

순환적 부분트리 탐색법을 이용한 중부하 배전계통의 손실최소화

論 文
50A-5-5

Loss Reduction in Heavy Loaded Distribution Networks Using Cyclic Sub Tree Search

崔相烈* ·申明澈**
(Sang-Yule Choi · Myong-Chul Shin)

Abstract - Network reconfiguration in distribution systems is realized by changing the status of sectionalizing switches, and is usually done for loss reduction or load balancing in the system. This paper presents an effective heuristic based switching scheme to solve the distribution feeder loss reduction problem. The proposed algorithm consists of two parts. One is to set up a decision tree to represent the various switching operations available. Another is to apply a proposed technique called cyclic best first search. the proposed algorithm identify the most effective the set of switch status configuration of distribution system for loss reduction. To demonstrate the validity of the proposed algorithm, numerical calculations are carried out the 32, 69 bus system models.

Key Words : Network Reconfiguration, Loss Reduction, Cyclic Best First Search

1. 서 론

배전선로의 손실은 배전선로 자체와 변압기의 손실이 큰 몫을 점유하고 있으며, 이의 연도별 변화추세는 포화상태에 이른 실정이다. 따라서 이러한 배전계통의 특성을 적용하고 배전자동화의 경제적인 운용의 이득을 최대화하기 위한 배전선로의 손실감소 기법의 필요성이 증대되고 있다.[1]

배전계통의 손실을 최소화하기 위한 알고리즘으로, Baran 등[2]과 Cinvanlar 등[3]은 개폐기 조작을 통해 손실변화량을 계산하는 근사적인 조류계산 방식을 제시하였고, Goswami 등[4]이 KVL 과 KCL (Kirchhoff의 전압, 전류 법칙)을 이용하여 손실감소를 위한 배전계통 재구성의 알고리즘을 제안하였다. 그리고 Sarfi 등[5]은 단일의 배전계통을 소규모의 배전계통으로 분할하여 탐색하는 계통분할 탐색기법을 제시하였고, Fan 등[6]은 하나의 연계 개폐기만을 닫은 단일 폐루프 상태에서 손실이 최소로 될 것으로 예상되는 개폐기를 열어서 방사상 구조를 유지하는 분기 교환법(Branch Exchange)을 배전계통 최적구성에 적용하였으며 McDermott 등[7]은 전역적인 최적해를 얻기 위하여 개선된 분기 한정법(Branch and Bound)을 이용하였다. 또한 인공지능 기법인 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)[8]과 유전알고리즘(Genetic Algorithm)[9] 그리고 타부탐색과의 혼합 알고리즘[10] 등이

배전계통의 최적구성에 적용되고 있다.

한편 Morelato등[11]은 배전선로의 각 스위치들을 (close/open) 상태에 따라 2진 트리로 구성하고 깊이우선탐색 (Depth-First) 하는 방식을 제시하였으나 이러한 방식은 탐색 공간이 많아 지기 때문에 많은 시간이 소요되어 실제 계통에 적용하기 어려운 단점이 있다. 그 후에 소개된 휴리스틱 탐색기법[12]은 선로 과부하 및 부하 불평형을 동시에 해결하기 위하여, 과부하가 발생된 피더내에 존재하는 구분 개폐기와 연계 개폐기를 하나의 조합으로 만들고 그 조합을 트리구조로 재구성하여 최적우선탐색(Best-First) 방식으로 탐색하였다. 이것은 경험적인 지식으로 계통을 재구성하는 최적우선탐색 탐색법의 전문가 시스템으로써 이전 보다 탐색 스위치 갯수와 스위칭되는 개폐기의 갯수를 줄일 수 있었으나 스위칭을 탐색하는 과정 중에 많은 수의 불필요한 스위칭이 포함되는 문제점이 있다. [11,12]에서 제시된 문제점들을 해결하기 Wu등[13]은 과부하해소, 정전복구 및 각상간의 불평형을 해결하기 위하여 [12]에서 소개된 트리를 변형시켜서 구성후 평가함수와 휴리스틱 기법을 이용하여 탐색하였다. 이 방법에서는 연계 개폐기 선정을 위한 함수를 이용하여 close되어야 할 연계 개폐기를 선정후 상 불평형 정도를 규정한 함수와 선로용량 여유분 함수를 이용하여 open되어야 할 구분 개폐기를 선택함으로써 불필요한 스위칭이 감소되었다.

