

Multi-Agent 기법 기반의 전력인프라 Defense System을 위한 Network 구축기술

□ 김상태, 최미화, 이정현, 지철민, 이여송 / 한전KDN(주) 계통제어팀

서론

산업 전반에 걸쳐 전기에너지에 대한 의존도가 높아지고 정보사회가 고도화됨에 따라 전력의 안정적인 공급과 질적 향상에 대한 요구가 급증하고 있다. 이러한 전기에너지를 공급하는 전력계통은 전 국토에 이르는 거대한 시스템으로 대부분의 설비가 옥외에 노출되어 있어 필연적으로 고장을 피할 수 없다. 또한 전력계통은 복잡하게 분포되어 있는 부하 및 설비요소들에 의하여 운용측면에서의 감시, 해석, 제어가 점점 어려워지고 있는 실정이다. 최근 10여 년 동안 전 세계적으로 전력계통에서 발생한 광역정전의 경험은 대규모 정전이 경제적·사회적으로 심각한 파급효과를 쉽게 알 수 있다. 종래의 계통 고장에 대한 피해를 최소화하기 위한 보호계전기의 연구가 진행 중이나, 최근의 광역정전의 막대한 손실로 인하여 기존의 개별적인 설비 보호 개념에서 전체계통의 운전성(Integrity) 및 신뢰성(Reliability)을 유지하는 계통 보호(SPS, System Protection Scheme)에 대한 개념으로 Paradigm Shift하고 있으며, 이러한 일환으로 몇 해 전부터 GPS를 이용한 phasor 측정 장치의 개발이 이루어졌고, 현재 몇몇 해외 업체에서 PMU(Phasor Measurement Unit)가 개발되어 실 계통에 적용하여 운전 중에 있다. 이와 더불어 중요한 사항은 PMU와 같은 하위 측정 장치에서

취득한 데이터를 신뢰성과 보안성을 유지하며 상위로 실시간 전송해주는 네트워크의 구축이며, 광역 감시, 제어, 보호를 위한 알고리즘 및 시스템 개발 시, 각각의 요구에 맞는 데이터를 보내주고, 그 결과를 화면에 보여주는 HMI 또한 중요한 기술이다. 한전KDN(주)에서는 중기거점과제로써 “Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 기술 개발” 과제 중 “전력 인프라 Defense System Prototype 및 Network 구축”에 대한 연구를 수행중이며, 개발 목표로는 광역 Defense System의 Framework을 설계, Agent 기반의 전력설비 운용 방안 설계, Agent 표준화에 따른 인터페이스 표준안 수립, Agent를 이용한 HMI Platform 개발 및 통합 Network 구축 기술 개발이다. 본 고에서는 위에서 언급한 목표에 대해 설명하기로 한다.

해의 동향

최근 10여 년 동안 전 세계적으로 전력계통에서 발생한 광역정전의 경험으로 몇몇 전력회사에서 현재 광역감시 시스템을 운용 중에 있으며, 광역보호 관련에 대한 연구가 계속 진행 중에 있다.

BPA(Bonneville Power Administration)에서는 수년 전부터 WAMS(Wide Area Monitoring System)을 운용 중이다. 이 시스템은 각 변전소에 PMU를 설치하고 중

양에 PDC를 설치하여 전압안정도 알고리즘을 이용한 광역감시를 하고 있다. 이때 사용되는 통신망은 신뢰도를 위해 환상망(Loop)을 사용하고 있으며, 56k 모뎀 통신과 T1급의 광통신을 병행하고 있고, 향후 전 네트워크를 광통신으로 구축할 예정으로 있다.

통신 프로토콜로서 TCP/UDP기반의 전송 프로토콜은 IEEE 1344 이후에 발표된 IEEE 37.118을 사용하며, 이는 시각동기화를 위한 프로토콜로서 광역감시 및 제어, 보호에 적합할 뿐만 아니라, 향후 기기 개발에 적용되어야 할 것으로 사료된다. 또한 TCP/UDP의 경우 단방향 프로토콜로서 향후 제어 및 보호 분야로 영역이 확대 될 경우 TCP/IP 기반으로 되어야 할 것이다.

