

03

한국표준형 에너지관리시스템(K-EMS) 발전 계획 응용프로그램 개발과 실증시험 결과

오테규, 이정호, 이상호, 민상원, 김태현, 송성환, 정구형, 김기운 | 한국전기연구원
이효상, 이진수, 서은성 | 한국전력거래소

1. 서 론

한국표준형 EMS (K-EMS)의 발전계획 응용프로그램은 모듈별로 자동발전제어(AGC; Automatic Generation Control), 경제급전(ED; Economic Dispatch), 예비력 감시 (RM; Reserve Monitoring), 전력생산비계산(PC; Production Costing), 전력수요예측(LF; Load Forecasting), 안전제약 경제급전(SCED; Security Constrained Economic Dispatch), 최적조류계산(OPF; Optimal Power Flow), 발전기 기동정지계획(UC; Unit Commitment), 최적화 급전계획(DOS; Dispatch Optimal Scheduling), 안전도 향상 (SEN; Security Enhancement), 전력시장연계 시스템(MIS; Market Interface System) 으로 구성된다. (그림 1 참조)

K-EMS 개발 연구에서는EMS기술의 국내 기술

자립과 장
기적으로
는 해외수
출이 가능
한 EMS 기
술력을 확
보하기 위
한 개발 목



| 그림 1 | K-EMS 발전계획 응용프로그램 구성

표를 설정하였으며 이에 필요한 기술규격서를 확정하고 이에 근거하여 EMS 응용프로그램을 구현하였다. 발전계획 응용프로그램은 알고리즘의 설계 및 구현에서 통일성을 유지하도록 하였으며 모듈 프로그램간의 입출력 연계를 고려하여 데이터베이스를 구축하였고 응용프로그램 수행에 필요한 각종 파라미터와 입출력을 표출하는 운영자화면을 설계하였다.

이와 같이 개발된 발전계획 응용프로그램은 실제 전력계통과 연계된 전력거래소 천안지사 테스트베드에서, 운영자 화면과 데이터베이스 간의 유기적 결합과 응용프로그램의 기능 및 성능에 대해 실증시험을 수행하므로써 실제 전력계통 운영에의 적용가능성과 신뢰성을 검증하였다. 다음의 본문에서는 K-EMS발전계획 응용프로그램의 실증시험 결과를 정리하였다.

2. 본 론

2.1 K-EMS 발전계획 응용프로그램 개발

K-EMS 발전계획 응용프로그램 개발 단계는 크게 Baseline(그림 1의 녹색부분), Prototype(그림 1의 흑색부분), Full-scale(그림1의 황색부분) 3단계로 구분되며 Baseline 단계에서는 자동발전제어, 경제급전, 전력수요예측, 예비력감시, 전력생산비계산

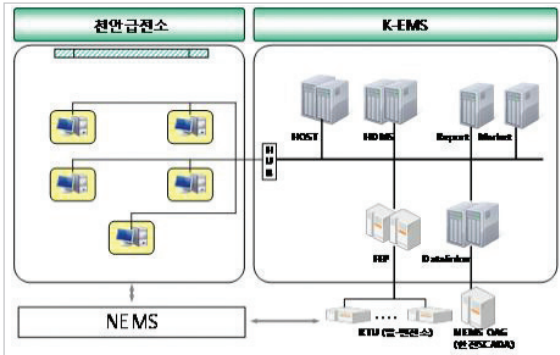


그림 2 | 실계통 연계시험 환경

프로그램을 개발하고, Prototype 단계에서는 안전제약 경제급전, 최적조류계산 프로그램 개발을 수행하였다. 최종 Full-scale 단계에서는 발전기 기동정지 계획, 최적화 급전계획, 안전도 향상, 전력시장연계 시스템 개발을 수행하였으며 단계별 실증시험과 SCADA, 계통해석 응용프로그램, 발전계획 응용프로그램이 모두 연계된 K-EMS 통합 환경에서의 실증시험을 수행하였고 발전소 및 변전소 현장으로부터 실계통 데이터를 취득만하고 제어신호는 보내지 않는 Listening mode에서 시험하였다. 또한, 실시간 응용프로그램 위주의 실계통 연계 실증시험에서는 현장과 EMS 간 실계통 데이터와 제어신호를 주고 받는 제어모드에서 수행하였다. (그림 3 참조)

