

LFFD 및 SFFD를 이용한 3차원 라스트 데이터 생성시스템 개발

Three Dimensional Last Data Generation System Design Utilizing SFFD and LFFD

박인덕*, 김시경
(Induck Park and Sikyung Kim)

Abstract : A new last design approach based on the Limb line FFD (LFFD) and Scale factor FFD (SFFD) is presented in this paper. The proposed last design method utilizes the dynamic trimmed parametric patches for the measured foot 3D data and last 3D data. Furthermore, the proposed last data generation system utilizes cross sectional data extracted obtained from the measured 3D foot data. First, the last design rule of the LFFD is constructed on the FFD lattice based on foot last shape analysis. Secondly, SFFD is constructed on the LFFD new lattice based on scale factor deformation. The scale factor is constructed on the boundary edges of polygonized patch and the cross section last data boundary edge of the polygon object. Suppose the two boundary curves have been preprocessed so that they run in the same direction and they forms the SF(Scale Factor). In addition, the control points of FFD lattice are derived with cross sectional data interpolation methods from a finite set of 3D foot data.

Keywords : FFD (Free Form Deformation), LFFD (Limb Line Free Form Deformation), 3D (3Dimensional), SFFD (Scale Factor Free Form Deformation), SF (Scale Factor), cross sectional

I. 서론

급격한 도시화에 따른 거리포장으로 발의 정상적인 보행이 이루어지지 못하므로 발과 인체 건강에 부담을 덜 주기 위한 주문형 신발 비중이 점차 커지고 있다. 주문형 신발을 제작하기 위해서는 발의 형태 분석, 각 부의 치수 측정 및 족압 분포 분석이 필요하며, 이를 위한 필수 요건이 발의 3차원 족형 및 족압 측정이다[1,2]. Mochimaru[3] 등은 FFD 기법을 이용하여 라스트를 설계하는 기법을 제안하였다. 그러나 이 기법들은 실제 라스트 설계시 요구되어지는 볼거스, 힐들레, 볼너비, 중창길이 등에 관한 주요 설계치수를 제시하지 못하고 라스트 형태만을 나타내는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 개인의 발에 맞는 라스트 설계를 하기 위하여 발의 중심선에서 발 앞부분의 내측 최대 볼너비의 지점을 MT (Metatarsal Tibial)라 한다. 보행시 MT점을 중심으로 발의 앞부분과 뒤 부분에 이루는 각도에 따른 발의 변화를 3D 점군 데이터가 아닌 단면 분할된 점 데이터만을 이용하여 발 단면 데이터에 변형을 취하였다[4]. 변형된 발 단면 데이터를 이용하여 라스트 설계안을 제시하는데 있어서 본 논문에서는 LFFD (Limb Line Free Form Deformation)와 SFFD (Scale Factor Free Form Deformation)를 이용하였다. 먼저, LFFD는 3D 측정 장치로부터 측정되어진 3D 발 데이터를 발 길이 방향으로 25개의 단면으로 분할한다. 그 후, 이렇게 단면 분할된 3D 발 데이터에서 림브라인(limb line)을 추출한 후 림브라인에 대하여 LFFD 변형을 취한다. LFFD로 변형 되어진 발 단면의 형상과 라스트를 제작하기

위한 3차원 측정 라스트 단면의 형상 사이에는 서로 다른 부분이 존재한다. 이렇게 서로 다른 부분을 제거하기 위해 LFFD 발 단면과 라스트 단면을 서로 비교하여 각 단면에 대하여 스케일 팩터 (Scale Factor : SF)를 결정한다. 결정되어진 스케일 팩터는 SFFD의 변형 팩터로 이용한다. LFFD의 격자점은 발의 보행 특성을 이용하여 결정하였으며, LFFD와 SFFD 변형을 통해 개인의 발에 맞는 라스트를 설계할 수가 있다.

II. 3차원 족형 계측

1. 3차원 족형 측정 시스템

본 연구에서 사용한 3차원 족형 측정기는 CCD 카메라 모듈과 카메라 모듈의 회전을 위한 스테핑 모터부, 스테핑 모터 제어부, CCD 이동 레일부, digital I/O 부, 프레임 그레부로 구성 되어진다. 발의 3차원 거리 정보를 얻기 위해 피 측정 발에 레이저라인을 조사하고 CCD 영상으로부터 레이저 스트립 라인의 위치를 검색하고 이 검색된 위치에 광삼각법을 적용하여 변위를 추출함으로써 발의 3차원 위치 정보를 계측할 수 있다. 계측된 발 데이터는 실세계 좌표값으로써 윈도우 좌표공간(window coordinates)으로 매핑 된다. CCD 및 레이저라인 제너레이터 및 프레임 그레버를 포함하는 CCD 카트는 발 주위를 360° 회전하면서 취득한 300프레임의 발 영상 데이터를 가공하여 3차원 점군 데이터(point cloud data)로 변환한다.

