

Calculation of the Area of Severity for Voltage Sag Assessment

박 창 현[†] · 홍 준 희^{*}
(Chang-Hyun Park · Junhee Hong)

Abstract - This paper presents a calculation method of the area of severity for the stochastic assessment of voltage sags. In general, the annual expected numbers of voltage sags at an individual load point can be estimated stochastically. However, in order to assess the system voltage sag performance considering many sensitive load points together, it is necessary to determine and analysis the area of severity for the load points. The area of severity to voltage sags is the network region where the fault occurrences will simultaneously lead to voltage sags at different load points. In this paper, the concept of the voltage sag assessment and the calculation method of the area of severity are addressed. The analysis of the area of severity is performed on the IEEE 30-bus test system by using the proposed method. The method is useful for the stochastic assesment of voltage sags and the establishment of systematic plans for voltage sag mitigation.

Key Words : Area of Severity, Area of Vulnerability, Power Quality, Stochastic Assessment, Voltage Sags

1. 서 론

순간전압강하는 짧은 시간동안의 전압감소 현상으로 전력 계통에서의 대표적인 품질 문제 중 하나이다. IEEE 1159에 의하면 실효치 전압 크기 0.1 ~ 0.9 [p.u.] 범위로 지속시간 0.5 cycle ~ 1분 사이의 전압 감소 현상으로 정의되어 있다 [1]. 순간전압강하 발생 원인은 다양하나 주로 계통에서의 사고로 인해 발생한다. 이러한 순간전압강하 발생에 의해 전압변동에 민감한 부하들의 오동작이 야기되기도 한다. 뿐만 아니라 개별 기기의 오동작으로 인해 전체 산업 공정이 중단되기도 하며 이에 따라 막대한 경제적 손실이 발생하게 된다 [2]. 순간전압강하 문제 해결을 위해 다양한 연구들이 진행되고 있다. 전압강하를 보상하기 위한 보상 장치 개발을 비롯하여 계통 내 전력품질 감시를 위한 모니터링 시스템의 개발 등도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 계통내 순간전압강하 발생 경향 예측 및 효율적인 대책 수립을 위해서는 기본적으로 순간전압강하 평가 기술이 필요하다. 순간전압강하 평가는 계통에서 발생한 사고 이력 데이터(사고율)를 이용하거나 오랜 기간 동안 취득된 전압 모니터링 결과를 이용하여 계통내 특정 위치에서의 순간전압강하 연평균 발생횟수를 추산하는 기술이라 할 수 있다. 더 나아가 순간전압강하로 인한 민감 부하 오동작 횟수 및 경제적 손실 추산 등도 순간전압강하 평가의 한 부분이라 할 수 있

다. 일반적으로 순간전압강하 평가는 크게 두 가지 방법으로 가능하다. 전압 모니터링을 통한 통계적 분석 방법과 사고율 데이터와 취약지역(area of vulnerability) 개념을 이용한 시뮬레이션 방법이 있다 [2]. 본 논문에서는 시뮬레이션에 기반한 평가 시에 효과적으로 활용될 수 있는 가혹지역(area of severity)에 대해서 소개하며 그 계산 절차에 대해서 기술한다. 가혹지역은 기존의 취약지역 개념이 확장된 형태이며 계통내 서로 다른 위치의 민감 부하 모션을 동시에 고려한 평가시에 활용될 수 있는 개념이다. 또한 취약지역 및 순간전압강하 평가에 대한 기본 이론을 소개하며 사례 연구를 통해 IEEE-30 모션 계통에 대한 가혹지역 계산 결과를 기술한다.

2. 본 론

2.1 취약지역과 순간전압강하 평가

시뮬레이션에 기반한 순간전압강하 평가는 기본적으로 계통에서의 사고율 데이터와 취약지역 계산을 통해 가능하다. 전력품질 모니터링을 통해서도 순간전압강하 평가가 가능하나 계통 계획 단계나 다양한 계통 운전 조건 등을 고려할 경우는 기본적으로 모니터링 실시가 불가능하다. 또한 모니터링의 경우 오랜 기간 동안 모니터링이 실시되어야 하는 단점도 있으며 모니터링 실시 중 운전조건이나 계통 형태의 현저한 변화가 있을 때는 평가 결과의 신뢰성이 떨어지는 단점도 있다. 따라서 모니터링이 어려울 경우 시뮬레이션에

