

소규모 마이크로그리드에서 프로슈머관리시스템의 구현

임수연*, 이태원**

Implementation of Prosumer Management System for Small MicroGrid

Su-Youn Lim*, Tae-Won Lee**

요약 상용전력망과 계통연계가 어려운 도서지역에서는 독립적인 마이크로그리드로 생산된 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 방법을 찾는 것은 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 태양광과 풍력의 하이브리드 모델을 적용한 소규모 마이크로그리드에서 생산된 전력을 전력계측기와 수집된 데이터의 응답속도 테스트를 거쳐 P2P전력거래를 위한 프로슈머관리시스템을 구현하였다. 마이크로그리드 프로슈머 관리시스템의 전력망은 Mesh구조로 이루어져 있으며 P2P전력거래는 3곳의 독립적으로 구축된 off-grid 사이트에서 전력계측기와 DC전력전송기를 이용하여 테스트하였고, 이때 전력계측기의 측정값은 전압(평균값) : 380V + 0.9V, 전류(평균값) : + 0.01A, 전력 : 1000W (- 1W)로 오차 허용범위인 ±1%이내로 나타나 그 유의성을 확인하였다. 실시간으로 50개의 데이터를 동시 전송하여 메인화면 0.32초, 일 발전량 2.61초, 누적발전량 2.77초, 전력거래 0.11초 등의 응답속도가 나타나 서버의 안정화를 확인하였다. 따라서 본 시스템은 한국전력의 중계 없이 독립적인 망으로 활용될 수 있는 P2P 전력거래시스템으로서 그 타당성이 입증되었다.

Abstract In the island areas where system connection with the commercial power grid is difficult, it is quite important to find a method to efficiently manage energy produced with independent microgrids. In this paper, a prosumer management system for P2P power transaction was realized through the testing the power meter and the response rate of the collected data for the power produced in the small-scale microgrids in which hybrid models of solar power and wind power were implemented. The power network of the microgrid prosumer was composed of mesh structure and the P2P power transaction was tested through the power meter and DC power transmitter in the off-grid sites which were independently constructed in three places. The measurement values of the power meter showed significant results of voltage (average): 380V + 0.9V, current (average): + 0.01A, power: 1000W (-1W) with an error range within ±1%. Stabilization of the server was also confirmed with the response rate of 0.32 sec. for the main screen, 2.61 sec. for the cumulative power generation, and 0.11 sec for the power transaction through the transmission of 50 data in real time. Therefore, the proposed system was validated as a P2P power transaction system that can be used as an independent network without transmitted by Korea Electric Power Corporation (KEPCO).

Key Words : Hybrid, MicroGrid, Prosumer, P2P Power Transaction, Response speed

1. 서론

기후변화에 따른 신재생에너지는 에너지를 생산하는 것보다 어떻게 효율적으로 소비할 수 있

는 방법을 찾는 것이 매우 중요한 이슈이다. ICT기반의 스마트 그리드는 양방향 데이터 흐름과 전력을 사용하여 지속가능한 에너지서비스를

*Department of Computer Engineering, Dongshin University

**Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Dongshin University (taewon@dsu.ac.kr)

Received November 02, 2020

Revised November 07, 2020

Accepted December 18, 2020

제공하며 소비자와 생산자의 거래관리를 담당하고 있다[1][2]. HEM은 전력수요와 전기요금의 절약기술이 요구되고 있다. HEM제품들은 가정용 전기소비를 감소시키지만 시장경쟁력은 부정적이다. 하지만 AMI는 증가하는 에너지 수요를 효율적으로 관리하기 위해 사용되며 프로슈머는 소비자가 생산한 재생에너지가 새로운 에너지원으로써 다른 소비자들과 공유된다[3].

