

기상정보를 활용한 태양광 발전량 모니터링 계량모형*

주영찬** · 김정인*** · 박성용****

요 약

기상정보시장이 정부의 공공정보 개방과 정보융합환경 구축으로 새로운 국면을 맞이함에 따라 많은 사업자들은 기초기상정보를 활용한 새로운 비즈니스모델을 기대하고 있다. 이 연구에서는 이러한 수요에 맞는 정보를 제공하고자 다양한 기상정보를 활용하여 태양광 발전량을 모니터링할 수 있는 실질적인 표준 계량모형을 제안하였다. 본 연구에서는 잘 알려진 분위수회귀모형을 사용하여 서울, 홍성, 의성에 위치한 일별 태양광 발전량에 일사량, 기온, 강수량, 풍속, 습도, 전운량이 미치는 영향을 추정하였다. 또한 변수의 비선형성을 고려한 변수 변환 방법을 사용함으로써 예측의 정확성을 높이하고자 하였다. 또한 시간별 발전량의 조건부분포를 추정하여 태양광 발전을 모니터링 할 수 있는 방법을 제시하였다.

주요 단어 : 기상정보, 태양광발전, 태양광발전모니터링, 분위수회귀모형
경제학문헌목록 주제분류 : C5, N5, Q3

* 이 논문은 한국기상산업기술원 연구보고서 「기상정보 활용 수요조사 및 비즈니스모델 개발」의 일부 내용을 수정·보완하여 작성되었다. 또한 이 논문은 2015년도 중앙대학교 CAU GRS 지원에 의하여 작성되었다.

** 중앙대학교 박사과정 (제1저자). jooyc@cau.ac.kr

*** 중앙대학교 경영경제대학 경제학부 교수 (제2저자). jeongin@cau.ac.kr

**** 중앙대학교 경영경제대학 경제학부 부교수 (교신저자). sungpark@cau.ac.kr

I. 서 론

국내 기상산업은 정부의 정책적 지원과 활성화 기반 마련을 통하여 본격적인 성장기에 진입하였으며, 산업계 또한 기상정보에 대한 수요가 점차 증가하고 있을 뿐 아니라 다양화되고 있는 추세이다. 그동안 국내 기상산업시장은 기상장비업을 중심으로 성장하였지만, 최근 정부의 공공정보 개방 및 정보융합 환경 구축으로 사용 가능한 정보가 늘어나며 정보기반 사업을 중심으로 새로운 국면을 맞이하고 있다. 하지만 기상정보기업은 각 산업별 수요를 반영한 기상정보 서비스 제공 및 융합 비즈니스 모형 개발 부재로 그 역할이 축소되고 수익성은 악화되고 있다(기상청, 2013; 광대중, 2013).

기상서비스의 지속적인 성장을 위해서는 다양한 기초통계자료를 활용하여 수요자에게 맞는 새로운 정보를 제공해야 하지만 기초자료에 비하여 이를 활용한 계량모형 개발 연구는 많이 이루어지지 않고 있다. 이번 연구에서는 다양한 기상정보를 태양광 발전에 활용하여 시간에 따라 태양광 발전량의 정도를 분석하고 모니터링 할 수 있는 간단한 계량모형을 제안하고자 한다.

최근 기상정보는 단순한 일기예보를 넘어 농업, 건설업, 유통업, 에너지 분야와 융합되어 수익과 관련된 많은 서비스를 제공하는데 기초적인 역할을 하고 있다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 기본적으로 기상기업이 자료를 가공하여 소비자에게 맞는 정보를 만들기 위한 비즈니스 모형이 필요하지만 아직까지 기상정보가 에너지산업에 직접적으로 활용되기 위한 연구는 찾아보기 어려운 상황이다.

기존의 많은 연구들은 시장의 경제적 가치나 에너지 수요를 정량적으로 추정하거나 예측하는데 주된 초점이 맞추어져 왔다(양영민 외, 2004; 한국환경정책평가연구, 2012; 국립기상연구소, 2013; 기상청, 2013; 김철현, 2014; 신이

레·윤상후, 2016; 김영은 외, 2017). 이러한 연구들은 기상정보가 가지고 있는 사회·경제적 영향 및 효과를 정량적으로 추정하고, 연구 결과를 활용한 경영이 위험을 최소화 한다는 것을 보여주고 있다. 또한 허선경(2015), 신윤성(2014)은 새로운 비즈니스 모형으로서 빅데이터를 활용한 날씨경영 사례를 분석하였다. 연구에 따르면 기상정보에 빅데이터 모형을 사용하는 경우 변동성이 증가할 때 위험을 낮추고 예측 오차를 약 25% 개선하는 것으로 나타났다. 앞선 연구에서는 공통적으로 미래 환경변화에 대응하기 위해서는 기상정보를 활용한 비즈니스 모형을 사용하는 것이 효과적이라는 것을 보여주고 있다.

최근 탄소배출과 환경문제로 인하여 기존의 에너지 발전방식을 벗어나고자 상대적으로 공해가 적은 신재생에너지 발전에 많은 연구가 이루어져오고 있다. 그 중 태양광 발전은 많이 활용되는 신재생에너지 산업 중 하나로 기존의 발전방식에 대안으로 사용되어져 오고 있다. 이러한 태양광 발전은 특성상 기상상황에 많은 영향을 받게 되어 기상정보를 활용한 분석이 특히 필요한 분야 중 하나이다. 따라서 이번 연구에서는 태양광 발전에 여러 가지 기상정보를 활용하여 발전량을 모니터링 할 수 있는 계량모형을 제안하고자 한다.

조건부 평균을 중심으로 결과를 해석하는 기존에 많은 에너지 발전 관련 모형들은 발전량의 크기에 따른 분석이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하고자 이번 연구에서는 분위수회귀모형을 사용하여 서울, 홍성, 의성에 위치한 태양광 발전소의 발전량을 예측하고 모니터링할 수 있는 모형을 제안하였다. 또한 태양광 발전량의 비선형성을 고려하여 시간당 발전량의 정도를 파악할 수 있는 자료 변환방법을 사용하여 추정의 정확성과 예측력을 높이하고자 하였다. 최종적으로 이러한 결과를 바탕으로 조건부 분포를 추정하여 해당하는 시간대에 대한 발전량의 이상 유무를 확인할 수 있는 방법을 제시하였다.

이번 연구에서는 서울, 홍성, 의성에 위치한 태양광 발전에 대하여 기온, 강수량, 풍속, 습도, 일사량, 적설량, 전운량이 주는 영향을 분석하였다. 또한 일반적인 일별 시계열 자료들을 매 시간 발전량에 대한 시계열로 재구성하였으

며, 분석을 위하여 각 시간대에 따라 7개의 분위수 수준을 고려한 분위수회귀 모형을 사용하였다. 이를 통하여 최종적으로 각 시점에서 기상변수들을 조건 집합으로 하는 태양광 발전량의 조건부 분포를 추정하여 각 지역에 대한 주어진 시점에서 발전량을 관찰하였다.

분석 결과 일사량의 경우 모든 분위수 수준에서 발전량에 통계적으로 아주 유의한 양의 효과를 주는 것으로 나타났으며, 습도와 전운량의 경우 통계적으로 유의한 음의 효과를 주는 것으로 나타났다. 특히 일사량은 분위수가 낮거나 높을 때보다 중위수에서 상대적으로 높은 양의 효과를 주는 것으로 나타났다. 지역별로는 서울의 경우 시간별로 발전량의 크기가 작은 경우 상대적으로 적설량과 전운량의 음의효과가 크게 나타났다. 홍성의 경우 전운량은 전 시간대에 걸쳐 음의 효과를 보였으며, 적설량은 다른 지역과는 다르게 발전량이 높아질수록 음의 효과가 커지는 것으로 나타났다. 의성의 경우 습도와 전운량이 전 시간대에 걸쳐 음의 효과를 보였으며, 적설량은 발전량이 낮을 때 음의 효과를 보였지만 중위수 이상의 발전량에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 각 시간대별 발전량의 조건부 분포를 추정한 결과 추정된 결과가 정규분포와 아주 큰 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 이로부터 최종적으로 해당시점의 발전량이 적절한지를 모니터링 하였다.

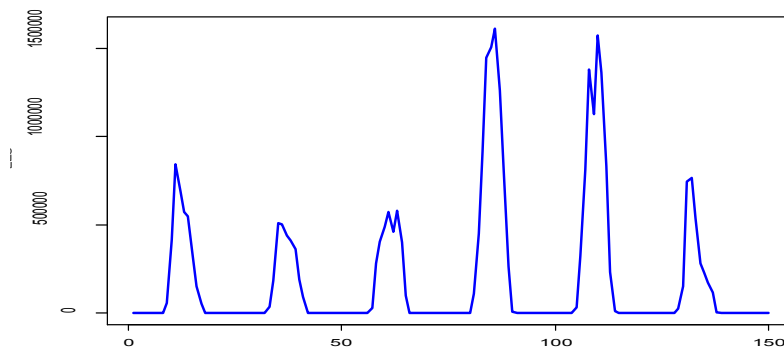
이번 연구는 전력 수요를 예측하여 불확실성을 낮추고자 하는 기존 연구들과는 달리 공급측면에서 발생할 수 있는 불확실성을 줄이는 것에 중점을 두었다. 특히 태양광 발전의 경우 전력공급의 불확실성이 기상 상황에 많은 영향을 받고 있으며, 이번 연구를 통하여 공급의 불확실성을 줄일 수 있다는 것에 본 논문의 주된 의미가 있다. 이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 기상정보를 이용한 표준모형을 제안하기 위하여 기상과 태양광 발전 자료의 특성을 파악하고 표준계량모형의 조건을 살펴보았다. 제3장에서는 연구에서 사용된 자료와 분위수회귀모형을 설명하고, 제4장에서는 결과를 살펴보고 해석하였다. 마지막으로 제5장에서는 이번 연구의 정리와 함께 결론을 제시하였다.

