

## 신발 러핑 경로 생성을 위한 3차원 스캐너 개발에 관한 연구

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

### A Study on the Development of the 3-D Scanner for Shoe Roughing

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

#### ABSTRACT

A roughing process is the one of most important shoe manufacturing processes. Especially, it is indispensable to manufacture the leather shoes such as dress shoes, safety shoes, golf shoes, etc. The roughing process relies greatly on the operator's skill and experience. Therefore, the automation of roughing process is necessary to establish the improvement of productivity.

We are trying to develop the Automatic Roughing Machine controlled by NC. As pre-study to do this, we need to measure the roughing path for NC, because there is no study on this part and no reference about this.

In this study, we proposed the 3-Dimensional Scanner System to measure the roughing path with new concept. The developed 3-D scanner System generates the roughing path using the 3 images obtained from 3 CCD cameras. The experimental results show that the proposed system can measure accurately the roughing path.

**Key Words** : 3-D Scanner(3차원 스캐너), Vision System(비전 장치), Shoe Roughing(신발 러핑), Image Processing (이미지 처리), Automation(자동화)

#### 1. 서론

대표적인 노동 집약 상품인 신발은 우리나라의 주요 수출 품목으로 과거에 중요한 역할을 했으나, 노동 인건비 상승, 3D 업종 기피 현상으로 인한 국내 기술자 부족과 중국, 인도네시아 등 풍부한 인력을 바탕으로 저가공세를 펼치고 있는 후발 신발 제조 국가들의 맹추격으로 국내 신발업계는 국내 외적으로 많은 어려움을 겪고 있다. 이런 현실 속에서 국내 신발 제조 업체들은 적극적인 제품 개발을 통한 고급화와 자동화를 통한 생산성 향상을 꾀하고 있다.

신발 제조 공정은 하나 하나의 공정이 흐름을 타고 순차적으로 진행되는 대표적인 컨베이어 공정 시스템으로 전체 신발 공정의 생산성은 병목 현상이 일어나는 공정에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

러핑 공정은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 갑피와

바닥창 부분을 접착하기 전에 갑피의 접착 부분면을 슷돌이나 브러시를 이용하여 거칠게 가공하는 공정을 이르는 것으로 신발 제조 공정 중 불량률이 많이 발생하는 공정의 하나이다. 러핑이 제대로 안된 상태에서 갑피와 바닥창을 접착하면 갑피자체의 재질특성에 의해서 접착이 제대로 이루어지지 않고, 과도하게 러핑이 될 경우 접착부위에 갑피가 손상이 되어 방수불량의 불량품 발생원인이 된다.

러핑 공정은, 현재 자동 러핑기를 이용한 작업과 숙련자에 의한 수작업으로 이루어지고 있다. 자동 러핑기의 경우 과거부터 신발분야에 앞선 기술을 가진 독일, 이태리 등의 여러 업체들에 의해서 연구 개발되어 판매되고 있으나 작업 공간에 대한 제약과 고가로 인해 영세한 국내 업체들의 경우는 대부분 숙련자에 의한 수작업에 의해 작업을 진행하고 있다. 수작업에 의한 러핑의 경우 1개 라인을 기준으로, 러핑할 영역을 긋는 Gauge 작업→ 1차

Roughing→ 2 차 Roughing 의 3 단계로 3 명의 작업자가 순서대로 작업을 행하며 작업자의 경험과 숙련도에 따라 생산성과 불량 발생율의 현저한 차이를 나타낸다. 따라서 이 논문에서는 이러한 러핑의 자동화를 위한 선행 단계로써 자동 러핑기 제어를 위한 3 차원 경로 측정 시스템 개발에 대한 연구를 다루고자 한다.



Fig. 1 The Roughed Shoe

## 2. 측정 원리

### 2.1 기존 측정법의 한계점

현재 알려지고 있는 3 차원 치수측정방식은 그 측정 원리, 방법에 따라 여러 가지가 있는데, 대표적인 것으로 접촉식 프로버를 사용하는 접촉식 방법과 머신 비전을 이용한 광 측정법, 슬릿광 주사법, 스테레오 비전, 영상식 모아레법 등이 있다[1]. 이러한 방법 중에서 라스트나 발 형상 측정을 위한 용도로 슬릿광 주사법과 3 차원 접촉식 측정법이 많이 사용하고 있다[2]-[4]. 그러나 러핑 공정의 특성상 현재 주로 사용되고 있는 슬릿광 주사법, 접촉식 측정법을 적용할 경우 양호한 러핑 작업을 수행하기 어렵다.

