

지역난방 열에너지 수요예측*

서병선** · 심상렬***

요 약

지역난방 열에너지 수요는 기상 요인, 사회문화적 요인과 밀접한 관련을 갖는다. 최근 기후변화에 따른 급격한 기온 변화와 기술의 발전, 사회문화적 특성의 변화에 따라 열에너지 수요예측에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 2007년~2008년 수도권 두 도시의 시간단위 지역난방 열에너지 실측자료를 바탕으로 자료에 부합하면서 예측의 정확성을 향상시킬 수 있는 지역난방 열에너지 수요모형을 찾고자 하였다. 첫째, 외기온도와 열에너지 수요의 이력현상에 따른 상태 의존적 관계를 설명하는데 상태구분모형을 적용하였다. 둘째, 열에너지 수요의 사회문화적 요인을 고려하기 위하여 월, 요일, 일중 시간에 따른 계절 변수를 포함하였다. 셋째, 수요모형에 동태적 특성을 포함하여 계절적 주기와 열에너지 수요의 지체 현상을 설명하였다. 따라서 열에너지 수요의 이력현상에 따른 상태 의존적 특성, 사회문화적 요인, 동태적 특성을 수요모형에 고려함으로써 설명력을 개선하고 수요예측의 정확성을 향상시킬 수 있었다.

주요 단어 : 기후변화, 상태구분모형, 수요예측, 열에너지, 이력현상, 지역난방
경제학문헌목록 주제분류 : Q41, Q47

* 본 논문을 작성하는데 유익한 논평을 주신 박호정 교수와 심사위원에 감사한다. 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-330-B00060).

** 고려대학교 식품자원경제학과 교수(주·교신저자). seomatteo@korea.ac.kr

*** 에너지경제연구원 선임연구위원. srshim@keei.re.kr

I. 서 론

지역난방은 열병합발전소와 같은 대규모 열 생산시설을 이용하여 일정 지역에 열에너지를 집단적으로 공급하는 방식이다. 지역난방은 열병합발전과 함께 보일러, 소각열, 공정폐열, 신재생열 등을 활용하여 저렴한 난방열을 공급하기 때문에 에너지 효율성이 높고 친환경적으로 환경개선효과가 높은 것으로 평가되고 있다. 지역난방사업의 건설 및 운영을 위한 대규모 비용을 고려하면 생산 단위의 효율적 운영이 바람직하다. 하지만 기상 요인의 변화에 따른 난방 열에너지 수요의 변동성이 크기 때문에 열부하는 계절과 시간에 따라 변동성이 극심하고 가동률의 편차로 인하여 안정적인 수급관리와 적정 수준의 효율성을 얻기 힘들다. 따라서 지역난방사업의 효율적 운영과 관리를 위하여 지역난방의 수요예측이 절실히 요구된다.

지역난방의 연간 부하패턴을 살펴보면 계절과 일중 시간에 따른 변동성이 매우 높게 나타나고 이러한 계절적 특성이 반복되는 규칙성을 보인다. 2007년~2008년 수도권 두 지역의 시간 단위 열 사용량의 기술통계량은 <표 1>에 정리되어 있다. 특히 2007년 연간 동절기의 최고 열사용량과 하절기의 최저 열사용량의 차이가 B 지역에서는 무려 43배에 달한다.

부하 패턴의 계절적 변동과 함께 요일별, 시간별 부하 패턴 역시 극심한 변동성을 나타낸다. 지역난방 수요예측모형에서 열 사용량의 변동성을 잘 설명할 수 있다면 이를 이용하여 효율적인 열에너지 공급을 기할 수 있을 것이다. 지역난방의 부하율 산정방식에서도 이러한 계절적 변동을 고려하여 난방 수요의 특성에 의한 계절, 요일, 시간에 따라 변동하는 계수를 사용한다. 하지만 현재 사용하고 있는 산정방식에 따르면 부하율 산정에서 열에너지 공급이 수요를 초과하는 초과 예측(over-prediction)이 나타나고 있으며 이 현상이 지속적으로 증가하는 추세이다. 이러한 현상은 주택 및 건물의 기술 발전에 따른

단열 효과 개선과 가격 측면에서 전기요금이 상대적으로 안정적이고 저렴하여 열에너지 대체가 이루어졌기 때문으로 보인다. 하지만 이와 함께 기후 변화로 인한 이상 기온 및 지구 온난화에 따른 영향을 무시하기 어렵다.

지역난방의 부하율 산정방식이 실제 열사용량과 괴리를 나타내는 데에는 기상 요인과 열수요의 변동성 증가와 함께 열에너지 수요의 이력현상(hysteresis)과 관련을 갖는다. 외기 온도의 변화가 열에너지 수요에 미치는 영향은 단면적이지 않고 상태의존적인 특성을 갖는다. 외기 온도가 상승하는 상태와 하락하는 상태에 따라 열에너지 수요의 반응은 다르게 나타날 수 있다. 특히 난방도일(HDD)은 설계 기준 실내온도와 일평균 외기온도와의 차이를 난방기간에 대해 누계한 값으로 겨울철 난방기간 중 난방설계에 적용되고 있으며 D20-16 개념에 따르면 일평균 외기온도가 16도 이하가 되면 실내온도가 20도까지 난방되어야 한다. 따라서 열에너지 수요는 외기온도와 비선형적 관계를 갖는다. 또한 열에너지는 전력에 비하여 일시적 저장이 가능하므로 생산과 공급의 시차에 의하여 동태적 지체현상을 나타낸다. 이들은 열에너지 수요의 기본적 특성이기 때문에 본 연구에서는 지역난방 수요모형에 이력현상과 지체현상을 고려하여 수요 예측의 정확성 향상을 기하고자 한다.

본 연구에서는 지역난방 수요예측에 관련한 기존 모형을 검토하고 실측 자료에 나타난 특성과 비교를 통하여 수요예측의 정확성을 기할 수 있도록 수요모형을 개선하고 발전시키고자 한다. 열에너지 수요를 결정하는 기상 요인, 사회문화적 요인들을 모형에서 활용하며 이력현상에 따른 열 수요와 외기 온도의 비선형적 관계를 조명하여 자료에 부합하는 수요모형을 제시할 것이다. 그리고 열에너지 수요의 지체현상을 설명하기 위하여 동태적 특성을 모형에 고려할 것이다.

지역난방 열에너지 수요에 관한 기존의 연구에서 외기 온도와 사회적 요인은 지역난방 수요의 중요한 결정요인이다. 김진형(2001)은 지역난방의 열수요 행태를 분석하였으며, 박주현(2002)은 비모수적 방법으로 기온과 지역난방 열에너지 수요의 관계를 분석하였다. 부하 패턴에 대한 기존의 분석방법은 ARMA 모형, 칼만 필터, 인공신경망 모형 등이 활용되었다. Amjady(2001)와

Wiklund(1991)는 ARMA 시계열모형으로 부하패턴을 분석하였다. Infield and Hill(1998)와 Arvastson(2001)은 제한된 실적 자료의 문제를 해결하기 위하여 칼만 필터를 적용하였다. 그리고 제한 자료를 해결하기 위하여 Hipperts, Pedreira, and Souza(2001), Olofsson, Andersson, and Ostin(1998)은 인공신경망 모형을 활용하였다. 본 연구는 외기 온도와 열에너지 수요의 이력현상을 상태구분모형(threshold model)으로 분석하였다. 상태구분모형은 Hansen(1996)의 모형을 따르며 거시 및 금융 분야를 포함한 많은 분야에서 적용되고 있으며 용량 제한을 갖는 에너지 분야에도 적용이 가능할 것이다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2절에서는 지역난방 수요예측에 관련한 결정요인과 분석모형을 다룬다. 제3절에서는 분석에 사용되는 실측자료를 설명한다. 지역난방 수요예측모형에 관련한 추정 및 분석 결과는 제4절에서 제시한다.

