

전력계통 현상 시각화 MMI 개발에 관한 연구

이욱화*, 박인권, 김 육, 이 진, 최종웅, 윤용범**, 장길수**
LG산전 전력연구소, 한전 전력연구원**

A Study of the development of a visualization MMI for Power System Phenomenons

Wook-Hwa Lee, In-Kun Park, Wook Kim, Jin Lee, Jong-Woong Choe, Y.B. Yoon**, G.S. Jang**
LG Industrial Systems, Electrotechnology R&D CENTER, KEPRI**

Abstract - This paper presents a prototype of visualization MMI of the Power System Phenomenon, specially synchronous machine dynamics and frequency deviations of power system for KEPCO's Enhanced Power System Simulator(KEPS)[1]. And some visualization designs of the Power System Phenomenons such as voltage stability, transient stability, SSR, Line overflow, and voltage deviations are presented. The prototype MMI has included the animations & 3D graphics presentations for synchronous machine rotor deviations and frequency deviations. So, a user can intuitively acquire the basic concepts of the power system oscillations. Finally, it will be scheduled to development of the various visualization MMI of the power system phenomenons for development and installation of KEPS.

1. 서 론

오늘날의 전력계통은 대규모, 복잡화 등으로 다양한 현상들이 발생되는데, 이러한 현상들의 직관적인 관찰을 위해 시각화 작업이 필요하다. 기존의 계통현상 시각화는 시뮬레이션 후 저장된 데이터를 그래프로 그려보는 수준이었는데, 직관적이지 못하며 대규모 계통의 경우 그 현상을 전체적으로 관찰하기 힘들다. 최근 전력계통 시각화 연구의 방향은 비실시간 시뮬레이션의 결과를 3차원 애니메이션화 시켜 직관적으로 느낄 수 있도록 재생하는 방향으로 진행되고 있다[2,3]. 본 논문은 계통현상 시각화 기술과 실시간 시뮬레이터를 접목하려는 시도로써, 한국전력의 디지털 전력계통 시뮬레이터 시스템(KEPS)의 제작과 관련하여 계통현상 시각화 MMI의 개발을 위한 시각화 방안과 prototype 형태의 시각화 프로그램을 제시한다. 제시된 프로그램은 시각화의 세계적인 추세를 반영하고 시뮬레이션의 활용도를 높이기 위해 3차원 그래픽과 애니메이션 등을 적용하여 발전기 동요현상과 주파수 변동 특성을 직관적으로 관찰할 수 있도록 하였다. 또한, 전력계통 현상들에 대한 시각화 대상을 선정하였고 각각에 대한 시각화 방안을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 계통현상 시각화 대상

한국전력의 2010년 예상 계통에 해당하는 최대규모등가시스템을 지정된 time-step 이내에 실시간으로 시뮬레이션 할 수 있는 디지털 전력계통 시뮬레이터 시스템(KEPS)의 시각화 MMI에 포함될 시각화 대상을 고려하였다. 현실적으로 전력계통의 모든 현상을 시각화하기는 어렵다. 따라서, 전력계통 현상 중 시각화를 통하여 그

특성을 가장 잘 분석할 수 있는 해석분야를 선정하여야 할 것이다. 이러한 기준으로, 본 논문에서는 발전기 동요 현상, 주파수 변동현상, 전력부하 증감에 따라 운전점이 P-V곡선을 따라 움직이는 현상, 고장발생에 따라 운전점이 이동해 가는 현상, 축 비틀림 현상, 송전선로 과부하, 고조파발생으로 인한 전력설비의 파괴현상 등을 고려하였다. 고려된 대상 중에서 발전기 동요현상과 주파수 변동 현상은 3차원 그래픽과 애니메이션을 이용하여 시각화를 구현하였고, 다른 시각화 대상들에 대해서는 구체적인 시각화 방안을 제시하였다. 제시된 발전기 동요현상 및 주파수 변동 시각화 프로그램과 대상들에 대한 시각화 방안을 살펴보면 다음과 같다.

