

지역급전원을 위한 고장복구 교육시스템 개발

이남호, 송인준, 박철우, 정길조
한국전력공사 전력연구원

Development of Power Restoration Training System for Local Operators

N. H LEE, I. J SONG, C. W PARK, G. J JUNG
KEPCO Korea Electric Power Research Institute

Abstract - KEPRI has completed to develop KP-ROTS Ver 1.1 and applied to 12 power transmission district offices and Je-ju branch office in KEPCO, which was updated from the exiting power restoration training simulator related to power restoration project. This program has functions such as black-start line analysis for all network blackout, restoration training on wide blackout and simple study on outage plans. KEPCO expects that local operators will train well for restoration procedures against wide blackout by using KP-ROTS.

1. 서 론

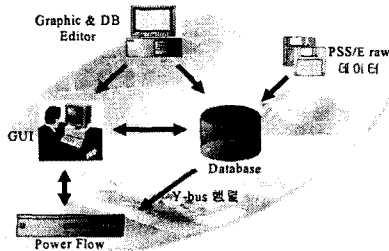
계통의 구조적인 측면에서 볼 때, 선진국의 계통은 우리나라보다 상대적으로 취약하므로 광역정전의 사례가 많이 발생하였으며, 특히 스웨덴과 같이 취약한 루프구조를 가진 나라에서는 빈번한 사고가 발생하였다. 따라서 해외에서는 지난 20년간 신속하고 신뢰성 있는 복구를 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔으나, 우리나라에서는 이에 대한 체계적인 학술연구가 수행된 바 없었으며, 이는 우리나라의 계통이 해외의 선진국과 대비하여도 손색이 없는 설비를 갖추고 있고, 동적 안정도의 측면에서도 매우 안정적인 구조를 갖추고 있는 데 기인한다. 그러나 비록 우리 계통에서 광역정전이나 전정전이 발생할 확률은 극히 적지만, 최근 발생한 유럽과 캐나다에서의 연속적인 광역정전의 발생과 그 피해규모를 볼 때 체계적인 복구방법론의 확립은 매우 중요하다.[1,2,3,4]

한국전력공사 전력연구원에서는 “지역급전원을 위한 전력계통 고장복구 교육프로그램 개발” 연구과제와 관련하여 한전의 12개 전력관리처와 제주 지사의 급전원들이 광역정전 발생에 대한 복구절차와 급전원 임의 제어 복구훈련을 수행할 수 있는 고장복구 교육프로그램인 KP-ROTS(KEPCO Power system Restoration Operator Training System)를 개발하였다. 본 프로그램은 전 계통 고장복구 교육시스템의 사용자 편의 기능을 보완하고 데이터 베이스와 복구 훈련에 보다 적합한 기능을 탑재하여 지역관리처별 154kV 이상 전 계통에 대해 복구 모의 훈련을 수행할 수 있다. KP-ROTS의 주요기능은 시송전 검토 및 모의 훈련, 광역정전 모의 훈련, 모선 분리 운전 및 계통 휴전 작업에 대한 간략 검토 등이 있으며 훈련자의 모의 복구과정에 대해 보고서로 출력할 수 있다.

2. 본 론

2.1 KP-ROTS 구성

KP-ROTS는 대규모의 계통 모의 훈련시스템인 해외 OTS와 달리 1대의 PC에서 복구 모의 훈련이 가능하며, 실제 시스템과 동일한 환경에서 훈련을 하는 것이 아니라 프로그램이 보여주는 GUI를 통해 가상의 환경에서 운용된다. 따라서 휴대가 간편하며 별도의 특별한 계통해석 프로그램과 시설이 필요로 하지 않는다. 그림 1은 KP-ROTS의 프로그램 구성을 보여주고 있다. 본 프로그램은 크게 GUI, Power Flow 모듈, DataBase, 그래픽 에디터로 구성되어 있다. 기본적으로 KP-ROTS의 DB는 PSS/E의 Static 데이터 기반으로 하고 있는데 이는 현재 한전 내에 계통 DB가 PSS/E 형식으로 구축되어 있기 때문이다. 프로그램은 PSS/E raw 데이터를 읽어서 계통구성을 위한 모선과 선로의 Primary Key를 자동 생성해두며 데이터 로딩시 DB 와 raw 데이터간 일치관계를 검색하여 그 결과를 훈련자에게 보



<그림 1> KP-ROTS 프로그램 구성

여준다.

