

# ITI-SIM : 모델링 및 혼합 시스템 해석 소프트웨어

## ITI-SIM : Simulation Software for Advanced Modeling and Heterogeneous Systems

박정권  
J. K. Park

### 1. 서론

본 해설에서는 독일 드레스덴(Dresden)에 본사를 두고 있는 ITI GmbH사의 시뮬레이션 프로그램인 ITI-SIM에 관한 소개와 아울러 유체 해석 관련 프로그램의 비교 평가 및 실무 적용을 검토하고자 하는 독자들에게 도움이 될 수 있는 정보를 제공하고 자 한다.

### 2. ITI-SIM의 사용 목적

최근에는 많은 분야에서 시뮬레이션 기법을 이용하고 있지만, 특히 시스템 개발 단계에서 시제품을 제작하고 시험하는 일에 많은 시간과 비용이 발생하는 유공압 분야에 시뮬레이션 기법을 적용하면 시제품 개발 시간과 비용이 감축됨과 동시에 양산 단계

에서 발생할 수 있는 진동이나 소음과 같은 문제점을 미리 체크할 수 있다. 즉, 시스템 개발의 초기 단계에서부터 시뮬레이션 기법을 사용하면 설계 및 개발 기간 단축과 비용 절감은 물론 개발 이후에 문제점이 발생하면 문제를 해결하고 개선하기 위한 도구로 이용하여 설계의 최적화와 성능 향상을 도모할 수 있다.

### 3. 특징 및 장점

#### 3.1 개요

ITI-SIM은 실무를 담당하는 엔지니어들이 모델링, 해석 및 동적인 응력을 받는 복잡한 비선형 시스템을 최적화 할 수 있도록 개발된 최신의 툴이다. ITI-SIM의 디바이스 지향적인 시뮬레이션은 본질적으로 기계, 차량, 기계적 동력 전달장치, 유체역

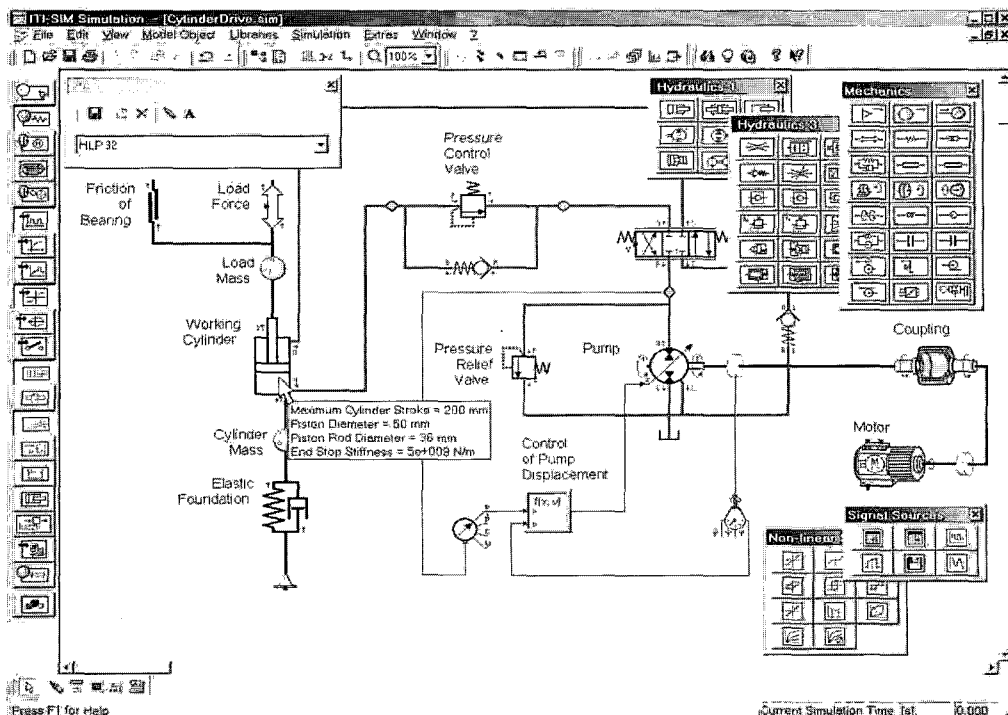


그림 1 해석할 시스템 구성도와 도메인별 다양한 모델 오브젝트

학 및 기타 공학 분야에서 활용할 수 있다.

