

전력계통 운전조건을 고려한 순간전압강하 추계 방법

Method to Estimate Expected Sag Frequency Considering the Operating Condition of Power System

손 정 대* · 이 계 병** · 박 창 현†
(Jeongdae Son · Kyebung Lee · Chang-Hyun Park)

Abstract - This paper deals with the assessment of voltage sags regarding the variation of system operating conditions. In general, voltage sag assessment is performed by assuming the constant operating condition throughout the year. However, the assumption can lead to assessment errors in case of considerable changes of system operation condition. This paper presents a method to estimate ESF(expected sag frequency) considering the operating conditions according to the changes of power demand throughout the year.

Key Words : Area of vulnerability, Load factor, Operating condition, Power quality, Voltage sag assessment

1. 서 론

짧은 시간동안의 전압 감소 현상인 순간전압강하는 정밀 제어 기반의 자동화 공정을 포함하고 있는 산업 시설에서 민감 기기의 오동작을 야기하여 막대한 경제적 손실을 초래한다[1, 2]. 순간전압강하 저감을 위한 다양한 대책들이 알려져 있으나 효율적인 대책수립을 위해서는 민감 부하모선을 중심으로 한 순간전압강하 평가가 선행되어야 한다. 순간전압강하 평가는 계통 내 특정 모선에서 경험할 수 있는 연간 순간전압강하 발생 횟수(ESF: expected sag frequency)를 예측하는 기술이다[1-7]. 평가를 통해 특정 모선에서의 순간전압강하 발생 경향을 파악할 수 있기 때문에 수용가 맞춤형 대책 수립, 민감 수용가의 최적 입지선정 및 최적 보상설비 선정 등의 분석이 가능하다. 순간전압강하 평가는 장기적인 관점에서 연평균 순간전압강하 발생 횟수를 예측하는 것으로 연중 평균적인 계통 운전 조건을 가정하여 평가를 수행한다. 그러나 4계절이 뚜렷한 우리나라와 같이 연중 부하율의 변동 및 운전 조건의 변화가 크거나 사고율의 편차가 큰 경우 평가 결과의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 전력 수요 예측 결과에 따라 계통 운영 방안과 송배전계통의 유지보수 계획이 결정되고, 수급 균형을 위한 운전 조건 및 계통 구성 등이 변경될 수 있다. 참고문헌 [8]에서는 발전기 유지보수 계획의 반영에 따른

순간전압강하 평가 결과의 차이를 분석하였다. 그러나 연중 부하율 및 계통 구성 변경 등의 실제계통 환경에서 있을 수 있는 운전 조건의 변화를 반영하지는 못했다. 본 논문에서는 연중 부하율의 변화에 따른 계통 운전 조건의 변화와 각 부하율에서의 계통 운전 시간에 대한 통계 데이터를 이용하는 순간전압강하 평가 방법을 제안한다.

2. 순간전압강하 평가

순간전압강하 평가는 계통내 특정 지점이나 부하에서 연평균 몇 번 발생할 것인지, 민감 부하가 몇 번 피해를 입을 것인지, 연간 순간전압강하로 인한 경제적 손실이 얼마가 될 것인지 등을 추산하는 분석 과정이다. 순간전압강하 평가 방법으로는 임계거리법(critical distance method)[3], 사고위치법(fault positions method)[4], 취약지역(AOV: area of vulnerability) 계산을 통한 평가 방법[6] 등이 알려져 있다. 각 방법마다 장단점이 있으나 대규모 망구조 계통에 대한 평가는 취약지역에 기반한 평가방법이 효과적이다. 취약지역은 계통내의 사고에 대한 민감 기기의 취약 범위를 평가해 보는 방법으로써, 기기의 전압 민감도 또는 주어진 전압 한계 값 이하의 사고 전압을 야기하는 계통내의 사고 위치들의 집합으로 정의된다[2, 6]. 이때 기기의 전압 민감도는 해당 기기가 정상적인 동작을 할 수 있는 최소 전압 값을 의미하며 해당 전압 민감도 이하의 순간전압강하 발생시 기기의 오동작을 야기한다. 그림 1과 같이 계통내의 특정 부하에 대하여, 기기의 전압민감도 이하의 사고전압을 야기하는 취약지역을 계산할 수 있다. 이때 취약지역 바깥영역에서 사고가 발생 한다면 민감 부하에 영향을 주지 않는다. 반면 취약지역 안쪽영역에서의 사고는 민감 부하에 전압민감도 이하의 사고전압을 발생시켜 기

