

섬유·패션분야 온디맨드 제조기술

정원영 · 임대영[†]

한국생산기술연구원 섬유솔루션부

On-Demand Manufacturing Technology in Textile and Fashion Industry

Wonyoung Jeong and Daeyoung Lim[†]

Textile Innovation R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, Korea

Abstract: This study examines the emerging on-demand manufacturing model in the textile and apparel industry as an alternative to conventional forecast-driven mass production systems. Traditional manufacturing approaches, which primarily rely on large-scale preproduction, have generated persistent challenges, including excess inventory, material waste, longer lead times, and limited responsiveness to rapidly evolving consumer demands. On-demand manufacturing addresses these structural limitations by facilitating production only after demand is confirmed, thereby reshaping the logic of textile and apparel supply chains. This study categorizes on-demand manufacturing systems into five major types: textile on-demand manufacturing at the fiber and fabric stage, print on-demand garment production, mass customization, digital sampling and software-as-a-service platforms, and additive fabric and knitting-based manufacturing. By examining these categories across different stages of the value chain, the study clarifies how digitalization, automation, and data-driven decision-making enable inventory-free or inventory-minimized production while maintaining design flexibility and production efficiency. Drawing on representative global and domestic industry cases, this study illustrates how on-demand manufacturing is implemented through digital textile printing, 3D knitting, microfactory-based production, and integrated digital design workflows. These cases demonstrate the potential of on-demand systems to shortening lead times, reducing production waste, and supporting localized manufacturing models aligned with sustainability goals. The findings suggest that on-demand manufacturing represents a structural transformation rather than a simple technological upgrade. By integrating Textile 4.0 technologies such as artificial intelligence, internet of things, and digital simulation, on-demand manufacturing provides a viable pathway toward a more flexible, resilient, and sustainable textile and apparel industry.

Key words: on-demand manufacturing(주문형 제조), digital transformation(디지털 전환), fast fashion(패스트패션), sustainable fashion technology(지속가능 패션기술), Textile 4.0(섬유 4.0)

1. 서 론

21세기 섬유·패션 산업은 빠른 트렌드 변화와 글로벌 공급망을 기반으로 성장해 왔다. 특히 2000년대 이후 패스트패션(fast fashion)의 확산은 제품 출시 주기를 단축시키고 낮은 단가의 대량 생산을 가능하게 했지만, 그 결과로 환경오염, 과잉재고, 폐기물 증가 등의 구조적 문제가 심화되었다. 이러한 상황에서 최근 패션산업 전반에서 주목받는 개념이 온디맨드(on-demand) 제조 시스템이다. 온디맨드 제조는 예측 기반 생산이 아니라 수요 발생 이후 생산이 이루어지는 공급망 구조가 변화

하는 것을 의미한다. 이는 단순히 소비자 맞춤형 완제품 제조를 넘어, 섬유-원단-의류로 이어지는 패션 소재 전주기 전체를 디지털 기반으로 재편하는 모델로 확장되고 있다.

패션산업의 구조적 문제를 해결하는 핵심 전략으로 온디맨드가 주목받는 이유는 다음과 같다. 첫째, 재고 없는 운영이 가능해져 과잉 생산 및 폐기물 발생을 근본적으로 줄일 수 있다. McKinsey & Company와 The Business of Fashion이 공동 발간한 ‘The State of Fashion 2024’는 경기 둔화와 공급망 불확실성 속에서 패션 기업들이 재고 리스크를 줄이고 공급망을 디지털화하는 것을 핵심 과제로 인식하고 있다고 진단한다(McKinsey & Company, 2024). 이는 기존의 대량 생산-재고 중심 생산 방식에서, 수요 기반 온디맨드 제조 구조로 제조 패러다임이 이동하고 있음을 보여준다. 둘째, 의류 제조의 디지털 전환(digital transformation)을 통해 샘플링과 패턴 제작 과정에서 발생하던 시간·비용을 줄이고 리드타임을 획기적으로 단축시킬 수 있다(Choi, 2022; Kim & Labat, 2013; Lee & Park, 2018; Lim et al., 2021; Liu et al., 2018). 셋째, 소재

[†]Corresponding author: Daeyoung Lim

Tel. +82-31-8040-6231, 82-31-8040-6220

E-mail: zoro1967@kitech.re.kr

©2025 The Korean Fashion and Textile Research Journal(KFTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

단계에서 기능성, 제직구조, 혼용률 등을 주문형으로 커스터마이징하는 맞춤형 소재 시스템이 등장하면서, 패션산업 전반이 예측 기반 생산에서 데이터 기반 주문 생산 체계로 이동하고 있다(Olivar Aponte et al., 2024; Vassiliadis et al., 2018; Zeng et al., 2020)

본 논문에서는 온디맨드 제조를 섬유-의류 공급망 전체의 관점에서 재분류하고자 한다. 기존 연구가 주로 완제품 중심의 DTG(direct-to-garment) 프린팅 또는 개인 맞춤 서비스에 초점을 맞춘 데 비해, 본 연구에서는 온디맨드를 섬유, 원단, 의류의 전 단계에 걸친 총체적 디지털 생산 생태계로 파악해 보고자하며, 이를 위해 온디맨드 제조를 다음의 다섯 가지 영역으로 재 정의하였다.

- Textile on-demand (섬유·원단 단계): 디지털 텍스타일 프린팅, 맞춤형 원단설계, 디지털 소재 라이브러리, 리사이클 기반 리버스 온디맨드 등 소재 제조 단계의 주문형 생산
- Print on-demand (완제품 프린팅 기반 생산, POD): DTG, 승화, 자수 등 주문 후 인쇄, 생산, 출고까지 이루어지는 완제품 제조 모델
- Mass customization (맞춤형 패턴/디자인 기반 생산): 소비자가 디자인, 사이즈, 소재를 선택하고, 주문 후 제작되는 개인화 생산 모델
- Digital sampling & SaaS (3D 기반 디지털 전환): CLO, Browzwear 등 3D 시뮬레이션과 디지털 샘플링을 통해 샘플 제작 과정을 제거하는 생산 최적화 모델
- Additive textile / on-demand knitting (제조 단계의 온디맨드 혁신): 3D 니팅, 적층 기반 직물 제조 시스템 등 제조 공정 자체가 주문형으로 운영되는 단계

이 분류 체계는 온디맨드 제조를 단순히 주문 후 생산되는 맞춤형 제품이라는 좁은 개념에서 벗어나, 패션 산업의 전주기

를 디지털 중심으로 재구성하는 총체적 생산 시스템으로 확장하여 바라본 것이다. 특히 섬유 단계의 온디맨드 기술은 기존 연구에서 충분히 다뤄지지 않은 영역이므로, 본 연구에서는 의류 단계뿐 아니라 소재 단계의 디지털 전환과 소량 생산 기술까지 포괄하여 분석하였다. 또한, 온디맨드 제조는 다음과 같은 지속가능성 측면에서도 의미가 크다. 첫째, 섬유-원단-의류 생산 전 과정에서 발생하는 소재 및 제품의 낭비를 최소화한다. 둘째, 로컬 기반 제조, 3D 적층 제조(additive manufacturing), 디지털 샘플링 등의 기술은 대량염색, 대량폐기 문제를 줄이는데 기여한다. 셋째, 온디맨드 제조는 중소 브랜드나 디자이너가 초기 재고 부담 없이 시장에 진입할 수 있도록 하여 산업 구조의 다양성을 촉진한다.

따라서 본 연구의 목적은 (1) 온디맨드 제조를 섬유-의류 공급망 전체에서 조망하고, (2) 국내·국외 사례 분석을 통해 실제 산업 현장에서의 비즈니스 모델, 기술적 차이, 플랫폼 전략을 비교하며, (3) 온디맨드 제조가 패션산업의 환경적·경제적 지속가능성에 기여하는 정도를 검토하고, (4) 향후 섬유-패션 산업에서 온디맨드 모델이 갖는 확장성과 기술적 한계를 제시하는 것이다. 이와 같은 분석을 통해 본 논문은 온디맨드 제조를 단순한 제조 방식의 변화가 아니라, 디지털 기반 공급망 혁신과 지속가능한 패션산업 전환의 핵심 전략으로서 재해석하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 대량생산과 패스트 패션

1970년대 이후 글로벌 의류 산업은 장인 중심의 맞춤 생산에서 벗어나 기계화, 표준화, 공장 중심의 대량생산 체계로 전환되었다. 이에 따라 생산의 주기가 시즌 중심으로 고정되었고, 사이즈는 표준화되었으며, 상대적으로 노동력이 싼 국가 위주



Fig. 1. Mass-production garment factories in Vietnam, China, and Portugal. List of top clothing manufacturing countries in the world (2025). <https://thygesenapparel.com/blog/top-clothing-manufacturing-countries-in-the-world>

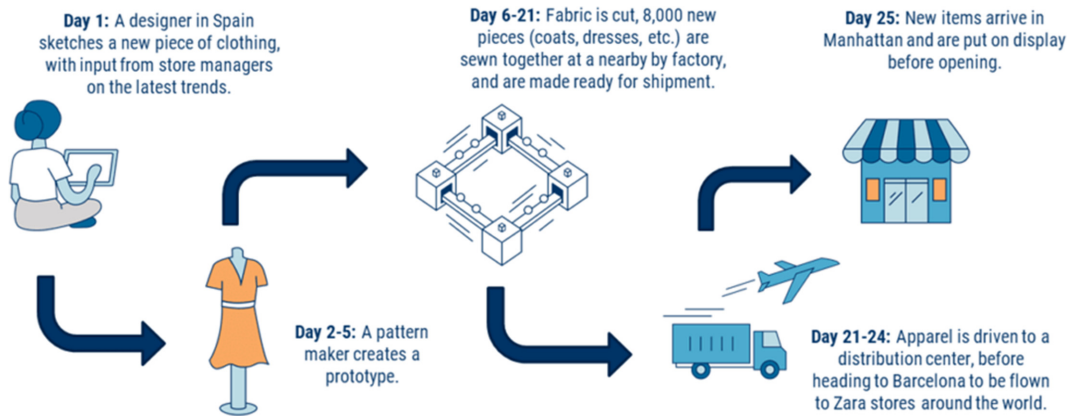


Fig. 2. Zara's speedy apparel supply chain visualized, CBINSIGHTS. <https://www.cbinsights.com/research/zara-apparel-supply-chain>.

