

PSS/E 시뮬레이션에 의한 발전기 위상각 데이터를 시각화하는 새로운 인터페이스 구현

송종석*, 박창현**, 박정수*, 장길수*
*고려대학교, **부경대학교

A novel interface for the visualization of the generator rotor angle data acquired from PSS/E simulation

*Chong Suk Song, **Chang Hyun-Park, *Jungsoo Park, *Gilsoo Jang
*Korea University, **Pukyong National University

Abstract - For an efficient operation of today's power system, power engineers are required to analyze enormous amount of data. Owing to the development of technology, a variety of power systems computational tools have been developed and commercialized. However, the practical use of computational tools not only requires that people be able to understand the results the tools produce but also extract the required information from the simulation results which generally involves massive amount of information. This paper introduces a novel interface that would complement the drawbacks in the visualization of data of the pre-existing tools and assist the user in readily retrieving the required information, in this case the rotor angle data, of the simulated system thereby making power system analysis more feasible to be effectuated.

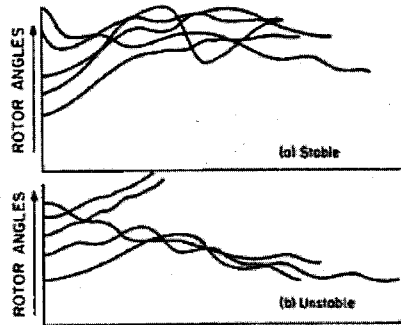
1. 서 론

전력계통 안정도는 어떠한 외란이 가해졌을 때 계통이 안정적인 운전점으로 회복하는 능력이라고 정의될 수 있다[1]. 과도 안정도 해석은 안정도 판별을 위해 시스템을 관찰하고 몇 초 동안의 전력 시스템의 동특성을 관찰하기 위해 실시한다. 전력 시스템이 안정적으로 운영하기 위해서는 해당 계통에 연계된 모든 동기 발전기들이 AC 시스템과 동기를 이워야 하고 이러한 계통을 동기화 운전이 되도록 하는 것이 운영자의 주된 목적이다.

하지만 오늘 전력계통의 엄청난 규모와 다른 계통과의 상호 연결로 구성되어 있어 계통의 불안정 요소를 찾아내는 것이 쉽지가 않고 고려해야 하는 요소들이 워낙 많이 때문에 계통 운영자들이 안정적인 운영을 위해서 올바른 판단을 내리는 작업에 많은 어려움을 겪고 있다. 전력계통의 비선형적인 특징 때문에 직감으로 어떠한 발전기가 불안정한지를 식별하는 것이 거의 불가능하고 시뮬레이션의 시행착오를 통해서 찾을 수밖에 없다. 계통 해석 툴이 정확하고, 견고하게 만들어졌더라도 사용자가 결과를 이해하지 못하거나 필요한 결과 또는 데이터를 추출해낼 수 없으면 실용적이지 못할 것이다[2].

현재 사용하고 있는 상용 툴 PSS/E 29 버전에서는 시간에 따른 발전기 위상각 데이터를 그래프 형태로 출력해주지만 단 6개의 채널만 이용할 수 있는 단점이 있다. PSS/E 30 버전에서는 채널의 수를 늘려서 이러한 단점이 보완되었다[3]. 발전기 위상각 안정도를 판별하기 위해서는 스윙 그래프를 보고 판단해야 한다. 그림1은 보통 사용자가 시스템의 안정도를 어떻게 판별하는지를 보여준다.

본 논문에서는 시간에 따른 발전기 위상각 데이터의 변화를 움직이는 바(Bar) 형태로 시각화하고 계통의 불



<그림 1. 안정한 경우와 불안정 경우일 때의 회전자 위상각의 응답 특성[4]>

안정한 발전기들이 자동적으로 보여주기를 위한 알고리즘이 적용된 새로운 인터페이스에 대해 소개를 한다. 본 인터페이스는 사용자가 많은 양의 데이터를 쉽게 파악이 되도록 하는 사용자 중심 환경을 제공해주면서 원활한 계통 운영에 기여하게 위해 만들었다.

