

[Original Article]

Development of energy-harvesting based safety apparel for night workers

Jung-A Yoon, Yujin Oh*, Hwawon Oh*, and Younhee Lee**†

Concurrent Professor, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University, Korea
Doctoral Course, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University, Korea*
Professor, Dept. of Clothing & Textiles, Hanyang University, Korea**

야간 작업자를 위한 에너지 하베스팅 기반 안전의복 개발

윤정아 · 오유진* · 오화원* · 이연희***

한양대학교 의류학과 겸임교수, 한양대학교 의류학과 박사과정*,
한양대학교 의류학과 교수**

Abstract

The purpose of this study is to illustrate the design of safety suits based on energy-harvesting technology, particularly targeting street cleaners who must work at night with high mobility. The design focuses on applying lightweight energy-harvesting tools and illuminant into the wear. The design development reflects feedback from testers collected via survey constituting a key methodology. The development process has two main stages. Each stage uses a process of design prototyping, internal examination, test sampling, test wearing, and wearers' feedback via survey that consists of questions on visibility, wearing convenience, and washability. The first stage results show the design of safety suits with energy-harvested LED illuminant inserted and the survey results collected from street cleaners dressed in 4 sample and 80 actual suits in total. Improved based on the first-stage survey results, the second stage designs the suits with detachable energy-harvested EL tape. From these 5 sample and 30 actual second-stage suits, the additional survey indicates that this second-stage design facilitates more visibility and convenience in washing and wearing than the first-stage design. Accordingly, one can expect that this new design can apply not only to safety suits for night workers but also to handicapped or outdoor sportswear applications in the future.

Received July 15, 2018
Revised August 05, 2018
Accepted August 06, 2018

† Corresponding author
(yyihee@hanyang.ac.kr)

ORCID

Jung-A Yoon
<http://orcid.org/0000-0001-7057-0963>
Yujin Oh
<http://orcid.org/0000-0001-6638-3807>
Hwawon Oh
<http://orcid.org/0000-0003-4472-6586>
Younhee Lee
<http://orcid.org/0000-0002-2241-3899>

This work was supported by
the research fund of
Hanyang University(HY-2017).

Keywords: *energy harvesting(에너지 하베스팅), night workers(야간 작업자), safety apparel(안전의복)*

I. Introduction

야간이나 어두운 곳에서 작업하는 노동자들은 항상 위험에 노출되어 있다. 그 중에서도 도로나 터널의 유지 보수를 하는 작업자들과 환경미화원과 같이 차량이 통행하는 도로변에서 작업하는 노동자들은 더욱 교통안전의 사각지대에 놓여 있다.

심야근로자 339명중 53.4%에 달하는 181명이 사고 경험이 있는 것으로 조사되었다. 실제로 환경미화원 1,055명을 설문 조사한 결과, 45.4%에 해당하는 479명이 사고 경험이 있으며, 이 중 2번 이상 사고를 경험한 사람은 114명으로 10.8%에 달하였다(Korean Confederation of Trade Unions, 2010). 야간 안전장비가 존재함에도 불구하고, 안전 취약계층이 발생하는 많은 이유 중에 가장 큰 이유는 기존 야간 안전장비의 문제점을 예로 들 수 있다. 안전의복은 자동차의 정지 거리를 줄여 교통사고를 예방할 수 있는 비용 대비 편익이 매우 높은 대책이다(Kang & Choi, 2016).

일반적으로 야간작업자의 안전 확보를 위하여 착용하는 기존의 안전의복에 사용되는 재귀반사 테이프는 외부의 광원이 없이는 시인성이 확보되지 않기 때문에 작업 도중 위험에 노출되기가 쉽다. Lee(2010)는 시판되는 야간 안전의복의 기능성 및 가시성을 평가하는 연구에서 단순 반사형 안전 조끼에 비해 반사/발광 복합형 안전 조끼의 경우, 14배 가량 가시성이 증가하는 결과를 보고했다. 야간 교통사고 특성상 고시인성이 사고 예방의 필수적인 요소라는 사실로 볼 때 반사/발광 융합형 안전의복이 기존 반사형 안전 의복보다 높은 문제 해결 가능성을 가진다고 할 수 있다. 발광 장치는 외부의 광원과 별개로 자체 발광을 하기 때문에 효과적으로 시인성이 확보되어 사고의 위험을 줄일 수 있다. 그러나 기존에 상용화된 발광장치가 적용된 안전의복은 의복에 삽입된 배터리에만 전력공급을 의존하기 때문에 해당 부품의 무게만큼 전체 의복 무게가 증량되고, 배터리 수명에 따른 교체가 불가피하다.

최근에는 인체의 움직임으로 발생하는 운동 에너지를 전기에너지로 전환하여 이용하는 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술이 지속가능한 미래 에너지 원으로 주목받고 있다(Lee & Kim, 2014). 에너지 하베스팅 발광 키트는 배터리 교체가 불가능한 불안정한 상황에서도 안정적으로 발광을 유지할 수 있고, 일회용 폐기물의 양도 줄일 수도 있으며, 영구적 에너지 원으로 사용이 가능한 녹색 에너지원이다. 이러한 기술이 의복에 적용된다면 야간에 활동하는 착용자들의 안전을 확보할 수 있을 것으로 전망된다. 그러나 그 효과를 구현하기 위해서는 관련 부품으로 인해 증가된 무게로 발생할 수 있는 착용자의 피로감을 덜어주는

동시에 착용감을 개선하기 위해 에너지 하베스팅 부속품을 포함한 의복의 무게가 기존 안전의복의 무게와 동등하거나 그 이하가 되도록 개발할 필요가 있다.

이에 본 연구의 목적은 야간 작업자들 중 활동성이 큰 작업으로 인해 상대적으로 교통 및 안전사고의 위험에 노출되기 쉬운 환경미화원들을 대상으로 운동에너지를 전기에너지로 전환하는 에너지 하베스팅 장치의 삽입과 발광장치 부착을 위한 의복 소재 개발 및 의복의 가변적 구조 개발을 통해 다기능의 안전의복을 디자인하고 제작하여 기능성과 안전성을 제공하는 데 있다. 더 나아가 일상생활에서 야간 교통약자를 위한 의복이나 아웃도어 스포츠 웨어 등으로 확대되어 활용이 가능한 에너지 하베스팅 스마트 웨어로서의 발전 가능성을 제안하고자 한다.

II. Background

1. Safety apparel for street cleaner

국제적으로 안전의복은 개인 보호 장비(personal protection equipments: PPE)의 범주에 포함되며(Kang & Choi, 2016), 일반적으로 안전을 요하는 작업장에서 사용되거나 어두운 공간에서 시인성을 높이기 위해 착용된다(Kim, 2008). 개인안전의복에 대한 규정을 살펴보자면, 고시인성 의복인 반사안전조끼가 ‘전기용품 및 생활용품 안전관리 운용요령(국가기술표준원 고시 제2017-14호(2017.1.26.))’ 제3조에 의해 안전관리대상 제품의 세부품목으로 규정되어 있으며(「KATS Notification」, 2017a), ‘공급자 적합성 확인기준(국가기술표준원 고시 제2017-033호(2017.2.8.))’에서 반사안전조끼의 안전요건, 시험방법 및 표시사항 등에 대하여 규정하고 있다(「KATS Notification」, 2017b). 안전복, 안전작업복이라고도 쓰이며, Korea Transportation Safety Authority(2017)의 보고서에 의하면 OECD 회원국 대부분은 교통사고 시 2차 사고를 막기 위해 차량 내 반사안전조끼 비치를 의무화 및 권고하고 있는 상태이다.

