



# 광역계통 감시제어를 위한 동기페이저 측정 기기의 제작

■ 박경원, 장수형, 김영돈, 이진, 최종웅 / LS산전(주) 전력연구소  
■ 노기환, 안정길 / (주)Sanion

## 1. 서론

iPIU (intelligent Power system Information Unit)는 인공위성에서 수신된 Time Signal에 동기하여 계통의 주요지점에 설치되어 전압, 전류의 동기페이저(Synchrophasor)를 연산 및 전송하는 역할을 수행한다. 따라서, iPIU는 전체 광역 감시시스템의 가장 기본적인 동시에 입력부의 역할을 담당한다.

광역 정전은 전기 사용량이 급격하게 증가함으로써 새로이 대우되고 있는 문제로서, 일단 발생 할 경우에 의한 경제사회적 피해는 매우 크다. 2003년 미국 뉴욕에서 발생한 대정전의 경우 최소 60억불 이상의 피해액이 보고되고 있다. 이러한 광역 정전을 방지하기 위하여 여러 제안이 나오고 있으며, 그 중에서 iPIU를 이용한 광역계통 감시는 계속하여 중요성은 인정받고 있다. 그림 1과 같이 CIGRE에서 발표되는 자료의 관련 추세를 분석하면 더욱 확실히 알 수 있다. 또한, iPIU

제품류의 판매사도 2004년 2개사에서 2007년에는 6개사 이상으로 증가하였다.

iPIU는 기존의 전압·전류 감시용의 단순한 측정기와는 매우 성격이 다른 기기이다. iPIU는 매우 광대한 영역에 분포되어 배치되기 때문에 각각의 iPIU간의 시간 동기, 고속 특수 통신 등이 필요하다. 따라서, 기존 측정기와는 설계 및 동작 개념이 상이하기 때문에 국내에서는 아직 개발이 된 적이 거의 없는 기기이다.

본 기고에서는 광역감시 시스템의 입력부를 담당하는 iPIU가 계측해야 하는 동기페이저와 시개발품을 중점적으로 살펴본다.

## 2. PMU 기본 이론

### 2.1 페이저와 동기 페이저

페이저(Phasor)는 수학적 관점에서는 2차원 벡터이지만, 각 위치는 공간이 아닌 시간의 위치를 나타낸다.



• 도입 분석에 대한 기초(타당성) 연구

• 초기 운전 결과도출  
• 필요성의 증명

• 본격적인 상업 운전 및 효율성 확인  
• 적용 분야의 확대 검토

그림 1 iPIU(광역 전력계통 감시) 관련 자료의 추세

즉, 전력계통의 순시치 신호는 복소수 형태를 가지는 페이지로 나타낼 수 있다. 다음 식 (1)과 같은 함수를 페이지로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

$$\bar{X} = X_r + jX_i = \frac{X_m}{\sqrt{2}} e^{j\phi} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} \angle \phi \quad (2)$$

위의 식에서 정의된 페이지는 복소수이며 그 크기는 주어진 함수의 RMS(Root Mean Square)값을 가지며, 각 주파수가 임을 가정하고 있다. 이와 같이 순시치 신호를 페이지로 나타냄으로써, 신호의 연산을 쉽게 할 수 있고 두 함수의 상관관계를 쉽게 알 수 있다.

그림 2a에서와 같이 순시치 함수의 최대값이 y축의

좌측에 있을 때, 위상각은 최대값과 y축 사이 거리의 크기를 가진 양수 값을 가지며, 복소평면의 실수축에서 반시계 방향으로 회전된 페이지로 나타낼 수 있다. 함수의 최대값이 원점의 우측에 있을 때, 위상각은 최대값과 원점 사이 거리의 크기를 가진 음수 값을 가지며, 복소평면의 실수축에서 시계 방향으로 회전된 페이지로 나타낼 수 있으며 그림 2b와 같다. 이와 같이 위상각을 구하기 위해서는 그림 2a과 2b의 원점과 같은 기준이 되는 지점을 알아야 한다.

