

온라인 시각동기에 의한 광역 전력계통 안정성 감시시스템

황 경 식

한국전력거래소 계통운영계획팀 과장

윤 상 현

(주)프로컴시스템 대표

1. 머리말

근래의 전력계통은 산업의 발달과 국민 생활수준의 향상으로 인해 전력의 수요가 증가함에 따라 전력계통의 규모가 커지고 전력품질의 향상이 요구되고 있다. 그러나 환경 문제와 송전선 설비를 위한 부지확보의 어려움 등의 이유로 수요는 수도권지역에 밀집되어 있는 반면에 발전소들은 수도권에서 멀리 떨어진 장소에 위치하고 있어서 대용량화된 발전소들로부터 대규모 전력 수송이 불가피하게 되었다. 이러한 송전선의 취약한 구조는 주요 송전선의 사고 발생이나 발전소들의 사고 발생시 대규모 정전 사태 등의 결과로 나타날 수도 있다.

이러한 사고를 미연에 방지하고 전력의 수송을 안정하게 하기 위해서는 각 발전소나 변전소에서 실시간으로 계통자료(전압, 전류, 위상, 유/무효전력 등)를 취득하여 그 계통자료들을 비교 분석하는 기능이 필요한데, 이렇게 취득된 계통자료들은 반드시 같은 시각에 취득한 데이터이어야만 전력계통의 상태를 분석할 수 있다.

그러나 실제적으로 같은 시각에 계통자료를 취득한다는 것이 어렵기 때문에 이를 위해서 전력산업에서는 GPS 위성을 이용하여 각 지점의 시각을 동기화시켜 계통자료를 취득하고 해석하는 방법이 활발히 연구, 개발되고 있다.

2. 세계의 기술 동향

최근 미국에서 일어난 대규모 정전사고의 발생으로 전력수송의 안정화가 새로운 관심사항으로 부각

되고 있다. 이에 따라 주요 선진국의 전력회사에서는 안정화 확보에 특별한 관심을 갖고 실시간으로 신속히 계통 자료를 취득하여 전력계통의 안정도를 판별하는 연구를 활발히 진행하고 있다.

일본의 전력회사인 중부전력(CEPCO)에서는 새로운 안정도 제어 시스템(TSC system)을 개발하여 1995년 6월부터 실시간으로 전력계통의 계통자료를 취득하여 고속으로 안정화를 판별하여 전력 수송을 안정하게 하고 정전과 같은 사고를 방지하고 있다.

캐나다의 전력회사인 Hydro-Quebec에서는 1992년 이래로 전력의 안정적인 수송과 사고 방지를 위해 ELISA라고 이름 붙여진 소프트웨어를 이용하여 전력계통을 운용하여 결과적으로 사고로 야기되는 경제적인 손실을 줄여나가고 있다.

일찍부터 전력산업 구조개편을 시작하여 경쟁적인 전력시장을 구성하고 있는 영국에서도 전력 수송의 안정화 문제를 절실히 깨닫고 전력계통의 안정도 해석 패키지를 개발, 이용해 오고 있다. 이뿐만 아니라 미국, 프랑스와 같은 국가들도 앞 다투어 전력 수송의 안정화를 확보하기 위해 노력하고 있으며, 이를 위해 실시간으로 전력계통의 데이터를 취득하는 기법을 개발하고 있다.

3. GPS를 이용한 계통 데이터의 시각동기

전력 수송의 안정화를 위해서는 전국의 여러 지점으로 부터 실시간으로 동기화된 계통자료를 취득하여 항상 이 데이터들을 감시하고 분석하여야 한다. 그러나 계통자료를 취득하는 것만으로 끝나는 것이 아니라 취득된 계통자료들은 모두 똑같은 시각에 취득되는 값이 되어야만 전체적인 전력 송전선의 안정화를 판별할 수 있다.

이렇게 같은 시각에 계통자료를 취득하는 방법으로 사

용되는 것이 GPS 위성을 이용하는 방법이다.

