온라인 과도안정도 평가를 위한 새로운 불안정모드 선정 알고리즘

論 文
57-7-1

A New Algorithm for Unstable Mode Decision in the On-line Transient Stability Assessment

張 東 煥* · 金 正 祐** · 全 瑩 煥†
(Dong-Hwan Chang · Jung-Woo Kim · Yeong-Han Chun)

Abstract – The necessity of online dynamic security assessment is getting apparent under Electricity Market environments, as operation of power system is exposed to more various operating conditions. For on-line dynamic security assessment, fast transient stability analysis tool is required for contingency selection. The TEF(Transient Energy Function) method is a good candidate for this purpose. The clustering of critical generators is crucial for the precise and fast calculation of energy margin. In this paper, we propose a new method for fast decision of mode of instability by using stability indices and energy margin. The method is a new version of our previous paper.[1] Case studies are showing very promising results

Key Words : Transient Stability, Stability Index, Clustering, Energy Function, On-Line Dynamic Security Assessment

1. 서 론

미국과 유럽, 일본을 중심으로 IT 기술을 접목하여 전력 시스템의 지능화를 추구하는 스마트그리드에 대한 연구가 현재 진행이 되고 있다. 스마트그리드는 광역정전의 발생 가능성을 on-line으로 감시하고 이를 제어하는 내용이 궁극적인 목표로 되어 있다. 이와 같은 광역정전의 발생 가능성을 모니터링하기 위한 연구는 과거에도 이루어져 왔으며 동적 안전도평가가 그 중 하나이다. 동적 안전도 평가에서 중요한 과제 중의 하나가 과도안정도 문제이다. 과도안정도는 계통에 큰 외란이 발생할 때 야기되며, 외란의 성질과 크기에 밀접한 관계가 있다. 전력계통에는 급작스런 부하 및 발전력의 변화, 사고 혹은 line switching등과 같은 대규모의 외란이 발생하기 마련인데, 과도 안정도 평가는 이러한 대규모 외란 발생 시 발전기가 동기를 유지할 수 있는지를 평가하는 것이다. 우리나라는 부하의 지속적인 증가와 더불어 전력산업의 구조개편으로 인해 전력계통의 운용 환경이 더욱 어려워지고 있다. 또한, 환경에 대한 국민들의 관심이 높아짐에 따라 송전선로의 건설이 부하 증가에 따르지 못할 것으로 예상되며, 이는 안정도의 위협요소로 작용하게 될 것이다. 따라서, 시시각각 변화하는 전력계통을 안정적으로 운용하기 위한 on-line 과도안정도 평가기술의 필요성이 대두되고 있다.

현재 on-line 과도안정도 평가에 있어서 중요한 문제 중 하나가 불안정모드의 선정이다. 불안정모드를 정확하게 빠른 시간 안에 선정하는 것이 on-line 과도안정도 평가에 있어서 가장 중요한 사안이다.

현재 on-line 과도안정도 평가 방법으로는 SIME법(SIngle Machine Equivalent)[2,3]과 TEF법(Transient Energy Function)등이 주로 제안되고 있다. SIME법은 계산시간이 오래 걸리는 시간 모의 방법을 이용하므로 off-line으로 불안정모드를 미리 결정하여 on-line에서 이용하기 때문에 시스템의 환경에 매우 취약하다는 단점이 있다. TEF법에서는 불안정 모드를 선정하기 위하여 사고 직후의 각 발전기들의 가속력과 사고 제거시간까지의 운동 에너지를 이용하여 후보 불안정 발전기군 리스트를 작성하고 이를 이용하여 빠르게 위험 발전기 군을 선별한다. 이 경우 가속력과 운동에너지만으로 후보 불안정 발전기들을 결정하기 때문에 가속력과 운동에너지는 크지 않지만 위치에너지가 작아 불안정해지는 발전기의 경우 선별해 내기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 최근 들어 on-line으로 과도 안정도를 평가하기 위하여 김용학등은 시간 모의 방법을 사용하지 않고 SI(Stability Indices) 만으로 불안정 발전기군의 선별이 가능한 고속 상정사고 스크리닝 방법을 제안하였다. 이 방법은, 시간 영역 모의법을 사용하지 않고 확장 등면적 기준법과 네트워크 방정식의 해를 가지고 안정도 지수를 계산하여 클러스터링을 한다. 그러나, 불안정 발전기 그룹의 판단에 있어, 연구자의 경험적 기준이 반영되어 있는 등 개선의 여지가 있었다. 그 후, 각 발전기를 위험발전기로 가정하여 일기무한 모선을 구성하고, SI를 사용하여 위험발전기 후보군을 선택한 후, 에너지 마진을 이용하여 불안정 발전기그룹을 결정하는 방법이 제안되었다. 이 방법은, 기존의 2가지 SI(SI_S, SI_A)를 모두 구하여 각각의 지수의 최대 차이 기준을 이용하여 각 지수별 위험 발전기 후보군을 정하고, 에너지 마진을 이용하여 최종 불안정 발전기 그룹을 선정하는 방법을

