

에너지 하베스팅 패션제품 개발현황

서 정 은 · 노 정 심*

상명대학교 의류학과 조교수
상명대학교 의류학과 부교수*

요 약

디지털 정보통신기술의 발전에 따라 최근 자가발전을 통한 에너지 수확, 저장, 전환은 스마트 패션제품 개발에 있어서 중요한 방향성과 비전을 제시하고 있다. 본 연구에서는 에너지 하베스팅 기술을 적용한 패션 제품의 개발현황을 살펴보고자 하였다. 선행연구를 통해 의류에 적용 가능한 에너지 하베스팅 기술의 대표적 유형을 열전, 압전, 마찰전기, 광전, 전자기파의 5가지로 분류하고, 이를 구글과 네이버 및 관련 웹사이트에서 한영 키워드로 검색하여 140여개의 상용화된 패션제품 사례를 도출, 유형 및 특징을 분석하였다. 현재 기술 성숙도가 높고 가장 많은 상용화가 이루어진 에너지 하베스팅 기술은 태양전지로 의류 전반의 다양한 아이 템에 적용·개발되고 있다. 압전 기술은 압전필름을 설치하여 소리파장에 의한 진동, 신체 움직임에서 발생하는 압력 등을 전기로 변환하는 제품, 열전은 주로 사람의 체온 변화를 감지하여 에너지로 변환이 가능한 손목 시계나 밴드형에서 침낭, 신발 등, 마찰전기는 접촉대전 나노발전기를 삽입하여 사람의 불규칙한 신체 활동에서 수확한 에너지를 충전하는 제품 형태로 활발히 개발되고 있다. 전자기파는 패션제품화가 비교적 낮으나 주변에 버려지는 전자기파유도 에너지를 텍스타일 안테나나 손목밴드 등의 저장장치에 수확하여 사용하는 제품으로 나타나고 있다. 에너지 하베스팅에 대한 기술적 관심은 국내외에서 매우 크게 증가하고 있으나, 아직 본격적 상용화 개발은 미흡하기 때문에, 패션아이템으로서의 기능성과 실용성, 편리성, 그리고 무엇보다 트렌드 감각을 갖춘 심미성을 지닐 수 있는 기술적 접근과 사용자 중심의 디자인 개발이 중요하겠다. 패션 커뮤니케이션의 확장으로써 패션 테크놀로지의 적용은 일상에서 친숙한 습관으로 다가오는 스마트 테크놀로지 트렌드, 일상의 건강과 웰빙을 추구하며 여가활동에 대한 높은 관심으로 부각된 에슬레저 트렌드, 그리고 친환경적 고부가가치의 그린디자인을 추구하는 지속가능 트렌드 등 시대적 메가트렌드에 부합하는 결과물로 도출되어야 할 것이다.

주제어 : 에너지 하베스팅 소재, 에너지 하베스팅 기술, 에너지 하베스팅 패션제품

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(IITP-2017-2015-0-00390)

*교신저자: 노정심, jungsimroh@smu.ac.kr

접수일: 2017년 9월 20일, 수정논문접수일: 2017년 11월 21일, 게재확정일: 2017년 12월 7일

I. 서론

최근 유비쿼터스 환경이 고도화되면서 디지털 기술은 자연스럽게 우리의 일상 속에 스며들었고, 패션과도 다양한 융합이 시도되고 있는 스마트 웨어러블(smart wearable) 시대에 이르렀다. 전자기기는 소형화, 저전력, 유연성이 더욱 요구되고, 휴대폰은 스마트 라이프 스타일을 대표하는 필수기기가 되면서, 각종 센서의 전원 공급과 저전력형 휴대 전자기기의 효율적 활용을 위한 전원 확보 문제가 대두되었다. 패션에서도 에너지의 효율적 활용에 주목하게 되었고, 이는 섬유패션 제품의 새로운 용도와 기능의 확대를 가져왔다. 특히, 자가 발전을 통한 에너지 수확, 저장, 전환은 스마트 패션제품 개발에 있어서 중요한 방향과 비전을 제시하고 있다. 빛, 열, 전기에너지를 활용한 에너지 전환용 섬유소재가 개발되었고, 섬유제품의 기능적 발전단계에서 웨어러블 스마트 디바이스는 중요한 이슈가 되고 있다. 4차 산업혁명시대의 스마트 패션제품 개발은 에너지 수확, 저장, 전환이라는 단계별 기술을 적용한 사용자 중심의 디자인을 추구하고 있다. 에너지 하베스팅에 대한 원천 기술 확보를 통한 상용화는 시대 당면 과제이며 웨어러블 전자기기 등을 비롯한 에너지 하베스팅 기술의 응용·확대를 통한 산업의 활성화가 크게 기대된다(Kang & Jung, 2014).

에너지 하베스팅(energy harvesting)이란 일상생활에서 버려지거나 소모되는 에너지를 모아 전력으로 재활용하는 기술로, 바람, 물, 온도, 태양 등의 자연 에너지를 전기에너지로 변환하는 것뿐만 아니라 사람이나 교량의 진동, 실내 조명광, 자동차의 폐열, 방송 전파등과 같이 주변에 버려지는 에너지도 전기에너지로 전환하는 기술이다. 에너지 하베스팅은 메사추세츠 공과대학에서 세계 10대 유망기술로 선정되었고, 미국의 과학잡지 『Popular Science』에서는 45가지 혁신기술 중 하나로 선정되었다(Kim, 2016). 또한,

국가표준코디네이터사무국(NCS)은 2015년도 10대 표준화전략 트렌드 중 하나로 웨어러블 에너지 하베스팅 기술을 지목하였다. 웨어러블 에너지 하베스팅 기술은 인체의 움직임에서 발생하는 진동, 압력, 열, 마찰력 등의 에너지를 사용 가능한 전기에너지로 변환시키는 기술로 기능성 의복, 스마트워치와 같은 웨어러블 전자기기(wearable electronics)의 주전원 혹은 보조전원으로 응용될 수 있다. 또한, 심박조율기(pacemaker)와 같이 여러 가지 생체 신호를 감지할 수 있는 삽입형, 부착형 바이오메디컬 생체 모니터링 등에 의복착용형 혹은 액세서리형으로 적용가능하다(웨어러블 에너지 하베스팅 기술 [Wearable energy harvesting], 2015). 미래 의생활 트렌드에서 ‘일상복의 웨어러블 컴퓨터화’는 사회적 영향력이 가장 큰 항목으로 평가되고 있으며(Bae & Ha, 2017), 최근 상용화되고 있는 스마트워치, 신발, 모자, 가방, 주얼리, 옷 등 다양한 스마트 패션제품에서 나타나듯이 디지털 기술은 어느새 우리의 일상과 매우 가까워져서, 마치 익숙한 습관처럼 자연스럽게 편리하게 사용하기 원하는 소비자들의 요구에 부합하는 디자인으로 발전하고 있다(Suh & Roh, 2015).

본 연구에서는 디지털 정보통신기술의 발전으로 일상생활에서 늘 온라인 되어 있는 모바일 세대의 특성에 부합하는 에너지 하베스팅 기술의 상용화 필요성을 인식하고, 이를 적용한 패션제품의 개발현황을 살펴보고자 하였다. 먼저 관련 선행연구 및 학술자료에 대한 고찰을 바탕으로 에너지 하베스팅의 개념을 고찰하고 에너지 하베스팅 소자를 분석하여 환경과 신체에너지로 구분한 뒤, 의류에 적용 가능한 기술을 열전(thermoelectric), 압전(piezoelectric), 마찰전기(triboelectric), 광전(photovoltaic), 전자기파(electromagnetic)의 5가지 유형으로 분류하였다. 사례 연구는 구글과 네이버에서 ‘각 기술 명칭’과 ‘에너지 하베스팅’, ‘스마트 웨어러블’, ‘스마트 패션제품’이라는 한영 키워드로 1차 검색하고, 도출된 제품명에 관한 웹사이트를 추가 검색하여 총 140여개의 상용화된 패션제품

사례를 도출, 유형 및 특징을 분석하였다. 이는 앞으로 더욱 가속화될 스마트 웨어러블 패션 시장에서, 시대적 트렌드를 선도하며 지속가능한 친환경 에너지라는 새로운 고부가가치를 창출할 수 있는 사용자 중심의 디자인 전략 개발에 유용한 기초자료가 되리라 사료된다.

