

플랫폼에 독립적인 3D 신발 캐드 시스템의 설계

이윤정[†], 이영숙^{‡‡}, 김영봉^{***}

요약

캐드(CAD) 시스템은 우리가 사용하는 대부분의 산업 제품을 제작하는데 필수적으로 사용되고 있는 중요한 기술로 알려져 있다. 캐드 기술은 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달과 더불어 상업용 3차원 캐드 시스템으로 영역을 확장해 나가고 있다. 특히, 신발제조와 같은 특수한 영역의 캐드 시스템들도 3차원 캐드로 발전해 나가고 있다. 그러나 캐드 소프트웨어의 개발의 어려움으로 인해 소수의 메이저급 캐드 소프트웨어 회사를 제외하고는 대부분이 3차원 개념을 제공하는 AutoCAD에 종속적인 소프트웨어를 개발하고 있다. 뿐만 아니라 실제의 작업 현장에서 일하는 많은 신발 캐드 디자이너들은 직접 신발 디자인을 종이에 그리는 교육을 받아 3차원 캐드에 더 익숙하고, 작업 효율도 훨씬 뛰어남을 보이고 있다. 이에 본 연구에서는 현장 실무자들의 작업 방식과 3차원 캐드 소프트웨어가 주는 장점을 결합한 3차원 신발 캐드 시스템을 설계 할 것이다. 본 시스템은 다른 신발 캐드 시스템들과 달리 OpenGL을 기반으로 하여 어느 플랫폼에서 잘 작동하도록 설계할 것이다. 또한 3차원 신발 설계 시스템에서 가장 중요한 부분인 3차원 캐드데이터와 2차원 캐드 데이터의 호환 방법을 제시하고, 다양한 크기의 신발 제작에 필수적인 여러 할출(grading) 기법을 제시할 것이다.

Design of Platform Independent 3D Shoe CAD System

Yun-Jung Lee[†], Young-Sook Lee^{‡‡}, Young-Bong Kim^{***}

ABSTRACT

CAD system is a very important technology in designing the products which we are using today. This CAD technology has been enlarging its area into 3D CAD systems with the development of computer graphics technologies. In particular, such advances have been realized in special area such as the CAD system for designing shoes. However, because it is difficult to design a 3D CAD system, most CAD developments except for major CAD software companies usually have employed the AutoCAD which realizes 3D concepts. Also, many shoes' designers have been skilled with 2D shoe CAD systems and then they can make high achievements. Therefore, we design a new shoe CAD system with advantages of 2D CAD system and 3D CAD system. We also implement the scheme to transfer the data between 2D CAD system and 3D CAD system and also grading technologies to get patterns of various shoes size from a basic shoe's design

Key words: CAD system(캐드 시스템), Grading(할출)

1. 서 론

컴퓨터 기술의 급속한 발전은 여러 생산 장비들을 컴퓨터화 하는데 큰 역할을 하고 있다. 특히 CAD/

* 교신저자(Corresponding Author) : 이윤정, 주소 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1(608-737), 전화 : 051)620-6396, FAX : 051)620-6390, E-mail : leeyj01@pknu.ac.kr

접수일 : 2006년 2월 20일, 완료일 : 2006년 5월 12일

[†] 부경대학교 일반대학원 전자계산학과

^{‡‡} 준희원, 부경대학교 일반대학원 전자계산학과

(E-mail : yulisis@pknu.ac.kr)

^{***} 정희원, 부경대학교 공과대학 전자컴퓨터정보통신 공학부
(E-mail : ybkim@pknu.ac.kr)

* 이 논문은 2003년도 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 연구되었음

CAM 기술의 발전으로 부품의 설계에서 제품의 생산에 이르는 일관된 생산 공정을 갖추게 되었다. 공정의 컴퓨터화는 제품 생산 능력의 고급화를 가져오기 때문에 제품의 설계에 대한 중요성이 점점 커지게 되어 캐드 소프트웨어의 중요성이 커졌다. 특히 신발 분야에서도 캐드를 이용한 신발의 디자인에 대한 가치가 점점 증가하게 되었다.

신발 캐드 시스템들은 몇 년 전만 해도 2차원 설계 시스템들을 사용하였으나, 최근에 들어 3차원 캐드 시스템에 대한 관심이 높아져 가고 있다[1,2,3,4]. 그러나 신발 디자인은 오랜 경험을 가진 숙련된 디자이너들의 경험이 매우 중요하다. 또한 신발은 2차원인 가죽, 합성가죽, 형겼 등의 갑피로 부터 신발조각을 만들고 이를 이어 붙여 3차원 신발을 만들어 나간다 [5,6,7]. 따라서 신발 캐드 시스템은 단순히 3차원 캐드만이 아닌 갑피의 처리를 위한 2차원 캐드가 함께 존재하는 시스템이 되어야 한다.

최근에 개발된 3차원 신발 캐드 시스템들은 AutoCAD를 바탕으로 한 저렴한 가격의 캐드 시스템들과 자체 제작한 3D 라이브러리를 바탕으로 한 전문 S/W 개발회사에서 만들어낸 ROMANS CAD, USM3 그리고 DIMENSION 등이 있다. 저가의 캐드 시스템들은 AutoCAD 같은 특수 소프트웨어를 필요로 하기 때문에 여러 기능적인 면에서 AutoCAD에 종속적인 특징을 가지고 있다. 그리고 전문 회사에서 개발된 캐드 소프트웨어들은 고품질의 신발 제작에 적합하나 고성능의 특수 컴퓨터를 필요로 한다. 즉 기존의 신발 캐드 소프트웨어들은 사용하는 플랫폼에 종속적이라는 단점이 있어 왔다.

