

## 5 축 러핑 전용 CAM 시스템 개발

강동배\*, 손성민(부산대학교 대학원 지능기계공학과),  
김화영(부산대학교 기계기술연구소), 안중환(부산대학교 기계공학부)

### Development of the CAM system for 5-axis automatic shoe roughing

D.B.Kang, S.M.Son (Mechanical & Intelligent Sys. Eng. Dept., Graduate school, PNU),  
H.Y.Kim (RIMT, PNU), J.H.Ahn (Mechanical Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

A roughing process is one of the most important and indispensable shoe manufacturing processes of various types of shoes. This basic process to rough the upper of the shoe is studied to improve the productivity and to reduce the processing time.

In this study, the CAM system for shoe roughing is developed. The B-spline surface generated by the developed CAM system ignores the small inclinations of the real roughing surface because the developed roughing tool has potential to rough the roughing surface of the shoe properly. The roughing tool roughs the roughing surface using its side along the generated tool paths. The generated NC codes were applied to 5-axis polishing machine for the test. Experimental results show good evaluation result. The upper of the shoe is roughed properly along the roughing path line and the roughing surface was good to cement the outsole of the shoe.

**Key Words** : shoe roughing(신발 러핑), CAM system(캠시스템), B-spline surface(B-spline 곡면), 5-axis(5 축), tool orientation(공구 자세), fairing(곡면 평활화), roughing tool(러핑 공구)

#### 1. 서론

신발제조 과정 중 신발 밑창(out-sole)과 갑피(upper)의 접착력 향상을 위해 수행되는 러핑 공정(roughing process)은 스펀지, 브러시(brush) 등을 사용하여 갑피의 접촉부위를 거칠게 가공하는 공정이다. 이러한 러핑 공정은 작업자에 의해 수작업으로 진행되고 있으며 이 때문에 러핑면의 품질, 생산성에 큰 차이를 발생시키고 있다. 접촉부위 전영역에 대한 러핑이 충분히 이루어 지지 않은 상태(under-roughing)에서 밑창을 접착하면 접착이 제대로 이루어지지 않아 방수불량이 발생하며, 반대로 러핑 영역을 넘어 과도하게 러핑이 될 경우(over-roughing) 접촉부위에 갑피가 손상이 되어 미관불량이 발생하게 된다<sup>1)</sup>.

러핑 공정에서 생기는 또 다른 큰 문제는 작업의 병목현상이다. 신발제조는 전체 작업공정이 순

차적으로 이루어지는 컨베이어 공정시스템으로 병목공정이 있을 경우 전체의 생산성이 저하될 수 있다. 러핑 공정은 여러 종류의 부차적인 공정이 일련적으로 이루어져 전체의 공정을 마무리 짓는 형태이기 때문에 전후의 공정인 라스팅(lasting)이나 접착(cementing) 공정보다 작업소요시간이 길어 병목현상이 많이 발생한다.

이상과 같은 러핑 공정의 문제점을 해결하고자 러핑 공정의 자동화에 대한 연구를 수행하고 있으며, 본 연구에서는 NC 제어기를 이용한 러핑 가공시 NC 제어기에 필요한 NC 코드를 생성하는 CAM 시스템의 개발에 대해 다루고 있다.

이전의 연구에서 CCD 카메라를 이용한 러핑 경로 측정기<sup>1)</sup>에 대한 소개를 한 바 있다. 본 연구에서는 이 러핑 경로 측정기에서 측정된 점들을 이용하여 곡면을 생성하고 제어기에 필요한 NC 코드를 생성하는 러핑 전용 CAM 시스템에 대해 소개한다.

## 2. 러핑 전용 CAM 시스템

### 2.1 러핑 곡면 생성

Fig.1 은 신발상의 러핑면(roughing surface)을 나타낸다. 러핑면은 내부 곡선(inner curve), 외부 곡선(outer curve)의 두 폐곡선의 결합으로 이루어지며, 러핑 경로 측정기에서 두 개의 러핑 곡선을 측정할 경우 Fig.2 와 같은 점데이터를 추출할 수 있다<sup>1)</sup>.

러핑 경로 측정기로부터 획득한 데이터는 0.5-1.0mm 의 간격을 가지는 이산적인 데이터들로서 실제로 러핑 가공에 필요한 부가적인 정보를 추출하기 위해서는 획득한 데이터들을 토대로 3 차원의 곡면 생성이 우선적으로 필요하다.

본 연구에서 사용한 곡면은 비균일 B-spline 곡면으로 곡소변형이 가능하고 매듭값(knot value)에 대한 형상 표현이 용이하다<sup>2)</sup>. 입력점으로부터 매개변수를 구현하는 방법으로는 균일(uniform) 매개변수 할당, 중심(centripetal) 매개변수 할당, 활선 길이(chord length) 매개변수 할당이 있으며 본 연구에서는 활선 길이 매개변수 할당을 사용하였다. 매듭값은 매개변수를 이용하여 평균매듭법(averaging knot method)을 사용하였다<sup>2)</sup>.

