

## 원자력 발전소 제품 데이터의 공유를 위한 중립 모델 기반의 데이터 웨어하우스의 구축

문두환\*, 천상욱\*\*, 최영준\*\*\*, 한순흥\*\*\*\*

### A Standard Way of Constructing a Data Warehouse based on a Neutral Model for Sharing Product Data of Nuclear Power Plants

Mun, D. H.\*, Cheon, S. U.\*\*, Choi, Y. J.\*\*\* and Han, S. H.\*\*\*\*

#### ABSTRACT

During the lifecycle of a nuclear power plant many organizations are involved in KOREA. Korea Plant Engineering Co. (KOPEC) participates in the design stage, Korea Hydraulic and Nuclear Power (KHNP) operates and manages all nuclear power plants in KOREA, Dusan Heavy Industries manufactures the main equipment, and a construction company constructs the plant. Even though each organization has a digital data management system inside and obtains a certain level of automation, data sharing among organizations is poor. KHNP gets drawings and technical specifications from KOPEC in the form of paper. It results in manual re-work of definition and there are potential errors in the process. A data warehouse based on a neutral model has been constructed in order to make an information bridge between design and O&M phases. GPM (generic product model), a data model from Hitachi, Japan is addressed and extended in this study. GPM has a similar architecture with ISO 15926 "life cycle data for process plant". The extension is oriented to nuclear power plants. This paper introduces some of implementation results: 1) 2D piping and instrument diagram (P&ID) and 3D CAD model exchanges and their visualization; 2) Interface between GPM-based data warehouse and KHNP ERP system.

**Key words** : Data warehouse, Nuclear power plant, Neutral model

## 1. 서 론

원자력 플랜트의 설계, 제작, 시공, 운전, 유지보수 업무에는, 한국전력에서 분리된 한국수력원자력, 엔지니어링 회사인 한국전력기술, 기기 메이커인 두산중공업, 한국핵연료, 유지보수를 맡는 한전기공, 그리고 건설회사 등의 다양한 조직이 참여하고 있어, 이들 조직 간에 도면과 같은 기술자료의 공유와 전달이 복잡하다. 원자력 플랜트 개발 과정에 참여하는 조직들과 이들 간의 정보 흐름의 관계가 Fig. 1에 설명되

어 있다<sup>1)</sup>.

정보화 및 설계 자동화를 위해서 개별 조직 별로 ERP(enterprise resource planning), PDM(product data management) 등의 정보시스템이 도입되어 사용되고 있고, 3차원 CAD 시스템의 사용도 확산되고 있다. 이와 같은 조직 내부의 시스템 자동화에도 불구하고, 각 조직 별로 디지털 정보를 생산해 내는 소프트웨어들이 서로 다르기 때문에, 디지털 정보의 포맷이 일치하지 않아 서로 교환이 어렵다. 원전 플랜트 산업분야에서 많이 사용하고 있는 3차원 설계 시스템은 인터그래프(Integraph)의 PDS, 벤틀리(Bentley)의 PlantSpace, AVEVA의 PDMS 등 세가지 시스템이 있다. 건설회사들은 2차원 시스템인 AutoCAD를 많이 사용하고, 장비 제조회사인 두산중공업은 3D인 Pro/Engineer를 주로 사용한다<sup>2)</sup>. 또한 각 조직별로 내부의 정보화가 진행되면서, 엔지니어링 프로세스에

\*교신저자, 중신회원, 한국해양연구원 선임연구원

\*\*학생회원, 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

\*\*\*울시스템(주) 과장

\*\*\*\*중신회원, 한국과학기술원 기계공학과 교수

- 논문투고일: 2006. 05. 12

- 심사완료일: 2007. 01. 18

서 3차원 모델링이 조직의 내부에서는 확산되고 있으나, 조직 간에는 2차원 설계정보의 디지털 교환도 어려운 것이 현실이다. 이와 같이 조직 간 기술정보의 교환은 아직도 미비한 수준이며, 이로 인해 많은 시간 및 비용의 비효율성이 초래되고 있다.

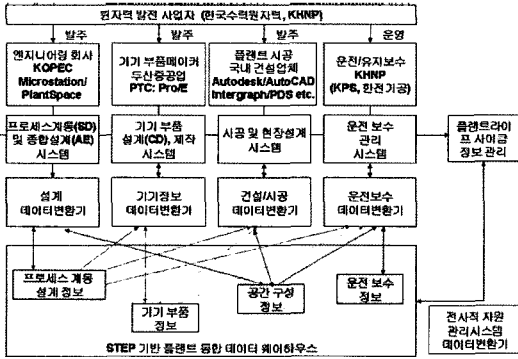


Fig. 1. 국내의 원자력 플랜트 업무 관련도.

미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 수행된, 플랜트 산업의 부적절한 상호운용성으로 인한 비용 문제에 관한 연구에 의하면 Table 1과 같이 2002년도 미국 내 플랜트 산업에서의 상호운용성 비용이 158억 달러로 추정되었다<sup>[6]</sup>. 추정된 비용 중 대부분은 소유자와 운영자에 의해 발생되었다. 플랜트 운영 및 유지보수 단계 이전에 생성되는 상류 정보의 관리와 접근성 문제가, 플랜트의 효율적인 운영 및 유지보수를 방해하기 때문에, 운영 및 유지보수 단계가 다른 생애주기 단계에 비하여 관련 비용이 높게 나타났다. 소유자와 운영자에 2002년도 전체 비용의 약 2/3에 해당되는 106억 달러의 비용이 발생했다.

Table 1. 생애주기 단계별 이해 관계자 그룹의 상호운용성 비용 (단위: 백만 \$)<sup>[6]</sup>

이해 관계자	설계	시공	운영/유지보수	합계
종합설계사	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
종합건설사	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
특수 제작자와 공급자	442.4	1,762.2	-	2,204.6
소유자와 운영자	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
합계	2,658.3	4,072.4	9,093.3	15,824.0

미국 NIST의 연구 결과에서 알 수 있는 것과 같이, 소유자와 운영자들이 부적절한 상호운용성 문제로 인

해서 많은 비용을 부담하게 된다. 앞 단계인 설계 및 시공 단계에서 생성된 여러 정보를 제대로 관리하지 못하거나, 종이 도면과 같은 비효율적인 정보 전달 방식으로 인해서, 운영 및 유지보수 단계에서 많은 비용을 부담하게 된다.

ISO10303 STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data), ISO 15926 Oil & Gas, GPM (Generic Product Model)과 같은 중립 데이터 모델을 이용하여, 설계/시공 단계와 유지보수 단계 사이에 정보 공유를 목표로 하는 “국제표준 기반의 원자력 발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발” 사업(이하 “원자력 STEP 사업”)이 2003년도에 시작되어 2006년도에 완료되었다<sup>[6,7,16]</sup>. 원자력 STEP 사업에는 한국과학기술원이 주관 연구기관으로 참여하였고, 고등기술연구원, 경희대학교, (사)시스템센터, 한국전력기술, 한국수력원자력이 위탁기관으로 참여하였다. 그리고 참여기업으로 (주)부품디비, (주)엑트, 울시스템(주)가 참여하였다. 특히, 한국전력기술과 한국수력원자력은 한국 원자력 발전소의 설계, 운영 및 유지보수 담당 기관으로서 시스템 구현을 위한 자료의 제공 및 구현 결과에 대한 검증 업무를 담당하였다. 본 논문에서는 원자력 STEP 사업의 연구 결과에 대해서 소개한다.