개인용 컴퓨터의 발달로 3차원 신발 캐드 시스템도 범용 플랫폼에서 작동할 수 있게 되었다. 즉 특수한 전용의 그래픽 보드나 AutoCAD 같은 특수 소프트웨어에 종속적이지 않은 신발 캐드 프로그램의 개발이 가능해졌다. 범용의 플랫폼에서 기본적으로 제공하는 3차원을 표현하는 API들로는 DirectX와 OpenGL이 널리 사용되고 있다.

OpenGL은 기존의 그래픽 라이브러리를 중 가장 강력한 3차원 효과를 자랑하는 그래픽 라이브러리인 GL의 개인용 컴퓨터 버전으로 3차원 그래픽 표현에 필요한 모든 기능을 포함하고 있어 3차원 신발 캐드 시스템을 개발하는데 적합한 API로 판단된다[8].

본 연구에서는 기존의 시스템들의 단점을 보완하

여 일반 개인용 컴퓨터에 해당하는 플랫폼에서 작동하며, 어떤 소프트웨어에도 종속적이지 않은 신발 캐드 시스템을 설계할 것이다. 3차원 캐드의 적절한 표현 및 시뮬레이션의 수행은 일반적인 개인용 컴퓨터 플랫폼에서 3차원 표현을 위해 제공되고 있는 OpenGL의 기초위에 설계될 것이다. 또한 신발 숙련 디자이너의 업무의 연속성을 위해 2차원 상에서 이루어지는 신발 캐드 작업과 3차원 상에서 이루어지는 신발 캐드 작업의 호환성을 제공하고, 사실적인 시뮬레이션을 위해 3차원 가시화 기법을 사용하게 될 것이다.

2. 제안 시스템의 주요 특징들

일반적인 3차원 신발 캐드 시스템들은 신발을 디자인하기 위해 그림 1에서와 같이 5단계에 해당하는 패턴 할출의 기능까지를 제공하고 있다. 본 연구에서는 실제 제작의 사전단계에 해당하는 네스팅 과정을 신발 캐드 시스템에 포함하여 총 6단계의 신발 캐드 작업 단계를 수행하여 전체 공정에 대한 자세한 관찰까지 가능하게 하였다.

2.1 OpenGL과 캐드 시스템과의 관계

다양한 그래픽 기능을 제공하는 OpenGL은 사용자 프로그램과 컴퓨터 하드웨어 사이에 위치하여 사용자 프로그램에서 요구하는 작업을 컴퓨터 하드웨어에 정보를 보내 실행 시켜주는 역할을 하는 일종의 그래픽 표준이라고 할 수 있다. OpenGL은 플랫폼에 독립적이기 때문에 개인용 컴퓨터나 워크스테이션

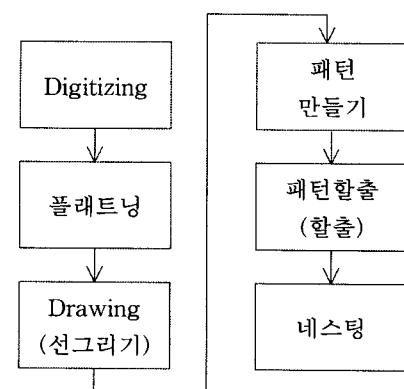


그림 1. 신발 캐드 시스템의 작업 흐름도

에서 사용가능하며, 다양한 운영체제에서 사용할 수 있다. 3차원 그래픽을 표현하기 위해 이 API는 모델링, 변환, 색상 및 명암등의 기본 기능과 텍스쳐 매핑, NURBS, 안개효과, 블렌딩효과, 은선/은면제거 등의 고급기능까지도 지원하고 있다.

OpenGL의 기능과 신발 캐드의 주요 기능들 사이의 작업 흐름 관계를 그림 2에서 보여 주고 있다. 즉 OpenGL이 하드웨어 플랫폼과 직접적인 대화를 통해 결과 그림을 화면에 보여주고, 신발 캐드 시스템에서는 OpenGL에 신발 캐드 시스템에서 필요한 다양한 그래픽 작업들을 전달해 준다. 제안 시스템에서 대부분의 그래픽 작업은 OpenGL이 담당하고 있으나 데이터 입출력과 관련된 일들은 윈도우즈 라이브러리(Windows Library)에서 직접 담당하여 처리한다. 그림 2에 표시된 신발 캐드에 속하는 주요 작업인 스타일 라인 그리기, 할출, 패턴 생성, 네스팅 등은 모두 OpenGL의 기능을 호출하여 수행하게 된다. 패턴의 그래픽 처리인 텍스쳐 매핑과 3차원 라스트의 입체적 표현도 OpenGL과의 자료 교환을 통해 구현한다. 이때 은선/은면 제거 기능과 조명을 이용한 렌더링 기능이 다양한 3차원 효과를 만드는데 이용된다.

