

# 역공학 기반 5 축 신발 러핑용 CAM 시스템 개발

강동배#, 김화영\*, 손성민\*\*, 안중환\*\*\*

## Development of CAM system for 5-axis automatic roughing machine Based on Reverse Engineering

Dong Bae Kang#, Hwa Young Kim\*, Seong Min Son\*\* and Jung Hwan Ahn\*\*\*

### ABSTRACT

Shoe with leather upper such as safety and golf shoe requires a roughing process where the upper is roughed for helping outsole to be cemented well. It is an important and basic process for production of leather shoe but is not automated yet. Thus, there are problems that the defect rate is high and the quality of roughed surface is not uniform. In order to solve such problems, the interest in automation of roughing process is being increased and this paper introduces CAM system for 5-axis automatic roughing machine as one part of automation of roughing process.

The CAM system developed interpolates a B-spline curve using points measured from the Roughing Path Measurement System. The B-spline curve is used to generate the tool path and orientation data for a roughing tool which has not only stiffness but also flexibility to rough the inclined surface efficiently. For productivity, the upper of shoe is machined by side of the roughing tool and tool offset is applied to the roughing tool for machining of inclined surface.

The generated NC code was applied to 5-axis polishing machine for the test. The upper of shoe was roughed well along the roughing path data from CAM and the roughed surface was proper for cementing of the outsole.

**Key Words** : automatic roughing(자동 러핑), shoe roughing(신발 러핑), CAM system(캠시스템), B-spline(B-spline), 5-axis(5 축), roughing tool(러핑 공구), reverse engineering(역공학)

### 1. 서론

안전화, 군화, 골프화 등 가죽 갑피(upper)를 소재로 하는 신발은 밑창(out-sole)과 갑피를 접착하는 시멘팅(cementing)을 원활하게 하기 위해 신발의 갑피를 거칠게 만드는 공정을 필요로 한다. 이러한 공정을 러핑 공정(roughing process)이라 하며 주로

숫돌, 브러시(brush) 등을 사용하여 시멘팅에 적절한 수준으로 갑피를 거칠게 만든다.

일반적인 가공에서 요구되는 형상정밀도나 표면거칠기 등과 같은 정량적인 판단 기준이 없으나 접착 부위 전영역에 대한 러핑이 충분히 이루어지지 않은 상태(under-roughing)에서 밑창을 접착하면 접착이 제대로 이루어지지 않아 방수 불량이 발생하며, 반대로 러핑 영역을 넘어 과도하게 러

\*\*\* 접수일: 2004년 8월 27일; 게재승인일: 2005년 5월 13일

# 부산대학교 지능기계공학과 대학원

E-mail dbkang@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-3087

\* 부산대학교 기계기술연구소

\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

\*\*\* 부산대학교 기계공학부

핑이 될 경우(over-roughing) 접착부외에 갑피가 손상 되는 미관 불량 발생하게 된다.<sup>1,2</sup>

현재 신발업체에서의 러핑 공정은 대부분 수작업으로 진행되고 있어 작업자의 숙련도, 작업자에 따른 작업 속도의 현저한 차이를 보이며 러핑면의 균일한 러핑이 어려워 신발 불량에 큰 영향을 미친다. 또한 안전화, 군화 등과 같이 소품종 다량생산의 특징을 가지는 신발의 생산에 있어서 작업시간 증가에 따른 작업능률의 저하는 병목현상의 원인이 되어 전체 생산성에 큰 영향을 미친다. 최근 들어서는 3D 업종 기피현상에 따른 숙련된 작업자의 확보가 힘들고, 인건비 상승, 후발국가의 추격 등으로 인해 러핑 공정의 자동화에 대한 관심이 점차 커지고 있다.

자동 러핑 가공을 위해서는 자유 곡면인 신발 러핑면(roughing surface)을 공구가 따라가며 가공할 수 있도록 5 축 제어 가능한 CNC 러핑기가 있어야 하며, 표준화된 라스터(last), 아울러 자동 러핑 가공 프로그램을 생성하는 CAM 시스템을 갖추고 있어야 한다. CNC 러핑기와 라스터는 러핑의 자동화를 위한 기초 요소이며, 러핑용 CAM 시스템은 신발 형상 데이터로부터 러핑을 위한 공구 위치(CL) 데이터를 생성하고, 후처리기(post-processor)를 거쳐 러핑 가공기의 기구학적 자유도, 운동방식 등에 맞게 처리된 러핑 가공 프로그램을 생성하는 역할을 한다. 이때 신발 형상 데이터가 CAD 화 되어 있는 경우에는 그 CAD 데이터를 이용하여 러핑 경로 데이터를 추출하면 되나, 신발의 경우 아직도 CAD 화 되어 있지 않고 설계자의 심미적 감각에 의존하여 설계되는 경우가 많다. 이 경우 러핑 경로 데이터를 얻기 위해서는 측정장치 등을 이용하여 실제 신발 형상으로부터 러핑 경로를 측정하고 이를 이용하여 역으로 러핑 경로 데이터를 추출하는 역공학(reverse engineering)<sup>3,4</sup> 기법을 채택하여야 한다.