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea
E-mail : spch@pknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea

** School of Electrical Engineering, Korea University, Korea

Received : December 14, 2015; Accepted : February 5, 2016

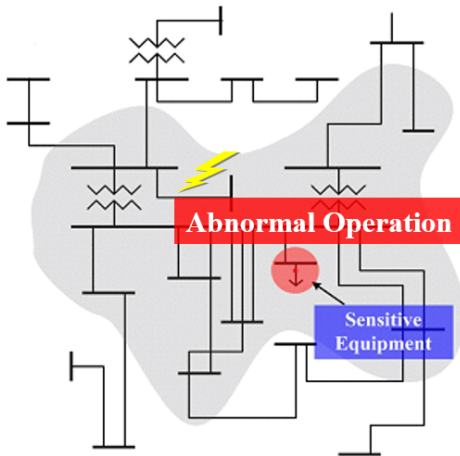


그림 1 민감 부하에 대한 취약지역
 Fig. 1 Area of vulnerability(AOV) for sensitive equipment

기의 오동작을 야기한다.

취약지역의 계산은 전력계통에서의 고장계산을 역으로 해석하는 것이라 할 수 있다[6]. 고장계산은 계통 내 특정 위치에서 사고를 모의하여 사고전류 및 전압을 계산하는 것이라고 한다면 취약지역의 계산은 주어진 사고 전압 크기를 야기하는 계통내 사고 위치를 모두 찾는 것이다. 일반적으로 망구조 계통에서 모선 F와 T 사이의 선로에 대한 취약지역은 그림 2와 같이 민감 부하의 한계 전압에 대해 4가지의 경우가 존재한다. 실선은 선로상 사고 위치에 따른 전압강하크기를 나타내며 점선은 한계 전압을 나타낸다. Case 1은 해당 선로가 취약지역에 포함되지 않는 경우이며 Case 2는 모선 F와 이에 연결된 선로 일부가 취약지역에 포함되는 경우를 나타낸다. Case 3은 양단 모선과 이에 연결된 선로 양쪽 일부가 취약지역에 포함되는 경우를 나타내며 Case 4는 해당 선로 전체가 취약지역에 포함되는 경우를 나타낸다. 순간전압강하에 대한 취약지역과 계통 사고율 데이터를 이용하여 특정 위치

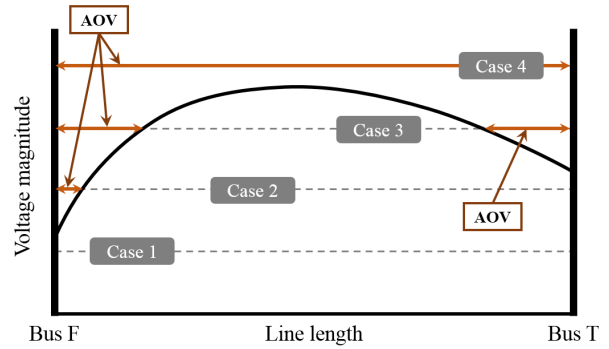


그림 2 모선 F-T 사이 선로에서의 취약지역
 Fig. 2 AOVs on the line between buses F and T

에서의 순간전압강하 연평균 발생 횟수를 추산할 수 있다. 민감 부하 모선에 대한 취약지역을 계산하고 취약지역에 포함된 선로 및 모선에서의 사고 발생 횟수를 계산함으로써 해당 모선에서의 순간전압강하 발생 횟수를 추산할 수 있다.

3. 운전조건 변화를 고려한 평가

3.1 전력 수요에 따른 부하율 변화

전력 수요는 매년 증가하고 있고 연중 다양한 전력 수요 패턴이 나타난다. 그림 3은 2013년과 2014년의 우리나라 월별 전력 수요 패턴을 보여준다[9]. 계절적 영향에 따라 연중 전력 수요가 크게 변화하는 특성을 확인할 수 있다. 우리나라의 평균적인 전력 수요의 증가율은 둔화되고 있지만, 최대 전력은 크게 증가하고 있다. 이것은 전력 계통의 운전 조건이 더욱 다양해지고 변화 폭도 커지고 있음을 의미한다. 표 1은 특정 계통에서 5년간의 운전 데이터 분석을 통한 연중 부하 수준 분포를 나타낸다. 부하율