[†] 교신저자, 정회원 : 부경대학교 전기공학과 조교수

E-mail : spch@pknu.ac.kr

^{*} 정 회원 : 경원대학교 IT대학 정보통신공학전공 교수

접수일자 : 2010년 4월 26일

최종완료 : 2010년 5월 22일

기반한 평가 방법이 널리 이용되고 있다. 시뮬레이션에 기반한 순간전압강하 평가에서는 주어진 계통에서의 선로 및 모선의 사고율 데이터를 이용하여 특정 위치에서의 순간전압강하 연평균 예상 발생 횟수를 추산한다. 시뮬레이션에 기반한 평가 방법으로 임계 거리(critical distance)법과 고장 위치 (fault position)법이 알려져 있다 [2]-[5]. 임계 거리법은 배전계통과 같은 방사상 계통에 대한 평가에 적합한 방법이며 고장 위치법은 방사상 계통 및 망구조 계통 모두 활용 가능하다. 또한 참고문헌 [6]에 소개되어 있는 취약지역 계산을 활용한 평가 방법이 있다. 취약지역은 계통내 특정 지점에 특정 사고전압(전압강하)을 야기하는 계통내 사고 위치들의 집합이라고 할 수 있다. 그림 1은 취약지역의 예를 보여주고 있다. 어두운 영역에 사고가 발생하면 해당 민감 부하모선에 0.9 [p.u.]이하의 전압강하가 발생함을 나타낸다. 따라서 정확한 취약지역을 계산한 후 취약지역 내 포함된 선로 및 모선의 연간 사고율을 이용하여 해당 민감 부하모선에서의 전압강하 발생 횟수를 추산할 수 있다 [6], [7]. 취약 지역이 넓을수록 순간전압강하를 경험하게 될 확률이 커지게 된다.

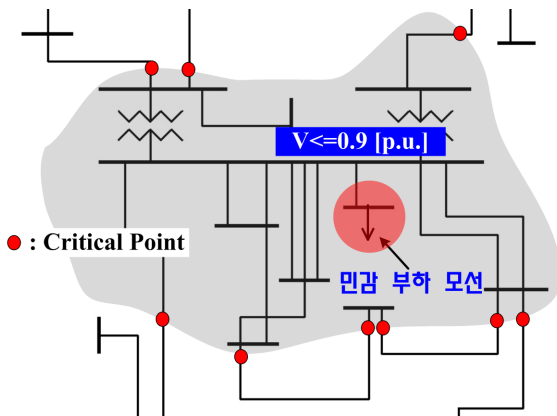


그림 1 순간전압강하에 대한 취약지역
Fig. 1 Area of vulnerability to voltage sags

2.2 취약지역의 계산

취약지역은 고장 위치법을 이용하여 계산할 수도 있으나 기본적으로 이 방법의 정확도는 모의하는 사고 위치와 사고의 수에 의해 크게 좌우된다. 따라서 대규모 계통에 적용시 매우 큰 계산 부담이 발생하는 단점이 있다. 따라서 참고문헌 [6]에 소개되어 있는 취약 지역 계산 방법이 매우 효과적이라 할 수 있다. 먼저 선로를 따라 발생하는 사고에 대해 민감 부하모선의 전압강하 크기를 계산할 수 있는 사고 전압식을 유도한다. 그 다음 주어진 한계 전압값에 대해 2차 보간법과 활성법의 수치해석 방법을 이용하여 각 선로상의 정확한 임계점(critical point)을 찾고 전체 취약지역을 결정하게 된다. 임계점은 주어진 한계 전압을 야기하는 선로상의 사고 위치로 정의된다.

