

# 적응진화연산을 이용한 배전계통의 과전류계전기 최적 정정치 결정

論 文

56-9-1

## Optimal Setting of Overcurrent Relay in Distribution Systems Using Adaptive Evolutionary Algorithm

鄭 熙 明\* · 李 和 錫\*\* · 朴 俊 灝†

(Hee-Myung Jeong · Hwa-Seok Lee · June Ho Park)

**Abstract** - This paper presents the application of Adaptive Evolutionary Algorithm (AEA) to search an optimal setting of overcurrent relay coordination to protect ring distribution systems. The AEA takes the merits of both a genetic algorithm (GA) and an evolution strategy (ES) in an adaptive manner to use the global search capability of GA and the local search capability of ES. The overcurrent relay settings and coordination requirements are formulated into a set of constraint equations and an objective function is developed to manage the overcurrent relay settings by the Time Coordination Method. The domain of overcurrent relays coordination for the ring-fed distribution systems is a non-linear system with a lot of local optimum points and a highly constrained optimization problem. Thus conventional methods fail in searching for the global optimum. AEA is employed to search for the optimum relay settings with maximum satisfaction of coordination constraints. The simulation results show that the proposed method can optimize the overcurrent relay settings, reduce relay mis-coordinated operations, and find better optimal overcurrent relay settings than the present available methods.

**Key Words** : Adaptive Evolutionary Algorithm, Genetic Algorithm, Evolution Strategy, Optimal Relay Setting, Protective Coordination

### 1. 서 론

보호계전기는 전기적 사고의 제거와 사고의 영향을 경감시켜 전력계통의 안전운전을 유지하기 위한 장치로서 전력공급의 신뢰도 확보에 아주 중요한 역할을 한다. 전력계통에서 이러한 역할을 할 수 있도록 보호계전기를 설치하여 운영하는 시스템을 보호계전시스템이라고 한다. 배전계통의 보호시스템은 여러 종류의 보호계전기들로 구성되어 있고, 고장발생시 시스템의 정전구간을 최소화시키면서 신속한 고장 제거를 하기위한 주보호(primary protection)와 주보호가 고장제거에 실패할 경우 그 역할을 대신하는 후비보호(backup protection)를 갖추고 있다. 따라서 각각의 보호계전기들은 적당한 한시특성을 가지면서 고장제거를 위해 서로 보호협조 체계를 갖추어야 한다.

정전구간 및 정전시간을 최소로 하기위하여 배전계통 과전류 보호계전기의 정정치를 최적으로 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 예를 들어, 어떤 하나의 보호계전기 정정치를 변경할 경우, 이와 관련된 다른 과전류 보호계전기들의 정정치를 다시 계산해서 정정해야 한다. 따라서 과전류 보

호계전기의 이러한 정정치를 결정해 보고자 하는 연구가 진행되어, 현재는 시행착오적으로 그래프를 활용하는 방식을 사용하고 있다. 최근에 배전계통의 과전류 보호계전기의 정정치를 최적으로 결정해 보고자 하는 연구가 발표되고 있으며, 선형계획법[1], 유전 알고리즘[2, 3], 진화 알고리즘[4] 등 여러 최적화 알고리즘을 이용하는 방법들이 제시되고 있다. 또한, 배전계통에 분산전원이 연계되어 운전되던 고장 발생시 방사상 방식과는 달리 선로에 역방향 전류가 흐르며, 이 경우에 보호계전기의 정정치를 결정하는 문제가 쉽지 않다. 분산전원의 증가가 예상되는 현 시점에서, 방사상 방식으로 운용하면 정전범위가 넓어져 전기 공급신뢰도가 낮아지는 문제점[5]이 발생하므로 배전선로의 사고 발생 시 정전범위를 최소화할 수 있는 loop 방식의 배전계통에 대한 보호계전기의 최적 정정치를 결정하는 방법이 연구되어야 한다. 따라서 현재 microgrid로 loop 운전하려는 연구가 선진외국에서 활발하게 진행되고 있는 상황이다[6-8].

