

광삼각법을 이용한 비접촉 3차원 족형 측정 시스템 설계

Development of a Noncontact Three Dimensional Foot Form Measurement System with Optical Triangulation

박인덕, 안형희, 송강석, 이희만, 김시경
(InDuck Park, HyoungHoi An, GangSuk Song, Heeman Lee, and SiKyoung Kim)

Abstract : This paper presents a cost-effective 3D foot scanner system that provides the 3-dimensional point cloud foot data to design the custom footwear. To measure the 3-dimensional point cloud data of the foot, a CCD camera, a Non-Gaussian laser line projector and optical triangulation method are employed. Furthermore, the integrated system employs a measurement base, a frame grabber, a CCD moving cart, a stepping motor and a computer.

The measurement result is saved as 3D dxf format and it could be converted to 2D essential data for a shoe design. The experimental results demonstrate that the proposed system have the decent resolution of 1mm which is enough for last and shoe design.

Keyword : CCD (Charge Coupled Device), 3D(Three-Dimensional), foot scanner

I. 서론

인체의 발은 연령이나 성별에 따라 개인적인 특징이 있다. 일반적으로 신발 제작은 표준 라스트(Last)를 사용하기 때문에 이러한 개인적인 특징을 정확히 반영하여 신발제품을 생산할 수 없다. 따라서, 개인의 발 특징을 분석하고 신발 제작에 이를 반영하기 위해서는 각 개인의 발을 측정된 3차원 형상정보를 이용하여 피 측정된 발에 맞는 라스트를 제작해야 한다. 라스트는 신발 제작 공정에서 신발의 내부 구조와 외형을 결정할 뿐 아니라, 신발의 편안함과 기능에 영향을 미치게 된다[1].

본 논문에서는 맞춤형 신발 제작을 위한 발의 3차원 형상 측정 시스템 설계시 요구되어지는 요소를 최적화시키기 위해 3차원 측정 알고리즘으로 광 삼각법을 사용 하였으며, 발의 3차원 형상 데이터를 추출하는 방법을 제시하고 이 데이터를 이용하여 라스트 설계에 필요한 정보를 추출하는 레이저와 카메라를 이용한 비접촉 방식의 3차원 발 형상 측정 시스템을 설계하였다[2].

II. 본론

시스템의 하드웨어 구성은 발의 표면에 조사되어지는 레이저와 발 형상을 캡처하는 CCD(Charge Coupled Device), 캡처한 영상 신호를 컴퓨터 상의 이미지 평면(N × M)으로 변환하는 프레임 그래버(Frame Grabber) 그리고 CCD와 레이저를 포함한 CCD카트를 회전시키기 위한 이동 레일부, 이동 레일부의 회전원인 스테핑 모터부 등으로 구성되어

있다. 또한 소프트웨어 구성은 프레임 그래버 구동 부, 스테핑 모터 구동부, 광삼각법을 이용한 3차원 데이터 추출부, 데이터 저장부, OpenGL을 이용한 3차원 이미지 출력부, 각 부위별 발 데이터 추출부등으로 구성되어 있다. 그림 1은 이러한 구성 요소로 설계 되어진 시스템의 전체 외형도를 보여주고 있다.

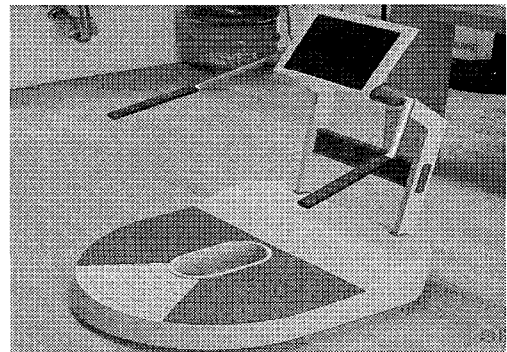


그림 1. 3차원 족형시스템의 전체 외형도.

Fig. 1. Photograph of the proposed 3D foot system (KOSCAN : 공주대 개발).

