

# 웹기반 자동차 동력전달계 성능 시뮬레이션 시스템 개발

한형석#, 이재경\*

## Development of a Web-based Powertrain Performance Simulation System

Hyung Suk Han<sup>#</sup> and Jai Kyung Lee<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

The development of a Web-based powertrain performance simulation system is introduced. The development approach of system architecture and each module is introduced along with the H/W and S/W used. The interface with all users is developed via a JAVA Applet. The powertrain modeling and other job history data of a user is managed systematically on the server by database to increase the reusability of the data. A self-developed program using object-oriented programming is used as a solver for the performance simulation. The graph tool for the analysis of simulation results has the collaboration support developed based on JAVA so that synchronous users can view the same result. As a result, the powertrain simulation is possible only with Web-browser for the user and the collaboration support among the relevant engineers is possible.

**Key Words :** Powertrain(동력전달계), Web-based(웹기반), JAVA(자바), Collaboration(협업), Performance simulation(성능 시뮬레이션)

### 기호설명

- $I$  = identity matrix
- $\Psi_z$  = state constraint Jacobian
- $z$  = states
- $\lambda$  = lagrange multiplier
- $F$  = function

### 1. 서론

자동차 동력전달계의 품질향상과 개발기간 단

축에 의한 고부가가치화를 달성하기 위해서 전 개발주기에 가상공학이 적용되고 있다. 가상공학의 한 분야인 가상 시제를 이용한 성능 시뮬레이션은 설계 최적화와 시제품 제작 비용, 개발 기간을 단축할 수 있게 한다. 그러한 성능 시뮬레이션의 효율적인 적용을 위해서는 사용자의 지리적, 컴퓨터 환경 제한 없이 웹기반 시뮬레이션이 가능하고 관련 정보의 공유에 의한 협업이 가능한 시스템이 요구된다. 현재 동력전달계 성능 시뮬레이션 시스템은 모두 독립형이어서 담당자 컴퓨터에서만 시

접수일: 2003 년 5 월 24 일; 게재승인일: 2003 년 11 월 14 일

# 교신저자: 한국기계연구원

Email hshan@kimm.re.kr Tel. (042) 868-7814

\* 한국기계연구원

물레이션이 가능하기 때문에 데이터의 체계적 관리나 공유에 의한 협업 지원이 어렵고, 웹을 통한 자동차 동력전달계 성능 시물레이션 시스템으로 공개된 사례를 발견하지 못하였다. 다만 MSC 사의 경우 인터넷을 통한 동력전달계 성능 시물레이션 프로그램 EASY5 의 ASP 서비스를 제공할 것으로 알려져 있다.<sup>1</sup> 국내에서는 산업 공학적 시물레이션에 웹기반 기술이 Lee<sup>2</sup> 와 Kim<sup>3</sup> 에 의하여 적용된 사례가 있다.

본 논문에서는 웹기반 범용 동력전달계 성능 시물레이션 시스템의 개발을 목표로 한다. Fig. 1 은 본 논문에서 소개하는 시스템의 기능을 개략적으로 보여주고 있다. Fig. 1 에서와 같이 인터넷을 통해 사용자 컴퓨터와 웹서버를 연결하여 동력전달계의 성능 시물레이션을 수행하게 된다. 사용자와의 모든 인터페이스는 웹 브라우저를 통하여 이루어지고 공학적 계산은 웹서버에서 이루어진다. 결과적으로 다수의 사용자가 사용자 컴퓨터 환경이나 위치에 상관없이 웹을 통하여 동력전달계 시물레이션을 수행할 수 있다. 또한 공학적 정보를 다수의 사용자가 위치에 상관없이 동일 또는 비동일 시간에 공유할 수 있어 협업 및 동시공학의 구현이 가능하게 된다. 이러한 시스템의 시스템 아키텍처와 개발에 이용된 관련 기술, 고려 사항들을 기계공학자 측면에서 소개한다.