2.2 K-EMS 발전계획 응용프로그램 실증시험

2.2.1 자동발전제어

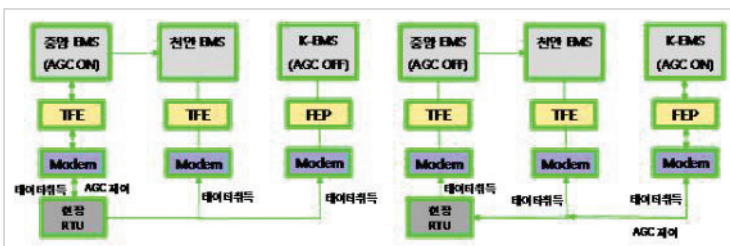


그림 3 | K-EMS 실계통 연계시험에서의 Listening Mode(좌)와 제어모드(우)

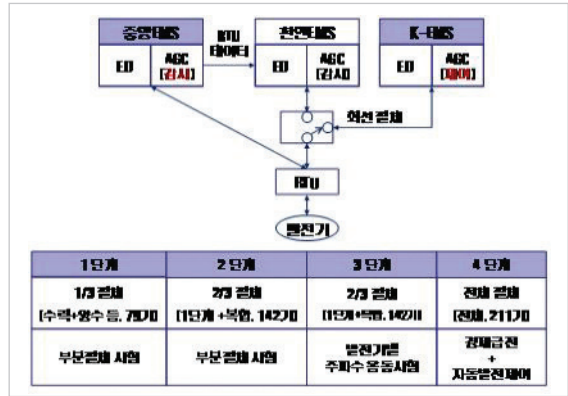


그림 4 | 단계별 AGC/ED응동시험 방법

자동발전제어는 계통주파수를 목표주파수로, 연계선조류를 목표조류로 제어하기 위해 지역제어오차(ACE; Area Control Error)가 0이 되도록 각 발전기 출력을 2초 주기로 자동조정하는 실시간 기능이다. 제어모드의 실계통 연계시험에서는 부하 평탄대인 오후 2시부터 4시 사이에 AGC/ED 응용프로그램을 실계통과 연계하여 발전기 응동 시험을 수행하였으며, 실계통 제어 대상 발전기를 다음과 같이 단계적으로 추가시키며 시험을 수행하였다. 1단계에서는 수력/양수, 국내탄 발전기 위주로 시험하되 현재 전력거래소가 운영중인 NEMS 와 K-EMS를 동시 운영하며 시험하였다. 2단계에서는 1단계 발전기에 복합, 유연탄 발전기를 추가하여 제어시험 대상으로 하되 1단계와 마찬가지로 NEMS 와 K-EMS를 동시 운영하며 응동시험을 수행하였다. 3단계에서의 시험 대상 발전기 조합은 2단계와 같이하되 발전기별 응동시험 위주로 시험을 수행하였다. 마지막 4단계에서는 우리나라 전력계통에서 AGC 가능한 전체 발전기를 대상으로 K-EMS 단독으로 AGC/ED응동시험을 수행하였다.

