

대규모 계통에서의 순간전압강하 지속시간을 고려한 추계적 평가 방법

(Stochastic Method to Assess Voltage Sag Performance Considering Sag Duration in Large Power System)

이명철* · 박창현**

(Myeong-Cheol Lee · Chang-Hyun Park)

Abstract

The paper presents a method to assess system voltage sag performance considering sag durations as well as magnitudes. In general, voltage sag assessment for large power systems is performed only considering sag magnitudes at sensitive load points. However some equipment can be affected by certain sag durations. The duration of the voltage sag is depend on the time of fault current flow in the system. Therefore, the duration can be determined by analyzing the operating characteristic of the protection system. In this paper, an effective method to evaluate sag durations regarding the characteristics and failure rates of the protection system is described. The proposed method can be used to assess the long-term performance of the voltage sags in large power system.

Key Words : Power Quality, Protection System, Sag Duration, Sag Magnitude, Voltage Sags

1. 서 론

공급 전압변동에 민감한 부하들의 사용이 늘어남에 따라 정밀 자동화 공정을 포함하는 산업단지를 중심으로 순간전압강하로 인한 피해가 증가하고 있다. 현대 산업단지에서의 자동화 공정 중단은 막대

한 경제적 손실을 야기하는 만큼 순간전압강하에 대한 지속적인 관심과 대책이 요구된다. 순간전압강하를 특징짓는 2가지 주요 요소는 순간전압강하의 크기와 지속시간이다. 계통에서의 사고로 기인하는 순간전압강하의 크기는 사고 위치, 계통 임피던스, 사고 전 전압, 사고 종류 등에 따라 좌우된다. 순간전압강하의 크기와 함께 지속시간도 부하 종류에 따라 정상적인 동작에 큰 영향을 미치는 요소이다[1-3]. 사고 발생시에 전력계통의 보호협조에 의하여 고장 개소를 신속히 분리하여 건전계통으로의 파급을 최소화하고, 고장 제거 후 신속한 자동복구를 하는 일련의 과정에서 순간전압강하의 지속시간이 결정된다[1].

* Main author : Ph.D. Course, Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University
** Corresponding author : Associate Professor, Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University
Tel : 051-629-6322, Fax : 051-629-6305
E-mail : spch@pknu.ac.kr
Received : 2015. 12. 1.
Accepted : 2016. 2. 2.

대규모 계통에 대한 순간전압강하 평가 및 분석에 있어 현재까지는 전압강하의 크기만을 고려하는 경우가 일반적이다. 그러나 순간전압강하의 크기뿐 아니라 지속시간도 민감 부하의 동작에 영향을 미치는 요소이므로 효과적인 평가 방법이 필요하다. 본 논문에서는 송전계통에서의 주보호 및 후비보호 시스템의 동작 특성과 실패율 등을 이용하여 순간전압강하 크기와 지속시간을 모두 고려한 평가 방법을 제안한다.

2. 순간전압강하 추계적 평가

2.1 순간전압강하의 이해

IEEE-1159에 의하면 순간전압강하는 전압크기 $0.9p.u \sim 0.1p.u$, 지속시간 0.5cycle에서 1분 사이의 전압감소 현상으로 정의된다[2]. 순간전압강하는 일반적으로 전력계통에서의 사고로 기인하며 큰 부하의 통전 및 대형 전동기의 기동에 의해서도 발생한다[1].

전력계통에서의 사고는 지락 및 단락사고로 구분되며, 사고 발생지점에서는 큰 사고전류가 흐르고 이로 인해 주변 계통에서는 전압감소 현상이 발생한다. 계통에서의 보호장치들이 이러한 사고를 신속히 인지하여 고장 구간을 제거하게 된다. 이 때 순간전압강하의 지속시간은 송배전계통에서 보호장치의 동작시간 및 설정에 따라 결정되는 특징이 있다.