† 교신저자, 正會員 : 弘益大學校 電氣電子工學科 副教授 · 工博
E-mail : yhchun@hongik.ac.kr
* 正 會 員 : 韓國地域暖房公社 技術硏究所
** 正 會 員 : 韓國地域暖房公社 江南支社
接受日字 : 2008年 4月 4日
最終完了 : 2008年 5月 6日

사용하였다. 이 방법은 기존의 TEF 방법의 계산 속도를 크게 개선하였지만, 6기 10모선 테스트 계통을 사용하여 검증하였기 때문에 실제 실계통의 적용을 위해 알고리즘의 개선이 필요하였다. 그리고 기존의 다른 방법들과의 비교 연구 수행이 없었던 점 또한 아쉬운 점이었다. 본 논문에서는 기존의 알고리즘을 개선하여 불안정 후보 발전기 군을 선정하기 위하여, 두 개의 SI중 한 개의 지수만을 선택하여 계산시간은 줄이면서도 오히려 정확도는 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 대한민국 2003년도 하계 최대부하 데이터를 이용하여 사례연구 하였으며 기존의 SIME SI, TEF법들과의 비교를 통하여 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 본 논문은 on-line 과도 안정도 평가에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 불안정 모드의 선별법

앞에서 언급하였듯이, on-line 과도 안정도 평가에 가장 중요한 선결과제는 정확성을 유지하면서도 빠르게 불안정모드를 선정하는 방법을 개발하는 것에 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 SI지수를 이용하여 후보 불안정모드를 선정하고 에너지마진을 계산하여 후보모드 중에서 에너지마진이 가장 적은 모드를 불안정모드로 선정하는 것이다.

2.1 안정도 판정과 에너지마진

에너지 함수법[5]에서의 불안정 모드의 판별기법은 외란제거 후 계통의 궤적 진행방향에서 가장 취약하게 연계된 발전기군이 외란의 영향을 가장 크게 받는다는 사실에 근거를 두고 있다. 에너지 함수법 역시 외란 지속 기간 동안 유입된 과도 에너지를 계산하기 위하여 시간 영역 모의법을 사용하지만, 외란 지속 기간 동안만 시간 영역 모의를 수행하기 때문에, 발전기의 위상각차가 일정 간격 이상 벌어질 때까지 시간모의를 시행하는 SIME[6]법에 비하여 시간 모의 기간이 상대적으로 매우 짧다.

에너지 함수에 의한 과도 안정도 해석은 외란이 지속되는 기간 동안 계통에 유입된 과도 에너지(Transient Energy)와, 이 에너지를 흡수하여 다른 형태의 에너지로 변환시키는 계통의 위치에너지를 비교하여 이루어진다. 즉, 계통이 안정하기 위해서는 계통의 에너지 흡수 능력이 외란에 의해 계통에 유입된 과도 에너지보다 커야한다.

2.1.1 관성중심 기준축에 의한 정식화

이 정식화의 중요한 의미는 계통 분리에 영향을 미치는 과도 에너지 중 계통 분리에 영향을 미치지 아니하고 관성중심축의 가속과 변화에 사용된 에너지를 분리시킨다는 것이다. 이를 수식으로 전개하여 정리하면 (2.1)과 같은 수식을 얻을 수 있다. 또한 관성중심 기준축에 의한 정식화된 수식을 적분하여 (2.2)와 같은 에너지 함수를 얻을 수 있다.

$$\tilde{M_i\omega_i} = P_i - P_{ei} - \frac{M_i}{M_T} P_{COI} \qquad (2.1)$$

$$\dot{\theta}_i = \tilde{\omega_i}$$

$$V = \int_{ts}^{t} \sum_{i=1}^{n} [M_i\tilde{\omega_i} - P_i + P_{ei} + \frac{M_i}{M_T} P_{COI}]\dot{\theta}_i \, dt \qquad (2.2)$$

$\tilde{\omega_i}$: i번째 발전기의 회전자의 상대적 속도

P_{ei} : i번째 발전기의 전기적 출력

P_i : i번째 발전기의 기계적 입력

$$P_{COI} = \sum_{i=1}^{n} (P_i - P_{ei})$$

θ_i : i번째 발전기의 위상각과 관성중심 위상각과의 차

2.1.2 불안정 모드의 판별 기준

에너지 함수법[7]에서의 불안정 모드 판별법은 외란 제거후의 계통 궤적 진행 방향에서 가장 취약하게 연계된 발전기 군들이 외란의 영향을 가장 크게 받게 된다는 사실에 근거를 두고 있다. 다기계통에서 외란이 발생하면 발전기들은 운전 평형점으로 부터 이탈하게 되고, 이때 동기 유지 여부는 외란에 의해 계통에 유입된 과도 에너지를 외란 제거후 계통이 흡수하여 위치에너지로 변환 할 수 있는 능력의 보유 유무로 결정하게 된다. 이를 수식적으로 설명하면 식(2.3)과 같다. 불안정 평형점에 나타난 불안정 모드에 의한 정정된 운동에너지를 식(2.4)이라 하면, 정정된 위치에너지로 정규화 한 위치에너지 마진은 식(2.5)가 된다.

