

인터넷 기반 범용 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템 개발

이재경[†] · 한형석* · 서종휘** · 박태원***

Development of a Internet-based Dynamic Simulation System for Multibody Systems

Jai Kyung Lee, Hyung Suk Han, Jong Whi Seo, Tae Won Park

Key Words: Multibody Dynamics System(다물체 동역학 시스템), Web-based(웹기반), JAVA(자바), Internet(인터넷), Web Browser(웹브라우저)

Abstract

A Internet-based dynamic simulation system, called P-DYN, for multibody dynamic systems is developed. All the interfaces of the system are accessible via Web browsers, such as Netscape or Explorer. The system uses a template type P-DYN/Modeler as a preprocessor. The P-DYN postprocessor composed of P-DYN/Plotter and P-DYN/Animator is developed in JAVA. The P-DYN/Solver for predicting the dynamic behavior is run on the server. Anyone who wants to simulate the dynamics of multibody systems or share results data can access the analysis system over the Internet regardless of their OS, platform, or location.

1. 서론

다물체 기계계의 동적 시뮬레이션은 다물체 동역학 시뮬레이션 기술의 진보와 상용 소프트웨어의 발전으로 일반화되고 있다. 다물체 동역학은 현재 자동차, 항공, 전자, 생명공학 등 다양한 분야에서 활발히 적용되고 있다. 최근에는 가상공학에 있어서 다물체 동역학 시뮬레이션 기술은 중요한 한 부분을 차지하고 있으며 그 중요성이 점차 증가하고 있다. 그러므로 다물체 동역학 시뮬레이션은 이제 일부 전문가만의 영역이 아니라고 할 수 있다. 대상 기계의 개발에 관련된 모든 기술자가 쉽게 다물체 동역학 시뮬레이션 과정에 참여하고 시뮬레이션 결과를 공유하여

협업을 이루는 것이 바람직할 것이다.

현재 인터넷과 웹 응용기술의 발달은 정보의 공유와 유통에 새로운 기회를 제공하고 있다. 웹의 응용은 사용자의 하드웨어, 소프트웨어의 환경이나 장소의 한계를 극복할 수 있는 장점을 갖는다. 더 나아가 웹을 통한 협업을 달성할 수 있다. 웹 응용 기술은 시뮬레이션 분야에서도 새로운 기회를 제공하고 있다. 산업공학 분야에서의 웹기반 시뮬레이션 활동은 활발히 이루어지고 있으나 기계공학 분야에 있어서는 아직 시작 단계라 할 수 있다.⁽¹⁻⁷⁾ 웹 환경에서의 기계 공학적 시뮬레이션도 수년내 일반화 될 것으로 사료된다. 웹기반 시스템은 기계공학자의 사용자 컴퓨터의 환경이나 사용자의 위치에 제한이 없이 원하는 공학 계산을 웹 브라우저를 통하여 제공할 수 있다. 또한 다수의 사용자가 동시에 결과를 공유하며 토의할 수 있어 협업 및 동시공학이 가능하게 된다. 더 나아가 시뮬레이션 결과 및 관련 데이터를 서버에 DB화하여 자료의 체계적 관리로 인하여 자료의 재사용성도 증가할 것이다.

현재 웹기반 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템

[†] 한국기계연구원

E-mail : jkleece@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7645 FAX : (042)868-7646

