

분산전원 및 마이크로그리드 분야의 디지털 실시간 시뮬레이터 기반 HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation) 기술

한국전기연구원 차세대전력망연구본부 전진홍

DOI <http://dx.doi.org/10.18770/KEPCO.2016.02.01.005>



1. 서 론

기후변화 대응을 위한 수요증대와 기술발전으로 인한 가격경쟁력의 제고로 신재생에너지를 활용하는 분산전원의 도입비중이 증대되고 있으며 이를 이용한 마이크로그리드, 스마트그리드와 같은 기존의 전력계통 패러다임을 변화시키는 신기술 보급이 가속화되고 있다. 특히, 마이크로그리드는 현재 경제성의 이유로 에너지자립섬을 중심으로 보급되고 있지만 에너지저장장치, 신재생에너지원의 기술발전과 시장 확대에 따른 지속적인 가격 하락으로 캠퍼스 마이크로그리드, 군용 마이크로그리드 등 새로운 비즈니스 모델이 개발되고 있어 분산전원과 마이크로그리드의 도입 비중이 증가할 것으로 예상할 수 있다. 이러한 분산전원 및 마이크로그리드의 계통 도입증대는 기술의 발전과 경제성의 이유로 대규모화 및 단지화 형태로 진행될 것이며 이에 따라 전체 계통에 미치는 영향 또한 점차 증가할 것이다.

신재생에너지를 이용한 분산전원의 출력은 자연환경에 의해 결정되기 때문에 기상변화에 따라 발전량이 변동하며, 에너지저장장치와 같은 분산전원이나 마이크로그리드는 시스템의 운영 목적에 따라 출력을 수시로 변동시키는 특성이 있다. 이러한 간헐적이고 확률분포적인 출력 특성은 계통의 효율적이고 안정적인 운영을 저해하는 요소가 된다. 또한 분산전원 및 마이크로그리드는 기존 발전원과 달리 부하와 혼재하여 분포하며 배전망에 연계하여 운영하는 특징을 가지고 있다. 이러한 기술적 특성으로 인하여 기존 계통 기술에 많은 변화를 요구하고 있다.

기존과 다른 기술적 특성을 가지는 분산전원 및 마이크로

그리드의 계통 도입비중 증대에 따라 발생할 수 있는 문제를 방지하고자 분산전원 도입비중이 높은 해외에서는 계통의 효율적이고 안정적 운영을 위한 기술 개발을 진행하고 이를 통한 관련 기술 기준을 점차 확대 및 구체화하고 있다. 이러한 기술 개발 및 검증의 수단으로 기존 전력계통 분야에서는 대상 시스템의 크기와 복잡성으로 인해 실효치와 위상 정보 기반의 소프트웨어 모의기술을 사용해왔다. 그러나 분산전원이나 마이크로그리드는 적용 계통이 저압배전계통으로 시스템의 크기가 작고 전력변환장치 및 풍력, 태양광, 축전지 등 다양한 물리적 특성을 가지는 요소 기기로 구성되어 기존의 소프트웨어 모의기술로는 그 해석의 한계가 있으며 기존의 주요 검토 대상인 제어 혹은 보호 알고리즘 개발을 넘어 신뢰성 있는 시스템을 구현하고 평가기 위해서는 통신, 보호, 제어, 운영 등을 효과적으로 분석하고 검증할 수 있는 수단이 필요하다. 이러한 기술적 수단으로 실제와 유사한 시험 환경을 제공할 수 있는 디지털 실시간 시뮬레이터 기반의 HILS 기법이 세계적으로 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 디지털 실시간 시뮬레이터 기반의 HILS 기법은 제어, 운영, 보호를 위한 알고리즘 및 시스템 등의 개발 및 시험에 활용되고 있으며, 개발 및 시험에 필요한 비용, 시간, 운영의 유연성 등의 장점이 있다. 본 기고에서는 분산전원 및 마이크로그리드 분야의 디지털 실시간 시뮬레이터 기반 HILS 기술에 대하여 소개하고자 한다.

HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation)

HILS는 복잡한 실시간 임베디드 시스템을 개발하고 시험하는데 사용하는 기술로 고성능 연산장치를 이용하여 시스템

모델과 실제 하드웨어의 입출력을 실시간으로 연동하는 모의 기법이다. 다양한 시험조건을 빠른 구현을 통해 신기술 개발과 정밀한 성능 검증이 가능한 장점으로 인해 여러 기술 분야에서 활발히 적용되고 있다. 기존의 HILS 기술은 주로 항공, 자동차 및 선박 등의 분야를 중심으로 적용되어 왔다. 자동차 분야에서는 파워트레인과 브레이크 등을 중심으로 차체를 실시간 모의하고 각 구성품에 적용되는 ECU (Electronics Control Unit)의 통신 및 제어 상태를 시험, 검증하는데 사용하고 있다.

