

乾球溫度를 考慮한 長期最大電力需要豫測에 관한 研究

論 文
34~10~3

Long-Term Maximum Power Demand Forecasting in Consideration of Dry Bulb Temperature

高 義 石* · 鄭 在 吉**
(Hee-Seog Koh · Jai-Kil Chung)

Abstract

Recently maximum power demand of our country has become to be under the great influence of electric cooling and air conditioning demand which are sensitive to weather conditions. This paper presents the technique and algorithm to forecast the long-term maximum power demand considering the characteristics of electric power and weather variable.

By introducing a weather load model for forecasting long-term maximum power demand with the recent statistic data of power demand, annual maximum power demand is separated into two parts such as the base load component, affected little by weather, and the weather sensitive load component by means of multi-regression analysis method. And we derive the growth trend regression equations of above two components and their individual coefficients, the maximum power demand of each forecasting year can be forecasted with the sum of above two components.

In this case we use the coincident dry bulb temperature as the weather variable at the occurrence of one-day maximum power demand. As the growth trend regression equation we choose an exponential trend curve for the base load component, and real quadratic curve for the weather sensitive load component. The validity of the forecasting technique and algorithm proposed in this paper is proved by the case study for the present Korean power system.

1. 序 論

電力需要豫測은 電力系統運用 및 系統計劃의 기본이 되는 것으로써 豫測의 適否가 電力供給의 信賴性과 經濟性에 미치는 영향은 대단히 크다. 最大電力需要의 動向은 현재의 經濟的, 社會的 및 技術的인 諸情勢 및 이들의 장래의 動向등 많은 要因에 영향을 받을 뿐 아니라 乾球溫度, 濕球溫度, 相對濕度, 不快指數 등과 같은 氣象要因에도 크게 영향을 받는다.^{1)~3)}

이 때문에 長期最大電力需要를 精確히 豫測한다는 것은 매우 어려우며 그 豫測方法도 아무리 이론적으로 精교한 方法일지라도 最상의 方法은 있을 수 없으

며, 그 나라의 經濟與件, 電力需要의 구성요소s의 종류나 成長傾向, 電力需要에 미치는 各種자료 등의 여러가지 條件에 따라서 가장 精確한 技法이나 해석모델을 선정하여 豫측함이 바람직하다 하겠다.

현재까지 발표된 最大電力需要 豫測技法에는 外插法, 相關分析法, 및 이들 兩者를 組合한 方法으로 大別할 수 있으며, 外插法은 다시 決定論的 外插法 및 確率論的 外插法으로 細分될 수 있다.

外插法의 長點은 電力成長의 要因이 되는 說明變數의 豫측이 필요없고, 回歸分析에 의하여 成長傾向을 설명하는 모델의 最適推定이 가능하다는 長點을 가지고 있으나, 과거의 통계자료가 불精確하고 선택된 해석모델이 부정精確한 경우에는 豫測精度가 낮아진다는 短點을 지니고 있다.

相關分析法의 長點은 需要成長要因이나 需要構造의 급격한 變動에 따른 電力需要의 精確한 豫측이 가능하고 需要變動要因 및 豫測誤差의 分析이 용이한

*正 會 員 : 慶南大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 **正 會 員 : 中央大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 接受日字 : 1985年 6月 19日

점이 있는 반면, 人口 및 經濟指標의 예측이 필요하고 需要成長要因의 數量化 및 需要와의 相關關係의 數量的 把握이 要求되는 短點을 지니고 있다.

따라서 증래의 長期最大電力需要 豫測方法으로서는 上記 兩技法을 적용하여 主要用途別로 各各 年間電力量 및 年負荷率을 豫測하여 이것으로부터 各 用途別 最大電力需要를 求한 후 이를 종합하여 各 豫測年度의 最大電力을 豫測하는 方法이 가장 널리 사용되어 왔으나 이 方法은 系統負荷率 자체가 변동이 심하므로 負荷率 자체를 精確히 예측하기 곤란할 뿐 아니라 負荷率 豫測誤差로 인하여 最大電力需要豫測의 精確度가 크게 저하될 가능성이 있다는 問題點이 있다.

또한 최근에는 冷房空調設備과 같은 溫度에 민감한 설비가 널리 보급됨에 따라 이 설비가 最大電力需要에 결정적인 요인으로 작용하고 있기 때문에 상기 兩技法을 적용해서 最大電力需要를 氣象感應負荷成分과 氣象非感應負荷成分(즉 基底負荷成分)으로 나누어 이들을 적당한 傾向曲線의 回歸分析 또는 곡선 맞춤기법을 사용하여 예측하되, 외삽된 결과의 불확실성을 平均 및 偏差의 數量化 및 確率密度函數를 도입하여 効率的으로 精確하게 예측한 후 이 성분을 결합하여 最大電力需要를 예측하는 방법이 제시되고 있다.^{1)~11)}

이 方法은 과거 실적자료가 충분하면 이론적으로는 어느 방법보다 우수한 豫測技法이라 할 수 있으나, 실적자료가 충분치 않을 경우에는 신뢰성이 낮아질 수 있고 豫測技法도 복잡하다.

특히 우리나라와 같이 最大電力의 과거실적의 成長傾向이 불규칙한 경우에는 上述한 確率論的 豫測方法은 오히려 豫測精確度가 낮아질 수 있고 그 信賴性에 問題點이 있다.

우리나라의 最大電力需要도 1981年 이후부터는 후술하는 바와 같이 氣象變數中的 하나인 溫度에 영향을 받은 冷房需要에 크게 左右되기에 이르렀다.

