

인체의 사지 동작 분석에 기반한 압전 에너지 수확 의류의 탐색적 연구*

An Exploration on the Piezoelectric Energy Harvesting Clothes based on the Motion
Analysis of the Extremities

박선형* · 조현승** · 양진희* · 윤대연*** · 윤광석*** · 이주현†
Seon-Hyung Park* · Hyun-Seung Cho* · Jin-Hee Yang · Dae-Yeon Yun**,
Kwang-Seok Yun** · Joo-Hyeon Lee*†

*연세대학교 의류환경학과
*Department of Clothing & Textile, Yonsei University

**연세대학교 심바이오틱 라이프텍 연구원
**Symbiotic Life-tech Institute, Yonsei University

***서강대학교 전자공학과
***Department of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract

Recently, researches of piezoelectric energy harvesting were tried and in this study, a piezoelectric energy harvesting clothes was developed. First, piezoelectric energy harvesting zone on the extremities were drawn by 3D motion capturing and as a result, the hip, the elbow, and the knee were determined. A new structure of piezoelectric harvester was developed for applying to clothes. Because it needed to be flexible and sensitive for human body, the 2 layer stacked structure was proposed. A prototype of seamless garment was designed for a harvesting clothes because it needed to be body-tight and not to restrict the movement. High peak-to-peak voltages were acquired from the energy harvesting clothes.

Key words : motion capture system, energy harvesting clothes, energy harvesting from body movement, stacked piezoelectricity harvester, seamless garment

요약

인체의 동작으로부터 전기 에너지를 수확하려는 압전 에너지 수확에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 본 연구에서는 이러한 압전 에너지 수확 소자를 의류에 적용하여 에너지 수확 의류를 설계하였다. 먼저, 동작 에너지를 수확하는데 적합한 사지의 인체 부위를 밝히기 위해 3차원 모션 캡처를 실시하였고, 그 결과 엉덩이,

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파이오니어 사업으로부터 지원을 받아 수행되었음
(과제번호: 2012-8-2040)

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

FAX : 02-2123-8554

팔꿈치, 무릎이 적합한 부위임이 밝혀졌으며, 이 중, 움직임이 자유로운 팔꿈치와 무릎이 동작에너지 수확 부위로 도출되었다. 압전 에너지 수확 소자의 경우 의류에 적용되기 위해서는 유연하면서도 동작에 민감하게 반응되는 새로운 구조가 필요하였으며, 2개 소자를 적층으로 구성하여 발생하는 전력량을 높이는 새로운 방식이 제안되었다. 의류의 경우 압전 에너지 수확 부위인 팔꿈치와 무릎 부위에서 인체에 잘 밀착되면서 움직임을 제한하지 않는 구조가 요구되었으며, 이에 가장 적합한 무봉제 의류로 제작되었다. 개발된 압전 에너지 수확소자를 부착한 에너지 수확 의류를 시험한 결과 높은 전기에너지 발생 결과를 얻을 수 있었다.

주제어 : 모션캡처, 에너지 수확 의류, 인체동작 에너지 수확, 적층 구조의 압전 수확 소자, 무봉제 의류

1. 서론

압전형 에너지 수확 소자에 대한 연구는 여러 구조와 소재를 이용하여 보다 높은 전력을 얻으려는 다방면의 접근이 시도되어 왔으며, 인체의 움직임으로부터 보다 효율적으로 에너지를 수확 할 수 있는 방법을 모색하는 연구도 활발히 진행되고 있다.

그러나, 인체의 움직임은 기계와 달리 주파수가 느리고, 비주기적인 간헐적 움직임을 가지며, 무엇보다 신체 부위에 따라 힘이 작용하는 방향과 크기가 다르다. 인체 움직임으로부터 효율적으로 에너지를 수확하기 위해서는 움직임에 따른 인체 각 부위의 변화의 양상을 자세히 연구하여, 압전형 에너지 수확 소자를 인체에 적합하도록 설계하여 인체 상에 적절히 배치하여야 한다.

본 연구는 인체의 사지 동작에 따른 체표면 변화를 분석하여 인체 동작 에너지를 수확하기에 최적화된 압전형 에너지 수확 의류의 기본 구조 설계안을 도출하는 것을 목표로 한다. 연구의 세부 목적은 첫째, 동작에 따른 사지 체표면의 정량적 변화를 분석하여 압전 에너지 수확에 적합한 부위를 밝히고, 둘째, 직물에 부착 가능한 적층 구조의 압전형 에너지 수확소자를 의복에 탑재 하는 방식을 고안하고, 마지막으로 사지 동작에 기반을 둔 압전 에너지 수확 의류의 구조를 도출하여 이를 검증하는 것이다.

2. 이론적 배경

2.1. 3차원 모션 캡처 시스템

3차원 모션 캡처(3D motion capture)는 사람이나 물체의 움직임을 컴퓨터가 사용 가능한 형태로 기록하는 것으로, 사람의 일상적인 움직임이나, 운동 동작, 춤 동작, 장애자의 움직임 등을 CCD카메라나 비디오카메라, 센서 등의 장비를 이용하여 움직임 데이터를 입력받고,

입력된 각 프레임의 동작을 분석하는 방법이다.

모션 캡처의 응용분야는 애니메이션, 재활의학, 제품 개발 분야 등 다양하다. 특히 컴퓨터를 이용한 애니메이션 제작 분야에서 실제 자연스러운 움직임을 직접적이며 편리하게 관찰 할 수 있도록 해 주었는데, 움직이는 점의 3차원 공간상의 위치를 측정할 수 있는 다양한 센서들이 개발되었고, 이러한 센서를 이용하여 실제 사람의 동작을 정교하게 컴퓨터 속에 재현되고 있다.

