

송전 계통 보호 협조 전문가 시스템의 개발

이승재 박영문 심정욱 윤상헌 윤만철 이상욱
 명지 대학교 서울대학교 프로컴 시스템 한전 기술연구원

Development of Expert System for Protection Coordination of Transmission Systems

Seung Jae Lee Young Moon Park Joung Wook Shim Sang Hyun Yoon Man Chul Yoon Sang Ok Lee
 Myong Ji Univ. Seoul National Univ. Procom Systems KEPCO Research Center

ABSTRACT

This paper reports an expert system for coordination of protective relays in the high voltage transmission systems. The proposed system consists of five modules and has adopted the frame and production rule representations achieving the efficient data storage and knowledgebases. It has an interface to the fault program PSS/E and has reduced the data retrieval time by implementing the local database containing only the minimum information for the process. Different relay parameters and output formats of the setting results can be easily incorporated owing to the rule-based structure. Graphics-based output helps understanding of the process and enhances the practical power.

I 서론

전력계통에 있어서 보호 계전기는 과전류를 감지하여 차단기를 트립 시킴으로써 고장구간을 계통으로 분리시키는 기능을 갖고 있으며 이러한 보호계전기의 적절한 정정 및 상호간의 협조는 계통의 안정도 및 신뢰도 측면에서 매우 중요한 요소이다. 그러나 계전기의 정정 협조는 계전기 기술자의 숙달된 경험과 지식에 의거하여 수작업으로 행하여지며 또한 많은 양의 자료를 다루므로 매우 지루하고 시간이 많이 소비될 뿐 아니라 실수가 유발되기 쉽다. 따라서 이러한 작업의 전산화가 매우 절실히 요구된다.

본 논문은 154 KV 및 345 KV 초고압 송전계통의 선로와 변압기 보호 배전반의 정정을 실행하는 보호 협조 전문가 시스템인 PROSET (Protective relay SETting and coordination expert system)에 대한 설명을 다루고 있다. PROSET은 Frame-Based Expert System 으로서 PROLOG 언어로 개발되었으며 각각 독립 실행이 가능한 5개의 모듈 - 입력, 정정, 평가, 교정, 출력 - 로 구성되어 있다. 지식 표현으로 Production Rule과 Frame이 사용되었으며 실제 현재 사용되는 정정지식들을 담고 있으며 전수행과정이 현행 방식과 거의 일치하도록 하였다. 또한 중간 과정 보고서 및 다양한 그래픽스 화면을 이용하여 그 출력을 이해하기 쉽게 되어있다. PROSET 은 현재 PC/AT 또는 PC/386 에서 실행이 가능하다.

II. 보호협조 프로그램 PROSET

PROSET은 그림 1에서 보이는 바와 같이 5개의 모듈과 데이터베이스(LDB)로 구성되어 있으며 외부의 고장계산

프로그램인 PSS/E 와 데이터베이스(GDB)와 연결이 되어 있다. PSS/E 는 미국 PTC 회사에서 개발한 고장 계산 프로그램으로서 IBM Main Frame Computer 에서 실행되며 그 결과 즉, 고장 전류데이터 파일은 전송망을 통하여 PC로 이송되어 GDB (Global DB)에 저장된다. GDB는 총체적 데이터베이스로서 전 계통 자료, 전 배전반 자료 및 각종 계전기에 대한 정보를 저장한 곳이다.

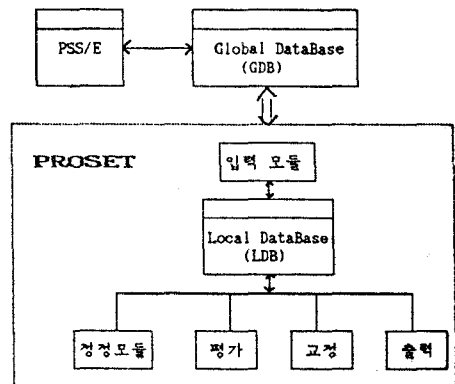


그림 1 PROSET 기본 구조 (Basic Structure)

1. 데이터 베이스 LDB (Local DataBase)