* 한국기계연구원

** 아주대학교 대학원

*** 아주대학교

은 발표된 것이 없다. 상용화된 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템으로는 DADS⁽⁸⁾, ADAMS⁽⁹⁾, RecurDyn⁽¹⁰⁾, SIMPACK⁽¹¹⁾ 등이 있으며 모두 독립형(Standalone) 방식이다. 이러한 시뮬레이션 시스템은 시뮬레이션 시스템이 설치된 컴퓨터에서만 사용이 가능하거나 보조 프로그램을 이용하여 원격으로 사용할 수 있다. 독립형은 설치된 컴퓨터에서만 사용할 수 있기 때문에 다수의 사용자가 이용하기 어려우며, 관련 기술자가 지리적으로 광범위하게 분포하는 경우가 많기 때문에 시뮬레이션에 이용된 데이터나 결과를 공유하기 어렵다. 독립형은 또한 데이터나 결과 처리가 파일 단위로 이루어지기 때문에 기술 정보의 체계적 관리가 되지 않는다. 상기의 상용 시스템들은 1명의 사용자를 기준으로 고가이며 사용자가 증가함에 따라 비례적으로 비용이 증가한다. 최근에는 일부 대형 해석용 소프트웨어 업체에서 유료 응용프로그램제공(ASP) 서비스를 시작하는 것으로 알려져 있다. 이러한 서비스의 도입을 볼 때 공학용 시뮬레이션 시스템도 독립형에서 웹기반 공학 시스템으로 전환되는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 웹기반 범용 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템을 소개한다. 본 논문은 기계공학자 측면에서 웹 응용 기술을 다물체 동역학 시뮬레이션에 적용하는 방안을 제시하기 위하여 시스템의 전반적 구조와 주요 구현기술을 소개하는데 목적을 한정한다. 각 세부 기술은 추후 세부 분야별 논문으로 소개하고자 한다. 본 논문에서 개발한 웹기반 범용 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템(P-DYN)은 사용자와의 모든 인터페이스가 웹 브라우저를 통하여 이루어지고 공학적 계산은 웹서버에서 이루어진다. 결과적으로 다수의 사용자가 컴퓨터 환경이나 위치에 상관없이 웹을 통하여 다물체 동역학 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 또한 공학적 정보를 다수의 사용자가 위치에 상관없이 동일 또는 비동일 시간에 공유할 수 있어 협업 및 동시공학의 구현이 가능하다.

2. 시스템 개발

2.1 시스템 구조

Fig. 1은 본 논문에서 소개하는 시스템 P-DYN의 구조를 보여주고 있다. 시스템은 크게 PRE Module, POST Module, JOB Control Module,

SOLVER Module로 구성된다. PRE Module은 사용자가 P-DYN을 이용하여 시뮬레이션하려는 대상을 정의하는 기능을 수행하며 동역학 해석기 P-DYN/Solver의 입력데이터(모델 데이터)를 생성하는 P-DYN/Modeler로 구성된다. P-DYN/Modeler는 모델 데이터의 생성/검색/수정/삭제 기능을 제공한다. POST Module은 P-DYN의 시뮬레이션 결과에 대한 분석 및 가시화 기능을 제공하며 P-DYN/Plotter와 P-DYN/Animator로 구성된다. P-DYN/Plotter는 시뮬레이션 결과의 분석을 위한 2D/3D 그래프를 제공하며, P-DYN/Animator는 다물체 기계계의 거동을 3D 애니메이션으로 제공한다. JOB Control Module은 PRE Module, POST Module에서 요청된 사용자 작업을 관리하는 기능을 제공하며 PRE Module에 의한 시뮬레이션 요청, 시뮬레이션 요청에 따른 SOLVER Module의 구동 및 결과처리, POST Module에 시뮬레이션 결과의 전달, 작업 이력관리(job history)를 담당하는 Job Manager, 사용자 관리 및 인증을 담당하는 User Manager, 사용자의 작업 데이터(모델 데이터, 결과데이터, 작업이력 데이터) 관리를 담당하는 Data Manager로 구성된다. SOLVER Module은 JOB Control Module을 통해 전달된 모델 데이터를 이용하여 동적 시뮬레이션을 수행하며 구축 다물체계의 동역학 해석기 P-DYN/Solver와 이를 관리하는 Solver Manager로 구성된다.

