



04

한국표준형 에너지관리시스템(K-EMS) K-EMS 계통해석 프로그램 개발과 실계통 연계시험 결과

조윤성, 김영인, 이진 | LS산전
허성일, 윤여준, 이호상 | 한국전력거래소

1. 서론

한국표준형 에너지관리시스템(K-EMS)의 전력 계통 해석프로그램은 정확한 계통 모델링을 기반으로 토폴로지 해석을 필두로, 상태추정, 조류계산, 상정사고 해석, 전압계획, 조류계산, 고장계산, 휴전계획 등으로 구성된다. 본 계통해석 응용프로그램 개발에서는 프로그램의 강인성을 확보하고 다음의 4가지 요구조건을 충족하는 것을 목표로 하였다.

첫째, EMS 시스템 기반에서 해석 프로그램의 빠르고 정확한 해석뿐만 사용자의 편리한 운용 등을 고려한 강인한 데이터베이스를 구축하도록 하였다. 둘째, 정의된 계통설비의 모델링의 적정성과 계통정수의 정확성을 확보하도록 노력하였다. 셋째, 취득 데이터의 정확도와 신뢰성 있는 현장데이터의 취득을 위한 통신의 안정성을 확보하도록 하였다. 통신의 안정뿐만 아니라 취득 장비의 스케일 같은 요소에 대해 사용자의 지속적인 데이터베이스 관리도 취득데이터의 안정성을 향상시켜 준다. 마지막으로, 계통도의 그래픽 단선도화와 사용자 입력의 정확성 검증 프로세스 등 계통 운용자가 빠르고 정확하게 운용하는데 도움을 주는 요소를 고려하였다.

다음은 계통해석 프로그램의 주요기능 및 실계통 연계시험 결과이다.

2. K-EMS 계통해석 개발 범위 및 기능

K-EMS 계통해석 프로그램은 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)로부터 취득된 온라인데이터(아날로그 측정값, 차단기 디지털 정보)를 이용해 토폴로지, 상태추정, 급전원 조류계산, 상정고장, 휴전계획, 전압계획, 송전가능용량, 송전선 과부하해소, 고장해석 등의 해석정보를 계통 운영자에게 전달한다. 특히, EMS의 실시간 모드에서 토폴로지, 상태추정 및 상정고장해석은 가장 중요한 프로그램들이다. 토폴로지 프로세서는 계통설비 데이터와 실시간 디지털 데이터를 받아 전기적인 모션을 생성하며, 상태추정 프로세서는 아날로그 측정값을 받아 모션의 전압 및 설비의 현재 상태값을 추정한다. 또한, 조류계산은 상태추정 결과를 바탕으로 매우 작은 유/무효전력의 Mismatch를 갖는 계통상태의 값을 계산한다. 조류계산의 결과는 다양한 프로그램에서 사용하므로 뛰어난 수렴특성 및 EMS 환경에 맞는 다양한 기능을 포함하고 있어야 한다. 토폴로지 및 조류계산의 기능을 포함하고 있는 상정고장해석은 사전에 정의된 상정고장 정의리스트를 이용하여 고장에 따른 계통의 상태를 분석한다. 상정고장해석에서 토폴로지 처리기능은 차단기 조작에 의한 부하/발전의 탈락, 모션 분리/개방, 설비의 개방/

표1 계통해석 프로그램의 기능 및 검증방법

Application 명	구동모드*		주요기능	검증방법	
	RT	ST		비교대상**	결과
토폴로지(TP)	○	○	전기적 모선 생성 및 설비상태 판별	NEMS	양호
상태추정(SE)	○		WLS 기법기반의 상태 해 추정	NEMS	
부하분포계수(BLF)	○		지역/관리처/부하, 시간별 모선부하계수 산정	MOS	
송전손실계수(TLF)	○		부하량/시간별 송전손실 민감도 산정	NEMS	
휴전계획(OS)	○	○	휴전계획 신규입력, 검색, 수정 및 Time Chart	-	-
상정고장(CA)	○	○	고속 토폴로지처리 및 상정고장 선별	NEMS, PSS/E	양호
전압계획(VS)	○	○	전압위반해소를 위한 전압제어 권고치 검토	PSS/E	
송전가능용량산정(TTC)	○	○	상정고장대비 용동전력한계량 검토	PSS/E	
급전원조류계산(DPF)		○	2개 뉴턴-랩슨법(Full/Decoupled) 기반 연산	PSS/E	
고장계산(SCA)		○	고장용량저감을 위한 모선분리 및 병합 검토	NEMS, PSS/E	
송전선과부하해소(TLFR)		○	송전선로 과부하해소를 위한 차단기 조작 권고	PSS/E	
PSS/E Interface	○	○	PSS/E에서 연계 가능한 Raw파일 생성	-	-

