

데님 소재를 활용한 시와 3D 디지털 기술 기반 업사이클링 패션디자인 프로세스

- 시니어를 위한 데님 패션 아이템을 중심으로 -

이민정 · 박근수⁺

경성대학교 패션디자인학과 초빙교수 · 경성대학교 패션디자인학과 부교수⁺

An AI- and 3D Digital Technology-Based Upcycling Fashion Design Process Utilizing Denim Fabric

- Focusing on Denim Fashion Items for Seniors -

Min Jung Lee · Keun Soo Park⁺

Invited Professor, Dept. of Fashion Design & Merchandising, Kyung Sung University

Associate Professor, Dept. of Fashion Design & Merchandising, Kyung Sung University⁺

(received date: 2026. 1. 2, revised date: 2026. 1. 23, accepted date: 2026. 2. 25)

ABSTRACT

This study aims to develop a commercialization process for upcycled denim fashion utilizing AI and 3D digital clothing technology, specifically targeting *active senior* women aged 65 to 80. To this end, three design concepts – Intellectual, Girlish, and Practical – were derived based on senior lifestyles and subsequently visualized using generative AI. Following consultation with five fashion experts, the selected designs were implemented as digital prototypes using CLO software. Post-consumer denim materials were collected and classified into heavyweight and midweight categories to simulate their physical properties within a virtual environment. During this process, factors hindering precise digital twin implementation – such as localized variations in the physical properties inherent in vintage materials and limitations in texture mapping – were empirically analyzed. In particular, the identified technical limitations were utilized as a basis for proactively predicting and managing sewing-related risks during the physical production phase. This research demonstrates both academic and practical significance by establishing a zero-waste methodology that significantly shortens the iterative sampling process while minimizing material waste. By addressing the inefficiencies of traditional manual methods and ensuring a high level of completion prior to production, this study proposes a feasible commercialization model for sustainable fashion.

Key words: 3D CLO(3D 클로), Denim(데님), Generative AI(생성형 AI), Upcycling(업사이클링), Sustainable Fashion(지속가능 패션)

I. 서론

오늘날 패션산업은 대량 생산과 과잉 소비를 기반으로 한 패스트패션이 주류를 이루고 있다. 이러한 패스트패션 시스템은 막대한 텍스타일 폐기물을 발생시키며, 환경적, 윤리적 문제를 심화시키는 동시에 현대 패션 산업이 지닌 구조적 모순을 드러내고 있다. 전 세계적으로 매년 발생하는 의류 폐기물은 약 9,200만 톤에 달하며(Global Fashion Agenda, 2017), 이들 대부분은 매립되거나 소각되는 과정에서 토양 및 대기 오염의 주원인이 된다. 특히 데님(Denim)은 가장 대중적으로 소비되는 의류 품목인 동시에, 생산 과정에서 환경에 악영향을 주는 대표적인 소재로 청바지 한 벌 제작을 위하여 약 3,781리터의 물이 소요되며(UN Environment Programme, 2018), 인디고 염색과 워싱(Washing) 공정에 투입되는 다량의 화학 물질과 에너지로 인하여 수질 오염과 탄소 배출이 가중된다. 이러한 환경 위기에 대응하여 자원의 선순환과 폐기물 최소화를 지향하는 지속 가능한 패션의 필요성이 대두되고 그 해결 방안의 하나로 업사이클링 패션에 관한 관심이 계속되어 오고 있다.

이러한 상황에서 폐데님은 견고한 내구성과 고유 심미적 특성으로 인해 업사이클링을 위한 최적의 소재로서 재조명받고 있다. 특히 파티나(Patina), 즉 새 원단으로 구현하기 어려운 자연스러운 워싱과 시간의 흔적은 그 자체로 디자인 요소가 된다. 최근 글로벌 럭셔리 패션 브랜드 미우미우(Miu Miu)가 2000년 이전의 빈티지 데님을 수집하고 그 고유성 부각을 위하여 재디자인한 업사이클 컬렉션을 선보임으로써 옷의 과거를 존중하고 새로운 가치를 부여하는 업사이클링의 핵심 철학을 보여주었다. 이처럼 업사이클링은 폐기물 감축이라는 소극적 차원을 넘어, 자원의 수명을 연장하고 부가가치를 창출하는 순환 경제의 핵심 실천 방안이라고 할 수 있다(Ellen MacArthur Foundation, 2017).

업사이클링 패션에 관한 선행연구는 다양한 관점에서 연구되었다. 먼저 제조 공정 관점에서는 Aus et al.(2021) 등이 의류 생산 과정의 폐기물을 활용한 기술적 업사이클링 방법론을 구체화하였다. 그러나 실제 산업 현장에 적용할 수 있는 상용화 모델로의 확장의 측면에 있어서는 한계가 있다. 소비자 연구 관점에서는 Seo et al.(2024)이 국내 사례를 통해 Z세대의 선호 디자인을 도출하였다. 그런데 특정 브랜드에 국한된 분석으로 인해 결과를 패션산업에 일반화하기에는 제약이 있다. 또한 Kim et al.(2021)는 중고, 업사이클링, 리사이클링 제품에 대한 소비자 인식의 차이를 규명하는 데 중점을 두어 구체적인 디자인 가이드 라인을 제시하지는 않았다. 한편, 기술 접목 관점에서 Ostermann et al.(2021)은 3D 가상 기술을 활용한 폐데님 업사이클링의 효율성을 입증하였으나, 실험적 시도에 머물러 실질적인 시장 진입을 위한 비즈니스 프로세스와는 거리가 있다.

선행연구들의 발전적 성과에도 불구하고, 오늘날 패션산업에 도움이 될 수 있는 창의적 디자인과 기술적 효율성을 결합하여 실질적인 상용화로 이어지는 통합적 패션디자인 프로세스에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 데님 의류를 활용한 3D 디지털 기술 기반 업사이클링 패션 디자인 프로세스를 중심으로 디지털 기반 업사이클링 디자인방법론을 체계화하고자 하였다.

II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 이론과 실무를 결합하여 폐데님을 활용한 고부가가치 업사이클링 디자인 방법론을 구축하고자 한다. 특히 3D 시뮬레이션을 도입해 반복적인 실물 샘플 제작 공정을 획기적으로 단축하고, 디자인 도출 즉시 상용화가 가능한 효율적인 프로세스를 제안하는 데 있다. 연구의 소재적 범위는 소비 후 버려진 데님 의류로 한정하였다.

데님은 막대한 폐기량으로 환경 부하를 야기할 뿐만 아니라, 화학적 가공과 복합 부자재(리벳, 지퍼 등)의 사용으로 인해 물리적 재활용(Recycling)이 구조적으로 어려워 업사이클링을 통한 수명 연장이 필수적인 품목이다(Ellobaid, 2023). 또한, 디자인 타겟은 최근 소비 시장의 주축으로 압도적인 성장세를 보이는 '액티브 시니어(Active Senior)' 여성으로 설정하였다(Shin, 2024). 본 연구에서는 이들을 은퇴 후에도 활발한 사회 활동과 자아실현 욕구를 영위하는 65세~80세 여성으로 조작적 정의를 내리고, 이들의 신체적 특성과 미적 취향을 반영한 웨어러블 여성복을 디자인 개발 범위로 한다. 구체적인 연구 방법 및 절차는 다음과 같다.

첫째, 데님의 소재 분석 및 데님 업사이클링 사례를 분석했다. 이를 위하여 국내외 학술 논문, 전문 서적 등 문헌 연구를 통해 지속가능 디자인과 업사이클링의 개념을 정립하고, 데님 소재의 특성을 심층 분석했다. 또한 성공적인 데님 업사이클링 브랜드 및 디자이너의 사례를 분석하여 디자인 특징과 업사이클링 표현 방식을 파악했다.

둘째, 타겟 분석 및 디자인 콘셉트를 구체화하였다. 액티브 시니어의 워너비(Wannabe) 이미지를 대변하는 대중적 패션 아이콘 3인을 실증적으로 분석하여 핵심 디자인 방향성을 도출하였다. 이후 생성형 AI(Midjourney)를 활용하여 각 콘셉트에 부합하는 다수의 디자인 시안을 시각화하였으며, 패션 전문가 5인으로 구성된 자문단의 심층 평가를 거쳐 실물 제작에 적합한 최종 3점의 디자인을 선별하였다.

셋째, 3D 시뮬레이션을 통한 사전 검증 및 리스크 관리를 수행하였다. 3D CLO 소프트웨어를 활용하여 가상 샘플을 구현하고, 페데님의 물리적 특성을 가상 원단에 적용함으로써 패턴의 구조적 결합과 봉제 부조화를 예측하고 최적화하였다.

넷째, 디지털 후가공을 통한 최종 가상 프로토타입을 완성하였다. 워싱, 데미지 가공 등 실제 데님 공정의 효과를 3D 그래픽 텍스처링으로 구현

하여 물리적 샘플 제작 없는 제로 웨이스트(Zero-waste) 프로세스의 실효성을 검증하였다.

III. 이론적 배경

1. 데님 소재의 고유성 및 업사이클링 사례 분석

1) 데님 소재의 물리적·미학적 특성

본 연구의 주재료인 데님은 현대 패션사에서 빼놓을 수 없는 상징적인 소재이다. 데님은 본래 작업복으로 시작하여 시대를 거치면서 젊음, 반항, 자유 등 다양한 사회문화적 상징성을 획득하고 모든 세대와 계층을 아우르는 보편적인 패션 아이템으로 자리 잡았다(Downey, 2014). 노동자를 위한 튼튼한 원단이었던 데님은 그 견고한 기본 물성을 유지하면서 다양한 컬러와 워싱 기법, 디테일, 절개와 봉제 방식에 따라 고급스럽고 편안한 소재로 발전되었으며 또한 젊음을 상징하는 대표적인 소재로 사용되었다.