HILS 시스템은 피시험품(Device Under Test), 실시간 모의 장치, 상호 인터페이스로 구성한다. 피시험품은 개발하거나 시험하고자하는 실제 장치이며 실시간 모의장치는 소프트웨어 모델 기반으로 구현된 피시험품의 운영 환경이나 시험조건을 실시간으로 제공하는 장치이다. 이를 간략히 표현한 개념도는 그림 1과 같다.

HILS는 그림 1에 제시한 바와 같이 개발하거나 시험하고자 하는 대상인 피시험품을 실제 하드웨어로 사용하고 피시험품의 운영 환경이나 시험 조건인 플랜트를 실시간 모의장치로 구현하는 구조를 가진다. HILS 구조에서 소프트웨어로 모델링된 플랜트는 실제 하드웨어인 피시험품과 실제와 같이 연동해야 하므로 소프트웨어로 모델링된 플랜트를 실시간으로 모의할 수 있는 실시간 모의 장치의 구성하고 구현하는 것이 매우 중요하다. 실시간 모의장치는 고속 병렬 연산처리가 가능한 디지털 컴퓨터로 사용자가 소프트웨어로 구현한 플랜트 모델을 일정시간(time-step)마다 외부 입력을 받아들여 시스템 특성 방정식을 연산하고 그 결과를 출력하여 피시험품이 플랜트에 연동할 수 있도록 한다. 전력계통 응용분야에 따른 모의시간 요구조건은 그림 2에 나타내었다.

HILS 기법으로 물리적인 시험을 전부 대체할 수 있는 것은 아니지만 다음 효과를 통해 시험 비용 절감 및 품질 향상 효과를 얻을 수 있다.

- 개발 초기 단계에서 테스트 가능 — 초기에 설계 상의 오류를 파악하여 보다 적은 비용으로 수정이 가능하며, 시장 출시 시간에 미치는 영향을 혁신적으로 줄일 수 있다.
- 시험 비용 절감 — 전체 물리적 시스템을 갖출 필요가 없으므로 테스트 장비와 관련된 자본, 수리, 유지보수

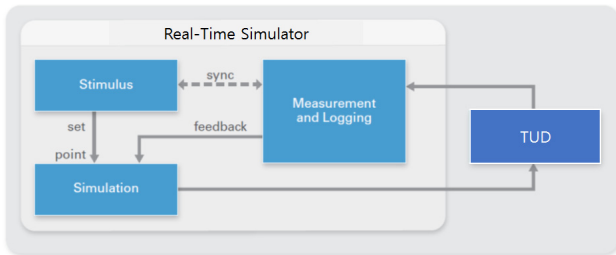


그림 1 HILS 개념도

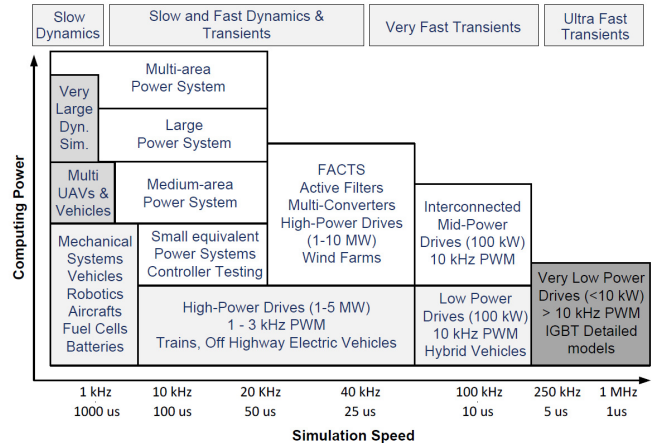


그림 2 전력계통 응용분야에 따른 모의시간 요구조건

	Off-Line Simulation	Field Test	HILS
Device under Test	Model (No Device)	Real Device	Real Device
Test Environment	Software Model	Real Hardware	Software Model
Test Condition Alterations	Fully Possible	Limited	Fully Possible
Repeatability & Reproducibility of Test	Fully Possible	Limited	Fully Possible
Build-Up Time	Short	Long	Short
Run Time	Much Longer than Real-Time	Real-Time	Real-Time
Development Cost	Less than HILS	High	Less than Field Test

그림 3 모의 시험 방법에 따른 장단점 비교

비용을 절약할 수 있다.

- 시험 기능 확대 — 안전이나 장비 손상 등의 이유로 물리적 시험을 하기 어려운 극단적 조건에서도 시험을 수행할 수 있다. (단선, 단락, 선간저항, 절연저항인가, 전원그라운드 단락)
- 시험 유연성 향상 — 외부적인 요인에 관계없이 시험 기능을 확장할 수 있다. (예: 한여름에도 겨울의 도로 상황을 시뮬레이션 하여 자동차 테스트 가능)
- 시험 반복성 증가 — 특정한 조건 하에서만 발생하는 시스템의 결함을 분리해낼 수 있다.

또한, 기존의 기술 개발 방법인 off-line 모의 방법과 파일럿 플랜트를 이용한 field test 방법과의 장단점은 그림 3에 정리하였다.