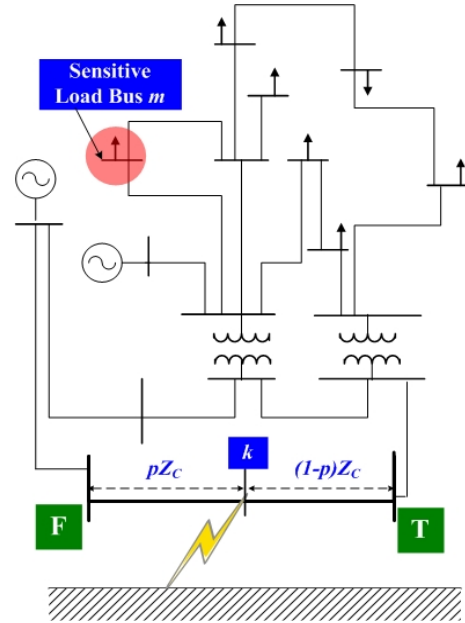


그림 2 선로상의 사고와 민감 부하모선 m
Fig. 2 Sensitive load bus m and a fault on line F-T

그림 2와 같은 망구조 계통에서 모선 F-T사이 선로의 k 지점에서 3상 사고가 발생했을 때를 가정하자. Z_C 는 해당 선로의 임피던스를 나타내며 p 는 선로 길이에 대한 사고위치 k 의 비율로 0과 1사이의 값이다. 사고가 발생했을 때 민감 부하모선 m 에서의 전압강하를 계산하기 위해서는 사고 위치 k 에서 본 계통의 등가 임피던스(driving-point impedance) Z_{kk} 를 알아야 하며 또한 사고위치 k 와 민감 부하모선 m 사이의 전달 임피던스(transfer impedance) Z_{mk} 를 알아야 한다. 해당 임피던스들은 p 대한 식으로 아래와 같이 나타낼 수 있다 [6], [8].

$$Z_{mK} = Z_{mF} + (Z_{mT} - Z_{mF})p \tag{1}$$

$$Z_{KK} = (Z_{FF} + Z_{TT} - 2Z_{TF} - Z_C)p^2 + \{Z_C - 2(Z_{FF} - Z_{FT})\}p + Z_{FF} \tag{2}$$

여기서 Z_{mF} 및 Z_{mT} 는 모선 m 과 모선 F , 모선 m 과 모선 T 사이의 전달 임피던스를 나타낸다. Z_{FF} 및 Z_{TT} 는 모선 F 와 T 에서 본 계통 임피던스이며 Z_{TF} 는 모선 F 와 모선 T 사이의 전달 임피던스이다. Z_{mF} , Z_{mT} , Z_{FF} , Z_{TT} , Z_{FT} 는 계통의 임피던스 행렬(Z_{Bus})로부터 바로 찾을 수 있다. 또한 사고전 전압을 고려할 경우 사고위치 k 에서의 사고전 전압은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$V_K^{pref} = V_F^{pref} + (V_T^{pref} - V_F^{pref})p \tag{3}$$

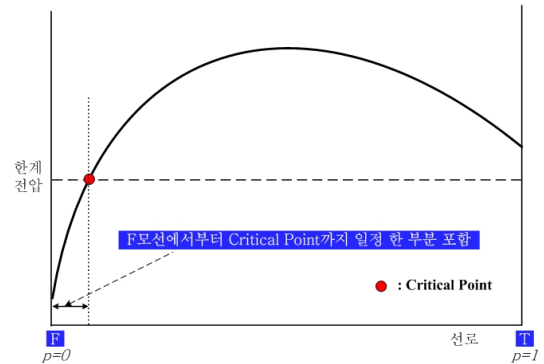
여기서 V_F^{pref} 및 V_T^{pref} 는 선로 양단 모선 F 와 T 에서의 사고전 전압을 나타낸다. 이는 조류계산을 통해 얻을 수 있다. 이상의 임피던스 식을 이용하여 3상 사고에 대한 사고

전압식을 도출할 수 있다. 임의의 모선 F-T 사이 선로상 k 위치에서의 3상 사고로 인한 민감 부하모선 m의 사고 전압 V_m^{fault} 의 크기는 아래와 같이 계산될 수 있다 [6].

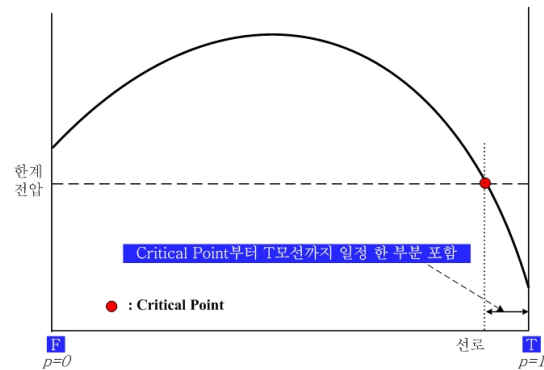
$$|V_m^{fault}| = \left| V_m^{pref} - \frac{Z_{mK}}{Z_{KK}} V_K^{pref} \right| \quad (4)$$