데님은 물리적 특성과 미학적 특성으로 크게 나누어 살펴볼 수 있다. 먼저 물리적 특성을 살펴보면 데님의 주 소재는 천연 섬유인 '면(Cotton)'으로 이루어져 있다. 데님은 능직이라는 기본 직조 방식으로 만들어지며 이것은 평직으로 직조된 면직물과 차별화되는 데님의 물리적 특성을 결정하는 요소이다. 능직의 독특한 대각선 패턴은 데님에 뛰어난 강도와 내구성을 부여하는데(Zeva Denim, 2024), 이는 일반 평직 원단보다 마찰에 강하고 찢어짐을 잘 견디는 물리적 특성을 제공한다. 능직의 대각선 구조는 원단이 스트레스와 변형을 잘 견뎌내도록 하여, 더욱 조밀하고 인장 강도와 찢어짐 방지 기능이 강화된 원단을 만들어낸다(Zeva Denim, 2024). 또한 촘촘하게 짜인 원단과 원사의 강도에서 비롯된 이러한 구조적 강도는 마찰, 늘어짐, 마모에 대한 뛰어난 내마모성에 직접적으로 기여한다(Denim Focus, 2024). 이러한 견고함 덕분에, 페데님은 수거 후 세척, 해체, 재

단, 재봉제에 이르는 거친 업사이클링 공정을 반복적으로 견뎌낼 수 있다. 실제로 데님의 이러한 강한 성질은 본래 미국의 카우보이들이 바지가 헤지는 것을 보호하기 위해 덧입던 가죽 챔스(Leather Chaps)를 대체하는 소재로 활용되는 것에서도 잘 드러난다.

데님은 기계로 분쇄하여 섬유로 되돌리는 재가공 과정에서도 물성의 긍정적인 변화가 나타나기도 한다. 비록 기계적 재활용 과정이 면 섬유의 길이를 짧아지게 하여 인장 강도는 다소 약화시킬 수 있으나, 오히려 인열 강도가 증가하고 소재 밀도가 높아지는 특성이 있다(Haq et al., 2024). 이러한 특성은 재활용 데님이 가방이나 신발 등 새로운 용도에 더 적합한 내구성을 가질 수 있음을 시사한다.

미학적 측면에서의 데님은 여타의 일반적인 소재와 달리, 낡고 헤지는 과정이 '결함'이 아닌 '가치'로 인정받는 독특한 특성을 가진다. 착용과 세탁을 거치며 자연스럽게 발생하는 인디고 염색의 물 빠짐과 마모는 '파티나'라고도 불리며, 새 원단으로 흉내 낼 수 없는 빈티지한 멋을 만들어 낸다. 이는 본래 로프 염색(Rope Dyeing)이라는 공정의 화학적 특성에서 기인하는 것으로 실을 염료 통에 반복적으로 담그고 산화시키는 이 과정을 통해 색이 섬유 깊숙이 침투하지 않고 표면에만 자리 잡기 때문에 나타나는 현상이다(Paul, 2015). 또한 마찰을 통해 독특한 시각적 깊이와 에이징(Aging)이 가능해지는데 오랜 시간 형태와 색상을 유지하는 수많은 빈티지 데님의 사례들은 이러한 소재의 뛰어난 수명과 미학적 가치를 실증적으로 보여준다(Denim Focus, 2024). 이러한 데님의 특징을 기반으로 폐청바지가 가진 고유의 워싱과 색감, 헤지는 그 자체로 세상에 하나뿐인 디자인 요소가 되어 디자이너가 독창적인 미적 가치를 창출할 수 있음을 볼 수 있다. 살펴본 바와 같이 데님은 그 물리적 특성으로 인하여 독특한 미학적 특징을 가지고 있는 소재로서 특히 업사이클링에 적합하다는 점을 알 수 있다.

2) 데님 업사이클링 디자인 사례 분석

앞서 논의된 이론적 고찰을 통해 데님 소재가 지닌 고유한 미학적 가치와 에이징의 특성을 확인하였다. 이를 바탕으로 본 장에서는 국내외 데님 업사이클링 브랜드의 디자인 사례를 분석하였다. 본 사례 분석은 단순한 스타일의 나열이 아닌, 불규칙한 폐데님 소재를 다루는 현행 제작 방식의 한계와 공정상의 난점을 규명하는 데 초점을 두었다. 이를 통해 기존 수작업 중심 방식의 비효율성을 진단하고, 디자인 완성 후 별도의 수정 없이 즉각적인 상품화가 가능한 체계적인 3D 디지털 프로세스가 왜 필수적인 대안인지 그 당위성을 입증하고자 하였다.

분석 대상은 글로벌 시장에서 주목받는 상업적 성공 사례들로 도출하였으며, 사례 선정의 객관성을 확보하기 위하여 전 세계 지속가능 패션의 표준을 제시하는 엘렌 맥아더 재단의 '순환 비즈니스 모델(Circular Business Models)' 분류 체계를 적용하였다. 이 보고서는 패션 산업의 실효성 있는 순환 경제 모델을 수선(Repair), 재판매(Resale), 그리고 폐자원을 해체하여 새로운 가치를 창출하는 재제작(Remaking/Upcycling)으로 범주화하고 있다. 따라서 본 연구는 학술적·실무적으로 확립해 놓은 이 3가지 순환 비즈니스 모델을 객관적 지표로 삼고, 각 분류 체계의 틀에 부합하여 상용화한 4개의 혁신 브랜드를 각각 매칭하여 최종 분석 대상으로 선정하였다(Ellen MacArthur Foundation, 2021). 수선 및 재판매 생태계를 완벽히 구축한 누디진(Nudie Jeans)을 비롯하여, 재제작 모델을 각기 다른 시장 타겟으로 상용화한 세 브랜드, 즉 빈티지 아카이브를 현대적으로 재해석한 리던(RE/DONE), 하이엔드 럭셔리 감성으로 가치를 높인 미우미우(Miu Miu), 자투리 원단까지 철저히 활용하여 제로 웨이스트를 실천하는 E.L.V. (East London Vintage) Denim이 이에 해당한다.



구체적인 공정 특성을 살펴보면, Nudie Jeans는 제품의 수명을 연장하는 무료 수선 서비스와 중고

제품을 재판매하는 리유즈(Reuse) 프로그램을 통해 자원 순환 시스템 자체를 브랜드의 핵심 가치로 정착시켰다. RE/DONE은 빈티지 리바이스 데님을 수거하여 해체한 후, 동시대적 감각에 부합하는 실루엣으로 재구축하는 수작업 중심의 전략을 취한다. Miu Miu는 2000년 이전에 제작된 빈티지 리바이스 데님을 수집하여 원형을 보존하되, 그 위에 크리스털이나 자수와 같은 럭셔리 장식(Embellishment)을 추가함으로써 수공예적 희소성을 극대화하는 방식을 택했다(Vogue Korea, 2021). 한편 E.L.V. Denim은 100% 빈티지 데님만을 사용하여 서로 다른 색깔과 워싱을 지닌 두벌의 패칭바지를 결합함으로써 시각적 대비를 주는 독창적인 투톤(Two-tone) 디자인을 선보였으며, 이 과정에서 발생하는 자투리 원단까지 라벨



로 활용하는 철저한 제로 웨이스트 공정을 보여준다(Cho, 2021).

이러한 사례들은 업사이클링 디자인이 창출할 수 있는 높은 부가가치를 보여주는 동시에, 원단의 선별과 매칭, 재단 및 봉제 과정에서 고도의 숙련도와 물리적 시간이 소요된다는 공통적인 한계를 드러낸다. 분석된 브랜드들 모두 실물 기반의 반복적인 수작업과 소재의 불규칙성으로 인한 예측 불가능성이라는 근본적인 제작 한계를 안고 있음을 확인하였다. 따라서 기존의 물리적 방식이 갖는 시간적·물질적 비효율성을 극복하고 상업적 시장성과 예술적 조형성을 동시에 확보하기 위해서는, AI와 3D 시뮬레이션 기술을 활용하여 예측 가능하고 체계적인 디자인 프로세스를 정립하는 것이 필수적으로 요구된다(Table 1).

<Table 1> Analysis of Key Cases

Brand	Representative Image	Key Characteristics	Upcycling Technique
RE/DONE		<ul style="list-style-type: none"> -A pioneering brand that has made vintage denim commercially successful. -Focuses on maintaining the sentiment of the 'old' while providing a 'perfect fit.' -Imbues every product with a unique wash and story. 	<ul style="list-style-type: none"> -Collects and deconstructs vintage Levi's denim. -Washes and cuts the deconstructed pieces to re-sew them into jeans with new fits that align with modern trends. -Combines vintage fabrics with modern silhouettes.
Target	<ul style="list-style-type: none"> -Trend-sensitive consumers who prefer high-quality casual wear. -Consumers in their 20s to 40s who desire both vintage authenticity and a modern fit. 		
Nudie Jeans		<ul style="list-style-type: none"> -Exemplary implementation of upcycling from a 'circular economy' perspective. -Encourages sustainable product usage through 'free repairs.' -Prioritizes sustainability and transparency as the brand's core values. 	<ul style="list-style-type: none"> -Repair: Extending product lifespan by repairing worn-out jeans for free. -Reuse: Buying back unworn jeans and reselling them as second-hand products. -Recycle: Collecting unwearable jeans to recycle them into new fabrics or product materials.
Target	<ul style="list-style-type: none"> -Consumers interested in environmental issues who pursue ethical consumption. -'Value consumers' who align with the brand's philosophy and intend to use products for a long time. -Millennials (ages 24 - 40) and Generation Z (ages 18 - 23). 		