의 글로벌 소싱이 핵심이 되었다.

이 시기의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 기계화 및 표준화된 패턴을 사용하면서 맞춤보다는 평균 체형을 기반으로 함
- 리드타임은 설계부터 제조를 거쳐 유통에 이르기까지 최소 수개월이상 소요됨
- 공급망 구조는 제조사, 물류, 소매, 소비자 형태로 수직적으로 분업된 형태임
- 이 시기의 경쟁요소는 속도와 단가, 그리고 생산량이 핵심 전략으로 작동함

이로 인해 ‘빠르게, 많이, 싸게’ 만드는 패션 산업의 체계가 정립되었다.

1990년대 후반부터 등장한 Zara, H&M, Forever 21 등의 브랜드는 기존 생산 패러다임을 넘어서는 초단기 유통 주기를 도입했다. 이른바 패스트패션은 디자인에서 생산, 판매까지 2~4주 내외로 완료할 수 있도록 설계되었다.

Fig. 2에서 보여주고 있는 Zara의 공급에 따르면 의복 설계 후 즉시 프로토타입이 제작되고, 이후 6~21일 사이에 8,000벌의 옷이 완성되고, 유통되어 25일차에는 뉴욕 맨해튼 매장에 진열될 수 있음을 보여준다. 이 사이클은 자라의 공급망이 얼마나 민첩하고 빠르게 반응할 수 있는지를 보여주는 것으로 디자인, 제조, 물류가 유기적으로 연결되어 트렌드 변화에 신속하게 맞출 수 있는 속도 기반 비즈니스 모델의 예시라고 할 수 있다.

패스트패션은 트렌디한 상품을 빠르게 생산할 수 있는 효율적인 공급망을 구축함으로써 패션 산업에 큰 변화를 가져온 비즈니스 모델이다(Baena, 2024; Olivar Aponte et al., 2024; Serrat et al., 2025). 그러나 이러한 화려한 겉모습 이면에서는 일련의 심각한 사회적, 경제적, 환경적 과제와 패션계의 일회용 문화가 조장되는 등의 여러 문제가 발생하게 된다. 패스트패션의 효율적인 공급망은 저비용 해외 생산에 크게 의존하고 있다. 이는 주로 여성을 비롯한 취약 계층을 저임금과 열악한 근무 환경에

고용하는 것을 포함한다. 방글라데시, 베트남, 인도와 같은 국가의 노동자들은 과도한 초과 근무, 건강에 해로운 근무 환경에 직면하게 된다. 또한 비용 효율성은 품질의 희생을 동반한다. 즉, 패스트패션에서 생산되는 의류는 값싼 소재에 부실한 구조로 제작되어 형태, 색상, 그리고 전반적인 착용감 등이 빠르게 손상된다. 내구성이 떨어지는 의류의 경우, 소비자들이 낡은 옷을 수리하거나 관리하는 것보다 새 제품으로 교체하는 것이 더 빠르고 저렴하다고 생각하게 되는데, 패스트패션 산업과 그 문화 및 마케팅 도구가 만들어낸 의류에 대한 인식의 변화라고 할 수 있다.

한국 패션 산업 또한 빠른 스타일 변화와 저가 경쟁을 중심으로 한 패스트패션 전략을 채택하면서 생산과 소비의 주기가 빨라지고 있다. 그러나 이러한 전략이 과잉생산, 재고 증가, 폐기물 증가로 이어지고 있으며, 이는 온디맨드 및 수요 기반 생산으로의 전환 필요성을 강조하는 중요한 근거가 된다. 특히 재고 폐기 및 소각이 공식 인정된다는 것은 산업 구조상 재고 리스크와 비가시적 생산비용이 존재함을 보여준다. 또한 재활용률이 매우 낮다는 통계는 소재 수준부터 주문형 생산 또는 소량생산을 통한 과잉 생산의 요소 제거가 필요한 이유를 뒷받침한다.

2.2. 디지털 전환과 온디맨드 제조의 등장

2010년대 중반부터 패션 산업 내에서 디지털 기술들이 급속히 확산되었다. 체형, 치수 데이터를 확보하는 3D 바디스캔 기술, 이를 바탕으로 패턴을 자동 생성하고 가상 착용을 가능케 하는 3D 패턴 및 샘플링 소프트웨어(CLO, Browzwear), 그리고 주문 즉시 생산 가능한 DTG 프린팅, 스마트 니팅(3D 니팅, WholeGarment) 등은 온디맨드 제조의 근간이 되었다(Fig. 3).

이러한 기술적 진보는 단순히 생산 속도를 높이는 것에서 그치지 않고, 소비와 생산방식 자체를 재정의하였다. 이른바 온디맨드 방식은 브랜드 별로 재고를 쌓지 않고 주문이 들어오면 바로 생산을 시작한다. 또한 기술의 융합으로 등장한 대량 맞춤(mass customization)은 고객이 디자인, 색상, 치수 등을 선



Fig. 3. Representative on-demand manufacturing examples.

택하면, 자동화된 시스템이 맞춤형 제품을 신속히 만들어내는 것을 말한다. 이러한 D2C(direct to consumer) 플랫폼이 다양하게 발생하고 전자상거래 플랫폼과 연계되면서 주문에서 생산, 배송에 이르기까지의 전 주기가 통합된다. 이러한 방식은 소비자와 트렌드의 데이터가 생산 계획에 반영되면서 예측 생산보다는 수요기반의 생산시스템으로 전환된다(McKinsey & Company, 2019; Ma et al., 2018; Sun, 2021; “The Future”, 2023).

디지털 온디맨드 제조 모델은 환경과 공급망 측면에서도 많은 변화 가능성을 열었다. 주문형 생산은 수요에 기반한 ‘판매 후 제작’ 방식으로 과잉생산과 폐기 위험을 줄인다. 대량생산과 글로벌 물류 의존을 줄이고, 브랜드는 지역 소량생산 허브를 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 고객이 디자인 또는 치수 선택에 참여함으로써 소비자와 제조자 간 관계가 단순한 구매자로부터 가치를 공유하는 공동 참여자로 진화한다. 공급망이 유연해지고, 자동화된 수요기반 공급망이 가능해지면서 섬유패션산업 제조공정을 스마트화하는 최적 접근법이 나오면서, 디지털 전환이 생산 리드타임과 비용 절감에 기여하게 되었다.(Kaur, 2024). McKinsey(2024)는 디지털 제조와 맞춤형 생산을 기반으로 한 온디맨드 어패럴 모델이 패션 산업 내에서 가장 빠르게 성장하는 영역 중 하나가 될 것으로 분석하였다. 다음 장에서는 대표적인 다섯 가지 온디맨드 제조 유형(Textile on-demand, Print on-demand, Mass Customization, Digital sampling & SaaS, Additive Textile/Knitting on-demand)을 각각 분석하고, 국내외 대표 사례를 통해 비교한다.

2.3. 기존 제조 방식과 온디맨드 제조 방식

온디맨드 제조란 의류 제조 측면에서 대량 생산 후 판매될 때까지 보관되는 기존 대량 생산 방식(푸시 시스템, push system)과 달리, 주문 접수 후 제조하는 방식(풀 시스템, pull system)을 기반으로 하는 제조 방식을 의미한다. 현재까지의 대부분의 의류 제조 방식인 푸시 시스템은 예측 수요에 따라 의류를 대량 생산하는 방식으로, 과잉 재고 발생 및 시장 변화에 대한 대응력 저하로 이어지는 경우가 많다. 즉, 판매 예측 및 과거 데이터를 기반으로 의류를 미리 제작하는 전략을 통해 실제 고객 주문이 접수되기 전에 의류를 생산 및 유통하여 소매점에서 제품 재고를 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 이처럼 기존 대량 생산 기반의 푸시 시스템은 수요 예측 오류, 재고

부담, 공급망 경직성이라는 구조적 한계를 지닌다. 최근 연구들은 Industry 4.0 기술의 도입이 이러한 문제를 완화하고, 데이터 기반의 유연한 생산 체계로 전환하는 핵심 동인임을 지적한다(Sabareesh et al., 2024). 반면에 풀 시스템은 고객 주문 접수 후에만 생산을 시작하는 수요 주도형 방식으로 폐기물과 재고를 줄일 수 있어 고객 대응력, 맞춤 제작 및 지속가능성 향상 측면의 장점이 있지만, 공급망 복잡성과 기술 도입 및 확장성 측면에서 어려움이 있다고 알려져 있다.

패션업계가 지속가능성, 개인화, 그리고 효율성을 우선시하는 방향으로 재편하고 있어 온디맨드 제조로 전환하는 것은 필연적인 상황이지만 AI, 로봇 등 첨단 기술의 적용과 경제성, 적응형 공급망, 그리고 경제 변화에 대한 회복력이 필요한 상황이다. 반면에 패션업계는 여전히 폐기물 감소와 고객 만족이라는 약속과 비용, 확장성, 그리고 글로벌 시장 변동성이라는 난관 사이에서 균형을 맞추는 데 어려움을 겪고 있는 상황이다. 최근 연구에서는 Industry 4.0 기술을 기반으로 한 공정 최적화와 비용 관리 기법을 결합할 경우, 지속가능성과 수익성을 동시에 달성할 수 있음을 보고하고 있다(Textile School, 2025; Tsai et al., 2024) (Table 1).

