

적응진화 알고리즘을 이용한 배전계통의 과전류보호계전기 최적 정정치 결정

정희명*, 박준호*, 이화석**, 문경준***

*부산대학교, **거제대학, ***한국원자력연구소

Optimum Setting of Overcurrent Relay in Distribution Systems Using Adaptive Evolutionary Algorithm

Hee Myung Jeong*, June Ho Park*, Hwa-Seok Lee**, Kyeong-Jun Mun

*Pusan National University, **Koje College, ***KAERI

Abstract - This paper presents OC relay coordination to protect distribution system by Adaptive Evolutionary Algorithm(AEA). AEA is a optimization method to overcome the problems of classical optimization. The results show that the proposed method can improve more optimum relay settings than present available methods.

CM_j : 보호계전기 j 와 보호협조해야 할 다른 보호계전기 간(pair)의 보호협조시간과 미리 설정한 보호협조 여유(margin)간의 시간차
 CV_k : 보호계전기 k 에 대하여 보호협조해야 할 모든 보호계전기 간(pair)의 제약조건 위반 횟수
 α, β, χ : 각 항의 가중계수

1. 서 론

배전 계통 보호시스템은 여러 종류의 계전기들로 구성되어 있고, 고장발생시 시스템의 정전구간을 최소화시키면서 신속한 고장 제거를 하기위한 1차 보호시스템(primary protection)과 1차 보호시스템이 고장제거에 실패할 경우 그 역할을 대신하는 후비보호시스템(backup protection)을 갖추고 있다. 따라서 각각의 보호계전기들은 고장발생시 시스템의 정전구간을 최소화시키면서 신속한 고장제거를 위해 서로 보호협조 체계를 갖추어야 한다. 배전계통 보호계전기의 보호협조문제는 보호해야할 어떤 영역에서 하나의 계전기 정정치를 변경할 경우 주보호 또는 후비보호를 담당하는 다른 계전기들의 정정치를 다시 계산해야하는 많은 제약조건을 가진 문제이다. 따라서 보호계전기의 정정치를 최적으로 결정하는 것은 매우 어려운 문제이며, 현재는 시행착오적으로 그래프를 활용하는 방식을 사용하고 있다. 최근에는 보호협조를 위한 보호계전기의 정정치를 최적으로 결정해 보고자 하는 연구가 발표되고 있으며, 선형계획법[1], 유전 알고리즘[2, 3], 진화 알고리즘[4] 등의 최적화 알고리즘을 이용하는 방법들이 제시되고 있다.

보호협조문제의 제약조건은 보호협조를 위한 1차 보호계전기와 후비보호 계전기 사이의 동작시간 차이로 선정하였다. 이 동작시간은 차단기의 동작시간과 계전기의 정정시간을 포함한 값으로, 보통 보호계전기 사이의 보호협조시간 여유는 0.4 [sec]정도 이므로 이를 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$t_u - t_d \geq 0.4s \tag{3}$$

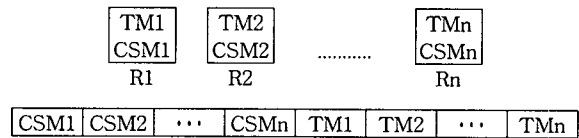
여기서, t_u : 상위 계전기의 동작시간
 t_d : 하위 계전기의 동작시간

2.3 적응진화 알고리즘을 이용한 과전류보호계전기 최적 정정치 결정 방법

2.3.1 적응진화 알고리즘
 본 논문에서는 한 세대에서 다음 세대로 진화시킬 때 유전 알고리즘과 진화전략을 동시에 적용하고, 세대의 진행과정에서 유리한 진화연산기법이 다음 세대의 해집단을 형성하는데 우위에 있도록 하는 적응진화 알고리즘을 제안하였다.

