



#2



반도체 등 첨단 제조 산업용 AI 기반 이상탐지 및 공정진단 솔루션



글. 성기석 RTM 대표

기존 첨단 제조 AI 시장의 난제들

현재 전 세계적으로 4차 산업혁명이 진행됨에 따라 제조/생산 분야에서는 자동화를 넘어 생산공정을 지능적으로 판단 및 제어하는 스마트팩토리에 대한 수요가 증대되고 있다. 특히 산업의 경쟁이 치열해지고 있는 반도체, 디스플레이, 배터리 등의 분야에서는 공정진단 및 관리를 통한 생산성 확보 능력이 사업의 핵심 요소로 자리매김하고 있다. 나아가 딥러닝이나 강화학습 등 첨단 AI 기술을 접목한 혁신 제조공정(불량품 감지, 장비 이상탐지, 품질관리, 품질예측)을 통해 제조·생산기업의 가치를 제고할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

하지만 제조 AI 시장에는 여러 이슈가 존재하며, 이를 해결해야만 제조 AI 시장이 발전할 수 있을 것으로 판단된다. 첫 번째 이슈는 제조공정 내에서 발생하는 데이터의 양이 기하급수적으로 증가하여 공정관리가 복잡해져 예측 변수의 중요도를 탐색 및 진단하는 기술의 난이도가 증가한다는 점이다. 두 번째는 자동화의 대부분이 완료된 첨단 제조공정에서는 AI 기반 모델을 학습하기 위한 레이블이 달린, 특히 결함 데이터를 확보하기 어렵다는 점이다. 딥러닝 분야의 최고 권위자 중 한 명으로 꼽히는 스탠포드 교수이자 제조 AI 기반 소프트웨어 업체 랜딩 AI(Landing AI) 설립자인 앤드류 응은 결함 데이터 확보가 충분치 않은 미분류 데이터에서의 분류 문제를 '스몰데이터'로 명칭 짓고, 이를 제조 AI 산업에서의 해결해야 하는 주요 이슈로 제기하고 있다. 또한 실험데이터와 양산 공정에서 나오는 양산 데이터 간의 물리적인 차이에 대해 AI 모델이 인

지하고 양산 데이터에 대한 재학습을 진행하지 못하는 경우가 문제로 제기된다. 즉, 해당 AI 모델의 성능이 떨어지는 문제를 해결해야 하는 이슈 역시 존재한다.

이러한 이유로 많은 제조기업들은 높은 의지와 수요에도 불구하고, 생산 및 제조 영역에서 양산 공정에 이르지 못하고 PoC(Proof of Concept)에서 실패하는 AI 도입의 비율이 약 87%¹⁾로, 단 13%만이 양산 공정에 적용되고 있는 현실이다.

제조 AI 시장 난제 해결을 위한 RTM의 차별화된 기술

앞서 언급한 제조 AI 시장의 난제들을 해결하기 위해 당사가 제공하고 있는 제조 AI 솔루션은 1) 엔지니어에게 설명이 가능한 데이터분석 알고리즘을 제공하여 이상 발생 시 원인과 근거를 확인할 수 있는 환경을 제공한다. 또한, 2) 레이블데이터 부족 현상과 실험-양산 데이터 간 물리적인 차이를 보완하기 위해 실시간으로 학습모델의 신뢰도를 파악하여 양산 데이터를 추가적으로 학습하는 기술을 제공한다. 궁극적으로, 당사의 솔루션이 제조/장비사에 최적화된 AI 모델을 빠르게 도입될 수 있도록 양산 적용에 필요한 customization을 지원하고 있다.

