

Calculation of Seasonal Demand Side Management Quantity Using Time Series

이 중 욱* · 위 영 민** · 이 재 희** · 주 성 관†
(Jong-Uk Lee · Young-min Wi · Jaehee Lee · Sung-Kwan Joo)

Abstract - Demand side management is used to maintain the reliability of power systems and to increase the economic benefits by avoiding power plant construction. This paper presents a systematic method to calculate the quantity of seasonal demand side management using time series. A numerical example is presented to calculate the quantity of demand side management in winter season using time series.

Keywords - Demand side management, Time series, Seasonal peak load

1. 서 론

수요관리는 에너지를 공급하는 주체가 수요 측의 에너지 사용행태를 합리적으로 통제, 조정함으로써 에너지 공급설비 추가설치에 따른 투자비 부담을 경감하고 기존 설비의 이용률을 향상하기 위한 계획·활동·기법을 말한다[1]. 최근 전력 공급능력 증가 속도보다 빠른 속도로 증가하는 에너지 소비로 인한 필수 예비력 확보에 관한 문제가 제기되면서 공급 측보다 수요 측 관리의 중요성이 점차 커지고 있다. 또한 수요관리를 통해 피크수요를 억제함으로써 첨두 발전기 건설 회피를 통한 경제적 이득을 얻을 수 있다[2], [3]. 그동안 국내의 수요관리는 하계기간 냉방부하에 의한 전력수요 억제를 위해 활용되었지만, 최근 동계 전력수요가 하계 전력수요 이상으로 가파르게 증가하면서 하계와 동계 기간 수요관리 자원의 적절한 분배에 대한 중요성이 높아지고 있다.

선행연구[4]에서는 시계열 모델을 이용하여 연중 최대전력수요를 예측하고 이를 바탕으로 부하지속곡선(Load Duration Curve)을 추정하여 수요관리 트리거 기준에 따른 연간 수요관리 계획을 세우기 위한 수요관리 적용일과 적용시간을 산정하였다. 또한 선행연구[5]에서는 계절별 피크기간에 대하여 일별 전력수요 예측을 수행하고 이를 바탕으로 기간별 수요관리 적용일과 적용시간을 산정하였다. 본 논문에서는 선행연구[4], [5]를 보완한 계절별 수요관리량 산정방안을 제안한다. 수요관리량 산정을 위하여 시계열 모델을 이용한 계절별 최대전력수요를 예측하고 과거 피크기간 동안의 전력수요의 변동특성을 바탕으로 연간 수요관리 계획을 세울 계절의 일별 최대전력수요를 예측한다. 이후 수요

관리 트리거 기준에 따라 기간별 수요관리 적용일을 추정하고 기간별 대표 24시간 전력수요 패턴을 바탕으로 얻은 일별 24시간 전력수요를 통하여 수요관리 적용시간 및 적용량을 추정한다. 사례연구에서는 제안한 방법을 통하여 2011년 동계 피크기간의 수요관리 적용일수, 적용시간 및 총 수요관리량을 추정하였다.

2. 계절별 수요관리량 산정을 위한 절차

연중 전력수요는 냉난방 부하의 영향으로 하계와 동계에 전력수요가 높고 춘계와 추계에는 전력수요가 낮은 특징을 보이며, 수요관리는 전력수요가 높은 하계와 동계기간에 주로 시행된다. 그러므로 수요관리 프로그램 적용일수, 적용시간 및 적용량을 산정하기 위해서 하계와 동계 피크기간에 대하여 절차를 수행한다. 여기서 하계피크 기간은 7월~8월, 동계피크 기간은 12월~1월을 의미한다. 본 논문에서 제안하는 계절별 수요관리 프로그램 설계절차는 그림 1과 같다.

자기회귀누적이동평균(ARIMA)을 이용하여 계절별 최대전력수요 예측을 수행한다. 수요관리는 한정된 예산을 바탕으로 이루어지기 때문에, 수요관리 적용일수와 적용시간에 대하여 기준을 세워야 한다.

