



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

독립형 마이크로그리드 설계를
위한 추자도 전력품질 분석

濟州大學校 産業大學院

電氣工學科

金 容 均

2019年 8月

독립형 마이크로그리드 설계를 위한 추자도 전력품질 분석

指導教授 金 一 煥

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2019年 8月

金容均의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

김 호 빈



委 員

진 영 규



委 員

金 一 煥



濟州大學校 産業大學院

2019年 8月



Power Quality Analysis of Chujado Island for Stand-alone Microgrid Design

Yong Gyun Kim
(Supervised by professor Eel-Hwan Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2019. 8.

목 차

그림 목차	iii
표 목차	v
SUMMARY	vi
1. 서 론	1
2. 추자도 계통 현황	2
2.1 추자도 전력계통 설비	2
2.2 전력품질분석기 설치 및 측정 절차	4
2.3 추자도 요일별 부하 패턴	8
3. 추자도 전력품질 분석	13
3.1 사례 1 : 평시	13
3.2 사례 2 : 제빙공장 가동 시	17
3.3 사례 3 : 참굴비축제 기간	21
3.4 결과 고찰	26
4. 결 론	27
참 고 문 헌	28
감사의 글	30

그림 목 차

Fig. 1 Simplified Chujado Island's power grid and contract load	3
Fig. 2 Chujado Island's topographical map	3
Fig. 3 Power quality analyzer and dewesoft program	4
Fig. 4 PTT secondary side-voltage probe connection in the control panel	5
Fig. 5 CTT secondary side-current clamp connection in the control panel	5
Fig. 6 Installation of the power quality analyzer	6
Fig. 7 Comparison between power quality analyzer output and power plant output ..	6
Fig. 8 Flow chart of the power quality analyzer connection	7
Fig. 9 Daily mean load for Jan.	9
Fig. 10 Daily mean load for Feb.	9
Fig. 11 Daily mean load for Mar.	9
Fig. 12 Daily mean load for Apr.	10
Fig. 13 Daily mean load for May	10
Fig. 14 Daily mean load for Jun.	10
Fig. 15 Daily mean load for Jul.	11
Fig. 16 Daily mean load for Aug.	11
Fig. 17 Daily mean load for Sep.	11
Fig. 18 Daily mean load for Oct.	12
Fig. 19 Daily mean load for Nov.	12
Fig. 20 Daily mean load for Dec.	12
Fig. 21 Case 1(Usual times) : Line voltage of each phase from Daeseo D/L	14
Fig. 22 Case 1(Usual times) : Current of each phase from Daeseo D/L	14
Fig. 23 Case 1(Usual times) : Frequency from Daeseo D/L	15
Fig. 24 Case 1(Usual times) : Active power from Daeseo D/L	15
Fig. 25 Case 1(Usual times) : Reactive power from Daeseo D/L	16
Fig. 26 Case 1(Usual times) : Apparent power from Daeseo D/L	16
Fig. 27 Case 1(Usual times) : Power factor from Daeseo D/L	17
Fig. 28 Case 2(During the ice-plant operation) : Line voltage of each phase from Daeseo D/L	18
Fig. 29 Case 2(During the ice-plant operation) : Current of each phase from Daeseo D/L	18
Fig. 30 Case 2(During the ice-plant operation) : Frequency from Daeseo D/L ..	19
Fig. 31 Case 2(During the ice-plant operation) : Active power from Daeseo D/L ..	19
Fig. 32 Case 2(During the ice-plant operation) : Reactive power from Daeseo D/L	20

Fig. 33 Case 2(During the ice-plant operation) : Apparent power from Daeseo D/L	20
Fig. 34 Case 2(During the ice-plant operation) : Power factor from Daeseo D/L ..	21
Fig. 35 Case 3(During the Gulbi festival) : Frequency from Daeseo D/L	23
Fig. 36 Case 3(During the Gulbi festival) : Active power from Daeseo D/L	23
Fig. 37 Case 3(During the Gulbi festival) : Reactive power from Daeseo D/L ..	24
Fig. 38 Case 3(During the Gulbi festival) : Apparent power from Daeseo D/L ..	24
Fig. 39 Case 3(During the Gulbi festival) : Power factor from Daeseo D/L	25

표 목 차

Table 1 Status of the generator capacity in the Chujado Island	2
Table 2 An analysis of the seasonal load	8
Table 3 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : Sep 15, 2017 ..	14
Table 4 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : May 4, 2017 ...	17
Table 5 Comparison between the festival period and normal times: Sep 15, 22, 29 and Oct 6, 2017	21
Table 6 Load from the Daeseo D/L : Sep 22-24, 2017	22
Table 7 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : Sep 22-24, 2017	22

SUMMARY

Global warming is certainly a pressing concern for the human society. The issue is now increasingly being reflected in environmental policies from a number of countries. South Korea is also responding rapidly by initiating the 3020 policy on renewable energy. Accordingly, each plant is required to use renewable energy to reduce carbon dioxide emission.

One of the renewable energy supply method is the island unit stand-alone microgrid. In order to operate a stand-alone microgrid safely, it is essential to investigate the power quality and local environment.

In this paper, the power quality of Chujado Island was investigated. DEWE-571-PNA-200K power quality analyzer was used, and DEWESOFT was used to store and process data. The collected data was compiled and analyzed using MATLAB program. First, The load average for days of the year was analyzed, and described as graphs. Next, case 1 to case 3 were analyzed for the duration of the Gulbi festival during usual times and operating of the ice-making plant. Finally, it is necessary to design the stand-alone microgrid in consideration of stabilizing frequency, reducing the starting current of motor and compensating the reactive power.

1. 서 론

현재 정부에서는 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20% 달성 목표로 신규 재생에너지 설비용량의 95% 이상을 태양광과 풍력 중심의 청정에너지로 공급할 계획을 추진하고 있다[1]. 또한 제주도는 2012년 「CFI(Carbon Free Island) Jeju by 2030」 계획을 발표하여 2030년까지 도내 총 전기 소비량의 100%를 신재생에너지 발전을 통해 공급하겠다는 이행 목표를 수립하여 시행하고 있다.[2]

이러한 정책은 섬 같은 도서 지역에 기존의 화석연료에 의한 전원공급을 신재생에너지와 같은 분산형 전원을 혼합하여 공급하는 것이 독립형 마이크로그리드(Stand-alone microgrid)이다. 이는 디젤발전기(Diesel generator : DG), 태양광발전기(Photovoltaic : PV), 풍력발전기(Wind turbine: WT), 에너지저장장치(Energy storage system : ESS) 등으로 구성된다. 하지만 소규모 전력계통이거나 신재생에너지의 발전 비중이 클 경우 태양광이나 풍력발전기 등의 간헐적인 출력은 전력품질에 악영향을 끼친다[3]-[4].

이를 해결하기 위해 각각의 요소들은 지역적 자원 환경 및 전력품질에 대한 조사를 통해 안정적 계통 운영이 가능하도록 에너지원별 적정 용량으로 설계되어야 한다. 뿐만 아니라 사업화를 위한 경제성 파악도 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서 이러한 요구조건들을 충족시킬 수 있는 에너지믹스 계획을 위한 풍향 자원, 날씨, 전력품질 분석 등이 필수적이다.

본 논문에서는 독립형 마이크로그리드 설계 시 고려해야 할 사항을 파악하고 분석하기 위하여 현재 주 전원 공급설비로서 디젤 발전기를 통해 전력을 공급받고 있는 추자도를 모델 대상으로 선정하여 345일 동안의 전력 품질을 조사·분석하였다. 이를 위해 추자 내연발전소에 전력품질분석기를 연결한 후 2017년 4월 13일부터 2018년 3월 23일까지의 부하량을 초당 데이터로 측정하였다. 측정된 부하량은 MATLAB을 통해 평시 및 이벤트 시의 파형을 분석하여 독립형 마이크로그리드 설계 시 고려해야 할 사항을 나타내었다.

2. 추자도 계통 현황

2.1 추자도 전력계통 설비

추자도는 Table 1과 같이 총 5.5 MW 설비용량을 갖추고 있으며 1.25 MVA 4기, 0.625 MVA 3기의 디젤 발전기로 구성되어 있다. Fig. 1은 추자도 전력계통의 간략도이다[5]. 추자도의 전력계통은 D/L(Distribution Line)을 통해 배전이 이루어지며, 상추자도에 대서 D/L, 하추자도에 예초 D/L, 묵리 D/L로 총 3개의 D/L이 있다. 대서 D/L의 경우 단일 D/L로 발전소와 연계되어 있어 대서 D/L 고장 시 상추자도 전체 정전의 우려가 있다. 하추자도의 경우 예초 D/L과 묵리 D/L은 선로 개폐기를 통해 연계되어 있어 한 개의 D/L에 이상이 발생하여도 안정적으로 전력을 공급받을 수 있다. 가장 큰 계약 부하는 예초 D/L에 위치한 추자 해수 담수화 설비이며 계약 부하는 980 kW이다. 다음으로 추자도 수산업 협동조합 950 kW, 추자 체육관 200 kW, 추자산업 제빙공장 186 kW 등이 계약되어 있다. 각 지역과 주요 부하의 위치는 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 설비 용량을 통해 추자도를 소규모 전력계통으로 볼 수 있다. 소규모 전력계통은 부하 및 발전량의 급변에 취약하므로 신재생발전원이 포함된 독립형 마이크로그리드 설계 시 전력품질 및 지역 환경에 대한 사전조사가 이루어져야 한다[6]-[7]. 이러한 조사를 바탕으로 풍력발전기, 태양광발전, ESS 등 신재생 에너지의 적절한 용량 설계가 필요하다.