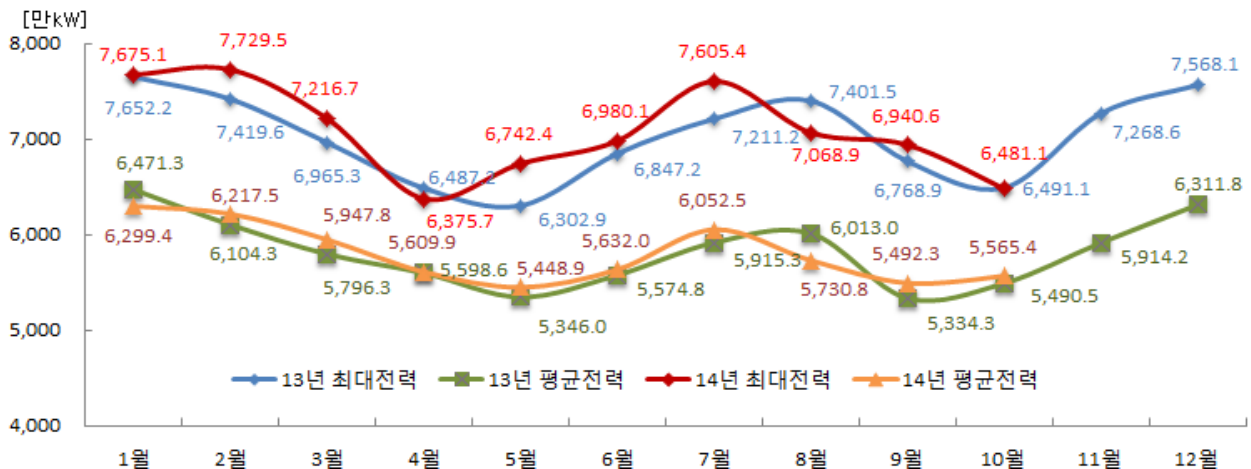


그림 3 월별 전력수요 변화[9]
 Fig. 3 Variation of a monthly power demand[9]

80% 수준의 계통 운전은 연중 36.75[%]의 비율로 운전되었음을 나타낸다. 순간전압강하 평가에 있어 부하율에 따른 계통의 운전 조건 변화는 민감 모션에 대한 취약지역의 변화를 가져오게 된다. 따라서 평가 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 연중 부하율 변화를 반영한 평가가 필요하다.

표 1 연간 부하 수준 분포[%]

Table 1 Load level distribution throughout a year[%]

부하 수준	100%	90%	80%	70%	60%	합계
2010년	1.40	16.64	34.46	29.09	18.40	100.0
2009년	0.79	10.74	35.68	30.65	22.13	100.0
2008년	1.28	17.75	37.49	27.04	16.45	100.0
2007년	0.59	10.24	38.31	29.53	21.32	100.0
2006년	0.39	11.04	37.79	28.60	22.19	100.0
평균	0.89	13.28	36.75	28.98	20.10	100.0

3.2 전력 계통의 운전 조건 반영

기존의 순간전압강하 평가는 연중 평균적인 계통 상황을 고려하여 수행된다. 그러나 연중 부하율 및 사고 발생의 편차가 큰 경우 단일한 계통 상황에 대한 평가로는 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다. 계통 운전조건 변화를 고려한 평가를 위해서는 과거 계통 데이터로부터 표 1과 같은 연중 부하율별 운전 시간에 대한 통계 데이터를 도출할 필요가 있다. 다음으로 각 부하 수준별 계통 데이터에 대해 취약지역을 계산하고 연평균 순간전압강하 횟수를 산출한다. 부하율별 운전조건 OP_k 에서의 불평형 및 평형사고에 대한 순간전압강하 발생횟수는 식 (1)과 (2)와 같이 계산할 수 있다.

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

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

여기서, ESF 는 순간전압강하 예상 발생횟수이고, UF 와 BF 는 불평형 사고 및 평형 3상 사고이고, i 는 사고형태 (1 : SLGF, 2 : LLF, 3 : DLGF)이고, j 는 각 상 (1 : a상, 2 : b상, 3 : c상)이고, B 와 L 은 각각 취약지역 내에 포함된 버스과 선로이고, m 과 n 은 각각 취약지역 내에 포함된 버스 수와 선로의 수이고, BFR 과 LFR 은 각각 사고 종류에 대한 버스과 선로의 사고율이고, l_L 은 운전조건 OP_k 에서의 취약지역 내에 포함되는 선로 L 의 길이이다.

