



# GPS와 전력 시스템

■ 신중린, 조기선\* / 건국대 전기공학과 교수, \*건국대 전기공학과 박사과정

## 서론

인간은 절대적 내지는 상대적 기준에 대해서 자신의 상태(위치·시각)를 인지하고자 하는 욕구를 끊임없이 표출해왔다. 원초적으로는 주변의 지형지물을 이용하거나(Piloting), 하늘의 별을 관측하여 자신의 위치를 추측(Celestial Navigation)하였으며, 방향과 거리를 이용하기도 하였다(Dead Reckoning). 인간의 행동 영역이 넓어지고, 관련 기술이 발달됨에 따라서 인간은 항법(Navigation)<sup>1)</sup>에 대한 다양한 요구를 창출하였으며, 그에 관련된 도구와 방법에 있어서도 상당한 기술적 진보를 보여왔다.

제2차 세계대전 중 등장하기 시작한 전파항법시스템(Radio Navigation System)은 송신국에서 발사되는 특수한 형태의 전파를 수신하여 자신의 위치를 측정하는 시스템이다. 전파항법시스템은 송신국의 설치 위치에 따라서 지상전파항법시스템 및 위성전파항법시스템으로 분류된다. 지상전파항법시스템으로는 대표적으로 Decca,

Omega, VOR/DME, Loran-C 등이 있으며, 위성전파항법시스템으로는 Transit, GPS, GLONASS, INMASAT 등을 들 수 있다[1-6]. 지상전파항법시스템에 비해서 위성전파항법시스템은 위성을 송신국으로 이용함으로써 송신국의 가시범위가 넓어 지형지물에 대한 영향이 크지 않으며, 그 이용 범위 또한 넓게 분포되는 장점을 가지고 있으나, 고가의 위성을 제작해야하는 경제적 비용 부담이 큰 시스템이라 할 수 있다. 위성전파항법시스템이 주로 군사적인 목적으로 국가적인 차원에서 추진되어 온 이유가 여기에 있다.

위성전파항법은 “인공위성의 위치가 명확하다면 그 위성으로부터 발사된 전파를 지상에서 수신하여 그 수신기의 위치를 계산할 수 있다”라는 기초연구 결과<sup>2)</sup>에 바탕을 두고 있다. 군사용 목적으로 개발되어 1967년에 민간이

용이 허용된 Transit은 6개의 Transit 위성(고도 1,100km, 주기 107분)을 통해서 운용되었으나, 이 시스템은 2차원 위치결정만이 가능하고 위치결정의 주기와 시간에 제한이 있었다[1,3].

*GPS(Global Positioning System)는 미국의 국방성에서 운용하는 위성전파항법시스템으로 사용자에게 정밀한 시각정보와 위치 정보를 제공한다. 여기서는 이러한 GPS 시스템의 구성에 대해서 알아보고, 전력시스템의 성능 향상을 도모하기 위해서 GPS 시스템이 적용된 사례를 살펴봄으로써 향후 우리 나라 전력시스템에 대한 GPS의 적용 가능성을 알아보고자 한다. 전반부에는 GPS 시스템에 대해서 정리하였고 후반부에는 전력시스템에 적용된 사례를 시각정보와 위치정보로 분류하여 다루었다.*

1) 항법(Navigation)은 인간으로 하여금 “한 지점으로부터 원하는 목적지까지 도달할 수 있도록 해주는 수단”이라 할 수 있다.

2) Johns Hopkins 대학의 APL(Applied Physics Laboratory)



미국 공·해군은 Transit의 단점을 보완한 새로운 위성항법시스템을 위한 공동연구로 NAVSTAR (Navigation Signal Time And Range) GPS(Global Positioning System)라는 프로젝트를 1960년대에 추진하여, 약 30년간의 노력으로 1993년 12월 8일 GPS 시스템의 정상가동을 공식적으로 선포한 바 있다[1-6]. 미국은 GPS 시스템을 미군의 군사적인 목적과 제한된 범위에서의 민간이용을 허용하였으며, 적대국이 GPS를 역이용해 미국을 공격하는 것을 막기 위해 GPS의 측위 정밀도를 고의로 떨어뜨리는 위성방해신호(Selective Availability: SA)를 추가하여 서비스하였다. 이러한 SA는 GPS 시스템의 민간 이용에 있어서 가장 큰 걸림돌이 되어왔으나, 2000년 5월 1일 클린턴 대통령은 민간 부문에 의도적으로 포함되었던 SA를 제거하기로 결정하고 발표함으로써, GPS 시스템을 이용한 측위 정밀도가 상당히 개선되었다[Appendix].

SA의 제거에 따른 측위 정밀도의 향상으로 향후 GPS의 활용 가능성은 더욱 확대될 것으로 예상된다. 본 고에서는 이러한 GPS 시스템에 대해서 개괄적으로 알아보고, 실지로 전력계통의 성능향상을 위해 GPS 시스템이 활용된 사례를 살펴봄으로써, 전력산업 구조개편과 같은 전력계통의 환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 전력시스템 정밀 감시 등 전력계통운용의 성능향상을 도모할 수 있는 다양한 활용 분야를 모색하는 계기로 삼고자 한다.

## GPS의 구성

GPS는 미국 국방성에서 운용하는 위성항법시스템으로 지구상의 언제 어디서나 무제한의 사용자가 24개의 위성군에서 발사되는 특수한 형태의 전파를 수신하여 자신의 3차원 위치와 시간을 매우 정확하게 알아낼 수 있는 시스템이다.

본 절에서는 GPS의 구성에 대해서 설명하고자 한다. GPS는 위성부분, 지상국부분, 그리고 사용자부분으로 구성되어 있다[1-6].

