

# 인덴테이션 테스트 시스템을 이용한 신체의 탄성도 맵 및 3D 프로파일 측정 Measuring the elasticity map & 3D-profile of human body with the indentation test system

\*신민철<sup>1</sup>, 이강인<sup>1</sup>, 변정원<sup>1</sup>, #주종남<sup>1</sup>

\*M. C. Shin<sup>1</sup>, K. I. Lee<sup>1</sup>, J. W. Byun<sup>1</sup>, #C. N. Chu(cnchu@snu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Indentation test system, elasticity distribution map, 3D-profile map

## 1. 서론

사회가 발전하고 생활이 윤택해짐에 따라 개인의 건강과 안락함을 추구하는 웰빙 문화가 대표적인 사회적 분위기로 대두되고 있다. 이러한 건강에 대한 문화적 관심은 인체 상태를 진단하고, 치료 또는 치료 보조를 제공하는 의료기기 및 의료보조 기기의 수요 증가로 이어지고 있다. 이러한 수요 변화에 따라 의료기기 분야에 대한 연구와 기술개발이 활발해 지고 있다.

안마 의자는 건강에 관련된 제품들 중에서도 가정 및 공공시설에 많이 보급되어 손쉽게 이용할 수 있는 제품이다. 안마라는 복잡하고 정교한 기능을 구현하기 위해서는 높은 수준의 메카트로닉스 기술, 제어 기술, 인체 공학 기술 등이 요구된다. 하지만 현재까지 시장에서 유효성을 발휘하고 있는 기술로서는, 각 사용자의 신체 조건에 따라 그에 알맞은 안마를 제공하는 맞춤형 안마의 실현은 어려운 실정이다. 보다 지능적이고 효율적인 안마를 위해서는 안마 의자의 특성에 따라 사용자가 맞추어 주는 것이 아니라, 사용자에게 따라 안마 의자가 사용자의 인체 정보를 얻어 맞춤형 안마를 제공하는 기술이 구현되어야 한다. 이러한 기술 구현을 위해서는 사용자의 체형과 근육의 탄성도 및 골격의 위치 정보를 측정하고 이를 바탕으로 안마 모드를 작성하여 적절한 안마를 제공하여야 한다. 본 연구에서는 인덴테이션 테스트 시스템(Indentation test system)을 이용하여 사용자의 등 3D 프로파일 및 신체 탄성도를 측정함으로써 효과적인 안마를 위한 사용자 신체 정보 맵을 작성하였다.

인덴테이션 테스트는 물질의 기계적인 특성을 알고자 할 때 자주 사용하는 방법이다.<sup>1,2,3,4</sup> 금속의 탄성도와 응력에 의한 변형률 측정<sup>1</sup>, 인체 조직의 탄성도 측정을 통한 근질환 진단<sup>2</sup>, 피부 노화에 따른 피부조직의 탄성도 변화 측정<sup>3</sup> 등의 연구에 사용되고 있다. 이러한 연구에서 사용한 인덴테이션 테스트 시스템과 이를 이용한 측정은 특정한 조직이나 피부에 한하여 국부적인 부분의 기계적인 성질을 파악하고 분석하는 데에 초점을 맞추고 있다. 본 연구에서는 사용자의 신체 정보 맵을 작성하기 위해 골격, 지방, 근육의 구분이 가능한 광범위한 측정범위의 인덴테이션 테스트 시스템을 제작하였다.

안마 의자에 적용 가능한 시스템 개발을 위하여, 실제 안마의자와 동일한 형태의 의자를 이용하여 사용자가 안마를 받을 때와 유사한 조건을 형성하고 인덴테이션 테스트를 시행하였다. 또한, 실험 과정에서 실험자의 개입으로 인한 오차를 최소화하기 위하여 측정 시작과 종료 신호를 제외한 모든 실험과정은 프로그램화하여 자동적으로 이루어지도록 하였다.