본 논문에서는 선로의 과부하 해소와 방사상 구성 제약조건 해결이 용이한 참고문헌[13]의 알고리즘을 수정 보완하여 기존의 참고문헌에 비하여 적은 스위칭 횟수로 선로손실을 최소화하는 효율적인 알고리즘을 제시한다. 본 알고리즘은 참고문헌[13]에서 제시한 방식으로 부분트리를 구성후 최적우선탐색 방식으로 1차 탐색하여 최하위 레벨의 최종노드를 선택하고 선택된 최종노드를 시작노드로 하는 역트리를 구

* 正 會 員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터工學部 博士課程

** 終身會員 : 成均館大 電氣電子 및 컴퓨터工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 2月 22日

最終完了 : 2001年 4月 19日

성후 최적우선탐색을 반복 수행하는 순환적 최적우선탐색 방식을 적용한다. 순환적 최적우선탐색 방식은 기존의 비순환적인 최적우선탐색 방식에 비교하여 탐색공간은 증가되지만 이용되는 부분트리의 탐색 노드의 갯수가 비교적 많지 않음으로 인하여 적용이 가능하고 또한 선택된 해 집합이 보다 정확하다.

본 알고리즘을 32모선과 69모선 시스템에 적용하여 얻어진 결과를 기존의 참고문헌과 비교하여 그 유용성을 입증하였으며, 그 결과 종래의 기법에 비하여 적은 스위칭 횟수로 같은 손실감소 결과를 얻게됨을 입증하였다.

2. 배전선로 스위치의 close/open 변환을 통한 손실최소화 알고리즘

2.1 목적함수 및 제약조건

배전계통에서의 손실최소화 문제는 배전계통에서 부하 불평형 또는 중부하가 발생하는 피더를 확인한 후 구분 개폐기와 연계 개폐기를 조작하여 위반 요소를 해소함으로써 손실을 최소화함과 동시에 선로구성, 전류등의 제약조건을 만족하는 문제이다. 목적함수를 이용한 선로 재구성을 수행함으로써 중부하가 발생된 피더의 부하가 다른 쪽으로 절체되고 부하분담이 균등하게되어 손실이 최소화된다.

2.1.1 목적함수

목적함수는 식 (1)에서 얻어진 손실이 전체 시스템의 관점에서 최소화되는 것이며 다음의 식과 같이 모든 선로 손실의 합으로 간단히 표현될 수 있다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} e \quad (1)$$

여기서 P_i, Q_i : 구간 i 에서의 유효 및 무효전력

r_i : 구간 i 에서의 선로 저항

V_i : i 번째 부하단의 전압

2.1.2 제약조건

● 선로 전류 제약조건

$$I_k \leq I_k^{\max} \quad k=0, 1, \dots, n \quad (2)$$

여기서 I_k 는 k 번째 지선의 유입전류 이고 I_k^{\max} 는 도체의 허용 전류용량이다.

● 방사상 구성 제약조건

$$S=N-1 \quad (3)$$

여기서 S 는 닫혀있는 개폐기의 개수이고 N 은 모선의 갯수이다.

2.2 스위치 탐색을 위한 부분 트리 구성

선로 중부하 해소를 위한 계통 재구성은 상시 open된 연계 개폐기를 close시키고 상시 close된 구분 개폐기를 open시켜서 이루어지며 재구성 후에도 계통의 구성이 방사상 구조를 이루기 위해 N 개의 연계 개폐기가 close될 경우 반드시 N 개의 구분 개폐기도 open되어야 하며 따라서 N 개의 (close/open) 되어야 할 스위칭 조합의 존재한다. 여기서 연계 개폐기의 갯수는 중부하 피더의 중부하 해소를 위한 인접 백업피더의 갯수와 같으므로 백업피더의 갯수 또한 N 개가 된다.

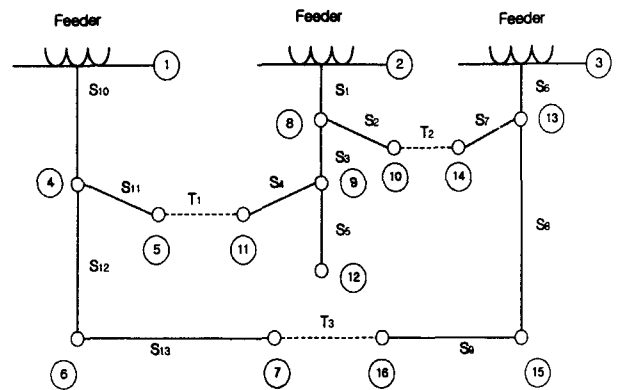


그림 1. 3-Feeder 모델계통

Figure 1. Three-feeder example system

그림 1에서 피더 2가 중부하 피더인 경우 피더 1과 3은 중부하를 해소하기 위한 백업피더가 되고 중부하를 해소하기 위한 (close/open) 스위칭 조합이 T_1 과 S_4 일 경우 이것을 (T_1, S_4)로 표현한다. 선로 중부하를 해소하기 위한 스위칭 조합의 탐색 방법은 중부하 피더의 연계 개폐기를 탐색의 시작점으로 하여 중부하 피더의 전원측 방향으로 탐색해 나간다. 즉 중부하 피더의 상시 open된 연계 개폐기를 close시킨후 open시켜야할 구분 개폐기를 연계 개폐기에 근접된 순서대로 탐색을 진행하여 전원 변압기의 차단기까지 탐색한다.