각 상에서의 사고 발생 확률이 동일하다고 가정하면, 3상 중 하나의 상에 대한 순간전압강하 발생 횟수는 식 (3)과 같이 추산할 수 있다.

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

각 계통 운전 조건에 대한 평가 결과는 해당 부하율의 분포 확률에 따라 반영된다. 최종적으로 식 (4)와 같이 해당 부하율의 분포 확률을 고려한 평가 결과를 모두 합함으로써 ESF 를 추산하게 된다.

$$ESF = \sum_{k=1}^s [ESF(OP_k) \times P(OP_k)] \quad (4)$$

여기서, k 는 부하율 조건, s 는 전체 부하율 조건의 수이고, OP_k 는 부하율 k 에서의 운전 조건이고, $P(OP_k)$ 는 OP_k 운전 조건의 분포 확률이다.

3.3 통계적 분석 및 구간추정 평가

계통 운전조건을 반영한 순간전압강하 평가 결과는 특정 모션에서의 연평균 순간전압강하 발생 경향을 나타낸다. 평가 결과는 특정 전압강하 크기에 대해 단일 수치로 추산되게 된다. 이러한 추정을 점추정(point estimation)이라 한다. 점추정은 추정 결과가 하나의 수치로 나타나기 때문에 오차의 개념이 포함되지 않는다. 따라서 평가결과의 활용성이 떨어지는 단점이 있다. 순간전압강하 평가에 있어 점추정 보다는 구간추정(interval estimation)이 보다 효과적이라 할 수 있다. 구간 추정은 주어진 신뢰수준에 대해 모집단의 값이 어느 범위에 있는지 그 범위를 추정하는 분석이다[10]. 순간전압강하 평가 결과와 함께 최대 발생 횟수(상한 한계)를 제시함으로써 순간전압강하 발생 경향 파악과 결과 활용면에서 매우 효과적이다. 참고문헌 [10]에서는 순간전압강하 모니터링 데이터에 대한 통계적 분석에서 점추정보다는 구간추정 방법이 효과적임을 소개하였다. 순간전압강하 발생에 대한 시간과 이벤트 발생과의 관계를 지수적인 관계로 가정할 경우 포아송 분포에 따른 발생 확률은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[10].

$$P(x; \lambda t) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^x}{x!} \quad (5)$$

여기서 x 는 확률 변수이며 λt 는 시간 간격 t 동안 평균적으로 발생하는 이벤트의 수를 나타낸다.

순간전압강하 평가 결과의 활용에 있어 하한 한계는 큰 의미가 없기 때문에 식 (6)을 이용하여 상한 한계를 산출한다. 식 (5)의 포아송 확률 밀도 함수에 대해 M [%] 신뢰한계를 갖는 상한 한계를 식 (6)과 같이 구할 수 있다[10].

$$\sum_{x=0}^{\mu} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^x}{x!} \geq M \quad (6)$$

여기서, μ 는 평균 이벤트 수이며, M 은 누적확률로 0에서 1사이의 값이다. 보통 0.95(95[%])의 누적 확률에 대한 상한 한계를 도출한다.

4. 사례 연구

그림 4와 같은 IEEE-57 모선 계통에 대해 제안하는 방법을 이용하여 순간전압강하 평가를 수행하였다[11]. 순간전압강하 평가를 위한 모선 및 선로의 사고율은 표 2와 같다.