Table 1 Status of the generator capacity in the Chujado Island

구분		3-1호기	4-1호기	5호기	6호기	7호기	8호기	9호기	
발전기	전압[kV]	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	
	용량	MW	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
		MVA	1.25	1.25	0.63	0.63	0.63	1.25	1.25

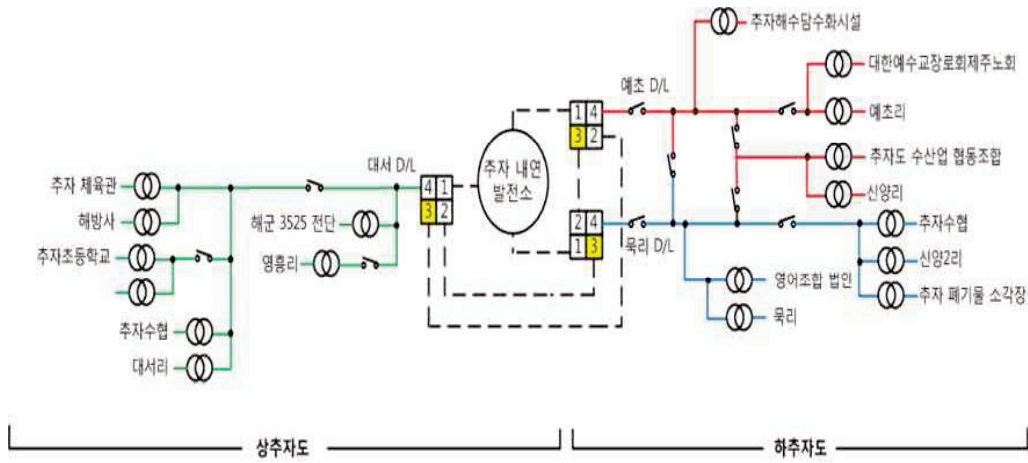


Fig. 1 Simplified Chujado Island's power grid and contract load



Fig. 2 Chujado Island's topographical map

2.2 전력품질분석기 설치 및 측정 절차

Fig. 3에서 볼 수 있는 데베트론 社 전력품질분석기 DEWE-571-PNA-200K 모델을 설치하여 2017년 4월 13일부터 2018년 3월 23일까지의 발전량을 측정하였다. 해당 모델은 초당 40 MB의 데이터를 처리할 수 있다. 전력품질분석기와 연계된 DEWESOFT 프로그램을 사용하여 데이터 저장 및 처리를 수행하였다.

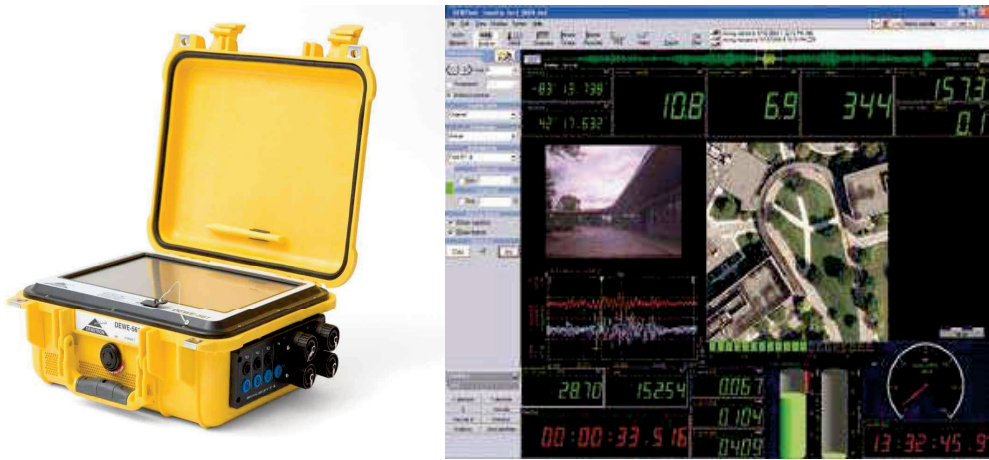


Fig. 3 Power quality analyzer and dewesoft program

전력품질분석기는 Fig. 4와 Fig. 5 같이 추자 내연 발전소 제어반 내 PTT(Potential test terminal), CTT(Current test terminal) 2차 측에 설치하였다. PTT에는 악어클립을 이용하여 고정시킨 후 측정을 진행하였으며, CTT에는 전류클램프를 이용하여 측정을 하였다. 전류클램프의 모델은 PNA-CLAMP-5이며 5 A 당 300 mV로 변환하여 측정한다.

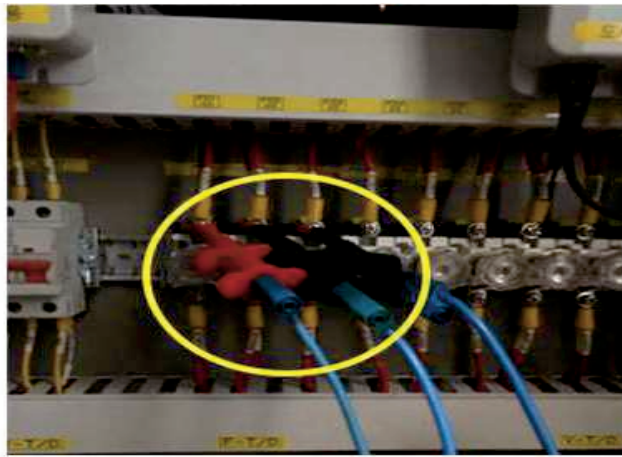


Fig. 4 PTT secondary side-voltage probe connection in the control panel

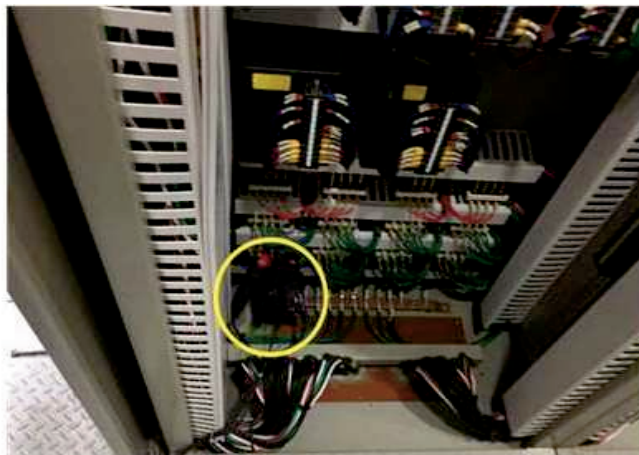


Fig. 5 CTT secondary side-current clamp connection in the control panel

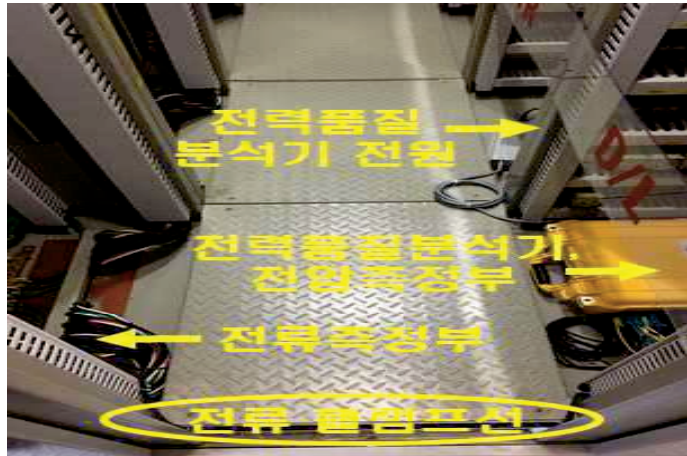


Fig. 6 Installation of the power quality analyzer

Fig. 6은 제어반 내 전력품질분석기 설치 완료 후의 배치를 보여준다. 전류클램프와 전력품질분석기의 CT(Current Transformer)비를 발전소 내 CT비와 동일하게 설정하여 Fig. 7과 같이 발전소 내 계기판과 전력품질분석기의 유효·무효전력이 같도록 하였다. 추자도 전력계통의 경우 3개의 D/L로 이루어져있기 때문에 추자 내연 발전소 측과 협의하여 1기의 전력품질분석기를 부하가 작은 목리 D/L부터 예초 D/L, 대서 D/L 순으로 연계하여 측정하였다. 측정 기간은 매월, 요일별 부하 패턴을 확인하기 위해 D/L 당 7일 동안 연계하여 측정하였다. 전력품질분석기의 측정 주기는 1초로 하였으며 D/L 별 3상 전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 역률, 주파수를 측정하도록 설정하였다.



Fig. 7 Comparison between power quality analyzer output and power plant output

Fig. 8은 7일 단위 전력품질분석기 연계 순서도이다. 먼저 측정 단자를 단일 D/L에 접속시킨 후 전력품질분석기의 설정을 점검하였다. 이 설정을 통해 구해진 측정값들이 내연발전소 패널과 같다면 설정이 올바르게 된 것으로 판단하여 데이터 저장 확인 후 7주 후에 측정할 D/L을 변경하였다.

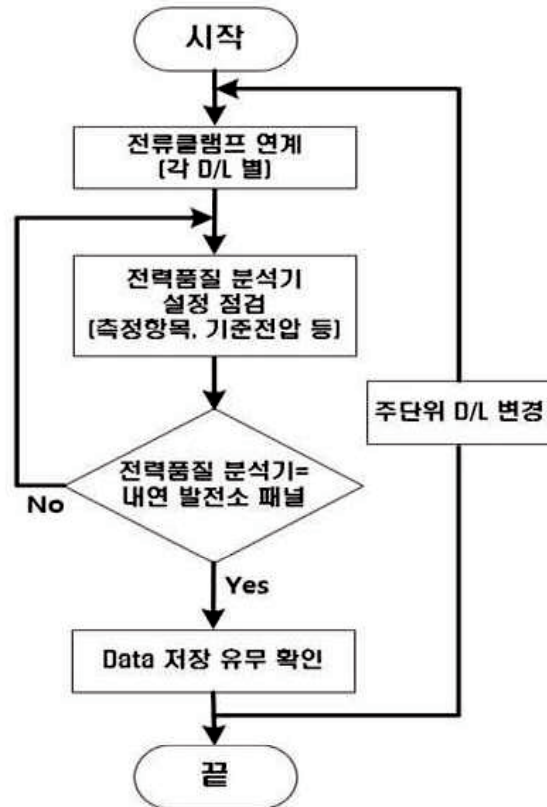


Fig. 8 Flow chart of the power quality analyzer connection

2.3 추자도 요일별 부하 패턴

데이터 정리 및 가공, 오류 데이터 분석은 Matlab 프로그램을 이용하였다. 측정 데이터는 전압, 전류, 주파수, 유효전력, 무효전력, 역률로 나누어 그래프로 나타내었다. Table 2에서 동계는 11월에서 1월, 춘계는 2월에서 4월, 하계는 5월에서 7월, 추계는 8월에서 10월로 각 계절별 평균, 최대, 최소 부하를 분석하였다. 동기계절 부하가 다른 계절에 비해 약 9.0% 증가하므로 독립형 마이크로그리드 설계 시 고려되어야한다.

