

Fuzzy Clustering을 이용한 순간전압강하(Voltage Sag)의 확장된 심각도 지수(Expanded Severity Index) 연구

오원욱^o, 김용수^{*}

^{o*}경원대학교 전자계산학과

e-mail: wonwook@ku.kyungwon.ac.kr, kimys@kyungwon.ac.kr

A Study of Expanded Severity Index of Voltage Sag Using Fuzzy Clusterin

Won-Wook Oh^o, Yong-Su Kim^{*}

^{o*}Dept. of Computer Science, Kyungwon University

● 요약 ●

본 논문은 전압 이벤트 현상 중 순간전압강하(Sag) 현상에 초점을 맞추었다. Sag 현상의 심각한 정도를 표현하는 심각도(Voltage Sag Severity) 지수는 동일 지속시간에 대한 임계치와의 비로 표현하였다. 제안하는 확장된 심각도(Expanded Severity) 지수는 sag현상의 분포에 따른 일시반복성의 정보를 표현하였다. 기존의 임계치를 표현하는 ITIC curve를 기반으로 된 심각도와 sag 현상이 발생하는 지속시간-전압 그래프의 분포를 fuzzy clustering을 통하여 medoid를 측정하고, medoid의 심각도와 실제 임계치에 근접한 sag 지점의 심각도를 계산하여 비교하였다. 확장된 심각도 지수는 심각도가 높은 현상들과의 연계성을 나타내는 지수로 심각한 정도의 수치 정보 이외에 일시적인 현상인지 지속 반복적인 현상인지를 0과 1사이의 수치로 표현하였고, 실험을 통하여 입증하였다.

키워드: 순간전압강하(Sag), 심각도 지수(Voltage Sag Severity Index), Fuzzy Clustering

I. 서론

산업현장에서 전력 과부하로 인한 정전, 전력선 및 기타 장치의 노후로 인한 단전 및 전력 품질 저하, 그리고 생산비용 절감을 위한 절전 등 전력 에너지와 관련된 문제에 대해 많은 노력을 기울이고 있다. 정전, 순간전압강하(sag), 순간전압상승(swell)과 같이 1/2cycle에서 수 초사이의 매우 짧은 순간의 발생하는 이벤트에 대한 정확한 예측 및 원인의 규명은 어렵다. 특히, 순간전압강하(Sag) 현상에 대해서 전기 보상 장치와 같은 여러 가지 계측 및 설비를 이용하여 전력 품질의 신뢰성을 높이고 있다. 또한, 다양한 원인을 판별하는 것은 전기 품질 향상을 위하여 매우 중요한 일이라 할 수 있다[1].

계측된 sag 데이터를 바탕으로 동일한 sag 지속시간의 기존의 임계치와의 비를 나타내는 순간전압강하 심각도(Voltage Sag Severity) 지수와 fuzzy clustering을 활용하여 발생하는 sag 현상의 분포를 관리자에게 추가적으로 제공할 수 있는 확장된 심각도 지수를 제안하였다.

II. 관련 연구

1. 순간전압강하(Voltage Sag)

순간전압강하 현상은 1/2사이클로부터 수 초 동안 실효치의 전압이 저하하는 것을 말한다. IEEE 표준에서 전압 변동의 크기는 시스템 정상전압의 10% ~90%의 수치로 규정하였다. Sag 현상이 1분 이상 지속되는 전압 강하는 저전압(Undervoltage)으로 분류된다[2][3].

2. Voltage Sag Severity 지수

Voltage Sag Severity(심각도) 지수는 전압의 특정 임계치를 표현한 curve와 비교하여 측정된 전압 데이터의 심각한 정도를 표현하는 지수로 다음과 같다[2].

$$S_e = \frac{1 - V(d)}{1 - V_{curve}(d)}$$

Se : Voltage Sag Severity(심각도)

V(d) : Sag 지속시간 d동안의 voltage

Vcurve(d) : 동일한 지속시간의 curve를 참고한 임계치의 voltage 임계치를 표현한 Curve와 동일한 선상에 있다면 Se(심각도)값

은 1이 된다. Curve보다 위에 위치한다면 1보다 작은 값이 되고, 아래에 위치한다면 1보다 크다. Se값이 클수록 Sag의 심각도도 커지게 된다[4][5].

