

사양 기반 플랜트 설계 시스템에서 생성된 원자력 플랜트 설계 데이터의 중립 모델로의 통합 변환

문두환*, 양정삼**, 한순홍***

An Integrated Translation of Nuclear Power Plant Design Data from Specification-driven Plant Design Systems to a Neutral Product Model

Duhwan Mun*, Jeongsam Yang** and Soonhung Han***

ABSTRACT

It gradually becomes important to study on how to efficiently integrate and manage plant lifecycle data such as 2D schematic and 3D solid data, logical configuration data, and equipment specifications data. From this point of view, converting plant design data from various systems into neutral data independent from any commercial systems is one of important technologies for the operation and management of plants which usually have a very long period of life. In order to achieve this goal, a neutral model for efficient integration and management of plant data was defined. After schema mapping between one of specification-driven plant design systems and the neutral model was performed, a plant data translator is also implemented according to the mapping result. Finally, by experiments with nuclear power plant design, the feasibility of the translator was demonstrated.

Key words : Integrated translation, Neutral model, Plant design system, Plant lifecycle, Specification-driven modeling

1. 서 론

플랜트 산업의 경쟁력 제고를 위한 핵심 요소 중 하나는 혁신적인 정보통신 기술의 개발 및 구현을 통해 기업 내부의 효율성 확보뿐만 아니라 공급망에서의 비효율성을 제거하는 것이다^[1]. 과거에는 CAD (computer aided design) 시스템을 활용하여 설계 과정을 자동화하고 PDM(product data management) 시스템을 이용하여 설계 데이터를 효과적으로 관리하는 업무를 통해서 기업 내부의 효율성 문제에 해결하는데 집중하였다. 그러나 최근에는 플랜트의 설계 단계, 시공 단계, 운용 및 유지보수 단계에 참여하는 전체 구성원들이 이용하는 정보 시스템들을 통합하여, 플랜트의 생애주기 동안에 발생하는 비효율성을 제거하고 정보

의 흐름을 원활히 하는데 초점을 두고 있다.

플랜트의 각 생애주기 단계의 참여 구성원들 사이에서 교환되는 플랜트 데이터의 형태는 대부분 책자와 같은 출력된 인쇄물, PDF와 같은 가시화를 위한 전자 이미지 파일, 응용 시스템에 종속적인 고유 파일, 응용 시스템에 독립적인 구조화된 데이터를 통해 교환된다^[2]. 이 과정에서 다음과 같은 데이터의 상호 운용성 문제가 발생한다.

- 데이터 호환 문제: 정보관리 시스템의 운용자는 설계자나 건설 관계자로부터 전달받은 전자 파일이나 책자들을 시스템에서 요구하는 포맷으로 변환하거나, 필요에 따라 수작업으로 제입력을 해야 한다.
- 데이터 관리 문제: 플랜트 설계 및 건설 정보가 부적절하게 전달됐거나 데이터를 장기간 관리하는 과정에서 데이터의 유효성 문제가 있었을 경우, 운영자가 보유한 기반 데이터(master data)는 플랜트의 현재 구성 정보를 정확히 반영할 수 없다. 따라서 이들 정보의 검증 및 유효성 평가가 선행되어야 한다.

*중신회원, 한국해양연구원

**교신저자, 중신회원, 아주대학교 산업정보시스템공학부

***중신회원, 한국과학기술원 기계공학부

- 논문투고일: 2008. 07. 21

- 논문수정일: 2008. 12. 29

- 심사완료일: 2008. 12. 30

플랜트 데이터의 호환 및 관리 문제를 해결할 수 있는 방안으로는 플랜트의 생애주기 정보를 표현할 수 있는 데이터 모델을 정의한 후, 이 모델을 기반으로 서로 다른 응용 시스템들을 통합하는 방법이 있다. 이때 플랜트의 수명주기가 수십 년의 장기임을 감안하면 데이터 모델은 특정 시스템에 독립적이고, 인간 뿐만 아니라 컴퓨터로도 해석 가능한(computer-interpretable) 중립 모델 형태를 가지는 것이 바람직하다. 플랜트 분야에서 현재 사용 가능한 중립 모델로는 ISO 10303 STEP, ISO 15926 Process Plants 국제 표준과 일본 히타치에서 원자력 플랜트 용으로 개발한 GPM(generic product model)이 있다¹³⁾.

플랜트의 설계 데이터는 크게 논리적 구성 정보, 각종 기자재의 사양, 형상 정보로 구성되고, 형상의 차원 (예, 2D형상과 3D 형상)이나 설계 분야(예, 구조 시스템, 배관 시스템)에 따라 나눌 수 있다. 플랜트 생애주기에서 설계 데이터는 플랜트 설계 이후의 시공, 운영 및 유지보수, 해체 단계에서 기본 데이터(master data)로 사용되기 때문에, 다양한 시스템에서 생성된 플랜트 설계 데이터를 중립 모델로 정확하게 구조화하여 변환하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 서로 다른 시스템에서 생성된 설계 형상 데이터를 통합하여 변환해야 하고, 중립 모델은 설계 형상 데이터의 통합을 지원하는 정보 모델 구조를 포함하고 있어야 한다.

