

선박 의장 설계 데이터의 교환을 위한 ISO 15926 국제 표준 기반의 기자재 라이브러리 구축 방법

문두환^{†*}, Li Jinggao^{**}, 한순흥^{**}, 이원준^{***}

한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{*}
한국과학기술원^{**}
대우조선해양^{***}

A Method for the Construction of ISO 15926-based Library for Equipment and Materials for the Exchange of Ship Outfitting Design Data

Duhwan Mun^{†*}, Li Jinggao^{**}, Soonhung Han^{**}, Wonjoon Lee^{***}

Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI^{*}
KAIST^{**}
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.^{***}

Abstract

Ships and off-shore plants have very long lifecycles. Design data of ships and off-shore plants are used as master data in the subsequent phases after the design phase. Therefore, it is an important issue how to convert native design data generated from commercial shipbuilding CAD systems into neutral data with the use of international industrial data standards. International standard-based exchange of ship outfitting and off-shore plant data needs the construction of a library for specifications data of equipment and materials and the provision of external referencing mechanism for retrieving data stored in the library. This paper proposes an approach to construct a specifications data library with the use of ISO 15926 process plants. This library is used for providing specifications data through external referencing when translating ship outfitting data from TRIBON system into ISO 10303 STEP AP 227-formed data.

※ Keywords: Data library (데이터 라이브러리), equipment and materials (기자재), external referencing mechanism (외부 참조 메커니즘), ISO 15926 process plants (ISO 15926 프로세스 플랜트), Semantic Web (시맨틱 웹), Web Services (웹 서비스)

접수일: 2010년 1월 13일, 승인일: 2010년 5월 26일

†교신저자: dhmun@moeri.re.kr, 042-866-3662

1. 서론

선박 및 해양 플랜트의 수명주기는 응용 소프트웨어나 데이터 저장 기술의 수명주기와 비교하여 매우 장기이다. 디지털 데이터 저장 기술이 10 년 이하이고, 응용 소프트웨어의 수명이 단지 수년에 불과한데 비해서 선박이나 해양 플랜트의 수명주기는 수십 년에 이른다. 따라서 정보통신 기술의 발전과 응용 소프트웨어의 급격한 변화에 대처하여 선박 및 해양 플랜트의 설계 및 생산 데이터의 보존과 관리는 기업의 경쟁력 확보 측면에서 매우 중요한 문제다. 또한 국내 조선 산업은 인력의 고령화 및 은퇴로 인한 기업의 지적 자산 손실이라는 새로운 도전에 직면해 있다.

선박 및 해양 플랜트의 설계 데이터는 선박 및 해양 플랜트의 생애주기 동안에 마스터 데이터의 역할을 하며 생산 자동화를 위한 로봇 용접, 절판 절단 가공 등의 생산 공정, 협력업체로의 외주 등에 사용된다. 그리고 최근에 건조되고 있는 고부가가치 선박의 경우 선박의 설계 및 건조 단계의 비용은 전체 수명주기 비용의 10% 정도에 지나지 않는다. 나머지 90% 정도를 차지하는 선박의 운용 및 유지보수를 효과적으로 수행하기 위해서도 설계 데이터의 끊임 없는 공유가 요구된다.

이와 같이 중요한 의미를 갖는 선박 및 해양 플랜트의 설계 데이터의 효과적인 보존 및 관리를 위해서는 선박 데이터를 응용 시스템 및 저장소에 독립적으로 상호운용성을 보장하면서 장기간 보관할 수 있는 방안 마련이 필요하다. 조선해양 분야의 산업 데이터 표준을 적용하여 조선 CAD 시스템에서 생성된 설계 데이터를 중립 모델로 변환한 후 설계 이후 단계에서 사용하거나, 다른 조직들과의 협업을 위해 공유하거나, 혹은 선박 설계 데이터의 장기 보관을 위해 사용하는 것이 이 문제에 대한 해결책 중 하나이다.

선박 및 해양 플랜트의 의장설계 데이터는 크게 논리적 구성 정보, 기자재 속성 정보, 형상 정보로 구분된다. 논리적 구성 정보는 파이프, 덕트, 기기, 계측기, 구조 부재 등의 플랜트 아이템들간의 연결 및 계층 관계를 표현하고, 형상 정보는 각 플

랜트 아이템의 2D 및 3D 기하 정보를 표현하며, 속성 정보는 각 플랜트 구성요소의 상세한 기능적 또는 물리적 정보인 기자재 사양을 의미한다.

이 논문에서는 TRIBON 시스템에 추출된 의장 설계 데이터를 ISO (International Organization for Standardization) 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product model data) 의 AP (Application Protocol) 227 형식의 데이터로 변환하는 과정에서 사양 정보의 외부 참조를 위해 필요한 기자재 라이브러리를 ISO 15926 프로세스 플랜트 (Process Plants) 표준을 적용하여 구축하는 방법에 대해서 설명한다.

2. 관련 연구 및 국제 표준

2.1 선박 의장 및 해양 플랜트 데이터의 공유를 위한 중립 모델

선박 의장 및 해양 플랜트 데이터의 번역을 위해 활용 가능한 중립 데이터 모델은 ISO 10303 STEP, ISO 15926 프로세스 플랜트, XMpLant 가 있다.

선박 의장과 해양 플랜트 설계 데이터의 교환에 관한 국제 표준들은 논리적 구성 정보와 형상 정보 표현에 관한 자원을 제공한다. 그러나 기자재 사양 정보의 경우, Fig. 1 과 같이 기자재의 사양 정보 식별을 위한 자원이 제공되고, 이 식별 정보를 바탕으로 외부의 기자재 라이브러리에서 상세한 사양 정보를 참조하는 방식을 사용한다. 따라서 국제 표준을 활용하여 선박 의장 및 해양 플랜트 데이터를 교환하기 위해서는 기자재의 사양 정보를 저장한 기자재 라이브러리를 구축하고 표준화된 방법으로 물리적 거리에 상관없이 접근할 수 있는 방법을 제공해야 한다.

ISO 10303 은 제품 데이터 모델 교환에 관한 국제 표준으로, 선박 의장 및 해양 플랜트에 적용이 가능한 응용 프로토콜로는 AP221-계통도 (ISO 2005a), AP227-의장(ISO 2005b), AP239-제품 생애주기 지원(ISO 2005c) 등이 있다.

ISO 15926 은 프로세스 플랜트의 생애주기 데이터의 공유 및 통합을 위한 국제 표준으로 육상

및 해양 플랜트에 적용이 가능하다 (Leal 2005). ISO 15926 프로세스 플랜트의 주요 파트로는 파트 2 데이터 모델 (ISO 2003), 파트 3 기하 및 위상, 파트 4 초기 참조 데이터 라이브러리 (initial reference data library, IRDL) (ISO 2007a), 파트 7 구현 방법 (ISO 2007b)이 있다. ISO 15926 파트 7은 현재 신규 파트 7, 8, 9, 10의 네 개의 파트로 분리되어 표준화가 추진되고 있다. 이 논문에서는 기존의 파트 7 문서를 기준으로 설명한다.

