

수요정보 분석시스템의 개발에 관한 연구

유인협, 양일권, 김선익, 고종민, 장문종, 오도은
한국전력공사 전력연구원

Development of Customer Demand Analysis System

In Hyeob Yu, Il Kwon Yang, Sun Ic Kim, Jong Min Ko, Jang Mun Jong, Do Eun Oh
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 단일 공급자 중심으로 구성된 전력산업에 다수 참여자의 등장으로, 경쟁이 도입되는 전력 산업으로 변화가 예상되고 있으며, 이에 따라 전력 시스템의 각 구성요소에 대한 정량적 분석 및 평가가 절대적으로 요구되고 있는 실정이다. 이와 같은 환경 하에서 전력산업 주체는 수요자 측의 부하분석과 평가를 위한 기본 인프라의 구축과 여러 응용의 기본이 되는 수요자의 정보의 수집 및 분석 시스템의 개발을 필요로 한다. 현재까지의 수요 정보의 분석은 월간검침에 의한 통계적인 현상이 대부분이어서 각종 수요자에 대한 수요 패턴을 고려한 평가가 불가능하였다. 본 논문에서는 검침정보를 기반으로 수요자의 부하분석을 하기 위하여 Load profile 데이터를 패턴에 따라 분류하여 유사 수요특성을 도출하였다. 그리고 분류결과에 의한 수요그룹들의 특성을 분석하였고 이를 이용한 수요관리 등의 응용을 위한 시스템 구축을 하였다.

1. 서 론

IT의 급속한 발전에 힘입어 전력 선진국들은 전자식 전력망계의 설치와 원격검침 시스템의 구축으로 수용가의 전력사용에 관한 정보수집이 용이해짐에 따라 부하분석 관련 연구를 활발히 추진하고 있다. 이와 더불어 전 세계적 전력산업 규제완화로 인한 환경변화로 원가기준의 요금제도에서 비용분담기반의 요금제도 등 새로운 가격체계의 이행을 추진하고 있는 추세이다. 전통적인 중별, 전압별 수요구분에 의한 일률적 요금제도는 요금부담의 불균형 등 개선점이 많아 향후 경제적 전력시장의 운영 등 환경변화에 대응할 수 있는 요금체계를 위해서는 수요 특성이 반영되는 체계가 요구되고 있는 실정이다. 이러한 수요특성 기반의 가격체계는 현존하는 여러 문제점을 개선할 수 있으며, 합리적인 전력사용을 유도함으로써 산업의 에너지 효율을 높일 수 있어 국가 전 산업에 미치는 영향이 지대하다. 또한, 판매 분야의 진입규제 완화에 따라 심화되는 경쟁 환경 하에서는 수용가에 대한 서비스 혁신과 부가가치의 제공이 경쟁전략의 핵심이 될 것으로 예상된다. 이를 위해 수용가 정보 분석이 필수가 되는데 이의 핵심은 수요특성의 파악이다. 이러한 수요 부하특성을 기반으로 한 마케팅 전략, 고객서비스 등 영업 전략은 발전 및 송배전의 운영 효율도 향상시켜 전력산업 전반의 경제적 효율성을 제고할 수 있기 때문에 경제적 측면에서 매우 중요하다. 이와 같이 새로운 영업환경을 지원하고, 새로운 가격체계 설계의 기반기술로서 수요특성 중심의 수요그룹 분류 및 표준 부하모델개발, 그리고 다양한 부하특성 분석 기술개발은 그 활용 자체로도 의미가 클 뿐만 아니라, 기술적인 측면에서도 대용량 데이터의 수집과 처리 기술, 데이터베이스 기술, 고기능 통계처리기술, 시뮬레이션 및 해석기술 등 첨단 IT 기술과 전력경제기술의 융합을 전제로 하고 있어 기술개발의 부가가치가 매우 높다. 특히, Load Profile(LP)을 이용한 부하 모델의 개발, 또 개발된 모델을 응용분야에 활용하기 위한 변수의 도출, 변수를 이용한 분석 기능의 개발 등이 필요하며 부하특성을 분류하기 위한 수요그룹 분류과정과 이를 위한 분류기준 선정이 핵심기술로서 수요특성 분석능력에 직접적인 영향을 주게 된다. 이러한 수요특성 자료는 전력수급 및 가격에 관한 에너지 정책의 개발, 그리고 설비 투자 계획 등의 장단기 에너지 계획 수립을 위한 기본 자료로써 이용할 수 있으며, 신도시 건설, 기반시설 확충 등의 국가인프라의 중장기 건설 계획 및 발전 방향 수립에도 기본 자료로써 활용도가 매우 높아 이에 대한 기술개발이 절실히 요구된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 수요자의 부하특성을 분석하기 위한 인프라 구축으로서 수요자의 검침정보를 분석하는 시스템을 구축하였다. 구축된 시스템은 LP를 이용한 수요자의 유사 부하를 그룹화하는 알고리즘의 개발, 그리고 이들 그룹에 대한 다양한 수요 특성 도출 기능의 부여, 그리고 수요자원의 관리기능을 개발하여 전력사의 운영부서에서 응용할 있는 기능 등을 구현하였다.

