

변전소 전력계통 교육용 SIMULATOR 개발에 관한 연구

백승도, 김승규, 이제희, 이상철
한국전력공사

A study on the development of substation
power system simulator for education and training

S.D.Baik, S.K.Kim, J.H.Lee, S.C.Lee
KEPCO

Abstract - This thesis attempts to investigate and analyze the structure of educational simulation devices implemented thus far, conducting a close analysis of their strengths and weaknesses. On this basis the author presents and implements a new method of simulation, and continuously upgrades it for increased stability and convenience. The most important aspects of the educational simulation device described in this thesis are: first, removing the editing function (scenarios, single line diagrams, and point DB), which the instructor finds time-consuming and inconvenient to use; second, developing and installing the program so as to calculate electric power flow that can measure fluctuations measurements after changing the system status; and third, implementing a Client/Server mode to build a system that will make it possible to train many people at a time in remote locations. When compared to simulation devices of the past, the greatest differences are that algorithm-based scenarios make scenario inputs unnecessary, and that the amount of work required for the point DB and single line diagrams were minimized.

1. 서 론

고장 발생시의 복구조작은 주로 운용자의 전문적인 지식이나 경험적 판단에 크게 의존하여 수행되어 왔다. 따라서 운용자가 고장 상황을 잘못 판단하거나 복구조작 단계에서 잘못된 조작을 수행하게 되면, 전력공급에 막대한 지장을 초래하게 될 뿐만 아니라, 설비의 손상까지도 야기될 수 있다. 따라서 고장 상황에 대한 신속한 판단과 정전 구역에 대한 신뢰성 있는 신속한 복구는 매우 중요한 문제이다. 신속한 전력공급을 위해서는 운용자의 고장복구능력이 필수이며, 이는 평상시 고장에 대비한 반복적인 시뮬레이션 교육이 이루어져야 가능하다.[1,2]

때문에 지금까지 구현된 변전소 근무자를 위한 교육용 시뮬레이션 장치에 대한 특성 및 문제점을 찾고, 이를 해결하여 좀더 현장감있는 교육용 시뮬레이터 장치를 구현하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 시뮬레이터 구현사례

2.1.1. 154kV 교육용 시뮬레이터 구현사례

그림 2.1.1에서 보는 바와 같이 전체 7개의 장치로 구성되어 있으며, 훈련용 콘솔 및 교육용 콘솔은 Unix 환경에서 Ingres DBMS, X-Window 및 Motif Library를 이용하여 개발되었고, 전기회로 해석 PC와 Emulator PC는 Windows 95/98 환경에서 Power Builder를 이용하여 개발되었다.

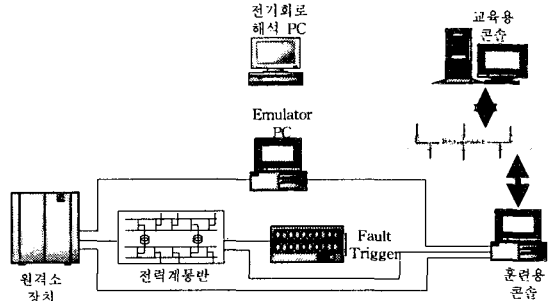


그림 2.1.1 교육용시스템 구성도

그림 2.1.1의 계통 교육용 시스템은 감시, 제어 시스템 바탕에 교육용 기능을 추가시킨 대표적인 사례이다. 전기회로 해석용 PC는 독립적으로 운영되며, 고장관련 시나리오와 관련이 없는 교육에만 사용하므로 별도의 언급을 하지 않는다. 훈련용 콘솔은 실제 감시, 제어 시스템이며, 고장이 발생하면 변전소의 감시 시스템과 같이 단선계통도 및 경보 창에 고장 내용이 표시된다.