II. 이론적 배경

1. 에너지 하베스팅 개념 및 시장 전망

에너지 하베스팅이란 주변에 버려지는 빛, 열, 운동, 진동에너지 등을 모아 저장하여 웨어러블 전자기기 또는 무선센서 네트워크와 같은 유용한 전력원으로 변환하는 기술이다. 태양광선, 실내조명광과 가전기구, 바람, 교량의 진동, 사람의 움직임, 자동차의 진동과 폐열, 그리고 방송 전파에 이르기까지 다양한 에너지원을 활용할 수 있다(Figure 1). 발전소의 경우 석탄, 석유 등의 에너지원에 대한 막대한 소요 비용이 발생하는 반면, 에너지 하베스팅 기술의 경우 에너지원에 대한 비용이 전혀 없고, 대용량 발전보다는 직접적으로 사용 가능한 독립 전원 또는 발전 기술로 다양한 응용 분야에 기술 접목이 가능하다(Kang & Jung, 2014). 수확된 에너지는 규모에 따라 원격센서, 웨어러블 기기, 의료기기, 군용기기, 자동차, 발전 등 다양한 용도로 응용되고 있다. 하베스팅 가능한 에너

지원은 자연, 인체, 산업폐열, 기계진동 등 다양한 형태가 존재하며, 전 지구상에 획득 가능한 에너지량은 빛, 열, 진동, RF(Radio Frequency) 순이다(Moon et al., 2016).

에너지 하베스팅 기술이 늘어나는 소형·무선 전자기기의 전원공급 문제를 해결할 수 있는 대안으로 주목되면서, 세계 각국을 비롯하여 국내 다양한 연구기관에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 일본에서 개발된 발전 마루는 사람이나 차가 통과할 때 도로가 받는 압력·진동에너지를 수확하고, 수집·저장된 전기는 교통신호등·가로등에 쓰인다(Woo, 2015). 미국 조지아텍(Georgia Tech) 연구팀은 에너지를 수확할 수 있는 물질의 표면적을 증가시켜 수백 개의 발광다이오드(LED) 전구를 켜는 고출력 장치를 제작했다. 국내에서는 옷감을 이용해 웨어러블 컴퓨터를 구동한다거나 차세대 신소재인 그래핀(graphene)으로 정전기에너지를 수확해 활용하는 기술이 나오며 자체충전이 가능한 터치스크린이나 작은 바람에도 충전되는 디스플레이어를 만들 수 있게 되었다(Woo, 2015). 인하대 신소재공학과 정대용 교수와 성균관대 신소재공학과 김상우 교수는 소형 전자기기의 주 전력원으로 에너지 하베스팅 기술이 사용될 수 있을 것이며, 이는 주변에 늘 존재하는 에너지원을 이용하므로 언제 어디서든 안정적으로 전자기기를 사용할 수 있는 시대가 왔음을 시사했다. 예를 들면, 야외용 버너에서 발생하는 열을 전기에너지로 변환하는 상



Figure 1. Diverse energy sources all around us. From Battery-less embedded devices with Power Harvesting. (2010). <http://www.cnx-software.com>

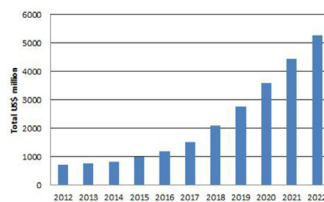


Figure 2. Energy harvesting market. From Das. (2013). <http://www.idtechex.com>

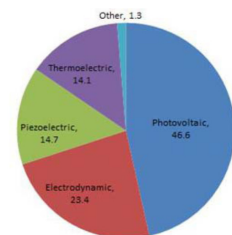


Figure 3. Market share on 2022 by energy harvesting technology. From Das. (2013). <http://www.idtechex.com>

품이 개발되면서 캠핑에서 핸드폰 배터리 충전을 걱정할 필요가 없게 될 것이다. 작은 태양전지판을 핸드백에 부착하거나 팔다리를 움직일 때 발생하는 에너지를 활용해 다양한 기기의 배터리를 충전할 수 있기 때문이다(버려지는 에너지 수확 ‘에너지 하베스팅’...빗방울도 에너지다! [Discarded energy harvest ‘energy harvesting’...raindrops are also energy!], 2015). 서울대 기계항공공학부 윤병동 교수는 안전 분야에서 에너지 하베스팅의 역할을 강조하며, 긴급 상황에서 전력공급이 끊기거나 배터리가 많아 위험에 처하는 상황을 예방할 수 있다고 하였다. 또한, 정대용 교수는 인공심장 같은 의료용 장치의 보조전원으로 심장박동과 체온을 이용할 수 있다면 주기적으로 수술해 배터리를 교환하지 않게 될 것이라고 하였다(Woo, 2015).

지금까지 에너지 하베스팅에 대한 소재 원천 기술에 대한 연구가 집중된 반면, 산업적 측면에서는 상용화를 위한 기업의 적극적인 투자가 부족하고 기대에 미치지 못한 출력으로 적용분야가 한정되어 아직 활성화되지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 최근 에너지 하베스팅 소재 기술 발전으로 출력에너지는 기대 이상 증가하고 있고, 전자 기술의 소형화, 집적화, 그리고 배터리의 사이즈 및 용량의 한계로 인해 향후 에너지 하베스팅에 대한 수요는 급증할 것으로 예상된다(Kang & Jung, 2014). 에너지 하베스팅 기술은 2017년을 기준으로 매년 1,000만 개 이상의 제품에 적용되었고, 저전력 제품의 연구개발과 변환효율의 증가에 따라 지속적인 시장 확대가 예상된다(NCS, 2016). 영국의 글로벌 시장조사 기관(IDTechEx)에서 2012년에 발표한 보고서, ‘전자기기를 위한 에너지 수확과 저장(Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices 2012-2022)’에 따르면 에너지 하베스팅 시장은 2012년도 7천억 원에서 2022년 5조원 시장으로 성장할 것으로 전망하고 있다(Figure 2). 에너지 하베스팅 시장 중 가전(consumer electronics)이 가

장 큰 시장을 형성 할 것으로 예상하는데, 2022년 2조 6천억 규모로 전체 에너지 하베스팅 시장의 약 50%를 차지할 것으로 전망하고 있다. 또한 2022년 에너지 하베스팅 기술별 전 세계 시장 점유율은 <Figure 3>과 같이 태양전지 기술이 46.6%로 가장 크게 에너지 하베스팅 시장에 사용될 것으로 예상되며, 전자기, 압전, 열전 에너지 하베스팅 기술이 큰 차이 없이 약 23%에서 14% 정도로 전체 에너지 하베스팅 기술로 적용될 전망이다(Kang & Jung, 2014).

2. 에너지 하베스팅 소재

에너지 하베스팅 소재에 관하여는 최근 다양한 연구자들에 의하여 개괄적으로 분류되어 왔다. Kim et al.(2013)은 에너지원을 크게 빛, 열, 진동, 전자기(radio frequency)로 분류하고 각 에너지원별 특성을 실내외, 인체, 산업, 기계 등으로 소분류 하였다. Lee and Kim(2014)은 우리 주변에 존재하는 빛, 기계적 운동(바람, 파도, 음파, 미세진동 등), 열적, 자기적 에너지, 그리고 정전기와 같은 다양한 형태의 에너지원을 수확하기 위한 소재들이 이상적으로 설계되고, 관련 기술들이 보고되고 있다고 하였다. Kang and Jung(2014)은 일반적인 에너지 하베스팅의 에너지원을 기계적, 열, 빛, 전자기, 자연(바람, 조류, 태양 등), 인간의 몸, 그 외 화학, 생물학적 에너지로 구분하였다. Yu(2015)는 SK에너지 블로그에서 에너지 하베스팅의 종류를 7가지로 분류하였는데, 사람이 움직일 때 발생하는 신체에너지, 진동 또는 충격에너지, 물체의 무게로 힘을 가했을 때 발생하는 중력에너지, 물질이 위에서 아래로 떨어지며 발생하는 위치에너지, 전자파에너지, 광에너지, 열에너지 등을 변환하는 기술로 정의하였다. 또한, 에너지 하베스팅 소재는 바람, 물, 온도, 태양 등의 자연에너지 뿐 아니라 인체에너지, 그리고 교량의 진동, 실내 조명광, 자동차의 폐열, 방송전파 등 주변에 버려지는 인공에너지

Table 1. Energy harvesting sources.

Energy harvesting sources	Ambient energy	Human body energy
Light	- Sunlight, room light	-
Thermal	- Industrial waste heat, temperature difference	- Body heat
Kinetic(mechanical)	- Vibration, alternating strain - Wind(onsore, offshore) - Fluid flow(water flow, ocean currents, tide) - Acoustic waves	- Breathing, exhalation, blood pressure - Motion(arm, finger), eating - Walking, exercising - Talking
RF	- Portable electronics, radio, frequency	-
Biological	- Plant, bacteria	-

를 포함한다(Moon et al., 2016).

