투고일_2023.12.10 심사기간_2024.01.01.-14 게재확정일_2024.01.16 DOI https://doi.org/10.47294/KSBDA.25.1.23

실크스크린 공정에서 발생하는 환경위해성과 지속가능한 발전의 탐색

Environmental Risk and Sustainable Development Exploration of Silkscreen Process

이창민, 건국대학교 리빙디자인학과

Lee, Chang Min_Dept. of Living Design, Konkuk University

차례

1. 서론
1.1. 연구 배경 및 목적
1.2. 연구 방법 및 범위

2. 이론적 배경
2.1. 지속가능한 산업 패러다임
2.2. 실크스크린과 지속가능성

3. 실크스크린 공정의 인체안전성 및 환경위해성 분석
3.1. 감광 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성
3.2. 탈막 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성
3.3. 날인(프린팅) 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성

4. 결론 및 제언

References

실크스크린 공정에서 발생하는 환경위해성과 지속가능한 발전의 탐색
Environmental Risk and Sustainable Development Exploration of Silkscreen Process

이창민, 건국대학교 리빙디자인학과
Lee, Chang Min_Dept. of Living Design, Konkuk University

요약

이 연구는 텍스타일 산업 분야에서 꾸준하게 논의되고 있는 지속가능성 패러다임과 실크스크린에 대하여 분석하는 것을 목적으로 한다. 연구의 범위는 실제 실크스크린의 공정 과정에서 발생하는 여러 종류의 인체안전성 및 환경위해성에 대하여 분석하였으며, 연구 방법은 실크스크린의 공정 과정에서 사용되는 화학물질에 대한 분석, 공정 상 야기하는 환경적 영향 등에 대하여 실크스크린 현장 실사이다. 현장 실사는 관련 실무 담당자와의 인터뷰와 공정 과정을 육안으로 확인한 결과들을 종합하여 결과를 도출하였다. 연구의 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 실크스크린 기술은 직물의 표면 위에 프린팅하는 물리적 특성으로 인해 다른 생산 방식에서는 구현하지 못하는 대체불가의 기술로 이해할 수 있다. 둘째, 실크스크린 공정을 개괄하였을 때 대다수의 공정에서 인체와 환경에 유해한 재료가 사용되고 있는 점을 확인하였으며, 실무 현장에서도 화학물질 및 폐기물 처리 등의 문제점이 목격되었다. 셋째, 실크스크린 공정 중 감광, 탈막, 날인 공정 과정이 인체와 환경에 유발하는 문제점이 큰 것으로 확인되었으며 이를 토대로 공정에서의 문제점을 분석하였다. 감광 공정에서는 사용되는 화학물질이 인체에 야기하는 문제와 함께 사용 이후 발생하는 폐수 문제에 대해 분석하였다. 탈막 공정에서는 다량의 용수 사용과 함께 슬러지 발생으로 인한 환경문제를 언급하였으며, 날인 공정에서도 세척 시 다량의 용수 및 폐기물 생성 등이 지속가능한 관점에서 인체와 환경에 부정적인 영향을 끼치는 점을 문제로 삼아 분석을 실시하였다. 이러한 점을 종합하였을 때 텍스타일 산업에서 실크스크린은 매우 효율적이고 필수적인 기술로 이해되고 있다. 그러나 상기에 분석한 바와 같이 실크스크린 기술의 위해 요소로 야기되는 문제점은 지속가능이라는 시대적 흐름과 대의에 맞춰 현재보다 더욱 환경 친화적인 방식으로의 기술 개발과 재료에 대한 연구가 필요할 것이다.

중심어
실크스크린
지속가능성
인체위해성
환경위해성

ABSTRACT

This research aims to analyze the sustainability paradigm currently under consistent discussion in the textile industry, with a specific focus on silkscreen printing. The study examines the various human safety and environmental risks associated with the silkscreen printing process. The methodology includes an analytical review of the chemicals used in the silkscreen process, the environmental impacts that arise, and thorough field surveys at silkscreen facilities. These surveys were conducted through interviews with fi eld experts and direct observations of the processes, integrating the findings to reach the study's conclusions. The results reveal several key points: Firstly, silkscreen technology is recognized as a distinctive technique due to its ability to print on textile surfaces, a feature not achievable by other manufacturing methods. Secondly, an overview of the silkscreen process shows that most stages involve the use of materials harmful to both humans and the environment, with field observations also identifying significant chemical and waste management issues. Thirdly, the sensitizing, demasking, and printing stages of the silkscreen process were found to present significant health and environmental challenges. The analysis addressed the harmful effects of chemical usage on human health and the environmental concerns related to wastewater production following application in the sensitizing stage. The demasking phase revealed environmental challenges due to excessive water usage and sludge production. Similarly, the printing phase was analyzed for its significant water consumption during the cleaning procedure and the waste it produces, both of which have implications for sustainability. In the broader context of the textile industry, while the silkscreen technique is known for its efficiency and essential role, its associated challenges underscore the need for advancements. There is a clear demand for research that focuses on developing environmentally-friendly techniques and alternative materials in alignment with modern sustainability goals.

Keywords
silkscreen
sustainable
human body risk
environmental risk

본 연구는 2022년도 한영장학재단 지원으로 연구되었음.

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

현대사회는 보다 나은 인간 삶의 가치 신장을 도모하고 환경, 사회, 경제의 상생을 위한 노력을 기울이고 있다. 이를 위해 국제사회는 장기적 관점에서의 긍정적인 변화와 발전을 위한 공동의 목표를 설정하고 그에 준하는 기술 발전에 따라 새로운 패러다임을 창출한다. 이러한 발전을 토대로 각국은 경제·사회·문화의 고도화를 추구하고 '유행', '트렌드'와 같은 키워드가 인간의 삶 속에 구체화되어 나타난다. 시대의 흐름에 따라 인간은 다양성과 함께 양적·질적 측면에서 윤택한 삶의 결과를 이룩하였으나, 그 이면에는 환경문제 또는 사회 및 국가 내에서 발생하는 윤리적, 공동체적 문제를 야기하였다. 그에 따라 환경을 포함한 여러 사회적 문제는 국제사회의 정책 및 전략 수립 과 같은 논의를 통해 다루어지고 있으며, 개인이나 집단으로 해결할 수 없는 공동체적 움직임이 그 무엇보다 중요시되고 있는 시점이다. 그 결과 소비자, 기업, 환경 단체 등 범세계적 차원에서 규제를 강화하거나 환경문제 이슈의 가장 직접적인 원인으로 지목되는 2차 산업 분야의 지속가능성이 중요한 쟁점으로 인식되고 있다.