서로 다른 두 지점에서 그림 3와 같이 같은 크기와 위상을 가지는 동일한 신호가 존재한다고 가정한다. 두 지점에서 그림 3의 R1과 R2의 각각 다른 기준점을

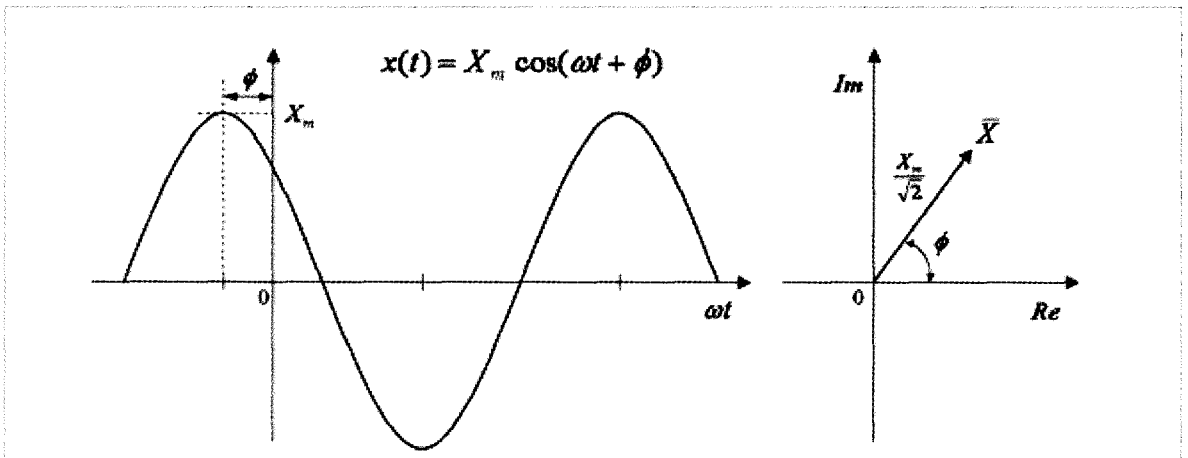


그림 2a 순시치 신호와 페이지 표현

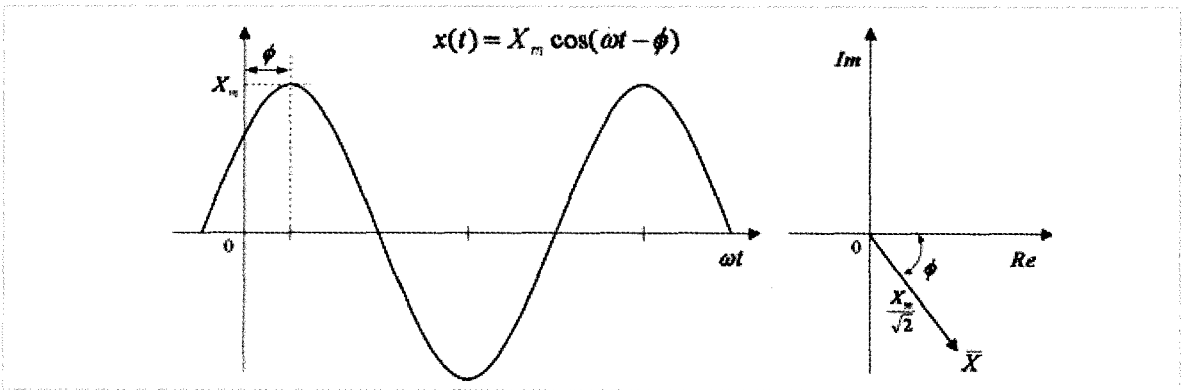


그림 2b 순시치 신호와 페이지 표현

가지고 위상각을 측정하면, 두 지점 사이에 위상차가 존재한다고 판단할 것이다. 따라서, 두 지점의 위상차를 정확하게 측정하기 위해서는 같은 기준점을 가져야 한다. 페이지는 앞서 언급했던 것처럼 시간을 기준으로한 벡터이므로 기준시간을 같게 함으로서 서로 다른 지점의 페이지라 할지라도 동일한 평면에 표현할 수 있다.

동일한 기준 시간을 갖도록 하기 위하여 인공위성에서 제공되는 동기신호(Synchronizing Signal)를 적용하여 위상각을 측정하면 그림 4과 같다. 여기에서 사용되

는 동기신호는 모든 지점에서 정확하게 동일한 신호이기 때문에, 이 동기신호를 기준으로 위상각을 측정하면, 두 신호의 위상 관계를 정확하게 계산할 수 있다. 이와 같이, 동기신호를 기준으로 하여 측정된 페이지를 동기페이지(Synchrophasor or Synchronized phasor)라고 한다.