II. 지역난방 수요예측모형

지역난방의 수요예측에 관한 기존의 연구에서 외기 온도와 사회적 요인은 지역난방 수요의 중요한 결정요인으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 지역난방 수요예측모형에 기상 요인과 사회문화적 요인을 고려한다.

1. 수요 결정요인

가. 기상 요인

가장 중요한 기상 요인으로 실외 온도를 찾을 수 있고 난방 수요는 온도와 부(-)의 관계를 갖고 비선형 형태로 관측된다. Arvastson(2001)은 외기 온도

이외의 기상 요인으로 풍향, 일조량, 강수량은 열 수요에 유의한 영향을 미치지 않음을 보였다. 따라서 실외 온도에 의하여 설명되는 열에너지 수요는 다음과 같다.

$$f_t = f(x_t)$$

여기서 x_t 는 실외 온도, f_t 는 온도와 관련한 열에너지 수요이다.

열에너지 수요는 외기 온도와 비선형적 관계를 갖기 때문에 이의 추정에는 비모수적 추정 방법이 적용될 수 있다. 그리고 기상요인중 주요 변수로 실외 온도를 고려하고 있으나, 난방 수요가 계절과 지역에 따라 풍향과 강수량 등 다른 기상 변수에 영향을 받을 수 있으므로 다른 기상 요인을 포함하여 모형의 확장이 가능하다.

나. 소비자의 사회문화적 요인

사회문화적 요인은 계절 주기성과 같이 관측되는 규칙적인 수요 변화를 의미한다. 계절과 일중 시간에 따라 난방 수요는 규칙적인 변화를 보인다. 그리고 설, 추석 등 명절이나 방학이 있는 달에 난방 수요의 변동은 일정한 규칙성을 보인다. 사회문화적 요인은 경험적 자료의 규칙적 특성에서 비롯하므로 다음과 같이 시간의 함수로 주어진다고 한다.

$$s_t = g(t)$$

여기서 s_t 는 사회적 요인과 관련한 난방 수요를 나타낸다.

계절 효과는 월별 일수, 공휴일 효과, 방학 효과 등 사회, 문화, 관습적 요인으로 지역난방 열에너지 수요에 있어서는 월, 요일, 일중 시간에 대한 규칙적 특성을 추정하도록 한다.

2. 시간단위 수요예측모형

지역난방 수요예측모형에 적용하기 위한 자료는 수도권 두 지역의 시간단위 열사용량이며 자료의 기간은 2007년~2008년이다. 자료의 특성상 두 지역의 시간단위 외기온도를 주요 기상 변수로 한 수요예측모형을 찾고자 한다. 분석에 사용한 기본 모형은 열사용량을 종속변수로 기상요인과 사회적 요인을 설명변수로 사용하는 회귀분석에 기초한다.

$$y_t = \mu + \beta' z_t + \nu' d_t + u_t$$

여기서 z_t 는 기상 요인으로 외기 온도와 비선형적 특성을 고려하기 위한 제곱항 등을 포함한다. 그리고 d_t 는 사회적 요인으로 사회 관습에 의한 열 수요가 월별, 요일별, 시간대에 따라 달리 나타나는 점을 설명하기 위한 더미 변수이다.

지역난방 수요예측에 사용하였던 에너지경제연구원(2009)의 모형은 다음을 기초로 하였다.

$$y_t = \mu + \beta_1 x_t + \beta_2 x_t^2 + u_t$$

여기서 x_t 는 외기 온도이고 x_t^2 는 외기 온도의 제곱항으로 온도와 열 사용량의 비선형적 관계를 측정하기 위해 사용하였다.

따라서 위 모형은 지역난방 수요예측에 기상 요인과 외기 온도의 비선형적 특성을 고려하고 있으나 사회적 요인을 고려하지 않았다. 만일 기존 모형에 사회적 요인을 추가로 고려한다면 다음 모형이 가능하다.

$$y_t = \mu + \beta_1 x_t + \beta_2 x_t^2 + \nu' d_t + u_t$$

외기 온도의 제곱항을 사용하면 연속 함수를 가정하므로 함수의 최저점을 통과하면 외기 온도의 상승에 따른 열 사용량의 상승을 의미한다. 따라서 이 차함수의 가정은 열수요를 설명하는데 적합하지 않다. 외기 온도가 일정 수준 이상 높게 유지된다면 열 수요는 감소하거나 거의 변함이 없을 것이므로 L-자형 관계를 가정하는 것이 실제 자료에 부합할 수 있다.

열에너지 수요는 이력현상(hysteresis)으로 인해 외기 온도에 따른 상태 의존적 특성을 나타낸다. 열역학의 관점에서는 Bertotti(1998)의 모형과 같이 상태 변수의 수준과 변동에 따라 열수요가 다른 경로를 따라 움직이는 이력현상을 나타낼 수 있다. 따라서 본 연구는 열수요의 외기 온도의 수준에 따른 상태 의존적 특성을 측정하기 위하여 다음과 같은 상태구분모형(threshold model)을 적용한다.

$$y_t = \mu + \beta x_t + (\delta_0 + \delta_1 x_t) 1(q_t > \gamma) + \nu' d_t + u_t$$

여기서 $1(\cdot)$ 는 지시함수이다. 따라서 상태 변수 q_t 가 분계점 γ 보다 작을 경우 절편과 기울기 계수는 각각 μ 와 β 이지만 분계점을 초과하면 이들은 각각 $\mu + \delta_0$ 와 $\beta + \delta_1$ 이다. 분계점 γ 는 알려지지 않은 모수이며 그리드 탐색 방법으로 추정한다. 실증분석에서 상태변수로 외기 온도의 수준과 변화를 모두 고려하였으며 외기 온도의 변화의 경우 안정적 결과를 얻지 못하였다. 따라서 실증분석에서는 외기 온도의 수준을 상태 변수로 한다.

열에너지 수요와 외기 온도의 관계는 상태 의존적이며 상태구분모형은 비선형적 특성을 갖는다. 외기 온도를 상태변수로 할 경우 외기 온도가 일정 분계점을 초과하면서 열에너지 수요의 반응이 이전과 다르게 나타난다. 이 경우 상태 의존적 특성을 갖기 때문에 난방 설계와 자료의 특성에 부합한 모형이다.

열에너지 수요의 상태 의존적 특성을 검정하기 위하여 다음과 같이 귀무가설과 대립가설을 얻는다.

$$H_0 : \delta_0 = \delta_1 = 0 \quad \text{v.s.} \quad H_1 : \delta_0 \neq 0 \text{ or } \delta_1 \neq 0$$

만일 귀무가설이 성립하면 열 수요는 외기 온도와 상태 의존적이지 않고 선형 관계를 갖게 될 것이다. 하지만 대립가설과 같이 외기 온도의 분계점을 초과하면서 절편과 기울기 계수가 달라질 경우 외기 온도와 열 수요는 상태 의존적이며 비선형적 관계를 갖는다.

귀무가설이 성립한다면 선형적 관계를 의미하므로 선형성 제약을 가정한 모형은 다음과 같다.

$$y_t = \mu + \beta x_t + \nu' d_t + u_t$$

따라서 선형성을 가정하여 얻은 제곱오차의 합(RSS_r)과 상태구분모형을 추정하여 얻은 제곱오차의 합(RSS_u)을 이용하여 다음 F-통계량을 얻는다.

$$F_n(\gamma) = \frac{RSS_r - RSS_u}{RSS_u} \frac{n-k}{2}$$

여기서 n 은 표본의 크기, k 는 상태구분모형의 설명변수의 수, 그리고 2 는 귀무가설에서 제약의 크기를 나타낸다.

