한국의류산업학회지
제28권 제5호, 2026
<연구논문>

pISSN 1229-2060
eISSN 2287-5743
Korean Fashion & Text. Res. J.
Vol. 28, No. 5, pp.481-491(2026)
https://doi.org/10.5805/SFTI.2026.28.5.481

생성형 AI를 활용한 오리가미 패션디자인 컬렉션 개발

허성아†
홍익대학교 디자인공예학과 의상학전공

Development of an Origami-Inspired Fashion Design Collection Using Generative AI

Seonga Hur†
Dept. of Fashion Design, Hongik University; Seoul, Korea

Abstract: This study was aimed at developing an origami-inspired fashion design collection using generative artificial intelligence (AI) and at examining the technology's applicability as a tool for visualizing structural forms of fashion. The research focused on the formative principles of origami, including folding and unfolding, geometric structures, and the transformation of two-dimensional planes into three-dimensional shapes. With these principles as bases, dimension was established as the overarching concept of the collection, with fold and unfold and "flat to space" as the formative constructs, and origami structure as guiding the direction of design. ChatGPT, a text-generative AI tool, and Midjourney, an image-generative AI technology, was integrated into the design process. ChatGPT was used to articulate design intentions and develop prompts, while Midjourney was employed to generate visual images on the grounds of the aforementioned prompts. The generated images were reviewed, after which the prompts were progressively refined by specifying fashion items, folding structures and positions, volumetric forms, colors, and image presentation conditions. Through this iterative process of generation, evaluation, and refinement, 18 final looks were selected to constitute the collection. The results demonstrated that origami-inspired geometric folds, layered planes, and repetitive structures could be visualized as sculptural silhouettes and three-dimensional volumes surrounding the body. The integration of ChatGPT and Midjourney also facilitated the translation of abstract design concepts into specific visual representations through repeated prompt refinement. This study puts forward a generative AI-based design process for developing and visualizing structural fashion forms prior to physical prototyping.

Key words: generative AI(생성형 AI), origami(오리가미), fashion design(패션디자인), structural fashion design(구조적 패션디자인), design process(디자인 프로세스)

1. 서 론

생성형 AI(generative artificial intelligence)의 급속한 발전은 텍스트, 이미지, 영상 등 다양한 형태의 콘텐츠를 생성하는 방식을 변화시키며 디자인 분야의 창작 과정에도 새로운 가능성을 제시하고 있다. 생성형 AI는 기존 데이터를 분석과 예측을 중심으로 활용되어 온 AI와 달리, 사용자의 입력을 바탕으로 새로운 콘텐츠를 생성한다는 점에서 기존 AI기술과 차별화된다. 특히 ChatGPT와 같은 텍스트 생성형 AI와 Midjourney와 같은 이미지 생성형 AI의 발전은 전문적인 프로그래밍 지식 없이도 자연어를 통해 아이디어를 구체화하고 이를 시각적 이미지로 표현할 수 있는 환경을 제공한다. Riemer and Peter (2024)는 생성형 AI가 단순히 정해진 답을 제공하는 정보처리 도구와 구별되는 다양한 스타일과 표현을 생성하는 창의적 시스템으로 기능할 수 있다고 보았으며, 이러한 특성은 디자인과 창작 영역에서 생성형 AI의 활용 가능성을 확장시키고 있다.

패션디자인 분야에서도 생성형 AI를 활용한 디자인 개발과 인간-AI 협업(Human-AI Co-creation)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Choi et al.(2023)은 기존 AI기반 의류 디자인 도구와 실제 패션디자이너의 작업 프로세스를 비교, 분석하여 패션분야 지식을 반영한 AI기반 디자인 시스템의 필요성을 제시하였다. 이들은 AI기반 디자인 기술이 반복적인 디자인 개발과정의 효율성을 높일 수 있지만, 실제 패션디자인 업무에 적용되기 위해서는 디자이너의 작업 방식과 전문 지식을 반영해야 한다고 보았다. 국내 선행연구에서도 패션디자인에서 인간과 AI의 공동창작 사례를 분석하여 인간-AI협업의 유형과 가능성을 제시하고 생성형 AI를 활용한 패션 이미지 생성 과정에서 인간의 창의적 판단과 AI의 이미지 생성 능력이 상호보완적으로 작용할 수 있음을 확인하였다(Chung & Lee, 2023;

†Corresponding author: Seonga Hur
Tel. 82-2-320-1225
E-mail: aworks0610@naver.com
©2026 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.

Chung & Lee, 2024). 텍스트-이미지 생성형 AI의 특성상 디자인 결과는 한 번의 명령으로 완성되지 않으며 사용자의 지속적인 선택과 조정을 통해 발전한다. Turchi et al.(2023)은 DALL-E, Midjourney, Stable diffusion과 같은 대규모 텍스트-이미지 생성 모델을 활용한 디자인 과정에서 AI가 다양한 시각적 가능성을 신속하게 제안함으로써 창작을 돕지만 생성된 결과에 대한 통제와 창의적 판단은 여전히 사용자의 적극적인 개입이 필요하다고 하였다. 특히 사용자가 프롬프트를 입력하고 생성된 이미지를 평가한 후 다시 조건을 수정하는 반복적인 상호작용은 인간과 AI가 공동으로 디자인 결과를 발전시키는 중요한 과정으로 볼 수 있다.

최근 생성형 AI를 실제 패션디자인 개발에 적용하여 그 활용 가능성을 검증하는 연구도 확대되고 있다. Zhang and Liu (2024)는 Midjourney를 패션디자인에 적용하여 아이디어를 텍스트로 구체화하고 시각적으로 발전시키는 과정을 제시하였다. Midjourney가 디자인 아이디어 발상과 시각적 표현, 디자인 세부 요소의 탐색에 효과적일 수 있음을 확인하였으나, 실제 패션디자인 과정에서는 디자이너의 상당한 개입이 필요하며 활용 범위가 초기 디자인 단계에 집중되는 한계가 있었다. Yang and Lee(2025)의 연구에서도 Midjourney는 패션디자인의 초기 단계에서 다양한 이미지와 실루엣을 빠르게 생성하여 아이디어 발상과 시각화에 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 생성형 AI를 활용한 패션디자인은 AI가 독립적으로 디자인을 완성하는 과정이 아니라 디자이너와 AI 간의 반복적인 상호작용을 통해 이루어진다. 이미지 생성형 AI는 입력된 프롬프트를 바탕으로 다양한 결과를 제시하지만, 생성된 이미지가 디자이너의 의도와 일치하지 않거나 세부적인 형태와 비례, 소재의 물성 및 구조적 특성이 정확하게 표현되지 않는 경우가 많다(Chung & Lee, 2024). 따라서 생성형 AI 기반 디자인에서 디자이너는 단순히 명령어를 입력하는 역할에 머무르지 않고, 디자인 목표를 설정하고 적절한 프롬프트를 구성하며 생성 결과를 평가하고 수정 방향을 결정하는 주체로 기능한다.