1. 광삼각법을 이용한 3차원 형상 측정원리

본 연구에서 사용한 광 삼각법은 기하광학원리에 근거한 변위 측정기법으로 발에 조사된 광과 이미지 센서와의 삼각관계를 이용한 알고리즘이다[3,4]. 그림 2는 광 삼각법을 이용한 3차원 형상 측정 원리를 보이고 있다. 광 삼각법의 광학계는 한 평면 내에 존재하며 두 개의 광축이 θ 의 각도로 교차하게 된다. 두 광축 중 하나는 피 측정발의 표면에 광점을 형성하기 위한 레이저 라인 축이며, 다른 하나는 광점의 영상을 수광하기 위한 CCD 영상 광축이다. 레이저라인이 조사되어진 피 측정 발 표면상 임의의점 P (x, y, z)

논문접수 : 2002. 9. 16., 채택확정 : 2003. 4. 12.

박인덕, 안형희 : 공주대학교 전기전자정보공학부

(han7770@daum.net / booggo97@hotmail.com)

송강석 : (주)엘캠텍(amisys@dreamwiz.com)

이희만 : 서원대학교 컴퓨터 정보통신공학부(hlee@seowon.ac.kr)

김시경 : 공주대학교 전기전자정보통신공학부(skim@kongju.ac.kr)

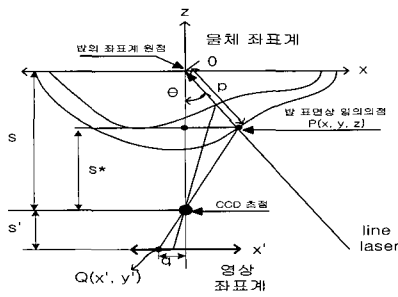


그림 2. 광 삼각법을 이용한 3차원 측정 원리.
Fig. 2. 3D Measurement Principle Based on the Optical Triangulation.

에 있는 광점은 CCD를 통하여 영상좌표 Q(x', y')에 투영된다.

그림 2에서 CCD 렌즈의 초점거리를 f, 발의 좌표계 원점과 CCD 렌즈 초점 사이의 거리를 s라고 하면 기준 영상 거리 s'은 근축 광학(paraxial optics)에 의해 (1)과 같이 구해진다[3,4].

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s} \quad (1)$$

또한, 발 표면상의 임의의 점 P에 대하여 CCD 렌즈 초점으로부터 발 표면까지 거리 s*는 기하학적 관계로부터 (2)와 같이 표현된다.

$$s^* = s - p \cos \theta \quad (2)$$

여기서 p는 점 P로부터 발 좌표계 원점사이 거리이며, 또한 발 영상좌표 Q의 영상좌표계 원점으로부터의 거리 q는 CCD 렌즈의 배율 관계로부터 (3)을 만족시킨다.

$$\frac{q}{p \sin \theta} = \frac{s'}{s^*} \quad (3)$$

(1)과 (2)를 (3)에 대입하면 발 궤적 상에서의 레이저 광점 P와 이에 대응되는 CCD 영상좌표의 점 Q의 관계는 (4)와 같이 표현된다.

$$p = \frac{q \times s}{(s' \times \sin \theta) + (q \times \cos \theta)} \quad (4)$$

여기서 구해진 p는 발 좌표계 원점에서부터 발에 조사된 레이저 광점까지의 거리이며, 이 값을 이용하여 발 좌표 P의 (x, y, z)를 구할 수 있으며, 점 P의 좌표값 (x, y, z)은 (5)와 같다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p \sin \theta \\ \frac{1}{m} y' \\ s - p \cos \theta \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서, m=렌즈 배율, y'= CCD 좌표계 y축값
본 논문에서는, (5)로 표현되어지는 광 삼각법을 이용하여 발의 3차원 좌표를 추출해 냈다.

2. CCD카트

광삼각법을 적용하여 발의 3차원 데이터를 추출하는 과

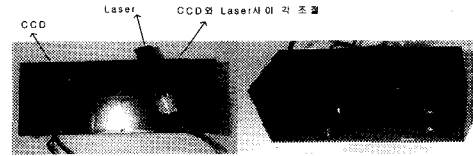


그림 3. CCD카트 내부(좌)와 전체외관(우).
Fig. 3. Photograph of the CCD cart.

정에서 발에 조사되어진 레이저 광축과 영상을 얻는 CCD 광축 사이의 각도 θ가 정확한 데이터를 얻는데 중요한 변수로 작용하며, 또한 CCD와 레이저가 이동 레일 위에서 동시에 발 주위를 360°회전해야 되기 때문에, 각도가 조절 가능하며 CCD와 레이저가 함께 회전할 수 있도록 하기 위하여 그림 3과 같은 CCD카트를 별도로 제작하였다.

