



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

**무인 의류 공장을 위한 재봉템플릿  
자동 정렬 및 배치 플랫폼 개발**

**Development of Sewing Template  
Automatic Alignment and Placement Platform  
for Unmanned Garment Factory**

2021 년 2 월

서울대학교 대학원

기계공학부

김 태 환

무인 의류 공장을 위한 재봉템플릿  
자동 정렬 및 배치 플랫폼 개발

Development of Sewing Template  
Automatic Alignment and Placement Platform  
for Unmanned Garment Factory

지도교수 박 용 래

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2020 년 10 월

서울대학교 대학원

기계공학부

김 태 환

김태환의 공학석사 학위논문을 인준함

2020 년 12 월

위원장 : 이 건 우 (인) 

부위원장 : 박 용 래 (인) 

위 원 : 차 석 원 (인) 

# 초 록

현재 의류 산업은 포스트 코로나 시대를 대비하여 회복탄력성 있는 공급망을 구축하고, 다가오는 패션 4.0 시대를 위해 패션 트렌드에 민감하게 대처하는 고객 맞춤형 다품종 소량생산을 실현해야 한다. 두 시대의 흐름을 동시에 대비하기 위해서는 제조 공장을 자국에 유치하는 리쇼어링을 고려할 필요가 있으며, 리쇼어링의 장애물인 인건비 문제를 해결하기 위한 대안으로 무인 의류 공장 연구가 필수적이다.

그러나 의류 공장은 기술적·사업적 문제로 인해 공정 자동화 단계에 머물러 있다. 또한 노동집약적 산업의 특성상 고도화된 자동화 시스템을 도입하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 현재 의류 공장에서 원활하게 작동되고 있는 생산 공정에 자동화 기술을 추가하는 방식으로 자동화 문제를 접근하고자, 패턴포머 공정에서 재봉템플릿 다루는 작업을 무인 자동화하기 위한 시스템을 개발하였다.

재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼은 패턴포머와 별도의 결합 없이 패턴포머 앞에 위치한 상태로 작동하며, 패턴포머 공정에서 템플릿 정렬·개폐·배치 작업을 자동으로 수행한다. 패턴포머·외부 시스템과 작동 신호를 주고받을 수 있도록 부가 모듈을 추가하였다. 재봉템플릿 정렬 모듈의 경우, 1-DOF 적응형 센터링 메커니즘을 적용하여 임의의 크기의 재봉템플릿을 정렬할 수 있도록 설계하였다.

실험을 통해 주요 구동부별로 거동 특성을 확인하고 패턴포머 공정에서 일하는 작업자와 자동화 시스템의 공정 소요 시간을 비교하여 공정 자동화 실현 가능성을 검토하였다.

**주요어** : 무인의류공장, 자동화, 재봉템플릿, 패턴포머, 자석퓨즈, 적응형센터링메커니즘, 필름스위치

**학 번** : 2019-29863

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
1.1 포스트 코로나 시대와 무인 공장.....	1
1.2 포스트 코로나 시대의 패션 4.0 .....	2
1.3 봉제 자동화 기술 현황.....	6
1.4 연구 목적.....	9
제 2 장 공정 분석 및 요구기능 정의.....	10
2.1 패턴포머 공정 분석.....	10
2.1.1 재봉템플릿 .....	10
2.1.2 패턴포머.....	12
2.1.3 공정 단계 .....	15
2.1.4 공정 단계별 소요시간.....	18
2.2 요구기능 정의.....	21
제 3 장 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 개발.....	29
3.1 재봉템플릿 정렬 모듈 .....	34
3.1.1 1-자유도 센터링 메커니즘.....	34
3.1.2 자석 퓨즈 로드 .....	36
3.2 재봉템플릿 개폐 모듈 .....	37
3.3 재봉템플릿 배치 모듈 .....	41
3.3.1 필름 스위치.....	45
3.4 작동 알고리즘.....	48
제 4 장 성능 실험 .....	50
4.1 재봉템플릿 배치 모듈 진동 분석.....	51
4.2 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 작동 실험 .....	56
제 5 장 결 론 .....	57
참고 문헌.....	58
Abstract .....	64

# 표 목차

표 2.1	패턴포머 공정 단계별 소요시간.....	20
표 2.2	재봉템플릿 샘플 제원.....	24
표 2.3	요구기능목록.....	26
표 3.1	재봉템플릿 정렬 모듈 스테퍼 모터 사양.....	34
표 3.2	재봉템플릿 개폐 모듈 DC 모터 사양.....	37
표 3.3	재봉템플릿 개폐 모듈 진공 펌프 사양.....	37
표 3.4	재봉템플릿 배치 모듈 DC 모터 사양.....	41
표 3.5	OHP 필름과 구리 테이프의 레이저 가공.....	46
표 4.1	성능 실험용 재봉템플릿 제원.....	50
표 4.2	재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 작동 단계별 소요시간.....	56

# 그림 목차

그림 1.1	포스트 코로나 시대와 패션 4.0을 준비하기 위한 무인 공장 ..5
그림 2.1	재봉템플릿..... 11
그림 2.2	패턴포머 ..... 13
그림 2.3	재봉템플릿이 장착된 패턴포머..... 14
그림 2.4	패턴포머 공정 단계..... 16
그림 2.5	패턴포머 공정 순서도..... 17
그림 2.6	패턴포머 공정 영상 분석..... 19
그림 2.7	패턴포머 모델 Unicorn UAS-H700-D의 삼면도와 제원... 22
그림 2.8	패턴포머 모델 Unicorn UAS-H700-D 아키텍처 ..... 23
그림 2.9	의류 공장 패턴포머 공정에 사용되는 재봉템플릿 샘플 ..... 24
그림 2.10	시스템 요구기능 아키텍처..... 27
그림 2.11	패턴포머 2축 CNC 유닛의 워크스페이스(workspace)와 재봉템플릿의 동작 공간..... 28
그림 3.1	재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼..... 30
그림 3.2	재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼의 삼면도와 제원 ..... 31
그림 3.3	재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 주요 구동부 ..... 32
그림 3.4	패턴포머 앞에 설치된 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼과 부가 모듈..... 33
그림 3.5	재봉템플릿 정렬 모듈..... 35
그림 3.6	자석 푸즈 로드..... 36
그림 3.7	재봉템플릿 개폐 모듈..... 38
그림 3.8	재봉템플릿 개폐 모듈 구동부의 기어 트레인..... 39
그림 3.9	재봉템플릿 개폐 모듈의 전기-공압 회로 개략도..... 40
그림 3.10	재봉템플릿 배치 모듈..... 42
그림 3.11	재봉템플릿 배치 유닛 공압 프레스의 전기-공압 회로 개략도..... 43
그림 3.12	재봉템플릿 스톱퍼 유닛의 전기-공압 회로 개략도..... 44
그림 3.13	필름 스위치, (a) 스톱퍼 유닛, (b) 패턴포머 장착 지점..... 45
그림 3.14	필름 스위치 가공 도면, 스톱퍼 유닛 필름 스위치 (a) OHP 필름 가공도면, (b) 구리 테이프 가공도면, (c) 부착 도면, 패턴포머 장착 지점 필름스위치 (d) OHP 필름 가공도면, (e) 구리 테이프 가공 도면, (c) 부착 도면..... 46

그림 3.15 필름 스위치 제작 과정 .....	47
그림 3.16 작동 알고리즘 .....	49
그림 4.1 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 성능 실험용 재봉템플릿, (a) 재봉템플릿 제원과 원단 배치도, (b) 실물 사진.....	50
그림 4.2 재봉템플릿 배치 모듈의 작동 속도에 따른 볼 스크류 진동, (a) 배치 유닛 전진 시 진동, (b) 배치 유닛 후진 시 진동.....	52
그림 4.3 재봉템플릿 배치 모듈의 볼 스크류 진동 측정 실험 .....	53
그림 4.4 재봉템플릿 배치 모듈 구동부 PWM 입력에 따른 (a) 볼 스크류 회전 속도와, (b) 작동 시간 .....	54
그림 4.5 재봉템플릿 배치 모듈 구동부 PWM 입력에 따른 진동 가속도, (a) 재봉템플릿이 없는 경우, (b) 재봉템플릿이 있는 경우.....	55

# 제 1 장 서 론

## 1.1 포스트 코로나 시대와 무인 공장

2020년, COVID-19(Coronavirus Disease-2019)로 인해 글로벌 공급망(global supply chains)이 마비되어 전세계 생산 활동이 정체되는 것을 경험하였다 [1][2]. 이에 특정 국가나 지역에 집중되어 있었던 공급원을 분산하고 다양화하여 이전보다 회복탄력성(resilience)이 높은 공급망을 구축해야 한다는 의견이 나오고 있다 [3][4]. 선진국 다국적 기업들이 저렴한 인건비와 시장 접근성 등의 효율성[5][6]보다도 회복탄력성을 고려하여 공급망을 재구축하려는 가운데 [7][8], 주요 부품의 공급원을 자국에 유치하는 리쇼어링(reshoring)을 적극적으로 검토하고 있다 [9][10]. 포스트 코로나 시대(post-corona era)에는 제조 공장의 리쇼어링과 공급망 재구축이 가속화될 것으로 전망한다.

선진국 다국적 기업들이 리쇼어링을 결정하였다면, 이를 실현하기 위해 넘어야 할 가장 높은 장벽은 비싼 인건비이다. 해마다 제조 인력의 인건비가 오르고 있는 추세이므로 [11][12], 인건비 문제를 해결하지 않는다면 자국에서 제조 공장을 장기간 운영할 수 없다. 리쇼어링으로 구축한 지역 공급망(local supply chains)을 안정적으로 유지하기 위해서는 인건비 문제를 반드시 해결해야 한다. 따라서 선진국은 제조 공장을 운영하는데 소요되는 인건비를 절감하여 지역 공급망이 안정될 수 있도록 무인 공장(unmanned factory)을 준비할 필요가 있다.

Lights-out factory[13]로도 통용되는 무인 공장은 생산 라인에 제조 인력을 투입하지 않아도 자율적으로 제품을 생산하는 시스템 환경을 의미한다 [11][14]. 인터스트리 4.0(Industry 4.0)[15]에서 비롯된 스마트팩토리(smart factory)가 생산 라인 내에서 작업자와 자율 로봇이 협동하는 것을 목표로 하고 있다면 [16][17], 본 연구에서 언급하는 무인 공장은 제조 공정을 완전 자동화하여 생산 라인에서 제조 인력을 제외하고 운영과 관리를 담당하는 최소 인력만 투입하는 것을 목표로 한다 [18][19].

일반적으로 제조 공정을 자동화하면 생산 라인을 모니터링하는 업무가 추가되는데, 이때 자동화로 전환된 생산 작업량보다 모니터링에 필요한 작업량이 상대적으로 적다 [20]. 인력을 제조에서 모니터링으로

옮기는 과정에서 공장을 운영하기 위한 인력을 줄일 수 있으므로, 공정 자동화를 통해 무인 공장을 구축한다면 인건비를 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 또한 야간에도 공장을 가동할 수 있으므로 공정을 이전보다 유연하게 계획할 수 있어 효율성 측면에서 부가 효과를 누릴 수 있다 [21][22].

실제로 일본 산업용 로봇 제조회사 FANUC은 2001년부터 최대 600시간동안 자동으로 로봇을 생산하는 무인 공장을 운영해오고 있으며 [14][22], 미국 플라스틱 사출 성형 회사 Medical Components of America는 사출 성형 공정을 자동화하여 주 80~100시간동안 작업자의 개입 없이 제품을 생산한다 [23]. 최근에는 미국 소규모 3D 프린팅 회사 Voodoo Manufacturing에서 로봇 팔을 도입하여 3D 프린터 출력이 완료되면 베드를 교체하는 과정을 무인 자동화한 바 있다 [24]. 위 사례들로 미루어 보았을 때, 무인 공장이 기술과 사업 측면에서 충분히 실현 가능하다는 것을 귀납적으로 추론할 수 있다.

앞서 서술한 바와 같이, 무인 공장은 인건비 문제를 해결함으로써 선진국 다국적 기업들이 리쇼어링을 실현할 수 있는 방안이 될 것이다. 다가오는 포스트 코로나 시대를 대비하기 위해 이전보다 안정적인 공급망을 구축할 수 있도록 무인 공장을 준비해야 한다.

## 1.2 포스트 코로나 시대의 패션 4.0

2013년 독일에서 제안된 인더스트리 4.0의 비전이 IoT(Internet of Things), 빅데이터(big data), 클라우드 컴퓨팅(cloud computing), 가상물리시스템(cyber physical system), AI(Artificial Intelligence) 등의 발전으로 조금씩 실현되면서, 의류 산업도 이에 발맞춰 새로운 도약을 준비하고 있다.

의류 산업의 혁신인 패션 4.0(Fashion Industry 4.0)은 인더스트리 4.0의 기술을 의류 산업에 도입하여 소비자에게 다양한 디지털 경험을 제공하고, 고객의 취향과 패션 트렌드를 의류 생산에 실시간으로 반영하는 것을 목표로 한다 [25][26]. 고객이 본인의 신체 치수와 취향에 따라 옷을 커스터마이징(customizing)하면, 이에 맞게 의류를 제작하여 소비자에게 바로 전달하는 생산 라인을 구축함으로써 고객 맞춤형 다품종 소량생산을 실현하는 것이다 [25]. 이때 고객이 의류를 주문하는 대로 생산하여 빠르게 유통하기 위해서는 의류 제조 공장이

고객과 가까운 위치에 있어야 한다. 즉, 잠재적 고객과 같은 국가에 공장을 유치하는 것이 서비스와 유통 비용 측면에서 유리하다. 매장 생산 방식인 스토어팩토리(Storefactory)를 설명한 문헌에 따르면, 전통적인 의류 생산 방식으로는 기획 상품이 판매대에 오르기까지 약 290일이 소요되는 반면, 스토어팩토리 생산 방식으로는 배송 준비까지 약 180분이 소요된다 [25]. 의류 제조 라인이 고객과 가까울수록 생산부터 유통까지 소요되는 시간이 짧아져 패션 트렌드에 민감하게 대응할 수 있다.

독일 스포츠 의류 다국적 기업 Adidas가 2016년부터 2019년까지 독일과 미국에서 시도했던 스피드팩토리(Speedfactory)가 패션 4.0 생산 방식의 대표적인 사례이다. Adidas의 스피드팩토리는 3D 프린팅, 로봇 팔, 자동 봉제기를 도입해 소규모의 인력으로 러닝화를 생산하는 공장이다 [27][28]. 러닝화는 주로 중국, 인도네시아, 베트남에서 생산되어 유통되어왔으나, 고객 접근성을 높이기 위해 독일과 미국에 공장을 설립하였으며, 고객의 취향과 패션 트렌드를 빠르게 반영할 수 있도록 생산 공정을 전면 디지털화 하였다. 현재는 아시아에 위치한 공장에 스피드팩토리 기술을 적용하기 위해 운영을 중단한 상태이다 [29][30].

스피드팩토리와 같은 패션 4.0 의류 공장을 구축했을 때 기대할 수 있는 효과는 분명 있으나, 해외에 의류 공장을 두고 있는 선진국 다국적 기업 입장에서는 선뜻 추진하기 어려운 시스템이다. 작은 외력에도 쉽게 변형되는 원단의 성질 때문에 자동화가 쉽지 않을뿐더러, 의류 공장에서 취급하는 모든 종류의 원단을 다룰 수 있는 단일 시스템을 구축하는데 어려움이 있다 [31][32]. 무엇보다도 상품 판매로 얻는 순이익이 상대적으로 적은 노동집약적 산업 특성상, 해외 공장을 선진국으로 이전하여 고도의 시스템을 도입했을 때 기대할 수 있는 마진이 크지 않으므로 결정을 내리기 어려운 입장이다 [32].

한편, 다른 제조업과 마찬가지로, 의류 산업 또한 회복탄력성 있는 공급망의 필요성이 대두되었다 [33][34]. COVID-19 감염 확산을 막기 위해 전세계 원자재 공장과의 의류 생산 공장이 차례대로 폐쇄되면서 의류 생산량이 감소하고 시장이 위축되었다 [35]. 이에 의류 산업계는 포스트 코로나 시대를 대비하기 위해 회복탄력성을 고려하여 공급망을 재구축 해야하는 과제를 안고 있으며, 이 가운데 의류 제조 공장의 리쇼어링이 하나의 대안으로써 언급되고 있다 [36][37].

현재 의류 산업은 두 시대의 흐름을 대비해야 하는 상황이다. (1)

패션 트렌드에 민감하게 대처하는 고객 맞춤형 다품종 소량생산을 구현함과 동시에, (2) 회복탄력성을 갖춘 공급망을 구축해야 하는 것이다. 만약 선진국 다국적 기업이 의류 산업의 리쇼어링을 추진한다면, 자국에 의류 제조 공장을 유치함으로써 공급망의 회복탄력성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 패션 4.0 생산 방식을 실현하기 위한 밑거름으로도 삼을 수 있다. 이때 무인 공장이 리쇼어링에 의해 수반되는 인건비 문제를 해결할 수 있으므로, 무인 의류 공장 연구는 의류 산업이 시대의 흐름에 발빠르게 대처하기 위한 수단이 될 것이다 (그림 1.1).

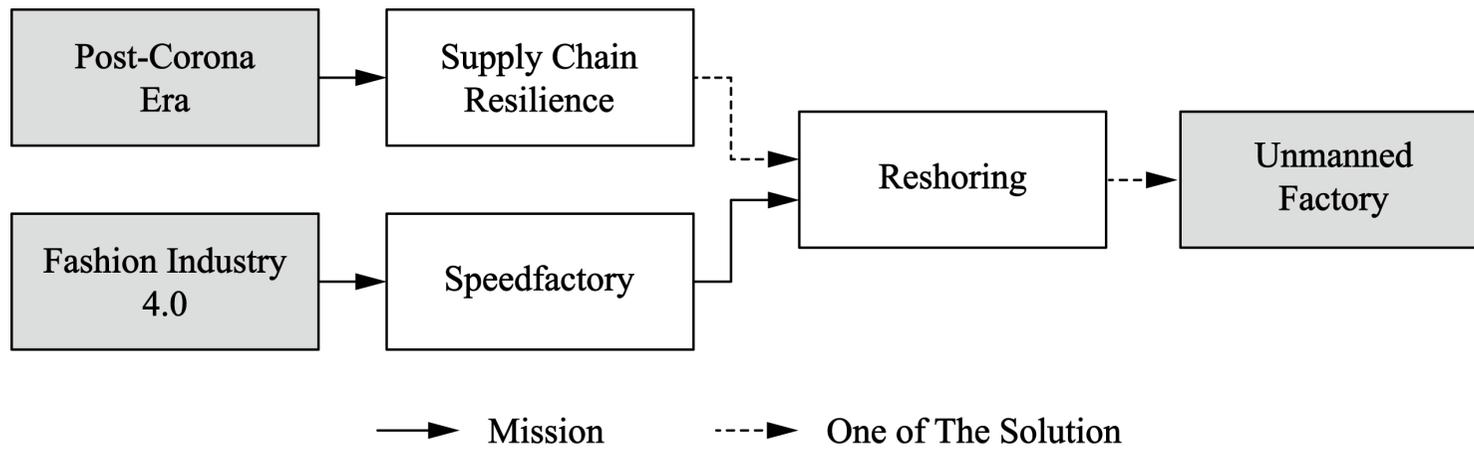


그림 1.1 포스트 코로나 시대와 패션 4.0을 준비하기 위한 무인 공장

### 1.3 봉제 자동화 기술 현황

무인 공장을 구축하기 위해서는 생산 공정 자동화 기술과 이와 관련된 인프라가 충분히 뒷받침되어야 한다. 그러나 의류 산업의 경우, 앞서 언급한 바와 같이 전통적인 기계 시스템으로는 다양한 원단을 다루기 어렵다는 문제와, 자동화 시스템을 도입하더라도 마진이 적다는 문제가 걸림돌이 되고 있어 자본집약적 산업에 비해 자동화율이 현저히 낮다. International Federation of Robotics에서 공개한 자료에 따르면, 자동차 산업과 전기·전자 산업에서의 산업용 로봇 구매량이 2015년에 각각 10만 대, 8만 대를 돌파한 반면, 의류 산업에서의 로봇 구매량은 250대 수준이었다 [32]. 자본집약적 산업과 비교한다면, 현재 의류 공장은 시스템 고도화 단계보다는 공정 자동화 단계에 머물러 있다고 볼 수 있다.

