

파라미터 관점의 보호능력 평가지표를 이용한 보호기기의 위치 선정

신재항, 임성일, 현승호, 이승재
명지대학교 차세대전력기술연구센터

*하북남 설일호
*전력연구원

Optimal Location of a Protective Device by using Parametric Protection Ability Index

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

*B N Ha, I H Seol
*KEPRI

Abstract - In this paper, a parametric evaluation method of protection ability is proposed. The adequacy of every parameter is evaluated for the setting rules. Then the results are combined to give protection level of a whole protective system. The setting rules are categorized into three groups for hierarchical calculation. The proposed scheme is applied to a location problem of a new protective device to show its effectiveness.

기 위하여 설정된 규칙에 의해 정해진다. 여기서, 보호기기의 파라미터라 함은 “보호능능에 영향을 주며, 변경이 가능한 값”을 의미한다. 각 파라미터의 설정규칙들은 전력계통 보호를 이루기 위하여 해석과 운영상의 경험에 근거하여 구축된 것으로, 보호시스템의 보호능력의 우수성 여부는 이 규칙들이 얼마나 잘 만족되는가에 달려있다고 볼 수 있다. 각 보호기기의 파라미터들이 그것을 설정하기 위한 규칙들을 얼마나 잘 만족하고 있는지를 산정하고 이들을 결합하여 단위 보호기기별, 혹은 전체 보호시스템의 보호능력을 평가하기 위한 지수가 파라미터 관점에서의 보호도이다.[7,8]

1. 서 론

전력계통 보호 시스템의 설계와 운영에 있어 보호기기의 각 설정치들을 적절하게 하는 것은 매우 중요하면서도 어려운 일이다. 예를 들어 과전류 계전기의 차단전류는 해당 계통의 고장전류와 최대 부하전류에 의하여 결정되는데, 이는 계통의 구성이나 부하 및 전원의 운용상태 등이 복합적으로 고려되어야 한다. 이 경우 일반적으로 정해진 규칙과 현장 경험이 의사결정의 중요한 근거가 되나, 계통의 운용조건이 변경되는 경우, 이를 충실히 반영하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다.[1-4] 특히, 보호기기 자신뿐만 아니라 인접 보호기기와의 협조를 고려하자면, 그 어려움은 배가되며 수시로 계통 상황이 변경되는 배전계통에 있어서는 더욱 어려운 일이 된다. 보호기기의 적절한 설정을 위해서는 기기 및 전체 시스템의 보호능력을 평가할 수 있는 수단이 전제되어야 하며, 최근 이에 대한 연구들이 발표된바 있다. 이 논문[5,6]에서는 보호도의 개념과 평가지수를 정의하고 모호 논리를 기반으로 보호도를 평가하는 계층적 모델을 제안하였고, 논문[7,8]에서는 각 기기의 파라미터를 기반으로 보다 해석적으로 보호능력을 평가하고자 하였다.

본 논문에서는 각 보호기기의 보호 파라미터 관점에서 개별 보호기기 및 보호 시스템의 보호능력을 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 먼저 보호 파라미터를 설정하기 위한 여러 규칙들에 대하여, 현재 보호기기가 갖는 파라미터 값이 해당 규칙을 만족하는 정도를 정량화하여 보호능력을 평가한다. 이때 개별 보호기기 및 보호기기 간의 협조관계를 구분하기 위하여 규칙들을 이에 맞도록 분류하였으며, [7,8]에서 제안된 계층적 보호도 평가 모델을 이용하였다. 제안된 방법은 계통 운용뿐만 아니라 계획 단계에도 적용할 수 있으며, 간단한 구조로 평가 방법을 적용하여 향후 전력계통 보호에 적응성을 부여하고자 할 때 활용될 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 파라미터 관점의 보호도 개념

전력계통의 각 보호기기들은 각각 몇 개의 파라미터들을 가지고 있으며 이들의 값은 보호의 목적을 달성하

2.2 보호도 평가기준

보호시스템의 보호능력은 보호기기의 파라미터를 설정하는데 적용되는 규칙들 즉, 평가기준이 충실하게 만족되는가 하는 관점에서 평가될 수 있다. 본 논문에서는 보호능력을 평가하는 데 있어 효율을 높이기 위하여 규칙들을 다음과 같이 세 종류로 분류하였다.

- i) Single Parameter Rules(SPR) : 이 범주에 속하는 규칙들은 단일 보호기기의 하나의 파라미터에 적용되는 규칙이다.
- ii) Multi-Device Rules(MDR) : 이 규칙들은 서로 다른 두 개 이상이 보호기기에 동시에 적용되는 규칙들이다.
- iii) Multi-Parameter Rules(MPR) : 하나의 보호기기에 있는 둘 이상의 파라미터에 적용되는 규칙들의 집합이다.

