ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 66, No. 11, pp. 1641~1646, 2017
http://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.11.1641

다수의 민감 부하를 고려한 신속한 가혹지역 계산 방법

Fast Method to Calculate an Area of Severity Considering Multiple Sensitive Loads

박 상 호* · 이 계 병** · 김 건 중*** · 박 창 현†
(Sang-Ho Park · Kyebyung Lee · Kern-Joong Kim · Chang-Hyun Park)

Abstract - This paper presents a fast method to identify an area of severity which is a network area leading to voltage sags at multiple sensitive load points, simultaneously. To assess voltage sag performance considering various sensitive loads, it is need to determine an area of severity for the load points. The area of severity can be calculated by overlapping areas of vulnerability for each sensitive load. However, as the number of sensitive loads increases, computational complexity and time for determining an area of severity are highly increased. In this paper, an efficient scheme based on line division is described. The proposed method is useful for identifying an area of severity and assessing voltage sag performance considering multiple loads together.

Key Words : Area of severity, Area of vulnerability, Load sensitivity, Power quality, Voltage sag assessment

1. 서 론

민감 부하의 사용 증가에 따라 순간전압강하로 인한 다양한 문제가 발생하고 있다. 정밀 제어 공정에 포함되는 민감 기기들은 수주기 이내의 짧은 시간동안의 전압 변동으로 인해 오동작을 일으킬 수 있으며 전체 공정에 영향을 미친다[1,2]. 이는 막대한 경제적 손실로 이어지기 때문에 순간전압강하에 대한 체계적인 관리 및 효과적인 대책 수립이 필요하다. 순간전압강하의 원인은 다양하나 민감 부하 동작 및 계통에 큰 영향을 미치는 전압강하는 대부분 계통에서의 사고에 기인한다. 따라서 계통 내 특정 위치에서의 사고로 인한 순간전압강하 발생 경향 및 횟수 등을 평가 할 수 있는 예측 기술에 대한 연구가 중요하다.

순간전압강하 평가 결과를 바탕으로 특정 부하에 영향을 미치는 장기적인 발생 경향을 예측할 수 있다[3,4,5]. 이러한 평가 결과는 민감 부하 맞춤형 대책 수립 및 민감 부하의 최적 입지 선정 등에 효과적으로 활용할 수 있다. 다수의 관련 연구에서 순간전압강하 취약지역(area of vulnerability) 개념과 계통에서의 사고율 데이터를 이용한 평가 방법이 소개 되었다[6]. 특정 단일 부하에 대한 평가는 해당 부하의 한계 전압에 대한 취약지역을 계산하고 취약 지역내 사고율 평가를 통해 연평균 발생 횟수를 추산한다. 이러한 평가는 개별 부하만을 고려하는 것으로 계통 전체적인 영향 평가에는 효과적이지 못하다.

계통에는 다수의 민감 부하가 존재하고 부하의 종류에 따라 전압 민감도가 서로 상이하다. 이에 따라, 연구 [7]에서는 계통 내 다수의 부하를 동시에 고려한 평가 기술이 제안되었다. 취약지역의 개념을 확장하여 다수의 민감 부하를 고려한 새로운 가혹지역(area of severity) 개념이 소개 되었다. 개별 부하 취약지역의 중첩 영역으로부터 가혹지역이 결정되게 되며 이러한 가혹지역에 대한 평가를 통해 다수 부하에 동시에 영향을 미치는 순간전압강하 예측이 가능하다. 기본적으로 취약지역의 계산은 각 선로에 대한 전압강하식을 바탕으로 다양한 수치해석 방법을 이용하여 주어진 한계전압에 대한 정확한 임계점과 취약지역을 결정하게 된다 [6]. 각 부하들에 대한 선로상의 임계점과 취약지역을 계산하고 비교분석을 통해 선로상의 중첩 영역을 계산할 수 있고 가혹지역을 결정할 수 있다.