이상의 선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 <Table 1>과 같이 에너지 하베스팅 소자를 크게 환경에너지와 인체에너지로 구분하였다. 환경에너지는 자연적, 인공적 에너지를 모두 포함하며, 구체적인 에너지원은 크게 빛, 열, 기계적 운동, 전자기파, 생물학적 에너지로 분류하였다. 빛에너지는 태양광, 실내조명 등이 대표적 에너지원이다. 열에너지 하베스팅은 온도 차로 인해 열이 이동할 때 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환시키는 원리를 활용한다. 열에너지는 자동차를 비롯한 선박, 제철, 제강, 시멘트, 제지, 소각장, 발전소 등의 산업폐열의 재활용, 사람의 체온과 외부 온도차를 활용이 대표적 에너지원이다. 또한 기계적 운동에너지는 진동, 압력, 충격 등을 활용하는 것으로 바람, 물결, 파도, 조수, 소리 등 자연에너지와, 자동차나 교량의 진동, 수력발전소의 위치에너지 등을 전기에너지로 변환할 수 있다. 또한, 인체에너지로서 혈류, 심장박동, 근육의 수축 및 이완, 눈의 깜박임 등에서 발생하는 운동에너지도 주요한 에너지원이다. 전자파에너지는 우리가 늘 소지하는 스마트폰으로부터 방송 전파까지 공기 중에 무의식적으로 흘러보내는 전자파들을 모아 활용하는 것이다. 이는 단시간 동안 사용할 수 있는 소규모 전자기기의 훌륭한 독립 에너지원으로 활용 가능하다(Jung, 2016a). 마지막으로 식물, 박테리아 등의 생물학적 에너지도 전기에너지로 변환이 가능하다.

다. 이상의 에너지 하베스팅 소자를 바탕으로 현재 가장 많이 활용되고 있는 에너지 하베스팅 기술은 압전효과, 열전효과, 광전효과, 전자기장효과, 전자기유도효과 등의 다섯 가지 물리 현상을 이용하는 것으로 나타났다(Jung, 2016b).

3. 웨어러블 에너지 하베스팅 기술

에너지 하베스팅 기술이 웨어러블 기기들에 적용되기 위해서는 하베스팅 소자도 웨어러블 기기 내 삽입이 가능해야 하므로 최근 더욱 유연한(flexible)소재, 초박막형 구조, 나노와이어 구조의 압전, 열전, 마찰전기, 태양광을 이용한 태양전지(solar cell) 방식으로 연구개발이 진행 중이다(NCS, 2016). 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 웨어러블 제품화가 가능한 대표적 에너지 하베스팅 기술을 열전, 압전, 마찰전기, 광전, 전자기파로 분류하고 각각의 원리와 특성을 살펴보았다.

1) 열전

열전은 제백효과(Seebeck effect), 펠티에효과(Peltier effect) 등을 바탕으로 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환시키는 기술로 유네스코가 선정한 ‘세상을 바꿀 10대 미래 기술’에 선정되었다. 제백효과는 1821년 독일의 토마스 제백(Thomas Johann Seebeck)이 처음 발견하였고, 온도 차가 클수록 센 전기를 생산할 수 있다. 1834년 프랑스

의 과학자, 진 찰스 아테나스 펠티에(Jean Charles Athanase Peltier)가 발견한 펠티에효과는 제백효과와 반대로 전류를 흘려주면 시료 양단에 온도 차이가 발생하는 현상으로, 가정용 와인냉장고나 소형 화장품냉장고 등에 쓰이고 있다(Woo, 2015). 제백효과는 두 종류의 금속이나 반도체의 양 끝을 접합한 부분에 발생하는 온도차가 전압으로 직접 변화되는 현상이다. 이 현상은 온도에 따라 자유전자의 에너지가 다르므로 자유 전자가 에너지 균형상태, 즉 평형 상태가 될 때까지 에너지가 낮은 쪽으로 이동하여 전위차를 형성하기 때문에 발생한다. 열전 발전은 소재가 비싸고 발전 효율이 낮지만, 온도차가 있으면 다양한 열원과 온도 대에서 전기를 생산할 수 있으며, 생성된 기전력의 변화가 작고, 소형 경량인 이점이 있다(Moon et al., 2016).

열전 기술을 활용할 수 있는 대표적 에너지원은 자동차를 비롯한 선박, 제철, 제강, 시멘트, 제지, 소각장, 발전소 등의 산업폐열의 재활용, 사람의 체온과 외부 온도차를 활용 등이 있다. KAIST 전기 및 전자공학과 조병진 교수팀이 개발한 유연한 섬유형 열전소자로 팔에 두를 수 있는 밴드(가로×세로 각 10cm)로 제작하면 외부 기온이 영상 20°C 일 때, 즉 체온과 약 17도 차이가 나는 경우 웬만한 반도체 칩을 구동할 수 있는 약 40mW의 전력을 생산한다. 윗옷 크기로 만들면 약 2W의 전력을 생산해 휴대폰 사용도 가능하다고 한다(Woo, 2015).

2) 압전

압전효과는 1880년 프랑스의 과학자 형제인 피에르 퀴리(Pierre Curie)와 자크 퀴리(Jacques Curie)가 처음 발견하였다. 어떤 물질은 기계적으로 누르면 표면의 전하 밀도가 변하면서 전기가 흐르게 되는데, 이는 양전하와 음전하가 나뉘는 ‘유전분극’ 현상이다(Woo, 2015). 이러한 압전 기술은 압전체에 기계적 변형이 인가되면 전기에너지가 발생하는 효과를 이용하여

주위에 버려지는 힘이나 압력, 진동 같은 에너지를 전기에너지로 변환할 수 있다. 압전에너지 하베스팅은 변환 효율이 크고 소형, 경량화가 가능하다는 장점으로 각종 센서, 무선모바일 소형 전자기기에 적합한 대체 에너지원으로 활용 가능하다(Moon et al., 2016). 태양광을 이용하는 태양전지가 시공간적 요소나 날씨에 따라 전기 생산에 많은 영향을 받는 반면, 압전 기술을 활용한 에너지 하베스팅은 주변에 흔하게 존재하고 버려지는 소음, 진동, 마찰 에너지를 기반으로 전기에너지를 생성하기 때문에 날씨나 시공간의 제약이 없고 인간 친화적이라는 측면에서 더욱 주목을 받고 있다(Park, 2016).

압전 웨어러블 디바이스의 경우 대학, 연구소에서 통상적으로 ZnO, PZT, 나노로드, 나노와이어, 나노파이버 등 유연한 소재를 중심으로 기술개발이 이루어져 왔으며, 이의 산업적 활용을 위해 에너지 하베스팅 기술이 연구되었다. 최근에는 압전 세라믹 파이버와 폴리머를 결합한 복합 소재 개발을 통해 유연한 압전 성능 기반의 센서, 액츄에이터(actuator) 개발이 가능해졌으며, 에너지 하베스팅으로 응용을 위한 연구도 미국의 다수 기업에서 진행되고 있다(Jung, 2015). 미국의 조지아 공대에서 ZnO 나노와이어를 수직 배열한 웨어러블 에너지 하베스팅 소자를 개발하여 경미한 피부의 움직임을 감지하는 센서와 모바일 기술에 응용한 사례가 있다. 또한 나노와이어를 수평 나열하여 건강 진단, 휴대용 기기에 적용하는 하베스팅 소자도 개발 중에 있다. 미국의 애리조나대학과 일리노이 대학은 심장박동에서 발생하는 진동을 전기에너지로 수집하는 유연 압전 에너지 하베스터를 개발하였다. 한국의 KIST와 KAIST에서는 초박막 압전재료와 유연한 기판을 사용하여 웨어러블 기기에 응용하는 연구를 진행하고 있다(웨어러블 에너지 하베스팅 기술 [Wearable energy harvesting technology], 2015).

3) 마찰전기

마찰전기 에너지 하베스팅 기술은 가장 최근에 연구가 시작된 분야로서, 서로 다른 마찰 전극을 갖는 두 물질 사이를 접촉·분리 또는 상대적 슬라이딩을 통한 마찰대전과 정전기 유도 사이의 결합 효과를 사용하여 기계적 에너지를 전기에너지로 변환한다. 2012년 조지아 공대에서는 마찰전기의 특성을 이용한 마찰전기 발생기(triboelectric nanogenerator: TENG)를 최초로 제안하였다(Jung et al., 2016). 마찰전기를 이용한 웨어러블을 에너지 하베스팅 기술로는 미국의 조지아 공대에서 서로 다른 극의 전하를 가지는 유연한 재료를 이용하는 연구와 한국의 성균관대학에서 그래핀을 이용한 마찰전기 에너지 하베스터를 개발한 사례가 있다(웨어러블 에너지 하베스팅 기술 [Wearable energy harvesting technology], 2015). 정전기 현상은 전자소자의 신호전달에 있어서 잠재적인 위험이 있고, 주위 환경에서 잠재적인 위험 요소로 여겨지는 현상이 있지만, 서로 다른 정전기적 특성을 띄는 두 개의 물질 사이에서 일어나는 정전기(electrostatic) 분극현상과 마찰전기 현상을 커플링하여 전기를 생성해내는 새로운 에너지원으로 주목받고 있다. 특히 소자의 개발이 간단하고 경제적인 뿐만 아니라 압전에너지에 비해 높은 전압을 생성해 내는 특성이 있다(Lee & Kim, 2014).

