

Dempster-Shafer 증거 이론을 이용한 배전계통 보호도 평가

김희철* 이승재* 강상희* 안복신** 박종국**
 *영지대학교 전력시스템센터 **LG 산전

Protection Level Evaluation of Distribution Systems Based on Dempster-Shafer Theory of Evidence

Hee-Chul Kim* Seung-Jae Lee* Sang-Hee Kang* Bok-Shin Ahn** Jong-Kuk Park**
 *Myongji Univ. Power System Center **LG Industrial Co.

Abstract Recent development of the digital computer and communication technology has made the concept of the adaptive protection possible, which is to adapt the operating parameters of the protective devices to the system changes, so that the best protection function can be maintained all the time. In order to achieve the adaptive protection, it is necessary to have the way to determine whether the change of the settings is needed under the certain system change or how good the current protection level is.

This paper proposed the protectability index, which is a way to evaluate the protection level of the system under arbitrary conditions and the operating strategy of the adaptive protection utilizing this index. It is based on an hierachical evaluation model and the evidence combination rule of the Dempster-Shafer theory.

보호도를 통한 계통 상태의 대한 평가를 위하여 표 1 과 같은 4가지 상태를 정의하며, 상태천이도는 그림 1과 같다

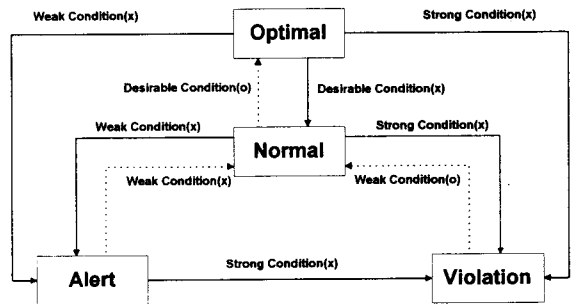


그림 1. 상태 천이도

1. 서 론

현 배전계통의 보호기기들은 상정된 운전상황에서는 만족스러운 보호기능을 수행할 수 있으나 부하의 변동과 계통구성의 변경등 운전상황의 변동시에는 요구되어지는 보호기능을 충족시키지 못 할 수가 있다. 따라서, 보다 신뢰도 높은 배전계통의 운용이 이루어질 수 있게 하기 위하여는 계통의 운전상태 변화에 따라 보호기기들의 동작치를 자동적으로 최적의 값으로 변화시켜 항상 최적의 보호시스템이 확립될 수 있도록 하는 적응보호시스템 개념의 도입이 강력히 요구된다.

본 논문에서는 적응보호기능을 갖는 최적의 시스템을 구축하는데 있어서 현 계통에 설치된 보호기기의 성능을 평가할 수 있는 성능지표로서 보호도라는 개념을 제시하며[1], 보호도 지수를 구하기 위한 방안으로 Dempster-Shafer의 룰 결합을 통한 계층적 평가모델을 제시한다[2,3]. 또한 최적 보호 시스템을 얻기 위한 알고리즘을 제시한다.

2. 본 론

2.1 계통 보호 상태의 정의

표 1. 계통 상태

상태	설명
Optimal	이상적인 보호능력이 있는 상태
Normal	이상적은 아니지만 정상적인 보호 능력 있는 상태
Alert	보호능력이 있으나 정상적 보호능력은 없는 상태
Violation	전혀 보호를 받을 수 없는 상태

2.2 보호능력 평가

고장발생시의 보호기기 동작의 평가는 다음과 같은 일반적 평가기준에 의해 평가되어지며, 이와 같은 일반적 평가기준을 포함하는 종합적인 평가 기준을 통하여 계통에 대한 보호도를 평가한다.

2.2.1 일반적 평가기준

일반적 평가기준은 표 2.와 같으며, 실제 계통 고장 발생시 계통 상황에 따라 4가지 기준을 고려한 보호기기의 선정이 필요하다.

표 2. 일반적 평가기준

평가기준	기능
신뢰성(Reliability)	오동작 및 부동작 방지
선택성>Selectivity)	정전기간 최소화
동작시간(Speed)	피보호기기 손상 방지
감도(Sensitivity)	구간내 사고 확실한 검출

2.2.2 종합적 평가기준

배전 계통의 상태를 평가하기 위한 평가기준 [4,5,6,7]들은 크게 Device-wise, Pair-wise로 구별되며(표 3), 각 평가기준에 대한 퍼지 멤버쉽 함수 결정을 통하여 가설(보호 상태 : Optimal, Normal, Alert, Violation)들에 대한 초기 지지도를 구한다.