원자력 STEP 사업의 주요 연구 분야는 1) 제품 생애 주기 동안의 제품 데이터 웨어하우스 구축을 위한 중립 모델 및 가시화 브라우저 개발, 2) 원전 설계 데이터의 중립 모델 데이터로의 변환, 3) 중립 모델 기반 데이터 웨어하우스와 유지보수 시스템 간의 인터페이스이다(Fig. 2).

연구 과정에서 구현 시스템의 테스트 및 검증을 위해서, 한국형 원전의 연구용 버전인 APR 1400 1차 내의 원자로 냉각제 계통(RCS, reactor coolant system)과 화학체적 제어계통(CVCS, chemical volume

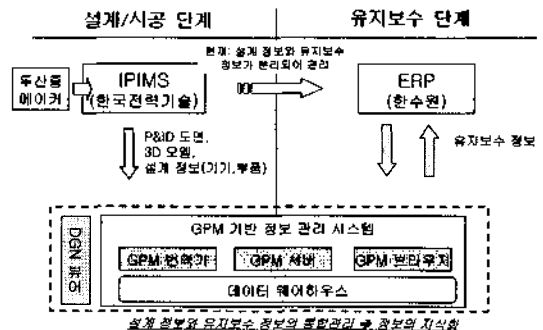


Fig. 2. 유지보수 단계에서의 GPM 기반 정보 관리 시스템의 적용.

control system)을 구성하는 기기 및 배관의 형상 및 논리 구성(logical configuration) 정보를 담고 있는 DGN 포맷의 2D P&ID 데이터와 3D 솔리드 데이터를 한국전력기술로부터 제공받아 사용하였다. DGN 포맷은 벤틀리의 고유 파일 포맷을 말한다.

## 2. 원자력 발전소 데이터 웨어하우스 구축을 위한 확장된 GPM 데이터 모델

### 2.1 플랜트 관련 중립 모델

플랜트 분야의 국제적인 컨소시엄들이 Fig. 3에 나타나 있다<sup>[15]</sup>. PIEBASE가 국제적인 우산 역할을 하며, 미국의 PlantSTEP을 위시하여 유럽 쪽의 컨소시엄들이 다양하고 활동도 활발하다. 유럽의 경우, 석유 가스 분야의 기업들이 투자한 컨소시엄들이 활발한 연구개발과 표준화 활동을 보여주고 있다.

국제표준화기구인 ISO의 TC184 Industrial Automation technical committee 산하의 SC 4 Industrial Data sub-committee에 속한 WG 3 Product Data working group 아래 T25 oil, gas, process and power team에서 석유 가스 플랜트 엔지니어링 분야의 정보표준을 제정하고 있다. T25에서는 ISO 10303 STEP 표준<sup>[24,25]</sup>의 응용프로토콜(application protocol)인 AP221, AP227<sup>[8,9]</sup>과 ISO 15926 Process Plants<sup>[10-12]</sup>와 같은 표준들이 제정되고 있다.

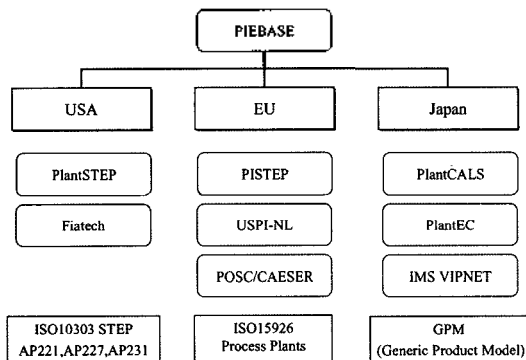


Fig. 3. 해외 컨소시엄 현황.

ISO15926 파트 2는 EPISTLE 코어 모델의 표준화 버전이고, ISO15926 파트 4는 EPISTLE 참조 데이터 라이브러리(reference data library)의 표준화 버전이다<sup>[20]</sup>. EPISTEL 코어 모델 V4는 STEP AP221의 DIS(draft international standard) 버전의 응용 참조

모델(application reference model) 개발의 기초가 되었다. STEP 표준이 제품 생애 주기 동안의 데이터 변화를 표현할 수 없는 구조로 되어 있기 때문에, ISO15926 파트 2와는 달리 STEP AP221는 프로세스 플랜트의 시간에 따른 요구사항, 설계, 물리 객체의 변화를 고려하지 않는다<sup>[21]</sup>.

STEP 표준기술을 원자력 플랜트에 적용하는 연구를 한 것은 일본이다. 일본은 PlantCALs 과제를 시작으로 PlantEC 과제를 수행하였고, 현재는 국제 IMS(intelligent manufacturing system) 연구개발 프로그램의 일부분으로 VIPNET을 수행 중에 있다<sup>[13,14]</sup>. 일본의 플랜트 과제를 통해 개발된 GPM(generic product model)이라는 데이터 모델은 ISO10303의 플랜트 관련 응용프로토콜이나 ISO15926보다 원자력 플랜트에 특화된 모델이다.

한국과 일본은 2004년 9월 국제 워크샵을 열고, 캐나다와 스위스를 포함한 국제적인 컨소시엄을 구성하여, VIPNET 국제 프로젝트를 시작하기로 합의하였다<sup>[13]</sup>. 한국 측에서는 한국과학기술원과 고등기술연구원이 참여하고 연구 분야는 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

- VIPNET 프로젝트의 구현 결과인 TECHNOINFRA를 운영 및 유지보수 단계에 적용하여 성능을 평가
- 온톨로지를 이용하여 서로 다른 클래스 라이브러리들을 의미적으로 통합하여, 하나의 클래스 라이브러리로 표현하는 방법에 관해서 연구
- GPM 클래스 라이브러리를 W3C에서 정의한 온톨로지 언어인 OWL로 표현
- TECHNOINFRA를 활용하여 원자력 플랜트 유지보수를 위한 지능형 에이전트와 의사결정 기술 개발

VIPNET 과제 참여를 통해 일본이 10여 년간 추진해온 원전 플랜트 데이터 모델(GPM)과 GPM 브라우저와 같은 응용 시스템 구현에 관한 연구결과를 활용할 수 있게 되었다.

### 2.2 GPM 데이터 모델의 확장

#### 2.2.1 GPM 데이터 모델

GPM 데이터 모델 구조는 다음과 같다(Fig. 4). 먼저 기본 요소인 객체(object)와 관계(association)를 정의하고, 객체 간의 관계를 이용한 연결 관계를 기반으로 모든 사물과 사물 간의 다양한 측면을 기술한다. 그 다음 단계로 GPM 코어 모델에서 객체로 정의될 수 있는 실제 해당 분야의 데이터를 클래스화하는 작업을 거쳐 클래스 라이브러리를 구축한다. 또한 실제

해당 분야에서 관계를 기술하는 용어를 정리하여 관계 라이브러리를 구축한다. 마지막으로 실제 값을 기반으로 플랜트 데이터에 대한 인스턴스를 생성하게 된다. GPM의 데이터 모델은 주어+동사+목적어 형태의 자연어 기술형식을 사용하기 때문에, 데이터 모델링 과정에서 해당 데이터 및 데이터 모델에 대한 작성성이 용이하며, 모델링 결과에 대해 명확한 이해가 가능하다.

