

신뢰도를 고려한 변전소의 스위칭 평가함수에 관한 연구

이승근 최준영* 박종근*

*서울대학교 전기공학부

A Study on the Substation Switching System Reliability

S. K. Lee J. Y. Choi* J. K. Park*

*Dept. of Electrical Eng. Seoul National Univ.

ABSTRACT

This paper presents a method of finding the optimal path of which is considered the switching cost and the reliability index. The problem is formulated as an optimization problem and solved by the maximum flow/mimimum cut method. The objective of this paper is to find the optimal path and minimize the failure cost and switching cost. Presented method has been simulated and the results are discussed.

1. 서론

전력의 수요가 증가하고 이와 더불어 안정도 및 신뢰도 향상에 대한 요구가 높아져 감에 따라 대규모 전원을 개발하고 제동간의 연계를 강화하는 노력이 계속되었다. 이와같이 계통이 대규모화, 복잡화되어 가고 있어서 효과적이고 합리적인 운용과 제어에 대한 요구가 절실하다. 한편, 발전소와 송전선의 연결, 대규모 전력을 송전하기 위한 송압, 배전시의 전압강하 등의 다양한 일들이 변전소 내에서 이루어진다. 따라서 계통의 대규모화에 따라 변전소의 규모 또한 필연적으로 커지며 수용가에 신뢰성 높고 안정한 전력을 공급하고 경제적으로 계통을 운용하기 위해서는 변전소에서의 스위칭 시스템 또한 복잡해진다. 따라서 지금까지 효과적인 스위칭 시스템에 관하여 많은 연구가 진행되어왔는데, 우선 변전소 시스템에 디지털 프로세서를 적용한 첫번째 모델인 Boolean 타입으로 표기한 방법은 변전소 전체의 노드를 연결하는 요소들을 Matrix에 나타내고 연결되어 있는 상태는 1, 연결되어 있지 않는 상태는 0으로 표시하여 Matrix의 행과 열을 찾아다니면서 시스템의 연결 상태를 검사한다. 그러므로 조작과 운영이 쉬우나 데이터 작성시 하나의 노드에 대하여 전체 변전소 시스템의 노드 수 만큼의 데이터량이 들어가야 하며 변전소의 확장시 모든 데이터를 다시 작성하여야하는 어려움이 있고 많은 양의 메모리를 필요로 한다. 그후 축약기법을 사용하여 위의 방법을 개선한 연구도 나왔다[5]. 이 방법은 요소(component)들이 위치한 상태를 정해놓은 규칙(rule)에 의하여 요소의 상태를 하나의

식으로 나타내며 또한 이 식들은 서로 더해지거나 삭제되는 규칙에 의하여 변전소 시스템을 축약시킴으로써 변전소의 구성을 간단히 나타낼 수 있는 장점이 있다. 그러나 축약이 되어가다보면 요소의 개념이 식 속에 포함되어 있기는 하지만 사실상 개념이 상실된 것이므로 신뢰도의 해석이 복잡해지는 것이 약점이다. 본 논문에서는 변전소 스위칭 조작시 신뢰도와 운용비용 함께 고려한 스위칭 시스템의 평가함수에 관한 연구 결과를 제시하였다.

2. 스위칭 시스템

먼저 하나의 폐로를 이루는 스위치들을 찾아내야 한다. 그런 연후에 그 찾아진 스위치들로부터 스위칭 순서를 결정하여 스위칭해나가는 작업이 필요하게된다. 기존의 연구 내용의 주된 관상거리는 효율적으로 스위칭하는 스위칭 순서에 중점을 두어 연구되었다. 그러나 계통이 복잡해지며 수용가가 늘어나고 수용가의 요구사항 또한 많이 늘어난 상태에서는 수용가에게 신뢰도 높고 경제적인 전력을 공급하는것이 최우선이 될것이다. 이와같이 변전소의 스위칭 시스템에 경제성 뿐만아니라 신뢰성도 중요한 위치를 차지한다.

2.1 스위칭시 기계적인 작동에 의한 비용

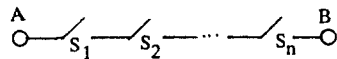


그림 1.

