

# 범용 해석 기구인 EASY5의 소개 Introduction to EASY5

최준희 · 김진봉

J. H. Choi and J. B. Kim

## 1. 서 론

현재 많은 회사에서의 주요한 목표는 새롭고 편리한 제품을 시장에 빨리 제공하는 것이다. 이러한 목표를 수행하기 위하여 제품은 더 복잡해진 시스템과 보다 빠른 개발 시간의 단축을 요구한다. 이러한 목표를 위하여 회사는 다양한 분야의 많은 엔지니어들을 고용하고, 많은 엔지니어들은 가상 모델, 시뮬레이션, 그리고 설계 및 제어 시스템 개발용 도구를 이용하여 복잡한 시스템의 개발은 물론이고, 거기에 따른 시간의 절감을 수행하고 있다. 그러나 불행하게도 이러한 많은 도구들을 사용함에도 불구하고, 하나의 독자적인 도구가 가지는 한계로 인하여 복잡한 시스템을 가상 모델로 개발할 때 메카니즘, 유압 시스템, 공압 시스템, 열전달 시스템, 엔진 구동시스템, 전기 구동시스템, 디지털 제어기 등의 모든 관점에서 사용할 수 있는 모델을 만들기는 쉽지 않다. 이러한 문제에 대한 하나의 솔루션으로서 다양한 기능을 가지고 있는 도구의 필요성이 증대되고 있다. 이러한 도구의 사용으로 인하여 엔지니어는 그들이 필요한 모든 조건을 가진 완벽한 가상 모델을 구현 할 수 있게 된다.

이 해설에서는 상용 도구인 EASY5를 이용하여 기본적인 여러 시스템에 대한 모델링 수행능력 및 다른 여러 가지 소프트웨어들과의 인터페이스를 소개하고자 한다.

## 2. EASY5의 개요

EASY5는 1978년 미국 보잉(Boeing)사에서 개발되어 30여년간 전 세계 엔지니어로부터 동력학 시스템의 설계, 해석, 그리고 제어 등에 이용되고 있는 CAE솔루션이다. 자체적으로 Pre/Post Processor와 Solver를 내장하고 있어 빠른 시간 내에 주어진 시스템의 분석 및 문제 해결을 수행할 수 있으며 기존의 상태 방정식을 이용하는 모델링과는 달리 미리

정의된 전문 시스템 라이브러리의 컴포넌트를 GUI 상에서 클릭하여, 연결함으로써 해석을 수행 할 수 있다. 또한 EASY5는 거대 시스템의 모델을 컴포넌트 별로 컴파일하고 자동적으로 C 언어 또는 Fortran 언어 Code로 빠르게 자동 생성하여 준다. 해석은 정상 상태 해석과 비선형 해석은 물론 H/W in-the-loop를 구성하는 Real Time Analysis Tool Kit도 제공한다.

### 2.1 Graphical Modeling

미리 정의된 다양한 블록 또는 컴포넌트를 이용하여 동적 시스템을 모델링 하여 준다. 이러한 모델은 시스템의 미분방정식과 대수방정식으로 특성화되어 구성된다.

이 모듈은 General Purpose Block Library와 Interactive Simulation Block 라이브러리로 구성되어 있고 Gain, Integrator, Summers 등, 각종 Controller등을 기본적으로 내장하여 어떠한 컨트롤 로직도 모델링을 가능하게 한다.

이 모듈의 중요한 기능은 다음과 같다.

