

전력거래소의 EMS-MOS 상태추정(계통해석) 정확도 검증

황경식, 강형구, 김태언, 이건웅
전력거래소

EMS-MOS State Estimator(Network Analysis) Result's Verification in KPX

Kyung-Sik Hwang, Hyung-Koo Kang, Tae-Eon Kim, Kun-Woong Lee,
Korea Power Exchange

Abstract - 전력거래소(KPX)는 전국에 산재된 발·변전소로부터 2초 혹은 4초 주기로 계통운영에 필요한 아날로그, 디지털 데이터를 실시간으로 취득하고 있다. 이렇게 취득한 데이터는 EMS 전력계통 감시 및 제어를 위한 각종 화면, 자동발전제어/경제급전(AGC/ED), 상태추정(SE), 상정고장해석(CA)등 실시간 계통운영과 조류계산(PF), 고장계산(SCT), STNET(PF, CA), 상정고장해석 등 검토모드로 급전소 휴전업무 검토에 활용되고 있다. 또한 EMS에서 취득한 실시간 데이터를 MOS(시장운영시스템)로 보내어 상태추정을 수행하고 이 값을 기반으로 발전기별 경제적인 출력 값인 FMD(5분 급전지시)를 EMS로 보내어 EMS의 주요기능인 AGC(자동발전제어)로 경제적이고 안정된 출력 조정을 하고 있다. 이러한 이유로 EMS 및 MOS의 상태추정 결과의 정확도와 실행 안정성은 매우 중요하다고 하겠다. 본고에서는 EMS 계통해석기능 검증 결과와 향후 데이터 정확도 개선을 위한 과정의 일환으로 EMS의 상태추정과 MOS의 상태추정의 상호비교 결과를 소개하고자 한다.

1. 서 론

전력계통의 광역화, 대규모 발전설비 연계, 기상이변 등 안정된 전력계통운영의 장애요소가 나날이 증가하고 있다. 이러한 실시간 계통운영의 취약성을 극복하기 위해 전력거래소는 2001년 미국 AREVA사로부터 EMS(Energy Management System)를 도입하여 EMS의 주기능인 원방감시제어/자료취득(SCADA), 자동발전제어/경제급전(AGC/ED), 계통해석(NA) 및 급전원훈론모의장치(DTS) 시스템을 활용하고 있다. 또한 전력산업 구조개편에 의해 효율적인 전력시장 운영을 위해 2002년 미국 ABB사로부터 전력시장운영시스템(MOS)을 도입하여 부분 활용하고 있다. 본고에서는 활용중인 EMS의 계통해석 종류와 기능을 요약하고 측정값 대비 EMS 상태추정 정확도, 활용중인 상태추정, 상정고장해석, 조류계산, 고장계산의 EMS 계통해석 기능과 PSS/E 비교 결과, 발전기 출력조정의 근본인 MOS의 SE 값과 와 EMS의 SE 값의 상호 비교 결과를 소개하여 전력계통 운용과 전력시장 운용의 신뢰성과 투명성 제고의 기회를 갖고자 한다.

2. 본 론

2.1 EMS 계통해석기능(Network Analysis) 개요

EMS 계통해석기능 중 상태추정은 정상상태에서 모델데이터와 취득데이터를 기반으로 현 계통 상태를 계산하고 선로/변압기 조류 한계치나 모션전압 상·하한 한계치 초과 시 경보를 제공한다. 상정고장 시 계통의 이상상태와 취약정보를 경보와 같이 제공하며, 현계통과 상정고장계통의 조류계약, 전압계약 등의 해소방안을 제시하여 안전도를 개선하고 연료비용과 송전손실을 최소화하는