PDC(Phasor Data Concentrator)에 탑재되는 전압안정도 알고리즘은 실시간으로 감시를 하며, PMU에서는 전압안정도에 필요한 데이터인 전압, 전류의 정상분과 주파수, 디지털 신호(Trigger 신호, Event 신호등)을 1초에 30회(2 주기당 1번) 상위로 보내준다. 이에 대한 결과는 화면에 2초에 한번씩 출력이 되며 이러한 데이터는 기본적으로 10일간 저장 되며 경우에 따라 30일까지 저장 가능하게 되어있다.

운영시스템 측면으로는 신뢰성이 좋은 MC68060 기반의 VME 시스템에 실시간 UNIX 환경의 OS9을 사용하고 있고, 향후 Intel 기반의 H/W에 실시간 Lynx로 재구성 할 예정으로 있다.

현재 우리나라의 경우 미국보다 통신 인프라가 좋고 지역이 협소하기 때문에 보다 신뢰성이 보장되고, 데이터 량에 유연하고 빠른 네트워크 구축이 가능하며, 이러한 광역 감시 및 보호, 제어 분야에 새로운 네트워크 구축의 표준을 만들어 놓으면, IT 강국으로서 전력IT 분야에 세계적인 표준을 수립할 수도 있을 것이다.

System Architecture

본 과제에서 제시한 Defense System의 구조는 그림 1과 같이 총 4개의 계

층으로 구분하였고 이는 다음과 같다. 가장 하위 Level에서 변전소의 계통 정보를 취득하는 장치인 i-PIU(Intelligent Power Information Unit)가 있고, 변전소의 상황을 감시할 수 있는 i-PIM(Intelligent Power Information Monitor)이 있다. 또한 지역적으로 복수개의 i-PIU를 묶어주는 i-PIC(Intelligent Power Information Concentrator)가 있으며, 가상 상위 Level에서 i-PIC들을 감시하는 i-PIS (Intelligent Power Information System)로 구성하였다.

i-PIU는 현재 LS산전에서 개발 중에 있으며, 이 기기의 역할은 변전소 내에 복수개로 설치되어 주요 모선 및 주변압기의 데이터를 시각 동기화된 phasor 형태로 취득하고, 실시간 전압안정도(VIP) 평가를 실시하며, 고장 발생시 사고 전후의 데이터를 저장하는 역할을 수행한다. 또한 i-PIU는 취득한 Phasor 데이터, 사고 전후의 데이터, 전압안정도 평가 정보를 상위로 실시간 전송하는 역할을 하고 있다. i-PIM은 한 변전소 내의 한 개 혹은 복수 개의 i-PIU를 묶어 감시(Monitoring)할 수 있도록 개발한다, 이러한 개념으로 다수의 변전소는 지역별로 나누어 i-PIC(Intelligent Power Information Concentrator)에서 관리를 하게 되고, 또한 다수의 i-PIC는 가장 상위의 i-PIS(Intelligent Power Information System)에서 관리한다.