따라서 本 論文에서는 長期最大電力需要 豫測方法으로서 最大電力需要를 氣象感應負荷成分과 基底負荷成分으로 나누어 解析하는 방법은 상술한 後者의 方法을 適用하되 確率論的 技法을 사용하지 않고 多重回歸分析에 의하여 우리 나라 最大電力需要의 성장패턴에 가장 적합한 豫測技法의 알고리즘을 導出하여 우리 나라 長期最大電力需要를 豫測하고자 한다.

즉 우선 과거의 平日 最大電力과 그 發生時의 乾球 溫度의 실적통계자료를 토대로 하여 氣象負荷모델을 精確하고 이 氣象負荷모델로 부터 多重回歸分析에 의

하여 各 年度의 最大電力을 氣象感應負荷成分과 基底負荷成分으로 분리한 후 各 負荷成分의 結果值를 이용하여 가장 적합한 最大電力의 各成分의 成長傾向 回歸式을 導出한다. 다음 이 各成分의 成長傾向曲線의 係數를 구한 후 다시 回歸法에 의하여 豫測年度의 各 負荷成分을 별도로 豫測한 후 이 두 成分을 結合하여 最大電力需要를 예측한다.

本 論文에서는 가장 적합한 成長傾向回歸式으로 基底負荷成分에 대해서는 指數傾向曲線을, 氣象感應負荷成分에 대해서는 實數2次傾向曲線을 導出하였다.

또한 上記한 알고리즘을 과거 實績值를 토대로 韓電의 實電力系統에 適用하여 1981年 까지의 最大電力需要를 豫測하고 그 結果를 提示하였다.

本 方式은 단순한 相關分析이나 外挿法보다 精確度 높은 最大電力需要의 豫測이 가능하고 복잡한 確率的인 平均과 分散없이도 長期最大電力을 豫測할 수 있는 長點이 있다.

2. 多重回歸分析에 의한 最大電力需要 豫測技法

2.1 最大電力需要 豫測모델의 概要

1961年 이후 1984年까지 우리나라의 電力量 및 最大電力需要는 年平均 增加率이 各各 17.8%, 16%라는 경이적인 成長을 이룩하였다. 이와 같은 電力需要 및 經濟成長에 힘입어 國民生活 水準이 向上되고 생활양식이 現代化 됨에 따라 家庭用 電氣機器의 大型化, 多機能化, 新型 電氣製品의 普及 擴大 특히 冷房空調設備의 급속한 확대에 따른 큰 伸張으로 우리 나라의 最大電力도 冬令 冬季 12月的 點燈時刻(18時~19時)에 발생하던 것이 1981年 이후부터는 夏季 8月的 晝間(14時~15時)으로 移行하였고 1983년부터는 夏季冷房需要가 차지하는 비율이 最大電力需要의 15%를 上廻하게 되었다. 앞으로도 國民所得水準이 향상됨에 따라 빌딩이나 가정에서의 冷房空調設備가 계속 보급되어 最大電力需要에서 氣象感應負荷가 차지하는 비율은 더욱 증대할 것으로 예상된다.

이와 같이 溫度 등의 氣象變數에 민감한 夏季冷房需要가 最大電力需要에 결정적인 要因으로 작용하게 되므로 最大電力需要를 氣象感應負荷成分과 基底負荷成分으로 분리하여 이들 成分을 各各 多重回歸分析하여 예측한 후, 이 두 성분을 다시 결합시켜 最大電力需要를 예측하는 技法이 불규칙하게 변화하는 年負荷率로부터 예측하는 技法보다 合理的이며, 豫測精

度も 높일 수 있다고 생각된다.

따라서 本 論文에서는 最大電力需要를 氣象感應負荷成分과 基底負荷成分으로 분리하여 예측하는 技法을 사용하였다. 氣象變數로는 最大電力發生時的 乾球溫度, 濕球溫度, 不快指數 또는 日 最大電力에 對한 日 最高溫度, 日 平均溫度 등을 취할 수 있다. 그중 日 最大電力 發生時的 乾球溫도와 濕球溫도를 고려한 最大電力과의 相關係수가 큰 不快指數를 기상變數로서 취함이 보다 바람직하겠으나, 우리 나라의 기상관측소에서는 15時的 不快指數만을 발표하고 있는 뿐이며, 이 15時は 最大電力 發生時間과 一致하지 않는다. 또한 日 最高溫度 發生時間 역시 最大電力 發生時間과 一致하지 않고 冬季時的 濕도는 日 最大電力에 별로 영향을 미치지 않으며 주로 乾球溫度만이 영향을 미친다.

따라서 本 論文에서는 氣象變數로서 日 最大電力과 相關性이 가장 높다고 생각되는 夏季 6, 7, 8 月の 最大電力 發生時的 乾球溫度만을 취한다. 그러나 最大電力 發生時的 乾球溫度 역시 全國적으로 一致하지 않으므로 全國의 地形 및 電力需要密度를 고려하여 대표적 氣象資料라고 판단되는 數個地域을 선정하고 각 지역의 最大電力 發生時的 乾球溫度를 收集하여 여기에다 과거의 통계자료를 근거로 한 地域別 電力需要 比重值를 加重시켜 全國의 平均乾球溫度를 구하여 이 값을 氣象變數로서 사용한다. 이렇게 함으로써 最大電力需要의 豫測誤차를 감소시킬 수 있다.⁹⁾

또 回歸分析의 入力資料로 사용될 과거통계자료 중 電力需要가 平日에 비해 상당히 감소되어 예측오차가 많으리라고 생각되는 월, 토, 일요일, 공휴일, 구정, 및 대부분의 기업체의 휴가기간인 8 月 첫째주는 分析對象日에서 제외하고 分析對象日로는 平日만을 취한다. 氣象變數인 乾球溫度로부터 最大電力需要를 예측하기 위하여는 우선 各 年度의 氣象負荷모델을 결정한 후 上述한 통계자료를 사용하여 回歸分析法에 의하여 과거 各 年度의 基底負荷成分과 氣象感應負荷成分으로 분리한 후 이 결과를 이용하여 가장 적합한 基底負荷成分 및 氣象感應負荷成分의 成長傾向回歸式을 導出하고, 多重回歸法을 사용하여 各 成分의 成長傾向曲線의 係數를 구한 후 兩成分을 結合하여 各 豫測年度의 最大電力需要를 예측한다.