2. 본 론

2.1 데이터 시각화

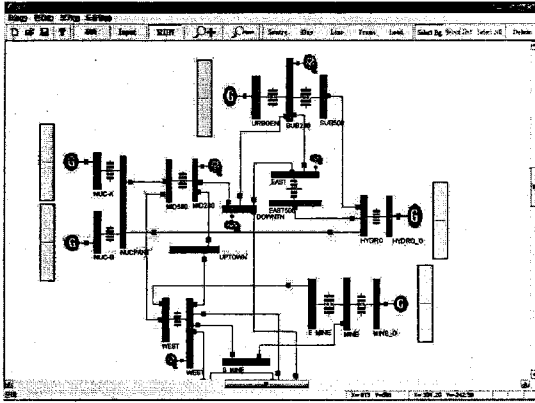
어떠한 외란을 분석하기 위해 계통 해석 툴을 실행시킬 때 결과로는 엄청난 양의 데이터가 나오게 되고 이러한 데이터를 분석하는데 많은 시간을 할애를 해야 한다. 다양한 데이터 시각화 기법들이 적용이 되더라도 사용자에게 데이터가 무엇을 나타내는지 정확하게 알려줘야 한다. 아무리 정교하고 눈에 확 띄는 기법을 사용하더라도 빠르고 효과적으로 내용을 전달하지 못하면 아무 이러한 화려한 기법들이 무의미하게 된다. 가장 중요하게 고려해야 할 요소는 정보를 표시하기 위해 시각화 기법을 사용할 때에는 해당 시각화 기법이 손쉽게 이해가 되고 데이터의 내용 전달이 확실해야 한다. 가령 예를 들면, 데이터를 3차원적으로 보여주게 될 경우에는 배경과의 착시현상으로 인해 2가지의 값을 비교하는데 제한이 있다.

2.2 데이터 시각화 인터페이스

개발된 데이터 시각화 인터페이스에서는 PSS/E 시뮬레이션에서 나오는 발전기의 회전자 위상각 출력 데이터를 시각화하고 출력 데이터에서 논문에서 설명된 알고리즘을 이용해 시스템에 있는 다수의 발전기 중에서 불안정한 발전기를 화면에 표시를 하는 것이 주된 목적이다.

2.2.1 입력 데이터

먼저 시뮬레이션을 PSS/E를 이용해서 나온 출력 데이터를 인터페이스에서 읽기가 가능하고 데이터 시각화가



<그림 2. .erc 파일을 연 상태에서의 시각화 인터페이스>

가능하도록 .dat 파일 형태로 변환을 한다. 본 인터페이스의 기능을 매우 간단하므로 두 가지의 단계를 거친다.
 i) 프로그램을 실행 후, .erc 파일을 부른다. 이 파일 형태는 시각화하고자 하는 시스템의 계통도가 그려져 있는 파일 형태이다.
 ii) 입력 파일을 부른다. 이 파일은 PSS/E 시뮬레이션 출력 데이터를 인터페이스와 호환이 되도록 하는 .dat 파일 형태이다.

그림 2는 인터페이스에서 .erc 파일을 연 상태를 보여주고 있다. 이 프로그램의 단점은 시각화하고자 하는 계통의 계통도를 그려야 하는 것이다. 하지만, 전체의 계통에 대해 시뮬레이션을 해야 하는 동적 시뮬레이션을 다룰 경우에는 같은 시스템에 대해서 실행하는 경우가 대부분이어서 계통도를 그리는 작업을 한번만 수행하게 되면 .erc 파일 형태로 저장을 해서 추후의 시뮬레이션을 위해 재사용이 가능하게 된다.

2.2.2 시각화(Visualization)

시각화 과정을 위해 필요한 두 개의 파일을 열고나서는 실행(RUN)을 누른다. 그림 5는 실행 버튼을 누르고 난 캡처 화면이다. 인터페이스에서의 데이터 시각화는 두 가지의 요소를 보여주고 있다.

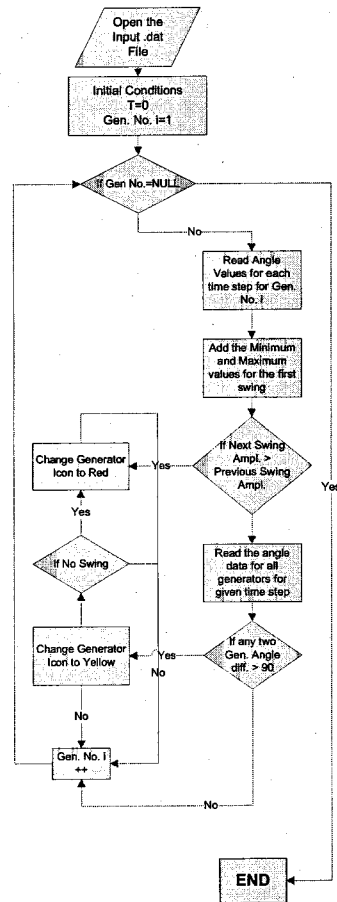
- i) 발전기 아이콘의 색깔이 회전자 위상각의 상태에 따라 변하고 이 부분은 다음 섹션에서 상세히 설명되었다. 외란이 발생할 때에는, 사고가 일어난 후에 회전자 각도에 동요가 일어나는 것을 보여주기 위해 발전기 아이콘의 색깔이 갈색으로 변하게 된다.
- ii) 발전기 바로 옆에는 시간에 따른 발전기 위상각의 변화에 따라 크기가 변하게 되는 바(Bar)가 위치되어 있다. 녹색 바는 발전기의 스윙에 따라 오르내리게 되고 .dat 파일 안에 있는 발전기 위상각 데이터에 의해 업데이트가 된다.

