# 3차원 신발모델의 2차원 평면화에 관한 연구

이건호*, 윤가림*, 윤요섭*, 김영봉*
부경대학교 전자계산학과
e-mail: {*fldgrass, *garimyoon, *josephyoon}@hotmail.com,
*ybkim@pknu.ac.kr

# A Study on the Flattening of 3D Shoes Model

Gun-ho Lee*, Ga-rim Yoon* , Jo-seph Yoon*
and Young-bong Kim*
Dept of Computer Science, Pukyoung National University

**요 약**

입체는 특수 장비에 의해 디지털 데이터화 되어 3차원 물체의 표면을 메쉬나 다각형 등으로 표현하며 입체의 세부구조인 다각형은 면적, 각 정점의 토폴로지, 변의 길이, 내각과 같은 고유 기하정보 요소를 가진다. 본 연구에서는 3차원 입체를 특징짓는 다각형의 기하학적 정보를 이용하여 3차원 모델을 2차원 평면으로 전개하는 방법을 제안한다. 이와 같은 기술은 옷이나 신발과 같은 2차원 형태의 부품을 결합하여 입체형태의 제품을 만들어 내는 분야에 매우 유용하게 쓰이며 나아가 3차원 모델에 최소의 왜곡을 가지는 텍스쳐를 적용시켜 3차원 모델의 사실성을 높이는데 기여할 수 있다

## 1. 서 론

컴퓨터 그래픽스 기술의 빠른 성장에 힘입어 일상생활에서 접할 수 있는 물체나 대상을 컴퓨터를 통해 표현하고 변형, 또는 가공하는 많은 방법들이 제시 되어 왔다. 이러한 기술들은 제작자가 실물을 제작하기 전에 미리 컴퓨터를 이용해서 실물을 가상적으로 모델링하고 육안으로 살펴봄으로써 부족하거나 실수한 부분들을 사전에 수정, 보완하여 많은 시간과 자원 절약 효과를 얻고 있다.

컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이나 모델링, 모델 변환 기술은 의복 제작이나 신발 제작과 같은 산업분야에 다양하게 응용이 가능하며 기존의 사용자나 관련 숙련자들에 의해 수작업으로 이루어져 왔던 복잡하고 어려운 설계나 제작과정을 디지털화하고 자동화하여 시간이나 자원면에서 보다 효율성을 높일 수 있다.

3차원 모델을 2차원 형태로 평면화하는 기술은 신발이나 옷과 같이 평면화된 재료상에서 필요 부분을 재단하고 조립하여 볼륨감 있는 입체 형태의 제품으로 만들어 내는 산업에서는 필수적인 부분이라 할 수 있다. 아직까지도 모델의 표현과 가공에 있어서로 다른 차원 간에 물체를 변환하는 기술은 많은 숙련자들의 경험에 의존하고 있으며, 이러한 입체 모델의 평면화 기술은 매우 어렵기 때문에 소수의 연구 결과[1][5][6]만이 현재 실용화가 되고 있는 실정이다.

본 논문은 3차원 물체를 디지털 데이터화한 뒤 이 물체가 가지는 고유 기하학적 정보의 손실을 최소화하며 2차원 물체로 펼치는 방법을 제안한다.

디지털 데이터화된 3차원 모델은 작은 크기의 다각형 형태로 구성되며 각 다각형의 기하정보인 면적과 각 변의 길이 ,내각의 크기 등의 3차원 상의 정보를 유지하면서 2차원 형태의 모델로 변환된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절은 3차원 물체의 디지타이징을 설명한다. 3절에서는 3차원 신발모델을 평면화하는 방법을 기술한다. 4절에서는 실험

결과를 보이고 5절에서는 결론과 향후연구를 제시한다

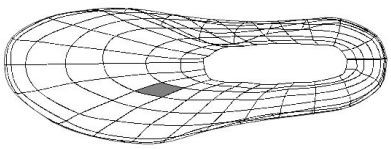
## 2. 3차원 신발 모델의 디지타이징

본 문에서는 여러 종류의 3차원 모델 가운데 특별히 2차원 형태의 합성섬유나 피혁 패턴들을 부품으로 갖는 신발제품을 대상으로 평면화하는 기술을 적용하였다

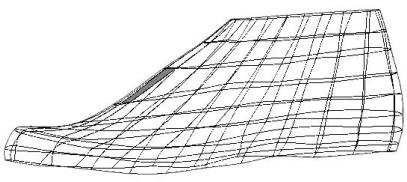
신발에 대한 3차원 모델 데이터를 얻기 위해선 우선 라스트[4][7]라고 하는 실제 신발 형태와 크기를 가지는 모형이 필요하며 이 모형의 표면을 격자화 하는 과정을 거쳐야한다. 격자화[3]는 측정기로 측정할 점들을 표시하기 위해 모델의 표면에 격자 모양을 그려 주는 과정이다. 격자화된 신발 모형은 최종적으로 삼차원 접촉식 측정기를 통하여 디지털 데이터화 된다. 그림1은 신발 모형 표면에 격자를 표시한 것이다.