XMpLant는 영국의 Numenon사가 개발한 플랜트 데이터 번역을 위한 중립 모델이다 (Laud 2006). XMpLant에 기반한 번역기 개발 도구로 XMpDE가 있으며 PDS, PDMS 등의 플랜트 설계 시스템들과의 인터페이스가 제공된다.

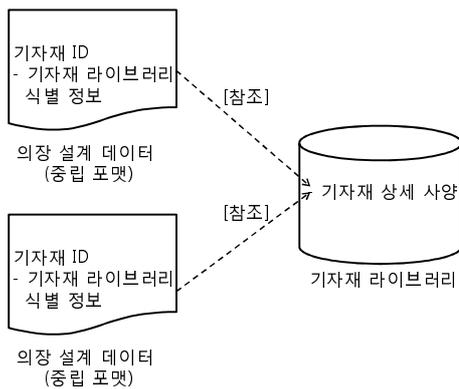


Fig. 1 External reference of equipment and material specifications information in ship outfitting design data

그 동안 국제 표준을 활용하여 선박 의장 및 해양 플랜트의 설계 데이터를 교환 및 공유하기 위한 많은 연구가 이뤄졌다. 대표적으로는 미국 NSRP (national shipbuilding research program)의 ASE (Advanced Shipbuilding Enterprise) 프로젝트가 있다 (Benthall et al. 2003, Gischner et al. 2005). 이 프로젝트에서 STEP AP215, AP216, AP218, AP227 등의 조선해양 분야의 응용 프로토콜을 활용하여 참여 기업 간에 선박 데이터를 교환하기 위한 번역 시스템 시제를 구현하고 적용

실험을 수행하는 연구가 이뤄졌다. 최근에는 STEP AP239 PLCS을 기반으로 선박 의장 데이터를 교환함으로써 설계 단계를 넘어 생애주기 동안에 관리하는 방안도 제시되었다 (Kassel and Briggs, 2008). 국내에서도 STEP 표준을 활용하여 선박 및 해양 플랜트 선박 데이터를 교환하는 다양한 연구가 이뤄졌다 (Kim and Han 2002, Hwang and Han 2001, Hwang et al. 2003).

ISO 15926 표준은 함정의 생애주기 지원, 플랜트 기자재 데이터 라이브러리 구축 등의 연구 (Irgens et al. 2004)에 적용 되었고, 여러 상업용 플랜트 시스템들에서 지원된다. 국내에서도 원자력 발전 분야의 분류체계 개발 및 라이브러리 구축을 위해서 ISO 15926 표준을 적용한 사례가 있다 (Yun et al. 2007).

조사된 기존 연구들 중 ISO 10303 AP227 표준에서 제공하는 외부 참조 메커니즘을 구축한 사례나 의장 설계 데이터용 외부 참조 라이브러리를 ISO 15926 표준을 적용하여 구축한 사례는 찾을 수 없었다.

2.2 TRIBON 시스템에서 선박 의장 설계 데이터의 추출

조선산업에서 설계 시스템으로 많이 사용되는 TRIBON 시스템은 직접 인터페이스로 vitesse API를 제공하는데 이 API를 이용하여 대부분의 선체 정보를 추출할 수 있다. 외부 파일 포맷으로는 ATX, DXF, XML 등을 지원하고, ATX와 XML 포맷은 선체 정보만을 지원한다. DXF 포맷은 선체 및 의장 정보를 지원 하지만 비 형상 정보들이 상당 부분 손실된다. 이외에도 설계 과정에서 사용하는 모델링 매크로를 저장한 스킴 (scheme) 파일도 설계 데이터의 교환에 활용할 수 있다. 국내 조선소와 소프트웨어 개발 업체들은 TRIBON 데이터의 추출 및 가공에 대한 기술을 개발하여 구조해석, 생산 설계 등의 업무에 활용하고 있다 (Kim and Lee 2007, Lee et al. 2009). 이 연구에서도 TRIBON 데이터를 추출하기 위해서 기존에 개발된 기술을 활용하였다.

2.3 시맨틱 웹과 웹 서비스

지금까지 STEP 등의 산업 데이터 표준에서는 EXPRESS 언어를 사용하여 정보 모델이 개발되었다. 최근에는 산업 데이터 표준에 시맨틱 웹(Semantic Web)과 웹 서비스 기술(Web Service)을 도입하려는 시도가 이뤄지고 있다(Leal et al. 2009). 예를 들어 ISO 15926의 파트 7에는 정보 모델링을 위해 웹 온톨로지 언어인 OWL을 사용하고 데이터 저장소의 데이터 교환 인터페이스를 웹 서비스 기술을 이용하여 구현하도록 규정되어 있다.

시맨틱 웹은 분산환경에서 리소스에 대한 정보와 리소스 사이의 관계를 기계(컴퓨터)가 처리할 수 있는 온톨로지 형태로 표현하고 이를 기계가 자동으로 처리할 수 있도록 하는 프레임워크이다(Berners-Lee et al. 2001). 시맨틱 웹과 관련된 주요 규격으로는 RDF(Resource Description Framework), OWL(Web Ontology Language), SPARQL(SPARQL Protocol and RDF Query Language)이 있다.

RDF는 웹 상의 자원(resource)의 정보를 표현하기 위한 프레임워크이다(W3C 2004a). RDF에서 데이터는 트리플(triple)의 집합으로 표현되며, 트리플은 주부(subject), 술부(predicate), 목적어(object)로 구성된다. 주부는 기술할 자원을, 술부는 속성의 유형을, 목적어는 속성 값을 표현한다. RDF에서 자원이란 형태에 상관없이 URI(Uniform Resource Identification)를 이용하여 식별 가능한 모든 객체를 의미한다.

OWL은 W3C의 시맨틱 웹 관련 권고안(recommendation) 중 하나인 웹 온톨로지 언어로서, 사람에게 정보를 보여주는 데 그치지 않고 정보의 의미를 직접 처리할 수 있는 어플리케이션을 구현하는데 활용될 수 있도록 설계된 언어이다(W3C 2004b).

SPARQL은 시맨틱 웹을 위한 쿼리 언어 및 데이터 접근 프로토콜로서, 상세 사양은 RDF Data Access Working Group(DAWG)에서 개발하고 있다(W3C 2008). SPARQL은 기본적으로 관계형 데이터베이스의 표준 질의 언어인 SQL과 유사하

게 SELECT, FROM, WHERE의 3개의 부분으로 구성되어 있다.

웹 서비스는 서비스 지향 아키텍처(service-oriented architecture)에 기반한 분산 컴포넌트 기술로서 W3C에서 표준화가 진행 중이다. 웹 서비스를 구성하는 주요 규격으로는 서비스 기술(service description)을 위한 WSDL(Web Services Description Language)(W3C 2007a)과 서비스들 간의 메시지(message) 교환을 위한 SOAP(Simple Object Access Protocol)(W3C 2007b)이 있다. 이 외에도 서비스 제공자와 서비스 요구자를 연결해 주는 서비스 레지스트리에 관한 규격인 UDDI(Universal Description, Discovery, and Integration)(OASIS 2003)가 있다.