### 위성부분(Space Segment)

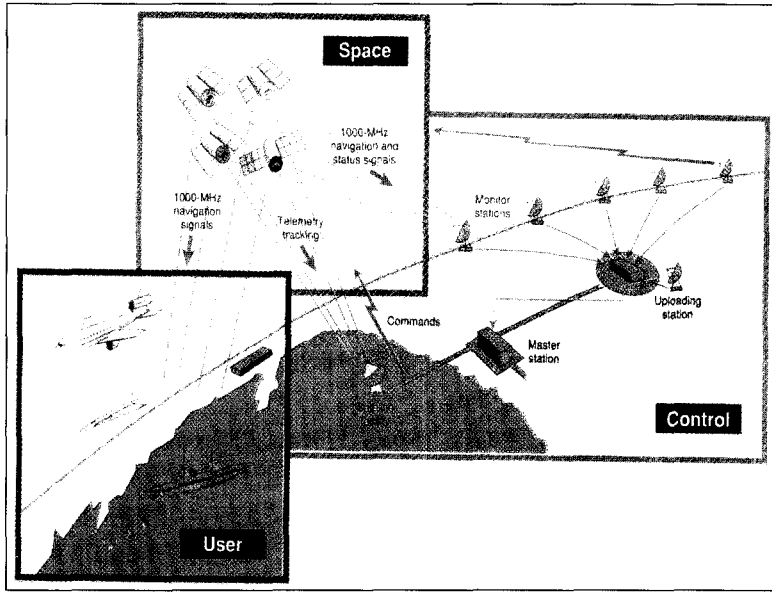
GPS 위성은 지구상의 어느 위치에서나 항상 위치결

정에 요구되는 최소 4개의 위성이 관측될 수 있도록 위성군(Satellite Constellation)을 이루고 있다. GPS 위성군은 24개 위성으로 구성되어 있으며, 적도면과 55도의 기울기로 6개의 궤도면에 각각 4개씩의 위성이 배치되어 있다. 위성의 고도는 20,183~20,187km이고, 주기는 11시간 56분이다. 모든 위성은 매우 정확한 세슘(Cesium) 원자시계와 루비듐(Rubidium) 원자시계를 각각 2개씩 장착하고 있다. 2002년 1월 31일 현재 28개의 위성이 발사되었고, 이 중에서 4개의 위성은 유지보수 및 가동 준비중에 있으며 실지로 24위성이 운전중에 있다(표 1).

모든 GPS 위성은 반송파, PRN(Pseudo-Random Number) 코드, 그리고 항법메시지로 구성된 신호를 전파한다. 반송파는 L-Band(L1, L2) 주파수를 사용하고 있으며, L1은 1575.42MHz, L2는 1227.6MHz를 사용하고 있다. PRN 코드는 각 위성을 구분하기 위한 고유 2진화된 코드로 C/A코드(Coarse Acquisition Code)와 P코드(Precise Code)가 있다. C/A코드는 L1

표 1. 2002년 1월 31일 현재 GPS 위성 현황

A BLOCK I/IIA/IF INDIVIDUAL SATELLITE STATUS	
SWN	PRN
15	02 Launched 10 JUN 89 usable 10 AUG 89; operating on C/s std
16	Launched 01 OCT 90; usable 15 OCT 90; operating on C/s std
17	Launched 11 OCT 89; usable 26 JAN 90; operating on R/s std
21	Launched 02 AUG 90; usable 22 AUG 90; operating on C/s std
22	Launched 03 FEB 93; usable 24 APR 93; operating on R/s std
23	Launched 26 NOV 90; usable 10 DEC 90; operating on C/s std
24	Launched 07 JUL 91; usable 26 AUG 91; operating on C/s std
25	Launched 23 FEB 92; usable 24 MAR 92; operating on C/s std
26	Launched 07 JUL 92; usable 23 JUL 92; operating on R/s std
27	Launched 09 SEP 92; usable 30 SEP 92; operating on C/s std
28	Launched 18 OCT 92; usable 15 JAN 93; operating on R/s std
30	Launched 12 SEP 90; usable 01 OCT 90; operating on R/s std
31	Launched 30 MAR 93; usable 15 APR 93; operating on C/s std
32	Launched 22 NOV 92; usable 11 DEC 92; operating on C/s std
33	Launched 28 MAR 95; usable 02 APR 95; operating on C/s std Scheduled unusable 05 Feb 2000 to 1360 UT for maintenance (NANs 2002018)
34	Launched 26 OCT 95; usable 22 NOV 95; operating on R/s std Scheduled unusable 07 Feb 9900 to 2000 UT for maintenance (NANs 2002020)
35	Launched 30 AUG 93; usable 28 SEP 93; operating on C/s std
36	Launched 10 MAR 94; usable 28 MAR 94; operating on C/s std
37	Launched 13 MAY 93; usable 12 JUN 93; operating on R/s std
38	Launched 08 NOV 92; usable 12 DEC 92; operating on R/s std
39	Launched 28 JUN 93; usable 20 JUL 93; operating on C/s std
40	Launched 16 JUL 96; usable 11 AUG 96; operating on C/s std
41	Launched 11 NOV 92; usable 4 DEC 92; operating on R/s std
43	Launched 23 JUL 97; usable 31 JAN 98; operating on R/s std
44	Launched 16 JUL 90; usable 11 AUG 90; operating on R/s std
46	Launched 07 OCT 99; usable 05 JAN 00; operating on R/s std
51	Launched 11 MAY 00; usable 01 JUN 00; operating on R/s std Unusable 29 Jan 00 to 0730 UT due to maintenance (NANs 2002016, 2002019, 29 JAN)
54	Launched 30 JAN 01; usable 15 FEB 01; operating on R/s std Unusable 31 Jan 001 to 2115 UT due to maintenance (NANs 2002017, 2002021, 31 JAN)



### 지상국부분(Ground Segment)

지상국 부분은 각 GPS 위성에서 보내온 신호를 분석하여, 위성의 궤도 및 장착된 원자시계의 정밀도를 면밀히 분석하여 각 위성들간의 시계를 동기시킨다. 이를 위해서 미국 콜로라도에 위치한 팔콘 공군기지에 주 관제소를 두고 전세계에 5개의 관제소를 설치하였으며, 3개의 Uplink 안테나를 비치하고 있다. 각 GPS 위성의 궤도 및 시계 정밀도를 분석한 결과는 Uplink 안테나를 통해서 각 GPS 위성으로 올려보내지고, 각 GPS 위성은 이러한 정보를 항법메시지에 실어서 사용자에게 보내게 된다. 사용자는 이 정보를 측위 계산시에 활용함으로써 보다 정밀한 측위를 실현할 수 있게 된다.

반송파에만 실리며 1023비트로 1msec마다 반복된다. 민간사용자는 이 C/A코드만을 접근할 수 있다. P코드는 군사용으로 사용되고 있으며, 10.23MHz의 주파수로 L1과 L2반송파에 실어 전파된다. 항법메시지는 위성시계 보정 상수, 위성궤도 상수, 위성위치정보, 위성 상태 등의 정보를 담고 있는데, 한 프레임은 1500bit로 이루어져 있으며 5개의 하위 프레임으로 구성되어 있다. 항법메시지의 전송속도는 50bps (bit per second)로 한 프레임을 전송하는데 30초가 소요된다[3,4].

### 사용자부분(User Segment)

사용자부분은 위성의 전파를 수신하여 그 수신기의 위치와 시각을 결정하는 하드웨어 및 소프트웨어로써 그 활용분야 및 사용자에 따라서 다양하게 나타날 수 있다.