우리 나라의 경우 回歸分析結果 成長傾向回歸式으로는 基底負荷成分에 대해서는 指數傾向曲線, 氣象感應負荷成分에 대해서는 實數 2 次傾向曲線이 가장 적합하다는 결론을 얻어, 本 論文에서도 最大電力의

各 成分에 대한 成長傾向回歸式으로 各 各 다음 식 (4) 및 식 (8)을 사용한다.

2.2 多重回歸分析技法

氣象變數인 乾球溫度로부터 最大電力需要를 예측하기 위하여 우선 各 年度의 氣象負荷모델을 결정하여야 하며 기상부하모델을 구하기 위해서는 과거 실적통계자료를 이용하여 每 年度의 日 最大電力需要와 최대전력 발생시의 乾球溫度에 관한 關係式을 導出하여야 한다. 그림 1과 같은 氣象負荷모델(散亂圖)을 참조하면 이들의 關係式인 식(1)을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} T > T_s \text{ 시 } L &= D_0 + K_s(T - T_s) \\ T < T_w \text{ 시 } L &= D_0 - K_w(T - T_w) \quad (1) \\ T_w \leq T \leq T_s \text{ 시 } L &= D_0 \end{aligned}$$

여기서 L 는 平日의 時間平均 最大電力 [MW], T 는 최대전력 발생시의 乾球溫度, T_s 와 T_w 는 各 各 여름철 및 겨울철의 冷暖房需要에 영향을 받지 않는 限界溫度, 氣象負荷모델의 기울기 K_s 와 K_w 는 各 各 乾球溫度 T_s 이상 및 T_w 이하에서 單位溫度 上昇時 또는 下降時 冷暖房需要를 나타내는 係數를 표시한다.

K_s, K_w 의 값은 需用家에 의해서 설치되는 電熱 및 冷房設備가 每年 증가되므로 每年 경신된다. 또한 基底負荷成分 D_0 도 산업설비의 증가에 의해서 역시 매년 경신된다. 따라서 식(1)은 기상變수인 乾球溫度差를 獨立變數로 하는 一次線形回歸式인 식 (2)로 표시할 수 있다.

$$y = a_0 + a_1 t \quad (2)$$

여기서 y 는 各 年度의 平日 最大電力需要 [MW],

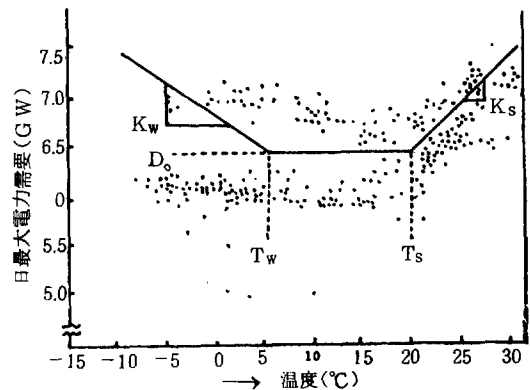


그림 1. 氣象負荷모델 (1983)
Fig. 1. weather-load model.

a_0 는 最大電力需要의 基底負荷成分, $a_1 t$ 는 氣象感應負荷成分을 표시한다. 식(2)의 係數 a_0 및 a_1 은 식(3)에 의하여 과거 실적자료를 이용하여 回帰分析함으로써 구할 수 있다.

$$a_0 = \frac{\sum y \sum t^2 - \sum t \cdot \sum y \cdot t}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

$$a_1 = \frac{n \sum y \cdot t - \sum y \sum t}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (3)$$

여기서 n 은 資料數를 표시한다.

基底負荷成分의 成長傾向 回帰式으로는 直線, 二次曲線, 多項式曲線, 二次指數曲線 등의 一般적인 數學式으로 표시되는 傾向線과 Logistic 曲線, Gompertz 曲線 등으로 표시되는 理論的인 傾向線 및 移動平均傾向線 등이 있으나,¹²⁾ 경제성장과 冷暖房設備의 普及率 등에 의해서 주어진 여건에 적합한 傾向線을 선정하는데 있어서 直線回帰는 等差的인 성장傾向을 나타내므로 예측값이 과소 想定될 위험이 있고, 實數二次式回帰는 예측치의 오차가과대 평가되고 對數回帰는 수요성장이 等比로서 증대하거나 彈性值 一定 경우의 想定에 적합하다. 따라서 需要成長이 어떤 일정한 비율이 아니고 계속하여 변동하는 需要成長인 경우에는 回帰分析結果 식(4)의 指數傾向曲線을 사용함이 효과적이다.

$$a_0 = e^{(b_0 + b_1 x)} \quad (4)$$

여기서 x 는 基準年度에서 豫測하고자 하는 年度까지의 年數를 표시한다.

식(4)을 변형하면 식(5)와 같이 된다.

$$\log a_0 = b_0 + b_1 x \quad (5)$$

식(4) 또는 식(5)의 係數 b_0 및 b_1 은 식(3)에서 구한 결과치를 이용하여 식(6)에 內插시켜 구할 수 있다.

$$b_0 = \frac{\sum \log a_0 \sum x^2 - \sum x \sum \log a_0}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b_1 = \frac{n \sum \log a_0 \cdot x - \sum \log a_0 \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (6)$$

식(6)은 時間의 原點을 系列의 中央으로 移動變換하여 $\sum x = 0$ 로 하면 식(7)과 같이 간단하게 된다.