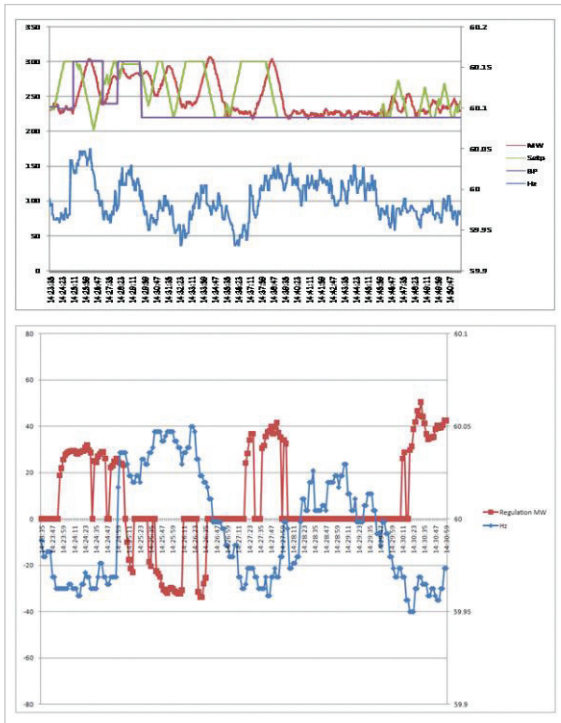


그림 5 | 삼랑진양수2호기 AGC/ED 시험 결과

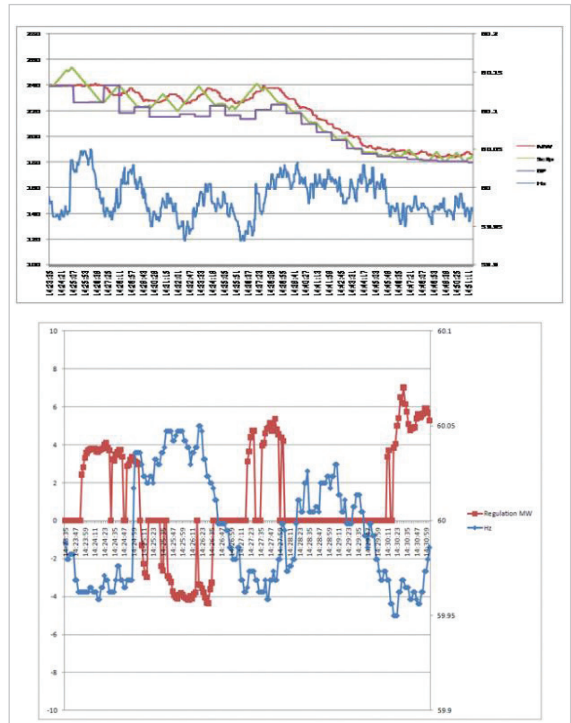


그림 6 | 서인천북합2호기 AGC/ED 시험 결과

아래 그림은 삼랑진양수 2호기를 수동입력모드로 전환하여 경제급전 기준값을 수동으로 일정하게 유지하며 발전기 주파수 추종을 확인하였다. 발전기 출력은 약간 지연되어 나타나지만, 양수발전기의 증발율이 크므로 주파수조정에 크게 기여하였음을 알 수 있다. (그림 5의 상단: MW; 발전기출력, Setp; AGC제어값, BP; 기준값, Hz; 계통주파수) 그림 5의 하단 그래프는 삼랑진양수2호기 시험결과에서 그림 5 상단 그래프의 원부분에 대해 주파수 응답성분만을 상세히 표시한 것이다. (그림 5의 하단: Regulation MW; 주파수 응답성분, Hz; 계통주파수)

그림 6은 서인천북합2호기 AGC/ED 시험결과이다. 경제급전에서 계산된 기준값(BP)과 주파수 응답량에 의하여 AGC 제어 신호가 결정되고 실제 출력은 약간 지연되어 나타남을 확인하였다.

