

## Dempster-Shafer 증거이론을 이용한 산업 전력 계통의 지능적 보호 시스템 설계

이승재\*, 차민철\*, 최항섭\*, 김상태\*  
영지대학교\*

김봉희\*\*  
현대 엔지니어링\*\*

### Intelligent Design for Protection Systems of Industrial Power System Using Dempster-Shafer's Theory of Evidence

Seung-Jae Lee\*, Min-Cheul Cha\*, Hang-Soeb Choe\*, Sang-Tae Kim\*, Bong-Hee Kim\*\*  
Myong-ji Univ.\* Hyundai Engineering\*\*

**Abstract** - In this paper, the design automation system is proposed, which adopts the expert system technology and fuzzy decision making technology. It has a capability of selecting the most desirable protective devices for the industrial power systems.

#### 2. 본 론

전력 계통에서의 보호기기 선정은 보호 계통의 신뢰도와 관계되는 중요한 문제이다. 산업 전력 계통의 설계시 이루어지는 보호 기기의 선정은 전압, 부하의 종류, 부하의 용량, 부하의 중요도, 접지 방식등의 여러 조건을 다루어야 하는 복잡한 문제이다. 산업전력계통의 보호 계통은 피보호기기에 따라 그림 1에서 보이는 바와 같이 5개의 소그룹 단위로 분류할 수 있다. 표 1에 각 그룹별 명칭, 피보호기기, 그리고 그룹별 보호기기 선정의 기준이 되는 조건을 나타내고 있다.

#### 1. 서 론

보호시스템의 설계는 산업플랜트의 전력 시스템설계에 있어서 가장 핵심부분이며 이는 각 플랜트의 성격에 따라 구성 보호기기들이 다르게 선정이 된다. 이러한 설계과정은 다년간의 실무경험과 전문 지식을 갖고 있는 전문가들에 의해 수행되어져 왔다. 그러나 보호기기의 선정에 관한 전문가의 지식은 일관성이 결여되기 쉬우며 또한 전문가들마다의 견해에 따라 다른 결과를 가져올 수 있다는 판단의 애매성을 지니게 된다. 이와 같은 지식의 불확실성은 설계문제의 보편적 성격이며 문제의 해결을 어렵게 만드는 주요 원인이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같이 전문가에 의해 이루어지던 산업플랜트의 전기시스템 보호시스템의 설계를 자동화하기 위한 전문가시스템의 개발을 다루고 있다. 세부적으로 보호시스템 설계에 관한 전문가들의 지식을 조건부-결론부로 구성된 룰을 추출하여 룰베이스를 구축하였으며 아울러 룰에 내재된 불확실성을 분석하여 이들로부터 결론을 유도하기 위한 추론방안으로 Dempster-Shafer Theory of Evidence (증거이론)를 응용한 퍼지 추론방법을 확립하였다. 이로부터 확립된 룰베이스와 추론방안을 기초로 최적의 보호시스템을 결정하는 전문가시스템을 개발하였으며 실 계통을 대상으로 많은 사례연구를 통하여 개발된 시스템의 효용성을 입증하였다.

표 1. 산업 플랜트 전력 계통의 분류

	명 칭	피보호 기기	입력 Data
그룹 A	Supply Circuit Protection	Line	전 압, Line의 길이, Transformer의 용량, Plant Generator의 유무, 하루 평균 가동시간
그룹 B	Service Entrance Protection	Transformer, Line	전 압, Transformer의 용량
그룹 C	Supply Transformer Protection	Transformer	Transformer의 용량, 전 압, 접지 방식
그룹 D	Transformer Secondary, Bus Relaying Protection	Bus, Feeder	전 압, 말단 Bus의 유무, Transformer의 용량, Generator의 유무, 접지 방식
그룹 E	Feeder Protection	Feeder, Motor, Generator	전 압, 말단부, Coordination의 필요 유무

산업 전력 계통은 설비 목적에 따라 다양한 구성을 가지며, 구성 설비마다 보호 대상에 대한 여러 가지 적용 조건들을 가지게 된다. 이러한 적용 조건들은 여러 가지 조건의 복합적인 성격을 띄게 된다. 즉 전압, 부하의 종류, 변압기 용량등 여러 조건을 고려하여 보호 기기를 선정하게 된다.

전문가에 의한 산업전력계통의 보호 기기 선정 과정은 Dempster-Shafer 증거이론을 이용하여 모델링 될 수 있다.