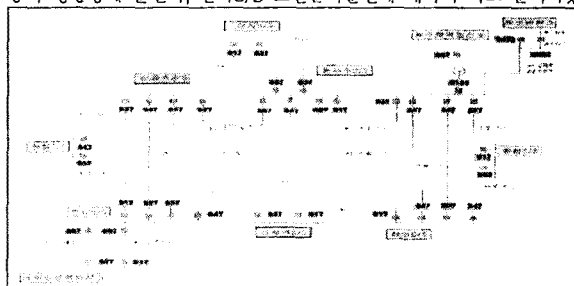
데이터베이스는 Static 데이터와 Dynamic 데이터로 구분하여 구축하고 있는데 이는 복구모의 훈련시 프로그램 내부적으로 각 모듈간 프로세스를 간략히 하여 성능을 향상시키고 DB의 관리적 측면에서 장점이 있기 때문이다. Static 데이터에는 선로, 발전기, 변압기 정수 등이 포함되어 있으며, Dynamic 데이터에는 계통의 연결정보와 PF 모듈계산을 위한 변수 등으로 구성되어 있다. KP-ROTS는 복구 모의 훈련을 위한 계통의 해석엔진으로서 조류계산 알고리즘을 사용하고 있으며 수렴특성을 좋게 하기 위해 gauss법과 Newton법을 혼합하여 구현하였고 1000모선 이상 되는 한전의 송전계통 망을 빠른 시간 내에 계산하기 위하여 고속분할법 (Fast Decoupled Method)을 적용하였다. PF 모듈은 조류계산 결과를 토대로 모선의 과전압, 선로의 조류방향과 조류량을 계산하여 GUI에 모의 결과를 전달해 준다.

급전원이 계통의 복구 조작 및 모의 결과를 확인 할 수 있는 GUI(Graphical User Interface)는 윈도우즈 환경의 그래픽을 지원하는 것을 원칙으로 하고 있다. GUI는 12개 지역관리처의 SCADA HMI의 계통도를 사용하고 있으며 차단기 On/Off, 변압기 Tap, 발전기 전압, 모선부하, 조상설비 입력 등의 계통조작을 수행할 수 있다. 또한 급전원의 계통조작에 대한 모의 결과를 계통도에 보여주는 데 그 내용은 모선 전압, 선로 조류량/방향, 발전기 출력 등이 있다. 이와 함께 GUI에서는 급전원이 모의한 복구내용에 대한 복구결과와 과정을 정리하여 보고서로 자동출력해줄 수 있는 기능을 지원하고 있다. KP-ROTS의 GUI는 제주지사와 12개 전력관리처가 분리되어 있고, 제주지사는 전 계통을 한 화면에 다루고 있으며 전력관리처는 관리자 이동메뉴를 통해 해당 전력관리처로 이동이 되고 여기서 시송전 계통과 각 모선의 연결선을 보여주는 별도의 창으로 이동이 가능하도록 구현하였다.

대부분의 교육훈련시스템이 그러하듯이 KP-ROTS 역시 GUI에 구현되는 계통도를 계통그래픽 에디터를 통해 사용자가 그려야 한다. 따라서 SCADA의 HMI 계통도를 가지고 급전원이 신속한 모의도 훈련에 임할 수 있도록 그래픽환경을 지원해주고 있다. KP-ROTS는 예전 버전보다 강화된 자동 DB 생성기능을 추가하여 사용자가 별도의 DB Tag를 구성하고 입력하는 수고를 덜어주고 있다. 하지만 KP-ROTS가 SCADA의 HMI 구축물을 모태로 사용하기 때문에 본 프로그램과 같이 전 계통을 다루기 위해서는 상당한 시간을 요한다. 실제로 12개 전력관리처를 다루는 GUI를 위해 수백장의 계통도를 그려야 한다. 따라서 차후 버전에서는 복구모의용 전용툴 개발과 함께 그래픽 구축작업에 있어서도 자동화 기능을 구현할 예정이다. KP-ROTS의 업데이트된 주요기능은 2.3절에서 다루고자 한다.

2.2 KP-ROTS 검증

본 프로그램의 사용목적이 급전원의 복구 모의 훈련을 대상으로 하고 있어 계통해석 측면에 있어 정확도는 큰 관심사항이 아니다. 하지만, 모의 결과의 신뢰성을 위해 KP-ROTS가 가지는 계산의 정밀도를 한전의 계통해석을 위해 사용되는 PSS/E와 비교 분석하였다. 정확한 비교를 위해 PSS/E의 해석 옵션을 KP-ROTS와 동일하게 맞추고 비교대상 계통으로는 그림 2와 같은 제주계통을 선정하였다. 시송전의 경우 그 특성상 방사선으로 이루어지기 때문에 양 프로그램 모두 페란티 현상에 의한 말단 모선의 전압 상승 효과를 보이고 있으며 모의 결과 비교는 선행 과제에서 많이 다루고 있기 때문에 본 논문에서는 생략하였다. 아래 두 표의 내용과 같이 제주계통의 정상상태 운전과, 한라S/S 모선분리운전에 대하여 비교 분석하였다.



