ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 12, pp. 1657~1660, 2013
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.12.1657

산업체의 조업률을 반영한 연휴의 단기 전력수요예측

Short-Term Load Forecasting for the Consecutive Holidays Considering Businesses' Operation Rates of Industries

송 경 빈† · 임 종 훈*
(Kyung-Bin Song · Jong-Hun Lim)

Abstract - Short-term load forecasting for Chusok and New Year's consecutive holidays is very difficult, due to the irregular characteristics compared with ordinary weekdays and insufficient holidays historical data. During consecutive holidays of New Year and Chusok, most of industries reduce their operation rates and their electrical load levels. The correlation between businesses' operation rates and their loads during consecutive holidays of New Year and Chusok is analysed and short-term load forecasting algorithm for consecutive holidays considering businesses' operation rates of industries is proposed. Test results show that the proposed method improves the accuracy of short-term load forecasting over fuzzy linear regression method.

Key Words : Short-term load forecasting, Load pattern, Operation rate, Consecutive holidays

1. 서 론

전력수요는 경제적, 사회적, 기상요인과 기타 비선형적인 특성이 복합적으로 작용하여 영향을 미치기 때문에 정확한 전력수요예측을 위해서는 다양한 요인에 대한 분석이 요구된다. 수요예측의 정확성을 개선하기 위해 국내·외에서 많은 연구가 이루어져왔으며, 시계열법, 회귀분석법 등의 통계적인 방법과 신경회로망, 퍼지이론 등과 같은 인공지능 기법을 적용한 예측모델이 활발히 연구되고 있다[1-3]. 평상일과 주말 수요예측의 정확성은 우수한 수준에 이르렀다고 평가할 수 있으나 설 및 추석연휴 주변일과 특수일의 경우 비교적 큰 오차가 발생하는 사례가 있을 수 있다. 설과 추석연휴 주변일의 수요예측 오차가 비교적 큰 이유는 예측을 위한 입력 수요데이터가 한정적이며 우리나라의 문화적 특성상 설 및 추석 연휴에는 전력사용량의 50% 이상을 차지하는 산업체의 전력사용패턴이 불규칙하고, 음력을 따르는 특수일의 경우 매년 특수일의 양력상 위치가 달라지므로 계절적 특성이 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 선행연구에서는 설 날 및 추석연휴의 조업률을 반영하여 수요예측 정확성을 높이기 위해 통계청이 발표한 제 9차 한국표준 산업분류연계표의 1242개 업종 중 220개 업종에 대한 설 및 추석 연휴기간의 산업용 실적 전력사용량과 400여개의 업체에 대한 조사 조업률을 분석하였다[4]. 실적 조업률과 조사 조업률의 특성을 분석하여 다른 특수일에 비해 상대적으로 큰 전력수요예측 오차가 발생하는 설 및 추석 특수경부하기간의 예측 정확도를 개선하기 위해 조업률을 고려한 전력수요예측 기법을 제안하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea.
E-mail : kbsong@ssu.ac.kr
* Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea.
Received : August 30, 2013; Accepted : October 18, 2013

2. 조사 조업률과 실적조업률 현황 및 분석

2011년 우리나라의 계약종별 전력판매량은 산업용 전력이 매달 평균 55.4%를 차지하며, 용도별 판매 전력량 기준으로 보았을 때 서비스업과 제조업의 합이 매달 평균 79.2%를 차지하는 것으로 나타났다[5]. 산업용 전력의 사용패턴 변화가 우리나라 전체 전력사용패턴에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 설 및 추석 연휴기간의 조업단축으로 인해 평상일에 비하여 낮은 전력수요가 나타나므로 특수경부하기간의 전력수요예측 정확도를 개선하기 위해서는 조업률에 대한 정밀한 조사가 이루어져야 한다. 또한 조업률을 고려한 예측 알고리즘 개발을 위해 과거 조사 조업률 데이터 구축이 필요하다. 현재 계약전력 1만kW 이상(전압 154kV 이상) 직거래 고객에 해당하는 대상에 대해 설 및 추석 특수경부하기간에는 파워파트너의 조업계획 조사가 이루어지고 있다. 이를 기반으로 조사 조업률과 실적 조업률을 비교 분석하여 조사 조업률의 신뢰도를 검토하였으며, 조사조업률과 실적 조업률의 상관관계는 0.9이상으로 상당히 높은 유의관계가 있음이 나타났다. 전체 업종 조업률은 실측된 220여개 업종의 일자별 동일 시간대 합으로 구성되어 있으며, 많은 업종의 데이터가 사용되기 때문에 전체 산업용전력수요와 유사한 실적 조업률을 얻을 수 있었다. 또한, 한 업종 및 소수 업종의 조업률의 변화는 매우 둔감한 반응을 보이기 때문에 매년 달라지는 업종의 경제 사정 및 사회 변수로 인한 부하 변동을 고려하지 않아도 된다. 조사된 조업률은 특수경부하기간의 전력수요와 대부분 0.9이상으로 강한 상관관계를 나타내었지만 일자별 추세가 비슷하여 높은 상관관계가 있었을 뿐 실제 수치의 조사 조업률이 실제 조업률보다 대부분 높은 조업률을 보였다. 이는 조사 조업률을 고려한 설 및