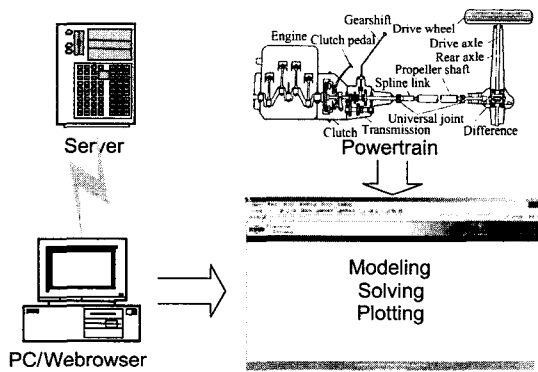


Fig. 1 Web-based powertrain performance simulation system

## 2. 시스템 개발

### 2.1 시스템 아키텍처

Fig. 2 는 본 논문에서 개발한 시스템 아키텍처를 보여주고 있으며 시스템의 이름은 O-DYN 이라 부른다. 시스템은 크게 PRE Module, POST Module, JOB Control Module, SOLVER Module 로 구성된다. PRE Module 은 사용자가 시물레이션 하려는 대상을 정의하며 성능 해석기 O-DYN/Solver 의 입력 데이터(모델 데이터)의 생성/검색/수정/삭제 기능을 제공하는 O-DYN/Modeler 로 구성된다. 시물레이션 결과 분석을 위한 POST Module 은 2D/3D 그래프를 제공하는 O-DYN/Plotter 로 구성된다. JOB Control Module 은 PRE Module, POST Module 에서 요청된 사용자 작업을 관리하며 PRE Module 의 시물레이션 요청, 시물레이션 요청에 따른 SOLVER Module 의 구동 및 결과 처리, 시물레이션 결과의 POST Module 전달, 사용자 작업 이력관리(job history)를 담당하는 Job Manager, 사용자 관리 및 인증을 담당하는 User Manager, 사용자의 작업 데이터(시물레이션 모델, 결과데이터, 작업이력 데이터) 관리를 담당하는 Data Manager 로 구성된다. SOLVER Module 은 JOB Control Module 을 통해 전달된 사용자의 모델 데이터를 이용하여 동적 시물레이션을 수행하며 동력전달계 성능 해석기 O-DYN/Solver 와 이를 관리하는 Solver Manager 로 구성된다.

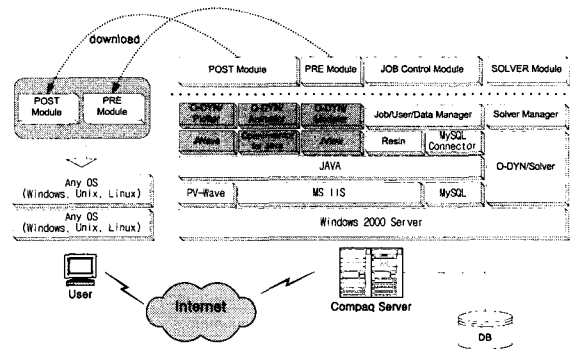


Fig. 2 System architecture

### 2.2 운영 및 개발환경

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 사용자 인터페이스인 PRE Module, POST Module 은 사용자의 웹 브라우저에서 실행되며, JOB Control Module, SOLVER Module 은 서버에서 운영된다. 사용자는 운영체제(OS)나 웹 브라우저 종류에 구애 받지 않고 JAVA