### 측정원리

GPS 위성은 각 위성을 식별하기 위한 자기 고유의

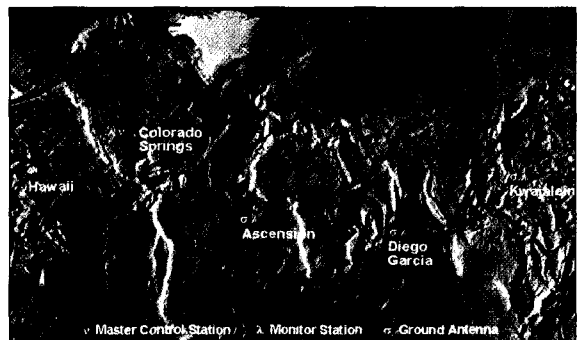
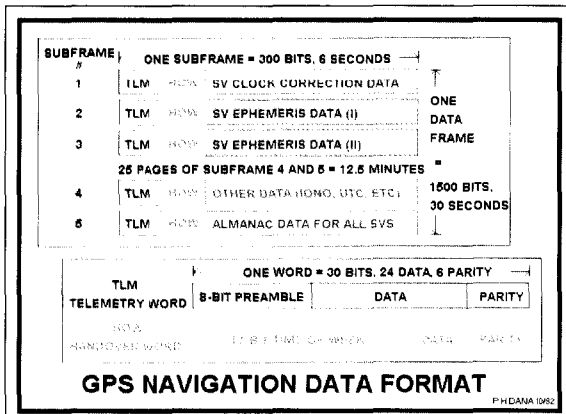


그림 3 GPS 지상국

PRN코드를 사용하고 있으며, 위성에 탑재된 정밀한 원자시계를 이용하여 정확한 시간을 표시한 PRN코드를 지상으로 전파한다. GPS 수신기에서는 위성들의 PRN코드를 스스로 생성하고 위성에서 전파되는 신호와 수신기에서 생성된 신호 사이의 실시간 코드정합(Real-Time Code-Matching)법을 이용하여 어느 위성의 신호인지를 식별하고 이를 통해서 위성과 수신기간의 거리를 계산한다[1-6].

위성에서 전파된 신호가 수신기에까지 도달한 시간에 빛의 속도를 승산함으로써 위성과 수신기간의 거리를 계산할 수 있다. 문제는 이때 신호의 도달시간은 수신기에 내장된 시계(경제성의 이유로 주로 수정발진자를 사용)에 의해서 측정하게 된다. 이러한 수신기 시계에 의한 시간오차가 위치측정의 주요한 오차요인으로 작용하게 된다. 또한 위성에서 전파된 신호는 전리층과 대류권을 통과하게 되므로 이에 따른 시간 지연이 존재하여 수신기가 측정한 거리는 실제 거리와는 다르게 된다. 이렇듯 오차를 포함하게 되는 수신기가 측정한 거리를 의사거리(Pseudo-range)라고 한다. 전리층과 대류권의 시간지연을 상수로 처리하고 수신기의 시간오차만을 고려하여 사용자와 위성간의 의사거리를 나타내면 아래 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$p_i = |r_i - r_u| + c \cdot b_u + \epsilon_{p_i} \quad (1)$$

여기서

$r_i$  : 신호 전파시각에 위성의 위치

$r_u$  : 수신 시각에 수신기의 위치

$c$  : 광속( $3 \times 10^8$  m/s)

$b_u$  : 수신기 시계의 시계오차(clock bias)

$\epsilon_{p_i}$  : 관련오차(전파지연 및 위성오차 포함)

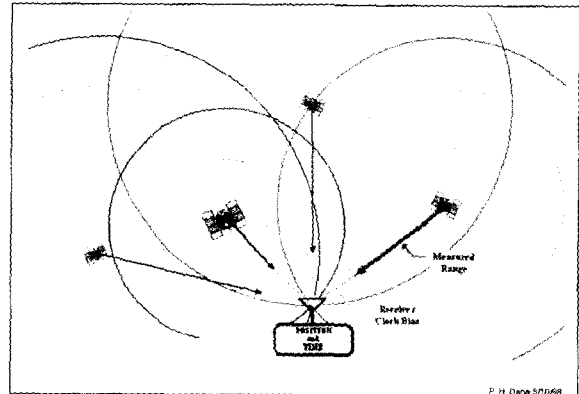
사용자 수신기의 3차원 위치(위도, 경도, 고도) 및 수신기의 시간오차를 결정하기 위해서 (1)은 아래 식(2)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} + c \cdot b_u \quad (2)$$

여기서,  $x_i, y_i, z_i$ 는  $i$ 번째 위성의 위치를 나타내며,  $x, y, z$ 는 수신기의 위치를 나타낸다. 따라서, 수신기의 3차원 위치와 시간오차(4개 미지수)를 구하기 위해서는 최소한 4개의 방정식을 수립해야 하므로, 최소 가시위성의 수가 4개인 것이 이러한 연유이다.

식(2)의 항법식은 최소자승법과 같은 수치해석적 방

법을 통해서 구하거나, 앞에서 언급된 다양한 전파지연을 고려하기 위해서 상대성 이론을 고려한 칼만 필터 등을 이용해서 항법해를 도출한다.



GPS의 위치측정 정확도는 단지 항법식에 의해서만 결정되는 것이 아니고 항법식을 구성하는 GPS 위성의 기하학적 배치에도 영향을 받는다. 이러한 오차를 GDOP(Geometric Dilution Of Precision)이라고 한다. 측정된 수신기의 위치는 항법식에 의한 의사거리 표준편차에 GDOP이 곱해진 형태의 표준편차를 갖게 된다. 따라서, 항법식을 구성하는 위성의 선정은 중요한 고려사항으로 작용한다[1-6].

GPS의 C/A코드를 이용한 위치 측정의 정밀도를 높이기 위한 연구가 다양한 각도에서 이루어지고 있는데, 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 분야가 바로 DGPS(Differential GPS)이다. DGPS는 위치가 매우 정밀하게 알려진 지상 기준국에서 GPS 위성으로부터의 신호를 받아 위치에 관련된 오차를 계산하고 이를 사용자에게 제공하여함으로써 사용자는 공통 관련오차를 제거할 수 있어 보다 정밀한 측위의 구현이 가능하게 된다. 공통오차로서 관련오차를 제거하기 위해서는 지상기준국과 사용자간의 거리가 100km를 넘지 않도록 기준국을 선정해야 된다고 보고되고 있다[3,5].

지금까지 GPS 시스템의 구성과 측정원리에 대해서 개괄적으로 살펴보았다. 본 고에 기술된 내용은 개괄적인 것으로서, 좀더 전문적인 내용을 원하는 독자를 위하여 뒤에 다양한 참고문헌을 제시하였다. 다음 절에서



는 GPS가 전력계통에 응용되고 있는 사례를 살펴보기로 한다.

