

지리 정보를 이용한 순간 전압 품질 해석 시뮬레이터

김기현, 박창현, 장길수
고려대학교 전기공학과

Voltage Sag Simulator with Geographical Information

Gi-hyun Kim, Chang-hyun Park, Gilsoo Jang
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - A voltage sag is a short-duration reduction in rms voltage, and utilities have been faced with rising numbers of complaints about the quality of power due to voltage sags. In this paper, vulnerable areas of voltage sag are determined using representative loads at the buses. The CBEMA curves of the representative loads are used to determine whether the bus is vulnerable or not. Also, the areas are displayed with geographical information in order to help operators understand the situation going on easily. The proposed simulator is applied to Jeju power system to show its capabilities.

1. 서 론

산업이 고도화되고 많은 전력 설비들이 전력계통에 추가됨으로써 계통의 복잡성이 증가하고 계통 해석이 어려워지고 있다. 이러한 상황에서 전력 품질 문제는 그 중요성이 부각되고, 특히 순간 전압 강하는 전력을 공급받는 수많은 설비에 영향을 미쳐 시스템의 오동작, 생산제품의 품질 저하 및 설비 수명의 단축을 야기한다. 따라서 순간전압강하의 문제는 다양한 발생 원인의 규명은 물론 이에 따른 전압의 품질을 파악하고 평가하기 위한 방법이 연구되어야 한다. 순간 전압 강하는 지역적으로 서로 연관성을 가지고 있으며, 순간 전압 강하를 초래하는 지역으로부터 각 구분된 지역의 전압 강하정도를 수치화시켜 나타낼 수 있다. 지역에 따라 수치화된 정보는 계통 구조에 대한 지식 없이는 즉각적으로 이해하기 어렵다. 따라서 계통의 구조에 대한 지식이 없는 상태에서도 순간 전압 강하 현상의 지역적 분포 상태에 대한 직관적인 인식을 가능하게 하는 방법의 개발이 필요하다. 이에 대한 방안으로 본 논문에서는 지리정보를 이용하여 순간 전압 강하를 해석하는 방안을 제시하였다. 즉 계통의 구조도를 지리정보에 포함 시켜서 하나의 지도의 형태로 나타내고, 순간 전압 강하의 수치화된 정보를 지도상의 각 지역의 위치에 나타내게 된다. 이때 수치정보는 단순히 그 값만 지도위에 나타내는 것이 아니라 같은 값을 나타내는 지역끼리 연결해주는 컨투어 표시, 계통모선에 순간 전압 강하에 민감한 대표 부하를 선정해서 전압 강하에 따른 민감도를 나타냄으로써 해석의 용이성을 더하게 된다.

2. 본 론

2.1 순간 전압 강하

순간전압 강하는 보통 전력 계통에서 사고나 사고 지역을 격리시키기 위한 스위칭 동작, 전동기와 같은 커다란 부하의 기동 시에 발생하는 전압 실효치의 0.5~30 cycle 사이의 순간적인 감소 현상이다. 송전선에 사고가 발생한다면 차단기가 사고를 제거하기 위해 회로를 열 때 정전에 이어 전압강하를 경험 할 것이다. 더 흔히 일

어나는 사고는 변전소로부터의 다른 송전선 중 하나에서 발생하는 사고, 즉 평행 송전선에서 발생하는 사고이다. 이 경우 사고가 실제로 계통에 존재 하는 동안 전압 강하가 있게 된다. 차단기가 사고를 제거하기 위하여 동작할 때 정상 전압으로 회복된다.

순간 전압 강하의 발생은 많은 전기기기에 영향을 미치게 된다. 기기 내의 여러 반도체 소자들에 전압 강하 충격이 누적 되어 기기의 수명을 단축시키거나 기기 고장을 유발하여 화재나 인명 피해를 낼 수 있다. 특히 순간 전압 강하의 원인이 배전 계통에 있을 때 최종 사용자들에게 더욱 큰 영향을 주게 된다. 따라서 각 순간 전압 강하의 원인 및 위치에 따라 그 영향력이 미치는 범위, 전압 강하 크기에 따른 기기 영향 등을 파악하는 것이 중요하다.

