

## 피부의 탄성변화에 따른 피부 가압과 복귀시간 측정을 통한 정량적 림프부종 진단 시스템 개발

서종현<sup>1</sup> · 조창노<sup>1</sup> · 김성천<sup>1</sup> · 정승현<sup>2</sup> · 고은실<sup>3</sup> · 김광기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립암센터 융합기술연구부 의공학연구과, <sup>2</sup>국립암센터 지원진료센터 재활의학클리닉, <sup>3</sup>국립중앙의료원 재활의학과

### Development of Quantitative Lymphedema Screening System to Monitor Change in Skin Elasticity through the Measurement of Indentation Force and Return Time

Jong Hyun Seo<sup>1</sup>, Chang Nho Cho<sup>1</sup>, Sung Chun Kim<sup>1</sup>,  
Seung Hyun Chung<sup>2</sup>, Eun Sil Koh<sup>3</sup> and Kwang Gi Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biomedical Engineering Branch, National Cancer Center, Goyang, Korea

<sup>2</sup>Rehabilitation Clinic, Center for clinical specialty, National Cancer Center, Goyang, Korea

<sup>3</sup>Rehabilitation Medicine, National Medical Center, Seoul, Korea

(Manuscript received 20 June 2013; revised 18 August 2013; accepted 17 October 2013)

170

**Abstract:** Lymphedema is a phenomenon in which fluid is accumulated inside tissues due to the damaged lymphatic systems. Lymphedema can cause complications such as lymphangitis, infection, changes in skin texture, fibrosis, and lymphangiosarcoma. In this study, a lymphedema screening system based on the elasticity of the skin is proposed to easily quantify lymphedema. The developed probe consists of touch sensors, a load cell and hall-effect sensors to measure the indentation force on the skin and the return time of the skin. The developed system can be used to estimate the change in the elasticity of the skin to quantify lymphedema. The system was tested with a thyroid phantom and gelatin phantoms of different concentrations and the resulting force and the time were recorded. It was found that the increase in the elasticity leads to a higher indentation force and shorter return time. This shows that the developed system can monitor the change in the skin elasticity by measuring the return time and the indentation force. The feasibility of the system in clinical applications will be evaluated in the future study.

**Key words:** edema, lymphedema, skin elasticity, lymphedema screening, lymphedema examination

### 1. 서 론

림프부종은 림프계의 이상으로 야기된 림프액의 순환장애로 인해 피부와 피하공간에 단백질이 풍부한 간질액이 과도하게 축적되는 것을 말하며 주로 상지와 하지에 많이 발생

한다. 전세계 약 2억 5천만 명으로 추산되는 림프부종 환자는 팔이나 다리를 사용할 때의 불편함으로 인하여 사회활동에 제한을 받게 되고 이로 인해 우울, 분노 등의 정신적인 문제를 겪게 된다. 이는 환자들의 삶의 질을 위협하는 심각한 문제이다[1-6].

림프부종은 크게 일차성 림프부종과 이차성 림프부종으로 나눌 수 있다. 일차성 림프부종은 림프계의 선천적 이상으로 발생하고, 이차성 림프부종은 후천적 외상이나 질병, 수술 및 방사선 치료 등으로 야기된 림프계의 손상으로 발생한다[3,7]. 특히 상지 림프부종은 유방암 환자의 유방절제수술이나 방사선 치료 후 많이 발생하고 있다[8].

Corresponding Author : Kwang Gi Kim  
Biomedical Engineering Branch, National Cancer Center,  
Goyang, Korea  
TEL: +82-31-920-2241  
E-mail: kimkg@ncc.re.kr

본 연구사업은 국립암센터 기관고유사업(1210183)의 지원을 받았음.

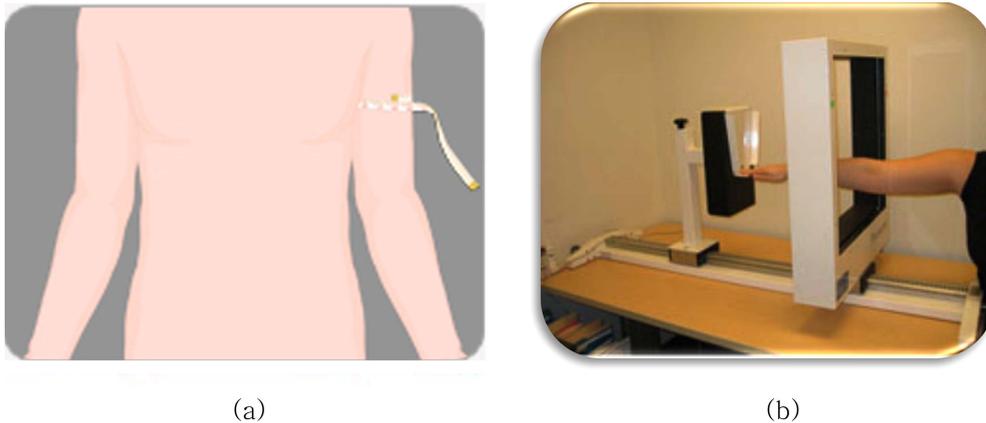


그림 1. 림프부종의 측정방법 (a) 줄자를 이용한 측정 (b) 광전자공학 사지부피 측정기를 이용한 측정  
Fig. 1. Detecting methods of lymphedema. (a) measurement with a tapeline, (b) measurement with a perometer

