

거리계전 보호방식의 정정및 협조 지식의 개선

이승재

김호준

임성일

명지대학교 전기공학과

Enhanced Rules for Setting and Coordination of Distance Relays

Lee Seung Jae

Kim Hyo Jun

Sung Il Yim

Myong Ji University

Abstract

This paper proposes the enhanced rules for setting and coordination of the relays in the distance relaying. The developed new rules to diagnose the coordination based on the system information are expected to be very helpful in the system expansion planning stage. An expert system to adopt those rules have been developed using the hybrid AI tool, NEXPERT-OBJECT.

1. 서론

초고압 송전 계통의 보호 방식중 거리계전 보호 방식은 세계적으로 가장 널리 쓰이고 있는 보호 방식이다. 거리계전 방식에서는 주로 3단계 - ZONE 1, ZONE 2, ZONE 3 - 정한시 방식이 가장 보편적이며 계전기의 상호간의 적절한 협조는 계통 운용에 지대한 영향을 미치게되나 이러한 계전기의 정정및 협조는 오랜 동안의 실 경험을 통하여 이루어진 지식에 의하여 수작업으로 행하여져 왔으나 최근 전문가시스템 방법론을 도입하여 전산화가 이루어지고 있다 [1]. 전문가시스템의 개발에는 주로 PROLOG 나 LISP 가 이용되어 왔으나 최근의 객체 지향적 프로그래밍 방법의 높은 효율성으로 인하여 객체지향적 AI TOOL 이 점차 널리 사용되는 추세이다 [2].

본 연구에서는 틀시스템과 객체지향시스템의 혼합형 전문가시스템 TOOL인 NEXPERT OBJECT 를 사용하여 정정 협조 실행 전문가 시스템 개발을 하였으며, 현행 사용 정정 협조물의 검토를 통하여 실용성이 높은 개선물을 제시하고 있다.

II. 정정 협조물의 개선

II.1 정정물의 개선

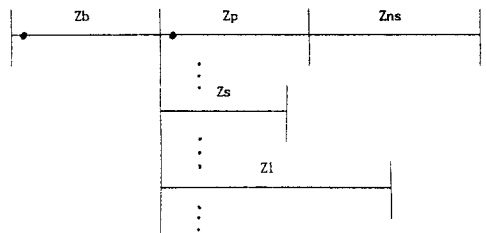
현행 사용되고 있는 거리계전 방식에 있어서의 단락보호 거리계전기의 사용 정정 규칙 [1]을 살펴보면 다음과 같다.

- R1: 단락 거리 계전기 ZONE 1 인 경우
선로 임피던스의 85%로 정정 한다.
- R2: 단락 거리 계전기의 ZONE 2 인 경우
보호범위는 다음 중 큰 값으로 한다.
i) 선로 임피던스의 125 %
ii) 선로 임피던스 100 % + (다음 구간 최단 선로 임피던스의 50% * 겹보기 계수/2)
- R3: 단락 거리 계전기의 ZONE 3 이면
보호 범위를 다음 중 작은 값으로 한다.
i) 선로 임피던스 100 % + (다음 구간 최단 선로 임피던스의 125% * 겹보기 계수)
ii) 최대 토오크를 고려한 허용부하

이와같은 정정물은 일반적으로 이론적 지식과 경험적 지식의 합성으로 생성되어 실제통에의 적용성이 매우 높은 특징을 지니고 있다. 그러나 일부 룰은 이론적 여과없이 경험적 지식에 치중되어 생성되기도 하여 이들에 대한 검토는 계통의 신뢰도 향상을 위하여 매우 필요한 일이라고 할 수 있다. 앞의 룰에서 보듯이 ZONE 2 와 ZONE 3 정정물에서는 다음 구간 최단 선로및 최장 선로 판단에 있어서 겹보기계수를 무시하고 단순히 선로의 길이로만 판단하고 있으며 이로인하여 겹보기 효과가 클 경우 비협조 발생 가능성이 높아지게 된다. 또한 ZONE 3 정정시에서 보듯이 허용부하 임피던스 계산은 계전기의 최대토오크에서 본 임피던스를 사용하는 반면 선로 임피던스는 이를 고려하지 않고 음으로 인하여 일관성을 잃고 있다. 따라서 최장(단) 선로의 판단을 겹보기 효과를 고려한 길이로 합과 아울러 ZONE 3 정정시의 임피던스 계산은 계전기의 최대 토오크에서 본 값으로 통일함이 타당하다.

