

겨울철 난방민감도 및 난방부하 분석, 추정

이상철

한국전력거래소 수요예측팀장

1. 분석 배경

최근 생활수준의 향상으로 폐적한 생활을 누리고자 하는 욕구가 증대됨에 따라 예년과 비슷한 추위에서도 난방기기의 가동이 확대되는 등 기온에 대한 전력수요의 반응 정도가 증대되고 있다. 이런 사실은 최근 급증하고 있는 겨울철 최대전력에서 잘 나타나고 있는데, 금년 1월 6일에는 최대전력수요가 4,506만 2000kW를 기록하여 2002년 연중 최대전력인 4,577만 3000kW에 근접하는 기록을 나타냄으로써, 겨울철 전력수요에 대한 관심과 중요성이 확대되고 있다.

한편, 한국전력거래소에서는 최근 들어 겨울철 최대 전력수요에 난방전력이 지대한 영향을 주는 것으로 판단하고, 기온에 따른 난방민감도를 추정하여 정확도 높은 겨울철 최대전력 예측에 반영함으로써, 겨울철 원활한 전력수급에 만전을 기하고 있다. 따라서 최대전력의 주요 변동요인을 보다 정밀하게 분석하기 위해 현실감 있는 최근 전력자료와 선진 계량법을 이용하여 난방전력을 분석하고 관련 결과를 제시하고자 한다.

2. 난방전력 민감도 추정

난방전력 민감도란 겨울철 기온이 1°C 하락함에 따라

난방을 위해 사용하는 전력수요를 의미하며, 민감도를 추정하는 방법으로 다음 세 가지 방법을 사용하였다.

가. 기온반응함수를 이용한 추정

기온반응함수는 기온에 따라 전력수요가 반응하는 정도를 나타내는데, 다항식함수와 삼각함수가 결합된 함수를 통해 추정하였다. 우선 기온반응함수를 추정하기 위해서 과거 1971년부터 2002년까지의 전력판매량, 기온, GDP, 전력가격 자료를 이용하여 아래와 같은 회귀모형식을 설정하였다.

$$\begin{aligned} \ln(Sales_t) = & \alpha + \beta_1 \int s^* \times f_t ds + \beta_2 \int s^{*2} \times f_t ds \\ & + \beta_3 \int \cos 2\pi s^* \times f_t ds + \beta_4 \int \sin 2\pi s^* \times f_t ds \\ & + \gamma \ln(GDP_t) + \delta \ln(Price_t) + \varepsilon_t \end{aligned}$$

여기서, $s^* = \frac{s+20}{60}$, f_t = 기온분포함수, s = 기온

한편, 기온자료는 단순히 평균기온이나 최저기온을 이용하는 것이 아니라 기온분포함수를 이용하는데 이 기온분포함수는 기상청의 기온자료를 이용하여 기존의 알려진 분포(정규분포 등)로 가정하는 방법을 사용하지 않고 모수에 의존하지 않는 비모수적 방법(Nonparametric Method)에 의해 도출하였다. 위 모형식을 회귀상관분석하여 α 와 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 의 추정치를 얻고, 이 값을 이용

하여 최대전력에 대한 기온반응함수를 다음과 같이 추정하였다.

$$\hat{g}(s^*) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 s^* + \hat{\beta}_2 s^{*2} + \hat{\beta}_3 \cos 2\pi s^* + \hat{\beta}_4 \sin 2\pi s^*$$

이렇게 추정된 함수는 그림 1과 같이 난방부하가 발생하는 낮은 온도와 냉방부하가 발생하는 높은 온도에서 큰 값을 갖는 U-자 형태의 비선형함수로 나타나는데, 기온과 전력수요의 관계를 보면, $14^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ 에서 난방이나 냉방전력 등의 계절성 수요가 거의 발생하지 않는 기본부하를 형성하고 있고, 14°C 이하에서는 기온별로 난방전력 민감도가 차이를 나타내고 있다. 기온반응함수의 특징을 요약하면 다음과 같다.