LDB 는 정정에 필요한 모든 데이터 - 계전기, 배전반, 선로, 고장전류 - 를 저장한 곳으로 강력한 구조적 표현 및 성질 계승 (Property Inheritance)을 제공하는 프레임(frame)표현법을 사용하였다. 프레임 표현법에서는 프레임내에 프레임을 갖는 다중 구조가 가능하며 이는 2개 이상의 unit로 구성된 계전기의 표현에 매우 적합하다. 다음은 2 개의 unit를 갖는 거리계전기 CEB52A1D 에 대한 PROLOG 로 표현된 프레임 예를 보여준다.

```

frame("relay", [slot("name", str("CEB52A1D")),
                slot("type", str("CEB52A")),
                slot("maker", str("GE")),
                slot("class", str("DZR")),
                slot("units", frames([
                    frame("unit", [slot("name", str("forward")),
                                    slot("basic_tap", real_(2)),
                                    slot("range", reals([1,30])),
                                    slot("max_angle", real_(75))]),
                    frame("unit", [slot("name", str("backward")),
                                    slot("basic_tap", real_(3)),
                                ])]))
    
```

```
slot("off_set",real_(0.5)),
slot("range",reals([0,0.6])),
slot("max angle",real_(255)))))))))
```

2. 입력 모듈 (Input Module)

입력모듈은 그림 2와 같이 정정에 필요한 데이터만을 저장한 LDB를 GDB 또는 사용자로부터 생성하는 기능을 갖는다. 따라서 정정 실행시에 요구되는 데이터를 GDB 대신 LDB로부터 추출하게하여 데이터 탐색시간을 줄일 수 있도록 하였다.

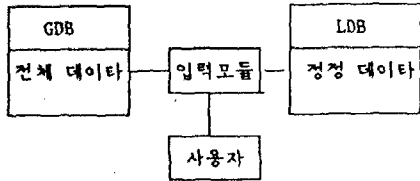


그림 2 입력 모듈의 기능

3. 정정 모듈 (Setting Module)

정정 지침서 및 계전기기술자의 지식에 따른 1차 정정을 행하는 부분으로서 그림 3과 같은 구성을 갖으며 각 부분의 설명은 다음과 같다.

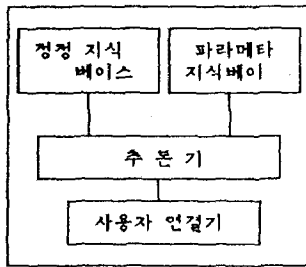


그림 3 정정 모듈 구조

3.1 정정 지식 베이스 (Setting Knowledge)

정정 지침서에 나와 있는 정정 규칙과 계전기기술자들의 경험적 지식으로 구성되어 있으며 이들은 다음에 보이는 형태의 IF-THEN production rule 표현법을 사용하였다.

```
rule(Ref, condition([C1,...Cn]),conclusions(A)).
```

여기서 Ref는 rule reference 번호를 나타내고, 조건부의 C1 는 계전기의 기능과 종류등에 관한 판단을 포함하며, 결론부의 A는 정정 방법을 나타낸다. 조건부나 결론부 모두 순수한 문자 정보를 나타내며, 한 예로 실제 지식베이스에 들어 있는 C/R Trip 검용 Zone 3 단락거리계 전기의 정정지식을 살펴보면 다음과 같다.

```
rule(6, condition(["it is a DZR",
                  "it is for PhaseZone3&CRtrip"]))
conclusion("set at smaller of primary line
plus 125% forward longest times
Kapp and load ability impedance"))
```

현재 정정 지식베이스에는 154 KV 및 345 KV 선로 보호, 345 KV Auto Transformer 보호 배전반 정정에 필요한 지식이 저장되어 있다.

3.2 파라미터 선정 지식 베이스

계전기의 실제 정정에 있어서는 그 제작회사 별 또는 타입별로 요구되는 파라미터가 서로 상이하고 또한 이들의 계산 방법이 일정하지가 않으므로 이에대한 지식이 필요하다. 파라미터 선정 지식베이스는 정정규칙의 실행에 의하여 선정된 정정 임피던스 또는 전류치를 각 계전기가 요구하는 파라미터로 변환하는 지식을 담고 있다. 이들 지식은 정정지식과 비하여는 그 표현의 명료성이나 설명성등이 높게 요구되지 않고 계산적인 기능이 강하므로 이들의 표현은 PROLOG 자체의 규칙표현을 이용하여 구현하였으며 그 예는 다음과 같다.

```
parameter_rule(Zsetting,S_parameter,T_parameter,
               M_parameter):-
/*if*/ relay_maker_is("WH"),
      relay_name_is("KDA"),
/*Then*/ lowest_S_over_Zs(Zsetting,S_parameter),
          closest_T_to_Zs_over_S(Zsetting,S_parameter,
                                T_parameter),
          closest_M(Zsetting,T_parameter,S_parameter,
                   M_parameter).
```