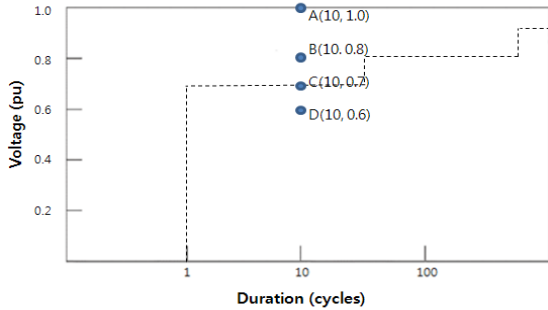


그림 1. Voltage Sag Severity 지수의 예
Fig. 1. Example of Voltage Sag Severity Index

그림 1의 ITIC curve에서의 sag 현상의 예로 심각도 지수를 계산하면 다음의 표 1과 같다.

표 1. Voltage Sag Severity 지수의 예
Table 1. Example of Voltage Sag Severity Index

분류	심각도 Se	Sag 현상
A	$\frac{1-1.0}{1-0.7} = 0$	Sag 현상 없음
B	$\frac{1-0.8}{1-0.7} = 0.67$	Sag 지수 높음
C	$\frac{1-0.7}{1-0.7} = 1.0$	Sag 임계치 값
D	$\frac{1-0.6}{1-0.7} = 1.33$	Sag로 인한 피해 예상

III. 본 론

1. 제안하는 확장된 심각도 지수 알고리즘

기존 심각도(Voltage Sag Severity) 지수는 동일한 지속시간과의 선형적인 비교로 표현되고, 심각한 정도를 단순히 1을 전후로 전압의 비로 수치화하기 때문에 현상의 정보 전달에 부족한 면이 있다. 제안하는 확장된 심각도 지수는 그 현상의 일시성 및 반복성에 대한 정보를 추가적으로 수치화하여 표현하도록 그림 3.2의 확장된 심각도 지수(Expanded Severity Index) 알고리즘으로 나타났다.

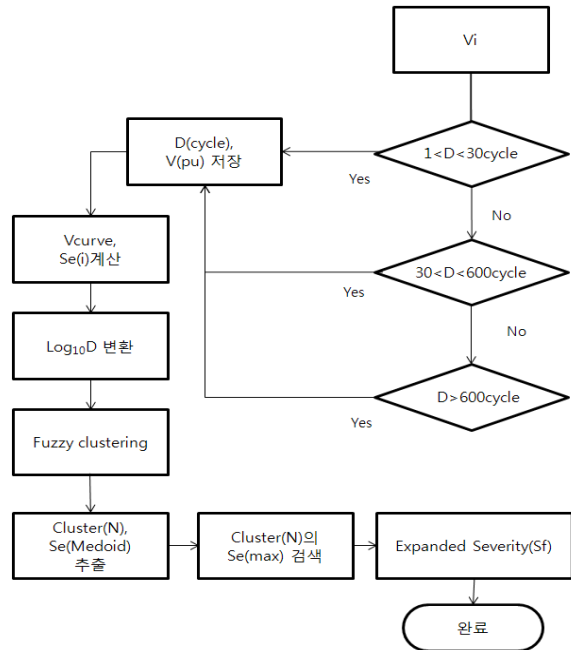


그림 2. 확장된 심각도 지수 알고리즘
Fig. 2. Expanded Severity Index algorithm

제안하는 Expanded Severity Index 알고리즘은 다음의 9단계로 이루어졌다.

- 1단계 : 순간전압강하(sag) 전압 Vi의 지속시간(Duration)을 1, 30, 600cycle단위로 구분한다.
- 2단계 : 1단계로 구분되어진 Vsag 데이터의 정상전압(1pu)과의 전압 비율V(pu), 지속시간 D(cycle)를 저장한다.
- 3단계 : 저장된 지속시간과 전압 비율을 이용하여 ITIC curve의 동일한 지속시간의 임계치 Vcurve(d)와 해당 전압의 심각도 Se(i)를 다음과 같이 계산한다.

$$S_e(i) = \frac{1 - V_i}{1 - V_{curve}(d)}$$

- 4단계 : 지속시간 D를 Log10으로 변환한다.
- 5단계 : 3단계와 4단계에서 구한 심각도 Se(i)와 LogD를 이용하여 fuzzy clustering을 시행한다[6].

$$C = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{ik}^2 m_{jk}^2 d_{ij}}{2 \sum_{j=1}^N m_{jk}^2}$$

m_{ik} : 클러스터 k에 속하는 i
 d_{ij} : i와 j의 차이 값

- 6단계 : 각각 Cluster의 medoid를 찾고, 심각도 Se(m) 값을 계산한다.