안전의복은 환경미화원, 경찰관, 건설노동자, 공항근무자, 주차안내원 등이 주로 착용하며, 보통 작업현장에서 사용되지만 최근 야외 스포츠나 레저 활동이 많아지면서 야간에 스포츠를 즐기는 사람들이 착용하는 생활형 안전의복도 점차 늘어나고 있다. 현재 시중

에서 판매되는 안전의복은 크게 재귀반사소재를 부착한 방식과, 재귀반사소재를 부착한 기존 형태에 LED 등의 발광장치를 추가한 방식으로 나눌 수 있다(Kim, 2008).

환경미화원의 업무는 대부분의 작업이 야외에서 이루어지고, 작업하는 시간이 새벽부터 오후까지 이어지기 때문에 더위와 추위, 그리고 눈과 비바람에 그대로 노출되며, 도로에서의 교통사고와 작업 시 발생하는 안전사고의 위험이 높다(Huh, 2005). 특히 야간에는 주간 작업보다 훨씬 많은 사고가 일어나지만, 대부분의 지자체에서는 야간업무를 필수적으로 하고 있으며(Kim, 2018), 환경미화원의 처우 개선에 대한 논의는 미미한 편이다(Kang, 2017). 이러한 이유들로 환경미화원의 작업환경은 3D(difficult, dirty, dangerous) 직종이라 할 수 있으며, 사회에서의 지위나 인식이 좋지 않다. 따라서 환경미화원의 작업복은 작업환경을 고려하여 안전성과 동작적응성, 쾌적성, 내구성, 취급 용이성 등이 고려되면서, 사회적 인정을 받고 작업자들의 자긍심을 고취시킬 수 있는 상징성과 소속감이 느껴지는 기능적이고 아름다운 디자인을 필요로 한다(Shin, 2009).

해외의 환경미화원 작업복의 디자인 사례를 살펴 보면, 영국 런던의 경우 동복은 셔츠, 조끼, 점퍼, 팬츠로 구성되어 있으며, <Fig. 1>처럼 전체적으로 형광 옐

로우인 우의와 어두운 네이비 작업복 위에 형광 오렌지, 형광 옐로우 컬러의 조끼를 착용하였다(Fig. 2). 어깨와 허리, 팔꿈치, 허벅지, 무릎 부분에 재귀반사 테이프가 부착되어 있으며, 상의의 등 부분에는 소속을 알리는 로고와 글씨가 인쇄되어 있다. 형광색의 컬러를 사용하고 재귀반사 테이프를 사각이 생기지 않도록 세심하게 배치하여 가시성을 높였다. 네이비 컬러는 작업 시 오염되기 쉬운 작업복의 특성상 팔과 다리 부분에 배치되었다. 독일 베를린은 점퍼와 팬츠로 구성되어 있으며, 시인성이 좋은 형광 오렌지 컬러의 소재에 허리, 팔꿈치, 종아리 부분에 재귀반사 테이프가 사용되었다(Fig. 3). 러시아는 어두운 티ل 그린(teal green)의 상·하의 작업복 위에 형광 오렌지 컬러의 조끼를 착용하고, 재귀반사 테이프는 허리와 어깨 부분에 사용되었다(Fig. 4). 마지막으로 프랑스는 셔츠, 조끼, 점퍼, 팬츠로 구성되어 있으며, 선명한 그린과 형광 옐로우 컬러의 톤온톤 배색과 허리와 어깨, 무릎 부분 재귀반사 테이프를 사용하였다(Fig. 5).

국내의 환경미화원 작업복은 가장 많은 수의 환경미화원이 소속되어 있는 서울시의 환경미화원 작업복 2009년 가이드라인에 의하면 점퍼, 내피점퍼, 팬츠로 구성되어 있으며, 형광 옐로우그린 컬러와 허리와 가슴, 어깨, 팔꿈치, 무릎 부분에 재귀반사테이프가 사용되었다(Fig. 6). 걸감의 소재는 폴리에스터 100%에



<Fig. 1> A street cleaner in high visibility waterproof clothing in Westminster, London, UK. From Wills. (2013). <https://www.alamy.com>



<Fig. 2> London marathon clean up sees 50,000 plastic bottles collected. From Moore. (2014). <https://ciwm-journal.co.uk>



<Fig. 3> Garbage men. From Oliverchesler. (2008). <https://www.flickr.com>



<Fig. 4> Russian street cleaner's uniform/ Michael Kors FW 2013. From LanaLana. (2013). <http://forums.thefashionspot.com>



<Fig. 5> Supporting the city. From Genie. (2010). <http://parisandbeyond-genie.blogspot.com>



<Fig. 6> Street cleaner uniform (winter) of Seoul.
From Seoul Design Headquarters. (2009). pp. 57, 67.

트릴 조직에 폴리에스테르 100%인 PTFE 혹은 PEEE 필름이 2ply로 라미네이팅 되어 있다. 내피 접퍼는 폴리에스테르 소재에 압축층 에어를 5온스, 6온스를 혼용하여 다이아퀼팅하고, 안감은 폴리에스테르 트릴소재, 반사테이프는 폴리 100%의 ISO6330 시험법으로 100회 세탁 후 휘도가 100R_A 이상인 시험성적을 받은 소재를 사용하도록 규정하고 있다(Seoul Design Headquarters, 2009).

2. Energy-harvesting

Marketsandmarkets(2017)의 최신 보고서에 따르면 에너지 하베스팅(energy-harvesting) 시장 규모는 2017년부터 2023년까지 연평균 10.62% 성장하여 2023년까지 645.8백만 달러에 이를 것으로 예상되며, 최근 지속가능한 친환경 에너지 확보가 전 세계의 공통된 이슈로 떠오르며 더욱 각광받고 있다. ‘에너지 하베스팅’은 일상생활에서 버려지거나 소모되는 에너지를 모아 전력으로 재활용하는 기술로, 바람, 물, 온도, 태양 등의 자연에너지를 전기에너지로 변환하거나 사람이나 도로/교량의 진동, 실내의 조명광, 자동차의 폐열, 방송 전파 등과 같이 주변에서 버려지는 에너지를 전기에너지로 전환하는 기술이다(Suh & Roh, 2017).

개인 안전장치로 사용되는 안전의복은 첨단기술의 사용을 통해 전기로 구동되는 제품이 많으나, 의복의 특성상 무거운 배터리의 무게가 상용화에 걸림돌이 되는 경우가 빈번하다. 배터리 기술의 발달에 따라 배터리 밀도는 꾸준히 증가하지만, 배터리 용량의 제약으로 인해 일정 주기마다 충전을 해야 하는 문제점이

있다. 이에 해결책으로 제시되는 것이 바로 웨어러블한 에너지 하베스팅 기술이다(National Standards Coordinator, 2016).

