

## 네트워크 연결 경로에 따른 광역방어 시스템 시뮬레이터의 트래픽 분석

김기호, 이건영  
광운대학교 전기공학과

### Traffic Analysis of a Power Infrastructure Defense System Simulator According to Network Routing

Ki Ho Kim, Keon Young Yi  
Dept. Electrical Eng. Kwangwoon Univ.

**Abstract** - It is necessary for the stabilized operation of the power system even if a severe condition in system operation takes place. There is the need to develop the intelligent Power grid Monitoring System. In this system, the PMU(Phasor Measurement Unit) measures the synchrophasor and transmits it to the PIDS(Power Infrastructure Defense System). The IEEE PC37.118 protocol defines the message format to implement the communication both the PMU and the PIDS.

In this paper, We measure and analyze the network traffic from simulated the PMU to simulated the PIDS according to network routing. And, We present the finest network routing in developing the intelligent Power grid Monitoring System.

#### 1. 서 론

전력계통에서의 실제 계통 운영에서 기상 이변이나 운영 절차상의 오류, 상정 고장의 수준을 초과하는 가혹한 계통 운영 조건이 발생할 수도 있으므로 이를 위한 별도의 대책이 필요하다. 전력 시스템을 효율적으로 운영하면서, 특정 모선이나 선로에서의 사고가 전체로 파급되는 것을 막기 위하여, 전력 인프라를 감시, 제어 및 전략 적으로 방어할 수 있고, 자체 복구 능력이 있는 지능형 광역 계통 감시 시스템(intelligent Power grid Monitoring System) 개발의 필요성이 대두 되고 있다. 전력 시스템의 광역 방어 시스템인 지능형 광역 계통 감시 시스템은 페이지 측정 장치인 iPIU(intelligent Power Information Unit)가 전송한 페이지 데이터를 수신하여 실시간으로 전력 계통을 모니터링 하고 그 안정도를 평가 한다. iPIU는 전력계통의 주요 지점에 설치되어, 전압, 전류의 페이지를 인공위성에서 수신된 시각동기에 맞춰 취득, 가공, 고속 전송하는 역할을 수행, 지능형 광역 계통 감시 시스템의 입력 부를 담당한다.[1] iPIC(intelligent Power Information Concentrator)는 지능형 광역 계통 감시 시스템의 부분으로서, 여러 iPIU가 전송하는 페이지 정보를 수신하여, 이를 저장하고, 실시간 감시 및 제어 화면을 제공한다.[2] 이와 같은 전력 시스템을 운용하기 위해, 동기 페이지 측정은 제안되었고, IEEE PC 37.118 프로토콜이 개발되었다.

본 논문에서는 광역 방어 시스템인 '지능형 광역계통감시 시스템' 중 PMU(Phasor Measurement Unit)에 해당하는 iPIU와 이 iPIU에서 측정하는 데이터를 수집, 관리하는 iPIC를 모사하는 시스템을 구성한다. 또한 이 시스템을 이용하여 iPIU와 iPIC 간의 네트워크 연결 경로에 따른 네트워크 트래픽(Network Traffic)과 데이터 손실률을 확인하여 iPIU와 iPIC의 최적의 네트워크 구성을 확인한다.

#### 2. 본 론

본 논문에서 언급될 모의 시스템은 전력 시스템의 광역 방어 시스템인 '지능형 광역계통감시 시스템(intelligent Power grid Monitoring System)' 중 iPIC와 iPIU의 통신을 모사한다. iPIU는 PMU로서 전류 및 전압의 계측 값을 iPIC로 전송하며, iPIC는 iPIU로부터 받은 데이터를 가공하여 사용자에게 제공한다.

본 논문에서 모의 시스템은 iPIU 및 iPIC를 모사하는 모사 프로그램, 트래픽 분석을 위한 망 분석 프로그램과 통신 네트워크로 구성된다. 이 모의 시스템을 이용해서 모사 프로그램 간의 네트워크 트래픽과 데이터 손실률을 측정하고 분석한다.

##### 2.1 IEEE PC37.118 프로토콜

PC37.118 표준은 동기 페이지 데이터를 전송하기 위해 필요한 메시지 형식을 포함하는 데이터 통신 프로토콜을 정의한다.[3] 메시지는 데이터, 구성2(CFG2), 헤더(Header), 명령(Command) 프레임으로 구성되고, 이중 데이터, 구성2, 헤더 프레임은 iPIU에서 iPIC로 전송되고, 명령 프레임

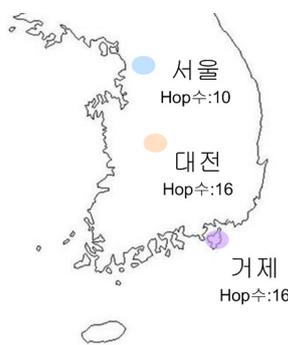
은 iPIC에서 iPIU로 전송 된다.

