된다. 회전 각도가 커지면 더 큰 경사의 치아를 가공할 수 있지만 어금니 안쪽을 가공할 때 반대쪽 치아와 공구 간섭이 발생할 수 있다.

Fig. 1 의 d)는 ‘앞면 셋업’ 자세로 앞니의 앞부분을 절삭 가공할 수 있다. 표준 셋업에서 Y 축을 회전축으로 -90 도 회전하면 앞면 셋업 자세다.

절삭 가공은 표준 셋업, 측면 셋업, 앞면 셋업 순으로 진행한다. 표준 셋업이 가공량이 가장 많고 공구 간섭 가능성이 가장 적기 때문이다. 표준 셋업에서 언더컷이 많이 발생하지 않는 형상이고 가공성이 좋은 소재를 피삭재로 사용한다면 황삭과 중삭은 표준 셋업으로 한번에 가공할 수도 있다.

2.3 공작물의 기준면 설계

공작물의 정밀한 셋업을 위해서는 셋업 기준면과 기준점이 필요하다. 그런데 치아 형상은 기계 부품과 달리 완전한 자유 곡면 형상이어서 셋업에 사용할 기준면 혹은 기준점이 없다. 이 연구에서는 여러 번의 공작물 셋업을 간편하고 정밀하게 할 수 있도록 공작물에 각기둥을 추가해서 기준면으로 사용한다.

공작물에 추가 설계된 각기둥은 Fig. 2와 같이 정 12각형 기둥이다. 그림에서 옆면(side face), 윗면(top face), 어깨면(shoulder face)은 서로 직각이다. 물론 윗면과 바닥면은 서로 평행이며, 어깨면은 각기둥의 회전축과 직각이다.

설계된 각기둥은 정12각형 기둥이기 때문에 기둥의 축을 중심으로 30도씩 회전할 수 있다. 각기둥의 양쪽 옆면(side face)이 서로 평행하기 때문에 바이스의 조(jaw)에 물려서 고정하기 쉽다. 그리고 옆면과 직각인 윗면과 어깨면을 이용하면 공작물을 기계의 축에 쉽게 정렬할 수 있다.

각기둥의 지름(2r)은 충분히 커야 하지만 초기 피삭재의 두께보다는 작아야 한다. 각기둥 면이 공작물 셋업에서 바이스로 고정하는 면으로 사용되기 때문에 가능하면 커야 한다. 그러나 초기 피삭재의 두께보다 작지 않으면 피삭재에 각기둥을 만들 수 없다.

각기둥의 높이(d)는 바이스의 고정력이 충분히 전달될 수 있도록 충분히 커야 한다. 그러나 지나치게

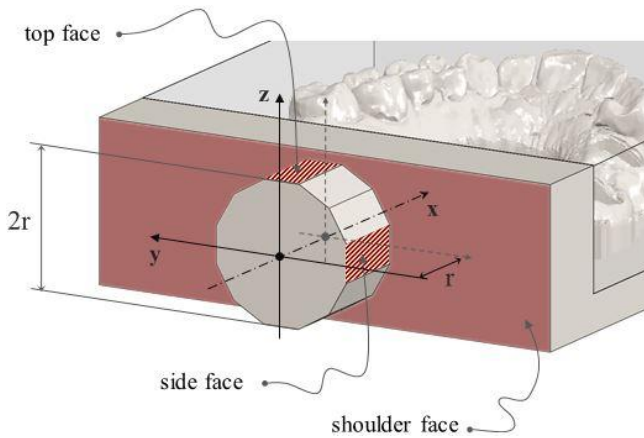


Fig. 2 Datum planes and the coordinate system

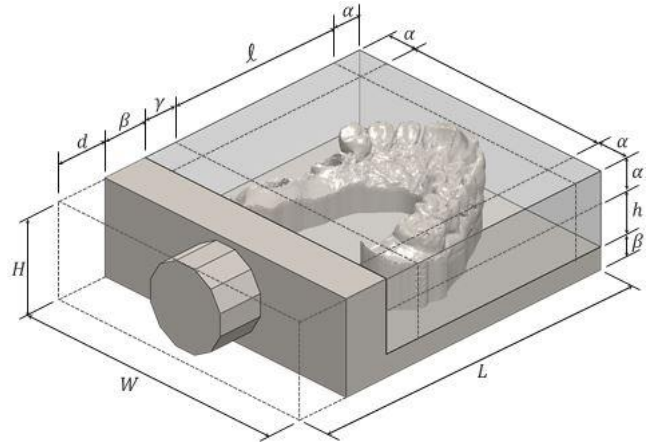


Fig. 3 Dimensions of the workpiece

크면 각기둥의 절삭가공이 불가할 수 있다. 보유한 평엔드밀 공구의 길이를 고려해서 각기둥의 높이를 정한다.