반도체를 포함한 정밀 산업 공정에서는 순간전압강하로 인해 막대한 경제적 손실이 발생할 수 있는 만큼 다양한 대책들이 강구되고 있다. 순간전압강하의 근본 원인을 줄이기 위한 사고 예방 대책에서부터 말단 부하단에서의 보상설비 설치, 민감 수용가를 중심으로 한 보호계전 방식의 개선, 모선 분할을 비롯한 계통 구성 변경, 분산전원의 설치 등 다양한 대책들이 알려져 있다[1,3]. 이러한 대책들을 효율적으로 적용하기 위해서는 주요 개소에 대해 순간전압강하 평가를 실시하여야 한다. 평가 결과로부터 주요 개소에서 순간전압강하 발생 경향 및 정도를 파악할 수 있다.

2.2 순간전압강하 추계적 평가 방법

순간전압강하 평가 방법으로 임계거리법, 고장위치법 및 취약지역 계산을 통한 평가방법 등이 알려져 있다. 임계 거리법(critical distance method)은 전압 분배 모델을 기반으로 하는 것으로 방사상 계통에는 효과적으로 적용이 가능하지만 망구조 계통에는 적용할 수 없는 약점을 가진다[4]. 고장 위치법(fault positions method)은 그림 1과 같이 계통을 여러 구간으로 구분하고 구간내 고장 위치를 지정하여 사고를 모의한다. 각 고장 위치에서의 모의 결과와 계통의 사고율을 이용하여 순간전압강하 평가를 실시한다[1,5]. 방사상 계통이나 망구조 계통에서 모두 적용 가능하여 일반적으로 많이 사용되는 방법이다. 그러나 모의하는 계통에서의 사고 위치 선정 및 그 수에 의해 정확도가 크게 좌우된다. 따라서 대규모 계통에 대해 정확한 순간전압강하 평가 결과를 도출하기 위해서는 매우 많은 고장계산이 필요하여 비효율적이다.

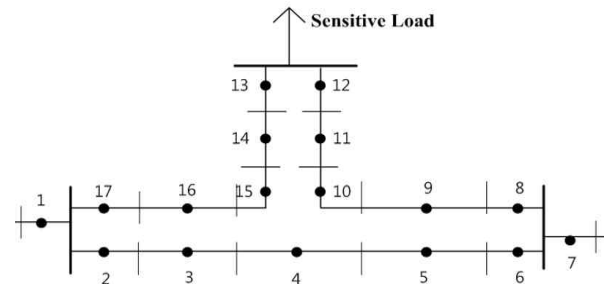


Fig. 1. Example of fault positions method

취약지역 계산을 통한 평가 방법은 2차 보간법 및 할선법(secant method)을 이용해 정확한 취약지역을 계산하고 계통의 사고율을 이용하여 연평균 발생횟수를 추산하는 평가 방법이다[6]. 상기 두 방법들의 단점을 모두 극복한 방법이라 할 수 있다. 상세한 취약지역 계산 방법은 참고문헌[6]에 기술되어 있다. 취약지역은 특정 기기의 전압 민감도 또는 주어진 전압 한계 값 이하의 전압강하를 야기하는 계통내의 사고 위치들의 집합으로 정의된다. 그림 2와 같이 계통 내 특정 부하단에 대하여 순간전압강하를 야기하는 취약지역을 구할

수 있으며 이 취약지역에 포함된 선로 및 모선의 사고율을 이용해서 순간전압강하 발생 횟수 추산을 하게 된다. 식 (1)과 (2)를 통해 평형 및 불평형 사고에 대한 순간전압강하 예상 횟수를 추산하며 3상 중 단상에 대한 평가는 식 (3)을 통해 추산한다. 음영으로 표시된 영역에 사고가 발생하게 되면 해당 민감 부하가 순간전압강하로 인해 영향을 받음을 나타낸다[1,6].