스위칭시의 기계적인 작동에 의한 비용은 공급 전력의 루트에 포함된 열려있는 모든 스위치를 닫을때 드는 비용의 합이다. A 노드에서 B 노드로 전력을 공급하기 위하여서는 A와 B 노드 사이의 열려있는 모든 스위치들을 닫아야만한다. 각각의 스위치 Si 들의 작동에 비용 Ci 가 든다면 A와 B 를 연결하기 위하여 드는 비용은

$$C_r = \sum_i^N S_i \quad [원] \quad (1)$$

$i=1,2,\dots,N$

여기서 S_i 는 A와 B 지역 사이에 있는 열려있는 스위치들이며 스위칭 비용 C_r 는 요소들의 종류에 따라 달라진다.

2.2 공급 지장 에너지에 의한 비용

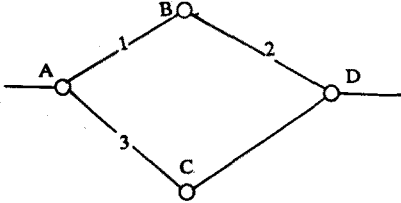


그림 2.

공급지장 에너지에 의한 비용을 계산하기 위하여 수용가측에서 필요한 부하량이 L 이며 스위칭 후 변하지 않는다고 가정 한다. 그림 2. 와 같은 시스템에서 전원 노드 A에서 부하 노드 D까지 전력을 공급하려할때 생기는 공급 지장 에너지에 대하여 알아본다. 노드 A와 B사이의 요소 1이 끊어졌을때 위의 시스템에 공급가능한 최대 용량이 g 이면 수용가 측에서 생기는 부족 전력량(DNS)는 다음 식 (2)와 같다.

$$DNS = L - g \quad [MW] \quad (2)$$

요소 1에 사고가 발생한 후 복구 까지 걸리는 시간이 d 라면 시스템에 요소 1이 끊어져 있을 시간은 사고 발생시마다 d 시간이 된다. 그러므로 요소 1의 사고로 인하여 발생한 공급 지장 에너지 양(ENS)는 식 (3)과 같다.

$$ENS = DNS \cdot d = (L - g) \cdot d \quad [MWh] \quad (3)$$

하나의 시스템을 운전할때에 i 요소만 사고날 확률은 식(4)와 같다.

$$System Prob = q_i \prod_{j \neq i}^E f(V_j) \quad (4)$$

여기서, E 는 요소들의 수

$f(V_j)$ 는 요소 V_j 의 상태에 대한 확률이다.

그러므로, 위의 시스템에서의 요소 1이 사고가 나 있을 확률은 식 (5)와 같다.

$$Prob = q_1 P_2 P_3 P_4 \quad (5)$$

그러므로 요소 1이 사고가 발생하여 생길 공급지장에너지의 기대값은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_i(ENS) &= ENS \cdot Prob \\ &= DNS \cdot d \cdot Prob \\ &= (L - g) \cdot d \cdot Prob \quad [MWh] \end{aligned} \quad (6)$$

전체 시스템에 생길 공급지장 에너지 기대치는

$$\epsilon(ENS) = \sum_i \epsilon_i(ENS) \quad [MWh] \quad (7)$$

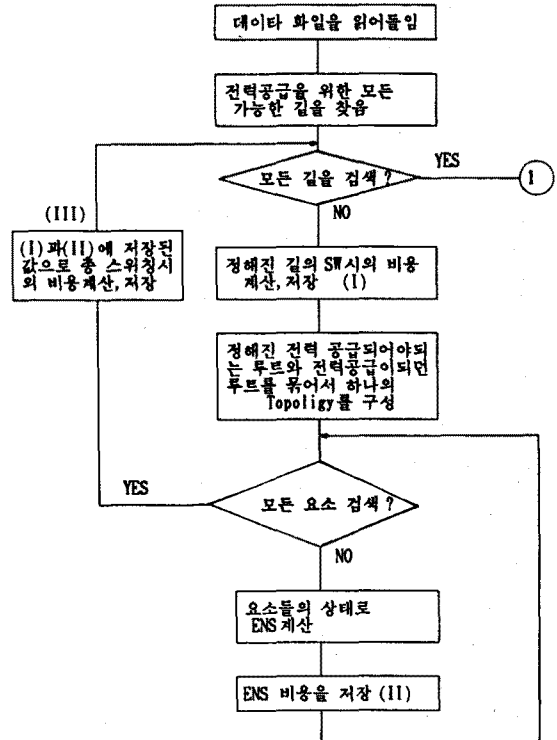
여기서 i 는 모든 요소들로 이룰 수 있는 집합이며 확률 공간을 이룬다. 여기서 생긴 공급 지장 에너지를 공급 지장 에너지 비용으로 환산하면 된다.

