

전력계통 시뮬레이터의 국내 설치구상

김 정 훈*

(*홍익대 공대 전기제어공학과 부교수)

1. 서 론

전력계통 시뮬레이터는 전력계통 운전상에 발생되거나, 또한 예상되는 복잡하고 순시적인 기술현상을 실증적으로 재현 또는 모의할 수 있는 전력계통 모의설비로서 기존 전력계통을 해석하기 위한 수단인 전자계산기를 이용하는 소프트웨어(Software)기술과는 다른 하드웨어(Hardware)기술이라고 할 수 있다.

전력계통 시뮬레이터를 비행기나 자동차에 비유하면 그 이해가 쉽다. 우선 손쉬운 자동차에 비교하면 어떤 자동차가 주어졌을 때 자동차를 운전하는 방법을 배우기 위하여는 2가지를 생각하여 볼 수 있다. 자동차 운전기술을 이론, 즉 책으로만 배우는 것이다. 만약 이렇게 배운 후에 자동차를 운전한다고 가정하면 정말 위험천만한 일이 아닐 수 없다. 즉 이론으로만 배우는 것만으로 부족하여 실습을 시키게 되고 실습결과 운전면허를 받게 된다. 운전면허를 받을 때 중요한 것은 돌발적인 계동, 언덕길 및 제 시간내에 운전코스를 주행하는 것으로 운전시에는 예기치 못한 일, 좋지않은 조건 및 적절한 시간에 대처하지 못하면 소용이 없다는 의미가 된다. 또 운전면허를 취득한 사람은 대부분은 시내운수를 통하여 가상이 아닌 실제도로에서 적응력을 높인다. 즉, 현장경험이 필요하게 된다. 그 후 초보 운전기간 등을 지나면서 점차 운전기술은 높아지게 된다. 그러나 자동차 운전에서는 예기치 못한 충돌

사고시 대처방안 등은 실험이 불가능하여 훈련을 시킬 수 없고, 다만 보호장치인 안전벨트 등만이 마련될 뿐이고 각 상황에 따라 운전자가 그 상황에서 적절히 대처하여야 한다.

그러나 비행기의 경우는 자동차보다 훨씬 많은 사람이 탑승하고 조종사의 운전부주의나 판단 미숙은 이번 발생한 아시아나 항공사의 사고와 같은 치명적인 결과를 초래하기 때문에, 비행기 운전은 돌발적인 상황에 대처하는 훈련이 되어있지 못하면 돌이키지 못하는 결과를 초래하게 된다. 또한 비행기의 가격은 매우 비싸므로 이를 위한 현장실습 시험을 거친다는 것은 불가능하기 때문에 비행기 설계 및 항공사 훈련을 위한 비행기 운항 모의설비(Flight Simulator)를 설치 운용하고 있다. 즉 비행기를 설계한 후 제작을 하여 본 다음 현장실습을 하는 것이 아니고 새로운 설계의 비행기를 모의설비에 의하여 먼저 운행을 모의하여 문제점 및 대책을 마련하여 비행기 설계에 도움을 주고, 또한 항공사들은 이러한 모의설비를 통하여 훈련함으로써 돌발적인 사건과 기타 아직 경험하지 못하였으나 예측할 수 있는 사건들을 사전 모의경험하여 현장 적응력을 한껏 높이는데에 이용될 수 있으므로, 모의설비(Simulator)는 안전한 항공기 운항을 위한 도구로 안전을 도모하고 있다.

전력시스템은 항공기에 비교하여 어느 면에서 보면 전국을 대상으로 공기나 물과 같이 느끼는 전기를 공급하므로 공급지장시 국가의 안위, 수출경쟁

등 영향을 미치는 곳이 많아 국가에 필수 불가결한 설비이므로 더욱 위험하고, 전국규모이므로 더욱 복잡하며 규모가 크다. 또 한편 효과적인 운용을 하기 위하여는 전력분야 이론 이외에도 최적제어 이론, 전문가 시스템, 신경회로망 이론 등 여러가지 복잡한 첨단이론이 적용되는 까닭에 정교함이 요청되며, 전기시스템 특성상 μsec , msec 단위의 순시적인 사태에 직면하게 되어 신속한 조치가 필요하게 되는 특징을 갖고있는 바, 현장모의를 통한 경험 축적과 문제해결 수법개발 및 각종 예견되는 사고에 대한 대책수립과 아울러 기술요원의 훈련을 할 수 있는 설비가 필수적인 선택이라 할 수 있다.

현재 우리나라에서 보유하고 있는 전력시스템 해석수단은 전자계산기 이용기술인 디지털 시뮬레이션뿐이다. 이는 소프트웨어적인 기술로써 프로그램화 되어있어 입출력하기 위하여는 상당한 시간의 교육이 필요하고, 그나마 숙련되기 위하여는 수년간의 수많은 사례에 대한 경험이 뒷받침이 되어야 프로그램 운영능력이 생긴다. 게다가 전력시스템을 해석하기 위한 고려대상 시간에 따라 프로그램 패키지 다르므로 -예 : 전력조류계산, 전력계통 과도안정도, 자동주파수제어 외 다수- 상호 사용하는 이론이 다르고 입출력이 맞지않게 된다. 즉, 각 패키지를 운용할 수 있는 전문가를 양성하여 정교성이 필요한 해석에 이들 프로그램 패키지를 통하여 결과를 얻어 계통계획 및 운용에 적용할 수 있다.

이와같은 디지털 시뮬레이션 기법은 수학적 모델이 확정되어 있는 경우에 정교한 해석결과를 제공하며 비용면에서 유리한 점이 많다. 그러나, 병렬처리기법의 개발에도 불구하고 실시간으로 동작이 불가능하며, 오프라인운전과 기법에 따라 나타나는 해의 불안정성, 계산시간 과다 및 교육의 어려움이 단점으로 들 수 있다. 또한 프로그램 패키지는 상호간의 호환성 결여로 인한 유기적인 협조가 어려워 앞으로 이를 위한 개발 역시 필요하다.

다른 해석수단인 시뮬레이터는 공학에서 이론을 배우고 실제에 적용하여 보는 실험과 같은 역할을 담당하여 손쉬운 계통운전의 상황이 모의되어 다루기가 쉽고 현장에서와 같은 느낌을 받도록 설비를 꾸밀 수 있고 실시간이므로 결과 및 계통상황 변화가 실제와 같아 흥미도 유발할 수 있어 교육이 매우 쉬울 것이다. 아울러 이론적으로 미확보된 문제

도 취급 가능하며, 대상 시간대별로 별도의 시뮬레이터가 필요없이 하나로 총체적인 전력계통현상을 해석할 수 있다. 또한 잘못된 입력자료에 의하여 디지털 시뮬레이션은 산법의 결과에 따라 해의 존재가 불안정한 반면 시뮬레이터는 잘못된 입력에 잘못된 해라도 나오므로써 이로 인하여 입력자료의 오류에 대한 판단이 가능하여 손쉽게 입력자료의 수정이 가능하게 된다.

즉, 정교한 전력시스템 운전에서 디지털 시뮬레이션과 전력계통 시뮬레이터의 상호 보완적인 협조에 의하여 전력시스템의 신뢰성이 더 높아져 현재 당면한 과제 및 앞으로 다가올 여러 계통 운영상 문제점에 대한 해결방안의 강구에 일조를 할 것이다.

