

전력계통에 있어서 직접법을 활용한 상정사고 위험순위 결정

論 文

54P-2-2

Contingency Severity Ranking Using Direct Method in Power Systems

李 尚 根[†]
(Sang-Keun Lee)

Abstract - This paper presents a method to select contingency ranking considering voltage security problems in power systems. Direct method which needs not the detailed knowledge of the post contingency voltage at each bus is used. Based on system operator's experience and knowledge, the membership functions for the MVAR mismatch and allowable voltage violation are justified describing linguistic representation with heuristic rules. Rule base is used for the computation of severity index for each contingency by fuzzy inference. Contingency ranking harmful to the system is formed by the index for security evaluation. Compared with 1P-1Q iteration, this algorithm using direct method and fuzzy inference shows higher computation speed and almost the same accuracy. The proposed method is applied to model system and KEPCO practical system which consists of 311 buses and 609 lines to show its effectiveness.

Key Words : Direct method, Rule Base, Fuzzy Inference, Contingency Ranking

1. 서 론

최근 전력계통은 대용량 장거리화 됨에 따라 계통구성요소는 더욱 복잡해지고 있다. 특히, 갑작스러운 외란에 의한 계통의 불안정현상은 선로조류의 증가 및 계통 전압강하를 초래하여 결국에는 계통붕괴에 이를 수 있다. 따라서 어떠한 상정사고 하에서 계통상태가 가장 위험하게 되는가를 분석할 필요가 있다. 따라서, 계통계획시 또는 운전자로 하여금 계통사고에 대한 예방제어 및 사고시 안전도 향상을 위한 제어를 결정할 수 있는 적절한 지표를 구할 필요가 있다 [1-3]. 상정사고가 계통에 미치는 영향에 따라 사고의 순위를 결정하는 것을 상정사고 위험순위(Contingency ranking) 결정이라고 하는데, 이 알고리즘은 사고후의 계통 위험정도를 나타내기 위하여 지수를 이용한다[1]. 이것은 사고후 전압 또는 선로조류가 허용범위의 위반정도를 나타낸다. 상정사고 위험순위 결정을 실시간으로 다루기 위해서는 계산시간을 단축하고 정확해야 한다. 대규모 전력계통에서 상정사고의 수가 많으면, 이에 따른 계산 소요시간은 상당히 증가하므로 실시간 운전에 적합치 않다. 또한, 제약을 크게 위반하지만 위반 갯수가 적은 상정사고가 제약을 작게 위반하는 경우가 많은 상정사고 보다 위험지수가 작거나 같게 되는 순위결정 오류(misranking)가 있다. 따라서, 계산시간과 정확성을 고려한 효율적인 알고리즘이 필요하다. 각 상정사고

는 AC 조류계산으로 분석되어야 정확하나 계산시간이 너무 많아 실시간 평가에 있어서 거의 불가능하다. 대부분의 전압문제를 일으키는 상정사고에 대한 위험순위 결정방법은 고속분할, 선형AC 조류계산을 기초로 반복에 의해 계산된 상정사고후의 전압값을 사용하는 간접법(non-direct method)이다. 이것은 사고후의 전압값을 정확히 알고 순위를 결정하는 방법이나 대체로 계산시간이 많다[3]. 또한 순위결정 오류를 방지하기 위하여 과부하선로 및 허용전압 위반선로만을 고려하는 방법이 제시되었다[4]. 퍼지집합이론을 이용하여 언어변수에 대한 소속함수를 정의하여 순위결정 오류를 방지하는 방법이 제시되었다[6]. 이 방법은 운전자가 만족할 때 까지 시행착오에 의한 반복계산을 하므로 시간이 많이 걸린다.

본 연구에서는 상정사고후 각 모선의 전압을 정확하게 모르는 상태에서 직접 위험지수를 구할 수 있는 직접법(direct method)을 이용하여 기준상태(base case state)의 경우에서만 1P-1Q 조류계산을 한후, 계통상태변화에 기준상태의 값을 기준으로 전압변화분과 무효전력편차를 계산하는 알고리즘을 사용하였다[5]. 효과적인 계산을 위하여 성김벡터 및 행렬법을 이용하여 온라인 계산이 가능하게 하였다. 또한, 정확한 위험순위 결정을 위하여 운전자의 경험과 지식을 경험적 룰 베이스에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 상정사고에 대한 위험지수를 구하는 방법을 제안하였다.

