creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

碩士學位論文

제주지역 신재생발전의 피크타임 이용률 분석

濟州大學校 大學院

에너지응용시스템학부 電氣工學專攻

오트곤게렐 줄만다크

2020年 8月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주지역 신재생발전의 피크타임 이용률 분석

指導敎授 李 開 明

오트곤게렐 줄만다크

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2020年 6月

줄만다크의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 김 호찬 印

委 員 진 영규 印

委 員 이 개명 印

濟州大學校 大學院

2020年 6月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Analysis of Utilization Rate of Renewable Generation during Electric Power Peak Times in Jeju Island

Zulmandakh Otgongerel
(Supervised by professor Gae-Myoung Lee)

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

FACULTY OF APPLIED ENERGY SYSTEM
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2020. 8.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

목 차

그림 목차 ····· iii

표 목차 ····· v

SUMMARY ····· vi

1. 서 론 ····· 1

2. 신재생발전소의 피크타임 이용률 ····· 4

2.1 피크타임 이용률의 평가 개요 ····· 4

2.2 피크타임 이용률의 계산 ····· 8

2.3 피크타임 설정 방식 ····· 10

2.4 %피크타임 ····· 11

3. 전력피크타임의 결정과 신재생발전소의 지역구분 ····· 12

3.1 제주지역 신재생발전소들에 대한 지역 구분 ····· 12

3.1.1 태양광발전소들에 대한 지역 구분 ····· 14

3.1.2 풍력발전소들에 대한 지역 구분 ····· 15

3.2 분석 데이터의 선정 ····· 16

3.3 전력 피크 기간의 선택 ····· 18

3.4 %피크타임의 결정 ····· 21

4. 신재생발전의 피크타임 이용률 분석 결과 ····· 23

4.1 신신재생발전소들의 장마시즌 이용률 ····· 23

4.2 태양광발전소들의 5년간 평균 월 이용률 ····· 25

4.3 풍력발전소들의 5년간 평균 월 이용률 ····· 28

4.4 피크타임대의 풍력발전소의 이용률 ····· 30

4.5 피크타임대의 태양광발전소의 이용률 ····· 32

4.6 휴일제외 전력피크타임 신재생발전소의 이용률 ····· 34

4.6.1 휴일제외 제주도의 %전력피크타임 ····· 34

4.6.2 휴일제외 여름철 피크타임 동안의 풍력발전소의 이용률 ····· 35

4.6.3 휴일제외 여름철 피크타임 동안의 태양광발전소의 이용률 ····· 36

4.7 결과 및 고찰 ····· 37

5. 결 론 ····· 38

참 고 문 헌 ····· 39

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그 림 목 차

Fig. 1 Major steps in peak period CF estimation ····· 8
Fig. 2 Example structure of electric peak and off peak hours ····· 10
Fig. 3 Example of % Peak time in study ····· 10
Fig. 4 Regional grouping of solar power plants ····· 14
Fig. 5 Regional grouping of wind power plants ····· 15
Fig. 6 Average electric power demand of Jeju for th last 5 years ····· 18
Fig. 7 Average electric power demand of summer season (Jul-Aug) ····· 19
Fig. 8 Average electric power demand of winter season (Dec-Jan) ····· 20
Fig. 9 Classification of the % peak periods in summer (Jul-Aug) ····· 21
Fig. 10 Classification of the % peak periods in winter (Dec-Jan) ····· 22
Fig. 11 Average CF of solar power plants in north region ····· 25
Fig. 12 Average CF of solar power plants in south region ····· 26
Fig. 13 Average CF of solar power plants in east region ····· 27
Fig. 14 Average CF of solar power plants in west region ····· 27
Fig. 15 Average CF of wind power plants in southeast region ····· 28
Fig. 16 Average CF of wind power plants in northeast region ····· 29
Fig. 17 Average CF of wind power plants in west region ····· 29
Fig. 18 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) ····· 30
Fig. 19 CF of the wind power plants during the winter electric power peak season (Dec-Jan) ····· 31
Fig. 20 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) ····· 32
Fig. 21 CF of the solar power plants during the winter electric power peak season (Dec-Jan) ····· 33

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 22 Classification of the % peak periods in summer (Jul-Aug)with weekend and holidays ····· 35
Fig. 23 Classification of the % peak periods in summer(Jul-Aug) without weekend and holidays ····· 35
Fig. 24 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) with weekend and holidays ····· 36
Fig. 25 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) without weekend and holidays ····· 36
Fig. 26 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) with weekend and holidays ····· 37
Fig. 27 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) without weekend and holidays ····· 37

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 목 차

Table 1. Comparison of ELCC and PPCF methods ····· 5
Table 2. Amount of selected wind power plants ····· 16
Table 3. Amount of selected solar power plants ····· 17
Table 4. Average CF of solar power plants during the Summer rainy season ····· 23
Table 5. Average CF of wind power plants during the Summer rainy season ····· 24
Table 6. Average CF of wind and solar power plants from 2015-2019 year ····· 24

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

SUMMARY

Jeju Island is the largest island of South Korea and has an independent electric supply system. The island has a special energy plan that realizes itself a carbon-free region by 2030. Wind and solar energy resources are considered as an important means. The introduction of weather-variable renewable energy generation sources into the electric power system makes it unstable. The main content of this study was to investigate the capacity factor of large scale renewable energy (solar, wind) power plants operated in Jeju Island during the electric power peak time. We can see their utilization rate or contribution rate during the power peak time by the value of their capacity factors. The largest 19 solar power plants (SPP) and 9 wind power plants (WPP) on the island were chosen and the 4, 12, 25, 50 and 100% electric power peak times were set for this study. There are two electric power peak seasons, summer and winter, in Jeju Island when the electric power demand arrives at peak. Generation of renewable energy plants depends on weather and the climates of the 5 regions of Jeju Island are a little different from one another. Also, we investigated the difference between the average capacity factors of the 5 region's renewable plants. WPPs showed a high contribution to the power grid only during winter peak time and SPPs did high contribution to the power grid only during summer peak time. WPPs and SPPs have inter-compensation relation in the aspect to penetrate renewable power plants into the power grid.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1. 서 론

에너지 소비는 지속적으로 증가하고 있으며 신재생에너지자원에 의해 발전되는 전기에너지는 세계적으로 큰 관심 받은 분야가 되었다. 선진국들의 온실가스(Greenhouse gases) 배출저감정책은 지구 기후변화를 완화하기 위한 노력의 일환이다. 대한민국은 2016년 4월 22일에 온실가스 배출저감정책에 대한 파리협정을 체결하고 2016년 11월 3일 비준했다. 신재생발전소의 설비는 모든 국가에서 빠르게 보급되어 왔는데, 이는 신재생에너지가 친환경적이고 온실가스 배출량을 줄이기 위한 핵심 방법이기 때문이다. 신재생에너지자원의 사용을 통해 2020년에 전 세계에서 온실가스 배출량을 최소한 0.4억 톤 줄일 수 있을 것으로 예측된다[1].

전 세계적으로는 2018년에 설치된 신재생발전소의 용량은 181GW이였고 신재생에너지로 발전되는 연간 전기에너지는 1990년부터 2018년까지 연평균 3.8% 증가하였다[2]. 2018년 말까지 230개 국가가 최소 한 지역 이상에서 사용 전기에너지 100%를 신재생에너지화를 선언했고, 169개 국가가 신재생에너지 보급 목표를 세웠다[3]. 또한 1990년과 2018년 사이에 풍력발전소가 발전한 전기에너지 증가율은 3.8TWh에서 745.2TWh로 연평균 20.7%이었다[4]. 한편 2005~2017년 기간 동안의 세계 태양광발전량은 4TWh에서 444TWh로 증가하였다[5]. 2000에서 2018년까지 전 세계 신재생발전소 연평균 증가율은 태양광발전과 풍력발전이 각각 40.1%와 19.9%로 신재생에너지에서 가장 높은 성장률을 보였다[4]. 이 사례들은 태양광과 풍력에너지가 신재생에너지자원의 선도적인 에너지이며 이들 발전소들이 지난 수년 동안 급속도로 보급되었다는 것을 보여 준다. 또한, 풍력발전은 태양광발전 다음으로 가장 빠르게 증가하는 신재생 전기에너지 공급원이라고 국제 에너지 기관에서 보고했다[3].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

대한민국은 온실가스 배출량이 가장 빠르게 증가하는 나라 중 하나이다. 그래서 석탄과 원자력 발전비중을 줄이고 신재생에너지자원을 늘리고 파리협약의 장기 목표에 따라 온실가스 배출량을 줄이는 계획을 가지고 있다. 대한민국 정부는 에너지 공급 분야에 대해 가지고 있는 기본방침은 2019년 6월에 채택된 제3차 에너지종합계획과 2017년 12월에 채택된 제8차 전력수급계획이다. 제3차 에너지 종합계획에서는 2030년 까지 신재생전력 비중을 20%로 늘리고, 2017년 약 3%에서 2040년까지 30~35%로 증가시켜 총 신재생 전력 생산 용량을 최대 129GW까지 확대하는 계획을 제시하였다. 한편 제8차 전력수급계획은 2030년에 원자력 23.9%, 석탄 36.1%, 천연가스 18.8% 및 신재생에너지 20%를 기반으로 전력수급 목표를 설정하고 있다[6]. 정부가 신재생에너지에 대한 증가된 목표를 추진하고 있는 것은 기후변화에 더 강력하게 대처하기 위함이다.

제주도의 경우에는 제주지방정부가 2012년에 '탄소 없는 섬 2030년' 계획을 발표했다[7]. 이 계획을 달성하는 두 가지 주요 수단은 풍력과 태양광 같은 신재생에너지자원의 사용을 증가시키고 또한 2030년까지 모든 차량을 전기자동차로 교체하는 것이다. 특히 풍력에너지자원은 "탄소 없는 섬 2030년"의 계획을 실현하는 데 핵심적인 요소이다.

본 연구는 제주도의 전력피크타임 동안 태양광발전과 풍력발전의 이용률을 지역 별로 조사하고 분석하고자한다. 제주지역의 경우에는 2018년에 풍력발전소의 설비용량과 태양광발전소의 설비용량은 266MW와 168MW이였다[8]. 또한, 2019년 제주도의 최대부하는 약 910MW이었고, 바람자원은 제주도가 한국의 60%를 차지한다[9]. 특정 지역에 대한 안정적인 전력 공급 계획을 수립하기 위해서는 신재생에너지 특히 풍력발전과 태양광발전소의 이용률을 파악하는 것이 필요하다. 특히 피크타임대의 신재생발전소들의 공급능력은 전력시스템의 운영 및 계획에 중요한 요소로 인식되고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그렇지만 국내에서 신재생발전소의 이용률에 대한 연구는 매우 부족하다. 신재생에너지 보급에 문제점 중 하나는 풍력이나 태양광 같은 신재생 발전소가 기존 설비와 다르게 날씨에 따라 발전량이 달라지기 때문에 수요 측의 요구에 따라 항상 발전량을 조절할 수 없다는 점이다. 따라서 대부분의 발전 설비가 가동될 전력피크타임대의 신재생발전소의 평균 이용률 추정은 매우 중요하다. 공급 측에는 항상 수요 측에서 필요로 하는 것보다 더 많은 전력을 공급할 수 있어야하고 그러기 위해선 수요 측에 전기에너지를 적시에 공급할 수 있는 충분한 발전소가 있어야 한다.

아울러 피크 시즌 및 피크타임대에 신재생발전소의 날씨 의존적인 발전특성 때문에 발전량 예측 및 감독하는 것은 어려운 일이다. 만일 피크타임대 신재생에너지발전의 이용률을 알 수 있다면 신재생에너지발전소의 발전량 예측뿐만 아니라 미래에 전력계통에 연결될 새롭게 건설될 신재생에너지발전소의 설비용량 결정과 점유율 예측에도 도움이 될 것이다. 즉, 운영 중인 신재생에너지발전소의 과거 통계적 이용률을 알게 되면, 안정적인 에너지 믹스를 설계하는 데에 큰 도움이 될 것이다.