## 전력시스템에 대한 GPS의 적용 사례

전력시스템 분야에 GPS 시스템의 활용은 현재로서는 극히 제한된 범위에서 이루어지고 있다. 전력시스템은 지리적으로 넓게 분포되어 있고, GPS 수신기의 설치위치가 변전소나 발전소의 옥외에 시설함으로써 가시위성의 개수에 있어서 유리한 반면, 전력시스템을 구성하는 구성요소가 정적인 위치에 고정된 것이 대부분이기 때문에 여타 분야에 비해서 많은 활용 사례가 발표되고 있지는 못하다. 여기서는 GPS의 3차원 위치 정보와 시각정보를 활용하여 전력시스템의 성능향상에 기여하고 있는 주요한 활용사례를 살펴보도록 한다.

### GPS의 시각정보 활용

전력시스템은 지리적으로 넓게 분포되어 있으며 에너지 수송의 관점에서 매우 빠른 유통 특성을 가지고 있다. 더욱이 대용량의 저장수단이 없는 에너지의 생산과 소비가 동시에 이루어지고 있는 시스템이다. 이러한 전력시스템을 안정적이면서도 효율적으로 정밀하게 운용하기 위해서는 전력시스템의 각 측정점에서 정밀하게 동기화된 물리량의 측정이 요구된다. 과거 이러한 동시성을 보장하는 효과적이고 경제적인 수단이 없었다. GPS는 현존하는 시스템 중에서 가장 정밀한 시각 동기원이다[2].

GPS는 전력시스템의 운용 및 제어에서 요구되는 동

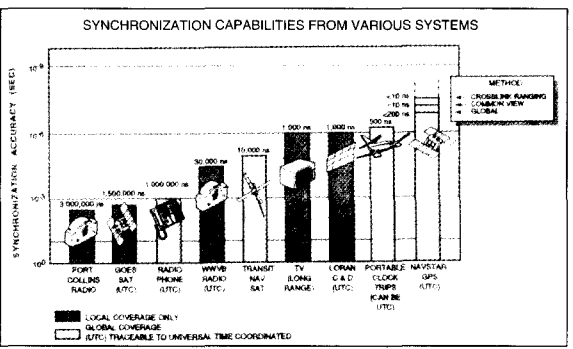


그림 5 시각동기방법들의 비교

기화 요구조건을 충분히 만족하는 저가의 고정밀 시각 동기원으로 그 활용 가능성 및 잠재력이 우수한 것으로 평가되고 있다[5].

GPS 수신기에서 제공되는 1 PPS 신호( $\pm 1\mu s$  시각동기편차)를 전력시스템의 기준 시각으로 사용함으로써 어떠한 상황하에서도 전력시스템의 어느 지점에서나 동일한 기준 시각 정보를 취득할 수 있으므로 해서 전압, 전류 등의 물리량에 대한 동기화된 고정밀 페이지 측정 등이 가능하게 된다.

### ■ GPS를 이용한 고정밀 클럭 발생기[7]

GPS를 이용한 고정밀 클럭발생기는 GPS 수신기에서 제공되는 1 PPS 신호를 이용하여 전력시스템의 각종 계측장비에서 요구되는 클럭을 발생하는 장치이다. 정밀 클럭 발생기는 Oscillator의 주파수를 분주하여 GPS 수신기의 1 PPS 신호를 이용하여 보정과정을 거침으로써 매우 정밀한 클럭을 발생하게 된다.

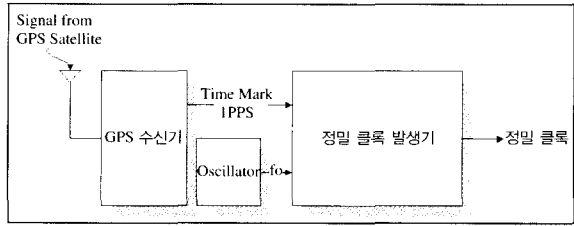


그림 6 GPS 수신기와 정밀 클럭 발생기

### ■ GPS를 이용한 정밀한 페이지 측정기

GPS를 이용한 고정밀 시각동기가 가능해짐에 따라서 전력시스템에서 동기화가 요구되는 모든 분야의 성능 향상을 도모할 수 있게 되었으며, 특히 페이지 측정기(Phasor Measurement Unit: PMU)는 그 실효성이 크게 부각되고 있는 분야로 전 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있으며 국내 연구진에 의해서도 많은 기술적 진척을 보이고 있는 분야이다. 그림 6은 GPS 기반 PMU의 구성도를 나타낸 것이다.

전력시스템의 전압이나 전류를 샘플링하기 위한 샘플링 클럭 발생기(전술한 고정밀 클럭 발생기)가 GPS의 1 PPS와 동기를 이루고 있으며, 측정된 물리량은 개



별적인 시각표시(time stamped/tagged)를 가지고 저장된다. 마이크로 프로세서는 전력시스템 해석에 용이하도록 데이터를 변환하며, 모뎀을 통해서 중앙제어소로 취득된 데이터를 전송하여 분석하게 된다.

고정밀의 측정시각동기를 통해서 전력시스템의 여러 지점에서 측정된 물리량은 시각표시를 기준으로 데이터를 비교 분석할 수 있게 된다.