<Table 1> (Continued)

Brand	Representative Image	Key Characteristics	Upcycling Technique
Miu Miu		-Derives new value by fusing vintage items with the luxury brand's feminine and glamorous sensibility.	-Operates a continuous collection titled 'Upcycled by Miu Miu'. -Sources vintage Levi's 501s and trucker jackets produced before 2000.
Target	-Young, affluent consumers who represent Miu Miu's core target audience. -Consumers in their teens to 30s who desire both the vintage trend and the status of a luxury brand.	-Developed as a regular collection rather than a one-time event.	-Adds hand-crafted luxury embellishments (crystals, pearls, floral embroidery, etc.) onto the collected denim items.
E.L.V. Denim		-Luxury positioning (e.g., Net-a-Porter). -Grants one-of-a-kind uniqueness to every product. -Simultaneously pursues both 'sustainability' and 'trendiness.'	-Utilizes 100% vintage denim exclusively. -Deconstructs two distinct pairs of waste jeans and recombines them (front/back or left/right) to develop a signature two-tone design.
Target	-Environmentally conscious consumers who seek unique, individualistic fashion. -Individuals in their 20s to 40s who prefer high-end casual styles.		-Practices zero waste by re-purposing denim scraps from the cutting process into labels and other details.

2. 패션 디자인 프로세스에서의 업사이클링 방법론 고찰

1) 업사이클링 및 제로웨이스트 디자인 방법론

패션 디자인 프로세스에서 전통적인 업사이클링 및 제로웨이스트 방법론은 주로 폐기되는 원단의 형태나 수거된 자원의 특성에 디자인을 맞추는 상향식(Bottom-up) 접근법에 기반해 왔다. 선행 연구들에 따르면, 제로웨이스트 패턴 컷팅이나 자투리 원단을 활용한 패치워크 기법 등은 환경적 가치를 지니지만, 수집된 소재의 불규칙성으로 인해 디자인의 비재현성(Un-reproducibility)이 높다는 뚜렷한 한계를 지닌다(Gwilt & Rissanen, 2011). 또한, 디자이너가 파편화된 원단 조각들을 물리적으로 이리저리 맞추어 보며 직관에 의존해 형태를 완성해 나가는 과정은 필연적으로 반복적

인 실물 샘플링을 요구하며, 이는 공정의 비효율성과 또 다른 자원 낭비를 초래하는 원인으로 지적되어왔다(Park & Kim, 2014). 즉, 기존 방법론은 디자이너의 창의적 발상이 소재의 물리적 한계에 종속되어 상용화를 위한 대량 생산이나 체계화된 공정으로 확장하는 데 근본적인 제약이 존재한다.

2) 패션 디자인에서의 디지털 프로세스

전통적인 패션 디자인 프로세스에서 프로토타입 제작은 물리적인 원단 재단과 가봉을 필수적으로 동반하며, 이는 자원 낭비와 시간 소모를 야기해 왔다. 특히 폐기되는 의류나 자투리 원단을 활용하는 업사이클링 디자인의 경우, 소재의 형태와 물성이 불규칙하여 기존의 수작업 중심 방식에 의존할 경우 반복적인 실물 샘플링이 강제되며, 이로 인해 실물 재단 과정에서 발생하는 리스크와

시행착오가 더욱 크게 작용한다(Cho, 2024). 최근 패션산업 전반에 도입되고 있는 3D 가상 착의 및 시뮬레이션 기술은 이러한 물리적 제약을 극복하는 핵심적인 디지털 프로세스로 자리 잡고 있다. 디지털 환경에서는 패턴의 구조적 결함, 원단의 드레이프성, 핏(Fit)의 완성도를 실물 제작 이전에 사전 검증할 수 있다(Chen et al., 2021). 회소성을 지닌 '하나뿐인 소재'를 다루는 업사이클링에서 이러한 디지털 트윈(Digital Twin) 방식의 도입은 단순한 공정 단축을 넘어, 원단 폐기물을 최소화하고 자원 순환의 효율성을 극대화하는 지속 가능한 디자인 방법론임을 입증한다.

3) AI 기반 패션 디자인 프로세스

디지털 기술의 발달은 물리적 제작 방식뿐만 아니라 디자인 아이디어이션(Ideation) 단계의 패러다임 또한 변화시키고 있다. 기존의 업사이클링 디자인인은 수집된 폐소재의 형태, 크기, 재질에 전적으로 의존하여 결과물이 결정되는 '상향식(Bottom-up)' 접근법을 주로 따랐다. 이는 소재에 의한 디자인 종속성을 유발하여 디자이너의 창의적 발상을 제한하는 한계를 지녔다. 그러나 생성형 AI의 도입은 이러한 한계를 탈피하여 기획이 소재를 선행하는 '하향식(Top-down)' 패션 디자인 프로세스로의 전환을 가능하게 한다(Kang & Park, 2025). 디자이너는 AI 텍스트 프롬프트를 통해 물리적 소재의 제약 없이 액티브 시니어와 같은 특정 타겟의 체형적 특성이나 미적 취향을 반영한 추상적

이고 창의적인 디자인을 무제한으로 시각화할 수 있다. 즉, AI 기반 프로세스는 디자이너에게 소재 종속성에서 벗어난 무한한 아이디어이션 환경을 제공하며, 이렇게 도출된 혁신적인 아이디어는 앞서 언급한 3D 디지털 프로세스와 결합하여 정교한 실물로 구체화될 수 있는 기반을 마련한다.

나아가 두 기술의 통합 시너지는 기존 업사이클링 디자인의 한계였던 비재현성을 극복하고 디자인 상용화 가능성을 확보하는 데 기여한다(Lee, 2025). 기존 수작업 방법론의 한계를 극복하기 위해 본 연구가 도입하고자 하는 두 가지 핵심 기술, 즉 '패션 디자인에서의 디지털 프로세스(3D)'와 'AI 기반 패션 디자인 프로세스'의 구체적인 특성 및 역할을 정리하면 다음 <Fig. 1>과 같다.

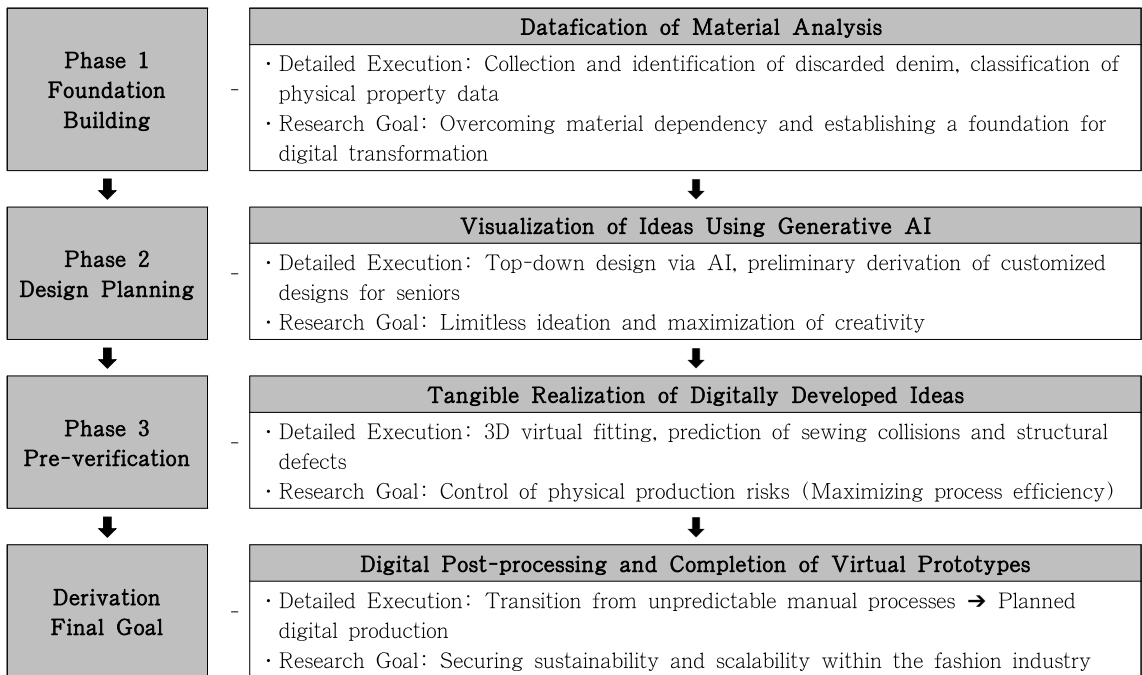
4) AI 기반 업사이클링 디지털 패션 디자인 프로세스

이와 같은 체계적 분석을 바탕으로, 본 연구는 기획이 소재를 선행하는 하향식(Top-down) 설계를 구체적인 방법론으로 채택하였다. 이는 디지털 기술이 단순한 도구적 보조를 넘어, 업사이클링의 고질적 문제인 비재현성을 극복하고 지속가능한 산업 모델로 확장될 수 있음을 시사한다(Kim, 2023). 따라서 본 연구는 이를 실증하기 위해 소재의 데이터화(Phase 1) → 생성형 AI를 활용한 아이디어 시각화(Phase 2) → 3D 가상 검증(Phase 3) → 디지털 후가공 및 프로토타입 완성(Final Goal)으로 이어지는 새로운 'AI 기반 업사이클링 디지털

Digital Process in Fashion Design	
Adoption	3D virtual fitting and simulation
Function	Pre-verification of pattern defects, drape, and fit
Transition	'Digital Twin'-based predictive system
Significance	Minimization of fabric waste and sustainable resource circulation

AI-Based Fashion Design Process	
Adoption	Generative AI text prompts
Function	Target-customized visualization without material constraints
Transition	Planning-driven 'Top-down' design
Significance	Breaking material dependency and establishing a foundation for 3D physical realization

<Fig. 1> Digital Process & AI-Based Processes in Fashion Design



〈Fig. 2〉 Proposal of New AI-Based Upcycling Digital Fashion Design Process

패션 디자인 프로세스'를 체계화하여 제안한다 〈Fig. 2〉. 3D 시뮬레이션을 통해 해체 및 재조합의 공학적 난제를 사전에 검증하는 이러한 접근은 전통적인 업사이클링의 제작과정에서 우연적이고 직관적인 프로세스의 한계를 넘어, 객관적이고 체계화된 생산 프로세스로 전환함에 따라 지속가능성과 산업 확장 가능성을 동시에 확보할 수 있다. 이러한 측면에서 향후 패션산업의 디지털 전환을 위한 실증적 대안으로서 그 학술적 그리고 실무적 의미를 갖는다.