본 연구에서 개발한 역공학 기반 러핑용 CAM 시스템은 이와 같이 CAD 데이터가 없는 신발의 자동 러핑을 위한 러핑 가공 데이터를 생성하는 시스템이다. 러핑 경로상의 점데이터는 CCD 카메라를 장착한 러핑 경로 측정기를 이용하여 측정하는 것을 사용하였으며, 러핑 경로 측정기를 이용하여 실제 신발로부터 러핑 경로상의 점 데이터를 측정하는 방법에 대한 상세한 내용은 저자들의 이전 논문<sup>1,2</sup>에서 소개한바 있다. 본 연구에서는 러핑 경로 측정기에서 추출된 데이터를 이용하여 5 축

자동 러핑 가공에 필요한 러핑 가공 프로그램을 생성하는 CAM 시스템의 개발에 대해서만 다루고자 한다.

## 2. 경로 측정 및 공구

### 2.1 러핑 경로 측정

Fig. 1 은 신발의 러핑면(roughing surface)을 나타낸다. 러핑면은 두 폐곡선-내부 곡선(inner curve)과 외부 곡선(outer curve)-으로 이루어진 영역을 말한다. 역공학 기반 러핑용 CAM 시스템은 신발 형상 CAD 데이터로부터 러핑 영역을 찾는 것 대신 신발 갑피상의 러핑 영역을 직접 측정해서 구한 러핑 형상 데이터를 입력으로 한다.

이를 위해 본 연구의 선행 연구에서 러핑 영역을 나타내는 두 곡선상의 일련의 점데이터를 CCD 카메라를 이용하여 측정하는 3 차원 러핑 경로 측정기<sup>1,2</sup>를 개발하였으며, 본 연구에서는 이를 이용하여 측정한 러핑 경로 데이터를 CAM 시스템의 입력 데이터로 사용하였다. 러핑 경로 측정기를 통하여 측정된 경로 데이터는 0.3mm 이내의 반복 정밀도를 가지며 이는 러핑 가공의 허용 오차인 1mm 를 만족하는 수치이다. Fig. 1(c)는 러핑 경로 측정기를 이용하여 측정된 러핑 경로 점 데이터를 나타낸다.

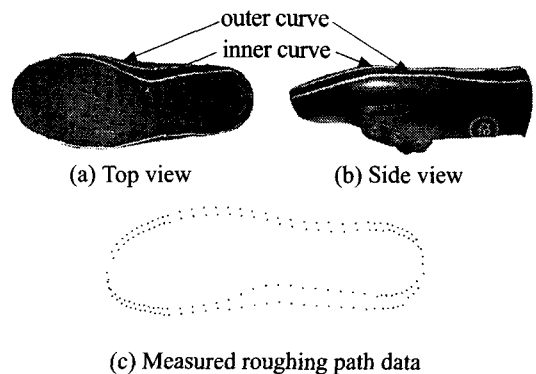


Fig. 1 Roughing surface and roughing path data obtained by the roughing path measurement system

### 2.2 러핑 공구(roughing tool)

러핑 공정은 가공 대상물이 신발의 갑피이므로 강제 공작물을 가공하는 일반 절삭 가공과는

상당히 다른 특성을 가진다. 일반 금속 가공물과 달리 신발은 가공시 갑피의 탄성 변화에 의해 러핑 곡면이 가공 중 변화하게 되고, 인성이 강하며 가공시 발생하는 열로 인해 가공 부산물인 슬러지가 연화(softening)되어 가공 공구 표면에 달라붙는 응착현상이 발생하게 된다. 따라서 자동 러핑에 사용할 공구는 이러한 러핑면의 가공 및 재질적 측면의 특성을 충분히 고려한 공구 설계가 이루어져야 한다.

신발의 외측 러핑면은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 비교적 단순한 곡면인데 반해 내측 러핑면은 구배 변화가 심한 자유곡면을 형성하고 있다. 특히 내측 러핑면의 가장 오목한 부분은 신발의 바닥면과의 경사가 거의 45°에 달하며 단순한 직선 형태의 경사면이 아니라 접선방향의 기울기도 갖는 자유곡면이다. 따라서 러핑 공구가 이런 러핑면의 가공에 적합한 형태를 띠고 있어야 한다.

