

제화용 라스트의 새로운 CAD Data 화 기법 및 적응형 라스팅기의 제어를 위한 데이터 추출

김승호* · 장광걸* · 허 훈**

New CAD Datarization Technique of Shoe Lasts and Data Extraction Scheme for the control of the Adaptive Lasting Machine

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

Key Words : CAD Datarization (캐드 데이터화), Shoe last (제화용 라스트), Lasting machine(라스팅기), Interpolated data(보간 데이터).

Abstract

Lasting machines for shoe manufacturing are continuously developed with the aid of automation and Computer Aided Manufacturing (CAM). Although automation and CAM techniques have tremendously reduced the labor in shoe manufacturing field, there still remain some parts manufactured by experts. In order to enhance the capability and efficiency of machines for labor-free shoe manufacturing, CAD data of a shoe last is indispensable. While CAD datarization takes the fundamental role in the shoe design as well as the shoe manufacturing, there has been little research for the CAD datarization of a shoe last. In this paper, a new procedure for CAD datarization of a shoe last using finite element patches is proposed and some data for the control part of the shoe lasting machine are extracted and interpolated from the CAD data. The outer line of a shoe-last sole is interpolated by a tension spline method and bonding lines are extracted from the shoe CAD data. Finally, initial setting data for the lasting machine are extracted from the last CAD data and initial setup parts of the lasting machine.

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 뒤처지고 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 굽과 중창을 접합시키는 공정인 라스팅 작업으로, 신발 전체의 품질을 좌우하는 공정이다. 이 공정은 난이도가 높고 작업의 숙련도가 요구되어, 아직까지도 작업의 주체가 숙련공으로 제한되어 있

* 한국과학기술원 기계공학과

** 회원, 한국과학기술원 기계공학과

는 분야이다. 제화 산업에 이러한 라스팅 작업까지 수행할 수 있는 CAM 을 적용하기 위해서 가장 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 디자인하거나 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, CAM 에 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 지금까지 김 등에 의한 연구[8] 외에는 거의 전무한 실정이다.

본 논문에서는 라스트로부터 접촉식 측정기 및 기존의 CAD 소프트웨어를 사용하여 라스트를 절점좌표와 요소로 구성되는 유한요소 격자 형태로 CAD 데이터화 하는 방법을 새롭게 제안하였다. 곡선이나 곡면의 보간은 일반적으로 B-spline 방법이나 NURBS 를 이용하지만, 본 논문에서는 라스트의 CAD 데이터로부터 필요한 임의의 제어 정보를 특정 구간에서 Tension Spline 방법을 사용하여 보간하였다[9]. 구성된 CAD 데이터의 CAM 에 적용하기 위한 예로서 라스팅 작업 시에 가장 제어하기 힘든 폴칠선 (Bonding Line) 데이터를 추출하여 유사한 제어 시에 유용적으로 활용할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한 라스팅기의 초기 부품 셋업 데이터 역시 유한요소화 하여 라스팅 작업의 자동화를 위한 제어용 데이터를 일부 추출하여 적용하였다.

2. 라스트의 CAD 데이터화 과정

본 논문에서는 라스트를 삼차원 접촉식 측정기

로 측정하고, CAD 용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 격자화 하는 작업을 수행하였다. 유한요소 격자는 삼차원의 좌표로 구성되는 절점과 이 절점들로 구성된 요소로 삼차원의 데이터를 저장하는 방식으로 다음과 같은 장점을 지니고 있다.

- 1) 라스트를 CAD 데이터화 하는데 유한요소격자를 사용하면 전체 정보를 모두 저장 할 필요 없이 필요한 정보만 추출하여 저장 할 수 있어 메모리의 제약이 줄어 든다.
- 2) 절점의 좌표들로부터 원하는 형태나 궤적의 데이터로 쉽게 전환할 수 있어 수치적인 계산이 쉽다.
- 3) ASCII 형태의 데이터로 되어 있어 사용자가 기본적인 내용만 교육을 받으면 이를 활용하거나 수정하기가 용이하다.