그림1. 격자화된 신발 모형

그림2는 3차원 접촉식 측정기를 통해 입력받은 모델 데이터를 메쉬구조로 표현한 것이다.



(a) 위에서 본 모양



(b) 측면에서 본 모양

그림2. 신발 모형의 3차원 격자 구조

## 3. 3D 라스트의 평면화

입체는 크게 점, 선, 면 등의 기하학적 요소로 정의될 수 있다. 이 들 중에서 점은 입체를 가장 정확하게 표현할 수 있는 요소지만 데이터의 양이 너무 많아 처리하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 입체를 다각형으로 정의한다.

본 논문은 우선 모델의 원래 모양과 펼쳐졌을 때 모양 사이의 오차를 최대한 줄이기 위해 모델링 된 신발을 그림3과 같이 중앙선을 기준으로 2등분한다.

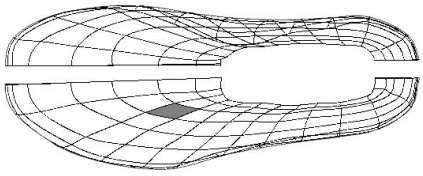


그림3. 2등분 된 신발 모델

그리고 아래 4가지 방법을 토대로 3차원 모델을 2차원 공간에 재 정의한다.

**1) 면적 보존법 :** 그림3에서 진하게 표시된 패치는 그림4의 3차원 좌표상의 다각형 abcd로 표현될 수 있다. 다각형 abcd에서 밑변 ab는 그림5와 같이 2차원 좌표공간상의 적절한 위치 a'b'에 놓이게 되며 점 c'의 위치는 각 α를 통해 결정된다.

점 d'는 그림5에서처럼 선분 b'c'와 평행하고 점 h를 통과하는 직선 n과 선분 a'b'에 평행하고 점 k를 지나는 직선 m과의 교점으로 결정된다.

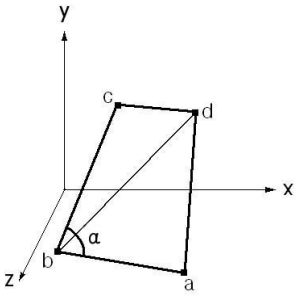



그림4. 3차원 공간상의 폴리곤

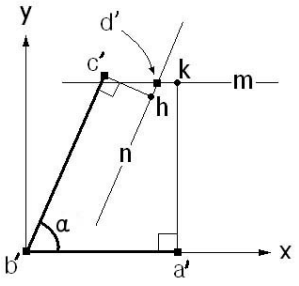



그림5. 면적 보존법에 의한 정점들의 구성

이 때 선분 a'k와 선분 c'h의 길이는 그림4에 있는 삼각형 abd와 삼각형 bcd의 면적을 각각 그 밑변의 길이로 나눠 얻을 수 있으며, 직선 m과 n의 교점 d'는 식1과 같이 직선에 대한 매개변수 방정식을 이용해 구할 수 있다

$$x = A \times t + k.x,\quad y = B \times t + k.y \text{ (직선 m)}$$
$$x = C \times s + h.x,\quad y = D \times s + h.y \text{ (직선 n)} \qquad \text{[ 식1 ]}$$
$$a \times t + k.x = c \times s + h.x$$
$$b \times t + k.y = d \times s + h.y$$

(단, A와 B는 그림5 벡터 a'b'의 x와 y 성분값, C와 D는 벡터 b'c'의 x와 y성분값, k.x와 k.y는 점k의 x와 y좌표값, h.x와 h.y는 점 h의 x와 y좌표값임)

**2) 길이 보존법 :** 이는 각 변의 길이를 반지름으로 하는 두 원의 교점을 이용하여 정점을 구성하는 방법이다. 그림6에서 점 a, 점 b, 점 c의 위치는 기본적으로 면적 보존법에서 제시한 바와 같이 구할 수 있다. d의 위치는 원의 방정식에 의해 구해진 2개의 교점 중에서 하나를 취함으로 결정되는데 면적 보존법에서 구한 그림5의 d'점과 가까운 위치에 있는 점을 선택함으로 얻어진다.