*RT: 실시간 운전모드/ST: 스테디 운전모드, ** NEMS: 한국전력거래소 운용중인 EMS

투입 및 독립계통의 변화를 감시되고 분석된다. 조류 계산 기능은 토폴로지 처리에 의해 변화가 발생하는 계통설비의 값을 계산하여 설비의 위반 유무를 체크한다. 전압계획은 현재계통의 전압위반을 해소하는 제어대상을 권고하며 위반 해소 후에는 송전손실 최소화 방안을 제시한다. 고장계산은 삼상 단락고장, 지락사고 및 선간단락 사고 모의를 통해 차단용량 검토가 가능하다. 휴전계획은 설비휴전이나 감발계획을 정의하는데 사용되며, 스테디 환경에서 조류계산을 이용하여 정의된 휴전에 대해 계통검토가 가능하다. 표 1은 개발된 프로그램의 특징을 나타낸다.

표 1에서 보듯이 계통해석 프로그램은 실시간 환

경 및 스테디 환경에서 동작한다. 실시간 환경은 실시간 데이터를 취득하여 계통해석을 수행하며 상태 추정 결과를 Basecase 형태로 저장한다. 스테디 환경은 저장된 Basecase 또는 실시간 데이터 복사를 통해 상태추정을 입력데이터로 사용하여 다양한 계통해석을 수행한다.

그림 1은 계통해석 프로그램의 수행 흐름을 나타내고 있다. 실시간 환경에서는 ACM(Application Common Model) 데이터베이스로부터 계통데이터를 취득하여, 토폴로지 프로세서로부터 송전가능용량 프로그램까지 Basic 시퀀스 및 Advanced 시퀀스에 의해 순차적으로 진행된다. 특히, Advanced 시퀀스는 Basic 시퀀스의 정수배로 동작 가능하며, 모든 주기는 사용자가 설정가능하다. 스테디 환경에서는 사용자 설정에 따라 다양한 해석이 가능하다. 토폴로지 프로세서, 급전원 조류계산 및 고장계산이 순차적으로 수행가능하며, 토폴로지 프로세서와 전압계획이 순차적으로 수행될 수도 있다. PSS/E 변환 프로그램은 실시간 환경에서는 Advanced 시퀀스에 의해 주기적으로 동작하며, 스테디 환경에서는 사용자의 요구에 동작한다.

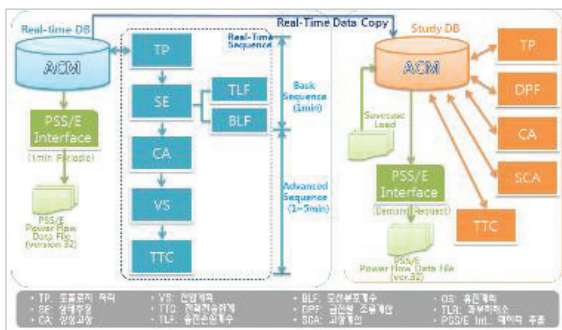


그림 1 | 계통해석기능 수행 흐름도



| 그림 2 | 계통해석기능 초기화면

EMS 계통해석에서 각 프로그램의 정확한 결과뿐만 아니라 사용자에게 해석 정보를 제공하는 요소도 매우 중요하다. 특히 급작스러운 계통변화 또는 사고에 의해 현상을 운영자에게 정확하게 제공해야 한다. 그림 2는 계통해석기능의 초기화면이다. 그림 2의 복상전력한계 화면은 복상전력 한계지점에서의 Critical한 송전선로를 지도를 통해 나타내며, 고장 해석 화면은 모선 조작 전후의 차단기용량 초과 개수를 나타낸다.