방안을 제공한다. 상태추정(SE)은 사전 구축된 계통모델과 발전소, 변전소로부터의 차단기 등 이상데이터를 기반으로 모션구조 등 토폴로지를 구성한 후 취득된 모션전압, 조류, 부하, 발전력, 탭 등 여분의 아날로그 정보와 모델데이터를 가중최소사승법(Weighted Least Square)을 이용하여 취득오류를 보정하고 모션전압, 위상각, 발전력, 부하, 조류, 탭 위치 등 계통 상태를 계산하여 다른 계통해석기능에 유효한 기본 해를 제공한다. 상정고장해석(CA)은 송전선 등 전력설비의 고장을 상정하고 전력계통 상태를 해석하여 어떠한 상정고장이 선로, 변압기 과부하, 모션 이상전압 한계를 위반하는지 정보를 제공한다. 조류계산(PF)은 상태추정 해를 가져와 주어진 조건에 대한 전력계통 상태 해를 도출하여 한계 값 위반 정보를 제공하며 DTS 운전을 위한 기본 해 역할을 하고 있다. STNET은 ED, PF, CA, OPF를 공통의 계통모델을 기반으로 활용하여 상호연계에 의한 일괄 계통검토가 가능하게 하는 기능으로서 상태추정 결과를 가져와 주로 조류계산과 상정고장검토 등 휴전검토에 활용하고 있다. 고장전류계산(SCT)은 단락, 지락 개소를 지정하고 고장 발생시 고장 전류를 계산하는 기능으로서 조류계산 결과를 가져와 가혹한 모션 3상 단락고장사고 발생시 차단기 고장용량 초과여부를 실 계통 조건과 가장 유사한 조건에서 검토할 수 있는 기능이다. 상기 언급한 상태추정(SE), 상정고장해석(CA), 조류계산(PF), STNET, 고장계산(SCT)은 현재 급전원에 의하여 활발히 활용되어 계통안전운영에 크게 기여하고 있다. 모든 EMS/MOS 계통해석 정확도의 근간은 시발적인 상태추정의 정확도에 좌우되며 상태추정 정확도는 모델데이터, 취득데이터의 정확도와 파라미터 튜닝에 종속된다.

2.2 EMS 상태추정(State Estimator)

EMS 상태추정은 최근 운전실적 분석결과에 의하면 매 5분마다 전압 및 위상각 수렴 허용값 0.005pu, 모션 허용 최대편차 50MW/99MVA로 설정하여 연간 인평간 수렴율 약 99%, 유효율 96%, 수행시간 10~20초로 실행되고 있다. 이와 같은 실행안정성의 주요인 중 하나는 상태추정 운전상태를 급전원이 매 순간 감시하고 취득 불안정으로 인한 SE 정지 발생시 일시적인 토폴로지 구성오류를 수정함으로써 가능하였다. 2006.1.25 14:30.기준으로 16,817 포인트의 EMS 아날로그 취득데이터와 상태추정 결과를 비교한 결과 양자의 평균 편차는 0.3~2.2로 비교적 정확성을 보였으나 설비 취득 값, 모델 값 개선에 의한 편차의 최소화가 필요한 것으로 분석되었다. 이는 모션전압, 발전기, 선로, 부하, 변압기의 MW/MVA를 커다란 취득오류를 배제하고 비교한 결과이다(표-1참조). 상태추정(SE)의 정도개선, 수렴율을 개선하기 위하여 지역급전소(RCC)의 SCADA 현장설비 장애, DB불일치, EMS 절체에 따른 취득데이터 불완전 원인 해소와, 변환기(Transducer) 취득오류의 주기적 점검·교정, 취득 오류 해결을 위한 TM 발행 실적 제고와 사업자

의 신속조치가 필요하다. 또한 설비 신증설에 따른 DB 펌핑, 토폴로지 구성, 정수 입력 등 DB 구축 시 발생하는 간헐적인 입력 오류의 최소화가 필요하고, 취득 불완전 시 모델 값(Pseudo-measurement) 활용에 의한 추정 정도 개선을 위해 계절별, 요일별, 특이일, 시간별 다양한 부하 스케줄 모델의 개발 활용이 필요하다.

[표-1] 측정값과 추정값 간의 편차

구분	단위	포인트 수	누적편차	평균편차
모선	kV	1,818	2141.0	1.2
발전기	MW	287	597.8	2.1
	MVAr	287	531.1	1.9
선로	MW	3,226	7098.2	2.2
	MVAr	3,224	5423.5	1.7
변압기	MW	1,881	1715.1	0.9
	MVAr	1,881	1957.5	1.0
부하	MW	2,140	1042.7	0.5
	MVAr	2,073	647.5	0.3
총		16,817		0.3-2.2

2.3 EMS-MOS 계통해석 결과 검증

EMS의 상태추정 결과를 기반으로 한 EMS 계통해석 결과의 신뢰성 검증을 위해 EMS 계통해석 결과를 기본 케이스로 하는 PSS/E 결과와 상호비교를 통한 정확도를 재확인하였다. 발전기에 대한 5분 단위 선행 급전지시(NSA/NCD)의 입력요소로 활용되고 있는 전력시장운영시스템(MOS)의 상태추정 결과 값을 전력계통운영시스템(EMS)의 상태추정 결과를 상호 비교하였다.