림프부종을 제대로 관리하지 못하면 림프 정체가 장기화 되고 회복이 불가능한 림프부종의 상태로 진행 될 수 있으며 [9], 림프관염, 피부변화, 섬유화, 감염 같은 합병증을 유발하거나, 드물게는 림프관 육종 같은 위험한 병으로 악화될 수도 있다[1]. 따라서 림프부종은 조기 발견 및 치료가 매우 중요하다. 그러나 체액의 축적이 정상부위보다 30%이상 되어야 눈에 띄는 차이를 보이기 때문에 초기에는 림프부종으로 인한 증상을 알기 힘들어 조기 진단이 어렵다[10,11]. 또한, 많은 경우 발생 요인에 노출된 후 수개월 내지 수년 후에 천천히 발생하므로 환자에 의하여 증상이 처음으로 발견되는 경우가 많다. 하지만 림프부종은 치료가 늦을 시 매우 위험한 합병증을 유발시키므로 빠른 진단의 중요성은 다시 한번 강조해도 지나치지 않을 것이다.

림프부종을 진단하기 위한 방법은 많은 방법이 연구되어 왔다. 첫째, 피부를 엄지손가락으로 누를 때 함몰을 일으키는 정도로 부종의 정도와 형태를 확인하는 방법이 있다[12]. 그러나 육안과 도수를 이용한 방법으로 오차가 심하고 정량화하기 힘들다는 단점이 있다. 둘째, 줄자를 이용하여 팔 다리의 둘레를 측정하고 양측을 비교하여 판단하는 방법이 있다. 대체로 부은 쪽이 붓지 않은 쪽에 비해 2 cm 이상 차이가 나면 림프부종으로 진단한다. 그러나 림프부종 발생 후에만 측정이 가능하고 아직까지 측정법이 표준화되지 못했다는 단점이 있다(그림 1(a)). 셋째, Volumeter를 이용한 방법으로 물 속에 손, 팔, 다리 등을 넣어 넘치는 물의 양을 측정하는 방법으로서 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 하지 림프부종의 경우 측정하기가 어렵고 환부를 물 속에 담가야 하기 때문에 환부가 젖고 물을 교체하기 힘들며 상처가 있는 경우 감염의 우려가 있을 수 있다. 넷째, 광전자공학 사지부피 측정기(Perometer)를 이용한 방법이 있다(그림 1(b)). 광전자공학을 사용하여 검사하는 장비를 이용하여 팔 또는 다리에 림프부종이 있는 환자

의 부피를 측정하고 부위별 부피를 정확한 수치로 나타내는 측정 방법이다[13]. 이 방법은 빠르고 정확하게 부피를 측정할 수 있으나, 장비가 상대적으로 커서 공간적 제약이 따르며, 고가의 장비가격으로 인하여 임상적으로 널리 이용되고 있지 않다. 다섯째, 림프신티그래피(Lymphatic scintigraphy)를 이용한 방법이 있다. 방사선 동위원소를 주입한 후 림프액의 흐름을 촬영하는 방법으로 팔의 경우 손가락 사이, 다리의 경우엔 발가락 사이 피하에 바늘을 삽입하여 수용성의 조영제를 주입한 후 촬영하게 된다. 림프절의 상태와 림프관의 기능상태를 잘 볼 수 있으나, 표준화된 프로토콜이 아직 정립되지 못한 상태이다[14].

그러나 이러한 기존의 방법들은 측정이 정확하지 않거나 측정 시 불편함이 따르기도 하고 비용이 많이 들기도 하는 단점이 있으며 특히 림프부종을 조기에 발견하기 힘든 문제가 있다. 본 연구에서는 림프부종발생단계에 따른 피부의 탄성 변화를 이용하여 조기에 정량적으로 림프부종을 진단할 수 있는 방법을 연구하였다. 피부의 복귀시간이나 피부 가압의 변화를 통해 림프부종을 측정하는 연구는 계속 진행되어 왔으나 아날로그 장비나 손으로 그 측정이 이루어져 결과의 정확성에 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 피부 가압과 복귀시간을 복합적으로 측정하여 림프부종을 정량적으로 진단할 수 있는 시스템을 개발하고, 개발된 시스템의 성능을 실험을 통해 검증하였다.

## II. 연구 방법

국제림프학 협회(International Society of Lymphology)에서는 림프부종의 진행단계를 4단계로 구분하였다. 0기는 림프계의 이상은 존재하나, 부종은 나타나지 않는 단계이다. 1기는 부종이 있으나, 부종부위를 심장보다 높게 유지시키면 감소하는 시기이다. 2기는 자연적으로 부종이 감소하기

어려운 시기로 조직의 경화가 뚜렷해지는 시기이다. 3기는 경화가 진행되어 피부의 비가역적인 변화를 보이는 시기를 말한다[15]. 림프부종의 진행 단계에서 피부 탄성 변화는 림프부종단계를 추정할 수 있는 요소이다. 피부탄성에 의한 피부의 반발력이 변하면 피부를 누를 때의 힘이 변하게 된다. 또한 함요 변화, 즉 피부를 눌렀을 때 원래대로 복귀하는데 걸리는 시간이 달라지게 된다. 본 연구에서는 피부의 가압과 함요 변화를 복합적으로 측정할 수 있도록 장비를 개발하고 실험을 통하여 림프부종을 조기에 진단이 가능함을 알아보았다.