2.1.1 취약 지역

순간 전압 강하가 미치는 범위 즉 지역적 영향은 취약 지역으로 나타낼 수 있다. 취약 지역이란 최종 사용자 설비 중 민감한 장비로부터 떨어진 각 전압 강하의 원인의 발생지역을 방비가 정상적으로 동작할 수 있는 가장 작은 크기의 전압강하가 일어나도록 하는 지역을 경계선으로 묶은 것이다. 이 취약지역은 장비의 순간 전압 강하의 민감도에 크기에 따라 다르게 된다. 취약 지역에 대한 개념은 장비가 견딜 수 있는 최소한의 순간 전압 강하보다 더 낮은 전압이 공급될 수 있는 가능성을 평가하는데 필요하다.

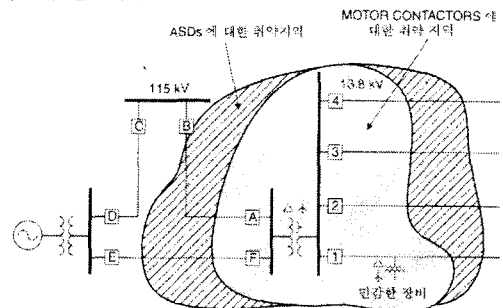


그림 1. 취약지역 개념도

그림 1의 우측 하단의 민감한 장비에 영향을 주는 취약 지역의 그림이다. 민감한 장비가 ASDs 일 때 빗금 칠부분에서 전압 강하의 원인이 발생할 때 영향을 받고 민감한 장비가 모터 스위치일 때는 회색 지역에서 전압 강하의 원인이 발생하면 영향을 받는다.

2.1.2 순간 전압 강하 민감도 곡선

사용자의 설비에서 각기 장치들은 서로 다른 순간 전압 강하 민감도를 가지게 된다. 이러한 장치들의 순간 전압 강하에 대한 민감도는 특별한 부하의 형태, 제어의

설정, 주변 장치들에 많은 영향을 받는다. 장치가 오동작을 하도록 만드는 순간 전압 강하의 특성을 결정하는 것은 매우 어렵다. 일반적으로 사용되는 순간 전압 강하의 특성은 기간과 크기로 결정된다. 다른 특성으로는 위상각 변화 불균형, 전압 소실, 삼상 전압 불균형 등이 있다.

이러한 부하들의 순간 전압 강하에 대한 특성 중 크기와 기간을 고려하여 시간과 크기로 나타낸 그래프가 CBEMA 그래프이다. 다음의 그림 2는 여러 부하에 대한 순간 전압 강하 민감도 곡선의 예를 보여준다.

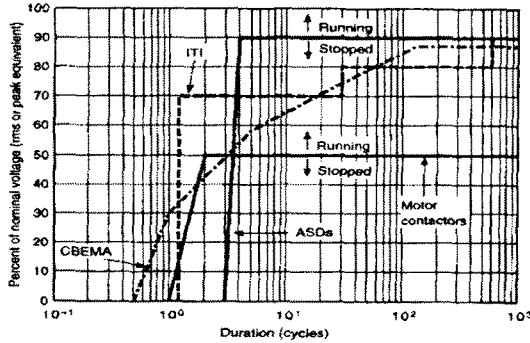


그림 2. CBEMA 와 ITI 그래프

2.2 지리정보의 활용

2.2.1 지리 정보

지리정보란 지형·지리 및 공간에 관련된 모든 정보의 통칭이다. 지리정보는 지표면에 존재하는 각종 자연적이고 인위적인 정보를 포함 하는 것이다. 자연적으로 생성된 지리정보로는 하천의 그림이나 토양의 성분 지표면의 높이 등을 들 수 있고, 인위적으로 생산된 정보로는 도로나 시설물 등을 들 수 있다.

