MOS-EMS연계활용을 위한 실시간 수요예측 프로그램 기능개선을 위한 방법론

김광인, 김두중, 김광철
한국전력거래소

Methodology for improving real-time load forecast program in the MOS-EMS interconnection

K. I. Kim, D. J. Kim, K. C. Kim
KPX(Korea Power Exchange)

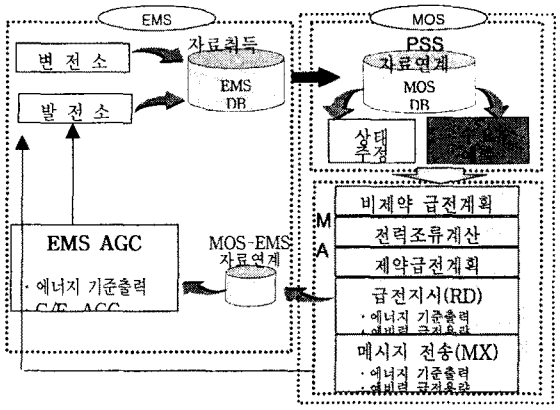
Abstract - 정부의 배전분할 유보결정에 따라 전력거래소에서는 현행 발전경쟁시장의 효율성 향상을 위한 많은 사업을 추진하고 있다. 그중 우선적으로 추진하였던 사업이 도매전력시장을 대비해 구축한 시장운영시스템(MOS;Market Operation System)을 현행 계통운영을 담당하고 있는 급전자동화시스템(EMS;Energy Management System)과의 연계활용이다. 이는 시장운영시스템(MOS)에 내재되어 있는 최첨단 기능중에서 일부를 현행 전력시장에 적용함으로써 계통운영의 효율성 향상 뿐만아니라 계통운영기술을 선진화하는 것이다. 특히, 기존 급전시스템에 비해 가장 두드러지는 점은 발전기들에 대한 에너지 및 예비력 급전계획을 사전적으로 5분단위로 최적화하여 수립하고 이를 발전기들에게 송신함으로써 경제적이며 안정적인 전력계통운영을 가능하게 해 줄 수 있는 것이다. 이를 가능하게 하기위해서는 바로 정확한 미래 수요수준의 결정이 필수불가결한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 MOS-EMS 연계활용에서의 실시간 수요예측의 중요성과 기존 제작사의 알고리즘과 국내 전력수요특성간의 불일치점 그리고 이를 해결하고자 모색했던 방안들에 대하여 설명하고자 한다.

1. 서 론

'04년 6월 정부의 배전분할 유보결정에 따라 전력거래소는 현행 발전경쟁 전력시장(CBP; Cost-Based Pool)이 장기화 될 것으로 판단하고 이에 대비하여 전력시장 효율성 향상방안을 다양한 측면에서 모색하고 있다. 그중 제일 우선적으로 추진한 것이 차기 도매전력시장에 적용하기 위해 개발된 시장운영시스템(MOS;Market Operation System)을 현행 급전자동화시스템(EMS)에 연계 활용하는 것이다. 시장운영시스템(MOS)은 5분단위로 실시간 전력계통운영을 할 수 있도록 설계되어 있으며, 실시간 상태추정 및 조류계산, 안정도 해석, 급전지시 자동화 등 많은 선진기능들이 들어있다. 그중에서 가장 중요한 기능중 하나가 실시간적으로 각종 제약 및 안정도를 고려한 후 선행적으로 에너지 및 예비력 급전계획을 동시 최적화함으로써 그 결과를 발전기들에게 실시간으로 전송하여 계통운영에서 경제성과 안정성을 동시에 이룰 수 있는 것이다. 이와같은 경제성과 안정성을 동시에 충족하기 위해서는 무엇보다도 적정수준의 에너지 및 예비력 계획수립이 관건이며, 이는 정확한 수요예측을 통하여 가능하다. 하지만, MOS-EMS연계활용사업 추진 과정속에서 시장운영시스템(MOS)의 제작사가 제공한 수요예측프로그램(Load Predictor)이 우리나라 전력수요 특성을 일부 정확하게 반영하지 못하고 있음이 확인되었다. 본 논문에서는 MOS-EMS 연계활용을 위한 시스템 연계·업무절차를 설명하고, 실시간 수요예측의 역할을 정의하며, 기존 수요예측 프로그램상의 문제점 제시 및 이를 개선하기 위해 착안된 방안과 효과에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본 론

