

순간전압강하 확률적 평가를 위한 윈도우즈 프로그램 개발

박창현* 장길수* 김철환** 김재철***
고려대학교* 성균관대학교** 송실대학교***

Development of a Windows Program for Stochastic Assessment of Voltage Sag

Chang-Hyun Park* Gilsoo Jang* Chul-Hwan Kim** Jae-Chul Kim***
Korea University* Sungkyunkwan University** Soongsil University***

Abstract - This paper presents a user-friendly application for stochastic assessment of voltage sag and effective visualization for analysis data. This developed tool provides basic functions for voltage sag assessment such as load flow analysis, short circuit analysis and vulnerability analysis. Particularly it has the ability to edit one-line diagram of power system and to visualize analysis results effectively using computer graphic and animation. In order to give the real sense, analysis results are displayed with geographical information in an intuitive and rapid manner.

1. 서 론

전력품질 문제 중 가장 중요한 사항 중 하나인 순간 전압 강하는 주로 전력 계통에서의 사고나 이 사고를 격리시키기 위한 스위칭 동작 또는 전동기와 같은 커다란 부하의 기동 시 발생한다. 이러한 순간 전압 강하는 많은 민감한 장비들에 영향을 끼치며, 이러한 악영향은 결국 전체 계통에 영향을 미치게 된다. 민감한 전자기기들의 수가 날이 증가함에 따라 전압 강하에 의한 제품 및 경제적인 손실 또한 증가하고 있다. 민감한 장비들은 가까운 계통에서의 사고뿐만 아니라 멀리 떨어진 송전선에서의 사고에도 영향을 받는다. 그러므로, 순간 전압 강하를 정확하게 평가하기 위해서는 배전 계통 뿐 아니라 송전 계통에 대한 순간 전압 강하 분석이 이루어져야 한다. 이에 순간전압 강하 평가를 위한 효과적인 분석 도구의 개발이 요구된다. 순간 전압 강하 분석 도구는 조류계산, 고장계산 및 민감 기기들의 순간 전압 강하에 대한 영향 평가, 계통의 고장률 데이터를 이용한 순간전압강하 발생 횟수 예측 기능들을 기본적으로 제공한다. 분석 결과의 효과적인 시각화 또한 분석만큼 중요한 요소이다. 개발된 시뮬레이터는, 앞에서 언급한 분석 기능들뿐만 아니라 효과적인 시각화 기능을 가지고 있으며, 결과를 직관적으로 이해할 수 있도록 지리정보와 함께 나타내도록 구성하였다. 효과적인 시각화를 위하여 윈도우GDI(Graphics-Device-Interface)와 애니메이션을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 순간전압강하의 특성

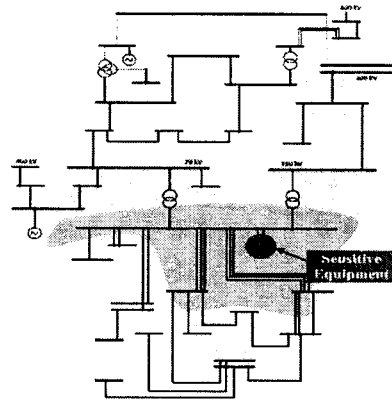
전압 강하는 짧은 시간동안의 전압 실효치의 감소현상이며, 그 전압 크기의 범위는 0.1에서 0.9 P.U [1]-[4]이다. 크기와 지속시간은 순간전압 강하의 대표적인 특성이며, 크기는 사고의 위치와 계통의 구성에 좌우된다. 사고의 종류, 사고 전 전압, 변압기 결선 및 사고 임파던스 등도 전압 강하의 크기에 영향을 주는 요소들이다. 전압 강하의 크기는 사고가 일어나는 동안의 전압 실효치이며 percent 나 per-unit값으로 나타낸다. 일반적으로 그 크기는 고장계산에 의해 구해진다. 전압 강하의 지속 시간은 계통에 흐르는 사고 전류의 지속시간으로 파전압 릴레이나 브레이커 혹은 퓨즈와 같은 계통 보호 기기들의 동작 특성에 의해서 좌우된다[4]. 일반적으로 전압 강하의 지속 시간은 보호 기기들의 사고 차단 시간과 보호 계전 방식 등을 고려한 시간 지연의 합으로 계산된다. 어떤 기기들은 전압 강하의 크기뿐만 아니라 위상각의 변화에 대해서도 민감하다. 이러한 phase angle jump는 사고 전후 전압의 위상각 변화로서 순간 전압강하의 또 다른 특성중 하나이다.