를 이용할 수 있는 웹 브라우저를 사용하여 시스템을 이용한다. 사용자는 먼저 사용자 인증과정을 거친 후, 시뮬레이션 대상을 정의하기 위해 PRE Module 을 선택하거나 시뮬레이션 결과의 분석 및 가시화를 수행하기 위하여 POST Module 을 선택한다. 선택된 작업에 따라 Fig. 2 에서 회색으로 표시된 O-DYN/Modeler, O-DYN/Plotter 가 사용자 웹 브라우저로 전송된다. 현재 지원 가능한 JAVA 버전은 JDK 1.3<sup>4</sup> 이고, PRE Module 과 POST Module 에서 사용한 JWAVE<sup>5</sup>, JViews<sup>6</sup> 런타임 라이브러리가 전송되며 별도의 설치과정은 없다. 사용자의 작업이 처리되는 서버는 하드웨어로 Compaq ML-570 Server 를 이용하였고 운영체제는 Windows 2000 Server 를 사용하였으며 서버에서 운영되는 소프트웨어는 Table 1 과 같다. 데이터베이스 서버는 MySQL, Servlet/JSP(JAVA Server Page) 엔진은 Resin<sup>7</sup>, 그래프 서버는 PV-Wave<sup>5</sup>, 시뮬레이션을 위한 동력 전달계 성능 해석기는 O-DYN/Solver 이며, 웹서버는 MS-ISS 가 서버쪽에서 운영된다. 웹서버인 MS-ISS 가 PRE Module, POST Module 을 사용자에게 전송하고 사용자 작업관리를 위한 JOB Control Module 을 제공한다.

Table 1 System development environment

OS	Windows 2000 Server
H/W	Compaq Server, 1 CPU
Web Server	MS IIS 5.0
Servlet/JSP Engine	Resin 2.1
Programming	Visual C++ 6.0 with SP4
Tools	JDK 1.3
DBMS	MySQL 3.23
Library	JWAVE 3.5 (PV-Wave 7.5 포함) JViews 5.5

O-DYN 은 웹서버와 운영체제를 Microsoft 사 제품을 사용하였지만 시스템 개발에 JAVA, ANSI C++을 사용하였기 때문에 웹서버가 설치될 수 있는 환경이라면 포팅이 가능한 장점이 있다. C++는 성능 해석기 O-DYN/Solver 개발에 사용되었으며, O-DYN/Solver 를 제외한 시스템 모듈들은 JAVA 로 개발되었다. 웹 프로그래밍 기법으로는 웹 표준인 HTML 과 JAVA Applet, JSP, Servlet 을 사용하였다. 사용자 인터페이스인 PRE Module, POST Module 은

JAVA Applet 으로 개발되었으며, JOB Control Module, Solver Module 은 JAVA Servlet 과 JSP 로 개발되었다. JAVA Applet 은 웹 브라우저에 부착되어 ActiveX 처럼 사용되며, 별도의 프로그램 설치가 필요 없이 필요한 모듈은 다운로드 받아 사용할 수 있다. 그러나, JAVA Applet 은 보안상 사용자 컴퓨터의 파일 제어 및 자신이 위치한 웹서버 이외의 시스템과의 통신이 불가능하다. 따라서, 시스템의 모든 데이터는 JOB Control Module 에서 관리되어 데이터의 체계적 관리와 보안성을 확보할 수 있다. 사용자 컴퓨터의 데이터가 서버로 업로드 되어야 할 경우(예: 사용자 curve data), JAVA Applet 의 보안 제약상 업로드가 불가능하여 JSP 방식의 파일 업로더를 사용하였다. JAVA Servlet 은 JAVA Applet 이 처리할 수 없는 서버의 응용 프로그램 실행이나 파일처리를 수행할 수 있으며, JAVA Applet 과 통신을 통하여 데이터를 주고 받을 수 있으며 세션과 쿠키 제어를 통하여 사용자 인증을 제공할 수 있다. 현재 O-DYN 은 단일 시스템에서 수행되지만, 향후 웹서버 시스템, 데이터베이스 관리 시스템, 동역학 해석 시스템으로 분리되어 확장 운영될 수 있으며, 이를 위해서는 JAVA Applet 방식의 사용자 인터페이스가 앞에서 언급한 보안 제약을 극복할 수 있어야 한다. 즉, 데이터베이스 서버, 동역학 해석기가 웹서버와 다른 시스템에 위치해 있으면, 보안제약으로 사용자 인터페이스인 PRE Module, POST Module 이 데이터베이스 서버, 동역학 해석기를 사용할 수 없는데 JAVA Servlet 을 통하여 이를 해결할 수 있다.