그러나, 민감 부하의 수가 증가함에 따라 가혹지역의 계산 부담이 매우 커 다양한 레벨의 가혹지역을 모두 결정하는데 오랜 시간이 요구되는 문제가 있다. 기존의 관련 논문들에서도 민감 부하의 수를 2~3개 정도 고려하는 것이 일반적이다. 가혹지역 응용 연구 [8,9]에서는 체계적인 가혹지역 계산 방법이 소개되었으나 가혹지역 계산속도 및 성능 향상은 고려가 되지 않아 실계통에 적용에는 여전히 한계가 있다. 이에 다수의 부하 및 한계전압에 대한 가혹지역을 신속하게 계산할 수 있는 개선된 계산 방법이 필요하다.

본 논문에서는 가혹지역의 개념과 계산의 복잡성을 설명하고 기존 방법의 문제점을 기술한다. 또한 선로 분할 및 배열 연산을 통해 기존 방법의 한계를 극복할 수 있는 개선된 가혹지역 계산 방법을 제안한다. 제안된 방법을 이용한 사례연구에서는 다수의

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea
E-mail : spch@pknu.ac.kr
* Korea Electric Power Research Institute, Korea
** School of Electrical Engineering, Korea University, Korea
***Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University, Korea.
Received : September 14, 2017; Accepted : October 25, 2017

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

민감 부하에서도 빠른 연산 속도를 보장함과 동시에 기존방법의 정밀도를 그대로 유지하는 것을 확인하였다.

2. 순간전압강하 평가를 위한 취약지역

순간전압강하 평가 기술은 특정 민감 부하단에서 연간 순간전압강하가 몇 회 발생할 것인지 예측하는 기술로 ESF(expected sag frequency)를 계산하는 것이다. 여러 가지 방법 중, 대규모 계통에서 정확하고 비교적 빠른 연산이 가능한 취약지역(area of vulnerability, AOV)을 이용한 ESF를 계산방법이 있다[6]. 취약지역은 민감 부하가 특정 전압 이하의 순간전압강하를 경험 할 수 있는 계통 내 사고위치의 범위를 알려준다. 특정 모선 F와 T를 연결하는 선로에서의 취약지역은 그림 1과 같이 5가지의 경우로 나타날 수 있다. 실선과 점선으로 된 곡선은 해당 선로에서 사고시 민감 부하단에서 나타날 수 있는 전압 크기의 변화를 나타낸다. 민감 부하의 한계전압에 따라 부하에 영향을 미치는 전압강하를 야기하는 취약지역이 달라진다. 해당 취약지역에서 사고가 발생하게 되면 민감 부하단은 순간전압강하를 경험하게 됨을 의미한다.

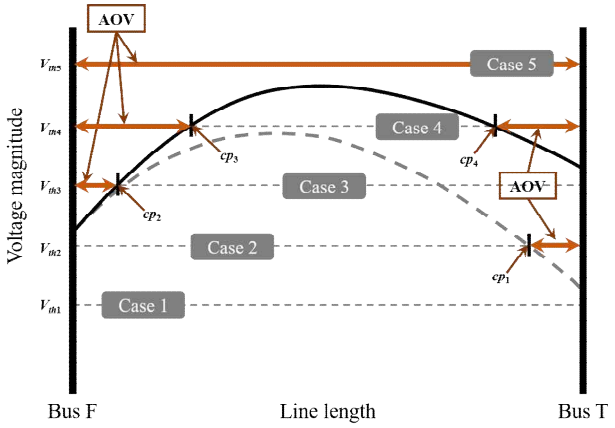

그림 1 모선 F-T 사이 선로에서의 취약지역
Fig. 1 AOVs on the line between buses F and T

일반적으로, 모선 F-T 사이 선로의 취약지역 영역에 대한 데이터 포맷은 다음과 같이 표현할 수 있다.