IV. 디자인 개발 및 제작

본 연구의 업사이클링 데님 디자인 전개는 시니어 층의 소비 트렌드 변화를 규명한 선행연구 (Shin, 2024)와, 패션산업의 실효성 있는 순환 비즈니스 모델을 제시한 엘렌 맥아더 재단(Ellen MacArthur Foundation, 2021)의 지표를 통합적인

이론적 근거로 삼았다. 이를 바탕으로 기존 수작업 업사이클링의 한계를 극복하고자 하는 디지털 프로세스 연구(Kim, 2023)를 수용하여, 본 연구자가 직접 설계한 'AI 기반 디지털 업사이클링 연구 모형〈Fig.1〉'의 단계별 프로세스에 따라 체계적으로 진행되었다. 우선, 선행연구 및 사례 분석에서 도출된 시사점을 바탕으로 디자인의 핵심 키워드와 모티프를 설정하였다. 또한, 본 연구는 막연한 가상 페르소나 설정을 넘어, 지속가능 패션의 잠재적 타겟층을 대표하는 영향력 있는 시니어 연예인의 실제 스타일을 분석하여 디자인 방향성을 정립하였다. 시니어를 대상으로 한 이유는 첫째, 앞서 사례를 살펴본 결과 데님 업사이클링 제품은 대부분 젊은 층을 대상으로 하여 시니어를 위한 데님 제품은 거의 찾아볼 수 없기 때문이다.

최근 시니어층이 '액티브 에이징' 트렌드에 따라 과거 세대와는 질적으로 다른 라이프 스타일을 영위하고 있다. 이들은 건강 관리를 위한 적극적

인 운동과 스포츠 활동에 참여할 뿐만 아니라, 평생 교육원이나 문화센터를 통해 새로운 지식을 습득하고 사회적 교류를 지속하는 등 매우 활발한 모습을 보이고 있다. 이러한 다차원적인 활동 영역의 확대는 자연스럽게 패션에 대한 관심으로 이어져, 획일화된 시니어 웨어를 벗어나 자신의 개성과 라이프 스타일을 표현할 수 있는 다양하고 세련된 스타일을 적극적으로 추구하고 있다.







본 연구는 액티브 시니어의 다각적인 라이프 스타일과 패션 니즈를 도출하기 위해, 주요 일간지 및 패션 전문 미디어(Vogue Korea, 매일경제, 조선일보 등)에서 나이의 경계를 허문 패션 아이콘으로 반복적으로 조명된 70~80대 여성 연예인 3인(윤여정, 혜은이, 김영옥)을 데님 착용 사례 분석 대상으로 선정하였다. 이들은 단순히 대중적 인지도를 넘어, 각기 다른 패션 철학과 라이프 스타일을 바탕으로 데님을 소화하며 시니어 패션의 다양성을 입증하는 표본이라는 점에서 선정의 타당성을 갖는다.

구체적으로 살펴보면, 연기자 윤여정(78세)은 공방 패션이나 공식 석상에서 와이드 데님 팬츠에 심플한 셔츠나 재킷을 매치하고 스니커즈를 신는 등, 나이에 얽매이지 않는 에포트리스 시크(Effortless Chic) 스타일을 선보인다(Ryu, 2021). 본 연구는 이를 '지적인 뉴 시니어'의 이미지로 정의한다. 가

수 혜은이(71세)는 예능 프로그램 <같이 삽시다.>를 통해 청청패션을 선보이거나 데님 셔츠에 베레모를 매치하는 등, 나이를 가늠할 수 없는 젊고 감각적인 스타일을 자주 연출한다(Lee, 2022). 이는 '소녀 감성의 영 시니어' 이미지로 분석된다. 연기자 김영옥(87세)은 방송에서 편안한 블라우스에 조끼나 재킷을 레이어드하는 등 실용적이면서도 젊은 감각의 스타일을 즐겨 입는다. 언론들은 그녀를 나이에 구애받지 않고 자신을 가꾸는 영시니어(Young Senior)의 대표적인 아이콘이자, 전세대를 아우르는 힙(Hip)한 할머니로 평가하고 있다(Shin, 2022).

본 연구는 이를 활동성과 편안함을 동시에 추구하는 '편안한 감성의 실용적 시니어'로 규정한다. 이러한 실증적 사례 분석을 통해, 본 연구가 추구하는 업사이클링 데님 디자인은 단순히 환경적 가치에만 머무는 것이 아니라, '뉴 시니어'의 세련된 감각, '영시니어'의 활동성, 그리고 '실용적 시니어'의 편안함이라는 세 가지 핵심 가치를 모두 아우를 수 있어야 함을 확인하였다. 이를 바탕으로 본 연구가 추구하는 디자인의 전반적인 스타일과 지향점을 가상의 페르소나(Personna)를 만들어 구체화하였다<Table 2>.

<Table 2> Analysis of Senior Celebrity Cases for the Development of Upcycling Fashion Design

Type	Intellectual New Senior : Youn Yuh-jung (78)		Young Senior with Girlish Sensibility : Hye Eun-yi (71)		Practical Senior with Comfortable Sensibility : Kim Young-ok (87)	
Image						
	news1 2023.10.06	Woman Chosun 2021.05.30	THE FACT 2021.04.01	TOPDAILY 2020.06.30	Sports Chosun 2025.10.15	MBC Radio Star 2025.03.05

2. 디지털 기술 기반의 업사이클링 디자인 프로세스

본 연구의 디자인 개발은 기존 수작업 중심 업사이클링 방법론의 한계를 극복하고 예측 가능한 양산 체계를 구축하기 위해, 디지털 패션 및 3D 가상 착의와 관련된 선행연구들(Gwilt & Rissanen, 2011; Park & Kim, 2014; Kim, 2023)의 방법론을 종합하여 재설계된 소재의 데이터화 → 생성형 AI를 활용한 아이디어 시각화 → 3D 가상 검증 → 디지털 후가공 및 프로토타입 완성으로 이어지는 체계적이고 통합적인 4단계 프로세스를 도출 및 적용하였다.

1단계: 소재 분석 및 데이터화

연구의 주재료가 되는 폐데님 의류를 수집하여 소재의 물리적, 시각적 특성을 면밀히 분석하였다. 수집된 소재는 가공 상태와 직조 방식에 따라 크게 네 가지 유형으로 분류되었다. 생지 데님은 가

공을 최소화하여 조직이 치밀하고 표면이 거칠며, 높은 중량감으로 인해 구조적인 실루엣을 유지하는 데 유리한 특성을 보였다. 반면, 워싱 데님은 화학적, 물리적 가공을 거쳐 밀도가 낮아지고 촉감이 부드러워져, 착용 시 자연스러운 드레이프성을 형성하는 특징이 관찰되었다. 또한, 스판덱스가 함유된 스트레치 데님은 신축성이 뛰어나 활동성은 보장되나 봉제 시 늘어짐이 발생할 우려가 있었으며, 셀비지 데님은 원단 끝단의 마감 처리가 견고하고 특유의 스티치 라인이 살아있어 이를 디자인 포인트로 활용할 수 있는 잠재력을 확인하였다.

본 연구에서는 이처럼 데님의 타입별 특성과 더불어 색상 톤, 기존 디테일, 그리고 각 데님의 본래 용도를 심층적으로 관찰하였다. 이를 통해 불규칙한 원단의 물성들이 해체 및 재조합 과정을 거쳐 새로운 시각적 대비를 창출하고, 시니어 타겟의 체형을 보완하는 구조적 패턴으로 재활용될 수 있는 디자인적 잠재력을 파악하였다. 나아가

<Table 3> Analysis of Waste Denim Materials and 3D Physical Property Data Conversion

Material Type	Physical Properties & Observations	3D Property Digitization Strategy	Design Application Intention
Raw Denim	<ul style="list-style-type: none"> • Heavyweight (over 12oz) • Stiff texture and rigid structure. • Minimal deformation and excellent shape retention. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bending Strength: ≥ 60 • Weight: ≥ 425 gsm • Thickness: Approx. 1.2 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Forming the structural framework for outerwear (jackets, coats) • Realizing angular silhouettes
Washed Denim	<ul style="list-style-type: none"> • Mid-weight(10 - 11 oz) • Soft and flexible surface • Natural fading and abrasion marks 	<ul style="list-style-type: none"> • Bending Strength: 40 - 50 • Texture: Mapping scanned images of actual washed denim • Weight Approx. 350 gsm 	<ul style="list-style-type: none"> • Garments requiring mobility (pants, skirts) • Expression of natural drapes
Stretch Denim	<ul style="list-style-type: none"> • Lightweight (9 - 10 oz) • Good elasticity and recovery • Tendency to sag without rigidity 	<ul style="list-style-type: none"> • Tensile Strength: Lower the weft value to simulate elasticity • Weight: Approx. 300 gsm 	<ul style="list-style-type: none"> • Innerwear, banding details • Areas requiring a comfortable fit
Selvedge Denim	<ul style="list-style-type: none"> • High density and rough surface • Finished fabric edge details (e.g., red stitch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Density: High setting • Detail: Separately extract edge texture to use as a design element 	<ul style="list-style-type: none"> • Decorative accents on pockets and sleeve cuffs • Emphasis on high-end finishing

Note. The physical property values were applied using the 'Denim_Raw (12oz)' and 'Denim_Lt_Raw (10oz)' presets from the 3DCLO Fabric Library.

