

# FFD를 이용한 3차원 라스트 데이터 생성 시스템

## Development of a Three Dimensional Last Data Generation System using FFD

박인덕\*, 임창현, 김시경  
(InDuck Park, ChangHyun Lim, and SiKyoung Kim)

**Abstract** : This paper presents a 3D last design system that provides the 3-dimensional last data based on the FFD(Free Form Deformation) method. The proposed system utilizes the control points for deformation factor to convert from the 3D point cloud foot data to the 3D point cloud last data. The deformation factor of the FFD is obtained from the conventional last design technique, and constructed on the FFD lattice based on the bottom view and lateral view of the measured 3D point cloud foot data. In addition, the control points of FFD lattice is decided on the anatomical points of foot. The deformed 3D last obtained from the proposed FFD is saved as a 3D dxf foot data. The experimental results demonstrate that the proposed system have the descent 3D last data based on the OpenGL window.

**Key words** : FFD(free form deformation), 3D(3-dimensional), last, foot, shoes

### I. 서론

급격한 도시화에 따른 거리포장으로 발의 정상적인 보행이 이루어지지 못하므로 인하여, 현대인의 발 건강이 중요한 요소로 대두되고 있다. 이러한 발 건강의 문제를 해결하기 위한 일환으로 신발 산업에 있어, 기성 신발을 대치하는 주문형 신발 시장의 비중이 점차 커지고 있다[1,2].

주문형 신발을 제작하기 위해서는 발의 형태 분석 및 발 각 부의 형태 측정이 필요하며, 이렇게 분석된 데이터를 이용하여 개인의 발의 형태 특성에 맞는 개인용 라스트를 설계하는 것이 필수 요건이다[1].

본 논문에서는 레이저와 카메라를 이용한 비접촉 방식의 3차원 족형 측정 시스템 및 컴퓨터 그래픽 기법을 이용하여 발 각 부의 수평, 수직 단면 형태의 분석을 하였다. 또한 분석되어진 3차원 데이터를 이용하여 라스트 저면부(Insole), 측면부, 3차원 라스트 설계 프로파일 설계안을 제시 하였으며, 라스트 설계안에 3차원 족형 측정 시스템 하드웨어와 연동되도록 하였다. 또한, 비스플라인(B-Spline) 및 베지어 패치(Bezier Patch)를 이용한 Free Form Deformation(FFD)기법을 사용하여 3차원 발 데이터로부터 그에 맞는 3차원 라스트설계 데이터를 추출 할 수 있는 3차원 라스트 설계 기법을 제시하였으며, 실험을 통해 유효성을 입증 하였다.

### II. 3차원 발 계측

#### 1. 3차원 발 계측 하드웨어 구성

3차원 족형 계측기의 시스템 구성은 CCD 카메라 모듈과 카메라 모듈의 회전을 위한 스테핑 모터부, 스테핑 모터 제어부, CCD 이동 레일부, Digital I/O 부, 프레임 그래픽부

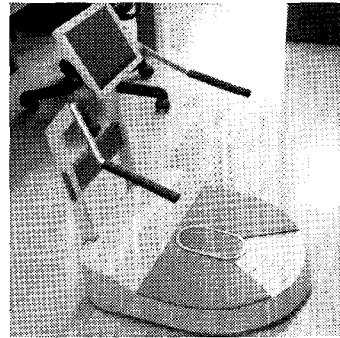


그림 1. 시스템 외형.

Fig. 1. Photograph of System.

그림 1과 같이 구성하였다.

그림 1에 보여진 본 논문에서 사용한 3차원 족형 계측기의 시스템(KOSCAN : 공주대 개발)은 [3]발의 3차원 거리 정보를 얻기 위해 피 측정 발에 레이저라인을 조사하고 CCD 영상으로부터 발위에 조사되어진 레이저 스트립 라인의 위치를 검색하여 검색된 위치의 변위를 추출함으로써 발의 3차원 위치 정보를 얻게 된다. 이렇게 얻은 정보를 광삼각법 알고리즘을 이용하여 계측된 정보를 3차원 데카르트 좌표계 형태로 가져오게 된다.

#### 2. 3차원 발 데이터

3차원 발 데이터는 발에 조사 되어진 레이저라인에 포함 되어진 모든 점의 영상정보를 CCD 및 프레임 그래픽으로 취득한 후 이들 점에 대한 위치정보를 산출하는 광삼각법을 이용하여 계측할 수 있다. 계측된 발 데이터는 실세계 좌표값으로써 윈도우 좌표공간(Window Coordinates)으로 매핑 된다.