2016년 3월 수원 솔대마을과 흥천 친환경에너지타운 2곳에서 “프로슈머 이웃 간 전력거래”에 대한 산업부의 실증사업을 보면 전력거래는 동일 배전망을 사용하는 소비자에게만 제공되고 한전의 중계로 인해 진정한 P2P라 볼 수 없고 프로슈머의 편익이 매력적이지 않는 것으로 나타났다. 프로슈머 간 전력거래에서 상시계통에 접속하거나 한전의 중계역할은 바람직하지 않다[4]. 따라서 한전의 중계가 필요 없는 도서지역에서 태양광과 풍력의 독립 망으로 P2P 전력거래를 고려해볼 필요가 있다.

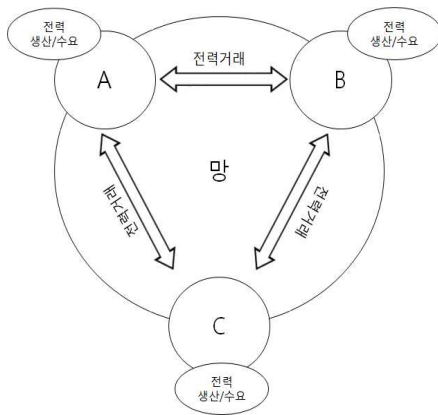


그림 1. P2P 전력망
Fig. 1. P2P power grid

본 논문은 그림 1과 같은 P2P 전력망에서 태양광과 풍력의 하이브리드 모델을 마이크로그리드라 가정하고 3개의 사이트에 설치하여 전력데이터의 거래를 확인하였다[5]. 또한 서버의 안정성 확인을 위해 50개의 마이크로그리드로 가정하고 50개의 실시간 데이터를 수집하여 상호교

환 가능한 프로슈머관리시스템을 구현하였다.

2. 태양광과 풍력의 하이브리드 총방전기

2장에서는 태양광과 풍력의 하이브리드 총방전기에 관해 HW설계부분을 간단하게 요약하였다 [6]. 태양광, 풍력, 총방전기의 입력전압 범위와 전력 그리고 출력에 대한 설계기준은 다음과 같다. 태양광에서 DC입력전압의 범위는 DC 60V ~ DC 350V, 입력전력(Max)은 500W이다. 풍력에서 AC 3상 입력전압의 범위는 AC 50V ~ AC 250V, 입력전력(Max)은 500W이다. 배터리 총방전기의 전압 범위는 DC 44V ~ DC 56V, 출력 전압은 DC 48V(12V*4병렬)이다. 하이브리드 총방전기는 제어부와 구동부로 구분하며 제어부는 AT90PWM1(MCU)로 RPM 측정부, 센싱부, 통신부로 구동부는 AC/DC입력부, DC/DC 변환부, 배터리 제어부, 전원부, 브레이크 구동부 등으로 설계하였다.

3.장 데이터 전송시스템의 구현

태양광과 풍력의 하이브리드 총방전기는 하나의 “마이크로 그리드(MG)”이며 여기에서 전력데이터가 계측된다. 본 장의 데이터 전송시스템은 무선통신을 활용하여 구성하였다[7].

3.1 전력계측기와 DC전력전송기

그림 2와 같이 전력계측기는 RS485통신과 Zigbee통신으로 구분되며 전자는 전원부, 센싱부, RS485통신부 등 3개부, 후자는 Zigbee 무선통신부, 전력 ON/OFF제어 DC Relay부, 내부 RTC 구동회로부, 내부 EEPROM, 제어회로 조작을 위한 LCD, KEY조작부 등 6개부를 포함 총 9개부로 구성하였다[8].

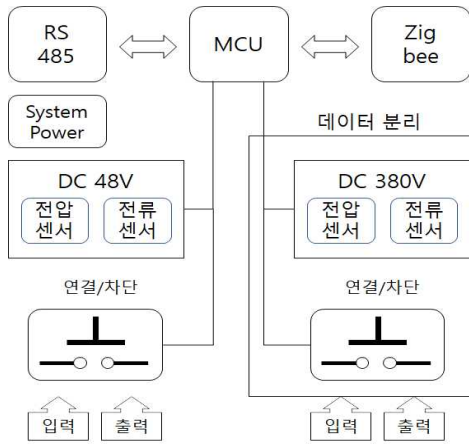


그림 2. 전력계측기
Fig. 2. Power meter

DC전력전송기는 그림 3과 같이 공급전력계측기와 수급전력계측기로 구성되며 공급전력계측기에서 수급전력계측기로 DC380V를 인가한다. 수급전력계측기의 충전기는 DC380V를 DC48V로 변환하여 배터리에 전력을 충전한다[9]. 여기에서 공급과 수급의 전력계측기는 공급과 수급을 담당하는 프로슈머이다.

