

연 최대 냉방부하의 간접추정 방법론에 관한 연구

양문희[†]

단국대학교 공학부 산업공학 전공

A Study on Indirect Estimating Methods for Yearly Maximum Cooling Load

Moon-hee Yang

Department of Industrial Engineering, Dankook University, Cheonan, 330-714

In Korea, cooling power load, which occupies about 20% of peak load in 2000 and fluctuates depending on the popular usage of air conditioning systems, has been recently the focus of the load management. The first work of KEPCO (Korea Electric Power Corporation) to regulate cooling load as low as possible was to estimate its approximate scale and to develop the indirect methods to estimate it from the available time series data for the average hourly loads. However, KEPCO would like to have their methods improved both theoretically and practically.

In this paper, we analyze their current indirect methods and detect their faults to design better indirect estimation methods. Under one of the assumptions of "no cooling load in April or May", the linear relationship between basic loads and GDP's, and the normalized seasonal factors of the Winters' multiplicative seasonal model, we provide ten indirect estimation methods in total and suggest the estimated cooling load(1988-1999) based on our various indirect methods.

Keywords: electric power demand, cooling power load, indirect estimation method

1. 서론

연 최대부하는 우리나라의 경우 1983년 전에는 기본부하에 의하여 주로 영향을 받았으나 1994년 이후부터 생활문화 수준의 향상과 간헐적인 폭염에 따라 하계 냉방부하에 의하여 적지 않은 영향을 받아 왔다. 최근에는 연 최대부하의 약 20%를 차지하는 냉방부하에 의하여 연 최대부하가 상당한 폭으로 증가하기 때문에 전력가격정책 및 사용시간대 조절정책을 통하여 냉방부하 수요를 가능한 범위 내에서 억제하는 데에 부하관리의 초점을 맞추고 있다. 외국의 경우 냉방부하용 전력원격검침시스템을 이용하여 냉방부하의 정확한 통계가 수집되고 있

어 냉방부하의 억제정책은 실효성을 거두고 있으나 한전의 경우 1998년 전까지는 냉방부하용 전력원격검침시스템의 필요성을 인식하지 않았다.

냉방부하관리의 중요성을 인정한 한전은 1980년대 말부터 냉방부하관리를 시작한 하였으나 냉방부하관리 및 전력정책의 기초가 되는 냉방부하의 규모조차 추정할 수 없었다. 그 원인은 전력부하통계에서 냉방부하와 기본부하가 별도로 분리되어 측정 및 집계되는 것이 아니기 때문이다. 그러나 한전은 1991년부터 일차적으로 개발된 "불쾌지수 단순이용법"과 "계통부하 45평균법"("불쾌지수 단순이용법"과 "계통부하 45평균법"은 본 고에서 명명한 것임)을 사용하여 1998년까지 연 최

본 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

[†]연락처 : 양문희 교수, 330-714 충남 천안시 안서동 산29번지 단국대학교 공학부 산업공학 전공, Fax : 041-550-3570,

e-mail : myfriend@dku.edu

2002년 9월 접수, 3회 수정 후 2002년 11월 게재 확정.

대부하 발생일에 발생된 냉방부하(본 고에서는 연 최대 냉방부하라고 정의함)의 대략적 규모를 추정하였다.

한전에서 실무적으로 사용되고 있는 불쾌지수 단순이용법은 7월과 9월 사이에 발생한 일 최대부하 중 불쾌지수가 72 이상인 일 최대부하를 종속변수로, 불쾌지수를 설명변수로 한 선형회귀 모형식을 구축하여 냉방부하로 추정하는 방법이며, 계통부하 45평균법은 4월과 5월의 월 최대부하는 냉방부하가 존재하지 않고 기본부하만 존재한다는 가정 하에 연 최대부하 실적치에서 기본부하 추정치를 제한 부하를 냉방부하로 추정하는 방법이다(한국전력, 1998).

연 최대 냉방부하의 추정방법에 대한 논문은 국내외를 통하여 거의 전무한 실정이며 몇 편의 검증되지 않은 보고서가 있다(한국전력, 1998, 1999). 연 최대 냉방부하 추정에 대한 한전의 과제는 기존의 간접추정 방법론에 대한 이론적 문제점을 파악하며 새로운 간접추정 방법론을 개발하는 것이었다. 그 이유는 합리적인 정의와 그 정의에 입각한 간접추정 방법들에 의해 연 최대 냉방부하가 여러 개로 추정된다면 한두 개의 기존 추정치보다 그 상대적인 신뢰성이 향상되기 때문이다. 환언하면, 한전에서 관리되고 있는 시간대별 평균전력자료(1970년-1998년)와 기상자료(하루동안의 평균기온, 최고 및 최저기온, 평균강수량, 평균습도, 평균불쾌지수가 있으며 3시간 간격별 전국 평균기온이 EXCEL파일로 집계되어 있으나 1970년에서 1989년까지의 기상자료는 3시간 간격별 전국 평균기온 자료는 없음)를 이용하여 연 최대 냉방부하를 추정하는 제반 간접추정 방법론을 개발하는 것이었다.

본 고에서는 합리적인 가정하에 연 최대 냉방부하를 추정할 수 있는 다양한 간접추정 방법론을 제시하고 제시된 방법론을 이용하여 과거 연 최대 냉방부하를 추정하고자 한다. 2절에서는 한전에서 사용하고 있는 간접추정방법의 문제점과 향후 보완해야 할 방향을 제시하며, 3절에서는 시간대별 평균부하 자료의 시계열 특성과 냉방부하의 특성을 이용하여 연 최대 냉방부하를 추정하는 다양한 간접추정 방법론을 제시하며 개발된 제반 추정방법론을 이용하여 자료 수집이 가능한 범위 내에서 1988년에서 1999년까지의 과거 연 최대 냉방부하를 추정한다.