본 연구에서는 원자력 플랜트의 생애주기 관리를 위해서 개발된 중립 모델인 확장된 GPM¹⁴⁾으로 원자력 플랜트 설계 데이터를 변환하는 번역기를 개발하였다. 그리고 한국전력기술(주)에서 설계를 한 APR1400 한국형 원전의 1차 계통 내의 원자로 냉각재 계통과 화학 및 체적 제어 계통의 설계 데이터를 중립 모델로 변환하는 실험을 통해 구현된 번역기에 대한 유효성을 검증하였다. 입력 데이터는 벤들리사의 고유 포맷인 DGN 포맷의 2D P&ID(piping and instrument diagram) 데이터와 3D 솔리드 데이터를 이용하였고, 출력 데이터는 중립 모델로 사용된 확장된 GPM을 준수하는 중립 데이터이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 사양 기반 플랜트 설계 시스템의 특징과 플랜트 데이터의 번역 과정에 대해서 기술한다. 사양 기반 플랜트 설계 시스템 데이터의 중립 모델로의 통합 변환을 위해서 필요한 중립 모델에 대해서는 3절에서, 중립 모델과 상업용 플랜트 설계 시스템과의 스키마 매핑 과정은 4절에서 각각 설명한다. 5절에서는 원자로 냉각재 계통과 화학 및 체적 제어 계통의 설계 데이터를 중립모

델로 변환하는 실험과 변환 결과에 대한 유효성을 검증하고, 6절에서 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

2. 사양 기반 플랜트 설계 데이터의 번역

2.1 플랜트 설계 시스템의 특징

플랜트 설계 시스템을 활용한 플랜트 설계 업무의 흐름은 다음과 같다. 플랜트 설계의 초기 단계에서는 사전에 정의된 기자재 라이브러리를 이용하여 유체와 가스를 이송하는 배관 계통을 중심으로 구조 계통, 전기 계통, 공기조화 계통에 대한 계통도(schematic diagram)를 작성한다. 이들 계통도에는 플랜트를 구성하는 파이프, 용기, 밸브, 기기, 계기 등의 하드웨어를 상호간의 기능적 연관관계가 설계 시스템에서 제공되는 다양한 아이템들로서 기술된다. 플랜트 계통도 작성이 완료되면 설계된 계통도를 참조하여 플랜트를 구성하는 플랜트 아이템들을 3차원 공간 상에 배치하면서 배관, 기계, 구조, 전기, 공기조화 계통 등에 대한 3차원 설계를 진행한다.

플랜트 설계 시스템은 일반적으로 범용 CAD 시스템을 기반으로 데이터베이스를 활용하여 플랜트 설계에 특화된 모델링 기능을 제공하는 구조로 이루어진다. 인터그래프사의 PDS의 경우, 범용 CAD 시스템인 Microstation을 기반으로 플랜트의 형상 설계 및 사용자와의 인터페이스 부문이 제공되고, 플랜트의 논리적 구성, 아이템의 사양 정보는 관계형 데이터베이스에 저장된다. 그리고 Microstation과 관계형 데이터베이스의 상위에 PDS가 위치하여 플랜트 산업에 특화된 모델링 기능을 제공한다. 벤들리사의 PlantSpace는 PDS와 유사한 구조로 구성되어 있으나, 플랜트 아이템의 형상 정보에 대한 저장 방식에서 있어서는 생성된 형상을 저장하는 것이 아니라 형상을 생성하기 위한 함수를 데이터베이스에 직접 저장하는 부분이 PDS와 다르다.

플랜트 설계 시스템에서 사용자는, 기하 데이터를 직접 다루지 않고, 사진에 구축된 라이브러리에서 플랜트 아이템에 대한 모델링 템플릿을 선택한 후 템플릿의 매개변수 값을 입력하여 플랜트 아이템의 형상 및 사양을 결정하는 방식으로 모델링을 한다. 이와 같은 모델링 방법을 사양 기반 모델링 방법(specification-driven modeling method)이라고 한다.

2.2 플랜트 설계 데이터의 변환

플랜트 설계 데이터의 변환은 Fig. 1에서 보는 바와

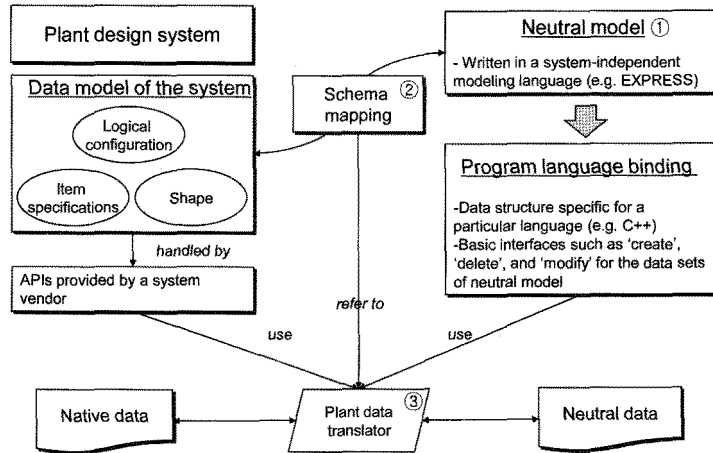


Fig. 1. 플랜트 설계 데이터의 변환 과정.

같이 데이터 변환 요구사항에 대한 정의 및 중립 모델의 선정(Fig. 1의 ①), 플랜트 시스템 데이터 모델과 중립 모델과의 스키마 매핑(Fig. 1의 ②), 번역기의 구현(Fig. 1의 ③) 과정을 거친다.

플랜트 설계 데이터의 변환은 사용자 요구사항을 만족하는 중립 모델을 선정하는 것에서 시작한다. 산업별로 사용 가능한 다수의 중립 모델이 존재하고 모델 별로 그 특성이 다르다. 따라서 후보 중립 모델들을 비교 분석하여 설계 데이터 변환에 필요한 요구사항을 충족하는 중립 모델을 선정한다. 선정된 중립 모델이 데이터 변환 요구사항을 만족하지 못한 경우에는 중립 모델을 확장해야 하는데, 확장 가능 범위는 중립 모델 별로 다르다. 원자력 플랜트 데이터의 생애 주기 관리를 위해서 일본 히타치에서 개발한 GPM을 중립 모델로 선정하고 국내 사용자 요구사항에 맞춰 확장한 내용에 대해서 3절에서 설명한다.

