

## 선로사고분배계수를 이용한 상정사고 선택

박규흥, 유현재\*, 정재길\*\*, 감영득\*\*

대림전문대 전기과, \*한전전력연구원, \*\*중앙대학교 전기공학과

### Contingency Ranking Using A Line Outage Distribution Factor

K.H. Park, H.J. Yoo\*, J.K. Chung\*\*, Y.M. Kang\*\*

Daelim College, Korea Electric Power Reach Institute, Chungang University

**ABSTRACT**-This paper presents an algorithm for the contingency ranking in a power system. The method utilizes line outage distribution factors(LODF) which are established from DC load flow solutions. The LODF are formulated using changes in network power generations to simulate the outaged line from the network. To obtain better ranking, one can take a line loading of 60% over into account in the computation of PI. The proposed algorithm has been validated in tests on a 6-bus test system.

#### 1. 序 論

電力系統에서 발생 가능한 각종사고를 정하여 이들 사고가 계통에 발생하였을 경우 계통의 운전 상태를 예측하기 위하여 상정사고를 해석하는 목적이다. 이 경우 전체적인 상정사고 해석시간을 줄이기 위해서는 상정사고수를 줄이는 방법이 효과적임으로 계통에 큰 영향을 미치는 가혹한 상정사고만을 선택해서 선택된 상정사고를 상세히 해석하는 방법이 바람직하다.

신속한 상정사고 선택을 위하여 일반적으로 고속분할법, 직류조류법 또는 1회 수정만으로 조류계산을 하는 IP-10법등이 있으나 본 논문에서는 상정사고 대책의 일환으로 개발된 선로개방분배계수(LODF : Line Outage Distribution Factor)를 이용하여 정상상태의 조류를 수정함으로써 상정사고시의 조류를 간단히 계산할 수 있었다. 일반적으로 開放線路의 兩端母線 구동점 리액턴스와 전달리액턴스 및 조류계산 대상선로의 양단모선과 개방선로의 양단모선간의 전달리액턴스의 함수로 표시되는 선로개방분배계수를 사용하여 선로 개방에 따른 분배계수를 적용함으로써 가능하였다.<sup>(1,2)</sup> 또한 신속한 상정사고 선택을 위하여 정상상태에서 용량대비 선로조류가 60%를 넘는 선로 만(345KV에서는 35%)을 대상으로 하였다.

상정사고의 선택 및 그 우선순위의 부여방법으로는 상정사고에 대한 평가지수를 계산하고 이 값이 큰 순서에 따라 순위를 부여하는 방법이 사용되고 있으며, 상정사고에 대한 평가지수를 설정하는 방법으로는 (1)상정사고 근사 해석결과로부터 모든 과부하선로의 유효전력과 그 선로의 용량과의 비율로 계산하는 방법과 (2)모든 과부하선로의 유효전력이 선로용량을 초과하는 편차와 그 선로의 용량과

의 비율로 정하는 방법 및 (3)계통운용가의 경험에 기인한 퍼지법을 이용하는 방법등이 있다.<sup>(1,5)</sup>

따라서 본 논문에서는 LODF를 이용함으로써 상정사고시 별도의 조류 계산을 하지 아니하였으며, 상정사고시의 조류증가로 인하여 일부 선로에 심한 과부하가 야기되는 선로사고 보다는 많은 선로에 약한 과부하가 발생하는 상정사고시의 평가지수가 오히려 크게 나타나는 소위 마스킹 문제(masking problem)가 일어나지 않도록 평가지수 계산방법(2)을 이용하였으며, 상정사고시의 선로조류를 신속히 계산하기 위하여 1회만 수정하는 IP-10법을 적용하는 대신에 선로사고시 다른 선로에 대한 감도계수인 선로개방분배계수를 이용하여 효율적인 상정사고 선택이 되도록 하였다.

#### 2. 상정사고 선택

##### 2.1 상정사고 선택의 概要

상정사고를 선택하기 위한 평가지수PI(Performance Index)는 상정사고가 발생하였을 경우 사고가 계통운영의 안전성 및 경제성의 관점에서 계통에 얼마만큼 영향을 끼치는가를 평가하기 위한 것이다. 따라서 평가지수는 사고발생에 따른 특정설비의 과부하로 인한 위험 부담 및 전력설비의 부하부담 증가등 계통의 안전도 및 재해에 대한 경제적 평가가 복합적으로 고려 되어야 한다. 이 평가지수를 정하는 방법은 여러 가지가 있으나 식(1)과 같이 사고발생으로 인한 과부하 선로조류의 크기와 그 선로의 정격치와의 비율에 의하여 정하는 방법과 식(2)와 같이 사고발생으로 인한 과부하 선로조류와 정격치와의 편차의 절대치와 그 선로의 정격치와의 비율로 정하는 방법이 있다.<sup>(1)</sup>

마스킹문제, 즉 상정사고시 여러선로에 가벼운 과부하가 나타나는 경우와 일부선로에 심한 과부하가 나타나는 경우에 후자가 우선적으로 선택되기 위해서는 식(2)를 이용하였으며 신속한 상정사고 선택을 위하여 정상상태에서 용량대비 선로조류 60%가 넘는 선로만을 대상으로 하였다. 이는 참고문헌(5)에서와 같이 60%미만의 선로는 개방사고시 별다른 문제를 야기 하지 않기 때문이다.

