

Tension spline 방법을 이용한 제화용 라스팅기의 제어데이터 추출 및 기하할출제도의 검증

장광걸* · 김승호* · 허 훈**

Extraction of the control data for the shoe laster by using tension spline method and verification of the geometric grading system

Kwang-Keol Jang , Seung-Ho Kim and Hoon Huh

Key Words : Tension spline(텐션 스플라인), CAD Datarization (캐드 데이터화), Shoe last (제화용 라스트), Interpolated data(보간 데이터), Geometric grading system(기하식 할출제도), Arithmetic grading system(산술식 할출제도).

Abstract

Lasting machines for shoe manufacturing are continuously developed with the aid of automation and Computer Aided Manufacturing (CAM). Adaptive lasting machine and CAD data of a shoe last are inevitably introduced for the labor-free manufacturing process. Recently, method for the CAD datarization of a shoe last is suggested using finite element mesh system. Initial set up data and control data of machine parts are required for the adaptive lasting machine. For the efficient process, grading of those data is essential to minimize data storage and production costs.

In this paper, bonding lines are extracted from the CAD data of a shoe last and graded by the geometric grading system. Tension spline method is adopted for the interpolation of last CAD data. The results are compared with the results from the arithmetic grading system that is widely adopted in the shoemaking companies.

1. 서 론

제화 산업은 우리나라의 주력 수출 산업 중의 하나로서 오랜 기간 기여해 왔지만, 1980년대 중반 이후 노동 인건비 상승, 정부의 중공업 육성정책, 근로자들의 3D 직종 기피 등의 여파로 국제 경쟁력을 상실한 상태이다. 또한, 신발 제조 설비도 핵심 부분은 대부분 이태리, 영국 등지에서 수입에 의존하고, 기술 수준의 발달이 미미하여 대만 등의 후발 국가에도 뒤쳐지고 있는 실정이다. 컴퓨터를 이용한 생산 공정은 그 동안 눈부신 발전을 거듭하여 자동화를 통한 효율적인 생산성 향상에 큰 역할을 해오고 있다. 현재 이태리, 미국, 영국 등에서는 이러한 CAM을 신발 제조 산업에

적용하여 지속적인 발전을 거듭하고 있지만 우리나라에서는 아직 이러한 연구가 본격적으로 수행되고 있지 않아, 지속적인 연구를 통한 기술 수준의 혁신이 요구되고 있는 실정이다. 신발 제조 산업이 국제적인 경쟁력을 가지기 위해서는 소품종 대량 생산의 견지를 벗어나 다품종 소량 생산이 가능하도록 하는 기술 수준의 확립이 반드시 이루어져야 할 것이다. 이를 위해서는 신발의 종류에 관계없이 적응적으로 생산할 수 있는 기계 기술의 개발이 선행되어야 할 것이다.

신발 제조 공정 중에서 CAM을 이용한 자동화가 제대로 이루어 지지 않은 분야는 신발의 굽피와 중창을 접합 시키는 공정인 라스팅 작업으로, 신발 전체의 품질을 좌우하는 공정이다. 이 공정은 난이도가 높고 작업의 숙련도가 요구되어, 아직까지도 작업의 주체가 숙련공으로 제한되어 있는 분야이다. 제화 산업에 이러한 라스팅 작업까지 수행할 수 있는 CAM을 적용하기 위해서 가장

* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

** 한국과학기술원 기계공학과 교수

먼저 선행되어야 할 연구는 신발을 디자인 하거나 생산을 할 때 기본이 되는 라스트(Last)에 관한 연구이다. 라스트는 사람의 족형과 유사한 형태를 가지고 있고, 신발의 형상이나 치수와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 새로운 신발을 디자인 하거나 기계를 초기화할 때 라스트의 형상으로부터 출발을 하게 된다. 라스트의 형상이나 치수의 정의에 대한 기초적인 연구는 현장에서의 경험을 바탕으로 수행되어 왔고 라스트의 각 부분을 다른 크기로 할출(Grading)하는 방법에 대한 연구도 여러 연구자들에 의해 수행되어 왔다[1-7]. 그러나, CAM에 적용하기 위한 가장 기본적인 작업이라고 할 수 있는 라스트의 CAD 데이터화 작업은 국내는 물론이고 해외에서도 아직까지 수행된 적이 없다. 일반적으로 라스트의 설계와 신발 갑피의 설계에 사용되는 소프트웨어로는 Shoemaster, Crispin Dynamics, Lectra System 등이 있으나 대부분 고가인데 반해, 현재 상태로는 실제 신발을 제조하고 있는 라스팅 기계의 제어에는 적용할 수 없는 단점이 있다. 대부분의 제화 기계에서는 바닥면 데이터 중에서 추출된 기본적인 일부의 데이터만을 사용자가 새로 입력하여 사용하거나, 기계의 판매시에 포함되어 있는 라이브러리에 의존하여, 제어에 활용하고 있고 국내에서는 이러한 연구는 김 등의 연구[8]를 제외하고는 거의 전무한 실정이다.

본 논문에서는 라스팅 작업 시에 가장 제어하기 힘든 풀칠선(Bonding Line) 데이터를 추출하여 제어 시에 유동적으로 활용할 수 있는 기반을 마련하기 위하여 tension 스플라인 방법을 이용하여 풀칠선을 보간하는 방법을 제안하였고, 자동화 공정에 적용 가능한 기하할출제도의 타당성을 오차 해석(error analysis)을 통하여 검증하였다. 라스트를 절점좌표와 요소로 구성되는 유한요소 격자 형태로 CAD 데이터화 하는 방법은 김 등[8]에 의해 연구되었다. 유한요소 격자 형태로 구성된 라스트의 바닥면 데이터로부터 추출된 풀칠선은 tension 스플라인 방법을 이용하여 보간한 다음 제어 프로그램에 입력되어 기구부의 초기입력 데이터로 사용된다.

2. Tension 스플라인 방법

구성된 라스트의 CAD 데이터로부터 제어에 필요한 절점을 추출하고 이 임의의 절점들을 지나는 곡선을 보간하기 위한 방법으로 본 논문에서는 tension 스플라인 방법을 사용하였다. 이 방법은 삼차 스플라인(cubic spline)의 보완형으로 tension 파라미터를 사용하여 데이터를 보간하는 방법으로, tension의 양에 따라 데이터 점을 따라 지나가는 곡선의 형상을 조절 할 수 있는 장점이 있다. 신속한 작업이 요구될 때, 라스트의 형상이 급격하

게 변하는 경우 이 tension 양을 조절해 줌으로써 적은 절점 데이터 만으로도 사용자가 유연한 곡선을 얻을 수 있을 것이다. Tension 스플라인 방법은 수치적으로 코드화하기 쉽고 다루기 쉬운 장점이 있다. Fig. 1은 tension의 양에 따른 데이터의 보간 정도를 나타내는 그림이다. 6개의 데이터가 주어졌다고 할 때, tension 양을 조절하는 계수인 τ 가 0에 가까워질수록 삼차 스플라인의 형태가 되고, τ 가 ∞ 에 가까워지면 선형 스플라인의 형태가 된다. Fig. 1에서는 $\tau=1$ 일 때 가장 외곽의 곡선 형태로 보간이 되고, $\tau=100$ 일 때 보간된 곡선이 육각형 형태로 선형에 가까운 것을 보여주고 있다. Tension 스플라인 방법을 사용하면 다양한 곡률과 선형 구간이 생길 수 있는 숙녀화 및 특수화 등을 적은 데이터 수만으로도 보간이 가능하다.

