



한국형 광역 전력계통 감시를 위한 상위 인프라 시스템

■ 김 지 영, 김 상 태, 유 남 철, 이 동 철 / 한전KDN(주) 전력IT연구원

1. 서 론

전력과 IT를 융합하는 전력IT 기술이 정부차원에서 전략적으로 육성되어 개발이 가속화 되고 있다. IT 기술의 발전은 전력 전기 산업에도 접목되어 새로운 발전기회의 원동력이 되고 있다. 전력산업은 IT 융합을 통해서 전통적인 전력산업의 패러다임을 전환하여 새로운 가치를 창조하고, 국가적인 전력대란 사태를 예방하여 국가 기간산업으로서 중추적인 역할을 할 것이며, 전력 산업 경쟁력 제고를 위한 핵심적인 해결방안이 될 것이다.

전력산업 초기에는 모든 운영자들이 계통 운영에 신뢰도 및 안정도 향상을 꾀하였지만 현재에는 경제성에 더욱 큰 비중을 두고 있다. 그로 인해 전력기반 시설에 투자하기보다 운전점을 계통의 안정도 한계점까지 끌어 올려 운영하고 있어 광역정전이 발생할 가능성이 커지고 있다. 광역정전에 대한 위험을 줄이고 전력산업의 경제성을 추구하기 위해서는 신뢰도와 안정도를 향상 시키는 것이 우선시 되어야 한다. 본 고에서 소개하는 한국형 광역 전력계통 감시를 위한 상위시스템(K-WAMS)은 광역 전력계통의 신뢰도와 안정도를 감시하고자 하는 시스템으로서 전력계통의 광역 정전을 미리 감지하여 운영자에게 운전점의 위치를 실시간으로 제공하는 역할을 한다.

2003년 북미 대정전 이후 WAMS(Wide Area Measurement System)에 대한 관심이 높아지기 시작하였고, 여러 나라에서 전력계통망의 이해관계에 따라 컨소시엄을 조직하여 연구 및 개발, 검증을 하고 있다. 산업 전반에 걸쳐 전기에너지에 대한 의존도가 높아지고 정보사회가 고도화됨에 따라 전력의 안정적인 공급과 질적 향상에 대한 요구가 급증하고 있으며, 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 파급효과이었음을 쉽게 알 수 있다. 이러한 일환으로 A. Phedke 교수는 1990년대 초에 GPS 기반의 페이저 측정 장치를 제안하였고, 현재 몇몇 해외 업체에서 PMU(Phasor Measurement Unit)가 개발되어 실 계통에 적용하여 운전 중에 있다.

PMU에서는 전압, 전류의 기본과 페이저 값을 추출하여 상위시스템으로 GPS 기반의 시각과 함께 전송하는 중요한 역할을 담당하고, 이와 더불어 중요한 사항은 PMU와 같은 하위 측정 장치에서 취득한 데이터를 신뢰성과 보안성을 유지하며 상위로 실시간 전송해주는 네트워크의 구축이다. 광역에서 전송되는 페이저 데이터 및 기타 데이터를 실시간으로 관리/해석/평가

하는 상위 시스템의 개발은 기존의 SCADA/EMS와는 성격이 다른 시스템이라 할 수 있다.

본 고에서는 산업자원부 중기거점기술개발 사업으로 개발된 한국형 광역 전력계통 감시시스템(K-WAMS) 프로토타입을 소개하고자 한다.

2. 해외 WAMS 사례

2.1 ETRANS 스위스의 WAMS

스위스에는 현재 4개의 파일렛 모선에 PMU를 설치하여 운영하고 있다. 이들은 기본적으로 각 모선간의 위상차(Phase Angle Monitoring)를 관찰하고 있으며 주요 송전선로의 조류량을 감시하고 있다. 선로의 유효전력 손실량을 측정하여 선로의 온도를 감시하는 응용 기술을 가지고 있다. 또한 Event capture 기술을 활용하여 자동적으로 사고 데이터를 저장하게 되어있으며 이를 통하여 스위스 다이나믹 모델 개발 및 수정에 사용하고 있다.