본 논문에서는 배전계통의 보호협조를 위한 과전류보호계전기의 최적 정정치 결정문제에 적응진화 알고리즘(adaptive evolutionary algorithm : AEA)을 이용한 방법을 제안하였다. AEA는 유전 알고리즘(genetic algorithm : GA)과 진화 전략(evolution strategy: ES)의 장점을 서로 결합한 방법이다. GA는 해의 탐색에 있어 해공간의 다양한 영역을 탐색하므로 전역 최적해 근처까지는 빨리 수렴하는 특성을 보인다. 그러나 방법의 확률적인 특성상 전역 최적해를 찾는 데 많은 실행시간이 요구된다. 이에 반해 ES는 국부탐색능력이 우수한 장점이 있으나 해공간에서 해의 초기치에 영향을 많

\* 교신저자, 正 會 員 : 釜山大 電子電氣通信工學部 教授 · 工博  
E-mail : parkjh@pusan.ac.kr

\* 正 會 員 : 釜山大 電子電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 巨濟大學 電氣科 副教授 · 工博

接受日字 : 2007年 3月 13日

最終完了 : 2007年 7月 30日

이 받으며 국부 수렴할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 해집단을 다음세대로 진화시킬 때, GA와 ES를 동시에 사용하고, 적합도에 따라 복제하는 과정에서 GA와 ES가 적용될 해집단의 비율이 적응적으로 변경되는 AEA를 제안하였다. 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 참고문헌 [2]에 있는 링형 모의계통에 적용하여 참고문헌의 결과와 비교·검토하였다. 배전계통의 고장발생 시 과전류보호계전기들의 전체 동작시간을 비교한 결과, 본 논문에서 제시한 AEA 방식이 참고문헌의 방법보다 과전류 보호계전기들의 동작시간이 더 빠름을 보여주었다.

## 2. 과전류보호계전기 최적 정정치 문제의 정식화

### 2.1 과전류보호계전기의 동작시간

본 논문에서 사용한 과전류보호계전기는 IEC255-4 규격의 normal IDMTL (Inverse Definite Minimum Time Lag) 특성을 가지며, 그 동작시간은 다음 식 (1)로 결정된다.

$$Time = \frac{TM \times \lambda}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\gamma - 1} \quad (1)$$

여기서,  $I_s$  : setting current

( $I_s = CSM \times CT \text{ ratio} \times \text{Relay rating} < I$ )

CSM : current setting multiplier

CT ratio : 변류비

Time : operating time in seconds

TM : time multiplier

I : input current

$\gamma=0.02$  and  $\lambda=0.14$

위 식 (1)에서 나머지 변수는 모두 주어지는 값이므로, 과전류 보호계전기의 CSM 및 TM 을 결정하면 입력전류 I 에 대한 동작시간을 결정할 수 있다.

### 2.2 목적함수 및 제약조건의 선정

배전계통에서 과전류보호계전기의 최적 정정치를 결정하기 위한 목적함수를 식 (2)와 같이 선정하였다.

$$Objective = \chi \sum_{i=1}^n R_i + \beta \sum_{i=1}^n OTM_i + \alpha \sum_{i=1}^n OCSM_i + \delta \sum CM \quad (2)$$

여기서, Objective : 목적함수

$R_i$  : i번째 과전류보호계전기의 동작시간,

$i = 1, 2, \dots, n$

$OTM_i$  : (i번째 relay TM - user preferred value TM)<sup>2</sup>

$OCSM_i$  : (i번째 relay CSM - user preferred value CSM)<sup>2</sup>

CM : ( $t_u$ 와  $t_d$ 의 시간차 - 0.4)<sup>2</sup>

n : 과전류보호계전기 개수

$\alpha, \beta, \chi, \delta$  : 각 항의 가중계수,  $\delta = 1$

식 (2)에서 보는 것처럼 목적함수는 시간 항들의 합으로서 나타내었다. 즉, 배전계통에 설치되어 있는 모든 과전류 보호계전기 각각의 동작시간의 전체 합, CSM과 TM으로 결정되는 과전류보호계전기의 동작시간, 그리고 과전류 보호계전기들 간의 제약조건을 포함하여 구성하였다.