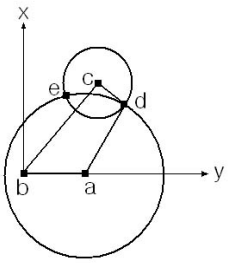



**그림6. 길이 보존법에 의한 정점의 구성**

**3) 내각·면적 보존법 :** 점 d'를 결정하기 위해서 그림8에서와 같이 각 β의 방향성분을 갖는 단위벡터 u를 정의한다. 다음으로 그림3의 삼각형 abd의 면적과 밑변 ab를 이용해 식2와 같이 높이를 구하고 이를 단위 벡터 u에 곱함으로써 점 d'를 구할 수 있다.

para_t = 2 x 면적/(밑변길이 x sin(p') x u의크기

d.x = u.x x para_t + a'.x **[ 식2 ]**

d.y = u.y x para_t + a'.y

d.z = 0.0;

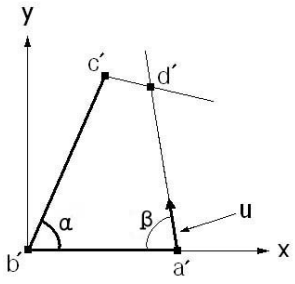



**그림8. 면적·내각 보존법에 의한 정점의 구성**

**4) 내각 보존법 :** 그림9에서 점 a', 점 b', 점 c'의 위치는 면적보존법에서 제시한 바와 동일하게 정해지며 각 β와 각 γ는삼각함수의 제2코사인법칙을 사용해 구할 수 있다. 점 d'를 결정하기 위해 그림9에서처럼 각 β의 방향성분을 갖는 단위벡터 u와 각 γ의 방향성분을 갖는 단위벡터 v를 정의한다. 여기서 우리는 벡터 u와 v의 방향성분값을 알 수 있고 또 각각이 점 c'와 점 a'를 지난다는 사실을 알 수 있다. 따라서 이를 직선의 매개변수 방정식에 적용해 d'의 위치를 얻을 수 있게 된다.

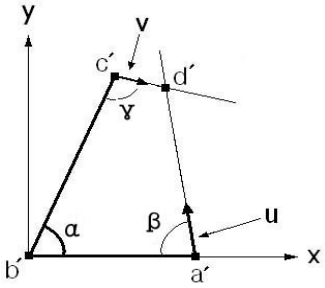



**그림9. 면적·내각 보존법에 의한 정점의 구성**

위 네 가지 기준에 의해 결정된 위치 값을 식3과 같이 가중치로 묶어서 하나의 Cost Function을 만들고 Newton Raptson Method로 풀어 적절한 위치를 최종적으로 구한다.

T.x = P.x * 0.4 + Q.x * 0.3 + R.x * 0.2 + S.x * 0.1;

T.y = P.y * 0.4 + Q.y * 0.3 + R.y * 0.2 + S.y * 0.1; **[ 식 3 ]**

T.z = 0.0f;

(단, P, Q, M, S는 앞서 제시한 4가지 평면화 방법에 의해 결정된 좌표값을 순서대로 나타냄, 첨자 x는 X좌표, y는 Y좌표임)

2차원 공간상에 하나의 폴리곤의 위치가 정의되면 이 다각형과 인접해 있는 다음 다각형의 위치를 결정해 주어야한다. 그림9에서 점a, 점b, 점c, 점 d는 앞서 구해진 다각형의 좌표이다. 두 번째 다각형을 정하기 위해 점 f와 점 g의 위치를 결정해야한다. 점 g는 선분 ad와 각 h를 이용해 결정할수 있다. 점 f는 앞에서 설명한 4가지 방법을 동일하게 적용함으로써 얻을 수 있다.

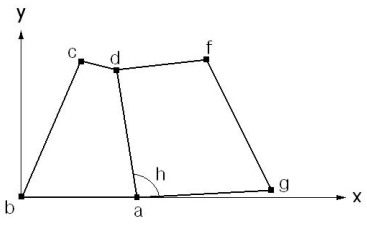



**그림9. 인접한 폴리곤의 구성**

이와 같은 방법을 통해 인접한 다각형을 2차원 공간상에 정의할 수 있다.