지리정보는 다음 두 가지로 크게 구분 된다. 하나는 도형 정보로서 공간 객체의 형상을 2차원의 공간 조표 XY 혹은 3차원의 공간 좌표 XYZ으로 표현하며 시각적인 판단의 근거를 제공한다. 지도상의 공간적 형상을 보여주는 것이 도형 정보에 속한다. 배전계통을 관리하기 위하여 지리정보를 이용한다. 각 배전망의 공간적인 형상을 나타내는 것이 도형 정보이다. 또 다른 하나는 속성 정보이다. 도형 정보와 같이 시각적인 형태는 갖지 않으나 지리적 객체와 연관된 다양한 관련 정보를 포함한다. 배전계통 정보에서 배전선로의 길이 재질, 준공날짜 보수 시기 등 설비와 관련된 자료는 속성정보에 속한다.

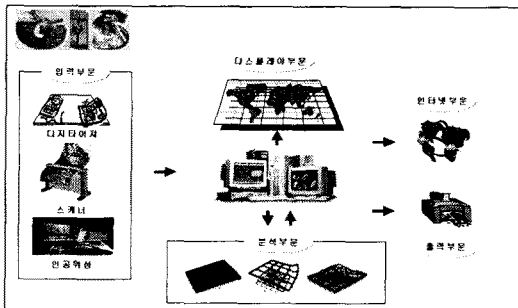


그림 3. 지리정보 시스템의 구성

2.2.1 지리 정보의 활용과 구성 요소

기존의 지도와 하는 것은 지리적 위치에 관한 정보가 표현 되는 가장 보편적인 매체로 좌표체계와 점, 선, 면의 모임에 의해서 표현된다. 그러나 이러한 지도는 일정한 크기의 도면에 나타내는 만큼 지도에 나타나는 정보의 양은 제한 적일 수밖에 없다. 이와는 대조적으로 지리정보 시스템은 사용가능한 모든 정보를 컴퓨터에 저장되어 사용자가 원하는 정보만 취사선택하여 필요한 양식에 맞추어 출력하는 것이기 때문에 다양한 활용이 가능하다. 또한 지리정보 시스템 내의 모든 정보는 수치형태로 관리되므로 지도나 테이블, 또는 기존의 어떠한 매체에 의한 정보 저장보다 대단히 압축적이고 간결한 정보의 저장이 가능하다. 또한 다량의 자료 역시 컴퓨터를 기반으로 한 저가의 운용비용으로 빠른 속도로 검색될 수 있다.

일반적으로 지리 정보 시스템을 구축하고 활용하기 위해서는 기본적으로 세 가지 구성요소를 가지고 있어야 한다. 첫 번째는 컴퓨터의 기계적 장치를 포함하는 하드웨어이며, 그 다음으로는 하드웨어를 기반으로 하여 지리정보 시스템에서 필요로 하는 기능을 제공하는 소프트웨어이다. 세 번째는 각종 자료의 효율적 관리를 위한 공간 데이터베이스이다.

컴퓨터 기반의 하드웨어는 과거의 대형 컴퓨터에서 네트워크의 발달로 분산 운영하는 서버 클라이언트 시스템이 주로 사용된다. 소프트웨어는 입력소프트웨어 출력소프트웨어 공간데이터 관리 소프트웨어로 나뉘어 진다.

2.3 순간전압 강하 시뮬레이터

2.3.1 시뮬레이터의 구성

본 시뮬레이터의 메인 프레임은 visual C++ SDI 형태를 가지고 있으며 크게 다음과 같은 5개의 모듈로 이루어져 있다.