그림 2는 1991년부터 2011년까지의 하계와 동계 피크기간 중의 최대전력수요 그래프이다. 최대전력수요는 IMF 시기였던 1998년을 제외하고 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 2009년 이후로는 동계피크 기간의 최대전력수요가 하계피크 기간의 최대전력수요를 넘어서는 것을 확인할 수 있다. 보통의 경우 수요관리는 하계기간 냉방부하에 의한 전력수요 억제를 위해 활용되었지만, 최근의 동계전력수요가 하계전력수요 이상으로 커지는 추세를 반영하기 위하여 하계와 동계기간을 구분한 수요관리 적용일수와 적용시간 및 적용량의 산정이 필요하다. 이를 위하여 계절별 최대전력수요예측이 필요하며, 예측방법으로는 시계열 데이터를 분석하여 수학적 모델을 구성하여 미래 특정 시점의 데이터를 추정하는 방법인

* 준 회원 : 고려대 전기전자전파공학과 석사과정

** 정 회원 : 고려대 전기전자전파공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 고려대 전기전자전파공학과 부교수·공학

E-mail : skjoo@korea.ac.kr

접수일자 : 2011년 9월 24일

최종완료 : 2011년 10월 19일

시계열 예측 방법을 사용한다. 시계열 데이터를 분석하는 수학적 모델에는 지수평활법, 자기회귀법, 자기회귀누적이동평균등이 있으며, 본 논문에서는 자기회귀누적이동평균을 이용하여 하계 및 동계 피크기간별 최대전력수요예측을 수행한다[6].

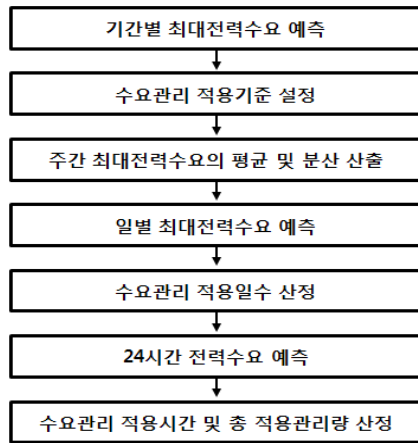


그림 1 계절별 수요관리량 산정을 위한 절차
 Fig. 1 Process of calculating quantity of seasonal demand side management

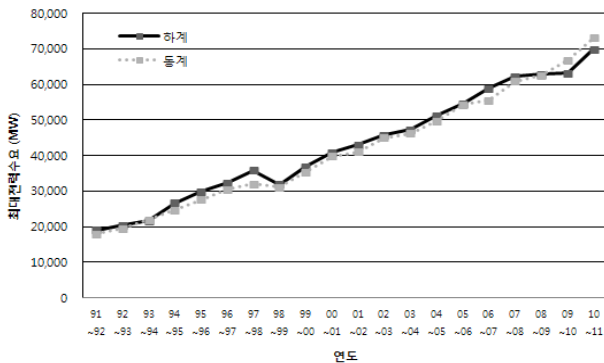


그림 2 하계 및 동계 피크기간 중 최대전력수요
 Fig. 2 Peak load in summer and winter season

자기회귀누적이동평균 모델은 ARIMA (p,q,d)로 표현하며, 여기서 p, q, d는 각각 자기회귀 부분 차수, 차분 차수, 이동평균 차수를 의미한다. 차분 성분이 없을 때의 ARIMA 모델은 다음 수식(1)로 나타낸다.

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j \epsilon_{t-j} \quad (1)$$

여기서 α 와 β 는 모델 계수이며, y 는 시계열 데이터 값이다. ϵ 는 시차별 오차항을 의미한다[5].

수요관리는 에너지 소비로 인한 필수 예비력 확보와 피크 수요를 억제함으로써 첨부 발전소의 추가 건설을 회피하기 위한 목적이 있다. 수요관리 적용량이 많을수록 안정적인 예비력 확보와 발전소 추가 건설 억제 효과가 나타날 수 있지만 수요관리에는 많은 예산이 필요하기 때문에 특정 기준

에 해당할 경우에만 수요관리가 적용되어야 한다. 이때, 수요관리 적용기준은 전년도 하계, 동계기간 최대전력수요 등을 바탕으로 설정한다.

수요관리 적용일수를 추정하기 위하여 일별 최대전력수요 예측을 수행한다. 일별 최대전력수요는 과거 5년간 주중 평상일의 최대전력수요의 평균과 분산을 바탕으로 패턴을 생성한다. 여기서 주중 평상일이란 월요일~금요일중 특수일 및 특수경부하기간을 제외한 날이며, 특수경부하기간은 신정, 설 또는 추석 전/후 7일간과 하계휴가 집중기간을 의미한다[6]. 주말, 특수일 및 특수경부하기간이 대상에서 제외되는 이유는 그림 3과 같이 평일 또는 주말과 같은 요일적 특성, 특수일 또는 하계휴가기간과 같은 사회적 이벤트에 의한 최대전력수요 패턴의 특성이 다르기 때문이다.

