

배전계획 시스템(DISPLAN) 및 배전계통 운영계획 시스템(DLPLAN)의 개발

채우규*, 박창호*, 정종만*, 정영호*
*한전 전력연구원

The Development of Distribution Planning System and Distribution Line Planning System

Woo-kyu Chae*, Chang-ho Park*, Jong-man Jeong*, Young-ho Jeong*
*Korea Electric Power Research Institute KEPCO

Abstract - This paper presents the ability and the application of software packages for distribution planning which are DISPLAN(Distribution Planning System) and DLPLAN(Distribution Line Planning System) developed in KEPCO. After calculating size and position of maximum load by administration section for distribution, it forecasts the demand of distribution load considering growth location, increment, new load plan, etc of load by annual.

Also it calculates distribution loss, voltage drop using modeled distribution line by year, and support for establishment and enlargement plan of substation and distribution line, decision of most optimal path. And it presents the abstract of used algorithm to develop this system.

1. 서 론

배전계통은 정전횟수 및 사고지속 시간의 감소는 물론 선로손실 및 전압강하가 최소화 되도록 효율적인 건설과 운용이 이루어져야 하며 이를 바탕으로 배전설비 투자비의 효율성 제고를 위한 배전계획이 수립되어야 한다.

이러한 이유에서 1980년대 후반 미국의 전력회사로부터 도입된 배전계획용 프로그램인 CADPAD는 부하예측, 변전소 후보지의 경제성 비교, 회선수 및 최적 경로를 결정하는 기능을 가지고는 있으나, 데이터의 입력량이 방대하고 결과의 해석방식이 복잡하며, 해석규모의 제한을 받는 문제점 이외에도 시스템에 포함된 부하예측 및 배전계통 운영방법이 우리나라의 실정과는 많은 차이를 보이고 있어 도입이후 거의 활용되지 못하였다.

그러나 장기적인 배전계획 수립 및 과학적인 배전계통 운영 시스템은 배전설비 투자의 효율성 제고라는 측면 이외에도 전기적인 특성을 고려하여 배전계통을 최적화함으로써 손실감소, 전압강하개선, 부하절환 능력을 강화하여 전기품질을 제고할 수 있다는 중요성을 지니고 있다.

또한 배전계획 및 운영은 업무의 특성상 배전분야 전반의 다년간 경험을 필요로 하며, 현재의 수작업에 의한 계획수립으로는 많은 인력과 시간이 소모되고 개인의 지식정도, 자료의 신뢰성에 따라 업무의 품질이 좌우되므로 배전계통의 신뢰성과 경제성을 증진시키면서 신속하고 정확하게 계획을 수립하여 운영할 수 있는 배전계획 및 배전계통 운영 전산시스템이 필요하다. 이에 전력연구원에서는 DISPLAN과 DLPLAN을 개발하였다.

본 논문에서는 전력연구원에서 개발하고 그 기능을 개선했던 배전계획 시스템 및 배전계통 운영계획 시스템의 알고리즘 및 주요기능과 활용분야를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 토지용도에 근거한 부하예측

DISPLAN 및 DLPLAN에서는 현재까지 가장 정확한 것으로 알려진 토지용도에 근거한 부하예측을 표준으로 하되 필요에 따라 여러 가지의 부하예측을 수행할 수 있도록 제작되었다.

토지용도를 이용한 부하예측의 기본 알고리즘은 전력연구원에서 개발된 "신경회로망을 이용한 배전부하 수요 예측 연구"(97.10~00.1)의 알고리즘에 기반을 두고 있다. 이 예측기법은 토지용도를 크게 5개의 용도로 나누고 해당지역의 부문별 GDP예측치(Gross Domestic Product)와 인구변동, 그리고 판매전력량에 근거하여 부하의 증가율을 산출하는 방법을 채택하고 있다. 이 부하예측 시스템은 GIS 국가 기본도가 갖고 있는 토지용도 코드를 이용하여 토지용도의 판정 및 용도별 면적을 간편하게 산출할 수 있도록 개발되었다. DISPLAN 및 DLPLAN은 부하예측 시스템과 연계하여 토지용도를 대분류인 주택용, 광공업용, 서비스용, 공공용, 농림어업용 등 총 5가지로 분류하고 개발된 부하예측 알고리즘을 적용하여 부하증가율을 구하는 방법을 채택하고 있다.

2.2 배전계통 재구성을 위한 Tabu Search 알고리즘

배전계통 재구성 문제는 수치적으로 최적해를 직접 구하는 방법이 없고 경우의 수가 무한대에 가깝게 많기 때문에 모든 경우의 수를 전부 계산하여 볼 수는 없고 전체의 경우의 수중에서 해일 가능성이 높은 일부 경우만을 계산하여 보고 최적해를 결정하는 특수하게 설계된 알고리즘을 필요로 한다.

