

765[kV] 변전소 교육용 시뮬레이터

■ 김철환, 안상필, 김형진, 이종표, 여상민, 김인수, 신한철, 윤귀한, 이호진 / 성균관대학교

최근 전력계통은 점차 복잡해지고 있으며, 계통에서 발생하는 현상도 아직 완전히 파악되지 않은 실정이다. 또한 765[kV] 변전소가 운전을 시작하여 새로운 운전원들이 투입되어 변전소를 운전하게 된다. 그러나 765[kV]의 특수성과 경험 미숙 등의 문제로 발생할 수 있는 오조작이나 고장은 해당 변전소만이 아니라 연계 변전소, 송전선로 등에 매우 큰 영향을 미치게 되며, 대형 사고로 커질 수 있게 된다. 따라서, 오조작을 방지하고, 고장에 대해 빠르게 대처하기 위해서는 운전원들은 현장에 투입되기 전에 변전소 운영에 대한 교육을 받아야 한다.

소개하고자 하는 시뮬레이터는 실제 변전소에서 사용되는 OPC(운영자콘솔) 프로그램과 연동하여 개발되었으며, 데이터베이스를 이용하여 다양한 모의고장 시나리오에 대한 훈련을 수행할 수 있도록 하였으며, 변전소 내의 여러 차단기들의 조작에 따른 조류의 변화를 표시하기 위하여 조류계산 프로그램을 탑재하였다. OJT(On-the-Job Training) 기능을 추가하여 변전소에서 운전하는 운전원들에게 보다 효과적인 교육이 이루어질 수 있도록 하였다.

서론

최근 전력계통이 매우 복잡해지고 거대화되고 있으나, 기존의 전력계통에 설치된 시뮬레이터는

이러한 상황을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이번에 완공되는 765[kV] 전력계통 시스템에 대한 시뮬레이터는 아직 전무한 상태이고, 이전의 154, 345[kV] 계통에 비해 매우 복잡하고, 고장이나 오조작시 전체 계통에 미치는 파급 효과가 크므로, 765[kV] 전력계통에 시스템에 대한 시뮬레이터는 꼭 필요하다고 할 수 있다[1-7].

소개하는 시뮬레이터는 3대의 PC에 탑재되어 GUI(Graphic User Interface)환경에서 첫째, 고장 발생 기능을 가지고 있어 데이터베이스에 저장된 모의 고장 시나리오를 통해 전력계통에서의 고장을 발생시킬 수 있다. 둘째, 변전소 감시제어반에서 사용되는 운용자 콘솔을 탑재하여 변전소 감시제어반의 모든 기능을 구현하였다. 셋째, 각종 데이터베이스 편집기를 통해 모의 고장 시나리오를 쉽게 편집 및 추가할 수 있다. 넷째, 조류계산 프로그램을 탑재하여 계통 변화에 따른 전력 계산을 실시간으로 처리한다. 마지막으로, OJT(On-the-Job Training) 기능을 통해 운용자들에게 전력계통에 관한 일반적인 교육이 될 수 있도록 구현하였다.

교육용 시뮬레이터 구현 결과

본 765[kV] 변전소 교육용 시뮬레이터는 모의제어반과 강사조작반으로 구성된다. 강사조작반은 clientLink와 SimWS으로 구성되며, SimWS은 강사

용 MMI(Man Machine Interface)를 담당하고, clientLink는 강사조작반의 통신을 담당한다. 또한 모의제어반은 serverLink, OPC와 GUIDE로 구성되며, OPC를 통해서 변전소에 대한 감시·제어 기능을 구현하였으며, GUIDE를 통해서 계통에 발생된 고장을 복구하는 과정을 습득할 수 있도록 구현하였고, serverLink는 모의제어반의 통신을 담당한다. 다음 그림 1은 이러한 프로세스의 관계를 정리한 것으로서, 각각의 프로세스는 이벤트와 메시지를 주고받는다. 변전소 감시제어반은 실제 계통과 연결되어 변전소에 대한 감시 및 제어를 수행하는 반면, 모의제어반의 모든 제어 장치는 강사조작반으로 연결되어 감시제어반과 동일한 역할을 수행하며, 실제 계통에서 실험될 수 없는 다양한 고장을 발생시켜 훈련원이 교육 및 훈련을 진행할 수 있다. 즉, 765kV 교육용 시뮬레이터의 기본 개념은 변전소와 감시제어반을 모델링하여 소프트웨어 방식으로 처리하는 것이다.