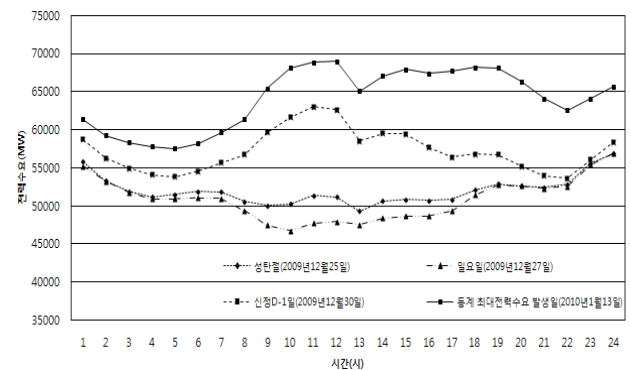


그림 3 요일 또는 사회적 이벤트에 따른 전력수요의 특성
 Fig. 3 Characteristic of load according to day type or event

최대전력수요는 그림 4과 같이 주중 평일(월요일~금요일) 전력수요 변동폭에 비하여 주와 주 사이의 변동폭이 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 수요관리 적용 대상이 되는 하계, 동계 피크기간 중에 과거 5년간의 최대전력수요의 주별 평균과 분산을 바탕으로 예측 연도의 일별 최대전력수요예측을 수행한다. 이를 위하여 과거 5년간의 주간 최대전력수요 평균 및 분산을 산출하며, 산출식은 다음과 같다.

$$\mu_w = \frac{1}{5n} \sum_{y=1}^5 \sum_{d=1}^n \frac{L_{w,y,d}}{L_y^{peak}} \quad (2)$$

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{5n} \sum_{y=1}^5 \sum_{d=1}^n \left(\frac{L_{w,y,d}}{L_y^{peak}} - \mu_w \right)^2 \quad (3)$$

여기서, μ_w 는 w 주의 정규화된 5년간 평균 전력수요이고, σ_w^2 은 w 주의 정규화된 5년간 전력수요의 분산이다. n 은 w 주의 평상일의 개수이며 y 는 연도에 해당한다. $L_{w,y,d}$ 는 y 년도 w 주의 d 번째 평상일의 최대전력수요 실적값이며, L_y^{peak} 는 y 년도의 계절별 최대전력수요이다.

산출된 정규화된 주별 최대전력수요 평균과 분산을 바탕으로 수요관리 적용량 산정을 수행할 2011년~2012년 동계 피크기간의 일별 최대전력수요 패턴을 생성하며, 이를 위해 사용되는 식은 다음과 같다.

$$pu_{w,d}^{\hat{L}^{peak}} = \mu_w + \sigma_w \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0,1) \quad (4)$$

$$\hat{L}_{w,d}^{peak} = pu_{w,d}^{\hat{L}^{peak}} \times \hat{L}^{peak} \quad (5)$$

여기서, $pu_{w,d}^{\hat{L}^{peak}}$ 는 예측을 통하여 얻어진 정규화된 w 주 d 일의 최대전력수요이고, ϵ 는 정규분포곡선을 따르는 확률분포를 바탕으로 생성된 랜덤변수이며 $\hat{L}_{w,d}^{peak}$ 는 예측된 w 주 d 일의 최대전력수요이다.

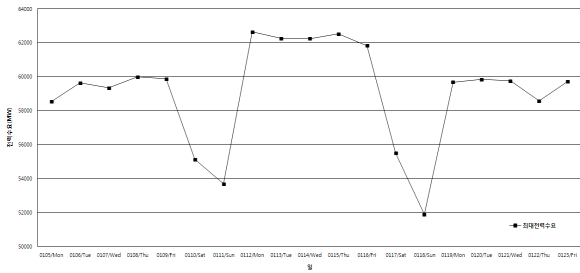


그림 4 주간 최대전력수요의 특성
Fig. 4 Characteristic of peak load in week

동계 피크기간의 일별 최대전력수요 패턴을 생성한 이후 수요관리 적용기준에 따라서 수요관리 적용일수를 산정하며, 이를 위해 사용되는 식은 다음과 같다.

$$D = \sum_{w=1}^9 \sum_{d=1}^n u(\hat{L}_{w,d}^{peak} - L_{stand}) \quad (6)$$

여기서, D 는 수요관리 적용일수이며, L_{stand} 는 수요관리 적용기준이다. 또한 u 는 unit step function으로 괄호안의 값이 0보다 클 경우 1을, 0보다 작을 경우 0을 반환한다.