O-DYN 은 웹기반 시스템으로 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 라이선스 수에 제한을 받는다. 동시 사용자 수는 시스템에 연결하여 각 모듈을 동시에 사용하는 사용자수이며 O-DYN/Modeler 는 사용자 웹브라우저로 전송된 후 수행되므로 시스템에 영향을 주지 않지만, O-DYN/Plotter 는 사용자 간의 협업시 그래프 서버를 이용하기 때문에 그래프 서버의 라이선스 수와 연관된다. 또한 인터넷으로 연결되어 시스템을 사용하기 때문에 네트워크 속도와 전송량이 중요하며 각 모듈별 크기는 다음과 같다. O-DYN/Modeler



의 사용자 인증요청에 따라 사용자 인증을 수행하는데 사용자 네트워크 주소, 사용자 id/password 를 이용한 2 단계 인증을 실시한다. Data Manager 는 PRE Module, POST Module, Job Manager 에서 사용되는 데이터를 DB 에서 읽거나 쓰는 기능을 수행하며, SOLVER Module 과의 인터페이스를 위해 DB 에 저장된 모델데이터를 파일로 쓰는 기능과 해석결과 파일을 읽어 들여 DB 에 저장하는 기능을 제공한다. Fig. 5 는 PRE Module 에서 저장된 모델 데이터를 JOB Control Module 이 SOLVER Module 에게 전달하여 시뮬레이션을 수행하고 POST Module 을 이용하여 결과를 분석하는 시스템의 전체 작업 흐름과 각 단계에서 필요한 데이터베이스 파일을 나타내고 있다. 점선은 데이터의 흐름, 실선은 제어의 흐름을 나타낸다.

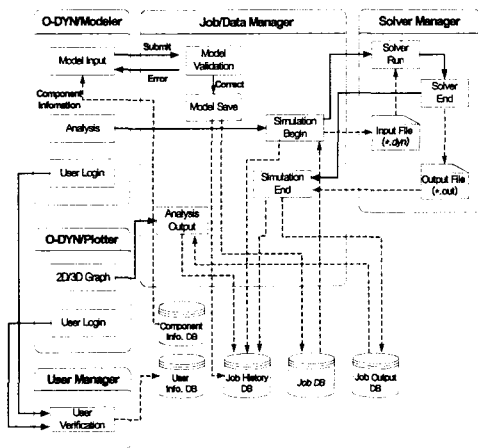


Fig. 5 Control flow of O-DYN system

### 2.5 SOLVER Module

SOLVER Module 은 동력전달계 성능 해석기인 O-DYN/Solver 와 이를 구동 시키는 Solver Manager 로 구성되어 있다. O-DYN/Solver 는 동력전달계 시뮬레이션을 위하여 객체지향 모델링 및 프로그램 기법을 적용하여 C++로 개발하였다. Solver Manager 는 배치작업 형태로 해석기 O-DYN/Solver 를 구동 시키며 C++로 구현되었다. 해석기의 구조에 대하여는 간략히 다음과 같이 소개한다.