2.3.1 EMS 계통해석 결과 검증

2006년 1차 상태추정 실행특성 분석 및 정확도 검증 후 동년 7월에 기타 활용중인 EMS 계통해석 결과 값에 대한 정확도를 검증 하였다. 외국 전력사의 EMS 상태추정을 비롯하여 여타 계통해석 정확도의 분석결과를 입수할 수가 없어서 비교대상과 기준을 정하기가 매우 어려웠다. 그리하여 EMS의 계통해석 결과를 1차적으로 비교할 수 있는 방법으로 전 세계적으로 정확도가 인정되어 통용되고 있는 미국 PTI사의 PSS/E의 결과와 상호 비교하기로 하였다. 이를 위해 1단계로 EMS와 PSS/E의 조건을 동일하게 하기 위해 EMS DB에 정의된 설비정수나 PSS/E에 정의된 설비정수를 상호 비교하고 약간의 오차 부분까지 수정하였다. 비교대상은 송전선로의 R, X, Y, R0, X0, 선로용량, 발전기의 단자전압, 정격용량, 차과도 리액턴스, 영상 임피던스, 변압기의 임피던스 등 이었다. 2단계로는 현재의 실제통과 EMS에서 노드 기반으로 정의되고 도식화된 전력계통 토폴로지와 이용자 화면(CRT)의 일치성을 재확인하였다. 다음 3단계로 EMS의 상태추정의 결과를 기본케이스로 반영한 조류계산 결과를 PTI 포맷으로 변환하여 조류계산, 상정고장해석, 고장계산 등을 PSS/E의 수행결과와 비교하였다. 이 결과 조류계산에서는 변압기 및 송전선로의 무효전력의 정확도가 99.4%와 99.6% 이며 그 이외의 발전기, 부하 및 송전선로의 유효전력에서는 거의 100%의 정확도를 나타내었다. 이 결과를 평균하면 99.63%로서 EMS의 조류계산(PF)와 PSS/E간 결과 값의 편차는 0.37% 이내이다. 또한 상정고장에서는 정의된 1,500여개의 고장선로 중 조류편차 및 과부하율 오차가 1% 이하였으며 발생개소는 14개 선로에 국한되었다. 고장계산에서도 고장모션 980여개 중 13개소에서 2%를 초과하는 고장전류 편차를 나타내었다. 이는 제작사 마다의 고유의 알고리즘 적용과 프로그래밍 기법 상이 및 파라미터 설정의 미세한 상이에서 기원한다고 추정된다.

[표-2] EMS-PSS/E 간 조류계산 비교 결과

구분 범위	송전선로		변압기		부하	
	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar
2 이상	0	14(0.4)	11(0.05)	11(0.6)	0	0
2 미만	3301 (100)	3287 (99.6)	1941 (99.9)	1931 (99.4)	540 (100)	540 (100)
계	3301	3301	1942	1942	540	540

* 정확도 판정기준(시장운영규칙) : 조류(2 MW/MVar 미만), ()내는 비율

구분 범위	모선전압	구분 범위	발전기	
	kV		MW	MVar
2 이상	0	5 이상	0	0
2 미만	982(100)	5 미만	294(100)	294(100)
계	982	계	294	294

* 정확도 판정기준(시장운영규칙) : 전압(2 kV 미만), 발전기(5 MW/MVar 미만)