II.2 협조 진단룰 개선

참고문헌 [2] 에 보이는 진단규칙은 계전기의 다입에 따른 기하학적 해석을 통한 진단룰로서 정정물에 따른 기존 정정치의 ZONE 2 , ZONE 3 협조 진단을 다루고 있다. 이와같은 진단룰은 정정실행을 전제로 하며 적지않은 계산을 포함하는 다수의 룰로 이루어진다. 본 연구에서는 선로의 신중설시와 같이 기존 정정치가 없는 경우에도 적용할 수 있는 즉 기존 정정치의 유무에 상관없이 협조 여부를 판단 할 수 있는 룰을 제시한다. 본 룰은 협조 대상 계전기의 선로 정보만으로 협조를 판단하는 매우 간단한 룰로서 ZONE2, ZONE 3 에 대하여 각각 1 개의 룰로 이루어진다.



- Zb : 백업 계전기 설치선로
Zp : 주계전기 설치선로
Zs : Zb에서본 다음선로중 최단선로
Zl : Zp에서본 다음선로중 최장선로
Zns: Zp에서본 다음선로중 최단선로
Zi : 임의의 선로

ZONE 2 협조률 (R1):

$$\text{if } Z_b < 3.4 * K_i * Z_i \Rightarrow \text{협조}$$

ZONE 3 협조률 (R2):

$$\text{if } 2 * K_{ns} * Z_{ns} \geq Z_i \text{ and } Z_i + 0.5 * K_{ns} * Z_{ns} > 1.25 * (K_i * Z_i) / K_i \Rightarrow \text{협조}$$

R1 증명: ZONE 2 정정률로부터 후비보호의 ZONE 2는

$$(Z_b + 0.5 * K_s * Z_s) > 1.25 * Z_b \text{ 또는 } 2 * K_s * Z_s \geq Z_b \text{ ----- (1)}$$

이면 $(Z_b + 0.5 * K_s * Z_s)$ 으로 정정되고 주보호의 ZONE 1은 $0.85 * Z_i$ 값을 갖는다. 따라서 협조조건은

$$0.5 * K_s * Z_s < 0.85 * K_i * Z_i \text{ ----- (2)}$$

이나 이는 최장선로 조건 $K_s * Z_s \leq K_i * Z_i$ 으로부터 항상 성립되므로 협조가 만족됨을 알 수 있다. 또한

$$2 * K_s * Z_s < Z_b \text{ ----- (3)}$$

인 경우 후비보호의 ZONE 2는 $1.25 * Z_b$ 으로 정정되고 주보호의 ZONE 1은 전과 같으므로 협조조건은

$$0.25 * Z_b < 0.85 * K_i * Z_i \text{ 또는 } Z_b < 17/5 * K_i * Z_i \text{ ----- (4)}$$

가 된다. 식 (1,3,4)의 양변을 Z_i 로 나누어 정리하면 다음과 같은 ZONE 2 협조식을 얻을 수 있다.

$$2 * K_s * \gamma_s \geq \gamma_b \text{ 또는 } 2 * K_s * \gamma_s < \gamma_b \text{ 이고 } \gamma_b < 3.4 * K_i \text{ 단 } (\gamma_k = Z_k / Z_i)$$

위의 식을 만족하는 선로의 범위를 나타내는 협조지역을 살펴보면 그림 1과 같다. 여기서 식 3 으로부터 $\gamma_s \leq K_i / K_s$ 이며 이로부터 협조지역은 $\gamma_b < 3.4 * K_i$ 임을 알수있다.