2.4 공구경로 생성

여러 차례 셋업을 변경하면서 절삭 가공을 수행하는 경우 공작물의 셋업을 고려하면서 공구경로를 생성해야 한다. 공작물 셋업과 일치하는 공구경로 생성을 위해 이 연구에서 제안하는 치아 모형(컴퓨터 모델)의 표준 좌표계는 Fig. 2와 같다. X축은 추가 설계된 각기둥의 회전축과 일치한다. Y축은 각기둥의 윗면과 평행하며 어깨면과도 평행하다. 좌표계의 원점은 Fig. 2에서 보듯이 각기둥의 회전축에 존재하며 어깨면과 만나는 점에서 다각형의 반경(r)만큼 떨어진 위치를 사용한다.

표준 좌표계에서 공작물의 X축을 회전축으로 좌(혹은 우)로 30도 회전해서 측면 셋업에서 사용할 공구경로는 생성한다. 표준 좌표계에서 Y축을 회전축으로 -90도 회전해서 앞면 셋업에서 사용할 공구경로를 생성한다. 각각의 좌표 변환에서 좌표 원점은 고정이고 회전축을 중심으로 회전 변환만 수행한다.

2.5 피삭재 준비

육면체 블록의 피삭재를 준비한다. 디지털 치아 인상의 크기를 $w \times l \times h$ 라 할 때 Fig. 3에서 보듯이 피삭재의 크기 $W \times L \times H$ 는 식 (1), (2), (3)과 같이 정의된다.

$$W = w + 2\alpha \quad (1)$$

$$L = l + \alpha + \gamma + \beta + d \quad (2)$$

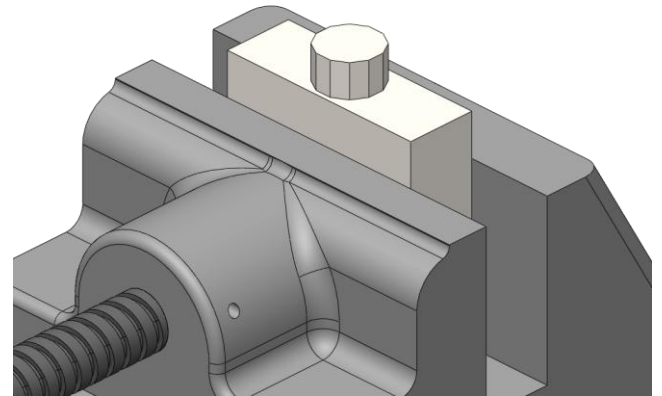


Fig. 4 Machining the datum planes

$$H = h + \alpha + \beta \geq 2r \quad (3)$$

이때 α 는 치아 모형 외곽의 초기 가공 여유량(allowance)에 해당한다. β 는 가공 후에 남는 피삭재의 두께이며 소재의 강성을 고려해서 결정한다. γ 는 남는 피삭재와 치아 형상 사이의 간격(clearance)이며 사용할 공구의 최대 지름보다 커야 절삭 가공이 가능하다. d 는 기준면을 위해 설계되는 각기둥의 높이이다. 기준면을 위해 설계된 각기둥은 Fig. 4와 같이 바이스에 물리고 각기둥과 어깨면을 CNC 프로그램을 이용해 절삭 가공한다. 공구 휨에 의한 가공 정밀도 저하를 줄이기 위해 가능한 큰 지름의 공구를 사용하고 각기둥의 바깥쪽 둘레는 2회이상 반복 가공한다.

2.6 공작물 셋업

3축 CNC 밀링에서 치아 모형을 절삭 가공하기 위해서는 앞에서 설명되었듯이 여러 번의 셋업이

필요하다. 이 연구에서는 앞에서 준비된 각기둥의 기준면을 이용해 간편하게 셋업을 바꿀 수 있다. 여러 번의 셋업을 간편하게 할 수 있도록 먼저 바이스를 기계에 셋업하고 좌표계를 설정한다.

