

퍼지 평가함수를 이용한 변전소 주 변압기 사고시 복구계획

장 승 필* · 김 세 호**

Substation M.Tr Fault Restoration Plan using Fuzzy Evaluation Function

Seung-Pill Chang* and Se-Ho Kim**

ABSTRACT

This paper proposes an optimal restoration plan using Fuzzy evaluation function when the M.Tr fault occurs in the distribution substation. The elements of evaluation function are the switching number of circuit breaker and disconnecter switch, the load balancing. Evaluation function is calculated to determine optimal restoration plan through minimization problem. When the black-out load exceeds the margin of M.Tr capacity, the restoration plan considering the priority customer is introduced.

Key words : Optimal restoration plan, fuzzy evaluation function, load balancing, switching number, M.Tr fault, substation

1. 서 론

154[kV] 배전 변전소는 대규모 지역의 수용가들에게 전력을 공급하는 역할을 한다. 따라서 변전소 사고시에는 대규모의 정전이 발생하며 소비자들이 요구하는 안정적인 전력공급 신뢰도에 심각한 영향을 줄 수 있다.

그러므로 변전소 사고시 정전피해를 최소화하고 신속하게 복구하는 기법들의 필요성이 증대되고 있다.

변전소 사고 복구와 관련된 연구는 자동화된 변전소의 주변압기 사고시 제어전략 수립지원을 위한 전

문가 시스템²⁾, 배전 변전소 복구지원 전문가 시스템³⁾, 최적 개폐기 조작순서 결정⁴⁾, 변전소 고장판정 및 복구지원을 위한 전문가 시스템⁵⁾ 등 정전복구시 계통 운전원들의 고장복구 경험 및 관련 규정을 이용한 전문가 시스템적 접근 방안들이 최근 활발히 연구·제안되어지고 있다.

본 논문에서는 변전소 주변압기 사고시 복구계획을 위해 주어진 운영목적에 가장 만족하는 복구 계획을 퍼지추론을 이용하여 선정하였다. 개폐기 조작 횟수, 부하 분담 균등이 복구계획 선정을 위한 평가 함수가 되며 각각의 퍼지 함수를 계산하여 최선의 복구 방안을 선정한다. 그리고 부하의 중요도에 따른 우선순위를 고려하여 정전부하가 최소가 될 수 있도록 조작순서를 결정하고 신속한 정전복구를 통하여 사고 파급을 최소화 할 수 있도록 한다.

* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기공학과, 산업기술연구소

Dept. of Electrical Eng., Res. Inst. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

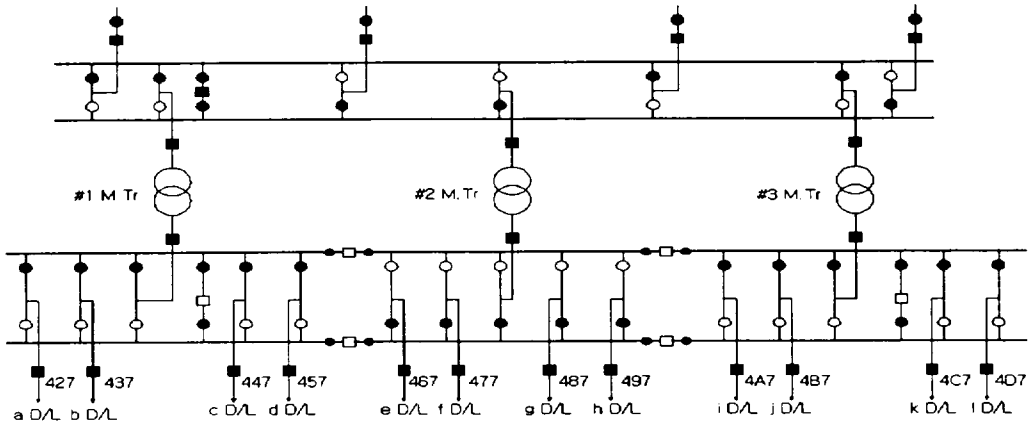


Fig. 1 Structure of the 154[kV] substation

II. 평가함수

154[kV] 변전소의 일반적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 22.9[kV] 모선은 2중 모선인 상위모선과 하위모선으로 구성되고, 상호연결 및 절체를 위해 Tie CB와 DS들로 연결되어 있으며, bank는 Sec CB로 상호연결되었고, 배전선로에는 선로 보호를 위한 차단기가 설치되어 있는 구조를 보인다.