Ⅱ. 기상정보를 이용한 표준모형

1. 기상과 태양광 발전량 변수의 특성

기상에 관련된 정보를 담고 있는 변수와 발전량에 관련된 변수는 일반적으로 하한과 상한이 명확하게 존재한다. 즉, 일반적인 거시경제변수들이 지니고 있는 단위근을 기상변수와 발전량 변수는 가지고 있지 않을 가능성이 크다. 따라서 고려되는 모든 변수들이 정상성(stationarity)을 만족하는 변수들이며 이는 비정상시계열에서 쓰이는 여러 가지 기법들을 사용하지 않아도 유의한 결과를 도출할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 태양광 발전의 특성상 강외생적인 기상변수들이 태양광 발전량에 지대한 인과관계를 지니고 있다.

〈그림 1〉 6일간 시간당 태양광 발전량



기상변수들은 일반적으로 시간에 따라 급격한 변화를 보이지는 않지만 태양광을 사용한 발전량은 <그림 1>에서 볼 수 있듯이 일정 수준 이상의 일사량이 확보될 때 0이 아닌 발전량을 가지게 된다. 발전량 시계열 자료는 통상

적으로 오전 10시경에서부터 오후 6시까지 0과 통계적으로 유의하게 다른 발전량을 보이며 정도가 심한 비선형성을 가지는 것으로 나타난다. 최근 이현진(2016), 이근호 외(2018)은 기존의 선형모형에 비하여 비선형모형(인공신경망모형)을 사용한 예측치의 오차가 더 작다는 것을 보였으며, 이러한 결과는 태양광 발전량 시계열 자료가 높은 차원의 비선형성을 지니고 있기 때문이다. 따라서 이와 같은 비선형성을 가지는 태양광 발전량을 분석하기 위한 기초가 되는 모형에는 복잡하지 않으면서 비선형적인 특성을 잘 설명할 수 있는 표준적인 모형을 사용해야 한다.

일반적으로 해당 일의 발전량은 일사량, 운량, 대기온도, 습도 등의 기상조건에 따라 차이를 보이며, <그림 1>에서 볼 수 있듯이 특정 날짜에는 일반적인 발전량에 비하여 두 배 이상의 발전량을 보이기도 한다. 따라서 이러한 강한 비선형성을 지니는 태양광 발전량 시계열 자료를 비선형성이 낮은 정도의 시계열 자료로 변환하는 것이 분석의 편의성을 제공할 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 시계열 자료의 빈도를 조절하여 비선형성의 정도를 약화시키는 방법을 사용하고자 한다.

이번 연구에서는 자료의 빈도를 매일 동일한 시간에 대한 일별 발전량으로 조절하여 간헐적인 자료의 분석을 하는 것에 적절하게 자료를 변환하였다. 예를 들어, 2016년 1월 1일부터 2017년 12월 31일까지 일반적으로 사용되는 시계열 자료를 오후 3시의 태양광 발전량만으로 구성하여 새로운 일별 시계열 자료를 구성하였다. 이와 같은 자료의 구성은 시간 당 발전량을 나타내는 것과 동시에 일별 발전량 시계열 자료를 구성할 수 있게 되어 기상변수들이 발전량에 미치는 영향을 효과적으로 분석할 수 있다. 또한 매일 동 시간대의 발전량은 다른 기상조건이 일정하다면 크게 차이를 보이지 않으므로 원 발전량 시계열 자료가 가지고 있는 비선형성의 정도를 줄여주는 역할을 하게 된다. 따라서 이번 연구에서는 모니터링을 위한 자료의 변환으로 같은 시간에 해당하는 일별시계열 자료를 사용하였고, 변동성 분석을 위한 자료로 일별 발전량 자료를 사용하였다.

2. 태양광 발전량 분석에 대한 표준계량모형

기상정보를 활용하여 발전량을 분석하는 모형의 표준이 되기 위해서는 모형의 분석결과를 해석하는데 있어서 직관적이면서 발전량의 비선형성을 고려할 수 있는 모형이 되어야 한다. 기존의 많은 통계모형들은 평균을 대푯값으로 설정하는 모형을 사용하고 있다(권오현·이경수, 2018). 이러한 조건부 평균은 아주 많은 적률값(moment) 중 하나이기 때문에 변동성이 큰 변수에 있어서는 강건성(robustness)을 만족하지 않아 많은 정보를 제공할 수 없다. 이번 연구에서는 더 많은 정보를 제공하기 위한 모형으로 분위수회귀모형(quantile regression model, Koenker and Bassett, 1978)을 고려하여 태양광 발전량의 비선형성을 고려함에 있어 시간에 대한 비선형적 성격보다 태양광 발전량의 크기에 따라 기상변수가 발전량에 어떠한 인과관계를 지니는가를 분석하였다. 이는 각 고정된 시간에 일별 발전량의 크기에 따라 기상변수들이 발전량에 미치는 상이한 효과를 고려함과 동시에 발전량이 클 때와 작을 때 어떠한 기상요인이 더 큰 효과를 가지는가를 확인할 수 있으며, 이러한 분석으로 각기 다른 곳에 위치한 태양광 발전소에 다양한 정보를 제공할 수 있다.

Ⅲ. 자료 및 모형 설정

1. 발전량 자료 및 기상자료

이번 연구에 사용된 태양광 발전량 실적자료는 2016년 1월 1일 00시부터 2017년 12월 31일 23시까지 시간 당 시계열 자료로 총 표본 수는 17,544이다. 태양광 발전량 실적 자료는 에너지 나눔과 평화에서 받은 자료이며, 3곳의 지역별 발전소 실적자료이다. 객관적인 모형추정과 해석을 위하여 고려된 발전소는

위치와 용량이 서로 상이한 서울나눔발전소 1호(서울, 용량 2499.55 kW), 홍성나눔태양광발전소(홍성, 용량 96.9 kW) 그리고 송파나눔발전소(의성, 921.6 kW) 3곳을 선택하였다. 기상자료는 기상자료개방포털에서 제공하는 발전소 위치별 기온, 강수량, 풍속, 습도, 일사량, 적설량, 전운량 자료를 사용하였다.¹⁾ 의성의 경우 기상자료개방포털에서 전운량과 일사량의 자료를 발표하지 않아 자료를 제공하는 가장 가까운 지역인 안동의 전운량과 일사량으로 대체하였다. 홍성의 경우 일사량과 전운량의 자료가 2017년 10월 24일부터 제공되어 그 이전 시기는 가장 가까운 측정지인 서산의 자료로 대체하였다. 각각의 지역은 지리적으로 멀지 않아 자료를 일부분 대체하는 것에 대한 문제가 없을 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 분석을 위하여 시계열 자료들을 각 시간에 일별 발전량 시계열로 재정리 하였다. 예를 들어, 오후 2시부터 3시까지의 발전량과 기상 자료를 2016년 1월 1일부터 2017년 12월 31일까지 일별자료로 추출하였다. 통상적으로 겨울철에는 8시부터 16시까지 여름철에는 7시부터 18시까지 태양광 발전량이 존재하며, 해당 시간대를 제외한 구간에서는 발전량이 0으로 나타남으로 발전량이 존재하는 시간대에 맞추어 모형을 추정하였다.

2. 모형설정

기상정보에 따른 태양광 발전량차이를 확인하기 위하여 이번 연구에서는 태양광 발전량을 종속변수로 하고 각 기상정보를 설명변수로 하는 다음과 같은 분위수회귀모형을 사용하였다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 Time_t + \beta_2 Insolation + \beta_3 Temp + \beta_4 Rain + \beta_5 Wind + \beta_6 Snow + \beta_7 Humid + \beta_8 Cloud + \epsilon, \quad (1)$$

1) Ododo, Agabakwuru and Ogbu(1996)에 따라 일사량과 함께 전운량을 설명변수로 포함하였다.

여기서 y_{it} 는 i 지역에 t 시점에 태양광 발전량을 나타내고 $Time_t$ 는 발전량의 결정적 추세(deterministic trend)를 설명하는 추세변수이다. 모형에 사용된 기상변수 $Insolation$, $Temp$, $Rain$, $Wind$, $Snow$, $Humid$, $Cloud$ 는 각각 일사량, 기온, 강수량, 풍속, 습도, 그리고 전운량을 나타낸다. 발전량 y_{it} 는 각 시간의 일별 발전량 시계열이기 때문에 자기상관이 존재할 수 있어 모형 추정할 때 y_{it} 의 시차변수들을 포함할 수 있으며 식 (1)에서 고려된 설명변수들의 시차변수도 고려하게 되면 위의 모형은 Galvao, Montes-Rojas and Park(2013)의 분위수 자기회귀시차분포회귀모형이 된다.

