

변전소 시뮬레이터의 온라인 고장진단 및 복구제어 전문가 시스템에 대한 연구

이홍재*, 정성진* 임찬호** 조경래*** 신희승***
 *광운대학교 전기공학과 **경주대학교 전자컴퓨터공학과 ***효성중공업 기술연구소

A Study on the On-Line Fault Diagnosis and Restorative Control Expert System for a Substation Simulator

H. J. Lee* S. J. Chung* C. H. Lim** K. R. Cho*** H. S. Shin***
 *KwangWoon Univ. **KyongJu Univ. ***HyoSung Ind.

Abstract - Recently the substation automation is actively researched at each country. Since the substation automation is an integrated system that consist of electrical, electronic and computer technologies, performance evaluation is very important to inspect the developed system's applicable possibility for real power system. Most studies are verified using computer simulation, because it is hard to apply them to real power systems. Therefore development of a substation simulator is necessary for the performance evaluation of many application systems such as operator aid system.

This paper introduces a substation simulator. An intelligent fault diagnosis and restorative control expert system is also introduced

UDP/IP is applied as a protocol for data transport between expert system and SC(station computer). As to the Graphic User Interface, C++ Language and Visual Basic is used in the Windows NT operating system together with four Pentium II systems

1. 서 론

오늘날의 전력시스템은 지속적인 전력수요의 증가에 따라 그 규모가 거대해지게 되었고, 전력공급의 신뢰도 향상과 안정성 확보를 위하여 여러 가지 제반 설비들이 증가되고 있는 상황이다. 이와 같은 상황에서 전력시스템 운용의 안정성과 효율성을 확보하기 위하여 전세계적으로 다양한 계통 운용 시스템을 도입하여 사용하고 있으며, 최근에는 운용 시스템의 지능적 종합 자동화를 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 특히 변전소는 전력시스템의 계층구조 중에서 최하층 단위이므로 변전소 완전 자동화는 전체 계통의 지능적 종합 자동화를 실현하기 위하여 우선적으로 해결되어야 할 부분이다.

현재 각국에서는 변전소 완전 자동화를 실현하기 위하여 다양한 연구를 수행하고 있으며, 국내에서도 변전소의 무인화 사업, 지능적 운용에 관한 기초 연구 등의 여러 가지 노력이 경주되고 있다. 이와 같은 상황에서, 개발된 시스템의 성능평가와 실제통으로의 적용가능성을 검증하고 변전소 자동화의 기반기술 구축을 위한 정밀 시뮬레이터의 확보는 이러한 연구의 진행에 있어서 가장 기본적인 부분이라 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 변전소 시뮬레이터와 온라인으로 고장진단과 자동 복구제어가 가능한 전문가 시스템을 개발하였다. 이 전문가 시스템은 변전소 시뮬레이터와의 통신을 위하여 UDP/IP를 사용하였으며, 이식성과 GUI(Graphic User Interface)를 위하여 Windows NT상에서 C 언어와 Microsoft Visual Basic을 사용하여 개발하였다.

2. 본 론

2.1 모의 변전소 시뮬레이터의 구조

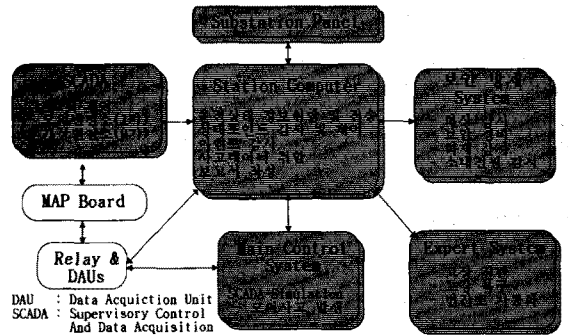


그림 1. 변전소 시뮬레이터의 구조

그림 1에서 보는 바와 같이 변전소 시뮬레이터는 SC(Station Computer), MCS(Main Control System), 보안 방재 시스템, Expert System으로 구성되어 있다. Substation Panel에는 6개의 송전선로, 4개의 변압기, 2개의 상위모선(154kV), 8개의 하위모선(22.9kV), 20개의 배전선로 및 제반 스위치들이 설치되어 있으며, 그 외에도 사고모의 시스템, 부하모의 시스템, 보호계전 시스템, 전원공급 장치 등이 포함되어 있다. 또한 변전소의 상위계층 제어소를 모의하기 위하여, 위의 1기의 모의 변전소와 9기의 가상 변전소를 관찰하는 SCADA 부분을 포함하고 있다. SC는 전체 시스템의 감시와 데이터 전송 및 기록의 역할을 하기 위한 부분이다. 즉 아날로그 데이터와 계전기, 차단기 등의 모든 동작 정보를 전문가 시스템으로 전송하며, 또한 전문가 시스템의 자동화된 복구 방안을 통해 변전소 시뮬레이터를 제어하는 부분이다.