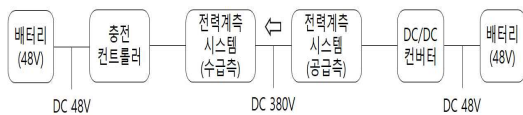


그림 3. DC전력전송기
Fig. 3. DC power transmitter

3.2 통신시스템의 구현

그림 4는 전력계측기와 데이터서버 간의 무선 통신 데이터의 전송시스템으로 통신모듈은 Zigbee[XB24CAWIT-001(2.4GhzDIGIXBee S2CIEEE802.15.4)]이다[10]. (1)입력부는 프로슈머와 서버 연동을 위한 USB 통신회로를 구성하고 입력되는 전력데이터를 USB데이터 포맷으로 변경하여 서버로 전달하는 변환회로이다. (2)전원부는 Zigbee의 저 전력 구동을 위한 DC 3.3V 전원회로이다. (3)출력부는 동작상태 확인을 위한 LCD, 4 KEY 등이다.



그림 4. 무선통신 데이터 전송시스템
Fig. 4. Wireless communication data transmission system

서버에 내장된 데이터 포맷은 표 1과 같이 태양광, 풍력, 배터리, 소비전력, 계측기 등을 ASCII 코드 값으로 정의한다. 이상과 같이 데이터 전송을 위한 무선통신에서는 서버에서 프로슈머인 전력계측기에 데이터 전송을 요청하면 실시간 데이터인 전압, 전류, 전력 등과 누적 데이터인 소비전력, 누적발전량을 순차적으로 전송하도록 프로그래밍 하였다.

표 1. 데이터 포맷
Table 1. data format

항목	전압	전류	전력	비고
태양광	3자리	3자리	-	DC 60 ~ 350V, 0 ~ 30.0A
풍력	3자리	3자리	-	DC 60 ~ 250V, 0~10.0A
배터리	3자리	3자리	-	DC 43.2 ~ 57.6V, 0 ~ 30.0A
소비 전력	-	3자리	-	0 ~ 30.0A
발전 전력	-	-	5 자리	일 누적전력 : 0 ~ 99000 W
계측기 (거래 전력)	3자리	3자리	-	DC 380V, 0 ~ 10.0A

3.3 마이크로그리드의 데이터수집

에너지 발전량, 부하량, 전력 거래 트랜잭션의 분석을 통해 마이크로그리드에서 에너지계측에 대한 데이터의 수집은 그림 5와 같은 절차로 프로그래밍하여 구현하였다.

- ① 10분단위로 배치작업을 통해 해당 로그파일 리딩, http(s)로 접근하여 로그파일로 분석(Log파일-deviceid_yyyyMMdd.log)한다.
- ② 로그파일의 내용을 분석하여 집계정보를 수집, JSON Format으로 변환 및 모니터링 서버 저장소로 전송한다.
- ③ DB Table(NoSQL)에 문서 단위로 저장/관리한다.

- ④ UI를 구현한다.(JAVA, Vuejs, JQuery)
- ⑤ 모니터링에 필요한 정보를 API로 구현한다.(JAVA, SpringBoot-Web,Security,JPA)