Tension 스플라인 함수는 다음의 (1)식을 만족하는 함수 f 로 정의한다.

$$\begin{cases} f \in C^2[t_0, t_n] \\ f(t_i) = y_i, \quad (0 \leq i \leq n) \\ f^{(4)} - \tau^2 f'' = 0 \text{ in } (t_{i-1}, t_i) \end{cases} \quad (1)$$

$z_i = f''(t_i)$ 라 하면 함수 f 는 구간 $[t_{i-1}, t_i]$ 에서 식 (2)의 경계조건을 만족하는 미분방정식 $f^{(4)} - \tau^2 f'' = 0$ 의 해가 된다. 여기서 $f^{(4)}$ 와 f'' 는 각각 f 의 4차와 2차 미분을 뜻한다.

$$\begin{cases} f(t_i) = y_i, & f(t_{i+1}) = y_{i+1} \\ f''(t_i) = z_i, & f''(t_{i+1}) = z_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

따라서 $\tau=0$ 일 때 f 는 방정식 $f^{(4)}=0$ 의 해가 되므로 삼차다항식의 꼴로 표현되고, $\tau=\infty$ 일 때 f 는 방정식 $f''=0$ 의 해가 되므로 선형함수로 표현된다.

미분방정식 (1)의 해 f 는 다음 식 (3)과 같은 꼴로 나타낼 수 있다. 여기서 h 는 t_{i-1} 과 t_i 사이의 구간 거리를 나타낸다.

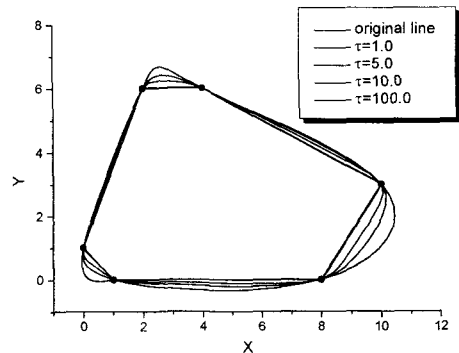


Fig. 1 Interpolated curve with respect to the amount of tension τ

$$f(x) = \frac{z_i \sinh\{\tau(t_{i+1} - x)\} + z_{i+1} \sinh\{\tau(x - t_i)\}}{\tau^2 \sinh(\tau h_i)} + \left(y_i - \frac{z_i}{\tau^2}\right) \frac{t_{i+1} - x}{h_i} + \left(y_{i+1} - \frac{z_{i+1}}{\tau^2}\right) \frac{x - t_i}{h_i} \quad (3)$$

그리고, 식 (1)의 첫번째 조건으로부터 아래의 식 (4)을 얻을 수 있다.

$$\lim_{x \rightarrow z_i} f'(x) = \lim_{x \rightarrow z_i} f'(x) \quad (1 \leq i \leq n-1) \quad (4)$$

준식의 미지수 z_i 를 구하기 위해서, 각 구간에서 관계식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$\alpha_{i-1}z_{i-1} + (\beta_{i-1} + \beta_i)z_i + \alpha_i z_{i+1} = \gamma_i - \gamma_{i-1} \quad (1 \leq i \leq n-1)$$

$$\alpha_i = \frac{l}{h_i} - \frac{\tau}{\sinh(\tau h_i)}, \beta_i = \frac{\tau \cosh(\tau h_i)}{\sinh(\tau h_i)} - \frac{l}{h_i}, \gamma_i = \frac{\tau^2 (y_{i+1} - y_i)}{h_i} \quad (5)$$

위의 관계식을 행렬식으로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$Az = \gamma \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta_1 + \beta_0 & \alpha_1 & \dots & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \beta_1 + \beta_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \beta_{n-2} + \beta_{n-1} & \alpha_{n-2} \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_{n-2} & \beta_{n-1} + \beta_{n-2} \end{bmatrix}$$

$$z = \{z_1, z_2, \dots, z_{n-2}, z_{n-1}\}^T$$

$$\gamma = \{\gamma_1 - \gamma_0, \gamma_2 - \gamma_1, \dots, \gamma_{n-2} - \gamma_{n-3}, \gamma_{n-1} - \gamma_{n-2}\}^T$$

여기서, z_0 와 z_n 은 임의의 값으로, 계산의 편의상 0으로 놓으면 (3)식으로부터 각 구간에서 정의된 tension 스프라인 함수를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 tension 스프라인 방법으로 구성된 라스트의 CAD 데이터로부터 추출된 풀칠선 데이터를 보간하는데 적용하였다.