Table 2 An analysis of the seasonal load

구분	동계	춘계	하계	추계
평균부하[kW]	1807.4	1720.1	1580.5	1673.6
최대부하[kW]	2334.0	2196.0	2015.0	2156.3
최소부하[kW]	1280.8	1244.3	1145.9	1191.0

Fig. 9에서 Fig. 20은 요일별 부하 패턴이다. 측정된 초당 데이터를 이용하여 월요일부터 일요일까지 즉, 1~604,800초까지의 데이터로 가공한 후 평균값으로 도식화하였다.

$$P_{mean,n} = \frac{\sum_{k=1}^{49} P_{k,n}}{49} \quad (2.1)$$

$$(n = 1, 2, 3, \dots 604800)$$

1월부터 12월까지의 그래프를 분석한 결과 18시 이후 부하가 증가하였다. 이를 통해 추자도는 대부분의 전력을 주택용으로 사용하고 있다는 사실을 유추해 낼 수 있다. D/L별 전력 부하는 정형화 된 패턴으로 낮 시간 동안 신재생 발전을 이용하여 ESS 충전 후 18시 이후 방전한다면 신재생 전력 이용률이 향상될 것으로 예상된다[8].

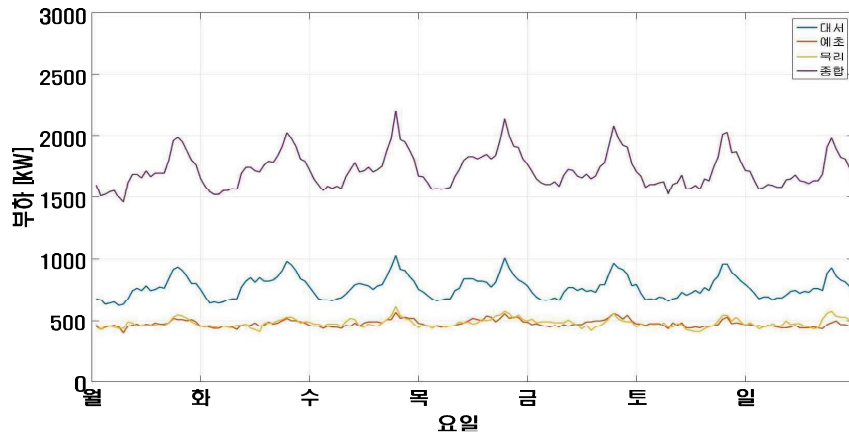


Fig. 9 Daily mean load for Jan.

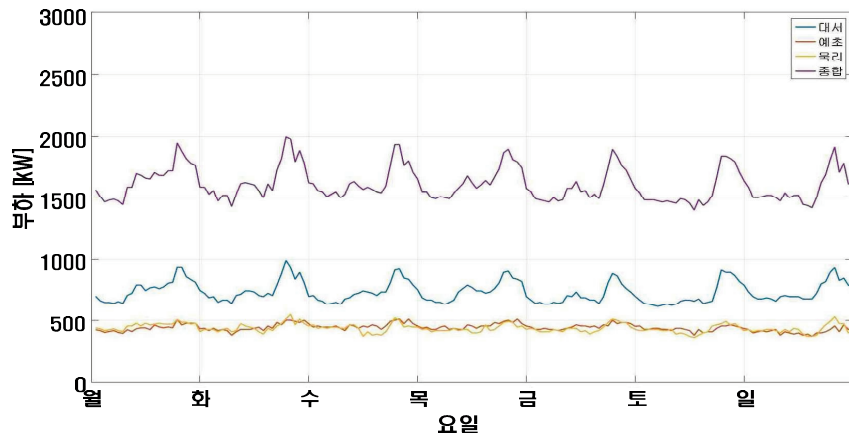


Fig. 10 Daily mean load for Feb.

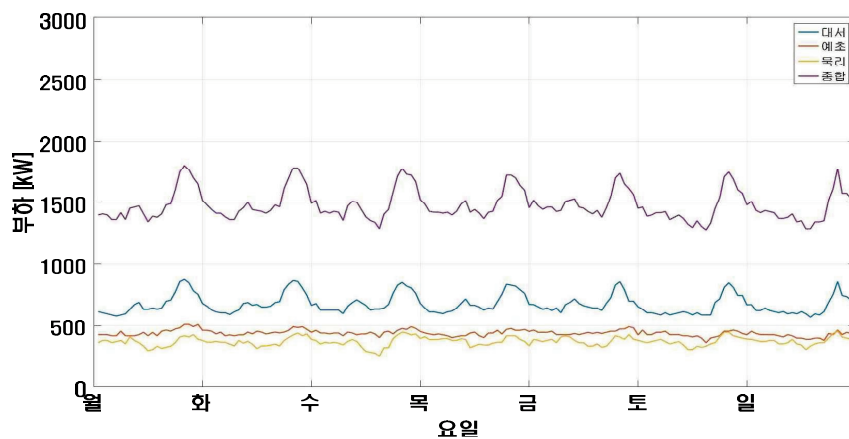


Fig. 11 Daily mean load for Mar.

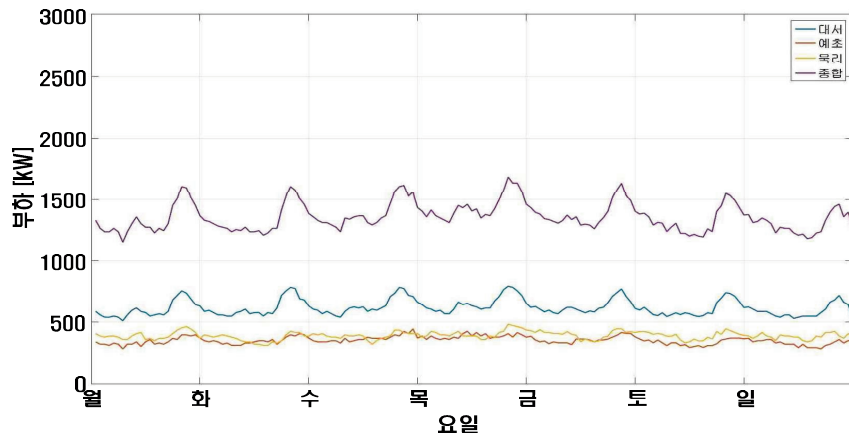


Fig. 12 Daily mean load for Apr.

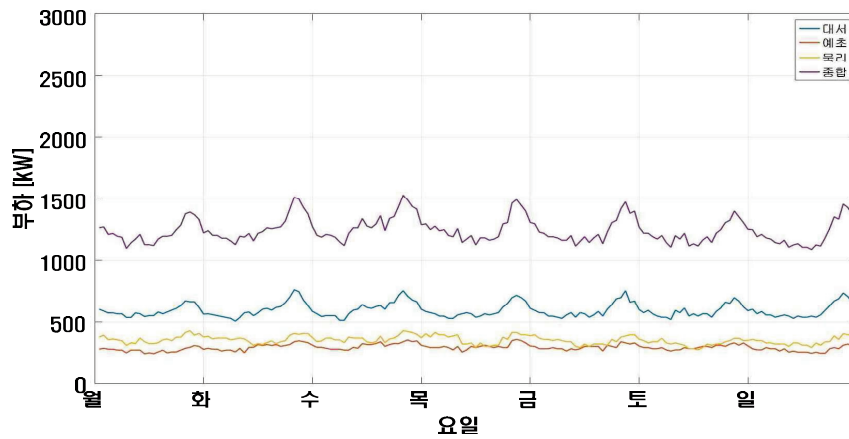


Fig. 13 Daily mean load for May

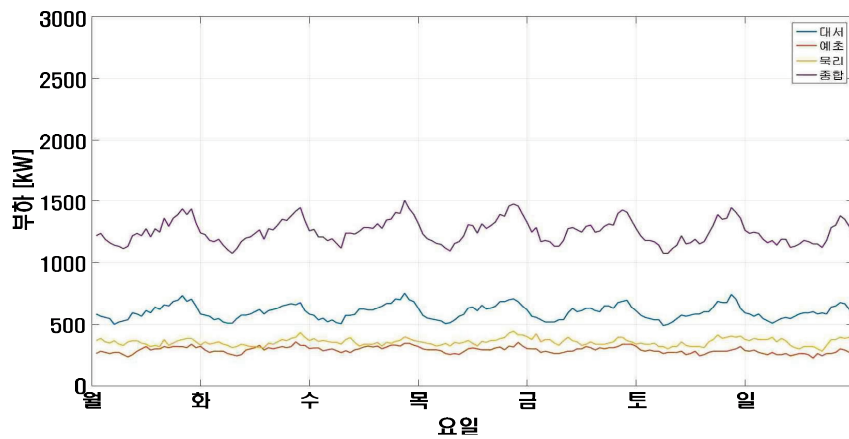


Fig. 14 Daily mean load for Jun.

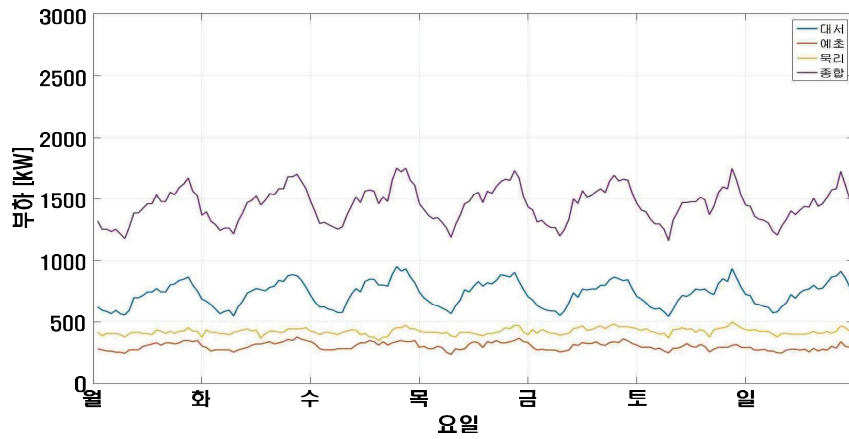


Fig. 15 Daily mean load for Jul.

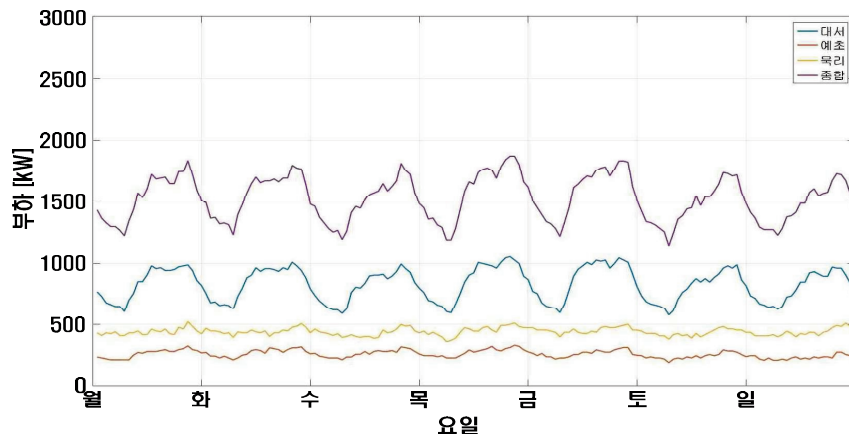


Fig. 16 Daily mean load for Aug.