페이지 데이터 전송 흐름은 다음과 같다. 먼저, iPIC는 iPIU로 구성 정보 전송 명령을 전송하고 iPIU는 CFG2 프레임을 iPIC로 전송한다. iPIC에서 iPIU의 구성 정보를 확인한 다음, iPIC는 iPIU의 헤더 프레임 정보를 요청하면, iPIU는 헤더 프레임을 전송함으로써 데이터 전송 준비가 완료된다. 끝으로, iPIC는 데이터 전송 개시 명령을 iPIU로 보내면, iPIU는 주기적으로 페이지 데이터를 UDP를 통해 전송하고, iPIC가 데이터 전송 중지 명령을 내리면, iPIU는 데이터 전송을 중지 한다.

##### 2.2 모의 시스템

본 논문에서의 모의 시스템은 2대의 컴퓨터로 구성되며, iPIU, iPIC의 통신 모사 프로그램과 망 분석 프로그램인 이더리얼(Ethereal)이 설치된다. iPIU 통신 모사 프로그램은 전송한 페이지 데이터를 저장하고 iPIC 통신 모사 프로그램은 수신된 페이지 데이터를 저장한다. 네트워크 연결 경로에 따른 트래픽 측정을 위하여, iPIU, iPIC 통신 모사 프로그램 간의 네트워크 연결 경로는 공중망과 전용망을 이용하며, 공중망은 3개의 지역으로 나뉜다. 데이터 손실률을 알아보기 위해 각 통신 모사 프로그램에 저장된 페이지 데이터를 비교한다.

##### 2.2.1 모의 시스템 구성



<그림 1> 실험 지역

모의 시스템은 2대의 컴퓨터로 구성되고 1대의 컴퓨터에 iPIU 통신 모사 프로그램이 설치되며 다른 1대의 컴퓨터에 iPIC 통신 모사 프로그램과 이더리얼이 설치된다. iPIU 통신 모사 프로그램이 설치된 컴퓨터에서는 4개의 iPIU 통신 모사 프로그램이 동시에 실행되어 1:4 통신을 하게 된다.

<그림 2>는 공중망에서의 트래픽 측정 실험이 행해진 지역을 표시한 것으로서, iPIC의 위치는 서울로 고정되고 iPIU의 위치를 도서지역인 거제도과 우리나라의 중간 지점인 대전, 인구가 많은 서울로 하였다. 전용망에서의 트래픽 측정 실험은 본고 전용망을 이용하였다.

외란 데이터(Disturbance Data)는 TCP/IP로 전송되어 데이터 손실이 발생하지 않으므로 UDP(user datagram protocol)로 통신하는 페이지 데이터에 대한 네트워크 트래픽을 측정하였다.

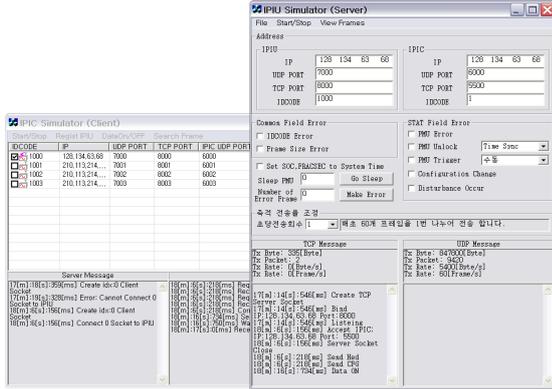
##### 2.2.2 망 분석 프로그램(Network analyzer)

본 논문에서는 망 분석 프로그램으로 Window용 Ethereal을 사용하여 네트워크 트래픽을 측정 및 분석하였다. 이 프로그램은 실시간으로 네트워크 계층별로 트래픽을 관찰하고 문제점을 해결하기 위한 소프트웨어 형태의 프로토콜 분석기이다.[4] 다양한 필터를 사용하여 iPIU 모사 프로그램과 iPIC 모사 프로그램 간의 데이터 전/수송 프로토콜인 UDP만 관찰하고 분석할 수 있다. 실험에서는 iPIU 통신 모사 프로그램이 설치된 컴퓨터의 IP에서 보내오는 UDP만 관찰하고 패킷을 저장하였다.

