

자기회귀누적이동평균 모형을 이용한 전일 계통한계가격 예측

김대용 · 이찬주 · 이명환 · 박종배 · 신중린  
 건국대학교 전기공학과

A Day-Ahead System Marginal Price Forecasting Using ARIMA Model

Dae-Yong Kim · Chan-Joo Lee · Myung-Hwan Lee · Jong-Bae Park · Joong-Rin Shin  
 Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

**Abstract** - Since the System Marginal Price (SMP) is a vital factor to the market entities who intend to maximize their profit, the short-term marginal price forecasting should be performed correctly. In a electricity market, the short-term trading between the market entities can be generally affected a short-term market price. Therefore, the exact forecasting of SMP can influence on the profit of market participants. This paper presents a methodology of day-ahead SMP forecasting using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA). To show the efficiency and effectiveness of the proposed method, the numerical studies have been performed using historical data of SMP in 2004.

알고리즘을 통해 예측된 시장가격을 보장하는 방법론이다. 또한 본 논문에서는 2004년 8월(첨두기간)을 예측하여 제시한 방법론의 타당성을 검증하였다.

2. ARIMA 모형 유도

2.1 일반적인 ARIMA 모형

경제규모의 팽창과 변화 등으로 미래에 대한 불확실성이 증가함에 따라 특정 변수의 예측을 수행하고자 할 경우 보다 정확하고 효율적인 방법을 찾게 된다. 이러한 현실적 요구에 부응하는 방법론으로 등장한 시계열분석은 특정 변수의 미래 값을 예측하기 위해 단지 해당변수의 과거 변동내용과 유형을 활용하는 방법이다. 전력계통분야에서 시계열분석을 이용한 장기간·단기간 시장가격예측, 수요예측 등 다수의 연구사례가 이미 보고된 바 있다[4,5]. 전력계통에서 측정되는 계통한계가격 데이터는 평균, 분산 및 자기공분산이 시간의 변화에 영향을 받는 비정상시계열 자료이다. G.Tintner와 Box -Jenkins는 비정상시계열 자료를 연속적인 차분과 확률과정을 통해 정상시계열 자료의 변환을 일반화 하였다. 시계열 분석방법론은 Box-Jenkins에 의해 보다 체계화되었고 자기회귀이동평균(ARMA: AutoRegressive Moving Average) 모형을 중심으로 하는 모형의 식별(Identification)과 추정(Estimation) 그리고 추정된 모형의 검진(Diagnostic Checking)과 예측을 수행하는 방법론이 제시되어 널리 사용되고 있다. 식별은 자기회귀(AR: AutoRegressive)부분의 차수와 이동평균(MA: Moving Average)부분의 차수를 정하는 것이고 추정은 자기회귀부분의 계수들과 이동평균부분의 계수들의 최우 추정량을 구하는 것이며 검진은 식별과 추정에 의하여 선택된 모형이 주어진 자료에 적합도를 결정하는 것이다 [6]. 자기회귀누적이동평균 모형은 시계열자료( $y_t$ )의 현재 상태가 과거의 시계열자료 관측 값의 함수로 나타낼 수 있다는 것과 과거의 오차들의 선형결합으로 표현될 수 있다는 것을 나타내고 있다. 이러한 모형은 자기회귀 모형과 이동평균모형의 결합으로 비정상성을 제거하기 위해 적절한 차분을 적용한 모형을 말한다. 일반적인 자기회귀누적이동평균 모형은 다음과 같은 형태로 표현된다.

