

POSTECH IME :: 김덕영 교수 연구실



Fi(Factory Intelligence) Lab

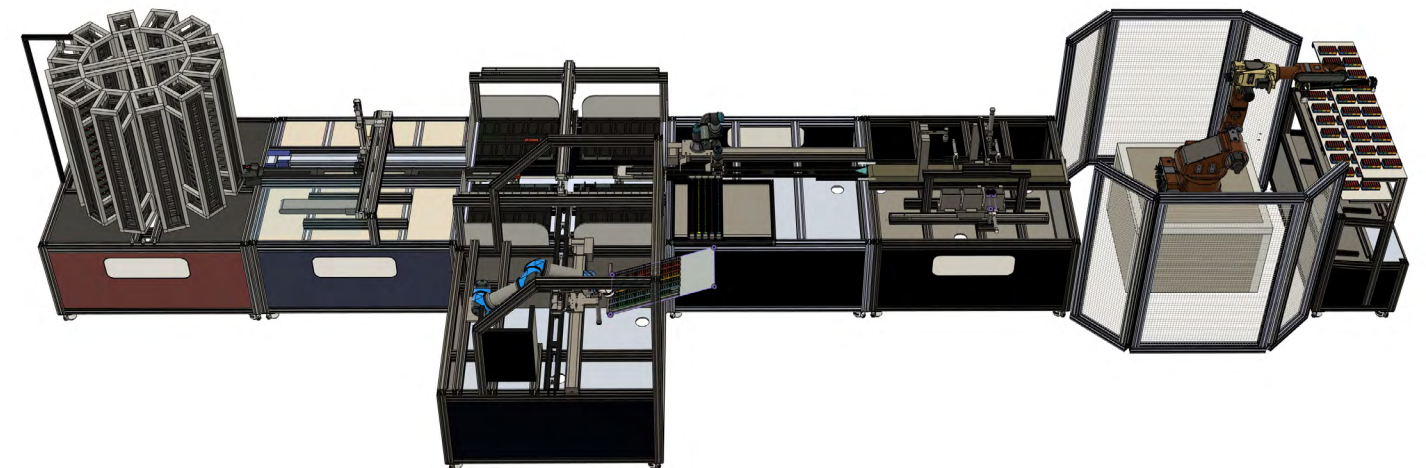
Factory Intelligence Lab (FiLab)은 지속 가능하고 경쟁력 있는 미래 공장을 구현하기 위해 핵심 기술을 연구합니다. 현재 김덕영 교수님의 지도 아래 4명의 박사과정, 7명의 석사과정으로 구성되어 있고, 지금까지 2명의 박사와 22명의 석사를 배출했습니다.

김덕영 교수님은 포항공과대학교 산업경영공학과에서 학사와 석사 학위를 받으셨고, 스위스 로잔 연방 공과대학교(EPFL) 기계공학과에서 박사 학위를 취득하셨습니다. 이후 스위스 취리히 연방 공과대학교(ETHZ), 영국 Warwick 대학교에서 연구원, UNIST 기계공학과 교수로 재직하다가 2020년에 포항공과대학교에 부임하셨습니다.

