

전력계통의 온라인 안전상태 해석과 예방제어  
 On-Line Network Security Analysis and Remedial  
 Actions in Power System

김 창 무

한국전력공사 발전부

김 영 한 \*

"

1. 서 론

전력계통운용의 안전성은 장기계통계획을 통해 수요증가에 따른 전원설비 및 송배전설비의 확충시 충분히 고려된다. 다시말해서 계통계획시 새로운 전원의 구성지점은 물론 일부전원의 탐탁과 송전선로의 사고시에도 계통이 안전상태에서 운전될 수 있도록 강안된다. 그러나 장기계획은 외역을 남을 수 있고 또한 건설계획이 최소되거나 지연될 수 있어 수요증가가 크지 않아도 일부 전원이나 송배전설비의 사고시 전력공급능력이 부족되거나 다른설비에 과부하를 주어 심각한 경우에는 커다란 파급사고를 일으켜게 된다.

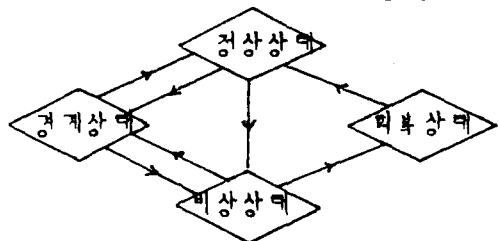
따라서 전력계통운용의 안전성은 장기계통계획에서 고려된 안정성 만으로는 충분치 못하며 그때그때의 운전조건하에서 현재의 운전상태에 대한 안전여부는 물론 예상되는 여러 경우 즉 상정사고에 대하여도 심재로 그와같은 사고가 발생하거나 설비의 점검 및 보수를 위해 정지시킴시 계통의 안전상태는 어떻게 될 것인가를 사전에 파악하여 예방조치를 할 수 있어야 한다.

2. 전력계통의 운용상태

일반적으로 전력계통의 운용상태를 정상상태(Normal State), 경계상태(Alert State), 비상상태(Emergency State) 및 회복상태(Restorative State)로 구분하는데, 정상상태는 어느 하나의 발전기나 송전선을 계통에서 제외시켜도 전력수급에 하등의 지장을 주지 않

을 뿐만 아니라 나머지 어느 설비에도 과부하를 주지 않는 상태를 말한다. 한편 경계상태에서는 어느 발전기나 송전선을 계통에서 제외시키는 경우 나머지 설비에 과부하를 주게 되며 일부 과부하를 주지 않고 전력수급에 지장을 주지 않는다 하여도 상당한 위험성이 내포되고 있는 상태를 나타낸다.

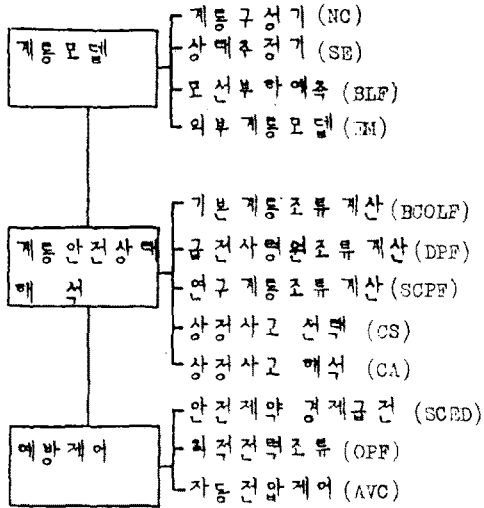
따라서 정상상태로의 회복을 위해 발배전설비상에 여러가지 제한이 부과되며 상당한 예방조치가 요구된다. 비상상태는 전력수급의 병행유지할 수 없을 뿐만 아니라 전력설비가 과부하로 되어 긴급한 회복조치가 요구되는 상태이다.



전력계통운용상태(System Operating State)

3. 온라인 안전상태해석

전력계통의 온라인 안전상태 해석은 현재 운전되고 있는 계통에 압착한 계통모델을 세우고 조류계산에 이용될 모든 데이터에 대하여 정확한 값을 갖춘 다음 온라인 조류계산에 의해 상정사고에 대한 선로나 설비의 과부하 및 전압상태 등을 분석하여 사전에 문제점에 대한 경보를 주게 되는데 다음과 같이 그 과정을 요약할 수 있다.