2. 냉방부하의 기존 간접추정 방법론과 문제점

2.1 한전의 불쾌지수 단순이용법

한전의 불쾌지수 단순이용법은 다음과 같다(한국전력, 1997, 1998). 7월과 9월 사이에 발생한 일 최대부하 중 불쾌지수가 72 이상인 일 최대부하를 수집하였을 때 i번째 시점에 해당하는 일 최대부하를 DL_i , DL_i 에 해당하는 불쾌지수를 THI_i 이라고 하자. 참고로 (DL_i , THI_i) 자료를 수집할 때 입력자료의 신뢰성을 제고하기 위하여 하계 수요관리에 의해 조정된 일

최대부하는 보정하며 일, 토요일 및 국경일은 제외한다. 냉방임계 불쾌지수(냉방분기점에 해당하는 불쾌지수)를 THI_c , 선형회귀모형의 계수를 β_0 과 β_1 , DL_i 를 종속변수로, THI_i 를 설명변수로 한 선형회귀 모형식은 다음과 같다.

$$DL_i = \beta_0 + \beta_1(THI_i - THI_c) \quad (1)$$

식 (1)에서 β_0 와 β_1 의 추정치를 $\hat{\beta}_0$ 와 $\hat{\beta}_1$ 이라고 하고 THI_p 를 연 최대부하 발생일의 불쾌지수라고 하면, 불쾌지수 단순이용법은 THI_c 를 72로 가정하여 연 최대 냉방부하는 $\hat{\beta}_1(THI_p - 72)$ 로 추정하는 방법이다. 예를 들면 1998년의 경우 $DL_i = 37,821 + 600.36*(THI_i - 72)$ 로 추정되었으며 연 최대부하 발생일의 THI_p 는 80.8이었으므로 연 최대 냉방부하는 5,283 MW로 추정되었다. 상기 과정을 1995년부터 1998년까지 반복하여 산출된 추정 냉방부하는 <표 4>를 참조한다.

불쾌지수 단순이용법의 개념 자체는 우수하지만 다음과 같은 결함이 있다. 첫째로 한전의 경우 단순히 선형회귀모형의 계수만 추정할 뿐 선형회귀모형의 제반 가설검정을 하지 않고 있는 실정이다. 따라서 회귀모형 계수의 추정치는 신뢰성이 떨어지면 MSE(Mean Square Error)를 과소 평가할 수도 있다. 1998년도 선형회귀모형의 경우, R^2 (결정계수)=0.800, R^2_{adj} (조정결정계수)=0.7963으로 산출되어 추정된 선형회귀모형은 불쾌지수에 의한 설명력이 매우 미흡하였으며, 잔차분석을 포함한 제반 통계적 분석(조정결정 계수, MSE, Theil U 통계량 등)이 결여되어 있어 이에 대한 보완이 필요하였다.

식 (1)을 가정한 불쾌지수 이용법은 일반적으로 설명력이 떨어지는 단점이 있으며 그 이유는 다음과 같다. 예를 들면, 7월 20일과 8월 20일의 일 최대부하와 불쾌지수가 만약 같다면 2차원 평면의 동일한 점 위에 존재한다. 그러나 <그림 1>의 월 최대부하 곡선에서 제시된 바, 기본부하는 매일 증가추세에 있다고 가정하여야 하므로 기본부하 증가분을 설명할 수 있는 시간을 불쾌지수법에 삽입하여야 할 것이다. 따라서 식 (1)에 설명변수인 시간을 도입하여 모형회귀식을 식 (2)로 설정한다면, 설명변수인 시간(i)이 삽입되므로 반드시 결정계수값은 향상될 것이며 여타 검정통계량도 향상될 것으로 기대된다.

$$DML_i = \beta_0 + \beta_1 i + \beta_2(THI_i - THI_c) \quad (2)$$

식 (2)에서 (β_0 , β_1 , β_2)의 추정치를 ($\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$)이라고 하자. 또한 불쾌지수가 72 이하인 부하가 발생한 시점들의 평균 시점을 I_n , 연 최대부하 발생일에 해당하는 시점을 I_c 라고 하면, 연 최대 냉방부하는 $[\hat{\beta}_1(I_c - I_n) + \hat{\beta}_2(THI_p - THI_c)]$ 로 추정할 수 있다.

둘째로, 불쾌지수 단순이용법은 냉방임계 불쾌지수를 72로 가정하여 냉방부하를 $\hat{\beta}_1(THI_p - 72)$ 로 추정하였으나, 만약 냉방분기점이 74이라면 냉방부하 추정치는 $\hat{\beta}_1(THI_p - 74)$ 가 되며 기존의 추정치는 $2\hat{\beta}_1$ 만큼 과대 추정하게 된다. 또한 불

패지수의 정의는 여러 가지가 있으므로 냉방부하 추정과 관련된 불쾌지수를 사용하여 냉방문화에 따라 달라지는 냉방임계 불쾌지수에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

2.2 한전의 계통부하 이용법

냉방부하는 하계에 집중적으로 발생하는 확률이 높으므로 하계 계통부하와 비하계 계통부하의 차이점과 특성을 이용하여 연 최대 냉방부하를 간접적으로 추정하는 방법이 계통부하 이용법이다. 한전의 계통부하 이용법(다른 계통부하 이용법과 구분하기 위해 45평균법으로 칭함)은 월 최대부하가 사용되므로 먼저 월 최대부하의 시계열을 분석하자. 1977년에서 1998년까지의 월 최대부하의 전반적인 추세와 계절성을 파악하기 위해 x축을 월로 y축을 월 최대부하로 꺾은선 그래프를 작성하였다(<그림 1>). <그림 1>에서 제시된 바, 월 최대부하의 추세는 월 단위 시점 t에 대해 거의 선형함수로 또는 지수함수로 판단될 수 있으며, 월 최대부하의 계절에 따른 변화는 일년을 주기로 하계에 높은 봉우리를 이루며, 동계에 둔한 산 모양으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 하계의 높은 봉우리를 냉방부하로 인하여 발생한 것으로 추측할 수 있으며, 1981년부터 냉방부하로 판단되는 형태가 보이기 시작함을 알 수 있다. 또한 냉방부하는 1980년대 말부터 연 최대부하에 적지 않은 영향력을 미치기 시작하였으며, 최근에 이르러 냉방부하는 확실한 형태를 가지면서 하계 기상요인과 연계되어 지속적으로 증폭되고 있음을 알 수 있다. 그러나 1998년의 경우, IMF로 인한 경제변동과 연관되어 냉방부하와 월 최대부하는 감소하고 있음을 알 수 있다.

상기 현상을 이해하면 45평균법의 기본개념은 다음과 같이 용이하게 설명될 수 있다. <그림 2>에서 제시된 바, x축을 월

단위의 시점, y축을 부하라고 하고, 연 최대부하 발생일까지 월 최대부하는 선형적으로 계속 증가한다고 하자. t년도 연 최대부하를 PL_t , 연 최대부하 발생일의 기본부하를 BL_t , 냉방부하를 CL_t 라고 하면 $CL_t = PL_t - BL_t$. PL_t 는 실적치이므로 BL_t 의 추정이 문제가 된다. “4월과 5월의 월 최대부하에는 냉방부하가 존재하지 않는다”는 가정 하에 월 최대부하가 바로 해당 월의 기본부하가 된다. 전개의 편의상 4, 5월의 월 최대부하를 순기본부하(Pure basic load)라고 하자. 7월에서 9월 사이에서 발생할 확률이 높은 연 최대부하 발생일까지 월 기본부하는 계속 증가하는 추세이므로 BL_t 는 순기본부하와 연 최대부하 발생일까지의 기본부하 증가분을 합하여 추정할 수 있다. 즉 t년도 순기본부하를 PBL_t , 순기본부하 해당 일 또는 월에서 연 최대부하 발생일까지의 기본부하 증가분을 INC_t 이라고 하면, CL_t 는 식 (3)으로 표시되며 PBL_t 와 INC_t 의 추정이 계통부하 이용법의 관건이 된다.