[From bus number, To bus number, line length, cp_{11}, cp_{12}, cp_{21}, cp_{22}]

여기서, cp는 critical point를 의미한다. 예를 들어, 취약지역 데이터가 [1, 2, 10, 0, 0.3, 0.7, 1.0]로 표현되면, 1번 모선에서 2번 모선을 연결하는 선로는 모선1에서 30% 지점까지의 영역과 70%에서 모선2까지의 영역이 취약지역에 포함되는 것을 의미한다. 그림 1의 5가지 취약지역의 형태는 다음과 같이 나타날 수 있다.

Case 1, [F, T, L, 0.0, 0.0 0.0 0.0]
Case 2, [F, T, L, cp_1, 1.0 0.0 0.0]
Case 3, [F, T, L, 0.0, cp_2 0.0 0.0]
Case 4, [F, T, L, 0.0, cp_3 cp_4 1.0]
Case 5, [F, T, L, 0.0, 1.0 0.0 0.0]

여기서, Case 1은 해당 선로가 취약지역에 포함되지 않는 경우이고, Case 2는 cp_1에서 T 모선까지가 취약지역에 포함되는 경우이고, Case 3는 F 모선에서 cp_2까지가 취약지역에 포함되는 경우이고, Case 4는 F 모선에서 cp_3까지와 cp_4에서 모선 T까지가 취약지역에 포함되는 경우이고, Case 5는 모선 F에서 T까지 해당 선로 전체가 취약지역에 포함되는 경우를 나타낸다.

3. 다수 민감부하에 대한 가혹지역의 계산

3.1 순간전압강하 가혹지역

계통에는 다수의 민감 부하가 존재할 수 있으며 각각에 대해 취약지역을 계산할 수 있다. 각 민감 부하들의 위치에 따라 각 취약지역은 서로 중첩되는 또 다른 영역을 만드는데, 이를 가혹지역(area of severity, AOS)이라 정의한다[7]. 그림 2는 3개의 민감 부하에 대한 가혹지역의 예이다. 계통내 A, B, C의 서로 다른 위치에 민감 부하단이 존재하고, 각 부하단에 대한 취약지역은 모두 겹쳐지는 부분, 2개가 겹쳐지는 부분, 전혀 겹쳐지지 않는 부분이 존재한다. 3개 취약지역 모두가 겹치는 부분에서 사고가 발생하게 되면 A, B, C 민감 부하단에 동시에 순간전압강하가 발생하여 피해를 입게 된다는 것을 의미한다. 2개가 겹쳐지는 부분은 3곳의 민감 부하단 중 2군데에서 동시에 순간전압강하를 경험할 수 있는 사고 영역임을 나타낸다.

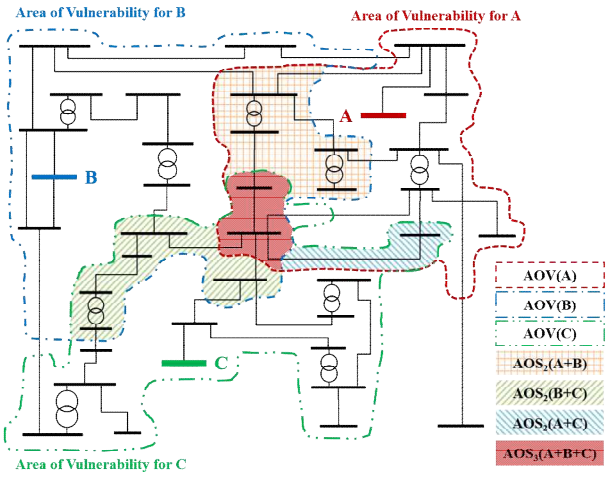

그림 2 순간전압강하에 대한 가혹지역(AOS)[8]
Fig. 2 AOS to voltage sags[8]

3.2 가혹지역 계산

2개의 민감부하단, A, B에 대한 가혹지역을 계산하는 기본 절차를 설명하면 다음과 같다. 민감부하단 A와 B에 대한 취약지역 영역이 동일한 특정 선로에서 중첩된다면, 각 민감부하단의 cp에 대한 해당 선로의 가혹지역은 다음과 같은 절차로 결정될 수 있다.

