

객체지향기법의 전력계통시스템에의 적용

박지호*, 김정년**, 신정훈***, 이재용\$, 백영식*
 *경북대 전자전기공학부, **LG전선, ***한전전력연구원, \$영남이공대학

Application of Object-oriented Language to Power Systems

J.H. Park*, J. N. Kim**, J.H. Shin***, J.Y. Lee\$, Y.S. Baek*
 *Kyungpook National University, **LG Cable, ***KEPRI, \$Yeungnam Junior College

Abstract - In this paper, we developed object-oriented analysis method for electric power system. It was applied to fault diagnosis, power system stability analysis and service restoration system in emergency state. Object-oriented programming(OOP) is a more flexible method than procedural programming. We proposed flexible modeling method for power system analysis.

1. 서 론

전력계통은 시스템이 복잡하고 거대하기 때문에 그 해석에 관련된 패키지들은 방대하고 복잡하다. 기존의 절차식 프로그래밍 방식으로 복잡한 시스템을 해석하는데는 많은 어려움이 있고, 소프트웨어의 유지 및 보수에 많은 시간과 비용이 소모된다. 이에 비해 객체지향 프로그래밍(OOP) 방식은 소프트웨어의 유지보수가 쉽고, 유연한 방법이다. 본 논문에서는 OOP를 전력계통해석 분야에 적용하였다.

첫 번째로 계통의 고장진단분야에 적용하였다. 고장진단은 전문가 시스템을 사용하였으며, 본 연구에서는 논리회로의 소프트웨어화에 관한 C++ 프로그램을 개발하여 고장진단을 적용하였다. 두 번째로 계통의 안정도 해석에 적용하였다. 본 연구에서는 안정도 해석을 위해 디지털컴퓨터에서 아날로그컴퓨터 소자의 객체화하여 이것을 안정도 해석에 적용하였다. 이 결과 비선형 계통의 취급의 편리함과 발전 계통의 객체화를 통한 이용의 편리성을 확인하였다. 다음으로 배전계통의 긴급상태 정전복구시스템에 적용하였다. 본 연구에서는 배전계통을 객체구조로 나타내어 복잡한 계통을 쉽게 다룰 수 있는 방법을 개발하였다. 이것을 정전복구 시스템에 적용한 결과 빠른 시간 내에 복구가 가능하였다. 이 방법으로 복잡한 배전계통을 효과적으로 해석할 수 있다. 이와 같이 OOP를 이용하여 논리회로의 디지털화, 아날로그컴퓨터의 디지털화 및 계통의 객체구조화를 개발하였으며, 이것들을 고장진단 전문가시스템, 안정도 해석 및 배전계통 긴급복구 시스템 등에 적용하여, 이용의 편리성 및 실시간 적용에 대한 검증은 하였다. 본 개발과정을 통하여 앞으로 복잡한 전력계통의 해석분야에 OOP의 응용이 확산될 것으로 전망된다.

2 객체지향 기법을 이용한 전문가 시스템

2.1 객체기반 전문가 시스템

객체기반 전문가시스템은 규칙기반 전문가시스템이나 논리기반 시스템에서 지식을 데이터베이스내에 저장하였다가, 필요한 때에 추론에 의해 불러서 사용하던 개념과는 달리 지식자체를 구조화시키고 지식들간의 관계기술은 객체의 연결로써 표현하는 시스템이다. 이러한 객체는 현실세계의 개념에 대응하도록 자연스럽게 정의할 수 있을 뿐 아니라 객체 내에 추론메소드를 정의할 수 있다. 그리고 객체상호간의 메시지 전달로서 추론을 행한다. 객체를 기반으로해서 전문가 시스템을 구성하기 위해 지식의 표현은 지식을 'IF

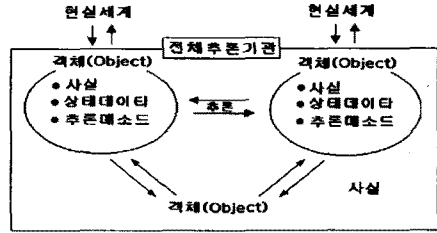


그림 1 객체지향 전문가시스템의 기본구조

(사실) THEN (결론),의 형태로 표현된다. 여기서 지식은 조건부가 되는 사실과 결론부가 되는 사실은 객체로 구성하며, 지식은 이들 객체들 사이의 연결에 의해서 표현된다. 다음과 같은 지식을 예로 들어보자

전문가 지식: ① AB→D ② B+C→D
 위의 전문가지식①을 표현하는데는 객체 A, B, D가 필요하며 객체A와 객체B는 AND로 연결한 후 AND객체와 객체D를 연결리스트에 의해서 연결되면 지식①이 완성되고 그림 2(a)과 같게 된다.

