

전력계통 광역정전 예방을 위한 시각화 기법

허진 문영환 오태규
한국전기연구원

A Visual Techniques For Preventing Blackout in Power System

Jin Hur Young-Hwan Moon Tae-Kyoo Oh
Korea Electro-technology Research Institute(KERI)

Abstract - 2003년 8월 14일 미국 동북부와 캐나다 동부지역을 포함한 북미 지역에서 발생한 대정전을 비롯하여 비슷한 시기에 유럽, 아시아, 중남미 등 해의 여러 곳에서 복합적인 원인에 의해 광역정전사고가 발생하여 이로 인한 경제적 손실과 사회적 피해가 막대하였다. 특히 사회기반시설의 기능 마비로 인한 사회적 혼란 양상은 전력공급 안정성 확보를 국가재난방지대책 차원에서 검토되어야 한다는 사회적 인식확산의 계기가 되었고 국내의적으로 광역정전을 예방하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되었다. 특히, 계통운영자는 외란과 같은 계통사고 시 계통상태 변화 및 결과를 신속히 인식하고 대응하여 광역정전으로의 확산을 방지해야 한다. 이러한 신속한 정보인식을 위해 전력계통 현황을 시각적으로 표현하여 전력계통을 감시하여야 한다. 본 논문에서는 광역정전 예방을 위한 3D 기법의 전력계통 시각화(Visualization) 기법을 제안한다.

결과 실시간 운영 및 감시 측면에서 한계를 가지고 있어서, 더욱 직관적이며 쉽고 명확하게 해석할 수 있는 새로운 전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화 시스템 및 시각화방법을 개발하여, 계통해석 전문가와 초심자 모두에게 유용하게 이용될 수 있도록 하는 것이 필요한 실정이다. 또한 국내와 같이 특징적인 전력계통에서 발전단에서 수요단으로 전력이 이동하는 이른바 복사조류 문제가 있는 경우, 전압의 크기보다 전로의 조류흐름과 위상각을 효과적으로 고찰하는 것이 중요하지만, 이에 대하여 적용할 수단으로 현재와 같은 국내외의 방법으로는 적용상 극히 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 광역정전 사례를 통한 시각화의 필요성과 해외에서의 계통 시각화 기법 및 현황을 살펴보고 향후 구현해야할 시각화 표현 기법을 제시한다.

1. 서 론

광역정전사고에 따른 사회적 혼란과 경제적 손실에 대한 대표적 사례로 2003년 8월 14일 미국 동북부 지역에서 발생한 대규모 정전사태를 들 수 있다. 초기 사고는 중부하 송전선로가 원인불명의 사고로 차단되면서 시작되었다. 차단된 선로로 전송되던 전력이 인접한 다른 중부하 선로로 이동하면서 해당선로가 열적으로 팽창하여 수목접촉사고로 진전되었고, 이러한 사고영향이 또 다른 인접선로와 계통으로 파급되면서 광역정전사고의 주요인으로 거론되는 소위 연쇄사고파급(cascading event)으로 발전하여 계통 불안정을 유발하였으며 계통운영자가 적절한 대책을 시행하기 전에 61,800 MW 부하가 차단된 광역정전사고로 복구되기에까지 40여 시간이 소요된 대형정전사태가 되었다. 북미 지역 대정전 사고 후 한 달 여 시간 차를 두고 영국, 이탈리아, 스웨덴/덴마크 전력계통에서 광역정전이 발생하였다. 영국의 경우는 전력설비 고장에 의한 단순사고였으나 북미 정전사태이후 퇴근길 교통이 혼잡한 시점에 발생하여 정전사고에 대한 사회적 관심을 다시 자극하는 계기가 되었다. 광역정전 경험 및 사례분석을 통해 여러 가지 방지대책이 수립되었으며 특히, 전력계통 상태의 시각화 문제는 항상 대두되고 있는 실정이다. 이렇듯 수많은 광역정전은 비상상황 발생시 운영자(Operators)가 비상조치를 행할 수 있는 시간영역 범위[1]를 가지고 있고 이러한 비상조치를 수행하기 위해서는 운영자는 계통의 현재 상태를 신속하고 정확하게 위한 새로운 시각적 기법이 필요하다.

