



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.
H02J 13/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0037166
(43) 공개일자 2007년04월04일

(21) 출원번호 10-2005-0092460
(22) 출원일자 2005년09월30일
심사청구일자 2005년09월30일

(71) 출원인 고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자 이병준
서울특별시 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
강상균
서울 성북구 안암동5가 1번지 고려대학교 전기공학과
이종석
경기 안산시 단원구 고잔동 교통안전공단 안전관리처/철도안전팀

(74) 대리인 김정식

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 온라인 전력 계통 안정화 방법, 및 상기 방법을 실행시키기위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

(57) 요약

온라인 전력 계통 안정화 방법이 개시된다. 온라인 전력 계통 안정화 방법은 온라인 전력 계통 과도 안정화 시스템이 목적하는 전력 계통의 정보를 독출하는 단계, 소정의 제 1 사고 제거 시간에 대하여 전력 계통의 안정도 평가를 수행하는 단계, 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 소정의 평가 기준에 의해 매우 불안정한 사고 및 불안정한 사고에 대해 각각 제 1 사고 제거 시간 보다 짧은 제 2 사고 제거 시간에 대하여 안정도 평가를 수행하는 단계, 소정의 평가 기준에 의해 제 1 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하면서 제 2 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하지 않은 사고, 및 제 1 사고 제거 시간에 대하여 불안정하면서 제 2 사고 기준에 대하여 안정하지 않은 사고에 대해 제 1 사고 제거 시간 및 제 2 사고 제거 시간과 사고 제거 시간들에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 3 사고 제거 시간을 산출하는 단계를 포함한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

상정 사고에 대해 사고 제거 시간을 설정 후 시간 모의를 실시하고, 발전기들을 분류하여 분류된 발전기들에 대해 등가 1기 무한 모션을 구성하며, 구성된 등가 1기 무한 모션의 전력과 상차각 곡선 조건에 의해 전력 계통의 안정도를 판단하여 전력 계통의 안정도 평가를 수행하는 온라인 전력 계통 안정화 방법으로서,

온라인 전력 계통 과도 안정도 평가 시스템이 목적하는 전력 계통의 정보를 독출하는 단계;

소정의 제 1 사고 제거 시간에 대하여 상기 전력 계통의 안정도 평가를 수행하는 단계;

상기 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 소정의 평가 기준에 의해 매우 불안정한 사고 및 불안정한 사고에 대해 각각 상기 제 1 사고 제거 시간 보다 짧은 제 2 사고 제거 시간에 대하여 안정도 평가를 수행하는 단계;

상기 소정의 평가 기준에 의해 상기 제 1 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하면서 상기 제 2 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하지 않은 사고, 및 상기 제 1 사고 제거 시간에 대하여 불안정하면서 상기 제 2 사고 기준에 대하여 안정하지 않은 사고에 대해 상기 제 1 사고 제거 시간 및 제 2 사고 제거 시간과 상기 사고 제거 시간들에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 3 사고 제거 시간을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 온라인 전력 계통 안정화 방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 소정의 평가 기준에서 매우 불안정한 사고는 사고가 제거된 후에도 기계적 입력이 전기적 출력보다 큰 경우이고, 불안정한 사고는 사고를 제거한 후에 발전기의 감속 영역이 존재하지만 가속 영역보다 작은 경우이며, 안정한 사고는 회귀각 부근의 전력과 상차각 곡선의 기울기가 양의 값을 갖는 경우인 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 3.

제 2항에 있어서,

상기 제 2 사고 제거 시간, 및 제 3 사고 제거 시간, 및 상기 제 2 및 3 사고 제거 시간에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 4 사고 제거 시간을 산출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 온라인 전력 계통 안정화 방법.

청구항 4.

제 3항에 있어서,

통신망을 통해 접속된 사용자 단말로 상기 산출된 사고 제거 시간을 출력하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 온라인 전력 계통 안정화 방법.

청구항 5.

제 3항에 있어서,

상기 전력 계통에 사고가 발생하는 경우 발생한 사고에 대응하는 산출된 사고 제거 시간 이전에 사고 조치 신호를 전송하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 온라인 전력 계통 안정화 방법.

청구항 6.

제 2항에 있어서,

상기 등가 1기 무한대 계통으로의 변환은 상기 전력 계통의 발전기 위상각 변위량 합의 값에 따라 상기 전력 계통의 발전기를 분류함으로써 수행되는 것을 특징으로 하는 전력 계통 안정화 방법.

청구항 7.

제 1 내지 5항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전력 계통에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 온라인으로 전력 계통을 안정화시키기 위한 방법에 관한 것이다.

현대 전력 계통은 대부분 지역적, 환경적 요인에 의해 발전지역이 대규모 부하지역에서 원격지에 위치하므로 대용량의 장거리 송전선로가 필요하고 전력 산업 구조 개편에 따른 설비 투자 감소로 계통 한계점 근처에서 계통을 운용함으로써 사고 발생시 안정도 문제가 크게 대두되고 있는 실정이다.

그러나 계통 구조의 복잡화 및 타 계통과의 연계가 증가하여 모든 왜란에 대해 전력 계통내 모든 기기에 대한 보호가 불가능한 실정이다. 따라서 보다 안전한 계통 운용을 위해서는 수시로 변동하는 계통 조건 하에서 다양한 상정 사고들에 대한 계통의 안정도를 평가할 수 있는 동적 안전도 평가(Dynamic Security Assessment)가 수행되어야 한다.

이러한 온라인 동적 안전도 평가는 짧은 시간 동안 수많은 상정사고들에 대한 안정도 판정을 내릴 수 있는 능력을 갖추어야 하므로 이를 위해서는 상정 사고 스크리닝(Contingency Screening) 기능이 필수적이다. 상정 사고 스크리닝이란 대략적이면서도 빠른 계산을 통해 수많은 상정 사고들 중에서 과도안정도적으로 문제가 없는 매우 안전한 상정사고들을 미리 선별해 더 이상 고려하지 않고 심각한 위험이 있을 것으로 생각되는 상정사고들만을 선별해내는 기능을 말한다.

동적 안전도 평가에서는 이러한 상정사고 스크리닝 기능을 채택함으로써 자세한 해석이 필요한 상정 사고의 수를 대폭 줄일 수 있으며, 계산시간 또한 크게 단축시킬 수 있다. 이러한 온라인 상정사고 스크리닝을 수행하기 위해서는 정확도는 매우 높지는 않아도 고속계산이 가능한 안정도 해석법이 필요하다.

안정도 해석 방법으로는 시간 모의법(Time Simulation)과 직접법(Direct Method)이 있다. 시간 모의법과 직접법이 계산 시간상의 문제, 모델링의 유연성이나 결과의 정확성 면에서 한계를 가지고 있어서 최근에는 시간모의법과 직접법을 통합하는 연구들이 온라인 시뮬레이션형 방법으로서 온라인 과도안정도 평가를 위해 진행되고 있다.

이러한 연구의 하나로써 등가발전기 해석법(Single Machine Equivalent: SIME)이 있는데 이는 벨기에 Liege대학의 Pavella 교수 그룹에서 개발된 방법으로 시간 모의법에 확장 등면적법을 결합한 방법이다.

등가 발전기 해석법은 시간 영역 모의를 조기에 종료하고 다기계통을 등가 1기 무한모선(Equivalent One Machine Infinite Bus)계통으로 변환한 후 등면적법에 의해 안정도 한계를 계산하는 방식으로 계산이 빠르고 정확하다는 장점이 있지만, 등가 1기 무한 모선을 구성하기 위해 일반적인 안정도 조건보다 심각한 조건을 고려해야 하며, 안전한 경우에 대해서는 발전기 그룹핑이 어렵고 장시간의 시간모의가 불가피하는 단점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 효율적인 상정 사고 스크리닝을 수행하여 보다 신속한 전력 계통의 안정화를 수행할 수 있도록 하는 온라인 전력 계통 안정화 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

또한, 본 발명은 상정 사고에 대한 최대 사고 제거 시간을 보다 정확히 제공할 수 있는 온라인 전력 계통 안정화 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

또한, 본 발명은 전력 계통이 안정한 경우에도 신속하게 등가 발전기 해석을 수행할 수 있는 온라인 전력 계통 안정화 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성

상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 온라인 전력 계통 안정화 방법은 상정 사고에 대해 사고 제거 시간을 설정 후 시간 모의를 실시하고, 발전기들을 분류하여 분류된 발전기들에 대해 등가 1기 무한 모선을 구성하며, 구성된 등가 1기 무한 모선의 전력과 상차각 곡선 조건에 의해 전력 계통의 안정도를 판단하여 전력 계통의 안정도 평가를 수행하는 온라인 전력 계통 안정화 방법이다.