관찰된 물리적 특성을 단순히 나열하는 데 그치지 않고, 후속 3D 시뮬레이션 단계에서 가상 원단의 물성 값으로 정밀하게 변환하여 적용하기 위해 유형별로 분류 및 데이터화하였다<Table 3>.

2단계: 생성형 AI를 활용한 아이디어 시각화

1단계에서 분석한 재료의 기능적, 조형적 특성을 기반으로 아이디어를 구체화하고, 이를 프롬프트로 전환하여 생성형 AI인 미드저니(Midjourney)를 통해 시각화하는 작업을 수행하였다. 이 과정에서 가상 페르소나의 라이프스타일과 패션 스타일을 프롬프트로 적용하였으며, 10회 이상의 반복 생성을 통해 연구에 적용할 최종 페르소나 이미지를 도출하였다. 미드저니를 통한 스타일 생성 과정은 단순한 형태 구상을 넘어, 제한된 크기의 데님 조각을 어떻게 배치하고 조합할지를 사전에 시뮬레이션하고 계획하는 구체적인 기획 단계로서 기능하였다.

3단계: 3D 가상 검증

3D CLO 소프트웨어를 활용하여 다양한 디자인 기법을 심층적으로 적용하였다. 먼저, 데님의 기본 구조를 해체하여 새로운 실루엣을 창조하는 '해체와 재구성' 기법을 핵심 방법론으로 사용하였다. 여기에 다양한 색상과 질감의 데님 조각을 엮어 조형미를 탐구하는 패치워크 및 워빙 기법을 더하여 재료의 표현 가능성을 확장하였다. 또한, 기존 의류가 가진 포켓, 벨트 루프, 버튼 등의 고유 디테일을 보존하고 이를 새로운 디자인 요소로 적극 전환하여 활용하였다. 이 단계에서는 디자인의 조형적 완성도를 높이는 것에서 나아가, 3D CLO의 기술적 분석 도구를 활용하여 실물 제작 시 발생할 수 있는 공정상의 리스크를 사전에 정밀하게 검증하는 작업이 병행되었다. 구체적으로 '두께 보기(Show Thickness)' 기능을 통해 다중 레이어 겹침 부위의 봉제 가능성을 타진하고, '스트레스 맵(Stress Map)'과 '변형률(Strain Map)' 분석을 통해 원단의 무리한 당김이나 중력에 의한 처짐

현상을 정량적으로 진단하였다. 또한, 정지된 상태뿐만 아니라 아바타에 보행 등의 '모션(Motion)'을 적용하여, 시니어의 활동 반경 내에서 의복이 신체에 미치는 압박과 관통(Penetration) 현상을 다각도로 시뮬레이션함으로써 수정 요소를 데이터 기반으로 최소화하였다.

4단계: 디지털 후가공 및 프로토타입 완성

3D 시뮬레이션을 통해 구조적 안전성과 심미성이 검증된 디자인 데이터를 바탕으로, 실물 제작 직전 단계의 고해상도 가상 프로토타입을 최종 완성하였다. 이 단계에서는 실제 데님 공정에서 이루어지는 워싱, 탈색, 데미지 가공, 프린팅 등의 후가공 효과를 디지털 텍스처 매핑 기술을 통해 정교하게 구현하였다. 이를 통해 물리적 자원의 소모 없이도 실제 의상이 갖는 질감과 미학적 깊이를 사실적으로 재현하였다. 결과적으로 이 프로세스는 물리적 샘플 제작 없이도 디자인의 상품성을 최종적으로 확인할 수 있는 '제조 준비 상태'를 구축함으로써, 샘플링 과정에서 발생하는 자원 낭비를 원천적으로 차단하는 지속 가능한 공정의 완성을 의미한다.

3. 최종 작품 제작

1) 디자인 선정 및 최종 렌더링

생성형 AI인 미드저니를 활용하여 앞서 연예인 사례 분석을 통해 도출된 세 가지 시니어 유형에 맞는 다양한 디자인 스타일을 전개했다. AI를 통한 디자인 작업은 아이디어를 직접 구상하고 표현하는 전통적 방식과 비교했을 때, 초기 아이디어를 시각화하는 시간을 획기적으로 단축할 수 있었다. 새로운 디테일을 추가하거나 색상의 변화를 확인하는 작업 역시 손쉽게 시도할 수 있었다. 이를 통해 단기간에 다채로운 디자인 결과물을 확보했으며, 디자인 초기 단계에서 생성형 AI가 아이디어를 다각화하는 데 매우 효과적인 도구임을 확인할 수 있었다. 그러나 명확한 한계점 또한 발견

되었다. 생성형 AI는 미학적으로는 뛰어난 이미지를 생성했지만, 의복의 구조적인 측면이나 패턴의 구현 가능성을 고려하지 못했다. 특히 명령어를 정교하게 구성하여 '해체', '재구성' 등 구체적인 디자인 기법을 지시하더라도, AI는 이를 개념적으로 이해하지 못하고 표면적인 텍스처로만 표현하는 경향을 보였다. 이러한 이유로 AI가 생성한 이미지와 실제 상용화가 가능한 디자인 사이의 간극을 좁히는 데에는 디자이너의 전문적인 개입과 추가적인 노력이 필수적이라는 점을 확인할 수 있었다.

AI가 생성한 디자인의 상용화 가치를 검증하기 위해 패션 전문가 5인의 심층 자문을 진행하였다. 이 과정에서 연구의 객관성을 담보하기 위해 고안된 리커트 척도 기반의 체크리스트를 활용하였으며, 이를 통해 전문가의 주관적 견해를 체계적으로 계량화하여 최적의 디자인 시안을 도출하였다. 자문단은 디자인의 기술적 타당성을 검토할 학계 전문가 2인과, 시장 경쟁력을 검증할 산업계 전문가 3인으로 구성되었으며 구체적인 위촉 기준은 다음과 같다.

첫째, 학계 전문가는 의류학 박사(수료 포함) 이상의 학력을 갖춘 현직 겸임교수로서, 최소 5년 이상의 대학 연구·교육 경력과 10년 이상의 패션 디자인 실무 경력을 보유한 자로 한정하였다.

둘째, 산업계 전문가는 글로벌 하이엔드 럭셔리 브랜드(Chloé, Gucci, Kenzo 등)에서 최소 15년 이상 근무하며 소비 트렌드를 파악해 온 점장(Store Manager)급 현장 전문가로 위촉하였다.

이러한 객관적 경력을 바탕으로 자문단은 디자인의 심미성 및 독창성뿐만 아니라, 데님 소재의 실물 구현성과 상업적 양산 가치를 종합적으로 평가하였다. 평가는 AI가 생성한 9벌의 디자인 시안을 대상으로 진행되었으며, 평가 도구는 선행연구를 재구성하여 본 연구의 목적에 맞게 개발된 체크리스트를 활용하였다. 평가 항목은 크게 심미성, 구현 가능성, 시장성, 콘셉트 적합성의 4개 영역, 총 8개 세부 문항으로 구성되었다. 각 문항은 5점 리커트 척도(1점: 매우 그렇지 않다~5점: 매우 그렇다)로 측정되었으며, 추가적으로 봉제 및 소재 활

<Table 4> Evaluation Criteria for AI-Generated Upcycled Denim Design Proposals

Evaluation Area	Questions
Aesthetics	1-1. Are the unique visual textures of discarded denim (e.g., washing, color contrast) harmoniously expressed with the silhouette of the design?
	1-2. Do the patchwork and details created through deconstruction and recombination possess visual originality and artistic value?
Feasibility	2-1. Are the proposed seam lines and patterns structurally feasible for physical implementation in both 3D simulation and actual sewing processes?
	2-2. Does the design minimize potential material conflicts and thickness issues that may arise when mixing irregular denim fabrics?
Marketability	3-1. Compared to existing manual-centric upcycled products, does the design possess sufficient commercial value (marketability) through standardization and mass production?
	3-2. Does it reflect mass appeal and current trends sufficient to stimulate the actual purchase intention of the target consumer group (seniors in their 70s and 80s)?
Concept	4-1. Does the design effectively reflect the lifestyles and physical characteristics of the three senior personas (intellectual, girlish sensibility, practical) established in this study?
	4-2. Does it perfectly align with the inherent purpose of sustainability and upcycling, which is to create new value by utilizing waste resources?
Qualitative	(Open-ended) Free comments on pattern development, difficulty of the sewing process, anticipated problems during 3D virtual simulation, and potential improvement measures.

용에 대한 정성적 피드백을 수집하였다(Table 4).




평가 결과, 전문가들은 AI 디자인의 심미적 독창성을 높이 평가하였으나 실물 제작 시 발생하는 기술적 한계를 지적하였다. 주요 문제점으로는 착탈의를 위한 개폐 구조의 부재, 평면 패턴화가 불가능한 비논리적 설계, 그리고 데님의 두께와 시접 처리를 고려하지 않은 비인체공학적 구조는 배제되었으며, '지적인 뉴 시니어', '소녀 감성의 영 시니어', '편안한 감성의 실용적 시니어'로 정의한 각 유형의 라이프 스타일과 이미지를 가장 효과적으로 반영하면서도 트렌드에 부합한다고 평가받은 디자인이 선별되었으며(Table 5), 선정된 3점의 스타일은 실물 제작을 전제로 한 정밀 패턴 설계 및 가상 프로토타입 구현 단계로 진입하였다. 해당 디자인들을 기반으로 실제 봉제가 가능한 사양의 패턴을 제작했으며, 완성도를 높이고 실물 제작의 시행착오를 줄이기 위해 3D 가상 시뮬레이션 작업을 진행했다.