본 논문에서는 지난 5년간 하계와 동계 제주지역 전력피크기간 동안 풍력과 태양광 발전소들의 이용률을 조사하고 분석하고자한다. 또한, 휴일을 포함하는 전력수요와 휴일을 포함하지 않은 전력수요의 피크타임에 태양광발전소와 풍력발전소의 이용률을 각각 조사하고자한다. 신재생발전의 기후 의존성을 고려하여 기후에 따라 발전소들의 지역을 구분한다. 제주지역 전력수요를 분석하여 피크타임을 선정하며, %피크타임 개념을 도입하여 효과적으로 연구결과를 분석하고 기술하고자한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 신재생발전소의 피크타임 이용률

2.1 피크타임 이용률의 평가 개요

태양광과 풍력 같은 신재생에너지자원들의 가변성 때문에 이같이 발전소들의 보급은 전력계통의 운영을 불안정하게 만드는 요인이 된다. 이들 신재생발전은 기존 설비와 다르게 날씨, 지역 및 계절적 변화에 따라 발전량이 달라지기 때문에 가변적이고 불확실하다. 아울러 신재생발전 공급원을 전력시스템에 결합하면 공급원의 용량 값을 정량화하는 방법이 필요하다. 이런 발전소의 전력계통 기여 용량을 측정할 수 있는 대표적은 척도가 이용률이다. 일반적으로 이용률은 일정 기간 동안 해당 발전소의 평균 출력을 정격 출력으로 나눈 값이다. 이 척도는 신재생발전소뿐만 아니라 전통 발전소에도 통용된다. 또한, 태양광발전과 풍력발전의 이용률 크기는 새로운 이들 신재생발전소 설비가 제공할 수 있는 부하 분담을 추정하는 데, 즉, 정확한 공급능력을 산정하는 데에 중요하다.

신재생에너지자원을 전력시스템에 추가할 때 시스템 신뢰성 모델은 실시간 자원 가용성의 가변성을 고려해야 한다. 이를 위해 신재생에너지자원 가용성은 일반적으로 과거 데이터를 사용하거나 그러한 데이터를 시뮬레이셔하여 추정하고 이 결과를 전력회사 및 전력시스템 운영자가 용량을 계획할 때 사용한다.

신재생자원의 이용률 같은 척도는 전력시스템의 공급능력 평가에 필요하고 이용되며, 신재생발전원의 공급용량산정은 계통운영함에 있어 안정적인 전력수급계획 수립에도 필요하다. 제주도뿐만 아니라 국외에서도 신재생발전소의 전력시스템에 미치는 영향에 매우 큰 관심을 가지고 있으며 ELCC (Effective Load Carrying Capability) 와 PPCF (Peak- Period Capacity Factor Method) 방식들은 이용률을 산정하는 대표적인 방법이고 여러 가지 수식 형태로 표현되어지고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Shuai Lu 등(2012)은 태양광발전소와 풍력발전소의 이용률신뢰도를 PPCF와 ELCC 방법을 이용해서 정의하고 에너지시스템에 대한 연구에 사용하였다. 이 논문에서 어떤 방법을 선택하느냐에 따라서 동일한 데이터에 기초하더라도 다른 값을 초래하는 경우가 많다는 것을 보여주었다.

또한, Young-Min Wi (2019)는 제주도의 신재생에너지자원의 공급능력 추정에 관한 논문에서 신재생발전소들의 발전 데이터를 사용하여 ELCC 및 PPCF 방법들로 capacity factor를 계산하고 비교하였다.

다음에 이 두 방법, ELCC 및 PPCF을 비교해 보자.

❖ Peak-Period Capacity Factor Method (PPCF) 방법

PPCF 방법은 특정 피크 부하 기간에 걸쳐 신재생발전소가 발전한 전기에너지를 그 기간 전체 시간 동안 정격으로 발전할 때 그 신재생발전소가 생산하게 되는 발전량으로 나누어 이용률을 계산하는 방법이다. 이 방법은 다른 방법 비해 계산 과정의 가장 간단한다.

❖ The Effective Load Carrying Capability (ELCC) 방법

ELCC 방법은 부하 확률의 상실의 개념을 기반으로 용량을 측정하는 방법이다. 발전기(또는 그 합체)의 ELCC는 시스템이 추가 발생 시 주어진 신뢰성 수준에서 지원할 수 있는 추가 수요다. 이 방법은 복잡한 계산과 대량의 발전기 및 자세한 부하 데이터가 필요하다.

아래 Table 1에 ELCC 와 PPCF 방법의 장점과 단점을 나타내었다[13].

Table 1. Comparison of ELCC and PPCF methods

	Advantage	Disadvantage
ELCC	-Reliability-based approach -Reflect the uncertainly of the generator	-Input data is vast -Calculation process is complex
PPCF	-Calculation process is simple and easy to apply	-Does not reflect the uncertainly of the generator

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

다음으로 Seyed Hossein Madani 등(2012)에서 PPCF 방법을 사용하여 인도의 풍력발전소와 태양광발전소의 공급능력을 산정하였다. 이 연구에서 사용했던 식은 아래와 같다. 여기서, CV은 Capacity value이며, HD_i 와 CFi 은 i 피크타임대의 전력수요와 이용률이며, n은 한 해 동안 전체 피크타임의 수이다. 그리고 $HD_{\max}$은 최대전력수요이다.

$$CV = \sum_{i=1}^{n} \frac{HD_i \times CF_i}{n \times HD_{\max}} \tag{2.1}$$

아울러 Ankhzaya Baatarbileg 등(2018)는 제주도의 한경과 성산 두 지역의 풍력발전소를 선택해서 각 발전소의 발전 특성과 이용률을 비교하였다. 여기서, E_{AC}은 풍력발전소가 생산한 에너지이고 P_R은 발전소의 설비용량이다. 또한, T는 해당 시간이다.

$$CF_T = \frac{E_{AC}}{T \times P_R} \times 100\% \tag{2.2}$$

(Paik Chunhyun, 2019; Chunhuyn Paik, 2017)에는 국내 풍력발전소 및 태양광발전소 설비의 이용률과 용량신뢰도를 분석하였고 Capacity Factor Approximation 방법과 Effective Load Carrying Capability 방법 및 근사화 방법을 사용하였다. 아래 식은 이용률 기반 방법의 (CF 근사방식) 식이고 월별 시간별로 정의되는 타임블록별로 적합한 이용률에서 새로운 CF 개념을 생산해서 CC(capacity credit)을 선정했다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여기서, 연도 y의 CC (CCy)는 특정 시간대들의 집합이며, $CF_{h,y}$는 연도 y의 이용률이다. T_y는 전력 부하가 가장 높은 시간들이다.

$$CC_y = \frac{\sum_{h \in T_y} CF_{h,y}}{|T_y|} \tag{2.3}$$

신재생에너지자원의 공급능력을 근사화하는 방법에 대한 몇 가지 사례 연구가 있다(Seyed Hossein Madani, 2012; Chunhyun Paik, 2017). 일부 연구는 최대 생산량에 비해 발전소에서 얼마나 많은 에너지가 발생하는지를 측정하는 척도로 이용률을 사용하였다. 이와 유사하게, Mehdi Shahriari 등(2018)에서는 용량인자법과 유효 하중 전달 능력 방법을 설명하고 비교했으며, Cai Jilin 등(2017)에서는 미국 남서부에 위치하는 신재생발전소의 용량 값을 분석하고 추정하였다.

해외 논문에서는 신재생발전소의 이용률에 대한 연구는 여러 가지가 있으며 ELCC 및 PPCF 방법들을 주로 이루어지고 있다. 제주지역의 경우 과거의 데이터가 부족하며 신재생발전소의 설비용량이 해외의 용량에 비하여 작기 때문에 ELCC방법을 선정하는 것을 어려움이 있어 본 논문에서는 PPCF 방법을 선정한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.2 피크타임 이용률의 계산

본 논문에서는 제주도 풍력발전과 태양광발전 시설의 이용률을 지역별로 계산하였다. 이 장에 본 논문에서 사용된 피크타임 이용률의 계산에 대해 기술하고자 한다. 아래 Fig. 1에 본 연구 방법의 핵심 과정을 나타내고 있으며 그림에 나온 내용에 따라 먼저 제주지역의 5년간 전력수요의 과거 데이터를 분석하고 신재생에너지자원의 실시간 데이터를 분석한다. 그 다음에 제주지역에 설치된 신재생발전소들을 기후에 따라 지역별로 구분하고 이용률을 계산한다. 마지막으로 피크타임대에 이용률을 찾고 휴일을 제외한 피크타임대의 이용률도 계산한다.

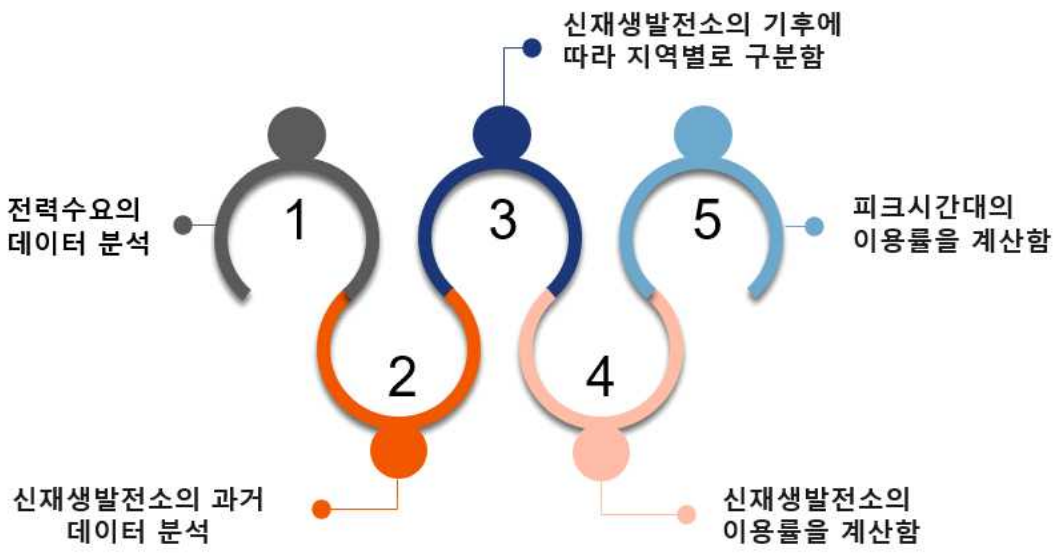

Fig. 1 Major steps in peak period CF estimation

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

우선, 이용률을 이용한 PPCF 방법은 고려된 기간의 피크 전력시간의 신재생에너지자원의 이용률을 계산하여 통계적으로 기여도를 계산한다. 본 연구의 계산은 시간대별로 365일에 5년간 연중 전력수요를 내림차순으로 나누고 피크타임대의 이용률의 평균을 사용하여 분석하였고 기본적인 수식은 아래와 같다. 먼저 발전소의 이용률은 다음과 같은 식으로 구한다.

여기서 T는 발전소가 가동된 기간이고 C는 발전소의 설비 용량이며 G는 T시간 동안에 의해 발생하는 전기에너지다. N 개의 발전소의 이용률 CF(N)는 다음과 같은 식으로 구한다.

$$CF = \frac{G}{T \times (hour/day) \times C} \times 100 \tag{2.4}$$

다음으로, 식 (2.5)에서 Ti는 i 번째 발전소가 가동된 기간이며, Ci는 i 번째 발전소의 설비 용량이고 Gi는 i 번째 발전소에서 시간 Ti 동안 발생하는 전기에너지다.

$$CF(N) = \sum_{1}^{N} \frac{G_i}{T_i \times 24(hour/day) \times C_i} \times 100 \tag{2.5}$$

이용률의 간단하게 평균을 적용하지만 신뢰구간에 따른 하위 값을 적용하기도 한다. 신재생에너지자원의 이용률을 계산하고 분석할 수 있기 때문에 지역별, 계절별, 월별, 시간별 분석이 비교적 쉽게 가능하다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.3 피크타임 설정 방식

위에 2.2 절에 나와 있는 피크타임 계산 과정에 따라 본 논문에서는 신재생에너지자원의 피크타임대의 이용률을 계산한다. 먼저, Fig. 2에서 전력시스템의 피크타임을 그림으로 제시하였다. 여기서 보면, 하루 24 시간을 전력수요에 따라 가장 높은 수요에서는 Peak time이고 그 다음으로 내림차순으로 분리하고 Mid peak time 및 Off peak time을 나타난다. 또한, 전력공급시스템에서 피크타임이라는 것은 중요하고 이렇게 분류하고 정의하는 것의 장점은 수준별 피크타임대의 전력수요에 신재생에너지자원의 평균이용률을 직접적으로 제공한다는 것이다.