선행연구에서는 생성형 AI를 패션디자인의 아이디어 발상, 이미지, 시각화, 디자인 프로세스 또는 인간-AI 협업의 관점에서 접근해왔다. 그러나 생성형 AI가 지닌 물리적 제작 조건으로부터의 상대적 자유를 활용하여, 실물 제작에서 표현하기 어려운 구조적이고 조형적인 패션 형태를 구현하고 이를 하나의 컬렉션으로 발전시키는 과정에 관한 연구는 제한적이다. 특히 오리가미(origami)의 접힘 원리는 평면이 접히고 펼쳐지는 과정에서 삼차원적 구조로 전환된다는 점에서 패션디자인의 형태와 공간을 확장하는 조형적 특성이 있다. 이에 본 연구에서는 오리가미의 접힘과 펼침의 원리를 디자인 모티브로 설정하고, ChatGPT와 Midjourney를 연계하여 구조적 패션디자인 컬렉션을 개발하는 것을 목적으로 한다. 최종적인 이미지뿐만 아니라 디자인 컨셉의 구체화, 프롬프트 작성과 수정, 이미지 생성과 재생성으로 이어지는 반복적인 디자인 프로세스에 중점을 둔다. 이를 통해 생성형 AI가 오리가미의 구조적 형태와 과장된 실루엣을 구체화하고 시각화하는 과정에서 어떠한 방식으로 활용될 수 있는지 살펴보고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 생성형 AI와 패션디자인

생성형 AI는 학습된 데이터를 기반으로 사용자의 요구에 따라 텍스트, 이미지, 영상 등의 새로운 콘텐츠를 생성하는 인공지능 기술을 의미한다. 기존의 AI가 데이터의 분류와 예측을 중심으로 활용되어 왔다면, 생성형 AI는 대규모 데이터에서 학습한 패턴과 관계를 바탕으로 새로운 결과물을 생성한다는 점에서 차이가 있다. 최근에는 자연어 기반의 프롬프트를 통해 전문적인 프로그래밍 지식 없이도 생성형 AI를 활용할 수 있게 되면서 디자인 분야에서도 아이디어 발상, 컨셉 개발 및 이미지 시각화 등의 창작 과정에 활용되고 있다.

디자인 분야에서 주로 활용되는 생성형 AI는 텍스트 생성형 AI와 이미지 생성형 AI로 구분할 수 있다. 대표적인 텍스트 생성형 AI인 ChatGPT는 대규모 언어모델(Large Language Model, LLM)을 기반으로 사용자의 자연어 입력을 이해하고 이에 적합한 텍스트를 생성하며, 대화형 상호작용을 통해 아이디어를 반복적으로 수정하고 구체화할 수 있다. 이러한 특성은 디자인 초기 단계에서 추상적인 아이디어를 언어화하고 디자인 컨셉과 키워드를 체계화하는데 활용될 수 있다. 반면에 Midjourney, Stable diffusion과 같은 이미지 생성형 AI는 텍스트로 입력된 프롬프트를 해석하여 이에 대응하는 시각적 이미지를 생성한다. 특히 Midjourney는 형태, 색상, 패턴, 질감 등 다양한 조형 요소를 빠르게 시각화할 수 있어 패션디자인의 아이디어 발상과 이미지 개발에 활용되고 있다(Yang & Lee, 2025).

생성형 AI의 활용은 패션디자인의 창작 과정에도 새로운 가능성을 제공한다. 전통적인 패션디자인 프로세스에서는 디자이너가 자료조사와 컨셉 설정을 거쳐, 무드보드, 스케치, 소재 및 컬러 계획, 패턴 및 샘플 제작 등의 단계를 통해 아이디어를 구체화한다. 이에 비해 생성형 AI를 활용하면 텍스트를 통해 디자인 아이디어와 조건을 구체화하고 이를 이미지로 빠르게 시각화함으로써 초기 디자인 단계에서 다양한 대안을 만들어낼 수 있다. Choi et al.(2023)은 AI기반 패션디자인 시스템이 디자이너의 작업 과정을 지원하고 반복적인 디자인 개발의 효율성을 높일 수 있음을 주장하였다. 그러나 생성형 AI를 활용한 패션디자인에서는 생성 결과에 대한 디자이너의 지속적인 판단과 조정이 요구된다. 이미지 생성형 AI는 입력된 프롬프트를 바탕으로 다양한 결과를 제시하지만, 생성한 이미지가 디자이너의 의도와 일치하지 않거나 세부적인 형태와 비례, 소재의 물성 및 구조적 특성이 정확하게 표현되지 않는 경우가 많다(Yang & Lee, 2025). 따라서 생성형 AI를 활용한 패션디자인에서 디자이너는 디자인 방향을 설정하고 프롬프트를 구성하며, 생성 결과를 평가하여 수정과 재생성의 방향을 결정하는 주체로서 중요한 역할을 한다.

특히 텍스트 생성형 AI와 이미지 생성형 AI를 연계하면 디자인 아이디어의 언어적 구체화와 시각화를 하나의 연속적인 디자인 과정으로 구성할 수 있다. Kang and Park(2025)은 ChatGPT를 통해 지속가능한 패션의 디자인 요소와 세부 컨셉을 도출하고 이를 기반으로 Midjourney에서 디자인 이미지를 생성하여 패션 디자인으로 발전시켰으며, Yang and Kim(2025)은 ChatGPT와 Midjourney를 활용하여 디자인 의도를 프롬프트로 구체화하고 이미지 생성과 수정을 반복하는 인간-AI 협업 과정을 제시하였다. 이처럼 ChatGPT는 디자인 아이디어와 언어적 조건을 구체화하는 역할을, Midjourney는 이를 시각적 이미지로 구현하고 다양한 형태적 가능성을 검토하는 역할을 수행할 수 있다.

따라서 생성형 AI는 패션디자인에서 단순한 이미지 생성 도구가 아니라 디자인 컨셉의 구체화와 아이디어 발상, 시각적 탐색 및 디자인 대안의 확장을 지원하는 도구로 활용될 수 있다. ChatGPT와 Midjourney의 연계는 텍스트를 통해 추상적인 디자인 의도를 구체화하고 이를 다양한 이미지로 신속하게 전환할 수 있다는 점에서 실험적이고 조형적인 패션디자인의 형태 표현에 유용하다. 이러한 특성은 실제 소재와 패턴 제작에 앞서 다양한 구조와 실루엣을 가상으로 확인할 수 있게 하며, 본 연구에서는 이를 바탕으로 오리가미의 접힘과 펼침이라는 조형 원리를 패션디자인 컬렉션으로 발전시키는 생성형 AI기반 디자인 프로세스를 적용하고자 한다.