1) Standford(2021), 2021 AI Index Report, McKinsey&Company, 2020 재인용

그림 1. 알티엄 제조시계열 데이터 패턴인식 기술

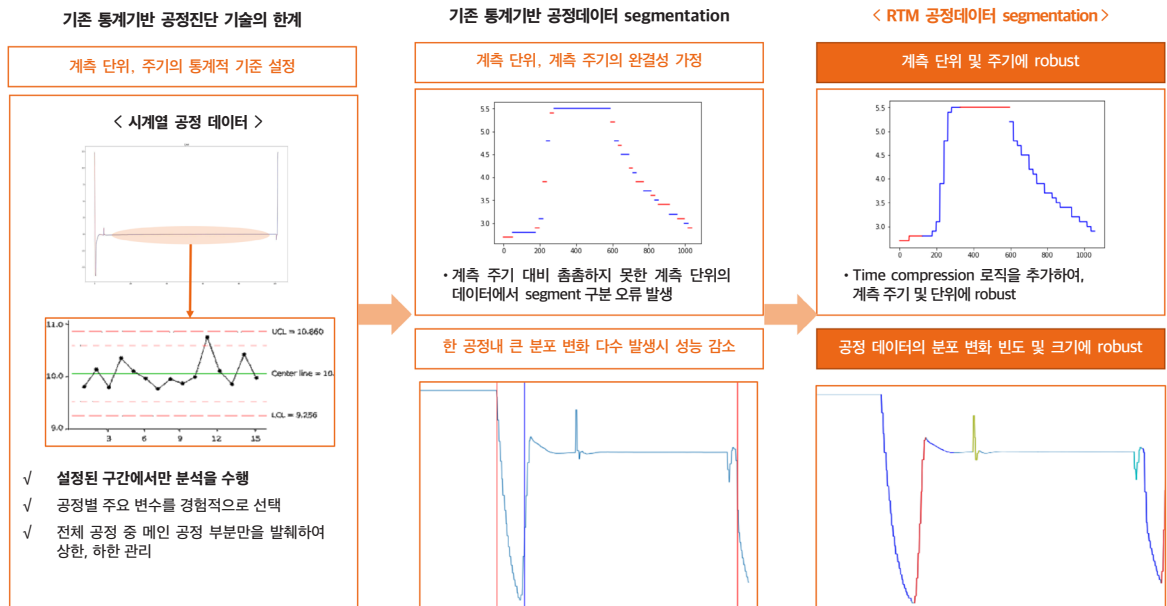
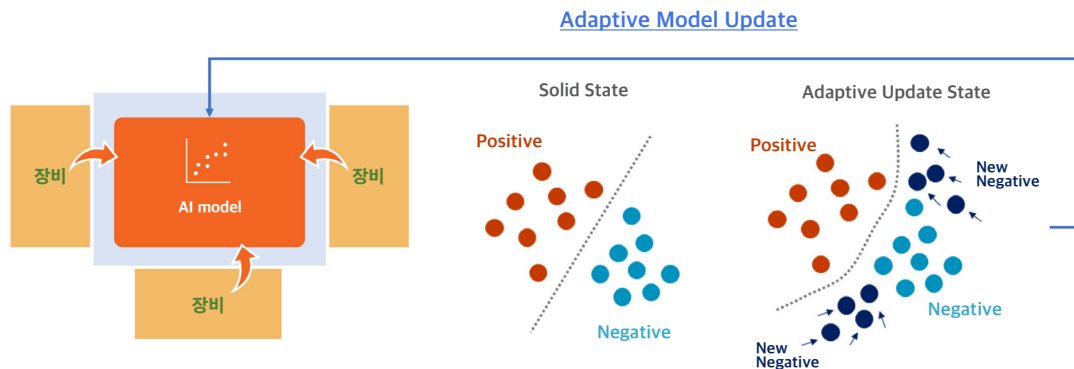


그림 2. 양산 적응형 AI 학습모델 업데이트 모식도



1) 이상 원인을 확인할 수 있는 시계열데이터 분석 알고리즘

당사는 전체 계측데이터를 패턴에 따라 구간을 나누고, 각 구간별 통계량을 관리하는 Pattern Recognition(PR) 기술을 개발하였다. 이는 공정장비에서 발생하는 시계열 데이터 중 메인공정 부분만을 발취하여 상한, 하한 관리만을 하던 기존 통계기반 공정진단 솔루션 방식에서 발전된 형태이다.

