

전력거래소 차기 EMS 전력계통 안전도 감시 및 개선 기능

허성일*, 강형구*, 서은성*, 이진수*, 이건웅*
한국전력거래소*

Power system security monitoring and enhancement of KPX's next control center

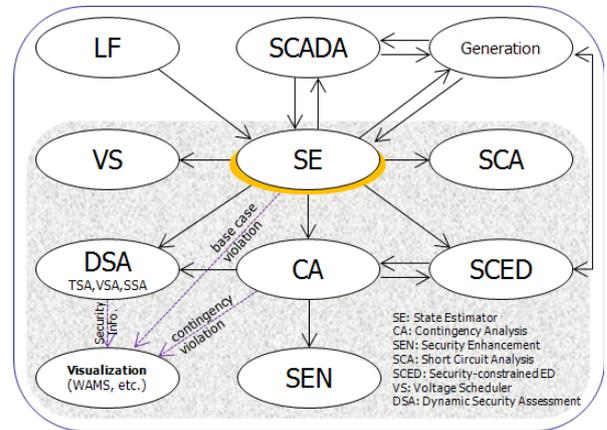
Seong Il Hur*, Hyung-Goo Kang*, Eun-Sung Seo*, Jin-Soo Lee*, Keun-Woong Lee*
Korea Power Exchange*

Abstract - 전력거래소는 본사이전 및 신규 급전소신설과 기존 시스템의 한계수명 도달에 대비하여 현재 운용중인 전력IT 시스템을 새롭게 구축할 예정이다. 전력거래소 차기 전력IT 시스템은 안정하고 공정한 전력계통 및 전력시장 운영을 지원하기 위해 계통운영시스템(EMS), 시장운영시스템(MOS) 그리고 전력IT 기반설비로 구성된다. 본 논문에서는 전력계통의 감시 및 제어를 위한 계통운영시스템 그중에서도 전력계통의 안전도 감시 기능과 안전도 개선 기능에 대해 소개하고자 한다.

할 수 있는 과부하 및 전압위반 해소를 위해 적용 가능한 제어방안을 제시하는 '안전도개선'기능이 있다. 또한 단락고장발생에 따른 고장전류를 계산하여 고장전류 초과개소에 대한 정보를 제공하는 '고장전류해석' 기능이 있다. 검토모드는 실시간 모드에서 얻어진 전력계통모델을 이용한 계통 검토가 주 목적이다. 예를 들어, '조류계산'기능을 이용하여 긴 급휴전에 따른 계통의 영향을 평가하고 대책을 수립할 수 있으며 실시간 모드의 상정고장해석과 안전도개선 및 고장전류해석 기능은 검토용 계통을 대상으로 순차적 계통해석 수행을 위해 검토모드에서도 사용가능하다.

1. 서 론

전력거래소는 본사이전에 따른 신규 급전소신설과 기존 EMS의 한계수명 도달에 따라 기존 계통운영시스템을 교체할 계획을 수립하였으며 해당 프로젝트를 수행하고 있다. 나주, 서울 및 천안 세군데 다중 급전소를 동시에 구축하게 되며 각 급전소의 기능과 역할에 적합한 3중화 시스템이 구축될 예정이다. 지리적으로 떨어진 세군데 급전소 모두 발전기 제어와 송전망 운영 기능을 수행할 수 있으나, 규모가 점차 방대하고 복잡해지는 전력계통의 신속하고 효율적인 감시 및 제어를 위해 345·765kV 기간 송전망과 154kV 수도권 및 비수도권 송전망 운영을 각 급전소별로 분담하여 수행할 수 있도록 설계되었다. 안정적인 송전망 운영을 위해서는 전력계통을 실시간으로 감시하고 안전도를 평가하는 기능이 필수적이며 이러한 기능들은 모든 급전소의 계통운영시스템에 포함되게 된다.