3. 이동 레일부

CCD와 레이저가 설치된 CCD카트가 그림 4에서 보느냐와 같이 이동 레일 상부에 위치하고, 이동 레일은 스테핑 모터로 구동되어 CCD카트를 360°정회전 및 역회전시킨다. 소프트웨어에서 CCD카트가 6°회전할 때마다 CCD가 발의 영상을 추출하도록 제어하기 때문에 이동 레일의 안정적인 회전 상태가 특히 중요하다. 이동 레일의 크기는 먼저 성인 발을 기준으로 CCD 촬영 소자에 투영된 발 영상이 컴퓨터 모니터(640 x 480)상에 변환되고, 변환된 영상을 이용하여 발의 3차원 데이터를 추출하는데 가장 알맞은 크기와 전체 시스템 구성을 고려하여 외경 700(mm), 내경 600(mm)로 이동 레일부를 설정하였다. 그림 4의 왼쪽은 CCD카트 이동 레일의 외경과 내경이며 오른쪽 사진은 이동레일에 CCD카트가 설치된 모습을 보여준다.

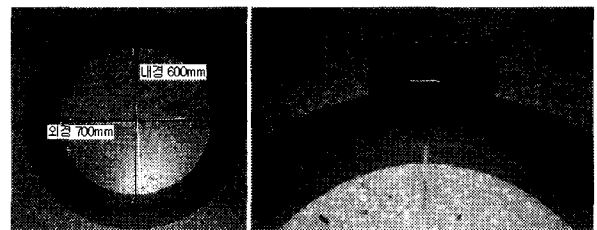


그림 4. 이동 레일 외경과 내경(좌), CCD카트 설치된 모습(우).

Fig. 4. Photography of Moving Rail(Left), Photography of CCD Cart(Right).

III. 시스템의 소프트웨어 구성

1. 전체 프로그램의 구성

그림 5는 전체 프로그램의 흐름을 도시하였다. 전체 프로그램은 크게 세 부분으로 나누어지며 (a)부분인 3차원 족형 측정 프로그램에서는 하드웨어와 소프트웨어가 함께 연동되고, 광삼각법을 적용하여 발의 3차원 형상 데이터를 추출하며 (b)의 발 데이터 측정 프로그램은 추출된 3차원 데이터로부터 발의주요 부위에 대한 정보를 측정하며 (c)의 라스트 데이터 추출 프로그램은 (b)에서 측정된 발 정보를 이용하여 라스트 설계에 필요한 데이터를 계산하는 프로그램이다.

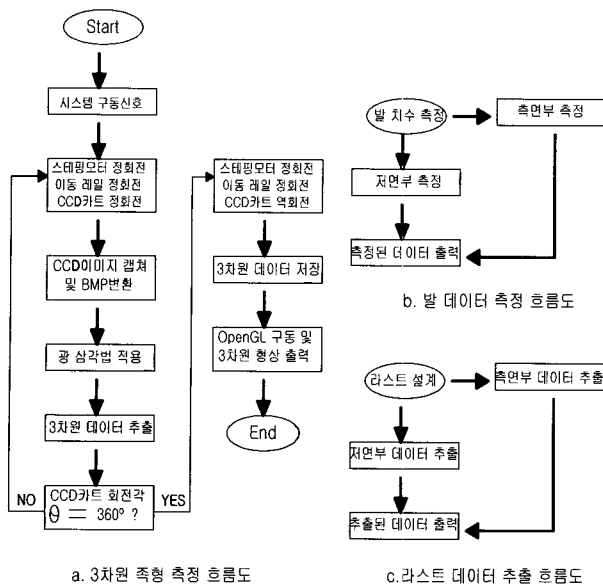


그림 5. 전체 프로그램 흐름도.
Fig. 5. Flow chart of the Software.