1. 피부 가압 측정

피부 가압 측정을 위해서 먼저 피부와 같은 점탄성체(Soft tissue)에서의 가압과 탄성률의 관계를 알아야 한다. 탄성체에서 가한 압력과 깊이 그리고 탄성률에는 다음과 같은 관계가 성립한다[16-19].

$$F = \frac{2ak}{(1-\nu^2)} DE \tag{1}$$

$E$ 는 탄성률,  $\nu$ 는 푸아송비(Poisson's ratio),  $a$ 는 접촉면의 반지름,  $F$ 는 가한 힘,  $D$ 는 변형된 거리이다. Poisson's ratio는  $d/H$ 와  $2a/H$ 에 의해 결정된다.  $H$ 는 탄성체의 두께이다. 이 식을 통해 피부의 가압과 점탄성체의 탄성은 비례함을 알 수 있으며 따라서 탄성의 변화를 피부가압을 통해 측정할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 림프부종에 의해 피부의 탄성률이 변하게 되면 같은 깊이의 피부를 누를 때의 가압이 달라질 것이다. 이러한 가압의 변화를 통한 림프부종의 측정 가능성은 이미 기존 논문에서 검증된 바 있다[16]. 피부를 누른 깊이에 따른 가압을 측정하여 림프부종을 진단할 수 있도록 그림 2와 같은 진단 장치를 개발하였다.

시스템의 구조는 크게 실제 측정을 담당하는 프로브(Probe)와 센서 신호를 처리하여 정량적으로 나타내는 컨트롤러

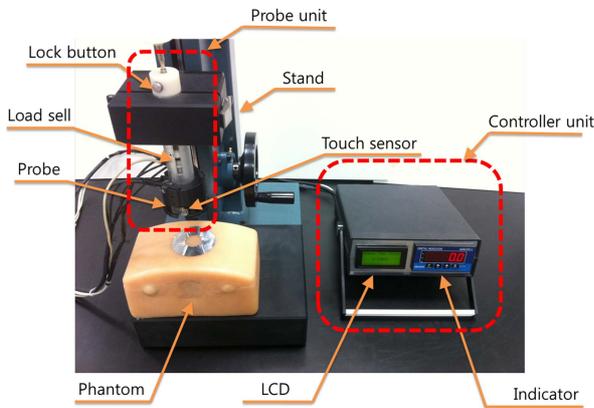


그림 2. 테스트 장비의 전체 시스템 및 세부 설명  
Fig. 2. System overview of test unit

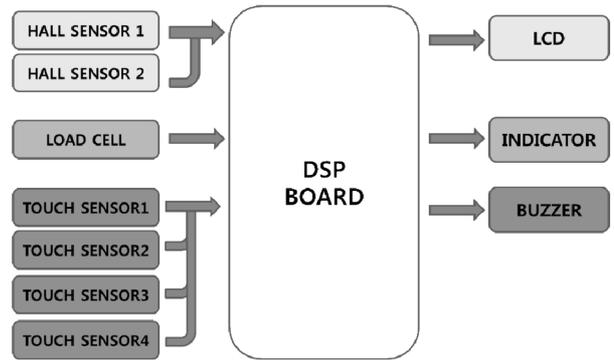


그림 3. 제어시스템의 프로세스 다이어그램  
Fig. 3. Flowchart for controller system process diagram

(Controller) 으로 구성된다(그림 2, 3). 사진에서 보는바와 같이 프로브는 스탠드(Stand)에 고정되어 사용되는데 이는 사용자의 실수나 떨림으로 인한 오차를 줄이기 위함이다. 프로브는 피부 가압 측정을 위해 로드셀(Load cell, 압력센서, CBFS-1109K, Bongshin co., ltd, Korea)를 장착하였으며 이를 통해 정량적으로 프로브가 피부에 가한 힘을 측정할 수 있다. 로드셀 신호는 DSP 보드(Digital signal processing board, TMS320F2811, Texas Instruments, USA)로 전달되며 DSP 보드는 이 신호를 받아서 인디케이터(Indicator)에 그 값을 표시한다. 가한 힘은 뉴턴(N) 단위로 표시된다. 가압 시 프로브가 기울어 지거나 피부와의 접촉이 불안정 하면 측정에 오차가 발생할 수 있다. 따라서 정확한 측정을 위하여 터치센서를 부착하였다. 터치센서(Touch sensor, ADM0801, AD Semiconductor, Korea)는 정전 방식으로서 4개를 십자형태로 부착하였다. 4개의 터치센서가 모두 피부에 접촉되면 이때 로드셀의 압력값을 인디케이터에 표시하고 측정자에게 측정이 완료되었음을 알리기 위해 부저(Buzzer)가 울린다. 프로브 깊이는 1~10 mm까지 조절이 가능하다. 많은 림프부종 측정에서와 마찬가지로 정상상태의 데이터를 기준으로 차후 측정 값의 변화를 통해 림프부종을 판단하게 된다.