첫째, 러핑은 라스트 위에 감피를 씌운 상태에서 행해지는데 라스트를 기준으로 측정을 할 경우 [2]-[3] 감피자체의 두께를 고려하지 않아 과도 러핑으로 인한 감피자체에 손상을 일으킬 수 있으며, 감피를 부착한 상태에서 측정을 할 경우는 가죽재질의 탄성으로 인해서 정밀한 측정이 곤란할 뿐 아니라, 데이터 측정을 수작업으로 해야 하므로 측정자의 개인 오차와 측정시간이 오래 걸리는 문제가 있다.

둘째, 슬릿광 주사법을 사용할 경우는 정밀도의 문제가 생긴다. 슬릿광 주사법은 접촉식 측정법에 비해 고속, 자동화된 측정이 가능하나, 측정하는 물체의 거리에 따라서 분해능이 가변적이며, 이로 인해 정밀도가 크게 저하되어 세선화 기법, sub-pixel 기법을 적용할 지라도 신발의 특성상 굴곡이 크게 지는 부위가 생겨, 이 부분에서는 정밀도의 저하로 인한 과도 러핑을 초래하게 된다. [5]-[6]

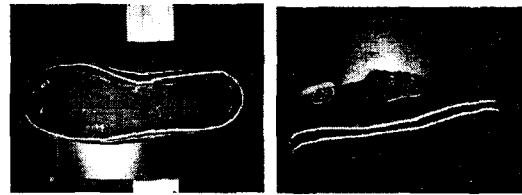
본 논문에서 개발한 3 차원 스캐너는 위의 두 가지 측정법에 대한 각각의 장점을 결합한 형태로

써 슬릿광 주사법보다 정밀한 측정이 가능하고, 접촉식 방법보다 측정시간을 줄일 수 있으며, 자동적인 러핑 경로 측정이 가능하다.

## 2.2 측정 원리와 좌표 측정

### 2.2.1 측정 원리

Fig.2 는 측정할 러핑 곡선의 모습을 나타낸다. 러핑면은 두개의 폐곡선의 결합으로 이루어지며 두 폐곡선 사이의 곡면정보는 러핑시에 필요치 않다. 따라서 경로 측정에는 면에 대한 정보를 제외한 두 폐곡선의 좌표 정보만을 필요로 한다.



(a) Bottom of the shoe (b) Side of the Shoe

Fig. 2 The Roughing Path

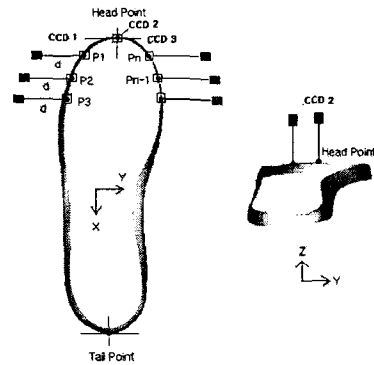


Fig. 3 The Principle of Measurement

Fig.3 은 측정 해야 할 폐곡선의 모습을 나타낸다. 3 개의 CCD 는 측정 시작 전에 기준 격자를 설치하여 영상에 맺힌 기준 격자를 참조하여 각각의 분해능을 설정한다. 사용자에게 의해서 측정 기준점인 시작점(Head Point)과 끝점(Tail Point)을 입력 받은 후, 이 두개의 입력점을 기준으로 하여, 일정한 측정 간격으로 X 축을 이송 시킨다. X 축의 이송 후 Z 축 방향에 있는 CCD 2 로부터 영상을 입력 받아 참조곡선을 찾은 후, CCD 1 또는 CCD 3 의 초점을 유지시키기 위해서 Y 축을 이송 시키고, 다시 CCD 2 의 초점 유지를 위해 Z 축을 이송한다. 위의 과정을 반복하여, 시작점으로부터 끝점까지 반시계 방향으로 폐곡선을 따라서 X, Y, Z 축을 이송 시킨다. Fig.4 는 전체 측정의 흐름도이다.

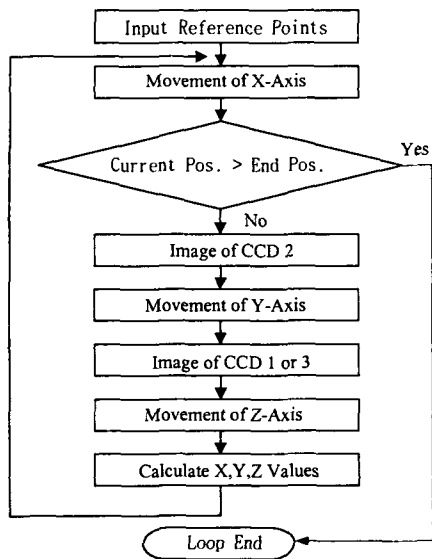


Fig. 4 The Flow Chart of Measurement

### 2.2.2 좌표 측정

좌표 측정 모드는 3 가지이다. 내부라인을 참조해서 시스템을 구동하는 방식(Inner Line Focus Mode, ILFM), 외부라인을 참조하는 방식(Outer Line Focus Mode, OLFM), 중간 라인을 참조하는 방식(Center Line Focus Mode, CLFM)이 있다. 이렇게 함으로써 두개의 폐곡선을 추정할 때 보다 시간을 절반으로 줄일 수 있다. 기본 모드는 OLFM 이며 특수한 경우에 ILFM 과 CLFM 을 사용한다.