3. ISO 15926 프로세스 플랜트 표준

이 연구에서는 선박 의장 설계 데이터 교환을 위해 ISO 15926 표준을 기반으로 기자재 라이브러리를 구축하여 활용하였다. 그래서 본 장에서 간략하게 ISO 15926 표준에 대해서 설명한다.

ISO 15926 표준을 구성하는 주요 파트들은 파트 2, 파트 4, 그리고 파트 7 이 있다. 플랜트 데이터는 파트 2의 데이터 모델을 준수하고, 참조 데이터 라이브러리(reference data library, RDL)를 참조하여, 파트 7에 명세된 방법에 따라 표현 및 저장이 된다. 이 파트들 간의 관계를 언어로 비유하면 ISO 15926 파트 2는 '문법'에 해당되고, ISO 15926 파트 4에 기반한 RDL은 '어휘'(또는 '사전'), ISO 15926 파트 7의 템플릿과 객체 정보 모델은 '표준적인 문장 구성 패턴', façade는 글이 기록된 '서적'으로 볼 수 있다.

ISO 15926 파트 2는 프로세스 플랜트의 기술 정보 표현을 위한 개념적인 데이터 모델을 명세하고 있다. 파트 2의 데이터 모델은 정보의 통합을 가능하게 하고, 안정적이면서 유연성 있는 데이터 표현을 위한 기반 데이터 모델이다. ISO 15926 파트 2 데이터 모델은 다음과 같은 장점을 가진다(Mun 2009).

- 기능적 객체(functional object)와 물리

적 객체 (physical object)의 분리

- 클래스 (class)와 개체 (individual)의 명확한 구분
- 공간 차원과 시간 차원의 통합

ISO 15926 파트 2 데이터 모델은 프로세스 플랜트 데이터 교환을 위해 필요한 기본적인 정보 객체들을 제공하지만, 플랜트 데이터에 대한 충분한 의미 정보를 제공하지는 않는다. ISO 15926 파트 4 는 공정 플랜트에 공통적인 기자재 정보를 표현하는 RDL 의 구축 방법을 규정하고 RDL 의 최 상단에 위치하는 IRDL 을 제공한다 (Radack et al. 2005). RDL 상단의 클래스들은 일반적인 의미를 갖는 반면에 하단의 클래스들은 좀 더 구체적인 의미를 갖는다. 즉, 하단에 위치한 클래스들은 상부의 클래스들과 전문화 (specialization) 관계를 갖는다.

ISO 15926 파트 7 은 프로세스 플랜트의 생애 주기 데이터의 통합, 공유, 교환 그리고 이양을 위한 온톨로지와 웹 서비스 기반의 구현 방법을 규정한다. ISO 15926 파트 7 에서 제공하는 규격은 크게 두 가지이다. 하나는 플랜트 데이터 표현을 위한 자원인 템플릿 (template)과 객체 정보 모델 (object information model, OIM)이고, 다른 하나는 데이터 저장소인 façade 이다 (Mun et al. 2009).

ISO 15926 파트 7 의 템플릿은, 예를 들어 부품의 속성 표현 구조와 같이, 객체 및 객체들 사이의 관계에 대한 일반적인 패턴 (표준 구조)를 정의한 것이다. 객체 정보 모델은 특정 객체에 대해서 공통적으로 적용되는 정보의 종류를 나타내기 위해서 ISO 15926 RDL 을 참조하고 파트 7 의 템플릿을 상속받아 전문화 한 것이다.

ISO 15926 파트 7 템플릿과 객체 정보 모델은 온톨로지 언어인 OWL 로 표기된다. 이에 따라 ISO 15926 파트 2 데이터 모델과 ISO 15926 파트 4 IRDL 도 OWL 로 표현되어야 한다. ISO 15926 파트 2 데이터 모델과 파트 4 IRDL 에 대한 OWL 파일들은 POSC Caesar 웹 사이트 (POSC Caesar 2007)에서 제공된다.

ISO 15926 파트 7 에서는 대량의 프로세스 플

랜트 데이터를 다른 이해관계자들과 공유하기 위해서 façade 라 불리는 데이터 저장소를 구축하도록 규정하고 있다. 플랜트 생애주기 동안의 업무에 참여하는 각 조직들은 내부 정보 시스템으로부터 데이터를 추출하여 각자의 façade 에 저장한다. 참여 조직들의 façade 간에는, 상황에 따라, 데이터가 교환 (exchange)되거나 이양 (hand-over)된다. 데이터 저장소 façade 의 데이터 인터페이스는 웹 서비스 기술을 바탕으로 구현된다.

4. 기자재 라이브러리의 구축 및 기자재 사양 데이터의 참조

4.1 기자재 라이브러리의 개념

기자재 라이브러리는 부품의 기술 사양 정보와 함께 기자재와 관련된 도면, 이미지, 3D CAD 데이터 등을 데이터베이스에 저장한 후 사용자의 요청에 따라 제공하는 소프트웨어 시스템이다. 기자재 라이브러리는 기자재 데이터, 분류체계, 라이브러리 관리 시스템, 데이터베이스로 구성된다.

분류체계는 부품의 사양 정보를 표현하는 정보 모델이다. 최근에는 부품군들의 계층적 분류뿐만 아니라 부품의 속성들을 기술하는 장점이 있는 데이터 사전 형태로 분류체계가 주로 정의된다. 부품 라이브러리 데이터의 교환에 관한 국제 표준인 ISO 13584 PLIB 도 데이터 사전 방식을 사용한다 (Cho et al. 2003). 데이터 사전 형태의 분류체계는 다음 절차에 따라 정의된다.

- 구축 대상 기자재 데이터의 분석
- 부품 타입 및 분류 트리의 정의
- 속성 및 단위의 정의
- 부품 타입 별 속성의 정의

데이터 사전은 기자재의 형상 보다는 기자재의 타입이나 각 기자재 타입별로 정의된 속성의 종류나 수에 의해 영향을 받는다. 예를 들어 배관 자재는 형상이 단순하지만 분류체계의 복잡도는 다른 기자재와 큰 차이를 보이지 않는다.

기자재 데이터는 분류체계에 근거하여 표현되며, 분류체계와 함께 데이터베이스에 저장된다. 라이브러리 관리 시스템은 관리자가 분류체계 및 부품

데이터를 입력·수정·삭제하고, 사용자가 원하는 부품 데이터를 검색할 수 있도록 지원하는 소프트웨어를 말한다.

기자재 라이브러리에 저장된 기자재 사양 정보를 참조하는 방식-외부 참조 메커니즘-은 다음과 같은 장점을 가진다.

- 기자재 데이터베이스를 한 곳에서 관리하고 외부에서 데이터베이스에 저장된 기자재 사양 정보를 참조하는 방식이므로 기자재 사양 데이터의 중복 문제가 발생되지 않는다.
- 교환해야 하는 물리 파일 안에 기자재 사양 정보를 기록할 필요가 없어 물리 파일의 용량이 줄게 된다. 교환 파일의 용량은 선박이나 해양 플랫폼과 같은 거대 복합 구조물에 있어서는 매우 중요한 문제이다.
- 동일 기자재의 사양 정보가 여러 물리 파일에 중복되어 기록될 경우 발생하는 정보의 불일치 문제를 방지한다.