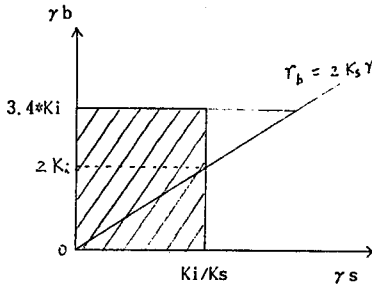


그림 1. ZONE 2 협조지역

R2 증명: (가정 : ZONE 3 정정에 있어서 허용부하 임피던스 무시)

$$2 * K_{ns} * Z_{ns} \geq Z_i \text{ 또는 } \gamma_{ns} \leq 1/2 * K_{ns} \text{ ----- (5)}$$

인 경우 주보호의 ZONE 2가 정정률의 첫째항으로 정정되며 이때의 협조조건은

$$Z_i + 0.5 * K_{ns} * Z_{ns} > 1.25 * K_i / K_i * Z_i \text{ ----- (6)}$$

$$\text{또는 } \gamma_i < 0.4 * K_{ns} * K_i / K_i * \gamma_{ns} + 0.8 * K_i / K_i \text{ ----- (7)}$$

으로 주어진다. $2 * K_{ns} * Z_{ns} < Z_i$ 인 경우 주보호의 ZONE 2가 정정률의 둘째항으로 결정되며 이때 협조를 이루기 위한 조건은

$$1.25 * K_i * Z_i > 1.25 * K_i * Z_i \text{ ----- (8)}$$

이나 이는 최장선로 조건 $K_i * Z_i \geq K_i * Z_i$ 에 모순되므로 협조가 불가능하다. 식 (5,7)로부터 ZONE 3 협조지역을 그려보면 그림 2와 같다.

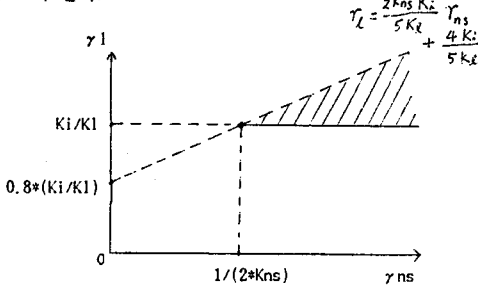


그림 2. ZONE 3 협조지역

III. 정정협조 전문가시스템

III.1 객체베이스 (Object Base)

보호배전반을 구성하는 보호계전기는 그 종류와 유형이 매우 다양한 동시에 많은 공통 성질을 갖고 있다. 예를 들어서 거리계전기에는 모타입, 리액턴스 타입, 사변형 타입등이 있고 이들의 정정치 및 계산방법등은 상이하나 보호범위의 결정은 같은 정정률에 의하여 이루어지며 거리계전기의 일반적 속성 즉 class는 DR, device no = 21 을 갖고 있다. 거리계전기는 또한 계전기의 한 종류로서 계전기가 갖는 일반 성질을 갖고 있다. 데이터와 그위에 수행되는 함수들을 함께 묶은 객체로써 사실적 지식을 표현하는 객체지향적 표현은 이러한 계층적 관계의 표현에 매우 적합한 방법을 제공하고 있다. 또한 객체지향적 표현에서 제공하는 속성상속(INHERITANCE)기능은 CLASS와 SUBCLASS, CLASS와 OBJECT 사이의 공통적인 특성을 상위레벨에 한번만 정의하면 되게함으로써 경제적 시스템개발을 가능하게한다. 한 예로 그림 3의 표현을 살펴보자. 여기서 보듯이 거리계전기와 모계전기의 관계는 CLASS-SUBCLASS의 관계를, 모계전기와 CXS1D1U110_M3는 CLASS-OBJECT의 관계를 나타내며, 속성상속(INHERITANCE)에 따라 DISTANCE RELAY가 가지는 class, type이라는 특성은 그 CLASS에 소속된 SUBCLASS와 OBJECT에 그대로 상속된다. 따라서 SUBCLASS와 OBJECT에 class나 type이라는 특성을 다시 정의해 줄 필요가 없다. 또한 각계전기의 정정치 계산 방법등을 각 객체에 정의할 수 있는 기능 (METHOD)은 전문가의 정정치식 체계를 있는 그대로의 표현을 가능하게 하기 때문에 객체지향적 표현은 보호계전기 정정치 및 협조 문제에 매우 유용한 방법이다.

