

파라미터를 이용한 배전계통 보호능력 평가 및 최적화

신재항, 현승호, 임성일, 이승재, 최인선, 진보건  
 명지대학교 차세대전력기술연구센터

Optimal protection by using Parametric Protection Ability Index

J H Shin, S H Hyun, S I Lim, S J Lee, I S Choi, B G Jin  
 Next-Generation Power Technology Center, Myoungji University

**Abstract** - This paper suggests an optimal parameter setting method by use of parametric protectability index, as the objective function. In this paper, a gradient based optimization method is used under the assumption that the initial values of a parameter is in a convex set including the optimal value, which is verified by a plenty of simulation studies. The proposed method is applied to a sample distribution network to shows its effectiveness.

1. 서 론

최근 전력수요가 급증하고 특히 전력품질에 대한 요구가 증가함에 따라 계통보호의 개념이 중요한 논점이 되고 있다. 배전 계통 보호는 과전류계전기, 리클로저, 섀시널라이저, 퓨즈등의 보호기기를 이용해 이루어지는데 첫 번째 목적은 정전 구역의 최소화이다. 이를 위하여 보호 장치의 운영방법은 물론 배전선로의 특성을 파악하고 배전용 보호계전기와의 보호협조를 적절히 유지해야 한다. 보호기기는 상정된 운전상황에서는 만족스러운 보호 기능을 수행할 수 있으나 부하의 변동과 계통구조의 변경 등 운전상황의 변동 시에는 요구되는 보호기능을 충족시키지 못하는 경우가 발생한다. 이 경우 전력 공급의 일시적인 증지는 불가피해 지고 배전 계통 고장으로 인한 파급효과는 대단히 크고 경제적인 손실도 매우 클 것이다.[1-4] 보호기기의 적절한 설정을 위해서는 기기 및 전체 시스템의 보호능력을 평가할 수 있는 수단이 전제되어야 한다. 이미 보호도의 개념과 평가지수를 정의하고 모호 논리를 기반으로 계통의 보호능력을 평가하는 계층적 모델이 제안되었다.[5,6] 본 논문에서는 각 기기의 파라미터를 기반으로 보다 해석적으로 보호능력을 평가하고자 하였다. 먼저 보호기기 각각의 파라미터를 설정하기 위한 여러 규칙들에 대하여 현재 보호기기가 갖는 파라미터 값이 해당 규칙을 만족하는 정도를 정량화하여 보호능력을 평가한다. 이때 개별 보호기기 및 보호기기간의 협조관계를 구분하기 위하여 규칙들을 이에 맞도록 분류하였으며, reference[7,8]에서 제안된 계층적 보호도 평가 모델을 적용하였다.

본 논문에서는 각 보호기기의 보호 파라미터 관점에서 개별 보호기기 및 보호 시스템의 보호능력을 평가하고 계통의 운전상태 변화에 따라 보호기기의 동작치를 능동적으로 최적의 값으로 변화시켜 항상 최적의 보호시스템이 확립될 수 있도록 하는 최적 적응 보호계전 시스템에 적용할 수 있는 최적 파라미터 선정방법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 파라미터 관점의 보호도 개념

전력계통의 각 보호기기는 각각 몇 개의 파라미터를 가지고 있으며 이들의 값은 보호의 목적을 달성하기 위하여 설정된 규칙에 의해 결정된다. 여기서, 보호기기

의 파라미터라 함은 “보호능력에 영향을 주며, 변경이 가능한 값”을 의미한다. 각 파라미터의 조정방법은 전력계통을 보다 효율적으로 보호하기 위하여 해석과 운영상의 경험에 근거하여 구축된 것으로, 보호시스템의 보호능력의 우수성 여부는 이 규칙들이 얼마나 잘 만족되는가에 달려있다고 볼 수 있다. 각 보호기기의 파라미터들이 그 값을 정하기 위한 규칙들을 얼마나 잘 만족하고 있는지를 평가하여 수치적으로 산출하며 산출된 값을 결합하여 단위 보호기기별, 혹은 전체 보호시스템의 보호능력을 평가하기 위한 지수가 파라미터 관점에서의 보호도이다.[8,9]

2.2 보호도 평가기준 및 적합도 산정

보호시스템의 보호능력은 보호기기의 파라미터를 조정하는데 적용되는 규칙들 즉, 평가기준이 충실하게 만족되는가 하는 관점에서 평가될 수 있다. 모든 규칙은 각 파라미터가 가져야 하는 범위와 그중에서 가장 적합한 값을 규정하고 있다. 보호능력을 평가하는데 있어 효율을 높이기 위한 규칙들을 다음과 같이 세 종류로 분류하였다. 또한 정규분포함수를 이용해서 적합도를 산정했고 각 규칙에 대하여 적합도 계산방법을 설명하였다.[9]