- *메인 프로그램 : 여러 모듈을 상호 연동시키고 계통을 편집하고 지리 정보를 읽어 들이는 부분
- *조류 계산 모듈 : 구성된 계통의 조류계산을 수행하는 모듈
- *고장 계산 모듈 : 단상 고장, 이상 지락 고장, 선간 단락 고장, 삼상 고장 등의 여러 형태 고장계산을 수행하는 모듈
- *순간 전압 강하 해석 모듈 : 대표부하의 CBEMA 곡선 입력 및 순간 전압 강하 분석 모듈
- *시각화 모듈 : 계산결과를 표시하고 계통의 변화를 그래픽 적으로 나타내는 모듈

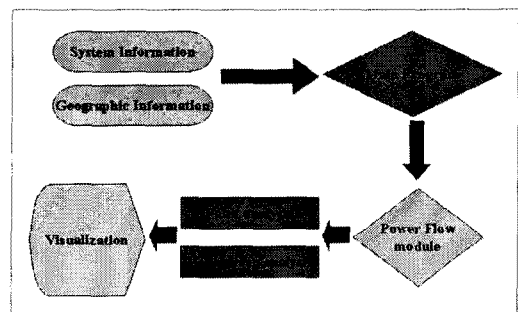


그림 4. 시뮬레이터 구성도

2.3.2 대표부하의 선정

계통의 모선에는 여러 가지 형태의 부하가 존재하게 되는데 각 부하들은 서로 다른 순간 전압 강하 민감도를 나타낸다. 모든 부하에 대한 순간 전압 강하의 영향을

평가하기에는 많은 어려움이 따르게 된다. 따라서 부하의 특성을 고려하여 순간 전압 강하에 가장 영향을 많이 받는 부하를 선정 그 모선에서의 대표부하로 한다.

2.3.3 순간 전압 강하 해석 방법

순간 전압 강하의 해석에 앞서 계통을 선정 그 계통의 지리정보를 입수한다. 그 정보에 따라 시뮬레이터를 이용하여 지리 정보를 읽어 들이고 편집기를 이용하여 계통을 구성하게 된다.

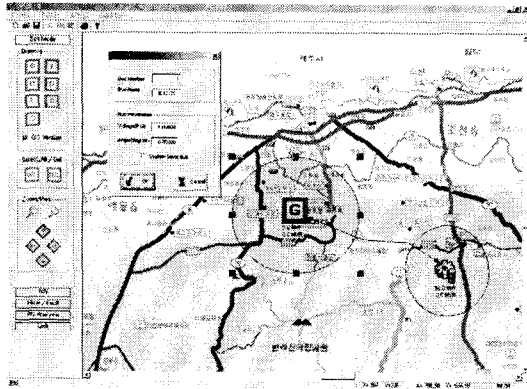


그림4. 시뮬레이터 상에서 계통 구성

계통의 부하들의 민감도 곡선을 평가 분석해서 대표부하를 선정하고 그 데이터를 입력하게 된다. 이렇게 구성된 계통을 가지고 공장 해석 및 순간 전압 강하 해석 모듈을 이용하여 다양한 계통의 변화에 따른 순간 전압 강하 해석을 하게 된다. 각 모선에서의 전압 강하는 직관적인 인식을 위해 전압 레벨에 따라 컨투어의 형식으로 표현되며 마우스를 이용하여 계통 각 부분을 클릭 함으로서 정확한 결과 값을 확인할 수 있다.

2.4 제주 계통 적용 연구

본 시뮬레이터를 이용하여 제주 실 계통을 모의 하였다. 제주계통은 제주 해남간 HVDC를 포함 13기 40 모선으로 이루어져 있다. 먼저 시뮬레이터의 편집기를 이용하여 제주도의 지리정보와 계통 데이터를 구성하게 된다. 다음으로 대표부하를 선정 하여 민감도 곡선을 입력한다.

