

## 손실감소를 위한 배전계통 재구성에 관한 연구

김세호\*, 최병윤\*\*, 조시행\*\*\*, 손인배\*\*\*\* 문영현\*\*\*\*\*  
 \*제주대 \*\*한전전력연구원 \*\*\*한전서울연수원 \*\*\*\*한전제주지사 \*\*\*\*\*연세대

### A Study on Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction

S. H. Kim\*, B. Y. Choi\*\*, S. H. Cho\*\*\*, I. B. Son\*\*\*\* Y. H. Moon\*\*\*\*\*  
 \*Cheju Univ. \*\*Kepco research \*\*\*Kepco Seoul training \*\*\*\*Kepco Cheju direct office \*\*\*\*\*Yonsei Univ.

**Abstract**

Network reconfiguration is performed by opening/closing two types of switches, tie and sectionalizing switches. A whole feeder, or part of a feeder, may be served from another feeder by closing a tie switch linking the two while an appropriate sectionalizing switch must be opened to maintain radial structures. In loss reduction, the problem is to identify tie and sectionalizing switches that should be closed and opened, respectively, to achieve a maximum loss reduction. In this paper, it is introduced to propose the reconfiguration plan for loss reduction by using the Civanlar's loss reduction formular.

**1. 서론**

배전계통 운용시에는 모든 계통운용 조건이 만족된다고 하더라도 계통의 신뢰성을 향상시키거나 손실감소 등을 위해 개폐기 조작을 통하여 계통을 재구성하고 있다. 계통 재구성을 위한 방안을 제안하는 방법은 크게 두가지로 분류된다. 첫번째 방법으로는 연계개폐기를 닫고서 무프로 만든 다음 구분개폐기를 하나씩 차례로 열어가면서 손실을 계산하고 가장 작은 손실이 발생하는 방안에 대해서 조류계산을 통하여 계통운용 조건을 검토하는 것[3,4]으로 실제용 적용이나 현재 운전하고 있는 상황에서는 많은 시간이 소요된다. 두번째 방법으로는 현재의 계통상황에 대하여 손실이 감소하는 방안이 존재하는지를 살펴보고 최대의 손실감소 방안에 대해 조류계산을 수행하여 계통운용 조건을 검토하는 것이다.[1,2]

본 연구에서는 신속하게 재구성방안을 제시할 수 있도록 두번째 방법인 Civanlar[1]가 제시한 방법을 응용하여 손실을 감소시키는 재구성방안을 제안하고자 한다.

**2. 손실변화량의 관련식**

피더 II에서 피더 I으로 부하를 전환시켰을 때의 손실변화량은 다음과 같다.[1]

$$\Delta P = \operatorname{Re} \left\{ 2 \sum_{i \in D} I_i (E_m - E_n)^* \right\} + R_{loop} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (1)$$

여기서

- D : 피더 II로 부터 분리되어 피더 I으로 연결되는 모선의 집합
- m : 피더 I의 연계 모선
- n : 연계개폐기를 통하여 모선 m에 연결되는 피더 II의 연계 모선
- li : 모선 i의 전류
- R<sub>loop</sub> : 연계 개폐기를 통하여 피더 I과 피더 II를 연결하였을 때의 직렬 저항
- E<sub>m</sub> : 모선 m의 전압

식 (1)의 ΔP가 음수이면 손실 감소, 양수이면 손실증가를 나타낸다.

식(1)이 음수가 되기 위해서는 우선 다음조건을 만족해야 한다.

$$|E_m| < |E_n| \quad (2)$$

식(2)로 부터 다음과 같은 사실을 파악할 수 있다.

- i) 피더 말단의 전압차이가 커야만 손실감소의 가능성이 있다.
  - ii) 연계개폐기가 연결된 모선중에서 전압이 높은 모선에 속한 피더로부터 전압이 낮은 모선이 연결된 피더로의 부하를 전환하여야 손실감소의 가능성이 있다.
- 위의 두가지 사실로부터 전압차이가 큰 연계개폐기가 연결된 모선을 찾아내면 부하전환의 방향을 파악할 수 있다.

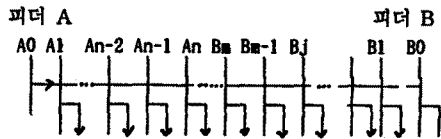


그림 1 모델 계통

그림 1의 모델계통에 대하여

$$|E_{An}| > |E_{Bm}|$$

이라면 피더 A로부터 피더 B로의 부하전환을 수행하면 손실감소의 가능성이 있음을 알 수 있다.