선정된 수요관리 적용일에 적용시간 및 적용량 산정을 위하여 24시간 전력수요 예측을 수행한다. 전력수요 예측은 해당 기간의 최대전력수요에 의해 정규화 된 전력수요와 최대전력수요의 온도반응성을 바탕으로 이루어지며 식(7)을 사용하여 일별 전력수요 예측을 수행한다.

$$\hat{L}_{w,d,t} = \hat{L}_{w,d}^{peak} \times pu_{w,d,t} \quad (7)$$

여기서 $\hat{L}_{w,d,t}$ 는 w 주 d 번째 선정일의 t 시간 예측된 전력수요이며, $pu_{w,d,t}$ 는 예측 기간의 정규화된 대표 전력수요패턴이다.

예측된 일별 24시간 전력수요에서 수요관리 적용기준을 초과하는 경우를 수요관리 적용하며, 초과량만큼 수요관리를 시행한다고 가정하여 수요관리 적용시간 및 적용량을 추정하며 식은 다음과 같다.

$$T = \sum_{w=1}^9 \sum_{d=1}^n \sum_{t=1}^{24} u(\hat{L}_{w,d,t} - L_{stand}, 0) \quad (8)$$

$$Q = \sum_{w=1}^9 \sum_{d=1}^n \sum_{t=1}^{24} Max(\hat{L}_{w,d,t} - L_{stand}, 0) \quad (9)$$

여기서, T 는 수요관리 적용시간을 나타내며 Q 는 수요관리 적용량을 나타낸다. 또한 $\hat{L}_{w,d,t}$ 는 w 주 d 일 t 시간의 예측된 전력수요이다.

3. 사례연구

사례연구에서는 2절에서 제안한 방법을 적용하여 동계 피크기간인 2011년 12월~2012년 1월까지 9주간의 수요관리 적용일수, 적용시간 및 적용량을 추정한다. 기간별 최대전력수요예측을 위하여 1991년~2010년 동계 피크기간의 데이터를 사용하였으며, 자기회귀누적이동평균을 이용하였다. ARIMA(1,1,1)을 사용하여 2011년~2012년 최대전력수요를 예측한 결과 동계 피크기간 중 최대전력수요는 75,749MW로 나타났다. 다음 단계로 수요관리가 적용되는 기준을 설정해 주며 이는 전년도 동계 최대전력수요인 73,137MW를 사용하며, 표 1에 나타나 있다.

표 1 수요관리 적용기준

Table 1 Demand side management standard

수요관리 적용기준	수요관리 적용기준 전력수요(MW)
2010년~2011년 최대전력수요 기준	73,137

동계피크기간 일별 최대전력수요 패턴 생성을 위하여 과거 5년인 2006년~2011년의 동계피크기간의 주별 정규화된 전력수요 평균과 표준편차를 구한다. 이후, 얻어진 정규화된 주별 전력수요 평균과 표준편차를 바탕으로 동계피크기간 45일의 최대전력수요 예측을 수행한다. 그림 5는 2011년~2012년 동계피크기간의 일별 최대전력수요 예측 결과 이다.

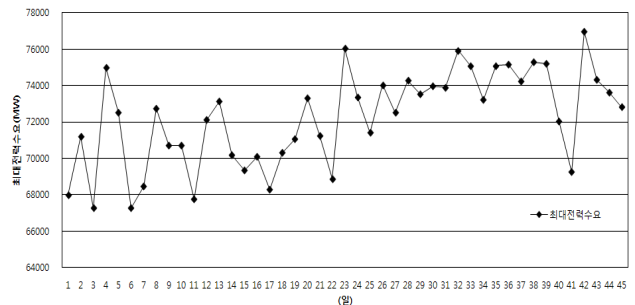


그림 5 동계피크기간 일별 최대전력수요
Fig. 5 Daily peak load in winter peak season

그림 5에서처럼 예측을 수행한 45일 중 모든 날이 수요관리 적용 대상일이 되지 않는다. 2011년~2012년 동계 피크기간의 경우에 성탄절과 같은 특수일과 신정 및 설날과 같은 특수경부하기간이 존재하며, 이와 같은 날들은 평일보다 전력수요가 낮기 때문에 수요관리 대상일에서 제외해준다. 특수일 및 특수경부하기간에 해당하는 날을 제외한 후 표 1에 나타난 수요관리 적용기준에 따라서 최대전력수요가 기준 전력수요 이상 발생한 날들을 선별하고 이 날들에 대하여 24시간 전력수요 예측을 수행한다. 24시간 전력수요예측은 식(7)을 통하여 이루어진다. 여기서 사용되는 24시간 패턴은 그림 6과 같으며, 이는 과거 5년간 최대전력수요 발생일의 최대전력수요를 바탕으로 정규화 된 값이다.