본 발명에 따른 온라인 전력 계통 안정화 방법은 온라인 전력 계통 과도 안정화 시스템이 목적하는 전력 계통의 정보를 독출하는 단계, 소정의 제 1 사고 제거 시간에 대하여 전력 계통의 안정도 평가를 수행하는 단계, 상기 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 소정의 평가 기준에 의해 매우 불안정한 사고 및 불안정한 사고에 대해 각각 제 1 사고 제거 시간 보다 짧은 제 2 사고 제거 시간에 대하여 안정도 평가를 수행하는 단계, 소정의 평가 기준에 의해 제 1 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하면서 제 2 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하지 않은 사고, 및 제 1 사고 제거 시간에 대하여 불안정하면서 제 2 사고 기준에 대하여 안정하지 않은 사고에 대해 제 1 사고 제거 시간 및 제 2 사고 제거 시간과 사고 제거 시간들에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 3 사고 제거 시간을 산출하는 단계를 포함한다.

이때, 소정의 평가 기준에서 매우 불안정한 사고는 사고가 제거된 후에도 기계적 입력이 전기적 출력보다 큰 경우이고, 불안정한 사고는 사고를 제거한 후에 발전기의 감속 영역이 존재하지만 가속 영역보다 작은 경우이며, 안정한 사고는 회귀각 부근의 전력과 상차각 곡선의 기울기가 양의 값을 갖는 경우일 수 있다.

이와 같이, 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 평가 기준을 이용하여 효율적인 상정 사고 스크리닝을 수행함으로써 보다 신속한 전력 계통의 안정화를 수행할 수 있게 된다.

상기 방법은 제 2 사고 제거 시간, 및 제 3 사고 제거 시간, 및 제 2 및 3 사고 제거 시간에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 4 사고 제거 시간을 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제 1 및 2 사고 제거 시간을 이용하여 최대 사고 제거 시간을 산출하는 것이 아니라 다시 제 4 사고 제거 시간을 산출함으로써, 보다 정확한 최대 사고 제거 시간을 산출할 수 있게 된다.

통신망을 통해 접속된 사용자 단말로 산출된 사고 제거 시간을 출력하는 단계, 또는 전력 계통에 사고가 발생하는 경우 발생한 사고에 대응하는 산출된 사고 제거 시간 이전에 사고 조치 신호를 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

이와 같이, 사용자 단말로 산출된 사고 제거 시간을 출력함으로써, 전력 계통의 관리자가 계통의 상태를 더욱 명확히 파악할 수 있게 되고, 계통 사고 발생시 최대 사고 제거 시간 이전에 사고 조치 신호를 전송함으로써 계통의 피해를 최소화할 수 있게 된다.

등가 1기 무한대 계통으로의 변환은 전력 계통의 발전기 위상각 변위량 합의 값에 따라 전력 계통의 발전기를 분류함으로써 수행될 수 있다. 이러한 구성은 전력 계통이 안정한 경우에도 전력 계통의 발전기의 분류를 가능하게 함으로써 보다 신속하게 등가 발전기 해석을 수행할 수 있도록 해준다.

아울러, 상기 방법 발명을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체 발명이 청구된다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

도 1은 본 발명에 따른 온라인 전력 계통 안정화 방법을 수행하기 위한 개략적인 흐름도이다.

먼저, 온라인 전력 계통 과도 안정화 시스템이 목적하는 전력 계통의 정보를 독출하고(110), 소정의 제 1 사고 제거 시간에 대하여 전력 계통의 안정도 평가를 수행한다(120).

전력 계통 정보는 전력 계통으로부터 실시간으로 전송받을 수도 있으며, 미리 저장된 저장 장치로부터 독출할 수도 있다. 소정의 제 1 사고 제거 시간은 시스템에 미리 설정된 것일 수도 있고, 경우에 따라 사용자 입력에 따라 변경될 수도 있다.

전력 계통의 안정도 평가는 등가 발전기 해석법에 의해 수행하는데, 이때, 등가 1기 무한대 계통으로의 변환은 전력 계통의 발전기 위상각 변위량 합의 값에 따라 전력 계통의 발전기를 분류함으로써 수행한다. 이러한 구성은 전력 계통이 안정한 경우에도 전력 계통의 발전기의 분류를 가능하게 함으로써 보다 신속하게 등가 발전기 해석을 수행할 수 있도록 해준다.

< 등가 발전기 해석법의 개요 >

본 발명에서 과도안정도 평가를 위해 적용한 주된 알고리즘은 등가 발전기 해석법인데, 이는 60년대 초에 발표된 확장등면적법을 개선시킨 방법으로 시간영역 모의를 초기에 종료하고 모의 결과에 의해 계통을 등가 1기 무한대 계통으로 변환한 후 등면적법을 이용, 임계 사고 제거 시각 (CCT: Critical Clearing Time, 계통에 사고가 주어졌을 때 발전기가 동요를 잃지 않고 운전할 수 있는 최대 사고지속 시간)을 계산하여 안정도를 판정한다.

도 2는 등가 발전기 해석법의 개요를 도시한 도면이다. 종래의 등가 발전기 해석법의 개요는 도 2에 도시된 바와 같이 다음과 같다.

Step 1.

미리 선정해 놓은 상정사고에 대해 사고제거시간(CT: Clearing Time) 설정 후 관찰시각까지 시간 모의(PSS/E)를 실시한다. 적절한 발전기 그룹핑 방법에 의해 위험 발전기군과 나머지 발전기군으로 나눈다.

Step 2.

그룹핑된 발전기들에 대해 시간 모의 결과(Pm, Pe, ω , δ)를 사용하여 등가 1기 무한 모선 (OMIB: One Machine Infinite Bus)를 구성한다. 구성된 등가 1기 무한 모선의 전력-상차각 곡선 조건에 의해 안정도 판별을 실시한다. 각 경우에 대해 안정도 여유를 계산한다.

Step 3.

사고제거시간을 적절히 조절하여 Step 1, Step 2를 반복하여 2개의 안정도 여유와 2개의 사고제거시간에 의해 외삽법 또는 내삽법으로 CCT를 계산한다.

상정사고 순위 결정 및 안정도 한계 설정

상정사고 별로 계산된 CCT에 의해 상정사고 순위를 결정한다. 사고 제거 시간과 안정도 여유에 의해 CCT를 구하는 것과 같은 방법으로 전력전송한계를 설정할 수 있다.

등가발전기 해석법에서는 다기계통을 등가 1기 무한 모선으로 변환하기 위해서 계통 내의 발전기들을 위험발전기 그룹과 나머지 발전기 그룹으로 구분한다. 여기서, 위험 발전기란 사고의 영향으로 계통의 불안정현상을 야기하는 발전기들을 말하며, 나머지 발전기란 사고의 영향을 크게 받지 않는 대다수의 안전한 발전기들을 말한다. 등가발전기 해석법의 초기 연구 단계에서는 이러한 발전기 그룹핑을 위한 방법으로서 발전기들의 위상각 차(Angle Gap)를 이용하였다. 그 과정은 다음과 같다.

(1) 시간모의프로그램을 통해 사고 후의 각 발전기들의 동요곡선을 계산한다.

(2) 각 시간간격마다 발전기들을 회전자 위상각 크기에 따라 내림차순으로 정렬하고 가장 큰 위상각 차를 찾는다. 이 지점을 기준으로 상위에 있는 발전기들은 위험발전기 그룹의 후보가 된다.