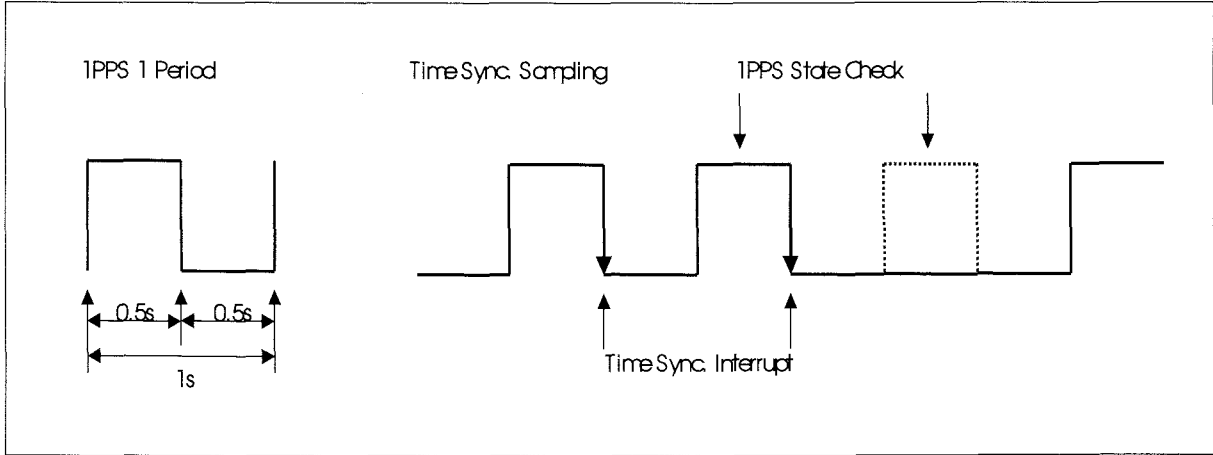
GPS(Global Positioning System)는 위성을 이용하여 정확한 위치, 속도, 시각 등을 측정하는 장치로 현재 모든 분야에서 폭넓게 이용되고 있으며 대표적인 예로 자동차 등에서 쓰이는 네비게이션을 들 수 있는데 전력산업에서는 이러한 GPS를 시각을 동기화시키는 용도로 사용하고 있다.

GPS를 이용하면 GPS 위성에서 송신하는 시각 정보를 기준 시각 정보로 사용해서 매우 짧은 시간 내에 동기되며, 동기된 시각을 기준으로 해서 전력계통의 계통자료들을 취득하기 때문에 취득된 데이터들은 모두 동일한 시점에서 취득된 데이터가 된다. 따라서 여러 지역간의 계통자료를 비교하는 것이 가능하며, 이를 토대로 하여 전력 수송의 안정화를 꾀할 수 있다.

시각동기 신호가 전력계통의 요구에 부합되기 위해서는 충분한 가용성과 신뢰성, 정확성을 가지고 있어야 한다. 전력계통에서의 보호·제어 시스템은 시스템의 특성 상 어떠한 경우에도 정상적인 동작의 수행이 이루어져야 하기 때문에, 사용되는 동기신호는 중단 없는 가용성을 제공해야만 하고, 취득되는 데이터가 비교될 모든 지역에서 사용이 가능한 신호이어야 한다. 즉, 전 지역에 동일한 신호가 동일한 품질로 공급되어야 한다.

동기신호는 데이터 취득시 사용되는 샘플링 클럭(clock)이 샘플링 정확도 요구치 이내에 유지될 수 있도록 주기적으로 반복되어야 하며, 대부분의 경우 시각동기 데이터 취득장치에 내장되는 주파수 표준 소자로는 일반 또는 보정 오실레이터(oscillator)를 사용하게 되는데, 이 소자의 정밀도는 GPS 위성에 탑재되어 있는 세슘 원자시계나 루비듐 원자시계보다 정밀도가 크게 떨어진다.

가장 신뢰할 수 있고 정확한 주파수 표준은 전자의 에너지 준위에서의 전이(transition) 같은 물리적 현상에



〈그림 1〉 GPS 시각동기 신호를 이용한 시각동기 방안

비례해서 극도로 정밀한 주파수를 유지할 수 있는 오실레이터이다. 현재 활용 가능한 원자 오실레이터는 수소나 세슘, 루비듐 원자의 전이에 바탕을 두고 있다. 이 중에서 비용과 강인성의 이유로 세슘 오실레이터가 국가 주파수 표준으로 가장 많이 사용된다. 반면에, 일반 컴퓨터나 계측기에서 사용되는 클럭으로는 항상 거의 대부분 크리스탈(crystal)이 사용된다.

