

## SysML DSL 기반 플랜트 모델링 케이스

이태경\* 차재민 김준영 신중욱 김진일 염충섭

고등기술연구원 플랜트SE팀

### A Plant Modeling Case Based on SysML Domain Specific Language

Taekyong Lee\*, Jae-Min Cha, Jun-Young Kim, Junguk Shin,

Jinil Kim, Choongsub Yeom

*Plant Systems Engineering Team, Institute for Advanced Engineering*

**Abstract** : Implementation of Model-based Systems Engineering(MBSE) depends on a model supporting efficient communication among engineers from various domains. And SysML is designed to create models supporting MBSE but unfortunately, SysML itself is not practical enough to be used in real-world engineering projects. SysML is designed to express generic systems and requires specialized knowledge, so a model written in SysML is less capable of supporting communication between a systems engineer and a sub-system engineer. Domain Specific Languages(DSL) can be a great solution to overcome the weakness of the standard SysML. A SysML based DSL means a customized SysML for a specific engineering domain. Unfortunately, current researches on SysML Domain Specific Language(DSL) for the plant engineering industry are still on the early stage. So as the first step, we have developed our own SysML based Piping & Instrumentation Diagram (P&ID) creation environment and P&ID itself of a specific plant system, using a widely used SysML authoring tool called MagicDraw. P&ID is one of the most critical output during the plant design phase, which contains all information required for the plant construction phase. So a SysML based P&ID has a great potential to enhance the communication among plant engineers of various disciplines.

**Key Words** : MBSE; SysML; Domain Specific Language; Plant Engineering; P&ID

**Received:** October 30, 2017 / **Revised:** November 23, 2017 / **Accepted:** December 5, 2017

\* 교신저자 : Taekyong Lee, [TKLee@iae.re.kr](mailto:TKLee@iae.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서론

시스템의 복잡성이 높아짐에 따라 문서를 통해 시스템을 개발, 관리하는 기존의 엔지니어링 방식은 점차 한계를 보이고 있다. 모델기반 시스템 엔지니어링(MBSE : Model-Based Systems Engineering)은 이런 기존의 문서 기반 엔지니어링을 대체하여 시스템의 복잡성이 높아지더라도 전 생명주기 동안 시스템의 정확성(Correctness), 일관성 (Consistency), 추적성(Traceability)을 유지할 수 있는 대안으로 각광을 받고 있다.

모델기반 시스템 엔지니어링에서, 시스템과 그 주변 환경을 표현하는 모델은 다양한 도메인을 가진 이해관계자들 간의 의사소통의 기반이 된다[1]. 즉, 효율적인 정보 교환을 지원할 수 있는 모델은 모델기반 시스템 엔지니어링의 성공적인 적용을 위한 필수 조건이라 할 수 있다. 그래픽 기반의 시스템 모델링 언어 표준인 SysML[2] (System Modeling Language)은 그러한 조건을 만족할 수 있게 설계된 언어이며, 현재 활발히 연구되고 있는 모델링 언어 중 하나이다.

하지만 SysML은 일반적인 시스템(Generic System)을 모델링하도록 만들어진 언어이기에 특정 산업에 적용하기에는 실용적이지 않다. 잘 작성된 SysML 모델은 대상 시스템의 다양한 면을 넓고 세밀하게 표현할 수 있으나 각자 다른 도메인을 가진 엔지니어들이 이 모델을 이해하기 위해서는 전문적인 지식과 스킬이 필요하다. Figure 1에서 표현된 바와 같이 표준 SysML 모델 기반의 엔지니어링 활동은 모델을 이해하고 다룰 수 있는 전문 인력을 필요로 함으로써 효율적인 정보 교환에 어려움이 생긴다. SysML 모델을 실제 산업에 활용하기 위해서는 해

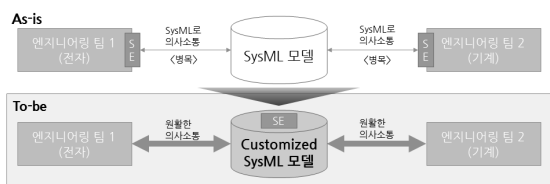
당 도메인의 전문가들이 쉽게 이해하고 사용할 수 있는 해당 도메인에 특화된 모델이 필요하다.