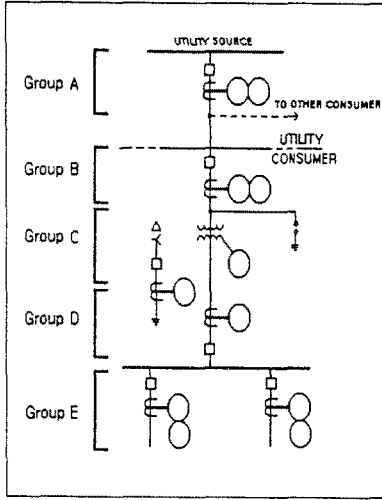


그림 1 산업플랜트 설비의 분할 모델

Dempster 이론은 증거에 대한 가능성을 다음과 같이 함수로서 나타낸다.

$$m : P(H) \rightarrow [0, 1]$$

여기서 m을 bpa(basic probability assignment)라고 불리우며 H 가설에 대한 증거의 지지도를 나타낸다. 이와 같은 bpa는 다음과 같은 조건을 만족시킨다.

$$\sum m(A) = 1, \quad m(\emptyset) = 0$$

이와 같이 표현된 증거들의 결합은 다음과 같은 룰에 의하여 이루어진다.

$$m(A) = K^{-1} \sum_{X \cap Y = A} m_1(X) m_2(Y)$$

$$K = 1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) m_2(Y) = \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) m_2(Y)$$

결합룰을 통한 최종 Belief는 다음식에 의한다.

$$Bel(A_1 \cup \dots \cup A_n) \geq \sum_i Bel(A_i) - \sum_{i < j} Bel(A_i \cap A_j) + \dots + (-1)^{n+1} Bel(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n)$$

두함수 Bel과 m 사이의 관계는 다음과 같다.

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad \text{for all } A \subseteq H$$

또는

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} (-1)^{|A-B|} m(B)$$

전문가로부터 취득된 각 그룹별 보호기기의 선정 지식은 다음과 같이 표현된다. 본 연구에서는 지식을 조건부 및 결론부로 구성된 룰로 표현하였다. 조건부 판단의 애매성 일반화의 예로서 전압에 대한 불확실성을 그림 2~5와 같이 나타내었다. 또한 각 조건부에 대한 지지도(bpa)는 대표적으로 그룹 A의 예를 표 2에서 소개하고 있다.

표 2. 적용 퍼지 룰의 예 (그룹 A)	
1. Phase Fault Protection	
① 높은 전압일 경우	$m_1(\{21\}) : 0.1,$ $m_1(\{87\}) : 0.1$ $m_2(\{21 \cap 87\}) : 0.1$ $m_1(\{21 \cap 87 \cap 50/51\}) : 0.1,$ $m_1(\{50/51\}) : 0.4,$ $m_1(\{87 \cap 50/51\}) : 0$
② 중간 전압일 경우	$m_2(\{50/51\}) : 1$
③ 낮은 전압이고 변압기가 작은 용량인 경우	$m_3(\{ACB\}) : 0.6$ $m_3(\{MCCB\}) : 0.2$ $m_3(\{Fuse\}) : 0.2$
④ 낮은 전압이고 변압기가 매우 작은 용량인 경우	$m_4(\{ACB\}) : 0.1$ $m_4(\{MCCB\}) : 0.5$ $m_4(\{Fuse\}) : 0.4$
⑤ 입력 라인의 길이가 짧은 경우	$m_5(\{87 \cup \{50/51\} \cup \{87 \cap 50/51\}\}) : 0.7$
⑥ long line인 경우	$m_6(\{\{21\} \cup \{21 \cap 50/51\} \cup \{50/51\}\}) : 0.7$
⑦ plant generator가 있을 경우	$m_7(\{21, \cap 87\}) : 0.7$
⑧ very high security인 경우	$m_8(\{21 \cap 87 \cap 50/51\}) : 0.6$ $m_8(\{21 \cap 87\}) : 0.1$ $m_8(\{87 \cap 50/51\}) : 0.3$
⑨ high security인 경우	$m_9(\{21 \cap 87 \cap 50/51\}) : 0.1$ $m_9(\{50/51\}) : 0.2$ $m_9(\{21 \cap 87\}) : 0.6$
2. Ground Fault Protection	
① medium voltage 이상일 경우	$m_{10}(\{50N/51N\}) : 1$