또한 모션 캡처는 의료분야에도 응용되는데, 정형외과 혹은 재활의학의 측면에서 환자의 걸음걸이나 움직임이 정상적인지를 판단하기 위한 진단의 목적으로, 혹은 수술을 통한 보정 이후의 결과를 예측하기 위한 수단으로 모션 캡처가 지속적으로 사용되고, 연구되고 있다. 이외에도 스포츠 과학, 인간-컴퓨터 상호작용(Human-Computer Interaction, HCI), 군사, 생체역학, 영화의 특수효과, 인간공학, 심리학 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다(Lee, 2003).

2.2. 압전 에너지 수확 소자

현대 기술의 발전에 따라 휴대 가능하고 소형화 된 전자제품이 의복 형태로 착용화 되고 있고, 인체에서 발생하는 여러 에너지를 이러한 휴대 기기에 사용 가능하도록 전기 에너지로 바꾸려는 노력이 시도되고 있다. 특히, 현재까지 개발된 일반 전원은 크기, 무게 및 수명에 문제가 있고, 기술의 발전 속도가 느리다는 단점이 있는데, 이러한 문제를 해결하고자 새로운 전력 공급원으로서 자가 방식에 대한 연구가 시도되고 있다(Yang & Yun, 2011). 현재 휴대 및 착용형 전자 기기를 위한 기술의 발전 방향은 낮은 전력을 소비하는 제품군을 지향하므로, 에너지 수확 소자와 같은 저전력 전원 기술 등의 새로운 전원에 대한 연구가 시도되고 있다(Vuller et al., 2009; Micheson et al., 2008). 에너지 수확은 태양광, 온도 및 진동 에너지 등의 자

연 소멸되는 에너지원으로부터 전기 에너지를 생성하는 것을 과정을 말하는데(Shen, 2006; Stephen, 2006), 이러한 다양한 생활 주변 에너지 중 가속, 변위, 진동, 움직임 등과 같은 기계적 에너지를 전기적 에너지로 바꾸는 것을 압전 에너지 수확(piezoelectric energy harvesting)이라고 하며, 이러한 압전 수확 소자 및 방식에 대한 연구가 최근 몇 년 동안 관심의 대상이 되어 왔다(Patel et al., 2010; Marwencki et al., 2008; Liu et al., 2008; Roundy et al., 2008).

기계적 변형이 일어났을 때 전기장을 발생시키고, 반대로 전기장이 으로 인해 물질에 변형이 일어나는 현상을 압전 효과라고 한다. 이러한 성질을 지닌 물질들(AIN, PVDF, PZT, ZnO)을 압전 물질이라 하며, 압전 물질을 이용하여 주변에 존재하는 물리적 에너지를 전기에너지로 효율적으로 변환하기 위해서는 경우에 따라 적절한 재료의 선택이 필요하다. 일반적으로 압전물질은 압전폴리머(piezoelectric polymer)계열과 압전세라믹(piezoelectric ceramic) 계열로 구분된다. 본 논문에서 사용된 압전 물질인 PVDF(polyvinylidene fluoride)는 압전폴리머 계열의 대표적인 예이다. PVDF는 작은 커플링 상수(coupling coefficient)를 가지지만 얇은 폴리머 필름 형태로 유연성이 크다는 장점 때문에 에너지 수확 소자와 센서에 널리 사용되고 있으며, 심장박동, 근육 인장, 혈액순환 등의 저밀도 에너지의 미세 신장(nano-stretching)으로 인한 압전 에너지를 전기 에너지로 쉽게 변화시킬 수 있다는 장점이 있다(Yang & Yun, 2011).

본 연구에서는 PVDF의 구조를 새롭게 설계함으로써 전기발생의 효율을 높이는 방식이 연구되었다. 인체의 운동 및 동작에 따른 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위해서는 신체부위의 이동 길이가 길고 신장이 강하게 일어나는 곳에 적용해야하므로, 팔의 회전, 스트레칭, 손가락의 미세 동작, 그리고 걷거나 뛰는 다리의 동작 등이 비교적 큰 기계적 에너지 원으로 연구되고 있다(Dewei & Jing, 2009). 신장이 강하게 일어나는 곳 뿐 만이 아니라 동작의 주파수가 커야 전력에너지 수확 효율이 높아지므로 신체 부위를 움직이는 속도에 대한 연구도 현재 중요 이슈로 연구되고 있다.

2.3. 압전 에너지 수확 의류

압전 에너지 수확 소자 및 방식에 대한 다양한 연구가 진행되고 결과가 발표되고 있으나, 이를 적용한

압전 에너지 수확 제품이나 의류에 적용하고자 하는 연구는 아직까지 미비한 상황이다.

미국의 사우스햄프턴 대학(University of Southampton)에서는 압전 수확 필름을 제작하는 기술을 개발하고 있는데(Fig 1), 2015년 경 개발이 완료될 전망이며, 신발 등에 부착하여 걷거나 뛰는 에너지를 전기에너지로 전환하는데 사용될 수 있을 것이라고 발표하였다(Science Daily, 2010.8).



