

시장 변화에 대응할 수 있는 모듈형 생산 시스템

Shinpei Kurokawa^{*1}

Toshi Hasegawa^{*1}

최근 몇 년 간, 기능성 화학 산업은 고객 니즈의 다양화, 제품 라이프 사이클의 단축, 개발도상국의 급속한 시장 성장, CO2 배출량 및 폐기물 감축 필요성 등 다양한 시장 변화에 직면해 오고 있습니다. 이에 대한 유망한 솔루션 중 하나는 전통적인 배치 생산의 운영 단위를 모듈화하고 이를 쉽게 재구성할 수 있는 모듈형 생산 시스템입니다. 본 글은 이 시스템의 특성과 자동화 엔지니어링을 위한 모듈 유형 패키지의 국제 표준화 추세를 개략적으로 설명합니다. 또한 일본의 모듈형 생산 시스템 구현을 주도하고 있는 iFactory 프로젝트와 이 프로젝트에 대한 Yokogawa의 노력에 대해서도 설명합니다.

서문

최 근 몇 년 동안 합성 의약품 및 플라스틱과 같은 기능성 화학품 제조에 모듈형 생산 시스템을 도입하기 위해 많은 실증 시험이 진행되어 왔으며, 그러한 시스템의 국제 표준화가 늘어나고 있는 추세입니다. 그 이유 중 하나는 다품종 소량 생산, 제조 공정 효율성 향상, 탈 탄소화, 폐기물 감축 등 다양한 문제에 대한 대응하여 시장 변화에 발맞춰 나아갈 필요가 있기 때문입니다. 연속 유동 방식을 이용

한 모듈형 생산 시스템은 이러한 여러 가지 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 기대됩니다. 이 시스템에서 배치 생산 시스템의 운영 단위는 모듈화 되어 있으며 자유롭게 결합 및 구성이 가능합니다. 이 시스템을 구현하기 위해서는 모듈이 자유롭게 연결될 수 있도록 하는 표준화된 규칙이 필요합니다.

본 글에서는 모듈형 생산 시스템의 특성과 시스템의 자동화 엔지니어링을 위한 모듈 유형 패키지(Module Type Package, MTP)의 국제 표준화 활동에 대해 개괄적으로 설명합니다. 또한 일본에서 본 시스템의 구현을 선도하고 있는 iFactory 프로젝트와 이 프로젝트에 대한 Yokogawa의 노력에 대해서도 소개합니다.

^{*1} 마케팅 본부 산하 대외 업무 및 기술 마케팅 센터 기술 마케팅 1부

화학 산업의 현황

화학 산업의 공급망

화학 산업의 공급망은 상류(upstream), 중류(midstream), 하류(downstream)의 세 분야로 구분할 수 있습니다. 상류 분야는 화석 자원으로부터 에틸렌 및 그 밖의 기초 화학 물질을 생산합니다. 중류 분야에서는 기초 화학 물질을 화학적으로 처리하여 의약품 중간체, 유기화학 물질, 기능성 소재(합성수지)와 같은 중간 화학 물질을 생산합니다. 하류 분야는 중간 화학 물질을 가공하여 자동차 및 전자 제품의 부품에 사용되는 물질 등 최종 화학 물질을 생산합니다.

상류 분야에서 기초 화학 물질을 생산하려면 에너지 효율이 높은 대량 생산을 위해 연속 생산을 사용합니다. 한편, 배치 생산은 다 품종 소량 생산을 위해 중류 분야에서 기능성 화학 물질을 생산하는데 사용됩니다. R&D 진행 과정에서 사용되는 배치 시스템이 제품 제조에 있어서 존속되는 경향이 있는 것이 이 때문이며, 또한 하류 분야에서 다양한 용도로 필요한 다품종 소량 생산을 위해 각 개별 제품에 대한 플랜트 설비를 구축하는 것은 비 현실적이기 때문입니다⁽¹⁾.