III. 단면 분할법을 이용한 라스트 설계

1. FFD (Free Form Deformation)

FFD 개념은 그림1에서와 같이 외부의 격자점 블록과 내부의 객체에 대한 관계를 정의하고 외부의 블록만을 변형

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 1. 14., 채택확정 : 2005. 11. 22.

박인덕, 김시경 : 공주대학교 전기전자정보통신공학부
(han7770@daum.net/skim@kongju.ac.kr)

시커 내부의 객체를 변형시키는 기법으로, 1986년 Thomas W. Sederberg와 에 의해 처음 제안되었다[5].

본 연구에서는 이러한 FFD기법을 이용하여 발과 라스트의 관계를 정립하고 이를 이용하여 라스트 설계안을 추출하는데 적용하였다. 그림 2에서 모든 제어점의 좌표는 좌표 (s, t, u)상에서 0에서 1사이의 좌표로 정규화되고 격자안의 발의 3차원 측정 데이터 좌표(s, t, u)상에서 0에서 1사이의 좌표로 정규화 된다. 즉 그림 1에서 격자상 제어점 P_{ijk} 는 S, T, U에 대해서 다음 식으로 표현된다.

$$P_{ijk} = X_0 + \frac{i}{m} S + \frac{j}{n} T + \frac{k}{l} U \quad (1)$$

여기에서 X_0 는 격자 제어점 P_{ijk} 의 원점좌표이다.

정규화된 객체에서 발 표면위 임의의 점 X는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$X = X_0 + {}_sS + {}_tT + {}_uU$$

X의 좌표(s, t, u)상에서 $0 \leq s, t, u \leq 1$

정규화 된 객체에서 발 표면위 임의의 점 X는 FFD 변형 후 점 X_{ffd} 로 변하고 이 좌표는 s,t,u 좌표계에서 3차 Bernstein 다항식으로 구할 수 있다.

$$X_{ffd} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^l P_{ijk} B_i^m(s) B_j^n(t) B_k^l(u) \quad (2)$$

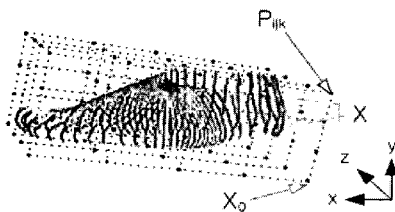


그림 1. 격자점.
Fig. 1. Control points.

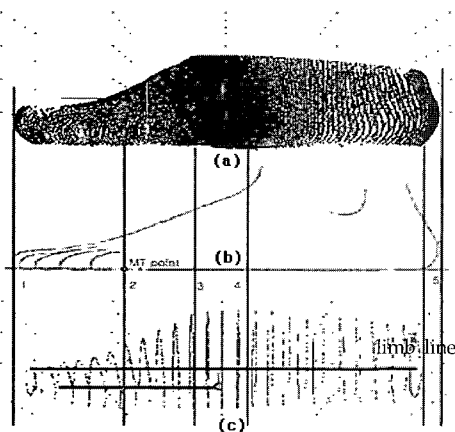


그림 2. 3D 측정 발 데이터(a)와 limb line을 기준으로 축 방향 분할 발 데이터(b).
Fig. 2. 3D foot measurement data(a) and limb line of basis from axis direction division foot data(b).

여기서, $B_i^m(s), B_j^n(t), B_k^l(u)$ 는 n 차의 Bernstein 다항식이다.

2. LFFD (Limb Line Free Form Deformation)

인체 족형 3차원 데이터로부터 3차원 라스트 데이터를 추출하기 위하여 단면 분할법을 사용하였다. 그림 2(a)은 3차원 측정 장치로부터 얻어진 3차원 발 데이터를 나타낸다. 그림 2(b)은 피측정 발을 나타내며, 그림 2(c)은 측정된 3D 발 데이터를 발 길이 limb line을 기준으로 축 방향으로 25개로 분할된 발 데이터를 나타낸다. 3차원 측정 발 데이터로부터 3차원 라스트 설계 데이터로 변형하기 위해서 본 연구에서는 발 림브선(limb line)을 기준으로 그림 2(c)의 단면 분할되어진 25개의 발 단면층 데이터에 대해 FFD 변형을 하였다.