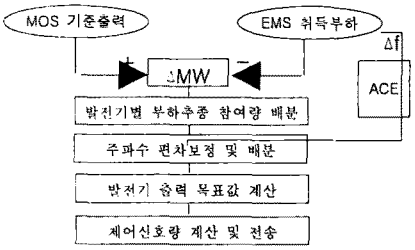
2.1 MOS-EMS연계활용사업내에서 수요예측 시스템의 역할



<그림 1> MOS-EMS 연계

그림1과 같이 현장설비의 직접제어 및 자료취득은 현행과 같이 EMS가 담당하고, MOS내 PSS(Power System Server)는 EMS로부터 현장자료를 받아 실시간 상태추정 및 수요예측을 하며, MA(Market Application)는 안정도해석 및 조류해석, 그리고 선행적인 에너지 및 예비력급전계획을 수립하고, RD(Resource Dispatch)를 통해 MA의 급전계획이 EMS에 전달되고, EMS는 MOS의 급전계획을 현장설비에 전송하게 되어있다. 이와 같은 일련의 업무가 MOS-EMS연계체제에서는 5분단위로 실시간 연속적으로 처리된다. 이중 수요예측(Load Predictor)은 PSS(Power System Server)내 있는 프로그램으로서 EMS가 취득한 실시간 전력수요값을 인계받아 5분단위씩 미래 12개구간(1시간)에 대한 전체 계통수요를 예측하고, 이를 MA(Market Application)에 전송해 줌으로써 선행 5분단위 급전계획이 수립되도록 지원해주고 있다.

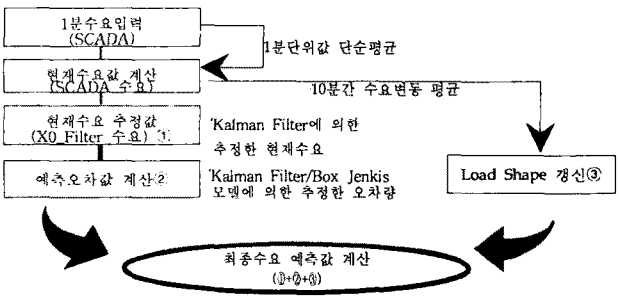
2.2 부정확한 실시간 수요예측시 발생할 수 있는 문제점



<그림 2> MOS-EMS연계체제에서의 발전기 자동발전제어

MOS-EMS연계활용의 효과 극대화는 MOS수립한 최적 급전계획대로 실제 계통이 운영될 경우에 가능할 것이다. 즉 그림2에서 나타내듯이 MOS의 선행 급전계획값인 MOS기준출력과 실시간 EMS 취득부하 사이의 편차량(ΔMW)이 최소화 되어야 한다. 만약 미래수요를 과대 또는 과소 예측한 경우에는 편차보정량(ΔMW)이 커지게 되어 발전기별로 이를 재배분함으로써 발전기별 출력변동이 나타나게 된다. 이런 현상이 일정기간 지속될 경우에는 첫 번째로 계통운영의 안정성 유지에 어려움을 제공할 것이고, 두 번째로 최적급전 계획대로 운영이 불가능하여 발전비용 최소화를 달성하지 못하는 등 바람직하지 못한 결과를 나타내게 될 것이다.

2.3 현행 MOS내 수요예측 프로그램(Load Predictor)의 구성 및 특징



<그림 3> MOS의 Load Predictor 구성

MOS내 실시간 5분단위 수요예측 프로그램인 LP(Load Predictor)는 그림3에서 보여주듯이 크게 현재수요를 추정하는 모듈과 미래수요 예상 변동량 산정모듈(Load Shape) 그리고 수요예측 추정오차량 보정 모듈로 구성되어 있다.