또한 상정사고시에 우선순위 부여는 상정사고를 어느것부터 해석할 것인가를 정하는 것이다. 이는 사고발생시 계통에 영향을 많이 미치는 것부터 정하될 것이므로 평가지수가 큰 순서로 사고해석하면 될 것이다.

$$PI = \sum_{NOL} W_m \left( \frac{P_m}{P_{m, \max}} \right)^2 \quad (1)$$

$$PI = \sum_{NOL} W_m \left( \frac{|P_m - P_{m, \max}|}{P_{m, \max}} \right)^2 \quad (2)$$

단,  $P_m$  : 선로 $m$ 의 조류,

$P_{m, \max}$  : 선로 $m$ 의 용량,

$W_m$  : 선로 $m$ 의 중요도를 나타내는 가중치(weighting factor)

NOL: 과부하 線路個數.

이 방법에서는 상정사고시 선로의 전력조류 변화를 나타내는 線路事故分配係數를 사용함이 편리하다. 線路事故分配係數를 사용할 경우 상정사고시 線路의 電力潮流式은 식(3)과 같이 표시할 수 있다.

$$P_m = P_m + d_{m,f} \cdot P_f \quad (3)$$

$P_m$  : 모선 l에서 모선 k로 흐르는 선로 m의 有效電力,

$P_f$  : 모선 s에서 모선 e로 흐르는 개방선로 f의 有效電力,

$P_m$  : 선로 f의 開放후 선로 m의 有效電力.

$d_{m,f}$  : 線路事故分配係數(선로 f의 개방시 선로 m의 전력 변화에 대한 感度係數).

## 2.2 線路事故分配係數 계산

개방선로 양단모선 번호에 해당하는 2열의 리액턴스를 이용하여 발전력 변화시의 선로조류를 계산하는데 필요한 발전력변화분배계수(GSDF: Generation Shift Distribution Factor)를 구한후 조류계산을 하고자하는 선로와 개방선로의 양단 모선 사이의 GSDF의 차를 구함으로써 선로개방사고계수(LODF)를 계산할 수 있다.

### 2.2.1 GSDF계산

모선 i의 발전력변화에 대한 선로 m의 조류의 변화를 나타내는 GSDF의 계산은 직류조류법을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} A_{mi} &= \frac{\partial P_m}{\partial PG_i} \\ &= \frac{\partial}{\partial PG_i} \left( \frac{\theta_i - \theta_k}{X_m} \right) \\ &= \frac{X_{li} - X_{ki}}{X_m} \end{aligned} \quad (4)$$

단, l, k는 선로m의 양단 모선 번호이다.

### 2.2.2 선로사고분배계수 계산

선로사고시 LODF는 조류계산을 하고자 하는 선로와 사고선로 양단 모선 사이의 감도 계수인 GSDF를 상정사고 상태의 값으로 수정함으로써 계산할 수 있다. 선로 f의 탈락사고시 선로m의 조류  $P_m$ 는

사고전 조류를  $P_m$ 이라 하고 선로 m과 사고선로 f사이의 사고분배계수를  $d_{m,f}$ 라 하면 계통의 전발전출력은 변하지 않는 것으로 하고 선로 f의 탈락사고를 시뮬레이션할 수 있다. 즉, 조류가 모선 s에서 모선 e방향으로 흐를때 모선 s의 발전기 출력 변화분은  $P_f$ , 모선 e의 발전기 출력 변화분은  $-P_f$ 로 됨으로 GSDF를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다. [2,3]

$$\begin{aligned} P_m &= P_m + d_{m,f} \cdot P_f \\ &= P_m + A_{ms} \cdot (P_f) + A_{me} \cdot (-P_f) \\ &= P_m + (A_{ms} - A_{me})P_f \end{aligned} \quad (5)$$

이 식에서 선로사고분배계수  $d_{m,f}$ 는 조류 계산선로m과 사고선로 f의 양단모선사이의 발전력변화분배계수  $A_{ms}$ ,  $A_{me}$ 로 부터 다음과 같이 계산된다.

$$d_{m,f} = A_{ms} - A_{me} \quad (6)$$

그러나 본 논문에서는 사고시의 조류계산을 신속한하기 위하여 사고전 상태의 GSDF를 이용함으로써 리액턴스 행렬에서 8개의 요소를 이용하는 대신 4개의 요소만으로 계산토록하였다. 즉, 개방선로 양단 모선번호에 해당하는 2열의 리액턴스요소 중에서 조류계산을 하고자 하는 선로의 양단 모선번호에 해당하는 요소를 이용하였다.