그림 3은 3차원 측정 발 데이터로부터 림브선 FFD(LFFD)를 취한 후, 3차원 라스트 데이터로 변형되어지고 있는 모습을 보이고 있다. 여기서 A,B,C,D,E는 각각 20개 (5*4)의 격자점을 가지는 5개의 FFD 격자층을 나타낸다.

그림 3(a) 점 P_0, P_1, P_2 와 그림 4의 P'_0, P'_1, P'_2 는 각각 그림 3(b)의 P'_0, P'_1, P'_2 점들과 대응한다. 또한, P_0 (MT) 점을 중심으로 발 전단부 림브라인 $\overline{P_1P_0}$ 로 발 후단부 림브 라인은 $\overline{P_0P_2}$ 로 표현되어진다. P_0 는 그림 3와 같이 발의 MT를 나타내고 있으며 L_1 는 발의 전단부의 링크 방향 벡터, L_2 는 발 후단부의 링크 방향 벡터로 표현된다. 또한 두 링크 L_1, L_2 벡터의 사이각은 각각 θ_1, θ_2 로 표현되며, θ_1 는 발 전단부의 림브각으로 $\overline{P_1P_0}$ 와 LL (limb line)으로부터 얻어지고, θ_2 는 발 후단부의 림브각으로 $\overline{P_0P_2}$ 와 LL (limb line)으로부터 얻어진다. 3차원 측정 발 데이터로부터 LFFD를 취하기 위해서는 먼저 단면 분할된 발 단면 A_0 의 중심 O_i 를 중심으로 회전축 $L=L_1 \times L_2$ 을 그림 4과 같이 설정한다. 그 후, 점 P_0 를 중심으로 발의 전단부 림브 라인에 대하여 발 단면 A_0 의 법선 벡터 N_i 는 회전각 θ_1 만큼 조정되어진다. 그 후 발 단면층 A_0 의 모든 3차원 데이터를 회전부 θ_1 만큼 회전한다. 이와 같은 방법으로 발 후단부에 대하여서도 θ_2 만큼 모든 발 단면층에 대하여 조정하게 된다.

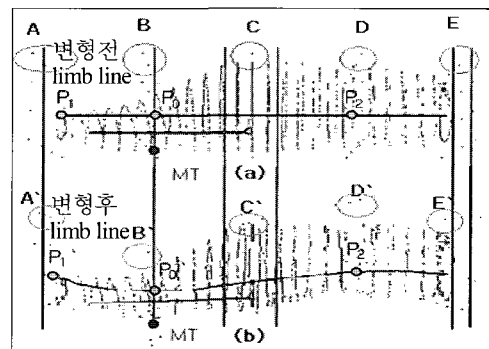


그림 3. 림브선 FFD 변형 전(a)와 변형 후(b).
Fig. 3. Limb line FFD transformation before(a) and after(b).

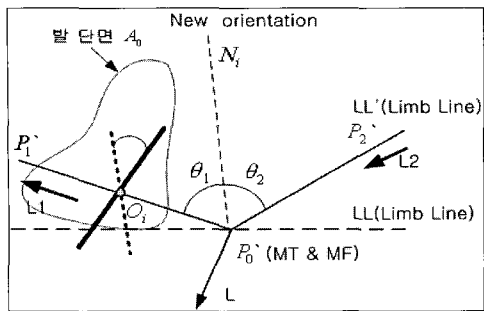


그림 4. 보행시 림브와 이루는 각.
Fig. 4. Angle bottom limbs during walking.

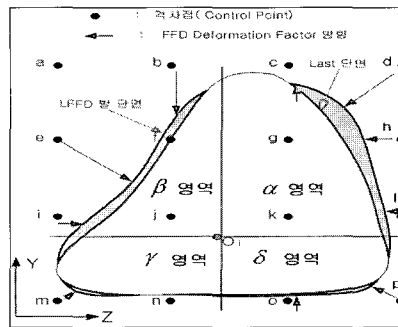


그림 6. 3D 발 데이터와 라스트 3D 데이터의 단면층.
Fig. 6. 3D foot data layers and last 3D data layers.