최근 울산과학기술원(Ulsan National Institute of Science and Technology: UNIST)에서는 마찰전기 발전기를 이루는 소재의 전기적 특성을 바꿔 출력을 20배 높이는 방법을 개발하였다. 이는 바람이나 진동, 소리, 발걸음 등에서 에너지를 수확하는 기술을 크게 발전시킬 수 있다. 마찰전기 발전기는 두 물체가 스칠 때 만들어지는 전하 불균형을 이용해 전기를 만든다. 이러한 불균형 때문에 전자가 이동하게 되는데, 이것이 곧 전류다. 마찰전기 발전기는 이 전류를 수확하는 장치라고 볼 수 있으며, 양전하를 모으는 금속전극과 음전하를 모으는 고분자 유전체로 이뤄진다. 울산과학기술원

에서는 유전체로 쓰이는 고분자의 특성을 변화시켜 고효율 마찰전기 발전기를 개발하였다. 이는 나무나 건물 같은 고정된 사물부터 자동차 등 움직이는 사물까지 다양한 에너지원을 이용해 스마트 기기를 충전하는 기술로 발전시킬 가능성을 높인 것이다(Jang, 2017).

4) 광전

광전효과는 금속 등이 고에너지 전자기파를 흡수할 때 전자를 내보내는 현상으로 태양전지에 많이 사용되는데, 다른 성질을 가진 P형과 N형 반도체를 접합해 만든다. 알버트 아인슈타인(Albert Einstein)이 이 현상을 빛의 입자성으로 설명해 1921년 노벨 물리학상을 받았다(Woo, 2015). 태양광에너지 하베스팅 시스템은 광발전(Photovoltaic: PV) 원리에 따라 솔라셀(solar cell)을 사용하여 태양 빛을 전력으로 직접 변환한다. 솔라셀 에너지 하베스팅 효율을 높이기 위하여 최대전력추적 기술(maximum power point tracking: MPPT)이 사용된다(Jung et al., 2016).

태양광에너지를 물리, 화학적으로 전기에너지로 변환시키는 신재생 에너지 소자인 태양전지는 크게 실리콘 등의 무기물을 기반으로 하는 무기태양전지와 탄소화합물 기반의 유기태양전지와 염료 감응형 태양전지로 나눌 수 있다. 태양전지의 시작과 함께한 기존의 실리콘 기반 무기태양전지의 단점으로 지적되고 있는 상대적으로 높은 발전 단가와 구조적 한계를 해결하기 위해 공정단가가 낮고, 유연한 기판이나 조형물에 자유롭게 적용시킬 수 있어 새롭고 다양한 분야에 활용 가능한 염료 감응형, 유기 태양전지가 큰 주목을 받으며 활발한 연구가 진행되고 있다(Park, 2016). 유기태양전지는 태양광에너지를 흡수하여 전기를 생산하는 활성층의 두께가 100~200nm로 매우 얇고, 다양한 색상과 자유로운 형태를 만들 수 있기 때문에, 가방이나 패션의류의 표면에 적용하거나 두루마리 형태로 제품화하기에 적합하다(Park, 2016). 또한,

염료감응형 태양전지는 고분산성의 나노입자 필름과 빛을 흡수할 수 있는 다양한 색깔의 염료를 선택하여 이용할 수 있고 투과 특성 및 디자인 변경이 용이하기 때문에 투광성과 심미성을 부각시킬 수 있는 분야에 사용될 수 있다. 잘 늘어나며 유연하며 착용 가능한 염료감응형 태양전지를 두 개의 직물로 적층하여 개발한 사례(Pan et al., 2014)가 최근 보고 되었다. 이러한 기술성숙에 따라 최근 태양전지를 활용한 다양한 제품들이 선보여지고 있다.

5) 전자파

전자파에너지 하베스팅은 우리 주변의 수많은 ‘전자파에너지’를 모아 재활용 하는 것이다. 우리 곁에 항상 두고 있는 스마트폰이나 방송 전파 등을 통해 공기 중에서 무의식적으로 흘러보내는 전자파들을 모아 활용한다면 단시간 동안 사용할 수 있는 소규모 전자기기의 훌륭한 독립 에너지원으로 활용이 가능 하다(Jung, 2016b). 전자기와 효과는 파장이 1mm~100 km 범위, 즉 진동수 3kHz~300GHz까지의 전자기를 이용한 무선 통신을 뜻한다. 무전기, 이동통신, 주파수 공유 무선 통신 시스템, 위성전화 같은 음성 통신과 무선인터넷 같은 데이터 통신의 전자기파를 수집해 전기로 바꿀 수 있다. 전자기파를 이용한 무선네트워크는 공기 속에 전자기파의 잔여물을 남기는데, 대부분 효율적으로 사용되지 못하고 공기 속에 버려지고 있다. 이러한 전자기파를 모아서 에너지를 생산해내는 물리적 기술을 전자기파 에너지 하베스팅이라고 한다. 즉, 전자기파는 변하는 자기장과 전기장으로 이루어져 있으므로, 전자기유도 법칙에 의해 안테나에 미약한 전류가 생성되기 때문에 생성된 전류를 공진 회로를 통해 증폭하면 사용이 가능한 전류가 생성된다는 것이다. 공진회로는 생산된 교류전류의 진폭과 전압의 크기를 알맞게 하여 전기에너지를 가장 극대화할 수 있는 회로를 말한다. 이렇게 함으로써 허공에 떠돌고 있는 전자기파를 수집하여 최대한의 에너

지를 생산해낼 수 있다. 미국의 워싱턴 대학은 배터리나 파워코드 사용 없이 무선 신호만을 이용하여 이 문제를 어느 정도 해결할 수 있는 방안을 제시하였다(Jung, 2016a). 2010년 미국 라스베이거스에서 열린 국제가전박람회(CES)에서 RCA라는 회사가 에어너지(airmergy)라는 새로운 충전기기를 공개했는데, 이는 와이파이 전파에너지를 포집해 소형기기의 전력원으로 바꾼다(Woo, 2015). 전자기파 에너지 하베스팅 기술은 전력 밀도 측면에서는 상대적으로 낮지만, 무선 네트워크에서 배터리 교체가 어려운 환경에서 유용하고, 안테나 및 태양전지 등 다른 종류의 에너지 하베스팅 기술과 융합하여 활용될 수 있다(Jung et al., 2016).

III. 에너지 하베스팅 패션제품 개발현황

이상과 같이 웨어러블 에너지 하베스팅 기술에 관한 선행연구를 바탕으로 대표적 패션제품 현황을 조사한 결과, 열전, 압전, 마찰전기, 태양광, 전자기파 에너지 하베스팅이라는 5가지 기술별 제품으로 분류되었고, 이중 대표적 제품을 선별하여 종류와 특성을 분석하였다.






1. 열전 에너지 하베스팅 패션제품

열전 에너지 하베스팅 패션제품은 사람의 체온과 외부환경의 기온 차에 의해 발생하는 열에너지를 전기에너지로 전환하는 기술로 펠티에 효과와 제백 효과를 활용하여 개발되고 있다. <Table 2>와 같이 의류보다는 플래시라이트, 침낭, 신발, 시계, 탁자 등 다양한 액세서리 및 인테리어 제품으로 나타났다. <Figure 4>는 2013년 구글 과학박람회에서 15세 소녀였던 캐나다의 앤 마코신스키(Ann Makosinski)가 펠티에 효과를 활용하여 개발하여 1등상을 타 화제가

되었던 체온으로 충전되는 플래시라이트이다. 영국의 보다폰(Vodafone)사는 열에너지로 구동되는 전자기기 파워 포켓(power pocket) 시리즈를 최근 발표했다(Figure 5). 이중 신체에너지로 스마트폰 충전하는 침낭은 소량의 열전도 재료가 함유된 원단으로 만들어졌고, 침낭 안에 들어갈 때 생기는 마찰과 사람이 침낭 안에 들어가 있을 때의 체온을 이용해 전기를 발생시켜 스마트폰을 충전할 수 있도록 제작되었다. <Figure 6>은 오렌지(Orange)사에서 개발한 파워부츠로 『Time』지에서 2010년 최고의 발명품 중 하나로

선정되었다. 파워부츠를 12시간 착용하면, 발에서 나는 열에너지를 변환하여 휴대전화를 1시간 사용할 수 있는 전기가 발생하며, 발생된 전기는 부츠의 뒤꿈치에 있는 배터리 저장장치에 저장되고, 휴대전화는 부츠 위쪽에 있는 전력 출력부에 연결해 충전할 수 있다. <Figure 7>은 매트릭스 파워워치, ‘씨넷’으로 사람의 체온만으로 구동되는 제품이다. 물체에 흐르는 열의 온도 차이(temperature gradient)로 전력을 일으킨 뒤 변압기를 사용해 전력을 증폭시킨다. 운동 타이머 기능, 시계화면, 걸을 수, 칼로리 소모량 등

Table 2. Thermoelectric energy harvesting fashion products.

