

# AI 자율제조를 통한 섬유산업의 지능형 제조 생태계 조성



박병호

- 2008. 영남대학교 기계공학 학사
- 2010. 영남대학교 기계공학 석사
- 2018. 영남대학교 기계공학 박사
- 2013–2021. 대구공업대학교 자동차과 조교수
- 2021–2022. 영남대학교 정보통신연구소 박사후연구원
- 2022–현재. 한국섬유기계융합연구원 선임연구원



조경철

- 1995. 영남대학교 기계공학 학사
- 1997. 영남대학교 기계공학 석사
- 2024. 영남대학교 기계공학 박사
- 2005–현재. 한국섬유기계융합연구원 센터장



박시우

- 1994. 경일대학교 기계공학 학사
- 1996. 영남대학교 기계공학 석사
- 2001. 영남대학교 기계공학 박사
- 2002–현재. 한국섬유기계융합연구원 본부장



조순옥

- 2002. 계명대학교 기계공학과 학사
- 2004. 계명대학교 기계공학과 석사
- 2004–현재. 한국섬유기계융합연구원 책임연구원

## 1. 서 론

섬유산업은 인류 문명사에서 가장 깊은 역사를 갖고 성장하면서, 근대화 및 공업화의 중심 역할을 수행해 왔다. 섬유산업은 섬유소재에서부터 직물 및 염색·가공을 거쳐 최종 제품인 의류를 만드는 것으로부터 시작되었으나, 최근에는 첨단기술, 정보화, 문화, 컨텐츠, 이미지 등을 접목시키는 지식산업으로 변화하고 있다.

첫 번째 의류(의복)를 정확하게 정의하기는 어렵지만, 신석기 시대의 유물인 가락바퀴와 뼈 바늘 등을 통해 나무껍질이나 동물 가죽으로 의복을 제작했을 것으로 여겨진다[1]. 이러한 의류는 고대 이집트 시대를 거쳐 산업혁명 시기에 이르러, 동물성 섬유인 모직물에서 면직물로 소재가 변화하면서 대량생산이 가능해졌다. 제임스 와트의 증기기관 발명에 힘입어 기존 수작업에서 섬유 생산의 자동화가 시작되었다[2].

우리나라 섬유 및 섬유기계의 역사 또한 정확하게 밝혀지지는 않았지만 기원전 5세기~기원후 6세기부터 사용되어졌을 것으로 추정하며[3], 또한 삼한시대, 신라, 고려를 거쳐 조선시대에까지 다양한 방식의 섬유 및 의복이 제작되었던 기록이 남아 있으며, 특히 임진왜란 전·후 옷감에 섬세한 무늬를 넣을 수 있는 섬유기계의 기록 또한 존재한다[4].

이렇듯 섬유산업은 오랜 역사와 전통을 가지고 있으며, 우리의 삶과 밀접한 곳에 존재해 왔다. 국내 섬유산업은 1917년 대구에 설립된 조선방직을 중심으로 가내공업형 섬유 공장이 생겨나고, 근현대식 섬유기계가 도입되면서 성장하였다[1].

한국전쟁 이후 산업시설 복구 및 경제 발전의 중심축으로 1952년 섬유공업부흥계획, 1953년 면방직 5개년 계획, 1962년 경제개발 5개년 계획 등 정부의 지원과 저렴한 노동력을 기초로 섬유산업은 ‘수출의 주역’ 역할을 톡톡히 해왔다. 1973년 세계적 석유 파동 때문에 주춤했던 섬유 수출은 1978년 폴리에스터의 등장, 엔화 평가절상, 미국의 호황 등을 이유로 대호황을 누리게 되었으나, 1978년 말 2차 석유 파동으로 인한 위기가 찾아와 호황과 불황을 오가며 섬유 제조 및 섬유기계 기술의 내재화 필요성이 증대하게 된다[5]. 이후 1990년대까지 호황 불황을 반복하던 섬유산업은 국내 경기순환의 불안정, 섬유기계 설비 과잉, 중국 및 동남아 시장의 급격한 성장 등으로 성장잠재력 약화와 성장동력 창출 미흡 등 많은 당면 과제를 가지고 있다.



Figure 1. 국내 섬유산업 스트림 구성.

원자재의 1/3 가량 수입한 후 가공하여 완제품 형태로 해외에 수출하는 수출주도형 산업구조를 가지고 있는 섬유산업은 한국 표준산업분류(KSIC)를 기준으로 섬유제품 제조업, 의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업, 화학섬유 제조업이라 정의가 가능하며, 유관산업인 가죽, 가방 및 신발제조업, 섬유, 의복 및 가죽 가공기계 제조업, 섬유, 의복, 신발 및 가죽제품 중개업, 생활용 섬유제품, 의복, 의복 액세서리 및 모피제품 도매업, 신발 도매업, 염료, 안료 및 관련제품 도매업, 방직용 섬유, 실 및 직물 도매업, 섬유, 의복, 신발 및 가죽제품 소매업, 의복 및 기타 가정용 직물제품 수리업, 세탁업까지 포함한 광범하게 정의가 가능한데, 대기업 중심의 업스트림 및 중소기업 중심의 미드스트림, 다운스트림으로 복잡하고 다양한 구조를 가지는 가치 사슬이 구성되어 중소기업 중심의 산업생태계를 형성하고 리스크 관리를 위한 대책 마련이 시급한 현실이다[6].