ITI-SIM의 전반적인 개념은 아래와 같은 원칙에 바탕을 두고 있다.

복잡한 유체역학 시스템은 유공압 부품뿐만 아니라 다른 계통(기계, 전기, 열역학 등)의 부품들도 다수 포함하고 있다. ITI-SIM은 이런 다양한 물리적 응용 분야(예: 유압, 공기압, 열역학, 기계역학, 모터, 커플링, 전기-기계 구동 장치, 시그널 블록)를 포함하는 모델 라이브러리(model library)를 제공한다. 이러한 모델 오브젝트(model object)의 대부분은 특정 부품을 모델에 적용하기 위하여 온 오프(on or off)할 수 있는 몇 가지 옵션으로 조합되어 있다. 예로 유압 어큐뮬레이터의 경우 구조, 사용하는 가스, 열전달 매커니즘 등의 선택을 말한다.

ITI-SIM에서는 모델의 구조를 각각의 기술 분야 별로 아주 보편적으로 구성하였다. 즉, 유체 부품용 회로 블록, 기계적 부품용 기능 블록, 제어용 블록 등이다. 그림 1은 유압 및 기계 부품과 제어용 블록을 포함한 일반적인 구조를 보여 주고 있다.

ITI-SIM에서 파라미터의 개념은 실제 소자의 특성과 밀접한 관계를 가지고 있다. 그림 2는 호스(hydraulic hose line)라는 모델 오브젝트의 파라미터 입력창을 나타낸다. 사용자는 해석을 위한 모델이 있는 창에서 부품의 심벌(component symbol)을 클릭 함으로써 입력창을 열 수 있다.

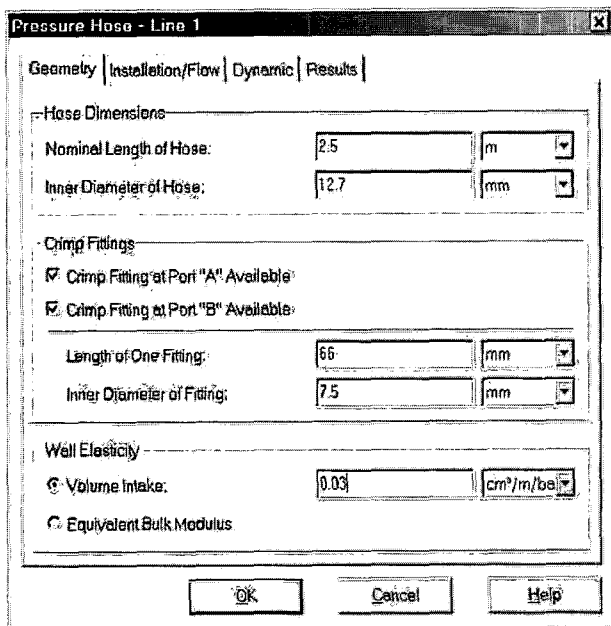


그림 2 파라미터의 상세 내용(실제 소자의 카탈로그 데이터와 밀접한 관계가 있다)

또한 많은 독자들이 윈도우와 그 응용 프로그램들에 익숙해 있다. ITI-SIM 역시 이러한 윈도우 응용 프로그램으로서 사용자가 쉽게 적용할 수 있도록 되어 있다. 모델 라이브러리, 입력창, 메뉴, 툴 팁(tool tips), 툴 바(tool bar) 및 온라인 헬프 등이 인간 공학적으로 편리하고 직관적으로 디자인 되어 있어서 사용자가 시뮬레이션에 관한 사전 경험이 없이도 아주 빠르게 프로그램에 익숙해질 수 있다.

### 3.2 사용자 정의 모델의 작성

상당히 광범위한 모델 라이브러리를 보유하고 있다고 하더라도 모든 분야의 소자나 부품을 지원할 수는 없다. 그런 까닭에 사용자 정의 모델 부품을 만들 수 있는지 또는 없는지 여부는 시뮬레이션 소프트웨어의 중요한 기능 중 하나로서 필히 고려되어야 한다. ITI-SIM에서는 사용자가 독자적인 모델 부품을 작성할 수 있는 몇 가지 방법을 제공한다.

### 3.3 수식으로 표현되는 파라미터의 입력

ITI-SIM의 파라미터로는 일정한 값(constant value) 대신에 함수나 불대수(boolean) 표현식을 조합한 변수를 입력할 수 있다. 이로써 파라미터와 결과적인 변수 간의 임의의 의존 관계를 표현할 수 있다.