이렇게 도메인에 특화된 모델 개발 케이스를 제시하고, 특히 플랜트 엔지니어링 산업에 특화된 SysML 모델의 실 산업 적용 가능성을 탐구하기 위해 본 연구에서는 본 원에서 설계를 진행 중인 폐기물 고형연료 생산 플랜트를 대상으로 SysML에서 확장한 플랜트 엔지니어링 용 도메인 특화 언어(DSL: Domain Specific Language)의 일부를 개발하고 이에 기반 한 P&ID(Piping&Instrumentation Diagram) 프로토타입 개발을 진행하였다. P&ID란 플랜트 설계 활동의 가장 중심이 되는 산출물 중 하나로써 SysML 기반의 P&ID는 플랜트 엔지니어링 도메인에 특화된 전체 플랜트 모델을 개발하는데 있어 중요한 마일스톤이 될 수 있다.

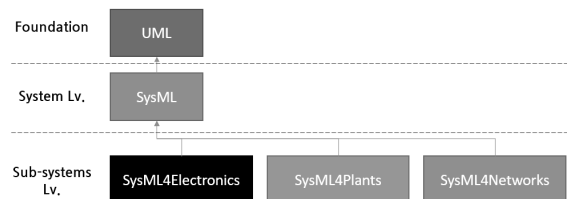
### 2. SysML Domain Specific Language

#### 2.1 SysML DSL 정의

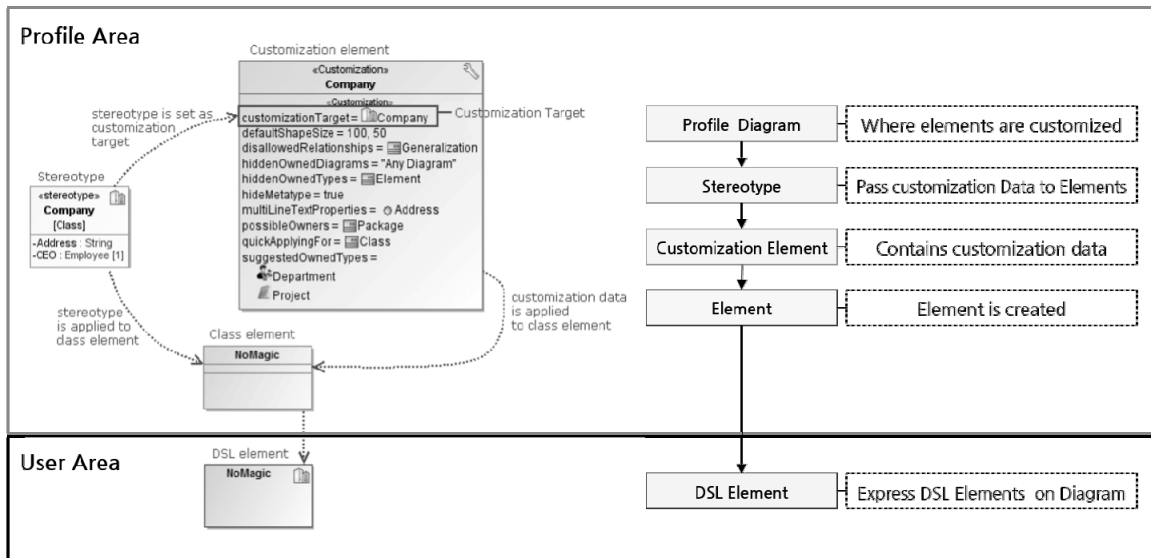
DSL(Domain Specific Language)은 소프트웨어 개발 분야에서 널리 쓰이는 오래된 전통이다[3]. HTML과 Matlab은 각각 웹 분야와 엔지니어링 어플리케이션 분야에서 손꼽히는 강력한 스크립트 언어지만 게임과 같은 일반 소프트웨어 개발에 쓰이에는 한계[3]가 있다. 이렇게 특정 분야에 특화된 언어가 바로 DSL이다. 시스템 엔지니어링 관점에서 DSL은 사용자가 속한 도메인에 맞게 수정 및 확장(Extended)된 모델링 언어라 할 수 있다. Figure 2는 모델링 언어들 간의 상관 관계를 보여준다. SysML 또한 소프트웨어 엔지니어링 분야의 그래픽 모델링



