Journal of Appropriate Technology
Vol. 8, No. 2, 56-65 (2022)
pISSN 2465-9169 • eISSN 2765-6551
https://doi.org/10.37675/jat.2022.00136

Article

A Plan to Secure Environmental Sustainability Through Digital Transformation of the Fashion Industry: Focusing on Fashion Design and Smartization of the Manufacturing Process

Woo-Kyun Jung†, Jae-Won Lee, Seung-Whan Lee, Eun-Joo Jee, Woo-Kyung Jung

MFAFA Co., Ltd., 19 Mapodaero, Mapo-Gu, Seoul 04165, Korea

디지털 전환을 통한 패션산업의 환경 지속가능성 확보 방안 : 디자인과 제조공정 스마트화를 중심으로

정우균†, 이재원, 이승환, 지은주, 정우경

(주)엠파파, 서울시 마포구 마포대로19 (04165), 대한민국

패션의류산업의 글로벌 시장규모는 지속적으로 성장하고 있으나, 이와 함께 패션의류산업이 초래하는 환경오염 또한 심화되고 있다. 미래 세대에게 안전한 환경을 물려주는 것은 현 인류의 의무이자 책임이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 패션의류산업이 글로벌 환경문제에 미치는 영향과 이를 극복하기 위해 수행하고 있는 노력을 살펴보고, ㈜엠파파가 수행하고 있는 디지털 전환을 통한 패션의류산업의 환경 지속가능성 확보 방안을 소개한다. 패션의류산업은 전 세계 발생 온실가스 총량의 약 10%를 배출하고 있으며, 물 소비 및 오염, 살충제 사용으로 인한 토양 오염, 미세플라스틱 배출 등 환경오염에 치명적인 영향을 미치고 있다. 원재료인 원사생산으로부터 의류제조, 물류, 폐기에 이르기까지 전 수명주기에 걸쳐 다양한 환경오염 요인들이 내재되어 있다. 패션의류산업 내부에서도 이러한 환경적 문제점을 인식하고 친환경 재료의 사용과 함께 재단 폐기물 최소화, 3D 프린터와 같은 새로운 제조공정의 도입, 환경을 고려한 폐기물 처리 등을 추진하고 있다. ㈜엠파파는 디지털 전환을 통한 환경 지속가능성 확보를 목표로 디지털 디자인 툴과 소량생산 중심의 의류 스마트팩토리 개발을 추진하고 있다. 디지털 디자인 툴은 재단 폐기물과 샘플 제작 단계를 최소화하기 위해 패턴 데이터 기반의 3D 스튜디오를 개발하였는데, 다양한 디자인 패턴과 원단, 로고 등을 사용자가 쉽게 선택하며 개성있는 의류를 3D로 디자인할 수 있다. 이를 통해 기존의 절차에서 발생되는 재단 폐기물과 샘플의류의 발생을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 판단한다. 스마트팩토리는 모듈화 공정 설계를 포함한 다양한 요소기술을 반영하여 소량생산에 특화된 형태로 추진되고 있는데, 현재 요소기술에 대한 테스트가 진행중이다. 패션의류산업의 환경문제는 단순히 패션의류 브랜드사만의 문제가 아니다. 브랜드사들의 환경문제에 대한 사회적 책임 이행과 함께 의류사용자인 전 인류가 현재의 환경문제를 명확히 인식하여야 한다. 지속가능한 환경을 위한 활동에 패션의류 생태계의 모든 관계자가 심각성을 공감하고 이를 극복하기 위한 즉각적인 행동이 절실히 필요하다.

Although the global market size of the fashion clothing industry is continuously growing, environmental pollution is also intensifying. This study examines the impact of the fashion clothing industry on global environmental problems and the efforts being made to overcome them, and introduces ways to secure the environmental sustainability of the fashion clothing industry through digital transformation that MFAFA Co., Ltd. is carrying out. The fashion and apparel industry emits about 10% of the total amount of greenhouse gas generated worldwide, and has a fatal impact on environmental pollution such as water consumption, soil pollution, and microplastic emission. Various environmental pollution factors are inherent throughout the entire clothing life cycle. Recognizing these environmental problems within the fashion clothing industry, they are promoting the use of eco-friendly materials, minimization of cutting waste, introduction of new manufacturing processes such as 3D printers, and waste disposal in consideration of the environment. MFAFA Co., Ltd. is promoting the development of a digital design tool and small-volume production-oriented clothing smart factory with the goal of securing environmental sustainability through digital transformation. The digital

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: wkjung@mfafa.co.kr
Received: 6 May 2022; Revised: 6 May 2022;
Accepted: 29 July 2022

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

design tool developed a pattern data-based 3D studio to minimize cutting waste and sample production. Users can easily select a variety of design patterns, fabrics, and logos to design unique clothing in 3D. Through this, it is judged that the generation of cutting waste and sample clothing generated in the existing procedure can be drastically reduced. The smart factory is being promoted in a specialized form for small-volume production by reflecting various element technologies, including modular process design, and testing of element technologies is currently in progress. The environmental problem of the fashion and apparel industry is not just a problem for fashion brands. Along with the fulfillment of social responsibility for environmental issues by brand companies, all human beings, who are clothing users, must clearly recognize the current environmental issues. All stakeholders in the fashion and clothing ecosystem agree on the seriousness of activities for a sustainable environment, and immediate action is urgently needed to overcome it.

KEYWORDS: Environmental sustainability, Digital transformation, Clothing industry, Fashion design, Clothing manufacturing

서론

패션의류산업은 2021년 기준 자동차산업에 버금가는 약 1.7조 달러의 글로벌 시장규모와 연평균 3.39%의 지속적인 성장률을 보이고 있는 성장 가능성이 큰 산업임과 동시에, 수명주기 전체에 걸쳐 온실가스 배출, 물 사용, 환경오염물질 배출, 에너지 소비 등 환경을 저해하는 많은 요인들이 내재되어 환경분야에 부정적 영향이 높은 산업분야 중 하나로 평가되고 있다(Statista, 2021; Quantis, 2018). 패션의류산업은 폐기물 배출 문제에서도 많은 주목을 받고 있는데, 생산 비용을 낮추기 위해 인건비가 낮은 개발도상국으로 의류생산 공장이 이동하며 생산 수량을 증가시키는 과정에서 지난 20년간 의류 생산량과 함께 소비자가 매년 구매하는 평균 의류 수량이 크게 증가하여 소위 패스트 패션(Fast fashion)이라는 의류의 일회용화 현상을 초래하게 되었고, 이로 인해 발생하는 의류 폐기물은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다(Remy *et al.*, 2016). 이러한 패션의류산업의 환경적 문제들에 대한 다양한 논의 또한 진행되고 있는데, 기존의 에코 패션, 그린 패션, 윤리 패션 등의 용어를 보완하여 재료 및 디자인, 제조, 재사용 및 폐기까지의 전 수명주기를 지속가능성과 연계하여 지속 가능 패션으로 정의하기도 하였다(Shafie *et al.*, 2021). 패션의류산업의 환경적 영향은 UN의 지속가능개발목표(SDGs: Sustainable Development Goals)와도 밀접한 관계로 설명될 수 있는데, 섬유의류 제조 및 사용, 폐기의 과정은 SDGs 중 '6. 깨끗한 물과 위생(clean water and sanitation)', '12. 책임 있는 소비와 생산(responsible consumption and production)', '13. 기후 행동(climate action)'에 직접적인 영향을 미치고 있다(Cai and Choi, 2020).