최근에는 몇몇 유럽의 TSO(Transmission system operator)들이 광역(Wide area)감시 응용을 위하여 PMU를 공유하는 방안을 계획하고 있다. 이를 통하여 Voltage phase angle차를 이용하여 시스템의 전반적인 부하량을 감시할 수 있으며, 시스템의 Damping을 관찰하여 조기 경보를 할 수 있다. 또한 주파수 차를 실시간으로 측정하여 시스템의 아일랜드 현상을 조기에 감지하여 통지할 수 있다.

2.2 HEP Croatia의 WAMS

크로아티아에는 400/220/110kV의 송전선로들이 있는데, 최근에 400kV의 두 개의 중요 선로에 PMU를 설치하여 송전선로를 감시하는 것을 결정하였다. 이를 통하여 전압안정도 측정뿐만이 아니라 선로의 평균 온도 또한 측정하여 피크 부하 시에도 시스템이 안전하게 운전할 수 있는 송전용량을 최적화 하는 것이 가능하다.

전압안정도 감시는 운영자에게 송전선로의 현재 유효전력마진을 평가하여 제공함으로써, 운영자가 무효전력 확보를 위하여 발전력 재조정, 무효전력 보상기

동작, 탭 변환 블라킹, 그리고 부하 탈락 등을 할 수 있도록 도와준다.

2.3 Hydro Quebec의 WAMS

캐나다에서는 1976년에 최초로 개발을 시작하여 계속적인 연구를 진행하여왔다. 1988년에는 Angle Shift Measurement System(ASMS)를 개발하였으며 이는 기존의 장치보다 정확도가 월등히 증가한 것이었다. Phasor 크기와 각도가 60Hz의 속도로 Hydro-Quebec의 컨트롤 센터에 실시간으로 전송될 수 있게 되었다. 1991년에는 4개의 PMU가 추가로 설치되어 총 8개의 735kV 변전소를 감시할 수 있게 되었다.

이를 통하여 현재 주요사고에 대한 사후 해석과 전력계통 안정도 프로그램을 이용한 다이나믹 모델튜닝, 그리고 계통 주파수의 통계, 전자기폭풍의 실시간 감지 등에 활용 하고 있다.

2.4 이탈리아 TERN의 WAMS

이탈리아에서는 현재 21개의 PMU가 설치되어 있으며 30개까지 PMU를 늘릴 계획이다. 기본적으로 전압 프로파일과 위상차, 주파수차를 감시하고 있으며, 안정도 마진 등을 해석하여 발생 가능한 전압 붕괴현상을 조기에 경고 할 수 있다. 또한 실시간으로 계통의 오실레이션을 감지하여 모달 해석을 할 수 있다.

2.5 중국의 WAMS

중국에는 현재 약 88개의 PMU가 이미 설치되어 작동중이며, 추가로 45개의 PMU가 설치될 계획에 있다. PMU를 통하여 기본적으로 전압크기 및 위상차 정보를 그래프 화면으로도 볼 수 있고, Excel 형식으로도 제공한다. 고급 응용기술에는 발전기 동작 현황 감시, 실시간 저주파수 오실레이션 감지 및 해석, 다이나믹 전압안정도 감시 등이 있다.

3. K-WAMS 시스템 구성

광역 전력계통 감시를 위한 상위시스템(K-WAMS)

[그림 1]은 현장 페이지 취득 장치인 i-PIU(intelligent Power Information Unit)로부터 전력 정보 데이터를 수집하여 전력계통의 안정도 평가 알고리즘을 실시간으로 수행한 후 그 결과값을 사용자 감시 화면에 가장 최적화 된 형태로 디스플레이하는 시스템이다. 또한 현장에서 취득된 전력 정보 데이터는 전력 계통을 모델링하고 평가하기 위한 기초 데이터로서 사용자에게 제공된다.

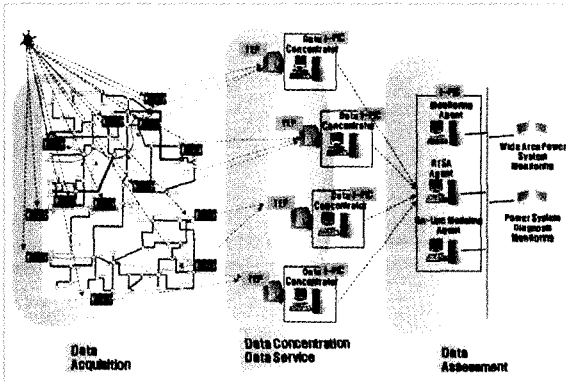


그림 1 K-WAMS 시스템 구성

K-WAMS는 IEEE Std. PC37.118 표준을 기반으로 설계 및 개발되었기 때문에 본 표준을 기반으로 한 다른 취득 장치들과의 호환성을 제공하고, 해외 시장 진출도 낙관해 볼 수 있다.