1. 서 론

계통계획은 시장원리 도입에 의해 가격 신호를 바탕으로 수립되어진다. 발전 확충계획, 송전망 확충계획, 배전 계획 등은 장기 전력가격예측에 의해 결정되고, 시장 참여자들 사이의 전력거래는 대부분 단기 전력가격예측에 의해 결정된다[1]. 경쟁적 전력시장의 발전회사들은 자신의 수익을 최대화할 수 있는 입찰전력을 필요로 하기 때문에 이를 해결하기 위한 많은 노력들이 시도되어 오고 있다[2]. 단가가격 예측은 시장참여자들의 이익 극대화를 위한 중요한 요소가 된다. 따라서 정확한 계통한계가격 예측은 시장참여자들에게 있어서 이익을 극대화 할 수 있는 전략수립의 바탕이 된다. 전력거래소에서 결정되어지는 계통한계가격은 발전사업자가 제출한 입찰 자료를 바탕으로 계통 상황을 고려하여 결정되어진다. 기본적으로 계통한계가격은 수요와 공급의 균형이 이루어지는 상태에서 마지막으로 투입된 한계 발전기의 가격으로 정해지게 된다. 계통한계가격은 전력의 수요, 발전기의 고장정지확률, 발전기의 설비용량, 발전기의 보수상태, 발전기의 입·출력 특성, 발전기들의 투입 우선순위 등 여러 가지 요소들에 의해 영향을 받는다[3]. 이러한 계통한계가격의 정확한 예측은 투명하고 효율적인 시장형성에 매우 중요한 요소이며 이에 대한 예측알고리즘들이 보고되어왔다[1]. 하지만 시장가격에는 많은 가변요소가 내포되어 있기 때문에 정확한 예측이 어렵다. 또한 대부분의 예측 알고리즘이 과거 자료의 일정 패턴에 의존하기 때문에 시변이 가격변동에 대한 불규칙적 동특성을 반영하기 어렵고, 특정일 또는 특정 시간대에 심각한 예측오차가 발생되는 것을 볼 수 있다. 따라서 원활한 시장형성을 위한 보다 정확한 시장가격 예측알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 계통한계가격 예측을 위해 통계학적 자료 예측기법인 자기회귀누적이동평균 모형을 확장하여 시장가격을 예측하였다. 본 논문에서 제시하는 예측알고리즘은 최소 시계열 자료를 가지고 하루 전 시장가격예측에 대한 모든 예측인자를 고려하여 예측하였고, 보장

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (1)$$

- 여기서,  $\phi_i$  : 자기회귀계수
- $b$  : 자기회귀모형의 차수
- $\epsilon_t$  : 백색잡음(white noise)
- $\theta_i$  : 이동평균계수
- $a$  : 이동평균모형의 차수

Box-Jenkins는 이론적으로 도출된 자기회귀모형, 이동평균모형 및 자기회귀이동평균모형의 자기상관계수와 부분 자기상관계수가 차수  $p$  또는  $q$ 의 값에 따라 독특한 형태를 가짐을 이용하여 시계열자료의 적합한 모형과 차수를 선정하였다. 식(1)에 후향전위연산자(backward shift operator)를 이용하여 표현하면 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 (1-\phi_1 B^1-\phi_2 B^2-\dots-\phi_p B^p)y_t & \\
 = (1-\theta_1 B^1-\theta_2 B^2-\dots-\theta_q B^q)\epsilon_t & \\
 (1-\sum_{i=1}^p \phi_i B^i)y_t = (1-\sum_{j=1}^q \theta_j B^j)\epsilon_t & \\
 \phi_p(B)y_t = \theta_q(B)\epsilon_t & \\
 y_t = \frac{\theta_q(B)}{\phi_p(B)}\epsilon_t & \quad (2)
 \end{aligned}$$

여기서,  $B$  : 후향전위연산자;  $(B^m)y_t = y_{t-m}$

후향전위연산자는  $B^m$ 으로 정의하며 연산자의 지수  $m$ 은 차수를 나타낸다. 식 (2)의 시계열자료( $y_t$ )는 과거의 시계열 관측값 및 확률오차들에 의해 영향을 받는다는 것을 의미한다.