- i) Single Parameter Rules(SPR) : 이 범주에 속하는 규칙들은 단일 보호기기의 하나의 파라미터에 적용되는 규칙이다. 과전류 계전기의 한시템의 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

ex) OCR 한시템  $y = e^{-\left[\frac{(Tap - B)}{A}\right]^2}$

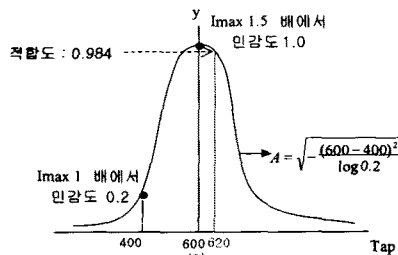


그림 1. OCR 한시템 평가함수

- ii) Multi-Device Rules(MDR) : 이 규칙들은 서로 다른 두 개 이상이 보호기기에 동시에 적용되는 규칙들이다. 과전류 계전기와 리클로저간의 동작 시간차가 대표적인 예이다.

ex) OCR - Recloser 동작시간차

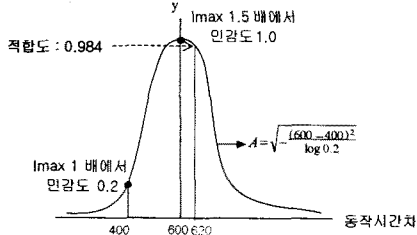


그림 2. OCR - Recloser 동작시간차 평가함수

iii) Multi-Parameter Rules(MPR) : 하나의 보호 기기에 있는 둘 이상의 파라미터에 적용되는 규칙 들의 집합이다. 여기에 해당하는 대표적인 규칙으 로 보호기기가 보호하는 계통의 범위에 관한 규칙 이다. 두 규칙중 작은 값을 적합도로 적용한다.

ex) 부하량, 선로공장

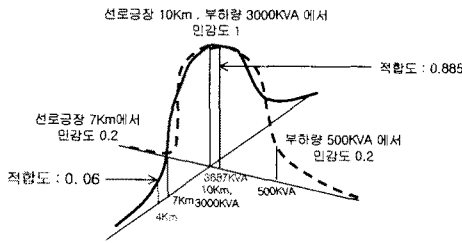


그림 3. 부하량, 선로공장 평가함수

### 2.3 보호시스템의 보호능력 평가

보호시스템의 보호능력은 그 시스템을 구성하는 각 보호 기기의 보호능력과 보호기간의 협조능력에 의하여 결정된다. 시스템의 보호능력 PI(Protect-ability Index)는 식 (1)에 의하여 구할 수 있다.[9]

$$PI = \sum_{i \in S} w_i P_i + \sum_{j,k \in C} w_{j,k} P_{j,k} \quad (1)$$

여기서,  $P_i$  :  $i$ 번째 개별보호기기의 보호능력  
 $P_{j,k}$  :  $j, k$ 간의 보호기기 협조능력  
 $w_i$  :  $P_i$ 항의 가중치  
 $w_{j,k}$  :  $P_{j,k}$ 항의 가중치

여기서 S, C는 각각 해당 보호시스템을 구성하는 보호 기기의 인덱스 집합과 보호기간의 협조관계를 갖 는 보호기기 쌍의 인덱스 집합이다. 그리고  $w_i, w_{j,k}$ 는 각 항에 대한 가중계수로 보호기기마다 중요도를 달리 할 수 있도록 하기 위함이다.

### 2.4 배전계통 최적 보호시스템

주어진 계통상태에서 보호도 지수를 최대로 하는 파라 미터를 산출하면 이것이 최적 파라미터가 된다. 파라미 터에 대한 함수의 최적화에 대해서는 다양한 방법들이 존재한다. 특히 본 연구에 제시된 보호도 지수는 많은 극값이 존재할 수 있는 함수이며, 이론적으로는 기존의 gradient에 기반을 둔 탐색기법에 의해서는 Local Minimum에 수렴하여 최적해에 도달하지 못할 여지를 가지고 있으므로, genetic 알고리즘 등의 전역 탐색 알고리즘을 채용하는 것이 적합할 수도 있으나 다양한 조

