

# 회귀분석에 의한 건물에너지 사용량 예측기법에 관한 연구

이 승 복<sup>†</sup>

성균관대학교 건축공학과 교수

## A Study for Predicting Building Energy Use with Regression Analysis

Seung-Bok Leigh<sup>†</sup>

Department of Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received September 25, 2000; revision received October 30, 2000)

**ABSTRACT:** Predicting building energy use can be useful to evaluate its energy performance. This study proposed empirical approach for predicting building energy use with regression analysis. For the empirical analysis, simple regression models were developed based on the historical energy consumption data as a function of daily outside temperature, the predicting equations were derived for different operational modes and day types, then the equations were applied for predicting energy use in a building. By selecting a real building as a case study, the feasibilities of the empirical approach for predicting building energy use were examined. The results showed that empirical approach with regression analysis was fairly reliable by demonstrating prediction accuracy of  $\pm 10\%$  compared with the actual energy consumption data. It was also verified that the prediction by regression models could be simple and fairly accurate. Thus, it is anticipated that the empirical approach will be useful and reliable tool for many purposes: retrofit savings analysis by estimating energy usage in an existing building or the diagnosis of the building operational problems with real time analysis.

**Key words:** Regression analysis(회귀분석), Empirical method(선형적 방법), Engineering calculation(분석적 방법)

### 기 호 설 명

- X : 일평균외기온
- Y : 에너지 사용량
- R : 상관계수

### 1. 서 론

건물의 에너지 사용량을 예측한다는 것은 건물

이 그 기능에 적합한 실내환경을 유지하기 위하여 필요한 에너지 소비량 또는 요구되는 에너지량을 일정 기간에 걸쳐 예측하거나 계산하는 것으로서 건물에너지 성능평가의 중요한 요소이다.

선진외국의 경우, 건물의 에너지 사용량에 대하여 감시, 측정을 수행함으로써 건물의 에너지 소비특성을 파악하거나 소비형태를 분석하는 등 건물에너지 성능평가의 수단으로 활용하고 있을 뿐더러 건물의 에너지 사용량을 사전에 예측함으로써 건물의 비정상적인 에너지 소비나 낭비의 요소를 찾아내어 이를 건물운영에 적극 반영함으로써 건물에너지를 절감하기 위한 노력을 지속적으로 수행하고 있다.<sup>(1,2)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7559; fax: +82-31-290-7570

E-mail address: sbleigh@yurim.skku.ac.kr

- characteristics in small-hydraulic-diameter channels, Proceeding of '98 SAREK 98-S-158, pp. 842-847.
18. Kim, J. S. and Katsuta, M., 1995, Development of high performance heat exchanger for CFC alternative refrigerants, *J. Refrigeration & A/C Eng.*, Vol. 18, No. 5, pp. 273-283.
  19. Lee, W. H., 1997, Evaporation heat transfer coefficient of R-22 in horizontal small tubes, Master thesis Pukyong University, Busan Korea.
  20. Kim, N. H., Cho, J. P., Kim, J. O., Kim, M. H. and Yun, J. H., 1998, Experiments on R-22 condensation heat transfer in small diameter tubes, *SAREK Trans.*, Vol. 10, No. 3, pp. 271-281.
  21. Cho, Y. D., Han, C. S. and Yoo, S. Y., 1999, Development of design technique for automotive condenser, *SAREK Trans.*, Vol. 11, No. 1, pp. 10-17.

본 연구에서는 건물의 에너지 사용량을 예측하기 위한 방법으로서 선형적 방법인 회귀분석기법(외기온의 변화와 이에 따른 건물의 에너지 사용량과의 상관관계를 통계적으로 분석함으로써 에너지 사용량을 예측할 수 있는 단순회귀분석에 의한 예측기법)을 제시하고, 이러한 기법을 기존 건물의 에너지 사용량을 예측하는 데 실제로 적용해 봄으로써 회귀분석기법의 정확도 및 장·단점 등을 분석하여 장치 효율적인 건물에너지 관리를 위한 수단으로서의 활용방안을 모색하고자 한다.