Fig. 2는 본 연구에 적용 가능한 다양한 형태의 자동 러핑 공구에 대한 개념도를 보여준다. Fig. 2(a)와 같은 연삭 스톨(abrasive) 형태의 강체형 러핑 공구는 러핑면상에서의 공구위치 제어는 수월하나, 가공시 탄성변형을 일으키는 러핑면의 특성상 자유곡면을 제대로 러핑할 수 없으며 가공 중 발생하는 슬러지가 스톨입자 사이에 응착되는 문제가 발생하기 쉽다. Fig. 2(b)는 브러쉬(brush) 형태의 러핑 공구로 유연성도 좋고 갑피 슬러지에 의한 응착 문제도 심각하지 않으나 러핑 과정에서 신발갑피와의 접촉에 의해 생기는 브러쉬의 형상 변형으로 인해 정확한 러핑면상의 공구위치 제어가 어려워 러핑이 되지 않아야 할 부분에 손상을 입힐 수 있다. 따라서 러핑 공구는 가공기의 제어성과 가공물의 특성을 보완해 줄 수 있게 어느 정도의 유연성과 강성이 확보되는 구조를 갖고 있어야 한다. Fig. 2(c)는 본 연구에서 사용한 금속 톱니(metal saw)형태의 공구를 여러 겹으로 쌓은 스택형 공구로 유연성과 강성확보에 두루 장점을 갖고 있는 구조이다.

Fig. 3은 본 연구에서 개발한 스택형 러핑 공구의 구조와 사진을 나타낸다. 여러 개의 금속 톱니들이 수직층(stack)을 이루며, 4개의 스택 중심은 회전축을 중심으로 90° 간격으로 배치되어 고정된다. 스택의 중심과 개별 금속 톱니들은 톱니의 유연한 운동을 위한 이격을 가지며, 이러한 이격은 주축의 회전시 금속 톱니들의 자중에 의한 원심력

과 결합하여 금속 톱니들을 작동영역(working area) 이내에서 자유운동이 가능하도록 한다.

주축의 회전시 원심력에 의해 각각의 금속 톱니들이 외부방향으로 최대로 벌어져 Fig. 3(a)의 점선으로 표시된 영역까지 톱의 형상이 변형되어 평엔드밀의 형태를 유지하게 된다. 가공시 주축 회전에 따른 원심력으로 각각의 금속 톱니가 신발 갑피에 접촉하도록 설정되며 공구와 갑피 사이에 발생하는 마찰력에 의해 러핑 가공이 이루어지게 된다. 가공 중 신발의 형상 변화로 인해 Fig. 2(c)와 같이 작동영역 이내에서 공구가 형상변형이 됨으로 어느 정도의 형상 변화에 대해서도 적응적으로 대처하여 가공이 이루어질 수 있다.

러핑시 공구가 신발 러핑면의 구배를 따라 접촉한 상태에서 가공이 진행되게 되는데 이때 작동영역은 톱니들이 이격할 수 있는 정도를 나타낸다. 작동영역 크기는 Fig. 2(c)와 같이 신발 러핑 영역 중 가장 구배 변화가 큰 부분의 크기에 의해 결정된다. 작동영역이 너무 작으면 가공시 러핑면에 접촉이 제대로 안되는 부분이 발생하게 된다.