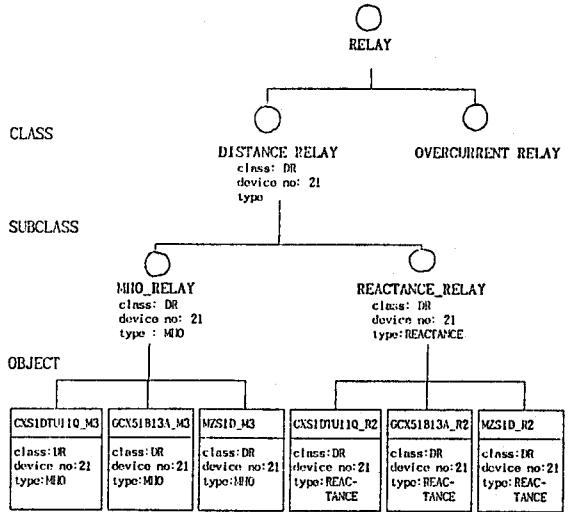


그림 3. 계전기를 구성하는 OBJECT BASE

정정치 및 협조과정에서 요구되는 배전반에서의 정보 즉 계전기 정보, 계통정보, 고장전류등의 사실적 정보는 집합/객체 구조 표현으로 객체베이스에 저장된다. 배전반을 구성하는 계전기에 대한 표현을 살펴보면 그림 4와 같다. 여기서 클래스 PANEL RELAY에서 정의된 특성중 상위레벨에서 정의되지않은 계전기만이 가지는 특성인 function, max_torque, setting은 계전기(OBJECT) 레벨에서 정의 되어야한다.

CLASS



bus_kind
panel

OBJECT

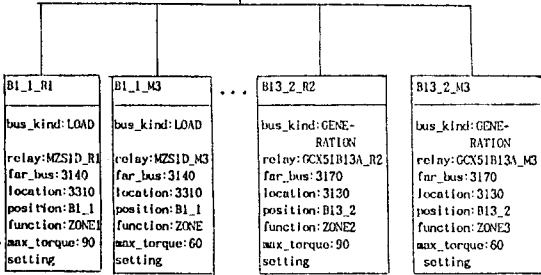
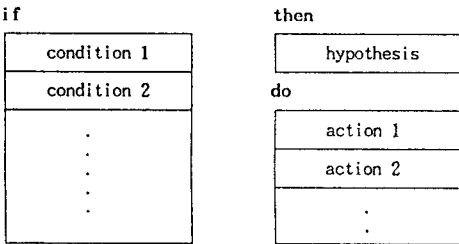


그림 4. 배전반을 구성하는 계전기 OBJECT BASE

III.2 룰베이스

NEXPERT-OBJECT 에서의 룰의 기본 형태는 다음과 같다.



각 룰은 조건부와 HYPOTHESIS 와 ACTION 으로 구성된 결론부로 이루어진다. HYPOTHESIS 는 룰의 이름에 해당하며 이로부터 추론 순서가 주로 결정된다. 룰과 객체는 상호 매우 용이하게 연결되어지는데 룰에서의 객체연결은 단순한 OBJECT ATTRIBUTE 호출에 의하여 이루어지며 객체에서는 IF-NEEDED, IF-CHANGE 등 각종 DEMON이 정의되는 META-SLOT 을 통하여 상호 연계된다. 현재 룰베이스는 계전기 타입에 따른 ZONE 1,2,3 의 정정 및 협조를 38 개 로 구성되어 있으며 아래에 ZONE 2 정정률과 협조률의 NEXPERT-OBJECT 표현예를 보인다.

ZONE 2 정정률:

```

IF Is \Relay\.class "DR"
   Is \Relay\.type "REACTANCE"
   Is \Relay\.function "ZONE2"
   Is \Panel\.position "NOT END LINE"
THEN HYPOTHESIS: ZONE_SETTING_RULE
ACTION
Do \Line\.X*1.25 First_Value
Do \Line\.X+(\Forward_Shortest
Line\.X*0.25*Kapp) Second_Value
Do Get_Max_Value
    
```