이 연구에서는 ISO 15926 표준의 구현 방법에 따라 기자재 라이브러리를 구축하였다. 원래 ISO 15926 표준은 프로세스 플랫폼의 전 생애주기 데이터의 공유 및 통합 목적으로 사용되지만 이 연구에서는 데이터의 범위를 기자재 사양 데이터로 한정한다.

ISO 15926 기반의 기자재 라이브러리 구축 절차는 Fig. 2 과 같다. 업체 분류체계의 분석 후, 분류체계를 구성하는 ISO 15926 RDL 과 객체 정보 모델을 정의한다. 정의 과정에서 업체의 분류체계와 ISO 15926 기반 분류체계와의 매핑 테이블이 작성된다. 이 매핑 테이블을 이용하여, 업체 기자재 사양 데이터를 ISO 15926 포맷의 중립 데이터로 변환한다. 변환된 중립 기자재 사양 데이터는 ISO 15926 façade 에 저장된다. 저장된 중립 포맷의 기자재 사양 데이터는 타 시스템이나 타 기관과의 데이터 교환이나 데이터 검색 목적으로 사용된다. 기자재 라이브러리 구현에 관한 상세 내용은 5 장과 6 장에서 논의한다.

4.2 기자재 사양 데이터의 외부 참조

선박 의장 설계 데이터의 교환에 관한 국제 표준인 ISO 10303 STEP AP 227 은 외부 참조를 위해서 Fig. 3 의 EXPRESS-G 다이어그램과 같은 자원을 제공한다. 외부의 기자재 라이브러리에 구축된 기자재 사양 정보의 참조를 위해서 STEP AP 227 은 *externally_defined_class* 엔티티를 제공한다. 이 엔티티는 속성으로 *source* 와 *item_id* 를 갖는다. 이 연구에서는 시맨틱 웹 기술을 활용하기 때문에 *source* 속성에는 기자재 데이터 저장소 façade 의 URI 을 기록하고 *item_id* 속성에는 참조하는 기자재의 URI 를 기록한다.

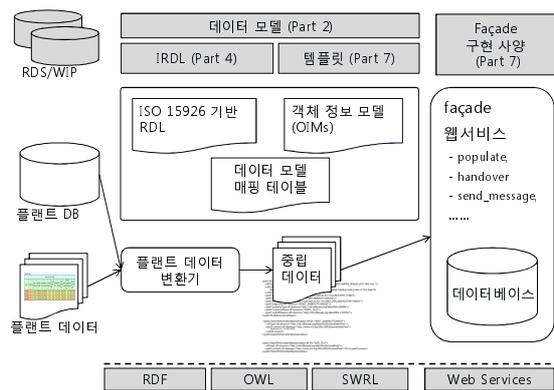


Fig. 2 Construction of ISO 15926-based library for equipment and materials

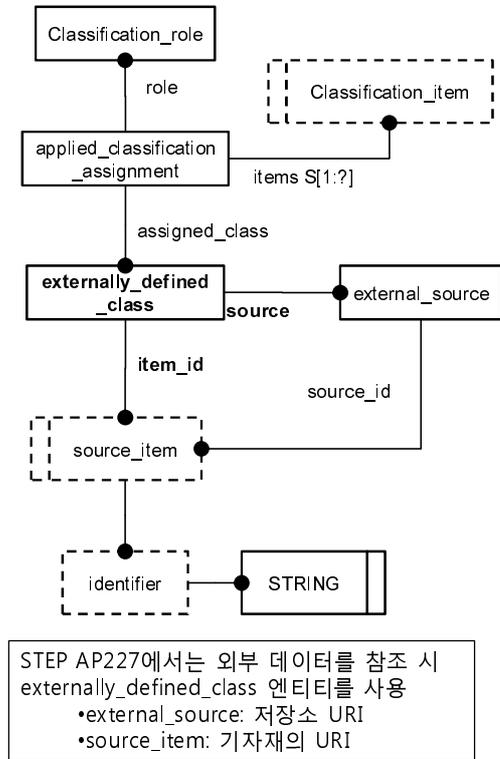


Fig. 3 Information resources for external reference in STEP AP 227

List 1 은 STEP AP 227 의 외부 메커니즘에 따라 생성된 STEP 물리 파일의 일부이다. 물리 파일의 #100 에 배관 컴포넌트를 정의하기 위해서 piping_component_definition 를 명세하고 상세사양 검색을 위한 참조 정보 (저장소 URI 와 기자재 URI) 을 #120 의 externally_defined_class 에 기록한다.

List 1 STEP AP 227 physical file containing external reference information

```

#100=piping_component_definition('100', $, #80, #8);
:
#115=applied_classification_assignment(#120, $, (#100));
:
#120=externally_defined_class( 'External specification',
$, 'PPSAFPPB2-80', 'http://facade.dsme.co.kr/data ');
    
```

5. ISO 15926 기반의 기자재 라이브러리 - 분류체계의 정의

ISO 15926 표준을 활용한 분류체계의 정의 절차는 Fig. 4 과 같다. 분류체계를 구성하는 기자재 타입, 분류 트리, 기자재 속성, 그리고 단위는 ISO 15926 RDL 에 정의되고, 기자재 부품 타입 별 속성은 ISO 15926 객체 정보 모델에 정의된다.

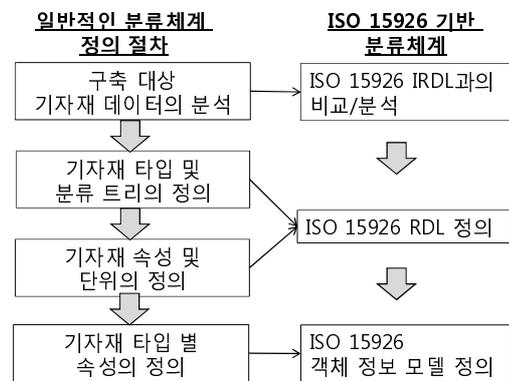


Fig. 4 Definition of ISO 15926-based classification schema

5.1 ISO 15926 IRDL 과의 비교 및 분석

ISO 15926 표준의 특징은 응용 분야에 특화된 공통 클래스, 속성, 객체 등을 파트 2 데이터 모델이 아니라 별도의 RDL 에 정의하여 활용하는 점이다. 그리고 RDL 의 최상단에 위치하는 IRDL 은 ISO 15926 파트 4 에서 제공된다. 따라서 구축 대상 기자재 데이터의 특성을 반영하여 RDL 을 정의하기 위해서는 IRDL 과의 비교/분석을 통해서 IRDL 에 추가해야 할 기자재 타입, 기자재 타입들 간의 계층 관계, 기자재 속성, 단위를 식별한다. 일반적으로 기자재 데이터는 미리 정의된 업체 분류체계에 따라 표현되기 때문에, 이 과정은 결국 업체 분류체계의 구성 요소 (기자재 타입, 기자재 속성, 단위 등)에 해당되는 자원이 IRDL 에서 제공되는지를 식별하는 것이다.

