

배전계통 재구성 최적화 알고리즘 개선 적용

정종만*, 박창호*, 채우규*, 장수홍**
 *한국전력공사 전력연구원, ** (주)피앤오테크

The application of an improved algorithm for optimal reconfiguration of distribution systems

Jong-man Jeong*, Chang-ho Park*, Woo-kyu Chae*, Su-hong Jang**
 *KEPRI, **P&O Tech

Abstract - 본 논문에서는 한국전력공사의 배전계통 운영계획시스템(Distribution Line PLANning system)에서 배전계통 재구성 최적화에 적용하고 있는 선로간의 부하 평준화 알고리즘에 대하여 연구하였다. 기존의 알고리즘은 계통 내 임의의 연계 개폐기 혹은 구분 개폐기를 조작한 후 방사상의 운전조건을 만족하면 선로별 부하를 계산한다. 그리고 최대부하 선로와 최소부하 선로간의 부하 편차를 구하고 직전의 최적해와 비교하여 최적의 해를 찾아내는 방법이다. 그러나 계통이 커질 경우 시험해야 할 경우의 수가 많아져서 시간이 많이 소요되고 또한 수렴속도를 빠르게 하기 위하여 반복횟수를 제한하기 때문에 절대적인 최적의 해를 보장하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 탐색시간을 만족시키면서 전수조사하는 정도의 부하 평준화 최적해를 찾아서 배전계통의 재구성을 최적화하는 알고리즘을 구현하고자 한다.

한 계통을 임의대로 조작하거나 선로를 신설하고 철거하는 등 여러 가지 조건으로 계통을 변경한 후 시뮬레이션을 할 수 있고, 변경한 계통의 내용을 근거로 공사비내역서 및 공사도면을 출력하는 기능을 제공하여 객관적이고 과학적인 연차별 배전투자계획을 수립하거나 단기 배전계통 운영계획 수립을 지원한다.[4,5]

2.1.1 주요 기능

주요 기능은 단기 전력수요 예측, 계통 변경관리, 배전계통 운영 최적화 관리, 투자계획 수립관리, 데이터 연계로 구분할 수 있으며 표 1 과 같다.

표 1. DLPLAN의 주요 기능

주요 기능	상세 내역
단기 전력수요 예측	0 배전선로별 부하예측(5년) 0 부하 조정
배전계통 운영 최적화	0 부하 평준화, 손실 최소화 0 전압강하 분석 0 복구도 분석 0 전선용량 분석
투자계획 수립	0 공사내역관리 0 개략공사비 산정 0 공사도면 및 공사비 내역서 출력
계통 변경관리	0 개폐기, 선로 수정, 삭제, 교체 등 0 도시 계획(부하 분포, 경과지 등) 0 전력수급계획(변전소위치,용량 등)
데이터 연계	0 배전계통 및 고객 부하 정보 0 최대 인출전력 0 부하예측 기초자료 입력

1. 서 론

배전계통에 있어서 신뢰성, 효율성 및 경제성 확보 여부는 배전설비들이 고객 서비스 지역 내에 얼마나 적절한 형태로 위치하며 해당 지역의 특성, 수용가의 요구에 맞도록 설비가 구성되어 있는가에 달려있다. 따라서 향후 급격히 증가하는 전력수요에 적절히 대응하면서도 신뢰성 있고 경제적인 방향으로 전력공급을 수행하기 위해서는 현재 구성되어 있는 배전계통 설비들의 효율적인 관리가 필요하다. 또한 설비 및 회선중실을 억제하여 투자비 및 운영비를 절감하기 위해서는 설비 이용률을 극대화하기 위한 노력이 필요하다. 이를 위하여 한국전력공사에서는 배전계통운영계획시스템(DLPLAN)을 자체 개발('98 - '00)하였으며, 부하 평준화 분석결과를 제공하여 설비이용률 향상, 부하 전환능력 확보 및 과부하 선로해소 방안 수립에 활용하고 있다. 그러나 타부담색일고리즘을 응용한 현재의 부하 평준화 알고리즘은 계통이 커질 경우 시험해야 할 경우의 수가 많아져서 시간이 많이 소요되고 또한 수렴 속도를 빠르게 하기 위하여 반복횟수를 제한하기 때문에 절대적인 최적의 해를 보장하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 탐색시간을 만족시키면서 전수조사하는 정도의 부하 평준화 최적해를 찾아서 배전계통의 재구성을 최적화하는 알고리즘을 구현하고자 한다.