그 중 텍스타일 산업의 한 분야로서 활용되고 있는 실크스크린은 1960년대 국내에 본격적으로 도입된 기술로, 직물의 표면에 날염 방식으로 디자인을 구현하며 패션 및 인테리어, 홈 액세서리 등 다수의 제품군에 활발하게 사용되고 있다. 그와 더불어 전기·전자에 사용되는 회로 기판, 소자(素子)와 같은 복잡한 전자 부품에도 실크스크린이 사용될 정도로 범용성이 확대되어 있다. 이러한 실크스크린의 우수하고 효과적인 기술에도 불구하고, 공정의 이행 과정에서 필연적으로 사용될 수밖에 없는 여러 종류의 화학물질, 다량의 용수 및 폐수의 사용, 재활용·재사용이 불가능한 산업 폐기물 발생 등은 대표적인 문제로 제기되고 있다. 그에 따라 텍스타일 산업 내에서 지향하고 있는 지속가능 패러다임으로의 변화를 위해서라도 구체적인 문제와 현 주소에 대한 파악이 필수적으로 요구된다.

현재 실크스크린과 관련하여 학계의 관심은 연구되고 있는 학술 논문이나 학계의 자료 등을 통해 가늠해볼 수 있다. 텍스타일 분야를 제외한 다른 분야에서 발행되는 논문의 주제나 연구내용 등을 종합하여 산출해보면, 실크스크린에 대한 학계의 연구나 논문이 활발하게 이루어지지 않는 것으로 파악되고 있다. 그 이유로는 모순되게도 현재 시점에서 실크스크린을 물리적으로 대체할 수 있는 방안이 없는 독자적 방식의 프린팅 기술이라는 점에 이유를 찾을 수 있다. 즉, 디지털 텍스타일프린팅, 승화전사날염, 자카드 제직 등의 기법을 이용하여 직물 위에 텍스타일 패턴 디자인을 구현할 수 있지만, 직물의 표면(Surface)에 실크스크린 기법으로 구현되는 특유의 텍스추어 효과는 다른 기법들과는 비교할 수 없기 때문이다. 이와 같이 실크스크린이 오랫동안 특별한 변화 없이 꾸준히 이어져 왔기 때문에, 시대 변화에 대한 통찰로서의 연구 주제로 주목받지 못하였음으로 분석해 볼 수 있다. 또한 산업에서 이행되는 실크스크린은 공정 과정이 보편적인 방식의 실크스크린과는 규모와 제작 단계에 큰 차이가 있으며 작업을 위한 설비 또한 뒷받침 되어야한다. 그렇기에 이론만으로는 습득하기 어려운 기술의 특성이 존재한다. 이러한 원인들로 인하여 실크스크린을 연구 주제로 삼아 분석하기에는 관계자가 아닌 이상 산업 현장에서의 정보와 지식 확보가 어려웠을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구자는 이러한 지점에서 지속가능성과 실크스크린 분야가 시대적 변화의 요구에 따라 공정 상 발생하는 다양한 환경적 문제와 원인에 대하여 분석의 필요성을 가지고자 한다. 나아가 실크스크린 산업이 현재 지속가능한 발전을 필요로 하는 패러다임으로의 방향으로 개선될 수 있는 방안을 모색해보고자 한다.

1.2. 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 실크스크린 공정 과정에서 인체와 환경에 미치는 위해성에 대해 파악하고 그에 따라 발생하는 문제점을 탐색하고자 한다. 공정 별 사용되는 화학물질에 따라 유발되는 위해의 정도가 다르기 때문에, 실크스크린의 전체 공정을 각 공정 별로 분류하고 야기되는 환경적 이슈에 대하여 지속가능성 측면에서 어떠한 문제점이 있는지 살펴보고자 한다. 특히 공정 상 용수의 사용 및 폐수 발생이 가장 두드러지게 관찰되므로, 해당 이슈에 관하여 보다 상세하게 다루고자

한다. 이를 위한 연구에는 실크스크린을 실제로 시행하고 있는 현장 조사를 최우선으로 실시함으로써 가장 객관적인 시각에 의해 현 주소를 파악하고자 한다. 그와 더불어 국외 학술자료 및 환경 관련 보고서를 살펴보고 기타 국내외 온라인 기사 및 선행연구 등을 추가적으로 참고한다. 연구의 구체적인 범위와 방법은 다음과 같다.

첫째, 지속가능성 관점에서 실크스크린 산업의 전반적인 환경 이슈에 대한 이론 연구를 통해 1차적으로 문제점을 짚어본다.

둘째, 실스스크린 기술의 각 세부공정 내에서 관찰되는 실질적인 환경 이슈에 대한 실체 파악을 진행한다. 이는 크게 두 가지 방식으로 분석을 실시하는데, 첫 번째로 현장 실사로 실크스크린 산업의 현 주소를 직접 확인하고 관련 업계의 종사자 및 전문가를 통해 실크스크린 기술의 명확한 실체를 파악한다. 두 번째로는 환경 보고서나 관련 기사를 통해 실크스크린 기술이 가진 환경 이슈를 확인하여 문제점을 분석한다.

상기의 분석 과정들은 실크스크린이 향후 친환경적인 공정의 도입이나 대체 가능한 재료의 개발로 나아가기 위한 전초적인 과정에서의 분석으로 이해할 수 있다. 궁극적으로 실크스크린이 나아가야 할 방향은 공정 상 지속가능한 패러다임에 맞는 환경 친화적인 방식의 연구 및 인체·환경에 문제점을 야기하지 않는 대체 재료의 개발이 되어야 한다. 따라서 본 논문의 분석 과정을 통해 텍스타일이라는 거대 산업의 한 분야로 자리 잡고 있는 실크스크린 기술이 해당 업계 내에서만 인식하고 있던 환경적 이슈와 문제점을 보다 다양한 관점과 시각으로 살펴보고 다음 단계로 도약해야할 필요성이 있음을 논문의 본격적인 서술에 앞서 밝히고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 지속가능한 산업 패러다임

