

가족구성형태의 변화가 주택용 부하의 장기 전력수요예측에 미치는 영향 분석

The Effect of Changes of the Housing Type on Long-Term Load Forecasting

김 성 열*
(Sung-Yul Kim)

Abstract - Among the various statistical factors for South Korea, the population has been steadily decreased by lower birthrate. Nevertheless, the number of household is constantly increasing amid population aging and single life style. In general, residential electricity use is more the result of the number of household than the population. Therefore, residential electricity consumption is expected to be far higher for decades to come. The existing long-term load forecasting, however, do not necessarily reflect the growth of single and two-member households. In this respect, this paper proposes the long-term load forecasting for residential users considering the effect of changes of the housing type, and in the case study the changes of the residential load pattern is analyzed for accurate long-term load forecasting.

Key Words : Long-term load forecasting, Housing type, Residential power demand

1. 서 론

일반적으로 단기 전력수요예측은 크게 평상일, 주말 및 특수일(설 및 추석연휴 주변일 등)로 구분하여 전력수요를 예측하는 것을 말하며, 평상일과 주말 수요예측의 경우 상당히 정확한 예측 수준에 이르렀다고 평가된다. 이러한 단기 수요예측의 결과는 기존 계통에서 운영중이거나 가용한 설비를 대상으로 발전 스케줄을 설정하는데 활용된다[1]. 반면, 장기 전력수요예측은 전원개발 계획, 전력수급계획 및 송변전계획 등 전력계통계획 전반에 걸쳐 핵심적인 기초자료로 활용되며, 장기 전력수요예측치의 정확도는 최적 전원 구성, 설비 예비율, 발전소 건설·운영·유지보수 등의 에너지수급계획에 큰 영향을 미친다. 수요예측치가 과도할 경우, 과잉 설비투자로 인해 국가 차원에서 뿐만 아니라 소비자에게도 경제적 손실을 가져올 수 있으며, 수요예측치가 실제 전력수요보다 적을 경우, 안정적인 전력공급에 지장을 초래할 수 있다. 따라서, 단기 전력수요예측은 현시점에서 전력시장의 가격결정 및 계통 운영에 그 목적이 있는 반면, 장기 전력수요예측은 경영계획의 중요한 요소로서 전력계통 계획 및 운용 전반에 걸쳐 일반적으로 가장 먼저 선행 조사되어야 하는 부분이다[2].

장기적 관점에서 국내 전력 부하패턴 변화의 주요인으로 작용한 파라미터들을 살펴보면, 1970년대 연말 수출드라이브 산업용 수요 가중, 1980년대 일몰시간대 부하 집중을 억제하기 위한 최대부하조절 요금제 시행, 1990년대 및 2000년대에는 소득향상에

따른 대용량 가전기기의 보급 확대 등을 들 수 있다[3]. 또한, 산업의 고도화, 정보화로 인해 전기기기의 사용량이 급증하면서, 2010년부터 예측수요보다 실적수요가 5,000MW이상 상회하는 수급 불안 현상이 발생하였다. 2012년 기준으로는 예측수요가 67,120MW인데 반해 실적수요는 74,291MW로 7,171MW의 오차가 발생하였다. 이처럼, 급격한 사회적 변화에 따라 전력수요예측의 정확성 및 신뢰성 확보가 어려워지고 있다[4, 5]. 또한, 전력수요는 기후변화뿐 아니라 사회·경제적 요소들에 의해 복합적인 영향을 받으므로 비선형적인 특성을 보이며, 따라서 정확한 예측이 사실상 불가능하다. 따라서, 예측 오차를 줄인 보다 정확한 예측을 시행하기 위해서는 사회·경제적 변화에 맞게 예측모델에서 고려되어야 할 파라미터를 새롭게 정의하는 일이 무엇보다 중요하다.