강사조작반
clientLink

clientLink는 강사조작반의 통신을 담당하며, 공유 메모리를 관리하고, 다음 그림 2와 같이 실행후 트레이 아이콘으로 등록된다. 강사는 확대 메뉴를 통해 다음 그림 3과 같이 확대하여 현재 처리중인 작업을 확인할 수 있다.

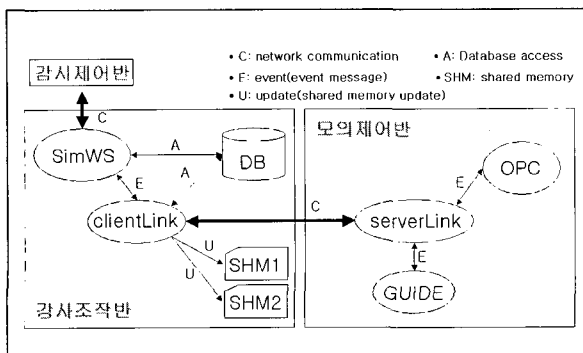


그림 1 전체 프로세스 관계도

SimWS

다음 그림 4, 5는 강사조작반의 강사용 MMI를 담당하는 SimWS의 최초 구동시의 모습과 메뉴 부분을 확대한 것이다. 모드메뉴에는 MPU 역할을 수행

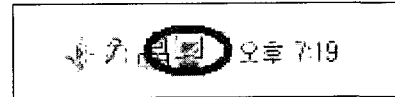


그림 2 트레이 아이콘으로 등록된 clientLink

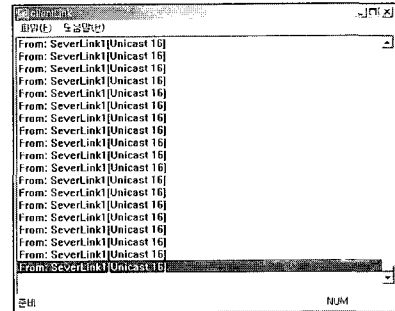


그림 3 현재 처리중인 작업을 확인하기 위해 확대된 clientLink

하는 운영모드, 그림 6과 같이 교육 및 훈련을 진행하는 교육/훈련 모드, 그림 9, 10, 11, 12와 같이 각종 데이터베이스를 편집하는 모의제어반 DB 편집모드, 그림 13과 같이OJT를 수행하는 OJT모드가 있으며, 훈련자료메뉴를 통해서 그림 14, 15와 같이 훈련 조작내역을 조회 및 인쇄할 수 있고, 자료취득 모드, 계통 상황 파일 저장, 초기화 기능이 내장되어있다.

SimWS는 최초 구동시 운영모드로 동작하여 감시제어반의 MPU(Main Processing Unit) 역할을 수행하고, 교육/훈련 모드로 전환되면 다음 그림 6과 같이 교육 및 훈련 시나리오를 선택할 수 있게 된다. 시나리오를 선택하고 확인하면 해당 시나리오가 훈련원 컴퓨터에 나타나게된다.