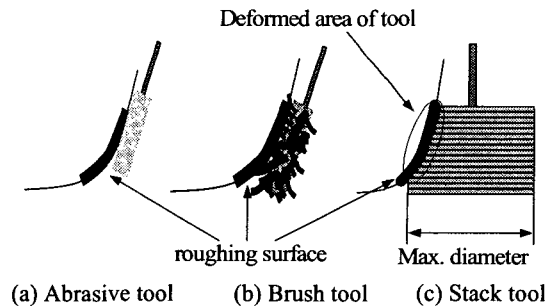


Fig. 2 Various tools for automatic roughing

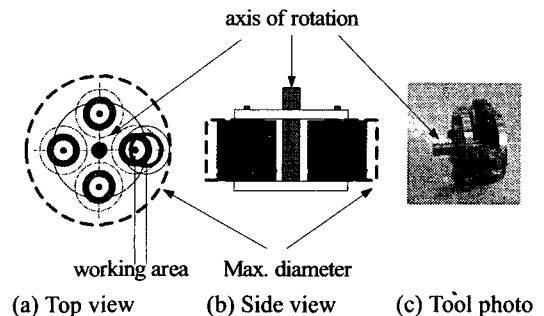


Fig. 3 Roughing tool with metal saws

본 연구에서 제안한 스택형 공구의 경우, 슷돌형 공구가 러핑면 전체를 가공하지 못하거나 브러쉬형 공구가 가공 영역을 벗어나 손상을 입히는 경우가 생기는 것과 달리 급속 톱니 형상의 공구 하나 하나가 신발 측면에 닿은채로 가공이 진행되기 때문에 구배가 큰 곡면 러핑을 가능하게 한다. 이런 구조를 택함으로 공구는 러핑면의 구배 변화 및 러핑 부하의 변동에 능동적으로 적응할 수 있어 보다 고정도, 고효율적인 가공을 가능하게 한다.

### 3. 러핑용 CAM 시스템

#### 3.1 시스템 구성

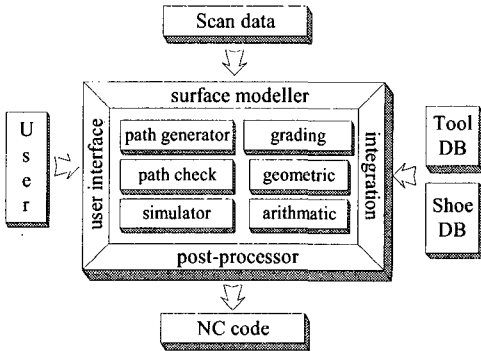


Fig. 4 Structure of CAM system for shoe roughing

Fig. 4 는 자동 러핑용 CAM 시스템의 구조를 보여준다. 개발된 CAM 시스템은 러핑 경로 측정기로부터 측정된 데이터를 이용하여 곡면 모델링을 수행하는 곡면 모델러(surface modeller), 공구 경로 생성기(path generator), 경로 확인을 위한 시뮬레이터 및 경로 검증 기능을 가진다. 또한 그래픽 유저 인터페이스(GUI), 가공 조건 설정을 위한 DB 등으로 구성이 되며 최종적인 NC 코드 생성을 위한 후처리기(post-processor)가 포함된다.

본 논문에서는 다루어지지 않지만, 임의의 사이즈에 대한 측정 데이터를 이용하여 동일 모델에 대한 다른 치수의 신발 가공 경로 생성을 위한 할출(grading) 모듈이 포함되어 있다.

#### 3.2 러핑 곡면 모델링

본 연구에서는 비균일 B-spline(Nonuniform B-spline: NUBS) 곡선을 이용하여 러핑곡선-내부 및

외부곡선-을 나타내었다.

식 (1)은 러핑 곡선에 대한 NUBS 곡선식이다.

$$\text{내부 곡선: } r_{in}(u) = \sum_{i=0}^m P_i N_{i,k}(u) ; t_{k-1} \leq u \leq t_{m+1} \quad (1)$$

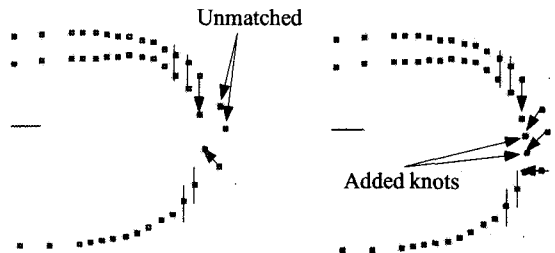
$$\text{외부곡선: } r_{out}(u) = \sum_{i=0}^n Q_i N_{i,k}(u) ; t_{k-1} \leq u \leq t_{n+1}$$

여기서,  $P_i, Q_i$  는 내부 및 외부곡선의  $i$  번째 측정점을 나타내며,  $m, n$  은 각각 측정점의 개수를 나타낸다.  $N_{i,k}(u)$  는 매개변수  $u$  에 대한 접속함수(blending function)로 다음과 같다.

