



[2017-6-RP-010]

기상변수를 이용한 도서지역 전력수요 예측 모형의 적합성에 관한 연구

김영은¹⁾ · 조용성¹⁾ · 김경남^{1)*}

A Study on the Suitability of Load Demand Forecasting Models for Island Area Using Weather Variables

Young-Eun Kim¹⁾ · Yongsung Cho¹⁾ · Kyung Nam Kim^{1)*}

Received 10 May 2017 Revised 22 May 2017 Accepted 23 May 2017

ABSTRACT Long and short-term load demand forecasting are of great importance in the process of electricity policy formulation. In particular, load forecasting in an energy-independence island is essential for an appropriate investment in off-grid electrical power systems using renewable energy sources. The purpose of this study was to evaluate the performance of three models in forecasting the electricity load demand in an island area: the multiple regression model, ARIMA model, and Reg-ARIMA model, which is the combined model of the two preceding ones. Using the Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) as a forecasting accuracy criterion and comparing the predicted and real values of the three islands in 2015, the study concluded that the combined method is a more appropriate model.

Key words Load demand forecasting(전력 수요 예측), ARIMA modelling(ARIMA 모델링), Multiple regression model(다중 회귀 모형), Regression-ARIMA model(회귀-ARIMA 모형), Energy-independence island(에너지자립섬)

subscript

ARIMA : autoregressive integrated moving average model

AR : autoregressive model

MA : moving average model

ACF : autocorrelation function

PACF : partial autocorrelation function

RMSE : root mean square error

MAPE : mean absolute percentage error

1. 서론

전력수요 예측은 에너지 관리 시스템에서 매우 중요한 부분이다.^[1] 전력을 생산하는 발전소의 설비 및 전력 수급 계획은 장기간에 걸쳐있으며 많은 비용이 소모된다. 또한 생산된 전력은 소비가 동시에 이루어진다는 특성을 지닌다. 전력수요가 과대 예측될 경우 발전 설비에 대한 과잉 투자가 발생할 수 있고, 과소 예측될 경우 전력 공급이 부족하고 불안정해질 수 있는 가능성이 커지게 된다.^[2,3] 이에 정확한 전력수요 예측을 위한 다양한 모형들이 개발 및 적용되고 있으나, 아직 보편적으로 적용할 수 있는 표준 모형에 대한 합의는 부족한 실정이다.

기술적, 경제적 이유로 송·배전의 제약을 받을 수 있는

1) GreenSchool (Graduate School of Energy and Environment), Korea University

*Corresponding author: i005034@korea.ac.kr

Tel: +82-2-3290-5917 Fax: +82-2-929-2619

도서지역의 경우, 전력수요 예측의 중요성은 더 크다고 할 수 있다. 그러나 도서의 전력수요는 일반 도시들과 다른 특징을 보인다. 먼저, 도서는 부하율과 설비용량이 낮고 소규모 독립 전력계통을 운용한다는 특수성을 가지고 있다.^[4] 육지와 분리된 지리적 특성과 일반 도시와는 다른 생활 방식 또한 도서지역의 전력수요 패턴과 내륙 지역의 전력수요 패턴에 차이를 발생시킬 수 있다. 이러한 점을 고려할 때 선행연구들^[2,3]에서 주로 대도시 혹은 국가 전체를 대상으로 적용되어 온 전력수요 예측 모형이 도서지역에도 동일하게 적용될 수 있는지에 대한 고찰이 필요하다.

도서지역의 안정적 에너지 공급을 위해 지속가능한 독립 전력공급시스템 구축이 필요하다^[5,6]는 인식에 따라 정부에서는 친환경에너지자립섬 조성을 확대하고 있다. 이러한 측면에서, 에너지자립섬의 기반이 되는 도서지역 전력수요의 예측은 성공적인 정책 집행을 위해서도 필수적이다. 그러나 도서지역의 전력수요 및 전력소비 특성과 관련된 연구 및 기술적 데이터가 매우 부족하여 각 섬의 특성에 맞는 실질적 전력 설비 지원과 투자가 힘든 실정이다. 일례로, 전력수요 예측모형에 포함되는 기상 자료를 수집해야 할 경우, 기상 관측소가 울릉도, 백령도, 제주도, 흑산도 등의 대형 도서에만 존재하여 중·소규모 개별 도서의 정확한 기상 자료를 확보하는 데 어려움이 있다.

이에 본 연구는 한국의 대표적인 도서인 울릉도, 백령도, 흑산도의 전력 수요 자료를 기존 전력수요 예측 방법에 적용하여 어떠한 예측 방법이 한국 도서의 전력수요 특성에 가장 적합한지 알아보는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서 추정된 전력수요 예측 모델의 도서 지역에서의 적합성과 비교 결과는 도서지역의 전력수요 예측 및 에너지자립섬을 위한 발전시스템 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 기존 문헌 연구

전력수요 예측에 관해서는 상당히 많은 연구가 이루어져 왔다. 이들 연구에서 전력수요를 예측하는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다.^[7,8] 첫째로 확률적인 방법이 있는데, 전력수요에 영향을 미치는 변수와 전력수요 간의 상관관계를 분석하여 모형화하는 방법으로 회귀 분석 등을 예

로 들 수 있다. 한정희 등(2011)은 외기온도와 일별 전력수요 패턴을 이용한 회귀분석을 실시하였으며^[9], 남봉우 등(2008)은 현 배전계통계획시스템(DISPLAN)의 지역전력수요예측 알고리즘을 개선하기 위해 지역경제, 지역인구와 과거의 판매전력량을 입력변수로 사용한 다중회귀분석을 수행하였다.^[10]