무효전력을 보상할 수 있는 이상적인 배전계통의 경우 전류의 무효분은 무시될 수 있기 때문에 식(1)의 변수값은 모두 실수 값을 가지므로 식(1)은 다음과 같은 형태로 표현될 수 있다.

$$\Delta P = 2(\sum_{i \in D} l_i)(E_m - E_n) + R_{loop}(\sum_{i \in D} l_i)^2 \quad (3)$$

$$= R_{loop} \left\{ \left( \sum_{i \in D} l_i \right) + \frac{(E_m - E_n)}{R_{loop}} \right\}^2 - \frac{(E_m - E_n)^2}{R_{loop}}$$

식(3)을 이용하여 개방해야 하는 구간개폐기의 위치를 결정할 수 있으며 다음식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{i \in D} l_i = \frac{E_n - E_m}{R_{loop}} \quad (4)$$

식(4)의 전류값은 손실감소가 있는 방안인 경우 최대 손실이 발생할 수 있는 구간개폐기의 위치를 표시해 주는데 정확하게 (4)식을 만족시키는 부하의 위치는 찾기가 어려우며 말단부하부터 하나씩 차례대로 부하를 전환시켜야 한다.

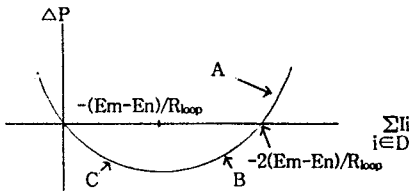


그림 2 손실변화량 곡선

식(3)은 그림 2로 표현되는 포물선을 나타내는 방정식이므로 손실감소를 위한 재구성방안 추출에 이용될 수 있다.

피더 II의 말단 부하를  $l_m$ 이라 할 때  $l_m$ 의 값은 다음의 3가지 범위에 속한다.

$$l_m > - \frac{2(E_m - E_n)}{R_{loop}} \quad (5)$$

$$- \frac{(E_m - E_n)}{R_{loop}} > l_m > - \frac{2(E_m - E_n)}{R_{loop}} \quad (6)$$

$$l_m < - \frac{(E_m - E_n)}{R_{loop}} \quad (7)$$

$l_m$ 이 식(5)를 만족하게 되면 그림 2의 A부분에 위치하여 더 많은 부하를 전환시키도 손실이 계속해서 증가하므로 재구성방안으로 적합하지 않고 식(6)을 만족하게 되면(그림 2의 B에 해당) 말단 부하인  $l_m$ 만을 전환시키는 것이 가장 큰 손실감소가 발생한다.

또한 식 (7)을 만족하는 경우(그림 2의 C에 해당)에는 말단부하부터 하나씩 차례로 부하를 전환시켜 가장 큰 손실감소가 일어나는 부하를 결정해야 한다.

예를들어 그림 1의 경우 모선  $An_{-1}$ 의 부하가 식(4)의 부하량에 가장 근접할 경우 개방시켜야 할 구간개폐기의 위치는  $An_{-2}$ 와  $An_{-1}$ 사이 또는  $An_{-1}$ 과  $An$ 사이의 두구간중 하나의 구간에 위치하게 된다.

최대 손실이 발생하는 구간개폐기의 위치는 다음 방법으로 결정할 수 있다.

i)  $An_{-2}$ 와  $An_{-1}$ 사이에 위치

$$|(An_{-1} \text{의 부하량}) - (\text{식(4)의 부하량})| > |(An_{-2} \text{의 부하량}) - (\text{식(4)의 부하량})| \quad (8)$$

ii)  $An_{-1}$ 과  $An$ 사이에 위치

$$|(An_{-1} \text{의 부하량}) - (\text{식(4)의 부하량})| < |(An_{-2} \text{의 부하량}) - (\text{식(4)의 부하량})| \quad (9)$$

두 피더사이에 두개의 연계개폐기가 존재하여 두개의 연계개폐기를 통한 재구성 방안이 모두 존재하는 경우에 대한 각각의 손실변화량은 다음과 같다.

$$\Delta P_1 = 2(\sum_{i \in D_1} l_i)(E_{m1} - E_{n1}) + R_{loop1}(\sum_{i \in D_1} l_i)^2 \quad (10)$$

$$= R_{loop1} \left\{ \left( \sum_{i \in D_1} l_i \right) + \frac{(E_{m1} - E_{n1})}{R_{loop1}} \right\}^2 - \frac{(E_{m1} - E_{n1})^2}{R_{loop1}}$$

$$\Delta P_2 = 2(\sum_{i \in D_2} l_i)(E_{m2} - E_{n2}) + R_{loop2}(\sum_{i \in D_2} l_i)^2 \quad (11)$$

$$= R_{loop2} \left\{ \left( \sum_{i \in D_2} l_i \right) + \frac{(E_{m2} - E_{n2})}{R_{loop2}} \right\}^2 - \frac{(E_{m2} - E_{n2})^2}{R_{loop2}}$$

연계 개폐기 양단의 모선 전압이

$$|E_{m1}| < |E_{m2}|, \quad |E_{n2}| < |E_{n1}|$$

조건을 만족하여 두 가지 방안 모두 손실이 감소하는 경우 어느 방안을 선택해야 하는지에 대해 살펴보자.

