

그리드 기반의 하이브리드 토목 공학 실험에서의 데이터 모델링

김동욱^o 이장호
홍익대학교 컴퓨터공학과
realtroy.kim@gmail.com, janghol@cs.hongik.ac.kr

Data Modeling in Grid-Based Hybrid Civil-Engineering Experiment

DongWook Kim^o Jang Ho Lee
Department of Computer Engineering, Hong Ik Univ.

요 약

최근 분산된 자원을 효과적으로 공유할 수 있는 그리드 기반의 과학 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 그러한 예로 국내에서는 건설 및 토목 분야의 원격실험 관측과 제어를 포함한 공동연구 환경의 구축을 내용으로 하는 KOCED(Korea Construction Engineering Development) 프로젝트가 진행 중에 있다. 본 논문에서는 KOCED에서 구축 중인 실험센터의 하나로서, 지리적으로 떨어진 실험 시설과 수치시물레이션을 연동하여 실험할 수 있는 하이브리드 실험센터를 대상으로 데이터 모델링을 하였다. 데이터 모델은 데이터를 표현하는 용어를 통일하고 데이터 간의 관계를 명확하게 하여, 데이터의 재사용성을 높일 수 있기 때문에 실험비용이 많이 소모되는 과학실험에 필수적이다. 그리드에 기반한 하이브리드 실험의 데이터 모델링은, 기존의 건설 및 토목실험의 대부분이 독립적인 실험 형태였기 때문에, 정확한 데이터 모델을 예측하기가 용이하지 않았다. 따라서 먼저 하이브리드 실험의 축소 모형인, 프로토타입 실험체를 만들고, 이에 대한 데이터 모델을 설계하여 토목공학 연구자에 의해 사용하게 하였다. 일정기간 사용기간을 갖고, 이에 대한 회의를 통해 향후 구축될 하이브리드 실험센터의 데이터 모델을 설계하였다. 현재 하이브리드 실험의 데이터 모델을 그리드 포털 기반의 데이터관리 서비스로 구현 중에 있다.

1. 서 론

그리드란 분산된 고성능 컴퓨터 자원과 대규모 데이터를 효과적으로 활용할 수 있는 기술이다[1]. 그리드 기술을 이용하면 고성능 및 대용량의 계산 능력을 필요로 하는 과학 연구에서 상호 협력 작업을 가능하게 해준다.

그리드 기술을 활용한 과학 연구는 다양하고 이질적인 데이터를 생산한다. 생산된 과학 데이터는 실험 결과 데이터뿐만 아니라 실험을 수행하는 과정에서 나타나는 데이터를 포함한다. 그래서 각 실험마다 산출 데이터의 형식 및 내용이 다른 것이 일반적이다. 서로 다른 데이터의 표준이 없을 때, 많은 노력과 물질적인 비용이 소모된 과학 데이터의 재사용이 쉽지 않다. 따라서 과학 데이터의 통합 및 검색을 위한 데이터 모델이 필요하다[2].

과학 데이터의 데이터 모델이란 실험 구성 요소 간 관계에 대해 정의하고, 실험 구성 요소를 표현하는 용어를 통일하며, 이 들을 구조적으로 정의해 놓은 것을 의미한다. 이를 통해 데이터를 개념적으로 설명하고, 논리적으로 표현할 수 있다[3].

본 논문은 KOCED(Korea Construction Engineering Development)에서 구축 중인 물리적 실험 노드와 수치시물레이션 노드로 구성된 하이브리드 실험센터를 대상으로 데이터 모델링을 하였다. KOCED는 그리드 기술을 토목 및 건설 분야에 적용한 프로젝트이다[4]. KOCED는 그리드 시스템을 활용하여 여러 대형 실험시설을 연결하

고, 해당 분야 연구자들 및 일반사용자들에게 다양한 서비스를 제공하는 등 원격실험 관측 및 제어를 포함한 공동연구 환경의 구축을 목적으로 한다.

하지만 기존의 대형실험 시설은 대부분이 독립적인 실험 형태로 구축되어, 그리드를 기반으로 서로 다른 실험 시설을 연동한 하이브리드 실험의 데이터 모델을 예측하기가 쉽지 않았다. 따라서 다음과 같이 두 단계로 하이브리드 실험의 데이터 모델링을 진행하였다.

첫 번째 단계로 하이브리드 실험의 축소 모형인, 프로토타입 실험체를 만들고, 이에 대한 데이터 모델을 설계하였다. 설계된 프로토타입의 데이터 모델은 토목공학 연구자에 의해 일정기간 사용되었다.