Fig. 1 은 라스트를 CAD 데이터화 하는 과정을 나타내고 있다. Fig. 1 에서 라스트의 격자 구성은 접촉식 측정기로 측정할 점들을 설정해 주는 작업이고, 접촉식 측정기를 CAD 소프트웨어에 연결하여 스플라인 형태의 삼차원 곡선을 얻게 된다. 본 논문에서는 접촉식 측정기와와의 중개를 위해서 Auto CAD 2000 을 사용하여 스플라인 형태의 곡선을 얻었다. 스플라인 형태의 삼차원 곡선으로부터 라스트의 표면 데이터를 생성하고, 이로부터 삼차원의 유한요소 격자를 이용하여 요소 분할을 실시하여 라스트의 CAD 데이터화를 수행하게 된다. 구성된 CAD 데이터는 저장장치에 저장되게 된다.

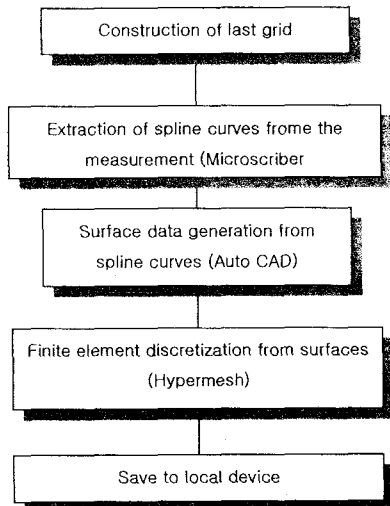


Fig. 1 Process sequence to construct CAD data of lasts

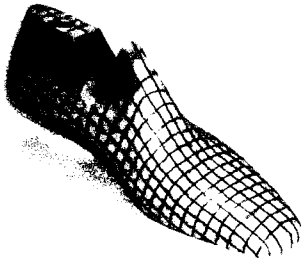


Fig. 2 Last to be measured with rectangular grid

Fig. 2 와 Fig. 3 는 각각 라스트에 격자를 구성한 형상과 접촉식 측정기로부터 얻은 스플라인 곡선 형태의 삼차원 형상을 나타낸다. Fig. 2 에서 가로 줄과 세로 줄이 만나는 점이 접촉식 측정기로 측정하는 점이 되고 CAD 소프트웨어 상에서 Fig. 3 에서의 스플라인 형태의 곡선으로 변환된다. 스플라인 형태의 곡선은 전체 삼차원 데이터를 모두 포함하고 있으므로 이를 사용하여 표면화 하는 작업을 수행하게 된다.

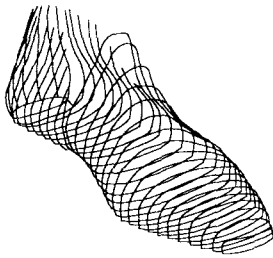


Fig. 3 Spline curves from the measuring instrument

Fig. 3 의 CAD 소프트웨어로부터 얻은 스플라인 곡선으로부터 구성된 표면 데이터를 Fig. 4 에 도시하였고 이 표면 데이터를 삼각형 요소와 사각형 요소로 격자화 한 그림을 Fig. 5 에 도시하였다. 스플라인 곡선으로부터 곡면을 얻은 작업은 3 차원 모델링 소프트웨어인 Hypermesh Ver. 3.0 을 사용하여 수행하였다. 각 곡선으로부터 인접한 곡선과 곡면을 만들고 이 곡면을 이웃 한 곡면과 합치는 형태로 곡면을 구성하였다.