모듈형 생산 시스템으로의 전환

기능성 소재의 제조에는 배치 생산 시스템에서의 생산 효율성 및 제품 품질의 향상 필요성, 근로 인구의 감소 및 부산물 폐기 시의 환경 대책 등 다양한 문제가 수반됩니다. 한편, 최근 몇 년 동안 새롭게 대두되는 문제로는 고객 니즈의 다양화, 제품 라이프 사이클의 단축, 개발도상국 시장의 급속한 팽창, 그리고 CO₂ 및 폐기물 감축 문제 등이 있습니다. 다품종 소량 생산은 다양화하는 고객 니즈를 충족하기 위해 필요하긴 하지만, 각 제품에 대한 플랜트 설비를 구축하는 것은 비현실적입니다. 따라서, 기존 생산 시스템을 유연하게 구성하고, 엔지니어링 작업을 간소화하며, 새로운 생산 라인을 신속하게 시작할 필요가 있습니다. 화학 산업은 제조업 중에서 철강 산업 다음으로 CO₂ 배출량이 많은 업종이기 때문에 에너지 소비를 줄이는 것도 필요합니다. 배치 공정에서 가열 및 냉각에 많은 양의 에너지가 소비되고, 제조 과정에서 생성되는 부산물의 폐기 및 해독 작업에도 추가적인 에너지가 소비됩니다.

이러한 문제를 해결하기 위해 모듈형 생산 시스템이 주목을 받고 있으며 전 세계적으로 활발히 도입되고 있습니다. 이 생산 시스템은 반응 및 정제와 같은 배치 생산의 단위 공정을 자동화 및 모듈화하고 제조 대상 제품에 따라 이들을 결합함으로써 연속 생산을 가능하게 합니다. 모듈형 생산은 배치 생산과 관련된 문제를 해결하고, 엔지니어링 효율을 개선하며, 다품종 소량 생산을 달성하고, 제품 출시 기간을 단축하며, 생산 설비를 유연하게 하고, 에너지 효율을 개선할 것으로 기대됩니다(그림 1).

Changes in the market environment

- Diversifying customer needs
- Quick fluctuations in demand
- Shortening product lifecycle
- Intensifying global competition
- Decreasing working population
- Reduction of CO₂ emissions
- Reduction of waste

Measures to keep up with changes

- High-mix low-volume production
- Increasing production flexibility and availability
- Shortening the product's time to market
- Improving cost competitiveness
- Improving engineering efficiency
- Improving energy efficiency
- Increasing production efficiency (yield)

그림1 모듈형 생산 시스템으로의 전환 이유

모듈형 생산 시스템의 구성

모듈형 생산 시스템은 복수의 제조 모듈과 공통 부품으로 구성됩니다⁽²⁾.

모듈은 급수 및 배수와 같은 특정 기능의 요구 사항을 다루는 인프라(또는 백본)에 통합됩니다. 이들은 배관과 연결되고 또한 전력 및 통신선을 통해 자동화 시스템에도 통합됩니다. 표준화된 인터페이스 및 데이터 구조를 통해 이러한 시스템 구성이 가능합니다(그림 2).

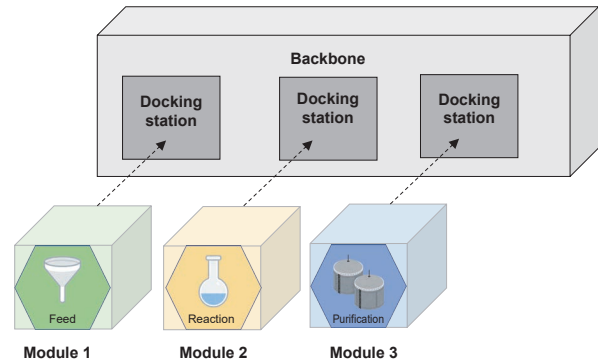


그림2 모듈형 생산 시스템의 기본 구성

자동화 엔지니어링 표준화: MTP

공정 산업의 자동화 기술 및 디지털화 사용자 연합인 NAMUR는 모듈형 생산 시스템을 위한 자동화 엔지니어링 표준으로 모듈 유형 패키지(Module Type Package, MTP)의 국제 표준화를 적극 추진하고 있습니다.