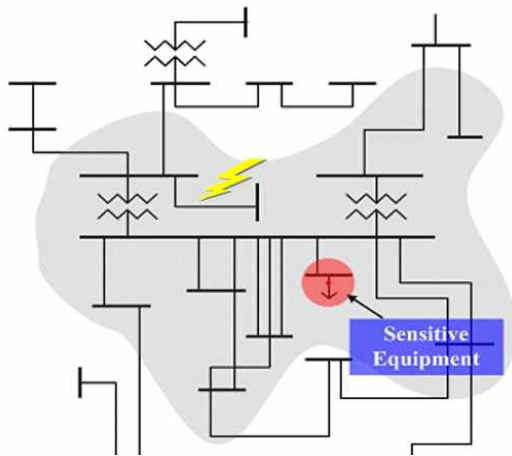


Fig. 2. Area of vulnerability to voltage sags

$$ESF_{UF} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left[\sum_{B=1}^m BFR + \sum_{L=1}^n l_L \times LFR \right] \quad (1)$$

$$ESF_{BF} = \sum_{B=1}^m BFR + \sum_{L=1}^n l_L \times LFR \quad (2)$$

$$ESF = \frac{ESF_{UF}}{3} + ESF_{BF} \quad (3)$$

여기서

ESF (Expected sag frequency) : 순간전압강하 예상 발생횟수

*UF*와 *BF* : 불평형 사고 및 평형 사고

i : 사고형태 (1:SLGF, 2:LLF, 3:DLGF, 4:3PF)

j : 각 상 (1:a상, 2:b상, 3:c상)

*B*와 *L* : 취약지역에 포함된 모선 및 선로

*m*과 *n* : 취약지역에 포함된 모선 및 선로의 수

*BFR*과 *LFR* : 모선 및 선로의 사고율

l_L : 취약지역 내에 포함되는 선로 *L*의 길이

3. 송전계통에서의 고장과 보호 방식

3.1 송전계통에서의 고장 분석

송전선로는 넓은 지역에 걸쳐서 시설되므로 자연현상의 영향을 받기 쉬워 계통에서의 사고는 대부분 가공선에서 발생한다. 그 원인은 뇌격, 풍우, 폭설, 염해 및 이물질 접촉 등이고, 사고의 종류로는 1선 지락사고가 가장 많고 그 다음이 단락사고이며 단선사고는 드문 편이다. 그에 비해서 지중선로의 경우에는 수트리(water tree)로 대표되는 절연열화나 기계적 외력에 의한 영구사고가 주로 발생하지만 가공 송전선에 비하면 사고 빈도는 현저히 적다. 이처럼 가공 송전선로의 사고발생 빈도가 가장 높으며 보호계전 장치의 동작 기회도 많기 때문에 고장 구간 선택의 확실성, 고장 차단시간의 신속성, 계전기 동작의 신뢰성과 함께 다른 보호장치와의 보호협조가 특히 중요하다[5]. 그러므로 송전선로의 보호는 다른 기기나 모선 보호에 비해 다소 복잡하며 주보호와 후비보호로 정정되는 계통의 보호협조를 이해하는 것이 무엇보다 중요하다.

Table 1. Fault statistics of each voltage level

구분		2012년	2013년	2014년	계	비율 (%)
송 전 선	765kV	0	0	0	0	
	345kV	36	19	13	68	11.58
	154kV	161	69	83	313	53.32
	HVDC	0	5	0	5	0.85
모 선	765kV	1	0	0	1	0.17
	345kV	4	5	5	14	2.38
	154kV	10	7	11	28	4.77
M T R	765kV	3	0	1	4	0.68
	345kV	11	9	9	29	4.94
	154kV	37	46	30	113	19.25
	HVDC	0	2	10	12	2.04
합계		263	162	162	587	100.00

표 1은 최근 3년 (2012년~2014년) 동안 송변전설비에서 발생한 고장건수를 전압별로 분석한 통계자료이

대[7]. 해당기간 고장건수는 총 587건이 발생하여, 연 평균 196건으로 분석되었다. 154kV 송전선에서의 고장이 큰 비중을 차지하였다.