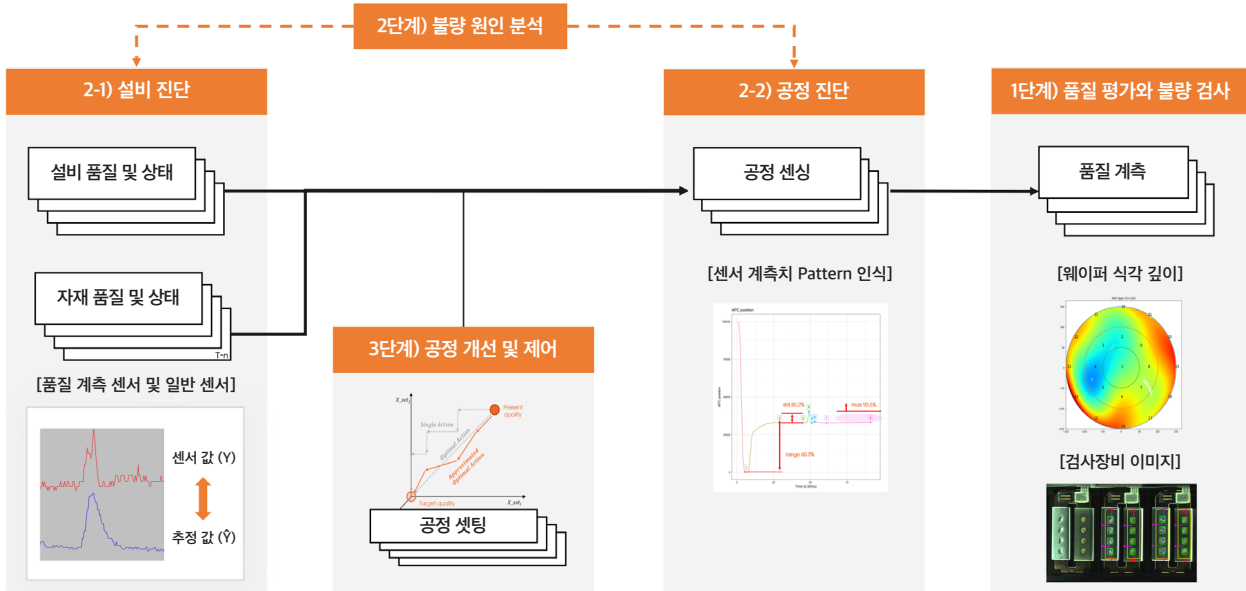
이러한 PR기술을 통해 장비 센서의 계측데이터 이상 여부를 스코어로 제시하여 엔지니어가 현재 설비상태와 이상 원인에 대한 진단 근거를 제공하는 기능을 제공한다. 또한 PR로직을 다양한 공정의 특성과 환경에 맞춰 적용이 가능하도록 모

듈화 함으로써 데이터의 전처리에서부터 모델링까지 데이터 분석 전문지식이 없는 엔지니어들도 손쉽게 진행할 수 있는 AutoML 플랫폼으로 확장하고 있다.

2) 레이블데이터 부족 현상과 실험-양산 데이터 간 물리적인 차이를 보완하기 위한 기술 고도화

당사에서는 레이블데이터의 부족 현상과 실험-양산 데이터 간 물리적인 차이를 보완하여 양산을 돕는다. 정상/불량 여부가 확인되지 않은 미분류 데이터에 대한 레이블 가공을 용이하게 하는 라벨링 기능과 양산에 적용된 이상탐지 모델이

그림 3. 제조공정 내 생성 데이터와 각 데이터 연계 분석 방식



학습 시 사용한 공정데이터와 양산 데이터 간 편차를 실시간 측정, 추가학습 여부를 자가 판단하고 재학습하여 예측 모델의 정확도를 개선하는 이상탐지 모델 적응형 업데이트 기능을 제공한다.