2) 3D 가상화 시뮬레이션

실물 제작에 앞서 디자인의 완성도를 객관적으로 검증하고 생산 과정의 효율성을 제고하기 위해, 3D 의류 디자인 소프트웨어 CLO를 활용한 가상 시뮬레이션 단계를 수행하였다. 이 과정은 생성형 AI를 통해 도출된 평면적 아이디어를 입체적인 가상 의류로 구현함으로써, 디자인의 상용화 가능성을 다각적으로 분석하고 실물 제작 시 발생할 수 있는 시행착오를 최소화하는 데 핵심적인 목적을 두었다.

우선, 공개 선호도 조사를 통해 최종 선정된 3점의 여성복 디자인을 기반으로 패턴을 설계하였다. 이후 완성된 패턴 데이터를 3D CLO 소프트웨어로 옮겨 가상 아바타에 적용하는 작업을 진행했다. 특히 본 연구는 가상 봉제 시 이질적인 페데님 소재들이 결합할 때 발생하는 실루엣의 왜곡과 처짐 현상을 정확히 예측하기 위해, 소재별 중량(gsm)과 굵힘 강도 등의 물리적 특성을 데이터화하여 CLO에 차등 적용하였다.

<Table 5> Development of Design Concepts Using Generative AI (Midjourney)

Type	Intellectual New Senior	Young Senior with Girlish Sensibility	Practical Senior with Comfortable Sensibility
Design Application			
Prompt	Full body photograph of a sophisticated and practical 80-year-old senior woman. She wears a chic, modern business casual suit, with the jacket as the centerpiece. This jacket features beautifully integrated upcycled denim details on the lapels, pockets, and cuffs. The overall style is elegant and contemporary. Shot in a minimalist space with soft, natural lighting, photorealistic, hyper-detailed, --ar 3:4	Full body fashion photo, 70-year-old woman in a minimalist studio. She wears an avant-garde white t-shirt reconstructed with deconstructed denim parts like pockets, zippers, and waistbands. Paired with slim-fit blue jeans and stiletto high heels.	Full body shot, a vibrant and sociable 70s Korean senior woman. She wears a bold patchwork upcycled denim vest over a simple white t-shirt and white jeans. Her look is completed with stylish sunglasses. Set in a bright, cheerful studio with lively lighting, photorealistic, --ar 3:4

이를 통해 패턴의 구조적 결함과 봉제상의 문제점을 사전에 파악하여 물리적 샘플링에 따른 자원 낭비를 방지하고자 하였으며, 본 연구의 4단계 디지털 업사이클링 프로세스에 따른 구체적인 3D 가상화 검증 및 디지털 프로토타입 도출 과정은 다음의 세 가지 디자인 사례와 같다.

(1) 디자인 1(지적인 뉴 시니어)의 구현 및 의도

디자인 1은 사교적이고 활동적인 ‘지적인 뉴 시니어’의 품위를 표현하기 위해, 포멀한 재킷에 데님 티데일을 접목한 ‘세미 포멀(Semi-formal)’룩을 목표로 4단계 디지털 업사이클링 프로세스에 따라 전개되었다.

① 소재 데이터화: 이질적 물성의 디지털 수치화

베이스가 되는 재킷과 패치워크용 페데님의 물리적 특성을 정밀하게 데이터화 하였다. 형태 유지가 중요한 재킷 몸판은 중량 329gsm, 굽힘 강도 52/56으로 설정하고, 배색용 데님은 중량 180gsm, 굽힘 강도 67/75로 설정하여 기존 재킷의 실루엣

을 해치지 않으면서도 데님 특유의 견고한 주름이 생성되도록 물성 데이터를 이원화하였다.

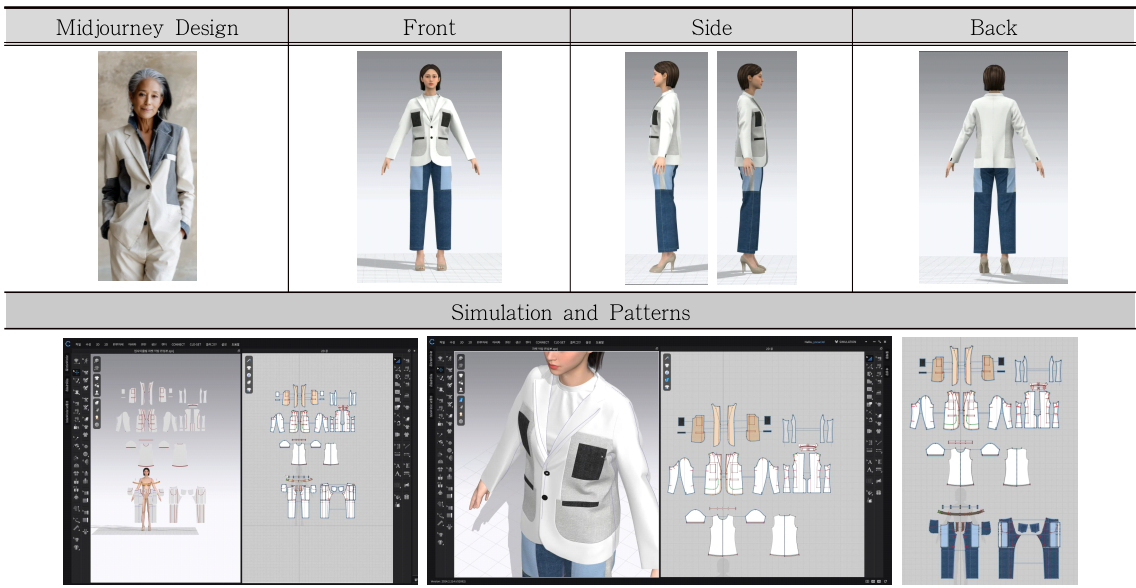
② AI 아이디어 시각화: 하향식 디자인 도출 및 수정

생성형 AI(Midjourney)를 활용하여 가슴과 허리 포켓에 데님을 배색한 시안을 도출하였다. 초기 AI 시안은 데님 사이드 패널이 허리선까지만 위치했으나, 80대 시니어의 체형상 허리가 강조될 수 있다는 전문가 자문을 즉각 수용하여 패널을 허리선 아래 10cm까지 연장하는 방향으로 1차 시각적 수정을 진행해 슬림 효과를 확보하였다.

③ 3D 가상 검증: 물성 충돌 제어 및 실루엣 교정

3D 가상 착의 결과, 두 소재의 강도 차이로 인해 봉제 라인이 우글거리는 왜곡 현상이 발견되었다. 이를 해결하기 위해 데님 접합부 패턴에 디지털 심지 물성을 추가 적용함으로써, 물리적 샘플의 낭비 없이 매끄럽고 안정적인 세미 박스형 실루엣으로 즉각 교정하는 디지털 공정의 효율성을 입증하였다.

<Table 6> Design 1. 3D Virtual Garment Rendering Image Using CLO



④ 디지털 프로토타입 도출 및 한계 고찰:

물리적인 훼손 대신 퍼키링(Puckering) 효과와 은은한 워싱 텍스처를 3D 그래픽으로 맵핑하여, 품위와 캐주얼함이 조화된 뉴 시니어 룩의 상용화 모델을 완성하였다. 다만, 여러 겹 중첩된 데님 패치워크의 미묘한 두께감 차이를 3D 환경에서 완벽히 시각화하는 데에는 현행 렌더링 기술의 제약이 일부 관찰되었으며, 이는 향후 디지털 업사이클링의 리얼리티 향상을 위한 기술적 과제로 남는다<Table 6>.

(2) 디자인 2(소녀 감성의 영 시니어)의 구현 및 의도

디자인 2는 ‘소녀적 감성의 영 시니어’를 타겟으로, 기본 화이트 티셔츠에 페데님 부속품(포켓, 허리밴드 등)을 비대칭적으로 배치한 해체주의적 디자인을 웨어러블하게 재해석하였다.

① 소재 데이터화: 이질적 무게감의 디지털 수치화 가벼운 베이스와 무거운 디테일 간의 결합을 검증하기 위해 물성 값을 차별화하였다. 티셔츠는 무게 140.4gsm, 좌굴점 0/0, 굽힘 강도 11/40으로

유연하게 설정하고, 데님 디테일은 무게 380gsm, 좌굴점 1/1, 굽힘 강도 69/69의 무겁고 뻣뻣한 물성을 부여하여, 이질적 소재 부착 시 발생하는 미세한 처짐 현상을 시스템에 반영하였다.