2. 수요 그룹 분류

2.1 분류 알고리즘 개발

고객의 수요정보인 Load Profile은 15분 간격의 수요를 나타내는 일간 96개의 값으로 이루어져 있으며, 분류를 위해서는 알고리즘에 적용하기 위해 사전에 변수들의 정의가 필요하다. 우선 각 고객들의 일간 Load Profile 데이터를 분석 기간 내에서 평균값을 구한다. 이렇게 하여 특정 구간에 대한 각 고객의 대표적인 수요정보를 추출하게 되며 이를 일간 Load Diagram이라 한다. 수요자들을 Class들로 구분하기 위하여 일간 Load Diagram에 관련된 특정 인덱스를 정의하고 이를 이용하여 구분한다. 다음

은 분류과정을 간단히 설명한다. Load Diagram의 집합을 $L = \{l_h, h = 1, \dots, H\}$ 이라 정의한다. 그리고 M 고객을 가진 특정그룹의 일간 Load Diagram을 $L = \{l^{(m)}, m = 1, \dots, M\}$ 이라 한다. M Customer를 K 그룹으로 분류하는 과정을 고려하면, L의 Subset인 $L^{(k)}$ 는 $n^{(k)}, k = 1, \dots, K$ 개의 Load Diagram들을 포함한다. 각 Class에 대해 대표적인 Load Diagram $r^{(k)}$ 는 $L^{(k)}$ 내에 있는 Load Diagram들의 평균으로 구한다. 따라서 각 Class들의 대표적 Load Diagram의 집합인 $R = \{r^{(k)}, k = 1, \dots, K\}$ 이 생성된다. 각 그룹을 구분하기 척도로 Diagram들 간의 거리를 사용하므로 아래의 거리들에 대한 정의가 필요하다.

1. 두 Load Diagram 사이의 거리

$$d(l^{(i)}, l^{(j)}) = \sqrt{\frac{1}{H} \sum_{h=1}^H (l_h^{(i)} - l_h^{(j)})^2}$$

2. 분류된 특정 그룹의 대표 Load Diagram과 $L^{(k)}$ 사이의 거리

$$d(r^{(k)}, L^{(k)}) = \sqrt{\frac{1}{n^{(k)}} \sum_{m=1}^{n^{(k)}} d^2(r^{(k)}, l^{(m)})}$$