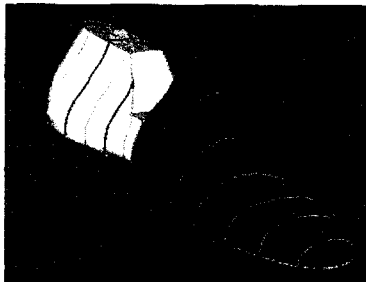
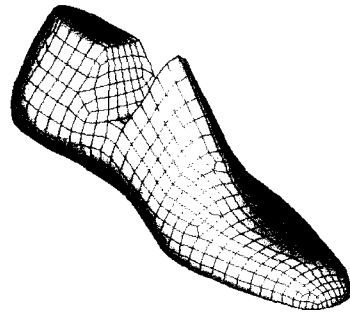
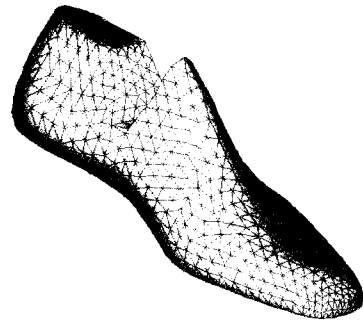


Fig. 4 Constructed surface data from spline curves

Fig. 5 에서 유한요소 격자 형태의 CAD 데이터는 각 절점의 좌표와 각 요소를 구성하는 절점의 정보를 ASCII 형태로 저장하게 된다. 절점과 요소의 정보를 가지고 라스트 상의 임의의 평면이나 곡선을 추출하여 보간하는 방법을 사용하면 제화 기계의 자동화에 필요한 모든 데이터를 제공할 수 있다. 삼각형 요소는 같은 절점수를 가질 때 사각형 요소에 비하여 비교적 큰 곡률까지 표현 할 수 있으나 요소의 수가 많아 지는 단점이 있다.



(a)



(b)

Fig. 5 Constructed CAD data of last using finite element mesh system from surface data with respect to mesh types: (a) rectangular mesh; (b) triangular mesh

3. 힐/사이드 라스팅기에서의 적용분야

신발 제조 공정 중에서 자동화의 수준이 가장 낮은 분야는 갑피를 중창에 결합하는 공정인 라스팅 작업이다. 일반적으로 힐/사이드 라스팅 작업은 스크류 타입과 핑거부의 패드를 사용해서 고정시킨 후 힘을 가해 밀어주는 핑거부 타입으로 나뉘어 진다. Fig. 6 은 핑거부 타입 라스팅기의 개략적인 구조를 도시한 것이다. 라스팅 작업 순서는, 먼저 갑피를 씌운 라스트를 잭포스트 위에 올려 놓은 후,

도우헤드 부분과 힐밴드로 라스트를 고정한다. 라스트가 고정되면 접착제 분사노즐이 중창의 옆 분사면을 지나가면서 접착제를 분사하고 핑거부의 패드가 라스트의 양 측면을 고정해 준 뒤, 핑거가 접착면을 밀면서 압력을 가하여 중창과 갑피를 접착하게 된다. 라스팅 작업은 신발 전체의 품질을 좌우 하는 중요한 공정으로 세팅 시간이 가장 오래 걸리며, 전문적인 숙련공의 작업으로 수행되는 분야이다. 현재 사용되고 있는 기계들은 부분적인 CAM 의 적용이 이루어져 있기는 하지만 신발 제조의 가장 기본이라 할 수 있는 라스트의 데이터를 고려한 제어는 아직까지 이루어져 있지 않은 실정이다. 특히, 갑피와 중창을 직접 결합해 주는 풀칠선의 제어는 사용자가 케적을 직접 입력해 주거나 기계의 모듈 내에 포함되어 있는 데이터를 사용하는 경우가 대부분으로 숙련공이 아니면 수행하기 힘든 작업이다. 따라서, 라스트의 CAD 데이터를 활용하여 초기 세팅 위치를 정하고, 삼차원에서의 임의 곡률을 가지는 풀칠선을 추출하여 라스팅 작업에 활용하는 것은 라스팅 기계의 자동화 관점에서 매우 중요한 일이라고 할 수 있을 것이다. 라스트의 초기 세팅 위치는 라스트의 삼차원 CAD 데이터에서 바로 추출하여 사용할 수 있을 것이므로 본 논문에서는 라스트의 CAD 데이터로부터 풀칠선을 추출하고 보간하여 제어에 활용할 수 있도록 하였다. 물론 이와 같은 CAD 데이터를 유동적으로 활용하기 위해서는 기계가 CAM 에 바탕을 두어 설계되어야 하고, 그에 따르는 제어 분야의 연구도 동시에 수행되어야 할 것이다.

