

인더스트리 4.0과 화학산업

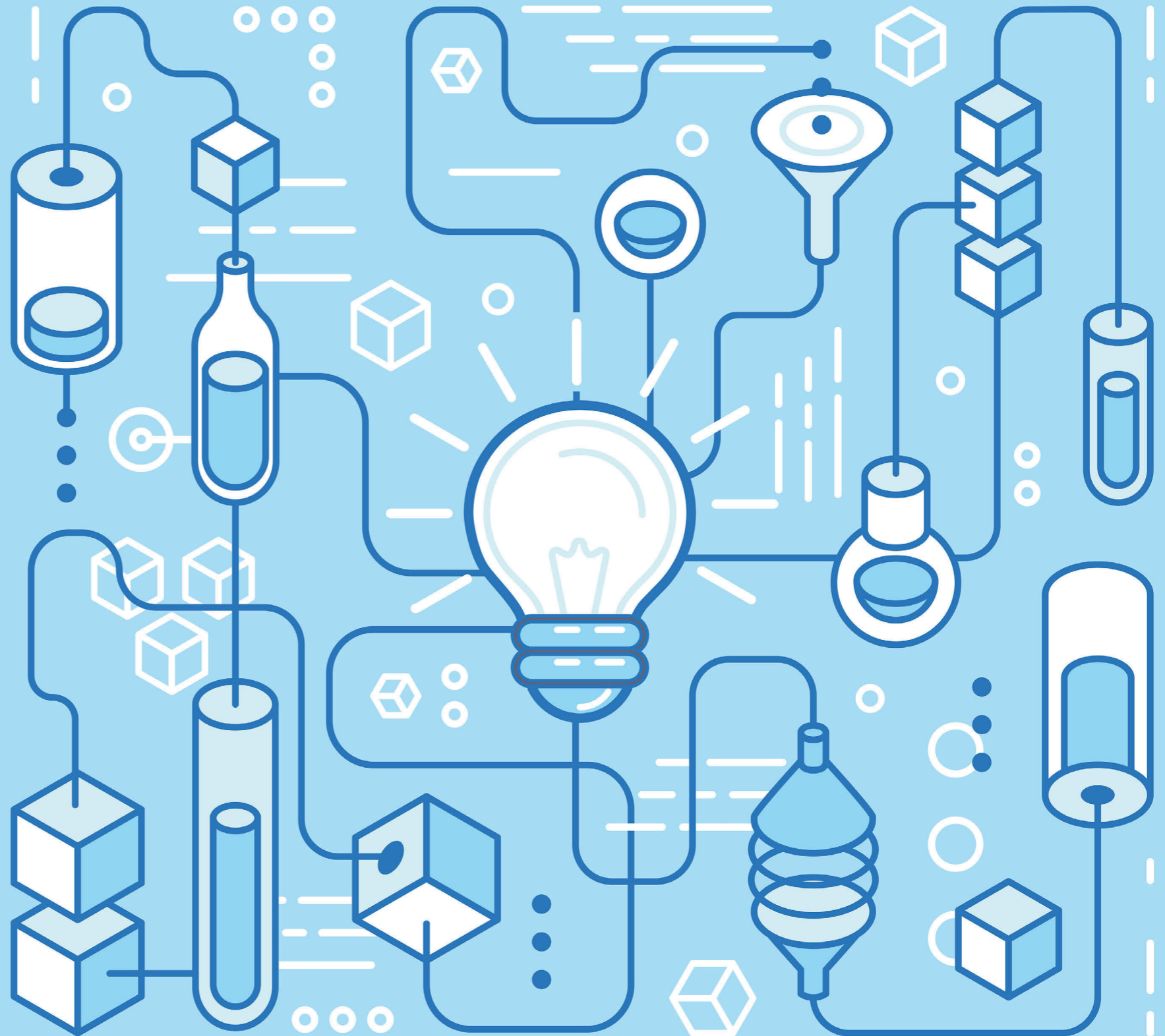
운영 개선과 사업 성장을 통한 산업 변환의 촉진

스테판 반 티에넨(Stefan Van Tienen) 외 3인

글로벌 화학산업은 2,000만 명 이상을 고용하고 연간 5조 달러의 매출을 기록하고 있으며, 농업, 자동차, 건설 등 많은 최종제품 시장의 중간재를 만드는 기반산업이다. 따라서 화학산업의 변화는 많은 다른 산업에 파급효과를 일으킬 가능성이 크다.

