

## In-vivo 피부의 동적 점탄성 측정

권현준\*(경희대 기계산업시스템공학부), 권영하(경희대 기계산업시스템공학부),  
정철곤(경희대 기계산업시스템공학부)

## Measurement of Dynamic Viscoelasticity of In-vivo Human Skin

H. J. Kwon \* (Mech. Eng. Dept., KHU), Y. H. Kwon(Mech. Eng. Dept., KHU),  
C. G. Jeong(Mech. Eng. Dept., KHU)

### ABSTRACT

The products designed by human sensibility and ergonomics are given good impression. Especially the touch feeling on the human skin is very useful sensibility for quality of products. Elasticity and viscosity of human skin is very important element in product design based on ergonomics. In this paper, we describe a sophisticated method for measurement of dynamic viscoelasticity characteristics of human skin. For this measurement, we developed a measurement system assembled with load cell, actuator, amplifier and data acquisition system. The MATLAB™ is used to analyze the data and fit a approximation curves

**Key Words :** In-vivo human skin, Dynamic viscoelasticity, General solid model

### 1. 서론

피부의 점탄성 성질은 피부에 접촉되는 물체의 표면과 형태를 파악하는데 매우 중요한 요소로서 이에 대한 역학적 특성 연구는 반드시 필요하다. 기존의 피부 점탄성 연구로 Comaish는 정적인 상태에서 스프링을 이용하여 피부에 힘을 가하여 점탄성을 측정하는 방법을 개발하였고[1], Lanir와 Zahouani는 점탄성 측정을 객관적으로 정량화시키는 연구를 하였다[2,3]. 한편 Pawluk은 손끝에 동적하중을 가하여 반응을 측정하고 누르는 압력분포를 계산하여 손끝의 점탄성 측정에 관한 이론과 방법을 연구하였다[4]. 본 연구에서는 In-vivo 피부의 동적 점탄성 특성을 측정하기 위하여 고정밀 Load Cell과 Actuator를 이용하여 시스템을 구축하고 2Hz의 Sinusoidal한 변위를 가하여 다양한 피부 부위의 반력을 측정하였다.

### 2. 실험장치

Fig. 1과 같이 In-vivo 피부와 접촉자간의 동적 점탄성을 측정할 수 있는 장치를 구성하였다. ④는 1  $\mu\text{m}$ 의 정밀 정확도를 가진 고정밀 Actuator이고, Probe의 접촉시 피부의 굴곡에 따른 문제점을 보완하기 위해 ⑤와 같은 2축 Load Cell을 사용하였다. 2 축 Load Cell은 0.1 %의 정밀정확도와 10 N이내의 범위를 가지고 있는 Strain Gage 타입이다. Z방향은 수직힘을 측정하고, X방향의 힘은 Probe를 편심없이 정확하게 유지하는 역할을 하도록 설치하였다. ③는 팔을 고정하는 장치로 X, Y,  $\theta$ 방향으로 조절이 가능

하고 불쾌감을 없애기 위해 피부와의 접촉부위를 실리콘으로 처리하여 최대한 팔을 편한 상태로 유지할 수 있도록 하였다. ④는 피부와 접촉하는 반구형의 Probe로서 지름을 20 mm로 가공하였다. 접촉자의 소재는 Aluminum으로 제작 하였다. Actuator와 Linear Motor는 PC로 자동 제어 되며 Load Cell에서 나오는 신호는 DAQ를 통하여 200Hz의 속도로 측정되어 처리되도록 구성하였다.

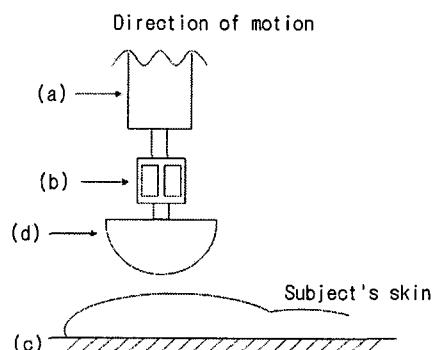


Fig. 1 Constitution of Dynamic Viscoelasticity of Human Skin Measuring System

④ Actuator ⑤ 2-Components Load-cell  
⑥ In-vivo skin fixator ⑦ Probe

### 3. 실험 및 결과

In-vivo 피부의 동적 점탄성은 전폭 3.5 mm, 주기 0.5 sec의 Sinusoidal Function을 사용 피부에 압력을 가하여 측정하였다. Load Cell에서 측정된 데이터는 MATLAB™으로 분석하였다. 피험자 각각의 검지(index finger), 중지(middle finger), 악지(ring finger), 하박부(forarm)부위를 무작위로 측정하였고, 부위에 따른 점탄성 특성을 비교 분석하였다.