의류 생산 공정을 자동화하기 위해 여러 방향으로 연구가 진행되고 있다. 자동화 시스템이 원단 부속품을 집어 옮길 수 있도록 전용 그리퍼(gripper)를 개발하거나 [38][39], 로봇 팔 [40][41][42] 혹은 부가 모듈을 도입하여 [43] 봉제를 자동화하는 등, 노동집약적 작업을 자동화하는 기술이 개발되고 있다. 이외에도 봉제 자동화 시스템을 상용화하여 상품으로 판매하고 있는 기업들도 있다. 미국 기업 Softwear Automation은 봉제 공정을 자동화한 시스템 전체를 설계하여 판매하고 있으며 [44], 독일 기업 Vetron Typical은 봉제부에서 원단의 방향을 자동으로 제어하는 봉제기를 판매하고 있다 [45].

위 기술을 의류 공장에 적용한다면 공정을 완전 자동화할 수 있겠지만, 여전히 마진 문제가 걸림돌이 된다. 기술을 적용하려면 기존 인프라를 새로운 시스템으로 교체해야 하는데, 교체에 투입되는 비용 대비 기대할 수 있는 이익이 크지 않기 때문이다. 또한 공정 신뢰도가 검증된 사례가 아직 많지 않으므로 검증 없이 바로 적용하기에는 무리가 있다. 자동화 시스템을 도입하는 과정에서 발생할 시행착오를 줄이고 투자 효율성을 높여 마진 문제를 극복하기 위해서는, 이미 원활하게 작동하고 있는 생산 공정에 자동화 기술을 조금씩 추가하는 방식으로 접근할 필요가 있다 [46].

현대 의류 공장에는 원단을 자동으로 봉제하는 패턴포머(pattern former) 공정이 도입되어 있다. 패턴포머 공정은 패턴포머라는 이름의 기계를 이용하는 공정인데, 2축 CNC 유닛과 봉제 유닛이 결합되어 있어 2차원 봉제 작업을 자동으로 수행하는 기계이다 [47]. 봉제 시 원단이

구겨지지 않도록 원단을 재봉템플릿(sewing template) 사이에 배치한 뒤, 템플릿을 2축 CNC 유닛에 장착하면 패턴포머에 입력된 경로에 따라 원단을 재봉한다. 작업자의 숙련도와 상관없이 동일한 품질을 기대할 수 있어, 주로 숙련도가 낮은 작업자가 해당 공정에 배치된다.

패턴포머 공정이 의류 공장에서 가장 자동화된 공정이라 할 수 있겠으나, 이를 운용하기 위해서는 여전히 인력이 필요하다. 원단을 재봉템플릿 사이에 배치하는 작업은 정해진 위치에 여러 겹의 원단을 배치하는 정밀도와, 원단이 구겨지지 않도록 펼치는 섬세함이 동시에 요구되는 작업이므로 자동화하기 어렵다. 재봉템플릿을 여닫거나 옮기는 작업은 산업용 로봇으로 대체할 수 있겠으나 [48], 작업자의 안전을 위한 작동 속도와 구매·유지비를 고려하면 인력을 이용하는 편이 경제적인 면에서 효율적이다.

하지만 재봉템플릿을 다루는 작업만이라도 자동화한다면 기대할 수 있는 효과는 분명히 있다. 보통 패턴포머 공정에서 재봉하는 원단의 크기가 사람의 상반신이나 하반신 크기인 만큼, 재봉템플릿의 크기도 크다. 패턴포머 공정에 배치된 작업자는 본인 상반신 크기의 템플릿을 여닫고 옮기는 행위를 반복해야하기 때문에, 작업 시간이 지날수록 피로도가 누적되어 능률이 낮아질 수 있다. 따라서 패턴포머 공정에서 템플릿 다루는 작업을 로봇 팔 같은 고가의 시스템을 이용하지 않고 자동화한다면 작업자의 능률과 경제적인 측면에서 효과를 볼 수 있을 것이다. 추후에 원단을 배치하는 작업까지 자동화한다면 패턴포머 공정의 무인 자동화도 가능하다.

중국 봉제기 제조 회사에서 패턴포머에 기능을 추가하여 재봉템플릿 다루는 작업을 일부 자동화한 사례가 있다. 중국 봉제기 제조회사 Richpeace는 원단이 배치된 재봉템플릿을 이동시켜 패턴포머에 자동으로 장착하는 모델을 판매하고 있다 [49]. 기존의 패턴포머는 작업자가 재봉템플릿을 옮겨 패턴포머에 직접 장착해야하는 반면, 해당 모델은 패턴포머와 작업자 사이를 오가는 이동 유닛이 있어 작업자가 템플릿을 옮길 필요가 없다. 작업자가 본인 앞에 놓인 재봉템플릿에 원단을 배치하면, 이동 유닛이 템플릿을 공압 프레스로 누른 상태로 이동하여 패턴포머에 장착시킨다. 봉제가 완료되면 이동 유닛이 템플릿을 잡고 옮겨 작업자에게 반환한다. 또한 해당 모델은 패턴포머의 가동률을 높이기 위해 패턴포머 양쪽으로 이동 유닛이 있어 한 작업자가 두 유닛 사이를 오가며 원단 배치 작업을 할 수 있다.

중국 봉제기 제조회사 JUITA에서도 이동 유닛이 추가된 패턴포머

모델을 판매하고 있다 [50]. 해당 모델에는 재봉템플릿 구멍에 공압 토글을 하단에서 걸어 패턴포머로 이동하는 하부 유닛과, 봉제가 완료된 템플릿을 진공 그리퍼로 들어올려 작업자에게 반환하는 상부 유닛이 추가되어 있다. 작업자가 원단 배치를 마치면 하부 유닛이 재봉템플릿을 패턴포머에 장착시키고, 이와 동시에 상부 유닛은 패턴포머에서 봉제가 완료된 템플릿을 들어올려 작업자에게 반환한다. Richpeace의 모델과는 다르게, 작업자가 다른 이동 유닛으로 움직일 필요 없이 한 자리에서 원단 배치 작업을 할 수 있다. 이외에 패턴포머 양쪽으로 이동 유닛을 추가하여 작업자 두 명이 패턴포머 한 대를 공유하는 모델도 판매하고 있다 [51].

중국 봉제기 제조회사 YWK는 적재된 재봉템플릿을 패턴포머에 순서대로 장착하는 공급 유닛이 추가된 모델을 시도한 바 있다 [52]. 작업자가 사전에 재봉템플릿에 원단을 배치하여 공급 유닛에 적재하면, 공급 유닛이 재봉템플릿을 패턴포머에 장착시킨다. 봉제가 완료되면 재봉템플릿은 원래 있던 공급 유닛으로 반환되고, 적재된 순서에 따라 봉제 작업을 반복한다. 작업자가 사전에 재봉템플릿을 충분히 적재해 놓는다면 작업자 없이 독립적으로 봉제 작업을 할 수 있다.

앞서 소개한 사례 모두 작업자가 재봉템플릿을 패턴포머에 장착하고 반환하는 작업을 자동화하였다. 그러나 YWK의 모델은 재봉템플릿을 패턴포머에 장착하고 반환하는 작업만 자동화했을 뿐, 템플릿을 여닫고 옮기는 과정은 자동화하지 않았다. 무엇보다 재봉하려는 원단의 수만큼 템플릿을 제작하여 사용해야하기 때문에 경제적이지 않다. Richpeace와 JUITA의 모델은 재봉템플릿을 옮겨 패턴포머에 장착하고 반환하는 작업은 자동화하였으나, 템플릿을 여닫는 작업은 자동화하지 않았다. 패턴포머 공정을 무인 자동화하기 위해서는 재봉템플릿을 여닫는 기능을 추가해야 한다. 또한 위 모델을 현재 의류 공장에 적용하면 기존에 사용하던 패턴포머 모델을 사용할 수 없으므로 교체 비용 측면도 고려해야 한다. 의류 공장에서 사용하고 있는 패턴포머 모델에 장치를 추가하는 방식으로 시스템을 설계한다면 교체 비용을 줄일 수 있을 것이다.

## 1.4 연구 목적

본 연구에서는 패턴포머 공정의 무인 자동화를 위해, 공정 내에서 재봉템플릿 다루는 작업을 자동화한 시스템을 설계하고자 하였다. 패턴포머 기능을 포함한 단일 시스템이 아닌, 기존의 패턴포머 모델에 장치를 추가하는 방식으로 자동화 시스템을 구현하고자 하였다. 시스템을 설계하기에 앞서, 시스템이 갖춰야할 요구기능을 정의하기 위해 의류 공장의 패턴포머 공정을 분석할 필요가 있다. 작업자의 행동 별로 공정 단계를 나누어 구현해야하는 동작을 파악하고, 단계별로 소요되는 시간을 기준으로 주요 구동부의 성능을 정의할 것이다. 주요 구동부의 기구와 제어회로를 설계·제작한 뒤, 구동부별로 거동 특성을 확인하고 사전에 정의한 요구 기능을 만족하는지 실험을 통해 검증할 것이다. 마지막으로, 패턴포머 공정에서 일하는 작업자와 자동화 시스템의 공정 소요 시간을 비교하여 공정 자동화 실현 가능성을 검토할 것이다.

## 제 2 장 공정 분석 및 요구기능 정의

### 2.1 패턴포머 공정 분석

자동화 시스템을 설계하기에 앞서, 자동화하려는 공정의 요소와 단계를 분석하고, 이로부터 시스템이 갖춰야할 요구기능을 정의할 필요가 있다. 패턴포머 공정에는 자동 봉제기인 패턴포머와, 원단을 고정하는 재봉템플릿이 사용된다.

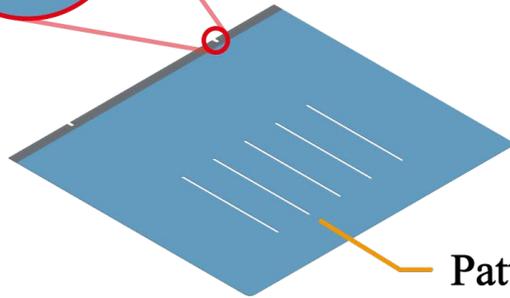
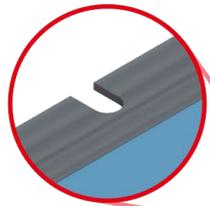
#### 2.1.1 재봉템플릿

재봉템플릿은 상판(top plate)과 하판(bottom plate)을 겹친 뒤, 한쪽 면을 테이프로 접착해 경첩부(hinge)를 만들어 여닫을 수 있도록 제작된다. 상판과 하판에는 봉제 패턴에 맞게 패턴 홈(pattern slot)이 파여져 있고, 템플릿 내부 마찰력을 높이기 위해 패턴 홈을 따라 스펀지 테이프(sponge tape)가 부착되어 있다. 경첩부에는 패턴포머 장착부에 템플릿이 끼워지도록 장착 홈(mounting slot)이 파여져 있다 (그림 2.1).

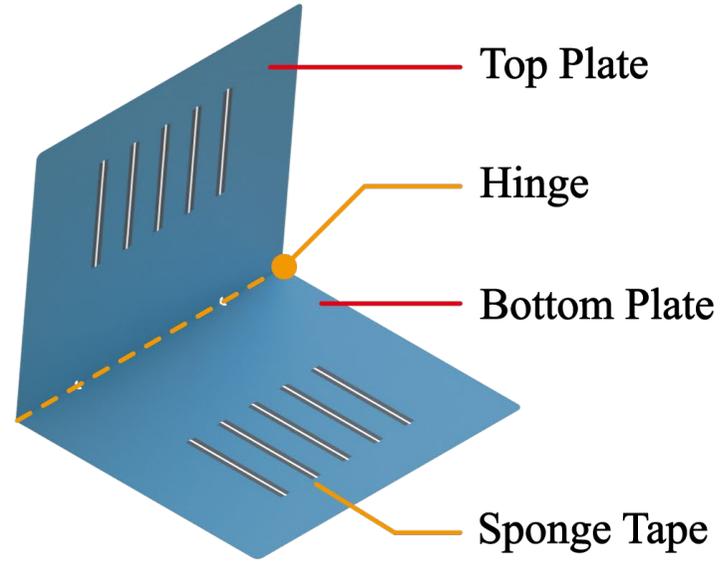
원단은 밀고 당기는 과정에서 전단(shearing)이나 좌굴(buckling) 등의 변형이 쉽게 일어나므로, 패턴포머에 원단만 고정하여 봉제를 하면 구겨짐(puckering)이 발생한다. 원단이 평평하게 펴진 상태에서 봉제가 되도록 하기 위해 재봉템플릿 사이에 원단을 배치하고, 원단 전체를 위·아래에서 눌러 고정한다. 이 상태로 템플릿을 패턴포머에 장착하여 봉제를 실시한다.

재봉템플릿의 크기는 원단의 크기에 따라 결정되며, 원단의 크기나 봉제 패턴이 변경되면 새로운 재봉템플릿을 만들어 사용한다.

Mouting Slot



Pattern Slot



Top Plate

Hinge

Bottom Plate

Sponge Tape

그림 2.1 채봉템플릿

## 2.1.2 패턴포머

패턴포머는 봉제 유닛(sewing unit), 2축 CNC 유닛(2-axis CNC unit), 컨트롤러(controller)로 구성되어 있다. 2축 CNC 유닛에는 공압 프레스(pneumatic presser)와 장착부(mounting part)가 위치하고 있다(그림 2.2).

패턴포머를 작동시키기에 앞서, 원단이 배치된 재봉템플릿을 패턴포머에 장착한다. 이때 패턴포머 장착부에 재봉템플릿 장착 홈이 끼워지도록 재봉템플릿을 장착 방향(mounting direction)으로 정렬하여 밀어 넣는다. 일반적으로 패턴포머를 작동시키기 위해서는 PRESS 버튼과 START 버튼을 차례대로 눌러야 한다. 컨트롤러로 봉제 패턴을 입력·선택한 뒤 컨트롤러의 PRESS 버튼을 누르면, 공압 프레스가 재봉템플릿을 아래로 눌러 재봉템플릿이 2축 CNC 유닛에 고정되게 한다(그림 2.3). 그 다음, 컨트롤러의 START 버튼을 누르면 2축 CNC 유닛과 봉제 유닛이 작동하면서 봉제가 시작된다. 봉제가 완료되면 2축 CNC 유닛이 초기 지점으로 돌아오고, 공압 프레스가 재봉템플릿을 놓는다.

의류 공장에서 사용되는 패턴포머는 재봉템플릿 사용을 상정하고 설계된 자동화 기계이므로, 패턴포머를 이용해 원단을 봉제하기 위해서는 반드시 재봉템플릿을 사용해야 한다.

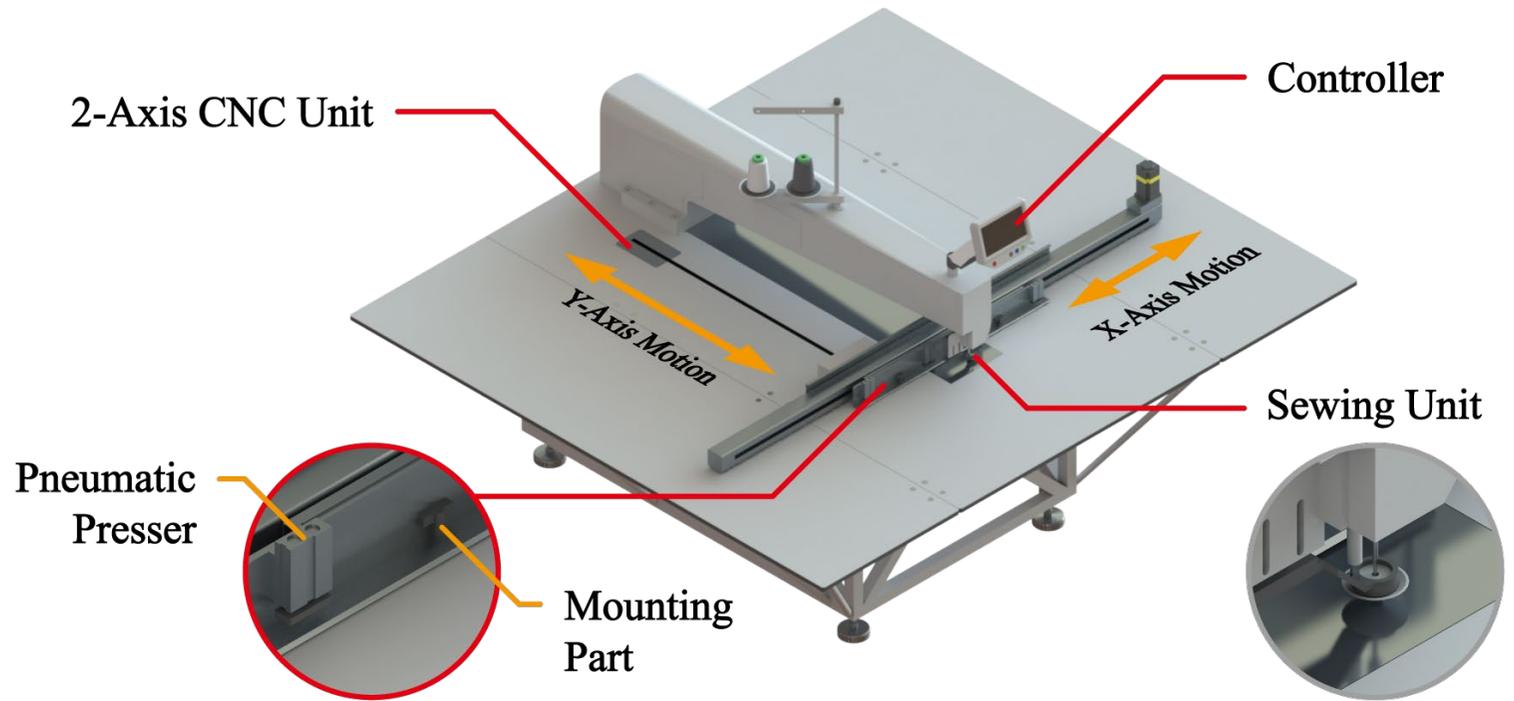


그림 2.2 패턴포머

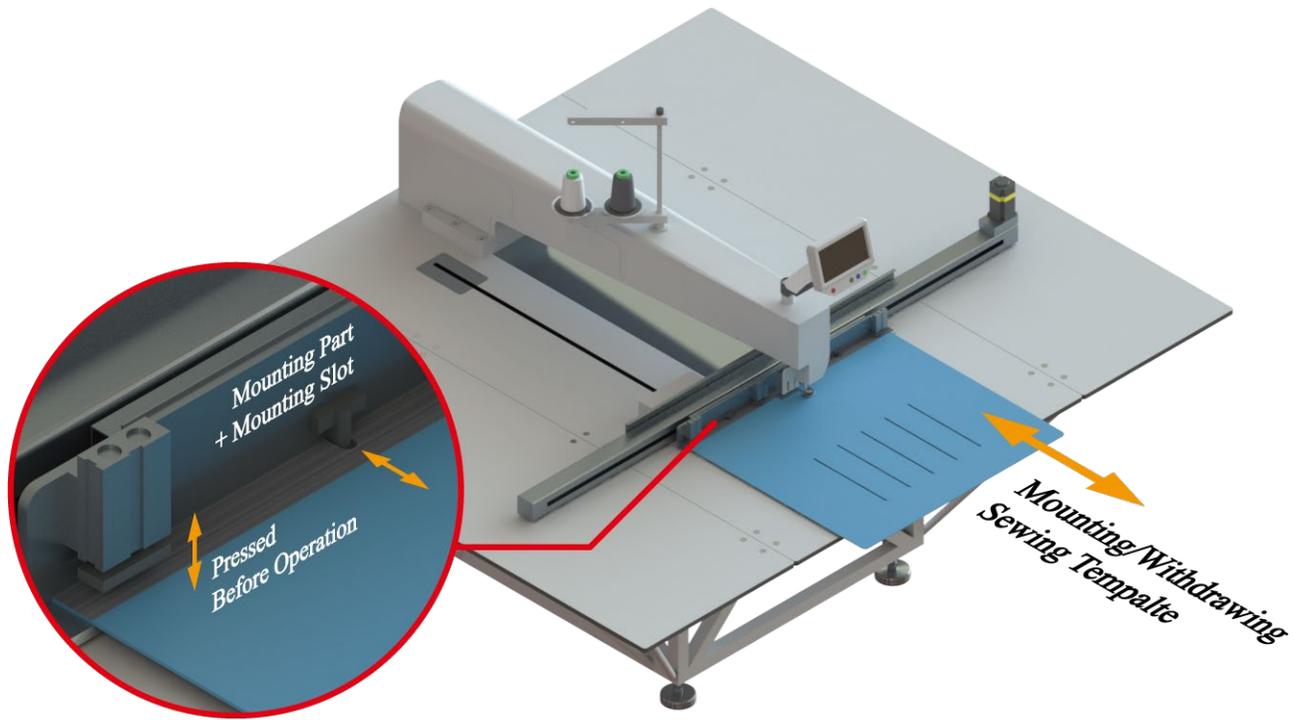


그림 2.3 재봉템플릿이 장착된 패턴포머

### 2.1.3 공정 단계

의류 공장에서 촬영한 비디오를 기반으로 패턴포머 공정 단계를 분석하였다. 패턴포머 공정 라인을 담당하는 작업자는 원단 배치대에 놓인 재봉템플릿의 상판을 집어 올려 재봉템플릿을 열고 (그림 2.4(a)), 하판 위에 원단 겹감과 안감을 겹쳐 올려놓는다 (그림 2.4(b)). 원단 배치가 완료되면 상판을 내려 재봉템플릿을 닫고 (그림 2.4(c)) 패턴포머로 들어 옮긴다. 패턴포머 장착부에 재봉템플릿을 장착하면 (그림 2.4(d)) PRESS 버튼과 START 버튼을 차례대로 눌러 패턴포머를 작동시킨다 (그림 2.4(e)). 봉제가 완료되면 패턴포머로부터 재봉템플릿을 끌어낸 뒤 원단 배치대로 들어 옮긴다 (그림 2.4(f)). 작업자는 재봉템플릿 열어 봉제된 원단을 들어내고 새로운 원단 겹감과 안감을 겹쳐 올려놓은 뒤, 앞서 언급한 공정 단계를 반복한다 (그림 2.5).