<그림 1> 차기 EMS 계통해석 기능 흐름

안전도를 감시하고 평가하는 기능으로 조류계산 기반의 정적안전도 감시평가와 시간보의 기반의 동적안전도 감시평가로 구분할 수 있다. 정적안전도 감시평가는 일반적으로 상태추정 및 상정고장해석 등을 통해 송전망의 상태 해가 안전도 위반기준을 초과하였는지를 결정하여 알려준다. 안전도 위반감시항목은 계통운전 신뢰성에 제약으로 작용하는 안전도제약조건으로 전압한계, 과부하, 모선위상각 차 및 유효전력 한계를 들 수 있다. 안전도 위반한계치는 모선전압 유지범위, 선로열적용량 및 안전도 제약조건을 고려하여 설정하며 부하시간대별 그리고 계절별로 감시한계치 데이터 그룹을 별도로 선택하여 적용할 수 있다. 동적안전도 감시평가는 과도안전도 평가, 전압안전도 평가 및 미소신호안전도 해석 기능으로 구성된다. 과도안전도 평가는 상정고장을 고려한 발전기 위상각 안전도를 판별하며 과도안전도를 고려한 발전기 출력조정 등의 예방 조치를 권고한다. 전압안전도 평가는 전압불안정 취약개소 및 전압안전도 여유를 평가하고 전압안전도를 고려한 전력전송 여유를 제공한다. 미소신호안전도 해석은 지역사이 및 발전기사이의 저주파 진동현상을 해석하고 진동감쇄를 위한 조치방안을 제시하게 된다. 차기 계통운영시스템의 경우 정적안전도 평가 및 동적안전도 평가를 수행할 수 있는 모든 기능을 설계에 반영하였다. 아울러, 급전원시각화 의사결정시스템을 구축하여 각종 안전도 감시평가정보를 보여줌으로써 급전원의 상황인지를 용이하게 한다. 또한 PMU/WAMS 데이터 연계를 통해 실시간 광역감시정보를 추가적으로 제공함으로써 전력계통 안전도의 입체적인 감시를 가능하게 할 것이다.

2.2 안전도 감시 기능

차기 EMS의 전력계통의 안전도 감시기능은 크게 정적안전도 감시와 동적안전도 감시기능으로 구성된다. 기존에 EMS는 정적안전도 평가를 통한 전압크기위반과 같이 전압안전도 여유의 제한된 정보만 제공하였다. 그러나 이러한 정보는 계통에 과부하로 인해 전압붕괴가 현실적인 위협으로 다가올 때 더 이상 전압안전도 식별자로서의 역할을 수행할 수 없다. 동적안전도 감시기능은 기존에 정적안전도 감시기능의 한계를 극복하기 위해 상호보완적으로 사용될 수 있다. 이를 통하여 급전원은 현재 운전점에서 안정성 붕괴지점까지의 운전여유 즉, 안전도 여유를 고려하여 운전할 수 있게 된다. 앞을 내다보면서 운전할 수 있게 되는 것이다.

각 기능별로 신속한 상황인지를 위해 알람경보 및 전용 UI를 제공하며, 전체 전력계통도에서 관련 정보를 시각화하여 표현함으로써 상황발생 위치와 원인을 한눈에 식별할 수 있도록 설계하였다.