두 번째 방법은 시간의 흐름에 따라 관측된 시계열 자료를 이용한 분석 방법이다. 이 방법은 과거 관측치의 상호관계로 모형을 구축하여 미래에 대한 예측을 한다는 특징을 가지고 있다.^[11] 김시연 등(2014)은 2002년부터 2010년까지의 과거 전력수요 실적을 계절 ARIMA 모형으로 분석하여 2011년부터 2012년까지의 주간 최대 전력수요를 예측한 바 있으며^[3], 안병훈 등(2015) 역시 계절 ARIMA 모형을 이용하여 12개월 동안의 대한민국 16개 지역의 전력사용량을 예측하였다.^[2] 이 외에 국외 연구에서는 비교적 데이터 수집이 어려운 개발도상국 대상 연구에서 시계열 분석이 주로 사용되었다.^[7]

최근에는 이 두 가지 방법을 통합하여 예측모형을 구성하는 연구도 증가하고 있다. 신이레 등(2016)은 전력수요 예측을 위한 기상정보에 대해 연구했는데, 월 단위 전력수요 예측 오차와 기상변수의 회귀 모형으로 전력수요 예측값의 편의를 보정하였다. 이는 시계열적 예측 오차를 기반으로 회귀모형을 이용해 예측 정확도를 향상시킨 예이다.^[12] 또한 Miswan 등(2016)은 회귀모형과 결합된 ARIMA 모형으로 말레이시아 조호르바루의 전력수요를 예측하였다.^[7] 본 연구의 연구 대상 도서에 대하여 백민호 등(2016)은 울릉도의 복합전력시스템 보급타당성을 분석하는 과정에서 울릉도의 전력 수요에 영향을 미치는 주민의 어업 및 관광 서비스의에 대해서 언급하였다.^[20]

이상 살펴본 바와 같이 전력수요를 예측하는 데는 한 가지 표준화된 모형이 존재하는 것이 아니라 다양한 모형이 혼용되고 있다. 따라서 어떠한 모형이 특정 지역의 전력수요를 예측하는 데 가장 적합한지에 대한 의문이 항상 뒤따른다. 이에 여러 연구에서 각 모형 간 적합성을 비교한 바 있다. Goel 등(2014)은 인도 뉴델리의 전력수요 예측에 있어서 다중회귀, 추세 계절성 모형과 ARIMA 모형의 상대적 정확도를 비교하였고^[13], Miswan 등(2016)은 다중회귀, ARIMA, 회귀모형과 결합된 ARIMA 모형의 적합성을 검증하여 결

합 모형에서 예측 오차가 가장 적게 나타남을 밝혔다.^[7] 이에 비해 국내 연구는 비교적 시계열 모형 간 적합성 비교가 주를 이룬다. Park 등(2012)은 계절형 ARIMA, 계절형 Holt-Winters, 계절형 AR-GARCH, 계절형 FARIMA 등 다양한 시계열 분석 모형으로 영국의 전력수요 자료를 분석한 결과 변동성이 강한 경우를 제외하고는 계절형 FARIMA 모형이 전력수요를 비교적 잘 예측하는 것을 발견하였다.^[14] 김시연 등(2014)은 ARIMA와 계절 ARIMA 모형을 비교하여 계절 ARIMA 모형이 보다 적합한 결과 예측을 보인다는 결론을 얻었다.^[3] 정상욱 등(2014), 정현우 등(2014)의 연구에서 회귀분석 모형과 시계열 모형을 비교하고는 있으나^[15,16], 특정 지역이 아닌 대한민국 총 전력수요를 자료로 하고 있다는 점에서 본 연구와 차이가 있다. 또한 정상욱 등(2014)은 시계열 분석 모형의 하나인 GARCH 모형의 적합성이 더 크다고 결론내린 반면, 정현우 등(2014)은 다중회귀 모형의 예측 정확성이 더 크다고 주장하는 등 아직 합의된 모형이 존재하지 않으므로 본 연구에서는 한국의 도서 지역에서는 어떠한 모형이 전력수요를 더 잘 예측할 수 있는지 각 모형을 비교해보고자 한다.

3. 연구 자료 및 방법

3.1 연구 자료 수집

본 연구의 분석대상은 도서 지역의 전력수요이며, 이를 위하여 비교적 자료 확보가 용이한 울릉도, 흑산도, 백령도 등 3개 섬을 분석 대상으로 선정하였다.

분석에 사용한 변수는 크게 전력수요 관련 변수와 기상 조건 관련 변수로 나눌 수 있다. 먼저, 종속변수인 전력수요 자료로는 한국전력에서 매년 발표하는 도서별 전력수급 실적을 참고하여 분석대상지의 7년치 월별 전력수요 자료(2009.01-2015.12)를 구축하였다. 도서별 전력수급 실적에 수록된 지표 중 총발전량은 발전소 내부에서 자체 운영을 위해 사용하는 소내 전력량과 도서 내의 발전소를 제외한 지역에 판매되는 판매 전력량으로 이루어진다. 이 중 판매 전력량이 섬 주민 등에 의해서 섬 내부에서 실제로 소비되는 전력량에 해당하므로 이를 전력수요 데이터로 사용하였다.

한편, 기상조건(Weather condition)은 냉·난방 사용을 증가시켜 전력수요에 많은 영향을 미치기 때문에 다양한 연구에서 전력수요 예측에 중요한 입력변수로 고려되어 왔다.^[16] 이에 본 연구에서도 기상조건을 고려하였으며, 기상청 국가기후데이터센터에서 스마트 검색 서비스를 이용하여 2009년부터 2017년까지의 월 평균 기온, 월 최고 및 최저 기온, 월 평균 습도, 월 평균 강수량 자료를 수집하였다.