한편, CSR (Corporate Social Responsibility: 기업의 사회적 책임)은 기업이 목적에 따른 활동을 이행함에 있어 지속가능성을 보장하기 위한 환경, 윤리, 사회 공헌을 함께 고려하는 것을 의미하는데, 유럽에서는 일찍이 패션의류산업의 중소기업에까지 CSR의 적용을 고려하고 있으며(Battaglia *et al.*, 2014), 이러한 CSR의 고려 대상은 패스트 패션 산업으로도 확장되고 있다(Nguyen *et al.*, 2021). 최근에는 전 세계 기업들이 ESG (Environment, Social, Governance: 환경, 사회, 지배구조)를 경영의 기조로 설정하는 활발한 움직임을 보이고 있다. 국내·외 유명 패션 브랜드들 또한 재활용 시스템 운영, 탄소절감, 친환경 소재, 기후변화 대응, 사회공헌 활동 등 다양한 형태의 실천 주제를 제시하고 인류의 지속가능성을 위해 노력하고 있다(허가영, 2021). CSR이 기업의 주체적 행동에 중점을 두는 반면, ESG는 투자자의 관점에서 분석된다는 차이는 있으나, 미래 세대를 위한 지속가능성의 중요성을 패션의류기업 활동의 중심에 두고자 하는 입장은 유사하다고 볼 수 있다.

디지털 전환(Digital transformation)은 물리적 현상에서 일어나는 다양한 현상과 활동들을 센서와 솔루션 기술 등을 이용하여 디지털화하고, 디지털상에서 현상을 인지하고 작업을 수행하며 예측/제어하는 과정이라 할 수 있다. 사이버 물리시스템으로 대표되는 4차 산업혁명 기술들이 다양한 분야의 산업현장에서 실제적으로 적용되기 위해서는 디지털 전환을 위한 노력이 반드시 선행되어야 한다(Gölzer and Fritzsche, 2017; Ghobakhloo and Ching, 2019). 패션의류산업은 인력중심적인 특수성으로 인하여 일반 제조산업에 비해 디지털 전환이 상당히 어려운 산업분야 중 하나이다. 다수의 글로벌 패션브랜드들이 패션의류산업의 디지털 전환을 위해 지속적인 노력을 기울이고 있으나, 여전히 많은 숙제들이 남아있는 상황이다. 최근까지의 디지털 전환에 대한 목적은 생산성 및 품질의 향상, 업무 효율화 등에 집중되는 경향이 있다. 그러나, 앞서 언급한 패션의류산업의 환경문제 또한 디지털 전환을 통해 해결이 가능한 부분이 충분히 있을 것이다.

이에, 본 연구에서는 패션의류산업의 수명주기 중 디자인

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

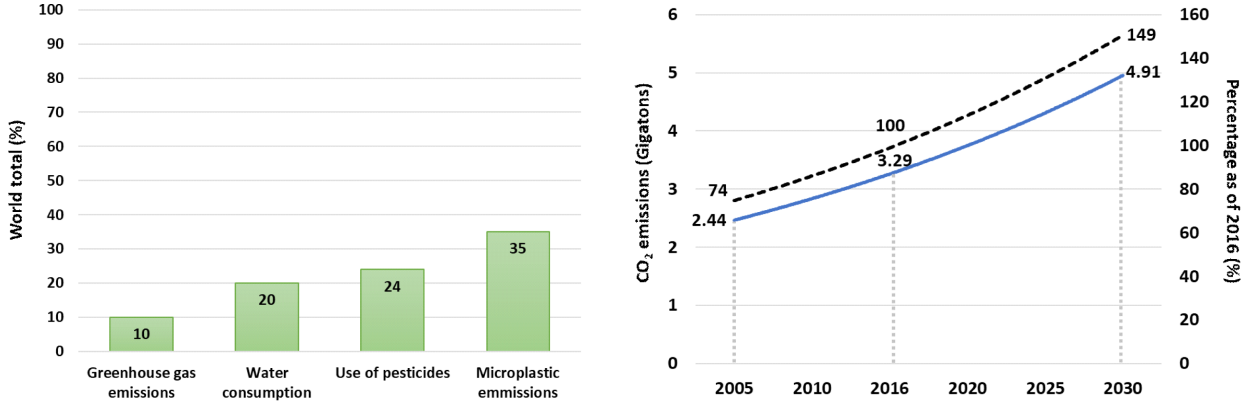
및 제조공정에서의 디지털 전환을 통해 환경 지속가능성을 확보하는 방안을 ㈜엠파파의 추진사례를 기반으로 제시하고자 한다. ㈜엠파파는 패션의류산업의 패러다임을 전환하고자 스마트팩토리 기반의 디지털 플랫폼을 지향하는 스타트업으로, 관계사인 호전실업㈜이 서울대학교 연구진과 4년여의 산학연구를 통해 도출한 결과를 패션의류산업에 적용하고자 2021년 후반기에 신규 설립되었다. 본 연구에서는 먼저 패션의류산업이 글로벌 환경오염에 어떠한 영향을 미치고 있는지 살펴본 후, 이러한 위협에 대응하기 위해 수행되고 있는 다양한 노력들을 정리하였다. 이후, ㈜엠파파가 디자인 분야와 제조공정 분야에서 환경 지속가능성을 확보하고자 수행하고 있는 디지털 전환 사례에 대해 소개하였다.

패션의류산업의 글로벌 환경에 대한 위협

세계환경개발위원회(WCED, 1987)는 지속가능발전을 '미래 세대가 필요를 충족시킬 수 있는 능력을 손상시키지 않으면서 현재의 필요를 충족시키는 것'으로 정의하였다. 또한, UN은 사회발전, 경제성장, 환경보존에 대한 인류 공동의 목표로 SDGs를 제시하며 미래 세대를 위해 환경보존의 중요성을 강조하였다. 한국 정부는 기후위기에 대한 대응을 위해 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 지속가능한 발전을 목적으로 탄소중립기본법을 제정하여 2022년 3월 시행하였는데, 국가 온실가스 감축 목표를 '2030년까지 2018년의 국가 온실가스 배출량 대비 35퍼센트 이상 감축'으로 설정하고, 산업, 건물, 수송, 발전, 폐기물 등 부문별 온실가스 감축 목표의 설정을 요구하였다(환경부, 2021). 그러나, 패션의류산업은 이러한 전 세계적인 환경보전의 노력에 큰 위협을 주는 산업분야 중 하나이다.

패션의류산업은 전 세계적으로 연간 10.7억만 kWh의 전기와 1.3억만 톤의 석탄, 약 90억 리터의 물, 6백만 톤의 화학물질을 사용하고 있으며, 전 세계 온실가스 배출량의 약 10%를 배출하고 있다(Sistema Moda Italia, 2016). 현재의 추세가 지속된다면 패션의류산업의 탄소배출량은 2050년 글로벌 탄소배출량의 약 26%를 차지할 것으로 예측된다(Ütebay *et al.*, 2020). Figure 1은 패션의류산업이 글로벌 환경에 미치는 영향을 정리한 것으로, Figure 1(a)에 알 수 있듯이, 패션의류산업은 전 세계 온실가스 배출의 10%, 물소비의 20%, 살충제 사용의 24%, 미세플라스틱 배출의 35%를 점유하고 있다. 탄소배출 또한 지속적으로 증가하고 있는데, 2016년 패션의류산업에서 배출된 CO_2량을 기준으로 2030년까지 149% 수준으로 증가할 것으로 예측되고 있다(Figure 1(b)).