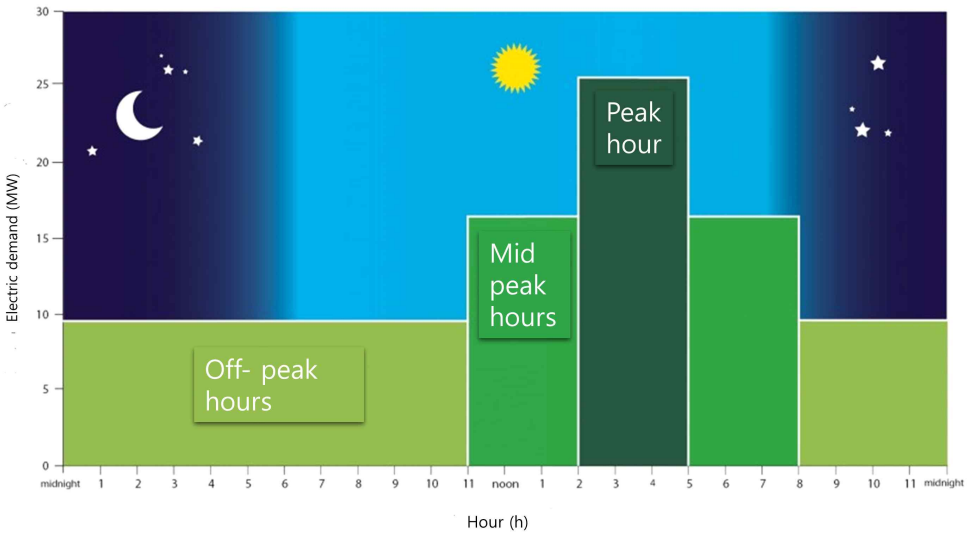

Fig. 2 Example structure of electric peak and off peak hours

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2.4 %피크타임

전력 피크타임은 지역별 계절별 그 유형을 달리한다. 그 대표적인 지역이 제주도이고 계절별 피크타임 시간패턴에 차이는 대부분의 지역에서 나타나는 특징이다. 본 논문에서 대상 지역의 피크 패턴 상황에 맞추어 하루 24시간 중 관리할 필요가 있는 또는 의미가 있는 시간 구간을 %로 표시할 수 있는 "%피크타임" 개념을 제안한다.

본 논문에서는 분석을 위해 4, 12, 25, 50 및 100%와 같이 5가지 구간의 전력피크타임을 선택했다. 이는 각각 1, 3, 6, 12 및 24시간 간격을 전력수요의 크기 순서로 구분하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 %피크타임이라는 개념을 적용하기 위해 5년간 하루 중 각 시간 평균전력수요 24개를 가장 높은 수요에 따라 내림차순으로 해서 %피크타임을 구분했다. 그 다음으로는 순서대로 %피크타임에 풍력발전소와 태양광발전소가 어떤 기여도를 보여 주고 있는지를 이용률 식으로 계산할 수 있다. %피크타임 개념을 사용하면 하루 동안 어느 시간에 피크타임 있었고 그 피크타임에 신재생에너지발전소의 평균이용률이 얼마인지와 나아가 발전소 용량을 고려하면 신재생발전소의 발전량이 어느 정도 될 것인지를 추정할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, 지역별로 %피크타임을 알게 되면 그 지역과 해당 시간에 태양광발전소와 풍력발전소는 평균이용률을 알 수 있게 된다. 아래 Fig. 3에서 분 논문에 사용 구했던 %피크타임으로 어떻게 %피크타임 구분할 수 있는지를 예로 보여준다. 4%피크타임은 오후8시에서 오후9시 구간이며, 12%피크타임은 4%피크타임 구간을 포함하고 오후9시에서 오후11시 구간이며, 25%피크타임 구간은 오후7에서 오전1시 구간(12%피크타임 포함)이며, 50%피크타임 구간은 25%피크타임 구간을 포함하고 오전9시에서 오후2시 구간과 오후6시에서 오후7시 구간이다. 100%피크타임 구간은 전 구간이다.

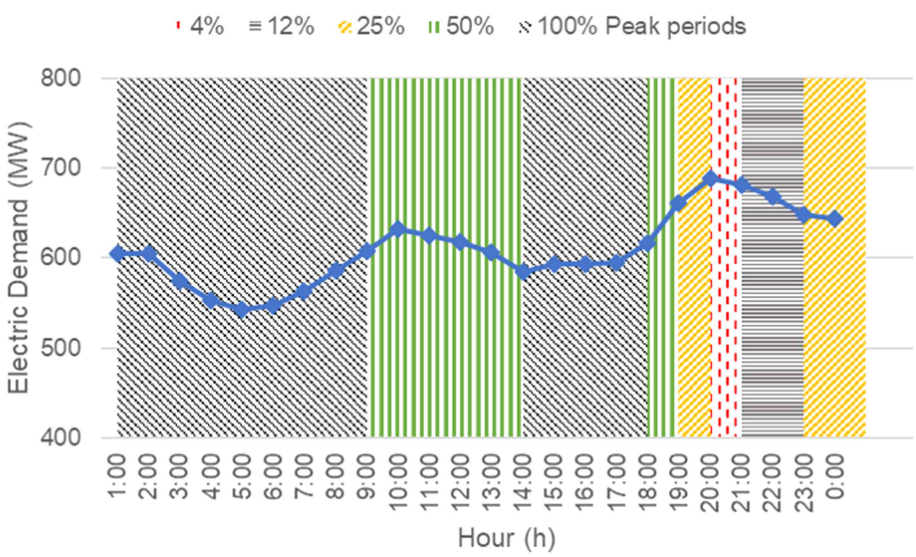

Fig 3. Example of % Peak time in study

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 전력피크타임의 결정과 신재생발전소의 지역구분

3.1 제주지역 신재생발전소들에 대한 지역 구분

제주도는 대한민국에서 가장 큰 섬이며 한반도의 남단에 위치한다. 한국의 총 면적의 1.8%에 해당한다[19]. 기후는 사계절이 구분되는데 여름은 덥고 장마시즌에 습한 반면에 겨울은 약간 춥고 건조하다[15]. 제주도는 연안에 난류가 흐르고 있어 기온의 연교차가 작은 전형적인 난대성 해양성 기후이며, 지형적으로 한라산이 제주도의 중앙에 솟아 있어 남북 간 기후차가 크다.

국지적으로는 사계절에 따라 기단이나 기압 시스템이 다가오는 방향에 따라 동서남북, 그리고 해발고도에 따라 해안, 중산간, 산간지역에 따라 기후 특성이 다르게 나타난다. 풍속은 평균풍속을 기준으로 살펴보면 제주특별자치도 전역에 강풍이 많으며 돌발적 기상변화가 많은 편이다[20]. 기상청은 제주도를 날씨에 따라 서부, 동부, 남부, 북부, 산지 등 5개 지역으로 구분하여 일기예부를 하고 기상데이터를 관리하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.1.1 태양광발전소들에 대한 지역 구분

기상청이 기후에 따라 5 지역으로 제주지역을 구분하고 있다. 산간지역에는 대규모 태양광발전기가 적게 설치되어 있어 논문에서 연구 대상 영역으로는 포함되지 않았다. Fig. 4에 태양광발전소의 지역별 구분을 보여준다. 태양광발전소는 북부, 동부, 남부, 서부 지역으로 구분하였고 이런 제주지역의 태양광발전소에 대한 지역별 구분 사례는 Su Wan Kim 등 연구에서 볼 수 있다.

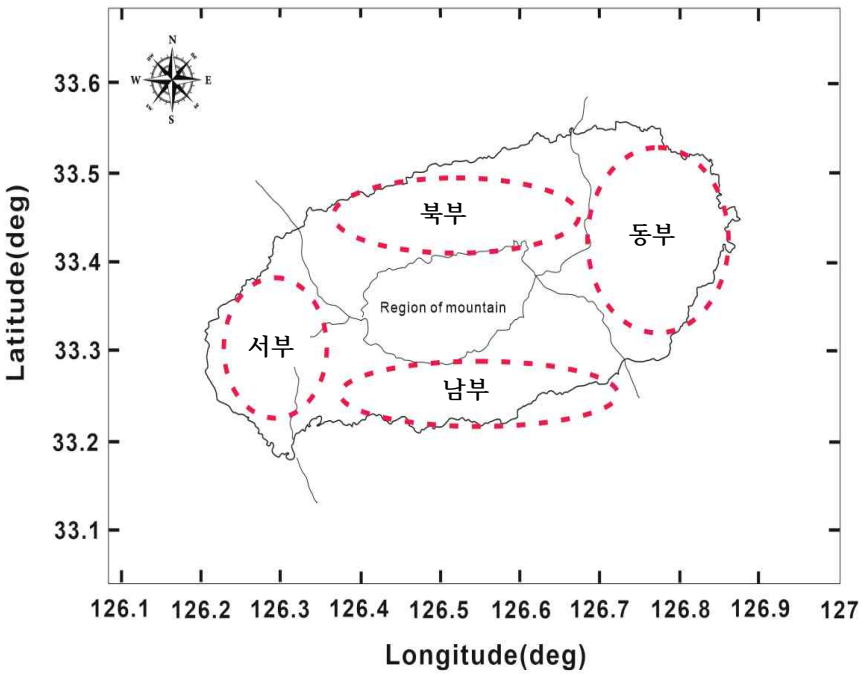

Fig. 4 Regional grouping of solar power plants

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.1.2 풍력발전소들에 대한 지역 구분

Fig. 5는 분 논문에서 사용된 풍력발전소의에 대한 지역별 구분을 보여준다. 제주도는 육지에 비하여 풍성한 바람자원을 가지고 있으며 대한민국의 자원의 60%를 차지한다. 또한, 제주도 서부와 동부지역이 바람이 강한 기후를 가지고 있기 때문에 주로 이 두 지역에 풍력발전소의 건설이 급진적으로 조성되고 있으며 동부는 북부와 남부지역이 기후 차이가 있기 때문에 본 연구에서는 풍력발전소에 대한 지역 구분을 3곳으로 즉 서부, 동부의 북쪽, 동부의 남쪽 지역으로 구분한다.

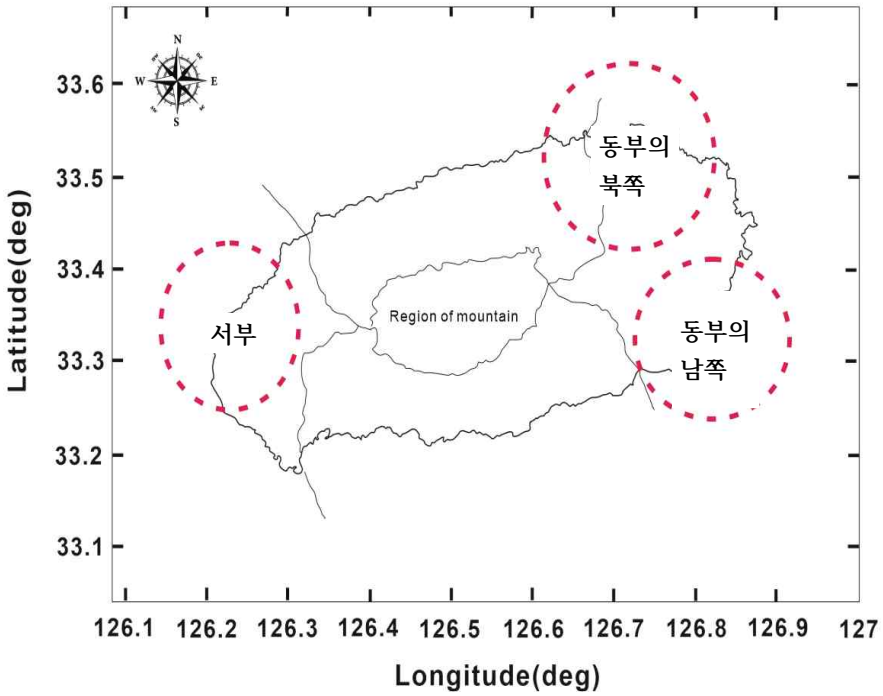

Fig. 5 Regional grouping of wind power plants

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.2 분석 데이터의 선정

Table 2와 3에 연구대상 풍력발전소와 태양광발전소를 나타내었다. 5년 이상 발전 데이터를 갖고 있으며 태양광발전소의 경우는 설비용량이 0.5MW, 풍력발전소의 경우에는 설비용량이 15MW 이상인 발전소들만을 연구대상으로 선정하였다. 대상 신재생발전소의 설비용량과 5년간의 발전 데이터는 한국전력거래소로부터 얻었다.