2.3.2 과전류보호계전기 최적 정정치 결정에 적응진화 알고리즘의 적용

(1) 초기화
 과전류보호계전기 정정치를 결정하기 위하여 제약조건을 만족하는 스트링을 랜덤하게 생성한다. 이때 과전류보호계전기의 정정치를 결정하기위한 스트링은 과전류보호계전기의 동작시간을 결정하는 변수인 TM과 CSM을 이용하여 그림 1과 같이 구성하였다.



<그림 1> 스트링 구조

이때 제약조건 위반여부는 초기화 및 매 세대마다 항상 점검되어야 하며 제약조건에 위배되는 스트링에 페널티를 부과하였다.

(2) 적응진화 알고리즘의 평가
 적응진화 알고리즘의 적합도 평가는 식 (2)의 목적함수를 이용하여 구성한 식 (4)의 적합도 함수로부터 각 스트링을 평가한다.

$$Fitness = \frac{A}{B + objective} \tag{4}$$

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

적응진화 알고리즘의 복제 과정에서는 식 (4)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 계전기들 간의 보호협조시간 차이 0.4[sec]의 위반여부를 나타낸다. 제약조건을 위반하는 경우에는 식 (2)의 목적함수에서 제약조건 위반횟수 항인 CV_k 에 1씩 증가시켜 목적함수 값이 커지도록 하였다.

2. 과전류보호계전기 최적 정정치 문제

2.1 과전류보호계전기 동작시간

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

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

여기서, I_s (=CSM * CT ratio * Relay rating) < I
 Time : operating time in seconds
 TM : time multiplier
 CSM : current setting multiplier
 CT ratio : Current transformer ratio
 I : input current
 I_s : setting current
 $\gamma=0.02$ and $\lambda=0.14$

2.2 목적함수 및 제약조건 선정

본 논문에서는 과전류보호계전기의 정정치를 결정하기 위한 최적화문제에서 목적함수로 과전류보호계전기 각각의 동작시간의 전체합, 보호계전기들 간의 보호협조시간 차, 그리고 보호계전기들 간의 제약조건을 포함하여 세 부분으로 구성하였다. 이를 식 (2)에 나타내었다.

$$Objective = \alpha \times \sum R_i + \beta \times \sum CM_j + \chi \times \sum CV_k \tag{2}$$

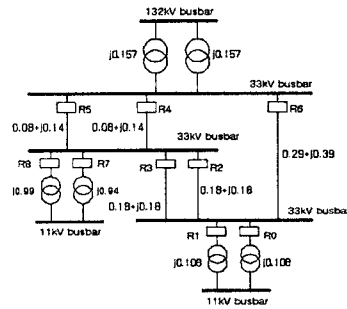
여기서, R_i : 어떤 특정한 배전계통 구성 i 에서 차단기 동작시간과 지 포함한 보호계전기의 동작시간

(4) 종료

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

3. 사례연구

유전알고리즘을 이용한 과전류보호계전기의 정정치 결정에 대한 사례연구와 비교하기 위하여 참고문헌[2]과 동일한 모의배전계통에 본 논문에서 제안한 적응진화 알고리즘을 적용하였다. 모의실험에 사용된 예제모의계통을 그림 2에 나타내었다. 모의계통의 시스템 파라미터는 100 [MVA] 기준으로 나타낸 pu값이고, 각 과전류보호계전기의 CT 비와 정격을 표 1에 나타내었다. 또한 모의실험을 위해 과전류보호계전기의 정정치를 결정하는 변수인 TM은 0.1-1.0사이에서 변화하도록 하였고, 변동폭은 0.01로 정하였다. 그리고 CSM은 50-200%의 범위에서 변동시켰고, 변동폭은 1%로 결정하였다.



<그림 2> 33kV 예제계통

<표 1> 계전기 데이터

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

모의실험을 위한 해집단의 크기와 세대 수, 목적함수 각 항의 가중계수 값을 표 2에 나타냈으며, 각 경우에 대하여 모의실험한 과전류보호계전기 정정치를 표 3에 나타내었다.