(3) 각각의 후보 발전기그룹에 대해 등가 1기 무한 모선의 시간궤적을 계산한다.

(4) 가장 먼저 불안정한 조건을 만족하는 후보 발전기그룹을 위험발전기 그룹으로 정의한다.

그러나 이와 같은 방법은 시간 모의 데이터에 의해 후보발전기 그룹별로 등가 1기 무한 모선을 구성하여 전력-상차각 곡선에 의한 각각의 안정도 조건을 비교해 보아야 하므로 계산시간이 매우 많이 소요된다. 이러한 점을 개선하기 위해 최대 위상각 차가 200°이상 벌어질 때까지 시간 모의하여 그 시점에서 위와 같은 과정을 통해 발전기 그룹을 결정하고 관성정수를 이용해 등가 1기 무한 모선의 시간궤적을 계산하여 상정사고의 안정, 불안정 여부를 판정하였다.

도 3은 발전기들의 위상각 변화를 각 모의시간 스텝마다 관찰하면서 그 위상각 차가 최대 200°이상 벌어질 때 상위에 있는 발전기들을 위험발전기 그룹으로 정하고 하위에 있는 발전기들은 나머지 발전기들로 정하는 위상각 차에 의한 그룹핑 방법을 나타낸 것이다.

시간 모의에 의해 계산된 다기계통의 각 시간 스텝별 시간궤적 데이터(Pm, Pe, ω , δ)는 등면적법을 이용한 안정도 여유 계산을 위해 등가 1기 무한 모선의 시간궤적으로 변환된다. 이러한 변환과정은 두 그룹으로 나누어진 발전기들의 시간궤적을 각 그룹 내의 발전기 관성정수를 고려한 등가 시간궤적으로 변환함으로써 가능하다. 이와 같은 변환은 식 (2.1)에 나타난 동적 시간 모의시 중심 위상각을 구하기 위한 COA(Center of Angle)의 개념을 이용한 것으로 상세한 변환 과정은 다음과 같다.

$$\delta_c = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (2.1)$$

δ_i : 각 발전기의 회전자 위상각

n : 발전기 갯수

H : 발전기 관성정수

(1) 두 발전기 그룹의 시간궤적을 두 개의 등가 시간궤적으로 변환한다.

$$\delta_s = M_s^{-1} \sum_{i \in S} M_i \delta_i, \quad \delta_a = M_a^{-1} \sum_{i \in A} M_i \delta_i \quad (2.2)$$

$$\omega_s = M_s^{-1} \sum_{i \in S} M_i \omega_i, \quad \omega_a = M_a^{-1} \sum_{i \in A} M_i \omega_i \quad (2.3)$$

$$\text{단, } M_s = \sum_{i \in S} M_i, \quad M_a = \sum_{i \in A} M_i$$

δ_i, ω_i : 각 발전기의 회전자 각도와 속도

δ_s, ω_s : 위험발전기 그룹의 등가 위상각과 등가 속도

δ_a, ω_a : 나머지 발전기 그룹의 등가 위상각과 등가 속도

M_i : 각 발전기의 관성정수

S : 위험발전기들로 구성된 발전기 그룹

A : 나머지 발전기들로 구성된 발전기 그룹

(2) 두 개의 등가 시간궤적을 1기 무한 모선의 시간궤적으로 축약한다.

$$\delta = \delta_s - \delta_a \quad (2.4)$$

$$\omega = \omega_s - \omega_a \quad (2.5)$$

(3) 등가 1기 무한 모선의 기계적 입력 전력 P_m , 전기적 출력 전력 P_e 를 정의한다.

$$P_m = M (M_s^{-1} \sum_{i \in S} P_{mi} - M_a^{-1} \sum_{j \in A} P_{mj}) \quad (2.6)$$

$$P_e = M (M_s^{-1} \sum_{i \in S} P_{ei} - M_a^{-1} \sum_{j \in A} P_{ej}) \quad (2.7)$$

단, $M = M_a M_s / (M_a + M_s)$

P_{mi} : 각 발전기의 기계적 입력 전력

P_{ei} : 각 발전기의 전기적 출력 전력

이렇게 얻어진 등가 1기 무한 모선의 동특성은 식 (2.8)의 동요방정식으로 표현된다.

$$M\ddot{\delta} = M\dot{\omega} = P_m - P_e = P_a \quad (2.8)$$

P_a : 등가 1기 무한모선의 가속화력

이렇게 얻어진 등가 1기 무한 모선의 동특성은 식 (2.8)의 동요방정식으로 표현된다.

다음 위에서 구한 대기 계통의 등가 1기 무한 모선의 시간궤적 결과값을 이용하여 계통의 안정도를 판정한다. 이는 전력-상차각 곡선을 이용한 안정도 판정기준을 등가 1기 무한 모선의 시간궤적 결과값 즉, 회전자 속도 ω 와 가속화력 P_a 시간궤적에 대해 적용한 것이다.

등가 1기 무한 모선의 시간궤적을 이용한 안정도 판정기준은 다음과 같다.

안정한 경우: 시간궤적이 회귀시각 t_r 에 도달하는 경우

불안정한 경우: 시간궤적이 불안정시각 t_u 에 도달하는 경우

매우 불안정한 경우: 시간궤적이 불안정시각 t_{vu} 에 도달하는 경우

불안정 판정기준으로서 불안정한 경우와 매우 불안정한 경우를 나누어 고려하였는데, 이는 불안정해지는 메커니즘이 다르기 때문이다.

(1) 안정한 경우

안정한 경우에는 도 4 에서와 같이 사고제거(te) 후 위상각이 증가하다가 어느 시점에 이르러 다시 감소하게 된다. 이 시점을 회귀시각 t_r 로 정의한다. 이때, 속도는 0이 되며, 가속화력은 음의 값을 갖는다. 수식으로 표현하면 식 (2.9)와 같다.

$$\omega(t_r) = 0, \quad P_a(t_r) < 0 \quad (2.9)$$

도 4는 등가 1기 무한 모선의 시간 궤적(안정한 경우)을 도시한 그래프이다.

(2) 불안정한 경우

불안정한 경우에는 사고제거(te) 후 전기적 출력 전력이 기계적 입력 전력보다 작아지는 시점부터 위상각은 급격히 증가한다. 이 시점이 도 5에서의 불안정시각 t_u 에 해당한다. 이때, 가속화력은 0이 되고 양의 기울기를 갖는다. 이와 같은 관계는 식 (2.10)과 같이 표현할 수 있다. 도 5는 등가 1기 무한 모선의 시간 궤적(불안정한 경우)의 그래프이다.

$$P_a(t_u)=0, \quad \frac{dP_a}{dt} \Big|_{t=t_u} > 0 \quad (2.10)$$

(3) 매우 불안정한 경우

도 6에서와 같이 사고가 매우 극심하여 사고가 제거된(t_e) 후에도 기계적 입력이 전기적 출력보다 큰 경우이다. 즉, 가속화력은 계속 양의 값을 갖는다. 여기서는 사고제거 후 가속화력이 증가하기 시작하는 시점을 불안정시각 t_{vu} 로 정의한다. 사고제거 직후 가속화력이 증가하는 경우에는 사고 제거 시각 t_e 가 곧 불안정 시각 t_{vu} 가 된다. 수식으로 표현하면, 식 (2.11)과 같다. 도 6은 등가 1기 무한 모선의 시간 궤적(매우 불안정한 경우)의 그래프이다.

$$\frac{dP_a}{dt} \Big|_{t=t_u}=0, \quad \frac{d^2P_a}{dt^2} \Big|_{t=t_u} > 0, \quad P_a(t) > 0, \quad t > t_e \quad (2.11)$$

앞에서 계산된 전력과 위상각에 대한 등가 시간 궤적을 이용하면 다기계통에 대해서도 도 7이나 도 8과 같이 전력-상차각 곡선을 그려 볼 수 있으며, 등면적법을 적용하여 안정도 여유를 계산할 수 있다. 도 7은 전력-상차각 곡선(불안정한 경우)의 그래프이고, 도 8은 전력-상차각 곡선(안정한 경우)의 그래프이다.