- 온디맨드 제조의 풀 시스템이 가지는 이점
 - 폐기물 및 과잉 생산 감소 : 초과 재고 및 미판매 품목을 제거하여 매립지 배출량 감소 가능
 - 재고 비용 절감 : 브랜드는 창고 및 자본 투자를 절감 가능
 - 맞춤형 및 개인화 : 소비자는 맞춤 의류를 주문하여 만족도와 충성도 향상에 기여
 - 지속가능성 : 탄소 배출량을 줄이고 공급망 투명성을 개선하여 친환경 지원
 - 트렌드에 대한 신속한 대응 : 소비자 선호도에 빠르게 적응하는 민첩한 생산 주기를 지원
- 온디맨드 제조의 풀 시스템이 가지는 단점
 - 공급망 복잡성: 소량 맞춤 주문을 처리하기 위해 유연하고 기술 기반 물류가 필요
 - 기술 투자: 자동화, 디지털 디자인 및 데이터 분석에 대한 높은 초기 비용이 발생
 - 확장성 문제: 개인화를 유지하면서 대규모 수요를 충족하기 어려움
 - 데이터 보안: 디지털 주문 시스템에서 고객 정보를 보호하는 것이 매우 중요

Table 1. Comparison of traditional and on-demand manufacturing

Category	Conventional manufacturing	On-demand manufacturing
	Push system	Pull system
Production model	Forecast-based mass production	Real-time demand-driven
Inventory	Large inventories stored in warehouses	Minimal to zero; “Just-in-Time” delivery
Waste	High proportion of overproduction and unsold products	Theoretically zero and very low waste
Customization	Standardized sizes and styles	Personalized and customized sizes and styles
Speed to market	Longer lead times due to mass production and distribution	Fast time-to-market and distribution
Cost structure	Lower unit cost at scale, but high costs from storage, markdowns, and unsold inventory	Often higher per unit (No bulk discounts) but low costs from storage, markdowns, and unsold inventory
Use of advanced technologies	Reliance on conventional machinery and manual processes	Reliance on digital platforms like Industry 4.0 and Textile 4.0
Sustainability	Criticized for waste generation and environmental impact	Very low impact on environment
Scalability	Easy to scale up for large, predictable demand	Difficult to scale up for large demand
Risk factors	Risk of losses from unsold inventory and price markdowns	Higher cost-per-piece makes it difficult to compete in price-sensitive mass markets

(출처) The Future of Customisation and On-Deman Manufacturing in Fashion, Fibre2Fashion Sept. (2024)

- 경제적 압박: 글로벌 경기 침체와 인플레이션으로 수요가 감소하여 아시아 지역 제조업체가 마진을 유지하기가 더 어려워짐

2.4. 온디맨드 제조의 유형 및 사례 분석

2.4.1 Textile on-demand (섬유·원단 단계 온디맨드)

Textile on-demand는 의류가 완성되기 이전 단계인 원사 및 원단 생산 단계에서부터 주문형 생산 방식을 적용하는 것으로, 패션·의류 제조 과정 전체에서 낭비를 최소화하고 생산 유연성을 극대화할 수 있는 가장 근본적인 온디맨드 혁신 단계이다. 기존의 전통적인 섬유 생산 방식은 원단을 대량으로 선제조하고, 이후 수요에 맞춰 소진하는 공급 기반 생산 방식이었다. 이로 인해 다품종 소량생산이 불가능하고, 유행 변화에 대응하기 어렵고, 재고로 남은 원단은 폐기 또는 소각되는 구조적 비효율을 갖고 있었다.

반면 textile on-demand는 디지털 기반 기술에 의해 필요한 원단을 필요한 만큼만 생산하는 수요 기반 시스템으로 전환시킨다. 대표적인 기술로는 디지털 텍스타일 프린팅(digital textile printing), DTG 프린팅, 3D 원단 시뮬레이션 등이 있다 (Persistence Market Research, 2025; Lee, 2024; Petrak, 2025). 이러한 기술들은 원단의 최소 생산 단위를 롤 단위에서 한 벌분 또는 1m 단위로 축소시키며, 원단 디자인과 생산이 실시간 연결되는 맞춤형 생산망을 구축한다.

또한 최근에는 AI 기반 디자인 생성, 3D 원단 텍스처 시뮬레이션, 디지털 트윈 기반 원단 생산 자동화가 결합되며, 원단 설계와 제조의 경계가 사라지고 있다. 예를 들어 Spoonflower, Haerae Textile과 같은 업체는 고객이 디자인 파일을 업로드하면, 실제 원단으로 프린팅하여 즉시 배송하는 모델을 운영하고 있다. 국내에서도 대구 섬유산업 기반 기업들이 디지털 잉크젯 프린팅과 저비용 주문형 원단 생산 기술을 도입하면서, 기존의 대량방직 중심 구조에서 벗어나 맞춤형 수요 대응 생산으로 구

조 전환을 시작하고 있다.

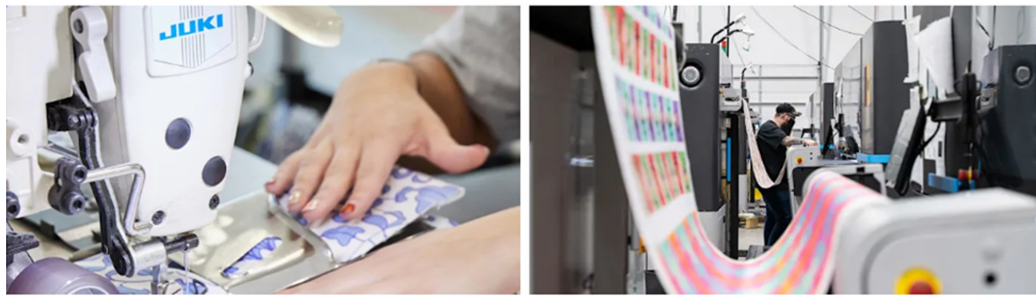
Textile on-demand는 단순히 생산 방식의 변화가 아니라, 패션 공급망 구조 자체의 패러다임 전환을 의미한다. 기존의 원단, 의류, 판매라는 상향식 구조가, 온디맨드 기반에서는 판매, 주문, 생산이라는 하향식 구조로 전환되며, 이는 패션 제조의 전체 생애주기에 영향을 미친다. 이 단계에서 낭비를 줄이면, 이후 가공, 봉제, 유통 단계에서도 자동적으로 폐기물과 재고 리스크를 낮출 수 있다. 무엇보다 이 방식은 패션 산업에서 발생하는 폐기물의 최소 30% 이상이 원단 단위에서 이미 발생한다는 보고(Ellen MacArthur Foundation, 2017)에 대한 실질적인 해결책이 될 수 있다. 원단 자체를 필요 이상 생산하지 않음으로써, 불필요한 원단 폐기, 재고 보관, 염료 사용 및 탄소 발생을 근본적으로 줄일 수 있기 때문이다. 따라서 textile on-demand는 온디맨드 제조 단계 중 가장 초기이자 가장 중요하며, 지속가능한 패션 제조 시스템을 구축하는 데 필수적인 기반 기술로 평가된다.


○ Spoonflower(미국)

Spoonflower는 미국 노스캐롤라이나주에 본사를 두고 있는 맞춤형 원단, 벽지 및 가정 장식을 인쇄하는 주문형 디지털 인쇄 회사이며, 디자인이 업로드되면 즉시 원단을 제작하여 공급하는 방식이다. Spoonflower 마켓플레이스는 현재 전 세계에서 가장 많은 독립 패브릭 디자이너들의 작품을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다 (Fig. 4,5).


○ Kornit Digital(이스라엘)

Kornit은 디지털 직물 프린팅 기술을 기반으로, 주문 발생 후 바로 원단에 프린팅할 수 있는 시스템을 출시하였는데, 이는 타 제품 대비 준비 시간이 짧고 물·화학약품 사용을 크게 줄인 것이다.







Innovative Equipment
We print with industry-leading machines using non-toxic, water-based inks. Learn more about our wallpaper and fabric print process further down on this page.



Printed in the USA
With factories based in Fort Mill, South Carolina, and Tempe, Arizona, we aim to ship products based on region whenever possible. Having facilities in western and eastern regions of the US help us keep turn times low.



Designed by Independent Artists
Each design is created by an independent artist who receives a 10% royalty with every purchase. These one-of-a-kind prints are always in stock and printed on the material of your choice when ordered.



Made Just For You
We do not stock finished goods and print after an item has been purchased, helping to reduce deadstock and unsold goods that would otherwise end up in landfills. Every item you receive is carefully printed, cut, packaged and shipped just for you.

Fig. 4. Spoonflower manufacturing.

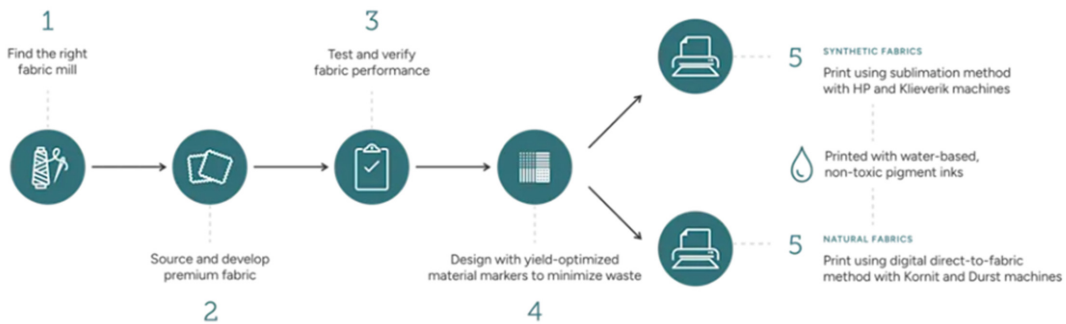


Fig. 5. Fabric processing and sourcing.



Fig. 6. Kornit's digital printing equipment and ITMA promotional booth.

2.4.2. Print on-demand (POD) – 의류 완제품 프린팅 기반
POD 방식은 주문이 발생한 이후에 디지털 프린팅 기술을 활용하여 의류를 생산하는 주문형 제조 방식으로, 대량생산 시스템과는 달리 재고 없이 즉시 주문 기반 제작이 가능하며, 디자

인 변경이 용이하고, 다품종 소량의 생산도 가능하다는 점에서 기존의 대량생산 및 패스트패션과 구조적으로 차별화된다 (Berzina-Pudule, 2025; Spoonflower, 2025; Future Market Insights, 2025).