3. 라스트의 CAD 데이터화

구성된 라스트의 CAD 데이터는 신발의 설계부터 시작하여 관련 기계의 설계 및 제어에 폭 넓게 사용할 수 있다. 자동화의 관점에서, 제화 기계의 제어는 라스트를 기본으로 해서 이루어지므로 라스트의 좌표에 의한 제어가 필요한 부분에 적절한 절점과 요소를 추출하여 보간하여 사용하면 될 것이다. 본 장에서는 힐/사이드 라스팅 작업시의 풀칠선을 라스트의 삼차원 CAD 데이터로부터 추출하고 보간하였고, 적응형 라스팅기에의 활용 방안으로 유한요소화 된 라스트의 데이터와 기구부로부터 기계의 초기 제어 위치를 추출해 내었다.

3.1 풀칠선의 추출 및 보간

본 절에서는 구성된 라스트의 삼차원 CAD 데이터로부터 신발의 바닥을 구성하는 면을 추출하고 수치적인 탐색 작업을 거쳐서 풀칠선 데이터를 추출해 내었다. 신발의 바닥면은 전체 데이터를 탐색작업으로 추출하는 방법도 있지만 초기 요소 분할 시에 바닥면과 윗면을 따로 요소 분할 함으로써 원하는 바닥면을 추출해 내는 방법을 사용하였다. 추출된 풀칠선을 제어에 활용하기 위해 Tension 스프라인 방법을 사용하여 하나의 함수 꼴로 보간하였다. Fig. 2은 라스트의 CAD 데이터로부터 추출한 삼각형 및 사각형 유한요소를 사용한 격자 형태의 바닥면 데이터를 나타낸다.

풀칠선 추출 절차는 다음과 같다. 바닥면의 최외곽 라인상의 절점들을 각 절점에서 안쪽으로 수직인 벡터를 구하여 이 벡터 방향으로 특정 위치만큼 움푹 된 점들을 구할 수 있다. 이 새로 구한 움푹 된 점들을 삼차원 상의 바닥면에 탐색기법을 통하여 투영을 시키면 바닥면 위에 위치하도록 할 수 있다. 이런 과정을 통해 구한 삼차원의 풀칠선을 역시 탐색 기법을 통하여 풀칠선이 속한 바닥면에 수직인 방향으로 특정 위치만큼 움푹을 시켜 주면 삼차원의 풀칠선을 얻을 수 있다. 현재 사용되고 있는 제화 기계의 풀칠 방법은 신발의 바닥면에 노즐이 접하는 형태로 접촉체가 도포 되므로 평면상의 풀칠선을 추출해 내었다. Fig. 3은 삼차원상의 바닥면과 바닥면의 외곽선으로부터 추출된 풀칠선, 그리고 삼차원 데이터를 평면상에 투영시킨 이차원의 바닥면과 풀칠선을 나타낸다. 신발의 종류의 사이즈에 따라 움푹하는 양과 풀칠하는 길이가 달라지므로, 풀칠선의 위치나 움푹되는 양 및 길이는 사용자가 임의로 조절할 수 있는 양이다. Fig. 3에서의 최외곽선과 풀칠선을 tension 스프라인 방법을 사용하여 보간한 그림을 Fig. 4에 도시하였다. 최외곽선이나 풀칠선을 표현하는 데이터의 개수는 사용자가 적절히 조절해 줄 수 있다. Fig. 4의 풀칠선은 실제 공장에서 신발을 제조할 때에 사용되는 풀칠선과 거의 유사한 궤적이다.