2.2 발전기 동요현상 시각화

발전기 동요현상의 효과적인 판측을 위해서는 발전기의 주요 파라미터들을 시각화해야 할 것이다. 동요특성을 나타내는 주요 변수 값들로는 발전기 회전자 상차각, 회전자 각속도, 전압, 전력 등이다. 하지만, 이들 모두를 시각화하는 것은 도리어 동요 현상을 직관적으로 이해하는데 장애를 줄 수 있어 가급적 회피해야 할 것이다. 따라서, 발전기 동요현상을 가장 직접적으로 보여주는 회전자의 상차각만 동화상 또는 3차원 그래픽으로 보여주고 나머지 변수들은 postprocessing 형식으로 사용자 요구시, 재생시켜 보여주는 방안이 타당할 것으로 사료된다. 이러한 방안에 근거하여 본 논문에서는 발전기 동요현상에 대한 직관적인 인식을 위해 동화상 프로그램과 대규모 설계통 시각화를 위한 3차원 그래프를 이용한 시각화 프로그램의 prototype를 구현하였다.

2.2.1 동화상을 이용한 발전기 동요현상 시각화

발전기 동요현상을 비교적 직관적으로 관찰할 수 있도록 상차각의 변화를 동화상을 통하여 보여줄 수 있는 프로그램 prototype을 구현하였다. 구현된 동화상 프로그램의 기능을 살펴보기 위해 3기 16모선 예제 계통을 선정하였다. 적용된 사고 시나리오는 모의 직후, 예제 계통의 2번 모선에 3상 단락사고를 발생시킨 후 0.19초가 지난 다음 사고를 제거한 경우이다. 모의 결과는 그림 1에 나타나 있는데, 사고 지점 가까운 곳에 위치한 두 발전기는 사고의 영향으로 회전자에 큰 스윙이 발생하지만 시간이 지나감에 따라 안정화 방향으로 진행됨을 직관적으로 알 수 있다. 또한 그림 2는 발전기의 동요특성을 세밀하게 관찰할 수 있는 재생 기능을 보이고 있다. 본 동화상 시각화 프로그램 prototype은 5기 이하 소규모 계통의 시각화 구현을 수행한다.

2.2.2 3차원 그래프를 이용한 발전기 동요현상 시각화

발전기 동요현상의 시각화를 위한 또 다른 시도로써 다기계통의 발전기들의 동요현상을 3차원 그래프로 표현

할 수 있는 프로그램 prototype을 구성하였다. 이는 대규모 실계통의 발전기 동요현상을 시각화할 수 있는 가능성을 제시하고 있다고 판단되는데, 제시된 3차원 시각화 프로그램의 특징은 다음과 같다. 첫째, 3차원용 그래픽라이브러리인 OpenGL을 이용하여 신속하고 정밀한 애니메이션을 구현하였다. 둘째, 단순 ascii 파일 형식을 입력형식으로 취하여 여러 프로그램으로부터 취합한 데이터로부터 입력받은 데이터를 바탕으로 한 애니메이션의 구축이 가능하다. 셋째, 단순하고 직관적인 사용자 인터페이스 및 명료한 애니메이션은 계통현상에 대한 효율적 이해 및 전달을 가능하다. 넷째, 대량의 데이터를 사용자에게 의미를 가지는 상정으로 전달할 수 있다. 그 시각화의 예는 그림 3에 나타나 있는데, 13기 발전기 회전각의 3차원 애니메이션을 보여주고 있다. 여기서, 화살표가 표시된 직선은 x,y,z 기준축을 표시하며 기울기를 가진 직선들은 각 발전기의 회전자의 회전각을 표시한다. 또한 키보드를 이용하여 다양한 위치로 사용자의 시점(ViewPoint)을 이동할 수 있으며 이는 다기계통 발전기 동요현상의 직관적인 이해에 도움을 줄 수 있다.