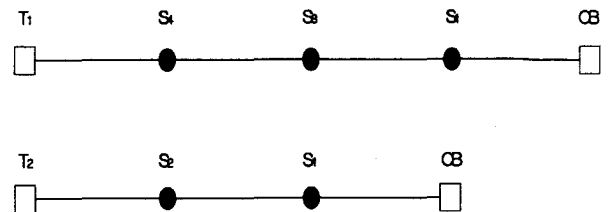


그림 2. 모델 계통의 탐색 경로

Figure 2. Main search paths for example system

그림 2에서 1번 피더가 백업피더일 경우 구하고자하는 스위칭 조합은 T_1 에서 시작하여 S_4, S_3, S_1 순으로 탐색되며

가능한 스위치 조합은 $(T_1, S_4), (T_1, S_3), (T_1, S_1)$ 이고 이 중에서 손실이 최소가 되는 조합이 (T_1, S_3) 일 경우 이것이 찾고자 하는 해가 된다. 또한 1번 피더와 3번 피더가 백업 피더인 경우 가능한 스위치 조합은 $((T_1, S_4), (T_2, S_2)), ((T_1, S_4), (T_2, S_2)), ((T_1, S_4), (T_2, S_1)), ((T_1, S_3), (T_2, S_2)), ((T_1, S_3), (T_2, S_1)), ((T_1, S_1), (T_2, S_2))$ 이고 이 중에서 $((T_1, S_4), (T_2, S_2))$ 이 손실을 최소로 하는 조합일 경우 이것이 찾고자 하는 해가 된다. 그러나 $((T_1, S_1), (T_2, S_1))$ 은 방사상 구성 제약조건을 위반하기 때문에 고려 대상에서 제외시킨다. 이와 같이 중복화된 피더의 위반 해소를 위하여 두 개 이상의 백업 피더가 필요한 경우, 방사상 구성 제약조건을 위반하는 스위치 조합은 부분트리 구성시 제외시킴으로써 방사상 구성 제약조건 위반을 미연에 방지한다. 부분트리는 배전계통에서 발생하는 손실을 최소화하기 위해 가능한 스위칭 조합들을 노드로 하여 구성된 트리이고 트리의 형태는 그림 3과 같다. 이러한 트리를 구성하여 탐색함으로써 탐색공간의 수는 최초 $2^7 = 128$ 개에서 8개로 줄어든다.

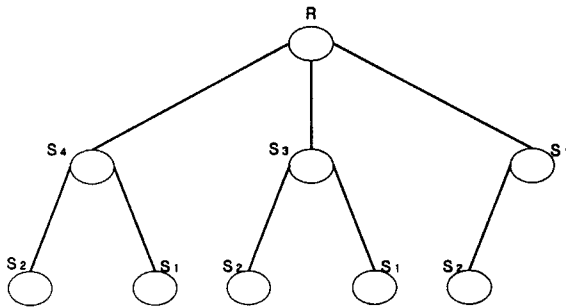


그림 3. 2개의 백업피더를 갖는 부분 트리
Figure 3. Sub tree with two backup feeders

그림3 에서와 같은 부분트리 구성시, 생성된 트리의 총 레벨의 갯수는 중복하 피더가 갖는 연계 개폐기의 수와 같게 된다.

2.3 순환적 최적우선탐색 기법

구성된 부분트리에서 모든 노드를 검색하여 최적의 해를 얻는 방법은 작은 계통에서는 적용 가능하지만 대규모 계통에 적용할 경우 최적의 해를 탐색하는데 많은 시간과 노력이 요구되어 실 시간적인 제어가 요구되는 배전자동화 시스템에 적용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 기존의 방식보다 적은 스위칭 횟수로 보다 정확한 해를 얻을 수 있는 순환적 최적우선탐색 방법을 제시한다. 순환적 최적우선탐색 방법은 기존의 비순환적인 최적우선탐색 기법을 기반으로 하여 보다 정확한 해를 얻기 위하여 순환성을 부여한 것이다. 이러한 순환적 최적우선탐색 기법은 최적우선탐색법이 휴리스틱에 근거하여 적은 탐색비용으로 대규모 배전

계통의 실시간 제어에 효과적인 장점을 이용하고, 그 결과해가 대부분 국부적인 최적해가 되는 단점을 보완한다.

2.3.1 최적우선탐색

구성된 부분트리에 대한 최적우선탐색은 트리의 상위 노드로부터 손실이 최소가 되는 하위 노드를 선택하는 과정을 반복해가면서 손실이 최소가 되는 노드를 찾는 것이다. 즉 상위의 부모 노드로부터 손실이 최소가 되는 자식노드를 선택해 나감으로써 손실이 최소가 되는 최종 노드를 찾고 그에 따른 최적의 경로를 찾는 것이다.