Figure 1. piezoelectric energy harvesting film (University of Southampton, 2010)

영국의 이동통신사인 오렌지(Orange)사는 재활용 에너지 전문회사인 갓윈드(Gotwind)사와 협업하여 2011년 글라스톤베리 페스티벌(Glastonbury Festival)에서 음파 에너지를 전기에너지로 바꾸어주는 압전 T셔츠인 사운드차지(Sound Charge)의 디자인을 발표하였다(Fig. 2). 이 셔츠에는 유연 압전 필름이 부착되어 거대한 앰프에서 방출되는 음파에 반응하여 진동에너지를 전기에너지로 바꾸어 주는데, 80 데시벨(decibel)의 환경에 3일 동안 노출되었을 때, 6W의 전력을 생산하였으며, 이는 2대의 일반 휴대전화나 1대의 스마트폰을 켤 수 있는 양이었다(Orange Newsroom, 2011.6).

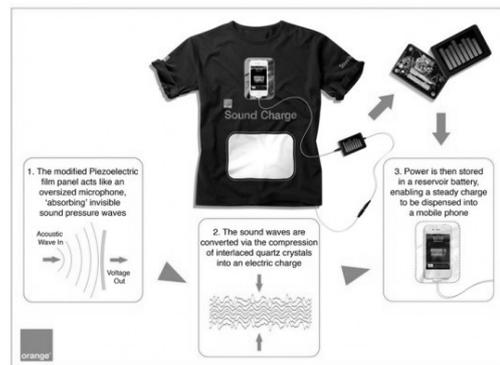


Figure 2. "Sound Charge" T-shirt(Orange & Gotwind, 2011)

3. 연구방법 및 절차

3.1. 3차원 모션캡처를 통한 인체 체표면의 신축부위 도출

3.1.1. 실험의 개요

본 연구에서는 현재까지 주로 의료용이나 운동역학적 분석, 애니메이션 제작 등의 용도로 활용되어 온 모션 캡처 시스템을 인체의 사지 동작 시 체표면의 신축 변화를 측정, 분석하여 압전 소자 부착의 최적화 부위를 밝히는 용도로 새롭게 적용하였다.

3차원 모션 캡처의 도구로서 Vicon Inc.의 Vicon MX system을 사용하였다. MX system은 보행 분석을 위해 개발된 시스템으로 본 연구에 사용된 시스템의 구성은 1600만 화소의 적외선 카메라 T160 21대와 하드웨어인 MX Giganet, Host PC, 마커 81개, 데이터 분석을 위한 소프트웨어인 Body Builder였다(Fig. 3).

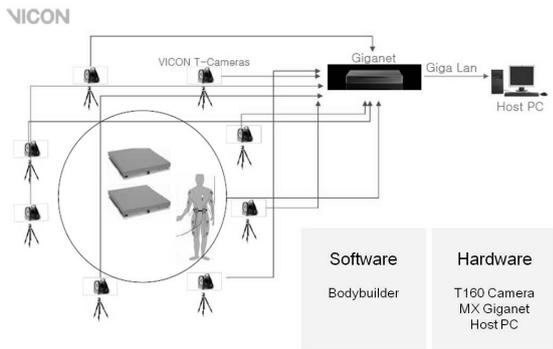


Figure 3. Vicon MX system

본 연구의 실험은 2010년 4월 21일~5월 7일 사이에 차세대융합기술연구원의 모션캡처스튜디오에서 시행되었다. 실험 참가자는 20~30대 남성 4명으로 신장은 168~175cm, 몸무게는 72~81kg 사이에 분포되었고, 상의는 탈의상태, 하의는 몸에 밀착되는 반바지를 착용한 상태로 실험에 참가하였다.

3.1.2. 실험 절차 및 방법

본 연구에서는 실내 모션 캡처가 가능하면서 마커로부터 안정적으로 정보를 얻을 수 있는 사지 동작을 연구 대상으로 선정 하였으며, 먼저 동영상 및 사진을 촬영하여 이를 분석함으로써 실험에 필요한 마킹 점

과 동작 프로토콜(protocol)을 도출하였다.

마킹점은 동작분석 결과를 토대로 하여 인체 동작의 기본 계측점들, 의복 설계를 위한 기준점들, 및 사지 동작에 따른 변위가 큰 영역의 점들을 모두 포함하도록 정하였으며, 그 결과 팔 부위 46개(Fig. 4), 다리 부위 35개(Fig. 5), 도합 81개 마킹점이 도출되었다. 마커는 지름이 10mm로 체표면에 부착되었으며, 마커의 표면은 재귀반사소재로 덮여있어 사방에서 적외선 카메라를 사용하여 촬영되었다.