또한 이 고장 내용은 일반 유인 변전소와 같이 9600 bps의 직렬통신을 통하여 모자의 형식으로 구성된 전력계통반에 표시하는 기능을 가지고 있다. 감시, 제어 시스템인 훈련용 콘솔을 중심으로 2가지 형태의 교육 및 훈련 방법을 제시하는데, 첫 번째는 변전소에 설치된 감시 시스템과 같은 환경에서 교육하는 방법이다.

즉, 물리적으로 변전소 시스템과 같은 장치가 설치되어 있으며, 그 장치는 감시, 제어 시스템, 원격소 장치, 전력계통반이다. 전력계통반 내에는 On/Off 접점 역할을 위한 시퀀스가 구성되어 있으며, 이 접점들은 원격소 장치의 DI Module의 각 포인트들과 1대 1로 연결되어 있어, 실제 On/Off 접점 상태를 DI Module이 검출한다.

원격소 장치에서 검출된 On/Off 상태는 감시반 통신 규약에 따라 감시, 제어 시스템인 훈련용 콘솔에 전달되어 감시 시스템과 같이 계통 상태를 표시하고 경보를 발생하는 구조를 가지고 있다. [4]

2.1.2 765kV 교육용 시뮬레이터 구현사례

현재 765kV 변전소에 구현된 감시, 제어 시스템과 교육용 시뮬레이션 장치는 계통 상태에 따라 계층 값들이 스스로 판정되어 변할 수 있는 알고리즘을 포함하고 있는 국내 최초의 시스템이며, 감시반 및 교육용 모두 모선의 전력공급을 색상으로 표현하는 사선, 활선 표시가 가능한 시스템이다. [5]

전체 시스템은 MPU(Main Processing Unit), OPC(Operating Console), CCU(Communications Control Unit), DIU(Database Interface Unit), 강사조작반, 모의 제어반, 기록장치, 랜 등으로 구성된다.

여기서, MPU는 CCU에서 온 현장기기의 상태를

OPC에 전달하고, 운용자의 지령을 CCU에 전달하는 역할을 한다. OPC는 각종 운전화면 조작을 통하여 시스템 및 현장설비 상태를 감시하고, 운용자의 지령을 받아들여 MPU에 전달하는 장치이다. DIU는 MPU, OPC, CCU 등에서 필요한 각종 데이터를 편집하고 입력하는 장치이다. 강사조작반은 MPU와 네트워크로 연결되어 각종 필요한 데이터를 취득할 수 있다.

이 시스템은 MS-Windows 2000 Server와 Professional에서 Visual C++을 이용하여 구현되었으며, Oracle 8i DBMS를 이용하였다.[1]

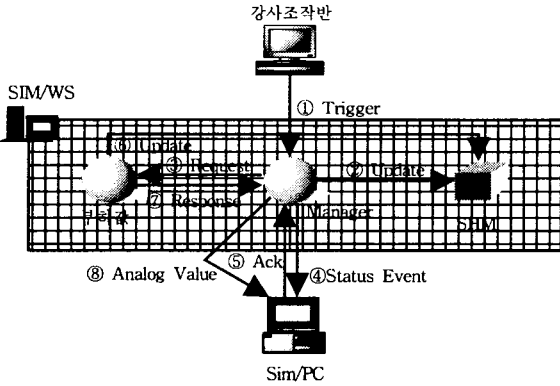


그림 2.1.2 고장발생 Sequence

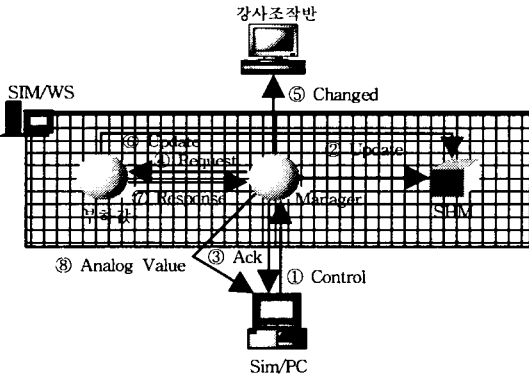


그림 2.1.3 고장복구 Sequence

그림 2.1.2과 2.1.3는 이 시스템에서 각각 고장발생과 고장복구 흐름을 보여주고 있다. 계통 상태에 따라 계측값들이 스스로 판정되어 변할 수 있는 프로그램인 부하계산 프로그램을 적용한 것은 획기적인 변화이지만 변전소 내부에 설치되어 있어 교육효과가 내부 인원에만 한정되며, 하나의 변전소만 시뮬레이션되는 것이 단점으로 지적될 수 있다.

