

EMTP를 이용한 Voltage Sag 현상 모의 및 고찰

김용겸*, 김철환*, 이태영**
*성균관대학교, **한국전력공사

A Simulation and Analysis of Voltage Sag Phenomena Using EMTP

Y. K. Kim*, C. H. Kim*, T. Y. Lee**
*SungKyunKwan University, **KEPCO

Abstract - In recent years, both utilities and users have expressed their deep concerns about the quality of electric power. Expressed, voltage sag which is one of power quality disturbance is very serious power quality problem on the power system. Voltage sag is a decrease to between 0.1 and 0.9 pu in rms voltage magnitude on the power system for durations from 0.5 cycles to 1 minute. These voltage sags are usually caused by fault condition, overload, and starting of large motors.

In this paper, different types of voltage sags are simulated by using EMTP. This paper describes the distinctive characteristic for various sag origins, proposes the effective technique for voltage sag detection using EMTP.

1. 서 론

전력품질은 전력계통의 고유한 전원 전압과 주파수를 유지하는 것이다. 이에 반해, 외란은 정격 전압의 크기와 주파수에서 변동, 왜곡 혹은 정현파 전압 파형의 이탈을 나타낸다.

최근 전력품질(Power Quality)에 대한 개념이 전력회사 및 전력의 최종 사용자인 수용가에서 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 전력품질에 주요한 영향을 끼치는 외란으로는 Voltage Sag, Swell, 정전(Outage), 과전압(Overtoltage), 부족전압(Undervoltage), 전압변조(Voltage Modulation), 파형왜곡(Waveform Distortion), Surge 등이 있다. 이러한 외란들 중에서도 전력계통에서 전력품질에 영향을 미치는 요소 중 가장 일반적인 현상이 Voltage Sag이다. Voltage Sag는 계통 사고, 과부하 변동, 대용량 전동기의 기동에 의해 발생되며, 전압의 실효치가 짧은 기간동안 감소하는 현상이다[1]-[3].

고장에 의한 전압의 변화는 자연스러운 일이다. 이러한 고장에 대하여 발생하는 Voltage Sag에 대한 정보 특성 및 현상을 EMTP를 통해서 알아보고자 하는 것이다.

본 논문은 전력계통 시뮬레이션에 많이 사용되고 있는 EMTP를 이용하였다. 일반적인 계통도에 EMTP를 사용하여 Voltage Sag의 특징을 모의하였고 Voltage Sag를 고찰하였다.

2. EMTP를 이용한 시뮬레이션 및 결과

2.1 EMTP

EMTP(Electromagnetic Transient Program)는 전력계통의 과도현상을 분석하기 위한 수리계산용 프로그램으로 미국의 BPA(Bonneville Power Administration)

에 의해 개발되었다. EMTP의 초기의 목적은 전력계통의 썬어지(Surge)현상만을 분석하기 위한 것이었으나, 그 후 동기발전기, 사이리스터(Thyristor), 제어계, 회전기기의 모델이 추가되었으며 터빈발전기의 SSR(Sub Synchronous Resonance)모델과 교류-직류 변환기의 해석, 고조파 해석까지 할 수 있는 기능이 보강되어 범용성이 풍부한 프로그램이 되었다. EMTP를 이용한 과도현상의 해석은 물리적 실험을 통한 과도현상의 직접체험이 아니고, 수학적 형식과 수식적 모델에 의한 간접적인 근사 추정임에도 불구하고 그 모의결과의 정밀함과 신뢰도가 충분히 입증되었으므로, EMTP 프로그램이 가지고 있는 수학적 방법론에 대한 이해를 통해서 EMTP를 효과적으로 이용할 수 있다.