발전기 동요현상 시각화 구현을 위해서 동화상 및 3차원 그래프를 이용한 시각화 프로그램 prototype을 구성하였다. 발전기 동요현상을 동화상을 통하여 보여줌으로 직관적인 관찰을 가능케 하였고 3차원 그래프를 통한 시각화로 대규모 실계통의 발전기 동요현상의 시각화 가능성을 제시하였다.

2.3 주파수 변동에 대한 시각화

전력계통은 다양한 설비구성과 다수 지역들이 연계되어 있고, 또한 철새 없이 부하가 변동하고 있으며 이로 인한 계통 주파수 및 연락선의 전력조류 등의 변동이 항상 존재한다. 이러한 주파수 변동을 시각화하기 위하여, 그림 4와 같은 2 지역으로 연계된 모델계통을 가진 프로그램 prototype을 구성하였다. 구성된 프로그램은 돌발적 부하 변동으로 인한 계통주파수의 변동에 대한 직관적인 관측이 가능하며, 계통의 자동부하주파수 시스템의 파라미터 변화로 인한 연계된 계통의 주파수변동을 시각화하는 기능을 가지고 있다.

구현된 프로그램에서 주파수 변동을 모의하였는데, 모의 시나리오는 모의 시작 직후에 지역 1에서 200MVA의 돌발적인 부하의 변동이 발생하며 이 부하 변동은 모의가 끝날 때까지 지속되며 모의 시간은 5 초이다. 모의시나리오 설정한 후 실행하였는데, 그림 5는 지역 1에서 200MVA의 돌발 부하로 인한 주파수 변동을 자동부하주파수 시스템이 제어하는 과정을 2차원 그래프로 보이고 있다. 이상의 특징을 가진 주파수 변동 시각화 프로그램은 주파수 변동의 시각화 구현을 위한 효과적인 방안을 제시하고 있다. 즉, 계통에 발생된 돌발적인 변동에 따른 계통주파수의 변동을 2차원 그래프로 보여주고 있어서, 사용자에게 주파수 변동에 대한 직관적인 관찰을 가능케 한다. 그러나 이 프로그램 prototype은 단지 주파수 변동의 시각화를 위한 하나의 시도에 불과하다. 따라서, 주파수, 전압 변동 등의 효과적인 시각화 구현을 위한 다양한 방법을 시도하고 이를 서로 비교 검토한 후, 최종적인 방안을 선택하여야 할 것으로 사료된다.

2.4 부하증감에 따른 P-V곡선 변화 시각화 방안

전력계통의 P-V곡선은 실제 계통을 운전하는 실무자들에게 전압안전성을 판별하는 기초적인 정보를 제공한다. 이러한 특성을 갖는 P-V곡선의 시각화 구현 방안으로, 주요 대상모선에 대한 총부하 P(MW), 모선전압 V(KV)를 양 축으로 하는 P-V곡선이 2차원 그래프 형

태로 표시되어야 하며, 계통의 운전상태에 대한 전압 여유(KV), 유효전력 여유(KW), 조상설비 여유(MVA) 등의 전압안전성 평가 결과도 바차트 및 문자 등으로 시각화되어야 할 것으로 사료된다[4].

2.5 고장에 따른 계통 운전점 이동현상 시각화 방안

전력계통 안정영역과 불안정영역을 표시하고 고장발생에 따라 운전점이 이동해 가는 현상은 과도안정도 현상으로 분류할 수 있다. 따라서, 과도안정도의 시각화 구현을 위해서는 안정도 해법들에 근거하여 시각화를 구현하여야 할 것이다. 즉 소규모 계통에 대한 과도안정도의 시각화는 안정성을 신속히 판별할 수 있는 등면적법 또는 위상면해석법 등을 근거로 구현하여야 할 것이다. 그리고 대규모계통에 대해서는 판별의 정확성이 높고 비교적 간단한 2차원 그래프로 시각화 구현이 가능한 단단법 또는 정확성은 다소 부족하지만, 판별의 신속성을 주는 에너지함수법 등을 근거로 다기계통의 과도안정도 시각화를 구현하여야 할 것이다.