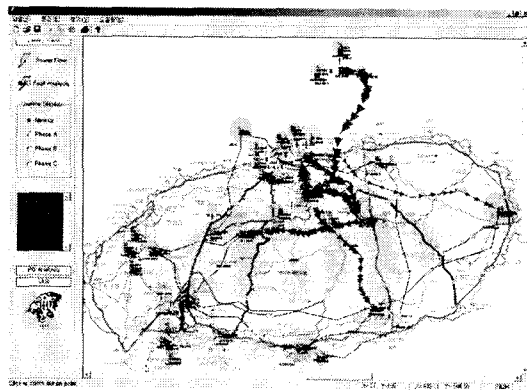


그림5. 제주계통 단선도

그림 5에서 나타나듯이 제주계통은 대부분의 전력을 호남에서 제주-해남 HVDC 선로를 통하여 JEU C/S 선로를 통해서 공급 받게 된다. JEU C/S 모선은 공급

받은 전력을 주요지역으로 분배하게 된다. 제주도는 지형적으로 중심부에 한라산이 위치하고 있기 때문에 대부분의 송전망이 섬 외곽을 통하여 구성이 되어있다.

(1) 단상 고장에 의한 순간 전압 강하 분석

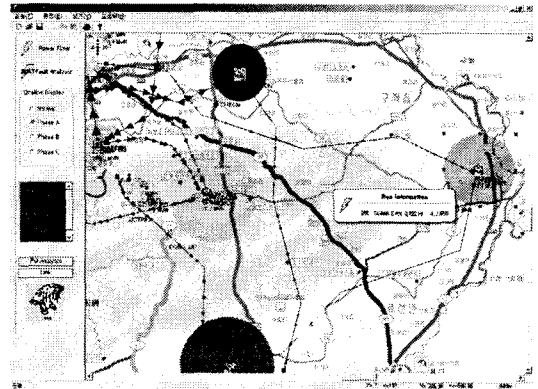


그림6. 모선에서 단상고장이 발생한 경우

JO CHUN 모선에서 single phase fault 발생시 사고전류가 JO CHUN 모선 쪽으로 흐르게 됨으로 중심부로부터 전력을 공급받는 외곽 쪽의 모선들에 전압 강하가 발생한다. 가장 영향을 많이 받는 모선은 HAN LA 모선이고 그 다음으로는 SUNG SAN 모선이 받게 된다. 중심부의 모선들을 영향을 적게 받는다.

(2) 상간 단락 고장에 의한 순간 전압 강하 분석

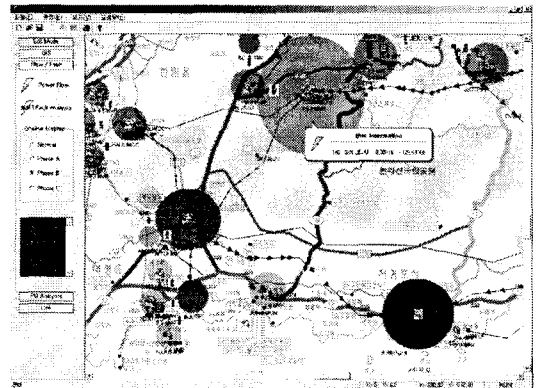


그림7. 모선에서 상간 단락 고장이 발생한 경우

S SEOGUI 모선에서 B phase 와 C phase 사이에 Line-to-Line fault 가 발생시 사고전류가 중심부로부터 SINJEU 모선 ANDUCK 모선을 거쳐서오기 때문에 S SEOGUI에서 가까운 ANDUCK 모선에 전압강하가 심하게 일어나고 그다음으로는 SINJEU 모선에서 강하량이 크게 된다. 주변부의 작은 모선들은 개별적인 발전기를 가지고 있어서 실질적인 전압 강하량이 작게 된다.