두 번째 단계로 프로토타입 실험을 경험한 토목공학 연구자와의 다수의 회의를 통해 문제점과 개선안을 파악한 후 향후 구축될 하이브리드 실험센터의 데이터 모델을 설계하였다.

2장에서는 관련연구를 알아보고, 3장에서는 하이브리드 실험의 데이터 모델에 대하여 설명한다. 4장은 설계된 데이터 모델을 기반으로 구현 중인 데이터관리 서비스와 시스템에 대하여 설명하고, 5장에서 본 논문의 결론에 대하여 기술한다.

2. 관련연구

과학 연구의 실험결과 또는 실험과 관련된 여러 데이

터는 관리와 문서화과정뿐만 아니라, 실험에 대한 데이터 모델도 필요하다. 데이터 모델은 연구자 간의 용어를 통일하고, 데이터 간의 관계에 대해 명확하게 표현한다. 따라서 데이터의 통합과 검색을 용이하게 하고, 이를 통해 데이터의 재사용성을 높일 수 있다. NEES(Network for Earthquake Engineering Simulation)[5]의 Reference NEESgrid 데이터 모델[6]과 GISER(Geographic Information System Entity Relational) 데이터 모델[7]이 그 예이다.

NEES는 미국의 지진 공학 관련 실험장비들을 그리드 기술을 적용하여 연결한 망으로써, 컨소시엄에 의하여 운영되는 하나의 공유연구시설이라고 할 수 있다. Reference NEESgrid 데이터 모델은 지진 공학 실험과 수치해석 실험 등의 중요한 연구를 지원하기 위해 개발되었다. 개발 동기는 NEESgrid 시스템 통합 팀과 NEES 커뮤니티 간 협력의 효율성을 증진시키는 것으로, 각 실험의 데이터 모델 기준안을 제시한다. Reference NEESgrid 데이터 모델은 엔티티 간의 연관 관계를 기반으로 SiteInformation, Activity, Apparatus, DataElement, ApparatusSetup, ComplexDataType의 6가지 클래스로 나뉜다. SiteInformation는 실험 외적인 정보를 담는 엔티티를 포함하고, Activity는 실험의 흐름과 관련된 계층 관계의 엔티티를 포함한다. Apparatus와 ApparatusSetup는 실험 시설에 대한 정보와 설정에 대한 엔티티의 집합이다. DataElement는 실험입력 및 결과과일에 대한 엔티티를 포함하고, ComplexDataType은 Integer나 Boolean 등 단순 데이터 타입으로 나타낼 수 없는 엔티티의 집합이다.

GISER 데이터 모델은 Space/Time, Features, Coverages, Spatial Objects의 주요 개념을 기반으로 설계되었고, EER(Enhanced Entity Relationship)[8] 다이어그램을 통해 지리정보시스템을 표현한다. 지리정보시스템은 복잡한 공간과 비공간 데이터의 조작, 저장, 분석은 물론, 처리된 결과를 지도형태로 나타낼 수 있어야 한다. 따라서 지리정보시스템을 위한 데이터 모델은 실세계의 데이터를 입력할 수 있고, 다중공간표현이 가능한 스키마 정의 및 관리기능이 포함되어야 한다[9].

본 논문에서 제시한 하이브리드 실험의 데이터 모델은 그리드 포탈 기반의 데이터관리 서비스로 구현 중에 있다.

그리드 포탈은 네트워크로 연결된 고성능 컴퓨터와 장비 등의 자원을 활용하여 응용프로그램의 개발 및 실행을 효율적으로 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 분산된 환경에서 문제를 공유하고, 서로 다른 환경에서 각 실험마다 새로운 응용프로그램을 만드는 것은 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그리드 포탈에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 오픈소스 기반의 그리드 포탈 개발 도구인 Gridsphere Portal Framework가 대표적인 예이다[10].

Gridsphere Portal Framework는 웹 포탈 구축을 위한 포틀릿(portlet) 기반의 표준 틀으로써 그리드 포틀릿을 이용한 웹 응용프로그램의 개발을 지원하는 도구이다[11].

Gridsphere Portal Framework이 제공하는 기본 기능은 사용자의 로그인, 접근 관리 등이 있고, 작업관리

GridFTP를 이용한 파일관리, 그리드 정보 서비스, MyProxy를 이용한 인증 관리 등도 지원한다. 또 XML 기반의 유저인터페이스는 포탈의 구조를 쉽게 변경할 수 있는 장점을 제공한다. 현재 GridSphere Portal Framework를 사용하는 포탈로 다양한 분야의 과학자들을 위한 연구를 지원하는 CCT(Center for Computation & Technology) HPC Portal[12], 해양 관측과 예측을 위한 SCOOP(SURA Coastal Ocean Observing and Prediction) Portal[13] 등이 있다.