각 지역에 설치되는 데이터 취득장치의 시각동기 샘플링을 수행하기 위하여 GPS 수신장치의 시각동기 신호인 1PPS(Pulse Per Second)를 이용한다. 이 1PPS 신호는 GPS 수신장치가 GPS 위성으로부터 정보를 수신하여 초당 1회의 펄스를 발생시킨다.

그림 1에서와 같이 시각동기 신호의 1주기는 1초이며 시각이 바뀌는 순간 시각동기 신호는 Low에서 High의 상태로 바뀌어 0.5초 동안 유지되며, 이후 Low의 상태로 바뀌어 0.5초 동안 유지된다.

따라서 샘플링의 기준으로 1PPS 신호를 이용할 때 시각동기 신호를 신호 취득 프로세서의 외부 인터럽트에 연계하여 1PPS 신호가 High에서 Low 상태로 변화할 때 신

호 취득 프로세서에 인터럽트를 발생시켜 샘플링의 기준을 설정하도록 한다. 신호 취득 프로세서의 인터럽트가 요청되면 내부 타이머를 기준 시각으로 설정하고 데이터 취득을 수행한다.

4. 광역 온라인 동기위상 감시장치를 이용한 계통 안정도 해석

실시간 안정도 판별 시스템의 핵심 내용은 GPS 위성을 이용한 시각동기장치로부터 전송된 주요 발전기들 사이의 각종 계통자료들의 변화를 신속하게 예측하여, 이상 징후 감지시 필요한 조치를 강구할 수 있도록 하는 것이다.

현재 발전기 불안정에 기인한 발전기 정지는 200ms 정도의 시간영역 내에서 결정되며, 현재의 기술 수준에서는 이 시간 내에 상세한 안정도 계산과 발전기 제어를 하는 것은 불가능한 것으로 알려져 있다.

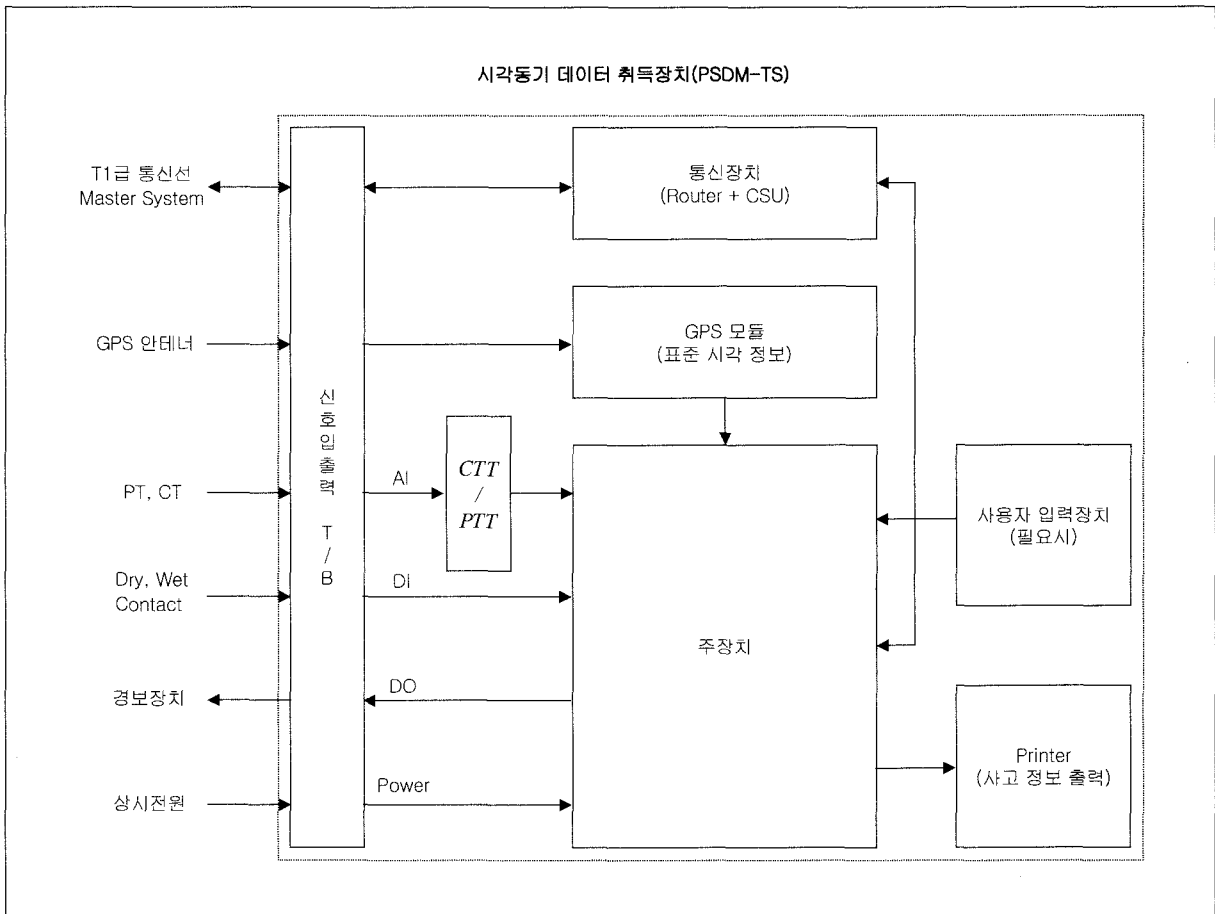
선진국에서는 발전기 불안정시 전력계통의 안정화를 위해 전원 및 수용가의 전력사용 제한과 같은 비상 제어