$$\Delta V_{PE} = \text{위치에너지마진} = V_{PE}^{u} - V_{PE}^{cl} \qquad (2.3)$$

$$= -\sum_{i=1}^{n} P_i(\theta_i^u - \theta_i^{cl}) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} C_{ij}(\cos\theta_{ij}^u - \cos\theta_{ij}^{cl})$$

V_{PE}^{u} : 임계에너지 (= V^{u}), V_{PE}^{cl} : 과도위치에너지

$$V_{KE|Corr} = \frac{1}{2} M_{eq} \omega_{eq}^2 \qquad (2.4)$$

$$\Delta V_{PE_n} = \frac{\Delta V_{PE}}{V_{KE|Corr}} \qquad (2.5)$$

그림 1과 같이 제어 불안정 평형점은 외란이 충분히 커서 외란 제거후의 계통 궤적이 위치에너지 경계면(PEBS)에 접근하게 될 때 궤적 진행 방향 근방에 있는 불안정 평형점들 중에서 가장 낮은 정규화된 위치에너지 마진을 갖는 불안정 평형점이다. 이때 외란의 영향을 크게 받은 위상이 앞선 발전기들이 계통으로부터 분리되려한다.

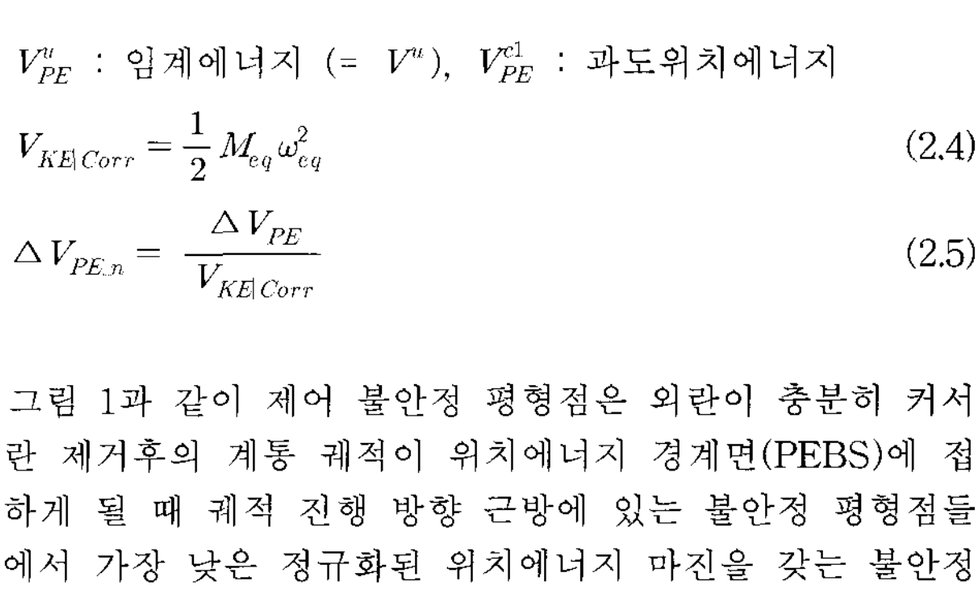

그림 1 에너지함수법에서의 안정도 판별

Fig. 1 Stability assessment using energy margin

2.2 SI 지수에 의한 후보 불안정모드 선정

SI(SI_S, SI_A) 지수를 이용한 후보 불안정모드 선정 방법은 시간 모의법을 사용하지 않고 확장 등면적 기준법과 네트워크 방정식의 해를 가지고 안정도 지수를 계산하여 후보발전기군을 빠르게 선정할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 각각의 모든 발전기 한 대를 위험발전기군으로, 나머지 발전기를 안정발전기군으로 가정하여, 발전기 개수 만큼의 일기무한대 모선을 만들고, 각각의 경우에 대하여 SI_S 지수를 계산하였다.

