

족압 균등화 FFD(UFPFFD)를 이용한 라스트 설계

A Last Design Utilizing an Uniform Foot Pressure FFD(UFPFFD)

김 시 경*, 장 유 성, 이 희 만
(Sikyung Kim, Yusung Jang, and Heeman Lee)

Abstract : This paper presents a 3D last design system utilizing an uniform foot pressure FFD method. The proposed uniform foot pressure FFD(UFPFFD) is operated on the rule of foot pressure unbalance analysis and FFD. The deformation factor of the UFPFFD is constructed on the FFD lattice with the foot pressure unbalance analysis on the measured 3D foot bottom shape. In addition, the control points of FFD lattice are decided on the anatomical point and the foot pressure distribution. The 3D last design result obtained from the proposed UFPFFD is saved as a 3D dxf data format. The experimental results demonstrate that the proposed last design guarantees the balanced foot pressure distribution against on the conventional last design method.

Keywords : foot pressure, UFPFFD(Free Form Deformation), 3D(3-Dimensional) data

I. 서론

인체의 발은 연령별 성별에 따라 서로 다른 개개인의 특징을 가지고 있다. 그러나 일반적으로 이러한 특징을 반영하지 않은 라스트를 이용하여 신발을 제작하기 때문에, 이와 같이 제작되어진 신발은 보행인의 발에 외반모지, 안깥다리, 티눈, 무릎통증과 같은 질병을 유발하는 문제점을 갖고 있다[1,2,3]. 따라서 신발 제작시 개인의 개별 발 특징을 분석하고 이를 신발 설계에 반영하는 것이 중요한 요소로 대두되고 있다[4,5]. 그러나 기존 라스트는 보행인의 발에 대한 3차원 측정 데이터를 이용하지 않고 라스트 제작인의 손과 눈만을 의존하여 설계되기 때문에, 보행인의 발에 적합하지 않게 설계되는 문제점이 있다[6,7,8]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 각 개개인의 발을 측정한 3차원 형상정보와 발의 저면부 족압 분포를 분석하여 보행인의 발에 맞는 라스트 및 신발을 제작해야 한다[7,8]. 본 연구에서는 개인별 발의 특성에 맞는 라스트를 설계하는데 있어 중요 요소인 발 저면부의 테두리곡선, 발 단면 곡선 데이터, 족압 분포 및 족압 편중 상태를 3차원 족형 측정 시스템 및 족압 측정기를 이용하여 계측한다.

이렇게 계측한 개인별 족압 분포를 분석한 후, 발에 나타나는 족압 편중을 감소시켜 발전체에 족압이 균등하게 나타나지게 위하여 족압 불균형 해소를 위한 족압 균등화 FFD 기법을(Uniform Foot Pressure FFD, UFPFFD) 제안하였다. 또한 족압 균등화 FFD 기법을 이용한 3차원 라스트 설계 기법을 제안 하였으며 족압 측정 실험을 통하여 UFPFFD의 유효성을 입증 하도록 하겠다.

II. 3차원 족형데이터 및 족압 데이터 합성

보행인이 보행 중 착지상태에서 발 저면부에 나타나는

족압은 족압 센서를 이용 착지상태의 족압 양을 측정함으로 계측 할 수 있다[5,6,8].

그림 1(a)는 착지 상태에서 발 저면부에 나타나는 족압을 계측한 결과를 나타내고 있으며, 이렇게 측정한 족압 데이터와 3차원 족형 데이터와의 상관관계를 살펴보기위하여, 족압 측정으로 얻어진 족압 데이터를 3차원 족형 데이터로부터 얻어진 발저면부 윤곽선 데이터 위에 그림 1(b)와 같이 합성 시켰다. 이와 같이 얻어진 족압 분포 데이터 그림 1을 살펴보면, 점으로 표시되어지는 부분은 족압 센서를 통하여 족압값이 나타나는 영역을 보이며, 발 윤곽선내의 a, b, c, d 영역 에서는 족압이 나타나지 않음을 알 수 있다.