2. 발의 3차원 형상 측정 알고리즘 원리

광 삼각법을 이용하여 추출할 수 있는 발의 3차원 데이터는 피 측정 발에 조사되어진 레이저 라인의 광점이 영상 좌표계인 CCD 촬상 소자에 점 Q(x', y')로 투영되고, 투영된 점 Q(x', y')에서 광점의 x' 변위를 이용하여 광점이 물체좌표 P(x, y, z)를 얻을 수 있다고 설명하였다. 레이저 라인에서 광점의 위치는 일단 CCD 촬상 소자상에 투영된 영상좌표계 상의 광점을 컴퓨터 모니터(640 x 480) 상의 픽셀(Pixel)데이터로 변환하고 변환된 데이터를 다시 영상좌표계 상의 좌표로 변환시켜 구할 수 있다. 이 때, 피 측정발의 위치는 이동 레일의 중심을 원점으로 하고, CCD 광축과 레이저 광축이 이 원점에서 서로 교차하도록 CCD카드 내부에서 일정한 각 θ로 고정되기 때문에, CCD 촬상 소자에 투영되는 레이저 라인은 항상 CCD 촬상 소자의 중심에서 좌·우 어느 한쪽영역에 위치한다. 그러므로 발의 영상에서 레이저 광점을 검색할 때 유효한 범위를 지정하여 검색하면 광점의 위치를 얻는 데 시간을 절약할 수 있다. 또한, 피 측정발의 크기를 알면 더 빠른 검색이 가능하며 성인 및 어린이 발을 기준으로 일정 값 이상이나 이하는 무효한 값으로 측정 범위를 지정할 수도 있다. 발의 CCD 영상으로부터 피 측정발의 3차원 데이터를 얻는 방법은 다음과 같다.

먼저 CCD의 영상 좌표 Q(x', y')로부터 광점의 x' 변위를 구하고 x'을 이용하여 CCD와 피 측정 발과의 거리에 따라 레이저 광축상에서 직선적으로 이동하는 광점의 물체좌표 P(x, y, z)를 구한다. 발에 조사되어진 레이저 라인 상에는 무수히 많은 광점이 형성되므로 안정된 발의 3차원 형상을 위해 일정한 간격의 광점을 검색한다. 피 측정 발은 정지하고 CCD카드가 회전하면서 일정한 각도 φ마다 발의 3차원 데이터를 추출하므로 물체좌표 P(x, y, z)는 (6)과 같이 회전각 φ 만큼 보상되어 3차원 형상좌표 M(x_m, y_m, z_m)으로 변환된다.

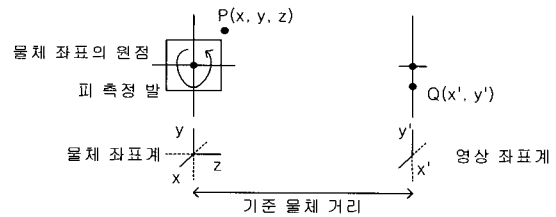


그림 6. 물체 좌표와 영상 좌표.
Fig. 6. Solid coordinate and image coordinate.

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (6)$$

그림 6은 물체 좌표와 영상 좌표사이의 관계를 보인다.

3. 발의 3차원 스캐닝 알고리즘

발의 3차원 스캐닝 알고리즘은 피 측정 발에 조사되어진 레이저 라인 영상을 CCD를 통해 획득하여 발의 3차원 형상을 추출해 낸다. 3차원 형상은 OpenGL등의 그래픽 라이브러리를 사용하여 렌더링하고 RAW 파일이나 CAD용 데이터인 DXF 파일로 변환된다. 다음은 본 논문에서 사용한 발의 3차원 스캐닝 알고리즘이다.