3. L 내의 $l^{(i)}$ Diagram과 고정 Diagram과의 거리

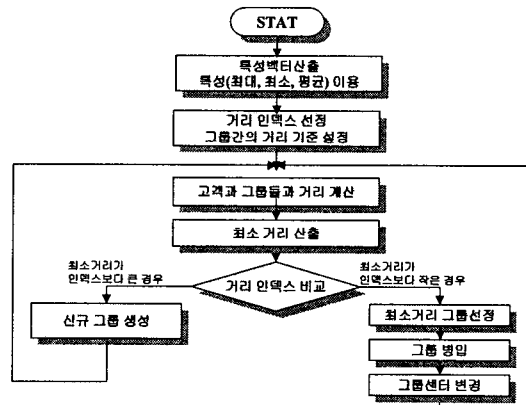
$$d(l^{(i)}, c) = \sqrt{\frac{1}{H} \sum_{h=1}^H (l_h^{(i)} - c)^2}$$

이 값이 최소일 때에 Squared Mean Error 면에서 최적의 Interpolation이 됨

4. L과 M 구성원사이의 기하 평균거리

$$\bar{d}(L) = \sqrt{\frac{1}{2M} \sum_{m=1}^M d^2(l^{(m)} - L)}$$

그리고 다수의 데이터로 이루어진 Load Diagram의 특성을 추출하기 위해서는 인덱스가 필요하며, 이들을 보면 Diagram의 최대, 최소, 평균값들로 이루어진 Non-Uniformity Coefficient, Fill-up Coefficient와 피크 및 비 피크 시의 기여도를 나타내는 Modulation Coefficient 등이 있다. 본 알고리즘에서는 분류그룹의 수에 대한 초기화가 필요 없으며, 또한 각 그룹의 센터도 자동으로 찾아낸다. 각 Diagram에 적용하는 인덱스는 Weighting Factor가 부가되었다. 사용된 Weighting Factor는 $\sigma_j^2 / \bar{\sigma}^2$ 로 정의되며, 여기서 σ_j^2 는 jth 인덱스의 표준편차이고, $\bar{\sigma}^2$ 는 각 인덱스 표준편차의 평균값이다. 표준편차가 큰 값을 가진 인덱스는 Weighting Factor에 의해 영향이 확대가 된다.



<그림 1> 분류 알고리즘

그림 1은 그룹분류의 과정을 flow chart로 나타내고 있다. 우선 각 고

객의 diagram들에 대해서 순차적으로 위에 정의된 인덱스를 산출하여 특성 벡터를 형성한다. 이중 최소 거리를 선정하여 거리의 threshold값과 비교한다. 이들을 이용하여 각 그룹과 거리를 산출한다. Threshold 값보다 클 경우에는 새로운 그룹을 형성한다. 그리고 threshold 값보다 작은 경우에는 그 최소거리에 해당하는 그룹으로 포함되게 된다. 따라서 해당 그룹은 그룹 내의 요소가 증가되었으므로 이에 따른 그룹 중심을 변경하게 된다. 그리하여 그룹수와 각 그룹에 속하는 패턴을 선정하게 된다. 다음에 각 그룹의 중심이 변경됨으로써 각 그룹간의 거리도 변하게 됨으로 처음 과정에서 정해진 그룹들에 대하여 다시 거리인덱스의 threshold 값을 비교함으로써 하여 그룹요소들의 그룹변경 여부를 확인하게 된다. 그리하여 분류과정을 종료하게 된다.

2.2 패턴분석 시스템 구축

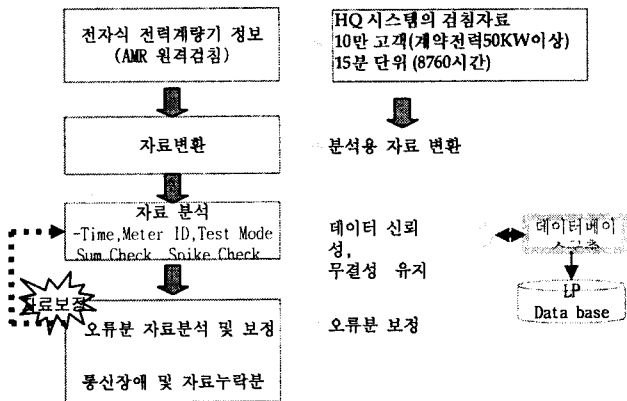
2.2.1 시스템 사양

1. 시스템:
 - 가. 모델: HP ML570
 - 나. CPU: 3.16GHz 2CPU
 - 다. Main Memory: 2 GB
 - 라. HDD: 600 GB
2. OS: MS Window 2003 Server
3. DBMS: MS SQL Server 2000
4. 소프트웨어: Visual Studio 2005