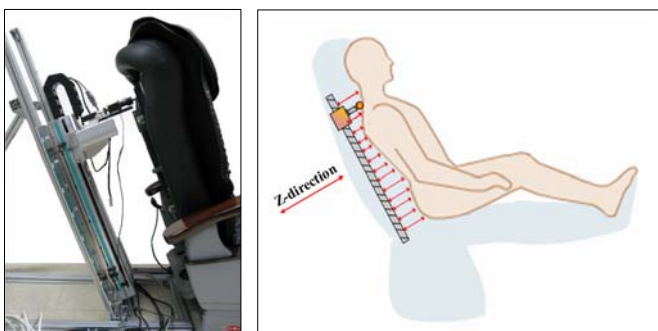


Fig. 1 Indentation test system

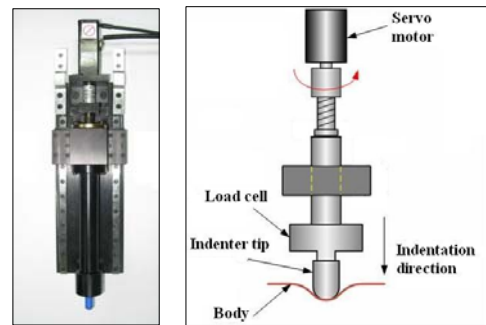


Fig. 2 Elasticity measurement apparatus

## 2. 실험 기기 구성

신체의 탄성도 및 3D 프로파일을 측정하기 위하여 Fig. 1 과 같은 인덴테이션 테스트 시스템을 구성하였다. 좌측의 그림은 실제 시스템의 사진이고, 우측의 그림은 인덴테이션 테스트의 개념도이다. 인덴테이션 테스트 시스템은 측정부를 이송할 수 있는 XYZ 스테이지, 측정부, 신호 입출력 장치로 구성되어 있다.

인덴테이션 테스트를 위해서는 측정부가 사용자의 등에 직접적으로 접촉하여야 하므로 이에 적합하게 테스트 시스템을 배치하였다. 또한, XYZ 스테이지의 XY 평면이 바닥면과 경사를 이루어 안마 의자의 등판과 평행하도록 설정하여, 측정부의 Z 방향 이송으로 인덴테이션 테스트가 이루어지도록 하였다.

측정부는 Fig. 2 와 같이 구성하였다. 좌측 그림은 실제 제작한 측정부의 사진이고, 오른쪽 그림은 측정부의 개념도이다. 측정부는 인덴터(Indenter) 역할을 하는 폴리머(MC Nylon)재질 반구형 팁, 로드셀(Load cell), 서보 모터(Servo motor)로 구성되어 있다. 서보 모터는 모터 드라이브를 통해 PC 로 연결되어 구동되고, 측정부를 Z 방향으로 이송하는 역할을 한다. 등의 굴곡에 따른 측정부의 최대 변위를 고려하여 측정부의 이송거리는 최대 200 mm 가 되도록 설계하였다. 이송 위치와 변위는 엔코더(Encoder)로 측정되어 PC 에 저장된다. 한편, 측정부의 인덴터가 사용자의 신체에 접촉하면서 받는 반력은 로드셀을 통해 A/D 컨버터를 거쳐 디지털 신호로 PC 에 저장된다. 측정에 사용한 로드셀은 분해능을 높이기 위하여 2 kgf 의 소형 용량을 갖는 기기를 사용하였다. 인덴터는 측정시에 접촉면의 형상에 의한 오차를 최소화하기 위하여 반구형으로 제작하였다. 또한, 인덴터가 너무 크면 정밀도가 감소하고, 너무 작으면 피부조직에 손상을 주는 점을 감안하여 팁의 반경은 5 mm 로 제작하였다.

측정에 있어서 시작 및 종료 신호 입력을 제외한 XYZ 스테이지 이송, 탄성도 측정 및 신호 처리 과정은 C++ 을 이용하여 프로그램화하였다.