Table 2 Amount of selected wind power plants

지역 구분	발전소	설비용량 (MW)
Northeast	발전소 A	16.45
	발전소 B	30
	발전소 C	15
Southeast	발전소 A	15
	발전소 B	30
	발전소 C	20
	발전소 D	33
West	발전소 A	21
	발전소 B	21

Table 3 Amount of selected solar power plants

지역구분	발전소	설비용량 (MW)
East	발전소 A	1.0
	발전소 B	0.6
	발전소 C	0.5
	발전소 D	0.5
	발전소 E	0.9
South	발전소 A	1.0
	발전소 B	0.5
	발전소 C	0.5
	발전소 D	0.5
	발전소 E	0.6
West	발전소 A	1.0
	발전소 B	0.5
	발전소 C	0.6
	발전소 D	0.5
	발전소 E	0.9
North	발전소 A	1.0
	발전소 B	0.5
	발전소 C	1.1
	발전소 D	1.2

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.3 전력 피크 기간의 선택

풍력발전소와 태양광발전소의 피크타임 이용률을 조사하기 위해서는 피크타임을 정확히 선정하는 것이 중요하다. 제주도의 2015년부터 2019년까지 지난 5년간 전력수요 데이터를 한국전력거래소로 부터 얻었다. Fig. 6은 제주도의 5년간 평균 전력수요를 나타낸 것이다. 전력수요 패턴에서 여름철 7월과 8월 그리고 겨울철은 12월과 1월에 각각 선택하였다. 또한, Fig. 6으로부터 해가 지날수록 전력수요가 증가했지만 2019년의 경우에는 2018년보다 여름철 전력수요가 감소하였다. 이는 2019년 여름이 덥지 않아서 2019년 여름 냉방 전력수요가 줄었기 때문이다.

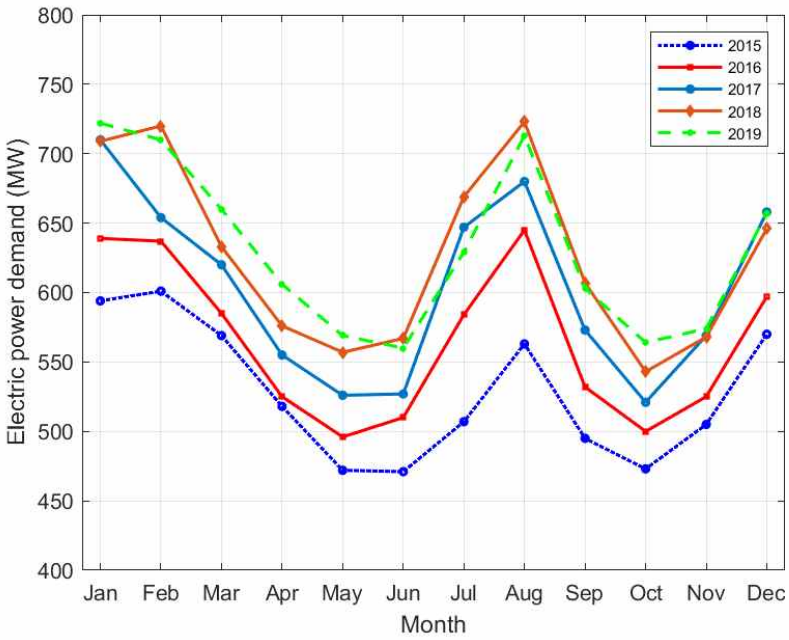

Fig. 6 Average electric power demand of Jeju for the last 5 years

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 7 및 Fig. 8에서 2015부터 2019년 까지 5년 동안 여름철과 겨울철의 전력수요를 평균값으로 자세히 보여 준다. 이 그래프로부터 여름철(7~8월) 및 겨울철(12~1월) 제주의 24시간 부하 특성을 볼 수 있으며 서로 어떤 차이를 가지고 있는지를 알 수 있다. 전력수요는 해마다 증가하고 있지만 2019년의 7월~8월은 2018년보다 작게 나타났다. 여름철의 경우에는 냉방수요가 급증하는 시기로써 5년의 여름기간 중 최대 전력수요는 825MW이었으며, 낮 시간에 전력수요가 더 높았다.

한편, 여름철 경우에는 전력수요가 평일 및 휴일에 다르게 나타났다. 평일에는 낮 시간에 전력피크 시간이 걸렸으며 휴일에는 저녁시간에 전력피크 시간이 걸렸다.

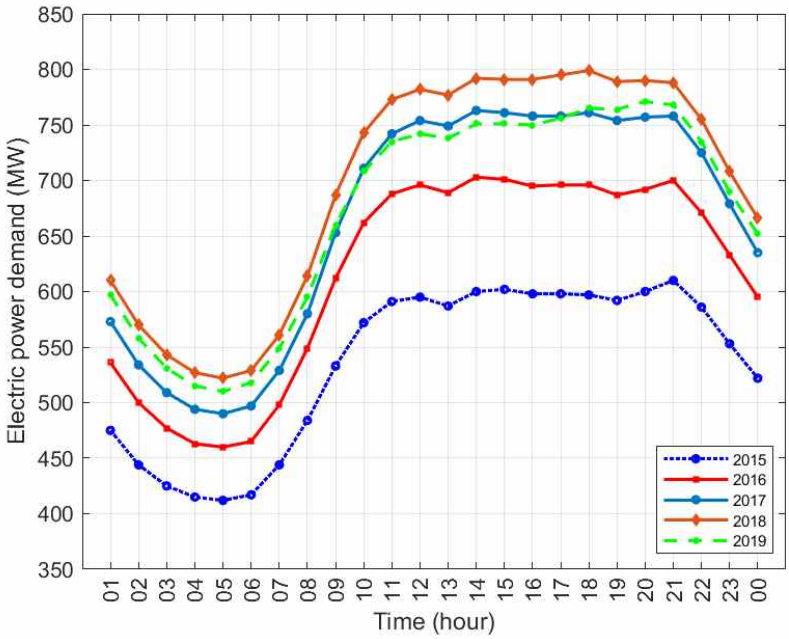

Fig. 7 Average electric power demand of summer season (Jul-Aug)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

반면에 겨울철에는 해마다 전력수요가 증가하고 있으며 5년간 겨울철 최대전력수요는 826MW이었다. 여름철과 비교하면 아침시간과 저녁시간에 전력수요가 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 난방의 수요에 기인한 것으로 보인다. 한편, 겨울철 경우에는 여름철과는 다르게 주중과 휴일의 전력수요패턴에는 큰 차이가 없었다.

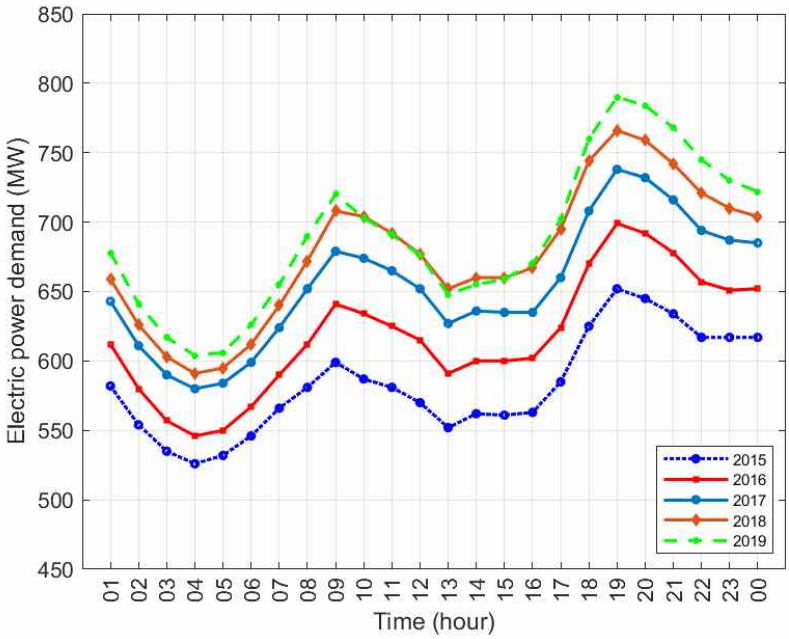

Fig. 8 Average electric power demand of winter season (Dec-Jan)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.4 %피크타임의 결정

하루 중 전력피크타임 결정은 특정 기간 내에 전력피크 일의 전력수요 데이터에서 결정하거나 전기에너지를 많이 쓰는 특정 기간 동안의 평균전력수요 데이터에서 선택할 수 있다. 본 논문에서는 후자를 선택하였으며 그 이유는 간혹 특정일의 냉방이나 난방 부하가 그 날의 날씨에 의존해 특정 기간 하루 중 대체적인 부하 사용 경향을 벗어나는 경우도 있기 때문이다. 본 논문에서는 겨울철과 여름철 전력피크 계절 동안의 평균전력수요패턴을 전력피크타임을 결정하는데 이용했다.

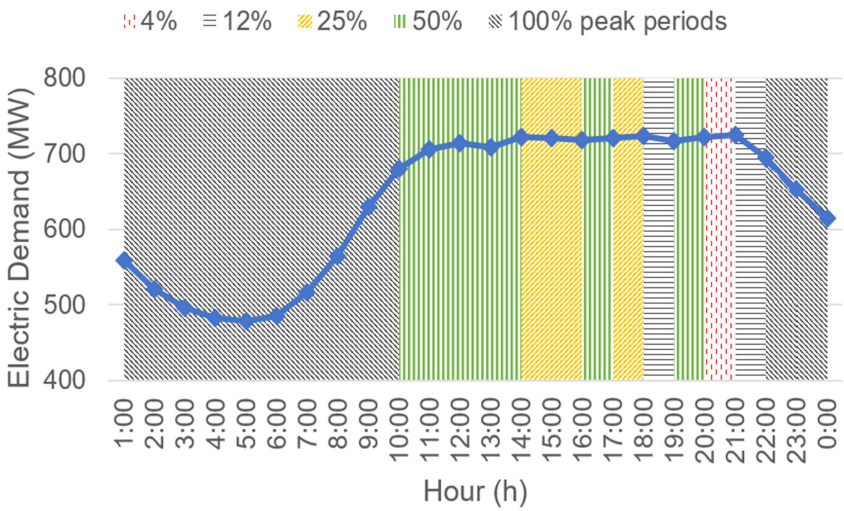

Fig. 9 Classification of the % peak periods in summer (Jul-Aug)

2장에서 피크타임 및 %피크타임을 설명하였는데 아래 있는 Fig. 9 및 Fig. 10에 실제 데이터를 분석하여 %피크타임을 결정한 결과를 나타내었다. Fig. 9의 전력수요 곡선은 5년간의 7월 및 8월의 평균 일간전력수요를 시간 간격으로 나타낸 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여름철 제주지역 전력 피크타임 패턴을 분석해 보면 대략 오전 11시부터 오후 11시까지가 상당히 긴 시간 구간 동안 전력사용량이 일정한 특이한 피크타임패턴을 형성하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 제주지역 여름철 전력피크타임 선정은 24시간 중 12시간 동안 전력사용이 일정하므로 50%전력피크타임을 관리 피크타임으로 선정하는 것이 유효할 것이다. 반면에 겨울철 제주지역 전력 피크타임 패턴을 분석해 보면 대략 오후 7시부터 11시까지가 두드러진 피크타임을 형성하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 제주지역 겨울철 전력피크타임은 24시간 중 6시간 포함하는 25%피크타임을 관리 피크타임으로 선정하는 것이 효과적일 것이다.