GPM의 클래스 라이브러리 중 플랜트의 논리적인 구성과 형상표현에 관한 클래스 및 이들 클래스의 관계가 Fig. 5에 나타나 있다. GPM 클래스 라이브러리에서는 플랜트에서 아이템으로 식별될 수 있는 논리적 및 물리적인 최소 단위로 *plant\_item* 클래스를 정의하고 있으며, 플랜트의 논리적인 구성 및 형상 표현에 관한 클래스는 *is\_assembled\_from*, *is\_placed\_on* 등과 같은 다양한 관계로 연결된다.

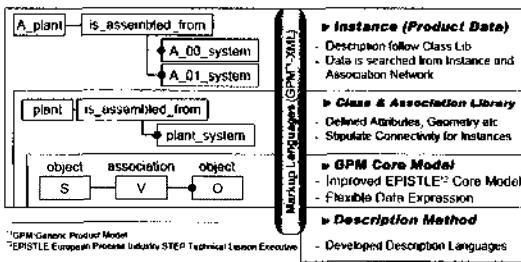


Fig. 4. GPM 데이터 모델의 구조<sup>[14]</sup>.

GPM 데이터 모델과 STEP AP227 및 ISO15926/STEP AP221의 차이점을 설명하면 다음과 같다. 우선 ISO15926/STEP AP221과 GPM은 클래스 라이브러리 구조를 지니고 있어 STEP AP227과는 달리 유연성이 있다. 데이터 모델에 대한 수정 및 확장이 필요할 때 STEP AP227의 경우에는 전체 데이터 모델 구조를 재 작성해야 하지만, ISO15926/STEP AP221과 GPM에서는 코어 모델의 수정 없이 수정/추가/삭제되는 부분을 클래스 라이브러리에 반영할 수 있다. 한편 GPM은 ISO15926/STEP AP221과 달리, 연결 관계를 정의하는 관계 라이브러리(association library)를 따로 생성해서 관리하고 있다. EPISTLE 코어 모델에는 객체간에 연결 관계를 정의하는 관계 엔티티(relation entity)들이 내부에 미리 정의되어 있다. 그렇지만 GPM에서는 코어 모델의 추상화 수준을 한 단계 더 높여, 관계 표현 자원을 코어 모델 밖으로 꺼내어 놓음으로써, 관계 표현 자원에 대한 관리가 코어 모델의 변경 없이 가능하다.

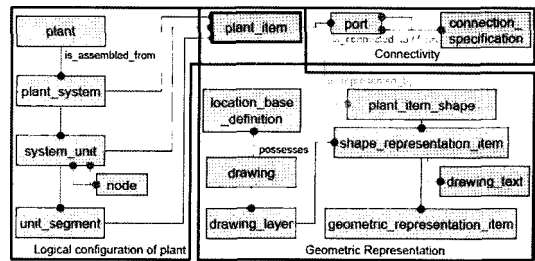


Fig. 5. 원자력 플랜트의 구성 및 형상 표현에 관한 GPM 클래스 라이브러리<sup>[14]</sup>.

### 2.2.2 한국 원자력 플랜트를 위한 GPM의 확장

GPM 모델을 한국 원자력 플랜트에 활용하기 위해서는, 일본 원자력 플랜트와 한국 원자력 플랜트의 차이점을 분석한 후, 일본에서 개발한 GPM 클래스 라이브러리를 한국의 원전 플랜트에 맞게 확장해야 한다. 확장된 GPM 클래스 라이브러리는 한국형 원자력 발전소 중립 모델로 사용된다.

일본에서 개발된 GPM 클래스 라이브러리는 비등수형 원자로(bolting water reactor) 타입의 원전에 맞게 개발되었지만, 한국에서 사용하는 원전은 가압수형 원자로(pressurized water reactor) 타입이다. 가압수형 원자로 타입 원전의 원자로 냉각재 계통 부분에는 증기발생기(steam generator), 가압기(pressurizer) 등이 있는데, 비등수형 원자로 타입에는 이와 같은 기기가 없다. 그리고 일본에서는 현재 GPM 모델을 설계 및 시공 단계에서 주로 활용하고, 아직 운영 및 유지보수 단계에는 적용하지 못하고 있다. 한국 원자력 플랜트에서 사용할 확장된 GPM 클래스 라이브러리에는 증기발생기, 가압기, 유지보수 마스터 정보 등이 포함되었다.

GPM 클래스 라이브러리의 확장 대상은 원자로 냉각재 계통의 주요 기자재인 원자로 용기(reactor vessel), 가압기, 원자로 냉각 펌프(reactor coolant pump), 증기발생기이다. 이와 같은 기자재의 설계 사양을 정의하기 위해서 APRI400설계특성 자료집과 한국수력원자력(주) IMS-EDB의 데이터베이스 스키마를 분석하였다. 위 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<sup>[14]</sup>. 확장된 클래스 라이브러리 중 *functional\_vessel*과 *steam\_generator*에 대해서 확장한 예가 “부록 A” 기재되어 있다.

### 3. 한국전력기술 설계 데이터의 변환

운영자는 설계와 시공 단계에서 생성된 정보를 여러 가지 형태의 전자 파일 포맷으로 받게 되는데, 시스템의 중복 및 차이로 인한 데이터의 변환 문제와 정보의 업데이트 문제가 발생된다. 데이터 통합을 위해서 다른 포맷의 전자 파일이나 종이로 되어 있는 데이터를 현재 사용하고 있는 시스템에 맞는 파일 포맷으로 재 작성해야 한다. 그리고 보유하고 있는 정보가 항상 시설이나 플랜트의 구성을 정확하게 반영하는 것은 아니기 때문에 운영자는 기존 데이터의 정확도를 체크한 후 문제가 발생하면 이를 수정해야 한다.

따라서 본 논문에서는 시스템의 버전 업이나 수정에 영향을 받지 않는 중립 파일 포맷으로 설계 및 시공 단계 정보와 운영 및 유지보수 정보를 통합적으로 관리하여 부적절한 상호운용성 문제를 해결하고자 하였고 중립 데이터 모델로 확장된 GPM을 사용하였다.

한국 원전의 설계 업무는 한국전력기술이 담당하고 있다<sup>[7]</sup>. 한국전력기술의 설계 데이터는 상용 데이터베이스에 저장된 데이터, 워드, 엑셀 등의 전자 문서, 2D P&ID, 3D CAD 등의 CAD 데이터가 있다. 이 중에서 플랜트의 상세 설계 정보는 2D P&ID, 3D CAD 데이터에 주로 담겨있기 때문에 본 연구에서는 이 데이터를 GPM 기반의 데이터 웨어하우스로 저장한 후 한국수력원자력의 유지보수 업무에 활용할 수 있도록 하였다.