<표 2> 시뮬레이션 데이터

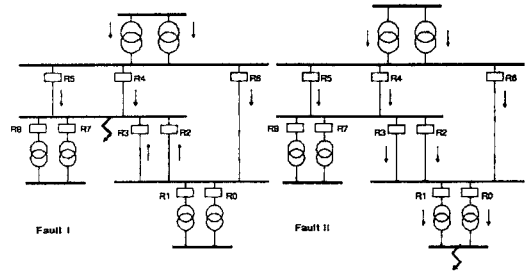
case	α	β	χ	A	B	해집단 크기	세대 수
1	1.0	0.0	0.0	1	1	500	50
2	0.0	1.0	0.0	1	1	500	50
3	0.0	0.0	1.0	1	1	500	50

<표 3> 각 경우별 계전기 정정치

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	95	0.17	60	0.36	51	0.23
R3	130	0.2	87	0.41	103	0.21
R4	195	0.25	87	0.60	100	0.32
R5	136	0.3	100	0.55	100	0.32
R6	199	0.38	110	0.64	144	0.33
R7	120	0.1	100	0.1	120	0.1
R8	100	0.1	100	0.1	99	0.1

임의의 고장지점에 있어 본 논문에서 설정한 과전류보호계전기 정정치의 유용성을 확인하기 위하여 그림 3에 나타낸 것처럼 Fault I, Fault II를 발생시켜 각 위치별 과전류보호계전기의 동작시간을 구하였다. 또한 참고문헌[2]의 결과와 비교하기 위하여 표 4에 동일

위치 고장에서의 참고문헌의 과전류보호계전기 동작시간, 본 논문에서 제안한 적응진화 알고리즘으로 구한 과전류보호계전기의 동작시간을 나타내었다.



<그림 3> 사례연구를 위한 고장점

<표 4> 계전기 동작시간비교

Fault	참고문헌						적응진화 알고리즘					
	I	I	I	II	II	II	I	I	I	II	II	II
case	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
relay	Operation time(second)											
R0	-	-	-	0.28	0.28	0.28	-	-	-	0.25	0.25	0.24
R1	-	-	-	0.28	0.28	0.28	-	-	-	0.25	0.26	0.24
R2	4.10	5.30	2.00	1.30	0.93	0.81	3.96	5.18	1.98	1.25	0.90	0.77
R3	3.80	5.20	2.40	1.30	0.98	0.84	3.80	5.48	2.00	1.27	0.94	0.80
R4	1.60	1.10	1.00	2.50	2.00	1.60	1.52	1.00	0.94	2.45	2.00	1.57
R5	1.60	1.10	1.00	2.50	2.00	1.60	1.53	1.00	0.94	2.44	2.00	1.55
R6	4.50	6.10	2.90	3.10	3.80	2.80	4.38	5.87	2.40	3.04	3.50	2.63
R7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 4를 보면 계전기 정정치와 보호협조시간 차이가 경우 3일 때 참고문헌 및 본 논문에서 모두 가장 우수하고 빠른 시간에 계전기가 동작하는 것을 볼 수 있다. 또한 참고문헌[2]과 비교 시 적응진화 알고리즘을 적용한 방법이 참고문헌의 경우보다 동작시간이 더 빠름을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식이 참고문헌에서 제안한 유전알고리즘 방식보다 최적의 과전류보호계전기 정정치를 구함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 과전류보호계전기 보호협조문제에 적응진화 알고리즘을 적용하여 계전기 정정치를 최적으로 결정할 수 있는 방법을 제시하였으며, 과전류보호계전기 보호협조문제에 적응진화 알고리즘을 이용하여 제약조건이 만족되는 계전기 정정치를 최적으로 구하였다. 본 논문에서 제시한 적응진화 알고리즘을 사용한 경우가 기존의 유전 알고리즘을 사용한 경우보다 계전기 동작 시간 면에서 더 우수한 결과를 얻었다.

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.

[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.