2.2.1 SI_S

동기화력 계수 (Synchronizing Power Coefficient, SPC) [8]는 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$SPC = \frac{\partial P_e}{\partial \delta}|_{\delta=\delta_0} = \frac{V_1 V_2}{X}\cos\delta_0 = P_{\max}\cos\delta_0 \tag{2.6}$$

즉, 동기화력 계수는 발전기가 계통에 강하게 연결된 정도($P_{\max}$)와 발전기가 최대 동기화력에 대비하여 얼마나 고출력에서 운전되는 정도 ($\cos\delta_0$)의 곱을 나타내므로 동기화력 계수는 감속력을 간접적으로 나타내는 좋은 지표가 될 수 있다. 그러므로 그림 3에서 가속력 AB와 점 G에서의 동기화력 계수 ($P-\delta$ 곡선의 점 G에서 접선의 기울기)는 발전기의 발산 (동기탈조) 여부를 결정하는 지표로 사용할 수 있다. 따라서 아래의 식 (2.7)과 같이 정의하여 안정도 지표 (Stability Index) SI_s를 계산할 수 있으며, 이 안정도 지표를 후보 불안정모드를 결정 하는데 사용한다.

$$SI_s = \frac{P_{eA} - P_{eB}}{SPC_G} = \frac{AB}{SPC_G} \tag{2.7}$$

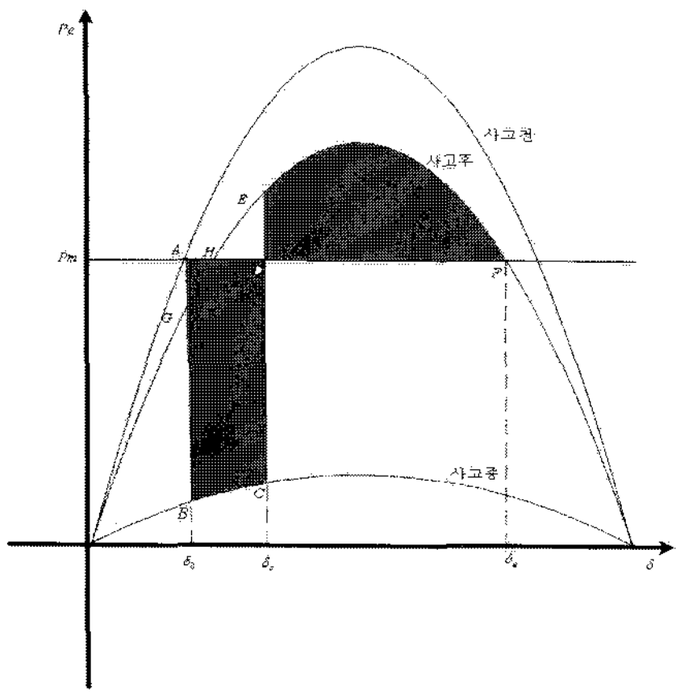

그림 2 1기 무한모선 계통의 등면적 기준법

Fig. 2 Equal area criterion of machine infinite bus

2.2.2 제안된 불안정모드 선정 방법

불안정모드 선정 순서는 다음과 같다. 아래 그림 3은 본 논문에서 제안하고 있는 안정도지수와 에너지 마진을 이용한 불안정모드 선정 방법을 설명한 것이다.

① 안정도 평가에 필요한 입력데이터를 로드한다. 입력 자료는 전력조류 계산에 필요한 입력데이터와 발전기 관성정수, 사고 모선과 선로, 사고 제거시간 등이다.

② 전력조류 방정식을 풀고 네트워크 축약을 수행한다. 이때, 발전모선을 제외한 나머지 모선은 축약시켜 제거하고, 부하는 정임피던스 모델을 사용하여 Y-Matrix의 diagonal term에 더해준다. 또한 발전기 내부모선의 임피던스도 고려하여 최종적인 Y-Matrix를 구성한다.

③ 각 발전기별 관성 중심 위상각(COI)을 계산한다. 즉, 각각의 하나의 발전기와 나머지 전부의 발전기에 대한 관성중심 위상각을 결정한다. 이 과정은 각각의 모든 발전기를 위험 발전기로 가정하여 일기 무한대 모선을 구성하는 다음 과정의 준비 절차이다.

④ 위의 결과를 이용하여 각 발전기별 일기 무한대 모선을 구성한다.

⑤ 가속력과 동기화력계수의 비인 SI_S 지수를 구하여 불안정 지수가 큰 발전기 순으로 정렬한다.

⑥ 정렬된 발전기 중에 12위까지의 발전기를 위험 발전기 후보로 지정한다.

⑦ 위에서 구한 후보 불안정 모드의 에너지 마진을 구하고, 가장 작은 에너지 마진을 가지는 후보 불안정 모드를 불안정 모드로 선정한다.