## 2. 섬유산업의 AI 자율제조 필요성

### 2.1. AI 자율제조 정의

AI 자율제조에 대하여 설명하기 위해서 우선 자율성(autonomy)에 대한 정의가 이루어져야 하는데, “자율성”은 어떠한 시

스템이 자체적으로 의사결정을 할 수 있는 능력을 이야기하며, 넓은 의미로 외부의 조작이 없는 독립적인 시스템을 의미한다[7].

이를 산업적 관점에서 살펴보면 작업자의 간섭이 없이 AI 알고리즘이 스스로 의사결정하고, 로봇 또는 설비가 자체적으로 생산을 수행하는 시스템을 의미하게 된다. 또한 사전적 의미를 살펴보면 “자율” 이란 “남의 지배나 구속을 받지 아니하고 자기 스스로의 원칙에 따라 어떤 일을 하는 것”이라 정의되며, “인공지능(AI, artificial intelligence)”은 “인간의 지능을 가지는 학습, 추리, 적응, 논증 따위의 기능을 갖춘 컴퓨터 시스템”으로 정의되는데, 이를 통하여 AI 자율제조는 제조 공정에서 상황을 인식하고 논리적 판단을 수행하여 제조 공정의 제어가 가능한 인공지능 기반 제조 시스템이라 정의할 수 있다[8].

이러한 AI 자율제조는 기존 반복적 공정 규칙 기반 자동화를 벗어나, 실시간 공정데이터를 기반으로 산업용 AI를 활용하여 작업자의 간섭을 최소화하는 시스템을 의미하며, 지능형 로봇 및 물류 로봇을 통하여 공정의 무인화 및 자율화, 생산 유연화를 통하여 산업경쟁력을 확보하는 것을 목표로 하고 있다.

### 2.2. AI 자율제조 필요성

국내 섬유산업은 제조업의 평균을 넘는 고용창출 효과와 부가가치를 가지는 중요 산업이다. 하지만 글로벌 경기하락, 제품 경쟁력 약화[9], 제조 설비 노후화, 숙련된 작업자의 고령화 등 복잡하고 다양한 문제점들에 직면해 있는 현실이다.

섬유산업은 탄소섬유, 아라미드 등 첨단 신소재에 기반을 둔 사·직물 및 편직, 염·가공 및 날염·봉제, 의류·패션 등의 복합적이고 유기적인 섬유 스트림(stream) 구성으로 인해 산업 성장의 원동력이 되어 왔으나, 하나의 전방 또는 후방산업에 문제가 발생하면 전 섬유 스트림에 영향을 미치는 문제가 존재한다. 또한 소비자 니즈에 따른 다양한 종류의 최종제품(end products)을 생산해야 함에 따라 공급망 리스크도 발생한다.

또한 중국, 동남아시아 및 남미 시장의 급격한 질적, 양적 성장에 따라 중소기업 위주의 국내 섬유산업은 유럽 및 일본 등 기술 및 품질이 우수한 선진국과 임금과 원가가 저렴한 개발도상국 사이의 경쟁에 뒤처지는 넛크래커(nut-cracker) 현상이 심화되고 있어, 생산단가 저감을 위한 저비용 국가로의 국내 섬유 제조 기업의 오프쇼어링(offshoring) 현상이 심화되고 있는 실정이다. 더불어 지속된 경기 악화로 인하여 국내 중소 섬유 제조 기업들의 설비투자가 2014년부터 2020년까지 연평균

# 섬유산업총설

15.5% 감소하고 있어, 섬유 제조산업의 설비 노후화로 이어지고 있다.

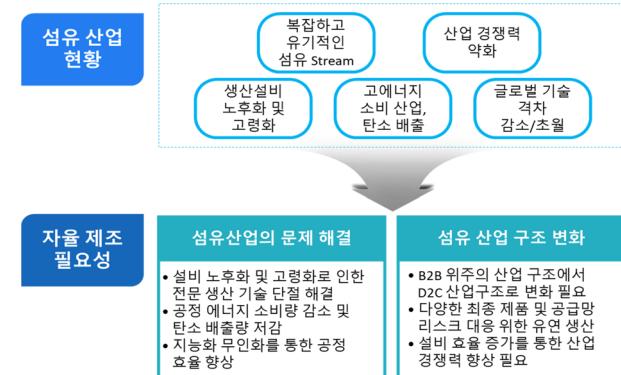


Figure 2. 섬유산업의 AI 자율제조 필요성.