식 (2.12)는 다기계통의 안정도 여유를 계산하는 식으로서 1기 무한모선계통에서와 마찬가지로 도 7과 같이 안정도 여유 $\eta < 0$ 이면 주어진 안정도 조건과 사고에 대해 계통이 불안정하다는 것을 나타내며, 도 8과 같이 안정도 여유 $\eta > 0$ 이면 안정하다는 것을 나타낸다. 그 경계에 해당하는 $\eta = 0$ 은 안정도 한계 조건에서 나타난다.

$$\eta = A_{dec} - A_{acc} \quad (2.12)$$

A_{dec} : 감속영역의 면적

A_{acc} : 가속영역의 면적

식 (2.12)의 가속영역 A_{acc} 와 감속 영역 A_{dec} 의 면적을 구하는 식은 각각 식 (2.13)과 식 (2.14)와 같다.

$$A_{acc} = \int_{\delta_0}^{\delta_s} P_a d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_s} (P_{mD} - P_{eD}) d\delta \quad (2.13)$$

$$A_{dec} = - \int_{\delta_s}^{\delta_u} P_a d\delta = - \int_{\delta_s}^{\delta_u} (P_{mP} - P_{eP}) d\delta \quad (2.14)$$

P_{mD} : 사고가 진행되는 동안의 기계적 입력 전력

P_{eD} : 사고가 진행되는 동안의 전기적 출력 전력

P_{mP} : 사고가 제거된 후의 기계적 입력 전력

P_{eP} : 사고가 제거된 후의 전기적 출력 전력

따라서, 등가 1기 무한 모선의 안정도 여유를 나타내는 식 (2.12)는 식 (2.15)와 같이 표현될 수 있다.

$$\eta = - \int_{\delta_0}^{\delta_s} P_a d\delta \quad (2.15)$$

등가 1기 무한 모선의 동요방정식 식 (2.8)은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$M \ddot{\delta} = P_a \delta \quad (2.16)$$

식 (2.16)의 양변을 적분하여 전개하면 식 (2.17)이 얻어진다.

$$\frac{1}{2} M \omega^2 = \int_{\delta_0}^{\delta} P_a d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta_e} P_a d\delta + \int_{\delta_e}^{\delta} P_a d\delta \quad (2.17)$$

식 (2.17)에서 $\delta = \delta_u$ 로 두면 다음과 같은 불안정 여유 η_u 를 얻는다.

$$\eta_u = -\frac{1}{2} M \omega_u^2 \quad (2.18)$$

ω_u : $\delta = \delta_u$ 일 때 등가 1기 무한모선의 속도

또한, 식 (2.17)에서 $\delta = \delta_r$, $\omega = 0$ 으로 두면 식 (2.19)와 같은 조건이 성립한다.

$$\int_{\delta_0}^{\delta_e} (P_{eD} - P_{mD}) d\delta + \int_{\delta_e}^{\delta_r} (P_{eP} - P_{mP}) d\delta = 0 \quad (2.19)$$

따라서, 안정 여유 η_{st} 는 식 (2.20)에 의해 계산할 수 있다.

$$\eta_{st} = -\int_{\delta_r}^{\delta_u} (P_{mP} - P_{eP}) d\delta \quad (2.20)$$

이때, 불안정 여유 η_u 는 정확히 계산할 수 있는 값이지만, 식 (2.20)에 의한 안정 여유 η_{st} 는 정확하게 계산할 수 없는 값이다. 왜냐하면, 등가 1기 무한 모선의 전력-상차각 곡선이 δ_r 에서 회귀하기 하므로 $[\delta_r, \delta_u]$ 구간의 전력-상차각 곡선과 불안정각 δ_u 의 정확한 값을 알 수 없기 때문이다.

따라서, 안정 여유를 계산하기 위해서는 $[\delta_r, \delta_u]$ 구간의 전력-상차각 곡선과 불안정각 δ_u 의 값을 예측할 수밖에 없다. 등가 발전기 해석법 개발 초기에는 전력-상차각 곡선에서 $[\delta_r, \delta_u]$ 구간 부분을 선형화하는 방법이 사용되었다. 안정 여유를 계산하는 식은 식 (2.21)과 같다.

$$\eta_{st} \simeq -\frac{1}{2} P_{ar} (\delta_u - \delta_r) \quad (2.21)$$

P_{ar} : $\delta = \delta_r$ 일 때의 가속화력

여기서, 불안정각 δ_u 는 두 번의 불안정한 시간모의에서 얻어진 불안정각을 외삽하여 얻은 값이다.

$$\delta_u = \delta_u(k) - \frac{\eta_u(k)}{S_{\delta_u}^{\eta_u}} \quad (2.22)$$

$$\text{단, } S_{\delta_u}^{\eta_u} = \frac{\Delta \eta_u}{\Delta \delta_u} = \frac{\eta_u(k) - \eta_u(k-1)}{\delta_u(k) - \delta_u(k-1)} \quad (2.23)$$

그러나 이 방법은 매우 안정한 경우에는 상당히 큰 오차값을 가지며, 안정도 한계에 근접한 조건에서만 만족할 만한 정확도를 얻을 수 있는 방법이다. 따라서, 이후에 발표된 논문에서는 $[\delta_r, \delta_u]$ 구간의 가속화력 곡선을 식 (2.24)와 같이 2차 함수로 예측하는 방법이 제안되었다.

$$P_a(\delta) = a\delta^2 + b\delta + c \quad (2.24)$$

식 (2.24)에 $\delta_r - 2\Delta\delta$, $\delta_r - \Delta\delta$, δ_r 과 그때의 가속화력 P_a 값을 대입하여 계수 a , b , c 를 계산하면 δ_r 이후의 가속화력 곡선을 예측할 수 있다. 또한, 불안정각 δ_u 는 방정식 $P_a(\delta) = 0$ 의 근 중에서 $\delta > \delta_r$ 의 조건을 만족하는 값을 취하면 된다.

발전기 해석법에서 안정도를 평가하는 기준은 임계 사고 제거 시각(CCT)이나 전력 전송한계와 같은 안정도 한계(Stability Limit)이다. 여기서, 안정도 한계란 안정도 여유 η 가 0이 되는 안정도 조건을 말한다. 이러한 안정도 한계는 각기 다른 안정도 조건에서 계산된 안정도 여유를 이용하여 외삽법(Extrapolation) 또는 내삽법(Interpolation)을 통해 추정된다.

즉, 연속된 두 번의 시간모의를 통해 두 개의 불안정 여유가 얻어지는 경우 도 9와 같이 외삽법이 사용되고, 불안정 여유와 안정 여유가 얻어지는 경우에는 도 10과 같이 내삽법이 사용된다.

이때, 안정도 여유는 보통 매우 극심한 안정도 조건 즉, CT를 크게 설정하여 시간 모의를 수행하고 불안정 마진을 계산한 후 두 번째 시간 모의에서는 처음보다 CT를 작게 설정하여 조금씩 불안정한 정도를 낮추어 가면서 계산하게 되는데, 이는 불안정한 경우의 시간모의가 안정한 경우의 시간모의보다 계산시간이 적게 소요되기 때문이며 또한 시간 모의 결과값의 예측에 의해 안정 여유를 계산하는 것보다는 불안정 조건을 만족하는 시간 모의 결과값에 의해 불안정 여유를 계산하는 것이 보다 정확하기 때문이다.

이러한 과정은 안정도 한계가 충분한 오차 한계 범위 내에 수렴할 때까지 반복된다. 그러므로 보다 정확한 안정도 한계 계산을 위해서는 내삽법보다는 외삽법을 많이 사용하게 된다. 시간 모의 결과 안정한 경우 계산된 안정 여유가 작아서 안정도 한계 부근에 위치할 경우에는 내삽법에 의해서도 비교적 정확한 안정도 한계를 계산할 수 있다. 도 9는 외삽법에 의한 안정도 한계 추정하는 도면이고, 도 10은 내삽법에 의한 안정도 한계 추정하는 도면이다.