### 3.4 데이터 표를 이용한 파라미터의 입력

많은 종류의 파라미터들(특히 hydraulic library)을 데이터 표(data table)로 대체하여 정의할 수 있다. 이 기능은 실제의 측정이나 CFD 시뮬레이션으로부터 얻어진 데이터를 ITI-SIM으로 쉽게 받아들일 수 있다. 일례로 그림 3에 스톱 밸브에 관한 입력창을 표시한다.

### 3.5 추가적인 커넥터의 정의

결과 값과 입력 파라미터 간의 임의의 종속 관계를 표현할 수 있는 높은 유연성을 커넥션 어시스턴트(Connection Assistant)라는 기능을 이용하여 구현할 수 있다. 어떠한 사전 정의된 모델에서나 사용자는 하나 또는 여러 개의 입력이나 출력을 추가할 수 있다. 별도의 워저드 기능이 이를 지원한다.

### 3.6 사용자 정의 요소

모델 오브젝트의 각 라이브러리 마다 사용자 정의 요소(User Defined Elements)를 제공한다.

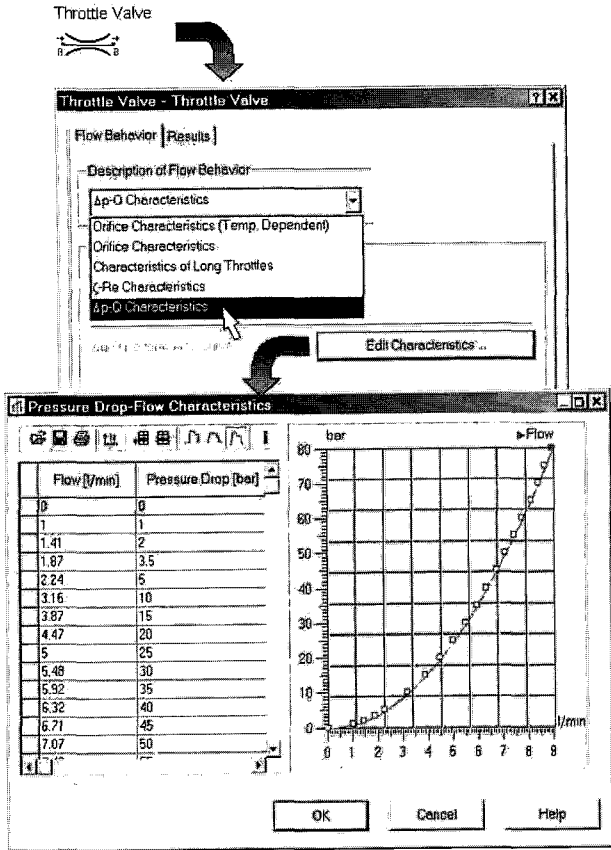


그림 3 다수의 모델 파라미터(여기서는 Pressure Drop-Flow Characteristics)를 커브나 데이터 포로 입력

이들 요소(유공압에서 유량과 압력 강하의 관계)의 특성은 사용자에게 의해서 정해진다. 입력 파라미터의 개수는 이 작업에 의해서 만들어진다.

### 3.7 매크로 오브젝트(Macro Objects)

기존의 모델들을 서로 조합하여 하나의 매크로 오브젝트(sub-model)를 만들 수 있다. 이는 계층 구조로 모델을 만드는 기법을 사용하며 계층의 레벨은 제한이 없다. 또한 이들 매크로 오브젝트는 추후에 사용할 수 있도록 매크로 라이브러리에 저장할 수 있다. 일례로 임의의 밸브 모델을 기본적인 유압 부품(오리피스, 노즐, 잭, 관성, 피스톤 면적 등) 라이브러리에서 불러와서 손쉽게 조합하여 만들 수 있다. 그림 4는 4/3 스위칭 밸브(4/3 switching valve)의 매크로 모델을 표시한다.

### 3.8 사용자 정의 알고리즘

또 다른 옵션의 하나로서 비표준적인 특성을 가진 특수한 부품의 경우에는 사용자 정의 알고리즘을 사용할 수 있다. 이러한 목적으로 ITI-SIM은 특수한 모델 오브젝트인 User-DLL을 제공한다.