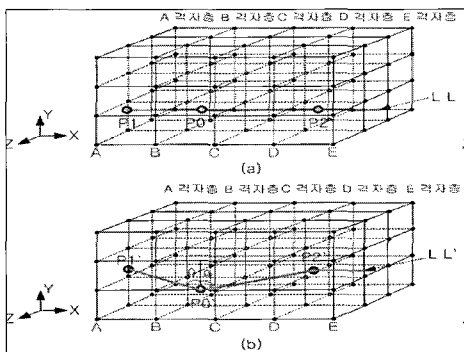


그림 5. LFFD 변형 전(a)과 변형 후(b) 림브선.
Fig. 5. Limb line on LFFD transformation before(a) and after(b).

이와 같은 θ_1, θ_2 값은 각각 그림 5에 보여진 LFFD 격자점 변형에 반영되어 LFFD 격자층을 구성하게 된다. 그림 5(a)는 LFFD 변형 전의 격자점 및 발 림브선의 주요점 P_0, P_1, P_2 를 보이며, 그림 5(b)는 LFFD 변형 후 격자점과 발 림브선의 주요점 P'_0, P'_1, P'_2 및 θ_1, θ_2 를 함께 보이고 있다. LFFD를 위한 격자점은 5개층(A,B,C,D,E)에 각각 16개(4*4)점으로 구성된다. 여기서 θ_1, θ_2 의 변위값을 LFFD에 반영하기 위하여 각층 A, B, C, D, E의 FFD 격자점에 대하여 θ_1, θ_2 의 변위값 변형량을 추가하였다.

3. SFFD (Scale Factor Free Form Deformation)

LFFD 변형을 취한 3차원 데이터의 한 단면 모습과 그에 대응되어지는 실제 라스트 3차원 데이터의 한 단면의 모습을 그림 6에 나타내었다. 이 그림에서 a,b,c,...,o,p는 그림 5(b)의 C 층에 있는 4*4 격자점을 나타내고 있으며, 원점 O_i 는 그림 5의 림브 라인과 격자층 A,B,C,D,E의 교차하는 점을 나타내고 있으며, α 영역, β 영역, γ 영역, δ 영역은 원점 O_i 를 기준으로 형성되고 좌표계를 따라서 LFFD 변형을 취한 LFFD 발 단면 3차원 데이터를 4등분한 영역을 나타낸다.

LFFD 되어진 발 단면의 형상과 3차원 측정 라스트 단면의 형상 사이에는 서로 다른 부분이(암 영역) 존재한다. 그림에서 이 영역을 제거하여 LFFD 발 단면과 라스트 단면을 서로 일치하도록 FFD 격자점들을 변형한다면 LFFD 데이터를 3차원 라스트 데이터로 변형시킬 수 있다. 그림 6의

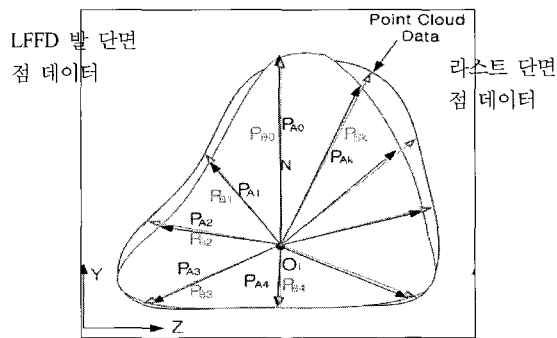


그림 7. 3D 발 데이터와 라스트 3D 데이터 단면층의 대응관계.
Fig. 7. Relation between 3D foot data and 3D last data.

α 영역의 LFFD 발 단면을 Last 단면으로 변형하기 위해 FFD 격자점 c는 y 방향으로 증가시키고, 격자점 d는 O_i 방향으로 감소, 격자점 h는 z 방향으로 감소, 격자점 l는 z 방향으로 감소시키면 된다. 여기서 라스트 단면 안에 포함되는 격자점 g, k는 변형을 취하지 않는다. 이들 감소, 증가분에 대한 관계를 정략적으로 기술하기 위하여, 정렬된 각 영역에 존재하는 LFFD 발 단면 데이터를 O_i 를 중심으로 라스트 단면 데이터와 대응시키면, LFFD 발 단면 점 데이터와 대응하는 라스트 단면 점 데이터를 다음 그림 7과 같이 나타낼 수 있다.