식(4)를 이용하여 주어진 전압 한계값을 야기하는 임의의 선로 F-T에서의 임계점(사고위치) p를 찾을 수 있다. 해당 수식은 전압의 크기에 대해서 p에 대한 4차 이상의 고차 방정식이 되므로 직접적으로 해를 구할 수는 없다. 따라서 할선법(secant method)과 같은 수치해석 방법을 이용해 모든 선로에서의 사고 위치 p(임계점)를 찾게 되고 최종적으로 정확한 취약지역을 결정하게 된다. 임계점 이하가 되는 영역이 취약지역에 포함되게 된다. 1선 지락 사고 및 기타 불평형 사고에 대해서도 같은 절차로 사고 전압식을 구성하여 취약지역을 찾을 수 있다. 불평형 사고의 경우 정상, 역상, 영상의 각 시퀀스 회로에 대해 p에 대한 사고 전압식을 구성하여 각 상의 취약지역을 따로따로 계산하게 된다 [6]. 일반적으로 망구조 계통에서 각 선로의 취약 지역은 한계전압과 전압강하 곡선의 관계에 따라 그림 3과 같은 4가지 형태를 가진다.

- o Type 1: 전체 선로가 취약지역에 포함되는 경우
- o Type 2: F 모선에서부터 임계점까지, 임계점에서 T 모선까지를 포함하는 경우
- o Type 3: F 모선에서부터 임계점까지를 포함하는 경우
- o Type 4: 임계점에서 T 모선까지를 포함하는 경우

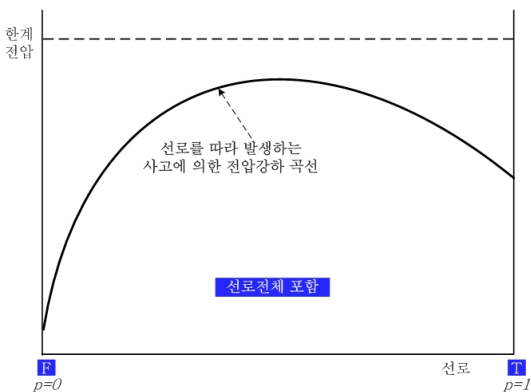


(c) Type 3

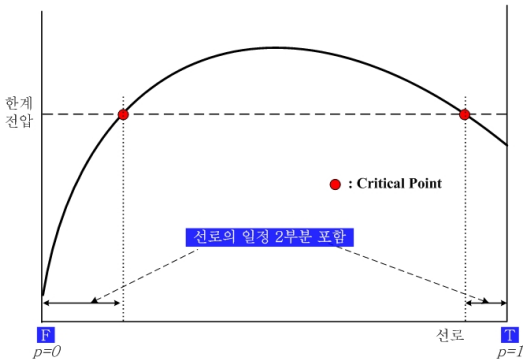


(d) Type 4

그림 3 망구조 계통에서의 선로상 취약 지역의 형태
Fig. 3 The type of Areas of vulnerability



(a) Type 1



(b) Type 2

2.3 가혹 지역 (The area of severity)

일반적으로 취약지역을 이용한 순간전압강하 평가는 개별 부하단을 기준으로 이루어진다. 그러나 계통에서의 사고는 계통내 여러 민감 부하단에 동시에 전압강하를 야기하게 된다. 따라서 여러 민감 부하모선을 동시에 고려한 평가를 위해서는 가혹지역 계산을 통한 추산이 필요하다. 가혹 지역은 하나 이상의 서로 다른 부하단에 순간전압강하를 동시에 야기시킬 수 있는 계통내 사고 영역이라고 정의할 수 있다 [9]. 가혹지역과 계통내 선로 및 모선의 사고율 데이터를 이용하여 다수의 민감 부하모선에 영향을 미치는 순간전압강하 발생 횟수를 평가할 수 있다. 이러한 가혹 지역을 기반으로 한 평가 결과는 계통측면에서의 순간전압강하 대책 수립 등에 활용될 수 있다. 그림 4는 계통내 서로 다른 위치의 2개 부하단(A와 B)에 대한 가혹 지역의 예를 보여주고 있다. 2개 부하단 각각에 대한 취약 지역을 계산하여 도식화하게 되면 중첩 영역이 존재하게 된다. 가운데 중첩 부분에 사고가 발생하게 되면 2개의 부하단 모두에 순간전압강하가 발생하게 됨을 의미한다. 따라서 가운데 중첩 부분 즉, 가혹 지역 내에 포함된 선로 및 모선의 사고율을 이용하여 2개의 부하 단에 동시에 발생하게 되는 연 평균 전압강하 횟수 추산이 가능하다.

