

하이브리드 실험을 위한 전·후처리기

SimBuild 소개

SimBuild : Pre - and Post - Processor for Hybrid Simulation



박규식*

* (재)포항산업과학연구원 강구조연구소 토목연구본부 선임연구원

1. 서론

하이브리드 실험구조(Hybrid Simulation Framework)는 지역적으로 분산되어 있는 실험장비를 공유할 수 있도록 해 주는 필수 요소이다. 다지점 하이브리드 실험(multi-site hybrid simulation)을 위한 표준적인 구조를 개발함으로써,

기반시설(infrastructure), 표준적인 데이터 통신(standard data communication), 지역적으로 분리되어 있는 장비의 제어 등의 문제로 인해 과거에는 불가능했던 다수의 독립적인 장비를 대형실험에 이용할 수 있다. 따라서 이러한 목적으로 최근에 UI-SimCor (Kown et al., 2005)나 OpenFresco(Schellenberg and Mahin, 2006)와 같은 표준적인 하이브리드 실험구조가

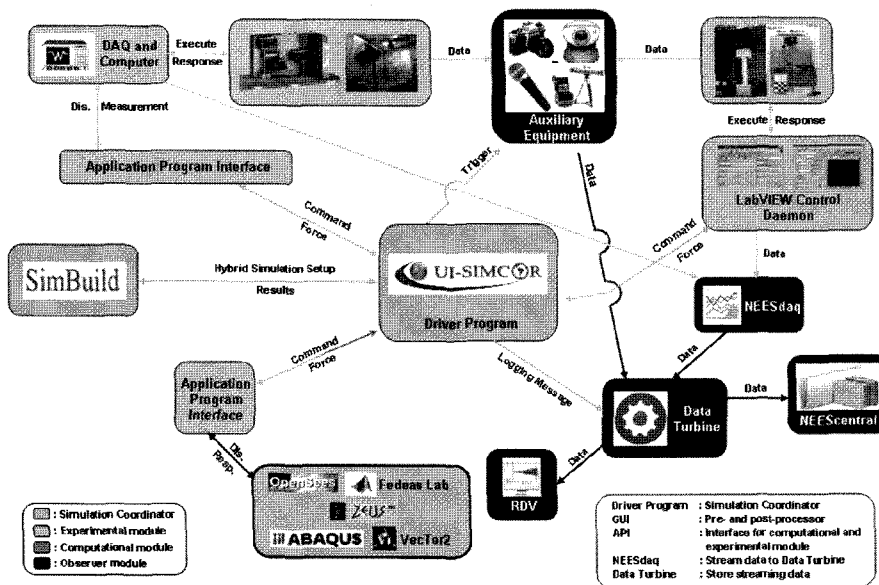


그림 1 Hybrid Simulation Environment

개발되었다.

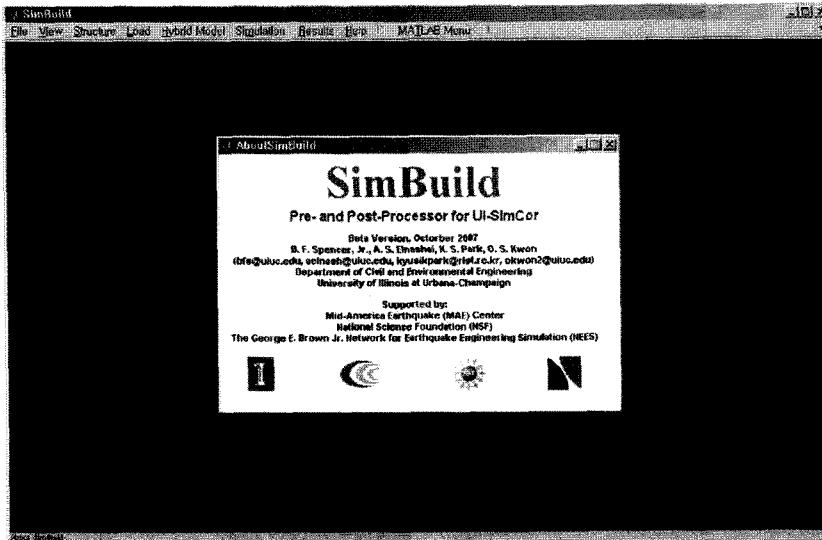
다양한 실험장비에 효율적으로 사용할 수 있도록 UI-SimCor의 개선이 최근에 이루어졌으며, 이러한 개선사항 중 하나로 전·후처리기가 개발되었다. 하이브리드 실험의 개념이 연구자들 사이에 널리 알려졌음에도 불구하고, 하이브리드 실험을 수행하기 위해서는 그림 1과 같이 구조물분리(substructuring), 네트워크 구성, 하드웨어 구성 등 많은 분야의 전문지식이 필요하다. 최근 개발된 UI-SimCor를 위한 전·후처리기인 SimBuild(Simulation Builder)를 이용해 이러한 하이브리드 실험 구성을 손쉽게 할 수 있도록 함으로써, 광범

위한 연구자들이 하이브리드 실험을 수행할 수 있게 되었으며, 실험의 신뢰성 및 안전성을 확보할 수 있게 되었다.

