

실시간 Hardware-In-the-Loop 시뮬레이션 기술동향

이 우 택

(창원대 제어계측공학과 조교수)

1. 서론

최근 산업용 혹은 가정용 제품은 마이크로 프로세서, 혹은 마이크로컨트롤러와 같은 디지털 제어를 내장하여 지능형 메카트로닉 시스템화 되어가고 있다. 이러한 양상은 새로운 부품을 추가하는 방법으로 이루어 지기도 하며, 다른 한편으로는 기존의 소프트웨어에 새로운 기능을 추가하여 이루어 지기도 한다. 소비자의 입장에서는 고성능의 지능화된 시스템을 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 개발자의 입장에서는 보다 복잡한 기능을 구현하고 검증하여야 하는 단점이 있다. 제어기의 기능과 제어 대상이 되는 프로세스와 상호 연관관계가 복잡하고, 새로운 기능이 기존의 기능과 많은 연관성을 갖는 경우에는 개발자는 큰 어려움을 겪게 된다. 아울러 급변하는 세계시장의 기술동향과 소비자의 욕구에 능동적으로 대처하기 위하여 고성능, 고신뢰도의 제품을 단기간(time to market)에 개발하여야 하는 상황에서 이러한 어려움은 더욱 커져만 간다.

이러한 어려움을 극복하고자 시스템 모델링, 개발, 그리고 평가의 전과정에서 컴퓨터를 최대한 활용하여 개발 프로세스(development process)를 향상시키고자 하는 연구가 여러분야에서 활발히 진행되어 지고 있다. 실시간 Hardware-In-the-Loop(이하 HIL) 시뮬레이션 방법은 이러한 개발 프로세스를 개선해 나가기 위한 중요한 기술 중의 하나이다.

2. 시뮬레이션의 종류와 특징

공학의 여러분야에서 시뮬레이션 기법은 다양한 방법으로 넓게 사용되어지고 있다. 이러한 시뮬레이션의 기법들을 연

산에 필요한 시간을 기준으로 분류하면 다음의 세가지로 나누어질 수 있다.

- 엄격한 시간제한이 없는 시뮬레이션(simulation without time limitations)
- 실시간 시뮬레이션(real-time simulation)
- 실시간보다 빨라야 하는 시뮬레이션(simulation faster than real-time)

이러한 시뮬레이션의 중요한 응용분야는 표 1과 같다. 실시간 시뮬레이션이라는 것은 실제로 동작하는 부품의 입출력

표 1 연산수행속도에 따른 시뮬레이션의 분류 및 용도

Type	Purpose and Application
Simulation without time limitation	<ul style="list-style-type: none"> · basic investigation of behavior · verification of theoretical models · process design · control-system design
Real-time Simulation	<ul style="list-style-type: none"> · process simulation <ul style="list-style-type: none"> - Hardware-In-the-Loop Simulation - training of operator · controller simulation · testing of control algorithm
Simulation faster than real-time	<ul style="list-style-type: none"> · model-based control systems <ul style="list-style-type: none"> - predictive / adaptive control · on-time optimization

