

토지용도에 따른 부하예측을 이용한 중장기 배전계획 수립

김준오*, 박창호*, 선상진**, 이재봉*, 권성철*

*한전 전력연구원, **한전 경기지사

Long Term Distribution Planning Process
using the Forecasting Method of the Land Use

Joon Oh Kim, Chang Ho Park, Sang Jin Sun, Jae Bong Lee, Sung Chul Kwon
KEPCO

Abstract - The KEPCO is developing the load forecasting system using land-use simulation method and distribution planning system. A distribution planning needs the data of present loads, forecasted loads and substations, distribution lines information. By the distribution planning system, the distribution line designer determines the substations and feeder lines plan.

This paper presents the method of formulation process for the long term load forecasting and optimal distribution planning, and describes the case study of long term distribution planning of Suwon-city according to the newly applied method.

1. 서 론

배전계획은 전력회사의 장단기 투자계획, 현재 및 미래의 부하, 변전소의 위치 및 용량에 의하여 전력조류, 전압강하, 손실 등의 계산을 바탕으로 건설비와 운영비 간의 경제성을 검토한 후 수행되어야 한다. 이러한 목적으로 한국전력에서는 배전계획 수립업무의 과학화와 표준화를 위하여 토지용도를 이용한 부하예측 시스템과 배전계획 시스템을 개발하고 있다. 토지용도에 기반한 부하예측 시스템은 토지용도를 ① 일반주거지역 ② 아파트지역 ③ 고밀도상업지역 ④ 중밀도 상업지역 ⑤ 저밀도 상업지역 ⑥ 공업지역 ⑦ 공공지역 ⑧ 농업지역 ⑨ 녹지지역 ⑩ 무부하지역 등 10가지로 구분하고 경제지표, 인구변동, 주택보급률, 부문별 생산액, 부문별 전력판매량, 신도시개발 계획 등을 고려하여 소지역별 증가추세를 결정하고, 연도별 최대부하를 예측한다. 배전계획 시스템은 부하예측을 바탕으로 연도별 변전소 신증설 계획 및 이에 따른 회선계획을 수립하며 각중도면을 그래프로 출력한다. 출력이 가능한 도면은 연도별 부하밀도지도, 변태위치지도, 변전소별 공급구역지도, 토지용도지도, 연도별 최적계통도면 등이다.

본 논문에서는 배전계획의 기본이 되는 현재부하 및 예측부하의 위치와 크기를 보다 정확히 산정하기 위하여 새로운 배전계획업무 절차를 제안하였으며, 현재 개발중인 부하예측 및 배전계획 시스템을 이용하여 경기도 수원시 지역을 250m×250m 단위로 세분하여 토지용도를 판정하고 개발된 부하예측 알고리즘에 의하여 산출된 부하예측을 시행하고 2010년까지의 변전소 계획 및 회선계획을 수립한 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 배전계획 수립절차

장기적인 배전계획을 수립하기 위하여 첫째, 현재 최대부하의 위치와 크기를 정확히 파악하여 도면 위에 표시하고 부하예측 알고리즘에 의하여 산출된 부하성장률

및 연도별 신규부하를 적용하여, 예측되는 미래년도 부하의 크기와 위치를 파악한다. 둘째, 연도별로 기계화된 변전소의 용량을 감안하여 변전소의 총용량과 총부하의 크기를 비교하여 공급가능여부를 판단하고, 변전소 용량이 부족할 경우 변전소가 신규로 건설될 수 있는 후보지 중 부하의 중심점에 가까운 후보지에 변전소를 추가하여 공급용량을 확보한다. 셋째, 최적 배전계획 프로그램을 이용하여 최적의 배전계통을 구성하고 변전소 인출개소 등 필요한 지역의 회선수를 산정한다. 넷째, 결과물을 출력하고 배전계획 수립 보고서를 작성한다.

