

광역 전력계통 감시를 위한 상위 Master System 설계

*김상태 이정현 김지영 이동철
한전KDN(주)
이병준 한상욱
고려대학교

문영환 김태현 윤재영 김동준
한국전기연구원
남해곤 심관식
전남대학교

이승재 진보건
명지대학교

Design and Development of Master System for Monitoring Wide Area Power System

*S.T. Kim J.H. Lee J.Y. Kim D.C. Lee Y.H. Moon T.H. Kim J.Y. Yoon D.J. Kim
KDN KERI
B.J. Lee S.W. Han H.K. Nam K.S. Sim S.J. Lee B.K. Jin
Korea Univ. Chonnam Univ. Myongji Univ.

Abstract - In this paper, the master system of Wide Area Monitoring System in order to prevent reaching a fault influence toward power system is proposed. This system has three real time algorithms and a on-line one using i-piu transfer data and provides operators with various understandable monitoring viewers in HMI based on raw data and algorithm results.

Keyword :

WAMS, Information Visualization, Voltage Stability, Small Signal Stability, Adaptive Distance Relay, dynamic modeling

1. 서 론

최근에 광역 전력계통의 감시 및 제어, 보호에 대한 관심이 높아졌고, 이에 따라 여러 유수 업체에서는 GPS 기반의 Phasor 측정 장치를 개발 중에 있으며 여러 나라에서 광역 정전에 대비하고자 실시간 DSA(Dynamic Security Assessment) 분야에 대한 연구가 진행되고 있다. 대규모 정전 사태는 전기 분야에 국한하지 않고 사회 전반에 큰 충격을 준 재난 사고로 인식되고 있으며, 직접 정전을 경험한 당사자들은 자연재해와 마찬가지로 고통과 피해를 입었다. 다른 나라에서 발생하는 대규모 정전사태는 대다수 국민들에게 뉴스거리일 뿐 큰 관심을 끌지 못하였지만, 태풍 매미를 필두로 제주 지역 정전사고를 비롯하여 갑작스런 호우로 인한 산사태와 홍수로 정전 및 통신 유실과 같은 사태로 더 이상 대규모 정전이 다른 나라의 일이 아님을 알게 되었다. 또한 경제 성장과 더불어 전기 사용량이 증대하고 있으며 산업 및 경제활동과 일상생활에서 차지하는 전기의 비중이 점차 커져가고 있으므로 대규모 정전 예방을 위해 고장에 강인하며 파급효과를 최소화할 수 있는 국가 광역 전력계통 보호 및 감시시스템 개발은 필수적이라 하겠다.

본 논문에서는 "Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 개발" 연구과제에서 Master System에 대한 설계 및 개발에 대한 내용을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템

본 논문에서 제시한 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1을 크게 두 가지로 나누면, 하위 데이터 취득부와 상위 데이터 처리부이다. 하위 데이터 처리부는

PMU(Phasor Measurement Unit)와 같은 i-piu(Intelligent Power system Information Unit)을 이용하여 설치 지점의 정보를 상위 시스템으로 전송한다. 이때 취득 되는 정보는 전압, 전류 정상분 페이져 데이터와 해당 지역의 실시간 전압 안정도 지수, 기타 CB 정보와 같은 digital 정보이며, 전송되는 모든 데이터는 GPS 기반의 시각 동기화된 데이터이다. 각 지역의 i-piu에서 전송되는 데이터는 상위시스템의 FEP(Front End Process)을 통해 통합되며, 이 정보들은 실시간 데이터 처리부인 i-pic(Intelligent Power Information Concentrator)의 실시간 DB에 시간 순서로 저장된다. i-pis(Intelligent Power Information System)에서는 i-pic에 저장되어 있는 시각 동기화된 광역 전력계통의 정보를 이용하여 실시간 광역 전력계통 감시에 필요한 알고리즘을 수행하고, 알고리즘 결과 및 각 지역에서 전송된 실시간 데이터를 HMI 화면에 표현해주는 역할을 담당한다. 또한 광역 감시 및 보호에 필요한 EMS 혹은 SCADA 데이터를 연계할 수 있도록 설계 되었으며, 알고리즘 결과값과 EMS, SCADA 데이터는 관계형 DB에 저장한다.

