

# 시공간 전력부하분석모델 설계 및 구현

신진호, 이봉재, 송재주, 이정일, 김영일  
전력연구원  
e-mail:jinho@kepri.re.kr

## Design and Implementation of Spatio-temporal Power Load Analysis Model

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

### 요 약

실세계의 복잡하고 종합적인 정보를 빠르고 효율적으로 분석·처리할 수 있는 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System)의 효용성이 인식되면서 전력산업에서도 전국의 시설물 관리를 위해 수치지리정보를 구축하였다. 한편, 약 10만호의 고압고객을 대상으로 15분 단위의 전력사용량을 무선 통신망을 이용하여 자동원격검침(AMR: Automatic Meter Reading)하고 있다. 본 논문에서는 산재된 대용량의 AMR 시계열성 데이터와 공간성을 지니는 전력설비 데이터를 이용하여 시각적 수요분석 및 공간적 분포특성 부하분석을 할 수 있는 새로운 활용모델을 개발하고 그 결과를 제시하고자 한다.

### 1. 서론

전 세계적으로 GIS산업은 주류를 이루어오던 단순 수치지도 제작이나 시설물 관리와 같은 기초단계에서 벗어나 Internet GIS, Component GIS, 3D GIS, Mobile GIS, G-CRM, 물류관리 등에서 기술발전을 거듭하고 있으며, 시공간분석에 관련된 다양한 Application에 GIS의 활용가치를 높이고 있다. 전력산업에서도 가공, 지중을 망라한 현장설비정보가 GIS에서 활용 가능한 Digital Map 형태로 구축되어 대부분의 배전업무를 효과적으로 수행할 수 있도록 개발되어 있다.

한편, 전국 약 10만호의 고압고객을 대상으로 15분 단위의 검침데이터를 CDMA 무선통신망을 이용하여 자동원격검침을 시행하고 있다. 최근 검침데이터에 대한 활용의 개념이 단순 요금부과용에서 전력회사와 고객 모두를 위한 고부가가치 데이터로 바뀌고 있으며, 소비패턴 분석, 수요분석 및 예측, 에너지관리 컨설팅, 전력품질 분석, 부하관리, H/A, 화재예방, 건물제어 등 다양한 부가서비스 기술개발이 활발히 진행되고 있다.

최근 해외에서는 전력계통 GIS에 원격검침 데이터를 접목하여 배전설비 운영의 효율화를 도모하고

안정성 및 위험성을 평가하며 부하 성장의 영향에 따라 계통을 설계하고 계획수립에 반영하기 위한 배전자산최적화(DAO : Distribution Asset Optimization) 연구가 진행되고 있다[1].

이러한 기술개발 추세를 반영하여 본 논문에서는 단순 Text 위주로 제공되는 검침정보를 배전설비 및 계통과 연계하여 공간적 분포특성을 감안한 시각적 수요분석 및 부하관리 가능한 새로운 모델을 개발하고 그 결과를 제시하고자 한다. 이를 통해 검침데이터에 대한 총괄적 이해와 분석, 복잡하고 방대한 데이터를 시각적으로 전달함으로써 이해도 높은 현황 및 문제점 파악, 부하의 공간적 분포특성 분석 등이 가능하게 될 것이다.

### 2. 관련 연구

인터넷 환경에서의 GIS 데이터 공유 표준화를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 유럽표준화기구(GEN/TC287), 국제표준화기구(ISO/ TC21), 미국연방지리정보위원회(FGDC), 개방형 GIS 컨소시엄(OGC) 등이 대표적인 기구이다. 그 중에서 선진 GIS 업체와 기관 중심으로 GIS 표준화를 위해 설립된 OGC는 주도적인 표준화 기구로서 GIS 데이터

포맷과 무관하게 웹 환경에서 상호운용성을 제공할 수 있는 지형정보 처리를 위한 표준을 제시하고 있다. 또한 XML 기반의 표준 공간 데이터 포맷인 GML(Geography Markup Language)과 피처 인스턴스 단위의 지리정보를 접근하기 위해 새로운 Web Feature Service 구현 명세를 제안하였다[2].

