

# 배전계통 최적운용을 위한 지원 시스템 개발

문영환\* · 김성수\*  
한국전기연구소\*

장정태\*\* 황수천\*\*  
한국전력공사\*\*

## A Development of Support System for Optimal Operation of Distribution Systems

Y.H. Moon, S.S. Kim  
KERI

J.T. Jang, S.Ch. Hwang  
KEPCO

**Abstract** - This paper describes a new program designed as a part of the integrated software package for distribution system planning and operation. The program accesses electrical map databases which include both electrical and geographical information. Data retrieval, load flow analyses, and reconfiguration studies can be easily performed in highly interactive environment on graphics and pull down menus. Case study results demonstrate the practical usefulness of the program at the real systems.

본 연구에서 개발된 프로그램은 풀다운 메뉴와 강력한 그래픽 기능을 바탕으로 배전계통의 연결상태 파악과 조류해석, 손실을 최소화하는 계통 재구성 등의 기능을 제공한다. 최신 기법을 사용하여 배전계통 실무자가 손쉽게 프로그램을 사용할 수 있도록 하였으며 계통해석 업무를 원활하게 수행할 수 있도록 도시 전체의 배전계통 구성 및 각종 설비에 관련된 데이터를 하나의 통합된 DB로 구축하고 계통해석 기능은 DB로부터 직접 데이터를 인출하여 수행하도록 하였다.

### 1. 서론

전력계통에 있어서 배전계통 설비는 투자 및 운용비용의 규모면에서 발전계통 다음으로 큰 위치를 차지할 뿐만 아니라, 고객의 이해관계에 직접적인 영향을 미치게 되므로 고객 봉사의 질적 향상과 전력회사의 경영능률 향상면에서 매우 중요한 위치를 차지한다.

배전계통의 운용에 있어서 안전하며 경제적인 계통을 유지하기 위해서는 과부하의 유무, 전압강하의 정도, 손실 전력 등과 같은 계통의 운전상태를 파악하는 일이 필수적이다. 각종 상태를 파악함으로써 운전중인 계통에서는 보다 더 나은 상태로 개선할 수 있고, 신증설 계획안에 대해서는 그 타당성을 사전에 검토할 수 있다. 최근 들어 배전계통에 사용되는 전산패키지의 수요가 급속하게 증가하고 있는 사실이 이러한 필요성에 대한 반증이라 할 수 있다.

배전계통은 사고, 부하전환, 혹은 보수 등의 어려가지 이유로 계속적으로 스위치 개폐에 의해 구조가 변화하는 동적인 계통이다. 과거에는 계통의 운전상태를 허용범위 내에서 유지하는 데에 초점을 맞추어 왔으나 근래에 들어 경제성이 강조됨에 따라 배전계통의 손실을 최소화하려는 인식이 증대되어 활발한 연구가 수행되고 있다.

### 2. 배전계통 운용 지원 시스템의 구성

본 시스템은 미국 ABB사에서 개발한 CADPAD 프로그램 패키지의 일부로써 개발되었다. 본 시스템은 CADPAD 프로그램 패키지의 데이터 입력 모듈(WIDGIT)과 계통해석 및 DB 관리 모듈(FEEDERDESIGN)과 연계되어 사용하도록 설계되었다. 따라서 본 시스템을 사용하려면 CADPAD 패키지의 자료입력 모듈을 사용하여 배전계통 DB를 구축한 다음 DB 관리 프로그램을 사용하여 해석용 데이터를 만들어야 한다. 해석용 데이터가 만들어지면 본 연구에서 개발한 프로그램을 사용하여 배전계통을 특징을 고려하여 피이더 단위로 부분계통을 선택하여 조류계산을 할 수 있고 tie-line으로 연결되어 있는 피이더 그룹에 대해 손실이 최소화되도록 최적개방점을 선정할 수도 있다.

### 3. 적용 알고리즘

#### 3.1 배전계통의 모형화

계통 구성에 관련된 입력 데이터는 일반적인 프로그램의 경우와 약간 다른 점이 있는데 아래에 열거한 바와 같이 공간적 배치를 나타내는 모선의 좌표를 포함하고 있는 것, 선로 구간의 데이터에 임피던스 대신

선종(線種)을 입력하는 것, 스위치 상태를 입력하는 것 등이다.

