



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

제주지역 대용량
태양광발전소의 발전특성 분석

濟州大學校 大學院

에너지응용시스템학부 電氣工學專攻

金 鏞 峴

2017 年 2 月



제주지역 대용량 태양광발전소의 발전특성 분석

指導教授 李 開 明

金 鏞 旼

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2017 年 2 月

金鏞旼의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

吳 性 寶



委 員

李 開 明



委 員

金 豪 贊



濟州大學校 大學院

2017 年 2 月



Analysis of Generation Characteristics for
Large-scale Photovoltaic Power Plants in the
Jeju Island

Su Wan Kim
(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

2017. 2.

목 차

| | |
|---|-----------|
| 그림 목 차 | iv |
| 표 목 차 | v |
| 요 약 | vi |
| I. 서 론 | 1 |
| II. 태양광발전시스템 및 기상조건과 발전량의 관계 | 3 |
| 2.1 태양전지의 동작과 태양광발전시스템의 구성 | 3 |
| 2.2 태양광발전시스템과 기상요소 | 6 |
| 2.3 지역별 태양광발전소의 발전 데이터와 기상 데이터의 관계 | 8 |
| 2.4 기상데이터에 근거한 태양광발전소 발전량 예측 | 10 |
| III. 제주도내 지역별 기상요소 분석 | 11 |
| 3.1 제주 북부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석 | 11 |
| 3.2 제주 동부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석 | 14 |
| 3.3 제주 남부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석 | 17 |
| 3.4 제주 서부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석 | 20 |
| 3.5 최근 5년간 지역별 일조시간 | 23 |
| IV. 제주도내 지역별 태양광발전소의 발전특성 분석 | 24 |
| 4.1 태양광발전소들의 지역 구분 | 24 |
| 4.2 제주 북부지역 태양광발전소의 발전특성 | 25 |
| 4.3 제주 동부지역 태양광발전소의 발전특성 | 29 |

| | |
|--|----|
| 4.4 제주 남부지역 태양광발전소의 발전특성 | 33 |
| 4.5 제주 서부지역 태양광발전소의 발전특성 | 37 |
| 4.6 지역별 평균 이용률 분석 | 41 |
| 4.7 태양광발전소의 이용률과 일조시간, 평균기온, 평균풍속과 관련성 분석 .. | 42 |
| 4.8 결과고찰 | 44 |
| | |
| V. 결 론 | 45 |
| | |
| 참 고 문 헌 | 47 |

그림 목 차

| | |
|---|----|
| 그림 1 태양전지 어레이 | 3 |
| 그림 2 입사광 세기에 따른 태양전지 전압-전류 특성곡선 | 4 |
| 그림 3 온도에 따른 태양전지 온도-출력 특성 | 5 |
| 그림 4 발전량과 일조조건과의 관계 | 7 |
| 그림 5 제주도 기상예보 지역구분 | 8 |
| 그림 6 데이터 분석 방법 | 9 |
| 그림 7 제주 북부지역 20년 동안의 월 일조시간 | 12 |
| 그림 8 제주 동부지역 20년 동안의 월 일조시간 | 15 |
| 그림 9 제주 남부지역 20년 동안의 월 일조시간 | 18 |
| 그림 10 제주 서부지역 20년 동안의 월 일조시간 | 21 |
| 그림 11 최근 5년간 지역별 평균 일조시간 | 23 |
| 그림 12 제주 북부지역 각 태양광발전소의 이용률 | 25 |
| 그림 13 제주 북부지역 태양광발전소 평균 이용률 | 26 |
| 그림 14 제주 북부지역 평균 이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속 | 27 |
| 그림 15 북부지역 이용률과 일조시간 | 28 |
| 그림 16 제주 동부지역 각 태양광발전소의 이용률 | 29 |
| 그림 17 제주 동부지역 태양광발전소 평균 이용률 | 30 |
| 그림 18 제주 동부지역 평균 이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속 | 31 |
| 그림 19 동부지역 이용률과 일조시간 | 32 |
| 그림 20 제주 남부지역 각 태양광발전소의 이용률 | 33 |
| 그림 21 제주 남부지역 태양광발전소 평균 이용률 | 34 |
| 그림 22 제주 남부지역 평균 이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속 | 35 |
| 그림 23 남부지역 이용률과 일조시간 | 36 |
| 그림 24 제주 서부지역 각 태양광발전소의 이용률 | 37 |
| 그림 25 제주 서부지역 태양광발전소 평균 이용률 | 38 |
| 그림 26 제주 서부지역 평균 이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속 | 39 |
| 그림 27 서부지역 이용률과 일조시간 | 40 |
| 그림 28 지역별 평균 이용률 | 41 |
| 그림 29 남부지역과 서부지역 태양광발전소 이용률 비교 | 43 |

표 목 차

| | |
|-------------------------------|----|
| 표 1 제주 북부지역 20년간 일조시간 | 11 |
| 표 2 제주 북부지역 평균기온 | 13 |
| 표 3 제주 북부지역 평균풍속 | 13 |
| 표 4 제주 동부지역 20년간 일조시간 | 14 |
| 표 5 제주 동부지역 평균기온 | 16 |
| 표 6 제주 동부지역 평균풍속 | 16 |
| 표 7 제주 남부지역 20년간 일조시간 | 17 |
| 표 8 제주 남부지역 평균기온 | 19 |
| 표 9 제주 남부지역 평균풍속 | 19 |
| 표 10 제주 서부지역 20년간 일조시간 | 20 |
| 표 11 제주 서부지역 평균기온 | 22 |
| 표 12 제주 서부지역 평균풍속 | 22 |
| 표 13 최근 5년간 지역별 평균 일조시간 | 23 |
| 표 14 제주지역 태양광발전소 분류 | 24 |
| 표 15 제주 북부지역 태양광발전소 이용률 | 26 |
| 표 16 북부지역 이용률과 일조시간 | 28 |
| 표 17 제주 동부지역 태양광발전소 이용률 | 30 |
| 표 18 동부지역 이용률과 일조시간 | 32 |
| 표 19 제주 남부지역 태양광발전소 이용률 | 34 |
| 표 20 남부지역 이용률과 일조시간 | 36 |
| 표 21 제주 서부지역 태양광발전소 이용률 | 38 |
| 표 22 서부지역 이용률과 일조시간 | 40 |
| 표 23 제주도 태양광발전소 이용률 | 41 |

SUMMARY

Korea Government enforced the RPS(Renewable Energy Portfolio Standard) system in 2012. And so, many PV(Photovoltaic) plants have been built in the Jeju. PV plants have been increasing due to the RPS. However, since there is no actual reference information about solar power plants in the Jeju Island, in this paper the utilization rates of the PV plants being operated and weather informations related to their generation were investigated.

The Jeju Island is located in the southernmost part of Korea, and surrounded by the sea. The Jeju Island has various climatic characteristics and meteorological phenomena because it has Mt. Halla(1950m), which is in the middle of the island, and mountainous terrain called 'Orum'. Because of these characteristics, The Jeju regional meteorological office provides weather data about the 4 regions that the Jeju Island are divides into.

Therefore, the MW PV plants in the Jeju Island are classified into four regions, northern region, eastern region, southern region and western region focusing on Halla Mountain. In this paper a total of 22 large-scale PV plants was surveyed. Using the actual power generation data of each PV plant and the meteorological condition data from the four meteorological offices in the 4 regions, this paper analyzed the utilization rates and the generation characteristics of the PV plants according to weather conditions in the 4 regions. The results of the analysis are as follows.

- 1) The average annual utilization rate of solar power plants in the Jeju Island appears in order of 21% in the western area, 18% in the southern area, 17% in the northern area and 14% in the eastern area, and in the western area, except for winter, it showed high utilization rate of 20% or more. As a result of analyzing the utilization rate of PV plants in the

Jeju and the duration of sunshine, it was found that utilization rates of all power plants follow the duration of sunshine in proportion.

- 2) The duration of sunshine were the longest in the south, followed by the eastern, western and northern regions. The utilization rate of PV plants in the southern region and the eastern region with relatively good sunshine hours was low. For this reason, another additional study is necessary.
- 3) the duration of sunshine, a kind of weather condition, will be similar to the long-term average, it is highly possible that the utilization rate of PV plants in the last two years also decreases in the summer and increases in the fall.
- 4) Summer duration of sunshine in the southern region and the western region were about 200 hours, the average temperature was about 25 °C. the average wind speed was 4.7 m/s in the western region, about 1.8 m/s southern region. The utilization rate in the western region was about 23%, the southern region showed the utilization ratio of 19%, showing a difference of 4%.

I. 서 론

세계 여러 나라들은 지구온난화와 기후변화 문제를 해결하기 위하여 1992년 유엔기후변화협약을 체결하고, 1997년 교토의정서를 채택하였으며, 이 의정서에 2008년부터 2012년까지 선진국의 온실가스 배출량을 1990년도 대비 평균 5.2% 감축하도록 규정하였고, 2011년 교토의정서 공약기간을 연장하였으며 2015년 신기후체제의 기반이 되는 파리협정을 채택하였다. 파리협정에서는 감축 의무국가로 주로 선진국에서 모든 당사국으로 대상 국가 범위가 확대되었고, 주로 온실가스 감축에 초점을 두었던 교토의정서와는 다르게 온실가스 감축만이 아니라 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등을 포함시켰다. 그리고 효력 종료 시점을 규정하지 않아 지속 가능한 대응을 가능하게 했다. 우리나라는 “2030 온실가스 감축 로드맵”을 만들어 2030년까지 온실가스 배출을 전망치(BAU: Business As Usual) 대비 37% 감축하겠다는 목표를 세워 UN에 제출하였다[1].

이러한 상황에서 우리나라는 2012년에 신재생에너지 공급의무화(RPS: Renewable portfolio system)제도를 시행하였는데, 신재생에너지 공급의무화 제도란 50만kW 이상의 발전설비를 가지고 있는 발전사업자에게 총발전량의 일정 비율 이상을 신재생에너지원으로 공급토록 의무화하는 제도로서 기존 보급제도인 발전차액지원제도(FIT: Feed in Tariff)의 한계와 재정부담 완화를 위해 시행되었다. 공급의무화제도를 시행함에 따라 2012년 이후 2014년 9월말까지 전국에 건설된 발전설비(3,166MW, 6,873개소)의 건설이 이루어 졌으며, 기존 발전차액지원제도에 의해 10년간 건설된 발전설비 용량의 약 3배 수준이다[2, 3].

2015년 제주지역 계통운영 실적 보고서에 따르면 2012년부터 시작된 신재생 공급의무화제도에 따라서 공급인증서(REC) 거래시장에 가입한 제주지역 태양광 사업자가 급증하는 추세로 전년 대비하여 설비용량이 약 50.2%(24.3MW), 발전단지의 수는 약 59.7%(108단지)로 증가하였다[4]. 제주특별자치도 지방정부가 “Carbon-free island, Jeju by 2030” 정책을 달성하기 위하여 2016년도 정책 사업으로 폐감귤원에 태양광발전소 건설을 지원하는 등 태양광발전소 보급에 박차를 가하고 있다. 제주지역 내 새롭게 건설되는 태양광발전소의 안정적인 설계를 위

해서는 이미 건설되어 운영 중인 태양광발전소에 대한 지역과 연관된 월간, 연간 이용률 등의 실제의 참고정보가 필요한 실정이다.

제주도는 우리나라에서 가장 큰 섬이며, 국토 최남단에 위치하고, 섬 가운데에 1950m의 한라산이 있으며 주변에는 오름이라는 특수한 형태의 산악지형이 형성되어 있다. 이 섬은 면적은 좁지만 대륙과 해양으로부터 영향을 동시에 받으면서 다양한 기후특징과 기상현상을 나타낸다. 제주지방기상청은 관할 유인 관측소 4개소와 자동기상관측시스템 20개소, 총 24개의 관측지점에서 기상관측데이터를 수집하고 있으며, 기후변화 유사성에 따라 제주지역을 제주북부, 제주동부, 제주남부, 제주서부 지역으로 구분하여 기상데이터를 제공하고 있다[5].

이 기상 데이터와 연관하여 태양광발전소의 발전량을 분석하기 위하여 운영 중인 MW급 태양광발전소들의 위치에 따라 제주지방기상청에서 구분하는 4개 지역 그룹으로 분류한다. 또, 운영 중인 전체 MW급 태양광발전소 중에서 2년 이상 가동된 발전데이터를 갖는 22개의 태양광발전소만을 분석 대상으로 선정한다.

이 논문에서는 지역 별 일조시간, 기온, 풍속과 해당 지역 태양광발전소의 발전량과의 연관성을 조사하고자 한다. 또한, 2년간 지역별 태양광발전소들의 평균 이용률을 조사하여 제시하고 이 값이 어느 정도 변동 할지를 예상하기 위하여 각 지역의 월별 20년간 년 평균 일조시간과 최근 2년간 년 평균 일조시간을 비교·분석하였다.

II. 태양광발전시스템 및 기상조건과 발전량의 관계

2.1 태양전지의 동작과 태양광발전시스템의 구성

2.1.1 태양광발전시스템의 구성

태양광발전시스템은 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 시스템이다. 태양전지에 태양광이 비추게 되면 빛에 의한 전자-정공 쌍이 생기고, 이 중 일부 전자와 정공이 각각 N층과 P층으로 이동하고 접합층에 생긴 전계가 기전력으로 나타난다. 이 상태에서 태양전지 바깥으로 부하가 연결되면 이동한 전자와 정공의 재결합이 이루어지면서 전류가 흐르게 된다.

태양광발전시스템은 태양전지 어레이, 파워컨디셔너(PCS: Power conditioner system), 변압기 및 전력저장장치(Storage battery) 등의 장치로 구성된다. 태양전지 어레이는 부하에 일정 크기의 전압과 정격전력을 갖도록 다수의 태양전지 모듈이 직·병렬로 연결되어 있다. 그림 1은 제주대학교 건물 옥상에 설치된 1MW 태양광발전소의 일부 태양전지 어레이를 보여준다.



그림 1 태양전지 어레이

2.1.2 태양전지 특성

태양전지는 P-N접합 반도체 소자로 태양에너지를 받으면 전력이 발생하는 광기전력효과(Photovoltaic effect)를 이용한 것이다. 그러므로 태양전지는 햇빛의 양과 비치는 시간에 의해서 발전량이 결정되기 때문에 기상조건 중에서도 일조 시간과 일사량이 중요하다.

그림 2는 표준측정조건(STC: Standard test condition), 입사광 세기 $E=1,000\text{W/m}^2$, AM(Air mass)=1일 때 면적 100cm^2 인 태양전지의 전압-전류 특성곡선이다[6]. 입사광 세기가 감소할수록 단락전류가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 개방전압이 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있다.

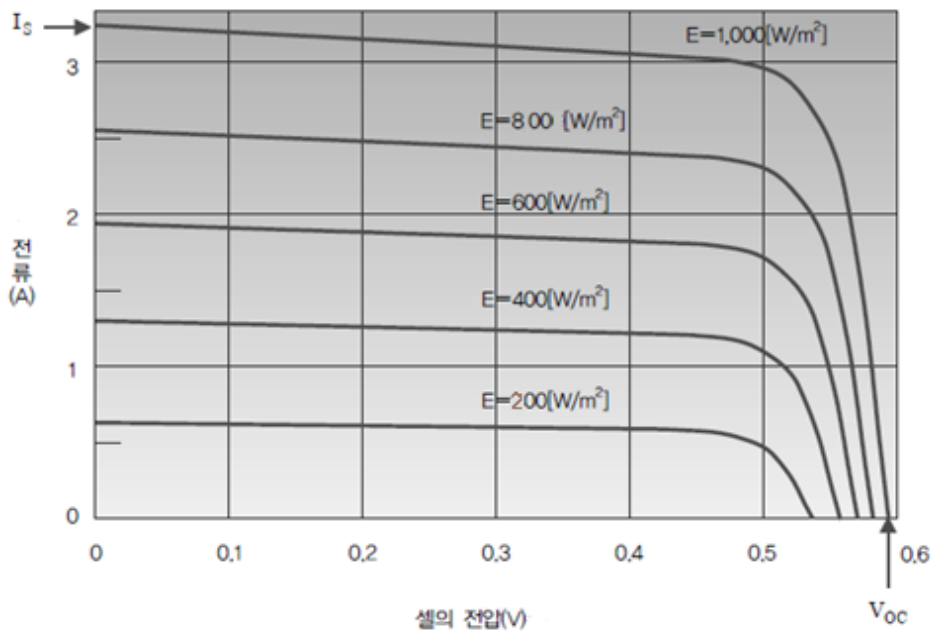


그림 2 입사광 세기에 따른 태양전지 전압-전류 특성곡선

온도에 따른 태양전지의 온도-출력특성을 보게 되면 그림3에서와 같이 모듈 온도가 증가할 때 마다 전압이 낮아지고 전류는 약간 증가함을 알 수 있다. 출력의 측면에서 보면 온도가 상승함에 따라 출력이 감소함을 알 수 있다. 실제로 태양전지의 온도는 겨울철 직사광을 받고 있을 때에 25℃ 이상을 유지한다. 또한, 여름철에도 태양전지 표면 온도가 70℃까지 상승하며 이때의 출력은 기준온도(25℃)보다 약 14% 감소한다. 이러한 태양전지의 온도-출력특성 때문에 태양전지를 설치할 때 통풍을 중요하게 고려해야 한다. 통풍이 잘 되면 태양전지의 온도를 낮추어 발전효율을 높일 수 있다[6].