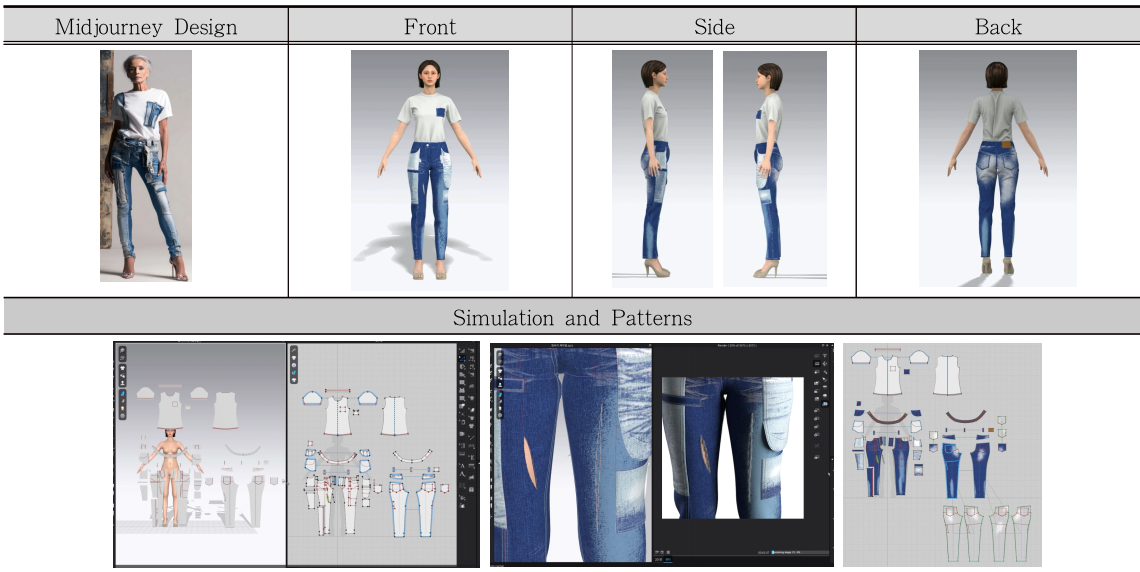
② AI 아이디어 시각화: 하향식 디자인 도출 및 수정

AI가 제안한 해체주의적 룩을 바탕으로, 세련된 도시 여성의 이미지를 구현하기 위해 데님 부속품의 위치를 조형적으로 재배치하고 슬림핏 데님 팬츠를 매치하는 하향식 기획을 완료하였다.

③ 3D 가상 검증: 구조적 장력 조절 및 리얼리티 극대화

시뮬레이션 과정에서 무거운 데님 원단으로 인해 가벼운 티셔츠의 데님 장식 주변에 과도한 주름이 발생하는 문제가 확인되었다. 이에 가상 봉제선의 장력을 미세하게 조절하여 핏을 보정하였다. 또한, 절단면의 울 풀림과 표면 마모 질감을 그래픽으로 처리하여 업사이클링 특유의 빈티지한 감성을 구현하였다.

<Table 7> Design 2. 3D Virtual Garment Rendering Image Using CLO



④ 디지털 프로토타입 도출 및 한계 고찰

검증을 통해 아방가르드한 디자인이 실제 착용 시 불편함을 주지 않으면서도 구조적 실루엣을 유지함을 확인하며 영 시니어 룩을 완성하였다. 단, 현재의 3D 엔진은 단일 패턴에 균일한 물성만을 부여하므로 빈티지 데님 특유의 '국소적 에이징(부위별 유연성 차이 및 물리적 워싱 변화)'을 100% 반영하기 어렵다는 점이 확인되었으며, 이는 디지털 트윈 구축을 위해 향후 보완되어야 할 한계점이다(Table 7).

(3) 디자인 3(편안한 감성의 실용적 시니어)의 구현 및 의도

디자인 3은 실용성을 중시하는 시니어의 니즈를 반영하여, AI의 화려한 색감을 유지하되 실제 봉제가 가능하도록 면 분할을 정리한 데님 패치워크 베스트를 기획하였다.

① 소재 데이터화: 패치워크 물성의 디지털 수치화

모든 패치워크 조각에 균일한 두께와 무게의 데님 원단을 적용하되, 착용 시 지나치게 뻣뻣해

지지 않도록 굽힘 강도를 워시 14, 경사 37로 최적화하여 자연스럽게 유연한 주름이 형성되도록 물성 데이터를 구축하였다.





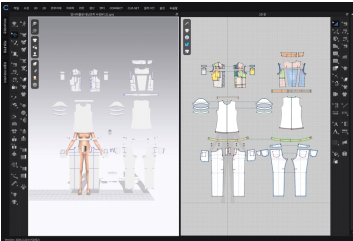
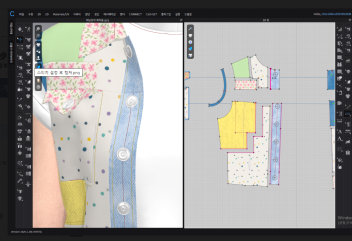
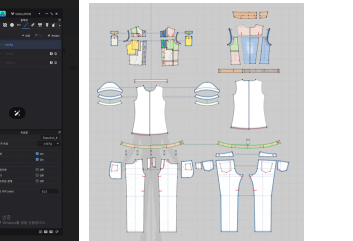
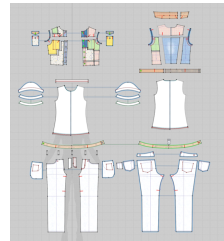
② AI 아이디어 시각화: 하향식 디자인 도출 및 수정

AI가 생성한 다채로운 톤의 패치워크 이미지를 바탕으로, 시각적 리듬감을 살리면서도 실제 의류 제작 시 공정의 복잡도를 낮출 수 있도록 패치워크의 절개선과 패턴 면적을 실용적으로 재구성하였다.

③ 3D 가상 검증: 입체감 부여 및 활동성 테스트

단순 가상 봉제 시 패치워크가 하나의 프린트 원단처럼 평면적으로 보이는 한계가 발생하였다. 이를 해결하기 위해 CLO의 '퍼커링' 및 '스티치' 기능을 적극 활용하여 조각이 만나는 봉제선의 입체적인 깊이감을 구현해 냈다. 또한, 아바타 포즈 테스트(걷기, 팔 들기)를 통해 암홀 라인의 충돌을 사전에 발견하고, 암홀 위치를 1.5cm 낮추고 앞 암홀 너비를 0.8cm 넓히는 패턴 수정을 거쳐 활동성을 완벽히 확보하였다.

<Table 8> Design 3. 3D Virtual Garment Rendering Image Using CLO

Midjourney Design	Front	Side	Back
			
Simulation and Patterns			
			

④ 디지털 프로토타입 도출 및 한계 고찰

화이트 이너 및 팬츠와 매치하여 실용적이고 활동적인 패치워크 베스트 룩을 최종 도출하였다. 다만, 매우 작은 조각들을 연결할 때 발생하는 빈티지 데님 특유의 불규칙하고 거친 봉제 단주름을 현행 퍼커링 텍스처 라이브러리만으로 완벽히 사실적으로 구현하는 데에는 표현의 제약이 존재함을 확인하였다<Table 8>.

3) 3D 가상화 시뮬레이션의 실효성 및 한계에 대한 고찰

본 연구에서 3D 가상화 시뮬레이션은 생성형 AI를 통해 도출된 추상적인 디자인 아이디어를 물리적 실체로 구체화하는 과정에서 핵심적인 검증 및 최적화 도구로 활용되었다. 연구 과정에서는 실제 수집된 폐데님의 물리적 특성을 분석하여 가상 원단에 적용함으로써 실루엣과 드레이프성을 상당 부분 예측할 수 있었다. 그러나 공장에서 균일하게 생산되는 신소재와 달리, 폐데님은 개체별 불규칙성이 강하여 기존 솔기나 주머니에 따른 국소적 물성 변화를 일괄 반영하기 어렵고, 패치워크와 같은 다중 레이어 구조에서 메시(Mesh) 충돌이 발생하거나, 위상의 시각적 불연속성이 나타나는 등의 명확한 기술적 한계가 존재했다. 하지만 본 연구는 이러한 한계를 극복하는 일련의 단계를 도표화된 디지털 업사이클링 프로세스의 핵심 특성으로 통합하였다. 즉, 가상 착의 및 봉제 단계에서는 연산 부하와 잉김을 방지하기 위해 완성선 위주의 봉제와 퍼커링(Puckering) 기능을 적용하고, 시뮬레이션 단계에서는 서브레이어(Sub-layer) 설정으로 다중 중첩 구간의 안정성을 확보하였으며, 디지털 후가공 단계에서는 시각적 리얼리티를 보완하는 일련의 맞춤형 최적화 단계를 확립하였다. 나아가 시뮬레이션 단계에서 드러난 이러한 데이터의 불확실성은 향후 실물 제작 단계에서 발생할 수 있는 치명적인 봉제 리스크를 미리 예측하고 관리하는 핵심 지표로 활용되었다. 구체

적으로, 시뮬레이션 상의 봉제 라인에서 발생한 원단 두께의 편차나 비정형적인 주름 등의 오차를 확인함으로써, 실제 생산 투입 시 요구되는 봉제 난이도를 사전에 인지하고 이에 대한 대응책(봉제 시접 조절, 심지 부착 등)을 데이터베이스화할 수 있었다. 무엇보다 희소성을 지닌 하나뿐인 소재를 다루는 업사이클링 디자인의 특성상, 물리적 재단 과정을 거치지 않고 가상 샘플링만을 통해 패턴의 구조적 결함을 사전에 발견하고 수정할 수 있었던 점은 본 연구의 가장 중요한 성과라 할 수 있다. 이는 물리적 시행착오를 원천적으로 차단하여 자원의 낭비를 막고 공정의 효율성을 극대화함으로써, 자원 순환이라는 업사이클링의 핵심 가치를 기술적으로 실현했음을 의미한다.

결론적으로 3D 가상화 시뮬레이션은 불규칙한 소재 특성으로 인한 일부 기술적 한계에도 불구하고, 폐자원을 다루는 디자인 프로세스의 불확실성을 제어하고 생산 효율성을 높이는 필수적인 보조 수단임을 확인할 수 있었다. 궁극적으로 이는 본 연구가 제안하는 디지털 기술 기반 업사이클링 프로세스가 실제 산업 현장에서 지속가능한 패션 개발 모델로 적용될 수 있는 실효성을 입증하는 중요한 근거라 할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 패션 산업의 고질적인 문제인 텍스타일 폐기물, 특히 대량으로 버려지는 데님 의류에 대한 지속가능한 해결책을 모색하고자 시작되었다. 이에 3D 디지털 의류 기술을 접목하여 폐데님에 새로운 디자인 가치를 부여하고, 반복적인 실물 샘플링 없이도 창의적 결과물을 상업적으로 실현할 수 있는 체계적인 업사이클링 패션 디자인 개발 프로세스를 제안하고 그 상용화 가능성을 검증하는 것을 목표로 하였다.