식(3)에서 구한 값들을 식(6) 또는 식(7)에

$$b_0 = \frac{\sum \log a_0}{n}$$

$$b_1 = \frac{\sum x \cdot \log a_0}{\sum x^2} \quad (7)$$

內插시켜 傾向曲線의 係數 b_0 및 b_1 을 구한 후 식(4)에 의하여 回帰시켜 과거 年度의 基底負荷成分 a_0 를 구할 수 있다.

또 最大電力需要의 氣象感應負荷成分의 成長傾向은 冷暖房設備가 成長期에 있을 때에는 이론적 成長傾向曲線인 Logistic 曲線 또는 Gompertz 曲線에 의하여 回帰시켜 예측한 값과 식(8)로 표시되는 實數二次傾向曲線에 의하여 回帰시켜 예측한 값과 별 차이가 없으므로¹⁰⁾ 本論文에서는 成長傾向回帰式으로 식(8)을 사용한다.

$$a_1 = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 \quad (8)$$

식(8)에서 x 는 기준년도에서 예측하려는 년도까지의 年數이다. 식(8)의 係數 c_0, c_1, c_2 의 값은 식(3)에서 구한 結果值를 이용하여 식(9)에 內插시켜 구할 수 있다. $\sum x = S_1, \sum x^2 = S_2, \sum x^3 = S_3, \sum x^4 = S_4, \sum a_1 = S_5, \sum x \cdot a_1 = S_6, \sum x^2 \cdot a_1 = S_7$ 이라 놓으면

$$c_0 = (S_2 S_4 S_5 + S_1 S_3 S_7 + S_2 S_3 S_6 - S_1 S_4 S_6 - S_3^2 S_5 - S_2^2 S_7) / D$$

$$c_1 = (n S_4 S_6 + S_2 S_3 S_5 + S_1 S_2 S_7 - S_1 S_4 S_5 - n S_3 S_7 - S_2^2 S_6) / D$$

$$c_2 = (n S_2 S_7 + S_1 S_2 S_6 + S_1 S_3 S_5 - S_1^2 S_7 - n S_3 S_6 - S_2^2 S_5) / D \quad (9)$$

단, $D = n S_2 S_4 + 2 S_1 S_2 S_3 - S_1^2 S_4 - n S_3^2 - S_2^3$ 이다.

식(9)는 $S_1 = \sum x = 0, S_3 = \sum x^3 = 0$ 가 되도록 변형하면 식(10)과 같이 간단히 된다.

$$c_0 = \frac{S_4 S_5 - S_2 S_7}{n S_4 - S_2^2}$$

$$c_1 = \frac{S_5}{S_2}$$

$$c_2 = \frac{n S_7 - S_2 S_5}{n S_4 - S_2^2} \quad (10)$$

즉 식(3)에서 구한 값들을 식(7) 또는 식(10)에 內插시켜 係數 c_0, c_2 를 구한 후 식(8)에 의하여 回帰시켜 過去 年度 및 豫測年度의 氣象感應負荷成分의 係數 a_1 을 구할 수 있다.

이와 같이 하여 예측년도의 基底需要成分과 氣象感應成分의 係數를 구한 후 식(11)에 의하여 두成分을 結合시킴으로써 豫測年度의 最大電力需要를 예측한다.

$$y = f(a_0, a_1) = a_0 + a_1 t$$

$$= e^{(b_0 + b_1 x)} + (c_0 + c_1 x + c_2 x^2) t \quad (11)$$

여기서 t 는 $(T - T_s)$ 및 $-(T - T_w)$ 를 표시한다.

그리고 豫測誤差率은 식(11)에 의하여 回歸시켜 얻은 過去 年度의 最大電力需要와 실제 과거 實績에 의한 最大電力需要와를 比較하여 구할 수 있다.

上記한 方法에 의하여 豫측한 最大電力需要는 國民總生産(GNP) 또는 鑛工業指數(IIP)등과 같은 經濟指標와의 相關關係에서 巨複의으로 檢證 가능하다. 本 論文에서는 GNP에 대한 最大電力需要豫測의 檢證用으로 식(12)와 같은 兩對數一次式을 사용한다.

$$\log y = \log a + b \log X \quad (12)$$

여기서 y 는 最大電力需要, X 는 GNP, b 는 彈性值를 표시한다. 이 方法에서는 家庭用, 商業用, 産業用으로 분류되는 구조와 성격이 다른 需要를 한개의 說明變數로서는 그 成長傾向을 나타내기가 곤란하다는 문제점을 지니고 있다.

本 論文에서 제시한 多重回歸分析法에 의해 년도의 最大電力需要를 豫측하는 概略의인 흐름도를 표시하면 그림 2와 같다.

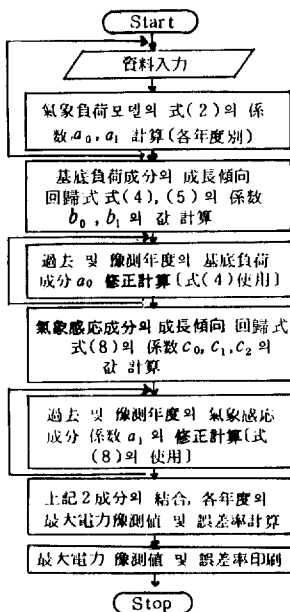


그림 2. 最大電力豫測을 위한 多重回歸解析의 흐름도
Fig. 2. The flow chart of mutiregression analysis. for Peak demand forecasting.

3. 實系統에의 適用

3.1 韓電系統에의 適用例

本 論文에서 提示한 長期 最大電力需要 豫測에 관한 알고리즘의 効用性을 立證하기 위하여 이 알고리즘을 우리나라 韓電 電力系統에 적용하였다.