3.1. 시스템 S/W 구성

본 고에서 제시하는 K-WAMS의 소프트웨어 구조는 [그림 2]와 같이 나타낼 수 있다. 데이터를 취득하는 Field 영역과 페이지 데이터를 취합 전달하는 영역, 실제로 사용자들에게 제공하게 될 데이터를 가공하는 영역, 실시간 Raw 데이터를 관리하는 영역, 사용자에게 전력 정보를 제공하는 클라이언트운영 영역으로 구성되어 있다.

먼저 현장에서 데이터를 취득하는 영역은 데이터 취득 장치인 i-PIU가 GPS로 시각 동기화 된 실시간 페이지 데이터를 취득한다. 이 실시간 데이터들은 IEEE std PC37.118 형태 패킷으로 약 33m/sec 주기로 상위 시스템에 제공하게 된다. 이 실시간 데이터는 Real Time

OS 기반의 전단처리 장치인 FEP에서 취합하여 데이터 가공 영역으로 전달된다.

i-PIU와 FEP 사이의 데이터 전달은 매우 빠른 속도

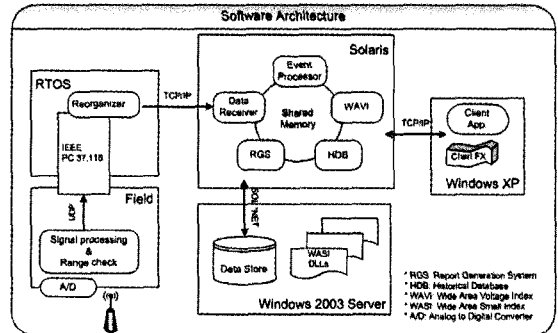


그림 2 K-WAMS S/W 구성도

로 진행되기 때문에 UDP 방식으로 데이터를 전송하여 데이터 속도를 보장하게 된다. UDP 방식은 데이터 손실의 위험이 있다는 단점이 있으나 isolated LAN 환경에서의 테스트 결과 데이터 손실률은 거의 없음을 확인 할 수 있었다. 그러나, 실제로 i-PIU가 변전소마다 설치되어 원거리 전송하는 경우는 데이터의 완전성을 보장할 수 없기 때문에 전력 데이터만을 전송하기 위한 전용선 기반의 네트워크 설계를 진행 중에 있다.

이렇게 취득된 데이터들은 시각 동기화 된 데이터 형태로 데이터 가공 영역의 공유 메모리(Shared Memory)에 정렬된다. 이와 동시에 WAVI (Wide Area Voltage Index) 알고리즘 및 DI (Defencibility Index) 지수가 계산되어 실시간 Raw 데이터 관리영역에 전송된다.

실시간 Raw 데이터 가공 영역에서는 실시간 처리되는 고속 대량 데이터들의 처리 지연, 동적 환경으로 인한 네트워크의 부하문제, 프로세스 간 동기화를 위해서 IPC (Inter-Process Communication) 기법을 이용하였다. 보통 프로세스에서 사용되는 메모리 영역은 해당 프로세스가 상호 배타적으로 접근할 수 있음에 반해 공유 메모리 영역은 [그림 2]에서와 같이 Data Receiver, Event Processor, RDS, HDB, WAVI 프로세스가 동시에 접근할 수 있다. 공유 메모리를 사용함으로써 데이터 복사와 같은 불필요한 오버헤드가 감소하

여 고속 실시간 데이터 이용을 가능하게 하였다. 세마 포어에 의해 동기화 된 다수의 동적 프로세스들은 IPC Message Queue 인터페이스로 프로세스 간 자동 협력을 가능하게 하였고, 프로세스 간 작업 스케줄링을 효과적으로 수행하게 하였다.