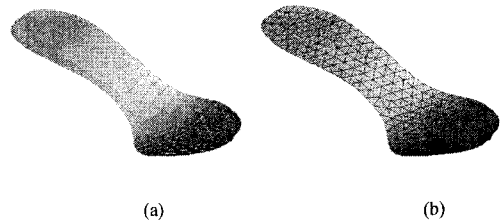


Fig. 2 Extracted finite element mesh data of bottom surface from the last CAD data for mesh types: (a) rectangular mesh; (b) triangular mesh

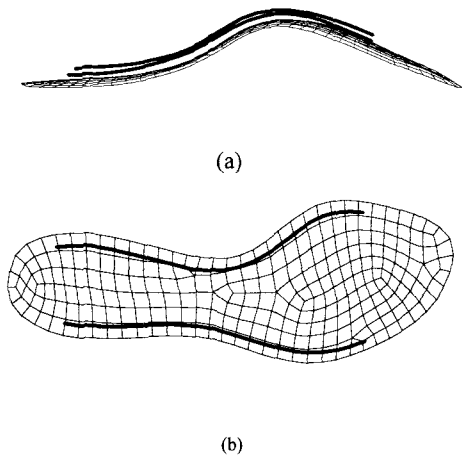


Fig. 3 Extracted bonding line from bottom surface data for the control algorithm of the lasting machine with respect to data type: (a) 3D data (b) 2D data

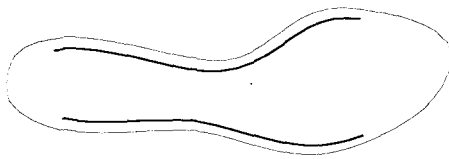


Fig. 4 Interpolated outer line and bonding line by tension spline method

4. 기하할출제도의 검증

4.1 할출제도(grading system)

다양한 사이즈의 신발을 제공하기 위해서는 동수의 라스트가 필요하다. 하지만 대부분 제화 회사들은 전체적으로 라스트의 표준화를 정의하고 있는데 그 이유는 일관성 있는 제품을 생산하고 소요부품의 수를 줄여 집단화(grouping)를 위한 기초를 제공하기 위함이다. 이를 위해서 기준 라스트로부터 정해진 규칙에 따라 다른 사이즈의 라스트를 제작하게 되는데, 이 때 적용되는 규칙을 할출제도라 한다. 할출제도에는 기하식 할출제도(geometric grading system)와 산술식 할출제도(arithmetic grading system)의 두 가지가 있다. 기하식 할출제도는 모든 방향에 대해 일정 비율로 라스트의 크기를 증감시키는 방법이고, 산술식 할출제도는 폭, 길이 또는 둘레에 대해 서로 다른 비율로 라스트의 크기를 증감시키는 방법이다. Fig. 5는 두 가지 할출제도 방법을 설명하는 그림이다. 산술식 할출제도의 기원에 대하여는 별도로 알려진

것이 없지만 그것은 하나의 관례가 되어 사용되어 왔으며 현재 대부분 이 방법을 따르고 있다. 하지만 지금까지 정형화된 할출방식이 존재하지 않고 나라마다 심하게는 회사마다 서로 다른 할출방식을 갖고 있어 통일된 규칙을 얻기가 매우 어렵다. 이것은 현재 제화 산업의 자동화정도가 얼마나 빈약한가를 보여주는 것이라 할 수 있다. 반면, 기하식 할출제도는 자동화 공정의 도입 단계에서 그에 알맞은 방법을 검토하다가 창안된 제도이다. 자동화의 관점에서 산술식 할출제도에 비해 기하식 할출제도가 갖는 장점은 전 사이즈에 걸쳐 라스트의 모양이 변형되지 않는다는 것과 제어에 필요한 데이터가 전 사이즈에 걸쳐 기준 라스트와 동일하게 할출될 수 있다는 것이다.