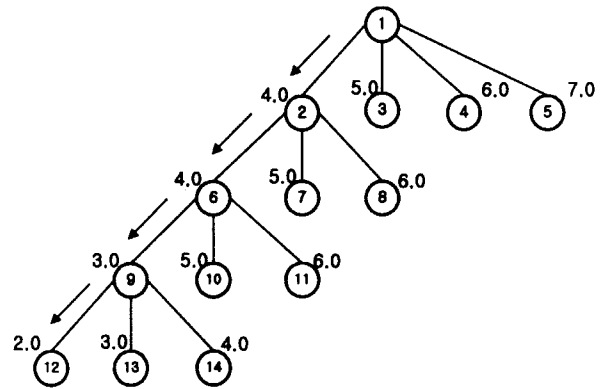


그림 4. 최적우선탐색

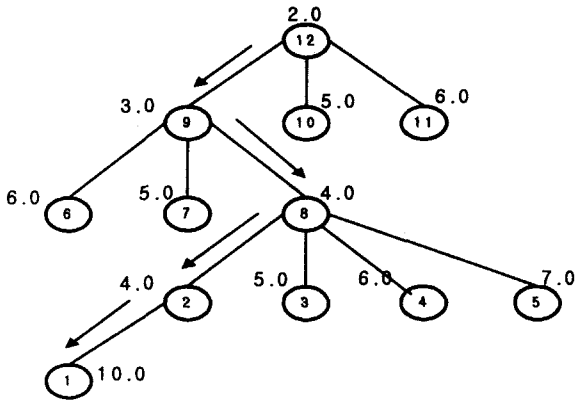
Figure 4. An example of best-first search

그림 4에서 ①번 노드는 탐색의 시작이 되는 시작노드이고, ⑫노드가 탐색 결과로 선택된 최종노드이다. ①번 노드에서 탐색을 시작하면 자식 노드는 ②,③,④,⑤가 되고 이러한 자식 노드중 손실이 최소가 되는 ②번 노드가 선택되어 탐색이 진행된다. ②번 노드에서의 하위노드는 ⑥,⑦,⑧노드가 되고 이중 손실이 최소가 되는 노드인 ⑥번 노드가 선택된다. 이와같은 탐색의 반복으로 최종적으로 ⑫번 노드를 선택하고 탐색이 종료된다.

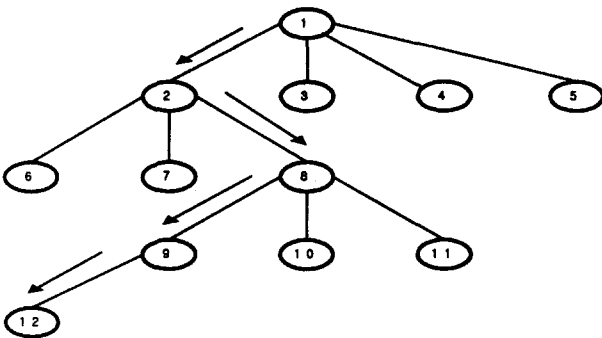
이와 같은 방식으로 선택된 경로는 ①→②→⑥→⑨→⑫이지만 이러한 경로는 최적의 경로가 아닌 근사 최적의 경로이다. 따라서 본 논문에서는 구성된 부분 트리에서 보다 정확한 근사 최적경로를 찾기 위하여 순환적 최적우선탐색을 적용한다.

2.3.2 순환적 최적우선탐색

순환적 최적우선탐색은 구성된 부분트리에서 필수적으로 요구되는 최적의 경로를 찾기 위하여 최적우선탐색 방식에 순환성을 부여한 것이다. 즉 구성된 트리에서 최적의 경로를 선택하기 위하여 1차로 최적우선탐색을 이용하여 시작 노드로부터 최종노드까지의 경로를 선택하고 그 후 선택된 최종노드를 시작노드로 하는 역트리를 구성하여 최적우선탐색을 반복 수행함으로써 좀더 전역적인 최적에 가까운 경로를 선택하게 되는 것이다.



5.a



5.b

그림 5. 순환적 최적우선 탐색

Figure 5. An example of cyclic best-first search

1차적인 최적우선 탐색의 결과로 그림 4에서 선택된 최종 노드인 ⑫번 노드를 탐색의 시작점으로 하여 1차 탐색에서 이용된 트리의 레벨을 역으로 하는 역트리를 구성후 2차 최적우선 탐색을 진행하면 그림 5.a와 같고 선택된 경로는 ⑫→⑨→⑧→②→① 이다.