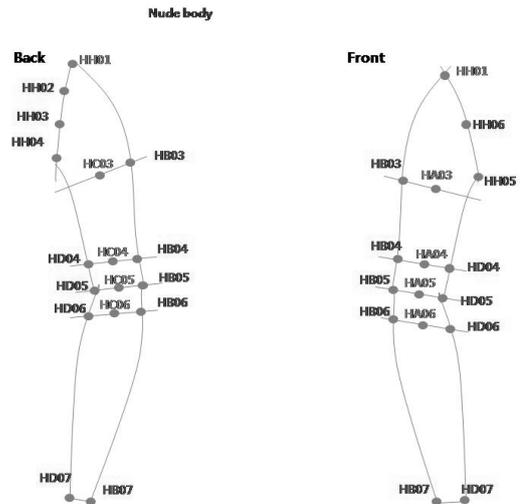


Figure 4. Marking on the Upper Extremities

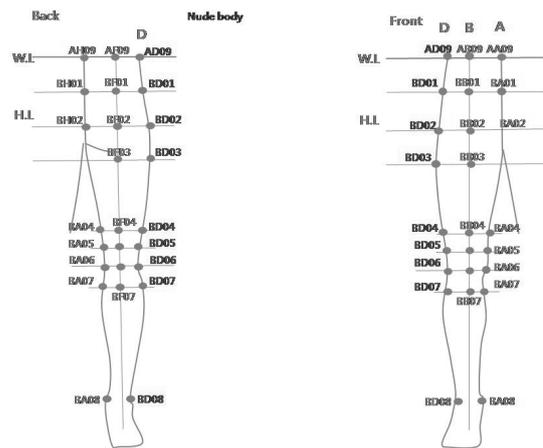


Figure 5. Marking on the Lower Extremities

동작 프로토콜은 주로 사지의 근육과 관절을 최대한 수축 및 이완시키는 동작들을 포함하도록 설계되었다. 운동역학의 분야에서 팔과 다리의 근육과 관절의 움직임의 범위를 쉬는 자세(natural 0°)를 기준으로 살펴보면, 팔의 경우 견관절(shoulder joint)에서

굽힘(flexion)과 폼(extension)은 $-60\sim 180^\circ$ (Fig. 6, A), 외전(abduction)과 내전(adduction)의 경우 $-50\sim 180^\circ$ (Fig. 6, B), 수평외전(horizontal abduction)과 수평내전(horizontal adduction)은 $-30\sim 150^\circ$ (Fig. 6, C)의 범위에 있다고 하였으며, 주관절(elbow joint)의 경우 굽힘과

폼은 $0\sim 150^\circ$ (Fig. 6, E), 내부회전(internal rotation)과 외부회전(external rotation)의 경우 $-90\sim 70^\circ$ (Fig. 6, D)의 범위에 이른다고 하였다.

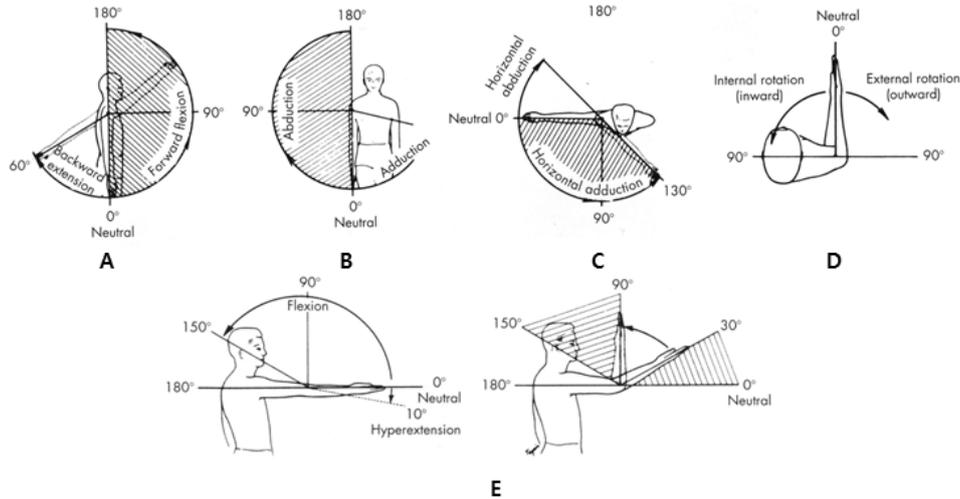


Figure 6. Range of Motions of the Upper Extremity (Floyd, 2007)

- A: shoulder flexion & extension
- B: shoulder abduction & adduction
- C: shoulder Horizontal abduction & horizontal adduction
- D: elbow Internal & external rotation
- E: elbow flexion & extension

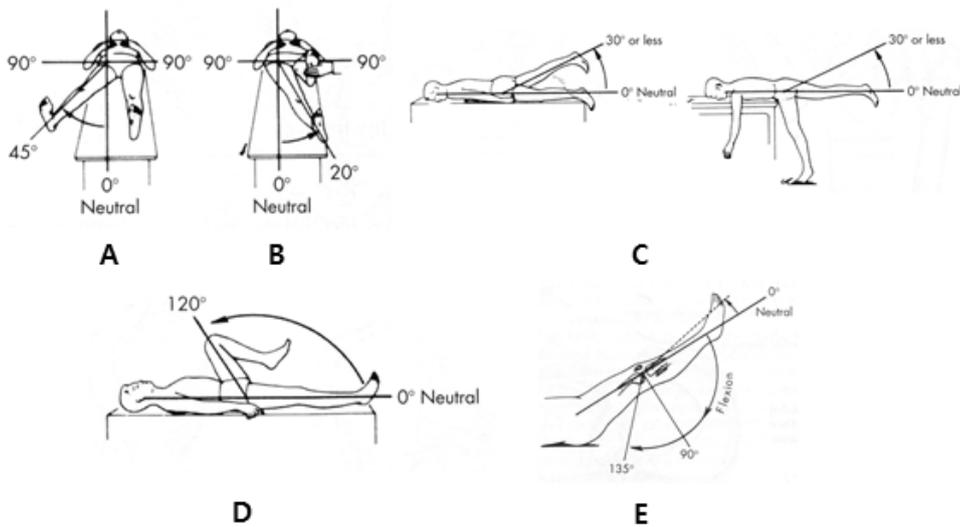


Figure 7. Range of Motions of the Lower Extremity (Floyd, 2007)

- A: hip abduction, B: hip adduction, C: hip extension
- D: hip flexion, E: knee flexion & extension

또한 다리의 경우에는 고관절(hip joint)의 굽힘과 폼은 $120\sim 30^\circ$ (Fig. 7, C, D), 외전과 내전은 $45\sim 20^\circ$ (Fig. 7, A, B), 무릎 관절(knee joint)에서의 굽힘과 폼은

$0\sim 135^\circ$ 의 범위에 있다고 하였다(Floyd, 2007).