위의 모형을 분위수회귀방법으로 추정하게 되면 다음의 추정된 조건부 분위수함수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{Q}_y(\tau|X) = & \hat{\beta}_0(\tau) + \hat{\beta}_1(\tau)Time_t + \hat{\beta}_2(\tau)Insolation + \hat{\beta}_3(\tau)Temp \\ & + \hat{\beta}_4(\tau)Rain + \hat{\beta}_5(\tau)Wind + \hat{\beta}_6(\tau)Snow + \hat{\beta}_7(\tau)Humid + \hat{\beta}_8(\tau)Cloud. \end{aligned} \quad (2)$$

태양광 발전량을 모니터링하기 위해서는 각 시간 t 에서 기상변수들을 조건 집합(conditional set)으로 하는 조건부 분포를 추정해야하며, 이와 같은 조건부 분포의 추정은 통상적인 회귀모형에서는 할 수 없으나 식 (2)의 조건부 분위수함수를 사용하면 쉽게 추정될 수 있다. 따라서 특정한 시간에 주어진 기상변수들의 조합에 따라 여러 분위수 수준을 고려하여 태양광 발전량의 조건부 분포를 추정할 수 있으며, 이 조건부 분포의 형태는 기상변수들의 크기에 따라 달라진다. 따라서 각 시간에 따른 조건부 분포를 추정하면 분포에 따른 신뢰구간을 설정할 수 있다. 이러한 조건부 분포는 다음의 식을 이용하여 추정하였다.

$$\widehat{f}_{y_{it}}(\tau|X_t) = (\tau_i - \tau_{i-1}) / (\widehat{Q}_{y_{it}}(\tau_i|X_t) - \widehat{Q}_{y_{it}}(\tau_{i-1}|X_t)). \quad (3)$$

위와 같은 식을 이용하여 적절히 선택된 τ 의 수열($\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$)을 고려하여 조건부 분포를 추정할 수 있다. 직관적으로 각 τ 에 대하여 조건부 분위수 함수는 분위수회귀방법에 의하여 일차적으로 추정될 수 있으며, 이렇게 추정된 조건부 분위수함수를 이용하여 조건부 분포는 비모수적(non-parametrically) 방법을 사용하여 추정할 수 있다.

위와 같이 추정된 조건부 분포를 이용하여 태양광 발전량에 대한 모니터링을 실시할 수 있으며, 태양광 패널들의 이상여부를 체크하기 위하여 90% 신뢰구간을 설정하기 위해서는 τ 수열을 이용하여 위의 조건부 분포를 추정하고 그 때의 90% 신뢰구간은 $[\widehat{Q}_{y_i}(0.05|X_i), \widehat{Q}_{y_i}(0.95|X_i)]$ 으로 주어진다.

IV. 모형 추정 결과

1. 분위수회귀모형 추정결과

<표 1>은 서울에 위치한 태양광 발전소의 발전량에 대한 분위수회귀모형의 추정결과를 나타낸다. 개별 발전소에서 각 시간대에 따라 7개의 분위수 수준($\tau=0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 0.95$)을 고려하여 모형을 추정하였다. $\tau=0.5$ 의 경우 조건부 중위수를 나타낸다. 각 모형에 종속변수의 시차변수를 포함하였을 때 시차변수는 통계적으로 유의하지 않아 회귀식에서 제외하였다.²⁾

2) 모든 시간대의 결과를 추정하였지만 지면이 한정되어 태양광 발전이 시작되는 시간(08:00-08:59), 가장 높은 시간(13:00-13:59), 발전이 끝나는 시간(17:00-17:59)을 선택하여 결과를 보여주었다. 모든 추정결과는 저자로부터 획득이 가능하다.

〈표 1〉 시간대 별 분위수회귀분석 결과 (서울)

	$\tau=0.05$	t-값	$\tau=0.1$	t-값	$\tau=0.25$	t-값	$\tau=0.5$	t-값	$\tau=0.75$	t-값	$\tau=0.9$	t-값	$\tau=0.95$	t-값
	08:00 - 08:59													
상수항	43563.563	1.447	84649.287	2.751 ***	149580.131	4.518 ***	247914.234	5.808 ***	443768.209	8.150 ***	596703.928	8.328 ***	595124.486	6.601 ***
시간	12.325	0.548	1.612	0.066	-24.405	-0.908	22.376	0.700	6.658	0.183	21.277	0.455	65.287	1.047
일사량	741140.593	17.611 ***	810774.506	27.259 ***	798857.639	25.077 ***	838745.903	19.647 ***	864243.707	13.470 ***	763132.470	9.119 ***	758038.492	7.021 ***
기온	-584.146	-0.607	189.241	0.193	2479.696	2.569 **	2964.622	2.761 ***	4663.594	3.590 ***	7756.895	4.879 ***	8054.849	4.306 ***
강수량	379.837	0.254	-2071.328	-1.066	-9490.925	-1.674 *	-7243.484	-2.286 **	-9207.157	-3.351 ***	-12448.368	-4.661 ***	-15676.441	-5.542 ***
풍속	-782.104	-0.173	1211.867	0.257	789.113	0.148	-4457.590	-0.668	-11460.428	-1.525	-14440.515	-1.516	-5561.578	-0.449
적설량	-41870.599	-2.912 ***	-50513.669	-2.072 **	-19685.252	-1.683 *	-27364.236	-1.917 *	-15710.575	-0.890	-4353.297	-0.359	-19730.966	-1.558
습도	104.208	0.288	-314.779	-0.841	-385.825	-0.944	-931.303	-1.858 *	-1644.218	-2.975 ***	-2187.007	-3.039 ***	-2085.458	-2.185 **
전운량	-9321.006	-4.697 ***	-9677.176	-4.675 ***	-12484.896	-6.269 ***	-15167.174	-6.952 ***	-24051.972	-8.770 ***	-29059.356	-8.621 ***	-25140.868	-6.592 ***
	13:00 - 13:59													
상수항	1110631.082	9.505 ***	1106765.934	10.237 ***	1172684.225	13.682 ***	1283131.118	13.901 ***	1230759.978	13.420 ***	1473815.061	15.836 ***	1632326.547	20.866 ***
시간	96.781	1.342	93.668	1.322	198.079	3.312 ***	216.702	3.532 ***	227.715	3.910 ***	130.936	2.059 **	121.688	1.924 *
일사량	274510.591	5.627 ***	287403.033	6.274 ***	320901.924	9.589 ***	318632.105	10.123 ***	348535.589	11.871 ***	248813.191	7.408 ***	157051.492	5.263 ***
기온	-4263.058	-1.750 *	-6111.209	-2.628 ***	-7552.833	-4.285 ***	-4582.805	-2.637 ***	-3686.015	-2.171 **	-401.138	-0.225	-1304.244	-0.755
강수량	31208.879	4.280 ***	23667.652	3.372 ***	13509.723	1.459	7059.083	0.666	-8941.065	-0.870	-34050.913	-3.034 ***	14064.601	0.094
풍속	-62096.288	-2.781 ***	-19467.445	-1.380	-12182.704	-1.153	-3023.066	-0.277	17171.729	1.554	26032.758	2.121 **	31891.701	2.632 ***
적설량	-300994.906	-1.783 *	-366223.977	-1.721 *	-164716.974	-4.312 ***	-43885.303	-1.036	-35066.289	-1.076	-28429.062	-0.914	-63740.429	-2.117 **
습도	-3354.299	-3.047 ***	-3943.850	-3.683 ***	-4733.756	-4.947 ***	-6933.232	-6.095 ***	-6493.816	-5.358 ***	-7076.764	-4.604 ***	-4811.072	-2.924 ***
전운량	-75994.940	-8.450 ***	-72570.689	-8.825 ***	-68413.153	-12.240 ***	-53881.549	-11.277 ***	-42331.952	-8.628 ***	-30908.335	-5.298 ***	-26933.106	-4.859 ***
	17:00 - 17:59													
상수항	-78568.204	-5.806 ***	-98161.179	-7.686 ***	-99967.993	-9.637 ***	-98717.189	-8.537 ***	-71667.554	-5.209 ***	-4469.484	-0.183	13911.746	0.478
시간	32.710	2.986 ***	36.363	3.247 ***	27.276	2.575 ***	11.692	1.057	4.288	0.333	-8.926	-0.413	-32.951	-1.198
일사량	164857.922	9.338 ***	217543.387	14.919 ***	258557.031	34.600 ***	276115.139	31.963 ***	269360.093	20.814 ***	229465.595	9.822 ***	203172.225	8.913 ***
기온	472.772	1.545	315.768	0.972	496.317	1.634	1249.267	3.549 ***	2526.881	5.616 ***	4351.276	6.055 ***	5810.943	7.035 ***
강수량	-1423.613	-0.530	-719.983	-0.233	231.869	0.077	-3081.017	-0.955	-2902.622	-0.656	-11152.446	-3.336 ***	-23675.334	-5.984 ***
풍속	709.843	0.368	1257.655	0.597	1662.794	0.858	3497.446	1.723 *	2171.490	0.988	3429.456	0.897	3404.549	0.710
적설량	-5318.021	-1.527	-7557.300	-1.631	-415.253	-0.115	-1568.504	-0.391	-4651.572	-1.333	-5591.997	-1.312	-10614.111	-1.797 *
습도	288.693	1.799 *	330.394	1.925 *	236.857	1.490	327.917	2.041 **	271.053	1.533	-287.349	-1.058	217.102	0.545
전운량	1261.775	1.872 *	2078.722	2.826 ***	3445.182	5.129 ***	3593.360	4.908 ***	3669.827	3.965 ***	4613.739	2.716 ***	5637.704	2.517 **

각주 : *, **, *** 는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미한다.