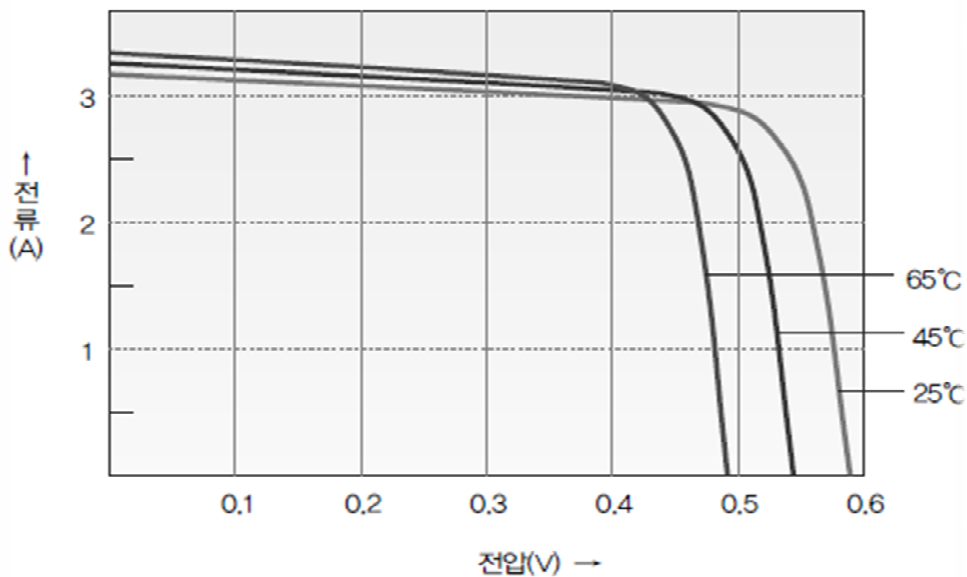


그림 3 온도에 따른 태양전지 온도-출력특성

2.1.3 태양광발전시스템의 이용률

태양광발전의 이용률은 태양광발전의 발전량과 태양광발전의 설비용량, 발전시간의 곱에 비로 나타낼 수 있으며, 태양광발전의 이용률은 일조시간과 일사량에 가장 큰 영향을 받는다.

$$\text{이용률} = \frac{\text{발전량}(kWh)}{\text{설비용량}(kW) \times \text{분석구간}(h)} \times 100(\%) \quad (2.1)$$

2.2 태양광발전시스템과 기상요소

2.2.1 태양광발전시스템에 영향을 미치는 기상요소

태양광발전시스템은 발전량에 영향을 미치는 중요한 기상요소들이 존재한다. 기상청에서 발간한 태양에너지 최적 활용을 위한 기상 분석보고서에 따르면, 태양광발전이 영향을 끼치는 14가지의 기상요소를 정의하고 있으며, (1) 일사량, (2) 일조시간, (3) 강수량, (4) 강수일수, (5) 강수 계속시간, (6) 평균기온, (7) 평균 최고기온, (8) 평균 최저기온, (9) 운량, (10) 상대습도, (11) 안개일수, (12) 황사일수, (13) 연무일수, (14) 박무일수와 같다[7]. 태양광발전시스템이 설치된 지역의 이러한 기상요소의 분석을 통해 태양광발전설비의 발전량을 예측하고 발전된 발전량을 분석할 수 있다. 이 논문에서는 태양광발전소의 기상요소 중 일조시간, 평균기온, 평균풍속의 3가지 요소를 선정하였다.

2.2.2 태양광발전시스템과 일조조건과의 관계

태양광발전시스템과 일조조건과의 관계를 알아보기 위해 제주대학교 태양광발전소의 발전량과 일조시간, 일사량과의 관계를 확인해 그림 4에 나타내었다. 그림 4를 보게 되면 발전량이 일사량과 일조시간에 비례함을 알 수 있다. 발전량과 일조시간, 일사량의 추이를 보면 발전량이 일사량보다는 일조시간에 더 추종함을 알 수 있다[8].

따라서 이 논문에서는 태양광발전의 발전량에 영향을 주는 변수로서 일조시간을 선정하였다. 일조시간은 태양광선이 지표면에 내리쬐는 시간으로 태양광이 구름과 안개 등과 같은 것으로 가려지지 않은 상태에서 지표면에 내리쬐어 지속되는 시간을 말한다.

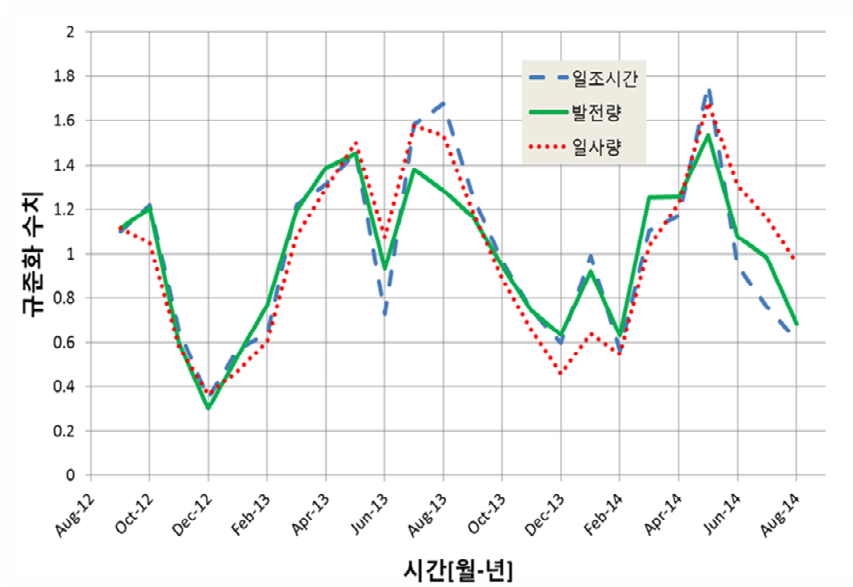


그림 4 발전량과 일조조건과의 관계

그림 6에서 보면 태양광발전 데이터를 기상데이터와 연계해 분석하기 위해서 날씨가 유사한 지역으로 기상청에서 구분한 5개 지역 중 대용량 태양광발전소가 설치되어 있지 않은 제주도 산간 지역을 제외하고 4개 지역을 태양광발전소에 대한 기본 지역구분으로 선택한다. 그리고 한국전력거래소로부터 제주지역 0.5MW 이상의 태양광발전소 22곳의 발전량 데이터를 제공받아서 기본지역구분에 따라 태양광발전소들을 분류하고, 각 지역별 발전소들의 평균이용률을 구하여 해당 지역별 기상청에서 제공하는 기상데이터와 연관하여 분석한다.



그림 6 데이터 분석 방법

2.4 기상데이터에 근거한 태양광발전소 발전량 예측

태양광발전사업을 추진할 때 발전량에 대한 예측을 하여 경제성을 분석한다. 주로 일조시간과 일사량에 근거한 예측을 실시한다. 많은 MW급 대용량 태양광발전소들이 광범위한 지역에 걸쳐 세워지고 운영되는 새로운 시대가 도래하였다. 최근 2년간의 태양광발전소의 발전량이 계측되었는데 이들 데이터가 일시적인 것인지 매년 평균적으로 도달할 수 있는 값인지 판정할 필요가 있다. 본 연구는 제주도의 각 지역에 대한 태양광발전소의 발전량에 대한 참고자료를 제시하고자 하기 때문에 일단 태양광발전소의 시설 노화와 기후변화에 따른 발전량 변동은 고려하지 않는다. 또한, 태양광발전소의 발전량은 일조시간에 비례하여 추종한다고 가정한다.

태양광발전소의 과거 발전량에 근거해 미래 발전량을 예측하는 방법은 다음과 같다. 월별 20년간 일조시간의 평균과 월별 최근 2년간 일조시간의 평균에 어느 정도 차이가 나는지를 파악한다. 월별 기후, 지금의 경우 일조시간은 매년 크게 바뀔 수 있지만 긴 기간에 걸쳐서는 평균적인 값을 나타낸다. 따라서 최근 2년간의 평균 일조시간이 20년간 일조시간의 평균에 비해 증가한 달의 경우 향후 발전량(이용률)은 2년간 평균 발전량(이용률)에 비해 감소할 가능성이 있으며, 반면에 최근 2년간의 평균 일조시간이 20년간 일조시간의 평균에 비해 감소한 달의 경우 향후 발전량(이용률)은 2년간 평균 발전량(이용률)에 비해 증가할 가능성이 있다.

Ⅲ. 제주도내 지역별 기상요소 분석

3.1 제주북부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

3.1.1 북부지역 일조시간

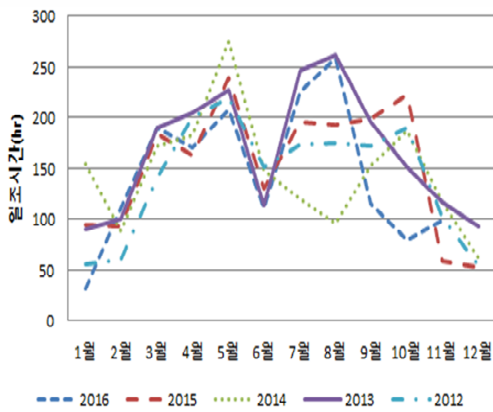
제주북부지역 일조시간이 지난 20년간 어떻게 변해왔는지 분석을 해보았다. 표 1을 보면 일조시간이 가장 길었던 해는 2004년도 2106.3시간이었고 가장 짧았던 해는 1999년도 1656.3 간 이었다. 제주 북부지역의 대부분 년에는 일조시간이 2000시간을 넘는 해는 2번 밖에 없었다[9].

표 1 제주 북부지역 20년 동안의 월간 일조시간

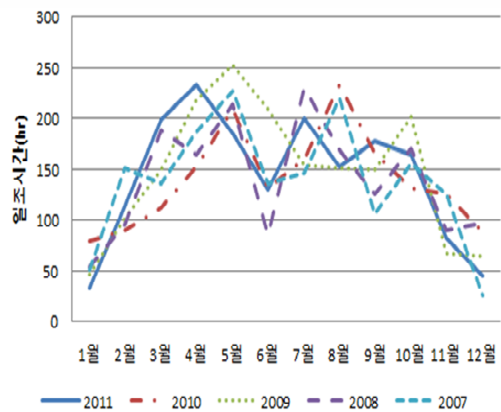
[단위: hour]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 합계 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2016 | 31.4 | 110.4 | 190.4 | 170.8 | 207.9 | 110.1 | 225.2 | 258.1 | 115.0 | 80.1 | 99.2 | | 1598.6 |
| 2015 | 94.2 | 93.5 | 183.8 | 163.4 | 239.7 | 129.7 | 196.1 | 193.6 | 199.2 | 223 | 58.5 | 51.9 | 1826.6 |
| 2014 | 154.8 | 88.1 | 172.5 | 182.7 | 275.4 | 147.9 | 119.1 | 95.4 | 152.6 | 187.3 | 117.5 | 62.2 | 1755.5 |
| 2013 | 89.3 | 99.7 | 190.1 | 205.0 | 227.7 | 113.5 | 247.1 | 261.7 | 195.9 | 150.5 | 116.2 | 93.5 | 1990.2 |
| 2012 | 55.7 | 59.6 | 140.0 | 200.8 | 219.5 | 150.8 | 173.8 | 175.2 | 171.8 | 190.1 | 101.9 | 54.2 | 1693.4 |
| 2011 | 33.9 | 113.5 | 199.2 | 233.8 | 185.1 | 129.8 | 201.1 | 152.6 | 178.7 | 164.1 | 82.9 | 45.3 | 1720.0 |
| 2010 | 79.6 | 89.9 | 112.8 | 152.1 | 209.2 | 131.7 | 160.6 | 233.5 | 166.6 | 132.1 | 125.3 | 88.4 | 1681.8 |
| 2009 | 47.1 | 102 | 149.1 | 218.6 | 252.0 | 208.9 | 153.7 | 150.9 | 149.4 | 201.8 | 67.2 | 64.0 | 1764.7 |
| 2008 | 53.9 | 95.8 | 188.9 | 164.7 | 213.7 | 86.1 | 229.6 | 169.7 | 125.9 | 170.7 | 90.5 | 97.5 | 1687.0 |
| 2007 | 51.6 | 151.5 | 136.3 | 187.1 | 227.9 | 136.5 | 146.8 | 219.8 | 107 | 156.2 | 125.4 | 25.7 | 1671.8 |
| 2006 | 79.1 | 86.4 | 183.1 | 172.7 | 147.9 | 144.7 | 153.0 | 220.7 | 128.7 | 205.9 | 111.8 | 70.7 | 1704.7 |
| 2005 | 31.8 | 62.7 | 164.2 | 236.6 | 233.3 | 206.4 | 139.6 | 191.7 | 154.4 | 144 | 148.2 | 58.1 | 1771.0 |
| 2004 | 80.3 | 165.5 | 200.3 | 222.0 | 172.8 | 177.7 | 301.6 | 198.4 | 107.1 | 218.3 | 160.0 | 102.3 | 2106.3 |
| 2003 | 75.3 | 100.1 | 167.8 | 175.7 | 179.5 | 176.1 | 98.7 | 166.9 | 216.7 | 208.1 | 103.4 | 88.7 | 1757.0 |
| 2002 | 87.0 | 177.2 | 171.8 | 148.3 | 145.4 | 234.6 | 137.9 | 157.7 | 185.3 | 160.4 | 134.8 | 54.5 | 1794.9 |
| 2001 | 62.6 | 108.1 | 192.5 | 231.9 | 191.9 | 145.9 | 261.1 | 171.7 | 176.1 | 168.7 | 144.9 | 54.7 | 1910.1 |
| 2000 | 51.7 | 130.9 | 197.9 | 226.5 | 229.9 | 165.9 | 227.3 | 241.7 | 155.0 | 147.6 | 140.9 | 130.9 | 2046.2 |
| 1999 | 94.7 | 129.0 | 92.3 | 192.6 | 228.5 | 146.0 | 112.5 | 102.5 | 130.5 | 184.5 | 113.7 | 129.5 | 1656.3 |
| 1998 | 49.2 | 107.2 | 163.9 | 140.9 | 171.1 | 122.5 | 216.2 | 232.2 | 161.0 | 136.7 | 169.9 | 136.6 | 1807.4 |
| 1997 | 69.9 | 114.5 | 179.1 | 199.4 | 229.0 | 213.3 | 203.8 | 166.2 | 182.0 | 198.4 | 90.3 | 62.3 | 1908.2 |

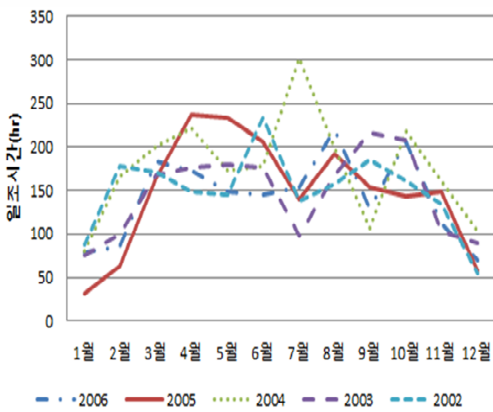
그림 7을 보면 제주 북부지역은 1월부터 5월까지 일조시간이 서서히 증가하다가 6월에 급격히 일조시간이 줄어드는 것을 볼 수 있었고, 다시 7월에서 8월은 증가하였고 9월부터 감소함을 볼 수 있었다. 최근 2012년~2016년에 오면서는 1월부터 6월까지 서로 편차가 줄어들어가는 것을 볼 수 있고, 7월 8월에 태풍이 오는 정도에 따라 달라지는 것을 알 수 있다.



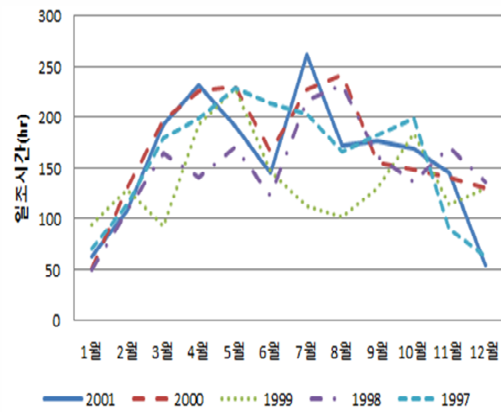
(a) 북부 12~16년 월간 일조시간



(b) 북부 07~11년 월간 일조시간



(c) 북부 02~06년 월간 일조시간



(d) 북부 97~01년 월간 일조시간

그림 7 제주 북부지역 20년 동안의 월 일조시간

3.1.2 북부지역 평균기온, 평균풍속

표 2를 보면 평균기온은 2014년 평균 16.2℃, 2015년 평균 16.7℃, 2016년 1월부터 9월까지 평균17.9℃가 측정되었다. 평균기온이 가장 높았던 달은 8월이고 그 다음으로는 7월이 가장 높았다.

표 2 제주 북부지역 평균기온

[단위: ℃]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 2014 | 6.8 | 7.5 | 10.7 | 14.8 | 19.1 | 21.8 | 25.1 | 25.1 | 23.5 | 19.1 | 13.9 | 7.3 |
| 2015 | 7.4 | 7.3 | 10.4 | 15.1 | 18.8 | 22 | 25.6 | 26.4 | 23.2 | 19.2 | 15.2 | 10 |
| 2016 | 6.1 | 7.3 | 10.8 | 15.6 | 18.9 | 22.2 | 27.4 | 28.5 | 23.9 | | | |
| 평균 | 6.8 | 7.4 | 10.6 | 15.2 | 18.9 | 22 | 26 | 26.7 | 23.5 | 19.2 | 14.6 | 8.7 |

표 3을 보면 평균풍속은 1월과 12월에 3.9m/s의 가장 빠른 풍속을 보였고, 6월에 2.5m/s로 가장 느린 풍속을 보였다. 겨울철에 풍속이 빨라지고, 여름철에 풍속이 느렸음을 알 수 있었다.