(a)



(b)



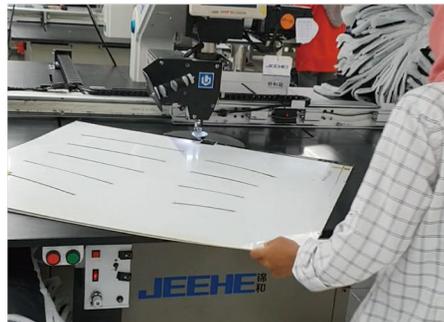
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 2.4 패턴포머 공정 단계

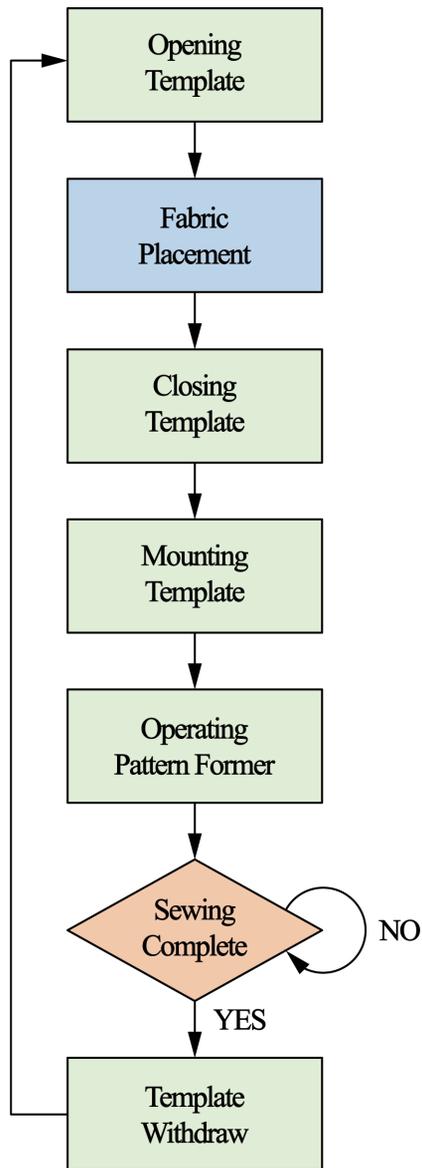


그림 2.5 패턴포머 공정 순서도

## 2.1.4 공정 단계별 소요시간

시스템 요구기능의 세부 성능을 정의하기 위해, 협력 업체로부터 패턴포머 공정 라인의 하루 평균 생산량 데이터를 받아 공정 단계별 소요 시간을 분석하려 하였다. 그러나 이 데이터로는 재봉템플릿만을 다루는 데에 소요되는 시간과, 원단을 배치하거나 봉제가 완료되어 적재된 원단을 이송하는 데에 소요되는 시간을 구분할 수 없었다.

패턴포머 공정에서 재봉템플릿만을 다루는 작업에 소요되는 시간을 분석하기 위해, 의류 공장에서 패턴포머 공정 라인을 촬영한 영상을 받아 소요시간을 추출하고자 하였다. 협력 업체로부터 작업자 한 명의 패턴포머 공정 한 사이클(cycle)을 촬영한 영상을 공유 받았으며, 이를 영상 편집 프로그램 Adobe Premier Pro 2020에서 30 fps의 프레임 단위로 분석하였다. 각 단계별로 시작 기준과 종료 기준을 작업자의 동작으로 정의한 뒤, 해당 동작이 시행되는 지점마다 마커(marker)를 부착하여 공정 단계를 구분하였다. 마지막으로, 각 단계별 시작 지점과 종료 지점의 타임 코드(time code)를 기록하여 공정 단계별 소요시간을 추출하였다 (그림 2.6, 표 2.1).

패턴포머 공정에서 재봉템플릿에 원단을 배치하는 단계를 제외하고 공정 단계별 소요시간과 사이클 소요시간을 정리하면 다음과 같다.

- 재봉템플릿 열기(opening template) ..... 2초
- 재봉템플릿 닫기(closing template) ..... 3초
- 재봉템플릿 장착(mounting template) ..... 16초
- 패턴포머 작동(operating pattern former) ..... 2초
- 재봉템플릿 반환(template withdraw) ..... 16초
- 사이클 ..... 39초

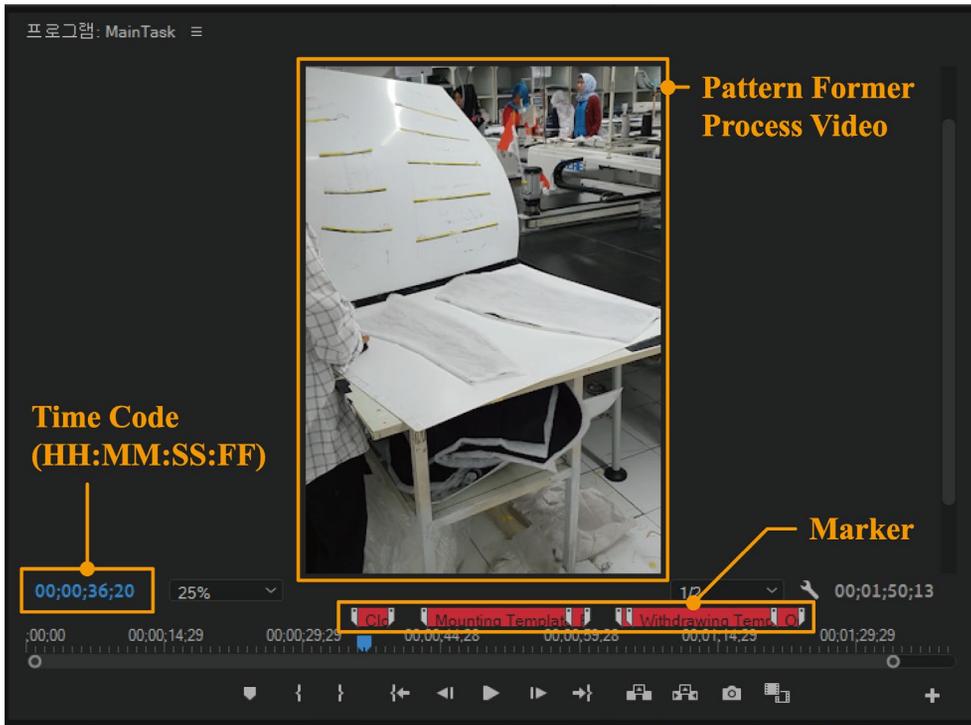


그림 2.6 패턴포머 공정 영상 분석

표 2.1 패턴포머 공정 단계별 소요시간

Process Step	Criteria	Time Code (MM:SS:FF)	Process Time (MM:SS:FF)	Rounded Process Time (s)
Closing Template	Worker touches the template.	00:35:26	00:03:08	3
	Worker removes his/her hand from the template after closing it.	00:39:04		
Mounting Template	Worker lifts the template.	00:43:15	00:15:20	16
	Worker removes his/her hand from the template after transferring and mounting it to the pattern former.	00:59:05		
Operating Pattern Former	Immediately after the previous step.	00:59:05	00:01:08	1
	Worker removes his/her hand from the PRESS button after pressing it.	01:00:13		
	Worker puts his/her finger on the START button of the pattern former.	01:04:17	00:01:05	1
	Worker removes his/her hand from the START button after pressing it.	01:05:22		
Template Withdraw	Immediately after the previous step	01:05:22	00:15:20	16
	Worker opens the template after withdrawing and transferring it from the pattern former.	01:21:12		
Opening Template	Immediately after the previous step	01:21:12	00:02:09	2
	Worker removes his/her hand from the template after opening it.	01:23:21		
Total			00:39:10	39

## 2.2 요구기능 정의

의류 공장에서 사용되고 있는 패턴포머 모델과 재봉템플릿 종류가 방대하기 때문에, 이를 포괄하는 단번에 설계하기에는 어려움이 있다. 따라서 설계 편의를 위해, 협력 업체에서 제공한 패턴포머과 재봉템플릿 샘플을 기준으로 요구기능을 정의하고자 하였다.

협력 업체에서 제공한 패턴포머 모델 Unicorn UAS-H700-D (그림 2.7, 그림 2.8)는 가로 2255 mm, 세로 2000 mm, 재봉템플릿이 놓이는 평대까지의 높이는 825 mm이다. 제어반(control panel)의 전원으로 AC 220V를 사용하며, 공압 프레스와 기타 공압 구동기에는 0.6 MPa의 압축공기가 제어반을 통해 공급된다. PRESS 버튼과 START 버튼이 위치한 컨트롤 디스플레이(control display)는 정전식 터치(capacitive touch) 방식으로, 힘을 주어 누르지 않고 손가락으로 가볍게 접촉하여 사용한다. 패턴포머 제어보드와 컨트롤러는 외부 장치와 통신하는 기능을 지원하지 않는다.

협력 업체에서 제공한 재봉템플릿 샘플은 총 4종으로, 샘플마다 크기·무게·재질·두께가 다르다 (그림 2.9, 표 2.2). 재봉템플릿 샘플의 가로 범위는 770~1025 mm, 세로 범위는 630~770mm, 두께 범위는 1.8~3.2 mm이다.

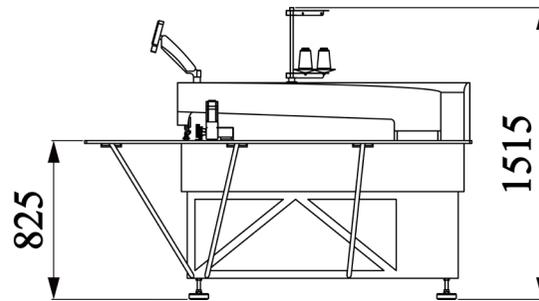
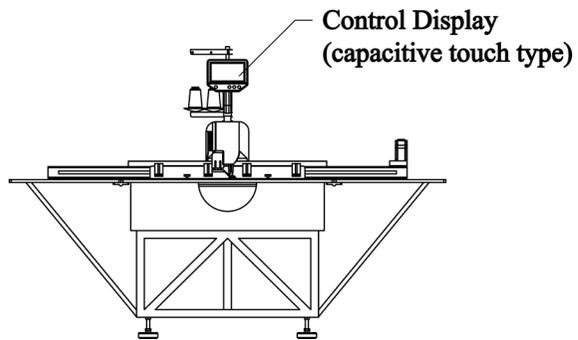
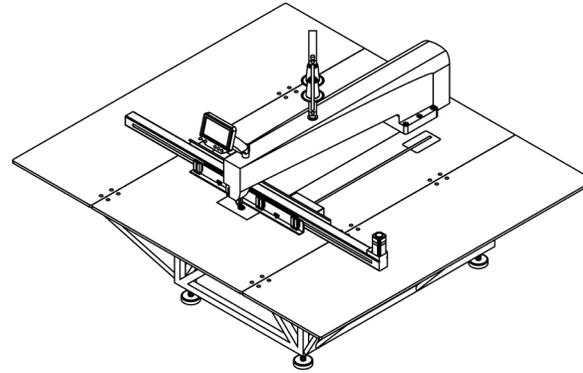
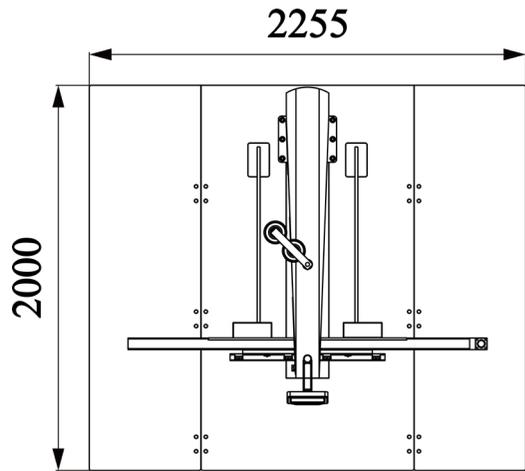


그림 2.7 팩턴포머 모델 Unicorn UAS-H700-D의 삼면도와 제원

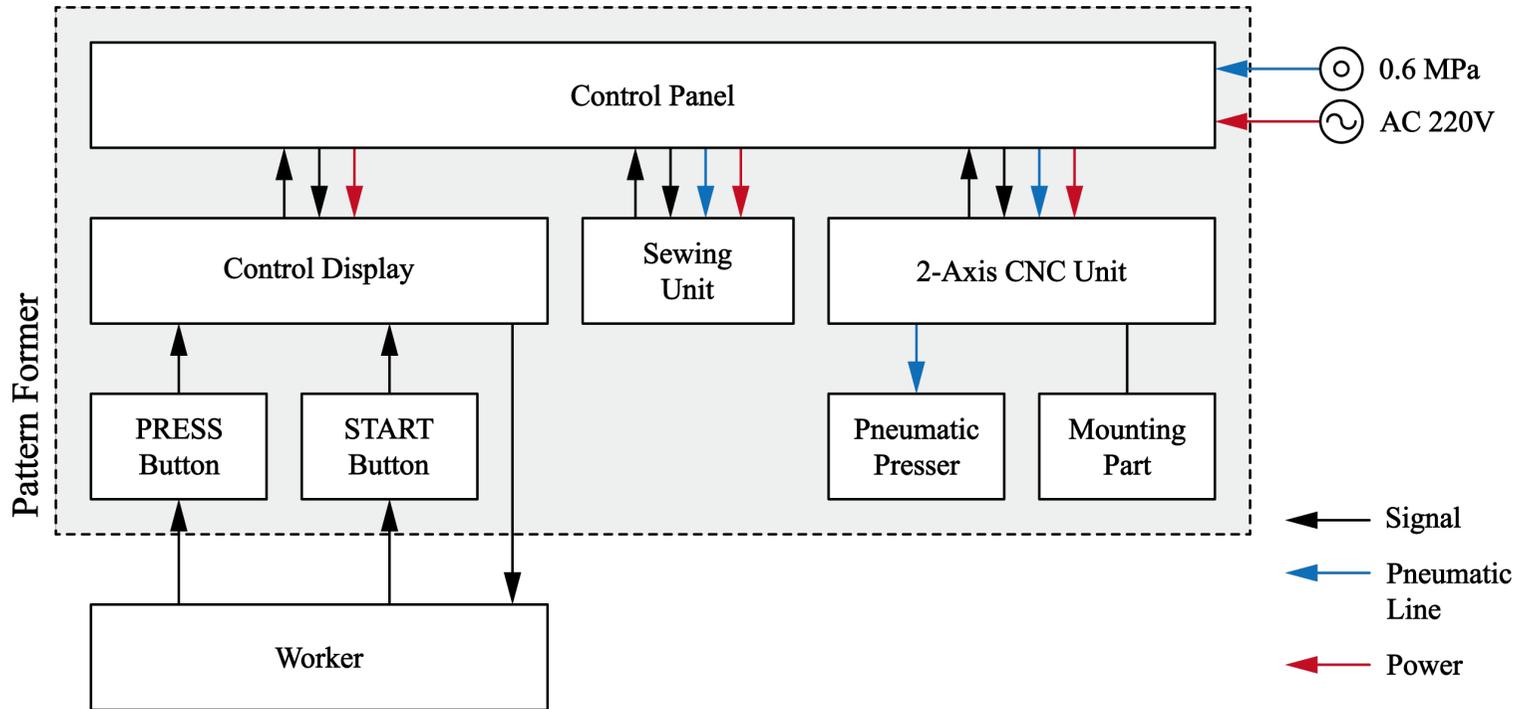
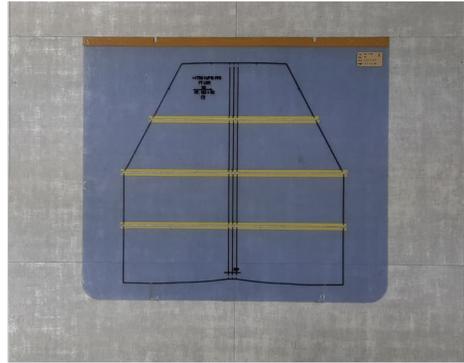


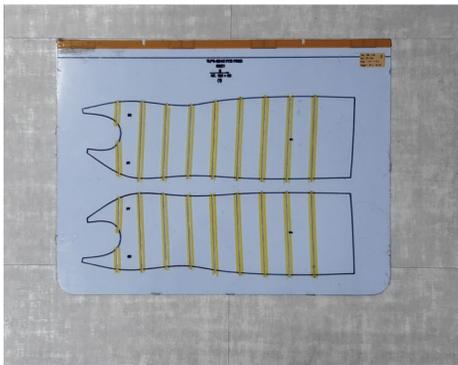
그림 2.8 패턴포머 모델 Unicorn UAS-H700-D 아키텍처



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2.9 의류 공장 패턴포머 공정에 사용되는 재봉템플릿 샘플

표 2.2 재봉템플릿 샘플 제원

Case	Size (mm × mm)	Weight (N)	Material		Thickness (mm)	
			Top	Bottom	Top	Bottom
(a)	770 × 630	12.0 ± 0.1	PVC	PVC	0.9	0.9
(b)	805 × 700	21.4 ± 0.1	PC	PC	1.6	1.6
(c)	880 × 670	18.8 ± 0.1	PC	PVC	1.6	0.9
(d)	1025 × 775	19.2 ± 0.1	PVC	PVC	0.9	0.9

앞서 상정한 패턴포머 모델과 재봉템플릿 샘플의 제원, 패턴포머 공정 단계, 공정 단계별 소요시간을 기반으로 시스템의 요구기능을 정의하였다 (표 2.3, 그림 2.10).