지속가능성이란 생태의 작용, 기능, 생물 다양성, 생산을 미래로 유지할 수 있는 능력을 의미를 가지는 생태학적 용어로, 다양한 이해관계 속에서 지속가능성의 개념 정립을 위하여 오랜 기간에 걸쳐 국제사회 및 회의를 통해 논의되었다. 현재에도 지속가능한 사회와 환경을 위하여 자연·사회·과학 등 각 분야에서 높은 수준의 기술 발전과 더불어 공동체적 의식이 함양된 공동선(共同善)을 추구하고 있다. 지속가능성은 여러 국가와 집단들의 다양한 견해가 존재하기 때문에 시대에 따라 해석되는 방식에 차이가 있으며, 해당 주제에 대한 개념을 완전히 이해하기 위해서는 복잡하고 거대한 서사에 대한 선행(先行)이 필수적이다. 그렇기에 본 논고에서는 지속가능성에 대한 전반적인 고찰이나 개념이 규정되기까지의 역사 및 자취에 대한 분석은 현재 발행되어있는 학술 연구 및 다수의 논문으로 대체하고자 한다. 따라서 본 장에서는 현 시점에서 이루어지고 있는 지속가능성에 대한 사회의 평가와 지속가능성이 수용되고 있는 일반적 현황에 고찰로 범위를 한정하여 분석을 실시한다.

현대사회에서 이해되고 있는 지속가능성은 비교적 근래에 들어 매우 일상적으로 용어의 소비가 이루어지고 있는데, 인간의 라이프스타일에 영향을 끼치는 기업이나 브랜드들의 마케팅 수단으로서 주로 활용되고 있다. 기업이나 브랜드들은 '지속가능한 발전', '지속가능성', '지속가능한 미래' 등과 같은 키워드를 사용함으로써 표면적으로는 더 나은 환경과 가치를 위한 노력 및 변화를 꾀하는 것으로 해석할 수 있지만, 그 이면에는 본질이 가진 지속가능성의 목적이나 의도가 희석된 채로 사용된다는 점에 문제가 있다. 대표적으로 '그린워싱(Greenwashing)'을 예로 들 수 있는데, 패션업계에서는 일부 제품에 사용된 친환경 원료를 과대 포장하여 마케팅 수단으로 활용하고, 실제 생산 과정에서 발생하는 다수의 자원 낭비 및 환경오염에 대해서는 입증의 노력이나 의무를 가지지 않는 경우가 빈번하게 나타난다. 한국소비자원에서 발표한 자료에 따르면 친환경이라고 광고한 180개의 제품 중 환경성 인증 마크가 사용된 제품이 91개로 약 절반을 차지한다고 밝혔다. 그러나 그 중 19개의 제품에서 인증번호가 명시되지 않거나 법정인증마크의 크기가 작아 인증의 유효성을 확인하기 어려운 제품이 다수 목격되는 등, 광고 실태조사 결과에서 여러 문제점이 발생되었다(Korea Consumer Agency Press Release, 2022). 이러한 사태의 원인으로는 지속가능 패러다임이 확산됨에 따라 기업 입장에서는 해당

용어의 사용만으로도 높은 수준의 마케팅 효과를 불러일으킬 수 있으며, 소비자의 경우 기업의 지속가능성 관련 준수 여부에 대한 사실을 개인이 검증하기가 불가능하기 때문에 상기와 같은 문제점이 발생한다고 볼 수 있다. 그러나 일부 기업의 비윤리적 책임 사례에도 불구하고 많은 수의 기업은 지속가능한 발전을 위한 노력을 선도하고 있으며, 각 국가 및 사회에서는 기업의 재무성과에만 초점을 맞추지 않고 비재무성과 측면도 함께 고려하는 방향으로 개선되고 있다. 즉, 국제정세를 고려한 환경·사회·지배구조(ESG, Environmental, Social, Governant) 경영이 이행될 수 있도록 자국 내 법규와 규제를 정책으로 시행하고 있으며, 기업과 브랜드는 사회 및 환경문제를 고려하고 소비자들의 지속가능한 소비 실천을 추구하도록 하는 소비자경영운영이 실시되고 있다. 이를 대표하는 사례로 브랜드 라벨이 부착되지 않은 투명 PET 사용, 유기농 재배방식의 섬유소재 생산, 공정 개선을 통한 환경 친화적 제품 생산 등으로 구체화되고 있으며, 그 외에도 유통, 식품, 건축 등 다수의 산업 시스템에서 생산과 직결된 변화가 나타나고 있다.

상기에 살펴본 바와 같이 지속가능성의 추구와 노력은 시대의 변화에 따라 점진적으로 그 범주를 확장하고 있으며 특정 분야에 국한되지 않고 전방위에 걸쳐 나타나는 변화로 이해될 수 있다. 이는 한명의 개인, 하나의 집단을 넘어 사회 공동체로서의 노력이 필요하며 단기적 차원에서의 지속가능성 실천을 위한 노력이 아닌 중장기적 차원에서 기술·환경·윤리 등을 모두 반영한 노력이 현 시점에서 추구하는 지속가능한 산업 패러다임의 모습이다.

2.2. 실크스크린 공정의 이해와 지속가능성

본 절에서는 앞서 살펴본 지속가능한 산업 패러다임 속에서 실크스크린에 대하여 특성과 현황에 대해 살펴보고자 한다. 실크스크린은 공정 과정에서 사용하는 주원료가 각종 화학 용제, 미네랄 오일, 합성수지, 휘발성 유기 화합물 등 다수의 화학물질로 이루어져 있다. 이들은 공정의 대부분 과정에 필연적으로 사용되며 외부의 노출로 이어지기 때문에 인체와 환경에 위해를 가한다. 그렇기에 지속가능한 산업의 패러다임이라는 추세에 근거하였을 때 실크스크린 공정에 사용되는 화학물질의 안전성 및 위해성에 대한 분석과 실크스크린 기술의 개선 현황과 변화양상을 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 실크스크린 기술의 각 공정을 개괄하고, 공정 과정에서 사용되는 화학물질 및 안전 관련사항에 대하여 지속가능성 측면에서 확인하고자 한다. 이 과정은 추후 실크스크린 공정의 환경 위해성을 파악하기 위한 선행 연구이자 실크스크린 기술의 변화양상을 파악함으로써 실크스크린의 현 주소를 보다 명확하게 이해하기 위함이다.