가. 계통모델 (Network Model)

1). 계통구성기 (Network Configurator)

계통구성기는 어느설비가 계통에 연결되어 온전되고 있으며 어느설비가 정지중인가를 표시 하게 되는데 발전기, 변압기, 전력용콘덴서등외 각설비와 송전선로의 접속상태를 나타내며 자료 취득된 데이터로부터 연차의 접속상태를 수정 하게 된다. 설비의 접속상태는 불리안방식 (Booleam Expressions) 으로 표현되며 선로의 경우 차단기와 2개의 마인스윗치를 통해서 모 선에 접속되므로 3개의 상태비트에 의해 계획상 태가 표시된다. 계통구성기는 응용성있고 조직 적인 매트릭스로 전력계통의 연결상태를 나타 내며 상태추정기와 모든 온라인 조류계산에 이 용된다.

계통구성기의 수행능력은 900개 모선에 15000개의 계획장치상태가 기록되고 있다.

2). 상태추정기 (State Estimator)

전력계통에서 자료취득시스템에 의해 취득된 자료중에는 변환기(Transducers)와 불량 및 정 보전송상의 에러로 실제의 값과 상이한 데이터가 있게 된다.

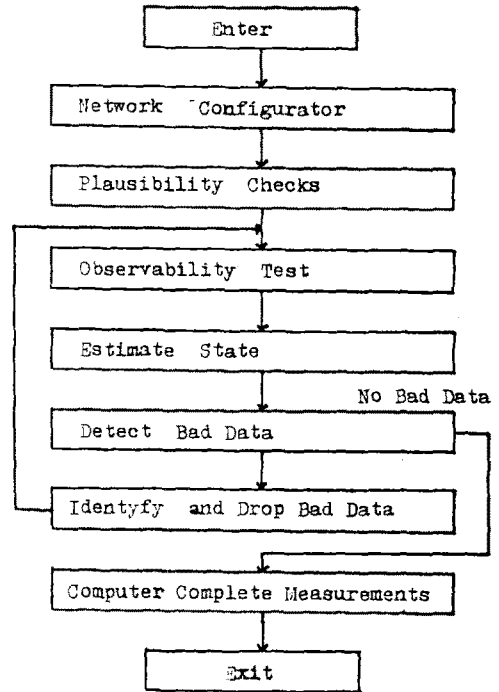
이와같이 불량데이터가 있게 되면 온라인조 류계산의 불확데이터로서 받아들여질 수 없게 되거나 Swing Bus 상에 큰 에러를 주어 조류 계산의 수렴특성을 저하시킨다.

따라서 상태추정기는 온라인 조류계산에 의

한 계통안전상태해석을 위하여는 필수적으로 필요한 기능으로서 불량데이터를 검출하여 경보 를 주고 취득자료의 정도를 높여준다.

상태추정기는 계통의 각 모선에 대한 전압과 외상과의 측정장치로서 정확한 이득 값을 얻기 위해 WLS(Weighted Least Squares) 법이 널리 이용되고 있으며 또한 불량데이터의 검출 (Detect) 을 위해 표준편차 3σ를 기준한 Chi - Square ( $\chi^2$ ) 법이, 그리고 불량 데이 터의 동정 (Identify) 를 위해 잔차시험(Resi- dual Test) 법이 적용되고 있다.

상태추정 블록선도



3). 모선부하예측 (Bus Load Forecasting)

산이 많고 반도형태의 지역적 특색을 갖고 있 는 우리나라에서는 계통의 부하예측을 몇개의 지역으로 구분하여 각 지역별 부하분포와 기구 변수를 고려해서 하게되면 상당히 정도를 높일 수 있다.

모선부하예측은 지역별 부하를 부하분배계수 (Load Distribution Factors) 로 나누어 모선 별 유효 무효전력과 불비예부하, 모선전압계획 값 등을 예측하거나 상징하게 되는 데 부하

본 백계수는 상대추정기의 결과를 지수평활화 (Exponential Smoothing) 하므로서 적당한 값으로 수정된다.