$$CL_t = PL_t - BL_t = PL_t - (PBL_t + INC_t) \tag{3}$$

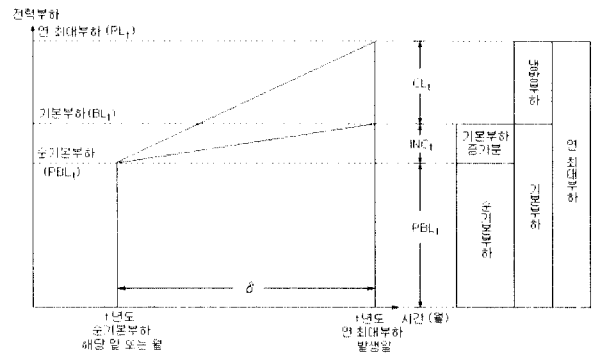


그림 2. 계통부하법에서 연 최대부하의 개념.

월 최대부하의 변동(77-98)

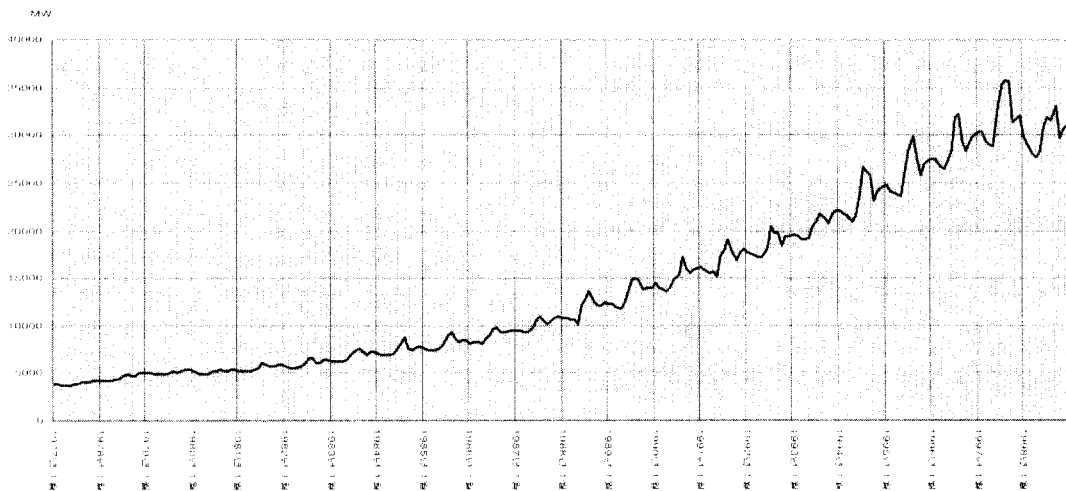


그림 1. 월 최대부하 곡선(1977년-1998년).

지수 단순이용법, 식 (6)과 식 (7)에 의한 45평균법이 있다. 본 절에서는 기존의 간접추정 방법론의 장점과 문제점을 감안하여 냉방부하 간접추정 방법으로 한전의 계통부하법인 45평균법 이외에 45최소-일수법, 연 최소법, 410법, 45-10법, 915법, 최대915법, 4.15법 등 7가지를 제시하며, GDP와 전력부하의 상관 계수가 높은 것을 이용하여 분기 GDP 비례법과 월 GDP 비례법 등 2가지를 제시한다. 또한 상기 방법과는 다른 각도로 Winters' multiplicative seasonal(WMS) 모형에서 초기입력변수로 사용되는 정규계절지수(Normalized seasonal factor)를 이용하여 냉방부하를 추정하는 정규계절지수 이용법 등 총 10가지의 방법을 제시하고 각 방법에 따른 냉방부하의 추정치를 산출한다.

3.1 계통부하법

3.1.1 45최소-일수법

45평균법을 보완한 45최소-일수법은 PBL_t 의 추정식으로 t 년도 4월과 5월의 월 최대부하 최소값을 사용하며, 일수 개념을 도입하여 다음과 같이 냉방부하를 추정한다.

$$\widehat{PBL}_t = \text{Min}B_t = \text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5}) \quad (8)$$

$$\widehat{CL}_t = PL_t - \{ \text{Min}B_t + \eta(\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t) \} \quad (9)$$

($\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t \geq 0$ 일 경우)

$$PL_t - \{ \text{Min}B_t + \eta(\text{Min}B_t - \text{Min}B_{t-1}) \} \quad (10)$$

($\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t < 0$ 일 경우)

여기서

$$\eta = \frac{D'}{D}$$

$D = t$ 년도 4월과 5월의 월 최대부하값 중 최소값에 해당되는 일을 m_t 월 d_t 일이라 하고, 연 최대부하 발생일을 m 월 d 일이라 할 때, m_t 월 d_t 일에서 m_{t+1} 월 d_{t+1} 일까지의 일수, 참고로 (m_t, d_t) 와 (m_{t+1}, d_{t+1}) 은 다른 벡터임에 유의하여야 한다.

$D' = m_t$ 월 d_t 일에서 m 월 d 일까지의 일수

4, 5월의 평균을 이용하는 경우와 최소값을 이용하는 두 종류의 방법 중 어느 방법이 바람직한 것인지 이론적으로 증명하기 어려우나 최소값이 오히려 순기분부하에 근접할 가능성이 높고 냉방부하 추정오차를 줄일 수 있을 것으로 판단되어 최소값을 이용하였다. 또한 전년도 연 증가분을 이용할 경우의 장점은 당해 연도 추정시 편리하지만 실적치에서 냉방부하를 추출하는 상황에서는 기본부하 추세가 전년도의 추세가 아닌 경우 오차폭이 커질 우려가 존재하므로 $(\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t) \geq 0$ 일 경우 당해 연도 연 증가분을 $(\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t)$ 로 가정하였으며, $(\text{Min}B_{t+1} - \text{Min}B_t) < 0$ 일 경우 당해 연도 연 증가분을 $(\text{Min}B_t - \text{Min}B_{t-1})$ 로 추정하였다. 그러나 식 (9)의 경우 $(t+1)$ 년도에 가서야 t 년도의 추정치를 산출할 수 있는 단점이 있다.