추석 특수경부하기간 전력수요예측 알고리즘 개발 시, 조사 조업률 수치를 그대로 반영할 수 없다는 것을 의미한다.

전체 업종의 조업률을 사용할 경우 매우 높은 상관관계를 얻을 수 있다. 하지만 전체 업종의 실적 조업률을 얻기 위해서는 매년 우리나라 전체 업종의 실측된 전력량을 기록해야 한다. 하나의 업종에 관한 데이터를 구성하기 위해서는 업종에 속한 수많은 하위수준의 부하에 대한 전력사용량을 조사 및 수집하여야 한다. 이러한 자료 수집은 매우 번거롭고 연도에 따른 사회, 경제적인 영향으로 많은 변수가 존재하는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위하여 대표업종을 선정하였으며 대표업종은 위의 번거로움을 없애고, 데이터의 간결성을 높임으로써 사용에 편리함을 주기위해 조사되었다. 대표업종을 선정하기 위해 전체 업종에 대한 각각의 조업률을 분석하였고, 전력사용량이 많은 상위 업종이 설 연휴 전력사용량에 큰 영향을 미치는 것으로 판단하여 2006년을 기준으로 24시간 평균 전력사용이 많은 상위 12개 업종을 선택하여 대표업종을 구성하였다. 선택된 대표업종은 아래와 같다.

표 1 일자별 평균 전력사용량 상위 12업종

Table 1 Top 12 business fields for daily average electricity consumption

대표업종	
부동산 임대 및 공급업	석유 정제품 제조업
1차 철강 제조업	시멘트/ 석회/ 플라스틱 및 그 제품 제조업
반도체 제조업	1차 비철금속 제조업
기초화학물질 제조업	직물직조 및 직물제품 제조업
자동차 부품 제조업	자동차용 엔진 및 자동차 제조업
전자부품 제조업	펄프/종이 및 판지 제조업

그림 1과 2에 제시된 것처럼 대표업종의 조업률은 전체 업종의 조업률과 유사하다. 하지만 대표업종을 선정하여 나타낸 조업률은 전체 업종 실적 조업률에 비해 적용되는 업종의 수가 매우 적다. 따라서 경제 및 사회적 영향으로 한 업종에 대한 전력사용 변화가 생기는 경우, 대표업종 조업률

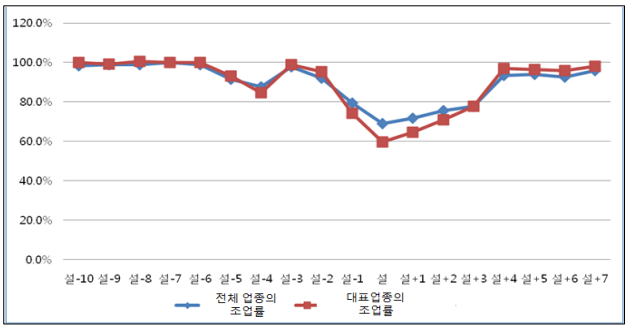

그림 1 2011년 설 연휴기간 전체업종과 대표업종의 조업률 비교

Fig. 1 Comparison of businesses' operation rates between the entire business fields and top 12 business fields during consecutive holidays of New Year in 2011