Suh and Roh(2017)의 연구에 의하면 의류에 적용 가능한 대표적인 에너지 하베스팅 방식은 크게 다섯 가지로 첫 번째, 압력을 가하면 양전하와 음전하가 나뉘는 물질을 활용한 압전(piezoelectric)과 두 번째, 온도가 차이 날 때 전류가 흐르는 열전(thermoelectric), 세 번째, 금속 등이 고에너지의 전자기파를 흡수할 때 전자를 내보내는 현상을 이용한 광전(photovoltaic)과 네 번째, 마찰을 통해 일어나는 정전기를 전기로 바꾸는 마찰전기(triboelectric), 마지막으로 진동수 3~300kHz의 전파를 포집하여 전기로 바꾸는 전자기파(electromagnetic)가 주로 적용된다.

카네기 멜론 대학교(Carnegie Mellon University) 학생들이 개발한 ‘솔 파워(sole power)’는 압전을 이용한 하베스팅 방식으로, 해당 기술이 적용된 깔창을 신발에 깔고 하루 4km 이상 걸으면 핸드폰을 하루 동안 사용할 수 있는 전기에너지를 얻을 수 있다(Fig. 7). 보다폰(Vodafone)사의 열전으로 구동되는 전자기기 ‘파워 포켓(power pocket)’시리즈는 침낭이나 옷을 사람이 사용하였을 때 생기는 마찰과 체온을 이용한 신체에너지로 전기를 생산한다(Fig. 8). 타미 힐피거(Tommy hilfiger)의 ‘솔라 파워 재킷(solar power jacket)’은 광전을 이용한 방식으로, 등 부분에 부착된 유연한 태양광 패널로 전력을 생산하여 태양빛이 있는 곳이라면 어디서든 다른 보조배터리의 도움 없이 휴대폰이나 USB를 사용한 전자기기를 충전할 수 있



<Fig. 7> SolePower: Power by walking.
From SolePower. (2013). <https://www.kickstarter.com>



<Fig. 8> Vodafone's "power shorts" use body heat to charge your cellphone.
From Chua. (2013). <http://www.ecouterre.com>

다(Fig. 9).

코오롱 스포츠(Kolon sports)의 '라이프텍 재킷(lifetech jacket)'은 마찰 전기를 이용하여 극지에서 조난을 당하거나 목숨이 위협한 최악의 상황에서 조난자의 생명을 살리고, 구조 시까지 외부의 상황에 대응하여 신체를 유지하는 것을 목적으로 하는 제품이다. (Fig. 10)의 이 제품에는 전도성 고분자를 이용한 발열체인 '히텍스(HeaTex)'를 패딩 내피에 적용하였는데, 히텍스는 배터리를 이용하여 35~50도까지 발열이 가능한 면상 발열체로, 어깨에 부착된 윈드 터빈을 통해 풍력으로 자가 발전하여 스마트폰 및 간단한 전자기기를 충전할 수 있도록 고안되었다. 미국 드렉셀(drexel) 대학에서 개발한 'Knitted Wireless Power Harvesting and Storage'는 전자기파를 이용한 방식으로 옷의 일부가 전도성 실로 구성되어 일종의 안테나의 역할을 하여 와이파이가 주파수에서 에너지를 포집할 수 있다(Fig. 11).

III . Methods

본 연구의 방법은 다음과 같다. 안전의복에 적용이 용이한 에너지 하베스팅 키트의 구조 개발, 효율적인 발광을 위하여 전기재료응용 분야와 협업으로 진행하였으며, 재료와 발광부의 위치에 대한 연구를 선행하고, 발광부 재료를 선정하였다. 전기재료응용 팀에서 제작된 에너지 하베스팅 키트를 안전의복에 장착하기 위한 의복의 구조와 디자인을 1단계 light-emitting diode(LED)를 활용한 발광부 삽입형과 2단계 Electroluminescent Tape(EL 테이프)를 사용한 발광부 탈부착형으로 나누어 개발하였다.

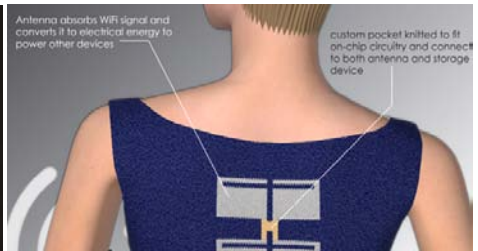
연구 대상 및 기간은 야간 작업자 중 환경미화원의 안전의복 동복으로 한정하고, 2015년 10월부터 2017년 9월까지 2년간 1단계에서 LED 발광체의 적용이 용이한 효율적인 의복의 구조개발을 목표로 샘플 4벌, 메인 80벌을 제작하고, 2단계에서는 착용 편의성



<Fig. 9> Power up with Tommy Hilfinger's solar panel jacket.
From ExoticExcess. (2014). <http://www.exoticexcess.com>



<Fig. 10> Life Tech Jacket.
From Kolonsport. (2015). <http://www.kolonsport.com>



<Fig. 11> Wi-Fi power harvesting.
From Drexel University's Center for Functional Fabrics. (2014). <http://drexel.edu>

향상을 위한 가변적 안전의복 개발을 목표로 샘플 5벌, 메인 30벌을 생산하였다. 안전의복에 장착되는 에너지 하베스팅 키트의 무게만큼 경량화하기 위해 소재를 개발하고, 제작된 샘플 원단을 KOTITI 시험연구원에 시험분석을 의뢰하여 중량, 혼용률, 투습도, 보온성 등을 분석한 후에 안전의복에 적합한 소재를 선정하여 생산에 투입하였다. 제작된 샘플들은 신장 175cm, 체중 65kg 남자 모델에게 착의 테스트를 진행하고, 의류학 전공 박사 2명, 석사 2명의 전문가 집단의 평가를 통해 메인생산 및 보급할 디자인을 선정하였다. 선정된 디자인으로 메인 생산된 안전의복 동복은 1단계에서 104명(서울시 성동구 76명, 세종시 28명), 2단계에서 176명(서울시 성동구 80명, 중구 68명, 세종시 18명, 공주시 12명)의 남녀 환경미화원을 대상으로 제작한 안전의복을 보급한 후에 설문을 진행하였으며, 2016년 2월과 2017년 2월에 걸쳐 착의에 대한 피드백을 얻었다. 설문과정은 사회적 기업인 누리가온에 의뢰하여 리빙랩 운영을 실시하고, 1단계에서 설문에 참여한 지역의 응답자들은 2단계에서도 동일하게 설문에 참여했고, 2단계에서는 서울시 중구와 충청남도 공주시의 지역이 추가되었다. 야간작업 현장 방문을 통해 안전의복을 지급하고, 환경미화 작업이 종료된 후에 설문지를 배급하여 의복에 대한 의견을 수렴하였다.