바이스의 측면은 Y축과 평행하고 조는 X축과 평행하도록 바이스를 고정한다. 바이스 측면과 윗면, 그리고 바이스 고정축 조에서 각각 각기둥의 반경 r 만큼 떨어진 지점을 원점으로 사용한다. 즉, 바이스 측면은 X 좌표값이 r 이며, 바이스의 윗면은 Z 좌표값이 r 이다. 그리고 바이스 고정축 조의 면은 Y좌표값이 r 이다. 결과적으로 바이스를 기준으로 정의된 기계의 공작물 좌표계가 모든 공작물 셋업에서 사용된다.

표준 셋업의 경우 각기둥의 옆면을 바이스 조에 닿는 고정면으로 사용해서 공작물을 바이스에 물린다. 어깨면은 바이스의 측면에 밀착시키고 각기둥의 윗면을 바이스의 윗면과 일치 시킨다. 측면 셋업도 표준 셋업과 같은 방법이다. 결국 표준 셋업과 측면 셋업의 경우 Fig. 5의 a)에서 보듯이 어깨면을 바이스 측면에 밀착시키고 윗면을 바이스 윗면과 일치시켜 고정하면 모든 셋업은 끝나고 공작물의 기계 좌표계와 공구 경로 좌표계가 일치된다.

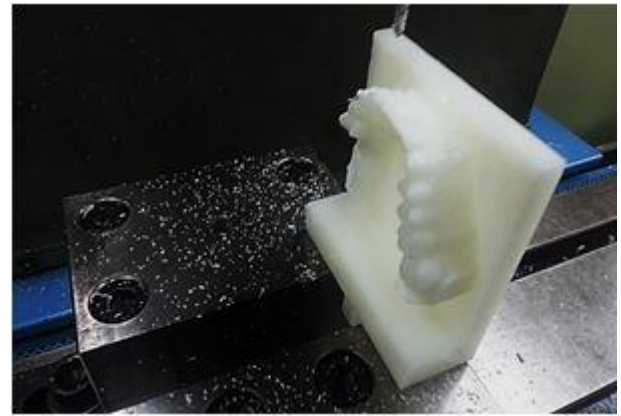
앞면 셋업의 경우는 Fig. 5의 b)에서 보듯이 기준 어깨면을 바이스 윗면에 일치시키고 각기둥의 바닥면을 바이스 측면에 일치시켜 고정한다. 앞면 셋업의 경우에도 좌표계의 원점은 변하지 않는다.

이 연구의 주 목적은 치기공소가 보유한 기존의 3축 CNC 밀링 장비를 이용해서 5축 가공의 가능성을 검토하는 것이기 때문에 바이스의 유격과 조의 평탄도 등의 정밀도 문제는 무시하기로 한다. 같은 이유로 각기둥의 면을 바이스의 면과 일치시키는 작업과 수평 등의 문제로 인한 정밀도 문제도 무시하기로 한다.

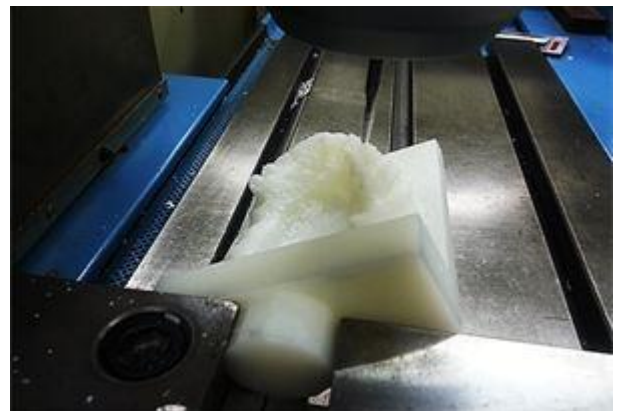
3. 적용 및 결과

이 연구에서 제시한 방법을 이용해서 Fig. 1의 치아 모형을 3축 CNC 밀링 가공기로 절삭 가공했다. 치아 모형의 크기는 대략 $100 \times 80 \times 15 \text{mm}^3$ 이다. 이를 위해 $105 \times 80 \times 30 \text{mm}^3$ 크기의 육면체의 피삭재를 준비했다. 피삭재의 소재는 절삭 가공성과 기계적 강성이 우수한 아세탈을 사용했다.