그림 1은 현재 진행 중인 과제 Defense System의 구

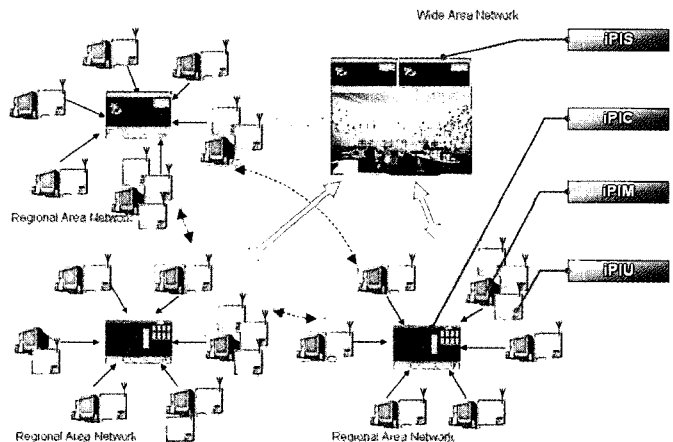


그림 1 Defense System 구조

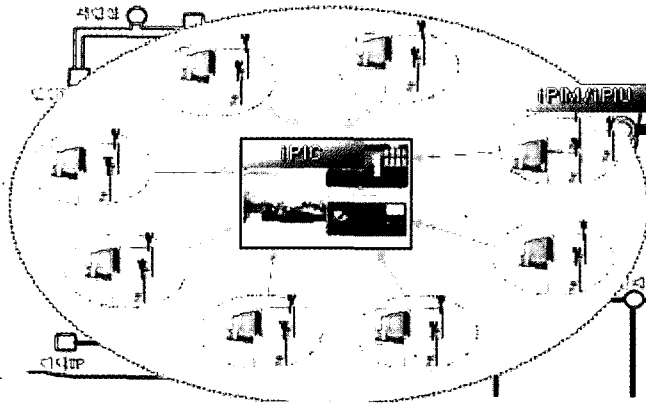


그림 2 경인지역 Defense System

조이다. i-PIU에는 실시간 전압 안정도 알고리즘(VIP)가 탑재되고, i-PIC와 i-PIS에는 실시간 전압안정도 알고리즘(VIP++)과 미소신호안정도 알고리즘 및 잠재고장해석 알고리즘이 탑재 되어 광역 감시 및 보호 역할을 하게 된다. 또한 이러한 알고리즘들은 Agent 형태로 구현되어 아래에서 설명할 Multi-Agent 기법 기반의 시스템 구조를 이루게 된다. 우선 과제 1단계 목표로는 그림 2와 같이 경인지역 345kV 변전소와 발전소를 대상으로 하고 있으며, 이때에는 i-PIC와 i-PIS를 동일하게 생각할 수 있다.

전송 데이터

i-PIU에서 i-PIC로 전송되는 데이터량은 i-PIC에서 수행되는 실시간전압안정도 알고리즘(VIP++)과 미소신호안정도 알고리즘 및 잠재고장해석 알고리즘이 필요로 하는 데이터에 따라 상당히 달라진다. 중요한 원칙은 i-PIC에서 구동되는 알고리즘은 실시간 데이터를 평가하기 위한 알고리즘으로써 i-PIC에 전송되는 데이터 또한 실시간성을 보장해야 한다는 것이다.

현재 전송 대상으로 검토 중인 데이터는 모선의 전압, 전류의 정상분과 위상각, 주파수, 유효/무효 전력정보와 주변압기 정

보이다. 데이터의 전송 주기는 초당 기본 30회 데이터가 전송되는 것을 목표로 하고 있으며, 차후 과도안정도 해석을 위해 초당 60회까지 전송할 수 있는 대역폭을 마련해야 한다. 데이터 량과 전송 주기는 현재 연구 중인 알고리즘에 따라 향후 변경될 수 있다. 1회 전송되는 전력 데이터 량, 데이터 전송 오류 시의 재전송 매카니즘, 장애 발생시 장애 전후의 순시데이터의 전송방안, 기타 전압안정도 결과 정보 전송, 초당 최대 전송 주기 등에 따라 전송되는 데이터의 량이 달라질 수 있으며 현재 연구 및 설계를 진행하고 있다.

