

계통 내 온라인 고장 진단 시스템 개발

서규석·백영식·김정년**
경북대학교·LG전선(주)**

ON-LINE FAULT DIAGNOSIS IN THE LARGE POWER SYSTEM

Gyu-Seok Seo· Young-Sik Baek· Jung-Nyun Kim**
*Kyungpook National University **LG Cable Ltd

Abstract - Recently, power system is getting larger and more complex. When the complex power system has a problem, it is very difficult even for the experts to find out where the problem is and to make a timely decision by operators. There have been many studies on these problems but the results are not good enough for applying to real power system. Therefore power system operators always had to judge the exact state of power system and had to be preparative for the problems that can occur later. We developed new methods that can be applied to complex power system by dividing the system into small modules. By using 'module', we can combine small modules together to make complex power systems and the knowledge base that is applied to fault diagnosis system. As a result, compared to previously developed diagnosis products, operational time has shortened, and the knowledge base becomes simpler and clearer, which made online usage capable. This system can be used as a complementary measure that helps the operator from making any mistakes.

운전자의 실수 및 올바르지 못한 판단으로 인해 적절한 사후 조치를 취하지 못하는 경우도 배제할 수는 없다. 이러한 이유로 사고에 대한 알맞은 사후 조치를 취하지 못하여 그에 대한 과급효과로 전체 계통에 막대한 피해를 주게 된다. 고장 진단 프로그램은 이러한 상황에서 계통 운전자의 판단을 도와 보다 정확하고, 신속하게 고장 원인을 찾아낼 수 있도록 도와준다. 위와 같은 이유로 인해 전력계통에서 고장진단 프로그램은 아주 절실히 필요하다. 이러한 목적으로 개발된 고장 진단 프로그램의 구성을 아래에 제시한다.

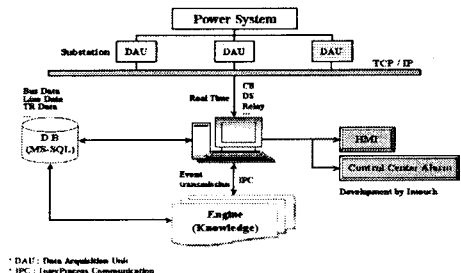


그림 1. 고장진단 시스템의 구성

1. 서론

전력계통의 고장진단은 입력된 계전기와 차단기의 정보로부터 고장이 발생한 위치와 고장종류를 전체 계통에서 판별하는 문제이다. 고장진단은 사고로부터의 계통의 신속한 복구와 정전구역의 확대를 막기 위하여 정확하고 신속하게 이루어져야 한다. 현재까지의 고장진단은 주로 숙련된 전문가의 경험에 의존하여 해결되어 왔으며, 전력계통이 점차 대형화되고 그에 따른 계통 보호 시스템이 복잡해짐에 따라 계통의 고장의 양상은 점점 복잡, 다양화되고 있다. 계통의 보호 기기인 계전기와 차단기가 정동작하는 경우에는 고장의 판단과 고장복구가 비교적 쉬운 일이지만 계전기나 차단기의 오·부동작이 있는 경우에는 정확한 고장진단에 많은 어려움이 있다.

본 논문에서는 효율적인 고장진단 수행을 위하여 해석하고자 하는 계통을 프로그램 상으로 구현하기 위하여 객체 지향 기법(OOP)으로 구현 한다. 그리고 고장 진단을 위한 지식구조는 논리 기반(LBES)으로 구현하였다. 이 두 가지 모두를 구현하기 위해서 개발 툴(Tool)은 Visual C++을 사용하였다.

2. 본론

2.1 고장 진단 시스템의 구성

일반적인 사고일 경우에는 간단한 사후 조치로서 해결을 할 수 있지만, 매우 복잡한 사고일 경우 사고 해석에 대한 시간이 너무 오래 걸려 적절한 사후 조치를 신속히 할 수 없는 경우가 많다. 또한 간단한 사고이지만 계통

고장진단 시스템은 그림 1에서처럼 DBMS (Data Base Management System), DAU (Data Acquisition Unit), HMI(Human-Machine Interface), Inference Engine, FEP(Front-End Processor) 등으로 구성되어진다. DAU는 5초마다 CB(Circuit Breaker), DS(Disconnecting Switch), Ry(Relay)의 상태 정보를 FEP로 TCP/IP를 통해 전달한다. CB, DS, Ry의 상태가 변했을 경우 FEP는 고장진단 시스템의 추론 엔진에 메시지를 전달하여, 고장 진단을 수행 하도록 한다. 그 후 고장 진단 결과는 HMI로 전달되어 운전자가 확인 할 수 있게 된다.