(i) 특정 선로의 취약지역 영역 데이터는 식 (1), (2)와 같이 주어진다.

$$AOV_1(A) = [cp_{A11}, cp_{A12}, cp_{A21}, cp_{A22}] \quad (1)$$

$$AOV_1(B) = [cp_{B11}, cp_{B12}, cp_{B21}, cp_{B22}] \quad (2)$$

(ii) 식 (3)을 이용하여 서로 중첩되는 2 수준 취약지역 영역을 식 (4)와 같이 찾는다. 이 중첩 영역의 cp는 N 개 민감 부하단에 대한 가혹지역 수준에 따라 최대 $N+1$ 개 까지 나타날 수 있다.

$$AOV_2(A+B) = AOV_A \cap AOV_B \quad (3)$$

$$AOV_2(A+B) = [CP_{AB11}, CP_{AB12}, CP_{AB21}, CP_{AB22}, CP_{AB31}, CP_{AB32}] \quad (4)$$

(iii) 가장 상위 수준 가혹지역의 cp는 식 (5)와 같이 취약지역 중첩 결과를 그대로 가진다. 여기서, 가장 상위수준은 2가 된다.

$$AOS_{N=2}(A+B) = AOV_2(A+B) \quad (5)$$

(iv) 식 (5)에서 구한 가혹지역 영역을 하위 수준의 취약지역 중첩 영역에서 제거하여 하위 수준의 가혹지역을 식 (6), (7)과 같이 계산한다. 여기서, 민감부하단이 2개이므로 하위 수준의 취약지역는 각 모선에 대한 취약지역이다.

$$AOS_1(A) = AOV_1(A) - AOS_2(A+B) \quad (6)$$

$$AOS_1(B) = AOV_1(B) - AOS_2(A+B) \quad (7)$$

N 개의 민감부하단에 대한 n 수준의 가혹지역은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$AOS_N = AOV(A) \cap AOV(B) \cap \ldots \cap AOV(N_{th}) \quad (8)$$

$$AOS_n = AOV_n - \sum_{k=n+1}^{N} AOS_k \ \text{(n=1,2,3..., N)} \quad (9)$$

그림 3은 모선 F와 T를 연결하는 선로에서 가혹지역 일부분을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 3개의 민감 부하단 A, B, C에 대한 각 취약지역 영역이 주어진다. 각 영역으로부터 2 수준의 AOV_2(A+B), AOV_2(B+C), AOV_2(C+A)를 구하고, 3 수준의 AOV_3(A+B+C)를 구한다. 2 수준의 취약지역 영역에서 상위 수준인 3 수준의 가혹지역 영역을 제거하여 2 수준의 AOS_2(A+B), AOS_2(B+C), AOS_2(C+A)를 구한다. 특히 그림과 같은 민감 부하단의 취약지역 조건은 1 수준의 AOS_1가 존재하지 않는 경우이다.