3.2 송전계통의 보호계전 방식

전력계통에서의 보호 계전 방식은 사고 발생시 1차적으로 감지 및 보호 동작이 요구되는 주보호 시스템을 두고, 이러한 주보호 시스템의 문제 발생시를 고려해 2차, 3차의 후비 보호 시스템을 운용한다. 송전계통에서의 보호 계전 방식은 일반적으로 표시선 계전 방식을 주보호 시스템으로 거리계전 방식을 후비보호 시스템으로 채택하고 있다[8-9].

거리 계전기는 전압과 전류의 크기 및 위상차를 이용하여 고장점까지의 거리를 측정하는 계전기이다. 154kV 계통 이상의 송전선로의 후비보호, 345kV 변압기의 후비보호, 발전기 후비보호 등에 광범위하게 사용되고 있다[10]. 우리나라 계통에서는 발전기와 변압기 후비보호용 거리 계전방식은 제 1구역(Zone 1) 및 제 2구역(Zone 2)으로 구성되는 2단계 한시거리 계전방식을 적용하고, 송전계통 보호에서는 제 1구역(Zone 1), 제 2구역(Zone 2), 제 3구역(Zone 3)로 구성되는 3단계 한시거리 계전방식을 적용하고 있으며, 그림 3에서와 같이 제 1구역(Zone 1)은 보호구간의 85%까지, 제 2구역(Zone 2)은 보호구간의 150%까지, 제 3구역(Zone 3)은 보호구간의 225%까지를 보호한다.

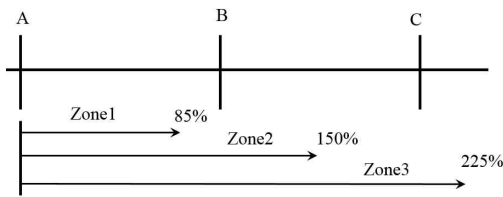


Fig. 3. Protection zones of distance relay system

그림 4에서와 같이 거리 계전방식의 제 1구역(Zone 1)이 자기구간의 85%까지를 보호하기 때문에 나머지 구간은 일정 시간지연을 갖는 제 2구역(Zone 2)에 의존할 수밖에 없다. 이에 대한 보완책으로 자기구간을 100% 보호할 수 있는 표시선 계전방식을 적용하고 있

으며 154kV 이상의 송전선로 보호방식의 주보호로 사용된다. 표시선 계전방식은 표시선을 따로 설치하여 양단의 정보를 서로 교환하는 방법이다[10].

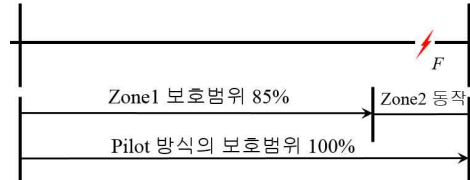


Fig. 4. Protection zone of pilot protection system

3.3 주보호 및 후비보호 시스템 동작특성

가공선로상의 사고 발생시 주보호 시스템이 동작하여 신속히 사고구간이 제거된다. 만약 주보호 시스템이 사고제거를 실패하게 되면 2차, 3차의 후비 보호 시스템이 동작하게 된다. 사고 제거 시간은 설정값에 따라 달라지는데, 일반적으로 주보호 시스템은 5cycle 이내로 동작하며 거리계전기 Zone2 및 Zone3의 동작은 20, 100cycle로 동작한다. 실제 한국전력의 보호계전기 정정(整定)에 따르면, Zone2의 후비보호는 송전전압에 따라 154kV에서는 20cycle(333ms), 345kV에서는 24cycle(400ms)로 정정하고, Zone3의 후비보호에 대해서는 100cycle (1,666ms)로 보호계전기를 정정한다(표 2)[11]. 따라서 사고 발생시 주보호 시스템이 문제없이 작동하게 되면 아주 짧은 시간동안의 순간전압강하가 발생하게 되는 반면 주보호 시스템의 실패로 후비 보호 시스템이 동작하게 되면 상대적으로 지속시간이 긴 순간전압강하를 야기하게 된다.