이러한 목적으로 사용되기 위한 탐색 알고리즘에 대한 연구는 1975년에 분지한계법(Branch and Bound Method)라는 이름으로 처음 발표되었고 이후 분기교환법(Branch Exchange), Simulated Annealing 알고리즘 등을 거쳐 최근에는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)에 이르렀다. DLPLAN은 최적화 알고리즘으로서 수렴속도를 고려하여 Tabu Search 알고리즘을 채택하였다.

타부 탐색에 비해 기존 알고리즘의 기본 원리는 개선하는 방향으로만 진행하는 것이다. 기존의 방법을 언덕등산 휴리스틱(hill climbing heuristic)이라 하는데 이 기법은 시작점에서 지역 최적해를 향하여 유일한 한쪽 방향으로만 진행한다. 그러나 조합 최적화 문제에서 언덕등산 휴리스틱의 한계점은 더 개선할 수 없어 멈출 때 지역 최적해를 얻는다. 그러나 이것은 전체 최적해라는 보장은 없다. 타부 탐색은 개선하는 움직임만을 한쪽 방향으로만 고정하지 않고 이미 지나왔던 지역 최적해에 다시 빠지지 않으면서 탐색을 계속해 최적해를 찾겠다는 장점을 가지고 있다.

타부 탐색은 세가지의 기본적인 특징이 있다.

① 유연한 성질이 있는 컴퓨터 기억구조를 사용한다. 이는 고정된 기억구조방법(분기한정법)이나, 기억을 사용하지 않는 방법(시뮬레이티드 어닐링, 임의로 찾는 방법)보다 더 자세하게 역사적 탐색 정보와 기존 개선을 이용하여 탐색한다.

② 통계에 관련된 기술로 메모리 구조에 관련한 메모리 구조를 사용하여 통제조건과 열망기준(aspiration criteria)사이에서 자유롭게 탐색한다.

③ 강화(intensification) 전략은 역사적으로 발견된 좋은 해의 장점을 이용하여 움직이게 하고, 다양성(diversification)은 탐색하지 않은 새로운 영역으로 다양하게 찾아가게 하는 것이다. 강화와 다양성의 탐색 전략을 적용하기 위해서 다양한 메모리 함수를 사용한다.

2.3 배전계획 시스템(DISPLAN)

중장기 배전계획을 수립하기 위해서는 먼저 저압부하, 고압부하의 최대치를 산정하고 각 부하간의 부동률을 적용하여 현재 최대부하의 크기와 위치를 산정하여야 한다. 그 후 여러 가지 특성을 고려한 부하예측 시스템을 이용하여 부하의 성장위치, 증가량, 신규부하 계획 등을 고려하여 부하를 예측한다. 다시 여기에 선로를 구성하여 해당연도의 배전계통 손실, 전압강하 등을 계산하고, 변전소 신증설 계획, 최적경로지, 배전선로 신증설 계획 등을 수립하여야 한다.

그러나 이러한 일련의 배전계획 수립 업무에는 방대한 배전계통 데이터의 입력이 큰 문제로 대두된다. 따라서 DISPLAN은 현재의 부하를 지역별, 변대별로 산정하기 위하여 ① NCIS(New Customer Information System) ② NDIS(New Distribution Information System) ③ 변전소 운전실적 관리시스템의 데이터와 GIS 정보를 연계하여 중장기 부하 예측의 정확성 및 Data 입력의 편리성을 확보하였다.

또한 DISPLAN은 우리 회사 배전계통 운영방식 및 관리시스템과의 연계에 기반을 두고 개발된 우리나라 고유의 배전계획 시스템으로서 Windows 환경의 업무용 PC에서 운영이 가능하도록 하여 설계자 사용편의에 최우선의 목표를 두고 개발되었다.

모니터 상에서 마우스의 조작만으로 설계자는 편리하게 현재의 부하와 배전계통을 모델링하고 부하예측을 수행할 수 있으며, 이를 바탕으로 중장기 배전계획을 수립할 수 있다. 개발된 프로그램의 초기화면은 그림 1과 같다.

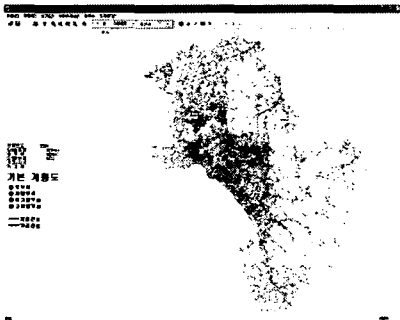


그림 1 배전계획시스템(DISPLAN)의 초기화면

2.3.1 주요 활용 분야

DISPLAN이 제공하는 Simulation 기능을 이용하여 수행할 수 있는 업무는 다음과 같다.