결과에서 볼 수 있듯이 모든 시간대의 모든 분위수 수준에서 일사량은 발전량에 통계적으로 아주 유의한 양의 효과를 미치는 것으로 나타났다. 각 분위수별 변수들에 대한 회귀분위수계수는 각기 다른 값들을 보이고 있다. 13:00-13:59에 대한 조건부 중위값($\tau=0.5$)의 경우 일사량(+), 습도(-), 전운량(-)의 효과가 통계적으로 유의한 반면 $\tau=0.05$ 의 경우에 비하여 전운량의 음의 효과는 더 크고 일사량의 양의 효과는 작으며 적설량이 통계적으로 유의한 음의 효과를 보이고 있다. 이는 발전량의 크기가 작을 때 적설량이 발전량에 더 많은 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 하지만 $\tau=0.95$ 로 발전량이 아주 높은 경우에는 다른 분위수 수준과 비교하여 강수량이 발전량에 통계적으로 유의하게 음의 효과를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 발전량이 중위값보다 높을 때 전운량과 강수량이 발전량을 낮추는데 더 많은 영향을 준다는 것을 확인하였다.

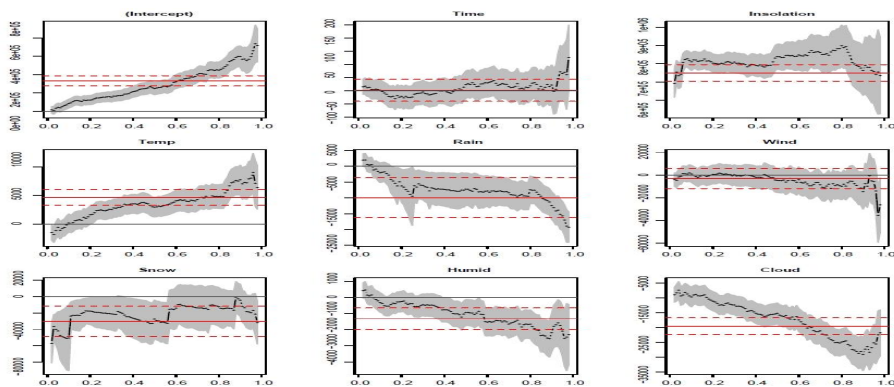
<그림 2>과 <그림 3>는 <표 1>의 결과 중 08:00-08:59와 13:00-13:59사이의 결과를 보여주고 있다. 그림의 횡축은 0부터 1까지의 분위수 수준을 나타내고, 종축은 추정된 회귀분위수계수의 값을 나타낸다. 그림에서 나타나 있는 점선은 0부터 1까지 분위수 수준을 100개로 균등하게 나누어 고려한 회귀분위수계수의 추정값을 나타낸다. 회색으로 구분된 구간은 회귀분위수계수 추정값의 95% 신뢰구간이며, 각 추정치의 극한공분산행렬은 오차항의 이분산을 고려하여 비모수적 방법을 사용하여 추정하였다. 수평으로 표시된 실선과 쇄선은 각각 최소자승추정치와 그 95% 신뢰구간을 나타낸다.

결과에서 볼 수 있듯이 매 시간대 별 추정된 회귀분위수계수의 값은 시간에 따라 서로 상이한 패턴을 지니는 것을 확인할 수 있다. 이는 각 시간대에서 분위수 별 기상변수들이 발전량에 서로 다른 효과를 가진다는 것을 의미하며, 이런 이산적인 결과는 일반적인 조건부 평균모형에서는 얻을 수 없는 결과임을 알 수 있다.

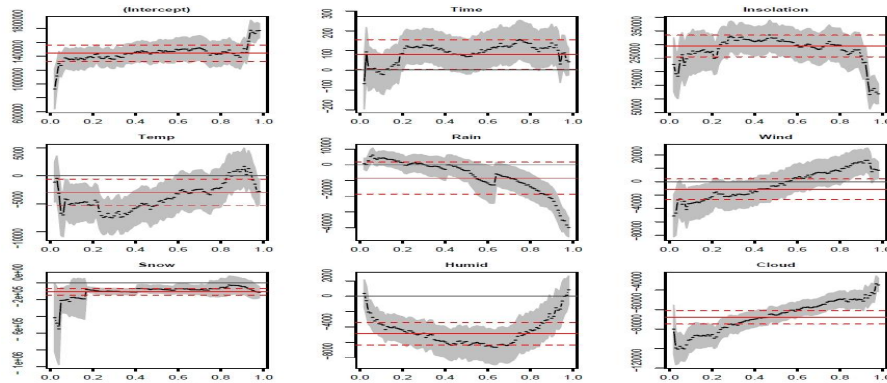
서울의 경우 추세변수는 최소자승 추정치와 회귀분위수계수의 추정치가 비슷한 값을 가지는 것을 확인할 수 있으나 유의수준으로 보면 대체적으로 낮

은 분위수 수준에서는 추세가 존재하지 않지만 높은 분위수 수준에서는 추세가 존재하는 것으로 나타났다. 일사량의 경우 분위수 수준이 증가할수록 역U자의 형태를 나타내고 있으며, 이는 발전량이 중위수준에 가까울수록 일사량이 발전량에 미치는 효과가 크며 낮거나 높은 발전량 수준에서는 일사량이 발전량에 미치는 영향이 상대적으로 크지 않다는 것을 나타내는 것이다. 기온의 경우 0.2-0.5 분위수 수준에서는 발전량에 통계적으로 유의한 음의 효과를 보이고 있지만 높은 수준의 발전량에서는 통계적으로 유의한 양의 효과를 지니는 것으로 나타났다. 강수량은 0.5 분위수 수준까지는 발전량에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않지만, 높은 분위수 수준에서는 발전량에 대하여 통계적으로 유의한 음의 영향을 주고 있으며 이러한 결과는 통상적인 최소자승 추정치와는 매우 다른 결과임을 확인하였다. 적설량의 경우 낮은 분위수 수준에서 통계적으로 유의한 음의 효과를 지니며 습도의 경우 전반적으로 음의 효과를 지니는 것으로 나타났다. 전운량의 경우 분위수 수준이 증가함에 따라 계수 또한 증가하는 형태를 보이고 있으며 이를 통하여 전운량 변수는 발전량이 커질수록 발전량에 미치는 영향이 줄어든다는 것을 확인할 수 있다.

〈그림 2〉 08:00-08:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (서울)



〈그림 3〉 13:00-13:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (서울)



〈표 2〉는 홍성에 위치한 태양광 발전소의 발전량에 대한 분위수회귀모형의 추정결과를 나타내고 있다. 서울과 비교하였을 때 홍성의 태양광 발전소 용량이 상대적으로 낮기 때문에 회귀계수값 또한 낮게 나타나고 있다. 홍성의 경우 07:00-07:59 시간대의 0.05와 0.1 분위수 수준을 제외한 모든 시간대의 모든 분위수 수준에서 일사량은 통계적으로 아주 유의한 양의 효과를 발전량에 미치는 것으로 나타났다. 또한 서울과 동일하게 전운량은 모든 시간대에서 유의하게 음의 효과를 보였으며, 습도의 경우 10시 이후의 발전량에 유의한 음의 효과를 보였다. 적설량의 경우 다른 변수와는 다르게 발전량이 높아질수록 음의 효과가 커지는 것으로 나타났다.

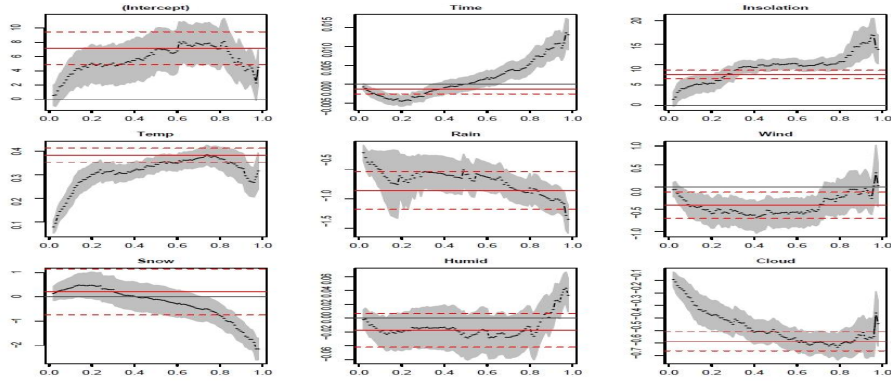
〈그림 4〉과 〈그림 5〉는 〈표 2〉의 결과에서 08:00-08:59와 13:00-13:59사이의 결과를 나타내고 있다. 추세변수는 서울의 경우와 비교해볼 때 전반적으로 일정하게 나타나지만 통계적으로 유의한 결과를 보이지는 않았다. 일사량의 경우 서울과 동일하게 분위수 수준이 증가할수록 역U자의 형태를 나타내고 있다. 기온의 경우 0.01-0.2 분위수 수준에서 발전량에 통계적으로 유의한 양의 효과를 보였지만, 분위수 수준이 높아질수록 통계적으로 유의하지 않게 나타났다.