재봉템플릿 다루는 작업을 무인 자동화하기 위해 시스템이 갖춰야할 주요 기능은 재봉템플릿을 (1) 장착 방향에 맞게 정렬하는 기능, (2) 여닫는 기능, (3) 패턴포머 장착부에 장착하는 기능, (4) 패턴포머로부터 반환하는 기능이다. 재봉템플릿마다 크기가 다르므로, 시스템에 어떤 재봉템플릿을 사용하더라도 장착 방향에 맞게 정렬할 수 있어야 하며, 정렬 시 재봉템플릿에 좌굴이나 파손(fracture)이 발생하지 않아야 한다. 패턴포머가 작동할 때 시스템과 충돌하는 상황이 발생하지 않도록, 시스템의 모든 구동부는 재봉템플릿의 동작 공간(motion space, 패턴포머 동작 시 재봉템플릿이 움직이는 공간) 바깥에 위치하도록 설계되어야 한다. 이때 재봉템플릿 동작 공간 바깥으로부터 패턴포머 장착부까지의 최소 거리는 770 mm이다 (그림 2.11).

패턴포머를 동작시키기 위해서는 패턴포머에 PRESS 신호와 START 신호를 주어야 하는데, 현재 상정한 모델은 외부 장치와 신호를 주고받을 수 없으므로, 정전식 터치 방식인 PRESS 버튼과 START 버튼을 누르는 기능을 갖춰야 한다. 또한 패턴포머에 재봉템플릿이 장착되었는지, 패턴포머에서 봉제가 완료되었는지 판별할 수 있는 감지 기능도 갖춰야 한다.

시스템은 작업자나 외부 장치로부터 동작 신호를 주고받을 수 있어야 하며, 동작 신호를 받으면 사전에 설정된 동작 횟수만큼 사이클을 반복하며, 한 사이클에 소요되는 시간은 39초 이하가 되도록 동작을 계획해야 한다.

## 표 2.3 요구기능목록

Category	Function and Performance
Motion	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Align sewing templates of any size in the mounting direction.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Size range of sewing templates: [770 mm, 1025 mm] × [630 mm, 770 mm]</li> <li>- Operation time ≤ 10 s</li> </ul> </li> <li>● Open a sewing template.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 s ≤ operation time ≤ 5 s</li> </ul> </li> <li>● Close a sewing template.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 s ≤ operation time ≤ 5 s</li> </ul> </li> <li>● Mount a sewing template to the mounting part of the pattern former.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation distance to the mounting part ≥ 770 mm</li> <li>- 3 s ≤ operation time ≤ 8 s</li> </ul> </li> <li>● Press the PRESS and START buttons of the pattern former.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Button type of the controller: capacitive touch</li> <li>- Operation time ≤ 3 seconds</li> </ul> </li> <li>● Withdraw a sewing template from the pattern former.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operation distance from the mounting part of the pattern former ≥ 770 mm</li> <li>- 3 s ≤ operation time ≤ 8 s</li> </ul> </li> <li>● The system does not interfere with the operation of the pattern former.</li> <li>● One cycle operation time of the system ≤ 39 s</li> </ul>
Force	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Weight of a sewing template ≤ 22 .0 N</li> <li>● Weight of a sewing template top plate ≤ 11 .0 N</li> <li>● The system does not cause buckling or fracture to a sewing template during operation.</li> </ul>
Signal	<ul style="list-style-type: none"> <li>● The system can communicate with a worker or an external system.</li> <li>● Repeat the cycle when the system receives an operation signal from a worker or an external system.</li> <li>● Detect whether a sewing template is mounted on the mounting part of the pattern former.</li> <li>● Detect whether the pattern former completes the operation.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Detection candidate: Power source current of the pattern former, Pressure of the pneumatic presser</li> </ul> </li> </ul>
Energy Source	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilize the same electric power source with the pattern former               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltage of the electric power source = AC 220V</li> </ul> </li> <li>● Utilize the same pneumatic source with the pattern former               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressure of the pneumatic source = 0.5 MPa</li> </ul> </li> </ul>

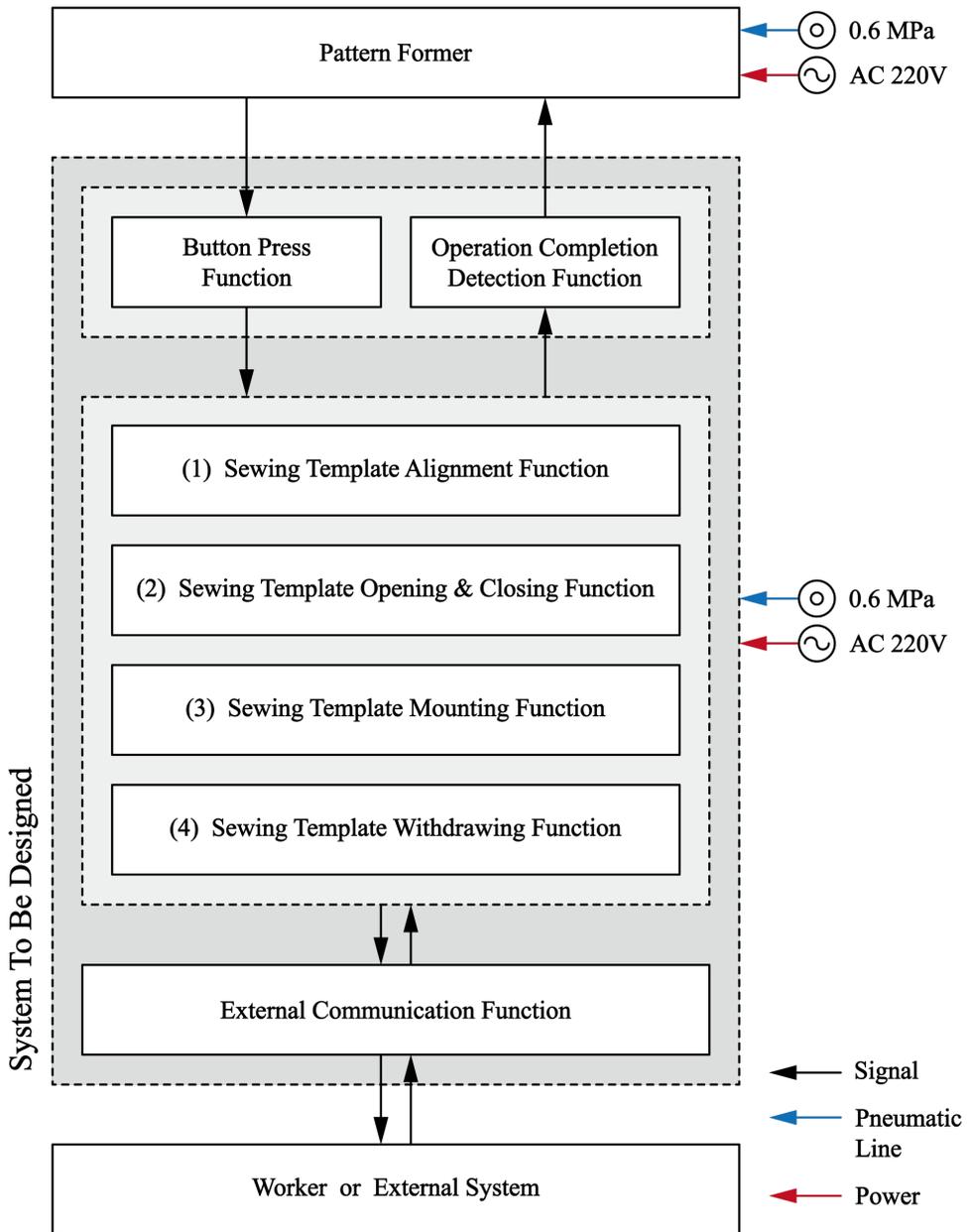


그림 2.10 시스템 요구기능 아키텍처

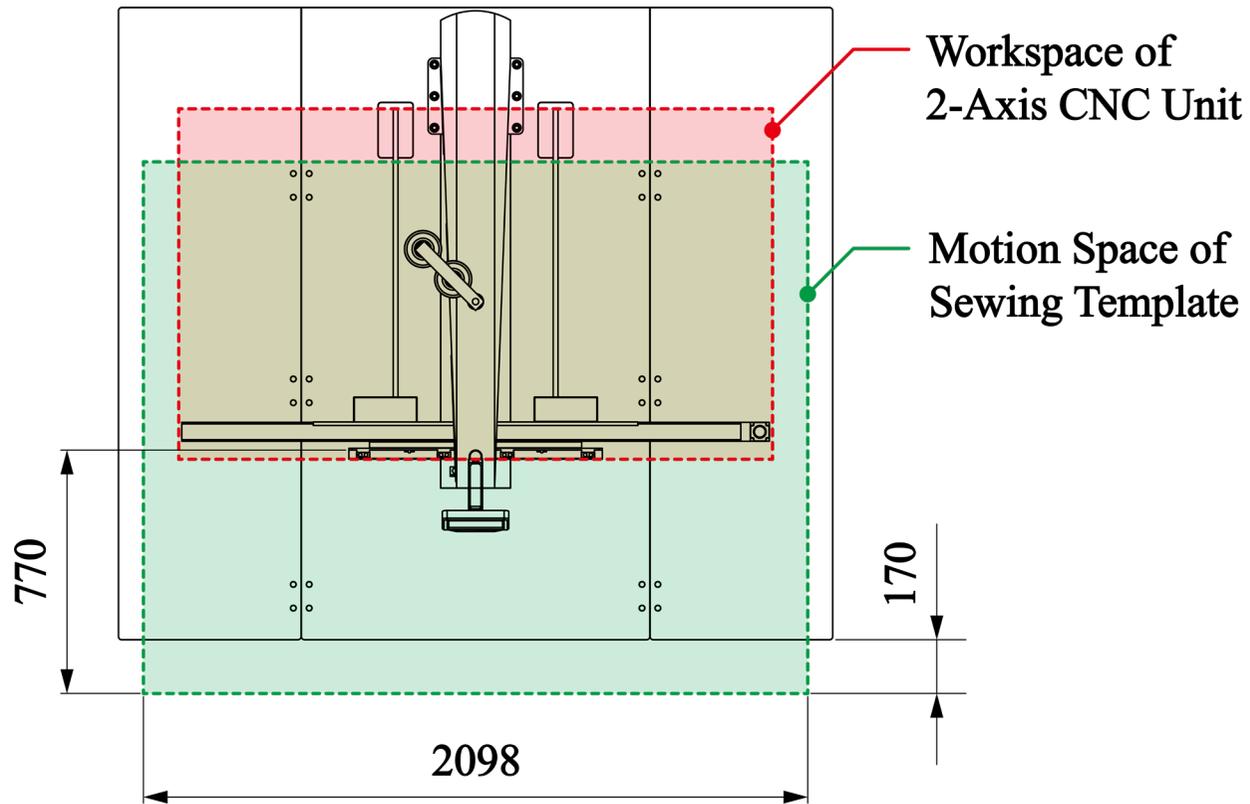


그림 2.11 패턴포머 2축 CNC 유닛의 워크스페이스(workspace)와 재봉템플릿의 동작 공간

### 제 3 장 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 개발

앞서 정의한 요구기능에 따라 설계한 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼(그림 3.1)은 재봉템플릿 샘플의 크기와 패턴포머 모델의 제원을 고려하여, 가로 1180 mm, 세로 1000 mm, 템플릿이 놓이는 평대까지의 높이 825mm로 설계되었다 (그림 3.2). 해당 플랫폼은 패턴포머 공정에서 재봉템플릿 다루는 작업을 완전 자동화하기 위해, 템플릿을 패턴포머 장착 방향에 맞게 정렬하는 정렬 모듈(alignment module), 템플릿을 여닫는 개폐 모듈(opening & closing module), 템플릿을 패턴포머에 장착하거나 패턴포머로부터 반환하는 배치 모듈(placement module)을 탑재하고 있다 (그림 3.3).

플랫폼은 패턴포머와 별도의 결합 없이 패턴포머 앞에 위치한 상태로 작동하며, 패턴포머를 플랫폼에서 제어할 수 있도록 패턴포머 컨트롤 디스플레이에 컨택트 모듈(contact module)을 부착하였다. 또한 플랫폼이 작업자아 외부 시스템과 작동 신호를 주고받을 수 있도록 외부 통신 모듈(external communication module)을 구비하였다. 모듈들의 제어기를 담은 컨트롤 박스(control box)는 플랫폼 하단에 위치하고 있다 (그림 3.4).