외부 곡선과 내부 곡선의 측정점은 신발 길이 방향을 따라 균일하게 측정이 된 것이므로 외부 곡선은 내부 곡선보다 많은 보간점을 가지게 된다<sup>1)</sup>. 따라서 곡면 보간시 내부 곡선에 대해서 임의의 보간점을 생성하여 외부 곡선과의 보간점 개수를 일치시켜 주는 과정이 필요하다. 보간점 개수가 달라지는 부위는 내부 곡선의 끝점과 외부 곡선의 끝점 지점이므로 이 부위에 두 곡선의 보간점 개수 차이만큼을 생성하여 삽입한다. 우선 내부 곡선에 대해서 B-spline 곡선 보간을 수행하고 내부 곡선의 끝점 지점에 대한 파라미터 값  $u$  를 추출하여 이 파라미터 값에 대한 임의의 B-spline 곡선점을 구한다.

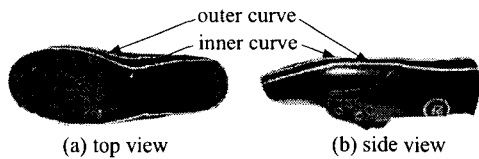


Fig.1 The roughing surface of the shoe enclosed by two white curves



Fig.2 The measured data from the shoe using roughing path measurement system

생성된 곡선점은 B-spline 곡면의 보간에 필요한 내부 곡선의 보간점으로 사용이 되며 외부 곡선과 내부 곡선의 보간점의 수가 일치하도록 반복 수행한다.

측정기에서 측정된 데이터는 B-spline 곡면의 보간점이 된다. 이것은 백래쉬, 데이터 변환 오차등이 포함이 되어 있기 때문에 이 데이터를 이용하여 곡면 생성시 부드럽지 못한 곡면이 된다. 따라서 측정데이터를 이용하여 전체의 곡면을 부드럽게 표현할 수 있는 특징점을 추출하여 이 점들만으로 곡면 보간을 수행한다. 생성된 곡면의 파라미터를 균일하게 나누어 각 파라미터 값에 따른 곡면값을 추출한다. 여기에서 추출된 곡면점들은 다음 곡면의 보간점으로 사용이 되며 실제 측정점들보다 중요(fluctuation)가 적기 때문에 더욱 부드러운 곡면을 생성한다. 단, 이러한 반복을 수행할 시 측정값과 마지막으로 생성된 곡면이 한계범위 이내에서 생성이 되도록 해야한다.

Fig.3, Fig.4 는 위의 곡면 평활화(fairing)에 의한 러핑공구의 이동 유형을 보여준다. Fig.3 은 평활화를 수행하기 전의 러핑 곡면에 대한 공구의 중심 위치와 곡면의 접점을 나타낸 것으로 곡면이 부드럽지 못하여 공구의 이동이 부드럽지 못한 부분이 존재하는 것을 알 수 있다. 이에 반해 Fig.4 는 평활화를 수행한 곡면으로 공구의 이동이 안정되게 이어지는 것을 알 수 있다.

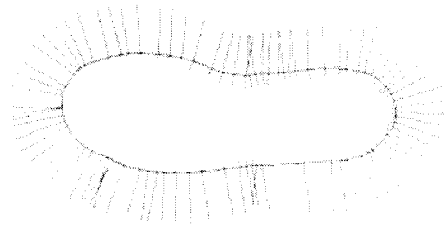


Fig.3 Tool movements before fairing

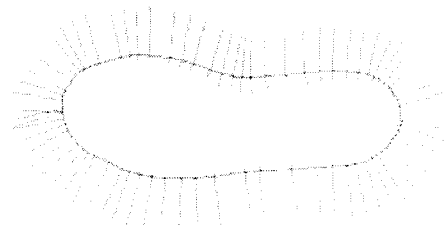


Fig.4 Tool movements after fairing

### 2.2 공구 접점(CC) 데이터 생성

곡면의 NC 가공에서 공구 경로 생성, 공구 간섭, 충돌 등을 판단하기 위해 매개변수 곡면을 직

접 사용하기보다는 Z-map, 점군, 다면체 등의 근사된 모델을 사용하는 것이 일반적이다. 이는 공구와 매개변수 곡면간의 교차 여부를 판단하는데 많은 계산 시간이 소요되고 계산의 안전성을 보장할 수 없기 때문이다<sup>4)</sup>. 러핑 경로 측정기로부터 획득한 점 데이터를 이용해 보간된 곡면은 비균일 B-spline 매개변수 곡면이므로 공구와 신발의 접촉점인 CC 계산에는 직선으로 근사화된 다면체를 이용한다.