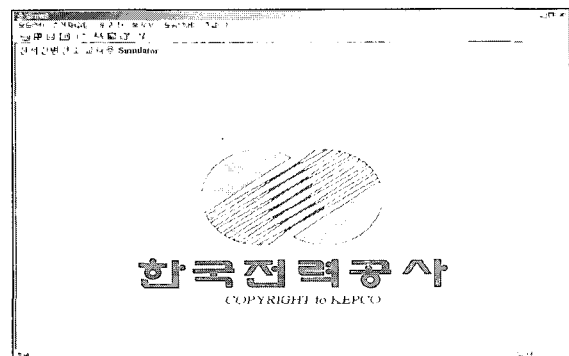


그림 4 SimWS의 메인 화면

기술동향

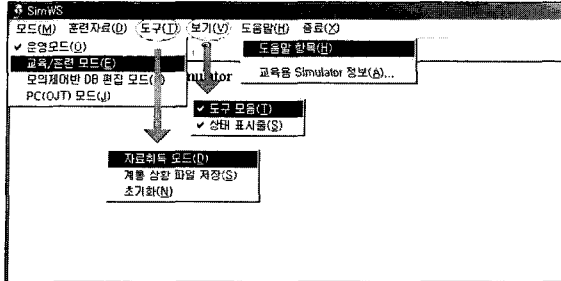


그림 5 메뉴를 확대한 SimWS

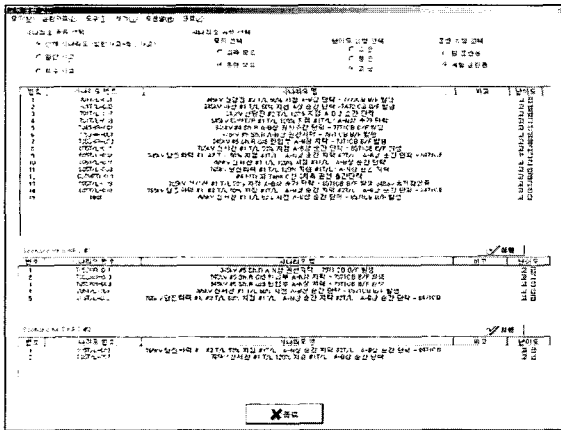


그림 6 SimWS의 교육/훈련 모드

교육 및 훈련이 진행되면 SimWS는 다음 그림 7과 같이 교육/훈련 모니터링 화면으로 전환되어 훈련원의 상태를 감시할 수 있고, 훈련이 종료되면 자동

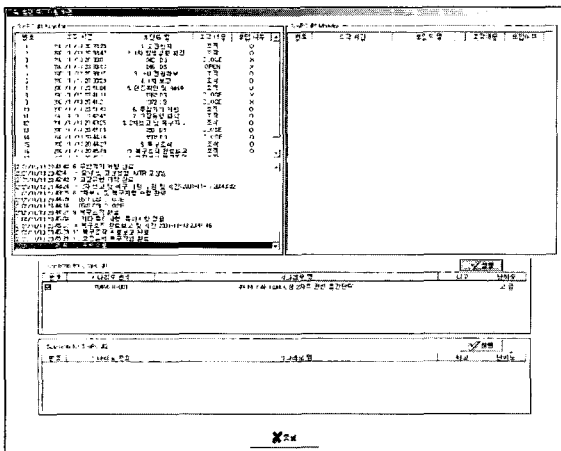


그림 7 SimWS의 교육/훈련 모니터링

으로 다음 그림 8의 강사점수 화면이 출력되어 조작 내역의 정확성과 조작에 소요된 시간이 자동으로 점수화되어 표시되고, 강사 평가, 강사 점수, 강사명을 입력하게 된다. 입력이 완료되면 모드 정보는 데이터베이스에 저장된다. 저장된 결과는 그림 14, 15에서와 같이 훈련관리일지 편집기를 통해 조회 및 인쇄가 가능하다.

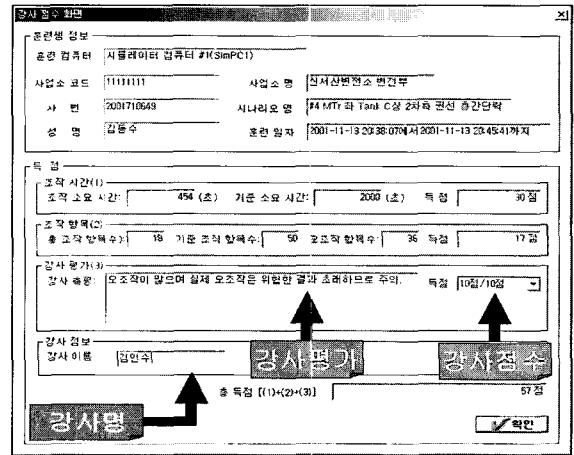


그림 8 SimWS의 강사 점수 화면 출력

SimWS는 모의제어반 DB 편집 모드가 구현되어, 모의 고장 시나리오를 쉽게 편집 및 추가할 수 있다. 다음 그림 9는 모의제어반 DB 편집 모드의 주화면이고, 다음 그림 10은 시나리오를 편집 중인 시나리오 편집기를 나타낸다. 편집 항목으로는 고장 포인트, 계전기 포인트, Analog 포인트, Target 포인트, 현장기기 포인트가 있다.

또한 SimWS는 복구절차를 편집 및 추가할 수 있는 복구절차 편집기가 구현되었다. 다음 그림 11은 복구절차 편집 주화면이고 그림 12는 복구절차를 편집 중인 복구절차 편집기를 나타낸다. 다음 그림 13은 SimWS의 OJT 모드를 나타내고 있다. 훈련원은 다음과 같은 웹 브라우저를 통해 전력계통의 일반적인 교육을 받을 수 있다.