현 계통규모로 보면 전력계통 시뮬레이터 국내 설치의 당위성이 높은 과제로서 이 설치를 필요로 하는 국내적인 상황 및 향후 상황에 대하여 살펴보고 시뮬레이터의 방식 및 국산화 가능성, 규모, 설계방향 및 설계시 주요 고려사항에 대하여 기술하고자 한다.

2. 전력계통 시뮬레이터의 국내설치 검토배경

시뮬레이터의 국내설치를 위한 배경은 아래와 같은 3가지 측면에서 검토가 되었다.

2.1 전력에너지 안정공급 측면

우리나라의 현상황은 선진화의 가속으로 경제규모가 성장함에 따라 전력부하의 성장을 역시 커지며, 전력수요는 다양화 추세에 놓여있는 등 전력시스템의 대규모화가 진행되고 있다. 첨단산업의 발전으로 산업기기는 고도화됨으로써 전력사용특성은 변화에 민감하게 되어 전력시스템은 복잡화되고 있다. 또한 전력시스템도 고밀도화되어 가고 있다. 그 이유는 도시가 팽창함에 따라 수요와 공급자의 편중현상이 나타나 전력을 공급하기 위하여는 대규모 전력용동이 불가피하게 되고있다. 결국 산업의 정밀성 및 전력 사용형태의 고급화육구는 점차 증대되므로 전력품질을 향상시켜 좋은 신뢰도를 갖도록 해야한다. 이러한 신뢰도를 확보하기 위하여는 미래를 대비한 안정화 기술이 필요하며 아울러 기존에 적용되고 있는 전력기술은 미래에 대하여는 한계가 있으므로 고도화된 전력기술이 필요하다.

이 목적을 달성하기 위하여는 미래 전력계통 특성변화를 예측하여 보아 여러가지 경우에 대비하여 문제점을 도출하고 새로운 시각의 예방대책을 마련할 수 있도록 하는 기술개발이 필요하며, 이같은 고도의 기술을 확보하고 계승하여 줄 수 있는 고급인력의 훈련수단을 갖추어 효과적인 계통운전원을 양성시켜야 할 것이다. 운전원의 양성은 미래 전력공급 확보차원에서는 아주 중요한 일이다.

이상에서 기술한 바와 같이 문제점 진단 및 대책 기술, 검증 개발을 위한 전력계통 해석수단이 필요하게 된다. 현재 우리의 경우는 전자계산기를 이용한 디지털 시뮬레이션 방법이 이용되고 있으나, 이에 전적으로 의존하면 앞에서 지적하였던 문제점의 해결이 어렵게 된다. 그러므로 이를 상호 보완적으로 이용할 수 있는 전력계통 시뮬레이터는 계통해석을 할 수 있는 강력한 도구로 부각이 된다.

2.2 국내기술 국산화 기반 구축 측면

현재 국제사회는 냉전시대에서 벗어나 무억전쟁에서 기술전쟁 시대로의 전환기를 맞이하고 있다. 즉 새로운 기술개발이 계속되는 국가는 부강한 국가로 될 것이므로 향후 기술민족주의의 경향은 심화될 것이 확실시 된다. 민족자존을 위한 기술자립은 시대적인 요청으로 우리는 선진기술의 의존에서 탈피하기 위한 국내기술기반을 구축할 필요가 있다.

전력계통 시뮬레이터의 국내설치는 전력분야 기술기반 구축의 초석으로 향후 고도 전력기술확보의 촉매작용을 할 것이며, 만약 설계제작을 국산화하는 경우를 생각하여 보면, 시뮬레이터에 요구되는 기술은 소재, 전자, 전산의 첨단기술분야로써 관련 기술의 파급효과가 높게되어 기술자립에 일조를 할 것이 틀림없다.

다시 말하면, 각종 첨단기술분야와 고도의 전력기술이 유기적으로 관련된 종합기술체인 시뮬레이터 설치에 국내기술 기반구축에 상당한 역할을 할 것이다.

이에 비교할 수 있는 예로 포항공대의 광가속기(PLS: Pohang Light Source) 프로젝트를 살펴보면, 광가속기는 현대 물리연구의 필수적 설비로 선진국에서 제작하거나 제작중인 완성에 이른 기술이다. 그러므로 PLS의 국내투자는 단기적 타당성은 매우 적으나 기술국산화의 기반구축, 관련사업

기술력육성 및 국내기초과학기술기반 조성등의 장기적 파급효과를 목표로 현재 설치 공사중에 있다.

PLS는 대규모이면서도 정교함이 필요한 기술이어서 공사비는 1600억원의 소요가 예상되며 참여인원은 학계 및 산업계 박사 200명, 실무기술자 40명, 전임 연구원 100명 등의 고급인력으로 구성된 투자규모가 매우 큰 프로젝트이다.

전력계통 시뮬레이터는 전력분야의 PLS라고 할 수 있다.

2.3 전력계통 운용기술 측면

2.3.1 현재 우리나라의 전력계통의 상황특성

현재 우리계통의 성장기적 특성은 청년기에 해당되어 향후 30년간 전력수요성장이 지속될 것이다. 이는 선진 구미계통의 성장속도가 둔화되어 장년기에 해당하는 것과는 달리 급속한 변화와 계통운영상의 문제점이 계속 제기되는 시점에 있다. 한편 이러한 청년기적 부하성장과 함께 다른 산업에서는 첨단기기 개발이 가속화하여 신기술, 고급화 추세가 두드러지고 있다. 결국 과거에 경험하였던 것과 다른 변화요인이 발생하였고 수요특성의 다양화로 인하여 계통운영상 새롭고 복잡한 기술상황에 직면할 가능성이 증대하며, 이에 대한 대책수립과 예상되는 결과에 관심을 갖을 수 밖에 없다. 이에 따른 생활수준과 산업기술의 고급화는 전력품질의 향상을 원하게 되어, 높은 신뢰도를 갖는 전력을 공급하여야 할 상황이 현재라고 볼 수 있다.

그러므로, 이러한 민감한 계통상황의 변화에 대한 분석과 대책수립할 수 있는 기술개발은 불가피하다고 볼 수 있다. 즉 과거에 경험하지 못한 계통상황을 실증적 실험을 통한 대책수립이 필요하며 이의 직접적인 실험은 불가하므로 현장실험을 내치할 수 있는 모의 실험장치의 설치는 필수 불가결하다.

2.3.2 향후 공급신뢰도 확보를 위한 전력계통 운영상의 문제점

향후 전력계통 특성변화에 따른 전력계통 운영상의 문제점은 증대될 것이 확실시 된다. 문제점을 나열하면 다음과 같다.

- 대단위 전원입지 개발 필요성 증대
- 지역간 융통전력의 대단위화
- 계통운영의 경직화

- 전력공급 신뢰도 저하
- 차기 초고압 계통의 격상 및 운전문제점 대두
- 계통 안정화 및 고장 예지기술 개발 필요성 증대
- 전력조류의 강제배분 필요성 증대
- 환상계통 분리 및 모선분리 운전 필요성 증대 (단락용량 증대)

위의 열거한 문제점들에 대한 대처방안으로 현재 해결하여야 할 과제를 나열하면 다음과 같다.