2.2 토지용도를 이용한 부하예측

2.2.1 지역 경제 지표 예측

KDI에서 예측한 GDP(Gross Domestic Product) 성장률을 이용하여 예측대상지역의 각 경제활동별 GRDP(Gross Regional Domestic Product)를 예측한다. 예측식은 각 경제 활동별로 동일한 수식을 적용한다.

$$GRDP_i(t+1) = A + B_1 GRDP_i(t) + B_2 GDP_{GR}(t+1)$$

*GRDP_i(t) : 지역 경제활동별 GRDP

*GDP_{GR}(t) : KDI에서 예측한 국내총생산 성장률

*각 A, B₁, B₂의 계수는 최소자승법으로 결정

지역총생산 예측치를 이용하여 각각의 용도별 판매전력량을 예측한다.

2.2.2 주택용 판매전력량 예측

$$PS_{RES}(t+1) = A + B_1 \cdot GRDP(t+1) + B_2 \cdot POP_{EST}$$

*PS_{RES}(t) : 주택용 판매전력량

*GRDP(t) : 지역 총생산

*POP_{EST}(t) : 지역 예측인구수

*각 계수는 94-98년 판매전력량과 GRDP, 인구예측치를 이용하여 최소자승법을 이용하여 결정한다.

2.2.3 공공용, 서비스업 판매전력량 예측

$$PS_{PUB}(t+1) = A + B_1 \cdot GRDP_{PUB}(t+1) + B_2 \cdot PS_{PUB}(t+1)$$

$$PS_{SER}(t+1) = A + B_1 \cdot GRDP_{SER}(t+1) + B_2 \cdot PS_{SER}(t+1)$$

*PS_{PUB}(t), PS_{SER}(t) : 공공용, 서비스용 판매전력량

*GRDP_{PUB}(t), GRDP_{SER}(t) : 예측된 공공용, 서비스용 지역 생산금액

2.2.4 농림어업, 광공업 판매전력량 예측

$$PS_{AGR}(t+1) = A + B_1 \cdot GRDP_{AGR}(t+1)$$

*PS_{AGR}(t) : 농림어업 판매전력량

*GRDP_{AGR}(t) : 농림어업 지역 총생산

$$PS_{MAN}(t+1) = A + B1 \cdot GRDP_{MAN}(t+1) + B2 \cdot PS_{MAN}(t)$$

- * $PS_{MAN}(t)$: 광공업 판매전력량
- * $GRDP_{MAN}(t)$: 광공업 지역 총생산

2.2.5 지역 종합 판매전력량 예측

$$PS_{TOT}(t+1) = A + B1 \cdot GRDP_{TOT}(t+1) + B2 \cdot PS_{TOT}(t)$$

- * $PS_{TOT}(t)$: 경제활동별 총 판매전력량
- * $GRDP_{TOT}(t)$: 지역의 총생산

2.2.6 최대부하로 변환

기준년도의 총 판매전력량과 최대부하로부터 부하율을 계산하고 이를 예측된 판매전력량에 적용하여 최대부하 산출한다.

2.3 기준년도 부하의 위치 및 크기산정

부하는 크게 저압부하와 특고압부하로 구분될 수 있으며, 한전의 경우 저압부하는 저압부하관리시스템에서 변대별로, 특고압부하는 요금관리 시스템에서 고압고압별로 관리되고 있다. 각각의 부하는 모두 관리구 체계에 의하여 오차가 최대 50m인 위치정보를 가지고 있으며, 부하를 공급하고 있는 변전소 및 배전선로의 정보도 가지고 있다. 따라서 D/L별로 합산한 개별부하의 최대부하 합과 D/L의 최대 인출전력과의 종합 부동률을 산출하여 각각의 부하에 적용함으로써 D/L별 부하의 총합과 D/L의 인출 최대전력을 일치시킴으로서 기준년도의 최대부하의 크기 및 부하의 위치정보를 완성할 수 있다.