산술식 할출제도에서는 같은 모델이라도 사이즈가 달라지면 라스트의 형상이 달라지는 특징이 있기 때문에 기구부를 초기화할 때 작업자의 수작업에 대부분 의존하게 된다. 반면 기하식 할출제도에서는 같은 모델에서 사이즈가 달라지면 전체 형상이 일정 비율로 증감하기 때문에 기준 라스트에 대한 CAD 데이터만 입력하면 일정 비율만큼 그 값을 증감함으로써 다른 사이즈의 CAD 데이터를 얻을 수 있게 된다.

사람마다 발의 모양과 크기가 각각 다르기 때문에 다양한 종류의 신발을 만들기 위해서는 기하식 할출제도보다는 산술식 할출제도를 적용하는 것이 더 타당하다고 할 수 있다. 그러나, 기하식 할출제도를 사용하면 라스팅기를 구동하는데 수작업이 많이 줄어들게 되므로 생산비용과 생산속도가 월등히 좋아지는 장점이 있다.

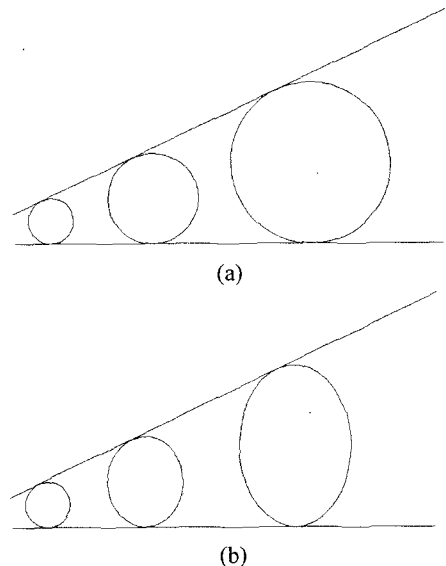


Fig. 5 (a) Geometric grading system (b) Arithmetic grading system

4.2 오차해석(error analysis)

본 논문에서는 라스트 전체의 삼차원 형상이 아닌 바닥면의 이차원 형상에 대하여 기하식 할출제도의 적용 가능성을 보임으로써 라스팅 작업 시에 가장 제어하기 힘든 풀칠선 데이터를 추출하여 유용적으로 활용할 수 있도록 하였다. 풀칠선 데이터에 대한 기하식 할출제도의 적용 가능성을 보이기 위해서 실제 제화 업체에서 사용하고 있는 여러 가지 라스트 중에서 산술식 할출제도를 따르는 Lola 모델을 택하여 기하식 할출제도를 적용하고 두 가지 할출방식에 대한 풀칠선 데이터의 차이를 비교하여 보았다.

Fig. 6 는 산술식 할출제도를 따르는 숙녀화 Lola 모델의 11 가지 종류의 라스트로부터 추출한 바닥면 데이터들이다. Lola 모델의 사이즈는 UK 방식 [5]으로 1 사이즈 증가할 때 1/3 인치씩 증가하는 것이다. 본 논문에서 사용한 라스트는 13 사이즈에서 18 사이즈까지 1/2 사이즈씩 증가하는 11 가지이다. 기하식 할출제도는 이 중에서 기준 라스트를 정하고, 이것을 확대하거나 축소함으로써 다른 사이즈의 라스트를 얻는 방식이다. 두 방식의 오차를 계산하는 방법은 다음과 같다. 산술식 할출 방법을 사용한 원래의 모델은 비교대상으로 크기를 변화시키지 않는다. 단지 기하식 할출제도를 사용하여 기준 라스트로부터 다른 사이즈로 확대 또는 축소하여 원래의 바닥면 데이터와 비교하게 된다. 편의상 같은 사이즈일 때 산술식 할출제도를 따르는 바닥면 데이터를 A 라 하고 기하식 할출제도를 따르는 바닥면 데이터를 B 라 하겠다.