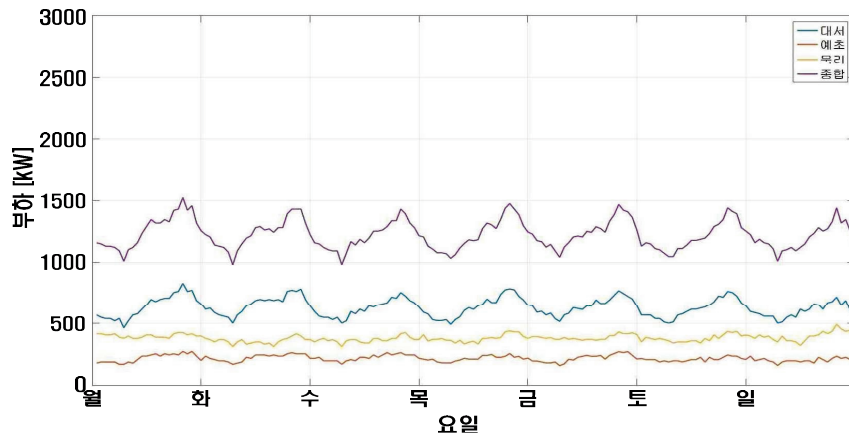


Fig. 17 Daily mean load for Sep.

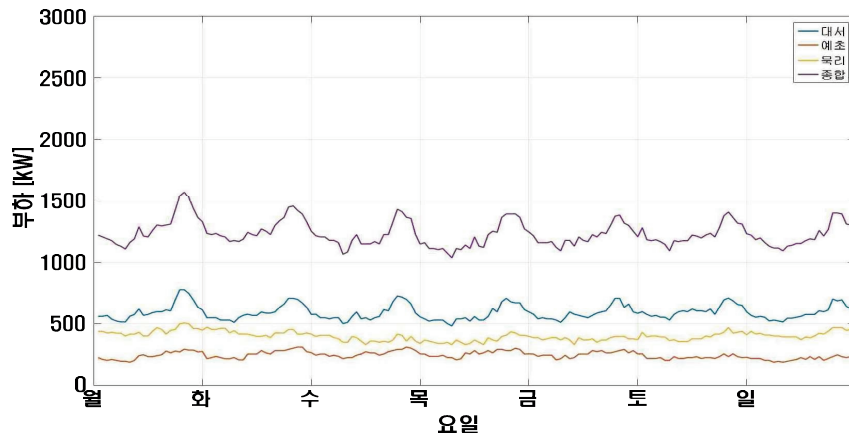


Fig. 18 Daily mean load for Oct.

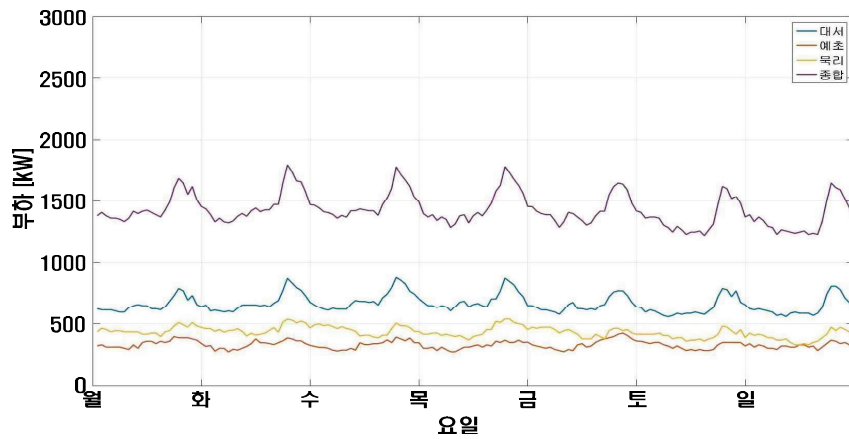


Fig. 19 Daily mean load for Nov.

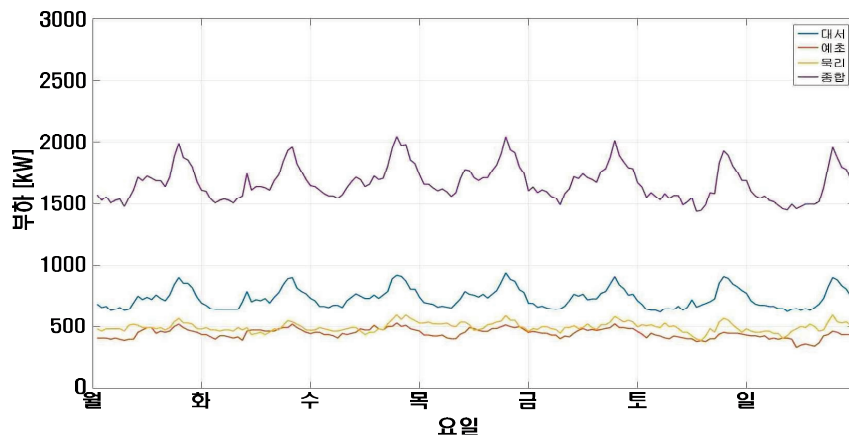


Fig. 20 Daily mean load for Dec.

3. 추자도 전력품질 분석

본 논문은 한국전력공사의 “송·배전용전기설비 이용규정”을 기준하여 분석되었다. 선간 교류전압 유지범위는 6,000~6,900 V이며 이는 “배전용전기설비”에 속한다. 주파수 유지범위는 60.0±0.2 Hz(이상상태 시 62 Hz-57.5 Hz까지 허용)이다 [9]. 다음에서 평시와 특이사항을 사례로 나누어 분석하였다.

3.1 사례 1 : 평시

사례 1은 평시 발전소 출력에 대해 분석한 것이다. 2017년 9월 15일 24시간 동안의 선간전압, 전류, 주파수, 유효전력, 무효전력, 피상전력, 역률을 측정하였다. Table 3에서는 AB선간전압, BC선간전압, CA선간전압, 주파수 각각에 대한 최대, 최소, 평균에 대한 값을 확인할 수 있다. 여기서, 기준초과율에 대한 값은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{전압 기준초과율} = \frac{\sum_{k=1}^n N_{k,low_voltage} + \sum_{k=1}^n N_{k,high_voltage}}{n} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{주파수 기준초과율} = \frac{\sum_{k=1}^n N_{k,low_frequency} + \sum_{k=1}^n N_{k,high_frequency}}{n} \times 100 \quad (3.2)$$

$n = 86,400$ 으로 24시간을 초단위로 환산한 값이며, $N_{k,low_voltage}$, $N_{k,high_voltage}$, $N_{k,low_frequency}$, $N_{k,high_frequency}$ 는 각각 $V_{abc,rms} < 6,000 V$, $V_{abc,rms} > 6,900 V$, $f < 59.8 Hz$, $f > 60.2 Hz$ 일 때는 1, 조건에 해당되지 않을 경우에는 0이다.

평시 선간전압은 송·배전용 전기설비 이용규정에 벗어나지 않도록 제어되어 기준초과율이 0.00%이며, 주파수는 59.8 Hz보다 낮은 경우가 0.03%, 60.2 Hz보다 큰 경우가 0.01%로 기준초과율이 0.04%로 나타났다.

Table 3 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : Sep 15, 2017

구분	AB선간전압 [V]	BC선간전압 [V]	CA선간전압 [V]	주파수 [Hz]
최대	6764.8	6823.3	6794.7	60.2
최소	6652.4	6718.2	6689.9	59.8
평균	6718.5	6776.4	6750.8	60.0
기준초과율	0.00%			0.04%

Fig. 21과 Fig. 22는 각 선간전압과 상별 전류를 그래프로 나타내었다. 가정부가 최대가 되는 18시 이후 저녁시간에 전류가 상승하는 것을 확인할 수 있다.

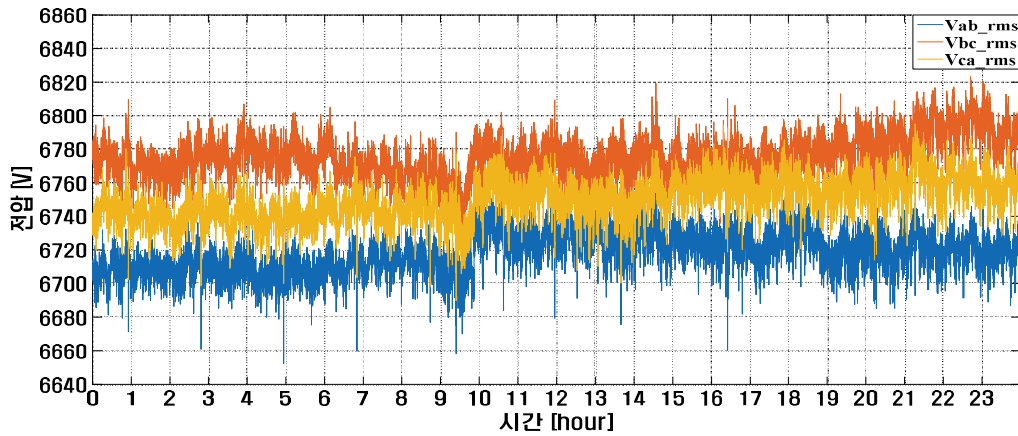


Fig. 21 Case 1(Usual times) : Line voltage of each phase from Daeseo D/L

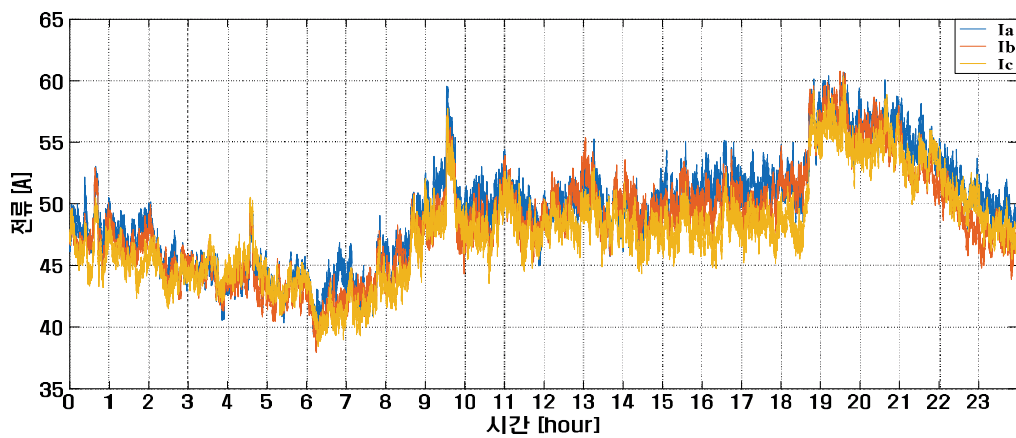


Fig. 22 Case 1(Usual times) : Current of each phase from Daeseo D/L

Fig. 23과 Fig. 24는 평시 주파수와 유효전력에 대한 그래프이다. 유효전력이 변함에 따라 주파수가 변하는 것을 확인할 수 있는데, 추자도의 경우 약한 계통이므로 유효전력 변동에 따른 주파수의 변동이 크다[10]-[11]. 약 9시 30분 유효전력이 크게 상승한 후 주파수가 유지범위에 들지만 회복하지 못하고 4시간 동안 평균 59.9 Hz로 운전하는 현상이 있어 주파수 안정화 방안을 강구하여야 한다.