F-통계량은 분계점이 알려진 경우 구할 수 있기 때문에 분계점의 함수이다. 만일 분계점을 알지 못한다면 인식되지 않는 모수를 갖기 때문에 검정에 직접 사용할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 Davies(1987), Andrews(1993), Hansen(2006)에서 제시한 최적 통계량을 적용한다.

$$\text{SupF} = \text{Max}_{\gamma} F_n(\gamma)$$

$$\text{AveF} = \text{Mean} F_n(\gamma)$$

분계점에 대한 구간을 정하여 일련의 F-통계량을 얻고 여기서 최대값이 SupF 통계량으로 정의된다. 그리고 AveF 통계량은 일련의 F-통계량의 평균으로 정의된다. 이들 통계량에 대한 부트스트래핑 p-유의도와 임계값을 구하여 상태 의존성을 검정한다.

상태구분모형에 대한 추정은 분계점의 추정에서 시작한다. 상태구분모형은 분계점에 대한 그리드를 설정하여 탐색하는 방식으로 추정한다.

$$\text{Min}_{\gamma} \text{Min}_{\theta} S_n(\theta, \gamma)$$

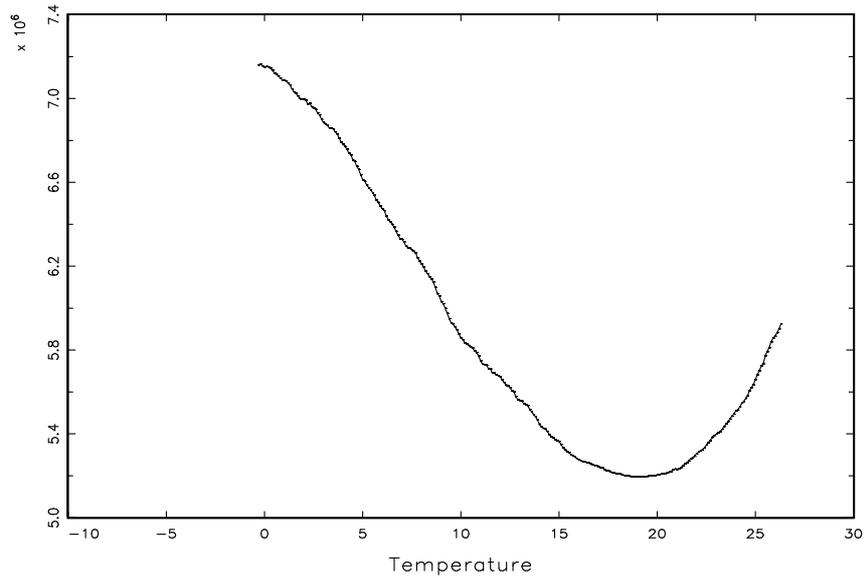
$$\text{여기서 } S_n(\theta, \gamma) = \sum_{t=1}^n u_t^2,$$

$$u_t = y_t - \mu - \beta x_t - (\delta_0 + \delta_1 x_t)1(q_t > \gamma) - \nu' d_t.$$

[그림 1]은 2007년 수도권 A 도시의 열사용량과 외기온도 자료를 사용하여 상태구분모형을 추정하여 얻은 결과이다. 그림에서 분계점은 목적함수를 최소화하는 점으로 추정된다.

본 연구에서 제시하는 지역난방 수요예측모형은 상태 의존적 특성과 함께 열에너지 수요의 동태적 특성을 포함한다. 열에너지 수요는 전력 수요와 비교하여 시간 지체 현상을 보인다. 열에너지는 일시적으로 저장이 가능하므로 생산과 공급의 시차 조정을 통하여 지체 현상을 나타낸다. 따라서 열에너지 수요의 시간 지체 현상으로 인해 자기 종속성이 커질 것이다.

[그림 1] 분계점 추정



열에너지 수요는 자기 종속성과 고유의 계절적 주기성을 갖는다. 자기 종속성은 기상 요인과 사회적 요인을 설명변수로 통제하여도 여전히 유의하다. 열에너지 수요의 상태 의존적 특성과 함께 동태적 특성을 고려한 수요예측모형은 다음과 같다.

$$y_t = \mu + \beta x_t + (\delta_0 + \delta_1 x_t)1(q_t > \gamma) + \nu' d_t + u_t$$

$$\phi(L)u_t = \epsilon_t$$

여기서 $\phi(L) = \sum_{i=0}^k \phi_i L^i$, $\phi_0 = 1$ 은 자기회귀 연산이며 ϵ_t 는 백색잡음을 따른다.

열에너지 수요모형의 오차에 자기회귀모형으로 자기종속성을 설명하고자 하였으며 이는 수요모형에 시차변수 $\{y_{t-i}, x_{t-i}, d_{t-i}\}_{i=1}^k$ 를 포함한 모형과

동일하다. 자기회귀연산의 시차는 AIC(Akaike information criterion)를 이용하여 선택한다.

Ⅲ. 분석 자료

실증분석에는 사용하는 자료는 열에너지 사용량 실측자료이며 2007년~2008년 수도권 두 도시의 시간 단위 열 사용량과 외기온도를 포함한다. 열사용량의 단위는 시간당 Gcal이다. 자료는 에너지경제연구원을 통하여 확보하였다.

<표 1>은 열사용량 자료의 기술 통계를 보인다. 열사용량의 평균은 두 지역에서 큰 차이가 없고 연간 변화 역시 안정적이다. 하지만 2007년~2008년 두 지역에서 열사용량의 최대값은 큰 폭으로 증가하였다. 열사용량의 범위(최대값-최소값)가 증가하고 표준편차 역시 증가하여 열에너지 수요의 변동성이 증가하였음을 보여준다.

열에너지 수요의 분포는 우측 비대칭성을 보이며 2007년~2008년 변동성의 증가와 함께 분포의 비대칭성 역시 증가하였음을 보인다. 2007년~2008년 열사용량의 중앙값은 하락하는데 이는 이 기간에 분포의 우측 비대칭성의 증가에 기인한다. 첨도는 정규분포에 비하여 작은 값을 보이지만 2007년~2008년 증가하였다. 분포의 형태는 우측 비대칭적 특성을 보이며 Jarque-Bera 검정에 의할 때 정규분포와 다름을 보인다.

열에너지 수요의 우측 비대칭성은 외기온도에 따른 열수요의 상태 의존성과 관련을 갖는다. 외기 온도가 일정 수준 이하로 될 경우 적정 실내온도를 유지하도록 난방되어야 하므로 열수요와 외기온도의 비선형적 관계와 상태 의존적 특성을 갖고 열수요의 분포는 우측 비대칭성을 갖는다. 따라서 본 연구는 열수요의 특성을 반영할 수 있는 수요모형으로 상태구분모형을 제시하고자 한다.

〈표 1〉 열사용량의 기술통계

구분		2007년	2008년
A 지역	중앙값	130	111
	표준편차	113.4505	123.0258
	왜도	0.526907	0.679223
	첨도	1.930391	2.093454
	JB 통계량	822.8311	973.5289
	(p-유의도)	(0.0000)	(0.0000)
	Q 통계량 (24)	169598	172357
	(p-유의도)	(0.0000)	(0.0000)
B 지역	중앙값	111	97
	표준편차	108.9302	124.4009
	왜도	0.660123	0.826148
	첨도	2.170465	2.389486
	JB 통계량	887.3803	1135.628
	(p-유의도)	(0.0000)	(0.0000)
	Q 통계량 (24)	166448	172259
	(p-유의도)	(0.0000)	(0.0000)

* Jarque-Bera 통계량은 카이 자승 분포를 따르고 괄호는 p-유의도임.