[Figure 1] As-is vs To-be



[Figure 2] Hierarchy of Modeling Languages



[Figure 3] Concept of SysML Domain Specific Language Realized on MagicDraw[9]

언어인 UML(Unified Modeling Language)에서 확장된 시스템 엔지니어링 분야의 DSL이라 할 수 있으며, SysML을 기반으로 특정 산업 또는 시스템을 위한 DSL을 개발할 수도 있다.

### 2.2 SysML DSL 개발 개념

표준 SysML의 구성요소(Element)들은 프로파일(Profile)개념을 사용해서 DSL로 확장될 수 있다. 모든 커스텀 된 정보(Customization Data) - 표준 구성요소와 DSL 구성요소와의 관계, 변경/추가/삭제된 속성 등 - 들은 프로파일에 저장될 수 있으며 프로파일은 여러 프로젝트에 재사용이 가능하다. 세계적으로 가장 널리 사용되는 UML(Unified Modeling Language)/SysML 기반 모델 작성 툴인 MagicDraw[8]는 DSL 엔진을 통해 DSL 프로파일을 정의하고 활용할 수 있게 지원하며, DSL 요소가 실제 작업환경 내에서 구현되는 개념은 Figure 3에서 확인할 수 있다.

### 2.3 관련 연구

세부적으로는 CAD 모델[4]에서부터 넓게는 항공우주 산업[3]까지 다양한 분야에서 SysML 기반의 DSL 개발에 관련된 연구가 이어지고 있다. SysML

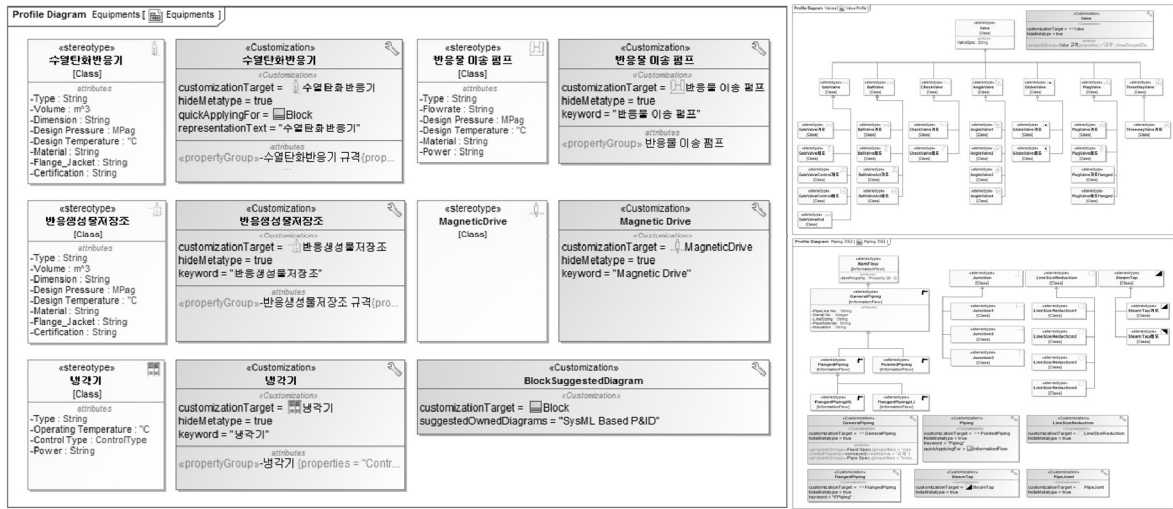
기반 DSL 개발 연구의 핵심 중 하나인 해당 도메인 표현에 특화된 도식적 요소 모음(Schematic Vocabulary) 개발과 이를 기반으로 한 실제 도면 케이스 개발에 관한 연구가 이루어지고 있으며, 플랜트 엔지니어링 분야에서는 SysML 기반의 화학 플랜트 모델을 상용 플랜트 모델링 프로그램과 연결[5]하는 연구가 진행 중이다. SysML 기반 DSL을 중심으로 도메인 특화 엔지니어링 환경(Domain Specific Engineering Environment)을 정립하는 연구[6]도 조금씩 이루어지고 있으며, 국내에서는 국방 분야에서 SysML을 활용한 요구사항 모델 개발[7]과 같은 연구가 이루어지고 있다.