제약조건은 주보호 계전기와 후비보호 계전기 사이의 동작시간 차이로 선정하였다. 이 시간은 차단기와 과전류보호계전기의 동작시간을 포함한 값으로, 보통 과전류보호계전기 사이의 보호협조시간 여유는 0.4 [sec]정도 이므로 이를 식 (3)으로 표현할 수 있다. 제약조건 설정 시 관계되는 주보호 계전기 및 후비보호계전기의 고장전류방향에 따른 관계를 그림 1에 나타내었다.

$$t_u - t_d \geq 0.4s \quad (3)$$

여기서,  $t_u$  : 후비보호 계전기의 동작시간

$t_d$  : 주보호 계전기의 동작시간

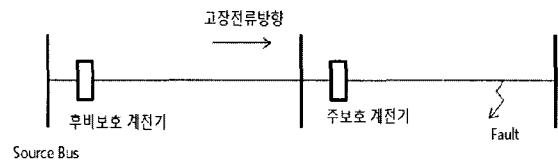


그림 1 주보호 및 후비보호 계전기의 관계

Fig. 1 Relation between primary and backup protective relays

## 3. 적응진화 알고리즘을 이용한 과전류보호계전기 최적 정정치 결정 방법

### 3.1 적응진화 알고리즘(AEA)

AEA는 한 세대에서 다음 세대로 진화시킬 때 GA와 ES를 동시에 적용하고, 세대의 진행과정에서 유리한 진화연산 기법이 다음 세대의 해집단을 형성하는데 우위에 있도록 하는 방법이다. 이를 위해 AEA의 초기해집단을 구성할 때 각 스트링에 대해서 태그변수 0(GA의 개체) 또는 1(ES의 개체)을 임의로 대응시킨 후, 각 개체의 적합도를 계산하고 룰렛휠(roulette wheel)를 사용하여 적합도에 따라 복제한다. 복제된 개체는 태그변수에 따라 GA의 해집단과 ES의 해집단으로 분리한 후, GA의 해집단에 대해 교배 및 돌연변이를 수행하고 ES의 해집단에 대해 돌연변이를 수행한다. 이때 부모 해집단에서 적합도가 가장 높은 개체는 GA의 해집단과 ES의 해집단에 각각 하나씩 복제하는 엘리티즘을 사용하였다. AEA의 주요 과정은 개체의 구분(초기화), 평가 및 복제, 최소해집단 수의 보장, GA와 ES의 연산, 엘리티즘으로 구성되어 있으며, 각각의 특징은 아래와 같다.

(1) 개체의 구분 (초기화) : 주어진 문제의 제약조건을 고려하여 임의로 스트링을 생성하여 초기 해집단을 구성하고, 각 스트링에 대해서 태그변수 0 또는 1을 랜덤하게 대응시킨다. 태그변수 0은 GA를 적용할 개체이고 태그변수 1은 ES를 적용할 개체를 나타낸다.

(2) 평가 및 복제 : 스트링을 평가하기 위한 적합도 함수는 목적함수가 최소가 되면 적합도가 최대가 되도록 선정하였다. 복제방법은 적합도에 비례하여 복제하는 룰렛휠을 사용하였다. 복제 후 태그변수가 0인 개체들은 GA의 교배 및 돌연변이 과정을 적용하여 자손을 생성하고, 그 자손에는 태그변수 0을 대응시킨다. 그리고 태그변수가 1인 개체들은 ES를 적용하여 자손을 생성하고, 그 자손에는 태그변수 1을 대응시킨다. 다음 세대의 각 개체는 0 또는 1의 태그변수에 대응되고 이를 통해 각 개체가 GA로부터 파생되었는지 또는 ES에 의해 파생되었는지를 알 수 있다. 그리고 태그변수는 현 세대에서 어떤 진화연산 기법이 적합도를 더 많이 개선시키는지 알 수 있는 지표가 되며, 다음 세대에서 GA와 ES의 해집단 수를 결정할 때 사용된다.