〈표 2〉 시간대 별 분위수회귀분석 결과 (홍성)

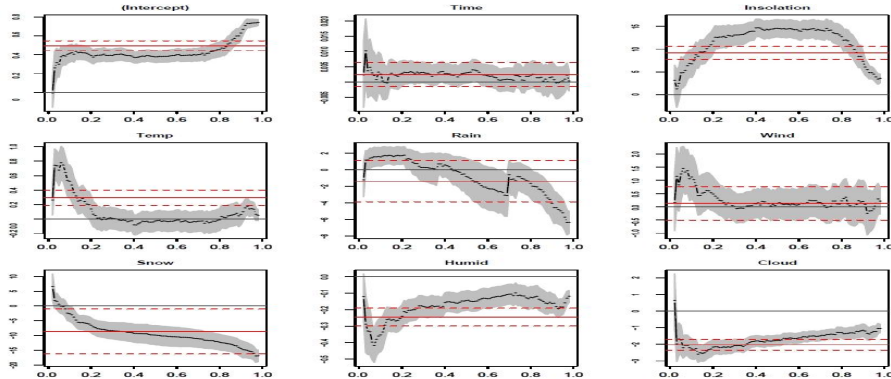
	$\tau=0.05$ t-값		$\tau=0.1$ t-값		$\tau=0.25$ t-값		$\tau=0.5$ t-값		$\tau=0.75$ t-값		$\tau=0.9$ t-값		$\tau=0.95$ t-값	
	08:00 - 08:59													
상수항	1.759	1.563	3.529	2.524 **	4.581	2.779 ***	6.942	3.759 ***	7.889	4.408 ***	5.106	3.145 ***	4.386	3.007 ***
시간	-0.002	-2.499 **	-0.003	-3.450 ***	-0.003	-4.037 ***	0.000	0.040	0.004	2.491 **	0.009	4.904 ***	0.010	4.664 ***
일사량	3.567	2.543 **	4.736	3.265 ***	6.753	5.346 ***	10.110	12.386 ***	9.941	10.201 ***	15.060	6.221 ***	17.219	6.781 ***
기온	0.144	6.418 ***	0.209	7.375 ***	0.305	12.165 ***	0.345	16.428 ***	0.380	14.610 ***	0.329	8.200 ***	0.270	6.988 ***
강수량	-0.408	-3.107 ***	-0.500	-2.550 **	-0.598	-2.910 ***	-0.586	-3.577 ***	-0.856	-6.091 ***	-1.026	-6.771 ***	-1.058	-8.165 ***
풍속	-0.204	-1.556	-0.444	-2.603 ***	-0.589	-2.911 ***	-0.592	-2.922 ***	-0.275	-1.201	-0.153	-0.598	-0.259	-1.144
적설량	0.255	1.165	0.360	1.338	0.326	0.983	-0.102	-0.285	-0.526	-1.720 *	-1.417	-5.068 ***	-1.750	-6.982 ***
습도	-0.010	-0.921	-0.020	-1.477	-0.014	-0.794	-0.028	-1.391	-0.023	-1.216	0.008	0.500	0.034	2.401 **
전운량	-0.158	-3.069 ***	-0.239	-3.602 ***	-0.399	-5.979 ***	-0.511	-9.068 ***	-0.623	-10.723 ***	-0.538	-6.363 ***	-0.560	-6.101 ***
	13:00 - 13:59													
상수항	29.860	3.467 ***	41.317	7.041 ***	39.700	8.942 ***	37.676	9.662 ***	41.620	9.132 ***	62.922	14.676 ***	73.450	26.603 ***
시간	0.005	0.846	0.003	0.652	0.003	1.411	0.003	1.412	0.002	0.719	0.002	0.527	0.000	0.140
일사량	4.782	2.177 **	6.766	3.603 ***	12.821	8.554 ***	14.590	11.991 ***	14.179	10.587 ***	7.332	5.319 ***	4.507	5.558 ***
기온	0.677	5.017 ***	0.523	3.756 ***	-0.008	-0.080	-0.026	-0.301	-0.051	-0.558	0.064	0.732	0.144	2.281 **
강수량	1.425	1.876 *	1.559	2.197 **	0.934	1.055	-0.792	-0.599	-0.822	-0.785	-4.034	-3.419 ***	-5.178	-5.147 ***
풍속	1.242	1.993 **	1.129	2.202 **	0.156	0.439	0.122	0.347	0.018	0.047	0.199	0.400	-0.081	-0.190
적설량	0.605	0.366	-2.633	-1.597	-7.919	-4.639 ***	-9.868	-4.821 ***	-11.724	-6.802 ***	-14.414	-8.426 ***	-15.500	-10.375 ***
습도	-0.334	-3.875 ***	-0.353	-5.592 ***	-0.201	-4.868 ***	-0.144	-3.860 ***	-0.112	-2.850 ***	-0.162	-4.385 ***	-0.183	-6.071 ***
전운량	-1.738	-3.235 ***	-2.277	-5.936 ***	-2.149	-8.269 ***	-1.757	-8.691 ***	-1.387	-7.012 ***	-1.156	-4.737 ***	-1.230	-5.557 ***
	17:00 - 17:59													
상수항	-4.849	-2.708 ***	-1.018	-0.512	5.753	3.249 ***	13.449	9.042 ***	18.106	11.859 ***	21.641	13.073 ***	27.798	11.456 ***
시간	0.004	2.362 **	0.000	-0.172	-0.001	-0.661	-0.009	-6.192 ***	-0.014	-9.488 ***	-0.015	-9.187 ***	-0.018	-7.772 ***
일사량	6.784	6.711 ***	9.053	9.282 ***	8.690	14.236 ***	8.459	14.877 ***	9.405	17.003 ***	8.414	13.104 ***	7.798	10.115 ***
기온	0.166	3.344 ***	0.205	3.994 ***	0.256	5.453 ***	0.318	7.472 ***	0.244	6.008 ***	0.315	7.510 ***	0.335	6.532 ***
강수량	-0.052	-0.261	-0.120	-0.528	-0.387	-1.386	-0.275	-0.589	-0.587	-1.165	-1.175	-4.188 ***	-0.106	-0.111
풍속	-0.089	-0.391	-0.228	-0.882	0.261	1.199	0.414	1.615	0.033	0.116	0.147	0.456	-0.493	-1.126
적설량	1.147	0.772	2.716	1.475	3.514	1.950 *	4.291	1.984 **	1.792	0.965	1.166	0.850	-1.262	-0.841
습도	0.002	0.097	-0.036	-1.694 *	-0.057	-3.035 ***	-0.069	-3.841 ***	-0.039	-2.119 **	-0.059	-2.949 ***	-0.051	-1.911 *
전운량	-0.038	-0.368	0.040	0.322	-0.526	-4.976 ***	-0.767	-7.834 ***	-0.656	-6.953 ***	-0.585	-5.440 ***	-0.739	-4.767 ***

각주 : *, **, *** 는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미한다.

〈그림 4〉 08:00–08:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (홍성)



〈그림 5〉 13:00–13:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (홍성)



강수량의 경우 0.2–0.8 분위수 수준에서는 발전량에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았지만, 높은 분위수 수준에서는 통계적으로 유의한 음의 효과를 보였다. 적설량의 경우 분위수 수준이 증가할수록 통계적으로 유의한 음의 효과가 강하게 나타났으며, 습도의 경우 전반적으로 음의 효과를 가지는 것으로 나타났다. 전운량의 경우 분위수 수준에 따라 계수가 함께 증가하는 형태를 보이며 발전량이 커질수록 발전량에 미치는 영향이 줄어드는 결과를 보였다.

〈표 3〉 시간대 별 분위수회귀분석 결과 (의성)