그림 1의 시스템에 내장되어진 스테핑 모터의 회전에 의하여 CCD 및 레이저라인은 발주위를 6°간격으로 360°회전한 후 발에 대한 3D 점군 데이터(3D Cloud Point Data)를 얻는다. CCD 및 레이저라인 제너레이터 및 프레임 그래픽

\* 책임저자(Corresponding Author)

접수일자 : 2003. 9. 17., 채택확정 : 2003. 5. 16.

박인덕, 김시경 : 공주대학교 전기전자정보통신공학부

(han7770@daum.net/skim@kongju.ac.kr)

임창현 : 화우테크놀로지(changhyunlim830@msn.com)

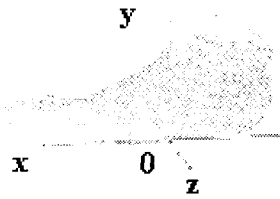


그림 2. 3D 발 데이터를 OpenGL로 구현.  
Fig. 2. 3D Foot Measurement Data with OpenGL.

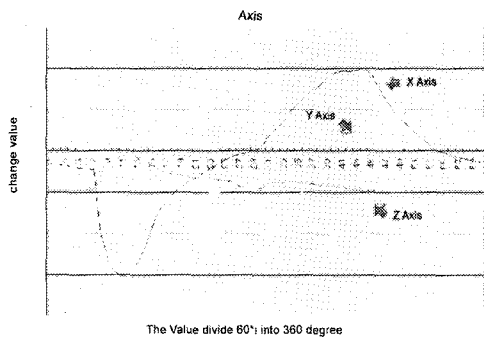


그림 3. X, Y, Z Axis에 따른 계측 정보의 변화.  
Fig. 3. 3D Measurement Data Variation on the X, Y, Z Axis.

를 포함하는 CCD카트는 발 주위를 360°회전하면서 취득한 60프레임의 발 영상 데이터를 가공하여 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)로 변환 하는 기능을 가진다.

그림 2는 3차원 발 데이터 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)를 OpenGL라이브러리를 사용하여 구현한 모습을 나타냈으며[4], 이들 3차원 발 좌표에 포함되어진 정보를 스테핑 모터 회전각도 0°~360°중 0°~60°에 해당되는 부분만 추출하여 x, y, z 축에 따른 발 위치 정보 좌표값 변화를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 발의 중심은 그림 2에 보여진바와 같이 x, y, z 축의 원점과 일치함을 알 수 있다.

3. 베지어 커브를 이용한 발 저면부 윤곽선 추출

3차원 측정기를 통하여 취득한 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 발 저면부에 대한 연속적인 윤곽선을 추출하기 위하여, 베지어 인터플레이션(Bezier Interpolation)을 수행하여 발 저면부 윤곽선을 생성하였다.

그림 4는 3차원 발 측정기로부터 계측하여 얻어진 점군 데이터(Point Cloud Data)중 발 저면부 테두리 부 데이터를 추출하여 그 중 4개 데이터를 제어점(Control Point)  $P_0, P_1, P_2, P_3$ 로 표시하였다.

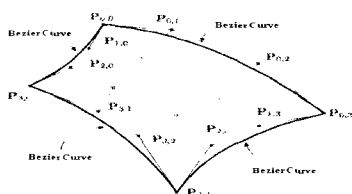


그림 4. 베지어 곡선.  
Fig. 4. Bezier Curves.

이들 제어점(Control Points)은 발 저면부 윤곽선 곡선 모양을 결정짓는 중요한 역할을 하며, 식 1과 같이 베지어 곡선(Bezier curve)을 이용하여 표현되어진다[5,6].