전력산업의 규제완화 및 구조개편은 여러 가지 방면에서 막대한 영향을 미치게 될 것이다. 데이터 마이닝은 이런 변화하는 환경에서 중요한 역할을 할 수 있는 핵심 기술이다. 현재까지 전력 산업 분야에 데이터 마이닝 기술을 적용하고자 하는 연구는 대부분 데이터 마이닝의 “분류”와 “예측” 능력에 초점을 맞추고 있다. 즉, 주어진 데이터를 분석하여 대량의 데이터 내에 숨겨진 관계나 패턴을 찾아내고 이러한 패턴을 기반으로 이미 알려지지 않은 값을 예측하는 분야에서 성공적으로 사용되고 있다. 특히 이러한 패턴 분석 및 예측 기능을 적용하여 전력 사용량을 예측하고 에너지 사용을 줄이기 위한 연구나 설비 오류 예측을 통한 운영비용 최소화 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 물론 데이터 마이닝 적용 이전부터 기초적인 통계 기법들을 기반으로 한 데이터 분석 연구들이 수행되어 왔으나 전력 시장 여건이 복잡해지고 여러 가지 비선형적인 문제가 증가하게 되면서 기존의 선형회귀 방법이나 단순한 통계 분석 기법들로는 결과의 정확도 확보가 어려워지게 되었다. 따라서 인공 신경망, 전문가 시스템, 시계열 분석 기법 등을 적용한 연구가 데이터 마이닝 분야와 전력 시스템과의 연관 분야로써 더욱 지능화된 패턴과 규칙을 찾아내기 위한 기술개발이 시도되고 있다[3,4,5,6].

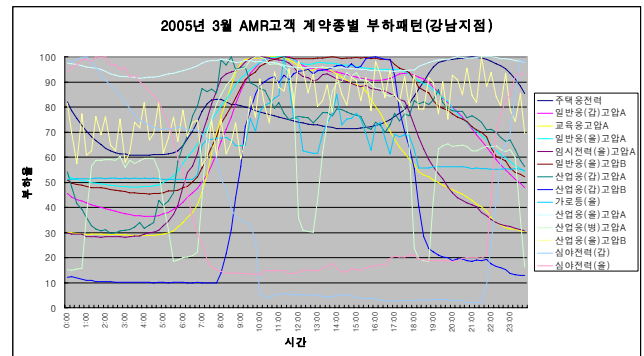
### 3. 전력부하분석모델 설계 및 구현

#### 3.1 부하집계 데이터베이스 구축

부하분석모델을 개발하기 위해서는 부하계산에 필요한 배전선로와 사용량 데이터의 구축이 선행되어야 한다. 배전선로와 고압고객이 상대적으로 많은 시범사업소를 선정하여 2004년 10월부터 2005년 9월까지 1년간의 데이터를 추출하여 부하패턴 분석이 가능하게 구축하였다. 회선, 구간, 개폐기, 뱅크 등 설비 관련 지리정보와 AMR 시스템에서는 원격검침 고객정보와 15분 검침정보를 추출하고, AMR을 시행하지 않는 고객기본정보와 월별 사용량 데이터, 그리고 변전소 배전선로 인출단의 1시간 단위의 부하량을 추출하였다. 추출된 데이터는 오류 데이터에

대한 보정과정을 거쳐 부하계산용 데이터베이스로 구축하였다.

미AMR 고압고객은 월별 사용량만 알 수 있으므로 AMR 고압고객의 유효전력을 이용하여 15분 단위의 부하를 산정하였다. 먼저 AMR 고객의 유효전력을 월별로 계약종별 시간대별(15분)로 평균사용량을 계산하고, 평균사용량중에서 계약종별 최대값을 구한 후, 최대값을 기준으로 백분율로 환산하여 아래 그림과 부하패턴을 만들었다. 그 다음 고객의 월 사용량을 일수로 나누어 하루 사용량을 만들고, 해당 계약종별 부하패턴에 대입시켜 15분 단위 사용량을 만들었다.