<그림 2> 제주 Power System

<표 1> 정상상태 운전 시

모선	전 압			Angle		
	pss/e	KP-ROTS	오차	pss/e	KP-ROTS	오차
제주TP	1.01	1.01	0.00	7.2	7.2	0.0
동제주	0.99	0.99	0.00	9.1	9.1	0.0
산지	0.99	0.99	0.00	9.2	9.2	0.0
신제주	0.97	0.97	0.00	10.4	10.4	0.0
한림	0.99	0.99	0.00	9.5	9.6	-0.1
남제주	0.98	0.99	-0.01	9.7	9.8	-0.1
안덕	0.98	0.99	-0.01	9.8	9.9	0.0
신서귀	0.98	0.98	0.00	10.1	10.1	0.0
한라	0.98	0.99	-0.01	9.6	9.6	0.0
성산	0.98	0.99	-0.01	9.5	9.5	0.1

<표 2> 한라S/S 모선 분리 운전 시

모선	전 압			Angle		
	pss/e	KP-ROTS	오차	pss/e	KP-ROTS	오차
제주TP	1.01	1.01	0.00	7.2	7.2	0.0
동제주	0.99	0.99	0.00	9.1	9.1	0.0
산지	0.99	0.99	0.00	9.1	9.1	0.0
신제주	0.97	0.97	0.00	10.3	10.3	0.1
한림	0.99	1.00	-0.01	9.3	9.4	-0.1
남제주	0.98	0.99	-0.01	9.5	9.5	0.0
안덕	0.99	0.99	-0.01	9.6	9.6	0.0
신서귀	0.99	0.99	0.00	9.8	9.8	0.0
한라	0.98	0.99	-0.01	9.2	9.3	-0.1
성산	0.98	0.98	0.00	10.1	10.1	0.0

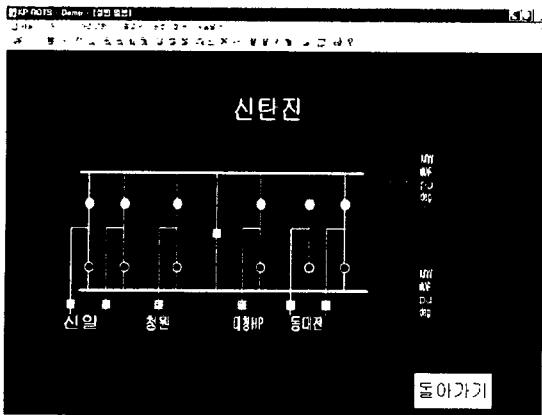
표 1과 표 2의 결과를 통해 KP-ROTS는 상용틀인 PSS/E와 비교하여 높은 정밀도를 보이고 있으며, 따라서 본 프로그램을 통해 휴전작업과 모선 분리에 대한 간략검토를 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

2.3 KP-ROTS 주요 기능

2.3.1 모선 분리 운전

KP-ROTS의 전신인 전계통 고장복구 시뮬레이터의 경우 실제 운전 중인 계통의 고장용량 감소를 위한 모선분리 기능이 사실상 불가능 하였다. 또한 많은 계통 모의 틀이 모선 분리를 위한 방법이 없거나 있다 해도 그 과정이 복잡하였는데, 본 프로그램은 GUI 상에서 실제 계통 조작과 유사한 Tie CB와 DS를 제어함으로 모선분리를 쉽게 할 수 있도록 하였다.

제주계통의 경우 한 창 내에서 모선분리 조작을 할 수 있고 관리처의 경우 각 전력관리처 메인화면에서 모선을 선택하게 되면 모선의 연결정보를 담고 있는 GUI 계통도 내에서 모선분리를 수행할 수 있다. 그림 3은 신탄진 S/S 모선도 화면이다. 모선내의 Tie CB를 OFF해두면 프로그램은 내부적으로 가상의 모선(분리모선)을 만들어 주고 DS 조작상태에 따라 선로의 연결 정보를 자동으로 바꾸어 주도록 구현하였다.



<그림 3> 신탄진 S/S 모선도

2.3.2 보고서 출력 기능

KP-ROTS의 주요 기능 중 하나가 보고서 출력기능이다. 본 프로그램의 목적이 지역급전원의 계통복구에 대한 사전 훈련을 목표로 하고 있기 때문에 현재 훈련 중에 있는 급전원의 복구조작에 대한 평가 및 복구결과를 확인하기 위해서는 본 기능은 반드시 필요하다고 생각된다. 급전원이 복구절차에 따라 차단기 On/Off, 발전기 출력 조작, 모선 부하, 조상설비 투입 그

리고 변압기 Tap 을 조작한 내용과 이에 대한 프로그램이 보여주는 계통해석 결과를 조작 단계별로 보고서에 출력해준다.

