

CADPAD를 이용한 서인천지역 장·단기 배전계획

박창호, 김준오, 이재봉*, 정동완⁰
 한전 전력연구원, ⁰ 한전 인천지사

Short and Long Term Distribution Planning of West Inchun using CADPAD

C.H. Park, J.O. Kim, J.B. Lee, D.W. Jeong
 KEPCO

Abstract

Distribution planning needs data of present loads, forecasted loads, sub-stations and distribution lines. Besides it needs a computer program for optimal analysis. In Kepco, The CADPAD system had been used for local distribution planning since 1989. Recently, we upgraded the I/O modules so easy to operate. And they can display optimal feeder planning on a real map. This paper is a case study of the West Inchun distribution planning using the CADPAD system. In this paper, not only optimal feeder designs and sub-station plannings, but also comparision and evaluation of various planning cases are suggested from the viewpoint of voltage drop and line losses.

1. 서 론

배전계획은 전력회사의 장단기 투자계획, 현재 및 장래의 부하, 변전소의 위치 및 용량에 의하여 전력조류, 전압강하, 손실 등의 계산을 바탕으로 건설비와 운영비 간의 경제성을 검토한 후 수행되어야 한다. 이러한 목적으로 한국전력에서는 배전계획수립 업무의 과학화를 위하여 1989년에 CADPAD 전산패키지를 도입하였으나 일선사업소에서는 지형, 설비 및 예측부하에 대한 데이터 입력과정이 복잡하고 프로그램 사용방법이 불편하여 직접 활용되지 않고 있는 실정이며 최근에는 한전 전력연구원에서 전국사업소의 중장기 배전계획수립에 관한 기술지원업무에 동 CADPAD 패키지를 활용하고 있다.

한전 전력연구원에서는 관련자료의 자동연계를 통한 입출력과정의 복잡함을 단순화하고 보다 신뢰성이 높으면서 진보된 최적화알고리즘을 적용하기 위해 새로운 배전계획 전산시스템을 개발 중에 있다. 본 논문은 그 첫 단계로써 기초자료의 입력방법 및 해석결과와 출력형태 등을 개선한 입출력시스템을 개발하고 이를 서인천지역에 적용함으로써 CADPAD 패키지를 통한 중장기 회선 및 변전소 계획을 수립하여 그 결과를 분석한 것이다.

2. 본 론

2.1 Feeder network 최적화모델

feeder 네트워크는 배전선로에 사용되는 배전선의 선중에 관한 데이터와 각 feeder 마디의 길이 그리고 그 마디에 연결된 양쪽의 부하 데이터로 이루어진다. 이때 각 feeder가 현재 운전중인지 신설예정인지에 대한 정보는 feeder 데이터에 명시된다. 변전소 데이터는 기설 및 신설 변전소의 용량과 위치로 구성되며 변전소의 용량은 기설 혹은 신설되는 주 변압기 탱크의 총 용량합계로 나타낸다.

2.1.1 Network 조류 모델

변전소로부터 각 부하 지점에 최소의 비용으로 전력을 공급하기 위한 문제를 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\text{Minimize } \sum_{k \in A} X_k C_k \quad (1)$$

$$\text{단, } \sum_{k \in IN_j} X_k - \sum_{k \in OUT_j} X_k = a_j - b_j, \text{ for all } j \in N \quad (2)$$

$$0 \leq X_k \leq U_k \text{ for all } j \in A \quad (3)$$

여기에서,

- A : node를 연결하는 모든 feeder segment의 집합
- N : 모든 부하점 또는 bus의 집합
- X_k : feeder segment k의 부하 (kVA)
- C_k : segment k를 따라 전력을 전송하는 비용
- U_k : segment k에 전송할 수 있는 최대 전력(kVA)
- IN_j : bus j로 전력을 보내는 feeder segment의 집합
- OUT_j : bus j로부터 전력을 내보내는 feeder segment의 집합
- a_j : bus j의 공급용량
- b_j : bus j에서의 부하량

2.1.2 손실 및 투자비용 평가

feeder segment의 비용산정은 해석자의 의도에 따라 다음과 같은 세 가지의 함수로 표현이 가능하다. 첫째, 부하율(load moment)을 최소화하고자 한다면 feeder segment의 길이에 비례할 것이다. 두 번째, 전압강하의 합을 최소화하고자 한다면 feeder segment의 저항에 비례할 것이다. 세 번째로 총 비용을 최소화하기 위해서는 다음 식(4)과 같이 근사화된다.

$$CP = FK + 10^{-5} DRP^2 \quad (4)$$

여기에서,

- C : feeder 종류에 따른 단위km당 투자비용
- P : 선로조류
- F : 선로건설 또는 보강의 자본비용
- D : 자본비용을 연간 고정비용으로 환산하기 위한 계수
- R : 연간 손실비용
- R : feeder 종류에 따른 저항

여기에 변전소의 신설 및 용량변경 비용이 추가되면 배전계통의 전체 비용이 계산된다.