먼저 현재수요 추정은 1분단위 EMS SCADA 순시수요를 5분단위로 단순평균한 후 "Kalman Filter"를 적용하여 Scada noise를 제거하고 현재수요를 추정한다. Kalman Filter는 크게 두 부분으로 구성되어 있다. Predict(Time Update)와 Correct(Measurement)이다. Predict는 직전구간의 값을 근거로 다음구간의 수요를 추정하는 것이고, Correct는 실제값이 취득된 후 추정했던 값을 보정하는 것이다. Kalman Filter의 기본수식은 다음과 같다.

현재수요추정값 = 직전구간 수요추정값 + Kalman Gain × (취득값 - 추정값)

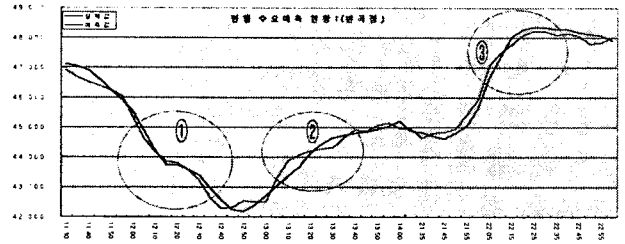
여기에서 Kalman Gain은 실제취득값과 추정값 편차를 보상해 주는 가중치의 역할을 수행하게 되며, 이론적으로 이 값은 실시간 가변적으로 계산되는 것이

원칙이나 일반적으로는 어느 특정값으로 수렴하게 구현된다.

두 번째 모듈은 미래구간의 예상 수요변동량을 작성하는 것이다. 현재 MOS의 LP에서는 "수요패턴(Load Shape)"이라는 용어를 사용하고 있으며, 수요패턴 작성방식은 이미 구축되어 있는 과거 수요패턴에 일정한 가중치(α)를 부여하고, 당일 발생한 수요변동량에 가중치(1-α)를 부여한 다음 이를 합하는 것이다. 세 번째 모듈은 수요예측 오차량을 보정하는 것이다. 여기에는 ARIMA(Auto Regressive Integrated Moving Average)모델로 불리는 Box-Jenkis 모델을 사용하고 있다.

2.4 수요예측 프로그램(Load Predictor)의 문제점

MOS-EMS연계활용을 위한 각종 모의운영을 실시하면서 수요예측의 정확성이 부족한 부분이 지속적으로 나타나기 시작했다. 아침부하시간대, 점심시간대, 저녁시간대, 심야시간대 등 주로 전력수요가 급감하거나 급증하는 시기였다. 관련 데이터 취득 및 프로그램 소스코드를 분석하고 자체 시뮬레이션을 수행한 결과 기존 ABB사에서 제공한 수요예측 프로그램에는 우리나라 수요특성이 일부 반영되어 있지 않다는 사실을 확인했다. 그림4에서 보다시피 수요가 급감하는 시간대에는 수요예측을 실제보다 과다하게 산정하고 일정시간이 지나면 과소예측으로 전환되고, 반대로 수요가 급증하는 시간대에는 실제보다 과소하게 예측하고 일정시간이 경과하면 과다예측을 하였다.

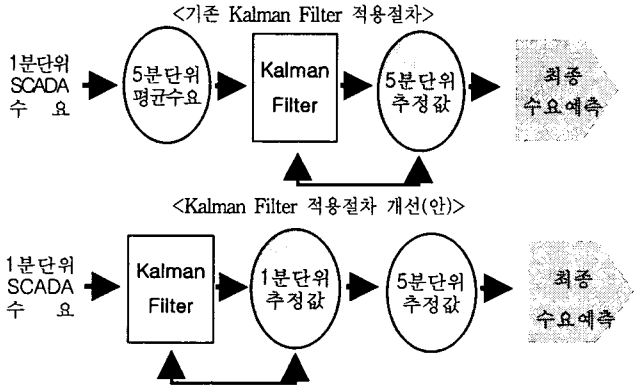


<그림 4> 주요 변곡점에서의 수요예측 오차발생 현황

이런 부정확한 수요예측의 반복적 발생은 발전기별 출력변동을 많이 유발시키고 있었다. 그 원인을 분석한 결과 다음과 같은 문제점이 기존 LP에 존재하고 있었다. 첫 번째 Kalman Filter의 기본속성인 "후행효과"가 현재수요값 추정시 나타나면서 시간지연이 발생하였다. 두 번째로 미래수요 예상변동량인 수요패턴(Load Shape) 산정시 과거시간의 영향이 너무 크게 작용하고 있었다. 세 번째로 Box-Jenkis 알고리즘 구현에 일부 오류가 존재하면서 수요예측 오차량이 제대로 반영되고 있지 않았다.