III. Uniform Foot Pressure FFD(UFPFFD)를 이용한 라스트 설계

1. 라스트 설계

신발을 제작하는 과정에서 가장 기본이 되는 것이 라스트(鞋型, Last)이다.

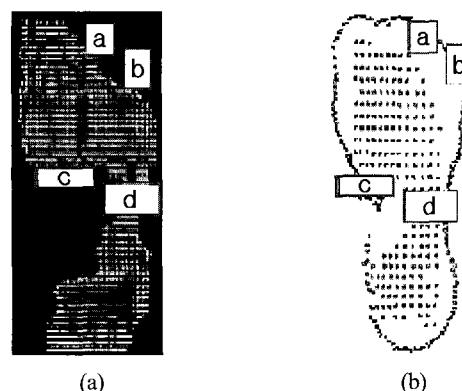


그림 1. (a) 측정 족압 데이터 (b) 3차원 족형 데이터위에 합성시킨 족압 분포.

Fig. 1. (a) Measured foot pressure data (b) Foot pressure distribution on the 3D foot measurement data.

* 책임 저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 8. 16. 채택 확정 : 2004. 11. 20.

김시경 : 광주대학교 정보통신공학부(skim@kongju.ac.kr)

장유성 : 한국천문연구원(haru24@kao.re.kr)

이희만 : 서원대학교 컴퓨터정보통신학부(hlee@seowon.ac.kr)

이 라스트를 제작하기 위해서는 발의 저면부 및 측면부 등 발에 대한 3차원 측정 정보가 필요하다. 이를 정보를 이용하여 제작된 라스트 형상은 발의 형상과 정확하게 일치하지 않는다. 따라서 3차원 발 측정 데이터를 기초로 하여 라스트 설계시, 3차원 발 형상 데이터 중 어느 부분을 줄이고 늘이는가에 따라 설계된 라스트로 제작된 신발의 기능성 및 편안성에 큰 영향을 미친다[2,3,4,6]. 본 논문에서는 이를 라스트를 설계하는데 있어 중요 요소인 저면부와 측면부의 정보 즉, 중창(Insole)곡선과 단면 곡선 데이터를 3차원 측정 측정 시스템을 이용 측정한다. 그 후 족압 측정기를 이용 계측한 족압 분포 데이터와 발 저면부 위치 데이터를 합성하여 족압의 불균형이 나타나는 영역(그림 1의 a, b, c, d 영역)의 위치 정보를 추출 한다. 그 후 족압 불균형을 감소시키도록 UFPFFD의 변형 팩터(deformation factor)를 설정한다.

2. FFD(Free Form Deformation)

FFD는 1986년 Thomas W. Sederberg에 의해 처음 제안되었으며 3차원 애니메이션 제작시 물체의 움직임 동작을 처리하는 기법으로 널리 이용되고 있다[8]. FFD는 그림 2에 보여진 것과 같이 외부의 격자점 블록과 내부의 객체(발 형상)에 대한 관계를 (1)과 같이 정의하고 외부의 격자점의 위치를 변형시켜, 내부 객체 형태를 변형시키는 3차원 형상 변형 기법이다.

그림 2에서 3차원 측정 발데이터와 함께 보여진 모든 제어점의 좌표는 좌표(x, y, z)상에서 0에서 1사이의 좌표로 정규화하면 제어 격자점 안에 놓이는 모든 3차원 발 계측 데이터는 좌표(x, y, z)상에서 0에서 1사이의 좌표로 정규화된다. 즉 그림 3에서 제어점 P_{ijk}는 X, Y, Z에 대해서 다음 식으로 표현된다[8].

$$P_{ijk} = Q_0 + \frac{i}{m} X + \frac{j}{n} Y + \frac{k}{l} Z \quad (1)$$

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

$$Q = Q_0 + {}_x X + {}_y Y + {}_z Z \quad (2)$$

여기서 좌표(x, y, z)상 $0 \leq x, y, z \leq 1$.