IV. Design Development

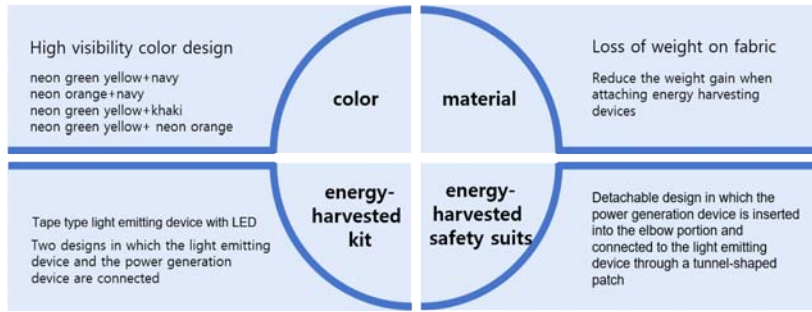
에너지 하베스팅이 적용된 환경미화원 안전의복을 제작하기 위하여 시인성과 착용편의성을 고려한 색상, 디자인, 소재의 개발과 에너지 하베스팅 장치의 구조와 안전의복 발광부 그리고 하베스팅 장치의 삽입부분에 대한 디자인을 전개하였다. 에너지 하베스팅 장치는 마찰전기 기술을 적용한 것으로, 이는 작업시 운동범위에 따라 의복과 의복이 마찰함에서 오는 정전기를 전기로 바꾸어 광원에 에너지를 공급하는 방식으로 작동한다. 해당 방식은 작업자들의 안전의복 착용 활동시간이 야간인 것과, 작업자들의 활동량이 마찰에너지를 만들어낼 수 있는 점, 또한 착용편의성을 고려한 하베스팅 발전부와 발광부의 물리적 연결 및 디자인 적합성을 고려하였을 때 최적으로 판단되어 선정하였다.

고시인성 안전의복에 대한 특징적인 부분은 형광 직물 및 재귀반사재의 사용 여부이다(Kang & Choi, 2016). 형광직물의 색상은 경고색으로 선정한 형광 옐로우, 오렌지, 레드로 한정되어 있기 때문에 본 연구에서 제작한 안전의복의 색상은 형광 옐로우와 형광 오렌지로 선정하였으며, 발광키트 이외에도 재귀반사 테이프가 함께 사용되었다. 에너지 하베스팅 장치는 의복과 함께 세탁할 수 없기 때문에 세탁 시에는 의복과 분리가 용이해야 한다. 1단계에서는 에너지 하베스팅 발전부와 발광부가 결합된 키트를 의복 삽입형으로 제작하고 실시한 환경미화원들의 설문조사 결과를 반영하여, 2단계에서는 의복 탈부착형으로 기획하였다(Fig. 12 and 18).

1. First design step

1단계에서는 고시인성 안전의복을 위한 색상과 배색연구, 에너지 하베스팅 키트의 디자인과 에너지 하베스팅 키트가 적용된 안전의복의 디자인. 그리고 에너지 하베스팅이 적용됨으로 증가하는 무게를 감량하기 위한 소재의 개발을 중점으로 하였다. 안전의복의 기본 실루엣은 기존의 서울시 가이드라인에 맞춰 통일하고, 형광 그린 옐로우/네이비, 형광 오렌지/네이비, 형광 그린 옐로우/카키, 형광 그린 옐로우/형광 오렌지의 배색으로 샘플 4벌을 제작하였다. 환경미화원의 작업시 오염이 가장 심한 목판, 소매, 바지 하단에는 어두운 색을 배색하여 디자인하였다. 안전의복 내에 삽입 가능하도록 LED를 접합한 테이프형태의 발광부와 발전부가 결합된 에너지 하베스팅 키트의 프로토타입 2가지를 제작하였다. Light-emitting diode(LED)는 ‘발광다이오드’라고 하며, 순방향으로 전압을 가했을 때 발광하는 반도체 소자로, 수명이 백열전구보다 길고 에너지 효율이 좋아 여러 가지 용도로 사용된다(Lee, 2008). 1차로 개발한 형태는 LED 밝기가 2차에 개발한 PVC 형태보다 밝았으나, 유연성이 떨어져 의복에 장착하는데 어려움이 있는 것으로 판단되어, 유연하고 관리가 쉬우며 삽입하기 용이한 PVC 소재의 테이프에 LED 전구를 접합한 형태를 안전의복을 위한 발광체 형태로 최종 선정하였다(Fig. 13).

인체의 움직임으로 인한 마찰 에너지를 전기 에너지로 전환하는 에너지 하베스팅 키트의 발전부는 소매의 팔꿈치 부근에 원형 패치를 덧대어 삽입하고 발

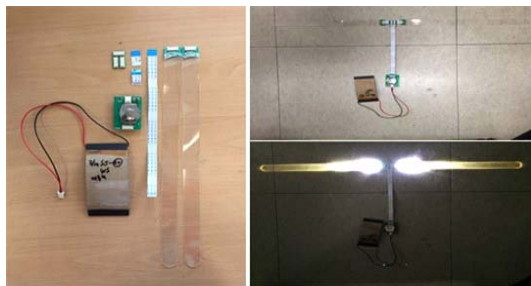


<Fig. 12> First design step



<Fig. 13> 1st main product design flat sketch

광부와 연결되는 전선은 소매의 상완부분에 터널형태의 패치를 덧대어 매입하였다. 연결된 두 개의 패치는 모두 지퍼로 개폐되어 장치를 쉽게 꺼낼 수 있도록 고안하였다. 앞판과 뒷판에 세로 방향으로 부착된 재귀 반사 테이프 위에 미리 투명성이 확보되는 원단을 터널형태로 봉제하고, 어깨 부근에 입구를 만들어 발광부인 LED 전구가 접합된 PVC 테이프가 삽입될 수 있도록 했다(Fig. 14).



<Fig. 14> Development and testing of LED tape secondary model.

Photographed by the author. (November 4, 2015).

발광체와 에너지 하베스팅 장치 장착으로 인해 기존의 안전의복 소재는 보다 감량화될 필요가 있었다. 추가될 장치의 무게증가를 반영하여 기존 소재의 외피, 내피, 안감의 중량을 측정하고, 기존의 소재보다 경량화 할 수 있는 외피와 내피의 대체소재를 조사하여 선정하고 샘플원단 시직을 진행하였다. 시직된 샘플 중에서 기모 접착뿐만 아니라, 동복에 발수와 보온 등의 기능을 부여하는 경량의 필름인 라미네이팅 필름(laminating film)을 부착해도 228g/m²의 중량이 측정된 나일론 소재를 안전의복의 외피 소재로 선정하였다. 기존 내피의 소재는 폴리에스테르(polyester) 재질의 누비숨과 폴리에스테르 안감으로 이루어져 있어 총 231g/m²의 무게가 측정되었다. 내피용 소재는 개발과정을 거쳐 촉감을 더 부드럽게 한 가벼운 폴리에스테르 100%의 니트 구조인 플리스(Fleece) 소재로 대체하여 기존 동복 내피 재킷 소재의 중량(231g/m²)보다 30~70g/m² 가량 감량하였다. 또한 서울시 가이드라인에 명시된 기준인 투습도 5,000g/m²·24hour 환경에서 작동 가능한 안전 의복을 위한 소재를 선정

하기 위해 투습도 분석을 통해 기존의 소재보다 높은 투습도인 10,391g/m² · 24hour의 소재를 사용하여 샘플과 메인 생산을 진행하였다(Table 2).