- ① 중장기 배전용 변전소 계획
 - 배전용 변전소의 최적 건설위치 선정
 - 배전용 변전소의 신증설시기 및 신증설용량
 - 변전소별 최적 공급구역
- ② 배전선로 회선계획
 - 중장기 변전소 인출개소 회선수 결정
 - 수개의 후보 경로지 중 최적의 경로지 선정
 - 연도별 회선수 확충계획 수립
 - 말단지점의 전압강하 및 배전계통의 손실
 - 대규모 수용 공급시 공급방안 평가자료 제공

③ 부하예측

- 예측된 자료를 토대로 연도별 부하밀도 지도작성

2.3.2 주요 기능

DISPLAN이 제공하는 주요 기능은 다음과 같다.

- ① 현재 및 예측된 부하의 부하밀도 지도 작성
 - 부하밀도 지도는 배전계획의 기본이 되는 자료로서 연도별로 예측된 부하 데이터를 사용자가 설정한 밀도범위와 색깔에 의하여 그림 2와 같이 화면에 표시된다.

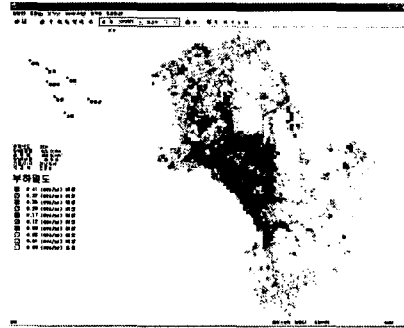


그림 2 부하밀도 화면

- ② 현재 및 미래의 변전소 및 부하의 총용량 비교기능
- ③ 변전소별 공급범위 지도 작성
- ④ 계약종별에 따른 부하예측 작성
 - 부하예측에 대한 결과를 그림 3과 같은 리포트 형식으로 만들어 준다.

그림 3 부하예측 결과 Report

- ⑤ 전원으로부터 부하까지 가능한 복수의 경로지 중 최단거리 선정
- ⑥ 소요 회선수 계산
- ⑦ 손실, 전압강하, 선로증장 등 각종 데이터 출력

그림 4 최적화 변전소 정보 출력화면

⑧ 최적화 수행 및 종합정보 출력

- 시뮬레이션의 결과 계통에 대한 계산 결과를 그림 4와 같이 출력한다. 계산결과는 변전소별 용량, 부하, 이용률, 손실, 전압강하, 현재의 변전소 위치, 부하중심점의 위치, 현재의 변전소와 부하중심점까지의 거리등이며, 이를 근거로 손실비용 등을 계산할 수 있다.

2.4 배전계통 운영계획 시스템(DLPLAN)

특정한 목적을 만족시키기 위하여 배전계통을 재구성하는 작업을 위해서는 저압부하, 고압부하의 최대치를 산정하고 각 부하간의 부동률을 적용하여 현재 최대부하의 크기와 위치를 산정한 후 변전소, 개폐기, 선로를 구성하여 상시 개방 개폐기를 결정하는 문제를 풀어내야 한다. 이러한 작업은 현실적으로 수작업으로 수행하기에는 불가능한 작업이므로 컴퓨터를 이용하여 계산을 수행하여야 한다. 배전계통 운영 시스템은 기본적으로 배전계통 해석을 위한 기술계산 기능 이외에 최적의 개방점을 도출하는 인공지능(Artificial Intelligent) 알고리즘을 탑재하여야 하며, 배전계통 모델링의 신뢰성과 사용자의 편리성을 도모하기 위하여 저압부하관리 시스템, 요금관리 시스템의 고압고객 정보와 GIS의 지형정보를 연계하고 이러한 각 시스템을 효율적으로 사용할 수 있도록 네트워크를 구성하는 모든 소프트웨어와 하드웨어를 포함하고 있다.

DLPLAN은 배전계획 시스템과 동일한 데이터를 공유하고, 유사한 사용 환경을 구축하여 모니터 상에서 마우스의 조작만으로 설계자는 편리하게 현재의 부하와 배전계통을 모델링하고 부하예측을 수행할 수 있으며, 이를 바탕으로 배전계통 운영계획을 모의할 수 있다.

2.4.1 주요 활용 분야

DLPLAN이 제공하는 Simulation 기능을 이용하여 수행할 수 있는 업무는 다음과 같다.