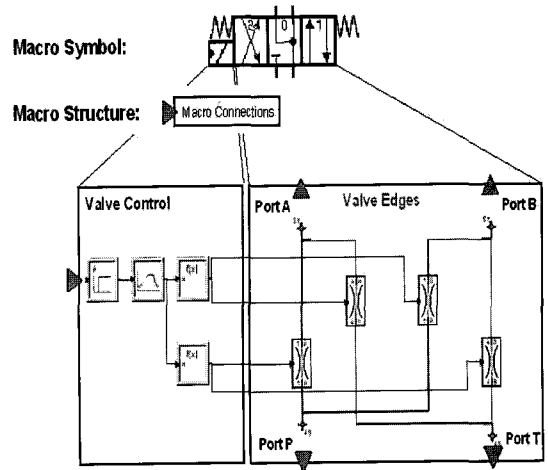


그림 4 매크로 오브젝트

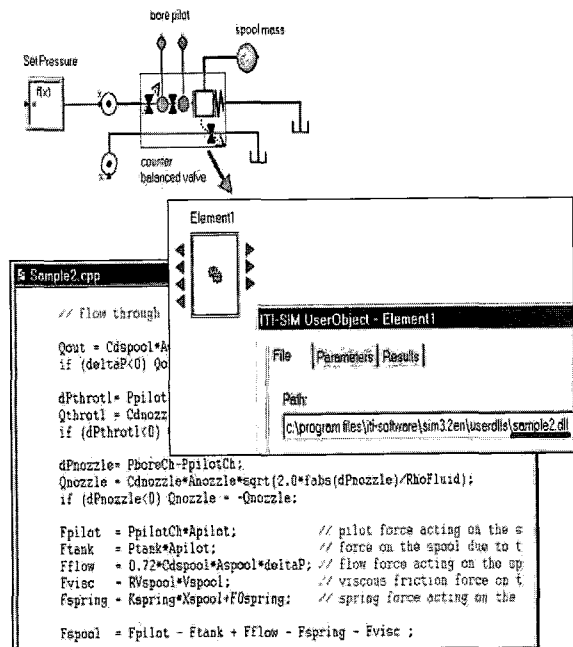


그림 5 사용자 정의 알고리즘

이 모델 오브젝트의 파라미터는 윈도우 DLL 파일에 링크 한다. 이 DLL 파일은 마이크로소프트의 C++, Delphi, MATLAB의 Real-Time Workshop 등의 외부 컴파일러로 작성한 것이다.

또한 MATLAB의 컨트롤 블록을 ITI-SIM으로 포함시킬 수 있다. 그림 5는 모델 오브젝트인 User-DLL을 사용한 압력 조절 밸브(Pressure Control Valve)의 모델을 표시한다. DLL 파일은 C++로 작성하였다.

### 3.9 공동 시뮬레이션(Co-Simulation)

어떤 어플리케이션에서는 시스템의 일부를 외부의

다른 시뮬레이션 툴에서 실행하는 것이 유리한 경우가 있다. 이러한 접근 방식의 이유는 다른 시뮬레이션 툴에 있는 모델(MATLAB/Simulink의 컨트롤 블록 등)을 사용하고자 할 경우와 ITI-SIM에서 제공되지 않는 분야(예: 3차원 기계역학)를 포함하고 있는 경우이다. ITI-SIM은 외부의 시뮬레이션 툴과 공동 시뮬레이션을 하기 위하여 별도의 모델 오브젝트를 제공한다.

그 예를 그림 6과 그림 7에 표시한다. 양쪽 모두 시뮬레이션 프로그램들은 정해진 시간 간격으로 서로의 데이터를 주고받으며 통신을 한다.

### 3.10 유공압 부품 라이브러리

ITI-SIM은 유공압 어플리케이션을 위한 방대한

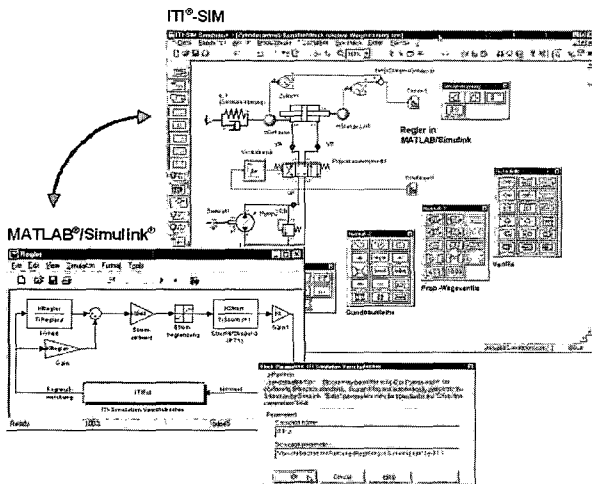


그림 6 ITI-SIM과 MATLAB/Simulink의 결합(유압 회로는 ITI-SIM, 컨트롤러는 MATLAB에서 구현)