여기에서, LFFD 발 단면 점 데이터는 $\vec{PA}_0, \vec{PA}_1, \vec{PA}_2, \dots, \vec{PA}_k$ 라스트 단면 점 데이터는 $\vec{PB}_0, \vec{PB}_1, \vec{PB}_2, \dots, \vec{PB}_k$ 로 표현이 된다. LFFD로 구현되어진 LFFD 발 단면 점 데이터로부터 라스트 단면 데이터로 변형하기 위해서 발 단면층의 각 점 벡터 $\vec{PA}_0, \vec{PA}_1, \vec{PA}_2, \dots, \vec{PA}_k$ 를 축소 또는 확대시켜 $\vec{PB}_0, \vec{PB}_1, \vec{PB}_2, \dots, \vec{PB}_k$ 와 일치시켜야 한다. 이들 확대 축소시키기 위한 변형량을 SF(Scale Factor)라 정의한다. 그림 8는 SF를 설명하기 위하여 LFFD 발 단면 데이터 한점 A_0 과 SFFD 데이터의 한점 B_0 을 동일 좌표계에 나타내었다.

3차원 측정에서 얻어진 발 단면층 상의 점 A_0 는 LFFD 이후 점 A'_0 으로 회전 이동하게 된다. 이때 이동한 점 A'_0 와 O_i 사이의 거리 $\vec{O_iA'_0}$ 는 (3)와 같이 나타낸다.

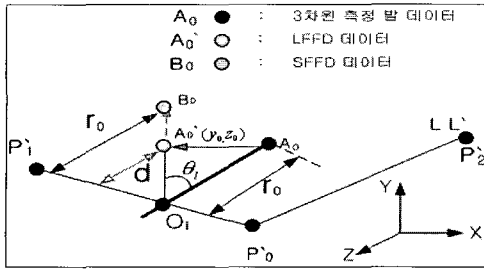


그림 8. 단면층에 대한 스케일링 팩터.
Fig. 8. Scaling factor for cross sectional layer.

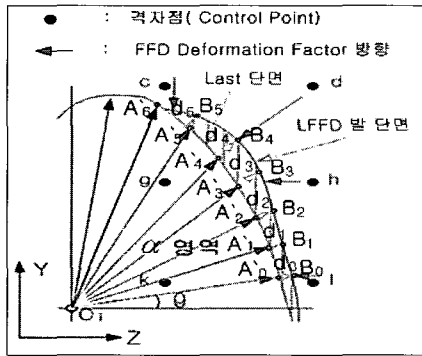


그림 9. Scale factor 검출.
Fig. 9. Scale factor detection.

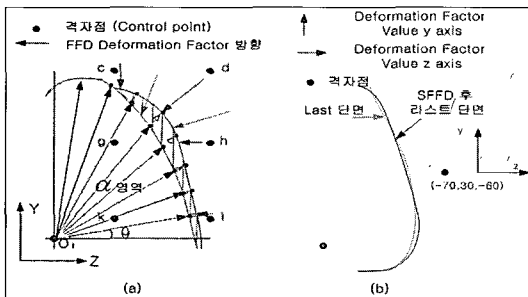


그림 10. SFFD적용 전(a)과 적용 후(b) 단면.
Fig. 10. Last cross sectional views before(a) and after SFFD(b).

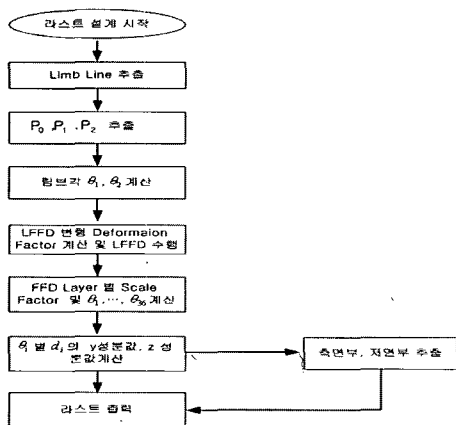


그림 11. SFFD 변환 및 3D Last 설계 흐름도.
Fig. 11. SFFD transformation and 3D last design flowchart.

$$\overline{O_i A_0} = \frac{r_0 * \|\overline{O_i A_0}\|}{\overline{O_i A_0}} \quad (3)$$