HILS 활용 연구 사례

HILS 기법을 이용한 분산전원 및 마이크로그리드 기술 개발 관련 연구의 몇 가지 예는 그림 4에서 그림 9에 제시하였다.

2. 결 론

본 기고에서 분산전원 및 마이크로그리드의 계통 적용 중

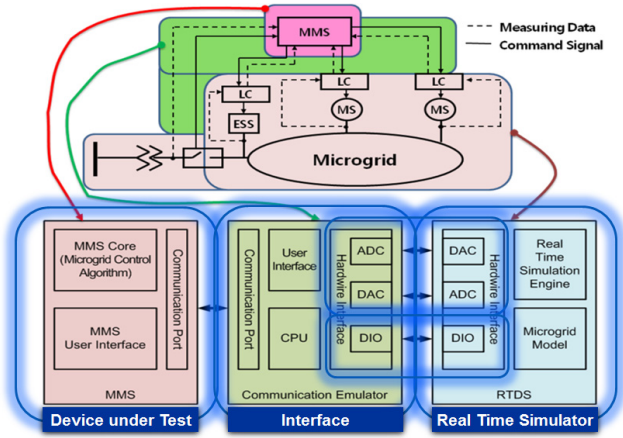


그림 4 한국전기연구원의 마이크로그리드 운영 시스템 개발을 위한 HILS 구성예

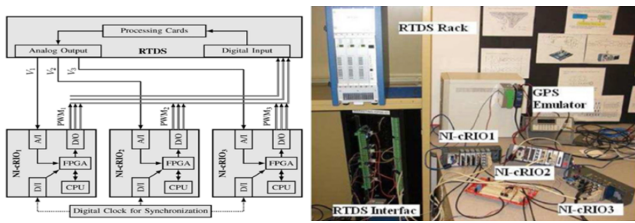


그림 5 캐나다 트론토 대학의 분산 마이크로그리드 기술에 HILS 활용 예

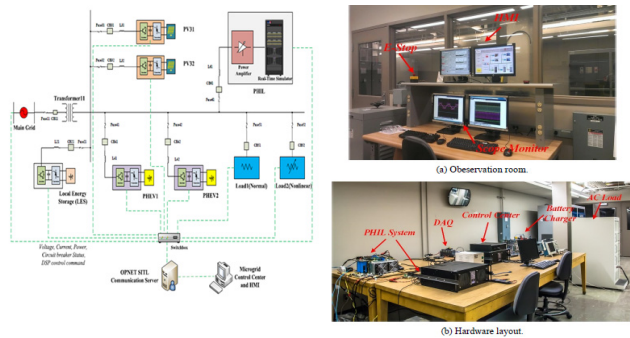


그림 6 미국 오하이오 대학의 HILS 기반 마이크로그리드 테스트 베드 개발 예

대에 따라 전력계통의 신뢰성, 안정성, 효율성 제고를 위하여 통신, 보호, 제어 운영 등을 효과적으로 분석하고 검증할 수 있는 기술적 수단으로 HILS 기법을 소개하였다. HILS 기법은 소프트웨어로 모델링된 시스템 환경을 디지털 실시간 시뮬레이터를 이용하여 모의하고 실제 하드웨어를 그대로 적용하여 개발 혹은 시험하는 기법이다. HILS 기법의 주요



그림 7 마이크로그리드 EMS 운영용 HILS 시스템의 프랑스와 불가리아 공동 개발 예



그림 8 인천대의 마이크로그리드 BESS 제어기 개발에 HILS 활용 예

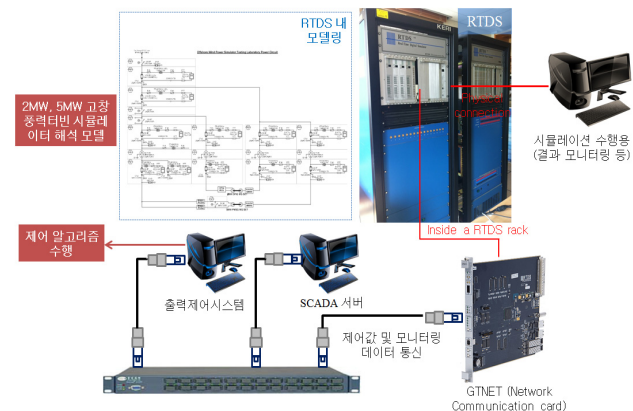


그림 9 한국전기연구원의 풍력단지 EMS 개발에 HILS 활용 예

기술적인 특성과 요구 조건, 응용 분야에 따른 주요 사양을 검토하였으며 HILS 기법을 이용한 시스템 개발과 성능 시험의 장점 등을 살펴보았다. 지금까지는 주로 자동차, 항공, 선박 등의 분야에서 많이 이용하여 왔으나 점차 전력시스템 분야에도 적용이 확산되고 있는 상황임을 HILS 활용 연구 사례를 통하여 알아보았다.