Energy harvesting technology	Energy harvesting fashion product	Product features
Thermoelectric	 <p>Figure 4. Body powered flashlight. From Hornyak. (2013). https://www.cnet.com</p>	A flashlight powered by body heat by applying the Peltier effect
	 <p>Figure 5. Power pocket. From 경제다반사. (2016). https://m.blog.naver.com</p>	The Power pocket woven into a sleeping bag, which can be used to recharge a smart phone
	 <p>Figure 6. Sound charge T-shirts. From Indvik. (2010). http://mashable.com</p>	Power generating sole that converts heat generated from your feet
	 <p>Figure 7. Power watch. From Lee. (2016). http://m.news.naver.com</p>	Smart watch powered by body heat
	 <p>Figure 8. The heat harvest table. From Thermoelectric energy harvesters to reach over \$1 billion by 2026. (2016). http://www.idtechex.com</p>	The heat harvest table, organic & co-extruded thermoelectric generators

운동량 및 수면 활동을 측정해 주며 수십 50미터 방수 기능도 탑재. iOS 및 안드로이드 기기와 연동해 사용 가능하다. <Figure 8>은 이케아가 후원하는 ‘퓨처 리빙 랩(Future Living Lab)’에서 선보인 무선 충전 테이블로 코펜하겐 인스티튜트(Copenhagen Institute)의 12명의 인터랙션전공 학생들과 콜라보레이션을 진행한 워크샵에서 개발된 아이디어로 소개되었다. 테이블에 오르는 뜨거운 스포나, 프라이팬 등에서 열을 수확하여 전기에너지로 변환한 제품이다.

2. 압전에너지 하베스팅 패션제품

압전에너지 하베스팅 패션제품은 <Table 3>과 같이 크게 소리, 진동, 압력, 물리적 힘 등에서 발생하는 에너지를 활용한 기술에 따라 의류, 신발, 마스크, 바닥재, 가방 등 다양한 아이টে็ม으로 분류되었다. <Figure 9>는 오렌지 유케이(Orange UK)사가 세계 최고의 음악축제인 ‘글래스톤버리 페스티벌(Glastonbury Festival)’을 위해 고안한 티셔츠로, 주변의 소음을 전기에너지로 변환시키는 신기술이 적용되었다. 제품 앞쪽 하단에 압전기 필름을 설치하여 소리과장에 의한 진동을 전기로 변환, 핸드폰 충전 등이 가능하다. <Figure 10>은 프른호퍼 인스티튜트(Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems: IPMS)가 개발한 진동에너지 하베스터를 장착한 운동화로 신체의 움직임, 속도, 체온 등과 같은 물리적 변수를 측정할 수 있다. <Figure 11>는 디자이너, 조아 라모글리아(Joao Lammoglia)가 아이폰 충전을 위한 콘셉트로 디자인한 ‘에어리(AIRE)’라는 마스크로, 안에 작은 터빈이 장착되어 숨을 쉴 때마다 일어나는 진동에 의해 터빈이 움직이며 전기를 생산한다. <Figure 12>는 운동에너지를 전기에너지로 변환시키는 바닥으로 LED 디스플레이를 사용하여, 바닥에 압력이 가해질 때마다 만들어지는 전력으로 화려한 조명이 켜지게 된다. 30인치 정사각형 타일 면적당 35와트의 전력이 생산된다.

<Figure 13>은 캡슐화된 압전 세라믹이 장착된 파워스텝 운동화로 전력이 모아진 뒤 분리하여 핸드폰 충전 등에 사용할 수 있다. <Figure 14>는 사람의 움직임에서 발생하는 물리적 힘을 전력으로 변환하여 빛이나 소리 등으로 표현하는 세 벌의 드레스 컬렉션(Sticky, Stiff, Itchy)으로 엑스엑스 랩(XS Labs)에서 개발하였다. 특히 ‘스티키(Sticky)’는 모자가 달린 가죽 드레스로 착용자의 팔의 움직임에 따라 소매와 가슴 부위에 당겨지는 힘에서 발생하는 물리적 에너지를 수확하여 주머니에 숨겨진 블루 LED를 켤 수 있게 하였다. <Figure 15>의 백팩은 아리조나 대학(University of Arizona)의 재료공학도가 개발하였는데, 어깨끈에 압전체를 장착하여 움직일 때마다 끈에 위아래로 가해지는 물리적 힘에 의하여 전력이 생성될 수 있다.

3. 마찰전기 에너지 하베스팅 패션제품

마찰전기 에너지 하베스팅 패션제품은 다른 하베스팅 기술에 비하여 가장 최근에 연구되어져 왔음에도 불구하고, 신발, 의류, 텍스타일, 공, 손목밴드 등 다양한 제품들로 개발되고 있다(Table 4). 압전과 마찬가지로 기계적 움직임과 진동에 의하여 발생하는 에너지를 활용한다. <Figure 16>는 조지아 공대(Georgia Institute Technology)에서 개발한 나노 운동화로 깔창에 마찰전기 제너레이터가 내장되어 있어서, 걷기, 뛰기, 또는 손가락 동작 등 불규칙적 움직임에서 발생하는 에너지를 수확하여 저장할 수 있다. 코오롱스포츠에서는 ‘라이프텍 Ver.7’을 소개하였는데<Figure 17>, 풍력을 이용한 윈드 터빈이 장착되어 조난 시자가 발전을 통해 스마트 폰 및 간단한 전자기기를 충전할 수 있도록 했다. <Figure 18>은 웨어러블 텍스타일로 움직임에서 에너지를 발생시키는 마찰전기 나노 제너레이터가 울(wool)과 함께 조직되어 매우 유연하고, 가벼운 소재로 개발되었다. <Figure 19>의 소켓볼(Socket ball)은 저개발 국가의 아이들이 주로

Table 3. Piezoelectric energy harvesting fashion products.










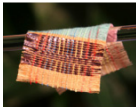


Energy harvesting technology	Energy harvesting fashion product	Product features
Piezoelectric	 <p>Figure 9. Sound charge T-shirts. From Orange Demonstrates Sound Charge T-Shirts That Power Your Phone. (2012). http://www.envirogadget.com</p>	Sound charge T-shirts with embedded piezoelectric film
	 <p>Figure 10. Footwear with vibration energy harvester. From Powering wearable electronics from walking. (2016). http://www.ipms.fraunhofer.de</p>	Shoe-embedded polymer energy harvester optimized for powering a transmitter module
	 <p>Figure 11. Arie. From Lammoglia. (2012). http://www.coroflot.com</p>	Mask equipped with tiny turbines that will turn and produce electricity from breathing
	 <p>Figure 12. Energy floor. From Distasio. (2016). https://www.engadget.com</p>	Energy floors' kinetic energy-generating dance floor
	 <p>Figure 13. Power-step shoes. From Davis. (2010). http://alexododge.com</p>	Power-step shoes with detachable encapsulated piezoelectric ceramic
	 <p>Figure 14. Human powered dresses. From Meinhold. (2009). http://www.ecouterre.com</p>	Use energy from movement to generate electricity in the form of lights or sound
	 <p>Figure 15. Piezoelectric backpack. From Zaga. (2007). https://phys.org</p>	The force exerted on the straps, made of polyvinylidene fluoride, a strong, flexible material, gets converted into electricity

Table 4. Triboelectric energy harvesting fashion products.








Energy harvesting technology	Energy harvesting fashion product	Product features
Triboelectric	 <p>Figure 16. Nano shoes. From Efficient Triboelectric Generator Embedded in A Shoe. (2016). http://nanocomputer.com</p>	Triboelectric generator embedded shoes(harvest energy from irregular human motion)
	 <p>Figure 17. Life tech ver.7 From Lee. (2014). http://www.outdoornews.co.kr</p>	Wind blowing-Triboelectric nanogenerators generate energy from movement
	 <p>Figure 18. Wearable energy-generating fabric. From Brown. (2016). http://www.news.gatech.edu</p>	Triboelectric nanogenerators generate energy from movement
	 <p>Figure 19. Socket ball. From Harnessing Energy and Lighting the Future. (n.d.). http://www.wipo.int</p>	Utilizes a generator and a spinning weight and magnet combination to transform kinetic energy into electricity
	 <p>Figure 20. Wearable charger. From Schwartz. (2015). https://www.good.is</p>	A kinetic charger inside stores the electricity generated when moved in up and down





공놀이를 한다는 점에서 아이디어를 얻어 개발된 공이다. 공 안에는 발전기가 내장돼 있어 축구를 할 때 발생하는 운동에너지를 전기로 바꿔주는데, 30분 동안 공을 차면 LED 전등을 3시간 동안 사용할 수 있다. 왕크밴드(Wankband)가 개발한 웨어러블 충전기는 손목팔찌 형태로 역시 위아래 움직임에서 에너지를 발생시켜 모바일 등 다양한 전자기기를 충전할 수 있는 전기에너지로 변환시킨 제품이다(Figure 20).