2013년 한 해 동안 국내에서 가정 및 상업용으로 사용되는 에너지사용량은 전체 에너지사용량의 17.7%이며, 산업용 에너지사용량은 62.1%이다. 또한, 이 때 소비한 에너지를 전기에너지로 제한할 경우 주택용 부하는 13.6%, 산업용 부하는 50.8%를 차지한다. OECD 국가의 경우 전체 전기에너지 소비량에서 주택용 부하와 산업용 부하가 각각 차지하는 비율이 32.2%, 32.1%인 점을 감안할 때, 향후 국내 전기요금에 정상화될 경우 주택용 부하가 장기 전력수요예측에서 차지하는 비중은 더욱 커질 것으로 전망된다. 따라서, 신뢰할 수 있는 수준의 주택용 부하예측이 더욱 절실한 시점이다.

이와 같은 맥락에서, 최근 들어 두드러지고 있는 주거형태의 변화는 전력수요예측을 더욱 어렵게 하는 요인으로 작용할 수 있다[6]. 지속적인 국내 인구 감소에도 불구하고, 핵가족 형태의 해체 및 1인 가구 증가로 인해 전체 가구수는 오히려 증가하고 있

* Dept. of Electrical Energy Engineering, Keimyung University, Korea
E-mail : energy@kmu.ac.kr

Received : April 17, 2015; Accepted : August 20, 2015

다[7, 8]. 이러한 가구형태의 변화는 외벌이 가구에 비해 전력소비가 많은 맞벌이 가구의 증가, 대형 가전기기의 선호현상, 디지털 정보기기 사용의 보편화, 웰빙가전의 추가 사용 경향과 맞물려, 국내 총 전력수요량을 지속적으로 증가시켜왔다. 또한, 1인 가구는 에너지 다소비 계층으로 분류되며, 4인 이상 가구의 인당 전력소비량에 2.6배의 전력을 소비한다[9]. 즉, 전체 전력수요에서 주택용 부하가 차지하는 비중이 높아지고, 또한 주거형태가 급속히 변화하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 전력수요 예측 시, 앞으로의 가구형태별 증가 추이와 그에 따른 전력 사용량의 변화를 반드시 고려해야 한다. 이에 본 논문에서는 가족구성형태별 증가추이를 고려한 전력소비량 예측기법을 제안하고, 이러한 변화에 따른 주택용 부하의 전력소비패턴 변화를 분석하고자 한다.

2. 가구 구성 형태의 변화

통계청 자료를 토대로, 향후 가구구성형태별 가구수의 변화추이를 분석하면 다음 표와 같다.

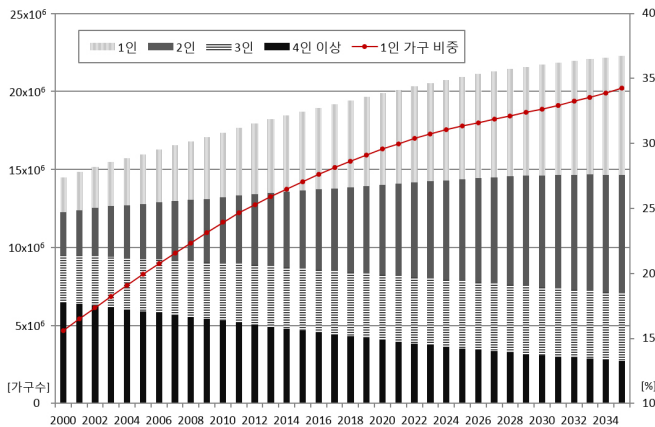


그림 1 가구구성형태별 가구수의 변화 (2000~2035년)
 Fig. 1 Changes in the Number of Household by Housing Type (2000~2035)