제4차 산업혁명 혹은 인더스트리 4.0의 부상이 그러한 변화를 추진할 것으로 보인다. 인더스트리 4.0은 다수의 디지털 및 물리적 첨단기술을 결합해 더욱 거대한 물리-디지털-물리 연결관계를 형성하고 있는데 이는 전략적 성장과 운영의 간소화를 통해 화학산업을 변환시킬 잠재력을 가지고 있다. 화학산업과 관계 있는 사물인터넷(IoT), 첨단 소재, 3D 프린팅, 인공지능(AI) 등과 같은 첨단기술들은 광범위한 적용이 가능한 비용 및 성능 수준에 도달했다. 더욱 중요한 점은 이들 기술이 화학산업의 핵심 공정 및 마케팅 절차에 통합되어 운영 절차를 디지털로 변환하고 '스마트' 공급사슬과 공장, 새로운 사업모델을 가능하게 할 만큼 진보했다는 점이다. 예를 들어, 종합화학회사인 바스프(BASF)는 인더스트리 4.0을 이용한 스마트 공장을 실험하고 있는데 사용자가 맞춤 비누를 주문하면 액체비누 저장용기에 부착된 무선주파수 식별 태그가 생산 라인에 있는 제조설비에 원하는 비누의 조성 및 포장 방식을 무선으로 전달해 사람의 개입 없는 대량의 맞춤 제조를 구현하고 있다.

본고는 화학산업 가치사슬의 서로 다른 여러 단계에 있어 인더스트리 4.0의 주요한 적용 방안을 소개하고, 이들이 제시하는 기회를 분석하며, 인더스트리 4.0 기술이 화학기업의 사업 운영 및 성장에 도움을 주는 방안을 논하고자 한다.



인더스트리 4.0 개관

인더스트리 4.0은 사물인터넷(Internet of Things, IoT)에 내재된 연결 기술을 애널리틱스, 3D 프린팅, 로봇공학, 인공지능, 첨단 소재공학, 증강현실(AR) 등을 포함하는 정보기술(Information Technology, IT), 운영기술(Operations Technology, OT)과 결합해 제조업의 물리적 활동을 강화한다. 인더스트리 4.0은 이들 연결된 기술들을 통합하고 확장해 물리-디지털-물리 순환 관계를 완성시킨다. 연결된 디지털 기술로부터 물리적 물체 혹은 개선된 공정을 만들어내는 것이 인더스트리 4.0의 정수다.

제조업체에 있어 인더스트리 4.0이 갖는 2가지 절대 과제는 사업 운영과 사업 성장이다. 운영 및 성장에 맞춰진 초점은 가치사슬의 어떤 영역이 가장 주목할 만한 가치가 있는지 파악하는 기준이 된다. 일부 영역은 인더스트리 4.0의 적용을 통해 쉽게 대응이 가능하다. 딜로이트는 이러한 영역을 전환적 적용 영역(Transformational Play), 즉 비즈니스의 절대 과제를 달성하기 위해 제조업 가치사슬 내에서 인더스트리 4.0을 적용할 수 있는 영역이라 칭한다.