Table 2. Types and characteristics of POD methods

POD Technology	Key Characteristics	Suitable Applications
DTG	Direct inkjet printing on garments, suitable for single-piece or small-batch production	Customized T-shirts, small-scale brands
DTF	Printing on transfer film, heat-press transfer to garments	Complex color designs and small-batch multi-color production
Sublimation printing	Heat-based dye transfer, suitable for polyester-based fabrics	Sportswear, functional apparel
Reactive digital printing	Chemical bonding between reactive dyes and fibers, high-quality color fixation	Premium fashion and home textile products

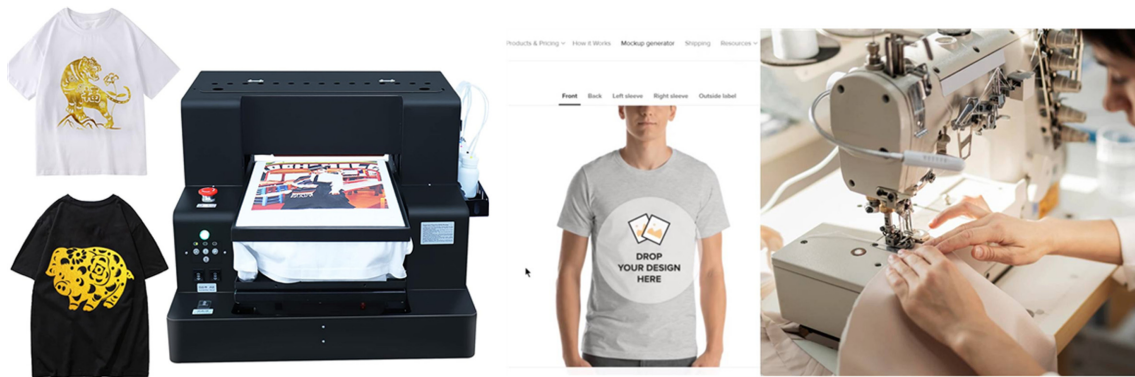


Fig. 7. POD cases.

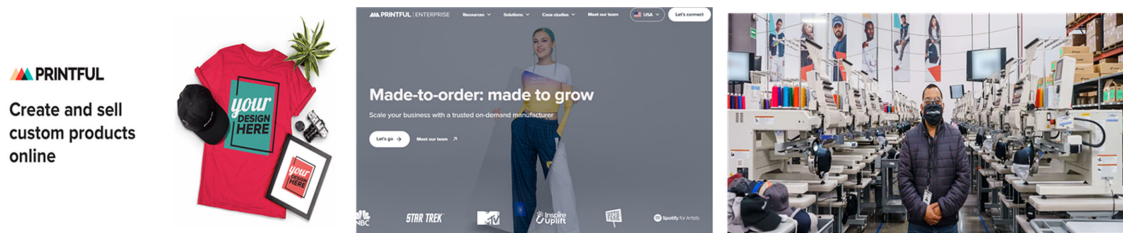


Fig. 8. Printful cases.

POD의 핵심 기술은 DTG 디지털 잉크젯 프린팅, 전사 프린팅, DTF(direct-to-film) 방식, reactive digital printing, eco-pigment printing 등으로 구분되며, 이들은 실크스크린이나 오프셋 인쇄와 달리 판형을 제작하지 않고도 다양한 이미지, 색상, 복잡한 그래픽을 직물 위에 즉시 구현할 수 있는 기술이다. 이러한 디지털 프린팅 기술은 최소 발주량 기준이 없고, 디자인에 따라 실시간 수정 및 반복 생산이 가능하다는 점에서 대량생산과 온디맨드 제조를 연결하는 핵심 기술이 될 것으로 생각된다 (Table 2).

DTG 및 DTF 기반 POD 시스템은 2~3일 내 생산 및 출고가 가능하며, 주문형 이커머스 플랫폼(Shopify, Etsy, 쿠팡 메이커스, Marpple 등)과 완전히 통합되며, 자동 주문, 생산, 배송 프로세스를 갖춘 체계로 확장되고 있다. 이러한 POD 시스템은 실시간 주문 데이터와 구조적으로 연결된 생산방식으로, 단순한 인쇄 기술을 넘어 디지털 제조 플랫폼으로 진화하고 있다.

○ Printful(미국)

Printful은 브랜드나 디자이너가 디자인을 업로드 하고, 주문 발생 즉시 인쇄와 출고가 가능한 플랫폼으로 반품율이 매우 낮은 품질관리 프로세스를 갖췄다. 이처럼 주문 후 제작방식이 가능해지면서 브랜드나 창작자들은 재고리스크 없이 시장 출사가 가능해졌다는 평가를 받고 있다.

○ Marpple(한국)

한국 업체 마플은 의류 및 굿즈 영역에서 주문제작(POD) 플랫폼을 운영한지 10년이 된 기업이다. ‘Create your own custom’을 슬로건으로, 사용자가 디자인을 업로드하거나 선택하여 의류 및 굿즈 제작이 가능한 플랫폼으로, 국내 창작자, 소규모 브랜드에게 유리한 진입 모델이며, 온디맨드 완제품 생산이 국내에서도 활성화되고 있음을 보여준다.

마플 숍의 매출은 2022년 186억원으로 전년 대비 2배 증가했다. 재고 없는 사업모델을 명시하고 있으며, 고객 주문 후 제

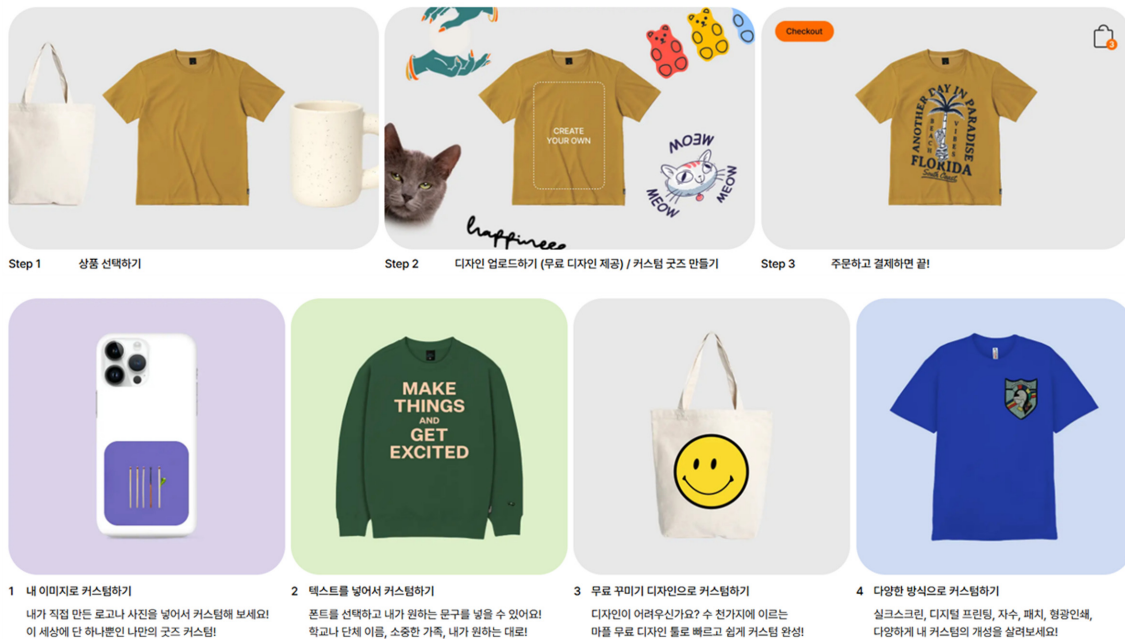


Fig. 9. Marpple cases.

작되는 구조가 특징이다. 한국의 POD 시장 규모는 2024년 기준 약 1억 2,590만 달러이며, 2025-2033년 연평균 성장률 (CAGR) 약 23.5%로 전망된다.

2.4.3 Mass Customization (패턴·사이즈·디자인 기반 맞춤형 생산)

Mass customization(대량맞춤생산)은 대량생산(mass production)의 효율성과 맞춤생산(customization)의 개인화 장점을 동시에 추구하는 생산 패러다임으로, 같은 설비로 서로 다른 개별 제품을 효율적으로 생산하는 것을 목표로 한다. 온디맨드 패션 맥락에서 대량 맞춤 생산은 패턴, 사이즈, 디자인 요소를 디지털로 모듈화하고, 고객이 일부를 선택하면 자동으로 맞춤형 제품을 생산하는 구조로 구현된다. 전통적인 비스포크 테일러링은 고객 개인의 체형에 맞게 1:1 패턴을 새로 만드는 방식이었지만, 대량 맞춤 생산에서는 기본 패턴을 디지털로 관리하면서, 사이즈나 핏, 디테일 같은 요소를 옵션화하여 조합한다(Choi, 2025; Datta, 2018; Jin 2023). 고객이 온라인/오프라인 인터페이스(웹, 앱, 매장 키오스크 등)를 통해 옵션을 선택하면, 3D CAD/패턴 소프트웨어가 그 조합에 맞춘 패턴을 자동 생성, 수정하고, 이후 재단 및 봉제 공정으로 연결된다.

이러한 시스템의 특징을 요약하면 다음과 같다.

생산 측면에서는 기성 패턴을 활용하므로 완전 맞춤에 비해 개별 비용과 시간이 적게 든다. 일정 수준의 표준화된 공정과 라인을 유지하면서, 옵션 조합으로 다양한 제품을 생산할 수 있다는 장점이 있으며, 주문 기반 생산(Make-to-Order, MTO)과 결합하면 재고를 최소화할 수 있다. 소비자 경험 측면에서도 나만의 맞춤복이라는 심리적 만족감을 주면서도, 가격은 완전 맞춤보다 합리적인 수준이다. 온라인에서도 자신의 체형과 취향

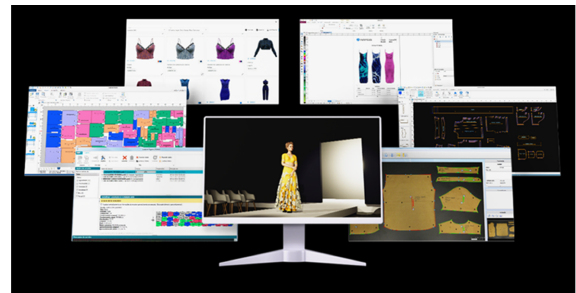


Fig. 10. Image for mass customization.