여기서 1차로 탐색된 경로와 2차로 탐색된 경로가 같지 않기 때문에 2차 탐색으로 선택된 경로 역시 최적이라고 할 수 없으므로 그림 5.b에서와 같이 ①번 노드를 시작노드로 하는 역트리를 구성하여 3차 최적우선 탐색을 진행하면 ①→②→⑧→⑨→⑫와 같은 경로를 얻게되고, 이러한 경로는 2차 탐색의 결과와 같으므로 탐색을 종료한다.

적용된 부분 트리를 순환성을 갖지 않는 최적우선 방식으로 탐색 할 경우 탐색중인 레벨에 선택된 스위칭으로 인하여 시스템 전체의 손실값이 변화하게되어 이미 탐색된 상위 레벨 스위칭의 손실값에도 영향을 미치기 때문에 최종적으로 선택된 경로가 손실 최소화를 만족하는 최적 경로임을 보장하는 것은 어려워진다.

그러나 제한한 순환적 최적우선 탐색에서는 근사 최적으로 판단되어지는 결과노드를 트리의 시작노드로 재구성하여 탐색을 반복함으로써 손실 최소화를 위한 보다 최적의 경로가 선택된다.

2.4 전체 흐름도

그림 6은 지금까지 설명된 순환적 부분트리 탐색법을 이용한 손실 최소화 알고리즘을 나타내며 순서도의 각 단계별 세부적인 설명은 다음과 같다.

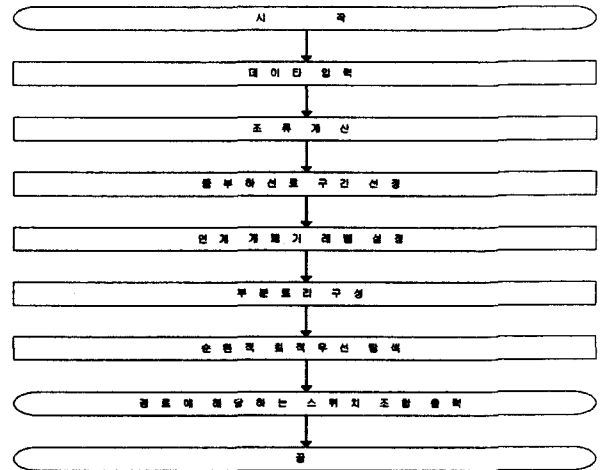


그림 6. 손실 최소화 알고리즘
Figure 6. Flowchart for the proposed feeder reconfiguration algorithm

(STEP 1) : 제약조건(전류, 방사상 구성 제약)과 선로 데이터(선로 저항, 부하량, 선로구성)등을 입력하고 입력된 데이터를 이용하여 조류계산을 수행한다. 조류계산은 자코비안 행렬의 구성이 필요없고 신속한 조류계산이 가능한 DISTFLOW[2] 기법을 적용하였다.

(STEP 2) : 중부하 선로구간을 선택후 선택된 선로구간에 연결된 연계 개폐기들간의 양단 모선 전위차를 비교하여 전위차가 가장 큰 연계 개폐기를 최상위 레벨로 하는 부분 트리를 구성한다. 부분 트리 구성시 방사상 제약조건을 위반하는 스위칭 조합은 트리 구성에서 제외시킨다.

(STEP 3) : 상위 레벨에서 하위 레벨로 1, 2차 최적우선 탐색을 수행하는 도중 부분트리의 특정 레벨에 속한 모든 노드가 손실을 증가시킬 경우나 제약 조건을 위반할 경우 해당 레벨을 무시하고 하위의 레벨로 탐색을 진행한다. 무시된 레벨에 해당되는 연계 개폐기가 1, 2차 탐색의 결과 동일한 경우, 3차 이후의 탐색에서는 역 트리 구성시 그 레벨은 제외시킨 채로 구성하여 불필요한 탐색을 사전에 방지한다.

(STEP 4) : 최종적으로 선택된 경로에 포함되는 노드들은 중부하시 배전 계통의 손실을 최소화를 위해 (close/open) 되어야할 연계개폐기와 구분개폐기의 조합이 된다.

3. 사례연구

본 연구의 타당성을 입증하기 위하여 참고문헌[2]의 32모선과 참고문헌[14]의 69모선에 적용하여 제안된 방법과 성능을 비교하였다. 일반적으로 배전계통의 모선에 연결된 부하로 흐르는 전류는 수시로 변동하지만, 이것을 변동하지 않는

일정 전력 부하로 가정하였고, 각 모선에 연결된 부하는 균 등 분산 부하로 가정 하였다.

3.1 32모선 모의 계통의 적용

3.1.1 32모선 모의 배전 계통의 개요

그림 7은 32모선 계통도이다. 32개의 모선을 방사상으로 구성하기 위하여 개방된 5개의 연계 개폐기를 점선으로 표시하였고 닫힌 32개의 구분 개폐기를 실선으로 표시 하였다. 여기서 급전선의 전압은 12.66 [KV]이고, 전체부하는 5084.26[KW], 2547.32[KVar] 이고 최초 손실은 199.619[KW]이다.