2. 본 론

2.1 EMS 계통해석 기능

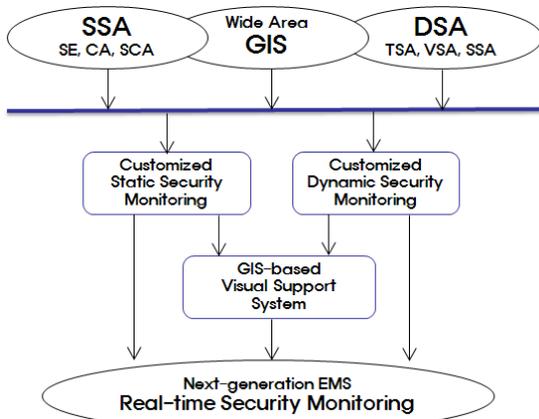
EMS 계통해석 애플리케이션은 시시각각 변화하는 전력계통의 전반적인 상태를 분석하는 것으로 사용목적에 따라 실시간 모드와 검토모드로 구성된다. 실시간 모드 애플리케이션은 실시간 계통평가를 통해 실시간 운영에 도움을 주는 것으로 다음과 같은 기능으로 구성된다. 주어진 시간에 모든 애플리케이션이 공통적으로 사용할 전력계통모델을 확립하기 위해 측정값 정보를 이용하여 계통의 토폴로지를 처리하고 계통의 기본상태 해를 추정하는 '상태추정'기능이 있다. 상태추정을 통해 얻어진 계통에 주요 송전선 등 전력설비의 고장을 상정하고 예상 고장발생시 계통에 미치는 영향을 평가하는 '상정고장해석'기능, 상정계통에서 발생

2.2.1 정적안전도 감시

상태추정(SE)은 추정 해를 기반으로 전압위반이나 과부하 등과 같이 현재 운전점에서의 전력계통 안전도 위반여부를 감시한다. 상태추정 결과의 정확도는 이후 계통해석 기능의 정확도는 물론 안전도 평가결과에 중요한 영향을 미치게 된다. 상태추정의 정확도 개선을 위해서는 계통모델과 취득데이터의 오류를 줄여야 한다. 먼저 취득데이터의 정확성을 보완하기 위해 PMU 위상각 취득데이터를 상태추정에 이용할 수 있도록 하였다. 또한 모델링의 정확성을 위해 토폴로지 오류를 찾을 수 있는 기능과 송전선로 임피던스 등 모델 파라미터를 검증하고 갱신할 수 있는 기능이 포함된다. 상정고장해석(CA)은 상태추정 결과를 기초로 전력설비 탈락을 고려한 상정계통에서의 안전도 위반여부를 감시하게 된다. 상정고장으로서는 단일 설비의 탈락(N-1)은 물론 조건부 연속다발성 탈락(N-1-1)을 반영할 수 있다. 고장전류해석(SCA)은 계통의 현재 운전점에서 단락사고를 가정하였을 때 발생하는 고장전류의 위상성 여부를 평

가하는 것으로 차단설비의 정격을 초과할 경우 필요한 메시지를 제공하게 된다.

요약하자면 정적안전도 감시기능은 계통의 현재 운전점에서의 안전성을 평가하며 사고로 전력설비가 정지되었을 경우(N-1)에도 안전성유해여부가 없는지 확인하는 것이다. 위반이 있을 경우에는 적절한 정보메시지를 정확하게 보여주는 것이다. 이외에도 무효전력 예비력 감시 정보를 지역별로 제공함으로써 급전원의 의사결정에 도움을 줄 수 있게 하였다.

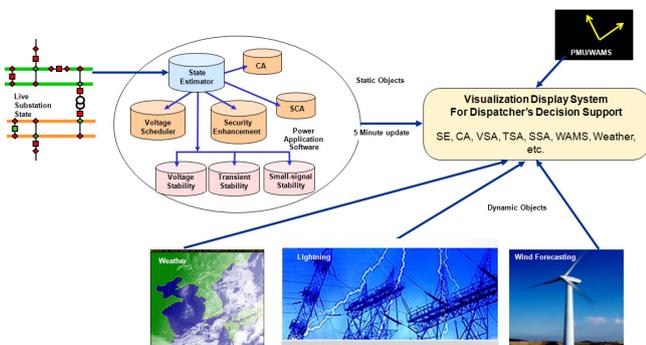


〈그림 2〉 차기 EMS 안전도 감시

2.2.2 동적안전도 감시

정적안전도가 상태추정 및 상정고장해석을 통해 계통의 정적인 상태(도폴로지 모델 및 계통 초기조건)를 기반으로 안전도를 평가하고 감시하는 것이라면, 동적안전도란 정적인 상태를 기반으로 전력설비의 동적 특성을 반영하여 정상상태 혹은 외란전후의 과도상태 동안 계통의 안정성을 평가하고 감시하는 것이다. 따라서 동적안전도 감시 기능은 상태추정 이후 실시간 계통의 스냅-샷을 이용하여 미소신호안정성 평가와 외란을 상정한 계통의 과도안정성 및 전압안정성 평가를 수행한다.