제안한 방법을 IEEE 30모선 41선로 모델계통과 KEPCO 311모선 609선로 계통에 적용하여 효율성을 입증하였다.

2. 직접법의 정식화

상정사고 위험순위 결정은 상정사고후의 선로조류 또는

[†] 교신저자, 正會員 : 國立原州大學 電氣科 副教授 · 工博
E-mail : sklee@sky.wonju.ac.kr
接受日字 : 2005年 3月 4日
最終完了 : 2005年 4月 14日

모선전압이 허용범위를 얼마만큼 위반하였는가를 지수로 표현하여 순위를 정하는 것이다. 이때 지수계산 방법은 상정사고후 근사화된 전압과 선로조류를 근거로 계산하는 간접법(non-direct method)과 상정사고후 각 모선의 전압이나 선로조류를 정확하게 모르는 상태에서 지수를 계산하는 직접법(direct method)이 있다. 따라서 계산시간의 단축을 위하여 직접법을 사용하는 것이 계산시간에 있어서 효율적이다.

2.1 선로사고에 의한 전압변화

상정사고로서 모선 p와 q(p<q) 사이의 선로 l(1회선)에 대한 탈락사고를 선정한다. 선로 l의 사고후 전압변화는 고속분할 조류계산인 1P-1Q 반복계산에 의하여 다음의 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다[5].

$$\Delta\theta = (B' + C' B'^{-1} M M^T B'^{-1}) (\Delta P / V) \quad (1)$$

$$\Delta V = (B'' + C'' B''^{-1} M M^T B''^{-1}) (\Delta Q / V) \quad (2)$$

여기서,

$$C' = -(\Delta b'^{-1} + M^T B'^{-1} M)^{-1}$$

$$C'' = -(\Delta b''^{-1} + M^T B''^{-1} M)^{-1}$$

n : 전체모선 수

$\Delta\theta$: 상정사고후 모선전압의 위상각 변화

ΔV : 상정사고후 모선전압의 크기 변화

B' : P- θ 모델에 대한 (nxn) 고속분할 모선행렬

B'' : Q-V 모델에 대한 (nxn) 고속분할 모선행렬

$\Delta b'$: 선로 l에서 P- θ 모델에 대한 서셉턴스의 변화

$\Delta b''$: 선로 l에서 Q-V 모델에 대한 서셉턴스의 변화

M : n 벡터, 선로 l에 대한 연결벡터(모선 p와 q에서 각각 +1과 -1)

ΔP : 유효전력편차

ΔQ : 선로 탈락사고후 전압위상각 변화와 선로충전용량의 손실에 의한 무효전력편차

P_ℓ : 기준상태에서 선로 l의 유효전력조류

식 (1)에서 $\Delta\theta$ 는 사고선로 l에서 선로조류의 변화에 의한 각 모선 전압위상각의 변화이므로, $\Delta P / V$ 는 $M P_\ell$ 로 나타낼 수 있다. $M P_\ell$ 은 모선 p와 q에서 만 비영요소인 성김벡터이므로 식 (1)의 $\Delta\theta$ 는 쉽게 구할 수 있다. 식 (2)의 ΔQ 는 1P-1Q 방법을 이용하여 P- θ 반복에 의하여 θ 를 향상시킨 후 계산한다. 그러므로 ΔQ 는 상정사고에 의한 선로충전용량의 손실이 포함된 사고선로의 단자모선을 제외한 모선 위상각의 증분에 의해서만 발생하는 무효전력편차(MVAR mismatch)이다.

다음의 식 (3)의 i는 사고선로의 단자모선을 제외한 건전 모선이다.

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - V_i^0 \sum V_j^0 (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (3)$$

여기서,

Q_i^{sp} : 모선 i의 무효전력 지정치

θ_{ij} : $\theta_i - \theta_j$

V^0 : 사고전 모선전압 크기

G_{ij}, B_{ij} : 모선 i와 j 사이의 어드미턴스의 실수 및 허수 부

식 (3)의 전압위상각은 식 (1)로 부터 향상된 것이며, Taylor 전개에 의한 1차항 까지 근사화하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\cos \theta_{ij} = \cos \theta_{ij}^0 - \sin \theta_{ij}^0 \Delta \theta_{ij} \quad (4)$$

$$\sin \theta_{ij} = \sin \theta_{ij}^0 + \cos \theta_{ij}^0 \Delta \theta_{ij}$$