기준면을 위해 설계된 각기둥의 크기는 반지름이



(a)



(b)

Fig. 5 Examples of clamping: (a) for side machining, (b) for front machining

13mm이며 높이는 15mm이다. 황삭, 중삭, 정삭으로 나누어 가공했으며 사용된 공구와 절삭조건은 Table 1과 같다.

기준면 가공 후 표준 셋업으로 공작물을 물리고 황삭을 수행하였다. 황삭 수행 후 같은 공작물 셋업에서 공구를 교환한 후 중삭을 수행하였다. 중삭 후에 셋업을 변경하지 않고 공구만 교환한 후 표준 셋업의 정삭을 수행하였다. 좌우 두 번의 측면 셋업으로 어금니 측면의 정삭을 수행한 후 앞면 셋업으로 앞니 부근을 정삭 가공했다. 좌표계 셋업을 위한 바이스의 측면, 위면, 물림면 등의 좌표값 확인은 중심 찾기 공구(edge finder, 일명 아큐센터)를 사용하였다.

가공 결과 5축 가공 형상인 치아 모형을 3축 CNC에서 미절삭 없이 가공할 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 6은 가공된 결과물이다. 공작물의 한쪽만 고정되기 때문에 절삭 가공 중에 미세한 떨림이

있었다. 그러나 피삭재의 절삭성이 우수하고 절입량이 적어서 각각의 셋업이 담당할 영역의 가공 결과는 가공 커스 이의의 불량은 판별할 수 없었다. 절삭저항이 가공 정밀도에 미치는 정도를 수치해석을 통해 분석하였다. 적용 예제의 경우 공작물 모서리 쪽에 공구 축방향과 반경방향의 절삭저항을 각각 10N 으로 가정할 때 최대 처짐은 약 0.06mm 로 분석되었다. 치아 모형의 5 축 가공 가능성 검토에는 충분한 정밀도로 예상된다. 큰 절삭저항으로 공작물의 힘이 우려되거나 좀더 정밀한 가공결과가 요구되는 경우 절삭가공 후의 피삭재 여유량(β)을 좀 더 큰 값으로 사용해야 한다.

셋업 변경에 의한 가공 단차는 표준 셋업과 앞면 셋업이 겹치는 부분에서 육안으로 관찰할 수 있었다. 단차의 최대 높이는 대략 0.43mm 로 측정되었다. 자동화된 인덱스 테이블 혹은 5 축 CNC 기계를 사용하면 가공 단차를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

Table 1 에서 보듯이 순수 기계 가공 시간은 65 분, 피삭재 및 공구 셋업 시간은 25 분이 걸렸다. 셋업은 3 번의 공구 셋업과 5 번의 피삭재 셋업을 포함한다. 공구는 기준면과 황삭 가공을 위한 평엔드밀 공구와 중삭 공구, 정삭 공구의 3 가지를 사용했다. 피삭재 셋업은 기준면 가공을 위한 셋업 1 회, 황삭, 중삭, 정삭을 위한 표준셋업 1 회, 정삭을 위한 측면 셋업 2 회와 앞면셋업 1 회로 총 5 번이다. 완전 자동화된 5 축 CNC 가공 시스템[12]에서 10 분이내에 가공하는 것과 비교하면 매우 비효율적이다. 가공 정밀도도 최대 가공 단차가 0.43mm 로 매우 불량함을 알 수 있다. 그러나 제시된 방법으로 별도의 투자 없이 치기공소의 기존 장비로 치아 모형을 CNC 가공할 수 있었다.

4. 결론

이 연구에서는 3 축 CNC 밀링 기계에서 일반 고정 바이스를 이용해 치아모형을 가공하는 방법을 보였다. 피삭재에 간단한 기준면 형상을 추가하여 공작물 셋업을 쉽게 할 수 있도록 하였다. 공작물을 일정한 각도로 회전하여 가공할 수 있도록 기준면을 정 12 각형의 각기둥으로 설계하였다. 제안된 방법을 사용하면 별도의 치공구 없이 3 축 CNC 밀링 기계에서 치아 모형을 제작할 수 있다.