CADPAD의 process에서는 최적조류계산이 수행된 다음 최적의 feeder segment의 종류와 회선수가 결정되고 그에 따라 투자비용이 계산된다.

2.2 FEEDERSITE™의 계산과정

CADPAD는 크게 3개의 핵심 프로그램과 입출력 프

로그로 구성된 패키지이다. 부하 조류의 평준화 및 절제를 위한 FEEDERDESIGN™ 부하예측을 통한 변전소 계획프로그램인 LOADSITE™와 SUBSITE™ 그리고 배전회선계획을 위한 FEEDERSITE™이다. FEEDERSITE의 계산과정은 <그림 1>과 같다.

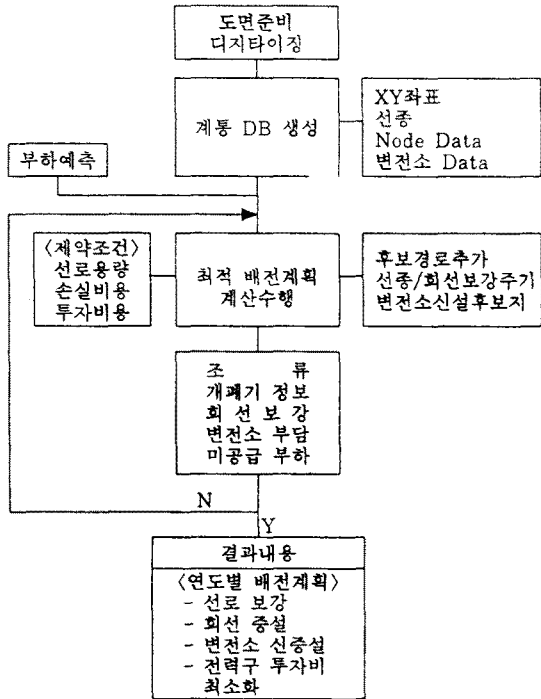


그림 1. 배전계획을 위한 FEEDERSITE 운영과정

2.3 서인천지역 부하특성

서인천지역은 관할구역이 약146.8km에 이르며 587개의 소관리구(50m×50m)로 구성되어 있다. 이중 부하가 존재하는 소관리구의 부하특성 및 수용특성별 부하증가를 고려한 부하예측 결과는 <표 1>, <표 2>와 같다.

구 분	주거	상업	공업	농업	기타	계
관리구수	57개	71개	200개	12개	5개	345개
수용률	50%	60%	70%	35%	40%	-

표 1. 서인천지역 부하특성

구 분	1998	1999	2000	2001	2002
주거	0%	10%	5%	5%	5%
상업	0%	10%	10%	10%	10%
공업	0%	5%	10%	10%	7%
농업	0%	5%	3%	3%	3%
기타	0%	3%	3%	2%	2%
대용량신규	30.6MW	28.6MW	29.7MW	-	36.4MW
역률	95%	95%	95%	95%	95%
총부하	654.9MW	709.1MW	787.1MW	844.1MW	932.2MW
S/S 총용량	900MVA	1,020MVA	1,020MVA	1,020MVA	1,020MVA

표 2. 수용특성별 부하증가 및 총부하

2.4 2002년도 서인천 지역 부하예측 결과

서인천 지역의 2002년도 부하는 남부지역에 집중('98년 394.4MW, 전체부하의 60.2% 점유 / '02년 519.4MW, 전체부하의 55.7% 점유)되어 있으며, 집단지구의 개발로 북부지역에 향후 4년간 35.8MW의 급격한 부하증가가 예측되고 있다. <표 3>, <표 4>

관리구	8425	8521	8522	8523	8528	8621	계
부하량 (MW)	86.1	82.1	170.3	50.7	58.8	143.1	591.2
점유율 (%)	9.24	8.81	18.27	5.44	6.31	15.35	63.42

표 3. 2002년 부하밀집지역

관리구	8425	8521	8522	8523	8528	8621	계
증가량 (MW)	39.5	35.8	32.9	24.1	18.9	12.0	163.2
점유율 (%)	14.2	12.9	11.9	8.7	6.8	4.3	58.8

표 4. 1998년 대비 2002년 부하증가 지역

2.5 서인천지역 계통해석 결과

2.5.1 연도별 변전소 이용률

서인천 지역 관내 5개 변전소의 연도별 이용률은 <표 5>와 같다.