패션의류산업에 대한 환경 분야에서의 LCA (Life Cycle Assessment : 수명주기평가)에 대한 연구도 다양하게 수행되고 있다. Zhang *et al.* (2018)은 LCA를 통해서 대표적인 섬유재료인 폴리에스터와 면의 생산이 물의 오염과 지구 온난화, 자원의 고갈 등 막대한 환경적 영향을 미침을 확인하고, 수명주기 내에서 이러한 영향을 평가하고 감소시킬 수 있는 방안에 대해 제안하였다. Gonçalves and Silva (2021)는 패션의류 제품에 대한 지속가능성의 방법론과 기준을 검토하고, 환경 전 과정 평가/분석(e-LCA), 사회 전 과정 평가/분석(s-LCA)을 수행하며 새로운 척도의 성과지표를 도출하여 티셔츠 등의 의류에 적용하며 평가의 기준을 설정하였다. 한편, 리바이스는 한 벌의 청바지가 수명주기 동안 환경에 미치는 총 영향을 분석하고자 물 소비, 기후 변화 영향 등을 평가한 결과, 청바지 한 벌이 면의 생산으로부터 폐기까지 33.4 kg의 CO_2와 48.9 g의 PO_4를 환경으로 방출하였으며, 한 사람이 5년 이상 마시는 물의 양보다 많은 3,781리터의 물을 소비한 것으로 확인하였다(LEVI STRAUSS &



(a) Global environmental impact of the clothing industry(이병길 and 김영석, 2020; 이자연 and 박훈, 2021)

(b) Trend in carbon emission in the clothing industry(Quantis, 2018)

Figure 1. Environmental impact of fashion and clothing industry

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

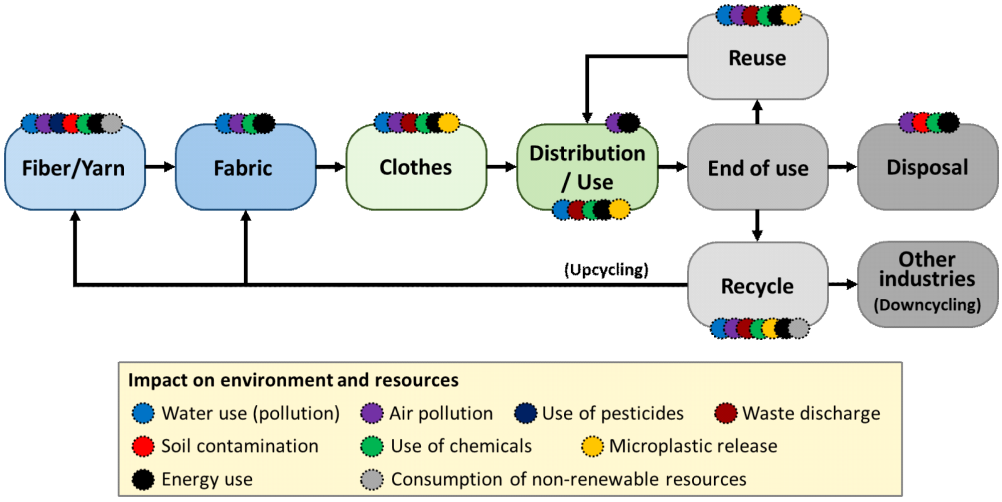


Figure 2. Impact factors of environment and resources in the clothing life cycle

CO, 2015).

Figure 2는 패션의류의 수명주기에서 단계별 환경오염 및 자원소비 현황을 가시화한 것이다. 천연 및 합성섬유 재료의 생산으로부터 원단, 의류의 제작과 물류 및 사용, 폐기에까지 전 수명주기에 걸쳐 물사용(오염), 대기오염, 살충제 사용, 폐기물방출, 토양오염, 화학물질 사용, 미세플라스틱 배출과 같은 환경오염 요인들과 함께, 에너지 및 재생 불가능한 자원의 소비가 발생한다. 특히, 재료의 생산과 의류의 사용 단계에서 높은 탄소발생이 나타내는데, 매킨지보고서에 따르면 패션의류산업이 발생시키는 탄소의 총량 중 약 38%가 재료의 생산단계에서 발생하고 의류 사용 단계에서 약 20%가 발생하는 것으로 확인되었다(Berg *et al.*, 2020).

글로벌 환경문제 극복을 위한 패션의류산업의 노력

1. 패션의류산업의 환경 지속가능성에 대한 인식

패션의류산업이 글로벌 환경에 미치는 부정적 영향에 대해서는 환경전문가들 뿐만 아니라 패션의류기업들 스스로도 심각성을 깊이 인지하고 있다. 글로벌 경영 컨설팅사인 알릭스파트너스는 글로벌 패션의류기업들이 기후변화에 대응하기 위한 방안으로 니어쇼어링(Near-shoring) 등의 공급망 최적화, 3D 소프트웨어 등의 디지털 툴을 이용한 제품 출시 과정 개선, 공급 및 협력업체에 대한 모니터링 강화, 재활용 및 유기농 소재 등 지속 가능한 소재의 도입, 포장재 등에 대한 물류 효율화, 지속 가능한 친환경 매장 구현을 제시하였다(Gavrilov *et al.*, 2021). Jestratijevic and Rudd (2018)은 지속 가능한 패션 유형의 속성을 1) 자연 분해 또는 재활용 가능성, 2) 높은 내구성과 높은 품질의 새로운 럭셔리, 3) 가격 수용이 가능한 중고와 빈티지, 4) 수리, 재생, 업그레이드 5) 인간의 권리를 보호하는 윤리적 제조, 6) 생산과 안전한 소비에 대한 공인된 인증 등으로 정의하기도 하였다. 한편, 스파(SPA: Speciality retailer of Private label Apparel)는 저가의 의류를 짧은 주기로 대량생산 및 판매하는 패션 브랜드를 의미하는데, 패스트 패션으로 인한 환경오염의 폐해를 최소화하고자 글로벌 스파 대표 브랜드인 H&M은 2030년까지 모든 패션 제품에 친환경·리사이클 섬유를 사용하겠다고 발표하였으며, 또 다른 대표 스파 브랜드인 자라(Zara) 또한 2025년까지 전 패션 제품에 지속가능성이 높은 면화, 린넨, 리사이클 폴리에스터 섬유의 사용을 발표하였다(이자연·박훈, 2021).