정규화된 객체인 발 표면위 임의의 점 Q는 FFD 변형 후 점 Q_{ffd}로 변하고 이 좌표는 x, y, z 좌표계에서 다음식으로 구할 수 있다.

$$Q_{ffd} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^l P_{ijk} B_i^m(s) B_j^n(t) B_k^l(u) \quad (3)$$

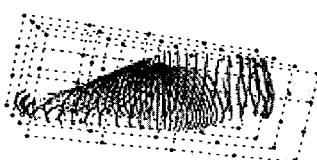


그림 2. 제어 격자점.

Fig. 2. Control lattice points.

여기서 $B_i^m(s)$, $B_j^n(t)$, $B_k^l(u)$ 는 n차의 Bernstein 다항식이며 $B_i^m(s) = \binom{i}{m} s^m (1-s)^{i-m}$, $\binom{i}{m}$ 은 이항 계수(Binomial Coefficients)이고 m은 차수이다.

본 연구에서는 (3)을 이용하여 3차원 측정 발 데이터에 대하여 FFD 변형을 취한 후 3차원 라스트를 설계하였다. (3)의 제어점 P_{ijk} 값들은 3차원 측정 발데이터로부터 얻은 발저면부 데이터와 발저면부 족압 분포 관계를 분석한 후 족압 불균형이 해소 되도록 설정하였다.

3. 족압 불균형 보상을 위한 UFPFFD

그림 1에 보여진 발의 윤곽선 내에 족압이 나타나지 않는 영역 a, b, c, d에 대하여 라스트 저면부 설계시 이 부분 영역에 대하여 족압이 균형되게 나타날 수 있도록 설계 한다면 a, b, c, d 영역 이외에 나타나는 족압 편중을 분산시켜 발에 안락감을 제공 할 수 있다. 본 논문에서는 a, b, c, d 이외 영역의 족압 편중을 감소시키고 발 전체에 족압을 균등하게 하기 위하여 UFPFFD(Uniform Foot Pressure Free Form Deformation)를 이용한다. a, b, c, d 영역의 족압 불균형을 보상하는 라스트를 생성하기 위하여 먼저 그림 3에 보인 것과 같이 UFPFFD를 위한 3차원 격자점(x축, y축, z축)을 생성하여야 한다. 이를 격자점은 3차원 발 계측 정보 및 라스트 설계안을 근거로 설정하여야 한다. 먼저 3차원 격자점 중 x축, z축상에 놓이는 격자점들은 발의 저면부와 라스트 저면부 해석을 통하여 얻어냈다. 그림 3(a)는 3차원 족형 측정기를 사용하여 계측한 발 저면부 윤곽선을 그림 3(b)는 계측된 발의 저면부로부터 UFPFFD를 이용하여 생성한 라스트 저면부를 보이고 있다.

그림 3(a)의 발 중심선은 x축과 일치하며 그림 3(b)의 라스트 중심선도 역시 x축과 일치하도록 설정한다. 그 후, 그림의 x축과 일치하는 발 중심선을 따라 5개의 UFPFFD 격자 포인트(1, 2, 3, 4, 5)를 추출한다. 포인트 1과 5는 발의 시작점과 끝점을 의미하기 때문에 반드시 UFPFFD 격자 박스에 포함되어야 한다.

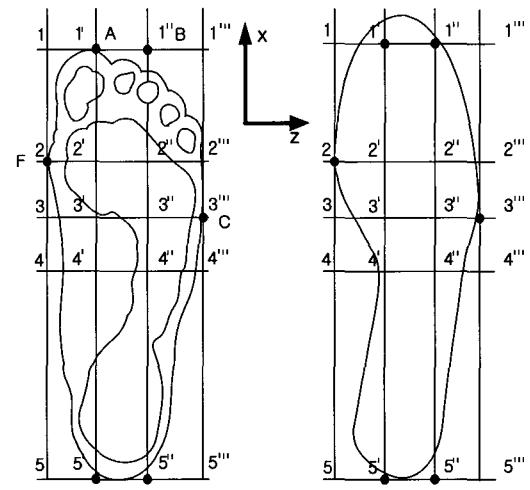


그림 3. 발 데이터 저면부 UFPFFD 격자점 구성.