- [단계 1] - 레이저 라인 빔을 피 측정 발에 조사하고 스테핑 모터가 구동되어 이동 레일을 따라 CCD카드가 회전
- [단계 2] - 일정한 각도 φ간격으로 CCD를 통해 조사되어진 발의 레이저 라인 영상 획득
- [단계 3] - 획득한 영상의 레이저 라인 상에서 광점의 위치를 찾는다.
- [단계 4] - 찾은 광점의 유효성을 검사
- [단계 5] - 광점의 영상좌표계 상의 x 변위를 구하여 물체좌표를 추출하고 회전한 각도만큼 보상하여 3차원 형상좌표 M(x_m, y_m, z_m)을 구한다.
- [단계 6] - 발의 3차원 형상을 렌더링 하는 방법에는 점, 선, 면 세 가지가 있으며 본 논문에서는 사각면을 이용하여 발의 3차원 형상을 렌더링 하기 위해 구해진 3차원 형상좌표와 이웃하고 있는 다른 좌표를 이용하여 모델테이블을 작성한다. (모델테이블은 발의 3차원 형상을 렌더링하기 위한 사각면에 대한 정보와 속성을 저장한다)
- [단계 7] - 지정된 범위 내에서 일정 간격의 광점을 모두 검색할 때까지 [단계 3]부터 반복한다.
- [단계 8] - CCD카드의 회전 각도가 360°될 때까지[단계 2]부터 반복하며 회전 각도가 360°가 되어 발 스캐닝이 완료되면 모델테이블을 저장한 후 프로그램을 종료한다.
- [단계 2]에서 각도 φ는 3차원 형상으로부터 발의 주요 부위에 대한 정확한 측정을 위하여 θ로 설정하였다.
- [단계 4]에서 유효성은 기준 물체 거리와 비교되어 산출되며 측정된 3차원 좌표는 (z ≤ 기준 물체거리)을 만족하고 또한 일정 범위 내에 존재해야 한다.
- [단계 5]에서 물체좌표는 (4), (5)를 이용하여 구하며 회전한 각도에 대한 보상은 (6)을 이용하여 구한다.
- [단계 7]에서 저장된 모델테이블은 하나의 면에 대한 위치 및 속성 정보를 갖는다. 즉 면의 4개 꼭지점의 3차원 좌표와

속성으로서 면의 컬러 또는 영상 계조 정보를 갖는다. 모델 테이블은 이전 루프와 현재 루프 테이블로부터 산출한다.

IV. 소프트웨어의 알고리즘

1. 하드웨어와 소프트웨어 사이 연동 프로그램

하드웨어와 소프트웨어가 함께 연동되어 동작되는 부분은 CCD로부터 영상 신호를 컴퓨터로 보내기 위한 프레임 그래버(Frame Grabber)구동 부분과 이동 레일의 회전을 위한 스테핑 모터 구동 부분이다. 먼저 프레임 그래버(Frame Grabber)구동 흐름도는 그림 7과 같다. 그림 7에서 프레임 그래버(Frame Grabber)는 3차원 데이터를 계산하기 위한 발 영상을 CCD에서 컴퓨터로 전송해주는 역할을 한다

스테핑 모터 구동부는 자체 제작한 PCI (PLX9050)보드와 AT89C2051 보드를 사용하여 스테핑 모터를 제어하며 컴퓨터와 인터페이스(Interface)하기 위하여 WDM(Windows Driver Model)을 사용해서 디바이스 드라이버를 작성하였다. 또한 동적 연결을 위한 DLL(Dynamic Link Library)을 작성하여 본 논문의 3차원 측정 시스템 소프트웨어에서는 단순히 DLL 함수를 호출해 스테핑 모터를 구동시킨다.

2. 3차원 데이터 추출 및 저장

발의 3차원 데이터를 추출하기 위해서는 프레임 그래버와 스테핑 모터 제어 프로그램이 실행되어 얻어진 발 영상을 3차원 데이터를 추출하기 위해 Visual C++를 실행한 Window 메뉴에서 Upper 3D scanning 버튼을 클릭하게 되면 On3dscane() 함수가 실행된다. On3dscane() 함수는 프레임 그래버와 스테핑 모터제어뿐만 아니라 발의 3차원 데이터를 추출하는 함수인 On3dscaneSub()를 호출하게 된다.

On3dscaneSub() 함수는 광 삼각법을 이용하여 발 영상으로부터 3차원 데이터를 추출해낸다. 그림 8은 발의 3차원 데이터를 측정하는 흐름도를 보인다

3. 3차원 형상 출력 및 발 데이터 추출

3차원 형상 출력은 OpenGL을 사용하여 렌더링하며 추출된 3차원 데이터를 자연스럽게 이어주기 위해 B-spline 곡

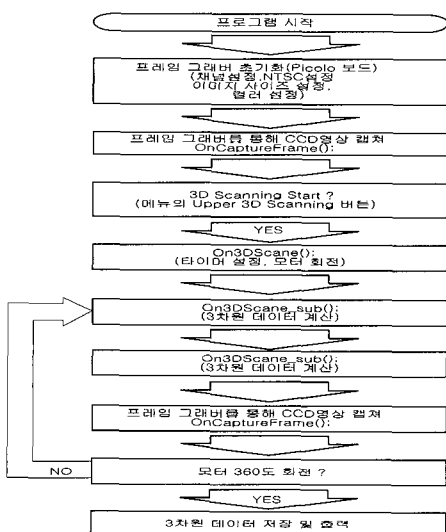


그림 7. 프레임 그래버(Picolo 보드)의 흐름도.
Fig. 7. Flow chart of Frame Grabber Driver.