환경오염 대응을 위한 패션의류산업의 내부적 노력은 수명주기에 따라 다양한 모습으로 전개되고 있는데, 앞서 언급한 H&M과 자라와 같이 원재료의 생산단계에서 친환경

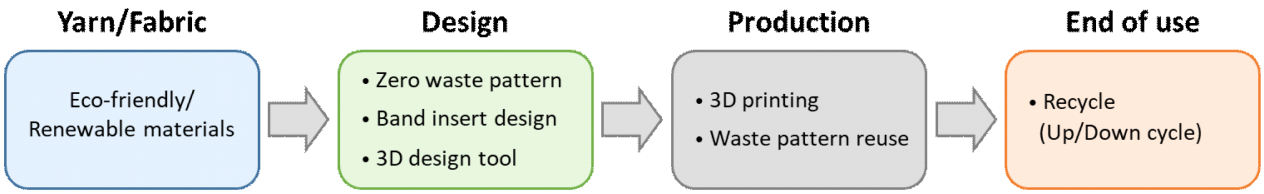


Figure 3. Efforts to consider environmental sustainability by clothing life cycle

및 재생가능한 재료를 사용하고자 하는 시도와 함께, 패션 의류의 디자인, 생산, 사용 후 처리에까지 많은 노력을 기울이고 있다(Figure 3). 이후의 절에서는 이러한 노력 중 디자인과 생산, 사용 후 처리에 대한 환경오염 감소 노력 사례를 정리하였다.

2. 환경을 고려한 패션의류 디자인

공학적 디자인 이론 중 하나인 DFM (Design for Manufacturing, 제조고려설계)은 높은 품질의 제품을 낮은 비용으로 제조하도록 지원하는 설계 방법론을 말한다. DFM은 다양한 목적으로 확장되어 활용되고 있는데, 그중 하나가 DFE (Design for Environment, 환경고려설계)로서, 제품이 운용되는 환경에 대한 고려와 함께 제품이 환경에 미치는 영향을 설계단계에서부터 고려하여야 한다는 것이다. 패션의류도 환경오염의 폐해를 막고자 DFE를 적용한 다양한 시도들이 수행되고 있다.

의류 제조산업에서 일반적으로 적용하는 디자인 및 패턴을 반영한 재단시에는 최소 15% 정도의 원단이 재단 폐기물로 처리되게 되는데, 이러한 패턴 폐기물은 원단 제조에 사용되는 에너지에 대한 낭비일 뿐만 아니라 주요 환경오염 요인으로 작용하게 된다(Cooklin, 2011). 이러한 의류 생산 단계의 폐기물을 감소시키는 가장 유용한 방법은 폐기물이 최소화되도록 디자인 단계에서부터 고려하는 것인데, 의류 산업의 지속 가능성 확보를 위해 생산 단계의 폐기물을 최소화하기 위한 제로 웨이스트(Zero waste) 패션에 대한 관심이 지속 증가하고 있다(Gertsakis *et al.*, 2003; Rissanen and McQuillan, 2015). Lei and Li (2021)는 의류 제조시 발생하는 과도한 패턴 조각 폐기물을 최소화하고자 제로 웨이스트 패턴 제작 방법을 제안하였는데, 원피스 처리(OM: One-piece Manipulation), 분할 및 재건(SR: Segmentation and Reconstruction) 및 원단 탄성 적용(FEA: Fabric Elasticity Application) 등 신체 치수를 기반으로 피팅 및 3차원 패턴 설계, 잔여 천의 장식화, 원단의 물리적 특성 등을 고려하여 다양한 의복의 제작 가능성을 검증하고, 이를 통해 폐기물로 버려지는 원단의 조각을 제로화하는 방안을 제시하였다. 한편, 재단시 발생하는 폐기물의 최소화를 위해 디자인 단계에서 재단물을 어떻게 사용할 것인가를 정의하는 방법적 접근으로 Make/Use라는 오픈소스 플랫폼의 활용이 제안되기도 하였는데, 의류 디자인을 2D에서 3D로 전환하는 과정에서 패턴 폐기물 최소화를 달성할 수 있는 실험적 검증을 수행하였다(McQuillan *et al.*, 2018; Scerbaka, 2020). 부가하여, CLO 3D 디자인 소프트웨어를 이용하여 기존의 디자인 방식인 2D 패턴 설계 후 3D 디자인 생성 및 샘플 제작 절차를 2D와 3D 디자인을 동시에 수행하며 불필요한 원단 폐기물이 발생하지 않는 패턴 디자인을 생성하는 방법에 대한 연구도 수행되었다(McQuillan, 2020).

앞서 살펴본 바와 같이, 디자인 영역에서의 환경 지속가능성 보장에 대한 접근은 대부분 불필요한 원단 폐기물을 최소화하는 방법으로 수행되고 있다. 한 설문조사에 의하면 패션산업에서의 환경 지속가능성 보장 전략의 기획에 디자이너의 역할이 미흡함을 제시하였는데(Claxton and Kent, 2020), 패션의류 생태계에서 환경 지속가능성 확보를 위해서는 섬유 및 직물로부터 소비자 사용 및 종료 이후까지의 의류 수명 전 주기를 디자인에 고려하는 디자이너의 역할과 책임이 보다 강화되어야 할 것이다.

3. 환경을 고려한 의류제조공정

의류제조공정에서는 많은 잔여 원단 및 재단 폐기물이 발생하는 한편, 미세플라스틱의 발생과 물의 사용을 수반한다. 의류 생산공장의 규모에 따라 다소 상이하기는 하나, 의류 생산 과정에서 발생하는 잔여 원단 및 섬유 폐기물은 전체 원단 사용량의 25~40%에 달하는 것으로 확인되었는데, 이 중 약 50%는 새로운 의류 제조에 다시 활용될 수 있다는 연구결과가 발표되기도 하였다(Aus *et al.*, 2021). 한편, 대량생산 시스템에서 사이즈에 따른 생산으로 인해 발생하는 원단의 패턴 폐기물을 최소화하고자 하는 연구도 수행되었는데, 의류 사이즈에 따라 미관적, 편의적으로 가장 적절한 전략적 위치를 판단하고, 해당 위치에 밴드를 사용하여 사이즈를 다양화하는 방법에 대해 의류 디자이너들과 연계한 실험적 검증을 통해 이러한 방법이 재단시 발생하는 패턴 폐기물을 최소화 할 수 있음을 확인하였다(Carrico *et al.*, 2022). 하지만, 이러한 방법들 또한 앞서 논의된 디자인 영역에서 함께 고민하여야 할 부분으로, 생산영역만의 역량으로 수행가능한 활동은 아니라는 한계가 있다.

의류제조공정 자체에 대한 환경적 요인에 대한 연구는 거의 없는 실정인데, 의류 소재와 폐기물에 의한 환경적 영향이 생산단계에 비해 상대적으로 아주 크기 때문에 이 부분에 대한 고려가 많지 않은 것으로 판단된다. 일부 수행되고 있는 연구는 최근 다양한 재료 및 적용 가능 생산 공정의 범위가 확장되고 있는 3D 프린팅과 같은 적층 제조기술을 의류 제조에 적용한 경우가 확인되었는데(Khajavi, 2021), 이러한 접근은 소량 맞춤형 생산에 적합한 제조공정이다.

4. 환경을 고려한 사용 후 처리

환경보호 단체인 그린피스(Greenpeace)의 설문조사에 따르면 전 세계 의류 중 40%가 한 번도 착용하지 않았거나 거의 입혀지지 않은 것으로 조사되었으며, 전 세계에서 매년 생산되는 약 1,000억 벌의 의류 중 1/3이 매립되고 있다(박

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

영희, 2020). 의류의 수명주기에 있어서 폐기 단계에서 고려할 수 있는 방법은 생산 및 사용 후 '폐기', '재사용', '재활용' 등의 3가지 유형이 있을 수 있는데(Payne, 2011), 지속가능성을 고려한 대응방법으로는 폐기물 줄이기, 의류 재사용 및 재료 재활용 등이 있다. 폐기물 줄이기는 가장 효율적인 접근 방법으로 폐기물 발생을 없애거나 최소화하는 것이며, 재사용은 폐기 대상을 수선 및 세탁 등의 과정을 통해 다른 소비자가 다시 사용하는 것이고, 재활용은 폐기물을 새로운 제품의 재료로 활용할 수 있도록 변환하는 것이다.

