

## 동적모의에 기반한 상정사고 파급효과 유사도 지수의 개발

임재성\*, 안선주\*, 강현구\*, 문승일\*  
서울대학교\*

### Development of Similarity Index for contingency grouping using dynamic simulation

Jae-Sung Lim\*, Seon-Ju Ahn\*, Hyun-Koo Kang\*, Seung-Il Moon\*  
Seoul National University\*

**Abstract** - 본 논문에서는 선로사고 발생시 주변 지역의 유사한 파급효과가 나타나는 선로들을 분류하기 위해 사고시 주변모선 전압을 바탕으로 일정한 기준에 따라 그룹으로 나누고 각 그룹별 가중치와 모선수를 이용해 파급효과가 얼마나 유사한지를 나타내는 지수인 SI를 구하고 이를 이용해 각 선로의 파급영향을 분석해 보았다.

#### 1. 서 론

전력 계통에서의 고장은 일반적으로 계통 내의 보호장치에 의해 빠른 시간 내에 제거되지만, 단락고장이나 기기고장 등 고장의 종류에 따라서는 광범위한 영역으로 그 영향이 확대되기도 하며 광역정전이 발생할 가능성 또한 존재한다. 그러므로 사고가 발생했을 때 주변지역의 안정도 여부를 예측하여 어느 정도의 파급영향을 미칠것인지를 판단해 적절하게 대응하는 것이 무엇보다도 중요하다.

안정도 해석방법은 발전기 위상각을 이용하는 방법과 계통전압을 이용하는 방법이 있는데[1,2] 본 연구에서는 전압을 이용하여 계통 안정도를 해석하였다.

본 논문에서는 전력계통 해석 tool인 TSAT을 이용해 선로사고 발생시 주위 모선의 전압 분포를 기준으로 파급효과 유사도에 따라 분류하는 방법을 제안한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 분석방법

각 상정사고의 파급효과를 분석하는 과정은 다음과 같다.

- i) 상정사고 모의
- ii) Voltage Drop Duration Index를 이용하여 분석 대상 사고 선정
- iii) 선택된 사고를 대상으로 사고 후 전압에 따라 모선을 A, B, C 그룹으로 분류

##### 2.1.1 상정사고 모의

본 논문에서는 2007년 한전계통 데이터를 이용하여 상정사고 모의를 진행하였다. 사고의 모의는 0.5초에 3상 지락사고를 발생시키고 6주기 후 제거하였다. 154kV 송전선은 동시 다발적인 사고가 아닌 이상 계통에 큰 영향을 주지 못하였다. 또한 보통 계통을 구성할 때는 N-1 상정사고를 대비하여 구성하기 때문에 한 선로가 사고가 발생했을 때에도 계통에 크게 영향을 미치지 못하였다. 따라서 345kV 이상 병행선로를 대상으로 하는 상정사고에 대해서만 연구를 진행하였다.

##### 2.1.2 분석대상 선별

TSAT에서는 과도상태의 전압이 허용범위 이내에서 운전되는지를 판단하는 기준으로 Voltage Drop Duration Index(VDDI)를 이용한다. VDDI는 모선의 전압이 기준값 이하로 운전되는 지속 시간으로 정의된다. 본 연구에서는 저전압의 기준을 0.8 p.u.으로 하여 저전압이 0.4초 이상 지속되는 모선이 발생되는 사고를 선택하였다. 이러한 기준으로 117개의 상정사고 중에서 총 80개의 사고가 상세 분석 대상으로 선정되었다.

##### 2.1.3 전압크기에 따른 그룹 분류

80개의 불안정한 선로에 대해 각각의 선로 사고시 주변모선을 전압크기에 따라 다음의 세 그룹으로 나누어 분석하였다.

- A. 사고시 전압이 0.5 p.u. 미만인 모선
- B. 사고시 전압이 0.5 p.u. 이상 0.7 p.u. 미만인 모선
- C. 사고시 전압이 0.7 p.u. 이상 0.8 p.u. 미만인 모선

이후 선로사고가 발생했을 때 A, B, C 그룹에 속해있는 모선들을 분류하고 각 모선들의 총 개수를 확인한다. 예를 들어 i 선로와 j 선로가 사고가 났을 때 아래의 표 1에서 나타난 것과 같이 두 선로 주변의 모선들을 앞에서 언급한 전압기준에 따라 세 단계로 나누어 보고 각각의 단계에 속해있는 모선들과 각 모선들의 총수를 확인한다.