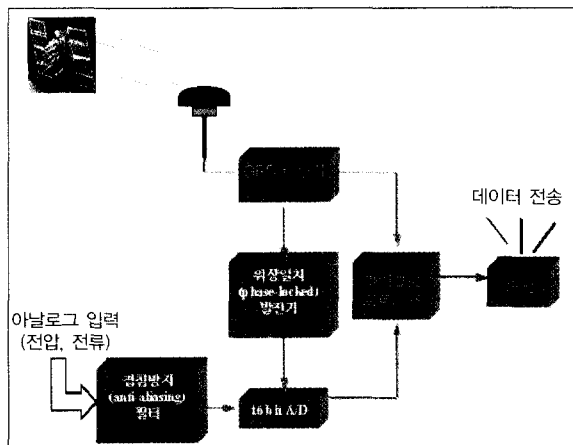


그림 7 GPS 기반 페이저 측정장치의 구성도

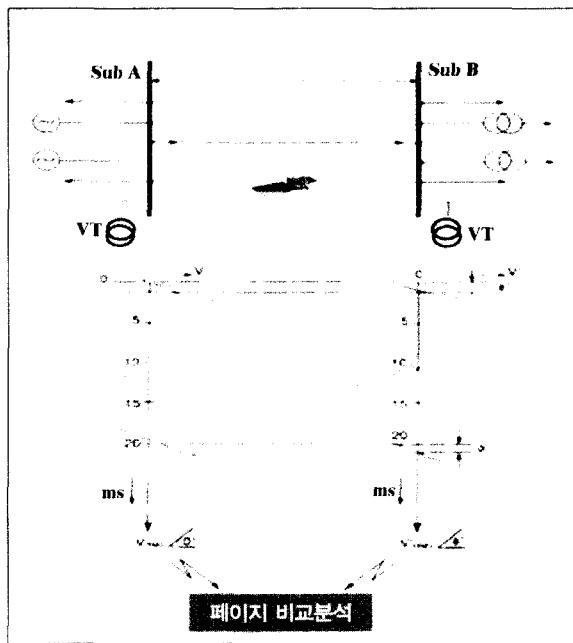


그림 8 동기화된 페이저 측정

그림 8은 모선간의 위상비교를 예시한 것으로 각 측정점에서의 전압 파형의 영점교차(zero crossing) 순간 및 측정점간의 영점교차 시간차를 이용하여 각 모선 및 모선간의 위상각 차를 보다 정밀하게 계산할 수 있다.

이러한 고정밀 동기 페이저 측정법은 전력시스템의 감시·보호·제어에 대한 응용 잠재력이 매우 크며, 그 중에서 중요한 몇 가지를 열거하면 다음과 같다.

- 주파수 및 전압·전류 페이저 정밀 측정
- 상태 추정(State Estimation)
- 불안정성 예측(Prediction of Instability)
- 적응 계전(Adaptive Relaying)
- 중앙집중 제어감시(Control and Monitoring)

이에 대한 자세한 내용은 본 특집의 다음 번 주제인 "동기 페이저 측정장치를 활용한 전력계통 보호 및 제어"에서 다루어질 것이다.

■ GPS를 이용한 전력계통 파라미터 정밀 추정[7]

전력계통의 파라미터(송전선로의 컨덕턴스, 서셉턴스, 대지충전용량 등)는 설비의 구성이나 노화상태 그리고 계통 운용상황에 따라 그 값이 변할 수 있음에도 불구하고 지금까지 대부분의 전력계통 운용·제어에서는 일정한 계산 방식에 의하여 정해진 고정된 값을 사용하고 있기 때문에 특별한 상황에서는 정밀한 전력계통의 운용제어가 어렵게 될 수가 있다. 향후 전개될 경쟁적 전력시장 체제하에서는 시장참여자 간의 상반된 이해나 상황 대처 전략의 다양성으로 인하여 그러한 특별한 상황에 이를 수 있는 기회가 빈번해 질 수 있으므로 전력계통 정밀제어에 심각한 문제가 야기될 수 있다. 따라서 향후 전력계통의 안정적 운용과 전력설비의 효율 극대화를 실현하기 위해서는 정밀한 정적(static) 및 동적(dynamic) 파라미터의 추정이 요구된다. 또한 전력계통의 경제적인 운용을 위하여는 전력계통 상태 추정에 관련한 여러 가지 물리량에 대한 추정이 요구되는데, 그 추정된 물리량의 정밀도는 측정치의 정밀도보다는 오히려 계통 파라미터의 정밀도에 의해 좌우된다는 사실이 이미 많은 문헌에 보고되고 있다. 따라서 정적, 동적 전력시스템 파라미터의 정밀 추정에 관한 연구는 양방향입찰시장의 전개를 목전에 둔 현시점에서 중요한 당면문제라 할 수 있다.



# 기획 시리즈 ①

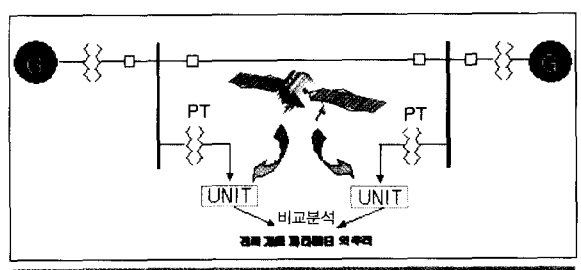


그림 9 PMU를 활용한 전력계통 파라미터 추정 개념도

전력시스템의 4단자 파라미터(ABCD)는 이론적으로 2개의 독립된 운전점에서 송수전단의 전압/전류 페이지를 알면 계산할 수 있다.

따라서 앞에서 말한 GPS를 이용한 정밀 시각동기 기능을 갖춘 PMU를 통해서 시각동기화 시킨 양단의 페이지 값을 정밀하게 측정하면 양단 간의 ABCD 파라미터 값을 계산할 수 있다. 계통 양단의 임의의 2개 페이지 측정지에 대한 관계식을 통해서 ABCD 파라미터는 다음 (3)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 A &= (I_{r1} * V_{s2} - I_{r2} * V_{s1}) / \det \\
 B &= (V_{r2} * V_{s1} - V_{r1} * V_{s2}) / \det \\
 C &= (I_{r1} * I_{s2} - I_{r2} * I_{s1}) / \det \\
 D &= (I_{s1} * V_{r2} - I_{s2} * V_{r1}) / \det
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서,

$$\det = I_{r1} * V_{r2} - I_{r2} * V_{r1}$$

### ■ GPS를 이용한 진행파 기반 정밀 사고위치 검출[7]

GPS를 이용한 고정밀 클록 발생시스템을 활용하면 송전선로에서 발생한 사고의 위치를 정밀하게 검출할 수 있다. 이는 DFR(Digital Fault Recorder)에 클록 발생시스템을 연계하거나 GPS의 1PPS 신호를 동기원으로 사용함으로써 가능하다. 그림 10에 제시된 바와 같이 송전선로의 임의지점에서 발생한 사고에 의한 서지(surge)는 사고지점을 기준으로 양방향으로 진행한다. 따라서, 사고 구간의 양 모선에 시설된 DFR에 기록된 데이터를 비교 분석함으로써 정밀한 사고 위치를 판단할 수 있다. 이러한 접근법은 GPS에 의해 각 계측기(DFR)들이 정확한 동기가 이루어지고 있다는 가정을 전제하고 있다.

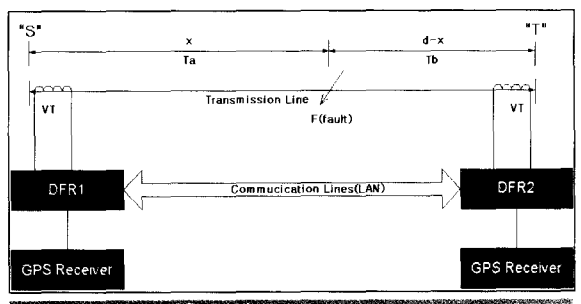


그림 10 사고위치 검출시스템

### ■ GPS의 시각 정보를 전력시스템에 활용한 사례 - IEEE 저널을 중심으로

IEEE 저널을 중심으로 GPS 시스템을 전력시스템에 적용한 주요 활용 분야를 분류하면 대략 다음과 같다. 주요 문헌 자료는 참고문헌에 제시하였다.