신발 제작을 위한 다양한 갑피패턴을 만든 후에는

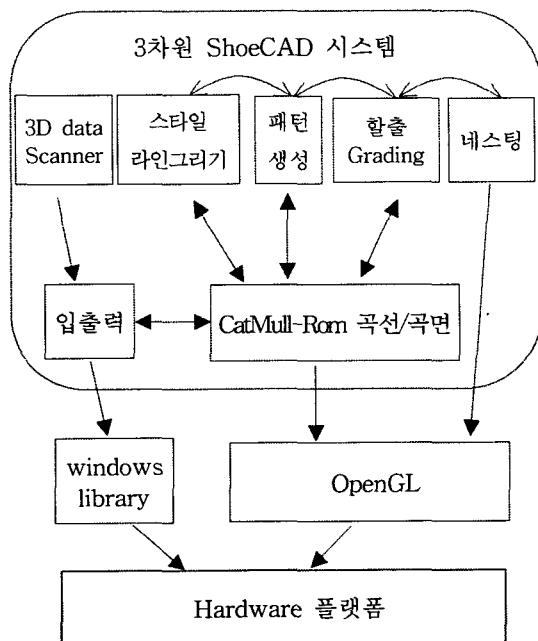


그림 2. 제안된 신발 개발 시스템의 개발

실제작에 들어가기 위해 할출된 다양한 크기의 갑피들을 배치하는 네스팅 작업이 필요하다. 이 네스팅 작업에서는 갑피들을 어떻게 배치하여 낭비되는 갑피의 양을 줄일 수 있는가가 가장 중요한 문제이다. 네스팅 결과가 만족스러운 경우에 직접 CAM 장비로 표준 파일 포맷인 HPGL로 변환되어 전달된다. CAM 장비에서는 이 파일을 읽어 들여 패턴을 잘라내는 일을 진행한다.

2.2 2차원 캐드와 3차원 캐드 데이터의 연동

제안된 3차원 신발 캐드 시스템은 3차원 캐드 부분과 2차원 캐드 부분이 서로 결합된 형태로 만들어지게 된다. 그러므로 2차원 캐드 환경에 익숙한 기존의 신발 디자이너들은 2D 상에서 패턴 작업이나 할출 작업을 할 수 있으며, 3차원 환경에서 여러 가시화 기능들을 이용해 작업의 중간 과정을 시뮬레이션 해 볼 수 있다. 이를 위해서는 2차원 캐드 데이터와 3차원 캐드 데이터 간의 호환성이 제공되어야 한다.

그림 3에서 3D 데이터와 2D 데이터 사이의 일관성을 유지하기 위해 3차원 라스트 상의 하나의 점에 대한 2차원 갑피(Upper) 상의 대응점의 관계가 정의되어야 한다. 이는 플래트닝(Flattening)의 작업 결과를 사용할 수 있다. 즉, 3차원 라스트 데이터의 격자점을 2차원 갑피로 변환하였을 때의 대응점을 하나의 쌍으로 연결한다. 그러면 3차원 라스트와 2차원 갑피 사이에 사각형이 서로 대응되는 관계가 이루어진다. 이 대응 관계로부터 사각형 내부에 있는 한 점에 대한 대응점은 생일차 보간 방법을 사용하여 구하게 된다. 일반적으로 신발을 플래트닝 할 때 신발을

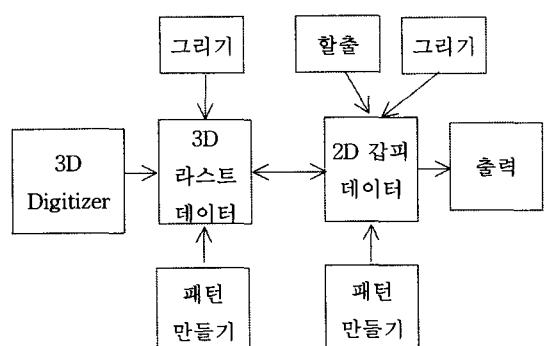


그림 3. 3차원 캐드 데이터와 2차원 캐드 데이터의 일관성 유지방법

반으로 나누어서 안쪽과 바깥쪽을 따로 수행 하였듯이, 신발 라스트 전체가 한 번에 적용되지 못하고 신발의 안쪽 면과 바깥쪽 면이 따로 대응관계를 설정하게 된다. 또한 안쪽과 바깥쪽이 연결되는 부분에 대한 연속성을 위한 대응관계에 대한 특수 처리도 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 라스트에 그려진 격자에 파라미터의 개념을 적용하여 대응관계를 설정하였다.

2.3 Catmull-Rom 곡선 및 곡면

우주선이나 배와 같은 큰 물체의 제작에는 조작의 편리성으로 인해 Catmull-Rom 곡선[9]이 많이 활용되어져 왔다. 그림 4에서 보듯이 제어점을 바로 통과하는 이 곡선의 장점으로 인해 다른 캐드 시스템들에서 많이 사용하고 있는 NURBS 보다 디자이너들이 조작이 간편하고, 계산식도 상대적으로 간단하다. 그림 4에서 P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , P_{i+2} 는 제어점을 나타내며, P_i^t , P_{i+1}^t 는 각 제어점에서의 탄젠트 벡터를 나타낸다.

$n+1$ 개의 제어점 $\{P_0, P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 이 주어졌을 때, 이 제어점을 통과하면서 지역적 변화를 이끌어 낼 수 있는 곡선 방정식이 아래 식 1에 주어졌다. 여기서 두 연속점 P_i , P_{i+1} 사이에 존재하는 곡선을 제어하는 제어점 P_i^t 와 P_{i+1}^t 은 식 2와 같이 정의되어 3차 곡선을 만들게 된다.

$$\begin{aligned} p(t) &= |1 \ t \ t^2 \ t^3| \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ P_i^t \\ P_{i+1}^t \end{pmatrix} \\ &= |1 \ t \ t^2 \ t^3| \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

$$P_i^t = \frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2}, \quad P_{i+1}^t = \frac{P_{i+2} - P_i}{2} \quad (2)$$

이 제어점을 이용하여 보간한 곡선의 방정식은 다음 식 3과 같다.

$$p(t) = |1 \ t \ t^2 \ t^3| M \begin{pmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