	$\tau=0.05$	t-값	$\tau=0.1$	t-값	$\tau=0.25$	t-값	$\tau=0.5$	t-값	$\tau=0.75$	t-값	$\tau=0.9$	t-값	$\tau=0.95$	t-값
08:00 - 08:59														
상수항	109.844	1.643	165.426	2.334 **	131.068	1.731 *	121.146	1.503	227.447	2.865 ***	179.575	1.959 *	343.900	3.618 ***
시간	0.053	1.551	0.008	0.230	-0.010	-0.271	0.043	1.026	0.053	1.004	0.087	1.517	0.038	0.671
일사량	680.831	18.607 ***	704.287	19.270 ***	801.262	22.450 ***	763.253	18.959 ***	673.306	15.494 ***	645.697	11.837 ***	552.088	11.181 ***
기온	-0.002	-0.002	0.274	0.217	-2.059	-1.704 *	-1.577	-1.201	0.158	0.094	2.017	1.143	4.600	2.475 **
강수량	-37.746	-1.184	-34.476	-1.012	-21.926	-1.327	-24.589	-2.095 **	-51.028	-3.868 ***	-60.704	-5.454 ***	-44.056	-1.176
풍속	-2.955	-0.345	-9.688	-1.014	-5.943	-0.599	-11.679	-0.998	-8.444	-0.532	26.451	1.229	11.320	0.585
적설량	10.502	0.963	5.035	0.384	-33.704	-1.311	-78.293	-1.840 *	-115.816	-2.844 ***	-93.623	-2.452 **	-106.588	-3.231 ***
습도	-0.336	-0.536	-0.213	-0.318	0.641	0.881	1.922	2.467 **	2.598	3.255 ***	4.035	4.349 ***	2.980	3.124 ***
전운량	-12.241	-4.685 ***	-15.646	-5.769 ***	-12.618	-4.731 ***	-15.638	-5.403 ***	-16.480	-4.830 ***	-12.211	-3.389 ***	-7.882	-2.207 **
13:00 - 13:59														
상수항	1133.654	4.363 ***	1503.969	7.390 ***	1948.362	11.543 ***	2511.294	14.429 ***	2967.458	15.127 ***	3368.762	13.810 ***	3686.652	15.457 ***
시간	0.041	0.198	0.029	0.190	-0.026	-0.218	-0.057	-0.524	-0.107	-1.008	-0.285	-2.355 **	-0.203	-1.625
일사량	695.349	8.130 ***	668.191	9.074 ***	741.535	11.894 ***	675.210	11.036 ***	627.003	9.842 ***	515.288	7.445 ***	431.500	6.954 ***
기온	21.070	2.811 ***	22.505	3.667 ***	10.482	2.371 **	10.854	2.623 ***	12.754	2.793 ***	23.518	4.863 ***	22.786	4.449 ***
강수량	80.691	3.157 ***	77.260	3.405 ***	61.643	2.504 **	28.849	1.067	17.921	0.780	30.117	0.331	-18.252	-0.601
풍속	28.128	0.728	72.998	3.200 ***	38.567	1.950 *	28.225	1.371	34.499	1.574	72.539	2.854 ***	64.508	2.436 **
적설량	326.987	2.503 **	329.424	2.505 **	-10.558	-0.065	-245.909	-1.182	-370.376	-2.221 **	-425.619	-3.098 ***	-595.006	-4.100 ***
습도	-14.589	-5.913 ***	-17.071	-8.046 ***	-15.186	-8.641 ***	-17.756	-9.249 ***	-21.012	-10.189 ***	-24.252	-9.478 ***	-24.871	-9.043 ***
전운량	-74.377	-4.495 ***	-88.279	-7.773 ***	-99.580	-10.071 ***	-92.855	-9.398 ***	-87.554	-8.197 ***	-85.748	-6.642 ***	-81.074	-6.012 ***
15:00 - 15:59														
상수항	2108.757	7.565 ***	2359.258	9.197 ***	2794.026	13.800 ***	3137.787	16.333 ***	3674.294	16.924 ***	4023.679	15.584 ***	3992.657	14.331 ***
시간	0.064	0.211	0.287	1.215	0.241	1.293	-0.074	-0.494	-0.058	-0.383	-0.318	-1.999 **	-0.140	-0.827
일사량	605.898	5.294 ***	614.589	6.311 ***	680.185	7.151 ***	814.623	8.926 ***	676.674	8.155 ***	692.819	8.434 ***	757.784	8.476 ***
기온	43.366	4.643 ***	40.943	5.870 ***	32.620	4.728 ***	20.989	3.723 ***	24.967	5.257 ***	22.898	4.797 ***	24.758	4.947 ***
강수량	112.382	2.548 **	99.906	2.431 **	149.910	3.986 ***	96.282	2.167 **	69.808	1.684 *	49.658	1.268	192.613	1.975 **
풍속	-50.998	-1.184	-5.948	-0.146	7.580	0.213	25.004	0.872	76.815	2.410 **	91.132	2.741 ***	82.924	2.563 **
적설량	5102.610	5.223 ***	4803.911	5.013 ***	3459.582	2.950 ***	883.386	0.631	46.748	0.043	-1381.180	-1.686 *	-1334.309	-1.849 *
습도	-30.719	-9.334 ***	-30.277	-9.864 ***	-32.513	-13.042 ***	-28.862	-12.791 ***	-31.267	-13.492 ***	-32.184	-11.266 ***	-32.053	-11.047 ***
전운량	-82.028	-4.288 ***	-106.961	-5.976 ***	-88.954	-6.050 ***	-80.703	-6.342 ***	-90.359	-6.809 ***	-74.146	-4.783 ***	-74.994	-4.367 ***

각주 : *, **, *** 는 각각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미한다.

기상정보를 이용한 태양광 발전량 분석을 위한 계량모형

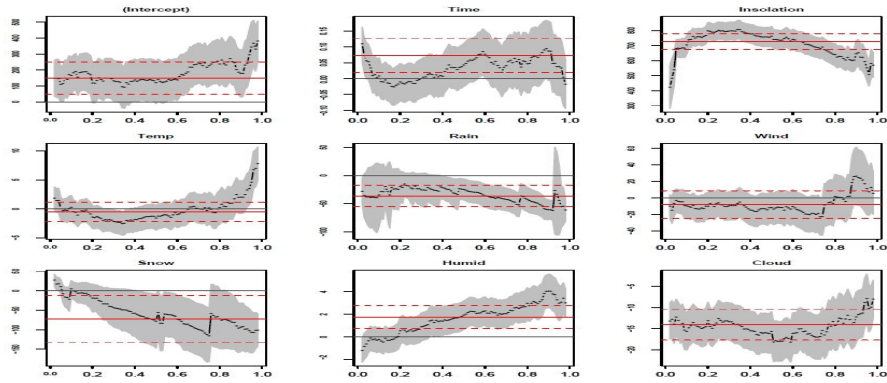
<표 3>은 의성에 위치한 태양광 발전소의 발전량에 대한 분위수회귀모형의 추정결과를 나타내고 있다. 결과에 따르면 일사량은 전 시간대에 걸쳐 통계적으로 유의한 양의 효과를 보였으며, 기온은 11시 이후부터 양의 효과가 뚜렷하게 나타났다. 습도와 전운량은 다른 두 지역과 동일하게 전 시간대에 걸쳐 음의 효과가 통계적으로 유의한 하계 나타났다. 특히 $\tau=0.05$ 인 경우 상대적으로 음의 효과가 더 크게 나타났으며 일사량의 양의 효과가 작고 강수량이 통계적으로 유의한 양의 효과를 지니는 것으로 나타났다. 적설량의 경우 발전량이 상대적으로 낮을 때 발전량에 통계적으로 유의하게 양의 효과를 주는 것으로 나타났지만, 이러한 효과는 0.5 분위수를 지나서는 사라지거나 음의 효과를 주는 것으로 나타났다.

<표 3>의 결과에서 08:00-08:59, 13:00-13:59의 결과를 나타낸 <그림 6>와 <그림 7>을 보면, 추세변수는 발전량이 커질수록 시간에 따라 조금씩 상승하는 서울의 경우와 반대로 높은 분위수 수준에서는 시간이 따라 발전량이 감소하는 형태를 볼 수 있으나 0.8 분위수 수준 아래로는 시간에 따른 특정한 추세를 보이지 않았다. 일사량의 경우 서울, 홍성과 같이 역U자형 형태를 나타냈다. 하지만 서울과 홍성의 경우비하여 일사량이 중위수준과 극단의 분위수 수준에서 발전량에 미치는 영향의 차이가 크지 않다는 것을 확인하였다.

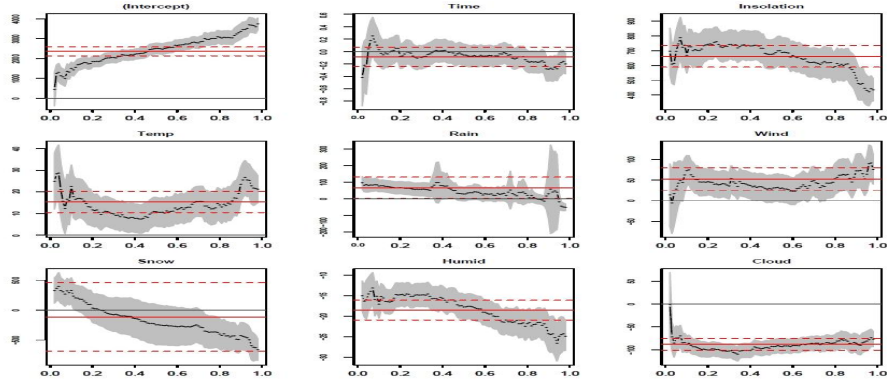
기온의 경우 0.01-0.2 분위수 수준에서는 발전량에 상대적으로 큰 양의 효과를 가지나 0.2 분위수 수준을 넘어서면 일정한 양의 효과를 보였다. 강수량은 0.6 분위수 수준에서는 발전량에 통계적으로 유의한 양의 영향을 미쳤으며, 적설량의 경우 분위수 수준이 증가할수록 통계적으로 유의한 음의 효과가 강해지는 것을 확인하였다. 습도의 경우 전반적으로 음의 효과를 지니는 것으로 나타났으며, 전운량의 경우 앞선 지역과 같이 발전량이 커질수록 발전량에 미치는 영향이 줄어드는 모습을 보였다.