에 맞는 옵션을 선택할 수 있어, 맞춤 서비스에 대한 접근성이 높아진다. Pine(1993)의 연구를 통해 개인 맞춤형이지만 산업화 가능한 생산방식에 대한 핵심 이론을 제시하였고, 이후 이를 이론적 기반으로 한 패션 산업분야 대량 맞춤형 생산에 대한 많은 연구가 진행되었다. 특히 맞춤 셔츠, 수트, 스포츠웨어 분야에서 디지털 패턴과 자동 편직, 재단을 결합한 사례들이 보고된다. 이러한 논의들은 공통적으로 대량 맞춤 생산이 산업화 가능한 수준의 개인화를 구현하는 핵심 전략임을 강조한다.

○ Nike By You(글로벌)

고객이 소재, 색상, 디테일을 선택하는 커스터마이징 후 주문 생산되는 모델로 대량생산에서 벗어나 개별화된 생산이 특징이다. 소비자의 개입이 높을수록 브랜드 경험 강화 및 반품을 감소가 기대되지만 제조 리드타임과 단가가 과제이다.

○ SPOKE London(한국시장 상용 모델)

고객의 체형 데이터를 바탕으로 맞춤 팬츠를 제작하는 브랜

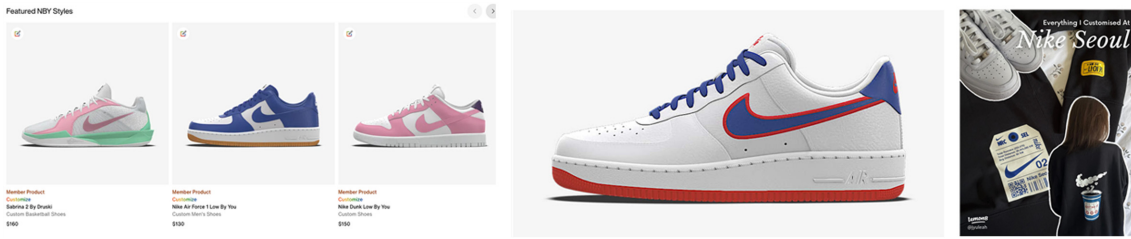


Fig. 11. Nike's custom manufacturing case.

드로, 역시 수요 발생 이후 제작하는 모델이다. 대량 맞춤형 생산은 맞춤형의 가치를 유지하면서도 확장성이 있는 모델이다. 기존 대량생산 대비 높은 고객 만족을 얻으면서도 비용이나 리드타임이 과거 맞춤형보다는 낮은 편이다.

2.4.4. 3D 가상 샘플링 기반 디지털 생산 (Digital sampling & SaaS)

Digital sampling & SaaS(software as a service)는 실물 샘플을 만들기 전에 디지털 환경에서 의류의 패턴, 소재, 핏 등을 시뮬레이션하는 가상 샘플링 프로세스와, 이를 클라우드 기반 소프트웨어 서비스로 제공하는 모델을 말한다. 이는 온디맨드 제조 목표를 달성하기 위해, 설계 및 의사결정 단계에서 샘플 제작, 시간과 비용의 낭비를 줄이는 핵심 도구로 작동한다. 과거에는 새로운 디자인을 개발하기 위해 각 스타일마다 실제 샘플을 제작해야 했고, 브랜드는 한 시즌에 수십~수백 벌의 샘플을 만들었다가, 최종적으로는 그 중 일부만 선택되어 생산에 들어가는 방식이었다. 이 과정에서 원단, 봉제, 물류가 대량으로 낭비되었고, 샘플링 리드타임 역시 몇 주에서 몇 달까지 소요되었다.

디지털 샘플링 환경에서는, 3D 의류 설계 소프트웨어(CLO, Browzwear, OptiTex 등)를 사용해 패턴을 설계하고, 3D 아바타에 적용하여 실제 착용감을 시뮬레이션한다. 디지털 원단 라이브러리(두께, 무게, 탄성, 드레이프 등 물성 데이터 포함)를 활용하여, 실제와 유사한 주름과 움직임을 화면상에서 확인할 수 있다. 샘플링 과정에서 실제 원단을 절단하거나 봉제할 필요 없이, 화면상에서 컬러 및 프린트, 디테일을 즉시 변경해 볼 수 있다. 이러한 방식은 제품 개발 단계에서의 가상 프로토타

입을 가능하게 하며, 브랜드 입장에서는 다음과 같은 이점을 얻게 된다. 샘플 제작 횟수 및 비용과 시간을 30~70%까지 감축할 수 있다. 디자이너, 패턴사, 머천다이지, 심지어는 바이어와도 디지털 샘플을 공유하며, 피드백을 빠르게 반영할 수 있다. 만들어본 후 버리는 소모적인 샘플이 아니라, 시뮬레이션 후 필요한 것만 실제 생산하는 구조가 되며, 이렇게 만들어진 디지털 샘플은 버려지지 않고 그 자체로 데이터베이스로 구축된다(Dai, 2024; Dang, 2024; Kim & Chae, 2025).

SaaS 형태의 3D 패션 플랫폼은 이러한 기능을 클라우드 기반 구독 모델로 제공하여, 중소기업도 브랜드 초기 장비 투자 없이 디지털 샘플링을 활용할 수 있게 한다. 이는 온디맨드 제조 모델과 결합할 때 특히 중요하다. 왜냐하면 디자인 승인까지의 리드타임이 줄어들수록, 주문에서 생산까지의 온디맨드 체인도 더욱 민첩해지기 때문이다. 따라서 digital sampling & SaaS는 그 자체가 직접적으로 주문 후 생산을 수행하는 기술은 아니지만, 온디맨드 제조가 효과적으로 작동하기 위한 업스트림 인프라로서, 생산량, 샘플량, 폐기량을 구조적으로 줄이는 핵심 역할을 한다고 볼 수 있다. 실제로 패션 브랜드들이 디지털 샘플링을 도입하면서 샘플 제작 횟수를 줄이고 신상품 출시 주기를 단축했다는 여러 산업 보고가 있으며, D. Casciani 등은 3D 바디 스캐닝 및 디지털 샘플링 기술이 온디맨드 제조기술과 결합될 가능성이 높음을 시사했다(Casciani, 2022; Casciani, 2025).

○ PatternOn(한국)

국내 패션기업을 위한 디지털 샘플링 플랫폼으로, 설계→3D 시뮬레이션→주문형 생산 연계를 지원한다. 국내에서도 디지털 샘플링 중심으로 온디맨드 체인 구축이 진행 중이며, 중소 브랜드의 경쟁력 확보에 기여 가능하다.

○ Make It (서울)

서울 소재 패션 생산 플랫폼으로, 최소 수량(MOQ) 없이 온디맨드 방식 생산을 통해 고객사(브랜드)에게 재고 리스크 없는 생산 구조를 제공하고 있다. 각 아이템별로 실제 의류업체에서 사용하는 수준의 상세 사양서(tech sheet)를 제공하며, 해당 시트에 스케치, 색상, 자재 명세, 치수, 제작과 관련된 세부 정보를 기입하게 한다. 주문 후 발주 방식으로 생산 전환되고 디지털 주문관리 시스템 및 고객 맞춤 대응 구조를 확보했다.



Fig. 12. Spoke London's case.

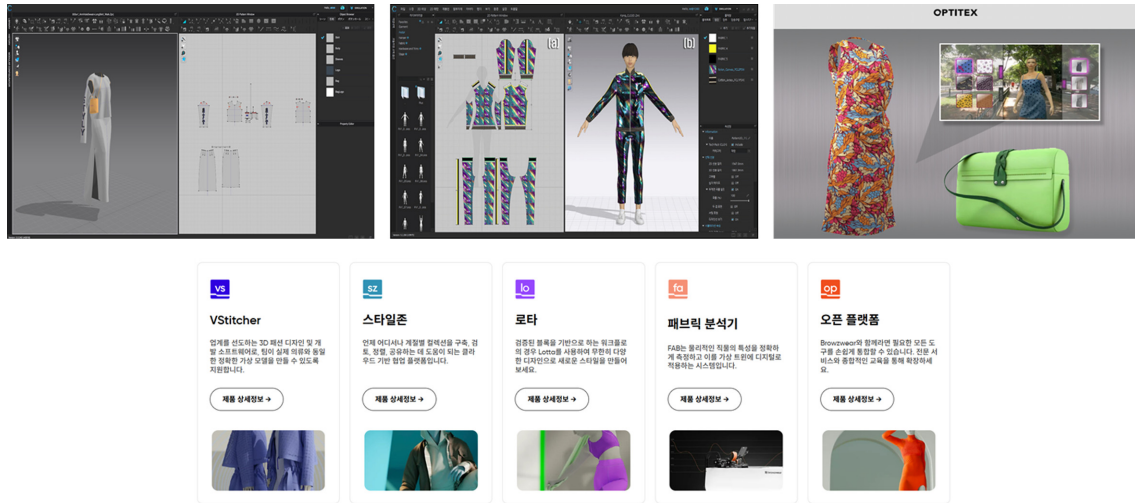


Fig. 13. Digital sampling & SaaS cases.



Fig. 14. PatternOn case.

이를 통해 한국 패션 제조업이 기존의 대량생산(대형 OEM) 방식에서 벗어나 플랫폼형 온디맨드 제조 모델로 전환하는 흐름을 잘 보여주고 있다.

○ 스타일넷 (한국섬유산업연합회, 한국)

섬유패션 산업과 디지털 콘텐츠 결합을 통해 새로운 가상 재화를 창출하고, 가상재화와 실물 의류의 디자인, 설계, 생산, 서비스를 온라인에서 제공할 수 있는 플랫폼을 개발하였다.