3. 데이터 모델링

그림 1은 향후 구축될 예정인 하이브리드 실험 센터의 유스케이스 다이어그램이다. 하이브리드 실험 센터의 원격 사용자는 크게 3가지의 서비스를 이용할 수 있다. 첫째로 원격 실험을 수행할 수 있다. 사용자는 원격지에서 사전에 합의된 실험 계획을 통해 실험 시설의 조작을 허가 받아 사용할 수 있다. 둘째로 원격 모니터링을 할 수 있다. 원격 모니터링은 실험에 관심이 있는 사용자가 실험 장비를 조작하지는 않지만, 진행되는 실험을 관찰할 수 있는 서비스이다. 원격 모니터링 이용자는 비디오 장비의 조작을 통해 원하는 화면을 볼 수 있다. 셋째로 실험결과를 볼 수 있다. 사용자는 저장소에 데이터 모델을 통해 분류된 실험결과 데이터 및 실험관련 데이터를 이용할 수 있다. 데이터 모델은 실험결과에 대한 데이터와 실험을 구조적으로 표현하는 데이터 등을 정의하여 통합 및 검색을 용이하게 한다.

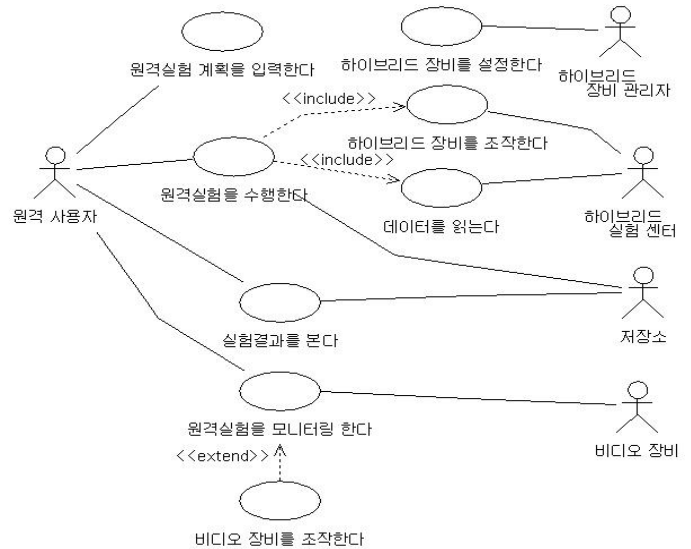


그림 1 하이브리드 실험의 유스케이스

본 논문의 하이브리드 실험 센터는 서로 다른 실험시설을 연동하는 실험이기 때문에, 기존의 독립적인 형태의 건설 및 토목 실험을 위한 데이터 모델을 적용하기가 용이하지 않았다. 따라서 다음과 같이 두 단계로 데이터 모델링을 진행하였다.

우선 하이브리드 실험의 프로토타입 실험체를 만들고, 프로토타입의 데이터 모델을 설계하였다. 이 데이터 모델은 프로토타입 실험시 토목공학 연구자들에 의해 일정

기간 사용되었다. 이 후 토목공학 연구자들과의 회의를 통해 하이브리드 실험의 데이터 모델을 설계하였다.

3.1 프로토타입의 데이터 모델링

하이브리드 실험은 전체 실험 대상이 되는 구조물의 일부를 실제로 제작하여 물리적 구조 실험을 하는 부분과 나머지 구조물에 대해 수치 해석 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 하는 부분을 합성한 의사동적실험(Pseudodynamic test)에 기반을 두고 있다[14]. 따라서 하이브리드 실험은 물리적 실험 노드(Experimental Node)와 수치 시뮬레이션 노드(Numerical Simulation Node)로 구성된다.

그림 2는 하이브리드 실험의 프로토타입 모델이다. 기본적인 아이디어는 미국 NEESgrid의 Mini-MOST 실험이고, 이 모델은 철골 구조의 단층 건물이다[15]. Mini-MOST 실험은 지진과에 대한 건물의 반응을 조사하기 위한 MOST(Multi-site Online Simulation Test)의 규모를 축소한 형태의 실험이다. Mini-MOST 실험에서는 세 개의 하부 노드 중 1개는 물리적 실험 노드로 제작되었고, 2개의 수치 시뮬레이션 노드로 제작되었다. 하지만 본 논문의 하이브리드 실험 모델의 프로토타입은 이를 확장하여 물리적 실험 노드 2개(그림 2에서 ①과 ③)와 수치 시뮬레이션 노드 1개(그림 2에서 ②)로 구성하였다.