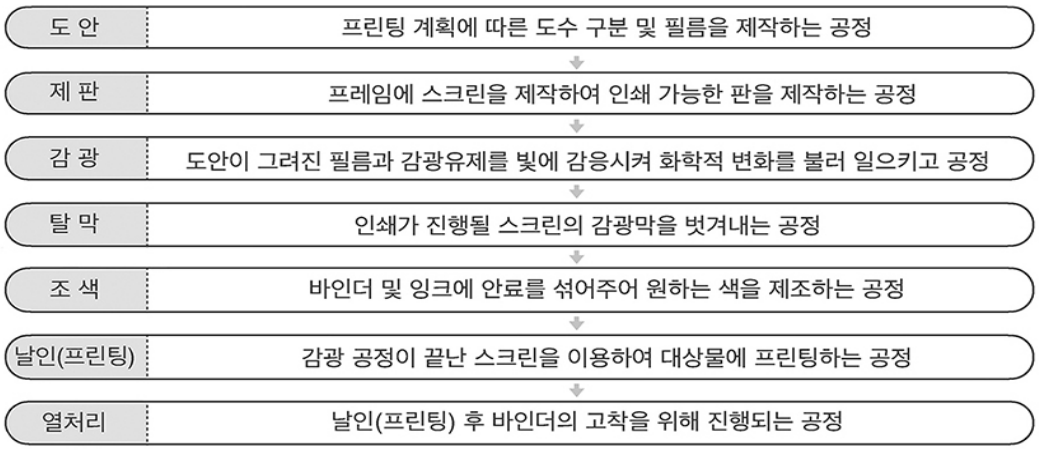
본격적인 분석에 앞서, 국내 실크스크린 산업에 대한 전반적인 이해와 실무 현황에 대한 정보를 확보하기 위하여 실크스크린으로 원단에 프린팅을 진행하는 서울 1곳과 경기도 양주 3곳의 공장, 그리고 한국섬유소재연구원(KOTERI)를 방문하였다. 이는 이론적인 측면에서의 분석으로 논문을 진행하는 것이 아닌, 관련 분야의 전문가 및 기술자를 통하여 국내의 실크스크린 산업에 대한 전반적인 동향에 대한 이해를 바탕으로 논문의 분석이 필요한 시점이라고 판단하였기 때문이다. 실무 현장에 대한 방문을 통하여 실크스크린 산업 분야의 특성상 외부로 노출되지 않는 제한된 정보를 확보하였으며, 실제 현장에서 경험할 수 있는 생산 공정의 특성과 업계의 현황에 대한 실질적 근거 자료를 수집하였다. 연구의 제한점으로는 실크스크린 공정 과정이 환경에 위해하다는 것을 증빙하기 위한 표본 조사로서 단 4곳의 공장에 대한 실무 현장을 확인하여 결론을 도출한다는 점이다. 이는 자료의 정량적 측면에서 객관적이지 않을 수 있다는 한계가 존재한다. 하지만 실크스크린은 기술이 개발된 시점부터 현재에 이르기까지 공정에 큰 변화 없이 이어져오고 있는 기술이며, 다수의 업체가 비슷한 재료와 작업 환경 속에서 실시된다는 점에서 4곳의 업체에 대한 비교·분석으로 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것이라고 판단하였다. 대표적인 예로, 실크스크린 업체는 감광액과 바인더, 안료 등의 화학성분의 물질을 이용하여 프린팅이 실시되기 때문에 일부 재료의 혼합 비율에 차이가 있을지언정 재료 자체에는 큰 차이가 없다. 그에 따라 네 곳의 공정을 모두 확인한 결과 혼합 정도에는 차이가 있을 뿐, 섬유용 바인더, PVC 잉크, 플라스티졸(Plastisol) 등이 바인더로 사용되는 것을 확인하였다. 실크스

크린의 재료 안정성 문제에 관한 여러 학술논문 내에서 위의 재료들이 언급되었으며, 특히 실크스크린의 필수 재료인 바인더가 각종 화학 용제들이 혼합된 PVC 잉크와 플라스티졸 등에 의존하는 점을 언급하고 있다. 그와 함께 실크스크린 산업의 특성 상 폐수·폐기물 처리 등에 환경적 규제를 받고 있기 때문에 4곳의 현장 실사가 비교적 적은 수의 표본이지만 실크스크린 공정의 문제점 파악에 큰 변수는 없는 것으로 판단하였다. 관련 기업에 대한 정보 노출이 어려운 상황에 따라 방문한 4곳의 업체명은 알파벳 A, B, C, D로 표기하며, 업체의 간략한 정보는 <Table 1>과 같다.

〈Table 1〉 *Information of Company*

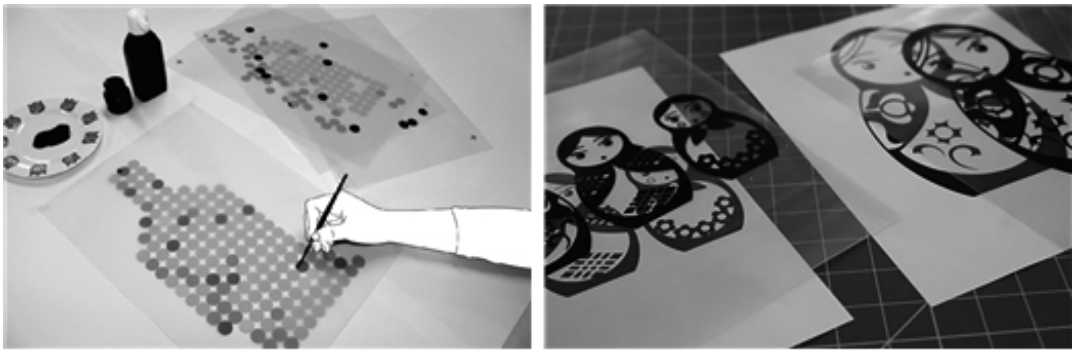
	일 생산량	생산 방법	제품	장소
A	10,000야드	실크스크린, 오토 플랫 스크린, 로터리 스크린	원단	양주
B	80야드	실크스크린	원단	양주
C	200-300피스	실크스크린, 디지털 텍스타일 프린팅	의류(티셔츠)	양주
D	50피스	실크스크린	원단, 의류	서울

실크스크린 공정에 대하여 간략하게 개괄하자면 <Figure 1>과 같이 도안-제판-감광-탈막-조색-날인(프린팅)-열처리 과정으로 구분할 수 있다. 각 공정 사이에 도표 상 표현하기 어려운 여러 세부 공정이 포함되는 특징을 가지고 있다.