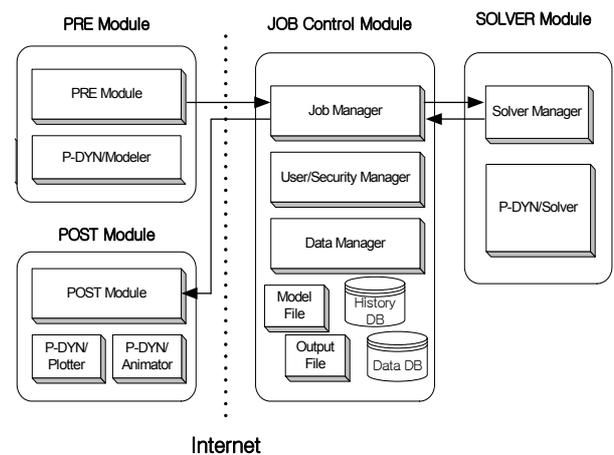


Fig. 1 P-DYN system architecture

2.2 시스템 운영 및 개발환경

Fig. 2는 시스템 운영 환경을 보여주고 있다. 사용자 인터페이스인 PRE Module, POST Module

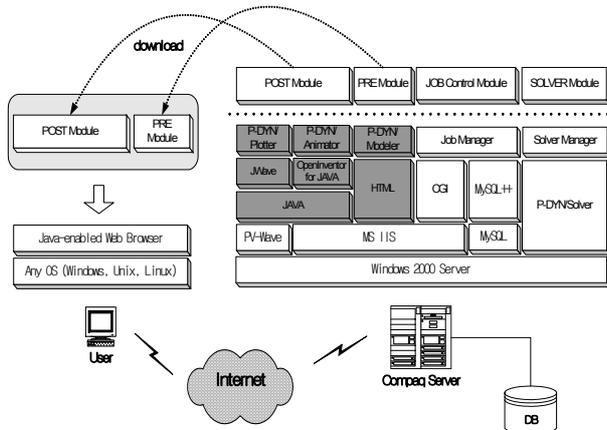


Fig. 2 System operation environment

사용자의 웹브라우저에서 실행되며, JOB Control Module, SOLVER Module은 서버에서 운영된다. 사용자는 운영체제(OS)나 웹브라우저에 구매 받지 않고 JAVA를 이용할 수 있는 웹브라우저를 사용하여 시스템에 접속한다. 시스템에 접속한 사용자는 먼저 사용자 인증과정을 거친 후, 동역학 시뮬레이션을 수행하기 위하여 PRE Module을 선택하거나 시뮬레이션결과의 분석 및 가시화를 수행하기 위하여 POST Module을 선택한다. 선택된 작업에 따라 Fig. 2에서 회색부분의 P-DYN/Modeler, P-DYN/Plotter, P-DYN/Animator가 사용자 웹브라우저로 전송된다. 현재 지원 가능한 JAVA 버전은 JDK 1.3이며⁽¹²⁾, POST Module에서 사용한 OpenInventor for JAVA⁽¹³⁾, JWave⁽¹⁴⁾ 런타임 라이브러리가 사용자 웹브라우저에 전송되며 별도의 설치과정은 없다. 사용자의 작업이 처리되는 서버는 하드웨어로 Compaq ML-570 Server를 이용하였고 운영체제는 Windows 2000 Server를 사용하였고 운영되는 소프트웨어는 다음과 같다. 데이터베이스 서버는 MySQL, 그래프 서버는 PV-Wave⁽¹⁴⁾, 시뮬레이션을 위한 해석기는 P-DYN/Solver, 웹서버는 MS-ISS가 서버쪽에서 운영된다. 웹서버인 MS-ISS가 PRE Module, POST Module을 사용자에게 전송하고 사용자 작업관리를 위한 JOB Control Module을 제공한다. P-DYN은 웹기반 시스템이기 때문에 다수의 사용자가 동시에 시스템을 이용할 수 있기 때문에 동시 사용자 수의 제한 및 로드 밸런싱(load balancing) 문제가 발생할 수 있다. 로드 밸런싱 및 시스템 동시 사용자 수의 제한은 서버의 하드웨어 성능, 네트워크 속도, 사용된 소프트웨어의 사용자 라