2.2 취약지역 (Area of Vulnerability)

민감한 부하에 대한 취약 지역의 계산은 순간전압 강하의 확률적 평가와 함께 있어서 매우 중요하다. 취약 지역은 민감 장비에 대해 순간전압강하를 발생시킬 수 있는 계통상의 사고 영역을 의미한다[1], [4]. 일반적으로, 취약 지역은 계통상의 많은 위치에서의 고장 계산을 수행함으로써 결정된다. 그림 1은 민감한 부하에 대한 취약 지역 다이어그램의 한 예이다. 이 다이어그램에서의 취약지역 즉, 어두운 부분에서의 사고는 해당 부하에 순간전압 강하를 발생시킬 수 있다.

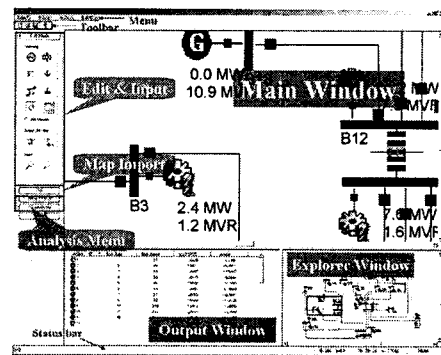
2.3 순간전압강하 시뮬레이터

순간 전압 강하 시뮬레이터는 Windows API (Application Programming Interface)와 MFC (Microsoft Fundamental Classes)[5], [6]를 사용하여 개발되었으며, Microsoft Visual Studio. Net으로 컴파일 되었다.



〈그림 1〉 Area of Vulnerability

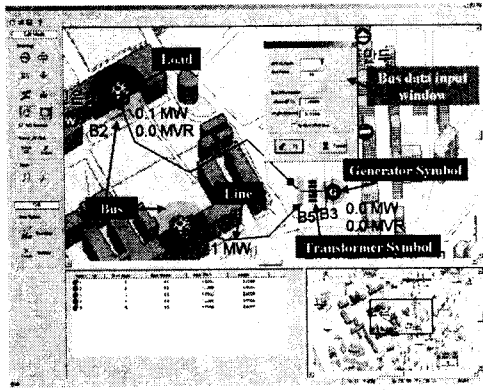
그림 2에서 볼 수 있듯이 메인 윈도우는 menu, toolbar, dialog bar, status bar, output window, explorer window로 구성되어 있다. 개발된 시뮬레이터는 시스템 편집을 위한 쉬운 인터페이스를 제공하여, 마우스를 이용하여 계통을 자유롭게 편집할 수 있다. 시뮬레이터는 일반모드와 지도 모드의 두 가지 모드를 제공한다.



〈그림 2〉 Area of Vulnerability

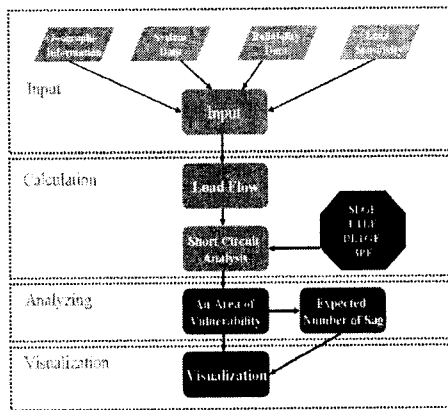
일반모드에서 모선은 단선으로 연결된 바 형태로 표현된다. 지도 모드에서는 모선들이 원 형태로 표현된다. 발전기, 변압기 부하 등 기타 다른 구성 요소들은 그림 3과 같이 다양한 심볼로 표현된다. 지도 모드에서 계통은 그림 4에 나타나듯 지도위에 구성요소들의 실제 위치에 따라 구성된다. 시뮬레이터는 비트맵 파일과 같은 지도 파일을 손쉽게 사용할 수 있는 인터페이스를 제공하고 있으며, 분석결과 또한 지리정보와 함께 표현함으로써 보다 직관적인 인식이 가능하게 구현 하였다. 이러한 지도와 시스템 데이터는 MFC가 제공하는 serialize 기능을 통하여 하나의 파일로 저장된다 [5], [6]. 개발된 순간 전압 강하 시뮬레이터는 그림 4에 나타나듯이 4개의 주요 모듈로 구성되어 있다.