- 계통운영의 유연성 확보기술 개발
- 공급신뢰도 평가 및 향상대책 수립기술 개발
- 고장 가능성 진단 및 예방기술 개발
- 고도의 전력계통 해석능력 배양
- 실시간 전력계통 해석기술 개발

결국 이러한 과제를 해결하기 위하여는 고도의 계통해석수단이 필요하며 이 수단에는 두가지가 있다.

첫째, 기존의 전자계산기 이용기술을 확대 개발하여야 할 것이다. 현재 보유하고 있는 디지털 시뮬레이션 기법은 새로운 체계적이고 총체적인 관점에서 정리되고 개발되어 상호 호환적 요소를 높이고 프로그램 패키지 취급이 용이하도록 하여야 한다. 아울러 사용자가 원하는 양식으로 출력할 수 있는 문서화 기능도 부가되어야 할 것이다

두번째가 전력계통 시뮬레이터를 새로이 도입하여야 한다. 계통을 총괄적이고 실시간으로 다루는 실험 실험장치를 마련하여 여러가지 사례연구를 통하여 실험계통 특성을 손쉽게 파악할 수 있도록 하여야 한다. 손쉬운 운용을 위하여 모든 입력자료와 출력자료가 현장에서와 동일하도록 하여 연구 및 훈련의 효과를 동시에 갖도록 하여야 할 것이다.

3. 전력계통 시뮬레이터 설계시 고려사항

앞 절에서 국내설치에 대한 당위성을 알아보았다. 그러면 어떠한 형태로 만드는 것이 좋겠는가 하는 방식(方式)을 결정하여야 한다. 방식이 결정되면, 그러한 방식으로 국내기술이 시뮬레이터를 개발할 수 있는가? 만약 없다면, 기술개발을 해야할 필요가 있을까? 하는 국산화 개발에 대한 검토가 그 다음에 찾아오는 과정이라 할 수 있다.

3.1 시뮬레이터의 방식

시뮬레이터의 방식은 외국의 사례로 나누어보면

축소형, 아날로그형, 디지털형 세 가지형으로 나눌 수 있고, 보다 더 구체화하여 아날로그와 디지털 기술이 섞여있는 하이브리드형을 추가하여 4가지로 나눌 수 있다. 국내 설치된 시뮬레이터의 방식을 결정하기 위하여 각각에 대하여 검토하여 보면 다음과 같다.

1. 축소형 (Micromachine)

시뮬레이터는 실제 시스템을 모의하는 데 목적이 있으므로 일반적인 생각은 실제기기를 작게 만들면, 현장감과 아울러 그 특성을 그대로 재현할 수 있지 않을까하고 생각하게 될 것이다. 이와같은 이유에서 만들어진 축소형 시뮬레이터를 알아보기로 한다.

축소형은 가장 오래된 역사를 갖고 있는 시뮬레이터로서 1940대에서 부터 비롯되었다. 축소형 시뮬레이터를 설치하고 있는 나라 및 기관은 가장 발전된 시뮬레이터를 보유하고 있는 일본의 전력 중앙 연구소, 최소형인 스위스의 FIT, 프랑스의 EDF, 미국의 UTA대학, 중국의 EPRI등을 들 수 있다. 축소형은 실제와 동일하도록 기계를 축소 제작하여 현장감과 아울러 시뮬레이션의 효과를 얻고자 하였다. 그러나, 20~100[kVA]급으로 만들어졌던 초창기 기기는 리액턴스값이 같지 않았고, 시정수는 실제 발전기보다 작아 과도현상의 감쇠가 빨라 이상현상 관찰이 곤란하였다. 이러한 점을 보완하고자 한 것이 1984년에 완성된 일본의 전력 중앙연구소 시뮬레이터로서 100[kVA]이상급의 회전기 방식 시뮬레이터를 개발하였다. 특수 제작된 이 발전기는 직류송전에 대한 검토를 위하여 설치된 것으로 700~1000[Hz] 이내에서는 실계통에 근접하는 성과를 얻었으며, 직류계통과의 보호계전 방식 개발에 좋은 효과를 얻었다. 그러나, 크기가 매우 크고, 실제 송전선, 변압기등 모든 설비가 실규모급에 바탕을 둔 축소형이어서 차지하는 면적이 커진다. 또한 취급상의 어려움이 있고, 안전사고의 위험도 내포하고 있다고 볼 수 있다. 또한 발전기등과 같은 시뮬레이터 각종 구성설비의 파라미터 변경의 폭이 좁아 범용성에서 문제점을 지니고 있다. 그리하여, 파라미터 변경이가능하고 보다 더 축소하고자 하는 최근의 시도는 1989년 IEEE에 발표된 스위스의 F.I.T에서 찾아볼 수 있다. 적응제어이론을 이용하여 작은 일반 전동기 수준으로 크기를

축소하는데 성공하였으며, 각종 시정수를 비롯한 파라미터를 어느 정도 범위에서 변화시킬 수 있었다. 그러나, 제작에 큰 어려움이 있어서 이상현상에 대한 만족할 만한 결과를 아직 얻지 못하였으며, 축진동 동특성도 차이를 보이고 있다.

결국 축소형 시뮬레이터는 실제계의 현상과 같아지기 위하여 계속적으로 크기가 커져가는 경향을 보이고 있으며, 여러 다른 형태의 계통요소를 표현하기 위한 파라미터 변경에 대해서도 아직 이렇다 할 대책이 없어서, 대전력 계통규모로 확장하는 데는 현재의 기술로는 문제점이 많아 장차 발전한다고 하여도 그 속도는 매우 완만한 형편이다. 또한, 규모면에서 보면 기기 사용면적이 상대적으로 가장 커서 대규모 전력계통 규모로 구현하는 것이 계통 특성 및 경제적인 측면에서 문제점을 갖고 있다.

2. 아날로그형 (Analog Type)

축소형 시뮬레이터의 제작이 어렵고 제작시 본래의 계통특성을 잘 반영하지 못하고 파라미터 변경이 어려운 점을 해결하고자 출현한 아날로그형 시뮬레이터의 제작은 1970~1980년 사이에 시도되었다. 이 형태의 시뮬레이터는 독일의 FGH에서 1973년, 캐나다의 IREQ에서 1974년, 그리고 스웨덴 ASEA Relay에서 1980년 초에 설치한 바 있다. 그러나, 아날로그 시뮬레이터는 디지털 기술의 급속한 발전으로 형태가 바뀌어 디지털 소자를 채용하는 구조로 바뀌어졌다.

3. 하이브리드 형 (Hybrid Type)

하이브리드 방식은 주로 일본에서 발전시킨 기술로서 캐나다의 IREQ에서 설치한 시뮬레이터의 영향을 받았다. 일본의 관서전력은 1985년, 중부 및 구주전력은 1989년경에 설치의 필요성을 느껴 3년 기간을 가지고 자체기술로 개발하여 1988년 및 1992년에 설치 완료하였다.