## 2.2 SMP예측 ARIMA 모형 유도

일반적으로 계통한계가격은 시간대별(hourly), 주간대별(weekly), 월별(monthly)에 따라 계통한계가격함수( $y_t$ )에 대해 각각 서로 다른 영향을 받는다. 때문에 예측 계통한계가격함수는 각각의 인자에 따라서 일반화가 될 수 있으며, 이는 예측모형의 차수설정에 중요한 요소로 적용된다. 따라서 본 논문에서는 각각의 인자에 대한 계통한계가격 예측모형을 식 (2)를 이용하여  $t$ 시간대 계통한계가격 예측모형으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

• 시간대별 모형  $\phi_p^h(B)y_t^h = \theta_q^h(B)\epsilon_t$

$$y_t^h = \frac{\theta_q^h(B)}{\phi_p^h(B)} \quad (3)$$

• 주간대별 모형  $\phi_p^w(B)y_t^w = \theta_q^w(B)\epsilon_t$

$$y_t^w = \frac{\theta_q^w(B)}{\phi_p^w(B)} \quad (4)$$

• 월별 모형  $\phi_p^m(B)y_t^m = \theta_q^m(B)\epsilon_t$

$$y_t^m = \frac{\theta_q^m(B)}{\phi_p^m(B)} \quad (5)$$

여기서,  $\phi_p^h(B)$ : 차수  $p$ 를 갖는 시간대별 자기회귀모형  
 $\phi_p^w(B)$ : 차수  $p$ 를 갖는 주간대별 자기회귀모형  
 $\phi_p^m(B)$ : 차수  $p$ 를 갖는 월별 자기회귀모형  
 $\theta_q^h(B)$ : 차수  $q$ 를 갖는 시간대별 이동평균모형  
 $\theta_q^w(B)$ : 차수  $q$ 를 갖는 주간대별 이동평균모형  
 $\theta_q^m(B)$ : 차수  $q$ 를 갖는 월별 이동평균모형

본 논문의 예측모형 최종목표는 정확한 계통한계가격 예측에 있으며 확장된 자기회귀이동평균 모형을 이용하여 시간대별( $y_t^h$ ), 주간대별( $y_t^w$ ), 월별( $y_t^m$ )에 대한 각각의 예측값을 다음과 같이 선정한다.

$$\begin{aligned}
 y_t^{\max} &= \text{search } |y_t^h, y_t^w, y_t^m| \\
 y_t^{\min} &= \text{search } |y_t^h, y_t^w, y_t^m| \\
 y_t^{\text{mid}} &= \text{search } |y_t^h, y_t^w, y_t^m| \quad (6)
 \end{aligned}$$

이 경우 모형에 의한 최선의 예측은 선정된 예측값들을 이용하여 예측오차를 최소화하는 것이다. 본 논문에서는 예측오차를 다음과 같은 식으로 최소화한다.

$$Y_t = \frac{y_t^{\max} + 2y_t^{\text{mid}} + y_t^{\min}}{4} \quad (7)$$

여기서,  $Y_t$ :  $t$ 시간대 최종 계통한계가격 예측값

모형의 예측력은 정확성과 유용성을 구분하여 평가하는 것이 중요하다. 정확한 예측은 모형에서 산출된 예측값과 실제값의 차이인 예측오차가 작은 것을 의미하며 유용한 예측은 변수움직임의 방향을 올바르게 예측하는 것으로 어떤 경쟁 시 수익을 낼 수 있는 기회를 준다. (그림 1)은 계통한계가격을 예측하는 일련의 과정을 나타낸 것이다.