##### 2.2.3 모사 프로그램

본 모의 시스템에 사용된 모사 프로그램은 iPIU 통신 모사 프로그램과 iPIC 통신 모사 프로그램이다. iPIU 및 iPIC 통신 모사 프로그램은 Visual C++로 제작되었으며 <그림 3>는 iPIU 및 iPIC 통신 모사 프로그램의 실행 화면을 나타낸다. PC37.118 프로토콜에 따라 iPIU는 시스템이 정상적인 동작 시에 발생하는 정상 데이터와 시스템에 외란이 발

생하였을 때 발생하는 외란 데이터를 iPIC에 전송한다.



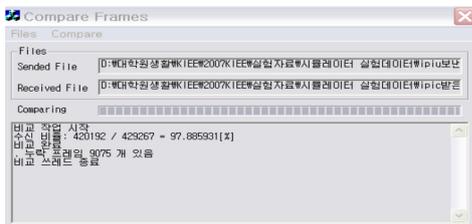
<그림 2> iPIU 및 iPIC 통신 모사 프로그램

iPIU 통신 모사 프로그램은 iPIU의 통신 부분을 모사한 프로그램으로 UDP 프로토콜을 통하여 페이지 데이터(Phasor data)를, TCP/IP 프로토콜을 통하여 시스템 외란 데이터를 iPIC 모사 프로그램에 전송한다. 또한 실제 페이지 데이터를 발생 시키는 것 대신, 프레임 생성 프로그램으로부터 페이지 데이터를 취득한다. 추가적으로 iPIC 통신 모사 프로그램의 요청에 의해서 외란 데이터 프레임을 전송할 뿐만 아니라 에러를 발생시킴으로써 오류 상황을 모의 할 수 있고, 전송율과 측정 전송율을 조절하여 다양한 전송율로 네트워크 트래픽을 모사 할 수 있다.

iPIC 통신 모사 프로그램은 iPIC(FEP)의 통신 부분을 모사한 프로그램으로 UDP/IP 및 TCP/IP 프로토콜을 통하여 여러 iPIU 통신 모사 프로그램부터 페이지 데이터 및 외란 데이터를 받고 저장한다.

### 2.2.4 페이지 데이터 비교 프로그램

iPIU 통신 모사 프로그램은 페이지 데이터를 프레임 별로 전송 순서대로 저장하고 iPIC 또한 수신된 페이지 데이터를 프레임 별로 수신 순서대로 저장한다. 이는 각 페이지 데이터를 비교하여 페이지 데이터의 손실률을 알아보기 위함이다. <그림3>은 거제 지역에서의 실험 데이터에 대한 페이지 데이터 비교 프로그램 실행 결과이다.



<그림 3> 전교수송된 페이지 데이터 비교 프로그램

이 프로그램은 각 통신 모사 프로그램에 저장된 페이지 데이터를 프레임 별로 비교하여 누락된 프레임이 있는지를 확인하여, 전체 프레임과 누락 프레임의 비율로 나타내어 페이지 데이터 손실률을 백분율로 나타낸다.

## 2.3 트래픽 분석

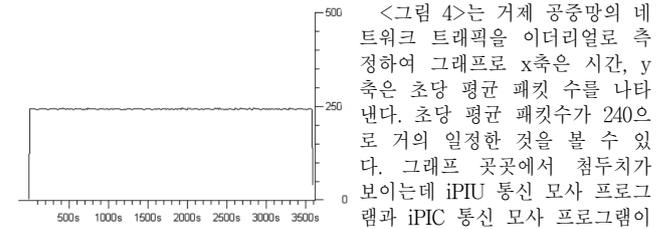
구축된 모의 시스템에서 다수의 iPIU와 iPIC간의 네트워크 트래픽 분석은 제작중인 '지능형 광역계통감시 시스템(intelligent Power grid Monitoring System)'의 실용화를 위하여 필수적인 부분이다. 모사된 iPIU 및 iPIC 프로그램을 이용하여 기존의 공중망과 전용망의 네트워크 트래픽을 확인하고 분석하는 것은 네트워크 연결 경로를 선택하는데 있어 지표가 될 것이다.

각 망에 대한 실험 시간은 약 1시간으로 하였으며, 홉 수에 따른 데이터 손실률을 알아보기 위해서 <그림 2>에서와 같이 각 실험 지역의 홉 수를 측정하고 iPIU와 iPIC 통신 모사 프로그램에 각각 저장된 전송된 페이지 데이터와 수신된 페이지 데이터를 비교하였다.