위의 표는 기존에 가족이 같이 사는 핵가족 형태가 점차 해체되고 있는 추세임을 뚜렷하게 시사하고 있다. 다시 말해, 1인 가구와 2인 가구는 급격히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 3인 이상 가구수가 전체 가구구성에서 차지하는 비중은 갈수록 작아진다. 특히, 4인 이상 가구가 차지하는 가구구성비중은 현격히 감소하는 추세에 있음을 확인할 수 있다. 위의 통계자료에 따르면, 2020년에 전체 가구구성에서 1인 가구가 차지하는 비중은 2013년 대비 5.56%만큼 증가하며, 2030년에는 8.65% 증가한다. 또한, 2인 가구가 전체 가구구성에서 차지하는 비중은 2013년 대비 4.61%가 증가하며, 2030년에는 8.59% 증가한다. 반면에, 3인 이상 가구가 전체 가구구성에 차지하는 비중은 2013년 대비 2020년에는 10.17%, 2030년에는 17.26%만큼 감소한다. 다음 표는 2013년, 2020년과 2030년에 가구구성형태별 비중을 나타낸다[6].

표 1 가구구성형태별 비중 변화

Table 1 Changes in Household Composition [%]

가구구성	2013년	2020년	2030년
1인	25.9	29.6	32.7
2인	25.7	29.0	33.0
3인	21.3	21.1	20.2
4인 이상	27.1	20.3	14.1

이러한 1인 가구 증가 추세는 비단 국내만의 특징적 변화가 아니며, 이미 선진국에서는 이러한 추세가 1990년대부터 빠르게 진행되어 왔다. 특히, 독일은 2010년에 이미 1인 가구 구성비가 40%를 넘어섰으며, 노르웨이 또한 2011년에 39.7%를 기록했다. 따라서 국내 산업 전반의 발전 방향과 구성이 이들 선진국의 지향점과 크게 다르지 않다고 가정할 경우, 국내의 1인 가구 구성비 또한 이들 선진국의 장래가구추계를 답습할 가능성이 높다.

3. 가구 구성 형태의 변화를 반영한 전력수요예측

단기 전력수요예측의 경우, 날씨의 변화가 수요예측의 주요한 고려대상이나, 장기 전력수요예측의 경우에는 일반적으로 인구와 GDP의 변화를 토대로 전력수요를 예측한다. 따라서, 장기 전력수요를 예측하기 위한 식은 일반적으로 다음과 같다[10].

$$L_k = a(GDP_k) + b(Pop_k) + c \tag{1}$$

$$L_{jk} = S_{jk} L_k \tag{2}$$

- L_k : k년도의 총 부하량
- GDP_k : k년도에 예상되는 GDP
- Pop_k : k년도에 예상되는 인구수
- a, b, c : 과거 데이터에 근거한 회귀 계수
- L_{jk} : k년도 j시간에 부하량
- S_{jk} : k년도 j시간에 부하패턴 계수

또한, k년도에 주택용 부하의 j시간에서의 전력사용 예측량을 나타내기 위해, 위의 식을 간략화 시켜서 기존의 평균 부하 증가율을 적용하여 나타내면 다음 식과 같다.

$$L_{jk} = L_{j0} \prod_{k=0}^K (1 + r_k) \tag{3}$$

이때, L_{j0} 는 현재시점(k=0)에서 주택용 부하의 j시간에서의 전력사용량을 나타내며, r_k 는 k년도에 예측되는 부하의 증가율을 나타낸다.

따라서, (3)을 통해 주택용 부하의 시간별 전력사용량을 예측할 경우, r_k 가 증가추이에 있다고 가정하면, 다음 식이 성립한다.

$$L_{jk} - L_{j0} > 0 \quad (\forall j) \quad (4)$$

그러나, 위의 부하 예측식은 가구구성형태별 증가추이를 전력 수요예측에 반영하고 있지 못하다.

한편 국내에서 시행되는 장기 전력수요예측의 경우, 향후 15년 이상의 기간에 대해서 각 부문별로 다음 표와 같은 사항들을 고려한다.