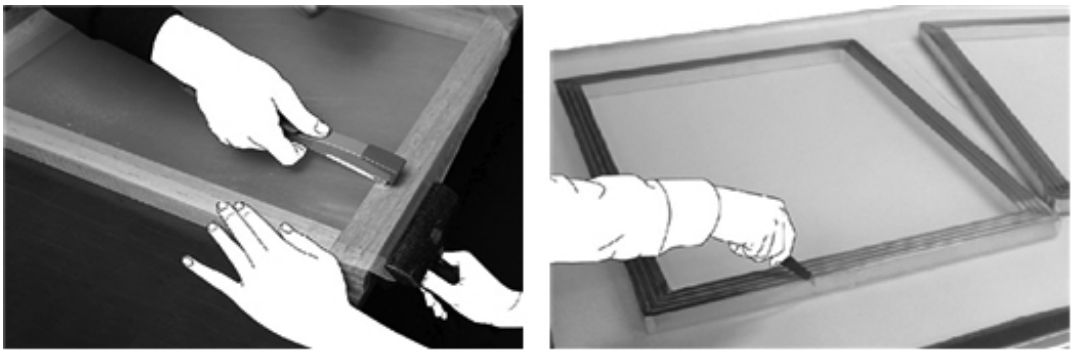
〈Figure 1〉 *Process of Silkscreen Progress*

첫째, 도안 공정에서는 최종 결과물이라 할 수 있는 디자인의 도수 구분 작업이 실시되는데, 1도가 추가 될 때마다 생산비용이 크게 증가하기 때문에 생산단가에 따라 도수가 결정되기도 한다. 1990~2000년대에는 <Figure 2>와 같이 작업자의 핸드드로잉을 그대로 사용하거나 디지털 방식으로 변환하여 사용하는 것이 일반적이었다. 근래의 실제 생산 현장에서는 정밀한 리피트(repeat)와 공정 과정에서의 편의를 위해 시작 단계부터 CAD 작업으로 도안을 제작한다. 이는 인쇄 기술과 디지털 프로그램의 개발에 의한 변화로, 도안 과정에서의 수정이나 편집이 용이하며 1mm 단위까지 컨트롤 할 수 있기에 오차 없는 도안 제작이 가능하다.

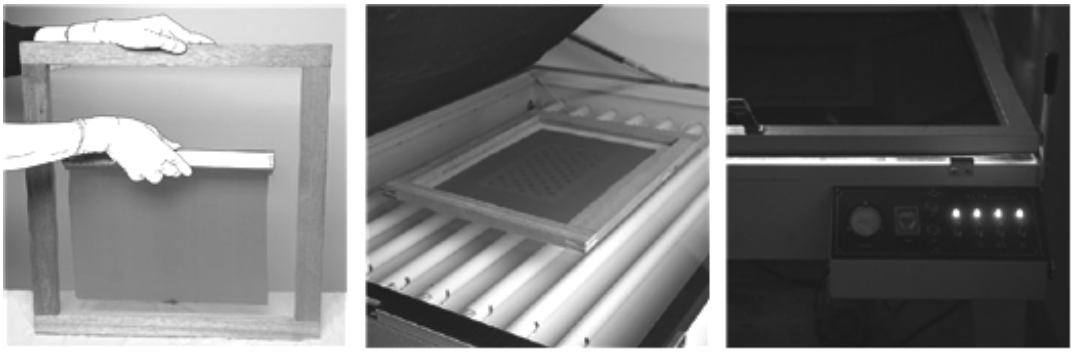


〈Figure 2〉 *Hand Drawing Film & Printed on Transparent Film*

둘째, 제판·감광·탈막 공정은 실크스크린 공정에서 연속적으로 진행되는데, <Figure 3>과 <Figure 4>와 같이 스크린(mesh)을 프레임에 고정한 후 감광액을 도포한다. 이후 스크린에 도안을 밀착시킨 후 노광기를 이용하여 노광 작업을 실시하게 되면 빛에 의한 감응 반응을 통해 도안이 스크린에 맺힌다. 이 때 노광 시간은 사용하는 스크린의 규격이나 도안의 면적, 광원의 강도에 따라 차이가 발생한다. 과거 형광등이 설치된 노광기는 약 300~400초 가량의 노광 시간이 필요했으나, 할로겐등이 설치된 노광기는 약 28초~40초 정도만으로도 공정을 마무리 할 수 있다. 노광 작업이 마무리 된 후 물을 분사하여 스크린의 감광막을 벗겨내서 감광 공정을 마무리한다. 이전의 제판 공정에서는 주로 나무 프레임이 사용되었으나, 탈막 및 수세 과정에서 나무 프레임의 뒤틀림 현상으로 인하여 실무 현장에서는 알루미늄 프레임이 사용되고 있다. 알루미늄 프레임은 반영구적으로 사용이 가능하기 때문에 지속가능성 측면에서 공정상 사용되는 재료의 개선 사례로 꼽힌다. 감광 공정에서 사용되는 감광액은 사용되는 화학물질의 성분과 배합 비율 등은 기업과 업체에서 대외비로 설정해두었기에 정확한 실체 파악에 어려움이 있다. 그러나 감광 반응은 특정 화학물질이 빛에 의해서 발생하는 특성으로 이미 그 성분의 일부가 외부로 알려져 있는데, 이에 해당하는 화학물질로는 페놀, 크레졸, 포름알데히드계, 폴리비닐페놀계 등이 원재료로 사용되고 있다.