Fig.5 는 ILFM 의 좌표 측정 원리를 나타낸다. A 점은 2 개의 CCD 에 의해 초점이 맞춰진 시스템의 3 축에 대한 위치 좌표이다. B 의 좌표 계산을 위해 CCD 2(Z-Axis), 와 CCD 1(Y-Axis)의 이미지를 조합할 경우 분해능 때문에 투시 되는 좌표점은 B'(X,Y)로 실제의 좌표 B(Y,Z) 에 대해서  $(-\Delta y, +\Delta z)$  이동 변환 된 좌표이다. 실제의 B 좌표는 Z 축상에 존재하는 CCD 2에서 볼 때 물체가 A 점보다 상대적으로 멀리 떨어져 있기 때문에 기준점인 A 지점에 비해 분해능이 떨어지게 된다. 결국 실제의 A,B 점 사이의 수평 거리 Y는 CCD 2에 초점이 맞춰진 A 점의 분해능과 선형적으로 변화된 B 점의 분해능의 평균값을 이용하여 구할 수 있게 된다. B 점의 분해능은 Y 축에서 측정한 거리  $(z+\Delta z)$ 를 기준으로 구한 후, 평균 분해능을 이용하여 수평 거리 Y를 구한다. A,B 점의 수직 거리는 보정을 통해 구한 Y 를 이용하여 같은 방법으로 구할 수 있다. 위의 과정을 반복할 경우 분해능 계산을 위해 더욱 정확한 길이를 참조하게 되므로 측정에 대한 정밀도를 향상시킬 수 있다.

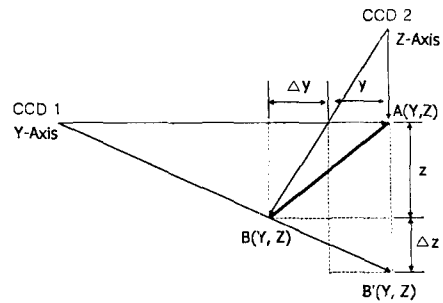


Fig. 5 The Calculation of 3D position with ILFM

## 2.3 영상 처리

CCD 를 통해 획득된 영상은 많은 잡음을 포함하고 있다. 따라서 기본적으로 모든 영상에 대해서는 Median Filter 를 거쳐 잡음을 제거한다.

### 2.3.1 Thresholding

Thresholding 기법은 입력된 영상에 대한 히스토그램을 바탕으로 일정한 경계값을 기준으로 하여 2진화 시키는 기법이다. 측정할 신발은 상대적으로 짙은 색깔의 갑피로 되어 있으므로 경로 곡선을 흰색으로 표시하게 될 경우 Threshold 기법에 의해 적절히 경로점을 추출할 수 있다.[7]

### 2.3.2 Gradient

Gradient 기법은 이미지에서 경계를 추출하는 목적으로 주로 사용되는 기법이다. [7] 이 기법을 사용할 경우는 Thresholding 기법으로 추출하기 어려운 미세한 부분의 경계를 추출하는 것이 가능하다. 측정 전반에 대해서 Thresholding 기법을 적용함으로써 경로점 추출이 가능하나, 일부의 구간에서는 신발의 곡면 구배가 정(positive)에서 부(negative)가 되므로 이 부분에서의 경계추출을 위해 Gradient 기법이 사용하였다.

## 3. 시스템 구성

Fig.6 은 본 연구에서 개발한 러핑 경로 생성용 3 차원 스캐닝 장치의 사진이다.

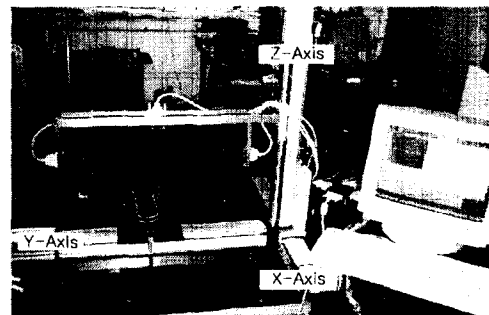


Fig. 6 The Developed System

전체 시스템은 이미지 처리를 위한 이미지부와 기구의 구동을 위한 구동부로 구성되어 있다.