〈표 1〉 i, j 선로 사고시 단계별로 분류한 모선수

- Case i

A <sub>i</sub>	B <sub>i</sub>	C <sub>i</sub>
N <sub>A<sub>i</sub></sub>	N <sub>B<sub>i</sub></sub>	N <sub>C<sub>i</sub></sub>
N <sub>A<sub>i</sub></sub> + N <sub>B<sub>i</sub></sub> + N <sub>C<sub>i</sub></sub> = N <sub>i</sub>		

- Case j

A <sub>j</sub>	B <sub>j</sub>	C <sub>j</sub>
N <sub>A<sub>j</sub></sub>	N <sub>B<sub>j</sub></sub>	N <sub>C<sub>j</sub></sub>
N <sub>A<sub>j</sub></sub> + N <sub>B<sub>j</sub></sub> + N <sub>C<sub>j</sub></sub> = N <sub>j</sub>		

표 1에서 i, j 선로사고시 A, B, C 그룹에 속해있는 모선들을 분류하고 전압크기가 0.8 p.u. 아래로 감소하는 모선의 총 개수를 각각 N<sub>i</sub>, N<sub>j</sub>로 표시하였다.

##### 2.2 선로간의 사고파급효과 유사성 분석

이 절에서는 위에서 구한 데이터들을 기반으로 하여 각 선로들의 사고파급효과가 유사한지를 판단하는 지수 SI를 구하는 과정을 제시하고자 한다.

〈표 2〉 i, j 선로 사고시 전압단계별 가중치와 모선수

Case i-Case j	W(가중치)	N(모선수)
A-A	W <sub>AA</sub>	N <sub>AA</sub>
B-B	W <sub>BB</sub>	N <sub>BB</sub>
C-C	W <sub>CC</sub>	N <sub>CC</sub>
A-B	W <sub>AB</sub>	N <sub>AB</sub>
B-A	W <sub>BA</sub>	N <sub>BA</sub>
B-C	W <sub>BC</sub>	N <sub>BC</sub>
C-B	W <sub>CB</sub>	N <sub>CB</sub>
A-C	W <sub>AC</sub>	N <sub>AC</sub>
C-A	W <sub>CA</sub>	N <sub>CA</sub>

우선 i 선로와 j 선로가 사고가 발생했을 경우 전압이 0.8 p.u. 아래로 감소하는 공통된 모선을 찾아서 위의 표 2에 제시된 9가지 그룹(A-A ~ C-A)으로 분류한다. 예를 들어 i 선로사고가 발생했을 때 a모선의 전압값이 0.3 p.u.이고, j 선로사고가 발생했을 때 a모선의 전압값이 0.6 p.u.라고 한다면 a모선은 아래 표 2에서 나타난 9가지 그룹 중 A-B에 속하게 된다.

또한 한 모선이 두 선로에 대한 전압파급효과가 얼마나 유사한지에 따라 가중치를 두었다. 만약 한 모선이 두 선로사고에 대해 같은 그룹에 속할 때, 즉, A-A, B-B, C-C경우일 때 1로 두

고, 한 그룹 차이가 있을 경우에는 0.7, 두 그룹 차이가 있을 경우에는 0.3으로 두었다.

이 후 앞에서 확인한 각 그룹별 가중치와 모선수를 이용하여 각 선로에 사고가 발생했을때 주변지역의 과급효과가 얼마나 유사한지를 확인하는 지수 SI를 구할 수 있다. SI는 우선 각 그룹별로 가중치와 모선수를 곱한 후 전체를 더한다. 다음 이 전체값을 표준화시키기 위해  $\sqrt{N_i \cdot N_j}$ 를 나눈다.

지금까지 설명한 SI에 관한 내용이 밑의 식 (1)과 같이 정리되어 있다.

$$SI = \frac{\sum_{k \in AA, BB, \dots, CA} W_k \cdot N_k}{\sqrt{N_i \cdot N_j}} \quad (1)$$

식 (1)에서 SI값이 1에 가까울수록 두 선로의 사고과급효과가 유사하고, 0에 가까울수록 사고과급효과가 다르다. 이 SI를 이용하여 두 선로의 사고과급효과 유사성을 확인할 수 있다.