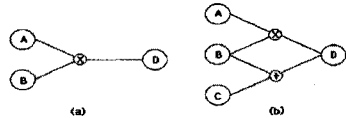


그림 2 지식베이스의 구성

다음으로 전문가 지식②가 입력되면 객체C가 생성되며 나머지 객체들과 연결하여 그림2(b)과 같게 되고, 최종적으로 사실과 규칙이 모두 포함된 전문가 시스템이 된다.

2.2 고장진단에의 응용

계통의 사고구간 판정은 계전기의 동작정보로써 추론을 한다. 본 논문에서는 추론의 단위를 각각의 선로를 중심으로 선로 양쪽 모선과 양쪽모선에 연결된 선로들로 추론단위를 축소시킨다.

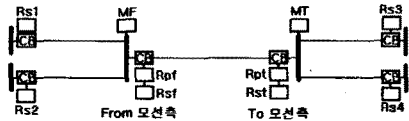


그림 3 추론모듈의 구성

그림3과 같이 추론모듈을 정했을 경우 계전기와 사고의 형태를 전술한 Fact객체에 대응시키고 추론모듈을 구성할 경우 발생할 수 있는 사고는 아래와 같이 구분할 수 있다.

<고장의 형태>
 L : 선로 고장, B_F : From모선 고장, B_T : To모선 고장
 <전문가의 지식>
 지식1) R_{pR_{st}} → L 지식2) R_{s1}R_{s2}R_{s3}R_{s4} → L

- 지식3) $R_{pf}(R_{s3}R_{s4}) \rightarrow L$ 지식4) $R_{pt}(R_{s1}R_{s2}) \rightarrow L$
- 지식5) $R_{fs}(R_{s3}R_{s4}) \rightarrow B_T$ 지식6) $R_{fs}(R_{s1}R_{s2}) \rightarrow B_F$
- 지식7) $M_T \rightarrow B_T$ 지식8) $M_F \rightarrow B_F$

제시한 객체지향전문가 시스템을 IEEE 14모선 20선로의 모델계통에 적용시켜 보았다. 다음과 같이 계전기의 동작 정보를 받아서 추론기관은 추론을 행하며 결과를 도출해 낸다.

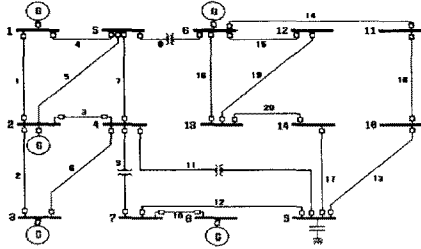


그림 4 예제시스템(IEEE14)

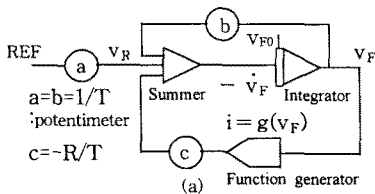
사례=>동작한 계전기 정보: $R_{sf}16, R_{sf}19, R_{s3}20, R_{pt}18, R_{sf}13$
 전문가시스템 : Fault occurred at Bus 13 and at Line 18
 설명 : 다중 사고의 경우로 사례4의 경우예다 선로 18번도 사고가 일어난 경우이다.
 선로 18의 고장으로 인하여 $R_{pt}18$ 이 동작하고 $R_{pf}18$ 의 부동작으로 인하여 후비보호를 담당하고 있는 $R_{sf}13$ 이 동작한 경우이다.

3. 전력계통 안정도해석

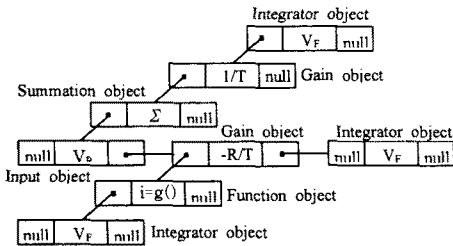
3.1 OOP를 사용한 동적 시스템 모델링

동적시스템을 모델링하는 미분 방정식을 풀기위하여 미리 만들어진 기본소자들을 상호 연결하는 방식을 채택한다. OOP을 적용하면, 아날로그 컴퓨터의 기본소자를 디지털 컴퓨터에서는 C++의 class 키워드를 사용하여 구현할 수 있다. 이들 기본객체들을 시스템의 모델에 맞게 이진트리로서 연결을 하면 시스템이 모델링된다. 식(1)의 아날로그 컴퓨터 구성방식과 객체로 구현한 것이 그림5이다

$$\dot{v}_F = (v_F + v_R - R_i) / T \quad (1)$$



(a) Function generator



(b)

그림 5 (a) 식 (1)의 아날로그 컴퓨터 구성
 (b) 기본 객체요소의 이진트리 구성

3.2 전력계통 안정도 해석에의 적용

발전기를 모델링하는 미분방정식을 그림 5(b)와 같이 객체로 표현할 수 있고, 수치적분알고리즘을 적용하면 미분방정

식의 해를 구할 수 있다. 그림6은 발전기 안정도 해석을 위한 객체지향적 모델링 단계를 나타낸 것이다.