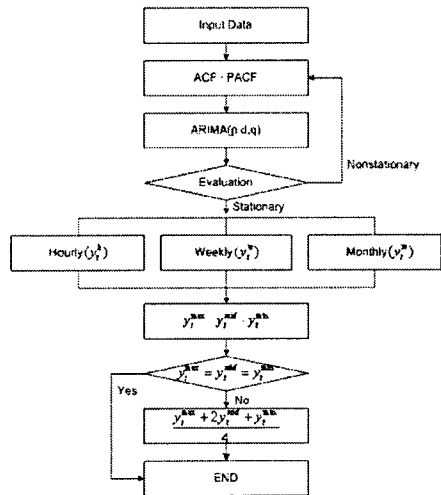


그림 1. ARIMA 모형을 이용한 SMP 예측 알고리즘 순서도

## 3. 사례 연구

본 논문에서는 한국전력거래소에서 제공하는 시간대별 계통한계가격 자료를 이용해서 2004년 8월 한 달간의 계통한계가격을 예측하여 제시한 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 그리고 본 논문에서 제시한 방법론의 자기회귀이동평균 모형 차수 설정 및 예측치는 통계학적 범용 소프트웨어인 SAS Ver. 8.1을 사용하여 모의시험하였다. 이때, 시계열을 분석하기 위해서 일반적으로 필요한 시계열 관측값의 개수는 최소 30개 이상이어야 정확한 예측을 할 수 있다. 다음 (그림 2), (그림 3), 그리고 (그림 4)는 예측값에 대해 고려되어야 할 모든 시계열 인자를 고려하여 예측된 계통시장한계가격과 실제 시장한계가격의 오차율[%]을 나타낸 것이다. (그림 2)는 2004년 7월 시간대별 계통한계가격 시계열 자료를 이용하여 8월을 예측한 예측값의 오차율을 나타내었고, (그림 3)은 7월 주간대별 시계열 자료를 이용하여 예측한 예측값의 오차율, 그리고 (그림 4)는 7월 월별 시계열 자료를 이용하여 예측한 예측값의 오차율을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 본 논문에서 제시한 ARIMA 모형별 예측값이 평균 3.27[%]의 비교적 작은

오차율을 가지고 있지만 특정 시간대에 큰 오차율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시하는 보정알고리즘을 통해 예측된 계통시장한계가격의 오차율을 (그림 5)에 나타내었다.

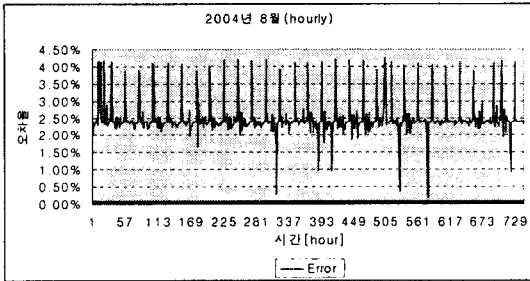


그림 2. 시간대별(y)에 대한 예측값과 실측값 오차율

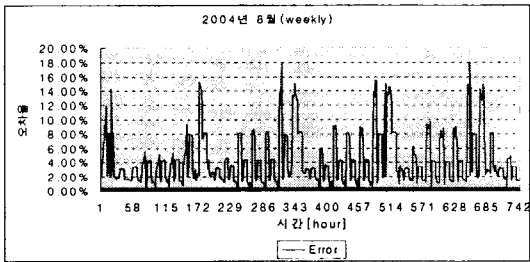


그림 3. 주간대별(y)에 대한 예측값과 실측값 오차율

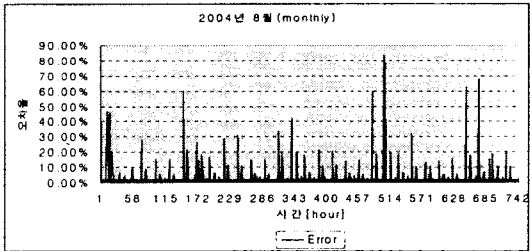


그림 4. 월별(y)에 대한 예측값과 실측값 오차율

본 논문에서 제시한 예측보정 알고리즘의 타당성을 검증한 결과에 대한 요약은 <표 1>과 같고 (그림 5)에서 보이는 것처럼 오차율을 확인할 수 있다.