S/S	용량	1998	1999	2000	2001	2002
계 양	60MVA×2	-	95.0	95.0	95.0	95.0
북인천	60MVA×4	95.0	54.6	65.9	71.0	91.5
신인천	60MVA×3	55.5	72.5	80.2	95.0	94.7
신 현	60MVA×4	95.0	95.0	95.0	94.8	94.3
경 서	60MVA×4	41.2	46.8	59.5	67.2	84.0

표 5. 연도별 변전소 이용률 (%)

<표 5>로부터 서인천 지역의 부하밀집지역인 남부지역의 부하를 담당하고 있는 신현 S/S와 신인천 S/S의 공급능력이 2001년 한계에 달할 것으로 예측되어 원활한 전력공급을 위하여는 신인천 S/S의 1Bank 증설이 요구되며, 개발이 부진하였던 북부지역의 부하가 향후 수년간 급격히 증가될 것으로 예상되므로 이지역의 부하증가를 담당하기 위하여 2002년 계양 S/S의 증설이 요구된다.

2.5.2 연도별 최대전압강하 및 손실

예측기간중 변전소별 공급지역중 발달지역의 최대 전압강하와 손실은 <표 6> 및 <표 7>과 같다. 다만, 본 계산에서의 전압강하는 특고압선에 의한 전압강하와 손실만을 의미하며 변압기, 저압선 및 인입선에 의한 의한 전압강하와 손실은 제외되었다.

S/S	1998	1999	2000	2001	2002
계 양	-	3.0	3.0	3.0	2.9
북인천	5.2	4.0	3.7	3.7	3.9
신인천	1.3	1.7	1.7	1.8	1.8
신 현	1.6	2.4	1.7	1.6	1.7
경 서	4.5	4.7	5.0	5.2	5.3

표 6. 연도별 최대전압강하 (%)

1998년에는 4개의 변전소중 부하밀도가 작고 공급면적이 넓은 북부지역의 부하를 담당하고 있는 복인천 S/S 및 경서 S/S의 선로가 상대적으로 장공장 선로로 이루어져 있어 높은 전압강하율을 나타내고 있으며 복인천 S/S의 경우 1999년 계양 S/S의 신설로 인한 부하 분담으로 전압강하율이 대폭 개선되었다.

S/S	1998	1999	2000	2001	2002
계 양	-	1122.5	1185.5	1115.4	1276.7
복인천	4053.5	1060.1	1554.2	1701.6	1337.0
신인천	562.3	867.6	982.3	1250.6	1206.4
신 현	1370.1	1413.7	1280.1	1263.8	1216.4
경 서	1004.8	1097.1	1751.5	2217.4	3145.8
계	6990.7	5561.0	6753.6	7548.8	9182.7

표 7. 연도별 선로손실 (kW)

1999년 계양 S/S에 120MVA의 M.Tr. 신설로 복인천 S/S 및 경서 S/S의 부하를 분담하면 총 1,430kW/h (부하율 71.5%일때 연간 약 8.96MW)의 손실이 감소될 수 있다.

2.5.3 부하중심점의 이동추이

각 변전소 공급지역의 부하중심점과 현재 건설되어 있는 변전소 위치와의 거리는 연도별 부하변동에 따라 <표 8>과 같이 이동한다.

S/S	1998	1999	2000	2001	2002
계 양	-	2,333	2,338	2,145	2,288
복인천	2,087	635	802	799	971
신인천	1,078	1,177	1,182	1,278	1,191
신 현	906	1,197	1,068	1,177	1,023
경 서	1,743	1,669	1,976	2,229	2,400

표 8. 변전소와 부하중심점의 거리 (Meter)

1998년부터 2002년까지 부하중심점의 이동을 추적하면 부하가 남·북으로 더욱 양극화되는 양상을 보이고 있으며, 복인천 S/S는 1999년 준공되는 계양 S/S에 북부지역의 부하를 이전시키면서 부하중심점과 변전소간의 거리가 상당히 단축되었다. 그러나 계양 S/S는 부하중심점에서 상당히 먼 거리에 건설됨으로 인하여 불필요한 손실이 발생할 우려가 있다. <표 9>에서는 현재 위치에 건설된 계양 S/S와 부하중심점에 건설되었을 때의 전압강하와 선로손실을 비교하였다.