3. K-EMS 계통해석기능 검증

K-EMS 전력계통 해석프로그램은 Baseline, Prototype 및 Fullscale 단계로 구분되어 개발이 진행되었다. 표 2는 단계별 개발된 전력계통 해석프로

그램 및 검증시험 내역을 나타내고 있다. 개발된 프로그램의 고유 기능은 단위/통합/실증시험을 통해 검증을 진행되었으며, 전력거래소 정보기술처 및 급전원 입회시험을 통해 정합성 및 사용자 편의 기능에 검증을 진행하였다. 이런 단계별 시험 및 실무자 입회시험을 통해 급전원과 전력계통해석 실무자의 의견을 통해 미비사항 및 개선사항을 도출하였고 이를 적극적으로 반영하였다. 또한, 1500시간 연속 가동율시험을 통해 K-EMS 시스템의 강인성을 확인하였다. 이러한 시험을 통해 개발기능을 부분적으로 검증한 후에 전체적으로 통합검증 하였으며, 나아가 실제 계통 데이터를 이용하여 실제운전중인 전력계통의 데이터를 이용하여 계통을 평가하는 기능을 종합적으로 검증하였다.

개발된 계통해석 프로그램에 대한 실제계통 연계시험은 개발된 프로그램의 기본적인 특성시험 뿐만 아니라 여러 개의 프로그램이 연계되어 다양한 계통해석이 가능한지를 시험하였다. 표 3는 계통해석 기능의 시험결과를 나타내고 있다.

본 글에서는 시험운영절차에 따른 계통해석기능 성능시험 결과와 시험평가기준에 따른 계통해석기능 정확성시험 결과로 소개하고자 한다.

표2 K-EMS 계통해석기능 개발 및 검증시험 내역

	개발프로그램	시험
Baseline	계통모델링, 토폴로지처리(TP), 휴전계획(OS) 상태추정(SE), 모선분포계수(BLF) 송전손실계수(TLF), 급전원조류계산(DPF)	단위/통합/실증시험 IT 운영 및 유지보수요원, 급전원 입회시험
Prototype	상정고장해석(CA), 전압계획(VS) 송전기능용량산정(TTC)	단위/통합/실증시험 전력거래소 실무자 지원 기능시험 급전원 시험 입회 및 시스템 공개시험 100시간 가동률시험
Fullscale	고장계산(SCA), PSS/E Interface 송전선과부하해소(TLR)	단위/통합/실증시험 Baseline/Prototype/Fullscale 전체시험 1500시간 가동률시험 급전원 입회 실제계통 연계시험

표3 계통해석기능 주요 시험결과 요약

	상태추정	상정고장	전압계획	조류계산	고장계산
시험기능	실행옵션 설정 감시그룹 설정 과부하/전압위반감시 상태추정 해 출력	실행옵션 설정 감시그룹 설정 과부하/전압위반감시 상정사고해석 출력	감시/제어그룹설정 실행옵션 설정 전압위반모션 식별 제어권고안 출력	실행옵션 설정 감시그룹 설정 과부하/전압위반감시 조류계산 해 출력	고장그룹 정의 실행옵션 설정 고장계산 해 출력
시험방법	시험운영절차에 따른 기능점검* / 시험평가기준에 따른 정확성점검				
시험결과	발전출력(≤50MW) 선로조류(≤50MW) 수렴특성(97%이상)	PSS/E 대비 과부하 비율 의 최대편차: 2.3%	PSS/E를 통해 적합성 확인	PSS/E 대비 최대 편차: 0.9%	PSS/E 대비 최대 편차: 1.9%

* 송전선로 및 변압기 과부하 검토, 상정고장대비 용통전력한계량 검토, 고장용량저감을 위한 모션분리 및 병합개소 검토, 전압위반해소를 위한 전압제어권고치 검토

3.1 시험운영절차에 따른 계통해석기능 성능시험 결과

K-EMS 계통해석 기능 활용 시험은 다음과 같은 기준을 바탕으로 진행되었다.

○ 매 2분 주기로 실행되는 상태추정의 결과 값은 상정고장, 조류계산, 고장계산 등 다른 계통해석 프로그램의 기본해가 되므로, 항시 정상 수렴될 수 있도록 조치를 취하여야 한다.