(3) 최소해집단 수의 보장 : 세대가 진행됨에 따라 어떤 경우에는 GA 또는 ES 중 어느 하나의 역할이 너무 커져서 나머지 방법에 의한 자손이 소멸될 수 있다. 이를 방지하기 위해서 GA와 ES의 해집단에 대해 전체 해집단의 일정비율 이상의 개체를 대응시킬 필요가 있다. 룰렛휠에 의해서 복제된 GA의 해집단이 전체 해집단의 일정비율 이하가 되면 상대 해집단인 ES의 해집단으로부터 임의로 선택된 개체를 GA의 해집단에 편입한다. GA의 해집단이 전체 해집단의 최소비율이 될 때까지 이런 과정을 반복한다. 또한 ES의 해집단이 전체 해집단의 일정비율 이하이면 GA의 해집단에서 임의로 편입하여 최소비율을 맞추어 준다. 본 논문에서 최소해집단의 수를 보장하기 위해 사용한 일정비율은 전체 해집단의 10[%]로 설정하였다.

(4) GA와 ES 연산 : 실행시간이 단축되고 수학적 기법이 첨가될 수 있는 실변수형 GA를 이용하였으며, 복제방법으로 룰렛휠, 교배 및 돌연변이 방법으로 단순교배와 균일 돌연변이를 사용하였다. 변경된 단순교배 방법은 부모 해집단에서 두 개의 스트링을 임의로 선택하여 식 (4) 및 식 (5)와 같이 자손 해집단을 생성하는 방식이다.  $t$  세대에서 두 개의 스트링  $S_v^t = [v_1, \dots, v_k, \dots, v_N]$ 와  $S_w^t = [w_1, \dots, w_k, \dots, w_N]$ 를 임의로 선택하였을 때,  $k$  번째 변수의 위치에서 교배가 발생했다면  $t+1$  세대의 자손은 식 (4) 및 식 (5)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} < \text{교배 전} > & < \text{교배 후} > \\ S_v^t = [v_1, \dots, v_k, \dots, v_N] & S_v^{t+1} = [v_1, \dots, v'_k, v'_{k+1}, \dots, v'_N] & (4) \\ S_w^t = [w_1, \dots, w_k, \dots, w_N] & S_w^{t+1} = [w_1, \dots, w'_k, w'_{k+1}, \dots, w'_N] & (5) \end{aligned}$$

▲ 교배위치

여기서,  $v'_j = \alpha_1 \times v_j + \alpha_2 \times w_j$ ,  $w'_j = \alpha_1 \times w_j + \alpha_2 \times v_j$   
 $\alpha_1, \alpha_2$  : 0과 1사이의 임의의 수  
 $v_j, w_j$  : 각 변수의 상한치와 하한치사이의 값  
 $N$  : 각 스트링을 구성하는 변수의 개수

균일 돌연변이 방법은  $t$  세대의 해집단 중에서 하나의 스트링  $S_v^t = [v_1, \dots, v_k, \dots, v_N]$ 의  $k$  번째 변수가 돌연변이를 수행한다면,  $t+1$  세대의 자손은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} < \text{돌연변이 전} > & < \text{돌연변이 후} > \\ S_v^t = [v_1, \dots, v_k, \dots, v_N] & S_v^{t+1} = [v_1, \dots, v'_k, v_{k+1}, \dots, v_N] & (6) \end{aligned}$$

▲ 돌연변이 위치

여기서,  $v'_k$  :  $k$  번째 변수의 상한치와 하한치사이의 임의의 수

본 논문에서 사용한 ES는 부모 해집단으로부터 자손 해집단을 생성한 후 부모는 모두 제거하고 자손 해집단을 다음 세대의 부모 해집단으로 선택하는 방법을 사용하였고, 돌연변이 방법은 식 (7)과 같이 가우시안 정규난수를 이용하여 자손 해집단을 생성하는 방법을 사용하였다. 이때 표준편차는 ES의 해집단에 대해 돌연변이 연산자를 적용한 후 개선된 개체수의 비가  $\delta$  보다 적으면 다음 세대의 표준편차는 표준편차의 감소율( $c_d$ )에 비례하여 감소하고, 반면에 개선된 개체수의 비가  $\delta$  보다 크면 표준편차의 증가율( $c_i$ )에 비례하여 증가하도록 식 (8)과 같이 선정하였다.