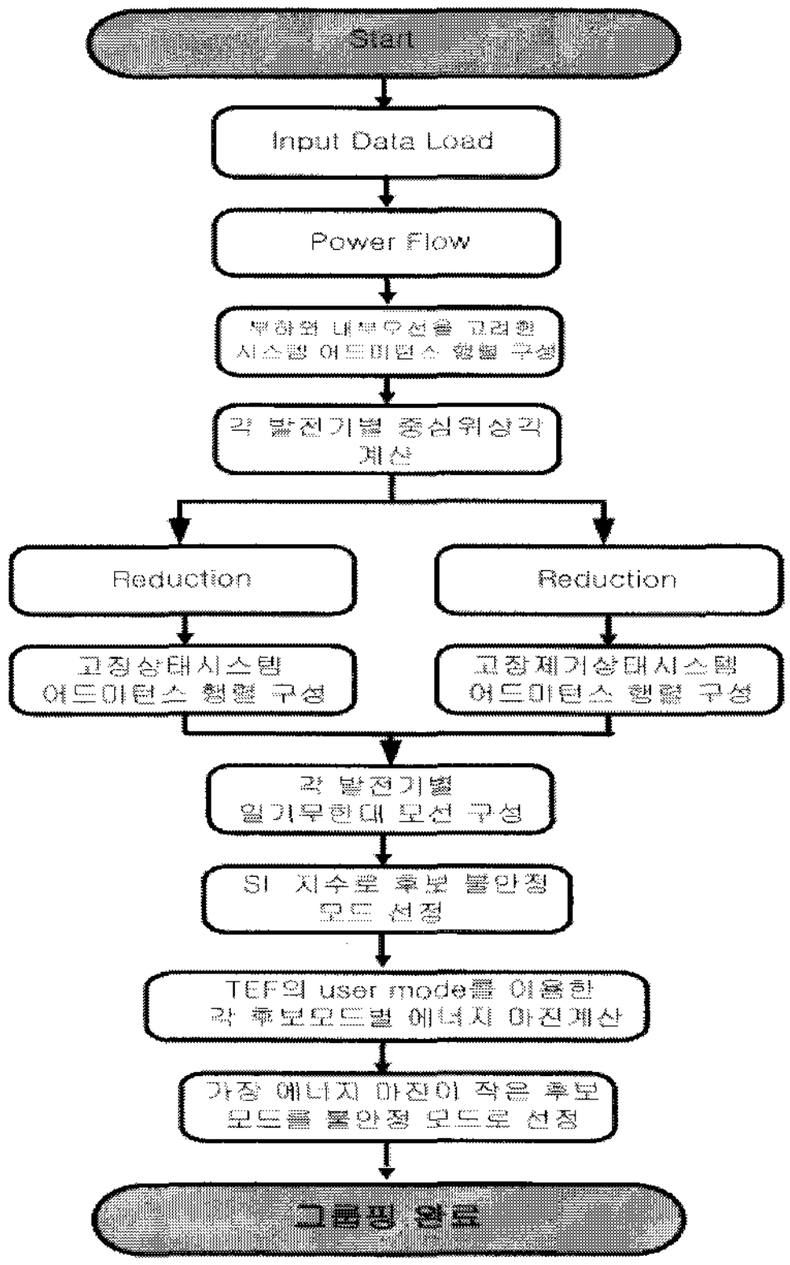

그림 3 개선된 불안전모드 선정 방법

Fig. 3 Improved clustering algorithm

6번 과정에서 위험 발전기 후보를 12위까지 정한 이유는 한 발전소의 발전기 개수가 4개 혹은 6개일 경우가 많고, 실제

위험발전기의 개수가 10개를 넘지 않기 때문이다. 후보 발전기를 12위까지로 지정하는 경우, 실제 같은 발전소에 있는 특성이 같고 같은 발전 모선에 연결된 발전기들을 하나의 발전기로 가정할 경우, 위험 발전기의 경우는 3~5개 정도로 축약된다. 이들의 조합의 개수는 위험발전기가 3개일 경우 7개의 조합, 5개일 경우 31개의 조합이다. 이는 시스템이 불안정해질 때까지 모든 발전기들의 위상각을 반복적으로 시뮬레이션 해야 하는 SIME법에 비하여 상당한 계산 시간의 단축을 이루었다. 또한, 모든 조합을 전부 계산함으로써, 실제 수보다 많은 수의 발전기를 위험발전기로 정하는 오류도 수정되었다.

3. 시뮬레이션 비교 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 검증하기 위한 방법으로 대한민국 2003년도 최대 부하 데이터를 사용하였다. 선로 사고는 같은 선로의 사고라도 사고의 위치에 따라 사고의 심각성이 달라질 수 있는데, 본 논문에서는 가장 심각한 사고를 상정하여, 고장 어드미턴스를 무한대로 가지고 사고 모선이 지락되는 3상단락의 경우를 상정하여 연구를 수행하였다. 총 58개의 사례를 연구하였으며, 이 중 20개의 사고를 정리하여 수록하였다. 본 사례연구의 SIME법 및 TSAT를 이용한 불안정모드 선정 결과는 참고문헌[10]의 내용을 기준으로 작성되었다.