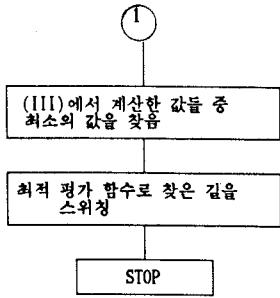
$$\text{공급지장에너지 비용} = \text{공급지장에너지} \cdot \text{공급지장비용} \quad (8)$$

2.3 평가함수

공급지장 비용은 그 나라의 국민 생활 수준, 산업 구조, 공급지장 발생시 각, 공급지속시간에 따라 달라질수 있지만 대체로 그 나라 국민 총생산을 총 판매 전력량으로 나눈 값을 쓰거나, 전력 판매 단가의 30배, 개스터린 연료비의 25-30배를 채택하고 있다. 이와같이 공급지장 비용은 특별히 정해진 값이 있는 것이 아니고 여러가지 조건에 의해 달라질수 있으므로 변전소가 있는 지역의 전력소비 구조에 맞추 어서 결정할 수도 있는 것이므로 평가함수를 계산 할때 신뢰도 비용과 운영 비가 바로 합해지는것이 아니라 적절한 계수를 곱하여 계산하도록 하였다. 그러므로, 평가함수는 2.1과 2.2에서 얻은 비용들을 각각의 변전소에 맞게 가중 평가(weighted sum)하여 적용한다.

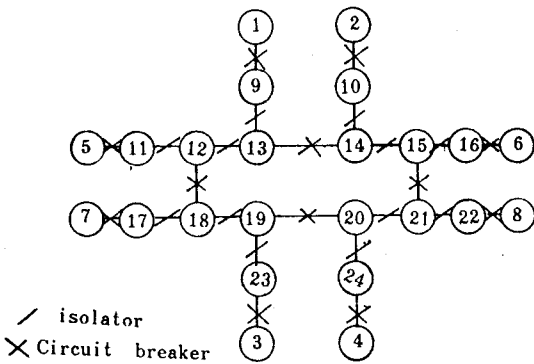
3. 알고리즘 및 flow chart





4. 사례연구

위의 평가함수를 다음과 같은 시스템에 적용하였다. [1]



전력이 공급되고 있는 노드들: (1, 2, 3, 4, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 24)

전력이 공급되지 않고 있는 노드들 : (5, 7, 11, 12, 17, 18, 19, 23)

우리의 목적은 7번 노드에 전력을 공급하는 것이다.

7번까지 공급될 수 있는 길은 표 1. 파 같이 3가지의 길이 있다.

I	(3,23,19,18,17,7)
II	(13,12,18,17,7)
III	(20,19,18,17,7)

표 1. 전력 공급이 가능한 루트

A) 스위치 작동에 의한 비용

스위치 작동에 의한 비용은 표 2. 와 같은 수의 기기들을 작동시켜야 한다.

전력공급루트	CB	IS
I	2	3
II	2	2
III	2	2

표 2. 작동 되어야 할 기기들의 수

이와 같이 III 번 길의 경우가 가장 비용이 많이 들고 I과 II는 같은 비용이 든다.

B) 에너지 공급지장량에 대한 비용은

에너지 공급지장 비용을 계산하기 위하여 ENS 방법을 도입하여 계산하였다.[1] ENS 방법은 모든 상태변수가 binary 타입으로 구성되며 확률 공간에 속한다. ENS 방법은 하나의 상태변수를 끈어보고 그 상태변수와 이루어진 시스템으로 생길 수 있는 지장 공급전력의 기대치를 구하는 것이다. 그러나 기대치를 구하므로 안정된정보를 제공하나 이 방법을 사용시 많은 계산량이 필요하게된다. 본 논문에서는 ENS 방법에 시스템 축약을 적용하여 계산량을 줄이는 방법도 함께 사용 하였다. II 의 전력 공급을 연결시의 시스템(그림 3) 에서 축약하여 축약된 시스템 (그림 4) 을 얻었다.