- 정밀 기준 시각 제공 시스템 분야 [12,13,21,33,47,51,52,56]
- 사고위치판별 분야 [14,16,18,21,22,23,31,34,41,45,47,48,51,54]
- 계측장비의 시각동기 분야 [11,17,21,22,25,28,38,39,44,45,46,47]
- 페이지 측정기 분야 [15,19,20,21,22,26,33,37,38,39,46,47,48,54]
- 계전기 분야 [9,21,27,29,30,36,37,40,43,44,45,47,49,51,55,58]
- BPA 적용사례 [21,47]
- 기타 [8,10,32,35,42,53]

### GPS의 위치정보 활용

여타 응용분야에 비해서 전력시스템에 GPS의 위치 정보를 활용한 사례는 그리 다양하지 못하여, 대부분의 사례는 GPS의 시각동기를 응용한 것이다. GPS의 위치정보를 활용한 것으로 다음 사례들을 들 수 있다.

### ■ GPS 반송파를 이용한 수력댐의 정밀 수위측정[7]

전력산업 구조개편과 같은 전력시스템 주변여건의 변화는 과거에 비해서 시스템 재원을 보다 효율적으로 운용해야만 한다는 요구가 커지고 있다. 이러한 상황에서 응용 특성이 양호하고 발전원가가 낮은 수력발전소의 효율적인 운용은 시스템의 경제성 및 안전성에 중요



한 요소로 작용하게 된다.

수력발전소의 효율적인 운용을 위해서는 무엇보다 수력댐의 정밀한 수위의 측정이 요구된다. GPS의 SPS (Standard Positioning Service)에서는 SA가 제거된 상황에서 측위 오차범위가 15~18m 더 작게는 6~8m에 이른다[Appendix]. 따라서, 수위측정 정밀도를 높이기 위해서는 반송파 위상이나 DGPS를 이용하게 된다. 반송파 위상을 이용하는 방법은 C/A 코드에서 사용되는 반송파의 파장이 19cm 정도로 짧기 때문에 측정오차가 코드를 이용하는 것보다 작아 정밀한 측위를 구현할 수 있는 방법이다. 하지만 계산량이 많아서 실시간 응용에 보다는 실시간 계산이 요구되지 않는 분야에 주로 적용되어왔다. 최근 실시간으로 GPS 반송파 위상을 이용한 측위를 가능케 한 FAST(Fast Ambiguity Search Technique)이 개발되어 수력댐의 정밀 수위측정에 활용된 바 있다[7]. 반송파 위상을 이용한 측위에 관한 이해를 위해서는 상당히 난해한 문제(Ambiguity)를 해결해야한다. 여기서는 응용 사례의 소개에 그치고 반송파 위상을 이용한 측위에 관한 자세한 설명은 생략한다.

실시간 정밀 수위 측정시스템의 개발로 개별 수력댐의 정밀 수위 정보를 통해서 효율적인 수자원 관리도 도모할 수 있다. 또한 연계수계 내에 있는 다수의 수력댐을 개별 수위 데이터에 포함된 시각정보를 이용하여 통합 관리할 수 있어 효율적인 수자원 관리 및 전력시스템의 안전성 및 경제성을 제고할 수 있다.

#### ■ 전력회사의 자산 관리 시스템에 GPS 활용

전력회사의 관할하는 범위가 넓은 지역에 걸쳐 있는 경우에 효과적인 자산의 관리를 위해서 자산의 정보화가 요구된다. MPC(Montana Power Company)는 몬타나 지역의 전기와 가스를 공급하는 회사로 총 27,000mile의 송·배전선로와 33만개의 송전탑을 관리하는 회사로, 몬타나 지역의 거친 자연환경으로 송전탑의 원활한 유지관리의 어려움이 있어 이를 개선하기 위해서 MPC 자산에 대한 데이터 베이스를 구축하였다. MPC는 GIS(Geographic Information System)를 도입하고, GPS 수신기를 이용한 DGPS를 구현하여 계통 설비 요소가 위치한 정밀 위치 정보를 GIS에 포함시

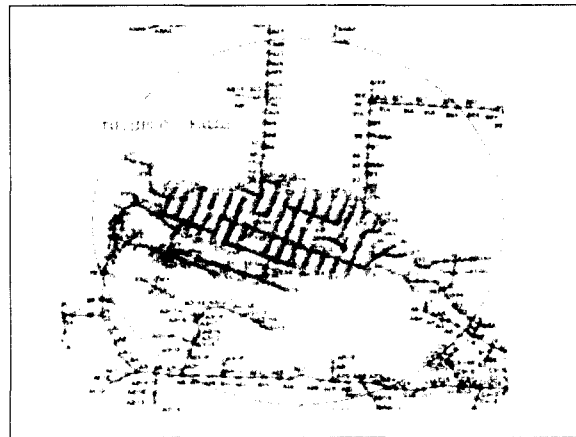


그림 11 몬타나 전력회사의 자산 정보화

김으로써 전체 자산의 정보화를 실현하였다.

이외에도 GPS의 3차원 위치 정밀측정 기능을 이용하여 대규모 초고압 송전선로의 이도 변화 측정, 노후 철타의 변형 감시 등의 응용이 모색되고 있다[8,42,53].

이상과 같이 전력시스템에 GPS가 응용된 사례를 시각정보와 위치정보로 분류하여 살펴보았다.

### 맺음말

지금까지 GPS(Global Positioning System) 시스템의 개요와 GPS의 전력시스템 응용 현황에 대해서 시각정보와 위치정보 활용분야로 나누어 알아보았다. 민간 부문에 고의적으로 포함되었던 SA가 제거되어 측위 정밀도가 상당히 개선됨으로서 다양한 분야에서의 GPS 시스템 활용이 예상된다.

전력시스템에서 GPS의 응용사례는 주로 고정밀 시각동기 기능의 효과를 볼 수 있는 분야에 주류를 이루고 있다. GPS의 고정밀 시각동기를 통해서 전력시스템의 상태벡터 측정 성능의 향상, 이에 따른 전력시스템의 공급신뢰도 향상, 그리고 송·배전선로에서 발생하는 사고의 정밀한 위치 판정 등 전력시스템의 정밀 감시·제어·보호에 있어서 과거에 비해 탁월한 성능을 제시하고 있다.