표 2 수요예측방법

Table 2 Parameters for Load Forecasting

	주택용	상업용	산업용
고려 사항	기기별 보급대수, 기기별 평균 소비량, 가구수, 인구, GDP, 실질전기요금, 전년도수요	건설계획, 운행거리, 원단위, 수도사용량 GDP, 전년도 수요	실질부문별 부가가치, 실질 산업용 전기요금, 산업별 전년도 수요

지속적인 전력수요 증가의 원인으로 경제성장, 산업구조의 변화, 타에너지 대비 저렴한 전기요금, 냉난방수요 급증 등을 들 수 있으며, 이는 표 1을 통해서 이미 수요예측 시 고려되고 있는 사항들이다. 반면, 주택용 부하가 전체 전력사용량에서 차지하는 비중이 점점 커지는 시점에서 가구구성형태별 증가추이는 반영되고 있지 않다. 따라서, 주택용 부하에서 가구구성형태별 증가추이를 반영하여 장기 전력수요예측의 정확성과 신뢰성을 높이기 위한 방안을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 k 년에 주택용 부하의 시간별 전력사용 예측량을 다음과 같이 제안한다.

$$L_{jk} = \sum_{\forall i} P_{i,j0} m_{i,0} \prod_{k=0}^K (1+r_{i,k}) \quad (5)$$

$$L_{j0} = \sum_{\forall i} P_{i,j0} m_{i,0} \quad (6)$$

여기서, k 는 가구구성형태(1: 1인 가구, 2: 2인 가구, 3: 3인 가구, 4: 4인 이상 가구), $m_{i,0}$ 는 현재 가구형태 i 의 가구수, $L_{i,j0}$ 는 현재 가구형태 i 의 1가구당 시간별 평균 전력사용량을 나타낸다.

4. 사례 연구

가구구성원의 수가 적다고 하더라도, 가내에서 기본적으로 냉장고, TV 등의 가전을 사용하고 있으므로 월간 전력사용량은 가구구성원의 수에 절대적으로 비례하지는 않는다. 본 사례연구에서 적용되는 가구구성형태에 따른 월간 전력사용량은 다음 표와 같이 상정한다[11].

가구구성형태에 따라 일반적으로 생활패턴이 상이하며, 이는 각 구성형태별 전력소비패턴의 차이로 이어진다. 오전 중 1인 가구와 2인 가구는 각각 7:30과 6:30에 침두부하가 발생하는 반면, 3인 이상 가구는 7:00에 가장 많은 전력을 사용한다. 또한, 오후 중 4인 이상 가구는 21:30에 침두부하가 발생하며, 그 외의 가구

표 3 가구구성형태별 월간 전력사용량 (2012년 8월 기준)

Table 3 The Average Monthly Power Demand by Housing Type (Aug. 2012) (단위: kWh/월)

가구구성	1인	2인	3인	4인 이상
전력사용량	163	271	325	412

구성형태에서는 21:00에서 가장 많은 전력을 사용한다. 본 사례연구에서 적용되는 가구구성형태에 따른 일일 전력사용량은 다음과 같다[9].

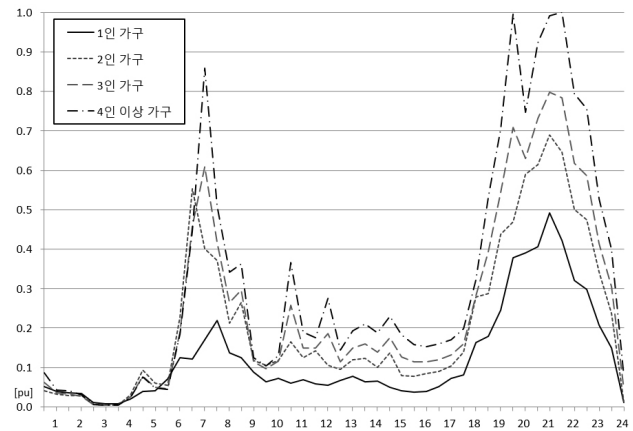


그림 2 가구구성형태별 가구당 전력사용패턴 (2013년)

Fig. 2 Daily Power Demand Patterns by Housing Type (2013)

위의 표를 통해 주택용 부하의 경우, 출근시간과 퇴근시간을 기준으로 두 차례에 걸쳐 집중적으로 전력을 사용함을 확인할 수 있다.