기상정보를 사용한 태양광 발전량 분석을 위한 계량모형

〈그림 6〉 08:00–08:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (의성)



〈그림 7〉 13:00–13:59 시간대 분위수회귀분석 결과 (의성)

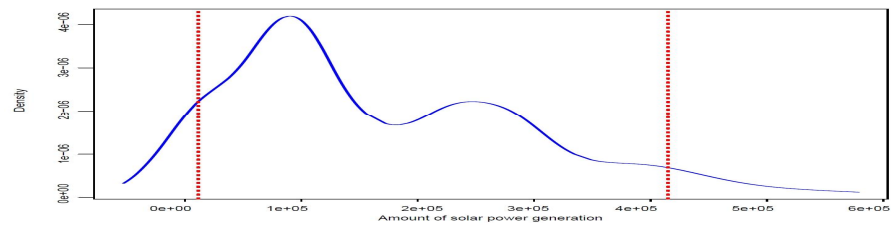


2. 시간대 별 조건부 분포의 추정

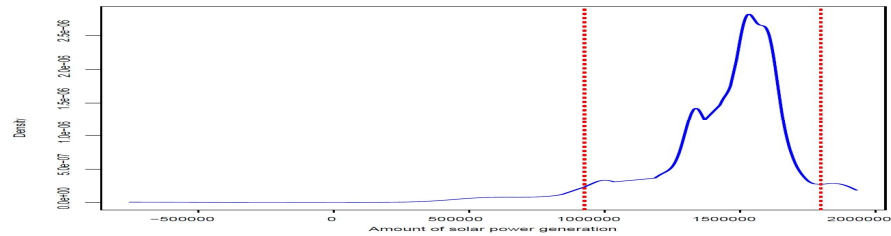
태양광 발전량의 조건부 분포의 추정은 태양광 발전량의 모니터링 방법 구성에 핵심적인 부분이다. 따라서 일정한 기상조건이 주어졌을 때 태양광 발전량의 분포를 추정하기 위하여 이번 연구에서는 적응적 커널 분포추정 (adaptive kernel density estimation) 방법을 사용하여 각 시간대에 기상변수들

의 평균값을 고려한 조건부 분포를 추정하였다.

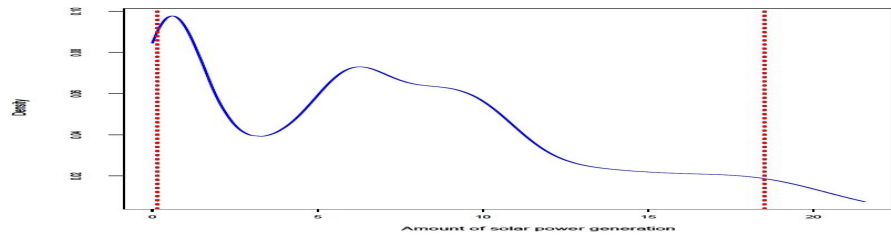
〈그림 8〉 08:00–08:59 시간대 조건부분포 추정 (서울)



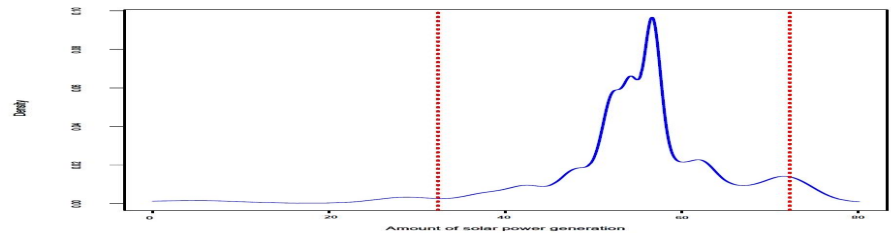
〈그림 9〉 13:00–13:59 시간대 조건부분포 추정 (서울)



〈그림 10〉 08:00–08:59 시간대 조건부분포 추정 (홍성)

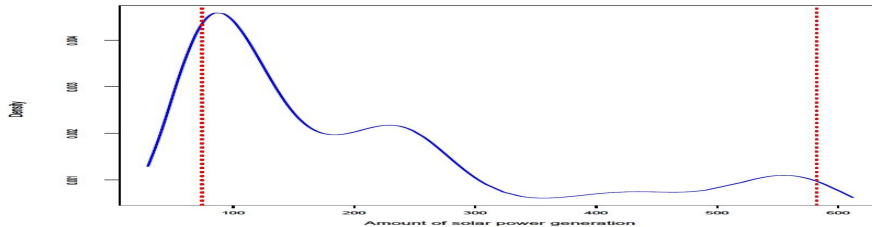


〈그림 11〉 13:00–13:59 시간대 조건부분포 추정 (홍성)

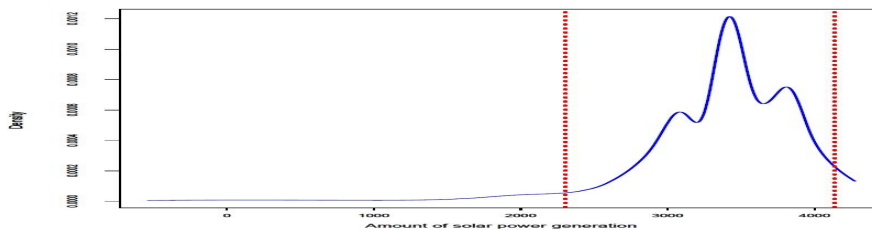


기상정보를 사용한 태양광 발전량 분석을 위한 계량모형

〈그림 12〉 08:00-08:59 시간대 조건부분포 추정 (의성)



〈그림 13〉 13:00-13:59 시간대 조건부분포 추정 (의성)



〈그림 8〉 - 〈그림 13〉는 각 지역에 위치한 태양광 발전소의 08:00-08:59와 13:00-13:59의 발전량에 대한 조건부분포 추정결과이다. 그림에서 수직선으로 나타낸 선은 조건부 분포의 0.05 분위수와 0.95 분위수를 나타낸다. 이는 두 수직선 사이에 조건부 발전량이 위치할 확률은 0.9라는 것을 의미하며, 이는 발전량 모니터링의 신뢰구간으로 사용될 수 있다.

각 시간대 별 발전량의 조건부 분포들은 아주 상이한 분포형태를 지니고 있음을 알 수 있으며, 각 추정된 조건부 분포는 정규분포와 아주 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 일반적인 회귀분석의 조건부 정규분포라는 가정이 태양광 발전량 분석에서는 맞지 않는 가정이라는 것을 확인할 수 있다. 발전량 분포에 의하면 시간이 갈수록 분포의 위치가 점점 오른쪽으로 이동하고 있으며 오후 13시에서 14시 사이에 최고의 발전량을 가지는 것으로 나타났다.

의성의 경우 서울과 비슷한 형태를 보이는 것으로 나타났지만, 홍성의 경우

서울보다 조건부 분포가 시간에 따라 급격하게 변하고 또한 다봉(multi-modal)을 가진 분포가 많은 것으로 나타났다. 이는 발전소의 용량이 작아 서울의 경우보다 발전량의 간헐성이 상대적으로 심하게 나타나기 때문에 보이는 현상으로 파악된다.

그림에서 보여주는 추정된 조건부 분위수값들은 매 시간 달라지는 기상정보를 반영하고 있음에 유의해야한다. 태양광 발전소 사업자들이 더 보수적인 모니터링을 원하는 경우 신뢰구간을 더 감소시키어 좀 더 보수적인 모니터링을 행할 수 있다. 대부분의 태양광 발전소의 경우 각 태양광 패널의 발전량을 실시간으로 모니터링 할 수 있으므로 제시된 모니터링 방법은 각 태양광 패널 하나하나에도 아무런 문제없이 적용될 수 있다.

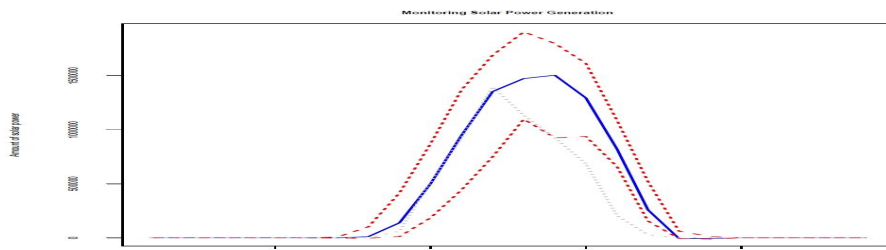
3. 태양광 발전량 모니터링 접근법

앞선 분위수회귀과정에서 추정된 조건부 분포를 이용하면 매일, 매시간 발전소의 발전량에 이상 유무를 파악할 수 있고, 이러한 모니터링을 하기 위해서는 매시간 각기 다른 기상변수들에 대한 발전량 분포를 알아야 한다. 본 연구에서 제안하는 모형은 분위수회귀과정을 이용하여 모든 분위수 수준에서 추정된 모수들의 값을 알고 있기 때문에 주어진 기상변수에 대한 발전량의 조건부 분포를 추정할 수 있으며 이로부터 현재 발전량이 적절한지를 체크할 수 있는 구조이다. 많은 기상서비스 회사들이 제시하는 모니터링 시스템은 예측모형에 기반하고 있으며 예측모형에 기반한 조건부 분포는 앞 선 결과에서 언급한 분포와 같은 유연성을 지니지 못한다(송재주 외 2014; 이현진, 2016). 하지만 본 연구에서는 각 시점에서 기상변수에 대한 조건부 분포를 추정할 수 있게 됨으로써 더 보수적인 신뢰구간을 제시할 수 있다는 장점이 있다.