섬유산업은 석유기반 합성섬유 생산이 중심이 되고 있어 높은 에너지 소비와 유해화학 물질 배출로 온실가스를 다량으로 발생시킬 뿐만 아니라 사용 후 섬유는 폐기물로 매립되거나 소각되어 환경오염을 유발하고 있어, “2050 탄소중립” 추진에 따른 선진국의 환경 규제 강화와 글로벌 기업의 지속 가능한 발전 추구 및 소비자의 친환경 인식 강화에 따라 섬유 공정의 에너지 고효율화, 유해화학물질 배출 저감을 위한 친환경 생산 및 재활용 기술의 필요성이 점차 증대되고 있다.

또한 섬유패션 산업 기업 수는 국내 제조업 10.2%의 비율을 차지하고 있지만[6], 종사자 중 50대 이상이 46.1%, 40대가 24.8%로 심각한 고령화 현상이 발생하고 있어[10], 대체 전문 인력 부족 및 전문 생산기술 단절이 심화되고 있다.

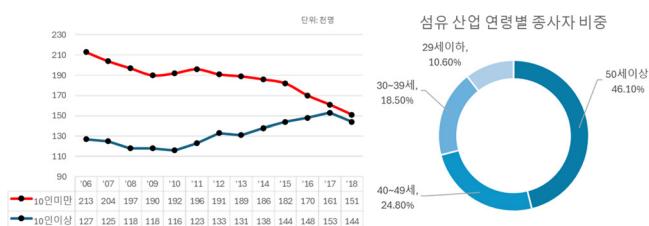


Figure 3. 섬유산업의 종사자 통계.

이러한 복합적인 문제점들을 해결하고, 디지털 전환을 통한 생산성 향상을 위해, 전통적인 섬유제조 장비의 첨단화·고도화와 더불어 5G, AI, 디지털 트윈 등 ICT 기반의 혁신적인 섬유제조 장비와 관련된 기술 성장에 따른 기술의 고도화가 요구되고 있으나, 생산시스템의 자동화가 타 산업이나 선도국의 섬유산업에 비해 현저히 부족한 상황이 지속되고 있는 현실이다.

## 2.3. 국내외 AI 자율제조 기술동향

섬유산업의 AI 자율제조 기술은 소프트웨어 기반으로 빠르게 발전해오고 있으며, 특히 해외 선진사 중심으로 다양한 플랫폼 기술들이 개발 및 상용화되고 있다. 독일 Oerlikon Barmag사의 software solution은 합성섬유 생산공정을 위한 디지털 솔루션으로 장비의 효율과 제품 품질 최적화를 위한 다양한 솔루션을 제공하고 있으며, 워크플로우 관리 시스템으로부터 원료에서 최종 제품까지 전 공정에 대한 모니터링을 기반으로 공정 최적화 솔루션을 제공하고 있다[11].



Figure 4. Oerlikon Barmag社의 Software solution.

스위스 Rieter사의 SPIDERweb 및 ESSENTIAL-rieter digital spinning suite는 방직공정을 위한 디지털 솔루션으로 생산설비의 전 공정데이터를 실시간 분석을 기반으로 생산공정 결합의 문제적을 시각화하여 효율성, 생산, 에너지 및 품질 관리에 이르는 전반적인 공정 관리를 지원하고, 기능별로 소프트웨어 모듈을 세분화하여 고객 맞춤형 플랫폼 서비스를 제공하고 있다.

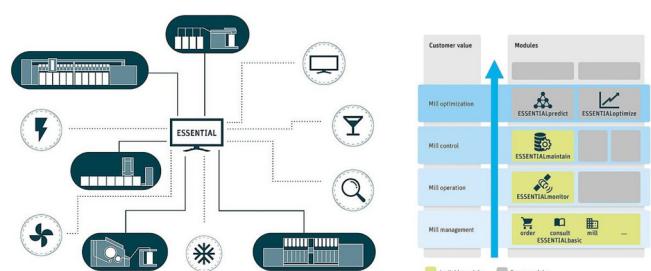


Figure 5. Rieter社의 rieter digital spinning suite.

일본의 Muratec사의 Muratec Smart Support(MSS) 및 Visual Manager는 공장 단위 또는 설비 단위로 와인더의 생산, 품질 및 유지관리 서비스를 제공하고 있으며, 생산관리, 품질관리 및 유지관리의 단순화를 통하여 생산효율 증가가 가능한 통합 고객 지원 서비스를 구현하고 있다.