일반적으로 도서지역은 소규모와 독립 계통의 특성상 기상조건에 따라 작은 부하변동에도 전력수요가 민감하게 반응하는 특징을 가지고 있다.^[17] 또한 도서 전력소비패턴을 실측 조사한 결과, 도시 지역과 달리 주중, 주말의 구분이 거의 없는 패턴을 나타내는 등 섬 지역 주거시설의 시각별 전력수요량 변동 패턴은 도시의 주거시설과는 차이가 있다.^[5] 따라서 도서 지역이라는 특정한 조건 하에 사회경제적 변수 및 기타 변수를 따로 설정하지 않고 기상 관련 변수만으로 전력 수요를 분석하고자 하였다.

결과적으로 전력수요 자료와 기상조건 자료가 모두 갖추어진 2009년 1월부터 2015년 12월까지 총 7년(84개월)간의 분석 자료를 구성하였다. 이 중 모형 분석을 위해 2014년 12월까지의 데이터를 활용하였으며, 2015년 1월부터 12월까지의 데이터는 모형의 예측력 평가에 사용하였다. 모형의 실증분석은 통계패키지 프로그램 STATA 13을 사용하였다.

3.2 다중회귀분석

다중회귀분석은 기상 요소들과 전력수요 간 함수 관계를 찾는 방법으로^[8], 본 연구에서는 선형(linear) 관계를 가정하여 모형을 구성하였다. 일반적으로, 전력수요 예측 모형에는 기온, 강수량, 계절 등의 기상변수들이 사용되며, 인구, 가구당 소득 등 사회경제적 변수 또한 전력 수요에 영향을 미친다는 연구 결과가 있다.^[8] 그러나 한국의 경우, 기초지방자치단체 단위로 통계자료가 공개되기 때문에 특정 기초지방자치단체를 구성하고 있는 각각의 섬에 대한 사회경제적 데이터는 공개되어 있지 않아 모형에 포함시키기 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 총 전력수요량(판매 전력량)을 종속변수로 사용하고, 설명변수이자 독립변수로는 선형연구에서 전력수요에 미치는 영향이 크다고 판단되어 온 평균기온, 최고기온, 최저기온, 습도 및 강수량 등

의 기상변수를 사용하였다. 또한 수집된 데이터가 월별 데이터이므로 전력수요에서의 월별 변화(monthly variation)를 설명하기 위해 범주형 변수인 월별 더미 변수를 포함하였고, 전력 수요의 월별 패턴이 일부 존재할 것으로 가정하여 1년 전 같은 달의 전력수요를 반영하였다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{16} X_{16} + \beta_{17} X_{17} \quad (1)$$

(Y: 전력수요, X₁: 1년 전 동월 전력수요, X₂: 평균기온, X₃: 최고기온, X₄: 최저기온, X₅: 강수량, X₆: 습도, X₇~X₁₇: 월별 더미)

3.3 ARIMA 모형

시계열분석 방법은 전력수요에 영향을 미칠 수 있는 외부 요인들을 각각 통제하는 대신, 매시간, 매일, 매주, 매월 등 일정 시점마다 측정된 전력부하량 그 자체를 변수로 하여 변동 패턴 등에 의거, 미래의 전력수요를 예측하는 기법이다.^[8] 대표적인 시계열분석 모형으로 자기회귀 모형(Autoregressive model: AR)과 이동평균 모형(Moving Average model: MA)이 결합된 모형인 자기회귀이동평균 모형(Autoregressive Moving Average model, ARMA)을 들 수 있다. 자기회귀 모형이란 현재의 시계열이 과거 관측 값들로 설명되는 모형이고, 이동평균 모형이란 시계열이 과거 오차항으로 설명된다는 모형이다.^[9] 그러나 이러한 ARMA 모형은 정상적(stationary) 시계열 자료를 분석하는 방법으로, 비정상성을 보이는 전력수요 예측에는 적합하지 않기 때문에 본 연구에서는 차분(differencing)을 통하여 회귀추세나 계절적 변동을 제거함으로써 비정상 시계열 자료를 정상화시켜 분석하는 ARIMA 모형^[1]을 전력수요 예측모형으로 이용한다.

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \vartheta_i y_{t-i} \quad (2)$$

(β: 자기회귀 계수, y_t: 시계열자료, p: 자기회귀 시차, ϑ: 이동평균 계수, q: 이동평균 시차)

ARIMA 모형의 적용은 크게 세 단계로 구분된다. 첫째,

모형 식별(model identification) 단계로, 데이터의 정상성을 검정하고 자기상관함수(Autocorrelation Function, ACF)와 부분자기상관함수(Partial Autocorrelation Function, PACF)를 관측하여 차분의 차수를 결정하여 모형을 구성한다. 둘째, 모형 추정 및 검증(model estimation and validation) 단계로 AR(p), I(d), MA(q)를 조합한 후 각각의 AIC(Akaike's Information Criterion) 통계량과 BIC(Normalized Bayesian Information Criterion) 통계량을 산출하여 예측에 가장 적합한 모형을 찾는다. 마지막으로, 도출된 모형을 적용한다.^[7]

3.4 Reg-ARIMA 모형

Reg-ARIMA 모형은 시계열 모형인 ARIMA와 선형 회귀 모형의 특성을 결합한 것으로, 기존 ARIMA 모형에 회귀모형의 독립변수 효과를 포함시킨 모형이다.^[15] 일반적으로 기존 ARIMA 모형이 예측 정확도 향상을 위해 회귀 모형과 결합하여 모형을 이루는데, 이는 과거 전력 수요뿐만 아니라 기상 변수 등의 독립변수에 의해 받는 영향도 무시할 수 없는 섬 지역의 전력수요 예측에 더 적절할 수 있다.^[7]

$$Y_t = \varphi + \sum_{i=1}^p \beta_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^q \vartheta_i y_{t-i} + \beta_1 X + \varepsilon \quad (3)$$