여기서 r_0 는 O_i 와 A_0 사이의 거리이다. (3)에서 점 A_0 에서 B_0 로 SFFD를 적용한 후 B_0 변형량은 선분 $\overline{O_i B_0}$ 로 4와 같이 나타낸다. LFFD 발 3차원 데이터 A_0 를 3차원 라스트 데이터 B_0 로 변환하기 위해서는 LFFD 변형되어진 격자점들을 새로운 격자점으로 대치한 후 새로운 FFD, 즉 SFFD를 적용해야한다. 새로운 80개(5*4*4)의 격자점[5]으로 SFFD를 적용하면 점 A_0 는 점 B_0 로 이동하게 되며, 그 결과 3차원 라스트 데이터가 형성되게 된다. 이때 변형량 $\overline{O_i B_0}$ 는 (4)와 같으며, (4)는 점 하나에 대해서 나타낸 이다.

$$\overline{O_i B_0} = \frac{r_0}{|d|} * \|\overline{O_i A_0}\| \quad (4)$$

여기서 d 는 점 O_i 와 A_0 사이의 거리이다. 그림 9은 그림 8의 LFFD 데이터 $A_0 \dots A_k$ 를 라스트 단면 데이터(SFFD data)로 변형하는 관계를 보이고 있다. α 영역에서의 LFFD 발 단면에서 Last 단면으로 변형하기 위한 SFFD(Scale Factor FFD)의 격자점 변형을 위한 SF (Scale Factor) 데이터 추출 방법은 O_i 를 중심으로 0° 에서 90° 회전하면서 10° 씩마다 각 영역에 대해서 라스트 단면과 LFFD 발 단면과의 대응대어지는 점 거리의 차 값을 SF 값에 반영하게 된다. 그 후, 라스트 단면 점 데이터 $O_i B_0$ 에서 LFFD 발 단면 점 데이터 $O_i A_0$ 를 빼주면 이들 량의 차이를 구할 수 있다. 여기서 이들 량을 스케일링 팩터(Scaling Factor)라 정의 하면, 그림 9에서 3D 발 데이터와 3D 라스트 데이터 사이의 관계를 다음 (5)과 같이 나타낼 수 있다. LFFD 단면과 Last 단면 사이의 차이는 SF로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \overline{O_i B_0} - \overline{O_i A_0} &= (Y_0, Z_0) \\ &\vdots \\ \overline{O_i B_k} - \overline{O_i A_k} &= (Y_k, Z_k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,

$$Y_0 = (\overline{O_i B_0} - \overline{O_i A_0}) \sin \theta$$

$$Z_0 = (\overline{O_i B_0} - \overline{O_i A_0}) \cos \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\overline{O_i A_0} \text{ y성분}}{\overline{O_i A_0} \text{ z성분}}$$

그림 10은 LFFD 발 단면 데이터를 SFFD를 이용하여 라스트 단면 데이터로 변형하기 위한 FFD격자점 c,d,g,h,k/l에 변형량을 부가한 그림을 나타낸다. 그림 11은 본 논문에서 제안한 단면 분할 LFFD 적용하여 얻어진 발 단면 데이터에 새로운 격자점 80개(5*4*4)에 SFFD 적용하여 3D 라스트를 추출하는 흐름도를 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 발의 림브를 단면 분할법을 이용하여 복잡한 3D 데이터를 손쉽게 처리할 수 있도록 다면층으로

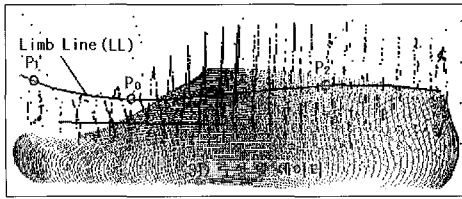
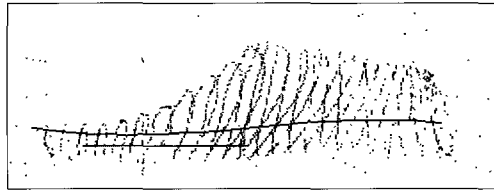
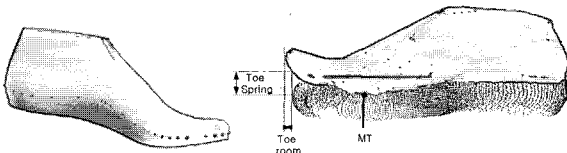


그림 12. 3D 측정 발 데이터와 LFFD 변형 후 25개 단면 분할 데이터.

Fig. 12. 25 Cross section data after LFFD and a measurement 3D foot data.