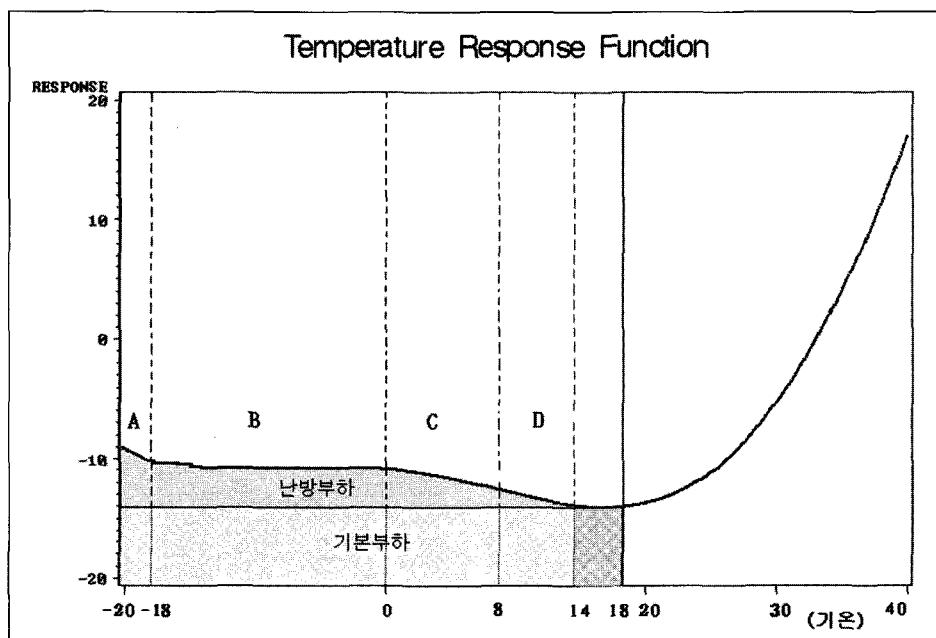
- $14^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ 근처에서 최저 값을 갖는 U-자 형태로
- -20°C 이후 냉방부하가 시작되어, 온도상승에 따라 더

욱 더 민감하게 반응하며

- 기온이 낮아질 때 보다 높아질 때 더 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다.

기온반응함수를 통해 난방부하와 관련된 중요한 정보, 즉 기본부하(Base Load)와 난방이 시작되는 온도인 난방개시온도(Heat Starting Temperature)를 추정하기 위해서, 최근 자료 중 난방부하가 거의 발생하지 않는 2002년 10월 실적중 기본부하에 해당하는 $14^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ 대의 날들을 추출하여 그때의 부하 및 기온을 평균하여 추정하였다. 이렇게 추정된 기본부하 및 난방개시온도(HST, 16.2°C)를 이용하여, 실제 일별 민감도는 다음 산식을 통해 추정할 수 있으며, 추정된 일별 민감도를 기온 구간별로 구분하면 기온대별 민감도를 추정할 수 있다.

$$\text{▶ 일별민감도} = (\text{일별부하} - \text{기본부하}) \div (\text{일별기온} - \text{난방개시온도})$$



〈그림 1〉 기온반응함수

이와 같은 기온 구간별 민감도 차이를 기준으로 2002년 11월 1일에서 2003년 1월 10일까지의 기온 및 부하실적 분석을 통해 난방전력의 기온에 대한 민감도를 추정한 결과 기온 구간별로 반응하는 전력수요 수준에 다소 차이가 있었지만, 대략 기온 1°C가 하락함에 따라 294MW~478MW의 전력수요가 증가하고 있는 것으로 나타났다. 표 1은 기온반응함수를 이용하여 기온 구간별로 민감도를 추정한 결과로서 난방이 시작되는 온도대인 8°C 이상~14°C 미만에서 민감도가 가장 크고, Δ18°C 이상~0°C 미만에서 가장 낮게 나타났다.

〈표 1〉 기온반응함수에 의한 난방민감도(MW/°C)

기온 구간별	난방민감도 수준	평균 난방민감도
14°C ~ 18°C	Zero 수준	Zero 수준
8°C 이상~14°C 미만	436 ~ 563	478
0°C 이상~8°C 미만	219 ~ 432	345
Δ18°C 이상~0°C 미만	240 ~ 348	294
Δ18°C 미만	최근 실적 없음	-

주) 2002. 11. 1~2003. 1. 10, 일별 최대 전력수요 실적 이용

나. 회귀분석 모형을 이용한 추정

회귀분석은 서로 다른 반응을 보이는 변수들 상호 간의 관련성을 분석하여, 이를 변수를 설명하는 통계적 기법으로 이 분석 결과 변수들 간의 과거 상호 연관관계가 미래에도 지속된다는 가정 하에 변수를 예측하는 것이다.