중립 모델을 선정 후, 플랜트 설계 시스템과 중립 모델과의 스키마 매핑을 한다. 스키마 매핑이란 플랜트 설계 시스템의 데이터 모델과 중립 모델 사이에서 클래스 및 속성간에 대응 관계를 정의하는 것을 의미한다. 유사한 기능적 특징을 가지는 응용 시스템들 간의 스키마 매핑은 일반적으로 1:1 매핑 관계가 가능하지만 매핑 과정에서 이름 충돌, 속성 정의의 구조 충돌, 유형 충돌, 의존성 충돌^{[10][11]}과 같은 이질성 문제를 발생시킬 수 있다. 원자력 설계 데이터의 변환을 위해 개발한 확장된 GPM과 한국전력기술(주)의 2D P&ID와 3D 설계 도구인 벤틀리사의 PlantSpace와의 스키마 매핑은 4절에서 논의한다.

플랜트 설계 시스템과 중립 모델과의 스키마 매핑이 이뤄지면, 매핑 결과를 참조하여 플랜트 설계 데이

터 번역기의 구현을 한다. 구현 과정에서 중립 모델의 프로그래밍 언어 바인딩을 지원하는 개발 지원 도구와 상업용 플랜트 설계 데이터의 입·출력을 위한 상업용 또는 공개용 API를 이용한다.

상업용 플랜트 설계 시스템과 중립 모델과 스키마 매핑 결과를 바탕으로 한국전력기술(주)의 2D P&ID와 3D 설계 데이터를 확장된 GPM 데이터로 변환하는 번역기를 구현한 결과는 5절에서 설명한다.

3. 원자력 플랜트 데이터 변환을 위한 중립 모델

원자력 플랜트 분야에서 현재 사용 가능한 중립 모델인 ISO 10303 STEP, ISO 15926 Process Plants, GPM은 Fig. 2와 같이 모델의 확장성에서 차이가 있다. ISO 15926과 GPM은 클래스 라이브러리 구조를 지니고 있다. 수정 및 확장이 필요할 때 데이터 모델을 재 작성해야 하는 ISO 10303과는 달리, ISO 15926과 GPM은 데이터 모델의 수정 없이 수정·추가·삭제되는 부분을 클래스 라이브러리에 반영할 수 있는 유연성이 있다. 한편 GPM은 객체간의 연관 관계를 별도의 어소시에이션 라이브러리(association library)에 따로 구축해서 관리한다. 즉, ISO 15926이나 ISO 10303과 같이 관계 엔티티들을 데이터 모델 내부에 정의하지 않고 외부 참조 라이브러리에 구축함으로써 GPM은 관계 엔티티들을 데이터 모델과 독립적으로 관리할 수 있다.

ISO 15926과 ISO 10303는 국제 표준이기 때문에 모델의 범용성이나 호환성 측면에서 장점이 있으나, 주로 오일 및 가스 플랜트 설비에 초점을 두고 있기

때문에, 원자력 분야의 논리적 구성 정보 표현을 위한 자원에 제한이 있다. 반면에 GPM은 원자력 플랜트에 특화된 모델이어서 원자력 플랜트에 고유한 장비, 기기, 설비에 대한 클래스 및 개체가 클래스 라이브러리에서 제공된다. 그래서 본 연구에서는 원자력 플랜트에 특화되고 확장성에서 장점이 있는 GPM을 한국의 원자력 플랜트에 적합하도록 확장한 결과인 확장된 GPM^[12]을 증립 모델로 사용하였다.

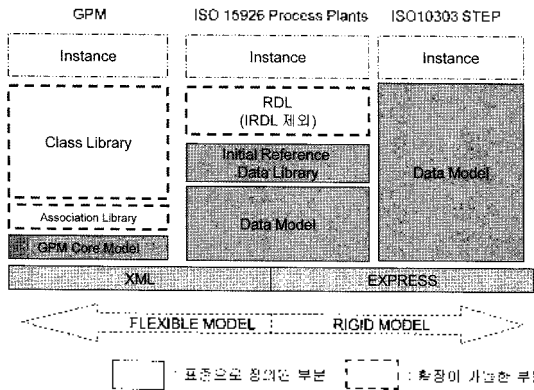


Fig. 2. 플랜트 분야의 증립 모델들의 비교.

GPM은 Fig. 3과 같이 코어 모델, 클래스 및 어소시에이션 라이브러리, 제품 데이터의 계층 구조로 구성된다^[9]. GPM 코어 모델에서 객체는 *object*를 이용하여 기술되고, *object*는 *class*와 *instance*로 나뉜다. 이때 객체와 객체 간의 관계는 *object*들간의 연결 관계를 정의하는 *association*으로 기술된다. 클래스 라이브러리는 해당 도메인에서 공통적으로 사용되는 클래스나 개체를 정의한 것으로 GPM 코어 모델의 *object*에 해당된다. 그리고 해당 도메인에서 객체 간의 관계를 기술하는 용어를 정의하여 어소시에이션 라이브러리를 구축한다. 마지막으로 GPM 코어 모델과 클래스 및 어소시에이션 라이브러리를 사용하여 실제 플랜트 데이터를 표현한다.

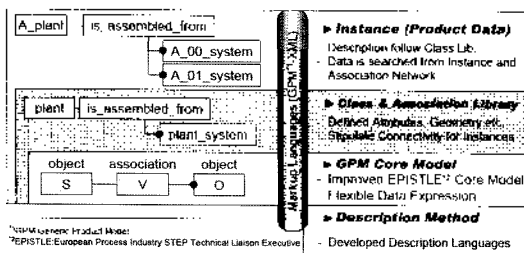


Fig. 3. GPM의 개념^[9].