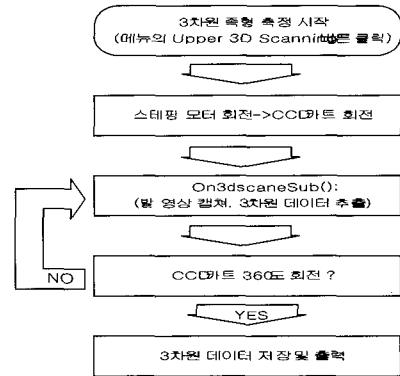


그림 8. 발의 3차원 데이터 측정 흐름도.

Fig. 8. Flow chart of 3D Foot Data.

선을 이용한다. B-spline 곡선은 발의 3차원 형상에서 자칫 데이터가 유실되었을 때 충분히 보상할 수 있으며 또한 제어하기가 쉬운 장점이 있다. 발 데이터는 저장되어진 3차원 발 형상의 모델 테이블을 이용한다. 먼저 모델 테이블에서 조건에 맞는 발의 3차원 좌표를 구하고 이 좌표와 실제 통계치를 이용하여 유효한 발의 주요 부위 데이터를 산출한다. 발 데이터 추출은 두 단계로 이루어진다.

첫 번째 단계는 발의 저면부 데이터를 추출한다.

두 번째 단계는 발의 측면부 데이터를 추출하여 라스트 설계 데이터로 이용하였다.

V. 실험 및 결과

1. 발의 3차원 형상 측정실험

발의 3차원 데이터 측정시 오차가 발생할 수 있으며 오차의 원인은 다음과 같다. [5]

- 레이저 빛의 부분적인 폐색
- 발 표면에서 레이저 빛의 퍼짐
- CCD 왜곡 현상
- 캘리브레이션 오차

본 논문에서는 위의 오차원인중 레이저 빛의 부분적인 폐색, 발 표면에서 레이저 빛의 퍼짐에 대한 오차는 보조광 원인 광자바라를 사용하여 저감시킬 수가 있으며, 광자바라 광원의 세기는 실험을 통한 시행착오 방법으로 결정하였다.

또한 CCD 왜곡현상, 캘리브레이션 오차의 원인이 되는 레이저 라인 폭에 대한 빛의 밝기 불 균일성은 균일한 빛의 밝기 선 폭을 가지는 Non-Gaussian Line 레이저를 사용하여 발생 가능한 오차를 저감시킬 수가 있다. 그림 9는

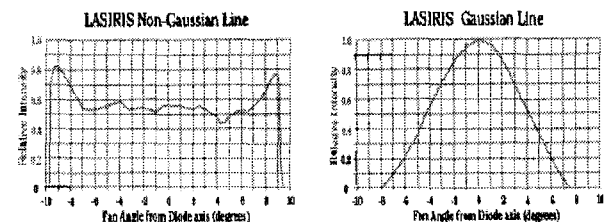


그림 9. 레이저의 Non-Gaussian 곡선과 Gaussian 곡선.
Fig. 9. Laser of Non-Gaussian curb and Gaussian curb.

표 1. 레이저 특성.

Table. 1. Specification of Laser.

Laser	파장수	670 nM
	정격전압 및 전류	12 [V], 2.5 [A]
	소비 전력	MAX 500 [mW]
	제조사	LASIRIS

표 2. CCD 특성.

Table. 2. Specification of CCD.

CCD 특성	
화소수	41만 화소 (흑백)
초점길이	$f=4mm$
촬상소자	1/4 "
송신방식	NTSC 방식
정격전압 및 전류	DC12 [V], 150 [mA]
규격	CCD 가로길이 $\alpha=4.8 mm$ CCD 세로 길이 $\beta=3.6 mm$
제조사	SONY

표 3. 시스템 환경.

Table. 3. System parameter.