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \tag{1}$$

여기서  $0 \leq u \leq 1$ ,  $P$  : n+1개의 제어점 어레이,  $B_{i,n}(u)$  는 번스타인 (Bernstein) 다항식이며 다음 식과 같이 표현된다.

$$B_{i,n}(u) = [n C_i] u^i (1-u)^{n-i} \tag{2}$$

$$[n C_i] = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

(1)에서 3차의 곡선은 네 개의 식  $B_{i,3}(u)$ ,  $i = \{0, 1, 2, 3\}$ 로 표기되며, 3차 번스타인 (Bernstein) 다항식의 각각은 u에 대해서 의존적이며, 다음과 같이 표현된다.

$$B_{0,3}(u) = (1-u)^3$$

$$B_{1,3}(u) = 3u(1-u)^2$$

$$B_{2,3}(u) = 3u^2(1-u)$$

$$B_{3,3}(u) = u^3 \tag{3}$$

이 함수는 3차의 기본 Bezier 함수라고 부른다. 이 4개의 식을  $\sum(\text{sigma})$ 를 사용하여 확장하면 식 (4)와 같고, 이 하나의 함수를 사용하여 어떤 u값에 대해서도 큐빅 베지어 커브(Cubic Bezier Curve)의 위치를 계산할 수 있다.

$$P(u) = \sum_{i=0}^3 P_i B_{i,3}(u)$$

$$= P_0 B_{0,3}(u) + P_1 B_{1,3}(u) + P_2 B_{2,3}(u) + P_3 B_{3,3}(u) \tag{4}$$

$$= P_0(1-u)^3 + P_1 3u(1-u)^2$$

$$+ P_2(3u)^2(1-u) + P_3(u)^3$$

4. 베지어 서피스를 이용한 발 렌더링

발의 3차원 데이터 저면부를 생성하고 점군 데이터(Point Cloud Data)를 렌더링 하기 위해서 베지어 서피스(Bezier Surface)를 사용하였다. 그림 5에서 하나의 베지어 서피스(Bezier Surface)를 베지어 패치(Bezier patch)라고 부르며, 이들 베지어 패치는 2차원 제어점을 필요로 한다. 그림 5에서는 패치(patch) 하나 당 16개의 제어점(Control Points)을 사용하였다.

그림 5에서 표시된 제어점 P는 4\*4 어레이(Array)로 나타내어지며 3차원 발 측정기로부터 계측하여 얻어진 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 추출하여 설정하였으며, 베지어 서피스(Bezier Surface)는 다음과 같이 정의된다.

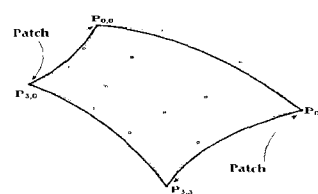


그림 5. 베지어 패치.  
Fig. 5. Bezier Patch.

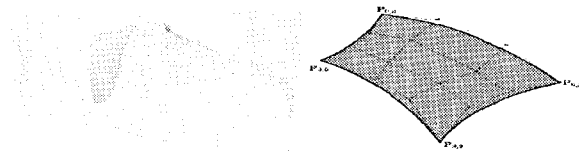


그림 6. 한 개의 Bezier Surface.  
Fig. 6. Bezier Surface of One.

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n P_{i,j} B_{i,m}(u) B_{j,n}(v) \quad (5)$$

그림 6은 3D 발 데이터, 점군 데이터에서 추출한 꼭짓점(vertex)와 16개의 제어점(control points)으로 만든 하나의 베지어 서피스(Bezier Surface)를 출력한 것이다.

III. 라스트 설계

1. 라스트 저면부

발에 조사된 레이저 라인에 대한 모든 점들의 영상정보(200 point)는 CCD와 레이저라인이 360°회전하는데 6°의 간격으로 이동하면서 새로운 영상정보를 가져온다. CCD 카트가 발 둘레를 360°회전하면 60프레임(60\*200)의 발 영상정보를 읽어들이 x, y, z 좌표를 가지는 12,000개의 꼭짓점 데이터(x, y, z)의 형태를 가진다. 발 측정 시 요구되는 측정 오차의 범위(1mm)를 충족하는 범위 내에서 12,000개의 꼭짓점 데이터를 선정하였다. 이들 12,000개의 꼭짓점 데이터로부터 발의 크기 및 발둘레(Ball Girth)등 여러 주요 발 데이터 및 라스트 주요설계정보를 추출 할 수 있다. 표 1과 그림 7은 라스트 설계시 필요한 라스트 저면부 주요 부위의 정보를 나타낸다. 이들 주요 설계 부위는 2.4 절에서 추출한 발 저면부 윤곽선 데이터와 기존 라스트 설계시 사용되는 발 윤곽선과 라스트 저면부위의 설계항목을 이용하여 결정할 수 있었다[1].