IEEE 37.118 규격에서는 UTC(Universal Time Coordinated, 세계협정시)의 1 PPS를 동기신호로 사용하여 위상각을 계산하도록 정의하고 있다. UTC를 사용하기 위해서는 각각의 지점에 설치된 IPIU에 동기신호를 전송해야 한다. 이러한 신호를 전송하는 방법에는 GPS(Global Positioning System)를 일반적으로 사용한다.

## 2.2 동기 페이지 측정을 위한 HW구성 및 동작 원리

GPS가 제공하는 Data중 하나인 1 PPS(Pulse Per Second)는 일반적으로 수백 ns의 정밀도를 가지며, IPIU는 이러한 1 PPS신호를 기반으로 동기신호를 취득한다. 광역 시동기를 위하여 GPS로부터 취득한 1 PPS 신호는 실제적인 A/D(Analog to Digital) 변환을 위해서는 직접적으로 사용이 어려우므로 PLL(Phase Locked-Loop) 회로 등을 사용하여 실제 A/D 변환을 위한 fs(frequency-sampling)를 추출한다(그림 5). 변환된 A/D Data는 CPU 혹은 DSP에 내장된 Synchrophasor 연산 알고리즘을 통하여 전기량 측정에 사용된다.

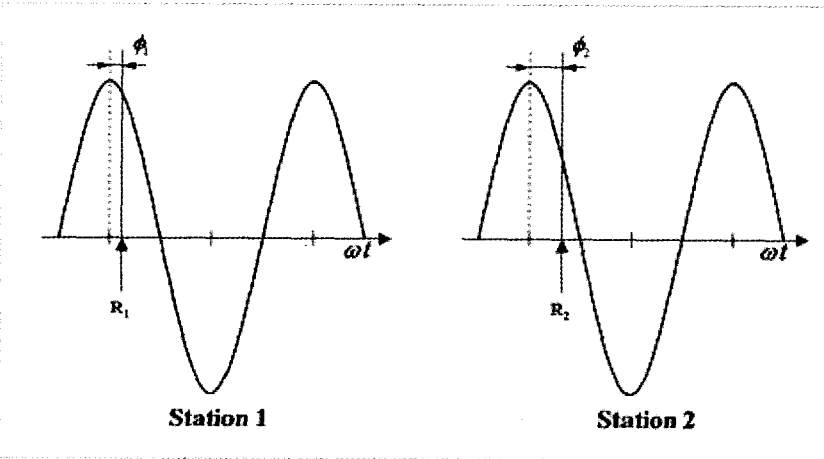


그림 3 서로 다른 기준점을 가진 두 지점의 신호

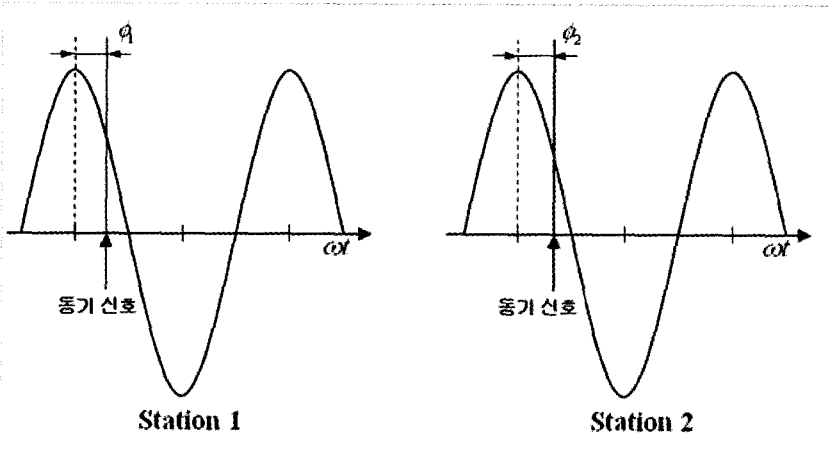