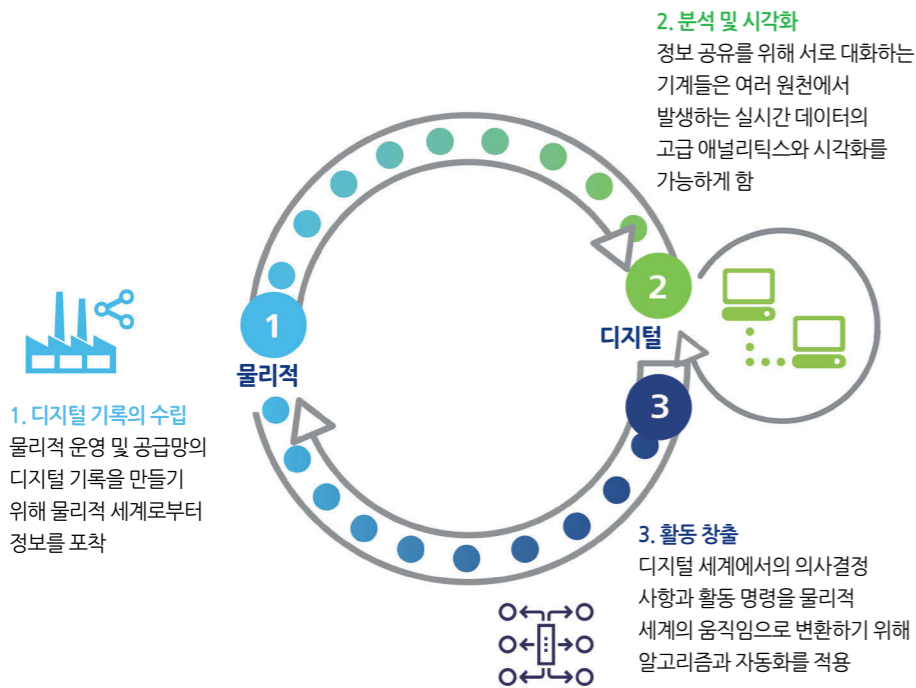
표 1. 화학산업에 대한 인더스트리 4.0의 전환적 적용 영역

| 제품에 대한 영향 | 주요 목표 | 전환적 적용 영역 |
|--|-----------|---|
|  사업 운영 | 생산성 개선 | <ul style="list-style-type: none"> 스마트 제조 공급사슬 계획 |
| | 리스크 경감 | |
|  사업 성장 | 부가수익 추가 | <ul style="list-style-type: none"> 연구·개발 스마트 제품 및 서비스 |
| | 새로운 수익 창출 | |

출처: Deloitte Analysis

그림: Deloitte University Press / DUPress.com

그림 1. 인더스트리 4.0의 물리-디지털-물리 도약 과정



출처: Deloitte Analysis

그림: Deloitte University Press / DUPress.com

화학산업을 위해 인더스트리 4.0이 무엇을 할 수 있는가?

운영 개선에 집중하는 기업들은 인더스트리 4.0 기술을 생산성 개선과 리스크 경감에 사용하고 있고, 성장에 집중하는 기업들은 부가수익 추가 혹은 완전히 새로운 수익원 창출에 이를 이용하고 있다. 표 1은 화학산업에서 인더스트리 4.0의 적용 영역을 보여주는데 이러한 전략적 목표는 가치사슬의 서로 다른 단계별로 추구할 수 있고, 각각을 조합해서 추구할 수도 있다.

사업 운영 개선: 생산성과 리스크

사업 운영 개선은 크게 생산성 개선과 리스크 경감 2가지 방식으로 이뤄진다. 화학 공장의 생산성은 예측적 자산 관리, 공정 통제, 생산 시뮬레이션과 같은 다양한 스마트 제조 기법을 통해 개선이 가능하다. 한편 리스크 경감은 변화하는 고객의

니즈에 대응하고 안전과 품질을 개선하기 위한 공급사슬과 내부 운영의 관리를 통해 이뤄진다.

스마트 제조: 생산성 개선을 위한 IT와 OT의 결합

‘스마트 공장’으로도 알려진 스마트 제조는 IoT와 같은 IT, 3D 프린팅과 같은 OT를 결합해 이용한다. 이 프로세스는 다음과 같은 방식으로 화학산업에 도움을 줄 수 있다.

예측적 자산 관리

고급 IT·OT 기술은 기업이 예측적 혹은 디지털 관리 기술을 통해 관리비용을 최적화하고 자산 효율성을 개선할 수 있게 해준다. 고급 애널리틱스는 터빈, 압축기 등 중요한 기기에 설치된 센서에서 지속적으로 수집되는 데이터를 이용해 발생 가능한 고장을 예측하고 진단할 수 있다. 스마트 기기는 공장 운영자에게 필요한 정비, 고장 가능성, 교체

부품 주문 및 배송 계획 등에 대해 메시지를 보낼 수 있다. 이를 통해 기존의 정기 혹은 대응적 보수에서 예측적 관리로 변화가 가능하고, 수집된 데이터는 예측적 관리, 성능 최적화, 새로운 설비의 설계에 이용될 수 있다.

한 글로벌 화학기업은 1년에 90번 이상 고장이 발생하던 압출기 문제를 해결하기 위해 센서를 이용한 실시간 모니터링으로 포착한 구조화된 데이터와 정비 기록, 직원 훈련 기록 등의 비구조적인 데이터 양쪽에 기반을 둔 고장 예측 모델을 개발했다. 그 결과 계획되지 않은 가동 중단이 80% 감소했으며 기기당 약 30만 달러의 운영비를 줄일 수 있었다.