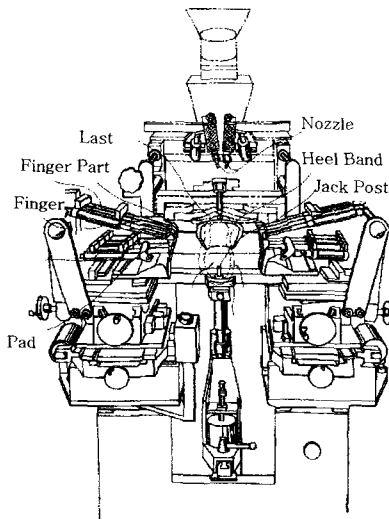


Fig. 6 Schematic diagram of the heel/side lasting machine.

4. 라스트 CAD 데이터의 활용방안

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 앞장에서 확보한 라스트의 CAD 데이터의 활용 방안으로서 힐/사이드 라스팅 작업시의 풀칠선을 라스트의 3 차원 CAD 데이터로부터 추출하고 보간하였고, 적응형 라스팅기에 의 활용 방안으로 유한요소화 된 라스트의 데이터와 기구부로부터 기계의 초기 제어 위치를 추출해 내었다.

4.1 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 본 논문에서는 초기 요소 분할시 바닥면과 윗면을 따로 요소 분할 함으로써 원하는 바닥면을 추출해 내었다. 추출된 풀칠선을 제어에 활용하기 위해 Tension spline 방법을 사용하여 하나의 함수 꼴로 보간 하였다[8]. Fig. 7 은 라스트의 CAD 데이터로부터 추출한 삼각형 및 사각형 유한요소를 사용한 격자 형태의 바닥면 데이터를 나타낸다.

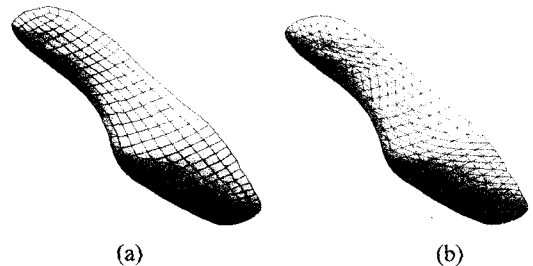


Fig. 7 Extracted finite element mesh data of bottom surface from the last CAD data with respect to mesh types: (a) rectangular mesh; (b) triangular mesh

풀칠선 추출 절차는 다음과 같다. 바닥면의 최외곽 라인상의 절점들을 각 절점에서 안쪽으로 수직인 벡터를 구하여 이 벡터 방향으로 특정 위치만큼 읍셋 된 점들을 구할 수 있다. 이 새로 구한 읍셋 된 점들을 3 차원 상의 바닥면에 탐색기법을

통하여 투영을 시키면 바닥면 위에 위치하도록 할 수 있다. 이런 과정을 통해 구한 3 차원의 풀칠선을 역시 탐색 기법을 통하여 풀칠 선이 속한 바닥면에 수직인 방향으로 특정 위치만큼 읍셋을 시켜 주면 3 차원의 풀칠선을 얻을 수 있다. 현재 사용되고 있는 제화 기기의 풀칠 방법은 신발의 바닥면에 노즐이 접하는 형태로 접착제가 도포 되므로 평면상의 풀칠선을 추출해 내었다. Fig. 8 은 삼차원상의 바닥면과 바닥면의 외곽선으로부터 추출된 풀칠선, 그리고 삼차원 데이터를 평면상에 투영시킨 이차원의 바닥면과 풀칠선을 나타낸다. 신발의 종류의 사이즈에 따라 읍셋 하는 양과 풀칠하는 길이가 달라지므로, 풀칠선의 위치나 읍셋 되는 양 및 길이는 사용자가 임의로 조절할 수 있는 양이다. Fig. 8 에서의 최외곽선과 풀칠선을 Tension spline 방법을 사용하여 보간한 그림을 Fig. 9 에 도시하였다. 최외곽선이나 풀칠선을 표현하는 데이터의 개수는 사용자가 적절히 조절해 줄 수 있다. Fig. 9 의 풀칠선은 실제 공장에서 신발을 제조 할 때에 사용되는 풀칠선과 거의 유사한 궤적이다.

