

FRTU 시뮬레이터를 이용한 차세대 배전지능화시스템 네트워크 성능검증

여상욱*, 손성용**

Network Performance Verification for Next-Generation Power Distribution Management System Using FRTU Simulator

Sang-Uk Yeo*, Sung-Yong Son**

요 약 배전선로계통의 효율적인 관리와 운영을 위해서 배전지능화시스템은 필수적이다. 배전지능화시스템은 IT를 기반으로 배전망을 통합관리하는 시스템으로 전력산업의 발전과 더불어 진화해 오고 있다. 현재의 배전지능화시스템은 주장치 단위의 독립운전을 기준으로 상대적으로 낮은 네트워크 전송속도로 운영되도록 설계되어 있다. 하지만 최근 급속히 보급이 증가하고 있는 태양광이나 에너지 저장장치와 같은 분산자원으로 인하여 미래 배전환경의 운영은 보다 복잡해 지고 있으며 다양한 정보의 실시간 수집이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 배전지능화의 한계를 극복하기 위해 차세대 배전지능화시스템의 요구사항을 도출하였으며, 이를 기반으로 배전계통에 필요한 통신네트워크 체계와 성능요건을 정의하였다. 배전지능화시스템과 같은 대규모 시스템의 현장 도입에는 과도한 시간과 비용이 소요되므로 설계된 시스템의 성능 검증을 위하여 소프트웨어 기반의 단말장치 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터를 활용하여 실제 운영과 유사한 시험환경을 구축하고, 단말장치를 1,000대 까지 증가시켰을 때 제시된 시스템의 네트워크 점유는 최대 10% 이하로 차세대 배전지능화시스템의 기능을 지원하기 위한 네트워크 요구사항을 충족함을 보였다.

Abstract Power distribution management system is essential for the efficient management and operation of power distribution networks. The power distribution system is a system that manages the distribution network based on IT, and has been evolving along with the development of the power industry. The current power distribution system is designed to operate at a relatively low network transmission speed based on the independent operation of the main equipment. However, due to distributed resources such as photovoltaic or energy storage devices, which are rapidly increasing in popularity in recent years, the operation of future distribution environments is becoming more complex, and various information needs to be collected in real time. In this study, the requirements of the next-generation power distribution system were derived to overcome the limitations of the existing power distribution system, and based on this, the communication network system and performance requirements for the distribution system were defined. In order to verify the performance of the designed system, a software-based terminal device simulator was developed because it takes excessive time and cost to introduce a large-scale system such as a power distribution system. Using the simulator, a test environment similar to the actual operation was established, and the number of terminal devices was increased up to 1,000. The proposed system was shown to satisfy the requirements to support the functions of the next-generation power distribution system, recording less than 10 % of the communication network bandwidth.

Key Words : DAS, ADMS, Power Distribution, Renewable Energy, FRTU

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20194310100060).

*Power IT SW Development Center, KEPCO KDN (sonagi1929@naver.com)

**Corresponding Author : Department of Electronical Engineering, Gachon University(xtra@gachon.ac.kr)

Received December 01, 2020

Revised December 15, 2020

Accepted December 16, 2020

1. 서론

안정적인 전력의 공급은 현대산업의 발전에 크게 이바지하고 있다. 발전된 전력은 송전과 배전을 통해 소비자에게 전달된다. 전력소비자는 고품질의 전력과 안정적인 정전 없는 전력을 요구하고 있다. 특히 소비자에게 직접적으로 전력을 전달하는 역할은 주로 배전시스템이 담당하고 있다. 이러한 중요한 배전설비의 급증에 따라 배전시스템은 더욱 유기적인 협조를 통한 운영을 필요로 하며, 최근 분산형 전원 및 배전 기기의 증가는 대용량 고속처리를 필요로 한다[1].