3.1.2 연 최소법

편의상 MML_t 를 $\text{Min}_{1 \leq i \leq 12}(ML_{t,i})$ 로 정의하자. MML_t 에 해당하는 월과 MML_{t+1} 에 해당하는 월 사이의 간격을 M 개월, MML_t 에 해당하는 월과 t 년도 연 최대부하 발생일의 월 사이의 간격을 M' 개월이라 하자. 연 최소법에서는 $\widehat{PBL}_t = MML_t$, $\eta = \frac{M'}{M}$ 로 가정하여 CL_t 는 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \widehat{CL}_t &= PL_t - \{ MML_t + \eta(MML_{t+1} - MML_t) \} \\ &\quad (MML_{t+1} - MML_t) \geq 0 \text{일 경우} \\ &= PL_t - \{ MML_t + \eta(MML_t - MML_{t-1}) \} \\ &\quad (MML_{t+1} - MML_t) < 0 \text{일 경우} \end{aligned} \quad (11)$$

3.1.3 410법

410법은 4월과 10월의 월 최대부하를 이용하여 일차 선형식을 산출한 다음, 이 선형식을 이용하여 4월과 10월 사이의 기본부하 변동분을 산출하는 방법이다. 410법은 당해 연도 10월이 지나면 CL_t 를 추정할 수 있어 45최소-일수법의 단점을 보완할 수 있다. 연 최대부하 발생일을 m 월이라 하고, $\eta = \frac{m-4}{6}$ 로 가정하면 CL_t 는 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \widehat{CL}_t &= PL_t - \{ ML_{t,4} + \eta(ML_{t,10} - ML_{t,4}) \} \\ &\quad (ML_{t,10} - ML_{t,4}) \geq 0 \text{일 경우} \\ &= PL_t - \{ ML_{t,4} + \eta(ML_{t,4} - ML_{t-1,10}) \} \\ &\quad (ML_{t,10} - ML_{t,4}) < 0 \text{일 경우} \end{aligned} \quad (12)$$

3.1.4 45-10법

45-10법에서는 410법에서 사용하는 4월의 월 최대부하 대신 4월과 5월 월 최대부하의 최소값을 사용하며 나머지는 410법과 동일하다. 연 최대부하 발생일을 m 월, 4월과 5월의 월 최대부하의 최소값을 가지는 월을 m_t 월이라 하면, CL_t 는 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \widehat{CL}_t &= PL_t - \left[\text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5}) + \frac{m - m_t}{10 - m_t} \{ ML_{t,10} - \text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5}) \} \right] \\ &\quad (ML_{t,10} - \text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5})) \geq 0 \text{일 경우} \\ &= PL_t - \left[\text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5}) + \frac{2 + m_t}{10 - m_t} \{ \text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5}) - ML_{t-1,10} \} \right] \\ &\quad (ML_{t,10} - \text{Min}(ML_{t,4}, ML_{t,5})) < 0 \text{일 경우} \end{aligned} \quad (13)$$

3.1.5 915법

45평균법, 45최소-일수법은 “4, 5월은 무냉방”이라는 가정에 성립되며, 410법과 45-10법은 “4, 5, 10월 무냉방” 가정에 성립한다. 연 최소법은 “1~12월 월 최대부하 중에서 최소인 월의 최대부하에는 냉방부하가 없다”라는 가정에 성립되거나 사실상 1월~12월 월 최대부하 중에서 최소값을 가지는 월

은 대부분 4월 또는 5월이므로 4, 5월 무냉방 가정하에 성립된다고 보아야 한다. 따라서 45최소.일수법, 연최소법, 410법과 45-10법은 대체적으로 “4, 5, 10월 무냉방” 가정 하에 성립한다.

“4, 5, 10월 무냉방” 가정을 하지 않고 냉방부하를 추정하는 방법으로 “하계 9시 전에는 무냉방”이라는 가정하에 냉방부하 추정방법을 고안할 수 있을 것이다. 즉 <그림 5>에서 제시된 바, 통상적으로 하계 동안 전력 수요자들의 업무가 오전 9시에 시작된다는 점을 감안할 때, 15시 부하와 9시 부하 간의 차이가 냉방부하일 것이라는 가정을 할 수 있다. 참고로 1983년에서 1998년 사이 연 최대부하가 발생한 시간대는 12시가 13%, 15시가 81%, 19시가 6%이다. 본 고에서는 연 최대부하 발생일의 (15시-9시) 부하 차이를 연 최대부하 발생일의 냉방부하로 가정하여 추정하는 방법을 915법이라고 하였다.

3.1.6 최대915법

1월 1일에서 12월 31일까지 15시 부하에서 9시 부하를 뺀 값 중에서 최대값에 해당하는 값을 당해 연도 냉방부하의 최대값으로도 정의할 수 있을 것이며, 또한 연 최대부하일의 냉방부하로 가정할 수 있을 것이다. 본 고에서는 이 방법에 의하여 냉방부하를 추정하는 방법을 “최대915법”이라고 명명하였다.

3.1.7 4.15법

연 최대부하의 기본부하를 4월 15시 부하들의 최대값으로 가정하여 연 최대부하의 냉방부하를 추정할 수 있다. 본 고에서는 이 방법에 의하여 냉방부하를 추정하는 방법을 4.15법이라 명명하였다. 4.15법은 연 최대부하의 기본부하를 4월 15시 부하들의 최대 부하값으로 가정하였으므로 4월에서 연 최대부하 발생일까지의 증감된 기본부하는 반영되지 않았다. 따라서 기본부하가 지속적으로 증가할 경우 4.15법은 냉방부하의

최대 추정치에 해당할 것으로 판단되어 냉방부하 추정치의 상한치로 역할을 할 수 있다고 판단되어 추가시켰다. 그러나 기본부하가 감소할 경우, 당연히 냉방부하의 최대 추정치라고 판단할 수 없으므로 유의하여야 한다.

3.2 GDP 비례법

<그림 6>에서 제시된 바, 연 최대부하와 GDP는 시간축에 대해 선형적으로 증가하고 있으며 1977년에서 1998년 사이의 시계열 자료를 분석한 결과 상관계수는 0.992로 산출되어 선형 관계가 매우 높았다. 연 최대부하와 기본부하가 선형적 관계라는 가정하에 다음과 같은 냉방부하 추정방법들이 고안될 수 있을 것이다.