식 (4)를 식 (3)에 대입하면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Q_i = Q_i^{sp} - V_i^0 \sum V_j^0 (G_{ij} \sin \theta_{ij}^0 + G_{ij} \cos \theta_{ij}^0 \Delta \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}^0 + B_{ij} \sin \theta_{ij}^0 \Delta \theta_{ij}) \quad (5)$$

또한, 수렴된 기준상태에 대해 부하모선에서 무효전력편차는 영(零)이다.

$$Q_i^{sp} - V_i^0 \sum V_j^0 (G_{ij} \sin \theta_{ij}^0 - B_{ij} \cos \theta_{ij}^0) = 0 \quad (6)$$

식 (6)을 식 (5)에 대입하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Q_i / V_i = k_i^T \Delta \theta_{ij} \quad (7)$$

여기서 k_i 는 k_{ij} 에서 비영요소인 n 성김벡터

$$k_{ij} = -V_j^0 (G_{ij} \cos \theta_{ij}^0 + B_{ij} \sin \theta_{ij}^0) \quad j \in r(i)$$

r(i)는 모선 i에 직접 연결된 모선의 집합

식 (7)은 사고선로에 직접 연결되지 않은 모선에 대해서만 적용된다. 그러나 사고선로의 단자모선에 대해서는 두가지의 영향을 고려해야 한다. 첫째, 사고선로의 k_{ij} 항은 식 (7)에서 제외되어야 한다. 둘째, 사고선로의 단자모선의 무효전력편차는 기준상태의 무효전력조류 Q_ℓ 의 영향을 고려하여야 한다. 두가지 조건을 포함하여 식 (7)을 새로 구성하면 식 (8)과 같다.

$$\Delta Q / V = M_Q + (K + M_k M^T) \Delta \theta \quad (8)$$

여기서

$\Delta \theta$: 인접모선간의 위상각의 변화벡터

M_k : n 벡터, p와 q에서만 각각 k_{pq} 와 $-k_{qp}$ 인 성김 벡터

M_Q : n 벡터, p와 q에서만 각각 Q_ℓ 과 $-Q_\ell$ 인 성김 벡터

Q_ℓ : 기준상태에서 선로 ℓ 의 무효전력조류

K : (nxn) 행렬,

$$k_{ij} = -V_i^0(G_{ij}\cos\theta_{ij}^0 + B_{ij}\sin\theta_{ij}^0)$$

$$k_{ii} = -\sum k_{ij}$$

또한, 발전기모선에 대해서는 행렬 K에서 해당 열은 영(零)이고 벡터 M_k 와 M_Q 에서 해당 요소는 영(零)이다. 결국 식 (8)을 식 (2)에 대입하면 상정사고후의 근사화된 전압변화 ΔV 를 구할 수 있다.

2.2 허용전압 위반치 및 무효전력편차

상정사고후의 무효전력편차 ΔQ 는 식 (8)로부터 구할 수 있으며, 선로사고에 의한 전압위상각의 변화와 선로충전용량의 손실에 의해 생긴 무효전력편차이다. 이것은 선로사고에 의해 모선주입전력의 변화를 의미하는 것이며, 사고의 영향을 적게 받는 모선은 절대값이 작고, 영향을 많이 받는 모선은 비교적 절대값이 크다. 또한, 모선의 허용전압크기의 위반치는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_k = V_k^0 + \Delta V_k - V_k^{lim} \quad (9)$$

여기서

V_k^{lim} : 모선 k의 전압상하한치

k : 전압상하한치 위반모선

식 (9)는 기준상태의 전압크기에 상정사고후 전압크기 변화분을 합하여 전압상하한치를 얼마만큼 벗어나는가를 계산한다. 결국 각 상정사고시 각 모선의 허용전압 위반치와 무효전력편차로 부터 퍼지추론을 이용하여 각 상정사고에 대한 위험지수(Severity Index:SI)를 구할 수 있다.

3. 퍼지추론에 의한 상정사고 위험지수

3.1 퍼지규칙과 퍼지추론

상정사고에 의한 허용전압크기 위반치 $\Delta V'$ 와 무효전력편차 ΔQ 에 대하여 퍼지화를 거친 후 퍼지규칙과 퍼지추론에 의하여 각각의 상정사고에 대한 위험지수를 유도한다.