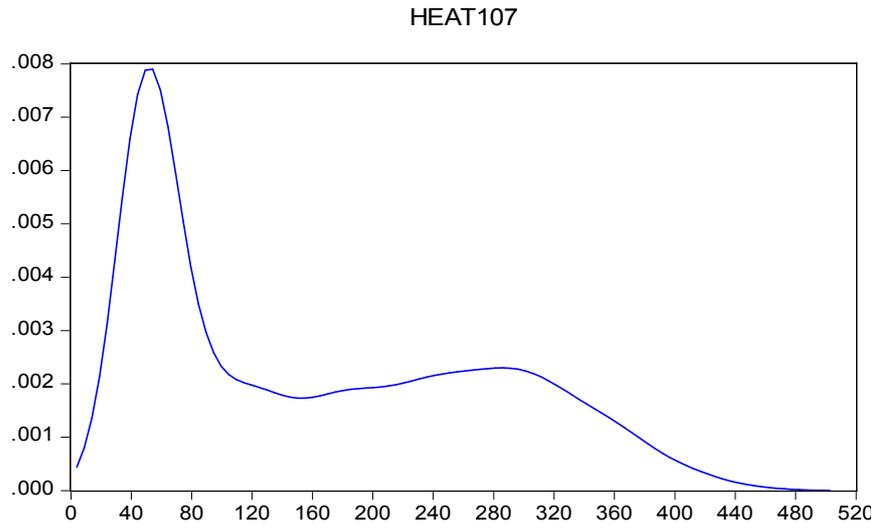
** Ljung-Box Q 통계량은 시차 24에서 얻음

Ljung-Box Q-통계량은 AR 차수 24에서 계산한 것으로 자기 종속성이 유의함을 보인다. 이는 열에너지 수요의 시간 지체 현상으로 자기종속성이 크고 계절적 주기 역시 강하기 때문으로 보인다.

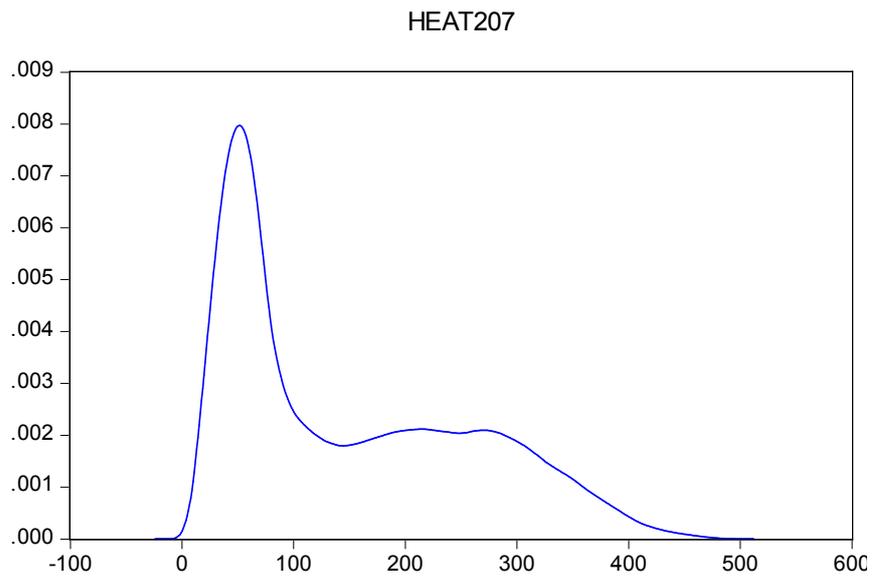
[그림 2]는 지역별, 연도별 지역난방 열사용량의 분포를 비모수적 방법으로 추정한 것이다. 모든 지역과 연도에 공통적으로 열에너지 수요의 비대칭성이 나타나는데 최빈값이 평균과 중앙값에 비하여 작으며 우측으로 경도된 분포를 보인다. 분포의 비대칭성은 2007년~2008년 증가하였으며 이는 최근 겨울철 기온 변화와 열에너지 수요의 변동성 증가에 기인한 것으로 보인다. 분포함수의 비모수적 추정에는 정규분포 커널을 사용하였고 구간비모수는 cross-validation으로 구하였다.

[그림 2] 분포함수 추정

(2007년 A지역)



(2007년 B지역)



IV. 분석 결과

본 연구의 지역난방 수요모형은 시간 단위 자료를 사용하며 외기 온도에 의한 기상 요인과 계절과 시간에 따른 열 소비패턴의 규칙적 변화를 나타내는 사회문화적 요인을 고려하였다.

1. 외기 온도와 열사용량의 상태의존성

[그림 3]은 외기 온도와 열사용량의 산포도를 보여준다. 외기 온도의 상승에 따른 열사용량의 감소를 나타내는데 여기에는 비선형적 특성이 나타난다. 외기 온도가 일정 수준 이하로 하락하면 열에너지 수요는 증가하지만 일정 수준을 초과하면서 열 사용량은 더 이상 감소하지 않는 특성을 보이는데 이는 D20-16 지역난방 개념에 상응한다.

기존 모형에서는 이들 관계를 밝히기 위하여 외기 온도의 제곱항을 이용한 이차 함수를 가정하였다. 하지만 열 수요가 이차 함수를 따른다면 외기 온도가 일정 수준을 초과하면서 열사용량이 증가하여야 한다. 하지만 [그림 3]을 살펴보면 외기 온도의 제곱항을 이용한 열에너지 수요모형이 적합하지 않음을 알 수 있다.

[그림 3]은 외기 온도와 열사용량의 관계를 비모수적 방법으로 추정된 결과를 보인다. 추정에는 정규분포 커널 함수가 사용되었으며 구간비모수는 cross-validation으로 추정하였다. 비모수적 추정을 살펴보면 외기 온도와 열사용량은 L-자형 관계를 나타낸다. 이 현상은 두 지역과 모든 해당 년도에 동일하게 나타난다.

자료의 특성에 비추어 적합한 함수 형태를 취하는 것이 보다 정확한 예측

을 기할 수 있을 것이다. 본 연구는 상태구분모형(threshold model)으로 열에너지 수요의 상태 의존적 특성을 설명하고자 하였다. 모형의 적합성에 대하여는 추정 결과와 예측 정확성 비교에서 살펴보도록 한다.

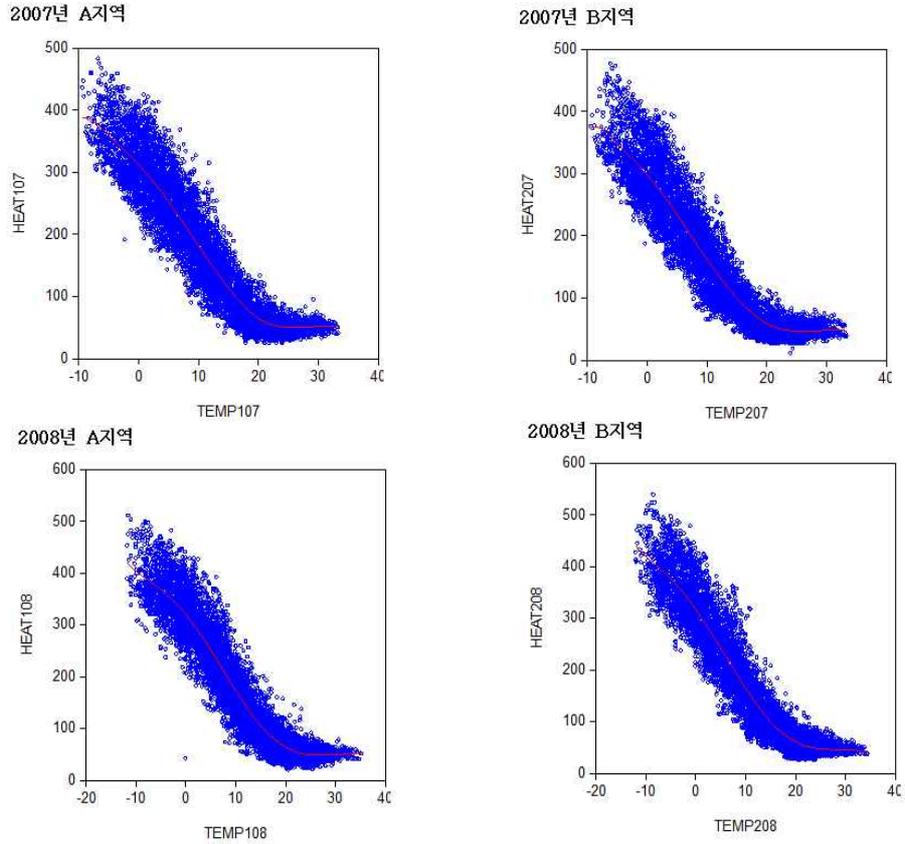
지역난방 수요예측모형에서 외기온도와 열 사용량의 상태 의존적 관계를 분석하기 위하여 상태구분모형을 대립가설로 하고 이에 대한 귀무가설을 선형 모형으로 하여 상태 의존성 검정을 하였다. 제2절에서 설명한 바와 같이 분계점 모수가 인식되지 않기 때문에 최적 통계량인 Sup-F, Ave-F 통계량을 얻고 이에 대한 부트스트래핑 p-유의도를 얻었다. 이 결과를 <표 2>에서 정리하였다.