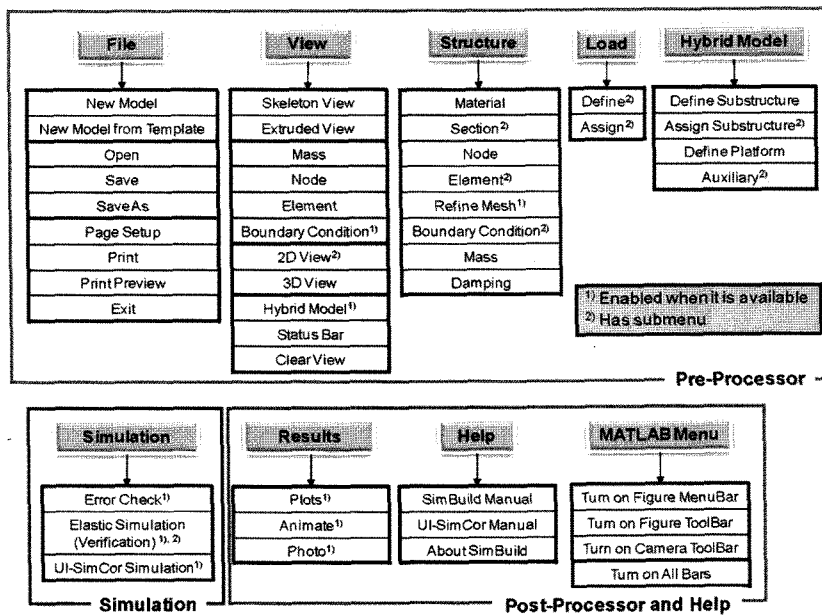
2. SimBuild

2.1 일반사항

SimBuild는 Matlab(Matlab, 2000)의 GUI(Graphical Users Interface)를 기반으로 개발되었기 때문에, 하이브리드 실험을 위해 SimBuild를 사용하는 것은 매우 직관적이다.



(a) Main GUI



(b) Menu hierarchy

그림 2 SimBuild Main Menu

SimBuild는 전체구조물 및 부분구조물(substructure)의 정보를 포함한 *StructureInfo*와 *SubStructureInfo* 2개의 클래스(class)를 가지고 있다. 구조물 단면, 물성치와 같은 기본적인 구조물의 특성은 *StructureInfo* 클래스에 의해 정의되며, 네트워크 구성, 각 부분구조물의 유효자유도(effective DOFs) 등은 *SubStructureInfo* 클래스에 의해 정의된다. SimBuild의 주메뉴는 하이브리드 실험 환경 구성을 위한 전처리기, UI-SimCor를 이용한 하이브리드 실험, 하이브리드 실험 결과 분석을 위한 후처리기로 구성되며, 각각은 그림 2와 같이 하위메뉴를 가지고 있다.

2.2 전처리기

SimBuild의 사용자는 *File*, *View*, *Structure*, *Load*, *Hybrid Model* 등의 메뉴를 통해 하이브리드 실험 환경을 구성할 수 있다. 열기, 저장, 인쇄 등과 같은 기본적인 파일에 관련된 작업은 *File* 메뉴에 포함되어 있으며, 하이브리드 실험을 위한 구조물은 *New Model* 또는 *New Model from Template* 메뉴를 통해 생성할 수 있다. 이와 같은 전처리기 메뉴의 간단한 설명을 다음과 같다.

2.2.1 File Menu

- *New Model* : 구조물의 물성치를 입력할 수 있는 그림 3과 같은 GUI로 구성된다.
- *New Model from Template* : *New Model*과 유사한 GUI로 구성되며, 템플릿을 이용해 손쉽게 하이브리드 모델을 생성할 수 있다.

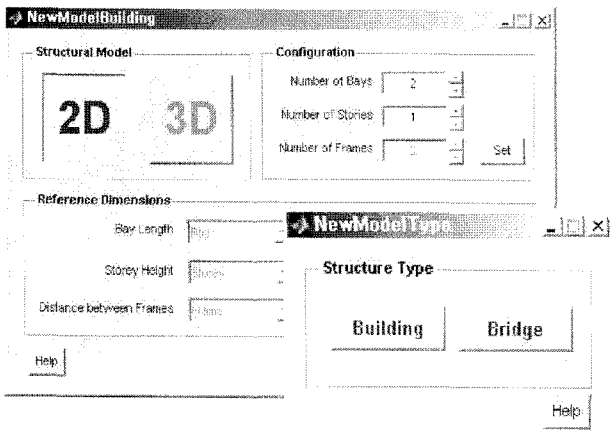


그림 3 Create Structural Model

하이브리드 모델을 생성한 후, 사용자는 *View* 메뉴를 이용해 절점별 질량, 각 요소별 정보 등 구조물의 정보를 확인할 수 있다.

