

## EMS연동 실시간 동적안정도 평가기능 설계

서은성\*, 허성일\*, 이진수\*, 이근웅\*  
한국전력거래소\*

### Design of Real-Time Dynamic Stability Assessment interface With EMS

EunSung Seo, Sungil Hur, JinSu Lee, GunWoong Lee  
Korea Power Exchange

**Abstract** - 2003년 미 북동부의 대정전 이후 온라인 동적안정도 평가 기능은 계통의 실시간 상태와 상정사고시 상태를 이해하는데 많은 기관에서 채택하고 있다. 우리나라도 현재 한계수명이 다한 EMS를 대체할 차세대EMS 시스템의 도입시 계통 해석과 감시에 많은 장점을 갖고 있는 온라인 동적안정도 평가 기능을 검토하여 계통해석의 빠르고 정확한 환경을 조성하려고 하고 있으며 온라인 동적안정도 평가 기능이 활용된다면 현재 계통운영상태에 대한 안정성 평가에 많은 향상이 이루어지리라 본다.

#### 1. 서 론

급격한 부하변동이나 계통에 심각한 영향을 미치는 예측하기 어려운 사고발생의 위험성이 커지고 있으며 대규모 정전을 유발할 수 있는 국내의 계통사고 사례가 빈번히 발생하고 있다. 동적안정도 평가기능(Dynamic Stability Assessment, DSA)은 2003년 미북동부 광역정전을 계기로 실시간 실용화 연구가 가속되어 왔다. 안정도 문제는 계통에서 빈번히 발생하지는 않지만 일어나게 된다면 그 영향은 미북동부 광역정전과 같이 상당히 광범위하게 나타나게 된다. 이러한 안정도 문제를 해소하기 위해 해외의 주요 전력계통에서는 자체 계통에 알맞은 계통 불안정 현상에 대비하여 대책을 수립하여 적용중에 있으나 국내에서는 주로 오프라인상의 계통 불안정 현상의 검증과 안정도 한계값 해석 등을 연구해오고 있다. 현재의 대규모 전력시장 환경에서는 계통 안정도 감시 문제에 대해 독립계통운영자(ISO)의 책무로 보고 있다. 실시간 동적안정도 감시 기능은 시장환경의 요구사항인 보다 경제적인 급전을 위해 과거보다 더욱 많은 필요성이 대두되고 있는 상황이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 온라인 DSA 개요

DSA기능은 계통의 정적인 상태를 기반으로 전력설비의 동적특성을 반영하여 정상상태 혹은 외란전후의 과도상태 동안 계통의 안정성을 평가하고 감시한다. 따라서 실시간 동적안정도 감시 기능은 EMS의 상태 추정 이후 실시간 계통의 스냅샷을 이용하여 미소신호안정성 평가와 외란을 상정한 계통의 과도안정성 및 전압안정성 평가를 수행하게 된다. 지금까지의 안정도 평가는 오프라인 기능을 주로 사용하여 계통의 실시간 운영보다는 계통의 검토 및 전압저하/상승 평가, 무효전력계획, 안전한계 결정, 과도안정도, 전압안정도, 미소신호안정도 평가, 계통안정화장치(UPS)의 설계 및 제어장치 조정 등에 이용되어 왔으나, 온라인 DSA기능은 EMS SE와 연계하여 계통의 실시간 전압, 과도, 미소신호안정도 등을 해석하게 된다.

##### 2.2 온라인 DSA 요구사항

온라인 기능과 오프라인 기능과의 가장 큰 차이점은 성능에 따른 요구사항의 차이이다. 온라인 DSA기능의 성능 요구사항은 1)계통 모델 크기와 세부 모델링, 2) 연산 속도, 3) 하드웨어적인 연산력과 관계가 있다. 첫 번째로 온라인 DSA에서 계통모델의 크기와 세부 모델링에 대한 요구사항은 올바른 결과를 얻기 위한 매우 중요한 조건이며 이러한 모델링은 현재 가장 중요한 과제로 남아 있다. 두 번째로 온라인 DSA기능에서 연산속도는 오랜 기간동안 해결해야 할 과제이다. 하지만 이것을 만족시키기 위해 DSA기능의 다른 요구사항과 균형을 맞추기 위한 것도 매우 중요하다. 보통 10분~30분 주기로 해석을 완료하는 것을 보편적으로 고려하고 있으며, 이러한 계산주기에 맞는 연산속도는 DSA기능의 다른 요구사항과 균형있게 배분되도록 해야 할 것이다. 마지막으로 온라인 모델을 적용했을 때 얼마나 많은 하드웨어로 구성해야 하는 문제이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 DSA 기능에서 해석하고자 하는 목적을 정의한 이후 하드웨어적인 구성을 고려하게 될 것이다. 예를 들어 얼마나 많은 상정고장을 고려할 것인지, 얼마나 많은 급전 스케줄을 적용할 것인지, 얼마나 많은 SPS 설정을 적용할 것인지에 따라 그 수량과 목적이 정해진 이후 그 현상을 주기별로 실행하기 위해 가장 적절한 하드웨어 구성을 하게 된다.