2.2. 오리가미와 구조적 패션디자인

2.2.1. 오리가미의 접힘 원리와 조형적 특성

오리가미는 종이를 의미하는 일본어 'kami'와 접는다는 의미의 'oru'에서 유래한 종이접기 방식으로, 하나의 평면을 접고 펼치는 과정을 통해 입체적인 형태를 형성하는 조형 원리를 특징으로 한다(Choi & Choi, 2009). 오리가미에서 접힘(folding)은 단순히 평면에 주름을 만드는 행위이자 접는 위치와 방향, 각도 및 반복 방식에 따라 평면의 구조를 변화시키고 새로운 입체적 형태와 공간을 형성하는 과정이다. Yim(2009)은 오리가미의 조형적 특성을 평면에서 입체로 변화하는 과정에 주목하여 설명하였으며, Choi and Choi(2009)는 오리가미의 접기와 펼치기, 반복적인 면의 구성 등이 다양한 형태와 조형적 표현을 가능하게 한다고 보았다.

오리가미의 조형적 특성은 평면과 입체의 전환, 형태의 가변성, 반복에 의한 구조 형성으로 정리할 수 있다. 평면은 접힘을 통해 여러 개의 면으로 분할되고 각각의 면에 방향성이 부여되면서 삼차원의 형태로 변화한다. Fig. 1은 이러한 오리가미의 구조적 원리를 평면, 접힘, 입체 형태로 이어지는 과정으로 도식화한 것이다. 평면에 형성된 접힘선은 접힘의 방향에 따라 면 사이의 관계를 변화시키며, 이를 통해 삼차원의 구조와 볼륨이 만들어진다. 이 과정에서 접힌 면들이 중첩되면 형태가 압축되고, 다시 펼쳐지면서 부피와 공간이 확장되는 가변적인 구조가 형성된다(Yim, 2009). 또한 일정한 접힘 단위를 반복하면 면과 선의 연속에 따른 리듬과 기하학적 구조가 형성되며, 접힘의 방향과 크기, 배열 방식의 변화에 따라 다양한 형태적 변형이 가능하다(Choi & Choi, 2009). 이처럼 오리가미는 평면에 구조적 변화를 가함으로써 입체적인 형태와 공간을 형성하는 조형 원리로 볼 수 있다.

이러한 오리가미의 특성은 다양한 디자인 영역에서 새로운 형태를 구성하는 방법으로 활용되고 있다. Choi(2016)는 평면을 접어 삼차원의 구조로 전환하는 과정과 원리에 주목하여 이를 패션디자인에 적용하였다. 즉 오리가미의 조형적 가치는 접힘과 펼침에 따라 평면과 입체의 관계를 변화시키고 새로운 형태와 공간을 만들어내는데 있다. 이러한 구조적 사고는 평면 소재를 기반으로 삼차원의 형태를 구성하는 패션디자인과 밀접한 관련성이 있다.

2.2.2. 오리가미를 활용한 구조적 패션디자인

오리가미는 패션디자인에서 장식적 모티브와 함께 패턴과 소재의 구성 방식을 변화시키는 구조적 디자인 방법으로 활용되고 있다. Lim and Lee(2012)는 오리가미 원리에 기반한 패션의 조형 방식을 분석하여 접기와 펼치기, 구부리기, 각도 등의 구조적 원리가 다양한 드레이프와 실루엣 및 삼차원적 형태를 시각화하는데 활용될 수 있다고 하였다. 또한 오리가미 원리를 활용한 패션디자인에서는 접힘의 위치와 배열을 조절함으로써 소재 자체에 구조를 부여할 수 있으며, 이를 통해 별도의 장식 요소에 의존하지 않고 형태 자체가 디자인의 시각적 특징으로

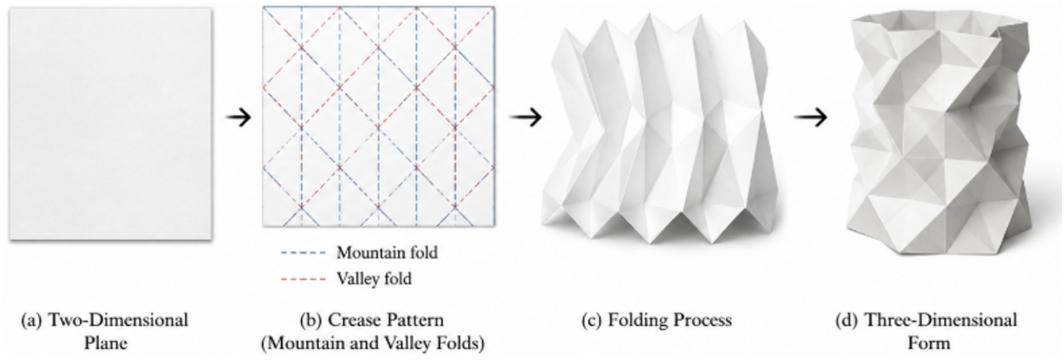


Fig. 1. Transformation of a two-dimensional plane into a three-dimensional structure through origami folding. *Choi (2016) and Fei et al. (2025).*

작용할 수 있다. Choi and Choi(2009)는 현대 패션에 나타난 오리가미의 표현 특성을 기본적인 형태 구성, 장식적 표면, 유동성과 리듬으로 구분하여 접힘이 의상에서 구조와 표면을 동시에 변화시키는 표현 방법으로 활용될 수 있음을 제시하였다.

오리가미의 구조적 활용은 패션디자인에서 신체와 형태 사이의 관계를 새롭게 설정한다는 점에서도 의미가 있다. 일반적인 패션 실루엣이 신체의 비례와 곡선을 중심으로 구성된다면, 오리가미에서 비롯된 기하학적 면과 각은 신체의 외관으로 형태를 확장하여 독립적인 볼륨과 공간을 만들어낼 수 있다. Yim(2009)은 오리가미에서 영감을 받은 현대 패션에서 형태 자체의 조형성을 강조하며 신체와 의상 형태 사이에 가변적인 공간을 생성한다고 설명하였다. 이러한 특성은 패션디자인의 관심을 신체에 밀착된 외형에서 신체를 둘러싼 공간과 형태의 관계로 확장시키며, 기하학적이고 조각적인 실루엣을 표현하는 기반이 된다.

최근에는 이러한 접힘의 원리를 구조적 모델링과 디지털 제작 방식으로 확장하려는 시도도 나타나고 있다. El-Mahdy (2023)는 오리가미를 활용하여 이차원의 종이 표면을 삼차원의 반복적인 모듈 구조로 발전시킨 후, 이를 신체 위의 자립적인 구조로 구성하고 다시 착용가능한 텍스타일 형태로 전환하는 디자인 프로세스를 제시하였다. 이 연구는 접힘이 패션 형태 자체를 구축하는 구조적 시스템으로 활용될 수 있음을 보여준다. 이세이 미야케가 전개하는 132 5. ISSEY MIYAKE는 접힘의 구조적 원리를 패션디자인에 적용한 대표적인 사례이다. Fig. 2와 같이 평면과 삼차원 형태를 오가는 접힘 구조를 기반으로 기하학적 선과 면을 형성하고, 접힘의 반복과 배열에 따라 신체 주변으로 확장되는 다양한 구조적 실루엣을 표현하고 있다.