2. 라스트 측면부

라스트의 측면부는 라스트의 중심선을 따라 절단하였을 때 형성되는 측면의 단면으로써 그림 8에 나타내었다.

표 1. 라스트 주요 부위의 명칭.

Table 1. Name of Major Last Parts.

명 칭	
AB	중창 길이
CE	중창의 내측 볼 길이
DF	중창의 외측 볼 너비
AC	중창의 1중족 길이 ~ 뒤꿈치 끝길이
AD	중창의 5중족 길이 ~ 뒤꿈치 끝길이
GH	중창의 발꿈치 길이

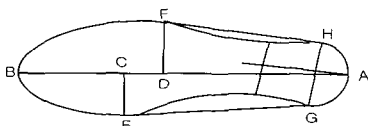


그림 7. 라스트 저면부.  
Fig. 7. Bottom View of Last.

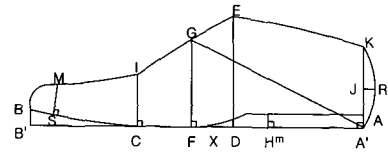


그림 8. 측면부의 주요 수치.  
Fig. 8. Lateral View of Last.

3차원 측정기로부터 계속한 3D 발 데이터, 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 그림 8의 주요 수치를 구하기 위해 먼저, 발 측면부 윤곽선을 추출하여야 한다. 발 윤곽선을 추출하는 방법은 2.3 절에서 발 저면부 윤곽선 데이터를 추출할 때 사용한 방법과 동일하다. 그림 8에 보여진 라스트 주요 설계 항목은 기존 라스트 설계시 사용되는 발 측면부와 라스트 측면 부위의 상관성을 이용하여 결정할 수 있다. 그림 8에서는 라스트 설계의 주요 수치인 라스트 볼 높이(IC), 라스트 인스텝 높이(GF), 힐 -뱁프 포인트 거리(GA)를 보이고 있다. 먼저, 라스트 힐 -뱁프 포인트 사이 거리를 구하기 위해 3차원 측정기로부터 계속한 3D 발 데이터, 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 발 측면부 윤곽선을 추출한 후 3D 발 데이터의 뱁프 포인트와 발뒤꿈치 점을 있는 직선을 추출한다. 그 후, 점 G에서 점 A에 대해 직선을 그리고, 이 직선의 기울기에 맞추어 점 A와 점 G의 x축 성분차를 구한 후 그 값을 10등분하여 10개의 가상 점에 대한 x성분을 만든다. 같은 방법으로 점 A와 점 E의 y축 성분차를 구한 후 그 값을 10등분하여 10개의 가상 점에 대한 y성분을 만든다. 이렇게 설정한 10개의 가상 점들을 비스플라인(B-spline)을 사용하여 라스트 힐 -뱁프 포인트 사이 거리를 얻을 수 있다. 라스트 힐 -뱁프 포인트 거리를 구하기 위하여 사용한, 비스플라인 곡선은 클렌딩 함수  $N_{i,k}(u)$ 을 이용하여 다음과 같이 정의된다.

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,k}(u) \quad (0 \leq u \leq n-k+2) \quad (6)$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i) N_{i,k-1}(u)}{t_{i+k-1} - t_i} + \frac{(t_{i+k} - u) N_{i+1,k-1}(u)}{t_{i+k} - t_{i+1}} \quad (7)$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1: t_i \leq u \leq t_{i+1} \\ 0: \text{다른수} \end{cases} \quad (8)$$

$t_i$ : 노트 값(knotvalue),  $k$ : B-spline의 차수

$t_0$ 부터  $t_{n+k}$ 까지  $(n+k+1)$ 개의 노트값(Knot Value)  $t_i$ 을 정할 경우 그 형태에 따라 주기적 노트값(Knot Value)과 비 주기적 노트값(Knot Value)을 아래 식을 사용하여 얻는다.

주기적 노트값(Knot Value):

$$t_i = i - k \quad (0 \leq i \leq n+k)$$

비 주기적 노트값(Knot Value):

$$t_i = \begin{cases} 0 & (0 \leq i \leq k) \\ i - k + 1 & (k \leq i \leq n) \\ n - k + 2 & (n < i \leq n+k) \end{cases} \quad (9)$$

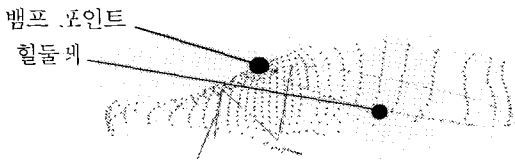


그림 9. 측면부.  
Fig. 9. Lateral part.