국내 전력계통과 같이 수백 모선을 가지고 수백 또는 수천, 수만 가지의 가상 시나리오 분석 등의 경우에 가장 영향력이 큰 모선을 손쉽게 비교/판별/해석 하는데 취약한 실정이다. 국내 전력계통해석에 현재 사용되고 있는 대표적인 전력계통의 조류해석 프로그램(PTI사의 PSS/E)은 그래픽환경을 통한 사용자의 직관적인 정보 제공에 한계가 있으며 근래에 들어야 새로운 그래픽표현 기법을 탑재한 프로그램들(PowerWorld Simulator 등)이 등장하고 있다. 그러나 이러한 기법들을 검토한

2. 광역정전(Blackout)의 일반적 특징

국내의 광역정전 사례를 통해 공통점 및 원인을 살펴 보면 크게 계통설비 측면에서 계통설비 취약성 및 전력계통 기반시설의 유지보수 불량, 계통운영 측면에서 실시간 계통운영 제어 협조부족과 급전원에 대한 부적절한 교육 및 훈련 그리고 정책적인 측면에서 신뢰도 기준유지의 강제성 부재로 구분할 수 있다. 2003년 북미지역의 광역정전 사례만 살펴보다라도 3T라 하여 Tools(운영자가 광역감시 및 평가, 조치사항을 분석하기 위한 수단), Training(모의훈련 장치, 프로그램 및 조치확인 등에 관한 교육), Trees(수목관리)로 선정하였고 이에 대한 대책으로 북미신뢰도 위원회(NERC)에서 46개 권고사항을 제시하였다. 광역정전은 일반적으로 복잡한 상호작용으로 다양한 지역에서 다중 사고의 연속으로 발생하는 특징을 가지며 광역정전의 일반적인 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 단일 원인으로 유발되지 않음
- 정확하게 예측하기 어렵고 확률이 낮은 사고로 진행됨
- 계통계획에서 예상하기 어려운 수많은 계통운영 상의 상고장어 존재함
- 계통운영자가 외란이 빠른 속도로 진행되는 것에 비해 신속하게 대응하지 못함

현재 전력계통 감시는 급전운영실의 계통단순도(Rear Project)를 통해 송전선로의 조류량을 중심으로 감시하며 단순한 2D 형태의 평면도를 기준으로 765kV(자주색), 345kV(하늘색), 154kV(흰색), 운전발전기(녹색) 등 색구분의 시각적인 정보를 통해 계통의 변화를 운영자가 판단하고 감시한다. 이러한 정보제공은 계통변화에 따른 정적인 정보를 제외하지만 사고와 같은 긴급한 상황에 대한 동적인 정보 및 대응에 부족하다. 특히 사고와 같은 계통외란의 상황을 비주얼(Visual)하게 보여주어야 계통운영자가 대처를 위한 신속한 판단에 도움을 줄 수

있다. 또한, 계통의 전압, 주파수, 수력발전의 수계 등 세부정보는 별도의 정보취득을 통해 계통을 감시해야 하는 제약을 가지고 있다. 그림 1에 계통운영자의 Rear Project를 통한 전력계통 감시 예시를 나타내었다.

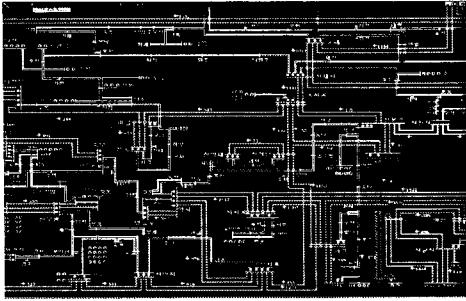


그림 1. Rear Project를 통한 전력계통 감시 예시

3. 전력계통 감시를 위한 Visualization 사례

현재 전력계통 시각화 및 시뮬레이션을 위한 툴로 미국의 Powerworld 프로그램이 많이 활용되고 있다. Powerworld 프로그램은 시뮬레이션 결과를 동적 애니메이션 기법을 이용한 2D로 표현하여 계통상태의 직관적인 정보를 제공하고 있다. 또한 일부 정보는 3D로 표현하여 시각적인 정보를 실제에 가깝도록 표현을 하고 있다. 그림 2에 2003년 북미 광역정전 시(15:51 EDT) 송전망 상태의 시각화 예시를 나타내고 있다. 이러한 시각적 표현은 계통의 위험도를 직관적으로 판단하여 신속한 대응을 할 수 있게 한다. 미국의 경우, Rear Project를 이러한 시각화 표현을 통한 계통감시를 제안[1]하고 있다.