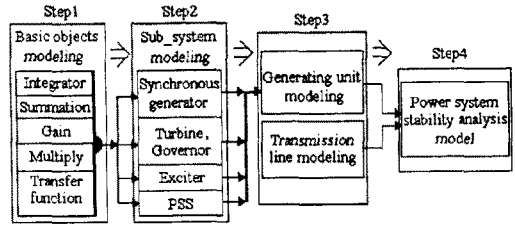


그림 6 객체지향기법을 사용한 전력계통 안정도 모델링 단계

선로를 스파스 행렬을 사용한 Ybus를 사용하여 발전기 객체와 연결하면 그림6의 시스템을 모델링 할 수 있다. 그림 8은 고장점 F1에서 3상지락사고시 발전기회전자각과 발전기 단자전압의 변위이고 고장제거시간은 0.1초이다.

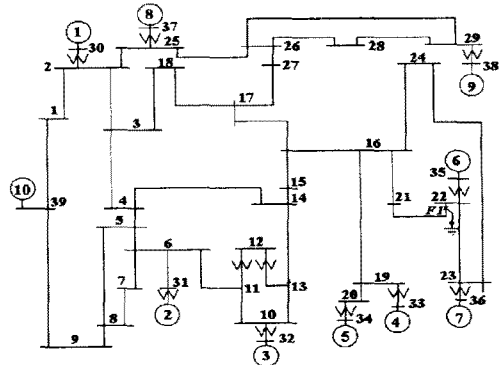
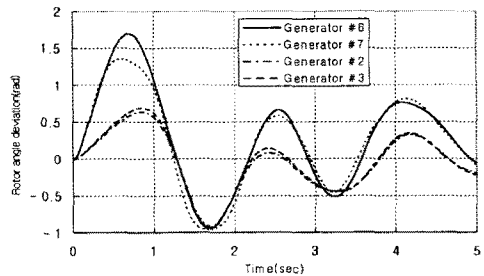
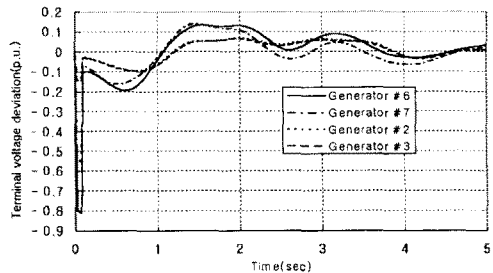


그림 7 New England 시험시스템의 단선도



(a)



(b)

그림 8 고장점이 F1일때의 과도 안정도 시뮬레이션

4. 긴급상태 정전복구 시스템

4.1 배전계통의 객체구조적 표현

배전계통의 구조는 상당히 복잡하고 이를 나타내고 표현하는데는 많은 어려움이 따르며 프로그램으로 나타내기가 쉽지 않다. 그림9는 선로들의 리스트를 가리키기 위한 리스트객체이다. 일반적으로 노드(분기점)에 연결된 배전선로의 개수는 알 수 없으므로 이들을 통해 필요시마다 동적으로 연결하기 위한 구조이다. 그림 10은 배전선로로 객체화한 것이고 배전계통은 그림 11과 같이 표현된다.

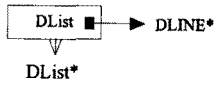


그림 9 리스트 객체

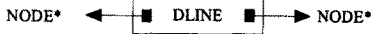


그림 10 DLINE Object

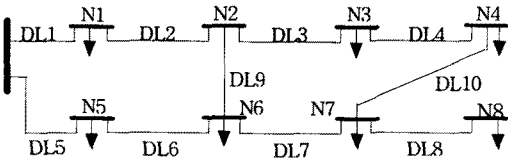


그림 11 배전계통 예

4.2 정전복구 알고리즘

정전복구 알고리즘은 다음과 같은 단계를 거친다. 우선 정전된 영역이 판별되고, 정전구역내의 선로 스위치를 전부 OFF시킨다. 정전부하와 연결할 수 있는 Tie선로를 탐색하고 이 선로에 대한 여유 용량을 계산한다. 이때 여유용량이 가장 크게 나타나는 선로를 선택해서 정전부하를 순차적으로 복구해 나간다.

4.3 모의결과 및 검증

다음과 같은 배전계통에 위의 알고리즘을 예제과 같은 예제 시스템에 적용하였다.

