

MOS-EMS 연계활용을 통한 전력시장의 효율개선

옥기열, 김광인, 김두중, 김광철, 문영권
전력거래소

Efficiency Enhancement of Electricity Market by MOS-EMS Interfaced Operation

Ki-Youl Ok, Kwang-In Kim, Doo-Jung Kim, Kwang-Chui Kim, Young-Kwon Moon
Korea Power Exchange

Abstract - 변동비반영시장(CBP)의 장기화가 예상됨에 따라 전력거래소는 차기 도매전력시장의 운영을 위해 개발된 시장운영시스템(MOS)을 현행 급전체계에 활용하는 사업을 추진하고 있다. 이를 위하여 전력거래소는 현 CBP의 비용기반 입찰자료를 MOS의 가격입찰 방식으로 등가적으로 변환하는 입찰변환시스템과 MOS-EMS 연계운영의 적정성을 감시 및 진단하는 시장운영감시시스템을 개발하였다. 또한 MOS의 실시간(5분) 급전계획이 최적으로 수립될 수 있도록 상태추정의 신뢰성 및 수요예측의 정확도를 향상시켰다. 아울러 MOS-EMS 연계운영의 안정성을 검증하기 위해 10단계에 걸친 실계통 실증시험을 성공적으로 종료하였으며, 그 결과 계통운영의 효율성 및 투명성 향상은 물론 연간 260억원 이상의 발전비용 절감효과가 발생함을 입증하였다.

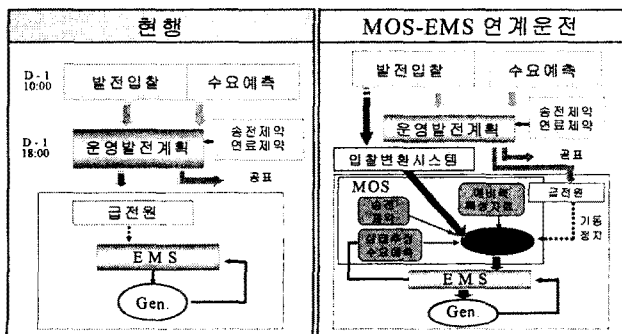
1. 서 론

현행 변동비반영시장(CBP)의 장기간 지속이 예상됨에 따라 정부와 전력거래소는 전력시장의 효율향상을 위한 제도개선 사업의 일환으로 차기 전력시장의 운영을 위하여 개발된 시장운영시스템(MOS)을 활용하는 사업을 추진하고 있다. MOS는 실시간 계통상태 및 수요예측을 바탕으로 급전계획을 수립하기 때문에 이를 적절하게 활용한다면 전력시장 및 계통운영의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 MOS는 가격입찰을 기반으로 하는 차기 도매경쟁시장을 위해 개발되었기 때문에 CBP의 비용입찰에 적합하도록 입찰자료 변환이 필요하다. 또한 MOS-EMS 연계운전을 통한 급전자동화는 효율성 향상을 가져오지만 시스템 작동오류가 발생할 경우 이를 신속하게 조치하지 않을 경우 급전안정성을 저해할 우려가 제기되었다. 이에 전력거래소는 입찰자료의 자동변환 및 시스템 적정성을 감시하기 위한 입찰변환시스템 및 MOS감시시스템을 개발하였다. 이와 더불어 MOS-EMS 연계운전의 가능성을 검증하기 위하여 10단계에 걸친 실증시험을 시행하였다. 본 논문은 MOS-EMS 연계운전의 개념과 입찰변환시스템 및 MOS감시시스템의 원리를 설명하고, 실증시험 결과 및 발전비용 절감효과를 제시코자 한다.

2. MOS-EMS 연계운전의 개념

2.1 기본개념

MOS는 실시간 수요예측, 상태추정 및 안전도 해석을 바탕으로 발전, 송전 및 예비력 등 사회적 비용을 최소화하는 제약급전계획(SCED)을 수립한다. MOS의 급전계획 결과는 EMS로 연계되어 AGC를 통한 대부분 발전기 제어기준이 된다. EMS의 경제급전은 전력시장 도입 이전에 개발되었기 때문에 시장연계 기능이 없고, 실시간 계통해석 연계 및 예비력 최적화의 기능이 미흡한 반면 AGC를 수행한다. 따라서 MOS의 제약급전 결과를 EMS로 연계하고 AGC를 수행함으로써 전력계통 및 전력시장의 효율성을 동시에 향상할 수 있다. MOS-EMS 연계운전을 구현하기 위한 핵심과제는 CBP의 비용입찰 자료를 MOS에 적합한 가격입찰 방식으로 변환하는 것으로, 발전비용은 물론 발전기의 운전특성 및 제약조건을 포함한 가격입찰을 생성하는 것이다. 아래의 그림은 MOS-EMS 연계운전의 개념을 현행 급전체제와 비교하여 도시한 것이다.