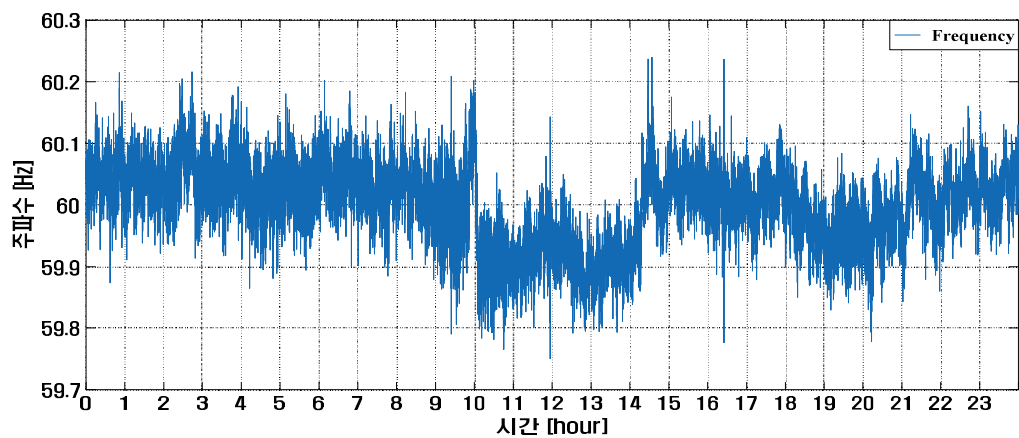


Fig. 23 Case 1(Usual times) : Frequency from Daeseo D/L

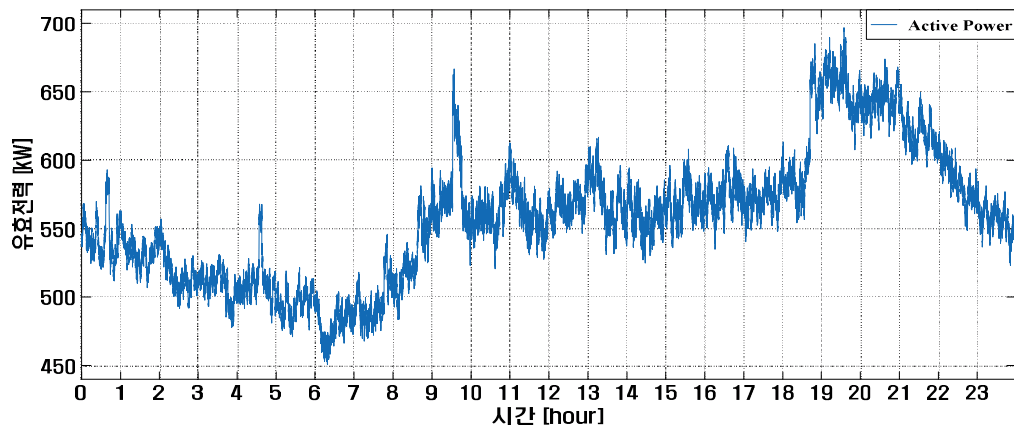


Fig. 24 Case 1(Usual times) : Active power from Daeseo D/L

Fig. 25와 Fig. 26에서는 무효전력과 피상전력을 확인할 수 있다. 무효전력은 큰 변화가 없으며, 피상전력은 저녁시간에 피크가 된다. 무효전력은 평균 106.9 kVAr, 피상전력은 평균 568.4 kVA로 나타났다.

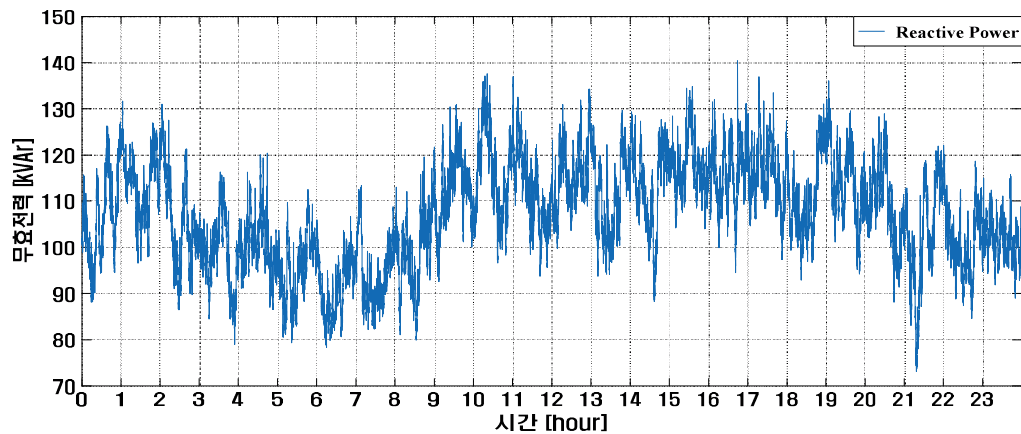


Fig. 25 Case 1(Usual times) : Reactive power from Daeseo D/L

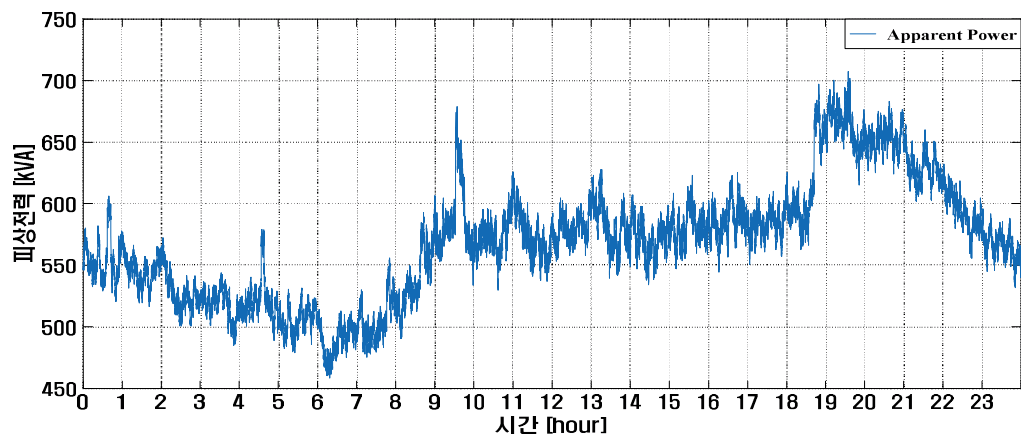


Fig. 26 Case 1(Usual times) : Apparent power from Daeseo D/L

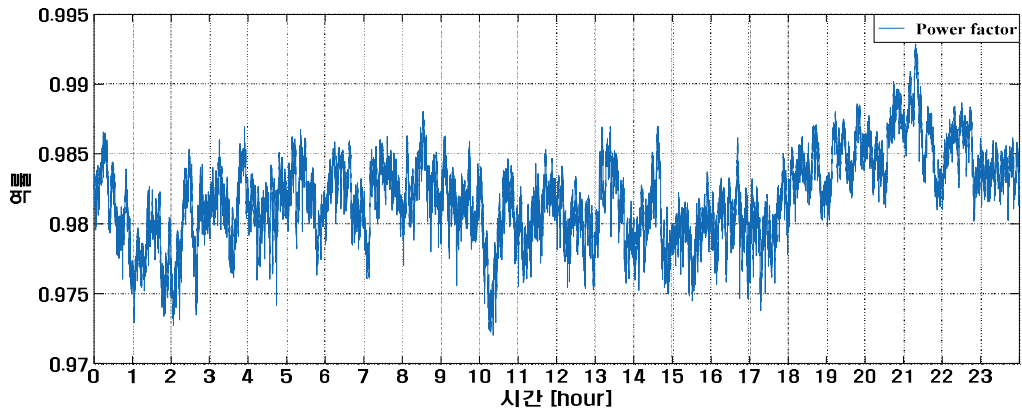


Fig. 27 Case 1(Usual times) : Power factor from Daeseo D/L

역률은 최소 0.97, 평균 0.98로 유지되어 송·배전용 전기설비 이용규정에 부합하였다.

3.2 사례 2 : 제빙공장 가동 시

추자도 대서 D/L에 위치한 제빙공장의 모터는 가장 큰 단일부하로 2대의 3상 모터이며 용량은 각각 130 kW, 110 kW이다. 제빙공장의 모터는 리액터기동 방식을 채택하여 기동하며 대략 1일 1회 3-5시간 기동하고 있다. 추가 투입 필요시 1일 1회 이상 기동하기도 한다. 리액터기동 방식의 기동전류는 직입기동 시 기동전류의 50-65-80% (Tap 50-65-80%)으로 다른 기동 방식에 비해 기동전류가 크므로 소규모 전력계통에는 충격을 줄 우려가 있다[12]. Table 4는 2017년 5월 4일 24시간동안의 각 상별 선간전압과 주파수의 최대, 최소, 평균을 보여준다. 기준초과율은 선간전압은 0.0%, 주파수는 1.3%로 나타났으며, 선간전압은 BC상에서 6,900이상인경우가 1회, 주파수가 59.8 Hz이하인 경우가 0.01%, 60.2 Hz이상인 경우가 1.31%로 나타났다.