2.2.2 View Menu

- *Boundary Condition* : *Structure* 메뉴를 통해 정의된 경계조건을 확인할 수 있다.
- *Hybrid Model* : *Hybrid Model* 메뉴를 이용해 구조물 분리 완료 후, 각 부분구조물의 해석 플랫폼(수치해석 또는 실험)을 확인할 수 있다.



그림 4 3D Extruded View of Hybrid Model

재료, 단면, 요소구성, 경계조건 등과 같은 구조물의 특성은 *Structure* 메뉴를 통해 수정할 수 있다.

2.2.3 Structure Menu

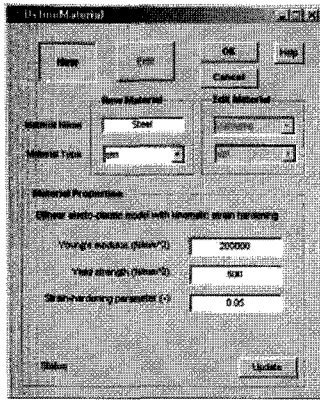
- *Refine Mesh* : 수치해석으로 정의된 요소의 메쉬(mesh)를 세분화할 수 있다.
- *Damping* : 구조물의 감쇠행렬을 정의할 수 있으며, 현 SimBuild 버전은 Rayleigh Damping 만을 지원한다.

하이브리드 실험에 사용될 외부하중은 *Load* 메뉴를 통해 그림 6과 같이 정의할 수 있다.

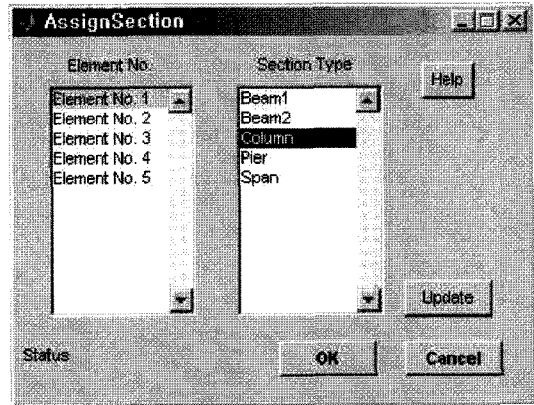
SimBuild의 가장 중요하고 유용한 특징은 사용자가 편리하게 GUI를 이용해 자동적으로 하이브리드 모델을 구성할 수 있다는 것이다. 사용자가 부분구조물의 개수, 해석 플랫폼, 카메라나 DAQ 보드와 같은 추가적인 모듈 등 하이브리드 모델의 기본적인 특성을 입력하면, SimBuild는 하이브리드 실험을 위한 필수 파일을 자동적으로 생성한다.

2.2.4 Hybrid Model Menu

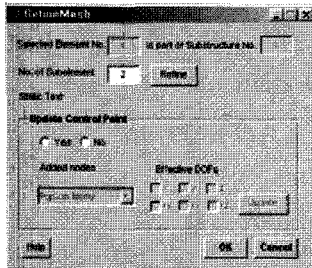
- *Define Substructure* : 네트워크 구성을 포함한 부분구조물의 정보를 정의한다. 또한 사용자의 편의를 위해 U. of Illinois at Urbana-Champaign(UIUC) 및 San Diego Supercomputing Center(SDSC)에 위치한 Mini-MOST 1 실험장비를 위한 기본 템플릿을 제공한다.
- *Assign Substructure* : 사용자는 특정 요소나 연결부를 선