2.2 전문가 시스템

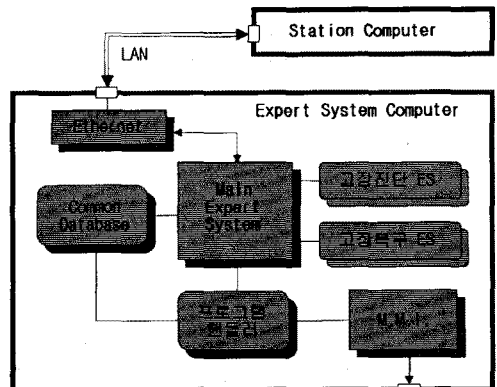


그림 2. 고장진단 및 복구 전문가 시스템의 구조

본 논문에서 개발한 전문가 시스템의 구조는 다음 그림 2와 같다. 그림 2에서 보는바와 같이 이 시스템은 메타추론을 수행하는 주 전문가 시스템(Main Expert System)과 고장진단과 고장복구를 수행하는 2개의 부 전문가 시스템(Sub Expert System)으로 구성되어 있다. 각각의 전문가 시스템은 추론기관과 규칙베이스를 가지고 있으며 공통데이터베이스(Common Database)를 공유하고 있다. 데이터베이스에는 진단/복구를 위한 지식들과 변전소 시뮬레이터의 위상구조가 저장되어 있다. 또한 전문가시스템은 프로그램 핸들러를 통해 MMI(Man Machine Interface)와 데이터를 공유한다.

2.3 Intelligent GUI

개발된 전문가 시스템은 사용자의 편의를 위하여 시뮬레이터의 상태와 진단결과 및 복구방안을 시각적으로 용이하게 식별하기 위한 GUI를 개발하였다. 그림 3은 본 논문에서 고려한 변전소 시뮬레이터의 단선도를 나타내고 있다. 그리고 고장 정보가 입력되면 주 전문가 시스템에서 이를 감지하여 고장진단과 고장복구를 수 초 이내에 자동적으로 수행한다. 또한 아래에 요약한 바와 같이 시뮬레이터의 실시간 감시기능과 설비들의 상태에 따른 특정색상을 지정하여 표현함으로써 사용자가 시뮬레이터의 상태를 한눈에 쉽게 이해토록 하였다.

- 각 차단기와 단로기들의 상태(투입/개방/트립) 감시 (투입:푸른색, 개방:흰색, 트립:붉은색)
- 각 선로들의 상태(도전/휴전/정전) 감시 (도전:노란색, 휴전:흰색, 정전:붉은색)
- 진단결과와 복구방안을 각각의 메시지창을 통해 표현
- 각 선로들의 Analog Data 실시간 감시

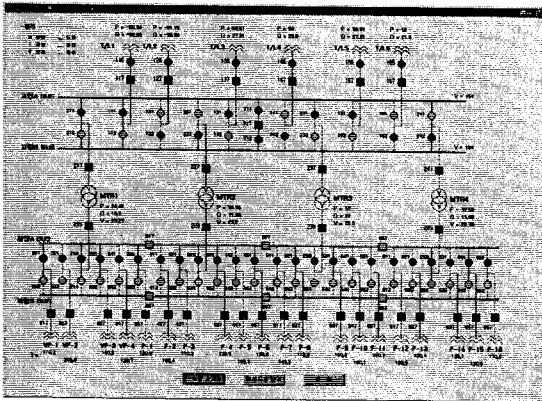


그림 3. 주 전문가시스템의 초기화면 (변전소 시뮬레이터의 단선도)