- ⊙ 동적 시스템 모델링
- ⊙ Fortran 또는 C Code 자동생성
- ⊙ 사용자 정의 컴포넌트 제공

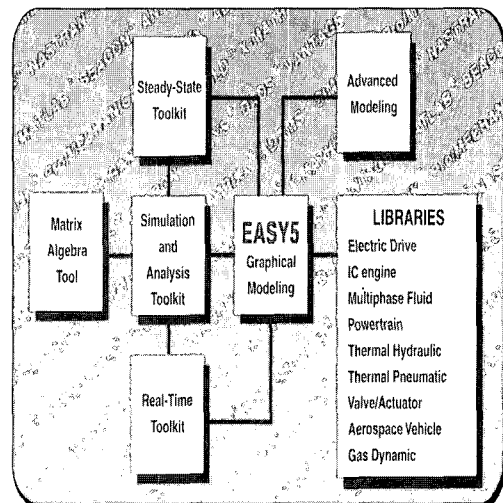


그림 1 EASY5 기본 구성

## 2.2 Advanced Modeling

Graphical 모델링보다 더욱 확장된 모델링 기법으로 System-Schematic이라는 방법을 사용한다.

System-Schematic이란 미리 정의된 컴포넌트와 블록을 이용하여 모델링 하는 방식이다. 컴포넌트란 여러 개의 입·출력값을 갖는 물리적인 부분 시스템이다. 그리고 Extension을 이용하여 다 물체 동력학용 소프트웨어에서 모델링된 어떠한 Mechanism이라도 EASY5 컴포넌트로 사용할 수 있다.

이 모듈의 중요한 기능은 다음과 같다.

- ⊙ 사용자 정의 라이브러리 제작
- ⊙ 퍼지 컨트롤 지원

## 2.3 Simulation & Analysis Tool kit

EASY5가 제공하는 모든 해석을 GUI를 이용하여 제어한다. 완벽한 GUI의 제공으로 해석 또는 결과를 출력하기 위하여 사용자는 특별한 언어나 명령어를 익히지 않아도 된다.

이 모듈의 중요한 기능은 다음과 같다.

- ⊙ Non-Linear Simulation
- ⊙ Linear Model Generation
- ⊙ Controllability, Eigenvalue
- ⊙ Observability
- ⊙ Transfer Function
- ⊙ Root Locus
- ⊙ Eigenvalue Sensitivity
- ⊙ Stability Margins
- ⊙ PSD Analysis

## 2.4 Steady-State Tool kit

시스템의 정상상태를 해석하는 데 사용된다. 이 모듈은 매우 빠른 속도로 해석을 수행하기 때문에 Linearized Analysis나 Operating Point를 얻기 위한 초기 경계조건 해석 수행에 장점을 가지고 있다.

## 2.5 Real-Time Tool Kit

EASY5 모델은 ADI, Dspase, Harrison, Sun 등의 장비는 물론 사용자가 이용하는 VME를 포함한 컴퓨터와 연결하여 실제 시스템과 실시간으로 해석을 수행할 수 있다. EASY5에 의하여 자동적으로 만들어진 Source Code는 Real-Time Tool Kit을 이용하여 Executive Source Code를 생성하게 된다. EASY5 모델은 Fortran과 C를 이용할 수 있는 어떠한 Real-Time 환경에서도 실행될 수 있다.

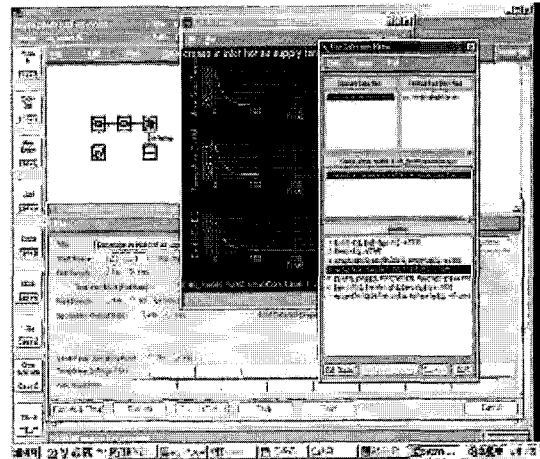


그림 2 시뮬레이션 및 해석 툴 키트

## 2.6 Matrix Algebra Tool Kit

이 모듈은 진보된 수치해석을 위하여 언어에 기본을 둔 환경을 제공하며 특히 행렬 계산에 적합하다. 복잡한 행렬의 입력을 위하여 Matrix Editor를 제공하고 있다.