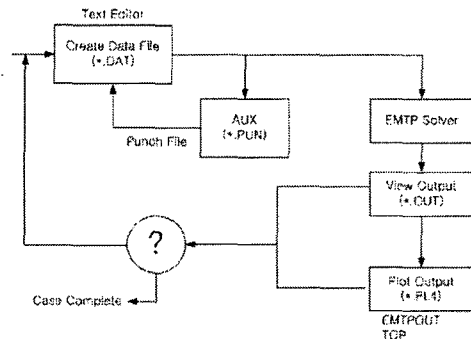


그림 1. EMTP Working Flow

2.2 시뮬레이션 계통도

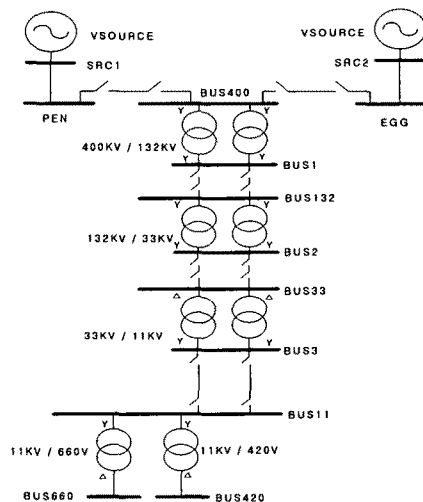


그림 2. 모델 전력계통도

이 논문에서 사용되는 시뮬레이션 계통도는 그림 2를 사용하였다[4]. 그림 2의 계통도를 EMTTP 프로그램을 이용하여, 고장발생으로 인한 Voltage Sag 현상을 모의하였다. 고장 형태는 1선 지락 사고의 경우 A상, 2선 지락의 경우 AB상, 3상사고, 선간 단락 사고의 경우는 A-B상이다.

2.2.1 Voltage Sag 현상 모의 데이터

그림 2의 계통도에서 각 모선별로 고장을 발생시켜서 데이터를 취득하였다. 각 모선별 고장 특성은 아래 표 1과 같다.

표 1. 모델 전력 계통에서의 고장 발생시간

Case	Voltage Sag		지속시간 [cycle]	고장형태
	발생시간 [ms]	소멸시간 [ms]		
	260.6120	390.8200	7.8125	0도사고

2.2.2 각 모선별 고장 모의

그림 2의 계통도에서 각 모선별로 고장을 발생시켜서 발생한 전압 파형을 관찰하였다[4].

(1) BUS132 모선 고장 발생

EMTTP를 이용하여 그림 2의 계통도에서 BUS132 모선에 고장(1선 지락, 2선 지락, 3상사고, 선간 단락)을 발생시켜 각 고장별 전압의 변화를 살펴보았다.

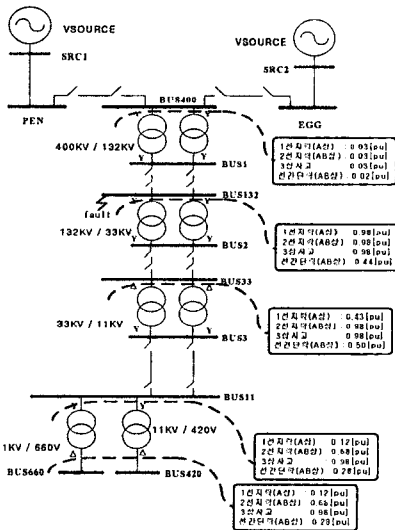


그림 3. BUS132 모선에서의 사고(1선지락, 2선지락, 3상사고, 선간단락)로 인한 각 모선의 Voltage Sag의 크기

그림 3을 살펴보면 표 1의 고장 발생시간 동안에 발생한 Voltage Sag의 크기를 각 고장별로 기록한 것이다. 고장이 발생한 모선을 기준으로 하여 각각의 모선에서의 전압이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

각 모선에 발생한 Voltage Sag를 표 2-1, 2-2에 정리하였다. 그리고 표 2-1, 2-2를 그래프로 그림 4-1, 4-2에 나타내었다.