2.2.2 경제급전

경제급전은 발전비용 최소화를 목적으로 발전기별 증분비용 및 송전손실을 고려한 계통의 경제적 배분값을 계산하기 위해 1분주기로 수행된다. 그림 7에서 광양복합 1호기가 계통Lambda를 결정한 발전기이며 계통Lambda 보다 낮은 증분비의 발전기

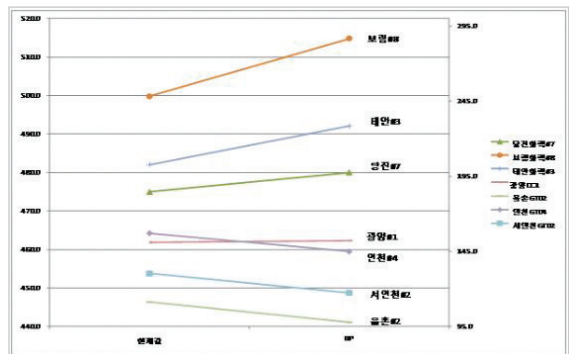


그림 7 | 경제급전(ED) 결과

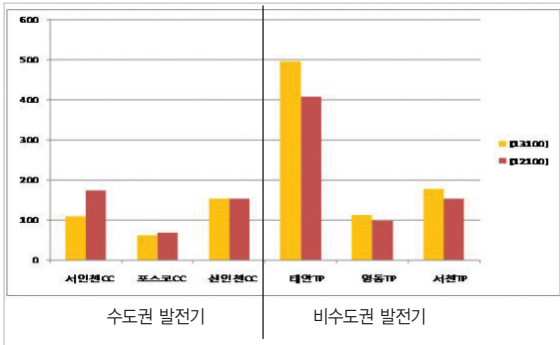


그림 8 | 복상조류 제약값에 따른 안전제약 경제급전(SCED) 시험 결과

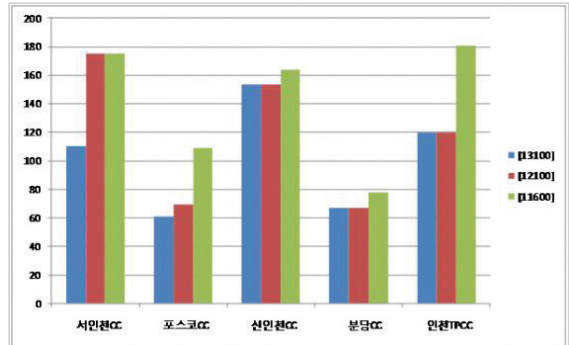


그림 9 | 복상조류 제약값에 따른 안전제약 경제급전(SCED) 시험 결과

들은 1분후의 경제급전 결과 상향 출력으로 배분되었고 계통Lambda 보다 높은 증분비의 발전기들은 하향 출력으로 배분되는 결과를 보였다.

2.2.3 안전제약 경제급전

안전제약 경제급전(SCED)은 경제급전시 안전도(security) 제약조건(복상조류제약 및 예비력 제약)이 부가된 상태에서 전력계통내의 안전도가 유지되도록 각 발전기의 출력 제한값을 계산하는 기능이다. 계산주기는 5분이며 계산된 제약조건을 고려한 각 발전기 출력 제한값을 경제급전에서 입력으로 사용한다. 실증시험에서는 복상조류 제약값을 변경하여 가며 수도권 및 비수도권 발전기 배분 변화를 검토하기 위해, 복상조류 제약값을 각각 13,100MW, 12,100MW, 11,600MW로 변경하며 발전기별 배분 변화를 비교해 보았다. 복상조류 제약값이 13,100MW인 경우는 비제약과 제약 시 배분결과의 변동이 없었고, 복상조류 제약값이 12,100MW인 경우는 복상조류 제약으로 인해 일부 수도권 발전기의 출력이 증가되었고, 일부 비수도권 발전기 출력이 감소됨을 보였다.

그림 9는 안전제약 경제급전 시험에서 복상조류 제약값이 작아질수록 수도권 발전기 출력이 증가됨을 확인한 결과이다.