시작된 원단 샘플과 부자재, 구조 개발과 테스트를

거친 LED 테이프 발광체와 에너지 하베스팅 구동장치 등을 사용하여 샘플을 제작하였다. 샘플 안전의복 시착 자체 평가를 실시한 후에 의복의 구조적인 디테일과 기장 등을 확인하고, 설문조사를 위한 보급용 메인 컬러

<Table 1> 1st safety apparel sample development

	Sample 1-1	Sample 1-2	Sample 1-3	Sample 1-4
Light condition				
Dark condition				
Detail				

<Table 2> Comparison of the characteristics of existing fabric and developed fabric

	Existing uniform (Seoul)		1 st fabric		2 nd fabric	
	Outer cover	Lining	Outer cover	Lining	Outer cover	Lining
Weight(g/m ²)	250	231	228	180.7	223	180.7
Vapour permeance (g/m ² · 24hour)	8,069	10,015	10,391	13,941	6,403	13,941
Thermal insulation rate(%)	27.7	53.4	13.1	38.2	29.1	38.2
Mixed rate(%)	Polyester 100	Polyester 100	Nylon 100	Polyester 100	Polyester 100	Polyester 100

를 <Table 1>의 샘플 1-1과 1-2의 컬러 2가지로 선정하였다. 완성된 안전의복 동복 80벌은 설문조사를 위하여 성동구와 세종시의 환경미화원들에게 보급되었다.

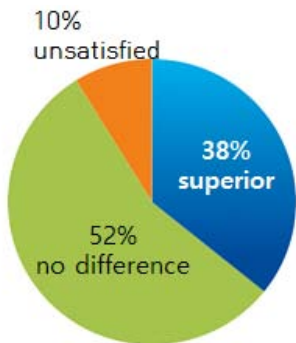
1단계 안전의복에 대한 설문조사는 104명의 환경미화원을 대상으로 진행되었으며, 두 가지 배색의 디자인의 시인성에 대한 조사 결과, 59%의 응답자가 형광 옐로우-네이비 배색의 디자인이 더 눈에 띈다고 응답하였다. KOTITI 시험성적서 결과에서는 실제 무게는 감소되었음에도 불구하고, 응답자들의 44%는 기존 제품 대비 무겁다는 의견을 보였다. 이는 보온성 향상을 위해 추가된 라미네이팅 필름 적용으로 다소 뻣뻣해진 착용감으로 인해 위와 같은 응답이 발생된 것으로 추론되어 2단계 소재 개발에서는 라미네이팅 필름을 추가하지 않았다. 보온성에 대해서는 38%의 응답자들이 뛰어나다는 의견을 보였으며, 52%의 응답자가 기존 제품과 비슷하다는 의견을 보였다(Fig. 15).

발광부의 부착위치에 대한 문항에서는 70%가 만족한다고 응답하였고, 30%는 개선을 요구하였다(Fig. 16). 다른 위치를 제안한 응답자 46명 중 37명이 상체 앞뒤의 복부로 위치 개선의견을 제시하였다(Fig. 17). 발광장치의 밝기에 대한 물음에서는 92%의 응답자가 밝다, 적당하다고 응답하였으며, 이를 통해 새로 추가된 발광장치의 시인성에 대한 착용자의 높은 만족도를 확인할 수 있었다. 그러나 LED 전구 위치가 어깨 부분에 있기 때문에 심리적으로 부담스럽다는 의견을 반영하여 2단계에서는 발광체의 재료를 교체하였다. 또한 56%의 응답자가 발광장치의 스위치가 팔 부분에 장착되어 있어 스위치 조작에 어려움이 있다는 응답을 표현하였기 때문에 2단계 디자인 기획에서는 스

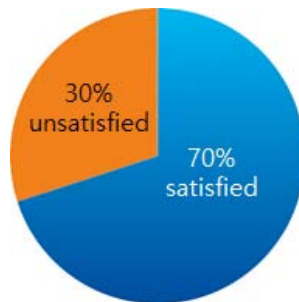
위치의 위치를 변경하였다.

2. Second design step

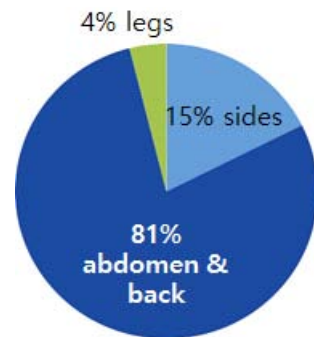
2단계에서는 1단계를 적용하고 얻은 설문조사를 기반으로 착용자의 의견을 반영한 색상과 배색디자인, 발광부의 성능 향상을 위한 새로운 소재 적용과 에너지 하베스팅 발광장치가 분리된 안전의복디자인 그리고 실제 착용 시 쾌적성을 향상한 원단의 개발을 중점으로 하였다. 1단계에 사용하였던 LED 전구와 PVC로 구성된 발광체는 길이가 길어짐에 따라 빛이 약해지는 단점이 나타났다. 이를 보완하기 위하여 LED 대신 필요한 길이 전체에서 일정한 밝기를 낼 수 있는 Electroluminescent Tape(EL 테이프)를 활용하여 발광부를 만들고, 에너지 하베스팅 발전부와 연결하여 시인성을 향상시키고자 했다. Electroluminescent(EL)란 마이크로캡슐화 된 특정 형광체 입자가 두 개의 전극 사이에 끼어 있는 평평한 콘덴서 구조로 전류가 흐르면 형광체 입자가 가시광을 방출하는 원리로 LED보다 높은 전압을 필요로 하지만, 균일하고 부드러운 빛을 내는 장점이 있다(“Electroluminescence (EL)”, n.d.). 1단계 안전의복 개발에 대한 설문 조사에서 응답자의 81%가 추천하고 싶은 발광부의 부착위치로 상체 앞·뒤 복부로 나타났기 때문에 이를 반영하고 착용 편의성 향상을 위한 가변형 의복을 제작하기 위해서 입고 벗기 편리하며 세탁이 용이한 별도의 발광조끼와 발광벨트의 형태로 디자인을 기획하였다(Fig. 18). 1차 안전의복 개발과 제작의 결과에서도 발광부와 에너지 하베스팅 발전부를 몸판이나 소매와 같은 의복 구성부분 자체에 별도의 공간을 마련하여 삽입하는



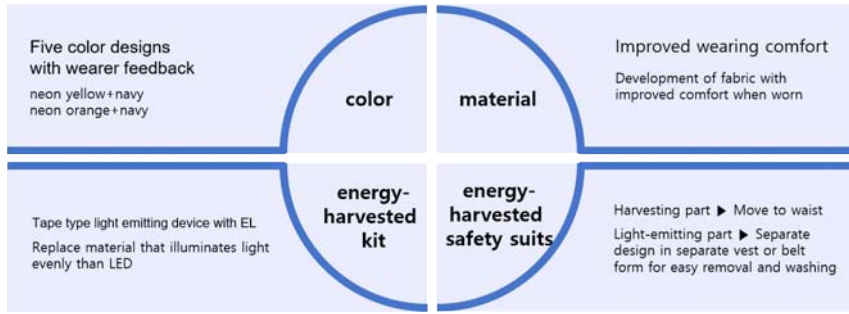
<Fig. 15> Evaluation on heat insulation compared to existing apparel



<Fig. 16> Satisfaction for LED luminous device location



<Fig. 17> Recommended location of luminous part in safety apparel



<Fig. 18> Second design step

것은 발광부의 위치 선정과 디자인 개발에 한계가 있었기 때문에, 별도의 조끼 또는 벨트의 형태에 재귀반사 테이프와 함께 EL테이프 발광부를 상침하고, 에너지 하베스팅 발전부는 움직임이 많아 마찰에너지 확보가 유리한 허리쪽에 삽입 후 봉제하여 제작하였다.