이센스 수에 제한을 받는다. 동시 사용자수는 시스템에 연결하여 각 모듈을 동시에 사용하는 사용자수이며 P-DYN/Modeler, P-DYN/Animator는 사용자 웹브라우저로 전송된 후 수행되므로 시스템에 영향을 주지 않지만, P-DYN/Plotter는 사용자 간의 협업시 그래프 서버를 이용하기 때문에 그래프 서버의 라이센스 수와 연관된다. 또한 인터넷으로 연결되어 시스템을 사용하기 때문에 네트워크 속도와 전송량이 중요하며 각 모듈별 크기는 다음과 같다. P-DYN/Modeler는 대략 50KB, P-DYN/Plotter는 그래프 라이브러리 JWave를 포함하여 기본 모듈이 300KB, P-DYN/Animator는 그래픽 라이브러리 OpenInventor를 포함하여 기본 모듈이 3MB정도이다. P-DYN/Modeler는 사용자의 시뮬레이션 모델에 따라 결정되나 전송량이 매우 적다. P-DYN/Plotter, P-DYN/Animator는 기본 모듈을 초기 전송 후 매 사용 시마다 전송하지 않으므로, 결과 데이터의 크기가 전송량을 결정하며, 특히 P-DYN/Animator는 애니메이션을 위한 형상 정보를 전송 받으므로 전송량이 많아진다. 시스템의 시험적 운영결과 형상정보의 분할전송 및 압축전송 방법을 도입하여 전송 속도를 개선시켜야 될 것으로 사료된다. 웹기반 공학 시스템은 인터넷의 특성상 불특정 다수가 시스템에 접속할 수 있으므로 허가된 사용자들만이 시스템을 이용할 수 있는 방법이 제시되어야 한다. P-DYN에서는 네트워크 보안성(방화벽이나 기타 네트워크 레벨의 보안성)이 확보되었다는 가정하에 사용자에게 id와 password를 부여하고 사용자의 네트워크 주소(IP 주소)를 서버에 등록하는 2단계의 인증을 수행한다. 1단계에서는 미등록된 네트워크 주소로부터의 시스템 연결은 거부되며 2단계에서는 등록된 네트워크 주소라도 사용자 id와 password를 검사하여 일치하지 않을 경우엔 거부된다. 또한, 시스템의 모든 사용자가 작업데이터를 공유하는 것은 바람직하지 않으며, P-DYN에서는 사용자별로 작업데이터를 관리하고 사용자가 작업데이터를 공유할 사람을 지정하는 방법을 사용한다. 이러한 운영환경 하에서 P-DYN이 웹기반 공학 시스템으로의 장점은 다음과 같다. 첫째, 사용자 컴퓨터에 별도의 S/W를 설치할 필요가 없으므로 S/W 구입비용과 설치비용을 절감할 수 있다. 둘째, S/W의 업그레이드가 서버측에서만 이루어지므로 업그레이드 비용과 시간을 절감

할 수 있다. 셋째, 자체 개발한 해석기를 이용하기 때문에 고가인 해석기 사용권 문제에서부터 자유롭다. 넷째, 각 사용자 컴퓨터가 고성능일 필요가 없으며 고성능의 서버만을 유지함으로써 비용절감 및 효율적인 사용이 가능하다. 다섯째, 작업결과가 서버에 저장되고 관리되기 때문에 중요 작업데이터에 대한 관리 및 보안성이 강화되며 작업데이터에 대한 공유가 가능하다.

Table 1은 시스템의 개발 및 운영에 이용되는 하드웨어, 소프트웨어를 보여주고 있다. 시스템 개발에 사용된 프로그래밍 언어는 C++, JAVA를 웹 프로그래밍 기법으로는 웹 표준인 CGI, HTML과 JAVA Applet을 이용하였다. 프로그래밍 툴은 Visual C++ 6.0, JDK 1.3을 사용하였다.