(X₁: 1년 전 동월 전력수요, X₂: 평균기온, X₃: 최고기온, X₄: 최저기온, X₅: 강수량, X₆: 습도, X₇~X₁₇: 월별 더미, ε: 오차항)

4. 결과 및 논의

4.1 도서 전력수요 현황 및 정상성 검증

Fig. 1은 2009년 1월부터 2014년 12월까지 울릉도, 백령도, 흑산도 등 3개 섬의 전력수요를 나타낸다. 울릉도와 백령도의 경우, 일정한 주기적 패턴이 반복되고 있으며 2009년부터 2014년까지 전력수요가 꾸준히 증가하는 추세를 발견할 수 있어 전력수요 데이터가 비정상성을 지니고 있음을 예상할 수 있다. 이에 비해 흑산도는 주기적 패턴은 발견되나 시간 흐름에 따른 전력수요 증가 추세는 크게 발견

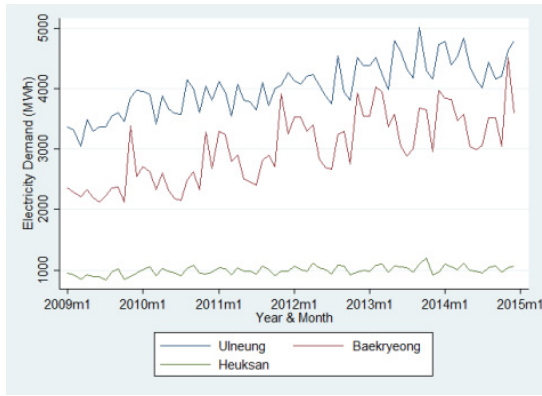


Fig. 1. Electricity demand in three islands from 2009 to 2014

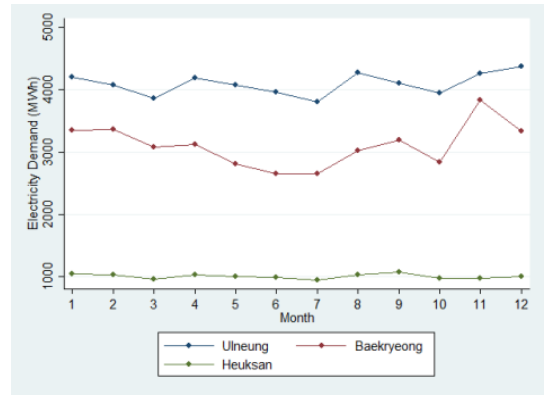


Fig. 3. Average monthly electricity demand in three islands from 2009 to 2015

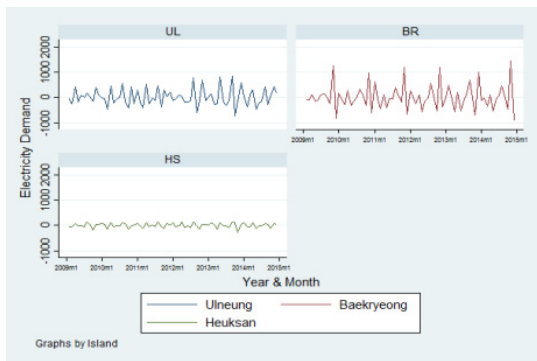


Fig. 2. The first differencing of electricity demand

되지 않는다. ADF 단위근 검정 결과 울릉도의 p-value가 0.113, 백령도의 p-value가 0.243, 흑산도의 p-value가 0.000으로 흑산도는 정상적 시계열을 보였으며, 백령도와 울릉도는 5% 유의수준에서 데이터가 정상성을 지닌다는 귀무가설을 기각할 수 없어 비정상적 시계열로 판단된다.

이에 시계열 데이터의 비정상성을 제거하기 위하여 비계절적 1차 차분을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 원자료와 비교하여 증가 추세를 보이지 않고 평균을 중심으로 비교적 일정하게 움직이는 것을 확인할 수 있다.

한 가지 특이한 점은 3개 섬의 전력수요가 국내의 일반적인 전력수요와 비교하여 계절성이 뚜렷하게 보이지 않는다는 점이다. 한국의 일반적인 전력수요 특징은 봄·가을에 비해 냉·난방 부하가 집중되는 여름과 겨울의 전력수요가 확연히 높아 피크를 이룬다는 점이다.^[15,18] 그러나 본 연구의 분석대상인 3개 섬의 경우, 2009년부터 2015년까지 3개 섬의 월별 평균 전력수요량을 확인한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 여름(7~8월)과 겨울(12~1월)에 피크가 분

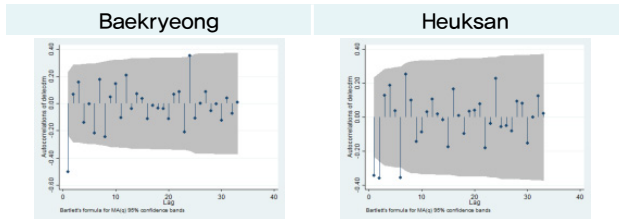
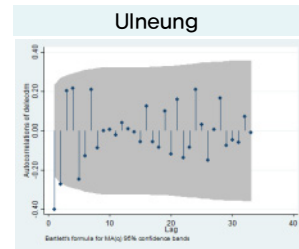


Fig. 4. ACF of the first differencing

명하게 나타나지 않고, 4월과 11월의 전력수요가 여름이나 겨울의 전력수요와 비슷한 수준을 나타내기도 한다. 즉, 울릉도, 백령도, 흑산도 등 3개 도서의 전력수요에서는 뚜렷한 계절성이 발견되지 않는다고 볼 수 있다. 이를 확인하기 위해 Fig. 4와 같이 비계절적 차분 변수의 ACF를 그려보았으나, 이 역시 시차 1을 제외하고는 뚜렷한 자기상관을 보이지 않고 대부분 신뢰구간 내에 머물러 있거나 확연한 반복 패턴을 보이지 않아 계절성이 분명하지 않은 것으로 판단된다. 이에 따라 계절적 차분은 생략하고 비계절적 1차 차분 결과를 바탕으로 ARIMA 모형을 구성하였다.