ZONE 2 협조검사률:

```

IF Is \Primary_Relay\.Type "MHO"
   Is \Backup_Relay\.Type "REACTANCE"
< Kapp*\Primary_Relay\.Setting-ABS(Kapp
*\Primary_Relay\.Setting
*SIN(\Primary_Relay\.MaxTorqueAngle*
3.141592/180)-2*\Backup_Line\.X
-2*\Backup_Relay\.Setting) 0
THEN HYPOTHESIS: DIAGNOSIS
    
```

ACTION

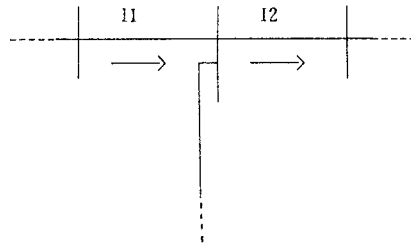
```

Do STRCAT(Backup_Relay,STRCAT("_",Primary_Relay))
   Opname
CreateObject \Opname\ !Results!
    
```

여기서 0.p 는 객체 (또는 클래스) 0 의 속성 p 의 값을 나타내는 표현으로서 객체베이스의 정보를 호출하는 기능을 갖고있다. 또한 \O.p 는 객체의 속성 value 의 값과 같은 이름의 객체의 속성 p 의 값을 나타낸다. 정정률의 조건부는 4개의 조건 - 계전기 class, type, function, 배전반 설치선로 - 으로 구성되어 있으며 이 조건들이 모두 만족될 경우 ACTION부를 실행하게 된다. ACTION부에서 정의된 객체 Forward_Shortest_Line 은 다음 단 선로중 최단선로를 나타내는 것으로서 이를 찾는 계통의 탐색 과정은 META-SLOT 에 정의된 PROCEDURE 로 정의되어 룰실행시에 자동적으로 호출되어 수행되게 된다. 길보기계수를 나타내는 Kapp 의 값은 다음과 같은 룰에 의하여 결정되며 Kapp 룰의 실행 역시 ZONE 2 정정률의 실행시 이루어진다. Get_Max_Value 은 두값중 큰 값을 결정하는 내부함수의 호출을 실행하며 이 역시 META-SLOT 으로 정의되어 있다.

```

if I1 = 0, I2 < 0 then Kapp = 4
if I2 = 0 then Kapp = 2
if I2 < 0, I2/I1 < 2 then Kapp = 2
if I2 < 0, I2/I1 > 2 then Kapp = I2/I1
    
```



추론은 각 계전기 객체의 SETTING ATTRIBUTE 에 연결된 IF-NEEDED DEMON 을 통하여 룰베이스의 룰처리과정이 시작되어진다. 룰의 추론은 후방향으로 이루어지며 룰의 조건부 검사 및 결론부 실행시 룰내부의 META-SLOT에 정의된 처리방법 (플러처리, PROCEDURE CALL등) 이 수행되며 결과 SETTING 값은 SETTING PROPERTY 에 저장된다.

V. 결론

본 논문에서는 3단계 한시 거리계전방식에 있어서의 협조문제 를 중심으로 기존의 정정률의 검토를 통한 개선된 정정률을 제시하고 있으며 협조 판정에 있어서 기존의 룰보다 효율성이 높은 새로운 진단률을 제시하고있다. 또한 계전기 정정 및 협조시의 필요한 정보 및 지식을 룰과 능동적 객체표현을 이용한 정정 및 협조판정 전문가시스템의 개발을 보고하고 있다.

참고 문헌

[1] Seung Jae Lee, Sang Hyun Yoon, Man Chul Yoon, Jong Keun Jang, "An Expert System for Protective Relay Setting of Transmission System", IEEE Tr. Power Delivery, Vol.5, No.2, April, 1990, pp. 1202-1208.
 [2] Seung Jae Lee, Byeong Chill Lee, Sang Hyun Yoon, Man Chul Yoon, Sang Ok Lee, "Rule-Based Coordination of Distance Relaying in High Voltage Transmission System", Journal of KIEE, Vol.4, No.1, pp.1-8, 1991.
 [3] M.J. Damborg, and S.S. Venkata, "Specification of Computer Aided Design of Transmission Protection System", Final Report EL-3337, EPRI, Jan, 1984
 [4] C.R. Mason, "The Art and Science of Protective Relaying", John Wiley and Sons, Inc., Nww York, 1956.