

# 홍상 환조 가공을 위한 전용 CAM 시스템 개발

정희민<sup>†</sup> · 박준철 · 정연찬

큐빅테크 기술연구소

## Development of a Dedicated CAM System for Human Bust Machining

Hoi-Min Jeong · Joon-Chul Park · Yun-Chan Chung

Cubictek Co. Ltd., Seoul, 157-030

Presented in this paper is a prototype of dedicated CAM system for a human bust, not a relief, machining. The input of this system is a STL file which comes from measuring machine, and the output is machining data for a 3-axis CNC milling machine with an index table. The system consists of three main modules, which are shape import and transformation, modeling of jig and fixture, and calculation of machining area. Proposed system architecture and the main modules are briefly described. To get machining region for semi-finish and finish machining stages, two concepts of machining area, machinable and scannable, were tried. Machinable area was suitable for the purpose.

**Keywords:** dedicated CAM system, bust, machining region

### 1. 서론

최근 들어 인체 형상 특히 얼굴 및 홍상의 조형물 제작에 대한 새로운 시장이 형성되고 있다. 이는 다양한 기호와 독특한 개성을 중시하는 신세대의 액세서리 상품에 대한 욕구, 환갑, 칠순 등에 사용할 기념물의 제작 등으로 나타나고 있다. 부조 형태의 얼굴 조각기가 상품화되는가 하면, 이미지 조각용 CAM 소프트웨어도 출시되고 있다. 또한, 장묘 문화의 변화에 따라 고인의 생전의 모습을 환조로 제작하여 영구보존하려는 움직임이 생겨났다. 실제로 이와 같은 아이템으로 사업화를 시도하고 있는 업체도 있다 ([www.cyber-park.co.kr](http://www.cyber-park.co.kr), [www.type3.co.kr](http://www.type3.co.kr)).

대표적인 3차원 형상 복제 기술로 쾌속조형(Rapid Prototype)과 CNC 밀링이 있다(Jeong *et al.*, 2000). 쾌속조형은 일반적으로 재료 선택의 제약이 많으며 가공 및 재료비가 많이 들고 조형 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 한편, CNC 밀링의 경우에는 청동, 목재 등의 단단하고 질감이 좋은 소재로 제작할 수 있는 장점이 있다. 또, 상대적으로 저렴한 비용에 조형을 할 수 있으

며, 가공의 정밀도(5/100 mm 이하)를 충분히 달성할 수 있다. 그러나 조형 방법이 쾌속조형에 비해 복잡하고 번거로우며, 전용 CAM 시스템을 이용하지 않으면 가공 데이터의 생성에도 많은 시간과 노력을 기울여야 한다.

본 연구에서 설명하는 전용 CAM 시스템은 인체의 홍상(가슴 위)만을 고려하고 있으며, 형상 정보는 STL(Stereo-lithography Interface Specification) ([www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)) 파일 포맷으로 입력한다. 입력된 형상에서 가공 데이터의 생성은 완전 자동화되어 있으며, 사용자의 개입이 필요없도록 구현되었다. 생성된 가공 데이터는 인덱스 테이블을 장착한 3축 CNC 밀링 기계에서 가공할 수 있으며, 작업자가 피삭재의 셋업을 마치면 추가적인 작업자 개입이 필요없는 무인 가공으로 모든 가공을 마칠 수 있다. 홍상 환조 복제 시스템에서 본 연구의 내용인 전용 CAM 시스템의 역할은 <그림 1>과 같다.

2장에서는 홍상 가공 전용 CAM 시스템의 전체적인 내부 구조와 공정에 대해서 설명을 하고, 3장에서는 구현내용 중 특기할 만한 내용을 소개한다. 결론과 추후 연구과제는 4장에서 소개한다.

본 연구는 과학기술부의 기술용역사업의 지원으로 수행된 연구개발과제임.

<sup>†</sup> 연락처: 정희민 소장, 157-030 서울시 강서구 등촌동 684-1 (주)큐빅테크 기술연구소, Fax : 02-3664-4701, e-mail : [jhm@cubictek.com](mailto:jhm@cubictek.com)

2001년 10월 접수, 1회 수정 후 2002년 3월 게재 확정.