System 설계

그림 3은 현재 제안된 Defense System의 네트워크 구성을 보여주고 있다. i-PIU가 취득한 데이터는 WAN 환경에서 TCP/IP 기반으로 i-PIC 시스템에 전송된다. i-PIC는 Phasor 데이터를 수집하고 관리하는 FEP Agent, Defense를 위한 알고리즘들을 운영하고 제어하는 Defense Agent, 실시간 감시 및 제어 화면을 제공하는 Web 기반의 HMI Agent로 구성된다. i-PIU와 i-PIC사이의 저속(56kbps)와 고속(T1) 통신이 모두가 능하도록 하고 개발 및 운영은 전용선으로 구축한다.

i-PIC의 FEP Agent는 i-PIU로부터의 데이터 취득을

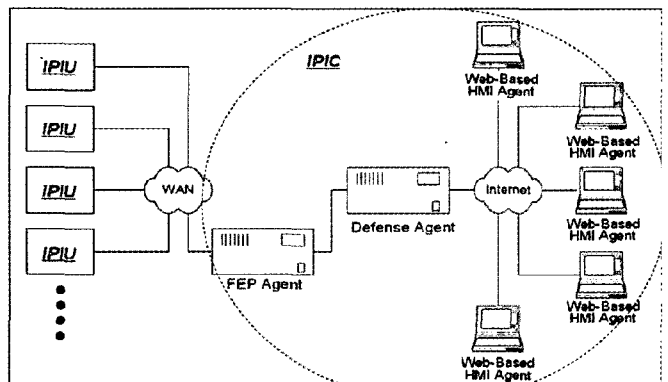


그림 3 Network Configuration

위해 최초에 연결을 시도하고 연결이 되면 필요한 데이터를 Polling방식으로 가져오도록 한다. i-PIC는 i-PIU와의 연결이 유지되고 있는지 수시로 확인해서 비연결 상태를 복구함으로써 연결이 유지하는 Polling방식을 구현한다. Polling방식과 비교되는 Unsolicited 방식은 i-PIC가 i-PIU에게 '데이터를 전송하라'는 명령을 내리면 i-PIU 스스로 데이터를 주기적으로 전송하는 것이다. Unsolicited 방식은 i-PIU에 전송되지 못하고 대기하고 있는 패킷들이 동시에 전송을 시도할 경우 네트워크를 정체를시킬 수 특징이 내재되어 있다. 따라서 정보를 활용하는 시스템에서 제어할 수 있는 Polling방식을 채택하였다.

데이터는 IEEE 1344 혹은 IEEE 37.118 형태의 패킷

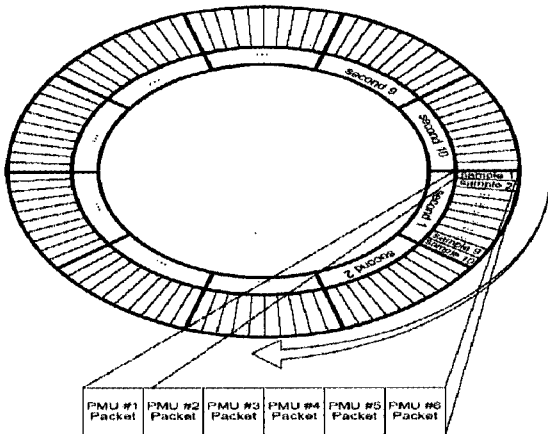


그림 4 Time Alignment Ring Buffer Network Configuration

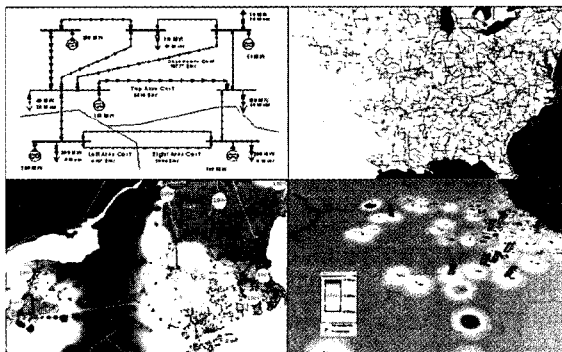


그림 5 전력 정보의 시각화

을 구성하여 전송하되 고장전후의 순시데이터나 실시간 전압안정도 평가 정보를 상위로 전송할 수 있도록 데이터 프레임을 확장해야 한다. i-PIU는 GPS로 동기화되어 데이터를 취득하므로 정확한 시간정보를 제공하고 있고 이러한 시간정보는 데이터 프레임에 함께 전송되는 특징을 가진다.