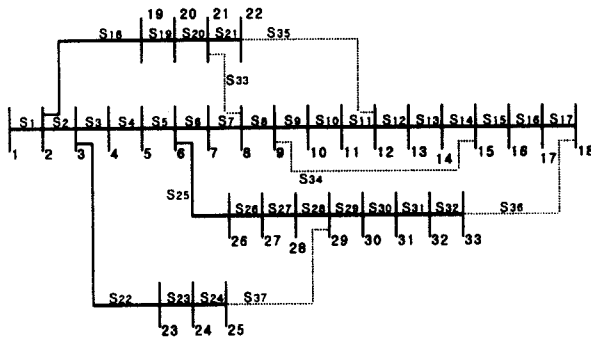


그림 7. 32모선 모의 배전계통

Figure 7. Sample of distribution system with 32 bus

3.1.2 32모선 배전계통에의 적용

1차 최적우선 탐색을 위한 부분트리 구성시 연계 개폐기들간의 레벨을 정의하기 위해 양단 모선간의 전압차를 비교하여 전위차가 큰 순서로 연계 개폐기를 정렬하면 35—37—33—34—36이 된다. 이와같은 순서로 레벨을 정의하여 부분 트리를 구성후 1차 최적우선 탐색을 수행하면 그림 8과 같다.

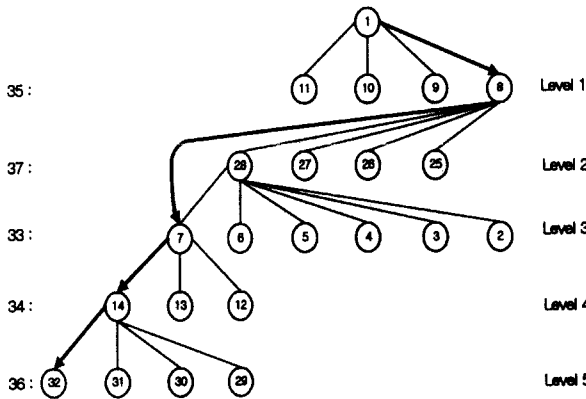


그림 8. 1차 최적우선탐색

Figure 8. First step of best-first search

탐색 수행 도중 레벨 2에 속한 모든 노드들을 무시하고 레벨 3으로 진행한 이유는 레벨 2에 속하는 모든 스위칭 조합이 배전계통의 손실을 증가시키기 때문이며 따라서 연계 개폐기 37은 손실을 최소화하기 위한 스위칭 조합에 포함되지 않는다. 1차 최적우선 탐색의 결과로 얻게되는 (close/open) 스위칭 조합은 ((35,8),(33,7),(34,14),(36,32))이다.

이와같이 선택된 스위치 조합은 근사 최적해이기 때문에 보다 최적에 가까운 해를 얻기 위하여 선택된 최종노드를 새로운 시작노드로 하는 역트리를 구성하여 2차 최적우선 탐색을 수행하면 그림 9와 같다.

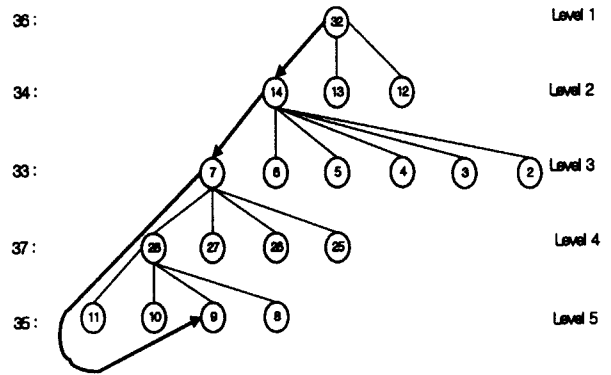


그림 9. 2차 최적우선 탐색

Figure 9. Second step of best-first search

레벨 4에 속하는 스위칭 조합이 수행될 경우 배전계통의 손실이 증가되므로 레벨 4를 무시하고 레벨 5로 진행하며 탐색된 스위칭 조합은 ((35,9),(33,7),(34,14),(36,32))이다.

1차 탐색 결과로 선택된 스위치 조합인 (35,8)이 2차 탐색 결과 (35,9)로 바뀌었으며 이러한 이유는 근사 최적으로 추정되는 1차 탐색의 최종노드가 2차 탐색을 위한 역트리 구성시 시작노드로 되기 때문이다. 1차 탐색으로 선택되는 스위칭 조합과 2차 탐색으로 선택되는 스위칭 조합이 서로 같지 않기 때문에 2차 탐색으로 얻어지는 스위칭 조합이 손실을 최소화 할 수 있는 조합이라고 할 수 없다. 따라서 3차 역트리를 구성하여 최적우선 탐색을 수행하여 보다 최적의 조합을 탐색하면 그림 10과 같이 된다.