A. 사례연구 조건

- 발전력 : 48602 MW
- 부하 : 47784 MW
- 평균역률 : 91%
- 모선 개수 : 947개
- 발전기 개수 : 211기
- 변압기 개수 : 399개
- 송전선로 개수 : 1914개
- 상정고장 : 송/수전단측 3상단락고장
- 고장제거 : 송전선로개방

B. SI 지수를 이용한 불안정 발전기 후보 선정

표 1은 2003년도 한국 계통 최대 부하 상황에서의 각 상정사고별 1차후보와 최종 불안정모드 선정 결과이다. 이하 CGG는 Critical Generator Group의 약자이다.

C. 제안된 방법과 기존의 방법과의 결과 비교

표 2는 본 논문에서 제안한 불안정모드 선정 결과와 SIME법, 기존의 TEF 방법에 의한 불안정 모드 선정 결과를 비교하여 표로 정리한 것이다. 시간 모의법(PSS/E)을 사용하여 위험 발전기군을 분류한 SIME법이 가장 신뢰도가 높다고 가정할 때, 제안된 알고리즘은 기존의 TEF나 SI법이 선별해내지 못하는 위험 발전기를 선별하고(NO.3,13), 과잉 선정된 위험 발전기들을 줄여주는 역할(NO. 1,4,7,8,10,11)을 수행한다. 또한, 기존의 TEF나 SIME에 비하여 계산속도의 향상을 가져왔다. SIME법의 경우 모든 발전기의 위상각을 시간모의 해야 하므로 계산속도는 가장 느리다. 기존의 TEF 방법 또한, 안정한 사고의 경우 정정된 운동에너지의 최대값의 80%이내에 들어가는 발전기가 70여개 이상인 경우가 흔히 있으며, 이 경우, 기존의 TEF의 경우 70여개의 조합에 대한 각각의 에너지 마진을 모두 구했었다. 따라서 계산이 빠른 SIs 지수를 먼저 구하고, 후보 발전기 12개만을 고려하는 본 논문의 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비하여 더 우수함을 사례연구를 통하여 알 수 있다.

표 1 SI를 이용한 위험발전기 후보 선정

Table 1 Elected CGG using stability index

NO	Contingency			SIs	Advanced TEF
	From	To	CKT	CGG	CGG
1	1500	5155	1,2	25151,25152,25153,25154,24451,24452,24453,24454,26203,26204,21822,21925	25151,25152,25153,25154
2	3600	4400	1	24451,24452,24453,24454,26151,26153,26156,21822,26201,26202,26203,26204	24451,24452,24453,24454
3	4010	6030	1,2	26201,26202,26203,26204,26101,26102,26103,26104,26105,26106,24526,26153	26101,26102,26103,26104,26105,26106,26201,26202,26203,26204
4	5500	8500	1	25151,25152,25153,25154,24526,25622,26153,26156,26102,26104,26105,26106	25151,25152,25153,25154
		8501	2		
5	6300	6900	1,2	26101,26102,26103,26104,26105,26106,26151,26156,26201,26202,26203,26204	26101,26102,26103,26104,26105,26106,26201,26202,26203,26204
6	6450	7155	1	24526,26152,26153,26154,26155,26156,27151,27152,27153,27154,27155,27156	27155,27156
		7156	2		
7	6600	7100	2	24526,26151,26152,26153,26154,26155,26156,26203,27153,27154,27155,27156	27153,27154,27155,27156
		7101	1		
8	7101	7156	1	27151,27152,27153,27154,27155,27156,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27155,27156
	7100	7155	2		
9	7101	7156	2	27151,27152,27153,27154,27155,27156,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27155,27156
	7100	7155	1		
10	7100	7600	1	27151,27152,27153,27154,27155,27156,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27151,27152,27153,27154,27155,27156
	7101		2		
11	7100	7900	1	27151,27152,27153,27154,27155,27156,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27151,27152,27153,27154,27155,27156
	7101		2		
12	7101	7900	2	27151,27152,27153,27154,27155,27156,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27155,27156
	7100		1		
13	7500	7600	1,2	24526,26104,26105,26151,26153,26156,27151,27152,27153,27154,27155,27156	27151,27152,27153,27154,27155,27156
14	7900	10401	1	27155,27156,27251,27252,27271,27272,27751,27752,27753,27754,27755,27756	27251,27252,27271,27272,27751,27752,27753,27754,27755,27756
		10400	2		
15	8156	8250	1	24526,25151,25153,25154,28151,28152,28153,28154,29151,29152,29251,29252	28154
	8155		2		
16	8155	8250	2	24526,25151,25153,25154,28151,28152,28153,28154,29151,29152,29251,29252	28151,28152,28153
	8156		1		
17	8156	8500	1	24526,25151,25153,25154,28151,28152,	28154