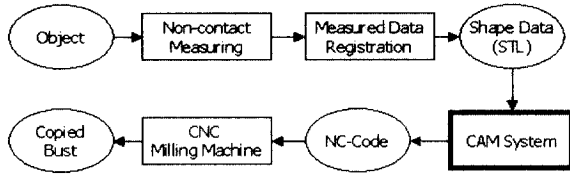


그림 1. Human Bust Copy System.

## 2. 시스템의 구조

개발된 시스템의 전체적인 구조는 <그림 2>와 같으며, 주요 모듈의 역할은 다음과 같다.

그림 2. System Overview.

### 2.1 형상 정보 입력 모듈

측정 형상 정보를 시스템 내부로 읽어 오는 모듈이다. 현재 구현된 기능은 이진(binary) 및 아스키(ASCII) 형태의 STL 파일을 받아들인다. 시스템 내부에서는 삼각형을 단위 형상으로 하는 다면체 모델 데이터 구조에 저장되는데, 데이터의 양을 줄이고 연산을 효율적으로 수행하기 위해 삼각형을 이루는 정점(Vertex)들이 중복적이면 하나로 결합하는 기능을 갖고 있다.

### 2.2 기준 자세 결정

입력되는 형상 데이터는 사람이 앉은 자세 혹은 선 자세를 측정된 것이기 때문에 가공 좌표계와 일치하지 않는다. 따라서, 원점 및 축 방향을 일치시킬 필요가 있다.

CNC 밀링 기계는 통상 공구 축이 Z-축이므로 <그림 3>과 같이 형상 데이터의 시선 방향을 Z-축으로 하고 머리 방향이 X-축이 되도록 좌표 변환을 한다.

### 2.3 보조 형상 모델링

통상 인덱스 테이블은 테이블 원판에 부착된 조임기구와 피

그림 3. Workpiece Setup.

삭재 끝을 지지하는 지지대를 한 세트로 해서 작업이 이루어진다. 피삭재 양쪽의 조임기구 및 지지대를 보호하기 위해서 측정 형상에 덧붙여진 보조형상이 필요하다. 보조 형상은 각 기둥과 원기둥으로 이루어지는데 가슴 하단과 머리 상단에 선택적으로 추가할 수 있다.

### 2.4 가공 공정 계획

가공을 위한 공정계획에는 일반적으로 가공특징형상(Machining Feature) (Choi and Jerard, 1998)의 추출과정이 필요하다. 그러나, 본 연구에서는 입력형상이 인체의 가슴 상단으로 정형화되어 있으므로, 가공특징형상의 관점에서 거의 변함이 없다. 한편, 가공특징형상을 CAM 시스템 내부에서 추출한다고 했을 때에도 이를 가공의 관점에서 활용할 이점이 별로 없다.

이와 같이, 흉상 전용 CAM 시스템의 경우 가공 공정을 한번 정해두면 재사용이 가능한 특징이 있으므로, 가공특징형상의 인식을 위한 노력이 필요치 않다.

한편, 통상적으로 가공시간에 많은 부분을 차지하는 셋업 작업이 인덱스 테이블의 도입으로 부담이 되지 않는다. 본 연구에서는 공구 기준의 가공 순서를 채택함으로써 공구 셋업에 따른 시간 손실을 최소화하도록 하였다.

### 2.5 가공 영역 계산

가공단계별로 가공을 계획하기 위해서는 가공될 영역의 경계곡선을 구하는 일이 필수적이다. 이는 셋업 간 가공영역 중복의 최소화, 가공면의 품질 및 가공시간 최소화의 측면에서 각 셋업별로 가공영역을 제한할 필요성이 있기 때문이다.

본 연구에서는 기본적으로 공구형상을 고려한 가공가능영역을 추출하는 접근법을 채택하였으며, 셋업에 따른 중복영역을 축소하는 방안을 가미하였다.

### 2.6 특징 곡선 추출

특징 곡선은 인체 흉상의 특징을 나타내는 미세 형상을 가공하기 위해서 필요한데, 대표적으로 이마의 주름살, 눈, 코, 및

입술 내부 또는 주위의 오목한 형상이 이에 해당된다. 본 연구에서는 펜슬곡선을 추출하는 알고리즘을 사용하였다.