실시간 Raw 데이터 관리 영역은 주기적으로 현장에서 취득 되는 실시간 데이터에 대해 최소 한 달 이상 Circular Buffer 형태로 유지하고, 일정기간이 지난 데이터는 Overwrite 되기 전에 파일 시스템과 광디스크에 백업 저장한다. 비정기적인 외란과 같은 상황에서의 순시치 데이터 및 실효치 데이터는 RDBMS에서 영구적으로 저장 관리 한다. 시간적 제약이 상대적으로 느슨한 WASI(Wide Area Small Index) 알고리즘은 실시간 데이터 처리 서버와 물리적으로 분리 된 데이터 관리 서버에서 처리함으로써 데이터 처리 부하를 분산 시켰다.

[그림 3]은 사용자에게 제공되는 HMI 운영 화면이다. 광역 전력계통 감시를 위한 알고리즘의 결과와 계통에서 전송되는 기본 데이터를 가독성 있는 화면으로 개발하였다. K-WAMS는 지도기반 3D 화면과 단선도형 3D 화면을 제공하여 우리나라 전체 계통의 상황을 볼 수 있고, 계통 사고에 대한 파악 상황도 관찰 할 수 있도록 하였다. 또한, 각 지역의 추이 데이터를 관찰하

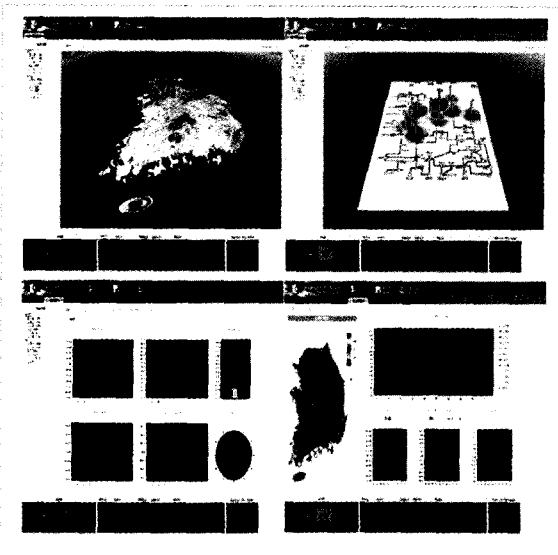


그림 3 HMI 화면

기 위해 기본 데이터 및 알고리즘 데이터를 2D 그래프 형태로 표현하였고, 각 알고리즘의 결과 값과 참고 값을 함께 표현하여 사용자가 계통상황 파악을 용이하게 하였다.

K-WAMS는 하드웨어 장치뿐만 아니라 소프트웨어의 품질을 향상시키기 위해서 소프트웨어 품질과 관련된 국제표준 ISO/IEC 9126 (Information Technology-Software Quality Characteristics and Metrics)과 ISO/IEC 12119(Information Technology-Software Product Evaluation)을 지침으로 삼고, 이것을 기반으로 단계 말 기능 테스트와 결과 산출물에 대해 자체 품질 평가를 진행하고 있다. ISO/IEC 9126은 소프트웨어 품질의 특성을 정의하고 품질 평가의 Metrics를 정의한 국제표준으로 [표 1]과 같이 6가지 특성으로 구분하고, 다시 부 특성으로 세분하여 고객 관점에서의 품질을 정의하고 있다. ISO/IEC 12119 [표 2]는 ISO/IEC 9126 품질 모델을 기반으로 제품 설명서, 사용자 문서 및 프로그램으로 구분하여 각각의 품질 요구사항을 규정하고 있다.

표 1 ISO/IEC 9126 소프트웨어 품질특성 모델

품질특성	내용
기능성	소프트웨어가 특정 조건에서 사용될 때, 명시된 요구와 내재된 요구를 만족하는 기능을 제공하는 소프트웨어 제품의 능력
	적합성, 정확성, 상호운용성, 보안성, 준수성
신뢰성	소프트웨어가 규정된 조건에서 사용될 때 규정된 성능수준을 유지하거나 사용자로 하여금 오류를 방지할 수 있도록 하는 소프트웨어 제품의 능력
	성숙성, 오류허용성, 회복성, 준수성
사용성	소프트웨어가 규정된 조건에서 사용될 때, 사용자에게 의해 이해되고, 학습되며 선호될 수 있게 하는 소프트웨어 제품의 능력
	이해성, 학습가능성, 운용성, 친밀성, 준수성
효율성	규정된 조건에서 사용되는 자원의 양에 따라 요구된 성능을 제공하는 소프트웨어 제품의 능력
	시간 반응성, 자원 효율성, 준수성
유지보수성	소프트웨어 제품을 변경할 수 있는 능력, 변경에는 운영환경과 요구사항 및 기능적 사양에 따르고, 소프트웨어의 수정, 개선, 혹은 개작 등이 포함 된다.
	분석성, 변경성, 안정성, 시험가능성, 준수성
이식성	다양한 환경에서 운영될 수 있는 소프트웨어제품의 능력
	적응성, 설치가능성, 공존성, 대체성, 준수성