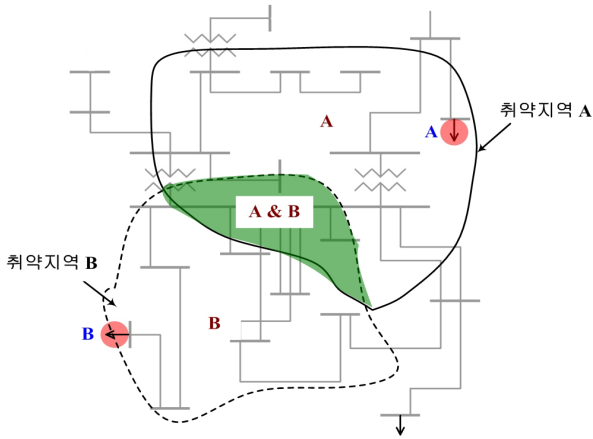


그림 4 순간전압강하에 대한 가혹지역
Fig. 4 Area of severity to voltage sags

2.4 가혹 지역의 계산

가혹 지역 계산을 위해서는 먼저 민감 부하모션들에 대한 개별 취약 지역을 계산할 필요가 있다. 계산된 각 선로 취약 지역들의 중첩 부분을 계산하여 전체 가혹 지역을 결정하게 된다. 그림 5는 선로 F-T상의 사고에 따른 임의의 A 모션과 B모션의 전압강하 곡선을 나타내며 각각에 대한 취약지역과 가혹지역 계산 예를 나타낸다. 두 모션에 대한 취약지역이 겹치는 부분이 해당 선로의 가혹지역이 된다.

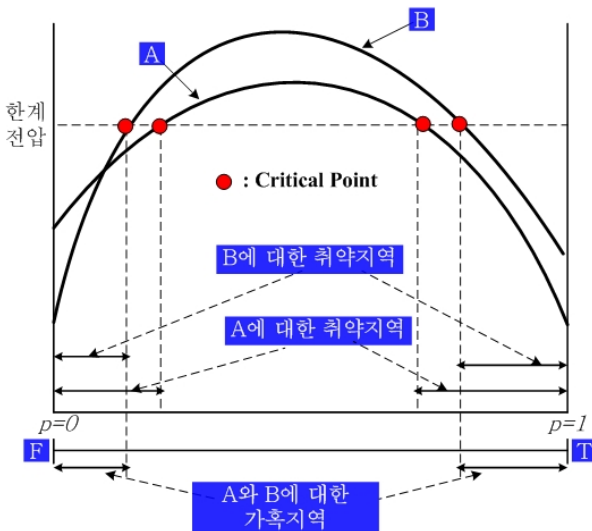


그림 5 가혹 지역의 계산
Fig. 5 Determination of the area of severity

앞서 기술하였듯이 취약지역은 기본적으로 4가지의 형태를 가진다. 따라서 서로 다른 위치의 2개 부하단에 대한 가혹지역 계산은 4가지 형태의 취약지역간 조합에 따라 결정되게 된다. 가혹지역은 취약지역과 같은 4가지 기본 형태가 존재할 수 있으며 조합 결과에 따라 다음의 새로운 4가지 형태가 추가되게 된다. 그림 6은 2개의 취약지역간 조합에 따라 새롭게 도출될 수 있는 가혹지역의 4가지 형태를 나타낸다.

- o Type 5 : 임계점에서 다른 임계점까지, 임계점에서 T 모션까지를 포함하는 경우
- o Type 6 : F 모션에서부터 임계점까지, 임계점에서 다른 임계점까지를 포함하는 경우
- o Type 7 : F 모션에서부터 임계점까지, 임계점에서 다른 임계점까지, 임계점에서 T 모션까지를 포함하는 경우
- o Type 8 : 임계점에서 다른 임계점까지를 포함하는 경우