### 2.7 가공 데이터 생성

가공 데이터를 생성하기 위해서 자사가 보유하고 있는 상용 캠 시스템의 NC코드 생성 기능을 일부 보완하였다.

## 3. 시스템의 구현

시스템의 구현은 자사가 보유한 상용 캠 시스템(Cubicek, 2000)의 일부 기능을 수정 및 보완하는 방법을 취하였다. 시스템 구현에 있어서 특기할 만한 내용은 다음과 같다.

### 3.1 피삭재 셋업

본 연구에서는 입력으로 들어오는 모델의 크기를 300×300×300으로 제한한다. 피삭재의 크기도 이와 비슷한데, 머리 위 또는 가슴 하단의 가공보조형상의 추가여부 및 그 크기에 영향을 받는다. 피삭재는 <그림 3>의 기준자세로 놓여진 모델을 가공할 수 있도록 인덱스 테이블에 길이방향으로 고정시킨다. 본 연구에서는 X축을 중심으로 90도씩 돌리면서 4방향(0도, 90도, 180도, 270도)에서 가공하는 걸로 하였다.

### 3.2 가공 공정 계획

가공 공정 계획은 숙련된 NC 프로그래머의 경험에 근거한 조언을 참고로 수립되었다. 공정계획의 내용을 저장 및 실행하기 위해서 배치작업(Batch Job)을 계획하고 실행하는 방법을 사용하였다(Cubicek, 2000). 배치작업은 가공공정의 순서 및 파라미터가 결정된 경우에 이를 재사용하는 데 사용할 수 있으므로, 홍상가공 전용 캠의 용도에 적합한 것이다.

### 3.3 가공 공정의 종류

가공 공정의 단계는 사용되는 공구별로 1개 이상 4개 이하로 전체적으로 12개의 가공 공정이 있다. 이들을 가공의 종류별로 묶어보면 4가지 타입으로 분류된다.

- 윤곽 가공 (Profile Machining)
- 스캔 황삭 (Rough Scanning)
- 스캔 정삭 (Finish Scanning)
- 펜슬 가공 (Pencil Machining)

윤곽가공은 0도와 180도 셋업에서 봤을 때, 입력형상 최외곽의 윤곽만 가공함으로써 가공이 불필요한 영역의 피삭재를 한번에 모두 제거하는 데 필요하다. 이는 황삭에서만 수행된다.

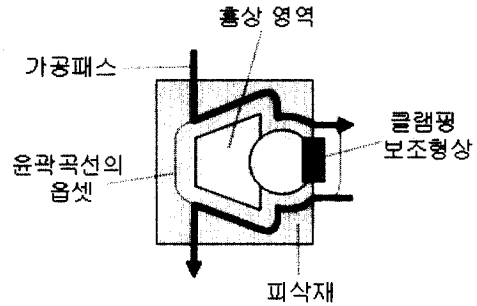


그림 4. Profile Machining.

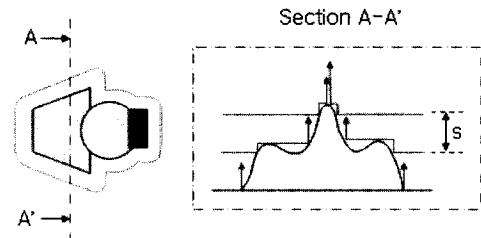


그림 5. Scan-type Rough Machining.

위의 <그림 4>는 홍상의 윤곽가공을 개념적으로 보여 주고 있다.

스캔 황삭은 <그림 5>와 같이 스캔 방식으로 황삭 NC-코드를 생성하는 가공 방법이다. 이는 XY-평면에 평행인 면을 Z-방향으로 일정한 값만큼(PlaneStep; s)씩 내리면서 생기는 가상의 층을 차례대로 가공하는 방식이다. 주로 평엔드밀을 이용한다.

스캔 정삭은 스캔 방식으로 정삭 NC-코드를 생성하는 가공 방법이다. 이는 중삭 및 정삭 가공에 사용된다. 한편, 펜슬 가공은 앞면(0도 셋업)의 특징형상을 살리기 위한 잔삭 가공에 사용된다.