이 형태의 특징은 발전기 및 부하부분은 디지털 기술로 제작된 장치를 일부 채용하고 있다. 채용한 이유는 디지털 시스템이 점차 칩(Chip)형태로 가며 최신기술인 DSP(Digital Signal Processing) 칩의 사용이 가능하여졌기 때문이다. 디지털로 모의할 때 가장 큰 문제라고 할 수 있는 부분은 디지털 고유의 문제인 모델링(modeling), 이산화(discretization), 라운드 오프(round off) 및 정량화(quantization) 오차(error)가 발생한다는 점이다.

어떻게 샘플링을 하여야 이산화된 신호를 가지고 본래의 연속적인 파형을 회복시킬 수 있는가 하는 문제를 해결하는 것이 디지털 기기에서 가장 중요하다 할 수 있다. Shannon의 샘플링 정리(sampling theorem)에 의하면, 어떤 시스템 모델에 대한 개루우프(open loop) 주파수 응답이 시스템의 원래 특성을 잃지 않기 위해서는 샘플링 시간(sampling time)은 적어도 컷 오프(cut-off)주파수의 두배보다 적어야 한다고 하였다. 결국 샘플링 시간이 적을수록 디지털 전자회로의 정확도가 높아지게 되는 것은 당연한 이치가 될 것이다.

샘플링 주파수는 디지털형 발전기의 경우, 현재 사용되는 일본 시뮬레이터 360[Hz]정도로 아날로그형 전자회로의 1[kHz]에 비하면 적다고 할 수 있다. 그러나, 디지털 전자회로인 마이크로프로세서의 성능개선이 급속적으로 진행되고 있다는 점을 주목할 필요가 있다. 현재까지의 기술로는 비용면을 떠나 구현한다면 數[kHz]의 주파수 특성을 갖는 디지털 기기의 제작이 가능하다는 사실은 저렴한 비용의 좋은 주파수특성을 갖는 디지털기 출현이 임박하고 있다는 것을 말하여 준다.

4. 디지털 형 (Digital Type)

디지털형은 송전선로 및 부가된 여러요소를 아날로그 소자로 구현하지 않고 디지털화 하였고 각종 포화 및 비선형성은 모두 디지털화한, 전체가 디지털 기기로 구성되어 있는 시뮬레이터이다. 이 방식은 연산속도를 높이기 위하여 최근 주목받고 있는 병렬처리 컴퓨터 기술을 이용하는 운영체제를 도입하였다.

이에 관련된 외국의 사례로는 1992년에 발표된 캐나다의 Manitoba에서 개발한 RTDS(Real-time Digital simulator)가 있다. 이 시뮬레이터는 ASEA-Relay의 아날로그 시뮬레이터를 발전시킨 것으로 발표된 자료에 의하면 응답특성이 거의 5[KHz] 이상의 수준으로 현 아날로그형의 특성을 훨씬 상회하는 수준이다.

현재까지는 대규모 전력계통에 적용한 경우보다는 HVDC 시스템의 각종 제어장치 및 보호 계전기 시험용으로 시도된 사례가 있다. 이 방식은 미래의 시뮬레이터에 채용될 것이 확실시되나 아직 완성도에 이르지 못한 것으로 판단된다.

결국 시뮬레이터의 방식의 역사는 축소형→아날

로그형→하이브리드형→디지털형으로 발전되어 가고 있음을 보이고 있고 현재는 하이브리드형에서 디지털형으로 넘어가는 과도기에 해당된다고 할 수 있다. 하이브리드형은 완성도가 높은 기술이고 디지털형은 아직 그렇지 못하다고 볼 수 있다. 결국 국내에 설치될 시뮬레이터는 디지털 기술이 중심이 되어야 한다는 원칙을 어렵지 않게 설정할 수 있다. 이러한 원칙하에 대상이 되는 시뮬레이터는 하이브리드형과 디지털형이다. 다음으로 고려하여야 할 사항은 이들의 국산화 개발가능성에 대한 검토일 것이다.

3.2 국산화 개발에 대한 검토

서론에서 언급한 바와 같이 기술전쟁시대를 맞이하고 있는 현재로는 소재·전산·전자·기술과 고도의 전력기술의 유기적인 집합체인 시뮬레이터를 최대한 국산화하려는 시도는 필요하다고 할 수 있다. 그러나 시뮬레이터 제작경험이 없고 전력 엔지니어를 확보하기 힘든 현 국내업체 사정을 감안하면 쉽지않은 것이라는 예상은 쉽게 할 수 있다. 이 절에서는 디지털 기술이 중심인 두가지 방식에 대한 검토를 기술하여 본다.

① 하이브리드형 시뮬레이터

국내업체의 기술은 선진화 추세에 따라 여러가지 분야에서 상당한 발전을 하고있고 소재, 전산, 전자 기술 역시 개발되고 있어 발전기와 부하는 디지털 기술이므로 국내기술 개발에 어려움이 예상되지 않는다. 반면 송전선 부분에서는 소재 및 특수 제작기술이 소요되므로 이에 따른 교육 및 개발기간이 필요할 것으로 생각되며, 소재 중 시장성면에서 떨어지는 것은 외국에서 수입하는 것이 바람직할 것이다. 일본의 경우도 일부 소재는 독일 지멘스사에서 도입하였다.

하이브리드형은 발전기 및 부하부분, 센서, 무한대 모션, 전력공급장치, 감시제어반, 자료취득 시스템, 주전산 및 운용시스템, 보호계전기 및 인터페이스, 센서 및 기타장치는 현재 기술로도 국산화가 가능하며 송전선로 외 몇가지는 현재로 불가능한 부분도 제작회사의 강력한 개발의지와 팀웍의 효율적인 활용 등이 전제된다면 도전해 볼 가치가 있으며 그에 따른 가능성도 높다고 볼 수 있다. 이 때 중요한 것은 전력계통을 전공한 엔지니어의 참가가 필

수적이어야 한다. 그 이유는 전체적인 계통적인 감각과 해석기술을 갖춘 엔지니어에 의하여 시뮬레이터의 제작이 주도되어야 하며 각 부분의 제작시의 시험결과를 항상 검토하고 그 해결책의 제시가 가능하기 때문이다.

② 디지털 시뮬레이터

미래의 시뮬레이터 방식으로 아직 완성된 기술이 아니므로 만일 국내 기술에 의하여 대규모 전력 시뮬레이터를 제작할 수 있다면 선진기술로 자랑할 수 있을 것이다. 만약 국내제작을 못하더라도 이 방식의 본격 시뮬레이터를 갖는 최초의 국가가 될 수 있다.

디지털 시뮬레이터를 개발하는데에 소요될 것도 DSP칩으로 하드웨어의 조립을 국내에서 하는 데에는 어려움이 없으나, 분산처리를 관장하는 운영체계(Operating System)의 국내개발에 상당한 어려움이 예상되며 포화 및 비선형 특성을 구현하기 위한 기술개발에 시간과 고급인력이 필요하며 개발시 발생될지 모르는 여러가지 문제점과 이에 대한 해결책을 마련해 나가는데에 상당한 투자가 소요될 것이다. 만약 외국의 업체에 발주한다면 외국 제작사의 최초 본격 시뮬레이터의 실험장이 될 가능성이 예상되며 기술파급 효과가 높은 디지털 기술의 국내이전이 어려워질 것이 예상된다.