미분류데이터 라벨링은 양산에서 산출된 미분류 데이터 (unlabeled data)에 대해 기존 모델에서 산출된 판별 신뢰도를 스코어링하여 신뢰도가 낮은 데이터를 먼저 레이블링할 수 있는 기술이다. 레이블링이 안 된 양산 데이터의 라벨링 과정에서 발생하는 인력 및 자원 소모 문제를 개선할 수 있다. 적응형 업데이트 기술은 학습했던 공정 데이터와 다른 분포의 데이터가 발생하는 것을 감지하여 추가학습 필요 여부를 진단하는 기술을 의미한다. 탐지 모형의 신뢰도를 측정하는 지표를 설계하여 이 값이 일정 수준 이상 커지면 양산 데이터를 추가 학습하여 모델의 성능을 향상시킨다.

알티엠의 이상탐지/공정진단 솔루션

당사가 공급하는 이상탐지/공정진단 솔루션은 그림 3과 같이 제조공정에서 발생한 데이터 중 1) 이미지 기반 품질검사 데이터를 활용한 머신비전 불량판별 솔루션을 공급하고, 2) 설비나 공정 데이터를 기반으로 시계열데이터 분석솔루션을 공급하여 불량 원인을 찾을 수 있게 도와주는 방식으로 고객사의

생산성 향상에 기여한다. 상기 솔루션 외에도, 3) 고객사의 신규장비 개발 시, 공정진단 솔루션을 맞춤형으로 개발하여 양산 장비에 탑재되는 임베디드 솔루션을 제공하고 있다.

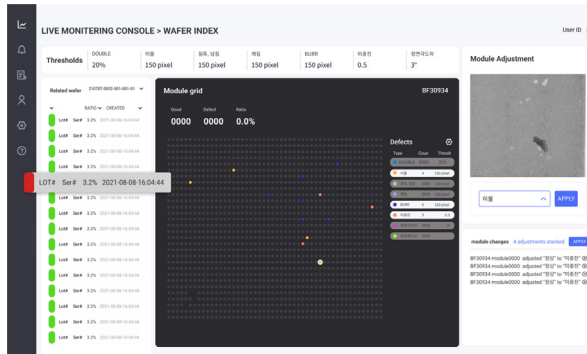
1) 머신비전 솔루션

당사의 Hubble 솔루션은 기존 제조공정 장비에서 판단하지 못했던 미세한 불량까지 자동 검출하여 생산효율을 극대화하는 딥러닝 기반의 비전 솔루션이다. 제조공정에서 발생하는 불량을 다양하게 학습해 검사단계에서 형태가 바뀌어도 유연하게 판별 가능하다. 제품 전체이미지에서 미세한 이상원인을 부분적으로 추출해 정밀 분석을 진행하는 소단위 불량 이미지 추출 기술을 적용하고 있다. 또한 지속적인 양산 데이터 학습을 통해 모델의 성능을 고도화하는 솔루션으로 정확하고 신속하게 불량을 검출할 수 있다. 이러한 기능을 제공하기 위해 적응형 업데이트, 레이블 가공 기술이 머신비전 솔루션에 적용되어 고객사에 제공된다. 현재 해당 솔루션을 LED 반도체 제조기업 S사, 반도체 펠리클 제조기업 F사, 반도체 챔버용 척 및 전구체 제조기업 M사에 공급하여 운영하고 있다.