퍼지규칙은 운전자의 경험적 지식이나 시행착오를 거쳐 만들어지는 규칙이다[7]. 따라서 퍼지규칙은 식 (10)과 같은 기본적 구조를 갖는다.

$$IF (조건부) THEN (결론부) \quad (10)$$

퍼지규칙의 조건부는 허용전압크기 위반치 $\Delta V'$ 와 무효전력편차 ΔQ 로 구성되고, 결론부는 상정사고후 위험지수(SI)가 된다. 퍼지변수 $\Delta V'$, ΔQ 그리고 위험지수(SI)에 대한 퍼지값은 Positive Big(PB), Positive Medium(PM), Positive Small(PS), ZE(ZERO), Negative Small(NS), Negative Medium(NM), Negative Big(NB)의 7가지 퍼지집합을 갖는다. $\Delta V'$, ΔQ 의 값은 상정사고에 영향을 나타내는 것이므로 양의 큰 값이면 PB, 음의 절대치가 크면 NB의 언어변수에 해당한다.

조건부에 대한 소속함수는 그림 1과 같이 이등변삼각형으로 정의하였으며, 결론부의 소속함수는 싱글톤으로 그림 2와 같이 나타내었다. 상정사고에 대한 위험순위 결정 문제에 퍼지논리를 이용하여 식 (11)과 같은 규칙들을 세울 수 있다. 식 (11)은 경험적지식에 의하여 $\Delta V'$ 가 PB이고 ΔQ 가 PM이면 위험정도는 크기 때문에 위험지수에 대한 언어변수를 PB로 하였고, $\Delta V'$ 가 NS이고 ΔQ 가 ZE이면 위험정도는 작기 때문에 위험지수에 대한 언어변수를 PS로 하였다. 결국, 허용전압크기 위반치와 무효전력편차와의 관계를 표 1과 같은 룰 베이스로 나타내었다.

$$IF \Delta V' \text{가 PB이고, } \Delta Q \text{가 PM이면 (조건부),} \\ THEN SI \text{는 PB (결론부)}$$

.....

$$IF \Delta V' \text{가 NS이고, } \Delta Q \text{가 ZE이면 (조건부),} \\ THEN SI \text{는 PS (결론부)}$$

(11)

각각의 규칙을 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ 이라 하면 다음의 식 (12)와 같이 퍼지집합의 연산으로 결합되어 전체적인 규칙 R을 구성할 수 있다.

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \dots \cup R_n \quad (12)$$

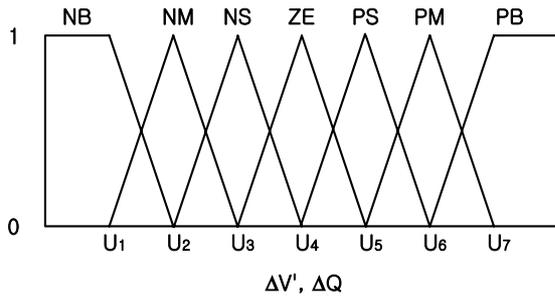


그림 1 ΔV'와 ΔQ에 대한 소속함수

Fig. 1 Membership function for ΔV' and ΔQ

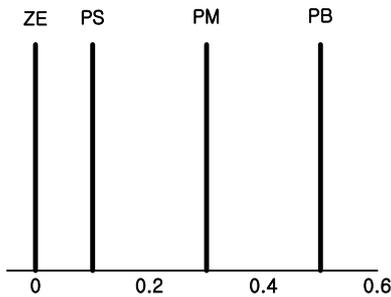


그림 2 위험지수에 대한 소속함수

Fig. 2 Membership function for severity index

표 1 위험지수 선정을 위한 룰 베이스

Table 1 Rule base for severity index decision

		ΔQ						
		PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
$\Delta V'$	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB
	PM	PB	PM	PM	PM	PM	PM	PB
	PS	PM	PM	PS	PS	PS	PM	PM
	ZE	PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	PS
	NS	PM	PM	PS	PS	PS	PM	PM
	NM	PB	PM	PM	PM	PM	PM	PB
	NB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

식 (11)의 퍼지규칙에서 결론부의 소속함수는 식 (13)과 같이 조건부 소속함수들의 곱으로 표현된다.

$$\mu = \mu_V[\Delta V'] \cdot \mu_Q[\Delta Q] \quad (13)$$

여기서, μ_V 와 μ_Q 는 $\Delta V'$ 와 ΔQ 가 어떤 특정값 일 때 각각의 퍼지집합에 속하는 정도를 의미한다. 또한 식 (13)으로부터 식 (14)를 유도할 수 있다.