폐기물 줄이기는 앞서 환경을 고려한 디자인을 통해 중간 폐기물을 최소화하는 방안을 정리하였다. 최종 폐기물을 줄이는 방법은 친환경 또는 재생 가능한 소재를 사용하거나 패스트 패션의 반대 개념인 슬로우 패션(Slow fashion)을 통해서 어느 정도 극복이 가능할 것이다. 재사용의 경우, 사용된 의류는 대부분 선진국에서 개발도상국으로 전환되는 경우가 많은데, 이 과정에서 개발도상국으로 의류 폐기물이 이전되는 문제와 궁극적으로 사용 후 다시 폐기물로 처리되어야 한다는 점은 환경전문가들에게 여전히 논제로 남아 있다.

재활용은 폐기대상 의류에서 사용가능한 원단 및 원사 등을 수명주기의 생산 이전 단계로 환류하여 폐기물을 감소시키고자 하는 업사이클링(Upcycling)과 기계적, 화학적, 생물학적인 처리를 통하여 다른 산업의 새로운 재료로 활용하고자 하는 다운사이클링(Downcycling)으로 구분되는데, 많은 패션브랜드들과 연구기관에서 의류 폐기물의 업사이클링과 다운사이클링에 대한 다양한 연구를 수행하고 있다(Stanescu, 2021; Tedesco and Montacchini, 2020; Pensupa *et al.*, 2017). 경제학자와 환경운동가들은 재활용 프로그램이 폐기물 처리보다 낮은 비용을 요구하는 경제적 이유와 함께, 일자리 재창출이라는 사회적 이유, 천연자원의 보존 및 온실가스 생산의 감소와 같은 환경적 이유를 제시하며 재활용의 중요성을 강조하고 있다(Ütebay *et al.*, 2020). 하지만, 재활용 과정에서 기계적, 화학적, 생물학적 공정의 수행으로 인한 에너지와 새로운 원료의 투입, 또 다른 환경 위해 요인의 발생 등은 여전히 문제로 남아 있는 상황이다. 이러한 점을 고려하면, 의류 폐기물로 인한 환경오염을 감소시키는 최선의 방법은 잉여 의류의 생산을 최소화하는 한편, 생산시 발생하는 재단 폐기물을 제로화하는 것이 가장 효과적인 방법일 수 있을 것이다.

디지털 전환을 통한 패션의류산업의 환경 지속가능성 확보 방안

본 절에서는 패션의류산업의 수명주기 중 디자인과 생산 단계에서 환경 지속가능성을 확보하기 위해 ㈜엠파파가 추진하고 있는 사례를 소개하고자 한다. ㈜엠파파는 스마트팩토리 기반의 디지털 플랫폼을 통한 패션의류산업의 게임체인저를 지향하고자 설립되었는데, 패션의류산업의 디지털 전환을 통해 환경 지속가능성을 포함한 새로운 가치의 창출을 목표로 하고 있다.

1. 디지털 디자인을 통한 패턴 폐기물 및 샘플 최소화

앞서 살펴본 바와 같이, 환경 지속가능성에 대한 디자인 영역에서의 접근은 상당히 중요하나, 현재는 대부분 원단 폐

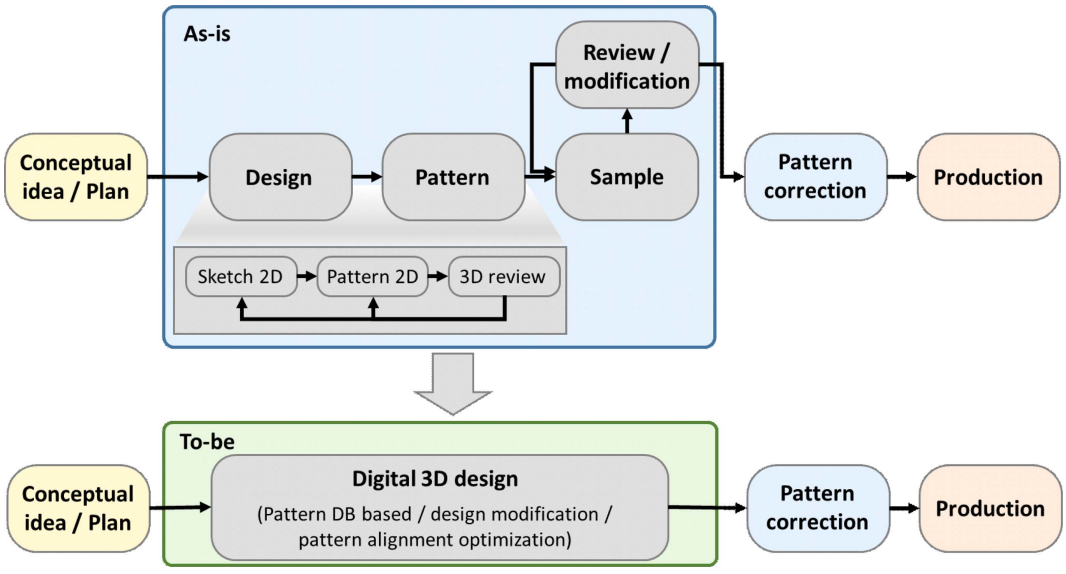


Figure 4. Existing design process (top) and improved process through digital design (bottom)

기물을 최소화하는 방법에 대해 집중하고 있다. 생산 이전 단계에서 수행되는 수회의 샘플 제작 및 수정 과정도 넓게는 디자인 영역에 해당된다고 할 수 있는데, 이 과정에서 샘플에 대한 검토를 디지털 샘플로 대체하여 샘플 제작을 최소화하거나 생략한다면 전체적으로 수 천 벌의 의류 폐기물을 줄일 수 있을 것이다. 또한, 기존에 구축된 패턴 데이터베이스를 기반으로 새로운 패턴 제작 과정을 최소화하고 재단 폐기물을 최소화할 수 있도록 원단 내 재단될 패턴 배치와 시접(봉제후 잘라버리는 원단 여분)이 최소화되도록 최적화한다면 재단 폐기물 또한 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다.

Figure 4는 디지털 디자인을 통해 넓은 범위에서의 디자인 과정을 통합하는 방법을 설명하고 있다. 기존의 방법에서는 2D 스케치, 2D 패턴의 과정을 거쳐 3D 디자인을 생성하고 다시 패턴을 보완하는 과정을 거친 후, 샘플제작과 검토 및 수정을 수회 실시하여 생산에 필요한 최종 패턴을 수정하는 방법으로 수행되었는데, 이러한 과정을 풍부한 패턴데이터를 기반으로 하여 3D 디자인을 바로 생성한 후, 3D 상에서 디자인 수정을 수행한다면 샘플작업없이 바로 최종 패턴 수정 및 생산으로 연결이 가능할 것이다.