2007년과 2008년 그리고 A, B 지역 모두 상태 의존적 관계가 유의함을 보인다. 예를 들어, 2007년 A 지역의 Sup F 통계량은 1893.7408이고 이에 대한 95% 임계값은 4.9430이므로 열에너지 수요의 상태 의존적 특성이 유의하다. Ave F 통계량 역시 동일한 결과를 보인다.

<표 2> 상태 의존성 검정

구분		검정통계량	p-유의도	95% 임계값
2007년 A지역	Sup F	1893.7408	0.0000	4.9430
	Ave F	1228.0588	0.0000	2.9373
2008년 A지역	Sup F	2195.4684	0.0000	1.7012
	Ave F	1425.1416	0.0000	0.3727
2007년 B지역	Sup F	2175.0118	0.0000	3.9804
	Ave F	1508.5982	0.0000	1.1061
2008년 B지역	Sup F	2395.4824	0.0000	5.2581
	Ave F	1622.1351	0.0000	0.9242

[그림 3] 외기 온도와 열사용량(비모수적 추정)



2. 난방 수요의 계절 요인

열에너지 수요는 계절적 주기성을 나타내는데 이는 계절과 시간에 따른 규칙적인 소비 패턴을 나타내기 때문이다. [그림 4]는 지역난방 열에너지 수요의 월별 계절적 요인을 추정한 결과이다. 모든 지역과 연도에 공통적으로 동절기에 열에너지 수요가 정점에 달하고 하절기에 저점에 달하는 형태를 보인다. 특히 월별 사용에 있어 1월에 가장 높은 사용을 나타내며 7~8월에 가장

낮은 사용을 보여준다.

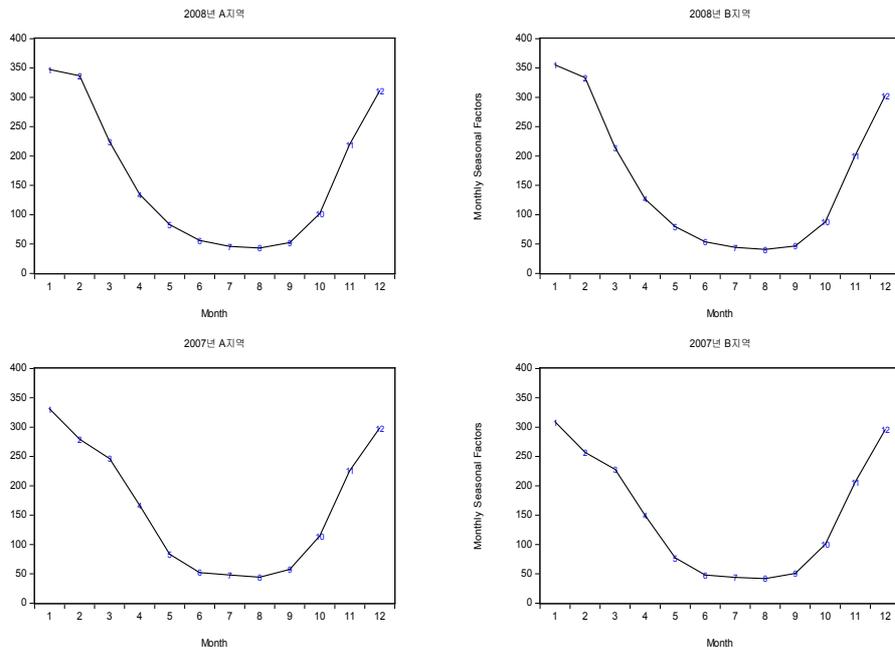
월별 계절적 요인을 추정함에 있어 다음 회귀분석을 사용하였다.

$$y_t = \mu_1 M_{1t} + \mu_2 M_{2t} + \dots + \mu_{12} M_{12t} + u_t$$

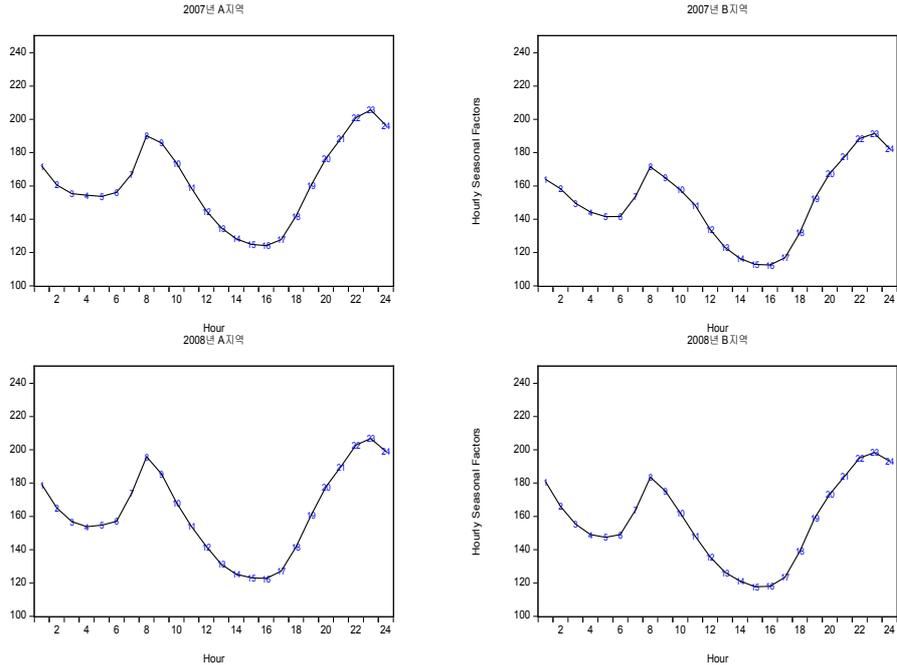
여기서 M_{jt} 는 월별 더미 변수이며 μ_j 는 월별 평균 열사용량이다.

[그림 5]는 일중 시간별 열 사용량의 계절적 요인을 보여준다. 일중 23시에 지역난방 수요가 가장 높고 15시에 가장 낮다. 그리고 오전 중 4시에 수요가 낮고 8시에 높다. 그림과 같이 일중 변화에서 시간 주기성을 보이는데 지역난방 용도별로 주거용 열 수요와 업무용 열 수요가 시간대에 따라 변동을 보이고 있으며 일정한 규칙성을 갖기 때문으로 보인다.