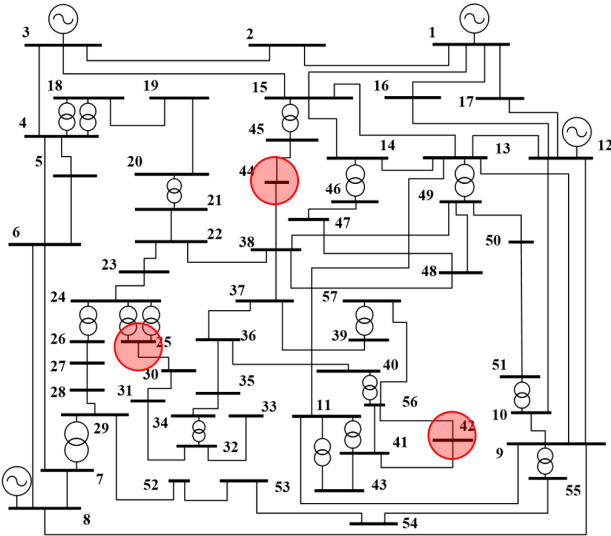


그림 4 IEEE-57 모선 계통
Fig. 4 IEEE-57 bus system

표 2 계통 사고율 데이터

Table 2 System fault rate

사고형태	모선 사고율 [event/year]	선로사고율 [event/year-km]
SLGF	0.0202	0.0244
LLF	0.0053	0.0034
DLGF	0.0017	0.0059
3PF	0.0075	0.0016

연중 부하율의 변화와 계통 운전 조건 등의 반응을 위해 모의 시나리오를 구성하였다. 테스트 계통에 대한 부하율은 100%, 90%, 80%, 70%, 60% 수준의 5가지 운전 상태를 가정하였다. 표 3은 각 부하율에 따른 발전기 투입 여부 및 출력 운전 조건을 나타낸다. 발전기의 운전 조건뿐 아니라 정상적인 운전 상황을 벗어나지 않는 범위에서 부하 위치 및 계통 구성 등도 조금씩 변화함을 가정하였다. 기존의 순간전압강하 평가시 대상이 되는 계통 기본 조건은 부하율 80[%]일 때를 가정하였다. 모선 25, 42, 44를 민감 부하모선으로 가정하였으며 부하율에 따른 운전 조건의 분포 확률은 실제 데이터인 표 1을 준용하였다.

각 민감 모선에 대한 순간전압강하 평가 결과는 표 4, 표 5 및 표 6과 같다. 결과는 순간전압강하 누적 테이블(sag cumulative table)의 형태로 도출하였다. 각 전압강하크기에 대해 기존 평가 방법에 따른 결과, 각 부하율별 운전 조건에서의 결과, 연중

표 3 부하수준별 발전기 운전 조건 [MW]

Table 3 Generator operating condition corresponding to each load level [MW]

발전기 모선	100%	90%	80% (default)	70%	60%
1	567.11	542.92	500.381	436.66	385.13
2	60.0	OUT	OUT	OUT	OUT
3	100.0	80.00	50.0	20.0	20.0
6	80.0	40.00	OUT	OUT	OUT
8	450.0	450.0	400.0	350.0	300.0
9	40.0	20.0	20.0	OUT	OUT
12	310.0	310.0	310.0	310.0	250.0
합계	1563.2	1407.2	1250.8	1094.5	938.1

부하율 분포 확률을 반영한 결과, 마지막으로 구간 추정을 통한 상한 한계의 순서로 정리하였다.

표 4의 경우 25번 모선에서의 평가 결과로 기존 방법에 따른 결과는 0.9[p.u.] 이하의 전압강하가 연평균 63.1회 정도 발생할 것으로 추산되었다. 계통 운전 조건별 연중 분포 확률을 고려한 평가 결과는 61.8회로 나타났으며 누적 확률 95[%] 수준에서의 상한 한계는 75.0회로 계산 되었다. 따라서 25번 모선에 대한 평가 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 25번 모선에서의 0.9[p.u.] 이하의 순간전압강하는 연평균 61.8회의 빈도로 예상되며 최대 75회까지 발생할 수 있다. 기존의 평가 방법에 따른 단일 수치 결과보다 발생 경향을 이해하는데 보다 실질적이고 효과적이다.

표 4 25번 모선에 대한 순간전압강하 평가 결과

Table 4 Results of the voltage sag assessment for bus 25

전압 강하 크기	기존 방법	100%	90%	80%	70%	60%	운전 조건 반영	상한
0.9	63.1	36.2	45.3	63.1	63.1	69.6	61.8	75.0
0.8	27.9	23.4	26.8	27.9	32.0	69.0	37.2	47.0
0.7	18.2	19.1	20.1	18.2	18.5	48.1	24.6	33.0
0.6	13.1	13.0	14.5	13.1	13.1	23.1	15.3	22.0
0.5	6.9	5.8	6.5	6.9	6.8	14.0	8.2	13.0
0.4	3.2	2.5	2.7	3.2	3.0	6.0	3.6	7.0
0.3	1.7	1.5	1.6	1.7	1.7	2.1	1.8	4.0
0.2	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.3	1.0	3.0
0.1	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.8	0.5	2.0