표 3. 계통 상태 평가기준

Device-wise 평가기준	Pair-wise 평가기준
전위구간 기기보호능력	동작시간차
보호기기 감도	후비보호 구간크기
Cold load 보호능력	후비보호 구간 기기 보호 능력
고저항 감지능력	Singular coordination rule 만족도
Singular rule 만족도	

2.3. 멤버십 함수 결정 방법

보호기기에 대한 Device-wise와 Pair-wise를 구성하는 평가기준들은 그림 2의 Base Membership 함수를 이용하여 각각 표현된다.

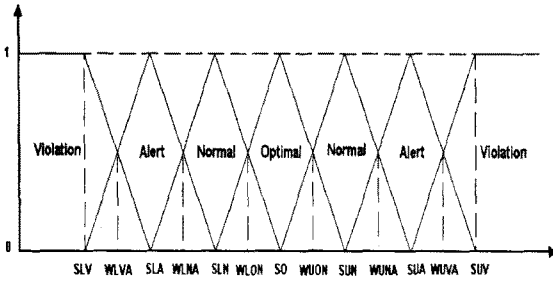


그림 2. Base membership function

표 4. 경계 정의

경계	정의
SLV(SUV)	Strong Lower(Upper) boundary for Violation
SLA(SUA)	Strong Lower(Upper) boundary for Alert
SLN(SUN)	Strong Lower(Upper) boundary for Normal
SO	Strong boundary for optimal
WLVA (WUVA)	Weak lower(Upper) boundary for Violation-Alert
WLNA (WLNA)	Weak Lower(Upper) boundary for Normal - Alert
WLON (WUON)	Weak Lower(Upper) boundary for Optimal - Normal

그림 2에 대한 경계의 정의는 표 4와 같으며, 멤버십 함수를 구하기 위한 경계는 각 evidence 대한 정정물을 아래와 같은 경계 결정 조건에 적용하여 얻을 수 있다. 정정물을 통해 얻어진 경계가 하나일 경우는 경계를 기준으로 20 ~ 30%의 간격으로 나머지 다른 경계를 구하며, 얻어진 경계가 둘일 경우는 두 경계를 기준으로 나머지 경계들을 등 간격으로 구한다. 이 때 구해진 경계들을 사용하여 얻어진 멤버십 함수는 가설에 대한 지지도를 가지게 된다.

2.3.1 $x > a$ ($x < a$) 조건

1) Strong Inequality : 그림 3.a와 같이 주어진 정정물의 경계가 분명한 경우로서, 이 때 얻어진 경계는 하나의 가설에 대한 지지도 값이 1이다.

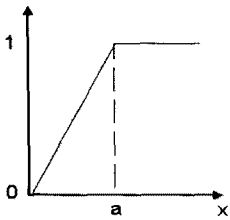


그림 3.(a) 경계조건

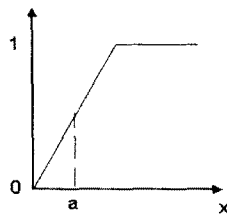


그림 3.(b) 경계조건

2) Weak Inequality : 그림 3.b와 같이 주어진 정정물의 경계가 불분명한 경우로서 이 때 얻어진 경계는 두 가설의 대해 각각 0.5의 지지도를 갖는다.

2.3.2 $x = a$ 조건

주어진 정정물이 명확한 값으로 주어지는 경우로서,

Strong Inequality 그림 3.(a)와 동일하다. 이 때 얻어진 경계는 가설 중 Optimal에 대해 1의 지지도 값을 갖는다.