참 고 문 헌

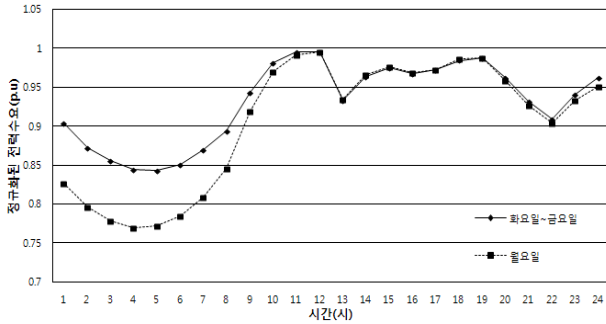


그림 6 월요일과 화요일~금요일의 24시간 전력수요 패턴
Fig. 6 24hour load pattern of Monday and Tuesday~Friday

수요관리 적용 대상일에 해당하는 월요일~금요일중 월요일의 경우 전일인 일요일의 영향으로 오전시간대의 전력수요 패턴이 화요일~금요일에 비하여 상대적으로 낮은 특성을 보인다. 그렇기 때문에 24시간 전력수요 패턴 생성 시 적용패턴은 월요일과 화요일~금요일로 구분 지어 얻는다. 이와 같은 과정을 통하여 얻어진 수요관리 적용일수, 총 적용시간 및 총 적용량은 표 2에 나타나있다.

표 2 2011년~2012년 동계기간 수요관리 적용일수, 적용시간 및 적용량 산정결과

Table 2 Calculation demand side management results in 2011~2012 winter season

적용일수(일)	총 적용시간(시간)	총 적용량(MW)
14	59	58,264

표 2에서와 같이 수요관리 적용기준에 따라 수요관리 적용일수, 적용시간 및 총 적용량이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 수요관리 적용기준이 전년도 최대전력수요인 경우 동계피크기간 중 수요관리 적용일수가 14일, 총 적용시간은 59시간, 총 적용량은 58,264MW로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 시계열 모델을 이용하여 계절별 최대전력수요를 예측하고 과거 피크기간의 전력수요 특징을 반영하여 일별 최대전력수요를 예측하여 수요관리 적용기준에 따라서 수요관리 적용일수, 총 적용시간 및 총 적용량 산정하는 방법을 제안하였다. 사례연구에서는 2011년~2012년 동계기간에 대하여 수요관리 적용일수, 적용시간 및 총 수요관리량을 산정하였다. 향후, 특정 시점에서의 발전력과 일기요소를 반영하여 수요관리량을 산정하는 방안에 관한 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20114010203010)

- [1] 전력통계정보시스템, Online : <http://epsis.kpx.or.kr>.
- [2] 박종진, 김현웅, 김진오, “전력 수요관리 프로그램의 지원금 변화에 따른 참여도 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제 22권, 10호, pp. 18-23, 2008년.
- [3] 원종률, 김정훈, “부하관리 요금제도에서의 기준부하 설정에 관한 연구”, 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2008년.
- [4] 위영민, 문국현, 김민경, 주성관, 오재철, “시계열 모델을 이용한 인센티브 기반 수요반응 프로그램 설계”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010년.
- [5] 이종욱, 위영민, 이재희, 주성관, “계절별 최대전력수요를 고려한 수요관리 프로그램 설계”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2011년.
- [6] 허명희, “SPSS 시계열 분석과 결측값 분석”, 서울:데이터출판, 2008년.
- [7] 전력시장운영규칙, 전력거래소, 2010년.

저 자 소 개

이 종 욱 (李 鍾 旭)

2010년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(학사). 현재, 동 대학원 전기전자전파공학과 석사과정.

위 영 민 (魏 永 民)

2009년 고려대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사). 현재, 동 대학원 전기전자전파공학과 박사과정.

이 재 희 (李 才 熙)

2009년 고려대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사). 현재, 동 대학원 전기전자전파공학과 박사과정.

주 성 관 (朱 成 官)

2004년 University of Washington 전기공학과 졸업(공학박사). 2006년~현재, 고려대학교 전기전자전파공학부 교수.