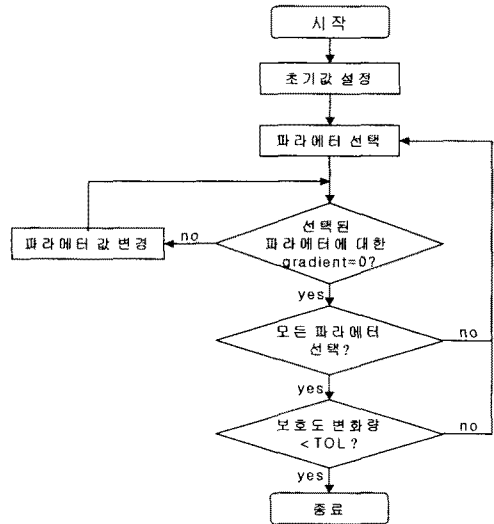


그림 4. 최적화 전체 흐름도

건하에서 검토 결과, 개개의 파라미터 초기값을 해당 SPR을 최적으로 하는 값으로 설정하면, 모든 파라미터의 값들이 전체 보호도 지수의 최적해 근방에 존재하며, gradient를 이용한 간단한 탐색방법에 의하여 최적해에 도달함을 알 수 있으므로 “각 파라미터의 초기값이 최적 해를 포함하는 위로볼록한(convex) 영역에 존재한다”는 것을 가정하였다. 그리고 이러한 가정 하에서 본 연구에서 는 gradient를 이용하여 최적해를 탐색하는 방법을 적용하였다. 최적화 전체 흐름도는 그림 4와 같다.

서술한 바와 같이 보호도 지수는 각 규칙의 적합도와 그들의 선형결합에 의하여 산출되므로 gradient는 chain rule을 이용하여 구할 수 있다.



그림 5. 예제 계통

그림 5와 같은 계통에서 Recloser1의 최소동작치 (Minimum Trip Rating)에 대한 gradient는 OCR - Recloser1간의 동작시간차, Recloser1 - Recloser2간의 동작시간차 및 Recloser1 자신의 개별 적합도의 합을 최소동작치로 편미분한 값이다. 식(2)를 이용하여 예 제 계통에서 Recloser1의 개별적합도와 협조관계에서의 적합도를 Recloser1의 최소동작전류(mtr1)에 대해 편 미분하여 최적의 mtr1 값을 선정한다.

$$\frac{\partial PI}{\partial mtr_1} = \frac{\partial PI}{\partial P_{r1}} \cdot \frac{\partial P_{r1}}{\partial mtr_1} + \frac{\partial PI}{\partial P_{r1-r2}} \cdot \frac{\partial P_{r1-r2}}{\partial mtr_1} + \frac{\partial PI}{\partial P_{o-r1}} \cdot \frac{\partial P_{o-r1}}{\partial mtr_1} \quad (2)$$

$P_{r1}$  : Recloser1의 보호도  
 $P_{r1-r2}$  : Recloser1과 Recloser2의 협조보호도  
 $P_{o-r1}$  : OCR과 Recloser1의 협조보호도

그림6은 본 연구의 가정이 현실적으로 타당함을 보기 기 위해서는 모든 파라미터를 고정시킨 후 Lever, Tap 을 변화시키면서 얻어낸 곡면이다. 그림7은 그림 6을 등고선으로 표현한 그림이다. 전체적으로 곡면의 굴곡이 완만하며 지역해에 수렴할 여지가 없음을 보여주고 있다.

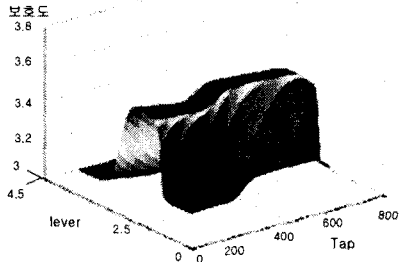


그림 6. Lever-Tap 곡면

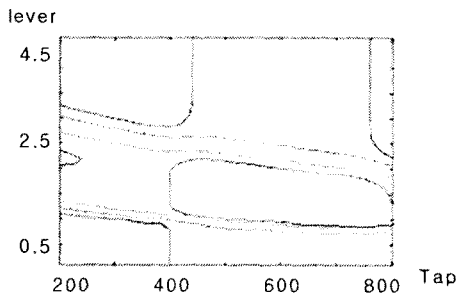


그림 7. Lever-Tap 등고선

### 2.5 사례연구

본 연구에서 제안된 최적보호 개념을 예제 계통에 적용을 통하여 검증하였다. 본 연구에서 최적화 평가 방안 계획은 아래와 같이 가정을 전제로 한다.