Table 2. Operating characteristic of main and backup protection

보호범위	구 간	동작시한	비 고
Zone-1	0~85%	~0.083s	
Zone-2	85~150%	0.33~0.4s	154kV-333ms 345kV-400ms
Zone-3	150~225%	1.666s	

보호계전기의 동작데이터를 분석한 결과 선로사고의 대부분은 주보호 시스템의 동작으로 3~5Hz 이내의 지속시간을 나타냈고, 일부 건에 대해서는 고장파급 및 주보호장치의 부동작 등으로 후비보호시스템이 동작하여 상대적으로 긴 지속시간이 나타났다. 참고문헌[12]에 의하면 2000년도 송전선로 고장 261건 중 분석 가능한 194건 사고에 대하여 분석한 결과, 165건이 5Hz 이내에 사고가 제거된 것으로 나타났다. 약 85.05%의 사고가 주보호의 순시 동작에 의해 사고가 제거된 것으로 볼 수 있으며 이를 통해 주보호의 동작 실패율은 14.95%로 추산할 수 있다. 보호계전 시스템의 보다 상세한 과거 동작 데이터를 확보할 수 있다면 주보호 및 후비보호의 동작 시간과 실패율 등의 정확한 데이터를 도출할 수 있을 것이다.

4. 순간전압강하 크기 및 단계별 동작 시간에 대한 순간전압강하 평가

보호계전 시스템의 구성, 동작 특성 및 단계별 실패율에 대한 통계적 데이터를 이용하여 장기적인 관점에서의 순간전압강하 지속시간의 평가가 가능하다. 그림 5는 순간전압강하 크기 및 지속시간을 고려하는 체계적 평가방법의 절차를 나타낸다.

먼저 민감 부하 모선에 대해 전압 0.1p.u. 단위로 정확한 취약지역을 계산하고 순간전압강하 크기만을 고려한 평가를 실시한다. 전압 0.1p.u. 단위로 연평균 순간전압강하 누적 횟수를 식 (1)~(3)을 이용하여 추산한다. 보호계전 시스템의 주보호 및 후비 보호의 동작 특성을 분석하고 과거 동작 데이터로부터 주보호 및 후비 보호의 실패율을 도출한다. 상기 데이터와 식 (4)~(6)을 이용하여 동작 시간에 따른 단계별 순간전압강하 예상 횟수(ESF)를 추산한다. 제안하는 방법은 단일 사고 이벤트는 주보호, 2차, 3차 후비보호를 통해 모두 제거됨을 가정하고 3단계의 지속시간으로 순간전압강하 누적 테이블(cumulative sag table)을 도출한다. 순간전압강하 누적 테이블은 전압강하의 크기 및 지속시간에 대한 순간전압강하 발생 경향을 파악하는데 매우 효과적이다.



Fig. 5. Procedures of voltage sag assessment considering duration

$$ESF_{\lambda_{1st}} = ESF_m \times (1 - \lambda_{1st}) \quad (4)$$

$$ESF_{\lambda_{2nd}} = (ESF_m - ESF_{\lambda_{1st}}) \times (1 - \lambda_{2nd})$$

$$= ESF_m \times \lambda_{1st} \times (1 - \lambda_{2nd}) \quad (5)$$

$$ESF_{\lambda_{3rd}} = ESF_m - (ESF_{\lambda_{1st}} + ESF_{\lambda_{2nd}}) \quad (6)$$