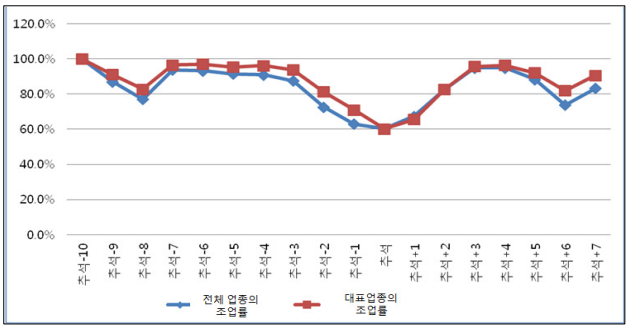

그림 2 2011년 추석 연휴기간 전체업종과 대표업종의 조업률 비교

Fig. 2 Comparison of businesses' operation rates between the entire business fields and top 12 business fields during consecutive holidays of Chusok in 2011

은 민감하게 반응할 수 있다. 즉, 한 업종의 전력수요 변화로 인해 12개 대표업종 전체 상관계수 결과에 큰 영향을 줄 수 있으므로 조업률 정보에 대한 신뢰도에 따라 산업체 조업률의 반영정도를 조절할 수 있다.

3. 조업률을 반영한 수요예측 알고리즘

설 및 추석연휴의 전력수요를 예측하기 위해서는 수요예측 기법 중 퍼지 선형회귀분석법이 이용된다[5,6] 기존 연휴기간의 최대전력수요 예측 알고리즘은 단순 평일대비 연휴기간의 전력수요변동률을 이용하였으나, 예측신뢰도를 향상시키기 위하여 파워파트너의 조업계획자료 기반의 연휴기간의 전력수요 변동률을 이용하고자 한다. 우리나라 전력수요 중 약 70% 이상을 산업용과 일반용에서 사용하고 있기 때문에 산업용과 일반용의 조업변동은 전체 전력수요의 변동에 가장 많은 영향을 미치게 된다. 이 때문에 연휴기간에 대한 산업용과 일반용 수용가를 대상으로 연휴기간의 조업계획을 조사하게 된다. 따라서 조업계획에 대한 데이터가 있는 산업용과 일반용의 수요와 그렇지 못한 주택용 수요를 나누어 알고리즘에서 다루게 된다. 조사 조업률과 실적 조업률 분석을 통해 조업률을 고려한 설 및 추석 특수경부하기간 일자별 최대 전력수요예측 알고리즘을 제안하였으며 알고리즘은 아래와 같다.

단계 1) 기존 특수경부하기간의 전력수요예측 알고리즘을 통하여 연휴기간의 일자별 최대전력수요가 발생하는 시간을 예측한다.

단계 2) 예측년도와 동일한 요일의 과거 실적 전력수요 데이터에 주택용과 일반용+산업용 비중을 고려하여 특수경부하기간 이전에 위치한 평일(화-금)의 24시간 전력수요를 패턴을 구성한다. 비중은 연휴기간이 위치한 계절에 따라 다르게 되며, 계절별 비중은 과거 용도별 사용량을 기준으로 계산된다.

단계 3) 예측년도 특수경부하기간과 같은 요일타입의 과년도 평상일 전력수요실적(일반용+산업용)을 예측년도 평상일 전력수요실적만큼 업스케일하며, 업스케일을 위한 보정계수 k_t는 다음과 같이 계산한다.

$$k_t = \frac{MW_t^{WI}}{MW_t^{PWI}} \quad , \quad t = 1,2,....,24 \tag{1}$$

k_t : 보정계수
MW_t^{PWI}: 대표업종의 평일 실적 전력수요
MW_t^{WI}: 일반용과 산업용의 송전단평일 실적 전력수요

MW_t^{PWI}는 일반용과 산업용 업종중에서 선정된 대표업종의 평일 24시간 실제 전력수요를 의미하고 MW_t^{WI}는 송전단 전체수요에서 차지하고 있는 일반용과 산업용의 평일 24시간 실제 전력수요를 나타낸다. k_t를 이용하여 업스케일된 업종별 실적의 설 및 추석의 특수경부하기간의 전력수요는 다음과 같이 계산된다.

$$MW_t^{SI} = k_t \times MW_t^{PSI} \quad , \quad t = 1,2,...,24 \tag{2}$$

MW_t^{PSI}: 대표업종의 연휴기간 실적 전력수요
MW_t^{SI} : 일반용과 산업용의 송전단 연휴기간 실적 전력수요

MW_t^{PSI}와 단계 1)에서 예측한 일자별 피크시간을 기준으로 대표업종의 평상일 대비 특수경부하기간의 일자별 전력수요 변동률 DR_t^{PSI} 을 계산한다. 계산하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$DR_t^{PSI} = \frac{MW_t^{PSI}}{MW_t^{PWI}} \tag{3}$$

