

동적 시뮬레이션을 이용한 Voltage Sensitivity 지수 계산

정성원*, 박인덕**, 이근준***, 김재현*
 *순천대학교 **그린넷파워(주) ***충북과학대학

Voltage Sensitivity Index Calculation using Dynamic Simulation

Sungwon Jeong* Indeok Park** Geunjoon Lee*** Jaehyeon Gim*
 *Sunchon University **GreennetPower Co. ***Chungbuk Provincialcollege

Abstract - This paper proposes the calculation method of voltage sensitivity index using CBEMA power acceptability curves and the voltage curves of the load bus to which momentary events occur. Voltage sensitivity index is represented by areas between two curves.

Voltage sensitivity index is a parameter that depicts the ratio of a load disruption. The correlation between the installation cost of compensation devices and the voltage sag index on the bus can be used the validity of compensation.

1. 서 론

전력품질은 전력의 공급 신뢰도와 순간전압강하 및 상승, 고조파 및 플리커 등의 다양한 현상에 의해 수용가 측에 피해가 증대되고 있고, 이중 주로 피해가 큰 이상 전압 현상들에 대한 연구가 중점적으로 진행되어 왔다. 특히 전압 강하(Voltage Sag)는 수용가의 부하 탈락을 가장 빈번하게 초래하는 전력품질의 문제이며, 최근 국내의 경우 디지털반도체 산업 및 프로세스 산업이 차지하는 비중이 높아 순간정전에 의한 수용가의 피해가 사회의 커다란 문제로 대두되고 있다. 따라서 전압 강하를 객관적으로 평가할 수 있는 정량적 지표의 연구가 매우 필요하다고 하겠다.

전압 강하를 평가하는 가장 대표적인 방법은 먼저 민감도 곡선으로 CBEMA[1], ITIC, SEMI 곡선 등이 있고, 그 지수로는 SARFIx, Sag Score, DISPDIP Table, Voltage Dip Table 등이 있으며, 이 밖에 많은 지수들이 연구[2-5]되고 있다.

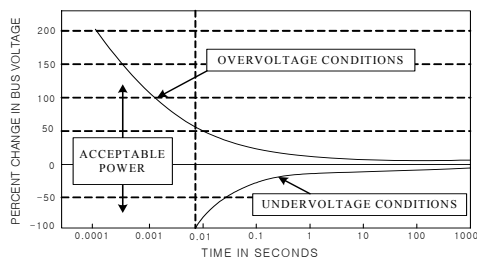
본 논문에서는 특정 부하의 형식과 동특성에 맞추어 CBEMA 곡선을 선정하고 이를 부하 모선의 순간 고장시에 나타나는 부하 모선 전압곡선의 특성과 결합시켜 부하의 탈락 여부를 판별하고, CBEMA 곡선의 허용범위를 위반하는 전압곡선 사이의 면적으로 전압 민감도 지수를 계산 기법을 제안하였다.

2. Index

2.1 CBEMA 곡선

CBEMA 곡선은 배전 전압의 변동 크기와 지속시간을 부하가 허용할 수 있는 한계범위를 정한 것이다. 그림 1은 CBEMA 곡선으로서 전력의 만족도를 가장 잘 표현한 곡선으로 알려져 있다. 여기서 세로축은 이벤트 동안의 전압의 크기를 나타낸 것이며, 가로축은 이벤트의 지속시간을 시간의 로그 눈금으로 나타낸 것이다.

그림 1에서 허용 가능한 운전범위는 과전압은 위쪽 곡선한계까지, 저전압은 아래쪽 곡선의 한계까지이다. 전력만족 곡선 상에서 일반적으로 순간적인 저전압 사건의 영향이 주로 관측되기 때문에 보통 전압 강하에 상대적으로 관심이 집중되고 있으며, 본 논문에서도 저전압 부분만을 다루고 있다.



<그림 1> CBEMA 전력만족곡선

2.2 Voltage Sensitivity Index

본 논문에서 제시한 전압 민감도 지수는 기준 CBEMA 곡선과 동적 모의실험을 통한 부하 모선의 전압곡선을 동일 시간축의 그래프로 나타내고, 이때 CBEMA 곡선의 허용범위를 위반하는 전압곡선 사이의 면적을 지수로 나타내었다.

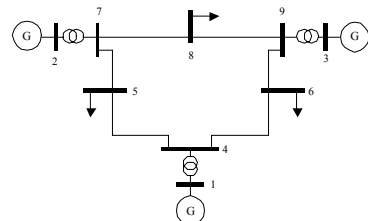
그 계산 방법은 다음과 같다.