신발의 바닥면을 XY 평면으로 가정할 경우  $P(u, v)$  곡면상에 존재하는 임의의 한점은 XY 평면상에서  $C(x_1, y_1)$  로 표현되고, 근사된 직선식을  $ax + by + c = 0$  이라고 하면 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$\frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} < H_{\max} \quad (1)$$

여기서,  $H_{\max}$  는 사용자에게 의해 정의된 직선 근사 한계값이다. 근사는 XY 평면에서 먼저 이루어지고 후에 XZ 평면에 대해서 수행이 되는데 실제 러핑 가공 시 가공에서 문제가 발생하는 범위는 신발의 깊이 방향으로 XZ 평면에 대한 정밀도가 XY 평면에 대한 정밀도보다 좋아야 하므로 XZ 평면에서의 허용오차를 더욱 엄격하게 하였다.

### 2.3 공구 자세 및 공구 중심(CL) 정의

실제 신발의 러핑면은 구배를 가지는 자유곡면이지만 공구 진행방향의 구배변화는 미약한 비교적 단순한 자유곡면이다. 따라서 진행 방향의 구배변화에 능동적으로 대처가능한 유연한 공구를 사용할 수 있으면 진행방향의 구배변화는 무시하고 곡면을 형성하는 두 곡선 사이의 기울기 변화만 제어해 주어도 되므로 4 축만으로도 러핑 곡면 가공이 가능하다. 본 연구에서 제안한 스택형 공구의 경우, 슛돌형 공구가 러핑면 전체를 가공하지 못하거나 브러시형 공구가 가공 대상면 외의 부분에 손상을 입히는 경우가 생기는 것과 달리 금속톱니 형상의 공구 하나 하나가 신발측면에 닿아 구배가 큰 곡면의 러핑을 가능하게 한다.

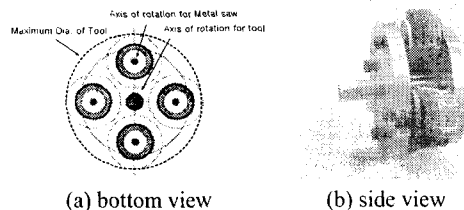


Fig.5 The developed roughing tool

Fig.5 는 개발된 러핑 공구를 보여준다. 주축의 고속 회전시 회전축을 중심으로 톱니가 원심력에 의해 퍼져서 점선으로 표시된 영역까지 공구의 형상이 변형되어 평엔드밀의 형상을 가진다.

공구축 벡터  $u_i$  는 모든 러핑면에서 공구축면이 러핑면에 접하도록 설정이 된다. 공구 자세를 결정짓는 공구축 벡터는 아래와 같은 방법으로 구해진다.

1) 공구와 곡선의 접점데이터( $r_c$ )를 지나는 공구진행 방향벡터( $t$ )를 구한다.

2) 공구진행 방향벡터를 법선 벡터로 갖는 곡면을 설정한다.

3) 이 곡면과 내부 곡선이 서로 교차하는 점을 찾는다. 공구의 접점과 내부 곡선과의 교차점을 잇는 직선이 공구축 벡터  $u_i$  가 된다.

공구축 벡터  $u_i$  가 결정되면 평엔드밀의 공구중심점  $r_i$  은 다음식으로 계산된다.

$$r_i = r_c + R_b \frac{u_i \times n \times u_i}{|u_i \times n|} ; \quad |u_i \times n| > 0 \quad (2)$$

여기서,  $r_c$  는 CC 점,  $R_b$  는 공구 반경,  $u_i$  는 공구축 벡터,  $n$  는 곡면의 단위 법선벡터이다. Fig.6 은 스택형 공구에 의한 러핑면의 가공 모습과 평엔드밀 형상을 가지는 러핑 공구의 자세를 나타낸다.

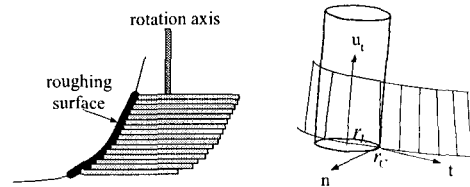


Fig.6 The stacked tool and tool orientation

### 2.4 작동 범위 검사

회전 이동축을 갖고 있는 NC 기계에서 공구끝 중심점의 이동에 해당하는 기계 축들의 이동량을 파악하는 것은 쉽지 않으며 이들의 관계를 명확히 밝히기 위해서는 기계기구의 모델링이 필요하다.