이처럼 오리가미를 활용한 패션디자인은 종이접기의 시각적 형태를 차용하는 것에서 나아가 패턴의 구성, 소재의 구조화, 신체 주변의 공간 형성 및 실루엣의 확장을 가능하게 하는 디자인 방법으로 발전하고 있다. 특히 접힘을 통해 만들어지는 기하학적 구조와 조각적인 볼륨은 패션 형태를 신체에 종속된 외형이 아닌 하나의 공간적 구조로 확장하는 조형적 기반이 된다. 이러한 관점에서 본 연구는 접힘에 의해 형성되는 구조와 공간의 관계를 오리가미의 핵심적인 조형 원리로 설정하였다. 이를 바탕으로 생성형 AI를 활용하여 현실의 소재와 제작 방식에서 표현하기 어려운 과장된 볼륨과 구조적 실루엣을 시각화하고, 이를 패션디자인 컬렉션으로 전개하고자 한다.

3. 작품 제작

3.1. 작품 컨셉 및 제작 의도

본 작품은 오리가미에서 나타나는 접힘과 펼침에 따른 형태 변화를 패션디자인에 적용하고, 생성형 AI를 활용하여 구조적이고 입체적인 의상 형태로 시각화 하고자 하였다. 작품의 컨셉은 'DIMENSION'으로 설정하였다. DIMENSION은 평면에서 입체로 전환되는 차원의 변화를 의미하여, 한 장의 평면이 접힘에 따라 새로운 면과 각도를 형성하고 입체적인 공간으로 확장되는 오리가미의 특성을 패션디자인으로 표현하기 위한 개념이다.

오리가미는 평면을 접고 펼치는 과정에서 선과 면의 방향이 달라지고, 접힌 부분이 중첩되거나 돌출되면서 새로운 입체 형태를 형성한다. 이러한 변화에 주목하여 작품의 조형 개념을 'Fold & Unfold'와 'Flat to Space'로 설정하였다. Fold & Unfold는 접힘과 펼침의 반복을 통해 형태가 생성되고 변화하는 과정을 의미하며, Flat to Space는 평면적인 면이 접힘을 통해 입체적인 형태와 공간으로 확장되는 변화를 의미한다. 이를 바탕으로 오리가미에서 나타나는 접힘선과 각진 면, 반복과 중첩, 펼쳐지는 형태 등의 특성을 의상의 실루엣과 구조에 적용하였다.

이러한 조형 개념을 구체화하기 위한 디자인 방향으로 'Origami Structure'를 설정하였다. 컬렉션은 재킷, 스커트, 팬츠, 원피스와 점프 수트로 구성하였으며, 각 아이템에 기하학적인 면과 각, 접힘과 주름 등의 요소를 적용하여 다양한 구조적 형태를 표현하고자 하였다. 특히 접힘을 부분적인 장식 요소가 아닌 의상의 전체적인 실루엣과 볼륨을 형성하는 주요 조형 요소로 활용하였다. 색채는 블루, 그린, 오렌지, 핑크, 옐로우의 다섯 가지로 전개하여 컬렉션의 시각적 다양성을 부여하는 동시에, 선명한 색상을 통해 입체적인 형태와 구조가 강조되도록 하였다.

본 작품에서는 이러한 디자인 방향을 설정하는 과정에서 생성형 AI를 활용하였다. 오리가미의 조형적 특성과 구조적 패션디자인에 관한 디자인 의도를 언어화하고 이를 이미지 생성에 적용하여 다양한 형태와 실루엣으로 하였다. 이를 통해 평면에

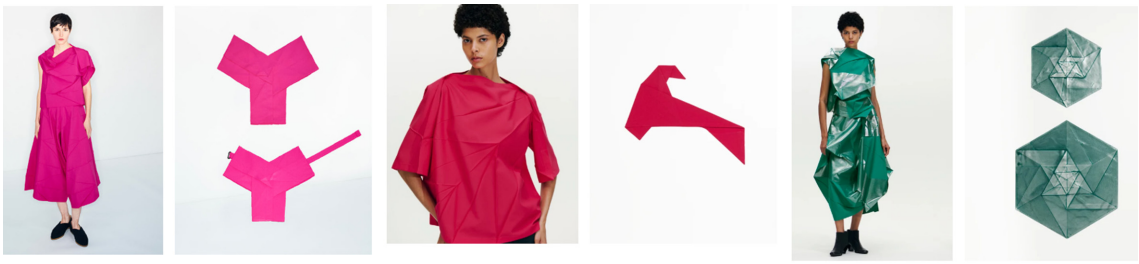


Fig. 2. Examples of structural fashion designs by 132 5. ISSEY MIYAKE. *Issey Miyake (2025, 2026a, 2026b).*

서 입체로 확장되는 오리가미의 조형적 특성을 패션디자인으로 표현하고, 생성형AI를 활용한 구조적 패션디자인의 형태 생성 가능성을 제시하는 것을 작품 제작의 목적으로 하였다.

3.2. 생성형 AI 기반 작품 제작 프로세스

본 연구에서는 생성형 AI를 활용한 오리가미 패션디자인 작품 제작을 위해 ChatGPT(GPT-5.5, OpenAI)와 Midjourney (Version 7)를 사용하였다. 작품 제작 과정은 ChatGPT를 활용한 프롬프트를 설계, Midjourney를 활용한 이미지 생성, 생성 결과에 따른 프롬프트 수정 및 재생성, 최종 디자인 선정의 네 단계로 진행하였다. 먼저 작품의 컨셉과 디자인 방향을 언어적 조건으로 구성하여 프롬프트를 작성하고, 이를 Midjourney에 입력하여 디자인 이미지를 생성하였다. 이후 생성 결과를 검토하여 형태와 세부 조건을 단계적으로 보완하고 이미지를 재생성 하였으며, 최종적으로 작품 컨셉과 컬렉션의 방향에 부합하는 디자인을 선정하였다.

3.2.1. ChatGPT를 활용한 프롬프트 설계

작품 제작의 첫 단계에서는 연구자가 설정한 컨셉과 디자인 방향을 ChatGPT에 제시하여 Midjourney의 이미지 생성에 적용할 영문 프롬프트를 작성하였다. 작품 컨셉인 ‘DIMENSION’과 디자인 방향인 ‘Origami Structure’를 바탕으로 오리가미에서 나타나는 기하학적 접힘, 입체적 볼륨, 조형적인 실루엣 등을 주요 조건으로 설정하였다. 이 단계에서는 특정 아이템이나 세부적인 접힘의 위치를 미리 지정하기 보다는 오리가미를 기반으로 한 패션디자인의 전체적인 형태와 실루엣을 우선적으로 설정하였다.