2.2.4 최적화 급전계획

K-EMS 개발에서 최적화 급전계획은 비용최소화를 달성하는 급전계획을 산출하는 기능으로써 발전비용 데이터는 10개구간의 입찰값을 사용하고 수요데이터는 5분 전력수요예측값을 이용하였다. 제약조건으로는 발전기 출력제약, 발전기 증감발제약, 복상조류제약을 적용하여 시험하였다. 그림 10은 수요 300MW 증가시 일부 발전기의 출력변동을 표시한 것이다. 하동화력#1 발전기는 비용 최소화를 위하여 발전기를 증발물 제약까지 배분량을 증가시켰고, 인천GT04 발전기는 비용 최소화를 위하여 발전기의 배분량을 최대입찰량까지 증가시켰다. 삼천포화력#6 발전기는 비용 최소화를 위하여 배분량이 증가되어야 하나 초기값이 최대입찰량이어서 초기값과 동일한 발전배분 값으로 배분되었고, 신인천GT15 발전기는 비용 최소화를 위하여 감발(초기값 입찰가격:100.8 배분값 입찰가격:99.03) 하였고, 부곡GT01 발전기는 비용 최소화를 위하여 최대 감발 가능 범위까지 감발(초기값 입찰가격:100.7 배분값 입찰가격:100.1)하였다.

2.2.5 예비력감시

발전기의 실시간 예비력을 감시하기 위한 기능으로 주파수추종예비력, AGC 예비력, 운전상태대기

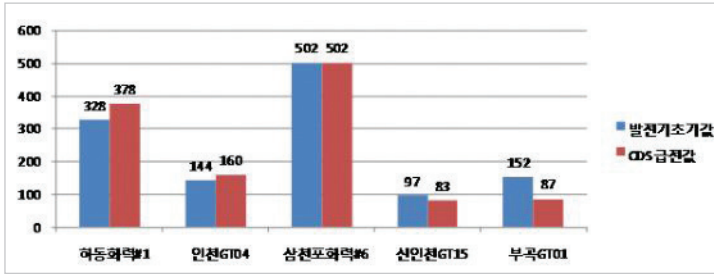


그림 10 | 최적화 급전계획(DOS) 시험 결과

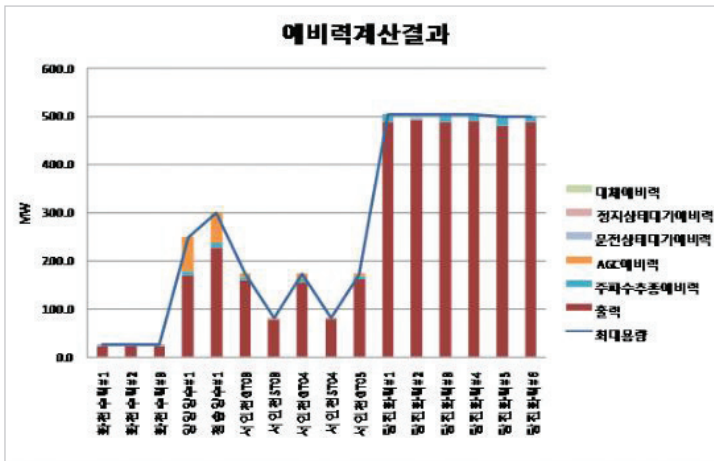


그림 11 | 예비력감시 시험 결과

예비력, 정지상태대기예비력 등을 계산하며 그림 11에 발전연료별 일부 발전기의 예비력 계산결과를 그래프로 표시하였다.

3. 결론

본 연구에서는 발전계획 응용프로그램 개발을 통해 전력계통의 경제적 운영의 핵심기술을 확보하였으며 전력산업환경 변화에 따라 EMS의 기능개선의 요구에 국내 기술력으로 유연하게 대응할 수 있는 역량을 확보하였다. 또한 EMS 기술자립을 통해 EMS의 해외 도입비 절감과 경제적인 유지보수를 기대할 수 있고, 해외 수출을 통해 전력산업의 효율성 및 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다.