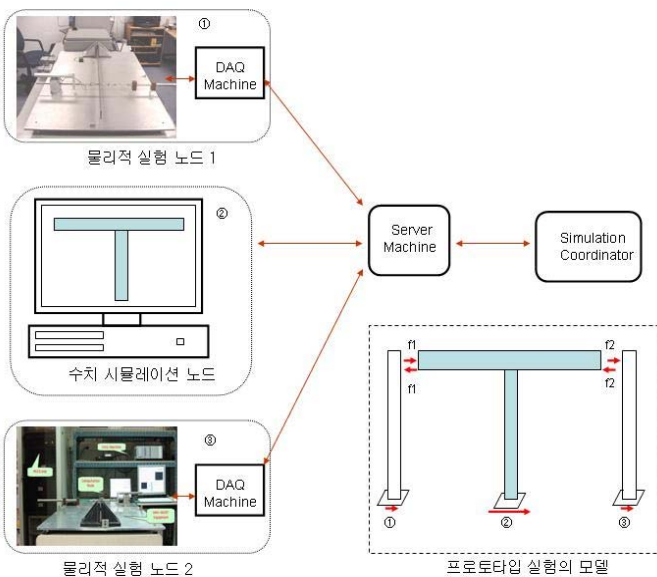


그림 2 프로토타입 실험의 모델

그림 3은 프로토타입을 수행한 실험의 레이아웃을 나타낸 것이고, 그림 4는 Reference NEESgrid 데이터 모델의 개념을 기반으로 설계한 프로토타입의 데이터 모델이다. 그림 3은 그림 4의 프로토타입의 데이터 모델이 Task는 Project에 포함되고, Trial은 Task에 포함되는 계층 구조를 갖는 것을 나타낸다. Root를 이루는 Project는 프로토타입명이고, 하위 엔티티인 Task는 프로토타입 모델의 실험 구성에 따라 다르다.

물리적 실험 노드와 수치 시뮬레이션 노드로 이루어지

는 하이브리드 실험의 특성상 두 종류의 실험 노드가 조합하는 형태에 따라 여러 Task로 나뉘게 된다. Task의 하위 엔티티인 Trial은 Task보다 세부적인 환경설정 정보를 표현한다. 예를 들어 Task인 Single Site Experiment가 사용실험시설 및 실험 인원 등의 정보를 표현하는 반면 Trial은 사용하는 지진 정보, 모터 가동 범위 등을 표현한다.

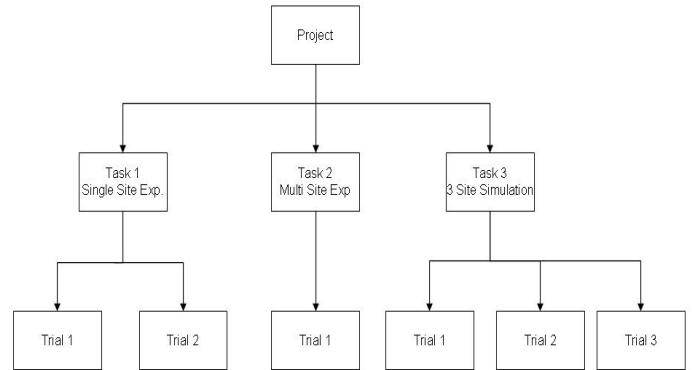


그림 3 프로토타입을 수행한 실험의 레이아웃

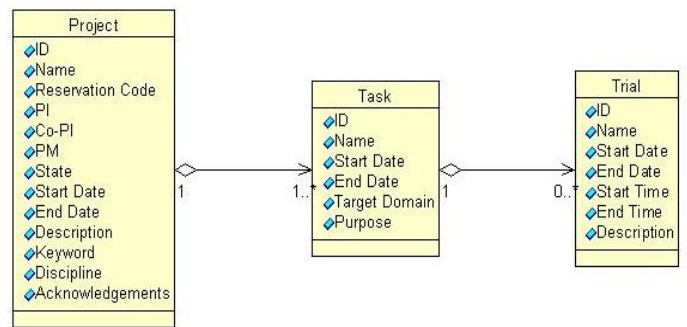


그림 4 프로토타입의 데이터 모델

3.2 하이브리드 실험의 데이터 모델링

앞 서 언급한 프로토타입의 데이터 모델은 토목공학 연구자에 의해 약 4개월 정도 사용되었다. 사용기간 중 한 달에 한 번씩 개최된 데이터 모델링 워크샵과 비정기적인 사용자회의를 통해, 문제점과 개선점을 파악하여 하이브리드 실험의 데이터 모델을 설계하였다.