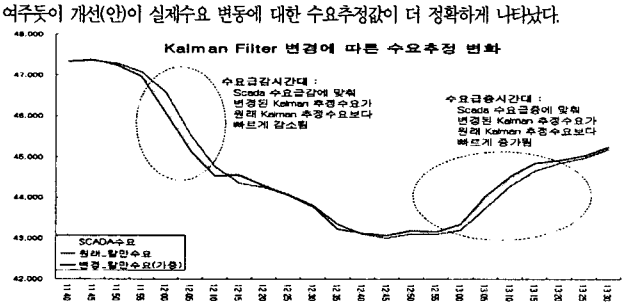
2.5 수요예측 프로그램(Load Predictor)의 기능개선 방안

2.5.1 Kalman Filter 적용방법 변경으로 현재수요 추정값 정확성 향상



<그림 5> Kalman Filter 적용방법 변경

기존 방식은 5분간 평균수요에 대해 Kalman Filter를 적용하고, 실행주기도 5분단위이었으나, 개선(안)에서는 1분단위 수요에 대해 Kalman Filter를 적용하고 실행주기는 1분단위로 실행하고, 1분단위 추정결과를 5분단위로 가중평균 또는 단순평균하여 현재수요를 추정하는 것이다. 이는 5분내에서 비선형으로 급격하게 변화하는 전력수요의 특성을 최대한 반영하기 위한 방안이다. 동일한 시간대에 상기 2가지 방법으로 시뮬레이션을 해 본 결과 그림-6에서 보여주듯이 개선(안)이 실제수요 변동에 대한 수요추정값이 더 정확하게 나타났다.



<그림 6> Kalman Filter 변경에 따른 수요추정 변화

2.5.2 당일 구간별 수요변동량 계산방법 변경으로 수요패턴 산정의 정확성 증진

<표 1> 당일 수요실적 변동성 방법 개선 전후 비교

기 존	변 경(안)
$[YT_{t-1} - YT_{t-2}]/2 + [YT_t - YT_{t-1}]/2$	$[YT_{t-1} - YT_{t-2}] * A + [YT_t - YT_{t-1}] * B + [YT_{t-1} - YT_t] * C$

2.3에서 이미 언급하였던 수요패턴 작성 방식중에서 당일 발생한 수요변동량의 반영부분에서 나타나고 있는 시간지연 효과를 개선한 것이다. 즉, 기존에는 해당구간에 대한 변동량 산정시 현재구간 실제수요값(YT_t)에서 10분전 실제수요값(YT_{t-2}) 차감하고, 그 편차량을 단순평균하여 수요패턴 작성에 사용하였다. 이는 수요변화가 일정할 경우에는 오차가 적으나, 10분 사이에 비선형으로 수요가 크게 변화할 경우에는 오차가 크게 발생하게 되어 있다. 따라서 MOS에서 필요한 수요예측값은 미래구간에 대한 값을 의미하므로 과거구간에 대한 수요변동량 반영의 가중치를 내리고, 미래구간에 대한 변동량을 반영시킴으로서 5분단위 기간별 전력수요 이동에 따른 수요패턴의 적용상의 안정성을 확보할 수 있다. 즉, 직전5분간 수요변동량($YT_t - YT_{t-1}$)에 일정한 가중치(B)를 부여하고, 이전 5분간 수요변동량($YT_{t-1} - YT_{t-2}$)에 일정한 가중치(A)를 부여하고, 직후 5분간 수요변동량($YT_{t+1} - YT_t$)에 일정한 가중치(C)값을 부여하는 방식이다. 이때 가중치중 해당구간에 적용되는 B값을 가장 크게 주어야 할 것이며, 상기 세 개의 가중치 값 수준은 일정기간 동안 시뮬레이션 한 후 적정값을 산출해야 한다.