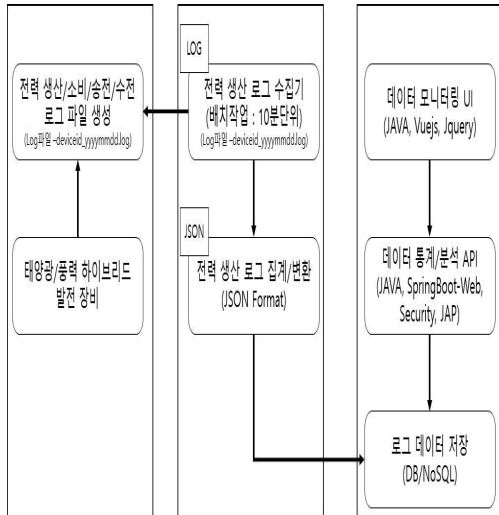


그림 5. 데이터 수집과정
Fig. 5. Data collection process

4.장 프로슈머관리시스템의 테스트

4.1 마이크로그리드 테스트

본 논문에서 마이크로그리드 프로슈머 시스템의 망 구성은 그림 6과 같으며 A, B, C는 각각의 프로슈머이며 프로슈머간 전력망은 Mesh구조이다[11].

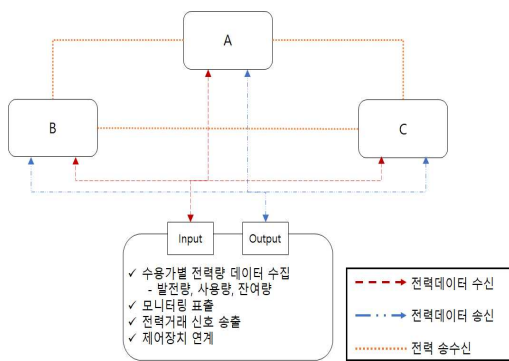


그림 6. 시스템 구성도
Fig. 6. System configuration diagram

단일가구로 구성된 마이크로그리드를 이용하여 망을 구성하고 3곳의 사이트에 그림 7과 같이 구축하였다.

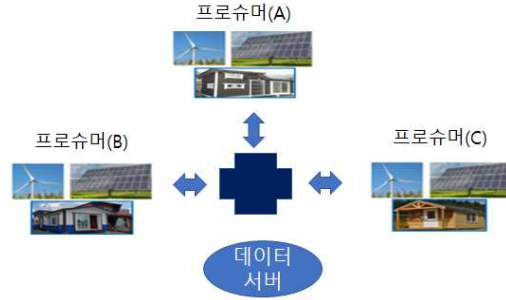


그림 7. 시스템의 구현
Fig. 7. System implementation

4.1.1 전력계측기의 오차 테스트

본 논문에서 사용된 계측데이터는 한국전자기술연구원에 의뢰하여 측정된 값으로 표 2는 DC 전압(380V), DC전류(1.5~3A)를 인가 후 시험기관의 전력분석기와 설계된 전력계측시스템의 전압과 전류 오차를 측정하였다. 측정된 오차는 전압(평균값) : 380V + 0.9V, 전류(평균값) : + 0.01A 이다. 표 3은 DC전력(1000W)을 인가 후 시험기관의 전력분석기와 설계된 전력계측시스템의 전력 오차를 측정하였다. 측정된 오차는 전력 : 1000W (- 1W) 로 오차범위를 만족하고 있다.

표 2. 전압 및 전류계측 데이터
Table 2. Voltage and current measurement data

인가전류	전력분석기		전력계측기	
	전압	전류	전압	전류
[A]	[V]	[A]	[V]	[A]
1.5	379.4	1.49	381	1.49
2.0	379.4	1.98	380	2
2.5	379.4	2.50	380	2.51
3.0	379.3	2.98	380	2.99

표 3. 전력계측 데이터
Table 3. Power measurement data

전력분석기			전력계측기		
전압	전류	출력	전압	전류	출력
[V]	[A]	[W]	[V]	[A]	[W]
379.4	2.63	998	380	2.63	999

표 4. DB 테이블
Table 4. DB table

ID	PV [V]	PV [I]	Wind [V]	Wind [I]	Batt [V]
식별 코드	태양광 전압	태양광 전류	풍력 전압	풍력 전류	배터리 전압
ID	Batt I [I]	Batt O [I]	Load [P]	cont [V]	cont I [I]
식별 코드	배터리 입력 전류	배터리 출력 전류	부하 전력	계측기 전압	계측기 입력 전류
ID	cont O [I]	PV D.T	Wind D.T	L U D.T	
식별 코드	계측기 출력 전류	태양광 일누적	풍력 일누적	부하 사용 일누적	