또한, 중국 FONGS사의 SMART DYEING HOUSE는 원자, 염색, 가공 및 배송까지 통합관리 시스템을 통한 빅데

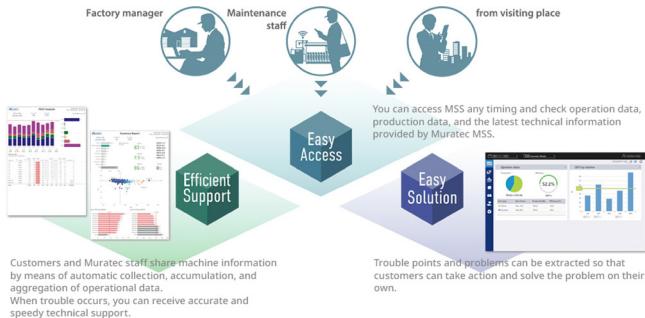


Figure 6. Muratec社의 Muratec Smart Support(MSS).

이터 확보 및 공정데이터 서비스를 구현하고 있으며, 독일 TRUTZSCHLER사의 T-DATA는 공정별 데이터 모니터링과 관리를 통하여 생산 공정에서 오류 및 결함을 조기에 발견 가능한 서비스를 제공하고 있다. 이러한 모니터링 및 플랫폼 기술들과 더불어 AI 기술 및 지능형 협동 로봇을 섬유공정에 접목시키는 많은 시도가 이루어지고 있다.

### 3. 섬유산업과 AI 자율제조 핵심기술의 결합

섬유산업의 AI 자율제조 도입에 따른 생산성 향상, 제조 기술격차 감소 및 에너지 고효율화 및 탄소 중립 실현을 위한 핵심기술은 산업용 인공지능, 가상 자율제조 플랫폼, 지능형 협동/물류 로봇 기술을 꼽을 수 있는데 Table 1에 AI 자율제조를 위한 핵심 기술을 제시하고 있다[14-16].

1) 산업용 인공지능 : 섬유 제조공정에서 발생하는 대용량 공정 데이터의 실시간 처리 및 데이터 불균형이 극복 가능한 산업용 인공지능 기술

2) 가상 자율제조 플랫폼 : 산업용 인공지능 또는 공정/장비의 물리 시뮬레이션을 기반으로 공정 중 발생하는 돌발 변수에 대한 대응 가능한 시스템 및 플랫폼 기술

3) 지능형 협동/물류 로봇 : 기존 단순 자동화 로봇에서 벗어나 인공지능을 기반으로 복잡하고 정형화되지 않는 유연 생산 공정에서 상황에 맞게 공정 대응 가능한 협동 로봇 및 물류 로봇

#### 3.1. 산업용 AI 기술

AI 자율제조의 핵심인 산업용 인공지능은 학습데이터 전처리 기술, 공정 상태 진단 기술, 예측 및 최적화 기술로 나눌 수 있는데, 학습데이터 전처리 기술은 통계적 기법 및 AI 알고리즘을 기반으로 섬유 제조공정의 특성상 각각의 공정에서 발생하는 다양한 종류의 대용량 데이터의 특성을 유지하며 경량화

시킬 수 있는 기술을 의미하며, 이러한 데이터와 공정 이해를 기반으로 데이터 특성 분석 기술을 포함한다.

상태 진단 기술은 비전 및 센서 데이터를 활용하여 제품의 품질을 실시간으로 검사하고 예측하며, 나아가 공정 설비의 상태를 진단하고 예지 보전하여 생산 효율을 높이는 기술이다. 이는 공정 전반의 상태를 인식하고 양품과 불량품을 분류하는 기술을 포함하며, 가상 센서와 시뮬레이션을 통해 공정을 최적화하는 기술까지 아우른다. 이러한 산업용 인공지능은 실시간 공정데이터를 기반으로 공정의 특성을 반영하여야 하며, 섬유 공정의 특성상 고신뢰성, 고정밀도를 요구하게 된다.

#### 3.2. 가상 자율제조 플랫폼 기술

가상자율제조 플랫폼 기술은 공정데이터 표준화 기술, 디지털 가상화 기술 및 모델링/시뮬레이션 및 서비스 기술로 구성되는데, 공정데이터 표준화 기술은 다양한 전후방 사업 및 스트림 간 유기적인 결합을 가지는 섬유 공정의 특성을 가지지만 정형데이터와 비정형데이터의 복합적인 형태를 가지는 공정데이터의 표준화를 통하여 공정 및 스트림 간 데이터 교환을 위한 기술을 말한다.

이는 표준화된 공정 데이터를 기반으로 엣지와 클라우드 시스템을 연동하여 실시간으로 데이터를 수집하고 분석하는 기술이다. 엣지 디바이스를 통해 분산된 센싱과 제어를 수행하고, 클라우드 상의 고성능 서버를 활용하여 데이터를 통합 처리한다. 또한, 다양한 물리적 시스템을 모사하는 시뮬레이션 환경을 구축하고, 인공지능 기술을 적용하여 공정을 최적화한다. 이를 통해 가상의 자율 제조 시스템을 구현하고, 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하여 생산성을 향상시킨다.