$$v_k^{t+1} = v_k^t + N(0, \sigma^t) \quad (7)$$

$$\sigma^{t+1} = \begin{cases} c_d \times \sigma^t & \text{if } \phi(t) < \delta \\ c_i \times \sigma^t & \text{if } \phi(t) > \delta \\ \sigma^t & \text{if } \phi(t) = \delta \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $N(0, \sigma^t)$  : 정규난수

$v_k^t$  :  $t$  세대에서  $k$  번째 변수

$\sigma^t$  :  $t$  세대에서 표준편차

$\phi(t)$  :  $t$  세대에서 ES의 해집단에 대한 돌연변이 연산자의 적용 후 개선된 개체수의 비

$c_d, c_i$  : 표준편차의 감소율과 증가율

$\delta$  : 0과 1사이의 상수

(5) 엘리트리즘 : 전체 해집단에서 적합도가 가장 높은 개체를 GA의 해집단과 ES의 해집단에 각각 하나씩 복제하였다. 제안한 AEA의 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

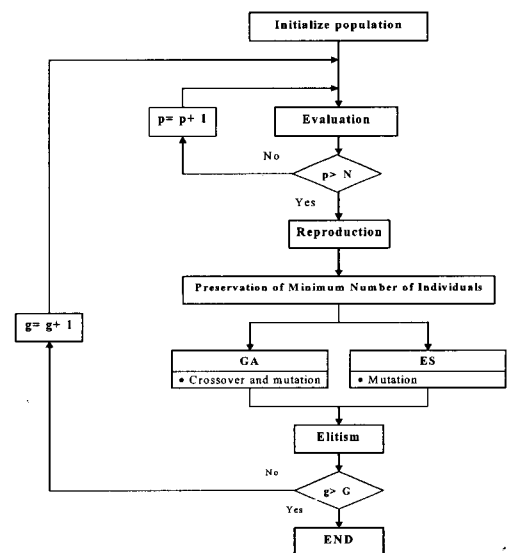


그림 2 AEA의 흐름도  
 Fig. 2 Flow chart of AEA

3.2 과전류보호계전기 최적 정정치 결정에 AEA의 적용

(1) 초기화

배전계통의 과전류보호계전기 정정치를 결정하기 위하여 제약조건을 만족하는 스트링을 랜덤하게 생성한다. 이때 과전류보호계전기의 정정치를 결정하기 위한 스트링은  $TM$ 과  $CSM$ 을 이용하여 그림 3과 같이 구성하였다. 여기서,  $n$ 은 과전류보호계전기의 개수를 나타낸다. 예로서,  $TM_1$  및  $CSM_1$ 은 첫 번째 과전류보호계전기의  $TM$ 과  $CSM$ 을 나타낸다. 스트링의 구조에서 보는 것처럼 각 과전류보호계전기의 동작시간을 결정하는 변수인  $TM$ 과  $CSM$ 을 결정하면 식 (2)의 *Objective*를 구할 수 있다.

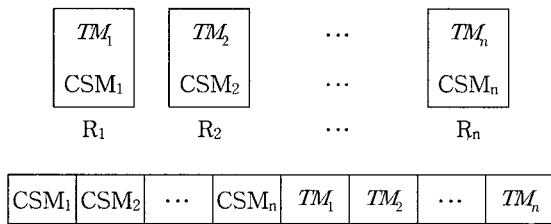


그림 3 스트링 구조  
Fig. 3 Structure of string

이때 제약조건을 위반여부는 초기화 및 매 세대마다 항상 점검하며 제약조건에 위배되는 스트링에 페널티를 부과하였다.

(2) AEA의 평가

AEA의 적합도 평가는 식 (2)의 목적함수를 이용하여 구한 식 (9)의 적합도 함수로부터 각 스트링을 평가한다. 식 (2)의 목적함수는 시간 항들의 합이므로 이 값이 작을수록 적합도 함수 즉, *Fitness*가 큰 값을 가지게 된다.

$$Fitness = \frac{A}{B + objective} \quad (9)$$

여기서, *objective* : 식 (2)의 목적함수  
 $A, B$  : 상수

AEA의 복제 과정에서는 식 (9)에 나타난 적합도에 비례하여 복제하는 룰렛휠 방법을 사용하였고, 교배 및 돌연변이를 적용한 후 적합도가 가장 높은 개체를 다음 세대로 복제하는 엘리트즘을 적용하였다.