전력산업 구조개편을 통해서 각 분야에 경쟁원리를 도입하고 이를 통해서 전력시스템의 효율성을 기하고



자하는 일련의 노력들에 있어서 가장 중요한 것은 바로 투명성이라고 생각한다. 전력계통의 정밀 운용제어는 이러한 전력시장운영의 투명성 구현에 매우 중요한 요소라고 생각된다. 시장 운영자는 투명하게 시장을 운용하고, 시장 감시자는 시장을 철저히 감시하며, 모든 시장 참여자는 자신이 투입한 재화에 대한 합당한 보상을 받아야만 전력시장은 건전하게 유지될 수 있다. 이런 점에서 GPS 시스템을 이용한 전력계통의 정밀 감시는 향후 전력시장의 건전성 및 투명성 확보에 중요 역할을 담당할 수 있을 것이다.

하지만 GPS 시스템을 연구하고 활용함에 있어서 간과하지 말아야 할 사실은 특정 국가에 대한 기술 의존도이다. GPS 시스템은 미 국방성에서 운용하는 시스템으로, 현재까지는 미국이 GPS에 대한 일관된 정책을 펴고 있으나 미국의 GPS에 대한 정책이 그 방향을 선회한다면 이를 활용한 국내의 모든 응용분야의 경제적·기술적 손실이 막대하게 발생할 수 있다. 따라서, 특정 국가의 기술 의존도를 낮추고자 하는 노력이 GPS 시스템을 연구하는 것과 마찬가지로 중요하더라는 것이 필자의 생각이다.

참고문헌

참고문헌은 편의상 출처별 연도순으로 정리하였음

[1] David Wells, "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, 1986

[2] B.Hofmann-Wellenhof, et al., "Global Positioning System : Theory and Practice", Springer-Verlag, New York, 1992.

[3] B.W.Parkinson, "Global Positioning System : Theory and Applications", Vol I,II, AIEE, 1996.

[4] E.D.Kaplan, "Understanding GPS Principles and Applications", Artech House, 1996.

[5] Pratalp Misra, Per Enge, "Global Positioning System : Signals, Measurements, and Performance", Ganga-Jamuna Press, 2001.

[6] Jay A. Farrell, Matthew Barth, "The Global Positioning System & Inertial Navigation", McGraw-Hill, 1999.

[7] 연구보고서, 신중린 외, "대전력계통의 공급신뢰도 향상을 위한 GPS 응용에 관한 기반기술연구", 한국과학재단, 2000.

[8] Mensah-Bonsu. C., et al., "Application of the Global Positioning System to the Measurement of Overhead Power Transmission Conductor Sag", IEEE Trans. on Power

Delivery, Vol.17, No.1, pp.273-278, Jan. 2002.

[9] Bo. Z.Q, Weller.G., Lomas.T., Redfern.M.A., "Positional Protection of Transmission Systems using Global Positioning System", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.15, No.4, pp.1163-1168, Oct. 2000.

[10] Moore. P., Crossley, P., "GPS applications in power systems. I. Introduction to GPS", Power Engineering Journal . Vol.13, No.1, pp.33-39, Feb. 1999.

[11] Denny, F.I., "Instrumentation and measurement [power systems]", IEEE Computer Applications in Power , Vol.11, No.2, pp.17-23, Apr. 1998.

[12] Serizawa, Y., et al., "SDH-based time synchronous system for power system communications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.1, pp.59-65, Jan. 1998.

[13] Martin, K.E., et al., " IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.13, No.1, pp.73-77, Jan. 1998.

[14] Lee, H., Mousa, A.M., "GPS Travelling Wave Fault Locator Systems: Investiagtion into the Anomalous Measurements related to Lighting Strikes", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.11, No.3, pp.1214-1223, July 1996.

[15] Palmer, E.W., Ledwich, G., "Optimal Placement of Angle Transducers in Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.11, No.2, pp.788-793, May 1996.

[16] Kezunovic, M., Perunicic, B. " Automated transmission line fault analysis using synchronized sampling at two ends", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.11, No. 1, pp.441-447, Feb.1996.

[17] Murphy, R.J., "Disturbance recorders trigger detection and protection", IEEE Computer Applications in Power , Vol.9, No.1, pp.24-28, Jan. 1996.

[18] Kezunovic, M., Pernuicic, "Synchronized Sampling Improves Fault Location", IEEE Computer Applications in Power, Vol.8, No.2, pp.30-33, April 1995.

[19] R.O.Burnett,Jr., et al., "Synchronized Phasor Measurements of a Power System Event", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.9, No.3, pp.1643-1650, Aug. 1994.

[20] R.O.Burnett, Jr., et al., "Power System Applications for Phasor Measurement Units" , IEEE Computer Applications in Power, pp.8-13, Jan. 1994.

[21] Ivan A.Getting, "The Global Positioning System", IEEE Spectrum, pp.36-47, September 1993.

[22] B.J.Cory and P.F.Gale, "Satellites for Power System Applications", Power Engineering Journal, pp.201-207, Oct. 1993.

[23] M.B.Dewe, "The Application of Satellite Time References to HVDC Fault Location", IEEE Trans. on Power



Delivery, Vol.8, No.3, pp. 1295-1302, July 1993.

[24] A.G. Phadke, "Synchronized Phasor Measurements in Power Systems", IEEE Computer Applications in Power, Vol.6, No.2, pp.10-15, April 1993

[25] Allan J.V.Miller, et al., "Multichannel Continuous Harmonic Analysis in Real-Time", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.7, No.4, pp.1813-1819, Oct. 1992.

[26] Ki-Seon Cho, Joong-Rin Shin, Seung-Ho Hyun, "Optimal Placement of Phasor Measurement Units with GPS receiver", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.1, pp.258-262, 2001.

[27] Serizawa, Y., et al., "Experimental examination of wide-area current differential backup protection employing broadband communications and time transfer systems", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol.2, pp.1070-1075, 2000.

[28] Meliopoulos, A.P.S., et al., "Harmonic measurement system via synchronized measurements", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, pp.1094-1100, 2000.

[29] Min Yong, et al., "The development of the area stability control system in the eastern part of Heilongjiang Power System", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, pp.1506-1508, 2000.

[30] Jingtao Wu, et al., "Dynamic monitoring and control system based on synchronized phasor measurement in Heilongjian Eastern Power System", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.3, pp.1689-1693, 2000.

[31] Aurangzeb, M., Crossley, P.A., Gale, P., "Fault location on a transmission line using high frequency travelling waves measured at a single line end", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.4, pp.2437-2442, 2000.

[32] Yunping Chen, et al., "A study of parameters live measurement of transmission lines with mutual-inductance based on GPS", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.4, pp.2658-2663, 2000.

[33] Watanabe, T., Yokoyama, R., "Advanced measurement system with wide surveillance range of load fluctuation based on GPS", Proceedings of International Conference on Power System Technology, Vol.3, pp.1713-1716, 2000.