#### 3.3. 지능형 로봇 기술

지능형 협동 물류 로봇은 자율제조에 필수적인 작업자의 노동 저감을 위한 기술들이며, 협동 로봇과 물류 로봇을 구성된다. 협동 로봇은 작업자의 육체적 노동 저감 및 제조공정의 위험성 감소를 위하여 작업자-로봇, 로봇-로봇 간의 협업을 위한 기술들이며, 모바일 양팔로봇 동작 및 제어 기술, 인간형 로봇핸드, 양팔로봇 핵심 기술, 실시간 인지 및 작업 계획, 작업 공간 인지 및 주행 기술 등으로 구성되며, 물류 로봇은 실내외 배송을 위한 SW 및 HW 기술, 산업 중대재해 예방을 위한 안전 기술, 자율 주행 기술 및 물체 인식 및 파지 기술로 구성된다.

Table 1. AI 자율제조를 위한 핵심 및 요소기술

분류	요소 기술
산업용 인공 지능	① 학습데이터 전처리 기술 1. 데이터 경량화 기술 2. 공정데이터 특성 분석 기술
	② 상태 진단 기술 1. 비전 및 센서 데이터 기반 인식, 분류 분할 기술 2. 상태 진단 및 예지 보전 기술
	③ 공정 예측 및 최적화 기술 1. 공정 품질 검사 및 예측 기술 2. 공정데이터 기반 가상 센서 기술 3. 공정 최적화 기술
	① 공정 데이터 표준화 기술 1. 공정데이터 수집 및 통합 기술 2. 센싱 데이터 클리닝 기술 3. 데이터 전처리 및 상관관계 분석 기술 4. 공정간 데이터 표준화 기술
	② 디지털 가상화 기술 1. 센싱 및 데이터 안정성 확보 기술 2. IT 기반 기계 장비 부품의 구분, 측정, 추적 기술 3. 엣지 제어기 기반 센싱 및 제어 기술 4. 빅데이터 가시화 기술 5. 고속/저지연 데이터 전달 기술 6. 자동형 자율 제조 프레임워크 구현 및 보안 기술
	③ 모델링/ 시뮬레이션 및 서비스 기술 1. 다중 물리 모델링 및 시뮬레이션 기술 2. AI 기반 모델링 및 시뮬레이션 기술 3. 가상 테스트 시나리오 생성 자동화 기술 4. 오차 저감 기술 5. 가상 자율제조 가시화 기술
	① 협동로봇 1. 모바일 양팔로봇 동작 및 제어 기술 2. 고난도 작업용 인간형 로봇 핸드 3. 모바일 양팔로봇 핵심 기술 통합 및 응용 기술 4. 실시간 행동 인지 및 인식 기반 작업 계획 5. 작업환경 공간 인지 및 주행 6. SW 프레임워크 및 시뮬레이션 7. 직관적 교시용 인터페이스 및 능력 전이 8. 멀티 모달 작업자 의도 파악 9. 클라우드 기반 iRasS 및 AI 서비스
	② 물류로봇 1. 실내외 배송을 위한 로봇 플랫폼 2. 국제 표준 부합을 위한 안전 기술 3. 실내외 자율 주행 기술 4. 물체 인식 기술 5. 물체 파악 기술

## 4. AI 자율제조 성숙모델에 의한 섬유산업의 미래

### 4.1. 섬유산업을 위한 AI 자율제조 성숙모델 필요

섬유 제조 공정에 산업용 인공지능, 가상 자율제조 플랫폼, 지능형 로봇 기술을 통한 자율제조 도입을 위해서는 현재 자율제조 단계(level)와 목표를 구체적이고 체계적으로 분석하여 평가하는 것이 중요하다. Fan Mo 등은 이를 위하여 자율제조 시스템의 성숙모델을 5단계로 구분하여 각각의 평가기준을 제시하였다[7,17].

자율제조 성숙모델은 Table 2와 같이 5개 단계로 구분이 가능하며, 단계가 상승할수록 작업자의 간섭이 최소화되며, 시스템이 스스로 인지, 판단 및 제어가 가능해지는 것을 목표로 한다.

1) 1단계, 완전 무자율 : AI 및 시스템의 도입이 부재된 공장을 의미하며, 작업자의 작업계획 및 의사결정에 의존하며, 통합 관리시스템의 부재로 인한 독립된 공정 설비의 독립된 제어 방식

2) 2단계, 기본 자동화 : 통합 관리 시스템의 도입을 통한 기초적인 공정 상황 인식 기반 자동화 공장을 의미하며, 작업자의 개입이 필요한 단계

3) 3단계, 적응형 자율제어 : 모니터링된 공정데이터 설비-통합 관리 시스템 사이 자동 공유를 통한 적응형 제어가 가능하며, 일부 예측 불가능한 상황에 대하여 시스템이 자체적으로 대응 가능한 단계. 작업자는 통합 관리시스템 또는 설비가 제공하는 솔루션을 통해 설비 제어를 제어