氣象變數로서는 日 最大電力 發生時의 乾球溫度만을 택하였으며, 乾球溫度는 地域마다 같지 않기 때문에 地形 및 地域別 電力密度를 고려하여 全國을 京仁, 慶南, 慶北, 嶺東, 湖南의 5個地域으로 구분하고 해당 地域別로 代表的인 氣象資料라고 생각되는 서울, 부산, 대구, 대전, 광주의 最大電力 發生時의 乾球溫度資料를 收集하여 여기에다 1983年度 7月の 電力量 需要를 근거로한 표 1의 地域別 電力需要 比重值를 加重시켜 全國의 平均乾球溫度를 구하여 이를 氣象變數로 사용하였으며, 分析對象으로는 平日만을 취하였다.^{13), 14)}

또 乾球溫度가 最大電力에 영향을 미친다고 생각되는 식(1)의 限界溫度는 $T_s = 20^\circ\text{C}$, $T_w = 5^\circ\text{C}$ 를 취하였다.

이와 같이 하여 정리한 入力資料를 사용하여 식(2)의 氣象負荷모델에서 식(3)에 의하여 구한 各年度의 基底負荷成分 a_0 (MW) 및 氣象感應負荷成分의 係數 a_1 의 결과는 표 2와 같다. 또한 여기서 구한 값 a_0, a_1 을 식(2)에 回歸시켜 計算한 各年度(1976~1983)의 實績值에 대한 計算값의 標準誤差率은 표 2와 같다. 앞에서 구한 各年度의 基底負荷成分을 근거로 하여 그 成長傾向을 고려한 식(4)의 成長傾向回歸式에서 식(7)에 의하여 指數傾向曲線의 係數를 求하면 $b_0 = 8.01045$, $b_1 = 0.09632$ 가 되며, 이 값을 식(4)에 回歸시켜 a_0 를 修正하여 過去年度 및 豫測年度의 最大電力의 基底負荷成分을 구하면 표 3과 같다.

표 1. 住宅用 및 商業用電力需要(1983.7)

Table 1. Residential and commercial service power demands. (MWH)

지 역 분 별	적 력 수 요			점유비 (%)
	주 택 용	서 비 스 업	계	
	333647	272889	860263	53.4
	122059	59862	195064	15.3
	78515	27103	118827	9.3
	92002	40388	146245	11.5
	93419	28101	134641	10.5
	719642	428348	1275040	100.0

또 앞에서 구한 各年度의 氣象感應負荷成分을 근거로 하여, 그 成長傾向을 고려한 식(8)의 成長傾向回歸式에서 식(9)에 의하여 實數2次傾向線의 係數를 구하면 $c_0 = 35.46018$, $c_1 = -7.406776$, $c_2 = 1.405998$ 이 되며, 이 값을 식(8)에 의하여 회귀시켜 a_1 을 수정한 過去年度 및 豫測年度의 最大電力의 氣象感應負荷成分의 係數를 구하면 표 4 및 표 5와 같다.¹⁵⁾

표 4는 77년, 78년도의 最大電力의 氣象感應成分의 係數가 불규칙하게 변화하므로 이를 제거하고¹⁶⁾

수정한 값이고, 표 5는 76년부터 83년까지 全年度를 모두 사용한 값으로 最大電力 需要豫測에서는 표

표 4. 最大電力需要의 氣象感應負荷成分의 係數 (77,78年 除外)

Table 4. Coefficients of weather sensitive load components of the maximum power demand.

년 도	기상감응부하성분의 계수	수정전의 값에 대한 오차율(%)
1976	29.4596	-1.65
1977	26.2709	-21.05
1978	25.8941	45.41
1979	28.3293	6.30
1980	33.5765	-0.01
1981	41.6357	-1.09
1982	52.5069	-5.33
1983	66.1901	2.96
1984	82.6853	
1985	101.9925	
1986	124.1116	
1987	149.0428	
1988	176.7860	
1989	207.3412	
1990	240.7083	
1991	276.8875	

표 2. 最大電力需要의 基底負荷成分 및 氣象感應負荷成分의 係數

Table 2. Base load components and coefficients of weather sensitive load components of the maximum power demand.

년도	분석 일수	기저부하성분 (MW)	기상감응부하성분의 계수	표준오차율 (%)
1976	38	3129.9532	28.9725	5.77
1977	44	3638.9210	20.7413	2.41
1978	46	4236.5440	37.6525	7.47
1979	37	4654.8954	30.1126	5.50
1980	35	4849.4969	33.5715	2.22
1981	34	5396.7530	41.1804	2.86
1982	40	5754.1698	49.7090	4.19
1983	39	6423.1707	68.1520	3.15

표 3. 最大電力需要의 基底負荷成分

Table 3. Base load components of maximum power demand.

년 도	기저부하성분 (MW)	수정전의 값에 대한 오차율(%)
1976	3316.8117	-5.63
1977	3652.1631	-0.36
1978	4021.4210	5.35
1979	4428.0193	5.12
1980	4875.7213	-0.54
1981	5368.6888	.52
1982	5911.5065	-2.66
1983	6509.1991	-1.32
1984	7167.3220	
1985	7891.9857	
1986	8689.9293	
1987	9568.5388	
1988	10535.9810	
1989	11601.2537	
1990	12774.2174	
1991	14065.7748	

표 5. 最大電力需要의 氣象感應負荷成分의 係數

Table 5. Coefficients of weather sensitive load components of the maximum power demand.