- 1) 데이터 입력 및 편집 모듈: 시뮬레이터는 데이터 입력과 계통 편집을 위한 편리한 인터페이스를 제공한다. 사용자는 마우스를 이용하여 계통을 자유롭게 편집 할 수 있으며 지리정보, 계통 데이터, 부하의 민감도등과 같은 데이터들을 다양한 입력 윈도우를 이용하여 손쉽게 입력할 수 있다.
- 2) 계산 모듈: 조류계산, 고장계산 및 특정 부하에 대한 취약 지역계산 기능을 수행한다. 고장 계산 분석 모듈은 Single-Line-to-Ground (SLG), Line-to-Line (LL), Double-Line-to-Ground (DLG), Balanced 3-Phase 사고에 대한 고장 전류 및 모선 전압들을 계산 한다. 취약지역 계산 모듈은 입력된 부하의 전압 한계 특성에 대한 취약지역을 계산한다.



〈그림 3〉 지도 모드에서의 계통 편집

- 3) 분석 모듈: 모의 사고에 대한 각 부하들의 영향 분석 및 특정 부하에 대한 취약지역과 계통의 고장률 데이터를 이용한 순간전압강하 발생 횟수를 예측하는 기능을 포함한다.
- 4) 시각화 모듈: 조류 계산, 고장 계산 및 취약지역 분석 결과를 windows GDI와 애니메이션을 이용하여 지도에 나타낸다.

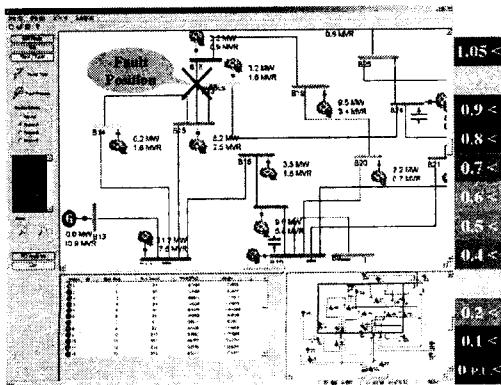


〈그림 4〉 시뮬레이터의 구조

2.4 분석 결과 시각화

효과적인 분석 결과의 시각화는 계통 상황을 보다 직관적으로 이해할 수 있게 해준다. 데이터 시각화의 가장 중요한 요소는 분석 결과를 쉽고 정확하게 표현함으로써 빠른 상황 이해를 돕는 것이다. 각각의 분석에 관한 시각화 구성은 다음과 같다.

- 1) 조류 계산 분석: 모선 전압들은 전압 레벨에 따라 색깔의 변화로 표현됨으로써 전체 시스템의 전압 분포 상태를 쉽게 이해할 수 있다. 전력조류는 화살표의 방향과 크기로 표현되며, 선로를 따라 움직이는 화살표의 모습으로 현실감을 더해준다.
- 2) 고장 계산 분석: 사고 전압들은 그림 5에서 보여지듯이 전압 레벨에 따라 변화하는 색깔의 변화로 표현된다. 또한 고장 계산 결과와 부하의 전압 한계 특성에 대한 비교 분석을 통해 해당 부하의 순간전압강하 발생 여부를 판단하고 해당 모선을 깜빡이게 표현하였다. 사고 전압의 레벨과 사고에 의해서 손상 받은 민감한 부하들을 동시에 관찰 할 수 있다.
- 3) 취약지역 분석: 민감 부하의 취약 지역은 고장 계산 결과와 부하의 민감도 데이터의 비교를 통해서 결정된다. 취약지역에 포함되는 모선 및 선로는 빨간색으로 표현하여 쉽게 파악할 수 있게 하였다.