3.3 추론기 (Inference Engine)

정정지식 선택에 있어서 채택된 추론법은 전방향 추론(forward chaling)이며 한 계전기의 정정에 적용할 수 있는 규칙은 한 개 이상인 경우가 있으므로 적절한 Conflict Resolution 대책이 요구된다. 본 연구에서는 Specificity Ordering을 적용 - 즉 만족되는 조건의 수가 많은 규칙을 선택 - 하는 추론법을 응용하였다. 파라미터 선정 지식의 선택은 PROLOG 가 제공하는 Backtracking 및 Pattern Matching에 근거한 추론기능을 이용하였다. 전반적인 정정작업상의 추론 방법은 그림 4에 보이는 바와 같이 working frame 내의 각 slot을 채워나가는 Frame-Based Reasoning 을 이용하였다 [1].

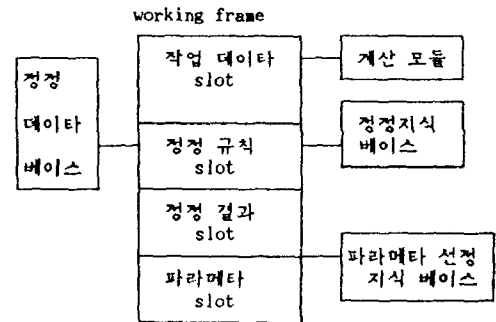


그림 4 Frame-Based Reasoning

정정 작업의 수행은 주어진 배전반에 대하여 정정 대상 계전기를 선택하여 그에 알맞는 정정지식을 선정 실행하여 이에 따른 적절한 파라미터를 결정하는 과정의 반복으로 이루어진다. 다음은 실 계통에 정정모듈을 적용시켜 얻은 결과및 계산 중간과정보고서의 일부이다.

```
*****
>> BDJ#2 PANEL <<
*
* REMOTE PANEL : SOC#1
* CT = { 800, 5 } PT = {154000, 110}
*****

** RELAY TYPE : CXS1DTU1IQ
** FUNCTION : impedance relay for phase fault

unit   % tap  basic.tap  1st iap  2ry iap  timer  max_ang
D1     22.00  0.50      10.46   2.24     0.00   90.0
D2     14.00  0.50      16.50   3.54     0.33   90.0
SU     37.00  2.00      24.91   5.34     1.87   60.0
```

```

** RELAY TYPE : CYS2DEPG2
** FUNCTION : OutOfStepBlocking

```

unit	% tap	basic_tap	1st imp	2ry imp	timer	max_ang
forward	41.00	3.00	34.24	7.34		60.0
backward	40.00	3.00		2.00		240.0

>> Relay : CXSIDTU11Q <<
Unit : SU

* USED RULE :
IF it is for PhaseZone3kCrtrip
and it is a DZR
THEN set at smaller of primary plus
125% forward longest times Kapp and
load ability impedance

* STEP REPORT
Load ability impedance :
38.19 = 154000 * 0.95 / (1.732 * 1670.0 * 1.5 * cos((60.0 - 32) / 180 * 3.141592))
Apparent Factor(Kapp) = 1
forward longest line is L1#1 between 3310 and 3140
forward longest impedance = 1.05 * j8.38 and Kapp=1.00
Line impedance plus 125% forward longest times Kapp :
Real : 2.90 = 1.59 * (1.25 * 1.05 * 1)
Imaginary : 22.79 = 12.31 * (1.25 * 8.38 * 1)
Transform to polar form => Magnitude = 22.97 Angle = 82.7
Relay impedance : 24.91 = 22.97 / cos(82.74 - 60.00) * 3.141592 / 180

4. 평가 모듈

정정모듈에 사용된 경험적인 정정규칙은 실제계통상에서 요구되는 모든 협조 조건을 완전히 만족시킬수는 없으므로 1차 정정후 이러한 협조상의 문제에 대한 파악이 필요하게 된다. 평가 모듈에서는 다음과 같은 협조 조건에 대한 평가를 실행한다.