본 발명에서는 등가 1기 무한대 계통으로의 변환은 전력 계통의 발전기 위상각 변위량 합의 값에 따라 전력 계통의 발전기를 분류함으로써 수행된다. 이러한 구성은 전력 계통이 안정한 경우에도 전력 계통의 발전기의 분류를 가능하게 함으로써 보다 신속하게 등가 발전기 해석을 수행할 수 있도록 해준다. 본 발명에서의 등가 발전기 해석 방법은 다음과 같다.

<본 발명에서의 등가 발전기 해석법>

시간 모의 결과에 의해 다기 계통을 1기 무한 계통으로 등가화하고 등면적법을 사용해 안정 및 불안정을 판정하는 등가 발전기 해석법에서 가장 중요한 단계 중 하나는 다기 계통을 1기 무한 계통으로 등가화하기 위해 계통내 발전기들을 위험발전기들과 나머지 발전기들로 그룹핑하는 것이다.

일반적인 방법은 설명한 바와 같이 계통 외란 제거 후 발전기의 위상각 차에 의해 그룹핑 하였다. 위상각차에 의한 발전기 그룹핑을 하기 위해서는 우선 시간모의 프로그램을 통해 사고제거 후의 발전기들의 동요 곡선을 계산한다. 이때 각 시간 간격마다 발전기들을 회전자 위상각 크기에 따라 내림차순으로 정렬하여 가장 큰 위상각 차를 찾는다.

가장 큰 위상각 차를 갖는 두 대의 발전기를 기준으로 상위의 발전기들은 위험 발전기 그룹의 후보가 되고 하위의 발전기들은 나머지 발전기 그룹의 후보가 된다. 위상각 차가 200° 이상 벌어질 때까지 계속 시간 모의를 수행하게 된다. 이렇게 각각의 후보 발전기 그룹이 정해지면 관성정수를 이용해 등가 1기 무한 모선의 시간궤적을 계산하여 상정사고의 안정, 불안정 여부를 판정한다. 이렇게 등가 1기 무한 모선 구성을 위해 발전기들을 그룹핑하기 위해서는 불안정한 상정사고의 시간 모의를 전제로 하고 있다.

그러나 시간모의 결과가 안정한 경우(발전기 그룹간에 위상각 차가 200° 이상 차이가 없는 경우) 그 자체로는 발전기 그룹핑이 불가능하므로 등가 1기 무한 모선을 구성하지 못하고 장시간의 시간모의를 수행하여야만 한다. 이러한 경우에는 동일한 상정사고에 대해 좀더 불안정한 조건을 고려하여 다시 시간모의를 수행하고 그때 얻어진 발전기 그룹핑 결과를 이용할 수밖에 없다.

이러한 문제점은 등가 발전기 해석법이 발전기 그룹핑 방법으로서 최대 위상각차를 이용하기 때문에 발생하게 된다. 최대 위상각 차는 시간모의 결과가 확실히 불안정한 경우에만 적용할 수 있다. 따라서, 극심한 안정도 조건을 고려했음에도 불구하고 도 11과 같이 모의결과가 안정한 경우에는 발전기 그룹핑을 할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 도 11은 시간 모의 결과 매우 안정한 경우의 도면이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 발명에서는 어떠한 경우에도 사고 발생 후 짧은 시간 내에 발전기 그룹핑이 가능하도록 다음과 같은 AV(Angle Variation) 지수를 제안하였다. AV 지수는 관찰 시간 동안의 발전기 위상각 변위량의 합에 의해 표현되는 지수이다.

식 (2.25)와 같이 시간 모의 스텝시간별 각 발전기의 위상각을 그때의 COA에 대한 상대값으로 나타내고 식 (2.26)에 보인 바와 같이 관찰시간 동안 이 값들의 변위량의 절대값 합으로 나타낸다. 식 (2.26)에 의해 구한 각 발전기별 지수는 그 지수 자체에 gap criterion을 적용하여 최대 gap에서 상위의 발전기군을 위험 발전기군, 하위의 발전기군을 나머지 발전기군으로 분류한다.

$$\delta_{i_{COA}}(t) = \delta_i(t) - \frac{\sum_{k=1}^n M_k \delta_k(t)}{\sum_{k=1}^n M_k} \quad (2.25)$$

δ_i : 각 발전기의 위상각

M_k : 각 발전기 관성정수

n : 운용 발전기수

$$AVI_i = \sum_{t=0}^{t_{obs}} |\delta_{i_{COA}}(t + \Delta t) - \delta_{i_{COA}}(t)| \quad (2.26)$$

AVI_i : 각 발전기의 AV지수

t_{obs} : 관찰 시각

AV 지수는 불안정한 상정사고와 일반적으로 안정한 상정사고에 대한 발전기 그룹핑뿐만 아니라 사고시 발전기 위상각의 변위가 작은 매우 안정한 상정사고에 대해서도 짧은 시간 동안의 시간 모의에 의해서 발전기 그룹핑을 할 수 있다.

본 실시예에서는 사고제거 후 300ms 후까지의 시간 모의 결과에 의해 발전기 그룹핑을 하도록 모의하였다.

이어서, 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 소정의 평가 기준에 의해 매우 불안정한 사고 및 불안정한 사고에 대해 각각 제 1 사고 제거 시간 보다 짧은 제 2 사고 제거 시간에 대하여 안정도 평가를 수행하고(130), 제 1 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하면서 제 2 사고 제거 시간에 대하여 매우 불안정하지 않은 사고, 및 제 1 사고 제거 시간에 대하여 불안정하면서 제 2 사고 기준에 대하여 안정하지 않은 사고에 대해 제 1 사고 제거 시간 및 제 2 사고 제거 시간과 사고 제거 시간들에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 3 사고 제거 시간을 산출한다(140).

이때, 소정의 평가 기준에서 매우 불안정한 사고는 사고가 제거된 후에도 기계적 입력이 전기적 출력보다 큰 경우이고, 불안정한 사고는 사고를 제거한 후에 발전기의 감속 영역이 존재하지만 가속 영역보다 작은 경우이며, 안정한 사고는 회귀각 부근의 전력과 상차각 곡선의 기울기가 양의 값을 갖는 경우이다.

이와 같이, 전력 계통의 전력과 상차각 곡선의 형태를 이용한 평가 기준을 이용하여 효율적인 상정 사고 스크리닝을 수행함으로써 보다 신속한 전력 계통의 안정화를 수행할 수 있게 된다. 소정의 안정도 평가 기준에 대해 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

<안정도 평가 기준>

본 실시예에서는 위에서 설명한 바와 같이 시간 모의 결과값에 의해 다기 계통을 1기 등가 무한 모선 계통으로 바꾼 후 전력-상차각 곡선의 특성에 의해 과도안정도 평가를 실시한다. 이때 사용되는 전력-상차각 곡선의 특성에 따라 상정사고를 도 12와 같이 4가지로 분류하였다.

매우 불안정한 상정사고 (Definitely Dangerous Contingency: DD)

그림 2.11(a)처럼 사고가 매우 극심하여 사고가 제거된 후에도 기계적 입력이 전기적 출력보다 큰 경우로서 즉, 가속화력은 계속 양의 값을 가지며 위험 발전기군은 지속적으로 가속하게 된다. 이러한 경우를 매우 불안정한 상정사고라고 정의한다. 이 경우 불안정 시각이 존재하지 않으므로 CCT를 계산하지 않는다.

불안정한 상정사고 (Dangerous Contingency: D)

사고를 제거한 후에 감속영역(A_{dec})이 존재하지만 가속영역(A_{acc})보다 작아서 불안정한 경우이다. 이 경우, 사고 제거 후 전기적 출력이 기계적 입력보다 작아지는 시점부터 위상각은 급격히 증가한다. 이 시점이 도 12(b)에서의 불안정 위상각 δ_u 에 해당한다. 이때, 가속화력은 0이 되고 양의 기울기를 갖는다. 이러한 경우를 불안정한 상정사고라고 정의한다. 불안정 마진을 계산할 수 있으며 이에 의해 CCT를 계산할 수 있다.