2.2 계통의 구성

먼저 고장 진단을 하기 위해서는 고장 진단을 수행하게 될 대상인 계통을 프로그램 내에 인식을 시켜야 한다. 전력계통의 기본 구성으로 모선, 선로, 변압기, 발전기, 부하와 계통의 변화를 인식시키기 위한 각종 단로기, 차단기 등을 프로그램 상에서 인식 시켜야 한다.

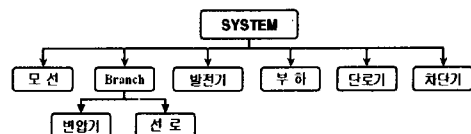


그림 2. 전력계통 구성 요소

그림 2의 구성들은 실제 계통의 연결 구조와 일치하도록 프로그램 상에서 인식 되어야 한다. 또한 객체 서로 간의 필요한 메시지의 전달이 가능하게 하여야 한다. 이를 위해서 이 프로그램에서는 포인터를 이용하여 연결되는 객체 서로 간에 이중 연결구조로서 시스템을 구성하였다. 전력계통 구성요소의 클래스를 이용하여 프로그램 상에서 기본적인 계통을 구성 할 수 있다.

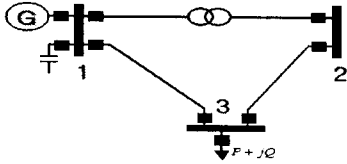


그림 3. 전력계통 구성 요소

그림 3은 3모선으로 이루어진 시스템을 객체화하여 심별로 표현한 것이다. 각 화살표들은 각 클래스 간에 메시지를 주고받으면서 전력계통에서 객체를 추가 또는 삭제할 수도 있다.

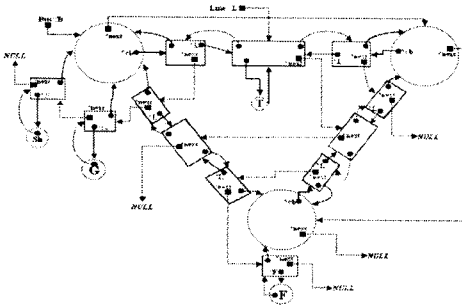


그림 4. 3모선 예제 시스템의 객체화

2.3 고장 진단에서의 모듈의 사용 및 지식의 표현

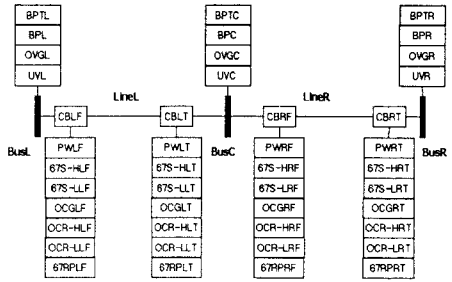
매우 복잡한 계통에서 전체적인 사고 사례를 한번에 찾아내고자 한다면 많은 어려움이 있을 것이고, 또한 오랜 시간을 소비할 것이다. 그리고 차후에 계통이 변화한다면 그에 따라 다시 사고 사례를 찾아야만 한다. 이러한 비합리적인 부분을 개선하고자 계통내의 공통된 부분을 찾았고, 모듈이란 개념을 도입하였다.

표 1. 계통에서의 모듈
(154 : 154kV, 22 : 22kV)

Module 1	BUS - TL - BUS - TL - BUS
Module 2	BUS 154 - TR - BUS 22 - TL - BUS 22
Module 3	BUS 154 - TL - BUS 154 - TR - BUS 22
Module 4	BUS 154 - TR - BUS 22 - Feeder
Module 5	BUS - TL - BUS - Feeder
Module 6	BUS - TL - BUS - ST - BUS
Module 7	BUS 154 - TR - BUS 22 - ST - BUS 22
Module 8	BUS - ST - BUS - Feeder
Module 9	Gen - TR - BUS - TL - BUS
Module 10	Gen - TR - BUS - ST - BUS
Module 11	Gen - TR - BUS - TR - BUS
Module 12	BUS - ST - BUS - ST - BUS

표 1에서 제시한 각각의 모듈을 사용하여 분석해 본 결과 해석하고자 하는 대부분의 계통이 제시한 모듈로 대체 가능하다는 것을 알게 되었다.