Fig. 3. UFPFFD control points on foot bottom.

또한 포인트 2는 발의 해부학적 중요 포인트인 MT(Mesatarsa)포인트이며, 보행 시 발이 접혀지고 평지는 중심축 역할을 하므로 UFPFFD 격자점에 포함되어야 한다.

포인트 3은 발의 F(Mesafibula)포인트로 발의 해부학적 중요 포인트이며 MT 포인트와 함께 보행 시 발이 접혀지고 평지는 중심축 역할을 하므로 UFPFFD 격자점에 포함하였다. 포인트 4는 라스트 설계시 발아치 부분의 중심점 역할을 하므로 UFPFFD 라스트 설계시 중요 포인트로 포함되었다. 이들 점들은 그림 3(a),(b)에서 보는 바와 같이 라스트 중창 및 발 3차원 발 데이터 양쪽에서 모두 일치하는 점이다. 그림 3의 x축과 수직하게 3차원 측정 족형 데이터의 z축을 설정하였으며 z축을 따라 4개의 UFPFFD 격자 포인트(n, n', n'', n''' 여기서 $n=1,2,3,4,5$)를 설정하였다. 그림 3의 발 데이터 저면부 UFPFFD 격자로만 FFD 변형을 주면 발 데이터 변형의 오차가 크기 때문에 그림 4와 같이 4개의 영역(A,B,C,D)로 격자점 영역을 좀더 분할하여 UFPFFD 변형 해상도를 증가 시켰다. 그 후, 3차원 발 형상에서 축출한 발 윤곽선과 라스트 저면부 데이터로부터 그림 4의 A, B, C, D 영역 각각의 격자 포인트(1, 2, 3, ..., 3,,, 4,,, 5,,,)를 생성한다. 아래 표는 그림 4에서 a, b, c, d 영역이 포함되어지는 UFPFFD 격자영역을 분류하여 표로 도시하였다. 그림 5(a)는 3차원 족형 측정기를 사용하여 계측한 발 측면부이며 그림 5(b)는 계측된 발의 측면부로부터 UFPFFD를 이용하여 생성한 라스트 측면부를 보이고 있다.

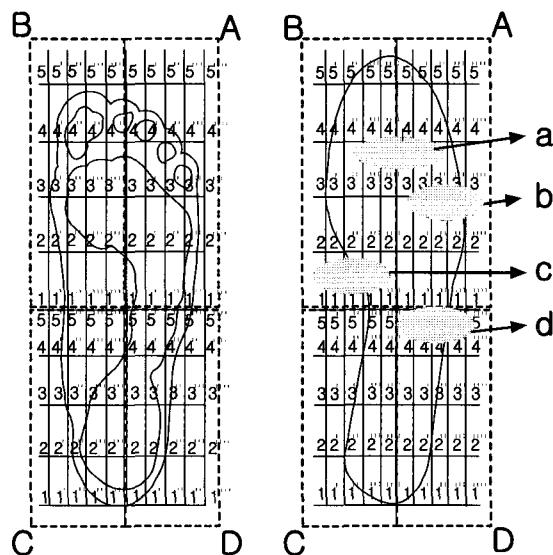


그림 4. UFPFFD 하기 위한 격자점들의 구성.

Fig. 4. Control points construction for UFPFFD.

표 1. a, b, c, d 영역이 포함되어지는 UFPFFD 격자영역.