##### 2.2.1 모델링 및 데이터

상세한 안정도 해석과 그 결과를 신뢰하기 위해서는 수준 높은 계통 모델링과 데이터가 필요로 하게 된다. EMS의 상태추정기능을 통해 제공되는 조류계산 결과는 전압안정도 해석의 경우에서 필요로 하는 배전 계통의 모델링과 같이 DSA에서 요구하는 세부적인 네트워크 모델링을 만족시키지 못할 경우가 있다. 또한 외부연계 시스템과 같이 상태추정을 통해서만 가관측성을 얻지 못하는 실시간 계통 모델이 적용되는 경우가 있다. 온라인 DSA에서는 이러한 모든 것을 적용할 수 있는 실시간 계통 모델이 필요하게 되며 이러한 모델은 오프라인의 등가 모델로 적용하여 상태 추정 기능에 포함시켜서 해결할 수 있다. 동적모델 또한 온라인 DSA에서 빠질수 없는 중요 모델링이다. 동적기기로는 발전기와 관련된 제어기들, 부하, HVDC, SVC, SPS 및 해석에 영향을 미칠 수 있는 동적특성을 가진 기기들 전부를 대상으로 한다. 이러한 모델들은 현재 계통에서 실제 기기의 특성을 적절히 반영되도록 관리가 필요하며 상태추정을 통해 제공되는 네트워크 조류계산에서 지원될 수 있는 모델링으로 구현되어야 한다.

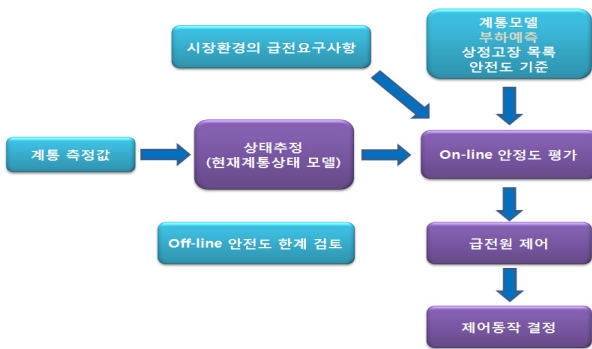
##### 2.2.2 H/W 및 S/W

온라인 DSA의 하드웨어와 소프트웨어 구조를 결정하기 위해 다음과 같은 사항들을 고려하게 된다.

1) 신뢰성 - DSA기능의 신뢰성은 소프트웨어 코딩과 하드웨어 기기의 신뢰성을 통해 고려된다. 온라인 DSA기능의 신뢰도를 높이기 위한 방법 중의 하나가 이중화(redundancy)이다. 이중화를 적용하기 위해서는 필요시 자동으로 절체할 수 있는 소프트웨어의 향상된 기능이 필요로 하게 된다.

2) 확장성 - 전력계통은 설비가 추가되어 경우가 발생하고 이에 따라 계통이 빈번히 확장되는 경우가 발생하게 된다. 이에 따라 확장된 계통에 맞춰 온라인 DSA기능 역시 사용자의 요구사항에 만족시키기 위해 해석능력이 증가되어야 할 것이다. 이러한 연산 능력을 만족시키기 위해 DSA 기능은 소프트웨어와 하드웨어의 구조를 변경시키지 않는 확장성이 필요로 한다. 이를 위한 실용적인 접근방법중의 하나는 다중의 연산 서버 구조를 갖는 것이다. 이러한 방법은 간단하게 연산서버를 추가해서 DSA기능의 연산능력을 증가시킬 수 있는 이점이 있다.

3) 보안성 - 온라인 DSA의 데이터 교환 정의, 연산주기, 연산출력 및 파라미터와 같이 기능 자체를 수정할 수 있는 인가자는 시스템관리자로 제한해야 하며 이밖에 DSA기능의 결과에 대해서도 시스템 관리자를 통해서만 접근이 가능해야 할 것이다.



〈그림 1〉 on-line 동적안정도 평가

4) 이중화 - 이중화는 온라인 DSA시스템의 신뢰성을 향상시키는 가장 주요한 방법중의 하나이다. 또한 사용자의 요구에 의해 실행주기의 증가 등 DSA기능에 과부하가 걸렸을 경우 이를 해소할 수 있는 역할도 하게 된다.