이에 따라 초기 프롬프트에는 origami-inspired structural forms, geometric folds, exaggerated, sculptural, voluminous silhouette 등의 표현을 포함하여 오리가미의 구조적 형태와 과장된 볼륨이 나타나도록 하였다. 또한 비비드한 색채와 형태감이 강조되는 소재를 제시하고, 전신 패션 에디토리얼 이미지 형식으로 설정하였다. 이를 통해 연구자의 디자인 의도를 이미지 생성에 필요한 구체적인 언어적 조건으로 구성하였다.

3.2.2. Midjourney를 활용한 이미지 생성

ChatGPT를 통해 작성한 초기 프롬프트를 Midjourney에 입력하여 패션디자인 이미지를 생성하였다. 이 단계에서는 하나의 형태를 미리 확정하기보다 동일한 프롬프트에서 생성되는 다양한 결과를 확인하면서 오리가미의 접힘과 기하학적인 면, 과장된 볼륨이 패션디자인의 형태로 표현되는 방식을 검토하였다. 생성 결과는 연구자가 직접 검토하였으며, 오리가미의 기하학적 접힘과 면의 구성, 접힘에 따른 입체적 실루엣과 볼륨, 작품 컨셉 및 디자인 방향과의 적합성을 중심으로 이미지의 발전 가능성을 판단하였다. 특히 오리가미의 접힘이 단순한 표면 장식에 머무르지 않고 전체적인 실루엣과 볼륨을 형성하는지, 바디에서 실루엣이 확장되는 입체적인 형태가 나타나는지를 중심으로 살펴보았다. 이를 바탕으로 이후 발전시킬 형태를 선택하고, 보다 구체적인 디자인으로 전개하기 위해 보완이 필요한 조건을 정리하였다.

3.2.3. 생성 결과에 따른 프롬프트 수정 및 재생성

초기 이미지의 검토 결과를 바탕으로 프롬프트를 2단계로 수정하여 이미지를 재생성 하였다. 수정 과정은 최초 프롬프트의 기본적인 디자인 방향을 유지하면서 생성 결과에서 보완이 필요한 요소를 추가하는 방식으로 진행하였다. 이에 따라 초기 프롬프트에서는 형태 및 실루엣을 설정하고, 1차 수정에서는 패션아이템과 세부 구조를 구체화하였으며, 2차 수정에서는 입체적 볼륨을 보완하고 이미지 연출 조건을 조정하였다.

1차 수정에서는 초기 단계에서 생성된 형태를 구체적인 패션 아이템으로 발전시키기 위하여 재킷과 와이드 팬츠의 조합을 설정하였다. 오버사이즈 재킷의 칼라와 어깨에는 과장된 기하학적 형태를, 허리에는 방사형으로 전개되는 접힘을 적용하도록 조건을 추가하였다. 또한 architectural pleats, repeated geometric folds, sharp angular folded structures등의 표현을 포함하여 반복되는 주름과 각진 면이 보다 분명하게 나타나도록 하였다. 이를 통해 초기 단계에서 설정한 전체적인 실루엣을 구체적인 아이템과 디자인 디테일로 발전시켰다.

2차 수정에서는 앞 단계에서 설정한 아이템과 주요 디자인 요소를 유지하면서 접힘에 의해 형성되는 부피감과 최종 이미지의 연출을 보완하였다. dimensional sculptural volumes를 추가하여 입체적인 볼륨을 강조하고, 의상의 색채와 대비되는 비비드한 배경색과 극적인 조명을 적용하여 접힘면의 깊이와 질감이 선명하게 드러나도록 하였다.

이와 함께 모델의 동적인 워킹 포즈를 설정하고, ultra-detailed, cinematic composition, sharp focus 등의 조건을 추가하여 패션 에디토리얼 이미지로서의 표현을 강화하였다. 이와 같이 생성된 이미지를 검토하고 필요한 조건을 다시 프롬프트에 반영하는 과정을 반복함으로써 디자인을 단계적으로 발전시켰다. 초기 프롬프트부터 2차 수정의 디자인 전개 방향과 세부적인 변화는 Table 1과 같다.

Table 1의 대표 사례에서 초기 프롬프트를 적용한 이미지에서는 오리가미에서 착안한 기하학적 면과 과장된 볼륨이 전체적인 실루엣의 형태로 나타났으나, 구체적인 패션 아이템과 접힘의 위치는 명확하게 구분되지 않았다. 이에 1차 수정에서는 oversized jacket, wide-leg pants와 함께 collar, shoulders, waist 등 접힘이 적용되는 위치를 구체적으로 제시하였다. 그 결과 상의와 하의의 아이템 구성이 명확해지고, 어깨와 허리를 중심으로 접힘 구조가 집중되어 초기 이미지에 비해 의복의 구조적 특징이 구체화되었다. 2차 수정에서는 layered angular folds, dimensional sculptural volumes 등의 조건을 추가하여 접힌 면이 신체 외부로 확장되도록 하였으며, 이를 통해 접힘의 중첩과 돌출에 따른 입체적인 볼륨과 조각적인 실루엣이 강조되었다. 이와 같은 프롬프트의 수정은 단순한 표현 조건의 추가가

Table 1. Stepwise development of generative Ai prompts

Stage	Design focus	Key changes	Prompt	Generated image
Initial prompt	Form and silhouette development	Establishment of exaggerated volume and sculptural silhouettes based on origami-inspired structural forms and geometric folds	Avant-garde fashion design featuring origami-inspired structural forms and geometric folds, creating a sculptural and voluminous silhouette. vivid blue structured fabric, Asian female model, full-body fashion editorial photography.	
First revision	Specification of fashion items and structural details	Specification of an oversized jacket and wide-leg pants; addition of architectural pleats and repeated geometric folds; refinement of fold placement and structure around the collar, shoulders, and waist	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. an oversized jacket in vivid blue structured fabric features geometric folds around the collar and shoulders and radial folded details at the waist, paired with voluminous wide-leg pants.	
Second revision	Enhancement of three-dimensional volume and image presentation	Enhancement of sculptural volume; addition of vivid purple and orange lighting and dramatic illumination; refinement of the final image through a dynamic walking pose and photographic settings	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. an oversized jacket in vivid blue structured fabric features exaggerated geometric folds around the collar and shoulders, with layered angular folds extending outward to create bold volume. the jacket is paired with voluminous wide-leg pants featuring large geometric folds and angular folded panels, creating dynamic volume and movement. high-fashion editorial photography set against vivid purple and orange lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. cinematic composition, sharp focus.	