Table 1. UFFFDF control points territory.

	a	b	c	d
대응되는 UFPFFD 격자점	A_4, B_4'''	A_3', A_3''	B_2'', B_2''', A_2	A_1-1'', B_1'', D_5-5'', C_5'''

라스트 측면도 설계에 사용되는 UFPFFD 제어점은 라스트 저면부 설계에 사용되는 UFPFFD 제어점과 일치하여야 한다. 따라서 이를 그림에서 나타난 UFPFFD 격자점(A, C, F, D, B)은 그림 3의 발 저면부 5개의 UFPFFD 격자 포인트(1, 2, 3, 4, 5)와 일치하도록 설정 하였다. 이는 측면도가 라스트의 중심선을 따라 절단하였을 때 형성되는 단면이라는 사실을 염두에 두면 쉽게 이해될 것이다. 3차원 족형 데이터 및 족압 분포데이터에서 3차원 라스트 데이터를 생성하기 위해서는 UFPFFD 격자점 설정 값들을 이용 발 데이터에 UFPFFD를 적용하여야 한다.

여기서 FFD의 Bernstein 다항식으로 족압 불균형을 해소하는 방향으로 격자점의 위치가 변할 때 그 격자점 주위의 점들의 위치가 격자점에 대응하여 자연스럽게 변형 된다. 그림 6은 본 논문에서 제안한 UFPFFD를 이용하여 구현한 라스트 설계 기법을 순서대로 나타내고 있다.

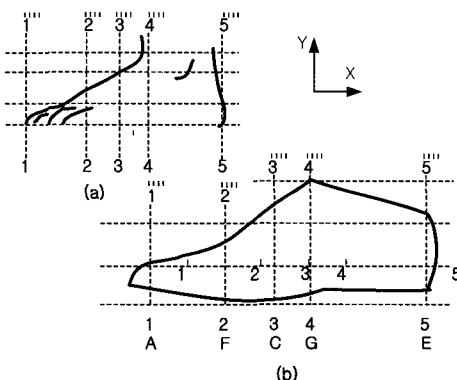


그림 5. 발 데이터의 측면부를 UFPFFD하기 위한 격자점들의 구성.

Fig. 5. UFPFFD control points on lateral sides of foot.

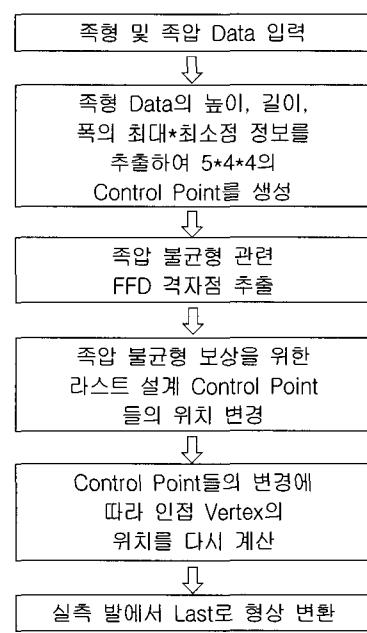


그림 6. UFPFFD를 이용한 라스트 설계 순서도.

Fig. 6. Flowchart for UFPFFD last design method.

IV. 실험 및 결과

본 실험실에서 개발한 3차원족형 측정기 KOSCAN과 임베디드 측압 측정 장치를 이용하여 족형 및 족압 데이터를 계측하였다[10]. 그 후, UFPFFD를 적용하여 설계한 신발에 대한 족압 분포를 계측 하였으며 또한 족압 분포의 균형을 고려하지 않은 기존 신발에 대하여 족압 분포를 3차원 족형 데이터와 함께 계측하였다.