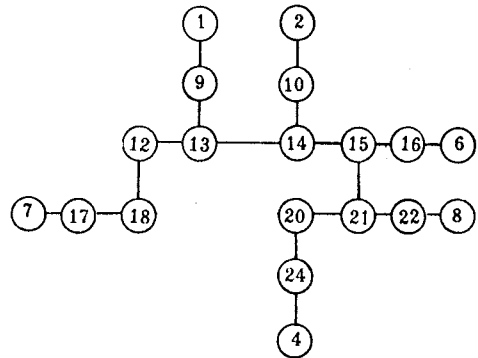


그림 3

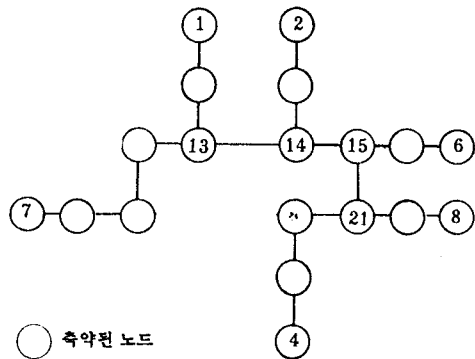


그림 4

공급지장비를 1 [원/MWh]로 하여 얻은 결과를 표 3. 에 나타냈다.

전력공급루트	스위칭시의 비용	에너지 공급지장비용
I	8	45.8698
II	6	45.9265
III	6	45.9314

표 3. 각 루트의 총 스위칭 비용

위의 비용들을 계산하기 위해서 공급지장비는 1 원/MWh 으로 하였으며 스위칭시 드는 비용은 1 원/스위칭 으로하여 구하였다. 위의 결과를 분석하여보면 II 와 III 사이에는 같은 수의 스위칭을 하지만 공급 지장 에너지 비용에서 II의 비용이 적게된다. 문제는 I 과 II를 비교 분석하는 것이다. 이 비교분석에서는 가중 평가시스템을 이용하였다.

공급루트	스위칭에의한 비용	지장 공급에너지에 의한 비용
I	8	45.8698
II	6	45.9265
차액	2	0.0567

표 4. 루트 I 과 루트 II 의 비교

스위칭에의한 비용	지장 공급에너지에 의한 비용	비율
40	60	23.515
50	50	35.273
60	40	52.910

표 5. 루트 I 과 II 의 가중 평가시의 비교 분석
그러므로,공급 지장에너지 비용과 스위칭시의 비용을 50%씩 가중 평가를 하면 공급지장에너지의 비용이 스위칭시의 비용보다 35.273 배 이상이면 I을 공급루트로 정해야하며 그 이하일때는 II를 공급루트로 정해야한다.

5. 결론

기존의 방법은 변전소 내에서 수용가측에 제공되는 전력량의 신뢰도의 평가없이 스위칭시의 작동비만을 고려하였다. 그러나 본 논문에서는 스위칭시의 비용과 공급지장 에너지 비용을 가중 평가 하는 방법을 도입하여 공급지장에너지 비용과 스위칭시의 비용을 최소화하는 공급 루트를 선택하므로써 효율적이면서도 신뢰성있는 전력을 수용가측에 공급할 수 있는 루트를 찾을 수 있었다.

6. 참고 문헌

[1] R.L.SULLIVAN " Power System Planning " Mc Graw-hill pp.223-288
 [2] BILLINTON/RINGLEE " Power System Reliability calculation " The MIT press, pp.31-45
 [3] Z.Z.ZHANG/G.S.HOPE/O.P.MALIK " A knowledge-based approach to optimize switching in substations " IEEE transaction on power delivery,vol. 5,No 1 january 1990
 [4] A.TACA DE ALMEIDA " Substation interlocking and sequence switching using a digital computer " IEEE PAS-100, No 6, june 1981
 [5] K.P.BRAND/J.KOPAINSKY/W.WIMMER " Topology-based interlocking of electrical substations " IEEE transaction on power delivery, No 3 , july 1986
 [6] 한국전력 공사 "향후 대전력송전을 위한 장기제통 구성대책에 관한 연구" pp. 9-44