## 2. 회귀분석에 의한 선형적 방법

일반적으로 국내에 잘 알려진 DOE-2.1E 같은 건물에너지 해석 프로그램을 이용하는 분석적 방법(engineering calculation)은 입력자료의 작성에 매우 까다로우며, 해석과정이 복잡하여 많은 시간과 노력을 필요로 한다.<sup>(3)</sup> 그러므로, 이를 대체할 수 있도록 입·출력이 비교적 간단하면서도 신뢰성이 있는 결과를 도출할 수 있는 새로운 기법의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 건물의 에너지 사용량을 예측할 수 있는 선형적 방법으로서 단순회귀분석에 의한 예측기법을 적용하였다. 건물의 냉·난방 에너지 소비량은 건물의 열적 특성, 건물의 사용 및 운영형태, 외기 조건의 변화 등과 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 따라서, 일평균 외기온의 변화를 독립변수로 볼 때, 건물의 사용형태에 따른 일일 에너지 소비량과는 일정한 상관관계를 가진다. 여기서 선형적 방법이란 과거의 건물운영기록이나 에

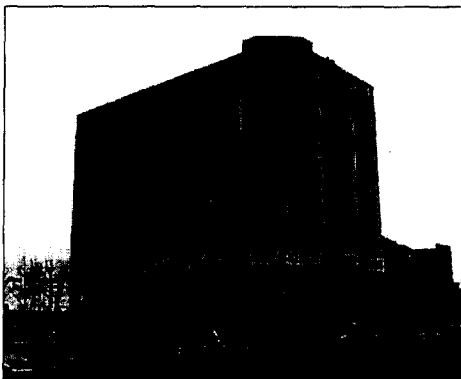


Fig. 1 South-west facade of K-building.

너지 사용량 데이터를 토대로 단순회귀분석모델을 이용하여 독립변수와 종속변수의 선형적 상관관계 또는 함수관계를 도출한 후 이를 토대로 건물의 에너지 사용량을 예측하는 기법을 의미한다. 이때 종속변수의 실제값과 회귀식에 의해 예측되는 값의 차이를 최소화하기 위하여 상관계수(correlation coefficients)를 사용하는 데 상관계수의 절대값이 0.2보다 작으면 상관관계가 없거나 무시해도 좋으며, 절대값이 0.4 이하이면 약한 상관관계, 그리고 0.6 이상이면 강한 상관관계로 볼 수 있다.<sup>(4)</sup>

## 3. 대상건물 개요

본 연구에서는 회귀분석에 의한 예측기법을 기존 건물의 에너지 사용량을 예측하는 데 실제로 적용해 봄으로써 정확도 및 장·단점 등을 분석하고자 강남구 대치동에 소재한 K빌딩을 대상건물로 선정하였으며, 건물의 개요는 Fig. 1, Table 1과 같다.

## 4. 회귀분석기법의 적용

건물은 복잡한 시스템으로 구성되어 있기 때문에 그 성능을 정확히 예측하기가 어렵다. 건물의 성능을 분석하고 예측의 정확성을 개선하기 위해

Table 1 K-building description

구 분	내 용
규 모	지하 3층, 지상 9층
건축면적	908.87 m <sup>2</sup>
연 면 적	11,637.27 m <sup>2</sup>
주요용도	지하-식당, 기계실, 주차장
	지상-사무실, 그룹 연수원
완공연도	1995년 7월
시스템관리	자동제어 + 수동제어
열원	보일러(1대) 급탕, 가습용, LNG 사용
설비	냉온수기(소) 식당, 주방용, LNG 사용
	냉온수기(대) 냉·난방용, LNG 사용
	냉각탑(2대) 대항류형
공조	VAV
설비	FCU
	내주부 담당, 층별공조
	외주부 담당, 총 229대
	급·배기용, 총 30대

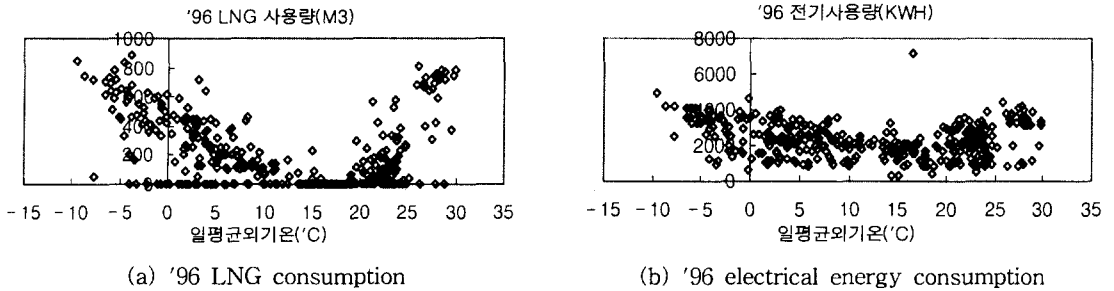


Fig. 2 Energy consumption by daily mean outdoor temperature.