Table 1 은 대우조선해양의 분류체계를 IRDL 과 비교/분석한 예이다. 표의 종류 열은 비교 대상

분류체계 구성요소의 종류를 나타내고, 대응 IRDL 자원 열은 대우조선해양 분류체계의 구성요소에 대응되는 자원이 IRDL 에 있는지를 나타내고, 상위 IRDL 자원 열은 대응 되는 IRDL 자원이 없지만 상위 개념의 자원이 IRDL 에 존재할 경우 기록한다. 예를 들어, Table 1 에서 *Straight Pipes (Steel ordinary)* 요소는 종류가 기자재이고, 대응 되는 IRDL 자원은 없지만 상위 자원인 *Pipe* 가 IRDL 에서 제공된다.

Table 1 Mapping with ISO 15926 IRDL

대우조선해양 분류체계 구성요소	종류	대응 IRDL 자원	상위 IRDL 자 원
Straight Pipes (Steel ordinary)	기자재		Pipe
OuterDiameter	속성		
Mm	단위	Millimetre	

정보 모델들마다 개발 사상이나 정보 요구가 다르기 때문에 서로 다른 정보 모델들간의 매핑이 100% 완벽하게 되지는 않는다 (Vergeest and Horvath 2001). 매핑 시 발생할 수 있는 이질성으로는 이름 충돌, 속성 정의의 구조 충돌, 유형 충돌, 의존성 충돌이 있다. 이 문제의 개선 방법은 많은 연구들에서 다루졌다 (Holowczak and Li 1996, Batini et al. 1986).

5.2 ISO 15926 RDL의 정의

위에서 설명한 비교/분석 결과에 따라 ISO 15926 IRDL을 확장하여 구축 대상 기자재에 대한 RDL을 정의한다. IRDL의 확장 방법은 기자재, 속성, 단위 별로 다르며 본 절에서는 이에 대해서 설명한다.

기자재의 경우, 기자재는 ISO 15926 파트2의 *ClassOfInanimatePhysicalObject* 타입으로 선언한다. 그리고 상위 IRDL 자원이 존재할 경우 ISO 15926 파트2의 *specialization* 엔티티를 이용하여 계층 관계를 표현한다. 마지막으로 ISO 15926 파

트2의 *classification* 엔티티를 이용하여 기자재를 분류한다. ISO 15926 IRDL의 *pipe* 클래스를 상속받아 *StraightPipe*를 정의한 결과가 List 2 (a)이다.

데이터 사전 방식의 분류체계에서 일반적으로 속성은 속성 공간 (property space)과 속성 문맥 (property context)이 결합되어 있는 형태를 보이지만 ISO 15926 표준은 이를 명확하게 분리한다. 예를 들어 설계 압력 속성의 경우 압력이라는 속성 공간과 설계된 허용 가능한 압력이란 속성 문맥의 두 가지 의미를 모두 내포하고 있다.

ISO 15926에서는 속성 공간을 ISO 15926 파트 2의 *PropertySpace* 및 하위 엔티티로 선언하고, 속성 문맥을 ISO 15926 파트 2의 *Class OfIndirect Property* 엔티티로 정의한다. 설계지를 속성을 정의한 예가 List 2(b)로 속성 문맥으로 *Designed Diameter*를, 속성 공간으로 *Length*를 정의하였다.

단위는 ISO 15926 파트 2의 *Scale* 엔티티로 정의하고, *Specialization* 과 *Classification* 엔티티를 이용하여 단위의 계층 관계 및 분류를 한다.

5.3 객체 정보 모델의 정의

기자재 타입별 속성과 속성의 단위를 객체 정보 모델로 정의하고, 이를 위해 ISO 15926 파트 7의 ST-3401 템플릿을 사용한다. ST-3401 템플릿 하나로 기자재 타입별 속성 하나가 정의된다. 여러 개의 템플릿으로 표현되는 기자재의 속성들은 *isPossessorIn* 관계를 통해 추적할 수 있다. List 2(c)는 ST-3401 템플릿을 이용하여 *Straight Steel Pipe* 기자재의 *Designed Outside Diameter* 속성을 정의한 예이다.

5.4 기자재 사양 데이터의 표현

정의된 객체 정보 모델에 따라 기자재 사양 데이터를 명세한다. List 2(d)는 식별 코드가 *PPSAFPPB2-80*인 대우조선해양의 직강관 (*Straight Steel Pipe*) 의 설계 외경 (*Designed Outside Diameter*) 속성 값이 *96.5 mm*임을 표현한 예이다.

List 2 Equipment data dictionary (RDL and OIM) and specifications data

(a) Addition of equipment type to IRDL	(b) Addition of property to IRDL
<pre> <part2:ClassOfInanimatePhysicalObject rdf:ID="StraightPipe"> <rdfs:label>Straight Pipe</rdfs:label> </part2:ClassOfInanimatePhysicalObject> <part2:Specialization rdf:ID="StraightPipe_isSpecializationOf_Pipe"> <part2:hasSubclass rdf:resource="#StraightPipe"/> <part2:hasSuperclass rdf:resource="#Pipe"/> </part2:Specialization> </pre>	<pre> <part2:SinglePropertyDimension rdf:ID="Length"> <rdfs:label>LENGTH</rdfs:label> </part2:SinglePropertyDimension> <part2:ClassOfIndirectProperty rdf:ID="DesignedDiameter"> <rdfs:label>Designed Diameter</rdfs:label> <part2:hasPropertySpace rdf:resource="#Length"/> </part2:ClassOfIndirectProperty> </pre>
(c) Definition of equipment properties in OIM	
<pre> <part2:ClassOfMultidimensionalObject rdf:ID="ST-Outside_Diameter-3401-001"> <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://tpl.rdfacade.org/data#ST-3401"/> <rdfs:subClassOf> <owl:Restriction> <owl:onProperty rdf:resource="http://tpl.rdfacade.org/data#temporalWhole"/> <owl:allValuesFrom rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#StraightSteelPipe"/> </owl:Restriction></rdfs:subClassOf> <rdfs:subClassOf> <owl:Restriction> <owl:onProperty rdf:resource="http://tpl.rdfacade.org/data#possessor"/> <owl:allValuesFrom rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#StraightSteelPipe"/> </owl:Restriction></rdfs:subClassOf> <rdfs:subClassOf> <owl:Restriction> <owl:onProperty rdf:resource="http://tpl.rdfacade.org/data#propertyType"/> <owl:allValuesFrom rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#DesignedOutsideDiameter"/> </owl:Restriction></rdfs:subClassOf> <rdfs:subClassOf> <owl:Restriction> <owl:onProperty rdf:resource="http://tpl.rdfacade.org/data#unitOfMeasure"/> <owl:allValuesFrom rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#Millimetre"/> </owl:Restriction></rdfs:subClassOf> </part2:ClassOfMultidimensionalObject> <part2:ClassOfInanimatePhysicalObject rdf:about="http://rdl.dsme.co.kr/data#StraightSteelPipe"> <rdfs:subClassOf> <owl:Restriction> <owl:onProperty rdf:resource="#isPossessorIn"/> <owl:allValuesFrom rdf:resource="#ST-Outside_Diameter-3401-001"/> </owl:Restriction></rdfs:subClassOf> </part2:ClassOfInanimatePhysicalObject> </pre>	
(d) Representation of equipment specifications data according to the predefined OIM	
<pre> <part2:FunctionalPhysicalObject rdf:ID="PPSAFPPB2-80"> <rdfs:label>PPSAFPPB2-80</rdfs:label> <rdf:type rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#StraightSteelPipe"/> </part2:FunctionalPhysicalObject> <part2:MultidimensionalObject rdf:ID="ST00000001"> <rdf:type rdf:resource="http://oim.dsme.co.kr/data#ST-Outside_Diameter-3401-001"/> <part7:temporalWhole rdf:resource="#PPSAFPPB2-80"/> <part7:possessor rdf:resource="#PPSAFPPB2-80"/> <part7:context rdf:resource="http://facade.dsme.co.kr/data#DSMECatalog"/> <part7:beginning rdf:resource="#XSDT_20080427T150934Z"/> <part7:propertyType rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#DesignedOutsideDiameter"/> <part7:numericalValue rdf:resource="#XSFL_96.5"/> <part7:unitOfMeasure rdf:resource="http://rdl.dsme.co.kr/data#Millimetre"/> </part2:MultidimensionalObject> </pre>	