그림 4 동기신호를 기준점으로 한 두 지점의 신호

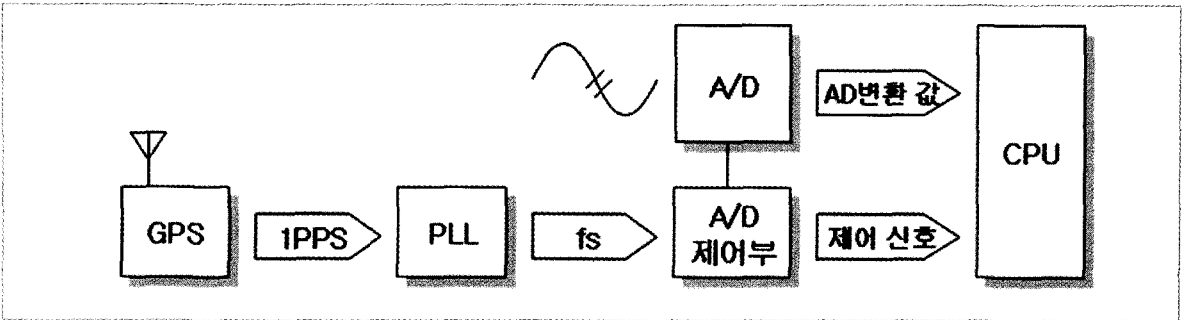


그림 5 GPS 신호를 이용한 A/D 변환

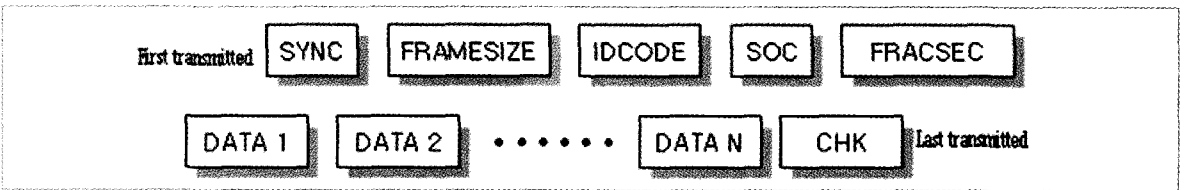


그림 6 Example of frame transmission structure with IEEE 37.118

GPS 수신 장치는 안테나 기기의 파손 등으로 인하여 전파 신호를 이용하지 못할 경우에도 일정시간 동안은 사용자에게 정확한 동기 신호를 제공하여야 한다. 이러한, 시간 유지 기능은 Holdover라 지칭이 되며, 고가의 OCXO(Oven Controlled Crystal Oscillator)등을 사용하여 구현한다.

A/D 변환된 교류 신호의 크기는 iPIU에 탑재된, Synchrophasor 측정 기술을 통하여 연산되고, 결과값은 통신 Module을 통하여 상위 시스템과 연결이 된다.

이러한 통신 규약은 IEEE 37.118에 의거한다. 그림 6는 기본적인 통신 Frame의 구조이다.

다음은 일반적인 iPIU와 상위 시스템간의 간략화 된 구성도이다.

### 2.3 페이지 측정 기술

실시간으로 교류파형의 전압·전류 신호로부터 페이지를 계산하는 방법 중 대표적인 것은 DFT (Discrete Fourier Transform) 방식, RMS 방식등이 있다. DFT 방