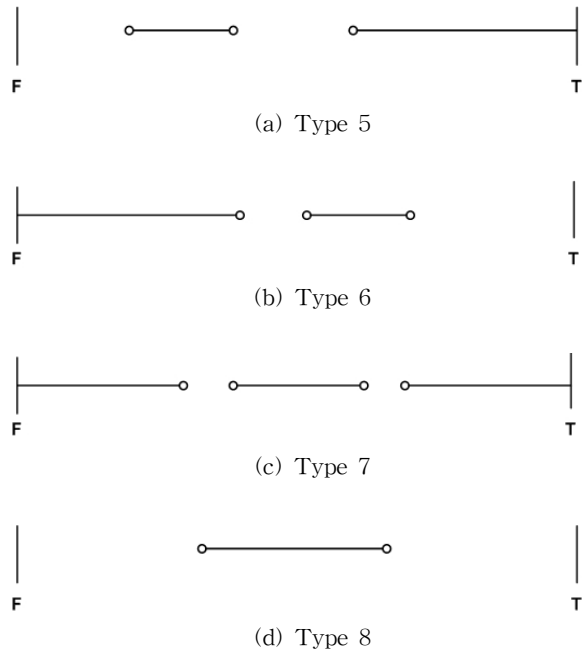


그림 6 취약지역 조합에 따른 추가적인 4가지 형태
Fig. 6 4 Additional type of the area of severity

만약, 3개의 민감 부하단에 대한 가혹 지역을 계산할 경우는 먼저 2개의 취약 지역에 의한 중첩영역을 계산하고 그 결과와 나머지 취약지역에 대한 중첩부분을 계산하게 된다.

2.5 사례 연구

IEEE-30 모션 계통에 대해 가혹지역 계산을 수행하였다. 모션 2, 7, 16을 민감 부하모션으로 가정하였으며 해당 모션들의 한계 전압값은 각각 0.7, 0.6, 0.5 [p.u.]로 가정하였다. 자세한 계통 데이터는 참고문헌 [6], [10]에 정리되어 있다.

2.5.1 부하모션에 대한 취약지역 계산

3개의 부하단에 대한 가혹지역 계산을 위해 먼저 각 부하단에 대한 취약지역을 계산하였다. 표 1-3은 식(4)의 사고 전압식을 이용하여 3개의 민감 부하에 대한 선로의 취약 지역을 계산한 결과를 나타낸다. 그림 7-9는 각 모션에 대한 계산된 취약지역을 단선도상에 도시한 그림이다. 취약지역에 3상 사고가 발생하면 해당 부하단의 전압이 각 한계 전압값 이하가 됨을 나타낸다.

표 1 3상 사고에 대한 2번 모선의 취약지역 결과

Table 1 Area of vulnerability for bus 2

선로	취약지역	형태
1-2	선로전체	4
1-3	선로전체	4
2-4	선로전체	4
2-5	선로전체	4
2-6	선로전체	4
3-4	선로전체	4
4-6	선로전체	4
5-7	선로전체	4
6-7	선로전체	4
6-8	선로전체	4
6-28	선로전체	4
8-28	모선 8에서 33%지점까지, 77%지점에서 모선 28까지	3

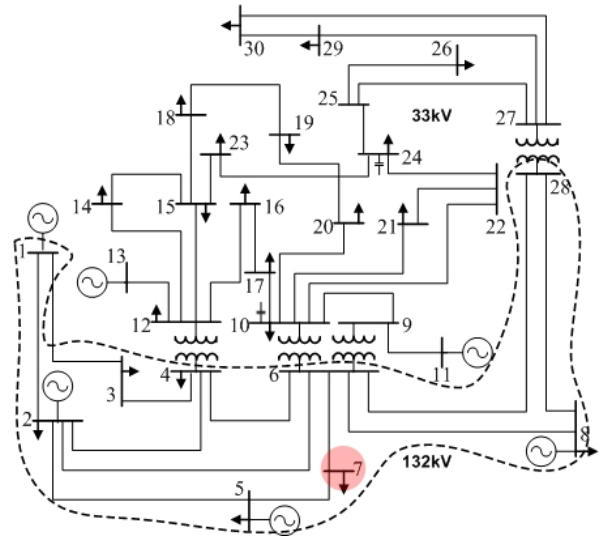


그림 8 모선 7에 대한 취약지역 (3상사고)

Fig. 8 The area of vulnerability for bus 7

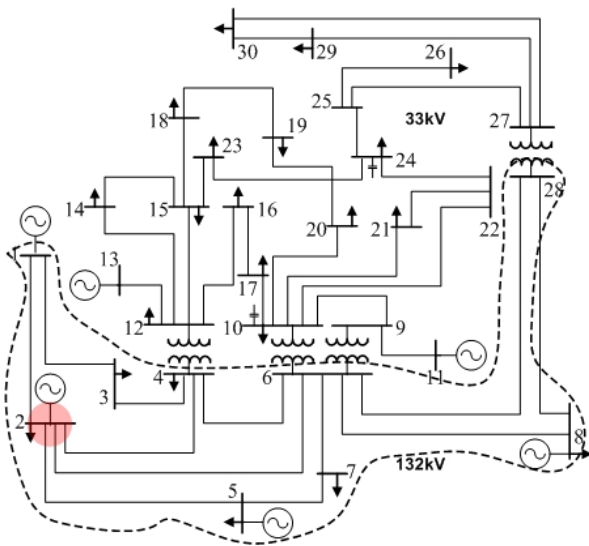


그림 7 모선 2에 대한 취약지역 (3상사고)