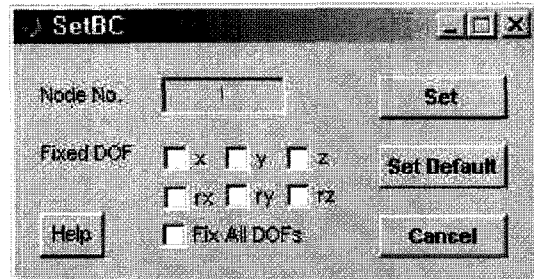
(a) Define material



(b) Assign section using table

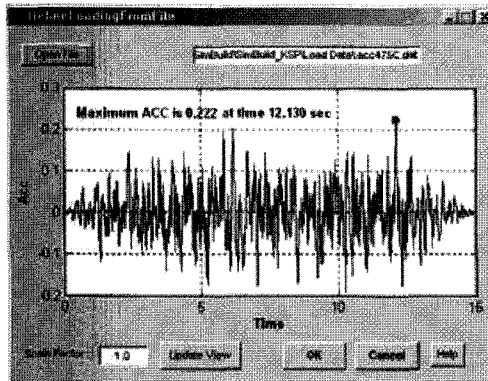


(c) Refine mesh

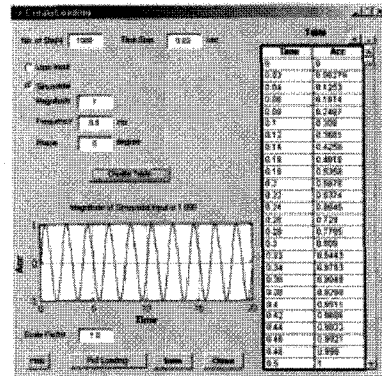


(d) Define boundary condition

그림 5 Structure Menu



(a) Open existing load file

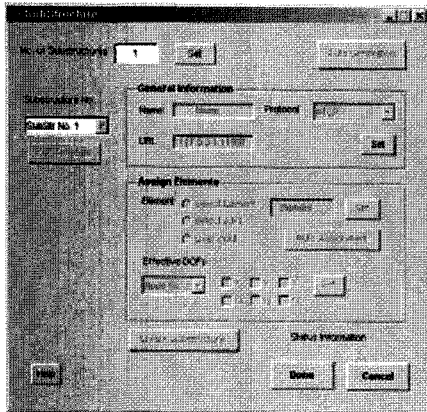


(b) Create load

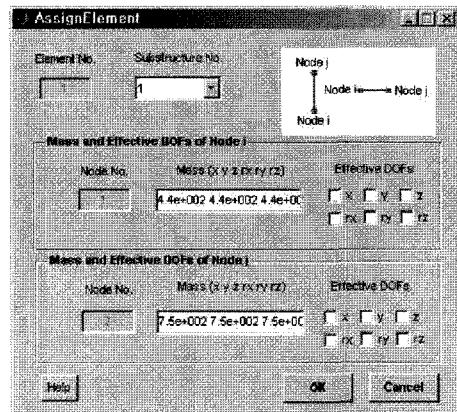
그림 6 Load Menu

백해 부분구조물에 요소를 할당할 수 있다. 일반적으로 빔, 칼럼, 빔-칼럼 연결부 등 구조물의 중요부위는 실험으로 수행되며, 나머지 부분은 수치해석으로 수행된다. 따라서, 사용자가 부분구조물에 중요 요소를 할당하면, 나머지 부분은 *Auto Assignment* 기능을 사용해 자동적으로 수치해석 플랫폼으로 정의할 수 있으며, 이러한 기능은 자유도가 많은 대형 구조물에 매우 유용하다.

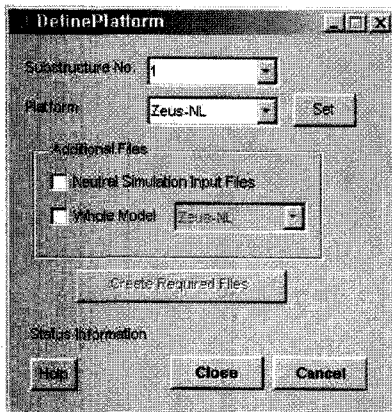
- **Define Platform** : 부분구조물의 플랫폼을 수치해석 모듈인 Zeuz-NL(Elnashai et al., 2006; <http://mae.ce.uiuc.edu>), OpenSees(<http://opensees.berkeley.edu>), FedeeasLab(<http://www.ce.berkeley.edu/~filippou>), Abaqus(Abaqus, 1998) 또는 실험 모듈로 정의할 수 있다. 부분구조물의 플랫폼이 수치해석 모듈로 정의된 경우 각 해석프로그램에 적합한 입력 파일이 자동적으로 생성되며, 추후 필요에 따라 사용자가 직접 수정할 수 있다. 또한, 사용자가 다른 플랫폼을 사용할 시 필요한 부분구조물의 정보를 포함하는 일반해석모델(neutral simulation model)을 생성할 수 있으며, 하이브리드 실험 후 결과 비교를 위한 Zeus-NL, OpenSees, FedeeasLab, Abaqus에 적합한 전체모델의 입력파일을 생성할 수 있다.