본 연구에서는 이러한 근육과 관절의 최대 움직임을 반영하여 각 동작에서 최대 각도의 동작을 취하도록

록 프로토콜을 구성하였으며, 그 순서는 팔의 경우 모션 캡처를 위한 기준 자세(T-pose), 자연스러운 쉬는 자세(기본동작), 견관절 굽힘, 펴, 외전, 내전, 수평외전, 수평내전, 주관절 굽힘, 펴, 내부회전, 외부회전의 순서였다. 다리의 경우 고관절 굽힘, 펴, 외전, 내전, 무릎관절 굽힘, 펴의 순서였으며, 기본 동작 후 기준 자세로 마무리 하였다(Fig. 8).

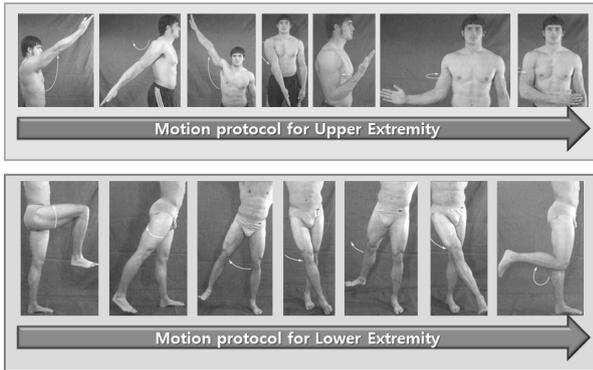


Figure 8. Motion Protocol

실험참가자들은 프로토콜의 각 동작을 충분히 연습하고 실험에 임하였는데, 연속으로 동작을 진행하면서 각 동작에 소요되는 시간 및 전체 촬영 시간이 각 피험자 간에 차이가 없도록 사전에 조율한 뒤 촬영을 실시하였다. 팔의 동작을 찍은 후, 이어서 다리 동작을 촬영하였으며, 모든 동작을 수행하는데 소요된 시간은 약 1분이었다.

3.2. 적층구조의 압전형 수확소자 설계 및 제작

3.1.1. 적층구조의 압전형 수확소자 설계

본 연구에서는 압전형 수확소자를 의류에 적합하도록 적층형으로 개발하였는데, 상용 PVDF 필름을 2층 구조로 부착한 후 필름 상층부에 폴리머 필름을 부착한 구조로 설계되었다. 이 소자는 PVDF 구조 층을 양 끝에서 당기거나 외부의 힘의 작용에 의해 압력을 받을 때마다 높은 전력을 발생시키는데, 이러한 상태가 반복되면서 기계적 에너지를 전기 에너지로 지속적으로 변환시킨다. Fig. 9는 소자의 단면도로서, PVDF 필름과 폴리머 지지 필름이 교대로 부착되어 2층의 레이어를 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 교차 접합을 통해 신장과 수축 시에 2개 층이 같은 극성의 출력을 얻을 수 있으므로, 출력되는 전기 에너지의 양

이 커질 수 있다.

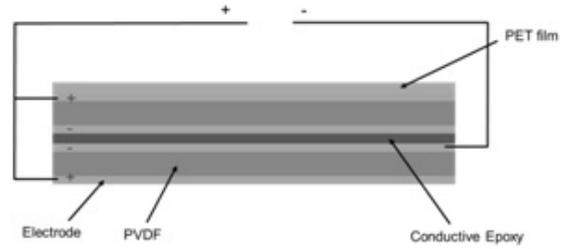


Figure 9. Cross-Sectional Drawing for Stacked Piezoelectric Energy Harvester

3.1.2. 소자의 제작

실험에 사용된 PVDF는 양면에 금속 전극이 있는 110 μ m 두께의 필름이었으며, 폴리머 지지 필름으로는 150 μ m의 폴리에스터 필름이 부착되었는데, 폴리머 필름이 부착된 PVDF가 2층으로 겹쳐진 형태였으며, 폭 10mm, 길이 160mm의 형태로 제작되었다(Fig. 10). 소자의 길이는 모션캡처 실험 결과, 팔꿈치점(Olecranon)과 무릎뼈가운데점(Midpatella)에서 위 아래로 5cm 정도까지 수축과 신장이 많이 일어나는 것으로 나타났기 때문에, 이 부분에 전기를 발생시킬 수 있는 폴리머 부착 부분을 배치하고 양 끝으로 전선을 부착하는 부분을 두어, 160mm로 결정되었다. 또한 소자의 폭의 경우, 인체 표면에 밀착되면서 움직임에 의해 구겨지거나 파열되지 않는 크기이면서 최대한 넓은 크기로 제작하기 위해 임의의 크기를 실험한 결과 10mm로 결정되었다.

적층된 두 레이어에서 신장 및 수축에 의해 서로 같은 극성의 전하 발생을 얻기 위해서 극성 방향을 서로 반대 방향으로 부착할 필요가 있었다. 같은 방향의 극성으로 적층 구조를 형성한다면 PVDF가 신장 및 수축 시에 서로 맞닿는 전극 쪽에서 도통이 발생하기 때문에 비전도성 물질로 된 층이 한 층 더 삽입되어야 하며, 이러한 경우에는 유연성이 떨어지게 된다. 의복에 부착되어 인체와 상호작용할 수 있어야 하는 특성 상 유연성이 매우 중요하므로 보다 유연하게 제작하기 위해 레이어를 줄이고 유연성을 살릴 수 있는 접착 방식이 적절하다 사료되어, 2층의 레이어로 제한되었고, 중간 비전도성 층을 제외시킬 수 있는 방안으로 제작되었다.