또한 이 시스템을 다수의 사용자들을 교육하기 위한 목적으로 사용하는 것을 가정한다면, Client가 다수가 되고 대부분의 Client는 원격지에 있을 수 있다는 것이 고려되어야 할 것이며, 다량의 데이터들이 인터넷 망을 통해 전송되어야 하므로 패킷유실 우려 및 전송속도에 상당한 영향을 받을 것이다.[8]

2.2 부하계산 이론

이 시스템에서는 각 설비들의 상태, 즉 모선, 선로, 변압기, 분로 리액터, 차단기, 단로기 등의 상태들과 각 설비간의 연결 관계를 사용하여 일반적인 부하 계산 알고리즘을 변전소 시뮬레이터에 적용하는 방법으로 접근

하였다.

전력 에너지의 흐름을 나타내는 요소는 전압, 전력으로, 주어진 계통 조건(송전선, 변압기, 발전기 등 계통을 구성하는 설비의 전기적 특성, 운용 상태 및 각 설비 상호간의 접속 상태)으로부터, 비선형의 연립방정식 형태의 전력방정식으로 표현할 수 있는데, 전력방정식을 풀어서 계통의 전압, 전력의 분포를 구하는 것이다. 전력방정식은 평형 3상 정상상태인 전력계통의 각 모선에서 전압의 크기와 위상각을 계산하는 것으로, 송전선, 변압기, 설비 등의 장치에서의 유효전력과 무효전력 계산이 가능하다.[3]

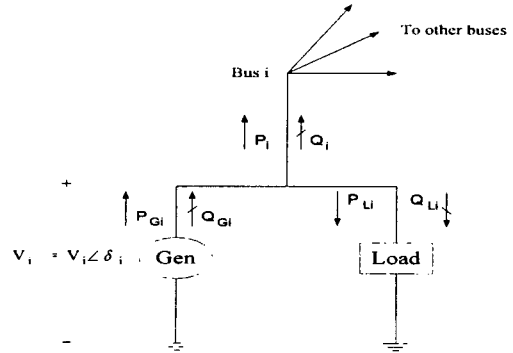


그림 2.2.1 다양한 모선 유형에서의 변수

위의 그림 2.2.1에서 보는 바와 같이 각 모선에서는 4가지 변수가 관련되어 있다. 전압 크기 $|V_i|$, 전압의 위상각 δ_i , 유효전력 P_i , 무효전력 Q_i

위 네 가지 변수 중 모선의 종류에 따라 두 개의 변수는 입력으로, 나머지 변수는 부하계산 프로그램에 의한 출력으로 주어진다. 그림 2.2.1에서 발전기와 부하 사이의 관계식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} P_i &= P_{Gi} - P_{Li} \\ Q_i &= Q_{Gi} - Q_{Li} \end{aligned} \quad (1)$$

이때 전력계통에서 마디 방정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$I = Y_{bus} V \quad (2)$$

일반적으로 n모선계통에서, k모선의 전력은 모선 어드미턴스 행렬 Y_k 행렬과 모선 전압 V_k , 모선 전류 I_k 를 사용해서 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* = V_k \left[\sum_{m=1}^n Y_{km} V_m \right]^* \quad (3)$$

위의 식에 $Y_{km} = |Y_{km}| \angle \theta_{km}$, $V_k = |V_k| \angle \delta_k$, $V_m = |V_m| \angle \delta_m$ 을 적용하면 S_k 는 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$P_k + jQ_k = V_k \sum_{m=1}^n Y_{km} V_m e^{j(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})} \quad (4)$$