4.2 다중회귀분석

Table 1은 3개 섬의 전력수요에 대한 다중회귀분석 결과

를 나타낸다. 흑산도를 제외한 2개 섬에서 기상변수만을 포함한 모형은 전력수요에 대한 설명력이 매우 낮았으며, 전년도 동월의 전력수요가 해당 도서의 전력 수요와 높은 상관관계를 나타내었다.

Fig. 5를 통해 월별 더미변수와 전년도 동월의 전력수요를 모형에 포함할 시 전력수요 예측력도 비교적 높은 수준을 나타낸다는 것을 발견할 수 있다. 일부 오차는 다소 존재하지만, 전반적인 변동추세는 유사하게 나타난다. 예측 모형의 정확성 판단에 활용되는 RMSE(Root Mean Square Error)와 MAPE(Mean Absolute Percentage Error) 값

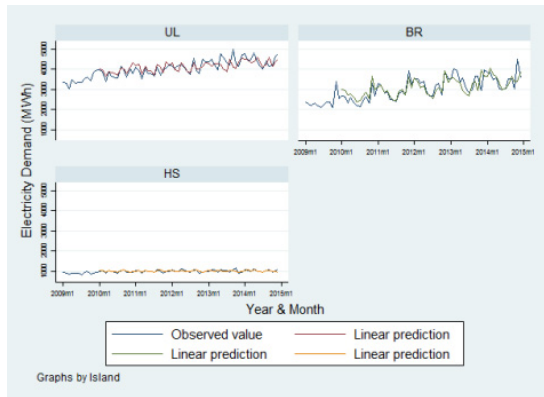


Fig. 5. Electricity demand prediction using multiple regression

Table 1. Multiple regression on the electricity demand in three islands

	Ulneung		Baekryeong		Heuksan	
	M 1	M 2	M 1	M 2	M 1	M 2
Demand for the previous year	-	0.47***	-	0.56***	-	-0.02
Average temperature	460.7	-18.6	-1026.3	-497.2	-219.4**	-145.5
The highest temperature	-276.9	11.5	621.4*	308.5	81.4*	54.8
The lowest temperature	-153.1	86.7	330.1	198.3	140.5**	100.0
Precipitation	0.07	0.43	-0.92	-0.12	0.08	0.06
Humidity	-15.2	2.45	5.17	-0.16	6.90***	3.97
월별 더미 포함 여부	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	72	60	72	60	72	60
Adjusted R ²	-0.06	0.22	0.16	0.51	0.26	0.19

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

을 계산한 결과 울릉도는 각각 263.85와 4.85, 백령도는 306.88과 7.10, 흑산도는 49.50과 3.60으로 나타났다.

4.3 ARIMA 모형

Fig. 4와 Fig. 6에 나타난 ACF와 PACF를 관찰하여 적합한 ARIMA 모형을 유추할 수 있다. 먼저, ACF와 PACF 모두 특정 시차 이후 자기상관계수가 0에 가깝게 절단되는 형태를 보이지 않으므로 AR 모형과 MA 모형이 결합된 모형이 더 적절할 것이라 예측할 수 있다. ACF의 경우, 울릉도와 백령도는 시차 1, 흑산도는 시차 2 이후에 자기상관계수가 0과 통계적으로 유의하게 다르지 않고 진폭이 축소되는 경향을 보인다. 한편, PACF의 경우, 울릉도는 시차 3 이후, 백령도는 시차 1 또는 6 이후, 흑산도는 시차 6 이후 대체적으로 진폭이 감소하기 시작하였다. 이를 바탕으로 Table 2와 같이 ARIMA 모형을 고려하였고, 이들의 AIC와 BIC를 비교하였다.

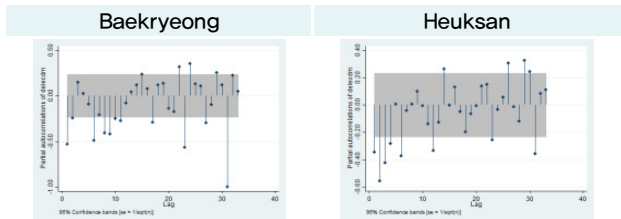
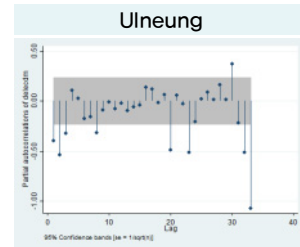


Fig. 6. PACF of the first differencing

Table 2. The list of potential ARIMA models with AIC and BIC

Model	울릉도		백령도		흑산도	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
ARIMA(1,1,1)	996.9	1005.9	1055.8	1064.9	797.0	806.0
ARIMA(1,1,2)	997.7	1009.0	1056.0	1067.4	792.7	801.8
ARIMA(3,1,1)	996.3	1009.9	1056.1	1069.7	790.4	804.0
ARIMA(3,1,2)	997.6	1013.4	1055.5	1071.4	792.4	808.2
ARIMA(6,1,1)	991.0	1011.3	1035.7	1056.0	789.4	809.8
ARIMA(6,1,2)	990.5	1010.9	1031.0	1053.7	782.8	805.4