현재의 배전지능화 시스템은 네트워크 전송속도가 낮으며 주장치 단위의 독립운전으로 인하여 환경 변화의 지원에 한계가 있다[2]. 주장치 독립운전 시 한 대의 주장치에 모든 부하가 걸려 주장치의 처리율을 저하시키거나 시스템이 다운될 수 있다. 본 연구에서는 기존의 배전지능화 시스템의 한계를 극복하기 위하여 차세대 배전지능화시스템이 가져야 할 주요 기능을 정의하였다. 설계된 배전지능화 시스템의 실효성 검증을 위하여 시뮬레이션 기반의 연동시험을 설계하고, 시험절차를 제시하였다. 또한, 시험절차에 따라 1,000 대의 단말기 시뮬레이션을 연계한 시스템 연동시험을 통하여 설계의 유효성을 검증하였다.

2장에서는 현재의 배전지능화시스템의 개요와 차세대 배전지능화 시스템의 요구기능을 정의하고 통신 체계를 제시하였다. 3장에서는 시험환경을 구축하고 시뮬레이션 기반 연동시험을 통하여 제시된 설계의 실효성을 검증하였다. 4장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

2. 배전지능화 시스템

2.1 배전지능화 시스템 개요

배전지능화시스템은 수용가에게 안정적인 전력을 공급하기 위해 배전의 선로를 자동화하는 시스템이다. 전기를 생산하고 이것을 수용가에게 전력을 공급하기 위해 수송하여 소비하는 일련의 설비를 전력계통이라 하며 전력을 수송하는 역할에 따라 송전, 변전, 배전으로 구분한다. 여기서 배전(Distribution)이란 배전선로를 이용하여 수용가(고객)에게 직접 전력을 공급하는

것을 의미한다.

표 1. 배전지능화 시스템의 주요 구성요소
Table 1. Main components of power distribution management system

Component	Main processing functions
Server	power line data management, communication processing
Network	communication with FRTU
FRTU	terminal device

차세대 배전지능화시스템은 현장에 설치된 기기 및 타 시스템으로부터 취득한 각종 정보를 사령원이 용이하게 파악할 수 있도록 하며 현장의 기기를 원격에서 제어할 수 있다. 배전지능화시스템의 주요 구성과 기능은 표 1과 같이 정의될 수 있다.

차세대 배전지능화시스템은 광역 운전을 위해 무정전 운전, 운영 네트워크, 단말장치는 고장점 보정을 위한 파형정보 및 전류/전압 계측 오차 범위 ($\pm 1A$ 또는 $\pm 1\%$)를 요구하고 있다[2,3]. 전압, 전류 정보를 중심으로 관리하던 기존의 배전지능화 시스템과는 달리 파형정보와 같은 새로운 모니터링 요구사항은 데이터 전송의 필요량을 급증시켜 배전망의 운전을 위한 네트워크 체계의 전면적인 변경을 필요로 한다.

2.2 주장치 구성

그림 1은 주장치의 주요 시스템 구성을 보여준다. 다수의 운영자 접근을 지원하기 위하여 복수의 HMI는 클러스터화 된 서버에 접속하여 배전망의 상태를 모니터링하고 제어할 수 있다.

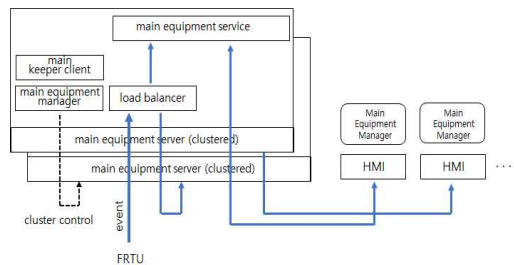


그림 1. 주장치 시스템 구성
Fig. 1. Main equipment system configuration

표 2는 주장치의 모듈별 세부 기능으로 주장치는 데이터관리, 계측, 알람, 이벤트관리 모듈 등으로 구성되어 실시간 데이터를 수신하여 관리한다.