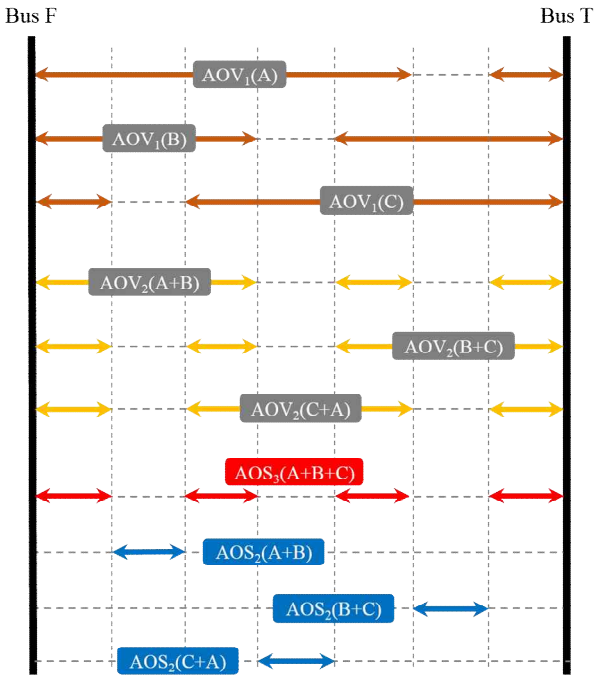

그림 3 모선 F-T 사이 선로에서의 취약지역과 가혹지역
Fig. 3 AOVs and AOSs on the line between buses F and T

3.2 기존의 가혹지역 계산 방법

취약지역 영역 데이터가 식 (1) 및 (2)와 같이 주어진다면, 식 (4)의 2 수준 중첩 영역은 그림 4와 같이 코딩될 수 있다. 각 민감 부하단에 대한 취약지역 영역은 해당 선로에서 2군데만 존재하는 경우이다. 구해진 영역 중 유효한 영역은 최대 3군데까지 나타날 수 있다. 민감 부하단 3개에 대한 취약지역 중첩영역을 구하는 경우, 2개 모선에 대한 최대 3군데의 취약지역 중첩 영역과 나머지 다른 모선의 취약지역 영역 2군데로부터 3개 모선에 대한 취약지역 중첩 영역을 구하게 된다. 따라서, 최대 취약지역 영역은 4군데까지 나타날 수 있다.

민감 부하단이 두 개인 경우, 가장 상위 수준은 2가 되고, 2

```
CP_AB_11_AOV = max(CP_A_11, CP_B_11);
CP_AB_12_AOV = min(CP_A_12, CP_B_12);
CP_AB_21_AOV = max(CP_A_11, CP_B_21);
CP_AB_22_AOV = min(CP_A_12, CP_B_22);
CP_AB_31_AOV = max(CP_A_21, CP_B_21);
CP_AB_32_AOV = min(CP_A_22, CP_B_22);
CP_AB_41_AOV = max(CP_A_21, CP_B_21);
CP_AB_42_AOV = min(CP_A_22, CP_B_22);
```

그림 4 취약지역의 중첩영역 계산 코드
Fig. 4 Overlap area calculation code for AOV

수준의 취약지역 중첩영역이 가장 상위 수준의 가혹지역이 된다. 다음 하위 수준의 가혹지역을 계산하기 위해 상위 가혹지역을 제거하는 식 (6), (7)은 그림 5와 같이 코딩될 수 있다. 상위 수준 가혹지역의 첫 번째 영역을 하위 수준의 첫 번째 취약지역 영역에서 제거하는 코드이다. 나머지 영역들도 같은 방법으로 제거할 수 있다.

```
if CP_A_11 == CP_AB_11_AOS
        if CP_A_12 == CP_AB_12_AOS
                CP_A_11_AOS = 0;
                CP_A_12_AOS = 0;
        else %CP_A_12 ~= CP_AB_12_AOS
                CP_A_11_AOS = CP_AB_12_AOS;
                CP_A_12_AOS = CP_A_12;
        end
else % CP_A_11 ~= CP_AB_11_AOS
        if CP_A_12 == CP_AB_12_AOS
                CP_A_11_AOS = CP_A_11;
                CP_A_12_AOS = CP_AB_11_AOS;
        else %CP_A_12 ~= CP_AB_12_AOS
                CP_A_11_AOS = CP_A_11;
                CP_A_12_AOS = CP_AB_11_AOS;
                CP_A_21_AOS = CP_AB_12_AOS;
                CP_A_22_AOS = CP_A_12;
        end
end
```