아니라 생성된 이미지를 검토하여 부족한 형태적 요소를 확인하고 이를 다음 단계의 조건으로 구체화하는 방식으로 진행하였다.

3.3. 최종 디자인 선정

두 차례의 프롬프트 수정과 이미지 재생성을 통해 확립한 최종 프롬프트의 구성 방식을 컬렉션 전반에 적용하였다. 오리가미의 기하학적 접힘과 입체적인 볼륨이라는 기본적인 디자인 방향은 유지하면서, 재킷, 스커트, 팬츠, 원피스, 점프수트 등 아이템에 따라 실루엣과 접힘의 위치 및 형태를 달리 설정하였다. 또한 블루, 그린, 오렌지, 핑크, 옐로우의 색채를 적용하고 각 디자인에 적합한 세부 조건을 조정하여 이미지를 생성하였다.

생성된 이미지 가운데 작품 컨셉인 'DIMENSION'과 디자인 방향인 'Origami Structure'에 부합하는 디자인을 선정하기 위하여 구체적인 선정기준을 설정하였다. 선정 기준은 첫째, 오리가미에서 나타나는 기하학적 접힘과 면의 중첩 및 반복 구조가 명확하게 표현되었는지, 둘째, 접힘이 부분적인 표면 장식에 머무르지 않고 의상의 전체적인 실루엣과 입체적인 볼륨을 형성하는지, 셋째, 'Fold & Unfold'와 'Flat to Space'의 조형 개념이 디자인에 반영되었는지, 넷째, 개별 디자인이 컬렉션의 전체적인 조형 방향과 일관성을 유지하면서 형태적 다양성을 나타내는지를 중심으로 검토하였다(Table 2).

이러한 선정 기준을 바탕으로 총 130회의 이미지 생성과정을 통해 생성된 520개의 이미지를 검토하였으며, 이 가운데 작품 컨셉 및 선정 기준에 부합하는 18점을 최종 디자인으로 선정하였다(선정률 3.5%).

3.4. 생성결과

작품 제작은 디자인 컨셉 설명에서부터 ChatGPT를 활용한 프롬프트 개발, Midjourney 이미지 생성, 결과 검토 및 수정, 최종디자인 선정의 순서로 진행하였으며, 전체 과정은 Fig. 3과 같다.

앞서 도출한 최종 프롬프트의 기본 구조를 바탕으로 아이템의 접힘과 형태 및 위치, 색채 조건을 변화시켜 컬렉션을 전개

Table 2. Criteria for final design selection

Criterion	Evaluation content
Origami structural expression	Clear expression of geometric folds, overlapping planes, and repetitive structures derived from origami
Three-dimensional silhouette and volume	Contribution of folding structures to the formation of the overall silhouette and three-dimensional volume of the garment
Concept relevance	Consistency with the formative concepts of “dimension,” “fold & unfold,” and “flat to space”
Collection coherence and diversity	Harmony with the overall direction of the collection while maintaining diversity in silhouette and structural form

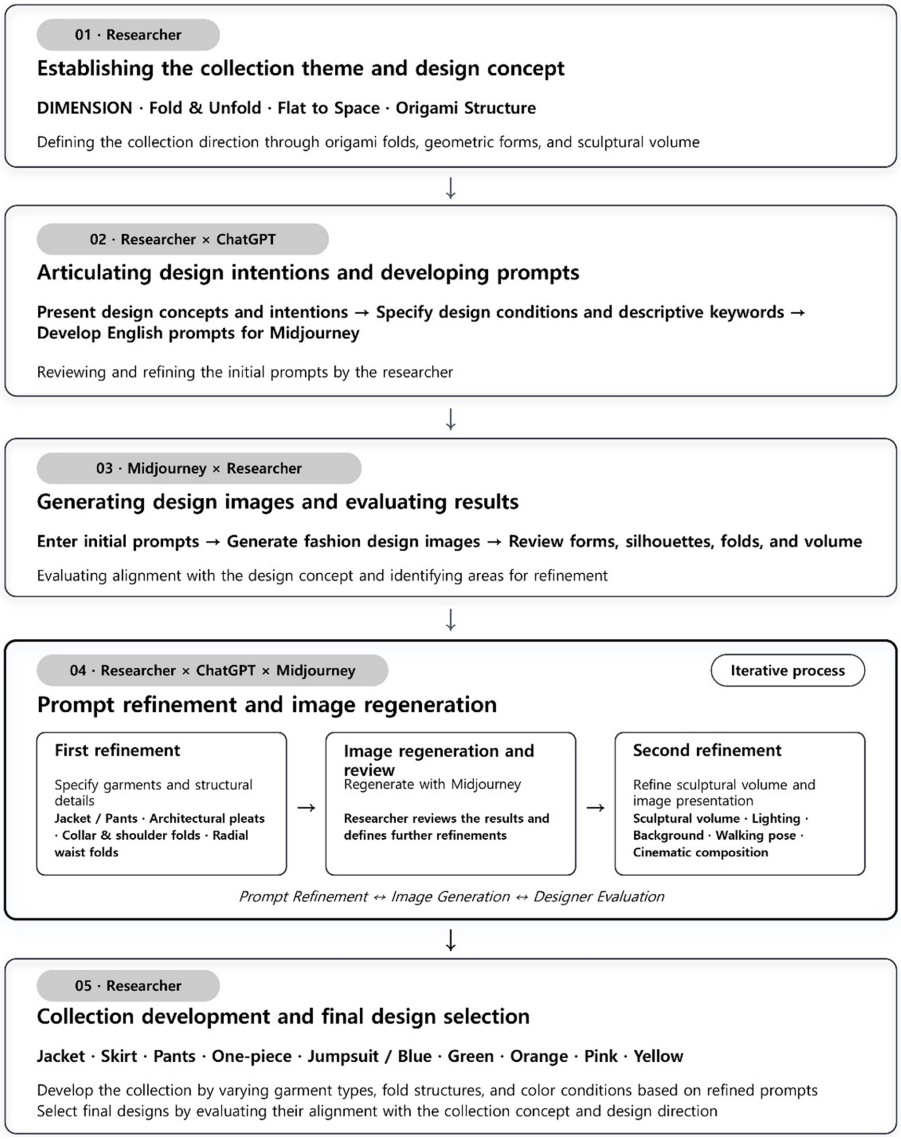


Fig. 3. Generative AI-based origami fashion design development process.

하였다. 최종 프롬프트에서는 오리가미의 기하학적 접힘과 반복적인 주름, 각진 면의 구성, 입체적인 볼륨 등 컬렉션의 공통적인 디자인 요소를 유지하되, 각 작품에서 표현하고자 하는 형태에 따라 아이템과 세부적인 접힘 구조를 달리 설정하였다. 이를 통해 동일한 디자인 방향을 유지하면서도 서로 다른 실루엣과 조형적 특징을 지닌 이미지를 생성하였다.