$$\sum \mu = 1 \quad (14)$$

3.2 상정사고에 대한 위험지수

상정사고후 각 모선의 허용전압크기 위반치와 무효전력편차는 각각의 소속함수에 따라 퍼지화를 거친후 퍼지규칙과 퍼지추론에 의해 퍼지값을 구하였다. 이값은 퍼지값이므로 비퍼지화(defuzzification)의 과정을 거쳐야 한다. 비퍼지화 방법으로는 최대값 방법(maximum criterion method), 최대평균값 방법(mean of maximum method), 무게중심법(center of gravity method) 등이 있다. 여기서는 가장 많이 쓰이는 무게 중심법을 사용한다. 무게 중심법은 소속함수의 무게 중심에 해당하는 값을 선택하는 방법이다. 따라서 어떠한 상정사고에 대한 모선 i의 위험지수는 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$SI_i = \frac{\sum(\mu \cdot SI)}{\sum \mu} \quad (15)$$

또한, 선로사고 1에 대한 계통 위험지수는 식 (15)로부터 각 모선의 위험지수를 합하여 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SI_{total}^l = \sum_{i=1}^{nb} SI_i \quad (16)$$

식 (16)에서 nb는 계통 총모선수이고, 각 상정사고의 위험순위를 결정할 수 있다. 그림 3은 퍼지추론을 이용하여 상정사고에 대한 위험순위 결정 과정을 나타낸 순서도 이다.

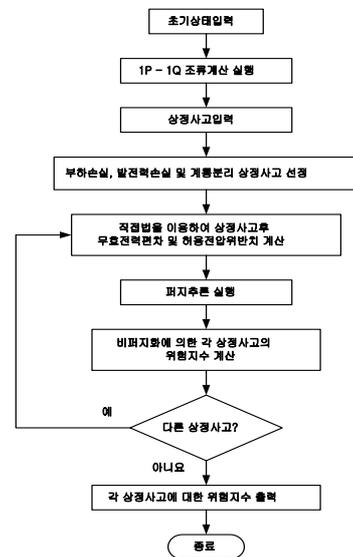


그림 3 위험순위 계산 순서도

Fig. 3 Flowchart for severity ranking calculation

4. 사례연구

상정사고 위험순위 결정을 위하여 제안한 방법을 다음의 모델계통과 실제계에 적용하였으며, 문헌 4와 문헌 6의 방법에 의한 결과와 비교하여 효용성을 입증하였다. 문헌 4는 상정사고후의 전압을 1P-1Q 즉 고속분할조류계산으로 구하

여 위험지수를 계산한 방법으로서, 순위결정 오류를 방지하기 위하여 허용전압 위반모선만을 고려하는 방법이며, 문헌 6은 상정사고 후 전압변동에 대한 정량적인 값을 언어변수로 표현하여 소속함수를 정의한 후 각 소속함수에 포함되는 모선의 수를 각 소속함수에 곱하여 새로운 소속함수를 정의하여 퍼지추론에 의하여 위험지수를 구하는 것이다.

상정사고 선정시 변압기가 설치된 선로는 제외하고, 모든 선로에 대하여 제안한 방법을 적용하였다. 표 2는 허용전압 크기 위반치 $\Delta V'$ 와 무효전력편차 ΔQ 에 대해 해당되는 언어변수를 나타내기 위하여 소속범위를 나타낸 것으로서 정규화한 값이다. 이것은 경험적 지식에 의한 것으로서, 특히 사고의 영향을 많이 받는 모선의 경우 $\Delta V'$ 와 ΔQ 의 절대치가 상대적으로 큰 범위에 속할 것이며, 계통조건에 따라 다소 변할 수 있다.