발광 조끼의 프로토타입은 1차에서 뒤판에서 X자로 크로스 되는 디자인으로 제작하였으나, 발광장치 내부에 들어가는 전선의 길이가 길어지고 겹쳐지는 부분의 두께가 증가하여 착용시 불편하고, 제작의 경우에도 방향의 혼선이 일어나 제작 용이성도 저하되는 것으로 나타났다. 2차로 개발한 발광 조끼의 프로토타입은 앞판과 뒤판에서 완만한 V자로 내려가 허리 부분과 만나는 디자인으로, 어깨띠 부분의 흘러내림을 방지하기 위하여 몸판의 어깨에서 벨크로로 고정할 수 있도록 처리하고, 여밈 장치로는 버클을 달아 입고 벗기 편리하게 했다. 발광 벨트는 안전의복의 몸판에 스냅으로 고정 가능하고 필요에 따라 탈부착 가능하도록 했다(Fig. 19).

움직임이 없을 경우에 전력을 공급할 수 있는 인버

터는 기존에 출시되는 형태 중에서 의복의 벨트 고리에 별도로 디자인한 포켓에 삽입 가능한 형태와 개발한 발광 조끼와 벨트의 폭 안에 고정하는 것으로 나누어 2가지의 프로토타입들을 시작해 본 결과, 발광 조끼와 발광 벨트의 외부로 나온 인버터를 포켓에 넣고 빼는 방식은 착용의 불편하다는 결론을 얻었다. 따라서 발광형 조끼와 벨트의 폭인 5cm에 고무밴드를 사용해 장착하기 쉬운 인버터 타입을 채택하여 전체적으로 착용의 불편함을 최소화하였다(Fig. 20).

1단계 설문 조사 결과에서 동복 재킷에 후드가 달렸으면 좋겠다는 착용자들의 의견을 반영하여 후드가 있는 재킷을 디자인하였으며, 착용자의 선호도에 따라 후드를 탈부착할 수 있도록 기획하였다. 시인성 확보를 위하여 선정된 형광 옐로우와 형광 오렌지를 주조색으로 하고, 오염에 취약한 부분에는 네이비 배색을 적용하여 5가지의 샘플을 디자인하였다. 모든 샘플 디자인은 기본적으로 후드의 탈부착과 발광 조끼의 착용이 가능하고, 디자인에 따라 발광 벨트를 함께 착용할 수 있도록 하였다(Table 3).



<Fig. 19> Luminous vest & belt prototype using EL tape. Photographed by the author. (March 14, 2017).



<Fig. 20> Inverter inserted into the back of luminous device. Photographed by the author. (December 17, 2016).

<Table 3> Characteristic of 2nd sample design

Sample	Characteristic of design	Type of transformation
Sample 2-1	<ul style="list-style-type: none"> • Selective wearing of jacket and vest for weather change • Use of reflective printed fabric on jacket body part 	<ul style="list-style-type: none"> • Detachable sleeve • Detachable hood • Detachable luminous belt
Sample 2-2	<ul style="list-style-type: none"> • Use of knitwear rib on small panel parts of two sleeves for more activity • Place navy color pocket on front-bottom part vulnerable to contamination 	<ul style="list-style-type: none"> • Detachable hood
Sample 2-3	<ul style="list-style-type: none"> • Place navy color pocket on front-bottom part vulnerable to contamination • Use of navy color on shoulder part and hood 	<ul style="list-style-type: none"> • Detachable hood • Detachable luminous belt
Sample 2-4	<ul style="list-style-type: none"> • Place soft reflective fabric on shoulder with raglan sleeve design • Use of reflective printed fabric on jacket body part 	<ul style="list-style-type: none"> • Detachable hood • Detachable luminous belt
Sample 2-5	<ul style="list-style-type: none"> • Use of navy color with cutting line on front-back of body part and sleeves vulnerable to contamination 	<ul style="list-style-type: none"> • Detachable hood

샘플 2-1은 소매, 발광벨트의 탈부착이 가능한 디자인으로 재킷의 소매연결 부분을 지퍼로 제작하여 소매를 떼어낼 경우에 조끼로 활용 가능하다. 재킷과 조끼 형태를 선택적으로 착용 가능하기 때문에 날씨의 변화에 대응 가능하며, 재킷 몸판에 야간 시인성을 고려하여 재귀반사프린팅 원단을 적용하였다. 샘플 2-2는 2장 소매의 작은 패널 부분을 니트 립조직을 사용하여 소매의 활동성을 증가시켰으며, 오염에 취약한 앞판 하단에 네이비 컬러의 주머니를 배치하였다. 샘플 2-3은 발광벨트의 탈부착이 가능하고, 샘플 2-2의 배색과 디자인을 기본으로 몸판 어깨와 후드에 네이비 배색을 추가했다. 샘플 2-4는 발광벨트의 탈부착이 가능하고, 래글런 슬리브 디자인으로 어깨에 부드러운 재귀반사 원단을 배색하고, 재킷의 몸판에 재귀반사프린팅 원단을 사용했다. 샘플 2-5는 오염에 취약한 몸판의 앞·뒤판의 중심부와 소매의 하단부에 절개선을 이용한 네이비 배색이 특징이다(Table 4). 5가지의 샘플의 시착 테스트를 거친 후에 전문가 집단 평가에서 시인성이 가장 높고 착용감이 뛰어나며, 디자인의 독창성이 가장 두드러진 것으로 평가된 샘플 2-4(Fig. 21)를 환경미화원 착용평가 설문조사를 위해 생산용 최종 디자인으로 결정하였다.

땀의 배출을 용이하게 하는 통기성이 높지 않다는 1차 설문조사 의견을 반영하여 원단에 라미네이팅 작업은 진행하지 않고 형광계열의 색상을 적용한 폴리

에스테르의 뒷면에 보온성을 확보할 수 있는 기모 원단을 본딩하여 1차와 동일하게 경량화된 소재(223~224.6g/m²)를 투습도 5,000g/m²·24hour 이상의 조건에 맞춰 개발하였다(Table 2). 시판되는 재귀반사의 테이프는 소재가 뽀뽀하고 두껍기 때문에 몸판에 상침된 형태로 착용하면 무겁고 활동에 불편함을 느낄 수 있다. 1차의 안전 의복과는 다르게 별도의 동판을 제작하여 개발한 소재 위에 재귀반사 프린팅 작업을 진행하여 별도의 봉제 없이도 의복의 표면에서 광원이 있을 경우의 시인성을 확보할 수 있도록 하였다(Fig. 22).