모듈 유형 패키지(MTP)

MTP는 플러그 앤 프로듀스(Plug and Produce)를 위한 상호 운용성 및 자동화 엔지니어링을 가능하게 하는 표준화 프레임워크로서, 복수의 제조 단위가 모듈화되고 연결됩니다(그림 3). MTP 규격 개발을 위한 프로젝트는 2012년에 시작되었으며, NAMUR가 주도했습니다. 그림 4는 MTP를 기반으로 한 엔지니어링 흐름을 보여줍니다. MTP에서는 각 운용 단위의 기능 설명이 MTP 파일로 모듈화됩니다. 이들 모듈을 생산 라인으로 결합하면 중소 규모 생산 플랜트의 엔지니어링 효율을 향상시킬 수 있습니다. 모듈화 된 기능 단위는 다른 사례에 적용하기 쉽습니다. 검증된 모듈을 사용하면 엔지니어링 개발 초기 단계에서 문제를 방지함으로써 시간과 비용을 크게 절감할 수 있습니다.

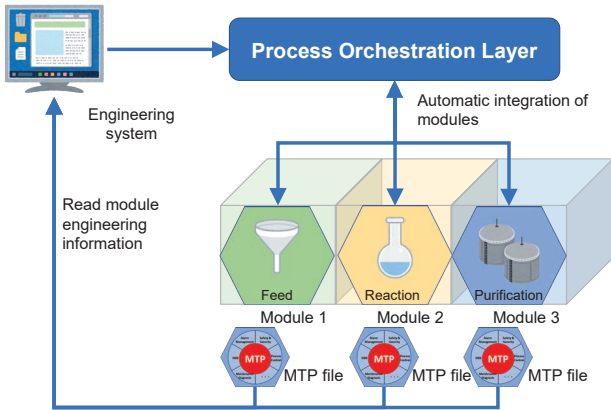


그림3 플러그 앤 프로듀스 (Plug and Produce) 개념

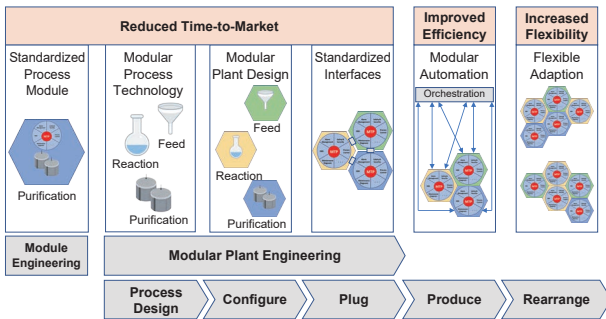


그림4 MTP 기반 엔지니어링 흐름

MTP 기반 모듈형 생산 시스템의 엔지니어링은 각 모듈에 대한 엔지니어링과 이들을 통합하기 위한 프로세스 오케스트레이션 레이아웃 (Process Orchestration Layer, POL) 엔지니어링으로 구성됩니다. 모듈 엔지니어링은 모듈이 프로세스를 수행할 수 있게 해주는 장비를 개발합니다. 아울러 모듈 엔지니어링은 프로세스 내 시퀀스 및 원자재 흐름과 같은 데이터 뿐만 아니라 인터페이스 및 기타 요소에 대한 엔지니어링 자동화에 대한 정보도 MTP 파일에 저장합니다. POL 엔지니어링은 MTP 파일에 저장된 데이터를 판독하여 생산 라인을 구성하는 모듈의 공정과 기능을 식별하고, 해당 모듈을 자동으로 통합합니다. 이 방법을 사용하면 효율성이 향상되며 모듈을 더 쉽고 빠르게 교환하고 재사용할 수 있습니다. 일단 모듈 조합이 고정되면 이를 복제하여 동일한 규모의 생산 시스템을 구축하고 확장할 수 있습니다. MTP는 생산 시스템이 시장 변화에 발맞출 수 있도록 해주기 때문에 그 국제 표준화가 활발히 추진되어 왔습니다.