- 모선 : 번호, x 좌표, y 좌표, 부하
- 선로구간: from 모선, to 모선, 선종, 스위치 상태

선로구간별 임피던스는 (from,to) 모선의 좌표로부터 길이를 계산하고 라이브러리 화일에 입력되어 있는 선종별 단위 길이당 정상 및 영상 임피던스를 사용하여 프로그램에서 계산한다.

계통의 연결상태는 그림 1.과 같이 연결 리스트(linked list)를 사용함으로써 매트릭스를 전혀 사용하지 않고 표현하였다. 그래서 메모리 공간도 감소시키고 계통 연결상태를 추적하는 효율적인 알고리즘을 개발하였다. 사용자가 위와 같이 모선 및 선로구간 데이터만 입력하면 프로그램은 계통에 존재하는 개방스위치와 관련 루우프(loop), 각 피이더별 공급구역, tie-line으로 연계되어 있는 피이더 그룹 등을 자동으로 검색한다.

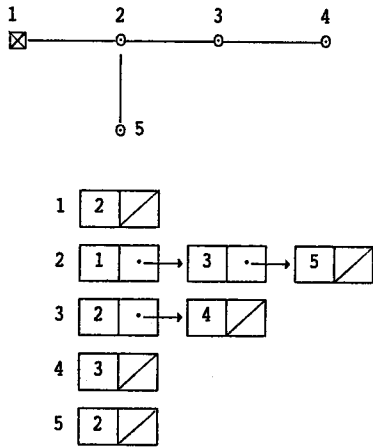


그림 1. 연결 리스트에 의한 표현

배전 계통이 수직상으로 운전되는 특성을 살려서 계통 연결상태를 전위순회(preorder)로 탐색하여 각 모선에 parent 모선을 가리키는 포인터를 저장한다. 이 정보를 이용하여 개방스위치와 연계된 스위치 그룹을 탐색하고 이에 관한 정보를 저장한다. 이 정보는 최적 개방점을 결정하는 데에 사용된다.

### 3.2 최적 개방점 탐색

피이더 재구성(reconfiguration)은 개방된 스위치를 연결하여 형성된 루우프 계통에서 다른 스위치를 개방하는 조작으로 이루어진다. 이러한 조작은 상태가 변경된 두 스위치간의 부하를 다른 피이더 또는 다른 변

전소로 전환시키게 된다. 스위치 상태변경에 따른 손실의 변화를 근사적으로 평가하는 방법은 [1]에서 제안된 방식이 널리 쓰이고 있다. 다음은 최적 개방점 결정 알고리즘의 반복과정을 나타낸 것이다.[2],[3]

- ① 개방 스위치 및 그 스위치와 관련된 루우프를 탐색하여 리스트 작성.
- ② 각 개방 스위치에 대하여:  
루우프 상의 스위치중 손실 감소가 최대인 스위치 쌍 및 손실감소량 저장
- ③ 손실 감소량이 최대인 스위치 쌍부터 순서대로 탐색하여 계통 제약조건을 만족하는 것을 선정
- ④ 조류계산 수행, 이전 계통에 비해 손실 감소량이  
(+)인 경우: 스위치 조작후 새로운 계통에 대해 ①부터 반복  
(-)인 경우: 최적화 과정 완료

그림 2. 최적 개방점 탐색 과정

본 연구에서 개발한 프로그램에서는 계통부하의 상태의 변화에 따라 손실을 최소화하도록 계통을 재구성하는 스위치 조작 내역을 결정해 준다. 이는 장차 배전자동화에 있어서도 필수적인 기능으로 인식되고 있다.

### 4. 적용 사례 검토

개발된 프로그램을 표 1.과 같이 부하분담이 불균등한 2개 D/L의 tie-line 공사에 적용하였다. 현재의 운전 상태를 살펴보면 B D/L은 선로의 적정 운전 조건인 7,000[KW]를 훨씬 상회하고 최대 전압강하율이 4%정도임을 알 수 있다.