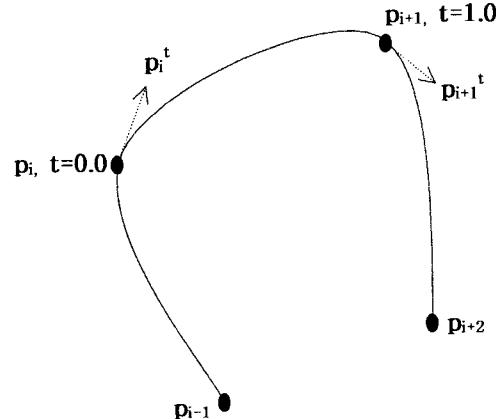


그림 4. Catmull-Rom 곡선

식 3에서 행렬 M 은 식 2의 두 행렬의 곱으로 만들어 지며, 함수 $p(t)$ 는 2개의 연속하는 제어점 사이에 위치한 곡선을 표현하는 3차(cubic) 곡선의 방정식이다. $n+1$ 개의 제어점이 주어졌을 때 곡선 $p(t)$ 의 시작점과 끝점을 구성하는 P_0^t 와 P_n^t 은 위 방법으로 구할 수가 없으므로 특별한 조건을 붙여 정의한다. 하나의 제어점의 이동은 연결된 두 곡선의 변환을 가져오기 때문에 곡선이 변하는 범위를 쉽게 알 수 있는 장점이 있다.

2.4 할출(grading) 작업

신발 제조 공정에서 할출 작업은 디자이너가 설계한 기본 사이즈의 신발 라스트로부터 생산하고자 하는 여러 사이즈의 신발부품(피스)으로 변환하는 작업이다. 할출 작업은 크게 주어진 신발 사이즈 정보에 따라 전체적으로 룰을 적용하여 수행하는 제로 할출 및 일부의 곡선 그룹에만 다른 룰을 적용되는 그룹 할출이 있다. 그룹 할출의 가장 대표적인 예가 선택된 몇 개의 세그먼트만 제공한 중심점을 기준으로 할출이 이루어지는 센터 할출이다. 이 할출 기법들이 일반적으로 사용되는 일반 할출이라고 할 수 있다.

할출에는 일반 할출 이외에 하나의 세그먼트(곡선)에 서로 다른 할출 기법이 중복 적용 되면서 세그먼트의 일부분에 비상식적인 일그러짐이나 휘어짐 같은 문제가 발생하게 된다. 또한 디자인의 수려함을 위해 폭이나 간격 등이 사이즈에 무관하게 일정 간격

을 유지하여야 하는 특수한 경우들도 많이 활용되고 있는 제약 조건이다. 이런 특수한 할출 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Region할출, Model_shape 할출, Blend할출 같은 특수한 제약 조건을 설정한 할출 기법들을 정의 하였다.

영역(region) 할출은 두 곡선(세그먼트)이 항상 같은 간격을 유지해야 하는 경우에 사용되는 것으로 세그먼트 전체 또는 세그먼트의 일부분에 적용이 되도록 하고 있다. 이 때 적용될 구간에 대해서는 세그먼트의 제어점이 구간의 양 끝점이 된다. 거리를 유지하기 위해서 세그먼트의 각 정점과 목표 세그먼트의 최근접점을 대응시켜 두 점 사이의 거리를 일정하게 유지하는 방법을 사용한다.

모델 모양유지(model-shape) 할출은 일반적인 할출을 할 경우 발생하는 부품을 구성하는 두 인접 세그먼트의 내부 각도가 변경되는 경우에 각도를 유지할 목적으로 적용한다. 즉 할출 작업을 한 후에도 항상 초기의 내부 각도를 유지하도록 해 주는 제약 조건이다. 이 할출은 적용된 세그먼트들의 전체적인 모양 및 각도를 유지시키기 때문에 할출된 뒤에도 목표 세그먼트와 이루는 각도가 일정해야 한다. 따라서 기본 크기의 도면상의 세그먼트들이 이루는 각도를 정점 단위로 구한 후 할출된 도면상의 세그먼트들이 이루는 각도를 각각의 도면상의 길이를 유지시키면서 기본 도면의 각도와 일치되도록 보정한다.

블렌딩 할출은 세로 할출이나 그룹 할출 그리고 기타의 다른 할출 기법이 적용되었을 때 하나의 세그먼트에 서로 다른 할출 룰이 적용되어 일부분이 일그러지는 현상이 발생하게 된다. 이를 보정하여 할출 후에도 부드러운 곡선을 유지하도록 하기 위해 사용하는 방법으로 블렌딩 구간을 제어점을 이용하여 정해주고 할출된 후의 대응점 사이의 거리 변화를 선형 보간 하여 부드러운 곡선을 만들어 내는 방법이다.

특수 할출 기법과 일반 할출 기법이 하나의 세그먼트에 동시에 적용이 되면 할출 기법들 사이의 우선순위 문제가 발생하게 된다. 이때 할출을 하는 순서에 따라 서로 다른 결과가 발생할 가능성이 있기 때문에 할출의 우선순위를 정해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 일반 할출이 세그먼트 전체의 위치에 영향을 미치고 다른 세그먼트와의 연관성을 가지고 있기 때문에 가장 먼저 적용하도록 하였다. 그 후에 3가지 특수 할출 기법 중에서 가장 넓은 범위의 세그먼트

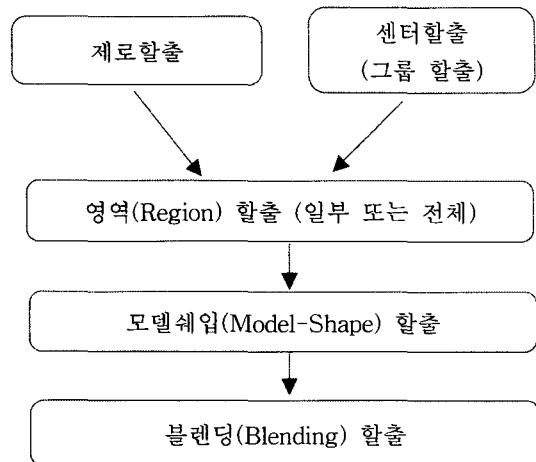


그림 5. 할출 제약 속성을 적용하는 순서

트에 영향을 미치는 영역 할출이 먼저 적용되고, 모델 쉐입 할출이 그 뒤를 잇게 하였다. 맨 마지막으로는 다른 할출 기법들이 적용됨으로써 발생한 세그먼트의 이지러짐을 해결하기 위해 블렌딩 할출이 맨 마지막으로 적용되어 세그먼트를 부드러운 곡선으로 만들게 된다. 이 할출 기법의 적용 순서가 다음 그림 5에 보여준다.