2.4 계층적 평가 모델

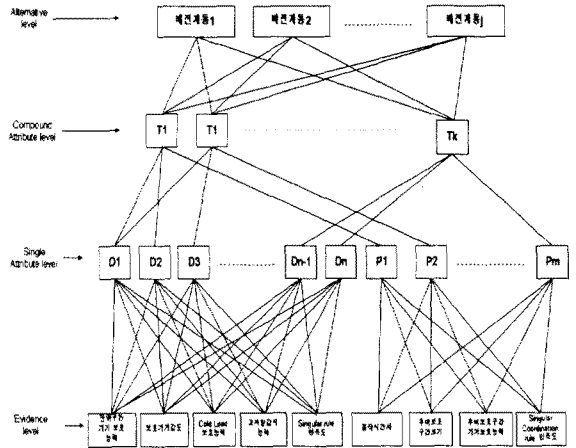


그림 4. 계층적 평가 모델

계층적 평가 모델은 그림 4와 같이 Evidence level, Single Attribute level, Compound Attribute level, Alternative level과 같이 4개의 계층적 단계로 구성되어지며, 각 level을 구성하는 attribute들은 가설에 대한 지지도를 가지고 있다. 또한 하위의 level을 구성하는 attribute의 결합을 통해 상위 level을 구성하는 각 요소의 가설에 대한 지지도가 얻어진다.

Evidence level은 Device-wise와 Pair-wise의 각각을 구성하는 evidence(평가기준)들로 이루어져 있으며, evidence들은 멤버십 함수 결정 방법을 통하여 가설들을 지지하는 지지도를 가지게 된다.

Device-wise를 구성하는 evidence들의 결합과 Pair-wise를 구성하는 evidence의 결합을 통하여 Single Attribute level를 구성하는 Device와 Pair에 대한 평가가 이루어진다.

Compound Attribute level의 Triple set(Tk)은 Single Attribute를 구성하는 한 개의 Pair와 두 개의 Device의 결합을 통해 평가가 이루어지며, Alternative level은 배전 계통을 구성하는 모든 Triple set(Tk)의 결합을 통해 얻어진다.

본 연구에서는 하위 level를 구성하는 attribute들이 가지고 있는 지지도의 결합을 통하여 상위 level의 attribute에 대한 지지도를 얻는 방법으로서 Dempster-Shafer 를 결합 방법을 채택하고 있으며, 그 식은 아래와 같다.

$$m_{1,2}(A) = \frac{\sum_{B|C=A} m_1(B) \cdot m_2(C)}{1 - K}, A \neq \emptyset$$

$$K = \sum_{B|C=\emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C), m_{1,2}(\emptyset) = 0$$

이 식의 m값이 지지도 값이며, K는 정규화(normalize)시키기 위한 값이다. 결합 하는데 있어서는 계층적 평가모델의 각 level를 구성하는 요소들에 대해 가중치(weight)를 고려하고 있다.

2.5.2 Weight(가중치)를 고려한 보호도 계산

계통상태에 따른 evidence의 중요도를 고려하기 위하여 본 연구에서는 Evidence level에서 사용자의 고려에 의한 가중치를 적용하며(0 ~ 1 사이의 값), 고려된 가중치를 가설에 대한 지지도에 곱하여 초기 지지도

(bpa)를 구한다.

모든 Evidence들이 가지고 있는 가설에 대한 초기 지지도의 결합을 통하여 Single Attribute level를 구성하는 Device attribute와 Pair attribute가 평가되어 진다. 구해진 Device attribute와 Pair attribute에 대하여 후보호, 후비보호 능력에 따른 사용자의 고려에 의해 가중치(W_{SN})를 적용하며(0 ~ 1사이의 값), 일반적으로 후보호 능력을 높게 평가한다. 고려된 가중치는 모든 Device attribute, Pair attribute의 가설에 대한 지지도에 곱하여 새로운 지지도를 구한다.

Single Attribute간의 가설에 대한 지지도의 결합을 통하여 Compound Attribute level (Triple set(T_k))은 구해지며, 구해진 Triple set들이 배전 계통에 미치는 영향에 따라 가중치(W_{CN})를 고려한다. 즉, 후비 구간내에 부하량, 부하중요도 등을 가중치로서 사용하며, 구해진 가중치는 모든 Triple set의 가설에 대한 지지도에 곱하여 새로운 가설에 대한 지지도를 얻는다.

모든 Compound Attribute간의 가설에 대한 지지도의 결합을 통하여 Alternative level의 평가가 이루어진다.

$$\text{배전계통}j = m_{j,1}/\{H_1\}, m_{j,2}/\{H_2\}, \dots, m_{j,n}/\{\theta\}$$

Alternative level의 가설에 대한 지지도는 배전계통의 보호 상태가 어느 상태인가에 대한 지지정도를 나타내는 것으로 볼 수 있으므로 보호 상태(가설)에 대한 평가 값에 가설에 대한 가중치(W_H)을 고려하여 Protectability Index (PI)를 구한다.

$$PI = H_1 * W_1 + \dots + H_{n-1} * W_{n-1} + \theta * W_n$$

Protectability Index를 통하여 현 배전 계통의 보호 상태는 판정되어지며, 본 연구에서는 배전 계통의 보호 상태에 대한 판정을 이용하여 현 계통의 최적 보호 상태를 구축하기 위한 배전계통 평가 방안을 제시한다.