최대전력은 겨울철에는 기상변화와는 관계 없이 경제 규모의 증가 및 소득 수준의 향상 등에 따라 움직이는 산업활동의 자연추세인 기본부하(Base Load)와 기상변화에 민감하게 반응하는 난방부하(Heating Load)로 구성되어 있다. 이중 난방부하는 경제규모에 따라 난방기기의 규모가 결정되고, 매일매일 변화하는 겨울철 기상상황에 따라 사용행태 및 빈도가 상이하여 난방부하량의 변동이 있기 때문에 난방부하는 기온 등 그날의 기상에 따라 좌우된다고 가정하여 추정해 볼 수 있다.

따라서 “난방온도량”을 설명변수로 설정하고, 최대전력 수요 간에 상관관계를 모형화한 회귀분석 방법으로 추정하였다. “난방온도량”은 난방개시온도(16.2°C)와 해당 일 온도의 차이를 의미하고, a값은 상수항으로서 Y절편 값을 보여주며, 기상의 영향을 받지 않는 기본부하이며 모형식은 다음과 같다.

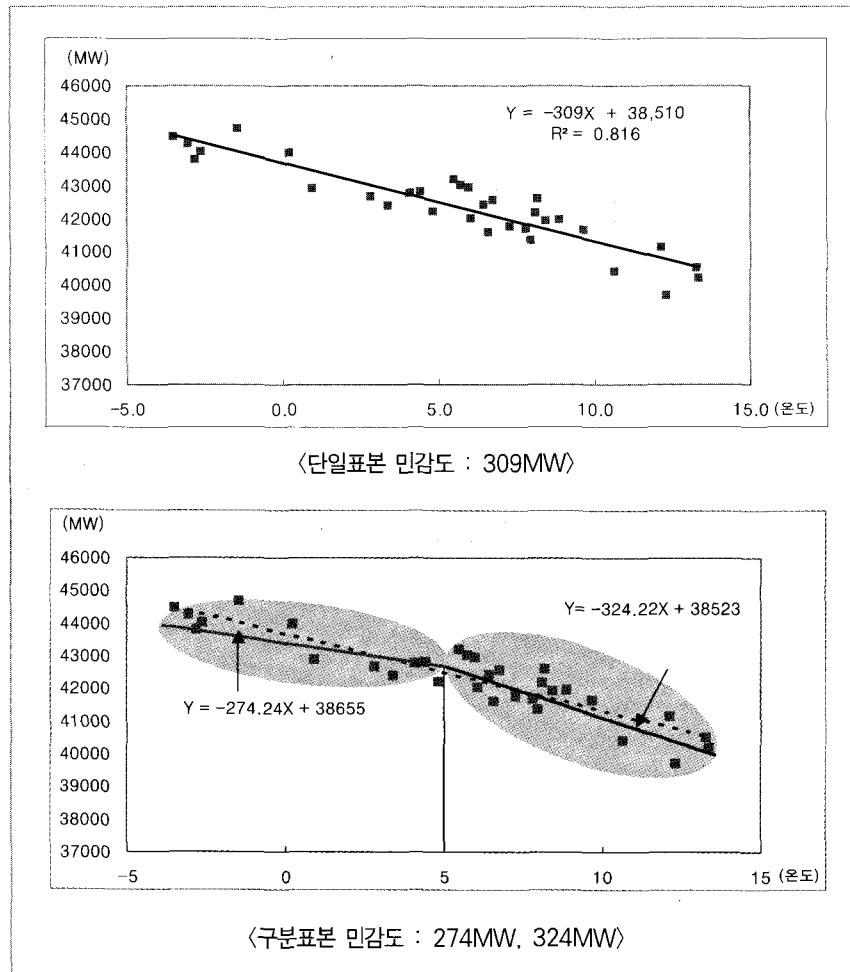
$$Y = \alpha + \beta \times (\text{Temp} - 16.2^\circ\text{C})$$

최대부하 기본부하 민감도 난방온도량
※ 난방온도량 = (일별 온도 - 난방개시온도 16.2°C)