디지털 기술의 지수적인 발전추세로 미루어 보아 모험적으로 국내업체에 제작을 의뢰하는 경우, 국내 제작사는 해당기술의 전문가를 확보하여 필요에 따라 교육훈련을 시켜야 할 것이며 매우 모험적이며 고급기술이기도 한 시뮬레이터 제작을 위한 전폭적인 지원이 보장되어야 할 것이다.

결국 디지털 방식 시뮬레이터의 국산화 가능성은 하이브리드 방식보다는 어렵다고 볼 수 있으나 이 방식으로 발전되는 추세임을 감안하면 다른 나라의 시뮬레이터 설치년도보다 상대적으로 가장 최근에 설치될 국내 시뮬레이터에 디지털 방식을 도입함을 긍정적으로 검토하여야 할 것으로 생각된다.

4. 시뮬레이터의 규모

방식이 결정되면 그 기술에 따라 우리나라 계통을 모의할 수 있기 위한 규모를 산정하는 것이 다음으로 고려할 사항으로 부각된다.

표 1. 전력수요의 성장단계

단계별	전력수요	전국최대부하[MW]	
1 단계 (1992-2010년)	고성장 (년평균 약 6%)	1991	19,124
		1996	28,752
		2001	38,409
		2006	48,155
2 단계 (2011-2030년)	선진국형 성장 (년평균 약 2%)	2010	55,881
3 단계 (2031년 이후)	수요포화 (년평균 0.7%이하)	2031	89,377

시뮬레이터의 규모를 산정하는 데 필요한 고려사항은 우선 다루고자 하는 대상 시스템의 규모가 첫 번째이고 그 다음 고려사항은 비용의 관점이다. 우선 전력계통 시뮬레이터의 규모는 한전시스템 전체를 그대로 구성하도록 정하며 그러므로 규모결정 문제는 어느 시점의 한전 시스템의 규모를 목표로 하는가 하는 것이 문제로 부각된다.

시점의 결정을 위해 한전시스템 규모의 예측연구 결과를 보면 다음과 같다.

전력수요의 성장은 3단계로 나누어져 1992~2010년까지는 높은 성장을 하고 2011~2030년 사이는 선진국형 성장, 2031년 이후는 전력수요 포화 현상이 발생한다고 분류하였다. 이를 도표화한 것이 표1이다.

이 수요예측의 근거는 1인당 소비전력량으로, 91년 1인당 소비전력량은 2688kWh/년 이고, 예측 시 1인당 소비전력의 포화되는 하한값은 10,000kWh/년이라고 가정하면 우리나라의 2031년 1인당 소비전력량은 9300kWh이고 2040년에 10,000kWh로써 포화된다. 일본과 비교하여 보면 현재는

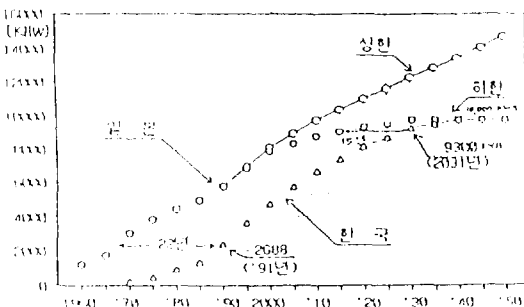


그림 1. 인구 1인당 소비전력량 비교

표 2. 2031년의 에너지 원별 구성비 및 용량

구분	원자력	석탄	석유,LNG	수력	계
구성비(%)	40	30	20	10	100
용량(MW)	43,000	21,000	32,000	43,000	107,000

약 22년이 뒤떨어져 있고 2031년에는 15년 정도가 뒤질 것으로 예상하고 있다.

이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

이 예측결과를 따르면 시뮬레이터의 최종 규모는 2040년 계통에 초점을 맞추면 될 것이다. 그러나 2031년 계통이후에는 전력수요가 0.7%이하의 거의 포화영역에 있으므로 불확실성을 감안하면 2031년을 목표로 잡는 것이 2040년 계통을 목표로 하는 것보다 더 효과적으로 볼 수 있다. 만약 이렇게 하는 경우에 에너지원별 구성비율 및 발전용량은 표2와 같다.

2031년의 구체적인 계통규모를 정확하게 예측하지 않았고 다만, 발전기 모선수가 2010년보다 6개 정도의 증가를 전망하고 있다. 즉 발전기 모선 수 30개 정도로 예측하고 있다. 시뮬레이터의 최종목표를 앞에서 언급한 자료를 보완하여 결정하여야 하는 것이 최우선과제로 떠오른다.

그러나, 과연 이러한 작업이 필요할 것인가를 여러가지 측면에서 생각을 하여야 한다.

첫번째, 정치적 상황의 변동이다.

현재의 남북관계는 급속하게 달라서 상호경제 협력은 시간문제로 다가오고 있다. 이는 전력분야는 남북한의 전력의 연계를 쉽게 연상시킬 수 있다. 이 이유는 계통 최종목표를 더욱 더 크게 하여 남북한 모두 수용 가능하도록 해야 한다.

두번째가 모든 예측의 불확실성이다.

2031년을 1993년인 지금 예측한다는 것은 매우 어려우며 지금부터 40년 후를 대비하여 모두 설치한다는 것은 어불성설이라고 할 수 있다. 즉 이 불확실성에 대한 유연한 대처를 위한 단계별 설치계획이 수립되어야 할 필요성이 나타나며 단계마다의 계획의 재검토가 필요하다.

세번째는 급속하게 발전하는 전력기술이다.

현재 설치되고 있는 전력기구나 장비가 과연 40년 후에도 변함이 없겠는가 하는 것은 누구도 맞다고 보지는 않을 것이다. 이렇게 바뀔지 모르는 기계나 장치들 모두 갖출 필요는 없다.

네번째는 전력계통 시뮬레이터 기술의 발전이다. 현재 소재기술에서 디지털 하드웨어 분야의 발전 속도는 하루하루가 달라지고 있다. 만약 100% 디지털로 모두 구현이 가능하다면 추후 확장은 매우 쉬운 일이 되며, 또한 한장의 보드설계로 같은 종류의 모의소자를 제작하는데 추가비용이 상대적으로 가장 적다.

그러면 1단계 목표년도는 언제가 적당할 것인가? 즉, 어느 시점의 전력 계통규모가 1차 목표가 되어야 하는가? 이 해답은 전력계통 시뮬레이터 기술에 관계가 되지 않을 수 밖에 없다. 즉, 설치될 시뮬레이터의 확장성과 기술 발전속도가 이를 결정할 수 있는 중요한 인자로 작용하게 된다.