Table 4 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : May 4, 2017

구분	AB선간전압 [V]	BC선간전압 [V]	CA선간전압 [V]	주파수 [Hz]
최대	6882.7	6924.3	6895.4	60.4
최소	6553.5	6599.9	6583.9	59.7
평균	6772.7	6836.5	6801.5	60.1
기준초과율	0.00%			1.32%

Fig. 28에서 Fig. 29는 기동전류에 대한 파형을 보이기 위해 임의의 날짜에 대해 분석 것이다. Fig. 28을 보면 약 13시 25분 선간전압이 순간적으로 낮아진 후 높아지는 현상을 확인할 수 있다. 제빙공장 모터가 기동하며 순간 큰 기동전류가 투입되는데 발전기 출력은 순간적인 전력 상승을 추종하지 못하여 일정하기 때문에 선간전압은 떨어지게 된다[13]. 이를 보상하기 위해 시간이 지나며 발전기 출력은 증가하게 된다. 하지만 기동전류는 다시 급감하므로 전압이 상승하게 된다. 같은 시기에 순간적으로 전류가 커지는 것을 Fig. 29에서 확인할 수 있다.

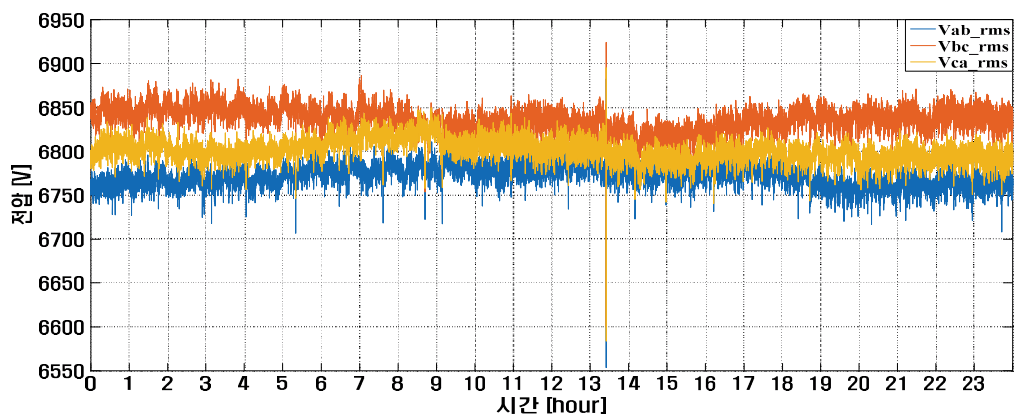


Fig. 28 Case 2(During the ice-plant operation) : Line voltage of each phase from Daeseo D/L

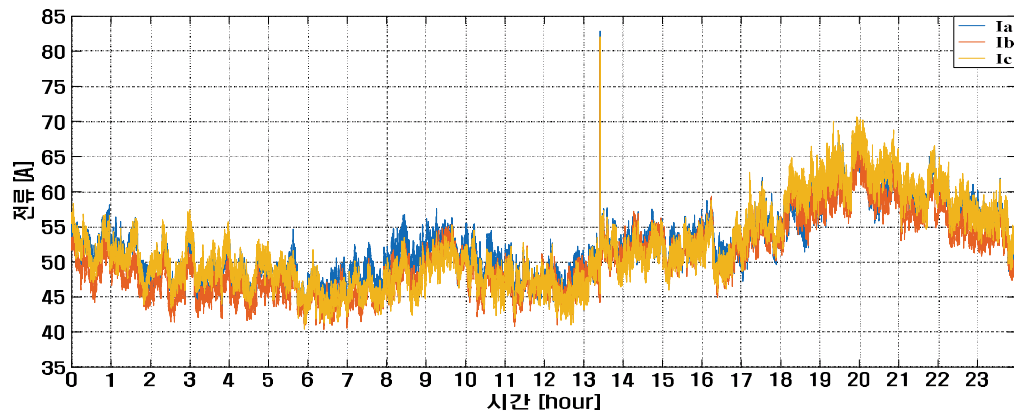


Fig. 29 Case 2(During the ice-plant operation) : Current of each phase from Daeseo D/L

Fig. 30과 Fig. 31에서는 주파수와 유효전력에 대한 그래프를 볼 수 있다. 13시 25분때의 그래프를 확인해보면 주파수는 순간적으로 59.7 Hz까지 낮아지며, 유효 전력 또한 약 677.7 kW까지 상승한다.

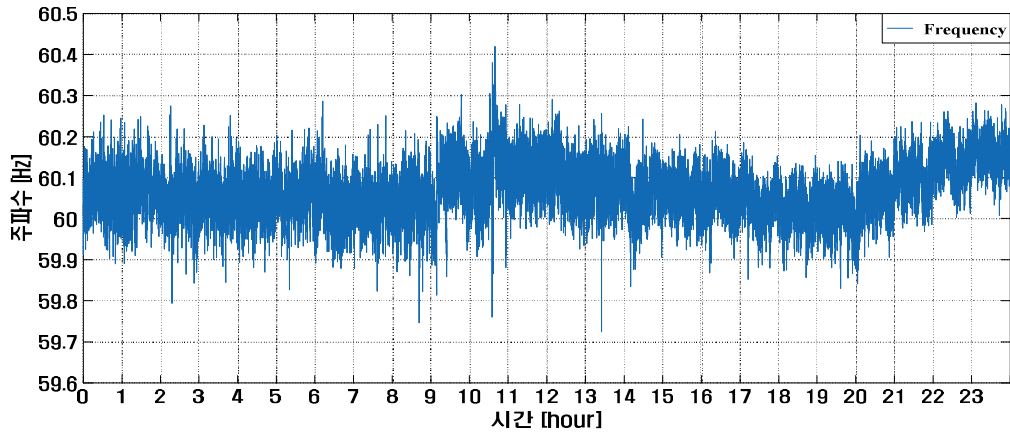


Fig. 30 Case 2(During the ice-plant operation) : Frequency from Daeseo D/L

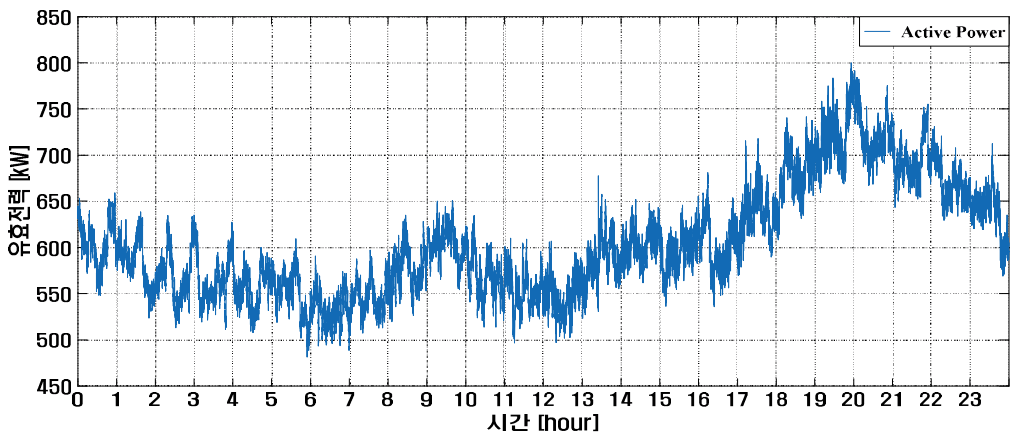


Fig. 31 Case 2(During the ice-plant operation) : Active power from Daeseo D/L

13시 25분 제빙공장 모터가 기동하며 순간적으로 기동전류가 크게 들어가 무효전력이 624.0 kVAr까지 순간적으로 상승한다. 이후에 16시 16분까지 모터가 계속 운전되므로 무효전력은 상승한 상태로 유지되며 평균 130.0 kVAr로 나타났다. 이에 따라 피상전력 또한 유효전력과 무효전력의 영향을 받으므로 같은 시기에 값이 크게 증가하는 그래프가 나타난다.

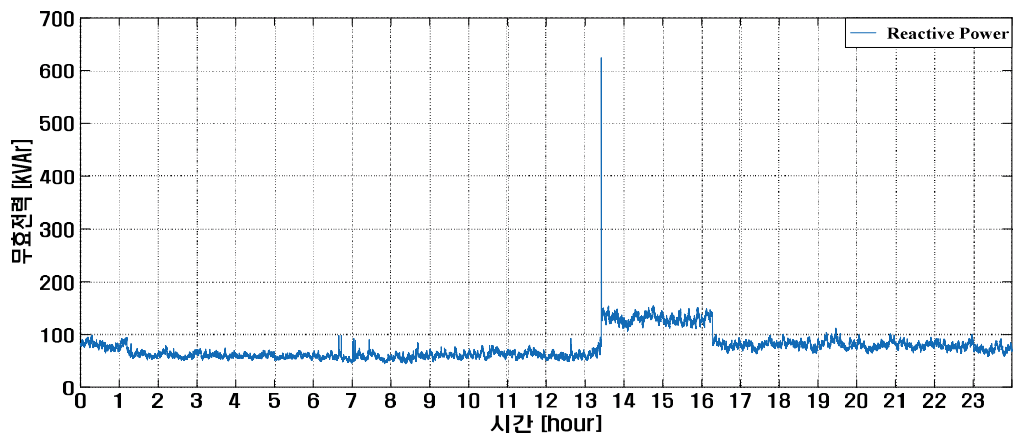


Fig. 32 Case 2(During the ice-plant operation) : Reactive power from Daeseo D/L

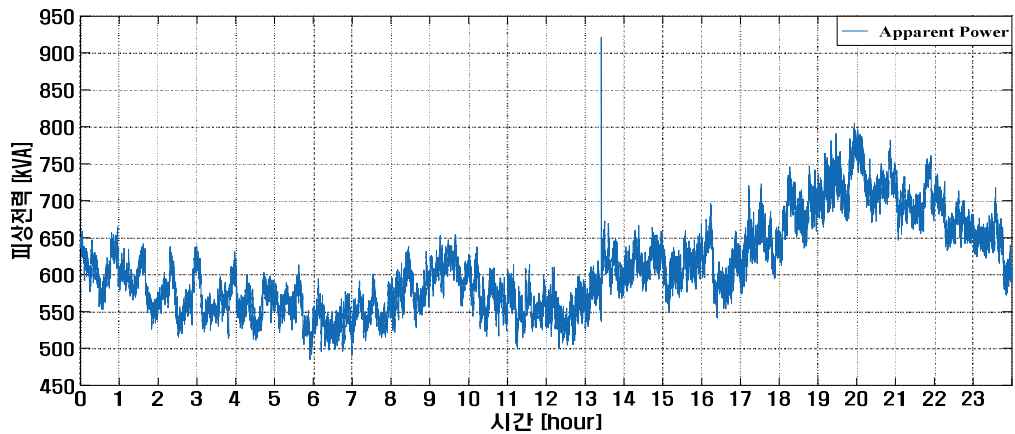


Fig. 33 Case 2(During the ice-plant operation) : Apparent power from Daeseo D/L

기동전류는 무효전류로 들어가기 때문에 역률이 0.74까지 낮아지는 현상을 Fig. 34에서 확인할 수 있다. 역률은 계통 전력품질에 악영향을 끼치므로 기동전류에 대한 대책이 강구된다[14]-[15].