추정에 사용한 자료는 2002년 11월 1일부터 2003년 1월 10일까지의 기온 및 최대전력 자료중 부하가 크게 떨어지는 토요일, 일요일 및 공휴일 자료는 제외하고 사용하였다. 한편, 기온별로 민감도가 다름에 따라 구조변화(Structural Break)를 반영하지 않은 단일표본 민감도와 구조변화를 반영한 구분표본 민감도를 각각 추정하였으며, 추정결과 기온 1°C 하락함에 따라 274MW~324MW 수준의 난방전력이 발생한 것으로 추정되었다. 구조변화(Structural Break)란 추정하는 목표 값에 현저한 차이가 있는 경우를 말하며, 여기서는 5°C를 기준으로 하였다.

다. 기온효과를 이용한 추정

기온효과(총체적 비선형적 기온효과)를 이용하여 추정하는 방법으로, 기온효과란 시기별 기온(°C)과 별도 추정한 기온반응함수가 결합되어 나타나는 효과로서 절대기온(°C)만을 가지고 난방전력을 설명하기 보다는 시기별 기온에 대한 반응도를 함께 고려한 기온효과를 이용하는 것이 보다 효과적인 방법으로 검증되었고, 이러한 기온효과 및 기온반응함수 개념을 통한 난방전력의 민감도 분석은 세계적으로도 처음 시도한 분석 방법이



라고 생각된다.

기온효과는 기온분포함수와 기온반응함수의 적분값으로 모형식은 다음과 같다.

$$\int g(s) \cdot f_t(s) ds$$

- ☞ $g(s)$: 기온반응함수('90~2001 자료이용 추정)
- ☞ $f_t(s)$: t 月(日, 道)의 기온분포함수('71~2002년 자료 이용)
- ☞ s : 기온

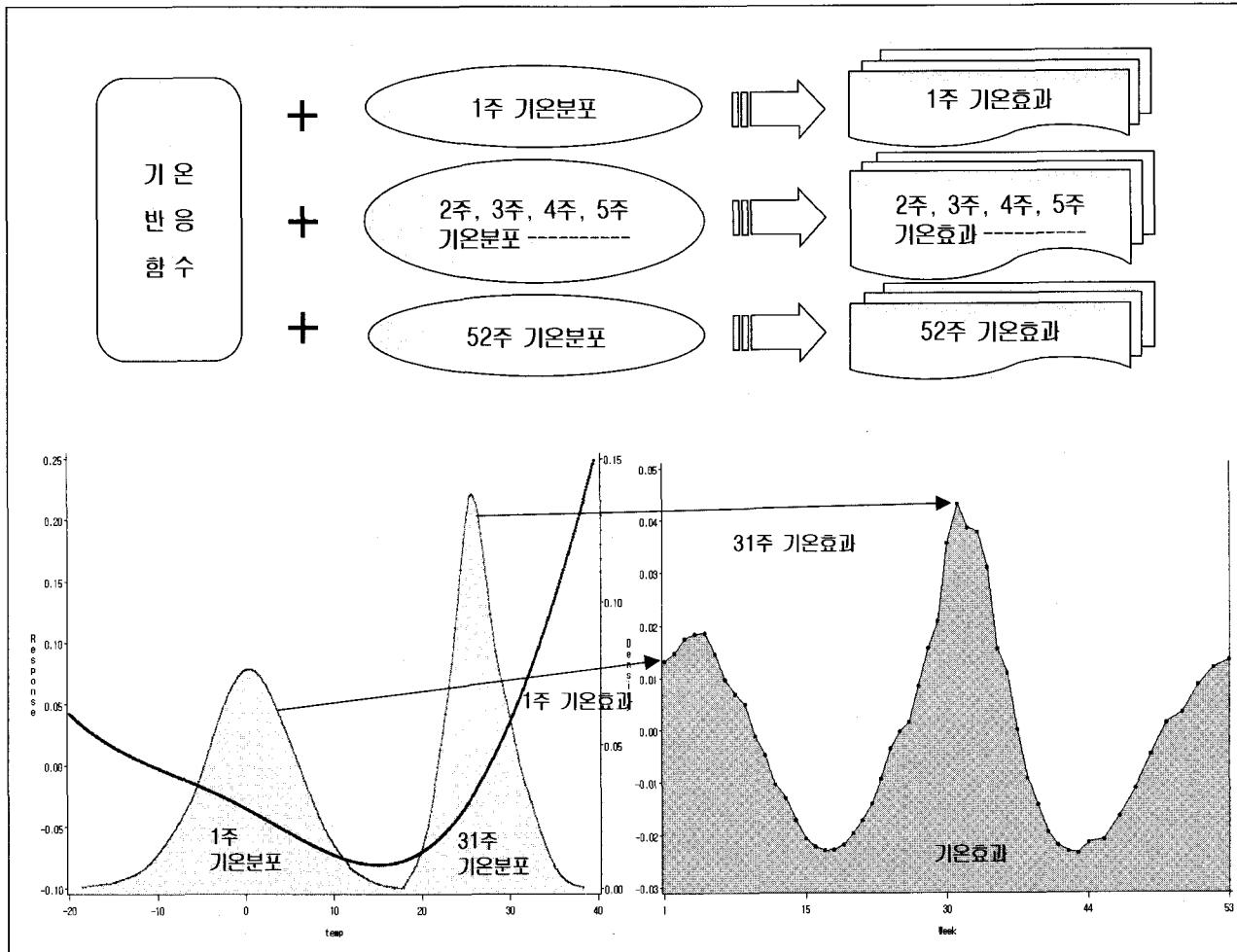
이를 그림으로 표현하면 그림 3과 같다.