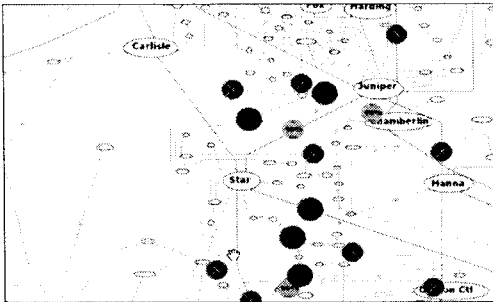


그림 2. 북미 광역정전 시각화(Visualization) 예시

Powerworld 시뮬레이터는 시각화를 표현하는 2D 기법으로는 선로의 파이차트(Pie Chart), 애니메이션을 이용한 선로 흐름(Animated Flow) 그리고 Contouring 기법과 녹색과 적색 등을 이용한 색 구분으로 운영자에게 즉각적인 정보를 제공하여 신속한 판단을 수행할 수 있도록 한다.

그림 3에 3D를 이용한 상정고장가혹도(Contingency Analysis Severity)의 사례[2]를 나타내었다. 상정사고 결과의 시각화 경우, 기존의 2D를 이용한 단선도에서 과부하 시 굵기, 색깔 또는 화살표 크기와 바차트(Barchart)를 통해 표현한 것에 비해 최근에는 3D를 이용하여 X 축에는 감시선로, Y축에는 상정고장, Z축에는 과부하율을 표현하여 시각적인 방법을 통해 계통정보를 제공한다. 그림 3에서는 상정고장 선로를 원주로 표현하고 전압은 파란색, 과부하는 붉은색 그리고 위반 정보는 색의 짙고 옅은 것으로 구분하였다. 또한 위반개수는 높이로 표현하는 시각화 기법을 이용하였다.

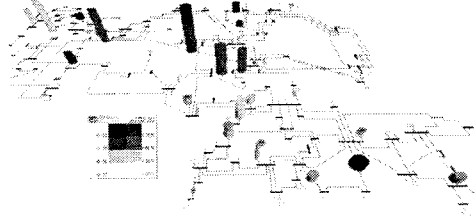


그림 3. 3D를 이용한 상정고장가혹도 시각화

그림 4에 일본의 동적 시각화 사례를 나타내었다. 그림 4의 경우는 아래 그림과 같이 구를 이용하여 전력계통 동적해석 데이터를 표현하고 구의 크기를 전압의 크기, 구의 상하 움직임으로 위상을 표현하고 있지만 이 역시 수많은 모션을 표현하는데 적절하지 못하고 직관적으로 파악하기도 힘들다는 어려움이 있다.



그림 4. 일본의 동적 시각화 사례

4. 광역정전 예방을 위한 시각화 기법 제안

전력계통의 조류해석 결과에서 가장 중요한 것은 계통 모션 및 발전기의 전압크기와 위상의 표현, 유효전력과 무효전력의 흐름에 대한 표현이다. 현재 전력계통의 조류 상태를 2차원으로 표현하는 것은 잘 되어 있으나 동적인 실시간 표현은 매우 제한적이며 3차원 표현에서는 원기둥의 높이로 전압의 크기를 나타내지만 위상의 표현은 나타내지 못하고 있어 중요한 3차원 표현은 극히 미진한 상태이다. 본 논문은 전력계통의 조류 상태 및 계통상태 감시에 있어서 정적 및 동적의 조류해석 데이터를 표현하는 기법으로 해석 경험의 전문성에 관계없이 직관적으로 해석할 수 있는 전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화 시스템 및 시각화 방법을 제공하고자 한다.