MTP의 표준화

MTP는 현재 독일에서 VDI/VDE/NAMUR 2658 시리즈로 개발이 진행 중입니다. 2019년에 독일은 IEC에 새로운 작업 항목으로 VDI/VDE/NAMUR 2658-1에 기반한 “공정 산업의 모듈 시스템 자동화 엔지니어링 - 일반 개념 및 인터페이스”⁽³⁾를 제안했습니다. IEC TC 65 산하 소위원회인 SC 65E/WG 14는 이 사안의 국제 표준화를 담당하고 있으며, 논의를 주관하고 있습니다.

MTP의 현장 시험

사용자 기업의 도움을 받아 MTP에 대한 개념 증명 (Proof-of-concept) 프로젝트가 진행 중입니다. 예를 들어, Yokogawa를 포함한 몇 개의 자동화 공급 업체는 2018년 Evonik Industries의 파일럿 플랜트에서 MTP 냉각 시스템 패키지를 기존 생산 설비에 통합하기 위해 협력했습니다. 이 냉각 시스템 패키지에서는 엔지니어링 도구를 위한 표준 데이터 포맷인 AutomationML (IEC62714)을 기반으로 기술된 MTP 파일을 Yokogawa의 MTP import 도구로 판독하였으며, HMI (human machine interface)의 일부 그래픽을 자동으로 생성하였습니다. 이 현장 시험을 통해 MTP가 HMI 엔지니어링에 필요한 man-hours를 줄일 수 있음을 확인했습니다.

엔지니어링 작업의 Man-hours 절감

MTP 파일은 제조 모듈의 엔지니어링 효율을 향상시키는 데 있어서 매우 중요한 요소입니다. MTP 파일에는 모듈의 엔지니어링 정보가 공통 형식으로 포함되어 있습니다. 이 정보는 모듈 간 엔지니어링을 통합하는 데 사용됩니다.

MTP 파일은 AutomationML 모델을 기반으로 합니다. HMI의 경우 이 파일은 장치 기호 및 기능 정보, 장치 태그 이름, HMI에 있는 장치의 위치 정보 및 연결 정보를 기술합니다. MTP 파일의 장치 기호 및 태그 정보를 기반으로 그래픽 삽입 및 태그 매핑이 HMI에서 자동으로 수행됩니다. 현장 시험에서 그림 5의 점선 내에 표시된 4가지 엔지니어링 작업에 대한 man-hours가 기존의 HMI 엔지니어링에 비해 크게 절감되었음을 확인하였습니다.

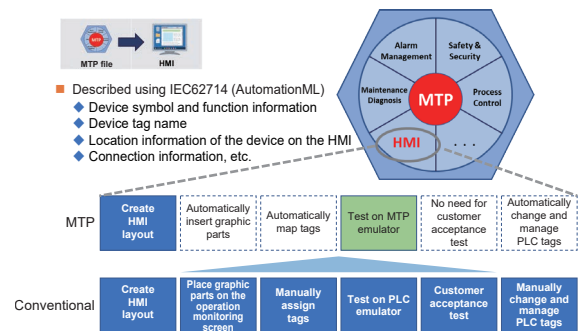


그림5 MTP에 의한 HMI 엔지니어링 효율성 향상

iFACTORY

경제적 성장과 양립할 수 있는 지속 가능한 에너지 절약을 달성하기 위해 신에너지 산업 기술 종합 개발 기구 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) 가 에너지 절약 기술 전략 혁신 프로그램 (Strategic Innovation Program for Energy Conservation Technologies) 을 적극 추진하고 있으며, Yokogawa는 다양한 프로젝트에 참여해 왔습니다. iFactory는 협력 테마 설정 계획 (Cooperative Theme-setting Scheme)에 따른 해당 프로젝트 중 하나입니다. iFactory는 연속 합성 방법 (continuous synthesis method) 과 배치 생산 방법 (batch production method)을