표 2. 주장치 모듈의 상세 기능
Table 2. Detailed functions of main equipment

구분	모듈명	관련 Use Case
주장치 Service	실시간 데이터 관리	실시간 데이터 생성 생성/조회/수정/삭제 사유 제공
	계측/이벤트 데이터 관리	계측/이벤트 데이터 아날로그 데이터 계산 데이터 처리
	알람/이벤트 생성	알람/이벤트 필터링 아날로그 정보 한계치 초과
	알람/이벤트 발생	프로그램 이상/복구 알람/이벤트 문장 형태 제공

2.3 단말장치 구성

배전선로에 설치되어 있는 단말장치 (FRTU, Feeder Remote Terminal Unit)는 가공·지중 개폐기에 각각 설치되어 있다. 개폐기의 데이터를 주장치로 통신장치를 통해 전송한다. 정보통신의 발전으로 점점 많은 정보의 전송에 대한 수요가 증가하고 있으며 DNP 3.0 프로토콜과 최근에는 IEC 61850 프로토콜을 사용하여 전력계통의 안정성을 높이고 있다[4].

표 3. FRTU 기능요구사항
Table 3. FRTU function requirements

품명	규격	수량
계측정보 지원	<input type="checkbox"/> Analog Input (전압, 전류)	가공용 지중용
Fault Indicator (FI) 기능	<input type="checkbox"/> 고장전류 통전방향 <input type="checkbox"/> 고장전류 전압 파형 <input type="checkbox"/> 돌입전류/전압 파형정보	File transfer를 이용한 고장파형 주장치 전송
계측정밀도	<input type="checkbox"/> 분해능 12~16bit <input type="checkbox"/> Sample rate: cycle 당 24회 <input type="checkbox"/> 전류계측오차 : (±1A 또는 ±1%)	기존 시스템 대비 상향

기존의 배전선로 단말기인 FRTU는 기본적인 배전선로관리와 계측정보 제공을 주목적으로 설치되었다. 하지만 차세대 배전지능화에서 요구하는 성능의 지원

을 위해서는 전기품질감시, 보호협조(Section) 기능 등 한층 진일보한 다양한 기능을 필요로 한다. 특히 고장검출 성능을 향상시킬 필요가 있는데 이를 위해서는 고장파형과 같은 시계열정보의 제공과 보다 정밀도가 높은 계측정보의 제공이 필요하다. 차세대 배전지능화 시스템의 요구조건 충족을 위해서 FRTU는 표 3과 같은 조건을 지원하여야 한다.

2.4 배전지능화 시스템 통신 표준

미국과 유럽의 전력 생산소비시장에서는 전력그리드IT를 기반으로 스마트 기기 개발 및 부가가치기술 표준화가 추진되고 있으며, ISO, IEC, ITU 등의 공적 표준화 기구와 UCA, IntelliGrid, IEEE, CIGRE의 사실적 표준화 기구에서 다각적인 스마트그리드 표준화가 진행되고 있다[4]. 전력기기 관련 국제표준화 기구인 IEC는 TC 57을 통해 송변전소 자동화와 EMS의 전력 제어모니터링시스템에 대한 표준화가 광범위하게 진행되면서 한전 및 국내 중전기 업체들의 관심이 집중되고 있다[5].

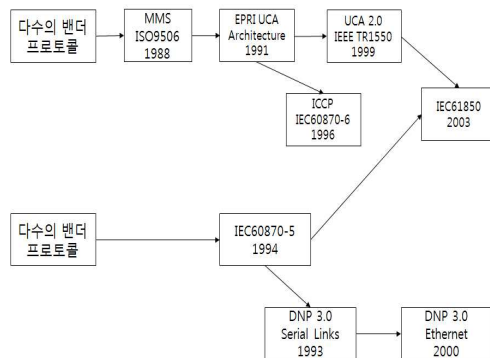


그림 2. 전력계통 제어용 프로토콜의 진화
Fig. 2. Evolution of Protocol for Power System Control

그림 2와 같이 전력계통 운영에 사용되는 프로토콜도 지속적으로 진화하여 현재는 DNP3.0과 IEC 61850으로 수렴하고 있는 것을 보여주고 있다[6,7].