[그림 4] 열 수요의 계절적 요인 (월)



[그림 5] 열 수요의 계절적 요인 (시간)



3. 추정 결과

지역난방 열에너지 수요의 기상 요인, 계절적 요인과 함께 동태적 특성을 고려하여 수요예측모형을 추정하였다. 동태적 특성을 파악하기 위하여 자기상관함수와 편자기상관함수에 대한 분석을 하였다. 모형의 선택에는 오차의 자기 종속성을 사후 검정하고 AIC(Akaike Information Criterion) 등 모형 선택 기준을 활용하였다.

열에너지 사용량의 자기 종속성과 계절적 주기를 설명하기 위하여 AR 모형에서 차수 24를 선택하였다. 실제 추정에는 이들 차수를 모두 사용하지 않았으며 모형 선택기준에 따라 일부 유의한 차수를 포함하였다.

수요예측모형에 대한 적합성을 비교하기 위하여 기존 모형과의 비교를 하

였다. 기존 연구에서 활용한 외기 온도의 이차 함수를 따르는 기준 모형으로 모형 C를 추정하였으며, 모형 C에 계절적 요인을 포함한 모형 B도 함께 추정하였다. 모형 A는 열에너지 수요의 상태 의존적 특성을 고려한 상태구분모형으로 사회문화적 요인과 동태적 특성을 모형에 포함한다.

<표 3>은 2007년 지역 A에 대한 지역난방 수요모형을 추정한 결과이다. 상태구분모형의 분계점은 그리드 탐색 방식에 의해 18.8로 추정되었다. 그리고 상태변수는 외기 온도의 수준이다. 따라서 외기 온도가 18.8도 이하이면 열 사용량은 외기 온도와 부(-)의 관계를 갖고 그 계수는 -6.625로 추정되었다. 하지만 외기 온도가 18.8도를 초과하면 열 사용량은 외기 온도와 더 이상 부(-)의 관계를 갖지 않는다.

계절적 요인을 살펴보면 1월에 열사용량이 가장 높고 8월에 가장 낮게 나타난다. 그리고 요일, 일중 시간에 따른 계절적 요인이 열에너지 수요와 유의한 관련성을 갖는다.

외기 온도와의 이차 함수형태를 가정한 모형 C에서도 제공항이 유의하게 추정되었다. 하지만 조정된 결정 계수를 비교하였을 때 모형 A에 비교하여 약 0.10 정도의 차이를 보인다. 특히 자기 종속성이 심각하여 Durbin-Watson 통계량이 0에 가까운 값을 보인다. 모형 C에 계절적 요인을 추가한 모형 B에서도 Durbin-Watson 통계량은 계열 상관과 자기 종속성을 나타낸다.

<표 4>는 2007년 B 지역의 지역난방 수요모형을 추정한 결과이다. <표 3>과 같이 열에너지 수요의 상태 의존적 특성이 나타나고 계절적 요인과 동태적 특성을 찾을 수 있다. 그리드 탐색방법으로 분계점은 17로 측정되었다. 열에너지 수요는 분계점 이하에서 외기온도와 부(-)의 관계를 갖지만 분계점 이상이면 외기온도와 관계를 보이지 않는다. 제공항을 이용한 모형 B와 모형 C에 비교하여 모형 A는 조정결정계수와 로그 우도가 향상되고 AIC와 SC에 의하여 적정 모형으로 선택된다.

2008년 두 지역의 지역난방 수요모형을 추정하였으며 2007년 추정결과와 크게 다르지 않았다. A 지역에서 분계점은 17.6, B 지역은 17로 추정되었다.

〈표 3〉 추정결과 (2007년 지역 A)

변수	모형 A		모형 B		모형 C	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
상수항	323.3332*	4.495529	331.5471*	1.735427	309.3258*	0.710751
기온	-6.62582*	0.158672	-11.5635*	0.117881	-15.5749*	0.118486
기온>18.8	-133.858*	5.725835				
기온*(기온>18.8)	7.08888*	0.288317				
기온^2			0.205352*	0.003818	0.200318*	0.004478
1월	25.46266*	5.908625	15.45235*	1.329398		
2월	3.087731	5.621027	8.118771*	1.392076		
3월	-12.5046*	5.589698	-3.83779*	1.416611		
4월	-52.5557*	5.738672	-37.6016*	1.654483		
5월	-97.4582*	5.978756	-86.0466*	1.974607		
6월	-117.55*	6.215094	-101.213*	2.317046		
7월	-122.698*	6.250993	-102.208*	2.38689		
8월	-125.82*	6.299218	-103.014*	2.559884		
9월	-110.221*	6.098087	-99.331*	2.171695		
10월	-82.4498*	5.720914	-74.3922*	1.763054		
11월	-35.4039*	4.956747	-25.1685*	1.423371		
월요일	3.42911*	1.00555	4.111716*	1.014367		
화요일	2.462855	1.279464	4.148047*	1.020068		
수요일	2.686592	1.392188	4.122451*	1.022427		
목요일	3.118829*	1.39044	5.384762*	1.01983		
금요일	1.098805	1.27822	3.608703*	1.018883		
토요일	0.888867	1.005722	3.395155*	1.018443		
공휴일	-4.61634*	1.930676	-5.91757*	1.509188		
1시	-25.5827*	1.214308	-26.564*	1.881356		
2시	-38.8941*	1.704928	-40.7623*	1.880803		
3시	-45.6913*	2.081443	-48.3177*	1.881878		
4시	-48.1579*	2.34587	-51.6215*	1.883257		
5시	-50.2672*	2.538819	-54.4518*	1.884796		
6시	-48.9084*	2.679077	-53.7879*	1.886261		
7시	-38.3506*	2.780369	-43.7643*	1.886996		

지역난방 열에너지 수요예측

변수	모형 A		모형 B		모형 C	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
8시	-14.1858*	2.850007	-19.4665*	1.885506		
9시	-15.2279*	2.895108	-18.9149*	1.88177		
10시	-21.4305*	2.926745	-21.6307*	1.880542		
11시	-29.2823*	2.957282	-25.6479*	1.888313		
12시	-36.6336*	2.985724	-29.9384*	1.903516		
13시	-42.9063*	2.999781	-34.897*	1.917718		
14시	-47.0917*	2.995326	-38.5223*	1.927913		
15시	-48.1976*	2.976381	-38.9973*	1.937414		
16시	-48.8446*	2.929439	-39.7983*	1.93964		
17시	-47.6675*	2.848027	-39.2251*	1.932751		
18시	-37.621*	2.724735	-30.3553*	1.916022		
19시	-24.0545*	2.560434	-18.3478*	1.898016		
20시	-11.2836*	2.354314	-7.08435*	1.888122		
21시	-2.10469	2.083884	0.891028	1.88337		
22시	8.340042*	1.704657	10.11301*	1.881106		
23시	11.00773*	1.212652	11.853*	1.880093		
AR(1)	0.629445*	0.010719				
AR(2)	0.006005	0.012614				
AR(3)	-0.05886*	0.009903				
AR(24)	0.301101*	0.007832				
R-squared		0.9815		0.9501		0.8873
Adj. R-squared		0.9814		0.9499		0.8873
S.E. of reg.		15.4504		25.3946		38.0929
Sum sq. resid		2073472.0000		5620182.0000		12705540.0000
Log likelihood		-36283.0900		-40737.7400		-44309.9800
F-stat.		9600.7760		3862.3770		34463.8700
Prob(F-statistic)		0.0000		0.0000		0.0000
S.D. dep. var.		113.2821		113.4505		113.4505
AIC		8.3187		9.3120		10.1183
SC		8.3584		9.3475		10.1207
H-Q criter.		8.3323		9.3241		10.1191
D-W stat.		1.9619		0.4933		0.2928

〈표 4〉 추정결과 (2007년 지역 B)