백령도에서는 ARIMA(6,1,2) 모형이 AIC와 BIC 모두 가장 낮은 값을 보여 가장 적합한 모형으로 나타났다. 한편, 울릉도와 흑산도의 경우 AIC와 BIC가 가장 낮은 모형이 다소 다르게 나타난다. BIC는 AIC와 유사하게 최대우도함수(maximum likelihood function)의 값을 사용하나 데이터의 개수와 후보모델의 모수의 개수의 보정계수로 사용하여 AIC의 단점을 보완한 방법이다.^[19] 이에 본 연구에서는 AIC의 단점을 보완하여 좀더 정확한 통계량을 제시하는 BIC를 기준으로 모형을 선택하였다. 따라서 울릉도에는 ARIMA(1,1,1), 흑산도에는 ARIMA(1,1,2) 모형이 가장 적

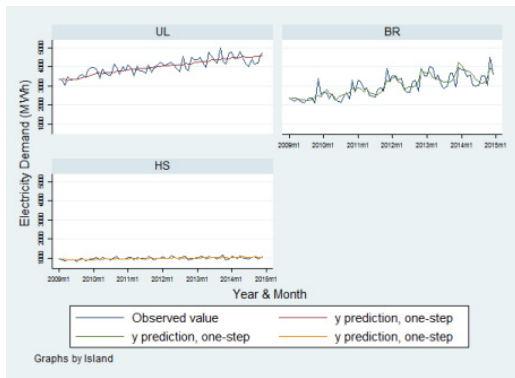


Fig. 7. Electricity demand prediction using ARIMA

Table 3. ARIMA model estimation

Island	Model	Parameter	Coefficient	p
Ulneung	ARIMA(1,1,1)	cons	16.58	0.000
		AR1	0.11	0.413
		MA1	-0.10	0.982
Baekryeong	ARIMA(6,1,2)	cons	19.03	0.003
		AR1	0.42	0.004
		AR2	0.09	0.570
		AR3	0.09	0.628
		AR4	-0.28	0.086
		AR5	-0.20	0.224
		AR6	-0.25	0.158
		MA1	-1.56	0.000
Heuksan	ARIMA(1,1,2)	cons	1.74	0.000
		AR1	-0.67	0.006
		MA1	0.17	0.807
		MA2	-1.17	0.001

합한 것으로 선택되었다. 각 모형에 대한 모수 추정치는 Table 3과 같다.

예측력 측면에서는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 전력수요의 증가추세는 유사하게 잘 예측하고 있으나, 다중회귀 모형에 비해 예측선의 변동폭이 비교적 완만하여 월별 전력수요 변동을 정확하게 예측하는 데는 한계를 나타냈다.

4.4 Reg-ARIMA 모형

Table 4는 ARIMA 모형과 다중회귀 모형을 혼합한 모형의 분석 결과를 나타낸다. ARIMA 모형 자체가 과거의 변동패턴을 내포하고 있으므로 다중회귀 모형에 포함되었던 변수들 중 전년도 동월의 전력수요만 모형에서 배제시키고, 다른 변수들은 모두 모형에 포함하였다. 이를 바탕으로 실제 관측된 전력수요와 모형에 의해 예측된 전력수요를 비교한 결과 Fig. 8과 같은 결과를 얻었다. 육안으로도 3개 모형 중 실제 전력수요와 가장 가까운 예측값을 얻는 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Reg-ARIMA model estimation

	Ulneung	Baekryeong	Heuksan
	dependent variable: first differencing electricity load demand		
Average temperature	363.5	182.7	-172.6**
The highest temperature	-181.9	-117.3	63.0*
The lowest temperature	-142.1	-109.2	109.9**
Precipitation	0.10	0.10	0.08
Humidity	9.39	6.43	4.61**
월별 더미 포함 여부	Yes	Yes	Yes
AR1	-0.21	-1.03***	-0.55***
AR2	-	0.00	-
AR3	-	0.30	-
AR4	-	0.34	-
AR5	-	-0.02	-
AR6	-	-0.24	-
MA1	-0.76***	-0.00	-0.00
MA2	-	-1.00	-1.00
N	71	71	71

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01

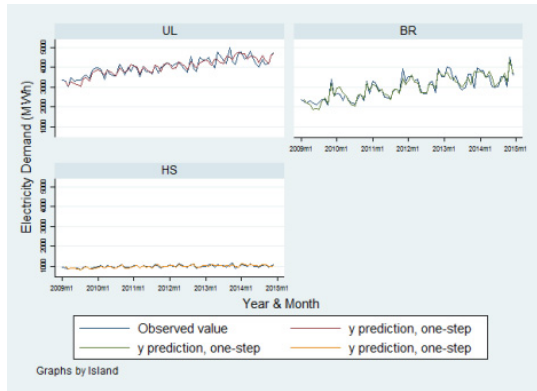


Fig. 8. Electricity demand prediction using Reg-ARIMA

4.5 모형의 예측 정확성 비교

상기한 각 모형의 예측 정확성 비교를 위해 RMSE와 MAPE를 Table 5에 나타내었다. 그 결과 울릉도와 백령도, 흑산도 등 3개 도서 모두에서 Reg-ARIMA 모형의 RMSE와 MAPE가 가장 낮게 나타나 정확성이 가장 높은 것으로 평가된다. 이는 2009년 1월부터 2014년 12월까지의 데이터를 바탕으로 구축된 결과이므로, 해당 모형이 2015년 전력수요를 예측하는 데도 적합성을 지니는지 판단하기 위해 각 모형의 2015년 예측치와 실제 2015년 전력수요를 비교하였다. 그 결과는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서 회색 실선은 2009년 1월부터 2015년 12월까지 각 도서에서 실제로 측정된 전력수요량이며, 파란 점선은 다중회귀모형의 2015년 월별 예측치, 녹색 점선은 ARIMA 모형의 예측치, 주황색 점선은 Reg-ARIMA 모형의 예측치를 각각 나타낸다. 한 가지 흥미로운 사실은 전력수요 예측에 가장 일반적으로 사용되는 ARIMA 모형의 예측력이