파라미터	사양
PC 사양	인텔 펜티엄 III 850MHz, Windows 98
구현 S/W	Visual C++ 6.0
영상 크기	640×480(N=640, M=480)의 흑백 영상
카메라 규격	초점 길이 $f=4mm$ 크기 : 가로 $\alpha=4.8mm$. 세로 $\beta=3.6mm$
CCD 광축과 레이저 광축사이 각	$\theta=17.5^\circ$.

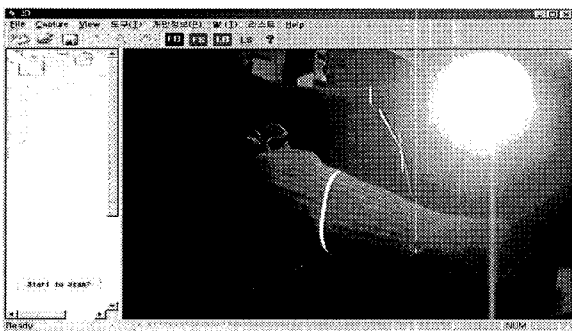


그림 10. 발에 조사되어진 레이저 라인 영상.

Fig. 10. Laser line image projected on the Foot.

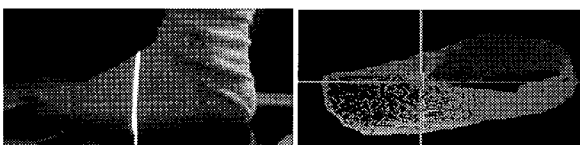


그림 11. 피 측정 발(좌)와 측정된 발의 3차원 형상(우).

Fig. 11. Photography of the measured Foot(left) and the 3D Foot Data(right).

레이저 라인을 나타내며, 표 1은 실험에서 사용한 레이저 특성, 표 2는 CCD 특성을 각각 나타낸다.

표 3은 본 논문에서 사용한 시스템 환경을 나타내고 있다. 발의 3차원 형상 측정은 스텝핑 모터의 구동으로 이동 레일에 설치된 CCD카트가 피 측정 발 주위를 360°회전하면서, 조사되어진 발의 레이저 라인 영상을 획득하고 광 삼각법을 이용해서 발의 3차원 형상을 추출한다. 추출된 3차원 형상은 다시 CNC 가공에서 사용할 수 있도록 DXF 파일로 변환되어 저장된다. 그림 10은 CCD카트가 회전하면서 조사한, 발의 레이저 라인 영상을 모습을 보여주고 있다.

광 삼각법으로 발의 3차원 형상을 측정하고 OpenGL로 랜더링한 결과를 그림 11에서 보여준다.

2. 측정된 발의 데이터

발의 저면부는 시스템에서 3차원 측정이 완료되고 모델 테이블이 작성되면 발의 주요 부위인 발의 길이, 폭, 볼 거스(Ball Girth)등 라스트의 중창(insole) 설계시 사용되는 데이터를 산출하게 된다. 그림 12는 측정된 발의 3차원 데이터로부터 측정된 발의 저면부 측정 결과이다. 그림 13은 발의 측면부 측정 결과를 나타낸다.

표 4는 길이 255mm, 폭 120mm인 동일한 발을 10회씩 직접 사람이 손으로 측정한 데이터와 3차원 측정기에서 추출한 데이터를 나타내고 있다.

이 결과로부터 사람이 직접 손으로 측정한 데이터(표준편차 0.7, 1.5)보다 3D 측정기에서 추출한 데이터가(표준편차 0.4, 0.8) 정확성이 높음을 알 수 있다.

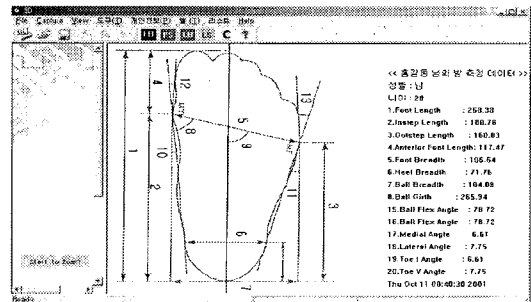


그림 12. 3차원 데이터로부터 측정된 발의 저면부 측정.

Fig. 12. Foot Measurement Data extracted from the 3D Foot Data.