## 3. 실험 조건 및 방법

본 연구를 위해 측정 대상이 되는 사용자는 20 대의 건강한 남성으로 선정하였다.

실험 대상에 대한 측정부의 이송 속도는 측정 시간의 단축을 위해 두 가지 모드로 설정하였다. 이송 모드는 측정부가 신체와 접촉하지 않은 모드로, 이때는 급가속 하여 빠른 이송이 가능하도록 설정하였다. 측정 모드는 측정부가 신체와 접촉하여 탄성도를

측정하는 모드로, 이때는 속도를 감속하여 천천히 이송함으로 정확한 측정이 이루어지도록 설정하였다.

측정 대상의 등 탄성도와 프로파일을 측정하여 맵핑하기 위해서 X 방향(20 mm 간격)으로 8 점, Y 방향(20 mm 간격)으로 21 점, 총 168 점의 측정 지점을 설정하였다.

측정부가 XYZ 스테이지에 의해 설정한 지점에 도달하면 서보 모터가 이송 모드에 따라 Z 방향으로 측정부를 이송한다. 측정부가 이송되어 신체에 닿기 시작하면 그 위치를 엔코더로 측정하여 그 값을 PC 에 저장한다. 측정된 위치 값으로부터 등의 프로파일을 도출해 낼 수 있다. 그 후에도 측정부는 인텐테이션으로 인한 반력이 지정한 임계값(1 N)에 이를 때까지 이송을 지속한다. 로드셀로부터 측정되는 반력의 신호가 임계값에 이르면 이송을 멈추고 그 변위를 PC 에 기록한다. 이 변위 값으로부터 등의 탄성도를 도출해 낼 수 있다. 이와 같은 방법으로, 설정한 168 점에 측정 과정을 반복 시행하여 등 전체에 대한 측정 데이터를 얻는다.

#### 4. 실험 결과

측정한 변위 데이터로부터 탄성도 및 프로파일을 도출해 낸다. Hook's law( $F=kx$ ) 에 의해, 일정한 힘(F)이 작용할 때 그 변위(x)에 따라 탄성도(k)가 달라지므로 측정된 변위를 통해 탄성도를 도출해 낼 수 있다. 계산을 통해 도출한 168 개의 측정 지점에 대한 탄성도 맵은 Fig. 3 의 (a) 와 같다. 탄성도는 Color scale 을 이용하여 표시하였고, 파란색에서 붉은색으로 갈수록 탄성도가 큰 지점임을 의미한다.

Fig. 3 의 (b) 는 168 개의 탄성도 데이터를 보간(interpolation)하여 탄성도 분포 맵을 작성한 결과이다. 또한, 각 행에서 탄성도의 최대값은 그림에서 빨간색 동그라미로 표시하였고, 이 지점들은 척추뼈로 유추할 수 있다. 표시한 최대값들을 선형화(line fitting)하여 예상되는 척추라인을 도시하였다.

수학적으로 보간한 탄성도 분포 맵을 통해 사용자 등의 모양과 신체 구성을 유추할 수 있다. 살이 거의 없고 골격이 돌출되어 있는 척추라인은 탄성도가 크게 측정됨을 알 수 있다. 그리고 살과 지방의 비율이 높은 등의 상단은, 비교적으로 살과 지방이 적고 단단한 하단에 비해 탄성도 값이 작게 분포하고 있음을 알 수 있다.

한편, 등의 프로파일은 측정부가 신체에 닿아 신호가 PC 로 들어오기 시작하는 지점의 위치를 보간하여 불록면을 형성함으로써 구성 할 수 있다.

Fig. 4 는 측정된 데이터를 보간하여 표시한 3D 프로파일과 Fig. 3 의 탄성도 맵을 조합하여 함께 나타낸 결과로써 사용자 등의 형상과 신체 구성을 한 눈에 알아 볼 수 있다.