$$\text{종합부동률} = [(D/L\text{별 저압변대 최대전력의 합}(kVA) + D/L\text{별 특고압 최대부하의 합}(kVA))] \times D/L\text{의 역률} \times D/L\text{간의 부동률} / D/L\text{의 최대인출전력}(kW)$$

2.4. 토지용도를 이용한 부하예측의 적용

2.2절에서 예측된 토지용도별 부하증가를 적용하기 위하여 기준년도의 부하가 할당된 도면위에 토지의 용도를 설정한다. 한전에서 개발중인 배전계획 시스템은 토지용도를 선택하고 해당지역을 마우스로 클릭하거나 드래그함으로써 간단하게 토지용도를 입력하고 용도별 부하증가율을 입력할 수 있다.

또한 연도별로 신규공급되는 대규모 신규부하의 위치와 크기를 입력함으로써 부하예측을 수행한다.

2.5 변전소 계획 수립

연도별로 최대부하와 변전소의 총 공급능력을 비교하여 부족용량을 산출하고 장기 변전소 신증설 계획과 비교 검토한다. 또한, 부하의 분포 및 변전소의 후보지를 개략적으로 판단하여 변전소 후보지의 우선순위 및 용량을 결정한다.

2.6 회선계획 수립

부하 및 변전소 계획이 수립되면 부하점간에 현재의 계통구성을 기반으로 선로를 구성하고 배전계획 프로그램을 이용하여 최적 배전계통을 구성한다. 배전계통 해석결과를 검토하여 변전소 공급구역중 부하의 중심점, 투자비, 변전소 이용률, 손실 등을 검토하여 데이터를 수정한 후 반복계산을 수행함으로써 최적의 계통구성을 결정한다.

2.7 사례연구

경기도 수원시를 대상으로 토지용도를 이용한 부하예측 및 배전계획 시스템을 적용하였다.

경기지사 직할의 관할구역은 수원시 및 화성군 일부 지역으로서 면적은 182km²에 이르며 728개의 소관리구

(500m×500m)로 구성되어 있다. 이중 개발제한구역, 군사시설, 녹지 등을 제외하고 부하가 존재하는 소관리구의 수는 446개로서 부하특성은 <표 1>과 같다.

토지용도	주거	상업	공업	공공	농업	녹지
관리구수	233	28	42	30	179	217
면적(km ²)	58.3	7.0	10.5	7.5	44.75	54.3
구성비(%)	32.0	3.8	5.8	4.1	24.6	29.8

표 1. 경기도 수원시 토지용도 현황

2.7.1 현재의 부하 산정

배전계획을 수립함에 있어 가장 기본이 되는 업무는 현재부하의 위치와 크기를 정확히 산정하는 것이며, 수원시의 '98년도 최대부하는 <표 2>와 같다.

부하종류	저압부하	특고압부하	D/L인출	부동률
자료량	7,863	2,324	87	-
총 부하(MVA)	387.6	1,581.3	492.4	4.0

표 2. 수원시 부하데이터

저압부하는 변대별로 전동부하의 경우 전력사용량율, 동력부하의 경우 계약전력에 기초하여 '99년도 동계 최대부하시에 계산된 데이터이며, 특고압 부하의 경우 지난 12개월중 최대부하가 기록된 자료를 이용하여 산출하였다.

배전계획 시스템에서는 개별적인 부하의 자료가 방대하므로 회선계획을 수립하기 위하여 관리구별로 부하를 합산하여 하나의 부하점을 생성한다.