(3) 제약조건 점검

제약조건은 식 (3)에 나타난 것처럼 과전류보호계전기들 간의 보호협조시간 차인 0.4[sec]의 위반여부를 나타낸다.

(4) 종료

본 논문에서는 미리 설정한 세대 수에서 종료하게 되고, 이 세대 수는 정정해야 할 과전류보호계전기의 개수와 해집단의 크기에 따라 결정한다.

4. 사례 연구

GA를 이용한 과전류보호계전기의 정정치 결정에 대한 사례연구와 비교하기 위하여 참고문헌 [2]와 동일한 모의배전계통에 본 논문에서 제안한 AEA를 적용하였다. 모의실험에 사용된 예제모의계통을 그림 4에 나타내었다. 모의계통의 시스템 파라미터는 100 [MVA] 기준으로 나타낸 pu값이고, 각 과전류보호계전기의 변류비와 정격을 표 1에 나타내었다. 또한 모의실험을 위해 과전류보호계전기의 정정치를 결정하는 변수인  $TM$ 은 0.1~1.0사이에서 변화하도록 하였고, 변동폭은 0.01로 정하였다. 그리고  $CSM$ 은 50~200%의 범위에서 변동시켰고, 변동폭은 1%로 결정하였다.

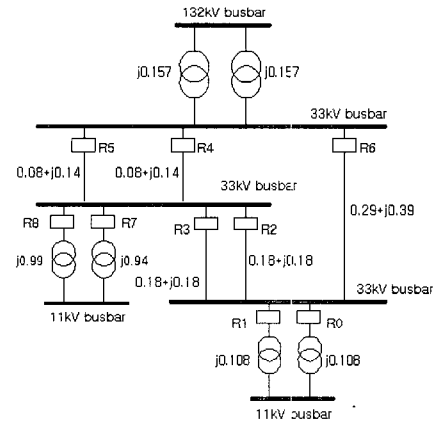


그림 4 33kV 예제계통  
Fig. 4 Example distribution system(33kV)

표 1 계전기 데이터  
Table 1 Relay data

Relay	Current transformer ratio(A/A)	Relay rating(A)
R0	300/5	5
R1	300/5	5
R2	600/5	5
R3	400/5	5
R4	600/1	1
R5	600/1	1
R6	400/1	1
R7	400/5	5
R8	400/5	5

시뮬레이션을 위한 해집단의 크기와 세대 수, 목적함수 각 항의 가중계수 값을 표 2에 나타내었다. 참고문헌 [2]와 비교하기 위하여 시뮬레이션 데이터를 동일한 값으로 선정하였다. 시뮬레이션을 위해서는 먼저 모든 선로에서 3상 단락 고장을 각각 발생시켜 각 선로에 흐르는 고장전류를 계산하였다. 이를 위해 예제계통을 PSCAD/EMTDC로 모의하였다. 이때 구해진 각 선로의 전류가 식 (1)에서 나타낸 과전류보

호계전기의 입력전류이다. 또한 임의의 스트링에서 모든 과전류보호계전기의  $TM$ 과  $CSM$ 을 구하면, 과전류보호계전기의 동작시간을 결정할 수 있다. 이를 통하여 구해진 *objective*를 이용하여 적합도함수를 계산하고, AEA의 복제, 교배 및 돌연변이 연산을 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 과전류보호계전기의 최적의  $TM$ 과  $CSM$ 을 구하였고, 이를 표 3에 나타내었다.