컬렉션은 재킷, 스커트, 팬츠, 원피스, 점프수트로 구성하였으며, 각 디자인에 따라 접힘의 위치와 형태, 실루엣에 관한 조

Table 3. Final prompts and generated images by color

Color		Content
Blue	Final Prompt	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. An oversized jacket in vivid blue structured fabric features exaggerated geometric folds around the collar and shoulders, with layered angular folds extending outward to create bold volume. The jacket is paired with voluminous wide-leg pants featuring large geometric folds and angular folded panels, creating dynamic volume and movement. High-fashion editorial photography set against vivid purple and orange lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. Cinematic composition, sharp focus.
	Generated Image	
Green	Final Prompt	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. An oversized jacket in vivid green structured fabric features exaggerated geometric folds around the collar and shoulders, with bold accordion-pleated sleeves extending outward in a fan-like shape. The jacket is paired with a voluminous long pleated skirt featuring large geometric folds and repeated accordion pleats, creating dynamic volume and movement. High-fashion editorial photography set against vivid pink and teal lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. Cinematic composition, sharp focus.
	Generated Image	
Orange	Final Prompt	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. An asymmetrical mini dress in vivid orange structured fabric features exaggerated geometric folds around the collar and shoulders, with angular folded panels extending outward to create bold volume. The dress features an asymmetrical silhouette with sculptural geometric folds and an uneven hemline, creating dynamic volume and movement. High-fashion editorial photography set against vivid purple and teal lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. Cinematic composition, sharp focus.
	Generated Image	

Table 3. Continued.

Color		Content
Pink	Final Prompt	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. An oversized jacket in vivid hot pink structured fabric features geometric folds around the collar and shoulders, with bold accordion-pleated sleeves extending outward in a fan-like shape. The jacket is paired with a voluminous pleated maxi skirt featuring dense accordion pleats and geometric folds, creating dramatic volume and movement. High-fashion editorial photography set against vivid orange and deep green lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. Cinematic composition, sharp focus.
	Generated Image	
Yellow	Final Prompt	Avant-garde fashion outfit featuring origami folding techniques, architectural pleats, and repeated geometric folds creating a sculptural, voluminous silhouette. A vivid yellow structured jumpsuit features geometric folds around the collar and shoulders, with bold accordion-pleated sleeves extending outward in a fan-like shape. The jumpsuit features a defined waist and voluminous wide-leg pants with wide pleats and geometric folds, creating dramatic volume and movement. High-fashion editorial photography set against vivid blue and teal lighting, emphasizing the depth and three-dimensional structure of the folds. Asian female model with neatly tied-back hair in a dynamic walking pose. Cinematic composition, sharp focus.
	Generated Image	

건을 달리하여 프롬프트에 적용하였다. 색채는 블루, 그린, 오렌지, 핑크, 옐로우의 다섯 가지로 전개하였으며, 각 색채별 디자인의 최종 프롬프트와 생성결과를 Table 3에 제시하였다.

이러한 과정을 통해 생성된 디자인 이미지를 앞서 설정한 최종 디자인 선정 기준에 따라 검토하였다. 오리가미의 구조적 특성 표현, 입체적 실루엣과 볼륨, 작품 컨셉과의 적합성, 컬렉션의 일관성과 형태적 다양성을 종합적으로 검토하여 최종 18점을 선정하였다. 선정된 작품은 앞서 설정한 아이템과 색채 구성을 바탕으로 하나의 컬렉션으로 구성하였으며, 전체 작품은 Fig. 4에서 제시하였다.

4. 결 론

본 연구는 오리가미의 접힘과 펼침에서 나타나는 구조적 원리를 디자인 모티브로 설정하고, 생성형 AI를 활용하여 구조적 패션디자인 컬렉션을 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 텍스트 생성형 AI인 ChatGPT와 이미지 생성형 AI인 Midjourney를 연계하여 디자인 의도를 언어화하고 시각적 이미지로 표현하는 작품제작 프로세스를 진행하였다. 연구에서는 최종 이미지의 생성에 초점을 맞추기보다는 디자인 컨셉의 설정, 프롬프트 설계, 이미지 생성, 생성 결과의 검토, 프롬프트 수정과 이미지 재생성으로 이어지는 과정을 단계적으로 구성하였다.

작품 제작에서는 오리가미에 나타나는 평면과 입체의 전환, 접힘과 펼침에 따른 형태 변화, 기하학적 면과 반복 구조에 주목하였다. 이를 바탕으로 'DIMENSION'을 작품 컨셉으로 설정하고, 'Fold & Unfold'와 'Flat to Space'를 조형 개념으로, 'Origami Structure'를 디자인 방향으로 설정하였다. 이러한 디자인 의도를 ChatGPT를 활용하여 언어적 조건으로 구체화하고, 오리가미의 기하학적 접힘, 반복적 주름과 각진 면, 과장된 볼륨과 조형적 실루엣을 중심으로 Midjourney의 초기 프롬프



Fig. 4. Final origami-inspired fashion design collection.

트를 구성하였다.

Midjourney에서 생성된 이미지는 연구자의 검토를 거쳐 프롬프트 수정에 반영하였다. 초기 단계에서는 오리가미를 기반으로 전체적인 형태와 실루엣을 설정하였고, 1차 수정에서는 패션 아이템과 접힘의 위치, 구조적 디테일을 구체화하였다. 2차 수정에서는 입체적인 볼륨을 강화하고 배경과 조명, 모델의 포즈 등 이미지 연출 조건을 조정하였다. 이와 같은 생성과 수정의 반복을 통해 최종 프롬프트의 기본 구조를 확정하였다. 이후 아이템과 접힘의 형태 및 위치, 색채 조건을 달리 적용하여 재킷, 스커트, 팬츠, 원피스, 점프수트 등으로 구성된 총 18점의 패션디자인 컬렉션을 완성하였다.

작품 제작 결과, 오리가미의 접힘이라는 조형 개념은 생성형 AI를 통해 다양한 구조적 패션 형태로 시각화되었다. 기하학적 접힘과 면의 중첩, 반복적인 주름은 신체 주변으로 형성되는 입체적 볼륨과 조각적인 실루엣으로 표현되었으며, 공통된 디자인 방향 안에서 아이템과 접힘 구조를 달리함으로써 다양한 형태로 전개할 수 있었다. ChatGPT와 Midjourney의 연계는 디자인 의도를 언어적 조건으로 정리하고 이를 시각적 결과로 연결하는 과정에 활용되었다. 생성 이미지를 연구자가 검토하고 필요한 조건을 다시 프롬프트에 반영하는 과정에서 추상적인 디자인 방향이 구체적인 아이템과 구조, 실루엣으로 발전하였다. 또한 실제 패턴과 샘플을 제작하기 전에 과장된 구조와 볼륨을 이미지로 시각화함으로써 구조적 패션디자인의 여러 형태를 사전에 확인할 수 있었다.