우선 확장이 매우 용이하고 확장되는 설비의 설치기간이 1년 미만에 손쉽고 저렴한 비용으로 가능하고 빠른 행정처리 속도가 뒷받침된다면 굳이 최종목표 부근의 계통규모를 초기계획의 대상으로 할 필요가 없으며 지금부터 몇년 뒤의 계통규모가 목표로 될 것이다. 그러나, 시뮬레이터 기술에 따라 설치 기간은 오랜 기간이 될 수 있고 확장되는 설비를 외국에서 도입하는 경우는 이에 대한 비용이 규모경제원리에 의하여 상대적으로 고가되므로 기술방식에 따른 검토가 필요하다. 앞 절에서 검토된 디지털 기술 중심의 시뮬레이터 방식을 채용하게 되는 경우는 한번 설계된 보드를 여러 개 생산할 때는 생산시 추가비용이 매우 적은 특성을 갖고 있는 것이 디지털 기술임을 고려하면 다수 제작이 유리하다. 그러므로 1단계 목표년도를 선진국형 부하 성장 개시년도로 예상되는 2011년으로 선택하여 본다. 2011년 이전까지 발전기 수는 급격히 늘어나나 그 이후에는 증가율이 떨어지게 되어 2031년이면 포화로 되며 이때 발전기 모선수는 30개 정도가 될 것이다. 이 모선수는 2011년 발전기 모선수보다 6개가 많은 양으로 그외 몇가지 특수한 발전모선을 합한 것과 예비를 합한 값과 같아진다.

그러므로 시뮬레이터 계통규모는 2011년으로 하며 그외 특수하게 고려하여야 할 구성요소를 포함하도록 한다.

5. 시뮬레이터 설계 방향

전력계통 시뮬레이터를 설계할 때 제일 처음으로

고려하여야 할 사항은 사용할 목적을 설정하는 것이다. 목적을 설정할 때 가장 중요한 인자는 활용성으로써, 값비싼 설비의 존재가치에 비중을 두는 것보다 활용가치에 더 비중을 하여야 하는 것은 당연하다. 그리하여 한국형 전력계통 시뮬레이터인 KEPS의 첫번째 목적은 계통운용에 초점을 맞추어 본다. 그 다음은 연구용으로 세번째는 교육용으로 목적을 잡으면, KEPS가 갖추어야 할 기능이 차례로 떠오르게 된다. 이를 나열하여 보면 다음과 같다.

첫째, 모델의 변환 및 계수 변경이 용이하여야 한다.

계통운용을 목적으로 하는 시뮬레이터는 임의의 계통 상태에 대하여도 대처할 수 있는 기능이 있어야 하므로 발전기, 선로, 부하 및 기타 모든 계통설비의 파라미터 값을 손쉽게 변화시킬 수 있어야 한다. 우리나라 같이 다양한 에너지원을 갖고 있고 각 원별 발전설비 종류도 복잡한 경우는 더욱 이 기능에 충실하여야 할 것이다.

둘째, 운용편리를 위한 간편한 결선이 요청된다.

너무 복잡한 과정, 힘든 과정이 수반되는 시뮬레이터는 새로운 사례에 대한 적응성이 떨어지게 된다. 이를 위하여는 간편한 결선방법으로 계통의 재구성이 가능하여야 하며 이때 접촉저항이 문제이고 자동 또는 수동결선도 검토되어야 한다.

세번째, 보수 유지면에서 간편하여야 한다.

설계 자체가 보수성(maintenability)을 최대한 살려서 어떤 부품도 쉽게 손이 갈 수 있도록 하여야 하겠고 부품도 모듈화하여 교체하는 시간이 적게 투입되고 납땜 또는 용접과 같은 부착하는데 소요되는 별도의 노력을 최소화하여 이때 발생할 지 모르는 이상 현상을 막아야 한다. 이를 위하여 부품 역시 기계에 의한 운반이나 설치가 되는 것이 아닌 사람의 손에 의하여 가능한 것으로 설계가 되는 것이 바람직하다.

네번째, 자료수집이 용이하여야 한다.

시뮬레이터에서 출력된 자료가 컴퓨터등의 기록 장치에 자동적으로 수록되고 이를 손쉽게 운용할 수 있어 운용자가 필요한 항목의 자료들을 원하는 형태로 수집할 수 있는 기능이 있어야 한다.

다섯번째, 각 모델의 정밀성이 필요하다.

실제 계통설비의 특성을 그대로 나타낼 수 있어 시뮬레이터 결과의 신뢰성이 높아야 한다. 이를 위

하여 계통 구성요소들의 동특성 모델이 정확하게 표현될 수 있는 시뮬레이터가 제작되어야 할 것이다.

여섯번째, 크기가 작아야 할 것이다.

크기가 크면 설치 장소 및 기타 설비 설치에 따른 불편성이 예상되며, 취급이 용이하지 않아 운용 면에서도 어려움이 예상된다.

일곱번째, 확장성이 좋아야 한다.

계통규모의 확장에 따른 새설비의 손쉬운 확대설치가 보장되어야 한다. 이를 위한 전체적으로 여유 있는 공간과 각 설비 배치에서도 확장분을 고려하여야 한다.

여덟번째, 교육용 설비 및 운용시스템을 갖추어야 한다.

교육을 위하여 계통의 실제적인 느낌을 줄 수 있는 한눈에 보이는 계통상태도와 상태를 표시하는 디스플레이가 필요하여 손쉽게 시뮬레이터를 다룰 수 있는 소프트웨어가 있어 통신 및 제어의 모든 기능을 수행할 수 있어야 하고, 대표적인 프로그램을 내장시켜 시뮬레이터 출력과 비교할 수 있어야 한다.

마지막으로, 시뮬레이터는 앞의 목적이외에 국내의 전력기술자 및 일반인에게 중요한 홍보용 설비로 사용하며, 전력회사에서 품질에 대한 노력을 보여줄 수 있는 설비로 사용되어야 하므로 디자인 및 배치를 현대적인 감각으로 느낄 수 있도록 설계되어야 한다.

6. 시뮬레이터 구성요소별 설계시 주요 고려사항

6.1 하이브리드형의 정격

하이브리드형의 설계시 가장 먼저 고려해야 할 사항이 전압에 대한 것으로 전압계급의 표현은 다음 2가지 방안을 생각할 수 있다. 즉, 여러 단계의 전압계급을 두어 사용 정격전압이 다른 송전선모델을 제작하는 방안과 모든 송전선 모델의 사용전격전압을 동일하게 하되, per unit 임피던스만을 다르게 하여 전압계급의 차이를 표시하는 방안이다. 전자의 경우 각 전압계급별 전류의 절대치 폭이 좁아지므로 전류센서의 측정범위가 좁으며 또한 345[kV]~765[kV]계통에서 많이 쓰이는 단권변압기

의 특성표현이 쉬워진다는 장점이 있으나, 반면 전압계급별 전압센서의 종류가 많아지며, P, Q, V, I의 per unit값의 취급이 복잡해지는 단점이 있다. 후자, 즉 시뮬레이터내에 전압계급을 두지 않는 경우는 전압센서가 통일되며 P, Q, V, I의 per unit값 처리가 단순해지므로 데이터의 처리면에서 여러 가지 이점이 있으나, 저전압계통의 임피던스 표현이 상대적으로 커지므로 따라서 전류값이 상대적으로 낮아지게 된다. 그렇게 되면 전류센서의 입력폭이 넓어지므로 정밀도 유지가 상대적으로 어려워진다. 또한 모든 변압기 모델 권선비가 1:1로서 여자 및 손실특성, OLTC가능만을 구현하게 되므로 단권변압기의 특성 표현이 어려워지는 단점이 있다. KEPS의 경우 발전기 30기 이상의 규모를 염두에 두고 있으므로 자료 처리량이 크며, 또한 각 구성요소간 결선문제가 적지 않은 제약조건이 된다. 그러므로 KEPS에서는 비록 단권변압기 특성의 표현이 쉽지 않다는 불편이 있기는 하지만, 자료의 처리면에서나 각 구성요소간 결선작업시의 효율성을 감안하여 시뮬레이터 내에 전압계급을 두지 않고, 모든 송전선로의 사용정격전압을 같게 두는 방식이 유리할 것으로 판단된다.