○ 상태추정 실행 후 자동으로 실행되는 상정고장 해석은 미리 입력해 놓은 상정고장 목록의 결과 값으로 미리 정해놓은 한계 초과치(100%, 120%)가 넘는 곳을 알려주며, 급전원은 한계초과 개소의 대처법을 검토하기 위하여 조류계산을 활용하여 계통을 검토한다.

○ 계통검토시 모션의 통합 분리시 고장용량을 계산하기 위하여 조류계산 결과 값을 기본 계통으로 하는 고장계산을 실행할 수 있다.

첫째, 송전선로 및 변압기 과부하 검토는 다음과 같은 단계로 진행된다.

- 단계1. 토폴로지처리 기능 결과 확인
- 단계2. 상태추정 기능을 이용한 현계통의 송전선로/변압기 과부하 감시 결과 확인
시험방법) 상태추정 실행모드 설정(실시간 연속구동/2분주기) → 네트워크 해 위반 감

시 파라미터 설정(154/345/765kV 선로 감시 활성화, 감시한계치를 Normal로 설정) → 상태추정 실행결과(선로 과부하) 확인
시험결과) '10년 10월 1일 15시 56분부터 16시 16분까지 20분에 걸쳐 2분 주기로 실행된 상태추정결과로서 과부하 감시결과는 현재 EMS와 동일하게 나타나는 것으로 확인(송전선로/변압기 과부하 개소 : 없음, 전압위반 개소 : 유사)

- 단계3. 상정사고해석 기능을 이용한 상정계통의 송전선로/변압기 과부하 감시 결과 확인
시험방법) 상태추정 수렴확인 → 네트워크 해 위반 감시 파라미터 설정 (154/345/765kV 선로 감시 활성화, 감시한계치를 Normal로 설정) → 상정사고해석 실행 확인 → 실행결과(선로 과부하) 확인
시험결과) 신마산12(345kV 신마산-의령 #12T/L) 상정사고시 NEMS와 K-EMS 모두 동일한 선로에 과부하가 비슷한 수준으로 발생함을 확인(아래 표4~6 참조)
- 단계4. 급전원조류계산 기능을 이용한 한계치 초과개소 해소 결과확인
시험방법) 스터디 환경구성 → 상태추정 수렴확인 및 실시간 상태추정 결과데이터 복

표4 K-EMS 상정사고해석 결과

선로명	선로조류(MVA)		감시한계치(MVA)	과부하율(%)
	前	後		
154kV 광양-하동 #1T/L	144	277	195	142.1
154kV 광양-하동 #2T/L	144	277	195	142.1
154kV 가야-계양 T/L	-171	-263	195	134.9
154kV 하동-계양 #1T/L	119	248	195	127.2
154kV 하동-계양 #2T/L	119	248	195	127.2

표5 NEMS 상정사고해석 결과

선로명	선로조류(MVA)		감시한계치(MVA)	과부하율(%)
	前	後		
154kV 광양-하동 #1T/L	142	276	195	141.3
154kV 광양-하동 #2T/L	142	276	195	141.3
154kV 가야-계양 T/L	-161	-258	195	132.2
154kV 하동-계양 #1T/L	118	245	195	125.6
154kV 하동-계양 #2T/L	118	245	195	125.6

표6 마산12 상정사고 적용 후 NEMS vs K-EMS 상정사고해석 결과 비교

선로명	선로조류(MVA)		과부하율(%)		편차(MVA)
	K-EMS	NEMS	K-EMS	NEMS	
154kV 광양-하동 #1T/L	277	276	142.1	141.3	1.0▲
154kV 광양-하동 #2T/L	277	276	142.1	141.3	1.0▲
154kV 가야-계양 T/L	-263	-258	134.9	132.2	5.0▲
154kV 하동-계양 #1T/L	248	245	127.2	125.6	3.0▲
154kV 하동-계양 #2T/L	248	245	127.2	125.6	3.0▲

사 → 단선도를 통해 동일 상정고장 및 해소 방안 반영 → 토폴로지 및 조류계산 실행 확인 → 실행결과(선로 과부하 해소) 확인

둘째, 고장용량저감을 위한 모선분리 및 병합개소 검토는 다음과 같은 단계로 진행된다. 신수원 S/S 154kV 모선조작에 의한 고장용량계산 결과에 대해 검토한다.