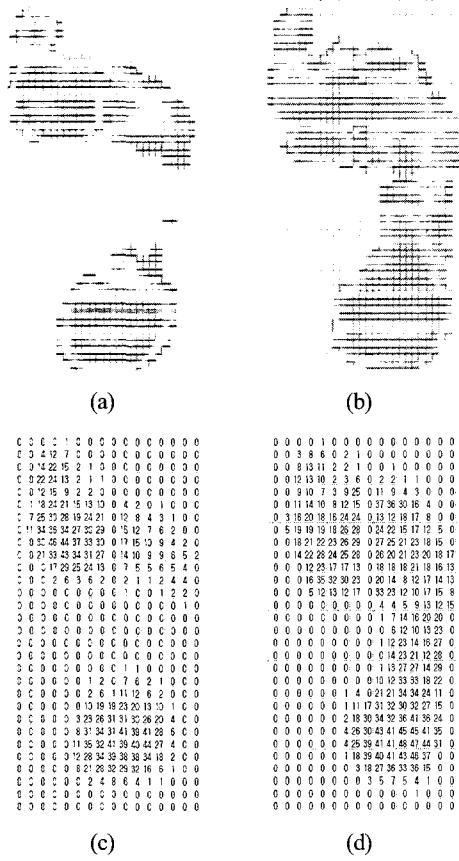


그림 7. (a) UFPFFD를 이용하여 설계한 구두 족압 분포 (b) 기존 구두 족압 센서 출력값 (c) UFPFFD를 이용하여 설계한 구두 족압 값 (d) 기존 구두 족압 센서 출력값.

Fig. 7. (a) Foot pressure graphic view for shoes designed with UFPFFD (b) foot pressure graphic view for conventional shoes (c) foot pressure measurement data for shoes designed with UFPFFD (d) foot pressure measurement data for conventional shoes.

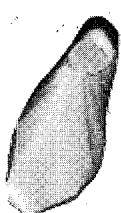


그림 8. UFPFFD 적용한 라스트의 3차원 형상.

Fig. 8. Last 3D view designed with UFPFFD.

그림 7(a),(b)는 UFPFFD를 이용하여 설계한 구두 및 기존 구두 각각에 대하여 족압을 그래프로 나타낸 그림이다. 그림 7(c)는 UFPFFD를 이용하지 않은 경우, 그림 7(d)는 UFPFFD를 이용하여 설계한 경우에 대하여 족압 측정 데이터 값을 나타내고 있다.

그림 7(a) 및 (c)에서 발아치 및 발 중간부분(그림 4의 c, d 영역)에서 족압값이 영(zero)의 값을 가지며 상단 좌측부분에(임지발가락부분, 그림 4의 a영역) 족압이 집중되고 있음을 알 수 있다. 반면 그림 7(b),(d)는 UFPFFD를 적용한 후 상단 좌우측에(발가락 부분들, 그림 4의 a,b영역) 족압이 균등히 분산되어지고, 발아치 및 발 중간부분(그림 4의 b,c 영역)에서도 족압 값이 영이 아닌 값을 나타남을 보이고 있다. 족압 값이 영이 아닌 값을 보이는 FSR 센서의 수를 각각 비교해보면 기존 구두 경우에 전체 406개의 족압 센서중 137개(28.5%)에서 영이 아닌 족압값이 나타나고 있다. 이에 반하여, UFPFFD를 이용하여 설계한 경우는 214개로(48.5%) 약 16%가 증가했다. 또한 UFPFFD를 이용하여 설계한 경우 족압 출력 값의 합이 영역 a에서는 266%, 영역 b에서는 495%, c가 218%, d는 2179%가 증가됨을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 UFPFFD를 이용하여 설계한 구두가 족압 균형을 고려하지 않은 구두에 비하여 피시험자에 발에 적합하도록 설계되어 있음을 보이는 것이다. 이상과 같은 데이터를 가지고 족압 불균형을 제거하기 위한 UFPFFD 라스트 설계 안을 적용하여 3차원 발 데이터에 적합한 라스트를 설계한 것을 그림 8에 보이고 있다. 이 그림은 OpenGL을 사용하여 3차원 라스트 점군 데이터를 랜더링 처리하여 나타 낸 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 3차원 족형 측정기와 족압 측정 장치로부터 얻어진 3D 발 데이터 및 족압 데이터를 이용하여 족압 불균형을 해소하는 UFPFFD 라스트 설계기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 라스트 설계기법은 3차원 측정 발 데이터에 족압 데이터를 합성한 후 족압 불균형을 제거 하도록 UFPFFD를 3차원 족형 데이터에 적용하는 방법이다. 보행인의 발에 대한 3차원 측정 데이터를 이용하지 않고 라스트 제작인의 손과 눈만을 의존하여 제작된 기존의 라스트와 UFPFFD 라스트를 이용하여 제작한 구두에 대하여 족압 비교 실험을 수행하였다. 그 결과 기존 설계법으로 제작된 구두에 대하여 UFPFFD를 적용한 구두에서 발바닥 상단 좌우측(발가락 부분들) 족압이 균등히 분산되어지고, 발아치 및 발 중간부분에서도 족압 값이 영이 아닌 값을 나타남을 확인 할 수 있었다. 또한 기존 라스트로 설계한 신발의 족압 분포에서 족압 값이 영이 아닌 FSR 센서의 수를 비교해보면 기존 라스트를 이용하여 제작된 신발의 경우 전체 406개의 센서중에서 137개인 반면, UFPFFD를 이용하여 설계한 경우는 214개로 약 16%가 증가했다. 영의 족압값이 나오는 영역의 족압 측정치 값의 합을 비교해보면 a영역에서 266%, b영역은 495%, c영역은 218%, d영역은 2179%가 증가했다. 이와 같은 차이는 UFPFFD를 이용한 구두가 피시험자 발에 적합하도록 설계되어 있음을 보이는 것이다.