표 3 제주 북부지역 평균풍속

[단위: m/s]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2014 | 3.6 | 3.5 | 3.6 | 3.1 | 3 | 2.8 | 2.5 | 2.9 | 2.6 | 3.1 | 3 | 5 |
| 2015 | 2.5 | 2.9 | 2.6 | 3.1 | 3 | 5 | 3.1 | 2.5 | 2.7 | 3.1 | 3 | 3.7 |
| 2016 | 3.9 | 3.7 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 3.1 | 2.5 | 2.7 | 3.1 | 3 | 3.7 |
| 평균 | 3.9 | 3.8 | 3.2 | 3 | 2.8 | 2.5 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 3 | 3.1 | 3.9 |

3.2 제주 동부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

3.2.1 동부지역 일조시간

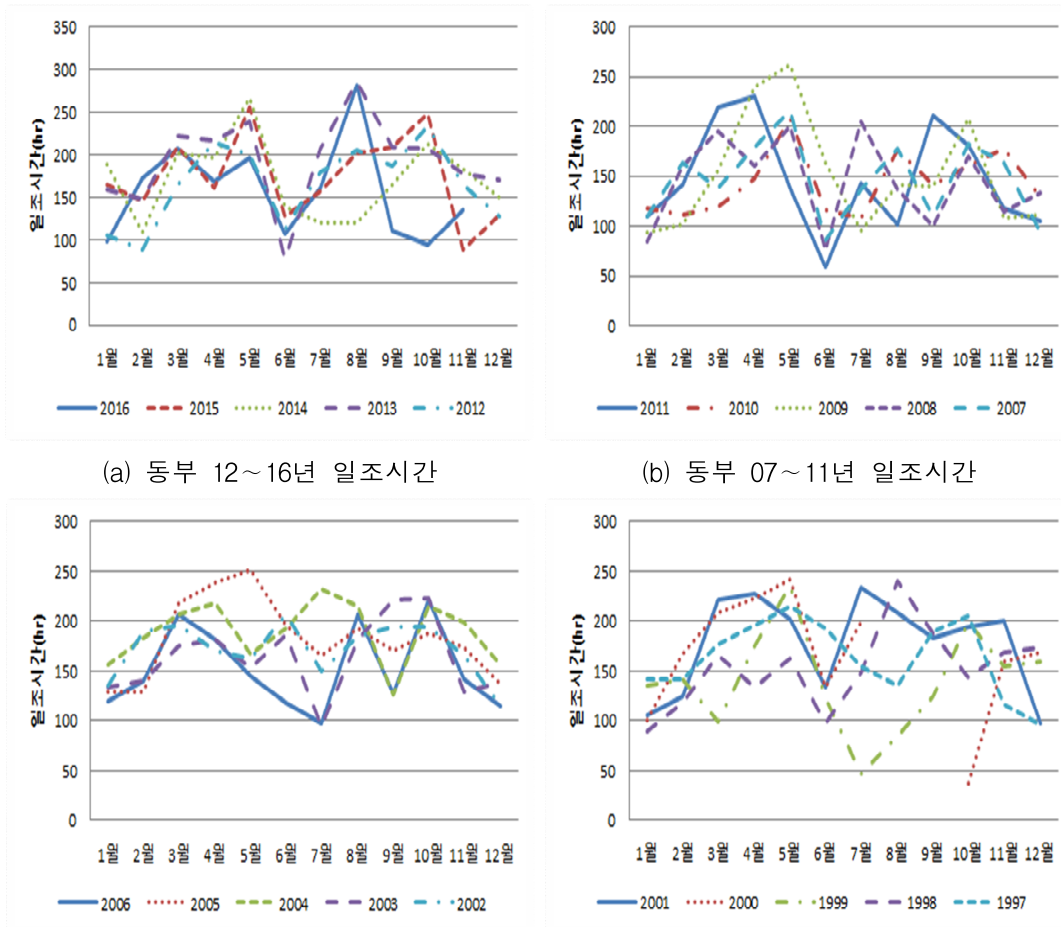
제주 동부지역 일조시간이 지난 20년간 어떻게 변해왔는지 분석을 해보았다. 표 4를 보면 일조시간이 가장 길었던 해는 2012년도 2325.6시간이었고 가장 짧았던 해는 1999년도 1676.4 간이었으며 이번 2016년은 다른 해에 비해 5월 일조시간이 짧았지만 8월 일조시간은 가장 길었던 것을 알 수 있었다.

표 4 제주 동부지역 20년간 일조시간

[단위: hour]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 합계 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2016 | 99.3 | 173.1 | 207.7 | 168.8 | 197.4 | 107.2 | 160.9 | 281.8 | 111.5 | 95.7 | 135.5 | | 1738.9 |
| 2015 | 165.8 | 146.8 | 210.3 | 161.6 | 255.4 | 128.3 | 157.4 | 202.7 | 209.2 | 248.8 | 89.3 | 130.0 | 2105.6 |
| 2014 | 189.4 | 109.7 | 202.7 | 196.6 | 267.2 | 138.5 | 121.1 | 120.7 | 165.7 | 213.3 | 183.4 | 150.8 | 2059.1 |
| 2013 | 159.7 | 149.3 | 222.6 | 216.4 | 239.5 | 78.8 | 207.3 | 286.3 | 209.9 | 207.4 | 178.2 | 170.2 | 2325.6 |
| 2012 | 106.4 | 89.9 | 165.8 | 214.9 | 201.2 | 112.8 | 180.0 | 205.5 | 187.7 | 233.2 | 165.0 | 128.7 | 1991.1 |
| 2011 | 110.6 | 142.4 | 219.0 | 231.2 | 138.5 | 58.9 | 143.9 | 101.3 | 212.3 | 181.6 | 117.9 | 105.5 | 1763.1 |
| 2010 | 117.5 | 111.0 | 120.1 | 147.4 | 208.7 | 116.8 | 108.1 | 177.3 | 141.5 | 161.2 | 178.4 | 129.7 | 1717.7 |
| 2009 | 94.5 | 101.6 | 156.1 | 240.5 | 263.1 | 163.8 | 95.2 | 141.7 | 140.2 | 208.7 | 108.6 | 112.1 | 1826.1 |
| 2008 | 84.4 | 160.9 | 195.5 | 161.0 | 200.0 | 76.6 | 205.1 | 137.5 | 99.6 | 170.7 | 115.4 | 134.5 | 1741.2 |
| 2007 | 109.2 | 164.2 | 137.8 | 179.6 | 216.3 | 85.5 | 137.1 | 177.8 | 110.1 | 182.5 | 164.1 | 94.0 | 1758.2 |
| 2006 | 119.7 | 139.7 | 207.3 | 181.4 | 145.3 | 118.5 | 97.3 | 206.5 | 127.4 | 221.1 | 141.5 | 115.1 | 1820.8 |
| 2005 | 129.5 | 128.6 | 217.3 | 238.7 | 250.7 | 195.3 | 164.7 | 192.1 | 170 | 187.2 | 173.6 | 136.1 | 2183.8 |
| 2004 | 155.5 | 183.2 | 207.1 | 218.3 | 167.5 | 192.9 | 232.9 | 214.3 | 125.3 | 214.1 | 199.6 | 155.8 | 2266.5 |
| 2003 | 133.3 | 140.4 | 175.7 | 181.3 | 153.0 | 186.8 | 93.3 | 180.9 | 220.6 | 222.5 | 129.0 | 139.1 | 1955.9 |
| 2002 | 135.3 | 188.7 | 195.2 | 171.0 | 161.8 | 206.1 | 149.6 | 183.8 | 194.4 | 194.3 | 164.8 | 114.6 | 2059.6 |
| 2001 | 105.7 | 124.5 | 221.0 | 228.0 | 201.9 | 133.6 | 233.2 | 208.4 | 183.2 | 194.5 | 200.9 | 96.6 | 2131.5 |
| 2000 | 99.6 | 166.5 | 208.0 | 221.9 | 241.8 | 133.9 | 198.6 | | | 37.2 | 159.4 | 169.4 | 1636.3 |
| 1999 | 135.3 | 142.3 | 98.9 | 174.5 | 235.8 | 122.1 | 47.1 | 84.1 | 123.4 | 199.1 | 154.1 | 159.7 | 1676.4 |
| 1998 | 89.6 | 117.2 | 164.7 | 133.1 | 163.0 | 97.7 | 147.6 | 240.2 | 187.7 | 142.6 | 168.6 | 173.1 | 1825.1 |
| 1997 | 142.1 | 142.2 | 176.0 | 196.1 | 215.5 | 192.0 | 155.1 | 135.7 | 190.0 | 204.8 | 116.1 | 95.8 | 1961.4 |

그림 8을 보면 동부지역은 1997년에서 2006년까지 일정한 패턴이 없이 일조시간이 들쭉날쭉 하다가 최근 5년간 1월에서 5월까지 일조시간이 증가하다가 6월에 다시 감소하고 다시 9월 증가면서 겨울에 접어들면서 감소하는 형태로 바뀌고 있다는 것을 알 수 있었다.



(a) 동부 12~16년 일조시간

(b) 동부 07~11년 일조시간

(c) 동부 02~06년 일조시간

(d) 동부 97~01년 일조시간

그림 8 제주 동부지역 20년 동안의 월 일조시간

3.2.2 동부지역 평균기온, 평균풍속

표 5를 보면 평균기온은 2014년 평균 18.8℃, 2015년 평균 19.3℃, 2016년 1월부터 9월까지 평균 24.7℃가 측정되었다. 평균기온이 가장 높았던 달은 각각 8월과 7월이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.

표 5 제주 동부지역 평균기온

[단위: ℃]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 2014 | 6.0 | 7.2 | 10.4 | 14.4 | 18.1 | 20.8 | 24.5 | 24.8 | 23.5 | 18.8 | 13.3 | 5.9 |
| 2015 | 6.2 | 6.4 | 9.4 | 13.9 | 18.0 | 20.6 | 23.9 | 25.9 | 22.5 | 18.2 | 14.6 | 9.2 |
| 2016 | 5.0 | 6.4 | 10.1 | 15.2 | 18.2 | 21.5 | 26.1 | 27.9 | 23.4 | | | |
| 평균 | 5.7 | 6.7 | 10.0 | 14.5 | 18.1 | 21.0 | 24.8 | 26.2 | 23.1 | 18.5 | 14.0 | 7.6 |

표 6을 보면 평균풍속은 1월과 10월에 3.2m/s의 가장 빠른 풍속을 보였고, 6월에 2.4m/s로 가장 느린 풍속을 보였다. 겨울철에 풍속이 빨라지고, 여름철에 풍속이 느렸음을 알 수 있었다.

표 6 제주 동부지역 평균풍속

[단위: m/s]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2014 | 3.1 | 3.8 | 3.7 | 3.1 | 3.0 | 2.6 | 2.5 | 3.5 | 3.1 | 3.4 | 2.8 | 3.2 |
| 2015 | 3.4 | 3.4 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.2 | 3.2 | 2.7 | 3.2 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| 2016 | 3.1 | 3.6 | 3.1 | 2.8 | 2.8 | 2.3 | 2.8 | 2.7 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 2.8 |
| 평균 | 3.2 | 3.6 | 3.2 | 2.9 | 2.8 | 2.4 | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 3.2 | 2.9 | 3.0 |

3.3 제주 남부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

3.3.1 남부지역 일조시간

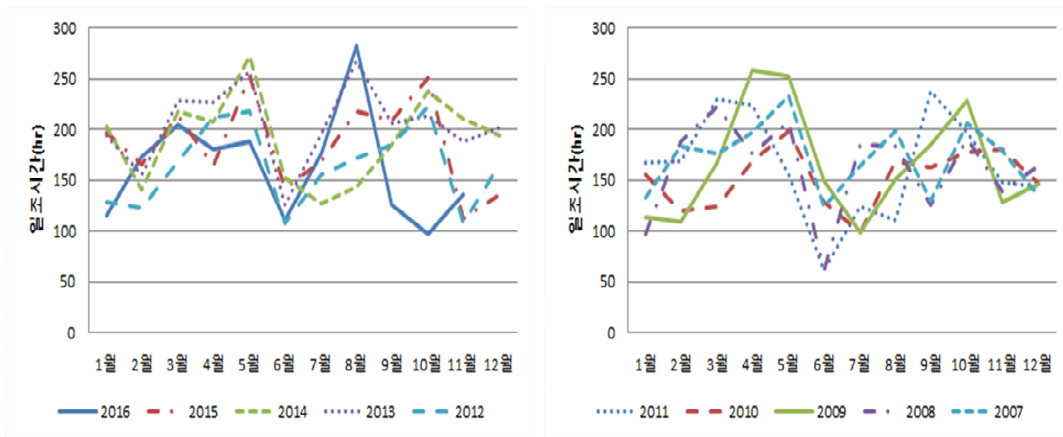
제주남부지역 일조시간이 지난 20년간 어떻게 변해왔는지 분석을 해보았다. 표 7을 보면 일조시간이 가장 길었던 해는 2013년 2462.8 시간이었고 가장 짧았던 해는 1998년 1923.6 시간 이었으며 이번 2016년도에는 지난 5년간 일조시간에 비해 일조시간이 많이 짧을 것으로 예상된다.

표 7 제주 남부지역 20년간 일조시간

[단위: hour]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 합계 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2016 | 115.2 | 173.8 | 205.5 | 180.6 | 189.1 | 110.9 | 176.7 | 282.7 | 126.0 | 97.9 | 136.5 | | 1794.9 |
| 2015 | 197.4 | 165.8 | 214.0 | 164.1 | 252.7 | 142.9 | 169.0 | 217.8 | 209.9 | 250.6 | 112.7 | 135.9 | 2232.8 |
| 2014 | 202.7 | 140.1 | 218.3 | 208.2 | 271.4 | 152.8 | 126.7 | 143.1 | 185.8 | 237.7 | 211.2 | 194.5 | 2292.5 |
| 2013 | 194.4 | 154.9 | 228.8 | 227.4 | 257.3 | 125.8 | 195.9 | 267.8 | 206.5 | 214.4 | 188.2 | 201.4 | 2462.8 |
| 2012 | 129.3 | 122.7 | 168.8 | 212.1 | 218.4 | 107.2 | 155.1 | 171.5 | 185.2 | 222.4 | 108.2 | 166.1 | 1967.0 |
| 2011 | 167.7 | 169.6 | 230.5 | 224.5 | 155.8 | 61.6 | 124.9 | 110.4 | 238.3 | 196.9 | 147.7 | 144.4 | 1972.3 |
| 2010 | 155.3 | 119.4 | 124.9 | 169.0 | 198.7 | 128.1 | 98.7 | 169.2 | 163.8 | 178.6 | 181.4 | 146.4 | 1833.5 |
| 2009 | 114.2 | 109.6 | 167.6 | 259.0 | 252.6 | 150.1 | 99.1 | 151.8 | 186.0 | 228.6 | 128.4 | 147.2 | 1994.2 |
| 2008 | 97.7 | 188.2 | 222.1 | 176.3 | 208.6 | 61.4 | 186.0 | 184.0 | 125.7 | 191.0 | 138.9 | 164.4 | 1944.3 |
| 2007 | 132.8 | 183.8 | 177.2 | 198.0 | 234.0 | 123.9 | 164.8 | 199.0 | 130.8 | 206.3 | 178.8 | 134 | 2063.4 |
| 2006 | 146.5 | 137.0 | 219.9 | 189.3 | 152.0 | 145.4 | 107.8 | 241.0 | 158.3 | 247.0 | 149.0 | 150.2 | 2043.4 |
| 2005 | 160.1 | 114.6 | 210.4 | 219.4 | 244.3 | 182.8 | 138.0 | 164.7 | 182.7 | 209.2 | 171.1 | 152.7 | 2150.0 |
| 2004 | 180.9 | 193.0 | 187.0 | 206.2 | 165.5 | 175.0 | 191.0 | 241.2 | 131.9 | 240.8 | 213.1 | 163.4 | 2289.0 |
| 2003 | 159.9 | 137.6 | 180.1 | 169.6 | 139.5 | 168.0 | 57.7 | 163.5 | 221.8 | 233.0 | 142.6 | 177.2 | 1950.5 |
| 2002 | 177.6 | 197.7 | 177.1 | 125.7 | 145.5 | 190.2 | 114.0 | 153.6 | 200.3 | 207.9 | 177.3 | 142.6 | 2009.5 |
| 2001 | 137.9 | 126.9 | 207.3 | 202.3 | 128.1 | 69.3 | 158.2 | 206.9 | 204.0 | 207.0 | 205.7 | 117.8 | 1971.4 |
| 2000 | 120.2 | 190.5 | 219.9 | 197.5 | 169.3 | 93.5 | 150.7 | 176.0 | 174.0 | 161.7 | 172.6 | 173.2 | 1999.1 |
| 1999 | 178.7 | 167.4 | 100.2 | 190.0 | 250.8 | 145.8 | 103.5 | 95.8 | 133.6 | 194.2 | 178.7 | 192.8 | 1931.5 |
| 1998 | 128.8 | 131.9 | 158.2 | 138.7 | 164.9 | 112.9 | 149.2 | 178.8 | 198.4 | 158.1 | 192.7 | 211.0 | 1923.6 |
| 1997 | 159.2 | 148.1 | 169.6 | 188.3 | 195.2 | 179.7 | 140.5 | 143.7 | 186.7 | 231.4 | 130.1 | 129.6 | 2002.1 |

그림 9를 보면 제주남부지역은 최근 5년 전까지는 일조시간의 패턴이 정형화 되지 않았다가, 최근부터 1월부터 5월까지 일조시간이 서서히 증가를 하는데 4월에 일조시간이 감소하였으며 다시 8월까지 증가하였으며 9월에 다시 낮아지고 10월에 증가하였다가 감소하는 패턴을 보이고 있다.