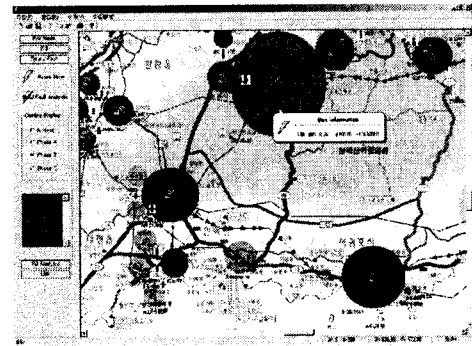


〈그림 5〉 IEEE 30-모선 계통에서의 고장 계산 수행 화면

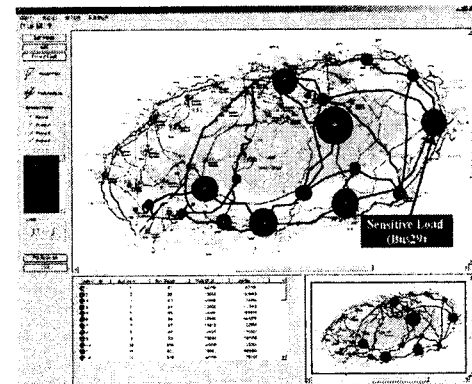
2.5 시뮬레이션

개발된 시뮬레이터를 이용하여 IEEE-30 모선 계통과 수정된 제주도 계통에 대해 에디터를 이용하여 계통을 구성하고 모의를 수행하였다.

- 1) 일반모드에서의 IEEE-30 모선 계통 고장 계산
모선 15와 모선 18 사이의 선로 50% 지점에서의 SLGF를 모의 하였다. 결과는 그림 5와 같다. 사고 위치와 고장 전압 분포를 모선의 색깔을 통해 쉽게 알 수 있다. 해당 사고로 인한 부하단에서의 순간전압강하 발생 여부는 모선의 깜박임으로 한눈에 파악할 수 있다.
- 2) 지도모드에서의 제주계통 고장 계산 및 취약 지역
제주도의 지도를 입력 한 후 에디터를 이용해 계통을 구성하였다. 그림 6은 고장 계산을 수행한 화면이며, 그림 7은 특정 부하 모선에 대한 취약지역 계산을 수행한 화면이다. 계통에서 빨간색으로 표현된 부분에서의 사고는 해당 부하에 순간전압 강하를 발생시킬 것을 의미한다.



〈그림 6〉 지도모드에서의 고장 계산 수행 화면



〈그림 7〉 민감 부하에 대한 취약지역 계산 수행 화면

3. 결 론

순간전압강하 평가를 위한 계산 기능과 효과적인 시각화 기능을 갖춘 windows 프로그램이 개발 되었다. 전력 계통 해석에 있어 해석 결과에 대한 효과적인 시각화는 해석 기능만큼이나 중요하다. 본 시뮬레이터는 지리 정보를 이용한 효과적인 시각화 기능과 함께 조류 계산, 고장 계산, 민감 부하에 대한 취약지역 분석, 계통의 고장률 데이터를 이용한 순간전압강하 발생 횟수 예측기능들을 제공하고 있다. 개발된 시뮬레이터는 순간전압 강하를 고려한 최적화된 전력 계통 설계에 매우 유용하게 사용 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

- [1] R. C. Dugan, M. McGranaghan, and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality (2nd ed.), New York: McGraw-Hill, 2002, pp.43-59.
- [2] Lidong Zhang, and Math H. J. Bollen, "Characteristic of Voltage Dips (Sags) in Power Systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol.15, pp.827-832, Apr. 2000.
- [3] J Arrillaga, N R Watson, and S Chen, Power System Quality Assessment, New York: John Wiley & Sons, 2000, pp.1-32.
- [4] "Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power System", IEEE Std. 493-1997, Chapter 9.
- [5] G. Shepherd, and S. Wingo, MFC Internals: Inside the Microsoft Foundation Class Architecture, USA: Addison-Wesley Longman, 1996.
- [6] David J. Kruglinski, Inside Visual C++, Microsoft Press, 1996.