본 연구에서는 General Solid Model로 피부를 모델링 하였다. General Solid Model은  $k_1$ 이 0일 때 Voigt Model로  $k_2$ 가 0일 때 Maxwell Model로 나타나는 좀 더 일반적인 점탄성을 나타낼 수 있는 모델로 판단되었고, 일반적으로 생체티슈는 General Solid Model로 거동한다고 알려져 있다. 힘의 평형 방정식에 의해 Spring Coefficient  $k_1$ ,  $k_2$ 와 Damping Coefficient  $\mu$ 로 이루어진 미분방정식은

$$(k_1 + k_2)F + \mu \frac{dF}{dt} = k_1 k_2 x + k_1 \mu \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

로 식(1)을 정리하면

$$F(t) = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} t - \left(\frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}\right)^2 \mu + ce^{-\frac{k_1 + k_2}{\mu} t} \quad (2)$$

이다.

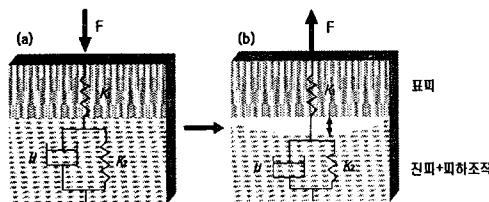


Fig. 2 General Solid Model for analysis of Dynamic Viscoelasticity In-vivo Human Skin

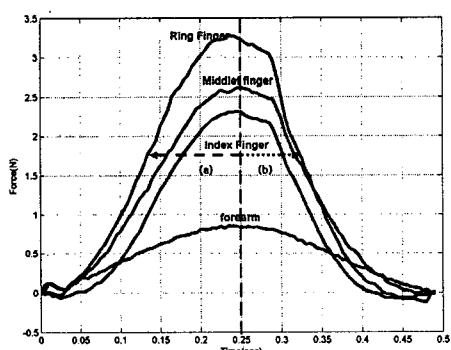


Fig. 3. Response Curve of Index, Middle, Ring Finger and Forearm by Sinusoidal Input

In-vivo 피부를 0 mm - 3.5 mm, 3.5mm - 0 mm로 눌렀을 때 변위의 감소구간이 증가구간보다 반력이 큰 것을 알 수 있다. 이는 피부의 구조가 하나의 요소로 이루어진 단순한 형태가 아닌 표피, 진피, 피하조직 등 다양한 형태의 층이 모여 이루어진 복합구조를 하고 있으며, 피부의 각 층을 이루고 있는 세포들마다 서로 다른 점탄성계수를 가지며, 이러한 특성이 어울려져 피부의 점탄성 거동을 나타내기 때문이다. Fig.2와 같이 피부를 크게 표피, 진피, 피하조직으로 구분 하였을 때 Fig.2, Fig. 3의 (a)는 힘이 작용하지 않는 시작점에서 최대 힘에 도달하는 구간 모두 Damping Coefficient ( $\mu$ )와 Spring Coefficient ( $k_1$ ,  $k_2$ ) 효과를 지속적으로 받으면서 피부의 반력이 증가함을 보여준다. 반면 최대변위 이후의 초기 반력은 Damping Coefficient ( $\mu$ ) 와 Spring Coefficient ( $k_2$ )의 반력을 제외한 Spring Coefficient ( $k_1$ )이 반력을 지배하게 된다. 이는 Fig.2, Fig.3의 (b)와 같이 변위의 감소구간에서 피부의 진피와 피하조직인 Damping Coefficient ( $\mu$ ) 와 Spring Coefficient ( $k_2$ )는 서서히 회복되므로 초기에는 반력이 나타나지 않고 피부의 표피부분인 Spring Coefficient ( $k_1$ )가 즉각적인 반력을 나타내기 때문이다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 in-vivo 피부의 동적 점탄성 특성을 측정 분석하기 위하여 고정밀의 장치를 구성하였다. 측정 결과 In-vivo 피부의 변위 감소구간이 증가구간보다 반력이 크게 나타났고, General Solid Model을 통하여 분석한 결과 변위의 감소 구간에서 Spring Coefficient ( $k_1$ ), 즉 피부 표피의 반력이 우선적으로 나타나기 때문으로 확인되었다. In-vivo 피부의 동적 점탄성 측정은 로봇, 의학, 인간공학 등 모든 피부접촉과 관계되는 다양한 분야에서 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Comaish S, Bottoms E. Br J. Dermatol., 84, 37-43(1971)
2. Lanir Y, Dikstein S, Hartshtark A, and Manny V, J. Biomech. Eng., 112, 63-69(1990)
3. Zahouani H, Pailler-mattei C, Vargiolu R, Abellan MA. "Assessment of the elasticity and tactile properties of the human skin surface by tribological tests" 22nd IFSCC Congress EDINBURGH, 2002
4. D.T.V Pawluk. "A viscoelastic Model of the Human fingerpad and a Holistic Model of Human Touch." thesis, Harvard University, Cambridge, 1997.