본 연구는 생성형 AI를 디자인 의도의 구체화와 시각화, 생성 결과의 평가와 수정으로 이어지는 작품 제작 과정에 적용했다는 점에서 의의가 있다. 연구자는 작품의 컨셉과 디자인 방향을 설정하고, AI가 생성한 이미지를 검토하고 수정할 요소와 다음 단계의 방향을 결정하였다. 이러한 과정에서 생성형 AI는 디자이너가 설정한 조형적 개념을 다양한 이미지로 표현하고 발전시키는 도구로 활용되었으며, 연구자는 디자인의 방향과 결과를 판단하고 조정하는 역할을 하였다. 또한 오리가미의 구조적인 원리를 생성형 AI와 결합하여 다양한 접힘 구조와 과장된 실루엣을 이미지로 확인할 수 있는 디자인 프로세스를 제시하였다.

이러한 의의에도 불구하고 본 연구는 생성형 AI로 표현된 패션 이미지에 한정되어 있어 생성된 디자인의 패턴 구조와 실제 제작 가능성까지는 검증하지 못한 한계가 있다. 특히 생성

형 AI는 실제 의복 제작에서 요구되는 패턴의 연결 관계, 소재의 물성, 봉제 및 구조적 지지 방식 등의 물리적 조건을 직접 반영하지 않은 상태에서도 시각적으로 완성된 이미지를 생성할 수 있다. 따라서 생성 이미지에서 나타난 일부 접힘 구조와 돌출된 볼륨은 시각적으로는 오리가미의 조형적 특성을 효과적으로 표현하지만, 실제 패턴으로 전환할 경우 면의 연결이나 구조적 지지가 어렵거나 동일한 형태를 그대로 구현하기 어려울 가능성이 있다. 이러한 점에서 본 연구의 생성형 AI 이미지는 실제 제작 가능한 의복 설계라기보다는 물리적 제작 조건에 제한되지 않고 구조적 패션 형태의 가능성을 탐색하기 위한 시각적 디자인 대안으로 해석할 수 있다. 후속 연구에서는 생성된 디자인을 실제 패턴과 소재에 적용하여 이미지로 표현된 구조적 형태의 구체화 가능성을 검토할 필요가 있다. 생성형 AI 이미지와 실제 제작 결과의 차이를 비교함으로써 AI기반 디자인이 실물 패션디자인으로 구체화되는 과정과 그 적용 범위를 확인할 수 있을 것이다.

References

Choi, K.-H. (2016). Practice-led origami-inspired fashion design: Out of the frame: Flight by paper plane. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 9*(3), 210-221. doi: 10.1080/17543266.2016.1158872

Choi, W., Jang, S., Kim, H. Y., Lee, Y., Lee, S.-G., Lee, H., & Park, S. (2023). Developing an AI-based automated fashion design system: Reflecting the work process of fashion designers. *Fashion and Textiles, 10*(1), 39. doi:10.1186/s40691-023-00360-w

Choi, Y. J., & Choi, J. H. (2009). Expression analysis of the modern fashion design used origami's expression methods. *Journal of the Korean Home Economics Association, 47*(4), 1-10.

Chung, K., & Lee, M. (2023). A case study of human-AI co-creation (HAIC) in fashion design. *Journal of Fashion Business, 27*(4), 141–162. doi:10.12940/JFB.2023.27.4.141

Chung, K., & Lee, M. (2024). Exploring AI for creative fashion image generation through HAIC. *Journal of the Korean Society of Costume, 74*(1), 61-87. doi:10.7233/jksc.2024.74.1.061

El-Mahdy, D. (2023). Experimental structural model: From manual paper garment to fabrication as an architectural practice-based approach for fashion design education. *Nexus Network Journal, 25*(4), 1015–1032. doi:10.1007/s00004-023-00732-1

Fei, Z., Xu, D., Zhao, Y., Han, Z., Song, L., Ma, R., & Guo, Y. (2025). From the Yoshimura origami pattern to foldable structures: Exploration of crease design. *Thin-Walled Structures, 209*, 112888. doi:10.1016/j.tws.2024.112888

Issey Miyake. (2025, June 23). Start of the AUTUMN WINTER 2025/26 Season [Photograph]. *Isseymiyake.* Retrieved from https://eu.isseymiyake.com/blogs/news/17967

Issey Miyake. (2026a, January 7). Start of the SPRING SUMMER 2026 Season: NO.17 FOIL [Photograph]. *Isseymiyake.* Retrieved from https://us.isseymiyake.com/blogs/news/18291

Issey Miyake. (2026b, May 12). RADIAL FOLD SHIRT [Photograph]. *Isseymiyake.* Retrieved from https://www.isseymiyake.com/blogs/news/18539

Kang, G. Y., & Park, S. H. (2025). Implementation of fashion design collections using generative AI: Focused on sustainable fashion design. *Journal of Fashion Design, 25*(1), 117-133. doi:10.18652/2025.25.1.7

Lim, S., & Lee, J. (2012). A study on the flat method of formative design for clothing based on the principles of origami: Focusing on analysis of the original forms of the ancient clothing. *Journal of the Korea Fashion & Costume Design Association, 14*(1), 1-11.

Riemer, K., & Peter, S. (2024). Conceptualizing generative AI as style engines: Application archetypes and implications. *International Journal of Information Management, 79*, 102824. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2024.102824

Turchi, T., Carta, S., Ambrosini, L., & Malizia, A. (2023). Human-AI co-creation: Evaluating the impact of large-scale text-to-image generative models on the creative process. In L. D. Spano, A. Schmidt, C. Santoro, & S. Stumpf (Eds.), *End-user development: 9th International Symposium, IS-EUD 2023* (pp. 35-51). Cham: Springer Nature Switzerland. doi:10.1007/978-3-031-34433-6_3

Yang, X., & Kim, J. (2025). Research on application of Beijing opera facial makeup for fashion design based on the HAIC model: Focusing on ChatGPT and Midjourney. *Journal of Fashion Business, 29*(1), 58-70. doi:10.12940/jfb.2025.29.1.58

Yang, Y. H., & Lee, J. S. (2025). A study on the applicability of generative artificial intelligence in each stage of the fashion design process: Focusing on Midjourney. *The Research Journal of the Costume Culture, 33*(2), 253-268. doi:10.29049/rjcc.2025.33.2.253

Yim, E.-H. (2009). Origami inspiration in contemporary fashion. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 33*(8), 1253–1261. doi:10.5850/JKSCT.2009.33.8.1253

Zhang, Y., & Liu, C. (2024). Unlocking the potential of artificial intelligence in fashion design and e-commerce applications: The case of Midjourney. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, 19*(1), 654-670. doi:10.3390/jtaer19010035

(Received August 18, 2026; 1st Revised September 25, 2026; 2nd Revised October 6, 2026; Accepted October 14, 2026)