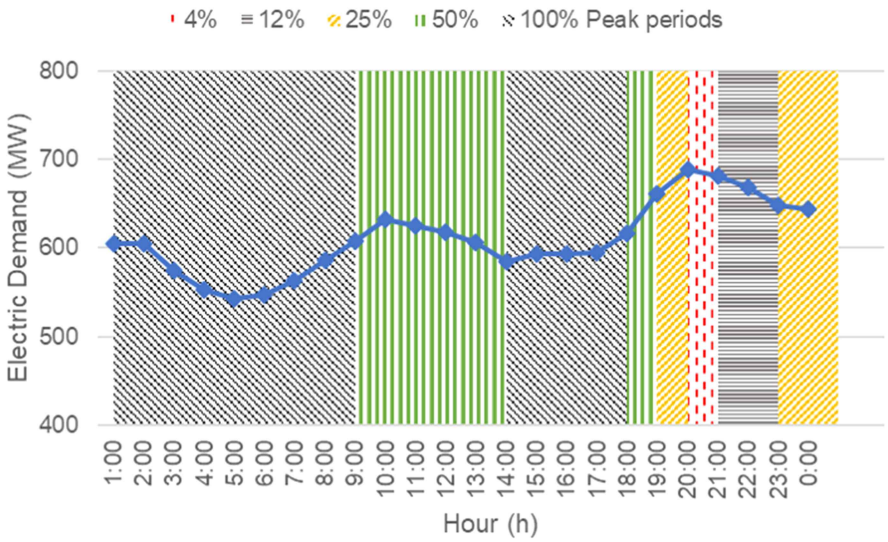

Fig. 10 Classification of the % peak periods in winter (Dec-Jan)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 신재생발전의 피크타임 이용률 분석 결과

4.1 신재생발전소들의 장마시즌 이용률

제주도는 여름철에 장마시즌이 있는데, 태양광발전소와 풍력발전소들은 날씨에 따라서 바로 영향을 받기 때문에 이 장마시즌 동안 이들 신재생발전소들의 이용률 계산하고 분석한다.

본 논문에서 장마시즌을 6월 20일부터 7월 20일까지 5년간 데이터를 이용해서 분석하였다. 먼저 장마시즌에 태양광발전소 발전실적에 선정된 %피크타임 구분을 대입하여 분석해 보았다. 아래 Table 4에 그 결과를 태양광발전소의 장마 및 여름철의 이용률을 지역별로 비교하여 나타내었다. 장마철에는 해가 떠있는 시간이 짧고 구름이 많음으로 인해 태양광발전 시스템의 발전에 큰 영향을 줌으로써 태양광발전소의 가동률이 다른 여름철 기간에 비해 크게 떨어진다는 것을 알 수 있다. 특히 12%피크타임 기간 동안 이용률이 격감함이 두드러진다. 12%피크타임 구간에 오후2시에서 4시 구간이 포함되는데 장마철 이 구간 동안 태양광발전소의 발전이 아주 저조한 것으로 판단된다. 장마철 제주도 지역별 태양광발전소들의 이용률 저하에는 차이가 없는 것으로 보아 제주도 전 지역이 비슷한 장마의 영향을 받는 것으로 보인다.

Table 4 Average CF of solar power plants during the Summer rainy season

%피크타임/계절	북쪽		동쪽		남쪽		서쪽	
	장마	여름	장마	여름	장마	여름	장마	여름
4%	0	0	0	0	0	0	0	0
12%	4	29	4	27	4	28	5	31
25%	18	26	17	20	16	26	19	28
50%	21	25	20	24	19	24	22	27
100%	13	16	12	15	11	15	13	16

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 5에 장마시즌 동안의 %피크타임 이용률을 나타내었다. 이 표로부터 장마 및 여름철 풍력발전소 이용률에 어떤 차이가 있는지를 볼 수 있다. 장마시즌에 동부지역의 경우 풍력발전량은 여름철과 거의 차이는 없다. 서부지역의 경우 장마시즌 풍력발전소의 이용률이 소폭 감소함을 보여준다.

Table 5 Average CF of wind power plants during the Summer rainy season

%피크타임/계절	동부의 북쪽		동부의 남쪽		서부	
	장마	여름	장마	여름	장마	여름
4%	10	11	14	13	8	11
12%	9	10	13	12	8	11
25%	11	12	14	13	8	11
50%	11	11	13	13	8	11
100%	9	9	13	13	7	10

Table 6은 지역별로 풍력발전소와 태양광발전소의 이용률을 5년 평균값으로 보여준다. 풍력발전소 경우에는 지역 전부로 큰 차이가 없으면 반면에 태양광발전소는 서부 지역에 더 좋은 이용률을 가지고 있는 것으로 보인다.

Table 6 Average CF of wind and solar power plants for 2015-2019 years

	북쪽	동쪽	남쪽	서쪽
풍력발전소		23.2%	22.2%	21.0%
태양광발전소	12.6%	12.8%	13.5%	17.1%

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.2 태양광발전소들의 5년간 평균 월 이용률

본 절에서는 제주도 지역별 태양광발전소들의 5년간 시간대별로 이용률 분석하였다. Fig. 11에서는 북부지역의 이용률을 보여 주며 5월의 이용률이 가장 높고 그 다음으로 3월과 4월이었다. 반면에, 12월은 해가 짧아서 이용률이 가장 낮다. Su Wan Kim 등 연구에서 제주도의 20년간의 월간 일조시간을 지역별로 분석했는데 여기서 북부지역은 5월에 가장 높은 일조시간을 보였으며 1월 및 12월에는 제일 적은 일조시간을 보였다.

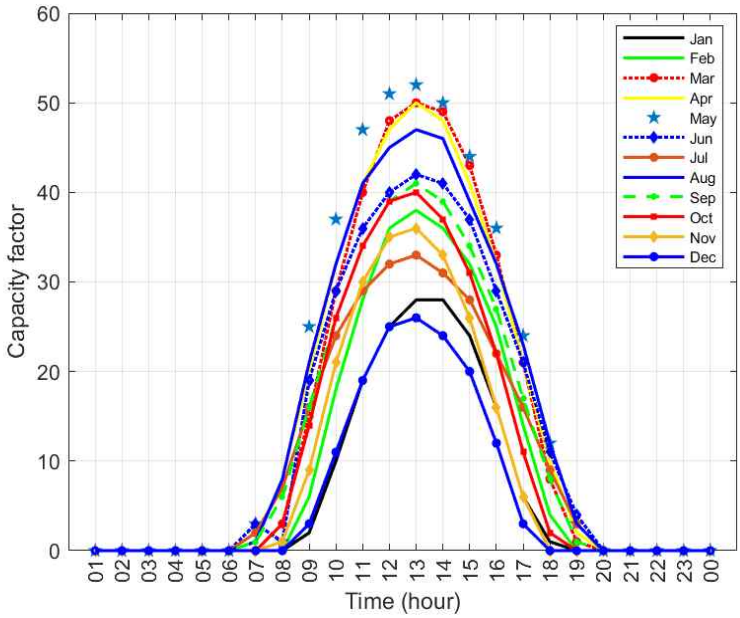

Fig. 11 Average CF of solar power plants in north region

Fig. 12 및 Fig. 13에 남부지역과 동부지역의 태양광발전소들의 월별 이용률을 볼 수 있다. 두 지역을 보면 3월에 이용률이 가장 높았고 그 다음으로 4월과 5월의 이용률을 높았다. 그리고 다른 지역과 동일하게 12월과 11월에는 이용률이 가장 낮았다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

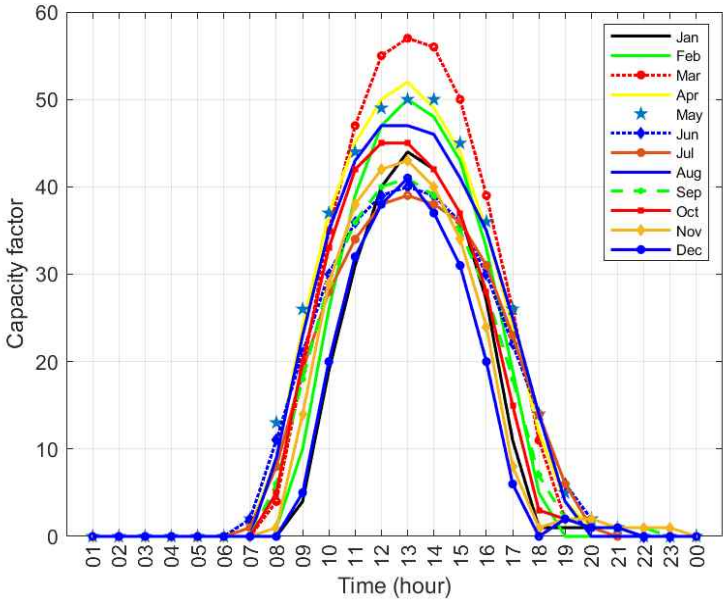

Fig. 12 Average CF of solar power plants in south region

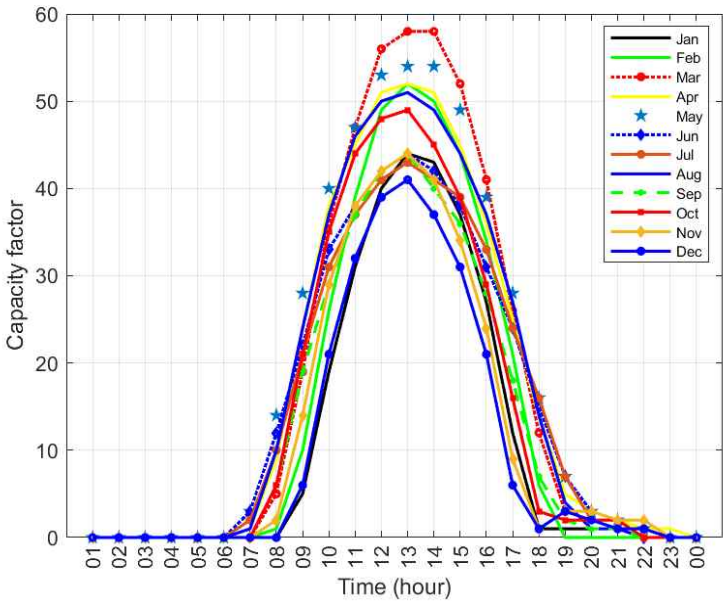

Fig. 13 Average CF of solar power plants in east region

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 14에 서부지역의 태양광발전소들의 월별 이용률을 나타내었다. 5월의 이용률을 가장 높았고 12월과 1월은 제일 작았다. 4개 지역 태양광발전소들의 이용률 분석 결과로부터 북부지역과 서부지역이 태양광발전소 이용률이 가장 높은 5월이 동일했으며 남부지역과 동부지역 태양광발전소 이용률이 가장 높은 3월이 동일하였다.