가구구성형태별 일일 전력사용패턴을 분석하면 다음 그림과 같다[12].

그림 1과 표 4의 데이터를 이용하여, 본 논문에서 제안한 주택용 부하의 장기 전력수요예측 기법을 적용하면 2020년과 2030

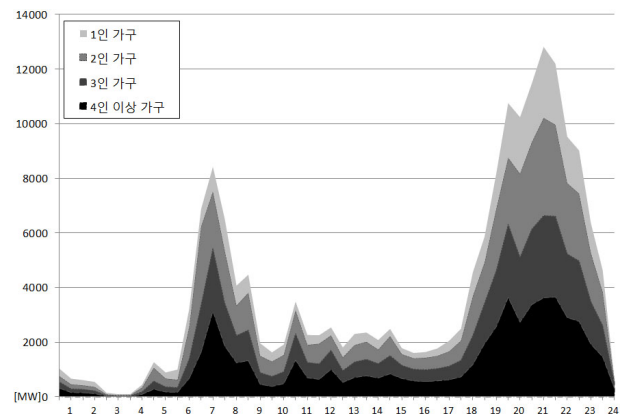


그림 3 가구구성형태별 일일 전력수요예측량 (2020년)

Fig. 3 Daily Load Forecasting by Housing Type (2020)

표 4 가구구성형태별 일일 전력사용량 (2013년)
Table 4 The Average Daily Power Demand by Housing Type (2013) (단위: MWh)

시간	가구구성			
	1인	2인	3인	4인 이상
00:30	219.6	172.1	214.6	381.5
01:00	168.1	134.4	123.4	189.3
01:30	151.4	122.1	114.9	179.0
02:00	145.4	117.7	96.5	137.5
02:30	45.4	33.3	23.0	28.3
03:00	30.3	22.2	15.3	18.8
03:30	30.3	22.2	15.3	18.8
04:00	81.8	126.6	87.4	107.4
04:30	165.0	397.5	274.3	337.2
05:00	175.6	251.0	173.2	212.9
05:30	299.8	233.2	160.9	197.8
06:00	526.9	963.9	665.1	817.6
06:30	514.8	2331.9	1609.1	1978.0
07:00	726.8	1692.3	2133.3	3809.1
07:30	929.7	1567.9	1460.5	2260.6
08:00	584.5	895.0	924.1	1512.7
08:30	529.9	1114.9	1037.5	1605.0
09:00	371.0	498.6	397.7	554.8
09:30	269.5	444.2	340.2	459.7
10:00	304.3	500.8	408.4	579.3
10:30	254.4	697.4	902.7	1627.6
11:00	290.7	524.1	522.6	840.2
11:30	248.3	604.1	524.1	776.1
12:00	233.2	443.1	649.0	1219.8
12:30	287.7	399.8	398.5	640.5
13:00	327.1	506.4	524.1	859.0
13:30	272.5	521.9	559.4	932.5
14:00	278.6	422.0	485.8	836.4
14:30	212.0	581.9	616.1	1021.0
15:00	175.6	335.4	446.0	811.9
15:30	157.5	326.5	398.5	702.7
16:00	166.6	357.6	400.0	680.1
16:30	219.6	378.7	417.6	705.5
17:00	310.4	440.8	460.5	758.2
17:30	348.3	588.5	562.4	883.5
18:00	696.5	1172.6	985.4	1427.9
18:30	757.1	1210.4	1379.3	2364.2
19:00	1044.8	1843.3	1908.0	3127.1
19:30	1605.0	1983.2	2482.7	4421.3
20:00	1662.5	2485.1	2206.8	3317.4
20:30	1726.1	2591.7	2562.4	4101.1
21:00	2089.5	2909.3	2793.8	4400.6
21:30	1792.7	2722.8	2744.7	4438.3
22:00	1362.7	2109.8	2160.9	3522.7
22:30	1265.8	2005.4	2055.1	3351.3
23:00	878.2	1443.6	1448.2	2335.9
23:30	635.9	999.4	1065.1	1770.8
24:00	45.4	53.3	163.2	356.0

년의 시간대별 전력사용량(가구구성형태별 누적)을 각각 다음 그림과 같이 예측할 수 있다.