변수	모형 A		모형 B		모형 C	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
상수항	307.8393*	5.193269	328.0023*	1.709249	293.211*	0.681513
기온	-7.06776*	0.150819	-12.3152*	0.116104	-15.9631*	0.113624
기온>17	-122.399*	4.446048				
기온*(기온>17)	7.2372*	0.250056				
기온 ²			0.235752*	0.003761	0.236057*	0.004294
1월	5.929039	7.002663	-4.91767*	1.308938		
2월	-10.1921	6.497467	-10.7262*	1.371076		
3월	-14.1202*	6.434262	-17.2385*	1.39525		
4월	-52.695*	6.525324	-48.6707*	1.629538		
5월	-90.0811*	6.688045	-86.9097*	1.944836		
6월	-108.735*	6.881246	-102.174*	2.28211		
7월	-115.235*	6.901504	-103.639*	2.3509		
8월	-117.927*	6.898832	-104.444*	2.521285		
9월	-99.714*	6.737266	-101.81*	2.138935		
10월	-72.3646*	6.320289	-82.7397*	1.736473		
11월	-40.8219*	5.200555	-39.1468*	1.401908		
월요일	2.16779*	0.881992	2.220684*	0.998945		
화요일	2.121325	1.129415	2.340989*	1.004682		
수요일	2.74598*	1.23427	2.733049*	1.006998		
목요일	3.899969*	1.234049	4.543537*	1.004454		
금요일	2.042499	1.129605	2.317821*	1.003521		
토요일	3.083055*	0.882267	3.256168*	1.003087		
공휴일	-4.02473*	1.675705	-1.44864	1.484069		
1시	-19.7638*	0.966173	-20.8484*	1.851712		
2시	-27.0302*	1.516295	-29.0781*	1.852447		
3시	-37.3025*	1.938514	-40.2465*	1.853506		
4시	-43.9751*	2.260016	-47.8214*	1.854864		
5시	-48.1283*	2.505772	-52.8346*	1.85638		
6시	-49.0114*	2.693194	-54.405*	1.857823		
7시	-37.5972*	2.834457	-43.5251*	1.858546		
8시	-18.9334*	2.937192	-24.592*	1.85708		

지역난방 열에너지 수요예측

변수	모형 A		모형 B		모형 C	
	계수	표준오차	계수	표준오차	계수	표준오차
9시	-22.1195*	3.008196	-26.1007*	1.8534		
10시	-23.5787*	3.057825	-24.0385*	1.852191		
11시	-25.6321*	3.096341	-22.2084*	1.859844		
12시	-33.352*	3.123502	-27.1563*	1.874817		
13시	-40.2526*	3.129763	-32.8056*	1.888806		
14시	-44.4626*	3.111865	-36.5142*	1.898846		
15시	-45.6805*	3.072692	-37.2592*	1.908204		
16시	-46.1324*	3.000608	-37.8416*	1.910397		
17시	-44.1972*	2.888954	-36.5756*	1.903612		
18시	-33.3028*	2.730244	-26.8287*	1.887135		
19시	-17.4144*	2.523771	-12.3674*	1.869401		
20시	-5.88012*	2.267555	-2.09594	1.859656		
21시	1.12719	1.94123	4.014022*	1.854975		
22시	9.769769*	1.516912	11.63847*	1.852746		
23시	10.92539*	0.966069	11.85459*	1.851748		
AR(1)	0.829968*	0.010932				
AR(2)	-0.14478*	0.014001				
AR(3)	-0.04871*	0.009769				
AR(24)	0.287863*	0.006782				
R-squared		0.9872		0.9475		0.8875
Adj. R-squared		0.9872		0.9473		0.8875
S.E. of reg.		12.3267		25.0118		36.5337
Sum sq. resid		1319967.0000		5452621.0000		11688077.0000
Log likelihood		-34314.0800		-40609.3100		-43948.9500
F-stat.		13987.1200		3660.9220		34555.8700
Prob(F-statistic)		0.0000		0.0000		0.0000
S.D. dep. var.		108.7656		108.9302		108.9302
AIC		7.8670		9.2816		10.0347
SC		7.9067		9.3171		10.0371
H-Q criter.		7.8805		9.2937		10.0355
D-W stat.		1.8694		0.3286		0.2190

4. 예측 정확성 비교

지역난방 수요모형으로 열에너지 수요를 예측하고 실제 결과와 비교를 통하여 예측의 정확성을 비교한 결과를 <표 5>에서 보여준다. 수요모형으로 외기 온도와 제곱항을 사용한 모형 C, 여기에 사회문화적 요인을 포함한 모형 B, 그리고 상태구분모형으로 외기온도와 에너지 수요의 상태 의존성을 설명하고 사회문화적 요인과 동태적 특성을 포함한 모형 A를 고려하였다. 예측 정확성은 표본 자료를 이용하여 모형을 추정하여 얻은 예측과 실제의 차이를 RMSE(Root Mean Squared Errors), MAE(Mean Absolute Errors), MAPE(Mean Absolute Percentage Errors)로 측정하였다.

2007년 A 지역의 경우 모형 C에 비하여 모형 A의 RMSE는 약 60% 감소하고 MAE는 약 65% 감소한다. B 지역의 경우 모형 A의 예측력은 모형 C에 비하여 더욱 증가하는 것으로 나타난다. 계절적 요인을 고려한 모형 B 역시 모형 A 보다 예측 정확성이 향상되었으나 외기 온도와의 상태 의존적 특성을 반영하고 지체효과에 대한 동태적 특성을 고려하여 예측력이 더욱 향상되었음을 얻을 수 있다.

<표 5> 지역난방 수요모형의 예측력

구분		모형 A (A/C)		모형 B (B/C)		모형 C
2007년 A지역	RMSE	15.40699	(0.40452787)	25.33074	(0.6650871)	38.08635
	MAE	10.50847	(0.35320962)	19.56972	(0.65777542)	29.75137
	MAPE	8.757511	(0.32853155)	17.97738	(0.67440811)	26.65653
2008년 A지역	RMSE	12.70948	(0.31689375)	26.67239	(0.66504008)	40.10644
	MAE	8.898623	(0.29297942)	20.69556	(0.68138331)	30.37286
	MAPE	7.876261	(0.28138347)	20.32462	(0.72610749)	27.9912
2007년 B지역	RMSE	12.29208	(0.33651614)	24.94885	(0.68301628)	36.52746
	MAE	8.103572	(0.29399413)	19.51246	(0.70790372)	27.56372
	MAPE	7.032147	(0.28733885)	20.08119	(0.82053261)	24.47336
2008년 B지역	RMSE	10.44877	(0.26691863)	26.96542	(0.68884404)	39.1459
	MAE	7.075375	(0.24352943)	21.07276	(0.72530958)	29.05347
	MAPE	6.166047	(0.23901427)	21.81002	(0.84542105)	25.79782

사회문화적 요인으로 계절적 변수를 고려한 모형 B는 모형 C와 비교하여 예측력의 향상을 보인다. 2007년 A 지역의 경우 RMSE로 33%, MAE로 34% 예측 정확성이 향상된 것으로 보인다. 2007년 B 지역은 RMSE로 32%, MAE로 30% 예측력의 향상을 나타낸다.

2008년 역시 열에너지 수요와 외기 온도의 상태 의존적 특성과 비선형성 모형을 개선하고 동태적 특성을 고려한 모형 A의 예측 정확성이 향상되었음을 보여준다. 지역 A에 비하여 지역 B에서 모형 A의 예측력 향상이 더욱 크게 나타나며 지역난방수요 예측의 정확성 개선 효과를 얻을 수 있다.