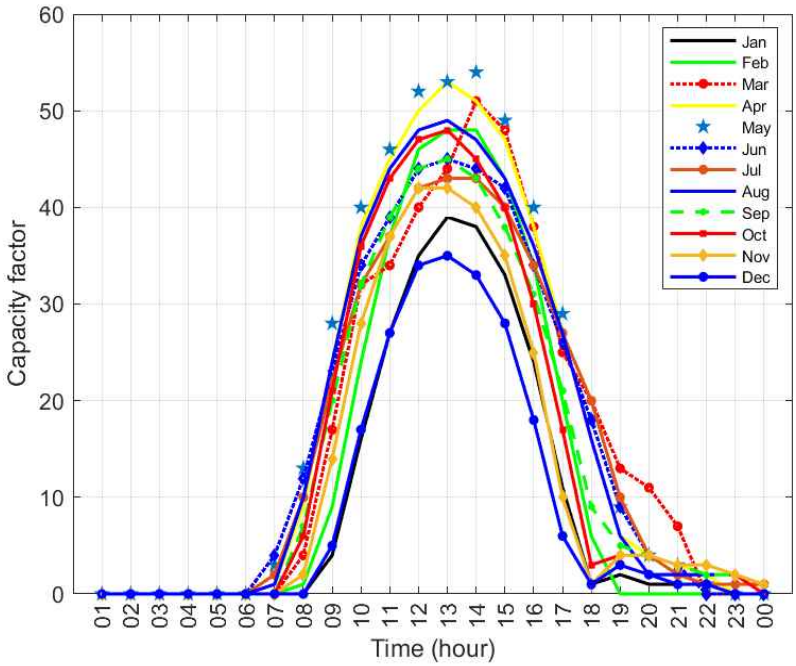

Fig. 14 Average CF of solar power plants in west region

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.3 풍력발전소들의 5년간 평균 월 이용률

제주도 풍력발전소의 2015~2019년 5년간 평균 월이용률을 지역별, 시간별로 분석하였다. 태양이 떠 있는 낮 시간 동안만 발전하는 태양광발전소와 다르게 풍력발전소는 밤낮으로 하루 동안 비교적 일정하게 발전한다. Fig. 15에서는 동부의 남쪽지역의 이용률을 보여 주고 있는데 1월과 2월의 이용률이 가장 높게 나왔으며 6월과 7월에는 이용률이 제일 낮았다. 반면에 겨울철에는 풍력발전소의 발전량 크게 증가하며 3월에도 다른 월 비해 발전량이 많았다. Chunhuyn Paik 등 연구에서도 월별 및 시간 단위로 국내 풍력발전소의 이용률을 제시하였는데 12월과 1월에 풍력발전소의 높은 이용률을 보여주었다. 또한, Fig. 15에 보이듯이 여름철에는 낮 12시부터 15시 사이 남동부지역에 바람이 세고 풍력발전소들의 이용률이 높았다.

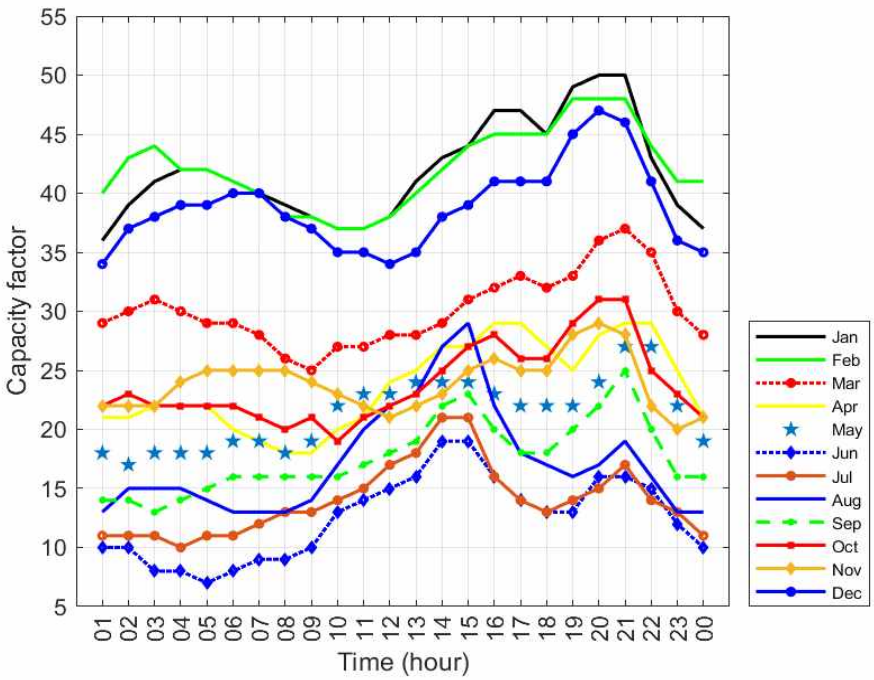

Fig. 15 Average CF of wind power plants in southeast region

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 16 및 Fig. 17에 동부의 북쪽과 서부지역의 풍력발전소들의 이용률을 볼 수 있다. 여기서 1월 및 2월이 가장 높은 이용률을 보여 주고 있으며 여름철 6-8월에 이용률이 가장 낮게 나왔다. 서부지역은 다른 지역보다 풍력발전소의 이용률이 더 높았다.

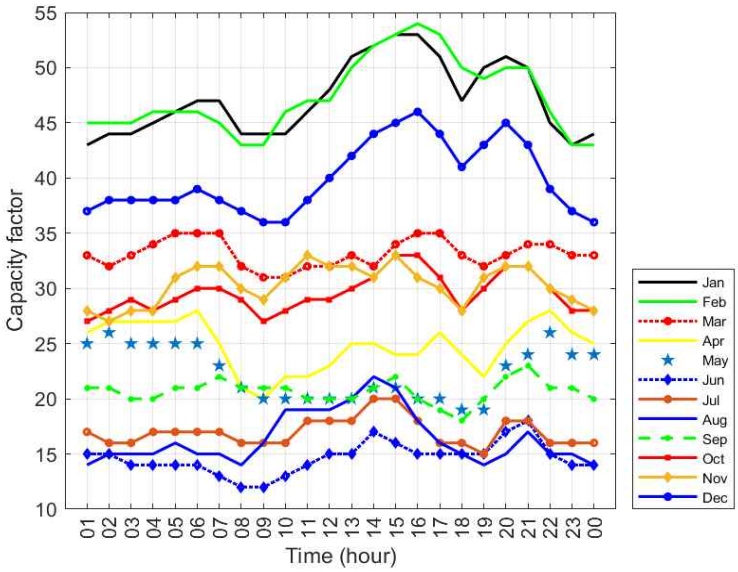

Fig. 16 Average CF of wind power plants in northeast region

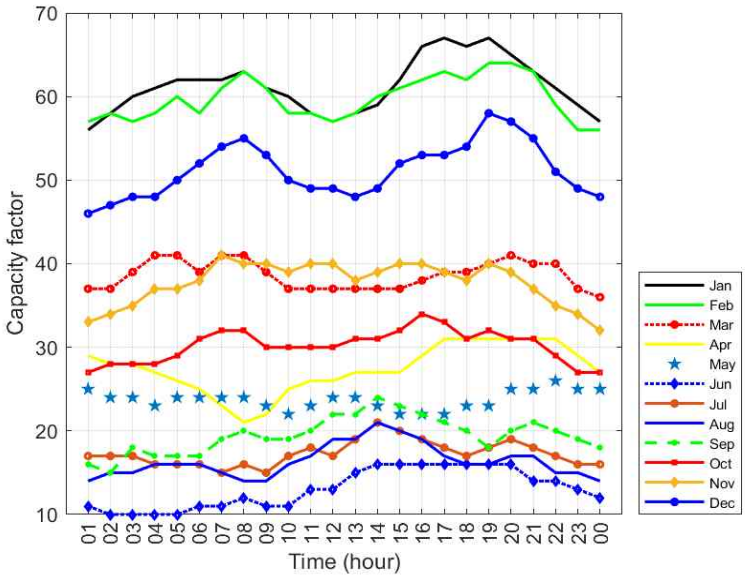

Fig. 17 Average CF of wind power plants in west region

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.4 피크타임대의 풍력발전소의 이용률

Fig. 18 및 Fig. 19는 각각 여름철과 겨울철의 %전력피크시간대의 3개 지역 풍력발전소의 이용률을 보여주고 있다. Fig. 18에서 보듯이, 모든 지역에서 여름철 모든 %피크타임 동안 이용률이 11%에서 14% 사이에 있고 반면에 Fig. 19에서 보여 주듯이 3개 지역에서 겨울철 모든 %피크타임 동안 29%에서 42%까지 사이에 있다. 제주지역 풍력발전소의 5년간 평균 이용률이 22.1%. 인 것을 고려하면 제주도 풍력발전소가 여름보다 겨울에 전력공급 시스템에 더 큰 기여를 한다고 말할 수 있다.

3곳의 풍력발전소 지역별 이용률 차이를 비교해보면 여름철에 동부남쪽지역의 풍력발전소가 동부북지역과 서부지역의 풍력발전소보다 전력공급 시스템에 용량대비 약 1~3% 더 기여했다.

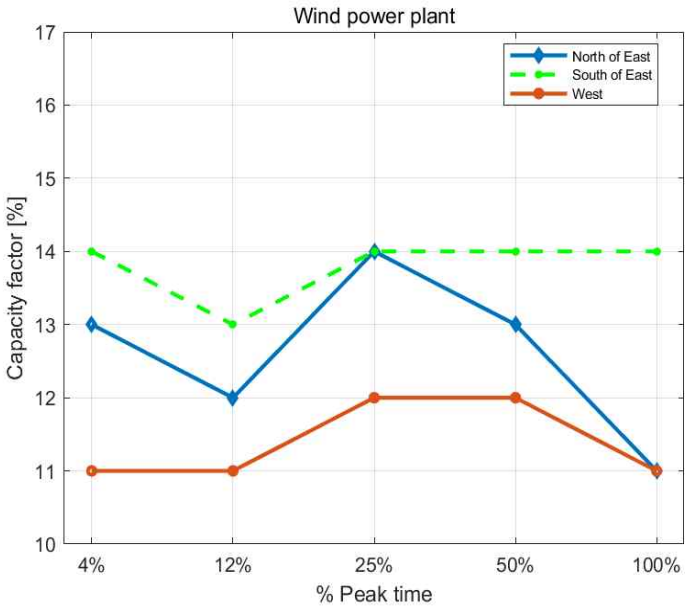

Fig. 18 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

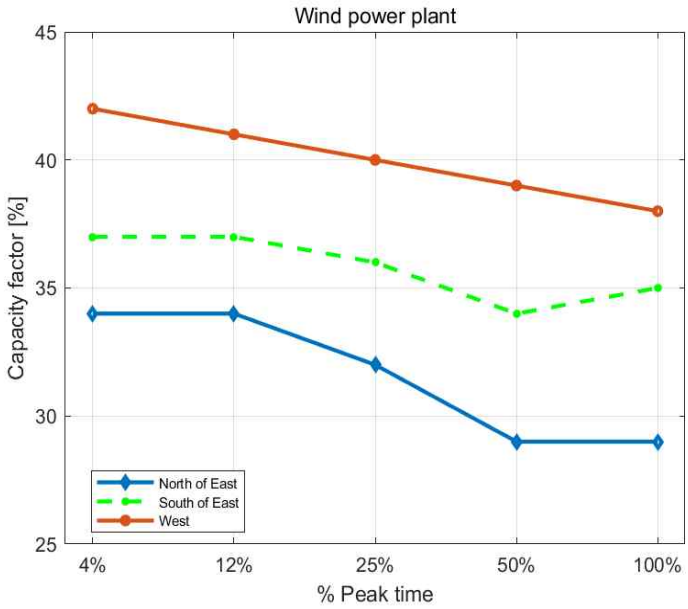

Fig. 19 CF of the wind power plants during the winter electric power peak season (Dec-Jan)

반면에, 겨울철에 서부지여의 풍력발전소가 동부북쪽지역과 동부남쪽지역에 있는 풍력발전소보다 전력공급시스템에 용량대비 약 5~10%더 기여했다.

다음으로, 풍력발전소가 피크타임에 오프피크타임보다 더 많은 전기에너지를 발전하는지에 대해 검토해보면 Fig. 18과 Fig. 19는 4, 12 및 25%피크타임 동안의 이용률이 100%피크타임 이용률보다 크다는 것을 보여준다. 제주도 모든 지역의 풍력발전소는 여름과 겨울철 전력피크시즌 동안 전력피크타임에 오프피크타임보다 통계적으로 더 많은 전기에너지를 발전했다. 이는 다행스러운 결과이다. 하지만 더 중요한 사안은 전력피크타임 동안 풍력발전소가 연평균 이용률보다 더 높은 이용률을 갖는 것이다. Fig. 18은 여름철 풍력발전소들의 이용률이 연평균 이용률 약 22%에 미치지 못함을 보여 주고 있으며, Fig. 19는 겨울철 풍력발전소들의 이용률이 연평균을 크게 상회함을 보여준다. 제주지역 풍력발전소들은 여름철 전력피크타임 동안은 연평균의 절반 정도 이용률을 갖으며 겨울철 전력피크탄임 동안은 연평균의 2배 정도 이용률을 갖는다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.5 피크타임대의 태양광발전소의 이용률

Fig. 20 및 Fig. 21은 각각 여름과 겨울철에 전력피크타임대의 4개 지역 태양광발전소의 이용률을 평균값으로 보여주고 있다. 용량 값은 Fig. 20에서 보듯이 모든 지역에서 여름철 내내 0%에서 32% 사이였으며 Fig. 21에서는 모든 지역이 겨울철 내내 0%~10%이였다. 서부 지역은 다른 지역 보다 좋은 이용률을 보여주는 것이다. 또한, 제주지역 5년간 태양광발전소의 연평균 용량 계수는 14.0%로 집계되었다. 따라서 제주도의 태양광발전소는 4%피크타임 이용률을 제외한 여름철 피크타임에는 전력 공급 시스템에 크게 기여한다. 반면, 겨울철 피크타임에는 연간 평균 이하의 용량 계수를 기여하지 않은 것을 알 수 있다. 왜냐하면, 이 연구에서 간주했던 4%피크타임 이용률의 시간은 태양광발전소의 정상적인 가동할 시간에서 불화하는 의미이기 때문이다.