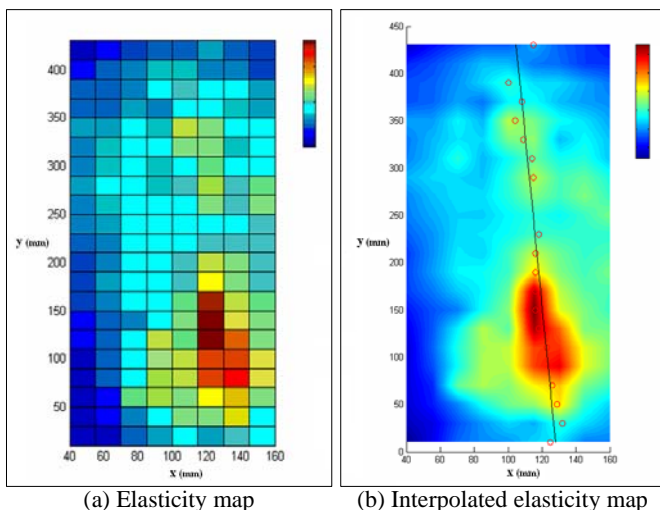


Fig. 3 Result of elasticity map

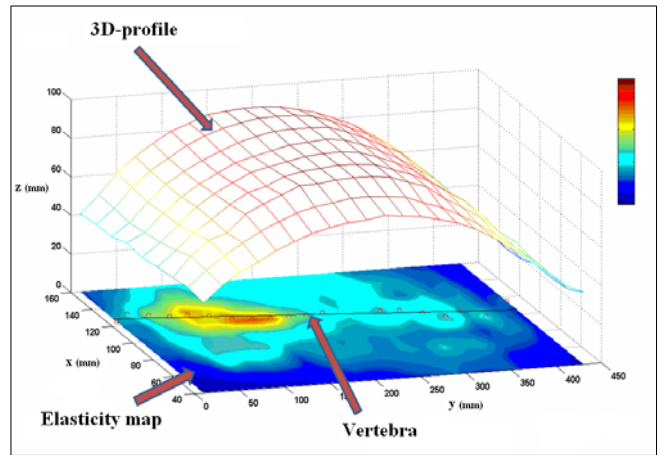


Fig. 4 Result of elasticity map & 3D-profile

#### 5. 결론

본 연구는 사용자의 체형 및 몸의 구성에 알맞은 지능적인 안마를 제공할 수 있는 안마 의자 개발을 위한 기초 연구로, 인텐테이션 테스트 시스템을 이용하여 실제 사용자의 신체 정보를 측정하여 탄성도 맵과 등의 3D 프로파일을 도출해 내는 실험이다. 측정된 탄성도 맵과 3D 프로파일을 조합한 결과를 통해 사용자의 신체 구성과 형상을 유추할 수 있고, 이를 이용하여 사용자에 적합한 안마 모드를 구현하면 지능적인 맞춤형 안마가 가능하리라고 예상된다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 사용자 생체 신호 분석 기반의 헬스 보조용 ChairBot 개발의 세부 과제로서 수행되었음.

#### 참고문헌

1. Chung, K.H., Lee, W., Chung, K.S., "Characterization of mechanical properties by indentation tests and FE analysis-validation by application to a weld zone of DP590 steel," International Journal of Solid and Structure, 46, 344-363, 2009.
2. Bruce D. S., "Evaluation of limb compartments with increased interstitial pressure. An improved noninvasive method for determining quantitative hardness," Journal of Biomechanics, 38, 1629-1635, 2005.
3. Boyer, G., Laquieze, L. LeBot, A., Laquieze, S., Zahouani, H., "Dynamic indentation on human skin in vivo : ageing effects," Skin Research and Technology, 15, 55-67, 2009.
4. Pailler-Mattei, C., Bec, S., Zahouani, H., "In vivo measurements of the elastic mechanical properties of human skin by indentation tests," Medical Engineering & Physics, 30, 599-606, 2008.