DR_t^{PSI}: 과거 특수경부하기간 일반용+산업용의 일자별 전력수요변동률

단계 4) 과거 송전단 전력수요에서 단계 3)에서 계산된 업종별 수요를 제외한 양을 주택용 전력수요로 가정하고 주택용에 대한 일자별 전력수요변동률을 계산하며 수식은 다음과 같다.

$$MW_t^{PWR} = MW_t^{PW} - MW_t^{PWI} \quad , \quad t = 1,2,...,24 \tag{4}$$

$$MW_t^{PSR} = MW_t^{PS} - MW_t^{PSI} \quad , \quad t = 1,2,...,24 \tag{5}$$

$$DR_t^{PSR} = \frac{MW_t^{PSR}}{MW_t^{PWR}} \tag{6}$$

MW_t^{PW} : 과거 평상일 송전단 전력수요
MW_t^{PS} : 과거 특수경부하기간 송전단 전력수요
DR_t^{PSR}: 과거 특수경부하기간 주택용의 일자별 전력수요변동률
MW_t^{PSR}: 과거 특수경부하기간 주택용의 송전단 전력수요
MW_t^{PWR}: 과거 평상일 주택용의 전력수요

단계 5) 예측년도 특수경부하기간의 평일(화-금) 실적 전력수요 데이터에 주택용과 일반용+산업용의 비중을 고려하여 평상일 24시간 전력수요를 계산한다.

단계 6) 앞 단계에서 계산한 특수경부하기간의 일자별 전력수요변동률을 예측일 전 평상일의 전력수요에 반영하여 예측하고자 하는 특수경부하기간의 일반용+산업용 최대전력수요를 계산한다.

$$MW_t^{FSI} = DR_t^{PSI} \times MW_t^{FWI} \tag{7}$$

MW_t^{FSI}: 예측년도 연휴기간의 일반용+산업용 전력수요
MW_t^{FWI}: 예측년도 평일의 일반용+산업용 전력수요

단계 7) 예측년도와 같은 요일타입의 과거 특수경부하기간의 조사 조업률과 예측년의 조사조업률의 오차를 계산 후 단계 6)의 결과에 반영하여 보정한다. 수식은 다음과 같다.

$$MW_t^{FSI,peak} = MW_t^{FSI} \times \epsilon + MW_t^{FSI} \tag{8}$$

$MW_t^{FSI,peak}$: 조업률을 고려한 예측년도 일반용+산업용 최대전력수요예측값
ϵ : 과거조사조업률과 예측년조사조업률의 오차

단계 8) 동일 방법을 통하여 예측하고자 하는 특수경부하기간의 피크시간대의 주택용 최대전력수요를 예측하며, 수식은 다음과 같다.

$$MW_t^{FSR,peak} = DR_t^{PSR} \times MW_t^{FWR} \tag{9}$$

$MW_t^{FSR,peak}$: 조업률을 고려한 예측년도 주택용의 최대전력수요예측값

단계 9) 앞의 단계 7)과 단계 8)의 결과를 이용하여 주택용+일반용+산업용의 특수경부하기간 일자별 최대전력수요를 예측하며, 수식은 다음과 같다.

$$MW_t^{FS,peak} = MW_t^{FSI,peak} + MW_t^{FSR,peak} \tag{10}$$

$MW_t^{FS,peak}$: 조업률을 고려한 예측년도 송전단 최대전력수요

단계 10) 앞 단계들로 계산된 일자별 최대전력수요 예측값과 퍼지 선형회귀분석법으로 예측된 일자별 최대전력수요 예측결과와의 비교를 통해 계통 운영자는 예측일의 최대전력수요 예측값을 결정한다.

4. 사례연구

본 연구에서 제안한 조업률을 반영한 설 및 추석 연휴 최대전력수요예측 알고리즘을 검증하기 위하여 2012년 추석 특수경부하기간의 최대전력수요를 퍼지 선형회귀분석법을 이용하여 예측하였다[5,6]. 본 연구에서 제안한 10개의 STEP 별 예측 알고리즘을 통해 얻어진 조업률을 고려하여 2012년 추석 특수경부하기간의 최대전력수요 예측을 수행한 결과는 표 2와 같다.