ISO 15926 표준 기반의 기자재 분류체계는 산업 데이터 표준에서 주로 사용된 언어인 EXPRESS 대신에 OWL 로 정의된다. OWL 언어를 사용하여 기자재 분류체계를 정의하는 것은 다음과 같은 장점이 있다.

- 범용성: EXPRESS 비해서 OWL 은 사용 가능한 도구들이 많고 사용자 층도 넓다.
- 분산 데이터 저장: EXPRESS 로 정의된 모델과 달리 OWL 로 표기된 데이터는 서로 다른 물리적 위치에 저장된 데이터들 사이의 상호 연관을 맺을 수 있다. 따라서 OWL 기반의 데이터 기술 방법은 분산 환경에 적합하다.
- 상호운용성: 기자재 분류체계의 구성 요소들이 정의된 RDL 은 ISO 15926 파트 4 IRDL 을 기반으로 정의된다. 정보의 통합 관점에서 보면 IRDL 은 공유 온톨로지 (shared ontology) (Wache et al. 2001)의 역할을 한다. 따라서 ISO 15926 표준을 기반으로 정의된 서로 다른 분류체계들 간의 상호운용성을 확보할 수 있다.

6. ISO 15926 기반의 기자재 라이브러리 - 데이터 저장소의 구현

6.1 데이터 저장소 façade 의 구현

6.1.1 구현 환경

데이터 저장소 façade 는 4 장에서 설명한 기자재 라이브러리의 구성 요소 중에서 라이브러리 관리 시스템에 해당된다. 데이터 저장소 façade 의 시스템 구성은 Fig. 5 과 같다. 기자재 데이터 저장을 위한 데이터베이스로 MySQL 을 사용한다. JENA 는 RDF 및 OWL 데이터 처리를 위한 API 이다. JENA 의 구성 모듈 중 하나인 JENA RDB 브리지는 OWL 로 표현된 기자재 데이터를 관계형 데이터베이스에 저장하기 위해서 사용한다. 데이터 저장소 façade 의 데이터 인터페이스는 웹 서비스 형태로 구현 되고 Apache Tomcat 웹 서버와 Apache Axis2 웹 서비스 엔진을 사용한다.

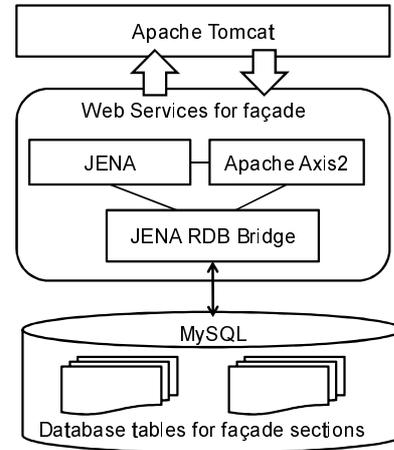


Fig. 5 System architecture of ISO 15926 façade

6.1.2. 트리플 형식의 데이터 구조를 갖는 데이터베이스의 사용

프로세스 플랜트의 개발 과정에서 데이터의 양은 기가바이트에서 시작하여 테라바이트 수준에 이르게 된다. 따라서 데이터의 관리를 위해서 데이터베이스 관리 시스템 (DBMS)을 사용하고 있고 그 종류로는 관계형 데이터베이스가 일반적이다. 따라서 이 연구에서도 ISO 15926 기반의 기자재 라이브러리 구축을 위해서 관계형 데이터베이스를 사용하였다.

Java 언어 기반의 OWL API 인 JENA 는 관계형 데이터베이스와의 데이터 입출력을 위한 별도의 모듈인 JENA RDB 브리지를 제공한다. JENA RDB 브리지는 URI 별로 하나의 데이터베이스 테이블을 생성한다. 그리고 데이터베이스 테이블에 OWL 데이터를 트리플 형식으로 저장한다.

ISO 15926 표준 기반의 데이터 저장소 façade 는 “쿼드 (quad) 데이터 구조로 표현된 데이터를 저장하는 쿼드 저장소 (quad store)”로 정의된다. 여기서 쿼드란, Fig. 6 과 같이 RDF 의 데이터 표기 형식인 트리플에 새로운 필드를 하나 더 추가한 것이다. 데이터 저장소 façade 는 논리적으로 populations, data, sentmsgs, recdmgs, handover, feedbacks 의 6 개의 섹션으로 구성되는데, 쿼드를 사용하면 데이터 저장소 façade 에 부여된 URI

하나로 façade 를 구성하는 6 개의 섹션들을 구분할 수 있다 쿼드 데이터 구조에서 네 번째 필드에 섹션의 식별 정보를 저장하기 때문이다. Fig. 6 의 네 번째 필드에는 populations 섹션이 기록되어 있다.

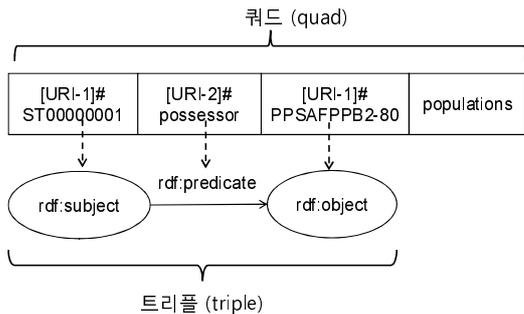


Fig. 6 Data represented in quad

그러나 쿼드를 사용하는 방식은 JENA 와 같은 범용적인 응용 툴킷 (toolkit)이나 트리플 저장소 (triple store)를 사용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 그래서 이 연구에서는 façade 의 각 섹션에 별도의 URI 를 부여하는 방식을 사용하였다.

현재 개발이 진행 중인 ISO 15926 표준의 신규 파트 7, 8, 9, 10 에서도 트리플 저장소를 사용하도록 규정하고 있다.