### 2.2.3 선택기본원칙

평가지수 PI를 계산함에 있어서 참고문헌(5)에서 제안한 상정사고 선택 기본 원칙을 나열하면 다음과 같다.

- (1). 단독선로에 의하여 연계된 모선인 경우 선로개방 사고가 일어난다면 그 모선은 계통과 유리됨으로 상정사고 선택시 최우선순위에 놓아야 한다.
- (2). 계통에 따라서 선로용량의 60-90%의 조류가 흐르는 선로도 순위 결정시 고려되어야 한다. 이는 초고압계통 간선인 경우 개방사고시 다른 선로에 과부하 또는 트립을 야기시키기 때문이다.
- (3). 154KV계통보다는 345KV계통에 우선순위를 부여한다.
- (4). 110%이상의 과부하는 계통안정상의 문제를 야기할 것이며, 60% 이하의 경우부하는 어떠한 안정상의 문제도 야기하지 아니할 것이다.
- (5). 상정사고시 선로용량의 임계치 가까워서 운전되는 선로가 많은 경우는 높은 순위를 주어야 한다.

이와같이 계통운용 전문가의 경험에 기인한 선택기본 원칙에 의하여 단독선로는 최우선 순위에 두며, 용량대비 조류가 0.6이상의 선로(345KV선로에서는 0.35 이상)만을 대상으로함으로써 보다 더 효율적인 상정사고 선택이 가능할 것이다. 지금까지 제안한 상정사고 선택 알고리즘에 관한 흐름도는 그림과 같다.

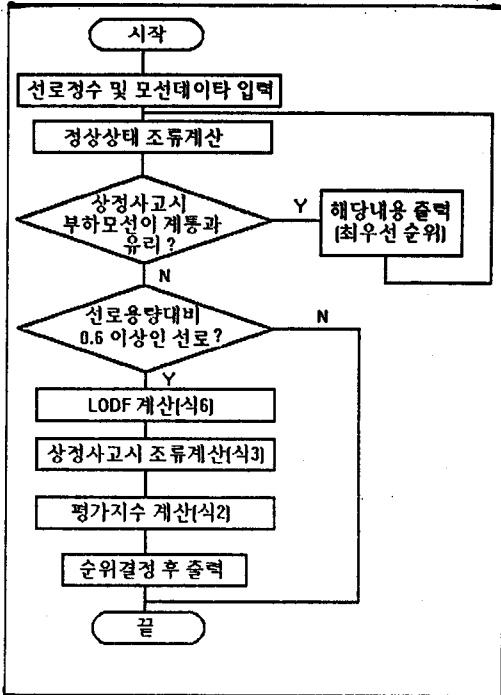


그림 1. 주프로그램 흐름도  
Fig. 1. Flowchart of Main Program

### 3. 모델 시스템에의 적용예

본 논문에서 제시한 알고리즘 및 프로그램에 관한 效用성을 입증하기 위하여 모델 시스템으로 그림 2와 같은 6母線 시스템을 선정하여 적용하였으며 이에 대한 상정사고 선택 결과는 표 1과 같다. (6) LODF를 이용하여 식(1)의 평가함수를 계산하여 상정사고를 선택한바 P-Q분할법을 이용한 경우의 결과가 일치하였다. P-Q분할법에서는 허용편차를  $10^{-3}$ 으로 정하였는바 선로에 따라서 4~16회 반복 후 수렴하였다. IP-1Q법을 이용하는 선로순위와도 일치하였으나, IP-1Q법은 유효 및 무효전력을 1회 수정하는 조류계산법인 반면, LODF를 이용하는 상정사고 선택법은 4개의 리액턴스 요소만으로 개방선로와의 감도계수를 이용하여 정상상태의 조류를 수정하기 때문에 알고리즘이 간단함으로, 제안된 알고리즘의 효용성을 입증할 수 있었다. 또한 표 2와 표 3은 상정사고 선택 1, 2순위인 10번선로 및 1번선로 개방사고인 경우 LODF를 이용한 선로조류값과 각 선로에 대한 LODF의 값을 나열하였으며, P-Q분할법에 의한 조류계산 결과치와 비교하였다.

