한국에너지공학회(2004년도)
춘계 학술발표회 논문집 P395-400

원전 대상의 STEP 기반 데이터 저장소 및 P&ID와 3차원 CAD 모델 연계에 관한 연구

안호준, 조광종, 박찬국, 한순흥*, 안경익**, 최영준***
고등기술연구원, 한국과학기술원*, 경희대학교** 율시스템(주)***

A study of the STEP-based Data Repository and P&ID-3D CAD Model Connected Pilot System at Nuclear Power Plant

Ho-Jun Ahn, Kwang-Jong Jo, Chan-Kuk Park, Soon-Hung Han*, Kyung-Ik Ahn**,
Young-Jun Choi***
Institute for Advanced Engineering, KAIST*, KyungHee University**,
Youl System Corp.***

요약

국내 차세대 원전인 APR 1400 원전의 원자로 냉각 계통(Reactor Coolant System)을 대상으로 하여 표준 데이터 모델 기반의 데이터 저장소를 구축하였다. 또한 구축한 데이터 저장소를 기반으로 웹을 통해 해당 계통 및 계통에 포함되어 있는 장비의 속성정보를 검색할 수 있으며, 마이크로스테이션이라는 설계 툴에서 2차원 도면인 P&ID와 해당 P&ID와 연관된 3차원 CAD를 연계시킴으로써 P&ID를 바탕으로 건설한 원전 플랜트를 3차원 CAD 모델을 통하여 해당 계통의 실제 레이아웃(Layout)을 확인할 수 있도록 하는 프로토타입 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

This study is that STEP based Data Repository of APR1400 Nuclear Power Plant Reactor Coolant System is developed. The STEP based Data Repository is accessed by Web-based and an attribute data of Reactor Coolant System Equipment is offered. Also, a P&ID drawing file & 3D CAD Model of Reactor Coolant System is loaded. The P&ID drawing file of Reactor Coolant System Equipment Model is connected with 3D CAD Model file. This 2D/3D CAD Model connected Prototype system confirms a real layout of Reactor Coolant System.

1. 서론

최근 새로운 IT 기술의 출현으로 대규모의 원자력 플랜트를 비롯하여 프로세스 플랜트, 석유가스 해양 플랜트, 화학 플랜트 등의 플랜트 산업에서 플랜트의 생애 주기 전반에 걸쳐 생성되거나 사용되는 데이터에 대한 통합적인 관리에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 움직임은 기업 환경의 글로벌화, 플랜트 등의 제품에 대한 복잡성의 증가 및 민첩(agile) 생산에 대한 요구가 증가되어 가는 경향에 대한 기업의 기술경쟁력 제고라는 측면에서 당연한 것이라 할 수 있다.

특히 원자력 플랜트는 규모 면에서 다른 플랜트와 비교해 볼 때 크며 관리해야할 데이터 또한 방대하다. 그리고 약 50년 정도의 긴 생애주기를 가지는 원자력 플랜트의 80%이상의 데이터는 대부분 원자력 플랜트의 설계단계에서 생성된다. 또한 설계 단계에서는 전장, 구조, 파이핑, HVAC 등의 대상에 따라 다양한 CAD 시스템을 사용한다. 이러한 상이한 CAD 시스템은 기업 간의 협업이나 표준을 통한 통합적인 데이터의 관리 측면에서 많은 문제점을

지닌다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 ISO 국제 표준 기구에서는 ISO 10303(STEP, STandard for the Exchange of Product model data)이라는 제품에 대한 데이터 교환 및 공유 시, 필요한 표준적인 데이터의 구조에 대해 정의하고 있다. 본 연구에서는 ISO 10303 가운데에서 발전소에 적용할 수 있는 응용프로토콜로인, AP221, AP227, AP231과 STEP에서 분리되어 ISO에서 하나의 표준으로 분리 제정된 ISO 15926, 일본에서 개발하여 원전에 실제 적용한 제품모델 GPM(Generic Product Model)를 연구하고 원전 1차 계통에 부분 적용하였다.