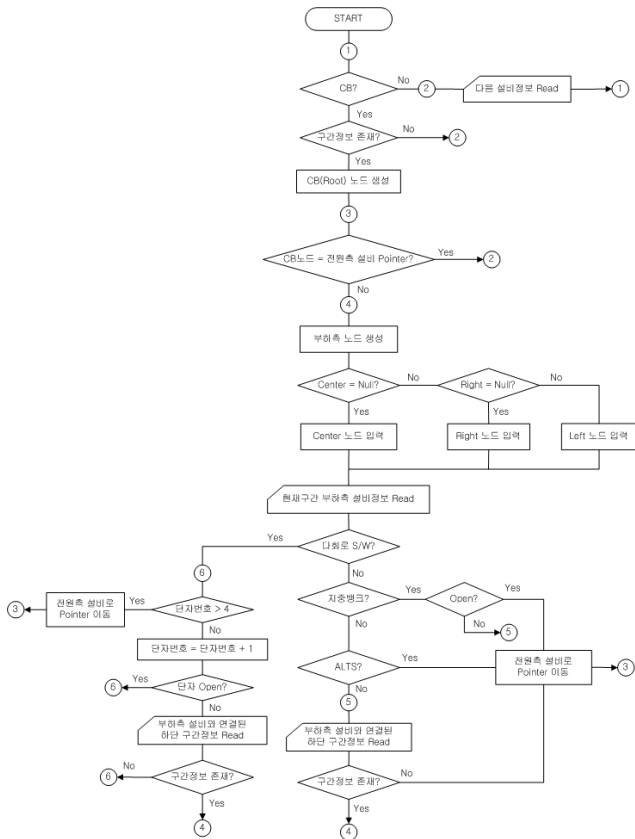
[그림 1] AMR고객 계약종별 부하패턴

저압고객도 월별 사용량만 알 수 있으므로 미AMR 고압고객과 유사한 방법으로 뱅크 단위로 부하를 산정하였다. 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.

#### 3.2 삼진트리를 이용한 부하계산

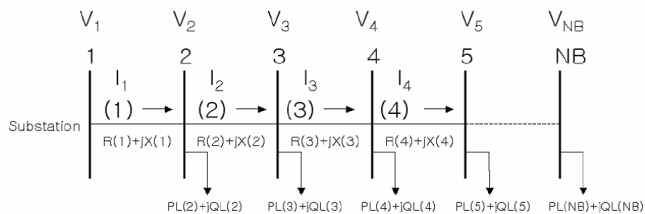
추출된 설비도 데이터는 조류계산을 위해 구간별로 구성된 회선별 단선도를 생성하여 배전계통을 검증하였다. 계통이 Loop되는 구간과 Isolation되는 구간을 찾아내고 해당 구간을 연결하고 보정하여 구간의 전원측과 부하측의 결정하였다. 그림과 같이 Flowchart는 3진 Tree 회귀적(Recursive) 방법으로 단선도를 생성하는 알고리즘이다.

변전소 인출정보로 Root 노드를 생성하고 다회로 개폐기와 분기점에서 구간이 분리되고 지중뱅크와 개폐기가 개방상태이고 ALTS나 하단의 구간정보가 없는 곳은 상위 전원측 설비로 Pointer를 이동하면서 3진 트리를 생성하게 된다.



[그림 2] 삼진트리 이용 단선도 생성 Flowchart

발전기에서 생산된 전력은 송전 및 배전 선로를 통해 수용가에게 전송되어 소비되는데 이러한 전력의 흐름을 전력 조류(Power Flow)라고 한다. 조류 계산은 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, Main feeder만 있는 경우만 설명하며 lateral(분기선)이 있는 경우는 3진 트리방식으로 계산하므로 동일하게 적용된다.