2. 본 론

2.1 배전계통운영계획시스템(DLPLAN) 소개

배전계통운영계획시스템(Distribution Line PLANning system)은 선로별 부하예측, 전압강하 계산, 전선용량 분석, 복구도 지수 계산 등 현재 계통을 분석할 수 있고, 부하평준화 및 손실최소화 등 계통운영을 최적화할 수 있는 기능을 제공하여 설비 이용률을 극대화하고 손실비용을 최소화하여 효율적인 배전계통운영을 지원한다. 또

2.1.2 시스템 구성도

DLPLAN은 배전계통 정보는 NDIS, 고객부하정보는 NCIS, 선로별 최대 인출전력은 SOMAS와 데이터를 연계하고 있으며 시스템 구성도는 그림 1 과 같다.

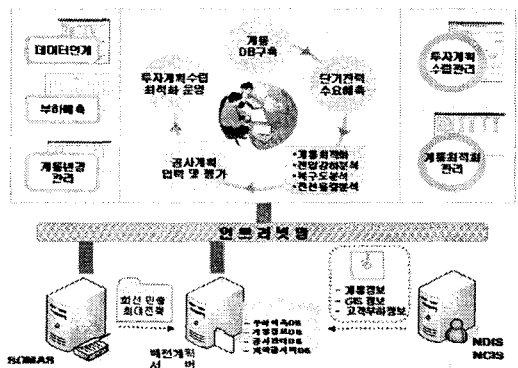


그림 1. DLPLAN의 시스템 구성도

2.2 DLPLAN의 부하 평준화 알고리즘

DLPLAN의 부하 평준화 알고리즘은 타부탐색을 응용하여 개발한 알고리즘임으로 먼저 타부탐색의 개요를 살펴보고 알고리즘의 상세 내용을 분석한다.

2.2.1 타부탐색 개요

타부탐색(Tabu search)은 1980년대 후반에 Glover를 비롯한 여러 학자들에 의하여 현재의 형태로 제시되었는데, 지금까지 여러 어려운 조합적인 최적화 문제를 푸는데 매우 효과적임을 보여주고 있다. 타부탐색은 유연한 성질이 있는 컴퓨터 기억구조를 사용한다. 이는 고정된 기억구조 방법(branch and bound)이나, 기억을 사용하지 않는 방법(simulated annealing, 임의의 찾는 방법)보다 더 자세하게 역사적 탐색 정보와 기존 개선을 이용하여 탐색한다. 타부 탐색은 메모리 구조를 사용하여 타부 리스트를 통한 통제조건과 타부 리스트를 무시할 수 있는 열망 기준(aspiration criterion) 사이에서 자유롭게 탐색한다. 타부탐색의 궁극적인 목적인 좋은 해를 얻기 위한 타부제한 조건이 도리어 좋은 해가 있을 수 있는 곳으로 움직이는 것을 방해할 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 어떤 때에는 타부 조건을 무시할 수 있는 새로운 조건이 필요할 때가 있다. 이러한 조건을 열망 기준이라 한다. 타부탐색은 경험적으로 이루어지기 때문에 특별한 경우를 제외하고 최적해를 보장하지 못한다. 이 한계는 중기와 장기 메모리 함수에 의한 강화와 다양성 전략의 사용으로 줄어 들 수 있다.[1,2,3]