2. 표준 데이터 모델 관련연구

2.1 STEP

ISO 10303인 STEP은 국제 표준 기구인 ISO(International Standard Organization)에서 제정하고 있는 표준으로 서로 다른 시스템 간에 제품 정보를 교환하는데 필요한 규격을 말한다. STEP은 개발 초기에 이 기종 CAD/CAM 시스템간의 CAD 데이터 교환을 목적으로 표준 제정이 시작되었으며 현재는 단순한 CAD 데이터, 즉 형상 정보뿐만 아니라 비형상 정보를 포함한 제품에 관한 모든 정보를 포함하고 있다. 또한 최근에는 제품모델 정보의 시스템간의 단순한 정보의 교환뿐만 아니라 데이터베이스 및 데이터웨어하우스와 같은 IT개념의 접목으로 생애주기 동안 발생하는 모든 제품 정보를 관리할 수 있는 통합적인 데이터 저장소 개념으로 확장하고 있다. STEP은 크게 표현 방법, 구현 방법, 통합 자원들, 응용 프로토콜, 추상 테스트 집합 등으로 구성되어 있다. 이러한 구조는 표준을 표현, 구현, 실제 특정 도메인의 표준 등으로 세부적으로 나누어 제정함으로써 제품모델을 나타내는 정보와 실제 이러한 정보를 바탕으로 구현할 수 있는 수단을 분리하여 표준 개발 시 혹은, 실제 산업에 표준적용 시 높은 유연성을 가지고 쉽게 접근할 수 있다는 점에서 유리하다.
본 논문의 대상 도메인은 원자력발전소로써 이에 적용할 수 있는 발전소에 관한 STEP 표준은 STEP AP221, AP227 및 AP231을 들 수 있다. AP221은 발전소에 관한 기능데이터와 그들의 형상 표현을 다루는 표준으로 주로 배관, 밸브 등으로 구성된 P&ID를 주 대상으로 하고 있다. AP 227은 발전소의 공간 구성 정보에 대한 규격으로, 주로 발전소의 배관 시스템에 대한 형상 및 공간 배치를 대상으로 하고 있다. 마지막으로 AP231은 발전소의 주요 프로세스 장비에 대한 프로세스 설계, 단위 동작, 시뮬레이션과 같은 개념적인 설계 단계에서 발생하는 데이터에 대한 규격이다.

그리고 발전소에 적용할 수 있는 제품 정보에 대한 표준으로 ISO 15926이 존재한다. ISO 15926은 석유 및 가스 설비의 생애주기 동안 발생하는 정보를 대상으로 한 표준으로 초기에는 STEP의 한 부분으로 생각되었지만 표준의 제정을 신속하게 하기 위해 STEP에서 분리되어 ISO의 하나의 표준으로 제정되었다. ISO 15926은 전형적인 STEP의 데이터 구조인 AIM(Application Interpreted Model)를 따르지 않고 EPISTLE(European Process Industries STEP Technical Laison Executive) 코어 모델을 기반으로 한 RDL(Reference Data Library)이라는 라이브러리 개념을 도입하여 기존의 STEP 데이터 모델보다 더 유연성과 확장성이 뛰어난 구조를 가지고 있다.

마지막으로 GPM(Generic Product Model)은 일본에서 개발된 제품 모델로 ISO 15926과 같이 EPISTLE 코어 모델 기반으로 하지만 데이터를 오브젝트(Object)와 오브젝트간의 관련 사항을 어소시에이션(Association)으로 표현하며, 어소시에이션 또한 오브젝트로 관리되는 모델로 ISO 15926의 제품 모델보다 더욱 뛰어난 확장성을 가지고 있다. 본 논문에서는 원자력 발전소의 원자로냉각계통(Reactor Coolant System)의 데이터 저장소를 GPM을 이용해 구축하였으며, 다음 절에서는 이러한 GPM에 대해 살펴보기로 한다.