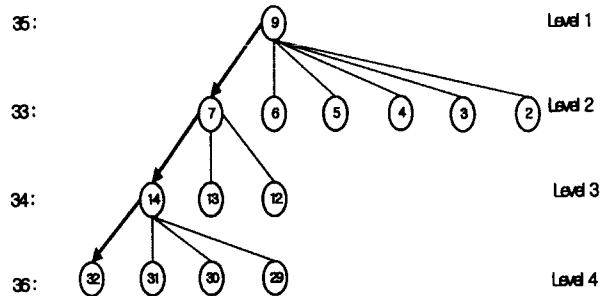


그림 10. 3차 최적우선 탐색

Figure 10. Third step of best-first search

연계 개폐기 37이 포함된 스위칭 조합은 1,2차에 걸친 탐색 결과와 같이 배전계통의 손실을 항상 증가시키기 때문에 3차 역트리 구성시 해당 레벨을 트리상에서 제외하여 불필요한 탐색을 사전에 방지한다. 3차 탐색으로 선택된 스위칭 조합은 ((36,32),(34,14),(33,7),(35,9))가되고 이것은 2차 탐색의 결과와 같기 때문에 탐색은 종료되며 3차 탐색에서 선택된 스위칭 조합이 최종적으로 (close/open)되어야 할 스위칭 조합이 된다.

3.2 종래의 방법과의 비교

표.1은 그림 7의 계통에서 발생된 손실을 최소화하기 위해 적용된 참고문헌[4]과 참고문헌[2] 그리고 제안한 방법을 비교 제시 한 것이다. 표-1에서 참고문헌[4](M1&M2)이 제시한 방법은 손실을 최소화하기 위해 7회에 걸친 스위칭이 요구되는데 반하여 제안한 방식에서는 5회의 스위칭으로 가능하였고 참고문헌[2]에서 제시한 방법은 스위칭후의 손실 감소량이 24.260[%]인데 반하여 제시한 방식에서는 29.466[%]으로 보다 많은 손실이 감소되었음을 알 수 있다.

비록 본 연구에서 제안한 방식이 참고문헌[4](M3)이 제시한 방식에 비하여 스위칭 횟수는 1회 증가하였으나 최적의 스위칭 탐색을 위한 탐색공간은 오히려 감소되어 탐색부담은 감소된다.

표 1. 제안한 방식과의 비교
Table 1. Comparison with proposed algorithm

적용 방식	스위칭 횟수	초기 open 스위치 번호	최종 open 스위치 번호	손실 감소량[%]
참고문헌 [4]	M1	7	7, 9, 14, 32, 37	29.466
	M2	7		
	M3	4		
참고문헌[2]	M1	33, 34, 35, 36, 37	11, 28, 31, 33, 34	23.719
	M2		6, 11, 31, 34, 37	24.260
	M3		3	
제안한 방식	5		7, 9, 14, 32, 37	29.466

3.3 69모선 계통의 적용

제안한 알고리즘을 참고문헌 [14]의 69모선에 적용시 결과는 표.2와 같고 적용 모델의 급전선 전압은 12.66 [KV], 전체부하는 3802.19[KW], 2694.60[KVar]이다

표 2. 69 모선 적용 결과
Table 2. Results and switching times for 69 bus system

스위칭 횟수	최초 open 스위치 번호	최종 open 스위치 번호	손실 감소량 [%]
4	70, 71, 72, 73, 74	15, 59, 62, 70, 71	42.65

표.2의 결과와 같이 4회에 걸친 스위칭으로 선로의 손실은 초기 구성시 194.608kw에서 재구성후 111.596kw가 되어 42.65[%]의 손실이 감소되었다.

4. 결론

본 연구에서는 부하절제를 위한 부분트리 구성후 순환성을 갖는 최적우선 기법으로 (close/open) 되어야 할 스위칭 조합을 탐색함으로써 보다 적은 스위칭으로 간단하게 중부하시의 배전계통에 발생하는 손실을 최소화 할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 그리고 본 알고리즘에 대한 유용성과 편리성을 입증하기 위하여 기존의 32모선과 69모선 계통에 적용하였으며 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