SPR과 MPR은 개별 보호기기의 보호능력을 평가할 수 있는 규칙들이다. 반면에 MPR은 적용되는 보호기기의 사이의 협조능력을 평가 한다 따라서, 각 단위 기기별로 SPR과 MPR의 규칙에 대한 적합도와 MDR에 대한 적합도를 각각 구하게 되면, 개별 보호기기의 독자적 보호능력과 다 보호기기와의 협조능력으로 구분하여 구할 수 있으므로, 보호기기 파라미터 정정시에 사용할 수 있다. 다음에는 각 규칙에 대한 현재 보호기기의 파라미터 값의 적합도를 구하는 방법을 설명한다.

2.2.1 SPR의 적합도

모든 규칙은 각 파라미터가 가져야 하는 범위와 그중에서 가장 적합한 값을 규정하고 있다. 예를 들어 과전류 계전기의 차단전류는 최소 고장전류보다는 작아야 하고, 최대 허용전류보다는 커야하며, 우리나라의 경우 최대 허용전류의 1.5배를 권장하고 있다. 따라서 이 규칙에 의하면 과전류계전기의 차단전류는 허용전류의 1.5배가 되도록 설정되는 것이 가장 적합한 것이며, 이 값에서 멀어질수록 적합도는 작아져야 한다. 즉 적합도는 어떤 파라미터가 해당 규칙에서 정의된 최적의 값을 가질 때 최대값을 가져야 하며, 경계부근으로 갈수록 작아져야 하고, 그 사이는 단조증가, 또는 감소하여야 한다. 본 논문에서는 규칙에 대한 파라미터의 적합도를 나타내는 함수로 sigmoid 함수를 이용하여 정의하였다. 이를 과전류계전기의 차단전류의 예를 들어 설명하면 다음과

같다. 차단전류를 설정하는 규칙 중에는 위에 기술한 바와 같이 차단전류의 상한과 하한, 그리고 권장치를 규정하는 규칙이 있으며, 여기에는 해당 과전류계전기의 Tap 값만이 파라미터에 해당하므로 이 규칙은 SPR에 속한다. 우선, 차단전류의 하한치, 상한치, 권장치를 각각 $I_{pick-Min}$, $I_{pick-Max}$, 그리고 $I_{pick-Opt}$ 라 정의하면, 이들 간에는 (1)식과 같은 관계가 있다.

$$I_{pick-Min} \leq I_{pick-Opt} \leq I_{pick-Max} \quad (1)$$

따라서 $I_{pick-Opt}$ 를 중심으로 $I_{pick-Min}$ 의 방향과 $I_{pick-Max}$ 으로 나누어 각각의 구간에 해당하는 sigmoid 함수를 구한다. 각각의 sigmoid 함수를 구하는데 있어 $I_{pick-Opt}$ 에서의 적합도 값과, $I_{pick-Min}$ 또는 $I_{pick-Max}$ 에서의 적합도 값이 경계조건이 된다. 먼저 $I_{pick-Min}$ 를 포함하는 구간의 함수를 구해보면, $R(p) = \frac{1}{1 + e^{a(p-b)}}$ 에서 식 (2)(3)에 경계조건을 만족하는 a와 b를 구한다.

$$R(I_{pick-Min}) = \alpha_1 \quad (2)$$

$$R(I_{pick-Opt}) = \beta, \text{ 여기서 } 0 < \alpha_1 < \beta < 1 \quad (3) \text{ 단, } p \geq I_{pick-Opt}$$

위 식(3)을 만족하는 함수 $R_1(p)$ 는 $I_{pick-Opt}$ 보다 작은 구간의 적합도 함수이다. $I_{pick-Max}$ 를 포함하는 구간의 적합도 함수 $R_2(p)$ 도 동일한 방법으로 구할 수 있다.

위 두 함수 $R_1(p)$ 와 $R_2(p)$ 를 결합하면 하나의 적합도 함수 $R(p)$ 를 구할 수 있으며 이 때, $I_{pick-Opt}$ 에서의 경계조건을 두 경우 동일하게 주었으므로 $R(p)$ 는 연속 함수를 이루게 된다. 그림 1은 이와 같이 구한 $R(p)$ 함수이며, 만일 현재 과전류계전기의 차단전류가 $I_{current}$ 값으로 설정되어 있다면, 이 규칙에 대한 적합도는 γ 임을 보여주고 있다.