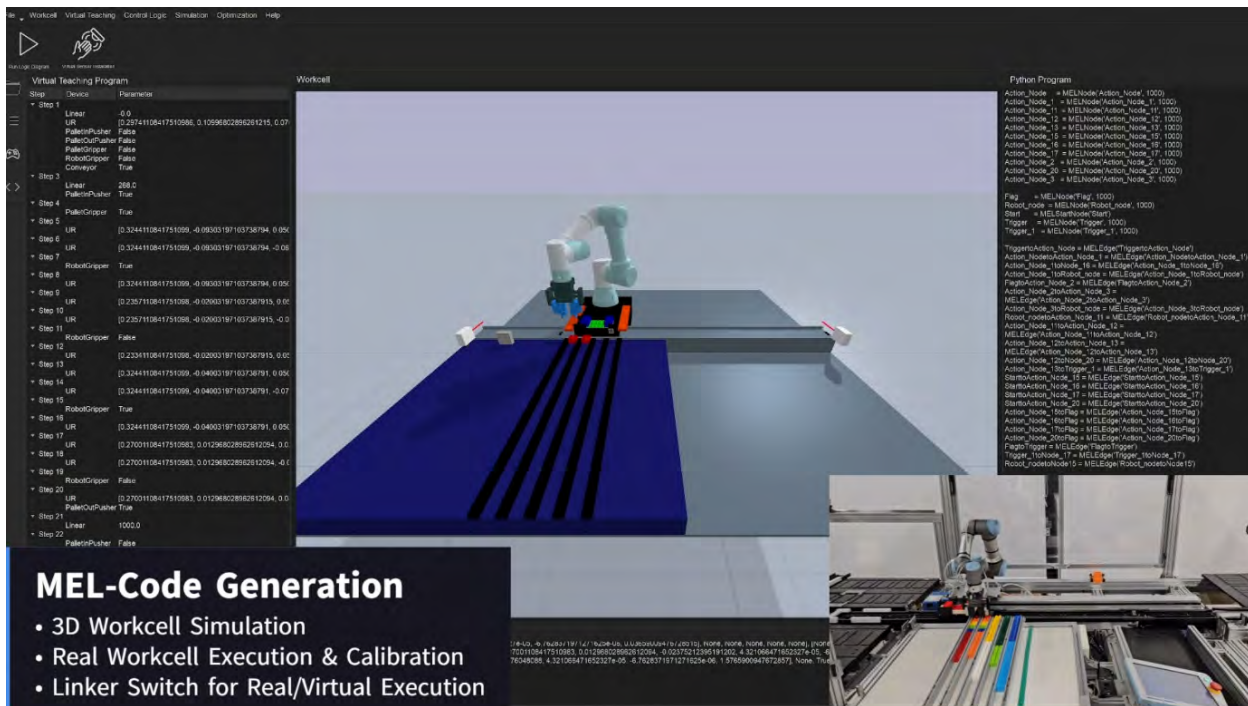
FiLab은 스마트 팩토리 연구를 수행하며, 스마트 팩토리는 고도로 개인화된 제품을 대량 생산 수준의 비용으로 정확하게 제조할 수 있어야 하고, 작업 현장의 컨트롤러가 예기치 않은 문제를 독립적으로 해결할 수 있는 능력을 갖추어야 합니다. 또한, 제품 수명주기 전반의 비용을 설계 단계에서 고려하여 제조 과정의 피드백을 제공하고, 이를 바탕으로 설계 개선을 위한 방향을 제시할 수 있어야 합니다. 스마트 팩토리는 단순한 자동화 공장을 넘어, 실시간 데이터 분석과 AI 기반 의사결정을 통해 생산성과 효율성을 극대화하는 방향으로 발전하고 있으며, 이를 구현하기 위해서는 정교한 소프트웨어 및 제어 기술이 필수적입니다. 이러한 흐름 속에서 FiLab은 자동 제어 프로그래밍, 이상 감지 및 예측, 자율 제조 시스템, 디지털 트윈 시뮬레이션 등의 주요 연구 분야에 집중하고 있으며, 각 기술의 융합을 통해 스마트 팩토리의 완전한 디지털화를 목표로 하고 있습니다.

로봇이나 기계 장비를 작동시키기 위한 프로그래밍은 어떻게 하지? 이러한 제어 프로그래밍을 AI나 수학적 규칙 기반으로 자동으로 생성할 수 있을까? (Automatic Control Programming)

자동 제어 프로그래밍(Automatic Control Programming) 분야에서는 로봇이나 기계 장비를 작동시키기 위한 프로그래밍을 자동화하는 기술을 연구하고 있습니다. 기존의 제조 시스템에서는 로봇 및 장비의 제어 프로그램을 수작업으로 작성해야 했으며, 이는 높은 기술적 진입 장벽과 개발 비용을 초래했습니다. 이에 대응하기 위해 FiLab은 AI 또는 수학적 규칙 기반의 자동 제어 프로그램 생성 및 검증 기법을 연구하고 있으며, 이를 위한 새로운 제어 프로그래밍 언어인 Manufacturing Execution Language (MEL)을 개발하고 있습니다. MEL은 특정 제어 플랫폼에 종속되지 않는 독립적인 언어로 설계되었으며, Python과의 높은 호환성을 갖추고 있어 유연한 확장이 가능합니다. MEL은 MELDiagram, Device Linker, MEL-Code, MELRuntime 등의 주요 구성 요소로 이루어져 있으며, 직관적인 그래픽 기반 프로그래밍 인터페이스를 통해



▲ FiLab 스마트 팩토리 테스트베드



▲ FiLab 자동 제어 프로그래밍 소프트웨어

코드 작성의 난이도를 줄이고 있습니다. 또한, AI를 활용하여 부품 이동 경로를 자동으로 추출하고 이를 장비 작업 계획으로 변환하는 MELCode 자동 생성 기법을 연구하고 있으며, 3D 가상 환경에서 프로그래밍, 시뮬레이션, 디버깅을 수행할 수 있는 Virtual Control Programming 기술을 개발하고 있습니다. 이러한 기술을 활용하면 기존의 복잡한 프로그래밍 과정 없이 효율적으로 로봇과 장비를 제어할 수 있으며, 이는 제조 산업의 디지털 전환을 가속화하는 핵심 요소가 될 것입니다.