1) zone-2, zone-3 협조

거리 계전 방식에 있어서의 주보호 계전기 및 후비 보호 계전기간에는 다음과 같은 협조 조건을 만족시켜야 한다.

zone-2 협조 : 후비 보호 zone-2 < 주 보호 zone-1

zone-3 협조 : 후비 보호 zone-3 < 주 보호 zone-2

이와같은 거리계전기 협조는 계전기 타입에 따른 진단들에 의하여 그 상태를 판단하여 결과를 임피던스도와 보호범위도 [2]를 통하여 제시한다. 다음은 진단들의 예 [3]를 보인다.

R1 : 후비 보호의 zone-2 요소가 reactance 형이고,
주 보호의 zone-1 요소가 who 형이면
협조 조건은

$$Z_p(2) > |Z_p(2)| \sin - 2X_{line} - 2X_b(1)$$

R2 : 후비 보호의 zone-2 요소가 who 형이고,
주 보호의 zone-1 요소가 who 형이면
협조 조건은

$$|Z_p(1) - Z_b(2)| < 2d < |Z_p(1) + Z_b(2)|$$

2) SI-SO 거리 협조

방향비교 전승계전방식에 있어서 외부방향 고장검출 계전기(SO)는 내부 방향 계전기(SI)보다 충분히 긴 동작 범위를 갖어야 한다. 이와같은 거리 협조는 SI-SO 간의 동작범위비 R (= SI/SO) 를 정의하여 R > 1.4 이면 안전, 1.2 < R < 1.4 이면 요주의, R < 1.2 이면 위험으로 판단한다.

3) 67GH - zone 3 협조

변압기 보호용 지락 과전류 계전기(67GH) 와 선로 보호용 거리 계전기의 zone 3 는 그림 5에 보이는 바와 같이 정정이 될 수 있으며 이 경우 고장 F에 대하여 후비 보호로서 Ry-1의 zone-3 보다 Ry-2의 67GH (DOCR) 가 먼저 동작할 수가 있다. 이러한 비협조 판정은 다음과 같은 규칙에 의하여 실행된다

협조조건: 2단 진단 최대 3상고장시 67GH 동작시간 > 110 cycles

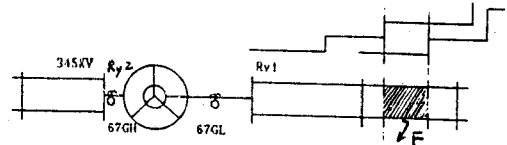


그림 5 67GH 와 zone-3 간의 비협조

다음은 실 계통에 평가모듈을 적용시켜 얻은 결과의 일부이다.

> COORDINATION CHECK FOR (SOC#1,SDJ#1) <

BACKUP : SOC#1 PRIMARY : SDJ#1
*** REACH EVALUATION (KAPP = 1.01) ***

RY	UNIT	LINE	%REACH	COORDINATION
SOC#1	zone1	L12#1	85.00	
SOC#1	zone2	L1#10	27.45	OK
SOC#1	zone3	L1#10	126.44	OK
SDJ#1	zone1	L1#10	85.00	
SDJ#1	zone2	L1#10	125.00	
SDJ#1	zone3	L1#10	297.47	

>> SI-SO COORDINATION CHECK FOR (SOC#1,SDJ#2) <<

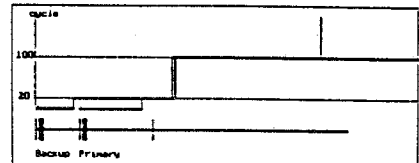
SI PANEL : SOC#1 SO PANEL : SDJ#2

SI OVERREACH	=	140.53
SO OVERREACH	=	416.83
RATIO SI/SO	=	2.97
REACH COORDINATION	=	ok

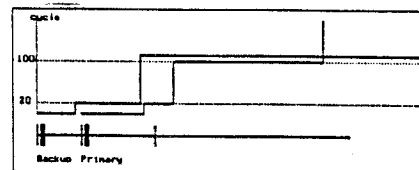
5. 협조 조정 모듈

협조평가 모듈을 통하여 발견된 비협조 문제의 교정을 실행하는 모듈로서 zone-2 및 zone-3 비협조 교정은 후비 계전기의 보호 범위를 조정하는 범위축소 규칙과 지연 시간을 조정하는 지연시간 조정 규칙등 두가지 기본적 규칙에 의거하여 실행된다 [3]. 그 방법은 우선적으로 비협조 해결에 바람직한 방법인 보호범위 조정 방법을 적용하고 이 방법으로 교정을 할 수 없는 경우에 한하여 지연 시간 조정을 한다. 67GH - zone 3 간의 비협조는 67GH의 레버조정을 통하여 협조 조건을 만족시키도록 하며, 만약 이의 실패시는 탭과 레버의 조정을 시도한다.