변압기 사고시 사고 변압기에서 전력이 공급되는 배전선로들은 정전이 발생하므로, 이정전 부하들은 신속하게 건전 변압기로 절체 되어야 한다. 모든 변압기는 각각 단독운전으로 고려하고 정전선로의 차단기는 수동 개방한다. 변압기 선택조건은 (1)식, 정전복구를 위한 평가함수는 (2)식으로 표현한다.

$$\text{정전부하[kVA]} \leq \frac{\text{여유용량} \left(\sum_{i=0}^n \text{M.Tr. [kVA]} \right)}{\quad} \quad (1)$$

$$\text{PI} = \alpha \text{LB} + \beta \text{SN} \quad (2)$$

α, β : 부하분담균등과 스위칭 횟수에 대한 가중치

- 부하분담균등(LB)

$$\text{LB} = \sqrt{\frac{\sum_{i \in T} |T_i^2 - \bar{T}^2|}{n}} \quad (3)$$

$$T_i = \frac{i \text{ 번째 변압기의 실제부하}}{i \text{ 번째 변압기 최대용량}}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{n}$$

n : 선택된 변압기 수

$$T_i \leq 1$$

- 스위칭 횟수 (SN) 최소화

$$\text{SN} = \min (N_{DS} + N_{CB}) \quad (4)$$

N_{DS} : 단로기 조작횟수

N_{CB} : 차단기 조작횟수

정전D/L을 건전 bank로 절체시 개폐기 조작 규칙은 차단기 조작횟수가 거의 일정하므로 단로기 조작횟수에 따라 스위칭 횟수가 결정이 된다. 그러므로 단로기 조작을 최소화하고 가급적 차단기 조작만으로 정전부하를 절체 할 수 있는 최단경로를 선택하여야 한다.

정전선로의 부하가 변압기 여유용량을 초과하는 경우는 우선순위를 고려하여 절체하되 정전부하가 최소가 되도록 한다.

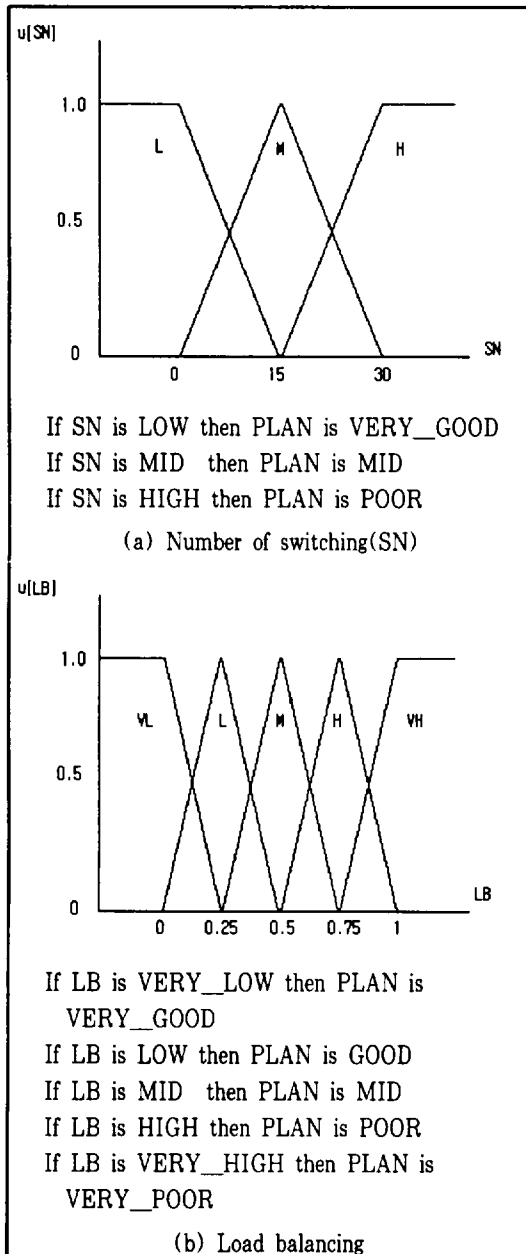
III. 퍼지규칙과 멤버십 함수

정전 복구를 위한 퍼지 규칙과 멤버십 함수를 결정

할 때 퍼지 입력값인 SN과 LB는 삼각형 퍼지함수를 사용하여 이에 대한 퍼지추론 규칙을 정해 최선의 복구계획을 결정한다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 평가함수에 대한 멤버십 함수와 퍼지 추론 규칙을 나타낸다. 비

퍼지화는 소속함수로 표현되는 퍼지량을 정확하고 크리스프한 값으로 전환하는 것으로 일반적으로 최대 평균법, 최대법, 무게 중심법 등 여러 가지가 있으나 여기에서는 비퍼지화 방법중에서 가장 보편적으로 쓰이는 무게 중심법(Center of gravity)을 사용하였다.