잠재적으로 불안정한 상정사고 (Potentially Dangerous Contingency: PD)

도 12(c)에 보인 상정사고의 전력-상차각 곡선의 경우는 안정하며 회귀각(δ_r)이 존재한다. 하지만, 안정마진이 매우 안정한 경우로 분류할 만큼 충분히 크지 않다. 이러한 상정사고를 잠재적으로 불안정한 상정사고로 정의한다. 이 경우 회귀각 부근에서의 전력-상차각 곡선의 접선 기울기가 그림과 같이 음의 값을 갖게 된다. 안정 마진을 계산할 수 있으며 이에 의해 CCT를 계산할 수 있다.

안정한 상정사고 (Harmless Contingency: H)

만약 회귀각 부근의 전력-상차각 곡선의 접선 기울기가 도 12(d)에서 보인 바와 같이 양의 값을 갖는다면 안정마진이 운용자가 무시할 정도로 충분한 것으로 판별하며 이러한 상정사고를 안정한 상정사고로 정의한다. 도 12는 전력-상차각 곡선의 형태를 이용한 상정 사고의 분류를 도시한 도면이다.

도 12의 (c), (d)는 안정한 경우를 다시 세분화하여 계통의 상태가 조금만 변화하면 불안정해지는 잠재적으로 위험한 상정사고(Potentially Dangerous Contingency - PD)와 무해한 상정사고(Harmless Contingency - H)를 나타낸 것이다. 이때, 후자의 경우는 더 이상 고려하지 않고, 전자의 경우만 CCT 계산을 위한 안정도 여유를 계산하고 상정사고 순위 결정시 포함시키게 된다.

이 두 가지의 경우는 도 12의 (c), (d)에서와 같이 회귀 위상각(returning angle)에서의 전력-상차각 곡선 기울기(Pe Slope)를 이용해 기울기가 음(Pe Slope<0)인 경우에는 잠재적으로 위험한 상정사고(PD), 기울기가 양(Pe Slope>0)인 경우에는 무해한 상정사고(H)로 정의한다. 무해한 상정사고(H)의 경우, 안정마진이 잠재적으로 위험한 상정사고(PD)의 안정마진보다 훨씬 크기 때문에 더 안정하다고 할 수 있기 때문이다. 그리고 잠재적으로 위험한 상정사고(PD)의 경우는 계통의 상태가 변화하면 불안정한 경우로 될 수 있기 때문에 잠재적으로 유해한 상정사고로 분류하고 상정사고 순위를 정하며, 차후에 상세한 시간 모의를 하도록 한다.

이와 같은 전력-상차각 곡선의 기울기는 식 (2.27), 식 (2.28)과 같이 회귀 위상각과, 시간 모의시 회귀 위상각을 구한 t_r 보다 한 시간 모의 스텝만큼 작은 t_{r-1} 에서 구한 위상각, 그리고 각각에 대응되는 전기적 출력(P_e)에 의한 기울기에 의해 판정한다.

$$\frac{P_e(t_r) - P_e(t_{r-1})}{\delta(t_r) - \delta(t_{r-1})} > 0 \quad (2.27)$$

$$\frac{P_e(t_r) - P_e(t_{r-1})}{\delta(t_r) - \delta(t_{r-1})} < 0 \quad (2.28)$$

P_e : 등가발전기(OMIB) 전기적 출력

δ : 등가발전기(OMIB) 회전자 위상각

t_r : 회귀위상각 δ_r 에 대응되는 모의 시간

t_{r-1} : 시간모의시 t_r 에서 한 스텝 전의 시간

이어서, 제 2 사고 제거 시간, 및 제 3 사고 제거 시간, 및 제 2 및 3 사고 제거 시간에 대응하는 안정도 여유를 이용하여 제 4 사고 제거 시간을 산출한다(150). 제 1 및 2 사고 제거 시간을 이용하여 최대 사고 제거 시간을 산출하는 것이 아니라 다시 제 4 사고 제거 시간을 산출함으로써, 보다 정확한 최대 사고 제거 시간을 산출할 수 있게 된다.

마지막으로, 통신망을 통해 접속된 사용자 단말로 산출된 사고 제거 시간을 출력하고(160), 전력 계통에 사고가 발생하는 경우 발생한 사고에 대응하는 산출된 사고 제거 시간 이전에 사고 조치 신호를 전송한다(170). 이와 같이, 사용자 단말로

산출된 사고 제거 시간을 출력함으로써, 전력 계통의 관리자가 계통의 상태를 더욱 명확히 파악할 수 있게 되고, 계통 사고 발생시 최대 사고 제거 시간 이전에 사고 조치 신호를 전송함으로써 계통의 피해를 최소화할 수 있게 된다. 사고 조치 신호는 사용자 단말 또는 전력 계통에 설치된 자동 사고 제거 장치일 수 있다.

도 13은 개선된 과도 안정도 평가 알고리즘을 도시한 도면이다.

도 13에서는 온라인 과도 안정도 평가를 위해 등가 발전기 해석법을 기본으로 하여 개발한 알고리즘의 실제 예가 나타나 있다. 종래의 등가 발전기 해석 알고리즘을 나타낸 도 2의 Step 3에서는 두 번의 시간 모의에 의해 외삽법으로 CCT를 계산하였지만 도 13에 제시한 알고리즘에서는 보다 정확한 CCT 계산을 위하여 3번의 시간모의를 실시한다.

첫 시간모의시 CT를 200ms로 설정하여 사고를 과도하게 줌으로써 확실하게 안정한 상정사고를 스크리닝하고 불안정한 상정사고의 경우 불안정 여유를 구하도록 하였다. 두 번째 시간 모의에서는 CT를 150ms로 하여 첫 시간 모의에서 불안정한 상정사고에 대해 안정, 불안정 여부를 평가하며, 안정한 경우 전력-상차각 곡선의 기울기를 평가하여, 안정하지만 잠재적으로 불안정해질 수 있는 상정사고와 기울기가 양으로서 나타나는 비교적 안정한 상정사고를 분류하였다. 불안정한 상정사고와 잠재적으로 불안정한 상정사고의 경우 불안정 여유와 안정 여유를 계산하여 CCT를 계산하며 이때 계산된 CCT를 세 번째 시간 모의시의 CT로 선정하여 마진을 구함으로써 보다 정확한 CCT를 계산할 수 있도록 하였다.

첫 번째 시간 모의시 계산된 전력-상차각 곡선이, 사고제거 후에도 전기적 출력(Pe)이 기계적 출력(Pm)을 회복하지 못하는 매우 불안정한 상정사고의 경우에는 두 번째와 세 번째 시간 모의에 의해 도 2의 Step 3에서와 같은 방법으로 CCT를 계산하도록 하였다.

그래서 도 13의 알고리즘에 의해 평가되는 각각의 상정사고는 매우 불안정한 경우(Definitely Dangerous), 불안정한 경우(Dangerous), 잠재적으로 불안정한 경우(Potentially Dangerous), 그리고 안정한 경우(Harmless, FSS(First Swing Stable))로 나누어지며 약자로 DD, D, PD, H, 그리고 FSS로 나타내었다. DD의 일부와 D, PD의 경우는 안정도 여유에 의한 CCT 계산을 함께 수행한다. 프로그램 수행 후, 상정사고 과도안정도 평가 결과(분류결과, CCT)에 의해 상정사고 순위를 결정한다. 각 스크리닝 단계별로 도 13을 설명하면 다음과 같다.

CT₁에 의한 상정사고 스크리닝

과도안정도 평가를 위한 첫 번째 상정사고 스크리닝이다. 이 스크리닝 단계에서의 주안점은 매우 안정한 상정사고를 스크리닝하는 것이다. 이를 위하여 사례연구에서는 CT₁을 200ms로서 과도하게 인가하여 시간 모의하여 이 단계에서 안정한 상정 사고로 판정되는 상정 사고는 매우 안정한 상정 사고(First Swing Stable: Fss)로 분류하였다. 그 외의 상정 사고들은 CT₂에 의한 두번째 상정 사고 스크리닝 단계에서 시간 모의를 실시하게 된다.