표 2 ISO/IEC 12119 소프트웨어 품질요구사항

패키지	품질 요구사항
제품설명서	소프트웨어 이름 및 버전 명시(식별)
	소프트웨어 설치 스펙 명시
내용에 관한 일반적인 요구사항	기능성, 신뢰성, 사용성, 효율성, 유지보수성, 이식성에 대한 설명
사용자문서	완전성, 정확성, 일관성, 이해성, 개괄성
프로그램	ISO 9126의 품질속성

3.2. 시스템 H/W 구성

K-WAMS는 [그림 4와 같이 i-PIU의 데이터 취득 장치와 전단처리 장치 및 상위 시스템으로 구성되어 있다.

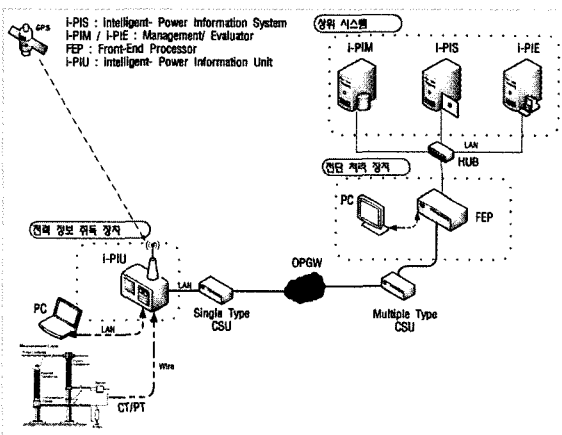


그림 4 K-WAMS H/W 구성도

[그림 4]를 크게 두 부분으로 나누면, 하위 데이터 취득부와 상위 데이터 처리부이다. 하위 데이터 취득부는 PMU(Phasor Measurement Unit)와 같은 i-PIU(Intelligent Power system Information Unit)를 이용하여 설치 지점의 정보를 상위 시스템으로 전송한다. 이때 취득 되는 정보는 전압, 전류 정상분 페이지 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-PIM(Intelligent Power Information Management)의 실시간 DB에 시간 순서

로 저장된다.

FEP은 i-PIU와 최초로 통신 연결이 설정되면 주기적으로 i-PIU와 연결 상태를 확인하는 polling 방식을 이용하여 i-PIU의 실시간 데이터를 취득하도록 구현하였다. FEP과 상위 시스템 사이의 통신방법은 주기적으로 취득되는 실시간 데이터에 대해서는 polling 방식을 이용하고, 계통에 이상상황이 발생되었을 때만 생성되는 외란 데이터는 생성즉시 전송하도록 하였다.

i-PIS(Intelligent Power Information System)는 FEP에서 전송된 실시간 데이터를 전력계통 알고리즘이나 프로세스에서 사용할 수 있도록 가공하고, 사용자가 지정한 데이터 임계치와 비교하여 알람 이벤트 데이터를 생성한다.

i-PIM(Intelligent Power Information Management)은 i-PIS에서 생성된 데이터를 데이터 타입에 따라 효율적으로 저장 관리하고, 외부 어플리케이션이나 내부 프로세스에서 데이터를 요청하는 경우에는 연계인터페이스를 통해 입력 데이터를 제공한다.

i-PIE(intelligent Power Evaluator)는 실시간으로 광역 전력계통을 감시하기 위해 실시간 광역계통의 전압 안정성을 판단하는 VIP++ 알고리즘, 전력계통의 진동 모드를 추출하는 미소신호 안정도 알고리즘, 중부하시 거리계전기 오/부동작을 방지하는 적응형 거리계전기의 Zone-3 알고리즘과 실시간 정보를 이용하여 전력계통에 외란발생시 전력계통을 모델링 할 수 있는 동적 모델링 알고리즘을 탑재하였다.