### 3.4 가공 조건

각 가공단계별 가공조건은 아래의 <표 1>에 나타난 항목별로 경험에 근거한 추천값들을 부여하였다. 아래의 표는 하나

표 1. Machining Condition

| 공구         | 황삭       |          | 중삭       | 정삭       | 잔삭      |
|------------|----------|----------|----------|----------|---------|
|            | 35 φ FEM | 35 φ FEM | 20 φ BEM | 12 φ BEM | 4 φ BEM |
| 가공방법       | 윤곽 가공    | 스캔 황삭    | 스캔 정삭    | 스캔 정삭    | 펜슬 가공   |
| Feed       | 500*     | 500*     | 800*     | 600*     | 1000*   |
| RPM        | 500*     | 500*     | 1000*    | 1200*    | 2000*   |
| 가공여유       | 2.0      | 1.0      | 0.5      | 0.0      | 0.0     |
| Pitch      | --       | 5.0      | 3.0      | 1.0      | --      |
| Plane Step | 30       | 30       | --       | --       | --      |
| Path Type  | --       | Single   | ZigZag   | Single   | --      |

의 가능한 경우를 보인 것이므로, 절대적인 것은 아니다. 특히 별표(\*)를 한 부분은 피삭재 재질, 공구재질, 가공기계의 노후화 정도, 절삭두께, 공구경로간격 및 작업자 특성 등에 의존적인 부분이다.

### 3.5 가공영역의 계산

중삭 및 정삭 가공영역 계산 방법으로 두 가지 - 가공가능 영역(Machinable Area) 추출 로직과 평탄부 영역(Scannable Area) 추출 로직 - 를 고려해 보았다. 가공가능 영역은 공구접근방향에서 공구사양을 고려했을 때 간섭이나 충돌 없이 가공 가능한 영역을 의미한다. 평탄부 영역은 공구축과 피삭재 접촉면의 법선벡터가 이루는 각도(스캔각도( $\alpha$ ), <그림 6>)가 특정 각도 이내인 영역을 의미한다. 스캔각도가 커지면 수직벽에 가까워져서 가공면 품질에 문제가 발생할 수 있다. 가공면 품질의 관점에서 평탄부 영역 추출 로직을 시도해 보았으나 아래에 기술하는 바와 같은 이유로 가공가능영역이 더 적합한 것으로 판단하였다. 한편, 공구의 날장이 충분히 길면 90도의 평탄부 영역은 가공가능영역과 동일하다.

평탄부 영역 추출 로직은 스캔각도가 클수록 넓은 영역이 포함되며, 3축가공의 특성상 0도부터 90도까지 허용된다. 스캔각도가 주어진 기준각도와 동일한 점들을 연결하면 복수 개의 폐곡선이 나오게 된다. 이들 중 최외곽에 있는 것이 평탄부 영역 곡선이 된다.

<그림 7> (a), (b), (c)는 각각 기준각도가 60도, 70도 및 80도인 경우의 평탄부 영역 곡선을 보이고 있다. (a)의 경우 앞면(0도 셋업)에서 가공되어야 할 부분 중 일부가 포함되지 않았다. 한편, (b)와 (c)는 우측 귀 근처에서 가공영역곡선의 형상이 다르지만 둘 다 앞면 가공영역으로 적절하다. 사용자가 대화식으로 이들 중 하나를 선택한다면, 경우에 따라 미절삭이 발생할 수 있다. 예를 들어 사용자가 (a)를 선택한다면, 우측 귀는 모양이 제대로 나오지 않게 될 것이다. 한편, 이를 시스템 내부에서 자동으로 결정하는 것은 간단하지 않다.

평탄부 영역 추출 로직이 공구의 전체형상을 고려하지 않고 공구축의 방향만 고려하는 데 비해, 가공가능영역(<그림 8>) 추출 로직은 홀더를 포함하는 공구형상 전체를 고려한다. 따라서, 공구 사양만 결정되면 사용자의 개입 없이 공구간섭 및 충돌이 없는 가공영역(가공가능영역)을 추출할 수 있다. 다만

그림 7. Scannable Area with various  $\alpha$ .

그림 8. Machinable Area.

이 경우에는 스캔각도가 큰 영역(앞면의 경우 양쪽 불과 귀 사이)에서는 가공면 품질이 좋지 않은 단점이 있다.