<표 6>에서 표본외 예측력을 측정하였으며 2007년 자료로 각 모형을 추정하여 2008년도 열에너지 수요 예측을 구하였다. 모형 A에서 표본외 예측을 구할 때 상태구분모형을 사용하였으며 오차에 대한 자기회귀과정은 포함하지 않은 결과이다. 시간 단위 자료여서 이를 하나의 자료로 통합하기에는 너무 방대하여 Gauss와 Eviews 통계 패키지가 취급하지 못하므로 년도 단위로 나누어 분석하였으며 축차적 추정과 예측을 적용할 경우 표본외 예측의 정확성이 더욱 향상될 수 있을 것이다.

표본외 예측에서 사회문화적 요인을 포함한 모형 B는 모형 C에 비하여 지역 A에서 RMSE로 29.89%, MAE로 29.23% 향상을 보이고, 상태구분모형을 적용한 모형 A는 모형 C에 비하여 RMSE로 33.78%, MAE로 33.99% 예측 정확성의 향상이 나타난다. 지역 B에서도 표본외 예측 정확성이 향상하는 결과를 얻었다.

〈표 6〉 지역난방 수요모형의 표본외 예측력

구분		모형 A (A/C)		모형 B (B/C)		모형 C
A지역	RMSE	26.68772	(0.6622)	28.25457	(0.7011)	40.30081
	MAE	20.29933	(0.6601)	21.7632	(0.7077)	30.75371
B지역	RMSE	28.93602	(0.7333)	29.07665	(0.7368)	39.46161
	MAE	21.64028	(0.7503)	21.81998	(0.7565)	28.84377

V. 결 론

지역난방 열에너지 수급관리는 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 필수적인 정책수단이다. 열에너지 수요는 기온, 습도, 풍향 등 기상 요인과 계절과 시간의 변화에 따라 결정되는 사회적 요인에 의해 결정되는 특성을 갖는다. 하지만 최근 기후변화에 의한 지구온난화와 급격한 기온 변화는 열에너지 수요 예측에 어려움을 주고 있다. 또한 기술의 발전과 사회문화적 특성 및 선호의 변화 역시 열에너지 수요 예측 및 수급 관리에 차질을 초래한다.

본 연구는 지역난방 열에너지 DB를 사용하여 2007년~2008년 수도권 두 도시의 시간단위 열에너지 수요 패턴을 분석하였다. 열에너지 수요와 외기 온도의 비선형적 관계를 상태구분 모형으로 추정하여 기상 요인이 지역난방에 미치는 상태 의존적 효과를 측정하였으며 지역난방 예측모형의 비선형성 개선과 동태적 특성을 고려하여 수요예측의 정확성을 향상시킬 수 있었다. 따라서 열에너지 수요와 외기 온도의 관계에 기초한 수요예측모형으로 지역난방 수요예측의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

지역난방 수요는 기상 요인, 사회적 요인과 함께 경제 변수와 밀접한 관련을 갖는다. 본 연구는 시간 단위 수요 분석으로 경제적 요인을 포함하지 않았으나 장기 수요예측에서는 국내총생산, 난방 가격, 대체 열에너지 가격 등 경제적 요인을 주요 결정 요인으로 포함해야 할 것이다. 이들 요인 이외에도 지역난방 수요를 결정하는 관련 요인들을 포함하고 측정이 어려운 요인들에 대하여는 상태차원모형 등 모형의 확장을 도입할 수 있을 것이다.

외기 온도와 열 사용량은 계절적 주기를 포함하고 있으므로 통상적인 시계열 분석방법으로는 접근에 한계가 있을 수 있다. 따라서 지역난방 수요예측모

형에서도 이들에 대한 체계적인 방법론의 개발과 적용이 보다 정확하고 합리적 수급 관리에 필요하다. 이에 대한 분석과 모형개선은 추후 연구로 남긴다.

접수일(2012년 2월 7일), 수정일(2012년 3월 18일) 게재확정일(2012년 4월 30일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김진형, 2001, “지역난방의 주택용 열소비행태 분석,” 「자원·환경경제연구」, 10/2.
- 김현숙, 2008, “지역난방사업의 공사비부담금과 열요금 연계조정방안에 대한 연구,” 「자원·환경경제연구」, 17/3, 91~134.
- 박주현, 2002, “비모수 지역난방 수요예측모형,” 「자원·환경경제연구」, 11/3, 447~463.
- 박호정·장철호, 2007, “실물옵션을 이용한 소형열병합발전의 경제성 평가: 전력가격 변동성을 고려하여,” 「자원·환경경제연구」, 16/4, 763~781.
- 손양훈·박주현·조전혁, 2001, “지역난방의 환경개선효과 측정에 관한 연구,” 「자원·환경경제연구」, 10/3.
- 에너지경제연구원, 2009, 「열공급 가능범위 산정에 관한 연구」.
- 에너지경제연구원·한국지역난방공사, 2000, 「평균부하율 적용타당성 조사연구」.
- 한국지역난방공사, 1999, 「운영업무 편람」.
- 한국지역난방공사, 2000, 「열부하산정기준(동시부하율)의 통계적 분석 연구」.
- 한국지역난방공사, 2005, 「세계의 지역난방 현황 및 발전추이 조사 연구(정책분야)」.
- Amjady N., 2001, "Short-term hourly load forecasting using time-series modeling with peak load estimation capability," IEEE Trans Power Systems 16, 798 - 805.
- Andrews, D.W.K., 1993, “Tests for parameter instability and structural change with unknown change point,” Econometrica 61, 821 - 856.
- Arvastson, L., 2001, Stochastic modelling and operational optimization in

- district-heating systems, Ph. D. thesis, Mathematical Statistics, Lund University, Lund, Sweden.
- Bertotti, G., 1998, Hysteresis in magnetism: For physicists, materials scientists, and engineers, Academic Press.
- Davies, R.B., 1987, "Hypothesis testing when a nuisance parameter is present only under the alternative," *Biometrika* 74, 33 - 43.
- Dotzauer, E., 2002, "Simple model for prediction of loads in district-heating systems," *Applied Energy* 73, 277-284.
- Hansen, B.E., 1996, "Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypothesis," *Econometrica* 64, 413 - 430.
- Härdle, W. and O. Linton, 1994, "Applied nonparametric methods," *Handbook of Econometrics*, Vol.IV, Elsevier science B.V., 2295~2339.
- Hippert S, Pedreira CE, Souza RC., 2001, "Neural networks for short-term forecasting: a review and evaluation," *IEEE Trans Power Systems* 16, 44-55.
- Infield DG, Hill DC., 1998, "Optimal smoothing for trend removal in short-term electricity demand forecasting," *IEEE Trans Power Systems* 13, 1115-1120.
- Olofsson, T, Andersson, S., and R. Ostin, 1998, "A method for predicting the annual building heating demand based on limited performance data, *Energy and Buildings* 28, 101-108.
- Wiklund H., 1991, "Short term forecasting of the heat load in a DH-system," *Fernwärmwirtschaft International* 19, 286 - 294.

ABSTRACT

Forecasting the Demand for Local
District-Heating Systems

Byeongseon Seo*, Sang Yul Shim**

The demand for local district-heating systems is closely related to the temperature and socioeconomic variables. The climate change and unpredictable climate variations, technological progress, and preference changes generate wide and prolonged prediction errors from the forecasting model. Based on the stylized facts of the district-heat data, this paper proposes a real-time forecasting model of district-heat demand. The proposed model is predicated on the state-dependent relationship between the temperature and the district heat demand. The socioeconomic seasonal variables and dynamic properties are incorporated to explain the district heat demand in two metropolitan areas for the period 2007~2008. A sizable amount of improvement in prediction accuracy is observed.

Keywords : climate change, district-heating, hysteresis, prediction,
threshold model

JEL Classification : Q41, Q47

* Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University (main and corresponding author). Seoul, 136-701. Phone: 02-3290-3032. Email: seomatteo@korea.ac.kr.

** Senior Research Fellow, Korea Energy Economics Institute. Phone: 031-420-2277. Email: srshim@keei.re.kr