〈Figure 3〉 *Plate Making Progress(Wood Frame & Aluminum Frame)*

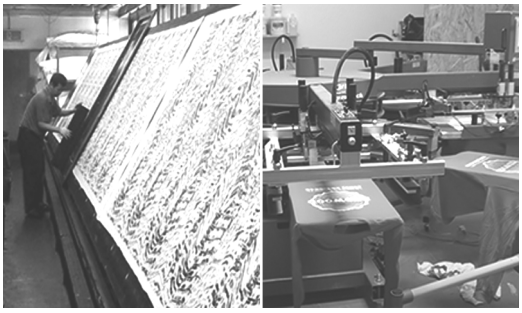


〈Figure 4〉 *Exposure to Light with Design Flim*

〈Figure 5〉 *a Naked Eyes Mixing Colors and CCM Mixing Colors*

셋째, 조색 공정은 바인더에 안료를 섞어 색을 만드는 공정이다. 프린팅하는 대상에 따라 유성 또는 수성 바인더를 사용하고, 색을 만드는 안료 또한 재료의 특성에 맞게 투입된다. 조색 공정은 육안조색과 CCM 활용조색(computer color matching system)으로 분류할 수 있다. 육안조색은 작업자의 노하우와 경험에 의존하여 사용하고자 하는 바인더의 양과 색을 배합하는 방식이며, CCM 활용조색은 컴퓨터와 분광 광도계를 이용하여 측색한 후 이를 데이터로 수치화하여 정해진 색을 조색하는 방식이다. 1990-2000년대, 기술 발전 이전에는 100% 육안조색 방식으로 프린팅을 실시하였기에 프린팅 된 결과물들 사이에도 미세한 색 차가 존재했다고 한다. 현재 산업 현장에서는 생산 규모와 프린팅하는 양에 따라 육안조색 및 CCM 활용조색이 함께 실시된다(Lee, C., 2023). 즉, 소규모 산업현장에서는 첨단 기계의 사용에 따른 비용 증가 및 생산기일 등과 같은 외적인 문제로 기성 제품의 활용이나 육안조색을 통해 공정이 진행되며, 일정 생산규모 이상의 업체에서는 제품의 품질과 안정성을 위하여 CCM 활용조색 방식을 실시하거나 기성 제품이 사용된다. 본 연구자가 방문한 4곳의 업체에서도 규모에 따라 차이가 존재하였는데, <Figure 5>에서와 같이 1일 생산량 1000yd 이상의 A 업체에서는 CCM 활용조색과 육안조색을 함께 진행하고 있었다. 반면에 B, C, D 업체에서는 기성 제품을 구입하여 사용하거나 육안조색 방식으로 진행하는 것을 확인하였다.

넷째, 날인(프린팅) 공정은 핸드 프린팅과 기계 프린팅으로 분류할 수 있다. 핸드 프린팅은 작업자가 직물이나 의류에 직접 프레임을 밀착시키거나 반자동 시스템을 이용하여 프린팅하는 방식이고, 기계 프린팅은 시스템에 입력된 데이터에 따라 자동화 기계가 정해진 프린팅하는 방식이다. 핸드 프린팅과 기계 프린팅은 날인의 대상이나 생산 현장의 규모에 의해 활용에 차이가 있는데, 업체 규모나 생산량이 크지 않는 경우 또는 티셔츠나 맨투맨 티와 같은 상의에 프린팅 할 경우 <Figure 6>와 같이 핸드 프린팅으로 작업이 진행된다. 연구자가 방문했던 4개의 생산업체 중 B 업체는 원단에 날인을 전문으로 하는 4인 이내의 소규모 공장으로 핸드 프린팅으로 작업하는 모습을 확인하였다. C 업체는 티셔츠 프린팅 및 디지털 텍스타일 프린팅을 전문으로, D 업체는 티셔츠 프린팅 제작 전문 업체로 소량 생산에 적합한 작업 환경을 보유하고 있었다. 그와 반면에 A 업체의 경우 <Figure 7>과 같이, 원단과 프레임, 바인더 등이 셋업이 되면 자동화 시스템에 의해 프린팅되는 것을 확인하였다. 이러한 공정의 차이에서 나타나는 대표적인 특징으로는, 핸드 프린팅의 경우 작업자가 직접 모든 공정을 컨트롤한다는 점이다. 이 경우 미세하게 리피트에 오차가 있을 수 있으며 일일 생산량에서도 자동화 시스템에 비해 현저히 느리다는 한계가 있다. 그러나 생산 설비를 구축하는데 큰 비용이 들지 않고 핸드 프린팅에 의해 나타나는 미세한 오차 등은 오히려 장점으로 부각되기도 하는 효과를 보이기도 한다. 기계 프린팅의 경우, 1일 1000yd 이상의 빠른 생산이 가능, 일정한 퀄리티 유지, 제작 시 오차 발생률 제로 등 생산 효율성 측면에서는 매우 큰 장점을 가지고 있다. 반면에 높은 생산 설비와 넓은 공간을 필요로 한다는 점이 해당 시스템이 가진 제약이다. 열처리 공정은 고열에 의해 프린팅이 직물의 표면에 고착되도록 견뢰도를 높이는 과정이다. 실크스크린에서의 후처리 공정은 대다수 열·전기 에너지를 사용하여 진행되기 때문에, 높은 전력 소비가 요구되는 점을 제외하고는 환경에 직접적으로 가해지는 위해성은 없으며(Lee, C,. 2023) 과거와 현재의 공정에 큰 변화는 없는 마감 단계에 해당한다. 공정 상 주의할 점은



〈Figure 6〉 *Hand Printing*

〈Figure 7〉 *Auto Printing*

지나치게 높은 온도로 후처리가 진행될 경우, 프린팅의 피막(皮膜)에 기포나 주름 등 형태 변형이 발생할 수 있기에 바인더의 특성에 맞는 열처리가 요구된다. 상기에 살펴본 실크스크린 공정의 특성과 과거 및 현재의 공정 차이에 대해 간략하게 정리하면 <Table 2>와 같이 정리할 수 있다.

〈Table 2〉 *Silkscreen Progress Comparative Analysis*

	과거	현재
디자인	핸드 드로잉, CAD	CAD
프레임	나무 프레임	알루미늄 프레임
감광	300~400초 빛에 노출	28~40초 빛에 노출
탈막	고압수 분사 방식	
조색	육안조색	CCM 활용조색 / 육안조색
프린팅	핸드 프린팅	핸드프린팅 / 기계 프린팅
열처리	150-200℃의 열처리	

3. 실크스크린 공정의 인체안전성 및 환경위해성 분석

앞서 실크스크린 공정에 대하여 개괄한 바에 의하면, 실크스크린은 대다수의 공정에 화학물질을 원재료로 사용되고 있다. 그렇기에 해당 공정 과정에서 사용되는 여러 재료들에 대한 인체안전성 여부와 공정 과정에서 야기하는 환경위해성을 비판적인 관점으로 살펴볼 필요성이 있다. 실크스크린 기술을 사용하는 제조업체들은 산업안전보건법에 기준한 근로자 안전 및 오염물질·수질과 관련한 폐수배출시설 설치 등 여러 법령에 따른 규제가 존재하고 있다. 그렇지만 본 연구에서는 규제 준수 여부를 논하기보다는 실크스크린이라는 기술이 가진 근원적인 문제점으로서 인체안전성과 환경위해성을 파악하고자 한다. 그 중 타 공정에 비해 감광, 탈막, 날인 공정에서 여러 가지 문제점을 유발하는데, 각각의 공정을 세부적으로 분석한 결과는 다음과 같다.