3. 제안 시스템의 구현 및 평가

OpenGL 기반의 신발 캐드 시스템은 그림1에 나타난 것과 같이 총 6단계로 구성이 된다. 각 단계별 수행 결과를 살펴보며 본 시스템의 효율성을 평가한다.

3.1 디지타이징

신발 제작을 위한 첫 단계는 디지타이징 과정으로 제작하고자 하는 표준 발의 모양을 본 뜬 라스트(Last)로부터 3차원 데이터를 입력 받는 과정이다. 이 라스트에 사용자가 직접 세로와 가로 격자를 그려 넣은 후 각 교점을 3차원 입력기를 통해 차례로 읽어 들인다. 이때 생기는 약간의 오차들에 대해 보정을 해준다. 그림 6은 발 치수가 265mm인 라스트 상에서 격자를 구성한 모습을 보여주고 있다. 격자는 좌우로는 26줄 상하로는 14줄을 사용하였다. 사용한 3차원 입력 측정기는 일반적으로 데이터 값의 단위로 inch를 사용한다. 입력을 진행하면서 입력기에서 생기는 약간의 오차들은 발 모양을 부드러운 곡면을 이루도록

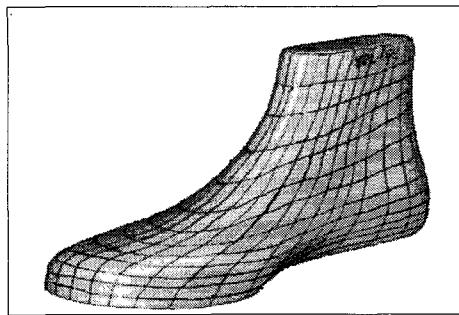


그림 6. 격자화한 라스트

록 보정이 이루어지게 된다.

3.2 플래트닝

입력된 3차원 발모양 격자 데이터는 3차원을 구성하고, 실제로 신발을 만들 때 사용되는 신발 재료인 갑피는 2차원 평면 형태를 띠기 때문에 3차원 격자 데이터를 2차원 형태로 변환하는 플래트닝 작업이 필요하게 된다. 플래트닝 작업은 신발 모양을 한꺼번에 2차원으로 만들 수가 없으므로 3차원 데이터를 그림 7에서 보듯이 먼저 반으로 나누게 된다. 이 나뉜

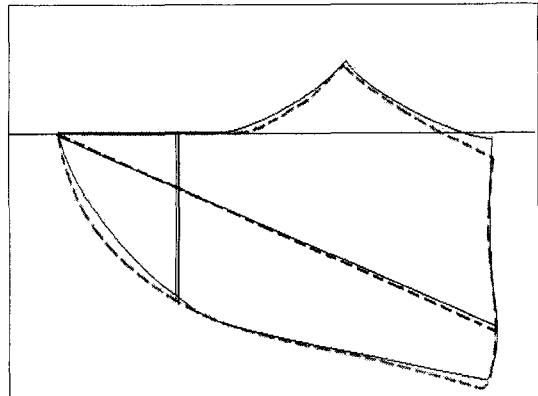


그림 9. 제안 시스템과 ShoeMaster의 플래트닝 결과비교

3차원 면을 따로 2차원 평면으로 펼치게 된다. 그림 8은 그림 7에 있는 이등분된 각 부분을 따로 평면화한 결과이다. 기존의 각 시스템에서 제공하는 플래트닝 방법은 정확한 신발을 만드는데 매우 중요한 역할을 하게 된다.

위 그림 9는 제안 시스템과 독일의 ShoeMaster로 평면화한 것을 비교한 결과를 보여준다. 그림에서 실선은 제안 시스템의 플래트닝 결과이고, 점선부분으로 된 것은 작업현장에서 많이 활용되고 있는 ShoeMaster 제품의 플래트닝 결과이다. 그림에서 보듯이 제안 기법은 상용 시스템과 비교적 비슷한 결과를 보인다.

3.3 스타일라인 그리기

3차원 라스트의 모양이 2차원 평면 형태로 펼쳐지게 되면 2차원 평면과 3차원 라스트 사이의 대응관계가 정해지고 표준 사이즈에 맞는 하나의 신발을 만들기 위해 필요한 다양한 스타일 라인을 그리게 된다. 3차원 라스트 또는 2차원 평면상에 여러 개의 선분들이 그려지게 되며, 이 선분은 곧 바로 대응되는 다른 차원의 데이터로 변형이 이루어지게 된다. 그림 10과 그림 11은 3차원 라스트와 2D 평면상에 그려진 여러 개의 스타일라의 상관관계를 잘 보여주고 있다. 이 스타일라인들은 서로 대응관계를 가지고 있으며, 하나의 스타일라인이 수정되면 다른 차원의 스타일 라인도 곧바로 수정이 가능하게 된다.