수단을 고려하고 있으며, 이를 위해 대규모 발전소들의 계통자료들의 변화를 온라인으로 측정하여 실시간으로 계통 안정화 여부를 예측하고, 한 발전기의 불안정화로 인하여 계통 전체에 영향을 미쳐 전체 계통에 사고가 파급될 것으로 예측될 시에는 불안정한 발전기들을 강제로 계통에서 분리시켜 나머지 발전기들의 고장, 정지를 방지하고 전체 계통의 안정도를 유지시키고자 하는 방법들이 연구되고 있다.

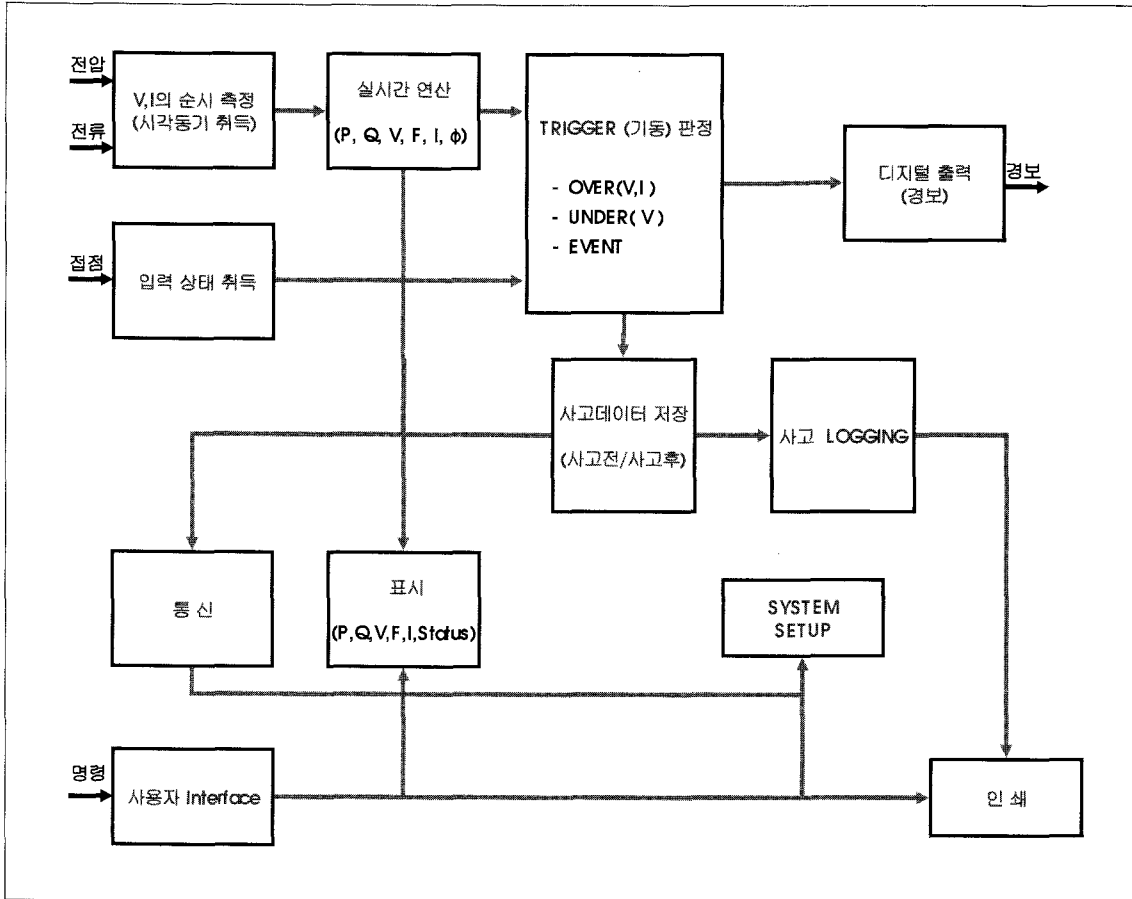
한국전력거래소와 전력연구원 및 (주)프로컴시스템이

공동으로 개발하여 운전 중에 있는 광역 실시간 동기위상 감시장치인 PSDM-TS(Power System Dynamics Monitor-Time Synchronized)는 계통의 다지점 동시측정을 위해서 별도의 시각동기 정보를 이용해서 동기된 계통 데이터를 취득할 수 있는 장치이다.

기존의 디지털 레코딩 장치와 유사하지만 GPS 위성에서 송신하는 시각 정보를 기준 시각 정보로 사용해서 모두 1 μ s 이내로 동기된다. 따라서 여러 지역 간의 위상차를 비교하는 것이 가능하게 되며, 취득된 시각동기 데이