Table 1 System development environment

OS	Windows 2000 Serve
H/W	Compaq Server, 1 CPU
Web Server	MS IIS 5.0
Programming Tools	Visual C++ 6.0 with SP4 JDK 1.3
DBMS	MySQL 4.0
Library	JWAVE 3.5 (PV-Wave 7.5 포함) OpenInventor for Java 3.6

사용자 정보 및 사용자의 작업 데이터(모델 데이터, 결과 데이터, 작업이력 데이터), 시스템의 각종 데이터를 관리하기 위해 사용된 MySQL은 관계형(Relational) 데이터베이스 관리 시스템으로 무료로 사용할 수 있고 동시에 다수의 사용자가 데이터를 공유할 수 있으며 데이터의 백업과 관리가 용이한 장점이 있다. 그래프 라이브러리로 사용된 JWAVE는 PV-Wave의 JAVA 버전으로 수치계산 루틴인 IMSL을 사용할 수 있고 모든 결과 데이터를 사용자에게 전송하지 않고 화면에 표현 가능한 결과 데이터만 전송하므로 네트워크 부하 및 효율성을 높여 줄 수 있으며, 협업을 위한 기본 기능을 제공하는 장점이 있다. 3D 애니메이션을 제공하기 위해 사용된 OpenInventor for Java는 3D 표준인 OpenGL에 기반한 그래픽스 라이브러리로 JAVA에서 사용할 수 있고 OpenGL 보다 프로그래밍하기 쉽고 효율적인 실행속도를 보장하며 다수 CAD 프로그램에서 제공하는 iv(OpenInventor File Format)와 VRML 형식을 형상정보로 읽어 들일 수 있는 장점이 있다.

2.3 PRE Module 개발

PRE Module은 사용자 웹브라우저 상에서 템플릿 형태의 사용자 인터페이스를 제공한다. 웹브라우저 상에서 사용자 인터페이스를 제공하는 방법은 HTML, JAVA Applet, Active-X, 플러그인(Plug-In) 이 있다. 개발된 PRE Module은 웹 표준인 HTML을 사용하여 모든 웹브라우저에서 이용할 수 있고 텍스트 위주의 사용자 인터페이스이기 때문에 모듈 크기가 적은 장점이 있으나 GUI(Graphical User Interface)에 익숙한 사용자에게는 불편하다. PRE Module은 동역학 시물레이션 모델링에 필요한 요소를 사용자가 선택하고 선택된 요소별로 파라미터를 입력할 수 있는 템플릿 형태로 구현되었으며, 데이터베이스에 등록된 모델링 요소를 사용자에게 HTML로 제공하고 파라미터를 입력받는 서버 프로그래밍은 CGI방식을 이용하여 C++으로 구현하였다. 서버 프로그래밍으로 CGI방식을 채택했기 때문에 웹서버의 종류에 상관없이 구현할 수 있는 장점이 있다. PRE Module에서 제공하는 요소는 Table 2와 같이 일반적인 기계요소를 대부분 포함하고 있다.

Table 2 Elements of PRE Module

Body	3D Body
Constraints	Ground, Position, Revolute joint, Translational joint, Bracket joint, Spherical joint, Cylinder joint, Planar joint, Gear joint, Rack-Pinion joint
Forces	Spring-damper, Bushing, Beam
Others	Curve, Initial condition, Driver

2.4 JOB Control Module

현재 JOB Control Module은 Job Manager가 개발되었으며 User Manager, Data Manager는 일부만 구현되었다. Job Manager는 PRE Module에서 넘어온 입력데이터를 처리하여 시물레이션 모델을 생성하고 SOLVER Module에 시물레이션 모델을 전달하고 SOLVER Module의 시물레이션 결과를 POST Module에 전달하는 기능을 수행하며, HTML로 표현된 인터페이스를 제공하며 HTML을 생성하기 위한 서버 프로그래밍은 CGI 방식을 채택하고 C++로 구현되었다. Fig. 3은 PRE Module에서 입력된 시물레이션 모델을 JOB Control Module이 SOLVER Module에게 전달하여 시물레이션을 수행하고 시물레이션의 성공여부에

따라 사용자가 POST Module을 이용하여 에러메시지나 결과를 분석하는 시스템의 작업흐름과 각 단계에서 필요한 데이터 파일을 나타내고 있다.