3.1. 감광 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성

실크스크린 기술의 모든 공정 중 가장 대표적으로 인체와 환경에 유해한 영향을 끼치는 것이 감광 공정이다. 감광 공정에서 사용되는 감광액은 제조공정에 사용되는 핵심 재료 중 한가지로, 현재 알려진 바에 따르면 폴리비닐아세테이트, 폴리비닐알코올, 에탄올, 다이크롬산암모늄, 다이크롬산칼륨, 벤젠 등을 원료로 생산하고 있다. 이러한 화학물질의 결합으로 인해 빛에 반응하는 화학반응을 발생시켜 감광 효과를 나타낸다. 또한 감광액의 조제 과정에서 사용되는 벤젠은 백혈병 및 암 유발 물질로 알려져 있으며, 생식독성(생리불순·자연유산·임신지연), 접촉성 피부염 등의 질환도 발생시킨다(Lee, C., 2023). 해당 화학물질들은 환경부에서 운영하는 화학물질종합정보시스템에 모두 등록된 물질들로, 인체에 유해한 물질이 일정 수치 이상이 함유될 경우 사용을 금지하도록 법적으로 제정되어 있다. 그러나 A, B, C, D 네 곳의 업체를 확인한 결과 규모가 작은 B, D 업체에서만, 시중에서 시판되고 있는 디아졸(Diasol) 307-s와 아조픽스(Azo-Fix) No.1 제품을 사용하고 있었으며, 그 외의 업체에서는 감광액을 제조하는 공장과 직접 계약하여 사용하고 있는 것을 확인하였다. 그렇기에 감광액에 대한 제품의 정보는 확인할 수 없었으며, 사용되고 있는 화학물질의 성분과 혼합비율 등과 같은 경우도 세부적으로 공개하지 않아도 되는 업체의 고유 권한으로 확인이 불가하였다. 그러나 감광 반응을 이끌어내기 위하여 사용되는 보편적인 화학물질들은 앞서 언급한 재료들로 사용되고 있다. 그렇기에 비공개한 업체의 감광액 또한 현재 시판 중인 디아졸 307-s와 아조픽스 No.1의 성분들과 정도의 차이는 있을지언정 크게 다르지 않을 것으로 유추해 볼 수 있다. 이러한 재료의 사용이 당장의 인체에 치명적인 위해를 가한다고 판단할 순 없지만 그 가능성 또한 배제할 수 없다는 점이 감광액의

사용에 있어 잠재적인 위험성을 가진다. 특히 해당 화학물질은 인체에 직접적으로 닿는 것뿐만 아니라 공기 중 인체의 호흡기관으로 흡수될 수 있다는 점에서 더욱 유의해야 할 필요가 있다. 그러나 4곳의 작업 현장을 방문하여 관찰한 결과, 4곳의 실무 현장 내에서 마스크 및 신체에 안전장비를 착용하고 작업하는 근로자는 찾아볼 수 없었다. 또한 감광액은 사용 후 물로 세척되어 공장 내 수질정화 장치를 거쳐 외부로 배출되는데, 정화 과정을 거치더라도 방출되는 폐수 속에 미세 플라스틱과 화학물질들이 포함되어 있기 때문에 이로 인해 발생하는 환경문제 또한 간과할 수는 없다.

3.2. 탈막 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성

탈막 공정에서 발생 가능한 인체안전성 문제에는 액상 형태의 탈막제를 사용하는 경우에 발생할 수 있다. 탈막이라는 용어가 맥락에 따라 두 가지 의미로 사용되는데, 첫 번째로 노광 이후 스크린의 감광막을 수세하면서 벗겨내는 경우에 사용한다. 두 번째로는 이미 프린팅에 사용된 프레임의 재사용을 위해 화학약품으로 감광막을 제거하는 경우에도 탈막이라는 용어를 사용한다. 이 때 사용하는 탈막제는 크실렌, 톨루엔 등과 같이 유해한 화학물질을 함유한 성분이다. 이들은 흡입(호흡기)을 통해 인체에 영향을 끼치며 직접적인 피부 접촉 시에도 각종 질환을 야기할 수 있다. 해당 제품들의 판매처에서도 보호 장비 착용과 작업환경(환기) 같은 안전과 관련된 주의사항을 명시하는 모습을 확인할 수 있다. 환경위해성 문제를 살펴보면 감광막을 벗겨내는 과정에서 발생하는 많은 양의 슬러지(sludge)가 주된 요인으로 볼 수 있다. 이 과정에서 많은 양의 용수가 사용되는데, 해당 용수를 정화하여 방류하거나 재사용하는 것이 일반적이나 일부에서는 정화되지 않은 산업 폐수의 무분별한 방류로 인한 환경 법령 위반 사례가 매년 기사화 되고 있는 실정이다. 그와 함께 탈막 과정에서 발생하는 슬러지로 인하여 방류되는 정화수 내에서도 미세 플레스틱이 함께 배출되는 문제 또한 수질 환경 개선을 위한 근본적인 해결책 마련이 필요하다.

〈Figure 8〉 *Removing Film(left) and Removing the Drawing Fluid(right)*

3.3. 날인(프린팅) 공정에서의 인체안전성 및 환경위해성

날인 공정에서 발생하는 위해성 여부를 살펴보면, 어떠한 속성의 바인더를 사용했는지에 따라 유해한 정도에서 차이를 보이는데 유리, 플라스틱, 금속의 표면에 사용하는 유성 바인더의 경우 에폭시, 폴리우레탄, 요소 등 높은 접착성분을 원재료로 한다. 이들 성분들은 중합과정에서 기화된다는 물리적 성질을 가지고 있는데, 안세진 외(An et al., 2011, p. 464)의 연구결과에 의하면 신체의 피부 조직이 지속적으로 용제에 노출될 경우 피부손상이 발생할 가능성에 대하여 언급하였다. 원단 등의 직물에 주로 사용되는 수성 바인더의 경우에도 합성수지와 기타 화학보조제가 쓰이지만 유성 바인더에 비해 혼용되는 농도가 낮은 편이기 때문에 신체에서 냄새에 반응할 정도의 문제는 가지고 있지 않다. 그렇지만 화학물질들에 의해 신체가 장기간 노출되었을 때의 인체에 미치는 부정적인 영향력은 다수의 산업 근로 노동자가 겪었던 사례를 토대로 보았을 때, 실무 현장에서의 자체적인 규정과 지속적인 관리감독, 산업 근로자에 대한 지속적인 교육이 필요한 시점이다.