#### 3.1 한국전력기술의 설계 도구

한국전력기술은 IPIMS(integrated plant information management system)라는 엔지니어링 데이터 관리용 소프트웨어를 자체적으로 개발하여 사용하고 있다. IPIMS는 엔지니어링 DB, 2D P&ID 및 3D CAD 시스템, 문서 관리 시스템으로 구성된다.

한국전력기술의 2D P&ID 및 3D CAD 시스템은 벤들리의 PlantSpace를 커스터마이징(customizing)한 것이다. PlantSpace는 Microstation에 Piping, Equipment, Raceways와 같은 플랜트 전용 설계 모듈을 엮은 것으로, 다수 사용자가 설계 가능한 환경을 제공한다. PlantSpace는 데이터베이스에 저장된 각 기자재별 사양 정보를 선택하여 설계를 진행하는 사양 명세(spec-driven) 방식의 모델링 기능을 제공한다. 데이터베이스의 CLASSES 테이블에는 모델링 시 사용 가능한 아이템 클래스가 정의되어 있고, ATTRDEFN 테

이블과 ATTRCDEF 테이블에서 각 아이템 별 사양들이 정의된다. 설계자가 선택한 아이템의 형상 생성을 위해서는 EXPERT\_RULES 테이블에 저장된 함수 코드를 사용한다. 그리고 각 아이템 별 실제 사양 데이터는 PIPE\_PELB(기준 사양), PIPE\_PELB\_SPEC(사용자 사양)과 같은 별도의 테이블에 저장되어 있고, CLASSES 테이블에 각 아이템 별 인스턴스 정보를 저장하고 있는 테이블에 대한 식별 정보를 가지고 있다. CLASSES, ATTRCDEF, ATTRDEFN 테이블에 정의된 각 아이템 별 사양 정보는 회사마다 다르다.

#### 3.2 2D P&ID 데이터의 변환

본 연구에서는 PlantSpace에서 생성된 2D P&ID 데이터를 변환하기 위해서, 먼저 PlantSpace의 P&ID 데이터를 DXF 포맷으로 변환한 후, 이를 다시 GPM 데이터로 변환하였다. 2D P&ID 번역기는 일본 히타치에서 개발된 DXF2GPM 번역기<sup>[4]</sup>를 다음과 같이 커스터마이징하여 사용하였다.

- MTEXT 지원
- strainer 클래스의 인식
- 그룹핑되어 있지 않은 배관의 계통 격리
- 라인 두께 정보의 반영

DXF 포맷으로 정의된 각각의 엔터티들은 다음과 같이 GPM 모델에 매핑된다. 기본적으로는 DXF 데이터의 ENTITY 섹션에 기록된 ENTITY 타입마다 shape representation item을 작성하여 plant\_item의 형상 부분을 정의한다. 자세한 형상 정보는 geometric\_representation\_item으로 만든다. BLOCK 데이터의 경우 모든 ENTITY 타입들은 1개의 shape\_representation\_item으로 매핑된다. DXF 포맷으로 P&ID 도면을 저장할 때, 배관은 polyline으로 표현되어야 한다. 여러 개의 폴리 라인(polyline)으로 표현된 선을 1개의 연결된 배관으로 인식하기 위해서는 그룹핑(GROUP)을 해야 한다. DXF 파일에서 각 기기(equipment)는 BLOCK으로 표현되어야 한다. 각 기기에 대응되는 GPM의 plant\_item 인식하기 위해서, DXF 포맷의 ATTDEF 및 ATTRIB 태그를 사용하여 속성을 추가하는 방법을 사용한다. 이와 같은 방식의 속성 부여는 블록 데이터의 작성을 통하여 이루어진다. 블록 정의를 행할 때에, 속성의 패턴인 ATTDEF를 정의하고, 블록 데이터를 배치(INSERT)할 때 구체적인 속성 값인 ATTRIB를 정의한다. 그 결과 DXF ENTITY 섹션의 INSERT에 속성이 추가되어 기하 요소의 식별이나 속성 내용을 파악할 수 있다.

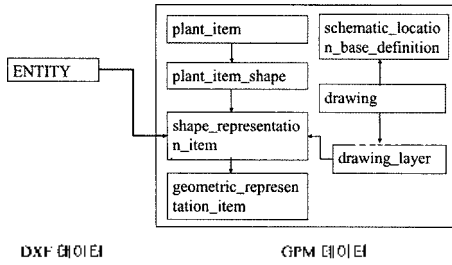


Fig. 6. DXF와 GPM의 매핑<sup>[14]</sup>.

DGN 파일로 저장된 한국전력기술의 P&ID 파일을 직접 DXF 파일로 변환하게 되면, 위에서 설명한 DXF에서의 P&ID 데이터 표현 규칙에 맞지 않은 DXF 파일이 생성된다. 그래서 본 연구에서는 DGN 파일로 저장된 P&ID 데이터를 P&ID 데이터 표현 규칙에 맞게 가공하는 프로그램을 개발하였고, 개발 내용은 다음과 같다<sup>[14]</sup>.

- 각 BLOCK에 속성 구조 정의를 위한 ATTDEF 자동 정의: *category*, *comment*, *idnumber*, *symbolnumber*, *systemnumber*와 같은 ATTDEF을 각 BLOCK에 자동 정의
- Multi text의 Single text로의 변환: Text Node에 의해 Text가 그룹화 되어 있는 Multi\_Text를 Single\_Text로 변환
- BLOCK을 구성하는 객체 요소들의 모든 노드(Node)를 포인트(Point)로 변환
- 배관, 기기의 연결 관계 정의를 위한 접속점의 자동 생성
- DGN 파일의 불필요한 레벨(Level)의 자동삭제

개발된 P&ID 데이터 가공 자동화 프로그램과 DXF2GPM 번역기를 이용하여 APR1400 원전의 원자로 냉각재 계통 및 화학제적 제어계통 부분의 P&ID 도면(Fig. 7)을 GPM 데이터로 변환하였다. DXF2GPM 번역기에서 기기, 배관, 접속점의 인식을 가능하게 하기 위해서, 위에서 설명된 P&ID 데이터 가공 자동화 프로그램을 이용하여 DGN 파일을 가공한 후 DXF로 변환하였다.

GPM 포맷으로 변환된 APR1400의 원자로 냉각재 계통과 화학제적 제어계통 도면 정보를 데이터 웨어하우스에 저장한 후, 히타치의 GPM 브라우저를 통해서 가시화한 후, 계통 격리 기능을 적용한 결과가 Fig. 8에 나타나 있다. 계통 격리 기능은 P&ID 도면에서 밸브의 개폐 동작을 통해 해당 계통에 대한 격리 범위를 확인할 수 있는 기능으로써, 격리된 계통은 빨

강색으로 표시된다. 이러한 격리 기능을 통해 플랜트의 운전 및 유지 보수 시에 해당 계통에 대한 유용한 정보를 시각적으로 제공함으로써, 업무의 정확성 및 효율성이 높아진다.