(a) 남부 12~16년 일조시간

(b) 남부 07~11년 일조시간



(c) 남부 02~06년 일조시간

(d) 남부 97~01년 일조시간

그림 9 제주 남부지역 20년 동안의 월 일조시간

3.3.2 남부지역 평균기온, 평균풍속

표 8을 보면 평균기온은 2014년 평균 19.9℃, 2015년 평균 19.8℃, 2016년 1월부터 9월까지 평균 24.7℃가 측정되었다. 평균기온이 가장 높았던 달은 8월이고 그다음으로는 7월이 가장 높았다.

표 8 제주 남부지역 평균기온

[단위: ℃]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2014 | 8.2 | 8.6 | 11.9 | 15.7 | 19.5 | 21.6 | 25.3 | 25.5 | 24.3 | 20.1 | 15 | 7.7 |
| 2015 | 8.4 | 8.1 | 11.1 | 15.0 | 19.0 | 21.2 | 24.2 | 26.2 | 22.8 | 18.9 | 15.4 | 10.1 |
| 2016 | 6.2 | 7.4 | 11.1 | 15.8 | 18.9 | 21.7 | 25.8 | 27.7 | 23.7 | | | |
| 평균 | 7.6 | 8.0 | 11.4 | 15.5 | 19.1 | 21.5 | 25.1 | 26.5 | 23.6 | 19.5 | 15.2 | 8.9 |

표 9를 보면 평균풍속은 10월에 2.4m/s의 가장 빠른 풍속을 보였고, 7월에 2.0m/s로 가장 느린 풍속을 보였다. 남부지역은 다른 지역보다 풍속이 느렸고, 모든 달에서 2.0m/s를 전후로 느린 풍속을 보였다.

표 9 제주 남부지역 평균풍속

[단위: m/s]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2014 | 2.1 | 2.8 | 2.3 | 2.4 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.9 | 2.6 | 2.9 | 2.0 | 2.3 |
| 2015 | 2.3 | 2.1 | 2.1 | 2.3 | 1.8 | 1.9 | 2.3 | 2 | 2.5 | 2.1 | 1.9 | 1.7 |
| 2016 | 1.6 | 1.9 | 1.7 | 1.8 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 2.1 | 1.6 | 1.5 |
| 평균 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.2 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 1.8 | 1.8 |

3.4 제주 서부지역 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

3.4.1 서부지역 일조시간

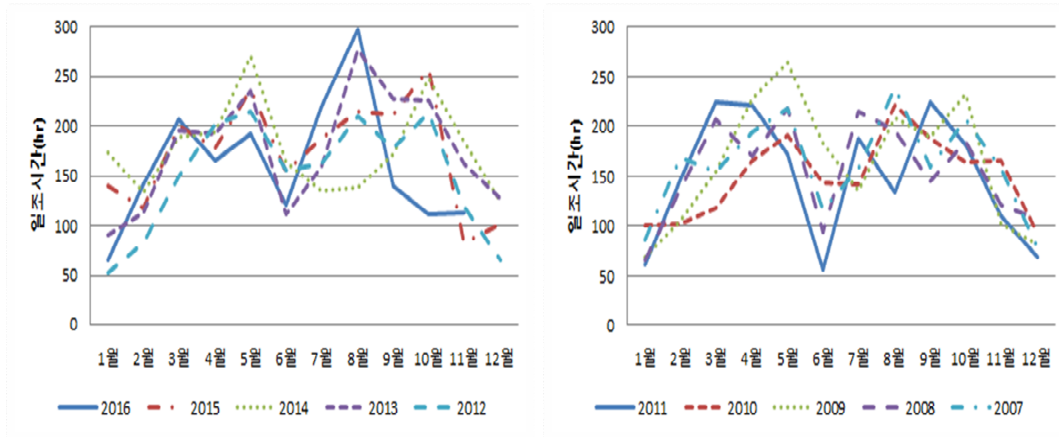
제주서부지역 일조시간이 지난 20년간 어떻게 변해왔는지 분석을 해보았다. 표 10을 보면 일조시간이 가장 길었던 해는 2004년 2139.4 시간이었고 가장 짧았던 해는 2003년 1756.3 시간 이었으며 이번 2016년도는 최근 4년간 2000 시간이 넘었던 것에 반해 2000 시간을 못 채울 것으로 예상된다.

표 10 제주 서부지역 20년간 일조시간

[단위: hour]

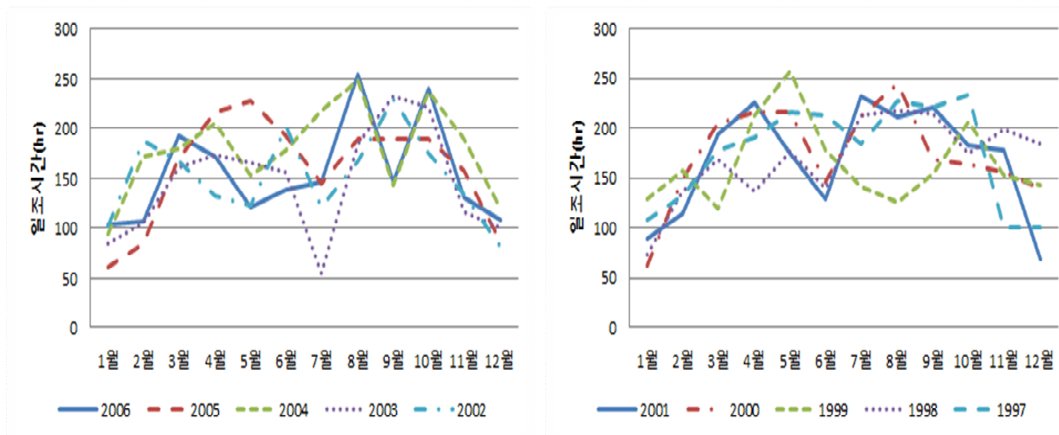
| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 합계 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2016 | 65.3 | 142.2 | 207.2 | 165.6 | 193.0 | 121.2 | 218.9 | 296.7 | 140.0 | 111.7 | 112.6 | | 1774.4 |
| 2015 | 140.1 | 118.3 | 200.3 | 178.7 | 236.9 | 153.9 | 188.4 | 214.3 | 211.4 | 257.4 | 82.6 | 101.5 | 2083.8 |
| 2014 | 173.4 | 133.2 | 189.6 | 194.4 | 270.0 | 163.4 | 134.9 | 137.7 | 172.3 | 248.1 | 185.3 | 124.5 | 2126.8 |
| 2013 | 91.5 | 113.1 | 195.6 | 191.7 | 235.0 | 111.7 | 159.9 | 276.8 | 228 | 226.6 | 161.9 | 128.0 | 2119.8 |
| 2012 | 52.4 | 82.7 | 150.0 | 202.1 | 214.1 | 156 | 162.5 | 209.4 | 177.7 | 212.4 | 119.4 | 65.1 | 1803.8 |
| 2011 | 60.5 | 146.6 | 223.9 | 221.3 | 171.8 | 55.9 | 188.4 | 133 | 223.9 | 181.2 | 109.3 | 68.8 | 1784.6 |
| 2010 | 100.6 | 102.2 | 117.7 | 164.8 | 190.7 | 142.9 | 142.1 | 220.7 | 187.1 | 163.7 | 165.0 | 91.8 | 1789.3 |
| 2009 | 68.5 | 105.4 | 154.0 | 228.2 | 263.4 | 182.6 | 134.8 | 208.3 | 188.7 | 232.8 | 102.2 | 81.7 | 1950.6 |
| 2008 | 65.6 | 137.6 | 206.3 | 170.3 | 217.1 | 93.4 | 215.2 | 195.9 | 145.4 | 184.7 | 121.1 | 107.3 | 1859.9 |
| 2007 | 85.3 | 168.9 | 154.5 | 194.2 | 218.0 | 116.9 | 156.8 | 238.3 | 159.1 | 207.3 | 157.7 | 77.4 | 1934.4 |
| 2006 | 104.0 | 107.0 | 191.7 | 172.2 | 121.8 | 138.8 | 146.8 | 254.5 | 147.2 | 240.4 | 130.0 | 107.9 | 1862.3 |
| 2005 | 61.1 | 83.7 | 170.8 | 216.9 | 228.2 | 192.8 | 144.9 | 188.6 | 188.9 | 189.1 | 158 | 86.7 | 1909.7 |
| 2004 | 94.3 | 172.5 | 179.5 | 205.8 | 152.5 | 177.8 | 217.9 | 248.7 | 143.3 | 237.5 | 189.4 | 120.2 | 2139.4 |
| 2003 | 84.1 | 105.1 | 161 | 173.7 | 165.9 | 155.9 | 55.0 | 184.3 | 232.5 | 221.2 | 116.7 | 100.9 | 1756.3 |
| 2002 | 102.0 | 187.0 | 167.1 | 132.7 | 123.2 | 201.3 | 121.7 | 166.6 | 229.5 | 175.1 | 134.2 | 80.8 | 1821.2 |
| 2001 | 88.6 | 115.4 | 194.8 | 226.0 | 175.3 | 128.3 | 231.8 | 211.9 | 220.6 | 183.6 | 177.5 | 69.3 | 2023.1 |
| 2000 | 62.6 | 149.0 | 205.8 | 217.0 | 216.0 | 146.7 | 211.6 | 244.8 | 168.8 | 164.4 | 156.7 | 140.3 | 2083.7 |
| 1999 | 128.7 | 158.3 | 119.9 | 212.9 | 257.5 | 178.2 | 142.1 | 126.2 | 154.1 | 206.1 | 153.3 | 143.6 | 1980.9 |
| 1998 | 73.4 | 137.0 | 168.2 | 136.8 | 177.3 | 140.1 | 212.7 | 218.3 | 214.9 | 174.4 | 198.9 | 183.9 | 2035.9 |
| 1997 | 108.6 | 132.4 | 178.2 | 190.6 | 215.8 | 213.7 | 184.2 | 227.7 | 221.3 | 233.5 | 100.9 | 100.8 | 2107.7 |

그림 10을 보면 제주 서부지역도 최근 5년 전까지는 일정한 패턴 없이 일조시간이 각 년도 별로 달랐었다가 최근 5년야 일정한 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 최근 5년간에는 250시간이 넘는 일조시간을 많이 보이고 있다.



(a) 서부 12~16년 일조시간

(b) 서부 07~11년 일조시간



(c) 서부 02~06년 일조시간

(d) 서부 97~01년 일조시간

그림 10 제주 서부지역 20년 동안의 월 일조시간

3.4.2 서부지역 평균기온, 평균풍속

표 11을 보면 평균기온은 2014년 평균 19.0℃, 2015년 평균 19.2℃, 2016년 1월부터 9월까지 평균 24.6℃가 측정되었다. 평균기온이 가장 높았던 달은 8월이고 그다음으로는 7월이 가장 높았다.

표 11 제주 서부지역 평균기온

[단위 : ℃]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 2014 | 6.5 | 6.6 | 9.7 | 13.8 | 17.3 | 20.8 | 24.2 | 24.4 | 23.1 | 19 | 14.1 | 7.1 |
| 2015 | 6.9 | 6.5 | 9.4 | 13.3 | 16.8 | 20.0 | 23.8 | 25.6 | 22.3 | 18.6 | 14.6 | 9.5 |
| 2016 | 5.6 | 6.7 | 9.7 | 14.2 | 17.5 | 21.1 | 26.1 | 27.7 | 23.4 | | | |
| 평균 | 6.3 | 6.6 | 9.6 | 13.8 | 17.2 | 20.6 | 24.7 | 25.9 | 22.9 | 18.8 | 14.4 | 8.3 |

표 12를 보면 평균풍속은 1월에 9.0m/s의 가장 빠른 풍속을 보였고, 6월에 4.2m/s로 가장 느린 풍속을 보였다. 서부지역은 다른 지역보다 풍속이 2~3배 이상 빨랐으며, 제주도에서 가장 빠른 풍속을 보였다. 여름철과 겨울철에 2배 이상 차이나는 것을 확인할 수 있었다.

표 12 제주 서부지역 평균풍속

[단위 : m/s]

| 년 \ 월 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 2014 | 8.2 | 6.6 | 8 | 5.9 | 5.2 | 4.1 | 5.1 | 5.3 | 4.6 | 5.8 | 6.9 | 11.1 |
| 2015 | 9.6 | 9.0 | 6.7 | 5.7 | 5.3 | 4.2 | 4.8 | 4.4 | 4.6 | 6.0 | 6.4 | 8.1 |
| 2016 | 9.3 | 9.7 | 6.0 | 5.6 | 5.3 | 4.4 | 5.0 | 4.4 | 4.2 | 5.7 | 7.0 | 7.5 |
| 평균 | 9.0 | 8.4 | 6.9 | 5.7 | 5.3 | 4.2 | 5.0 | 4.7 | 4.5 | 5.8 | 6.8 | 8.9 |

3.5 최근 5년간 지역별 일조시간

표 13과 그림 11을 보면 최근 5년간(2012년 ~ 2016년) 제주지역 월별 평균 일조시간은 겨울철 및 봄철은 남부지역 일조시간이 길고, 여름철과 가을철에는 서부지역의 일조시간이 긴 것을 확인할 수 있으며, 총 일조시간 합계를 보면 남부지역의 일조시간이 가장 길고, 그 다음으로 동부지역, 서부지역, 북부지역 순인 것을 확인할 수 있다.

표 13 최근 5년간 지역별 평균 일조시간

[단위: hour]

| 월 년 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 합계 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 제주북부 | 85.1 | 90.3 | 175.4 | 184.5 | 234.0 | 130.4 | 192.3 | 196.8 | 166.9 | 166.2 | 98.7 | 65.5 | 1786.0 |
| 제주동부 | 144.1 | 133.8 | 201.8 | 191.7 | 232.1 | 113.1 | 165.3 | 219.4 | 176.8 | 199.7 | 150.3 | 144.9 | 2073.0 |
| 제주남부 | 167.8 | 151.5 | 207.1 | 198.5 | 237.8 | 127.9 | 164.7 | 216.6 | 182.7 | 204.6 | 151.4 | 174.5 | 2184.9 |
| 제주서부 | 104.5 | 117.9 | 188.5 | 186.5 | 229.8 | 141.2 | 172.9 | 227.0 | 185.9 | 211.2 | 132.4 | 104.8 | 2002.7 |

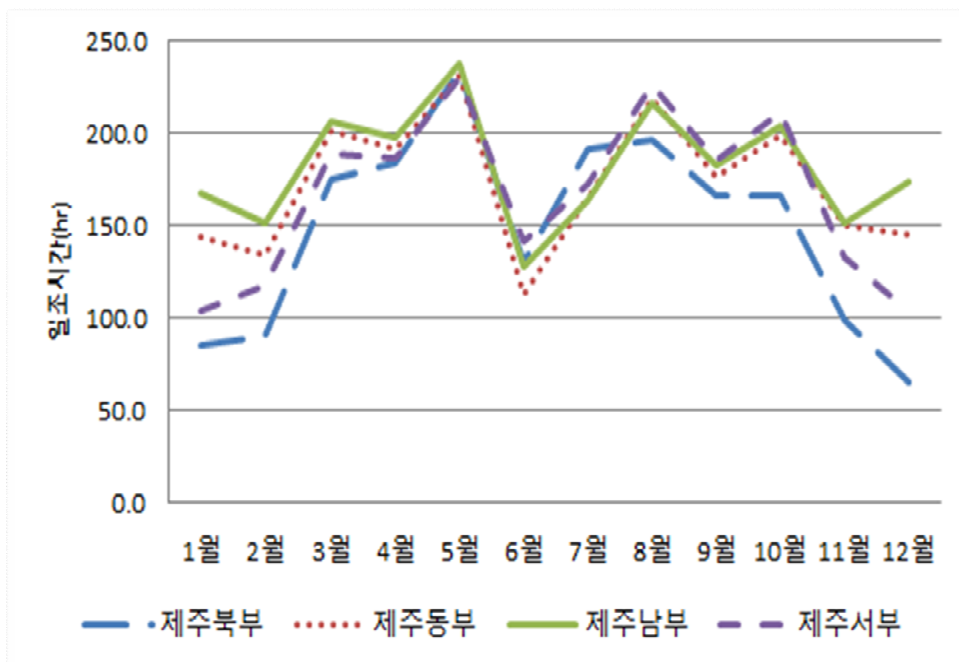


그림 11 최근 5년간 지역별 평균 일조시간

IV. 제주도내 지역별 태양광발전소의 발전특성 분석

4.1 태양광발전소들의 지역 구분

제주도의 한라산을 기준으로 동, 서, 남, 북 4개 지역으로 나누어서 분류하였다. 표 14를 보면 각각의 발전소는 총 2년간의 발전 데이터를 얻을 수 있는 0.5MW급 이상의 태양광발전소로 분석을 하였으며 기간은 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 실제 발전데이터를 분석하였다.