표 2 $\Delta V'$, ΔQ 의 범위

Table 2 Range of $\Delta V'$, ΔQ

	normalized $\Delta V'$	normalized ΔQ
U1	-0.1	-0.05
U2	-0.05	-0.025
U3	-0.01	-0.005
U4	0.0	0.0
U5	0.01	0.005
U6	0.05	0.025
U7	0.1	0.05

4.1 적용사례 1

표 3은 제안한 방법 및 문헌 4와 문헌 6에 의한 위험순위 및 지수를 각각 나타내었다. 그리고 문헌 4는 사고후에 전압의 상하한치를 위반한 정도를 모두 합한 것을 위험지수로 하였으며, 문헌 6은 사고후에 전압의 상하한치 위반한 요소에 대하여 멤버쉽함수를 적용하여 무게중심을 구한 것을 위험지수로 언어변수에 대한 멤버쉽함수 값을 중심, 폭 그리고 높이에 대하여 임의의 큰 값을 부여한 것이다. 그래서 문헌 4와 문헌 6의 지수들의 크기가 차이가 나는 것이다. 문헌 4의 1P-1Q 방법은 상정사고 위험순위 결정시 가장 많이 비교되는 방법으로서 AC 조류계산에 의한 결과가 더욱 정확한 것이지만, 계산시간이 많이 걸리므로 1P-1Q 반복에 의해서 비교하였다. 문헌 6과 제안한 방법에 의한 결과는 1P-1Q 방법과 비교하여 순위 1, 2와 3, 4가 차이난다. 이것은 문헌 4의 방법이 상정사고후 허용전압 위반모선만을 고려하여 순위결정 오류(misranking)를 방지하기 위한 방법이지만, 상정사고후 전압이 허용범위를 많이 위반한 모선의 수가 적은 경우와 허용범위를 적게 위반한 모선의 수가 많은 경우에 위험지수가 더 크게 발생하는 계산오류이다. 따라서 퍼지이론에 의하여 선정된 순위는 위반정도에 따라 소속함수를 달리 표현하여 순위를 결정하므로 문헌 4에 의한 결과보다 더욱 정확하다. 또한 문헌 6과 제안한 방법을 비교하였을 때 순위에 대한 정도는 비슷하지만 제안한 방법은 각각의 상정사고에 대하여 조류계산을 하지 않기 때문에 계산 시간면에서 상당히 효율적이다.

표 3 IEEE 30모선에 대한 위험순위 및 지수

Table 3 Severity ranking and index for IEEE 30buses

선로	모 선	1P-1Q(문헌4)		문헌6		New	
		위험순위	지수	위험순위	지수	위험순위	지수
14	9-10	1	8.729	4	635.9	4	6.380
18	12-15	2	8.070	5	629.6	5	6.200
33	24-25	3	7.958	1	681.7	1	7.380
37	27-29	4	7.620	2	668.0	2	7.200
38	27-30	5	7.561	2	668.0	3	6.791
30	15-23	6	7.186	7	599.8	6	4.656
31	22-24	7	7.112	6	603.6	8	1.289
27	10-21	8	7.093	10	561.3	7	2.735
.
.

4.2 적용사례 2

모델계통이외에 대해서도 알고리즘의 효율성을 보장하기 위하여 발전기 59, 변압기 96, 모선 311, 선로 609개로 구성된 1989년도 하계 침두부하시 KEPCO 계통에 적용하였다. 표 4는 KEPCO 계통에 대한 모선 중 일부이며, 선로 데이터는 생략하였다.

표 4 KEPCO 계통 모선 데이터

Table 4 Buses data of KEPCO systems

Bus No.	PL [MW]	QL [MVAR]	PG [MW]	QMMIN [MVAR]	QMMAX [MVAR]	V [p.u.]
246	143.031	65.5970				1.000
247	45.745	26.2634				1.000
248	0.000	0.0000				1.000
249	61.651	30.8256				1.000
250	17.139	8.1379				1.000
251	0.000	0.0000				1.000
252	15.715	2.0953				1.000
253	18.495	11.0972	225.00	-82.00	154.00	1.010
254	18.495	11.0972	225.00	-82.00	154.00	1.010
255	19.605	11.0972	270.00	-106.00	201.00	1.000
256	19.605	11.0972	270.00	-106.00	201.00	1.000
.
.

부하손실, 발전력손실 및 계통분리를 발생하는 선로사고에 대하여 표 5에 나타내었다. 계통 운전자는 표 6에 제시한 선로들이 과부하상태로 되는가에 대한 각별한 주의를 할 필요가 있다. 제안한 방법 및 문헌 4와 문헌 6에 의한 위험순위 및 지수를 표 6에 나타내었다. 또한, 선로의 임피던스와 대지충전용량이 같은 2회선 이상의 선로에 대해서는 계산시간의 효율성을 위하여 1회선에 대해서만 계산하였다. 새로이 제안한 방법은 각 상정사고에 대하여 정확하게 전압이나 선로조류를 계산하지 않는 직접법에 의한 근사화된 허용전압위반치와 무효전력편차를 이용하므로 계산시간면에서 우수한 반면, 정확도면에서는 하위순위로 갈수록 다소 부정

확한 점이 있다. 그러나 계통붕괴는 계통 전압강하에 의하여 진행되는 것이므로 계통 전압을 크게 강하하는 사고를 우선적으로 선정하는 것이 타당하다고 사료된다.