3.2.1 분기GDP 비례법

t년도 연 최대부하 발생시점이 Q분기에 발생한다고 가정하자. MML_t 에 해당하는 월을 m' , m' 월이 속한 분기를 q분기, q분기의 GDP를 QG_q , Q분기의 GDP를 QG_Q ,라고 하자. 기본부하와 GDP가 선형관계에 있다는 가정하에 $QG_q:QG_Q = ML_{t,m}:BL_t$ 이므로 $BL_t = \frac{QG_Q}{QG_q} ML_{t,m}$ 이 되며 CL_t 는 다음과 같이 추정된다.

$$CL_t = PL_t - BL_t = PL_t - \frac{QG_Q}{QG_q} ML_{t,m} \quad (14)$$

3.2.2 월 GDP 비례법

MML_t 에 해당하는 월을 m' 월, m' 월의 GDP를 $MG_{m'}$, 연 최대부하 발생일을 m월, 연 최대부하 발생일의 월 GDP를 MG_m 이라고 하자. 기본부하와 월 GDP가 선형관계에 있다는 가정하에 $BL_t:ML_{t,m} = MG_{m'}:MG_m$ 이므로, $BL_t = \frac{MG_{m'}}{MG_m} ML_{t,m}$ 가 되며 CL_t 는 다음과 같이 추정된다.

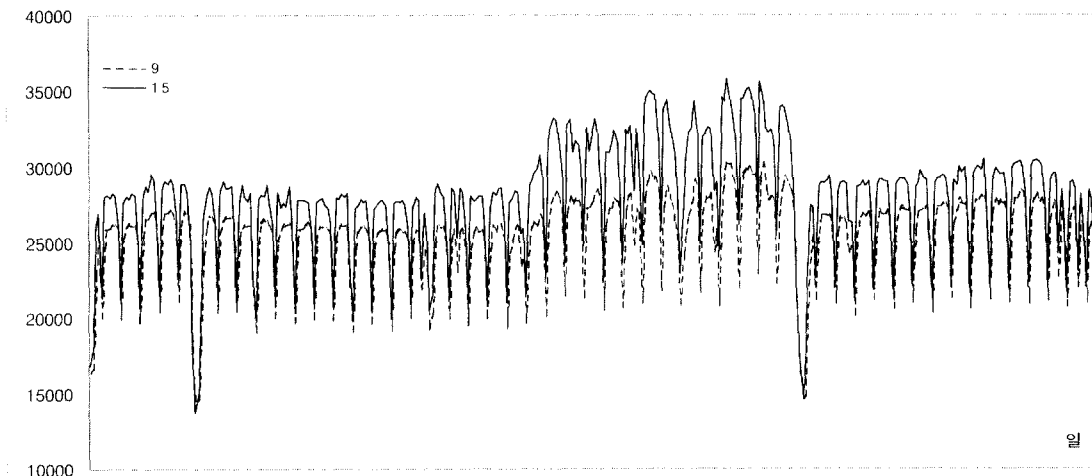


그림 5. 1997년 일년 간의 9시 및 15시 전력부하곡선.

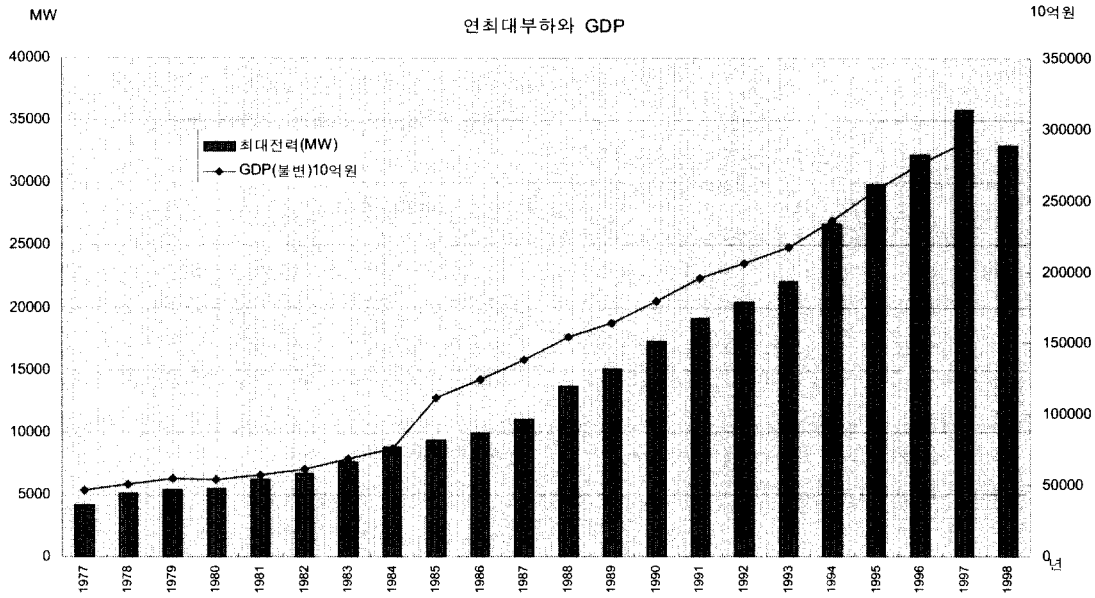


그림 6. 연 최대부하와 GDP의 시계열 자료.

$$\overline{CL}_t = PL_t - BL_t = PL_t - \frac{MG_m}{MG_m} ML_{t,m} \quad (15)$$

월 GDP는 분기별 GDP에서 근로일수를 도입하여 추정하였다. 일요일, 공휴일은 가중치 0으로 토요일은 가중치 0.5로 가정하여 월의 근로일수를 산출하고 근로일수를 가중치로 분기별 GDP에서 월 GDP를 추정하였다. 한국은행은 1995년부터 분기별 GDP 통계를 발표하였으므로(한국은행, 1996-1999) 1995년부터 1998년까지 냉방부하를 추정하였다.

3.3 계절지수 이용법

본 고에서는 계절성을 감안한 제반 통계모형으로 Winters' multiplicative seasonal 모형(이하 WMS 모형이라고 함)을 채택하여 정규계절지수를 추정하였다. WMS 모형은 다음과 같다(Gaynor and Kirkpatrick, 1994). 월 단위 시점 i , 월 최대부하 자료수를 n 이라 하자. 월 단위 시간순으로 정리한 월 최대부하를 Y_i , 월 단위 시점 i 에서의 추세성분을 Tr_i , 계절성분을 Sn_i , 잔차성분을 ϵ_i 라고 하면 Y_i 와 Tr_i 는 식 (16)과 식 (17)로 각각 표현될 수 있다.

$$Y_i = f(Tr_i, Sn_i, \epsilon_i) = Tr_i \cdot Sn_i \cdot \epsilon_i \quad (16)$$

$$Tr_i = a(0) + b(0)i \quad (17)$$

여기서 $a(0)$ 와 $b(0)$ 는 선형회귀 계수를 의미한다.