4.2 DB 테이블의 데이터 매핑

프로슈머관리를 위해 데이터의 확보와 정보의 분석이 필요하다. 데이터 매핑을 위해 프로슈머의 개별 발전데이터 및 프로슈머간 거래데이터를 확보하고 서버에 저장을 위해 HW(수용가)와 SW(서버)간 통신과 제어방법 등을 정의하고 필드단위로 분류한다.

각각의 데이터는 정의된 루트에 따라 각 비트에 매핑되며 DB를 통해 관련 UI로 표출한다. 소유자 정보, 태양광 발전정보, 풍력발전 정보, 배터리 사용정보, 전력거래 정보 등 총 16개 DB 테이블을 표 4와 같이 구성하였다.

4.3 프로슈머 관리화면

마이크로그리드의 에너지 계측량, 거래 트랜잭션을 분석한 결과를 이용하여 통합 모니터링 플랫폼에서 실시간 웹과 UI로 프로슈머의 전력사용을 관리한다.

프로슈머 관리화면은 초기화면, 메인화면, 발전

량, 전력거래 등 4개로 구성되며 세부적인 사항은 표 5에 나타내었다.

표 5. 프로슈머 관리화면
Table 5. Prosumer Management Screen

구분	초기화면	메인화면
내용	*URL접속초기화면 *로그인 *회원가입	*로그인 화면 *메뉴선택
구분	발전량	전력거래
내용	*실시간모니터링 *현재발전량, 일 누적발전량, 누적사용량	*거래가능전력량 *필요전력량 선택 및 전력거래 요청

4.4 테스트베드의 구축

4.4.1 서버 안정성 테스트

4.1~4.3에서 전력데이터의 거래를 확인하였으며 본 절에서는 서버의 안정성 테스트를 위해 50개의 실시간 데이터로 프로슈머 관리시스템을 구현하였다. 조건은 동시에 서버 접속 시 3초 이내의 응답시간이 목표이며 데이터전송 프로토콜은 MODBUS를 사용하였다. 사용된 보드의 MCU는 TMS320F28069로 10개의 ADC채널과 외부통신 기능을 가지고 있는 모듈이다. 그림 8은 서버에 입력된 50개의 실시간 매핑된 임의 데이터이다.

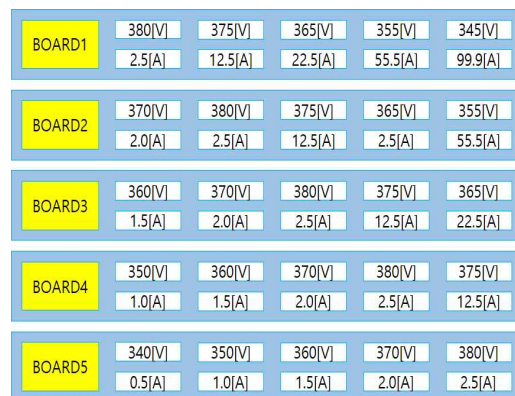


그림 8. 입력 데이터
Fig. 8. Input data

4.4.2 서버 응답속도 테스트와 부하 테스트

동시접속 50개 데이터를 3초 이내의 서버 응답속도 테스트를 실시하였다.

그림 9는 서버의 응답속도 테스트를 위한 구성도로써 http성능테스트 도구인 JMeter를 사용하였다[12]. 그 결과 각 항목별 응답속도는 메인화면(로그인) 0.32초, 일 발전량 2.61초, 누적발전량 2.77초, 전력거래 0.11초가 소요되었다.