여기서 기온분포함수는 기온 실적값들의 분포를 의미하는데, 특정일의 과거 기온값들은 일정한 분포를 가진 함수로서 비모수적(Nonparametric Method) 방법인 Kernel 추정법을 이용하여 추정하며 주어진 기간 동안의 기온이 각 온도에서 얼마나 자주 나타났는지의 상대빈도(Relative Frequency)를 평활화(Smoothing)한 함수이다.

한편, 기온분포를 추정할 때는 우리나라 전체 계통의 최대전력이 한 지역의 기온에 반응한다고 볼 수 없으므로 전국 5대 지역(서울, 부산, 대구, 광주, 대전)의 기온분포를 추정한 뒤에 이들 지역의 전력판매량의 비율로 가중 평균하여 전국의 기온분포를 추정하였다.

기온효과에 의한 민감도 추정은 기온이 변화하면 기온효과가 변화하고 그에 따라 최대전력도 변화하는데, 이러한 최대전력 변

화량을 계산함으로써 민감도를 추정하게 된다. 기온변화에 따른 최대전력 예측은 시간변동계수를 가지는 공적분 및 오차수정모형을 이용한 최신 예측시스템을 이용하였다. 많은 경제 시계열들은 단위근(Unit Root)을 갖는 것으로 알려져 있으며, 전력수요 시계열도 이들과 매우 비슷한 모습을 띠고 있다. 단위근을 갖는 시계열은 평균으로 회귀하는 성질이 없고 분산이 시간에 따라서 무한히 커지는 등 정상시계열(Stationary Time Series)과는 다