### 2.3.1 공중망에서의 네트워크 트래픽

<표 1>은 각 지역 공중망과 전용망에 따른 네트워크 트래픽에 대한 정보를 나타낸다. 초당 평균 패킷 수 항목에서 거제가 제일 높았고 서울이 가장 낮았다. 또한 데이터 손실률도 같은 순서이다. 서울의 경우 홉 수가 다른 지역에 비해 적음에도 불구하고 데이터 손실률이 제일 많은

이유는 회선의 이용자가 많기 때문이고, 거제의 경우 손실률이 적은 이유는 홉 수가 많고 도서지역임에도 불구하고 회선의 이용자가 적기 때문이다.



<그림 4> 거제의 네트워크 트래픽

<그림 4>는 거제 공중망의 네트워크 트래픽을 이더리얼로 측정하여 그래프로 x축은 시간, y축은 초당 평균 패킷 수를 나타낸다. 초당 평균 패킷수가 240으로 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 그래프 곳곳에서 첨두치가 보이는데 iPIU 통신 모사 프로그램과 iPIC 통신 모사 프로그램이 설치된 각 컴퓨터의 특성 때문인 것으로 생각된다. 컴퓨터가 페이지 데이터를 보내는데 있어 그 권한이 OS(Operating System)에게 있기 때문이다. 다른 지역과 전용망의 경우에서도 거제의 네트워크 트래픽과 유사한 결과를 얻을 수 있다.

<표 1> 연결 경로에 따른 모사 프로그램 간의 네트워크 트래픽

항 목	공중망			전 용 망
	서울	대전	거 제	
캡처 시간 (초)	3601.137	3708.387	3601.605	3607.84
총 패킷 수	855846	886081	863956	871452
초당 평균 패킷 수	237.66	238.94	239.88	241.544
총 바이트 수	112115854	116962692	114042192	115211076
초당 평균 바이트 크기 (byte)	31133.46	31540.04	31664.27	31933.573
홉 수	10	16	16	1
데이터 손실률 (%)	6.571	5.317	2.114	0

### 2.3.2 전용망에서의 네트워크 트래픽

PC37.118 프로토콜에 따르면 초당 64번의 페이지 데이터를 보내고 모사된 iPIU 프로그램이 4개 이므로 이론적인 평균 패킷 수는 254개이다. 그러나 iPIU통신 모사 프로그램은 초당 60번의 페이지 데이터를 전송한다. <표 1>에서 보듯이 전용망에서의 손실률은 0%로, 이는 iPIU 모사 통신 프로그램에서 전송한 페이지가 iPIC 모사 통신 프로그램으로 100% 수신되었음을 의미한다.

### 2.3.3 연결 경로에 따른 트래픽 분석

공중망에서의 UDP 통신은 데이터 손실이 발생하였으나 전용망에서는 손실률이 0%이었다. 또한, 전용망의 경우, 홉 수가 적으므로 데이터 손실을 최소화할 수 있었다. 이는 지능형 광역계통감시 시스템 구현하는데 있어서 페이지 데이터가 안전하게 모두 전송되어야 함으로, 네트워크 연결 경로는 전용망을 사용해야함을 의미한다.

## 3. 결 론

본 논문은 현재 산업자원부 주관으로 이뤄지고 있는 '전력 인프라 Defense System' 프로토타입 및 Network 구축기술 개발 중 'Agent형 센서/통신기기 등 전력설비 Agent와 광역 Defense시스템 연계 프로토콜 개발'의 일환으로, 통신 시스템 모사 및 분석을 위해 모의 시스템을 구성하여 iPIU 통신 모사 프로그램과 iPIC 통신 모사 프로그램간의 네트워크 연결 경로에 따른 네트워크 트래픽을 확인하였다. 이로써 실제 iPIU와 iPIC 간의 트래픽 분석 결과로 iPIU와 iPIC 간의 최적의 연결 경로를 확인할 수 있었다. 이는 차후 진행될 '지능형 광역계통감시 시스템(intelligent Power grid Monitoring System)'의 구현 과정에서 효과적인 네트워크 연결 경로를 제시할 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

[1] 한전KDN(주) 계통제어팀 김상태, 최미화, 이정현, 지철민, 이영송, "Multi-Agent 기법 기반의 전력 인프라 Defense System을 위한 Network 구축기술", 전기의 세계, 제 54권, 6호, pp38-42, 2005.  
 [2] 김경남, 이근영, "IEEE PC37.118을 이용한 광역 방어 시스템의 네트워크 시뮬레이터 개발", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, Vol. A, pp. 173-174, 2006.  
 [3] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society, "PC37.118 /D6.0 DraftStandard for Synchrophasors for Power Systems", 2004.  
 [4] Ulf Lamping, Richard Sharpe, Ed Warnicke, "Ethereal User's Guide (http://www.ethereal.com/docs/eug\_html\_chunked/)", 2004.