PVDF의 적층 구조를 형성한 후 소자에 압력을 가

하기 위하여 10mm X 10mm 크기의 폴리머 필름 7개를 PVDF의 바깥 면에 10mm 간격으로 부착하였고, PVDF의 양 끝의 각각 극성 면에 전선을 부착하여 적층형 압전 소자를 완성하였다.

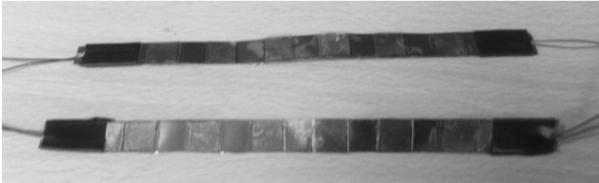


Figure 10. Double-layer Stacked Piezoelectric Energy Harvester

3.3. 압전 에너지 수확의류 설계 및 시험

3.3.1 압전 에너지 수확 의류 설계의 개요

모션캡처 결과 체표면 변화가 큰 부위로 팔꿈치와 무릎, 엉덩이가 도출되었고, 그 중 움직임의 폭과 속도가 작은 엉덩이를 제외한 팔꿈치와 무릎이 압전 에너지 수확의 적절 부위로 도출되었다. 또한 에너지 수확 부위는 소자의 인체 밀착도가 크면서도 움직이기 불편함이 없어야 에너지 수확이 가능하므로, 이를 위해 본 연구에서는 압전 에너지를 수확하기 위한 플랫폼 의류로서 인체의 움직임을 제한하지 않으면서, 인체에 밀착될 수 있으며, 필요한 부위만 적절한 압력을 줄 수 있도록 부분설계가 가능한 형태인 무봉제(seamless) 의류가 설계 대상으로 선정되었다. 무봉제 의류는 재단과 봉제 과정을 완전히 사용하지 않거나 최소한으로 사용해서 제작된 완전한 하나의 의복을 말한다(Choi & Powell, 2005). 이를 위해 보통 환편물로 제작되며 각 부분의 조직을 변화시켜 다양한 기능을 부여할 수 있다.

본 연구에서는 28 게이지(guage)의 무봉제 의류를 제작하였는데, 폴리에스테르(polyester) 80%, 폴리아미드(nylon) 15%, 폴리우레탄(Lycra) 5%로 구성된 편물이었으며, 몸에 밀착되는 형태의 상의와 하의 두벌로 설계되었다(Fig. 11) 압전 에너지 수확 적절 부위인 팔꿈치와 무릎 부위의 밀착도를 높이고 에너지 수확 소자가 안정적으로 작동할 수 있도록 부착성을 높이기 위해 팔꿈치와 무릎 부위는 중량이 높은 실을 사용하고 1x1 립(rib)조직으로 구성하였다. 또한 의복이 인체에 적절히 고정될 수 있도록 가슴과 진동둘레, 배둘

레, 팔목둘레 및 발목둘레도 밀도를 높인 립조직으로 구성하여 움직임에 따라 팔꿈치와 무릎 부위의 의복이 체표면에서 미끄러지지 않도록 설계하였다. 의복을 위해 제작된 적층 구조의 압전 에너지 수확소자는 팔꿈치와 무릎에 자수를 이용해 부착되어 소자와 의복의 유연성을 유지하면서도 인체의 움직임에 반응하기 쉽도록 설계되었다. 부착위치는 팔의 경우팔꿈치 선을 중심으로 위, 아래 같은 길이로 팔의 방향과 맞추어 부착되었는데, 팔을 구부렸을 때 가장 뾰족하게 튀어나오는 부분에 배치되었으며, 무릎도 역시 같은 방법으로 배치되었다.

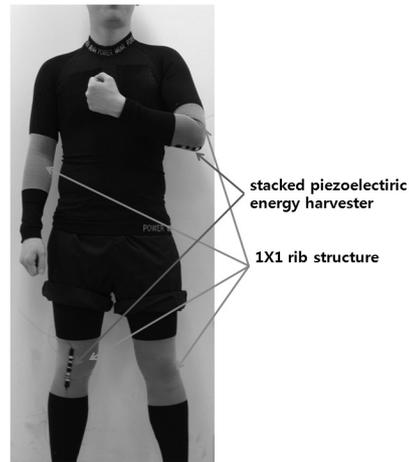


Figure 11. Design of the Piezoelectric Energy harvesting Clothes

3.3.2. 실험의 개요

본 실험에서는 제작된 압전 에너지 수확 의류의 기능을 시험하기 위해 팔꿈치와 무릎의 운동 속도를 변화시키면서 인체의 동작 에너지가 전기 에너지로 변환되는 양을 측정하였다.

실험은 2012년 12월 26일에 실시되었고, 실험 참가자는 20대 남성 1명이었으며, 표준 체형이었다. 실험에 사용된 장비는 압전에너지 수확 의류 상하의 1벌과 오실로스코프(oscilloscope) 1대, 연결을 위한 전선 등이었다.