	8155	8501	2	28153,28154,29151, 29152,29251,29252	
18	9350	9501	1,2	24526,28151,29151, 29152,29251,29252, 29321,29322,29323, 29351,29352,29353	29351,29352,29353
19	9501	10800	2	29151,29152,29251, 29252,29321,29322, 29323,29351,29352, 29353,30151,30154	29321,29322,29323,29351, 29352,29353
	9500		1		
20	10150	10700	1,2	27153,27155,27156, 24526,29251,29252, 30151,30152,30153, 30154,30155,30156	30151,30152,30153,30154, 30155,30156

표 2 제안된 방법과 기존의 방법과의 결과 비교

Table 2 A result comparative table

NO	Contingency			SIME	TSAT	Classical TEF	Advanced TEF
	From	To	CKT	CGG	CGG	CGG	CGG
1	1500	5155	1,2	25151,25152, 25153,25154	N/A	N/A	25151,25152, 25153,25154
2	3600	4400	1	24451,24452, 24453,24454	24451,24452, 24453,24454	24451,24452, 24453,24454	24451,24452, 24453,24454
3	4010	6030	1,2	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106, 26201,26202, 26203,26204	26201,26202, 26203,26204	26201,26202, 26203,26204	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106, 26201,26202, 26203,26204
4	5500	8500	1	25151,25152, 25153,25154	25151,25152, 25153,25154, 25521,25522, 25526,25527, 25621,25622, 25626,25627, 25921,25922	25151,25152, 25153,25154	25151,25152, 25153,25154
		8501	2				
5	6300	6900	1,2	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106, 26201,26202, 26203,26204	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106, 26201,26202, 26203,26204
6	6450	7155	1	27155,27156	27155,27156	27155,27156	27155,27156
		7156	2				
7	6600	7100	2	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	26101,26102, 26103,26104, 26105,26106, 26201,26202, 26203,26204	N/A	27153,27154, 27155,27156
		7101	1				
8	7101	7156	1	27155,27156	26621,26622, 27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	27155,27156	27155,27156
	7100	7155	2				
9	7101	7156	2	27155,27156	27155,27156	27155,27156	27155,27156
	7100	7155	1				
10	7100	7600	1	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	26621,26622, 27151,27152, 27153,27154, 27155,27156, 27921,27922	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156, 27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156
	7101		2				
11	7100	7900	1	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	26621,26622, 27151,27152, 27153,27154, 27155,27156, 27921,27922	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156, 27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156
	7101		2				
12	7101	7900	2	27155,27156	27155,27156	27155,27156	27155,27156
	7100		1				
13	7500	7600	1,2	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156	27151,27152, 27153,27154	27151,27152, 27153,27154, 27155,27156
14	7900	10401	1	27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756	27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756	27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756	27251,27252, 27271,27272, 27751,27752, 27753,27754, 27755,27756
		10400	2				
15	8156	8250	1	28154	28154	28154	28154
	8155		2				
16	8155	8250	2	28151,28152, 28153	28151,28152, 28153	28151,28152, 28153	28151,28152, 28153
	8156		1				
17	8156	8500	1	28154	28154	28154	28154
	8155	8501	2				
18	9350	9501	1,2	29351,29352, 29353,29365, 29366	29351,29352, 29353	29351,29352, 29353	29351,29352, 29353
19	9500	10800	1	N/A	N/A	N/A	29251,29252, 29351,29352, 29353,30152, 30153,30154, 30155
	9501		2				
20	10150	10700	1,2	30151,30152, 30153,30154, 30155,30156	30151,30152, 30153,30154, 30155,30156	30151,30152, 30153,30154, 30155,30156	30151,30152, 30153,30154, 30155,30156

기존의 TEF법의 경우 불안정 모드의 선택 기준에는 위치에너지가 사용되지만, list를 작성하는 과정에 위치에너지 기준이 사용되지 않고 있기 때문에 가속력이 크지 않으나 감속력이 작아서 불안정해지는 발전기들을 list에서 누락시킬 우려가 있다. 또한, 4번 과정에서 가장 큰 값의 80%이내에 들어가는 발전기들이 많은 경우에는 많은 수의 발전기 조합들을 계산하여야 한다는 단점이 있다. 실제로 안정한 대부분의 사고의 경우, 4번 과정에서 내림차수로 정렬되는 발전기는 70여개 이상이 되기도 하며, 이 경우 계산해야할 발전기 조합의 개수는 2^{70}-2이다. 이러한 문제로, 기존의 TEF법을 on-line 과도안정도 평가에 적용하기에는 어려움이 있었다.

위의 문제 이외에도 list에서 낮은 순위의 발전기가 위험 발전기로 정해질 경우, 그 발전기 위의 모든 순위의 발전기가 위험 발전기로 정해지는 오류도 있었다.(표 2 1,7번 case) 다시 말해, 기존의 TEF법 역시 on-line 과도안정도 평가에 사용하기 위해서는 계산속도와 정확성 모두 개선의 여지가 있었다.