참고문헌

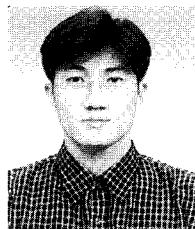
- [1] 이기훈, 정민근, 김태복, “족저 압력분포 평가를 위한 foot track system 개발”, 대한인간공학회지 vol. 11 no. 2, pp. 23~33, 1992.
- [2] A. Bataller, E. Alcantara, J. C. Gonzalez, A. C. Garcia., “Influence of anatomical elements in the foot pressure distribution”, *Proc.of the 5th Symp. on Footwear Biomechanics*, pp. 56~59, 2001.
- [3] 곽창수, “운동화 중저의 경도가 주행시 발바닥의 압력 분포와 충격흡수에 미치는 영향”, 학위논문(박사)-서울 대학교 대학원, 1993.
- [4] P. Buckle and A. Fernandes, “Mattress evaluation-assessment of contact pressure, comfort and discomfort”, *Applied Ergonomics*, vol. 29, no. 1, pp. 35~39, 1997.
- [5] 김택훈, 노정석, “Parotec System 을 이용한 족저압 측정의 신뢰도” 한국전문물리치료학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 35~41, 2001.
- [6] 한국신발연구소, “신발용어집”, 1990.
- [7] K. C. Adrian(Brown shoe Company), “American last making”, 1, 1991.
- [8] URL: <http://www.techstorm.co.kr>, FSR Guide
- [9] T. W. Sederberg and S. R. Parry, “Free-from deformation of solid geometric models”, *Computer Graphics*, vol. 20, no. 4, pp. 151~160, 1986.
- [10] 김시경 “광 삼각법을 이용한 비접촉 3차원 족형 측정 시스템 설계”, 제어·자동화·시스템공학 논문지 제9권5호, pp. 368~373, 2003.

김 시 경



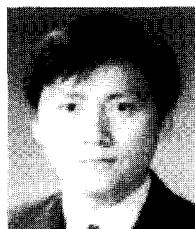
1964년 5월 15일생. 1986년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동대학원 졸업(석사). 1994년 Texas A&M University 졸업(박사). 1994년~현재 공주대학교 정보통신공학부 부교수.

장 유 성



1976년 12월 21일생. 2002년 공주대학교 전기공학과 졸업. 2002년~현재 동대학원 전기전자정보공학과 석사. 현재 천문연구원 연구원.

이 희 만



1961년 8월 5일생. 1984년 고려대학교 전자공학과 졸업(학사). 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1994년 Texas A&M University 졸업(박사). 현재 서원대학교 컴퓨터 정보통신공학과 부교수.