7단계 : 각각 Cluster의 심각도의 최대값 $Se(max)$ 를 찾는다.
 8단계 : $Se(i)$, $Se(m)$, St , $Spu(x)$ 를 이용하여 Expanded Severity(S)를 계산한다.

$$\text{Expanded Severity}(S) = \frac{S_e(\max) - S_e(m)}{S_t - S_{0.9pu}}$$

$Se(max)$: Cluster내의 심각도 최대값
 $Se(m)$: Fuzzy clustering에 의한 medoid의 심각도
 St : 임계치 지점의 심각도(=1)
 $S_{0.9pu}$: 전압이 0.9(pu) 지점의 심각도로 상수값

9단계 : Expanded Severity(S) 지수를 이용하여 Sag 현상 분석한다.

분포값인 $S_t - S_{0.9pu}$ 의 경우 1~30cycle인 경우 0.67, 30~600cycle인 경우 0.50의 값을 갖는 상수이므로, 분자의 수치에 의해서 지수의 값이 결정된다. 4단계에서 지속시간을 Log10으로 변환하는 이유는 기존의 Se지수의 경우 동일 지속시간에서의 전압거리를 비례로 계산해서, 동일하지 않은 지속시간과의 데이터 분석을 시행하지 않는다. Duration-Voltage 그래프에서 Y축(Voltage)과 평행한 직선상에서의 비례로 계산되므로 X축(Duration)의 수치를 이용하기 위해서는 Se의 변화 범위 0~1의 값으로 동일하게 맞추어야 한다. 지속시간을 Log10값으로 변환하면, 1~10cycle의 전체의 값도 0~1과 동일한 범위 안에서 계산이 가능하다. 분모의 값은 영역에 따라 다른 값일지라도 상수값으로 S의 크기는 분자에 의해 결정된다. $Se(max)$ 과 $Se(m)$ 의 값이 같아질수록 0으로, 멀어질수록 1로 근접한다. 0에 근접한 값을 가질 경우 임계치에 근접한 sag 현상이 반복적이고, 높은 밀도로 발생한다고 볼 수 있다. 1에 근접한 값을 갈수록 높은 밀도 지역과 떨어진 일시적인 현상에 의해 발생한 것으로 간주할 수 있다. Sag 현상이 발생하였지만 임계치와 밀도가 적절한 수준을 유지하는 경우는 0.5와 유사한 값으로 계산된다.

2. 실험 및 평가

실험은 그림 3과 같이 1~10cycle과 0.7~0.9pu 사이의 총 99개의 sag 현상 데이터와 ITIC curve를 이용하여 시행하였다.

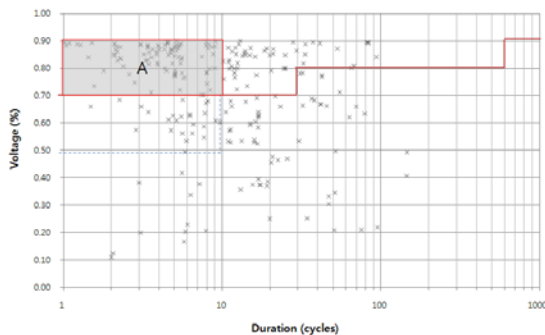


그림 3. 확장된 심각도 지수 알고리즘
 Fig. 3. Expanded Severity Index algorithm

각각의 sag 데이터의 심각도와 log10 scale로 변환하고, 지속시간을 fuzzy clustering을 이용하여 3개의 cluster로 분류하였다. 표 2는 fuzzy clustering 계산을 통하여 나온 결과값으로, 3개의 cluster와 각각의 medoid 지속시간과, 심각도의 계산 결과이다.