단계1. 상태추정 정상수렴 결과 확인

단계2. 모선조작(모선병합)시 고장용량 검토 결과 확인

시험방법) 스터디 환경구성 → 실시간 상태 추정 결과데이터 복사 → 고장그룹 정의(남

서울, 수원) → 신수원 154kV 모선 병합 → 고장계산 실행 → 결과확인

시험결과) 차단용량 초과개소(신수원P/O, 병점S/S, 신성남P/O) 발생(아래 표7 참조)

단계3. 모선조작(모선병합)시 고장용량 검토 결과 확인

시험방법) 단계2 이후 조작 → 화성열병합 발전기 3대 병해 → 고장계산 실행 → 결과 확인

시험결과) 신수원 S/S, 병점S/S 차단용량 초과개소 해소 확인(아래 표8 참조)

전압위반해소를 위한 전압제어권고치 검토와 상 정고장대비 융통전력한계량 검토 기능도 위과 같은

표7 신수원 154 모선병합에 따른 고장용량계산 결과

변전소명	차단용량	모선병합 前		모선병합 後	
		K-EMS	PSS/E	K-EMS	PSS/E
신성남PO	50 kA	49.6 kA	49.5 kA	52.3 kA	52.1 kA
신수원PO	50 kA	36.0 kA	35.9 kA	55.1 kA	54.9 kA
병점S/S	50 kA	29.8 kA	29.6 kA	50.1 kA	50.0 kA

표8 화성열병합 발전기(3대) 병합에 따른 고장용량계산 결과

변전소명	차단용량	모선 조작 전		모선 조작 후	
		K-EMS	PSS/E	K-EMS	PSS/E
신성남PO	50 kA	52.3 kA	52.1	50.2 kA	50.0 kA
신수원PO	50 kA	55.1 kA	54.9	47.9 kA	47.6 kA
병점SS	50 kA	50.1 kA	50.0	44.1 kA	43.8 kA

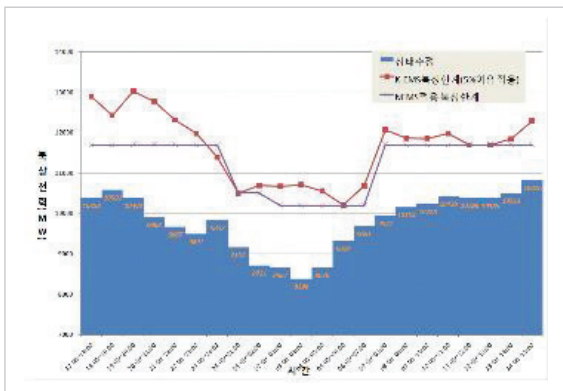


그림 3 | TTC기능을 통한 복상전력 한계량 계산 결과

단계로 진행되었다. 그림 4는 실시간 TTC 기능을 이용한 하루치 시간평균 복상전력 한계량의 계산 값을 현재 EMS에서 적용하고 있는 복상전력 한계 값과 비교하였다. 오프라인에서 검토되어 현재 EMS에 적용되고 있는 복상전력 한계량과 유사한 값과 양상을 보여주고 있음을 확인하였다.

3.2 시험평가기준에 따른 계통해석기능 정확성시험 결과

신뢰성 있는 평가기준 수립이 정확성시험의 가장 중요한 요소이다. 본 과제에서는 국내외 계통해석 평가기준을 수집하여 수립하였다. 표 9은 계통해석 기능에 대한 평가기준이다.

상태추정 평가지표는 북미 Southwest Power Pool(SPP)의 Metric Guide-line를 활용하였다. SPP의 경우 발전용량이 50,600 MW로 KPX 시스템과 유사하며, 정기적으로 평가기준표를 작성하여 상태추정의 가용성과 정확성 평가를 수행하여 이 기준을 평가 기준으로 사용하였다. 표 10은 북미 RTO의 상태추정 품질 평가 지표를 나타내고 있다. 상태추정을 제외한 나머지 프로그램은 정합성 측면에서 평가 지표를 수립하였으며, 정합성 기준은 2%를 사용하였으며, 특별한 경우 데이터 미취득 다량 발생, 타세부 과제 시험으로 인한 해석 품질 저하 등에는 5%를 사용하였다.

SPP 평가지표에 의한 상태추정 결과는 다음과 같다.