6.1.3 데이터 저장소 façade 의 웹 서비스 구현

ISO 15926 파트 7 에서는 외부 시스템과 façade 사이의 데이터 교환, façade 간의 데이터 교환, façade 내부의 섹션 사이의 데이터 교환 시 웹 서비스 기술을 사용하도록 규정하고 있다. 그리고 구현을 위해 필요한 웹 서비스의 WSDL 을 제공한다. Façade 를 구성하는 섹션들 사이의 데이터 이동이나 다른 façade 간의 데이터 교환 및 이양을 위해서 사용되는 웹 서비스들이 Fig. 7 에 나타나 있다.

이 연구에서는 WSDL 에 명시 된 façade 의 웹 서비스들 중에서 initialize, population_import, populate 를 구현하여 ISO 15926 표준 포맷의 기

자재 사양 데이터를 façade 에 업로드 하였다.

웹 서비스 initialize 는 façade 를 구성하는 섹션들을 초기화한다.

다른 façade 의 데이터 또는 종립 파일의 데이터를 façade 로 업로딩 할 때 모든 데이터는 먼저 façade 의 populations 섹션에 저장된다. 이를 위해 population_import 웹 서비스를 사용한다. Populations 섹션에 저장된 데이터를 data 섹션으로 옮기기 전에 데이터의 무결성 및 중복성 테스트를 수행한다. 만약 오류가 있는 데이터가 발견될 경우 전체 데이터 업로딩 트랜잭션 (transaction)은 롤백 (rollback)이 된다. 중복 데이터가 있을 경우 그 데이터는 폐기된다.

테스트를 통과한 데이터는 populate 웹 서비스를 통해 populations 섹션에서 data 섹션으로 이동된다.

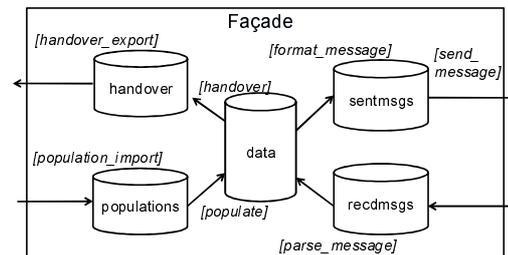


Fig. 7 Data flow of façade through Web Services

6.2 데이터 저장소 façade 의 활용

ISO 15926 표준에 따라 구축된 기자재 라이브러리에 대한 참조 정보는, 4 장에서 설명한 것과 같이, STEP AP 227 물리 파일의 externally_defined_class 엔티티에 기록된다. 이 엔티티에 기록된 참조 정보를 바탕으로 데이터 저장소 façade 를 검색하여 기자재 사양 데이터를 사용한다. 데이터의 검색은, Fig. 8 과 같이, 웹 서비스 이용하는 방법과 SPARQL 를 이용하는 방법이 있다.

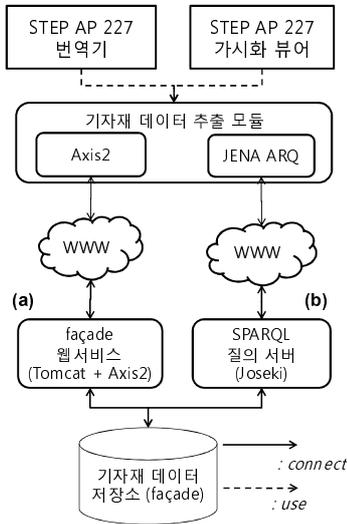
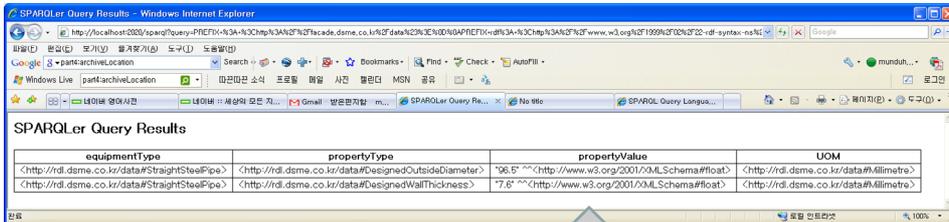


Fig. 8 Methods for retrieving equipment and material data from façade

이 중에서 SPARQL 를 이용한 검색 방법을 사용하였다. SPARQL 질의 서버로는 Juseki 를 사용하였고, 클라이언트 프로그램에서 SPARQL 질의 문을 질의 서버에 보내고 그 결과를 받기 위해 JENA ARQ 를 사용하였다.

SPARQL 을 이용한 검색 방법을 적용할 경우 STEP AP 227 물리 파일에서 외부 참조를 위해 사용되는 *externally_defined_class* 엔티티 인스턴스의 *source* 속성 값으로는 SPARQL 질의 서버의 URI 가 기록된다. SPARQL 질의 서버는 기자재 카탈로그 서버와 다를 수 있으나 이 연구에서는 동일한 서버로 가정하여 구현하였다.

SPARQL 질의 서버를 이용하여 식별 코드가 PPSAFPPB2-80 인 기자재의 사양 정보를 façade 에서 검색한 예가 Fig. 9 이다.



```
[SPARQL query listing]
PREFIX : <http://facade.dsme.co.kr/data#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX part2: <http://rds.posccaesar.org/2008/02/OWL/ISO-15926-2_2003#>
PREFIX part4: <http://rdl.dsme.co.kr/data#>
PREFIX part7: <http://tpl.rdlfacade.org/data#>

SELECT ?equipmentType ?propertyType ?propertyValue ?UOM

WHERE {
  :PPSAFPPB2-80 rdf:type ?equipmentType.
  ?MDO rdf:type part2:MultidimensionalObject.
  ?MDO part7:possessor :PPSAFPPB2-80.
  ?MDO part7:propertyType ?propertyType.
  ?MDO part7:numericalValue ?numericalValue.
  ?numericalValue part2:content ?propertyValue.
  ?MDO part7:unitOfMeasure ?UOM.
  GRAPH <http://rdl.dsme.co.kr/data#>{
    ?equipmentType rdfs:label ?equipmentName.
  }
}
```

Fig. 9 Result of SPARQL query to façade

7. 결론

국제 표준을 활용하여 선박 의장 및 해양 플랜트의 설계 데이터를 교환하기 위해서는기자재의 사양 정보를 저장한 기자재 라이브러리를 구축함과 동시에 이를 참조할 수 있는 방법을 제공해야 한다. 이 연구에서는 ISO 15926 프로세스 플랜트 표준을 활용하여 기자재 라이브러리를 구축하였다.

기자재 라이브러리 구축에 필요한 분류체계를 정의하기 위해서 OWL 언어를 사용하여 ISO 15926 IRDL 를 확장하였고 ISO 15926 파트 7의 템플릿을 활용하여 객체 정보 모델을 정의하였다. 이에 따라 기자재 사양 데이터의 상호운용성을 향상시킬 수 있으며 분산 데이터의 처리를 지원한다.

기자재 사양 데이터 저장소 façade 를 ISO 15926 파트 7의 구현 사양을 참조하여 구현하였다. 구현의 용이성을 위해서 구현 방법의 일부를 ISO 15926 파트 7의 구현 사양과 다르게 하였다. 데이터 저장소 façade 의 데이터 입출력은 웹 서비스 기술을 기반으로 구현되어 다른 데이터 변환기 (혹은 의장 설계 시스템)과의 유연한 연동 (loosely-coupled integration) 이 가능하다.