2단계 안전의복 디자인 및 기능, 착용편의성에 대한 설문조사는 총 178명의 환경미화원을 대상으로 서울시 성동구와 중구, 세종시, 공주시의 지역에서 시행되었으며, 결과는 <Table 5>와 같다. 전체적인 디자인에 대한 평가는 응답자의 77%가 만족을 표현했으며, 현장 인터뷰에서 일반적인 작업복 디자인보다 아웃도어 스포츠웨어를 연상시키는 래글런 슬리브의 디자인이 만족스럽다는 의견이 나왔다.

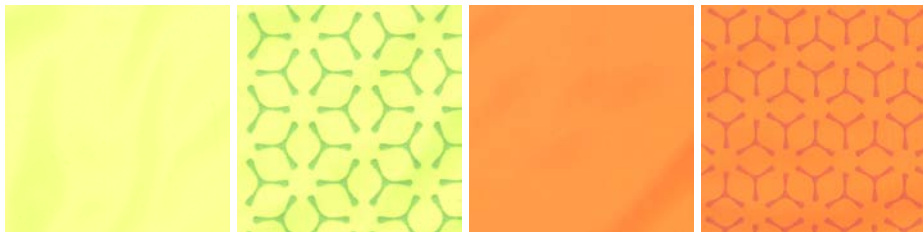
1단계의 설문조사에서 나온 의견을 반영하여 기획한 후드는 착용자의 필요에 따라 탈부착이 가능하도록 디자인하였고, 응답자들 중 65%가 실용적이라고 답했다. 소재에 관련된 문항에서도 77%가 원단의 품질이 개선되었다고 응답하였다. 이는 움직임이 많은 어깨부분의 소재가 부드러워서 편안하고 1단계 걸감

<Table 4> 2nd safety apparel sample development

	Basic + detachable sleeve		Luminous vest + belt		Dark condition	
Sample 2-1						
	Basic	Detachable hood		Luminous vest	Dark condition	
Sample 2-2						
	Basic	Detachable hood	Luminous vest + belt		Dark condition	
Sample 2-3						
	Basic	Detachable hood	Luminous vest + belt	Dark condition (with flash)		
Sample 2-4 (main product)						
	Basic	Detachable hood		Luminous vest	Dark condition	
Sample 2-5						



<Fig. 21> Flat sketch of 2nd main product design
















<Fig. 22> Retroreflective printed fabric






소재에서 뱀뱀함을 유발시켰던 라미네이팅 필름을 제거하고, 보온성 유지를 위한 기모 본딩만 진행했기 때문인 것으로 나타났다. 보온성에 관해서는 58%의 응답자가 기존에 자치사에서 보급되던 안전의복에 비해서 보온성이 높게 느껴진다고 답했다.

발광장치에 관한 문항에서는 84%가 작업시 안전성 확보에 도움이 되었다고 했고, 61%가 발광부의 위치가 적당하다고 응답했다. 1단계의 의복의 삽입형과 달리 탈부착형으로 디자인된 2단계 안전의복의 발광조끼와 발광 벨트의 착용 편의성에 관한 항목에서는

응답자의 76%가 착용에 어려움이 없으며, 56%는 발광조끼나 발광벨트를 착용하고 작업해도 불편함이 없다고 했다. 또한 발광장치의 탈부착 기능으로 세탁과 관리가 용이하다는 응답은 전체의 67%를 차지하였다. 2단계에서는 필요에 따라 혹은 주변의 밝기에 따라 선택적으로 착용할 수 있도록 발광조끼와 발광벨트의 두 가지 형태로 제작하였다. 44%의 응답자가 발광벨트만 착용하는 것을 더 선호하였으며, 33%가 발광조끼만 착용하는 것을 원했고, 나머지 응답자들은 두 가지 형태를 모두 착용하는 것을 원했다.

<Table 5> Results for survey on safety apparel users

The overall design is more refined.	The detachable hood is practical.
	
The fabric quality is better.	The heat insulation is better.
	
The luminous device helps in securing safety.	The location of luminous device is appropriate.
	
No difficulty in wearing luminous device.	No inconvenience to work even if the luminous device is worn.
	
Washing and managing is more convenient with detachable luminous device.	The preferred form of luminous device ( belt type  vest type  both).
	

 strongly disagree,  disagree,  neutral,  agree,  strongly agree

V. Conclusion

본 연구는 활동성이 많은 작업을 수행하는 환경미화원들을 대상으로 운동에너지를 전기에너지로 전환하는 에너지 하베스팅 장치의 삽입과 발광장치 부착을 위한 의복 소재 개발 및 의복의 가변적 구조 개발을 통해 다기능화된 안전의복을 개발하고, 기능성과 안전성을 제공함으로써 사고를 예방하는데 도움이 되 고자 하였다.

이를 위해 2년간 2단계의 디자인 개발 및 작업 과정을 거쳐 총 280명의 환경미화원을 대상으로 설문문을 통해 피드백을 얻은 결과, 본 연구를 통해 개발한 안전의복은 기존의 안전의복에 비해 시인성과 디자인 만족도가 높고, 세탁과 착용이 편리하다는 것을 확인할 수 있었다. 에너지 하베스팅 발전부를 통한 발광 기술을 적용하여 시인성을 향상시킨 안전의복을 제작하여 기능과 안전을 동시에 확보할 수 있도록 하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 신체에너지를 이용한 에너지 하베스팅으로 발광체를 구동시키는 기술은 지속가능한 에너지원으로 적용이 가능하며, 배터리만 단독으로 사용한 발광 안전의복의 단점을 극복하여 야간작업자들에게 실질

적인 도움을 줄 수 있다. 이에 착용 가능한 에너지 하베스팅 발광 안전키트는 융합연구를 통해 관리와 착용의 편의성을 갖는 고시인성 발광형 안전장비의 기술을 의복에 적용하였다.

둘째, 의복을 통한 에너지 하베스팅 기술의 상용화를 위해서는 관련 장치를 부착한 상태에서도 작업능률에 지장이 없는 쾌적한 상태가 유지되어야 하고, 지속적 착용에도 안전의복의 기능이 감소되지 않아야 한다. 환경미화원은 작업 시 신체적 움직임이 많고 땀을 많이 흘리기 때문에 작업복과 안전의복은 에너지 하베스팅 기기로 인한 불편함이 없도록 편안하고 쾌적한 소재가 필수적이며, 작업환경의 특성상 매일 세탁을 해야 하기 때문에 세탁편의성을 위한 에너지 하베스팅 발전부와 발광부가 의복에서 분리되도록 모듈화의 과정을 거쳐야 한다.