- 단계1. 수렴특성 및 연속수행 특성 결과 확인
 - 시험결과) 기 시행된 가동용 시험(1500시간 무정전 시험) 결과를 통해 만족함을 확인
- 단계2. SPP기준 모선 불일치(Bus Mismatch) 평가결과 확인
 - 시험결과) 최대오차 : 106.26 MW (345kV 서인천PO), 100MW 초과개소 : 1045가운데 1개소 발생 (0.10%), 50MW 초과개소 : 154kV 이상 1045개 모선중 4개소 발생

표9 계통해석 평가기준

평가기능	평가항목	평가기준
1. 상태추정	a. 수렴특성*	일일 평균 95% 이상 수렴특성 유지
	b. 연속수행특성*	연속발신횟수가 3회 이하일 것
	c. 모선최대불일치량	전체 수행 횟수가운데 최대 모선 불일치량이 (50MW)미만으로 수렴될 경우가 90% 이상
	d. 선로/변압기 조류추정	345kV 이상 전체S/S 가운데 90% 이상에 있어서 해당 S/S의 154kV 이상의 모든 선로의 취득값과 추정값의 편차가 (선로정격의 5% 이내) 혹은 (최대 50MW 미만)을 만족해야 함
	e. 발전출력추정	50개의 대용량 발전기에 대해 출력량(MW)의 추정치와 취득값과의 편차가 설비정격의 5% 이내 혹은 최대 50MW 이하로 될 경우가 90% 이상
	f. 상태추정 정확도 지표	개별 취득발전기의 합산과 개별발전기의 상태추정값의 합산의 편차가 1% 개별 취득발전기의 취득값과 개별발전기의 상태추정의 편차 2% 개별 취득발전기의 합산 - (상태추정 부하합산 + 손실) 편차 2%
2. 상정고장해석 ²⁾	a. 정확성	K-EMS의 상정고장 Case별 수행결과 도출된 선로 과부하 발생개소와 이 결과를 PSS/E에 반영한 과부하율 비교 - 편차 2% 이내
3. 급전원조류계산 ²⁾	a. 정확성	K-EMS 결과 및 이 결과를 반영한 PSS/E PF를 수행한 전 변전소의 P, Q, V, θ데이터 비교 - 편차 2% 이내
4. 고장계산 ²⁾	a. 정확성	K-EMS에서 계산된 발 · 변전소의 차단기 차단용량과 PSS/E에서 계산된 차단용량 비교 - 편차 2% 이내
5. 전압계획 ²⁾	a. 적합성	전압위반해소 권고안을 PSS/E 모의를 통해 검증 - 편차 5% 이내

* 평가항목 1-a)와 1-b)의 상태추정 가용성 시험결과는 기 시행된 가동율시험 결과 첨부

(0.38%), 25MW 초과개소 : 1045가운데 5개소 발생 (0.48%)

단계3. SPP기준 선로/변압기 조류추정 평가결과 확인

시험결과) 345kV 이상 변전소 101개소 가운데 3개소 기준 위반, 97%으로 시험기준 만족
송전선로 : 영등포PO, 울주PO (최대편차 82.7MW), 변압기 : 당진TP (최대편차 69.7MW)

단계4. SPP기준 발전출력추정 평가결과 확인

시험결과) 최대오차 : 31.0MW(보령 TP#7)/26.9MVar(평택 TP#2), 최대 50MW 미만으로 시험기준 만족

단계5. KPX기준 상태추정 정확도 검토

시험결과) 개별 취득발전기의 합산과 개별 발전기의 상태추정값의 합산의 편차가 1% : 취득발전기 합산 : 52,671 MW, 추정발전기 합산 : 52,209 MW, 편차 : 462 MW (0.8771 %)

개별 취득발전기의 합산 - (상태추정 부하합산 + 손실) 편차 2% : 취득발전기 합산 : 52,671 MW, 상태추정부하 합산 : 51,158 MW, 손실량 : 765 MW, 편차 : 748 MW (1.4201 %)
개별 취득발전기의 취득값과 개별발전기의 상태추정의 편차 2% : 정격출력 20MW 이상발전기 215기 중 2%초과 개소 : 19기 2%~3% : 8기, 3%~5% : 6기, 5% 초과 : 5기, 최대 오차: 의암HP 18.2 MW(추정)/14.5 MW(상태추정)

그림 4은 관리처별 전압레벨에 따른 모선전압 추정결과이며, 취득값, K-EMS 상태추정값, NEMS 상태추정값이 유사함을 알 수 있다. 취득값의 경우 취득되는 부스바의 전압들(취득포인트 평균2~4개) 중에서 가장 큰 값을 나타냈다.