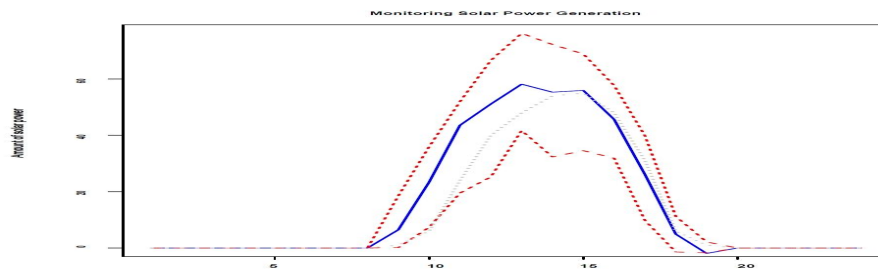
<그림 14>은 2017년 12월 31일에 세 발전소의 발전량이 정상적인지 살펴보는 모니터링의 결과이다. 횡축은 시간, 종축은 발전량을 나타내며, 실선은

추정된 조건부 중위값, 그 아래와 위로 나타나있는 채선은 각각 추정된 0.05와 0.95 조건부 분위수값, 그리고 점선은 발전량 실측값이다. 따라서 고정된 시간에서 두 채선의 차이로 나타내어지는 구간이 발전량의 90% 신뢰구간이 되며 발전량 실측값이 그 구간을 벗어나게 되면 발전소 태양광패널에 문제가 발생하고 있는 것으로 판단할 수 있다.

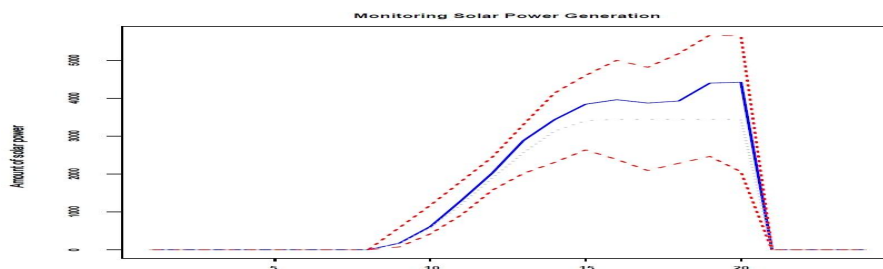
〈그림 14〉 모니터링 결과 (2017년 12월 31일)



(a) 서울



(b) 홍성



(c) 의성

V. 결 론

기상기업은 지속적인 시장 변화에 맞추어 새로운 비즈니스 모형에 대한 개발이 필요성이 요구되어지고 있다. 하지만 늘어가는 정보에 반하여 이러한 정보를 활용하여 새로운 서비스를 제공할 수 있는 계량분석모형에는 많은 연구가 이루어져 있지 않다. 이번 연구에서는 기초적인 기상정보를 태양광 발전에 활용할 수 있는 표준계량모형을 제안함으로써 새로운 비즈니스모델에 활용할 수 있는 새로운 기초를 마련하고자 하였다. 특히 전력 수요를 예측하여 불확실성을 낮추고자 하는 기존의 연구들과는 달리 공급측면에서 발생할 수 있는 불확실성을 줄이는 것에 중점을 두었다. 태양광 발전의 경우 전력공급의 불확실성이 기상 상황에 많은 영향을 받고 있으며, 이번 연구를 통하여 공급의 불확실성을 줄일 수 있는 계량모형을 제안하였다.

이번 연구에서는 기존의 평균을 중심으로 분석하는 모형에서 벗어나 본 연구에서는 발전량의 크기에 따라 다양한 분석이 가능한 분위수회귀모형을 고려하여 서울, 홍성, 의성에 위치한 태양광 발전의 발전량을 예측하고 모니터링한 결과를 살펴보았다. 또한 발전량 자료의 비선형성을 고려하여 새롭게 시계열 자료를 구축할 수 있는 방법을 제시하였으며, 이러한 발전량에 일사량, 기온, 강수량, 풍속, 습도, 전운량이 미치는 영향을 파악하여 실시간으로 태양광 발전량의 이상 유무를 확인할 수 있는 모형을 제시하였다.

분석 결과 발전량에 대하여 일사량과 기온의 경우 통계적으로 유의하게 양의 효과를 보였으며, 습도와 전운량의 경우 음의 효과를 보였다. 하지만 이러한 효과가 시간, 발전량의 크기, 위치에 따라 모두 다르게 나타났다. 특히 이번 연구에서는 이러한 기상정보를 기반으로 조건부 분포를 추정하고 신뢰구간을 도출하여 시간대별 태양광 발전량의 이상 유무를 확인하고 태양광 발전

량을 모니터링할 수 있는 방법을 제시하였다.

분위수회귀모형을 사용한 태양광 발전량 모니터링 방법은 기존의 예측모형에서 벗어나 더욱 유연하고 정확한 정보를 매일, 매시간, 매분 제공할 수 있는 모형이다. 또한 신뢰구간에 따라 더욱 보수적인 모니터링을 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 모니터링기법은 발전소 전체뿐만 아니라 패널 하나에도 적용할 수 있을 뿐 아니라, 태양광이 아닌 다른 형태의 에너지를 이용한 발전방식에도 사용될 수 있는 모델로써 본 연구가 수요에 맞게 새로운 정보를 제공하는 비즈니스모델에 활용되어지기를 기대한다.

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 곽대중. 2013. 「태양광, 풍력 및 연료저장 장치의 융합 비즈니스모델 활성화를 위한 정책과제」. 산업연구원. 산업창조화시리즈 2013-332.
- 권오현·이경수. 2018. “기상 환경 모니터링 데이터를 이용한태양광발전시스템 발전량 성능 분석”. 한국태양에너지학회논문집. 38(4): 11-31
- 국립기상연구소. 2013. 「기상정보 활용 및 가치 창출 지원 연구」. 예보기술지원 및 활용연구 5: 1-227.
- 기상청. 2013. 「기상정보 활용 저변 확대를 위한 날씨경영인증제도 활성화 지원 연구」.
- 김영은·조용성·김경남. 2017. “기상변수를 이용한 도서지역 전력수요 예측모형의 적합성에 관한 연구”. 신재생에너지. 13(2): 84-93.
- 김철현. 2014. 「혼합주기 자료를 이용한 전력수요 예측 모형 구축」. 에너지경제연구원
- 송재주·이상호·정운수. 2014. “태양광 발전을 위한 발전량 예측 모델 분석”. 디지털융복합연구. 12(3): 243-248.
- 신윤성. 2014. 「Big Data 기술도입의 파급효과와 미래산업으로의 발전방안」. 산업연구원. 산업연구원 연구정책세미나 2014권: 1-179.
- 신이레·윤상후. 2016. “특정 시간대 전력수요예측 시계열모형”. 한국데이터정보과학지. 27(2): 275-284.
- 양영민·강인식·유진호·안경희. “기상정보가 사회 경제에 미치는 영향과 효과분석”. 한국기상학회지. 40(2): 159-175.
- 이근호·손홍구·김삼용. 2018. “시계열모형과 기상변수를 활용한 태양광 발전량 예측 연구”. 응용통계연구. 30(1): 139-153.
- 이현진. 2016. “현재 기상 정보의 이동 평균을 사용한 태양광 발전량 예측”. 멀티미디어학회논문지. 19(8): 1530-1537.
- 한국환경정책·평가연구원. 2012. 「기후변화 적응 관련 유망 산업 발굴 및 활성화 방안 연구」. 한국환경정책·평가연구원. 1-125.
- 허선경. 2015. 「빅데이터를 활용한 날씨경영의 발전가능성과 시사점」. 산업연구원. 산업경제분석 2015: 53-62.

- Koenker R., Bassett G. (1978). “Regression Quantile”. *Econometrica*. 46(1): 33-50.
- Galvao Jr, A. F., Montes-Rojas, G. and Park, S. Y. (2013). “Quantile Autoregressive Distributed Lag Model with an Application to House Price Returns”. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 75(2): 307-321.
- Ododo J. C., Agabakwuru, J. A., and Ogbu, F. A. (1996). “Correlation of Solar Radition with Cloud Cover and Relative Sunshine Duration”. *Energy Conversion and Management*. 37(10): 1555-1559.

ABSTRACT

Simple Econometric Model
for Monitoring Performance of Photovoltaic
using Weather Information

Young C. Joo*, Jeongin Kim** and Sung Y. Park***

As the weather services markets enter the new phase due to information integration and open information services, a lot of service providers start to consider new weather business models using these preliminary data. This study proposes a simple econometric model that can monitor the photovoltaic and provide contextual information using various weather information. To analyze the effects of weather conditions (insolation, temperature, precipitation, wind speed, humidity and cloud) on the daily photovoltaic located in Seoul, Hongseong and Uiseong, we incorporate a quantile regression approach that has been widely used in economic literature. In addition, data format transformations are considered to take care of nonlinearity of the time-series variables. This study provides photovoltaic monitoring methods by estimating the conditional distributions of hourly power performances.

Key Words : Weather Information, Photovoltaic, Photovoltaic Performance Monitoring, Quantile Regression

* Doctoral Student, Department of Economics, Chung-Ang University (main author), jooyc@cau.ac.kr

** Professor, Department of Economics, Chung-Ang University (co-author), jeongin@cau.ac.kr

*** Associate Professor, Department of Economics, Chung-Ang University (corresponding author). sungpark@cau.ac.kr