## 2.3 사례연구

### 2.3.1 개요

계통측면에서 보면 지역적으로 가까운 두 선로의 사고과급효과가 지역적으로 멀리 떨어져있는 두 선로의 사고과급효과보다 유사하다는 것을 가정할 수 있다. 이 절에서는 지금까지 기술한 분석과정을 토대로 지역적으로 가까운 두 선로의 SI값과 지역적으로 멀리 떨어져있는 두 선로의 SI값을 위에서 제시한 방법에 의해 도출해보고, 두 SI값을 비교, 분석하여 앞에서 가정한 내용이 옳은지 확인하려고 한다. 이를 위해 Case 1에서는 지역적으로 가까운 신강진-신화순 선로와 신화순-신광주 선로간의 사고과급효과 유사성을 분석해보고, Case 2에서는 지역적으로 멀리 떨어져있는 신화순-신광주 선로와 의령-하동 선로의 사고과급효과 유사성을 분석하여 두 Case를 서로 비교해보았다.

### 2.3.2 각 Case별 분석 및 검토

#### -Case 1: 신강진-신화순 345kV 선로(i) - 신화순-신광주 345kV 선로(j)

신강진-신화순 선로와 신화순-신광주 선로사고시 과급효과 유사성을 앞에서 언급한 방법을 이용해 분석해보면 다음 표 3,4와 같다.

<표 3> Case 1: 두 선로사고시 그룹별로 분류한 모선수

- 신강진-신화순 345kV 선로사고시

A신강진-신화순	B신강진-신화순	C신강진-신화순
11	2	7
N신강진-신화순 = 11 + 2 + 7 = 20		

- 신화순-신광주 345kV 선로사고시

A신화순-신광주	B신화순-신광주	C신화순-신광주
7	5	9
N신화순-신광주 = 7 + 5 + 9 = 21		

<표 4> Case 1: 두 선로사고시 그룹별 가중치와 모선수

Case i-Case j	W(가중치)	N(모선수)
A-A	WAA	7
B-B	WBB	1
C-C	WCC	7
A-B	WAB	4
B-A	WBA	0
B-C	WBC	1
C-B	WCB	0
A-C	WAC	0
C-A	WCA	0

위의 분석한 결과를 이용하여 SI를 구하면 다음과 같다.

$$SI_1 = \frac{1 \times (7+1+7) + 0.7 \times (4+0+1+0) + 0.3 \times 0}{\sqrt{20 \cdot 21}} = 0.9027$$

#### -Case 2: 신화순-신광주 345kV 선로(i) - 의령-하동 345kV 선로(j)

신화순-신광주 선로와 의령-하동 선로사고시 과급효과 유사성을 앞에서 언급한 방법을 이용해 분석해보면 다음 표 5, 6과 같다.

<표 5> Case 2: 두 선로사고시 그룹별로 분류한 모선수

- 신화순-신광주 345kV 선로사고시

A신화순-신광주	B신화순-신광주	C신화순-신광주
7	5	9
N신화순-신광주 = 7 + 5 + 9 = 21		

- 의령-하동 345kV 선로사고시

A의령-하동	B의령-하동	C의령-하동
16	13	6
N의령-하동 = 16 + 13 + 6 = 35		

<표 6> Case 2: 두 선로사고시 그룹별 가중치와 모선수

Case i-Case j	W(가중치)	N(모선수)
A-A	WAA	7
B-B	WBB	0
C-C	WCC	0
A-B	WAB	0
B-A	WBA	5
B-C	WBC	0
C-B	WCB	5
A-C	WAC	0
C-A	WCA	4

위의 분석한 결과를 이용하여 SI를 구하면 다음과 같다.

$$SI_2 = \frac{1 \times (7+0+0) + 0.7 \times (0+5+0+5) + 0.3 \times (0+4)}{\sqrt{21 \cdot 35}} = 0.5607$$

각 Case의 SI를 구해본 결과 SI1 값이 SI2 값보다 1에 가까웠다. 이 사례연구를 통하여 본 논문에서 제안한 SI의 타당성을 검증하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 TSAT을 이용해 상정사고를 모의하고 VDDI를 이용해 분석대상을 선택한 다음 사고가 발생한 선로 주위의 모선을 전압크기에 따라 그룹으로 분류하였다. 이를 바탕으로 선로간의 사고과급효과 유사성을 나타내는 지수 SI를 제안하였고 두 가지 Case에 적용하여 그 효용성에 대해 검증하였다.

앞으로 이 분석방법에 컴퓨터 알고리즘을 적용하여 크고 복잡한 계통에 포함되어있는 선로의 사고과급효과 유사성을 분석, 분류하는 연구를 진행하고자 한다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 한전 전력연구원, "고정밀 전력설비 모델링 및 교육 훈련시스템 개발", 산업자원부, pp.4장 1~3, 2007
- [2] R. Bergen, Vijay Vittal, "Power systems analysis" Prentice Hall, pp.528-530, 2006