(3) 이상 지락 고장에 의한 순간 전압 강하 분석

HAN LA 모선에서 Double Line-to-Line fault 가 발생했을 때 HANLA 모선과 연결된 SUNGSAN 모선과 S SEOGUI 모선의 전압 강하가 심하게 일어났다. HAN LA 모선보다 중심부에 있는 DONG JEU 모선에는 전압 강하가 적게 일어나긴 했으나 값으로는 상당히 큰 값이다.

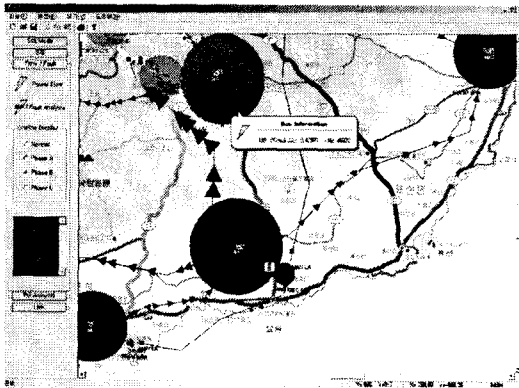


그림 8. 이선 지락 고장이 발생한 경우

(4) 삼상 고장에 의한 순간 전압 강하 분석

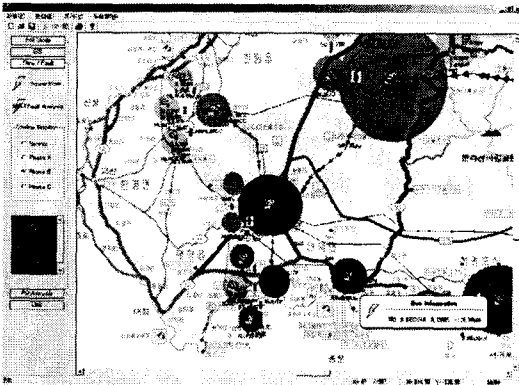


그림 9. 삼상 고장이 발생한 경우

ANDUCK 모선에서 Balanced 3 Phase fault가 발생했을 때 ANDUCK 모선하단에 N JEJUTP 모선이 가장 큰 순간 전압 강하가 발생하였으면 우측의 JUNG MUN과 S SEOGUI 모선에도 큰 전압 강하가 발생했다. 발전기가 있는 모선들은 다른 모선 보타 전압 강하가 작게 일어났다.

3. 결 론

계통의 여러 변화에 따른 순간 전압 강하에 대해 지리 정보를 활용한 직관적이고 효율적인 시각화 방안이 모색되었다. 또한 대표부하의 선정과 그 부하의 CBEMA곡선을 이용하여 순간 전압 강하 해석에 있어 절대적인 강하량에 의한 분석이 아니라 각 모선 대표 부하의 순간 전압 강하 민감도에 의존한 분석으로 실제로 순간 전압 강하에 의해 영향을 받게 되는 부하의 위치와 그 정도를 직관적으로 알 수 있게 되었다. 그리고 본 논문에서 소개한 시뮬레이터는 순간 전압 강하를 고려한 계통의 최적 설계에도 활용될 수 있을 것이다.

향후 좀 더 정확한 해석을 위해서 순간 전압 강하 지속 시간의 정확한 계산법과 부하의 CBEMA곡선 추출법에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(02340) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] ROGER C. DUGAN 외 3명, "Electrical Power Systems Quality", second edition, 2002
- [2] 김희율, 이상엽, "Visual C++ programming Bible ver 6.x", (주) 영진 출판사
- [3] 김계현, "GIS 개론", 대영사, 2000
- [4] DAVID J. KRUGLINSKI, "INSIDE VISUAL C++™", Microsoft Press, 1995
- [5] Jeff Lamoree, "Voltage sag Analysis Case Studies", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATION, VOL 30 NO.4, JULY /AUGUST 1994
- [6] M.R. Qader, "Stochastic Prediction of Voltage Sags in a Large Transmission System", IEEE, 1998
- [5] C. Radhakrishna, "Impact of Voltage Sags in Practical Power System Network", IEEE, 2001