동력전달계의 동적 모델링에 의하여 생성되는 동력전달계의 지배방정식에 식(1)과 같은 구조를 도입한다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \Psi_z^T \\ \Psi_z & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}(z, u, t) \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)의 해는 상미분방정식(ODE) 해법과 선형 해법을 이용하여 구할 수 있다. 본 연구에서의 식 (1)의 해를 구하기 위한 수치해석 구조는 Fig. 6 과 같다. 수치해석을 수행하기 위해 별도의 클래스 Dynamic 을 이용한다. Dynamic 클래스는 Fig. 6 에서와 같이 수치적분기와 선형해석기를 함수로 포함하고 있으며 시스템 지배방정식을 구성하고 해를 구하는 과정에서 필요한 정보를 각 객체와의 메시지 전달을 통하여 주고 받는다. 이러한 구조의 특징은 공통 메모리를 사용하지 않는다는 것이다. 즉 데이터를 각 객체가 포함하고 있으면서 필요에 따라 객체간의 메시지 교환에 의하여 데이터 전달이 이루어진다. 이에 대한 설명을 Fig. 7 에서 보여주고 있다. 객체는 데이터와 기능을 포함하고 있고 수치 해석기와 메시지 교환에 의하여 데이터를 송수신한다. 그러므로 사용자가 새로운 클래스의 개발을 원할 때 해석 프로그램의 전반적 구조에 대한 지식이 없이도 쉽게 정의할 수 있게 된다. 또한 새로운 수치해석 과정을 도입할 때도 객체의 내부에 대한 지식이 필요하지 않다. 단지 필요 데이터만 교환하면 되는 것이다. 결과적으로 기존의 절차적 방법에 의하여 개발된 해석기보다 확장성, 유연성, 재사용성 등의 장점이 있다.

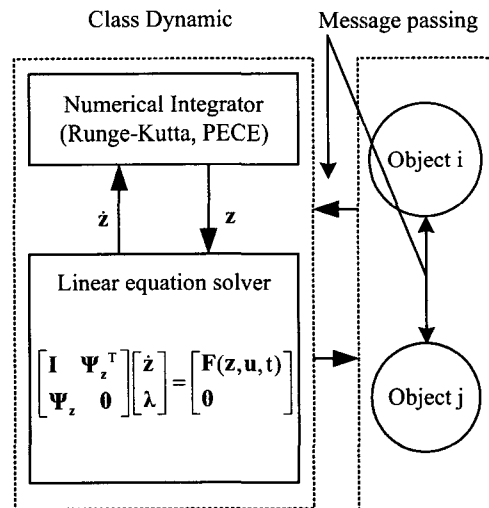


Fig. 6 Structure of O-DYN numerical analysis

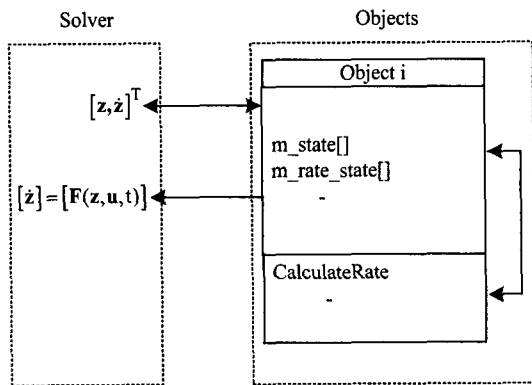


Fig. 7 Object-oriented data model for powertrain performance analysis

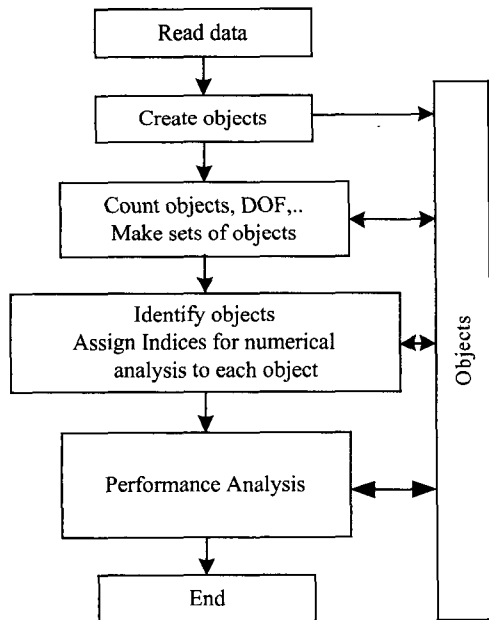


Fig. 8 Flow of O-DYN/Solver

본 논문에서는 Fig. 6 과 같은 수치해석 과정을 기반으로 하여 Fig. 8 과 같은 흐름을 갖는 해석기 O-DYN/Solver 을 객체지향 언어 C++를 이용하여 개발하였다. 전통적인 흐름과는 다르게 객체의 생성과 관리가 포함되어 있다. O-DYN/Solver 에 대하여는 Han<sup>8</sup> 의하여 소개되었다.