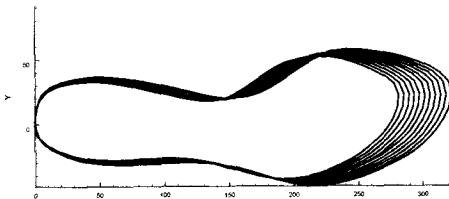


Fig. 6 The extracted sole data of Lola model from size 13 to size 18 by 0.5 size

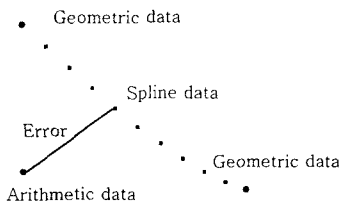


Fig. 7 Calculation of the error between the arithmetic grading data and geometric grading data : spline data can be obtained by tension spline method.

먼저 유한요소 격자 형태의 라스트 바닥면의 경계를 추출하여 외곽선을 이루는 절점들을 각각 찾는다. B의 외곽선은 tension 스플라인 방법을 이용하여 보간한 후 각 절점 사이에서 9 개의 점들을 추출한다. 그 다음 A의 외곽선의 각 절점으로부터 B 상의 점들과의 최단거리를 계산하고, 이 값을 그 절점에서의 오차라고 정의한다. 이렇게 하면 A의 외곽선 상의 각 절점에서 B와의 오차는 잘 정의되고 이것을 그래프로 나타낼 수 있게 된다. Fig. 7 은 위의 과정을 설명해주는 그림이다. 기준 라스트는 가장 작은 13 사이즈, 중간 크기인 15.5 사이즈 그리고 가장 큰 18 사이즈를 사용하였다. Fig. 8 은 15.5 사이즈를 기준으로 해서 13 사이즈로 축소한 바닥면 외곽선 데이터를 A의 13 사이즈 데이터와 비교한 그래프이다. A의 앞부분이 B보다 더 좁다는 것을 알 수 있다. Fig. 9 과 Fig. 10 과 Fig. 11 은 기준 라스트가 사이즈 13, 15.5, 18 일 때 계산한 오차를 나타낸 그래프이다. 그래프의 x 축은 A 상의 절점을 나타내고 y 축은 절점에서 B까지의 최단 거리인 오차를 나타낸다. 세 가지 중에서 최대 오차가 가장 작게 나타나는 경우는 기준 라스트가 사이즈 15.5 였을 때이다. 이 경우 얻어진 최대 오차는 1.48 mm 이고, 4.34%의 오차를 보이고 있다. 이는 기하식 할출제도를 사용하여 라스팅기의 제어 시에 풀칠선의 추출을 기준 라스트 하나를 사용하여 할출할 수 있음을 보여주는 것이다.

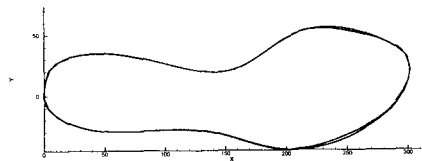


Fig. 8 Comparison of the sole data for size13(inner contour) and the sole data for degrading size 15.5 to size 13(outer contour).