2.2.2 기존의 부하 평준화 알고리즘

DLPLAN에서 사용하던 기존의 부하 평준화 알고리즘은 타부탐색을 응용하여 개발하였으며, 알고리즘의 순서도는 그림 3과 같고 상세 절차는 아래와 같다.[4,5]

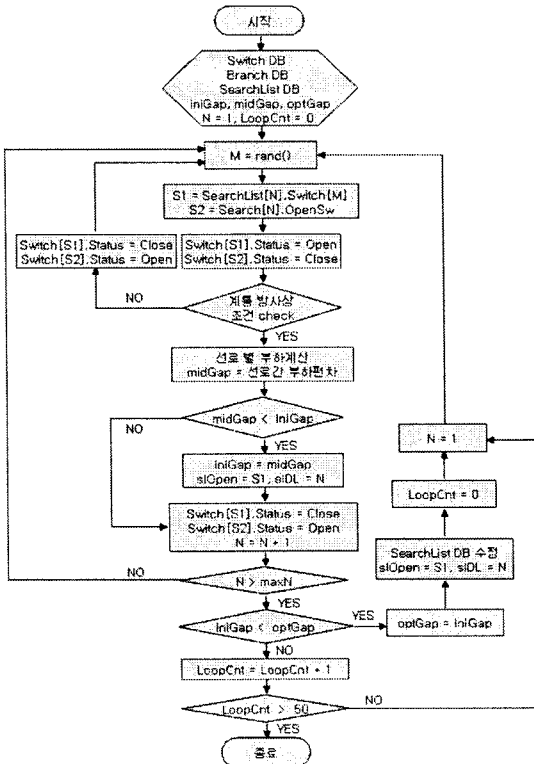


그림 2. 타부탐색을 응용한 알고리즘 순서도

단계 1. 준비(초기화)

- 1) 개폐기 정보, 구간 정보를 구성한다.
- 2) 개폐기 정보 및 구간 정보를 활용하여 초기 탐색 리스트 및 초기해를 결정한다.
- 3) 최적해 및 중간해를 초기해 값으로 설정하며, 기타 탐색에 필요한 변수들을 초기화 한다.

단계 2. 이웃해 생성(중간해)

- 1) 탐색 리스트에서 임의의 개폐기를 선택하여 open하고 초기 해의 open 개폐기를 close한다.
- 2) 개폐기 조작이후의 계통이 방사상을 구성하는지 검사한다. 방사상이 아니면 개폐기 조작을 취소하고 단계 2로 진행한다.
- 3) 선로별 부하를 계산한 후 선로간 부하 편차를 계산한다. 부하 편차가 중간 해보다 양호하면 계산 값을 중간해로 설정한다.
- 4) 개폐기 조작을 원위치로 하고, 선로 개수만큼 단계 2를 반복한다.

단계 3. 최적해 수정

- 1) 중간해가 최적해보다 양호하면 최적해를 중간해 값으로 설정한다.
- 2) 최적해가 중간해보다 양호하지 않으면 최적해를 변경하지 않고 그냥 둔다.

단계 4. 탐색 리스트 수정

- 1) 최적해가 변경되었으면, 변경이 발생되었을 때의 개폐기 및 선로에 대한 탐색 리스트를 다시 생성한다.
- 2) 선로 및 최적해 반복 횟수를 초기화하고 단계 2로 진행한다.

단계 5. 종료(최적해 결정)

최적해가 더 이상 좋아지지 않는 횟수가 50회가 되면 종료한다. 그렇지 않으면 단계 2로 진행한다.