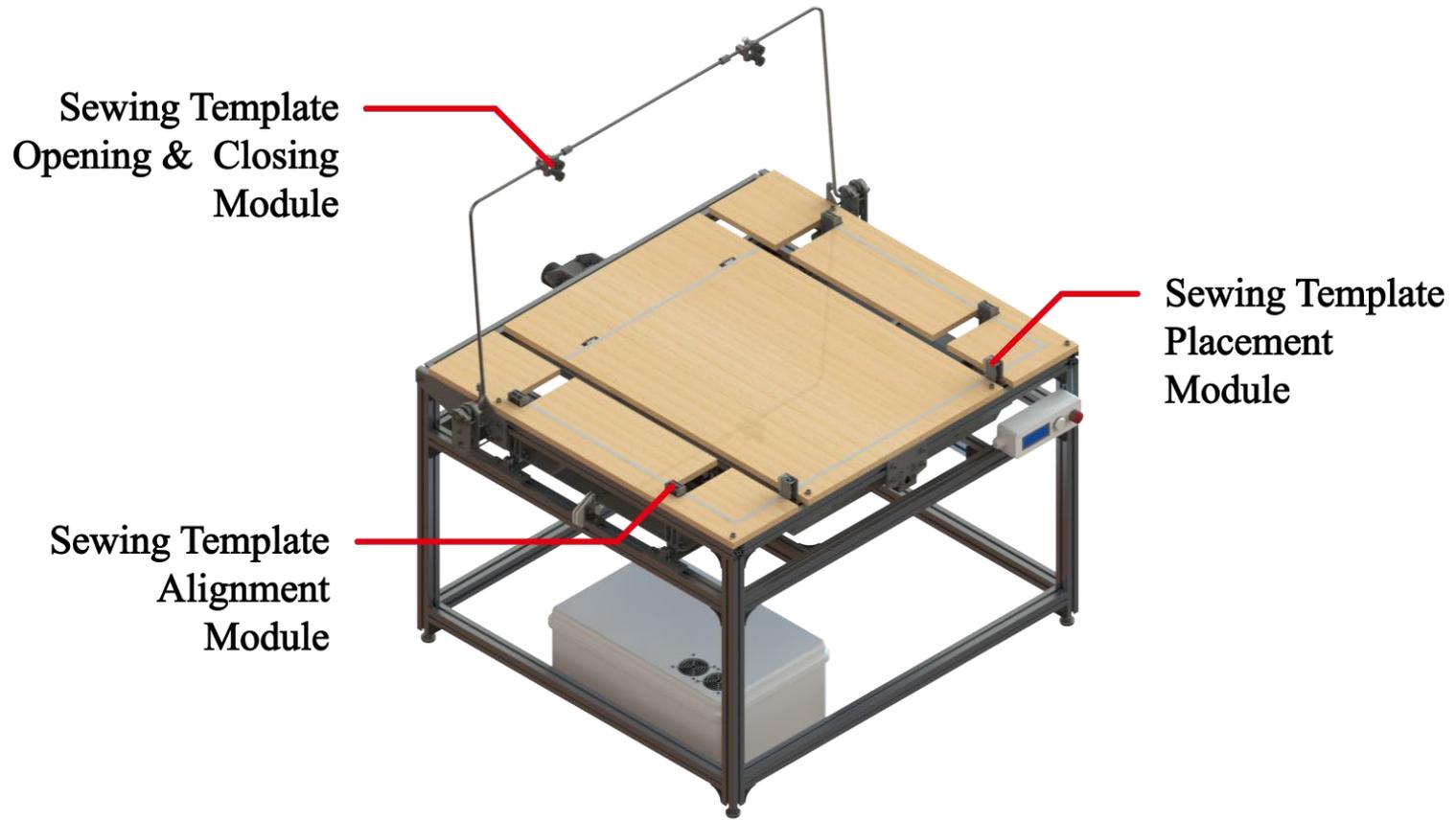


그림 3.1 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼

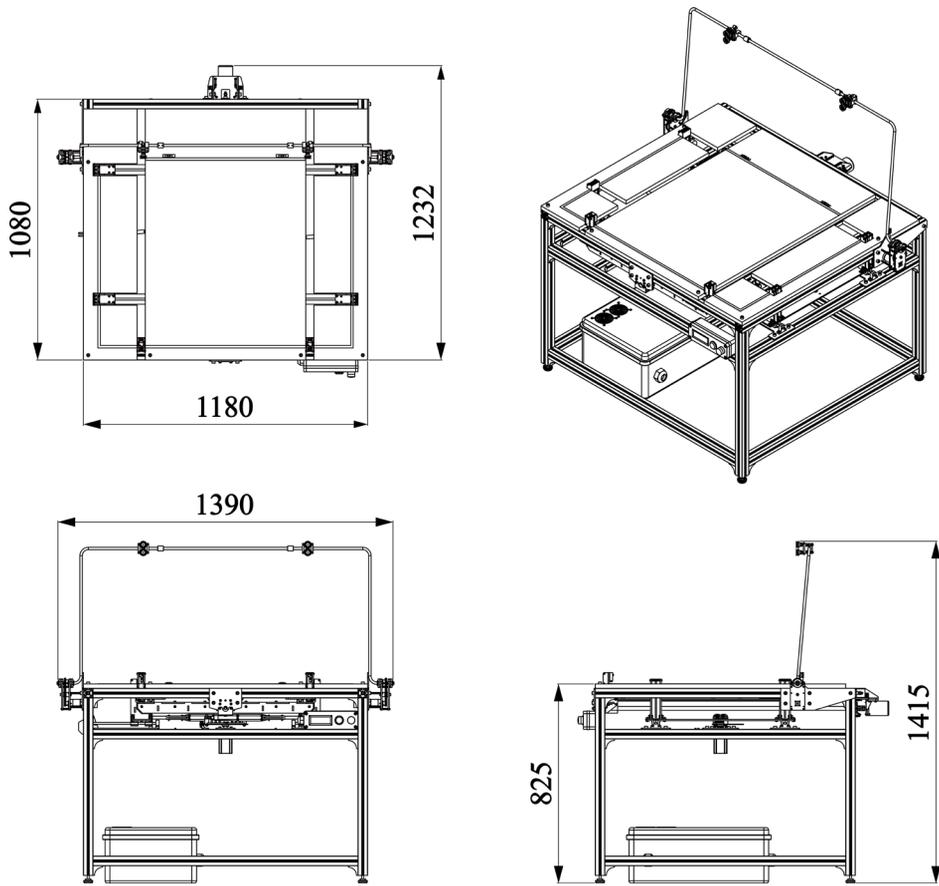


그림 3.2 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼의 삼면도와 제원

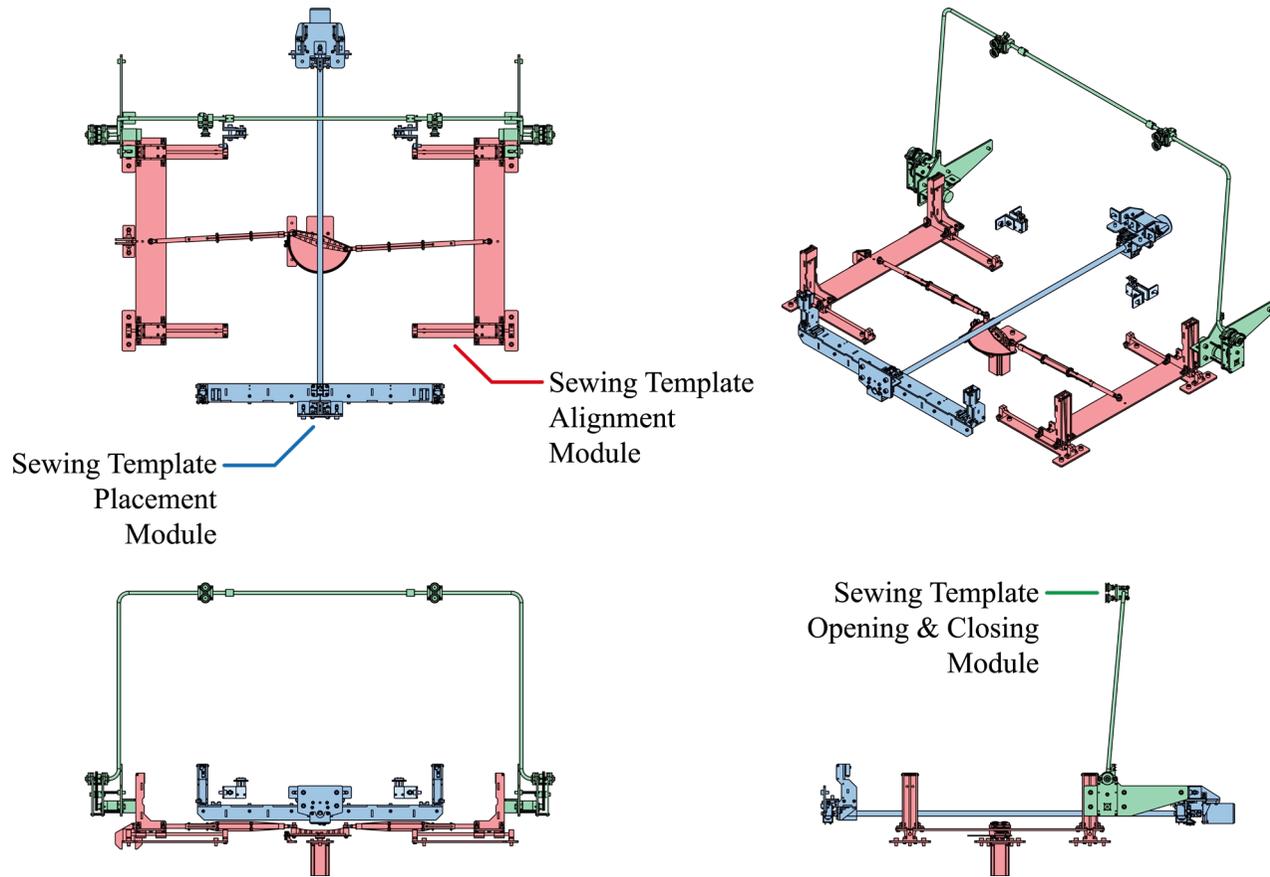


그림 3.3 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 주요 구동부

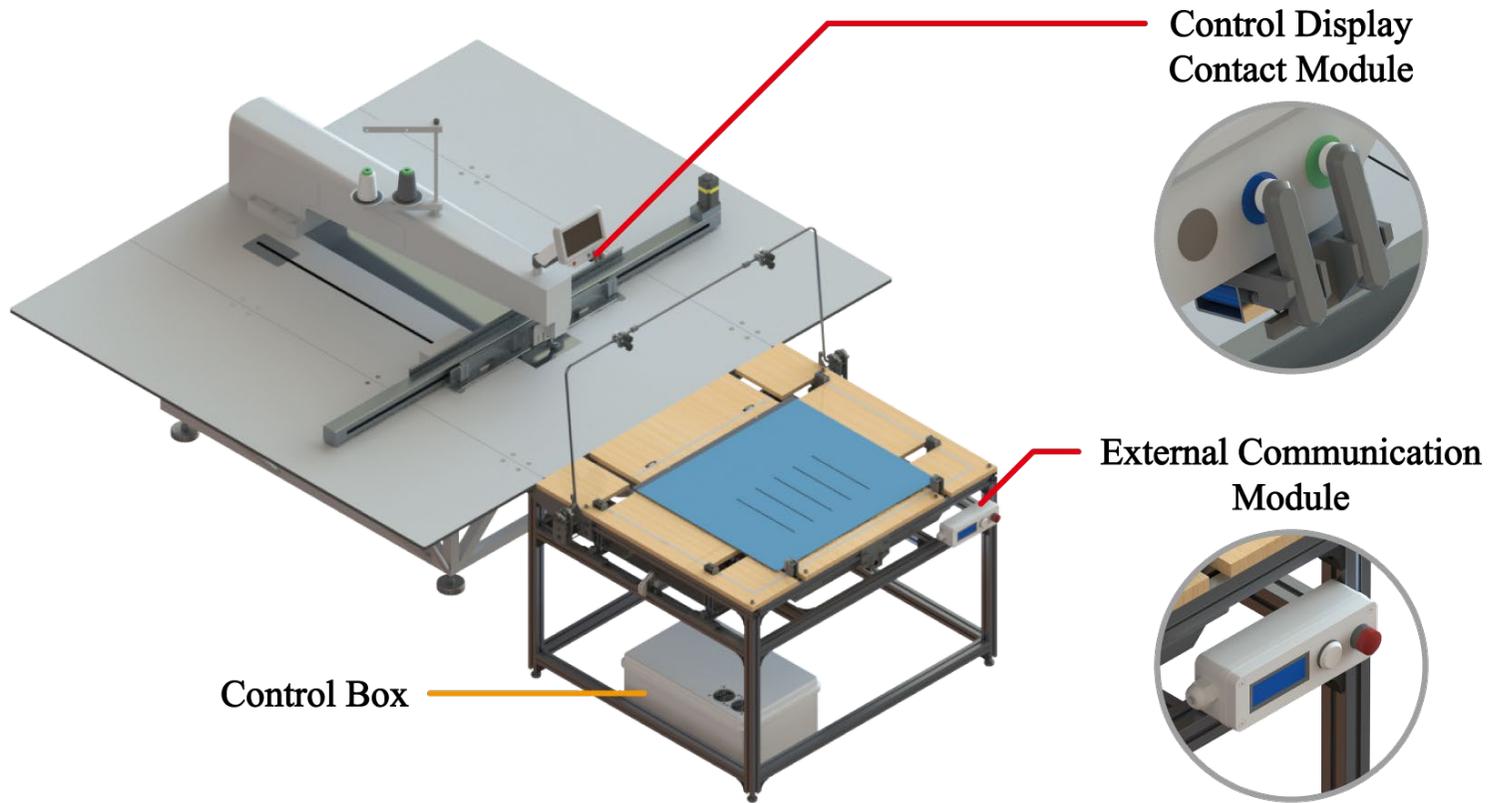


그림 3.4 패턴포머 앞에 설치된 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼과 부가 모듈

### 3.1 재봉템플릿 정렬 모듈

재봉템플릿 정렬 모듈은 템플릿을 패턴포머 장착 방향에 맞게 정렬하는 기능을 담당한다. 구동부를 최소화하기 위해 1-자유도 센터링 메커니즘(1-DOF centering mechanism)을 적용하였다. 정렬 모듈은 템플릿과 접촉하는 정렬 유닛(alignment unit), 정렬 구동부인 스텝퍼 모터(stepper motor), 정렬 유닛과 스텝퍼 모터를 연결하는 자석 퓨즈 로드(magnetic fuse rod)로 구성되어 있다 (그림 3.5).

#### 3.1.1 1-자유도 센터링 메커니즘

일반적으로 1-자유도 센터링 메커니즘 구동부로는 공압 실린더를 사용한다. 그러나 해당 플랫폼에서 다루는 재봉템플릿의 크기가 큰 만큼 공압 실린더의 스트로크(stroke) 또한 커야 하므로, 큰 스트로크에서도 안정적으로 구동하는 고가의 실린더를 사용해야 한다. 비교적 저렴한 비용으로 센터링 메커니즘을 구현하고자, 회전 구동부가 정렬 중심에 위치한 슬라이더 크랭크 메커니즘(sliding crank mechanism)을 적용하여 센터링 메커니즘을 구현하였다. 정렬 중심에 위치한 구동부가 시계 방향으로 회전하면 양쪽에 위치한 정렬 유닛이 정렬 중심으로 모이면서, 정렬 유닛 사이에 있는 재봉템플릿이 장착 방향으로 정렬된다 (그림 3.5).

센터링 메커니즘의 회전 구동부로는 회전 각도 제어가 용이한 스텝퍼 모터를 선택하였으며, 시중에서 쉽게 구할 수 있는 NEMA 스텝퍼 모터 중 홀딩 토크(holding torque)가 가장 큰 모델을 구동부로 선정하였다 (표 3.1).

표 3.1 재봉템플릿 정렬 모듈 스텝퍼 모터 사양

Frame	Step Angle (°)	Number of Phase	Holding Torque (mN · m)	Detent Torque (mN · m)
NEMA 23	1.8	2	3000	100

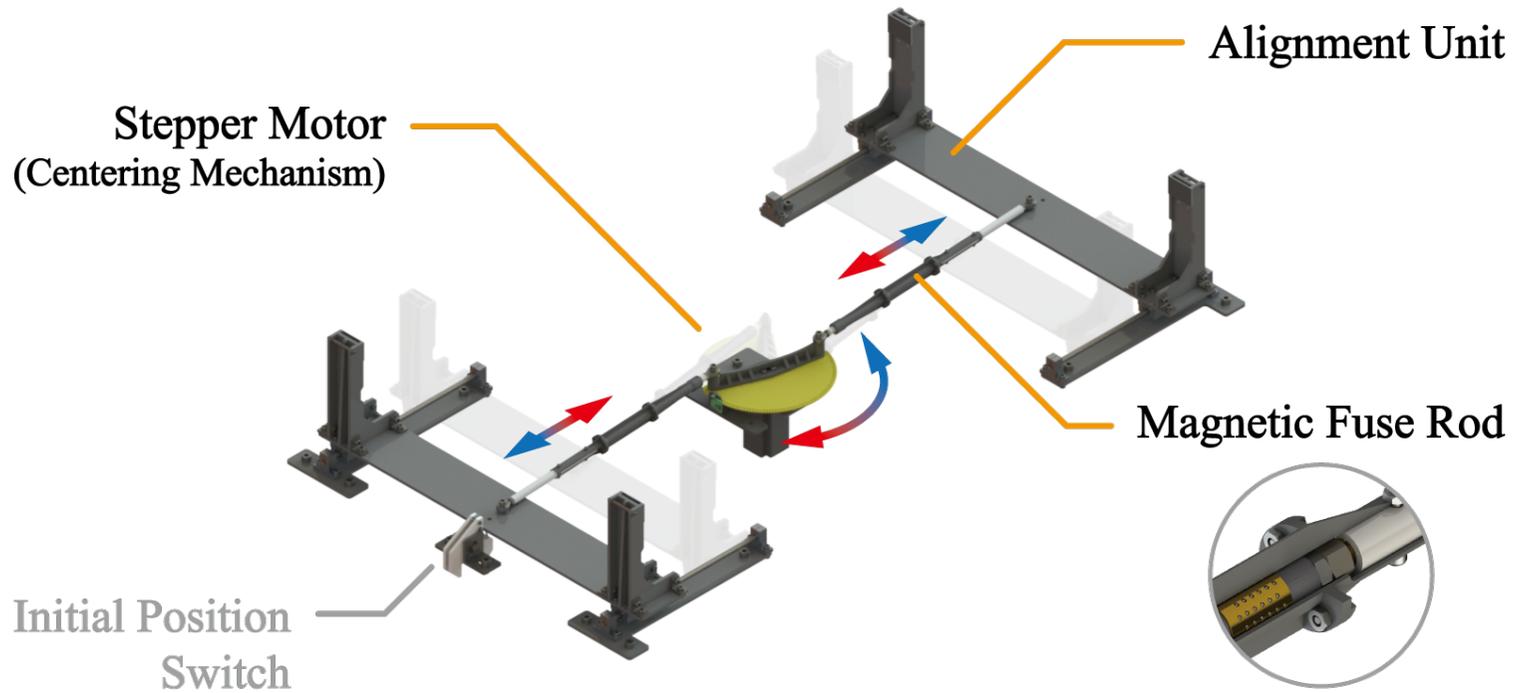


그림 3.5 재봉템플릿 정렬 모듈

### 3.1.2 자석 퓨즈 로드

위 1-자유도 센터링 메커니즘으로 다양한 크기의 재봉템플릿을 정렬하기 위해서는, 템플릿의 종류가 바뀔 때마다 템플릿 크기에 맞게 스테퍼 모터의 회전 각도를 적절하게 조정해야 한다. 초기 설정 변환 작업에 소요되는 시간을 줄인다면 이전보다 효율적으로 공정을 계획할 수 있으므로, 어떤 크기의 재봉템플릿이 플랫폼에 놓이더라도 초기 설정 변환 없이 템플릿을 정렬하는 기능을 추가하고자 하였다.

해당 기능을 구현하기 위해 정렬 유닛과 스테퍼 모터를 연결하는 로드(rod)에 자석 퓨즈(magnetic fuse)를 추가하였다 (그림 3.6). 자석 퓨즈는 자석(magnet), 자석과 접촉하는 육각 볼트(hex bolt), 자석 퓨즈 작동 시 로드 내부 마찰력을 줄이는 리니어 볼 슬라이드(linear ball slider)로 구성되어 있다. 자석 퓨즈의 성능은 자석과 육각 볼트의 흡착력으로 결정되며, 흡착력보다 강한 인장력이 자석 퓨즈 로드 부하되면 자석과 육각 볼트가 분리되면서 한쪽 고정단이 자유단이 되도록 설계하였다.

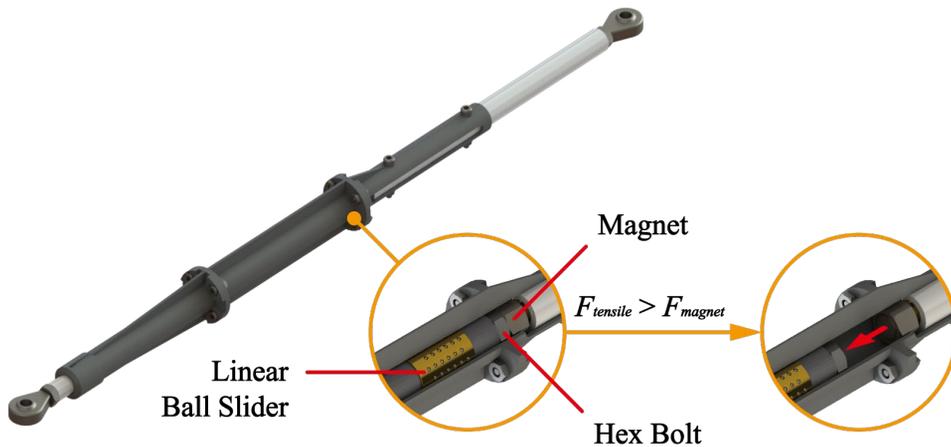


그림 3.6 자석 퓨즈 로드

### 3.2 재봉템플릿 개폐 모듈

재봉템플릿 개폐 모듈은 재봉템플릿 상판을 들어올려 템플릿을 열고 닫는 기능을 담당한다. 개폐 모듈은 개폐 구동부인 DC 모터(DC motor, 표 3.2)와 기어 트레인(gear train), 상판을 집는 진공 그리퍼(vacuum gripper), 개폐 구동부와 진공 그리퍼를 연결하는 회전 암(rotating arm)으로 구성되어 있다 (그림 3.7, 그림 3.8).

진공 그리퍼는 컨트롤 박스 내부에 위치한 3/2 진공 솔레노이드 밸브(vacuum solenoid valve), 진공 펌프(vacuum pump, 표 3.3), 진공 압력 센서(vacuum pressure sensor)와 연결되어 있다 (그림 3.9).

DC 모터가 작동하고 일정 시간 뒤 진공 그리퍼가 재봉템플릿 상판에 접촉하면, 진공 솔레노이드 밸브와 진공 펌프가 작동하여 템플릿 상판을 진공 압력으로 집어 올린다. 진공 압력 센서를 통해 측정된 그리퍼 내부 압력이 일정 값 이하로 내려가면, DC 모터가 반대 방향으로 작동하면서 재봉템플릿을 연다. 원단 배치 완료 신호가 외부에서 들어오면 DC 모터가 작동하면서 재봉템플릿을 닫고 진공 펌프가 작동을 멈춘다.

**표 3.2** 재봉템플릿 개폐 모듈 DC 모터 사양

Voltage (V)	Gear Ratio	Max. Eff. Speed (rpm)	Max. Eff. Torque (kgf · cm)	Stall Torque (kgf · cm)
DC 12	1/516	10.6	103.2	16

**표 3.3** 재봉템플릿 개폐 모듈 진공 펌프 사양

Voltage (V)	Max. Flow Rate (L/min)	Negative Pressure (kPa)	Positive Pressure (kPa)
DC 12	9	-70	90