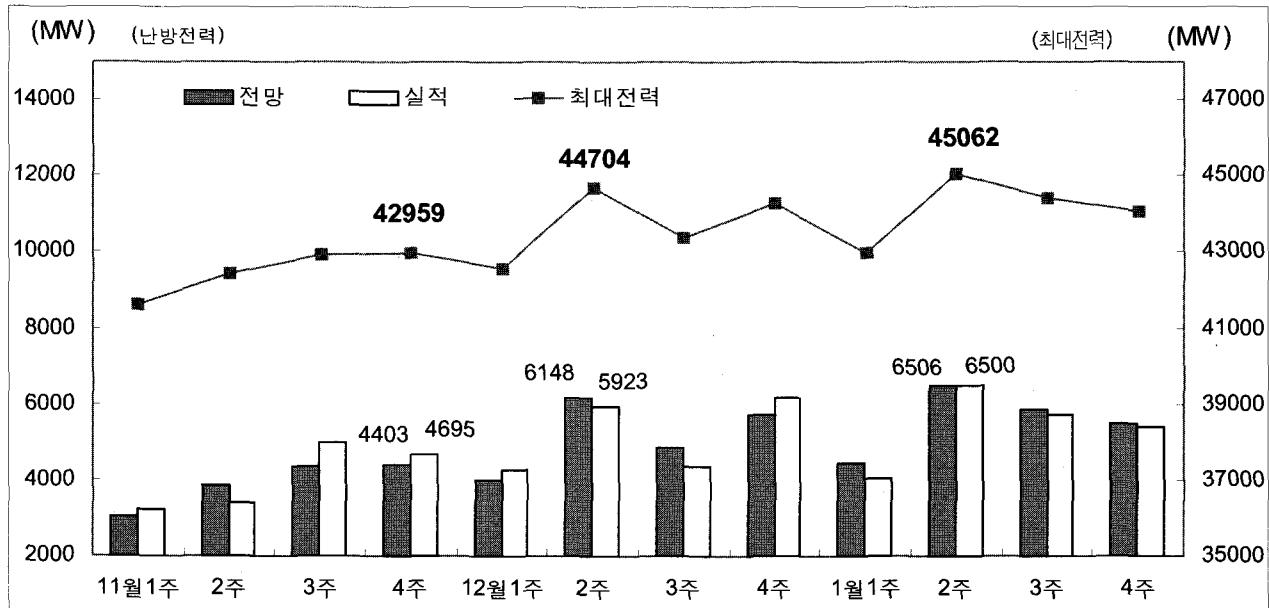
〈그림 3〉 기온효과를 이용한 추적

른 성질을 지니고 있다. 단위근을 갖는 시계열들 사이의 관계는 정상 시계열들의 경우와 다르게 모형화되어야 한다. 이러한 최신 모형을 이용하여 도출된 난방전력의 민감도는 1°C 하락에 따라 $205\text{MW} \sim 315\text{MW}$ 수준을 보이고 있다.

3. 난방민감도 및 난방전력 추정

최근 겨울철 최대전력이 기록된 날(2003년 1월 6일 19

시 $45,062\text{MW}$)의 기온을 이용하여 추정 방법별로 난방전력을 추정한 결과 전체적으로 $6,336\text{MW} \sim 7,039\text{MW}$ 수준의 범위를 가지는 것으로 나타났으며, 평균적으로는 $6,652\text{MW}$ 의 결과가 도출되어 전체 부하에서 15% 정도의 비중을 차지하였다. 기온반응함수를 이용한 추정치가 $7,039\text{MW}$ 로 가장 크게 나타났으며, 나머지 회귀분석 모형 및 기온효과를 이용한 추정치는 $6,336\text{MW} \sim 6,500\text{MW}$ 로 큰 차이가 없는 것으로 추정되었다.



〈그림 4〉 난방전력 전망 및 실적(MW)

〈표 2〉 추정 방법별 난방민감도 및 난방부하 추정결과

추정 방법	난방민감도(만kW/°C)	난방부하(만kW)
기온반응함수	37.2	703.9
회귀분석 모형	30.2	641.7
기온 효과	26.1	650.0
평균	31.1	665.2

4. 난방전력 추정 및 결과치 비교

추정치의 유의성 검토를 위해 2002년 11월 1주부터 2003년 1월 2주까지 총 12주의 난방전력 실적 및 전망치를 비교하였다. 전력수요의 오차율을 비교한 결과 전체적으로 0.01%~1.5%의 범위를 나타냈으며, 평균적으로 0.7%의 상당히 작은 오차율을 나타내어 최대전력 수요에 즉 정확도가 상당히 높은 수준을 나타내었다.

5. 맺음말

본 연구분석을 통해 도출된 난방전력 민감도는 기온이 1°C 하락함에 따라 평균 31만 1000kW의 난방전력이 발생하는 것으로 나타났으며, 전체 난방전력 수준은 최대전력의 약 15%를 차지하는 수준으로 겨울철 최대전력의 주요 변동성으로 특화되었다. 이런 난방전력이라는 변동성(계절성)을 이번 연구에서 독특하게 도출된 기온반응함수 및 기온효과 등의 개념을 통해 추정한 사실은 세계적으로 처음 시도했다고 생각되며, 이를 통해 추정된 난방전력은 겨울철 전력수요 예측에 한층 정확도를 높히리라 예상된다.

이를 적극 활용함으로써 전력수급 안정을 확고히 달성하여 국민들이 보다 퀘적한 생활을 영위하는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다. ■