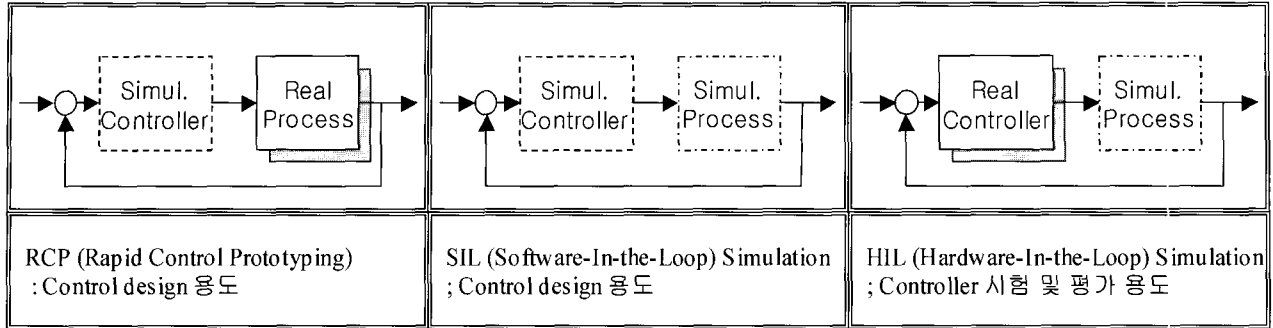


그림 1 Real-Time Simulation의 종류

값 뿐만 아니라 응답시간 까지도 시뮬레이션을 통하여 정확히 모사하는 것을 말한다. 시뮬레이션 하고자 하는 대상 시스템의 수학적 모델링 방식과 컴퓨터의 연산속도가 이러한 실시간 응답특성에 영향을 미치게 된다. 시뮬레이션 하고자 하는 대상 시스템이 느린 동특성(dynamics)을 가지고 있는 경우에는 크게 문제가 없으나 반대로 빠른 동특성을 가지고 있을 때에는 실시간 응답특성을 정확히 시뮬레이션 하기가 상당히 어려워진다.

여러가지의 실시간 시뮬레이션 방법이 그림 1에 소개되어 있다. 제어기(controller)와 제어대상(process) 중에 어느 부분을 시뮬레이션 하느냐에 따라서 다음의 세가지 경우로 구분되어 질 수 있다.

- 실제 프로세스와 시뮬레이션 제어기(simulated controller): 최종적인 제어기의 하드웨어 대신 특별한 장비를 사용하는 경우로서 일반적으로 제어 알고리즘의 성능을 확인하기 위한 용도로 주로 사용되어지며 RCP (Rapid Control Prototyping) 방법이라 부른다.
- 시뮬레이션 프로세스(simulated process)와 실제 제어기: 실제 제어기의 성능을 검증하기 위하여 제어대상이 되는 프로세스를 실시간으로 시뮬레이션하는 경우이며, 일반적으로 HIL(Hardware-In-the-Loop) 시뮬레이션 방법이라 부른다.
- 시뮬레이션 프로세스(simulated process)와 시뮬레이션 제어기(simulated controller): 최종 제어기와 HIL 시뮬레이션을 수행하기 이전의 단계로 사용되어지며, SIL (Software-In-the-Loop) 시뮬레이션 방법이라 부른다.

3. Hardware-In-the-Loop 시뮬레이션의 구성 및 장점

HIL 시뮬레이션의 중요한 특징중의 하나는 제어와 제어대상이 이루는 제어루프에서 특정 부분을 실제의 부품으로 대체하고 나머지 부분은 수학적으로 표현된 식과 알고리즘을

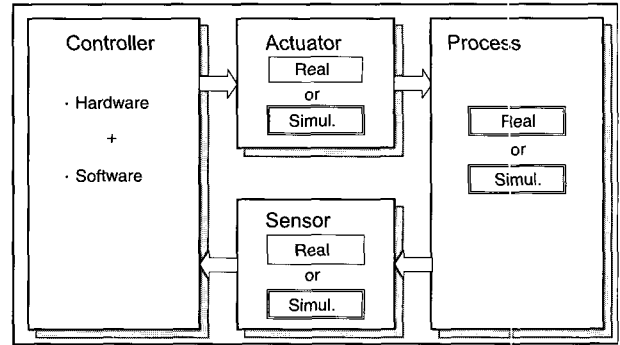


그림 2 HIL simulation의 하이브리드 구조

표 2 HIL Simulation을 위한 구성요소의 조합 예

Cases	Actuator		Process		Sensor	
	Real	Simul.	Real	Simul.	Real	Simul.
1		✓		✓		✓
2		✓		✓	✓	
3	✓			✓		✓
4	✓			✓	✓	