2.5.3 수요패턴 갱신 과거 패턴과 당일 수요변동량 가중치 변경

수요패턴 = 과거패턴(α) + 당일 수요변동량(1-α)

기존에는 α값이 50%이고 (1-α)값이 50%이었다. 이는 과거 패턴과 당일 수요변동성을 동일하게 간주하고 있다. 하지만 전력수요의 특성이 시간에 따른 군집현상(cluster)을 보이는 것이 일반적 현상이므로 최근의 값에 보다 많은 가중치를 부여하는 것이 보다 합리적일 것이다. 따라서, 과거 패턴에 대한 가중치를 30%정도로 낮추고, 당일 수요변동량을 70%정도로 높게 적용할 방침이다.

2.5.4 이상 수요변동량 발생시 수요패턴 작성이 미반영 알고리즘 추가

기존 프로그램에는 MOS DB업데이트 또는 일시적 수요 급변동이 일어날 경우에도 이를 수요패턴 작성시 그대로 반영시킴으로써 매우 부정확한 수요패턴이 만들어져 특정구간에서 수요예측 오차를 크게 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 모든 5분단 급전구간별로 과거수요패턴 대비 일정한 값과 일정한 비율을 초과한 수요변동성이 발생할 경우에는 과거 패턴을 그대로 유지하도록 하는 알고리즘을 추가 할 예정이다. 이는 일시적인 급변동량을 제거함으로써 정상적인 수요변동성만을 가지고 수요예측을 함으로써 안정적인 상황을 유지할 수 있을 것이다.

2.5.5 Box-Jenis 모델에 대한 알고리즘 재검토

Visual Basic으로 Box-Jenkis 모델을 설계문서대로 만들어 시뮬레이션한 결과 수요예측 오차량을 "0"값으로 산정하는 알고리즘상에 일부 오류가 있음이 확인되었다. 이에 대한 제작사의 의견을 들어본 결과 오류를 인정하고 관련 모듈의 기능 및 상기 원인을 재검토 하기로 했음.

2.5.6 수요예측 정확성 향상을 위한 기타방안

이외에도 지나치게 세분화되어 있는 요일별 수요패턴을 유사요일로 통폐합하여 운영하는 방안과 특수일 수요패턴 적용시 최근 휴일 수요패턴을 최대한 활용하는 방식 등이 수립되어 있다.

3. 결 론

이상과 같이 MOS-EMS 연계활용사업에서의 실시간 수요예측의 역할과 의미, MOS내 구축된 수요예측 프로그램의 구성 및 특성, 기존 프로그램 운영상의 문제점 그리고 이를 해결하기 위한 각종 시뮬레이션 결과와 개선방안에 대해 설명하였다. 본론에서 논의하였던 개선방안은 제작사인 ABB사와 이미 기술검토를 마쳤고, 현재 프로그램 변경작업을 진행중에 있다. 현재 실시간 계통운영에 적용할 수 있는 상용화된 수요예측 프로그램이 국내에 전무한 상태에서 MOS의 수요예측 프로그램의 기능개선 및 활용은 한국형 EMS(KEMS)사업 및 학계의 연구에 상당한 도움을 줄 것으로 보며, 상기 개선방안이 실제로 적용될 경우에는 MOS의 에너지 및 예비력 최적화에 따른 경제적 운영과 안정적인 계통운영에 커다란 공헌을 하게 될 것이다.

<참 고 문 헌>

[1] Greg Welch, "An introduction to the Kalman Filter", 2001
[2] Korea Power Exchange, "Technical Specifications", Contract for New Energy Management System, Vol 2, 1999
[3] ABB, "Software Functional Specification Load Predictor", 2002
[4] ABB, "MOS Design Specifications", 2002
[5] ABB, "MOS Load Predictor Algorithm", 1992