Figure 5는 ㈜엠파파에서 개발한 패턴 DB 기반의 3D 디자인 툴인 3D 스튜디오의 모습이다. ㈜엠파파의 서비스 홈페이지(https://allthatfit.com/)에서 무료로 지원하고 있는데, 기반 디자인에 다양한 디자인 패턴과 원단, 로고 등을 사용자가 쉽게 선택하여 개성있는 의류를 디자인할 수 있다. 3D 스튜디오는 2D 스케치 및 패턴 디자인을 기존의 패턴 데이터베이스를 이용하여 제공하기 때문에 별도의 디자인 및 패턴 작업 절차가 불필요하다. 또한, 3D 형태에서 패턴과 원단, 컬러 등을 수정하고 360도 회전하며 리뷰가 가능하여 실물의류 샘플의 제작을 생략하거나 최소화할 수 있다. 향후 실물의류 생산을 위한 원단상의 패턴 정렬 최적화 방법을 적용한다면, 의류 디자인 및 생산과정에서 발생하는 폐기물을 최소화할 수 있을 것이다.

2. 의류제조의 디지털 전환 : 스마트팩토리 기반 소량생산시스템

대량생산으로 인한 환경문제와 재고관리 부담을 감소하고자, 최근 다수의 패션의류 브랜드사들이 반응생산 방식을 도입하고 있다(Ahn and Kim, 2018). 반응생산은 신규 스타일의 의류를 생산할 때 초도 생산물량을 최소화하고 시장의 반응에 따라 재생산을 확대해 나가는 개념으로, 빠르게 변화하는 시장의 요구와 트렌드에 대응하고자 시작되었으나 재고관리의 효율성과 함께 잉여생산을 감소시킬 수 있는 환경문제의 대안으로 제시되고 있다.

앞서 다각적으로 논의한 의류 폐기물 감소를 위한 또 하나의 대안으로 시장이 요구하는 적정 수량의 의류만을 생산하는 소량생산을 제시할 수 있다. 패션의류 시장은 의류 사용자들의 다양성과 개성을 반영한 소재와 디자인을 제시하고 있는데, 이를 소량으로 생산한다면 원단 재단에 따른 잔여 패턴 및 미사용 완성 의류 폐기물을 효과적으로 감소시킬 수 있다. 또한, 소량생산은 대량생산에 비해 공정을 일부 단순화할 수 있는데, 이 과정에서 발생하는 샘플 의류의 제작도 감소시킬 수 있어서 보다 효율적이라 할 수 있다. 물론 대량생산에 비해 제조 단가가 상승하는 부분이 있을 수

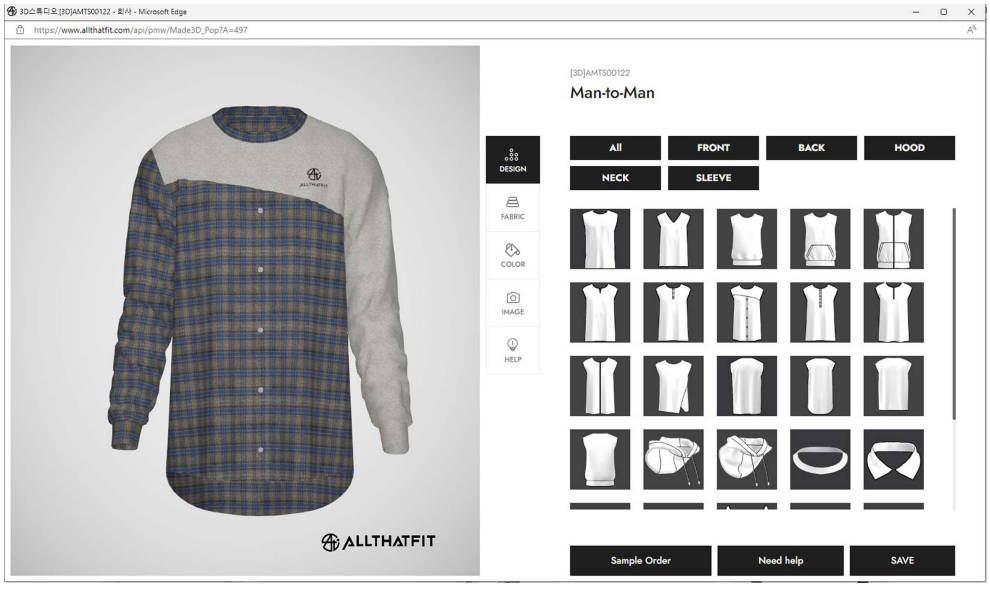


Figure 5. 3D studio: digital design tool based on 2D pattern database

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

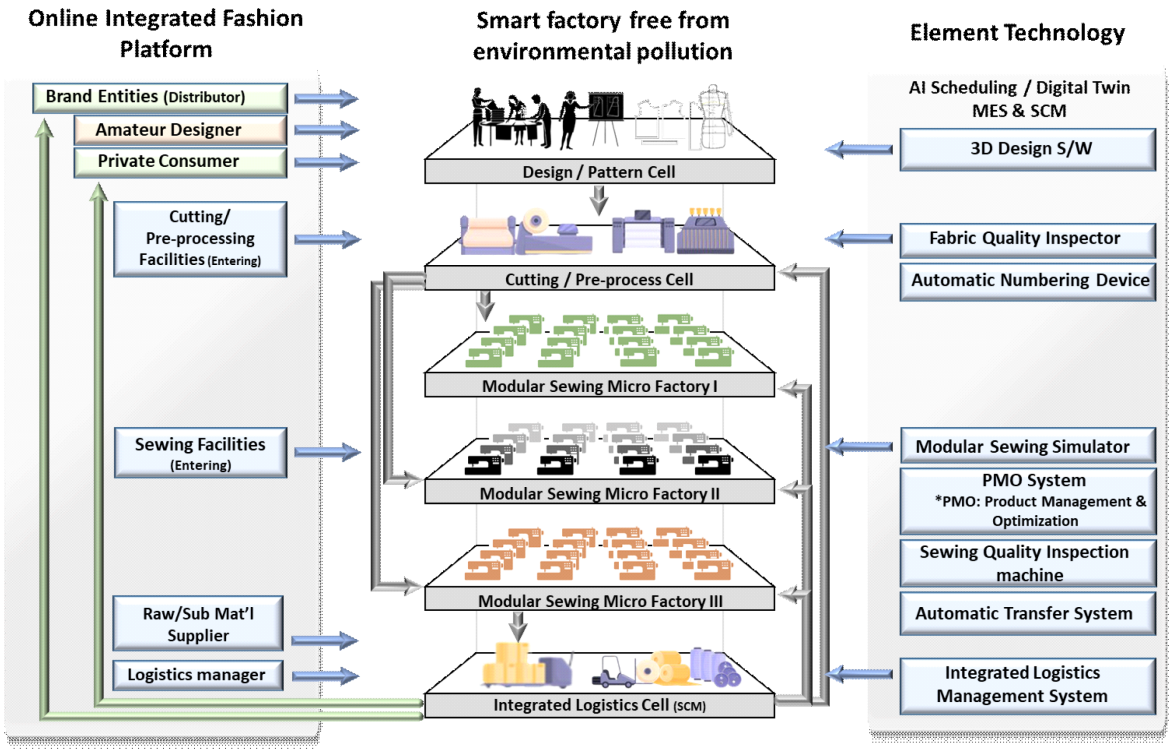


Figure 6. Concept diagram of a modular clothing smart factory focusing on small-volume production

있으나, 이는 재고관리 비용의 절감으로 일부 보전이 가능할 것이며, 무엇보다 환경 지속가능성 보장의 기회비용으로 선택하여야 할 것이다.