## 3. 플랜트 모델링: P&ID

### 프로토타입 개발

#### 3.1 개발 범위

플랜트는 대부분 설비, 배관 및 밸브와 같은 기계 시스템, 제어 시스템, 전기 시스템 및 기타 시스템들로 구성된다. P&ID는 공정 흐름(Process Flow)을 중심으로 이러한 시스템들이 어떤 식으로 연결되고 구성되는지 표현하며, 각 분야의 엔지니어에게 필요한 정보를 통합하는 설계 단계의 주요 결과물



[Figure 4] Waste-to-Resource plant equipment, valves and pipes classes definition

이다. 본 연구에서는 본 연구원이 설계 중인 폐기물 자원화 플랜트의 설계 자료를 기반으로 플랜트의 가장 중심이 되는 설비, 배관 및 밸브의 연결 관계를 P&ID 개발 범위로 정하였다.

### 3.2 개발 절차

SysML 기반 P&ID 개발 절차는 크게 커스터마이징 할 플랜트 구성요소의 클래스(Class) 정의, 정의된 클래스들의 프로파일(Profile)화를 통한 플랜트 엔지니어링 프로파일 작성, 프로파일을 활용한 SysML 기반 P&ID 작성 환경 구축으로 나눌 수 있다.

#### 1) DSL 요소 정의: 플랜트 구성요소의 클래스 정의

SysML에 기본적으로 정의된 블록(Block) 및 커넥터(Connector)와 같은 클래스로는 플랜트를 모델링하는데 한계가 있다. 그러므로 플랜트 엔지니어링 도메인에 맞게 플랜트를 구성하는 설비, 배관, 밸브를 분류하여 각각 고유의 속성(Attribute)을 가진 클래스로 정의할 필요성이 있다. 이렇게 새롭게 정의된 클래스가 바로 SysML로부터 확장 및 수정된 DSL 요소가 된다.

MagicDraw 내에서 사용자 정의 클래스를 구현하기 위해서는 스테레오타입(Stereotype)과 커스

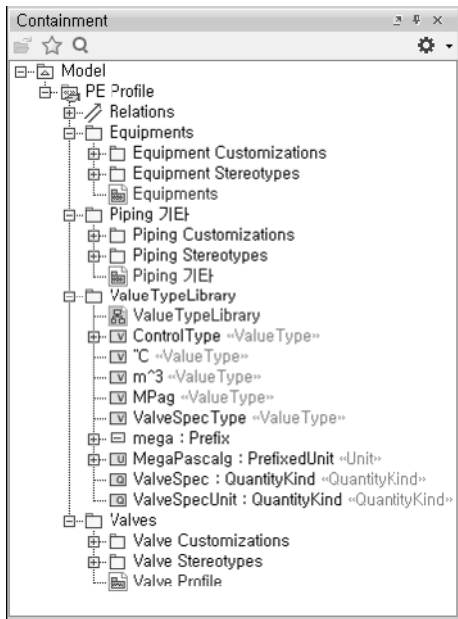
터마이제이션(Customization)이 필요하다[8]. UML에서 파생된 클래스인 스테레오타입을 통해 새로운 사용자 정의 클래스와 해당 클래스에 속한 속성을 정의하고, 각 스테레오타입에 대응하는 커스터마이제이션을 통해 해당 클래스의 표현 기호, 타 클래스와의 연결 법칙, 사용자들에게 보여 질 속성 등과 같은 해당 클래스에 적용되는 여러 가지 규칙[9]을 입력할 수 있다. Figure 4는 본 연구의 대상 시스템인 폐기물 자원화 시스템을 구성하는 설비, 배관 및 밸브의 클래스를 정의하는 스테레오타입과 커스터마이제이션을 보여주고 있다.