비 주기적 비스플라인 곡선(non-periodic B-spline curve)은 베지어(Bezier) 곡선과 마찬가지로 첫 번째 격자점과 마지막 격자점을 통과하는 성질을 갖는다.

힐둘레(Heel Circumference)는 발 바닥면 접지시 발뒤꿈치의 끝점에서 뱀프 포인트를 연결하는 둘레 길이를 나타낸다. 측정한 3D 발 데이터, 점군 데이터(Point Cloud Data)부터 이 라인을 추출하기 위하여 먼저 주요 격자점을 추출한다. 격자점으로 쓰일 꼭짓점을 추출하기 위해, 먼저 중창(인솔)과 일치하는 끝점과(그림 7의 점 A) 뱀프 포인트(그림 8의 점 G)를 연결하는 직선의 기울기를 구한 후, 이 기울기를 기준으로, 가상 힐둘레(Heel Circumference) 큐빅 꼭짓점(Cubic Vertex)의 x, y의 값을 알아내고 이들 꼭짓점에서 일정 범위 내에 있는 3D 발 데이터, 점군 데이터(Point Cloud Data)를 추출한다. 이렇게 추출한 꼭짓점들 중 중창에서 가장 먼 거리에 있는 꼭짓점(뱀프 포인트) 둘레를 출력하여 사용할 수 있도록 힐둘레(Heel Circumference)를 계산하였다. 측면부의 힐 둘레(Heel Circumference)를 출력할 때 격자점 수가 증가 할 때에 변화가 심한 베지어(Bezier) 곡선보다는 그림 9와 같이 적은 수의 꼭짓점(vertex)만으로 매끄러운 곡선을 그리는 비스플라인(B-spline)을 사용하였다.

IV. FFD를 이용한 라스트 설계

1. 3) 라스트 설계 알고리즘

본 논문에서는 3차원 족형 측정기를 통하여 취득한 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 3차원 라스트(Point Cloud Data)를 설계하기 위하여 FFD기법을 사용하였다 [6-8]. 기존의 구두 및 라스트 설계 기법에서 사용되어지는 라스트 설계 기법을 이용하여, 발과 라스트의 치수 및 형상의 차이를 FFD 기법의 변형 팩터(Deformation Factor)로 정형화하여, 3차원 족형 데이터로부터 라스트 설계 데이터를 생성 할 수 있도록 하였다.

3차원 족형 측정기를 통하여 취득한 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)에, FFD 기법을 적용하기 위하여 먼저 그림 10에 보여진바와 같이, 발을 포함하는 격자점(Control Points)을 생성하였다. FFD기법에서 사용되어야 할 격자점

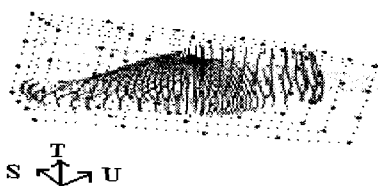


그림 10. FFD 격자점.  
Fig. 10. Control Points for FFD.

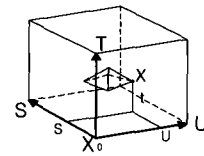


그림 11. S, T, U 좌표계.  
Fig. 11. S, T, U Coordinates System.

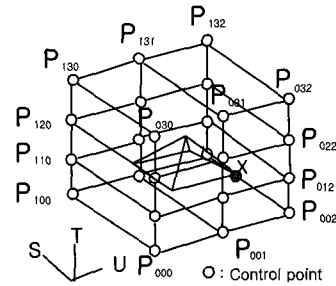


그림 12. 변형전 격자점.  
Fig. 12. Control Points before Deformation.

의 위치 및 경계점은 3차원 발 측정 데이터로부터 발 길이, 높이, 폭의 값을 구한 후 3차원 족형 점군 데이터(Point Cloud Data)를 포함하도록 설정한다. 그림 10은 3차원 측정기에서 얻어진 발 데이터를 포함하는 5\*4\*4(S축\*T축\*U축) 배열의 격자점을 가지는 격자를 나타낸다. 5\*4\*4(S축\*T축\*U축) 배열중 S축에 대한 어레이 개수는 그림 7에 보여진 라스트 저면부 데이터의 저면부 형태를 결정하는 점 B, C, F, D, A로부터 결정되었다. 이들 점들의 개수는 5이며 이들 점 개수와 FFD 격자점의 S축이 일치하도록 S축 방향의 격자점을 설정하였다. 같은 방법으로 T축 및 U축 방향의 격자점의 개수를 각각 4개로 설정하였다.