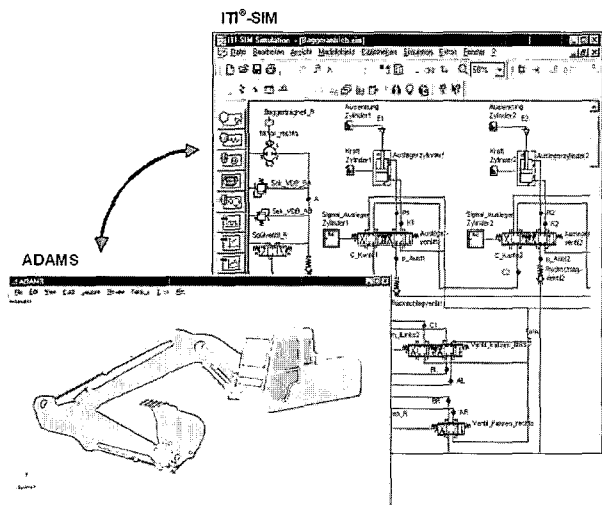


그림 7 ITI-SIM과 ADAMS의 결합 (유압 회로는 ITI-SIM, 굴삭기의 3D 모델은 ADAMS에서 구현)

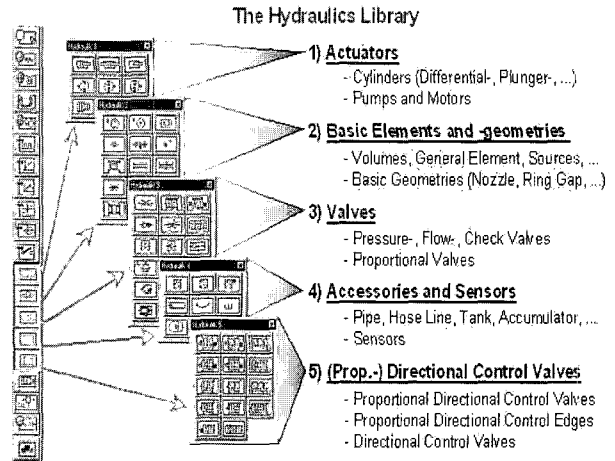


그림 8 유압 라이브러리

모델 오브젝트를 제공한다. 그림 8에 유압 관련 라이브러리를 표시한다. 이들 라이브러리는 아래의 기능들을 갖추고 있다.

- 유압 밸브:
    - 비선형 유량 특성
    - 비선형 개방 특성
    - 유체력
    - 밸브 동역학
  - 펌프·모터 비선형 특성
  - 액추에이터 체적 효율과 기계 효율
  - 파이프와 호스 라인 동특성
  - 용기 재료 탄성 특성
  - 유압 어큐뮬레이터 내부 실제 가스 특성
- 사용자는 기존의 데이터베이스에서 적용할 유체를 선택할 수 있으며, 독자적인 유체도 쉽게 정의할 수 있다. 아래의 속성들은 각 유체별로 내장되어 있다.
- 압력과 온도에 의한 점도 변화
  - 압력과 온도에 의한 압축성 변화
  - 열팽창
  - 용해되지 않는 작동유 중의 가스(예: 공기)
- 모델의 표현에 다양성을 부여하기 위하여 아래와 같은 자료를 바탕으로 필요한 입력 파라미터를 지정한다.
- 카탈로그 데이터
  - 기하학적 데이터
  - 측정 데이터(그래프/표)
  - 사용자 정의 모델링(함수, 대수식 등)
- 그림 9에 2방향 비례 에지(2-Way Proportional Edge) 모델 오브젝트의 파라미터 입력창을 나타낸다.