사용하여 시뮬레이션 한다는 것이다. 제어기의 하드웨어와 소프트웨어를 실제 시스템으로 사용하고 제어 대상인 프로세스를 시뮬레이션 하는 경우가 일반적이다. 그러나 그림 2에서 나타난 바와 같이 필요에 따라서 프로세스의 일부분이라고 할 수 있는 액추에이터나 센서, 혹은 프로세스의 일부분을 실제 부품으로 사용하는 경우도 있다. 액추에이터, 센서, 그리고 프로세스중 어떤 부분을 실제 시스템으로 사용하여 HIL 시뮬레이션을 구성할 수 있는지 표 2를 통하여 예를 들어보았다. 표 2의 여러가지 조합 가운데 CASE 3과 같이 액추에이터를 실제 시스템으로 사용하고 프로세스와 센서부를 시뮬레이션 하는 경우가 많다. 내장형 제어기의 상당수가 제어기내

에 액츄에이터를 포함하고 있으며, 한편으로 액츄에이터의 정확한 수학적 모델링이 어려운 경우가 많고, 모델링을 한다 하더라도 연산의 양이 많아 실시간으로 시뮬레이션하기가 어렵기 때문이다.

HIL 시뮬레이션을 사용하여 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.

- 실제의 프로세스를 사용할 필요 없이 제어시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 설계 및 시험이 가능하다. 현장에서의 실험을 실험실로 옮겨올 수 있다.
- 가혹환경에서의 제어기 시험을 실험실에서 가능하게 만들 수 있다. 특히 고온/저온 환경 시험, 급가속 시험, 충격시험 등등.
- 액츄에이터, 센서, 컴퓨터의 오동작으로 인한 결과 분석의 시험을 용이하게 한다.
- 시험환경의 재현이 용이하며, 반복적이 시험을 원활하게 한다.
- 개발비용과 개발시간을 단축할 수 있다.

4. Hardware-In-the-Loop 시뮬레이션 기술의 향후 전망

최초의 HIL 시뮬레이션 기법의 적용은 비행 시뮬레이터 분야에서 이루어졌다. 비행 조장사를 훈련시키기 위하여 비행기의 조종실과 파이럿을 실제 시스템으로 하고 전기장치와

유압장치를 이용하여 비행기의 거동을 시뮬레이션하는 비행 시뮬레이터가 1960년대에 개발되었다. 최초의 시뮬레이터는 순수한 아날로그 방식으로 개발되었으나, 추후 디지털 방식의 컴퓨터로 교체되었다. 디지털 기술의 진보와 함께 HIL 시뮬레이션 기술도 지속적으로 확대 적용되었다.

초기의 HIL 시뮬레이션 기술은 몇몇 선도회사에서 자사만을 위하여 적용되었고, 지극히 제한적인 부분만 공개되었다. 그러나 1990년대부터 컴퓨터, DSP 카드, 센서와 액츄에이터 인터페이스 카드등을 사용하여 일반적으로 사용할 수 있는 HIL 시뮬레이션 환경을 제공하는 업체들이 등장하게 되었으며, 2000년대에 들어 이러한 업체들의 수도 급증하였으며, 이러한 일반적인 HIL 시뮬레이션 환경을 이용하여 특정 분야에 사용할 수 있도록 엔지니어링 서비스를 제공하는 업체까지 생겨나게 되었다.

자동차분야에서 차량의 중요 부품의 동적 테스트를 위한 단순한 시뮬레이터로부터 차량 전체의 거동을 해석하는 복잡한 분야까지 활발히 활용되고 있다. 모터드라이버 및 모터기반의 제어시스템의 개발에 응용되어지고 있으며 전력계통의 해석 및 설계에도 사용되어 진다. 최근에는 통신분야까지 그 영역을 확대해 가고 있는 실정이다.

특히 하이브리드차량 혹은 Fuel Cell 시스템과 같은 기계분야와 전기전자분야의 기술이 복합적으로 적용되고, 제어 대상의 실험이 난이한 분야에서는 필요성이 절대적이라 할 수 있다. 