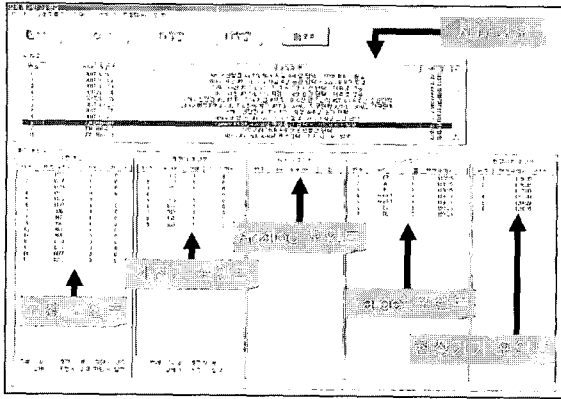


그림 9 모의제어반 DB 편집 모드

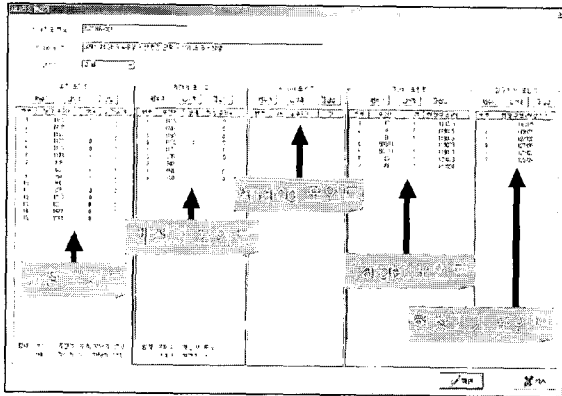


그림 10 시나리오 편집기

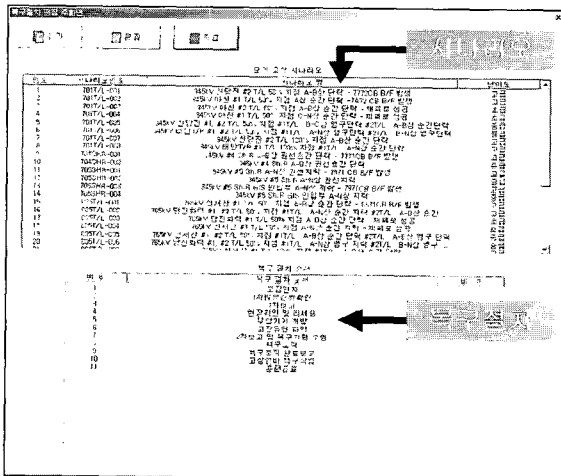


그림 11 복구절차 편집 주화면

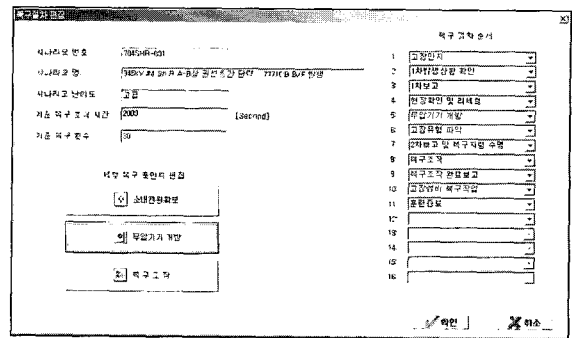


그림 12 복구절차 편집기

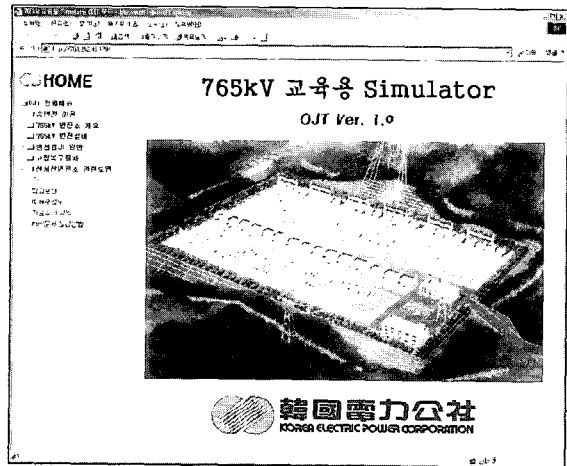


그림 13 OJT 모드

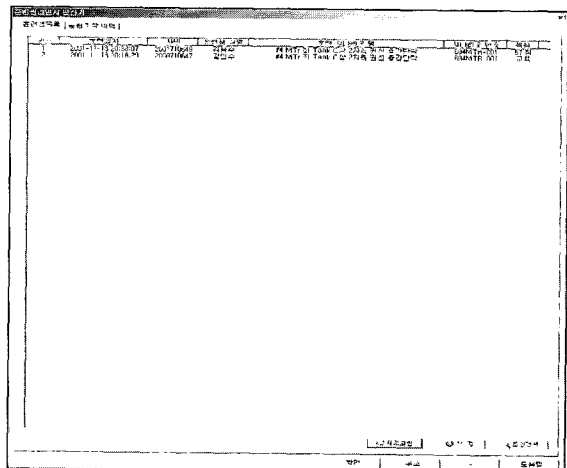


그림 14 훈련관리일지 편집기(훈련생 목록)