2. 피부 복귀 시간 측정

피부의 가압 외에도 피부의 복귀시간 측정을 통한 함요 검사도 림프부종진단에 널리 쓰이는 방식 중 하나이다[10]. 림프부종의 진행단계에 따라 달라지는 피부 탄성변화로 인하여 피부의 복귀시간이 달라지게 되며 복귀시간의 차이를 이용하여 림프부종을 진단한다. 기존의 방법은 손으로 피부를 누른 후 시간을 측정하게 되는데 이러한 방식은 측정자에 의한 오차가 크기 마련이고 초기의 림프부종은 진단하기 힘들다. 본 연구에서는 이러한 미세한 피부의 복귀시간을 측정하기 위하여 홀센서를 이용하여 측정장치를 개발하였다.

일정한 깊이의 피부를 눌러 변형이 생긴 후 원래의 상태

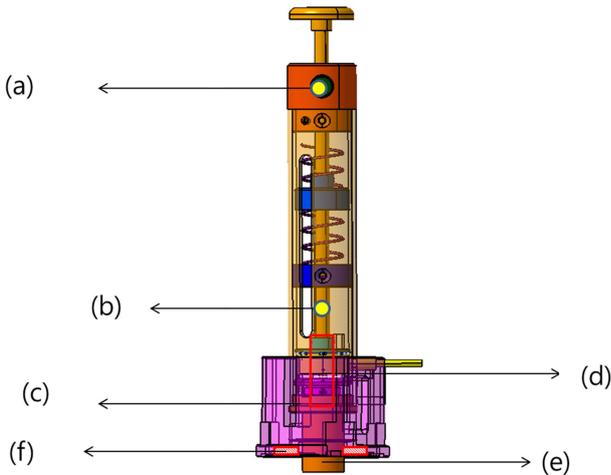


그림 4. 프로브의 기구적 구조 (a) 고정해제버튼, (b) 로드셀, (c) 홀센서 1, (d) 홀센서 2, (e) 볼플렌저, (f) 터치센서

Fig. 4. Mechanical structure of probe. (a) lock button, (b) load cell, (c) hall sensor 1, (d) hall sensor 2 and (e) ball plunger, (f) touch sensor

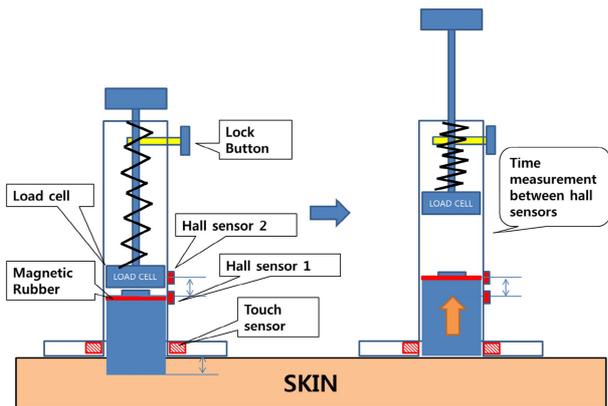


그림 5. 측정장치의 동작 원리

Fig. 5. Operation principle of detector

로 돌아오는 시간을 측정하기 위해 프로브의 경통을 따라 상하 운동하는 볼플렌저(Ball plunger)를 추가하였으며 이 볼플렌저의 움직임을 홀센서(Hall sensor, A1120, Allegro Micro Systems, USA)를 통해 측정하였다(그림 4, 5). 볼플렌저에는 자석이 부착되어 있고 홀센서를 지날 때 신호를 발생시킨다. 볼플렌저가 두개의 홀센서 사이를 이동하면 그 신호의 차이를 계산하여 이동한 시간을 측정하게 된다. 홀센서에 의해 발생된 신호는 DSP보드를 거쳐 신호간의 시간을 계산한다. 계산된 시간은 LCD(Liquid crystal display)에 표시된다(그림 2). 볼플렌저에는 원반형 추를 이용하여 무게를 조절할 수 있도록 하여 피실험자나 실험상황에 맞게 바꿀 수 있도록 하였다.

볼플렌저의 이동시간에 영향을 주는 것은 피부의 탄성에 따른 반발력, 마찰력, 볼플렌저의 무게에 의한 중력으로 볼

수 있다. 볼플렌저의 마찰력은 피부의 수평이 아닌 수직으로만 작용하여 탄성변화에 따른 차이가 크지 않을 것이고 볼플렌저의 무게를 고정하면 중력에 의한 영향도 일정하다고 할 수 있다. 따라서 피부를 누르는 깊이를 고정하면 볼플렌저의 운동에 변화를 주는 것은 오로지 피부의 반발력이 되므로 피부의 복귀시간의 변화를 측정하면 피부탄성에 따른 피부의 반발력의 변화를 알 수 있다.