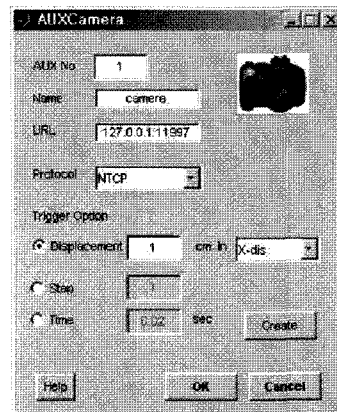
(a) Define Substructure



(b) Assign Element



(c) Define platform



(d) Auxiliary module - Camera

그림 7 Hybrid Model Menu

2.3 하이브리드 실험

하이브리드 실험 환경을 구성한 후, SimBuild 프로그램은 UI-SimCor를 호출해 하이브리드 실험을 수행하게 된다. 하이

브리드 실험을 수행하기 전에 사용자는 UI-SimCor의 중요한 변수들에 대해 하이브리드 실험 환경의 오류를 검사할 수 있으며, SimBuild를 이용해 UI-SimCor가 호출되면 수치해석 모듈에 필요한 NEES_SAM과 같은 모듈이 자동적으로 실행된다.

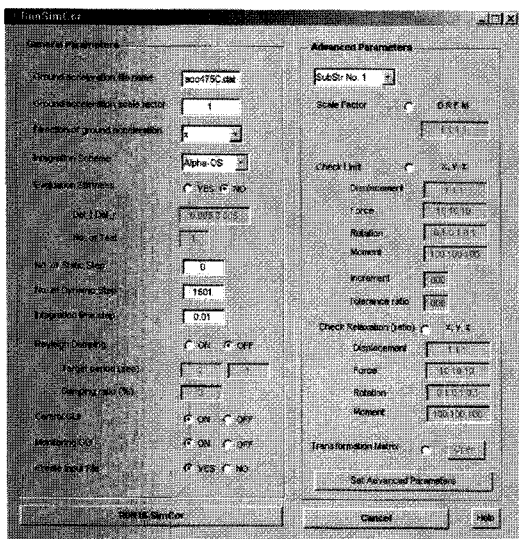


그림 8 UI-SimCor Configuration GUI

2.4 후처리기

하이브리드 실험이 끝나면, 사용자는 SimBuild를 통해 결과를 확인할 수 있다. SimBuild는 중요 제어점(control point)의 결과를 보여주며, 카메라 모듈을 통해 확보된 실험 모듈의 사진과 변위를 연동시킬 수 있다.

3. 예 제

이 장에서는 SimBuild를 이용한 2개의 하이브리드 실험 예제를 소개하고자 한다. 첫번째는 SimBuild 검증용 위한 간단한 수치예제이며, 다른 하나는 UIUC 및 SDSC에 위치한 Mini-MOST 1 장비를 이용한 실험예제이다. 하이브리드 실험의 일반적인 과정은 구조물 생성, 하이브리드 모델 생