CT₂에 의한 상정사고 스크리닝

이 스크리닝 단계에서는 CT₁보다 작은 CT₂값에 의해 상정사고를 시간 모의하여 전단계에서 계산된 불안정 여유 η_1 과 이 단계에서 계산된 불안정 여유 η_2 를 사용하여 외삽법으로 CCT를 계산한다. 상정사고 분류에 따라 잠재적으로 위험한 상정 사고로 분류된 상정사고의 경우에는 안정 여유를 계산하여 내삽법으로 CCT를 계산한다. 이 단계에서 안정한 상정사고(H case)로 분류된 상정사고는 더 이상 고려하지 않는다.

CT₃에 의한 상정사고 스크리닝

이 단계는 보다 정확한 CCT를 계산하기 위해 도입되었다. 전 단계에서 계산된 CCT를 CT₃로서 사용하여 시간 모의를 실시하고 이때 계산된 마진에 의해 새로운 보다 정확한 CCT를 계산한다. 이때 사용한 CT₃는 실제 CCT와 거의 비슷한 값이므로 안정도 여유가 매우 작게 나오며 내,외삽법 사용시 보다 정확한 CCT를 계산할 수 있다. 이 단계에서는 매우 위험한 상정사고(DD)가 CCT 계산 없이 상위 위험 상정사고로 순위를 결정하게 되며 그 다음 순위로는 위험한 상정사고(D)로 분류된 상정사고들이 계산된 CCT 값에 의해 세부 순위가 결정된다.

다음 순위로서 잠재적으로 위험한 상정사고(PD)들이 역시 같은 방법으로 계산된 CCT 값에 의해 세부 순위가 결정되고 그 뒤를 이어 안정한 상정사고(H) 그리고 첫 스크리닝 단계에서 선별되는 매우 안정한 상정사고(FSS)의 순으로 상정사고의 순위를 결정하게 된다.

발명의 효과

본 발명은 전력-상차각 곡선의 궤적에 따라 안정도 판별을 네 가지로 세분화하여 매우 심각한 사고만 스크리닝하도록 하여 신속한 전력 계통의 과도 안정도 평가를 가능하게 하고, 사고지속 시간을 계전기 동작시간에 가깝게 하여 내외삽법을 이용하여 CCT를 계산함으로써 정확도를 높였다.

또한, 본 발명은 종래의 등가발전기 해석법과는 달리 시간모의 초기 단계에서 발전기들을 그룹핑하여 1기 무한 모션으로 구성하고 시간 모의에서 그 시간궤적(Time Trajectory)을 관찰함으로써 안정도 판정을 보다 신속하게 수행함과 동시에, 안정한 경우에도 발전기 그룹핑을 가능하게 한다.

본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 첨부된 청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 온라인 전력 계통 안정화 방법의 일 실시예를 수행하기 위한 개략적인 흐름도.

도 2는 등가 발전기 해석법의 개요를 도시한 도면.

도 3은 최대 위상각 차에 의한 발전기의 그룹핑을 도시한 도면.

도 4는 등가 1기 무한 모션의 시간 궤적(안정한 경우)을 도시한 그래프.

도 5는 등가 1기 무한 모션의 시간 궤적(불안정한 경우)의 그래프.

도 6은 등가 1기 무한 모션의 시간 궤적(매우 불안정한 경우)의 그래프.

도 7은 전력-상차각 곡선(불안정한 경우)의 그래프.

도 8은 전력-상차각 곡선(안정한 경우)의 그래프.

도 9는 외삽법에 의한 안정도 한계 추정하는 도면.

도 10은 내삽법에 의한 안정도 한계 추정하는 도면.

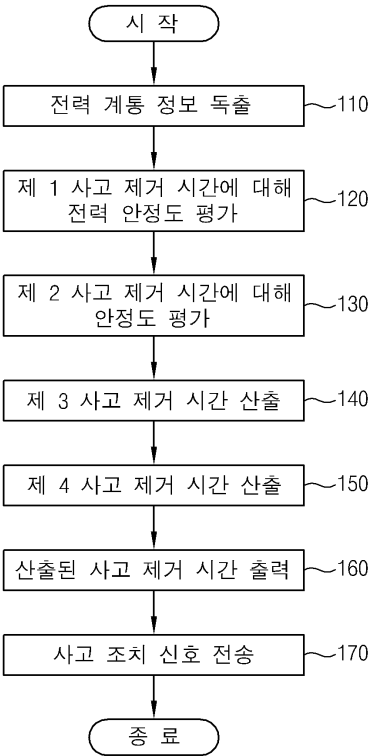
도 11은 시간 모의 결과 매우 안정한 경우의 도면.

도 12는 전력-상차각 곡선의 형태를 이용한 상정 사고의 분류를 도시한 도면.

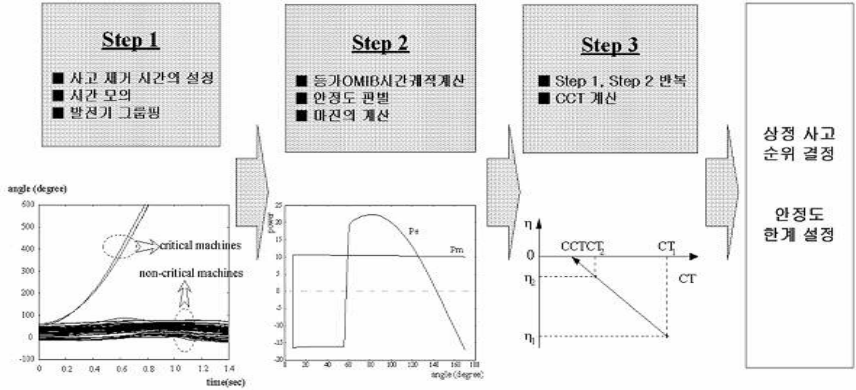
도 13은 개선된 과도 안정도 평가 알고리즘을 도시한 도면.