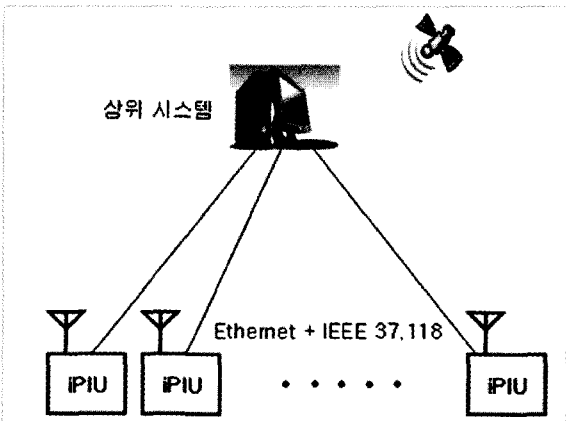


그림 7 PMU와 상위 시스템간의 구성도

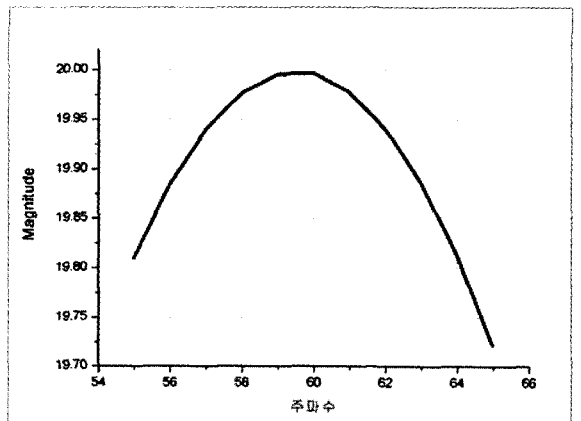


그림 8 주파수의 변화에 따른 실효치 크기의 변화

식의 경우 계통에 포함된 고조파의 제거에 뛰어난 장점등이 있으나, 그림 8와 같이 비정격 주파수(Off-nominal frequency)에서는 측정 정밀도가 떨어지는 단점이 발생한다.

따라서, iPIU에 장착되는 Phasor연산 알고리즘은 비정격 주파수에서도 정밀한 측정능력을 가져야 하며, 이를 개발하였다. IEEE 37.118에서는 페이저 측정의 정밀도를 나타내기 위한 지수인 TVE(Total Vector Error)를 식(5)과 같이 정의한다.

$$\varepsilon = \sqrt{((X_r(n) - X_r)^2 + (X_i(n) - X_i)^2) / (X_r^2 + X_i^2)} \quad (5)$$

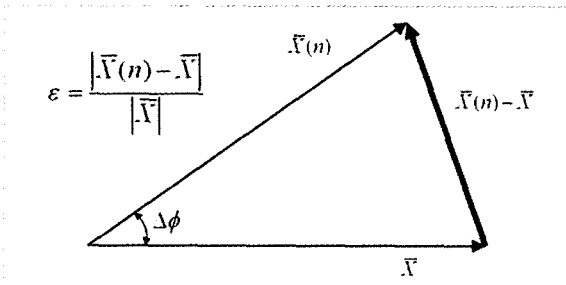


그림 9 TVE (Total Vector Error)

여기서,  $X_r(n), X_i(n)$  : 측정된 페이저의 실수부와 허수부

$X_r, X_i$  : 이론적인 페이저의 실수부와 허수부  
위와 같이 정의된 TVE는 그림 9과 같이 이론적인 페이저 크기에 대한 이론적인 페이저와 측정된 페이저 차이의 크기 비를 나타낸다. IEEE 37.118에서는 TVE 가 1% 이하가 되도록 규정하고 있다.

동기신호를 이용한 동기 페이저 측정을 위해서는 페이저 추출 시 동기신호를 고려한 연산을 수행하여야 한다. 이 때, 발생할 수 있는 가장 중요한 오차 요인은 동기신호의 불일치이다. 1 $\mu$ s의 동기신호 오차는 60Hz에서는 0.022°, 50Hz에서는 0.018°의 위상각 오차를 유발하며, TVE 1%의 오차범위를 만족시키기 위해서는 기준시각으로부터  $\pm 26\mu$ s이하로 유지되도록 설계시 많은 고려가 필요하다.