년 도	기상감응부하성분의 계수	수정전의 값에 대한 오차율(%)
1976	28.8560	0.40
1977	27.0336	-23.28
1978	27.5375	36.73
1979	30.3676	-0.84
1980	35.5240	-5.50
1981	43.0066	-4.25
1982	52.8155	-5.88
1983	64.9507	4.93
1984	79.4121	
1985	96.1998	
1986	115.3137	
1987	136.7538	
1988	160.5203	
1989	186.6130	
1990	215.0319	
1991	245.7771	

5 대신 표 4를 사용하였다. 표 6은 基底負荷成分 및 氣象感應負荷成分의 係數의 成長傾向을 고려하여 수정한 후의 各年度의 실제값에 대한 豫測值의 標準誤差率을 나타내고 있다.

표 3 및 표 4의 最大電力의 基底負荷成分과 氣象感應成分을 결합한 過去年度 및 豫測年度의 最大電力需要를 豫測한 結果는 표 7과 같다. 이때 豫測年度의 乾球溫度는 實系統資料에서 最高溫度의 平均값인 31.748℃를 사용하였다.

이와 같이 하여 구한 最大電力需要 豫測值을 最大

표 6. 成長傾向을 고려 수정한 후의 基底負荷成分 및 氣象感應負荷成分의 係數.

Table 6. Base load components and coefficients of weather sensitive load components in consideration of growth trend.

년도	분석 일수	기저부하 성분 (MW)	기상감응부하 성분의 계수	표준오차율 (%)
1976	38	3316.8117	29.4596	5.77
1977	44	3652.1631	26.2709	2.41
1978	46	4021.4210	25.8941	7.47
1979	37	4428.0193	28.3293	5.50
1980	35	4875.7213	33.5765	2.22
1981	34	5368.6888	41.6357	2.86
1982	40	5911.5065	52.5069	4.19
1983	39	6509.1991	66.1901	3.15

표 7. 最大電力需要의 多重回歸에 의한 豫測結果

Table 7. Forecasted results by multiregression analysis of maximum power demand.

년 도	실적치 [MW]	예측치 [MW]	오 차 율 (%)
1976	3435.0	3662.902	- 6.22
1977	4042.0	3960.792	2.05
1978	4751.0	4325.624	9.83
1979	5168.0	4760.830	8.55
1980	5232.0	5270.176	- 0.72
1981	6023.0	5857.824	2.81
1982	6661.0	6528.356	2.03
1983	7602.0	7286.798	4.31
1984		8138.707	
1985		9080.191	
1986		10147.990	
1987		11319.490	
1988		12612.861	
1989		14237.093	
1990		15602.056	
1991		17318.644	

電力需要와 國民總生産(GNP)과의 相關關係로부터 巨視的으로 檢定하여 比較하였다. 이때 最大電力需

표 8. GNP와 最大電力需要의 相關關係에서 구한 最大電力需要의 豫測結果

Table 8. Forecasted results of maximum power demand using correlation between GNP and maximum power demand.

년도	실적치 [MW]	예측치 [MW]	오 차 율 (%)
76	3435	3465	0.8
77	4042	4066	0.5
78	4851	4920	1.4
79	5168	5601	7.7
80	5232	5017	4.3
81	6023	5677	6.1
82	6661	7148	6.8
83	7602	8202	7.3
84	8811	9168	3.8
85		10249	
86		11456	
87		11207	
88		12140	
89		13151	
90		14246	
91		15432	

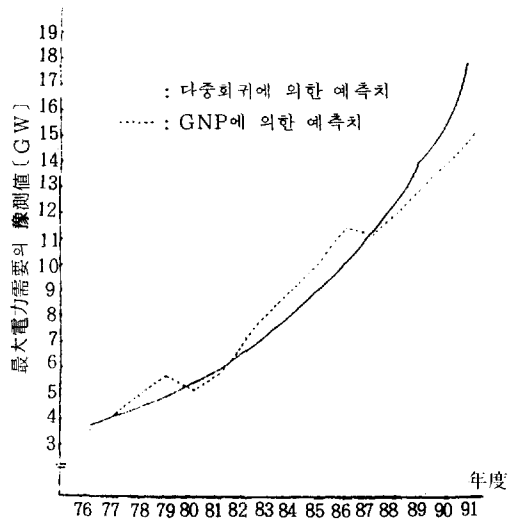


그림 3. 多重回歸에 의한 豫測值과 GNP와의 相關關係에 의한 豫測值과의 比較曲線

Fig. 3. Comparative curve of forecasted values using multiregression and forecasted values using correlation for GNP.

要의 예측에서는 당연히 景氣動向을 고려하지만 長期의인 경제예측의 時系列的인 景氣週期를 예측하는 것이 곤란하므로 好況不況의 영향을 제외시킨 5年幅(5個年)에서 중심선적인 最大電力 彈性値를 구한다. 이때 電力 彈性値는 시간이 증가할수록 또한 GNP가 증가할수록 감소된다. 이러한 경향을 고려하여 GNP와의 相關關係로부터 식(12)에 의하여 구한 最大電力 수요의 예측치는 표 8과 같다.

1976년부터 1991년까지의 多重回歸에 의해 구한 最大電力需要 豫測値와 GNP와의 相關關係로부터 구한 豫測値를 비교하면 그림 3과 같다.