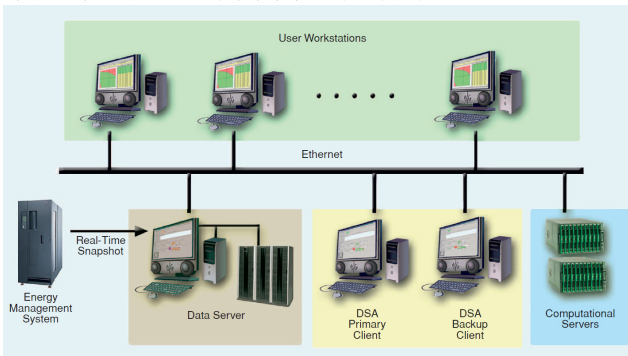
5) 접근성 - 온라인 DSA의 결과는 중앙급전소의 급전원들이 확인할 수 있도록 최우선으로 순위를 주게 된다. 이밖에 계통 검토나 운영계획 등에 이용하게 되는 인가된 인원들이 DSA 결과를 볼 수 있도록 원거리 접속이 가능한 secure web, LAN 등과 같은 통신을 사용할 수 있도록 해야 할 것이다.

### 2.3 차기EMS 온라인 DSA

차기EMS의 온라인 DSA기능은 과도안정도 평가(TSA), 전압안정도 평가(VSA), 미소신호안정도 평가(SSA)로 구성되며 스텐디 기능을 지원하게 된다.

#### 2.3.1 하드웨어 구성

온라인 DSA기능의 모의 가능한 계통 규모는 현재의 계통모델링 이후 추후 10년간 계통의 확장을 고려하여 지정하였다. VSA기능 3분, TSA기능 5분, SSA 기능 3분으로 지정된 연산종료 시간을 만족하기 위하여 연산부하가 많은 TSA 기능과 VSA/SSA기능으로 연산서버를 분할해서 구성하였다. 또한 온라인 DSA기능을 관리하기 위한 관리서버 및 데이터의 관리를 위한 공용데이터서버를 적용하였다.



〈그림 2〉 온라인 DSA 구조

#### 2.3.2 모델링, 데이터

온라인 DSA기능은 TSA나 SSA 검토를 위해 필요한 상정고장 및 동적기기의 추가, 삭제 및 수정 편집을 위한 모델링 기능을 지원하고 EMS와 연계하여 데이터를 입출력하는 기능을 갖게 된다. 또한 오프라인에서 많이 이용되는 PSS/E 형식의 데이터와 상정고장 목록 데이터 추출을 통해 나오는 모션기반의 상정고장 목록 데이터를 입력으로 처리할 수 있게 된다. 또한 EMS와 연계하여 조류계산데이터, 설비명태이블, 노드-모션간 맵핑정보, 상정고장목록, 발전기 및 선로의 특성정보 등을 사용할 수 있어야 한다. 이 밖에 온라인 DSA기능에서 필요로 하는 데이터를 모델링할 수 있어야 하며, DSA기능에 의해 공통으로 사용될 수 있도록 다음과 같은 데이터를 통합 관리 하게 된다.

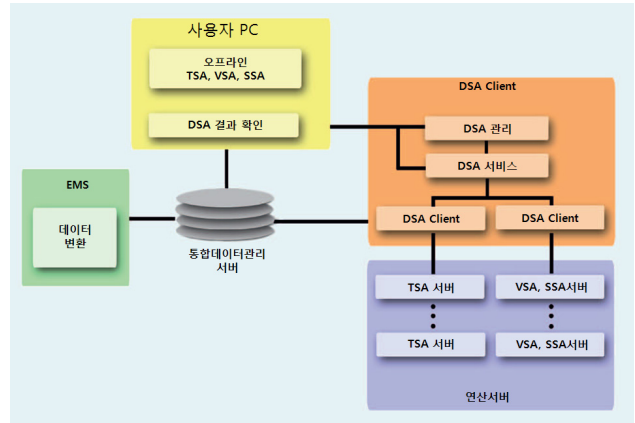
- 1) 동적특성 데이터
  - i) 발전기, 조속기, 여자기 및 계통 안정화 장치
  - ii) FACTS 설비 및 HVDC 시스템
  - iii) 신재생에너지 설비
- 2) 융통전력 데이터
- 3) 탭절환 변압기 제어설정 데이터
- 4) 시나리오 정의
  - i) 고주파 및 저주파에 따른 발전기 보호
  - ii) 주파수 저하에 따른 부하차단
  - iii) 계통주파수 변동에 따른 계통현상 분석
- 5) SPS 모델링
  - i) 동작조건(과부하, 저부하, 발전기 상태 등) 인식
  - ii) 동작후 조치(부하차단, 선로 트립 등)
- 6) 부하변환 데이터
- 7) 주파수 모드 해석용 데이터
- 8) 예방조치 데이터

온라인 DSA의 결과는 급전원이 확인 가능하도록 전체 계통도에 색상 및 입체적인 표현 등 다양한 시각화 기법을 적용하여 정보를 표시하게 된다.