(a)



(b)

그림 13. SFFD 변형 후 25개 라스트 단면(a)과 toe spring, toe room(b).

Fig. 13. Last cross sectional 25 layers after transformation SFFD (a) and toe spring, toe room(b).

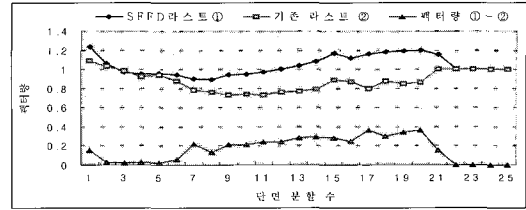
분할하였다. 그림 12은 3D 측정 장치로부터 얻어진 3D 발 데이터를 25개로 단면 분할하여 림브선에 LFFD 변형을 취한 후 그림을 나타낸다.

그림 13(a)는 LFFD 변형 후 25개의 단면 점 데이터를 본문에서 제한한 SF (Scale Factor)와 DF (Deformation Factor)를 적용하여 SFFD 변형 후 25개의 라스트 단면분할을 나타낸다. 그림 (b)는 라스트 단면 분할된 발 데이터에 OpenGL로 나타낸 라스트 측면부와 3차원 측정기로 측정한 3D 점군 발 데이터의 측면부를 나타낸다. 라스트 앞부분에 10mm의 toe room와 toe spring이 있음을 알 수 있다.

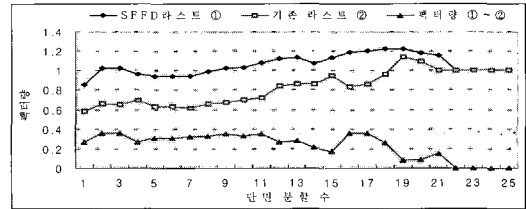
그림 14는 LFFD 변형된 발 데이터를 SFFD 변형 후 라스트와 기존 라스트와의 각 영역별 스케일 팩터량에 대한 그래프를 나타낸다. X축에 기술되어진 발 단면층의 스케일 팩터량은 발 단면층 번호 0-6번은 발뒤꿈치에서 복사뼈까지의 스케일 팩터량을 나타내며, 7-14번은 복사뼈에서 계상골절(발등)까지의 스케일 팩터량을 나타낸다. 15-18번은 계상골절(발등)에서 MT점까지의 스케일 팩터량을 나타내며, 19-25번은 MT점에서 발 끝부분까지의 스케일 팩터량을 나타낸다.

그림 14의 Y축에 기술된 스케일 팩터량 크기는 α 영역에서 발뒤꿈치부터 복사뼈까지는 0값에 매우 근접함을 보

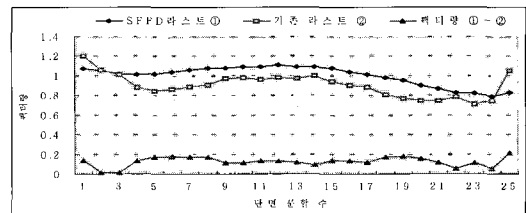
α 영역



β 영역



γ 영역



δ 영역

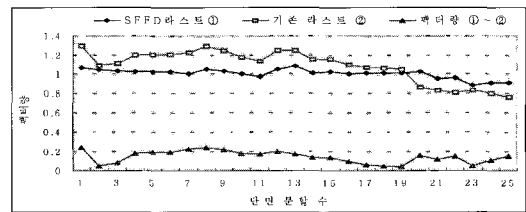


그림 14. 각 영역별 스케일 팩터.

Fig. 14. Scale factor for each region($\alpha, \beta, \gamma, \delta$).

표 1. 255mm라스트에 대한 각 항목별 치수 (mm).

Table 1. Major dimensions comparison between the conventional 255mm last design method and the proposed SFFD method (mm).