그림 11은 그림 10에서 보여진 FFD격자중 하나의 격자를 보이고 있다. 그림에서 파라미터 형태로 3차원 발 데이터의 일부를 표현하고 있으며, 발 표면상 임의의 점 X를 정의하면 아래 식과 같다.

$$X = X_0 + sS + tT + uU \tag{10}$$

여기에서  $0 \leq s, t, u \leq 1$ ,  $X_0$  격자의 원점

그림 12는 발을(피라미트로 표현) 포함하는 FFD전체 격자점을 나타낸다. 여기에서, 격자상의 제어 점  $P_{ijk}$  는 S, T, U에 대해서  $l+1, m+1, n+1$ 개로 정의되며  $5*4*4$ (x축\*y축\*z축) 배열의 격자점을 만족하기 위하여,  $l=4, m=3, n=3$ 으로 정의된다. 격자점의 위치에 대한 일치식은 식 (11)과 같다.

$$P_{ijk} = X_0 + \frac{i}{l}S + \frac{j}{m}T + \frac{k}{n}U \tag{11}$$

그림 12에 임의의 점 X를 FFD변형 후, 변형된 점  $X_{ffd}$ 의 좌표 위치는 3계수 번스타인 다항식(Bernstein Polynomial)으로 구할 수 있다.

$$X_{ffd} = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^n P_{ijk} B_i^l(s) B_j^m(t) B_k^n(u) \tag{12}$$

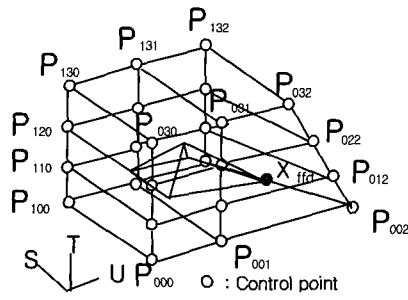


그림 13. 변형 후 격자점.  
Fig. 13. Control Points after Deformation.

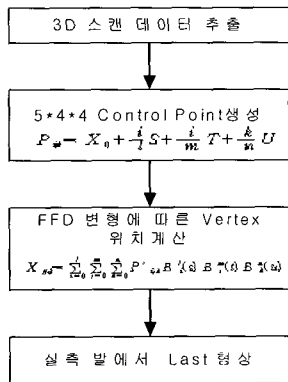


그림 14. 라스트 설계 FFD 순서도.  
Fig. 14. FFD Flowchart for Last Design.

베지어 곡선은 다음과 같이 정의 된다.

$$B^l_i(s) = \binom{l}{i} (1-s)^{l-i} s^i$$

$$B^m_j(t) = \binom{m}{j} (1-t)^{m-j} t^j$$

$$B^n_k(u) = \binom{n}{k} (1-u)^{n-k} u^k$$

그림 13는 그림 12의 격자점에 대하여 FFD변형을 취한 후, 변형 후 피라미드 모양 및 격자점 모양을 나타낸다.

2. FFD 라스트 설계 S/W

3차원 족형 측정기를 통하여 취득한 3차원 점군 데이터(Point Cloud Data)인 3차원 발 데이터에서 3차원 라스트 데이터를 생성하기 위해서 FFD를 이용하여 발 데이터에 변형(Deformation)을 적용하여야 한다.

그림 14는 FFD 라스트 설계기법의 S/W를 Flow chart로 표현한 것이다. 첫 번째로 3차원 족형 측정기에서 얻어진 12,000개의 point cloud 데이터를 그림 11에 보여진 격자점에 배치한다. 그 후 라스트 설계안에 따라 FFD를 한다. 식 (12)에 나타냈으며, 여기서  $P'_{ijk}$ 는 라스트 설계안에서 추출한 변형 팩터(Deformation Factor)이다.  $P'_{ijk}$ 파라미터 선정은 라스트 설계의 경험적 요소가 많이 들어간 파라미터들이 된다. 라스트 설계안을 기준으로  $P'_{ijk}$ 값을 사용하였다.