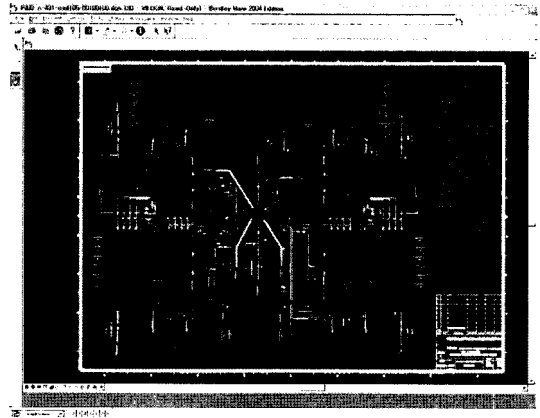


Fig. 7. APR1400 원전의 원자로 냉각재 계통과 화학제적 제어 계통 도면.

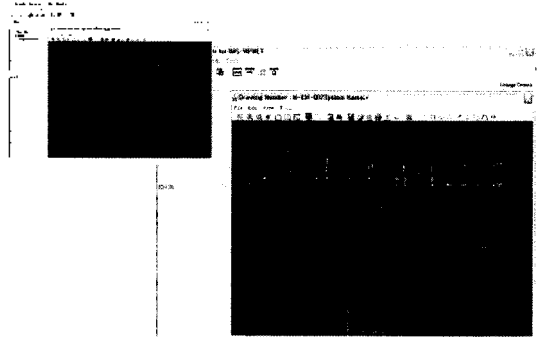


Fig. 8. GPM 브라우저를 이용한 APR1400 화학제적 제어 계통의 P&ID 도면의 가시화 및 계통 격리.