GPM에서 플랜트의 논리적 구성 및 형상 표현에 관한 클래스, 그리고 이들 클래스들 상호간의 관계가 Fig. 4에 기술되어 있다. GPM에 정의된 플랜트의 논리적 구성은 *plant*, *plant_system*, *system_unit*, *unit_segment*, *plant_item* 순서의 계층으로 이루어져 있다. *plant_item* 클래스는 플랜트에서 아이템으로 식별될 수 있는 논리적 및 물리적인 최소 단위이다. *plant_item*이 모여 하나의 *plant_system*은 물론 *unit_segment*가 구성된다. *system_unit*은 *unit_segment*의 조합으로 구성되며, 이러한 *system_unit*의 조합으로 *plant_system*이 존재한다. 여기서 *system_unit*은 *plant_system*의 일부로 배관 라인, 제어 라인, 너트 라인 등을 가리키며, *unit_segment*는 *system_unit*의 일부로서 특정 배관 라인에서 배관의 속성이 다른 부분들을 나누어 표현할 필요가 있을 경우에 사용된다. 즉, 배관에서 흐름이 분기되거나 합쳐지는 *system_unit*의 끝단 조각의 일부를 *unit_segment*라고 한다. *plant_system*은 *pipng system*, *structural system*, *equipment system*, *HVAC system*, *instrumentation and control system*, *electrical system*의 6개의 계층으로 구분된다.

플랜트의 논리적 구성, 기자제 사양, 형상 정보를 통합하여 표현할 수 있는 구조를 지원하는 GPM은 이 세가지 종류의 정보를 *plant_item*을 중심으로 연결한다. *is_place_on* 어소시에이션을 통해 *plant_item*과 형상 정보가 연계되어 있고, *is_assembled_from* 어소시에이션을 통해 플랜트 논리적 구성 정보와 연계된다. 또한 *plant_item*의 각 *port*는 *is_connected_to/from* 어소시에이션으로 연결되어 각각의 *plant_item*들 사이의 연관 관계를 알 수 있다.

GPM 코어 모델이 비교적 단순한 구조를 가지기 때문에 정보 모델 측면에서 GPM 클래스 및 어소시에이션 라이브러리가 중요한 역할을 한다. 클래스 라이브러리 정의를 위해서 참조된 일본의 원자력 플랜트는 BWR(boiling water reactor) 타입인 반면에, 한국의 APR 1400은 PWR(pressurized water reactor) 타입이다. PWR 타입과 BWR 타입의 주요 차이점으로 BWR에는 원자로 냉각재 계통 내의 고온의 물이 증기로 변화하여 곧바로 터빈을 작동시키기 때문에 PWR 타입의 원자력 플랜트에 존재하는 증기 발생기(steam generator)와 가압기(pressurizer)가 필요하지 않다는 점이다. 원자력 플랜트의 구성 및 플랜트를 구성하는 주요 장비와 배관이 증립 모델의 주요 대상이기 때문에 이러한 주요 기기 및 시스템을 반영해야 한다. 이러한 한국의 원자력 플랜트의 정보 모델 요구사항을 반영하여 BWR 타입의 GPM 클래스 라이브러리를 확장

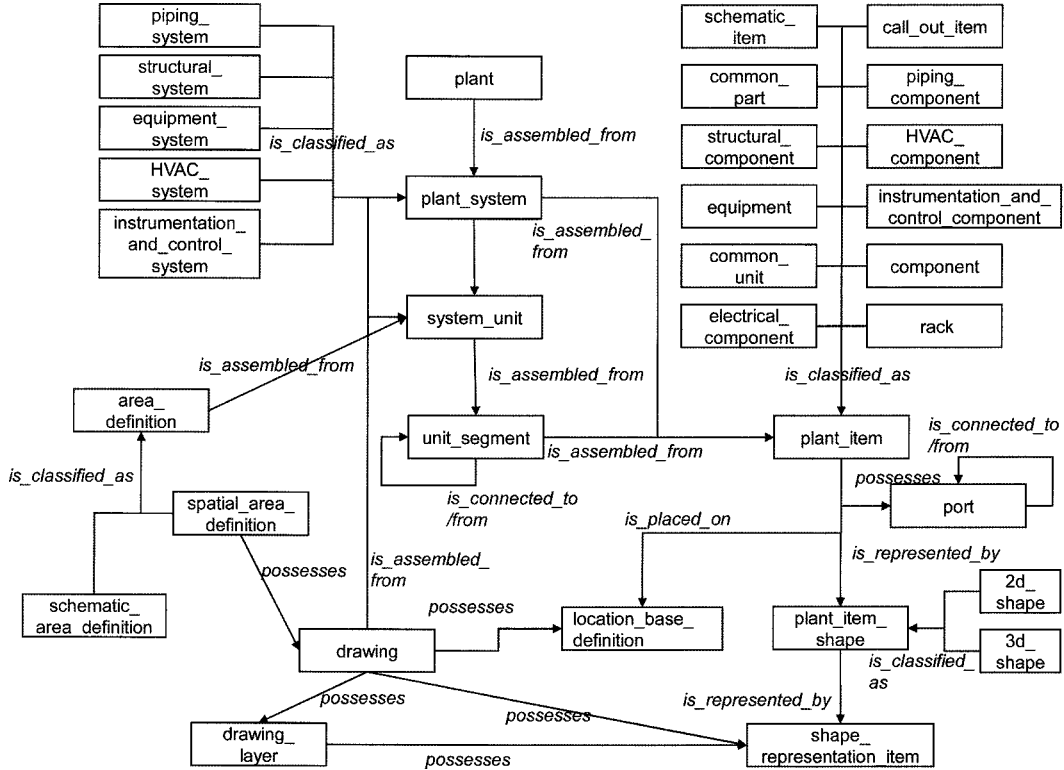


Fig. 4. 플랜트의 논리적 구성과 형상 표현을 위한 GPM 클래스 라이브러리.