4. 태양광에너지 하베스팅 패션제품

태양광에너지는 가장 기술 성숙도와 활동도가 높은 빛에너지로 모자, 헤드셋, 선글라스, 가방, 팔찌, 시계, 목걸이, 부채, 우산, 티셔츠, 자켓, 가리개(shade) 등 다양한 액세서리와 의류로 개발되고 있다(Table 5). <Figure 21>은 2C의 태양광 충전모자로 태양광 충전세트가 모자에 내장되어, 가장 밝은 빛빛으로 4시간 이상, 점멸기능으로 36시간 사용이 가능하다.

Table 5. Photovoltaic energy harvesting fashion products.

Energy harvesting technology	Energy harvesting fashion product	Product features
Photovoltaic	 <p>Figure 21. Solar light cap. From Benderoff. (2008). http://featuresblogs.chicagotribune.com</p>	Solar powered hat fully charged, the light lasts up to four hours at its brightest
	 <p>Figure 22. Solar powered head-set. From Kim. (2013). http://navercast.naver.com</p>	Solar powered head-set
	 <p>Figure 23. Solar penal sunglasses. From Burns. (2008). http://www.yankodesign.com</p>	Self-energy converting sunglasses
	 <p>Figure 24. Solar bag. From 예술과 만난 태양광 패넬 [Solar panel meets with art]. (2011). http://www.nextdaily.co.kr</p>	Eclipse is a solar cell bag that harvests solar energy to supply power for your mobile devices
	 <p>Figure 25. Solar powered fitness tracker. From Stein. (2015). https://www.cnet.com</p>	Solar powered fitness tracker
	 <p>Figure 26. GR-8900A-7ER watch. From Keefe. (2011). http://www.trendhunter.com</p>	Casio G-Shock digital technology reduces battery waste by implementing micro-solar panels
	 <p>Figure 27. Solar power necklace. From SOL: Contemporary Jewelry That Can Power Your Phone. (2015). http://inhabitat.com</p>	Jewellery piece has a designated slot for the solar panel housing unit interchangeably

		 <p>Figure 28. Solar-powered T-shirt. From Never run out of battery again! Fashion meets function in this solar-powered T-shirt which can charge your phone on the go. (2015). http://www.dailymail.co.uk</p>	Solar-powered T-shirt, 120 thin-film solar cells can then be connected to any USB compatible device
		 <p>Figure 29. Ecotech solar jacket. From Randles. (2009). http://www.trendhunter.com</p>	Solar jacket with solar panels that are smoothly incorporated into its collar
		 <p>Figure 30. Solar shade. From Leahy. (2015). http://inhabitat.com</p>	The eco-leaf is a solar shade concept that will lower your carbon footprint and brighten your living room
		 <p>Figure 31. Mobile phone solar charger. From Swan. (2016). http://bestportablesolargenerators.com</p>	Highly portable mobile phone solar charger

챙 아랫부분에 스위치가 있으며 온 오프, 점멸, 밝기 조절 등이 가능, 아웃도어, 등산, 트래킹, 캠핑, 낚시 등에 사용 가능하다. <Figure 22>는 영국 온비트(Onbeat)사에서 출시한 음악을 들으며 태양광을 충전할 수 있는 헤드셋이다. 헤드셋의 상단 주위를 감싸는 태양 전지 패널은 모바일 기기를 충전할 수 있는 충전식 배터리로 구성되어 있고, 헤드셋 하단에는 유에스비(usb) 슬롯이 내장되어 음악을 들은 뒤 MP3나 휴대폰 등을 충전할 수 있다. <Figure 23>은 건국대 산업디자인과에 재학 중이었던 김현중, 전광석이 디자인한 선글라스로, 반투명 솔라 모듈을 사용해 선글라스의 역할을 하는 동시에 핸드폰 등의 휴대 전자기기를 충전할 수 있다. <Figure 24>는 태양전지가 표면에 부착된 가방으로 안에 핸드폰을 넣으면 충전할





수 있다. 마치 촘촘히 자리 잡은 태양광 판들이 디자인 일부인 것처럼 보인다. <Figure 25>는 미스핏과 스와로브스키(Misfit & Swarovski)가 함께 개발한 팔찌, 샤인(SHINE)으로 에너지 크리스탈 테크놀로지를 사용하였다. 작은 표면에 자가 충전할 수 있는 태양전지 사용한 피트니스 트래커(fitness tracker)이다. 카시오 지삭디지털(Casio G-Shock Digital)의 ‘GR-8900A-7ER’은 태양전지가 내장되어 있어 배터리 교체가 필요 없는 스포츠시계이다(Figure 26). <Figure 27>은 3D프린팅으로 제작된 프레임에 태양전지가 삽입되어 있는 에스오엘(SOL)의 현대적 디자인의 목걸이로 usb 슬롯이 내장되어 있어 핸드폰 등 다양한 전자기기를 충전할 수 있다. <Figure 28>은 120여 개의 얇은 필름의 태양전지가 마치 금속 장식처럼 보이도록 디자인

된 티셔츠로 패션디자이너 폴린 반 돈겐(Pauline van Dongen)이 홀스트 센터(Holst Center)와 기술 합작하여 디자인하였다. 유에스비(usb) 슬롯이 내장되어 있어 핸드폰, 카메라 등 전자기기를 충전할 수 있다. <Figure 29>는 제냐 스포츠(Zegna Sport)의 에코테크 태양광 재킷(Ecotech Solar Jacket)으로 재활용 플라스틱으로 만든 소재에 태양전지 패널(9×5.5 cm silicon-based polycrystalline solar modules)이 칼라 옆면에 자연스럽게 부착된 친환경 제품이다. <Figure 30>은 태양열 창문 가리개로 온실가스 배출량(carbon footprint)을 줄이고, 기존의 무거운 커튼을 대체하여 거실에 장식적인 역할도 할 수 있다. <Figure 31>은 그린라이트의 휴대용 태양전지 충전기로 내장된 4.5V 태양전지가 태양열을 흡수하여 2000mAh 리튬 이온(Lithium-Ion) 배터리로 변환된다.

5. 전자기파 에너지 하베스팅 패션제품

전자기파 에너지 하베스팅은 다른 에너지 하베스팅 기술에 비하여 아직까지 패션제품에 많이 적용되고 있지는 않았지만, 텍스타일 안테나, 손목밴드, 신발 등의 시제품으로 시도되고 있으며(Table 6), 프리볼트(freevolt)라는 에너지 수확장치로 개발되어 기술적 잠재력은 매우 큰 상황이다. <Figure 32>의 텍스타일 안테나는 전도성 사(conductive yarns)로 편직되어 안테나는 Wi-Fi 주파수 대역에서 2.4GHz의 에너지를 수집하거나 제거하도록 조정되었고, 특정 애플리케이션을 위해 수확된 신호를 수집할 수 있는 소형 회로에 연결된다. 수확된 에너지는 다른 직물 장치에 전력을 공급하거나 동일한 직물에 내장된 슈퍼커패시터(supercapacitor)에 저장

Table 6. Electromagnetic energy harvesting fashion products.

Energy harvesting technology	Energy harvesting fashion product	Product features
Electromagnetic	 <p>Figure 32. Textile antennas. From WI-FI POWER HARVESTING. (n.d.). http://drexel.edu</p>	WI-FI power harvesting textile antennas are tuned to harvest or scavenge energy at 2.4 GHz from the Wi-Fi frequency band
	 <p>Figure 33. Wrist band. From The BEST ANSWER TO E-SMOG. (n.d.). http://www.jewel.net</p>	SQUID uses and recycles the energy derived from the ambient electromagnetic radiation field to work
	 <p>Figure 34. Shoes. From Lazarus. (2015). https://uniquehunters.com</p>	Swing harvester generates energy from the shoe being swung through the air
	 <p>Figure 35. Freevolt. From Wood et al. (2015). http://www.businesswire.com</p>	The freevolt harvester comprises a multi-band antenna and rectifier, absorbing energy from multiple RF bands at almost any orientation

될 수 있다. SQUID 손목밴드는 주변 환경에서 전자기 방사에 노출 수준을 정량화하여 실시간으로 분석한다(Figure 33). WIFI 및 3G-4G 방사선을 중계 안테나로 전송하면 손목 밴드가 주변 방사선에 대한 현재의 노출 정도를 명확하고 단순한 방법으로 알려준다. <Figure 34>는 전자기 유도장치가 내장된 신발로 ‘충격 하베스터(Shock Harvester)’는 뒤꿈치가 바닥에 닿으면 전자기 유도를 통해 움직임으로부터 전류를 발생시킨다. 또한, ‘스윙 하베스터(Swing Harvester)’는 신발이 공기 중에 흔들리는 에너지를 생성한다. <Figure 35>의 프리볼트는 작은 RF 신호에서 사용 가능한 에너지를 수확한다. 프리볼트 수확기는 다중 대역 안테나와 정류기(rectifier)로 구성되어 있으며 거의 모든 방향에서 다중 RF 대역의 에너지를 흡수할 수 있다. 작고 가벼운 디자인으로 웨어러블, 센서 및 비콘과 같은 끊임없이 확장되는 저전력 인터넷에서부터 건축 환경에 이르기까지 확장성이 뛰어나다.