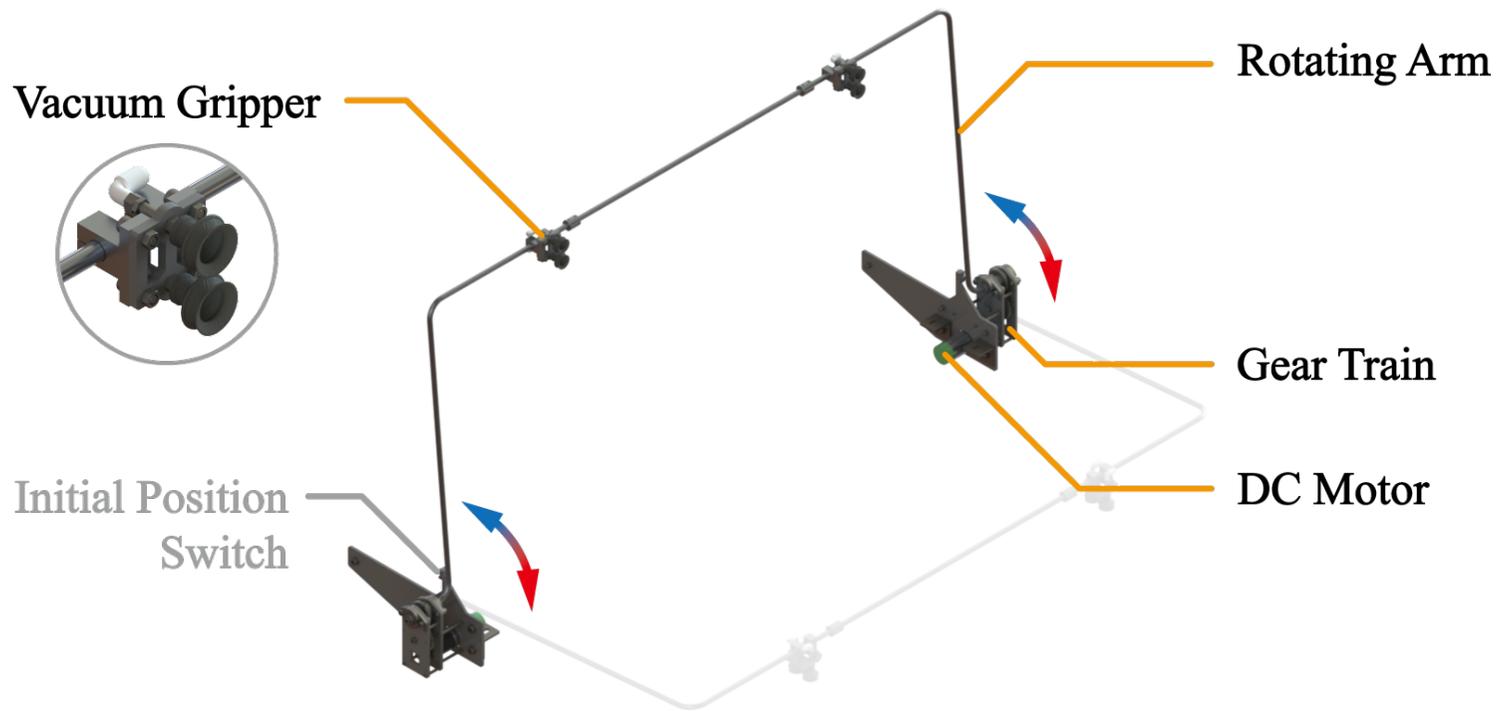


그림 3.7 재봉템플릿 개폐 모듈

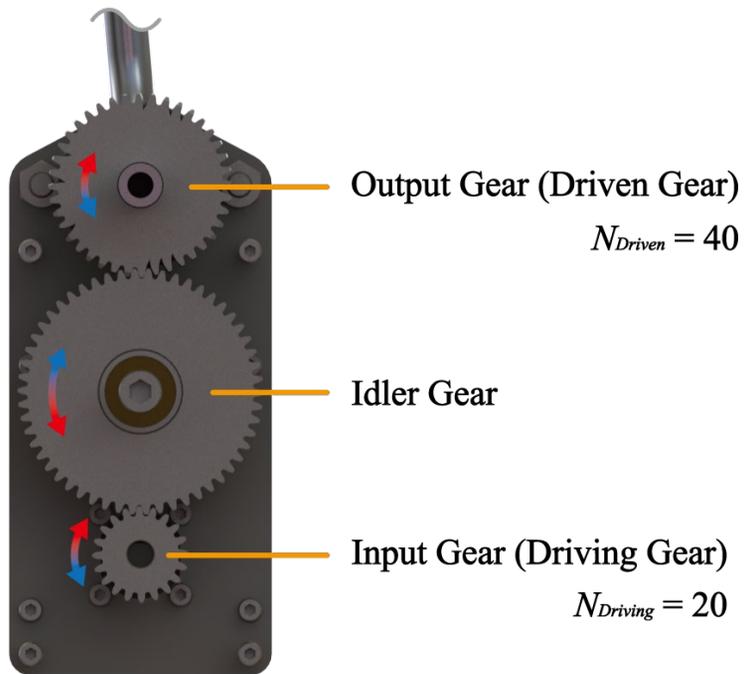


그림 3.8 재봉템플릿 개폐 모듈 구동부의 기어 트레인

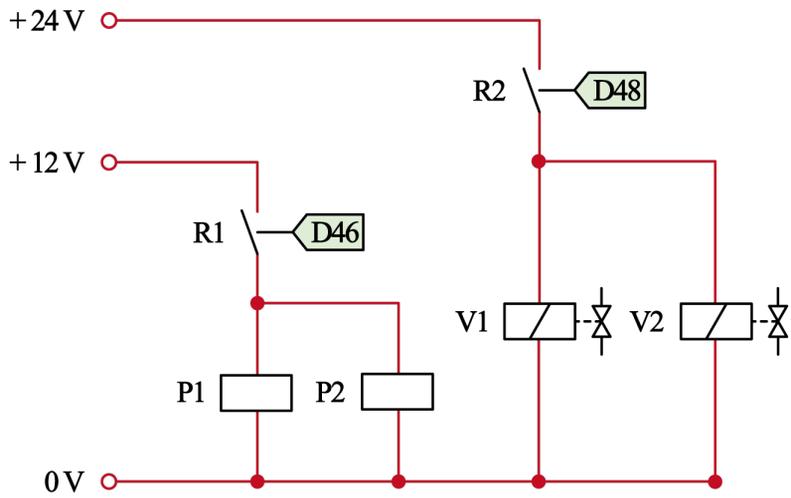
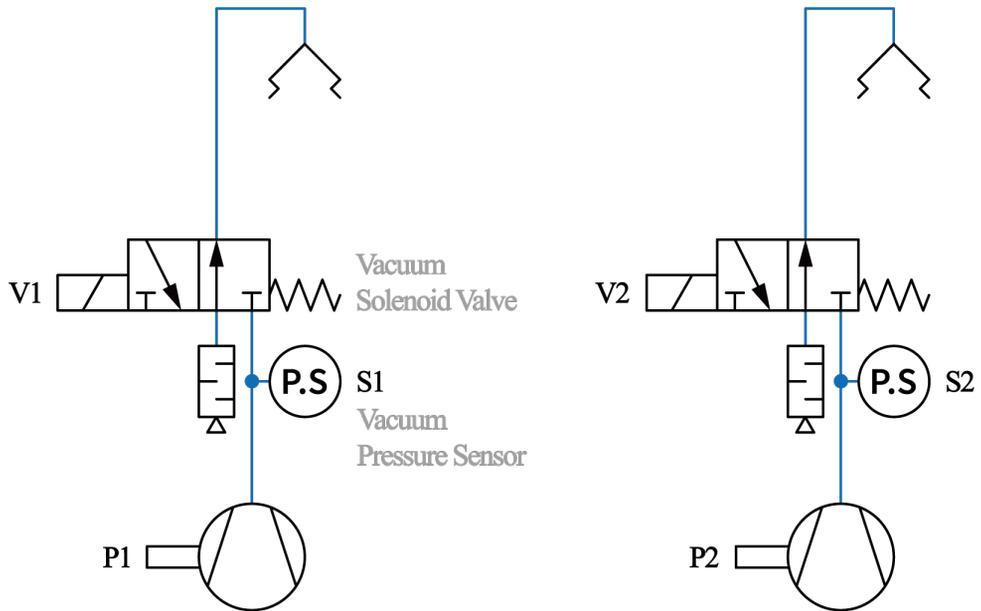


그림 3.9 재봉템플릿 개폐 모듈의 전기-공압 회로 개략도

### 3.3 재봉템플릿 배치 모듈

재봉템플릿 배치 모듈은 재봉템플릿을 패턴포머로 밀어 장착하거나, 패턴포머로부터 템플릿을 반환하는 기능을 담당한다. 배치 모듈은 템플릿과 접촉하는 배치 유닛(placement unit), 배치 유닛 양단에 위치한 공압 프레스(pneumatic press), 배치 구동부인 DC 모터(표 3.4)와 볼 스크류(ball screw), 재봉템플릿 개폐 모듈 회전축에 나란히 위치한 스톱퍼 유닛(stopper unit)으로 구성되어 있다 (그림 3.10).

공압 프레스와 스톱퍼 유닛은 컨트롤 박스 내부에 위치한 5/2 솔레노이드 밸브와 연결되어 있으며 (그림 3.11, 그림 3.12), 패턴포머와 동일한 공압원으로부터 0.6 MPa의 압축 공기를 공급받는다.

표 3.4 재봉템플릿 배치 모듈 DC 모터 사양

Voltage (V)	Rated Speed (rpm)	Rated Torque (kgf · cm)	Start Torque (kgf · cm)
DC 12	3000	0.6	3.3

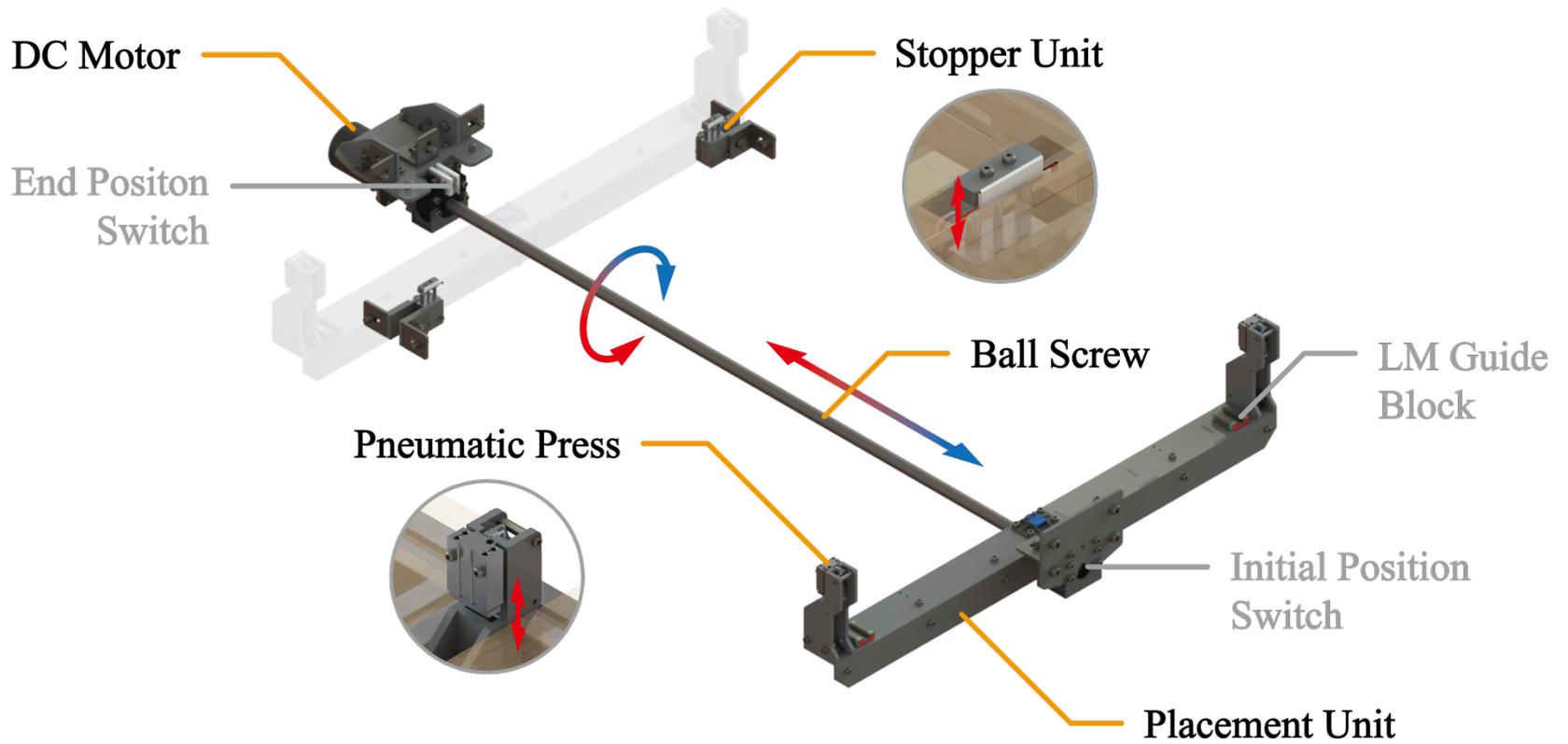


그림 3.10 재봉템플릿 배치 모듈

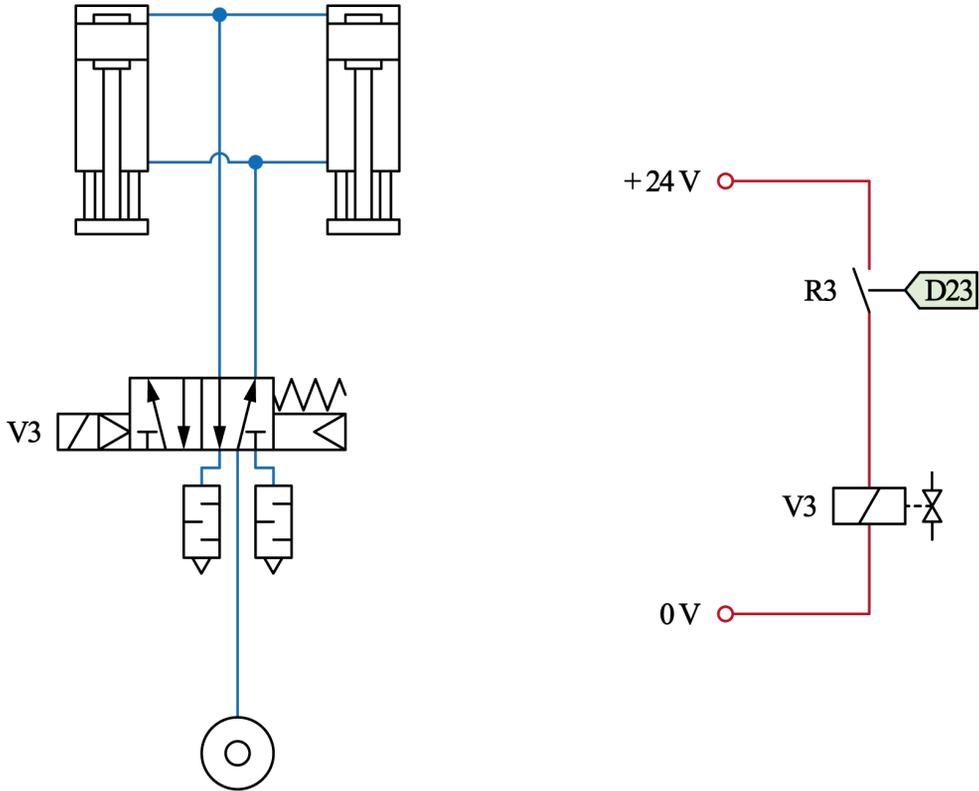


그림 3.11 재봉템플릿 배치 유닛 공압 프레스의 전기-공압 회로 개략도

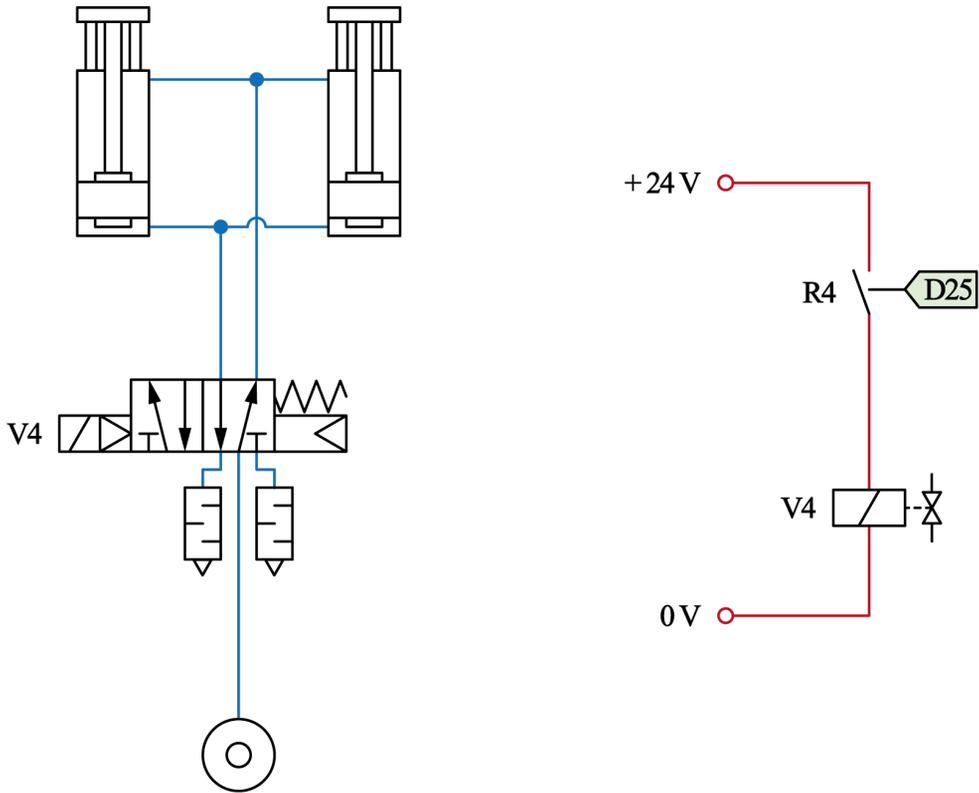


그림 3.12 재봉템플릿 스톱퍼 유닛의 전기-공압 회로 개략도

### 3.3.1 필름 스위치

재봉템플릿 배치 모듈의 도달 지점인 스톱퍼 유닛과 패턴포머 장착 지점 도달 여부를 접촉 방식으로 판별하기 위해, OHP 필름과 구리테이프로 필름 스위치를 제작하였다 (그림 3.13). OHP 필름과 구리테이프는 레이저로 가공하였으며, OHP 필름을 접어 조립할 수 있도록 레이저 파워를 조절하여 접는 선을 가공하였다 (그림 3.14, 표 3.5, 그림 3.15).

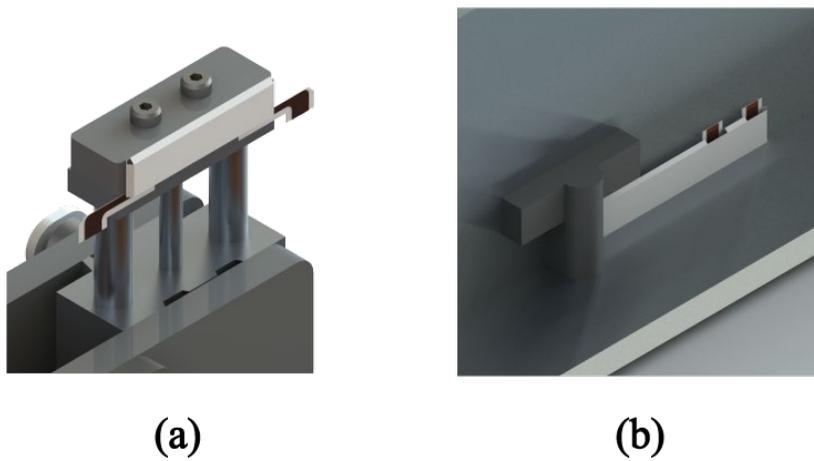


그림 3.13 필름 스위치,  
(a) 스톱퍼 유닛, (b) 패턴포머 장착 지점

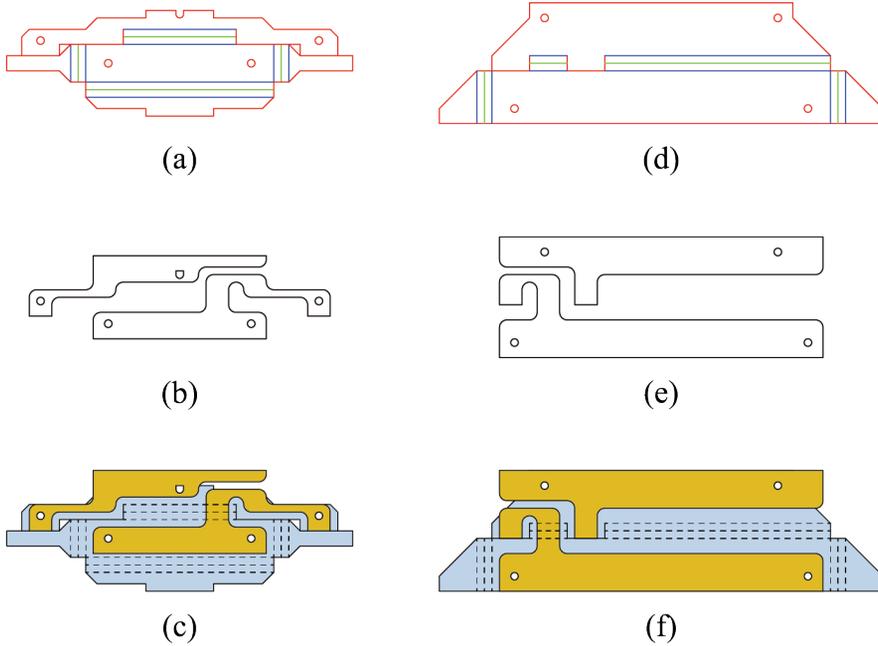


그림 3.14 필름 스위치 가공 도면,  
 스토퍼 유닛 필름 스위치 (a) OHP 필름 가공도면, (b) 구리 테이프  
 가공도면, (c) 부착 도면,  
 패턴포머 장착 지점 필름스위치 (d) OHP 필름 가공도면,  
 (e) 구리 테이프 가공 도면, (c) 부착 도면

표 3.5 OHP 필름과 구리 테이프의 레이저 가공

	Red	Blue	Green	Black
Laser Type	CO2	CO2	CO2	Fiber
Power	High	Low	Middle	-
Purpose	Cut OHP film	Engrave hard hinge on OHP film	Engrave soft hinge on OHP film	Cut copper tape

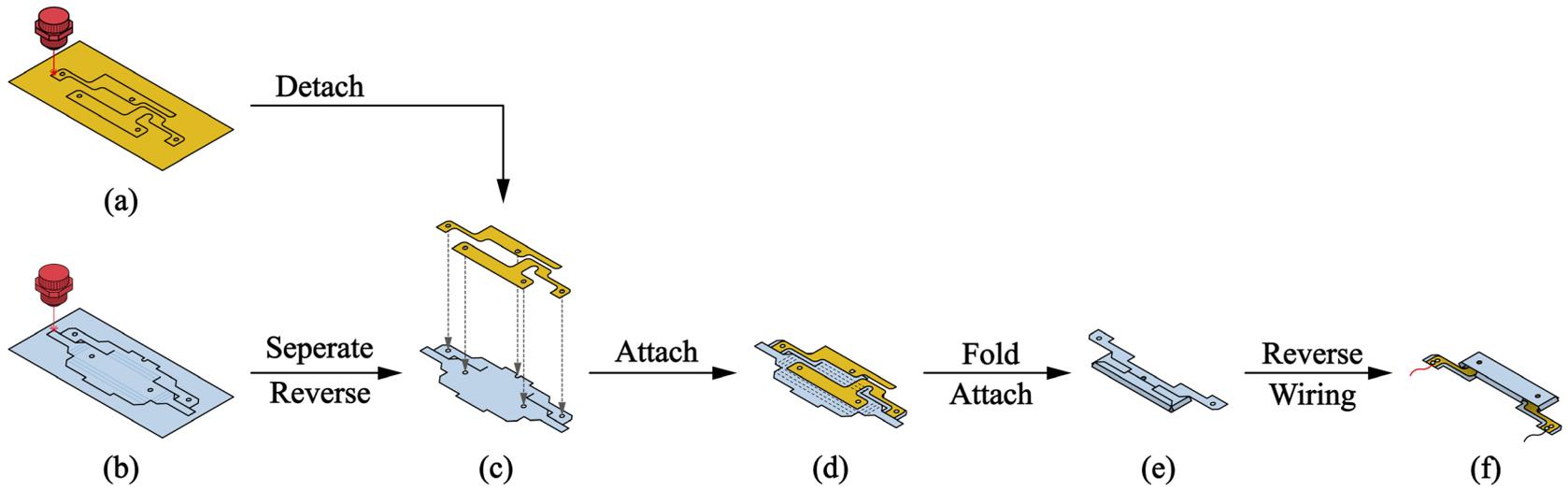


그림 3.15 필름 스위치 제작 과정

### 3.4 작동 알고리즘

시스템에 전원이 들어오면 각 구동부별로 위치를 초기화한 후, 사전에 입력한 반복 횟수만큼 동작하도록 알고리즘을 작성하였다 (그림 3.16). 재봉템플릿의 정렬·개폐·배치가 작업자의 개입 없이 순서대로 동작하며, 패턴포머의 작업 완료 여부를 판별하는 회로와, 원단 배치 완료 여부를 판별하는 부가 모듈로부터 신호를 받으면 다음 공정으로 넘어간다. 반복 횟수가 종료된 후에는 다시 사전에 입력한 반복 횟수만큼 동작하는 단계로 회귀한다.