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & ; t_i \leq u \leq t_{i+1} \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{u-t_i}{t_{i+k-1}-t_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{t_{i+k}-u}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(u)$$

매개변수는 활선 길이법(chord length method)을 이용하여 할당하였고, 매듭(knot)값은 평균매듭법(averaging knot method)을 사용하였다.<sup>3-8</sup>



(a) Before (b) After

Fig. 5 Addition of knots

외부 곡선과 내부 곡선의 측정점은 신발 길이 방향을 따라 균일하게 측정이 된 것이므로 러핑면의 특성상 외부 곡선은 내부 곡선보다 많은 측정점을 가진다.<sup>1, 2</sup> 즉, 식 (1)에서  $m$  값이  $n$  값보다 작은 값을 가지므로 곡면 보간을 위해 내부 곡선에 대한 임의의 보간점을 추가 생성하여 외부 곡선과의 매듭(knot)수를 일치시켜야 한다. Fig. 5(a)에 보이는 것과 같이 매듭수의 불일치는 신발 끝점에

서 주로 발생하므로 이 지점에 매듭을 생성하여 삽입한다. 매듭수를 일치 시킨 내부 곡선과 외부 곡선에 대한 NUBS 곡선은 식(3)과 같이 표현된다.

$$r_{in}(u) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,k}(u) ; t_{k-1} \leq u \leq t_{n+1} \quad (3)$$

$$r_{out}(u) = \sum_{i=0}^n Q_i N_{i,k}(u) ; t_{k-1} \leq u \leq t_{n+1}$$

러핑 곡면은 내부 곡선과 외부곡선을 잇는 러핑 진행방향( $u$  방향)의 수직방향( $v$  방향)의 곡면 기울기 변화가 비교적 완만하고 stack 형 공구의 원심력을 이용하여 가공하는 러핑 가공의 특성상 내부 및 외부곡선을 1 차식으로 보간(interpolation) 하여 연결해도 무방하다. 따라서 러핑곡면  $r(u, v)$  는 Fig. 6 과 같이  $v$  방향 매개변수가 1 인 Ruled 곡면으로 나타낼 수 있다.

$$r(u, v) = (1-v)r_{out}(u) + vr_{in}(u) ; 0 \leq u, v \leq 1 \quad (4)$$

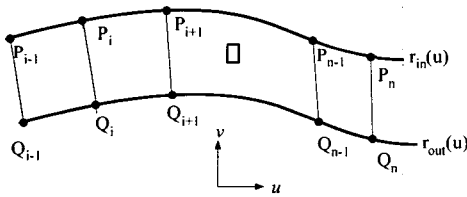


Fig. 6 Modeling of roughing surface

### 3.3 공구 접점(Cutter Contact Point) 생성

러핑 가공은 러핑 공구의 측면이 러핑면에 접해진 채로 수행되어야 한다. 따라서 공구가 항상 러핑면과 평행을 유지한 가운데 공구의 끝점이 외부 곡선을 따라 진행하면서 가공이 이루어진다. 이 때 공구와 신발의 접촉점인 공구 접점은 외부 곡선(outer curve)을 직선으로 근사시켜 구한다.

신발 바닥을 XY 평면으로 가정할 경우, 바닥면에 투영된 외부 곡선  $C(u)$  상에 존재하는 임의의 한점은 XY 평면상에서  $P(x_1, y_1)$  로 표현되고, 근사된 직선식을  $ax + by + c = 0$  이라고 할 때 다음과 같은 조건을 만족해야한다.<sup>13</sup>

$$\frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} < H_{max} \quad (5)$$

여기서,  $H_{max}$  는 사용자에게 의해 정의된 직선 근사 한계값이다.

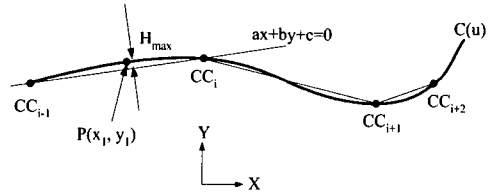


Fig. 7 CC data generation for outer curve (XY-plane)

직선 근사는 신발 바닥(XY 평면)에서 먼저 이루어지고 후에 신발 측면(XZ 평면)에 대해서 수행이 되는데, 실제 러핑 가공에서 문제가 발생하는 방향은 신발의 깊이 방향인 XZ 평면상에서의 정밀도이다. 따라서, XZ 평면에 대한 정밀도가 XY 평면에 대한 정밀도보다 좋아야 하므로, 가공 경로 프로그램 생성시 XZ 평면에서의 허용오차를 더욱 엄격하게 하였다.

### 3.4 공구 자세 및 공구 중심(CL) 정의

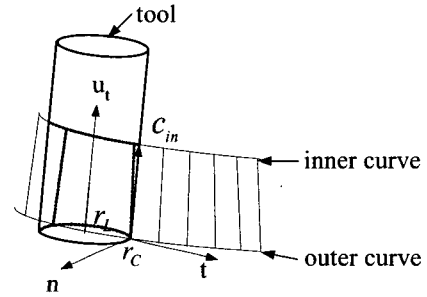


Fig. 8 Tool orientation and cutter location

공구 자세 정의를 위해서는 식 (3)을 이용하여 외부 곡선과 내부 곡선에 대한 각각의 비균일 B-spline(Nonuniform B-Spline: NUBS) 곡선을 수학적으로 표현하고 이를 이용하여 공구 자세와 공구 중심데이터를 생성한다. Fig. 8 은 가공 시 평엔드밀 형상을 갖는 러핑 공구의 공구 자세를 나타낸다.