2.5 차세대 배전지능화 시스템 통신체계

차세대 배전지능화를 위한 통신장치는 배전선로 감시 및 배전자동화 단말장치를 포함한 다수의 전력 IT

단말 데이터를 통합 전송하는 역할을 한다. 다기능 광 전송장치가 사용되고 있으며 현장 배전 전주에 시설되는 배전 지능화 시스템 및 전력용 LAN 지원 장치와 이에 연결되는 단말장치(RT, Remote Terminal)로 구성된다. 각각의 RT를 광케이블로 링을 구성하여 배전 운영을 담당하는 지사 통신실로 집중하여 배전 지능화 시스템에 데이터를 제공하도록 하였다. 이때, 중앙장치(COT, Central Office Terminal)는 종속신호로 10/100/1000 Base-TX Ethernet 신호를 접속하여 1000 Base-LX/100Base-BX의 광 이더넷 신호로 변환하여 원격 단말장치(RT)로 광전송하거나 역방향으로 전송할 수 있도록 지원하도록 하였다. 기존의 광통신방식은 E1급 (2.048Mbps) 전송대역을 사용하고 있으나, 차세대 배전지능화 시스템에서는 100 Mbps급의 이중화 링 네트워크로 구성하도록 하여 충분한 통신 대역폭을 충족하도록 하였다. 본 연구에서는 DNP 3.0 표준을 기반으로 네트워크를 구성하고 성능 시험을 시행하였다.

3. 통합 연동시험환경 구축 및 결과

3.1 통합 연동시험 환경

통합연동시험은 주장치, 통신장치, 단말장치를 상호 연계하여 배전지능화시스템의 안정성을 판별하는 시험이다. 배전현장 실증을 하기 전 통합테스트를 하기 위한 필수 과정이다. 부하 시험을 위해서는 하드웨어로 구현된 많은 단말장치가 필요하나 현실적으로 설치와 운영에 한계가 있다.

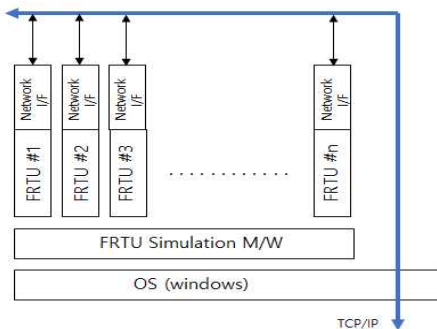


그림 3. FRTU 시뮬레이터 구성도
Fig. 3. Architecture of FRTU simulator

본 연구에서는 단말장치의 하드웨어 기능을 그림 3과 같이 FRTU 시뮬레이터로 개발하였다. FRTU 시뮬레이터는 PC 상에서 다수의 FRTU를 소프트웨어적으로 모의하도록 개발하였다. FRTU 시뮬레이터는 개별 FRTU와 네트워크 접속 장치를 모의하는 에이전트를 400개 까지 동시에 동작하도록 하였다.

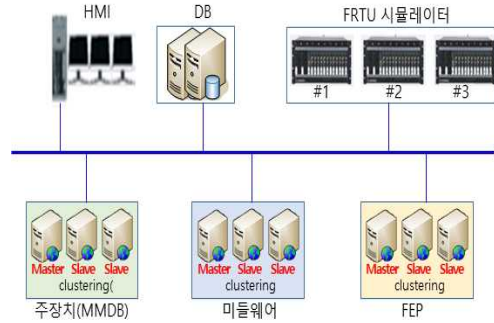


그림 4. 통합 연동시험 구성도
Fig. 4. Configuration of integrated interlocking test

그림 4는 FRTU 시뮬레이터를 사용한 통합 연동시험을 위한 구성도이다. FRTU 시뮬레이터를 사용하여 현장의 단말장치의 동작과 통신을 시뮬레이션 하였다. 이 때, 사용된 시스템의 세부 규격은 표 4와 같다.