[34] Chih-Wen Liu, et al., "An adaptive fault locator system for transmission lines", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol.2, pp.930-936, 1999.

[35] Chen Yunping, et al., "The hardware configuration

and field experiment of GPS-based for online parameter tester for transmission lines with mutual inductance", International Conference on Energy Management and Power Delivery, Vol.2, pp.381-385, 1998.

[36] Lei Qingsheng, et al., "Real-time prediction and control for transient stability of multi-machine power system", Proceedings of POWERCON '98, Vol.2, pp.1361-1363, 1998.

[37] Kamwa, I., et al., "Multi-loop power system stabilizers using wide-area synchronous phasor measurements", Proceedings of American Control Conference, Vol.5, pp.2963-2967, 1998.

[38] Fardanesh, B., et al., "Harmonic monitoring system via synchronized measurements", Proceedings of Harmonics and Quality of Power, Vol.1, pp.482-488, 1998.

[39] Kumar, A., "GPS and communications for precision power engineering", Power Quality '98, p.285, 1998.

[40] Gao Houlei, et al., "Development of GPS synchronized digital current differential protection", Proceedings of Power System Technology, Vol.2, pp.1177-1182, 1998.

[41] Bo, Z.Q., et al., "Application of GPS based fault location scheme for distribution system", Proceedings of Power System Technology, Vol.1, pp.53-57, 1998.

[42] Smallwood, C.L., "The establishment of a mapping protocol utilizing GPS as a data collection source [for electric utilities]", Rural Electric Power Conference, pp.B1-1-7, 1997.

[43] Southern, E.P., et al., "GPS synchronised current differential protection", International Conference of Developments in Power System Protection, pp.342-345, 1997.

[44] Dierks, A., et al., "GPS synchronised end-to-end tests of transmission line teleprotection schemes in the ESKOM network", International Conference of Developments in Power System Protection, pp.355-360, 1997.

[45] Lillian, M., et al., "GPS satellite synchronized test systems recreate fault conditions to troubleshoot protective relay schemes", International Conference of Developments in Power System Protection, pp.346-350, 1997.

[46] Jodice, J.A., et al., "Results of GPS Satellite-Synchronized End-to-End Transient Simulation and Dynamic State Tests on 500 kV and 750kV circuits", International Conference on Digital Power System Simulators, pp.89-93, April 5-7 1995.

[47] Street, M.A., et al., "Global Positioning System applications at the Bonneville Power Administration", IEEE Technical Applications Conference and Workshops, pp.244-251, 1995.

[48] Kezunovic, M., Perunicic, B., "Automated



transmission line fault analysis using synchronized sampling at two ends”, Proceedings of Power Industry Computer Application Conference, pp.407-413, 1995.

[49] Jodice, J.A. Harpham, S., “End-to-end transient simulation for protection system performance testing”, Developments in the Use of Global Positioning Systems, pp.6/1-6/5, 1994.

[50] Gale, P.F., “The use of GPS for precise time tagging of power system disturbances and in overhead line fault location”, Developments in the Use of Global Positioning Systems, pp.5/1-5/2, 1994.

[51] Peter crossley, “Future of the Global Positioning System in Power Systems”, IEE Colloquium, pp.7/1-7/5, 8 Feb. 1994.

[52] Martin, K.E., “Precise timing in electric power systems”, Proceedings of the 1993 IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 15-22, Oct. 1993.

[53] Michael Zeiler, “Integration GIS and GPS for Mapping and Analysis of Electric Distribution Circuits”, Rural Electric Power Conference, D2/1-D2/10, 1992.

[54] Cory, B.J. Gale, P., “Applications of precise time in electrical transmission and distribution systems”, IEE Colloquium on Precise Time and Frequency, pp.8/1-8/3, 1992.

[55] Pflieger, K. Enge, P.K., Clements, K.A., “Improving power network state estimation using GPS time transfer”, Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposium, pp.188-193, 1992.

[56] R.E. Wilson, “Uses of Precise Time and Frequency in Power Systems”, Proceedings of IEEE, Vol.79, No.7, pp.1009-1018, July 1991

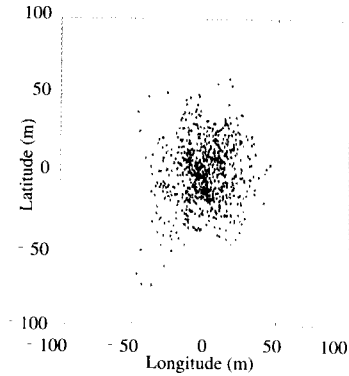
[57] Zwibel, H.S., et al., “GPS Electrical Power System Computer Simulation”, Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference(IECEC-90), Vol. 2, pp.90-95, 1990.

[58] Harpham, S.W., Jodice, J.A., “Time synchronous end-to-end relay testing”, International Conference on Developments in Power Protection, pp.244-249, 1988.

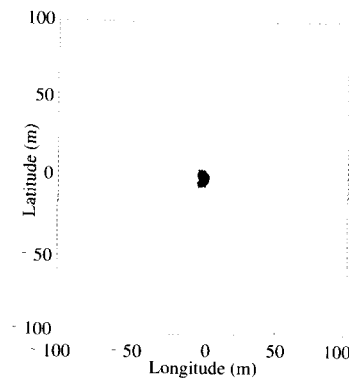
Appendix : SA 관련 백악관 발표 내용 발췌 source : <http://www.igeb.gov>, <http://www.ngs.noaa.gov>

Today (May 1, 2000) the White House announced the decision by President Clinton to terminate GPS Selective Availability (SA) as of tonight, midnight UTC. The deactivation of SA throughout the GPS constellation will take approximately 8 to 10 hours. It is anticipated that this will immediately improve unaugmented, single receiver GPS positioning to better than 20 meters (and probably better than

10 meters) accuracy. The expected improvement will vary depending upon the particular receiver and the level of solar disturbance in the ionosphere.



(a) Selective Availability ON - May 1, 2000



(b) Selective Availability OFF - May 2, 2000

Fig. A1 Comparison of Positions With and Without Selective Availability

The images compare the accuracy of GPS with and without selective availability (SA). Each plot shows the positional scatter of 6.5 hours of data (0730 to 1400 UTC) taken at one of the Continuously Operating Reference Stations (CORS) operated by the U.S. Coast Guard at Hartsville, Tennessee. On May 2, 2000, SA terminated. The plots show that SA causes 95% of the points to fall within a radius of 48.3 yards. Without SA, 95% of the points fall within a radius of 4.5 yards.

As illustration, consider a football stadium. With SA activated, you really only know if you are on the field or in the stands at that football stadium; with SA switched off, you know which yard marker you are standing on.