공구축 벡터  $\vec{u}_t$  는 모든 러핑면에서 공구 측면

이 러핑면에 접하도록 설정이 된다. 공구 자세를 결정짓는 공구축 벡터는 아래와 같은 방법으로 구한다.

① 먼저, 3.3 절에서 구한 공구와 외부 곡선의 접점 데이터  $r_C$  를 지나는 공구 진행방향 벡터  $\vec{i}$  를 구한다. 공구 진행방향 벡터  $\vec{i}$  는 외부 B-spline 곡선의 미분을 통해 구한다.<sup>4</sup>

② 공구 진행방향 벡터  $\vec{i}$  를 법선벡터로 갖는 가상의 곡면을 설정한다. 가상의 곡면은 공구 접점  $r_C$  를 지나고, 공구 진행방향 벡터  $\vec{i}$  를 법선으로 가지는 평면이 된다.

③ 가상의 곡면과 내부 곡선이 서로 교차하는 점  $c_{in}$  을 찾고, 이 교차점과 공구 접점  $r_C$  를 지나 는 벡터를 구한다.  $c_{in}$  과  $r_C$  에 의해 구해진 벡터의 단위벡터를 공구축 벡터  $\vec{u}_t$  로 설정한다.  $c_{in}$  과  $r_C$  로 표현되는 공구축 벡터  $\vec{u}_t$  는 다음 식으로 표현 가능하다.

$$\vec{u}_t = \frac{(\vec{c}_{in} - \vec{r}_C)}{|\vec{c}_{in} - \vec{r}_C|} \quad (6)$$

공구축 벡터가 결정되면 가공 중 평엔드밀 형태를 갖는 공구의 중심점  $\vec{r}_L$  은 다음식으로 계산된다.<sup>9-10</sup>

$$\vec{r}_L = \begin{cases} \vec{r}_C + R_b \frac{\vec{u}_t \times \vec{n} \times \vec{u}_t}{|\vec{u}_t \times \vec{n}|} & ; |\vec{u}_t \times \vec{n}| > 0 \\ \vec{r}_C - R_b \vec{i} & ; |\vec{u}_t \times \vec{n}| = 0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서,  $\vec{r}_C$  는 공구 접점,  $R_b$  는 공구 반경,  $\vec{u}_t$  는 공구축 벡터,  $\vec{n}$  는 곡면의 단위 법선벡터이다. 식 (7)에서  $\vec{n} = \vec{i} \times \vec{u}_t$  이다.

### 3.5 기구 모델링 및 공구 움직임

복잡한 축 구조를 갖는 다축 NC 기계에서 CL 점의 이동에 해당하는 각축의 이동량 파악을 위해 Denavit-Hatnberg representation(D-H rep)를 이용하는 것이 일반적이다.

개발중인 자동 러핑기는 직교하는 3 개의 평행 이동축 X, Y, Z 축과 두 개의 회전축 A, B 축으로 구성된다. A 축의 회전 중심축과 B 축의 회전 중심축은 공간상의 한점인 Pivot point 에서 교차되며 A, B 축 회전값과 공구축 벡터  $\vec{u}_t$  의 관계는 Fig. 9 에 보이는 것처럼 반경 1 을 가지는 구면의 위도와 경

도로 표시할 수 있다.<sup>8</sup>

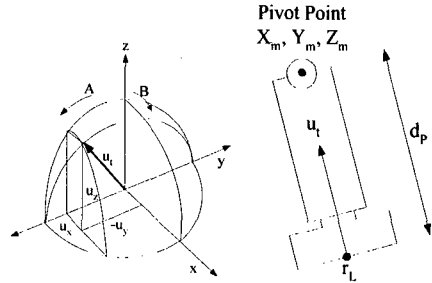


Fig. 9 Joint values and CL data

러핑기의 조인트값(Pivot value)을  $X_m, Y_m, Z_m, A, B$  라 하면 CL 점과 공구축 벡터  $\vec{u}_t$  의 관계에 의해 실제 가공시 필요한 각축의 정보는 다음과 같이 얻을 수 있다.<sup>8</sup> 여기서,  $d_p$  는 조인트 중심에서 공구 중심까지의 거리이다.