S/S	현재위치		부하중심점 위치	
	전압강하	손실	전압강하	손실
계 양	3.0%	1,122.5kW	1.9%	809.0kW
복인천	4.0%	1,060.1kW	4.0%	1,332.1kW
신인천	1.7%	867.6kW	1.7%	867.6kW
신 현	2.4%	1,413.7kW	2.4%	1,413.7kW
경 서	4.7%	1,097.1kW	4.2%	765.1kW
계		5,561.0kW		5,187.5kW

표 9. 1999년 계양 S/S 건설위치에 따른 손실비교

계양 S/S를 부하중심점에 가깝게 건설하였을 경우 373.5kW, 연간 2.34MWh의 선로 손실을 줄일 수 있다.

2.5.4 2001년 신인천 S/S 증설시의 계통

2.4.1에 언급한 바와 같이 서인천 남부지역의 부하중가로 2001년 신인천 S/S의 용량 증설이 요구되며 1Bank (45/60MVA) 증설시의 계통은 <표 10>과 같다.

신인천 S/S는 서인천지역의 부하밀집지역인 남부의 부하밀집 구간만을 공급하므로 전압강하 및 손실개선 효과가 없으나 증가하는 부하에 대비하기 위하여 증설이 요구된다.

S/S	증설전 계통		1Bank 증설 계통	
	전압강하	손실	전압강하	손실
계 양	2.9%	1,115.4kW	3.0%	1,115.4kW
복인천	3.9%	1,701.6kW	3.8%	1,698.6kW
신인천	1.8%	1,250.6kW	1.8%	1,264.3kW
신 현	1.7%	1,263.8kW	1.7%	1,268.5kW
경 서	5.3%	2,217.4kW	5.2%	2,217.4kW
계		7,548.8kW		7,564.2kW

표 10. 2001년 신인천 S/S 증설시의 계통

2.5.5 2002년 계양 S/S 증설시의 계통

2002년 이후에는 북부지역의 전력 공급부족이 예상되므로(표 5) 계양 S/S의 증설이 요구되며 이때의 계통은 <표 11>과 같다.

S/S	2002 계통		1Bank 증설		2 Bank 증설	
	전압강하	손실	전압강하	손실	전압강하	손실
계 양	2.9%	1,277kW	2.9%	1,942kW	4.1%	2,731kW
복인천	3.9%	2,337kW	3.9%	1,910kW	3.9%	1,655kW
신인천	1.8%	1,207kW	1.8%	1,468kW	1.8%	1,468kW
신 현	1.7%	1,217kW	1.7%	1,206kW	1.7%	1,206kW
경 서	5.3%	3,146kW	4.9%	1,504kW	1.9%	572kW
계		9,183kW		8,031kW		7,634kW

표 11. 2002년 계양 S/S 증설시의 계통

북부지역의 부하에 근접하여 건설되어 있는 계양 S/S의 증설은 복인천 S/S 및 경서 S/S의 부하를 흡수하여 서인천지역 전체계통의 전압강하와 손실을 크게 개선시킬 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 서인천 지역의 부하를 소관구별별로 주거, 상업, 공업, 농업, 기타지역으로 세분하고 지역특성에 따라 각각에 적합한 수용율과 연도별 부하증가를, 그리고 대규모 신규수용을 차등적용함으로써 부하예측의 정확도 향상을 기하였다. 지금까지 한편의 일부 지사에서 수립된 중장기 배전계획은 자체적으로 부하증가를 예측하여 총부하와 변전소의 공급능력을 고려한 변전소 신·증설계획 및 회선증설계획을 수립하였다. 그러나 배전계통의 구성은 단순한 선로의 연결이 아닌 계통해석에 기초한 전압강하, 손실 등을 고려한 경제성 검토의 기반 위에서 이루어져야 한다. 물론 현실적으로 논문에서 제시한 바와 같이 계통조건이 변화했다고 해서 일시에 모든 배전계통을 다시 구성할 수는 없다. 그러나 최적의 중장기 배전계통 구성안에 대하여 매년 변동사항을 점검해가며 배전선로 건설 및 구성을 최적의 방향으로 추진해나가는 것이 필요할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "전산시스템을 이용한 배전계획 최적화 연구", 최종보고서, 1995
- [2] ABB Power Inc., "FEEDERDESIGN Program User's Manual", 1987
- [3] 한국전력공사 경영정보처, "1998년도 경영통계", 1998