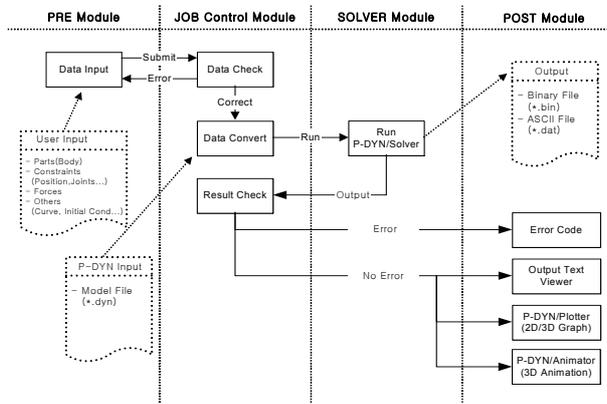


Fig. 3 Control flow of P-DYN system

2.5 SOLVER Module

SOLVER Module은 구속계 동역학 해석기인 P-DYN/Solver와 이를 구동시키는 Solver Manager가 개발되었다. P-DYN/Solver는 다물체 동역학 시뮬레이션을 위하여 다물체 동역학에 객체지향 모델링 및 프로그램 기법을 적용하여 C++로 개발하였다. Table 2와 같이 현재 일반적으로 이용되는 물체(Body), 구속 조건(Constraints), 구속 조건을 이용한 조인트류, 힘 요소들을 라이브러리로 가지고 있다. Solver Manager는 배치작업 형태로 해석기 P-DYN/Solver를 구동시키며 C++로 구현되었다. 해석기의 구조와 시뮬레이션 결과의 신뢰성에 대한 것은 다른 논문에서 소개할 예정이다.

2.6 POST Module

POST Module은 2D/3D 그래프, 3D 애니메이션을 통한 시뮬레이션 결과 분석 및 가시화를 웹브라우저 상에서 제공하며 JAVA로 개발되었다. P-DYN/Plotter는 다수 사용자간에 시뮬레이션 결과의 공유, 협업 및 정보교환이 가능하도록 개발되었으며 JWave 라이브러리를 사용하였다. 정보공유를 위하여 사용자 A가 그래프의 특정 구역을 줌(zoom)하였다면 인터넷을 통해 동일 그래프를 보고 있는 사용자 B에게도 같은 결과를 제공한다. 또한 주석(annotation) 기능을 이용한 시뮬레이션 결과의 토의가 가능하다. P-DYN/Animator는 OpenInventor for JAVA라이브러리를 사용하였으며 각 물체의 형상정보(Geometry)는 iv 또는

VRML 형식을 사용한다. 형상정보는 사용자가 CAD로부터 생성한 iv 또는 VRML 파일을 웹서버로 업로드하고 P-DYN/Animator가 업로드한 형상정보와 P-DYN/Solver의 시뮬레이션 결과를 읽어서 애니메이션을 수행하게 된다.

3. 적용

본 논문에서 개발한 웹기반 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템 P-DYN을 자동차 현가장치에 적용하였다. Fig. 4는 1/4 차량 현가 모델을 보여주며 현가장치의 다물체 동역학적 시뮬레이션 모델 구성은 Table 3과 같다. Fig. 5는 P-DYN/Modeler의 입력 초기 화면으로 Table 3에 대한 정의를 구성하는 요소로 체크하고 개수를 입력하면 Fig. 6과 같은 템플릿이 생성되어 입력할 수 있다. P-DYN/Animator에서 입력을 마친 후 JOB Control Module이 SOLVER Module을 구동시켜 시뮬레이션을 수행한다. Fig. 7은 P-DYN/Plotter를 이용한 Pot hole strike 조건에 대한 차륜의 가속도 결과 분석이다. Fig. 4는 P-DYN/Animator로 시뮬레이션 결과를 이용한 3D 애니메이션을 보여주고 있다.