표 1. 대상 계통의 운전 상태

구분	공급전력	부하전력	손실전력	최저전압
A D/L	4,783	4,766	17(0.4%)	0.992
B D/L	8,372	8,158	214(2.6%)	0.959
계	13,155	12,924	231(1.8%)	0.959

한편 이에 대하여 손실을 최소화하도록 개방스위치를 변경한 계통에서는 최대 전압강하율은 약 2%선으로 안정되어 있고 손실전력 면에서도 84[KW]가 감소되었음을 알 수 있다. 그렇지만 A D/L이 최선당선로 적정 운전 조건을 충족시키지 못하고 있으므로 이

를 채택할 수는 없다.

표 2. 손실 최소 운전 상태

구 분	공급전력	부하전력	손실전력	최저전압
A D/L	8,784	8,687	97(1.1%)	0.978
B D/L	4,288	4,237	51(1.2%)	0.980
계	13,072	12,924	148(1.1%)	0.978

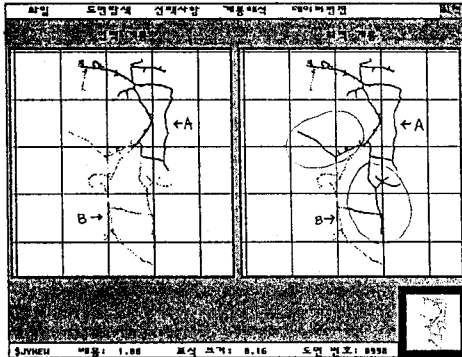


그림 3. 대상 계통도

따라서 사용자가 직접 화면을 보면서 스위치 상태를 조정하여 표 3.과 같은 절충안을 얻었다. 그림 4.는 이때의 계통도를 나타낸 것이다.

표 3. 손실과 부하분담을 절충한 상태

구 분	공급전력	부하전력	손실전력	최저전압
A D/L	6,795	6,749	46(0.7%)	0.986
B D/L	6,291	6,175	116(1.8%)	0.970
계	13,086	12,924	162(1.2%)	0.970

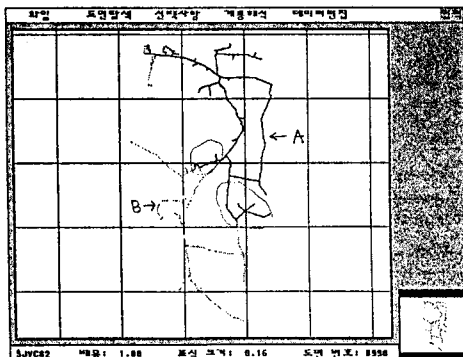


그림 4. 손실과 부하분담을 절충한 계통

이 사례의 경우와 같이 손실이 최소화된 것만으로는 실무자의 관점에서 바람직하지 못한 결과를 얻을 수도 있다. 이 프로그램에서는 이러한 경우에 실무자가 화면상에서 스위치 조작을 행하여 조류계산을 해보면서 적정한 타협안을 쉽게 도출할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 배전계통 운용계획에 적용하기 위해 개발된 강력한 그래픽 기능과 함께 도면 검색, 조류계산, 최적 개방점 탐색 등의 기능을 가진 프로그램과 실제계통에서의 적용사례를 제시하였다.

여러 지역의 실제계통에 적용하여 본 결과 현재 운전 상태보다 손실이 공급전력의 0.2~1.0% 정도 감소된 운전 상태를 도출할 수 있었다. 이 프로그램은 현재 실제계통을 대상으로 시험 운용 중이며 앞으로 적용 확대를 위한 본격적인 적용 연구를 계속할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] S. Civanlar, J.J. Grainger, S.S.H. Lee, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-3, pp. 1217-1223, 1988
- [2] Mesut E. Baran, Felix F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-4, pp. 1401-1407, 1989
- [3] G.B. Jasmon, L.H. Callistus, "A Modified Technique for Minimization of Distribution system Losses," Electric Power Systems Research, Vol. 20, pp.81-88, 1991
- [4] A.V. Aho, J.E. Hopcroft, J.D. Ullman, Data Structures and Algorithms, Bell Telephone Laboratories, 1983