정규계절지수는 월 최대부하를 중앙이동평균(Centered moving average)으로 나누어서 산출된 $Sn_i \cdot \epsilon_i$ 에서 j 월에 해당하는 계절성분을 모아서 j 월의 평균계절지수를 구하고 다시 정규화 과

정을 거쳐 산출될 수 있다. 월 최대부하 시계열 자료(1988년 ~ 1998년)를 이용하여 최종적으로 산출된 계절지수는 <표 1>에 요약되어 있다. 모형의 타당성과 적합성에 대하여 논문(Yang and Lim, 2001)을 참조한다.

<그림 7>에서 제시된 바, 월 최대부하는 추세선을 중심으로 등락을 반복하는 현상을 볼 수 있다. 4, 5월 무냉방 가정을 도입하고, 추세선과 기울기는 같으나 t 년도 월 최대부하를 최소점으로 통과하는 보조선 \overline{GD} 이하를 기본부하로 가정한다면, 연 최대부하 발생일에서 기본부하를 \overline{DE} , 냉방부하를 \overline{AD} 로 가정하여도 무리가 없을 것으로 사료된다. 냉방부하에 해당하는 \overline{AD} 는 $(\overline{AB} + \overline{FG})$ 이므로 \overline{AB} 와 \overline{FG} 를 추정하면 된다. \overline{AB} 와 \overline{FG} 는 추세선을 중심으로 변동분에 해당하므로 계절성을 감안한 제반 통계모형의 계절지수(Seasonal factor)를 이용하여 추정할 수 있을 것이다. 편의상 추세선을 중심으로 변동하는 t 연도 j 월의 변동분 크기를 $Cn_{t,j}$ 라고 하자.

식 (16)에서 계절지수는 $\frac{Y_i}{Tr_i \cdot \epsilon_i}$ 에 해당하고 $E(\epsilon_i) = 1$ 이므로, 정규계절지수가 1일 경우 $Y_i \approx Tr_i$, 즉 "정규계절지수가 1이다"라는 의미는 <그림 7>에서 추세선의 하단에 있는 부하크기를 의미한다. 따라서 만약 1998년 연 최대부하 발생일이 9월인 경우 $\overline{AE} \cdot \overline{BE} = \overline{Sn}_9 \cdot 1$ 이 된다. 여기서 $(\overline{Sn}_1, \overline{Sn}_2, \dots, \overline{Sn}_{12})$ 는 정규계절지수이다. $\overline{BE} = \overline{AE} - \overline{AB}$, $\overline{AE} = ML_{1998,9}$ 이므로 $\overline{AB} = \frac{\overline{Sn}_9 - 1}{\overline{Sn}_9} ML_{1998,9}$ 가 된다. 동일한 방법으로 $Cn_{t,j}$ 는 일반적으로 식 (18)로 표현되며, 일반적으로 6월-9월, 12월일 경우 양수값을, 나머지 달에는 음수값이 되며 4월 또는 5월에 최소가 된다.

표 1. 정규계절지수 산출표

월	연도	계절지수										평균 계절지수	정규 계절지수
		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997		
1	-	0.9817	1.0121	1.0051	0.9907	1.0015	1.0082	0.9969	0.9981	1.0012	0.9571	0.9953	0.9952
2	-	0.9609	0.9624	0.9743	0.9766	0.9925	0.9742	0.9671	0.9865	0.9891	0.9325	0.9716	0.9716
3	-	0.9332	0.9430	0.9485	0.9662	0.9619	0.9472	0.9474	0.9527	0.9422	0.9178	0.9460	0.9460
4	-	0.9096	0.9268	0.9190	0.9472	0.9530	0.9071	0.9336	0.9400	0.9232	0.9094	0.9269	0.9268
5	-	0.9433	0.9378	0.9393	0.9399	0.9599	0.9310	0.9235	0.9618	0.9122	0.9370	0.9386	0.9385
6	-	1.0204	0.9828	1.0265	0.9804	1.0031	1.0093	1.0034	0.9902	1.0453	1.0240	1.0085	1.0085
7	1.0735	1.0980	1.1062	1.0558	1.0980	1.0197	1.1303	1.0834	1.1012	1.1037	-	1.0870	1.0869
8	1.1357	1.1022	1.1175	1.1150	1.0509	1.0452	1.0981	1.1330	1.1064	1.1264	-	1.1030	1.1030
9	1.0343	1.0574	1.0263	1.0323	1.0458	1.0177	1.0748	1.0305	0.9982	1.1244	-	1.0442	1.0441
10	0.9881	0.9854	0.9870	0.9665	0.9677	0.9841	0.9547	0.9582	0.9588	0.9957	-	0.9746	0.9746
11	0.9884	0.9928	0.9969	1.0044	1.0072	1.0225	0.9863	0.9928	0.9966	1.0061	-	0.9994	0.9994
112	0.9960	0.9878	1.0017	1.0186	0.9998	1.0261	1.0011	1.0002	1.0006	1.0228	-	1.0055	1.0054
											소계	0.999953	1.0000

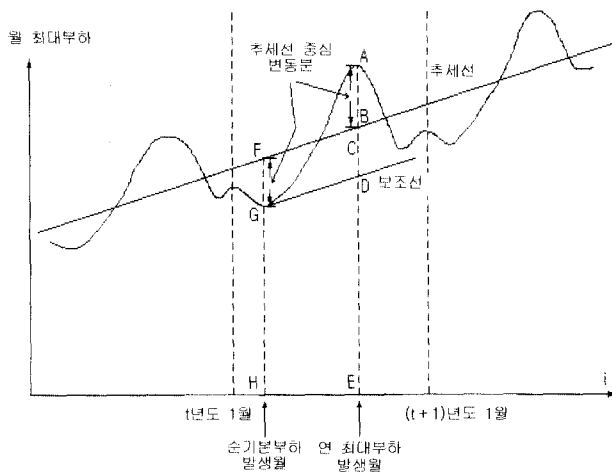


그림 7. 정규계절지수에 의한 냉방부하의 해석.

$$Cn_{t,j} = \frac{Sn(j)-1}{Sn(j)} ML_{t,j} \quad (18)$$

연 최대부하 발생월을 m월이라고 하자 $\overline{FG} = -\text{Min}_{1 \leq j \leq 12} (Cn_{t,j})$ 이므로 t년도 연 최대 냉방부하는 식 (19)로 표현될 수 있다.

$$\overline{CL}_t = \overline{AD} = \overline{AB} + \overline{FG} = Cn_{t,m} - \text{Min}_{1 \leq j \leq 12} [Cn_{t,j}] \quad (19)$$

한편, 보조선 상위부분의 변동분을 $Vn_{t,j}$ 이라고 하면 $Vn_{t,j}$ 는 식 (20)으로 표현될 수 있다.

$$Vn_{t,j} = \frac{Sn_j - 1}{Sn_j} ML_{t,j} - \text{Min}_{1 \leq k \leq 12} [Cn_{t,k}] \quad (20)$$

식 (20)을 이용하여 산출된 1998년도 $Vn_{t,j}$ 는 <표 2>에 요약되었으며, 12월의 경우 2,348MW로 산출되었다. 이 경우는

냉방부하가 아닌 난방부하로 해석한다면 해석상의 문제는 없을 것으로 사료된다. 동계시 전기담요, 전기히터 등의 전력수요를 고려한다면 2,348MW는 현실적으로 가능한 부하로 한전의 실무자에 의하여 판명되었다.