Table 5. Model performance comparison

Island	Model	RMSE	MAPE
Ulneung	Multiple regression	263.85	4.85
	ARIMA(1,1,1)	271.58	5.50
	Reg-ARIMA	199.49	3.94
Baekryeong	Multiple regression	306.88	7.10
	ARIMA(6,1,2)	300.79	7.82
	Reg-ARIMA	224.92	5.49
Heuksan	Multiple regression	49.50	3.60
	ARIMA(1,1,2)	59.84	4.99
	Reg-ARIMA	39.58	3.11

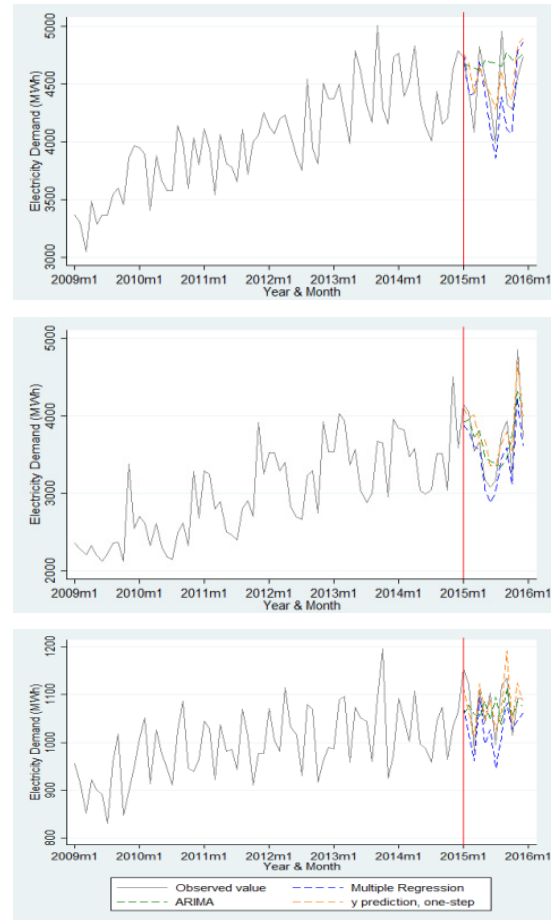


Fig. 9. Electricity demand prediction after 2015 (Ulneung, Baekryeong and Heuksan from the top)

다른 두 모형에 비하여 확연히 높지 않다는 점이다. 이는 기상변수 위주의 다중회귀 모형에 월별 효과 및 추세 요소를 추가함으로써 상대적으로 다중회귀 모형의 예측력을 높인 점이 부분적으로 영향을 끼친 결과라 할 수 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 고려하지 못한 사회경제적 변수의 영향력이 크다는 것을 의미할 수 있다. 또한 국외 선행연구들의 결과와 같이 ARIMA와 다중회귀모형을 결합시킨 Reg-ARIMA 모형이 실제 전력수요를 가장 잘 예측하는 것으로 보인다.

5. 결론

전력의 안정적 공급뿐만 아니라 수요 관리가 전력 정책의 핵심으로 부상하면서 전력수요의 예측은 최근 필수적인

연구 분야로 그 중요성이 증대되고 있다. 특히 도서 지역의 전력수요 예측은 에너지자립섬의 독립 전력계통 운용을 위해 중요한 역할을 한다. 그러나 도서 지역을 대상으로 한 전력수요 예측 연구가 많이 부족한 상황에 있다. 이에 본 연구는 현재 널리 사용되고 있는 다중회귀모형, ARIMA 모형과 함께 두 모형을 결합시킨 Reg-ARIMA 모형 등 3가지 모형을 적용하여 한국 도서지역의 전력수요 예측 적합성을 비교해보았다. 기상 요소를 이용하여 예측 적합성을 비교한 결과 Reg-ARIMA 모형의 예측력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 과거의 전력 수요뿐만 아니라 내륙 지역과는 상이한 생활 방식 등으로 인해 기상 변수 등의 영향이 상대적으로 큰 섬 지역 전력수요 예측에 시계열 모형과 회귀 모형의 특성을 결합시킨 모형이 더 적절할 수 있다는 것을 보여준다.

본 연구는 제한된 도서지역 전력 관련 자료 및 기상 자료를 바탕으로 실제 전력수요를 비교적 잘 설명할 수 있는 모형을 산출했다는 의의가 있으나, 모형의 예측력을 조금 더 개선해야 한다는 한계 역시 보유하고 있다. 즉, 특정 지역의 전력수요는 기상 및 자연 변수뿐만 아니라 사회경제적 변수에도 영향을 받을 가능성이 크지만, 확보할 수 있는 데이터의 한계로 사회경제적 변수는 모형에서 배제되었다. 향후, 각 도서의 인구통계적 특징, 업종 분포 및 업종의 전력사용 특성, 경제수준 등에 관한 변수를 포함할 수 있다면 보다 정확한 도서 전력수요 예측이 가능해질 것으로 기대한다. 또한 일반적으로 난방도일수 및 냉방도일수와 불쾌지수 및 불쾌한 날의 지속 정도를 기상요인으로 포함하여 모형의 예측력과 설명력을 높이기도 한다. 하지만 본 연구에서 평균기온과 최대 및 최저 기온을 각각 변수로 따로 포함시킨 점은 예측 적합성의 논리적 평가에 한계점을 준다. 따라서 향후에 추가적인 기상 요인 설정에 대한 근거를 마련하여 다양한 모형을 통한 예측을 시도함으로써 모형의 예측력 향상과 비교가 가능해질 것으로 기대한다.

감사의 글

논문의 발전에 도움을 주신 익명의 심사위원님들께 그리고 그린스쿨대학원 박사과정 김정원님께 감사드립니다. 본 논문

은 에너지기술평가원의 산업혁신기술사업(2015010130310)의 연구비를 지원을 받아 수행된 연구입니다. 또한 KU-KIST스쿨 운영지원사업의 지원을 받았습니다.