- 1) 각 부하 모선의 부하구성비를 선정한다.
- 2) 각 부하 모형에 대한 전압특성을 고려하여 기준 CBEMA 곡선을 선정한다.
- 3) 정상상태에서 부하 모선에 고장을 발생시켜 이때의 모선 전압곡선을 구한다. (부하 모선의 고장 시간은 0.1초로 선정하였다.)
- 4) 기준 CBEMA 곡선과 전압곡선을 동일 축 상에 나타낸다.
- 5) CBEMA 곡선의 허용범위를 위반하는 전압곡선 사이의 면적을 사다리꼴 법칙을 이용하여 계산한다.

3. 사례 연구

3.1 샘플 계통

사례 연구를 위한 샘플 계통은 그림 2와 같이 IEEE 9모선 계통을 이용하였다. 9모선은 3대의 발전기, 9개의 송전선로 및 3개의 변압기로 구성되어 있으며, 총 부하는 315[MW]이다.



<그림 2> IEEE 9모선 샘플 계통

3.2 부하의 구성비 및 전압특성

전압 민감도 지수 계산을 위한 부하모선인 5, 6, 8번 모선의 부하 구성비는 표1과 같으며, 5번 모선의 부하는 전동기, 6, 8번 모선의 부하는 각각 전등, 변환기로 설정하였다.

<표 1> 부하 모선의 부하구성비

모선번호	주거용 (전등) [%]	상업용 (변환기) [%]	대산업용 (전동기) [%]	소비전력 [MW]
5			100	125
6	100			90
8		100		100

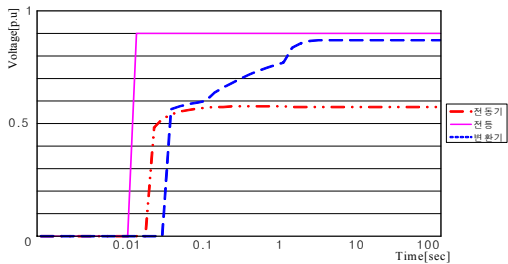
각 부하의 전압에 대한 특성은 참고문헌[6]을 참조하여 식(1-3)과 같이 가정하고, 각각의 부하에 대한 가정으로 전등부하는 0.01초, 전동기 부하는 0.03초, 변환기 부하는 0.05초 이내에서 Sag에 영향을 받지 않는 것으로 하였다.

$$\text{전동기} : V_{end} = \frac{0.575 - 0.325e^{-40T} - 0.57e^{-29.31T}}{1 - e^{-29.31T}} \quad (1)$$

$$\text{전 등} : V_{end} = \frac{0.9 - 0.3e^{-711.6T} - 0.9e^{-0.0272T}}{1 - e^{-0.0272T}} \quad (2)$$

$$\text{변환기: } V_{end} = \frac{0.87 - 0.288e^{-1.06T} - 0.712e^{-23.7T}}{1 - e^{-23.7T}} \quad (3)$$

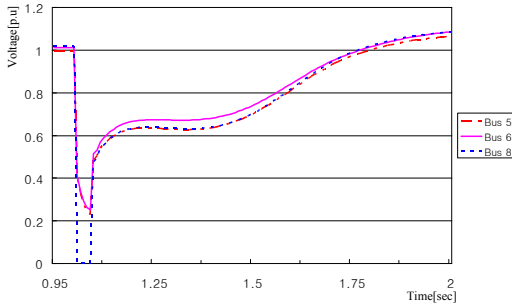
식(1-3)의 조건을 이용하여 CBEMA 곡선을 나타내면 그림 3과 같고, 모션별 부하 탈락 여부의 기준으로 활용하였다.



<그림 3> 부하모션에서 Sag와 차단에 의한 부하차단영역

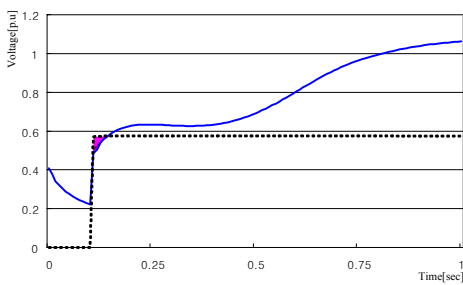
3.3 Voltage Sensitivity Index 계산

전압 민감도 지수를 계산하기 위한 조건으로 정상상태에서 1초 동안 운전 중 각 부하 모션별로 0.1초 동안 모션에 고장을 발생시켰을 때를 모의 실험하였다. 그림 4는 8번 모션에 고장이 발생하였을 때의 각 부하 모션의 전압 곡선을 나타내며, 시뮬레이션 구간은 편의상 0.95~2초로 나타내었다. 5, 6번 모션 고장시에도 유사한 곡선이 나타나지만 실제 계산된 지수가 가장 높은 8번 모션만을 논문에 나타내었다.