### 3. 개발 결과

시제품은 Data bus를 중심으로 각각의 기능 보드로

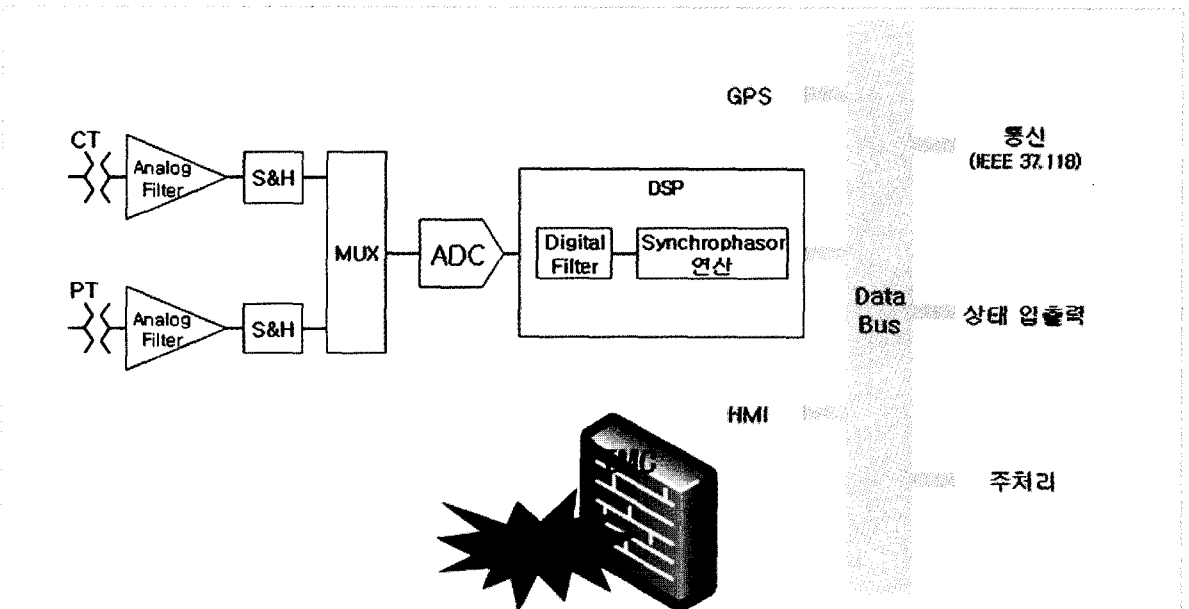


그림 10 iPIU의 기본 구성도

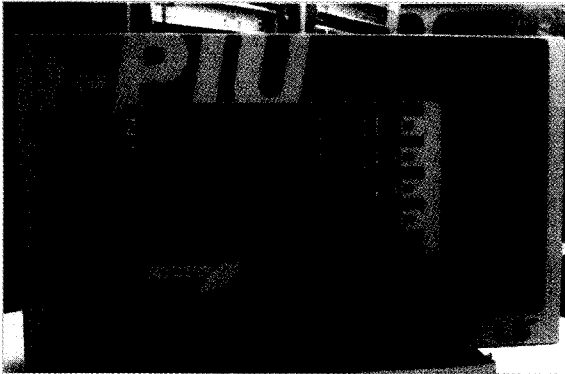


그림 11 개발된 시제품의 외관

표 1 Bench marking

기능	iPIU(시제품)	A사(미국)	B사(독일)
전압/전류 실효치, 위상각, 주파수 측정	✓	✓	✓
Fault/Disturbance Recording	✓	✓	✓
내장형 GPS 시간모듈	✓	✓	✓
통신 Protocol(IEE 37.118)	✓	✓	✓
자체 전압안정도 감시 기능	✓		
발전기 계자 시스템 감시	✓		

구성되어 있다. 전체적인 구성도는 그림 10와 같다. 특히, EMC 성능을 강화하여 계통의 외란에 대해 오부동 작하지 않도록 하였다.

시제품은 Graphic LCD 및 Touch-panel을 장착하여 사용자 편의성을 강화하였으며, 디지털 변전소화에 대응이 가능하도록 IEC 61850을 구현하였다. IEC 61850이 장착됨으로써 iPIU는 전력계통용 감시 장치의 기능 외에도, 생성된 Data를 디지털 변전소 System과 접속이 가능함으로써 전력 계통의 신뢰도 향상에 도움이 될 수 있도록 하였다.

개발된 시제품과 해외 제품과의 간략한 비교는 다음과 같다.

개발된 시제품의 동기 페이지의 성능을 평가하기 위하여, IEEE 37.118 Annex G에서 기술한 3가지 시험 방법에 의거하여 평가하였으며, 시험 방법은 다음과 같다.

1. 10% Magnitude step test

시험 조건 : 60Hz, 110V  $\Rightarrow$  99V,  $\cos(2\pi f + \phi)$

2. 90° phase step test

시험 조건 : 110V, 60Hz,  $\cos(2\pi f + \phi) \Rightarrow \cos(2\pi f + (\phi + 90^\circ))$

3. 5Hz frequency step test

시험 조건 : 110V,  $\cos(2\pi f + \phi)$  60Hz  $\Rightarrow$  65Hz

시험 1, 2, 3 모두 규격서에 정의한 기준을 만족하였으며, 특히 실험 3에서 주파수가 정격 주파수(60Hz)를 벗어났어도 신호의 Magnitude는 정확히 측정됨을 확인 할 수 있다. 위상각의 경우 입력된 신호가 65Hz이므로 동기 신호에 대비하여 위상이 계속 주기적으로 변화하고 있다. 따라서, 측정된 시제품의 전기량(Synchrophasor) 계측이 정상 동작을 하고 있음을 확인할 수 있다.

iPIU가 측정 한 동기페이지값은 KDN이 제작한 상위 시스템과 연계하여 동작 시험이 이루어 졌으며, 정상적으로 Data가 전송됨을 확인하였다.