시장 변화에 대응할 수 있는 모듈형 생산 시스템

결합한 배치 연속 생산 방법 (batch continuous production method)을 사용하는 구성 가능한 모듈형 제조 설비를 개발하는 것을 목표로 하고 있습니다.

iFactory는 기능성 소재에 대한 제조 공정 중의 에너지 소비 및 폐기물 감축과, 노동력 감소에 대처한 인력 절감과 비용 경쟁력 증대, 또한 니즈가 있을 때 필요한 상품을 생산하는 주문형 생산을 달성하기 위해 개발을 진행하고 있습니다.

iFactory의 구성

iFactory는 2.3 m³크기의 정육면체 구조에 운영 단위를 수용하는 “iCube”라고 불리는 제조 모듈과 iCube를 연결해 전력과 물을 공급하고 폐수를 빼내는 “iConnect”라고 하는 서비스 시스템으로 구성되어 있습니다. 생산 라인인 iCubes와 iConnects를 결합하여 구축합니다 (그림 6).

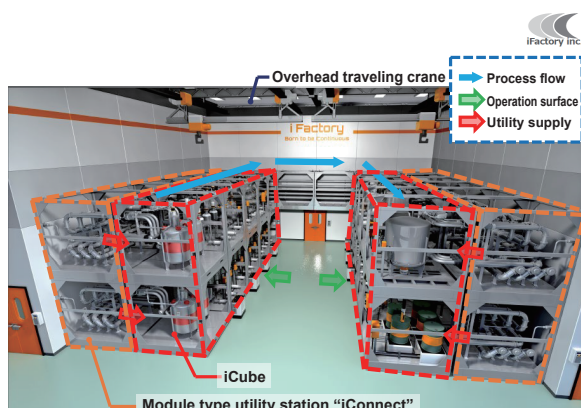


그림6 iFactory의 구성

iFactory의 이점

배관과 전기 시스템 연결부의 위치 및 크기는 iCube와 iConnect에서 표준화되어 있어서, 생산 시스템 구성과 배관 및 기타 구성 요소 연결을 쉽게 할 수 있습니다. 이렇게 재배열이 쉽게 되면 제조 대상 품목을 신속하게 전환함으로써 주문형 생산을 지원할 수 있습니다.

반응, 세척 및 용매 교환 등 다양한 작업을 위한 단위들이 정육면체 구조 (cube frame)에 수용되기 때문에, iCube는 연속 생산 시스템에서 원료 투입부터 반응물 포장까지 일련의 공정을 수행할 수 있습니다. 전통적으로 중간 생성물은 배치 생산 시스템의 각 단계에서 분리되고 정제됩니다. iCube는 이러한 반복과 관련된 문제, 즉 많은 에너지 소비, 작업자에 대한 과도한 부하, 많은 양의 폐기물 등의 문제를 해결할 수 있습니다. 에너지 소비는 기존 방식에 비해 약 80%, 폐기물은 30~40% 감소할 것으로 예상됩니다.

iFactory에 있어서의 Yokogawa의 역할

각 분야의 기술을 통합하여 (표 1), 8개 기업이 공동으로 실용화를 위한 모듈 및 자동 분석기 (그림 7)를 개발하고 있습니다. Yokogawa는 다양한 산업에서 축적된 엔지니어링의 강점을 활용하여 전반적인 제어 시스템을 개발 중입니다.