### 2.6 POST Module

POST Module 는 2D/3D 그래프를 통한 시뮬레이션 결과 분석 및 가시화를 웹브라우저 상에서 제공하며 JAVA 로 개발되었다. 2D/3D 그래프 형태의 결과분석을 제공하는 O-DYN/Plotter 는 다수 사용자간에 시뮬레이션 결과의 공유, 협업 및 정보교환이 가능하도록 개발되었으며 JWave 라이브러리를 사용하였다. Fig. 9 는 O-DYN/Plotter 의 화면 예이며 협업 및 정보공유를 위하여 사용자 A 가 시뮬레이션 결과 그래프의 특정 구역을 줌(zoom) 하여 결과를 상세하게 본다면 인터넷을 통해 동일 시뮬레이션 결과를 보고 있는 사용자 B 에게도 같은 결과를 제공한다. 또한 주석(annotation) 기능을 이용하여 시뮬레이션 결과의 토의가 가능하다.

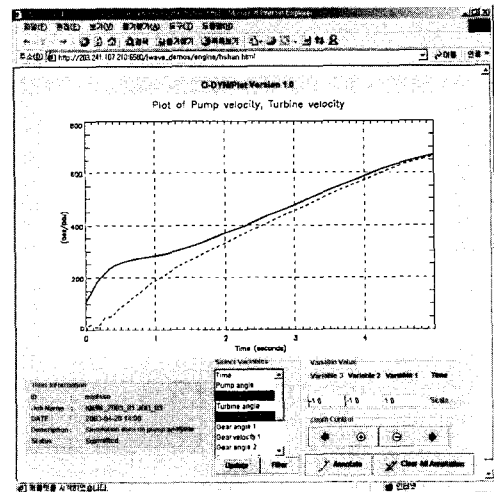


Fig. 9 O-DYN/Plotter

### 2.7 보안

웹기반 공학 시스템은 인터넷의 특성상 불특정 다수가 시스템에 접속할 수 있으므로 허가된 사용자들만이 시스템을 이용할 수 있는 방법이 제시되어야 한다. O-DYN 에서는 네트워크 보안성(방화벽이나 기타 네트워크 레벨의 보안성)이 확보되었다는 가정 하에 사용자에게 id와 password 를 부여하고 사용자의 네트워크 주소(IP 주소)를 서버에 등록하는 2 단계의 인증을 수행한다. 1 단계에서는 미 등록된 네트워크 주소로부터의 시스템 연결은 거부되며 2 단계에서는 등록된 네트워크 주소라도 사용자 id 와 password 를 검사하여 일치하지 않을 경우엔 거부된다. 또한, 인증을 거쳐 시스템의 사

용이 허가되었더라도 시스템의 모든 사용자가 작업데이터를 공유하는 것은 바람직하지 않다. O-DYN 에서는 사용자별로 작업데이터를 관리하고 사용자가 자신과 작업데이터를 공유할 사람을 지정하는 방법을 사용한다. 시스템의 시험적 운영결과와 작업데이터의 공유방법, 버전닝(versioning), 작업그룹 개념의 도입 등 협업 작업의 개념을 확대시켜야 될 것으로 사료된다