4) 4단계, 준 자율화 : 정해진 범위 내에서 설비 및 공정 자율화 단계, 공정 데이터를 기반으로 시스템이 자체적으로 제한된 범위 내에서 의사결정 및 제어를 수행하는 단계. 작업자는 고장 및 오작동 또는 시스템 품질에 대하여 모니터링

5) 5단계, 완전 자율화 : 시스템이 지속적 학습을 통해 고장 및 오작동 등 돌발 상황에 대하여 대응하는 단계. 작업자의 개입이 불필요한 단계

전통적인 섬유산업에서 자율제조 수준은 1단계에 머물러 있었으나, ICT 기술 및 MES, ERP, EMS 등 공정 시스템의 도입을 통해서 현재 2단계 수준으로 변화하고 있다. 하지만 아직까지 노동 집약적이고 숙련된 작업자의 기술 노하우에 의존한다.

또한 섬유 스트림 별 자율제조 수준의 차이가 존재한다. 예를 들면 염가공 분야의 AI 기술 및 협동로봇 기술의 개발 및 도입을 통해 자율제조 수준을 높이기 위한 연구 개발이 다양

Table 2. AI 자율제조 성숙모델

자율제조 성숙 단계		단계별 자율화 수준
1단계	무자율 공장 (Factory without autonomy)	공정 설비의 독립적 제어 작업자의 의사결정 및 제어
2단계	기본 자동화 공장 (Basic automated factory)	기초 수준 공정 상황 인식 중앙 집중식 제어 시스템 기반 자동화 작업자 개입 필요
3단계	적응형 공장 (Adaptable factory)	공정 설비-중앙 집중 시스템 사이 공정 데이터 공유 예측하지 않은 상황도 일부 판단 및 제어 시스템이 제안하는 최적 솔루션을 통해 작업자 의사결정
4단계	준 자율화 공장 (Semi-autonomous factory)	제한된 범위 내에서 의사결정 및 제어 작업자 협업과 특수 상황에 대한 모니터링 은 존재
5단계	완전 자율화 공장 (Fully autonomous factory)	불확실성에 대한 완전 적응이 가능한 시스템 작업자의 개입 없이도 최적의 제조 솔루션 결정

하게 이루어졌으나, 기술 개발 및 설비 투자에 소극적인 중소 기업 중심의 염가공 스트림의 특성상 기술의 보급 및 확산이 부족하여 대부분의 중소규모 염가공 기업은 2단계 수준에 머물러 있다.

이에 반해 탄소섬유, 아라미드, 부직포 등 첨단 산업용 소재 산업은 생산성 향상을 위해 자동화 기술 및 통합 관리시스템에 대한 적극적 투자를 통해 3단계에 준하는 기술 수준 및 시스템을 구축 중에 있다. 이러한 섬유 스트림의 생산성 향상 및 탄소중립 실현을 위해서 4단계 이상의 자율제조 수준을 목표로 산업용 AI, 자율제조 플랫폼, 지능형 로봇 기술의 개발 및 보급, 확산이 필요하다.

자율제조 성숙모델의 기술 수준은 데이터(data), 공정(process), 상호작용(interactions), 인프라(infrastructure), self-X, 측정 성능(measurement)의 6가지 구성요소를 통하여 정량화하여 평가 가능하다. 이때 6가지 구성요소는 세부 기능들로 구별 가능하며 각각의 모든 요소들은 3~5 수준으로 평가하여, 평가 결과들의 취합을 통하여 전체 시스템의 자율제조 수준을 제시할 수 있다.

#### 4.2. AI 자율제조 성숙모델 핵심 구성요소

AI 자율제조 성숙모델의 기술수준의 정의를 구성요소는 크

게 6가지로 구분된다. 그 중 데이터 관리는 데이터, 지식수준, 상호운영성으로 정의되는데, 데이터는 시스템의 데이터 구조화, 처리방식 및 데이터 통합 수준에 대한 성숙도를 기준으로 평가하며, 시스템에서 데이터의 활용성에 대한 평가 척도이다. 지식수준은 제조 시스템에 대한 작업자의 간섭도를 평가하는 척도이며, 상호운영성은 시스템의 구성요소 즉 공정 설비 및 통합 관리시스템 간의 통신 수준을 평가하는 척도로, SW 및 HW를 포함하는 개념이다[18-19].

기술 수준을 정의하기 위한 두번째 구성요소는 공정으로 정의 가능하다. 공정은 물류 자동화, 최적화, 신뢰성을 통하여 성숙도를 평가하게 되는데, 물류 자동화는 공정 내부에서 발생하는 소재 및 원부자재의 이송을 통한 in-line화 또는 동기화 수준을 의미하게 된다. 또한 최적화는 공정의 최적화 수준을, 신뢰성은 생산 및 지원 시스템의 신뢰성을 의미하게 된다[20].