표 11, 12, 13은 K-EMS 조류계산, 고장계산 및 상정고장의 결과와 PSS/E의 결과를 나타내고 있다. 개발된 해석프로그램의 결과는 PSS/E와 2% 편차 내에 존재함을 알 수 있다.

표10 북미RTO 상태추정 품질 평가 지표

상태추정 품질(성능) 평가 지표	
SPP	전체 수행 횟수가운데 평균 (97%)이상 수렴하면 Pass 전체 수행 횟수가운데 연속발산횟수가 (3회)이하면 Pass 전체 수행 횟수가운데 최대 모션 불일치량이 (50MM)미만으로 수렴될 경우가 90% 이상이면 Pass 200kV 이상 전체S/S 가운데 90% 이상에 있어서 해당 S/S의 130kV 이상의 모든 선로의 취득값과 추정값의 편차가 (선로정격의 5% 이내) 혹은 (최대 50MW 미만)을 만족하면 Pass 50기의 대용량발전기에 대하여 취득값과 추정값의 편차가 (설비정격의 5% 이내) 혹은 (최대 50MW 미만)을 만족하면 Pass
PJM	월별 SE 수렴율 산출 1분 간격으로 SE 수행, 수렴율 99.7% (일일 평균 1440중 4-5회 발산) 발산주요원인: IOPP 데이터 미취득 타 송전망운영자(TO)들과 SE 결과의 정기적인 공유 검증 (PSS/E 데이터 교환)
CAISO	1분 간격으로 수행되며, 5분 간격으로 시장(LMP) 및 전압안정도평가(VSA)에 SE 해 전송 5분 간격 수행을 기준으로 97% 이상의 수렴율 권고 (일일 평균 288회중 280회 이상) 15분 간격 수행을 기준으로 99.866% 권고 (한달 평균 4회 이하 발산) 정규잔차: 측정값의 95%에 대해 3이하, 전체 측정값에 대해서는 4이하를 권고 Negative Load: 부하개수 50개(3059개) 이하 & 부하합산 ≤ (100MW 혹은 계통부하의 2%) Negative Gen : 발전기수 507(1809기) 이하 & 발전합산 ≤ 50MW 과부하감시오류 : SCADA 값은 초과하지 않는데 SE 값이 감시한계를 초과할 경우 - N = 0% (115kV, 230kV, 500kV 선로) / N = 1% (115kV 미만 선로) 전압감시 오류 : SCADA 값은 초과하지 않는데 SE 값이 감시한계를 초과할 경우 - N = 0% (230kV, 500kV 모션) / N = 1% (115kV 모션) / N = 2% (115kV 미만 선로)
NYISO	30초 간격으로 SE 수행 (3,230 모션 처리 / KPX: 3,616) 추정값과 취득값의 편차(Residual)를 화면을 통해 제공
ERCOT	상태추정 성능평가 수행 (1 Month), 평가기간중 SE 수렴율 97% 충족 혼합비용의 80%를 야기하는 선로에 대해 - SE값과 조류계산값의 편차가 해당선로의 Emergency 제한치의 3%미만일 것 - SE값과 취득값의 편차가 해당선로의 Emergency 제한치의 3%미만일 것 100kV 이상의 전체선로에 대해 취득값과 SE값의 편차가 10MW 혹은 해당선로의 Emergency 제한치의 10% 미만일 것 20개의 전압취약모션(매년10월에 선정)에 대해 취득값과 SE값의 편차가 2% 이내일 것