그림7 iFactory 모듈 (왼쪽) 및 자동 분석기 (오른쪽)

표 1 8개 기업의 역할

회사명	역할
Takasago Chemical	iFactory 의약품 제조 장비 개발 감독, 단위 작업용 iCube 모듈형 반응조 프레임 개발, 지속적 결정화 및 여과용 단위 작업 개발
Mitsubishi Tanabe Pharma	변위 집중 공정용 단위 작업 개발
Konica Minolta Chemical	연속 추출 공정 (유수 분리 및 세척) 을 위한 단위 작업 개발
Yokogawa Solution Service	iFactory 의약품 제조 장비에 대한 제어 시스템, 제조 실행 시스템 (MES), 실험 정보 관리 시스템 (LIMS), 에너지 관리 시스템 (EMS) 개발
TEC Project Services	iFactory 의약품 제조 장비에서 기타 단위 작업 중 연속 액체 분리, 연속 용매 교체, 연속 결정화 및 연속 고액 분리 (solid-liquid separation) 를 수행하는 iCube 모듈형 반응 시스템 설계 및 개발/돌형
Taisei Corporation	재구성 가능한 모듈형 배치 연속 여과 건조기 및 연속 충전 장치 개발, iFactory 프레임 및 서비스 시스템 구축
Shimadzu Corporation	iFactory 의약품 제조 장비용 방폭 시료 채취 장치 및 온라인 고성능 액체 크로마토그래프 개발
Mitsubishi Kakoki	재구성 가능한 모듈형 연속 여과기 및 연속 건조기 개발, 여과기에서 건조기로의 이송 메커니즘 개발

향후 개발

본 글에서 설명한 MTP 및 iFactory와 같은 모듈형 생산 시스템에 대한 기대가 증가하고 있습니다. 이러한 시스템이 전 세계적으로 활용되도록 하려면 모듈의 라인업 확대는 물론, 관련 국제 표준, 규정 준수 및 표준 인증 등 비즈니스 생태계의 조성이 필요합니다. MTP에 의해 정의된 자동화 엔지니어링에 대한 국제 표준은 현재 개발 중입니다. iFactory는 일본에서 모듈 구현 및 상용화를 향해 나아가고 있습니다. 글로벌 확장을 위해서는 MTP 및 기타 시스템의 국제 표준화 추이를 모니터링하고 그 추이에 발맞춰야 합니다. Yokogawa는 표준 개발에 계속 적극적으로 참여하고, iFactory 프로젝트에서 얻은 연구 결과를 제공하며, 표준화에 기여할 것입니다⁽⁴⁾.

결론

기능성 화학 물질의 제조를 위한 모듈형 생산 시스템이 주목을 받고 있습니다. 본 글은 그 특성, 표준화, 그리고 실제적 적용 추이에 대해 개괄적으로 설명했습니다. Yokogawa는 고객들의 기대에 부응하고, 또한 시장 변화에 유연하게 대응할 수 있는 제조를 달성하기 위해 국제 표준화와 개념 증명 (proof-of-concept)에 지속적으로 공헌할 것입니다.

참고문헌

- (1) Technology Strategy Center (TSC), New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Drawing up technology strategies in the field of functional chemical manufacturing processes, TSC Foresight, Vol. 31, 2019 (in Japanese)

- (2) NAMUR, NE148: Automation Requirements relating to Modularisation of Process Plants (Ver. 2013-10-22), 2013
- (3) VDI/VZDE/NAMUR 2658-1, Automation Engineering of Modular Systems in the Process Industry-General Concepts and Interfaces, 2019
- (4) Yokogawa Electric Corporation, "Starting the practical use of pharmaceutical manufacturing equipment based on a batch continuous production system," press release, 2021 (in Japanese) <https://www.yokogawa.co.jp/news/press-releases/2021/2021-06-17-ja/> (accessed on September 24, 2021)

* iFactory, iCube, and iConnect are registered trademarks of iFactory Inc.

* All other company names, organization names, product names, and logos that appear in this paper are registered trademarks or trademarks of Yokogawa Electric Corporation or their respective holders.