표 2 시뮬레이션 데이터

Table 2 Simulation data

case	$\alpha$	$\beta$	$\chi$	$A$	$B$	해집단 크기	세대 수
1	1.0	0.0	0.0	1	1	500	50
2	0.0	1.0	0.0	1	1	500	50
3	0.0	0.0	1.0	1	1	500	50

표 3 각 경우별 계산된 계전기 정정치

Table 3 Calculated relay settings for each case study

Case	1		2		3	
	CSM(%)	$TM$	CSM(%)	$TM$	CSM(%)	$TM$
R0	100	0.1	100	0.1	100	0.1
R1	100	0.1	100	0.1	100	0.1
R2	60	0.36	95	0.17	51	0.23
R3	87	0.41	130	0.2	103	0.21
R4	87	0.60	195	0.25	100	0.32
R5	100	0.55	136	0.3	100	0.32
R6	110	0.64	199	0.38	144	0.33
R7	100	0.1	120	0.1	120	0.1
R8	100	0.1	100	0.1	99	0.1

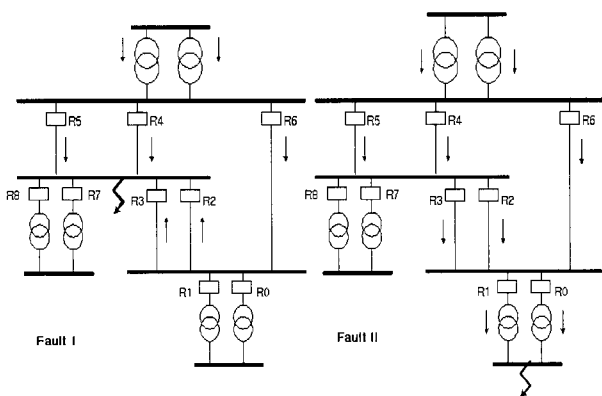


그림 5 사례연구를 위한 고장점

Fig. 5 Fault locations for case studies

본 논문에서 AEA로 구한 과전류보호계전기 정정책의 유용성을 확인하기 위하여 임의의 단일 고장 두 경우에 대하여 검토하였다. 사례연구를 위한 고장점을 그림 5에 나타내었다. 표 3에서 계산된 과전류보호계전기의  $TM$ 과  $CSM$ 을

이용하여, Fault I, Fault II에 대한 과전류보호계전기 각각의 동작시간을 구하였다. 표 4에 본 논문에서 제안한 AEA로 구한 과전류보호계전기의 동작시간을 나타내었다. 또한 참고문헌의 결과와 비교하기 위하여 동일 위치 고장에서의 과전류보호계전기 동작시간을 표 5에 나타내었다.

표 4 AEA를 적용한 계전기 동작시간

Table 4 Relay operating times by AEA

Fault case	동작 시간(초)					
	I 1	I 2	I 3	II 1	II 2	II 3
relay						
R0	-	-	-	0.25	0.25	0.24
R1	-	-	-	0.25	0.26	0.24
R2	3.96	5.18	1.98	1.25	0.90	0.77
R3	3.80	5.48	2.00	1.27	0.94	0.80
R4	1.52	1.00	0.94	2.45	2.00	1.57
R5	1.53	1.00	0.94	2.44	2.00	1.55
R6	4.38	5.87	2.40	3.04	3.50	2.63
R7	-	-	-	-	-	-
R8	-	-	-	-	-	-
total operating time	15.19	18.53	8.26	10.95	9.85	7.8

표 5 참고문헌[2]의 계전기 동작시간

Table 5 Relay operating times of reference[2]

Fault case	동작 시간(초)					
	I 1	I 2	I 3	II 1	II 2	II 3
relay						
R0	-	-	-	0.28	0.28	0.28
R1	-	-	-	0.28	0.28	0.28
R2	4.10	5.30	2.00	1.30	0.93	0.81
R3	3.80	5.20	2.40	1.30	0.98	0.84
R4	1.60	1.10	1.00	2.50	2.00	1.60
R5	1.60	1.10	1.00	2.50	2.00	1.60
R6	4.50	6.10	2.90	3.10	3.80	2.80
R7	-	-	-	-	-	-
R8	-	-	-	-	-	-
total operating time	15.6	18.8	9.3	11.26	10.27	8.21