#### 2) DSL 프로파일 작성: 정의된 클래스들의 프로파일화

각 플랜트 구성요소 클래스를 정의하기 위해 작성된 스테레오타입, 커스터마이제이션 및 스테레오타입 내부의 속성을 정의하기 위해 활용된 사용자 정의 데이터 타입을 체계적으로 정리하여 Figure 5와 같이 하나의 프로파일(Profile)로 정리한다. 이렇게 DSL 요소들을 하나로 묶어낸 것을 DSL 프로파일이라 하며 이를 통해 DSL의 프로젝트 간, 파일 간 재사용성을 높일 수 있다.

#### 3) DSL 프로파일 기반 다이어그램 작업 환경 구축:

MagicDraw에서 제공하는 다이어그램 편집 도구

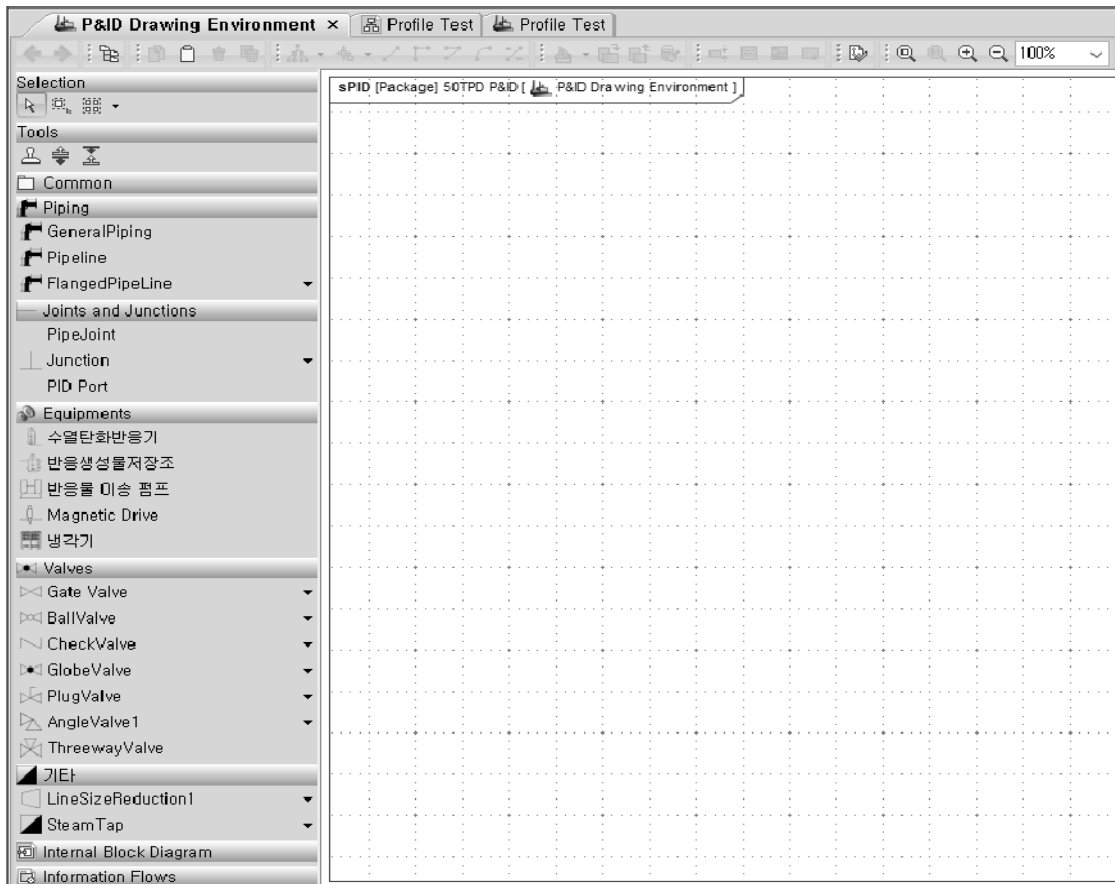


[Figure 5] Plant Engineering DSL Profile

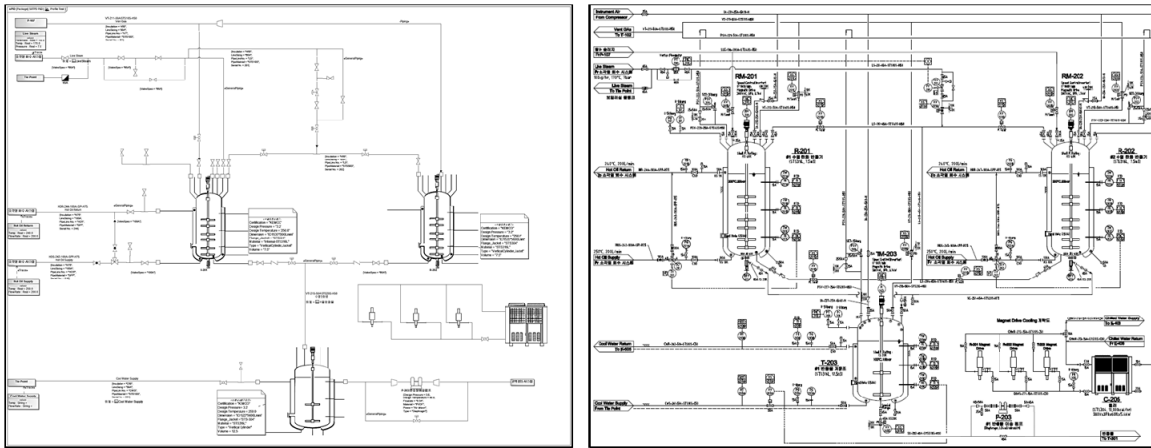