2.3 개선된 부하 평준화 알고리즘

2.3.1 개선된 알고리즘의 개요

기존의 알고리즘은 초기의 상시 개방점을 기준으로 변경 가능한 개폐기 리스트를 생성하고 그 중에서 임의의 개폐기를 선택하여 조작한 후 각 선로별 부하를 계산하여 최적해를 구하는 방식으로 상시 개방점의 수는 불변이다. 또한 상시 개방점의 수가 고정이기 때문에 부하 분담이 불균형일 수 있다. 그러나 개선된 알고리즘은 초기의 상시 개방점과는 독립적으로 동작하며, 전원측으로부터 부하를 순차적으로 할당해나간다. 그리고 최종적으로 각 선로별로 균등하게 부하가 할당되면 자동으로 상시개방점이 결정되는 방식이다. 따라서 부하계산을 반복적으로 시행하지 않으며, 선로별 부하 분배에 따라 상시 개방점의 수는 가변이다. 그러나 상대편 선로에만 할당 가능한 구간을 선점하게 되면 부하 불균형이 발생하게 되는데 이러한 문제를 해결하는 것이 본 알고리즘의 핵심 문제이다.

2.3.2 개선된 알고리즘의 상세 절차

개선된 알고리즘은 선로별로 할당 가능성이 있는 구간을 예측하여 관리하며, 경합이 발생할 가능성이 있는 구간의 할당 우선순위를 낮추어서 불합리하게 선점하는 것을 방지한다. 알고리즘의 순서도는 그림 4와 같고 상세 절차는 아래와 같다.

단계 1. 준비(초기화)

- 1) 개폐기 정보, 구간 정보, 최적화 정보를 구성한다.
- 2) 개폐기 정보 및 구간 정보를 활용하여 구간 인접리스트를 구성한다.
- 3) 선로 평균부하를 계산하고, 기타 탐색에 필요한 변수들을 초기화 한다.

단계 2. 가상 최적화 선로 정보 생성

- 1) 개폐기 정보 및 구간 정보를 활용하여 선로의 최초 할당 구간을 정하고 해당 구간의 부하를 최적화 부

하로 설정한다.

- 2) 계폐기 정보 및 구간 인접리스트를 활용하여 선로별로 할당 가능한 구간 정보를 생성한다.
- 3) 모든 선로에 대하여 단계 2를 반복한다.

단계 3. 선로별 할당할 구간 선택

- 1) 선로 중에서 현재 부하가 가장 적은 선로를 선택한다.
- 2) 선로에 할당할 구간을 다음 조건에 맞게 선택한다.
 - 다른 선로와 경합이 가장 적은 구간
 - 위의 조건을 만족하면서 인접리스트에서 멤버수가 가장 적은 구간
 - 위의 조건을 만족하면서 부하가 가장 큰 구간
- 3) 위에서 선택한 구간을 제외한 상태에서 선로별 할당 가능 부하를 계산한다. 이때 할당 가능한 부하가 단계 1에서 계산한 선로 평균부하보다 적은 선로가 존재하면 다른 후보를 선택한다.
- 4) 할당할 구간이 존재하지 않으면 다음 선로를 선택한 후 단계 3의 2)로 진행한다. 단, 선로의 평균부하보다 부하가 큰 선로는 우선순위를 낮춘다.

단계 4. 선택된 선로에 부하 할당

- 1) 단계 3에서 구간이 선택되면, 해당 구간의 부하를 선로의 최적화 부하에 합산한다.
- 2) 선택되어 할당이 완료된 구간을 각 선로의 후보 멤버 및 인접리스트의 멤버에서 삭제한다.

단계 5. 종료(최적해 결정)

구간 인접리스트에 남아 있는 멤버수가 0이면 현재 상태에서 각 선로별 최적화 부하 최적해가 되며, 그렇지 않으면 단계 3으로 진행한다.

2.4 사례 비교

본 연구에서는 알고리즘의 성능을 시험하기 위하여 한국전력공사의 실제 계통 데이터를 사용하였으며 100여개의 선로에 대하여 시험한 결과 양호하였다. 표 2는 동일한 PC를 사용하여 도출한 결과의 요약이며, 표 3은 A 선로의 실제 부하분담 결과이다.