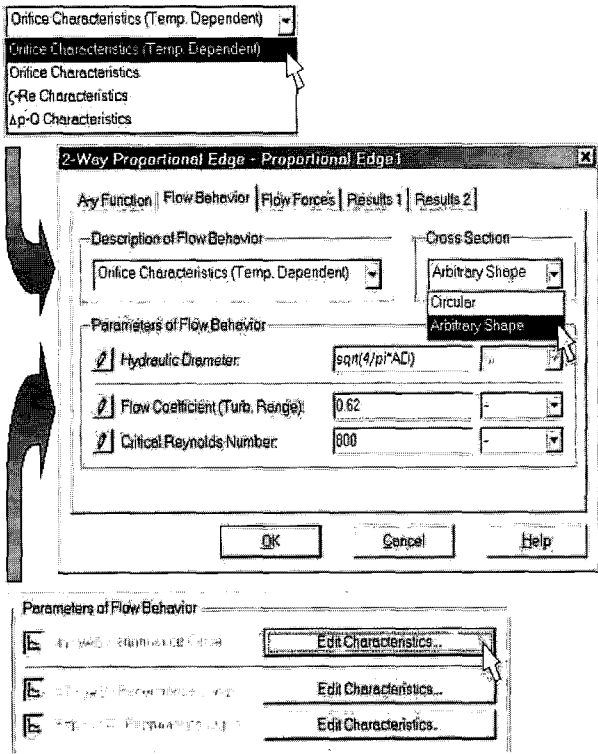


그림 9 2-Way Proportional Edge 모델 오브젝트의 파라미터 입력창

3.11 추가적인 기능

3.11.1 주파수영역 정상상태 시뮬레이션(ITI-STAT)

ITI-STAT는 ITI-SIM 환경에 포함되어 있으며, 정상 상태에서 외부의 주기적 여기(external periodical excitation)가 있는 기계적 구동 시스템의 토션 진동(torsional vibration)을 분석하는데 사용된다. 이것은 자동차, 선박, 왕복 기관이 있는 회전 기계류, 컴프레서, 주기적인 부하 특성이 있는 프로펠러나 팬 같은 것의 직렬 또는 분기된 토션 진동을 고려한다. 드라이브 시스템이 규정 속도의 과도현상을 지나서 안정 상태에 있을 때를 주파수 영역(frequency domain) 해석의 기본으로 한다. 시뮬레이션 결과는 진동 토크(vibratory torque), 각도, 불규칙성, 동력 손실과 같은 응답 특성을 가진다. 이러한 특성들은 각도나 속도에 대하여 그래프로 표시된다. 토크의 진폭은 지정된 차수(order)를 선택함에 따라서 표시된다.

3.11.2 유효 차수 해석(ITI-ORD)

이 톨은 변속 구동(variable-speed drive)에 있어서 진동과 노이즈의 빠른 예측, 해석과 진단을 할 수 있다. 그것은 특히 비선형 시스템(nonlinear system)의 해석에 최적이다. 이는 확인된 임계 속도

(공진, 고조파 여기 영향)로 해석한 결과의 앞 단계나 뒤 단계에서 실행된다.

그 외에도 모션이나 진동 상태 등을 삼차원 애니메이션으로 보여주는 ITI-Vis3D(모션 구조 애니메이션), 파라미터 값을 최적화 시켜주는 ITI-OPT 등의 기능이 있다.

4. 응용 사례

여기서 소개할 유공압 클러치(hydro-pneumatic clutch actuation system)는 유압, 공압, 기계 및 필요한 전기 부품까지도 포함하는 복잡한 시스템이다. 여기에는 시스템의 정확한 튜닝과 요구되는 동력 전달 특성에 필요한 제어 메커니즘이 포함된다. 그림 10에 그 기본 구조를 표시한다.

최근의 승용차나 트럭에 장착되는 클러치는 낮은 페달 압력(pedal force), 적은 정지 동작 에너지(stop force)에서의 편안한 특성 커브, 넓은 튜닝 범위(tuning range)와 짧은 페달 위치(shorter pedal position) 등이 요구된다. 또한, 운전자가 클러치로부터의 진동을 느끼거나 감지할 수 있을 정도의 소음이 있어서는 안 된다.

ITI-SIM은 기계, 유압, 공압, 전기적 부품으로 구성된 시스템의 동적 특성을 일정한 환경 하에서 계산할 수 있도록 해주며, 그림 11에 그러한 모델의 구성도를 표시한다.

이 클러치 시스템은 다음과 같은 4개의 큰 기능 그룹으로 나누어져 있다.