물리적으로 멀리 떨어져 있어도 i-PIU들은 위성의 GPS와 함께 Clock이 동기화 되어 정확한 시간에 필요한 정보를 취득할 수 있다. 그러나 먼저 취득한 데이터가 i-PIC에 먼저 전송되는 것은 아니다. 광역의 전력 계통을 전체적으로 감시 제어하기 위해서는 수십여 대의 i-PIU에서 전송되는 데이터를 동시에 표출할 수 있어야 한다. 신뢰성 있는 데이터 기반의 실시간 감시를 구현하기 위해서 같은 시간에 취득한 광역 데이터 프레임이 모두 전송이 되었는지 보장할 수 있는 알고리즘을 설계하고 있다. 또한 미 전송 데이터 프레임에 대한 처리 방안을 연구 중이다. 예를 들어 SEL(Schweitzer Engineering Laboratories, INC)에서는 그림 4의 Time Alignment Ring Buffer를 사용하여 데이터의 취득을 관리한다. 전송되어야 할 데이터를 위해 미리 초당 1개의 Ring Buffer Frame를 할당한다. 전송된 데이터는 Ring Buffer에 저장되고 Ring Buffer Frame이 채워지면 전송이 완료된 것으로 판단하는 방법이다.

사용자 인터페이스를 담당하는 HMI Agent는 실시간 전송된 데이터를 전력 계통도를 이용하거나 Map을 이용하여 종합적이고 직관적으로 감시할 수 있는 화면을 제공한다. 실시간 안정도 평가는 그래프와 테이블 형태로 결과를 표출하되 위급 상황이나 경계 상황의 경우의 알람처리, 사고 전후의 순시데이터 분석, 계통도와 Map을 이용한 타 지역과의 관계 분석 등의 기능을 처리하도록 한다. HMI Agent에서는 광역의 대용량 데이터에 대한 초당 최소 1회의 화면 갱신을 목표로 실시간 동적 영상을 제공하게 될 것이다. 그림 5는 PowerWorld Corporation에서 광역의 실시간 Electric Grid Data에 시각화 기술을 적용한 화면이다.

Defense System은 현재 운영되고 있는 SCADA, EMS 시스템과는 달리 취득된 Raw 데이터와 운영 중 발생한 Trigger, 이벤트 데이터에 대한 이력을 관리하는 특

정을 가지고 있다. 이력 데이터를 관리함으로써 향후 전력 계통의 고장 시의 파급효과를 분석하거나 다양한 분야에서 활용할 수 있는 기반 구조를 연구 및 설계하고 있다. 그러나 이러한 기능은 초당 30회로 전송되는 대용량, 시간변이적(time variant) 데이터를 저장 및 검색할 수 있는 처리능력을 필요로 할뿐만 아니라 초당 약 6000여개 이상의 트랜잭션을 처리할 수 있어야 한다. 따라서 본 과제에서는 Defense System의 주요 성능요소로서의 Real-Time, Historical Database 시스템의 도입을 검토하고 있다.