위의 식 (4)의 실수부분과 허수부분을 정리하면 각각 유효전력과 무효전력의 전력방정식의 형태로 나타내어질 수 있다.[7]

2.3 교육용 시뮬레이터 시스템 개발

본 논문에서는 구현사례의 특성을 파악하고 장점을 통합하여 보다 쉽고 현실성이 높은 교육용 시스템을 구현하고자 하며, 과거 시스템이 특정 교육장을 위주로 시간과 공간에 한정된 교육 시스템을 제시한 것으로부터 탈피하여 다수의 교육생에게 동시교육을 진행할 수 있고 교육장 및 원격지에 관계없이 다양한 고장 교육을 쉽게 할 수 있는 시스템을 구현하는 것이 목적이다.

지금까지 구현되어 사용 중인 시뮬레이션 장치의 문제점을 해결하고 시나리오 편집 및 고장연출이 보다 쉽도록 하기 위해 다음과 같은 내용의 시뮬레이션 장치 구

현방법을 제시한다.[6]

2.3.1. 시스템 구성

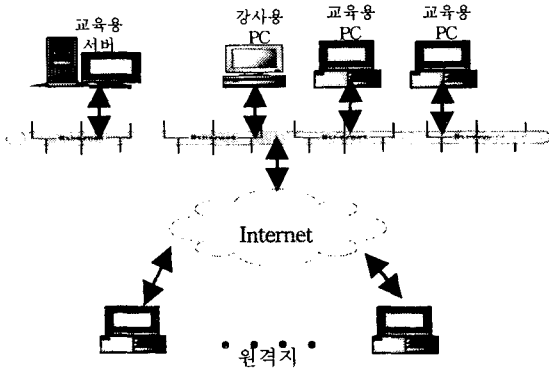


그림2.3.1 Client/Server형 교육용 시스템 구성도

그림 2.3.1은 교육용 시스템을 위한 Client/Server 구조이다. 하나의 교육용 서버는 변전소와 관련한 방대한 데이터를 관리하기 위해 MS-SQL DMBS가 탑재되어 변전소 포인트 관련 데이터, 단선계통도 및 기타 정보 파일을 관리하며, Client 자격인 다수의 강사용-PC 및 교육용-PC 들의 접속 및 Log On/Off를 관리한다. 서버는 강사 및 교육생 Client들 간의 연결자로서의 역할을 수행하며, 강사를 중심으로 교육생들의 Log On/Off를 관리한다.

그림 2.3.1에서 보는 바와 같이 서버 하나에 강사, 교육생에 관계없이 Server/Client 구조를 가지며, Local이든 Internet 망을 통한 원격지든 관계없이 교육을 받을 수 있는 구조로 설계되었다[2]

2.3.2. 시스템 기능




장치	기능설명
 강사용 PC	각종 DB 편집 고장발생 및 교육 모니터링 교육이력 관리
 교육용 서버	DBMS 탑재 자료관리 및 Client 관리 강사용과 교육용의 Interface
 교육용 PC	모의 고장복구 훈련 감시반 운영모드 및 OJT 교육 조류엔진 탑재

그림2.3.2 시뮬레이터 장치별 기능

교육용 서버는 MS-SQL DBMS를 이용하여 최대 100개 이상의 변전소 포인트 DB를 관리할 수 있는 구조로 설계되며, 관리자 관할 모든 변전소 데이터를 수용한다. 강사용-PC로부터 고장발생에 관련된 명령을 수신하여 교육용-PC에 전달하며, 교육용-PC로부터의 복구조작 내용을 저장하고 강사용-PC에 전달하여 강사가 조작내용을 감시할 수 있도록 중간 연결 역할을 수행한다. 다수의 클라이언트가 원격지에 있기 때문에 서버와 클라이언트 간의 Data 전송 Size는 최소화되어야 한다.[4]

