

배전계획에서의 부하예측 기법의 정립



한국전기연구소
선 임 봉
연구원 최 상 봉

1. 서론

전력계통의 부하예측은 계통의 운용 또는 설비 계획에 있어서 없어서는 안될 중요한 사항으로서 사용 목적에 따라 단기 부하예측과 장기 부하예측으로 분류될 수 있다. 단기 부하예측은 수분, 수시간 또는 하루정도의 부하를 예측하여 기존설비의 효율적 운용을 행하는데 사용된다. 장기 예측은 수년에서 수십년까지의 부하를 예측하여 전원과 송배전 설비의 확충계획의 책정등에 사용된다. 즉, 단기 부하예측은 부하변동을 예측하고 장기 부하예측은 부하성장을 예측하는 것으로 분류하여 생각하면 된다.

이와 같은 부하예측을 행하기 위한 기법은 오래전 부터 새로운 문제로 대두되어 왔다. 특히 전력계통 전체의 부하예측에 대해서는 전자계산기의 발달과 더불어 다양한 연구가 행하여져 오고 있으며 지금도 계속되고 있다. 한편 배전계통에 대한 부하예측은 일반적으로 우리나라에서는 배전설비 확충 계획시에 트렌드(Trend)법과 담당자의 경험을 근간으로한 예측 방법등의 예는 있지만 그 이

외의 분야에 대해서는 다양한 연구가 이루어지고 있지 않는 실정이다. 그러나 최근들어 배전 자동화 시스템이 급속히 보급됨에 따라 구분개폐기의 원방 감시제어와 전압, 전류정보의 수집등이 가능하게 되었다. 이에 따라 피이더, 구간, 주상 변압기등의 부하 데이터 수집이 용이하게 되어 장·단기 부하예측이 가능하며 이용가치 또한 클 것으로 기대되고 있다.

배전계통에서의 부하예측은 공급대상 지역이 계통 전체가 아니라 말단 수용가 전부를 대상으로 하고 있기 때문에 수용가 단위호를 고려한 지역 부하예측 개념이 요구되고 있다. 따라서 미래에 발생할 부하의 크기와 위치를 예측하여 배전선로의 경로 및 설비의 용량 등을 결정하기 위해서는 여러 가지 특성을 고려하여 지역을 구분하여야 한다. 일반적으로 부하예측은 부하성장에 대한 위치를 예측하는 것이 부하성장량을 예측하는 것보다 중요하다고 볼 수 있다. 만약 예를 들어 부하성장량은 부정확하게 예측되었을 지라도 성장위치가 정확하게 예측된다면 배전설비의 구매시기를 조정하여 시정할 수 있으나 만약 성장위치가 잘못 예측된다면 구입한 변전소 부지가 무용하게 되는 불

상사가 초래하게 될 수도 있다. 따라서 배전계통에서의 부하예측의 어려운 점은 지역 전체의 부하 크기만이 아니고 부하의 분포상태에 대한 예측도 병행해야 한다는 것이다. 즉, 어디에 얼마만큼의 부하가 발생될 것인가를 예측할 필요가 있으며 이를 소지역 부하예측이라고 말하고 있다. 다음은 지금까지 국내외적으로 진행된 부하예측 기법과 향후과제에 대하여 설명하였다.

2. 배전계통에서의 부하예측의 필요성

2.1 부하예측의 필요성과 적용분야

2.1.1 부하예측의 현상

현재 우리나라의 배전분야에 있어서 현재까지 진행된 부하예측에 관련된 업무를 보면 주로 배전 설비의 운용을 위한 피크 부하의 파악과 설비 확충 계획을 포함한 투용자 계획 업무로 볼 수 있다. 즉, 예를들면 배전용 변전소 인출 피이더에 대해서는 정기적인 실측과 대표일시에 실측을 기초로 하여 피크 부하를 파악하여 관리하고 있다. 또한 투용자 계획을 위한 부하예측은 사용 전력량과 호수 그리고 인출 피이더의 실측치에 대하여 별도로 상정한 부하 신장율을 적용하여 구하는 방법이 일반적으로 사용되어지고 있다. 그러나 배전선 구간 부하에 대해서는 현재까지는 정보 전달 비용이 높기 때문에 인출 피이더 부하 실측치를 설비용량등에 비례하여 배분하는 방법으로 추정하고 있다. 한편 주상변압기 부하관리에 대해서는 매월 검침되는 전력 사용량(KWH)을 근간으로 하여 일정한 산정식을 통하여 이값을 피크부하(KW)로 환산하는 전산기 부하관리법이 보급되고 있다. 이 방법은 극히 효율적이고 정도 또한 높은 것으로

알려지고 있지만 부하패턴의 변동이 큰 부하에 대하여는 수시로 산정식(KWH-KW)을 다시 계산할 필요가 있으며 피크 부하가 정확히 추정되었는가를 검증해야 하는 번거로움이 따른다.

2.1.2 부하예측의 필요성

서론에서 기술한 바와 같이 향후 계측 비용의 저감과 정보전송 기술의 발달이 이어지면 배전계통에서의 부하관리의 예측과 정도는 급격히 향상될 것이며 또한 그 필요성도 제고될 것이다. 다음은 앞으로 배전계통에서의 부하예측의 필요성과 적용 가능분야에 대하여 고찰하였다.

(1) 최종 이용단(END-USER)에 대한 전력 부하곡선의 예측과 수요관리(Demand Side Management)

부하평준화, 계절에 따른 다양한 전기요금 제도, 심야전력 부하와 전력저장 그리고 고효율 신형 부하의 개발등 서비스의 중요성이 날로 높아가고 있다. 이와 같은 새로운 서비스를 실현하기 위해서는 적절한 사전 평가와 효율적인 실행 프로그램의 책정이 필요하며 최종 이용기기에 대한 부하곡선의 예측 및 이를 합성한 계통 각부의 부하곡선의 예측이 필수 불가결하다. 특히 미국에서는 이를 위하여 최종 이용기기 수요관리의 소프트웨어에 대한 개발이 활발히 진행되고 있는 실정이다.

(2) 온라인 부하예측에 의한 계통 감시와 제어

앞으로는 기존 설비를 유용하게 이용하기 위하여 가능한한 가동율을 높이고 정전 범위와 시간을 대폭 줄이기 위한 계통 운용 및 제어가 요구되고 있다. 이를 위하여는 구간단위별로 배전부하를 계측하고 예측을 행하는 것이 중요하며 이렇게 함으

로서 상시 공급력과 사고시 유통력의 정확한 파악이 이루어지며 이것을 기초로 하여 적절한 과부하 예방 제어 및 사고복구 제어등이 가능하다. 또한 앞으로는 계통 부하 조건에 대응하여 상세한 부하 평준화 제어등도 가능하게 될 수 있다.

(3) 주상변압기를 포함한 부하관리와 확충계획

주상변압기와 배전선에 대한 잉여 설비를 가능한한 검토하여 보다 합리적인 확충계획을 책정하기 위해서는 부하의 실태 파악과 예측 분석방법이 한층 더 정확해야 할 필요가 있다.

(4) 도시의 발전 예측과 지중화 계획

현재 배전 지중화가 계획적으로 실시되어지고 있지만 지중계통은 가공계통에 비하여 부하변동에 대한 유연성이 떨어지기 때문에 합리적인 지중화 계획을 책정하기 위해서도 장기 부하예측에 대한 필요성이 상당히 중요한 과제로 떠오르고 있다.

2.2 소지역의 분할 방법

어느 지역의 부하 분포를 예측하기 위해서는 검토 대상 지역을 어떤 법칙에 기초하여 분할할 필요가 있다. 분할 방법은 데이터 입력과 결과의 용이성에 의존하는데 분할 크기는 부하 분포의 분해능력을 결정하기 때문에 필요한 분포의 정도에 의존하게 된다. 분할한 면적을 일반적으로 소지역 (small area)이라고 칭하며 사용방법에 따라 다음의 2가지로 분류된다.

(1) 정형 격자상의 분할

토지이용의 경계와 계통 설비의 공급 면적등을 무시하고 격자상으로 분할하는 방법으로서 하나의 소구역 크기는 미국에서는 640 ACRE와 160 ACRE

가 일본 전력회사에서는 1KM², 500M² 등이 우리나라에서는 500M², 250M² 등이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 계통에 대한 대응도가 떨어지지만 기계적으로 처리가 용이한 이점이 있다.

(2) 설비의 공급 면적단위에 의한 분할

배전용 변전소, 피이더등 전기를 공급하는 면적 단위를 하나의 소지역으로 한다. 이 방법은 부하 데이터의 입수가 용이하다는 이점이 있지만 계통 변경이 이루어지는 경우에는 데이터의 수정이 필요하다.

위의 2가지 방법중 어느쪽도 소지역의 크기는 부하예측의 목적과 부하밀도에 따라 다르다. 일반적으로 소지역의 크기를 크게 하면 할수록 부하밀도의 평면적 분포의 크기가 커지게 되며 이는 저주파수 성분을 파악하는 것으로서 예측기간을 길게 하는 것과 동일한 의미로 볼 수 있다. 역으로 소지역의 크기를 작게하면 할수록 고주파 성분도 파악이 가능하기 때문에 예측기간을 짧게 하는 것과 등가로 볼 수 있다.

2.3 소지역에 대한 전력부하의 특징

소지역 부하예측은 부하의 크기만이 아니라 부하 분포에 대한 예측도 중요하다. 일반적으로 계통 전체의 부하예측에 대해서는 Macro적인 견지에서 별도의 수법으로 행하여 지기 때문에 소지역 부하예측의 주요 업무는 부여된 전체 부하의 크기를 지역에 맞게 안배하는 것이다. 이를 위해서는 다음 사항을 주의할 필요가 있다.

2.3.1 부하의 부등시성

전력계통의 부하는 여러 수용가의 부하를 합산하여 구성되기 때문에 각각의 수용가 부하의 피크

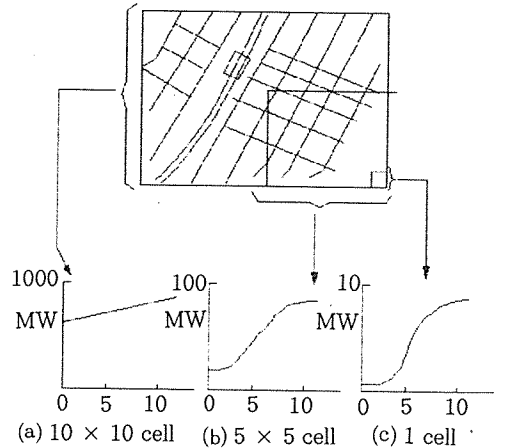
는 시간적으로 다르게 발생되기 마련이다. 따라서 각 수용가 피크부하의 합계와 계통 전체의 피크 부하의 값은 서로 차이가 나게 마련인데 이 차이에 대한 비를 부등율이라고 한다.

$$\text{부등율} = \frac{\text{각 수용가 피크 부하의 합}}{\text{계통 전체의 피크 부하}}$$

각 소지역의 부하를 예측하는 경우에 부등율을 반드시 고려해야 한다. 즉 예를들어 피이더의 확충계획을 검토하기 위하여 각 피이더의 피크 부하를 예측하고 또한 변전소 계획을 위하여 변전소 단위별로 피크 부하를 예측할 필요가 있는데 이때 부등율을 고려할 필요가 있다.

2.3.2 부하 성장의 지역적 특성

부하 성장의 예측에 있어서 중요한 요소는 부하의 최종 포화치와 포화에 도달할 때까지의 성장속도의 2가지로 분류될 수 있다. 부하의 최종 포화치는 그 지역의 사회적, 경제적 활동에 대한 포텐셜 예를들면 토지용도 구분으로 결정된 건물면적과 수용인구의 한계 그리고 도로 수송 수단과 주변의 조건으로 결정된 한계등에 의존한다. 또한 성장속도는 토지의 개발 계획과 도로 계획 그리고 주변의 활동 여건에 의존한다. 지역이 작게 되면 필수록 성장속도는 국부적인 조건에 좌우되기 때문에 부하의 성장은 예측하기 곤란한 고주파 성분을 포함한 복잡한 곡선으로 되며 그 모양을 (그림 2.1)에 도시하였다. 한편 소지역의 대부분이 일반주택으로 구성되어 있는 경우는 기존부하가 서서히 성장하는 특징을 가지고 있고 동력부하와 고압부하로 구성되어 있는 경우는 기존부하의 성장은 대부분 변화하고 건물의 신설에 따른 신설부하의 성장을 특징으로 하고 있다.



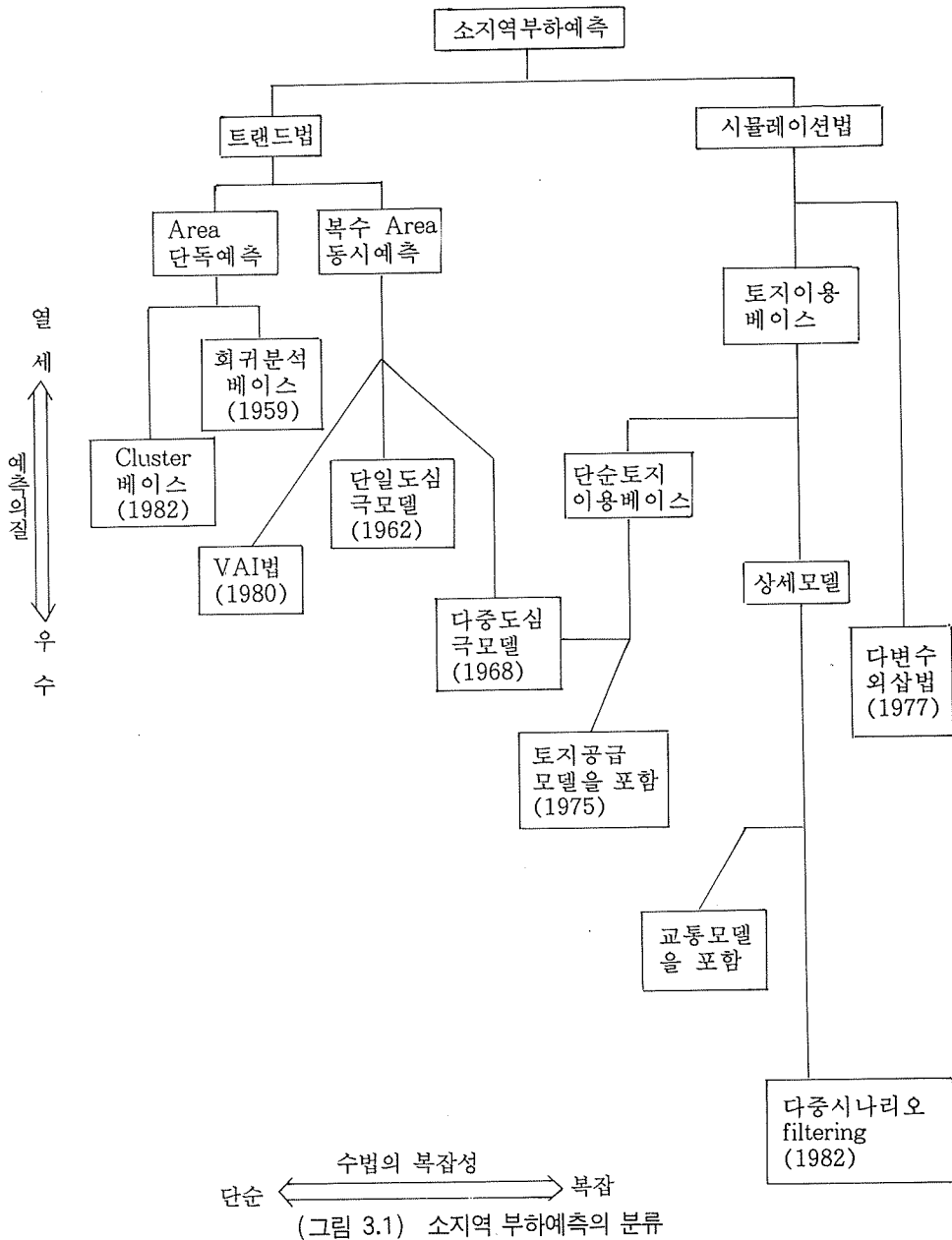
(그림 2.1) 지역의 크기와 부하성장의 예

3. 장기 부하예측 기법

소지역에 대한 장기 부하예측 기법은 일본에서는 거의 연구가 진행되지 않았고 미국에서는 상당히 활발하게 연구가 진행되어 다양한 기법이 개발되고 있다. 지금까지 알려진 장기 부하예측 기법을 예측정도의 양호성과 데이터의 복잡성등의 관점으로 분류하여 (그림 3.1)에서 도시하였다. (그림 3.1)에서 보는 바와 같이 이 기법들은 트렌드 (Trend)법과 시뮬레이션(Simulation)법으로 분류할 수 있다.

3.1 단독 트렌드 기법

트렌드 기법은 과거의 부하 실적치를 근간으로 하여 미래년도의 부하예측치를 외삽하는 기법으로서 시뮬레이션 기법과 비교하여 보면 예측정도면에서는 열세이지만 입력 데이터량과 계산시간면에서는 유리한 장점을 가지고 있다. 일반적으로는 단기부하예측(3~5년 정도)에 적합한 것으로 알려져 있다. 이와같은 트렌드 기법은 각 소지역마다 독립하여 예측하는 방법(단독 트렌드법)과



복수의 소지역에 대하여 상호 영향을 고려하여 동시에 예측하는 방법(복수 면적 동시 트랜드법)으로 분류되어 있다. 일반적으로 트랜드 기법으로서 많이 사용되고 있는 방법은 회귀식에 의한 곡선을

이용하는 방법과 Cluster법이 있다. 단독 트랜드법은 이와같은 트랜드법을 각각의 소지역에 독립하여 적용하는 방법이다.

3.1.1 회귀식에 의한 곡선 방법

전력수요에 영향을 미치는 요인 혹은 부하실적 데이터와 부하예측치와의 관계를 기술한 회귀 모델식을 결정하여 과거의 부하성장을 근거로 모델식의 파라미터를 추정함으로써 예측식을 작성하는 방법이다. 예로서는 소지역의 부하성장 곡선은 거의 포화곡선으로 되기 때문에 년도 t 의 3차항까지를 사용하여 부하 $l(t)$ 를 구하는 다음과 같은 예측식이 많이 사용되고 있다.

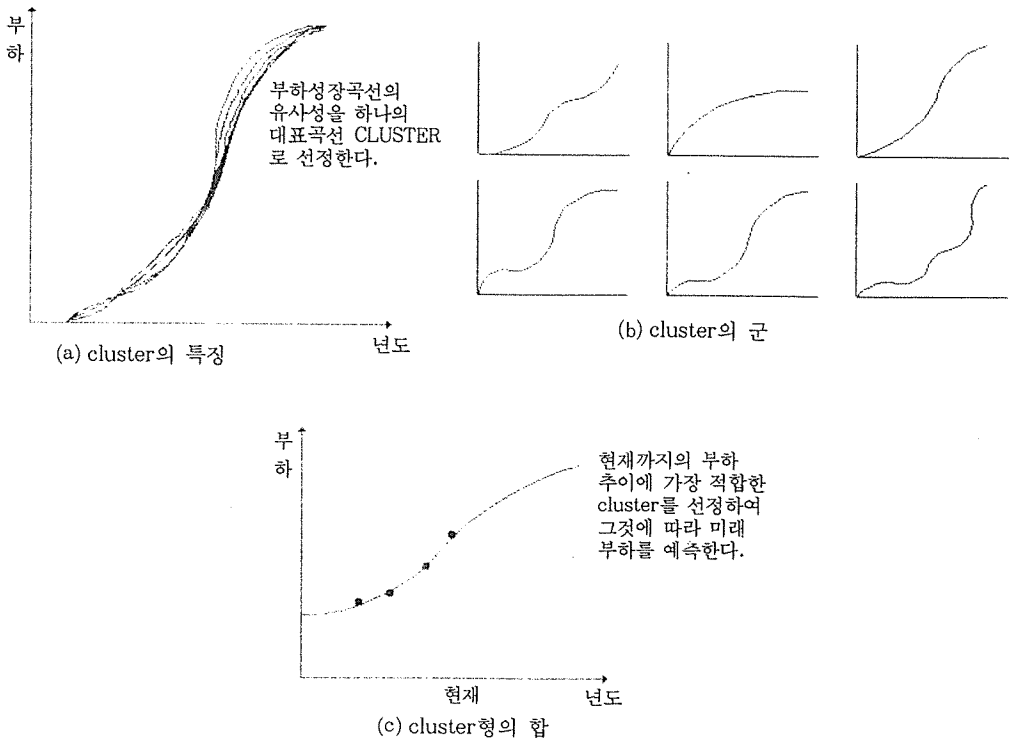
$$l(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (3.1)$$

$$l(t) = b_0 + b_1 \log t + b_2 (\log t^2) + b_3 (\log t^3) \quad (3.2)$$

여기서, a_1, b_1 는 가중계수로서 과거 데이터의 최소자승법 근사법으로 결정된다.

3.1.2 CLUSTER 분석법

이 기법은 과거의 부하성장 곡선으로부터 유사한 곡선을 그룹으로 분류하여 몇 개의 대표 곡선을 구하는 것으로서 이것을 이용하여 부하예측을 행하는 기법이다. (그림 3.2)에 이 방법이 도시되고 있다.



(그림 3.2) cluster link

3.2 복수 면적 동시 트렌드 방법

단독 트렌드 방법은 간단하지만 전체의 협조를

얻지 않기 때문에 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 현재까지 공급부하가 없는 소지역은 실적 데이터가 없기 때문에 예측될 수 없다.

- ② 부하성장의 포화치에 대한 예측이 곤란하다.
특히 소지역의 크기가 작은 경우에 부하성장의 포화가 단기간에 달성되는 경우가 많기 때문에 그와같은 현상에 대응하기가 곤란하다.
- ③ 피이더와 변전소등의 공급 지역 단위에서 계측된 실적 데이터를 사용하는 경우가 부하전체에 따른 영향을 보정할 수 없고 따라서 정확한 트렌드를 구하기 어렵다.

위에서 설명한 사항을 해결하기 위하여 복수 지역에 대하여 동시 트렌드 기법을 적용, 각 지역간의 협조를 통하여 계통 전체에 대해 모순이 없는 예측을 행하는 방법이 다수 제안되고 있다.

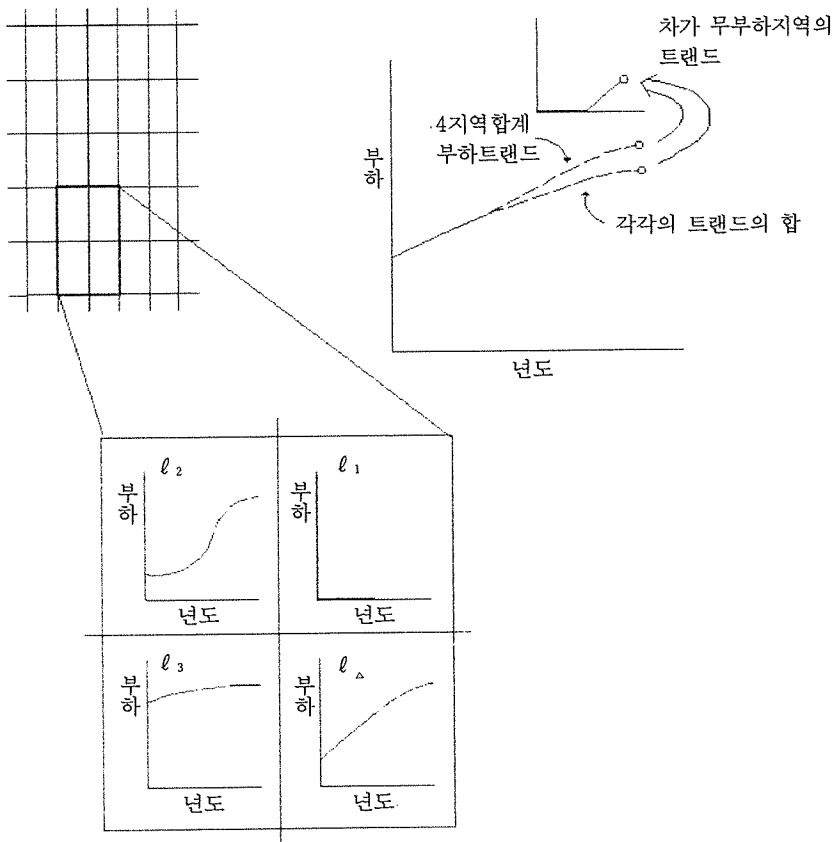
3.2.1 무부하 지역 보정법(V. A. L법)

Vacant Area Lnerference의 약자로서 현재까지 무부하 지역의 장래부하를 예측하는 방법이다. 이것은 (그림 3.3)과 같이 무부하 이외의 지역의 부하예측치 $l_2(t)$, $l_3(t)$, $l_4(t)$ 와 더불어 무부하 지역을 포함한 지역의 부하예측치 $L(t)$ 를 트렌드 방법으로 예측한다. 따라서 이로부터 무부하 지역의 미래부하 $l_1(t)$ 는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$l_1(t) = L(t) - \{l_2(t) + l_3(t) + l_4(t)\} \quad (3.3)$$

3.2.2 도심극모델

일반적으로 도시의 부하분포는 도심을 정상으로

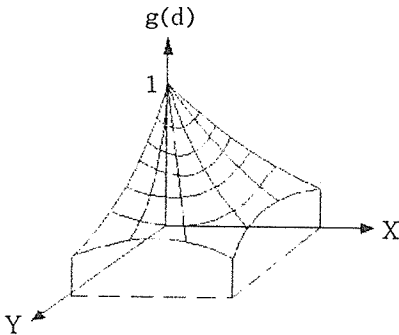


(그림 3.3) V. A. L법

하여 완만한 감소함수형으로 표시될 수 있다. 이와같은 분포구조를 모델화한 것이 도심극 모델이고 이를 사용하여 부하예측을 행한다. 간단한 예로서 도심극의 하나로서 분포구조의 형은 도심에서 거리에 의해 결정되기 때문에 도심에서 거리 d 의 지역에 있는 년도 t 의 부하 $l(d, t)$ 는 다음과 같다.

$$l(d, t) = D(t) \times g(d) \quad (3.4)$$

여기서 $D(t)$ 는 도심극의 부하, $g(d)$ 는 정규화된 면적분포함수로서 일반적으로 (그림 3.4)와 같은 형식을 갖는다. 그러나 위와같은 기법을 적용할 때는 다음 사항에 주의하여야 한다.



(그림 3.4) 도심극 모델($d = x^2 + y^2$)

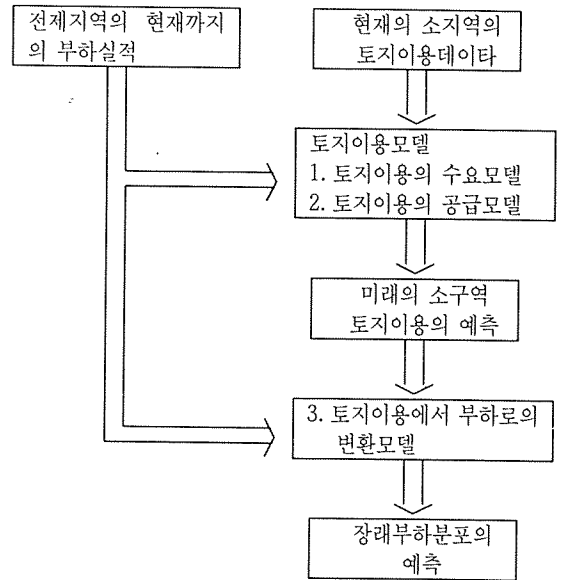
- ① 공원등과 같이 명확하게 무부하로서 부하가 변화하지 않는 지역은 별도로 지정하여 검토 대상에서 제외할 필요가 있다.
- ② 각 소구역의 발전이 도시 전체의 발전에 의존한다는 전제조건에 있기 때문에 소구역을 너무 적게 잡으면 전제조건이 위배되므로 적용할 수 없다.

기타 복극수 모델등이 있지만 일반적으로는 장기부하예측에 적합한 기법으로서 다음에 소개될

토지이용 시뮬레이션법에서 도시 모델을 작성할 경우에 실제로 사용된다.

3.3 토지이용 시뮬레이션 방법

전력부하의 성장과 분석은 토지의 개발로부터 시작하여 이용형태의 고도화로 도달되는 일련의 과정으로 설명되는 경우가 많다. 토지이용 시뮬레이션 방법은 이와같은 점에 착안한 수법으로서 일반적으로는 다음 (그림 3.5)와 같은 구성을 갖는다.



(그림 3.5) 토지이용에 의한 소지역 전력부하 예측의 구성도

이 방법은 기존 전력 수요의 증대와 신설 수요의 발생을 명확하게 구별하여 예측하는 기법으로서 경제성장과 도시개발등에 관련한 시나리오를 설정하여 케이스 연구를 통하여 적합한 것을 선택하는 특징을 가지고 있다. 이 방법은 모델 구축방

법에 따라 정도가 양호한 예측이 얻어질 수 있는 장점을 가지고 있다. 최근 미국에서의 조사에 따르면 배전 운용자의 65%가 현재 트렌드 기법을 사용하고 있지만 약 70%의 사람이 시뮬레이션 방법이 가장 신뢰도가 높거나 장래 유망한 방법으로 인식하고 있다는 조사결과가 나와 있다. 한편 시뮬레이션 방법도 (그림 3.5)에서 볼 수 있듯이 각각 차이가 있지만 여기서는 각 기법의 개요를 설명하기 보다는 일반적으로 사용되는 데이터의 종별과 토지이용 모델의 작성 방법등에 대하여 설명하고자 한다.

3.3.1 전처리와 입력 데이터

이 방법은 토지의 이용상황을 어떠한 계층으로 분류하고 어떤 데이터를 이용하느냐가 중요하다. 도시에서의 용도 지역 구분은 일반적으로 주택용, 상업용, 산업용 그리고 기타로 대별되고 필요에 따라 <표 3.1>과 같이 분류된다. 각각의 용도 구분은 건물의 법정 용적율로 정해지거나 건물의 최대규모로 분류하는 방법등이 있다. 또한 토지이용 형태의 현상을 표시한 데이터와 미래 예측에 사용될 데이터는 <표 3.2>에 나타나 있다. 토지이용 분석뿐만 아니라 토지이용과 부하와의 관계를 명확하게 하는 것도 중요하다. 이를 위하여 각 수용

<표 3.1> 도시에서의 용도 지역 구분

| | |
|-------|-----------------------------|
| 주 택 계 | 일반주택지구, 중고층 주택지구 |
| 상 업 계 | 근린상업지구, 상업지구, 업무지구, |
| 공 업 계 | 화학공업, 식품·유지업, 철강업, 기타, 기계공업 |
| 기 타 | 공원, 농지, 학교, 공지, 철도 |

가의 전력 수요 실적에 대한 샘플링을 통하여 각 종별로 수용가당 피크 전력과 단위면적당 부하의 크기등을 조사할 필요가 있다.

<표 3.2> 토지이용의 현상분석과 미래예측에 필요한 데이터

| 현 상 | 예측 방법 |
|----------------------|----------------|
| 소지역 단위의 건물 용적율 | 토지개발 혹은 재개발계획 |
| 계약전력 종별 수용가 건물수 | 도로계획 |
| 1수용가당 평균 경지 면적, 연상면적 | 토지개발에 관한 각종 규제 |
| 이용가능한 공지 면적 | |

3.3.2 토지이용 모델

토지이용의 현상과 미래동향을 설명하기 위한 모델은 다음에 열거한 특성을 수단으로 작성한다.

(1) 성장과 균형

도시가 발전하기 위해서는 사람이 거주하기 위한 주택관련 공간과 식품을 공급하기 위한 Market Area, 산업활동에 적합한 토지와 자원이 필요하고 게다가 이들 모두가 균형이 이루어지지 않으면 안된다.

(2) 인력(引力)모델

2개 구역의 발전정도의 영향도 합은 각각의 크기에 비례하고 거리에 반비례한다. 여기서 거리는 실거리가 아니고 교통 수단등을 고려한 이동시간등을 고려하는 것이 좋다.

(3) 토지이용의 적성

각 소지역은 그 환경에 적응한 토지이용의 방법

이다. 이상의 것을 하나로 모델화하는 것은 상당히 어려운 작업이기 때문에 보통은 토지의 수요 모델과 공급 모델로 분류하여 분석하고 이것을 한 데 모아 토지이용 모델로 하는 것이 많다.

(i) 수요모델

수요모델은 도시 전체에 대한 토지이용 필요성이 큰 경향을 정량적으로 설명하는 모델로서 일반적으로 저주파 모델에 속한다. 이것은 (그림 3.6)에 나타난 것과 같이 3개의 모델이 고려되어질 수 있다. 그림에서 D_k^c 는 소지역 k에 대한 토지이용 종별 수요의 크기를 나타낸다.

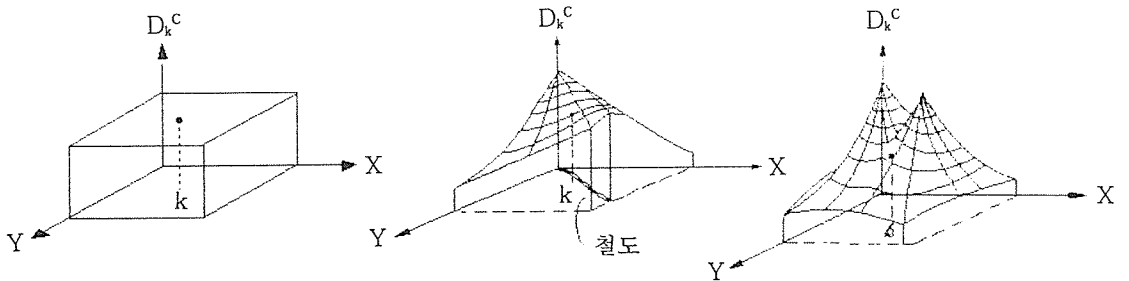
(ii) 공급모델

이것은 용도별로 토지의 적성에서 바라본 공급 가능량을 표시하는 것으로서 적성 모델이라고 불린다. 이와같은 토지의 적성은 약간의 거리가 오차에 따라 극단적으로 변화하는 고주파 모델에

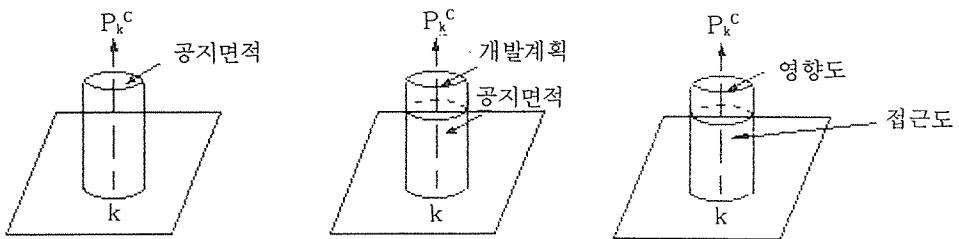
속한다. 이것은 (그림 3.7)에 표시한 것과 같은 3개의 모델을 고려할 수 있다. 그림 중에서 근접도는 소지역이 철도, 학교, 공원등이 토지의 적성과 관련하여 어느정도 가까운가를 정량적으로 표시한 것으로서 영향도는 토지이용 형태간의 친숙한 정도를 정량적으로 표시한 것이다. 즉, 소지역의 주택지로서의 적성이 주변 지역의 주택지 혹은 상업지로서의 적성등과 같은 관계를 표시하는 것이다. 이 2개의 요인을 적당하게 조합하기 위해 혹은 다음과 같은 가중 평균에 의해 접근도 R_k 와 영향도 S_k^c 로 부터 적성도 P_k^c 가 다음식 (3.5)와 같이 구해진다.

$$P_k^c = \frac{aR_k + bS_k^c}{a + b} \quad (3.5)$$

단, k는 소지역을 c는 토지이용 타입을 나타내는 첨자이다.



(그림 3.6) 수요 모델



(그림 3.7) 공급 모델

(iii) 수요 모델과 공급 모델의 결합
 수요 모델과 공급 모델을 결합하면 소지역의 토지이용 예측 a_k^c 가 얻어진다. 다음식이 그 일레이다.

$$a_k^c = D_k^c P_k^c \quad (3.6)$$

3.3.3 부하변환 모델

토지이용 모델에 의해 예측된 미래의 토지이용 상태에서 미래의 소지역의 부하를 산출하는 모델을 부하변환 모델이라고 한다. 부하를 변환하는 모델과 입력 데이터군에 대응하여 다음과 같이 부하량이 예측되어진다.

- a) 토지이용 형태별로 한 수용가당 피크 부하치 등을 입력하여 소지역마다 년도별 피크치를 예측하는 모델
- b) 상기 a)에 토지이용 형태별로 24시간 부하 곡선등을 추가로 입력하여 소지역마다 일부 하곡선을 예측하는 모델
- c) 상기 b)에 최종 수요종별(조명, 냉방기기, 전기기기 종별)의 24시간 부하곡선과 기기수의 예측을 추가로 입력하여 소지역마다 일부 하곡선을 보다 정확하게 예측하는 모델

4. 해외 주요 연구 사례

다음은 해외 부하예측 기법에 대한 대표적인 연구를 상세히 소개하였다.

4.1 계층적 소지역 전력부하 예측

본 기법은 트랜드 기법의 정도 향상을 위하여 각 소지역마다 단독 트랜드법을 적용한 방법을 개량한 것이다. 그러나 이 방법은 복수 area의 예측을 동시에 행하는 방법과는 다르게 area의 분할

방법을 큰 지역에서 작은 지역으로 즉, 매크로에서 마이크로로 예측을 전개하는 것이 특징이다. 이 방법은 처리가 단순하기 때문에 계산기 프로그램이 용이하다는 점과 입력 데이터량을 적게 할 수 있는 이점이 있다. 또한 소지역 단독 트랜드법과 비교하여 예측오차가 1/2에서 1/4로 줄어드는 것으로 알려져 있다.

4.1.1 부하 트랜드의 계층적 관계

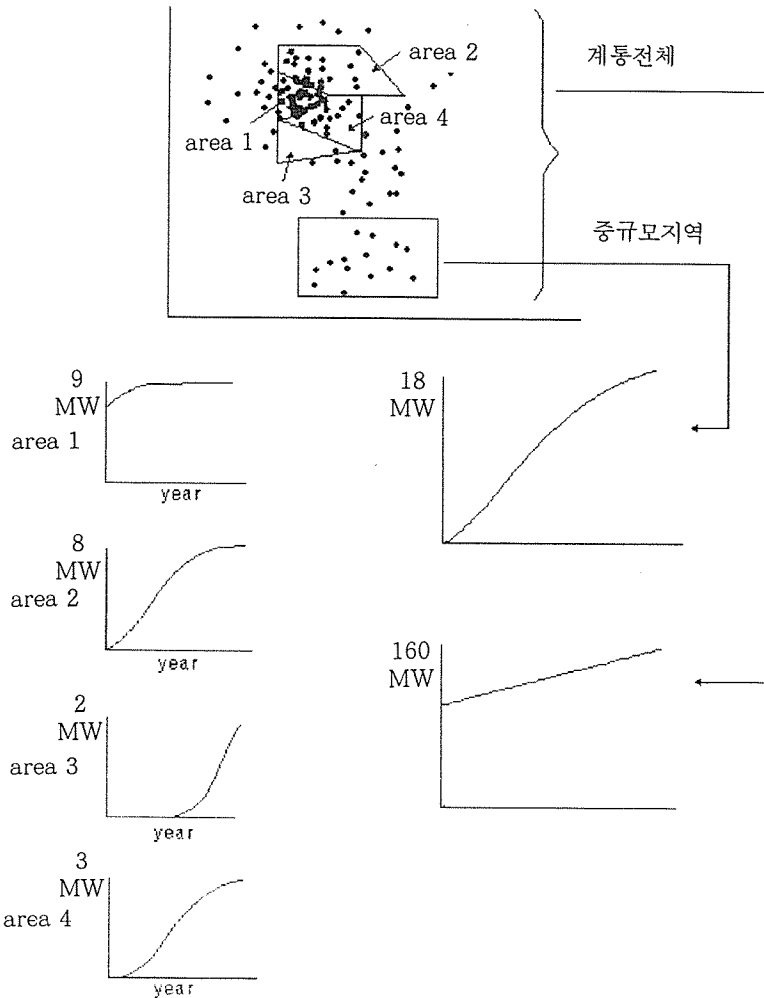
부하성장 곡선은 일반적으로 S자 형태로 되고 소지역의 크기가 작아지면 성장이 급속하게 이루어져 포화 상태에 도달할때까지 거의 시간이 걸리지 않는다. 그러나 계통 전체의 부하성장은 (그림 4.1)과 같이 스무스한 직선 형태의 성장을 보여준다. 본 방법은 이와같은 부하성장 과정의 특징을 고려하여 (그림 4.2)와 같이 대상 소지역의 크기를 큰 지역에서 작은 지역으로 나누고 또다시 그 지역을 나누는 계층적인 예측을 행하는 기법이다.

4.1.2 소지역의 정의

우선적으로 처음에 대상 면적의 분할 방법을 정의할 필요가 있다. 분할 방법은 격자상을 베이스로 하는 방법과 회선등의 공급 면적을 베이스로한 방법이 있는데 어느쪽도 적용 가능하지만 여기서는 설명을 단순하게 하기 위하여 전자의 예를들어 설명하고자 한다.

4.1.3 입력 데이터

입력 데이터로서 각 소지역의 부하 실적치(년 피크치), 포화 부하치 그리고 계통 전체의 부하예측치가 필요하다.



(그림 4.1) 소지역의 부하 트렌드

4.1.4 계산처리 흐름도

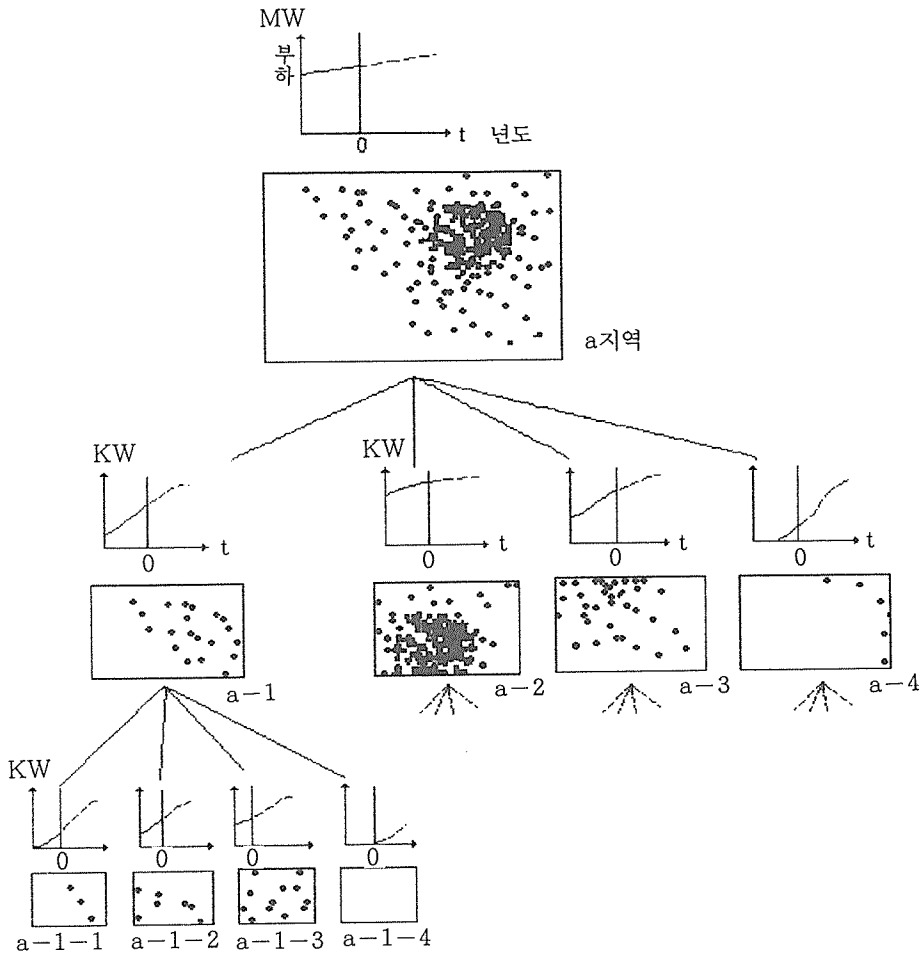
의 계층적인 관계가 발생된다.

(1) 계층적 분할

지금 계통 전체의 면적을 a 로 하고, t 년도의 전 계통 부하의 예측치를 부여한다. 다음에 이 면적을 4등분하여 a 밑에 4개의 상한으로 구분한다. 면적 a 에 대한 각상한 $a-1, a-2, a-3, a-4$ 간

(2) 하위구역의 전력 부하예측

$a-1$ 에서 $a-4$ 까지의 부하예측치 $\hat{I}_1(t), \hat{I}_2(t), \hat{I}_3(t), \hat{I}_4(t)$ 를 트렌드기법을 사용하여 각각 단독으로 구한다. 이때 구하는 방법은 단독 트렌드법 등 간단한 트렌드법이 좋다.



(그림 4.2) 지역의 계층적 관계

(3) 부하예측치의 수정

상위구역 a의 부하 트렌드 $\hat{L}(t)$ 를 우선으로 고려하여 $\hat{I}_1(t), \hat{I}_2(t), \hat{I}_3(t), \hat{I}_4(t)$ 의 합과 다를 경우에는 다음과 같이 수정한다. 단, 여기서 s_i 는 i지역에서의 포화부하이고 따라서 입력 데이터로서 부여할 필요가 있다.

$$\hat{I}_i(t) \leftarrow \hat{I}_i(t) + \left\{ \hat{L}(t) - \sum_{j=1}^4 \hat{I}_j(t) \right\} \cdot \left[\frac{S_i - \hat{I}_i(t)}{\sum_{j=1}^4 (S_j - \hat{I}_j(t))} \right]$$

① $\hat{L}(t) < \sum_{j=1}^4 \hat{I}_j(t)$ 일때

즉, 예측치의 합이 적게 되면 그 차이를 포화부하까지의 미달 속도에 대하여 배분한다. 단, S_i 가

부여되지 않는 경우는 다음과 같이 수정을 행한다.

$$\hat{L}_i(t) \leftarrow \hat{I}_i + \{\hat{L}(t) - \sum_{j=1}^4 \hat{I}_j(t)\}$$

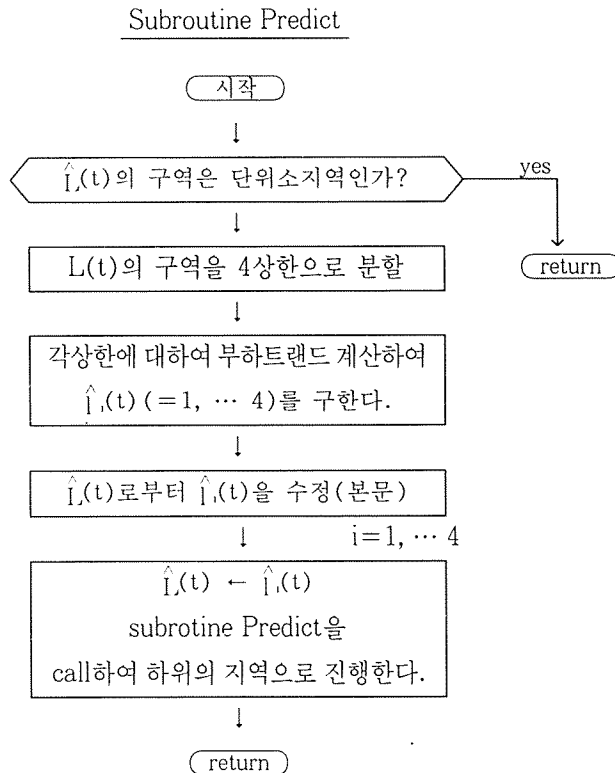
② $\hat{L}(t) < \sum_{j=1}^4 \hat{I}_j(t)$ 일때

$$\hat{I}_i(t) \leftarrow \hat{I}_i(t) + \left\{ \frac{\hat{I}_i(t) - \hat{I}_i(t-1)}{\sum_{j=1}^4 (\hat{I}_j(t) - \hat{I}_j(t-1))} \cdot \left[\sum_{j=1}^4 \hat{I}_j(t) - \hat{L}(t) \right] \right\}$$

즉, 예측치의 합이 크게 되는 경우는 그 차이를 전년도 부하의 신장율로 배분한다.

(4) 재분할

a-1~a-4 각각에 대하여 다시 하위 계층으로 재분할을 시행한다. 예를들어 a-1은 a-1-1, a-1-2, a-1-3, a-1-4의 4 상한으로 분류하여 (1)~(3)과 동일한 모양으로 처리한다. 이 재분할 작업은 최하위의 소지역까지 반복한다. 다음 (그림 4.3)은 이와같은 과정의 흐름도를 도시하였다.



(그림 4.3) 단일 프로세스의 처리흐름도

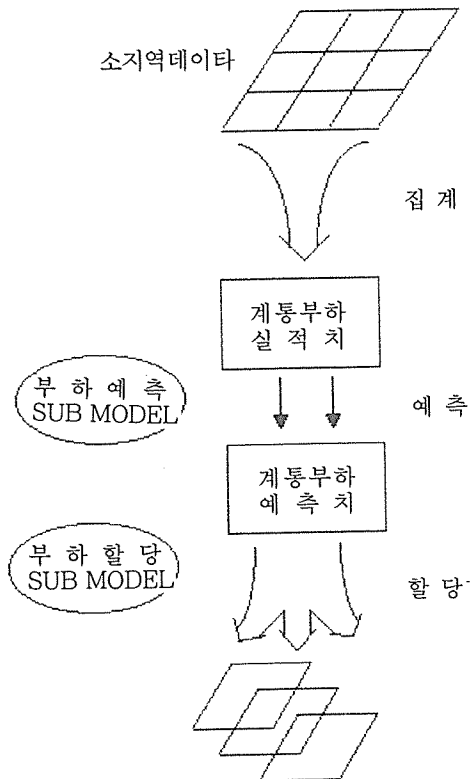
4.3 토지이용 시뮬레이션법에 의한 소지역 전력 부하예측

본 방법은 토지이용과 전력부하의 관계를 이용하여 부하예측을 행하는 토지이용 시뮬레이션 기법의 전형적인 예이다.

4.3.1 기법의 개요

본 기법은 우선 미래의 계통 전체 부하를 구하고 그 값을 소지역으로 할당하는 방법으로서 개략적인 흐름도를 (그림 4.4)에 도시하였다.

- ① 즉, 계통부하예측 서브 모델에서는 부하 트랜드를 기초로 하여 수용가 종별로 부하예측을 행하고 이것에 신설수용가에 관련된 부하



(그림 4.4) 부하예측 기법의 흐름도

예측치를 더한다.

- ② 부하할당 서브루틴에서는 계통부하예측 서브 모델에 의해 예측된 계통 전체의 부하를 각 소지역의 입지에 유리함 즉, 지향도를 기초로 하여 확률적으로 배분한다. 이 지향도는 이용 가능한 토지의 여유가 있는지의 여부와 도심의 근접도를 척도로 하여 결정한다.

4.3.2 입력 데이터의 정의

(1) 소지역

배전계통을 격자상으로 분할하여 각각의 정방형 cell을 소지역으로 정의한다.

(2) 수용가 종별 입력 데이터

수용가 종별은 토지이용에 의해서 분류된다. 예를들어 주택지, 상업지, 공업지등이 있다. 각 수용가 종별 N에 대하여 다음에 열거한 4항목의 데이터가 정의된다.

- ①수용가 종별 부등시성을 고려한 피크 부하 : $d_{n, k}$ (k 년도에 대한 종별 수용가 단위 면적당 피크부하치) 토지이용을 부하로 변환하는 모델에 필요한 데이터이다.
- ② 수용가 호당 부지 면적 : a_n
할당 서브 모델에 대해서 토지의 여유도를 계산하는데 실제 사용되어진다.
- ③ 수용가 수의 신장율 : g_n
계통 전체의 종별 수용가 수를 계산하는데 실제로 사용되어진다. 이 데이터는 도시계획과 공공 시설계획(빌딩건설등)을 이용하여 구한다.
- ④ 토지의 유리성 : $C_{i, j, n}$ (소지역 (i, j)의 도심으로 근접을 척도로한 입지향도) 부하 할

당 서브 모델에서 집중형 또는 분산형의 도시성장과 수용가 종별간의 결부등을 시뮬레이션하기 위하여 사용한다.(Surround & Proximity Factor, Urban Pole)

(3) 소지역 입력 데이터

도시의 지리적인 데이터(인구밀도지구, 토지이용 측면에서의 지도등)로부터 얻을 수 있는 다음의 3가지 항목의 데이터가 소지역 베이스의 입력 데이터로서 정의된다.

- ① 초년도 수용가구수 : $S_{i,j,n,1}$ (소지역 (i, j)에 대한 n 종별에 대한 수용가수)
n 종별의 수용가 1가구가 점유하는 부지면적 a_n 을 이용하여 얻는다.
- ② 토지의 여유도 : $TT_{i,j}$ 및 $T_{i,j,n}$ (소지역 (i, j))에 대한 신설 수요에 적용하기 위한 공지면적의 비율 및 종별 수용가 값, 예로서 만약 소지역의 50%가 공지인데 공지의 반이 주택용 r, 상업용 c로 적합하다면 $TT_{i,j} = 50\%$, $T_{i,j,r} = 25\%$, $T_{i,j,c} = 25\%$ 로 된다.
- ③ 수요의 신설 개시 시기 : $P_{i,j,n}$ (각 소지역에 대하여 종별로 수요가 시작되는 년도) 특히, 현재 무부하이지만 미래 성장이 가능한 지역에 대해서는 중요한 데이터이다.(Zoning data)

(4) 출력 데이터

계통 부하예측 서브 모델에서의 출력 데이터는 다음과 같다. 또한 이 출력 데이터는 부하할당 서브 모델의 입력 데이터로서 사용된다.

- ① 종별 수용가 수의 예측치 : $S_{n,k}$ (예측년도 k에 대한 종별 수용가 수)
- ② 계통 부하의 예측치 : L_k

한편 부하 할당 서브 모델에서의 출력 데이터는 다음과 같다.

- ③ 소지역 부하예측 : $M_{i,j,k}$ (소지역 (i, j)에 대한 k 년도의 부하)으로서 이 값이 최종적으로 구하는 출력 결과이다.

4.3.3 계통 부하예측 서브 모델

이 서브 모델에서는 계통 전체의 부하예측치를 계산한다. 즉, $S_{i,j,n,k}$, g_n , $d_{n,k}$ 을 입력하여 $S_{n,k}$ 와 L_k 를 출력한다.

(1) 계통부하의 예측

시작년도 $k=1$ 의 계통 전체 부하 L_1 은 수용가 수 $S_{i,j,n,1}$ 과 1 수용가 면적당 피크부하의 곱으로 계산된다.

$$L_1 = \sum_i \sum_j \sum_n (S_{i,j,n,1} \cdot d_{n,1})$$

또한 k 년도의 계통 부하 L_k 는 상기 수용가 수의 신장율 g_n 을 고려하여 다음과 같이 계산된다.

$$L_k = \sum_i \sum_j \sum_n (g_n^{k-1} \cdot S_{i,j,n,1} \cdot d_{n,k})$$

(2) 종별 수용가 수의 예측

계통 전체의 종별 n의 수용가 수는 신장율 g_n 과 각 소지역 (i, j)에서의 시작년도 수용가 수로부터 다음과 같이 계산된다.

$$S_{n,k} = \sum_i \sum_j \sum_n (g_n^{k-1} \cdot S_{i,j,n,1})$$

4.3.4 부하할당 서브 모델

이 서브 모델의 주요 기능은 계통 부하예측 서브 모델에 의하여 예측된 지역 전체에 대한 수용가 수의 신장율 $G_{n,k}$ 를 확률적으로 소지역에 할당한다. 여기서 $G_{n,k}$ 는 다음과 같다.

$$G_{n,k} = S_{n,k} - S_{n,k-1}$$

이 값을 아래와 같은 방법으로 배분한다.

① 입지 지향도의 결정

소지역에 대한 토지이용의 지향도를 다음 2가지로 구한다.

(a) 신설수요의 입지지향도 : $Q_{i,j,n}$

종별 n의 신설 수요가 어느 정도 소지역 (i, j)의 입지에 적극적인가를 표시하는 값으로서 예측기간 년도 K와 입력 데이터에서 부여한 신설 개시년도 $P_{i,j,n}$ 과의 차에서 다음식과 같이 구한다.

$$Q_{i,j,n} = K - P_{i,j,n} \quad (K \geq P_{i,j,n} \text{의 경우})$$

(b) 도심의 근접을 척도로한 입지지향도 : $C_{i,j,n}$
이 값은 입력데이터로서 앞서 설명한 바와 같다.

(2) 부하의 배분

$Q_{i,j,n}$ 과 $C_{i,j,n}$ 을 사용하여 신설 수요가 소지역 (i, j)에 발생할 확률 $SP_{i,j,n}$ 을 다음식과 같이 구한다. 즉, Zoning 데이터에 입력한 토지면적($P_{i,j,n}$)보다 더 많은 신설 수요가 있을 경우 그 차이를 $C_{i,j}$ (Surround & Proximity, Urban Pole)을 이용하여 소지역(i, j)에 할당하는 확률 $SP_{i,j,n}$ 을 구한다.

$$SP_{i,j,n} = \frac{C_{i,j,n} \cdot Q_{i,j,n}}{\sum_j \sum_j C_{i,j,n} \cdot Q_{i,j,n}}$$

여기서,

$$\sum_i \sum_j SP_{i,j,n} = 1$$

따라서 k 년도의 소지역 (i, j)에 대한 n 종별 수용가 수 $S_{i,j,n,k}$ 는 신설 수용가 수 G_n 과 발생확

률 $SP_{i,j,n}$ 으로 부터 다음과 같이 구한다.

$$S_{i,j,n,k} = G_{n,k} \cdot SP_{i,j,n} + S_{i,j,n,k-1}$$

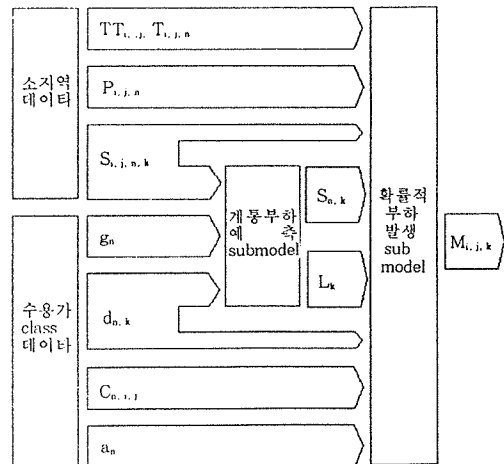
또한, 소지역 부하예측시 $M_{i,j,k}$ 는 수용가 수와 1 가구당 피크 부하로 부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_{i,j,k} = \sum_n S_{i,j,n,k} \cdot S_{n,k}$$

(3) 부지 여유도의 수정

신설 수요가 배분된 각 소지역에 대하여 수용가 종별 1 가구당 부지면적 $a_n \times$ 신설수요량 만큼을 토지의 여유도(빈땅) $TT_{i,j}$, $T_{i,j,n}$ 로 부터 감소한다.

이상과 같이 소지역 부하예측은 이 과정을 반복한다. 다음 (그림 4.5)은 데이터의 흐름을 도시하였다.



(그림 4.5) 데이터 흐름도

4.3.5 적용례

본 기법을 대한민국 창원시를 대상으로 하여 다

음과 같이 적용하였다.

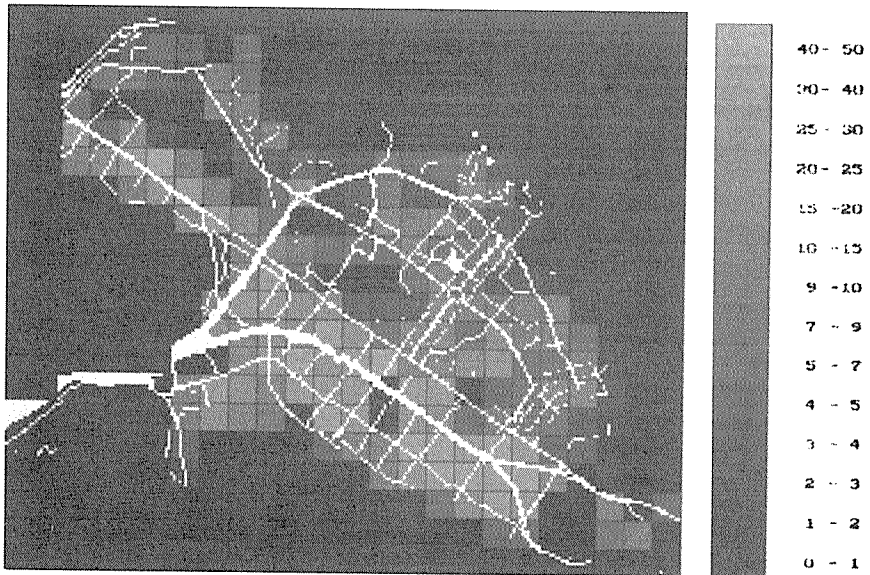
- ① 항공사진 또는 토지의 개관도로 부터 9개의 수용가 종별을 정의하고 수용가 수와 공지 데이터를 얻었다.
- ② 수용가 수의 신장율은 과거 5개년도의 토지 용도 데이터를 이용하여 통계 계산과 회귀분석에 의해서 얻었다.
- ③ 수용가 부하는 부동산성을 가지고 있는 종별 부하에 대하여 기존 기본관리구 부하량에 대

한 최적화 과정과 종별 부하량을 통하여 예측되었다.

- ④ 부하의 면적 배분은 계획된 도시 성장의 년도와 위치와 관련하여 입지의 유리를 나타내는 척도에 의해 결정되었다.
- ⑤ 본 기법에 대한 유효성을 검증하였고 그결과 얻어진 2010년도 창원시에 대한 기본 관리구별 부하밀도를 다음 <표 4.1>과 (그림 4.6)에 도시하였다.

<표 4.1> 2010년도 창원시 기본 관리구별 부하밀도 (단위 : MW/KM²)

| | | | | | | |
|----|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 98 | 1.72 | 4.66 | 2.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 97 | 5.15 | 15.72 | 6.71 | 6.06 | 3.52 | 0.00 |
| 96 | 0.00 | 2.28 | 21.58 | 9.30 | 8.93 | 0.45 |
| 95 | 0.18 | 6.51 | 20.69 | 26.37 | 16.49 | 3.07 |
| 94 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 6.72 | 18.23 | 4.12 |
| | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 |



(그림 4.6) 2010년도 창원시 각 기본관리구별 부하밀도

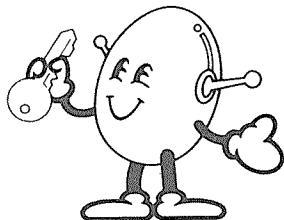
5. 결 론

배전계통을 대상으로한 부하예측 기법에 대하여 일본 및 미국을 중심으로 문헌조사를 행하였다. 이상의 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ① 배전설비 확충계획에 필요한 수십년 앞선 장기 부하예측은 계통 전체나 도시 부하의 신장율을 구하여 이것을 각 소지역에 배분하는 방법이라고 말할 수 있다. 여기서 배분이 실제로 중요하기 때문에 배분에 앞서 소지역의

평가 방법이 있다. 현재까지는 이 평가 방법으로서 토지이용 데이터를 이용한 방법이 주류를 이루고 있는 실정이다.

- ② 항공사진 또는 토지의 개관도로 부터 토지용도 데이터를 얻는 방법은 많은 시간과 인력이 소모되므로 최근에는 인공위성에 의해 얻어진 디지털 이미지 데이터를 복잡한 컴퓨터 프로그램으로 처리한 지리적 정보를 이용하여 토지용도 데이터를 판정하는 새로운 방법이 미국을 중심으로 시도되고 있다.



지적재산권보호

지적재산권 보호만이
기술개발을 앞당깁니다