셋째, 기술의 실효성만큼 안전의복의 디자인과 쾌적성이 중요하다는 것을 알 수 있었다. 특히 팔다리 움직임이 자유로운 아웃도어 웨어 스타일의 디자인의 선호도가 높은 것을 고려하여 후속연구에서는 심미적으로 아름다우면서도 활동에 제약이 없는 편안한 디자인의 안전의복의 연구가 이루어진다면 안전의복의 보급화에 일조할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 경량화 소재 연구개발 및 다기능화를 위한 가변적 구조 개발을 구현함으로써, 에너지 하베스팅 기술의 적용이 안전의복의 범주에서 벗어나 교통약자를 위한 의복이나 아웃도어 스포츠웨어 등의 일상생활에서 활용이 가능한 영역으로 확대되어 나가는 것에 기여할 수 있을 것이며, 공학과 디자인, 원천 기술과 실용성이 동시에 고려되어야 하는 융복합 연구가 팀을 이루어 더욱 구체적이고 실증적인 결과들을 얻을 수 있을 것이다. 야간작업자의 작업복이나 노약자들의 보행 시 안전을 위한 안전 의복과 같은 공익적 영역에서부터 야간에 광고나 홍보를 위한 웨어러블 디바이스, 패션소품 등 상업적 의복의 영역에서 기존에 배터리로 구동되던 모든 발광형 장치에 적용이 가능할 것이라 예상되며, 이로 인한 일회용 발광제품들과 배터리를 폐기 등의 환경문제에 대한 대안이 되기를 기대한다.

References

- Chua, J. M. (2013, June 13). Vodafone's "power shorts" use body heat to charge your cellphone. *Ecouterre*, Retrieved May 15, 2018, from <http://www.ecouterre.com/vodafones-power-shorts-use-body-heat-to-charge-your-cellphone>
- Drexel University's Center for Funticonal Fabrics. (2014). Wi-Fi power harvesting. *Drexel University*, Retrieved October 25, 2017, from <http://drexel.edu/excite/discovery/shimaSeiki/Projects/wifi-power>
- Electroluminescence (EL). (n.d.). In *Techopedia*. Retrieved June 3, 2017, from <https://www.techopedia.com/definition/11455/electroluminescence-el>
- ExoticExcess. (2014, October 28). Power up with Tommy Hilfiger's solar panel jacket. *Exotic Excess*, Retrieved May 15, 2018, from <http://www.exoticexcess.com/tech/power-up-with-tommy-hilfigers-solar-panel-jacket>
- Genie. (2010, October 21). Supporting the city. [Blog Post]. Retrieved June 13, 2017, from <http://parisandbeyond-genie.blogspot.com/2010/10/supporting-city.html>
- Huh, J.-K. (2005). *A study on the functional improvement of street cleaner uniform*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- 「KATS Notification」. (2017a). 2017-14 § 3.
- 「KATS Notification」. (2017b). 2017-033 § 3.
- Kang, C. W. (2017, December 14). 논의도 못 해 본 '환경미화원법'...안타까운 사고는 계속 [We did not discuss the 'Environmental Beauty Law'... A sad accident continues]. *SBS News*, Retrieved June 11, 2017, from http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1004530967
- Kang, I. H., & Choi, B. H. (2016). *교통안전과 의복 생활* [Traffic safety and clothing life]. Paju: Cheong Moon Gak Publisher.
- Kim, J. W. (2008). *A study development of working clothes for railroad workers: With a focus on electric technology division*. Unpublished master's thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Kim, S. J. (2018, February 28). [김성준의시사전망대] "2년간 환경미화원 사망 27명, 부상 766명" [Two years of environmental illness killed 27 people, injured 766 people]. *SBS News*, Retrieved June 21, 2017, from http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1004643861
- Kolonsport. (2015). LIFE-TECH Jacket. *Kolon Sport*, Retrieved May 5, 2017, from <https://www.kolon-sport.com/About/History/61439>
- Korean Confederation of Trade Unions. (2010, April). *환경미화원 토론회 자료집: 환경을 지키려면 환경미화원도 지켜 주세요 -씻을 권리부터-* [Street cleaner discussion boards]. Retrieved June 17, 2017, from http://nodong.org/data_paper/245459
- Korea Transportation Safety Authority. (2017). *보행자의 안전을 위한 개인안전의복의 시인성개선 효과검증 최종보고서* [Verification of the improvement of visibility of personal safety apparel for pedestrian safety final report]. Retrieved August 25, 2017, from <http://www.kotsa.or.kr/tsk/rck/InqDetPTRTrafficSafety.do?bbsSn=5407>
- LanaLana. (2013, February 13). Russian street cleaner's uniform/ Michael Kors FW 2013. Retrieved June

- 22, 2017, from <http://forums.thefashionspot.com/f60/outfit-look-alikes-4-a-189127-17.html>
- Lee, H.-Y. (2010, May). The evaluation of protective vests for night in the market. *Proceedings of Korean Association of Human Ecology Summer Conference, Daejeon*, 131-132.
- Lee, I.-H. (2008). *A study on the LED lighting*. Unpublished master's thesis, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea.
- Lee, J.-H., & Kim, S.-W. (2014). 에너지하베스터의 기술 및 연구동향 [Energy harvester's technology and research trend]. *Electrical and Electronic Materials*, 27(3), 27-36.
- Marketsandmarkets. (2017, July). Energy harvesting system market by technology (light, vibration, RF, thermal), component, application (building & home automation, consumer electronics, industrial, transportation, security), and region: Global forecast to 2023. *MarketsandMarkets*, Retrieved June 16, 2017, from <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/energy-harvesting-market-734.html>
- Moore, D. (2014, April 16). London marathon clean up sees 50,000 plastic bottles collected. *Chartered Institution of Wastes Management*, Retrieved October 2, 2017, from <https://ciwm-journal.co.uk/london-marathon-clean-up-sees-50000-plastic-bottles-collected>
- National Standards Coordinator. (2016). 2016 insight into technology and standards. *Eumseong: Korean Standards Association*, Retrieved June 2, 2017, from http://www.kscoodi.or.kr/?mid=board_trend&anchor=4&document_srl=34431
- Oliverchesler. (2008, January 12). Garbage men [Photograph]. Retrieved May 15, 2017, from <https://www.flickr.com/photos/thingstocomerecords/2188728645>
- Seoul Design Headquarters. (2009). *서울시 환경미화원 근무복 가이드라인* [Guidelines for working clothes of street cleaner in Seoul]. Seoul: Seoul Metropolitan Government.
- Shin, M.-K. (2009). *A study on the cases and formativeness of clothes perceived as public design*. Unpublished master's thesis, Hongik University, Seoul, Korea.
- SolePower. (2013, June 3). SolePower: Power by walking. *Kickstarter*, Retrieved November 20, 2017, from <https://www.kickstarter.com/projects/764467377/solepower-power-by-walking-0?ref=discovery&term=SolePower>
- Suh, S. E., & Roh, J.-S. (2017). Development status of energy harvesting fashion products. *Journal of Fashion Design*, 17(4), 19-38. doi:10.18652/2017.17.4.2
- Wills, P. (2013, May 28). A street cleaner in high visibility waterproof clothing in Westminster, London, UK. *Alamy*, Retrieved November 13, 2017, from <https://www.alamy.com/stock-photo-a-street-cleaner-in-high-visibility-waterproof-clothing-in-westminster-london-uk-56969105.html>