또한 디지털 패션 온디맨드 플랫폼을 활용한 패션 제품의 전 프로세스(디자인, 제조, 평가, 실물제품 제조, 유통)를 실증하기 위한 지능형 마이크로팩토리 기반을 구축하였다. 해당 개념도는 아래와 같다.

2.4.5. Additive textile / knitting on demand (3D 니팅 / 적층 텍스타일 기반 온디맨드 제조)

적층 제조는 레이저링을 통해 3차원 부품을 빠르게 생산할 수 있는 디지털 프로세스로, 현재 수많은 과학 분야에서 널리 활용되고 있다. 적층 제조는 기존 제조공정에 비해 설계의 유연성, 치수 정확도, 재료의 광범위, 친환경 제조 등의 장점을 가지고 있다. 적층 제조의 주요 응용 분야 중 하나는 섬유 분야로, 섬유 적층 제조(textile additive manufacturing)라고 불리

며 디지털 제조를 통해 의류 산업의 가치 사슬을 변화시키고 있다(Chakraborty & Biswas, 2020; Kabir et al., 2025; Manaia et al., 2023; Valtas & Sun, 2016).

Additive textile/knitting on demand는 편직기(특히 전자동 3D 니팅 머신, WholeGarment 등)를 활용하여 실 단위에서부터 완성 의류 형태까지 한 번에 제작하는 방식으로, 의류 제조에 적층(additive) 개념을 도입한 생산 모델이다. 전통적인 봉제 기반 의류 생산이 원단, 재단, 봉제, 의류제품이라는 절삭(subtractive) 공정이었다면, additive textile/knitting on-demand는 실을 한 올씩 추가해가며 필요한 형태를 직접 쌓아 올리는, 말 그대로 적층형 텍스타일 제조에 가깝다.

대표적인 예가 일본 Shima Seiki사의 WholeGarment 기술처럼, 봉제선이 거의 없는 니트 의류를 편직기 한 대에서 실 투입 → 니팅 → 완제품으로 직접 뽑아내는 방식이다. 이런 방식의 특징은 다음과 같다. 재단 및 봉제 공정이 축소 또는 제거되는 제조 방식으로 원단을 재단하고 버려지는 폐기물이 거의 없어 소재 낭비가 최소화될 수 있다. 패턴과 구조의 자유도가 높아 3D 니팅 프로그래밍을 통해 의류의 두께, 탄성, 조직 구조를 세밀하게 설계 가능하며, 해당 프로그램을 통해 고객의 체형이나 취향(핏, 길이, 색상, 조직)을 반영한 니트웨어를 주문형으로 생산하기 쉬운 구조이다. 그 외에도 소프트웨어(압박 기

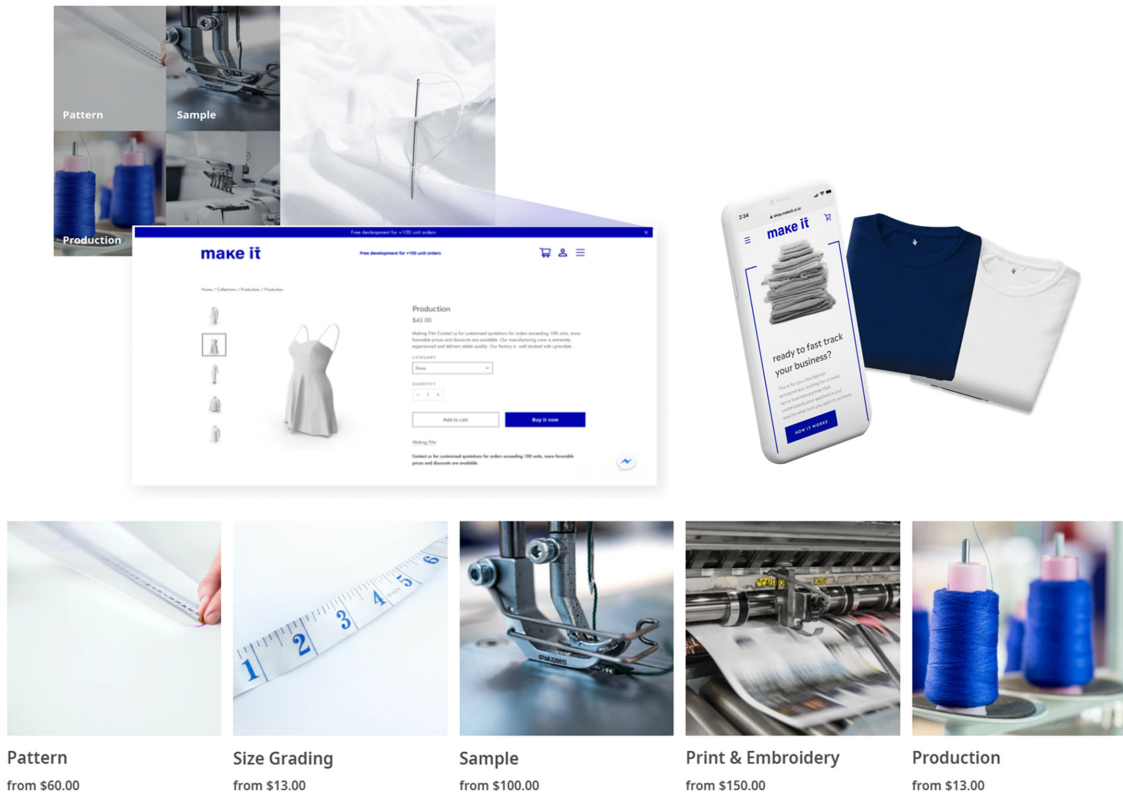


Fig. 15. Make it case.

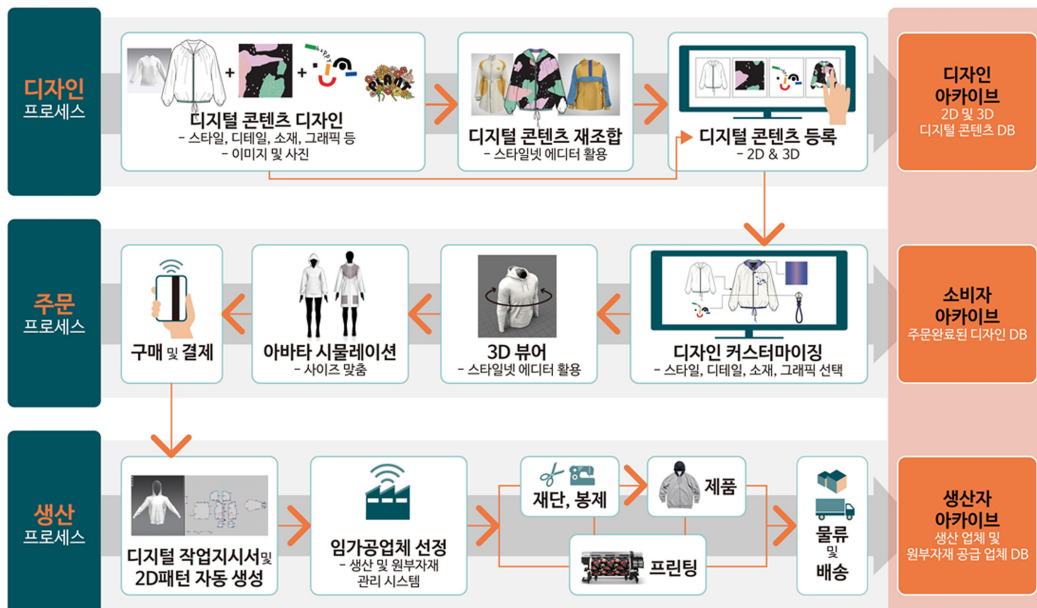


Fig. 16. Stylenet, the digital fashion on-demand platform of KOFOTI.

능, 부분별 기능성 조직), 웨어러블 센서 내장 텍스타일, 신발 어퍼(니트 어퍼, 플라이니트 등)처럼 기능성과 구조성을 동시에 요구하는 영역에서도 활용되고 있다.

지속가능성 관점에서 보면, 이 방식은 재단 폐기물과 과잉생산 문제를 동시에 줄일 수 있는 잠재력을 지닌다. 특히, 로컬 생산(도시형 니트 팩토리)과 결합하면, 소비자와 물리적으로 가



Fig. 17. Conceptual diagram of a microfactory infrastructure utilizing a digital fashion on-demand platform.

가운 곳에서 주문형으로 생산하고 바로 공급하는, 진정한 의미의 지역 기반 온디맨드 텍스타일 생산 모델이 된다.

○ Shima Seiki(일본)

1995년, 일본 제조업체 Shima Seiki는 WholeGarment라는 상표로 기성품 평편물 생산이 가능한 최초의 의류 편성기를 출시하였고, 최근에는 니트 패션 의류 맞춤 제작을 위한 공동 설계 소프트웨어 도구도 개발했다. 맞춤 니트 의류를 주문 제작하는 소매점인 Factory Boutique Shima는 고객이 스타일, 색상, 패턴 및 사이즈 등 개인의 취향에 따라 니트 의류를 수정할 수 있도록 지원하고 있다. Shima Seiki에서 개발한 소프트웨어 도구는 Wajima Kohsan사와의 오랜 협력과 Factory Boutique Shima 매장에서 맞춤 의류를 판매하며 얻은 경험을 바탕으로 개발되었다. 옵션은 여러 단계로 제공되어 고객이 소재, 스타일, 색상, 그리고 포켓 및 트림과 같은 디테일을 선택할 수 있도록 한다.

○ Adidas Speedfactory(독일)

Adidas Speedfactory는 로컬 마이크로팩토리 기반으로 주문 들어온 뒤 자동화 제조가 이루어지는 모델로, 대형 브랜드에서도 온디맨드 제조는 전략적 옵션이며, 섬유·의류 전체 가치사슬의 변화를 상징적으로 보여주었다.