Fault I인 경우에 그림 5로부터 동작 또는 동작대기인 과전류보호계전기는 R2, R3, R4, R5, R6이며 이때 주보호계전기는 R2, R3, R4, R5이고 R6는 후비보호계전기이다. 따라서 과전류보호계전기 R2, R3 각각과 R6 사이의 보호협조시간 차가 0.4초 이상 되어야 한다. 표 4, 5에서 보는 것처럼 모든 case에서 만족함을 확인할 수 있다. 또한 전체 동작시간 면에 있어서는 AEA를 이용한 본 논문에서의 방법이 참고문헌의 방법보다 더 짧은 시간에 동작함을 확인할 수 있다. 그리고 Fault II인 경우에 동작 또는 동작대기인 과전류보호계전기는 R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6이며 주보호계전기는 R0, R1이며 후비보호계전기는 R2, R3이다. 그리고 R2, R3의 후비보호는 R4, R5이다. 따라서 R0, R1과 R2, R3사이,

R2, R3와 R4, R5사이의 보호협조시간 차가 각각 0.4초 이상 되어야 한다. 표 4, 5에서 이를 만족함을 확인하였고, 이 경우에도 AEA로 구한 동작시간이 더 짧게 나타남을 확인하였다.

표 4 및 표 5에서 과전류보호계전기의 보호협조시간 차가 0.4초 이상을 모두 만족하였고, 전체 과전류보호계전기 동작시간 측면에서 case 3이 가장 빠른 시간에 동작하는 것을 볼 수 있다. 또한 참고문헌 [2]와 비교 시 본 논문에서 제안한 AEA를 적용한 방법이 참고문헌의 경우보다 전체 과전류계전기 동작시간이 더 빠름을 확인하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 배전계통의 과전류보호계전기 최적 정정차 결정 문제에 GA와 ES의 장점을 결합한 AEA를 적용하였다. 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해 참고문헌 [2]에 있는 링형 모의계통에 적용하여 참고문헌의 결과와 비교·검토하였다. 배전계통의 고장발생 시 과전류보호계전기들의 전체 동작시간을 비교한 결과, 본 논문에서 제시한 AEA 방식이 참고문헌의 방법보다 과전류 보호계전기들의 동작시간이 더 빠름을 보여주었다.

향후에는 본 연구의 결과를 기반으로 배전계통에서 연계 운전되고 있는 분산전원의 영향을 고려하여 배전선 사고에 능동적으로 동작할 수 있는 적응형 보호 계전 기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

[1] Chattopadhyay B., Sachdev M.S. and Sidhu T.S., "An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 11, pp. 165-173, Jan. 1996.

[2] So C.W., Li K.K., Lai K.T. and Fung K.Y., "Application of genetic algorithm to overcurrent relay grading coordination", *Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-97*, pp. 283-287, March 1997.

[3] So C.W. and K.K. Li, "Intelligent method for protection coordination", *IEEE International Conference on Electric Utility Deregulations, Restructuring and Power Technologies*, pp. 378-382, 2000.2004.

[4] So C.W. and Li K.K., "Time coordination method for power system protection by evolutionary algorithm", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 36, pp.

1235-1240, 2000.

[5] P. P. Baker, and R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power system: Part1-Radial distribution systems". *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 3, pp. 1645-1656, 2000.

[6] R. H. L, "MicroGrids", *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, vol. 1, pp. 305-308, 2002.

[7] H. Al-Nasseri, M. A. Redfern, and R. O'Gorman, "Protecting micro-grid systems containing solid-state converter generation", *IEEE International Conference on Future Power Systems*, pp. 1-5, 2005.

[8] D. M. Vilathgamuwa, P. C. Loh, and Y. Li, "Protection of Microgrids During Utility Voltage Sags", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 53, pp. 1427-1436, 2006.

## 저 자 소 개



### 정 희 명 (鄭 熙 明)

1978년 1월 6일생. 2004년 부산대 공대 전자전기정보컴퓨터공학부 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정  
Tel : 051)510-3188, Fax : 051)513-0212  
E-mail : jeonghm@pusan.ac.kr



### 이 화 석 (李 和 錫)

1966년 7월 10일생. 1991년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 거제대학 전기과 부교수  
Tel : 055)680-1604, Fax : 055)681-3993  
E-mail : hslee@koje.ac.kr



### 박 준 호 (朴 俊 灝)

1955년 9월 17일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1984년~현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수  
Tel : 051)510-2370, Fax : 051)513-0212  
E-mail : parkjh@pusan.ac.kr