그림 5 기존의 상위 수준의 가혹지역을 제거하는 코드
Fig. 5 Code that excludes higher-level regions

N개의 민감부하단에 대해서 $\sum_{n=1}^{N} {}_N C_i$개의 가혹지역 영역이 존재한다. 특정 선로에서 n 수준에 대한 AOS_n 영역은 최대 n 등분되어 $n+1$개까지 나타날 수 있다. 즉, 그림 4에서 제시한 취약지역 중첩 영역은 특정 선로에서만 $p=\sum_{n=1}^{N} {}_N C_n \times (n+1)$회 계산해야 하고, 그림 5에서 제시한 상위 가혹지역 영역 제거는 $q=\sum_{n=1}^{N-1} {}_{(N-1)} C_n \times (n+1)$회 계산하여야 한다. 선로가 많은 계통의 경우 그 횟수는 선로수의 배수로 나타난다.

3.4 개선된 가혹지역 계산 방법

가혹지역은 다수의 민감 모선에 대하여 동시에 발생하는 순간전압강하를 평가하는 것으로 민감 모선이 많아지는 경우에 순간전압강하를 민감 모선에 대하여 함께 평가하는 것에 목적이 있다. 그러나, 민감 모선이 많아지는 경우 가혹지역 계산양은 위에서 보인 것과 같이 상당히 많은 연산횟수를 요구하고 복잡하다. 이에 따라 본 논문에서는 선로 분할 방법을 이용하는 신속한 가혹 지역 계산 방법을 제안한다.

그림 6과 같이 모선 F와 T를 연결하는 선로에서 3개의 민감부하단 A, B, C에 대한 각 취약지역 영역이 주어진다. 각 취약지역 정보는 선로를 분할하여 분할된 영역이 취약지역 영역에 포함되는지 여부에 따라 2진 부호로 표 1과 같이 기록한다. 그리고, 기록된 수를 모두 더하여 선로의 분할된 영역의 가혹지역 수준을 나타낸다. 표 1에서 각 분할된 선로의 계산 결과가 3인 경우, 3 수준의 가혹지역에 해당되는 선로 영역을 나타내는 것이고, 계산 결과가 2인 경우, 2 수준의 가혹지역에 해당되는 선로 영역을 나타내는 것이다. 표 1의 결과에서와 같이 1 수준의 가혹지역 영역은 나타나지 않는다. 마지막으로, 가혹지역 각 수준들의 수를 더하고, 선로 분할 수로 나누면 해당 선로에서 가혹지역 수준별로 선로에 포함된 영역을 구할 수 있다.

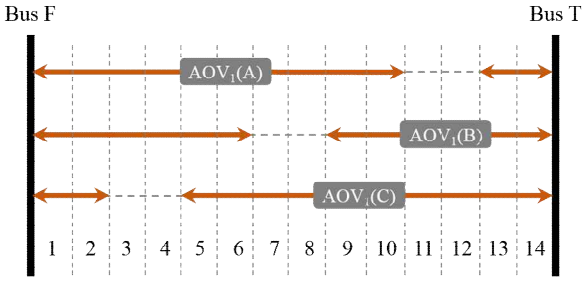

그림 6 3개의 민감부하단의 취약지역과 선로분할 개념
Fig. 6 AOV of three sensitive loads and concept of splitting branch

표 1 각 분할된 선로의 2진 부호화 및 합
Table 1 Binary encoding and summing of each splitted branch

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
B	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
C	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A+B+C	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3

취약지역 영역 데이터가 식 (1), (2)와 같이 주어진다면, 제안된 방법은 그림 7과 같이 구현될 수 있다.