### 3. 동작 메커니즘

전체적인 동작 메커니즘은 다음과 같다. 그림 4, 5에서 보이는 바와 같이 먼저 피스톤을 밀어 삽입시키면 피스톤이 고정해제버튼(Lock button)에 의해 고정되고 이때 볼플렌저 또한 같이 고정 된다. 그 후 피부에 프로브를 밀착시키면 볼플렌저가 피부에 압력을 가해 피부가 변형을 일으키게 된다. 프로브가 피부에 밀착되어 부착된 4개의 터치센서가 모두 접촉이 되면 부저가 울리게 되고 이때 로드셀을 통해 측정된 피부가압은 인디케이터에 표시되며 단위는 N(Newton)이다. 측정 5초뒤 인디케이터와 터치센서는 초기화되어 다시 측정이 가능한 상태가 된다. 피부가압 측정이 끝난 후 고정해제버튼을 누르면 피스톤의 고정이 해제되며 볼 플렌저가 움직일 수 있게 된다. 눌렀던 피부가 원상 복귀하면서 볼 플렌저를 밀어 올리게 되고 부착된 자석이 홀센서1 에서부터 홀센서2까지 이동한 시간을 측정하게 된다(그림 5). 이렇게 측정된 피부 복귀시간은 LCD에 표시하게 되며 단위는 ms(millisecond)이다. 측정이 끝나면 사용자에게 이를 부저로 알리게 된다.

### 4. 실험구성

개발된 림프부종 진단장치를 검증하기 위하여 실험을 진행하였다. 실험은 먼저 깊이에 따른 힘의 변화를 알아보기 위하여 갑상선 팬텀(Biopsy Training Phantom, Model051, CIRS, Norfolk, USA)에 대하여 측정하였으며 프로브의 깊이는 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm에서 각각 10회씩 가압을 측정하였고 이때의 복귀시간도 측정하였다.

탄성변화에 따라 가압과 복귀시간의 변화를 알아보기 위하여 젤라틴(Mixing Gelatin, Geltech co., Ltd, Korea) 샘플 실험을 진행하였다. 젤라틴은 50 mg/ml, 75 mg/ml, 100 mg/ml 총 3가지 농도의 샘플을 준비하였다. 젤라틴은 따뜻한 물 100 ml에 충분히 녹인 후 지름 60 mm, 높이 35 mm의 용기에 담아 10°C의 냉장고에서 16시간 동안 냉각한 후 꺼내 사용하였다. 프로브의 깊이는 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm에서 각각 10회씩 가압과 복귀시간을 측정하였다.

프로브에 부착된 터치센서는 접촉 시 정전 효과에 의하여 동작한다. 팬텀은 전기가 통하지 않으므로 터치센서의 원활한 접촉을 위해서 팬텀에 프로브의 크기에 맞추어 알루미늄

호일을 부착하였다. 또한 일관된 측정조건을 위하여 푸시풀 게이지 스탠드(Push-pull gauge stand, SLR, Sundoo, China)에 프로브를 장착한 후 측정하였다.

림프부종 진단장치를 이용하여 측정하는 순서는 다음과 같다.

- 1) 측정하고자 하는 프로브의 깊이 게이지를 설정한다.
- 2) 프로브의 피스톤을 삽입하여 볼플렌저가 고정이 되었는지 확인한다.
- 3) 측정하려는 부위를 위치시키고 스탠드의 손잡이를 돌려 밀착이 되도록 한다. 이때 터치센서가 모두 닿아 부저가 울리게 되면 가해진 압력을 인디케이터로 확인한다.
- 4) 위의 3)의 상태에서 고정해제버튼을 눌러 고정상태를 해제하고 볼플렌저가 튀어 오르며 측정된 시간을 LCD로 확인한다.
- 5) 측정자가 데이터를 기록하여 분석한다.

### III. 결 과

갑상선 팬텀에 대하여 눌린 깊이에 따른 가압 및 복귀시간을 측정하였다. 프로브의 깊이는 1~5 mm로 조정하였으며 10회 측정 후 평균값과 표준편차를 구하였다. 가압은 각각  $1.66 \pm 0.14$ ,  $2.94 \pm 0.25$ ,  $4.82 \pm 0.13$ ,  $6.52 \pm 0.21$ ,  $8.06 \pm 0.24$  N으로 측정되었으며 깊이에 비례하여 선형적으로 증가함을 알 수 있었다(그림 8). 복귀시간의 경우 각각  $4.08 \pm 0.42$ ,  $4.85 \pm 0.75$ ,  $4.03 \pm 0.26$ ,  $3.81 \pm 0.09$ ,  $4.50 \pm 0.22$  ms으로 눌린 깊이가 깊어짐에 따라 큰 차이는 없었으며 1~2 mm에서는 표준편차가 크게 나타났다(그림 9).

젤라틴 샘플 50 mg/ml, 75 mg/ml, 100 mg/ml 각각의 농도에서 깊이에 따른 가압 측정 결과는 그림 10과 같다. 10회의 평균값과 표준편차를 표시하였다. 50 mg/ml에서의 가압은 2~5 mm에서 각각  $1.18 \pm 0.07$ ,  $1.45 \pm 0.13$ ,  $2.14 \pm$

174

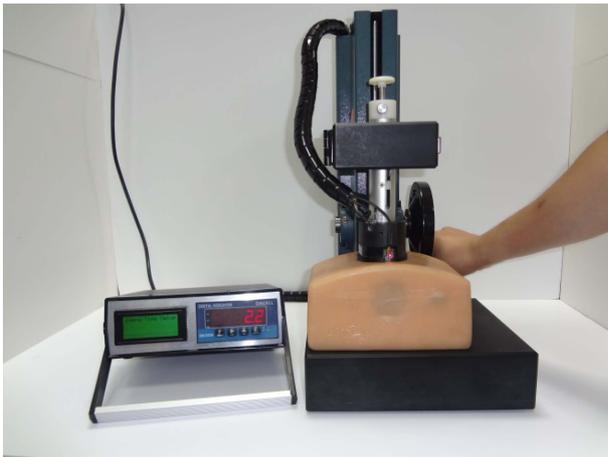


그림 6. 갑상선 팬텀 실험을 위해 스탠드에 준비된 측정장비  
Fig. 6. Experimental set-up measurement of phantom with stand