#### 2.3.3 전압안정도평가(VSA)

온라인 전압안정도평가기능은 전압붕괴의 발생 잠재성을 고려한 전체 계통의 전압안정도를 결정하기 위해 상태추정 결과를 이용하여 온라인 전압안정도 평가를 하게 된다. 이를 토대로 실제 계통의 안정도 평가와 다수의 상정고장에 대해 안정도 평가를 수행하게 된다. 안정도 평가에서는

보편적으로 이용되는 PV, QV커브를 이용한 안정도 여유 평가를 적용하며 상정고장 고속 선별기능, 안정도 평가후 불안정 사항을 해소하기 위한 효과적인 예방 및 사후 조치 권고, 부하모델 및 자동발전제어 적용, 주파수 영역 모의를 통한 자코비안 행렬의 고유치 해석을 통해 전압 불안정 위치 및 모션 참여정보를 제공하게 된다.



〈그림 3〉 온라인 DSA 소프트웨어 구조

#### 2.3.4 과도안정도평가(TSA)

과도안정도 평가 기능은 전력계통에서 발생하는 외란 이후의 과도시간동안 발전기 위상각, 출력, 주파수의 변화를 모의하여 동요억제 등 계통의 정상상태 복귀능력을 평가하게 된다. 또한 3상 평형고장 이외에 불평형 고장을 모의하며 안정도 취약개소를 해소하기 위한 사전예방 및 사후조치 방안을 제공하게 된다. 또한 상정고장이 안정/불안정하다고 판별될 경우 해당 상정고장에 대한 모의를 중단 할 수 있으며 위상각과 과도 동요 기간중 전압문제를 감지하는 할 수 있게 된다. 또한 다양한 조건(주기, 사용자요청, 트리거 등)에서 온라인DSA기능이 실행될 수 있도록 구성된다. 또한 상정고장 고속선별, 계통설비보호용 계전기 모델, 고장파급방지방치 모델을 적용하며 다양한 모의 시나리오를 구성하여 발전기 트립, 선로 개방 및 투입, 모션고장 및 제거 등을 적용하게 된다.

#### 2.3.5 미소신호안정도평가(SSA)

미소신호안정도평가 기능은 고유치 기반의 미소신호 안정도 해석기능으로 대규모 전력계통의 지역간 저주파 진동검토, 지역간 혹은 발전기간 저주파 진동을 해석하며, 진동모드에 대한 계통 파라미터 민감도를 조사하고 진동감쇄 요건을 맞추기 위한 상정고장 선별 및 융통전력 한계량을 결정한다. 미소신호안정도평가는 계통 방정식의 선형화 기반 고유치 해석과 사용자 정의 모델을 포함한 폭넓은 모델 라이브러리를 지원하며 고유치 해석을 위해 계통의 일부를 축약하는 기능을 적용하게 된다.

### 3. 결 론

본 논문을 통해 전력거래소의 차기EMS 도입시 적용할 동적안정도 평가기능에 대해서 언급하였다. 온라인 동적안정도 평가기능은 현재 많은 기관에서 연구중이고 보다 신뢰성있는 해석결과를 얻기 위해 각 계통에 알맞은 시스템을 만들기 위해 노력하고 있다. 우리나라에서도 차기EMS에 온라인 DSA시스템의 적용은 전력계통의 실시간 안전도와 신뢰도를 향상시킬 것으로 기대되고 있다. 온라인 동적안정도 평가기능을 적용은 오프라인을 통한 계통의 검토의 업무량을 경감시켜줄 수 있으며 무엇보다 전력계통에서 광역정전의 위험성을 예방하기 위한 잠재적인 안전도 문제를 해소시키는데 큰 영향을 미치리라 예상된다. 향후 동적안정도 평가기능을 효과적으로 운용하기 위해서 각 고장별 시나리오 모형, 부하모델링 등 연구가 필요하리라 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력거래소, "차기 계통운영시스템(EMS) 기술규격서", 2011
- [2] Kundur P. Power System Stability and Control, EPRI power system engineering series, New York, McGraw-Hill, 1994
- [3] Lei Wang, Kip Morison, "Implementation of online security Assessment", IEEE power & magazine september/october 2006
- [4] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and classification of power system stability," IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 2, pp. 1387 - 1401, August 2004.