본 논문에서는 위와 같은 단점을 보완하기 위하여 가속력과 감속력이 모두 고려된 SI 지수를 내림차순으로 정렬하고, 각 상정사고의 12위까지를 고려하여 후보 모드로 정하였다. 12위까지의 발전기를 위험발전기 후보군으로 선정한 이유는 실계통에서 위험발전기군의 개수가 12개를 넘지 않으며, 12위까지의 후보만으로도 정확한 불안정모드의 선정이 가능했기 때문이다.

결과적으로, 기존의 TEF에서 선별하지 못했던, 가속력은 크지 않으나 감속력이 작은 위험 발전기군을 선별하면서도 후보 모드의 개수를 현저히 줄인 알고리즘을 개발 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 온라인[9]으로 과도 안정도 평가를 하는데 있어서 가장 문제가 되고 있는 빠른 불안정모드 선별을 위하여 기존의 SI 지수[10]로 후보 불안정모드를 선정하고 에너지 함수방법을 이용하여 불안정모드를 결정하였다. 그 결과, 기존의 과도 안정도 평가 기법에 비하여 속도는 물론 정확도까지 향상된 결과를 얻었다. 2003년도 대한민국 최대 부하 사례연구를 수행하여 그 일반성을 입증하였고, 기존의 안정도 평가 기법인 SIME법, TEF법과의 비교를 통하여 본 논문의 알고리즘의 우수성을 입증하였다. 본 논문의 불안정모드 산정 알고리즘은 향후 과도 안정도를 고려한 실시간 급전 알고리즘에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 장동환; 정연재; 전영환; 남해곤; "안정도 지수와 에너지 마진을 이용한 불안정 발전기의 clustering 법" 대한전기학회 논문지: 전력기술부문A, 2005, 54(9), pp.441-448

[2] Y. Zang, L. Wehenkel, M. Pavella, "SIME : A Comprehensive Approach to Fast Transient Stability Assessment ", Tran of IEE Japan, Vol. 118-B, No.2, pp.127-132, 1998

[3] Y. Zang,L. Wehenkel, P. Rousseaux, M. Pavella, "SIME : A Hybrid Approach to Fast Transient Stability Assessment and Contingency Selection", Electric Power & Energy System. Vol.19, No.3, pp.195-208. 1996

[4] Edward Wilson Kimbark, "Power System Stability", John Wiley & Sons, Inc. 1947, chapter 4

[5] A. A. Fouad, Vijay Vittal " Power System Transient analysis Using the Transient Energy Function Method", Prentice Hall 1992, chapter 3~4

[6] Bettiol, A.L.; Zhang, Y.; Wehenkel, L.; Pavella, M. "Transient stability investigations on a Brazilian network by SIME" Advances in Power System Control, Operation and Management, 1997. APSCOM-97. Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 450) Volume 1, 11-14 Nov. 1997 Page(s):L1 - L6 vol.1

[7] A. A. FOUAD ; VIJAY VITTAL "Power System Transient Stability Using Individual Machine Energy Function", IEEE Tran on Circuit and Systems, vol. CAS-30, NO. 5, May 1983

[8] P. M. Anderson ; A. A. FOUAD ; "Power System Control and Stability", John Wiley & Sons, Inc. chapter 2

[9] Lee, B.; Kwon, S.-H.; Lee, J.; Nam, H.-K.; Choo, J.-B.; Jeon, D.-H.; "Fast Contingency Screening for On-line Transient Stability Monitoring and Assessment of the KEPCO System" Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings- Volume 150, Issue 4, 14 July 2003 Page(s):399 - 404

[10] 김용학, "온라인 과도안전도 평가를 위한 새로운 고속 상정고장 선택 및 여과 알고리즘", 전남대학교 전기공학과 대학원. 2005. 2

저 자 소 개

장 동 환 (張 東 煥)

1978년 7월 27일생. 2003년 홍익대 공대 전자전기공학부 졸업. 2006년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사).
현재 한국지역난방공사 기술연구소
Tel : 02-2040-1222
Fax : 02-2226-3443
E-mail : 3347821@kdhc.co.kr

김 정 우 (金 正 祐)

1979년 8월 28일생. 2005년 홍익대 공대 전자전기공학부 졸업. 2008년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사)
현재 한국지역난방공사
Tel : 02-3410-8697
Fax : 02-451-2493
E-mail : kjw@kdhc.co.kr

전 영 환 (全 瑩 煥)

1961년 2월 8일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1985 - 1994년 한국전기연구소 근무. 1997년 동경대학교 전기공학과 졸업(박사). 1996년 - 1998년 동경대 조수 역임. 1998 - 2002년 한국전기연구원 그룹장. 2002년 - 현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수
Tel : 02-320-1620
Fax : 02-320-1110
E-mail : yhchun@hongik.ac.kr