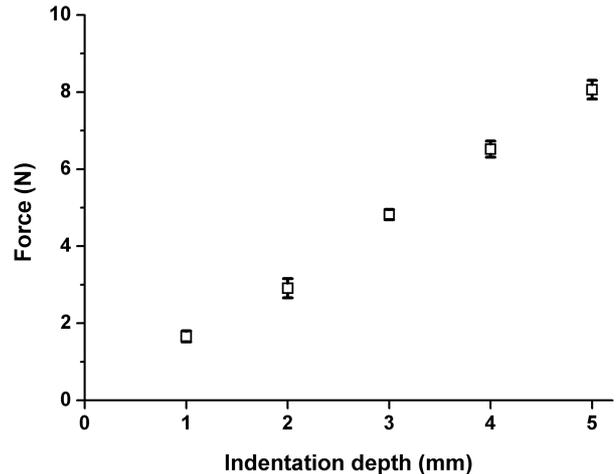


그림 8. 갑상선 팬텀 실험에서의 가압 깊이에 따른 가압 결과  
Fig. 8. Indentation force of phantom with stand



그림 7. 실험에 사용된 젤라틴 팬텀  
Fig. 7. Gelatin phantoms used in experiment

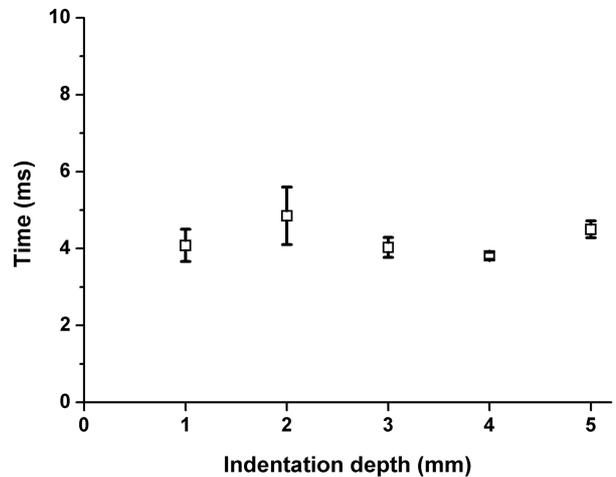


그림 9. 갑상선 팬텀 실험에서의 가압 깊이에 따른 복귀시간 결과  
Fig. 9. Return time of phantom with stand

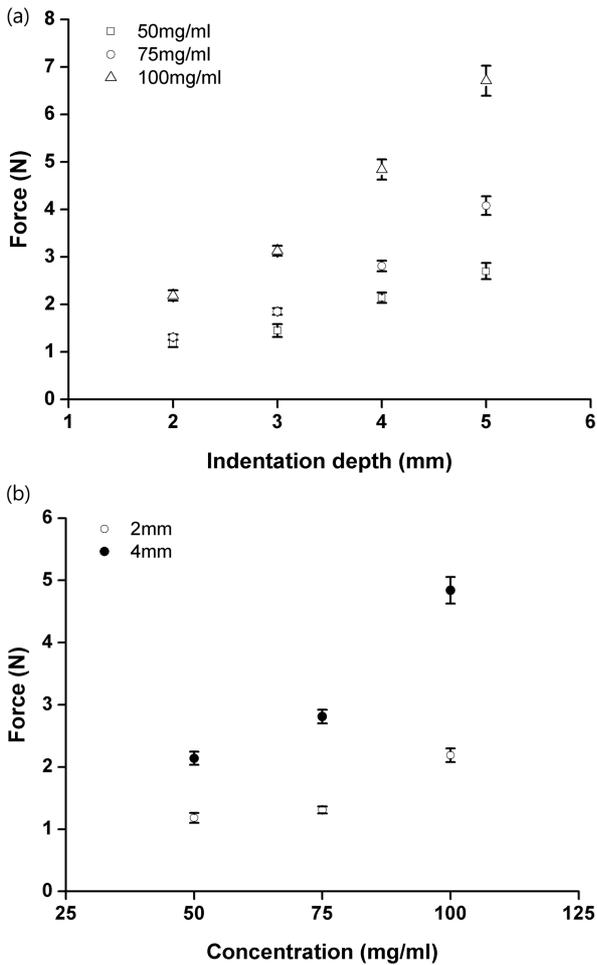


그림 10. 젤라틴 팬텀에서 대한 가압과 가압 깊이, 농도와 관계 (a) 농도 별 가압 깊이에 따른 가압 결과, (b) 2 mm, 4 mm에서의 농도에 따른 가압 결과  
 Fig. 10. Indentation force - Depth for Gelatins. (a) Indentation force-depth with four concentration, (b) Indentation force-concentration with two indentation depth