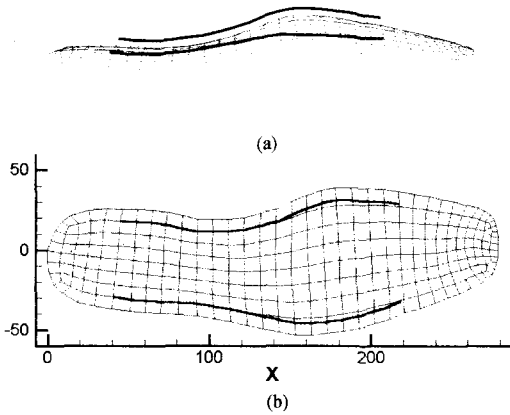


Fig. 8 Extracted bonding line from bottom surface data for the control algorithm of the lasting machine with respect to data type: (a) 3D data (b) 2D data

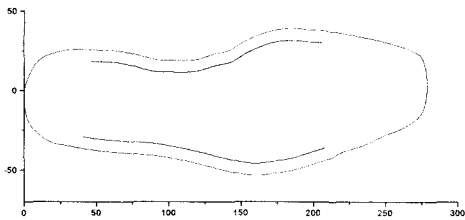


Fig. 9 Interpolated outer line and bonding line by tension spline method

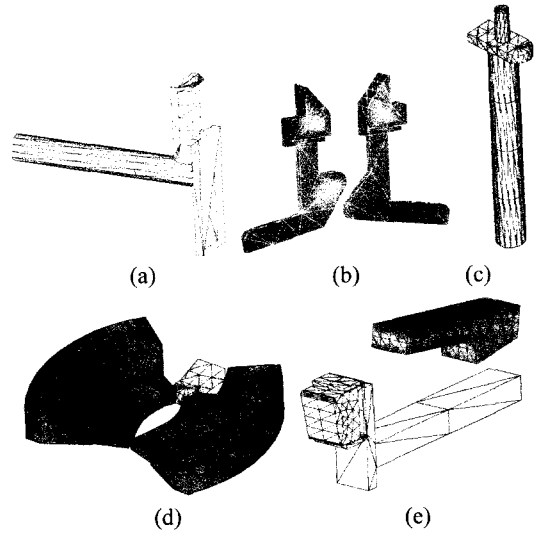


Fig. 10 Finite element modeling of the parts of the heel/side lasting machine: (a) toe fix; (b) toe carriage; (c) Jack post; (d) wiper parts; (e) finger part

4.2 힐/사이드 라스팅기의 초기 위치 설정

대부분의 라스팅기는 신발의 종류나 크기가 바뀔 때 마다 숙련된 사용자가 일일이 초기 세팅을 해주어야 하는 불편한 점이 있는데, 적응형 힐/사이드 라스팅기는 신발의 종류나 크기에 상관없이 라스팅 작업을 자동적으로 수행할 수 있는 기계로 데이터 베이스화 된 라스트의 CAD 데이터를 기반으로 현재 개발 중에 있다.

힐/사이드 라스팅기에서 초기에 세팅해 주어야 할 데이터들은 잭포스트(Jack Post)의 초기 이송거리, 와이퍼(Wiper)의 초기 각도, 패드부의 초기 위치 및 회전량, 토크 캐리지 (Toe Carriage) 및 토크 리프트 (Toe Lift)의 초기 이송거리 등이다. 본 장에서는 구성된 라스트의 3 차원 CAD 데이터와 유한요소 모델링 된 기구부의 부품들로부터 초기 기구부의 세팅 데이터를 추출하여 3 차원적으로 배치하였다. 기구부의 초기 조립 위치를 설정해 준 후, 간단한 탐색 작업을 거쳐 각 부분의 이송거리 및 회전 각도를 추출해 내었다.