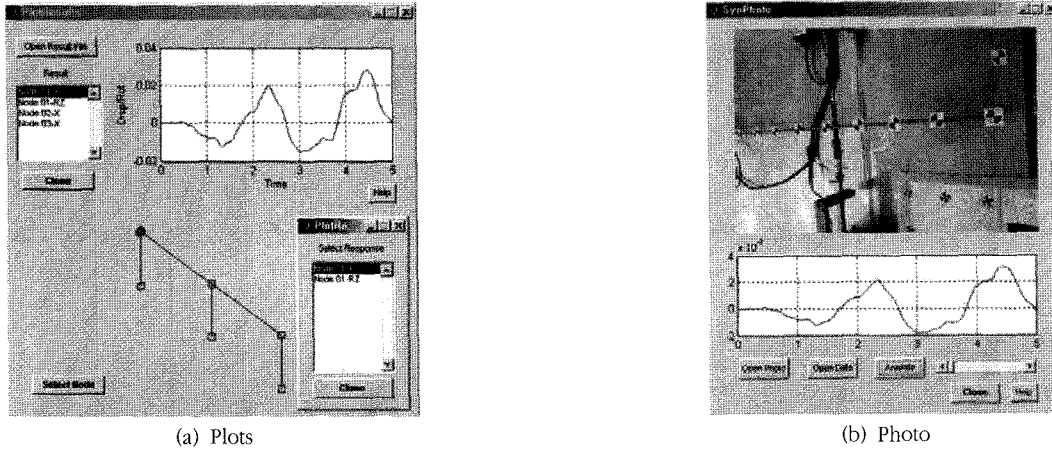


그림 9 Simulation Menu

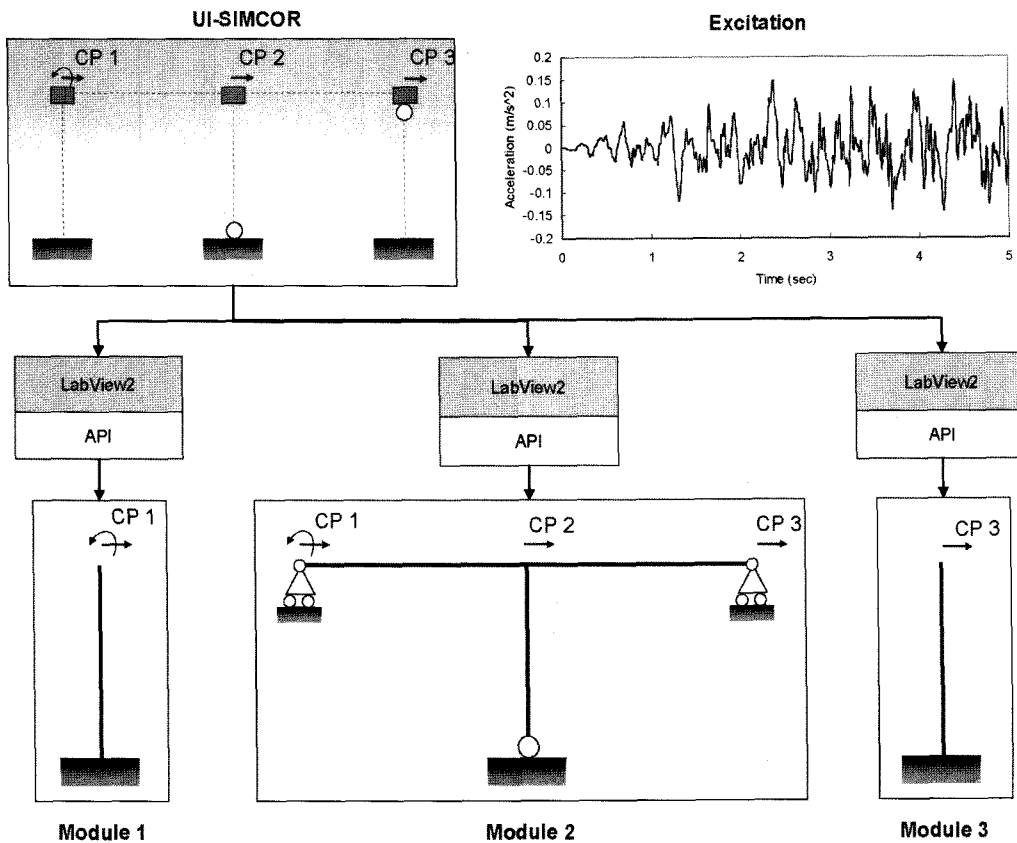


그림 10 Simulation Configuration for MOST Example

성, 하이브리드 실험 수행, 결과비교이며, 다음의 예제 역시 이러한 과정을 따라 수행되었다.

3.1 MOST 예제

SimBuild의 검증을 위해 UI-SimCor 사용자 매뉴얼(Kwon et al., 2007)에 제시되어 있는 MOST(Multi-site Online Simulation Test) 예제를 사용하였다. 구조물 구성 등 대부

분의 물성치는 UI-SimCor 사용자 매뉴얼에 제시되어 있는 MOST 예제와 유사하다.

그림 10과 같이 MOST 예제는 3개의 부분구조물로 분리하였으며, SimBuild 검증을 위해 다양한 수치해석 프로그램을 이용한 하이브리드 실험결과를 비교하였다.

수치해석 결과, SimBuild 및 UI-SimCor를 이용한 하이브리드 실험결과 및 전체구조물 해석 결과가 그림 11과 같이 매우 유사한 것을 알 수 있다.