### 3. 적용

전 절에서 개발한 동력전달계 성능 시뮬레이션 프로그램 O-DYN 을 이용하여 Fig. 10 과 같은 단순 동력전달계에 적용하여 발진 성능 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 10 차량에 대한 O-DYN 해석 모델을 Fig. 11 에서 보여주고 있다. 본 해석 차량에 이용된 주요 데이터는 Table 2 와 같다. Fig. 11 은 O-DYN/Modeler 에 의하여 모델된 요소간의 연결과 각 요소의 모델에 이용된 클래스를 보여주고 있는데, 동력은 엔진→토크 컨버터→기어→축→차량으로 전달된다. 엔진은 실험에 의하여 얻어진 성능 곡선을 이용하는 Mapped Engine 클래스를 이용한다. 본 해석에서는 발진 성능을 해석하기 위하여 드로틀을 개방한 것으로 가정하고 엔진의 회전 속도를 이용하여 엔진 출력 토크를 계산하게 된다. 토크 컨버터는 부드러운 발진, 토크 증대, 유체 커플링 기능을 수행하며 대표적 비선형 요소이다. 본 논문에서는 Torque Converter 클래스를 정의하였는데 펌프와 터빈의 속도비에 기초한 토크 컨버터의 성능에 대한 다항식을 이용하여 터빈 출력 토크를 계산한다. 변속기를 나타내는 기어는 1 단 기어로 가정하고 변속기 입력축으로부터 차동 기어까지의 기어비를 적용한다. 변속기와 차체 관성 사이의 동력전달 요소는 단지 강성을 갖는 축으로 모델한다.

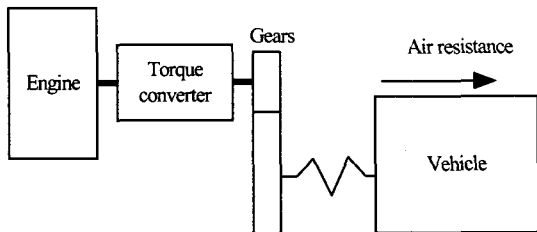


Fig. 10 Simple powertrain model

Table 2 Input parameters

Pump inertia	0.16kg-m <sup>2</sup>
Turbine inertia	0.1kg-m <sup>2</sup>
Vehicle inertia	102.3kg-m <sup>2</sup>
Gear ratio	10.926
Stall torque ratio	2.36
Coupling point	0.86
Coupling torque ratio	0.99

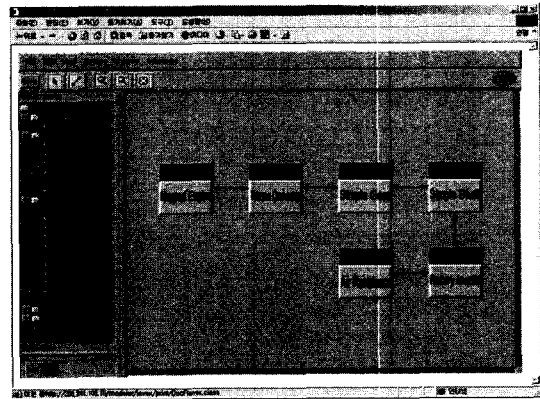
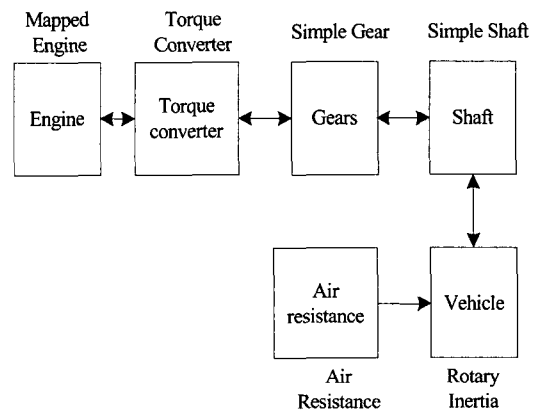