표 2-1. BUS132 모선고장에 따른 모선별 Voltage Sag(1)

고장모선	1선 지락 사고		2선 지락 사고		
	측정모선	전압 (p.u.)	고장모선	측정모선	전압 (p.u.)
BUS132A	BUS400	0.969	BUS132AB	BUS400	0.030
	BUS132	0.980		BUS132	0.985
	BUS33	0.982		BUS33	0.983
	BUS11	0.428		BUS11	0.960
	BUS660	0.122		BUS660	0.680
	BUS420	0.122		BUS420	0.680

표 2-2. BUS132 모선고장에 따른 모선별 Voltage Sag(2)

고장모선	3상 지락 사고		선간 단락 사고		
	측정모선	전압 (p.u.)	고장모선	측정모선	전압 (p.u.)
BUS132	BUS400	0.030	BUS132AB	BUS400	0.020
	BUS132	0.960		BUS132	0.440
	BUS33	0.980		BUS33	0.500
	BUS11	0.980		BUS11	0.500
	BUS660	0.980		BUS660	0.280
	BUS420	0.980		BUS420	0.280

표 2-1, 2-2는 고장 발생동안 Voltage Sag의 가장 작은 값을 기록해 놓은 것이다. 고장별로 각 모선별로 분류를 하였다. 고장 형태에 따라서 Voltage Sag 값이 달라지는 것을 알 수 있다. 더 확인하기 쉽게 하기 위해서 그림 4로 다시 표현을 하였다.

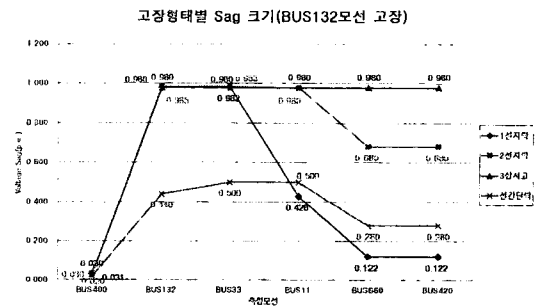


그림 4. 모선별 Voltage Sag 크기의 비교

고장이 발생한 BUS132 모선에서 가장 큰 Voltage Sag가 발생하였고 하위 계통으로 갈수록 Voltage Sag의 값이 감소한다. BUS400 모선에서 살펴보면 BUS132 모선의 상위 계통의 경우에는 Voltage Sag 값이 존재하지 않는 것을 볼 수 있다. 고장이 발생한 모선의 상위계통 모선에는 전압의 변화가 적다는 것을 의미한다. 반대로 BUS132 모선을 기준으로 하여 하위 계통에는 고장 발생한 곳의 Voltage Sag보다는 작지만 상위 계통에 비하여 약간 더 큰 Voltage Sag 값을 갖는다.

(2) BUS33 모선 고장 발생

그림 2의 계통도에서 앞에서의 모의와 마찬가지로 BUS33 모선에 고장(1선 지락, 2선 지락, 3상사고, 선간 단락)을 발생시켜 각 고장별 전압의 변화를 살펴보았

다. 고장 발생시간과 고장지속시간은 앞장의 모의 조건과 동일하게 하였다. Voltage Sag의 크기 및 결과는 각각 그림 5, 표 3-1, 표 3-2와 같다.

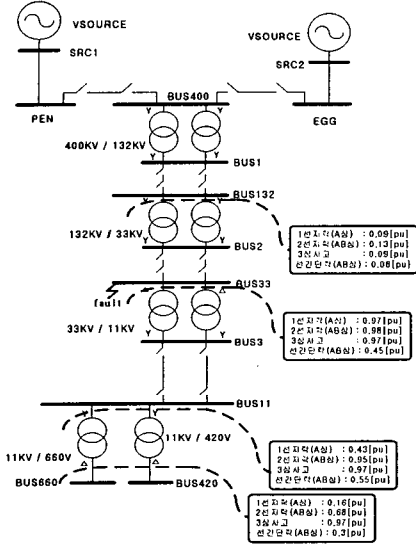


그림 5. BUS33 모선에서의 사고(1선 지락, 2선 지락, 3상사고, 선간 단락)로 인한 각 모선의 Voltage Sag의 크기

표 3-1. BUS33 모선고장에 따른 모선별 Voltage Sag(1)