[표-3] EMS-PSS/E 간 상정고장해석 비교 결과

CA SE	선로 명	상정고장 이후 조류			선로 과부하율(%)			운영 한계 (MVA)
		EMS	PTI	오차 (%)	EMS	PTI	오차 (%)	
0	신성남 - 우만 TL	586	588.1	-0.36	129.6	130.1	-0.39	452
0	문산 - 신덕은 #2	210	208.6	0.67	128.6	127.9	0.54	163
0	고령 - 서대구 #1	1281	1279.8	0.09	117.9	117.9	0.00	1086
0	합천 - 거창 #2	222	222	0.00	113.6	113.6	0.00	195
0	천안 - 서천안 #1	352	350.4	0.45	180.6	179.7	0.50	195
0	동부산 - 우동 TL	536	537.3	-0.24	171.8	172.2	-0.23	312
0	천안 - 서천안 #1	315	314.8	0.06	161.7	161.4	0.19	195
0	천안 - 서천안 #2	315	314.8	0.06	161.7	161.4	0.19	195
0	신사 - 신양재 #2	196	195.3	0.36	137.1	136.5	0.44	143
0	마산 - 신마산 #1	384	384.8	-0.21	126	126.1	-0.08	306
0	마산 - 신마산 #2	384	384.8	-0.21	126	126.1	-0.08	306
0	신현 - 신인천 #1	372	373.1	-0.30	124.7	125.2	-0.40	298
0	신현 - 신인천 #1	372	373.1	-0.30	124.7	125.2	-0.40	298
0	신온산 - 온산 #1	656	662	-0.91	123.0	124.2	-0.98	533
0	고령 - 논공 #2	527	530	-0.57	116.6	117.3	-0.60	452
0	점촌 - 문경 TL	184	183.4	0.33	94.1	94	0.11	195
0	가령 - 청령 #2	137	136.5	0.36	70.0	70.0	0.00	195

* 결론 : EMS와 PSS/E간 조류편차 및 과부하율이 1% 이하로서 거의 동일한 결과를 나타냄.

[표-4] EMS-PSS/E 간 고장계산 비교 결과

번호	변전소명	전압	정격용량 (KA)	EMS 결과 (KA)	PSS/E 결과 (KA)	오차율(%) (EMS-PSSE) /EMS *100
1	마천	154kV	50	17.4	15.7	9.7
2	해남변환소	154kV	31.5	8.7	9.4	-8.0
3	해남	154kV	31.5	10.3	10.8	-4.8
4	남창	154kV	31.5	8.9	9.5	-6.7
5	완도	154kV	31.5	6.4	6.8	-6.2
6	당진	154kV	40	18.2	19.2	-5.5
7	평양	345kV	40	32.5	31.0	4.6
8	장진	154kV	31.5	17.9	18.5	-3.3
9	검단	154kV	50	20.9	19.6	6.2
10	신강진	154kV	40	21.0	21.6	-2.8
	신강진	345kV	40	12.0	12.3	-2.5
11	신인천	345kV	50	28.4	27.6	2.8
12	동계주	154kV	31.5	3.9	4.0	-2.5
13	산지	154kV	31.5	3.8	3.9	-2.6

※ 결론 : 상기개소 이외는 EMS와 PSS/E간 오차율 2% 이내로 거의 동일한 결과를 나타냄.

2.3.2 MOS 상태추정 값 검증

EMS의 상태추정 및 여타 계통해석 정확도 검증은 바탕으로 시장운영 시스템인 MOS의 상태추정 정확도 검증을 2007년 6월부터 8월까지 3개월에 걸쳐 시행하였다. MOS의 상태추정은 경제적인 발전기 출력 조절을 위해 N-1 상정고장을 고려한 5분 주기의 급전지시 출력 값을 계산하는데 있어서 제약급전(NSA/NCD)의 기본케이스로 활용되고 있다. MOS의 상태추정을 위해서는 EMS가 현장으로부터 취득하는 SCADA 데이터가 필요하므로 MOS와 EMS를 상호 연계하여 실시간으로 EMS에서 MOS로 데이터를 넘겨주고 있다. 이렇게 받은 SCADA 데이터를 이용하여 1분 주기로 MOS에서 상태추정을 실시하고 있으며 5분마다의 발전소 급전지시용 조정 출력 값은 EMS로 보내기 직전 수행된 상태추정 결과가 전달된다. MOS의 상태추정 정확도는 신뢰성 있는 전력시장 운영에 중요하며 이의 확보를 위해 MOS의 상태추정 값과 EMS 상태추정 값 및 SCADA 값을 상호 비교 검증하였다. 검증 대상은 EMS와 동일하게 모선전압, 발전기, 송전선로, 변압기, 부하의 유효/무효전력에 대해 편차를 분석하고 정확도는 전력시장 운영규칙에 제시된 "EMS 제공자료 품질기준"에 의거 판단하였다. 그 결과 발전기 유효전력의 경우 MOS의 상태추정 값이 SCADA 데이터와 비교시 99.3% 이상의 정확도를 나타냈으며 이는 상대적으로 발전기 MW에 높은 가중치를 두었기 때문이다. EMS 상태추정 결과와는 약간의 차이를 나타내었다. 그 외 모선전압의 경우도 SCADA와의 비교 시 91% 이상의 정확도를 나타냈으며, EMS 상태추정과는 93% 이상의 정확도를 보였다. 결과 값 간의 차이는 계통과 시장운영의 운영특성에 기인하는 취득데이터 가중치 부여와 프로그램 파라미터 설정의 상이 등 고유 특성에 기인 한 것으로 분석된다. 비교결과는 아래 표-5와 같이 나타낼 수 있다.