서는 합리적인 가정을 통해 기준모델을 개발하여 실제사용량과의 비교·분석을 지속적으로 수행해야 한다. 여기서 합리적인 가정을 통해 제거된 에너지 사용인자의 영향은 기준모델의 구조적인 면을 감안하면 무시될 수 있을 것으로 판단된다.<sup>(5)</sup>

#### 4.1 외적변수 선정

건물에너지 성능분석을 위한 회귀분석기법의 적용에서 가장 먼저 고려하여야 할 것은 건물에너지 소비인자 중 가장 큰 영향력을 가진 인자를 선정하는 것이다. 이를 위해서는 영향력 뿐 아니라 데이터의 정확성과 수집의 난이도 등도 동시에 고려되어야 한다. 본 연구에서는 풍속, 일사량, 기타 다른 외적변수의 경우 상대적으로 덜 중요하며, 그 영향이 온도에 의해 반영될 수 있다는 가정 하에 일평균 외기온만을 독립변수로 선정하였다.

#### 4.2 Outlier의 제거

회귀분석은 일종의 통계적인 분석기법으로 최소제곱법을 이용하여 분석의 정확성을 비교할 수 있다. 최소제곱법이란 실제값과 회귀식으로 예측되는 값과의 차(잔차)의 제곱의 합이 최소가 되는 회귀식을 추정하는 방법으로 예측방정식의 정확도 결정의 기준이 된다.

이때 실제값의 수가 많아질수록 예측의 정확도는 증가하게 되는데, 만약 이 실제값이 비정상적인 값이라면 회귀식의 정확성을 떨어뜨릴 우려가 있기 때문에 이런 값들은 outlier라고 하여 제외시킬 수 있다.<sup>(6)</sup> 즉, 건물사용에 있어서 변화나 예외적 건물운영으로 인한 특정사용량은 고려하지 않는다고 가정하는 것이다. 그러나, 분석 후

평가단계에서는 그 부분에 대해서도 확인하여 그 영향을 평가한다. 본 연구에서는 평일이나 토요일이면서 에너지 사용량이 없는 날, 시스템의 수리나 시험가동 등으로 인한 비정상적인 사용량이 있는 날은 제외하였다.

#### 4.3 내적변수 선정

건물에너지 사용량은 외적변수에만 의존하는 것이 아니라 내적 변수에도 영향을 받는다. 그 이유는 외기온이 아주 낮거나 높더라도 건물을 이용하지 않는 일요일에는 에너지 사용량이 없기 때문이다. 그러므로, 건물에너지 사용량에 영향을 미치는 내적 변수들인 재실 스케줄, 기기 사용 스케줄, 기타 다른 변수들 중 가장 영향력이 큰 평일, 토요일, 일요일/공휴일에 따른 건물의 재실 형태를 일평균 외기온에 따른 건물에너지 사용량과 동시에 고려하였다. 따라서, 일평균 외기온 이외에도 요일별 건물의 사용형태에 따른 에너지 사용량과의 일정한 상관관계가 있음을 감안하여 '96년 일평균 외기온을 독립변수로, 그리고 '96년 건물의 에너지(전기, LNG) 사용량을 종속변수로 하여 평일, 토요일, 일요일/공휴일의 요일별로 구분하여 단순회귀분석을 실시함으로써 난방기, 냉방기, 중간기의 LNG 및 전기에너지의 사용량을 예측할 수 있는 방정식을 추론하였으며, 이를 이용하여 '97년 건물의 에너지 사용량을 예측하였다.<sup>(7)</sup> 여기서 LNG의 경우, 냉·난방과 급탕에 사용된 에너지만을 고려 대상으로 하였다(취사에 사용된 에너지 제외).