여기서

ESF_m : 순간전압강하 크기만을 고려한 평가 결과

$ESF_{\lambda_{1st}}$: 주보호 동작의 지속시간을 가지는 순간전압강하 평가 결과

$ESF_{\lambda_{2nd}}$: 2차 후비보호 동작의 지속시간을 가지는 순간전압강하 평가 결과

$ESF_{\lambda_{3rd}}$: 3차 후비보호 동작의 지속시간을 가지는 순간전압강하 평가 결과

λ_{1st} : 주보호 시스템의 동작 실패율

λ_{2nd} : 2차 후비보호 시스템의 동작 실패율

5. 사례연구

5.1 대상 계통 및 데이터

IEEE-57 모선 계통에 대해 제안하는 방법에 따라 순간전압강하 평가를 수행하였다. 해당 계통은 57개의 모선과 62개의 선로, 7기의 발전기와 16기의 변압기로 구성되어 있으며 상세한 계통 데이터는 참고문헌[13]에 제시되어 있다.

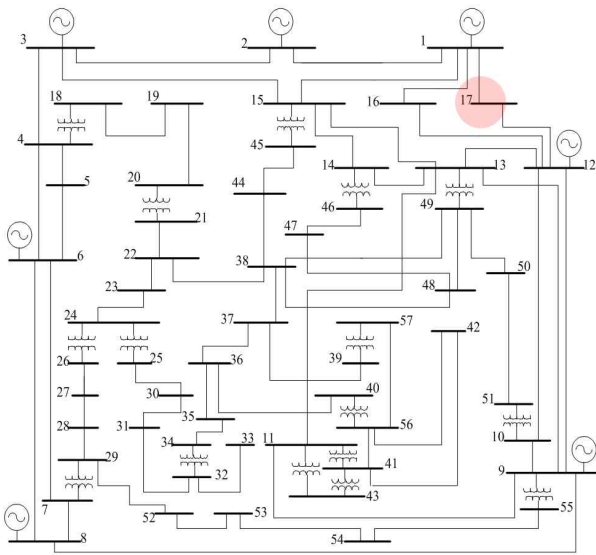


Fig. 6. IEEE-57 bus system

순간전압강하 평가를 위해 필요한 계통의 사고율 데이터는 표 3과 같고 보호계전 시스템의 동작 특성 및 실패율은 표 4와 같이 가정 하였다. 17번 모선을 민감 부하모선으로 가정하여 해당 지점에서의 순간전압강하 평가를 실시하였다.

Table 3. Fault rates

사고형태	모선 사고율 (event/year)	선로 사고율 (event/year-km)
1선지락 (SLGF)	0.0202	0.0244
선간단락 (LLF)	0.0053	0.0034
2선지락 (DLGF)	0.0017	0.0059
3상사고 (3PF)	0.0075	0.0016

Table 4. Failure rates of protection system

구분	주보호	후비보호	
	Zone-1	Zone-2	Zone-3
지속시간	5Hz	20Hz	100Hz
실패율 (λ)	14.95%	34.48%	

5.2 전압강하 크기 및 지속시간에 대한 ESF 계산

모선 17에 대한 취약지역을 계산하고 식 (1)~(3)을 통해 순간전압강하 크기만을 고려한 평가를 실시하였다. 연평균 순간전압강하 발생횟수를 0.1p.u. 단위로 추산하여 표 5와 같은 누적테이블을 도출하였다. 17번 모선에서 0.9p.u. 이하의 순간전압강하가 연평균 11.221회 정도 발생할 것으로 예상되었다.