두 개의 손실변화량의 차를  $\Delta P'$ 라 하면

$$\Delta P' = \Delta P_1 - \Delta P_2$$

$$= 2(\sum_{i \in D_1} l_i)(E_{m1} - E_{n1}) + R_{loop1}(\sum_{i \in D_1} l_i)^2 - 2(\sum_{i \in D_2} l_i)(E_{m2} - E_{n2}) - R_{loop2}(\sum_{i \in D_2} l_i)^2 \quad (12)$$

$\Delta P' = 0$  라 놓으면 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$\left\{ \left( \sum_{i \in D_1} l_i \right) + C_1 \right\}^2 / A - \left\{ \left( \sum_{i \in D_2} l_i \right) + C_2 \right\}^2 / B = 1 \quad (13)$$

여기서

$$C_1 = \frac{(E_{m1} - E_{n1})}{R_{loop1}}, \quad C_2 = \frac{(E_{m2} - E_{n2})}{R_{loop2}}$$

$$A = \frac{R_{loop2}(E_{m1} - E_{n1})^2 - R_{loop1}(E_{m2} - E_{n2})^2}{R_{loop1}^2 R_{loop2}}$$

$$B = \frac{R_{loop2}(E_{m1} - E_{n1})^2 - R_{loop1}(E_{m2} - E_{n2})^2}{R_{loop1} R_{loop2}^2}$$

식 (13)의 방정식은

$$R_{loop2}(E_{m1} - E_{n1})^2 > R_{loop1}(E_{m2} - E_{n2})^2 \quad (14)$$

인 경우 쌍곡선 함수를 표현한다.

쌍곡선 함수의 점근선에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{i \in D_2} l_i = \frac{R_{loop2}}{R_{loop1}} \left( \sum_{i \in D_1} l_i \right) + \frac{(E_{m2} - E_{n2}) - (E_{m1} - E_{n1})}{R_{loop1}} \quad (15)$$

식 (14)의 위쪽영역을 나타낼때, 즉

$$\sum_{i \in D_2} l_i > \frac{R_{loop2}}{R_{loop1}} \left( \sum_{i \in D_1} l_i \right) + \frac{(E_{m2} - E_{n2}) - (E_{m1} - E_{n1})}{R_{loop1}} \quad (16)$$

인 경우 쌍곡선의 외부를 나타내어  $\Delta P_1$ 의 손실감소가 큰 것

을 의미한다.

또한

$$(\sum_{i \in D1} li) + \frac{Em1-En1}{R_{loop1}} < \frac{R_{loop2}(Em2-En2)^2 - R_{loop1}(Em1-En1)^2}{R_{loop1}^2 R_{loop2}} \quad (17)$$

인 경우에도  $\Delta P1$ 의 손실감소가 큰것을 의미한다.

### 3. 재구성 방안의 도출

손실변화량에 대한 식으로 부터 신속하게 손실감소가 발생하는 계통 재구성 방안을 제시할 수 있으며 재구성방안 제안과정을 요약하면 다음과 같다.

(단계1) 식(2)를 이용하여 가장 큰 전압차이가 있는 지점으로부터 내림차순으로 두개의 피더를 파악하고 부하전환의 방향을 정한다.

(단계2) (단계1)에서 마련된 두 피더 사이의 연계 개폐기 수를 확인한다.

(단계3) (단계2)의 연계 개폐기 수가 1이면 말단부하에 대해 식(4),(5),(6)을 적용한다.

(단계4) 말단부하가 식(4)를 만족하면 재구성방안에서 (단계3)에서 고려한 방안은 (단계1)의 방안에서 제외시키고 다음 방안에 대해 (단계2)를 수행한다.

(단계5) 말단부하가 식(5)를 만족하면 말단부하만을 전환시키는 방안을 재구성방안으로 선정하고 계통운용조건을 검토한다.

(단계6) 말단부하가 식(6)을 만족하면 식(8),(9)를 이용하여 개방할 구간 스위치를 정하고 재구성 방안으로 선정 후 계통운용조건을 검토한다.

(단계7) (단계2)의 연계 개폐기 수가 2 이면 식(14)를 적용시킨다.

(단계8) 식(14)를 만족하지 못하면 각 방안에 대하여 (단계4-단계6)을 수행한다.

(단계9) 식(14)가 만족되면 식(17)을 적용시킨다.

(단계10) 식(17)이 만족되면 하나의 연계개폐기를 통한 방안( $\Delta P1$ )에 대해서만 (단계4-단계6)을 수행한다.

(단계11) 식(17)을 만족하지 못하면 식(16)을 이용하여 전환시키는 부하량을 정하고 계통운용조건을 검토한다.

(단계12) (단계2)의 연계연계개폐기 수가 3이상이면 가장 큰 전압차이가 나는 방안에 대해 (단계4-단계6)을 수행하고 다른 방안에 대해서는 (단계 7-단계11)을 수행한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 Civanlar가 제시한 방법을 응용하여 효율적으로 재구성방안을 구하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 이용함으로써 재구성방안을 구하기 위한 탐색시간이 줄어들 것으로 예상되며 다양한 사례연구를 통하여 제시된 방법의 효율성과 적용범위에 대한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

### 5. 참고문헌

[1] S. Civanlar, J. Grainger, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 1217-1233, July 1988.

[2] M.E. Baran, F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 1401-1407, April 1989.

[3] S.K. Goswami, S.K. Basu, "A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Reduction", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1434-1491, July 1992.

[4] V. Borozan, D. Rajcic, "Improved Method for Loss Minimization in Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp. 1420-1425, August 1995.