2.2 Generic Product Model

GPM은 일대다 관계로 표현된 모델로 오브젝트와 오브젝트 간을 연결하는 어소시에이션(association)으로 구성되어 있다. 옆의 그림 1과 같이 EXPRESS-G로 표현된 데이터 모델을 GPM 코어(Core) 모델이라 한다. 여기에서 EXPRESS-G라는 표기법은 객체형 모델링 언어인 EXPRESS의 그래픽 표현이다.

그림 2는 GPM 코어 모델의 기본적인 구현 구조를 보여주고 있다. GPM 코어 모델

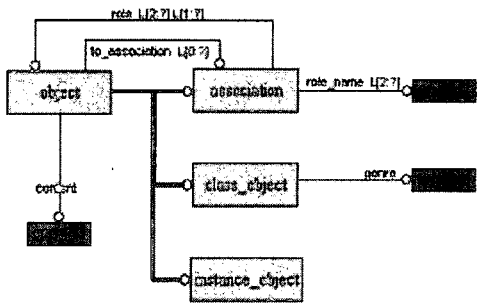

그림 1 GPM의 EXPRESS-G 표현

에서는 주어+동사(어소시에이션)+목적어로 표현된다.

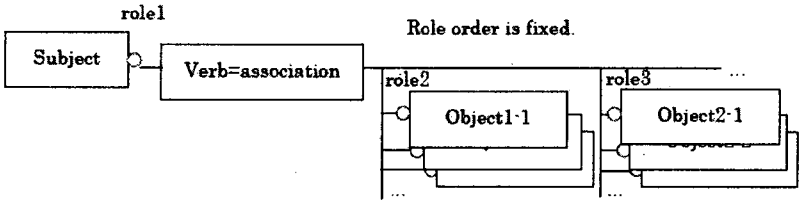

그림 2 GPM의 기본적인 구현 구조

주어와 목적어는 동사에 의해 연결되며 이렇게 하여 하나의 문장이 생성된다. 동사는 복수의 목적어를 가질 수 있다. 실제 구현에서 주어는 하나가 존재하며 동사+목적어의 집합은 복수개로 주어와 연결된다. 그리고 주어는 순서 없이 다양한 동사를 가지지만 각각의 동사는 정해진 순서의 목적어를 가지게 된다.

3. STEP 기반 데이터 저장소 구축 및 P&ID와 3D 모델 연계

3.1 STEP 기반 데이터 저장소 구축

본 논문에서는 차세대 원전인 APR1400의 원자로냉각계통 내의 몇 개의 장비를 대상으로 데이터 저장소를 구축하였다. 그 대상으로는 원자로 용기, 증기 발생기, 가압기, 원자로 냉각재 펌프 등이다. 데이터 저장소의 구조는 GPM 코어 모델을 기반으로 하였으며 실제 구축 시에는 관계형 데이터베이스로 구현하였다. 아래 그림 3은 구축한 데이터 저장소의 구조를 나타내고 있다.

여기서 주목할 점은 각각의 장비에 대한 2D P&ID와 3D CAD 모델과의 연관 정보가 테이블 내의 하나의 컬럼 형식으로 존재하도록 설계하였다. 이렇게 함으로써 각 장비에 대한 독립적인 CAD 모델의 관리 및 뷰잉이 가능하게 된다. 본 논문에서는 이러한 형상 정보가 파일 형식으로 구축되었지만, 차후에는 오브젝트 형식의 형상 객체의 집합으로 구축해 파일 단위가 아닌 형상 오브젝트 단위 관리가 가능하도록 할 필요가 있다.

자세히 살펴보면 기기마다 tag_id가 존재하고 해당 속성들이 구분되어 있는 것을 확인할 수 있다. 예로, 냉각 펌프(Reactor Coolant Pump)는 해당 기기에 대한 구분 id인 tag_id를 비롯하여 아래 표 1과 같은 속성 즉, 비형상 정보로 정의되었다.