〈그림 2〉 PSDM-TS 시스템 구조



〈그림 3〉 로컬 시스템의 전체 기능 구성

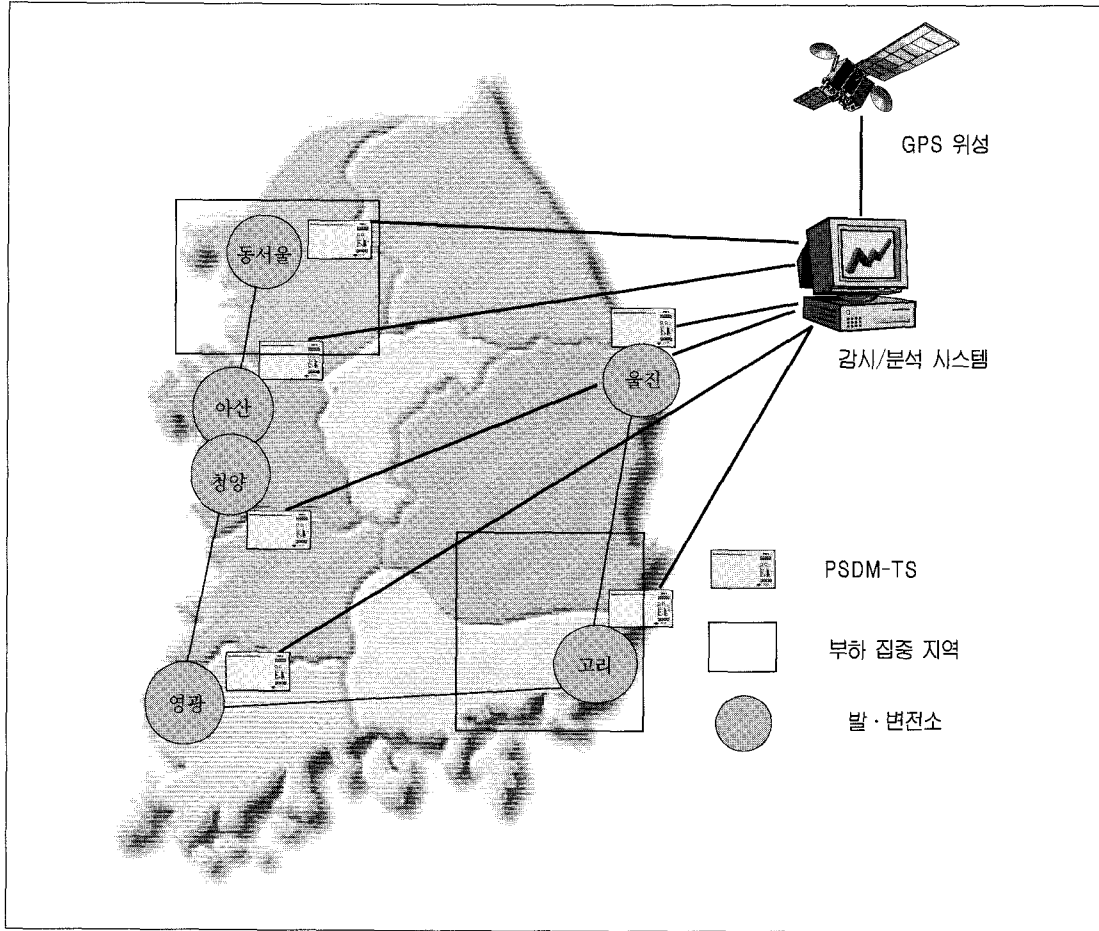
터는 다량의 데이터를 실시간으로 전송하기 위해 1.544Mbps의 T1급 전용회선을 통해 여러 지점의 계통자료를 집중 감시, 분석 할 수 있는 중앙 시스템으로 보내져 사용자가 각 지점의 데이터들을 상시 감시하며, 필요시 안정도 분석을 실시할 수 있다.

PSDM-TS에서는 취득한 계통자료를 이용하여 감시/분석 시스템에서는 전압, 주파수, 전력 등을 상시 감시하면서 순시값과 실효값을 재생하며 주파수 분석, 벡터 분석, 대칭성분 분석, 고조파 분석 등을 수행하여 계통의 안정도를 분석할 수 있다.

그림 2는 PSDM-TS의 시스템 구성을 나타내고 있다.

그림 3에서와 같이 PSDM-TS에서는 아날로그 최대 64 채널, 디지털 최대 128채널에 입력되는 전압, 전류 및 디지털 상태 데이터를 GPS 위성에 의한 시각동기로 취득하며, 각 채널별 실효값, 위상, 각 피더별 유효/무효전력, 전압 정상분, 주파수 측정 및 연산을 실시한다.

또한 단일장소에서의 사고판단, 경보, 트리거 조건 체크에 의한 순시데이터 기록이 가능하며 연산된 데이터는 표시장치에 의하여 실시간으로 상태를 표시하고, 전용 통신선을 통해 중앙집중장치로 전송된다. 기록된 데이터는



〈그림 4〉 광역 온라인 실시간 전력계통 감시·분석 장치 개념도

인쇄 장치를 통해 결과를 출력하며, 통신선에 의해 외부의 장치로 전송될 수도 있다. 장치의 각종 환경은 사용자 입력 장치에 의하여 입력되고, 외부로부터 통신으로도 설정이 가능하도록 구성되어 있다.

그림 4는 시각동기 데이터 취득 장치의 전체적인 개념도를 나타낸 것이다. PSDM-TS는 부하 집중 지역에 설치되어 계통 데이터를 취득하며 별도로 설치된 시각동기 장치를 이용하여 시각동기된 데이터들을 중앙에 설치되어 있는 감시 시스템에 실시간으로 데이터를 전송하게

된다.

PSDM-TS에서 온라인 감시가 가능한 데이터들은 다음과 같다.