IV. 결 론

다섯 가지 대표적 에너지 하베스팅 기술에 따른 패션제품의 개발 현황을 조사하여 분류한 결과, 현재 기술 성숙도가 높고 가장 많은 상용화가 이루어진 에너지 하베스팅 기술은 태양전지로 아웃도어 재킷을 비롯하여 다양한 의류, 액세서리 전반에 적용·개발되어 상용화되고 있다. 태양광에너지 하베스팅 제품은 태양전지 패널이 자연스러운 디자인의 일부로 보일 만큼 패선성이 높고, 다양한 디자인으로 전개되고 있다. 압전 기술은 태양광에 이어 다양한 제품에 활용되고 있는데, 압전 필름을 설치하여 소리파장에 의한 진동, 걸음걸이의 압력, 가방끈에 주어지는 압력 등을 전기로 변환하는 제품으로 개발되고 있다. 열전은 주로 사람의 체온 변화를 감지하여 에너지로 변환이 가능

한 손목시계나 밴드형에서 침낭, 신발 등 다양한 제품으로 개발되고 있다. 마찰전기는 가장 최근에 연구와 개발이 이루어지고 있음에도 불구하고, 접촉대전 나노발전기를 삽입하여 걷기, 뛰기, 손가락 움직임 등 사람의 불규칙한 신체 활동에서 수확한 에너지를 충전하는 제품 형태로 활발히 개발되고 있다. 전자기파는 패션제품화가 비교적 낮으나 주변에 버려지는 전자기파유도 에너지를 텍스타일 안테나나 손목밴드 등의 저장장치에 수확하여 사용하는 제품이 대표적 개발 현황으로 나타나고 있다. 전반적인 스마트 웨어러블 패션제품 동향의 연구결과(Suh & Roh, 2015)에서도 나타났듯이, 에너지 하베스팅 패션제품도 신발, 시계, 손목밴드, 팔찌, 목걸이, 모자, 헤드셋, 가방 등의 다양한 액세서리를 중심으로 개발되고 있었고, 의류에서는 아웃도어 재킷이나 베이직 티셔츠에서 점차 트렌디한 아이템으로 확장되며, 점차 자연스럽고 완성도 높은 디자인으로 개발되고 있다.

최근 에너지 하베스팅은 한 가지 기술로만 이루어지는 것이 아니라 태양광과 압전, 압전과 마찰전기, 열전과 압전 등 두 가지 이상의 기술이 융합하여 시너지 효과를 낼 수 있는 연구로 진화하고 있다. 지금까지는 대표적인 에너지 하베스팅 기술들이 경쟁을 통해 선제적으로 시장에 제품을 출시하려고 노력을 하였지만, 앞으로는 응용 제품별 필요한 에너지원을 경쟁기술과의 공유를 통해 동종 산업에서 상생하려는 노력이 필요할 것이다(Jung, 2015). 따라서 대표적 에너지 하베스팅 기술에 따른 다양한 시제품과 사례를 바탕으로 하이브리드 에너지 하베스팅 소재에 대한 연구사례 및 제품화 동향을 추가 분석하여 패션제품화 가능성 및 전망을 탐색하고 디자인 전략을 위한 기초자료를 축적해야 할 것이다. 또한, 후속 연구로서 특정 기술이 적용된 에너지 하베스팅 패션제품에 대한 심도 있는 사례연구를 진행하여, 소비자 선호도 기반의 에너지 하베스팅 아웃도어 재킷디자인을

개발하고자 한다.

웨어러블 기술은 웨어러블 디바이스를 항상 쉽고 편하게 사용할 수 있게 하는 사용자 인터페이스 기술과 사용성과 착용감을 고려한 디자인 기술, 서비스 기술을 포함한다(웨어러블 UI/UX 기술 [Wearable UI/UX technology], n.d.). 이제 친환경 에너지 하베스팅은 스마트 패션산업에서도 혁신적 패러다임을 가져올 것으로 기대한다. 에너지 하베스팅에 대한 기술적 관심은 국내외에서 매우 크게 증가하고 있으나 아직 본격적 상용화 개발은 미흡하기 때문에 패션아이템으로서의 기능성과 실용성, 편리성, 그리고 무엇보다 트렌드 감각을 갖춘 심미성을 지닐 수 있는 기술적 접근과 사용자 중심의 디자인 개발이 중요하다. 웨어러블 디바이스는 기본적으로 신체 신호의 감지를 제어하고 감지된 정보를 통신하는 기능과 저장, 신호처리 기능을 갖고 있어야 하며, 사용의 편의성과 안전성, 내구성 등이 기본적인 요건이 되어야 한다(Jung, 2015). 특히, 패션 커뮤니케이션의 확장으로서 패션 테크놀로지의 적용은 도구가 아닌 의류로서 자연스러운 착용감을 지니며, 일상생활 가운데 다양한 동기를 부여하는 제품으로 개발되어야 한다(Lee & Jung, 2016). 즉, 일상에서 보편적 특별함을 지닌 친숙한 습관으로 다가오는 스마트 테크놀로지 트렌드, 일상의 건강과 웰빙을 추구하며 여가활동에 대한 높은 관심으로 부각된 에슬레저(athleisure) 트렌드, 그리고 친환경적 고부가가치의 그린디자인을 추구하는 지속가능 트렌드 등 시대적 메가트렌드에 부합하는 결과물로 도출되어야 할 것이다.

References

- Bae, Y. J., & Ha, J. S. (2017). A delphi study to forecast future clothing trends in Korea. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 17(1), 155-168. doi:10.18652/2017.17.1.10
- Battery-less embedded devices with Power Harvesting. (2010, November 29). *CNXSOFT*. Retrieved December 12, 2016, from <http://www.cnx-software.com/2010/11/29/battery-less-embedded-devices-with-power-harvesting>
- Benderoff, E. (2008, July 29). Let there be light: A solar-powered cap brightens camping trip. *Chicago Tribune*. Retrieved May 16, 2017, from http://featuresblogs.chicagotribune.com/eric2_0/2008/07/let-there-be-li.html
- Brown, J. (2016, September 13). New Fabric Uses Sun and Wind to Power Devices. *Georgia Tech*. Retrieved March 10, 2017, from <http://www.news.gatech.edu/2016/09/13/new-fabric-uses-sun-and-wind-power-devices>
- Burns, C. (2008, December 17). Solar Powered Solar Panel Sun Glasses. *YD*. Retrieved May 12, 2017, from <http://www.yankodesign.com/2008/12/17/solar-powered-solar-panel-sun-glasses>
- Das, R. (2013, February 13). Energy harvesting comes to market. *IDTechEx*. Retrieved December 12, 2016, from <http://www.idtechex.com/research/articles/energy-harvesting-comes-to-market-00005163.asp>
- Davis, B. (2010, June 17). Artnet: Designer dreams. *ALEX DODGE*. Retrieved May 14, 2017, from <http://alexododge.com/artnet-designer-dream>
- Distasio, C. (2016, October 15). Six energy-harvesting gadgets powered by people. *engadget*. Retrieved May 13, 2017, from <https://www.engadget.com/2016/10/15/six-energy-harvesting-gadgets-powered-by-people>
- Efficient Triboelectric Generator Embedded in A Shoe. (2016, January 18). *NANOCOMPUTER*. Retrieved April 20, 2017, from <http://nanocomputer.com/?p=14077>
- Harnessing Energy and Lighting the Future. (n.d.). *WIPO*. Retrieved March 10, 2017, from <http://www.wipo.int/ipadvantage/en/details.jsp?id=3688>
- Homyak, T. (2013, September 24). Battery-free flashlight among Google Science Fair winners. *c/net*. Retrieved May 13, 2017, From <https://www.cnet.com/news/battery-free-flashlight-among-google-science-fair-winners>
- Indvik, L. (2010, June 18). Wellie Boots Power Your Mobile Phone While You Walk. *MashableAsia*. Retrieved March 10, 2017, from <http://mashable.com/2010/06/18/orange-power-wellies/#IzFdDcgFFiqz>
- Jang, J. S. (2017, May 29). 출력 20배 높은 ‘마찰전기 발 전기’ 기술개발 [Development of ‘triboelectric generator’ technology with output 20 times higher]. *Sedaily*. Retrieved June 15, 2017, from <http://dev.sedaily.com/NewsView/1OG3ZXBLCS>
- Jung, Y. H. (2015). 압전 에너지 하베스팅 기술 동향 [Piezoelectric energy harvesting technology trend]. *Ceramist*, 18(4), 13-21.
- Jung, J. Y., Park, C. W., & Pyo, C. S. (2016). IoT를 위한 에너지 하베스팅 기술 동향 조사 [Energy harvesting technology trend for IoT]. *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 27(4), 40-50.