## 2.7 Thermal Hydraulic Library

유압시스템의 과도 및 정상상태의 거동을 모델링하기 위한 라이브러리이다. 이 라이브러리는 항공, 자동차, 선박은 물론 유압이 필요한 어느 시스템에도 사용될 수가 있다.

이 라이브러리는 70 여개 컴포넌트를 내장하고 있으며 일반적으로 유체의 압축성, Thermal effect 등을 포함하고 있다. 큰 Eigenvalues를 갖는 유압시스템은 일반적으로 Hard limits in velocity and displacement, Flow reversal, Cavitation, 그리고 Friction과 같은 불연속성을 갖게 된다. 이러한 불연속적인 시스템을 빠르고 정확하게 해석하기 위하여 컴포넌트들은 Switch State 방식을 지원한다.

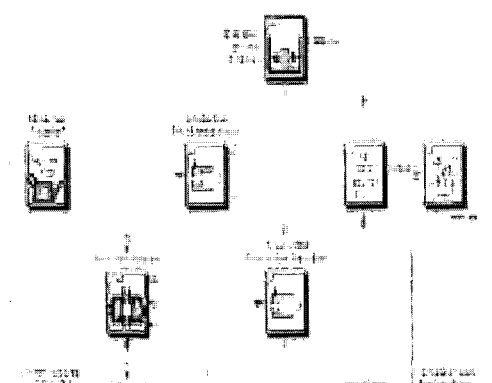


그림 3 유압 라이브러리

다음 분야에서 대표적으로 사용된다.

- ⊙ Active Suspension System
- ⊙ Anti-lock Brake System
- ⊙ Diesel Injection
- ⊙ Hydraulic System Cooling Design
- ⊙ Lubrication System
- ⊙ Transmission Control
- ⊙ Aircraft Control Surface
- ⊙ Landing Gear Actuation System

### 2.8 Ricardo Powertrain Component Library

이 라이브러리는 Ricardo North America, Inc.에서 개발하였으며 변속기와 구동계를 구성하는 복잡한 동력학 시스템의 빠르고 쉬운 모델링을 위하여 개발되었다.

주로 다음과 같은 분야에 사용되고 있다.

- ⊙ 수동 변속기
- ⊙ 자동 변속기
- ⊙ 무단 변속기
- ⊙ 클러치
- ⊙ 차동 기어
- ⊙ 트랙션 컨트롤

- ⊙ 전체 구동계 컨트롤

### 2.9 Ricardo Engine Library

이 라이브러리는 Ricardo, Inc에서 1997년에 개발되었다. 복잡한 내연 기관을 동력학적으로 빠르게 모델링할 수 있도록 다양한 엔진 컴포넌트를 제공하고 있다.

주로 다음과 같은 분야에 사용되고 있다.

- ⊙ 자연 흡기나 과급 가솔린 / 디젤을 포함하는 엔진 모델링
- ⊙ Exhaust Gas Re-Circulation System 포함

### 2.10 Environmental Control Library

작동 유체(Working Fluid)가 비압축성 액체이고 압축성 기체일 때 열, 유체 시스템의 빠르고 쉬운 모델링을 위하여 만들어졌다.

주로 다음과 같은 분야에 사용되고 있다.

- ⊙ Heating, Ventilation
- ⊙ Air Conditioning System
- ⊙ Pneumatic System
- ⊙ Fuel Handling System
- ⊙ 기체와 액체 사이의 열전달 기능