2.6 축 비틀림 현상 시각화 방안

축 비틀림 현상(Subsynchronous resonance : SSR)은 발전기와 송전선으로 이루어진 전기시스템이 발전기-터빈 등으로 구성된 기계시스템과 동기 주파수보다 작은 고유주파수로 에너지를 상호 교환하면서 진동하는 상태를 의미하는데, 심할 경우 터빈과 발전기의 축을 파괴하는 결과를 냉기도 한다. 이와 같은 특성을 갖는 SSR을 시각화하기 위해서는 시뮬레이터로부터 실시간으로 출력되는 시간에 대한 발전기 터빈 축의 토오크 값을 전송 받아 사용자의 요구시, 2차원 그래프를 통하여 화면으로 표현하는 방안을 제안할 수 있다.

2.7 송전선로 과부하 현상 시각화 방안

효과적인 송전선로 과부하의 시각화 구현 방안으로, 송전용량 한계 등을 용이하게 관찰할 수 있도록 애니메이션을 적용하여 표현하는 것이 가장 효과적이며 이를 위해 3차원 그래픽을 사용하는 것이 바람직함을 도출할 수 있다[5]. 즉, 송전선로의 과부하를 시각화하기 위해서 3차원 형태의 송전선로의 굵기, 색깔, 무늬의 흐름 등을 복합적으로 사용하는 방안이 매우 효과적인 방법으로 사료되며 이에 대한 구체적인 시각화 작업은 현재 진행 중에 있다.

2.8 고조파발생으로 인한 전력설비의 파괴현상 시각화 방안

고조파발생으로 인한 전력설비 혹은 전자기기의 파괴현상의 시각화 구현을 위해서는 기기자체에 대한 전자기 특성의 모델링, 현장의 실제 사례 및 해당 데이터의 수집, 현장 기술자들과의 상호 협조 등이 필요할 것으로 예상되며 또한 매우 불규칙한 파괴현상의 시각화에 대한 기술적인 가능성에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 한국전력의 디지털 전력계통 시뮬레이터 시스템(KEPS)의 제작과 관련하여 계통현상 시각화 MMI의 개발을 위한 시각화 방안과 prototype 형태의 시각화 프로그램을 제시하였다. 즉, 발전기 동요현상을 동화상을 통하여 시각화함으로 직관적인 관찰을 가능케 하였고, 3차원 그래프를 통한 시각화로 대규모 실계통의 발전기 동요현상의 시각화 가능성을 나타내었다. 또한,

고려된 다른 시각화 대상들에 대한 구체적인 시각화 방안을 제안하였다. 그러나 제시된 프로그램은 현재 시제품 단계에 있고 대규모 설계통으로 실제 확장하지 못한 상태이다. 따라서, 계속적인 프로그램 개선작업과 설계통 적용을 위한 후속 연구가 뒤따라야 할 것이다. 그리고 다른 대상들에 대한 시각화 방안의 실제 구현작업은 현재 진행 중에 있다. 보다 효과적이고 직관적인 계통현상 시각화 MMI를 제작하기 위해서는 무엇보다도 시각화 디자인이 중요함으로 제시된 프로그램 및 시각화 방안에 대한 충분한 의견 수렴이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력, LG산전, “전력계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치”, 연구개발 계획서, 1998.
- [2] T.J. Overby et al., “Understanding Third-party access issues: A simulation and Visualization tool for nontechnical personnel”, proceedings of Power System Computation Conference, Germany, Aug., 1996
- [3] 신중린, 이옥화, “전력계통 운용 및 제어에 대한 교육 및 훈련용 대화식 그래픽 소프트웨어 개발”, 전기학회 논문지, 제48권 8호, pp.932-940, 1999년
- [4] M.Suzuki, et al, “Newly developed Voltage Security Monitoring System”, IEEE SM 492-9 PWRS, 1991.
- [5] Gronquist et al., “Animated Vectors for visualization of power system phenomena”, IEEE Trans., on PS, Vol.11, No.1, Feb., 1996.