4. 사례 연구

본 논문에서 제안하는 가혹지역 계산 방법의 효용성을 입증하기 위해서 기존의 가혹지역 계산 방법과 제안된 방법을 비교 및 검토를 수행하였다. 가혹지역 평가는 다수의 민감 부하단에서 순간전압강하에 의한 피해가 동시에 발생하는 정도를 평가하는 것으로 사례연구에서는 다수의 부하단을 가진 IEEE-57 계통이 이용되었다[10]. 먼저, 대상 계통에서 민감 부하단이 지정되고, 지정된 민감 부하단에서의 취약지역이 평가된다. 모든 선로에 대하여 가혹지역이 평가되어야 하지만, 본 논문에서는 기존의 가혹지역 계산 방법과 제안된 방법을 비교 및 검토하기 위하여 특정 샘플 선로에 대해서만 취약지역 평가 결과로부터 가혹지역 계산이 수행된다. 민감 부하단은 IEEE-57 계통에서 19, 31, 42, 47, 57 모선으로 가정하였다. 표 2는 1선 지락 사고에 의한 모선 9와

```
CP_flag = zeros(N,Resolution);
for i=1:N
    k = 1;
    if (CP(i,k) == 0.0) && (CP(i,k+1) == 0.0)
        CP_flag(i,:) = 0;
    else
        if (CP(i,k) == 0.0)
            CP_flag(i,1) = 1;
        elseif (CP(i,k) ~= 0.0)
            CP_flag(i,1) = 0;
            CP(i,k+2) = CP(i,k+1);
            CP(i,k+1) = CP(i,k);
        end
        k = k + 1;
        for j=2:Resolution
            if CP(i,k-1) > CP(i,k)
                CP_flag(i,j) = 0;
            else
                if CP(i,k) >= j/Resolution
                    CP_flag(i,j) = CP_flag(i,j-1);
                else
                    CP_flag(i,j) = ~CP_flag(i,j-1);
                    k = k + 1;
                end
            end
        end
    end
end
sum_CP_flag = sum(CP_flag);
AOS_CNT = zeros(1:N);
for i = 1:N
            AOS_CNT(i) = sum(sum_CP_flag == i);
end
AOS = AOS_CNT / Resolution;
```

그림 7 제안된 가혹지역 계산 알고리즘의 코드
Fig. 7 Code of proposed AOS computation algorithm

표 2 민감부하단에 따른 취약지역
Table 2 Given AOV data to sensitive loads

민감부하단	CP11	CP12	CP21	CP22
19	0.00	0.05	0.87	1.00
31	0.00	0.13	0.79	1.00
42	0.00	0.19	0.76	1.00
47	0.00	0.05	0.82	1.00
57	0.97	1.00	0.00	0.00

13을 연결하는 선로의 취약지역을 계산한 결과이다.

취약지역 계산 결과는 10^{-2}까지 정밀도를 가진다. 취약지역 계산 결과의 정밀도를 그대로 유지하기 위해서 제안된 가혹지역 계산 방법에서는 선로를 최대 100개로 분할하여 시뮬레이션이 수행되었다. 또한, 정밀도는 낮아지지만 더 빠른 연산속도를 기대하기 위하여 10개로 분할한 시뮬레이션도 수행되었다. 표 3은 주어진 취약지역에 대한 가혹지역 시뮬레이션 결과이다. 100개로 분할한 시뮬레이션 결과에서 가혹지역에 대한 순간전압강하 평가 결과인 ESF[event/year]는 기존 방법과 동일한 결과를 보였고, 연산시간은 0.0194배 만큼 줄었다. 10개로 분할한 시뮬레이션 결과에서는 가혹지역에 대한 순간전압강하 평가 결과인 ESF가 0.2452[event/year] 만큼 오차를 보였다. 이는 기존 방법과 비교해 정밀도가 낮아졌기 때문이며, 연산시간은 100개로 분할한 경우보다 절반 가까이 줄어서 기존방법과 비교시 0.0107배 줄어든 것으로 나타났다.

표 3 기존 방법과 제안된 방법의 비교
Table 3 Comparison of existing and proposed methods

	기존 방법	제안된 방법	
		100개 분할	10개 분할
ESF[event/year]	1.0233	1.0233	1.2685
오차[event/year]	-	0	0.2452
연산 시간[ms]	260.136	5.054	2.783
연산 시간 정규화[pu]	1	0.0194	0.0107

가혹지역은 민감 부하의 수에 따라 그 경우의 수가 달라진다. 이를 비교하기 위하여 임의의 민감 부하단을 추가 설정하여 표 4에서와 같이 연산시간을 비교하였다.