- Jung, Y. T. (2016a, June 12). Energy harvesting technology from other sources. *NAVER Blog*. Retrieved March 5, 2017, from <http://blog.naver.com/PostList.nhn?blogId=iotsensor&from=postList&categoryNo=34>
- Jung, Y. T. (2016b, June 12). Energy Harvesting Types. *NAVER Blog*. Retrieved March 5, 2017, from <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=iotsensor&logNo=220734044422&parentCategoryNo=&categoryNo=34&viewDate=&isShowPopularPosts=false&from=postView>
- Kang, J. Y., & Jung, W. S. (2014). 2014년 에너지 하베스팅 산업화 동향 [2014 Energy harvesting industry trends]. *Ceramist*, 17(2), 38-41.
- Keefe, T. (2011, December 18). Solar-Powered Timepieces: The Casio G-Shock Digital GR-8900A-7ER Watch Uses Reusable Energy. *TRENDSHUNTER*. Retrieved March 11, 2017, from <http://www.trendhunter.com/trends/casio-g-shock-digital-gr-8900a-7er>
- Kim, D. H. (2013, July 22). 태양광을 활용한 디자인 [Solar design]. *NAVER*. Retrieved March 15, 2017, from http://navercast.naver.com/contents.nhn?rid=192&contents_id=32321
- Kim, H. J. (2016, March). 에너지 융복합 섬유소재와 섬유평산업의 미래 [Future of energy fusion fiber materials and textile industry]. Paper presented at Korean Fiber Society Conference, Seoul.
- Kim, J. H., Ko, H. U., Mun, S. C., Kim, J. H., & Kim, H. S. (2013). Recent advancement of piezoelectric energy harvesting. *KIC News*, 16(4), 27-34.
- Lammoglia, J. P. (2012, January 23). AIRE concept. *COROFOT*. Retrieved May 13, 2017, from <http://www.coroflot.com/joalammoglia/aire-concept>
- Lazarus, J. (2015, February 6). With This Hack, Just Walking Will Power Your Phone. *UNIQUE Hunters*. Retrieved March 5, 2017, from <http://uniquehunters.com/hack-just-walking-will-power-phone>
- Leahy, A. (2015, April 11). Energy Harvesting Eco-leaf Shade Doubles as a Light Source at Night. *inhabit*. Retrieved March 5, 2017, from <http://inhabitat.com/energy-harvesting-eco-leaf-shade-doubles-as-a-light-source-at-night>
- Lee, J. H. (2014, December 3). 코오롱스포츠, '2015라이프테크' 출시 [Kolon Sports, launch a '2015 life-tech jacekt']. *OutdoorNews*. Retrieved April 20, 2017, from <http://www.outdoornews.co.kr/news/articleView.html?idxno=15962>
- Lee, J. H. (2016, November 15). 체온으로 충전하는 스마트워치 [Smart watch charging with body heat]. *NAVER*. Retrieved March 10, 2017, from <http://m.news.naver.com/hotissue/read.nhn?sid1=105&cid=927703&iid=49316241&oid=092&aid=0002106420>
- Lee, J. H., & Jung, K. S. (2016). A study on the commercialization technology development model of u-health smart clothing: Focused on the ECG measuring smart clothing for people in 40s to 60s. *Journal of the Korean Society of Fashion Design*, 16(2), 49-63. doi:10.18652/2016.16.2.4
- Lee, J. H., & Kim, S. W. (2014). 에너지하베스터의 기술 및 연구동향 [Energy harvester's technology and research trend]. *Bulletin of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, 27(3), 27-36.
- Meinhold, B. (2009, October 21). Human-Powered Dresses Convert Movement into Electricity. *ecouterre*. Retrieved May 13, 2017, from <http://www.ecouterre.com/human-powered-dresses-convert-movement-into-electricity>
- Moon, S. P., Kim, T. W., & Kim, S. H. (2016). 에너지 하베스팅 기술개요와 연구동향 [Energy harvesting technology overview and research trends]. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 65(5), 7-15.
- NCS. (2016). 10대 표준화 트렌드 [Top 10 standardization trend]. Seoul: Korean Standards Association Media.
- Never run out of battery again! Fashion meets function in this solar-powered T-shirt which can charge your phone on the go. (2015, April 2). *MailOnline*. Retrieved March 11, 2017, from <http://www.dailymail.co.uk/femail/article-3023396/Fashion-meets-function-solar-powered-T-shirt-charge-phone-go.html#ixzz4UEMMmYEB>
- Orange Demonstrates Sound Charge T-Shirts That Power Your Phone. (2012). *enviroGADGET*. Retrieved December 10, 2016, from <http://www.envirogadget.com/site-news/orange-demonstrates-sound-charge-t-shirts-that-power-your-phone>
- Pan, S., Yang, Z., Chen, P., Deng, J., Li, H., & Peng, H. (2014). Wearable solar cells by stacking textile electrodes. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(24), 6110-6114. doi:10.1002/anie.201402561
- Park, B. I. (2016). A study on the application of plastic arts and industrial design using energy harvesting device in next generation: Focused on a case study of the novel solar cells and piezoelectric device. *Journal of Basic Design & Art*, 17(3), 161-173.
- Powering wearable electronics from walking. (2016, February 2). *Fraunhofer IPMS*. Retrieved December 5, 2016, from <http://www.ipms.fraunhofer.de/en/press-media/press/2016/2016-02-10.html>
- Randles, B. G. (2009, October 16). Zegna Ecotech Solar Jacket Makes Going Green Fashionable. *TRENDSHUNTER*. Retrieved March 10, 2017, from <http://www.trendhunter.com/trends/zegna-ecotech-solar-jacket>
- Schwartz, R. (2015, February 27). The "Wankband" Will Harness The Power Of Masturbation To Charge Your Electronics. *GOOD*. Retrieved March 10, 2017, from <https://www.good.is/articles/wankband-wearable-charger>
- SOL: Contemporary Jewelry That Can Power Your Phone. (2015, October 10). *inhabitat*. Retrieved March 11, 2017, from <http://inhabitat.com/sol-contemporary-jewelry-that-can-power-your-phone>
- Stein, S. (2015, January 5). Never-charge fitness jewelry: Misfit Swarovski Shine. *c / net*. Retrieved May 11, 2017, from <https://www.cnet.com/products/misfit-swarovski-shine/>

[illegible]

Development Status of Energy Harvesting Fashion Products

Suh, Sung Eun · Roh, Jung-Sim[†]

Assistant Professor, Dept. of Fashion and Textiles, Sangmyung University

Associate Professor, Dept. of Fashion and Textiles, Sangmyung University[†]

Abstract

With the advancement of digital information and communication technologies, energy harvesting, storage, and conversion have played a major role in presenting a direction and vision for the smart fashion product development. This study investigated the development status of fashion products using energy harvesting technology. In previous research, the representative types of energy harvesting technology applicable to clothing were classified into five categories: thermoelectric, piezoelectric, triboelectric, photovoltaic, and electromagnetic. We have searched for more than 140 commercialized cases in Google & Naver with both Korean and English keywords of energy harvesting fashion product, and analyzed the types and characteristics. Solar-cell energy, which has the highest technology maturity and commercialization, is being developed and applied to various items such as outdoor jackets, shoes, caps, headphones, bags, watches and jewelry. Thermoelectricity using the body temperature difference is being developed as a variety of products such as wrist band type, sleeping bags and shoes. Piezoelectricity is being applied to a product that installs a piezoelectric film to convert vibrations caused by sound waves, and pressure generated by body movements into electricity. Triboelectricity is being actively developed as a product type that charges energy harvested from human irregular physical activities such as walking, running, and finger movements by inserting a contact nano generator. Electromagnetic waves are relatively low in commercialization, but used in storage devices such as a textile antenna or a wrist band by harvesting induced energy, which is abandoned in the vicinity.

Key words : energy harvesting source, energy harvesting technology, energy harvesting fashion product