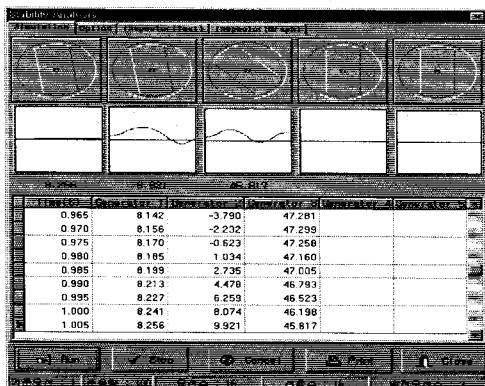


그림 1. 동화상을 통한 발전기 동요현상 시각화

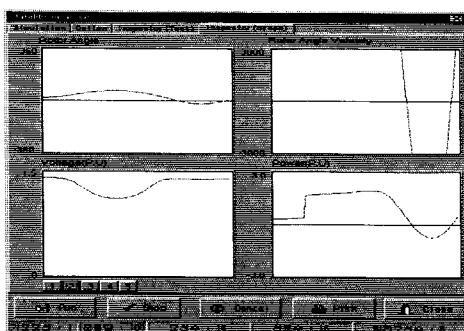


그림 2. 그림 1의 #2 발전기를 재생 기능으로 관찰한 경우

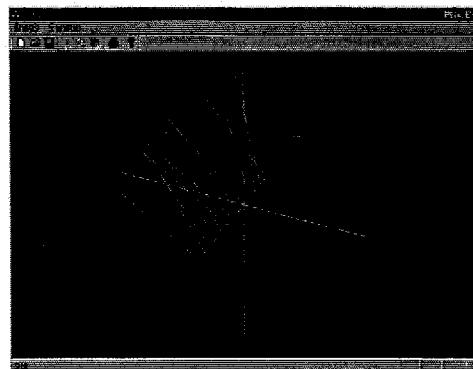


그림 3. 3차원 그래프를 통한 발전기 동요현상 시각화

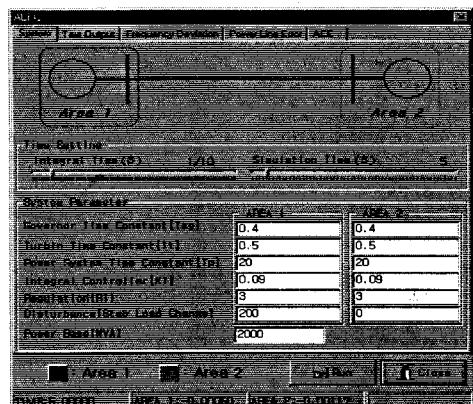


그림 4. 주파수 변동 시각화를 위한 원도우 화면

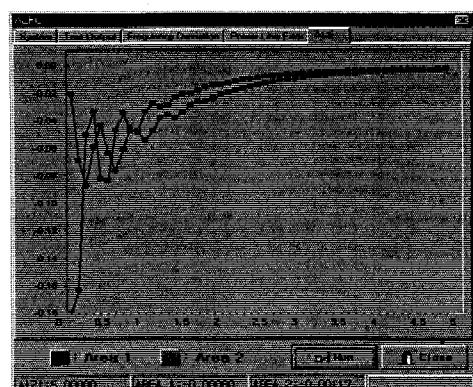


그림 5. 그래프를 통한 주파수 변동 시각화