2.6 배전 계통 평가

배전 계통 평가를 위한 흐름도는 그림 5와 같으며, System Evaluation 단계에서는 계층적 평가 모델과 가중치를 고려한 D-S 를 결합을 사용하여 주어진 배전 계통을 평가하여 평가값을 출력한다.

평가된 보호도 지수를 이용하여 계통에 문제가 있는가에 대한 여부를 판단하며, 문제가 있을 시에는 Device, Pair별 Evidence Level에서 Violation 상태를 지지하는 모든 evidence에 대해 문제 Candidate Set을 구성한다.

Resolution of Violation 단계에서는 Knowledge base를 이용하여 모든 보호기기의 evidence들에 violation을 해결하며, 계통 상태를 violation이 없는 feasible region으로 들어오게 한다. Violation이 제거된 계통에 대해서는 다시 System Evaluation을 통하여 계통 평가가 이루어진다.

최적 보호 계통을 구하기 위하여 Device Setting Candidate Set 단계에서는 모든 보호 기기 변경 가능한 Setting치의 set 구한다. 구해진 Setting치의 set을 이용하여 새로운 보호 계통을 구할 수 있으며, 기존 계통과 새로 변경된 계통간의 보호도 지수 비교를 통하여 최적 계통 선정한다.

3. 결 론

본 논문에서는 현 계통운전 상태에 가장 적절한 최적 보호시스템의 확립을 위하여 요구되는 조치 결정 및 실행시 지표로서 보호도 지수를 제시하며, 보호도 지수를 얻기 위한 방안으로 계층적 평가 모델과 가중치를 고려

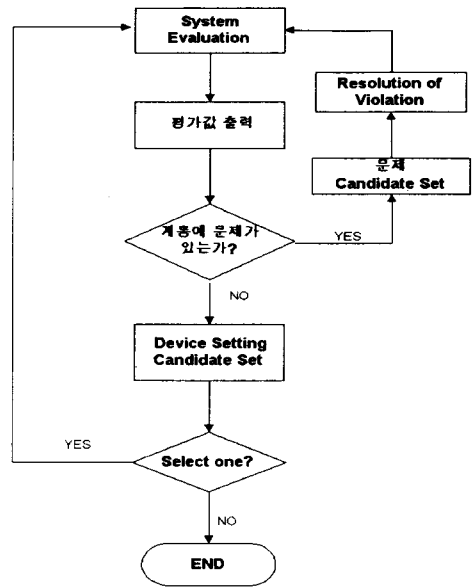


그림 5. 배전 계통 평가

한 Dempster-Shafer 를 결합 방법을 제시한다. 제시된 배전계통 평가 방안을 통해 구해진 최적 보호 계통은 계통의 안정된 전기공급을 가능하게 하며, 이로 인한 경제적 부가가치가 높다고 할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김필석 외, " 보호도지수에 의한 전력계통 보호시스템 평가", 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, pp.200-202, 1997. 11.
- [2] J.B. Yang, et. al. "An Evidential Reasoning Approach for Multiple-Attribute Decision Making with Uncertainty", IEEE Trans. Sys. Man, Cybern., Vol.24, No.1, 1994.1. pp.1-18
- [3] S.M. Chen " A New Method for Evaluating Weapon Systems Using Fuzzy Set Theory", IEEE Trans. Sys. Man, Cybern., Vol.26, No.4, 1996. 7, pp.493-49
- [4] G.D. Rockfeller, et. al. " Adaptive Transmission Relaying Concepts for Improved Performance", IEEE Trans. Power Delivery, Oct, 1988.
- [5] "IEEE Tutorial Course Application and Coordination of Reclosers, Sectionalizers, and Fuses", IEEE, 1980
- [6] J. Lewis Blackburn, "Protetive Relaying", MARCEL DEKKER, 1987
- [7] "Buff", IEEE, 1986