그림 12는 두 차원의 신발 제조 과정의 중간 단계를 보여 주고 있으며, 각각에 있는 스타일 라인은 서로 다른 차원에 있는 스타일 라인과 일대일로 대응됨

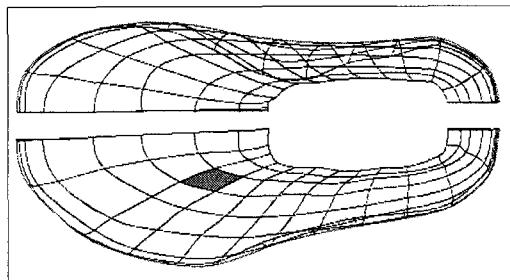


그림 7. 이등분된 3차원 신발 모델

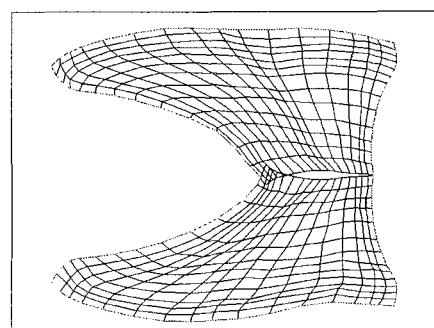


그림 8. 라스트의 플래트닝된 결과

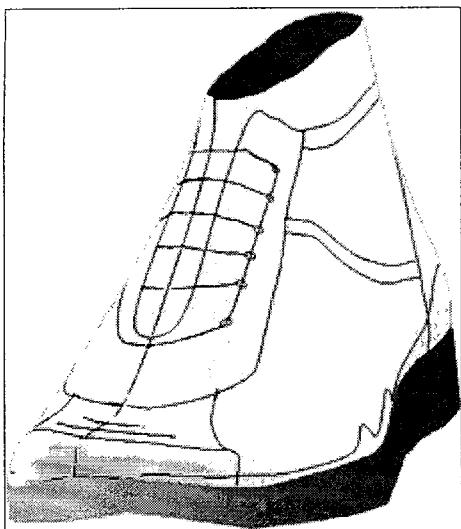


그림 10. 스타일 라인이 입력된 라스트

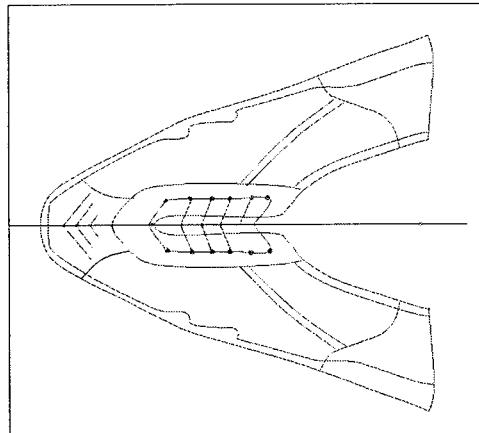


그림 11. 스타일 라인이 반영된 2D 데이터

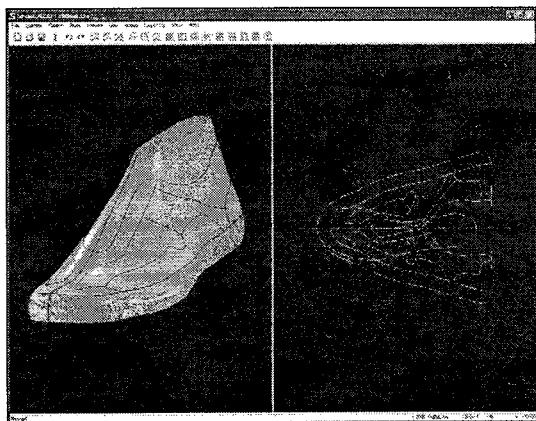


그림 12. 제안 시스템의 화면 모습

을 확인 할 수 있다.

3.4 패턴 제작 및 할출

신발 모양에 그려진 곡선들은 신발 제작에 필요한 패턴을 만들 때 패턴의 한 변의 곡선으로 활용이 된다. 즉, 하나의 패턴은 여러 곡선을 선택하고, 그 곡선들의 일부분들이 모여서 하나의 패턴을 형성하게 되며, 그 곡선들이 차례로 연결되어 닫힌 다각형을 만들게 된다. 이 다각형이 신발의 한 조각을 이루는 패턴의 경계선이 된다. 이 패턴 조각은 할출(Grading)의 규칙에 따라 신발 크기의 변화에 따른 패턴 조각의 변화를 나타내게 된다. 특정 패턴은 신발 크기와 무관한 경우도 있고, 이웃한 신발 사이즈와만 크기가 같은 경우도 있다. 이와 같이 다양한 할출의 규칙을 만드는 것이 신발 캐드에서는 중요한 요소라 할 수 있다.

그림 13은 패턴 작업에 의해 생성된 다양한 모양의 Piece들을 보여주고, 그림 14는 2D/3D 형태의 거울 패턴과 정상 패턴 기법에 의해 생성된 Piece의 모습을 보여준다. 그림 15는 패턴 작업 완료 후 Drill 작업과 Stitch Line을 생성한 결과를 보여준다.

그림 16은 신발 설계 작업이 모두 끝난 완성된 형태의 신발의 다양한 뷰를 보여주며, 그림 17은 완성된 결과에 다양한 무늬를 텍스처한 결과를 보여준다.