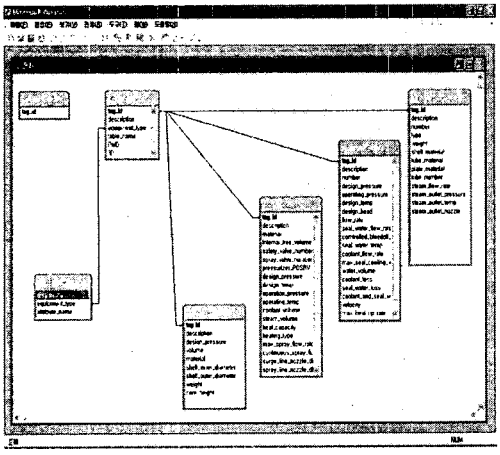

그림 3 데이터 저장소 구조

표 1 냉각펌프 속성

이름	형식	크기
tag_id	텍스트	50
description	텍스트	50
number	텍스트	50
design_pressure	텍스트	50
operating_pressure	텍스트	50
design_temp	텍스트	50
design_head	텍스트	50
flow_rate	텍스트	50
seal_water_flow_rate	텍스트	50
comtrolled_bleedoff_flow	텍스트	50
seal_water_temp	텍스트	50
coolant_flow_rate	텍스트	50
max_seal_cooling_water	텍스트	50
water_volume	텍스트	50
coolant_loss	텍스트	50
seal_water_loss	텍스트	50
coolant_and_seal_water_loss	텍스트	50
velocity	텍스트	50
max_heat_up_rate	텍스트	50
max_cooling_rate	텍스트	50

3.2 시스템 구성

전체 시스템의 구성도는 그림 4와 같다. 웹 서버로 접근하여 키 값에 따라, DB 서버에 있는 기자재 속성 데이터와 P&ID 도면, 3차원 CAD 파일을 검색시스템을 통하여 볼 수 있다. 먼저 검색창에서 선택 기기의 속성을 본 후, 해당기기가 속한 P&ID 도면을 열람할 수 있고 이어서 기기의 3차원 CAD 파일을 열어서 실제 모델을 확인할 수 있다. 여기에서 2차원 도면 및 3차원의 모델의 뷰어로서 마이크로스테이션을 사용하였고 그림 4에서 MA(MDL(Microstation Development Language) Application)는 P&ID 도면과 3차원 모델 파일을 보기위하여 선택하였을 경우, 뷰어 소프트웨어 프로그램인 마이크로스테이션이 클라이언트 PC에서 자동으로 실행되고 DB 서버에서 다운로드 받은 2차원, 3차원 화일을 열어서 선택 해당 객체가 하이라이트 되는 역할과 기기속성이 마이크로스테이션 화면 안에서 볼 수 있게 만든 중간 인터페이스 역할을 한다.

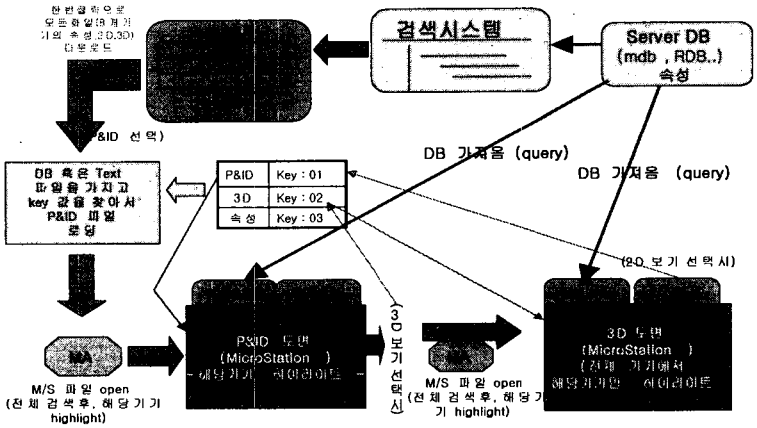

그림 4 전체 시스템 구성도

그림 5는 초기 화면으로부터 원자로냉각계통 가운데에서 원자로(Reactor Vessel)를 검색하여 들어간 속성 값이 나타난 화면창이다. 내용창의 하단 부분에 있는 System Design DWG 선택칸을 선택하

면 해당기기가 들어있는 P&ID 도면 리스트가 나타난다. 그 가운데에서 한 개의 도면을 선택하면 그림 6과 같이 원자로냉각계통의 P&ID 도면이 자동으로 열린다. 그림에서 파란색 부분이 원자로냉각계통의 주요 계통을 표시한 것이다. 여기에는 원자로(Reactor Vessel), 가압기(Pressurizer), 증기발생기 (Steam Generator) 2개, 원자로 펌프(Reactor Pump) 4개 등 총 8개의 주요기기로 구성되어 있다.