표 14 제주지역 태양광발전소 분류

| 지역 분류 | 발전소 | 용량(MW) |
|--------|---------|--------|
| 제주북부지역 | 북부A 발전소 | 1.098 |
| | 북부B 발전소 | 1.208 |
| | 북부C 발전소 | 0.460 |
| | 북부D 발전소 | 0.990 |
| 제주동부지역 | 동부A 발전소 | 0.988 |
| | 동부B 발전소 | 0.998 |
| | 동부C 발전소 | 0.950 |
| | 동부D 발전소 | 0.647 |
| | 동부E 발전소 | 0.506 |
| 제주남부지역 | 남부A 발전소 | 0.995 |
| | 남부B 발전소 | 1.703 |
| | 남부C 발전소 | 0.500 |
| | 남부D 발전소 | 0.490 |
| | 남부E 발전소 | 0.490 |
| | 남부F 발전소 | 0.900 |
| 제주서부지역 | 서부A 발전소 | 0.998 |
| | 서부B 발전소 | 0.998 |
| | 서부C 발전소 | 0.450 |
| | 서부D 발전소 | 0.546 |
| | 서부E 발전소 | 0.518 |
| | 서부F 발전소 | 0.599 |
| | 서부G 발전소 | 0.500 |

4.2 제주 북부지역 태양광발전소의 발전특성

4.2.1 북부지역 태양광발전소의 이용률 분석

제주북부지역 4곳의 태양광발전소의 이용률을 분석을 해보았다. 그림 12를 보면 북부지역 C 태양광발전소를 제외하고는 거의 같은 이용률 패턴을 보였으며 12월에서부터 5월까지 이용률이 증가하였다가 여름철에 약 20%의 이용률을 보이다가 겨울철에는 평균 5%의 이용률을 보였다. 북부 C 발전소 같은 경우는 2015년 5월에 29%의 높은 이용률을 보였으며, 겨울철을 제외하면 20%이상의 높은 이용률을 보였다.

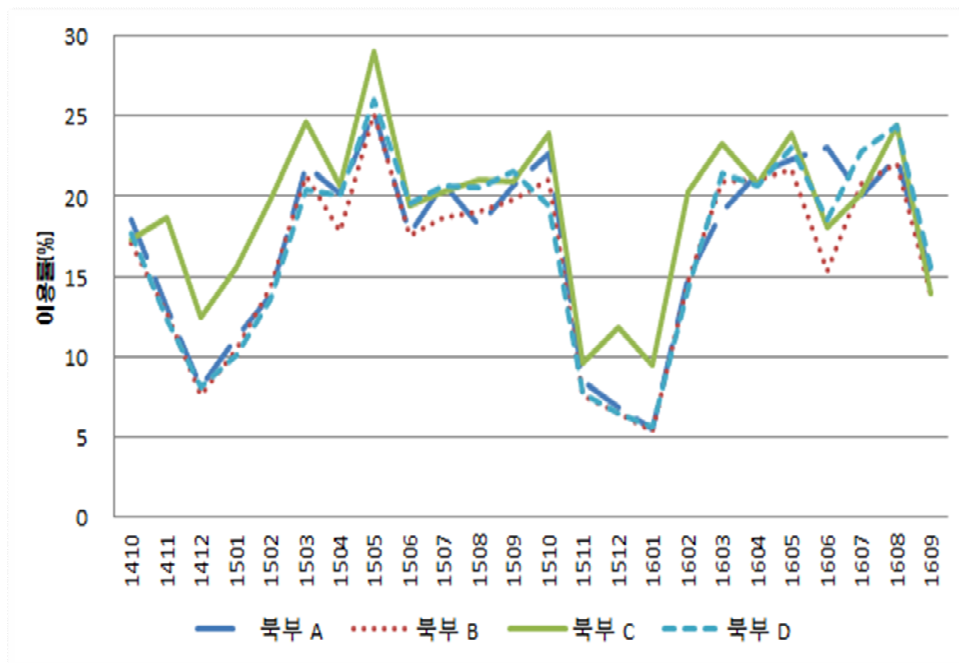


그림 12 제주 북부지역 각 태양광발전소의 이용률

4.2.2 제주 북부지역 태양광발전소 평균 이용률

제주북부지역의 총 4곳의 발전소의 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 발전량을 분석하여 각 발전소의 설비용량 대비 시간 평균 발전량의 비인 이용률을 구하여 분석하였다. 표 15와 그림 13을 분석한 결과 2015년 5월 26%로 이용률이 가장 높았으며 5월 평균 이용률도 25%로 가장 높았음을 알 수 있었다. 가장 낮은 이용률을 보인 달은 12월로 평균 8%의 이용률을 보였다.

표 15 제주 북부지역 태양광발전소 이용률

[단위: %]

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2014.10~2015.09 | 18 | 14 | 9 | 12 | 15 | 22 | 20 | 26 | 19 | 20 | 20 | 21 |
| 2015.10~2016.09 | 22 | 8 | 8 | 6 | 16 | 21 | 21 | 23 | 19 | 21 | 23 | 15 |
| 평균 | 20 | 11 | 8 | 9 | 16 | 22 | 20 | 25 | 19 | 21 | 22 | 18 |

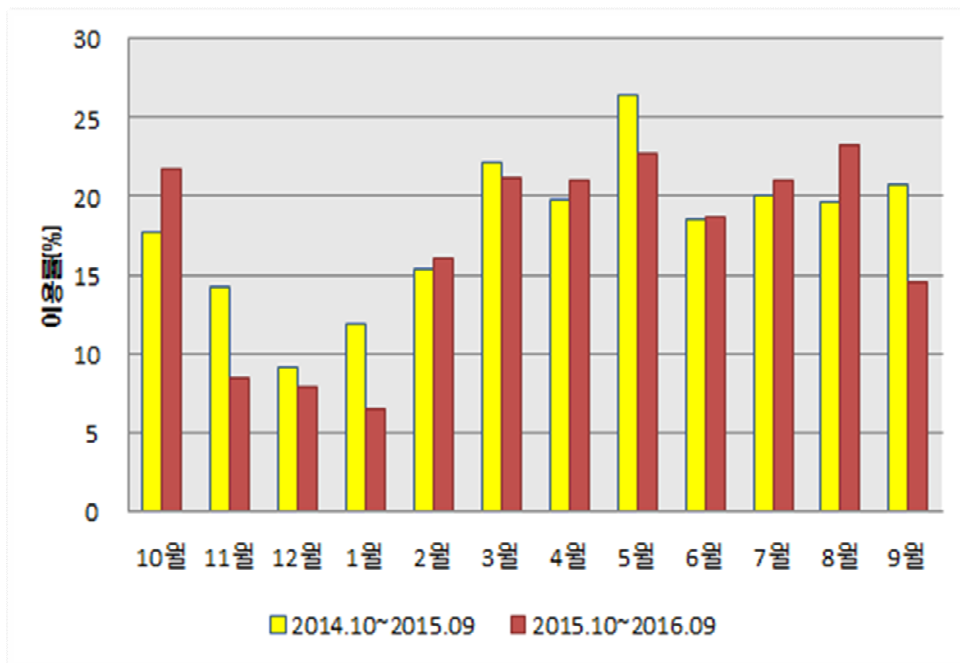


그림 13 제주 북부지역 태양광발전소 평균 이용률

4.2.3 제주 북부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

2014년 10월부터 2016년 9월까지의 북부지역 총 4곳의 태양광발전소 평균이용률과 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 분석해 보았다. 그림 14를 보면 이용률은 일조시간에 비례하여 추종함을 알 수 있는데, 겨울철과 6월에는 일조시간에 비해 많은 이용률이 나왔고 여름철에는 일조시간에 비해 적은 이용률이 나왔다. 여름철 이용률이 낮게 나오는 이유 중 하나는 2.1.2절에서 기술한바와 같이 태양전지의 온도증가에 따른 출력저하로 보인다. 즉, 여름철 대기온도의 증가로 인해 태양전지의 온도가 증가한 것으로 보인다. 또 다른 이유는 태양전지판의 경사면의 각도가 봄, 가을철 최대출력이 나오도록 결정되기 때문인 것으로 보인다.

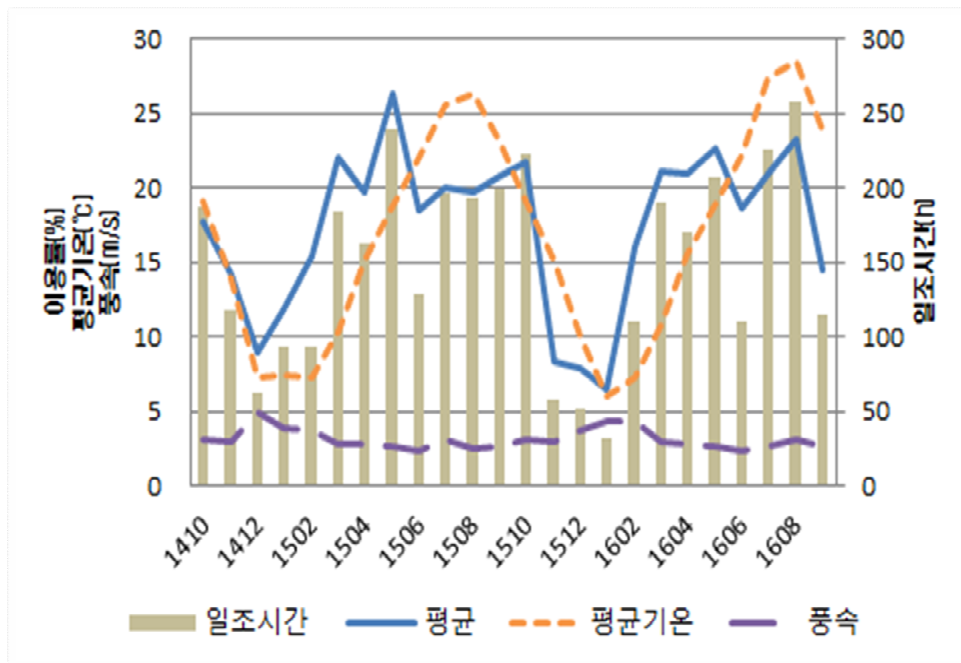


그림 14 제주 북부지역 평균 이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속

4.2.4 북부지역 일조시간에 따른 이용률 예측

북부지역 최근 2년간 일조시간, 20년간 평균 일조시간과 태양광발전소의 평균 이용률을 확인을 해보았다. 표 16과 그림 15를 보면 최근 2년간 일조시간은 여름철에는 길었고, 겨울철에는 짧은 것을 확인해 볼 수 있었다. 향후 일조시간은 여름철에는 짧아지고, 겨울철에는 길어지며 이용률은 여름철에는 낮아지고, 겨울철에는 증가할 것으로 예측된다.

표 16 북부지역 이용률과 일조시간

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 태양광발전소 2년간 이용률[%] | 20 | 11 | 8 | 9 | 16 | 22 | 20 | 25 | 19 | 21 | 22 | 18 |
| 2년간 월 평균 일조시간[h] | 205 | 88 | 57 | 63 | 102 | 187 | 167 | 224 | 120 | 211 | 226 | 157 |
| 20년간 월 평균 일조시간[h] | 171 | 115 | 77 | 69 | 109 | 169 | 191 | 209 | 154 | 185 | 188 | 158 |
| 이용률 전망 | ↓ | ↑ | ↑ | - | - | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↓ | - |

↑ : 향후 일조시간이 감소 될 것으로 보아 이용률 감소 전망
↓ : 향후 일조시간이 증가 할 것으로 보아 이용률 상승 전망

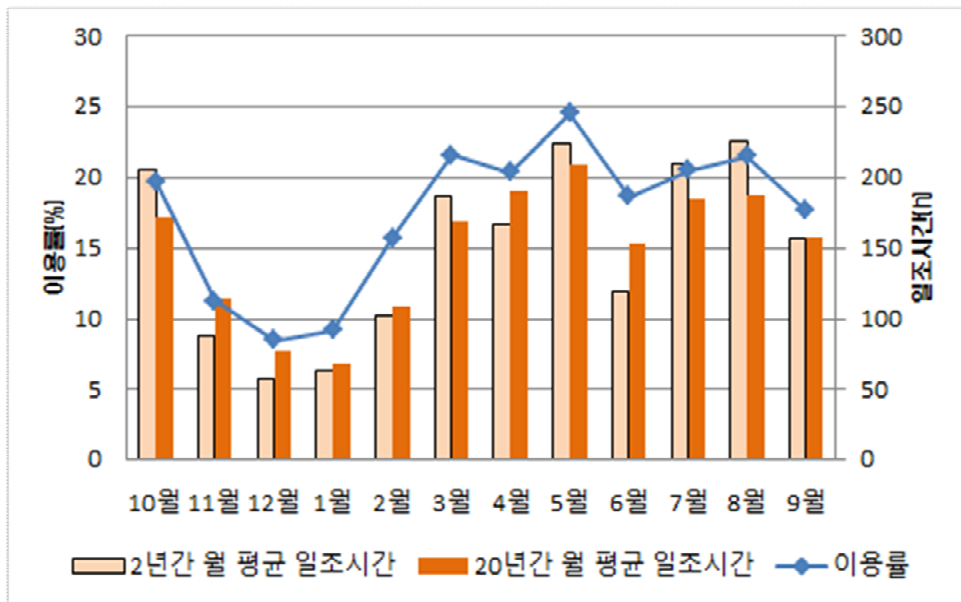


그림 15 북부지역 이용률과 일조시간

4.3 제주 동부지역 태양광발전소의 발전특성

4.3.1 동부지역 태양광발전소의 이용률 분석

동부지역 총 5곳의 태양광발전소의 이용률을 분석해 보았다. 그림 16을 보면 거의 비슷한 패턴으로 이용률이 나왔지만 각각의 이용률 편차가 큰 것을 알 수 있었다. 이용률의 편차가 심한 것을 고려 할 때 동부지역의 태양광발전소의 위치가 이용률에 미치는 바가 큰 것으로 보인다. 가장 좋은 이용률을 보인 발전소는 동부 A 태양광발전소로 제일 낮은 이용률을 보인 동부 F 태양광발전소보다 10% 이상의 이용률을 보였다.

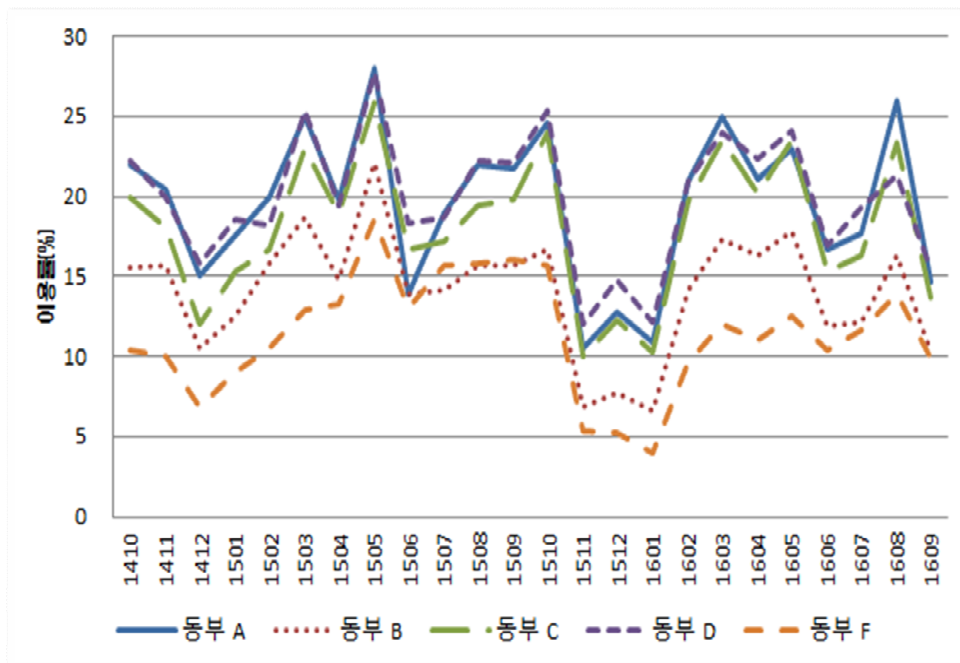


그림 16 제주 동부지역 각 태양광발전소의 이용률

4.3.2 제주 동부지역 태양광발전소 평균 이용률

동부지역의 경우 총 5곳의 발전소에 대해 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 발전량을 분석하여 이용률을 구하였다. 표 17과 그림 17을 보면서 분석한 결과 2015년 5월 21%로 이용률이 가장 높았으며 5월 발전소들의 평균 이용률도 19%로 가장 높았음을 알 수 있었다. 가장 낮은 이용률을 보인 달은 12월과 1월로 평균 9%의 이용률을 보였다.