3.4 냉방부하 추정치의 비교 및 분석

<표 3>과 <그림 8>에서 제시된 바, 연 최대 냉방부하 추정치는 추정방법과 연도에 따라 상당한 차이를 보이고 있는데, 근본적인 원인은 연 최대 냉방부하에 대한 정의가 추정방법별로 다소 다르기 때문이다. 4.15법에 의한 추정치는 여타 방법에 의한 추정치들보다 예상대로 전반적으로 높게 나타났으며, 4.15법의 추정치가 높은 이유는 기본부하 성장분이 감안되지 않았던 점에서 설명될 수 있을 것이다. 다음으로 최대915법, 915법, 연 최소법과 45최소-일수법 순으로 높게 산출되었으며, 410법, 45-10법 등이 비슷하게 산출되었다. 월 GDP 비례법은 다른 방법에 비하여 상당히 다르게 산출되어 상대적인 신뢰성에 의문이 제기되었으며, 계절지수 이용법에 의한 냉방부하 추정치는 계통부하 이용법에 의한 추정치의 평균에 해당되어 상대적인 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다.

본 고에서 제시된 추정방법은 각각의 특성을 가지고 있으나 원칙검침에 의한 연 최대 냉방부하의 실적치와 비교하지 않고서 어떠한 추정기법이 우수인가에 대해 판단할 수 있는 이론적 기준은 없다. 오로지 추정방법에서 사용된 가정의 장단점을 비교하여 선택할 수는 있을 것이나, 제반 사항을 종합하여 구태여 선택을 하여야 한다면 계절지수 이용법, 연최소법에서 산출된 추정치들이 여타 추정방법보다 신뢰성이 있다고 판단할 확률이 높을 것으로 사료된다. 통계학 측면에서 추정치의 신뢰도가 높다고 판단되면 그 추정치에 보다 많은 가중치를 부여하여 사용할 수도 있을 것이며 일반적으로 평균값이 빈번히 사용되므로, 계절지수 이용법과 연최소법에 의하여 산출된

표 2. WMS 모형의 정규계절지수에 의한 냉난방부하 추정치(1998년)

월 (i)	월 최대부하 실적치 (Y _i), (MW)	정규계절지수 (\widehat{S}_{n_i})	추세선 중심의 변동분 (Cn _{t,i}), (MW)	냉난방부하의 추정치 ($\widehat{V}_{n_{t,i}}$), (MW)
1	29,815	0.9952	-143	2,037
2	28,755	0.9716	-842	1,338
3	28,038	0.9460	-1,602	578
4	27,615	0.9268	-2,180	0
5	28,347	0.9385	-1,857	323
6	30,898	1.0085	260	2,440
7	31,899	1.0869	2,551	4,731
8	31,629	1.1030	2,953	5,133
9	32,996	1.0441	1,394	3,574
10	29,718	0.9746	-775	1,405
11	30,745	0.9994	-20	2,160
12	31,139	1.0054	168	2,348
Min $_{1 \leq i \leq 12} [Cn_{t,i}]$			-2,180	

표 3. 제반 추정기법에 의한 냉방부하(1977-1998) 추정치의 비교

(단위: MW)

연도	계통부하법							GDP 비례법		계절지수 이용법
	45최소-일수법	연최소법	410법	45-10법	915법	최대915법	4.15법	분기 GDP 비례법	월 GDP 비례법	WMS 모형법
1977	-	183	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	-	567	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	308	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	358	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	803	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	769	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	1125	1020	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	1680	1697	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	1658	1684	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	1359	1336	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	1302	1286	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	2650	2614	-	-	1981	2134	3345	-	-	2114
1989	2639	2563	1928	1928	1984	2156	3523	-	-	2343
1990	3040	3049	2327	2327	2880	2910	3641	-	-	2695
1991	3260	3384	2638	2901	2918	3597	3933	-	-	2989
1992	2840	2883	2594	2721	2993	3690	3447	-	-	3204
1993	2010	2089	1500	1500	3899	3899	3417	-	-	3525
1994	5126	5178	4686	4686	3250	4582	5987	-	-	4090
1995	5438	5406	4807	4960	4498	5025	6429	5083	4296	4663
1996	4993	4994	4498	4498	4815	5307	6124	4502	3118	5111
1997	6235	6402	5188	5410	5546	6577	7545	5765	5074	5641
1998	-	4521	3629	3629	5429	5595	5733	4248	2295	5133
1999	-	6927 ¹⁾	5570 ¹⁾	5831 ¹⁾	5680 ¹⁾	6308 ²⁾	7936 ¹⁾	-	-	5818 ³⁾

주: 1) 1999년 10/20일 기준으로 작성, 2) 1999년 9/30일 기준으로 작성, 3) 1999년 7월 기준으로 작성

추정치의 평균을 권고하며 본 고에서 제시된 추정치들의 최대값과 최소값은 냉방부하 추정치의 하한값과 상한값으로 참조하는 방향이 바람직할 것으로 판단된다.

마지막으로, 한전은 하계부하관리를 위하여 공급가능전력과 예상전력수요를 고려하여 당해 연도에 억제할 전력수요량

(이를 수요관리량이라 함)을 설정하여 관리하기 때문에 본 고에서 제시된 추정치는 실제의 연최대 냉방부하가 아니고 억제된 부하라는 사실을 감안하여야 한다. 따라서 본 고에서 제시된 연 최대 냉방부하 추정치에 수요관리량의 80%를 반영하여야 한다. 80%라는 수치는 이론적인 근거는 없으나 현장에서