0.10,  $2.7 \pm 0.16$  N으로 나타났고 깊이가 깊어짐에 따라 가압은 선형적으로 증가하였다. 75 mg/ml에서의 가압은 각각  $1.31 \pm 0.05$ ,  $1.85 \pm 0.07$ ,  $2.81 \pm 0.1$ ,  $4.08 \pm 0.19$  N으로 나타났고 100 mg/ml에서의 각각  $2.19 \pm 0.1$ ,  $3.13 \pm 0.1$ ,  $4.84 \pm 0.2$ ,  $6.71 \pm 0.3$  N으로 50 mg/ml의 경우와 마찬가지로 선형적으로 증가하였다. 농도가 높아짐에 따라 가압은 증가하였고 기울기는 커졌으며 50 mg/ml와 75 mg/ml 보다는 75 mg/ml와 100 mg/ml의 기울기 차이가 더 컸다. 그림 10(a)에서 보듯이 농도가 증가하면, 즉 탄성률이 증가하면 가압 또한 증가함을 확인할 수 있었다. 그림 10(b)에서는 깊이가 2 mm일 때 보다 4 mm일 때 가압의 변화를 더 확연히 알 수 있었다. 결과로부터 깊이가 깊어질 때, 그리고 탄성이 높을 때 변화를 알기 쉬웠고 식 1에서 살펴본 바와 같이 가압은 누른 깊이와 탄성률에 비례하는데 위의 결과는 이를

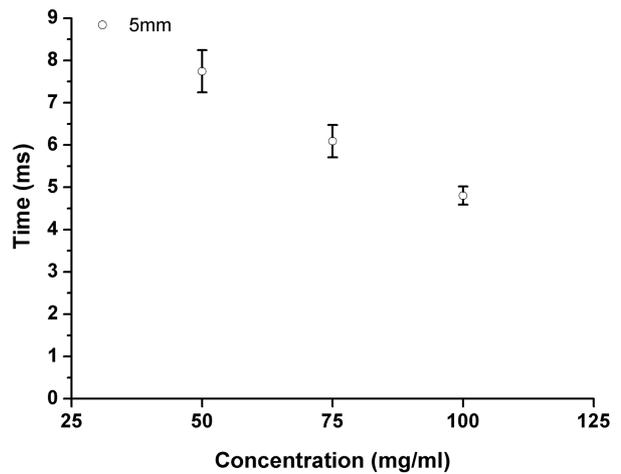


그림 11. 5 mm 가압 깊이에서 젤라틴의 농도에 따른 복귀시간 결과  
 Fig. 11. Return time- Concentration for Gelatins at 5 mm indentation depth

만족함을 알 수 있었고 같은 깊이에서의 가압을 측정함으로써 탄성률의 변화를 확인할 수 있음을 검증할 수 있었다.

농도에 따른 복귀시간은 그림 11와 같다. 일정한 깊이에서 탄성률과 복귀시간의 관계를 알아보기 위해 5 mm 깊이에서 각각 50, 75, 100 mg/ml의 농도에서 복귀시간을 측정하였다. 측정된 값은  $7.74 \pm 0.47$ ,  $6.09 \pm 0.36$ ,  $4.80 \pm 0.2$  ms으로 같은 깊이에서 농도가 높아질수록 복귀시간이 짧아짐을 알 수 있었다. 즉, 결과에서와 같이 탄성력이 증가하면 반발력이 늘어나서 볼플렌저를 밀어내는 힘이 증가되고 볼플렌저의 복귀시간이 빨라지게 되므로 복귀시간을 통하여 탄성의 변화를 알 수 있다.

#### IV. 토의 및 결론

림프부종의 발견이 늦어지면 적절한 치료시기를 놓쳐 피부 문제가 생길 수 있고 섬유화가 만성이 되는 등의 많은 문제점이 있지만 조기 발견의 어려움으로 인하여 불편함을 겪는 환자들이 많다. 이러한 림프부종을 조기에 발견하고 빠르고 쉽게 측정하기 위하여 피부의 탄성을 이용하여 림프부종 측정장치를 개발하였다. 점탄성체의 탄성 측정 모델인 식 1을 이용하여 팬텀에 대하여 측정한 결과 가압과 깊이, 그리고 탄성률간의 관계를 확인할 수 있었고 복귀시간을 측정하여 탄성률에 따른 차이를 확인하여 기기의 성능을 테스트할 수 있었다.

가압의 경우, 프로브의 깊이가 깊어짐에 따라 가압도 선형적으로 증가하였고 탄성률이 강할수록 높음을 확인하였다. 림프부종이 발생할 경우 피부의 탄성률이 변하게 되므로 가압의 변화를 확인하면 림프부종의 진단이 가능할 것이다. 측정 시 환자의 상태에 따라 강한 가압은 환자에게 고통 및

불쾌감을 줄 수 있기에 개발된 기기는 프로브 깊이 조절을 통하여 가압의 단계를 조절 가능케 하였다. 추후 연구를 통하여 신체 부위에 따른 적절한 깊이를 정형화 할 수 있다면 측정 시 많은 도움이 될 것이다.