SimWS는 훈련자료의 저장 및 조회 기능을 가진 훈련관리일지 편집기를 내장하고 있으며, 다음 그림

14, 15는 훈련관리일지 편집기의 훈련생 목록과 훈련 조작 내역을 보여준다. 훈련생 목록에서는 훈련

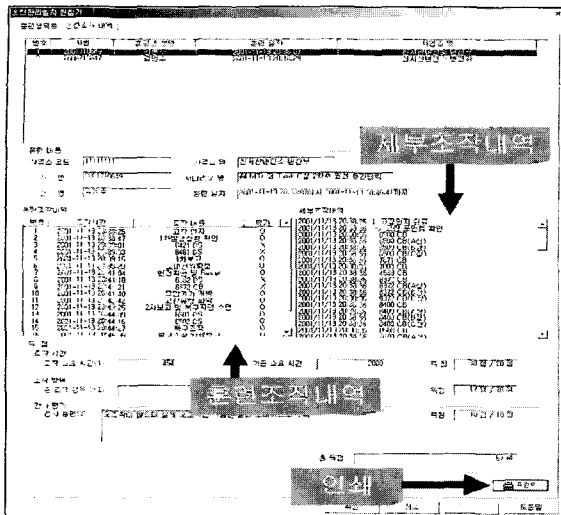


그림 15 훈련관리일지 편집기(훈련조작 내역)

생 목록을 검색할 수 있고, 불필요한 목록은 삭제가 가능하다. 훈련조작 내역에서는 훈련원의 상세한 조작 내역을 조회하는 것이 가능하고, 인쇄기능이 구현되어 데이터베이스에 저장된 훈련조작 내역을 인쇄하는 것이 가능하다.

위의 기능과 함께, SimWS에는 강사가 계통상황을 감시제어반과 동일하게 변경시키고자 할 경우에는 자료취득 모드를 선택하여 감시제어반으로부터의 데이터 취득하여 계통을 변경시키는 것이 가능하다. 또한 훈련원에 의해 변경된 계통 상황을 파일로 저장하여 특정 계통 상황을 연출이 가능하다.

모의제어반

serverLink

모의제어반의 통신을 담당하는 serverLink는 다음 그림 16과 같이 트레이 아이콘으로 등록되고, 강사는 확대 메뉴를 통해 다음 그림 17과 같이 확대하여 현재 처리중인 작업을 확인할 수 있다.



그림 16 트레이 아이콘으로 등록된 serverLink

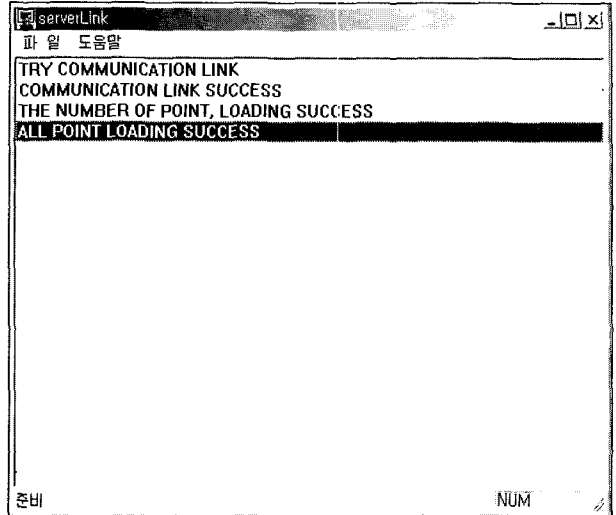


그림 17 현재 처리중인 작업을 확인하기 위해 확대된 serverLink

OPC

실제 운전 시스템과 훈련 시스템과의 상이함에서 올 수 있는 시스템 오조작이나 과리감을 없애기 위해 감시제어반의 OPC와 동일하게 구현하였다. 다음 그림 18, 19는 OPC의 메인 화면과 교육 및 훈련이 실행되어 계통에 고장이 발생한 후의 OPC를 나타내고 있다.