4.1 3D 입체 시각화 기법 개요

전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화 시스템은 각 모션의 전압 및 위상과 각 선로의 조류흐름과 선로 용량을 포함하는 전력계통 데이터베이스(DB) 구축, DB의 전력계통데이터를 이용하여 각 모션의 전압 및 위상과 각 선로의 조류흐름과 선로 용량을 3차원적으로 모델링 그리고 전력시스템 시각화 엔진에서 3차원 모델링 데이터를 디스플레이에 표시하는 것을 특징으로 한다. 전체계통을 이와 같은 기법을 적용하면 계통이 하나의 밀발 형태로 구현하고 다중시점(Multi-view point) 기법을 이용하여 사고모션 및 불안정안 모션의 판별을 쉽게하여 해당 대응조치(Control Action) 및 감시를 수행할 수 있다.

전력계통 3차원 모델링 기법은 각 모션에서의 전압과 위상은 원기둥과 특정 도형으로 표현하고 전압의 크기에 따라 원기둥의 높이를 조절하여 표현한다. 위상은 특정 도형의 색상으로 구분하여 표현하며, 특정 도형은 마름모, 삼각형, 타원형, 원뿔 중에서 선택된 어느 하나인 것으로 하고 위상은 0°~180°와 181°~360°의 두 부분으로 구분하여 표현한다. 각 선로의 경우, 관모양으로 모델링하여 표현하고 각 선로의 조류흐름은 관에 띠를 형성하고 조류 흐름방향에 대응하게 띠가 움직이도록 하여 구현한다. 관모양으로 표현된 선로의 조류흐름은 관에 적

최 모양(> 및 <)으로 표현하고 조류 흐름방향에 대하여 상기 격자로 표현한다. 각 선로의 용량은 선로와 띠 또는 격자 중에서 적어도 어느 하나의 색상에 의하여 용량의 과부하를 표현한다. 3D 입체시각화 기법을 그림 5에 나타내었다.

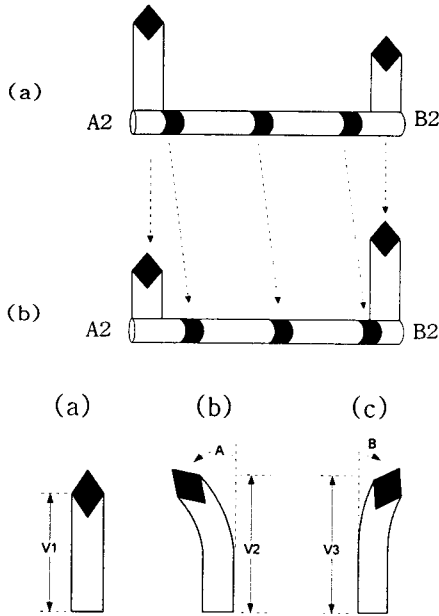


그림 5. 3D 입체시각화 기법

4.2 3D 입체 시각화 모델링 구현

3D 입체시각화 모델링의 구현방법은 각 모선의 전압데이터, 위상데이터, 각 선로의 조류흐름데이터 그리고 선로 용량을 포함하는 전력계통 데이터를 입력받아 모선 데이터를 기준으로 선로를 입체적으로 표현하는 제 1단계, 전력데이터 중에서 각 모선의 전압데이터 및 위상데이터를 이용하여 해당 모선의 위치에 선로와는 수직한 방향으로 전압과 위상을 입체적으로 표현하는 제 2단계 그리고 표현된 각 선로에는 전력데이터 중에서 조류 흐름 데이터와 선로 용량 데이터에 근거하여 조류의 흐름과 선로의 용량을 입체적으로 표현하는 제 3단계를 포함하여 구현된다.