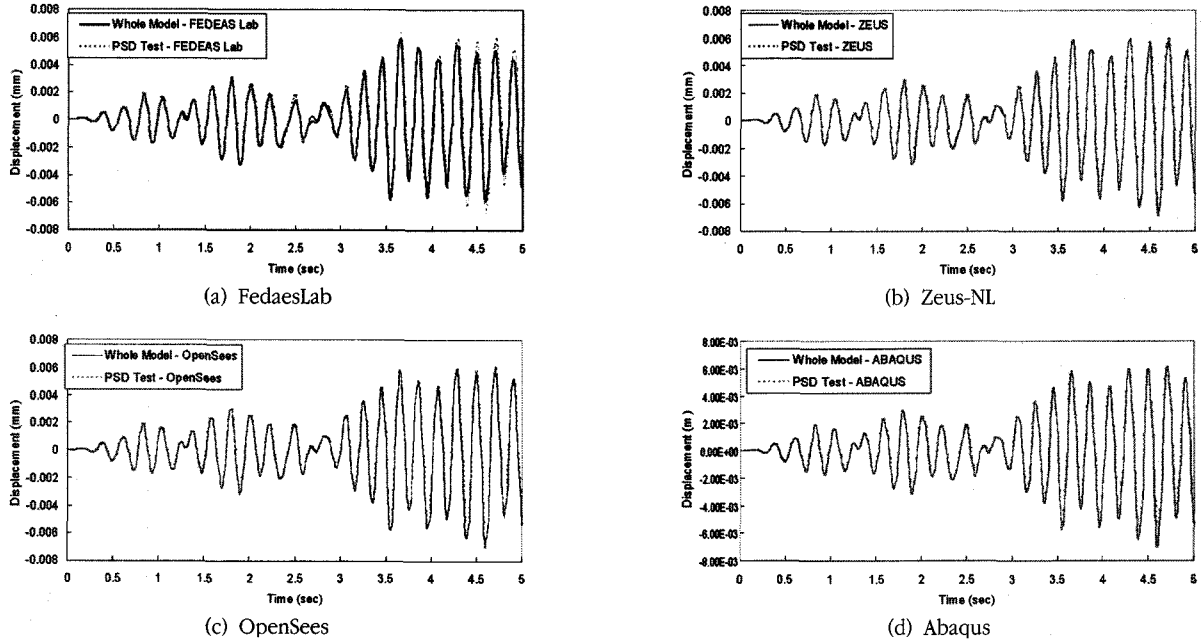


그림 11 Hybrid Simulation Results—Horizontal Displacement at CP 1

3.2 NEESit-NSF Site Visit 예제

이 예제는 2007년 7월 27일 NEESit-NSF site visit 동안 수행된 live demonstration 중 수행된 것이다. 그림 12와 같이 2개의 칼럼을 UIUC 및 SDSC에 위치한 2개의 Mini- MOST 1 장비를 활용해 실험모듈로 정의했으며, 나머지 부분의 Zeus-NL 이용해 수치해석 모듈로 정의하였다. NHCP(NEES Hybrid

Communication Protocol) 및 LabView1 프로토콜이 2개의 Mini-MOST 1 장비와 UI-SimCor의 통신을 위해 사용됐으며, 수치해석 모듈과는 효율성을 위해 TCP/IP 프로토콜이 사용되었다. 또한 하이브리드 실험 동안 UIUC에 위치한 Mini-MOST 1의 사진 촬영을 위한 카메라 모듈을 사용하였다.