본 연구에서 제안한 알고리즘을 통해 계산된 조업률의 변동률을 50%의 가중치를 두어 반영한 결과와 100%를 반영한 2012년 추석 특수경부하기간 예측 결과와 조업률을 고려하지 않은 퍼지선형회귀분석법을 통한 2012년 추석 특수경부하기간 예측 결과를 비교 및 검토하였다. 그 결과 2012년 추석 특수경부하기간 일자별 24시간 오차의 평균이 조업률 50%를 반영한 결과가 4.53%, 조업률 100% 반영한 결과

표 2 2012 추석연휴의 최대 전력수요예측 결과

Table 2 The results of the load forecasting for Chusok consecutive holidays in 2012

날짜	코드	퍼지 선형회귀분석 알고리즘 예측결과		제안 알고리즘 100% 반영 예측 결과		제안 알고리즘 50% 반영 예측 결과	
		최대전력 수요오차(%)	24시간 평균오차(%)	최대전력 수요오차(%)	24시간 평균오차(%)	최대전력 수요오차(%)	24시간 평균오차(%)
2012-09-27(목)	추석-3	1.55	0.62	0.74	0.41	1.14	0.49
2012-09-28(금)	추석-2	1.33	3.08	2.02	3.45	1.67	3.26
2012-09-29(토)	추석-1	1.15	4.19	1.22	3.33	0.03	3.74
2012-09-30(일)	추석	2.96	3.51	0.99	2.54	0.99	2.91
2012-10-01(월)	추석+1	4.15	3.2	3.44	2.94	3.8	3.07
2012-10-02(화)	추석+2	10.42	8.39	6.99	6.37	8.71	7.38
2012-10-03(수)	추석+3	4.43	9.42	9.74	12.29	7.09	10.86
사례연구기간 평균오차(%)		3.71	4.63	3.59	4.48	3.35	4.53

는 4.48%, 조업률을 반영하지 않은 결과는 4.63%로 조업률을 100% 반영한 예측결과가 가장 우수하였다.

5. 결 론

특수경부하기간은 조업률의 영향으로 수요예측의 오차가 상대적으로 크며, 수요예측의 정확성을 개선하기 위해 조업률을 반영하기 위해 대표업종을 선정하고 전력수요변동률을 이용한 최대전력수요의 예측방안을 제시하였다. 제안한 방안을 검증하기 위해 2012년 추석 특수경부하기간의 수요예측을 실시하였으며, 기존 조업률을 고려하지 않은 퍼지 선형회귀분석에 비하여 제안 알고리즘을 통한 전력수요예측의 정확성이 향상됨을 확인하였다. 이 결과를 통해 특수경부하기간의 예측정확도 향상을 위해서 정확한 조업률의 반영이 중요하다는 것을 알 수 있다. 향후 전체 산업용 및 일반용에 대한 특수경부하기간의 수요데이터가 구축된다면 더욱 수요예측의 정확도가 향상될 것이라 기대된다.

References

[1] R.Lamedica, A. Prudenzi, M. Sforna, M. Caciotta, and V.Orsolini Cencelli, "A Neural Network Based Technique For Short - Term Forecasting of Anomalous Load Periods," IEEE Transaction on Power System, Vol.11, no.4, pp.1749- 1756, Nov. 1996.

[2] K.H. Kim, J.K. Park, K.J. Hwang, and S.H. Kim, "Implementation of Hybrid Short - term Load Forecasting System Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Expert Systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, no. 3, pp.1534- 1539, Aug. 1995.

[3] D.Srinivasan, C.S. Chang, and A.C. Liew, "Demand Forecasting Using Fuzzy Neural Computation With Special Emphasis On Weekend And Public Holiday Forecasting," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 10, no. 4, pp.1897- 1903 Nov. 1995.

[4] D.H. Kang, H..W. Lim, J.D. Park, O.S. Kwon, K.B. Song,, "Correlation of Load Demand and Capacity Usage Ratio During Lunar New Year's Day and Korean Thanksgiving Day", KIEE Annual Autumn Conference, 2012.

[5] Oh-Sung Kwon, Kyung-Bin Song, "Development of Short-Term Load Forecasting Method by Analysis of Load Characteristics during Chuseok Holiday", KIEE, Vol.60A pp.2215-2220, Dec. 2011.

[6] K.B. Song, Y.S. Baek, D.H. Hong, G.S. Jang, "Short-term load forecasting for the holidays using fuzzy linear regression method", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 20, no. 1, pp.96- 101, Feb. 2005.

저 자 소 개

송 경 빈 (宋 敬 彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.

임 종 훈 (林 鐘 勳)

1985년 4월 22일생. 2012년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.