3.2 豫測結果의 檢討 및 考察

氣象負荷모델 식(2), (3)에 의하여 과거(1976~1983)各年度의 統計資料로부터 最大電力을 基底負荷成分과 氣象感應負荷成分으로 분리하고 식(2)에 의하여 回歸시켜 구한 값의 實績値에 대한 標準誤差率은 6%이하였으며 따라서 식(2)의 負荷모델

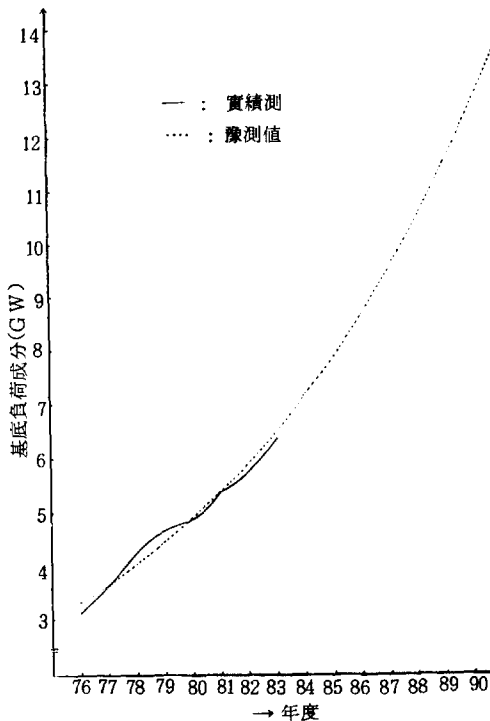


그림 4. 基底負荷成分의 實績値와 豫測値와의 成長傾向의 比較曲線

Fig.4. Comparative curves of growth trend of observed and forecasted values of base load components.

은 最大電力需要 豫測모델로 적합함을 알 수 있다. 또 基底負荷成分의 成長傾向回歸式으로 식(4)의 指數傾向曲線을 사용하여 구한 最大電力의 基底負荷成分의 誤差率은 표 3에 표시된 바와 같이 수정전의 값에 대하여 약 5%정도 밖에 되지 않으며, 과거 實績値에 대한 誤差率은 3.4%, 基底負荷成分의 修正値와 과거 實績値와의 相關係數는 0.99로서 그 修正값이 實績値에 가깝고 매우 精度 높은 豫測이 가능함을 보여주고 있다.

基底負荷成分의 成長傾向回歸式으로서 指數傾向曲線을 사용하였을 경우의 基底負荷成分의 各年度의 實績値와 豫測値와의 成長傾向을 비교하여 圖示하면 그림 4와 같다.

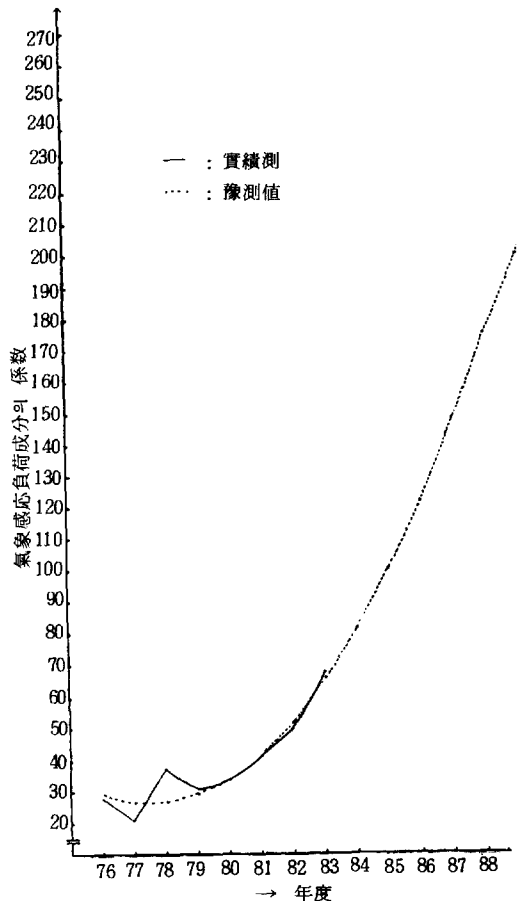


그림 5. 氣象感應負荷成分의 係數의 實績値와 豫測値와의 成長傾向의 比較曲線

Fig.5. Compatative curves of growth trend of observed and forecasted values of coefficient of weather sensitive load components.

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 基底負荷成分은 指數傾向回歸式을 사용하여 예측하면, 그 豫測值가 實績值에 아주 접근함을 알 수 있다.

最大電力의 氣象感應負荷成分係數의 成長傾向回歸式으로서 實數二次式을 사용하여 回歸시켜 얻은 各年度의 豫測值와 實績值와의 값을 비교하여 圖示하면 그림 5와 같으며 實測值와 豫測值의 값이 거의 一致함을 알 수 있다.

따라서 冷房空調設備의 限界普及率이 市場飽和에 이르지 않고 成長期에 있는 우리 나라의 여건에서는 實數二次傾向曲線을 사용하여 最大電力의 氣象感應負荷成分의 係數를 豫測함이 합당한 것으로 생각된다.

上述한 方法에 의하여 구한 各年度의 最大電力需要의 基底負荷成分과 氣象感應成分의 係數 및 各年度의 實績值에 대한 豫測值의 標準誤差率은 표 6과 같다.

또한 과거 實績資料의 最高乾球溫度의 實績值의 平均値 31.748 (°C)와 위에서 구한 兩成分을 사용하여 이 兩成分을 多重回歸式에 의하여 結合시켜 구한 各年度의 豫測值 및 實績值에 대한 誤差率은 표 7과 같으며, 그 最大誤差率은 1978年度는 9.834 (%)이었으나 거의가 5 (%)이하 였다.

1978年度 및 1979年度의 豫測值의 실적치에 대한 오차율이 높은 것은 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 1978年度의 氣象感應成分의 係數가 前年度보다 급격히 상승하였다가 1979年度에 급격히 떨어지게 起因한다.

따라서 氣象變數로서 最大電力 發生時의 乾球溫度를 취하고 最大電力需要를 基底負荷成分과 氣象感應負荷成分으로 분리한 후 基底負荷成分의 成長傾向線으로 指數傾向曲線을, 氣象感應負荷成分의 係數의 成長傾向線으로 實數二次傾向曲線을 취하여 各成分을 別途로 豫測한 후, 이들을 結合하여 最大電力需要를 豫測하는 技法은 相關關係 면에서나 豫測精度면에서 우수한 技法이라 생각된다.