하였다. GPM 클래스 라이브러리의 확장 대상은 원자로 냉각재 계통의 주요 기자재인 원자로 용기, 가압기, 원자로 냉각 펌프, 증기 발생기이다. 이 기자재들을 GPM 클래스 라이브러리에 반영하기 위해서, *steam_generator*, *pressurizer*, *reactor_coolant_pump* 등을 포함한 총 28개의 클래스를 추가하였고, *reactor*, *drawing*, *plant_system* 등을 포함한 총 12개의 클래스를 수정하였다^[12].

4. 중립 모델과 상업용 플랜트 설계 시스템과의 스키마 매핑

본 연구에서는 입력 데이터로 한국전력기술(주)의 IPIMS(integrated plant information management system)라는 엔지니어링 관리 시스템에서 설계된 원자력 플랜트 설계 데이터를 사용한다. 한국전력의 자회사인 한국전력기술(주)은 한국 원자력 플랜트의 설계 업무를 담당하고 있다. IPIMS는 엔지니어링 데이터 관리 시스템으로서 엔지니어링 DB, 2D P&ID 및 3D CAID 시스템, 문서 관리 시스템으로 구성된다. IPIMS는 2D P&ID 및 3D CAD 시스템으로 벤들리

사의 PlantSpace를 내장하고 있다. 본 연구에서 사용하는 입력 데이터가 2D P&ID 및 3D 솔리드 데이터이기 때문에, 본 절에서는 벤들리 사의 PlantSpace와 확장된 GPM과의 매핑 사례를 통해 중립 모델과 상업용 플랜트 설계 시스템과의 스키마 매핑에 대해서 설명한다.

4.1 벤들리 사의 PlantSpace의 데이터 구조

PlantSpace의 설계 데이터는 관계형 데이터베이스에 저장되는데, 형상 데이터의 구조는 MicroStation의 데이터 포맷으로 되어 있어 각 회사와 상관없이 동일하다. 반면에 논리적 구성 정보 및 플랜트 아이템 별 사양 정보와 같이 비형상 데이터를 저장하는 *CLASSES*, *ATTRDEFN*, *ATTRCDEF* 테이블의 정의는 각 회사마다 다르기 때문에 회사별로 매핑 작업이 이뤄져야 한다. 그래서 본 절의 이후 부분에서는 확장된 GPM 클래스 라이브러리와 한국전력기술(주)의 설계 데이터 중 비형상 데이터의 매핑을 중심으로 설명한다. 형상 데이터의 매핑에 관한 내용은 일본 히타치를 중심으로 수행된 VIPNET 프로젝트 보고서^[13]를 참조하면 된다.

비형상 설계 데이터의 스키마를 저장하는 테이블 중 하나인 *CLASSES* 테이블에는 모델링 시 사용 가능한 아이템 클래스가 정의되어 있고, 각 아이템 별 인스턴스 정보를 저장하고 있는 테이블에 대한 식별 정보를 가지고 있다. *ATTRDEFN* 테이블과 *ATTRCDEF* 테이블에서 각 아이템 별 사양 및 속성들이 정의된다. 설계자가 선택한 아이템의 형상은 *EXPERT RULES* 테이블에 저장된 형상 생성 규칙들을 역방향 연결(backward chaining) 방식으로 적용하여 생성된다. 그리고 각 아이템 별 실제 사양 데이터는 아이템 별로 별도의 테이블에 저장된다.

4.2 플랜트 아이템과 그 사양의 매핑

PlantSpace의 *CLASSES*, *ATTRDEFN*, *ATTRCDEF* 테이블에 정의된 기차재 사양 표현 구조는 데이터 사전 방식의 부품 분류체계와 동일하다. 데이터 사전 방식의 분류체계는 분류트리 형태로 표현되는 부품 카테고리 및 카테고리들 간의 계층구조뿐만 아니라, 해당 카테고리에 속한 부품의 특징들을 기술하는 속성들로 구성된다.

데이터 사전 기반의 분류체계 형태로 표현된 플랜트 아이템과 그 사양의 매핑은 크게 플랜트 아이템 매핑 단계, 플랜트 아이템의 속성 매핑 단계로 이뤄진다.

플랜트 아이템의 매핑은 PlantSpace의 *CLASSES* 테이블에 기록된 각 플랜트 아이템 P에 대응되는 GPM 클래스 G를 결정하는 것이다(Table 1). *CLASSES* 테이블에서 *BUD TYPE* 필드는 플랜트 아이템 코드를 나타내고, *Item Name* 필드는 플랜트 아이템의 이름을 나타내는데, 이 정보를 이용하여 PlantSpace의 플랜트 아이템에 대응되는 GPM 클래스를 정의한다. Table 1은 PlantSpace와 GPM 사이의 플랜트 아이템의 매핑 결과이다. Table 1의 *BUD_TYPE*, *Item Name*은 *CLASSES* 테이블의 *BUD_TYPE* 필드, *Item Name* 필드를 나타내고 *GPM Class*는 PlantSpace의 플랜트 아이템에 매핑이 된 GPM 클래스를 나타낸다.