데이터 모델의 설계 시 실험과정의 분석은 필수적이다. 일반적인 하이브리드 실험은 그림 5와 같이 계획수립, 기본정보입력, 실험예약신청, 예비실험(수치 시뮬레이션), 예비실험결과분석, 실제실험정보입력, 실험수행(실험시설이용) 단계로 이루어진다.

하이브리드 실험의 첫 번째 단계인 계획수립은 실험의 목적과 일정, 그리고 실험 내용 및 장비사용계획 등의 정보를 필요로 한다. 기본정보입력 단계는 실험 계획 및 사용 장비에 대한 정보 입력을 필요로 한다. 이를 근거로 실험 센터에서 실험의 승인여부를 결정한다. 실험자는 예약 신청 승인 후 수치해석 컴퓨터를 통한 예비실험을 할 수 있다. 예비실험의 결과에 대한 분석 후 실험 시설을 사용하기 위한 입력 데이터, 센서의 위치 등을 지정하는 것으로 하이브리드 실험이 진행된다.

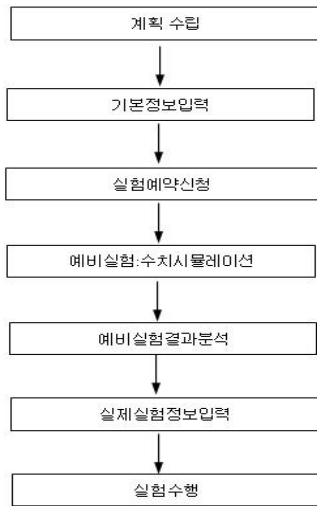


그림 5 하이브리드 실험 과정

그림 6은 앞서 진행한 연구를 기반으로 하이브리드 실험을 구성하는 엔티티를 도출하고, 그들의 관계를 표현한 다이어그램이다. 그림 7은 도출된 엔티티의 속성을 표현하고, Cardinality를 설정하여 하이브리드 실험의 데이터 모델을 표현한 다이어그램이다.

하이브리드 실험의 데이터 모델은 실험수행정보 클래스, 실험장비정보 클래스, 기관정보 클래스 그리고 실험결과정보 클래스로 나뉜다.

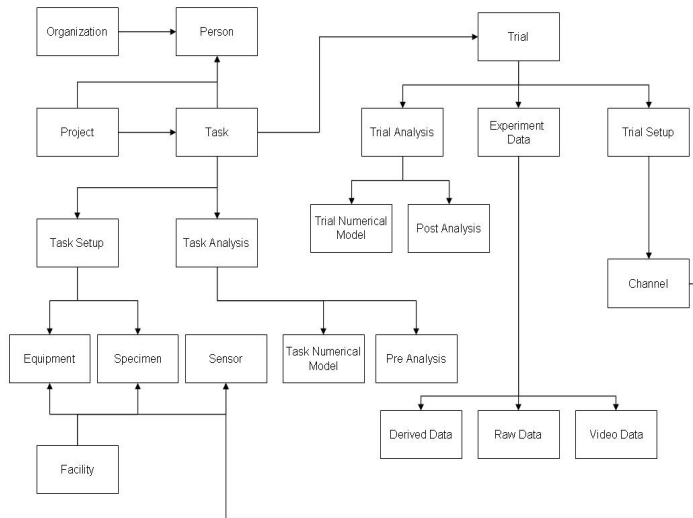


그림 6 하이브리드 실험의 엔티티 관계도

그림 4의 프로토타입 실험의 데이터 모델이 실험수행정보 클래스를 나타내며, Project, Task, Trial 엔티티가 포함된다. Project는 Task를 포함하고, 승인코드 및 책임자 등의 정보와 실험의 목적을 담고 있다. Task는 Trial을 포함하고, 사용 실험 시설을 지정하며 실험준비와 관련된 간단한 정보 등을 담고 있다. 또 Task 레벨에서는 실제 실험장비를 사용하는 실험에 앞서 수치해석 시뮬레이션을 통해 예비 결과를 얻고 분석한다. Trial은 실제 실험과 관련된 센서의 선택 및 위치 지정 등 세부적인

실험 정보를 담고 있다.