3.5 네스팅

네스팅은 신발을 제작하기 위한 갑피의 2차원 공간 내에 임의의 기하학적 모양을 가지는 다수의 2차원 패턴들을 서로 겹치지 않게 배치하는 것이다. 이

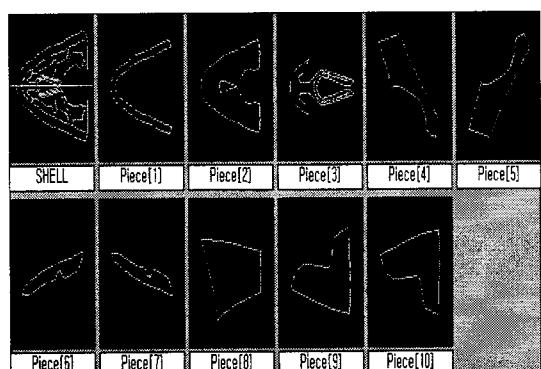


그림 13. 패턴 생성 결과

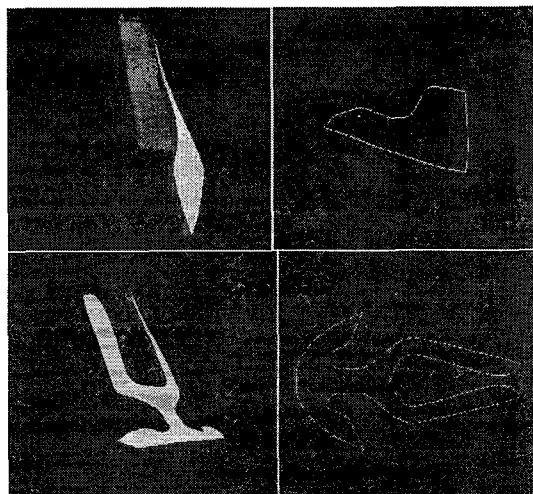
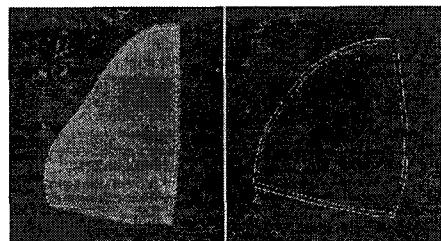


그림 14. 패턴과 렌더링 결과



(a) 패턴에 Drill 작업후의 결과



(b) 패턴에 Stitch 작업후의 결과

그림 15. 패턴 작업 결과

네스팅에서는 가능한 배치의 경우의 수가 너무 많기 때문에 일반적인 형태의 모델링이 거의 불가능하다. 또한 간단한 형태로 만들지 않으면 연산에 너무 많은 시간이 걸려서 상용 프로그램에 적합하지 않게 된다. 그리하여 본 연구에서는 패턴을 감싸는 가장 작은 사각형을 찾아서 배치를 시작한다. 가장 작은 면적을 가지는 사각형을 찾기 위해 패턴을 아래 그림 18과 같이 회전시키면서 최소의 면적을 갖는 사각형 정보를 구하였다.

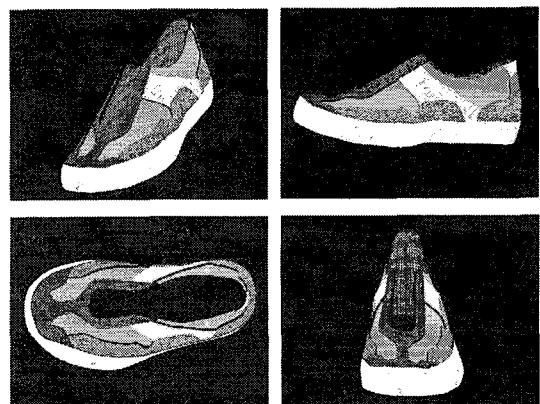


그림 16. 완성된 신발 모습

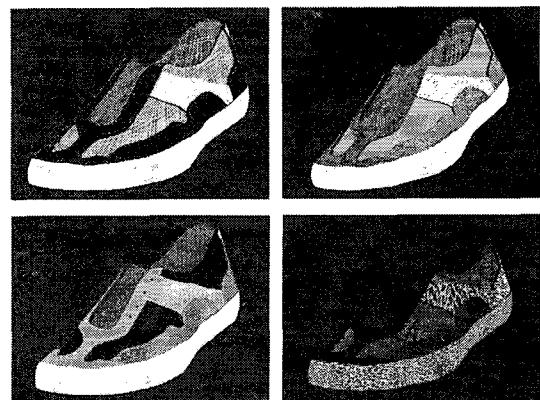


그림 17. 다양한 텍스쳐 적용 결과

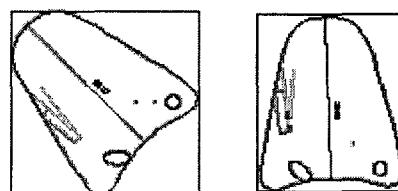


그림 18. 패턴에 대한 최소 사각형

각각의 패턴을 이렇게 만든 뒤 패턴을 배치할 공간에 넣기 시작한다. 이때 패턴을 포함하는 사각형을 임의의 곳에 배치하는 것이 아니라 사후 작업의 편리성을 위해서 해당 패턴을 같은 줄 같은 방향으로 배치하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 공간을 아래 그림 19와 같이 블록화된 그룹으로 만들어서 배치를 하였다.