세번째로 상호작용성은 상황 인지, 작업자와의 상호작용, 안정성을 통하여 정의되며, 상황 인지는 시스템이 현재 공정의 상황을 데이터화하여 인지하는 것을 의미하게 되는데, 설비의 상태, 공정 현황, 소재 및 원부자재 상태 등 제조 공정에 필요한 모든 데이터를 인식하는 것을 의미한다. 또한 작업자-시스템 상호작용은 작업자의 시스템 제어 정도를 의미하게 되며 완전 자율제어 시스템의 경우 작업이 간섭없이 작동하는 시스템을 의미한다. 마지막으로 안전은 공정 중 발생 가능한 안전 사고에 대응하는 방법을 평가한다[21].

넷째로, 제조 인프라는 연결성, 제어기술, 사이버 보안으로 구성되는데, 연결성은 설비-설비, 설비-통합 관리시스템 등 자율제어 시스템을 구성하는 개별 요소 간의 네트워크 수준을 의미하며, 제어기술은 개별 제어에서 자율제어 수준이 높아질 수록 지능화된 중앙 시스템을 통한 제어가 가능해지는 것을 의미한다. 마지막으로 사이버 보안은 시스템 내부 및 외부에서 발생하는 공격에 대응하는 방법을 기준으로 평가한다.

다섯째, self-X는 자율제어 시스템이 자체적으로 관리하고 제어하는 방법을 의미하며 낮은 단계의 self-monitoring부터 완전자율화 단계의 self-organization, self-modifying까지 환경 조건에 따른 시스템 자체의 제어 수준을 기준으로 평가한다.

마지막으로 측정은 정확도(accuracy), 안정성(stability), 확실성(certainty)을 통하여 평가한다. 정확도는 정밀도, 반복성, 민감도 등 주로 시스템의 품질을 측정하는 수준을 평가하며, 안정성은 외부 환경 변화에 대한 측정 안정성 확보, 확실성은 측정 장비의 정확도를 기준으로 평가한다[22].

Figure 7은 성숙모델의 구성요소를 기반으로 섬유 제조공

정 중 염가공 공장에 대한 자율제어 수준을 평가한 예시이다. MES, ERP 등 공정 관리 시스템의 도입이 활발하게 이루어져 있어 공정 데이터 관리 및 품질 측정에 대하여 상대적으로 높은 수준이라 평가 가능하지만 상호작용, 인프라, self-X의 수준이 상대적으로 낮게 평가되며, 특히 공정 부분에서 물류 자동화 및 최적화, 상호작용 중 상황인지, 인프라 등에서 낮은 평가 지표가 나타났다. 이를 기반으로 염색공정에서 자율제조를 위하여 공정물류 자동화, 신뢰성 확보, 상황인지 기술 및 판단 기술의 도입이 필요하다고 판단 가능하다.

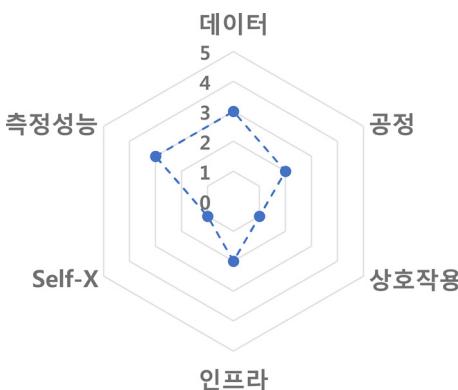


Figure 7. 섬유산업의 성숙모델 수준 예시.

### 4.3. AI 자율제조 성숙모델에 의한 섬유산업의 지능형 제조 생태계 조성

빠르게 진행되는 숙련된 작업자의 고령화 및 장비 노후화로 인하여 열악한 작업환경을 가지고 있는 섬유산업은 공정환경을 인지하고 판단하는 공정 지능화 기술 및 작업자의 간섭을 최소화할 수 있는 공정 자동화 기술 도입의 필요성이 증가하고 있다.

AI 자율제조는 섬유산업의 지능화와 공정 자동화를 촉진하여 산업의 성장 잠재력을 크게 향상시킬 것이며, 기존의 B2B(business-to-business) 중심에서 D2C(direct-to-consumer)로 변화하는 제조 환경에서 고객의 요구에 더욱 신속하고 맞춤형으로 대응할 수 있는 유연생산 기술을 확보하게 될 것이다.