Table 1 Machining conditions and time

	datum	roughing	semi-finishing	finishing
cutter	Ø 8.0 Flat	Ø 8.0 Flat	Ø 4.0 Ball	Ø 2.0 Ball
Feed (mm/min)	1000	1000	1400	2400
RPM	1500	1500	2200	3000
m/c allowance (mm)	0.0	1.0	0.3	0.0
setup time (min)	5	5	3	12
machining time (min)	7	17	15	26



Fig. 6 Result of machined workpiece

이 연구의 의의는 5축 가공 형상인 치아 모형을 별도의 추가적인 치공구를 사용하지 않고 간편하게 3축 밀링 기계에서 제작할 수 있는 실제적인 방법을 제시했다는 것이다. 일반 밀링 바이스 이외의 추가적인 장비가 필요 없기 때문에 절삭 방법으로 치아 모형을 시험 제작하거나 치아 모형 제작을 위해 5축 CNC의 도입을 검토하는 경우에 유용하게 활용할 수 있는 방법이다. 제안된 방법을 이용하면 기계 가공에 익숙하지 않은 치기공소의 작업자도 쉽게 3축 가공기에서 치아 모형을 제작할 수 있다. 그러나 셋업 변경에 의한 가공 단차는 극복할 과제이다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교의 산학협력선도 대학산업단의 학술 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

REFERENCES

- [1] T. Miyazaki, Y. Hotta, J. Kunii, S. Kuriyama, Y. Tamaki, 2009, A Review of Dental CAD/CAM: Current Status and Future Perspectives from 20 Years of Experience, *Dental Mater. J.*, Vol. 28, No. 1, pp. 44~56.
- [2] S. Gelbard, Y. Aoskar, M. Zalkind, N. Stern, 1994, Effect of Impression Materials and Techniques on the Marginal Fit of Metal Castings, *J. Prosthet. Dent.*, Vol. 71, No. 1, pp. 1~6.
- [3] G. Davidowitz, P. G. Kotick, 2011, The Use of CAD/CAM in Dentistry, *Dent. Clin. N. Am.*, Vol. 55, No. 3, pp. 559~570.
- [4] N. S. Birnbaum, H. B. Aaronson, 2008, Dental Impressions Using 3D Digital Scanners: Virtual Becomes Reality, *Compend Contin Educ Dent*, Vol. 29, No. 8, pp. 494~505.
- [5] T. Jemt, T. Bäck, A. Petersson, 1999, Photogrammetry-An Alternative to Conventional Impressions in Implant Dentistry: A Clinical Pilot Study, *Int. J. Prosthodont.*, Vol. 12, No. 4, p. 363.
- [6] S. J. Lee, G. O. Gallucci, 2013, Digital vs. Conventional Implant Impressions: Efficiency Outcomes, *Clin. Oral Implan. Res.*, Vol. 24, No. 1, pp. 111~115.
- [7] E. McLaren, 2011, CAD/CAM Dental Technology, *Compend Contin Educ Dent*, Vol. 32, No. 4, pp. 73~82.
- [8] S. Logozzo, E. M. Zanetti, G. Franceschini, A. Kilpelä, A. Mäkynen, 2013, Recent Advances in Dental Optics - Part I: 3D Intraoral Scanners for Restorative Dentistry, *Opt. Lasers Eng.*, Vol. 54, pp. 203~221.
- [9] X. Lei, F. Xie, J. Zhao, 2013, Design of a 5-axis CNC Machine Tool Applied to Dental Restoration, *Key Eng. Mater.*, Vol. 568, pp. 75~80.
- [10] K. Apro, 2009, *Secrets of 5-Axis Machining*, Industrial Press, New York, pp. 49~64.
- [11] R. Attila, M. Stampfer, S. Imre, 2013, Fixture and Setup Planning and Fixture Configuration System, *Procedia CIRP*, Vol. 7, pp. 228~233.
- [12] T. A. Hamza, H. A. Ezzat, M. M. El-Hossary, H. A. Katamish, T. E. Shokry, S. F. Rosenstiel, 2013, Accuracy of Ceramic Restorations Made with Two CAD/CAM Systems, *J. Prosthet. Dent.*, Vol. 109, No. 2, pp. 83~87.
- [13] X. Pessoles, Y. Landon, S. Segonds, W. Rubio, 2013, Optimisation of Workpiece Setup for Continuous Five-axis Milling: Application to a Five-axis BC Type Machining Centre, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 65, No. 1-4, pp. 67~79.
- [14] J. S. Yang, Y. M. Heo, T. S. Jung, 2006, An Experimental Study on Tool Wear of Small Diameter Endmill for High Speed Milling of Hardened Mold Steel, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 15, No. 1, pp. 57~64.