- (1) 중부하시 배전계통의 손실을 최소화하기 위해 중부하가 연결되어 있는 선로 구간의 스위치만을 대상으로 하여 부분트리를 구성함으로써 탐색공간의 수를 줄일 수 있었고, 근사 최적으로 추정되는 1차 탐색의 최종노드를 2차 역트리 구성시 시작노드로 하여 최적우선탐색을 반복 수행함으로써 스위칭 횟수를 줄이고, 비교적 최적에 가까운 해를 구할 수 있었다.
- (2) 정상시 배전계통의 중부하된 구간을 고장시의 정전구간으로 대체 적용 할 경우 유사한 부분 트리가 구성되기 때문에 본 알고리즘을 선로나 모선의 고장으로 인해 정전된 구간의 정전복구에도 유효하다고 사료된다.
- (3) 순환적 최적우선 탐색 방식은 기존의 순환성을 갖지 않는 최우선탐색법에 비교하여 탐색공간이 증가되나 적용한 부분트리의 탐색되는 노드의 갯수가 비교적 많지 않음으로 인하여 실시간 배전자동화 시스템에 적용이 가능하고 또한 보다 정확한 해 집합을 얻을 수 있었다.
- (4) 본 알고리즘을 32, 69모선과 같은 중,소규모의 배전계통에서는 3차례의 순환 탐색으로 손실 최소화가 가능하였으나 연계 개폐기의 갯수가 많은 대규모 계통에 적용시 많은 차수의 순환 탐색이 요구되어 탐색공간이 증가될 우려가 있으므로 이러한 단점을 해결하기 위한 연구를 차후에 추진할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김세호 “손실감소를 위한 배전계통 재구성 전문가 시스템” 대한 전기학회 논문지, vol 6 pp 656 - 663, 1997. 5
- [2] M. E. Baran, F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-4, 1989, pp. 1401-1407, April 1989.
- [3] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, S. S. H Lee, "Distribution feeder reconfiguration for losses reduction", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-3, 1988, pp.1217-1223, July 1988
- [4] S. K. Goswami, S. K. Basu, "A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp.1484-1491, July 1992.
- [5] R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, A. Y. Chikhani,

- "Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: An Algorithm Based on Network Partitioning Theory", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 11, No. 1, pp.504-510, February 1996.
- [6] J-Y, Fan, L. Zhang, J.D. McDonald, "Distribution Network Reconfiguration : Single Loop Optimization", IEEE Trans, Power Systems, Vol. 10, No. 3, pp. 1643-1647, August 1996.
- [7] T.E. McDermott, I.Drezga, R. P. Broadwater, "A Heuristic Nonlinear Constructive Method for Distribution system Reconfiguration", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 14, No. 2, pp 478 - 483, May 1999.
- [8] H.-C. Chang, Ch.-Ch. Kuo "Network Reconfiguration in Distribution Systems using Simulated Annealing", Electric Power Systems Research, Vol. 29, pp 227 - 238, 1994
- [9] K.Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, T. shihara, "Implementation of Genetic Algorithm for Distribution system Loss Minimum Reconfiguration", IEEE Trans. Power System, Vol. 7, No. 3, pp.1044 -1051. August 1992.
- [10] 전영재, 김재철 "배전 계통의 손실 최소화를 위한 시뮬레이션 어닐링과 타부 탐색의 적용" 대한 전기학회논문지, 제 50A권 1호, pp. 28 -37, 2001, 1.
- [11] A. L. Morelato, A. Monticelli, "Heuristic search approach to distribution system restoration ", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 4, pp. 2235 - 2241. October 1989.
- [12] T.Taylor, D. Lubkeman, "Implementation of heuristic search strategies for distribution feeder reconfiguration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, pp. 239 - 246. January 1990.
- [13] J. S. Wu. K. L. Tomsovic, C. S. Chen, "A heuristic search approach to feeder switching operations for overload, fault, unbalanced flow and maintenance", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, pp.1579 - 1585, October 1991.
- [14] M.E, Baran, F.F, Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution system", IEEE Trans, Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp.725-734. Jan. 1989.
- [15] 송길영, 김용하, 이범, 차준민, 남궁재용, 이승원, "배전계통의 효율적인 선로접속변경에 의한 긴급정전복구 알고리즘 ", 대한전기학회 논문지, Vol. 7, pp 843 - 851, 1995. 7
- [16] 전영재 외, "타부탐색을 위한 배전 계통재구성", 대한전기학회, 99하계학술 대회, pp1422-1424
- [17] 南, 金, 林, 奈良 : "放射狀配電係統負荷 バランス 問題の新しい 高速近似解法", 電學論 B, 117卷, 10号, 平成 9年

저 자 소 개



최 상 열 (崔 相 烈)
 1970년 8월 24일 생. 1996년 성균관대 전기공학과 졸업. 1998년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학부 졸업(석사). 1998년~현재 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학부 박사과정

E-mail : ppk99@pscal.skku.ac.kr



신 명 철 (申 明 澈)
 1947년 4월 3일 생. 1970년 성균관대 전기공학과 졸업. 1978년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1975년~1978년 충북대학교 전기공학과 조교수. 2000년~2001년 미국펜실바니아 주립대 방문교수.

1978~현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수
 E-mail : mcshin@speed.skku.ac.kr