과도안정성 평가기능은 발전기 인출선로 탈락사고 등 상정고장을 가정하여 외란이후의 과도시간동안 계통의 정상상태 복귀능력을 판단하게 된다. 온라인 감시를 위해 상정고장의 안정성여부를 고속으로 선별하는 기능이 포함된다. 또한 정확한 판단을 위해 필수적인 동적기, 보호계전기 및 고장과급방지장치 모델링 기능이 제공된다. 전압안정성 평가기능은 정상상태 부하증가 혹은 외란전후 계통의 전압유지 능력을 판단하게 된다. 실계통의 안정성 평가와 다수의 상정고장에 대해 전압안정성 평가를 수행한다. 과도안정도 기능과 마찬가지로 고속 온라인 감시를 위해 상정고장 선별기능이 포함되며, 정확한 평가를 위해 관련 동특성데이터 모델링이 가능하다. PV 및 QV 커브 분석을 통해 안정도를 고려한 유효전력 운전여유정도를 알 수 있으며 주파수영역 모드해석으로 전압불안정 위치와 모션 잡어정보를 얻을 수 있다. 마지막으로 미소신호안정성 평가기능은 주어진 계통의 고유치 해석을 통해 전력계통의 지역간 저주파 진동 검토, 지역간 혹은 발전기간 저주파 진동을 평가하여 관련 정보를 제시하게 된다. 요약하자면 동적안전도 감시기능은 계통의 안정성 선행모의를 통해 조기경보를 급전원에게 제공하는 것이다.



〈그림 3〉 차기 EMS 계통운영정보 시각화

2.2.3 광역지리정보기반 시각화

기존에는 온라인 단선도 기반의 UI 및 맵-보드를 통해 계통감시정보를 보여주고 있다. 차기 계통운영시스템에서는 추가적으로 광역지리정보시스템(GIS)을 활용한 시각화 정보를 제공할 예정이다. GIS기반의 시각화시스템을 활용할 경우 위치정보를 가진 데이터를 쉽게 연계할 수 있는 장점이 있으며, 사고발생 위치나 계통의 혼잡 및 안전도 측면에

서 잠재적으로 문제발생소지가 있는 지역을 시각적으로 잘 표현할 수 있다. 앞서 살펴본 정적안전도 감시 및 동적안전도 감시 정보는 물론 외부시스템과의 데이터 연계를 통해 기상정보나 PMU기반의 광역감시정보의 표출 또한 가능해진다. 시각화지원 시스템은 급전원에게 친숙한 감시환경을 제공하고 급전소별 감시 목적에 적합한 감시화면의 재구성이 용이하도록 유연성을 가진다. 급전소의 운영데이터 시각화는 대규모계통운영자모임(VLPGO)에서도 연구주제로 선정할 만큼 널리 적용되고 있다. 현재는 각각별로 운영실정에 맞게 시각화정보를 구성하고 있으나 조만간 시각화정보의 표준이 마련될 것으로 사료된다.

2.3 안전도 개선 기능

앞 절에서는 정적 및 동적안전도 평가를 통한 전력계통 안전도 감시 기능을 소개하였다. 본 절에서는 안전도 감시 결과를 기반으로 안전도 위반사항을 해소하고 개선할 수 있는 기능에 대해 언급하고자 한다. 안전도 개선기능의 주요 목적은 안전도 위반을 예방하고 해소하기 위해 가장 효과적인 제어개선 대책을 제공하는 것이다. 이를 위하여 전압위반 및 과부하 해소를 위한 제어권고안에서부터 과도안정성, 전압안정성 그리고 미소신호안정성 보장을 위한 제어방안에 이르기까지 실질적인 정보를 급전원에게 제공하게 된다.