이러한 소량생산으로 전환하기 위해서는 생산시스템면에서 큰 변화가 필요하다. 기존의 대량생산시스템에 대한 스마트화는 제조공정의 단순한 자동화에 집중하였으나, 다품종의 제품을 소량으로 생산하기 위해서는 유연 생산을 위한 생산공정의 설계로부터 스타일의 변경에 대해 현장 데이터를 기반으로 공장 전체의 상태를 디지털 트윈화하고 제어하는 시스템이 필수적이다. 부가하여, 얇고 가벼우며 형태가 잘 변하는 직물에 대한 취급과 원단 및 봉제작업에 대한 자동화된 품질검사 등의 적용이 요구된다. 우리나라의 의류제조 중견업체인 호전실업㈜는 이러한 요구에 대응할 수 있는 의류생산에 적용가능한 스마트 기술을 개발하고자 서울대학교와 협업하여 4년여에 걸쳐 의류 스마트팩토리 연구단을 운영하였다. ㈜엠파파는 이를 통해 개발된 요소기술들이 소량생산 시스템에 최적화되어 적용될 수 있도록 기술준비도(TRL: Technology Readiness Level)를 향상시키고 사업화를 추진중이다. 전력데이터 기반의 생산최적화시스템, 컴퓨터 비전 기반의 원단 및 봉제품질 검사 시스템, 모듈화 봉제라인 스케쥴링 및 최적화 시뮬레이터, 직물 취급 로봇 등의 요소기술이 현재 인도네시아 의류생산공장을 테스트베드로하여 개발 및 시험운영중인데, 향후 이러한 요소기술들이 전면 적용된 세계 최초의 완전한 의류 스마트팩토리의 출시를 목표로 추진중이다. ㈜엠파파의 모듈화 의류 스마트팩토리는 집적공간내에서 디자인과 재단 및 전처리, 모듈화 소량생산 마이크로팩토리, 물류시스템 등이 통합적으로 구현될 것이며, 제조공정에서 발생할 수 있는 환경위험 요소들의 발생을 최소화할 것이다(Figrue 6).

결론

그린피스는 패션 브랜드사들에 대한 캠페인을 통해 의류의 제조공정 및 최종 제품에서 유독성 화학물질을 줄이기 위한 활동을 요청하였는데, 이러한 환경적 요구사항을 수용하겠다는 의지를 보인 브랜드사와 그렇지 않은 브랜드사에 대한 소비자들의 반응을 분석한 결과, 브랜드사들의 환경적 요구에 대한 반응 태도가 소비자들의 후속 구매 의도에 영향을 미침을 확인하였다(Grappi *et al.*, 2017). 이는 패션 브랜드들의 사회적 책임과 함께 환경을 생각하는 소비자들의 착한소비와도 연계될 수 있는데, 환경적 지속가능성을 고민하는 목소리가 지속 높아지고 있음을 고려하면 패션기업의 환경에 대한 성찰은 더 이상 선택의 문제가 아닌 필수사항이라 할 수 있다.

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

㈜엠파파의 디지털 전환을 통한 환경 지속가능성 확보 노력은 아직 초기 단계로 향후 다양한 시도들을 계획하고 있다. 앞서 언급한 재단 폐기물 최소화를 위한 원단 내 패턴 정렬 최적화를 포함하여 스마트 요소기술들을 복합적으로 적용한 풀(full) 의류 스마트팩토리 구축, 이러한 환경 지속가능성 확보 대안들의 효과에 대한 정량적 평가 체계 구축 등은 현재 진행중인 사안들이다. 부가하여, ㈜엠파파와 협력사들을 통해 제조하는 모든 의류를 친환경 원단으로 생산하며, 고품질의 개성있는 디자인 제품을 통해 슬로우 패션과 글로벌 환경보호 캠페인을 주도할 예정이다.

의류는 인간이 스스로의 신체를 보호하기 위해 수십만년 전부터 착용하여 왔다. 그러나, 패션의류산업의 발전은 환경오염이라는 문제를 수반하며 오히려 인류의 지속가능성을 심각하게 위협하는 상황을 초래하고 있다. 이는 패션의류산업이 반드시 해결하여야 할 문제임과 동시에 의류를 사용하는 소비자인 인류 공동의 문제라고 할 수 있다. 인류의 지속가능한 환경을 보장하기 위하여 패션의류산업의 수명주기 내 참여자 모두의 노력이 함께 집중될 수 있기를 희망한다.

사사

이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2022R1F1A1069985) 및 문화체육관광부의 재원으로 한국콘텐츠진흥원 2021년도 문화기술연구개발사업(No. R2021070007)의 지원으로 수행되었으며, 연구 수행에 도움을 주신 호전실업-서울대학교 의류스마트팩토리연구단 참여 교수진 및 연구원, 인도네시아 PT.YONGJIN 관계자분들께 감사드립니다.

References

Ahn, Y. S., and Kim, H. S. (2018). Apparel Production Methods of Domestic Fashion Brands for the Activation of K-fashion, Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association, 20(3), pp. 115-128, DOI:10.30751/kfcda.2018.20.3.114.

Aus, R., Moora, H., Vihma, M., Unt, R., Kiisa, M., and Kapur, S. (2021). Designing for circular fashion: integrating upcycling into conventional garment manufacturing processes, Fashion and Textiles 8, 34, DOI:10.1186/s40691-021-00262-9.

Battaglia, M., Testa, F., Bianchi, L., Iraldo, F., and Frey, M. (2014). Corporate Social Responsibility and Competitiveness within SMEs of the Fashion Industry: Evidence from Italy and France, Sustainability 6, pp. 872-893, DOI:10.3390/su6020872.

Berg, A., Magnus, K. H., Kappelmark, S., Granskog, A., Lee, L., Sawers, C., and Polgampola, P. (2020). Fashion on Climate: How the Fashion Industry Can Urgently Act to Reduce Its Greenhouse Gas Emissions, Mckinsey, https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/fashion-on-climate (accessed March 2022).

Cai, Y. J., and Choi, T. M. (2020). A United Nations' Sustainable Development Goals Perspective for Sustainable Textile and Apparel Supply Chain Management, Transportation Research Part E 141, 102010, DOI:10.1016/j.tre.2020.102010.

Carrico, M., Dragoo, S. L., McKinney, E., Stannard, C., Moretz, C., and Rougeaux-Burnes, A. (2022). An Inquiry into Gradable Zero-Waste Apparel Design, Sustainability, 14, 452. DOI:10.3390/su14010452.

Claxton, S., and Kent, A. (2020). The management of sustainable fashion design strategies: An analysis of the designer's role, Journal of Cleaner Production, 268, 122112, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122112.

Cooklin, G., Hayes, S. G., McLoughlin, J., and Fairclough, D. (2011). Cooklin's Garment Technology for Fashion Designers, 2nd Edition, UK: A John Wiley and Sons, Ltd.