한편, 좌우 측면의 경우에는 앞뒤면의 가공영역과의 중복을 최소화하기 위해서 <그림 9>처럼 귀 중심선으로부터 상하로 일정한 폭 이내에서만 가공영역을 구하는 방법을 취하였다. 어깨 아래쪽은 앞뒤면 셋업에서 가공이 이루어지므로 좌우측면에서는 가공이 불필요한 부분인데, 이를 제약하기 위해서 귀 높이 기준으로 잘라주는 방법을 취하였다.

그림 6. Scannable Area.

그림 9. Machining Region of a Side.

#### 4. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 인체 홍상의 가공을 위한 전용 캠 시스템의 구조를 제안하였으며, 셋업, 가공조건 및 공정계획자동화 방안을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 내용은 셋업 및 가공 공정의 일부 순서만 수정하면 인덱스 테이블이 장착된 3축 범용 CNC 기계이면 수평형이든 수직형이든 상관없이 적용이 가능한 것이다.

중삭 및 정삭 가공영역 계산의 방법으로 평탄부 영역 추출 로직과 가공가능 영역 추출 로직을 각각 적용해 보았다. 그 결과, 가공가능영역 추출 로직에 셋업 간 중복 가공영역을 축소하는 방안을 가미하는 것이 적합한 것으로 판단되었다. 이 방법을 사용하면, 공구축과 곡면 법선 벡터가 이루는 각도가 큰 부위에서는 가공면 품질이 저하될 우려가 있지만, 사용자 개입 없이 공구 간섭 및 충돌을 고려한 가공영역을 계산할 수 있다.

평탄부 영역 추출 로직과 가공가능영역 추출 로직을 결합한다면, 사용자 개입 없이도 가공품질을 보장할 수 있는 가공영역의 추출이 가능하다. 이에 대한 연구가 추가로 필요하다.

그림 10. Workpiece Setup(Horizontal M/C).

#### 3.6 수평/수직형 기계에 따른 변경 사항

수직형 기계에서는 홍상의 머리가 기계좌표의 X축 방향과 일치하도록 셋업하나, 수평형 기계에서는 Y축 방향과 일치하도록 셋업 한다(<그림 10>). 한편, 수평형에서는 수직형과는 달리 가공단계의 맨 처음 단계로 윤곽가공을 수행하기 곤란하다. 그 이유는 윤곽가공으로 떨어져 나가는 소재로 인해서 공구가 부러질 염려가 있기 때문이다. 따라서, 수평/수직형에 따라서 황삭 두 단계(윤곽, 스캔황삭)의 순서를 서로 바꾸어 줄 필요가 있다. 한편, 수평형 기계의 경우 머리 윗부분의 가공 보조 형상은 통상 불필요하다.

#### 참고문헌

Byoung K. Choi and Robert B. Jerard (1998), Sculptured Surface Machining-Theory and Applications, *Kluwer Academic Publishers*.  
 Cubictek Co., Ltd. (2000), *Z-Master 2000 Reference Manual*.  
 HoiMin Jeong, YunChan Chung, JoonChul Park and DongRyul Kim (2000), Development of Rapid 3D Copy System(Comparison of Rapid 3D Object-Making Technologies), *KSME 2000 Production and Design Division Spring Conference*, 61-71.  
<http://www.cyber-park.co.kr/bust.htm>  
<http://www.type3.co.kr>  
<http://www.3dsystems.com>

#### 정희민

서울대학교 산업공학과 학사  
 KAIST 자동화 및 설계공학과 석사  
 현재: 큐빅테크 기술연구소 소장  
 관심분야: 공구경로 생성, 소성가공 해석

#### 박준철

서울대학교 산업공학과 학사  
 KAIST 산업공학과 석사  
 현재: 큐빅테크 기술연구소 선임연구원  
 관심분야: 공구경로 생성, 형상모델링, 캐드 데이터 인터페이스

#### 정연찬

한양대학교 산업공학과 학사  
 KAIST 산업공학과 석사  
 KAIST 산업공학과 박사  
 다임러크라이슬러 연구원  
 현재: 큐빅테크 기술연구소 부소장  
 관심분야: 가공경로생성, 컴퓨터그래픽스, 형상모델링, 정보시스템