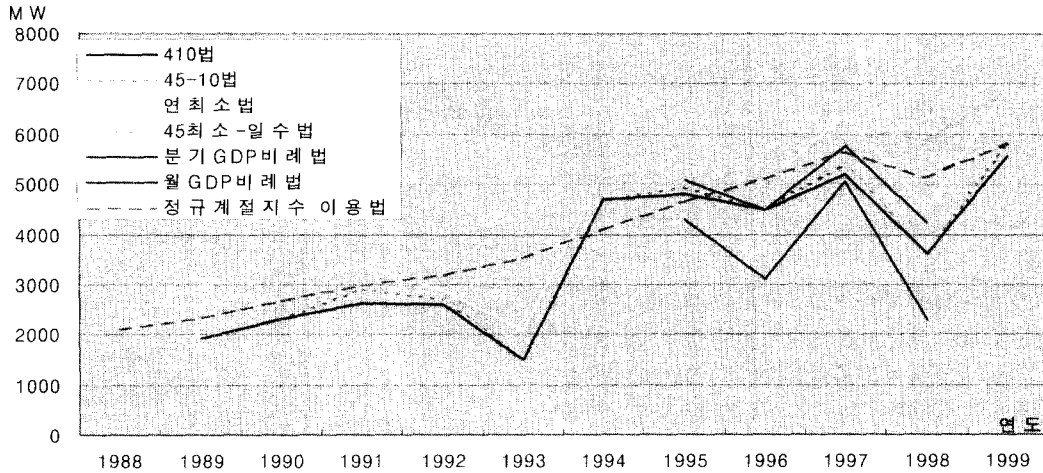


그림 8. 본 고에서 제시된 일부 추정방법론에 의하여 산출된 연 최대 냉방부하의 변화.

수요관리량의 80% 정도가 냉방부하일 것이라는 가정하에 사용하고 있다. 수요관리량이 반영된 냉방부하를 현장에서는 “조정냉방부하”라고 한다. 한전의 불쾌지수법과 45평균법에 의한 조정냉방부하와 본 고에서 제시된 연 최소법과 정규계절지수 이용법에 의한 조정냉방부하 추정치와 평균, 그리고 수요관리량은 <표 4>에 요약되어 있다. <표 4>에서 제시된 바, 1999년 기준으로 연 최소법은 8,272MW로, WMS 모형법은 7,163MW로 추정되었다. 한편 한전의 냉방부하에 대한 표본조사 결과(한국전력, 1999년)에 따르면 냉방부하 추정치는 8,410MW(1999년 기준)로 추정되어 연 최소법에 의한 추정치와 비슷하지만 WMS 모형법에 의한 추정치보다는 상당한 차이를 보이고 있다. 표본조사도 자료 수집시 적지 않은 오차를 수반하므로 어떠한 추정치가 가장 참값에 근접하는지는 알 수 없을 것이나 본 고에서 제시된 간접추정 방법들이 추정비용 측면에서 저렴할 것이라는 데에는 이의가 없을 것이다.

4. 결론

본 고에서는 한전에서 사용하는 연 최대 냉방부하 간접추정

방법론인 불쾌지수 단순이용법과 45평균법의 이론적 문제점과 방향을 제시하였고, 기존의 간접추정 방법론의 장점과 문제점을 활용하여 우리나라에서는 처음으로 시도된 다양한 냉방부하 추정방법을 제시하였다. 연 최대 냉방부하에 대한 간접추정 방법론은 “컬럼버스의 달걀”과 같이 아이디어가 제시되었을 경우 비판의 소리가 높을 수 있지만 아이디어를 도출하기 전까지 연구자의 갈등은 연구자만이 이해할 수 있을 것이다. 본 고에서 제시된 간접추정 방법론 이외의 방법론은 반드시 존재할 것이나 막상 제시하라면 용이하지는 않을 것으로 본 고의 특징을 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 다양한 방법론을 제시하였다는 데에 평가 초점을 맞추어야 할 것이다.

계통부하법으로 “4, 5월은 무냉방” 가정하에 45최소-일수법을, “4, 5, 10월 무냉방” 가정하에 410법과 45-10법을, “1~12월 월 최대부하 중에서 최소인 월의 최대부하에는 냉방부하가 없다”라는 가정하에 연최소법을 제시하였다. 또한 “4, 5, 10월 무냉방” 가정을 탈피하여 냉방부하를 추정하는 방법으로 “하계 9시 전에는 무냉방”이라는 가정하에 915법과 최대915법, 4.15법 등 총 7가지를 제시하였다. 또한 상기 방법과는 다른 각도로 연 최대부하의 기본부하가 기간별 GDP와 선형적 관계라는 가정하에 분기 GDP 비례법과 월 GDP 비례법을 제시하였으며

표 4. 조정냉방부하 추정치(1995-1998)의 비교

(단위: MW)

연도	수요관리량	기존 방법		본 고 제시 대표적 추정방법론		
		불쾌지수법	45평균법	연최소법	WMS 모형법	평균
1995	1,110	5,786	5,668	6,294	5,551	5,923
1996	1,863	6,826	6,099	6,484	6,601	6,543
1997	1,845	7,228	7,024	7,878	7,117	7,498
1998	0	5,283	5,347	4,521	5,133	4,827
1999	1,681	-	-	8,272)	7,1632)	7,717

주: 1) 1999년 10월 20일을 기준으로 작성, 2) 1999년 7월 기준으로 작성

계절모형인 Winters multiplicative 계절모형의 정규계절지수를 이용하여 연 최대 냉방부하로 추정하는 새로운 방법을 제시하여, 총 10가지의 방법을 제시하였고 각 방법에 따른 냉방부하의 추정치를 제시하였다.

본 고에서 제시된 추정방법은 각각의 특성을 가지고 있으나 향후 전국적으로 설치될 원격검침시스템에 의한 연 최대 냉방부하의 실적치와 비교하지 않고서 어떠한 추정기법이 우수한가에 대해 판단할 수 있는 이론적 기준은 없다. 오직 추정방법에서 사용된 합리적인 가정에서 장단점을 비교하여 선택할 수는 있을 것이나, 제반 사항을 종합하여 구태여 선택을 하여야 한다면 계절지수 이용법, 연 최소법에서 산출된 추정치들이 여타 추정방법보다 신뢰성이 있다고 판단되며, 시간을 설명변수로 도입한 불쾌지수 이용법이 신뢰성이 높다고 판단되므로

이에 대한 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- Gaynor, P. E. and Kirkpatrick, R. C.(1994), *Introduction to Time-series Modeling and Forecasting in Business and Economics*, McGraw-Hill Inc.,
- Moonhee Yang and Sanggyu Lim(2002), Short-Term Forecasting of Monthly Maximum Electric Power Loads Using a Winters' Multiplicative Seasonal Model, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 28(1), 63-75.
- 한국전력, 97 하계 냉방부하 특성분석, 1997.
- 한국전력, 98 하계 냉방부하 특성분석, 1998.
- 한국전력, 에어컨 소비행태를 고려한 냉방수요 예측기법 연구, 1999. 8.
- 한국은행, 경제통계연보, 1993-1998.



양문희

서울대학교 자원공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

미국 Georgia Tech. 산업공학과 박사

현재: 단국대학교 공학부(산업공학 전공) 교수

관심분야: 물류자동화, 공급사슬관리, 수요 예측