### 3.1 이미지부

이미지부는 3 개의 CCD 와 CCD 로부터 촬영된 영상 데이터를 획득하기 위한 영상획득 보드로 구성이 된다. Fig.7 은 본 연구에서 사용한 CCD 카메라와 영상 획득 보드를 나타낸다. 사용된 CCD 카메라는 HV7141B 모델로 800\*600 의 유효 화소를 가지는 흑백 CCD 이다.

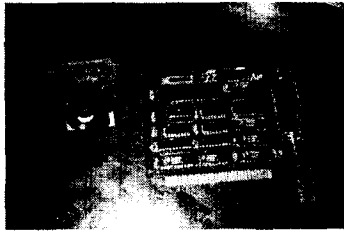


Fig. 7 The CCD Lens and Image Grabber

### 3.2 구동부

구동부는 신발을 이송 시키기 위한 Y 축, 기구부를 이송 시키는 Z 축, Z 축과 기구부의 이송을 위한 X 축으로 구성이 되며, 컴퓨터와 RS-232 를 통해 이동,정지 등의 모든 지령에 대한 통신이 이루어진다.

### 4. 측정 결과

Fig.8 은 3 가지 모드에 의한 외부 폐곡선의 X-Y 평면 데이터이다. 전체에 대한 일부분을 표시했으며, 다이아몬드 심볼이 실제로 참조에 의해 구해진 좌표이고, 동그라미 심볼과 별 심볼은 1 회 보정에 의해 구해진 좌표점이다.

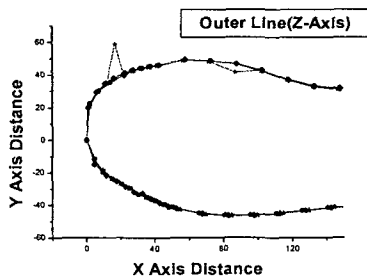


Fig. 8 The Comparison of each Mode(XY)

측정시간은 ILMF, OLFM 의 경우 171 초, CLFM 의 경우는 160 초였다. Fig. 9 는 XZ 평면에 대한 데이터이다. 측정오차를 평면에 대한 수직거리로 정의한다면, 이미지 처리문제에 의한 몇몇 측정점들

제외할 경우 XY 평면의 경우  $\pm 500\mu\text{m}$  이내이고, XZ 평면의 경우는  $\pm 300\mu\text{m}$  이내이다.

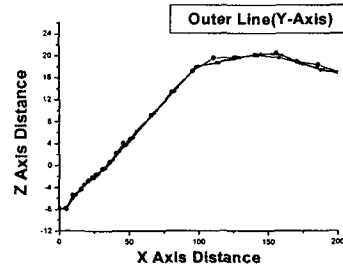


Fig. 9 The Comparison of each Mode(XZ)

### 5. 결론

본 논문에서는 자동 러핑기의 경로 생성을 위한 3 차원 스캐너 개발에 대한 연구를 다루었다. 개발된 장치는 기존의 측정 장비들이 가지는 문제점들을 보완함으로써 더욱 좋은 정밀도를 가지면서 자동화된 측정이 가능하다. 또한 측정 모드에 따른 보정 알고리즘을 적용함으로써 전체 측정시간을 줄일 수 있었다.

### 참고문헌

1. 이상운, 임상근, "Machine Vision 을 이용한 3 차원 치수측정", 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 3 호, pp.18-22, 2001
2. 김승호, 장광걸, 김기풍, 허훈, 권동수, "적응형 라스팅기의 자동화를 위한 제화용 라스트의 새로운 CAD Data 화 기법", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 6 권, 제 1 호, pp.17-23, 2001
3. 김승호, 장광걸, 허훈, "제화용 라스트의 새로운 CAD Data 화 기법 및 적응형 라스팅기의 제어에 관한 데이터 추출", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.122-127, 2001
4. Sangkun Park, Kunwoo Lee, Jongwon Kim, Jongwoo Park, "A System for Rapid Design and Manufacturing of Custom-Tailored Shoes", KSME International Journal, Vol. 14, No.6, pp. 675-689, 2000
5. 박현구, 김승우, 박준호, "슬릿광 주사방법에 의한 자유곡면의 삼차원형상 측정", 대한기계학회 논문집 제 17 권, 제 5 호, pp.1202-1207, 1993
6. Tsai, R.Y. , " A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3d Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE J. Robotics Automat. Vol. 3, pp.323-344, 1986
7. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley Publishing Company, 1993