와 기 정의한 폐기물 자원화 플랜트 엔지니어링 프로필을 활용하여 Figure 6과 같이 SysML 기반 P&ID를 작성할 수 있는 다이어그램 작업 환경을 구축한다.

#### 4. P&ID 프로토타입 예시

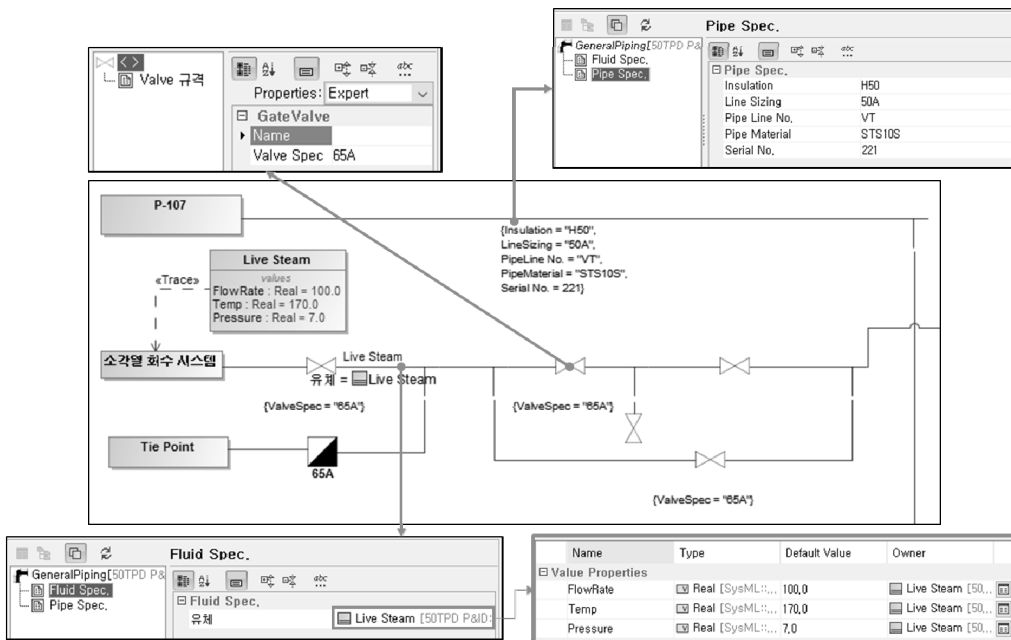
해당 플랜트 P&ID 작성에 필요한 모든 요소가 다이어그램 팔레트(Diagram Palette) 위에 모두 구현 및 배치되었으므로 SysML 전문가가 아니더라도 사용자는 SysML 기반의 폐기물 자원화 플랜트 P&ID를 작성할 수 있다. 필요한 팔레트로부터 필요한 설비 또는 밸브를 끌어다 알맞은 자리에 놓고, 기 정의된 배관 연결 관계(Piping Relationship)을 통해 연결하고, 각 요소에 할당된 속성에 필요한 정보를 입력하면 SysML 기반의 P&ID를 작성할 수 있다.