3.3.3. 실험의 절차 및 방법

실험참가자는 에너지 수확 의류를 착용하고 소자를 오실리스코프에 연결한 채로 팔꿈치와 무릎을 운동하여 발생하는 전력량을 측정하였다. 팔꿈치와 무릎을 최대한 굽혔다가 완전히 펴는 운동을 반복하였는데,

초당 반복 횟수인 Hz를 변화 시켜가며 측정하였다. 인체 특성상 너무 빠른 속도로 움직이는 것은 불가능하며, 너무 느린 운동의 경우 전력 생산량이 미미하므로, 운동 속도(frequency)를 0.5Hz, 1.0Hz, 1.5Hz, 2.0Hz 4가지로 변화시키면서 측정하였다. 각 Hz별로 5분간 연속하여 운동하여 발생하는 전력량(voltage)을 오실 리스코프로 출력하였으며, 각 Hz에서 측정을 3회씩 반복하되 반복하는 사이 5분간의 휴식기를 두었다.

4. 연구결과

4.1. 모션 캡처 결과 및 압전 에너지 수확 부위 도출

동작에 따른 인체상 모든 마킹점들 간의 가로, 세로, 대각선 거리의 변화를 0.25초 간격으로 도출하고 이를 분석하여 기본 동작에 대비하여 시간에 따라 변화된 거리의 비율을 도출하였다.

선행연구는 사지 체표면의 최대 신장율이 45%에 이른다고 밝힌 바 있으나(Shishoo, 2005), 본 연구에서는 사지의 체표면을 세분화 하고 실시간 변화를 반영하여 미세 시간 단위로 계측한 결과 팔꿈치와 무릎, 엉덩이 부위에서 60% 이상 신장되는 부위가 있음을 밝힐 수 있었다(Fig 12, 13).

따라서, 신장율이 크면서 압전 소자의 부착이 가능하고, 운동량도 많으면서 움직임의 속도(frequency)도 큰 부위로 팔꿈치와 무릎 부위가 압전 에너지 수확부위로 적절하다고 사료되었다.

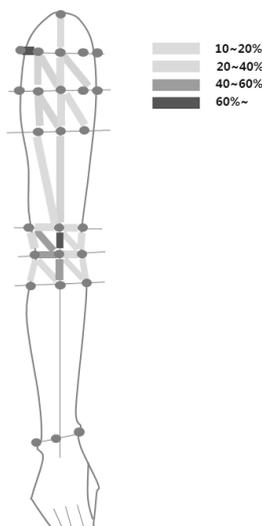


Figure 12. Extension Zone on the Upper Extremities

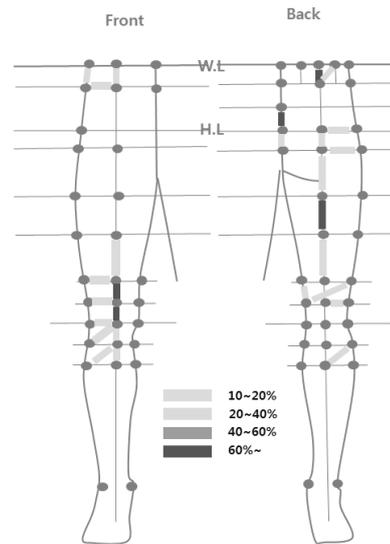


Figure 13. Extension Zone on the Lower Extremities

4.2. 압전 의류 시험 결과

Fig. 14은 실험 결과 압전 에너지 수확 의류로부터 도출된 평균 Vp-p 전력(peak to peak voltage, V)을 도시한 것으로, 움직임의 속도가 빨라질수록 생산되는 전력량이 커짐을 알 수 있었다. 팔꿈치로부터는 2.0Hz에서 최대 평균인 20.2V의 전력을 얻을 수 있었으며, 무릎으로부터는 2.0Hz일 때 최대 평균 전력량인 22.4V의 전력을 얻을 수 있었다. 이는 선행연구들(Patel et al., 2010; Marwencki et al., 2008; Liu et al., 2008; Roundy et al., 2008; Yang & Yun, 2011)에서 의류화 되지 않은 일반 PVDF로부터 도출된 전력량보다 많은 양인데, 이를 통해 압전에너지 수확을 위한 인체 부위를 밝히고 이를 적용하여 인체 부위에 고정되도록 설계된 압전에너지 수확 의류의 설계안이 적절하였음을 알 수 있었다.

Fig. 15는 도출된 Vp-p(voltage, V)의 양을 움직임의 속도별 저항(resistive load, Ω)를 도출하여 전기량(power, mW)으로 환산하였을 때의 결과를 보여주는 데, 팔꿈치의 경우 최대 0.90mW의 전기가 발생하며, 무릎으로부터는 0.94mW의 전기가 발생하는 것으로 계산되었다.