<그림 4> 보고서

2.3.3 데이터 입. 출력 기능

KP-ROTS가 지원하는 데이터 입출력 기능은 크게 다음의 3가지로 나눌 수 있다.

- ① KP-ROTS는 급전원의 의견을 반영하여 GUI를 통해 계통의 부하데이터를 일일이 입력하는 것이 아니라 NEMS의 데이터를 다운받아 계통의 모든 모선의 부하데이터를 실 데이터로 일괄 업데이트하는 NEMS 데이터의 입력기능을 가지고 있다. 입력 데이터 형식은 텍스트 파일로 NEMS로부터 자동 변환되며 모선번호, P, Q, V, T의 순으로 구성되어 있다.
- ② 본 프로그램은 PSS/E를 기본데이터로 사용하지만 자체 저장형식을 지원하여 급전원이 훈련한 내용에 대해 파일로 저장하고 다시 불러드리는 파일 입. 출력 기능을 지원하고 있다. 파일에는 모선분리에 대한 선로와 모선 정보도 함께 기록되어 있다.
- ③ KP-ROTS는 계주를 제외한 한전의 전 계통을 다루고 있고 이를 12개의 전력관리처로 나누어 계통 복구 모의를 수행한다. 따라서 계통 복구의 특성상 지역 별로 다른 복구절차에 따라 개별적인 복구 모의가 수행하게 되며 지역간 계통연계를 위해 별도의 기능이 필요하게 된다. 지역간 복구모의를 수행한 결과를 case파일로 저장하고 각 파일을 로딩 하여 연결선로의 차단기를 투입한 후 계통모의를 실행하면 이것이 계통연계에 해당하게 된다.

기타 KP-ROTS는 선로의 조류량과 방향을 GUI상에 표시해 주고 과부하 판단조건에 따라 선로에 과부하가 발생하게 되면 경고 메시지를 표시해준다. 또한 모선에 과전압이 발생하게 되면 깜빡거리는 효과를 발생시켜 훈련자로 하여금 실제 환경과 동일한 효과를 느낄 수 있도록 하였다.

3. 결 론

전 계통 및 광역계통 정전에 대하여 전력관리처의 급전원들이 복구모의 훈련을 수행할 수 있는 KP-ROTS는 국내 광역정전에 대비하여 사전 계통 운영자들이 복구절차를 숙지하고 경험하는 측면에서 큰 역할을 담당하리라 기대된다. 개발된 프로그램은 국내에서는 유일한 전 계통을 대상으로 하는 복구전용 훈련용 시뮬레이터로서 사용자의 임의의 조작에 대한 복구훈련이 가능하다. 하지만 GUI의 계통도 구성에 있어 수작업의 내용이 많고 다양한 계통 복구 모의를 수행하는 데는 한계가 있는 것도 사실이다. 따라서 지속적인 비전업을 통해 복구전용 계통구성 툴과 다양한 계통해석엔진을 수용할 수 있는 Open System 구조로 확대하고 강사-훈련자간 상호의사 전달이 가능한 국제수준의 OTS를 개발 할 필요성이 있다. 현재는 모의를 좀 더 수월하게 할 수 있는 사용자 편의 기능을 추가하고 있으며 한전의 전력관리처 급전원 훈련과 함께 KOICA에서 지원하는 동남아 저개발국가의 복구훈련용으로 활용할 계획이다. KP-ROTS는 프로그램 등록과 함께 그 명에 대해 산업재산권으로 출원함으로써 한전의 동일 기술에 대한 해외 사업진출에 이바지할 것으로 예상된다.

[참 고 문헌]

[1] M. Adibi, P. Clelland, L. Fink, H. Happ, R. Kafka, J. Raine, D. Scheurer, F. Trefny, "Power System Restoration - A Task Force Report" IEEE Trans. on PWRs, Vol. 2, No. 2, pp. 271-277, May 1987.
 [2] M. M. Adibi et al., "Power System Restoration - A Second Task Force Report", IEEE Trans. on PWRs, Vol. 2, No. 4, pp. 927-933, November 1987.
 [3] 이흥재외 6명, "EMTDC를 이용한 시충전 계통의 고조파 공진 분석", 대한전기학회지, 4월호, 2005년
 [4] 한국전력거래소, "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구(최종보고서)", 2003.05