그림 5는 표 1에서 보여준 모듈 1에 대해 구체적인 구조를 보여준다.



Symbol	Description	Symbol	Description
L	Left	BP (T)	Bus Protection (Total) Ry
C	Center	CB	Circuit Breaker
R	Right	PW	Pilot Wire Relay
F	From	67S	H Directional OCR(High)
T	To		L Directional OCR (Low)
UV	Under Voltage Ry	OCG	Over Current Ground Ry
67RP	Reverse Power Ry	OCR	H Over Current Ry(High)
OVG	Over Voltage Ground		L Over Current Ry(Low)

그림 5. 모듈 1의 구조 및 설명

그림 5와 같은 12개의 모듈에 대하여 발생할 가능성이 있는 사고 케이스를 논리적으로 구현하고, 이를 그림 6의 지식 입력기로서 지식베이스를 구성하였다.

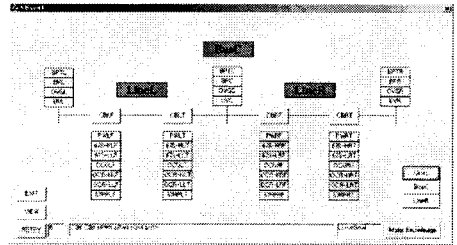


그림 6. 모듈 1의 구조 및 설명

2.4 고장 진단 추론 방법

일반적인 경우에는 실제 계통에서 동작한 계전기, 차단기와 지식베이스에 입력되어 있는 사고 케이스를 비교하여 일치한다면 해당 지식을 결과로서 제시하게 된다.

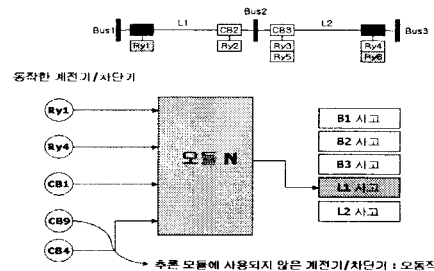


그림 7 오동작 계전기의 판별

하지만 오동작, 부동작 계기를 포함한 경우에는 좀 더 복잡한 추론 과정을 거치게 된다.

그림 7은 상단에 예로 제시된 모듈에서 동작한 차단기, 계전기들의 정보에다가 오동작 차단기(CB9)를 하나 더 입력으로 주어 L1이라는 결과를 얻어내는 과정을 보였다. 이때 추론에서 사용되지 않은 CB9가 오동작 계기가 됨을 알 수 있다

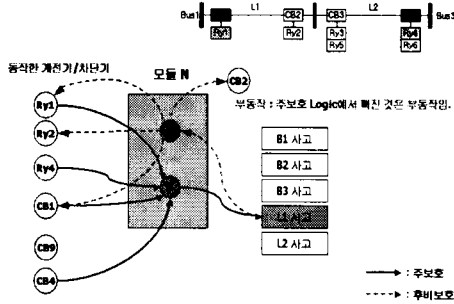


그림 8. 부동작 계전기의 판별

그림 8도 앞서서 설명한 오동작 계전기 판별 방식과 유사하다. 일단 동작한 계기의 정보들을 이용해서 판단해보면 L1설비의 고장으로 인해 후비보호가 동작했음을 알 수 있다. 하지만 후비보호로 동작했다는 의미는 어떠한 특정 계기가 제대로 동작하지 못해서 주보호가 되지 못했다는 것이다. 따라서 후비보호로 판단하게 된 계기를 다시 주보호 지식에 포함된 계기들과 비교하였을 때 없는 계기가 바로 부동작 계기가 된다.