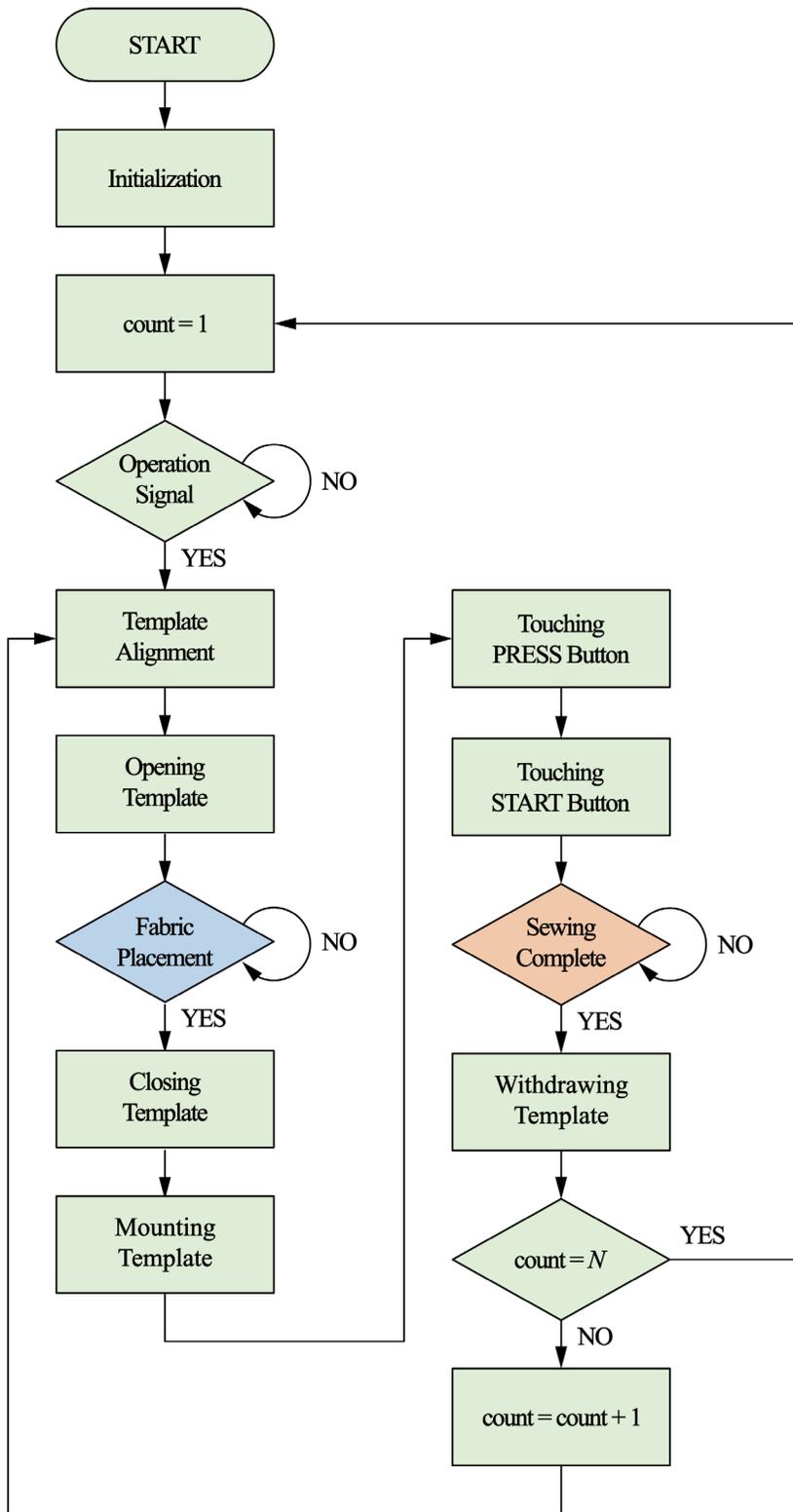


그림 3.16 작동 알고리즘

## 제 4 장 성능 실험

재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼의 주요 구동부별로 성능을 실험하고 평가하고자 하였다. 실험을 실시하기에 앞서, 추후에 해당 플랫폼과 연계할 외부 시스템의 제원과 성능을 고려하여 성능 실험용 재봉템플릿을 별도로 제작하였다 (그림 4.1, 표 4.1). 성능 실험용 재봉템플릿의 크기는 가로 770 mm, 세로 700 mm이며, 템플릿 내부에 놓일 걸감과 안감의 크기는 가로 420 mm, 세로 265 mm이다. 모든 재봉템플릿 샘플을 대상으로 플랫폼의 성능을 실험하는 것이 이상적이거나, 실험의 편의를 위해 우선 해당 템플릿을 대상으로 성능을 실험하고자 하였다.

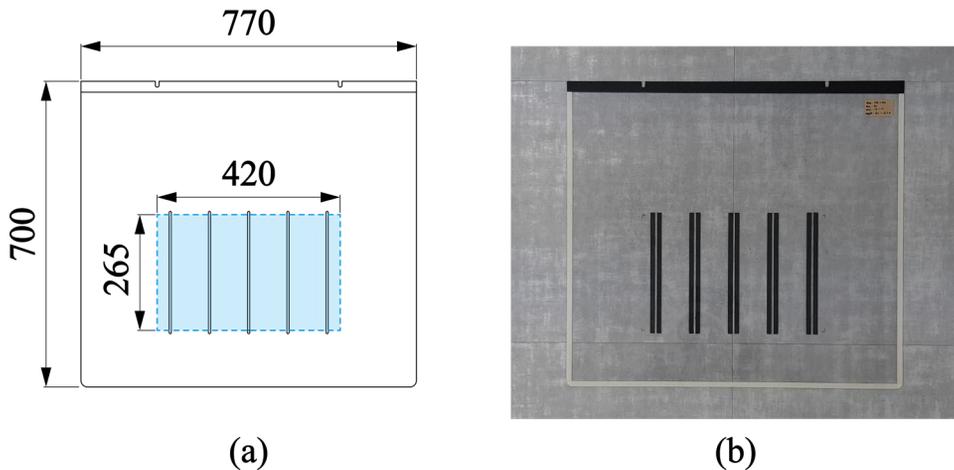


그림 4.1 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 성능 실험용 재봉템플릿, (a) 재봉템플릿 제원과 원단 배치도, (b) 실물 사진

표 4.1 성능 실험용 재봉템플릿 제원

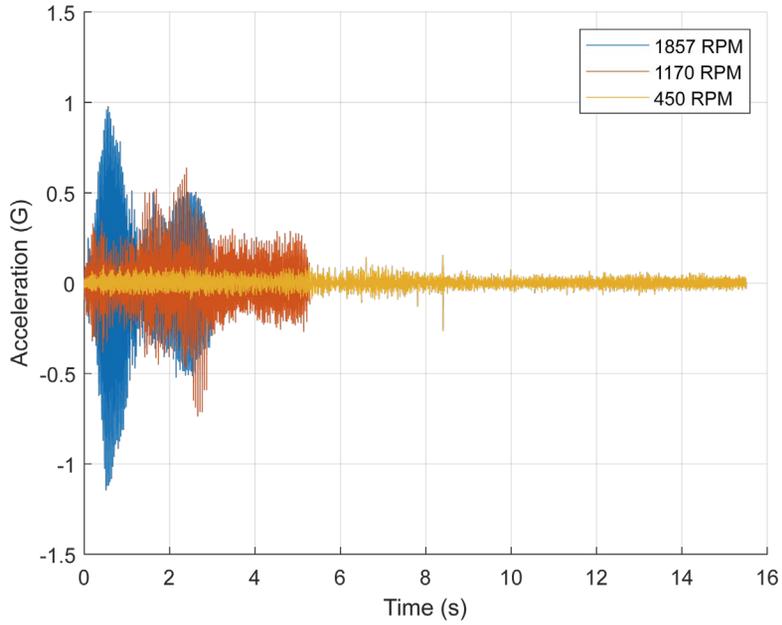
Size (mm × mm)	Weight (N)	Material		Thickness (mm)	
		Top	Bottom	Top	Bottom
770 × 700	13.2 ± 0.1	PC	PC	1.0	1.0

## 4.1 재봉템플릿 배치 모듈 진동 분석

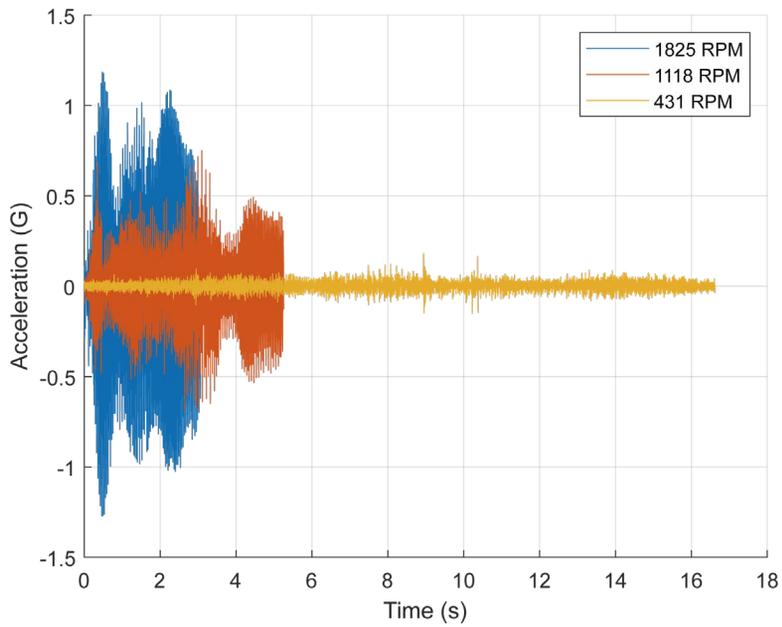
재봉템플릿 배치 모듈이 작동할 때 볼 스크류에서 진동이 발생하는 것을 관찰하였다. PWM 아날로그 신호로 배치 모듈의 작동 속도를 조절하면서 볼 스크류를 관찰한 결과, 작동 속도가 빠를수록 진동과 이로 인한 소음이 크게 발생하는 것을 관찰하였다 (그림 4.2).

배치 모듈 작동 속도에 따른 볼 스크류 진동 정도를 파악하기 위해, DC 모터 회전축에 엔코더 디스크(encoder disc)와 포토 인터럽터(photo interrupter)를 설치해 볼 스크류의 회전 속도를 측정하였고, 배치 유닛에 가속도계(accelerometer)를 체결하여 진동 가속도를 측정하였다 (그림 4.3). 데이터 수집은 National Instrument DAQ USB-6211를 이용하였으며, 샘플링 레이트는 10 kHz로 설정하였다.

재봉템플릿 없이 배치 모듈이 작동하는 경우, PWM 아날로그 신호 196 지점에서 진동 가속도가 최소가 되는 local optimum이 나타났으며 (그림 4.5(a)), 템플릿과 함께 배치 모듈이 작동하는 경우에는 221 지점에서 local optimum이 나타났다 (그림 4.5(b)). 볼 스크류에서 진동이 크게 발생할수록 볼 스크류의 수명이 짧아지므로, 배치 모듈 작동 시 볼 스크류에서 발생하는 진동을 최소로 하기 위해 재봉템플릿 없이 배치 모듈이 작동할 때에는 PWM 아날로그 신호를 196으로, 템플릿과 함께 작동할 때에는 신호를 221로 작동하기로 하였다.



(a)



(b)

그림 4.2 재봉템플릿 배치 모듈의 작동 속도에 따른 볼 스크류 진동, (a) 배치 유닛 전진 시 진동, (b) 배치 유닛 후진 시 진동

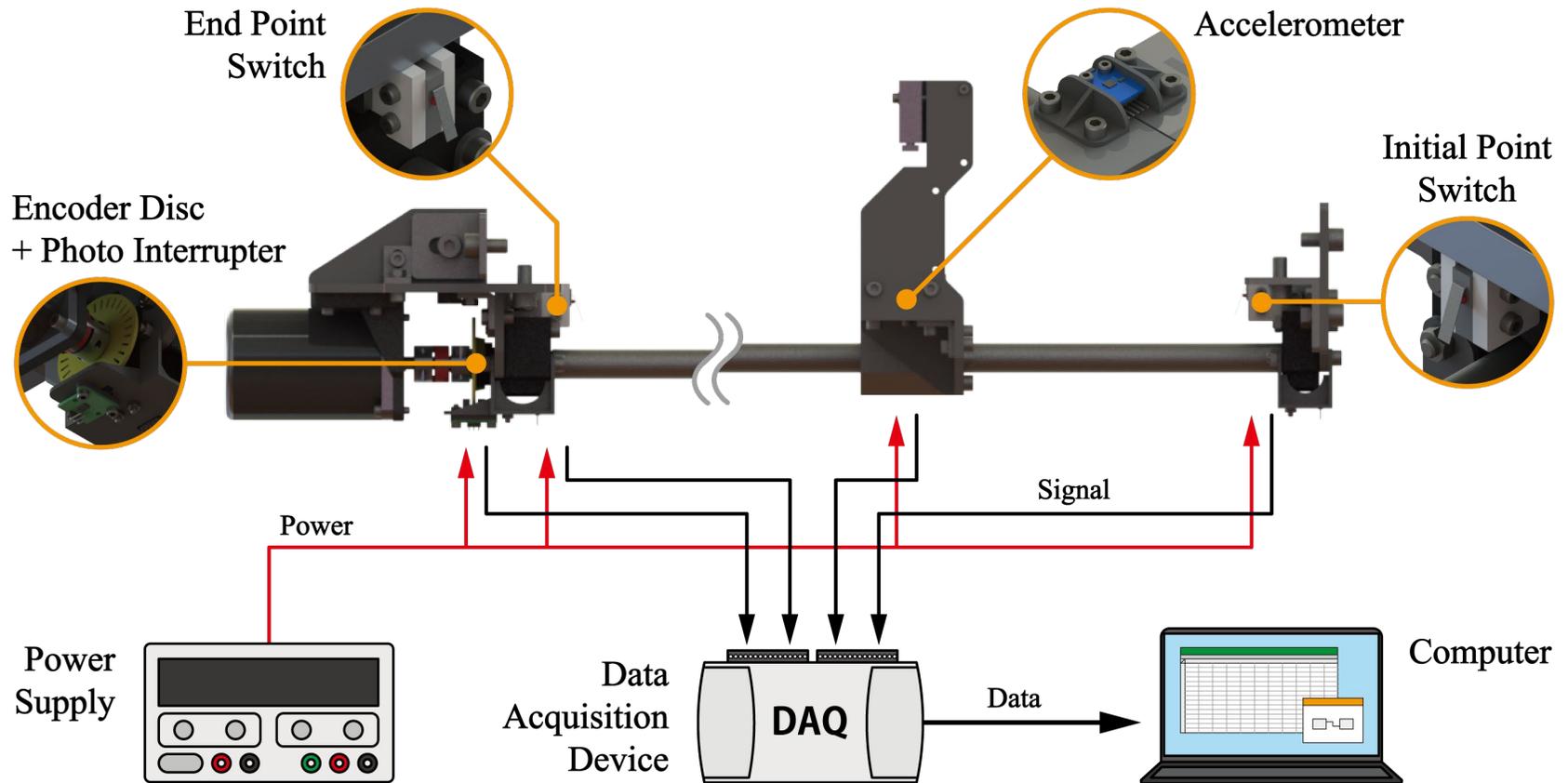
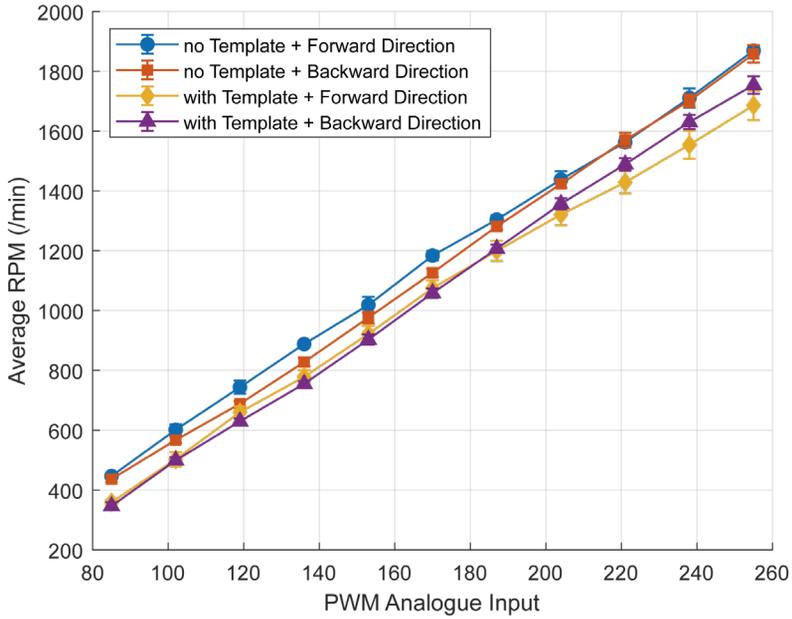
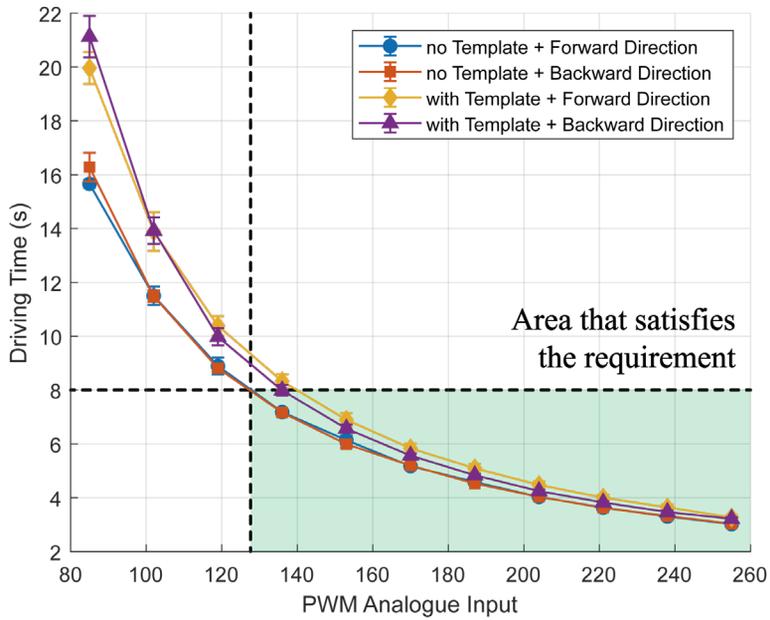