표 4. 통합연동시험 하드웨어 규격
Table 4. Hardware specification for integrated interlocking test

품명	규격	수량
주장치	□ CPU : 2.8GHz 16core * 2개 □ Main Memory : 128GB □ HDD : 1TB SSD * 2개	3
미들웨어	□ CPU : 2.8GHz 16core * 2개 □ Main Memory : 128GB □ HDD : 1TB SSD * 3개	2
FEP	□ CPU : 2.8GHz 16core * 2개 □ Main Memory : 128GB □ HDD : 960GB SSD * 2개	3
DB 서버	□ CPU : 3.2GHz 8Core * 1개 □ Main Memory : 128GB □ HDD : 500GB SSD * 1개	2
HMI	□ CPU : 1.8GHz 8Core * □ Main Memory : 32GB □ SSD : 512 SSD * 1개	1
FRTU 시뮬레이터	□ CPU : 3.2GHz 8core * 1개 □ Main Memory : 64GB □ HDD : 480GB SSD * 2개	3

3.2 통합 연동시험 절차 및 평가기준

표 5는 통합 연동시험의 성능 기준으로 정상적인 동작을 하면서 주장치의 CPU와 메모리의 부하가 적절하여야 하는 것을 의미한다, 또한 네트워크의 대역폭이 현장에 설치되는 네트워크망인 100 Mbps에 부담을 주지 않아야 실시간 동작이 보장될 수 있다. CPU와 메모리 부하는 클러스터링을 통한 서버의 증설이나 성능 개선을 통하여 해소가 가능하나 네트워크망은 현장 설치 후 개선이 어려우므로 특히 중요한 요소이다.

표 5. 성능 평가기준

Table 5. Performance requirements

평가항목	기준	비고
CPU usage	< 100 %	주장치의 CPU가 처리 가능하여야 함
memory usage	< 100 %	주장치의 memory 부족으로 성능저하가 발생하지 않아야 함
network traffic	<< 100 Mbps	네트워크 대역폭으로 인한 데이터 손실이 발생하지 않아야 함

표 6. 통합 연동시험의 결과표

Table 6. Result of Integrated Interlocking Test

Quantity	Item	Initial Program Operation & DB Load			Normal Operation			Remark	
		Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum		
	CPU Usage Rate (%)	-	1.4	33.3	-	1.7	74.5		
	Memory Usage Rate (%)	43.24	43.77	43.93	43.93	44	44.05		
	Network (KB/s)	Read	0.2	39.8	1,958.6	0.2	32.1	592.4	
		Write	0.0	95.1	4,796.6	0.0	71.4	8,821.4	
	Number of DISK IO (IO/s)	-	155	11,142	-	133	10,668		
DB (1,000 units)								CPU Usage (%)	
								DISK Usage (IO/s)	
								Network Read (KB/s)	
								Network Write (KB/s)	
~ Initial DB Load		← Normal Operation →							

차세대 배전지능화 시스템을 위한 통합 연동시험은 다음과 같은 순서로 시행되었다.

- (1) 주장치의 마스터 DB를 배전지능화설비 기준으로 각각 단말장치 100대, 300대, 500대, 1000대로 운영 설정
- (2) 시스템 기본 H/W 자원 사용량 측정은 FRTU 시뮬레이터 연결 없이 측정
- (3) 배전지능화설비 운영증가에 따른 H/W 자원 사용량 측정은 FRTU 시뮬레이터를 연결하여 운영상태 측정
- (4) 전체계측 주기는 5분, 이벤트 계측은 30초 주기, 주장치DB update 주기는 10분으로 설정
- (5) 측정도구(nmon)의 측정값 수집시간은 25분 (1초 단위 1,500 건 수집)으로 설정
- (6) 100 대, 300 대, 500 대, 1000 대 순서로 H/W 자원 사용량 측정