2016년 아디다스는 자동화, 로봇, 3D 프린팅, 프라임니트

(Primeknit) 등 첨단 장비를 적용해 지역 특화 신발을 소량으로 빠르게 출시하였다. 2017년에 미국 애틀랜타에 두 번째 Speedfactory를 오픈해 북미 시장 대응을 시도하였고, 2019년에 생산 중단 및 기술 이전 발표한 이후 Speedfactory에서 개발한 기술과 프로세스를 아시아의 기존 공급업체들에 기술을 전파하고 배치할 계획을 발표하였다. 이후 Speedfactory 모델을 그대로 유지한 채로 대규모로 재현하기보다 공급망(아시아) 내 기존 파트너에 기술을 적용하는 방식을 적용하여 adiLab(테스트 및 개발 랩) 등에서 제조 공정 개선과 신기술 실험은 계속 진행 중인 것으로 파악된다.

해당 프로젝트의 고도로 자동화된 설비는 소량 생산에는 유리했지만, 다양한 제품군으로 확장하거나 비용 경쟁력을 확보하는 데 어려움이 있었다. 아디다스가 공식적으로 밝힌 바에 따르면, 물리적 스피드팩토리의 신발 생산은 사실상 종료되었지만, 스피드팩토리를 통해서 얻은 자동화, 디지털 공정, 로컬화 아이디어 등의 노하우는 adiLab에서 계속 실험되고 있으며 아시아 공급업체들에 기술을 적용해 생산 효율을 높이고 유연성을 확대하는 방향으로 확산되고 있다고 한다.

2.5. 온디맨드 의류 공장

세계 각국의 기업들은 다양한 온디맨드 의류 공장 모델을 시험 운영하고 있는데, 최소 주문량이 1 피스에서 50~100 피스로 극소량의 제품 제조가 가능한 상황이다 (Table 3).



Fig. 18. Additive textiles cases.



Fig. 19. Shima Seiki WholeGarment® and Factory Boutique Shima.



Fig. 20. Adidas' speedfactory and primeknit.

이 외에도 Fumao(중국)는 최소 주문 수량 옵션을 주문에 따라 제공하여 브랜드가 주문을 확장하기 전에 50~100개로 디자인을 테스트할 수 있도록 제공하고 있다. 3DLOOK Partnerships(유럽)은 자체 공장은 아니지만, 제조업체와 협력하여 AI 바디스캐닝 및 3D 시각화를 주문형 생산에 통합하여, 브랜드가 개인 치수에 맞는 맞춤 의류를 제작하여 반품 및 낭비를 줄일 수 있도록 지원하는 역할을 하고 있다.

3. 온디맨드 제조와 핵심 기술

3.1. 디지털 디자인 및 고객 인터페이스 : 고객은 실제 제품 제작 전에 의류를 공동 디자인하고 정확한 핏을 확인

- 3D/CAD 소프트웨어 및 디지털 프로토타이핑 기술 : 디자

이너는 고급 컴퓨터 지원 설계(CAD) 소프트웨어를 사용하여 가상 의류 모델을 제작함으로써 실제 샘플을 제작할 필요가 없어지고, 디자인 단계에서 시간과 재료 낭비를 크게 줄일 수 있다.

- 가상 시착(virtual try-on, VTO) 및 AR/AI 바디스캐닝 기술 : AI 바디스캐닝 기술을 통해 스마트폰이나 특수 기기를 통해 고객의 정확한 치수를 측정(Zozosuit 또는 3DLOOK 등)하고, 가상 시착(VTO)과 증강 현실(AR)을 통해 고객은 맞춤 제작된 의류가 디지털 아바타 또는 자신의 신체에 어떻게 보이고 잘 맞는지 확인할 수 있어 반품을 줄일 수 있도록 기여한다.

- 스마트 맞춤 제작 엔진(소프트웨어 플랫폼) : 고객의 선택 사항(크기, 색상, 인쇄, 기능)을 관리하고, 이를 제조 기계

Table 3. The case of an on-demand clothing factory

Company	Location	Minimum Order Quantity (MOQ)	Production Capacity	Sustainability Practices
Appareify	Shenzhen (China)	50~100 pieces	~400,000 pieces per month	Offers low-volume production to reduce waste, supports startups through flexible ordering systems
Hawthorn	London (UK)	~50 pieces	Supports approximately 700 startup brands	Focuses on quality control and overproduction reduction, provides flexible fabrics and eco-friendly sourcing
Taian BOWINS Garment Co., Ltd.	Shandong (China)	~100 pieces	100,000 to 400 million pieces annually	Utilizes CAD/CAM and 3D prototyping, incorporates 15-50% recycled materials
Tailored Industry	Brooklyn (USA)	1 piece (true on-demand)	Seamless 3D knitting	Applies zero-waste knitting technologies, produces garments only upon order
Printful / TeeSpring	Global (US/EU hubs)	1 piece	Scalable POD production	Eliminates inventory through eco-friendly printing and order-fulfillment systems

가 읽을 수 있는 기술 파일 및 고유 BOM(자재 명세서)으로 자동 변환한다.

3.2. 주문형 실물 제품을 빠르고 정밀하게 제작하는 생산 자동화 기술

- 자동화 및 레이저 재단 시스템 : 고속 컴퓨터 수치 제어 (CNC) 재단기는 블레이드 또는 레이저를 사용하여 한 장 또는 소량의 원단 재단을 가능하게 한다.
- AI 기반 패턴 네스팅(pattern nesting) 소프트웨어 : 원단의 개별 패턴 조각을 고유한 순서에 따라 가장 효율적인 방식으로 배열하여 재료 낭비를 최소화한다.
- 디지털 텍스타일 프린팅 : DTG 또는 승화 인쇄와 같은 기술을 사용하면 크고 값비싼 스크린이나 화학 물질을 많이 사용하는 대량 염색 공정 없이도 고해상도의 독특한 디자인을 원단이나 완성된 의류에 직접 인쇄할 수 있으며 이는 맞춤형 제작에 매우 중요하다.
- 3D 편직/직조: 일본 Shima Seiki사의 WholeGarment, 독일

Stoll사의 Knit and Wear와 같은 기계는 의류 전체를 3차원적으로 편직할 수 있으며, 재단과 봉제가 필요 없기 때문에 인력과 폐기물이 크게 줄어든다.

- 봉제 로봇(반자율 조립) : 봉제 분야의 완전 자동화는 복잡하지만, 로봇 기술의 발전으로 원단 공급 및 복잡한 재봉과 같은 어려운 작업을 처리할 수 있는 시스템이 개발되고 있으며, 이를 통해 봉제 현장은 유연하고 소량 생산이 가능한 마이크로팩토리로 전환되고 있다.

3.3. 통합 소프트웨어 및 데이터 흐름의 관리

- 전사적 자원 관리 및 제조 실행 시스템 : 이커머스 매장에서 개별 고객 주문을 받아 즉시 작업 지시를 생성하고, 필요한 특정 원자재를 추적하며, 자동화된 생산 단계를 실시간으로 계획한다.
- AI 기반 수요 예측 : 생산은 주문형이지만, AI는 판매 데이터, 트렌드, 소셜 미디어 신호를 분석하여 제조업체가 사전 주문하고 재고로 보유해야 할 원자재(특정 색상 원사 또

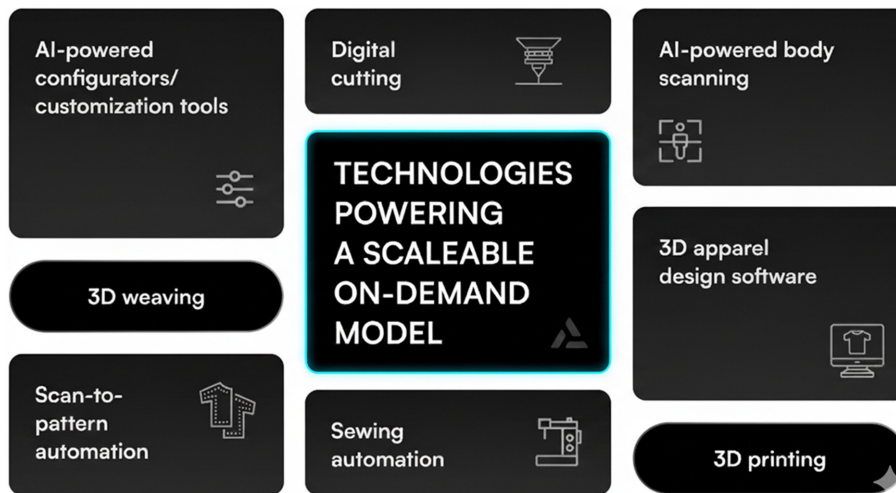


Fig. 21. Key technologies for on-demand manufacturing. *On-demand Fashion Industry Tech Landscape Overview in 2024, 3DLOOK, (April 30th 2024).*

Table 4. Key technologies and core elements for achieving on-demand manufacturing in each sectors

Category	Key technologies	Core functions
Design & Fit (Digital front end)	3D CAD Software (ex: CLO 3D, Browzwear)	Shortens product development cycles and reduces physical sample waste by up to 80%
	AI body scanning & VTO(virtual try-on)	Significantly reduces return rates caused by poor fit and enables true size personalization
Fabrication & Production (Physical automation)	Digital textile printing (DTG, Sublimation)	Enables inventory-free, on-demand graphic production; suitable for complex and unique designs
	Automated laser & single-ply cutting	Minimizes material waste and ensures high precision for customized pattern pieces
	3D & seamless knitting	Reduces labor costs and minimizes waste generated during production
System Integration (Digital backbone)	PLM(Product lifecycle management), MES (Manufacturing execution system), ERP(Enterprise resource planning) systems	Supports real-time order tracking and highly flexible micro-factory production scheduling
	IoT & AI	Provides data required for increased agility and continuous improvements in speed and quality

Table 5. On-demand manufacturing and textile 4.0 technologies

Textile 4.0 technology	Role in on-demand manufacturing
AI & machine learning	Supports trend forecasting, design automation, and real-time mass customization
IoT sensors	Enables inventory tracking, production monitoring, and Just-In-Time (JIT) operations
3D design & simulation	Reduces time and cost prior to physical production through virtual prototyping
Digital cutting & printing	Facilitates fast and precise production of customized garments
Block chain	Ensures traceability and transparency across the supply chain
Automation & Robotics	Increases production speed and reduces reliance on manual labor

는 기본 원단 등)를 예측하고 맞춤 주문을 신속하게 처리할 수 있도록 지원한다.