4). 외부 계통모델 (External Model)

외부 계통모델 프로그램은 상대추정기에 의해 해석되지 않는 미측정 (Non-telemetered)

및 미관측 (Unobservable) 계통을 해석하는데 이용되며 계통의 안전상태해석과 제날의 전력 계산 및 전압제어에 큰 영향을 준다.

여기서 미측정계통은 원격소단말장치 (RTU) 나 통신회선의 고장 및 지역급전과의 데이터링크가 불가능시에도 발생할 수 있다.

상대추정기가 추정된 데이터를 입력으로 이용하는데 비해 외부 계통모델은 내부 계통모델과 경계를 이루는 모선들의 역사적데이터 (Historical Data) 를 이용한다.

나. 계통안전상태 해석 (Network Security Analysis)

1). 기존 계통 조류 계산 (Base Case OLF)

앞의 계통모델과정에서 현재의 실패계통에 알맞은 계통모델과 정도 높은 입력데이터가 마련되면 누락된 범위에 의한 AC 조류 계산이 시행되는데 이에따라 현 온전상태에 대한 안전상태를 해석하게 된다.

현재 안전계통에서 고려되고 있는 조류 계산의 모델크기는 다음과 같다.

- 부하모선 (부하와 변압기) 300개
- 발전기모선 100개
- 선로수와 변압기수 1100개
- 변전변압기수 100개
- 정전본드사와 터앰버뱅크수 150개
- 부하지역 100개
- 불비백부하 100개

2). 급전사령원 전력조류 (Dispatcher P.F.)

급전사령원 전력조류는 급전사령원이 현재 계통에서 만일 이 선로를 끊는다면 계통에서 어떠한 일이 일어나겠는가를 온타인으로 파악할 수 있게 해 주는 기능이다.

급전사령원은 온타인 데이터에 의한 기존 계

통 조류 계산결과를 가지고 CRT 상에서 간단히 선로, 발전기, 모선, 지역부하 등을 제거한후 조류계산을 다시 시행시켜 각각의 상정사고에 대한 계통상태를 파악할 수 있어 송전선 보수작업, 정기보수계획 등의 수립에 원할을 기할 수 있다.

3). 연구전력조류 (Study Power Flow)

이 기능은 내일 또는 수시간 앞을 내다본 가까운 장래에 대하여 상정사고를 연구하고 보수를 위한 정전작업요점을 평가하는데 더욱 적합한 기능으로서 부하예측, 발전기 동정, 설비보수 계획, 설비로 하여금 관계자료를 얻게 된다. 이 기능은 전력계통의 신뢰도를 향상시키고 계통본업의 수를 줄일 수 있다.

4). 상정사고 선택 (Contingency Selection)

이 프로그램은 현재 계통의 상항에 따라 상정사고해석 프로그램에 의해 계통의 안전상태가 해석될 가장 적합한 케이스를 선택하는 기능이다. 따라서 상정사고해석 프로그램의 실행 전에 상정사고 케이스를 축소시켜 상정사고 해석의 신속확률도 모한다.

실행되어야 할 상정사고 케이스의 선정은 각각 조류 계산에 의해 가장 과부하가 심한 경우의 순으로 선정된다.

5). 상정사고 해석 (Contingency Analysis)

상정사고선택 프로그램에 의해 선택된 상정사고 케이스를 주기적으로 실행하여 계통의 안전상태를 평가하게 된다. 일반적으로 30분 주기로 실행되며 단일 및 중부사고 (Single or Multiple Outage) 에 대한 100-200 케이스의 상정사고를 해석해서 선로나 설비의 과부하 상태에 대해 급전사령원에게 경보를 준다. 많은 케이스를 단시간에 실행하여야 하므로 DC 조류 계산에 의한 신속상정사고해석 방법이 이용되고 있으며 필요에 따라 급전사령원이 특수한 케이스를 지정하여 AC 조류 계산에 의한 상정사고해석을 실행시켜 전압제어 문제에 대해 해석할 수 있다.