표 5의 모선 42에 대한 평가 결과를 보면 해당 모선에서 0.8[p.u.] 이하의 순간전압강하는 기존방법의 경우 연평균 19.1회로 나타났으며, 운전조건을 고려한 평가결과는 22.6회로 나타났다. 0.8[p.u.]에 대한 상한 한계 계산을 위한 포아송 확률 분포는 그림 5와 같고 누적 확률 분포 함수는 그림 6과 같다. 95[%]

수준에서의 상한 한계는 31.0회로 추산되었다. 연평균 발생 경향과 함께 최대 발생 횟수(상한)의 추산을 통해 대책 수립을 위한 근거 자료로 효과적으로 활용 가능하다. 기존의 평균적인 추산결과는 실제 발생과의 오차 범위에 대한 정보가 없어 대책 수립을 위한 목표치 및 그 효과에 대한 전망이 어렵다. 반면 최대 상한을 고려할 경우 대책 수립의 범위와 정도를 결정하는데 효과적이다.

표 5 42번 모선에 대한 순간전압강하 평가 결과

Table 5 Results of the voltage sag assessment for bus 42

전압 강하 크기	기존 방법	100%	90%	80%	70%	60%	운전 조건 반영	상한
0.9	31.8	29.2	31.7	31.8	37.9	66.1	40.4	51.0
0.8	19.1	20.2	20.5	19.1	19.7	34.6	22.6	31.0
0.7	13.0	14.0	13.9	13.0	13.0	19.2	14.4	21.0
0.6	8.6	8.7	8.5	8.6	8.4	12.4	9.3	15.0
0.5	6.1	5.5	5.4	6.1	5.9	7.2	6.1	10.0
0.4	4.4	3.4	3.3	4.4	4.3	4.5	4.2	8.0
0.3	3.5	2.3	2.3	3.5	3.5	3.4	3.3	7.0
0.2	3.1	1.8	1.8	3.1	3.1	2.9	2.9	6.0
0.1	2.6	1.6	1.6	2.6	2.6	2.5	2.4	5.0

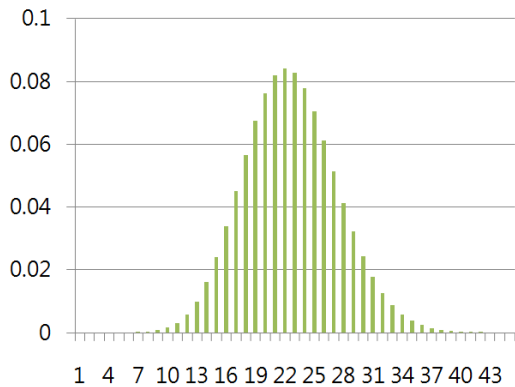


그림 5 전압강하크기 0.8[p.u.]에 대한 포아송 확률 밀도 함수

Fig. 5 Poisson probability density function for sag magnitude below 0.8[p.u.]

표 6의 모선 44의 경우 0.7[p.u.] 이하의 순간전압강하는 기존 방법의 경우 연평균 11.0회로 나타났으며 운전조건을 고려한 평가결과는 12.6회로 나타났다. 구간 추정을 통한 상한 한계는 19.0회로 추산되었다.

이상의 3개 모선에서의 평가 결과를 보면 모선 25에서 순간전압강하가 상대적으로 많이 발생할 것으로 추산되었으며 모선 44가 가장 빈도가 낮을 것으로 추산되었다. 따라서 3개의 모선 중 순간전압강하에 민감한 신규 부하의 입지를 선정할 경우 모선

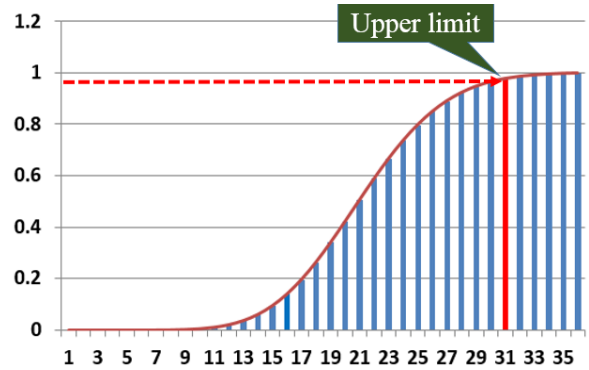


그림 6 전압강하크기 0.8[p.u.]에 대한 누적 확률 분포 함수

Fig. 6 Cumulative distribution function for sag magnitude below 0.8[p.u.]