2) 제조시계열데이터 분석솔루션

당사의 Apollo 솔루션은 제조장비에서 발생하는 방대한 센

그림 4. 웨이퍼 불량검사 솔루션 Hubble



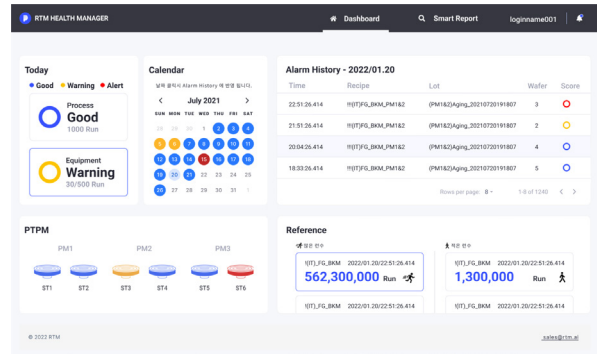
서 데이터를 효과적으로 전처리 및 분석하는 AI 기반의 솔루션이다. 해당 솔루션은 같은 공정을 반복하여 진행하는 장비에 대해 현재 사이클의 계측 데이터와 이전 사이클 간의 차이를 검증하기 위해 한 사이클을 패턴별로 구간을 나누고, 각 구간별 차이를 비교한다. 또한 제조공정에서 비정상 상태를 감지하여 장비의 이상징후 및 고장까지 시간을 예측하여 다운타임을 감소시킬 수 있는 장비수명 예측 기능도 제공하고 있다. 그리고 이러한 솔루션들이 실제 양산에 적용되어 양산 데이터를 모델 업데이트에 사용할 수 있도록 하여 실시간 고도화가 가능하도록 돕고 있다. 이러한 기능을 제공하기 위해 앞서 언급한 시계열 계측 데이터 분석 알고리즘을 적용하여 딥러닝 모델의 성능 및 설명력을 갖추고 있다. 더불어, 적응형 모델 업데이트 기술을 이용하여 지속적으로 신규 이상패턴에 대해 신속한 대응이 가능하도록 도와주고 있다. 현재 해당 솔루션을 반도체 ashing장비 글로벌 마켓쉐어 1위인 P사에 공급하여 현재 설비사 Fab 내에서 양산 검증을 진행 중이다.

3) 공동 기술개발을 통한 임베디드 솔루션

반도체 양산 장비의 공동 기술개발 사업 등을 추진하여 양산 성공 시 양산 장비에 탑재되는 임베디드 솔루션을 공급하여 라이선스 매출을 올릴 예정이다. 당사는 현재 반도체 장비사와 함께 원자단위로 식각하는 원자층 식각공정에 대하여 실시간으로 설비와 공정 상태를 진단하는 인공지능 기반 공정진

2) 유엔산업개발기구(UNIDO) 2018년 기준
3) 통계청 2019년 기준

그림 5. 시계열데이터 분석솔루션 Apollo



단모델을 개발하고 있다.

시사점

그동안 제조 AI시장에서는 이미지 데이터를 기반으로 이상을 탐지/검사하는 사례 위주의 솔루션에 대한 시장이 성숙하고 있었으나, 제조/장비사 입장에서 그 원인까지 파악할 수 있도록 제조공정과 설비에서 계측되는 시계열 데이터를 분석하는 방향으로 확산되어 나갈 것으로 판단하고 있다. 특히, 반도체 산업에서는 기체에 에너지를 인가한 플라즈마를 다양한 공정장비에서 활용하는데, 이 플라즈마 시계열 데이터를 기반으로 공정 상태를 진단하고 이상을 탐지하는 연구가 앞으로 반도체 산업의 생산성을 결정짓는 요소가 될 것으로 판단된다.

인공지능의 발달로 시작된 4차 산업혁명이 진행되면서 자동차, 바이오 등 다양한 산업에서 변화가 진행 중이다. 필자는 한국에서 4차 산업혁명을 통해 가장 많은 효과를 기대할 수 있는 산업은 제조업이라고 생각한다. 한국은 세계 3위²⁾ 수준의 제조업 경쟁력을 가지고 있으며, 한국 전체 GDP 대비 제조업의 비중은 27.5%³⁾로 가장 높은 산업 비중을 가진 국가다. 때문에 AI 기반으로 반도체, 배터리 등 제조산업에 필요한 비용 절감 및 생산성 향상을 이뤄낼 수 있다면 다른 어떤 산업보다도 인공지능을 통한 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

저자소개

성기석 RTM 대표는 KAIST 산업공학과 학사(2003년), 서울대 산업공학과 석사(2005년), Texas A&M Industrial Engineering 박사(2016년) 학위를 취득하였다. LG텔레콤(現 LG유플러스), NHN(現 네이버), 삼성생명에서 데이터 사이언티스트로 근무하였으며, 2018년 알티엠을 창업하여 현재 대표로 재직 중이다.