최선의 복구계획을 선정하기 위해 퍼지 규칙을 사용하여 각각의 퍼지 입력값에 대한 값을 결정한 후 결정된 값에 대하여 가중치를 부여하고 더하여 계산한다. 가중치는 운용목적에 따라서 경험적으로 결정할 수 있다.



IV. 정전복구 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘의 수행절차를 Fig. 3에 나타내었다.

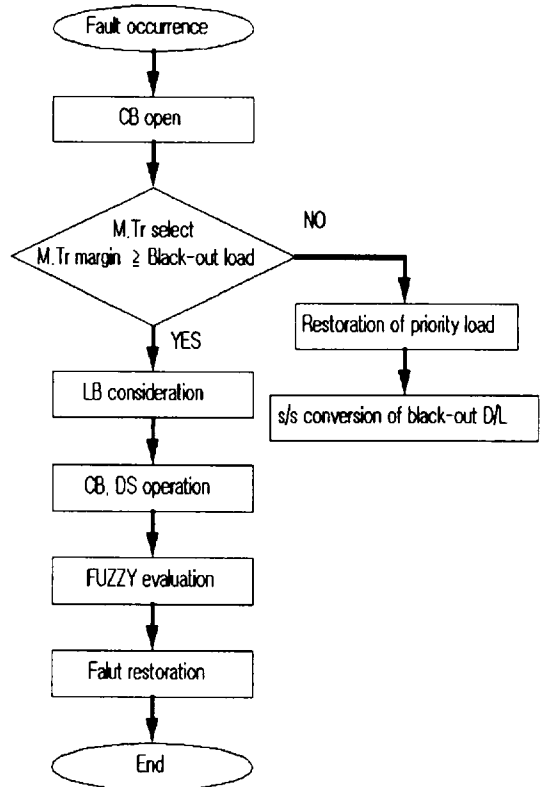


Fig. 2 Fuzzy rules and membership function

Fig. 3 Chart of proposed algorithm

변압기 사고 발생을 확인하면 우선 정전선로의 무압 차단기를 개방한 후 절체될 건전 변압기를 선택한다. 여유용량이 정전부하보다 큰 경우는 D/L을 선택된 변압기로 절체하는 모든 경우를 고려하여 LB를 구하며, 이때 Ti의 값이 1을 초과하는 경우는 변압기 최대 용량을 초과한 경우이므로 복구 방안에서 제외한다. 그리고 나서 각각에 대하여 최단 경로의 스위치(CB, DS) 조작 방안을 선택하고 Fuzzy평가를 실시하여 평가함수 PI를 결정한 후 최선의 복구방안을 선정한다.

반면에 여유용량이 정전부하보다 적은 경우에는 우선순위와 정전D/L별 부하를 고려하여 중요부하선로를 선택·복구하고, 나머지 선로에 대해서는 다른 s/s로 D/L절체 요청을 한다.

V. 사례연구

본 논문에서는 Fig. 1의 변전소에서 #1, #2, #3 변압기를 통하여 각 25000, 26000, 32000[kVA]로 전력을 공급하던 중 #1 변압기의 고장으로 25000[kVA]의 정전부하가 발생한 경우에 대하여 제안한 알고리즘을 수행하였다.

Table 1 M.Tr and D/L load before fault

Maximum capacity	M.Tr load [kVA]	D/L	D/L load [kVA]	Priority
#1 M.TR 40[MVA]	25000	a D/L	7000	1
		b D/L	6000	6
		c D/L	5000	9
		d D/L	8000	4
#2 M.TR 40[MVA]	26000	e D/L	6000	12
		f D/L	5000	10
		g D/L	8000	3
#3 M.TR 50[MVA]	32000	h D/L	7000	11
		i D/L	8000	5
		j D/L	9000	7
		k D/L	8000	2
		l D/L	7000	8

변압기 여유용량은 #2가 14,000[kVA], #3가 18,000[kVA]가 된다. 따라서 #2와 #3 변압기 모두 선택된다. SN과 LB를 구하고 각각 0.45, 0.55의 가중치를 주어 계산하였다.

Table 2에서 평가함수 결과 값이 가장 높은 방안인 #2 변압기로 a,d D/L을 #3변압기로 b,c D/L을 절체하며 우선순위가 높은 a, d, b c D/L순으로 조작하며, 조작순서는 Table 3에 표현하였다.

Fig. 4에서는 사고 복구 후의 계통도를 나타내었다.