표 17 제주 동부지역 태양광발전소 이용률

[단위: %]

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2014.10~2015.09 | 16 | 15 | 10 | 12 | 15 | 18 | 15 | 21 | 13 | 14 | 16 | 16 |
| 2015.10~2016.09 | 18 | 8 | 8 | 7 | 15 | 17 | 16 | 17 | 13 | 13 | 18 | 11 |
| 평균 | 17 | 11 | 9 | 10 | 15 | 18 | 16 | 19 | 13 | 14 | 17 | 14 |

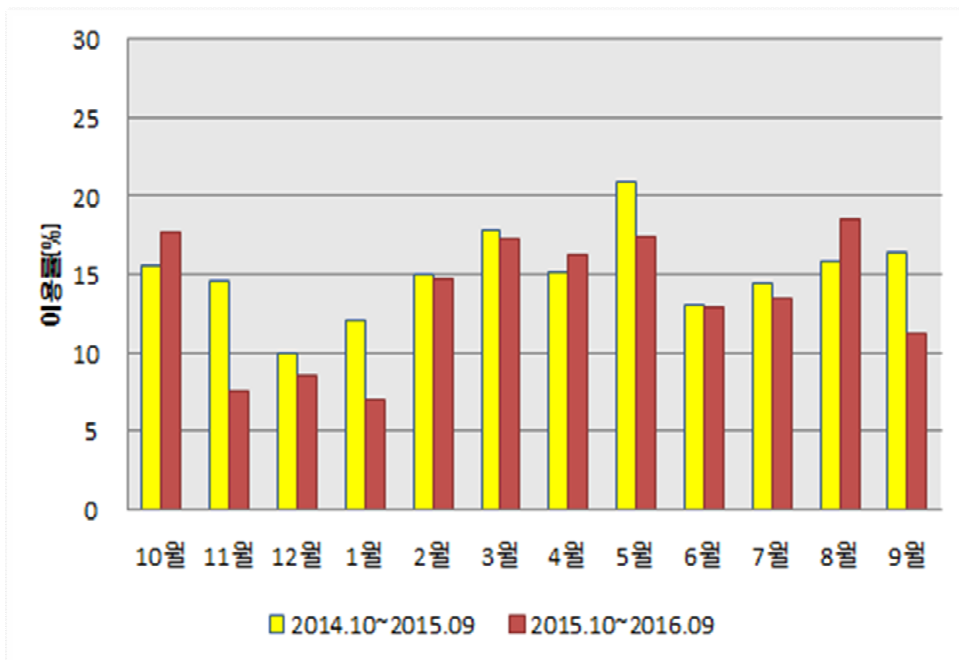


그림 17 제주 동부지역 태양광발전소 평균 이용률

4.3.3 제주 동부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

2014년 10월부터 2016년 9월까지의 동부지역 총 6곳의 태양광발전소 평균이용률과 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 분석해 보았다. 그림 18을 보면 동부지역은 평균이용률로는 일조시간과의 관계를 분석하기 어려웠기 때문에 기상대와 가장 근접한 동부 A 태양광발전소로 분석을 해보았다. 이용률은 일조시간과 비례하며 추종함을 알 수 있었고 2015년 5월이 가장 높은 이용률을 보였으며, 겨울철에 가장 낮은 이용률을 보였다. 여름철 일조시간에 비해 낮은 이용률을 보이는 데 이것은 기온의 증가로 인한 태양전지의 출력저하로 보인다.

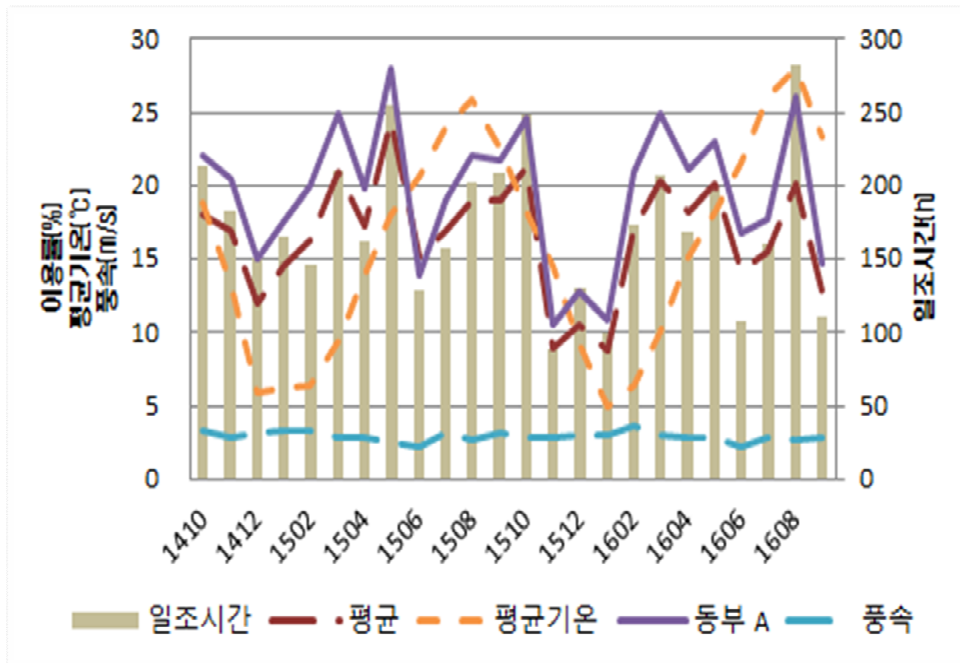


그림 18 제주 동부지역 평균이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속

4.3.4 동부지역 일조시간에 따른 이용률 예측

동부지역 최근 2년간 일조시간, 20년간 평균 일조시간과 태양광발전소의 평균 이용률을 확인을 해보았다. 표 18과 그림 19를 보면 11월, 4월, 6월 및 9월을 제외하고는 최근 2년간 일조시간이 20년간보다 좋을 것을 볼 수 있었다. 일조시간 11월, 4월, 6월 및 9월은 향후 일조시간이 길어지고, 나머지 달은 짧아질 것으로 예측되며, 이용률도 마찬가지로 감소하고, 증가할 것으로 예측된다.

표 18 동부지역 이용률과 일조시간

| 년월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 태양광발전소 2년간 이용률[%] | 17 | 11 | 9 | 10 | 15 | 18 | 16 | 19 | 13 | 14 | 17 | 14 |
| 2년간 월 평균 일조시간[h] | 231 | 136 | 140 | 133 | 160 | 209 | 165 | 226 | 118 | 159 | 242 | 160 |
| 20년간 월 평균 일조시간[h] | 186 | 152 | 132 | 124 | 141 | 185 | 193 | 206 | 132 | 152 | 183 | 164 |
| 이용률 전망 | ↓ | ↑ | ↓ | - | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | - | ↓ | - |

↑ : 향후 일조시간이 감소 될 것으로 보아 이용률 감소 전망
 ↓ : 향후 일조시간이 증가 할 것으로 보아 이용률 상승 전망

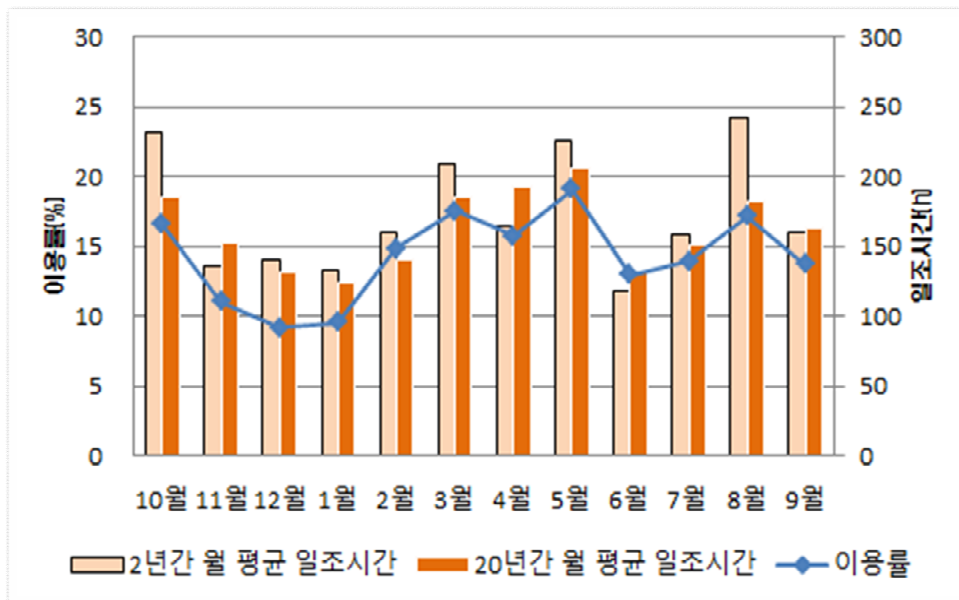


그림 19 동부지역 이용률과 일조시간

4.4 제주 남부지역 태양광발전소의 발전 특성

4.4.1 남부지역 태양광발전소의 이용률 분석

제주 남부지역 총 6개의 태양광발전소 이용률을 분석해보았다. 그림 20을 보면 남부지역의 겨우 각 태양광발전소 별로 편차가 심하게 나타나지는 않았으며, 남부C 태양광발전소 같은 경우 7월, 8월 이용률이 20%를 넘었음을 알 수 있었다. 이용률은 봄철이 가장 좋았고 겨울철에는 10%이상의 이용률을 보인 곳이 3곳이나 되었다.

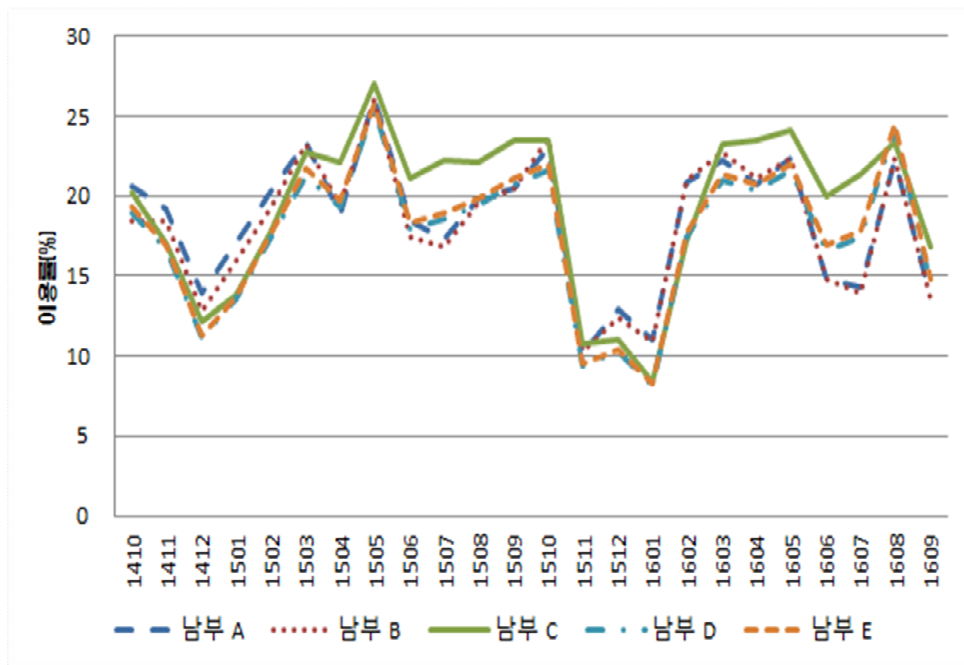


그림 20 제주 남부지역 각 태양광발전소의 이용률

4.4.2 제주 남부지역 태양광발전소 평균 이용률

남부지역의 총 6곳의 발전소의 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 발전량을 분석하여 각 발전소의 설비용량 대비 발전량의 이용률을 구하여 분석하였다. 표 19와 그림 21을 분석한 결과 2015년 5월 26 %로 이용률이 가장 높았으며 5월 평균 이용률도 24%로 가장 높았음을 알 수 있었다. 가장 낮은 이용률을 보인 달은 12월과 1월로 평균 12 %의 이용률을 보였다.

표 19 제주 남부지역 태양광발전소 이용률

[단위 : %]

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2014.10~ 2015.09 | 19 | 18 | 12 | 15 | 18 | 22 | 20 | 26 | 19 | 19 | 20 | 21 |
| 2015.10~ 2016.09 | 23 | 10 | 11 | 9 | 19 | 22 | 21 | 22 | 17 | 17 | 23 | 15 |
| 평균 | 21 | 14 | 12 | 12 | 19 | 22 | 21 | 24 | 18 | 18 | 22 | 18 |

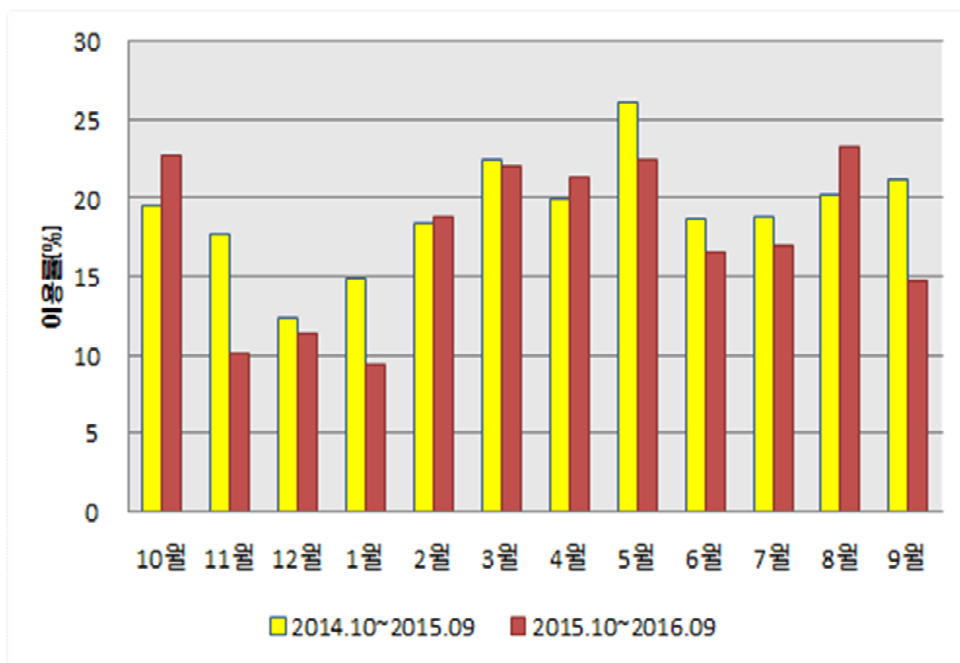


그림 21 제주 남부지역 태양광발전소 평균 이용률

4.2.3 제주 남부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

2014년 10월부터 2016년 9월까지의 남부지역 총 5곳의 태양광발전소 평균이용률과 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 분석해 보았다. 그림 22를 보면 남부지역 평균이용률도 일조시간과 비례하여 추종함을 알 수 있었다. 2014년 10월부터 2015년 1월까지 일조시간이 좋았음에도 이용률이 안 좋았음을 알 수 있었다. 이에 대한 원인은 별도의 추가적인 연구가 필요할 것으로 보이며, 여름철 같은 경우 일조시간이 좋았음에도 이용률이 낮을 것을 확인할 수 있다.

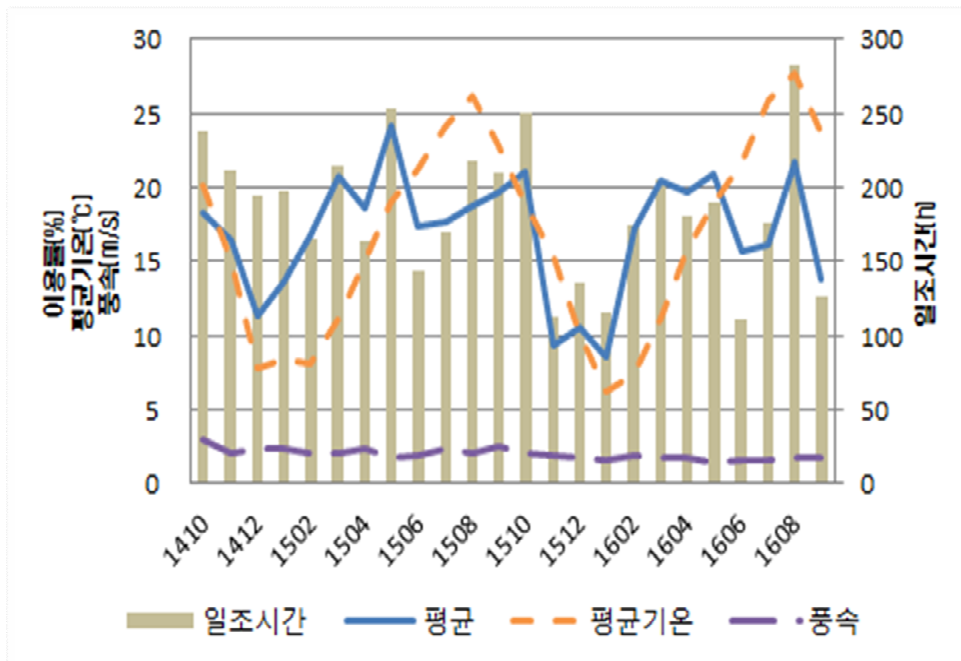


그림 22 제주 남부지역 평균이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속

4.4.4 남부지역 일조시간에 따른 이용률 예측

남부지역 최근 2년간 일조시간, 20년간 평균 일조시간과 태양광발전소의 평균 이용률을 확인을 해보았다. 표 20과 그림 23을 보면 11월, 4월, 6월 및 9월을 제외하고는 최근 2년간 일조시간이 20년간보다 좋을 것을 볼 수 있었다. 일조시간 11월, 4월, 6월 및 9월은 향후 일조시간이 길어지고, 나머지 달은 짧아질 것으로 예측되며, 이용률도 마찬가지로 감소하고, 증가할 것으로 예측된다.