하이브리드형 시뮬레이터의 아날로그부분 pu 임피던스의 기준을 선정함에 있어서 가장 중요한 인자는 직렬성분의 손실과 대지 누설전류이다. 이들 인자는 실계통에서의 현상과 특성을 충분히 재연할 수 있도록 정해져야 하며 시뮬레이터의 아날로그 소자가 실계통 특성을 재연할 수 있는 요건은 제반현상에 관련한 해당 물리량의 per unit 값을 같게하는 것이다.

여기서는 직렬성분의 유효전력손실, 대지성분의 누설전류의 크기 및 누설 유효전력 손실량에 대하여 실계통과 시뮬레이터간 해당 물리량의 pu 값을 비교하여 시뮬레이터의 임피던스모형과 정격용량의 관계를 검토하기로 한다 앞으로는 대문자는 실계통에 관련된 양을, 소문자는 시뮬레이터에 관련된 양을 나타내기로 한다. 관련된 양을 나타내기로 한다.

P_b, V_b, I_b, Z_b : 실계통의 전력, 전압, 전류 및 임피던스 base

p_b, v_b, i_b, z_b : 시뮬레이터의 전력, 전압, 전류 및 임피던스 베이스

$$Z_b = \frac{V_b^2}{P_b}, \quad z_b = \frac{V_b^2}{P_b}$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} = Z \frac{P_b}{V_b^2}, \quad z_{pu} = \frac{z}{z_b} = z \frac{P_b}{V_b^2}$$

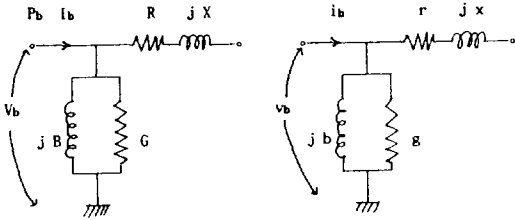
만약 $z_{pu} = r Z_{pu}$ 되도록 설정한다면

$$z_{pu} \left[= z \frac{P_b}{V_b^2} \right] = r Z_{pu} = r Z \frac{P_b}{V_b^2}$$

$$\begin{aligned} \therefore z = r + jx &= r Z \frac{P_b}{V_b^2} \cdot \frac{V_b^2}{P_b} \\ &= r Z \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \cdot \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \\ &= r (R + jX) \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \cdot \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \end{aligned}$$

여기서 $r + jx$: 시뮬레이터 계통의 직렬 임피던스(Ω)

$R + jX$: 실제 계통의 직렬 임피던스(Ω)



(a) 실제계통

(b) 시뮬레이터

$$\begin{aligned} \text{즉, } r &= r R \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \cdot \left[\frac{P_b}{P_b} \right], \\ x &= r X \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \cdot \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

지금 시뮬레이터 계통에서 직렬분 유효손실을 계산하면

$i_b = \frac{P_b}{V_b}$ 이므로 시뮬레이터의 정격을 base량과

갈게하여

$$\begin{aligned} \text{loss} &= i^2 r = i_b^2 r \\ &= \left[\frac{P_b}{V_b} \right]^2 r R \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \cdot \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \\ &= r R \frac{P_b}{V_b^2} P_b \end{aligned}$$

$$\therefore \text{pu loss} = \frac{\text{loss}}{P_b} = r R \frac{P_b}{V_b^2}$$

실계통에서 base와 같은 정격으로 운전된다면

$$\text{Loss} = I^2 R = I_b^2 R \left[\frac{P_b}{V_b} \right]^2 R$$

$$\therefore \text{pu Loss} = \frac{\text{Loss}}{P_b} = R \frac{P_b}{V_b^2}$$

따라서 시뮬레이터와 실계통간의 pu loss의 비

$$k = \frac{\text{pu loss}}{\text{pu Loss}} = r \quad (2)$$

즉, 시뮬레이터와 실계통의 기준 임피던스 비를 r 로 택하면 per unit loss의 비도 r 배가 된다.

즉, 실계통과 시뮬레이터의 특성을 같게 하려면 직렬성분 유효전력 손실면에서는 임피던스가 $r = 1$ 인 것이 바람직하다.

이제 대지성분의 누설전류(Shunt leakage current)를 살펴보면 다음과 같이 비교할 수 있다.

시뮬레이터와 실계통의 shunt admittance 간에는

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{z} = \frac{1}{r} \frac{1}{Z} \left[\frac{V_b}{V_b} \right] \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \\ &= \frac{1}{r} Y \left[\frac{V_b}{V_b} \right] \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \end{aligned}$$

의 관계가 있으므로 시뮬레이터 계통에서의 누설전류는

$$\begin{aligned} i_1 &= (g + jb) v_b \\ &= \frac{1}{r} (G + jB) \left[\frac{V_b}{V_b} \right]^2 \left[\frac{P_b}{P_b} \right] V_b \\ &= \frac{1}{r} (G + jB) \frac{V_b^2}{V_b} \cdot \frac{P_b}{P_b} \\ i_b &= \frac{P_b}{V_b} \text{이므로} \end{aligned}$$

$$\text{pu } i_1 = \frac{i_1}{i_b} = \frac{1}{r} (G + jB) \frac{V_b^2}{P_b}$$

실계통에서는

$$I_1 = (G + jB) V_b, \quad I_b = \frac{P_b}{V_b}$$

$$\therefore \text{pu } I_1 = \frac{(G + jB) V_b}{\frac{P_b}{V_b}} = (G + jB) \frac{V_b^2}{P_b}$$

\therefore 실계통과 시뮬레이터간 per unit 대지 누설전류 비는

$$\eta = \frac{pu i_1}{pu I_1} = \frac{1}{r} \quad (3)$$

즉, r 를 크게하면 실계통과 시뮬레이터 per unit 대지누설 전류량의 비는 r 에 반비례한다. 다시 말하면 r 를 크게 하면 시뮬레이터에서는 대지 누설전류의 영향이 그만큼 반비례하여 작게 평가됨을 의미하는 것이다. 따라서 대지 누설전류의 입장에서 도 임피던스 기준량의 비 r 는 1인 것이 바람직하다.

또한 $\eta = 1$ (식(2)와 (3)식으로부터)이므로 ζ 열손실의 영향이 크게 평가되면 누설전류의 영향은 그만큼 작게 평가된다는 점을 주목해야 한다. (r 를 1로 하지 않고 1보다 크게 택하는 경우)

마지막으로 대지성분의 유효전력 손실을 비교해 보자.