2.7.1 경기도 수원지역 부하예측

부하예측을 시행하기 위하여 경제활동별 지역내 총생산액, 인구, 세대수, 세대당 인구수, 주택보급률, 택지 및 공간건설계획, 부문별 판매전력량 등을 이용하여 부하 증가율을 산출하고, 토지용도를 입력하여 연도별, 관리구별 최대 부하를 계산한다. <표 3>

구 분	1999	2000	2001	2002	2003	2004
주거지역(%)	13	12	12	8	8	8
상업지역(%)	14	17	18	19	19	19
공업지역(%)	7	7	7	7	7	7
공공지역(%)	2	3	3	4	4	4
농업지역(%)	30	24	21	15	13	12
신규부하(MVA)	20.3	19.8	21.9	48.6	21.0	-
총 부하(MVA)	512	593	694	815	920	1,020

구 분	2005	2006	2007	2008	2009	2010
주거지역(%)	8	8	7	8	8	9
상업지역(%)	20	19	20	20	20	20
공업지역(%)	7	6	6	6	6	7
공공지역(%)	5	5	6	6	7	7
농업지역(%)	11	7	7	7	6	6
총부하(MVA)	1,134	1,254	1,390	1,547	1,727	1,945

표 4 토지용도별 부하예측 결과

수원시 지역은 인구수가 향후 10년간 현재인구 대비 54%가 늘어난 132만명으로 예측되어 전국의 평균 부하증가율보다 큰 최대전력의 증가가 예상되며, 대규모 신규 전력수요의 경우 향후 4년간 12개 지역, 면적 185만평, 54,300호의 신규아파트와 8개소의 대규모 공공시설이 건설될 예정이다.

따라서 수원시 지역의 부하밀집 지역은 <표 5> 및 <표 6>과 같이 변화하며 수원역을 중심으로 한 상업지역의 경우 면적 8km² 지역에 지역내 전체 최대부하 대비

'99년 21.4%, 2010년 31.4%가 집중되는 부하편중의 심화가 예상되며 이에 따라 변전소 및 배전선로 보강대책이 필요하다.

관리구	0109	0011	0110	0009	0309	0209	계
최대부하(MVA)	62.9	49.6	47.4	36.2	34.2	28.9	259.1
점유율(%)	12.2	9.6	9.2	7.0	6.6	5.6	50.2

표 5 1999년 부하밀집지역

관리구	0109	0110	0009	0011	0309	0209	계
최대부하(MVA)	369.8	251.7	219.6	145.1	79.8	79.3	1,145
점유율(%)	18.7	12.7	11.1	7.3	4.0	4.0	57.8

표 6 2010년 부하밀집지역

2.7.2 수원시 변전소 신증설계획

송변전 계획부서에서 수립한 증장기 변전소 신증설 계획을 바탕으로 부하증가를 고려한 연도별 변전소 신증설 시나리오는 <표 7>과 같다

년도	S/S명	용량(MVA)	위치	구분	비고
2000	울진	120	9911G	신설	건설중
2006	한일	120	0012Z	신설	계획중
2007	우만 신갈	48 51	0211R 0409A	증설 (공용)	
2008	한일 울진	120 60	0012Z 9911G	증설 증설	
2009	울진 매산	60 120	9911G 0109A	증설 신설	계획중
2010	매산 고색	120 120	0109A 9909R	증설 신설	계획중
변전소 용량 신증설 합계		939MVA			

표 7 송변전 계획상의 변전소 건설계획 (시나리오 A)

<표 7>의 변전소 건설계획에 의거하여 배전계통을 구성하였을 때, 2009년까지는 시외곽지역의 변전소로부터 시내 중심부의 전력을 공급해야 하므로, 배전선로 건설 비용 및 손실이 크게 증가한다. 따라서 2006년도부터 급속히 증가하는 수원역을 중심으로한 상업지역의 부하를 효율적으로 공급하기 위하여 2008년 이후 건설키로 계획된 중심지역의 매산, 고색변전소를 다른 변전소의 신증설보다 앞당겨 건설하는 것이 효율적이다. 따라서 <표 9>와 같은 수정된 변전소 신증설 시나리오를 적용하고 두 경우를 비교하였다.

년도	S/S명	용량(MVA)	위치	구분	비고
2000	울진	120	9911G	신설	건설중
2006	매산	120	0109A	신설	조기건설
2007	매산	120	0109A	증설	조기건설
2008	고색	240	9909R	신설	조기건설
2009	울진	120	9911G	증설	증설연기
2010	한일	240	0012Z	신설	건설연기
변전소 용량 신증설 합계		960MVA			

표 8 부하의 위치를 고려한 변전소 계획(시나리오 B)

연도별로 부하성장에 추종하여 변전소의 용량을 Bank 단위로 신증설하며, 기 계획상의 변전소 건설 순서를 조정하였으므로 <표 7>과 <표 8>의 변전소 건설비는 큰 차이가 없을 것이다. 그러나 배전선로 인출비용과 손실비용은 변전소가 부하근처에 있을 때와 부하에서 멀

리 떨어져 공급할 때를 고려하면 큰 차이가 있다. 배전선로 인출 및 보강비용은 현장의 여건에 따라 세밀한 분석과 계산을 요하므로 간단하게 표현하기는 어렵다. 그러나 손실의 발생에 있어서는 명확한 차이를 보인다. <표 9>는 <표 7>의 변전소 건설 시나리오와 <표 8>의 시나리오에 따른 배전선로 건설시 배전선로의 손실을 비교한 것이다. 배전계획을 위한 계통구성시 선로를 필요에 따라 적절히 모델링하여 구성하므로 계산된 손실의 절대값은 실제와 차이가 있을 수 있으나, 두 계통의 비교자료로는 활용할 수 있다.

구분	2007년	2008년	2009년	2010년
A경우 손실(kW)	15,852	18,182	19,069	13,505
B경우 손실(kW)	12,935	12,504	14,747	13,352
손실절감률	18.4%	31.2%	22.7%	1.1%

표 9 시나리오별 최대부하시의 배전선로 손실비교

<표 9>에서 알 수 있듯이 손실은 동일한 위치, 용량의 변전소를 건설하더라도 건설 순서에 따라 상당한 경제성의 차이가 있을 수 있다. 본 사례연구에서는 목표연도를 2010년까지 설정하였으므로 목표연도에서는 손실이 비슷하게 계산되었다. 따라서 효율적으로 배전선로를 건설하고 운영하기 위하여 부하의 변동 등 주변상황을 수시로 점검하고 변화가 있을 때마다 계획의 검토 및 수정이 필요하다.

2.7.3 경기도 수원지역 회선계획

변전소건설 시나리오 B에 의한 변전소 인출개소의 회선수(기준용량 10,000kVA)는 <표 10>과 같다.

S/S명	현재	2006	2007	2008	2009
서수원	22	26	26	17	19
우만	8	17	17	17	19
동수원	22	27	26	26	26
신갈	10	16	16	16	16
동탄	14	15	15	16	18
남수원	13	12	13	12	13
울진	-	13	14	14	26
매산	-	14	25	26	26
고색	-	-	-	25	26

표 11 시나리오 B에 의한 연도별 소요 회선수

급격한 부하증가가 예상되는 중심지역중 수원역의 왼쪽지역(0009)을 서수원 변전소에서 2007년까지 공급하다 고색 변전소가 본격 가동되며 서수원 변전소의 부하부담이 크게 경감되고 오른쪽 지역(0109)의 부하는 동수원 변전소와 매산 변전소가 공동으로 부하를 공급하는 것이 최적의 공급조건임을 알 수 있다.

3. 결 론

신뢰도와 경제성을 가진 배전계획을 수립하기 위하여는 우선 정확한 현재부하 및 미래부하의 위치와 크기를 예측하는 일이 가장 기본이며 중요한 업무이다. 본 논문에서는 보다 정확한 현재 및 미래의 부하를 산정하기 위하여 한전에서 관리하고 있는 저압부하관리 시스템 및 요금정보 시스템에서의 개별부하 위치와 크기를 이용하여 현재의 부하를 산정하고, 토지용도를 이용한 시뮬레이션 기법의 부하예측을 통한 배전계획 수립절차를 제안하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전력공사 경영정보처, "1998년도 경영통계", 1998
- [2] 수원시, "수원시 통계연보", 1998