Multi-Agent 기법

최근 Distributed Artificial Intelligence(DAI)의 연구에서는 각 Agent의 능력을 뛰어넘어 전체목적 을 성취시키기 위하여 함께 문제를 해결하는 Multi-Agent System에 중 심을 두고 있으며, 다양한 Agent 사 이에 상호작용으로 개개의 Agent가 이룰 수 있는 목적보다 더 크고 복잡 한 문제를 해결할 수 있다. 일반적으로 집적화된 시스템에서만 가능했던 복잡하고 어려운 문제를 분산된 시 스템인 Multi-Agent System으로 설 계가 가능하게 되었고, 독립적이고 지능적인 Agent의 상호협조로 복잡 한 문제를 해결할 수 있다. 또한 Multi Agent System은 시스템 변경 및 재설정이 쉽게 이루어지며, 현실 에서는 개발된 S/W 혹은 H/W의 수 명이 짧고 사용자의 요구도 다양하 고 계통에 사용되는 부하의 변동이 다양하므로 적응성이 뛰어나고 재설 정이 용이한 시스템을 필요로 하는 데 Multi-Agent System은 이런 필요 성을 충분히 만족시킬 수 있다.

Multi-Agent System이 갖는 속성

은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫째로 사람의 지시 나 안내 없이 Agent는 목표를 가지고 사용자를 대신하 여 목표달성을 지향하는 자율성(Autonomy)이 있다. 둘째로 Multi-Agent가 되는 이유 중에 하나가 특정 통 신언어를 이용한 Agent간의 협력성(Cooperation)이 며, 셋째로 자율성의 핵심요소로서 주어진 환경에 단 순히 반응하는 것이 아닌 주도권을 행사할 수 있는 학 습성(Learning)이다. 이와 같은 3가지 속성을 이용하여 다음과 같은 4가지 유형의 Agent를 구분할 수 있다.

- Smart Agent
- Collaborative Learning Agent
- Collaborative Agent
- Interface Agent

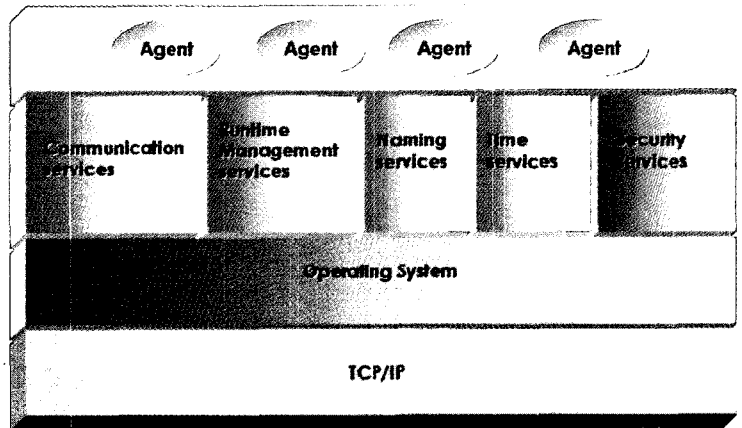


그림 6 System Framework

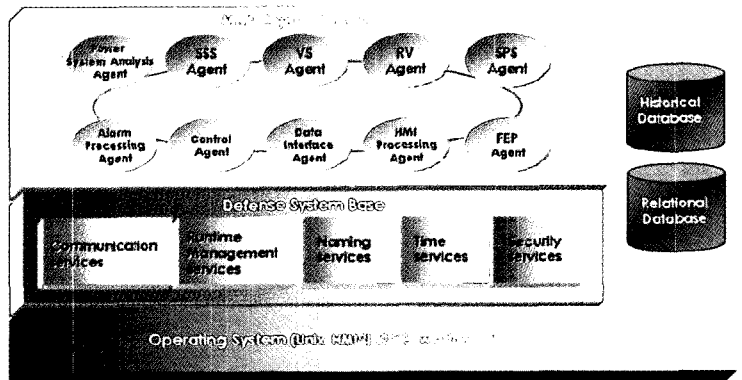
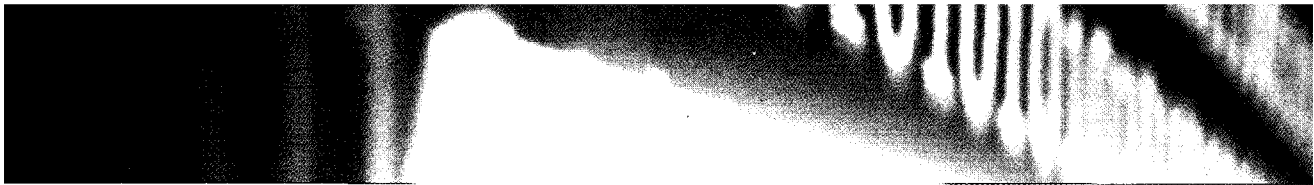