2.2.2 시스템 운영 DB 구축

원격점검시스템으로 부터 수집된 10여만 고객 데이터는 먼저 연구용 DB 서버로 이관되었고, 다시 이 데이터들은 자료의 데이터 무결성, 가용성을 확보하고자 인터널 데이터의 유효성을 검사하여 효율성 및 안전성을 고려하여 분석용 데이터베이스에 이관하였다. 이와 같은 시스템의 운영을 위한 DB는 그림2와 같이 구축되었다. 그리고 구축된 DB는 다음과 같이 분류될 수 있다.

1. 사용량(Load Profile) DB
 사용자가 사용하는 전력 수요의 15분간 정보로써 고객번호, 검침 일자, 유무효전력구분, 96개의 구간별 수요량, 최대, 최소 및 일간수요 합계 등의 정보임
2. Customer Information System(CIS) DB
 계약전력, 역률, 부하구간, 기본요금 및 사용량 요금 등의 요금정보와 사업소코드, 검침일자, 계약종별, 동코드, 수용가 일반정보, 용도, 공급방식 등의 기본정보임.



〈그림 2〉 시스템 운영 DB 구축 개요

3. 기후정보 DB
 기후와 수요의 상관관계를 유추하기 위해 기후정보를 수집 및 DB화 하였다. 기후 정보는 전국 76개의 지상관측소에서 측정된 온도, 습도 및 강수량을 수집하였다. 온도 및 습도는 시간대별로 기록된 정보이고 강수량은 일간 측정값을 나타낸다. 현재의 시스템은 기후정보와 수요정보를 병기하여 기후 및 수요 정보를 비교 할 수있게 하였다.
4. 통계정보 DB
 수요특성분석을 위해 그룹별, 시간대별, 지역별, 종별 등의 사항을 사전 입력조건으로 하여 DB를 구축하였다. 이와 같이 통계정보를 따로 구축하는 이유는 분석을 위한 시나리오 경우의 수가 가 워낙 많고, 온라인 상에서 분석을 위한 정보를 매번 생성해야 하는 반복적인 작업과 계산의 소요시간을 줄이기 위함이다. 따라서 월간 및 주간, 지역별 및 지점별로 각 분석 경우의 수를 구분하여 DB를 구축하였다.

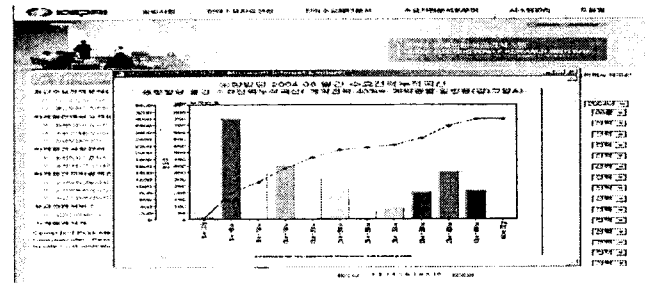
2.2.3 수요패턴 분석기능

패턴 분석의 체계는 크게 2가지 분류로 나누어진다. 유사패턴에 따른 분석과 기존에 사용되던 분류를 이용하여 세부항목을 분류하는 방식으로 나누어진다.