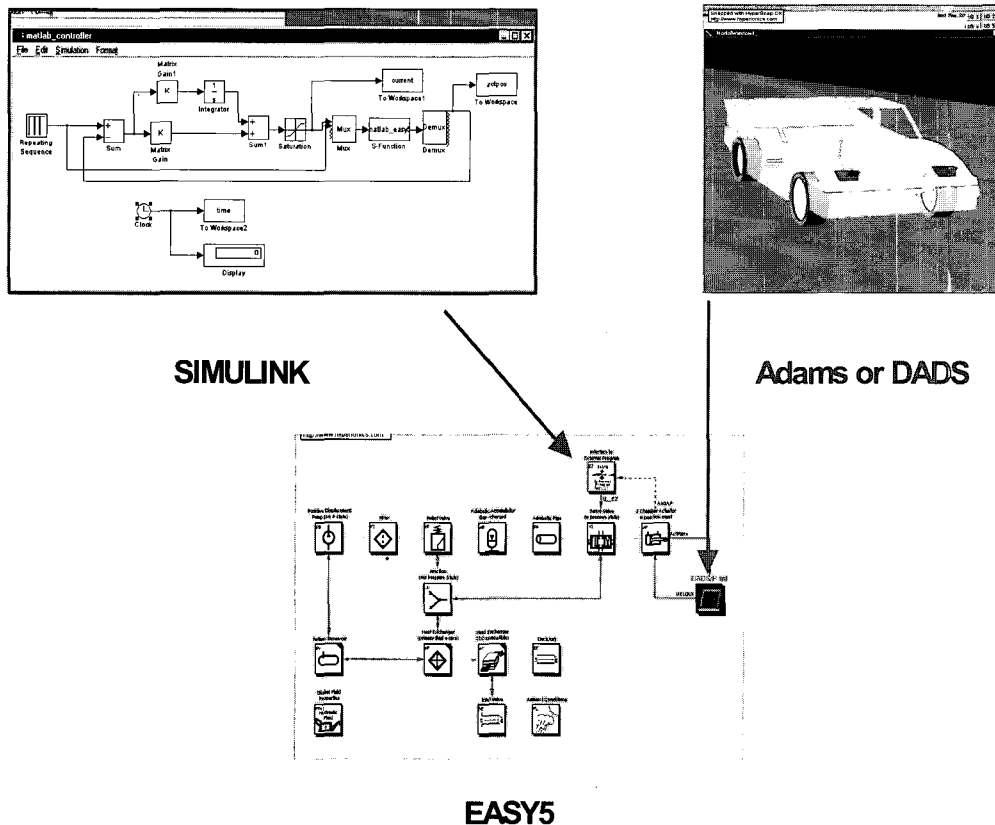


그림 4 Simulink, DADS 및 EASY5를 함께 사용한 시스템 모델

### 2.11 Multi-phase Fluid Component Library

이 라이브러리는 과냉, 포화, 과열 상태를 통한 상 변화를 하는 유체를 포함한 시스템의 과도 및 정상 상태 거동을 빠르고 쉽게 모델링 하기 위하여 만들어졌다. 이 라이브러리는 38가지의 냉매와 27가지 순수 물성치 등을 지원하고 있으며 상 변화에 따르는 불연속성을 빠르고 정확하게 해석하기 위하여 Switch State 방식을 사용한다. 주로 Vapor Cycle System 모델링 하는데 사용되고 있다.

### 2.12 Electric Drive Library

이 라이브러리는 미리 모델링되어진 각종 모터는 물론 배터리와 제너레이터를 이용하여, 스텝모터 컨트롤, 로드분석, AC/DC 컨트롤 및 PWD 제어 등을 수행할 수 있다. 또한 전기자동차와 모터 관련 기계 해석에도 사용된다.

### 2.13 Aerospace Vehicle Library

이 라이브러리는 보잉사의 수년간의 노하우를 바탕으로 하고 있으며, 항공기의 동특성 제어, 항공역학 분석 및 대기와의 관계를 모델링할 수 있다. 또한 다른 라이브러리와의 인터페이스를 통하여, 항공기의 엔진, 유압계, 변속기, 전기장치 등도 쉽게 모델링 할 수 있다.

### 2.14 EASY5 Interface

현재 활용되고 있는 각종 시뮬레이션 소프트웨어 기술에서는 시스템의 특정 부분 해석에 부가해서 해석한 시스템의 결과를 통합하는 것은 물론이고 컴퓨터상에서 실제 모델과 좀 더 유사한 모델을 구현하기 위하여 노력하고 있다. EASY5에서도 각각의 전문 프로그램을 통합한 시뮬레이션을 지원하고 있다.