다음 그림 20은 정상 계통의 OPC를 확대한 것이고, 해당 단로기를 단힘에서 열림으로 제어하면, 그

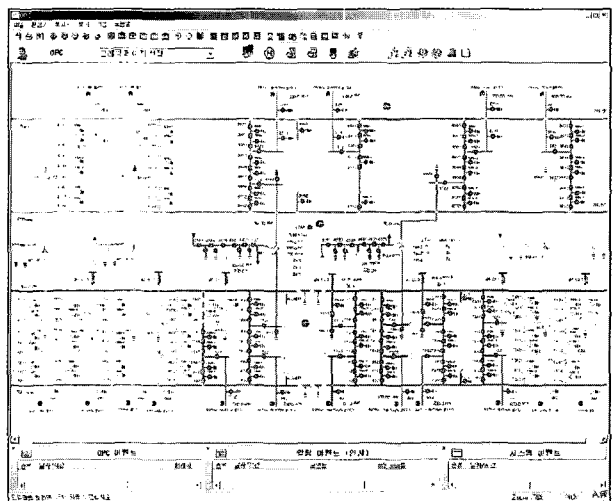


그림 18 OPC의 메인 화면

림 21과 같이 조류값이 변동되고, 라인사황이 변경 된다.

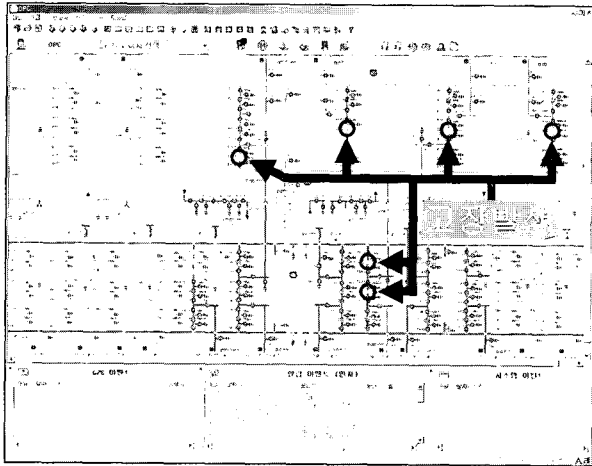


그림 19 고장 발생 화면

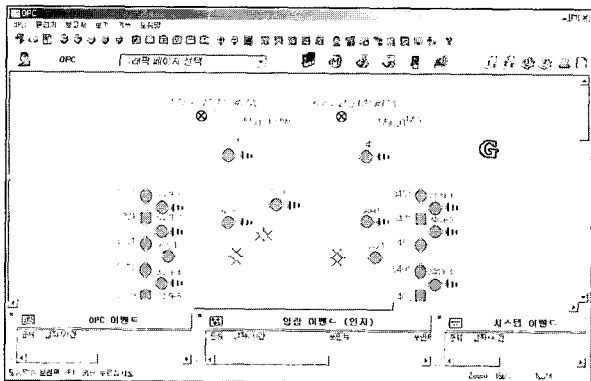


그림 20 확대된 정상 계통의 OPC

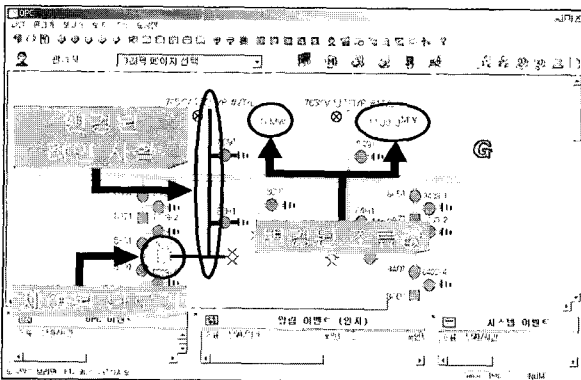


그림 21 단로기 조작후의 OPC

GUIDE

GUIDE는 모의제어반에서 교육 및 훈련을 담당한다. 그림 22와 같이 구동된 GUIDE에 훈련원은 훈련원 성명, 사번, 사업소명을 입력한 후 그림 23과 같이 교육 및 훈련 메시지를 수신할 때까지 대기하게 된다.

교육 및 훈련은 고장인지, 1차 발생상황 확인, 소내전원 확보, 1차보고, 현장확인 및 리세트, 무압기기 개방, 고장유형 파악, 2차보고 및 복구지령 수령, 복구조작, 복구조작 완료보고, 고장설비 복구작업, 훈련종료의 순으로 진행되며, 순서는 그림 11, 12의 복구절차 편집기를 통해 추가 및 변경이 가능하다.

다음 그림 24의 1차 발생상황 확인에서는 훈련원이 시나리오에 따라 발생한 차단기, 단로기, 계전기 등을 인지할 수 있으며, 다음 그림 25의 1차 발생상황 확인(현장사진)에서는 고장 발생구역의 현장사진을 확인 할 수 있고, 다음 그림 26의 1차 발생상황 확인(계전기 확인)에서는 동작된 계전기, 계전기의 점등된 LED를 확인 할 수 있고, 86 Lock-out 계전기가 동작했다면 복귀시켜야만 다음 단계로 넘어갈 수 있다.