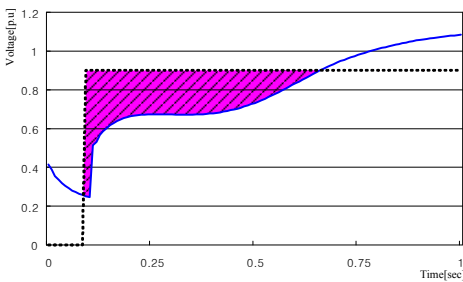


<그림 4> 부하 모션 전압 곡선(Fault 8)

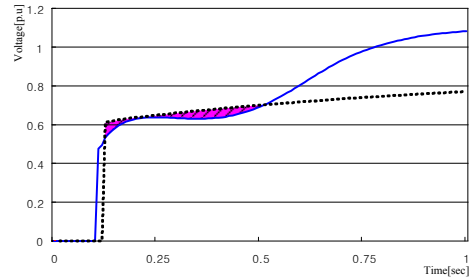
그림 5는 그림 4의 곡선과 CBEMA 곡선을 각 부하 모션별로 동일 시간축(0~1초)의 그래프로 나타낸 것으로 그림에서 음영 부분이 부하가 탈락되는 구간을 나타낸다. 가장 민감한 전등 부하가 면적이 상대적으로 높다.



(a) 5번 모션(전동기)



(b) 6번 모션(전등)



(c) 8번 모션(변환기)

<그림 5> 부하 모션 전압 곡선과 CBEMA 곡선 (- 모션 전압 곡선, ... CBEMA 곡선)

표2는 전압 민감도 지수를 나타낸 것으로 모션 8번에 고장이 발생하였을 때의 지수가 1.491로서 가장 높으며 결과적으로 이 경우 부하 탈락이 가장 심하다는 것을 나타낸다. 지수가 영(0)인 경우는 부하탈락이 일어나지 않았다는 것을 의미한다. 개별적인 지수로 보면 6번 모션의 전등 부하가 가장 부하탈락이 심하고, 5번 모션의 전동기 부하가 상대적으로 낮았다.

<표 2> Voltage Sensitivity 지수

개방모션	모션번호	Voltage Sensitivity 지수	지수의 합
5	5	0	0.438
	6	0.438	
	8	0	
6	5	0	0.574
	6	0.574	
	8	0	
8	5	0.004	1.491
	6	1.467	
	8	0.020	

4. 결 론

본 논문은 부하 모션 고장에 따른 전압 강하의 영향을 분석하기 위하여 Sag 분석의 가장 대표적인 방법인 CBEMA 곡선과 부하 모션의 순간 고장시에 나타나는 부하 모션의 전압곡선을 활용하였고, CBEMA 곡선의 허용범위를 위반하는 전압곡선 사이의 면적을 전압 민감도 지수로 계산하였다.

계산된 지수는 부하의 탈락 가능성을 나타낸다. 또한 보상기기를 설치하였을 때의 보상기 가격과 본 논문에서 제시한 전압 민감도 지수와 상관관계를 이용한다면 보상의 타당성을 구할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 산업자원부 전력산업연구개발사업 전력 기술기초연구에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] ANSI/IEEE Standard 44-1987, "IEEE Recommended Practice for Emergency and Stand by Power System for Industrial and Commercial Application"
- [2] 이근준, "부하의 전압특성을 고려한 모션별 전력품질 지표 및 가격 산정기법", 대한전기학회 논문지, 52A-4-4, pp.213-218, 2003.04
- [3] Bollen, M.H.J, Sabin, D.D.; Thallam, R.S., "Voltage-sag indices - recent developments in IEEE PI564 task force", Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, pp.34-41, Oct. 2003
- [4] Shin, Y.-J., Powers, E.J., Grady, M., Arapostathis, A, "Power Quality Indices for Transient Disturbances, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 21, pp.253-261, Jan. 2006
- [5] J.A. Martinez, J. Martin-Arnedo, "Voltage sag studies in distribution Networks-part III: Voltage sag index calculation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 21, pp.1689-1697, July 2006
- [6] G. J. LEE, G. T. Hedyt, " A Power Quality Index Based on Equipment Sensitivity, Cost and Network Vulnerability", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004. pp.1504-1510