44에 연결하는 것이 상대적으로 유리할 것으로 예상할 수 있으며 반면 모선 25에 민감 수용가 연계되어 있다면 적절한 대책을 수립하는 것이 필요하다는 분석이 가능하다.

표 6 44번 모선에 대한 순간전압강하 평가 결과

Table 6 Results of the voltage sag assessment for bus 44

전압 강하 크기	기존 방법	100%	90%	80%	70%	60%	운전 조건 반영	상한
0.9	21.1	23.1	23.7	21.1	21.8	61.4	29.8	39.0
0.8	14.8	18.4	18.3	14.8	14.8	27.3	17.8	25.0
0.7	11.0	14.8	14.6	11.0	10.6	16.9	12.6	19.0
0.6	7.6	11.4	11.2	7.6	7.2	12.1	8.9	14.0
0.5	4.9	7.8	7.8	4.9	4.7	8.5	6.0	10.0
0.4	3.0	5.8	5.6	3.0	2.9	5.2	3.8	7.0
0.3	1.7	3.7	3.6	1.7	1.7	3.1	2.3	5.0
0.2	0.9	1.7	1.6	0.9	0.8	1.4	1.1	3.0
0.1	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4	0.6	0.5	2.0

5. 결 론

본 논문에서는 부하율에 따른 계통 운전조건 변화를 고려한 순간전압강하 평가 방법을 소개하였다. 연중 평균적인 계통 상황에 대해 평가가 이루어지는 기존 방법의 문제점을 개선한 것으로 부하율 및 계통 구성 등 운전 조건의 변화가 큰 경우 효과적으로 적용 가능한 평가 방법이라 할 수 있다. 또한 모니터링 데이터에 대한 통계적 분석기술 중 구간 추정 기법을 적용하여 평가 결과의 활용성을 높였다. 제한하는 방법을 통한 평가 결과는 순간전압강하 발생 경향을 파악하거나 대책 수립을 위한 근거 자료로 효과적으로 활용 가능하다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음

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] M. H. J. Bollen, "Fast assessment methods for voltage sags in distribution systems," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 32, No. 6, pp. 1414-1423, Nov./Dec. 1996.
- [4] M. R. Qader, M. H. J. Bollen, and R. N. Allan, "Stochastic prediction of voltage sags in a large transmission system", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 35, No. 1, pp. 152-162, 1999.
- [5] J. Wang, S. Chen, and T. T. Lie, "System voltage sag performance estimation," IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 20, No. 2, pp. 1738-1747, Apr. 2005.
- [6] C. H. Park and G. Jang, "Stochastic Estimation of Voltage Sags in a Large Meshed Network," IEEE Trans. Power Del., Vol. 22, No. 3, pp. 1655-1664, 2007.
- [7] C. H. Park, J. H. Hong, and G. Jang, "Assessment of system voltage sag performance based on the concept of area of severity", IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 4, No. 6, pp. 683-693, 2010.
- [8] C. H. Park, G. Jang and R. J. Thomas, "The influence of generator scheduling and time-varying fault rates on voltage sag prediction," IEEE Trans. Power Del., Vol. 23, No. 2, pp. 1243 - 1250, Apr. 2008.
- [9] KPX, "Operating Performance of Electricity Market 2014. 10", 2014.11.
- [10] C. H. Park, "Development of a Method to Analyze Voltage Sag Monitoring Data", Journal of KIIEE., Vol. 27, No. 4, pp. 16-22, April 2013.
- [11] IEEE 57-Bus Test Case, [Online]. Available: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf57/pg_tc_a57bus.htm.

저 자 소 개



손 정 대 (Jeongdae Son)

1981년 1월 8일생. 2006년 부산대 전자전기 통신공학부 졸업. 2011년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
E-mail : sonju108@hanmail.net



이 계 병 (Kyebyung Lee)

1979년 12월 8일생. 2006년 동의대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 고려대 대학원 전자전기공학과 박사과정
E-mail : kyebyung@korea.ac.kr



박 창 현 (Chang-Hyun Park)

1974년 12월 25일생. 2007년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2008년~현재 부경대학교 전기공학과 부교수
E-mail : spch@pknu.ac.kr