### 4. 맺음말

제작된 시제품은 IEEE 37.118 Annex G에서 규정된 시험 기준으로 성능을 모두 확인하였고 실제 전력 계통에 설치되어 광역 감시시스템의 단말기로서 사용 가능함을 확인하였다.

동기 페이지의 개념과 이의 구현은 단순해 보이지만, 전력 계통이라는 관점에서 보면 iPIU는 고도의 Hardware 설계기술, 고급 디지털 연산 기술 및 통신 기술을 필요로 하는 첨단 전력IT 기기이다. 이러한 기기의 개발을 통하여 국내 전력계통의 안정화와 기기 제작 기술은 한 단계 진보를 이루었다.

개발된 시제품의 Field 시험을 통하여 광역 전력계통 감시 시스템의 효용성을 입증하고, 국제적으로도 경쟁력 있는 제품 개발의 마무리에 전력을 기울이고자 한다.

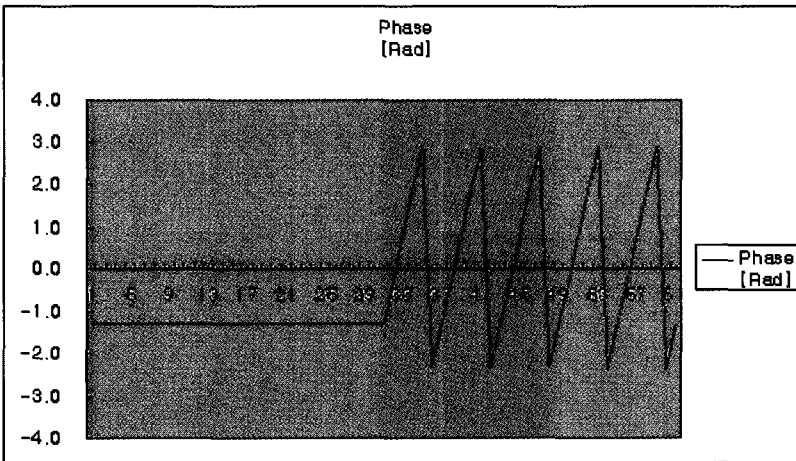
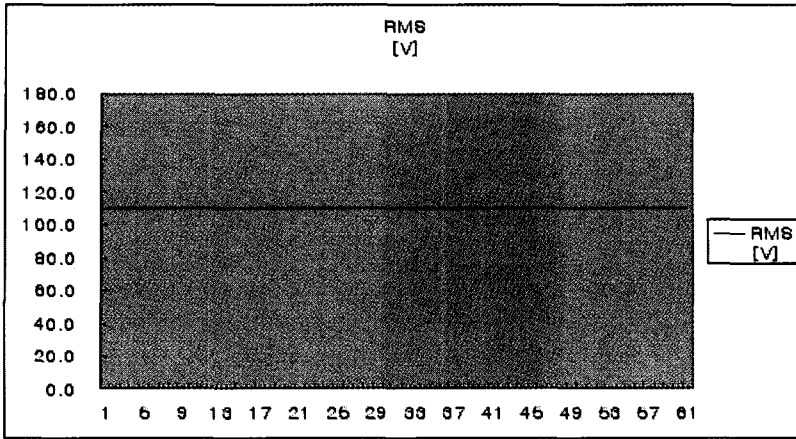


그림 13 Frequency 변경 시 측정 결과

참고문헌

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. IEEE Std C37.118TM-2005 "IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems"</li> <li>2. IEEE Power System Relaying Committee Report of Working Group I16, "Understanding</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>Microprocessor-based Technology Applied to Relaying"</li> <li>3. Arun G. Phadke, James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems"</li> <li>4. 대한전기학회 학회지 "전력 IT", 2005년 6월</li> </ol> |
|--|---|