공정 관리 및 통제

예측적 자산 관리와 유사하게 공정 관리에는 구조화 및 비구조화된 데이터를 실험실, 경보기, 생산 장비 등 다양한 원천에 장비된 센서를 통해 수집한다. 애널리틱스 모델은 화학 공정에서의 패턴 및 변동을 발생 전에 파악해 생산 관련 리스크를 줄인다.

에너지 관리

에너지 비용은 화학 공장의 생산비에서 큰 부분을 차지한다. 일반적인 공장 운영에는 다수의 활동과 상호작용이 개입되기 때문에 운영자가 최적의 작업 조건을 선택하기가 쉽지 않다. 유럽의 선도적인 화학기업인 보레알리스(Borealis)는 공장 에너지 소비에 대한 동적 목표값을 설정하기 위해 데이터 마이닝과 모델링을 이용하는데, 이때 공장의 현황, 외부 기온, 시스템의 오염 정도, 촉매의 노화 수준 등을 고려한다.

화학산업은 최적의 공장 운영을 위해 이미 온도, 유량, 압력 등의 표준적인 데이터를 모니터링하고

있지만, 소프트 혹은 가상 소프트웨어 센서와 같은 인더스트리 4.0 기술은 추가적인 정보로 기존의 데이터를 강화하고 에너지 효율성 개선에 필요한 비표준적인 공정 변수를 통제할 수 있게 한다. 소프트 센서는 신경망 기반의 추론 추정기로 표준 장비를 통해 수집된 다수의 변수들을 가공해서 새로운 공정 및 장비에 대한 통계적 모수를 추정해 운영 효과성과 공장의 효율성을 개선할 수 있다.

안전 관리

전통적인 안전 관리는 표본에 대한 모니터링과 테스트를 통해 이뤄지지만, 연결 기술은 제품, 부산물, 폐기물을 지속적으로 모니터링할 수 있게 해준다. 예를 들어 (압전¹ 복합소재가 함유된) ‘스마트’ 페인트는 기계적 진동이나 화학물질 탱크의 부식 혹은 갈라짐을 감지할 수 있다. 또 다른 사례로 한 특수 화학물질 제조사는 높은 곳에 위치한 파이프라인, 전력선, 배출가스 연소탑과 같이 접근하기 힘든 공장 설비의 검사에 드론을 이용하고 있다.

제조 시뮬레이션

화학기업은 운영자 및 정비 담당자의 훈련에 점점 더 3D 시각화와 가상현실(VR) 기술의 사용을 늘리고 있다. 예를 들어, 지멘스의 물입 훈련 시뮬레이터는 다양한 현장 상황에 대한 가상 경험을 제공한다. 훈련생들은 가상의 공장을 ‘걸고’, 장비와 도구를 가지고 ‘작업’하며, 위기 상황을 ‘처리’한다. 이러한 훈련 목적 외에도 3D 가상화는 공장 운영을 시작하기 전에 작업자들의 사전 대비를 도울 수 있다. 바스프는 가상 환경을 이용해 독일에 위치한 공장의 운영 개시에 필요한 시간을 단축하고 있다.

공급사슬 계획: 운영 리스크 경감을 위한 변화를 예측하기

인더스트리 4.0은 화학기업이 2가지 방식으로 공급사슬을 계획할 수 있게 지원한다. 첫째, 센서 및 연결된 시스템은 공급망의 가시성을 높이는 데 도움을 준다. 둘째, 고급 애널리틱스 도구는 수요 패턴을 예측하고 이에 맞춰 공급사슬과 생산 운영을 조정하도록 지원한다.

공급사슬의 가시성

기업 간 거래(B2B)에 있어, 제품이 특정한 온도 혹은 압력 범위를 유지한 상태로 배송돼 즉각적으로 후속 생산 공정에 투입될 수 있도록 요구하는 고객이 있다. 이동 중 화학물질의 모니터링을 위해 많은 기업들이 오빈토(Ovinto) 위성 모니터링 장비를 사용한다. 위성위치확인시스템(GPS)이 장착된 이 장비는 운송 열차에 설치되어 몇 가지 센서를 이용해 화학물질의 물리적 속성을 측정할 뿐 아니라 진동으로 인한 충격 같은 열차의 상태도 모니터링한다. 데이터는 저궤도 위성을 통해 전송되며, 열차에 충격이 가해지거나 충돌이 발생한 경우 또는 화학물질의 온도와 같은 물리적 속성이 사전에 설정된 범위를 벗어나면 경보를 발생해 자동화된 대응이나 수동적 개입을 유도한다. 이러한 직접적이고 지속적인 상호작용을 통해 제공되는 가시성은 위험한 화학물질의 안전한 배송을 지원하고 더 나은 공급사슬 계획 수립에 도움을 준다.