2.3 발전기 회전자 위상각 안정도 알고리즘

현재는, 발전기의 안정도 판별을 위한 두 가지의 방법이 있다. 첫째는 equal-area criterion이고 둘째는 Energy Function 해석이다. Equal-area criterion은 무한 모선에 연결되어 있는 1발전기의 경우에만 해당되고 있고 상세하게 모델링된 동기 발전기를 가진 다수 발전기 계통에는 해당이 안 된다[5]. 후자를 고려했을 때 각 발전기의 Energy Function을 정의하는 것이 쉽지 않을 뿐만 아니라 이러한 개념을 틀에 적용하는 것이 쉽지 않다.

기존 방식을 이용하지 않고 본 논문에서는 시스템이 불안정한지 안 한지를 판별할 수 있는 간단한 알고리즘을 소개하고 있다. 인터페이스에서는 위의 두 방식을 또

는 미분방정식을 사용하지 않고 단지 PSS/E 시뮬레이션 출력이 제공하는 회전자 위상각 데이터만 활용한다. 발전기는 두 가지 이유로 불안정하게 된다. 첫째로는 한 개 또는 다수의 발전기의 위상각이 시스템에서의 다른 발전기들의 위상각과 벌어지게 될 경우이고 둘째로는 한 개 발전기의 스윙 진폭이 시간에 따라 차차 증가하게 될 경우이다. 본 알고리즘은 이러한 두 가지의 요소를 고려해서 만들어졌고 그림3은 본 논문에서 사용한 알고리즘의 흐름도를 보여주고 있다.



<그림 3. 데이터 시각화 알고리즘의 흐름도>

이 알고리즘은 크게 두 가지를 수행하게 된다:

단계 1:

이전의 스윙과 현재의 스윙 간의 비교

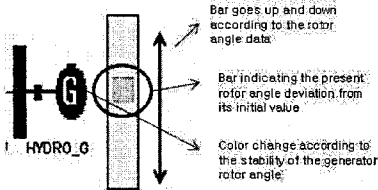
만약 현재의 스윙이 이전의 스윙보다 진폭이 클 경우에는 발전기 아이콘 색이 황색으로 변하게 된다. 또한 다가오는 스윙에서의 진폭이 작아지지 않을 경우에는 발전기 아이콘 색이 적색으로 변하게 된다.

단계 2:

해당 time step에서의 발전기들의 위상각 비교

이론적으로는 1기 무한대 모선 계통이 있을 경우에서 두 개의 모선간의 위상차가 90도 이상을 벌여질 경우에는 계통이 불안정하게 된다. 하지만 상호 연결된 계통에서는 두 개의 모선간의 위상차가 90도 이상이 벌어져도 운전점을 형성하는 경우가 있다. 위상차가 90도 이상을 벌여졌을 경우에는 새로운 운전점을 형성하더라도 현재 계통이 임계점 근방에서 운전을 하고 있기 때문에 이리

한 상황을 사용자에게 알리기 위해 해당 발전기 아이콘들을 다른 색으로 표시하게 된다.



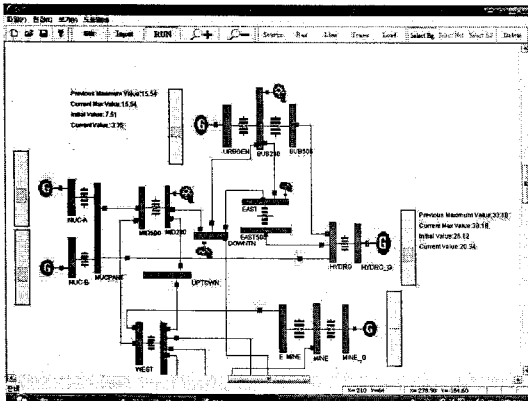
<그림 4. 발전기 회전자 위상각에 활용된 시각화 기법>

현재 time step에서 발전기들의 위상각을 비교한다. 해당 time step에서 발전기의 위상각이 계통의 다른 발전기와의 위상편차가 90도 이상일 경우에 해당 발전기는 스윙의 발생 유무를 위해 따로 확인한다. 만약 스윙이 발생하게 될 경우에는 발전기 아이콘이 황색으로 변하게 되고 다시 단계1로 돌아가게 된다. 그러나, 스윙이 없을 경우에는 해당 발전기 아이콘의 색이 바로 적색으로 변하게 된다.