Fig. 7 The area of vulnerability for bus 2

표 2 3상 사고에 대한 7번 모선의 취약지역 결과

Table 2 Area of vulnerability for bus 7

선로	취약지역	형태
1-2	선로 전체	4
1-3	모선 1에서 22%지점까지, 64%지점에서 모선 3까지	3
2-4	선로 전체	4
2-5	선로 전체	4
2-6	선로전체	4
3-4	선로전체	4
4-6	선로전체	4
5-7	선로전체	4
6-7	선로전체	4
6-8	선로전체	4
6-28	선로전체	4
8-28	선로전체	4

표 3 3상 사고에 대한 16번 모선의 취약지역 결과

Table 3 Area of vulnerability for bus 16

선로	취약지역	형태
2-4	88%지점부터 모선 4까지	2
2-6	84%지점부터 모선 6까지	2
3-4	47%지점부터 모선 4까지	2
4-6	선로전체	4
6-7	모선 6부터 31%지점까지	1
6-8	모선 6부터 74%지점까지	1
6-28	모선 6부터 44%지점까지	1
9-10	선로전체	4
9-11	모선 9부터 10%지점까지	1
10-17	선로전체	4
10-20	모선 10부터 35%지점까지	1
10-21	선로전체	4
10-22	선로전체	4
12-13	모선 12부터 94%지점까지	1
12-14	모선 12부터 35%지점까지	1
12-15	선로전체	4
12-16	선로전체	4
14-15	95%지점부터 모선 15까지	2
15-18	모선 15부터 7%지점까지	1
15-23	모선 15부터 7%지점까지	1
16-17	선로전체	4
21-22	선로전체	4
22-24	모선 22부터 7%지점까지	1

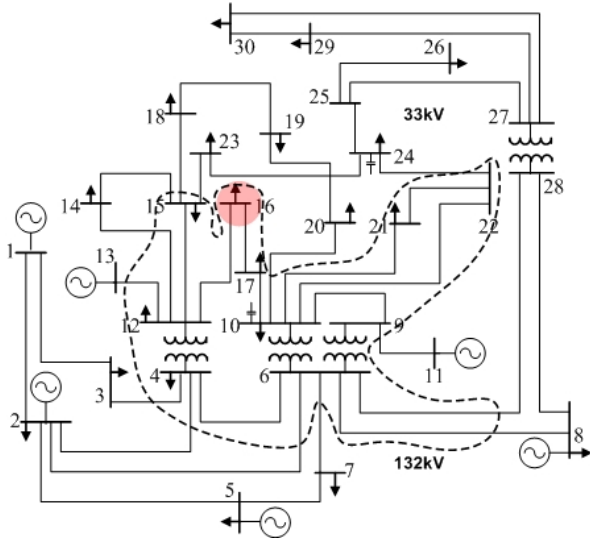


그림 9 모선 16에 대한 취약지역 (3상사고)
Fig. 9 The area of vulnerability for bus 16

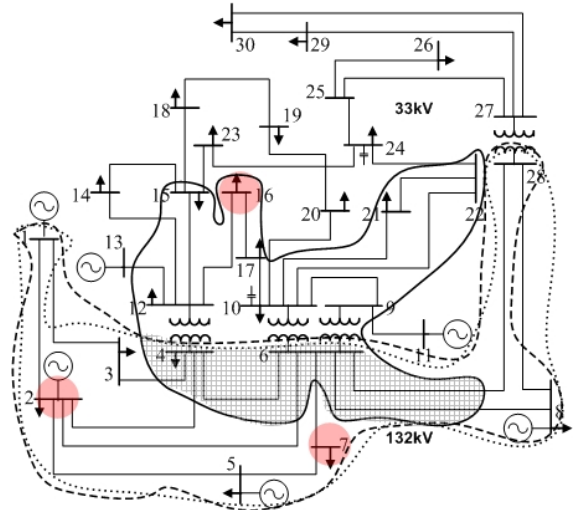


그림 10 모선 2, 7, 16에 대한 가혹 지역 (3상사고)
Fig. 10 Area of severity for buses 2, 7 and 16