$$\begin{aligned} X_m &= x + d_p u_x \\ Y_m &= y + d_p u_y \\ Z_m &= z + d_p u_z \\ A &= -\sin^{-1} u_y \\ B &= \tan^{-1} \left( \frac{u_x}{u_z} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

자동 러핑기는 A, B 축  $\pm 30^\circ$  의 작동범위(workspace)를 가진다. 신발의 안측면과 같이 구배가 큰 부분의 가공에 있어서 회전 작동범위를 넘어서게 될 경우는 Fig. 10 에서와 같이 공구에 움직임을 부여하여 1 회의 가공으로 러핑이 완료될 수 있도록 한다. Fig. 10 (a)의 경우는 작동범위내의 경우로써, 러핑이 필요한 L 영역의 러핑을 위해 공구축 벡터를  $u'$  에서  $u''$  으로 변경하여 러핑가공을 수행하는 것을 나타낸다. Fig. 10 (b)의 경우는 회전 작동범위 밖의 경우로 L 영역을 러핑하기 위하여 공구축 벡터를  $u'$  에서 최대 회전 영역인  $u''$  으로 변경하고 추가 러핑을 위해 공구바닥의 평행방향인  $n''$  방향으로 움직임을 적용한 것을 나타낸다. 공구법선은  $u''$  임을 유지하게 되나 공구 중심점은 신발 내측으로 이동을 하게 되어 신발 안측면의 러핑이 가능하다.

공구가 금속 톱니들로 구성 되어 있고 회전시

의 원심력에 의해 가공이 되므로 어느 정도의 읍셋을 적용시켜도 공구의 유연한 형상 변형이 과절삭을 피할 수 있기 때문에 적절한 공구 읍셋 설정을 이용하여 전체 러핑면에 대해서 1 회 가공으로 러핑을 완료할 수 있다.

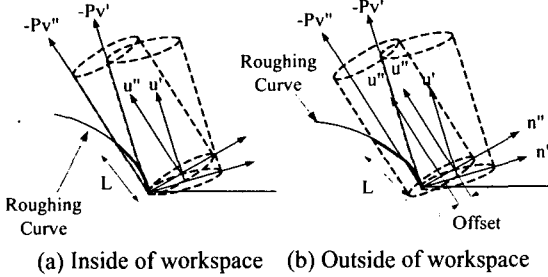


Fig. 10 Tool orientation for inclined surface

### 3.6 경로 검사

CL 데이터 계산이 제대로 되었는지를 검증하기 위해 공구 경로 시뮬레이션을 수행한다. Fig. 11 은 러핑 가공시 평엔드밀 형상으로 변형된 공구가 보간된 러핑 곡면을 모의 가공하는 모습을 보여준다. 이를 이용해 생성된 러핑 CL 데이터의 유효성을 시뮬레이션을 통해 검증할 수 있다.

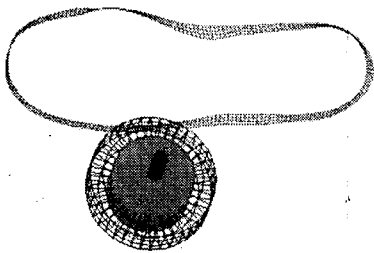


Fig. 11 Roughing simulation

## 4. 실험 결과

### 4.1 NC 코드 생성

개발된 러핑용 CAM 시스템의 성능 평가를 위해서 5 축 금형 연마기를 이용하여 가공 테스트를 수행하였다. Fig. 12 는 금형 연마기<sup>13</sup>의 기구학적인 관계를 고려하여 최종적으로 포스트 프로세싱을 거쳐 얻은 러핑 가공 NC 코드의 일부를 나타낸다.

```
G92X0.Y0.Z248C0.A0.;
G90G01C-90.F500;
M03S1000;
X2.178Y41.943Z248C-90A0F42;
X-15.313Y40.435Z247.811C-90A0F17.557;
X-29.482Y35.609Z248.255C-90A0F14.974;
X-42.194Y28.272Z249.228C-90A0F14.709;
X-55.05Y17.742Z250.515C-90A0F16.669;
..
X-13.436Y42.675Z247.682C-90A1.791F10.496;
X-21.851Y38.781Z247.566C-90A1.086F10.814;
X-12.032Y40.239Z248C-90A0F13.123;
C0.;
M05
```

Fig. 12 Generated NC code for 5-axis polishing machine

### 4.2 러핑 가공 결과

가공물이 가죽이라는 러핑가공의 특성상 적절한 공구 회전속도와 이송속도를 유지하여야 갑피의 손상을 방지할 수 있고 동시에 시멘팅에 적절한 러핑면을 얻을 수 있다. 이를 위해 다수의 샘플에 대한 예비실험을 수행하였고, 갑피가 과도하게 상하지 않는 가공조건을 선정하였다. 본 실험에서의 가공 조건은 주축 회전수 600RPM, 이송속도 1000mm/min 이다. Fig. 13 은 러핑 가공된 신발의 측면을 보여준다. 읍셋을 적용하여 한번의 공구 궤적으로 신발 전체에 대한 러핑을 수행할 수 있었으며, 과도한 러핑없이 전체적으로 양호한 러핑면을 얻을 수 있었다. 전체 가공시간은 약 40 초이다.