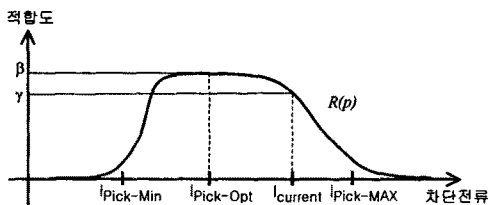


그림 1. SPR 적합도 함수의 설정

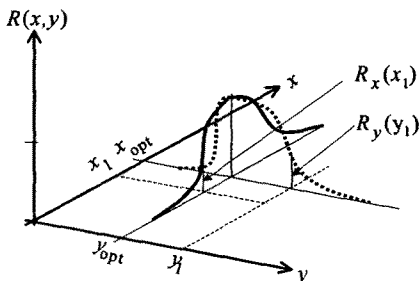


그림 2. MPR 적합도 산정

2.2.2 MPR의 적합도

MPR은 동일한 보호기기가 두개 이상의 파라미터를 설정할 때 적용되는 규칙들의 집합이다. 여기에 해당되는 가장 대표적인 규칙은 보호기기가 보호하는 계통의 범위에 관한 규칙이다. 즉 각 보호기기는 일정 용량 이내의 부하 또는 일정 길이 이내의 선로의 보호를 담당하도록 한다. 한국전력에서는 배전선로 보호를 위한 각 보호기기의 보호 거리와 용량에 상/하한을 두고 있다. 본 논문에서는 이들을 결합하여 하나의 규칙으로 처리하였다. 이에 대한 적합도를 정의하는 과정은 다음과 같다.

편의상 x와 y, 두 개의 파라미터에 대하여 적용되는 규칙을 가정한다. 규칙은 두 파라미터의 범위와 최적치를 규정하고 있다. 먼저 파라미터 y를 최적치에 고정시키고, x에 대하여 2.2.1에 설명한 바와 같이 sigmoid 함수를 이용하여 규칙에 대한 적합도 함수 $R_x(x)$ 를 구한다. 다음에는 x를 최적치에 고정시킨 후, y에 대하여 같은 방식으로 적합도 함수 $R_y(y)$ 를 구한다. 이제 현재 설정된 파라미터의 값이 각각 x_1 , y_1 이라 하면, 그림 2와 같이 이 규칙에 대한 각 파라미터의 적합도 $R_x(x_1)$, $R_y(y_1)$ 가 산출된다. 본 논문에서는 이 중 최소값을 이 규칙에 대한 현재 파라미터의 적합도로 하였다. 이를 도식한 것이 그림 2이다.

2.2.3 MDR의 적합도 산정

MDR은 두개 또는 그 이상의 보호기기들간의 협조 조건을 규정한 규칙들의 집합으로 과전류계전기와 리클로저간의 동작 시간차가 대표적인 예이다. 이 경우, 평가할 수 있는 지표는 두 기기의 동작시간 차이나, 이 특성을 결정하는 파라미터는 과전류계전기의 Tap과 Time Dial(동작특성곡선), 그리고 리클로저의 MTR(Minimum Trip Rating)과 동작곡선이다. 따라서 이 규칙은 MDR이 되며, 4개의 파라미터가 결합되어 그 특성을 결정한다. 그러나 각 보호기기들은 위의 파라미터들로부터 동작시간을 산출할 수 있는 관계식이 주어지므로 본 논문에서는 각 보호기기의 동작시간을 산출하여 이들의 차이로부터 적합도를 산출하는 방법을 취하였다. 이 경우 적합도 함수는 동작시간차라는 1차원 함수가 되므로 적합도 산정은 SPR과 동일한 방법으로 수행할 수 있다.

2.3 적합도 및 보호도 산정

2.2에서 각 규칙에 대하여 현재 보호기기의 파라미터 값들의 적합도를 구하는 방법을 기술하였다. 이제 규칙 단위의 적합도를 결합하여 전체 보호시스템의 적합도를 산출하는 방법을 설명한다. 전술한 바와 같이 본 논문에서는 규칙들을 개별 보호기기에 대한 규칙들과 기기간의 협조에 대한 규칙으로 분류하였다.