Table 5. ESF for each sag magnitude

sag magnitude (p.u.)	ESF (sags/year)
0.9	11.221
0.8	5.587
0.7	3.254
0.6	1.801
0.5	1.058
0.4	0.664
0.3	0.436
0.2	0.232
0.1	0.098

다음으로 3단계의 지속시간별 순간전압강하 예상 횟수를 추산하였다. 식 (4)~(6)을 통해 각 지속시간별 ESF를 계산하였다. 결과로부터 모선 17에서의 순간전압강하 누적테이블을 표 6과 같이 도출하였다. 대부분의 사고는 주보호에 의해 빠른 시간 안에 제거가 되기 때문에, ≤5Hz의 지속시간을 가지는 순간전압강하가 높은 빈도로 예상되었으며 주보호 및 후비보호의 실패율에 따라 나머지 구간에서의 발생 횟수가 추산되었다. 따라서 17번 모선의 경우 전압강하 크기 0.9p.u.

이하이면서 $\leq 5\text{Hz}$ 의 지속시간을 가지는 순간전압강하가 연평균 9.544회 발생할 것으로 예상되었으며 2차 및 3차 후비보호의 지속시간을 가지는 순간전압강하는 각각 1.099회, 0.578회 발생할 것으로 추산할 수 있다.

만약 17번 모선에 연결되어 있는 민감 부하가 전압강하 크기 0.8pu., 지속시간 5Hz(83.3ms)의 전압민감도를 가진다고 할 경우 순간전압강하로 인한 영향 평가를 해보면 다음과 같다. 해당부하는 전압강하크기 0.8pu. 이하, 지속시간 5Hz를 넘는 순간전압강하에 대해 오동작하거나 피해를 받게 됨을 의미한다. 즉 주보호 실패로 2차 및 3차 후비보호가 동작할 때 영향을 받게 됨을 나타낸다. 따라서 표 6의 결과로부터 해당 부하는 연평균 0.835회 정도 영향을 받을 것으로 추산할 수 있다. 그러나 표 5의 전압강하 크기만을 고려한 결과를 이용할 경우는 연평균 5.587회의 결과를 얻게 된다. 따라서 민감 부하에 대한 정확한 영향 평가를 위해서는 전압강하 크기와 함께 지속시간을 고려한 평가가 수행되어야 한다.

Table 6. Voltage sag cumulative table for Bus17

Sag magnitude (pu)	ESF (sags/year)		
	Sag duration (Hz)		
	$0 < \text{ESF} \leq 5$	$5 < \text{ESF} \leq 20$	$20 < \text{ESF} \leq 100$
0.9	9.544	1.099	0.578
0.8	4.752	0.547	0.288
0.7	2.768	0.319	0.168
0.6	1.532	0.176	0.093
0.5	0.900	0.104	0.055
0.4	0.565	0.065	0.034
0.3	0.371	0.043	0.023
0.2	0.197	0.023	0.012
0.1	0.083	0.010	0.005

그림 7은 평가 결과의 보다 직관적인 이해를 위해 3D 차트로 결과를 도시한 것이다. 전압강하 크기 및 지속시간을 고려한 평가 결과를 나타낼 때는 일반적으로 누적 테이블과 함께 3D차트를 활용한다.

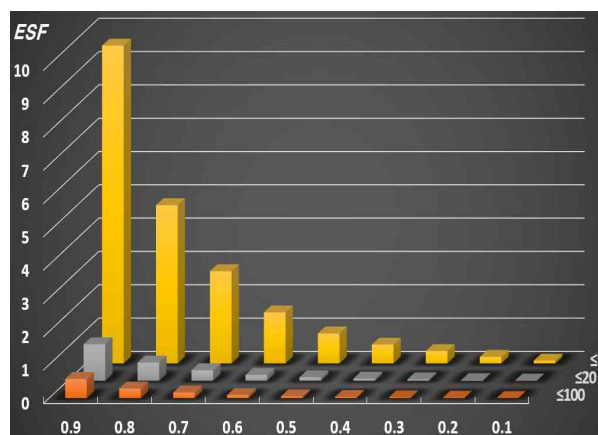


Fig. 7. 3D bar chart for ESF (Bus 17)

특정 전압강하 크기 및 지속시간에 대한 순간전압강하 발생 경향을 용이하게 파악할 수 있다. 보호계전 시스템의 동작 특성과 과거 통계 데이터를 바탕으로 특정 모선에서의 ESF를 효율적으로 도출하였다.