2.5.2 가혹지역 계산 결과

계산된 각각의 취약지역에 대해 그림 5와 같이 선로별 중첩 부분을 계산하여 가혹지역을 정의하게 된다. 먼저 모선 2와 7에 대한 중첩 부분을 계산하고 해당 중첩 부분에 대해 모선 16에 대한 중첩 지역을 구하게 된다. 가혹 지역의 상세한 계산 결과는 표 4에 나타내었으며 그림 10에 도시하였다. 어둡게 표시된 해당 가혹지역에 3상 사고가 발생하게 되면 3개의 민감 부하모선에 모두 한계값 이하의 전압강하가 발생함을 나타낸다. 따라서 해당 가혹지역에서의 사고는 다른 지역에서의 사고 보다 큰 순간전압강하 손실을 야기시킬 수 있음을 알 수 있다. 선로 4-6의 경우 선로 전체가 가혹지역에 포함되며 해당 선로에서의 사고는 3개의 민감 부하모선 모두에 전압강하를 유발하게 되므로 해당 선로에서의 사고 발생을 줄이기 위한 대책 강구가 필요하다. 가혹지역이 계산되게 되면 가혹지역에 포함된 선로 및 모선의 사고율을 이용하여 3개 부하단 모두에 발생하는 순간전압강하의 예상 발생횟수 추산이 가능하다.

표 4 모선 2, 7, 16에 대한 가혹지역 결과
Table 4 Area of severity for the three load points

선로	가혹지역	형태
2-4	88%지점부터 모선 4까지	2
2-6	84%지점부터 모선 6까지	2
3-4	47%지점부터 모선 4까지	2
4-6	선로전체	4
6-7	모선 6부터 31%지점까지	1
6-8	모선 6부터 74%지점까지	1
6-28	모선 6부터 44%지점까지	1

3. 결 론

본 논문에서는 계통내 다수의 민감 부하모선을 동시에 고려한 순간전압강하 평가시에 효과적으로 활용될 수 있는 가혹지역의 계산 방법을 기술하였다. 일반적인 순간전압강하 평가는 계통내 개별 부하단에 대해 취약지역을 계산하고 취약 지역내 선로 및 모선의 사고율을 이용하여 연평균 예상 발생 횟수를 추산한다. 그러나 계통에서의 사고는 여러 민감 부하모선에 동시에 전압강하를 야기할 수 있으며 이를 고려한 평가를 위해서는 취약지역 개념만으로는 부족하다. 이에 가혹지역의 개념과 계산을 통해 여러 민감 부하모선을 함께 고려한 평가가 가능하다. 가혹지역내 포함된 계통에 대한 사고는 다른 지역의 사고보다 많은 민감 부하 모선에 영향을 미치게 되며 이에 따라 큰 경제적 손실을 발생시킬 수 있음은 자명한 사실이다. 가혹지역에 대한 사고 발생을 줄이는 것이 매우 중요함을 알 수 있다. 또한 순간전압강하로 인한 개별 부하단의 경제적 손실 데이터가 제공된다면 여러 부하단에서 동시에 발생하는 전압강하로 인한 경제적 손실 평가도 가능하다. 이러한 평가 결과는 경제적 손실을 고려하고 다양한 대책 수립에 활용될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2008학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임 (PKS-2008-009)

참 고 문 헌

[1] IEEE 1159, *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, 1995.
[2] M. H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, Piscataway, NJ, 2000 IEEE Power Engineering Series.

[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] 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, Jan.-Feb. 1991.

[5] 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, No1, pp. 152-162, 1999.

[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, Jul. 2007.

[7] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality. New York: McGraw-Hill, 2002, ch.3

[8] Z. X. Han, "Generalized Method of Analysis of Simultaneous Faults in Electric Power Systems," IEEE Trans. Power Appar. Syst., vol. PAS-101, no.10, pp. 3933-3942, Oct. 1982.

[9] C. H. Park, J. H. Hong and G. Jang, "Assessment of System Voltage Sag Performance Based on the Concept of Area of Severity," *IET-GTD*, to be published.

[10] IEEE 30-Bus Test Case, [Online]. Available: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm.

저 자 소 개



박창현 (朴昶炫)

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



홍준희 (洪俊熹)

1963년 3월 1일생. 1995년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년~현재 경원대학교 IT대학 정보통신공학 전공 교수
E-mail : hongpa@kyungwon.ac.kr