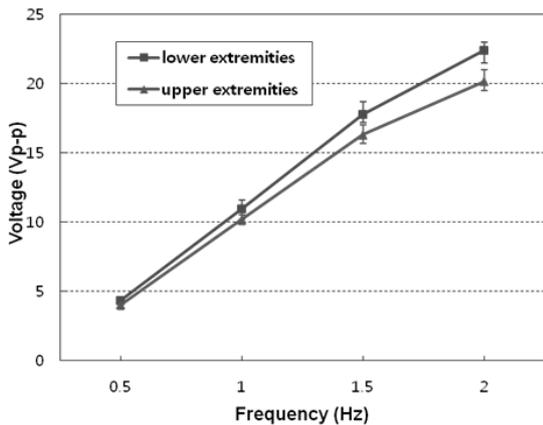


Figure 14. Peak-to-Peak Voltage(V) by Frequencies

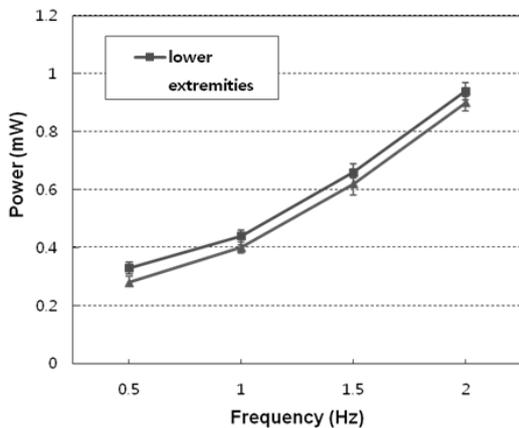


Figure 15. Power(mW) by Frequencies

5. 결론

본 연구에서는 인체의 사지 동작에 따른 체표면 변화를 분석하여 사지 중 팔꿈치, 무릎, 엉덩이 부분의 체표변화가 60% 이상으로 큰 부위임을 밝혀냈다. 또한 의복에 적합한 압전 에너지 수확 소자를 적층 구조로 설계, 제작하고, 압전 소자를 부착하기 위한 무봉제 의류 플랫폼을 디자인하여 인체 동작 에너지를 수확하기에 최적화된 압전형 에너지 수확 의류의 기본 구조 설계안을 도출하였다. 이를 시험한 결과 기존 방식보다 월등히 높은 전력을 생산할 수 있는 설계안을 입증하였다.

그동안 압전 에너지 수확소자에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔으나, 이를 실제 응용하여 의복화한 연구는 전무한 상태였다. 본 연구는 미세 에너지로 소멸되어온 인체 동작에너지를 수확하려는 시도 중 하나로 압전 에너지 수확 소자를 실제 의류에 적용하여

높은 전력량을 발생시킬 수 있는 설계안을 도출하였다는 데 그 의의가 있다고 하겠다.

본 연구에서 개발된 압전에너지 수확 소자의 경우 인체에 적용할 경우 일상생활용으로도 활용 가능하지만, 발생된 전력을 저장하여 관리하는 부분에 대한 연구가 추가로 필요하다고 생각되며, 특히 스포츠용으로 적용된다면 더 많은 전력량을 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 연구에서는 특수 용도의 의복에 적용하기 위한 다양한 방면의 연구가 지속될 필요가 있다.

REFERENCES

Choi, W., Powell, N.B., (2005). Three Dimensional Seamless Garment Knitting on V-Bed Flat Knitting Machine, *Journal of Textile and Apparel*, Vol. 4, Issue 3, 1-33.

Dewei, J.I.A., Jing, L.I.U., (2009). Human power-based energy harvesting strategies for mobile electronic devices, *Front. Energy Power Eng. China* Vol. 3, 27-46.

Floyd, R. T., (2007). *Manual of Structural Kinesiology*. New York: MacGraw-Hill.

Lee, J. H., (2003). the Past, the Present, and the Future of the Motion Capturing, *Communications of the Korea Information Science Society*, Vol. 21, no. 7, 24-29.

Liu, J.-Q., Fang, H.-B., Xu, Z.-Y., Mao, X.-H., Shen, X.-C., Chen, D., Liao, H., Cai, B.-C., (2008) A MEMS-based piezoelectric power generator array for vibration energy harvesting, *Microelectronics Journal* Vol. 39, 802-806.

Marxencki, M., Ammar, Y., Basrou, S., (2008). Integrated power harvesting system including a MEMS generator and a power management circuit, *Sensors and Actuators A* 145 - 146, 363-370.

Mitcheson, P.D., Yeatman, E.M., Rao, G.K., Holmes, A.S., Green, T.C., (2008). Energy harvesting from human and machine motion for wireless electronic devices, *Proc. IEEE* Vol. 96, 1457-1486.

Orange Newsroom (20 June 2011). Turn it up to 11th Orange unveil the “Sound Charge”™ 2011. <http://newsroom.orange.co.uk/2011/06/20/turn-it-up-to-11-orange-unveils-the-sound-charge-2011>.

- Patel, I., Siores, E., Shah, T., (2010). Utilisation of smart polymers and ceramic based piezoelectric materials for scavenging wasted energy, *Sens. Actuators A* Vol. 159, 213-218.
- Roundy, S., Wright, P.K., Rabaery, J., (2003) A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes, *Computer Communications* Vol. 26, 1131-1144.
- Science Daily (18 August 2010). Clothing to Power Personal Computers. <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/08/100817143810.htm>.
- Shen, D., (2009). Piezoelectric Energy Harvesting Devices for Low Frequency Vibration Applications, Auburn University.
- Shishoo, R., (Eds.) (2005). Textiles in Sport, London: Woodhead Publishing.
- Stephen, N.G., (2006). On energy harvesting from ambient vibration, *J. Sound Vib.* Vol. 293, 409-425.
- Vllers, R.J.M., Schaijk, Doms, I., Van C., Metens, R., (2009). Micropower energy harvesting, *Solid-State Electron.* Vol. 53, 684-693.
- Yang, B., Yun, K.-S., (2011). Efficient energy harvesting from human motion using wearable piezoelectric shell structures, in: *Transducers'11 Conference*, Beijing, China, June 5-9, 2646-2649.

원고접수: 2013.01.29

수정접수: 2013.02.26

게재 확정: 2013.03.29