먼저 안전제약 경제급전 기능을 통해 현재 운영상태 및 상정계통에서 발생할 수 있는 지정 선로(용통선로) 과부하 제약해소를 위해 발전출력 재조정안 및 발전출력한계를 제공하고 필요시 실시간 자동발전제어 기능을 통해 대상 발전기들의 출력제어에 반영할 수 있도록 하였다. 전압 계획 기능은 현재 운영상태에서의 전압위반 제약해소를 위해 최적의 전압제어계획 방안을 제시한다. 안전도개선 기능은 상정계통에 대하여 전압도 위반 해소 가능여부를 따져 해 도출이 불가능할 경우에는 예방제어 전략을 제공한다.

동적안전도 평가를 통해 안정성에 문제가 있다고 판단될 경우에도 필요한 개선 조치사항을 제시하게 된다. 전력계통 안전도의 지속적인 감시를 통해 안전도 취약개소 및 문제점을 파악하고 문제해결을 위한 구체적인 개선전략을 수립할 수 있게 한다. 과도안정성에 문제가 있을 경우에는 주요선로 고장 시 발전기출력 조절 및 발전기차단 대수 등 고장과 급방지장치(SPS)를 조정하거나 보호계전기의 설정 및 튜닝을 가능하게 한다. 전압안정성에 위해가 예상될 경우에는 무효전력예비력 감시를 통해 가용한 자원을 통한 전압안정성 확보 및 전력용통한계를 재조정하는 방안을 수립할 수 있도록 하였다. 미소신호안정성 평가를 통해 지역간 혹은 발전기간 저주파 진동이 검출될 경우에 진동감쇄를 위해 안정화 제어장치의 파라미터 조정 및 튜닝, 전력용통한계 및 선로구성변경을 검토할 수 있다. 이러한 개선방안의 적용에도 불구하고 동적안전도 감시를 통해 지속적으로 발생하는 안전도 취약개소에 대해서는 신규제어설비의 도입을 중장기적으로 검토할 수 있는 기초 정보를 제공하게 된다.

3. 결 론

본 논문을 통해 전력거래소 차기 계통운영시스템의 전력계통 안전도 감시 및 개선 기능의 기본 구축방향에 대해 언급하였다. 다양한 계통해석 응용프로그램을 통해 전력계통의 정적 및 동적 안전성을 실시간으로 감시함으로써 안전도 문제를 검출하고 적절한 예방조치를 수립할 수 있도록 하였다. EMS 운영경험을 살려 상태추정 정확성을 개선하고 성능을 감시할 수 있는 기능을 보강함으로써 상태추정을 기반으로 수행되는 안전도 평가의 신뢰성을 개선하고자 하였다. 기존 EMS에서 추가되는 대표적인 기능으로 무효전력 예비력 감시와 온라인 동적안전도 평가 기능이 있다. 이는 급전원의 신속한 의사결정에 도움을 주기 위한 것으로 안전도 감시에 따른 위반상황 발생 시 필요한 조치를 신속하게 취하고 현재 시점에서 계통의 안전도 여유 평가를 통해 예방제어전략을 수립할 수 있게 하는 것이다. 전 세계적으로 많이 적용되고 있는 계통운영정보 시각화지원 시스템을 구축함으로써 우리나라 계통실정에 맞는 감시보드를 구성하여 입체적이면서도 통합적인 진단을 가능하게 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국 전력거래소, "차기 계통운영시스템(EMS) 기술규격서", 2011
- [2] Yaozhong Xin, "The Requirements of Smart Grid Operation and Associated IEC Standards" VLPGO Annual Meeting, 2011
- [3] Pei Zhang, Fangxing Li, Bhatt, N. "Next-Generation Monitoring, Analysis, and Control for the Future Smart Control Center" IEEE Transactions on Smart Grid, Vol1, pp 186-192, Sept. 2010
- [4] Jorge Jardim, Carlos Neto, "Brazilian System Operator Online Security Assessment System" IEEE PES 2006