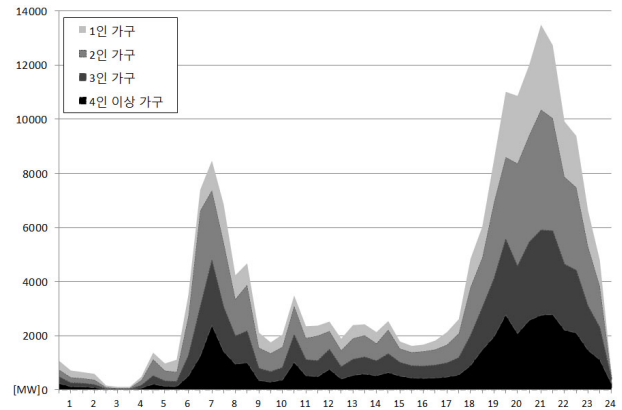


그림 4 가구구성형태별 일일 전력수요예측량 (2030년)
Fig. 4 Daily Load Forecasting by Housing Type (2030)

현 시점에서 통계청 자료 등을 통해 예측 가능한 2035년에 주택용 부하의 전력사용량을 기존의 예측 기법과 본 논문에서 제안한 기법을 적용하여 각각 예측했을 경우, 그 편차(기존 예측값 - 제안한 예측값)는 다음과 같다.

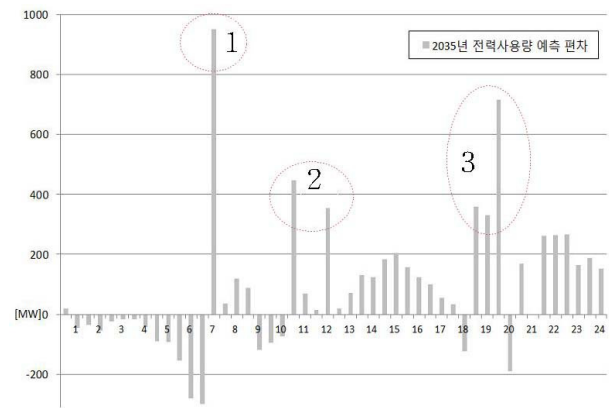


그림 5 제안한 기법 대비 기존 주택용 부하의 전력예측량 비교 (2035년)
Fig. 5 Comparison with Residential Power Demand by the Existing Load Forecasting and the Proposed Load Forecasting

위의 그림에서 점선으로 표시된 구간은 예측 편차가 300MW 이상인 구간으로서, 각 구간은 출근시간대(구간1), 점심이전시간대(구간2), 퇴근시간대(구간3)로 구분 지을 수 있다. 출근시간대(구간1)에 예측 편차가 951MW로 가장 크게 발생하는 이유는, 현 시점에서 전체 가구구성 중 절반의 비중을 차지하는 3인 이상 가구는 7시에 전력사용량이 가장 많은 반면, 2035년에 전체 가구 구성에서 34.3%를 차지할 것으로 예상되는 1인 가구는 7:30,

34%를 차지할 것으로 예상되는 2인 가구는 6:30에 전력사용량이 가장 많기 때문이다. 점심이전시간대(구간2)에서 예측 편차가 크게 발생하는 이유는, 이 시간대 전력소비량의 대부분을 차지했던 3, 4인 가구가 2035년에 급격히 감소하기 때문이다. 마지막으로 퇴근시간대(구간3)의 예측 편차는 2035년 전체 가구구성에서 높은 비중을 차지하는 1인 가구의 전력사용량이 이 시간대에서 타 가구구성형태 대비 적기 때문이다.