피부의 복귀시간은 깊이와는 큰 상관관계가 없는 결과를 얻었다. 또한 젤라틴 실험을 통해서 탄성이 높아짐에 따라 복귀시간이 빨라짐을 확인할 수 있었다. 림프부종이 발생하여 탄성이 달라지면 피부 복귀시간을 측정하여 정상상태와의 비교를 통하여 림프부종 측정이 가능할 것이다. 그러나 탄성이 약한 경우 프로브 깊이가 1 mm일때의 복귀시간은 측정이 어려웠으며 탄성에 따른 피부 복귀시간의 차이가 크지 않음으로 인하여 측정 시 정확한 작업이 필요하였다. 1~2 mm의 높이에서는 측정이 안 되는 경우도 있고 편차가 커서 탄성률의 변화를 확인하기 어려운 점이 있었다. 앞으로 더 정확하고 정밀한 측정이 가능할 수 있도록 장비의 개선이 필요해 보이며 현재로서는 3~5 mm의 데이터가 림프부종을 확인하는데 유효할 것으로 보인다.

본 연구에서는 팬텀을 이용한 실험을 통해 탄성의 변화를 가압과 복귀시간을 통해 측정 할 수 있음을 확인하였다. 따라서 림프부종으로 인하여 피부의 탄성이 달라질 경우에도 개발된 기기를 이용하여 효과적으로 정량적인 림프부종의 진단이 가능할 것으로 기대된다. 비록 본 연구에서는 임상 실험은 진행하지 못하였지만 팬텀을 이용한 실험으로도 제작된 기기의 성능을 검증할 수 있었다. 차후 추가적인 성능 개선을 진행하고 임상실험을 통하여 개발된 기기의 임상적 가능성을 검증할 계획이다.

## References

- [1] C.H. Yeom, Y.S. Hong, Y.S. Choi, "Lymphedema", *Korean journal of hospice and palliative care*, vol. 3, no. 2, pp. 118-125, 2000.
- [2] J. Zuther, *Lymphedema management: the comprehensive guide for practitioners*, NY, US: TCM Press, 2009.
- [3] J.R. Casley-Smith, *Grades of Lymphedema. In: Information about lymphedema for patients, 6th ed*, VIC, AUS: Lymphedema Association of Australia Press, 1997.
- [4] J. Brody, *Lymphatic system: disease and disorders*, Bonn, Germany: NLN press; 1998.
- [5] H.M. Jung, M.O. Cho, "Factors Influencing the Emotional State of Patients with Lymphedema", *Journal of Korean Academy of Nursing*, vol. 36, no. 5, pp. 845-852, 2006.
- [6] M.O. Cho, H.M. Jung, J.Y. Jun, S.K. Sohn, Y.J. Yoo, "A Study on Self-care among the Lymphedema Patients", *Korean Journal of Adult Nursing*, vol. 15, no. 3, pp. 383-392, 2003.
- [7] P.S. Mortimer, "The pathophysiology of lymphedema", *Cancer Supplement*, vol. 83, no. 12, pp. 2798-2802, 1998.
- [8] Korean Breast Cancer Society, *The Breast 2nd ed*, Seoul, Korea: Ilchokak Press, 2005, pp. 168-188.
- [9] W. Olszewski, *Lymph stasis: pathophysiology, diagnosis, and treatment*: NY, US: CRC Press, 1991.
- [10] L.H. Gerber, "A review of measures of lymphedema", *Cancer Society*, vol. 83, no. 12, pp. 2803-2804, 1998.
- [11] National Cancer Institute, *Lymphedema*, Bethesda, MD, 1997.
- [12] I.G. Lee, "Differential diagnosis and treatment of generalized edema", *Journal of the Korean Academy of Family Medicine*, vol. 24, no. 1, pp. 6-10, 2004.
- [13] C.W. Tan, F. Coutts, C. Bulley, "Measurement of lower limb volume: Agreement between the vertically oriented perometer and a tape measure method", *Physiotherapy*, vol. 99, no. 3, pp. 247-251, 2013.
- [14] J.H. Yeon, S.Y. Kim, S.O. Choi, J.D. Seok, "Evaluation of Error Factors in Quantitative Analysis of Lymphoscintigraphy", *The Korean journal of nuclear medicine technology*, vol. 15, no. 2, pp. 76-82, 2011.
- [15] International Society of Lymphology, "The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema. Consensus document of the International Society of Lymphology", *Lymphology*, vol. 36, no. 2, pp. 84-91, 2003.
- [16] H. Mayrovitz, "Assessing lymphedema by tissue indentation force and local tissue water", *Lymphology*, vol. 42, no. 2, pp. 88-98, 2009.
- [17] M. Zhang, Y. Zheng, A.F. Mak, "Estimating the effective Young's modulus of soft tissues from indentation tests-non-linear finite element analysis of effects of friction and large deformation", *Medical Engineering and Physics*, vol. 19, no. 6, pp. 512-517, 1997.
- [18] Y.P. Zheng, A.F. Mak, B. Lue, "Objective assessment of limb tissue elasticity: development of a manual indentation procedure", *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 36, no. 2, pp. 71-85, 1999.
- [19] H. Yegingil, W.Y. Shih, W.H. Shih, "All-electrical indentation shear modulus and elastic modulus measurement using a piezoelectric cantilever with a tip", *Journal of Applied Physics*, vol. 101, no. 5, pp. 054510-10, 2007.