플랜트 아이템 별 매핑이 완료되면, 플랜트 아이템

의 속성들간의 매핑을 한다. PlantSpace의 *ATTRDEFN* 테이블을 이용하여 *CLASSES* 테이블에 정의된 플랜트 아이템의 속성들을 확인하고, 플랜트 아이템 P의 속성 PP 대응되는 GPM 클래스 G의 속성 PG를 결정한다. PlantSpace의 *straight pipe* 플랜트 아이템에 대해서 속성 매핑 작업을 한 사례가 Table 2이다. Table 2의 *Level 1*, *Level 2*는 *ATTRDEFN* 테이블의 *Level 1* 필드, *Level 2* 필드를 나타내고, 두 필드에는 속성이 속하는 플랜트 아이템이 기록된다.

Table 1. PlantSpace과 GPM간의 플랜트 아이템 매핑

BUD TYPE(P)	Item_Name	GPM_Class(G)
EQUIP_MEQP	Equipment (machine)	Equipment
PIPE_PELB	elbow	Elbow
PIPE_PIPE	straight pipe	straight_pipe
PIPE_PELX	Cut elbow	Cut elbow
PIPE_BRBN	tee, cross, lateral,olet, wye	tee, cross, lateral,olet, wye

Table 2의 *ATTR_NAME*과 *GPM ATTR*은 PlantSpace의 *ATTRDEFN* 테이블의 *ATTR_NAME* 필드에 기록된 플랜트 아이템의 속성과 그에 대응되는 GPM 속성을 나타낸다. Table 2의 *COL_WIDTH*, *LBL_POS*는 *ATTRDEFN* 테이블의 *COL_WIDTH* 필드, *LBL_POS* 필드를 말하는데, PlantSpace의 설계 데이터를 DGN 파일로 저장했을 경우, 비형상 정보가 저장되는 *attribute linkage data* 섹션에서 각 속성 데이터의 크기 및 시작 위치를 나타낸다. 따라서 번역기의 입력 좌인이 DGN 파일일 경우 *attribute linkage data* 섹션에 저장된 속성 정보의 처리를 위해서 중요하다. 다음은 *attribute data linkage* 섹션에 저장된 파이프 속성 데이터의 예이다.

```
[PIPE_PIPE      25      000      C
                588      ###      ###      ###
                SCH160      0.0      0.0
                ##      H-217-374]
```

Table 2. 플랜트 아이템 별 속성 매핑- straight pipe

LEVEL_1	LEVEL_2	ATTR_NAME	COL_WIDTH	LBL_POS	GPM_ATTR(P _G)
PIPE	COMMON	COMPTYPE	4	1	
PIPE	PIPE	SIZE 1	7	5	nominal size
PIPE	PIPE	SCHEDULE	6	14	unqualified schedule number
PIPE	PIPE	SPEC	8	20	unqualified specification
PIPE	PIPE	STNDRD	4	28	standard code STNDRD, CODE

4.3 플랜트 논리적 구성의 매핑

PlantSpace의 *CLASSES*, *ATTRDEFN*, *ATTRCDEF* 테이블에는 플랜트 논리적 구성을 명시적으로 표현하기 위한 구조는 없다. 그러나 플랜트 아이템의 속성 인스턴스 데이터에서 플랜트의 논리적 구성을 정의하기 위한 정보를 추출할 수 있다.

플랜트의 논리적 구성을 위해 사용 가능한 플랜트 아이템의 속성으로 *SYSTEM*, *COMPTYPE*, *EQP_NO*가 있고, 본 연구에서는 *EQP_NO*를 사용하였다. 기자재의 아이디를 나타내는 *EQP_NO* 속성은 "1-431-M-PP02A"와 같이 표현된다. *EQP_NO* 속성 데이터에 기록된 아이디는 미리 정의된 기자재 코드 체계에 따라 정의되는데, 이 코드 체계에 논리적 구성 정보가 담겨 있어 논리적 구성의 매핑을 한다.

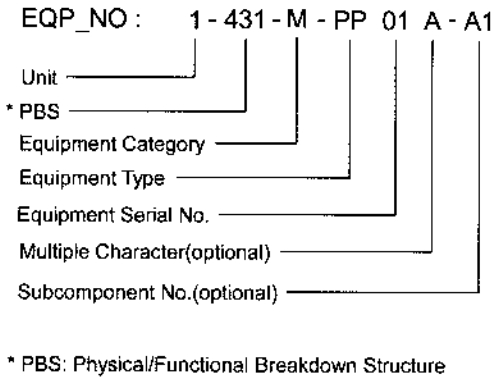


Fig. 5. 한국전력기술(주)의 기자재 코드 체계.

한국전력기술(주)에서 사용하는 PlantSpace에는 *EQP_NO*가 Fig. 5과 같이 *Unit*, *PBS*, *Equipment Category*, *Equipment Type*, *Equipment Serial No.*, *Multiple Character*, *Subcomponent No.*로 구성되는 코드 체계에 따라 기록된다. 여기서 *Unit*는 플랜트 번호를 나타내고, *PBS*는 플랜트 아이템이 속한 계통을 의미한다 예를 들어, Fig. 5에서와 같이 *PBS*가 "431"일 경우는 원자로 냉각재 계통을 의미하며, 해당 플랜트 아이템이 원자로 냉각재 계통을 구성함을 알 수 있다.

5. 구현 및 실험

4절에 설명한 PlantSpace의 데이터 모델과 확장된 GPM과의 스키마 매핑 결과에 따라 원자력 플랜트 설계 데이터를 GPM 중립 데이터로 변환하는 번역기를 구현하였고, 구현된 번역기는 2D P&ID 데이터 변환

을 위해 사용되는 2D P&ID 자동화 도구, DXF2GPM 번역기와 3D 솔리드 데이터 변환을 위한 DGN2GPM 번역기로 구성된다. 번역기 구현은 일본 히타치에서 개발한 번역 모듈^[15]을 도입하여 필요한 부분을 추가하거나 수정하는 형태로 이뤄졌고, 개발 환경은 다음과 같다.