〈Figure 9〉 *Workspace of Silkscreen*

환경위해성 문제로 날인 공정에서는 사용 이후 스크린에 묻은 바인더와 잔여 바인더의 처리 문제에서도 많은 양의 폐기물과 산업 폐수를

발생시키는 문제를 안고 있다. 이들의 세척을 위해 사용되는 용수와 그 과정에서 발생하는 폐수, 정화 처리 시설의 가동에 따른 에너지 소비 등이 추가적으로 발생하는 환경위해성에 포함된다. 그 외에도 날인 이후 프레임, 스퀴지, 버켓 등을 세척하는 과정에서 <Figure 9>와 같이 오염된 상태의 작업환경이 지속적으로 노출되는 현상 등은 실크스크린 공정에서 야기하는 여러 가지 환경적 문제를 여실히 나타내는 자료라고 볼 수 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구는 지속가능성으로의 패러다임 전환이 본격화 되는 사회적 분위기 속에서 실크스크린 공정에서 야기하는 인체안전성과 환경위해성에 대한 분석을 실시하였다. 이를 위하여 실크스크린 공정에 대한 개괄적 분석과 더불어 실제 공정을 볼 수 있는 실무 현장을 관찰하고 이 과정에서 외부로 노출되지 않았던 여러 안전 및 환경 문제점들을 지속가능한 발전을 추구하는 관점에서 분석해 보았다. 분석의 결과는 다음과 같다.

첫째, 지속가능한 발전을 위한 사회 패러다임은 실크스크린 산업에서 발생시키는 환경 문제에 대한 분석의 필요성을 야기하였다. 이를 통해 실크스크린 기술이 넓은 범용성을 토대로 산업 전방위에서 활용되고 필수적인 기술이라는 점을 확인하였다. 직물이나 의복 등의 분야에만 활용되는 것이 아니라, 반도체와 같은 하이테크놀로지 산업에도 기술이 활용되고 있었으며 그렇기에 해당 기술이 개선될 수 있는 방향으로의 검토와 기술개발의 필요성이 있다.

둘째, 실크스크린 공정 분석을 통해 확인한 결과, 공정 전반에 화학물질이 사용되고 있었으며 이 과정에서 인체안전성과 환경위해성에 대한 문제점이 두드러지게 나타났다. 특히, 실제 공정이 진행되는 실무 현장에서는 화학물질에 쉽게 노출된 구조를 가지고 있으며, 근로자의 근무 시 안전 보호 장비나 작업 환경에 대한 충분한 조치가 이루어지지 않은 것을 확인하였다. 이는 화학물질의 흡입이나 접촉이 인간의 몸에 즉각적으로 반응하지 않기 때문에 발생하는 안전 불감증이 하나의 원인으로 예측해 볼 수 있다. 환경위해성 측면에서는 필수불가결하게 사용되어야 하는 다량의 용수와 그로인해 발생하는 폐수가 가장 심각한 문제로 관찰되었다. 과거와 비교하였을 때 관련 법규나 환경 단체의 감시, 폐기물 및 환경오염물질의 배출 기준이 강화되었기 때문에 많은 개선이 이루어진 것 또한 사실이나, 장기적인 관점에서 본다면 현재 사용되고 있는 화학물질이 인체에 유해하지 않은 성분들로 대체될 필요성이 있다.

종합적으로 보면, 실크스크린은 인간들의 실생활과 산업 모두에서 필요로 하는 매우 중요한 기술이다. 그렇다면 지속가능한 발전 방향으로 나아가는 현대 사회에서 기술이 경쟁력을 가지고 중요한 역할을 수행하기 위해서는 해당 물질들의 사용이 인간과 환경에 미치는 부정적인 영향을 인지하고, 이의 개선을 위한 적극적인 변화의 노력이 필요할 것이다. 그에 대한 가능성으로는, 현재 발생하는 여러 환경 오염물질들에 대한 완벽한 형태의 정화장치 개발이 당장의 가시적 변화로 나타나야할 필요가 있다. 또한 필수 불가결하게 사용할 수밖에 없는 화학물질이나 그 외의 재료들을 사용하는 데에 있어서 환경 친화적인 대체 재료의 개발이 우선되어야 한다. 궁극적으로는 현재 실크스크린 기술을 대체할 수 있는 새로운 방식의 날인 방안에 대한 연구를 통해서 현재 실크스크린이 가지고 있는 태생적 한계점을 극복할 필요가 있다. 본 연구는 실제 산업 현장에서 목격한 바를 토대로 실크스크린 기술의 문제점을 보다 적극적으로 알림으로서, 해당 기술에 대한 인식을 확대하고 다양한 학문 분야에서 개선된 방안을 마련하는데 도움이 되기를 희망한다.

References

FS Innovation. (2021). *Using eco-friendly as a marketing tool,* Greenwashing. https://fsinnovation21.com/blogs/news-letter (accessed 2023, September 28)

Garment Printing. (n.d.). *Eco-friendly screen printing – is it possible?*

https://www.garmentprinting.co.uk/garment-printing-techniques/plastisol-screen-printing/ (accessed 2023, December 24)
Korea Consumer Agency Press Release. (2022). *Factual survey of green advertising.* https://www.kca.go.kr/eng/main.do (accessed 2023, October 2)
Lee, C. M. (2023). *Complementary methods of silk screen for sustainable textile design* [Unpublished doctoral dissertation]. Konkuk University.
Lee, J. C. (2022, November 9). Ten businesses in the Seoul metropolitan area that repeatedly violated environmental laws. *Incheon Ilbo.* https://www.incheonilbo.com/news/articleView.html?idxno=1169049 (accessed 2023, October 8)
Magique-a. (n.d.). *Silkscreen.* https://magique-a.com/product/%ED%83%88%EB%A7%89%EC%A0%9C/1469/ (accessed 2023, October 9)
Sustainability. *Wikipedia.* https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A7%80%EC%86%8D_%EA%B0%80%EB%8A%A5%EC%84%B1 (accessed 2023, October 7)
Taschereau, D. (2013, February 25) *Beyond buzzwords: Environmental review of screenprinting methods. https://fairware.com/beyond-buzzwords-environmental-review-of-screenprinting-methods/* (accessed 2023, December 23)

List of Figures

〈Figure 2〉 https://www.dharmatrading.com/home/screen-printing-101-lil-blue-boo-photo-emulsion-tutorial.html (accessed 2023, October 3)
〈Figure 8〉 https://www.reddit.com/r/SCREENPRINTING/comments/qxtv50/desperate_for_your_help_this_is_after_exposing (accessed 2023, October 7)
〈Figure 8〉 https://www.youtube.com/watch?v=6iMFlu1jq-Y (accessed 2023, October 8)