〈그림 1〉 MOS-EMS 연계운전의 기본개념

2.2 급전계획

2.2.1 현행 급전체제

전력거래소는 거래일 하루 전의 발전기 입찰 및 수요예측을 바탕으로 가격결정계획을 수립하고, 이를 바탕으로 각종 제약조건을 반영한 운영발전계획을 수립한다. 거래당일 급전원은 운영발전계획 및 계통상황을 바탕으로 발전기의 기동정지를 수행하는 반면, 실시간 부하추종 및 주파수조정은 EMS의 경제급전 및 AGC에 의한다.

그러나 EMS의 경제급전은 상태추정 및 안전도해석에 의한 송전제약을 반영하지 않고, 에너지와 예비력의 동시-최적화(Co-optimization) 기능을 포함하지 않는다. 따라서 계통운영의 안정성 및 경제성 확보를 위한 급전원의 경험적인 판단이 지속적으로 요구된다.

2.2.2 MOS-EMS 연계급전

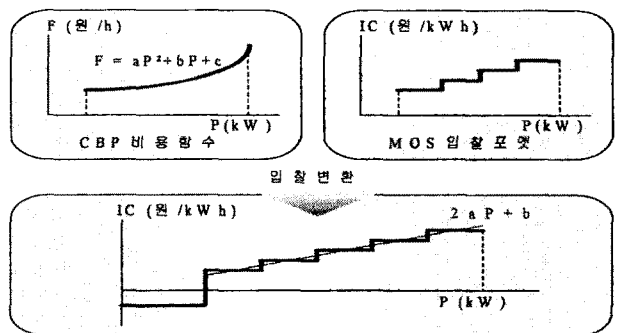
MOS는 전력계통에 대한 실시간 부하예측 및 안전도해석을 바탕으로 5분단위 제약급전계획을 수립한다. MOS의 제약급전은 정상상태에 대한 AC 조류해석 및 상정사고에 대한 DC조류해석을 통해 송전선의 파우어를 검증하고, 민감도해석(Sensitivity Analysis)에 의한 송전제약을 경제급전에 반영하는 것이다. 또한 MOS의 경제급전은 에너지 및 예비력의 공급비용을 동시에 최적화하도록 목적함수 및 제약조건이 구성된다. MOS-EMS 연계운전이 이루어질 경우 EMS의 경제급전은 중지되고, MOS의 급전계획 결과에 의한 발전기의 기준출력 및 경제참여율을 바탕으로 AGC가 수행된다. 아래의 표는 MOS-EMS 연계운전에 따른 급전방식의 변화를 보여준다.

〈표 1〉 급전체제의 비교

구분	현행체제	MOS-EMS연계
기동정지 수행주체	급전원	급전원
급전계획 수립주기	하루전 시간대별	당일 실시간(5분)
경제급전 대상범위	일부 발전기	대부분 발전기
예비력 확보방안	수동	최적화(급전계획)
송전제약 반영방안	수동	최적화(급전계획)

2.3 입찰자료의 변환

MOS는 가격입찰 기반의 도매경쟁시장을 기준으로 개발되어, CBP의 중분비용을 가격입찰로 변환하여야 한다. MOS의 실시간 급전계획은 기동발전기를 대상으로 하므로, 기동비용 및 무부하비용은 메몰비용(Sunk cost)으로서 입찰변환에서 제외된다. 한편 수력 및 양수발전기는 연료비를 포함하지 않으므로 운영발전계획 및 자기제약을 바탕으로 화력발전기에 대응한 상대적 기회비용에 의한다. 아래의 그림은 입찰변환의 개념을 도시한 것으로, 전력거래소는 CBP의 입찰시스템 및 MOS를 연계하여 입찰변환을 자동적으로 수행하는 시스템을 개발하였다.