구축된 기자재 라이브러리는 TRIBON 시스템에서 추출된 의장 설계 데이터를 ISO 10303 STEP의 AP 227 형식의 데이터로 변환하는 과정에서 사양 정보의 외부 참조를 위해 사용되었다.

ISO 15926 표준은 프로세스 플랜트의 생애주기 데이터의 공유 및 관리를 위한 자원이므로 비단 기자재 사양뿐만 아니라 해양 플랜트나 선박 의장의 생애주기 데이터로 적용 범위를 확장할 수 있다. 특히 ISO 15926 표준은 기능적 객체와 물리적 객체의 분리, 공간 차원과 시간 차원의 통합, 클래스와 개체의 명확한 분리 등의 장점이 있어 해양 플랜트나 선박의 인도 이후의 운용 및 유지보수 지원에 적합하다.

ISO 15926 표준의 적용 범위의 확장을 위해서는 먼저 해양 플랜트와 선박 의장 데이터의 표현을 위한 RDL 를 구축해야 한다. 그리고 ISO 15926 파트 7의 템플릿을 확장하여 해양 플랜트 생애주기 데이터의 지원이 가능한 정보 모델링 자

원을 개발해야 한다. 시스템 구현 측면에서는 ISO 15926 파트 7의 façade 의 구현 사양을 바탕으로 해양 플랜트 생애주기 데이터 관리를 위한 응용 시스템의 개발이 필요하다. 이 과정에서 최근에 공개된 개발 도구인 iRING (iRING 2009)의 활용도 고려할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 “세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU) (R31-2008-000-10045-0)”, 대우조선해양의 “DSME-KAIST 산학협력 협의회 과제”, 한국해양연구원의 “기관목적사업”의 지원으로 수행된 연구 결과의 일부임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Batini, C., Lenzerini, M. and Navathe, S.B., 1986, “A comparative analysis of methodologies for database schema integration”, ACM Computing Surveys, Vol. 18, No. 4, pp. 323-364.
- Benthall, L., Briggs, T., Downie, B., Gischner, B., Grau, M., Kassel, B. and Wood, R., 2003, “Enabling Interoperability between U.S. Shipyards”, 2003 World Maritime Conference.
- Berners-Lee, T., Hendler J. and Lassila O., 2001, “The Semantic Web”, Scientific American.
- Cho, J., Mun, D., Kim, H., Han, S. and Ryu, B., 2003, “A data dictionary of die and mold parts for e-commerce based on PLIB, Transactions of the Society for e-Business Studies, Vol.8, No. 3, pp. 37-52.
- Gischner, B., Lazo, P., Richard, K. and Wood, R., 2005, “Enhancing Interoperability Throughout the Design & Manufacturing Process”, SNAME Maritime Technology Conference & Expo 2005.
- Holowczak, R.D. and Li, W.S., 1996, “A survey on attribute correspondence and heterogeneity

- metadata representation”, in the proceedings of 2003 IEEE Metadata Conference.
- Hwang, H.J., Han, S.H. and Kim, Y.D., 2003, “Generation of 3D STEP Model from 2D Drawings Using Feature Definition of Ship Structure”, Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 8, No. 2, pp. 122–132.
 - Hwang, H.J. and Han, S.H., 2001, “Mapping 2D Midship Section into 3D Structural Models based on STEP AP218”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 4, pp. 48–55.
 - Irgens, T.A., Hansen, T. and Haenisch, J., 2004, “PLCS Pilot for New Norwegian Frigates,” PDT Europe 2004.
 - iRING, 2009, <http://iringug.org/>.
 - ISO, 2003, 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.
 - ISO, 2005a, 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.
 - ISO, 2005b, Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – part 227: Application Protocol: Plant spatial configuration, ISO:2005 10303–227.
 - ISO, 2005c, Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – part 239: Application Protocol: Product life cycle support, ISO:2005 10303–239.
 - ISO, 2007a, 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.
 - ISO, 2007b, 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, Ballot Document of ISO/CD TS 15926–7, ISO/TC 184/SC4/WG3 N2382.
 - Kassel, B. and Briggs, T., 2008, "An Alternate Approach to the Exchange of Ship Product Model Data", Journal of Ship Production, Vol. 24, No. 2, pp. 92–98.
 - Kim, D.S. and Lee, C.S., 2007, “Development of a Tribon In-House Program for Supporting Shipbuilding Part Generation”, in the proceedings of 2007 Korea CAD/CAM Conference.
 - Kim, J.H. and Han, S.H., 2002, “Interface between Geometric Kernel and Database for a Ship CAD which has a STEP Database as a Native Storage”, Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 7, No. 3, pp. 202–209.
 - Laud, A., 2006, “XMpLant model Overview”, Noumenon Consulting Limited.
 - Leal, D., 2005, “ISO 15926 Life Cycle Data for Process Plant: An Overview,” Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 60, No. 4, 629–637.
 - Lee, A.M., Lee, J.H., Lee, D.K. and Kim, S.Y., 2009, “The study on the generation of hull structural FEM model using 3D CAD model”, 2009 Virtual Product Development User Conference.
 - Leal, D., Price, D., Feeney, A.D. and Bock, C., 2009, “Future SC 4 Architecture PWI Overview and Plan”, circulated at ISO TC184 SC4 Meetings on May 2009.
 - Mun, D., Kim, B.C. and Han, S., 2009,

- “Representation of Process Plant Equipment Using Ontology and ISO 15926”, Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 1–9.
- Mun, D., 2009, “Industrial data standards and their applications in the plant industry”, The Plant Journal, Vol. 5, No. 3, pp. 4–16.
 - OASIS, 2003, Universal Description, Discovery and Integration (UDDI) Version 2, <http://www.oasisopen.org/specs/index.php#uddiv3.0.2>.
 - POSC Caesar, 2007, <https://www.posccaesar.org/wiki/ISO15926inOWL>.
 - Radack, G. et al, 2005, “Report on The Task Force on Dictionaries, Part Libraries and Reference Data Libraries”, ISO TC184/SC4/N2016.
 - Vergeest, J.S.M. and Horvath, I., "Where interoperability ends", 2001, In the Proceedings of 2001 Computers and Information in Engineering Conference, DETC'01/CIE-21233, ASME.
 - Wache, H., Vogele, T., Visser, U., Stuckenschmidt, H., Schuster, G., Neumann, H. and Hubber, S., 2001, “Ontology-based integration of information – a survey of existing approaches“, Proceedings of the International Workshop on Ontologies and Information sharing.
 - W3C, 2004a, Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>.
 - W3C, 2004b, OWL Web Ontology Language Guide, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>.
 - W3C, 2007a, Web Services Description Language (WSDL) version 2.0 Part1: Core Language, <http://www.w3.org/TR/wsdl20/>.
 - W3C, 2007b, SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/soap12-part1>.
 - W3C, 2008, SPARQL Query Language for RDF, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
 - Yun, J. Mun, D., Han, S. and Cho, K., 2007, "Development of the ISO 15926-based Classification Structure for Nuclear Plant Equipment", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 191–199.



< 문두환 >



< Li Jinggao >



< 한순흥 >



< 이원준 >