결론

전력 계통은 점점 복잡화·거대화되고 있으며,

그림 22 최초 구동된 GUIDE

그림 23 훈련원 로그인

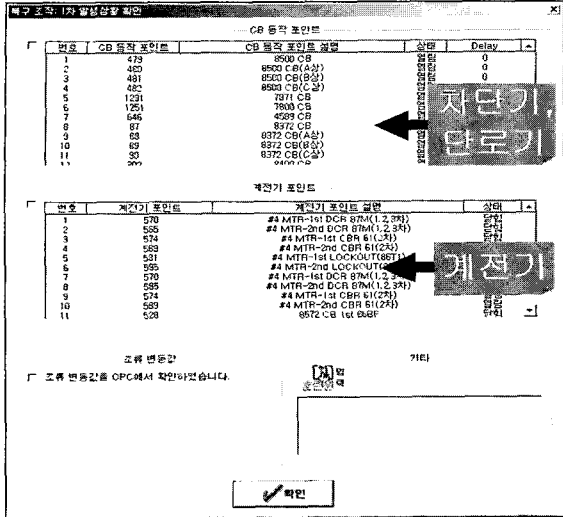


그림 24 1차 발생상황 확인

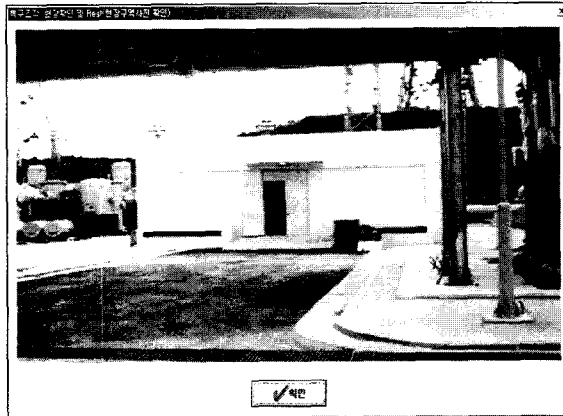


그림 25 1차 발생상황 확인(현장사진)

전력계통을 신뢰성 있게 운용하는 것이 어려워지고 있다. 이에 따라 전력계통에 대한 숙련된 운전기술이 필요하게 되고, 실제 전력계통 모의를 통한 미경험 고장의 처리기술을 습득해야 할 필요성이 생기게 되었다. 여기에 이번에 완공되는 765kV 전력계통 시스템은 이전의 154, 345kV 계통에 비해 복잡하고 고장시 전체 계통에 미치는 파급효과가 크므로 이러한 요구사항은 더욱 절실히 요구되고 있다. 그러나 최근 전력설비의 신뢰도 향상과 기능 향상으로 인하여 사고 발생이 점차 감소되는 추세이므로 계통 운용자의 고장을 경험하는 기회 역시 줄어드는 추세

에 있기 때문에 신속하고도 신뢰성 있는 복구를 위한 운전자 지원시스템이나 고장발생 및 복구 시뮬레이터에 대한 요구가 심화되고 있다. 이러한 시뮬레이터는 오래 전부터 많은 부분에서 연구되어 왔으며, 현재에도 지속적으로 연구되고 있으나, 현재로서는 훈련원이 사용하기에 사용법이 복잡하고, 고장 발생 후 복구조작은 단순히 텍스트로서 복구절차를 습득하는 수준에 머무르고 있다. 최근에는 전문가 시스템을 도입하는 연구 결과가 발표되고 있으며, 지속적인 연구가 이루어지고 있다.

여기서 소개한 765kV 변전소 교육용 시뮬레이터는 Visual C++를 이용하여 구현하였고, DBMS는 Oracle 8i를 이용하였다. 데이터베이스의 접근은 ADO 인터페이스를 이용하여 데이터를 읽어 들이게 코딩하였고 삽입, 삭제, 추가 또한 같은 방식으로 코