Table 2 Restoration plan when #1M.Tr fault

N0	#2 M.Tr	#3 M.Tr	SN	LB	PI
1	d	abc	0.609	0.627	0.619
2	ab	cd	0.579	0.729	0.661
3	ac	bd	0.579	0.762	0.680
4	bc	ad	0.579	0.783	0.691
5	bd	ac	0.579	0.751	0.673
6	cd	ab	0.579	0.758	0.677

#3변압기 고장시 정전부하(32000[kVA])가 여유용량(29000[kVA])보다 크므로 우선순위와 여유용량을 비교 i, k, l D/L을 선택한다.

j D/L은 l D/L보다 우선순위가 높지만 여유용량을 초과하므로 다음 우선순위가 높은 l D/L을 선택한다. LB를 고려하여 #1변압기에 k, l D/L을 #2변압기에 i D/L를 절체한다. 정전복구 불가능한 k D/L은 타 변전소로 절체요청을 한다.

Table 3 Switching sequence when #1M.Tr fault

No	SW	ON/OFF
1	4142,42-42,4100	on
2	421	on
3	422	off
4	427	on
5	452	on
6	451	off
7	457	on
8	45-46	on
9	437	on
10	447	on
11	4100	off

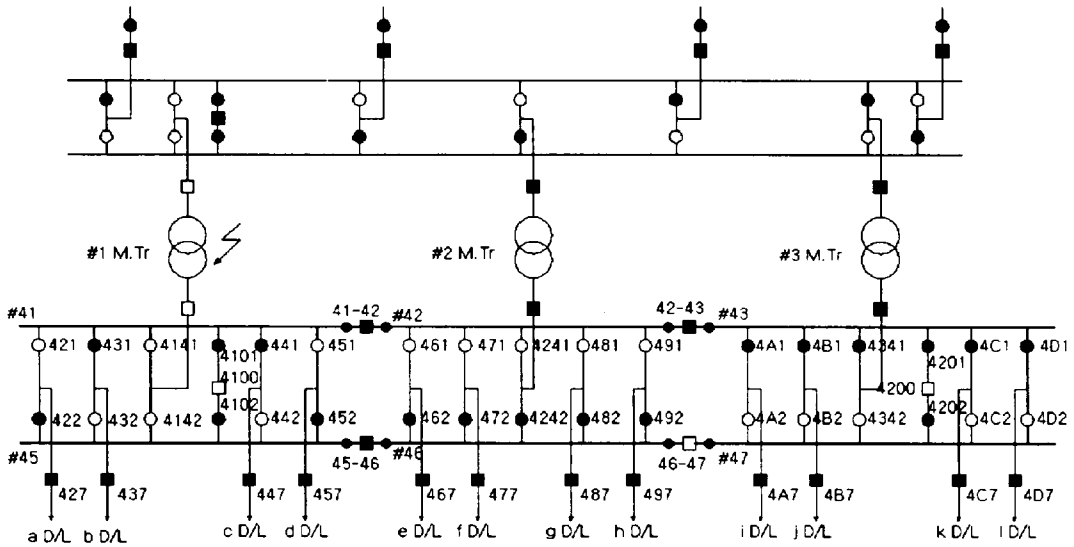


Fig. 4 Structure of the 154[kV] substation after #1M.Tr fault restoration

VI. 결론

본 논문에서는 변전소 주변압기 사고시 복구계획을 위해 평가함수를 이용하였으며, 이 평가함수의 계산을 위하여 퍼지 추론과 멤버십 함수를 이용하였다.

평가 함수에서 고려한 부하 부담 균등화와 최소 개폐기 조작 횟수를 결정하고 운용목적에 따라 가중치를 두고 평가하였으며 그 결과 만족할 만한 복구계획을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1) T Ananthapadmanabha, A D Kulakarni, A S G Rao, J G Char and K R Rao, 1997, Knowledge-based methodology for intelligent sequence switching, fault identification and service restoration

of distribution system, Electrical Power System & Energy systems, Vol.19, No.2 pp.119.

- 2) 고유석, 이기서, 1995, 자동화된 변전소의 주변압기 사고시 제어전략 수립지원을 위한 전문가 시스템, 전기학회 논문지, Vol.44, No.10, pp.1258-1264.
- 3) Hung-Jae Lee, Young-Moon Park, October, 1996, A Restoration Aid Expert System for Distribution Substations, IEEE Trans. Power Delivery, Vol.11, No.4, pp.1765-1770.
- 4) Z. Z. Zhang, G. S. Hope, O. P. Malik, Jan, 1990, A Knowledge-based Approach to Optimize Switching in Substations, IEEE Trans. on PWRD, Vol.5, No.1, pp.103-109.
- 5) Daniel S. Kirschen, Terry I. Volkmann, May, 1991, GUIDING A POWER SYSTEM RESTORATION WITH AN EXPERT SYSTEM, IEEE transactions on Power System, Vol.6, No.2.