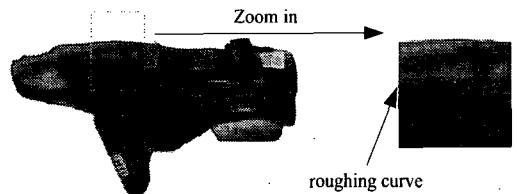


Fig. 13 The roughed shoe

## 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 러핑 공정 자동화를 위한 역공학 기반의 5 축 자동 러핑용 CAM 시스템을 개발하였다. 본 시스템에서는 러핑 경로 측정기를 이용하여 측정된 러핑 경로 데이터를 받아 러핑 곡면 모델을 구축하고 이를 이용하여 자동 러핑 가공용 NC 프로그램을 생성하였다. 본 연구 수행을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 경로 생성시 러핑 가공의 생산성 향상을 위해 러핑면에 대한 미소한 구배를 배제하였고, 이러한 미소한 구배를 가지는 곡면에 대한 가공을 위해 스택형의 러핑 공구를 제안하였다.

2) 스택형 공구의 측면으로 가공을 수행할 수 있도록 공구 자세를 선정하고, 기존의 CAM 시스템에서는 볼 수 없는 회전축 회전 범위를 벗어나는 영역에 대한 가공에서 공구에 옵션을 적용할 수 있게 함으로써 곡면에 대한 러핑 가공 효율을 향상시켰다.

3) 생성된 NC 코드는 가공 실험을 위해 5 축 금형 연마기에 적용이 되었고, 가공 실험결과 만족할 만한 러핑면을 얻을 수 있었다.

### 참고문헌

1. Kang, D.B., Son, S.M., Kim, H.Y. and Ahn, J.H., "A study on the Development of the 3-D Scanner for Shoe Roughing," Proceedings of the KSPE Fall Annual Meeting 2002, pp. 396-399, 2002.
2. Kang, D.B., Kim, H.Y., Son, S.M. and Ahn, J.H., "Development of the Roughing Path Measurement System for Footwear," Journal of the KSPE, Vol. 20, No. 10, pp. 120-129, 2003.
3. Choi, J.W., Hur, S.M. and Lee, S.H., "Free-form Surface Generation from Measuring Points using Laser Scanner," International Journal of the KSPE, Vol. 3, No. 4, pp. 15-23, 2002.
4. Hur, S.M., Choi, J.W. and Lee, S.H., "Study on Application of Reverse Engineering by Generation of the Free-Form Surface," Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 10, pp. 168-177, 2001.
5. Lee, S.B., Kim, K.D. and Chung, S.C., "Machined Surface Inspection Based on Surface Fairing on the Machine Tool," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 24, No. 4, pp. 937-945, 2000.
6. Ma, Weiyin and Kruth, J. P., "Parameterization of randomly measured points for least squares fitting of B-spline curves and surfaces," Computer-Aided Design, Vol. 27, No. 9, pp. 663-675, 1995.
7. Piegl, L. and Tiller, W., "The NURBS Book, 2nd Edition," Springer, 1997.
8. Jun, C.S., Park, S.H. and Jun, Y.T., "Development of a CAM System for 5-Axis NC Machining of Sculptured Surfaces," Journal of the KSPE, Vol.10, No.1, pp. 52-61, 1993.
9. Jun, C.S. and Cha, K.D., "Optimal Tool Positions in 5-axis NC Machining of Sculptured Surface," Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 5, No. 4, pp. 393-402, 2000.
10. Baptista, R. and Antune Simões, J.F., "Three and five axes milling of sculptured surfaces," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 103, pp. 398-403, 2000.
11. Chang, T.C., Wysk, R.A. and Wang, H.P., "Computer-Aided Manufacturing," Prentice Hall Inc., 1991.
12. Ahn, J.H., Lee, M.C. and Jun, C.S., "Development of Polishing Machine for Free Form Surface Die," Research report, MOCIE, 1999.