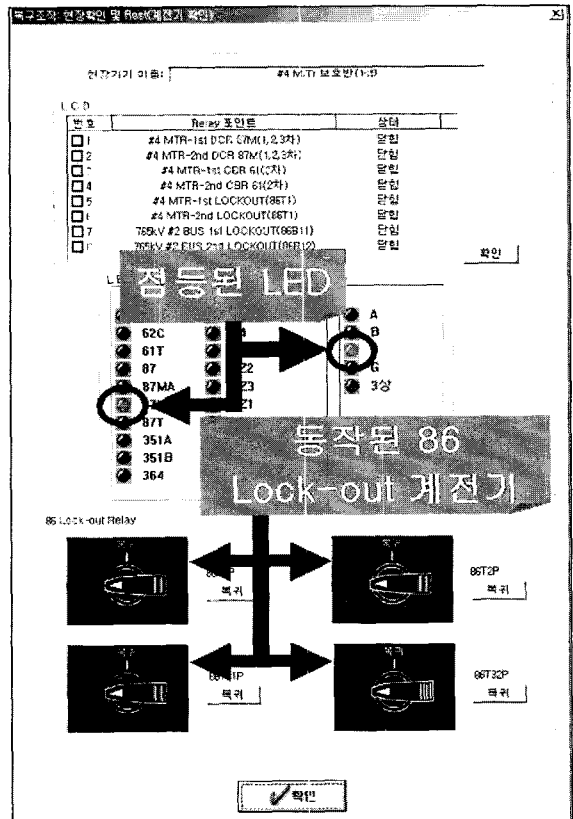


그림 26 1차 발생상황 확인(계전기 확인)

딩하였다. 프로세스들간의 통신은 IPC와 UDP를 이용하였다.

또한, 본 시뮬레이터는 기존의 복구절차를 단순히 텍스트로서 습득하는 방식을 벗어나 전력 계통에서의 고장을 실제와 같이 구현하고 복구하는 방식을 실제 현장에서 복구하는 것과 가능한 유사하게 구현하였다. 그러나 현장 확인과 같은 부분은 컴퓨터로 구현하기 아직 어려운 실정이며, 가상현실이나 전문가 시스템을 도입하여 시뮬레이터를 구현한다면, 실제 시스템과 더욱 유사한 시뮬레이터가 되리라 사료된다.

[참고문헌]

[1] Larry Dale Swift, "An Enhanced Digital Power System Simulator for Education and Training", Doctorate's Thesis, University of Texas at Arlington, December 1998.
 [2] Krishnan Subramanian, "Development of Enhanced Power System Simulator with Multi-Area Dispatch Capability", Master's Thesis, University of Texas at Arlington, August 1996.
 [3] Jagatpati Jonnalagedda, "Integration of Singer-Link Emulator with Enhanced Digital Power System Simulator for System Blackstart", Master's Thesis, University of Texas at Arlington, August 1997.
 [4] D. C. Yu, et al., "A Windows Based Graphical Package for Symmetrical Components Analysis", IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No. 4, Nov., 1995, pp. 1742-1749.
 [5] T. J. Overbye, et al., "A User-friendly Simulation Program for Teaching Power System Operations", IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No.4, Nov., 1995, pp. 1725-1733.
 [6] Joong-Rin Shin, Wook-Hwa Lee, Dong-Hae Im, "A

Windows-based Interactive and Graphic Package for the Education and Training of Power System Analysis and Operation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 1193-1199, November 1999.

[7] Joong-Rin Shin, Wook-Hwa Lee, "Development of an Interactive Graphic Software for the Education and Training of Power System Operation and Control", Trans. on KIEE, Vol. 48A, No. 8, pp. 932-940, August 1999.
 [8] K. Sato, Z. Yamazaki, T. Haba, N. Fukushima, K. Masegi, H. Hayashi, "Dynamic Simulation of a Power System Network for Dispatcher Training", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 10, pp. 3742-3750, October 1982.
 [9] Jun Zhu, David L. Lubkeman, "Object-Oriented Development of Software System for Power System Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, pp. 1002-1007, May 1997.
 [10] 이상엽, "Visual C++ Programming Bible Ver.6.X", 영진출판사, March 2000.
 [11] Ralph Davis, "Win32 네트워크 프로그래밍", 영진출판사, Oct 1997.
 [12] Wendy Sarrett, "Visual C++ 6 Database Programming Tutorial", Wrox, 1999. 1.
 [13] Wendy Sarrett, "PROFESSIONAL Visual C++ 6 Database Programming", 정보문화사, 1999. 6.
 [14] 김형진, "765kV 교육용 시뮬레이터를 위한 GUI 개발 및 데이터베이스 구축에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 2001. 2.
 [15] 김용성, "Visual C++ 6 완벽 가이드", 대림출판사, March 2000.
 [16] Jasson S. Couchman, "Oracle Certified Professional", 정보문화사, May 2000.
 [17] 홍준호 외 3인, "Oracle Bible Ver.8.x", 영진출판사, 1999. 6.
 [18] 전은정 외 1인, "퍼스널오라클8", 대림출판사, 1999. 4.