[Figure 6] SysML based P&ID Drawing Environment



[Figure 7] SysML Based P&ID Prototype (left) and Original P&ID (right)

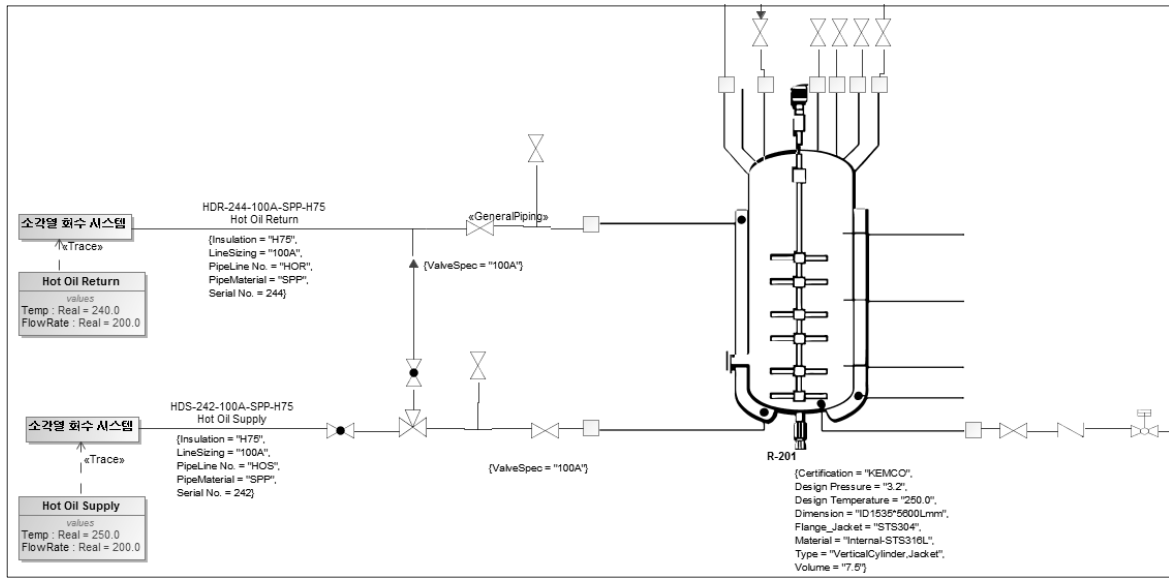


[Figure 8] P&ID Element Properties

Figure 7은 이렇게 작성된 SysML 기반의 P&ID와 실제 폐기물 자원화 플랜트의 P&ID를 비교하고 있다. 오른쪽 P&ID의 구성요소들이 왼쪽 SysML 기반 P&ID에 각각 독립적인 객체와 객체 간 연결 관계로 모델링 되었으며 P&ID와 동일한 기호(Symbol)로 다이어그램 내에 표현되는 것을 확인할 수 있다.

Figure 8은 P&ID 구성요소들이 어떤 정보를 포함하고 있는지 보여주고 있다. P&ID 내에 보이는 각 기호는 속성이 편집 가능한 독립적인 요소로 플랜트 엔지니어에게 필요한 정보를 속성 속에 포함

하고 있으며 플랜트 엔지니어에게 필요하지 않은, SysML에서 정의하는 기본적인 속성들은 감춰져 있음을 확인할 수 있다. Figure 9는 주요 설비들이 외부 시스템에 연결되어 있는 부분을 보여준다. 블록, 트레이스(Trace)와 같은 SysML에 정의된 컨스트럭터(Constructor)와 연결 관계(Relationship) 또한 보다 세밀한 정보의 표현을 위해 P&ID 내에 사용될 수 있으며, 사용자의 이해를 돕기 위해 P&ID 구성요소가 가지고 있는 정보를 P&ID 내에 나타나게 할 수 있다.