6. 결 론

본 논문은 대규모 송전계통에서의 순간전압강하 크기와 지속시간을 함께 고려하는 평가 방법을 제시하였다. 대규모 계통에 대한 순간전압강하 평가시 크기만을 고려하는 기존 방법의 약점을 개선한 것이다. 순간전압강하의 지속시간은 계통에서의 보호 계전 시스템 동작 특성에 의해 좌우되므로 계통에 적용된 보호계전 시스템의 종류 및 설정값 등에 대한 분석이 필요하다. 제안하는 방법은 보호 계전 시스템의 주보호 및 후비보호 시스템의 동작 시간과 실패율을 이용하는 것으로 대규모 계통에 대한 장기적인 관점에서의 순간전압강하 발생 경향을 효과적으로 파악할 수 있다. 대규모 계통에 대해 정밀한 지속시간을 단계별로 추산하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 이에 보호계전 시스템의 과거 데이터로부터 동작 시간과 실패율 등의 통계적 분석을 통한 효율적인 평가 방법을 제안하였다. 순간전압강하 크기와 지속시간을 모두 고려한 평가가 가능하여 특정 부하단에서의 최적 대책 수립 및 설비 운용계획 수립 등에 효과적으로 활용 가능하다.

References

- [1] M. H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, Piscataway, NJ, 2000 IEEE Power Engineering Series.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality. New York: McGraw-Hill, 2002, ch.3.
- [3] IEEE Std. 1159 - 1995, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- [4] M. H. J. Bollen, "Fast Assessment Methods for Voltage Sags in Distribution Systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 32, no. 6, pp. 1414 - 1423, 1996.
- [5] L. Conrad, K. Little, and C. Grigg, "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-clearing Voltage Dips". IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 27 no.1, pp.167 - 172, 1991.
- [6] C. H. Park and G. Jang, "Stochastic estimation of voltage sags in a large meshed network", IEEE Trans. Power Deliv., 22 (3), pp. 1655- 1664, 2007.
- [7] J. H. Kim and H. J. Lee, The Failure Statistics of Electric Power Equipments in 2014, Korea Power Exchange, 2015. 02.
- [8] Yong-Ho An, Byung-Tae Jang, Nam-Ho Lee, Jeong-Yeol Han, You-Jin Lee, Bong-He Lee, Sang-Yong Moon, "Case Study on the Application of 154kV Transmission Line Protection IED on Site", Proceedings of KIEE Spring Conference, pp. 33-234, 2012. 05.
- [9] Chang-Hyun Park, Young-Won Song, Kyebyung Lee, Chul-soo Seo, Young-do Choi, Sang-ho Park, "Voltage sag durations and protection schemes in transmission systems", Proceedings of KIEE Summer Conference, 2013. 07.
- [10] KIEE, Power Transmission Engineering, Munundang, 2010.
- [11] DS-2401 Measurement and Protective Relaying System in Substation, Korea Electric Power Corporation, 2012.
- [12] Ho-Pyo Kim, Sang-Seob Han, Eung-Ju Park, "The Analysis of Fault and Relay Operation in System of Power Network", Proceedings of KIEE Spring Conference, pp. 27-29, 2001. 05.
- [13] IEEE 57-Bus Test Case, [Online]. Available: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf57/pg_tca57bus.htm

◇ 저자소개 ◇



이명철(李明哲)

1969년 12월 14일생. 1995년 동아대학교 전기공학과 졸업. 2014년 부경대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 부경대학교 전기공학과 박사과정 재학.



박창현(朴昶炫)

1974년 12월 25일생. 2007년 고려대학교 전기공학과 석박사통합과정 졸업(박사). 현재 부경대학교 전기공학과 부교수.