명칭	표준 설계안 (mm)	SFFD 기법 (mm)	오차비율 ((표준설계안/SFFD기법)*100%)
중창 길이	267.01	267.01	0 (100)
중창의 내측 볼 너비	38.8	39.18	-1 (99)
중창의 외측 볼 너비	61.02	60.08	1 (101)
힐둘레	372.05	373.02	-1 (99)
볼거스	250.02	250.9	-1 (99)
중창의 발꿈치 길이	41.05	42.03	-3 (97)

여 주고 있으며, 복사뼈에서 MT점까지는 0.4의 스케일 팩터량을 나타낸다. 이는 기존 라스트와 SFFD 설계된 라스트

의 변형량 차이를 보이고 있다. β 영역에서는 발뒤꿈치부터 MT점까지 구간에서 0.4에 가까운 스케일 팩터 변형량을 보여주고 있다. γ 영역에서는 복사뼈에서 발가락까지 0.2에 가까운 스케일 팩터 변형량을 보여주고 있다. δ 영역에서는 복사뼈에서 발가락까지 0.2에 가까운 스케일 팩터 변형량을 보여주고 있다. 전체영역으로 살펴보면 기존 라스트 설계안으로 제작된 라스트와 SFFD기법으로 구현된 라스트 설계 치수가 서로 근접함을 볼 수 있다. 표 1은 기존 설계안의 라스트 각 항목과 스케일 팩터 변화량을 이용한 SFFD 기법 라스트 설계의 라스트 설계 중요항목에 대해 비교 하였을 때 일치함을 보여 주고 있다.

V. 결론

맞춤형 신발 제작에는 개인의 발에 맞는 라스트제작이 필수적이다. 본 논문에서 제안한 LFFD 와 SFFD변형은 3차원 라스트 설계시 개인의 발에 맞는 라스트를 설계할 수 있다.

첫째, LFFD 및 SFFD 변형을 통한 라스트 설계안과 한국 표준 라스트 설계안 치수와 SF를 비교하였을 때 오차비율은 $\pm 1 \sim 3\%$ 범위를 가진다.

둘째, 3D측정 장치로부터 얻어진 3D 발 데이터를 25개의 단면으로 분할하여 보행시 이루어지는 발의 변형을 LFFD를 통해 복잡한 3D 데이터를 손쉽게 처리할 수 있도록 단면층을 2D 데이터로 변형하였으며, 변형된 3D 발 데이터를 SFFD 변형(스케일 팩터(SF)를 가해줌)으로 발에 맞는 3D 라스트 설계를 할 수가 있다.

셋째, 기존 설계안은 수작업에 의한 MT, 발등높이, MF을 지나는 데이터를 가지고 설계안 치수로 사용하였다. 본 논문에서는 보다 정확한 데이터를 얻기 위하여 25개의 단면분할에 LFFD와 SFFD변형을 가해 줌으로써 정확한 발

치수를 측정할 수 있다.

넷째, 전체 3D 데이터를 25개의 단면으로 나누어 LFFD와 SFFD변형으로 각각의 단면에 대해 스케일 팩터를 적용함으로써 더욱 발에 가까운 라스트를 제작 할 수 있다.

다섯째, 본 논문에서 제안한 시스템은 정상적인 발, 기형적인 발에 있어서도 그 정보를 정확히 적용하여 신발을 제작할 수 있으므로 편안함과 동시에 치료 효과도 기대할 수 있으며, 기존의 3차원 족형 측정 시스템과 비교해서 아주 경제적이므로 보다 많은 사람들에게 정보를 제공할 수 있다.

이상과 같은 결론으로 라스트 설계시 맞춤형 신발에 있어서 발의 건강과 편안한 신발을 제작하는데 많은 도움을 준다.

참고문헌

- [1] R. MacCracken and K. Joy, "Free form deformation with lattices of arbitrary topology," *Computer Graphics*, pp. 181-188, 1996.
- [2] H. Chiyokura, and F. Kimura, "Design of solids with free form surfaces," *Computer Graphics*, vol. 24, no. 4. pp. 289-298, 1983.
- [3] M. Mochimaru, and E. Tsutsumi, "Classification of 3D foot shape based on inter-shape distance using the FFD method," *Japan ergonomics society*. vol. 33, no. 4, pp. 229-234, 1997.
- [4] S. Jianhua, Thalmann, and D. Thalmann, "Human skin deformation from cross-sections," *Computer Graphics International*, vol. 18, no. 4, pp. 443-452, 1994.
- [5] T. W. Sederberg and S.R. Parry, "Free-from deformation of solid geometric models," *Computer Graphics*, vol. 20, no. 4, pp. 151-160, 1986.



박 인 덕

1969년 7월 2일생. 1995년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 1999년 명지대학교 대학원 졸업(석사). 2005년 공주대학교 전기전자정보공학과 대학원 졸업(박사).



김 시 경

1964년 5월15일생. 1986년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1994년 Texas A&M University 졸업(박사). 1994년~현재 공주대학교 전기전자공학부 교수.