① 장치별 데이터 감시

중앙감시시스템에서 감시할 수 있는 장치는 최대 99대이며, 각각의 장치에서 측정하는 데이터는 아날로그 채널의 전압/전류, 트랜듀서에서 오는 각종 계측량과 디지털 접점을 통해서 확인할 수 있는 접점 상황, 각 피더에서 입 출력되는 P, Q, V, f 등이다(표 1, 2, 3 참조).

〈표 1〉 아날로그 채널 감시

구 분	내 용
최대/최소 채널	64 / 0 개
표시 대상	채널 이름 / 채널 물리량 / 단위
표시 방법	표시 대상을 한 그룹으로 표시
화면 구성	최소 0~최대 64 채널을 동시에 모니터링 할 수 있다

〈표 2〉 디지털 채널 감시

구 분	내 용
최대/최소 채널	128 / 0 개
표시 대상	채널 이름 / Normal 접점 상태 / 현재 접점 상태
표시 방법	표시 대상을 한 그룹으로 하여 표시(접점 표시는 LED 점멸)
화면 구성	최소 0~최대 128 채널을 동시에 모니터링 할 수 있다

〈표 3〉 P, Q, V, f 감시

구 분	내 용
최대/최소 피더	31 / 0 개
표시 대상	피더 구성 채널 이름 / 피더명 / P, Q, V, f 값
표시 방법	표시 대상을 한 그룹으로 하여 표시
화면 구성	최소 0~최대 31 피더를 동시에 모니터링 할 수 있다

〈표 4〉 사용자 지정 대상

구 분	내 용
최대 감시 Point	128 point
표시 대상	사용자가 지정한 각 장치의 아날로그 채널 / P, Q, V, f 데이터
표시 방법	장치 명 + 채널 명(피더 명) + 물리량 + 단위
화면 구성	Text/Graphic 모드로 표시

② 사용자 지정 데이터 감시

중앙감시시스템의 장점은 최대 99대의 장치 데이터를 한 시스템 안에서 비교, 감시 할 수 있는데 있다. 즉 설치되어 있는 여러 대의 장치가 감시하고 있는 데이터 포인트 중에서 사용자가 집중적으로 감시하기를 원하는 포인트를 여러 대의 장치 중에서 사용자 임의로 지정하여 감시할 수 있다(표 4 참조).

5. 앞으로의 전망

현대 전력계통에서는 전력을 이용하는 다양한 수용가의 수가 증가하면서 송전선에 흐르는 전력의 흐름이 원활하지 못하게 되었는데 이를 뒷받침하여야 하는 송전선로는 환경과 재정상의 이유로 전력 수요의 증가 속도로 새로 건설하는 것이 어려워, 전력을 안정적으로 전달할 수 있는 확률이 점차 감소되어 왔음은 앞에서 언급한 바 있다.

여기에다 최근 진행되고 있는 전력산업의 구조개편은

전력을 입찰에 의해 결정하고 따라서 전력의 흐름이 예상할 수 없는 불확실성을 가지도록 할 전망이다.

지금까지는 송전선로에 병목현상이 발생하여 안정도가 우려되는 상황일지라도 발전/송전/배전이 한 회사에 의해 소유/운영되어 전력회사는 전력계통의 안전을 해치지 않도록 보수적으로 운용계획을 수립하면 안정도 문제를 어느 정도 극복하는 것이 가능하였다. 그러나 전력을 입찰에 의해 결정하면 전력 흐름의 통제가 어려워지고 안정도 문제 등 네트워크상의 제약으로 전력의 흐름을 통제하는 것이 가능하더라도 이에 많은 비용을 수반하게 된다.

이러한 새로운 전력계통 운용 환경 하에서 전력계통의 안전도는 더욱더 위협받을 것으로 예상되고, 전력계통의 빠른 변화를 감시하는 광역감시시스템과 온라인 안전도 평가의 필요성이 증대될 전망이다. 이에 따라 전력계통의 안정적인 운영을 위해서는 GPS를 통한 시각동기된 계통 자료를 이용하여 전력계통의 안정도를 해석하고 분석하는 시스템의 필요성이 더욱 절실해질 것으로 보인다. ❏