연구 목적을 달성하기 위해, 이론적 고찰과 국내외 성공 사례 분석을 통해 데님 업사이클링의

시장성과 예술적 표현 기법에 대한 방향성을 고찰하였다. 이를 토대로 시니어 세대의 라이프스타일을 반영한 세 가지 유형(지적인 뉴 시니어, 소녀적 감성의 영 시니어, 편안한 감성의 실용적 시니어)을 도출하고, 생성형 AI를 활용하여 단기간에 다채로운 디자인 아이디어를 효율적으로 시각화하였다. 특히, AI가 제안한 시안에 대해 패션 디자인 및 의류 산업 전문가 5인으로 구성된 자문단의 심층 평가를 거쳐 최종 디자인을 선정하였는데, 이는 디자이너의 주관적 판단을 넘어 시장 적합성과 제작 가능성을 객관적으로 검증했다는 점에서 중요한 의미를 갖는다.

본 연구에서 시니어를 위한 데님 패션을 위하여 선정된 디자인은 3D 가상화 시뮬레이션을 통해 실물 제작 직전 단계의 고해상도 디지털 프로토타입으로 구현되었다. 이 과정에서 폐데님의 실제 물리적 특성을 가상 원단에 정밀하게 적용하여 사실적인 질감을 구현했으며, 패턴의 완성도, 실루엣, 착용감 등 디자인의 미적·기능적 타당성을 사전에 검증할 수 있었다.

본 연구를 통하여 업사이클링 3D 공정의 기술적 한계와 그 역설적 효용성을 규명했다는 점은 중요한 부분이라고 할 수 있다. 빈티지 소재 특유의 국소적 물성 변화 반영 한계, 다중 레이어 구조에서의 메시 충돌 오류, 그리고 텍스처 매핑 시의 시각적 불연속성 등은 디지털 트윈 구현을 저해하는 장벽으로 역시 확인되었다. 하지만 이러한 데이터의 불확실성은 역설적으로 실물 제작 단계에서 발생할 수 있는 봉제 리스크를 미리 인지하고, 이에 대한 대응책(패턴 수정, 봉제법 변경 등)을 데이터베이스화하게 하는 리스크 관리 기제로 작용한다는 점도 알 수 있었다.

본 연구는 기존의 업사이클링 연구가 개별적 기법이나 소비자 인식 분석에 머물렀던 한계를 넘어, 생성형 AI, 전문가 검증, 그리고 리스크 관리 도구로서의 3D 기술을 융합한 통합적 디지털 개발 방법론을 제시했다는 점에서 학술적 의의를 가

진다. 또한 물리적 원단의 낭비 없이 공정을 획기적으로 단축하는 제로 웨이스트(Zero-waste) 프로세스를 구축함으로써, 시장의 요구를 반영하고 자원의 손실을 최소화하는 디자인 프로세스를 제시했다는 점에서 실무적 기여도가 높다. 본 연구는 생성형 AI 기반 아이디어 확장 단계, 전문가 집단의 객관적 시장성 검증 단계, 그리고 폐데님의 물성을 반영한 3D 가상 시뮬레이션을 통한 리스크 관리 단계를 통합함으로써, 지속가능 패션 브랜드를 위한 통합적 디자인 프로세스 모델을 제안하였다. 이는 실무 적용 가능성을 갖춘 전략적 가이드 라인을 제공한다는 점에서 의의를 지닌다.

다만 본 연구는 3D 가상화 기술을 통해 생산 준비 단계(Ready-to-Production)까지의 공정을 구축하였으나, 실제 물리적 의상을 제작하여 착용자가 느끼는 촉각적 편안함(Sensory Comfort)을 최종 검증하는 단계는 수행하지 않았다는 점에서 연구의 범위적 한계가 존재한다. 후속 연구에서는 본 연구에서 도출된 디지털 데이터를 기반으로 실물 의상을 제작하여, 가상 시뮬레이션 결과와 실제 제품 간의 오차를 정밀하게 비교, 분석할 필요가 있다. 나아가 본 프로세스를 남성복 및 액세서리 등 다양한 복종으로 확장함으로써, 데님 업사이클링의 산업적 활용 가능성과 가치를 더욱 공고히 할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Aus, R., Moora, H., Vihma, M., Unt, R., Kiisa, M., & Kapur, S. (2021). Designing for circular fashion: Integrating upcycling into conventional garment manufacturing processes. *Fashion and Textiles*, 8, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00262-9>
- Chen, T., Yang, E. K., & Lee, Y. (2021). Development of virtual upcycling fashion design based on 3-dimensional digital clothing technology. *The Research Journal of the Costume Culture*, 29(3), 374-387. <https://doi.org/10.29049/rjcc.2021.29.3.374>
- Cho, D. S. (2021, December 30). [World] E.L.V. Denim, an upcycling brand practicing zero waste. *Korea Textile News*. <https://www.ktnews.com/news/article>

- View.html?idxno=122100
- Cho, S. N. (2024). *Development of 3D digital fashion design using retro futurism characteristics: Focusing on upcycling expression methods* (Doctoral dissertation). Hanyang University, Seoul, Korea. <https://www.riss.kr/link?id=T17084569>
- Denim Focus. (2024, January 30). Rising trends in fibers used in denim fabric. <https://denimfocus.net/rising-trends-in-fibers-used-in-denim-fabric/>
- Downey, L. (2014). A short history of denim. Levi Strauss & Co. <https://www.levistrauss.com/wp-content/uploads/2014/01/A-Short-History-of-Denim2.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017, November 28). A new textiles economy: Redesigning fashion's future. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021, November 23). Circular business models: Redefining growth for a thriving fashion industry <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Ellobaid, E. (2023, September 18). What's in a pair of jeans?. Ellen MacArthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Global Fashion Agenda. (2017). Pulse of the fashion industry 2017. https://globalfashionagenda.org/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry_2017.pdf
- Gwilt, A. & Rissanen, T. (2011). *Shaping sustainable fashion: Changing the way we make and use clothes*. Earthscan.
- Haq, H. M., Azim, A., Islam, I., Rahman, A., & Bijoy, M. I. (2024). Investigation of the mechanical properties of recycled cotton denim fabric. *Heliyon*, 10(3), e25486. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25486>
- Kang, G. Y. & Park, S. H. (2025). Implementation of fashion design collections using generative AI: Focused on sustainable fashion design. *Journal of The Korean Society of Fashion Design*, 25(1), 117-133. <https://www.riss.kr/link?id=A109660529>
- Kim, I., Jung, H. J., & Lee, Y. (2021). Consumers' value and risk perceptions of circular fashion: Comparison between secondhand, upcycled, and recycled clothing. *Sustainability*, 13(3), 1208. <https://doi.org/10.3390/su13031208>
- Kim, M. K. (2023). Research on upcycling textile design development and digital 3D utilization for sustainable fashion industry. *Fashion Business*, 27(5), 57-73. <http://doi.org/10.12940/jfb.2023.27.5.57>
- Kim, Y. O. (2023, October 22). The representative of low-speed aging?! 87-year-old Kim Young-ok's baby face management secrets revealed! [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HRKuT02mZF1>
- Lee, H. E. (2022, June 28). youthful beauty perfectly pulling off ripped jeans. Newsen. https://www.newsen.com/news_view.php?uid=202206281607512110
- Lee, J. M. (2025). Artwear design research using generative AI-based image conceptualization and CLO 3D simulation: Focused on the expression of texture in transparent materials. *Journal of The Korean Society of Fashion Design*, 25(3), 1-15. <https://doi.org/10.18652/2025.25.3.1>
- Ostermann, C. M., da Silva Nascimento, L., & Zen, A. C. (2021). Business model innovation for circular economy in fashion industry: A startups' perspective. *Frontiers in Sustainability*, 2, 766614. <https://doi.org/10.3389/frsus.2021.766614>
- Park, J. H., & Kim, Y. H. (2014). A study on upcycling fashion design using waste resources. *Journal of the Korean Society of Costume*, 64(8), 123-137. <http://doi.org/10.7233/jksc.2014.64.8.138>
- Paul, R. (Ed.). (2015). *Denim: Manufacture, finishing and applications*. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16466-6>
- Ryu, S. H. (2021, May 8). Youn Yuh-jung, hip jeans fit that makes it hard to believe she is 74 years old. Fashionn. <https://m.fashionn.com/board/read.php?table=style&number=36666>
- Seo, Y. N., Shin, H., Lee, J. A., Youn, C., & Lee, Y. K. (2024). Design preferences based on the up-cycling stage of a fashion product: Focusing on Gen Z consumers and Re:Code products. *International Journal of Costume and Fashion*, 24(2), 64-76. <https://doi.org/10.7233/ijcf.2024.24.2.064>
- Shin, H. S. (2024, June 21). 'Seniors' emerging as big spenders in the consumer market... Highest growth rate in card usage. Newsis. https://www.newsis.com/view/NISX20240621_0002782030
- Shin, Y. (2022, December 8). Kim Young-ok, a one-shot lecture containing 65 years of acting skills... Even extraordinary fashion sense. Maeil Business Newspaper. <https://www.mk.co.kr/news/broadcasting-service/10560284>
- UN Environment Programme. (2018, November 12). Putting the brakes on fast fashion. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/putting-brakes-fast-fashion>
- Vogue Korea. (2021, May 17). Meeting of Miu Miu and Levi's. <https://www.vogue.co.kr/2021/05/17/miu-miu-x-levis/>
- Zeva Denim. (2024, December 3). Understanding the structural strength of denim. <https://www.zevadenim.com>