도면

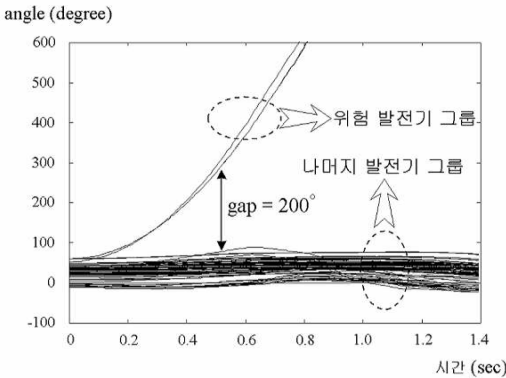
도면1



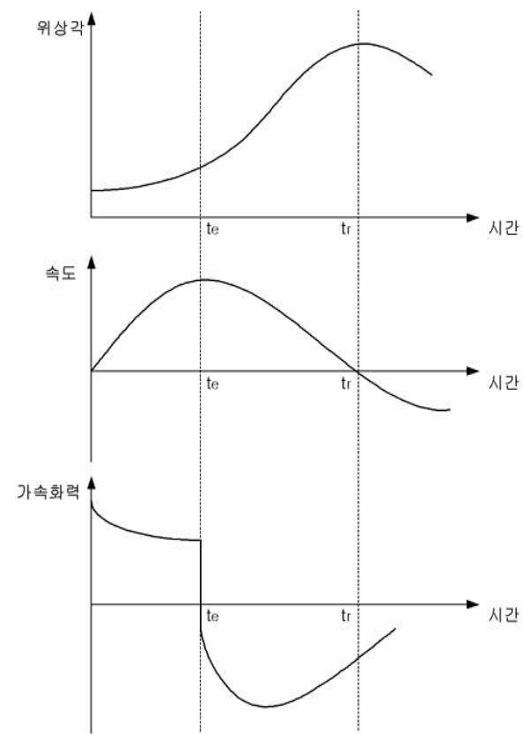
도면2



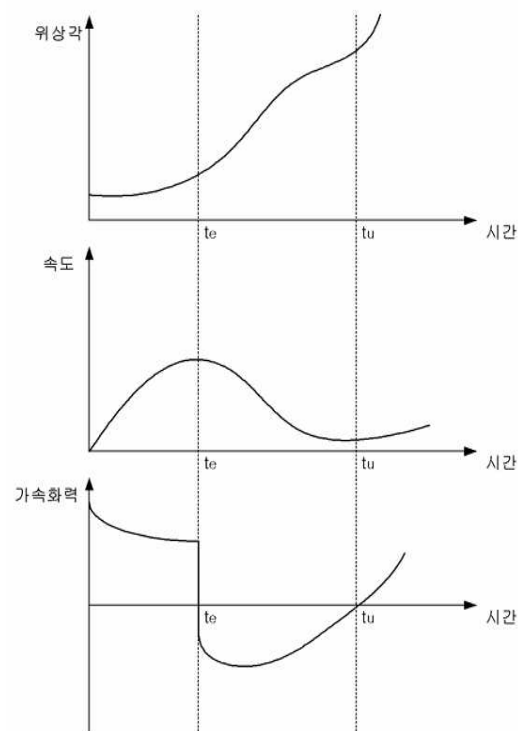
도면3



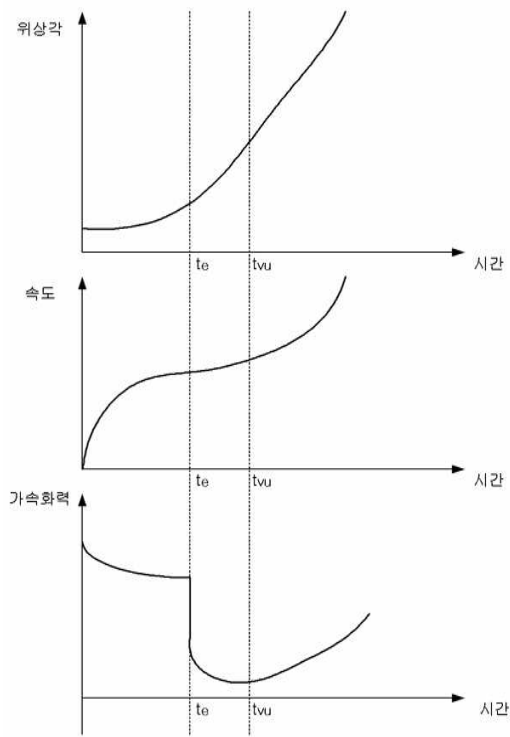
도면4



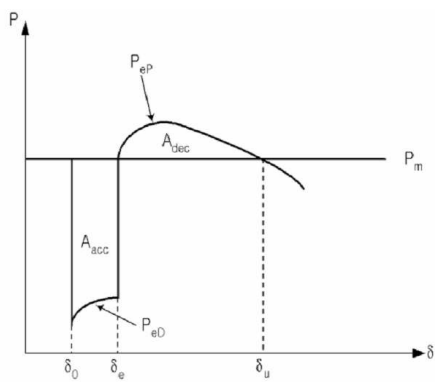
도면5



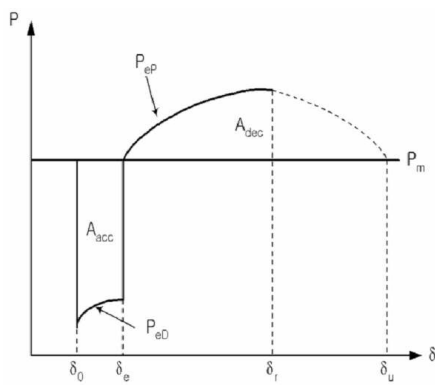
도면6



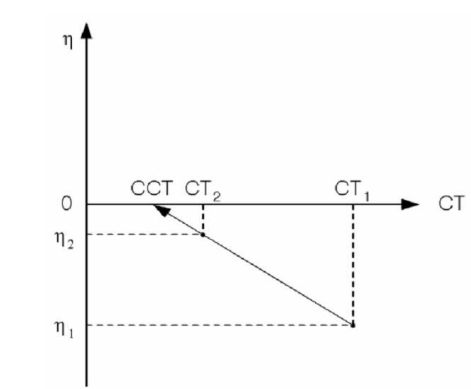
도면7



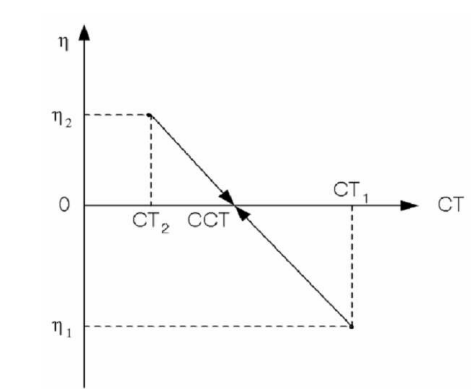
도면8



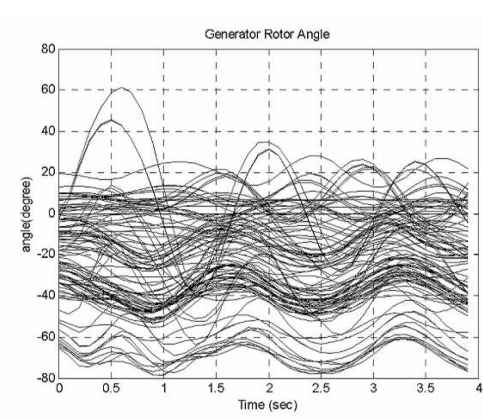
도면9



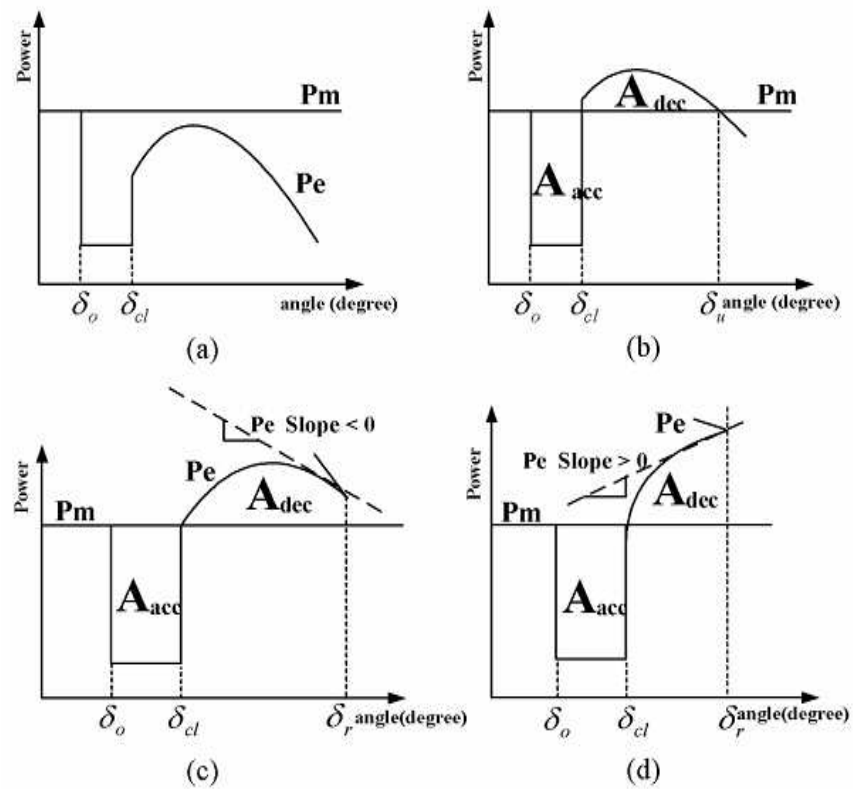
도면10



도면11



도면12



δ_o : 사고 발생 시 위상각
 δ_{cl} : 사고 제거 시 위상각
 δ_u : 불안정 시점에서의 위상각
 A_{acc} : 발전기 가속 면적
 A_{dec} : 발전기 감속 면적

도면13