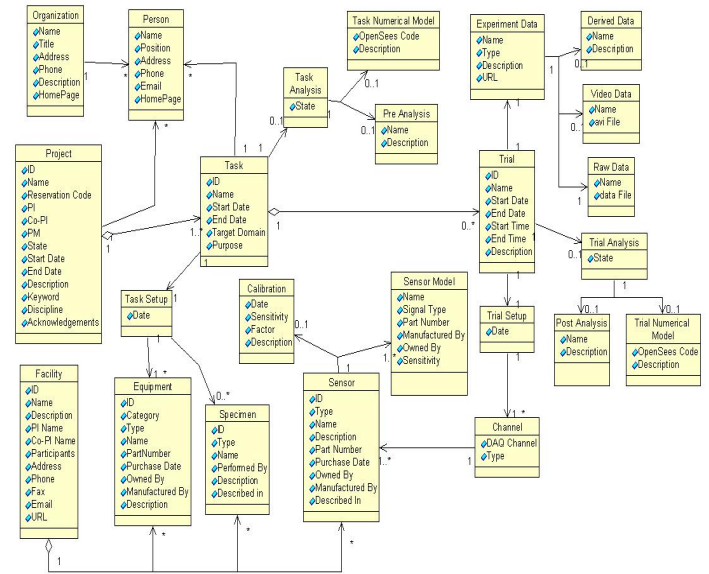


그림 7 하이브리드 실험의 데이터 모델

실험장비정보 클래스는 실험 시설에 대한 정보를 담은 엔티티의 집합으로, 실험 시설의 소속기관, 제품명, 제품특징 등을 담고 있다. 주요 엔티티는 Facility와 Equipment 이다. Facility는 실험 센터의 정보를 담고, Equipment는 Facility에 속한 비디오장치, 실험장치, 소프트웨어 등의 정보를 담고 있다.

기관정보 클래스는 실험자의 정보와 기관의 정보를 담은 엔티티의 집합으로 Person과 Organization 엔티티를 포함한다. Person은 연구원의 연락처 및 직급 등의 정보를 나타내고 Organization은 기관명, 책임자, 연락처 등의 정보를 나타낸다.

실험결과정보 클래스는 실험 수행 결과와 관련이 있는 엔티티의 집합이다. 실험시설을 Video로 기록한 Video Data와 센서로부터 얻은 Raw Data, 그리고 실험 결과를 바탕으로 분석한 Derived Data 등의 엔티티가 포함된다. 이런 결과 데이터의 경우 실험마다 형식이 다를 수 있으므로 이를 위한 추가적인 데이터 모델링이 필요하다.

4. 하이브리드 실험의 데이터관리 시스템

그리드 포탈은 그리드 환경을 쉽게 이용할 수 있는 환경을 제공한다. 그리드 포탈의 사용자는 웹 브라우저를 통해 그리드 자원에 접근하게 된다. 본 논문에서 제시한 하이브리드 실험의 데이터 모델은 그리드 포탈 기반의 데이터관리 서비스로 구현 중이다. 데이터관리 서비스를 포함하는 전체 시스템의 구조는 그림 8과 같다.

그리드 포탈은 포틀릿 컨테이너인 GridSphere Servlet 과 사용자에게 적절한 결과화면을 제공하는 Portal Layout Engine 그리고 사용자의 로그인, 작업관리, GridFTP를 이용한 파일관리 등을 지원하는 Core Service 등으로 구성된다.

일반적인 그리드 포탈은 다음과 같이 동작한다. 사용

자의 웹 브라우저로부터 요청을 받은 GridSphere Servlet은 요청과 연관된 portlet을 활성화 시킨다.

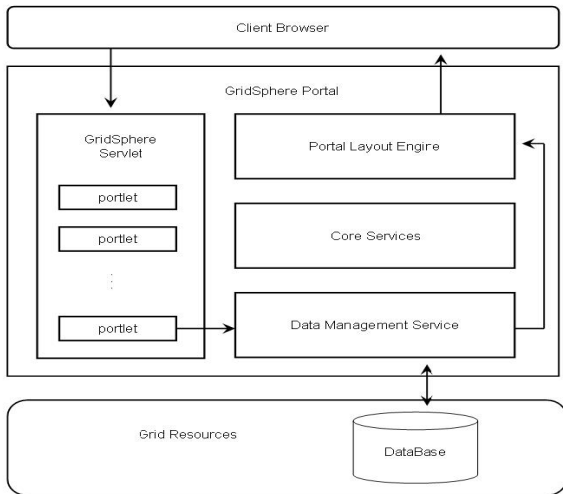


그림 8 하이브리드실험의 데이터관리 시스템 구조도

portlet은 해당 Service와 연동되어 Grid Resources로 접근한다. 요청된 데이터의 처리 후 Portal Layout Engine을 통해 사용자의 웹브라우저로 전송한다[16].