일반적으로 전력 피크는 오전 10시부터 12시 사이와 오후 2시부터 5시 사이에 발생하며, 이 중 오전 10시부터 12시 사이에 주택용 부하의 전력사용 피크는 오전 10:30에 발생한다. 하지만, 동시간대 2013년 대비 2035년의 전력사용량은 가구구성형태의 변화에 따라 1% 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

저출산 현상 심화로 인해 전체 인구수는 지속적으로 감소하고 있으나, 고령화 및 싱글족 확산으로 인해 1, 2인 가구가 늘어나면서 전체 가구수는 증가하는 추세를 유지하고 있다. 주택용 부하의 전체 전력사용량은 인구수보다는 가구수에 의한 영향이 더 크므로, 향후 주택용 부하의 전력사용량은 지속적으로 늘어날 전망이다. 그러나 기존의 장기 전력수요예측은 최근 들어 급격히 변하고 있는 1, 2인 가구의 증가 추이를 반영하기 어렵다. 이에 본 논문에서는 가구구성형태의 변화에 따른 장기 전력수요예측 기법을 제안하고, 가족구성형태의 변화가 주택용 부하의 장기 전력수요예측에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 본 논문의 사례 연구 결과는 주택용 부하 중 1, 2인 가구의 비중이 커질 경우 기존의 주택용 부하의 전력사용 피크 시간대가 인근의 다른 시간대로 이동할 가능성이 높음을 시사한다. 또한, 산업의 정보화 및 고도화로 인해 산업용 부하의 비중이 감소하고, 주택용 부하의 비중이 커질 경우, 전체 전력사용 피크 시간대가 현재와는 달라질 수 있음을 예측할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2014년 선정 기초 연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. [과제번호: R14XA02-37]

References

[1] Kyung-Bin Song, Jong-Hun Lim, "Short-Term Load Forecasting for the Consecutive Holidays Considering Businesses' Operation Rates of Industries", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.62, No.12, pp.1657-1660, 2013

[2] Kyung-Bin Song, "Development of Short-Term Load Forecasting Algorithm Using Hourly Temperature", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.63, No.4, pp.451-454, 2014

[3] Kwon-Soo Kim, Jong-In Park, Chae-Soo Park, "A Study on Changing Patterns of Short-run and Long-run Electricity Demand in Korea", 2008 Conference on The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 435-438, 2008

[4] Park Jun-Yioul, Lim Jae-Yun, Kim Jung-Hoon, "A Study the Load Forecasting Techniques using Load Composition Rates (Residential Load)", 1993 Conference on The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 82-85, 1993

[5] Dae-Hoon Ahn, Sang-Joong Lee, "Load Forecasting Of Power System", 2005 Conference on The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, pp.78-83, 2005

[6] Yeon-Joo Choi, Sung-Yul Kim, "Analysis on The Change of Power Consumption Pattern According to Single-Households", 2014 Conference on The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.155-156, 2014

[7] Jae-Gyun Choi, In-Ho Joe, Jong-Keun Park, Kwang-Ho Kim, "A Short-Term Load Forecasting Using Pattern Classification and Embedding Dimension", 1997 Conference on The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.1144-1148, 1997

[8] Kyung-Bin Song, Seong-Kwan Ha, "An Algorithm of Short-Term Load Forecasting", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.53A, No.10, pp.529-535, 2004

[9] 김민경, "Change Factors of Residential Electrical Load in Seoul and Reduction Plan", The Seoul Institute, Policy Report 149, pp.1-20, 2013.9

[10] Arthur Mazer, "Electric Power Planning for Regulated and Deregulate Markets", Wiley-IEEE Press, 2007.04

[11] "6th Long-Term Power Plan [2013~2027]", Ministry of Trade, industry & Energy, 2013.2

[12] Yu-Lan Kim, Won-Hwa Hong, Youn-Kyu Seo, Gyu-Yeob Jeon, "A Study on the Electricity Consumption Propensity by Household Members in Apartment Houses", Journal of the Korean Housing Association, Vol.22, No.6, pp.43-50, 2011

저 자 소 개



김 성 열 (Sung-Yul Kim)

2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2012년~2013년 미국 Georgia Institute of Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학교 전기에너지공학과 조교수.