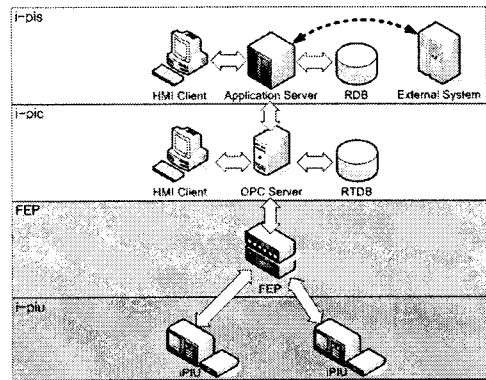


그림 1 시스템 구성도

2.2 Master System

i-pis는 i-pic에 저장된 광역 전력계통 데이터와 계통의 안전도(security)를 평가하는 알고리즘을 이용해 광역 전력계통감시를 수행하는 시스템이다. 광역 전력계통을 실시간으로 감시하기 위해 i-pis에는 실시간 광역계통의 전압안정성 알고리즘, 전력계통의 진동 모드를 추출하는

미소신호 안정도 알고리즘, 중부하시 거리계전기 오/부 동작을 방지하는 적응형 거리계전기 Zone-3 알고리즘과 실시간 정보를 이용하여 전력계통에 외란발생시 전력계통을 모델링 할 수 있는 동적 모델링 알고리즘이 탑재된다. 또한 i-pis는 그림 5와 같이 탑재된 알고리즘들이 효과적으로 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다. i-pic를 통해 광역 전력계통의 실시간 정보를 받아 각 알고리즘에서 요구하는 정보를 각 알고리즘에 전달해 주며, 각 알고리즘에서 발생하는 결과값을 실시간 DB에 저장한다. 또한 알고리즘 혹은 EMS/SCADA와 같은 타 시스템으로부터 제공 받은 데이터와 기타 시스템에 필요한 데이터를 관계형DB에 저장 한다. 실시간 DB와 관계형 DB에 저장 되어 있는 정보를 이용하여 사용자가 쉽게 볼 수 있는 광역 전력계통용 HMI를 설계하였고, 현재 개발 진행 중이다.

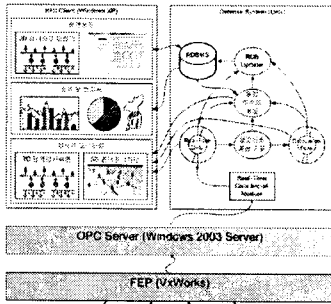


그림 2 Master System 구조

2.3 Master System 광역전력계통 해석 알고리즘

2.2에서 언급한 Master System에는 실시간 처리를 위한 알고리즘으로 전압안정도/미소신호안정도/적응형 거리계전기가 탑재되고 또한 on-line 모델링 알고리즘으로 전력계통 동적 모델링 알고리즘이 탑재 된다.

2.3.1 실시간 전력계통 해석 알고리즘

(1) 실시간 광역 전압 안정도 알고리즘

본 알고리즘의 기본 개념은 최대전력전달법칙에 두고 있고 그림 3과 같이 서로 다른 2곳 이상의 계통 정보를 통해 등가 계통을 구성하여 테브낭 임피던스를 구하여 광역의 전압안정성을 판단하는 알고리즘이다.

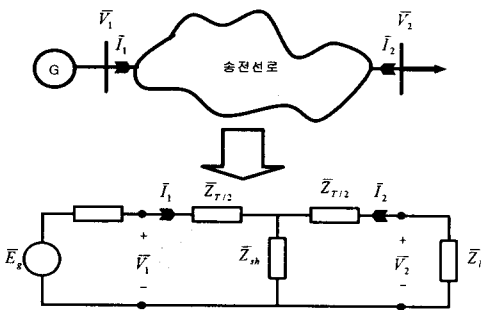


그림 3. 감시모션 양단에서 측정된 정보를 이용한 T-등가회로의 구성

현재 SCADA 혹은 EMS 정보의 활용에 제약이 있어 지역의 전압, 전류 정보만을 이용하여 전압 안정성을 감시하는 알고리즘을 개발하였다. 향후 SCADA 혹은 EMS 정보가 주어진다면, 실시간 P-V, F-V Curve와 무효전력 여유분 도출도 가능 해진다. 이와 같이 EMS

정보를 제공받아 실시간 P-V, F-V Curve, 무효전력 여유분이 다시 EMS 운영자에게 제공 된다면 계통을 운영하는 입장에서 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