테스트를 위해 자동 러핑을 수행한 NC 기계는 금형의 연마를 위해 개발된 금형 연마기로 서로 직교하는 3 개의 평행 이동축 X, Y, Z 축과 두 개의 회전축 A, C 축으로 구성되어 있다. 금형 연마기의 기구학적 모델링을 위해 다축 NC 기계에서 많이 사용하는 Denavit-Hatenberg representation(D-H rep)를 이용하였다.

금형 연마기는 각각 A, C 축에 대해서  $\pm 200^\circ$ ,  $\pm 95^\circ$  의 작동범위를 가진다<sup>3)</sup>. 금형 연마기의 경우 회전축의 작동범위가 크기 때문에 작동한계에

따른 가공의 문제가 발생하지 않으나 금형 연마기 외의 공작기계들은 작동범위에 대한 한계가 존재한다. 따라서 구배가 큰 신발 내측면 가공의 경우는 한번의 궤적으로 가공이 어려울 수 있다. 이런 경우에는 Fig.7 에서와 같이 공구에 오프셋(offset)을 부여한다. 공구가 금속톱니들로 구성이 되어 회전시의 원심력으로 가공이 되므로 어느 정도의 오프셋을 적용시켜도 공구의 유연한 형상 변형이 과절삭을 피할 수 있게 한다. 공구의 오프셋 설정이 가능하기 때문에 실제 러핑시 전체 러핑면에 대해서 단 한번의 가공만으로도 러핑을 완료할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있다.

Fig.7 은 경사진 곡면에 대한 러핑시의 공구 자세와 형상을 보여준다. 곡면의 경사가 작동범위 이상이면(>A) 공구는 최대의 작동 범위로 회전하고 나머지 부분에 대한 가공을 위해 오프셋이 부여된다.

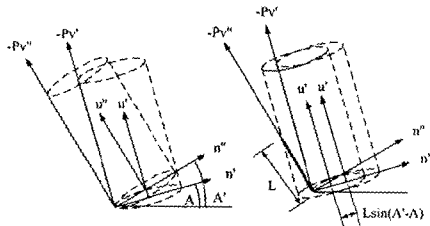


Fig.7 The tool orientation for inclined surface

### 3. 실험결과

#### 3.1 곡면 생성 및 NC 코드 생성

Fig.8 은 CAM 시스템에서 측정된 점들을 이용하여 보간한 B-spline 곡면이다. Fig.9 은 금형 연마기의 기구학적인 관계를 고려하여 최종적으로 포스트 프로세싱을 거친 NC 코드의 모습이다.



Fig.8 The interpolated surface

```

G92X0.Y0.Z240C0.A0.;
G90G010-90.F500;
M03S1000;
X2.178941.9432240C-9000F42;
X-15.313948.4352247.811C-9000F17.557;
X-29.482935.6092248.255C-9000F14.974;
X-42.194928.2722249.228C-9000F13.789;
X-55.05917.742250.515C-9000F16.669;
...
X-13.436942.6752247.682C-9001.791F10.406;
X-21.851938.7812247.566C-9001.086F10.814;
X-12.032940.2392248C-9000F13.123;
C0.;
M05
  
```

Fig.9 The generated NC code for polishing machine

### 3.2 러핑 가공 결과

Fig.10 은 러핑 가공된 신발의 측면을 보여준다. 주축 회전수 600RPM, 이송속도를 1000mm/min 으로 고정하여 가공을 수행하였다. 한번의 공구 궤적으로 신발 전체에 대한 러핑을 수행할 수 있었으며, 전체적으로 양호한 러핑면을 얻을 수 있었다. 측정을 위한 러핑 곡선과 가공후의 러핑 곡선에 대한 오차를 정량적으로 평가할 방법이 없는 관계로 정량적인 평가를 수행하지는 못했으나 측정곡선을 따라 러핑 공구가 잘 추종을 하고 있음을 알 수 있었다.

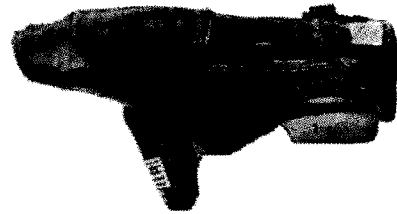


Fig.10 The roughed shoe

### 4. 결론

본 연구에서는 러핑의 자동화를 위한 5 축 러핑 전용 CAM 시스템을 개발하였다. 러핑 경로 측정기에서 측정된 데이터를 이용하여 B-spline 곡면을 생성하였고, 공구접점을 구하기 위해 다면체로 근사화하였다. 공구자세는 근사된 러핑면에 접하도록 설정이 되었고, 이를 이용하여 최종적인 CL 데이터와 자세정보를 구하였다. 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 '02 Fall Meetings, pp.396-399, 2002
2. 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
3. 안중환, 곡면 금형 연마기 개발, 최종보고서, 산업자원부, 1999
4. Jun, C.S., Park, S.H., 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