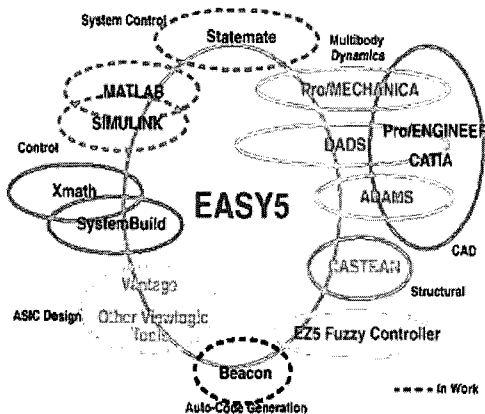


그림 5 EASY5 인터페이스

## 3. EASY5의 응용

### 3.1 EASY5를 이용한 차량의 토크 컨버터 록업 클러치 댐퍼의 비틀림 진동해석

자동변속기(Automatic Transmission, A/T)장착 차량의 연비 향상을 위해 토크 컨버터(Torque Converter) 내부에 록업(Lock-Up) 클러치를 장착하여 특정 운전 조건에서 엔진과 직결 시킬 경우 대부분의 전륜 구동 차량은 수동변속기와 같은 NVH (Noise-Vibration-Harshness)문제가 발생된다. 최근 연비를 보다 더 향상시키기 위해 직결 영역 확대가 필요하며 직결 시점을 낮출 경우 저 엔진 회전 영역에서 엔진 토크 변동(Fluctuation)폭의 증대로 인해 NVH 측면에서 더욱 불리해지며, 차량의 고유 진동수가 중속 영역인 엔진 회전수(약 900rpm~2000rpm)때 공진 현상이 발생되어 부밍 소음(Booming Noise)이 발생되기도 한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 A/T입력축의 강성을 감소시키는 것이 해결책일 수 있으나 강도가 저하되는 문제점이 있으므로 주로 댐퍼(Damper) 스프링을 통한 비틀림 특성을 조정(Tuning)한다. 결국 이러한 문제를 해결하기 위해서는 파워트레인을 포함한 차량의 동적 모델링과 신뢰성 있는 동역학 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 스프링 상수 변경에 따른 정확한 진동 특성 변화를 시험 전에 미리 예측하는 것이 매우 중요하다.

본 해설에서는 EASY5(r)를 이용하여 중형급 승용차에 대한 간략화된 모델링을 수행한 후 스프링 상수 변경에 대한 비틀림 특성 비교를 통해 최적의 설계 사양을 결정하는 해석 방법을 제시하고자 한다.