### 3.3 3D 솔리드 데이터의 변환

한국전력기술의 3D CAD 데이터를 GPM 기반 데이터로 변환하기 위하여, 우선 PlantSpace에 저장된 설계 데이터를 Bentley사의 고유 파일 포맷인 DGN 파일로 변환하였다. PlantSpace에서 설계 데이터를 DGN 포맷으로 저장하면, 다음과 같이 *attribute linkage data* 형태로 속성 정보가 저장된다.

```

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

DGN 파일은 크게 형상 부분과 속성 부분으로 나뉜다. 기본 형상 처리 부분은 일본 히타치에서 개발한 DGN2GPM 번역기<sup>[14]</sup>를 활용하였고, 각종 기자재의 형상 처리 부분과 설계 속성 처리 부분은 새로 개발하였다. 그리고 3D DGN 파일 데이터의 입출력을 위해서, Open Design Alliance에서 제공하는 DGN Direct API 라이브러리를 사용하였다<sup>[15]</sup>.

속성 정보는 PlaceSpace의 CLASSES, ATTRCDEF, ATTRDEFN 테이블에 정의된, 각 아이템 별 사양 정보에 따라 *attribute linkage data*에 저장된다. DGN 파일의 *attribute linkage data*에 정의된 속성과 GPM 클래스와의 매핑 방법을 설명하면 다음과 같다.

- PlantSpace의 CLASSES 테이블에 기록된 각 플랜트 아이템  $P_i$ 에 대응되는 GPM 클래스  $G_i$ 를 결정한다(Table 2).
- ATTRDEFN테이블 내용으로부터 PlantSpace의 플랜트 아이템  $P_i$ 의 속성들( $P_{j_i}, j = 0, \dots, n$ )을 확인한다.
- 플랜트 아이템  $P_i$ 의 속성들에 대응되는 GPM 클래스  $G_i$  각 속성( $P_{k_i}, k = 0, \dots, n$ )들을 결정한다.
- 작업된 결과를 바탕으로 속성을 포함한 각 플랜트 아이템 별 GPM 클래스 매핑 테이블을 작성한다(Table 3).
- 작성된 매핑 테이블을 바탕으로, 번역 프로그램에서 각 플랜트 아이템  $P_i$  마다의 속성 문자열 분할 함수와, GPM 클래스 할당 및 출력 함수를 정의한다.

Table 2. 플랜트 아이템의 매핑

BUD_TYPE	Contents	GPM Class	Explanation
EQUIP_MEQP	Equipment (machine)	equipment	
PIPE_PELB	elbow	elbow	
PIPE_PIPE	straight pipe	straight_pipe	

Table 3. 플랜트 아이템 별 속성 매핑 (예. straight pipe)

LEVEL_1	LEVEL_2	ATTR_NAME	COL_WIDTH	LBL_POS	GPM Property
PIPE	COMMON	COMPTYPE	4	1	
PIPE	PIPE	SIZE_1	7	5	nomial 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
PIPE	PIPE	CODE	12	32	standard code STNDRD, CODE
:	:	:	:	:	

본 연구의 구현 대상인 한국전력기술 APR1400 원자로 냉각재 계통의 경우 각종 기기(원자로 용기, 가압기, 원자로 냉각 펌프, 증기발생기), 스트레이트 파이프, 엘보우, 커트 엘보우, 브랜치 등으로 구성된다. 개발된 DGN2GPM 번역기를 이용하여 APR1400 원전의 원자로 냉각재 계통의 부분의 CAD 파일(Fig. 9)을 번역한 결과가 Fig. 10에 나타나 있다. 플랜트 논리 구성을 위한 GPM 클래스인 *system\_unit*을 2D P&ID와 3D 솔리드 모델에 대해서 같게 함으로써 Fig. 11과 같이 2D와 3D 형상 데이터의 연동이 가능하다.

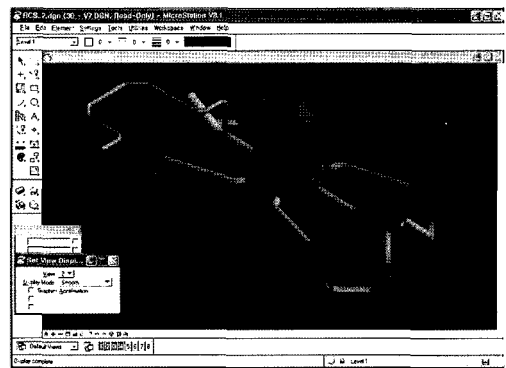


Fig. 9. APR1400 원자로 냉각재 계통의 3D CAD 모델.

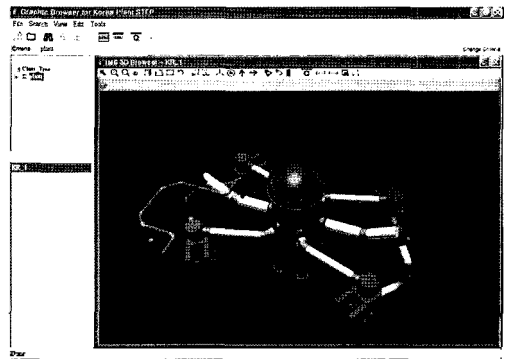


Fig. 10. APR1400 원자로 냉각재 계통의 변환 결과.

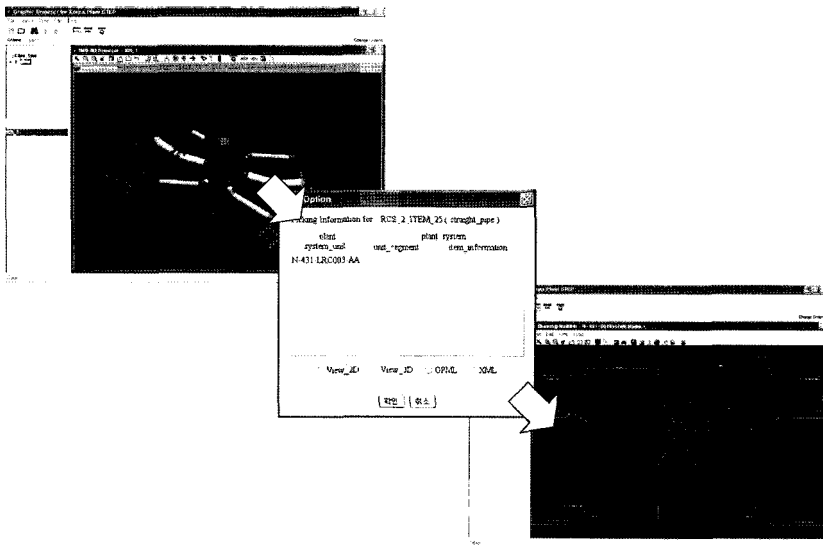


Fig. 11. 플랜트 논리 구성 클래스(system\_unit)를 매개로 한 2D P&ID와 3D 솔리드 모델의 연동.

#### 4. 한국수력원자력 ERP 시스템과의 인터페이스

##### 4.1 한국수력원자력의 ERP 시스템

한국 원전의 운영 및 유지보수 업무는 한국수력원자력이 담당하고 있다<sup>[11]</sup>. 한국수력원자력에서는 상업용 SAP ERP 시스템을 한국수력원자력의 요구사항에 맞게 커스터마이징한 DREAMS ERP 시스템을 개발하여 현재 운용 중에 있다. 이 시스템은 발전운영, 건설관리, 설비관리, 품질관리, 구매/자재, 방사선/환경, 도면/자료, 관리/재무회계, 인사/노무, 워크플로우(work flow), 사원 인사정보시스템(ESS)으로 구성된다.

본 연구를 통해 개발한 한국형 원자력 발전소 중립 모델(확장된 GPM 클래스 라이브러리)을 활용하여 Fig. 12와 같이, 원자력 발전소의 엔지니어링 및 설

계 상세 정보를 한국수력원자력 ERP 시스템에 전달하였다.

한국수력원자력 ERP 시스템과의 연동은 1) 중립 모델 기반의 데이터 웨어하우스에 저장된 설계 데이터를 한국수력원자력 ERP 데이터베이스에 전달, 2) ERP 클라이언트에서 GPM 브라우저의 호출을 통한 설계 정보 가시화 두 부분으로 나뉜다.

##### 4.2 중립 모델 기반 데이터 웨어하우스와 한국수력원자력 ERP 시스템 간의 설계 데이터의 교환

중립 모델 기반 데이터 웨어하우스 구축을 위해서 관계형 데이터베이스 관리 시스템인 Oracle을 사용하였다. 데이터 웨어하우스의 데이터베이스 스키마는 GPM 코어 모델을 ERD 형태로 변환하여 정의되었고 GPM 클래스 라이브러리는 플랜트 데이터와 같이 데이터베이스에 인스턴스 형태로 저장된다<sup>[14]</sup>.

한국형 GPM 클래스 라이브러리와 인터페이스가 가능한 한국수력원자력 ERP 시스템의 모듈은 설비 마스터 모듈로, 설비 마스터 모듈의 데이터베이스 스키마는 Fig. 13에 나타나 있다. 한국수력원자력 ERP 시스템의 설비 마스터 데이터는 부품 사양을 식별하기 위한 방법 중 하나인 전자 사전(data dictionary) 형태로 표현된다. 전자 사전은 크게 분류 트리와 분류 트리 상의 각 노드(부품 클래스)별 속성으로 구성된다<sup>[22]</sup>.

중립 모델 기반의 데이터 웨어하우스에서 한국수력원자력 ERP 시스템으로 설계 사양 데이터를 전달하

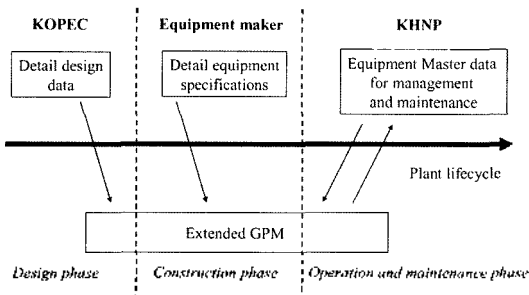


Fig. 12. GPM 기반 데이터 웨어하우스를 통한 원자력 발전소 생애주기 동안의 데이터 공유.



기 위해서 본 연구에서는 3단계의 다중 매핑 방법을 사용하였다<sup>[23]</sup>. 즉 구현을 위해서 정의된 중립 모델 기반 데이터 웨어하우스의 관계형 데이터베이스 스키마와 한국수력원자력 ERP 시스템의 관계형 데이터베이스 스키마를 바로 매핑하는 것이 아니라, 두 데이터 스키마를 먼저 원래 데이터 모델 형태(네트워크 모델과 전자 사전 모델)로 매핑한 후, 매핑된 네트워크 모델과 전자 사전 모델 사이에서 매핑을 정의하는 방식을 사용하였다. 이를 위해 먼저 관계형 데이터베이스 스키마를 Fig. 5와 같이 네트워크 모델 형태의 GPM 클래스 라이브러리로 매핑한다(Fig. 14의 (a)). 변환된 GPM 클래스 라이브러리를 다시 전자 사전 형태의 스키마로 매핑(Fig. 14(b))한 후, 이를 최종적으로 ERP 시스템의 기자재 마스터 데이터베이스 스키마와 매핑한다(Fig. 14(c)).

이와 같이 정의된 3개의 매핑 테이블을 이용하여 실제 설계 사양 데이터가 두 데이터베이스 사이에서 교환되게 된다. ERP 시스템으로 설계 사양 정보를 변환한 결과를 Fig. 15에서 볼 수 있다. 본 연구의 구현을 위해서 실제 한국수력원자력 ERP 시스템을 사용할 수 없어 입수한 설비 마스터 데이터베이스 스키마와 ERP 시스템 GUI 정보를 참조하여 모조(dummy) ERP 시스템의 설비 마스터 모듈을 구현한 후 이를 활용하여 변환 실험을 하였다. 구현된 인터페이스 시스템은 모조 ERP 시스템으로 각 설비의 논리적 구성 정보 및 기술 사양 정보만을 전달하고 형상 정보는 전달하지 못한다. 각 설비의 형상 정보는 모조 ERP 시스템과 연동된 GPM 브라우저를 통해 얻을 수 있다.

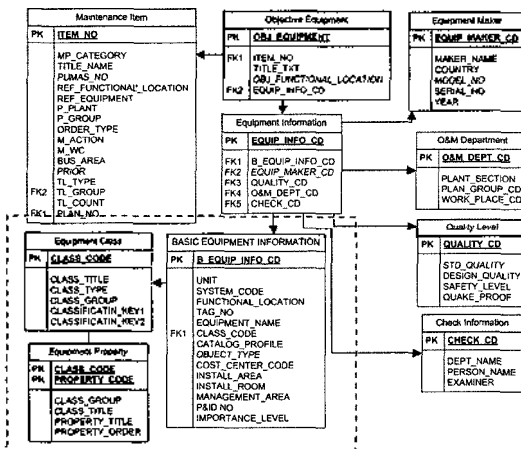


Fig. 13. 한국수력원자력 ERP 시스템의 설비 마스터 데이터베이스 스키마.

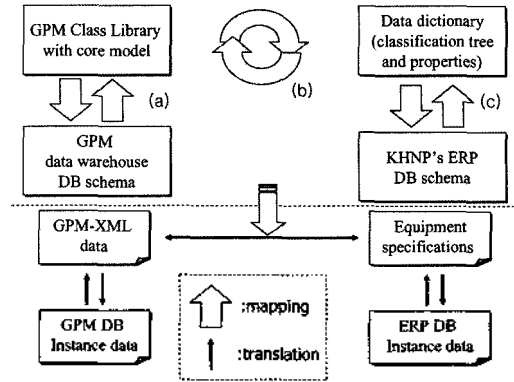


Fig. 14. GPM 데이터베이스 스키마와 한국수력원자력 ERP 데이터베이스 스키마와의 매핑 방법.

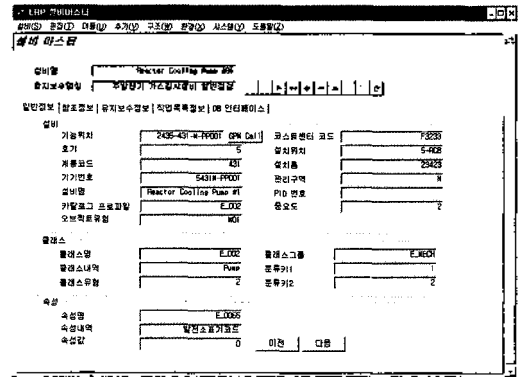


Fig. 15. ERP 시스템으로의 설계 사양 정보 변환 결과.