현재 안전계통에서는 온타인상정사고해석으로

본 50 개의 단일사고와 25 개의 중복사고를, 그리고 연구(Study Mode) 상정사고 해석을 위해 25 개의 단일사고와 10 개의 중복사고에 대한 계스를 고백하고 있다.

4. 예방제어(Remedial Action)

상정사고 해석으로 계통의 안전상태가 해석되면 과부하에 대한 정보를 급전사령원이 얻을수 있게된다. 그러나 이를 해소하기 위한방법(Guidelines) 에 대하여는 예방제어기능이 도와준다.

가. 제약경제급전(Security Constrained ED)

이 프로그램의 목적은 소비의 과부하를 경감시켜기 위해 알맞은 유효전력(MW) 제어를 결정하기 위한 것으로서 송전선의 조류한계치를 고려해서 가장 경제적인 방법으로 발전력을 재배분하게 된다. 이 프로그램은 단지 유효전력에 대한 발전력과 조류한 고려되고 부하차단이나 발전기 기동정지와 같은 단계적조치(Discrete Actions) 는 고려되지 않으며 또한 전압문제가 다루어지지 않는다.

나. 최적전력조류(Optimal Power Flow)

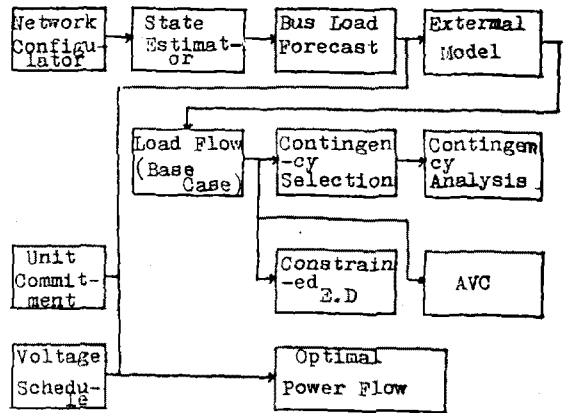
최적전력조류는 전압, 조류, 발전기한계 및 변압기 탭변환의 제한조건하에서 전력조류(MW, MVAR) 문제를 안전하게 해결해 준다.

이 기능은 송전선의 과부하를 고려하는 동시에 발전기에서 생산되는 무효전력을 최적화하고 선로의 무효전력흐름에 의한 송전손실을 최소화하면서 모션전압을 주어진 범위내 유지하면서 발전비용이 최소가 되게 발전력배분을 하는 것이다.

다. 자동전압제어(Automatic Voltage Control)

자동전압제어기능은 은라인 최적전력조류에 다 모든 전압조정장치가 직접 에너지관리시스템(EMS) 에 접속 제어될수 있도록 확장된 것이다. 이 프로그램은 각발전기의 무효전력, 전압, 변압기 탭, 전력분당사와 미터의 최적값을 결정하게 된다.

계통해석과 예방제어 블록선도



5. 결론

비록 전력계통의 은라인 안전상태해석기능이 모든 사고를 방지할 수는 없지만 EMS 에 이 기능을 갖추게 되면 사고를 상당히 줄일수 있고 특히 급전사령원이 예상되는 주요사고가 실제로 발생시 계통에 발생될 문제점을 사전에 알수있어 신속한 예방조치를 취할수 있다. 더욱이 예방제어 프로그램은 경계상태(Alert State) 에 있는 계통을 정상상태(Normal State) 로 회복하기 위하여 가장 경제적이고 효과적인 방법을 급전사령원에게 제시해 준다. 그러나 이러한 이상적인 기능들은 아직 실용화되지 못하고 계속적으로 연구개발되고 있으며 다음과 같이 실용연대가 예상된다.

계통상태 감시, 표시	상정사고 해석	예방제어	자동제어
1960-	1970-	1980-	1990-

1970년 1980년 1990년 2010년  
여기에서 자동제어만 EMS 기능의 최종개발 단계로서 모든 발전기 제어, 부하차단, 발전기 기동정지, 부하예측, 안전상태해석 및 예방제어가 자동으로 수행되는 유폴피아전 단계를 나타낸다.

\* 참고 문헌

Planning Report and Technical Specification of KEPCO EMS Project by Energy Control and Consultant in USA.