3.3 통합 연동시험 결과

통합 연동시험은 단말기의 대수를 증가시켜 가며 수행되었으며, 최대 단말장치 수는 1,000대가 적용되었다. 가장 부하가 높은 단말장치 1,000대의 경우에 대한 통합 연동시험 결과는 표 6과 같다. 이때, CPU와 메모리는 초기동작 시에는 각각 최대 33.3%와 43.9%로 나타났으며, normal operation 시에는 각각 최대 74.5%와 44.1%로 나타났다. 평균 CPU 부하는 1.4~1.7%로 컴퓨팅 성능에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 반면 통신네트워크는 read/write를 합산하는 경우 초기동작 시와 normal operation 시에 각각 최대 6,755 kB/sec와 9,414 kB/sec를 기록하였다. 이는 기존 배전지능화 네트워크 체제인 2.048 Mbps 대역폭으로는 실시간 정보를 적절히 처리할 수 없음을 의미하며, 새롭게 구성된 100 Mbps망에서는 적절히 동작할 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 분산자원의 확산으로 인한 배전망의 운영 복잡도 증가로 필요성이 대두되고 있는 차세대

배전지능화 시스템의 요구조건을 도출하였다. 이를 기반으로 차세대 배전지능화시스템을 지원할 수 있는 통신 네트워크 망의 구성과 운영에 따른 성능을 검증하였다. 성능의 검증을 위해서는 현장과 유사한 대량의 단말기 설치 환경에서의 시험이 필요하다. 운영환경의 시험을 위하여 DNP 3.0 표준에 기반한 통합 운영시험 체계를 구축하고, FRTU 시뮬레이터를 개발하여 1,000대 까지 단말기가 설치된 환경을 모사하여 테스트를 진행하였다. 국내 배전시스템에서 최대 단말기 수가 1,000 대 이하로 운영되고 있으므로 이를 기준으로 적용하였다. 성능시험 결과 CPU와 메모리 점유는 각각 최대 74.5%와 44.1%로 나타났으며, 네트워크는 대역폭의 최대 9.4%를 점유하였다. 이를 통하여 차세대 배전지능화 시스템에서 지원하고자 하는 서비스 모델이 기존의 배전지능화 시스템 통신 네트워크로는 수용 불가능 하지만 차세대 배전지능화시스템에는 문제가 없이 수용될 수 있음을 보였다.

REFERENCES

- [1] Korea Electric Power Corporation, "A Study on Distribution System Impact Assessment and Connection Standards for Distributed Power," 2016.
- [2] Myungsoo Kim, "Research on Conceptual Design of the Next-generation Distribution Management System," Next-Generation DMS Construction Plan Study (Final Report), Electric Power Research, 2016.
- [3] The Korean Institute of Electrical Engineers, Advanced distribution system engineering, p.327-367, 2018.
- [4] KEPCO KDN, Power IT Principles 5, KDN, p.124-150, 2020.
- [5] Mladen Kezunovic, "Smart Fault Location for Smart Grids," IEEE Transactions on Smart Grids, pp.11-22, 2011.
- [6] Yasir Saleem, Noel Crespi, Mubashir Husain Rehmani, Rebecca Copeland, "Internet of Things-Aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions," IEEE Access, pp.62962-63003, 2019.

[7] Young-gil Song, Transmission and distribution engineering, pp.11-38, 2020.

저자약력

여 상 욱(Sang-Uk Yeo)

[개인회원]



- 한전KDN 배전IT연구원
근무 중
- 2015년 3월 ~ 현재 : 가천대학교
나노과학기술융합학과 전기공학
(박사과정)

스마트그리드, 배전자동화, 전력 데이터 분석

손 성 용(Sung-Yong Son)

[종신회원]



- 1990년 KAIST 학사
- 1992년 KAIST 석사
- 2000년 Univ. of Michigan,
ANN Arbor 박사
- 2006년 ~ 현재 : 가천대학교 전
기공학과 교수

스마트그리드, 스마트홈, 스마트시티, 시스템최적설계