표 4 민감 부하단 수에 따른 비교
Table 4 Comparison according to number of sensitive loads

민감 부하단수	가혹 지역수	연산시간	
		기존 방법[ms]	제안된 방법 100개 분할[ms]
2	3	52.595	4.755
3	7	67.429	4.821
4	15	96.029	4.823
5	31	261.85	4.879
6	63	1,365.12	4.974
7	127	8,498.653	5.234
8	255	59,230.586	5.344

민감 부하단 수가 늘어남에 따라 가혹지역의 수는 2배 가량 증가한다. 늘어난 가혹지역 수에 따라 기존 방법에서는 5개 이상에서부터 지수적으로 증가하는 것에 비해 제안된 방법은 비슷한 연산시간에 완료되는 것을 확인할 수 있다. 9개 이상은 PC 운영체제에 할당된 메모리 한계용량을 초과하여 메모리 스와핑으로 인한 시간 지연으로 8개 이하의 민감 부하단의 결과와 비교하기가 어렵다. 또한, 범용 PC에서 수행된 것으로 시간을 측정할 때마다 약간의 차이는 불가피하다. 위의 사례연구에서는 단 하나의 샘플된 선로에서 가혹지역을 계산한 것이다. 본 연구에서 이용된 IEEE-57 계통은 모두 64개의 선로를 포함한다. 즉, 위의 연산을 64번 해야 하고, 연산시간은 64배 더 요구하게 된다. 만약 최적화를 위해 인공지능 기법을 이용하는 경우, 5개 이상의 민감 부하단을 설정하는 것이 어렵지만, 제안된 방법을 이용하면 더 많은 시뮬레이션을 원활히 수행할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 순간전압강하 평가 및 분석을 위해 다수의 민감 부하를 고려한 개선된 가혹지역 계산 방법을 소개하였다. 기존 방법의 한계를 극복하기 위해 선로 분할을 이용한 계산방법을 제안하였다. 제안된 방법은 분할된 선로 각 부분이 취약지역에 포함되는지 여부에 따라 2진 부호를 할당하고, 각 2진화된 코드들의 합으로 가혹지역의 수준을 결정한다. 가혹지역 각 수준들의 합을 선로 분할 수로 나누면 각 수준별 가혹지역을 구할 수 있다. 특히, 기존 방법은 민감 부하수의 증가에 따라 계산양이 급격히 증가하게 되어 실제 계통에서의 적용이 현실적으로 어려운 반면 새롭게 제안된 방법은 배열의 2진 연산을 기반으로 하기 때문에 다수의 민감 부하에 대해서도 빠른 시간에 시뮬레이션이 가능한 장점이 있다.

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, K. Lee, H. Lee, and D. Yoon, “Establishment of Preventive Measures against Faults Based on the Area of Severity to Voltage Sags” Trans. KIEE. Vol. 64, No. 11, pp. 1611-1617, 2015.

[9] K. Lee, M. Yoon, C. H. Park, and G. Jang, “Utilization of Energy Storage System based on the Assessment of Area of Severity in Islanded Microgrid” Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 12, No. 62, pp. 569-575, 2017.

[10] IEEE 57-Bus Test Case, [Online]. Available: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf57/pg_tca57bus.htm.

저 자 소 개

박 상 호(Sang-Ho Park)

1973년 8월 27일생. 2000년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2002년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004~2007년 한전 전력연구원 일반연구원. 2008~현재 한전 전력연구원 선임연구원.

E-mail : alegole73@kepco.co.kr

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

김 건 중(Kern-Joong Kim)

1953 2월 12일생. 1975년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1985년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 충남대학교 전기공학과 교수.

E-mail : kjkim@cnu.ac.kr

박 창 현 (Chang-Hyun Park)

1974년 12월 25일생. 2007년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 부경대학교 전기공학과 교수

E-mail : spch@pknu.ac.kr