Fig. 11 O-DYN model with connected components

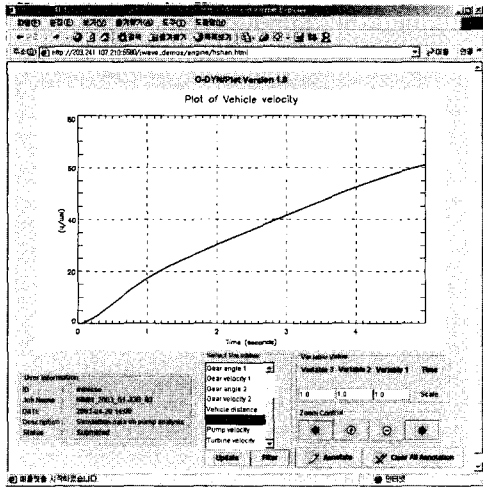


Fig. 12 Vehicle velocity

진 절의 Fig. 9 에서는 해석 결과 중 토크 컨버터의 펌프와 터빈의 각속도를 보여주고 있다. 펌프는 초기속도 100rad/sec 에서부터 계속 증가하며 터빈의 속도가 펌프의 속도에 수렴하는 것을 볼 수 있다. Fig. 12 는 차량의 속도를 보여주고 있다. Fig. 12 를 보면, 1 단 기어 연결조건에서 차량은 약 5 초 후에 60 km/h 에 도달하는 발전 성능을 갖는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 웹기반 범용 동력전달계 성능 시뮬레이션 시스템 개발 내용을 소개하였다. 시뮬레이션 시스템의 모든 사용자 인터페이스는 웹 브라우저와 인터넷을 통하여 이루어진다. 성능 시뮬레이션에 필요한 수치계산은 웹서버에서 수행된다. 성능해석기를 제외한 시스템 모듈은 JAVA 에 기반을 두고 개발되었다. 개발된 시스템은 다음과 같은 특징을 갖는다.

첫째, 다수의 사용자 컴퓨터에 동력전달계 성능 시뮬레이션 소프트웨어를 설치할 필요가 없으므로 소프트웨어 구입비용과 유지비용을 절감할 수 있다. 소프트웨어의 업그레이드와 유지보수가 서버측에서만 이루어지므로 제반 비용을 절감할 수 있다. 여기서, 소프트웨어 비용을 추가로 줄이기 위해서는 JAVA 그래픽 관련 라이브러리를 공개된 것을 사용할 필요가 있었다. 여기서, 공개된 라이브러리를 이용하면 라이브러리 구입 비용은

줄일 수 있으나 개발 기간이 길어지는 특징이 있다.

둘째, 각 사용자 컴퓨터가 고성능일 필요가 없으며 고성능의 서버만을 유지함으로써 비용절감 및 효율적인 사용이 가능하다.

셋째, 작업결과가 서버에 저장되고 관리되기 때문에 중요 작업데이터에 대한 관리 및 보안성이 강화되며 작업데이터에 대한 공유가 가능하다. 동시적인 정보의 공유로 협업 및 동시공학 구현이 가능하고 정보의 데이터베이스를 이용한 체계적인 관리가 가능한 장점이 있다.

넷째, 반면에 모든 데이터를 인터넷을 통하여 송수신하기 때문에 독립형에 비하여 데이터 처리 속도가 늦은 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여는 데이터 압축 전송 기술을 추가할 필요가 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 주력산업의 고부가가치화 사업 “웹기반 범용 동력전달계 성능해석 시스템 개발” 과제의 연구비로 수행되었음을 밝히며 본 연구의 지원에 대하여 감사 드립니다.

참고문헌

1. www.msc.com
2. Lee, Y. H., Kwak, S. G. and Kim, S. H., “Web-Based Simulation under Distributed Environment,” Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 7, No. 2, pp. 79-90, 1988.
3. Kim, K. H., Nam, Y. H., “A Visual Modeling Environment for Web-Based Simulation,” Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 8, No. 1, pp. 101-111, 1993.
4. http://java.sun.com/
5. http://www.vni.com/
6. http://www.ilog.com/
7. http://www.caucho.com/resin/
8. Han, H. S. and Lee, J. K., “Development of a Web-based Dynamic Simulation System for Multibody Systems,” Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 8, 2003.