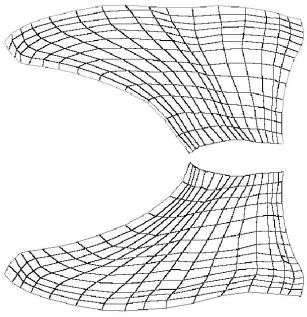
## 4. 실험 결과

본 실험은 Vc++ 6.0, Opengl 라이브러리 기반의 펜티엄4 2.4GHz, Main Memory 512Mb, 그래픽카

드 Ati Radeon 9200 환경에서 이뤄졌으며 3차원 모델 스캔을 위해 MicroScibe G2를 사용하였다. 모델링을 위해 사용한 모델은 265mm 크기의 운동화 라스트이고 렌더링을 위해서 Hermite Surface[2]를 사용하였다.

그림 10(a)는 운동화 모형의 쉐이딩 결과이며 그림10(b)는 이를 본 논문에서 제안하는 방법을 통해 평면화한 결과를 보여주고 있다. 그리고 그림11은 본 논문의 방법으로 평면화한 결과와 독일의 ShoeCAD제품인 ShoeMaster의 결과를 비교한 결과를 보여준다. 이 그림에서 보듯이 신발에 대해 상대적으로 폭과 높이의 차이에서 적은 차이를 보였으며, 이는 제안 기법이 상용 기법과 큰 차이를 보이지 않는 좋은 결과를 준다는 것을 의미한다.

(a) 3차원 모델링된 신발 모형



(b) 신발 모델의 평면화 결과

그림10. 실험 결과

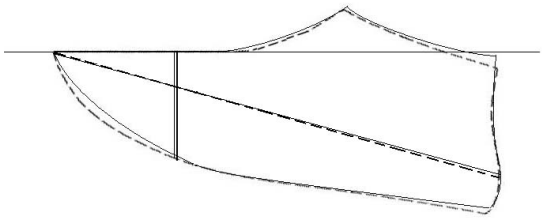


그림11. 독일의 ShoeCAD 제품과의 비교 결과

(평면화한 결과를 신발의 Vamp Depth를 기준으로 중앙 정렬한 상태, 점선은 ShoeMaster, 실선은 본 논문의 결과)

## 3. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 3차원 입체를 모델의 기하학적 정보를 이용하여 2차원 평면으로 전개하는 방법을 기술하였다. 입체형태의 모델을 평면화하기 위해 입체를 작은 단위의 다각형으로 구성하였고 다각형의 면적과 각 변의 길이 그리고 다각형의 내각 크기를 입체 모델이 가지고 있던 정보와 동일하게 유지하는 기법을 이용하여 모델을 2차원 공간상에 전개시켰다. 이와 같은 기술은 옷이나 신발과 같은 2차원 형태의 부품을 결합하여 입체형태의 제품을 만들어 내는 분야에 매우 유용하게 쓰이며 나아가 3차원 모델에 최소의 왜곡을 가지는 텍스쳐를 적용시켜 3차원 모델의 사실성을 높이는데 기여할 수 있다.

향후 연구에서는 본 논문의 방법을 의복과 같은 여러 다른 모델에도 적용해 보고 그 차이와 문제점을 검토하여 본 논문에서 제안하는 바를 좀더 보편화된 방법으로 개선시킬 예정이다.

## [참고문헌]

[1] Hee-Bong Lee, A Method for Constructing Mapping Sources of the Cloth 3D models, HCI2003, 2003

[2] Geometric Modeling, Michael E. Mortenson, John Wiley & Sons, Inc, 1939

[3] Seung-Ho Kim, Kwang-Keol Jang, 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 7, 2001

[4] Feng-Tsung Cheng, Der-Baau Perng, A syst ematic approach for developing a foot size inf ormation system for shoe last design, Internat ional Journal of Industrial Ergonomics,Vol.25, p p.171-185, 1991

[5] Kouchi,M. Analysis of foot shape variati on based on the medial axis of foot outline, E rgonomics, Vol.38, No.9, pp.1911-1920,1995

[6] Kouchi,M. and Tsutsumi, E., Relation bet ween the medial axis of the foot outline and 3 D foot shape, Ergonomics, Vol.39, No.9, pp.853 -861,1996

[7] Massaki Mochimaru, makiko Kouchi and Mas ako 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