[Figure 9] Displayed P&ID Element Properties and External Systems

## 5. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 SysML 기반 한, 특정 도메인에 최적화 된 DSL (Domain Specific Language)로 작성된 SysML DSL 기반 모델의 플랜트 엔지니어링 도메인 적용 가능성을 탐구하기 위해 SysML 기반 P&ID 개발을 수행하였다. SysML 모델 작성 도구인 MagicDraw를 활용하여 개발된 SysML 기반 P&ID는 SysML의 플랜트 엔지니어링 분야 적용 가능성을 확인시켜주었다. SysML 기반 P&ID 개발 과정에서 다음과 같은 이슈사항들을 도출할 수 있었다.

### 1) 다이어그램 상에 표현되는 기호에 관한 이슈

현재 SysML 기반 P&ID에 사용되는 기호는 단순 벡터 이미지이기 때문에 실제 MagicDraw 상에서 사용되는 JAVA로 코딩 된 SysML 기호와 달리 초기 상태(기본 사이즈, 비율, 테두리 모양 등)를 정의하기 어려움.

### 2) 모델 간 변환(MMT: Model to Model Transformation)에 관한 이슈

표준 SysML로 작성된 시스템 수준의 모델과 SysML DSL로 작성된 서브 시스템 수준의 모델 간

의 변환 규칙(Transformation rule) 개발하여 자동 변환을 가능하게 하여야 실 현장에서의 모델 기반 시스템엔지니어링 적용성을 높일 수 있음.

### 3) 도구에 종속되지 않는 작업 환경 구축

장기적으로는, 본 연구에서 개발한 플랜트 엔지니어링 프로파일과 같은 특정 도메인의 DSL 프로파일과 이를 기반으로 개발된 특정 다이어그램 작성 환경이 MagicDraw와 같은 특정 도구에 종속되지 않고 사용될 수 있는 환경 구축이 필요함.

향후 순차적으로 위에 도출된 이슈사항을 해결하여 보다 실용적인 SysML 기반의 P&ID 개발을 진행할 예정이다.

## 사 사

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 10072058).

## References

1. INCOSE Technical Operations, 2007. Systems

- Engineering Vision 2020, version 2.03. Seattle, WA: International Council on Systems Engineering, Seattle, WA, INCOSE-TP-2004-004-02.
2. ISO/IEC, 2017. Information Technology - Object Management Group Systems Modeling Language, Geneva, Switzerland: International Organization for Standards(ISO)/International Electrotechnical Commission(IEC), ISO/IEC 19514:2017.
  3. B. Cole et al., "Domain-specific languages and diagram customization for a concurrent engineering environment," 2013 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, 2013, pp. 1-12.
  4. R. Scheffler, S. Koch, G. Wrobel, M. Pleßow, C. Buse, Behrens B, "Modelling CAD Models - Method for the Model Driven Design of CAD Models for Deep Drawing Tools." In Proceedings of the 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development ISBN 978-989-758-168-7, 2016, pp. 377-383.
  5. C. Hernandez et al., "Model Based Engineering of Process Plants using SysML" 2016 European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Volume 38, 2016, pp. 1281-1286.
  6. Patwari, S. R. Chaudhuri, A. Banerjee, S. Natarajan and S. Pandey, "A complementary domain specific design environment aiding SysML," 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Edinburgh, 2016, pp. 1-8.
  7. H. Yang et al., "A Study on Requirements Development Process Using Model Based Systems Engineering Approach", Journal of KOSSE, Vol. 13, No. 1, 2017, pp. 51-56.
  8. Nomagic. MagicDraw. Retrieved from <http://www.nomagic.com/products/magicdraw>
  9. Nomagic (2016). UML Profiling and DSL Userguide. Retrieved from <https://www.nomagic.com/files/manuals/MagicDraw%20UMLProfiling&DSL%20UserGuide.pdf>