그림 7 Defense System



그러나 이러한 형태의 Agent 유형의 정의가 한정적이라고 말할 수는 없다. 이상적인 Agent는 위의 3가지 속성을 모두 갖추고 있어야 하지만 그것은 아직 현실이라기보다는 희망일 뿐이다.

Agent 기반의 System Framework

모든 Agent는 TCP/IP 기반위에서 구동된다. 그림 6은 Defense System의 System Framework을 보여주고 있다. TCP/IP 기반에서 모든 Agent는 Communication Service, Runtime Management Service, Naming Service, Time Service, Security Service를 기본으로 운용된다.

Defence System을 구현하기 위해 세부적으로 중요한 부분을 Agent로 처리하였다. 그림 7은 System Framework에 세부 Agent를 도시하였다. FEP Agent는 약속된 프로토콜에 따라 데이터 통신을 수행하며, 통신 링크의 상태에 따라 링크 상태를 관리도 한다. Alarm Processing Agent는 Event 발생 혹은 Alarm 상태를 분류하고 전달하는 기능을 가진 Agent이다.

Data Interface Agent는 FEP을 통해 수집된 데이터의 스키마, 시간 ID 정보등을 저장하고, HMI로부터 요청되는 실시간/이력 데이터를 추출하여 제공하는 역할을 한다. 또한 저장 용량을 고려하여 온라인 압축기법을 이용하여 수행한다. HMI Agent는 알고리즘의 결과 혹은 제어를 담당하며, Alarm/Event 관리(수신/인지/삭제)와 실시간 및 이력데이터의 Monitoring, 그래픽 생성 및 해석 등을 보여주는 Agent이다. Control Agent는 알고리즘 수행결과에 따라 적용되는 Agent이다. 이러한 Agent 기반에 Defence에 필요한 알고리즘을 Agent화하여 5절에서 언급한 Multi Agent 기법에 맞게 설계를 하여 자율적이고 협력성 있는 System으로 구현할 것이다.

결론

세계적으로 전력계통의 광역 감시, 보호 및 제어 분야로 많은 연구가 행해지고 있고, 앞으로도 활발할 것이다. 그리고 이와 병행하여 신뢰성이 보장된 광역 보호를 위한 통신 인프라 구축도 시급하다. 현재 사용되는 SCADA 혹은 EMS 용 통신보다 빠르고, 신뢰성 있고, 용량에도 유연성을 가진 통신 인프라에 대한 연구가 행해져야 할 것이며, 본 고에서는 이러한 추세의 일환으로써 행해지고 있는 연구과제에서 통신 네트워크 구축에 대해 논하였고, 앞으로도 많은 개선이 필요할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] Carson W Taylor, Dennis C Ericson, et al, "WACS-Wide Area Stability and Voltage Control System:R&D and On-Line Demonstration", IEEE special issue on Energy Infrastructure Defense Systems, May, 2005.
- [2] Robert E. Wilson, "Using Dynamic Simulation to Design the Wide-Area stability and voltage Control System(WACS)", IEEE 2004.
- [3] C. Rehtanz, "Autonomous Systems and Intelligent Agents in Power System Control and Operation", Springer
- [4] 김병철외, "TCP/IP 프로토콜", Mcgraw Hill
- [5] Jacques Ferber, "Multi-Agent Systems : an Introduction to Distributed Artificial Intelligence", Addison-Wesley