진하는 효과를 거두었다. 이러한 계통운영 효과를 더욱 배가하고 EMS와 MOS의 모든 계통해석 연계 프로그램이 신뢰할 수 있는 최상의 결과 해를 도출하기 위해선 현장 취득 값과 계통모델 및 선로정수 등 각종 계통 정수의 정확성, 프로그램 자체 파라미터의 적절한 튜닝으로 상태추정(SE) 결과가 왜곡 없이 정밀하고 안정되게 운전 되어야 한다. 이번 비교, 검증과정을 통해 EMS와 MOS 계통해석의 신뢰성을 입증하였다. 그러나 전력거래소가 계통운영과 시장운영이라는 쌍두마차를 더욱 효율적으로 운영하기 위해서는 EMS/MOS의 계통모델, 입력데이터 오류에 대한 지속적인 발굴과 개선, 현장 취득 데이터의 정도개선과 사업자의 정확한 계통정수 산정 및 제공의 필요성이 더욱 절실하게 요청되며 EMS와 MOS의 계통해석기능을 효율적으로 유지관리 할 수 있는 인력양성 등 다각적인 노력이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황경식, KPX 내부 보고서 및 분석자료(2006-2007)
- [2] CERTS, Integrated Security Analysis. Final Report July 2004, p55
- [3] Hyung-Koo Kang, ICEE 2006 논문, "The introduction on KPX's Operation Status of EMS Applications"
- [4] AREVA, Users Group Meeting Documents(2005,6)

[표-5] MOS-EMS SE 및 MOS-SCADA간 검증결과

설비구분	데이터 종류	MOS EMS SE값		SE값 - SCADA값	
		정확(%)	부정확(%)	정확(%)	부정확(%)
모선전압	345kV	87.3	12.7	79.4	20.6
	154kV	92.7	7.3	90.9	9.1
발전기	MW	81.9	18.1	99.3	0.7
	Mvar	80.2	19.8	79.5	20.5

3. 결 론

CERTS(Consortium Electric Reliability Technology Solutions)의 2004년도 조사에 의하면 PJM Inter-connection, ISO New England등 19개 RTO, 전력회사 대부분이 EMS 계통해석 기능으로서 전력거래소가 활용하는 수준의 상태추정, 상정고장해석, 조류계산, 고장계산 등을 활용하고 있으며, 최적화기능은 극히 제한된 범위에서 일부 사용하고 있는 것으로 파악되었다. 대부분의 전력회사가 최적화 판리기능(SENH, OPF, VVD)은 도입 자체를 알거나, 프로그램 수렴특성 난조, 튜닝, 실계통 모델링, 급전에 적용 어려움 등의 사유로 사용하지 않고 있다. 전력거래소의 EMS 계통해석 활용은 처음 도입 시 내외의 비판에도 불구하고 급전원의 계통운영 및 교육훈련에 있어 혁신적인 패러다임 변화를 가져왔다. 아날로그 값 오류 시 상태추정을 이용한 연속적인 계통운용정보 확보, 실시간 상정고장해석 결과를 이용한 취약개소 사전 대책수립과 계통 고장 시 신속 정확한 대처 능력 확보를 위한 급전원 훈련 등으로 계통안전성을 증