로봇이나 기계 장비의 이상 상황을 센서 정보를 분석하여 사전에 감지할 수 있을까? 그리고 이러한 인공지능 모델을 효과적으로 학습하기 위한 방법은 무엇일까? (Fault Detection & Prediction)

이상 감지 및 예측(Fault Detection & Prediction) 분야에서는 스마트 팩토리의 안정적인 운영을 보장하기 위해 AI/ML 기반의 이상 진단 및 예측 알고리즘을 연구하고 있습니다. 제조 현장에서 발생할 수 있는 다양한 문제를 사전에 감지하고 대응하는 것은 생산성을 유지하고 비용을 절감하는 데 중요한 역할을 합니다. 이를 위해 FiLab은 센서 신호의 사전 처리 및 정보 증폭(Sensor Signal Preprocessing & Information Amplification) 기법을 활

용하여 다중 특징 분석, 이벤트화(Eventization) 및 시퀀스 마이닝(Sequence Mining)을 수행합니다. 또한, 딥러닝 기반 이상 진단을 위해 Parameter Transfer Learning 및 Dynamic Fine-tuning 기술을 개발하여 환경 변화에 따른 실시간 적응성을 강화하고 있습니다. 기존의 이상 진단 모델은 특정 환경에 최적화된 경우가 많아, 공장 내 환경 변화에 따라 정확도가 저하되는 문제가 있었습니다. 이를 해결하기 위해 FiLab은 모델이 새로운 데이터에 빠르게 적응할 수 있도록 동적 미세 조정 기술(Dynamic Fine-tuning)을 적용하여 실시간으로 신뢰성 높은 진단을 수행할 수 있도록 하고 있습니다. 이를 통해 스마트 팩토리는 예기치 않은 장비 고장을 미리 예측하고 대응할 수 있으며, 유지 보수 비용 절감과 생산성 향상에 기여할 수 있습니다.

자율 제조를 위해서 가장 중요한 소프트웨어는? (Autonomous Workcell Agent)

자율 제조 시스템(Autonomous Workcell Agent) 분야에서는 공장의 설비를 자율적으로 제어할 수 있는 멀티에이전트 소프트웨어 기술을 연구하고 있으며, 이를 통해 개별 작업 셀(Workcell) 수준에서 분산 제어 및 모니터링이 가능한 시스템을 개발하고 있습니다. 기존 제조 시스템은 중앙 집중형 방식으로 운영되었으나, 이는

유연성이 떨어지고 유지 보수 비용이 증가하는 문제를 초래했습니다. 이에 대응하기 위해 FiLab은 디지털 트윈 시뮬레이션을 활용한 선형 의사결정(Look-ahead Digital Twin Simulation) 기법을 연구하여 실시간으로 최적의 의사결정을 지원하고 있으며, No-Code 기반의 대화형 작업 셀 에이전트 생성 기술을 통해 프로그래밍 없이 손쉽게 자율 제어 시스템을 구현할 수 있도록 하고 있습니다. 이를 통해 제조 공정의 자율성을 극대화하고, 작업 환경의 변화에도 빠르게 대응할 수 있는 시스템을 구축하고자 합니다.