4. K-WAMS 전송 데이터

K-WAMS의 전송 데이터는 현장에서 취득되는 실시간 Raw 데이터와 상위 시스템에서 처리 및 관리되는 가공 데이터로 나눌 수 있다. 실시간 취득 데이터는 Analog, Phasor, Digital, Frequency, DFrequency, i-PIU Status로 구성된 데이터로 재구성되어 1초에 최대 30 samples를 상위로 전송 한다.

상위 시스템에서는 실시간 취득데이터를 입력으로 추론 결과를 생성하고, 클라이언트 그래픽 툴과 연계

하여 비주얼 데이터로 가공한다. 또한 실시간 Raw 데이터는 데이터 압축이나 샘플링 없이 데이터 태그 저장소에 저장하여 동적 모델링 툴과 같은 전력 계통 해석을 위한 어플리케이션의 입력 데이터로 활용한다.

특정 기간 동안 수집된 데이터들은 주기별 자동 배치 작업을 통해 이력 데이터 관리를 용이하게 하였다. 이와 같은 통계 분석 데이터들은 사용자 요청 시 리포트를 생성하여 제공하였다.

K-WAMS는 앞서 언급한 하위취득 장치에서 상위 시스템으로 전송되는 Bottom-Up 데이터뿐만 아니라 상위 모니터링 시스템에서 부터 하위 취득 장치로 전송되는 Top-Down 데이터로 나눌 수 있다. Top-Down 데이터는 i-PIU가 신규 설치되거나 제거 되었을 때 i-PIU 구성 정보를 요청하거나 사용자가 i-PIU의 메타 정보를 요청하기 위한 명령 정보이다.

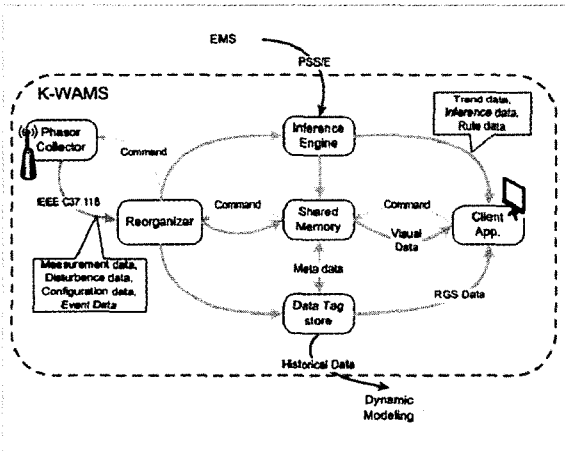


그림 5 K-WAMS 데이터 흐름도

K-WAMS는 [그림 5]에서 외부시스템으로 표현되어 있는 EMS로부터 PSS/E 데이터를 받아 전압 안정도 평가를 위한 알고리즘 및 방어도 지수 계산을 위한 입력 값으로 활용하고자 한다. EMS 데이터뿐만 아니라 외부 SCADA 시스템 데이터는 K-WAMS 시스템 결과의 정확도를 높이고 시스템의 신뢰성을 보장하기 위해 꼭 필요한 정보라고 할 수 있다. 그러나, EMS 데이터를 K-WAMS에 연계하는 것은 현실상 직접 외부 인터페이스가 불가능하기 때문에 연계 방안을 모색하고 있는 중이다.

5. 시스템 확장 설계

현재 개발된 프로토타입 시스템은 데이터가 중앙 집중화 되는 형태로 [그림 6]과 같이 하위 i-PIU들로부터 취득된 실시간 데이터와 각 단계에서 생성된 이벤트 데이터가 추가되어 상위 단계로 갈수록 데이터가 집중되는 형태이다. [그림 6]의 데이터 트래픽은 취득주기가 1초에 30샘플링, i-PIU 12대에 대해서 처리되는 논리적인 태그 숫자를 기본으로 계산한 용량이다. 이는 실제 통신 시 발생하는 패킷 헤더와 같은 데이터가 제외된 수치이므로 실제 통신 시에는 이보다 10% 이상이 증가할 것이다.