표 2. Fuzzy Clustering Data
 Table 2. Fuzzy Clustering Data

Variable	Cluster1	Cluster2	Cluster3
Duration of Medoid	0,342	0,6795	0,7053
Severity of Medoid	0,47	0,43	0,74

그림 4는 3개의 cluster와 medoid(M)의 A영역의 분포도이다.

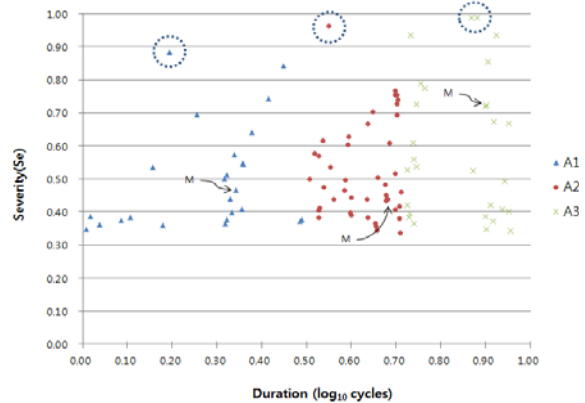


그림 4. Fuzzy Clustering 분포도
 Fig. 4. Fuzzy Clustering Distribution

$$\text{Expanded Severity}(S) = \frac{S_e - S_m}{S_t - S_{0.9pu}} = \frac{S_e - S_m}{1 - S_{0.9pu}}$$

표 4.3은 각각의 수치를 활용해 3개의 클러스터들의 계산값을 보여준다.

표 3. Expanded Severity(S)의 결과
 Table 3. Expanded Severity(S) Post-test

Cluster	A1	A2	A3
S			
Se	0,88	0,96	0,99
Sm	0,47	0,43	0,74
St	1	1	1
S09pu	0,33	0,33	0,33
S	0,61	0,79	0,37
현상 평가	안정적	일시적	안정적

기존 심각도 Se의 0.88, 0.96, 0.99 값들과 별도로 Expanded Severity(S)의 결과 값을 각각 0.61, 0.79, 0.37을 얻었다. A1의 0.61 수치는 0.5에 근접한 정상적인 분포에서의 최대값으로 보이

고, A2의 0.79 수치는 1에 근접하므로 일회적인 데이터로 생각된다. A3의 0.37값 또한 안정적으로 평가된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전압 event 현상 중 순간전압강하(Sag)에 대해서 확장된 심각도(Expanded Voltage Sag Severity) 지수를 제안하였다. 기존의 심각도 지수는 동일한 지속시간에서 발생하는 전압과 임계치 전압의 비교를 선형적으로 표현하였다면, 제안한 지수는 fuzzy clustering의 계산으로 도출된 cluster medoid와의 심각도로 분포에 따른 정보를 지수를 통해 제공하였다. 심각한 정도의 크기와 일시적인 현상인지 지속 반복적인 현상인지를 0과 1사이의 수치로 표현함으로써 sag 현상의 데이터에 대한 추가적인 정보를 실험을 통하여 입증하였다.

다양한 전력 설비 시스템에서 전력 데이터의 이상 유무를 판별하는 표준화된 데이터를 적용하는 것은 어려움이 따른다. 데이터 표본의 수치가 작을수록 오차가 발생할 수 있다. 전력 데이터 수치의 신뢰성 확보를 위해 산업 현장의 전력 관리 및 감시 장치들과 호환하고, 긴급 event에 대처할 수 있도록 다수의 실증적 데이터를 통한 실험이 필요하고, 또한 다른 clustering 기법을 이용하여 지수를 표현하고 현상에 대한 근접한 결과값을 도출하는 알고리즘의 연구가 추가적으로 필요하다.

참고문헌

- [1] Kezunovic, M. Liao, Y., "A novel method for equipment sensitivity study during power quality events", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2000
- [2] IEEE, "Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants", IEEE Std 1159
- [3] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", IEEE Std 1346, 1998
- [4] N. S. Tunaboylu, E. R. Collins, Jr., and P. R. Chaney, "Voltage disturbance evaluation using the missing voltage technique," in Proc. 8th Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, pp.577~582. 1998
- [5] Frantisek Kincses, "Voltage sag indices and statistics", Chalmers University of Technology, 2004
- [6] Kaufman, I. and Rousseeuw, P.J., "Finding Groups in Data", John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 1990