다음은 실 계통에 협조모듈을 적용시키기 이전과 적용시킨이후의 결과를 그래픽으로 출력한 결과의 일부이다.



협조모듈 적용이전의 비협조 상태



협조모듈 적용후의 결과

6. 출력 모듈

현행 사용되고 있는 계전기의 종류와 제작회사의 다양함 그리고 이에 따른 정정 파라미터의 상이함으로 인하여 정정 결과를 출력시점에 있어서 그 형태가 여러가지가 있다. 따라서 같거나 비슷한 형태의 출력 형태를 8개의 기본형으로 통일하였으며 계전기의 타입과 제작회사에 따라 그 출력형을 결정하도록 하였다. 이과정은 새로운 형의 추가 또는 그 변경이 용이하도록 출력형을 결정하는 규칙을 모아놓은 데이터베이스를 통하여 이루어지게 하였다. 그림 6은 출력 형태의 일부를 보여준다.

```
unit S T M 1st imp 2ry imp timer max ang
```

```
unit Tap Dial 1st imp 2ry imp timer max_ang
```

```
unit % tap basic_tap 1st imp 2ry imp timer max_ang
```

그림 6 기본 출력 형태 일부

III. 결론

본 논문에서 보고된 고압송전 계통의 보호 계전기 정정 협조프로그램 PROSET은 각 기능을 달리하는 5개의 독립 수행 능력을 갖는 모듈로 구성된 전문가 시스템이다. 본 시스템은 frame 및 production rule 표현법을 사용하여 강력한 자료구조 및 지식베이스를 실현하였으며 다양한 그래픽스 이용 결과에 대한 이해도가 높고, 시스템의 확장 또는 수정이 용이한 특성을 가진다.

앞으로 전력계통에서 사용되는 보다 많은 계전기의 정정을 수행할 수 있고, 다른 여러 협조상의 문제점을 다룰 수 있도록 관련 지식베이스의 보강이 요청되며 또한 이에 적절한 입출력과정의 개선등이 요구된다.

참고로 본 연구는 일부는 한국 과학재단의 지원에 의하여, 일부는 한국전력 공사의 지원에 의하여 수행되었음을 알린다.

IV. 참고 문헌

- [1] Seung Jae Lee, Sang Hyun Yoon, Man Chul Yoon, Jong Keun Jang, "An Expert System for Protective Relay Setting of Transmission Systems", IEEE Tr. Power Delivery, Vol.5, No.2, April, 1990, pp.1202-1208
- [2] Seung Jae Lee, Sang Hyun Yoon, Man Chul Yoon, Jong Keun Jang, "PROSET : An Expert System for Protective Relay Setting ", Preprints of IFAC Symposium, 1989, Seoul, pp.1003-1007
- [3] 이승재, 이병철, 윤상현, 윤만철, 이상욱, "경험적 불예의한 송전계통의 거리계전방식협조", 1990 대한 전기학회 하계학술대회
- [4] M.J. Damborg and S.S. Venkata, "Specification of Computer Aided Design of Transmission Protection Systems", Final Report EL-3337, EPRI, Jan. 1984.
- [5] C.R. Mason, The Art and Science of Protective Relaying, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1956.
- [6] R.E. Albrecht, et al, "Digital Computer Protective Device Coordination Program I - General Program Description", IEEE Tr. on PAS, Vol. PAS-83, NO.4, April 1964, pp. 402-410.
- [7] R.B. Gastineau, et al., "Using the Computer to Set Transmission Line Phase Distance and Ground Backup Relays," IEEE Tr. on PAS, VOL. 96, NO.2,

March/April 1977, pp. 478-484.

[8] M.H. Dwarakanath and L. Nowitz, "An Application of Linear Graph Theory for Coordination of Directional Overcurrent Relays" Electric Power Problems The Mathematical Challenge, SIAM, 1980, pp. 104-114.

[9] System Protection Div., Korea Power Electric Corp., Guideline for Relay Setting, 1989.

[10] Protective Relaying for Power Systems, edited by S. H. Horowitz, IEEE Press, 1980.