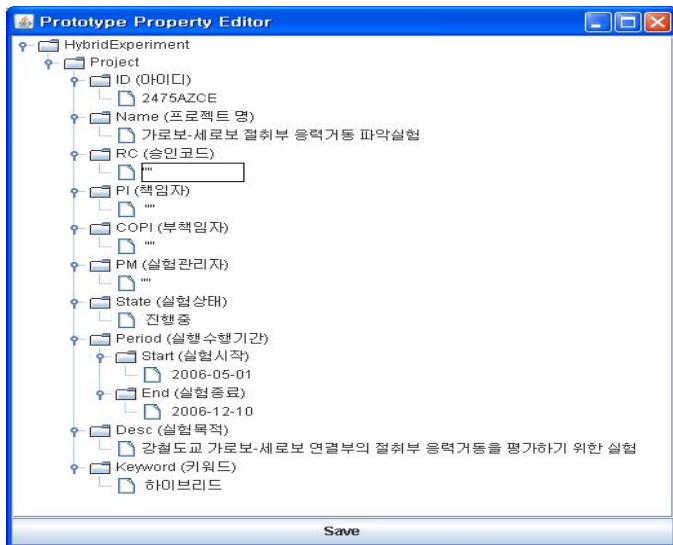


그림 9 자바 애플리케이션 형태의 데이터 입력기

그림 9는 3.1절의 프로토타입 데이터 모델 중 Project에 대한 정보를 입력할 수 있는 에디터이다. 이 에디터는 자바 애플리케이션 형태로 개발되었으나, 토목 공학 연구자와의 회의와 워크샵을 통해 유저인터페이스가 직관적이지 않고 사용하기 불편하다는 지적을 받았다. 이러한 의견을 수렴하여 하이브리드 실험의 데이터 입력을 위한 유저인터페이스는 직관성과 사용성을 높일 수 있는 웹 페이지 형식을 채택하였다.

그림 10은 본 논문이 그림 7의 Project 엔티티에 대한 데이터를 입력할 수 있는 포틀릿 기반의 웹페이지이다.

하이브리드 실험의 포탈을 통한 실험등록 과정은 다음과 같다. 인증절차를 거쳐 로그인한 사용자는 관심이 있

는 실험을 검색한다. 검색 후 새로운 실험의 등록이 필요하다고 판단되면, Project 페이지를 작성해야한다. 사용자는 실험시설 스케줄 등을 고려하여 Project 페이지의 모든 입력 값을 지정한 후 등록 버튼을 누른다. 입력 데이터는 그림 8의 Data Management Service가 처리한 뒤 DB에 저장한다. 이를 실험 센터의 관리자가 실험승인 결정을 내리면, 사용자는 Task 및 Trial 정보를 입력하여 실험을 진행한다.

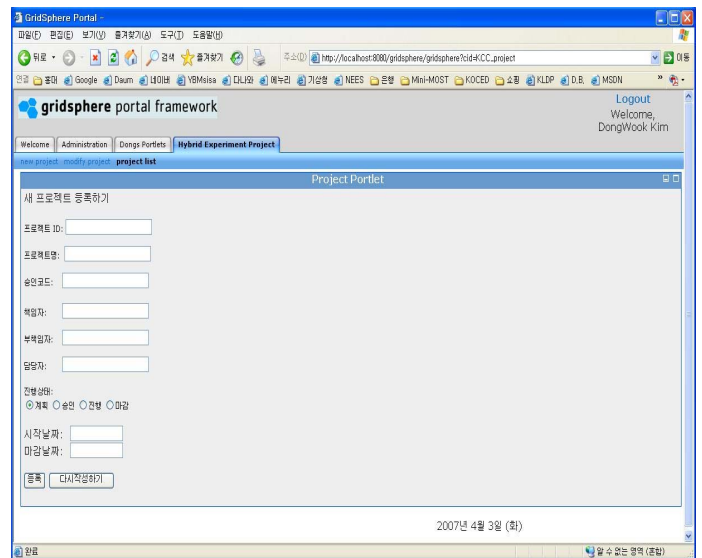


그림 10 데이터 입력을 위한 포틀릿과 XML 기반의 웹페이지

5. 결론

본 논문은 KOCED에서 구축 중인 하이브리드 실험 센터를 대상으로 데이터 모델링을 하였다.

지리적으로 떨어진 실험 시설과 수치시물레이션이 연동하여 실험을 수행하는 하이브리드 실험 센터는 기존의 독립적인 형태의 건설 및 토목 실험의 데이터 모델을 적용하는 것이 용이하지 않아 다음과 같이 두 단계로 데이터 모델링을 진행하였다.

첫 번째 단계로 하이브리드 실험의 프로토타입 실험체를 만들고, 이에 대한 데이터 모델을 만들었다. 프로토타입의 데이터 모델은 프로토타입 실험시 토목공학 연구자에 의해 사용되었다.