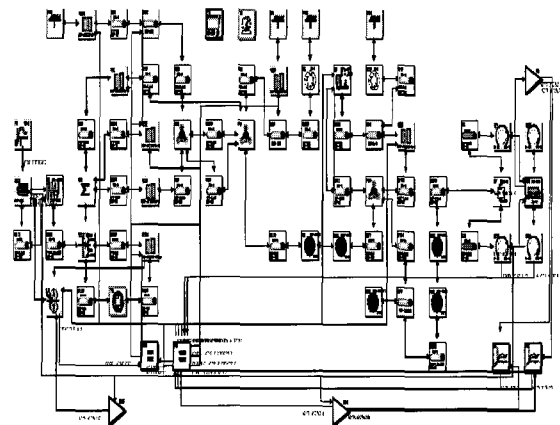


그림 6 EASY5 전 차량 모델

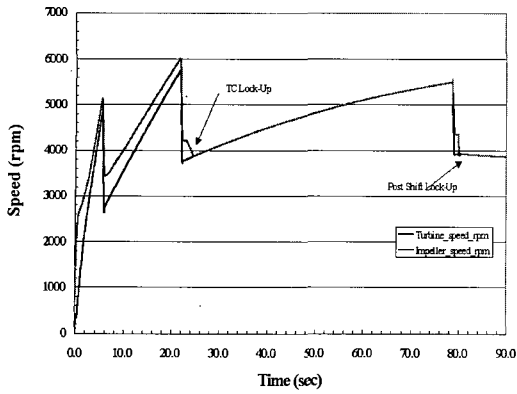
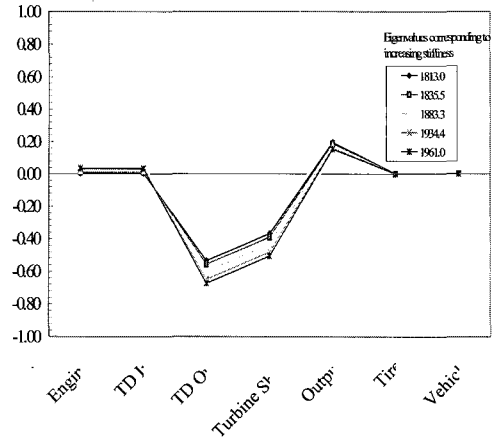
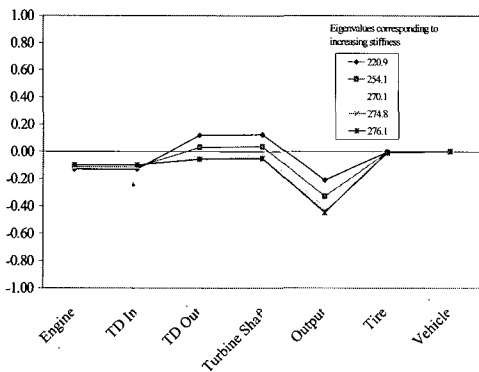


그림 7 임펠러 및 터빈 속도

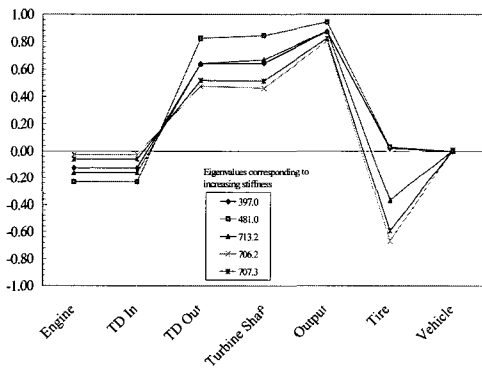


(d) Turbine Mode

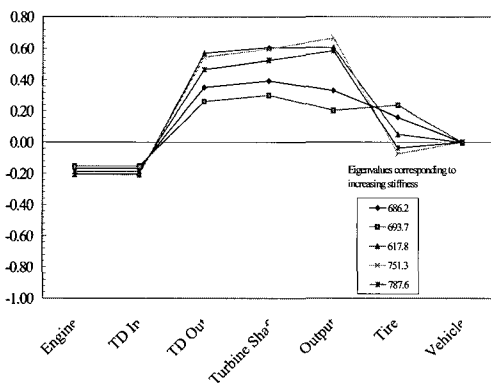
그림 8 EASY5 해석 결과의 예



(a) Surging Mode



(b) Low Idle Mode



(c) Rattle Mode

### 3.2 EASY5를 이용한 트랙터 변속기의 동특성 시뮬레이션

트랙터 변속기를 개발할 경우 반복적인 실험을 통하여 적절한 설계 변수 및 제어 변수를 얻으려면 많은 시간과 비용이 소요된다. 그러므로 시뮬레이션을 통하여 그 방법을 보완하는 것이 요구되며, 설계 단계에서는 변속기 시스템에 대한 설계 및 제어 변수 변화의 영향 등을 미리 고찰하는 것이 필요하다.

본 해석의 목적은 파워시프트 특성을 효과적으로 해석할 수 있는 모델을 개발하고, 이를 토대로 하여 시뮬레이션을 수행함으로써 설계 변수의 변화 등에 의한 영향을 미리 예측하는 데 있다.

자동차 및 궤도형 차량의 변속기에 대한 연구는 이미 많이 수행되었다. 그러나 농업용 트랙터는 일반 차량과는 다른 동력전달 체계를 가지고 있으며, 운전 및 부하조건이 상이하기 때문에 그에 적합한 모델 개발이 필요하다.