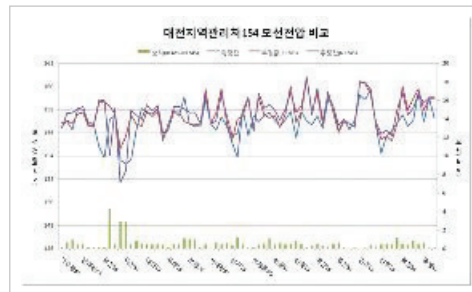
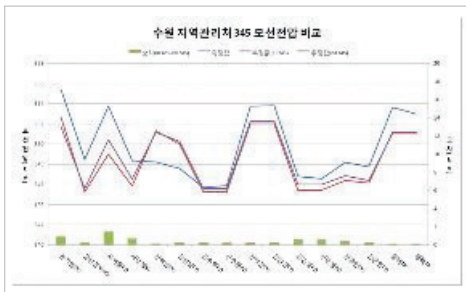


그림 4 | 관리처별 모션전압 추정결과 비교

4. K-EMS 계통해석기능 발전방향

실계통 연계시험을 통해 개발된 전력계통 해석프로그램이 실 계통해석 및 운영에 사용 가능함을 확인

하였다. 개발된 해석프로그램은 EMS기반의 계통해석에서 기본적인 필수적인 프로그램이다. 한편 EMS의 계통해석 기능 및 성능 개선에 대한 노력은 아래와 같은 방향으로 지속적으로 이루어지고 있다.

표11 조류계산 정확도 검증

K-EMS 조류계산과 PSS/E결과 비교 요약(2010.09.28일 18시 35분)						
	관리처명	모선번호	공칭전압	K-EMS	PSSE	DIFF
최대 전압크기 편차	한라SS	30	154	160.8	162.3	1.5 (0.92%)
최대 위상각 편차	압궁SS	3070	154	5.6	4.7	0.9
위상각 기준 모선	신부평PO	5032	154	-	-	-
총 모선 개수	1031개					
전압편차 1kV 이하 모선 개수	1027개		위상각 편차 0.5도 이하 모선 개수			1024개
편차 1kV초과 2kV이하 모선 개수	4개		편차 0.5도 초과 1.0도 이하 모선 개수			7개

표12 고장계산 해의 정확도 검증

K-EMS 고장계산과 PSS/E결과 비교 요약(2010년09월27일 09시 15분)		
	관리처명	편차(%)
최대편차	원곡SS	1.9*
최소편차	신수원PO외 69개	0
평균편차	-	0.3
154kV 이상 총 고장모선 개수		1005개
편차 1%이하 고장모선 개수		995개
편차 1%초과 2%이하 고장모선 개수		10개

* K-EMS 결과: 23.7 kA, PSS/E 결과: 23.3 kA, 편차: 0.4 kA

표13 상정고장 해의 정확도 검증

K-EMS 상정고장과 PSS/E결과 비교 요약(2010년 10월 1일 17시 26분)								
상정고장 선로명	과부하 발생 선로명	MVA			과부하(%)			전압(kV)
		KEMS(A)	PSS/E(B)	편차A-B	KEMS(A)	PSS/E(B)	편차A-B	PSS/E
신운울산	신울산-신온산#1	555.9	554.0	1.9	124.2	123.8	0.4	158.7
신운울산	신울산 MTR5	674.5	667.3	7.2	136.2	134.8	1.4	348.9
울산PTL	신울산-신온산#1	555.9	554.0	1.9	124.2	123.8	0.4	158.7
울산PTL	신울산 MTR5	674.5	667.3	7.2	136.2	134.8	1.4	348.9
동해12	영동TP-강릉	483.8	476.8	7.0	125.3	123.5	1.8	148.6
동해12	이원-태백	481.7	476.1	5.6	161.7	159.8	1.9	147.9

- 기존의 RTU와 PMU에 의한 혼합데이터 기반의 상태추정 구현.
- 확률론적인 Risk(위험잠재성)/Probability(발생빈도) 기반의 상정고장해석.
- 온라인 안정도 해석기능 구현.

5. 맺음말

한국표준형 에너지관리시스템(K-EMS)용 전력계

통 해석프로그램은 산학연 협동연구를 통해 성공적으로 개발되었다. 개발된 프로그램은 전력거래소 천안지사에 설치된 Test Bed를 통해 실 계통 연계 실증시험을 실시하여 프로그램의 강인성, 정확성, 편리성 등에 대해 검증은 완료하였다. 지난 5년간 개발과정에서 축적된 개발역량과 핵심기술 자립은 EMS 기술 선진국과의 기술격차를 극복하도록 하였으며, 이는 향후 EMS의 수출산업화의 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다