V. 실험 및 결과

그림 15는 3차원 측정기를 이용하여 실측한 3D 발 데이터인 점군 데이터(Point Cloud Data)로부터 추출한 라스트

저면부 13개 부위의 정보를 나타내고 있다. 좌우발의 크기가 다르기 때문에 발의 영상정보도 다르다. 그러나 라스트 설계시 우측발만을 기준으로 라스트를 설계한 후 좌측 발 라스트는 우측 라스트를 대칭 복사하는 형식으로 처리한다. 피 측정자의 3차원 발 데이터로부터 그림 15, 16과 같은 라스트 저면부, 측면부의 설계 프로파일(profile)을 얻을 수 있다.

그림 17은 3차원 측정기를 사용하여 측정한 발의 측면부, 상측부 사진을 보이고 그림 18은 그림 17의 발을 기준으로 제작한 라스트의 측면부, 상측부 사진을 보이고 있다. 그림 19는 그림 17의 3차원 측정기를 사용하여 계속한 3D 발 점

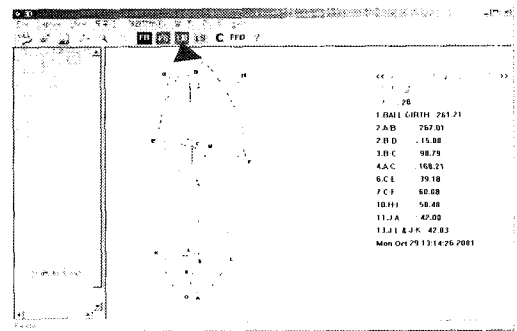


그림 15. 라스트 저면부.  
Fig. 15. Last Design Profile for Bottom Part.

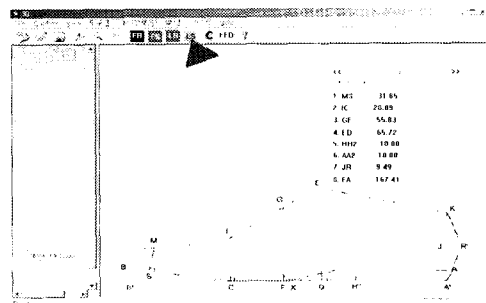
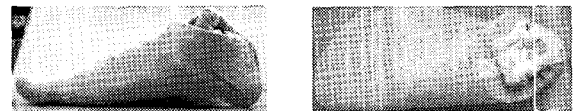


그림 16. 라스트 측면부 설계 프로파일.  
Fig. 16. Last Design Profile for Lateral Bottom Part.



(a) 측면부 (b) 상측부  
그림 17. 발모양.  
Fig. 17. Foot Shape.



(a) 측면부 (b) 상측부  
그림 18. 라스트 모양.  
Fig. 18. Last Shape.

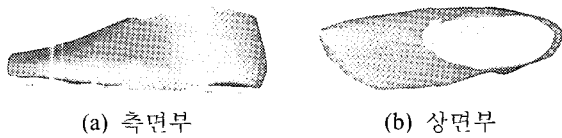


그림 19. 발 데이터.  
Fig. 9. Foot Data.



그림 20. 라스트 데이터.  
Fig. 20. Last Data.

표 2. 라스트 주요 설계 부위 치수 비교.

Table 2. Major Part Comparison between Conventional Last Design Method and FFD Method.

명칭	기존 설계안 (mm)	FFD 기법 (mm)
중창 길이	267.01	267.01
중창의 내측 볼 너비	38.8	39.18
중창의 외측 볼 너비	61.02	60.08
힐둘레	372.05	373.02
볼거스	250.02	250.9
중창의 발꿈치 길이	41.05	42.03

군 데이터(Point Cloud Data)를 렌더링 처리 후 OpenGL을 이용하여 컴퓨터에 출력한 3차원 데이터를 캡처한 모습이다. 그림 20은 그림 19의 3D 발 데이터에 대하여 Free Form Deformation 설계 기법을 적용하여 얻은 3D 라스트 데이터(Point Cloud Data)를 렌더링 처리하여 컴퓨터에 출력한 3차원 데이터를 캡처한 모습이다.