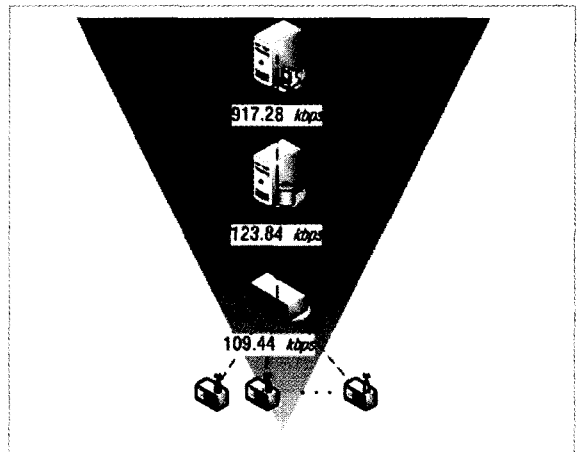


그림 6 중앙급전소 레벨의 트래픽 용량

추후, i-PIU는 전국적으로 100개소 이상 설치 될 것으로 예상된다. [그림 6]과 같은 형태라면 통신 트래픽이 기하 급수적으로 증가할 것이다. 따라서, i-PIU의 설치 대수가 증가함에 따라 [그림 7]과 같은 지역 관리처 레벨의 확장 설계 통해 상위 시스템의 데이터 집중 현상을 해소 할 수 있을 것이다. 실시간 데이터 처리 시스템을 지역별로 분산시켜서 실시간으로 취득되는 Raw 데이터는 지역별로 취합하고, 이 중 중앙 급전소에서 필요로 하는 데이터만 상위 시스템으로 전송함으로써 중앙 급전소 레벨로 향하는 과중한 통신 트래픽을 줄여 데이터 병목현상을 해결할 수 있다. 또한, 데이터 처리 프로세스를 지역별 분산 병렬 처리함으로써

프로세스 처리 시간을 단축시켜 실시간 데이터 처리 성능이 향상되고 데이터 관리가 용이해 질 것이다.

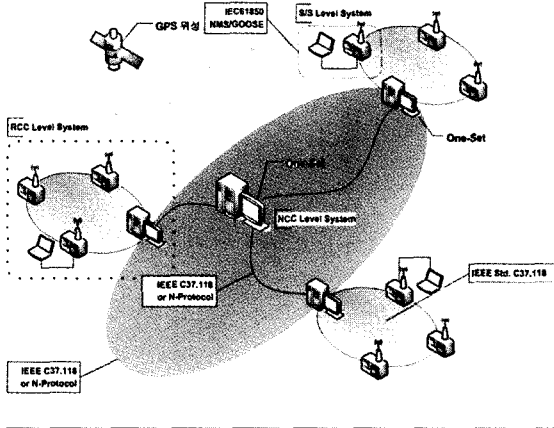


그림 7 GCC/RCC 레벨의 확장

6. 결론

막대한 경제적, 사회적 손실을 초래하는 광역정전이나 치명적인 계통고장을 예방하기 위한 WAMS는 세계적으로 주목을 받고 있으며, 많은 국가들이 연구 개발에도 박차를 가하고 있음을 알 수 있었다. 이런 세계의 흐름에 따라 우리 나라에서 최초 연구 개발하고 있는 K-WAMS는 더욱 값진 연구 성과라고 할 수 있다.

본고에서 논하였던 중기거점 연구개발 사업의 1단계 성과인 K-WAMS 프로토타입 제품은 통신환경이 양호한 조건에서 테스트 되었다. 그렇기 때문에, 해외 사례들처럼 K-WAMS를 최종 비즈니스 모델로 완성하기 위해서는 신뢰성 기반의 네트워크 인프라 구축을 기본으로 실시간 페이저 취득 장치를 변전소에 설치하여 다양한 계통상황에 대한 현장 테스트를 필수적으로 수행해야 한다. 또 K-WAMS는 소프트웨어의 비중이 높은 시스템이므로 ISO/IEC 9126 표준을 만족하는 소프트웨어 품질 확보에도 꾸준한 노력이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 김상태 외, 광역 전력계통 감시를 위한 상위 Master System 설계, 2006.11 대한전기학회 추계학술대회
- [2] 오영배 외, "소프트웨어 품질 평가 표준 기술 및 동향", 주간기술동향 1271호, 2006.11
- [3] Sang-Tae, Kim. Defencibility Index (DI) : An Evaluation Methodology of Wide Area Power System Security based on Theory of Evidence using Multi-Agent-Factors, APAP, 2007.4
- [4] "Multi-Agent 기반의 지능형 전력정보 시스템 개발" 2단계 기획보고서, 2007.10