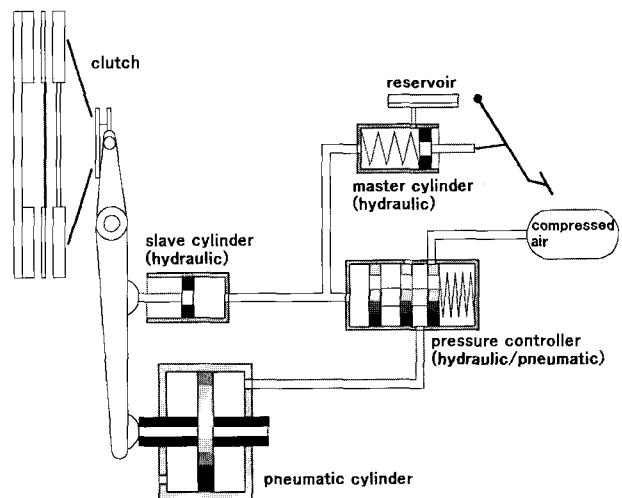


그림 10 유공압 클러치의 기본 구조

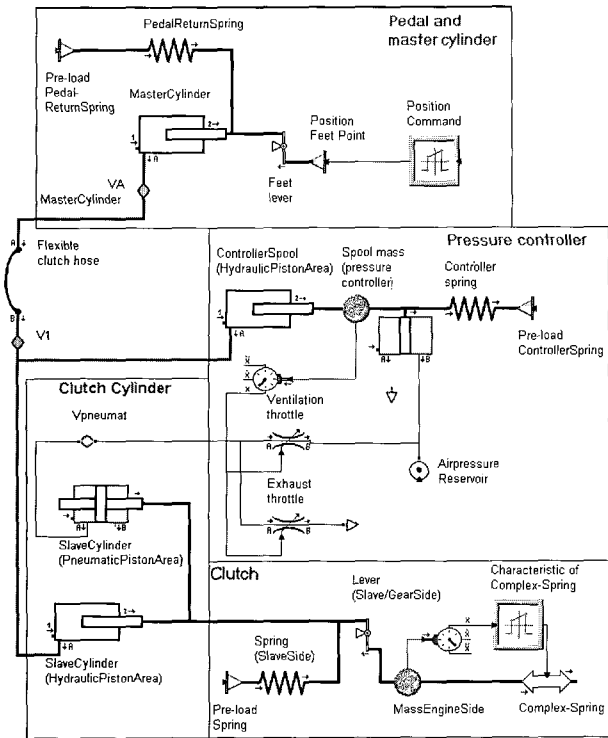


그림 11 클러치 시스템의 ITI-SIM 모델 구성도

- 페달과 실린더(pedal and master cylinder)  
가장 간단한 경우로 풋 레버(feet lever), 페달 복귀 스프링, 연결 파이프 붙은 단동 실린더로 구성되어 있다. 사전 조절 페달 구동(presetting pedal actuation)용의 수치 테이블이 사용된다.
- 클러치(clutch)  
클러치 모델 자체에 엔진 측의 질량, 스프링(slave side), 클러치 실린더와 엔진 사이의 레버 및 복합 스프링(stiffness characteristics)으로 표현된 부분으로 구성되어 있다.

그림 12는 복합 스프링의 변위에 따른 특성 파라미터 입력창을 표시한다.