Gavrilov, V., Tournier, J., and Dubuc, E. (2021). Six Steps to Sustainable Emissions Reduction in Apparel, AlixPartners, https://www.alixpartners.com/insights-impact/insights/six-steps-to-sustainable-emissions-reduction-in-apparel/ (accessed April 2022).

Gertsakis, J., and Lewis, H. (2003). Sustainability and the Waste Management Hierarchy: a discussion paper on the waste management hierarchy and its relationship to sustainability, RMIT University, Melbourne, pp.1-15.

Ghobakhloo, M., and Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs, Journal of Industrial Information Integration, 16, 100107, DOI:10.1016/j.jii.2019.100107.

Gillson, I., Poulton, C., Balcombe, K., and Page, S. (2004). Understanding the Impact of Cotton Subsidies on Developing Countries; MPRA: Munich, Germany. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/15373.

Gölzer, P., and Fritzsche, A. (2017). Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice, Production Planning & Control, 28(16), pp. 1332-1343, DOI:10.1080/09537287.2017.1375148.

Gonçalves, A., and Silva, C. (2021). Looking for Sustainability Scoring in Apparel: A Review on Environmental Footprint, Social Impacts and Transparency, Energies, 14, 3032, DOI:10.3390/en14113032.

Grappi, S., Romani, S., and Barbarossa, C. (2017). Fashion without pollution: How consumers evaluate brands after an NGO campaign aimed at reducing toxic chemicals in the fashion industry, Journal of Cleaner Production, 149, pp. 1164-1173,

This journal is ⓒ Academic Society for Appropriate Technology 2022

DOI:10.1016/j.jclepro.2017.02.183.

Jestratijevic, I., and Rudd, N. A. (2018). Six Forms of Sustainable Fashion, Latest Trends in Textile and Fashion Designing, 2(4), pp. 220-222, DOI:10.32474/LTTFD.2018.02.000145.

Khajavi, S. H. (2021). Additive Manufacturing in the Clothing Industry: Towards Sustainable New Business Models, Applied Sciences, 11, DOI: 10.3390/app11198994.

Lee, B. G., and Kim, Y. S. (2020). Spread of Good Consumption of Sustainable Fashion for the Global Environment, Seoul Research Institute, Small Research Good Seoul 19-16.

Lee, J., and Park, H. (2021). Strategies for Fostering Eco-Friendly/Recycled Textile and Fashion Industry, Research Institute for Industry, Policy Data 2021-11.

Lee, M. M., and Kim, Y. H. (2017). Upcycle Plastic Development: Case of FabLab Bohol in Philippines, Journal of Appropriate Technology, 3(1), pp. 44-52.

Lei, G., and Li, X. (2021). A Pattern Making Approach to Improving Zero-Waste Fashion Design, Fashion Practice, 13(3), pp. 443-463, DOI:10.1080/17569370.2021.1982503.

Heo, Y. (2021). A Study on ESG Practice Cases of Fashion Brands, Humanities and Social Sciences21, 12(4), pp. 3283-3292, DOI:10.22143/HSS21.12.4.233.

LEVI STRAUSS & CO. (2015). The Life Cycle of a Jean: Understanding the Environmental Impact of a Pair of Levis 501 Jeans, http://levistrauss.com/wp-content/uploads/2015/03/Full-LCA-Results-Deck-FINAL.pdf (accessed April 2022).

McQuillan, H., Archer-Martin, J., Menzies, G., Bailey, J., Kane, K., and Derwin, E. F. (2018). Make/Use: A System for Open Source, User-Modifiable, Zero Waste Fashion Practice, Fashion Practice, 10(1), pp. 7-33, DOI:10.1080/17569370.2017.1400320.

McQuillan, H. (2020). Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice, International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 13(1), pp. 89-100, DOI:10.1080/17543266.2020.1737248.

Ministry of Environment. (2021). Carbon Neutrality and Green Growth Basic Act for Response to Climate Crisis (abbreviated as Carbon Neutral Basic Act), Act No. 18469 of the Ministry of Legislation of the Republic of Korea (enacted on Feb. 24, 2022, enforced on Mar. 25, 2022).

Nguyen, H. T., Le, D. M. D., Ho, T. T. M., and Nguyen, P. M. (2021). Enhancing sustainability in the contemporary model of CSR: a case of fast fashion industry in developing countries, Social Responsibility Journal, 17(4), pp. 578-591, DOI: 10.1108/SRJ-03-2019-0108.

Park, Y. H. (2020). Awareness of Clothing Recycling and Analysis of the Unusing Clothing, Fashion Business, 24(5), pp. 1-20, DOI:10.12940/jfb.2020.24.5.1.

Payne, A. (2011). The Life-cycle of the Fashion Garment and the Role of Australian Mass Market Designers, International Journal of Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, 7(3), pp. 237-246, DOI:10.18848/1832-2077/CGP/v07i03/54938.

Pensupa, N., Leu, S. Y., Hu, Y., Du, C., Liu, H., Jing, H., Wang, H., and Lin, C. S. K. (2017). Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods: Current Situation and Future Prospects, Topics in Current Chemistry, 375, 76, DOI: 10.1007/s41061-017-0165-0.

Quantis. (2018). Measuring Fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries study, pp. 31-34.

Remy, N., Speelman, E., and Swartz, S. (2016). Style That's Sustainable: A New Fast-Fashion Formula, McKinsey. https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula.

Rissanen, T., and McQuillan, H. (2015). Zero waste fashion design, London: Bloomsbury Publishing.

Scerbaka, A. (2020). Application of make/use platform for sustainable fashion design. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 827, 012047, DOI:10.1088/1757-899X/827/1/012047.

Shafie, S., Kamis, A., Ramli, M. F., Bedor, S. A., and Puad, F. N. A. (2021). Fashion Sustainability: Benefits of Using Sustainable Practices in Producing Sustainable Fashion Designs, International Business Education Journal, 14(1), pp. 103-111, DOI:10.37134/ibej.vol14.1.9.2021.

Sistema Moda Italia. (2016). Sustainability in the Textile-Clothing-Fashion Industry, https://www.sistemamodaitalia.com/it/sos tenibilita (accessed April 2022).

Stanescu, M. D. (2021). State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestone, Environmental Science and Pollution Research 28, pp. 14253-14270, DOI:10.1007/s11356-021-12416-9.

Statista. (2021). Apparel Market Worldwide: Apparel Market Overview, https://www.statista.com/topics/5091/apparel-market-worldwide/#dossierKeyfigures (accessed Dec. 2021).

Tedesco, S., and Montacchini, E. (2020). From Textile Waste to Resource: A Methodological Approach of Research and Experimentation, Sustainability, 12, 10667, DOI:10.3390/su122410667.

Ütebay, B., Çelik, P., and Çay, A. (2020). Textile Wastes: Status and Perspectives, IntechOpen, DOI:10.5772/intechopen.92234.

WCED (World Commission on Environment and Development). Our Common Future; WCED: Berlin, Germany, 1987.

Zhang, Y., Kang, H., Hou1, H., Shao1, S., Sun, X., Qin, C., and Zhang, S. (2018). Improved design for textile production process based on life cycle assessment, Clean Technologies and Environmental Policy, 20, pp. 1355-1365, DOI:10.1007/s10098-018-1572-9.

This journal is © Academic Society for Appropriate Technology 2022