그림 18(a), 20(a) 및 그림 18(b), 20(b)의 라스트 측면부 전단부의 토스프링(Toe spring)부, 후단부의 힐 부분 및 볼거스(Ball Girth)의 유사성은 본 논문에서 제안한 라스트 설계 Free Form Deformation 기법이 성공적으로 동작되고 있음을 나타내고 있다. 표 2는 길이 255mm, 폭 120mm인 발을 대상으로 전문가가 직접 설계한 라스트의(그림 18) 측정 데이터와 본 논문에서 제안한 3차원 FFD 기법으로 추출한 라스트 데이터의(그림 19(a), 20(b)) 주요 측정 항목을 비교하여 나타내었다. 이 결과로부터 기존의 라스트 설계 기법을 이용하여 전문가가 직접 손으로 제작한 라스트에 대한 주요부위 설계 항목과 FFD 기법을 이용한 3D 라스트 설계 시스템에서 추출한 라스트 주요 설계 항목 데이터가 모두 1(mm) 편차 이내에서 일치함을 알 수 있었다.

### VI. 결론

신발을 제조하는데 있어서 반드시 라스트 설계가 선행되어야 한다. 그러나 기존의 라스트 설계방법은 기능자가 직접 손으로 라스트를 설계하는 방식을 택하였다. 이러한 방법의 라스트 설계시 오차 범위가 크며, 또한 설계상의 눈과 손에 의존하여 라스트를 설계하는 단점을 가진다. 또한 라스트 설계시 소요되는 비용이 고가이며, 소요시간도 상당히 긴 문제점을 가진다.

본 논문에서 제안한 Free Form Deformation(FFD)기법은 3차원 측정 데이터로부터 직접 3D 라스트 데이터를 생성하기 때문에 라스트 설계자가 손과 눈에 의존하여 라스트를 설계하는 방식에 비하여 정확도 및 경제성 측면에서 장점을 가진다. 3D영상장비는 자체 개발한 시스템으로 라스트 주요 설계부위 치수를 비교 하였을 때 전문가가 제작한 라스트에 대한 주요부위 설계 항목의 치수와 FFD기법을 이용한 3D 라스트 설계 시스템에서 추출한 라스트 주요 설계 항목 데이터가 모두 1(mm) 편차 이내에서 있음을 알 수 있었다. 3차원 라스트 형상 데이터는 Dxf 포맷(format)으로 변환하여 CNC로 가공 처리할 수 있도록 하였다. 3D 영상으로 주문형 신발 및 개인 라스트 제작에 널리 사용되리라 기대된다.

### 참고문헌

- [1] K. C. Adrian(Brown shoe Company), "American Last Making", 1, 1991.
- [2] M. Mochimaru, M. Kouchi, Y. Fukui & E. Tsutsumi "Classification of 3D foot shape based on inter-shape distance using the FFD method". vol. 3, no.4, pp. 229-234, 1997.
- [3] S. Kim et al. "A 3D Foot Form Measurement System Based on Stereo Vision", *INES, IEEE*, pp. 250-264, Sep. 2001.
- [4] S. Richard, JR. Wright, M. Sweet "OpenGL Superbible", *Waite Group Press*, 1996.
- [5] RL:[http://www.gamasutra.com/features/19990827/deformation\\_01.htm](http://www.gamasutra.com/features/19990827/deformation_01.htm) "Real-time Soft-object Animation using Free-form Deformation"
- [6] W.B.L Frederick, W.H.L Rynson "Real-Time Rendering of Deformable Parametric Free-Form Surfaces", *In Proceedings of ACM Symposium on Virtual Reality Software Technology*, pp. 131-138, Dec.1999.
- [7] C. Rezk-Salama, M. Scheuering, G. Soza "Fast Volumetric Deformation On General Purpose Hardware", *ACM Press*, pp. 17-24, 2001.
- [8] D. Ruprecht, R. Nagel, H. Müller. "Spatial Free Form Deformation with Scattered Data Interpolation Methods", *Geometric Modeling(Computing Suppl. 8)*, pp. 267-281, 1993.

**박인덕**

1969년 7월 2일생. 1995년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 1997년 명지대학교 대학원 졸업(석사). 2001년~현재 공주대학교 전기전자정보통신 공학부 대학원 박사과정.

**임창현**

1975년 1월 1일생. 2000년 공주대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 졸업(석사). 2002년 화우 테크놀로지 (FAWOO Technology) 입사.

**김시경**

1964년 5월 15일생. 1986년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1994년 Texas A&M University 졸업(박사). 1994년~현재 공주대학교 정보통신공학부 부교수.