3. 사례 연구

3.1 사고 입력 정보

입력 정보는 Station Computer를 통해 시뮬레이터의 모든 동작 정보들이 동작시간과 함께 입력된다. 본 사례연구에서 입력된 고장정보는 아래와 같다. 아래의 고장정보는 1번 변압기의 보호 계전기 동작과 변압기 1차측의 217번 CB가 트립되었음을 나타내고 있다.

```
99.01.05 17:10:26 7 70 DFR1_BC_TRIP
99.01.05 17:10:26 7 140 CB1_OPEN
```

3.2 고장 진단

사고 정보가 입력되면 주 전문가 시스템이 이를 감지하여 고장진단과 고장복구를 수행하게 된다. 고장진단

완료되면 진단결과를 화면에 출력함과 동시에 고장복구를 수행하게 된다. 고장진단에는 여러 가지 가능성 있는 결과들이 나타나게 되는데, 이 중 가장 높은 가능성의 진단 결과를 기반으로 하여 자동적으로 복구를 수행하게 된다.

위와 같은 사고 입력 정보에 대한 고장 진단 결과는 다음과 같으며, 다음 그림 4는 고장 진단에 의한 결과를 시뮬레이터 단선도에 나타낸 화면이다.

(고장 진단 결과)

동작시간 : 99.01.05 17:10:26

미니어춰 변전소의 변압기보호 계전기 동작

동작시간 : 99.01.05 17:10:26

미니어춰 변전소의 217 번 차단기 동작

고장가능 기기 1

미니어춰 변전소의 변압기 #1 에서 내부고장 발생

미니어춰 변전소의 219 차단기 부동작

고장발생 가능성 : 0.95

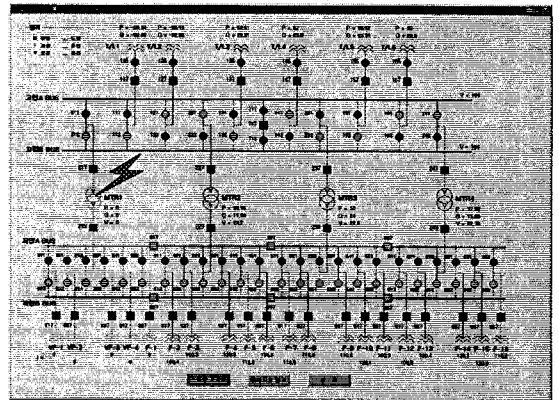


그림 4. 고장 진단 결과에 의한 단선도

3.3 고장 복구

고장복구가 완료되면 복구결과를 화면에 출력한다. 그림 5는 고장진단과 고장복구를 수행하고 진단결과와 복구방안을 화면 오른쪽의 메시지 창을 통해 나타낸 화면이다.