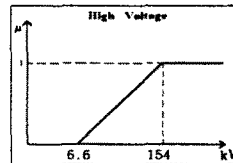


그림 2

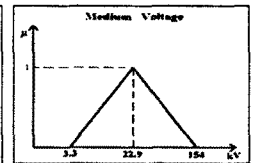


그림 3

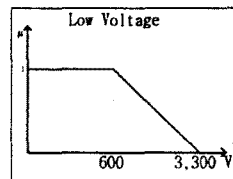


그림 4

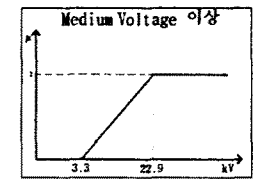


그림 5

이와 같이 전문가의 보호기기의 적용 지식을 일반화하여 구성된 룰을 이용하여 Fuzzy 시스템을 구성하였다. 전체 시스템은 3부분으로 구성된다. 우선 적용 대상의 선정과 선정 그룹에 대한 입력사항에 대한 입력하는 사용자 입력부와 입력 데이터를 이용하여 추론 및 조건을 합성하는 추론부, 그리고 사용자에게 결과를 알리는 출력부로 나눌 수 있다. 구성된 Fuzzy 시스템의 순서도는 그림 6과 같이 나타낸다.

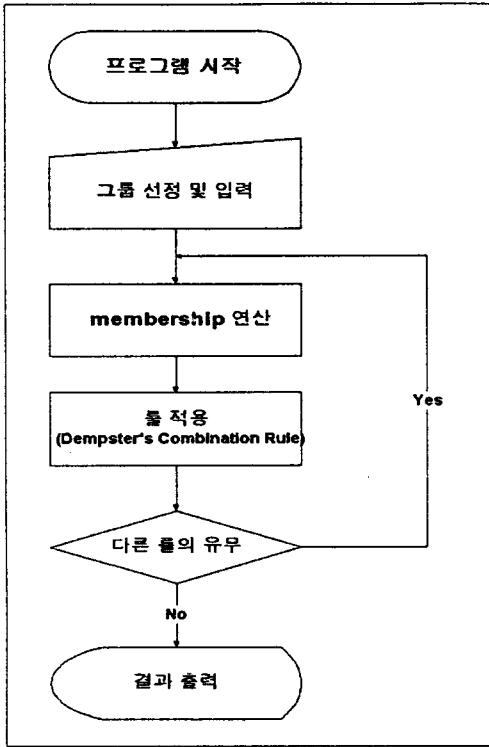


그림 6. Fuzzy 시스템의 순서도

본 논문에서 구성한 전문가 시스템을 실제 산업 전력 계통에 적용한 결과는 다음과 같다.

표 3. 실제 계통의 적용 결과

	입력 사항	실 적용 예	전문가시스템 적용 결과
그룹 A	154kV, 30MVA, 하루 24시간 가동	51	50/51
그룹 B	154kV, 30MVA	50/51, 51G	50/51, 50N/51N
그룹 C		미적용	
그룹 D	22.9kV, 30000MVA, 말단에 버스 존재, 델타 Tmraformer 존재, Generator의 존재	67S, 67G	67,51N
그룹 E		미적용	

	입력 사항	실 적용 예	전문가시스템 적용 결과
그룹 A		미적용	
그룹 B	22.9kV, 4000KVA	50/51, 51G	50/51, 50N/51N
그룹 C	22.9kV, 4000KVA, 중성점 접지, 변압기 델타 결선, 1차 접지, 화학 공장	67G	87G
그룹 D	3.3kV, 4000KVA	50/51	51
그룹 E		미적용	

### 3. 결 론

본 논문에서는 산업 전력 계통에서 계통 보호기의 선정작업을 자동화하는 방안의 제시 및 실 적용 예를 소개하였다. 전문가의 지식을 바탕으로 지식의 애매성을 다루기위해 Fuzzy 이론 및 Dempster-Shafer의 증거이론을 적용하였다.

제시된 방안의 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 보다 많은 전문가의 지식을 룰로서 도출하는 과정이 필요하나 앞으로 이에 대한 해결책을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 中山敬造 저, "保護繼電 시스템", 세화, pp47~234, 1984
- [2] George J. Klir, Tina A. Folger, "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", Prentice Hall, pp1~227, 1992
- [3] S.J.Lee, W.Y.Yang, M.C.Moon, "Managing Uncertainties in Protection System Design", Proceedings of KOREA-U.S.A. Joint Seminar on Expert Systems for Electric Power Systems, pp 135~159, 1989
- [4] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System", IEEE, pp133~322, 1986
- [5] "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants", IEEE, pp169~282, 1986