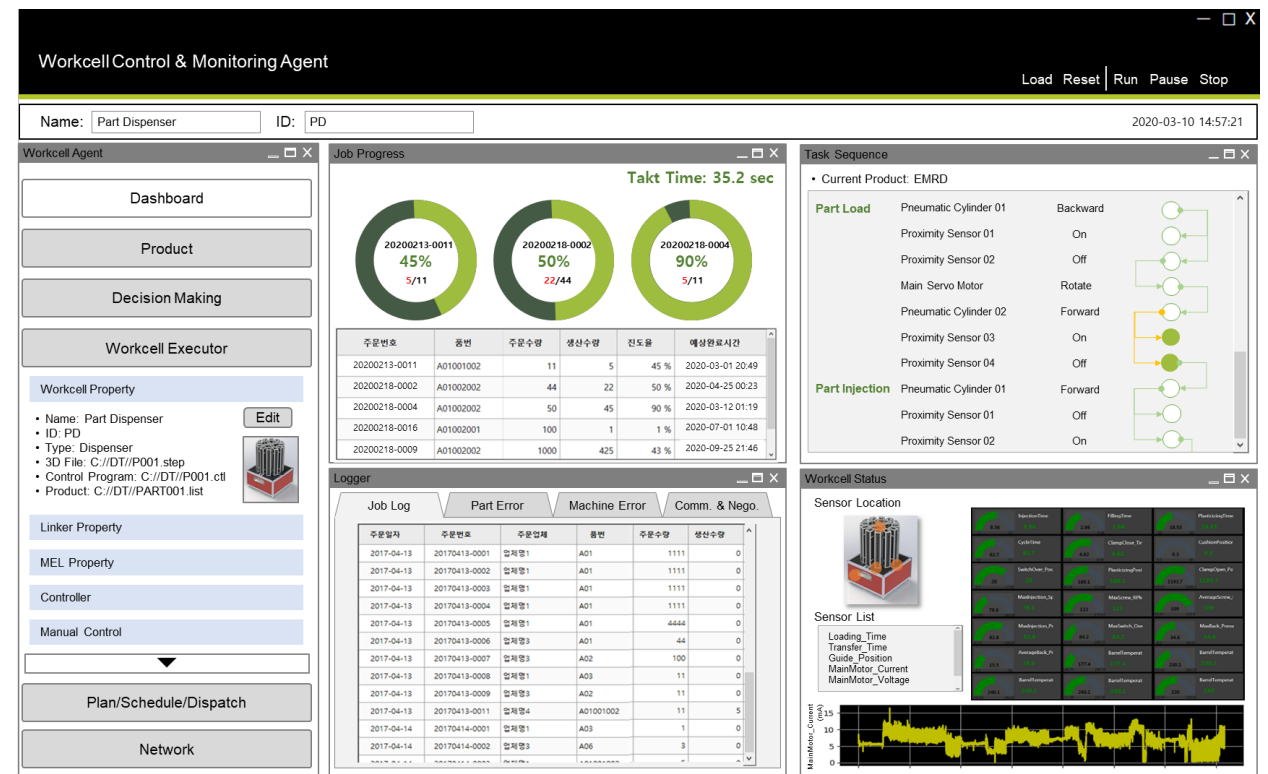
디지털 트윈 시뮬레이션이란? (DigitalTwin Simulation)

디지털 트윈 시뮬레이션(Digital Twin Simulation) 분야에서는 스마트 팩토리의 핵심 요소로서 디지털 트윈 시뮬레이션 기술을 연구하고 있으며, 다양한 생산 시스템을 신속하게 모델링 할 수 있는 기법을 개발하고 있습니다. 디지털 트윈 기술은 현실의 제조 환경을 가상 공간에 그대로 구현하여 실시간 모니터링 및 시뮬레이션을 가능하게 합니다. 이를 위해 FiLab은 중립적 시뮬레이션 언어(Neutral Simulation Language)를 연구하고 있으며, 사이버-물리 생산 시스템(Cyber-Physical Production System, CPPS)과 연계

하여 공장의 디지털 트윈 모델을 효과적으로 구축할 수 있는 방법을 탐색하고 있습니다. 디지털 트윈을 활용하면 실제 공장에서 발생하는 데이터를 실시간으로 분석하고, 이를 기반으로 생산 공정을 최적화할 수 있으며, 이를 통해 운영 효율성을 극대화할 수 있습니다. 또한, 공정의 변화를 사전에 시뮬레이션하여 예상되는 문제를 사전에 파악하고 해결할 수 있으며, 이는 제조업의 비용 절감과 품질 향상에 기여할 수 있습니다.

FiLab은 Swiss Smart Factory in Biel Switzerland과 파트너십을 가지고 공동연구를 진행하고 있으며, 분산 제어 시스템을 위한 산업 자동화 표준 기구인 UAO에 국내 대학 유일하게 회원으로 활동하고 있으며, 올해 UN 산업개발기구(UNIDO)의 Catalogue of Smart Factory Labs –Worldwide에 포함될 예정입니다.

과연 전 세계 대학의 스마트 팩토리 연구실 중 FiLab만큼 하드웨어와 소프트웨어를 마음대로 다룰 수 있는 연구실이 있을까요? FiLab은 현실 제조시스템에 바로 적용 가능한 Physical AI 연구의 선두주자입니다.



▲ FiLab Autonomous Workcell Agent 화면 예시