수요 예측

화학기업은 수요 예측과 이에 따른 생산 계획을 통해 생산 역량의 최적화를 달성할 수 있다. 예를 들어, 바스프는 기업의 과거 데이터와 경제

데이터를 결합해 수요 예측을 수행하는 예측적 애널리틱스 접근법을 구현 중이다. 예측 모델은 계절 효과, 고객이 속한 산업에 대한 전국적, 지역적 거시경제 데이터와 같은 외부적 요인들과 바스프의 사업 전략과 같은 내부적 요인들을 고려한다. 바스프는 예측 모델을 사용해 수요 변화에 따라 공장 운영을 계획하고 조정할 수 있다.

사업의 성장: 추가 수익 및 새로운 수익

사업 성장과 관련해 인더스트리 4.0이 제공하는 변환적 활동 영역은 가치사슬의 양 끝 단에 위치한다. 한쪽 끝에는 첨단 소재와 특수 제품의 연구·개발(R&D)을 통한 기존 제품의 개선 혹은 새로운 제품의 개발이 있다. 다른 한 끝에는 디지털 기술을 이용한 고객의 운영 통합, 맞춤 제품의 제공, 정보와 서비스를 기존 제품에 더해 프리미엄을 청구, 또는 완전히 새로운 사업모델의 개발이 있다.

R&D: 수익 확대를 위한 신제품 개발

R&D는 아마도 가치사슬에 있어 가장 중요한 단계일 것이다. 이는 제품이 어떻게 제조될지를 구체화할 뿐 아니라 추가적인 개선에도 정보를 제공한다. R&D에는 많은 투자가 필요하기 때문에, 화학기업은 투자 결과를 예측하기 위해 빅데이터와 다른 도구들의 사용을 시험하고 있다.

신제품의 실험 및 개발을 위한 3D 프린팅의 이용

3D 프린팅은 디지털 영역의 정보를 이용해 물리적 제품을 생성하고, IT·OT 전환 과정을 단축하며, 화학기업으로 하여금 R&D 과정의 비용 절감을 도와줄 수 있다. 이는 특정한 기하학적인 형상, 특정한 반응 운동 혹은 화학 반응의 체류



시간을 통해 화학 공정을 통제하는 맞춤형 화학 반응기를 제작할 수 있게 해준다. 예를 들어, 영국 글래스고대의 연구진은 스테인레스 스틸 반응기를 대체할 수 있는 비용 효과적인 3D 프린팅 폴리프로필렌 반응기를 만들었다. 추가로 3D 프린팅은 첨단 신소재의 개발에 도움을 줄 수 있다. 한 선도적인 특수 화학물질 개발사는 최근 스마트 의류에 사용할 수 있는 신축성 있고 스크린 인쇄가 가능한 전자 잉크를 개발했다.

소재 선택에 고급 애널리틱스 사용
고급 애널리틱스는 화학기업이 디지털 정보를 사용해 새로운 '물리적' 소재를 개발하는데 도움을 줄 수 있다. 미국 일리노이대 어바나 샴페인캠퍼스의 연구진은 신약 및 농약 개발에 사용하는 분자합성기를 개발했는데, 이는 고분자를 기본 구성 물질로 분해해 새로운 합성물질로 재조합할 수 있다. 저렴한 데이터 저장 비용, 고성능 컴퓨팅, 고급 애널리틱스의 발전은 가용한 소재와 속성에 대한

데이터베이스를 구축해 정보를 저장할 수 있게 했으며, 원하는 속성을 가진 신소재의 조합을 디지털로 가능하게 했다. 화학기업은 과거의 시행착오를 통한 개발에서 모델화된 산출물 제작과 소재 선택 과정의 디지털화로 나아가고 있다.

스마트 제품과 서비스: 제품의 지능화와 새로운 데이터 서비스의 창출

IoT와 같은 고급 기술을 이용해 화학기업은 기존 제품을 지능화하고 더 나은 고객 서비스를 제공할 수 있다. 추가로 화학기업은 전통적인 물량 중심의 수익 모델을 부가가치 데이터 서비스를 통해 보완할 수 있다. 또한 고객의 공정 운영 중 전방 부분에 통합을 이뤄 가치 있는 서비스를 제안하고 새로운 사업모델을 구축할 수도 있다.