시뮬레이터에서,

$$\begin{aligned} \text{shunt loss} &= (i_g)^2 \frac{1}{g} \\ &= \left[\frac{1}{r} G \frac{V_b^2}{v_b} \frac{P_b}{P_b} \right]^2 \frac{1}{G} \\ &= \frac{1}{r} G \frac{V_b^4}{v_b^2} \left[\frac{P_b}{P_b} \right]^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{pu shunt loss} &= \frac{\text{shunt loss}}{P_b} \\ &= \frac{1}{r} G \frac{V_b^4}{v_b^2} \frac{P_b}{P_b^2} \\ &= \frac{1}{r} G \left[\frac{V_b^4}{P_b^2} \right] \frac{P_b}{v_b^2} \end{aligned}$$

실계통에서,

$$\begin{aligned} \text{SHUNT LOSS} &= |I_{ig}|^2 \frac{1}{G} = (G V_b)^2 \\ &= G V_b^2 \\ \therefore \text{pu SHUNT LOSS} &= \frac{G V_b^2}{P_b} \end{aligned}$$

따라서 실계통과 시뮬레이터간 per unit shunt loss의 비

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{\text{pu shunt loss}}{\text{pu SHUNT LOSS}} = \frac{\frac{1}{r} G \left[\frac{V_b^4}{P_b^2} \right] \frac{P_b}{v_b^2}}{G \left[\frac{V_b^4}{P_b^2} \right]} \\ &= \frac{1}{r} \left[\frac{V_b}{v_b} \right]^2 \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \quad (4) \end{aligned}$$

여기서 주목해야 할 것은 (4)식의 ζ 는 (2)와 (3)

식의 k 와는 달리 전압기준(V_b, v_b), 전력기준(P_b, p_b)에 영향을 받는다는 점이다.

만약 앞에서 검토한 바와 같이 $r=1$ 로 택하여 $k=1, \eta=1$ 로 하는 경우 per unit shunt loss의 비, 즉 ζ 도 1 되게 하려면

$$\begin{aligned} \zeta &= \frac{1}{1} \left[\frac{V_b}{v_b} \right]^2 \left[\frac{P_b}{P_b} \right] = 1 \\ \text{즉} \left[\frac{V_b}{v_b} \right]^2 \left[\frac{P_b}{P_b} \right] &= 1 \text{이 되어야 한다.} \end{aligned}$$

즉 per unit shunt loss 를 갖게 하기 위하여는 실계통과 시뮬레이터의 base 간에는 다음 식이 만족되어야 한다.

$$\left[\frac{V_b}{v_b} \right]^2 = \left[\frac{P_b}{P_b} \right] \text{ 또는 } v_b = \sqrt{\frac{P_b}{P_b}} \cdot V_b$$

지금,

실계통 전력 base : 1000 MVA

시뮬레이터 전력 base : 10 VA

로 하는 경우 per unit shunt loss를 맞추기 위하여는

실계통	시뮬레이터	
345KV	345×10^3	$\sqrt{10 / 10^9} = 34.5V$
154KV	154×10^3	$\sqrt{10 / 10^9} = 15.4V$

마찬가지로 다음 표를 만들 수 있다.

시뮬레이터의 전력 base	V_b (실계통)	v_b (시뮬레이터)	비교
5VA	765 KV	54.1 V	$V_b \times 7.07 \times 10^{-5}$
	345	24.4	
	154	10.9	
2.5VA	765	38.3	$V_b \times 5.0 \times 10^{-5}$
	345	17.3	
	154	7.7	

6.2 디지털 방식의 시뮬레이터의 운영체제시스템

디지털 방식의 시뮬레이터는 통신방식 자체가 너무 다양하므로 통신방식의 결정이 가장 중요한 인자로서 기존 캐나다 Manitoba 연구소의 RTDS는 주파수 응답특성 5[KHz]를 상회하고 있다고 주장

하며 이 통신방식 자체를 노우-하우(Know-how)로써 공개적인 발표를 하지않고 있다. 여기에 채용된 CPU는 최대 44M FLOPS의 성능을 갖고 있으며 병렬처리용 하드웨어와 컴파일러 및 운영체계를 갖추고 있다.

디지털 방식은 개발하는 업체마다 각기 특성을 갖고있어 제작업체에서 가장 다루기 쉽고 경험이 축적되어 있는 기술을 도입할 것으로 예상되어 계통규모의 1 step 계산시 소요시간에 대한 조건을 요구하면 이를 달성할 수 있는 운영시스템을 구성할 것으로 판단된다.

7. 결 론

전력계통 시뮬레이터는 전력엔지니어에게 전력계통을 손쉽게 다룰 수 있는 해석수단을 새로이 제공하여 주어 장치 발생 가능성이 있는 청년기 해당되는 우리 전력시스템의 문제점을 미리 진단하여 대책을 세울 수 있고 전력운영 엔지니어에게 효과적이고 흥미로운 교육훈련용으로 사용이 가능하여 보다 신뢰성있는 계통운전에 일조를 할 것이다. 또한 이렇게 시뮬레이터를 이용한 검토가 수행된다면 전력회사에 대한 신뢰성이 증가하고 대인 홍보시에 시뮬레이터는 전기 기술자 및 일반국민들에게 전력회사의 신뢰감을 줄 수 있다.

전력계통 시뮬레이터의 국내설치는 시대적 요청으로 반드시 시행되어야 할 프로젝트이다. 현재 기술발전속도로 보아 디지털 기술이 중심이 되는 형태가 바람직하다고 보이며 하이브리드 방식은 국산화 가능성이 매우 높고 디지털 방식은 발전속도가 매우 빨라 긍정적인 검토가 필요하다고 보인다. 아울러 종합적 기술 집약체인 시뮬레이터 제작은 기술 파급효과가 크므로 가능한 한 국내개발이 바람직하다. 제작해야 할 시뮬레이터 규모는 2031년 계통을 대상으로 하고 만약을 대비하여 계통축약 프로그램을 내장하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] 日本 電力中央研究所, "交流. 直流電力系統シミュレータの開発", 1984.

[2] M. M. Gavrilovic and J. Belenger, "IREQ AC Power System Simulator", Institut de Recherche d'Hydro-Quebec, Canada, 1984.

[3] FUJI ELECTRIC, "大規模 アナログシミュレータ 及び 發電所用適應形多變 數制御システム", 1989, Jan.

[4] R. R. Shoultz, M. S. Chen, "Development of a Unique Electric Power System Parity Simulator Laboratory", Research Proposal, Energy Systems Research Center, UTA, 1986.

[5] R. Joetten, T. Web, J. Wolters, H. Ring, B. Bjoernsson, "A New Real-Time Simulator for Power System Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-104, No. 9, pp. 2604-2611, Sep. 1985.

[6] Hirosuke Doi, Masuo Goto, Tadao Kawai, Sumio Yokokawa, Tomohiro Suzuki, "Advanced power System Analogue Simulator", IEEE Trans. on PWRs, Vol. PWRs-5, No. 3, pp. 962-968, Aug 1990.

[7] D. Brandt, R. Wachal, R. Valiquette, R. Wierckx, "Closed Loop Testing of A Joint Var controller Using A Digital Real-Time Simulator", IEEE Trans. on PWRs, Vol. PWRs-6, No. 3, pp. 1140-1146, Aug. 1991.



김정훈(金正勳)

1955년 9월 13일생. 1978 서울공대 전기공학과 졸업. 1981 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989 미국 Penn State Univ. 방문교수. 현재 홍익 공대 전기 제어공학과 부교수 겸 학과장