-IoT(사물인터넷) 연결 : 제조 기계에 장착된 센서와 디지털 태그를 통해 생산 현장을 실시간으로 파악할 수 있다. 이를 통해 효율성을 모니터링하고, 특정 고객 주문의 상태를 추적하며, 잠재적인 병목 현상을 즉시 파악할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 살펴본 온디맨드 제조 유형들은 독립적인 기술이 아니라 기획, 설계, 생산, 물류, 판매, 회수에 이르는 전체 공급망을 디지털 기반으로 통합하는 시스템적 변화의 일부이다. 또한 온디맨드 제조 시스템을 통해 탄소배출이 감소하고, 제로 웨이트 디자인이 각광을 받게 되었으며, 제조와 반품 부담이 줄어들고, 지역 기반의 생산이 가능해진다.

온디맨드 제조는 이제 전략적 선택이 아니라 우리 섬유류 산업구조가 지속되기 위한 필수 조건이 되었다. 기후 위기, 폐기물 문제, 공급망 불확실성, 소비자의 극단적 다양화는 섬유류 산업이 기존의 대량생산 패러다임을 유지할 수 없음을 명확하게 보여준다. 섬유류 산업은 ‘더 많이, 더 빨리, 더 싸게 제조하던 산업’에서 ‘필요한 만큼, 필요한 때에, 소량으로 생산되는 산업’으로 변화하는 과정에 있으며, 온디맨드 제조는 이

전환의 핵심 동력이 될 것이다.

온디맨드 제조가 정착하기 위해서는

첫째, 제조 방식의 푸시-풀 하이브리드 전략이 필요하다. 즉, 원자재와 구성품은 제조 영역으로 푸시되고, 최종 조립은 주문에 따라 유도되는 방식으로 통합하는 방법으로 푸시의 효율성과 풀의 유연성을 결합하는 것을 말한다. 이를 통해 예측 정확도 및 자원 활용도를 향상시키고, 제품별로 방식을 조정 및 운영을 지원하는 것이다. 예를 들면 기본 의류(예: 티셔츠)는 대량 생산하고, 맞춤형 프린트 또는 사이즈는 주문에 따라 제작하는 방식이 대표적이다. 또한 의류 원부자재는 재고로 보관하지만, 최종 생산은 고객 사양에 맞춰 진행하는 것을 의미한다.

둘째, Textile 4.0 기술을 접목하여 제품 생산의 효율성, 추적성, 지속가능성 및 시장 변화에 대한 대응력을 향상함으로써 소비자 수요에 즉각적으로 대응하는 유연하고 데이터 중심의 생산을 가능하게 한다. 이때 Textile 4.0이란 IoT, AI, 로봇 공학, 클라우드 컴퓨팅과 같은 Industry 4.0 기술을 섬유 제조에 적용하는 것으로 온디맨드 제조의 핵심이 되는 기술의 집합체이다.

온디맨드 제조와 Textile 4.0의 융합은 패션산업을 더욱 효율적이고 스마트하며 지속 가능한 생태계로 재편하고 있다. 디지털 역량이 향상됨에 따라 더 많은 브랜드가 대량 맞춤 제작, 제로 재고 모델, 그리고 초개인화 패션으로 전환할 것으로 예상된다. 또한 특정 패션 브랜드가 Textile 4.0을 구현하여 주문

형 생산으로 전환할 수 있는 방법에 대한 계획도 세울 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국생산기술연구원 기관주요사업 “미래 스마트 웨어 제조를 위한 마이크로팩토리 기반기술 개발(KITECH EH-25-0009)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Baena, V. (2024). The shift from fast fashion to socially and sustainable fast fashion: The pivotal role of ethical consideration of consumer intentions to purchase Zara. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(5), 4315-4328. doi:10.1002/csr.2803
- Berzina-Pudule, U. (2025, April 8). *16 Print-on-Demand Statistics and Trends You Can't Miss in 2025*. Retrieved November, 2025, from <https://www.printful.com>
- Casciani, D., & Bertolini, M. (2025). Towards a sustainable on-demand fashion industry: The impact of digital body measurement technologies. *Discover Sustainability*, 6(478). doi:10.1007/s43621-025-01269-8
- Casciani, D., Chkanikova, O., & Pal, R. (2022). Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: Opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 18(1), 773-795. doi:10.1080/15487733.2022.2125640
- Choi, H. (2025). Development of a body-type optimized pattern library based on fit adjustment frameworks. *Fashion and Textiles*, 12, 30. doi:10.1186/s40691-025-00437-8
- Choi, K. (2022). 3D dynamic fashion design development using digital technology. *Fashion and Textiles*, 9(9).
- Dai, X., & et al. (2024). Fabric mechanical parameters for 3D cloth simulation in apparel CAD systems: A systematic review. *Computer-Aided Design*, 167, 103638. doi:10.1016/j.cad.2023.103638
- Dang, Y., Wan, T. R., Xi, L., & Tang, W. (2024). A computer-vision based framework for virtual 3D garment reconstruction. *Multimedia Tools and Applications*, 84, 27963. doi:10.1007/s11042-024-20269-w
- Datta, D. B., & Seal, P. (2018). Various approaches in pattern making for garment sector. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 4(1), 29. doi:10.15406/jteft.2018.04.00118
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*.
- Future Market Insights (2025). *Print on demand market size and share forecast outlook*.
- Jin, P., Fan, J., Zheng, R., Chen, Q., Liu, L., Jiang, R., & Zhang, H. (2023). Design and research of automatic garment-pattern-generation system based on parameterized design. *Sustainability*, 15(2), 1268. doi:10.3390/su15021268
- Kaur, G. et al. (2024). A smart manufacturing process for textile industry automation under uncertainties. *Processes*, 12(4), 778. doi:10.3390/pr12040778
- Kim, H., & LaBat, K. (2013). 3D virtual garment simulation: Accuracy and efficiency evaluation. *Clothing and Textiles Research Journal*, 31(3), 210-226.
- Kim, J., & Chae, Y. (2025). Efficient representation of garment fit with elastane fibers across Yoga poses in 3D fashion design software: A preliminary study using CLO 3D software. *Applied Sciences*, 15(19), 10306. doi:10.3390/app151910306
- Kornit Digital. (2022). *On-demand Textile Production Report*
- Lee, C. (2024). Analysis of technological advances in silkscreen and DTP(Digital Textile Printing) within the context of sustainable development. *Art & Design*, 27(1), 121-142.
- Lee, Y., & Park, J. (2018). Evaluation of 3D virtual fit and its impact on sample development efficiency. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 10(4).
- Lim, H., Cassidy, T., & Cassidy, D. (2021). Digital prototyping and virtual sampling for sustainable fashion. *Sustainability*, 13(2), 789.
- Liu, X., Dong, H., & Zhao, Y. (2018). An integrated 2D/3D garment pattern design system. *Textile Research Journal*, 88(22), 2515-2527.
- Ma, K., Wang, L., & Chen, Y. (2018) A collaborative cloud service platform for realizing sustainable Make-To-Order apparel supply chain. *Sustainability*, 10(1), 11. doi:10.3390/su10010011
- Manaia, J. P., Cerejo, F., & Duarte, J. (2023). Revolutionising textile manufacturing: A comprehensive review on 3D and 4D printing technologies. *Fashion and Textiles*, 10(20).
- McKinsey & Company (2019). *Fashion on demand*.
- McKinsey & Company. (2024). *The State of Fashion 2024*.
- Olivar Aponte, N., Hernández Gómez, J., Torres Argüelles, V., & Smith, E. D. (2024). Fast fashion consumption and its environmental impact: A literature review. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 20(1), 2381871. doi:10.1080/15487733.2024.2381871
- Persistence Market Research. (2025). *Digital Textile Printing Market Size, Share, and Growth Forecast*.
- Petrak, S., Naglič, M., Glogar, M., & Tomljenović, A. (2025). Assessment of textile material properties and the impact of digital Ink-Jet fabric printing on 3D simulation as a sustainable method for garment prototyping. *Sustainability*, 17(4), 1388. doi:10.3390/su17041388
- Pine, B. J. (1993). Making mass customization work. *Harvard Business Review*, 71(5).
- Sabareesh, N. et al. (2024). Impact of industry 4.0 on textile production and supply chain. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 13(11).
- Serrat, N. A., Ibar, M. A., & Erdoğan, G. (2025). Fast fashion sector: Business models, supply chains, and European sustainability standards. *Systems*, 13(6), 405. doi:10.3390/systems13060405
- Spoonflower (2025, June). Welcome to Spoonflower: The print-on-demand difference. Retrieved November, 2025, from <https://www.spoonflower.com>
- Sun, Q., & Sun, X. (2021). Research on the technology of mass customization of clothing online. *International Journal of Modeling and Optimization*, 11(3), 86. doi:10.7763/IJMO.2021.V11.783
- Textile School (2025). Industry 4.0 in textiles: Driving efficiency and Sustainability. <https://www.textileschool.com/29283/industry-4-0-in-textiles-driving-efficiency-and-sustainability>
- The future of on-demand manufacturing in the fashion industry. (2023, July 21). Apparel views. Retrieved November, 2025, from <https://www.apparelviews.com>
- Tsai, W. H. et al. (2024). Revolutionizing textile manufacturing:

Sustainable and profitable production by integrating industry 4.0, activity-based costing, and the theory of constraints, *Processes*, 12(11), 2311. doi:10.3390/pr12112311

Vassiliadis, S., Rangoussi, M., & Giannouli, I. (2018). Digitally controlled textile structures for mass customization. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 13, 1-12.

Zeng, X., Zhang, C., & Yang, L. (2020). A digital weaving system for personalized textile production. *Textile Research Journal*, 90(13), 1441-1455.

(Received November 27, 2025; 1st Revised December 2, 2025;
Accepted December 17, 2025)