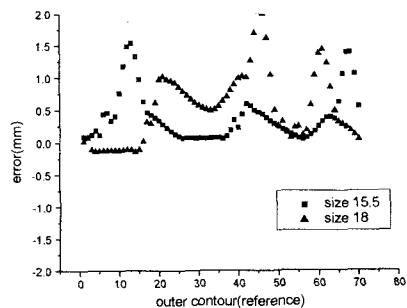


Fig. 9 Estimated error for grading from size 13 to other sizes

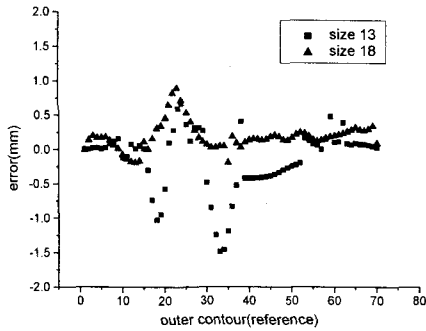


Fig. 10 Estimated error for grading from size 15.5 to other sizes

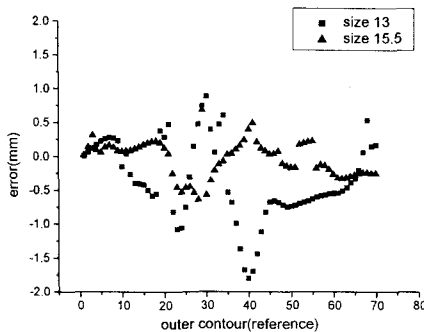


Fig. 11 Estimated error for grading from size 18 to other sizes

5. 결론

자동화의 관점에서의 상대적인 장점에도 불구하고 제화 업계의 현장에서는 기하할출제도를 대부분 사용하지 않는다. 그 이유는 실제 사람의 발 모양이 여러 방향에 대하여 똑 같은 비율로 증가하거나 감소하지 않기 때문에 현실적으로 기하할출제도를 적용할 수가 없다는 것이다. 그러나 본 논문에서 지적한 것처럼 신발 전체가 아닌 바닥면 데이터에 제한하였을 경우, 라스팅기의 구동 메커니즘에서 약간의 오차를 허용한다고 가정하면 기하할출 방식이나 산술할출 방식이나 큰 차이가 없음을 알 수가 있다. 이 결과는 라스트 사이즈의 변화에 따른 기구부의 제어용 데이터 사이에 함수 관계가 존재한다는 것을 보여주는 것이다. 이 함수 관계를 이용하면 자동제어를 위한 초기 세팅 데이터 및 제어 데이터를 사용하여 라스팅기를 능동적으로 제어할 수 있을 것이다.

본 연구의 최종목표는 CAD 데이터를 이용한 라스팅기의 자동화를 위한 알고리즘의 개발이다. 지금까지의 주요 연구된 내용은 제화용 라스트로부터 삼차원 CAD 데이터를 추출하고, 유한요소 격자형태로 라스트의 형상을 ASCII 데이터로 저장하는 방법을 정립하였고[8], 라스트의 형상으로부터 라스팅기의 전체 초기 세팅 데이터를 추출하는 알고리즘을 완성하였다[9]. 본 논문에서는 자동 제어 기법을 제공하기 위하여 바닥면 데이터 및 풀칠선에 대하여 기하할출제도의 적용가능성을 검토하여 보았으며, 향후로는 다양한 형상 및 종류의 라스트에 대한 초기 세팅 데이터를 추출하여 데이터베이스화하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- (1) Fan, C. Y., 1982, "Chinese Shoe Size Specification System and Standard Shoe Last Series". *Proc. Light Industry Ministry and Chemical Industry*, pp. 145-166.
- (2) Liao, W. K., 1984, *Export Shoe Dimension and Last*, Taiwan Footwear Research Institute.
- (3) Venkatappaiah, B., 1988, *Introduction To The Modern Footwear Technology*, Mrs.B.SITA.
- (4) Browne, R., Clayton C. and Hanley, J., In: Larcombe Peter (Ed.), 1990, *Modern Shoemaking No29: Lasts*, SATRA Footwear Technology Center.
- (5) Zeuschel, D., Dent, J. and Rehagen, S. and Jackson, K., 1991, *American Last Making*, Brown Shoe Company.
- (6) Chen, R. C. C., 1994, "Feasibility study of shell shoe and shell shoe fitting techniques". *The 3rd Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics*, Korea.
- (7) Cheng, F. T. and Perng, D. B., 1999, "A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design". *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 25, pp. 171-185.
- (8) 김승호, 장광걸, 김기풍, 허 훈, 권동수, 2001, "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.
- (9) 김승호, 장광걸, 허 훈, 2001, "제화용 라스트의 새로운 CAD Data 화 기법 및 적응형 라스팅기의 제어를 위한 데이터 추출", *대한기계학회 춘계 학술대회*, to be presented.