<표 1> 각 입력 자료별 결과 요약

	hourly	weekly	monthly	correct
평균오차율[%]	2.45	4.48	2.89	2.22
최대오차율[%]	4.27	18.13	83.56	28.78
최소오차율[%]	0.17	0.01	0.00	0.01
주중 평균오차율[%]	2.43	3.30	1.67	1.49
주말 평균오차율[%]	2.50	7.38	6.00	4.04

상기 표에서 correct 구간에 대한 실측값과 예측값의 오차율은 평균 2.22%로 매우 적은 오차율을 나타내고 있으며, 28.78%의 최대오차율과 0.01%의 최소오차율을 나타내었다. (그림 5)에서 볼 수 있듯이 예측보정 알고리즘을 통해 예측된 예측값의 오차율이 매우 작은 값을 갖는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 예측 결과값이 매우 정확하다는 것을 확인할 수 있다.

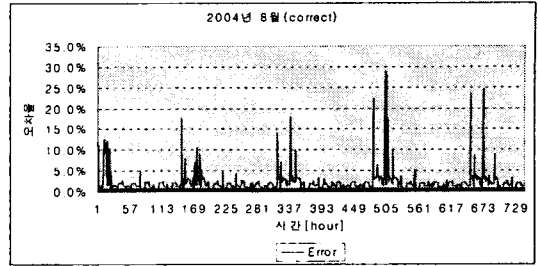


그림 5. 최종 예측값과 실측값 오차율

#### 4. 결 론

본 논문에서는 정확한 계통한계가격 예측을 위해서 시계열자료의 예측기법의 하나인 기존의 자기회귀누적이동 평균 모형을 확장하여 사용하였다. 한국전력거래소에서 공개되는 과거의 계통한계가격을 입력 자료로 사용하여 2004년 8월 한 달간의 계통한계가격을 예측하였으며, 이를 실제 계통한계가격과 비교 분석하여 타당성을 검증 및 수행하였다. 제시한 기법은 평균오차율이 약 2.22%의 예측 결과값을 나타내었으며, 하루 평균오차는 최저 0.69%로 매우 정확한 예측을 보였다. 이를 통해서 제시한 기법을 이용한 계통한계가격 예측값은 신뢰할 수 있으며 여러 시장참여자들에게 그들의 목적에 부합할 수 있는 유용한 정보의 제공이 가능하리라 판단된다. 그러나, 토요일과 일요일의 예측에 있어 그 정확도가 평일에 비해 상대적으로 떨어지고, 가끔 스파이크(spike)가 일어나는 문제를 해결하기 위한 새로운 예측기법이 모색되어야 할 것으로 생각된다.

본 논문에서 제시한 기법은 안정적인 전력시장을 위한 단기간 수요예측에도 활용될 수 있으며, 부하별로 다양하고 신뢰성 있는 수요예측에도 적용이 가능할 것이다. 또한 제시한 알고리즘 통해 각 발전회사는 현물시장에서 자신의 이익을 최대화하기 위한 최적의 입찰전략을 수립하는데 이용할 수 있으며, 시장운영자는 현물시장을 예측하고 분석할 수 있으리라 사려된다.

#### 감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원 사업으로 수행된 논문입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] B.R. Szkuta, L.A. Sanabria, T.S. Dillon, "Electricity Price Short-Term Forecasting Using Artificial Neural Network", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No.3, pp. 851-857, 1999
- [2] IEEE, IEEE Tutorial on Game Theory Application in Electric Power Markets, 99TP136-0, 1998
- [3] A. Martini, P. Pelacchi, L. Pellegrini, M.V. Cazzoli, A. Garzillo and M. Innorta, "A Simulation Tool for Short Term Electricity Market", Power Industry Computer Applications, 2001. PICA 2001. Innovative Computing for Power - Electric Energy Meets the Market. 22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on, pp. 112 -117, 2001.
- [4] Sang-Rae Lee, "A Comparison of Exchange Rate Forecasting Models", Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2005
- [5] Chan-Joo Lee, Jong-Bae Park, Jae-Yong Lee, Joong-Rin Shin, and Chang-Ho Lee, "A Hybrid Correction Technique of Missing Load Data Based on Time Series Analysis", KIEE Trans. on System and Control, Vol. 3-A, No.1, pp.123-132, 2003
- [6] 김연형, "시계열 분석", 자유아카데미, 1994