뿐만 아니라 AI 자율제조는 강화되는 글로벌 환경 규제에 대응하여 탄소중립 생산 환경을 구축함으로써 지속가능한 발전을 도모할 것이며, 이러한 기술적 진보와 환경 대응 전략은 섬유산업의 전반적인 생산성을 크게 향상시키고, 경쟁력을 제고하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

## 5. 결 론

본 원고에서는 섬유산업에서 AI 자율제조 기술의 도입의 필요성과 핵심 요소기술 및 방향성 선정을 위한 자율제조 성숙 모델을 소개하였다. 역사와 전통을 가지는 섬유 및 섬유기계 산업은 우리나라의 핵심 산업으로 성장해 왔다. 하지만 설비의 노후화, 숙련된 작업자의 고령화, 지속적으로 강화되는 세계적 환경 규제, 소비자 니즈 맞춤형 유연생산 시스템의 필요성 등 다양한 외부적인 요인에 의해 생산환경의 변화가 요구되고 있으며, 급격한 산업환경 변화에 대응하고 산업경쟁력 확보를 위한 AI 기반 자율제조 기술의 도입이 필요하다. 이러한 자율제조 기술의 섬유산업 적용을 위하여 자율제조의 핵심 기술인 산업용 AI, 가상 자율제조 플랫폼 및 지능형 로봇기술이 필요하며, 자율제조 성숙모델을 기반으로 현재 자율제조 수준을 평가하고, 기술적 우선 순위를 선정하여 단계적 적용이 필요하다. 섬유산업은 이차전지, 반도체, 디스플레이 등 첨단산업에 비하여 상대적으로 자율제조 수준이 낮은 단계에 머물고 있지만, 대부분의 기업들이 ERP, MES 등 공정 관리 시스템이 도입되어 있어 ICT 기술과의 융합을 통하여 자율제조 기술 수준 향상을 통하여 산업경쟁력 확보가 가능할 것이다.

## 참고문헌

- 한국민족문화대백과사전, <https://encykorea.aks.ac.kr/> (accessed: July 20, 2024).
- 박원효, “고대신라에서 현재에 이르기까지 섬유풍속 2100년간의 이야기”, *팩토리얼북스*, 대구, 2012, pp.391.
- 디지털김천문화대전, <https://gimcheon.grandculture.net/gimcheon> (accessed: July 20, 2024).
- [조선과학기술 시네마]3관. 과학으로 되살린 화려한 조선 웃감, <https://www.dongascience.com/news.php?idx=23758>, (accessed: July 15, 2024).
- 이춘근, “섬유산업 과거와 현재”, 경북연구원, 경상북도, 2010, pp.145.
- 한국섬유산업협회, “섬유패션산업통계”, 서울, 2024, pp.1-18.
- Scholz-Reiter B, Freitag M, “Autonomous processes in assembly systems”, *CIRP Ann*, 2007, **56**(2), 712-729.
- 국립국어원 표준국어대사전, <https://stdict.korean.go.kr/main/main.do> (accessed: July 15, 2024).
- KDI경제정보센터, “섬유패션산업 활력제고 방안”, 2019.

10. 고용노동부, 한국산업인력공단, 섬유제조·패션산업인적자원개발위원회, “2020년 섬유제조·패션산업 인력현황 보고서”, 2020.
11. Oerlikon Barmag Home Page, <https://www.oerlikon.com/polymer-processing/en/solutions-technologies/polymer-processing/> (accessed: August 5, 2024).
12. Rieter Home Page, <https://www.rieter.com/products/digitalization/essential-rieter-digital-spinning-suite>, (accessed: August 5, 2024).
13. Muratec Machinery, LTD Home Page, <https://www.muratec.net/tm/solution/mss.html>, (accessed: August 5, 2024).
14. 정보통신기획평가원, “디지털 트윈 기술 K-로드맵”, 정보통신기획평가원, 대전, 2022.
15. 정주노. “협동로봇과 인간-로봇 협동 작업의 이해”, 제어로봇시스템학회지, 2021, 27(3), 23-28..
16. 김경훈, 김재홍, 최영호, “물류로봇 기술동향 및 향후전망”, 한국산업기술평가원, 대구 2017.
17. Bauer D, Schumacher S, Gust A, Seidelmann J, Bauernhansl T, “Characterization of autonomous production by a stage model”, 2019, 52nd CIRP conference on manufacturing systems (CMS), Ljubljana, Slovenia, 12-14 June 2019, vol 81, pp 192–197.
18. Olzer P, Cato P, Amberg M, “Data processing requirements of industry 4.0 – use cases for big data applications”, *ECIS 2015 research-in-progress papers*, 2015, pp 1–13, 65.
19. Weber C, Konigsberger J, Kassner L, Mitschang B “M2ddm – a maturity model for data-driven manufacturing”, proceedings of the 50th CIRP conference on manufacturing systems, 2017, vol 63, pp 173–178.
20. Chankov S, Hütt M-T, Bendul J, “Synchronization in manufacturing systems: quantification and relation to logistics performance”, *Int J Prod Res* 2017, **54**(20), 6033–6051.
21. Zouhaier L, “Context awareness systems: architecture and context modeling”, International conference on control, engineering & information technology, 2013, 2, pp 130–135.
22. Ruonala J, “Understanding measurement performance and specifications”, Accessed: 13 Dec 2020.