표 2는 각각의 기기명칭과 태그명, 해당기기가 속한 P&ID 도면, 그리고 3차원 CAD 모델 파일명을 도표화 한 것이다. P&ID 도면 및 기기들의 3차원 CAD 모델은 벤틀리사의 PlantSpace Ver. 8로 작업하였고 개개의 기기들의 3차원 CAD 모델은 여러 개의 단품들로 구성되어있어서 단품들을 하나의 기기 그룹으로 묶는 작업을 하여 결국, P&ID 화일에 나와 있는 Tag-ID 명칭에 따라 8개의 기기 모델별로 구분 되었다.

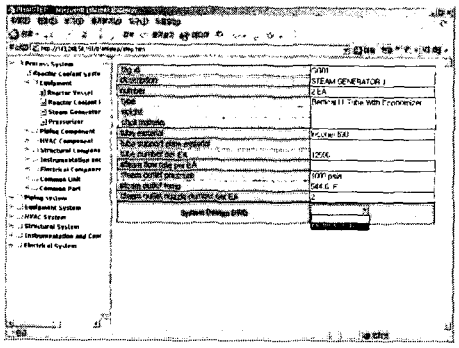

그림 5 원자로 기기 속성

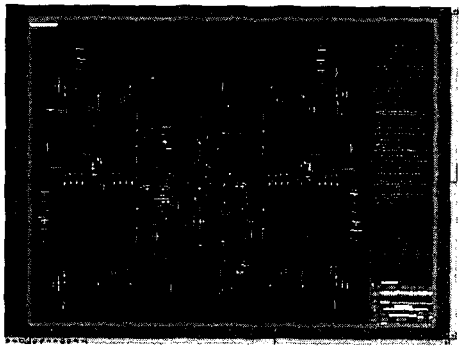

그림 6 원자로냉각계통 P&ID

표 2 원자로냉각계통 기기명칭과 Tag_ID 명

기기 명칭	Tag_ID	설명	P&ID 모델명	3D 모델명
Reactor Vessel	RV01	Reactor Vessel	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Steam Generator 1	SG01	Steam Generator	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Steam Generator 2	SG02	Steam Generator	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Pressurizer	PZ01	Pressurizer	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Reactor Coolant Pump 1A	PP01A	Coolant Pump	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Reactor Coolant Pump 1B	PP01B	Coolant Pump	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Reactor Coolant Pump 2A	PP02A	Coolant Pump	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn
Reactor Coolant Pump 2B	PP02B	Coolant Pump	P&ID_n-431-end105-00100100.dgn	RCS_TOTAL_merg.dgn

3.3 P&ID와 3D CAD 모델 연계

검색창으로부터 원자로냉각계통의 기기장비를 검색해 들어간 후, 8개의 기기 가운데에서 하나의 기기를 선택하여 기기의 속성을 열람하고 2차원 P&ID 화일을 선택하면 그림 7과 같이 P&ID 파일이 열리고 선택기기가 하이라이트 된다. 또한, 왼쪽 단축 메뉴창에서 속성값을 확인할 수 있는 버튼이 있어서 해당기기의 속성값을 팝업창으로 볼 수 있고 속성창에서는 3차원 모델을 열 수 있는 버튼과 하이라이트를 다시 시킬 수 있는 버튼이 있다. 3차원 모델을 확인하는 화면에서도(그림 8) 기기 속성 확인과 선택 기기의 재 하이라이트가 가능하다. 또한, 같은 화면 안에서 다른 기기의 속성값과 모델의 확인도 수행할 수 있고 역으로

3차원 화면 안의 기기 모델 식별에서 2차원 화면으로 전환하여 P&ID 도면 안에서, 똑같은 기기 모델 식별이 된다.