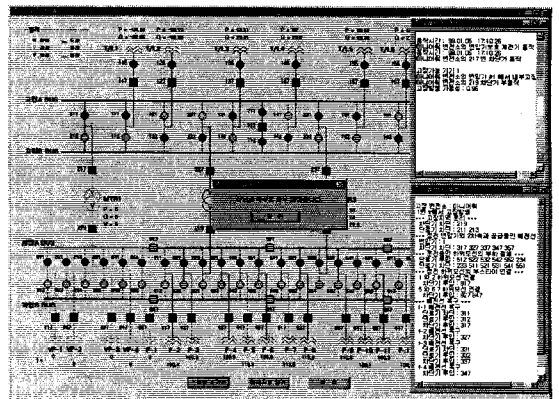


그림 5. 고장진단과 고장복구 후의 화면

위 사고 입력 정보에 대하여 시스템이 제시한 복구제어 방안은 아래와 같으며, 이에 따라 순차적으로 차단기와 단로기를 제어하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 변전소의 지능적 종합 자동화 시스템을 검증하고 시험하기 위하여 변전소 시뮬레이터를 개발하였으며 또한 고장에 대한 진단과 자동복구를 수행할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 그리고, 사용자의 편의를 고려하여 지능형 GUI를 개발하였다. GUI는 Windows NT환경에서 C언어와 Microsoft Visual Basic을 사용하여 구현하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Z. Z. Zhang, G. S. Hope, O. P. Malik, "A Knowledge-base Approach to Optimal Switching in Substation", IEEE Trna. on PWRD, Vol. 5, No. 1, pp. 103-109, 1990.
- [2] K. Shimakura, J. Inagaki, Y. Matsunoki, M. Ito, S. Fukui, S. Hori, "A Knowledge-based Method for Making Restoration Plan of Bulk Power System", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 7, No. 2, pp. 914-920, 1992.
- [3] T. Sakaguchi, K. Matsumoto, "Development of a Knowledge Based System for Power System Restoration", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-102, No. 2, pp. 320-329, 1983.
- [4] A. Doi, K. Uemura, "Knowledge-based Operation Guidance Method for Voltage and Reactive Power Control in Power Systems", IFAC Electric Energy Systems, Brazil, 1985.
- [5] Yukio Kojima, Shigeru Warashina, Masakazu Kato, Hadime Watanabe, "The Development of Power system Restoration Method for a Bulk Power System by Applying Knowledge Engineering Techniques", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 4, No. 3, pp. 1228-1234, 1989.
- [6] Kit Po Wong, Chun Che Fung, "Development of a Knowledge Based System for Circuit Allocation in Sub-transmission Switching Substations", Third Sym. on ESAP, pp. 391-397, 1991.
- [7] Elham B. Makram, Katherine P. Thornton, Homer E. Brown, "Selection of Lines to be Switched to Eliminate Overloaded Lines using a Z-Matrix Method", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 4, No. 2, 1989.
- [8] 이흥재, 박영문, 윤용범, 임찬호, "154kV 무인 변전소 정 복구 전문가 시스템의 개발", 대한전기학회논문지, Vol. 44, No. 10, pp. 1247-1251, 1995.
- [9] Heung-Jae Lee, Young-Moon Park, "A restorati Expert System for Distribution Substations", Trans. on PWRD, Vol. 11, No. 4, pp. 1765-177 10.
- [10] K. P. Brand et al., "Topology-based Interlocking of Electrical Substation", IEEE Trans. on PWRD, Vol. PWRD-1, No. 3, 1986.

〈고장 복구 방안〉
 고장 변전소 : 미니어췌
 1번 tr에서 고장발생
 *** 고장지역 분리 ***
 차단기 차단 : 219
 단로기 차단 : 211 213
 *** 정전 변압기의 2차측과 공급중인 배전선 차단 ***
 변압기 : 1
 차단기 차단 : 317 327 337 347 357
 *** 운전중인 하위모선의 부하 절체 ***
 단로기 투입 : 512 522 532 542 552 234
 단로기 차단 : 233 511 521 531 541 551
 *** 정전 하위모선의 부스타이 연결 ***
 1 와 2 하위모선 연결
 차단기 투입 : 817
 5 와 6 7 하위모선 연결
 차단기 투입 : 827 847
 *** 배전선 복구 ***
 f-1 배전선 복구
 단로기 차단 : 311
 단로기 투입 : 312
 차단기 투입 : 317
 f-2 배전선 복구
 차단기 투입 : 327
 f-3 배전선 복구
 단로기 차단 : 331
 단로기 투입 : 332
 차단기 투입 : 337
 f-4 배전선 복구
 차단기 투입 : 347
 f-5 배전선 복구
 단로기 차단 : 351
 단로기 투입 : 352
 차단기 투입 : 357

고장복구가 완료되면, 주 전문가 시스템은 복구방안에 따라 CB와 LS의 제어신호를 Station Computer에 순차적으로 전송하여 자동적으로 고장복구 조작을 수행토록 하였다. 그림 6은 복구방안에 따라 스위치들을 조작하여 복구가 완료된 후의 화면이다. 1번 변압기의 고장에 의해 정전된 부하들이 2번과 3번 변압기에 의해 정상적으로 공급됨을 알 수 있다.

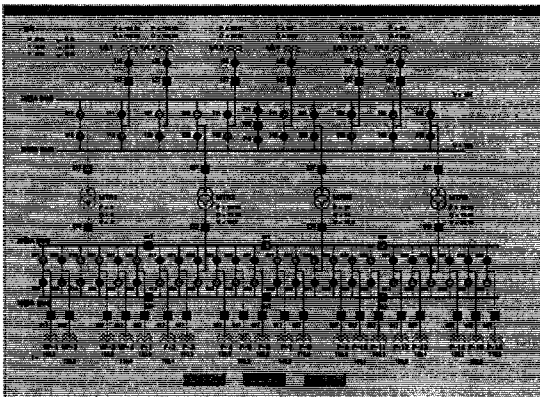


그림 6. 고장 복구 후의 화면