표 20 남부지역 이용률과 일조시간

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 태양광발전소 2년간 이용률[%] | 17 | 11 | 9 | 10 | 15 | 18 | 16 | 19 | 13 | 14 | 17 | 14 |
| 2년간 월 평균 일조시간[h] | 244 | 162 | 165 | 156 | 170 | 210 | 172 | 221 | 127 | 173 | 250 | 168 |
| 20년간 월 평균 일조시간[h] | 206 | 163 | 160 | 153 | 154 | 189 | 192 | 200 | 131 | 140 | 183 | 177 |
| 이용률 전망 | ↓ | - | - | - | ↓ | ↓ | ↑ | ↓ | - | ↓ | ↓ | ↑ |

↑ : 향후 일조시간이 감소 될 것으로 보아 이용률 감소 전망
 ↓ : 향후 일조시간이 증가 할 것으로 보아 이용률 상승 전망

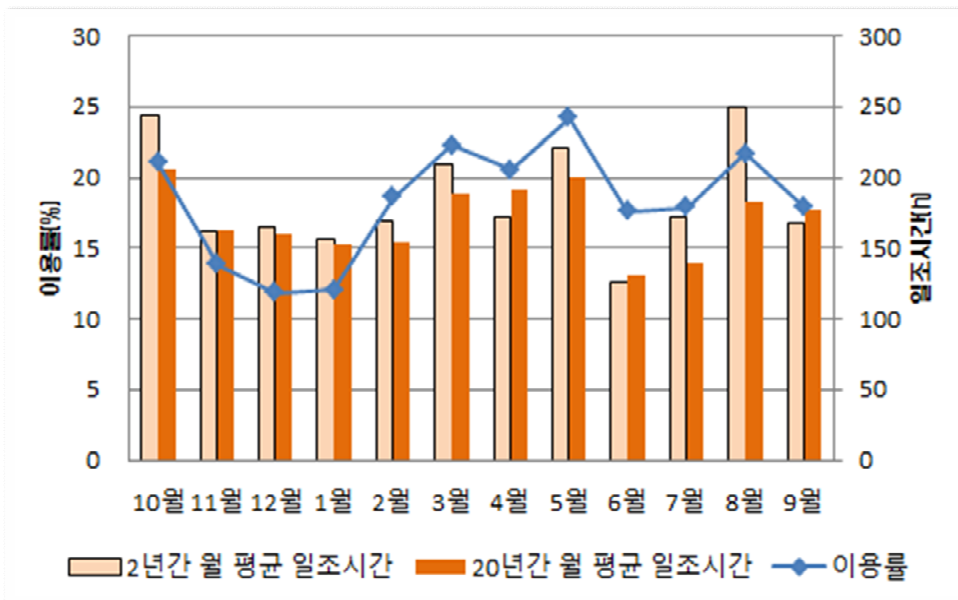


그림 23 남부지역 이용률과 일조시간

4.5 제주 서부지역 태양광발전소의 발전 특성

4.5.1 서부지역 태양광발전소의 이용률 분석

서부지역의 총 7곳의 태양광발전소의 이용률을 분석하였다. 그림 24를 보면 서부지역도 각 태양광발전소 별로 비슷한 이용률 패턴을 보였다. 서부지역은 모든 발전소가 높은 이용률을 보이며 발전소 별로 편차가 많지 않음을 알 수 있다. 서부 D 태양광발전소의 경우 2015년 10월에 3%의 이용률을 보였는데 이것은 태양광발전소의 기술적인 문제로 보이며, 서부지역 평균이용률을 구할 때 이 값은 제외시키는 것으로 하겠다.

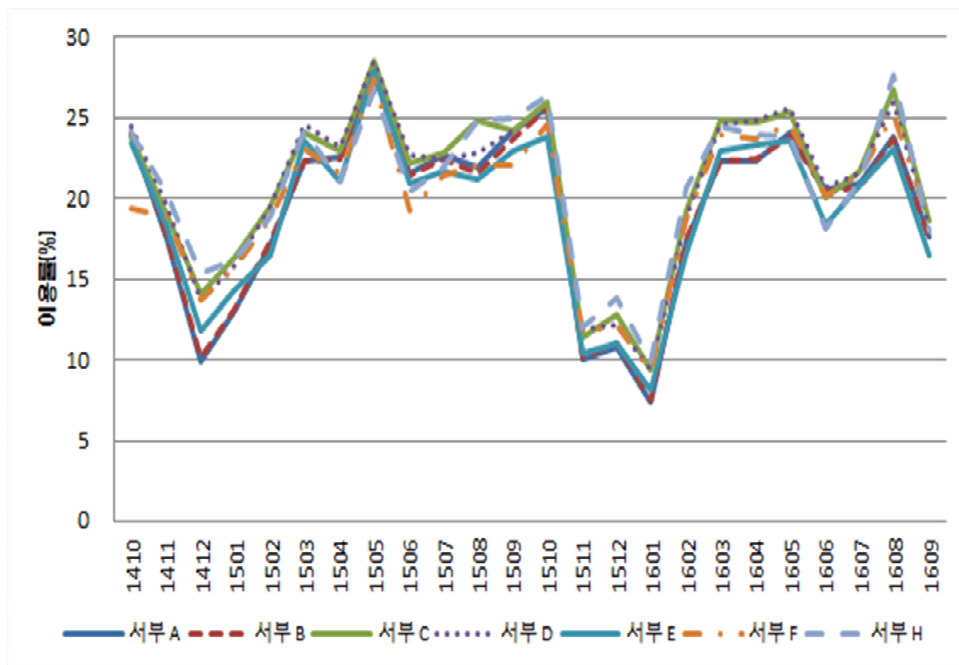


그림 24 제주 서부지역 각 태양광발전소의 이용률

4.5.2 제주 서부지역 태양광발전소 평균 이용률

서부지역의 총 7곳의 발전소의 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 발전량을 분석하여 각 발전소의 설비용량 대비 발전량의 이용률을 구하여 분석하였다. 표 21과 그림 25를 분석한 결과 2015년 5월 28%로 이용률이 가장 높았으며 5월 평균 이용률도 27%로 가장 높았음을 알 수 있었다. 가장 낮은 이용률을 보인 달은 1월로 평균 12%의 이용률을 보였다.

표 21 제주 서부지역 태양광발전소 이용률

[단위: %]

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 2014.10~2015.09 | 24 | 19 | 13 | 15 | 19 | 24 | 23 | 28 | 22 | 23 | 23 | 24 |
| 2015.10~2016.09 | 26 | 11 | 12 | 9 | 19 | 24 | 24 | 25 | 20 | 22 | 26 | 18 |
| 평균 | 25 | 15 | 13 | 12 | 19 | 24 | 23 | 27 | 21 | 22 | 24 | 21 |

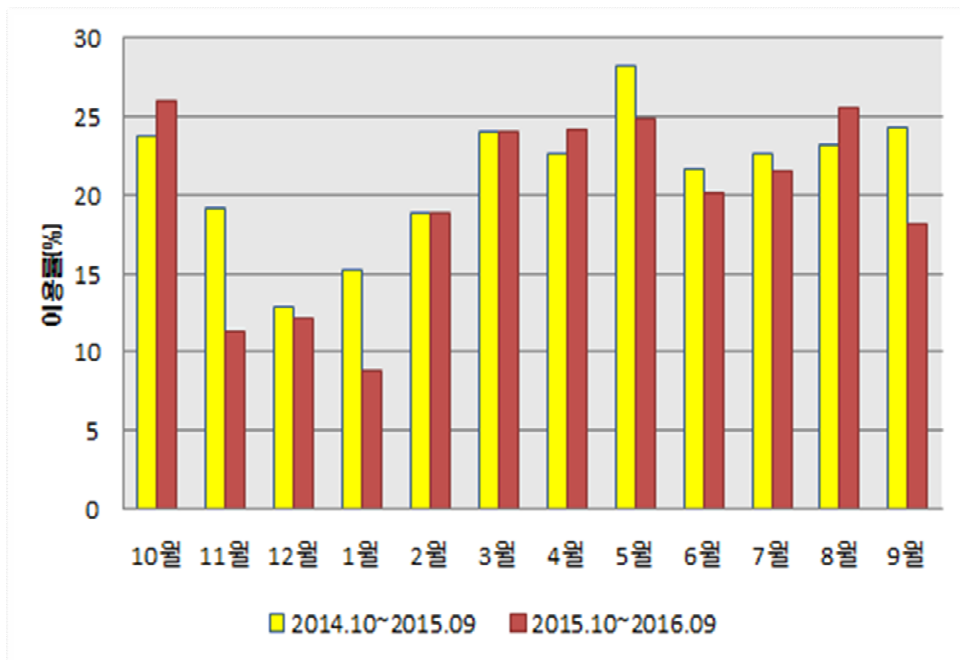


그림 25 제주 서부지역 태양광발전소 평균 이용률

4.2.3 제주 서부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 평균풍속 분석

2014년 10월부터 2016년 9월까지의 서부지역 총 7곳의 태양광발전소 평균이용률과 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 분석해 보았다. 그림 26을 보면 서부지역은 특이하게 일조시간에 비해 많은 이용률을 보였으며 이는 지역적으로 여러 기상조건과 발전소의 특성 때문인 것으로 판단되며 여름철 같은 경우도 다른 지역과 다르게 이용률이 좋은 것을 볼 수 있다.

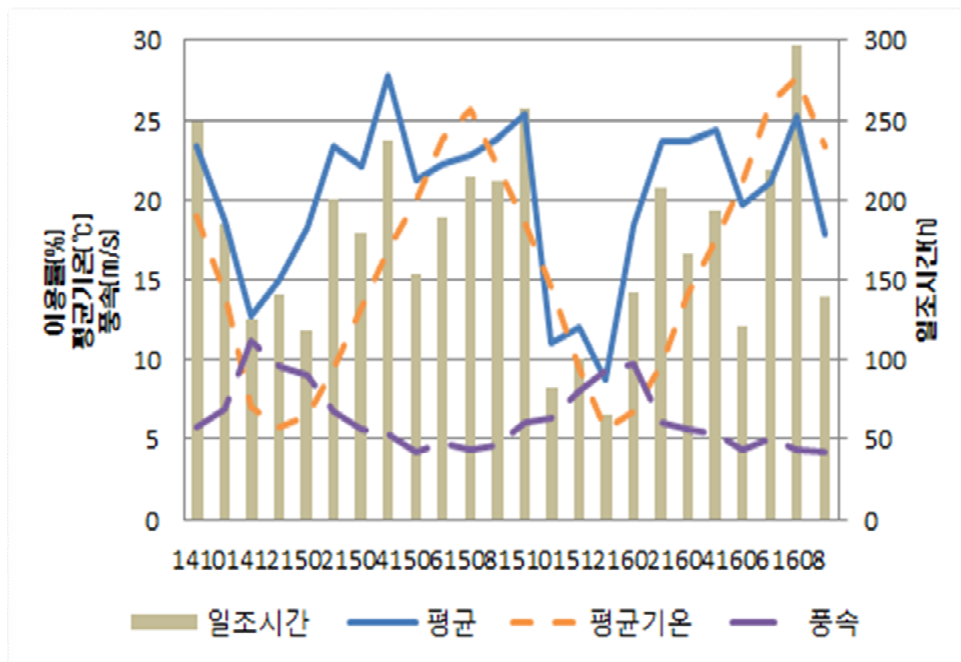


그림 26 제주 서부지역 평균이용률 및 일조시간, 평균기온, 평균풍속

4.5.4 서부지역 일조시간에 따른 이용률 예측

서부지역 최근 2년간 일조시간, 20년간 평균 일조시간과 태양광발전소의 평균 이용률을 확인을 해보았다. 표 22와 그림 27을 보면 11월, 4월, 6월 및 9월을 제외하고는 최근 2년간 일조시간이 20년간보다 좋을 것을 볼 수 있었다. 일조시간 11월, 4월, 6월 및 9월은 향후 일조시간이 길어지고, 나머지 달은 짧아질 것으로 예측되며, 이용률도 마찬가지로 감소하고, 증가할 것으로 예측된다.

표 22 서부지역 이용률과 일조시간

| 년 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 태양광발전소 2년간 이용률[%] | 25 | 15 | 13 | 12 | 19 | 24 | 23 | 27 | 21 | 22 | 24 | 21 |
| 2년간 월 평균 일조시간[h] | 253 | 134 | 113 | 103 | 130 | 204 | 172 | 215 | 138 | 204 | 256 | 176 |
| 20년간 월 평균 일조시간[h] | 203 | 142 | 104 | 91 | 130 | 177 | 190 | 202 | 149 | 169 | 210 | 188 |
| 이용률 전망 | ↓ | - | ↓ | ↓ | - | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↓ | - |

↑ : 향후 일조시간이 감소 될 것으로 보아 이용률 감소 전망
↓ : 향후 일조시간이 증가 할 것으로 보아 이용률 상승 전망

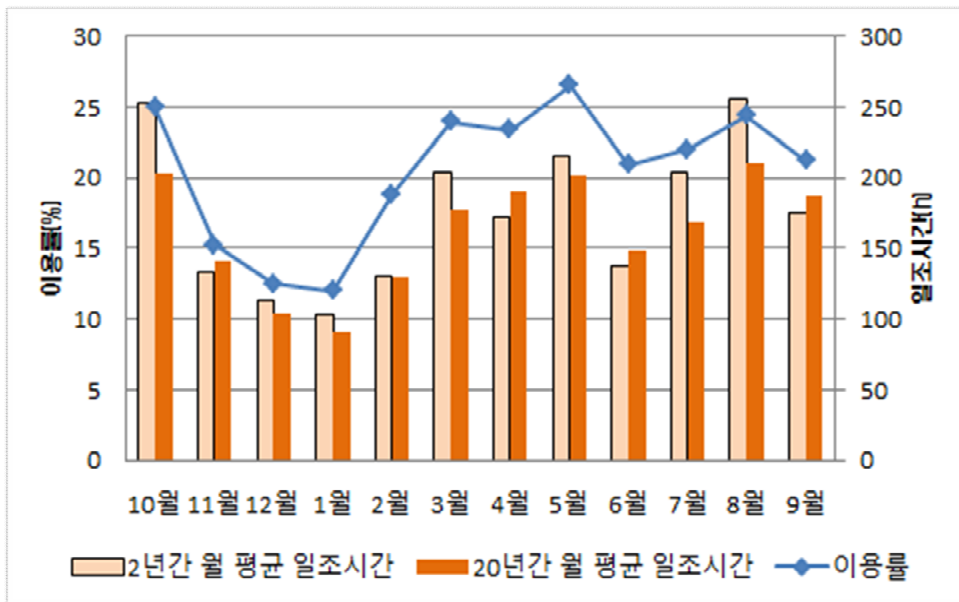


그림 27 서부지역 이용률과 일조시간

4.6 지역별 평균 이용률 분석

표 23과 그림 28을 보면 제주지역의 태양광발전 이용률은 제주 서부지역이 가장 높았으며, 다음으로 남부지역, 북부지역, 동부지역 순으로 이용률이 높았다. 봄철에는 서부, 남부, 북부, 동부 순으로 이용률을 보였고, 여름철은 서부, 북부, 남부, 동부, 가을철은 서부, 남부, 북부, 동부, 겨울철에는 서부, 남부, 동부, 북부 순이었다.

표 23 제주도 태양광발전소 이용률

[단위: %]

| 지역 \ 월 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 평균 |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 제주 북부 | 20 | 11 | 8 | 9 | 16 | 22 | 20 | 25 | 19 | 21 | 22 | 18 | 17 |
| 제주 동부 | 17 | 11 | 9 | 10 | 15 | 18 | 16 | 19 | 13 | 14 | 17 | 14 | 14 |
| 제주 남부 | 21 | 14 | 12 | 12 | 19 | 22 | 21 | 24 | 18 | 18 | 22 | 18 | 18 |
| 제주 서부 | 25 | 15 | 13 | 12 | 19 | 24 | 23 | 27 | 21 | 22 | 24 | 21 | 21 |