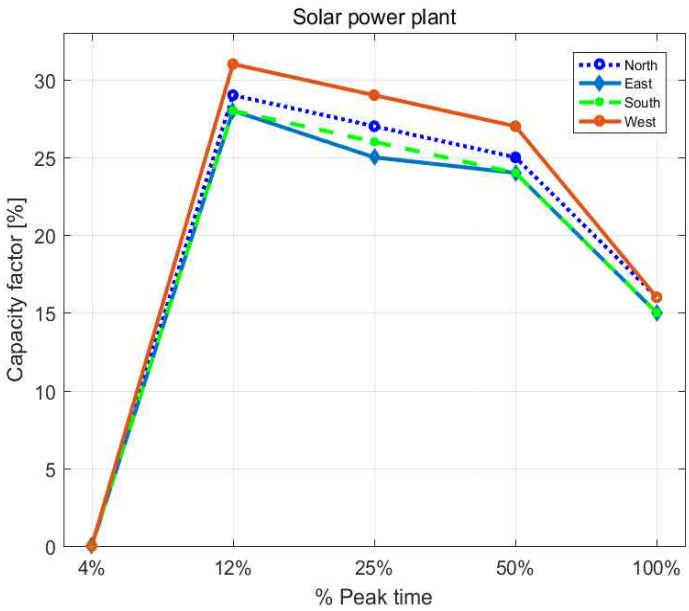

Fig. 20 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 21은 전력 공급 시스템에 대한 모든 지역의 태양광발전소가 겨울철 피크타임 동안 25%피크타임 이용률 내에 0% 된다는 것을 보여준다. 몰론, 겨울철에 일조시간이 많지 않아서 이용률도 매우 작으며 1월과 12월이 다른 월보다 일조시간 제일 작은 것을 확인 할 수 있었다. 태양광발전소의 경우, 여름철과 겨울철 전력피크타임에는 전력 공급 시스템에 대한 지역적 이용률의 차이가 크지 않지만, 그중에서 겨울철 피크타임에 북부 지역은 태양광발전소의 용량 계수가 다른 지역의 절반이라고 구별된다.

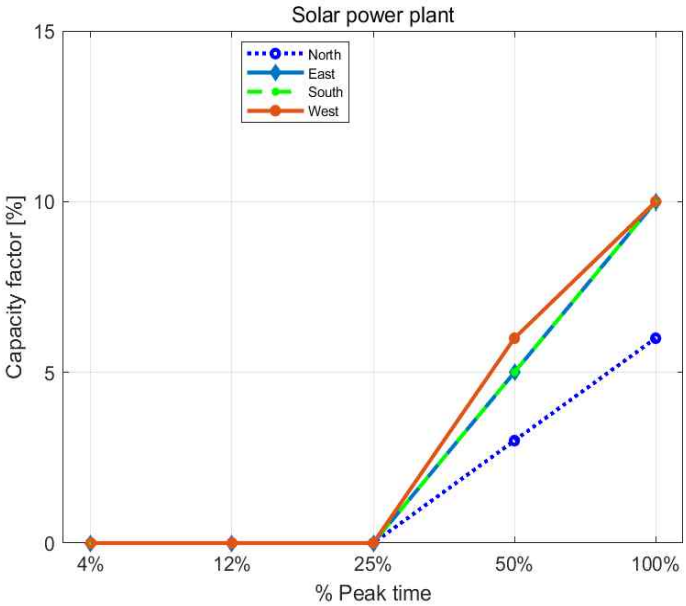

Fig. 21 CF of the solar power plants during the winter electric power peak season (Dec-Jan)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.6 휴일제외 전력피크타임 신재생발전소의 이용률

4.6.1 휴일제외 제주도의 %전력피크타임

주말을 포함한 휴일 전력 사용 패턴이 평일과 다르고 휴일의 전력사용량 또한 일반적으로 감소하기 때문에 전력피크시즌 기간 중 휴일을 제외한 전력피크타임은 휴일을 포함한 전력피크타임과 다를 수 있다. 제주도 겨울철과 여름철 휴일 제외한 %전력피크타임을 분석한 결과 휴일을 포함과 비포함 %전력피크타임이 겨울철은 같으나 여름철은 달랐다.

아래 Fig. 22 및 Fig. 23에서는 여름철의 휴일을 포함하는 전력수요와 휴일을 포함하지 않은 전력수요의 피크타임 차이를 볼 수 있다. Fig. 22는 휴일을 포함하는 여름철 5년간 7월 및 8월 전력수요의 평균값을 보여준다. Fig. 23에서는 휴일(공휴일 포함)을 포함하지 않은 전력수요를 보여주고 있다. Fig. 23에서 휴일을 포함하지 않은 경우 낮 시간대에 4%와 12%피크타임이 들어왔다. 반면에 겨울철에는 휴일을 포함하지 않은 경우와 포함한 경우 %피크타임에는 차이가 없었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

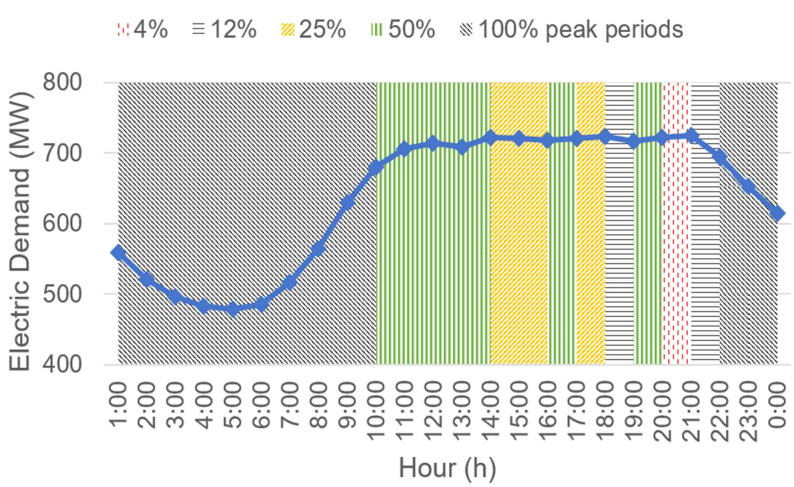

Fig. 22 Classification of the % peak periods in summer (Jul-Aug) with weekend and holidays

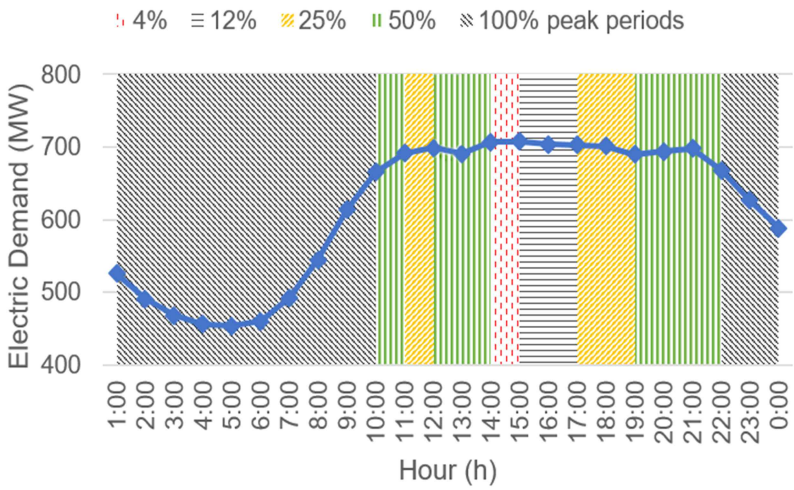

Fig. 23 Classification of the % peak periods in summer (Jul-Aug) without weekend and holidays

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.6.2 휴일제외 여름철 피크타임 동안의 풍력발전소의 이용률

Fig. 24와 Fig. 25에 각각 휴일을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우 여름철 % 피크시간대 풍력발전소의 이용률을 나타내었다. 4%와 12% 피크타임 동안의 이용률이 높아졌다. 특히 동부의 풍력발전소의 경우가 이용률이 현저하게 높아졌다.

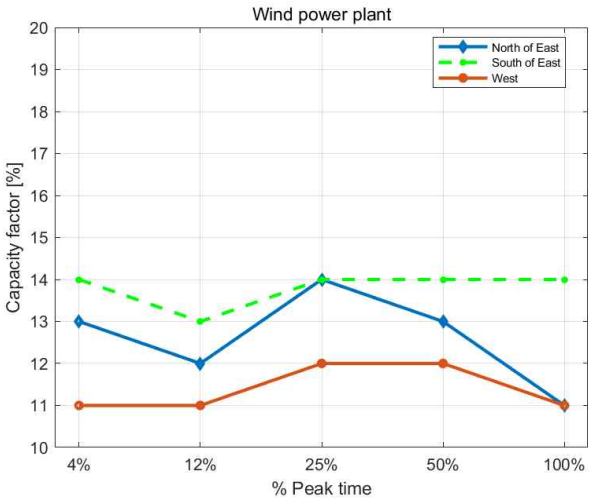

Fig. 24 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) with weekend and holidays

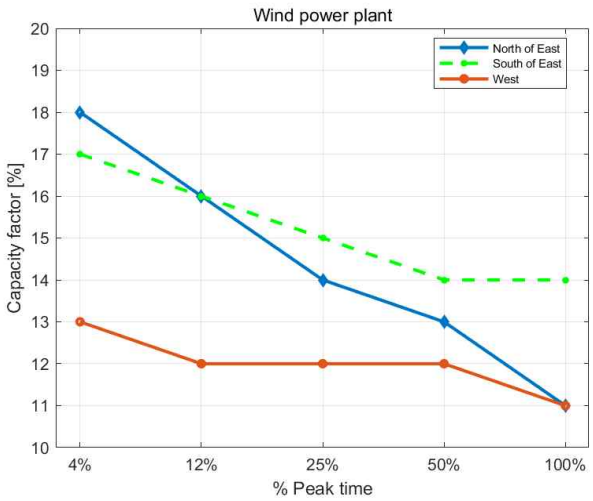

Fig. 25 CF of the wind power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) without weekend and holidays

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.6.3 휴일제외 여름철 피크타임 동안의 태양광발전소의 이용률

Fig. 26과 Fig. 27에 각각 휴일을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우 여름철 %피크시간대 태양광발전소의 이용률을 나타내었다. 휴일을 포함한 경우가 4%와 12% 피크시간대가 태양광발전소가 발전하는 낮 시간대에 걸리므로 4%와 12% 피크타임 동안의 태양광발전소의 이용률이 크게 높아졌다.