전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화방법의 흐름을 그림 6에 나타내었다. 키 입력부로부터 전력계통데이터의 3차원 동적시각화 화면표시 요청이 입력되면, 메인 컨트롤러 모듈은 전력데이터 DB에서 전력데이터를 추출하여 전력 시스템 시각화 엔진에 추출된 전력 데이터를 전달한다(단계 S10, S12). 전력 시스템 시각화 엔진은 상기 전력데이터 중에서 모선 데이터를 기준으로 선로를 예를 들면 원통형상으로 입체적으로 표시한다(단계 S14). 그리고 전력데이터 중에서 각 모선의 전압데이터 및 위상데이터를 이용하여 해당 모선의 위치에 선로와는 수직한 방향으로 전압데이터의 크기에 비례하여 밀대의 높이로 전압 크기를 표시하고 밀의 색상 및 밀대의 기울기로 전압 위상을 입체적으로 표시한다(단계 S16). 또한, 단계 S14에서 표시한 각 선로에는 상기 전력데이터 중에서 조류 흐름 데이터와 선로 용량 데이터에 근거하여, 선로 용량은 띠의 색상으로 구분하여 표시하고 조류의 흐름 방향에 대응하여 띠가 움직이도록 입체적으로 표시한다(단계 S18). 전력 데이터 데이터베이스에 전력 데이터 입력부로부터 새로운 데이터가 입력되어 데이터베이스의 전력 데이터가 갱신되면, 메인 컨트롤러 모듈은 그 갱신 전력 데이터를 추출하여 전력 시스템 시각화 엔진

에 전달하여 단계 S16 및 S18에서와 같이 갱신된 전력 데이터의 내용에 따라서 모선상의 전압 및 위상, 그리고 선로의 조류 흐름 및 선로 용량을 입체적으로 시각화하여 표시한다(단계 S20, S22).

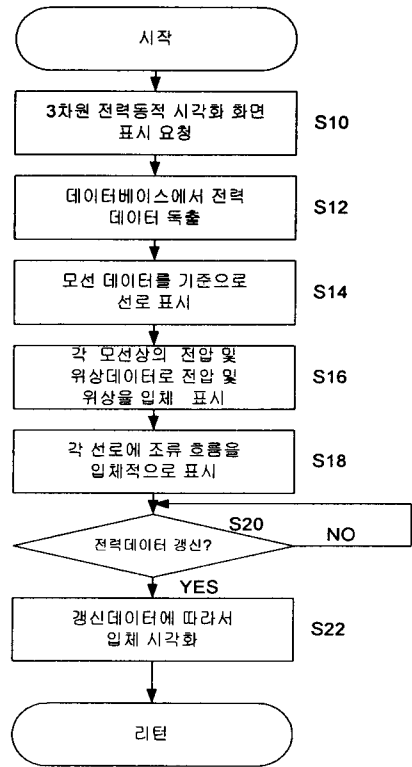


그림 6. 3D 시각화 엔진 구현 흐름도

5. 결 론

본 논문은 광역정전 예방을 위해 전력계통 상태의 정적 및 동적 데이터를 표현하여 해석 경험의 전문성에 관계없이 직관적으로 해석할 수 있는 전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화 시스템 및 그 시각화방법을 제공하기 위한 것이다. 이를 위해 전력계통 데이터의 3차원 동적 시각화 시스템은 각 모선의 전압 및 위상과 각 선로의 조류흐름과 선로 용량을 포함하는 전력계통 데이터베이스(DB) 구축, DB의 전력계통데이터를 이용하여 각 모선의 전압 및 위상과 각 선로의 조류흐름과 선로 용량을 3차원적으로 모델링 그리고 전력시스템 시각화 엔진에서 모델링 된 3차원 모델링 데이터를 디스플레이에 표시하여 구성된 것을 특징으로 한다. 이러한 기법은 직관적이고 쉽고 명확하게 해석할 수 있어 계통운영 전문가와 초심자 모두에게 유용하게 이용할 수 있도록 제안하였다. 현재 제시된 3D 입체구현 기법은 특허로 등록되어 실용화 작업이 진행 중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Thomas J. Overbye, Douglas A. Wigman, "Reducing the risk of major blackout through improved power system visualization", 15th Power System Computation Conference(PSCC), August 2005
- [2] Yan Sun, Thomas J. Overbye, "Visualization for power system contingency analysis data", IEEE Trans, on power system, Vol19, No.4, Nov. 2004