하이브리드 실험은 성공적으로 수행됐으며, 그림 13과 같이 전체 구조물을 수치해석한 결과와 매우 유사한 결과

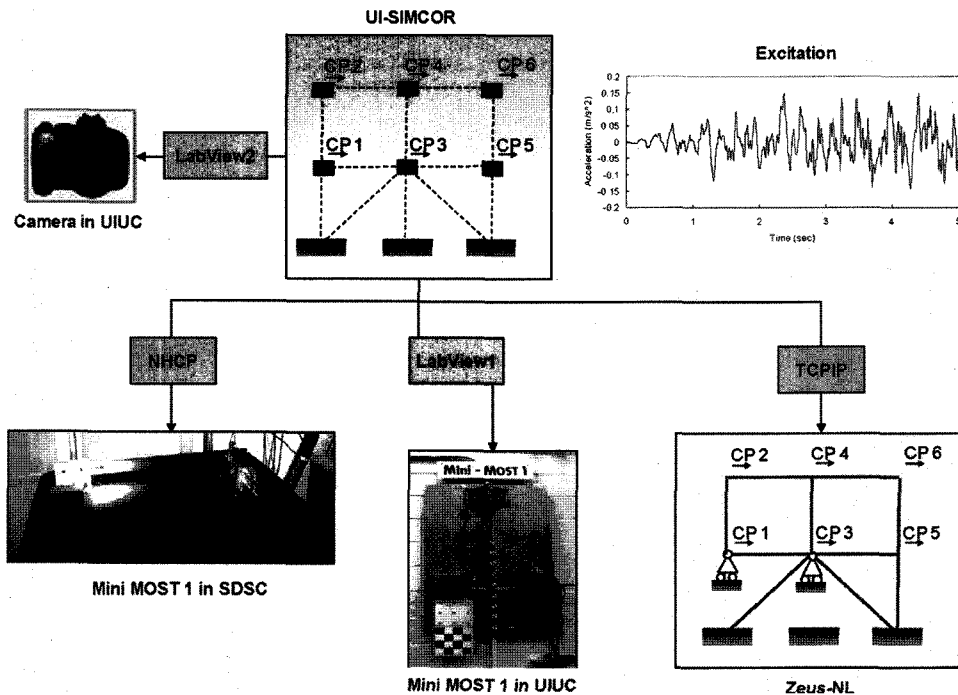


그림 12 Configuration of Live Demonstration

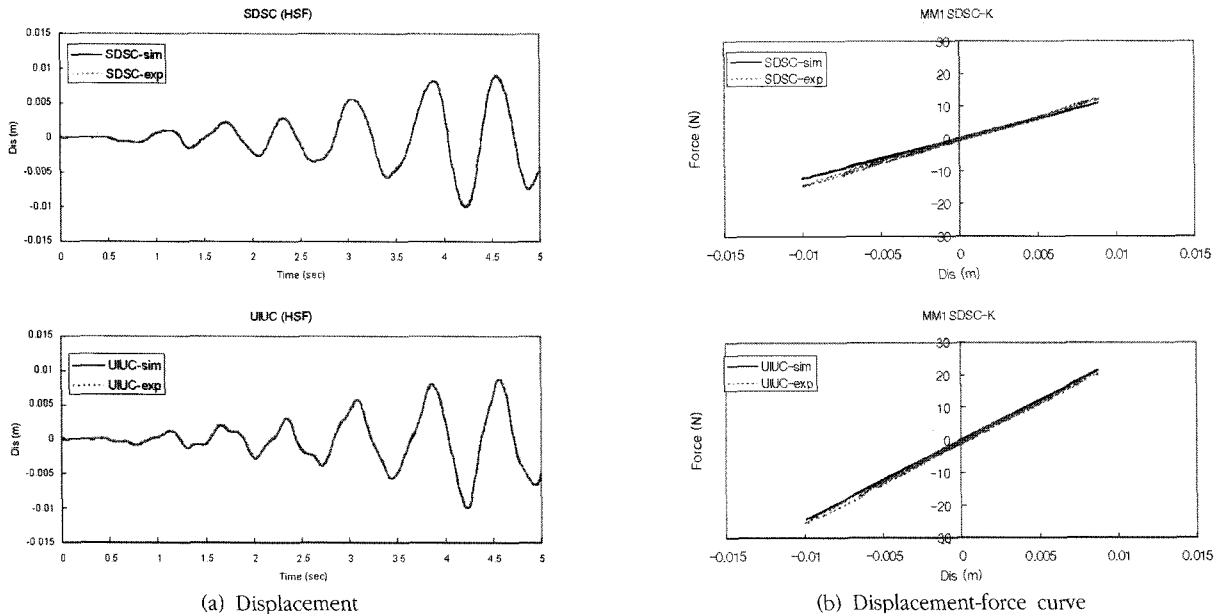


그림 13 Comparison between Simulation and Experiment

를 얻었다.

하이브리드 실험에 걸린 시간은 500step 동안 총 2458초 (4.9sec/step)이며, UIUC와 SDSC의 인터넷 연결시간으로 인해 그림 14와 같이 SDSC의 Mini-MOST 1에서 가장 많은 시간을 소요했다.

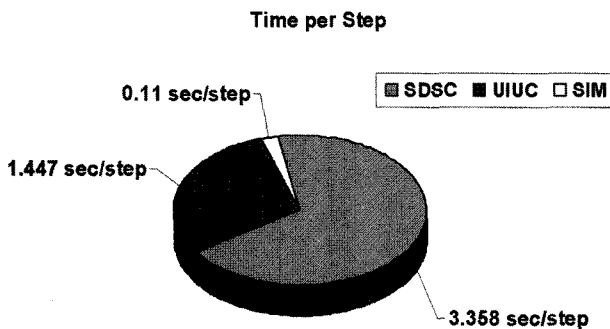


그림 14 Average Simulation Time per Step

4. 결 론

SimBuild는 하이브리드 실험 환경 구축을 위해 개발된 독특하고 편리한 프로그램이다. 구조모델 생성, 구조물분리, 결과분석과 같은 기본적인 전·후처리기의 특징이 SimBuild에 적용되었으며, Matlab의 GUI를 기반으로 개발된 SimBuild는 사용자에게 의해 필요에 따라 손쉽게 수정이 가능한 장점이 있다. 따라서 광범위한 연구자들이 하이브리드 실험을 수행할 수 있으며, 실험의 신뢰성 및 안전성을 확보할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 National Science Foundation under George Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES) Program(NSF Award No. CMS-0217325)의 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Kwon, O. S., Nakata, N., Elnashai, A. S., and Spencer, B., "A Framework for Multi-Site Distributed Simulation and Application to Complex Structural Systems." *Journal of Earthquake Engineering*, 9(5), pp.741-753, 2005
2. Schellenberg, A., and Mahin, S., "Integration of Hybrid Simulation within the General-Purpose Computational Framework OpenSees." *100th Anniversary Earthquake Conference Commemorating the 1906 San Francisco Earthquake*, 2006
3. MATLAB. The Math Works, Inc., 2000
4. Elnashai, Amr S., Papanikolaou V., Lee, D. H., *User Manual for ZEUS-NL*. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2006
5. ABAQUS®, Habbitt, Karlsson & Sorensen Inc., Pawtucket, RI, 1998
6. Kwon O.S., Nakata, N., Park, K. S., Elnashai, A. S., Spencer, B., *User's Manual and Examples for UI-SimCor v2.6*, University of Illinois at Urbana-Champaign. 2007

[담당 : 정형조, 편집위원]