(2) 미소신호 안정도 알고리즘

전력계통에서 발생하는 진동은 발전기 고유진동에 의한 작용한 후, 계통의 제어능력에 의하여 진동이 감쇠되어 정상상태로 운전되거나 그렇지 않고 계통능력을 상실하여 동기탈조로 이어지는 일련의 시퀀스를 가지고 있다. 전력계통에서 발생하는 불안정한 진동의 시간응답이 수 분 동안 지속되면 발전기가 동기탈조됨을 알 수 있다. 이와 같은 진동은 온라인 및 실시간으로 예측이 가능하고, 진동을 제동하기 위한 적절한 대책을 수립할 수 있다. 본 시스템에 탑재되는 미소신호 안정도 알고리즘은 이러한 전력계통의 진동을 초기에 검출하여 발전기 동기탈조 및 진동에 의한 광역정전을 막고자 한다. 전력계통의 실시간 시계열 데이터에서 파라미터를 추정하는 방법들 중에는 이산 푸리에 변환과 함께 Prony 해석법이 가장 널리 적용되고 있다 지금까지 전력계통에 적용된 Prony 법은 확장 Prony 법으로 임의의 신호를 복소 모드의 선형결합으로 적합(fitting)해서 파라미터를 추정하는 방법이다. 미소신호 안정도 알고리즘 수행 결과로는 실시간 특정 지역과 전체 계통의 진동 모드를 파악할 수 있고 이에 대한 초기 경고 및 계통 붕괴 위험을 미리 알려줄 수 있고, 전력계통의 동조 정도를 파악할 수 있다. 그림 4는 특정 지역 신호에 대한 Damping과 경고 신호를 보여주고 있다.

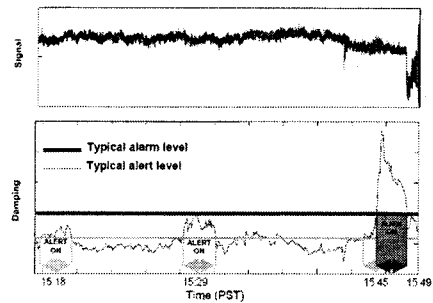


그림 4 미소신호 안정도 결과에서

(3) 적응형 거리계전기 Zone-3 알고리즘

NERC(North America Reliability Council)의 정전기록 분석결과에 따르면 800[MW] 이상의 대형 정전사고는 일반적으로 기대되는 분포치보다 매우 높은 빈도로 발생되고 있는 것으로 나타나고 있으며 이중 보호계전기에 의한 영향이 75%로 가장 높게 밝혀졌다. 본 알고리즘은 보호계전기에 의한 광역정전을 방지하기 위하여 민간도계수(SF:Sensitivity Factor)를 이용한 실시간 조류계산 방법으로 계통 상태를 신속하게 평가하고 보호계전기의 각 요소별 위험도를 해석하여 수치화함으로써 계통을 보호계전기의 오동작에 의한 광역정전을 방지 할 수 있다. 또한 보호계전요소 에 잠재고장 존재 시 그 영향을 수치화하여 위험도를 산출함으로써 계전기의 오부동작 시 영향이 큰 계전기 및 계전요소를 판단하여 고장 발생 이전에 보호계전기의 재조정을 통해 광역정전을 방지하거나 정상상태 시 보호계전기의 감시를 통하여 임피던스 계측을 확인함으로써 보다 빠른 대처에 도움을 줄 수 있다. 본 시스템에서 제안된 이 알고리즘은 향후 IEC61850 기반의 디지털 변전소가 실현되었을 경우 GOOSE 메시지를 이용하여 IED의 설정값 및 기타 필요한 데이터를 i-piu와 쉽게 주고 받을 수 있을 때를 가정하여 연구 중이며, 본 시스템과 함께 개발 중인 i-piu 역시 IEC61850을 지원할 수 있도록 제작 되었다. 그림 5는 현재 개발

된 거리계전기의 임피던스 궤적 감시 화면이다.