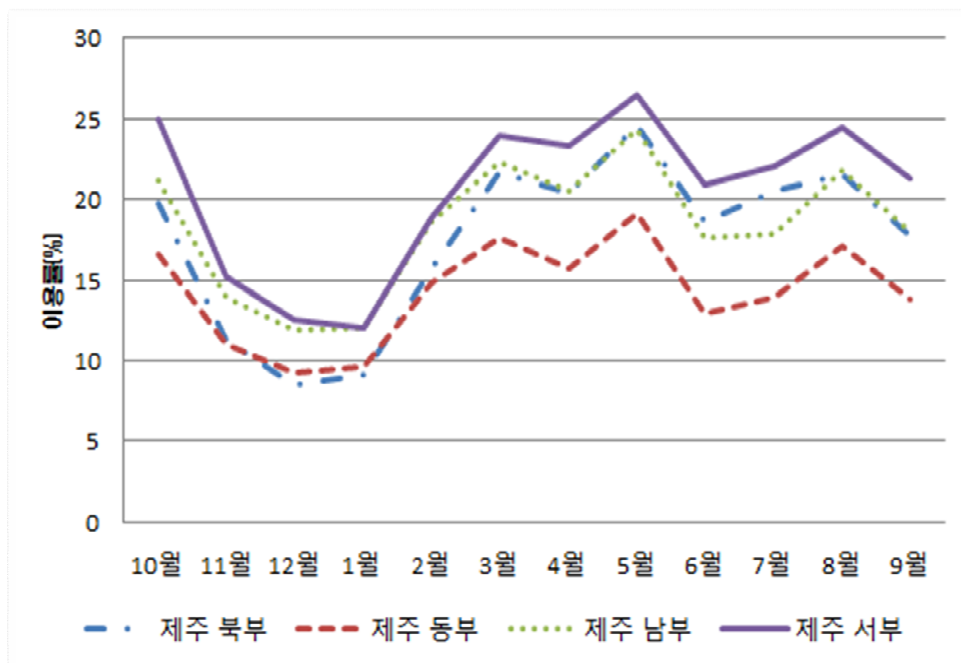


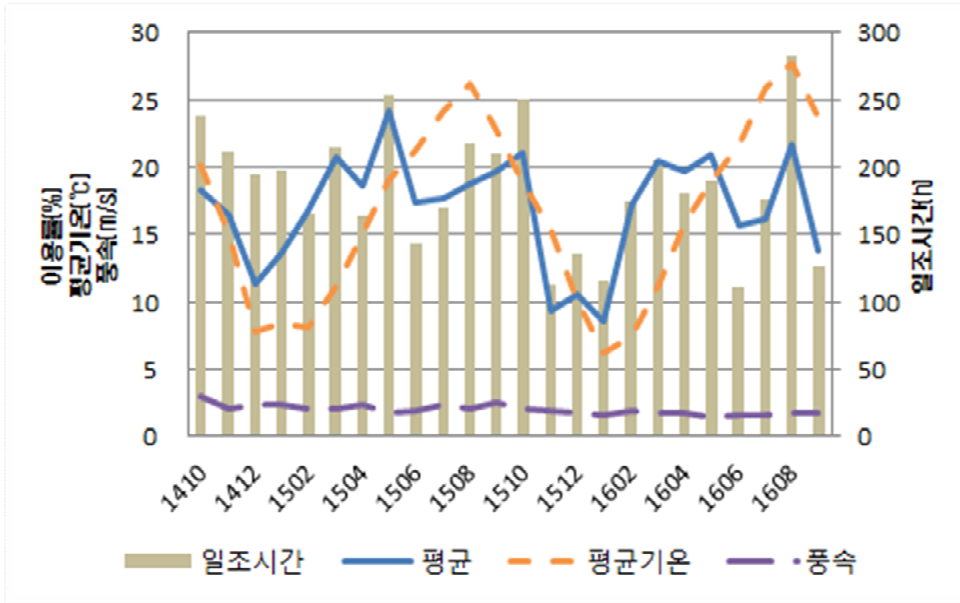
그림 28 지역별 평균 이용률

4.7 태양광발전소의 이용률과 일조시간, 평균기온, 평균풍속의 관련성 분석

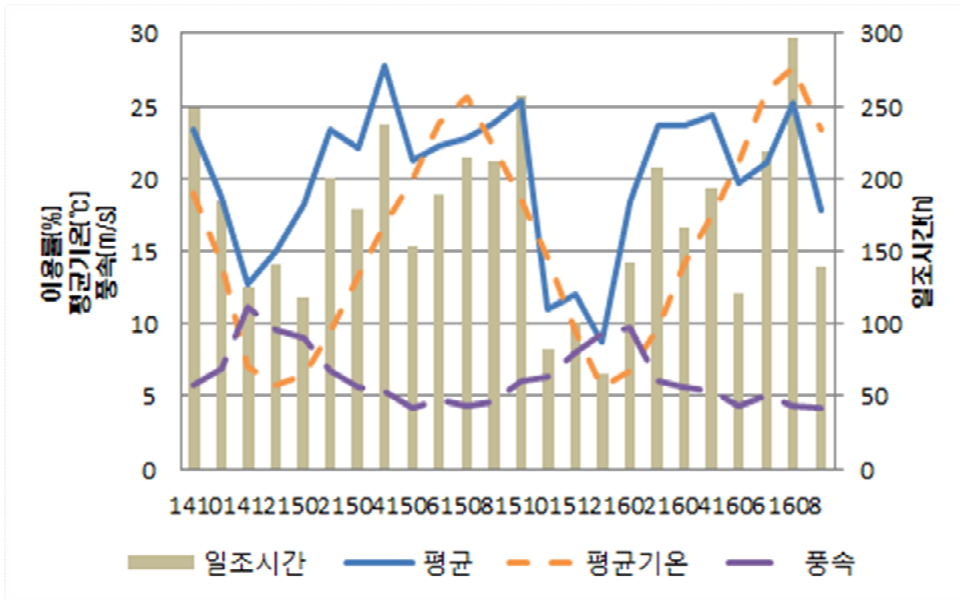
태양광발전소의 이용률, 일조시간, 평균기온 및 평균풍속과의 관계 분석을 위해 여름철 일조시간과 평균기온이 비슷한 제주남부지역과 제주서부지역을 선정하여 태양광발전소의 이용률을 분석해보고자 한다. 서부지역의 평균풍속은 제주도에서 가장 센 지역으로 남부지역에 비해 여름철은 2배 이상 차이가 나며, 여름철 태양광발전 이용률을 비교해보면 서부지역의 이용률이 남부지역에 비해 약 3%의 더 높은 이용률을 보이고 있다.

차왕철은 풍속이 3m/s 이하에서는 모듈온도에 영향이 없었으며 7m/s 이상의 풍속에서는 모듈온도가 35℃ 이하로 떨어지는 것을 확인하였다. 이러한 이유로 바람이 많이 부는 지역의 발전량이 높은 이유 중 하나로 풍속의 영향인 것으로 분석되며, 대기온도가 증가하면 모듈온도도 증가하고, 풍속의 증가는 모듈온도를 감소시키는 역할을 한다[13].

그림 29의 2015년 여름철 태양광발전 이용률을 살펴보면 일조시간은 약 200시간, 평균기온은 약 24℃의 비슷한 조건에서 서부지역의 풍속이 약 5m/s 이고 남부지역이 약 2m/s로 2배 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있으며, 이 상황에서 이용률은 서부지역이 23%, 남부지역이 20% 이용률을 보였다. 2016년 여름철을 살펴보면 일조시간은 약 200시간, 평균기온은 약 26℃의 비슷한 조건에서 서부지역의 풍속이 약 4.5m/s 이고 남부지역이 약 1.7m/s로 차이가 났으며, 이용률은 서부지역 22%, 남부지역 18%로 나타났다. 이 데이터로 보아 풍속이 증가하면서 모듈온도를 낮춰주는 영향으로 서부지역이 남부지역보다 높은 이용률을 보이는 것으로 분석된다.



(a) 제주 남부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 풍속



(b) 제주 서부지역 평균이용률, 일조시간, 평균기온 및 풍속

그림 29 남부지역과 서부지역 태양광발전소 이용률 비교

4.8 결과고찰

이 논문에서는 20년간 제주 지역별 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 분석해 보고, 2014년 10월부터 2016년 9월까지 제주지역의 태양광발전소 24곳의 발전량 데이터를 제공받아 이용률을 구하여 분석을 해보았다.

일조시간은 지역별 최근 5년간 평균 일조시간을 확인해 보았으며 제주 남부지역이 2184.9시간으로 가장 길었고, 다음으로 제주 동부지역 2073.0시간, 제주 서부지역 2002.7시간, 마지막으로 제주 북부지역 1786.0 시간이었다. 최근 2년간 여름철 일조시간이 다른 기간보다 길어짐을 확인할 수 있으며 지난 기간들이 서로 비례함을 보이는 관계로 향후 다시 짧아질 것으로 예상되며, 가을철 같은 경우에는 아직 12월 일조시간이 다 측정되지 않은 관계로 다시 길어질 것으로 예상된다.

제주 4개 지역 태양광발전소들의 지역별 연평균 이용률을 비교해 보면 서부지역이 21%, 남부지역 18%, 북부지역 17% 마지막으로 동부지역 14% 순으로 나타났다. 서부지역은 겨울철을 제외하면 20%이상의 높은 이용률을 보였다. 그리고 태양광발전소의 이용률과 일조시간, 평균기온 및 평균풍속을 비교 분석해 본 결과 모든 발전소들의 이용률이 일조시간에 비례하여 추종함을 알 수 있었으며, 일조시간에 비해 서부지역은 높은 이용률을 보였고, 남부지역, 동부지역은 일조시간이 상대적으로 좋은 조건에서 이용률이 낮았다. 평균풍속은 서부지역이 가장 빨랐으며, 북부, 동부, 남부지역 순이었다.

태양광발전소의 이용률이 일조시간과 평균기온, 평균풍속과의 관계를 알아보기 위해 일조시간과 평균기온 조건이 비슷한 남부지역과 서부지역의 이용률을 비교해 보았다. 바람이 많이 부는 지역의 발전량이 높은 이유 중 하나로 풍속의 영향인 것으로 분석되며, 대기온도가 증가하면 모듈온도도 증가하고, 풍속의 증가는 모듈온도를 감소시키는 역할을 한다. 서부지역의 이용률은 약 23%, 남부지역은 19%의 이용률을 보였으며 4%의 차이를 보였다. 이러한 결과로 풍속이 증가하면서 모듈온도를 낮춰주는 영향으로 서부지역이 남부지역보다 높은 이용률을 보이는 것으로 분석된다.

V. 결 론

이 논문에서는 한국전력거래소 제주지사에서 2014년 10월부터 2016년 9월까지의 0.5MW 이상의 태양광발전소 22곳의 발전량 데이터를 제공받아 발전량을 자기 용량대비 이용률을 구했다. 기상청에서 제공하는 제주도 4개 지역의 기상대에서 20년간의 일조시간 데이터를 제공받아 각 지역별 일조시간, 평균기온, 평균풍속을 분석을 하였으며, 태양광발전소의 이용률과 일조시간, 평균기온, 평균풍속과의 관계를 분석하였고, 일조시간과 평균기온 조건이 비슷한 남부지역과 서부지역의 태양광발전소 이용률을 평균풍속에 의해 비교 분석하였다.

- 1) 제주도 태양광발전소 연평균 이용률은 서부지역이 21%, 남부지역 18%, 북부지역 17% 그리고 동부지역 14% 순으로 나타났고, 서부지역은 겨울철을 제외하고 20% 이상의 높은 이용률을 나타내었다. 제주지역 태양광발전소들의 이용률과 일조시간을 분석해 본 결과 모든 발전소들의 이용률이 일조시간에 비례하여 추종함을 알 수 있었다.
- 2) 일조시간은 남부지역이 가장 길었으며, 그 다음으로 동부지역, 서부지역, 북부지역 순이었고, 남부지역과 동부지역이 일조시간이 상대적으로 좋은 조건에서 태양광발전소의 이용률이 낮았다. 평균풍속은 서부지역이 남부지역에 비해 2배 이상 차이가 났으며 여름철 같은 경우에는 태양광발전소 이용률이 서부지역이 남부지역에 비해 3%의 높은 이용률을 보였다. 평균기온은 4개 지역에서 비슷한 것을 알 수 있었다.
- 3) 일조시간 같은 기후는 장기간 평균적인 값을 가질 가능성이 높기 때문에, 2년간 측정된 태양광발전소의 이용률에서 여름철은 약간 감소하고 가을철은 약간 증가할 가능성이 높다.
- 4) 남부지역과 서부지역의 여름철 일조시간은 약 200시간이고 평균기온은 약 25°C이며 평균풍속은 서부지역 약 4.7m/s 남부지역 1.8m/s 이었다. 서부지

역의 이용률은 약 23%, 남부지역은 19%의 이용률을 보였으며 4%의 차이를 보였다.

남부지역과 서부지역의 여름철 태양광발전소 이용률을 분석해 본 결과 남부지역이 좋은 일조시간에도 불구하고 서부지역보다 이용률이 낮았다. 앞으로 남부지역의 일조시간이 좋은 조건임에도 불구하고 이용률이 왜 낮고, 서부지역이 겨울철은 제외한 20%의 이용률을 보이는 것에 대한 추가적 연구가 필요하며 향후 태양광발전소에 기상데이터를 얻을 수 있는 장비들을 설치하여 정확한 기상요소에 의한 발전특성의 분석이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 환경부, “파리협정 길라잡이”, 2016.
- [2] 한국에너지공단, “2014 신재생에너지 백서”, 2014.
- [3] 신재생에너지연구원, 2016 신재생에너지연감, 2015.
- [4] 전력거래소 제주지사, “2015년 제주지역 계통운영 실적”, 2016.
- [5] 제주지방기상청, “제주도 상세기후특성집”, 2010.
- [6] 박종화, 알기쉬운 태양광발전, 문운당, 2014.
- [7] 기상청, “태양에너지 최적 활용을 위한 기상자원 분석 보고서”, 2008.
- [8] 이개명, “제주지역에 설치된 1MW 태양광발전소의 발전특성 분석”, 전기학회논문지, 64권, pp. 726~731, 2015.
- [9] 기상청, http://www.kma.go.kr/weather/climate/past_table.jsp.
- [10] 현수진, 이개명, “국내 MW급 태양광발전소의 발전특성 비교”, 2015년 스마트그리드연구회 추계학술대회 논문집, pp. 69~72, 2015.
- [11] 윤현성, 이개명, “제주도 대용량 태양광발전소들의 발전특성 비교 연구”, 2016 스마트그리드연구회 추계학술대회 논문집, pp. 109~111, 2016.
- [12] 김성걸, “태양광 시스템의 모듈온도, 일사량이 전기적 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 동신대학교 박사학위 논문, 2012.
- [13] 차왕철, “태양광발전에 영향을 미치는 요소 분석을 통한 연간 발전량 예측에 관한 연구”, 숭실대학교 박사학위 논문, 2015.
- [14] J. Noor and H. Olav, “Solar resources’ potential role in the development of renewable based electric power system by 2050: The case of Pakistan prospects of solar in Pakistan”, 2014 International Conference on Energy Systems and Policies (ICESP), pp. 1-7, 2014.
- [15] A. K. Pandey and V. V. Tyagi, “Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications”, RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, Vol. 53, pp. 859-884, 2016.
- [16] A. Mohana, A. Abdulaziz and K. Amin, “Long-term solar generation forecasting”, 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), pp. 1-5, 2016.
- [17] J. T. Hinklet and J. A. Hatward, “Current and Future Status of Concentrating

Solar Powe in Australia”, INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS OF JAPAN, Vol. 136, pp. 227-234, 2016.

- [18] M. Kholá and A. V. Bilal, “An approach to predict output of PV panels using weather corrected global irradiance”, 2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE), pp. 111-117, 2016.

발 표 실 적

- [1] “1MW 태양광발전 시설에서 날씨와 발전량과의 관련성 분석”, 2014 스마트그리드 추계학술대회, pp. 154~155, 2014.
- [2] “건물 옥상을 활용한 1MW 태양광발전소의 발전량 분석”, 2014 스마트그리드 추계학술대회, pp. 151~153, 2014.
- [3] “태양광발전소의 하계 전력피크타임 기여도”, 2015 스마트그리드 추계학술대회, pp. 20~23, 2015.
- [4] “국내 MW급 태양광발전소의 발전특성 비교”, 2015 스마트그리드 추계학술대회, pp. 69~72, 2015.
- [5] “ 제주지역 MW 태양광발전소의 전력판매가격에 대한 고찰”, 2015 스마트그리드 추계학술대회, pp. 73~75, 2015.
- [6] “제주도 대용량 태양광발전소들의 피크타임 기여도 연구”, 2016 스마트그리드 추계학술대회, pp. 47~49, 2016.
- [7] “제주도 대용량 태양광발전소들의 발전특성 비교 연구”, 2016 스마트그리드 추계학술대회, pp. 109~111, 2016.
- [8] “Comparing Generation Characteristics of the Representative MW Solar Power Plants Operating in the Respective Regions in Korea”, 2015 International Conference on Electrical Engineering and omputer Sciences, 2015.
- [9] “Analysis on Sale Price of Electrical Energy Generated by a Solar Power Plant in the Jeju Island”, 2015 International Conference on Electrical Engineering and omputer Sciences, 2015.
- [10] “Contributiveness of a Solar Power Plant on the Electric Power at Summer Peak Time”, 2015 International Conference on Electrical Engineering and omputer Sciences, 2015.
- [11] “Generation Characteristics of the MW Solar Power Plants Operating in Various Regions of South Korea”, The 1st International Conference on Electric Vehicle, Smart Grid, and Information Technology (ICESI), 2016.
- [12] “Sale Price of Electrical Energy Generated at a Solar Power Plant in Jeju Island”, The 1st International Conference on Electric Vehicle, Smart Grid, and Information Technology (ICESI), 2016.
- [13] “Contributiveness of a Solar Power Plant at the Summer Power Peak Time in Jeju Island”, The 1st International Conference on Electric Vehicle, Smart Grid, and Information Technology (ICESI), 2016.
- [14] “Estimating Increase of Electric Energy According to Penetration of Electric Vehicles at the Jeju Island in Korea”, 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2016.

감사의 글

학부생 때 연구실에 들어와 태양광발전에 관심을 갖고 여러 학회에 논문발표를 하면서 막연히 대학원에 들어오고 싶다는 생각을 하였는데, 벌써 학위논문을 작성하고 졸업을 앞두고 되었습니다. 부족한 저에게 힘이 되어주신 분들에게 감사의 말을 전하고자 합니다.

먼저 대학원 생활동안 여러 해외학회에 참가하여 견문을 넓힐 수 있도록 도와주시고 많은 가르침을 주시고 이끌어 주신 이개명 지도교수님께 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 또한 이 논문이 완성될 수 있도록 지도와 조언을 해주신 오성보 교수님과 김호찬 교수님께 감사드립니다. 그리고 전기공학에 대해서 많은 것을 알 수 있게 가르침을 주신 좌종근 교수님, 김세호 교수님, 김일환 교수님, 김호민 교수님께도 감사하다는 말을 전합니다. 또한 전기공학과를 위하여 누구보다 먼저 신경 쓰고 도움을 주신 평강이형, 상호 감사합니다.

연구실을 들어올 수 있게 도와준 상현이 진용아 고맙고, 연구실에 적응 할 수 있게 많은 도움을 준 선배님들 감사합니다. 그리고 같이 동고동락하며 논문을 썼던 수현, 재범, 세라, 수진이 2명 힘들었지만 재미있었다. 이제 앞으로 연구실을 이끌 재호, 은빈, 철원, 석영, 승범, 현성, 희정아 열심히 하고 고마웠어. 같은 대학원 동료인 승민, 승용, 상현, 창주 모두 열심히 하고 이제 막 대학원 들어온 민혁이도 응원할게.

끝으로 항상 마음 졸이시며 뒷바라지 해주시고 늘 기도해 주시는 아버지, 어머니 하나뿐인 동생 동완이 대학원생활 하면서 자주 찾아뵙지 못한 할아버지, 할머니, 외할머니 죄송스럽게 생각합니다. 그리고 늘 연락하면서 많은 지원을 해주시는 외삼촌들과 이모, 이모부 항상 고맙게 생각합니다. 늘 항상 서로 응원하고 도와주는 은진아 고맙다. 마지막으로 하늘에서 보고 읽어 보실 외할아버지, 큰외삼촌께 고맙다는 말 전합니다.

이제 대학원생활을 마치고 사회로 나가 제가 배운 것을 활용하고 사회에 이바지 할 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다.

2016년 12월

김 수 완 올림