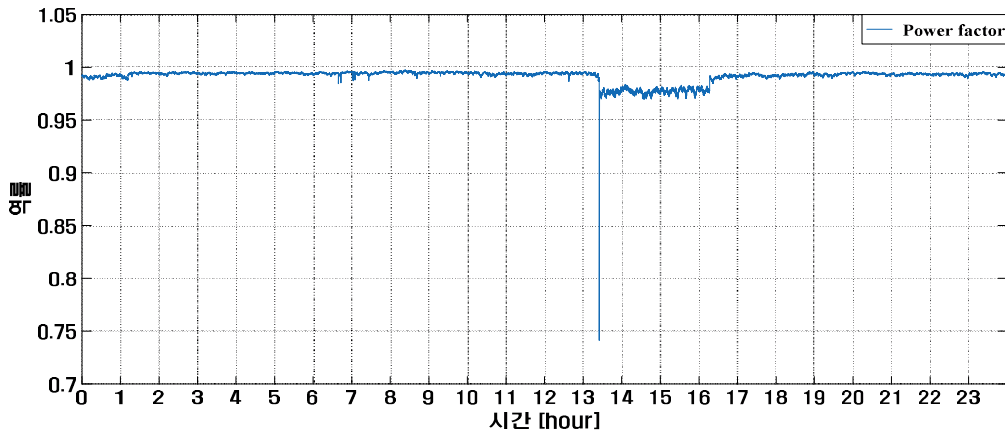


Fig. 34 Case 2(During the ice-plant operation) : Power factor from Daeseo D/L

3.3 사례3 : 참굴비축제 기간

9월 22-24일 추자도 참굴비 축제시기에 부하가 증가한다. Table 5에서는 부하 패턴 비교를 위해 2017년 9월 15일, 29일, 10월 6일 유효전력과 축제기간 준 9월 22일 유효전력을 비교하였다. 이때 최대 유효전력의 경우 9월 22일에 992 kW로 평시에 비해 최대 300 kW의 차이를 보이며, 평균 부하량은 최소 120 kW, 최대 220 kW 차이를 보이고 있다.

Table 5 Comparison between the festival period and normal times: Sep 15, 22, 29 and Oct 6, 2017

구분	9월 15일	9월 22일	9월 29일	10월 06일
최대부하[kW]	697	992	796	855
최소부하[kW]	558	776	612	651
평균부하[kW]	451	593	484	517

Table 6은 축제 기간 부하의 유효전력 최대, 최소, 평균을 보여준다. 축제기간 3일 중 부하 최대 및 평균은 22일에 가장 높았다.

축제기간 동안의 전력품질을 분석한 결과는 Table 7에서 확인할 수 있다. 각 상의 선간전압이 유지범위에서 커지는 경우는 없었으며, 주파수는 평균 60 Hz로 유지되었다. 축제기간 동안 주파수의 유지범위를 넘어서는 횟수는 59.8 Hz 이하는 0.01%, 60.2 Hz 이상은 0.72%로 나타났다.

Table 6 Load from the Daeseo D/L : Sep 22-24, 2017

구분	9월 22일	9월 23일	9월 24일
최대부하[kW]	992	984	867
최소부하[kW]	593	620	549
평균부하[kW]	776	772	756

Table 7 Analysis of the Daeseo D/L's line voltage and frequency : Sep 22-24, 2017

구분	AB선간전압 [V]	BC선간전압 [V]	CA선간전압 [V]	주파수 [Hz]
최대	6817.3	6873.1	6838.4	60.5
최소	6449.6	6472.3	6466.7	59.4
평균	6717.7	6760.9	6734.3	60.0
기준초과율	0%			0.73%

Fig. 35와 Fig. 36은 축제기간 동안의 주파수와 유효전력 그래프이다. 축제기간에 제빙공장 모터 구동 횟수가 증가했으며 제빙공장 모터 기동 시 주파수가 59.4 Hz까지 급감하였다. 축제 마지막 날인 2017년 9월 23일에는 낮 시간 유효전력과 저녁 시간 유효전력이 일정하였다. 평시에는 저녁 시간 유효전력이 낮 시간 유효전력에 비해 약 18% 이상 증가하는 것과 비교하면 축제 기간에 부하 패턴이 바뀌므로 독립형 마이크로그리드의 ESS를 스케줄 제어로 운영할 경우 주의하여야 한다.

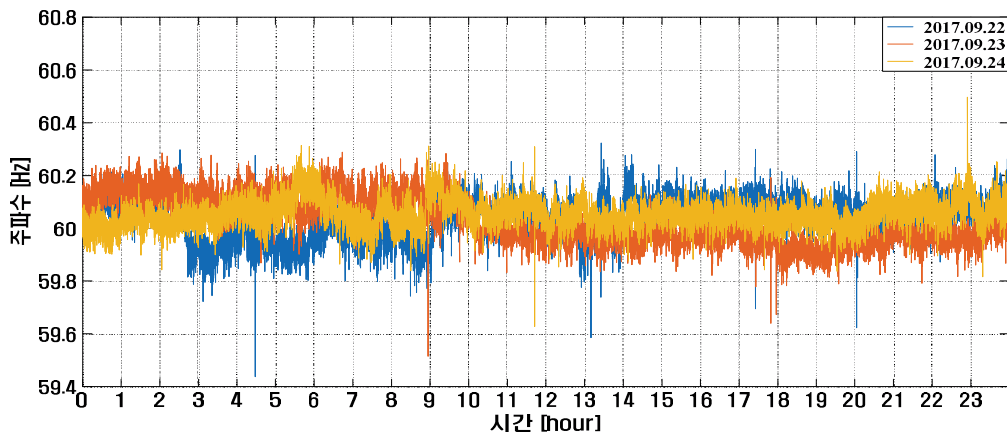


Fig. 35 Case 3(During the Gulbi festival) : Frequency from Daeseo D/L

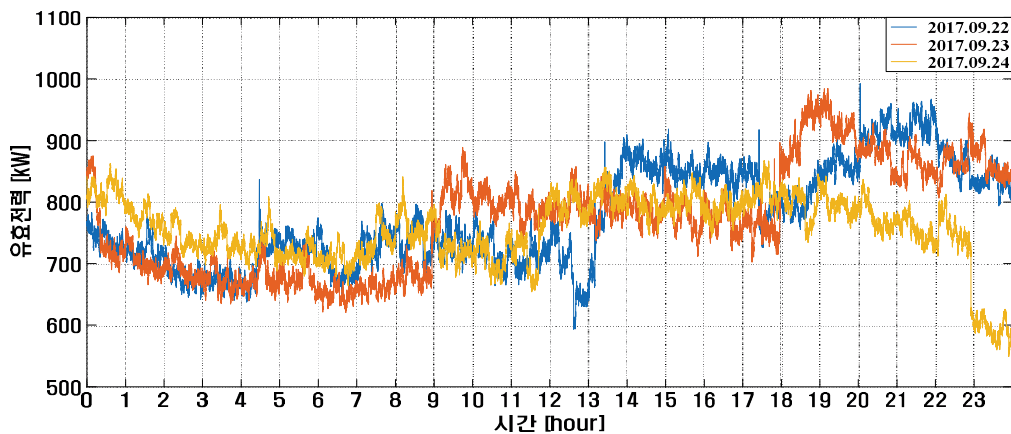


Fig. 36 Case 3(During the Gulbi festival) : Active power from Daeseo D/L

축제기간 3일간 제빙공장 모터의 운전 상태를 Fig. 37에서 확인할 수 있다. 모터 구동 시작 시 순간적으로 무효전력이 상승하며 구동 횟수는 축제 1일차에 5회, 2일차에 3회, 3일차에 1회이다. 평균 무효전력은 218.0 kVAr로 평시 평균 무효전력에 비해 2배 이상 증가한다. Fig. 38은 디젤 발전기 출력의 피상전력에 대한 그래프이다.

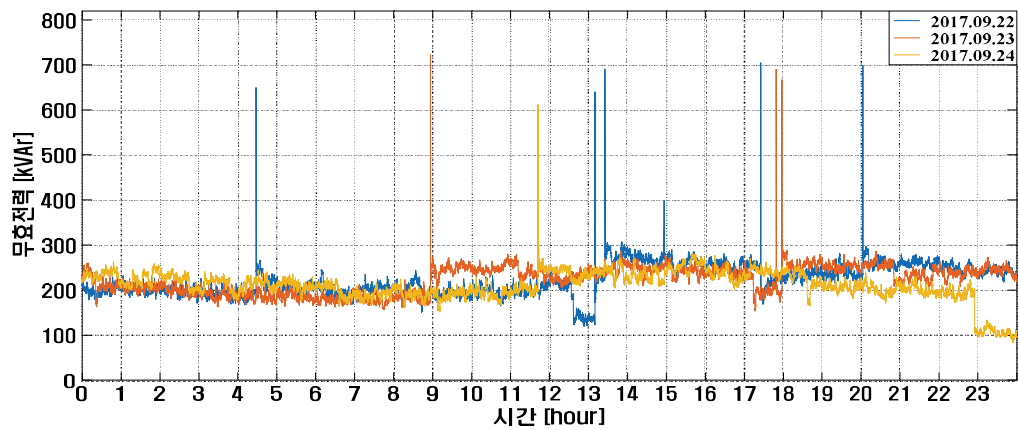


Fig. 37 Case 3(During the Gulbi festival) : Reactive power from Daeseo D/L

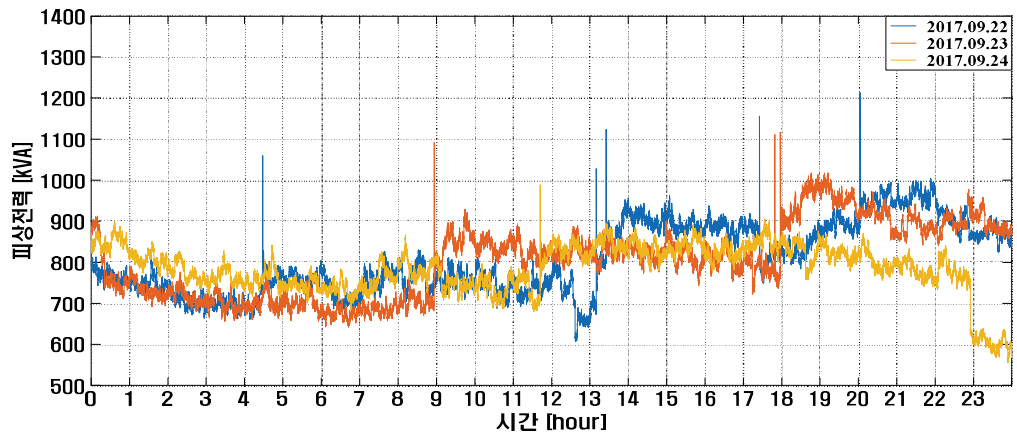


Fig. 38 Case 3(During the Gulbi festival) : Apparent power from Daeseo D/L

축제기간 역률은 Fig. 39에서 볼 수 있으며 제빙공장 기동 시 역률이 순간적으로 낮아진다. 역률 평균은 0.97이며 평시에 역률 평균에 비해 0.01이상 감소한다. 축제 2일차에 0.75로 최저 역률이 나타났다.