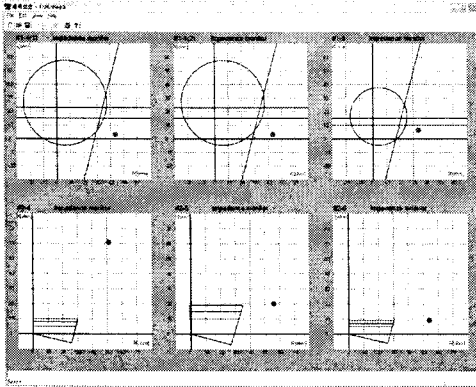


그림 5 임피던스 궤적 감시 시스템

2.3.2 On-Line 모델링 알고리즘

(1) On-Line 전력계통 동적 모델링

온라인 전력계통 모델링 알고리즘은 i - π 에 의해서 상 위 시스템에 기록된 전력계통 고장 및 사고의 페이지 데이터를 이용하여 부하, 모선과 전력설비의 모델에 대한 모델 정수를 특징된 결과와 동일하게 제한하기 위한 모델 정수로 온라인 상에서 결정하는 알고리즘을 구현한 것이다. 이를 위해 부하모델링과 전력설비 모델링 기법과 최적의 모델 정수를 도출할 수 있는 최적화 기법이 요구된다. 본 알고리즘은 고장 데이터를 이용하여 전력계통 동적 부하모델 정수 결정 기법, 고장 데이터를 이용한 발전설비 조속기 터빈 모델 정수 결정 기법 그리고 최적화 기법을 적용한 모델정수 결정 알고리즘으로 이루어졌다. 본 알고리즘의 결과는 전력계통 해석 사용 툴인 PSS/E에서 사용할 수 있는 형태로 출력되어, 전력계통의 고장 및 사고에 대한 보다 정확한 해석에 도움이 될 것이다.

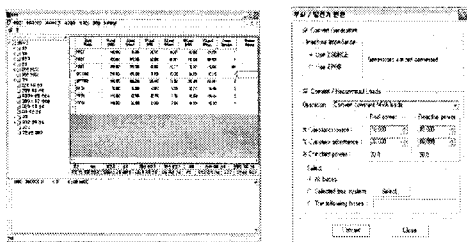


그림 6 온라인 전력계통 동적 모델링 프로그램 화면

2.4 Master System의 HMI

광역 전력계통 감시를 위한 알고리즘의 결과와 계통에서 전송되는 기본 데이터를 가독성있는 화면으로 개발하여 전력계통 운영자에게 제공한다. 본 시스템은 광역 전력계통을 대상으로 하여 기본적으로 지도형 3D화면과 단선도형 3D 화면을 제공한다. 그림 7은 지도형 3D 화면을 보여주고 있다. 본 화면은 우리나라 전체 계통의 상황을 볼 수 있고, 계통 사고에 대한 파급상황도 관찰할 수 있도록 개발 되었다.

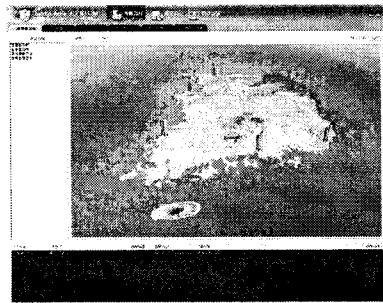


그림 7 지도형 3D 계통 감시 화면

각 지역의 추이 데이터를 관찰하기 위해 기본 데이터 및 알고리즘 데이터를 2D 그래프로 표현하였다. 또한 각 알고리즘의 결과값 및 참고값을 표현하기 위한 화면도 디자인 하였다. 그림 8은 중합 감시용 2D 그래프 이고, 그림 9는 실시간 전압 안정도 감시 화면이다.

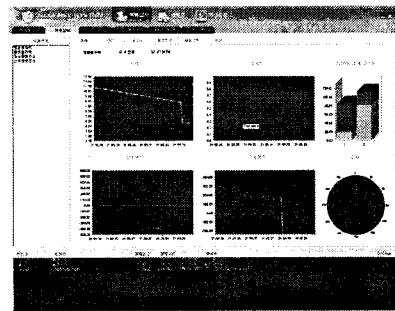


그림 8 계통 기본 데이터 감시화면

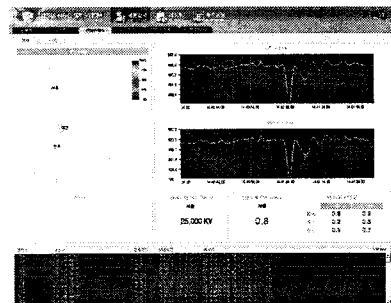


그림 9 실시간 전압 안정도 감시화면

3. 결 론

본 논문에서는 현재 개발 중인 광역 계통 감시 시스템에 대해 서술 하였다. 우리나라의 계통 특성을 고려하여 수도권 계통 감시와 전체 계통 감시를 목적으로 개발하였다. 향후 실계통 데이터를 이용하여 검증할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 산업기술평가원의 중기거점과제 연구비 지원에 의하여 수행되었음. (과제번호 10016681)

[참 고 문 헌]

- [1] "Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 개발" 2차년도 보고서, 2006.7