〈그림 2〉 입찰변환의 방법론

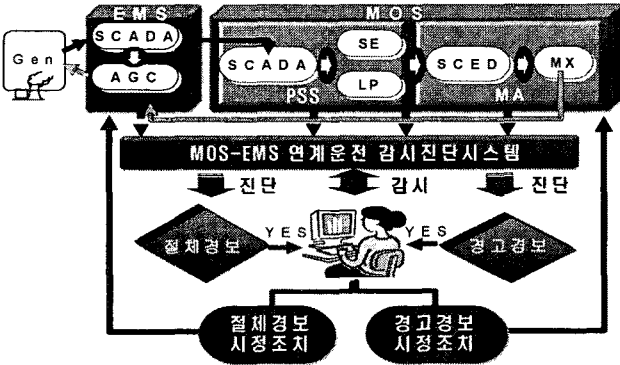
2.4 상태추정의 정도개선

MOS는 Full Network 기반의 제약급전계획을 수립하므로, 급전계획 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 계통해석의 출발점이 되는 상태추정의 정밀도가 확보되어야 한다. MOS-EMS 연계사업 시작단계의 상태추정은 정

확성이 낮고 수렴성도 매우 저조하였다. 전력거래소는 상태추정의 정밀도를 향상시키기 위해 상당한 노력을 기울인 바, 계통DB 토폴로지 입력오류의 시정, 송전접속점이 상이한 복합발전기의 가스터빈 및 스팀터빈의 모델링 분리, 양수발전기의 양수모드와 발전모드의 판정구분을 위한 스위치기어 모델링의 변경, 배전용 변압기의 모델링 추가, 상태추정 수행변수의 튜닝 등을 포함한다. 그 결과 MOS의 상태추정 수렴도 및 정밀도는 괄목할 수준으로 향상되었다.

2.5 MOS 운전상태의 감시진단

MOS-EMS 연계운전은 서로 다른 이종시스템을 통해 방대한 계통자료를 실시간 처리하여야 하므로, 오류발생 요인이 상존하게 된다. 따라서 MOS의 급전계획 처리상황을 실시간 감시 및 진단함으로써 급전원의 신속한 조치를 지원할 필요가 있다. 전력거래소는 MOS-EMS 연계운전 상태를 실시간 진단하기 위한 평가지표 및 판정기준을 수립하고, 자동진단 기능을 수행하는 시스템을 개발하였다. 아래 그림은 이러한 MOS감시시스템의 개념을 도시한 것이다.



〈그림 3〉 MOS 감시진단시스템 개발개념

3. MOS-EMS 모의운영 및 기대효과

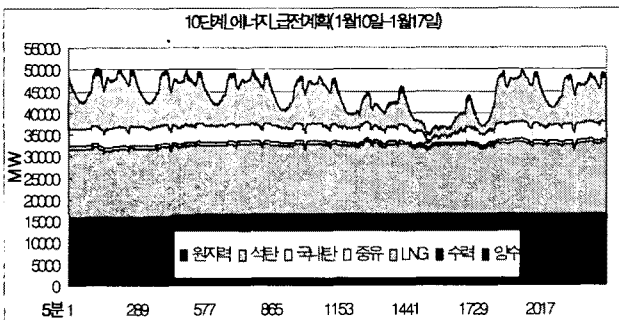
3.1 실계통 모의운영 시행결과

전력거래소는 MOS-EMS 연계운전의 가능성을 검증하기 위하여 10회에 걸쳐 실증시험을 시행하였다. 이는 평탄부하 시간대의 단시간 운전을 시행하고, 결과분석 및 문제점 보완을 거쳐 최종적인 장시간 연속운전으로 이행하는 과정이었다. 최종적인 10단계 모의운영은 전체 발전기를 대상으로 1주일 168시간 연속운전을 성공적으로 종료함으로써 MOS-EMS 연계운전의 안정성을 입증하였다. 아래의 표는 10단계 모의운영 결과를 요약한 것이다.

〈표 2〉 10단계 모의운영 시행결과

평가항목	실적	비고
데이터 취득률	99.0%	MOS 취득률
수요예측 오차율	0.3%	전구간 평균오차
주파수 유지율	99.7%	연계이전: 99.4%
상태추정 수렴도	99.8%	2011/2016 수렴
급전계획 수렴도	100%	2016/2016 수렴
발전비용 절감효과	260억원/년	기저발전 출력증대

아래의 그림은 MOS의 급전계획에 의한 전원별 발전량을 도시한 것으로 경제급전 우선순위에 따라 기저발전인 원자력 및 석탄은 기저부하를 공급하는 반면, 중유, 가스복합, 수력 및 양수발전은 부하추종을 수행하는 바람직한 결과를 보여준다.