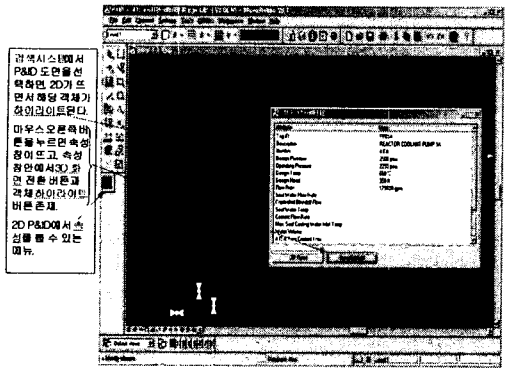

그림 7 원자로냉각계통 P&ID

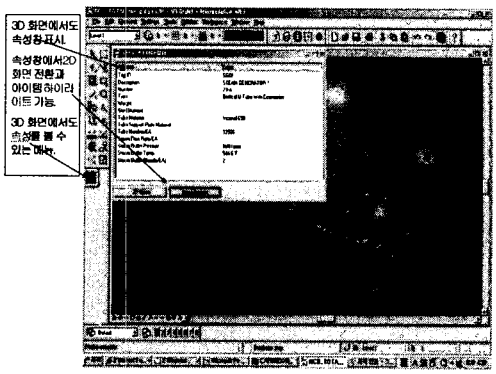

그림 8 원자로냉각계통 3차원 모델

4. 결론

ISO 10303의 STEP AP 221, 227, 231 및 석유 및 가스 설비의 생애주기 동안 발생하는 정보를 대상으로 하는 국제 표준 규격 ISO 15926, 그리고 일본에서 개발한 제품모델 GPM를 연구하였다. 이에, 차세대 원전 APR 1400의 원자로냉각계통내의 주요 기기정보를 다른 제품 모델보다 확장성이 뛰어난 GPM 코어모델을 기반으로 하여 데이터저장소를 관계형 데이터베이스로 구현하였다. 그리고 구현한 데이터 저장소에 주요 기기의 속성정보와 속성값을 정의하였다. 이렇게 구축한 기기들의 속성값들의 접근 방법으로 웹 기반위에서 운용되는 시스템을 도입하여 데이터베이스 서버를 웹기반 사용자 인터페이스로 검색하고, 여기에 P&ID 도면과 3차원 CAD 모델과의 연계 시스템도 마련하여 선택기기의 2차원 화면과 3차원 모델 안에서의 확인뿐만 아니라 연계 확인도 가능하게 하였다.

향후, 원자로냉각계통의 기기뿐만 아니라, 타계통의 주요기기와 다른 Discipline으로 배관, 전기계통, 공기정화계통 등의 속성 정보도 국제표준규격으로 데이터모델을 구성할 수 있을 것이다.

5. 후기

본 연구는 산업자원부의 "전력산업인프라구축지원사업"으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

[1] ISO 10303-227, Application protocol: Plant spatial configuration.

[2] ISO 15926-2, specifies a generic, conceptual data model that supports representation of all life-cycle aspects of a process plant.

[3] "Process Engineering 특별 연구회 Process STEP 전문 위원회 활동 보고서 (1996-1998) (일본어)" 1999-03

[4] ISO TC184/SC4 (The ISO sub-committee overseeing ISO 10303 (STEP)), http://www.tc184-sc4.org/

[5] 한순홍 외, "국제표준(ISO10303 STEP, ISO13584 PLIB) 기반의 원자력발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발", 연구계획서, 전력산업기술기반조성사업, 2003-03

[6] 한순홍 외, "국제표준(ISO 10303 STEP, ISO 13584 PLIB) 기반의 원자력발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발 1차년도 년차보고서", 2004-5-3