1. 그룹별 수요패턴 형태 분석
 2004년8월 근무일에 대한 8개 그룹의 전력수요패턴을 보여주고 있다. 이 분석은 유사패턴의 수요에 의한 분류이다.
2. 특정 그룹의 수요자 상세 분석
 제 6그룹에 대한 상세분석을 하였고 이에 대한 결과를 다음 그림에 표시하고 있다.
3. 특정 그룹의 수요자 상세 분석
 그룹별 월간 수요특성을 일형별로 분류하여 분석된 정보를 제공한다.
4. 특정 그룹의 피크 기여도분석
 특정 그룹의 피크기여도를 분석한 정보를 제공한다.
5. 지역별 수요분석
 지역별 월간 평일의 그룹별 수요패턴을 제공한다.
6. 지점별 수요분석
 전국 지점별 근무일의 수요패턴을 제공한다.
7. 누적수요분석
 각 그룹의 일형별 누적 수요를 나타내며 시스템의 피크와 비교분석을 할 수 있게 하는 정보를 제공한다.

2.2.4 전력자원 분석 및 관리 도구

패턴 분석의 다양한 기능을 이용하여 수요자의 에너지 관리를 위한 필수 자료를 도출하고, 이를 고객관리를 위한 응용 프로그램으로 개발 하였다. 이 프로그램의 주요 기능은 구간별 수요빈도, 부하지속시간의 분석 등 에너지 사용에 대한 상세 분석, 그리고 수요자의 월간 요금관련 정보서비스의 개발, 하계절전 대상 고객 분석, 약정고객의 현안 지원 기능 구현, 하계절전 관리 기능의 구현 등으로 수요자원의 분석과 고객서비스의 주요 도구로 활용될 수 있다. 여러 가지의 기능 중에 그림3에서 월간 누적 수요정보를 나타내고 있다.



〈그림 3〉 월간 누적 수요 곡선

3. 결 론

전 세계적으로 추진되고 있는 전력산업의 규제완화는 전력사의 경영 전략에도 많은 영향을 주고 있다. 또한 시장의 도입으로 참여자는 경쟁력의 확보를 위해서 정확한 정보 분석을 필요로 하고 있다. 이를 위한 기본적인 사항은 수요자의 부하정보의 확보와 분석능력이다. 본 연구를 통하여 국내에서는 최초로 Load Profile 데이터를 이용하여 시간대별 수요에 대한 분석의 기초를 마련하고자 하였다. 최초로 개발하는 데이터베이스의 구축에 기술적인 애로사항을 많이 극복하였다. 그리고 연구의 핵심이 되는 수요그룹 분류 알고리즘을 자체로 개발하여 분류시험을 실시하였다. 이를 위해서 주요 도구로써 Technical Computing Language인 Matlab을 사용하여 개발하였다. 또한 분류된 각 그룹에 대한 부하 구성을 알아보았고, 종별 및 용도별 등의 기존의 그룹에 대한 분류 시험도 하였다. 여기서 현행 구분과 다른 종별 및 용도별의 그룹들은 부하 형태가 다른 수요자가 많이 혼합되어 있음을 알 수 있었다. 그리고 수요의 온도감도 함수를 개발하여 향후에 Load Forecasting에 이용하고자 한다. 본 연구의 결과로 수요정보 분석을 위한 인프라 구축을 하였으며 이에 응용분야의 개발이 시급한 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y.-H. Pao and D. J. Sobajic, "Combined use of unsupervised and supervised learning for dynamic security assessment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, pp. 878-884, May 1992.
- [2] C. S. Chen, J. C. Hwang, Y.M. Tzeng, C.W.Huang and M.Y.Cho, "Determination of Customer Load Characteristics by Load Survey System at Taipower" *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 7, pp. 1430-1436, July 1996.
- [3] Gerbec, D., Gasperic, S., Smon, I. and Gubina, F. "An approach to customers daily load profile determination" *Power Engineering Society Summer Meeting. 2002 IEEE*, Volume: 1, pp. 587-591 July 2002