References

- [1] Sarabjit Singh, Rupinderjit Singh, 2015, "ARIMA Based Short Term Load Forecasting for Punjab Region", International Journal of Science and Research, 4(6), 1819-1822.
- [2] Byung-Hoon Ahn, Hoe-Ryeon Choi, Hong-Chul Lee, 2015, "Regional Long-term/Mid-term Load Forecasting using SARIMA in South Korea", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 31(12), 8675-8584.
- [3] Si-Yeon Kim, Hyun-Woo Jung, Jeong-Do Park, Seung-Mook Baek, Woo-Seon Kim, Kyung-Hee Chon, Kyung-Bin Song, 2014, "Weekly Maximum Electric Load Forecasting for 104 Weeks by Seasonal ARIMA Model", Journal of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 28(1), 50-56.
- [4] Sang-Hyup Lee, 2010, "A Study on Expanding for New-renewable Energy in Remote Islands using Midnight Power and Desalination System", Soongsil University Department of Electrical Engineering.
- [5] Kwang-il Hwang, 2012, "Measurement of Electric Power Consumption of Residences in Southeastern Fishing Village of Korea", Journal of Korean Navigation and Port Research, 36(6), 501-506.
- [6] HaNa Jang, Suduk Kim, 2006, "A Pre-Feasibility Test of Introducing Renewable Energy Hybrid Systems - Case Studies for 3 Off-Grid Islands", Environmental and Resource Economics Review, 15(4), 693-712.
- [7] Nor Hamizah Miswan, Rahaini Mohd Said, Siti Haryanti Hairol Anuar, 2016, "ARIMA with Regression Model in Modelling Electricity Load Demand", Journal of Telecommunication Electronic and Computer Engineering, 8(12), 113-116.
- [8] Apel Mahmud, 2011, "Isolated Area Load Forecasting Using Linear Regression Analysis: Practical Approach", Energy and Power Engineering, 3, 547-550.

- [9] Jung-Hee Han, Jong-Kwan Baek, 2011, "Forecasting Daily Demand of Electric Power in Summer Using a Regression Model", *Journal of Commodity Science and Technology*, 29(5), 69-75.
- [10] Bong-Woo Nam, Kyung-Bin Song, Kyu-Ho Kim, Jun-Min Choi, 2008, "The Spatial Electric Load Forecasting Algorithm using the Multiple Regression Analysis Method", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 22(2), 63-70.
- [11] Jae-Seog Kim, Eun-Ho Son, 2006, "Forecasting of Hotel Food and Beverage Sales Using ARIMA Model – In the Case of Gyeonju Deluxe Hotels", *The Tourism Sciences Society of Korea*, 30(2), 381-398.
- [12] YiRe Shin, Sangoo Yoon, 2016, "Evaluation of Weather Information for Electricity Demand Forecasting", *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 27(6), 1601-1607.
- [13] Aayush Goel, Agam Goel, 2014, "Regression Based Forecast of Electricity Demand of New Delhi", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(9), 437-443.
- [14] W.G. Park, S. Kim, 2014, "The Performance of Time Series Models to Forecast Short-Term Electricity Demand", *Communications for Statistical Applications and Methods*, 19(6), 869-876.
- [15] Sang-Wook Jung, Sahm Kim, 2014, "Electricity Demand Forecasting for Daily Peak Load with Seasonality and Temperature Effects", *The Korean Journal of Applied Statistics*, 27(5), 843-853.
- [16] Hyun-Woo Jung, Si-Yeon Kim, Kyung-Bin Song, 2014, "Weekly Maximum Electric Load Forecasting Method for 104 Weeks Using Multiple Regression Models", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 63(9), 1186-1191.
- [17] MKE(Ministry of Knowledge Economy), 2010, "The 5th basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand(2010-2024)", Ministry of Knowledge Economy, Seoul, 41-96.
- [18] Hak Loh Lee, Jin-Hyun Han, Myung Hoon Yi, 2010, "Electricity Peak Equation: Estimation and Prediction", *Korean Energy Economic Review*, 9(2), 83-99.
- [19] Young-Jin Kang, Jimin Hong, O-Kaung Lim, Yoojeong Noh, 2017, "Reliability Analysis Using Parametric and Nonparametric Input Modeling Methods", *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 30(1), 87-94.
- [20] Mingho Baek, Suduk Kim, 2016, "A Pre-feasibility Study on the Promotion of Hybrid Power System in Ulleung Island", *Journal of Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 53(1), 36-43.
- [21] SangKyun Kang, EunKyu Lee, JangHo Lee, 2014, "Power and Economic Simulation of Island for the Field Demonstration Test of Smart Microgrid System Based on Stand-Alone Wind power", *New & Renewable Energy*, 10(3), 22-30.
- [22] Keonki Roh, Hung Ho Lee, Hung Gu Park, 2016, "An Empirical Analysis of the Causal Relations between Economic Growth, Electricity Consumption, and Carbon Dioxide Emissions in Korea", *New & Renewable Energy*, 12(1), 34-41.
- [23] Jeongho Kim, Junoh Jang, 2014, "A Study on the Economic Analysis of the Energy Storage System in Customer", *New & Renewable Energy*, 10(3), 47-54.
- [24] Geenam Lee, Donghyanw Kim, Osoon Kwon, 2014, "Prediction of Wind Power Generation at Southwest Coast of Korea Considering Uncertainty of HeMOSU-1 Wind Speed Data", *New & Renewable Energy*, 10(2), 19-28.
- [25] Changho Rhee, Inseung Jo, 2006, "The Analysis on Power Development Options in Remote Islands and Its Implementation", *New & Renewable Energy*, 2(2), 108-117.