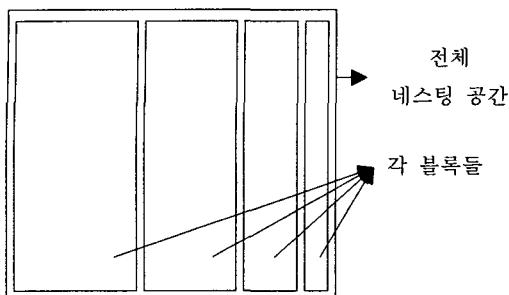


그림 19. 블록화된 패턴그룹의 배치

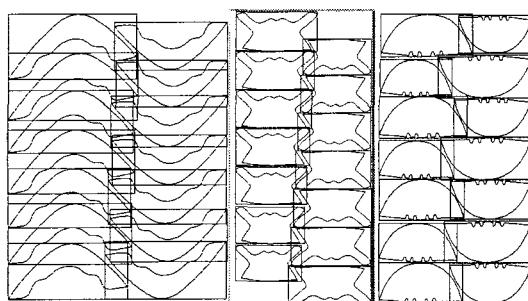


그림 20. 3가지 종류의 패턴에 대한 네스팅 결과

위 그림 20은 갑피 조각에서 떠날 패턴들이 배치된 그림을 보여주고 있다. 각각의 그림을 살펴보면 낭비되는 공간의 양이 최소화되었음을 확인 할 수 있다. 물론 최적화된 배치를 만들면 낭비되는 갑피의 양을 최소화 할 수 있으나 다른 과정과의 연관성에서 보면 오히려 더 많은 비용을 만들어 내기 때문에 아래와 같은 패턴배치(nesting)를 만들었다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 플랫폼에 독립적인 3차원 신발 캐드 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 OpenGL 라이브러리를 바탕으로 설계 되었으며, 기존의 신발 디자이너들의 경험을 활용하기 위해 2차원 신발 캐드 기능과 3차원 신발 캐드 기능이 동시에 포함되도록 설계 하였다. 두 차원의 캐드 시스템이 공존함으로써 기존의 신발 디자이너와 새 신발 디자이너들이 모두 잘 사용할 수 있게 되었다.

3차원 신발 캐드 시스템의 설계로 제작 전에 3차원 형태의 모습을 미리 관찰해 볼 수 있는 시스템이 완비되어, 전체적인 개발 공정을 앞당기는 계기가 되

었다. 뿐만 아니라 신발과 같은 특수한 예에 대한 캐드시스템의 개발은 유사한 다른 분야인 의류 캐드로의 발전 가능성을 높이게 되었다.

2차원과 3차원 신발 캐드 시스템의 자료의 일관성을 유지하기 위해서 자료의 변환 방법에 대한 기법을 제시하였다. 3차원 표준 발 데이터의 입력 시 사용된 격자와 플래트닝된 격자 사이의 관계를 파라미터 방법으로 대응시켰다. 이 때 내부의 점에 대해서는 쌍일차 보간 방법을 사용하여 3차원 라스트 상의 하나의 점에 대응되는 2차원 평면상의 점에 대한 좌표를 계산 하였다. 실질적인 실험결과 이 대응관계는 비교적 잘 작동함을 확인 할 수 있었다.

또한 제안 시스템에서는 표준 발 사이즈에 대한 신발의 제작 후 다른 사이즈의 신발을 제작하기 위해 필요한 할출에 대해 여러 가지 특수한 경우를 고려한 특수 할출 기법을 고려하였다. 특수 할출과 일반 할출 기법들 사이의 우선순위에 대한 지정을 함으로써 실행 순서에 따라 다른 결과를 발생하는 것이 아닌 항상 일정한 결과가 나오도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Feng-Tsung Cheng and Der-Baau Perng, "A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 25, pp 171-185, 1991.
- [2] Massaki Mochimaru, makiko Kouchi, and Masako Dom, "Analysis of 3-D human foot forms using the Free Form Deformation method and its application in grading shoe lasts," *Ergonomics*, Vol. 43, No. 9, pp 1301-1313, 2000.
- [3] Seung-Ho Kim, Kwang-Keol Jang, and Hoon Huh, "New CAD Datarization technique of Shoe Lasts for Automation of the Adaptive Lasting Machine," *the proc. of KSME spring conference*, pp 122-12, 2001.
- [4] Hawes, M.R., Sovak, D., Miyashita, M., Kang, S.J., Yoshihuku,Y. and Tanaka,S. "Ethnic differences in forefoot shape and the determination of shoe comfort," *Ergonomics*, Vol. 37, No.1, pp 187-196, 1994.

- [5] Leon Kos and Jozef Duhovnik, "A system for footwear fitting analysis," *International design conference-DESIGN 2002*, pp. 1187-1192, 2002.
- [6] Kouchi, M. "Analysis of foot shape variation based on the medial axis of foot outline," *Ergonomics*, Vol. 38, No. 9, pp. 1911-1920, 1995.
- [7] Kouchi, M. and Tsutsumi, E., "Relation between the medial axis of the foot outline and 3D foot shape," *Ergonomics*, Vol. 39, No. 9, pp. 853-861, 1996.
- [8] Richard S. Wright Jr. OpenGL Superbible, 정보문화사, 서울, 2005.
- [9] Catmull, Edwin and Rom, Raphael, "A class of local interpolating splines" in R.E. Barnhill and R.F. Riesenfeld (eds.) *Computer Aided Geometric Design*, Academic Press, New York, 1974.



이 윤정

1995년 2월 부경대학교 전자계
산학과 졸업(학사)
1999년 2월 부경대학교 전산정보
학과 졸업(석사)
2004년 2월 부경대학교 전자계산
학과 (박사 수료)
관심 분야 : 프랙탈 압축, 얼굴 애

니메이션



이영숙

1996년 동서대학교 컴퓨터공학과
졸업(공학사)
2000년 부경대학교 대학원 전자
계산학과 졸업(이학석사)
2000년~현재 부경대학교 대학원
전자계산학과 박사과정
관심분야 : 컴퓨터 비전, 머신 러
닝, 영상처리, 컴퓨터 애니메이션



김영봉

1987년 2월 서울대학교 계산통계
학과 졸업(학사)
1989년 2월 한국과학기술원 전산
학과(석사)
1994년 8월 한국과학기술원 전산
학과(박사)
1994년 3월~1995년 2월 : 삼성전
자 정보기술 연구소 선임연구원
1995년 3월~현재 : 부경대학교 컴퓨터 멀티미디어 공학
부 교수로 재직중
관심 분야 : 3D 모델링, 컴퓨터 애니메이션