- OS: MS Windows XP
- Hardware Platform: Intel Pentium 1G CPU
- Programming Language: C/C++
- CAD Library: DGN Direct API, Bentley Plant Space MDL

구현된 번역기의 실험을 위해서 한국전력기술(주) APR1400 원자로 냉각재 계통에 대한 DGN 포맷의 2D P&ID와 3D 솔리드 데이터를 사용하였다. 원자로 냉각재 계통은 각종 기기(원자로 용기, 가압기, 원자로 냉각 펌프, 증기발생기), 스트레이트 파이프, 엘보우, 커트 엘보우, 브랜치 등으로 구성되고, 이 계통의 전체적인 형상은 Fig. 6에 나타나 있다.

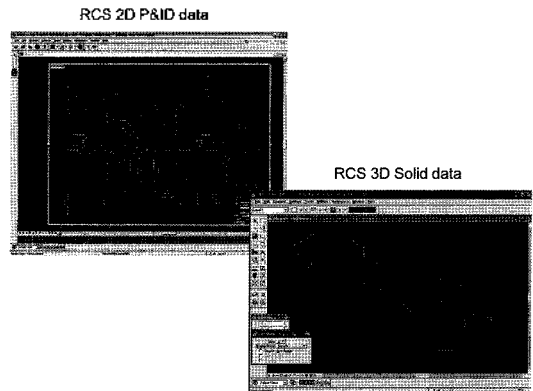


Fig. 6. 입력 APR 1400 데이터(원자로 냉각재 계통).

2D P&ID 데이터의 변환은 DGN 데이터를 DXF로 변환한 후, 이를 다시 GPM 데이터로 변환하는 두 가지 과정을 거친다.

2D P&ID 자동화 도구는 DGN 파일로 저장된 P&ID 파일을 DXF2GPM 번역기에서 처리할 수 있는 P&ID 데이터 표현 규칙에 맞도록 가공한 후 DXF 파일로 저장하는 별도의 프로그램으로 PlantSpace의 MDL API를 이용하여 개발하였다. DXF2GPM 번역기는 DXF 포맷으로 변환된 2D P&ID 데이터를 GPM 데이터로 변환한다. DXF2GPM 번역기는 일본 히타치에서 개발된 2D P&ID 번역기에 DXF 포맷의 *MTEXT* 타입의 지원, GPM의 *strainer* 클래스의 인

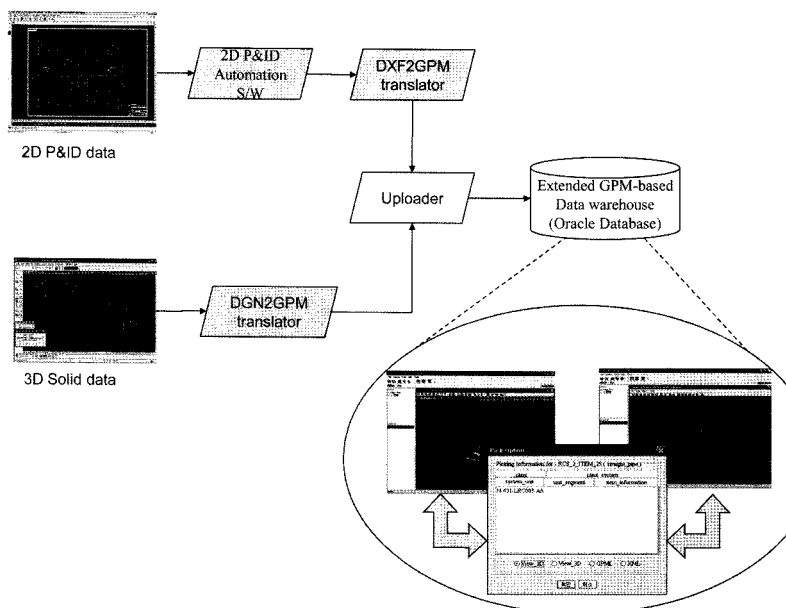


Fig. 7. GPM으로의 원자력 플랜트 설계 데이터의 통합 변환.

식, 그룹핑 되어 있지 않은 배관의 계통 격리, 라인 두께 정보의 반영 등의 추가 개선 작업을 하는 방식으로 구현하였다.

DGN2GPM 번역기는 PlantSpace에서 DGN 포맷으로 저장한 3D 솔리드 설계 데이터를 GPM 데이터로 변환한다. DGN 파일의 형상 처리를 위해서는 Open Design Alliance의 DGN Direct API^[10]를 이용하여 개발된 일본 히타치의 3D 솔리드 번역기의 일부 모듈을 활용하였고, 속성 처리 부분은 4절에서 설명한 매핑 결과에 따라 새로 개발하였다.

개발된 번역기를 이용하여 APR1400 원전의 원자로 냉각재 계통의 2D P&ID, 3D 솔리드 데이터를 확장된 GPM 포맷의 데이터로 번역한 후, 별도로 개발한 데이터 업로더(Fig. 7의 Uploader)^[11]를 통해 데이터 웨어하우스에 저장한 결과가 Fig. 7이다. 데이터 웨어하우스에 저장된 설계 데이터는 2D P&ID, 3D 솔리드 데이터가 별개로 존재하지 않고 하나로 통합되어 있어 Fig. 7와 같이 2D와 3D 형상 데이터의 연동 등이 가능하다.