- ① 현재 계통의 평가
 - 현재계통의 부하, 손실, 전압강하 계산
 - 현재계통의 과부하구간 탐색
 - 구간별 부하 검색
 - 복구지수 계산, 전선용량 분석, 고장현황 분석, 태풍대비 지역별 설비현황
- ② 배전선로간의 부하평준화 운전
 - 개폐기 위치의 재조정을 통한 회선간의 부하균등화
 - 대규모 신규수용의 공급방안 수립
- ③ 배전계통의 손실최소화 운전
 - 개폐기 위치의 재조정을 통한 배전계통의 손실최소화 운전
 - 손실 절감비용의 산출

그림 5 최적화 결과 출력화면

- ④ 부하예측
 - 예측된 자료를 토대로 차년도 과부하선로 및 과부하구간 예측

2.4.2 주요 기능

DLPLAN이 제공하는 기본적인 기능은 다음과 같다.

- ① 계통의 손실을 최소화하는 상시개방 개폐기의 선정
- ② 연계된 배전선로의 절체여력을 확보하기 위하여 배전선로간의 부하를 균등화하는 상시개방 개폐기의 선정
- ③ 대규모 신규수용의 공급여력을 확보하기 상시개방 개폐기의 재구성
- ④ 과부하를 해소하기 위한 상시개방 개폐기의 재구성
- ⑤ 배전계통의 손실과 전압강하 계산기능

선로명	길이(km)	전압강하(V)	비율(%)
10KV-01	158.84	1.51	13.57
10KV-02	43.30	0.72	0.79
10KV-03	24.80	0.48	0.83
10KV-04	71.02	1.17	1.58
10KV-05	28.56	0.16	0.50
10KV-06	35.84	0.17	0.73
10KV-07	51.21	1.35	1.04
10KV-08	32.76	111.08	0.86
10KV-09	48.16	122.43	0.98
10KV-10	8.48	35.38	2.77
10KV-11	76.85	178.88	1.37
10KV-12	8.88	44.54	3.34
10KV-13	8.83	11.17	0.88
10KV-14	21.26	84.87	0.49
10KV-15	92.97	92.42	0.78
10KV-16	1.61	30.89	0.33
10KV-17	49.81	46.76	0.76
10KV-18	32.93	128.49	0.98
10KV-19	157.75	789.91	1.17
10KV-20	4.87	22.88	0.17
10KV-21	5.65	15.47	0.15
10KV-22	8.74	29.84	0.27
10KV-23	14.48	36.87	0.27

그림 6 선로별 전압강하 대화상자

- ⑥ 부하절체에 따른 구간별 과부하 선로 탐색
- ⑦ 배전선로의 구간별 부하조정

부하구분	원선	DA 명	부하량(kVA)	계산부하
상용부하	10KV-01	1	8703.07	11228.6
상용부하	10KV-02	2	9048.53	11228.6
상용부하	10KV-03	2	10583.8	11228.6
상용부하	10KV-04	2	8919.42	11228.6
상용부하	10KV-05	3	9657.65	11228.6
상용부하	10KV-06	3	10466.5	11228.6
상용부하	10KV-07	1	8774.46	11228.6
상용부하	10KV-08	1	11768.06	11228.6
상용부하	10KV-09	1	8897.14	11228.6
상용부하	10KV-10	1	11768.06	11228.6
상용부하	10KV-11	1	5593.91	11228.6
상용부하	10KV-12	2	8682.58	11228.6
상용부하	10KV-13	2	8267.56	11228.6
상용부하	10KV-14	2	8881.55	11228.6

그림 7 부하재산정 화면

3. 결 론

본 논문에서는 전력연구원에서 개발한 배전계획 시스템 및 배전계통 운영 시스템을 알고리즘을 포함하여 소개하였다.

현재 다른 알고리즘을 적용한 여러 종류의 외국산 시스템이 소개되고 있지만 우리나라 배전계통과의 구성상 차이가 많고 관리체계가 상이하여 우리나라의 계통에 적용하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 순수 자체 기술로 개발된 배전계획 시스템 및 배전계통 운영 시스템은 향후 지속적인 Version-up을 통하여 전력원가 절감에 커다란 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사 전력연구원, "전산시스템을 이용한 배전계획 최적화 연구", 1995
 [2] 김준오, 박창호, 신상진, 이재봉, 권성철, "토지용도에 따른 부하예측을 이용한 중장기 배전계획 수립", '99 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1999
 [3] M.E. Baran and F.F.Wu, "Optimal replacement on radial distribution system", Transactions on Power Delivery, Vol. 4, 1989