2.3.1 개별 보호기기의 보호능력

각 개별 보호기기의 보호능력은 다음과 같은 규칙배이스의 SPR과 MPR에 대한 현재 파라미터의 적합도 연산과 그 결합으로 이루어진다. i번 보호기기가 i_n 개의 파라미터를 가지고 있다면 이 경우 개별 보호능력 P_i 는 식 (4)과 같다.

$$P_i = \sum_{k=1}^{i_n} \sum_{SP_i} w_k^S \cdot SPR_i(P_k^S) + \sum_{j \in MP_i} w_j^M \cdot MPR_i(P_j^M, P_m^M) \quad (4)$$

여기서 SPI_i , MPI_i 는 각각 i번 보호기기의 파라미터들이 적용되는 모든 SPR과 MPR 규칙들의 인덱스 집합이며 w_j^S , w_j^M 은 각 규칙에 대하여 정의된 계수이다. 이 계수들은 보호기기에 따라 적용되는 규칙의 수에 따라 정규화 하여 기기간의 상대적인 보호능력을 비교할 수

있게 하기 위함이다. 또한 규칙별로 상대적 크기를 달리 하여 규칙의 중요도를 반영할 수 있다.

2.3.2 보호협조 능력

보호협조 능력은 각 파라미터들의 MDR 규칙들에 대한 적합도에 의하여 평가된다. 보호능력을 산정하는 과정은 개별보호기와 동일하며, 다만 협조관계에 있는 두 보호기들의 파라미터들이 고려된다는 점만 다르다.

2.3.3 보호시스템의 보호능력

보호시스템의 보호능력은 그 시스템을 구성하는 각 보호기들의 보호능력과 보호기간의 협조능력에 의하여 결정된다. 시스템의 보호능력 PI는 식 (5)에 의하여 구할 수 있다.

$$PI = \sum_{i \in S} w_i P_i + \sum_{j,k \in C} w_{j,k} P_{j,k} \quad (5)$$

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

2.4 사례연구

여기서는 제안된 방법을 새로운 보호기기 추가시 위치 설정에 적용하였다. 예제 계통에서 Recloser(R2)와 하위 보호기들 (F14, F15, F16)간의 거리가 지나치게 길어서 R2의 부담이 가중되므로 이 사이에 보호기기를 추가하는 것이 필요한 것으로 판단된다. 여기서 새로운 Recloser를 하나 추가하는 것을 가정하며 Recloser 설치위치를 1km 단위로 변경하여 보호도를 산정하였다. Recloser의 파라미터는 각 위치에서 고장전류와 부하전류 및 협조를 고려하여 가장 적절한 값을 설정하였다. 표 2는 그 결과이며 새로운 Recloser가 node 7 또는 8에 위치할 때 전체 보호능력이 가장 높아짐을 알 수 있다. 그리고 표 1과 비교해 보면 기존 Recloser의 개별 보호능력도 현저히 증가함을 볼 수 있다. 따라서 새로 추가되는 recloser의 위치는 node 7 또는 8로 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 보호기기 변동에 따른 보호 시스템의 보호도 변화를 평가하고 평가된 보호도를 바탕으로 보호기기 설정치를 조정하거나 위치를 변경함으로써 보호능력을 향상 시키고 최적의 상태로 유지하는 객관적 성능 지표로서 배전계통 보호능력 평가방안을 제시하고 새로운 보호기기의 최적위치 설정에 적용하여 유용성을 보였다. 향후 감도를 이용한 최적 파라미터를 설정하는 방법으로 확대 연구가 요망된다.

[감사의 글]

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

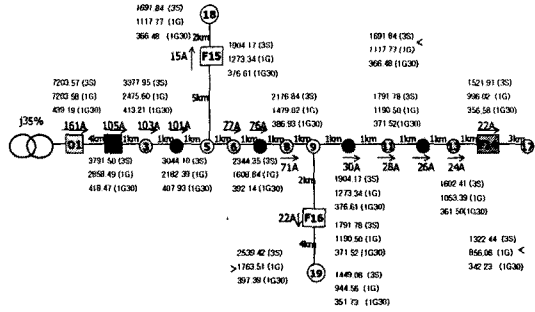


그림 3. 모의 계통

표 1. 새로운 Recloser 추가 전 보호도

	전체보호도	개별보호기기 보호능력(R2)	하위기기와 보호협조능력
N2	2.798422	0.647663	1

표 2. Recisoer 추가 위치에 따른 보호도 변화 추이

Recloser 추가위치	전체보호도	개별보호기기 보호능력	하위기기와 보호협조능력
N3	3.077616	0.397966	0.000019
N4	3.077599	0.697852	0.000084
N6	3.49022	0.943387	0.535652
N7	3.648343	0.922832	0.936518
N8	3.627301	0.847696	0.999503
N10	3.278465	0.698314	1
N11	3.271124	0.696446	1
N12	3.277386	0.697355	1
N13	3.277333	0.697267	1

[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 "적용보호 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