그림 4.3 재봉템플릿 배치 모듈의 볼 스크류 진동 측정 실험

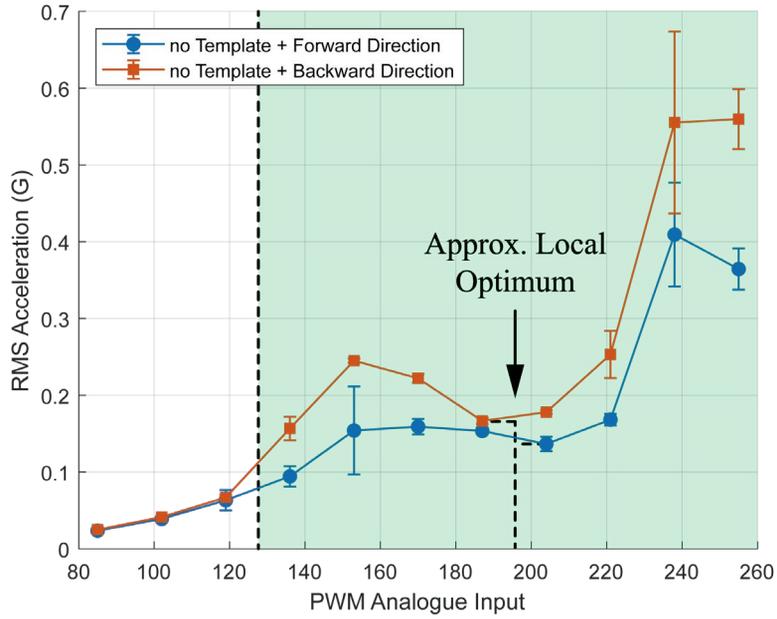


(a)

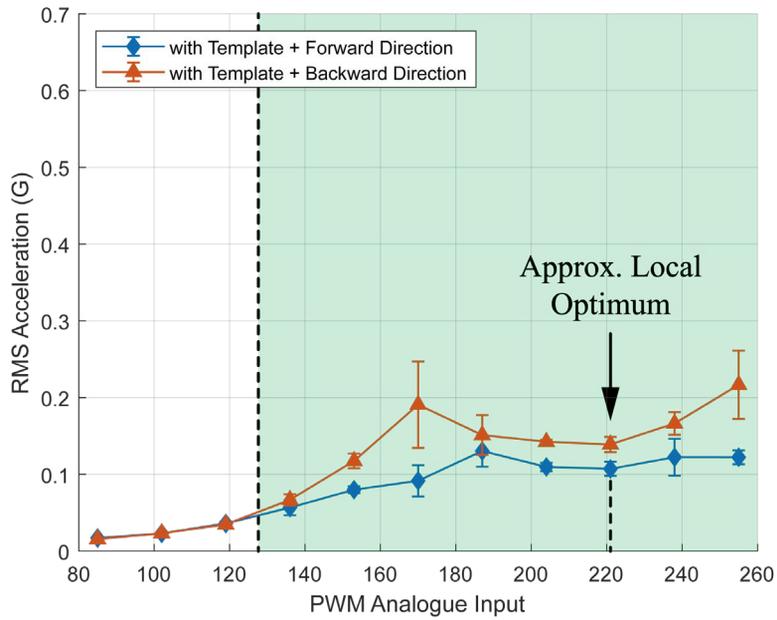


(b)

그림 4.4 재봉템플릿 배치 모듈 구동부 PWM 입력에 따른  
(a) 볼 스크류 회전 속도와, (b) 작동 시간



(a)



(b)

그림 4.5 재봉템플릿 배치 모듈 구동부 PWM 입력에 따른 진동 가속도, (a) 재봉템플릿이 없는 경우, (b) 재봉템플릿이 있는 경우

## 4.2 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 작동 실험

재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼의 작동 시간을 작업자의 작업 시간과 비교하기 위해 작동 단계별 소요 시간을 측정하였다. 작동 단계별 시간은 각 구동부별로 작동을 마칠 때마다 제어보드 내부 함수로 측정하였다 (표 4.2). 현재 성능과 알고리즘으로는 작업자의 작업 시간과 약 4초 차이가 났다.

**표 4.2** 재봉템플릿 자동 정렬 및 배치 플랫폼 작동 단계별 소요시간

Process Step	Process Time (s)	Rounded Process Time (s)
Template Alignment	6.167	6
Opening Template	7.533	8
Closing Template	3.233	3
Template Alignment	5.167	5
Mounting Template	7.167	7
Touching Button	2.133	2
Template Withdraw	11.667	12
Total	43.067	43

## 제 5 장 결 론

현재까지 패턴포머 공정에서 재봉템플릿 다루는 작업을 자동화한 모델은 템플릿을 장착하고 반환하는 작업만 자동화하였다. 본 연구에서는 패턴포머 공정의 무인 자동화를 위해 재봉템플릿 다루는 모든 작업을 자동화하였다. 또한 재봉템플릿 정렬 모듈에 자석 푸즈를 적용한 적응형 센터링 메커니즘을 구현함으로써 모든 크기의 템플릿을 다룰 수 있게 하였다. 추후에 원단을 집어 옮길 수 있는 시스템이 개발된다면 패턴포머 공정을 무인 자동화할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

## 참고 문헌

- [1] J. L. Harris, P. Sunley, E. Evenhuis, R. Martin, A. Pike, and R. Harris, “The Covid-19 crisis and manufacturing: How should national and local industrial strategies respond?,” *Local Econ.*, vol. 35, no. 4, pp. 403-415, 2020.
- [2] B. Bonadio, Z. Huo, A. A. Levchenko, and N. Pandalai-Nayar, “Global supply chains in the pandemic,” *Natl. Bur. Econ. Res.*, 2020.
- [3] W. C. Shih, “Global supply chains in a post-pandemic world,” *Harvard Business Review*, 2020. [Online]. Available: <https://hbr.org/2020/09/global-supply-chains-in-a-post-pandemic-world>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [4] B. Javorcik, “Reshaping of global supply chains will take place, but it will not happen fast,” *J. Chinese Econ. Bus. Stud.*, 2021.
- [5] C. Jahns, E. Hartmann, and L. Bals, “Offshoring: Dimensions and diffusion of a new business concept,” *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 12, pp. 218-231, 2006.
- [6] S. Massini, N. Perm-Ajchariyawong, and A. Y. Lewin, “Role of corporate-wide offshoring strategy on offshoring drivers, risks and performance,” *Ind. Innov.*, vol. 17, no. 4, pp. 337-371, 2010.
- [7] A. Mussomeli, “Why smart factories are the future of supply chain resilience,” *Supply Chain Dive*, 2020. [Online]. Available: <https://www.supplychaindive.com/news/why-smart-factories-are-the-future-of-supply-chain-resilience/591752/>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [8] T. R. Mitchell, “A simple smart factory solution to keep your production running during COVID-19,” *Elisa Corporation*, 2020. [Online]. Available: <https://elisasmartfactory.com/a-simple-smart-factory-solution-to-keep-your-production-running-during-covid-19/>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [9] P. Barbieri, A. Boffelli, S. Elia, L. Fratocchi, M. Kalchschmidt, and D. Samson, “What can we learn about reshoring after Covid-19?,” vol. 13, pp. 131-136, 2020.
- [10] C. Browning, C. M. Hyzy, and V. Sahu, “Reshoring: The next great global trend,” *Bank of America*, 2020. [Online]. Available: <https://www.privatebank.bankofamerica.com/articles/reshoring-the-next-great-global-trend.html>. [Accessed: 16-Jan-2021].

- [11] J. Tilley, “Automation, robotics, and the factory of the future,” *McKinsey*, 2017. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future>. [Accessed: 17-Jan-2021].
- [12] “European Union labour costs,” *Trading Economics*. [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/european-union/labour-costs>. [Accessed: 27-Jan-2021].
- [13] C. Null and B. Caulfield, “Fade to black the 1980s vision of ‘lights-out’ manufacturing, where robots do all the work, is a dream no more,” *Business 2.0 Magazine*, 2003. .
- [14] A. Weber, “Lights-Out Automation: Fact or Fiction?,” *ASSEMBLY Magazine*, 2019. [Online]. Available: <https://www.assemblymag.com/articles/94982-lights-out-automation-fact-or-fiction>. [Accessed: 17-Jan-2021].
- [15] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, “Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 working group,” Forschungsunion, Berlin, Germany, 2013.
- [16] M. Lorenz, M. Rößmann, M. Waldner, P. Engel, M. Harnisch, and J. Justus, “Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries,” *BCG Perspectives*, 2015. [Online]. Available: [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries). [Accessed: 14-Jan-2021].
- [17] Z. Shi, Y. Xie, X. Wei, Y. Chen, L. Fu, and X. Xu, “Smart factory in Industry 4.0,” pp. 607–617, 2020.
- [18] J. P. Tomás, “Smart manufacturing vs. lights out manufacturing,” *Enterprise IoT Insights*, 2017. [Online]. Available: <https://enterpriseiotinsights.com/20170616/channels/fundamentals/20170616channelsfundamentalsufacturing-lights-out-manufacturing-tag23-tag99>. [Accessed: 02-Feb-2021].
- [19] G. Erdoğan, “Land selection criteria for lights out factory districts during the industry 4.0 process,” *J. Urban Manag.*, vol. 8, no. 3, pp. 377–385, 2019.
- [20] S. M. Lee, J. H. Kim, and P. H. Seong, “Optimization of automation: I. Estimation method of cognitive automation rates reflecting the effects of automation on human operators in nuclear power plants,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 70, pp. 48–55, 2014.
- [21] M. Eddy, “Checklist for lights-out manufacturing,” *Production*

- Machining*, 2013. [Online]. Available: <https://www.productionmachining.com/articles/checklist-for-lights-out-manufacturing>. [Accessed: 26-Jan-2021].
- [22] N. K. Lee, "Total automation: The possibility of lights-out manufacturing in the near future," *Missouri S&T's Peer to Peer*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [23] T. Deligio, "Lights out, pristine production in," *Plastic Technology*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/lights-out-production-on>. [Accessed: 28-Jan-2021].
- [24] C. Engelking, "'Lights-Out' manufacturing hits main street," *Discover Magazine*, 2017. [Online]. Available: <https://www.discovermagazine.com/technology/lights-out-manufacturing-hits-main-street>. [Accessed: 26-Jan-2021].
- [25] S. Hankammer, K. Nielsen, F. T. Piller, and G. Schuh, "Part VI: Mass customization of textiles and fashion products as a special field of application," in *Customization 4.0*, Aachen, Germany: Springer, 2017, pp. 618–684.
- [26] P. Bertola and J. Teunissen, "Fashion 4.0. Industry through digital transformation," *Res. J. Text. Appar.*, vol. 22, no. 4, pp. 352–369, 2018.
- [27] A. Wiener, "Inside Adidas' robot-powered, on-demand sneaker factory," *WIRED*, 2017. [Online]. Available: <https://www.wired.com/story/inside-speedfactory-adidas-robot-powered-sneaker-factory/>. [Accessed: 31-Jan-2021].
- [28] R. Henkel, "Adidas Speedfactory: Fully automated shoe production," *ISPO*, 2016. [Online]. Available: [https://www.ispo.com/en/trends/id\\_77829550/adidas-speedfactory-fully-automated-shoe-production.html](https://www.ispo.com/en/trends/id_77829550/adidas-speedfactory-fully-automated-shoe-production.html). [Accessed: 31-Jan-2021].
- [29] "Adidas deploys speedfactory technology at asian suppliers by end of 2019," *Adidas*, 2019. [Online]. Available: <https://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/press-releases/2019/adidas-deploys-speedfactory-technology-at-asian-suppliers-by-end-2019/>. [Accessed: 31-Jan-2021].
- [30] S. Crowe, "Adidas closing automated 'Speedfactories' in Germany, the U.S.," *The Robot Report*. [Online]. Available: <https://www.therobotreport.com/adidas-closing-german-us-robot-speedfactories/>. [Accessed: 31-Jan-2021].
- [31] R. Nayak and R. Padhye, "Introduction to automation in garment manufacturing," in *Automation in Garment*

- Manufacturing*, Elsevier, 2018, pp. 1–27.
- [32] F. B. De Mattos, D. Kucera, and A. Rossi, “Automation, employment and reshoring in the apparel industry: Long-term disruption or a storm in a teacup?,” International Labour Organization, 2020.
- [33] S. Lund and M. Krishnan, “Risk, resilience and rebalancing in the apparel supply chain,” *The Business of Fashion*, 2021. [Online]. Available: <https://www.businessoffashion.com/opinions/retail/risk-resilience-and-rebalancing-in-the-apparel-supply-chain>. [Accessed: 31-Jan-2021].
- [34] M. McMaster, C. Nettleton, C. Tom, and B. Xu, “Risk management: Rethinking fashion supply chain management for multinational corporations in light of the COVID-19 outbreak,” *J. Risk Financ. Manag.*, vol. 13, no. 173, 2020.
- [35] L. Barrie, “Timeline – How coronavirus is impacting the global apparel industry – Free to read,” *just-style*, 2021. [Online]. Available: [https://www.just-style.com/news/timeline-how-coronavirus-is-impacting-the-global-apparel-industry-free-to-read\\_id138313.aspx](https://www.just-style.com/news/timeline-how-coronavirus-is-impacting-the-global-apparel-industry-free-to-read_id138313.aspx). [Accessed: 01-Feb-2021].
- [36] P. Menon, “The reshoring story! Apparel manufacturing is on its way to coming back to the US,” *Apparel Resources*, 2020. [Online]. Available: <https://apparelresources.com/business-news/retail/reshoring-story-apparel-manufacturing-way-coming-back-us/>. [Accessed: 01-Feb-2021].
- [37] K. Hauser, “How Covid-19 is shifting fashion industry supply chains in a sustainable direction,” *Luxiders*. [Online]. Available: <https://luxiders.com/fashion-supply-chains/>. [Accessed: 01-Feb-2021].
- [38] S. Ku, J. Myeong, H. Kim, and Y. Park, “Delicate fabric handling using a soft robotic gripper with embedded microneedles,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 4852–4858, 2020.
- [39] J. Su, J. Shen, and F. Zhang, “Grasping model of fabric cut pieces for robotic soft fingers,” *Text. Res. J.*, pp. 1–16, 2021.
- [40] P. N. Koustoumpardis and N. A. Aspragathos, “Intelligent hierarchical robot control for sewing fabrics,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 30, no. 1, pp. 34–46, 2014.
- [41] J. Schrimpf and G. Mathisen, “Differential feed control applied to corner matching in automated sewing,” *IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2016.
- [42] J. Schrimpf, “Automated sewing using conveyor belts,” *IEEE*

- 21st Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom.*, pp. 3–6, 2016.
- [43] R. C. Winck, W. J. Book, S. Dickerson, and J. D. Huggins, “A novel approach to fabric control for automated sewing,” *IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intell. Mechatronics*, pp. 53–58, 2009.
- [44] “The next generation lowry SEWBOTS are here,” *SoftWear Automation*. [Online]. Available: <https://softwearautomation.com/products/>. [Accessed: 17–Jan–2020].
- [45] “Vetron 5656 Autoseam,” *Vetron Typical*. [Online]. Available: <https://www.vetrontypical-europe.com/vetron-5656>. [Accessed: 01–Feb–2021].
- [46] T. B. Lee, “Experts say Tesla has repeated car industry mistakes from the 1980s,” *Ars Technica*, 2018. [Online]. Available: <https://arstechnica.com/cars/2018/04/experts-say-tesla-has-repeated-car-industry-mistakes-from-the-1980s/>. [Accessed: 17–Jan–2021].
- [47] T. Gries and V. Lutz, “Application of robotics in garment manufacturing,” in *Automation in Garment Manufacturing*, Elsevier, 2018, pp. 179–197.
- [48] Burak Yezer, “Texprocess 2017 qondac Dürkopp Adler 911 robotic operation,” 2017. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4x4hN6bcuyE&list=PLi4Wa-Rzu0S7ubsdaJaKFyAv16A109-1e&index=9&t=48s>. [Accessed: 25–Jan–2021].
- [49] “Richpeace single head automatic sewing machine with auto-loader,” *Richpeace Ai Corporation*. [Online]. Available: <https://www.richpeace.com/LargeAreaSewing-show-14.html>. [Accessed: 16–Jan–2021].
- [50] Juita Sewing Machine Coperation, “K8F–90AJWM toothed belt guide module transmission template machine right single feeding with laser function intelligent template,” *Alibaba.com*. [Online]. Available: [https://juita.en.alibaba.com/product/62017699803-810336109/K8F\\_90AJWM\\_Toothed\\_belt\\_guide\\_module\\_transmission\\_template\\_machine\\_Right\\_single\\_feeding\\_with\\_laser\\_function\\_intelligent\\_template.html?spm=a2700.shop\\_pl.41413.30.7a774b3bPCM2zv](https://juita.en.alibaba.com/product/62017699803-810336109/K8F_90AJWM_Toothed_belt_guide_module_transmission_template_machine_Right_single_feeding_with_laser_function_intelligent_template.html?spm=a2700.shop_pl.41413.30.7a774b3bPCM2zv). [Accessed: 16–Jan–2021].
- [51] Juita Sewing Machine Coperation, “Auto pattern sewing machine toothed belt guide module transmission template machine left and right feeding with laser function,” *Alibaba.com*. [Online]. Available: <https://www.alibaba.com/product-detail/Auto-pattern->

- sewing-machine-Toothed-belt\_62017341661.html?spm=a2700.details.pronpeci14.2.72fd5a6d8ySzwe&fullFirstScreen=true. [Accessed: 16-Jan-2021].
- [52] YWK Yin Wei Sewing Machine, “YWK automatic template boards feeding demonstration. (Jul. 21, 2019).” [Online]. Available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=L7lYRxxkVmwI&feature=youtu.be>. [Accessed: 16-Jan-2021].
- [53] P. Helm and E. Maurer, “Self-centering steady rest,” U.S. Patent 8 726 772, May. 20, 2014.
- [54] C. K. Choi, “Apparatus for preventing ball screw axis of machine tool automatic ally from drooping,” Republic of Korea Patent 10-1458217, Oct. 29, 2014.
- [55] Y. H. Lee, “Device for protecting deflection of a long ball screw,” Republic of Korea Patent.
- [56] “Tape switches,” *Osaka Jido Denki Co.* [Online]. Available: <https://global.ojiden.co.jp/tapeswitch/index.html>. [Accessed: 15-Jan-2021].

Abstract

# Development of Sewing Template Automatic Alignment and Placement Platform for Unmanned Garment Factory

Tae Hwan Kim

Department of Mechanical Engineering

The Graduate School

Seoul National University

In this paper, in order to approach the automation problem by integrating automation technology to the production process that is operating in the current garment factory, a platform for unmanned automation of the work of handling sewing templates in the pattern former process is developed. The platform for automatic alignment and placement of sewing templates operates in a state located in front of the pattern former without any assembly with the pattern former, and automatically performs template alignment, opening and closing, and placement in the pattern former process. An additional module is added so that operation signals can be exchanged with the pattern former and external systems. In the case of the sewing template alignment module, a 1-DOF adaptive centering mechanism is applied to arrange sewing templates of arbitrary sizes. Through the experiment, the behavioral characteristics of each main driving part are checked, and the feasibility of realizing process automation is reviewed by comparing the time required for the process of the

automation system with the workers working in the pattern former process.

**Keywords :** Unmanned Garment Factory, Automation, Sewing template, Pattern former, Magnetic fuse, Adaptive centering mechanism, Film switch

**Student Number :** 2019–29863