Table 3 Multibody dynamic model of the 1/4 car

6 Bodies	Ground, Knuckle, Strut, Rear_link, Front_link, Trailing_arm
Translational joint	Strut-Ground
Spring-Damper	Strut-Knuckle
Bushing 1	Strut-Ground
Bushing 2	Ground-Rear_link
Bushing 3	Ground-Front_link
Bushing 4	Knuckle-Rear_link
Bushing 5	Knuckle-Front_link
Bushing 6	Knuckle-Trailing_arm
Bushing 7	Trailing_arm-Ground

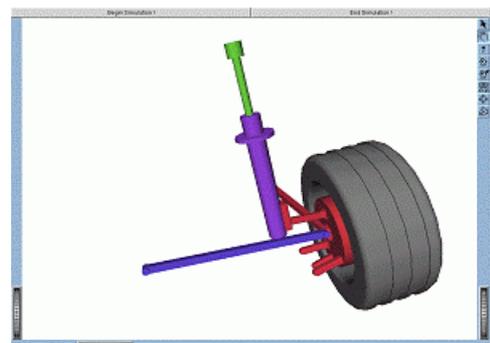


Fig. 4 Web-based P-DYN/Animator



Fig. 5 P-DYN/Modeler

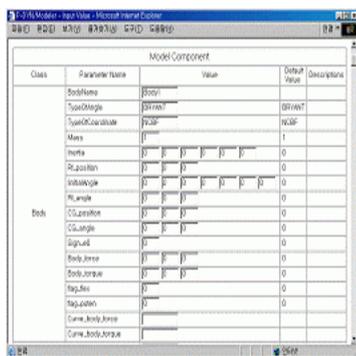


Fig. 6 Web-based template for Body

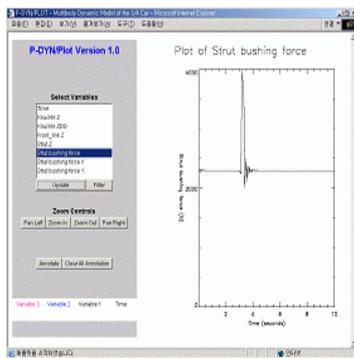


Fig. 7 Web-based P-DYN/Plotter

4. 결론

본 논문에서는 인터넷 기반 범용 다물체 동역학 시뮬레이션 시스템을 소개하였다. 사용자 인터페이스는 웹 브라우저를 통하여 이루어지고 동적 시뮬레이션에 필요한 수치계산은 웹 서버에서 수행된다. 결과적으로 사용자는 컴퓨터 환경과 위치에 상관없이 웹 브라우저를 통하여 다물체 시스템의 동적 시뮬레이션 수행이 가능하다. 또한 동시적인 정보의 공유로 협업 및 동시공학 구현이 가능하고 데이터베이스를 이용한 자료의 체계

적인 관리가 가능한 장점이 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 주력산업의 고부가가치화 사업 "웹기반 범용 동력전달계 성능해석 시스템 개발" 과제의 연구비로 수행되었으며 본 연구의 지원에 대하여 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, Y. H., Kwak, S. G., and Kim S. H., 1998, "Web-Based Simulation under Distributed Environment", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 7, No. 2, pp. 79~90.
- (2) Kim, K. Y. and Nam, Y. H., 1999, "A Visual Modeling Environment for Web-based Simulation", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 8, No. 1, pp. 101~111.
- (3) Jin, G. J., Kwak, M. K., and Heo, S., 2002, "Development of Web-Based Engineering Calculation Program Using JavaScript", Proc. of KSNVE Spring Conf., pp. 411~416.
- (4) Seo, J. W. and Kang, S. K., 2001, "A Study on the Fault Diagnosis in Web-based Virtual Machine", Proc. of KSPE Spring Conf., pp. 430~434.
- (5) Kim, D. H., Kim, S. H., Kim, J. H., and Han. K. S., 2001, "A Study on Web based Monitoring System of Machine Tool", Proc. of KSPE Autumn Conf., pp. 60~63.
- (6) Knoth, J., 1996, "Engineering via the Internet", Computer-Aided Engineering, pp. 54-60.
- (7) Shen, W. and Ghenniwa, H.H. 2002, "A Distributed Multidisciplinary Design Optimization Framework Based On Web And Agents", Proc. of ASME DETC2002, CD-ROM.
- (8) <http://www.lmsintl.com/>
- (9) <http://www.adams.com/>
- (10) <http://www.functionbay.com/>
- (11) <http://www.simpack.de/>
- (12) <http://java.sun.com/>
- (13) <http://www.tgs.com/>
- (14) <http://www.vni.com/>
- (15) <http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu/cgi/>