[그림 3] 배전계통 모델 및 전기적 등가

위 등가모델로부터 다음 식을 유도해 낼 수 있다.

$$I(1) = \frac{|V(1)| \angle \delta(1) - |V(2)| \angle \delta(2)}{R(1) + jX(1)}$$

$$P(2) - jQ(2) = V^*(2)I(1) \quad (3.1)$$

즉, 1번과 2번 모선에 흐르는 전류는 두 모션간의 전압차를 1번 branch의 임피던스로 나눈 값과 같고, 2번 모션을 통과하는 전력은 2번 모션 전압에 2번 모션으로 들어오는 전류의 곱이다. 두 식으로부터 2번 모션의 전압 식을 유도해 낼 수가 있다.

$$|V(2)| = \left[ \left\{ \left( P(2)R(1) + Q(2)X(1) - 0.5|V(1)|^2 \right)^2 \right\}^{1/2} \right]^{1/2} - \left[ \left\{ - \left( R^2(1) + X^2(1) \right) \left( P^2(2) + Q^2(2) \right) \right\} \right] - \left( P(2)R(1) + Q(2)X(1) - 0.5|V(1)|^2 \right) \quad (3.2)$$

위 식을 보면 다음 모션의 전압을 구하기 위해서는 그 모션의 유효, 무효 전력을 알아야 하며, 또한 이전 모션의 전압을 알아야 한다. 이전 모션의 전압은 변전소 인출단 전압이므로 알 수 있으나, 다음 모션을 통과하는 전력은 다음 식으로 구할 수 있다. 즉, 2번 모션에 들어오는 전력은 2번 모션의 부하(PL(2), QL(2))와 다음 모든 모션의 부하(PL(i)), 그리고 1번 branch를 제외한 모든 branch의 전력손실(LP(i))을 더한 값이 된다. 여기서, 전력을 구하기 위해서는 모든 모션의 부하와 1번 branch를 제외한 모든 branch의 손실을 알아야 한다. 그 손실은 다음 식으로 구할 수 있다.

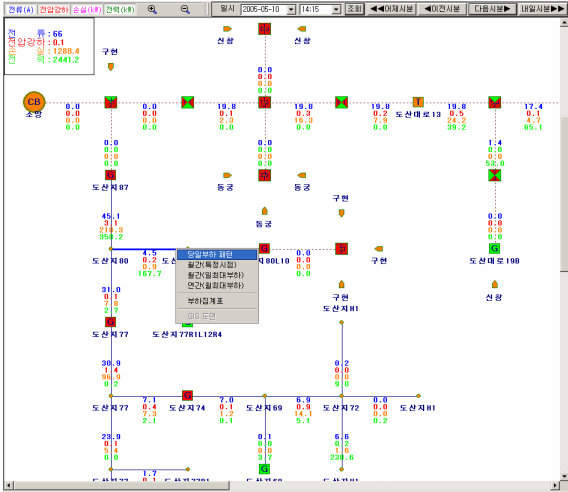
$$LP(1) = \frac{R(1) \times [P^2(2) + Q^2(2)]}{|V(2)|^2}$$