6. 결 론

원자력 플랜트 설계 데이터의 생애주기 관리를 위해서 개발된 중립 모델과 사양 기반 플랜트 설계 시스템과의 스키마 매핑 과정을 통해서, 원자력 플랜트 설계 데이터를 중립 모델로 변환하는 번역기를 개발하

였다. 그리고 상업용 플랜트 설계 시스템으로부터 생성된 원자력 플랜트 설계 데이터를 중립 모델로 변환하는 실험을 통해 구현된 번역기에 대한 유효성을 검증하였다.

본 연구는 원자력 플랜트 설계 데이터를 확장된 GPM 중립 모델로 변환하는 시계 번역기의 구현 과정을 통해, 설계 단계에서 생성되는 2D 계통도 및 3D 솔리드 데이터, 플랜트의 논리적 구성 정보, 기자재 사양 정보 등의 다양한 종류의 데이터가 중립 모델로 통합하여 변환됨으로써, 장기간의 생애주기를 갖는 플랜트의 원활한 운용 및 유지보수 업무에 활용될 수 있음을 보였다는 점에서 의의가 있다.

참고문헌

1. Mel McGillivray *et al.*, "ICT Challenges in the Plant Supply Chain", Netherlands Ministry of Economic Affairs, <http://www.minez.nl>, 2003.
2. Fallon, K. K. and Palmer, M. E., "Capital Facilities Information Handover Guide. Part 1.", NISTIR 7259, NIST, <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build05/art037.html>, 2006.
3. ISO, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 221: Application Protocol: Functional Data and their Schematic Representation for Process Plant, ISO/DIS 10303-221.
4. ISO, Industrial Automation Systems and Integration

- Product Data Representation and Exchange - Part 227: Application Protocol: Plant Spatial Configuration, ISO 10303-227.
- 5. David Leal, "ISO 15926 "Life Cycle Data for Process Plant": An Overview", *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP*, Vol. 60, No. 4, pp. 629-637, 2005.
- 6. ISO, Industrial Automation Systems and Integration - Integration of Lifecycle Data for Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities - Part 2: Data Model, ISO:2003 15926-2, 2003.
- 7. ISO, Industrial Automation Systems and Integration - Integration of Lifecycle Data for Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities - Part 4: Initial Reference Data, ISO/TS 15926-4, 2007.
- 8. ISO, Industrial Automation Systems and Integration - Integration of Lifecycle Data for Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities - Part 7: Implementation Methods for the Integration of Distributed Systems, ISO/CD TS 15926-7, ISO/TC 184/SC4/WG3 N2382, 2007.
- 9. Yuuichi Koizumi, Hiroshi Seki, and Taesung Yoon, "Data Integration Framework Based on a Generic Product Model", Proceedings of the TMCE 2004, Lausanne, Switzerland, 2004.
- 10. Holowczak, R. D. and Li, W. S., "A Survey on Attribute Correspondence and Heterogeneity Metadata Representation", IEEE Metadata Conference, March, 1996.
- 11. Batini, C., Lenzerini, M. and Navathe, S. B., "A Comparative Analysis of Methodologies for Database Schema Integration", *ACM Computing Surveys*, Vol. 18, No. 4, pp. 323-364, December, 1986.
- 12. Han, S. H., Park, C.-C., Kang, Y. J., Kim, I. H., Yoon, J. R., Hwang, J. S., Gang, K. H., Han, B. S., Mun, D. H., Cheon, S. U., Kim, H. J., Ahn, K. I., Song, D. K. and Choi, Y. J., "Development of Data Model and Its Application System on Nuclear Power Plant Based on International Standard (ISO10303&13584, STEP and PLIB) (in Korean)", Project Report, Infra Construction Program in Electric Power Industry, Funded by ETEP, May, 2005.
- 13. Mun, D. H., Hwang, J. S., Han, S. H., Seki, Hiroshi and Yang, J. S., "Sharing Product Data of Nuclear Power Plants Across Their Lifecycles by Utilizing a Neutral Model", *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 35, No. 2, pp. 175-186, 2008.
- 14. Yoshinari, Y., Yoshinaga, T., Shibao, K., Igoshi, M. and Kimur, F., "Virtual Production Enterprise Network (MATRIX/VIPNET)", IMS 0231 Summary Report, IMS Promotion Center, 2003.
- 15. Open Design Alliance, <http://www.opendesign.com/>, 2008.

문 두 환



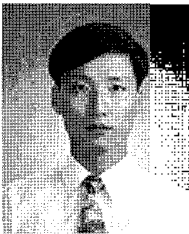
1999년 고려대 기계공학과 학사
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2006년~현재 한국해양연구원 선임연구원
 관심분야: Collaborative Product Design, Digital manufacturing, Engineering data exchange, Engineering system integration, Industrial data standards, Ontology, Web services

한 순 홍



한국과학기술원 기계공학과 교수이며, 웹저널인 International Journal of CAD/CAM(www.ijcc.org)의 편집장으로 활동하고 있다. 2003년까지 STEP센터(www.kstep.or.kr)의 회장과 전자서래학회(www.calsec.or.kr)의 회장을 맡았으며, 관심분야는 STEP, 가상현실 응용, 지능형 CAD이다. 연락처는 shhan@kaist.ac.kr, 홈페이지 <http://icad.kaist.ac.kr>, 미국 미시건 대학에서 1990년 박사학위

양 정 삼



2004년 KAIST 기계공학과 박사
 1997년~2000년 고등기술연구원
 2002년 Clausthal University of Technology (Germany) Visiting researcher
 2001년~2005년 러부폴라비 연구개발팀장
 2005년~2006년 University of Wisconsin-Madison Postdoctoral associate
 2006년~현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 조교수
 관심분야: Product data quality (PDQ), Product data exchange (PDE), Product data management (PDM), Geometric modeling, Virtual manufacturing