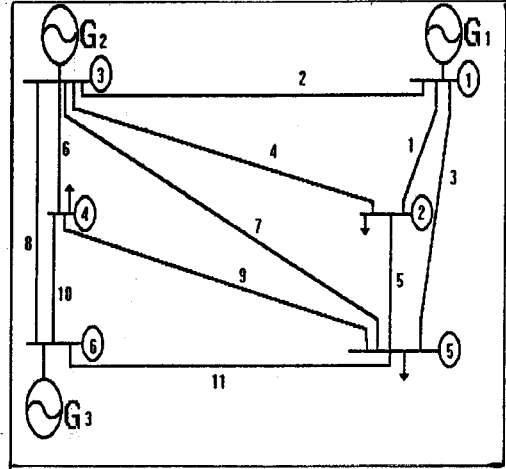


그림 2. 6 모선 모델 계통도  
Fig. 2. Model Diagram of 6-Bus System

표 1. 상정사고 선택 결과 비교

Table 2. Comparison of Contingency Ranking Results

순 위	LODF 이용		IP-1Q법		P-Q분할법(허용편차 $10^{-3}$ )		반복계산 회수
	선로 번호	PI	선로 번호	PI	선로번호	PI	
1	10	.611	10	.847	10	.764	7
2	1	.090	1	.127	1	.082	16
3	6	.061	6	.058	6	.044	13
4	4	.017	4	.015	4	.013	4
5	11	.004	11	.007	11	.010	6

표 2 10번 선로사고시 조류계산 결과 비교

Table 3. Comparison of two Load Flow Calculation Method for the Outage on Line 10

선로 번호	모선번호 부터	까지	정상조류	LODF 이용		P-Q 분할법
				선로 조류	$D_{m,l}$	
1	1	2	0.738	0.741	-0.0046	0.739
2	1	3	-0.108	-0.087	-0.0323	-0.080
3	1	5	0.308	0.284	0.0369	0.280
4	2	3	-0.475	-0.450	-0.0381	-0.447
5	2	5	-0.003	-0.025	0.0335	-0.030
6	3	4	0.649	1.144	-0.7647	1.199
7	3	5	0.318	0.279	0.0589	0.266
8	3	6	-0.328	-0.739	0.6353	-0.770
9	4	5	0.070	-0.082	0.2353	-0.086
10	4	6	-0.648	0.000	0.0000	0.000
11	5	6	-0.536	-0.773	0.3647	-0.801

Table4. Comparison of two Load Flow Calculation Method for the Outage on Line 1

선로번호	모선번호		정상조류	LODF 이용		P-Q 분할법
	부터	까지		선로조류	$D_{m,j}$	
1	1	2	0.738	0.000	0.0000	0.000
2	1	3	-0.108	0.280	0.5235	0.313
3	1	5	0.308	0.650	0.4747	0.643
4	2	3	-0.475	-0.906	-0.5842	-0.918
5	2	5	-0.003	-0.310	-0.4158	-0.319
6	3	4	0.649	0.635	-0.0190	0.617
7	3	5	0.318	0.298	-0.0264	0.312
8	3	6	-0.328	-0.338	-0.0135	-0.308
9	4	5	0.070	0.059	-0.0150	0.089
10	4	6	-0.648	-0.651	-0.0040	-0.608
11	5	6	-0.536	-0.524	0.0174	-0.550

#### 4 結 論

본 논문은 효율적인 想定事故 선택을 위하여 과부하 해소대책의 일환으로 개발한 선로사고분배계수(LODF)를 이용하여 상정사고시의 조류를 간단히 계산하고 이에 대한 평가지수를 계산함에 있어서 정상상태에서 선로용량 대비 60% 이상의 조류가 흐르는 선로만을 대상으로 하였으며, 1P-1Q법에 의한 순위 선정 방법보다 신속한 새로운 상정사고 선택 알고리즘을 제시하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 朴圭弘, "電力系統의 想定事故 解析 및 對策에 관한 연구," 박사학위논문, 중앙대, 1986.
- [2] 朴圭弘, 鄭在吉, "線路切換에 의한 過負荷 解消 알고리즘," 대한전기학회지, Vol. 41, No. 5, pp. 459-467, 1992.
- [3] 朴圭弘외, "새로운 선로사고 분배계수를 알고리즘을 이용한 과부하 해소대책," 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 588-590, 1995. 7.
- [4] Y.C.Chang, "A new method for calculating loss coefficients," *IEEE Trans, Power System.*, vol. PWRS-9, pp. 1665-1671, 1994.
- [5] Yuan-Yih Hsu "Fuzzy-Set based contingency ranking," *IEEE* Vol. 7, No. 3, pp.1189-1196, August, 1992.
- [6] A.J.Wood, *Power Generation, Operation and Control*, John Willey, pp. 368-373, 1984.