표 1. 피더의 입력데이터

이름	용량	초기 공급량
1	53	42
2	55	44
3	44	34

표 2 노드(부하점)의 입력 데이터

이름	부하	이름	부하
4	2	20	5
5	5	21	4
6	5	22	5
7	6	23	5
8	10	24	5
9	8	25	6
10	6	26	4
11	5		
12	5		
13	3		
14	10		
15	5		
16	4		
17	4		
18	4		
19	4		

표 3 배전선로의 입력 데이터

이름	연결			이름	연결			용량	조류	상태
	시작	종료	노드		시작	종료	노드			
1	4	5	10	2	1	17	17	9	0	0
2	1	5	22	12	1	18	16	17	15	4
3	5	6	15	5	1	19	2	16	22	17
4	6	12	11	0	0	20	1	10	13	6
5	11	12	15	5	1	21	20	21	25	9
6	2	11	23	10	1	22	17	23	10	0
7	1	7	30	24	1	23	16	19	15	9
8	7	8	20	10	1	24	23	26	11	5
9	8	15	10	0	0	25	19	24	11	5
10	15	14	20	0	0	26	10	22	11	0
11	13	14	23	10	0	27	20	22	17	5
12	2	13	25	17	1	28	25	26	17	6
13	7	9	13	8	1	29	24	25	11	0
14	15	21	20	8	1	30	3	20	33	0
15	13	18	13	5	1	31	3	26	30	19
16	9	21	15	4	1					15

배전선로 L30(연결노드:3-20)에서 사고가 발생했다고 가

정했을 때 복구과정은 표4와 같다

표 4. 긴급복구 수행과정

ST EP	여유용량			ST EP	여유용량				
	선로	여유용량	복구할부하		선로	여유용량	복구할부하		
1 단계	여유용량계산	26 16 10 9	6.9702 4.92572 8 6	부하22 5[kW] 부하21 4[kW] 부하15 5[kW] 부하15 5[kW]	3 단계	여유용량계산	2 4.9257 2 3	부하20 5[kW] 부하21 4[kW] 부하21 4[kW]	
	복구조치	배전선로10이 선택됨 부하노드15의 5[kW]가 복구				배전선로16이 선택됨 부하노드21의 4[kW]가 복구			
	여유용량계산	26 16 14	6.9702 4.92572 3	부하22 5[kW] 부하21 4[kW] 부하21 4[kW]		4 단계	여유용량계산	2 1	부하20 5[kW] 부하20 5[kW]
	복구조치	배전선로26가(이) 선택됨 부하노드22의 5[kW]가 복구					여유용량이 부족함 부하20(5kW)차단		

5. 결론

전력계통분야의 전문가시스템, 발전기안정도 해석 그리고 긴급상태 정전복구시스템에 객체지향기법을 적용한 결과 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 기존의 데이터베이스 및 추론에 의한 전문가시스템과는 다른 방법의 전문가시스템을 구현하였다. 본 연구에서 개발한 전문가 시스템은 데이터베이스 및 규칙이 함께 공존하는 시스템, 즉 실제 하드웨어 시스템의 구조를 가진 소프트웨어를 시뮬레이션하였다. 이 방법은 기존의 전문가 시스템에서 문제가 되어왔던 추론시간을 제거하였으며, 실제 제작이 힘든 관계로 사용이 불편하였던 하드웨어의 구성을 소프트웨어로 처리함으로써 기존의 문제점들을 해결할 수 있는 방안을 제시하였다.

둘째, 전력계통의 발전기 안정도 해석에 OOP를 적용하여 많은 동적 시스템이 상호 결합되어있는 전력계통시스템을 보다 유연하게 시뮬레이션할 수 있었다. 특히 다수기 시스템에 적용시 OOP의 유연성을 살릴 수 있다.

셋째, 시스템의 표현에 있어서 배전계통의 각각의 요소를 독립적으로 모델링하고 연결함으로써 배전계통의 표현과 그 구성의 용이함을 장점으로 들 수가 있고 또한 잦은 스위칭 작용에 따른 구성의 변경이 용이하므로 빠른 시간내에 시스템변경이 가능하다.

(참고 문헌)

- [1] 김진년, 백영식, "객체지향기법을 이용한 전문가 시스템", 대한전기학회 논문지 47권, pp1527-1531
- [2] J.H. Park and Y.S. Baek, "The Power System Stability Analysis Method Using Object-Oriented Programming" The International Conference on Electrical Engineering(ICEE '98), Kyungju, Korea, July, 1998. Vol. 2. pp. 285-288
- [3] Jung-Nyun Kim and Young-Sik Baek, "Real-Time Reconfiguration of Distribution System Using Object-Based Structure", The International Conference on Electrical Engineering(ICEE '98), Kyungju, Korea, July, 1998. Vol. 1 pp. 241-244
- [4] 김광원, "A study on the Logic Based Expert System Using Inference Look-Up Table," 전기학회 논문지 44권 1995, 3, pp389-396
- [5] P.M. Anderson and A.A. Fouad, *Power System Control and Stability*, Iowa State University Press, 1977. pp. 327-333