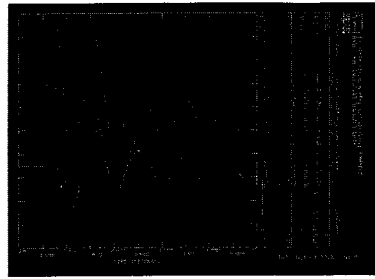
또한, 발전기 아이콘과 바 옆에는 위상각의 초기값, 현재값, 최고값 그리고 시뮬레이션이 끝나게 될 경우의 최종 time step에 해당하는 값을 표시해서 사용자에게 해당 발전기의 현재 상태에 대해 수치적으로 알려준다.

2.3 IEEE 테스트 계통 시뮬레이션

본 논문에서는, 6기 23모선 IEEE 테스트 계통을 적용해서 3003-3005 선로에서 0.5초에서 사고가 발생하고 0.6초에서 사고 선로가 제거되는 시나리오를 구성했다. 해당 계통을 PSS/E로 먼저 시뮬레이션 한 후에 결과값을 이용해서 인터페이스에 해당 데이터를 적용했다. MINE_G를 시스템의 슬랙 모션으로 설정한 후에 발전기 위상각들의 슬랙 모션에 대한 상대적인 위상차로 표현을 했고 그림 6을 보게 되면 모든 발전기들이 새로운 운전 점을 찾아가는 것을 볼 수가 있고 각도 차이도 90도 이내로 유지가 되는 것을 볼 수가 있다. 그림 5는 위의 시나리오를 적용해 PSS/E 시뮬레이션을 통해서 만든 .dat 파일을 이용해서 인터페이스에서 IEEE 테스트 계통을 실행시킨 캡처 화면이다. 0.5초에서 사고로 인한 발전기 아이콘의 색이 갈색으로 변한 것을 제외하고는 발전기 아이콘의 색이 황색 또는 적색으로 변하지 않은 것을 볼 수가 있다.



<그림 5. 3003-3005 1ckt. 선로 사고로 인한 인터페이스에서의 시뮬레이션 화면>



<그림 6. 3003-3005 1ckt. 선로 사고로 인한 테스트 계통 발전기의 스윙 커브 그래프>

3. 결 론

계통에서의 불안정한 구성 요소를 사용자에게 효과적으로 전달하기 위해 PSS/E 시뮬레이션 출력 데이터를 시각화할 수 있는 새로운 인터페이스를 본 논문을 통해 소개하였다. 본 논문에서는 Test 계통에만 적용을 했고 발전기 개수가 적기 때문에 인터페이스의 그다지 실용적이지 않아 보인다. 하지만 한전 계통과 같은 복잡한 계통에 적용을 할 경우에는 인터페이스의 확대/기능을 이 용 전체 계통 또는 계통의 일부를 한눈에 볼 수 있고 구분이 잘 되는 색으로 표시를 했기 때문에 필요한 정보를 빠르게 얻을 수 있으므로 전력계통의 안정적인 운영에 많은 도움이 될 것으로 예상되고 있다. 더구나 현재 계통에서의 분산전원 및 새로운 신재생에너지원의 도입으로 인해 계통의 안정도에 영향을 미치는 요소가 점점 많아짐으로써 해당 인터페이스가 해당 계통의 상태를 한눈에 알아볼 수 있도록 해주는 대개체가 되어 효과적인 전력계통의 운영에 크게 기여가 될 것으로 기대하고 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

[1] Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V. "Definition and Classification of Power System Stability", *IEEE Transactions on Power Systems*, 2004, 19: 1387-1401.
 [2] Mahadev, P.M., Christie, R.D., "Envisioning Power System Data: Concepts and a Prototype System State Representation", *IEEE Transactions on Power Systems*, 1993, 8: 1084-1090.
 [3] PSSTME Version 31.0], Siemens Power Transmission & Distribution Inc.
 [4] Pai, M. A. "Energy Function Analysis For Power System Stability", Kluwer Academic Publishers, 1989.
 [5] Kundur, P., "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc., 1993.