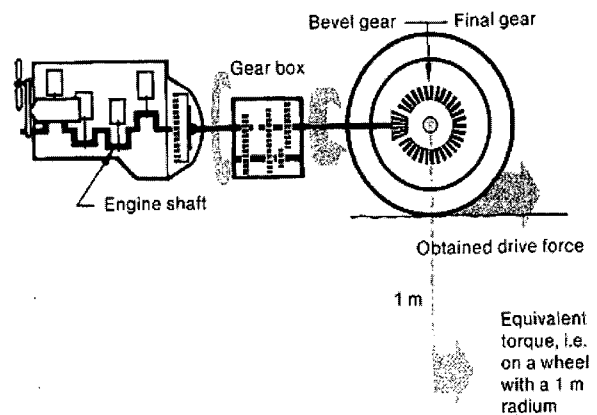


그림 9 트랙터 모델

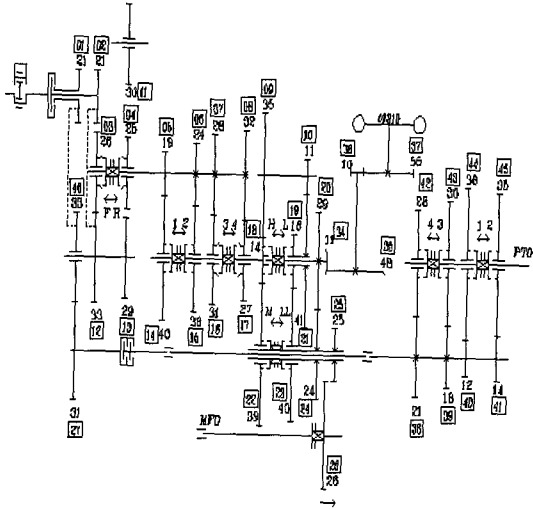


그림 10 레이아웃

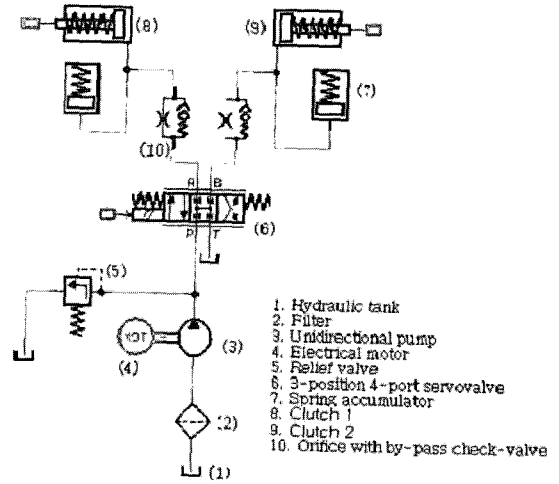


그림 13 유압제어 시스템

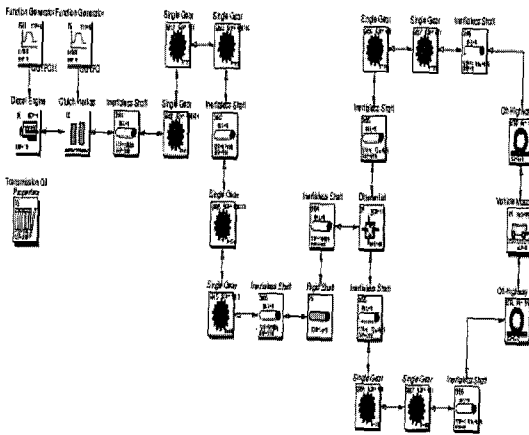


그림 11 EASY5 트랙터 모델

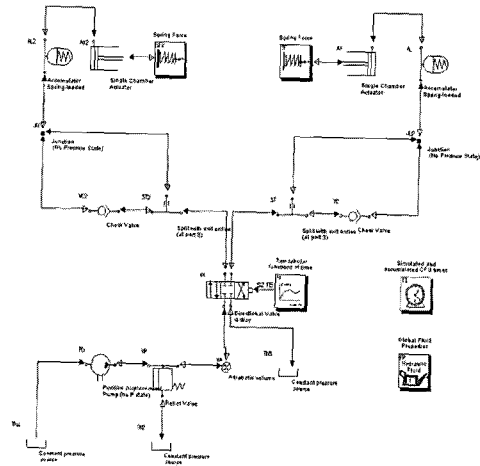


그림 14 유압제어 시스템

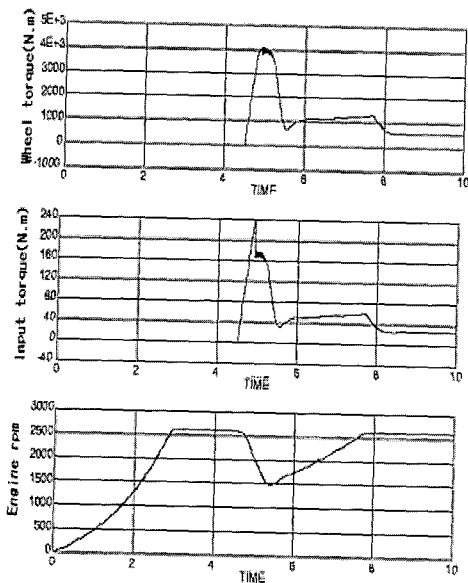


그림 12 엔진속도, 변속기 입·출력 토크 (H2 기어로 출발)

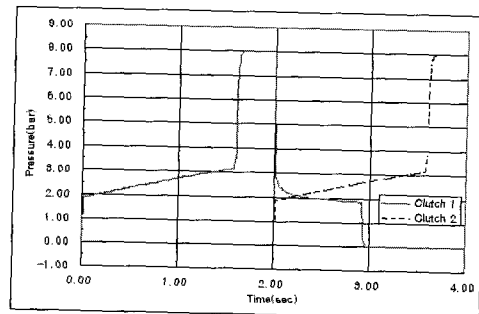
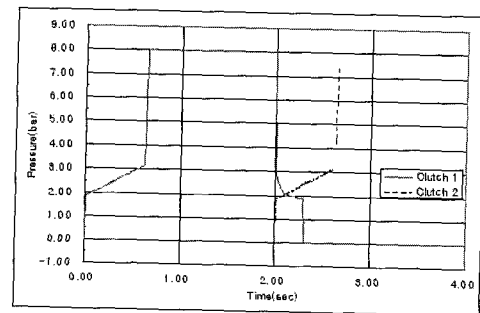


그림 15 유압클러치의 압력특성

#### 4. 결 론

앞서 소개된 여러 가지 EASY5의 주요기능과 활용 예제를 통하여 유공압분야의 활용예제와 여러 분야에서 사용되고 있는 EASY5의 사용 실예를 살펴 보았다. 현재 EASY5에 새로운 기능이 추가되는 상황에서 앞으로 더 넓은 활용 방안이 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김기우, 장재덕, “토크 컨버터 록업 클러치 댐퍼의 비틀림 진동 해석”, KSAE.
- 2) 김대철, “트랙터 변 속기의 동특성 시뮬레이션” EASY5 Conference.
- 3) D. C. Kim, H. S. Lee, K. U. Kim and Y. S. Nam, “Simulation of a Hydraulic Control System for Power Shift Transmission of Tractors”, Icame.
- 4) J. E. Harrison, “Integration of CAE Tool for Complete System Prototyping”, SAE.

#### [저자 소개]

최준희(책임저자)

E-mail : jhchoi@svd.co.kr

Tel : 02-511-4794

1996년 강원대학교 석사졸업, 태성에스엔이, 현재 SVD Inc. 근무



#### [저자 소개]

김진봉

E-mail : jbkim@svd.co.kr

TEL : 02-511-4794

C.U.A. 석사졸업, 쌍용자동차, 태성에스엔이, 현재 SVD Inc. 대표이사