두 번째 단계로 프로토타입 데이터 모델에 대한 토목 공학 분야의 연구자들과 회의를 통해 개선점을 파악하고, 일반적인 하이브리드 실험의 과정을 분석하여 하이브리드 실험의 데이터 모델을 설계하였다.

현재 제시한 데이터 모델은 그리드 포탈 기반의 데이터관리 서비스로 구현 중에 있다.

하이브리드 실험을 대상으로 한 본 논문의 데이터 모델은 다른 실험의 데이터 모델에 참조될 수 있고, 하이브리드 실험 포탈의 구축 완료 시 하이브리드 실험의 데이터 검색 및 통합을 용이하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

1. Czajkowski, K., Fitzgerald, S., Foster, I. and Kesselman, C., "Grid Information Services for Distributed Resource Sharing", HPDC-10, IEEE Press, August 2001.
2. Peter Pin-Shan Chen, "The Entity Relationship Model-Toward a Unified View of Data", ACM Transactions on Database Systems, Vol.1, No.1, pp.9-36, 1976.
3. 김동광, 정갑주, 신호섭, 황선태, "XML Schema기반 시맨틱 데이터 통합", 정보과학회논문지 : 시스템 및 이론 제33권 제9호, pp.563-573, 2006.
4. Korea Construction Engineering Development Collaboration(KOCED), <http://www.koced.net>
5. Network for Earthquake Engineering Simulation(NEES), <http://it.nees.org>
6. Jun Peng, Kincho H. Law: Reference NEESgrid Data Model [TR-2004-40], 2004.
7. Shashi Shekhar, Mark Coyle, Brajesh Goyal, Duen-Ren Liu, Shyamsundar Sarkar, "Data Models in Geographic Information Systems" Communications of the ACM, Volume 40 Issue 4, pp.103-111, 1997.
8. Shamkant B. Navathe, "Evolution of Data Modeling for Databases" Communications of the ACM, Volume 35 Issue 9, pp.112-123, 1992.
9. 송진영, 정진완, "다중공간표현을 위한 GIS 데이터 모델" 한국정보과학회봄 학술발표논문집 제23권 제1호(A), pp.31-34, 1996.
10. GridSphere Project, <http://www.gridsphere.org>
11. Anurag Shankar, "General Introduction to Portals/Gateways", TeraGrid Gateways Team, 2006.
12. CCT(Center for Computation & Technology) HPC Portal, <https://portal.cct.lsu.edu/gridisphere>
13. SCOOP(SURA Coastal Ocean Observing and Prediction) Portal, <http://www.scoop.lsu.edu/gridisphere>
14. M. Nakashima et al., "Integration Techniques for Substructure Pseudodynamic Test", Proceedings of the 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, vol. 2, pp.515-524, 1990.
15. Jang Ho Lee, Dongwook Kim, Sun Jang, Taikyeong Jeong, Song-Yi Yi, "A Grid-Based Research Environment for Civil Engineering", Proceedings of the 2007 WSEAS International Conference on Computer Engineering and Applications, pp.100-105, 2007.
16. Jason Novotny, Michael Russell, "GridSphere: An Advanced Portal Framework", Proceedings of the 30th EUROMICRO Conference, 2004.
17. Wen-Hsiang Tu, Yuan-sen Yang, "Development of Management System for Experimental Data at NCREE", 4th International Conference of Earthquake Engineering, 2006.
18. Dongkwang Kim, Karpjoo Jeong, Suntae Hwang, Kum Won Cho, "X-SIGMA: XML Based Simple Data Integration System for Gathering, Managing, and Accessing Scientific Experimental Data in Grid Environments", Proceedings of the Second IEEE International Conference on e-Science'06. pp.55-62, 2006.
19. Manuel Serrano, Coral Calero, Mario Piattini, "Experimental Validation of Multidimensional Data Models Metrics", Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03), 2003.
20. Futrelle, J., "Developing Metadata Standards for Scientific Data Reuse in NCSA's Distributed Grid Architecture", Proceedings of IEEE International Conference on IGARSS 2000, Vol.3, pp.1217-1219, 2000.
21. Codd, E.F., "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks", ACM 13(6), pp.377-387, 1970.
22. Dimosthenis Anagnostopoulos, Mara Nikolaidou, "Data Organization and Data Comparison for Model Validation in Faster-than-Real-Time Simulation", Proceedings of the 39th annual Symposium on Simulation ANSS '06, 2006.
23. Marco Brambilla, Stefano Ceri, Piero Fraternali, Ioana Manolescu, "Process modeling in Web applications", ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), Volume 15 , Issue 4, pp.360-409, 2006.