표 2. 알고리즘 시험 결과

선로	연계선로수	개폐기수	기존알고리즘		개선알고리즘	
			부하편차(kVA)	시간(초)	부하편차(kVA)	시간(초)
A	16	1846	4989	319	994	3
B	8	1043	1756	99	1054	2
C	8	1051	8514	119	1379	2
D	7	1061	2262	120	1139	1
E	8	1304	3146	154	1116	2

표 3. 선로 A의 부하 분담 결과

선로번호	기존 알고리즘(kVA)	개선 알고리즘(kVA)
24584	5152.8	5764.9
2566	8591.2	6325.8
1732	5194.4	6368.2
821	3753.0	5415.7
873	4951.3	5632.7
1895	7246.0	5516.5
884	7570.1	6287.4
723	4800.0	5374.1
2325	6210.3	5795.6
394	5972.4	5431.2
23082	3930.1	5410.1
877	5380.8	5464.5
23117	5576.8	6225.3
23835	8237.0	5971.6
2559	3602.3	5558.8
24594	5938.5	5564.1

3. 결 론

본 논문에서는 한국전력공사에서 배전계통의 운영을 효율화하고 설비의 이용률을 극대화하기 위하여 개발한 배전계통운영계획시스템(DLPLAN)의 부하 평준화알고리즘을 개선하는 문제에 대하여 다루었다. 기존의 알고리즘이 절대적인 최적해를 보장해주지 못하고, 계통의 크기가 커질수록 더욱 많은 시간을 필요로 하는 반면에 새로운 알고리즘은 시간을 단축하면서도 절대적인 최적해에 근접한 결과를 제시해 주는 것을 확인할 수 있었다. 또한 한국전력공사 사업소의 실 계통에 적용해서 분석한 결과 만족할 만한 결과를 보임으로써 좀더 정확한 부하 평준화 분석결과를 활용하여 효율적으로 설비이용률 향상, 부하 전환능력 확보 및 과부하 선로해소 방안 수립에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 전영제 외, "타부탐색을 이용한 배전계통 재구성", 대한전기학회 하계학술대회, C, 1422-1424, 1999
 [2] 장경일 외, "손실최소화를 위한 배전계통 재구성의 Tabu Search 기법 적용", 대한전기학회 하계학술대회, C, 1459-1461, 1999
 [3] 전영제 외, "배전 계통의 손실 최소화를 위한 시뮬레이션드 어닐링과 타부 탐색의 적용", 전기학회논문지, 50A권 1호, 28-37, 2001
 [4] 박창호 외, "최적 배전계획 수립을 위한 전산시스템 개발 및 적용 연구(최종보고서)", 한국전력공사 전력연구원, 113-162, 2000
 [5] 박창호 외, "배전계통 자산관리시스템 개발(최종보고서)", 한국전력공사 전력연구원, 291-299, 2006

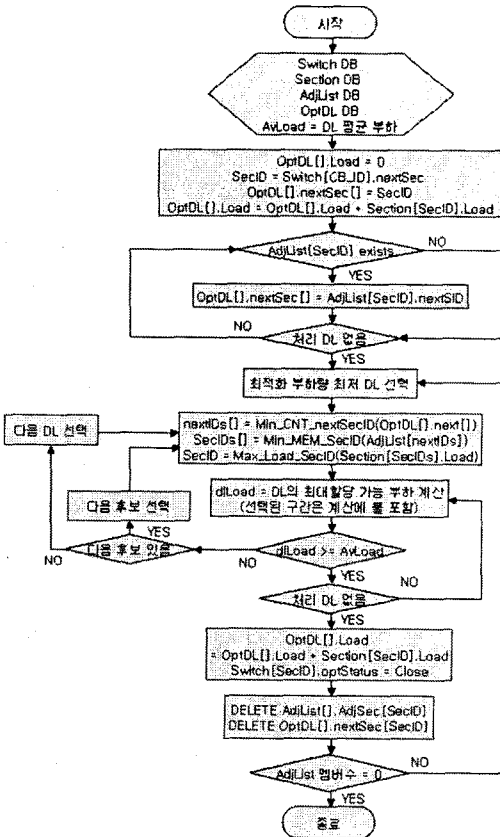


그림 3. 개선된 알고리즘의 순서도