### 4.3 ERP 시스템에서 GPM 브라우저의 활용

한국수력원자력 ERP 시스템과의 연동의 두번째는 한국수력원자력 ERP 시스템이, GPM 브라우저를 플러그인 형태로 호출하여, 2D P&ID와 3D 솔리드 정보, 계통 격리 등과 같은 유지보수 업무에 필요한 여러 가지 유용한 정보를 사용자에게 제공하는 것이다. 이를 위해 Java Web Start 기술을 활용하여 웹 기반 GPM 브라우저 자동 설치 및 호출 모듈을 구현 하였다. ERP 클라이언트에서는 검색된 플랜트 아이টে에 대한 2D/3D 플랜트 아이টে의 식별자를 GPM 브라우저에 전달하여, 사용자는 해당 플랜트 아이টে에 관한 여러 가지 정보를 GPM 브라우저를 통해 얻을 수 있다(Fig. 16).

## 5. 결 론

한국의 원자력 발전소 생애주기 동안에 많은 조직이 참여한다. 그렇지만 이들 조직 사이의 데이터 공유는 매우 열악한 상태이며, 한국수력원자력은 한국전

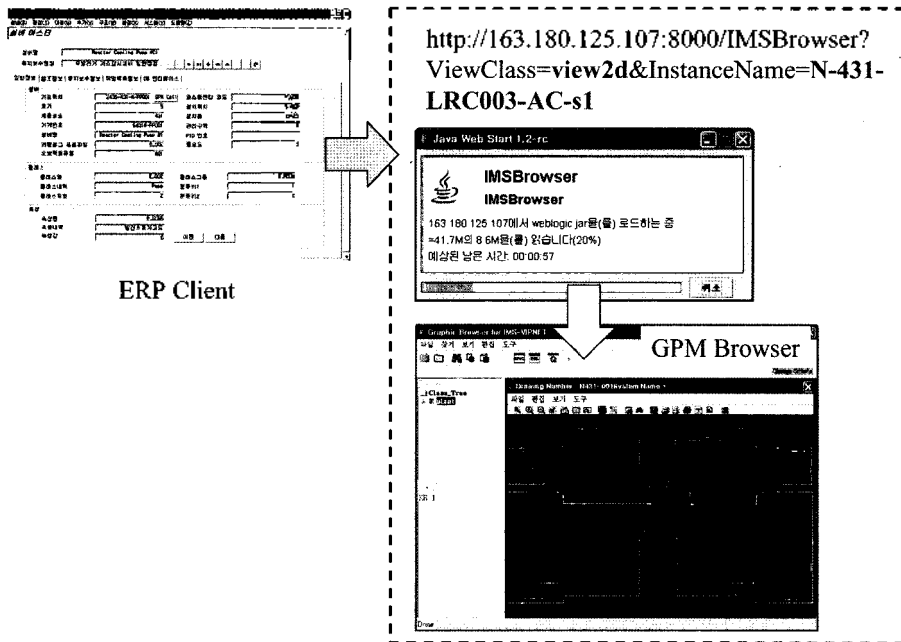


Fig. 16. ERP 클라이언트에서 GPM 브라우저의 활용.

력기술로부터 종이 문서로 도면 및 기술 사양 정보를 받아서 수작업을 통한 재입력을 하고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 중립 데이터 모델을 정의한 후, 중립 모델과 설계 시스템 및 유지보수 시스템과의 인터페이스들을 개발하여, 설계 단계에서 생성된 데이터를 유지보수 단계로 전달하는 정보 공유 시스템을 구현하는 시도를 하였다.

구체적으로, 중립 원자력 발전소 데이터 모델을 정의하기 위해서, 일본의 GPM 데이터 모델을 도입한 후, 한국의 가압수형 원자로 타입 원전의 특성을 반영하여 참조 클래스 라이브러리를 확장하였다. 그리고 한국전력기술의 IPIMS에 저장되어 있는 APR 1400의 원자로 냉각제 계통 및 화학체적 제어계통의 데이터를 DGN 파일 포맷으로 받아, 두 계통을 구성하는 각종 기기(원자로 용기, 가압기, 원자로 냉각 펌프, 증기 발생기)와 배관(스트레이트 파이프, 엘보우, 커트 엘보우, 브랜치)의 형상과 논리적 구성 정보를 변환하여 중립 모델 기반의 데이터 웨어하우스에 저장하였다. 마지막으로, 데이터 웨어하우스에 저장된 각종 기기와 배관의 사양 정보를, 한국수력원자력 ERP 설비 마스터 모듈의 데이터베이스 스키마와 GUI 설계 정보를 바탕으로 재현한 모조(dummy) 시스템으로 전달하였다.

향후 한국수력원자력의 ERP 시스템이 가지고 있는 원자력 발전소 유지보수 모델을 한국형 원자력 발전소 중립 모델에 반영함으로써, 원자력 발전소의 전 생애주기에 대한 지원이 가능한 원자력 발전소의 표준 데이터 모델로 확장하는 연구가 필요하다. 그리고 한국수력원자력 ERP 시스템과의 인터페이스를 위해서 구현된 변환 시스템은 중립 데이터 웨어하우스에 저장된 각 설비의 형상 정보를 전달하지 못한다. GPM 브라우저를 한국수력원자력 ERP 시스템과 연동하여 형상 정보를 가시화할 수 있지만, ERP 시스템에서 처리 가능한 DGN 파일 포맷으로 형상 정보를 변환하여 전달하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 마지막으로 중립 모델 기반의 데이터 웨어하우스의 구성 관리(configuration management) 방안 및 지식추론 기법에 관한 연구를 통해서 데이터 웨어하우스의 활용도를 높여야 한다.

### 참고문헌

1. 한순홍, 박찬국, 문찬국, 김인한, 윤태성, 한병섭, 양정삼, "STEP 방법론을 이용한 원자력 플랫폼 모델의 공유 방안", 2004 한국CAD/CAM학회 학술대회, 2004.
2. Aveva, [www.aveva.com](http://www.aveva.com), 2005.
3. Bentley, [www.bentley.com](http://www.bentley.com), 2005.

4. Integraph, [www.integraph.com](http://www.integraph.com), 2005
5. Michael P. Gallaher, Alan C. O'Connor, John L. Dettbarn, Jr. and Linda T. Gilday, "Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry", NIST, 2004.
6. 한순홍 외, "국제표준(ISO10303 STEP, ISO13584 PLIB) 기반의 원자력발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발", 최종보고서, 전력산업기술기반조성사업, 2006.
7. 원자력 STEP과제 홈페이지, [www.plantSTEP.or.kr](http://www.plantSTEP.or.kr)
8. ISO 10303-227 Application Protocol: Plant Spatial Configuration. Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, Part 227.
9. ISO/DIS 10303-221 Application Protocol: Plant Spatial Configuration. Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, Part 221.
10. ISO 15926-1 Overview and Fundamental Principles. Industrial Automation Systems and Integration - Oil and Gas, Part 1.
11. ISO 15926-2 Overview and Fundamental Principles. Industrial Automation Systems and Integration - Oil and Gas, Part 2.
12. ISO/CD 15926-4 Overview and Fundamental Principles. Industrial Automation Systems and Integration - Oil and Gas, Part 4.
13. VIPNET 홈페이지, [www.openknow.com/vipnet/](http://www.openknow.com/vipnet/)
14. Yuuichi Koizumi, Hiroshi Seki, Taesung Yoon, "Data Integration Framework Based On a Generic Product Model", Proceedings of the TMCE 2004, Lausanne, Switzerland, 2004.
15. 한순홍, 문두환, "원자력 발전소의 운영 및 유지보수 단계에서 STEP 표준의 적용", 2005 한국CAD/CAM학회 학술대회, 2005.
16. 한순홍 외, "국제표준(ISO10303 STEP, ISO13584 PLIB) 기반의 원자력발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발", 2차년도 보고서, 전력산업기술기반조성사업, 2005. 04.
17. 한국전력기술, <http://www.kopec.co.kr/>, 2005
18. "Open Design Alliance, <http://www.opendesign.com/>, 2005.
19. 한국수력원자력, <http://www.khnp.co.kr/>, 2005.
20. EPISTLE homepage, <http://www.btinternet.com/~Chris.Angus/epistle>, 2006.
21. Leal, D., ISO 15926, "Life Cycle Data for Process Plant": An Overview, Oil & Gas Science and Technology: revue de l'Institut francais du petrole, Vol. 60, No. 4, 2005.
22. Radack, Gerald, "SC4N2016: Report on The Task Force on Dictionaries, Part Libraries and Reference Data Libraries", [http://tc184-sc4.org/SC4\\_Open/SC4\\_and\\_Working\\_Groups/SC4\\_N-DOCS/2000-2249/documentation.cfm?CFID=358493&CFTOKEN=18342110&FID=13073#13126](http://tc184-sc4.org/SC4_Open/SC4_and_Working_Groups/SC4_N-DOCS/2000-2249/documentation.cfm?CFID=358493&CFTOKEN=18342110&FID=13073#13126), 2005-10-21.
23. Mun, D. W., Han, S. H., Park, C.-C., Kang, Y. J., Kim, I. H., Yoon, J. R. and Yoon, T. S., "Constructing a Neutral Data Warehouse for Sharing Product Data of Nuclear Power Plants", PLM06 Conference, pp. 137-151, 2006.
24. 박상호, 이병훈, 김준형, 한순홍, 유상봉, "제품 모델 교환 테스트 랙리", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제9권, 제1호, 2004.
25. 오유천, 한순홍, "CAD와 PDM시스템 간에 STEP제품 구조 정보의 교환, 한국CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제3호, 2000.

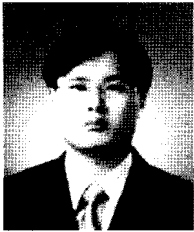
## 부록 A