강사용-PC는 교육 이력관리, 포인트 DB 편집, 단선계통도 수정, 초기상태 설정 등 서버로부터 데이터를 조회하거나 편집할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공하며, 고장발생 화면에서 접속된 클라이언트(교육용-PC)에 특정 고장을 할당하고 발생을 명령할 수 있다. 접속된 클라이언트가 다수일 경우, 고장을 각각 다른 변전소 다른 고장을 할당할 수도 있고, 같은 고장을 할당할 수도 있으며, 고장발생 명령시 개별수행 및 전체수행도 가능하다. 고장발생 이후, 강사용-PC는 교육용-PC에서 복구되는 과정을 단계별로 표시하며, 복구가 완료되면 진행사항을 요약하여 강사가 평가를 할 수 있는 대화 창을 표시한다.

평가 내용은 한국전력 표준 복구절차 내용과 절차 내의 세부 포인트 복구사항을 보여주며 강사의 의도에 따라 평가점수가 부여될 수 있다. 각각의 복구절차는 Dynamic Library 형태로 구성하여 필요시 추가, 삭제가 가능한 구조로 설계되었다. 강사용-PC에서 고장의 선택 화면은 단선계통도 상의 고장 아이콘을 선택하는 방법으로 수행된다. 단선계통도에는 각 전압별, 설비별로 그 주위에 고장을 상징하는 아이콘들이 나열되어 있다.

이 고장 아이콘은 해당 단선도에서 발생할 수 있는 거의 모든 고장내용을 포함한다. 강사용-PC에 의해서 고장이 특정 클라이언트에 발생하면, 교육용-PC는 강사용-PC로부터 고장종류 및 관련 정보를 수신하여 화면에 차단기, 단로기 및 계측 값(전압, 전류, 유효전력 등)을 초기상태로 Update하고 교육준비를 알리는 대화 창을 표시하며, 교육생이 이를 확인하면 모의고장을 화면에 연출시킨다. 교육생은 강사가 지정한 복구절차에 따라 복구과정을 수행한다.

교육용-PC에서 고장이 발생할 때 및 복구조작 중 세부 포인트(차단기 조작 등) 복구를 할 때 변전소의 계통상태가 변화된다. 교육용-PC에 탑재된 부하계산 프로그램은 계통 상태가 변할 때마다 계측 값들을 현재 계통의 상황에 맞게 재계산을 수행하여 실제 변전소에서 복구하듯이 현장감을 부여한다

3. 결 론

본 논문에서는 지금까지 구현된 교육용 시뮬레이션 장치의 구조를 조사하고 분석하여 그 장단점을 면밀히 분석하려고 노력하였고, 이를 바탕으로 새로운 시뮬레이션 방법에 대한 방향을 제시하고 구현하였다.

아쉬운 점은 복합적인 고장발생 부분에 중점을 두었으나 복구와 관련한 어떠한 획기적인 알고리즘이 없다는 것이다. 때문에 고장복구와 관련된 지속적인 연구가 필요하다. 이는 변전소 교육용 시스템에 직접적인 영향을 줄 것이고, 시뮬레이터 교육의 내실화에 기여하는 물론 고장정전 감소를 통한 양질의 전력공급에 일조를 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이계희, "변전소 전력계통 교육용 시뮬레이터 開發에 관한 연구", 성균관대학교 석사논문, 2003
- [2] 한국전력공사, "교육용 시뮬레이터 개선시연회", 2004.05
- [3] H. Saadat, "Power System Analysis", McGraw Hill, 1999
- [4] Averill M. Law, W. Daved Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", McGraw Hill, 1991
- [5] 김인수, "765kV 교육용 시뮬레이터 구현에 관한 연구", 성균관대학교 석사논문, 2000
- [6] 이영해, 백두권, "시스템 시뮬레이션", 경문사, 1996. 8.
- [7] 신대승, "전력계통 시스템제어", 기다라, 1993. 3.
- [8] Larry Dale Swift, "An Enhanced Digital Power System Simulator for Education and Training", Doctorate's Thesis, University of Texas at Arlington, December 1998