- ① 각 파라미터 및 각 보호기기의 보호도 산출에서 중요도에 따라 가중치를 적용한다.
- ② 현재부하 전류를 데이터로 얻을 수 없으므로, 여기서는 평상시 최대 부하전류를 현재부하 전류로 가정하여 평가하였다.
- ③ 전위구간기기 보호능력 평가를 위해서는 선종에 따른 단락강도 곡선이 필요하나, 본 사례연구에서는 만족된 것으로 간주한다.
- ④ 보호기기 정정을 목적으로 고장계산을 할 때 필요한 선로정수는 임의로 ACSR 160mm<sup>2</sup>의 선로정수를 사용하였다.
- ⑤ 유효숫자는 소수점 셋째자리까지 한다.

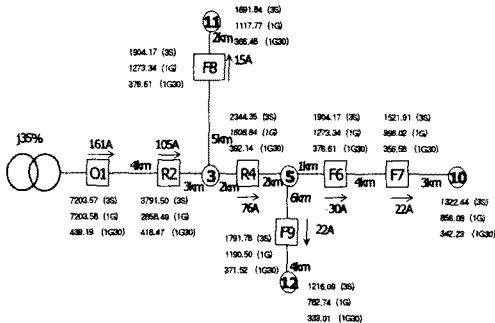


그림 8. 모의계통

표 1. 보호기기별 최적화 전과 후의 정정값

	O1	R2	R4	F6	F7	F8	F9	전체
Type	QCOC II	WVE	WVE	K	K	K	K	보호도
최적화 전	순시Tap(P): 4300 한시Tap(P): 750 lever(P): 2.5	MTR(P): 600 Seq: 2D2F	MTR(P): 200 Seq: 2D2F	20	15	10	15	3.486
최적화 후	순시Tap(P): 5687 한시Tap(P): 591 lever(P): 1.95	MTR(P): 417.75 Seq: 2D2F	MTR(P): 258 Seq: 2D2F	20	15	10	15	4.110

본 사례연구는 배전계통 보호시스템에서 각 보호기기에 임의의 정정치를 결정한 후 보호지수를 구하고 제시한 최적정정방법을 이용하여 각 보호기기의 정정치를 최적으로 정정한 후 그 결과를 비교하였다. <표 1>에서 그 결과를 살펴보면 각 파라미터의 값이 최적으로 변경되었으며 전체적인 보호도 지수가 증가하였음을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

부하의 변동 및 계통 구성 변경 시 보호기기들의 파라미터값을 자동 변경시켜 항상 최적의 보호시스템이 확립될 수 있도록 하는 적응보호시스템의 개념이 요구된다. 보호도의 개념과 평가지수를 바탕으로 각 보호기기의 보호도를 평가하였고, gradient 최적화기법을 이용하여 보호기기의 파라미터 값을 자동 정정함으로써 전력계통의 보호기기 최적화 방안을 제시하고 있다.

### [감사의 글]

본 연구는 과학 기술부 및 한국과학 재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국 전력 연구원, "배전보호협조"
- [2] Charles V. Walker, "Electrical Distribution - System Protection Third Edition", Cooper Power Systems
- [3] J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying Principle and Application Second Edition", Marcel Dekker, Inc
- [4] "Application and Coordination of Reclosers, Sectionalizers and Fuses", IEEE Tutorial, 1980
- [5] H.C.Kim, S.J.Lee, S.H.Kang, B.S.Ahn, J.K.Park, "Evaluation of Distribution Protection System Based on Dempster-Shafer's Theory of Evidence", Proc.1998 KIEE Summer Conference, pp.896-898
- [6] S.J.Lee, M.S.Choi, S.H.Kang, S.T.Kim, "Protectability : An Index to Indicate Protection Level of "Primary Distribution System", KIEE International Transactions on PE, Vol 3-A, No.1 PP 7 ~ 16, 2003
- [7] 조필성 "적응보호 시스템을 위한 전력계통 평가방안", 명지대학교 석사논문
- [8] P.S.Cho, S.H.Hyun, S.I.Lim, S.J.Lee, D.S.Lee, "Parametric Evaluation Method of Protectability in a Distribution System", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 241-243, 2002
- [9] J.H.Shin, S.I.Lim, S.H.Hyun, S.J.Lee, B N Ha, I H Seol, "Optimal Location of a Protective Device by using Parametric Protection Ability Index", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 366-368, 2003