1선 지락 사고			2선 지락 사고		
고장모선	측정모선	전압 (p.u.)	고장모선	측정모선	전압 (p.u.)
BUS33A	BUS400	0.000	BUS33AB	BUS400	0.000
	BUS132	0.093		BUS132	0.130
	BUS33	0.975		BUS33	0.960
	BUS11	0.430		BUS11	0.950
	BUS660	0.125		BUS660	0.680
	BUS420	0.125		BUS420	0.680

표 3-2. BUS33 모선고장에 따른 모선별 Voltage Sag(2)

3상 지락 사고			선간 단락 사고		
고장모선	측정모선	전압 (p.u.)	고장모선	측정모선	전압 (p.u.)
BUS33A	BUS400	0.000	BUS33AB	BUS400	0.000
	BUS132	0.090		BUS132	0.080
	BUS33	0.970		BUS33	0.450
	BUS11	0.970		BUS11	0.550
	BUS660	0.970		BUS660	0.300
	BUS420	0.970		BUS420	0.000

측정한 Voltage Sag는 고장이 발생하는 동안 가장 낮은 값을 기록하였다. 앞에서 모의 결과 마찬가지로 Voltage Sag의 변화 추이를 더 자세히 알아보기 위해서 아래 그림 6처럼 그래프로 변환하여 분석하였다.

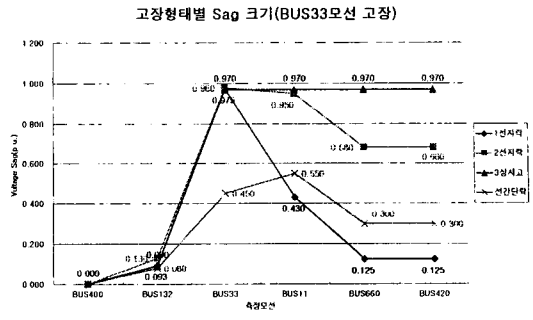


그림 6. 모선별 Voltage Sag 크기의 비교

고장이 발생한 BUS33 모선에서 가장 큰 Voltage Sag가 발생하였고 하위 계통으로 갈수록 Voltage Sag의 값이 감소한다. BUS400과 BUS132 모선에서 살펴보면 BUS33 모선의 상위 계통의 경우에는 Voltage Sag 값이 거의 없거나 작다는 것을 볼 수 있다. 즉, 고장이 발생한 모선의 상위계통 모선에는 전압의 변화가 적다는 것을 의미한다. 반대로 BUS33 모선을 기준으로 하위 계통에는 상위 계통에 비하여 약간 더 큰 Voltage Sag 크기 값을 갖는다.

감사의 글

본 연구는 산업지원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

3. 결 론

본 논문에서는 전력품질에 가장 영향을 크게 미치는 Voltage Sag를 살펴보았다. Voltage sag들은 전력회사 수용가의 민감한 부하들에 오동작을 야기할 수 있는 전압의 일시적인 강하이고, 가장 중요한 전력품질 문제로 인식된다.

전력 계통 내에서 고장이 발생할 경우 고장 발생 모선 이외의 모선들에서 Voltage Sag 현상이 나타난다. 상위계통과 하위계통에서 각각 고장이 발생하였을 때 상위 계통에서 발생한 고장의 경우가 계통내의 Voltage Sag 현상의 파급효과가 더욱 크다는 것을 알 수가 있다. 또한 계통의 변압기를 통과하면서 즉, 고장이 발생한 모선과 멀어질수록, Voltage Sag의 크기가 고장위치와 반비례 관계를 나타내면서 고장거리가 멀수록 Voltage Sag의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power System Quality", McGraw-Hill
- [2] Erich W. Gunther, Harshad Mehta, "A Survey of Distribution System Power Quality - Preliminary Results", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 10, No. 1, pp. 322-329, 1995.
- [3] 이종포, 김철환, "Voltage Sag 검출 기법에 관한 연구"
- [4] Math H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems : Voltage Sags and Interruptions", New York, IEEE Press, 1999
- [5] 고영훈, 김철환, "웨이브렛 변환을 이용한 Voltage Sag 검출", 대한전기학회, Vol. 49, No. 1, 2000. 9