〈그림 4〉 10단계 모의운영의 전원별 MOS 급전계획

또한 MOS 급전계획은 대부분 구간에서 계통운영기준에 의한 AGC,

Governor Free, 운전예비력 요구량을 충족하였으며, 송전망을 통한 전력조류도 적정수준을 유지하였다. 아래 그림은 수도권 용동전력에 대한 MOS 급전계획의 해석조류 대비 SCADA를 통한 실적조류를 비교한 것으로, MOS 급전계획에 의한 조류해석의 신뢰성을 입증하고 있다.



〈그림 5〉 수도권 용동전력의 실적조류 대비 조류해석

3.2. MOS-EMS 연계효과

3.2.1 기술적 측면

MOS-EMS 연계운영을 통해 축적된 기술적 성과는 다음과 같다. 첫째, 조류해석, 상정사고 해석, 최적조류 계산, 모선가격 산출 등 계통 및 시장운영의 기본이 되는 상태추정을 안정화하였다. 이는 실시간 계통해석을 위한 발판을 제공함과 아울러 자기 전력시장의 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 기반구축의 의미가 있다.

둘째, 계통운영의 자동화 및 투명성을 제고하였다. MOS의 최적화 알고리즘 및 안전도해석을 통한 제약급전으로 급전원의 수작업이 감소하고, 급전의 객관성이 증진되었다.

셋째, 실시간 수요예측 알고리즘의 개선을 통한 예측오차를 감소시켰다. Kalman Filter 및 ARIMA 기법에 의한 수요예측 수행능력을 우리계통의 특성에 부합하도록 개선하고, 각종 매개변수를 튜닝하였다.

넷째, 이행성과 및 기여도를 반영하는 AGC 정상체계를 수립함으로써 발전기의 AGC 운전능력 및 설비최적화에 대한 유인동기를 제공하였다.

3.2.2 경제적 측면

MOS-EMS 연계활용으로 전력계통의 연료비 절감효과를 확인하였다. 이는 모의운영을 통해 기존에 주파수조정 예비력을 제공하기 위해 감발하였던 석탄발전기가 MOS-EMS 연계운영시에는 상향운전 할 수 있음이 입증되었기 때문이다. 즉 MOS-EMS 연계운영으로 AGC 운전발전기가 확대됨에 따라 연료비가 비싼 발전기의 예비력 공급용량이 증가하였다. 모의운영 결과를 통한 분석에 의하면 MOS 급전계획을 통한 예비력 최적화로 연간 260억원의 연료비 절감효과가 기대되고 있다.

또한 연료비 절감효과와는 별도로 계통안정성을 보장하는 MOS 급전계획은 급전원의 출력조정을 위한 수작업을 경감함으로써 업무효율의 향상을 가져올 것으로 예상된다. 아울러 Governor Free 및 AGC 보조서비스의 정상체계를 발전기별 기여도 및 이행성과를 반영하도록 변경함으로써, 발전설비의 운영 및 투자의 최적화를 통한 장단기의 시장효율 향상이 기대된다.

4. 결 론

본 논문은 차기 도매시장의 운영을 위하여 도입된 MOS를 현 CBP에 활용하기 위한 방법론을 제시하였다. 또한 이를 지원하기 위하여 개발된 CBP 비용입찰 자료를 MOS 가격입찰로 자동변환하는 시스템 및 MOS 운전상태를 감시하기 위한 시스템의 원리를 설명하였다. 아울러 MOS의 실시간 급전계획이 최적으로 수립될 수 있도록 상태추정 및 수요예측의 정밀도를 향상시키기 위한 개선사항을 언급하였다.

총 10단계에 걸친 실증시험을 통하여 MOS-EMS 연계운전에 필요한 기술적 장애를 제거하고, 168시간 실계통 실증시험에 성공함으로써 계통안정성 및 운영효율성을 입증하였다. 그 결과 연 260억원 이상의 직접적인 발전연료비의 절감이 기대되며, 발전기의 Governor Free 및 AGC 운전능력 향상 및 설비최적화를 위한 유인동기를 제공함에 따라 향후 추가적인 비용절감이 가능할 것으로 전망된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 한국전력거래소, "전력시장운영규칙", 2006. 1.
- [2] ALSTOM ESCA, KPX Energy Management Platform "Generation Operator's Guide, Area AGC Models", May 1999.
- [3] ABB, KPX Market Operation System "Software Functional Specification on Network Constrained Dispatch", November 2003.
- [4] ABB, KPX Market Operation System "Software Functional Specification on Network Security Analysis", November 2003.
- [5] ABB, KPX Market Operation System "Software Functional Specification on Load Predictor", November 2003.