Fig. 10 은 각 유한요소 모델링 한 각 기구부를 나타내고, Fig. 11 은 기계 조립도면에 따른 기구부의 초기 위치를 도시한 것이다. Fig. 12 는 탐색과정을 거쳐 각 기구부의 이송거리와 회전 각도를 추출해 재배치한 그림을 나타낸 것이다. 실제의 데이터는 ASCII 형태의 숫자로 나오기 때문에 이를 바로 제어에 활용할 수 있다.

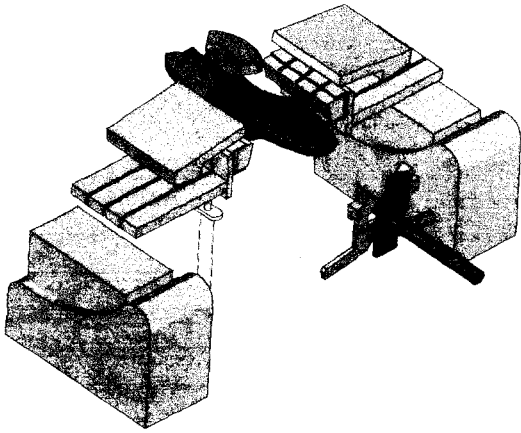


Fig. 11 Initial position of the parts and the last of the heel/side lasting machine.

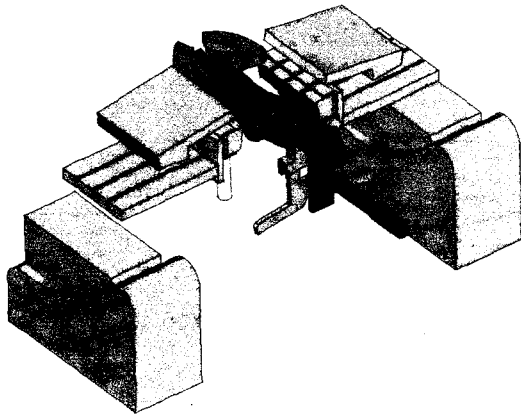


Fig. 12 Moved position of the parts of the heel/side lasting machine.

5. 결론

본 논문에서는 제화 기계의 설계 및 자동화를 위하여 라스트를 CAD 데이터화하는 방법을 제안하였다. 제어에 필요한 데이터를 유동적으로 추출하기 위해서 유한요소 격자 형태로 라스트를 CAD 데이터화하여 삼차원 상의 절점의 좌표와 절점으로 구성된 요소로 표현하는 방법을 사용하였다. 구성된 CAD 데이터는 신발의 설계부터 제화 기기의 제어 등 다양한 분야에서 사용될 수 있을 것이다. 또한, 구성된 라스트 CAD 데이터를 활용하여 힐/사이드 라스팅기의 작업시 필요한 풀질선을 추출하여 보간하고, 기구부의 초기 세팅 위치를 유한요소 모델링된 기구부와 라스트로부터

추출하였다.

구성된 라스트 CAD 데이터를 적응형 라스팅기에 적극 활용하기 위해서는 라스트를 종류별로 데이터 베이스화 하는 작업이 필요할 것이고, 제어에 필요한 데이터도 마찬가지로 형태의 데이터 베이스화 하는 작업이 필요할 것이다. 또한 라스트를 크기 별로 측정하여 저장하는 방법은 많은 노력이 필요하고 데이터의 저장 공간에도 한계가 있으므로 한 모델로부터 다른 모델을 추출할 수 있는 할출(Grading)방법에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다. 기구부의 초기 세팅 데이터도 라스트의 크기와 종류에 따라 다를 것이데, 이와 관련해서도 할출하는 방법이나 함수형태의 데이터 베이스를 확보해야 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) 장광걸, 김승호, 허 훈, 2001, "Tension Spline 방법을 이용한 제화용 라스팅기의 제어데이터 추출 및 기하할출제도의 검증", *대한기계학회 춘계 학술대회*, to be presented.