2.5 고장 진단 시뮬레이션

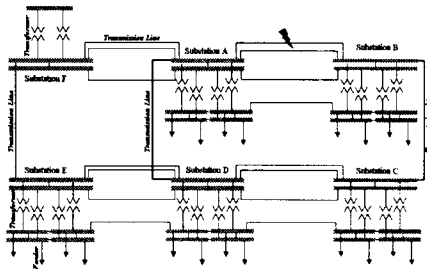


그림 9. 계통에서의 사고

실제 계통에서의 사고를 그림 9에서와 같이 가정하였다. A, B변전소를 잇는 라인의 단락 사고로서 모선의 UV가 동작하고, 해당 라인의 PW가 동작하여 양단의 차단기가 동작하였다고 보고, 아래 HMI의 입력창에 입력하여 올바른 결과를 얻어 낼 수 있었다.

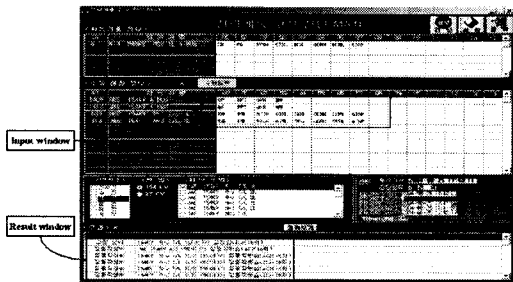


그림 10. 시뮬레이션 결과

3. 결 론

이상과 같이 고장진단 프로그램의 개발에 있어서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 객체 지향 기법(OOP)을 사용하여 계통 구성을 하였다. 객체들과 연결된 포인터로서 객체들 간의 메시지 전달을 가능하게 하였고, 시스템이 구성되어졌다. 이로서 얻을 수 있는 장점은 차후 변화하는 계통에 대해서 이러한 연결 구조를 바꾸어주는 간단한 작업만으로도 대처할 수 있으며, 계통 구성도 신속히 할 수 있다.
2. 각각의 공통된 구역에 해당하는 모듈별 지식베이스만 구성해주면 전체 계통의 일괄적인 사고사례를 모두 찾아 낼 필요 없이 대체할 수 있기 때문에, 구성 시간상의 부담을 현저하게 감소시킬 수 있었다.
3. 모듈을 사용하지 않은 경우, 계통의 구성이 달라졌다면 계통 전체에 대한 지식베이스를 모두 다시 따져봐야 하는 매우 큰 작업을 반드시 수반하게 된다. 하지만 모듈을 사용하게 됨으로서 변경된 구간에 해당하는 모듈의 추가/수정만으로 대처가능 하다는 개선점이 있었다.
4. 어떤 상황에서든지 계통 운영자는 고장진단 프로그램의 도움을 받아 보다 객관적인 사고 판단을 하게 될 것이고, 이로 인해 더욱 신뢰성 있고 안정적인 계통 운영을 하게 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Chihiro Fukui, Junzo Kawakami, "An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 1, No. 4, pp. 83-90, October 1986.
- [2] Hong-Tzer Yang, Wen-Yeou Chang, Ching-Lien Huang, "On-Line Fault Diagnosis of Power Substation Using Connectionist Expert System", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 10, No. 1, pp. 323-331, February 1995
- [3] Young Moon Park, Gwang-Won Kim, Jin-Man Sohn, "A Logic Based Expert System (LBES) for Fault Diagnosis of Power System", *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 12, No. 1, pp. 363-369, February 1997.
- [4] 박영문, 이홍재, "전력계통의 고장진단 전문가 시스템에 관한 연구", *대한전기학회 논문지* 39권, No. 10, pp. 1021-1028, October 1990.
- [5] Yasuji Sekine, Yoshiakira Akimoto, Masahiko Kunugi, Chihiro Fukui, Shinta Fukui, "Fault Diagnosis of Power Systems", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 80, No. 5, May 1992.
- [6] Mike Foley, Anjan Bose, "Object-Oriented On-Line Network Analysis", *IEEE Trans on PWRD*, Vol. 10, No. 1, pp. 125-132, February 1995.
- [7] George F.Luger, William A. Stubblefield, "Artificial Intelligence and the Design of Expert System", The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 1989.
- [8] Patrick Henry Winston, "Artificial Intelligence", Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [9] Charles A.Gross, "Power System Analysis", John Wiley & Sons, 1986.
- [10] Bjarne Stroustrup, "The C++ Programming Language", Addison-Wesley Publishing Company, 1991.