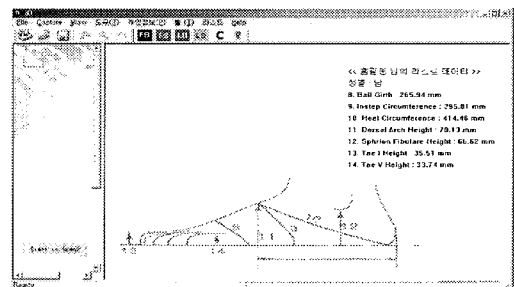


그림 13. 3차원 데이터로부터 측정된 발의 측면부 측정 결과.

Fig. 13. Foot Measurement Data lateral from the 3D Foot Data.

표 4. 손과 3D측형으로 측정된 발 데이터(단위 : mm).
Table 4. Hand and 3D Foot System Measurement of Foot Data (Unit : mm).

측정횟수		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균	표준 편차
손	길이	253	255	256	255	254	254	257	255	255	255	254.3	0.7
	폭	120	117	120	117	120	115	120	116	120	120	118.5	1.5
3D	길이	254	254	255	254	255	255	255	254	255	255	254.6	0.4
	폭	120	120	120	120	118	120	116	118	120	120	119.2	0.8

VI. 결론

발의 형태는 개인에 따라 많은 차이가 있으며 이러한 차이를 충분히 고려해야하는 맞춤형 신발 제작에는 정확한 발의 데이터가 필수적이다.

본 논문에서는 이러한 맞춤형 신발 제작을 위해 광 삼각법을 적용한 3차원 측정 시스템을 개발하였으며, 측정된 발의 3차원 형상에서 신발 제작 과정 중 라스트를 설계하는데 필요한 발의 저면부 및 측면부의 주요 부위 데이터를 산출해 냈다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 기존의 접촉식으로 발을 측정하는 시간인 15~20분과 비교할 때, 발의 3차원 형상을 측정하여 라스트 설계를 위한 데이터를 추출하는 데 걸리는 시간을 1분정도 소요됨으로 상당히 빠른 시간 가진다.

둘째, 현재 라스트 설계는 사람의 손으로 직접 발 데이터를 측정하므로 많은 오차가 발생한다. 이러한 오차 발생을 1[mm]이하로 줄일 수가 있었다

마지막으로, 본 논문에서 사용한 시스템은 고객 주문형 발에 대한 맞춤형 신발 제작뿐만 아니라, 기형적인 발에 있어서도 그 3차원 정보를 정확히 측정할 수 있으므로 다양한 신발을 제작할 수 있음을 기대할 수 있다.

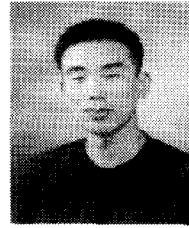
참고문헌

- [1] 이재운·김승우 “광삼각법에 의한 비접촉식 변위측정계의 설계”, 대한 기계학회 논문집 제 16 권 제16호, pp. 1030-1036, 1992.
- [2] J.-A. Beraldin, Francois, L. Courmoyer, G. Godin and M. Rioux "Active 3D sensing", *Scola Normale Superiore*, Pisa 10: 22-46; 2000. NRC 44159. (Invited paper.).
- [3] F. W. DePiero and M. M. Trivedi, 3-D computer vision using structured light: Design, calibration and implementation issues," *Advances in Computers*, vol. 43, pp. 243-278, 1995.
- [4] M. B. Stegmann, R. Fisker "On properties of active shape models", March 2nd 2000.
- [5] G. Sansoni, M. Carocci, R., Rodella, "3D vision based on the combination of gray code and phase shift light projection", *Applied Optics*, 38(31) 6565-6573.



박인덕

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



안형희

1975년 12월 1일생. 2001년 공주대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 재학. 현재 BK21 RA조교.



송강석

1974년생. 1999년 공주대학교 전기공학 과졸업. 2002년 공주대학교 전기전자 정보공학과 대학원 졸업. 2002년 현재, (주)디지털 쥘이 근무.



김시경

1964년 5월 15일생. 1986년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1994년 Texas A&M University 졸업(박사). 1994년-현재 공주대학교 정보통신 공학부 부교수.



이희만

1961년 8월 5일생. 1984년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1996년 Texas A&M Univ 공학박사. 현재, 서원대학교(청주) 컴퓨터정보통신 공학과 부교수.