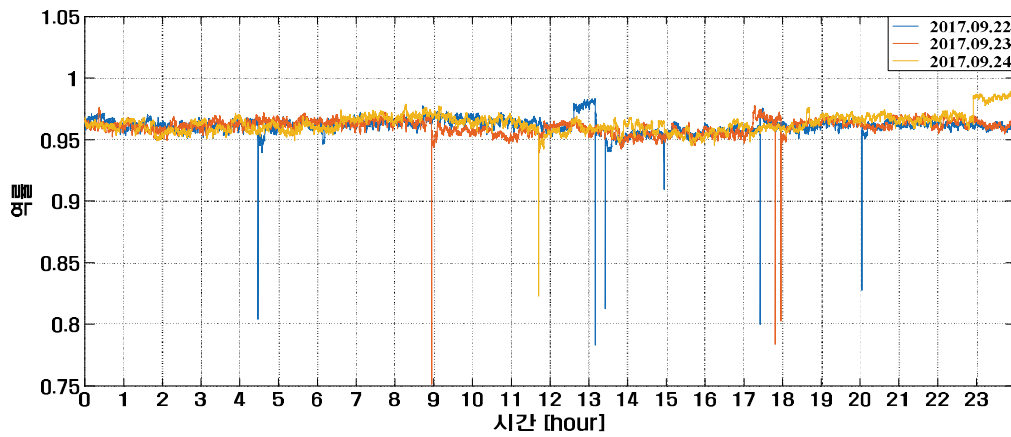


Fig. 39 Case 3(During the Gulbi festival) : Power factor from Daeseo D/L

3.4 결과 고찰

사례 1에서 평시 순간전압 및 주파수는 유지범위 안에서 벗어나는 경우가 거의 없었다. 하지만 유효전력이 10분간 569.3 kW에서 655.8 kW로 상승한 후 570 kW로 돌아왔을 때 4시간 동안 평균 59.9 Hz로 유지되는 현상을 확인할 수 있었다. 주파수가 낮아진 상태가 유지되는 동안 계통에 사고가 발생한다면 주파수가 크게 떨어져 차단기가 동작될 수 있으므로 주파수 안정화 방안이 필요하다.

사례 2는 1일 1번 이상 생기는 기동전류에 대한 분석이다. 각 상전류가 1.8배 이상, 무효전력은 7.6배, 피상전력은 1.7배 증가한다. 이는 발전기에 기계적 스트레스를 줄 수 있을 뿐만 아니라 순간전압 강하로 인해 플리커 현상을 유발할 수 있다. 따라서 제빙공장의 기동전류에 대한 대비책이 요구된다.

사례 3은 축제기간으로 제빙공장 가동률이 1년 중 가장 높았으며 평균 역률이 가장 낮았다. 역률이 낮은 것은 전력품질이 떨어진다는 것을 의미한다[16]. 전력 품질은 사례 2에서 다루었던 기동전류에 대한 해결, STATCOM, 동기조상기 등을 이용한 무효전력 보상 및 ESS 등을 이용한 주파수 안정화를 통해 해결할 수 있다. 또한 축제기간 부하 패턴은 평시와 차이가 있으므로 독립형 마이크로그리드 운영 시 유의해야 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 「송·배전용전기설비 이용규정」에 따라 추자도 전력품질에 대해 분석하였다. 2017년 4월 13일부터 2018년 3월 23일까지 345일 간 측정이 수행되었다. 이를 통한 독립형 마이크로그리드 설계 시 고려되어야 될 사항을 제안하였으며 내용은 다음과 같다.

- 1) 동절기 평균 부하는 1807.4 kW로 다른 계절 평균 부하에 비해 최대 226.9 kW의 차이를 보였으며, 최대부하는 2334.0 kW로 다른 계절 최대부하에 비해 최대 319.0 kW의 차이를 보였다. 또한, 가정부하의 사용량이 가장 크므로 18시 이후 가장 큰 부하가 나타난다. 따라서 태양광 발전이 저조한 시기에 가장 큰 부하가 생기는 점을 참고하여 ESS 용량을 선정할 필요가 있다.
- 2) 추자도 대서 D/L에 위치한 제빙공장의 모터는 리액터 기동 방식으로 기동시 큰 기동전류가 투입된다. 이에 따라 전압, 주파수, 역률의 변동성이 크게 된다. 이러한 변동은 발전기에 기계적 스트레스를 줄 수 있을 뿐만 아니라 독립형 마이크로그리드 설계 시 계통에 큰 영향을 줄 수 있으므로 소프트스타터, 인버터 등을 이용한 기동전류 억제 방안이 요구된다.
- 3) 참굴비 축제기간은 9월 중 가장 큰 부하를 갖는 시기이며 제빙공장 모터 구동 횟수가 가장 많아지는 등 전력품질에 영향이 큰 시기이다. 평균 무효전력이 218.0 kVAr로 평시 무효전력에 비해 2배 이상 증가하여 역률이 떨어졌다. 또한 축제기간 부하 패턴은 평시에 비해 일정하다는 차이가 있으므로 독립형 마이크로그리드의 ESS를 스케줄에 따라 제어 할 필요가 있다.

이상과 같은 결과를 토대로 추자도와 같이 약한 계통을 갖는 도서나 고립된 지역의 전원설비 설계 시, 전력품질 및 지역 전력 환경에 대한 자세한 조사를 통한 설계가 요구된다. 또한 주기적인 패턴의 부하를 가지는 경우, 부하 예측을 통한 디젤발전기, ESS 제어시스템, 풍력발전기, 태양광발전기 등의 에너지 믹스 계획을 효율적으로 구현하는 것이 가능할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] 산업통상자원부, “재생에너지 3020 이행계획[안],” 2017.
- [2] 제주특별자치도, “Carbon Free Island Jeju by 2030,” 2012.
- [3] Lee in ho, “A Study on the Effect of Small-scale Solar Power on the Power Quality of the Power Grid,” Uiduk University, 2008.
- [4] Ruy, Ki-Hwan, “A Study on Battery Energy Storage System Operation for Wind Generator Output Smoothing,” Soongsil University, 2012.
- [5] Seung Min Lee, “Estimating the Appropriate Output of Diesel Generator for Stability of Off-grid Type Microgrid,” Jeju National University, 2016.
- [6] Oh, Joon Seok, “Power Control Method of ESS for Improvement of Power Quality in Distribution Systems with Renewable Energy Sources,” Chungbuk National University, 2016.
- [7] Oh Ryun Kwan, “Analysis of Factors Affecting Frequency Stability of System Integrating Renewable Energy Source,” Kwangwoon University, 2018.
- [8] Lee Do-Heon, “Determination of ESS Capacity for Introducing the Distributed Generation Facilities in Chuja Island,” Jeju National University, 2015.
- [9] 한국전력공사, “송·배전용 전기설비 이용규정,” 2016.
- [10] Dae Wook Jung, “A study on the affection of power plants by voltage fluctuation and frequency in power systems,” Chosun University, 1991
- [11] Lee, Yongsik, “The Effects of Load Fluctuation on the Load Frequency Control of power System,” Suncheon National University, 2016.
- [12] Doo Hwan Choi, “Economic Analysis of Induction Motor Starter,” Hanyang University, 2010.
- [13] Seok-Woo Han, “3-Phase Hybrid Series Active Power Filter System with Instantaneous Voltage Compensation,” Konkuk University, 2000.

- [14] Tae-Hwa Kwon, "Firing Angle Control of Soft Starter for Reduction of Inrush Current during Interconnection of Induction Generator to Grid," Chonbuk National University, 2003.
- 타났 Lee cheon-gi, "Driver design of direct drive motor using the PAM-PWM inverter," Changwon National University, 2012.
- [16] 송길영, "최신 송배전공학," 동일출판사, 2013.

감사의 글

배움의 길로 접어들기 늦은 나이임에도 불구하고 결과가 이렇게 결실을 맺어 너무나 뜻깊고 감사하기가 그지없습니다.

이러한 결과는 나 혼자의 노력만이 아닌 힘이 되고 방향을 잡아주신 전기공학과 교수님들과 주변의 많은 도움의 손길이 있었기에 가능하였습니다. 이 짧은 지면으로나마 도움의 손길을 주신 분들께 감사의 마음을 전합니다.

먼저 부족한 저에게 늘 기회를 주시고 항상 관심과 격려로 지도해 주시며 용기를 북돋워 주시던 인생의 선배님이자 지도 교수인 김일환 교수님께 감사드립니다. 또한 큰 열정으로 심도 있는 강의를 해주신 오성보 교수님, 이개명 교수님, 김세호 교수님, 김호찬 교수님 그리고 논문 심사 과정에서 세심하고 따듯한 지도를 해주신 김호민 교수님, 진영규 교수님께도 감사드립니다. 학기마다 자신의 일처럼 도와준 진홍, 상현, 민혁, 기훈과 전력전자 연구실 학우들, 그리고 양승무 박사님께도 감사드립니다.

마지막으로 한정된 지면을 통해서 일일이 언급을 하지 못했지만 그동안 저를 아끼고 사랑해 주신 모든 분들께 다시 한번 감사의 인사를 드리고 나의 사랑스러운 가족과 함께 기쁨을 나누며 인사를 마치고자 합니다.

2019년 6월

김 용 균 올림