화학 제품 활용을 위한 스마트 제품
화학기업은 전통적인 제품 판매를 넘어 고객들이 화학 제품을 적절히 선택하고 활용할 수 있도록 애플리케이션 혹은 소프트웨어를 통해 기술적인

조언을 제공할 수 있다. 이러한 화학 제품과 기술의 조합은 '스마트 솔루션', 즉 보다 확장된 제품 및 서비스의 제공을 가능하게 한다. 예를 들어 이스트만 케미컬(Eastman Chemical)은 코팅 작업을 수행하는 고객들을 위해 온라인 '용제 비교 도구'와 웹 기반의 '수지 계산기'를 제공한다. 용제 비교 도구는 수지와 용제의 속성에 근거해 제품을 비교하고 선택할 수 있게 도와준다. 수지 계산기는 회사가 판매하는 다양한 수지 제품에 대해 용해도 차트를 산출해주고 코팅 및 접착 용도에 있어 수지의 중합 반응²에 대한 화학양론³을 고객이 이해할 수 있게 돕는다.

기존 수익을 보강해주는 데이터 서비스
정보 및 연결 시스템은 화학기업이 기존의 제품 판매 수익을 보강해주는 데이터 서비스를 만드는 데 도움을 줄 수 있다. 몬산토(Monsanto)의 날씨 앱은 농부들에게 위성에서 수집한 온도, 날씨, 토양 상태에 대한 실시간 데이터와 다음 며칠 동안의 예측치를 제공하고, 농지에서 수집한 정보를 근거로 작물에 대한 최적의 물과 비료 공급 수준을 추천해준다.

고객의 운영 공정 중 전방 부분의 통합으로 새로운 수익 모델 창출
화학기업은 고객과의 다년간의 협력에서 얻어진 지식을 이용해 고객의 공정 운영에 직접적으로 통합할 수 있는 기회를 가지고 있다. 정수 처리 서비스를 제공하는 에코랩(Ecolab)은 정수용 화학 제품을 공급할 뿐만 아니라 고객의 운영 과정 및 자산에 대한 실시간 모니터링 데이터에 고급 애널리틱스를 적용해 물 사용, 재사용, 재활용에 대한 권고 사항을 고객에게 제공하고 있다.

결론

인더스트리 4.0은 화학기업의 수익 모델을 기존의 물량 중심 판매에서 부가가치를 더한 제품 및 서비스의 제공으로 변환시켜 운영 및 성장 방식에 영향을 미칠 가능성이 크다. 기업들이 얼마나 빠르고 원활하게 이를 수행하느냐는 그들이 현재 내리는 의사결정과 앞으로 추진할 계획에 달려 있을 것이다. 본고에서 제시한 사례들은 화학기업이 자산 최적화, 공정 및 에너지 관리, 안전 관리에 있어 어떻게 인더스트리 4.0 기술을 활용해 사업 운영을 개선할 수 있는지를 보여준다. 또한 첨단 신소재 발견, 스마트 화학 제품, 새로운 서비스 기반의 가치 제안을 통한 사업 성장을 이룰 수 있는 방안을 생각해 보도록 하고 있다.

하지만 여기서 제시된 것은 가능한 모든 활용 방안이 아니라 인더스트리 4.0이 제공하는 기회에 대해 생각해볼 수 있게 하는 일례일 뿐임을 주목해야 한다. 기업의 현재 전략적 위치를 평가하고, 개념 증명을 위해서 선택한 적용 방안에 대한 고급 기술을 시험하며, 운영 모델을 재정비하고, 실험 결과에 따른 사업모델의 잠재적 재조정 가능성까지 고려하라. 화학산업의 변화가 관련 산업에까지 영향을 미치고 있는 지금, 시간이 가장 중요하다. 인더스트리 4.0은 더 이상 미래의 얘기가 아니다.

1 압전(壓電): 기계적인 압력을 가하면 전압이 발생하고 전압을 가하면 기계적인 변형이 발생하는 현상.
2 중합체(Polymer)의 원료가 되는 단위체 또는 모노머(Monomer)가 화학반응을 통해 2개 이상 결합해 분자량이 큰 화합물을 생성하는 반응.
3 화학반응에서 반응물과 생성물의 양적 관계에 대한 이론.