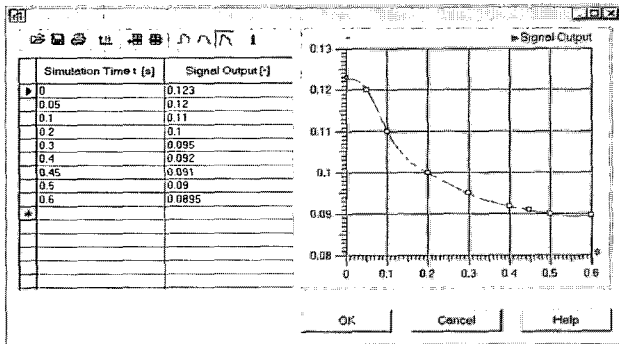


그림 12 복합 클러치 모델의 파라미터 입력창

- 클러치 실린더(clutch cylinder)  
유압 실린더와 공압 실린더, 그리고 이들 간의 인터페이스 부분으로 구성되어 있다.
  - 압력 조절부(pressure controller)  
이는 유압 작동부와 공압 부분 간의 인터페이스 역할을 한다. 이들 부품의 동적 특성은 클러치 시스템 전체의 모든 특성에 중대한 영향을 미친다.  
압력 조절부에 있는 스푼 밸브(spool valve)의 댐핑에 따른 영향을 살펴보면, 일정한 최소의 댐핑(certain minimum damping)이 안정된 시스템 특성을 확보하는데 필요하다는 사실을 알 수 있다. 만약에 댐핑이 너무 적으면 압력 조절 밸브가 클러치 시스템 전체를 여기 시키게 되어서 진동이 페달로 올라오게 된다.
- 그림 13과 그림 14는 각각 시스템이 안정 동작을 할 때와 불안정 동작을 할 때, 스푼(spool mass)의 변위와 풋 레버(Position Feet Point)에 전달되는 힘을 그래프로 표시한 것이다.

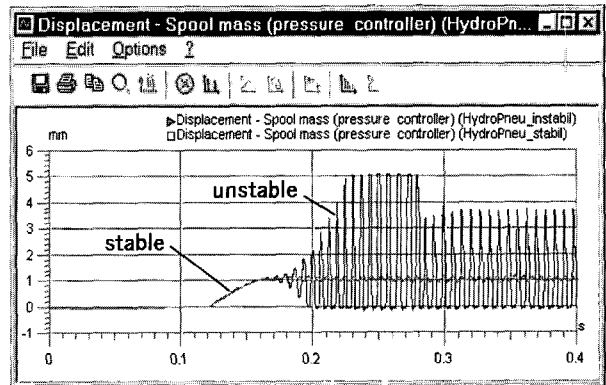


그림 13 안정 상태와 불안정 상태에서의 시뮬레이션 결과(스풀의 변위)

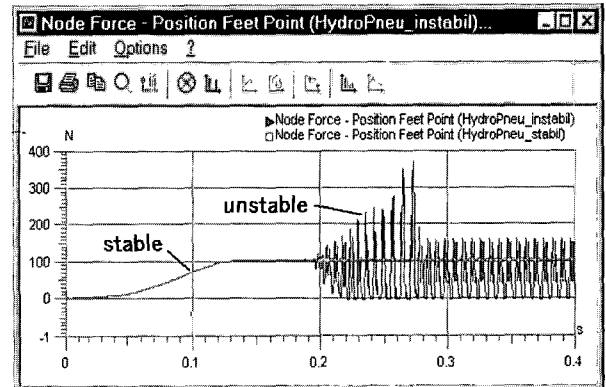


그림 14 안정 상태와 불안정 상태에서의 시뮬레이션 결과(풋 레버의 force)

### 5. 결 론

ITI-SIM은 유압, 공압, 기계, 전기, 열적인 부품등과 컨트롤 블록 등이 혼재하는 시스템의 동적 특성을 해석하고 최적화하고자 하는 엔지니어나 연구원을 위한 도구이다. ITI-SIM을 이용하면 특정 시스템의 수치적 알고리즘과 수학적 물리적 표현에 대한 깊은 이론적 지식이 없이도 모델링 및 시뮬레이션을 수행할 수 있고, 또한, 인간공학적이고 직관적인 그래픽 유저 인터페이스에 의하여 모델링 및 시뮬레이션 과정을 효율적으로 진행할 수 있다. 한편으로 전문가를 위하여 비표준 부품을 사용자 정의 모델(user-defined model)로 작성할 수 있는 기능을 갖추고 있으므로 모델을 다양하고 유연하게 표현할 수 있다.

새로 소개되기 시작한 SimulationX라는 프로그램은 ITI-SIM이 부족했던 3차원 기계역학과 전자 부품을 포함한 시스템의 해석도 가능하다. 앞으로 학계와 기업체에서 이러한 프로그램들을 더욱더 적극적으로 사용하여서 많은 성과가 있기를 기대한다.

### 참 고 문 헌

- 1) ITI-SIM GmbH, "Intuitive and Efficient Analysis of Fluid Power Components and System", 2001.
- 2) ITI-SIM GmbH, "Hydro-Pneumatic Clutch Actuation System", 2001.



#### [저자 소개]



박정권(책임저자)

E-mail : jkpark@jasontg.com

Tel : 02-470-4143

1971년 11월 20일생

1995년 제이슨어드밴스드테크놀로지입사,  
2003년 7월~현재 제이슨터지 CAE사업부  
차장