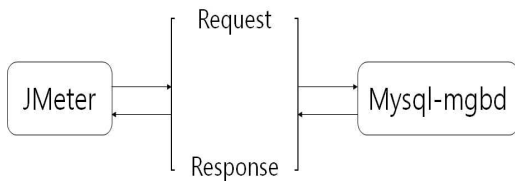


그림 9. 응답속도 테스트
Fig 9. Response speed test

5. 결론

본 논문에서는 태양광과 풍력의 하이브리드 모델 3곳에서 P2P 전력거래의 데이터전송시스템을 마이크로그리드로 구현하여 도서지역에서 독립적인 망으로 전력거래가 이루어 질 수 있다는 것을 입증하였다. 여기에서는 프로슈머 시스템의 전력거래를 위해 전력계측기를 설계하였고 계측된 데이터를 시험하여 전압(평균값) : 380V + 0.9V, 전류(평균값) : + 0.01A, 전력 : 1000W (- 1W)의 정확도가 나타났다. 프로슈머시스템의 서버 안정화를 위해 실시간으로 50개의 데이터를 전송하고 응답속도를 3초 이내를 목표로 했을 때 다음과 같은 만족한 결과를 가져왔다. 각 항목별 응답속도는 메인화면 0.32초, 일 발전량 2.61초, 누적발전량 2.77초, 전력거래 0.11초가 소요되었다. 향후 한국전력의 증계가 필요 없는 도서지역에 적용하여 피드백을 통해 개선해 나갈 예정이다.

REFERENCES

- [1] J. S. Lee, "Comparison of Smart Grids Demonstration Projects and Strategies in Major Leading Countries", The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol.12 No.12, pp. 40-48, June, 2016.
- [2] S. B. Koh, "A Review of Transaction-Based Energy Management Technology for Energy Prosumers", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.11 No.1, pp. 45-53, February, 2018.
- [3] E. H. Jeong, "A energy Theft Traceback Protocol in a Smart Grid Environment", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.8 No.6, pp. 532-534, August, 2015.
- [4] H. S. Lee, "Comparison of Profitability according to the Type of Electric Power Transaction in a Solar Powered House Considering Energy Prosumer System", Sangmyung University, pp. 57, February, 2020.
- [5] C. D. Park, "Study on Decentralized System for P2P Power Trading Services in Micro grid", Korea University, pp. 83, December, 2018.
- [6] J. M. Lee, "A High Quality Battery Charge-Discharge Controller for new & Renewal Energy Power Generation System", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.4 No.4, pp. 258-263, December, 2011.
- [7] J. M. Lee, "PCS control technology for energy storage system", The Korean Institute Of Power Electronic, Vol.23 No.2, pp. 46-53, April, 2018.
- [8] H. H. Kim, "ZigBee Wireless Sensor Nodes and Network For Wind Turbine Condition Monitoring", Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.13 No.9, pp. 4186-4192, February, 2012.
- [9] J. H. Lee, "Development of Hardware Simulator for Operation Analysis of DC Microgrid", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol.16 No 6, pp. 577-586, December, 2011.

- [10] "XBee S2C Zigbee Datasheet", <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90002002.pdf>
- [11] "Communication story that is easy to understand", <http://www.realsys.co.kr/download/board.asp?board=lecture&uid=342>
- [12] "How to use JMeter" <https://m.blog.naver.com/jujiwan83/220595204713>

저자약력

임수연(Su-Youn Lim)

[일반회원]



- 1988년 조선대학교 정밀기계공학과 학사
- 2019년 동신대학교 컴퓨터학과 석사
- 2019년 ~ 현재 동신대학교 컴퓨터학과(박사과정)
- 2003년 ~ 현재 (주)신호엔지니어링 대표이사

<관심분야 >

- 시스템소프트웨어, IoT, 빅데이터

이태원(Tae-Won Lee)

[일반회원]



- 1993년 전남대학교 전자공학과 학사
- 1998년 전남대학교 전자공학과 석사
- 2003년 전남대학교 전자공학과 박사
- 2003년~2018년 (주)LG전자 SoC 센터 책임연구원
- 2018년~현재 : 동신대학교 컴퓨터학과 교수

<관심분야 >

- SOC설계, IoT 시스템 구현, 센서 시스템