$$LQ(1) = \frac{X(1) \times [P^2(2) + Q^2(2)]}{|V(2)|^2} \quad (3.3)$$

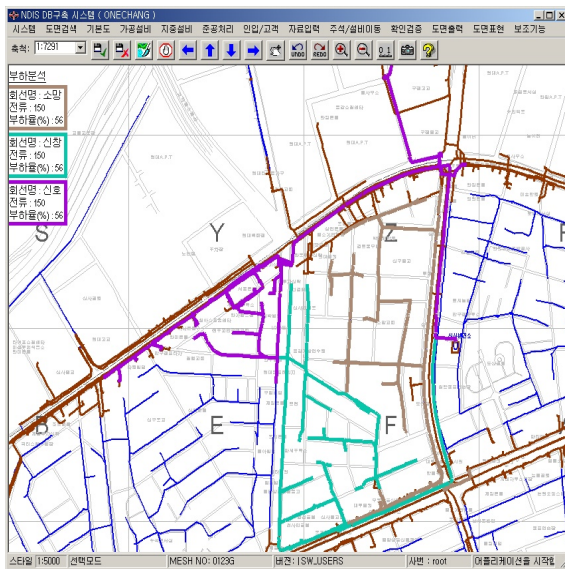
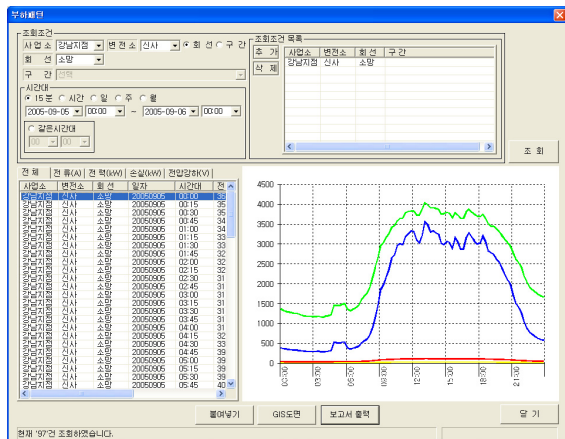
식 (3.3)을 보면, branch의 전력손실을 구하려면 i+1모션의 전압을 알아야 한다. 따라서 처음 식으로 되돌아가 다시 생각해 보면, i+1 모션의 전압을 알기 위해서는 i+1 모션의 전력을 알아야 하며, i+1 모션의 전력을 알기 위해서는 모든 branch의 전력손실을 알아야 하고, 전력손실을 알기 위해서는 다시 모든 모션의 전압을 알아야 한다. 결국 순환되는 문제이기 때문에 우선 모든 branch에서의 전력손실을 0으로 초기치를 설정하고, i+1 모션의 전력을 구한 후, i+1 모션의 전압을 구한다. 이러한 방법을 마지막 모션까지 반복하여 구한다. 마지막 모션까지 구한 후, 처음부터 다시 구하여 손실값의 차이를 비교하여 오차범위내로 들어오게 되면 종료한다.

### 3.3 부하분석모델 구현 결과

삼진 트리로 구성된 계통정보를 이용하여 회선별 단선도에서 해당 회선 및 구간들에 부하정보를 선택적으로 표현하고, 시간대별 비교 분석이 용이하도록 구성하였다.



[그림 4] 회선별 단선도 이용 부하분석



[그림 5] 부하패턴 분석 및 GIS 연계

15분 단위의 부하계산 결과를 이용하여 다양하게 부하패턴을 조회하는 화면으로, 시간대에서 15분/시간/일/주/월 단위를 선택하면 해당 시간대의 최대부하를 산정하여 조회결과 리스트와 부하패턴을 보여준다. GIS도면에서 공간부하분석이 가능하도록 부하계산 결과를 연동하여 아래 그림과 같이 표현하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 전력계통 지리정보시스템과 원격검침 데이터를 연계하여 시공간 부하분석모델을 개발하고 그 구현과정을 제시하였다. 원격검침 데이터의 유효전력과 무효전력 값을 이용한 조류계산을 수행하여 변전소 인출단 부터 말단까지 순간순간 변화하는 회선 및 구간의 부하상황을 15분 단위의 부하패턴으로 분석하고 GIS 환경에서 표현하여 공간분석이 가능토록 구현하였다.

향후에는 부하분석모델에서 계산된 회선 및 구간의 부하패턴을 이용하여 원격검침 수요정보 및 전력 부가서비스 모델과 공간적 분포특성을 고려한 원격검침 데이터 현황 및 통계 서비스 모듈을 개발하고, 부하절체, 신규 수용, 과부하선로 해소, 고장선로 부하분석 등과 같은 현장에서 효과적으로 활용할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발할 예정이다. 또한 다양한 시공간 데이터 마이닝 기법을 적용하여 새로운 지식패턴을 발견하는 모듈을 개발하고 보다 지능화된 공간분석 도구를 개발할 예정이다.

### 참고문헌

- [1] 전력연구원, "원격검침 데이터 기반 전력부가서비스 시스템 구축 연구 : 해외 기술자문 보고서" 2005
- [2] Open GIS Consortium Inc. "Simple Features Specification" 2000
- [3] Power Quality Analysis Tools, White paper, EPRI,
- [4] Hébrail G. "Practical data mining in a large utility company", COMPSTAT'2000
- [5] Madan, S. "Applications of data mining for power systems" KE Page(s): 403-406 vol.2
- [6] Masashi Kitayama "Application of Data Mining to Customer Profile. Analysis in the Power Electric Industry" IEEE winter meeting proceeding, 2002