```

CLASS functional_vessel {
    is_classified as: vessel;
    ~is_classified as: reactor, tower, drum, steam_
generator, pressurizer;
}

CLASS steam_generator {
    is_classified as: functional_vessel;
    has_property_of: design, shell material_of_
construction_data_value;
    has_property_of: design, tube material_of_
construction_data_value;
    has_property_of: design, tube number_data_value;
    has_property_of: design, heat transfer area_data_
value_data_value;
    has_property_of: design, steam_flow_rate_data_
value_data_value;
    has_property_of: design, steam, outlet_pressure_data_
value_data_value;
    has_property_of: design, steam, outlet, nozzle number_
data_value_data_value;
    has_property_of: design, pipe, closed, margin_rate_
data_value_data_value;
    has_property_of: design, 1st, head, inside semidia-
meter data_value_data_value;
    has_property_of: design, 2nd, head, inside semidia-
meter data_value_data_value;
    has_property_of: design, body, upper, inside_
semidiameter data_value_data_value;
    has_property_of: design, body, lower, inside_
semidiameter data_value_data_value;
    has_property_of: design, body, upper, outside_
semidiameter data_value_data_value;
    has_property_of: design, body, lower, outside_
semidiameter data_value_data_value;
}

```



### 문 두 환

1999년 고려대학교 기계공학과 학사  
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 박사  
 2006년-현재 한국해양연구원 선임연구원  
 관심분야: Feature-based modeling, Engineering data exchange, STEP/PLB/RDL, Digital Manufacturing, Modeling and simulation, E-Commerce



### 천 상 욱

1994년 한국과학기술원 산업공학과 학사  
 1994년~2000년 (주)큐빅테크  
 2002년 포항공과대학 산업공학과 석사  
 2002년~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정  
 관심분야: Sketch-based modeling, Geometric modeling, STEP, Robot simulation



### 최 영 준

1997년 동양공업전문대 기계과 학사  
 1997년~1999년 (주)정일 연구원  
 1999년~현재 올시스(주) 연구개발부 과장  
 관심분야: 3D/4D Simulation, 3D VR, STEP, Engineering Data Exchange



### 한 순 홍

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