多重回歸로 구한 最大電力需要 豫測值를 GNP 와의 相關關係에서 巨視的으로 구한 豫測值로서 檢證해보아도 그림 3의 값에서 전체의 오차율이 2.48%로서 多重回歸에 의해서 구한 長期 最大電力需要豫測值가 타당성이 있다고 생각된다.

4. 結 論

本論文은 電力系統의 長期 最大電力需要 豫測을 위하여 우리나라 電力需要의 特性 및 日 最大電力

發生時의 乾球溫度를 고려한 多重回歸分析技法 및 그 앨그리즘을 提示하고 事例研究를 통하여 그 타당성과 實用性을 檢證하였으며 그 結論을 要約하면 다음과 같다.

- 1) 最近에 氣象狀態는 最大電力需要에 큰 要因으로 作用하고 있으므로, 最大電力需要를 溫度에 別로 影響을 받지 않는 基底負荷成分과 溫度에 민감한 氣象感應成分으로 分離하고, 이들 兩成分을 "그 成長傾向을 고려하여 各各豫測한 후 다시 이를 結合하여 最大電力需要를 豫測하는 本 多重回歸分析技法은 年負荷率 自体를 精確히 豫測하기 곤란하고 그 豫測誤差가 最大電力需要 豫測에 큰 影響을 미치는 負荷率에 의한 最大電力 豫測技法보다는 合理的이고 豫測精度를 높일 수 있다.
- 2) 우리 나라의 경우 最大電力需要의 基底負荷成分의 成長回歸式으로는 指數傾向曲線을 使用함으로써 豫測精度의 誤差를 줄일 수 있었다. 本 事例研究의 경우 과거 실적치에 대한 최대 오차율은 5.77 (%)이었다.
- 3) 氣象感應負荷成分의 成長傾向回歸式으로는 우리 나라와 같이 冷房設備가 成長期에 있을 때에는 구태여 복잡한 理論的인 傾向曲線을 使用하지 않더라도 實數2次傾向曲線을 使用함으로써 豫測誤差를 줄일 수 있다. 이 경우 過去年度의 時系列上의 실적이 급격한 변화가 있을 경우에는 이 年度를 回歸分析에서 제외하고 豫測하면 豫測誤差를 줄일 수 있다.
- 4) 과거 各年度의 最大電力需要에 급격한 변동이 있고, 장기에 걸친 충분한 통계자료가 없을 경우에는 確率密度函數를 使用하는 豫測技法은 오히려 豫測精度가 낮아질 可能性이 있으므로, 이 경우에는 복잡한 確率論的技法 보다는 豫測年度마다 檢證 및 必要한 경우 예측치의 수정이 용이한 本 論文에서 提示한 단순한 多重回歸分析이 더 效果的이라 생각된다.
- 5) 事例研究로서 本 論文에서 提示한 技法을 우리나라의 韓電系統에 適用하여 1976年度부터 1983년까지의 과거 실적을 토대로 하여 多重回歸分析하여 본 結果, 과거 實績值에 대한 誤差는 5% 이하로 良好한 結果를 얻었다.

参考文献

- 1) C.E. Asbury, "Weather load model from electric demand and energy forecasting", IEEE Trans., Vol. PAS-94, No. 4, July/Aug. 1975, pp. 1111-1116.
- 2) S.L., Corpening, N.D. Reppen and R.J. Ringlee, "Experience with weather-sensitive load models for short and long term forecasting", IEEE Trans., Vol. PAS-92, No. 6, Nov./Dec. 1973, pp. 1966-1972.
- 3) J.C. Hubbard, "Monitoring electric load forecasts", IEEE Trans., Vol. PAS-88, No. 6, June 1969, pp. 979-801.
- 4) P.D. Matthewamn, "Techniques for load prediction in the electric supply industry", Proc. Inst. Electr. Eng., (GB), Vol. 115, No. 10, 1968, pp. 1451-1457.
- 5) G.T. Heinemann, D.A. Nordman and E.C. Plant, "The relation between summer weather and summer loads—a regression analysis", IEEE Trans., Vol. PAS-85, No. 11, Nov. 1966, pp. 1144-1154.
- 6) 日本電力調査委員会, "電力需要想定および電力供給算定試の解説." 1982.
- 7) K.N. Stanton, "Long-range demand forecasting for the electric utility industry", 1969 Power Industry Computer Applications Conf., May 18-21, pp. 565-579.
- 8) K.N. Stanton, "Long-range forecasting of electrical demand by probabilistic methods", American Power Conf., Vol. 21, April 22-24, 1969, pp. 964-969.
- 9) C.R. Williams and F.A. Leslie, "Load forecasts reflect weather", Electr. World, Vol. 139, No. 14, April 1953, pp. 86-88.
- 10) K.N. Stanton, "Forecasting by probability methods", IEEE Trans., Vol. PAS-90, May/June 1971, pp. 1183-1189.
- 11) P.C. Gupta, "A stochastic approach to peak power-demand forecasting in electric utility systems", IEEE Trans., Vol. PAS-90, Mar./Apr. 1971, pp. 823-832.
- 12) 丹山由次郎, "新版需要と經濟系列分析," 日本生産性本部, 1972.
- 13) K.N. Stanton, "Medium-range, weekly and seasonal peak demand forecasting by probability methods", IEEE Trans., PAS-90, No. 3, May/June 1971, pp. 1183-1189.
- 14) 韓國電力公社, "夏季冷房電力需要特性分析," 韓國電力公社調査部, 1983.
- 15) R.S. Sulliran: "Power System planning", McGraw-Hill. Book Co., New York, 1977.
- 16) Sanford. Weisberg, "Applied linear Regression", John Wiley & Inc., New York 1980.