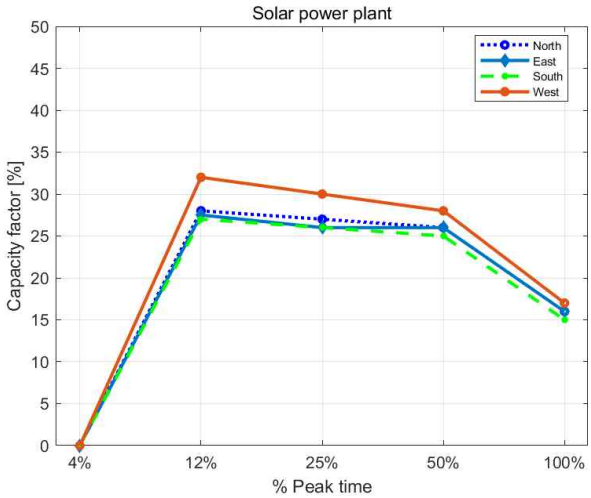

Fig. 26 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) with weekend and holidays

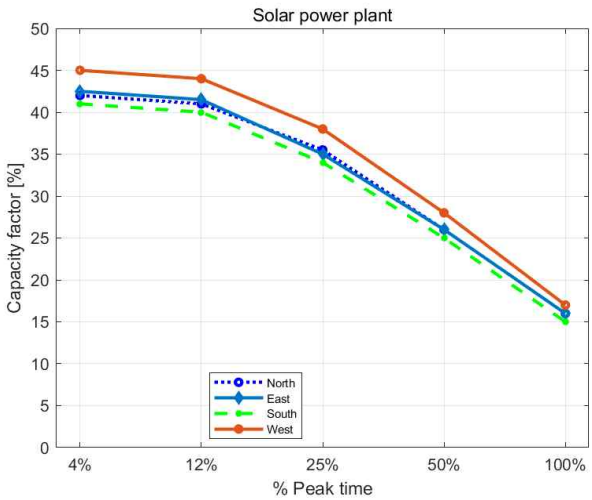

Fig. 27 CF of the solar power plants during the summer electric power peak season (Jul-Aug) without weekend and holidays

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4.7 결과 및 고찰

제주도에는 여름철과 겨울철 계절별의 낮 시간과 저녁시간대 두 전력피크타임이 있다. 여기서 여름철 피크타임은 냉방 부하에 대한 특성과 겨울철 피크타임은 난방 부하에 대한 특성이 있다. 제안한 %전력피크타임 개념으로 분석해 보면, 여름철 전력피크타임의 경우 50%전력피크타임을 고려하고, 겨울철 경우는 25% 전력피크타임을 전력피크타임으로 고려하는 것이 신재생에너지 발전 기여도를 분석하는데 효과적이고 의미가 있음을 알 수 있다.

제주도의 전력수요는 여름철에 주중과 휴일 전력수요패턴에 차이가 있다. 여름철 휴일 저녁시간대에 전력수요는 주중처럼 오르지만 낮시간에는 주중에 비해 급감하게 된다. 여름철 휴일을 포함하지 않은 전력수요패턴을 분석하면 4%피크타임대가 낮에 있게 되고 휴일을 포함한 전력수요패턴에서는 4%피크타임대가 밤에 있게 된다.

이로인해 휴일을 제외한 전력피크타임에서는 태양광발전소가 최대피크타임(4% 피크타임) 동안 전력수요 분담에 크게 기여를 하고, 반대로 휴일을 포함하는 전력피크타임에는 전력수요피크가 저녁에 있기 때문에 최대피크타임(4%피크타임) 동안 태양광발전소가 전력수요 분담에 전혀 기여를 할 수 없게 분석된다.

신재생발전 연구 분야에서 전력피크타임 동안 신재생발전소가 전력수요 분담에 얼마나 기여하는지를 지역별로 구분하고 평가하는 것은 가장 중요한 연구 주제 중 하나이다. 본 논문은 지난 5년 동안 제주지역 겨울철과 여름철 전력피크타임 동안 제주지역 풍력발전소와 태양광발전소의 이용률을 조사하였다. 특히 이 논문은 제주도를 기후가 다른 지역별로 구분하고 신재생발전의 지역 차이를 분명히 하였다. 우리는 이 논문에서 %전력피크타임 개념을 도입함으로써 신재생발전소의 피크타임 이용률을 효과적으로 설명할 수 있었으며, 이 개념은 신재생에너지 분야 이외에도 피크타임 특성 분석을 하는 분야에서 효과적으로 사용될 수 있으리라 생각한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

5. 결 론

전력시스템에서 공급측은 여름철과 겨울철 같은 전력피크타임에도 충분한 전력을 공급할 수 있어야 한다. 한편 전력수요가 증가하더라도 신재생발전소는 항상 가동할 수 없기 때문에 전력피크타임 동안 신재생발전소(특히, 태양광 및 풍력)의 과거 통계적 이용률에 대한 정확한 분석 데이터가 필요하고 이들 자료는 신재생에너지원을 포함해 에너지믹스를 설계하는 데에 매우 중요하다. 본 논문은 제주지역의 전력피크타임 동안 기후가 다른 지역별 태양광발전소와 풍력발전소의 이용률을 조사하고 분석하였다.

제주도의 대형 태양광발전소와 풍력발전소를 기후에 따라 각각 4개 지역과 3개 지역으로 분류하였으며, 최근 5년간 태양광 및 풍력 발전소들의 설비용량과 발전량 데이터를 분석하였다. 또한 참고로 %피크타임 개념 제안하고 이를 사용하여 제주지역 전력피크타임에 대해 4, 12, 25, 50 및 100%피크타임으로 구분하고 지역별로 %피크타임 동안의 이용률을 분석하였다.

풍력발전과 태양광발전은 전력계통에 전기에너지 공급측면에서 서로 상보적인 관계가 있음도 알 수 있었다. 풍력발전소는 겨울철 피크타임에만 높은 이용률을 보였으며, 태양광발전소는 여름 피크타임에만 높은 이용률을 보였다.

제주도 여름철 전력수요는 업무일과 휴일에 차이가 있었다. 휴일 전력수요를 고려하지 않은 경우 주중 낮 시간에 최고 피크타임이 놓이고 휴일을 고려하는 경우에는 오히려 저녁 시간에 최고 피크타임이 놓였다. 이로 인해 태양광발전소의 4%피크타임 기여도는 휴일 전력수요를 빼느냐 포함하느냐에 따라 큰 차이를 보였다.

이 논문에서 %전력피크타임 개념을 도입함으로써 신재생발전소의 피크타임 이용률을 효과적으로 설명할 수 있었으며, 이 개념은 신재생에너지 분야 이외에도 피크타임 특성을 분석하는 분야에서 효과적으로 사용될 수 있으리라 생각한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참 고 문 헌

[1] IEA, Key World Energy Statistics 2018.

[2] IRENA Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.

[3] Renewables, Global status report, REN21, 2019.

[4] Renewables information: overview (2019 edition), International Energy Agency, 2019.

[5] Gusmao Grossbock, Sandi Aramco "Capacity value of photovoltaic and wind power plants in an isolated Mini-grid in the Kingdom of Saudi Arabia", IEEE, 11 April 2016.

[6] Climate Action Tracker, climateactiontracker.org.

[7] Report citation Renewables 2019 Global Status Report REN21, 2019.

[8] Annual Operating Performance of Power System in Jeju, 2018.

[9] Hyun-Goo Kim, Yong- Heack Kang, Jin-Young Kim, "Evaluation of wind resource potential in mountainous region considering morphometric terrain characteristics", Wind Engineering, Vol.41, No.2, pp.114-123, 2017.

[10] Seyed Hossein Madani, Ramteen Sioshansi, Paul Denholm" Comparison of Capacity Value Methods for Photovoltaics in the Western United States" Technical Report NREL/TP-6A20-54704, July 2012.

[11] Chunhuyn Paik, Yong Joo Chung, Young Jin Kim, "Capacity factor-Based Approximation Approach for Calculating Capacity Credit of Solar Power in Korea" Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.37, No.5, pp.13-26, October 2017.

[12] Shuai Lu, Nader Samaan, Ruisheng Diao, Pevel Etingov, "Capacity Value of PV and Wind Generation in the NV Energy System" Pacific Northwest National Laboratory, September 2012.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

[13] Young-Min Wi, “A Study of Estimation of Capacity value for Renewable Generation in Jeju island ”, j.jnst.Korean.electr.electron.eng, Vol.23, No.2, pp.439-473, June 2019.

[14] Ankhzaya Baatarbileg, Hyukjoo Ko, Zulmandakh Otgongerel, Gaemyoung Lee “Characteristics of Wind power generation in Jeju island” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2018.

[15] Paik Chunhyun, “Analysis of Capacity factor and Capacity Credits for Wind Turbines Installed in Korea”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.39, No.4, pp.79-91, August 2019.

[16] Chunhuyn Paik, Yong Joo Chung, Young Jin Kim, “Capacity factor-Based Approximation Approach for Calculating Capacity Credit of Solar Power in Korea” Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.37, No.5, pp.13-26, October 2017.

[17] Mehdi Shahriari, Seth Blumsack “The capacity value of optimal wind and solar portfolios” Energy Vol.148 pp. 992-1005, February 2018.

[18] Cai Jilin, Xu Qingshan, Wang Xudong, Jiang Ling “Estimation for the Capacity Value of PV and Wind Plants Considering Output Correlation” Elsevier 1876-6102, 2017.

[19] Jeju Special Self-Governing Province Climate Change Forecast Report, Korea Meteorological Administration, Publication number 11-1360000-001443-01, 2017.

[20] Analysis of Climate Change Characteristics in Jeju Island, Jeju regional office of meteorology, Publication number 11-1360169-000054-14, 2019.

[21] Su Wan Kim, Gaemyoung Lee, Analysis of Generation Characteristics for Large-scale Photovoltaic Power Plants in the Jeju Island, Master Thesis, 2017.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

학부를 졸업하고 몽골을 떠난 지 벌써 2년 반이라는 시간이 지났습니다. 대학원 과정에 들어와 공부하면서 어려운 시간들이 있었지만 많은 분들이 도와주시고 응원해주셔서 이제 석사과정을 마치고 무사히 학위논문을 제출하게 되었습니다. 감사의 말을 드리고 싶은 분들이 너무 많습니다.

누구보다도 많은 도움을 주시고 부족한 저에게 항상 성심성의껏 지도 해주고, 인생에 있어도 많은 조언을 해주신 이개명 교수님께 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

그리고 석사과정이 끝날 때 까지 항상 열정적인 강의로 가르쳐 주신 김일환 교수님, 김세호 교수님, 진영규 교수님, 좋은 말씀으로 많은 조언을 해 주신 김호찬 교수님, 김호민 교수님께 감사드립니다.

같은 연구실에서 언제나 내 일처럼 도와주고, 모르는 것 있을 때마다 여쭤보면 막힘없이 대답해주시고, 항상 관심을 가지고 조언해주신 안크자야 언니 너무나도 감사드립니다. 언니가 있어서 제가 한국 생활을 잘 적응하고 좋은 시간들을 많이 보냈습니다. 또한, 무엇보다 학교생활을 열심히 할 수 있도록 도와준 과사무실 조경훈 오빠, 정민 오빠도 감사드리며 부족한 저에게 제주대학교로 입학 할 수 있도록 도와주신 몽골국립대학교의 Bayasgalan 교수님께 큰 감사의 말씀 드립니다.

타지에서 같이 노력하고 공부하고 있는 친구 뭉크, 훌렁 선배님, 그리고 우리 전기공학과의 선후배님들도 졸업을 파이팅하고 응원합니다. 그리고 제주도에 와서 만나게 되고, 저와 함께 생활하면서 소중한 추억을 공유해 준 가족 같은 Badral, Tuya, Duure, Bilguun, Otgoo 친구들 너희들이 함께 있어줘서 내가 다 잘 마무리 할 수 있었고 한국 생활에서 힘든 시간과 좋은 시간들을 같이 보내줘서 감사하는 말을 하고 싶습니다. 할 일이 많은데도 옆에서 응원해주고 힘이 되어준 강민혁 선배님, Undarmaa 언니, Nyamaa, 몽골에 있는 친구들에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이 밖에도 말하지 못한 제주대학교 BK21+ 사업단 그리고 스마트그리드 사업단, 우리 전기물성연구실의 학부생들, 한국에서 이렇게 석사 학위를 할 때 도와주신 모든 분들에게도 진심으로 감사 인사드립니다.

마지막으로 몽골에 계시지만 항상 저를 믿어주시고 사랑해 주신 우리 부모님께 진심으로 감사하고 많이 사랑합니다. 그리고 우리 동생도 언니 멀리 있어도 귀엽게 잘 있어줘서 너무 고맙고 사랑해요. 또한 대학원 생활이 저에게 많이 소중하며 수많은 것들을 배운 너무나 값진 시간이었습니다. 앞으로도 끊임없이 노력하도록 하겠습니다. 다시 한 번 모든 분들에게 감사하다는 말 전하고 싶습니다.

2020년 7월 13일

줄만다크 드림

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY