

## 검침데이터 기반의 시간대별 설비부하 분석 및 시뮬레이션 모델 개발

신진호, 이봉재, 김영일, 송재주  
한전 전력연구원

### Development of Time-series Load Analysis and Simulation Model for Power Facilities based on Meter Reading Data

Jin-Ho Shin, Bong-Jae Yi, Young-Il Kim, Jae-Ju Song  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 배전계통과 설비의 부하분석은 계측장치에 의존하여 왔으며, 대규모인 배전설비의 부하감시는 막대한 설치 및 유지보수 비용이 수반된다. 본 논문에서는 계측장치를 설치하지 않고도 정기적으로 취득되는 고객의 검침데이터를 이용하여 배전설비의 시간대별 부하분석 및 시뮬레이션을 수행할 수 있는 모델을 개발하고, 그 과정 및 결과를 제시한다. 이 모델은 고압고객의 월계검침 및 저압고객의 월계검침 데이터를 구간계통에 적용하고 조류계산을 수행하여 15분 단위로 회선이하 구간 및 변압기의 부하를 분석할 수 있다. 또한, 특정 시점의 부하를 증감시키거나 다른 설비로 전환하여 시간대별 부하가 어떻게 변화하는지 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

#### 1. 서 론

우리 사회가 디지털 경제를 기반으로 하는 고도 지식정보화 시대로 진입함에 따라 전력산업도 이러한 변화에 적극적인 대응이 필요한 상황이며, 전력산업의 효율과 경쟁력을 높이고 디지털 사회에서 요구되는 새로운 전력시스템을 효과적으로 구축하기 위해서는 전력기술과 IT의 접목이 전제되어야만 한다. 본 논문에서는 대용량 데이터 정보처리기술과 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System) 기술을 전력설비에 접목함으로써 새로운 부하분석 기법을 개발하고 지식정보를 창출하는 모델을 제시하고자 한다.

현재 배전계통의 설비현황을 살펴보면 회선 7천여개, 선로공장 39만 c-km, 전주 760만개, 변압기 170만대, 개폐기 12만대에 달한다. 이러한 대규모의 설비를 회선 이하의 구간이나 변압기 단위로 순간순간 변화하는 부하를 감시하기는 대단히 어려운 실정이다. 일부 개폐기나 변압기에 부하를 측정하는 장치를 설치하여 감시하고 있으나 모든 설비에 설치하기는 무리일 것이다.

본 논문에서는 모든 고객으로부터 15분 또는 월단위로 생성되는 검침데이터를 이용하여 회선이하 설비의 부하를 15분 단위로 분석할 수 있는 새로운 모델을 제시하고자 한다. 이렇게 상세하게 시간단위로 회선이하의 설비를 분석하게 되면 정확하게 언제 어떤 구간이나 설비에서 얼마의 과부하가 걸리는 지, 얼마의 전압강하나 손실이 있는 지 찾아낼 수 있으며, 정전이나 고장이 발생한 경우 그 시점에 해당 선로의 부하상태는 어떠한지 분석할 수 있다. 또한 특정 시점의 부하를 증감시키거나 다른 설비로 전환하여 시간대별 부하가 어떻게 변화하는지 시뮬레이션을 수행해 봄으로써 설비운영의 효율화를 도모하고 최적화된 부하계통으로 운용할 수 있을 것이며, 신규 설비 확충시 기존 선로의 부하를 확인하여 보다 정확한 설비 투자가 이루어질 것으로 기대된다.

이 모델의 개발을 위해 최신 IT 기술의 적용은 필수적이다. 배전계통이 공간적으로 분포되어 있는 특성상 지리정보시스템이 활용하고 사용자의 편리성을 고려하여 Web 환경에서 이용할 수 있는 인터넷 GIS를 적용하였다. 또한 전체 배전 부하의 70%를 차지하는 계약전력 100kW 이상인 고압고객의 15분 단위의 대용량 자동원격검침(AMR: Automatic Meter Reading) 데이터를 연계하고 15분 단위의 부하를 계산하고 분석하기 위해 데이터 웨어하우스와 온라인분석처리(OLAP) 기법을 적용하였다. 본문에서 부하계산 과정과 방법, 시뮬레이션 방법을 설명하고, 이 IT기술을 이용한 모델 시스템의 구현결과를 기술하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 부하계산 과정 및 방법

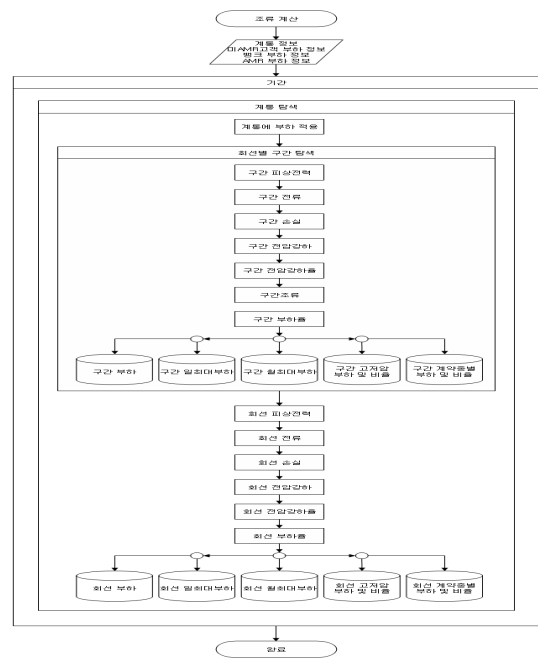
배전계통 및 설비의 부하분석을 위해 부하를 계산하는 과정은 기초데이터 생성, 벡트패턴 생성, 미AMR 고압고객 부하패턴 생성, 조류계산 4단계로 처리된다. 첫 번째로 기초데이터 생성은 구간으로 구성된 회선별 단선도를 생성하고 계약종별 기본 부하패턴을 생성한다. 단선도는 계통이 Loop되는 구간과 Isolation되는 구간을 찾아내고 해당 구간을 연결하고 보정하여 구간의 전원측과 부하측의 결정한다. 변전소 인출정보로

Root 노드를 생성하고 다회로 개폐기와 분기점에서 구간이 분리되고 지중뱅크와 개폐기가 개방상태이고 ALTS나 하단의 구간정보가 없는 곳은 상위 전원측 설비로 Pointer를 이동하면서 3진 트리 회귀적(Recursive) 알고리즘으로 회선별 단선도를 생성한다. 기본 부하패턴은 월검침하는 고객의 부하를 15분 단위로 생성하기 위해 AMR 데이터를 이용하여 계약종별 부하패턴을 생성하는 것으로서, AMR고객의 유효전력을 계약종별 시간대별로 평균사용량을 계산하고, 평균사용량중에서 계약종별 최대값을 구한 후 최대값을 기준으로 백분율로 환산하여 기본 부하패턴을 생성한다.

뱅크의 부하패턴 생성은 뱅크정보 추출 → 고객 사용량 정보 추출 → 저압 기본 계약종별 패턴 추출 및 적용 → 뱅크별 부하패턴 생성 → 뱅크 일최대부하 생성 → 뱅크 동력전등 비율 통계처리 → 뱅크 계약종별 비율 통계처리 순서로 진행한다. 저압고객별로 15분 단위의 부하량을 만드는 것은 너무 많은 레코드가 생성되기 때문에 가공뱅크와 지중뱅크별로 부하량을 계산한다. 뱅크에서 수용하는 저압고객의 월별 사용량을 계약종별로 합산하고 고객의 월사용량을 해당 부하패턴에 대입한 다음, 15분 단위로 계약종별 사용량을 합산하여 뱅크별 일별 사용량을 생성한다.

미AMR 고압고객 부하패턴은 고객단위로 계약종별 기본 부하패턴에 월검침량을 대입하여 생성한다. 이러한 과정을 거쳐 AMR 고압고객 검침량, 미AMR 고압고객 부하패턴량, 지중뱅크 부하패턴량, 가공뱅크 부하패턴량을 구간 단위로 합산하면 구간 부하가 15분 단위로 생성되고, 회선별 구간 부하를 합산하면 회선 부하가 생성된다. 이 부하를 이용하여 조류계산 알고리즘을 수행하게 된다.

조류계산은 특정 모선에서의 모선전압, 계통손실, 전력조류 데이터를 얻는 것이다. 배전계통은 운영 특성상 방사상(Radial)구조로 되어 있기 때문에 트리 구조의 계산방법이 적절하다. 이 논문에서는 Forward Sweeping 기법을 적용하였으며, 아래 순서도와 같이 회선별 단선도에서 각 구간의 유효전력(PL)과 무효전력(QL)을 이용하여 하위 구간을 탐색하면 피상전력, 전류, 손실, 전압강하(율), 조류, 부하율을 계산하며 종료 시점에서 회선 부하가 산출된다.



〈그림 1〉 조류계산 순서도

## 2.2 부하 시뮬레이션 방법

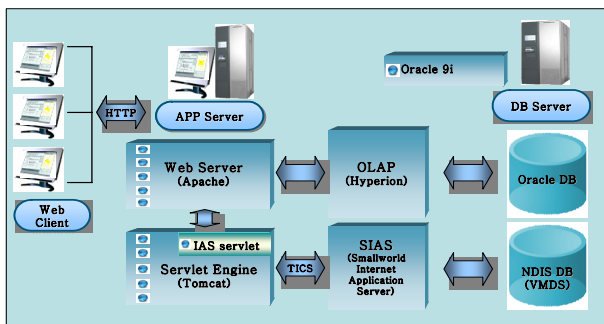
특정 구간 또는 변압기에 부하를 증감시켜 수용가능하지 시도해보는 부하변동 시뮬레이션과 부하를 다른 구간이나 변압기에 넘겨보는 부하전환 시뮬레이션 4가지를 개발하였다. 여기에서는 내부적으로 어떻게 처리를 하는지 설명한다.

시뮬레이션의 실행 방법은 먼저 Web에서 사용자로부터 입력 파라미터를 받아 DB에 입력을 하고 Sequence 번호와 시뮬레이션 종류코드를 넘겨준다. 응용 프로그램에서 시뮬레이션 처리를 하고 완료되면 결과값을 DB에 입력하고 Web에 Sequence 번호와 시뮬레이션 종류코드를 반환하면 Web에서는 DB를 검색하여 사용자에게 결과값을 화면에 보여지게 된다. 시뮬레이션을 할 때는 이미 조류값들을 가지고 있는 상태이므로 유효전력, 무효전력 값들을 이용하여 전류, 손실, 전압강하 계산법을 이용하여 계산한다.

예를 들어 구간 부하변동 시뮬레이션은 부하 변동조건 정보 조회 → 계통 구성 → 부하변동 시뮬레이션 처리 → 결과 입력 순서로 진행된다. 계통 구성은 변동 조건에 해당하는 회선정보를 이용하여 계통을 구성하고 기존 추출되어진 조류계산 결과값들을 계통에 적용한다. 부하변동 시뮬레이션 처리는 변동 조건정보에 있는 구간 및 부하, 시간 정보 등을 이용하여 첫 번째 구간부터 변동구간까지의 유효전력을 변동 부하만큼 계산정하여 증가 또는 감소(유효전력 부하값은 계약종별 코드에 맞는 패턴 값을 적용)시킨다. 그 다음 다시 조류계산을 통하여 부하율, 피상전력, 유효전력, 무효전력, 전류, 손실, 전압강하를 재조정한다.

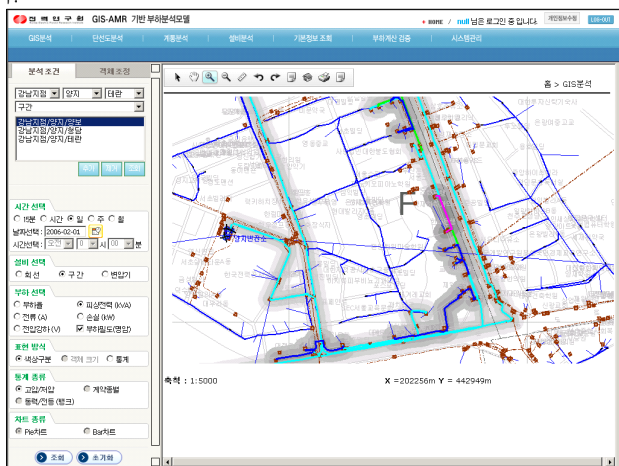
## 2.3 모델 시스템 구현

모델 시스템 구현을 위한 개발환경은 아래 그림과 같이 3-tier Web Architecture로 구성하였다. 서브시스템과 인터넷 GIS 엔진(SIAS)은 아파치(웹서버)와 톰캣(JAVA Servlet 엔진)기반 위에 구성하였다. GIS화면은 웹 브라우저에서 명령을 내리면 웹서버와 Servlet 엔진에서 해석하고, 인터넷 GIS 엔진(SIAS)으로 넘기면 SIAS는 스몰월드 DB(VMDS)에 접속하여 관련내용을 가져와 이미지를 만들고 웹에서 만들어진 이미지를 웹에서 불러와 브라우저를 통해 보여준다.



〈그림 2〉 모델 시스템 개발구조

〈그림 3〉과 같이 인터넷 GIS 환경에서 회선, 구간, 변압기에 대한 시간대별 부하현황과 통계를 분석할 수 있도록 구현하였으며, GIS의 기본적인 선택, 이동, 확대, 축소 등을 함께 제공하였다. 사용자가 선택한 계통정보(회선/구간), 시간정보, 부하종류 등 다양한 조건을 만족하는 자료를 GIS 화면상에 색상, 객체크기, Bar차트, Pie 차트, 부하밀도 등 여러 가지 형태로 표현함으로써 부하의 공간분석이 가능토록 개발하였다.



〈그림 3〉 인터넷 GIS 부하분석

회선과 구간의 실 부하 데이터 조회와 GIS상에서 위치 조회는 가능하나 특정 회선 전체 계통에 대한 계통정보를 한눈에 파악하기는 쉬운 일은 아니다. 그래서 단선도분석 화면을 Active-X형태로 개발하여 웹과 연동시켜 웹상에서 단선도를 통해 회선과 구간에 대한 부하정보를 확인할 수 있게 개발하였다. 특정일의 부하를 조회하는 것뿐만 아니라 시간 이동(이전시분, 다음시분, 어제시분, 내일시분)하면서 단선도를 통한 부하분석을 가능하게 하였다. 또한, 회선 또는 구간, 변압기에 대해 온라인분석처리(OLAP) 기법을 이용하여 drilling, pivoting 등 사용자가 원하는 다양한 형태로 부하분석을 할 수 있도록 개발하였다.



〈그림 4〉 부하변동 시뮬레이션

부하변동 시뮬레이션은 특정 계통이나 설비에 부하를 증가/감소 시켰을 경우 해당 회선/구간에 어떠한 영향을 주는지에 대해 시뮬레이션을 수행하는 모듈로서 부하를 변동시킬 값과 기준시간을 선택한 다음 실행시키면 부하를 변동시키기 전과 후에 대하여 결과값을 표와 그래프로 보여준다. 회선 부하전환 시뮬레이션은 회선에 대한 최적화 시뮬레이션으로 특정 구간을 인접한 다른 회선으로 대체하여 부하평준화를 이룰 수 있는지를 시간대별로 시뮬레이션하고, 변압기 부하전환 시뮬레이션은 특정 부하를 다른 변압기로 이동시켰을 때 부하가 시간대별로 어떻게 변화되는지 시뮬레이션 할 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 요금계산용으로만 활용되는 검침데이터를 배전설비 및 계통과 연계하여 공간적 분포특성을 감안한 시각적 부하분석과 시뮬레이션을 수행할 수 있는 모델의 개발과정과 결과를 제시하였다. 이를 통해 부하에 대한 종합적 이해와 분석, 복잡하고 방대한 데이터를 시각적으로 전달함으로써 이해도 높은 현황 및 문제점 파악, 부하의 공간적 분포특성 분석 등이 가능하게 될 것이다. 또한 변전소 인출단부터 말단까지 회선 및 구간, 변압기의 부하상황을 15분 단위의 부하패턴을 분석하고 부하전류, 피상전력, 유효전력, 무효전력, 전압강하, 전압강하율, 손실, 부하율 등 부하정보 제공으로 배전 설비운영의 효율화에 한걸음 더 다가갈 수 있는 환경을 마련하였다.

향후에는 방대한 양의 데이터에서 새롭고 유용한 지식을 발견해 내는 데이터 마이닝 기법을 적용할 계획이다. 전력부하 시계열성 데이터와 공간성을 지니는 전력설비 데이터에 시공간 데이터 마이닝 기법을 적용하여 새로운 패턴과 활용 모델을 창출하는 지식 탐사 시각화 도구를 개발할 예정이다. 또한, 운영계 시스템에서 부하분석에 필요한 데이터를 지속적으로 추출 및 연계하여 장기간의 데이터를 확보하여 분석하고, 월 검침되는 고객의 부하패턴을 보다 정확하게 생성하기 위해 날씨 연관도 적용, 주중 및 휴일 부하패턴 보정, 변압기 부하의 비교 검증 등 여러 가지 방안을 마련하여 데이터의 신뢰성을 개선할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Jian Liu, "Power flow analysis on simplified feeder modeling", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 19, 279-287 pages, 2004
- [2] Chen, C.S. "Temperature effect to distribution system load profiles and feeder losses", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 16, 916-921 pages, 2001
- [3] Hébrail G. "Practical data mining in a large utility company", COMPSTAT, 2000
- [4] Billinton, R. "Predicting bulk electricity system reliability performance indices using sequential Monte Carlo simulation", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 21, 909-917 pages, 2006