표 5 부하손실, 발전력손실 및 계통분리 발생사고
Table 5 Outage cases that may cause loss of load, loss of generation or islanding

선 로	모 선 - 모 선
256	95 - 96
376	153 - 159
392	153 - 158
485	195 - 213
576	220 - 221

표 6 KEPCO 실계통에 대한 위험순위 및 지수
Table 6 Severity ranking and index for KEPCO pratica system

선로	모 선	1P-1Q (문헌 4)		문헌 6		New	
		위험순위	지수	위험순위	지수	위험순위	지수
11	1-111	1	9.402	1	287.6	1	5.119
157	58-87	2	8.729	2	285.5	3	4.180
159	58-110	3	8.070	4	258.2	2	4.201
13	2-5	4	7.958	3	269.6	6	3.390
7	1-4	5	7.620	7	246.2	7	3.250
297	111-150	6	7.561	5	248.9	4	4.138
291	110-147	7	7.186	5	248.9	5	3.459
168	60-75	8	7.112	9	231.2	10	2.964
229	87-90	9	7.093	14	218.6	12	2.640
.
.

5. 결 론

본 연구에서는 상정사고에 대한 위험순위 결정을 위한 효율적인 알고리즘을 제안하였다.

상정사고시 허용전압크기 위반치와 무효전력편차를 구하기 위하여 직접법을 사용하였다. 직접법이란 상정사고후 각 모선의 전압 또는 선로조류를 정확하게 모르는 상태에서 직접 위험지수를 구할 수 있는 방법으로서, 기준상태(base case state)에 대해 다소 시간이 걸리지만, 전체적으로는 계산시간을 상당히 단축할 수 있다. 또한 성감벡터 및 행렬법을 이용하여 온라인 계산이 가능하게 하였다.

직접법에 의하여 구한 허용전압크기 위반치 및 무효전력편차는 계통 운전자의 경험과 지식을 바탕으로 언어변수로 표현하였다. 각각의 소속함수로 부터 룰 베이스를 정의함으로써 퍼지추론을 이용하여 각 상정사고에 대한 위험순위를 결정할 수 있었다. 또한, 부하손실, 발전력손실 및 계통분리를 유발하는 사고를 선정하므로써 계통 운전자에 좋은 정보를 제공할 수 있었다.

끝으로 상정사고에 대한 위험순위는 계통계획시 또는 운

전자로 하여금 계통사고에 대한 예방제어 및 사고시 안전도 향상을 위한 제어를 결정할 수 있는 적절한 지표가 될 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] G. C. Ejebe and B. F. Wollenberg, "Automatic Contingency Selection", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-98, No. 1, 1979, pp97-103

[2] B. Stott and O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans. Vol. PAS-93, pp859-869, May, 1974

[3] N. M. Peterson, W. F. Tinney and D. W. Bree, "Iterative Linear AC Power Flow Solution for Fast Approximate Outage Studies", IEEE Trans. Vol. PAS-91, p.2048, Sep./Oct. 1972

[4] F. Albuyeh, A. Bose and B. Heath, "Reactive Power Consideration in Automatic Contingency Selection", IEEE Trans. PAS, Vol. 101, pp107-112, 1982

[5] Y. Chen, A. Bose, "Direct Ranking for Voltage Contingency Selection", IEEE Trans. Vol. 4, No. 4, pp1335-1344, Oct. 1989

[6] Y. Y. Hsu, H. C. Kuo, "Fuzzy-Set Based Contingency Ranking", IEEE Trans. Vol. 7, No. 3, pp1189-1196, August 1992

[7] H. J. Zimmermann, Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985

저 자 소 개



이 상 근 (李 尚 根)

1961년 4월 13일생. 1986년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989~1995년 한국 전력기술(주) 전기기술처. 현재 원주대학

전기와 교수.

Tel : 033-760-8422

E-mail : sklee@sky.wonju.ac.kr