#### 4.4 운영모드별 예측방정식 도출

이와 같이, 요일별 에너지 사용형태를 감안하

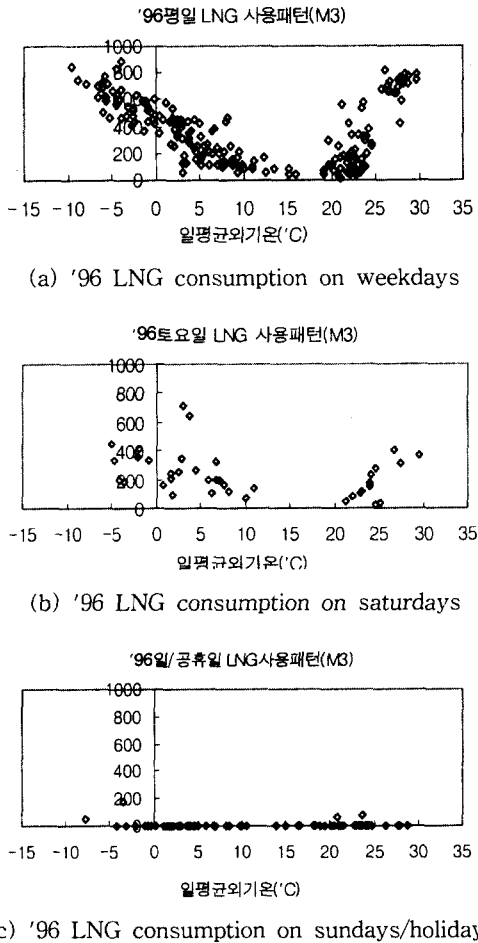


Fig. 3 LNG consumption by use of building.

여 냉방기, 난방기, 중간기로 구분한 후 각 기간별 에너지 사용형태 및 예측방정식을 도출하였다. 이때 각 운영모드별 사용형태를 구하기 위해서는 일정온도를 기준으로 냉·난방의 시작점 온도인 균형점 온도(balance point temperature)를 구해야 하며, 냉·난방 균형점 온도 사이를 냉·난방이 필요 없는 중간기로 가정하는 것이다. 중간기를 결정하는 것은 다음과 같은 과정을 거쳐서 이루어졌다.<sup>(8)</sup>

#### 4.4.1 중간기 결정

연간 에너지 사용량 데이터에 대하여 x축은 일평균 외기온, y축은 에너지 사용량으로 표현하면 U 또는 V 모양의 곡선을 확인할 수 있다. 그러나, 냉방과 난방의 기술적 원리는 완전히 다르기

Table 2 Selection of midterm range by decision factor

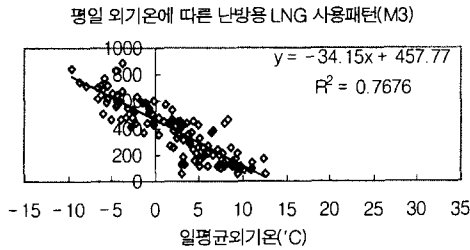
중간기 범위 (가정)		예측 방정식	결정계수
12~18 °C	난방기	$y = -33.974x + 452.51$	0.7337
	냉방기	$y = 83.455x - 1665.4$	0.7226
	중간기	$y = -9.1028x + 230.29$	0.0544
13~19 °C	난방기	$y = -34.15x + 457.77$	0.7676
	냉방기	$y = 89.573x - 1819.4$	0.7491
	중간기	$y = 14.731x - 157.12$	0.1853
14~20 °C	난방기	$y = -33.215x + 452.9$	0.7416
	냉방기	$y = 89.577x - 1822.1$	0.7466
	중간기	$y = 8.4712 - 33.312$	0.0375

때문에 냉방과 난방을 나타내는 곡선은 대칭이라고 할 수 없다.

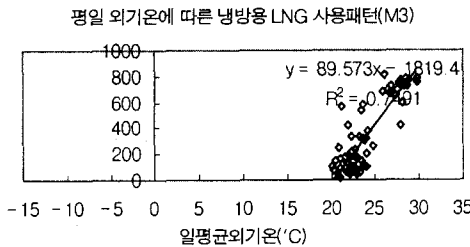
만약 건물의 냉난방 요구가 순전히 외기온에만 의존하는 것이라면, 난방곡선이 멈추고 냉방곡선이 시작하는 지점(이 지점은 같은 양의 에너지를 필요로 하지 않기 때문에 같은 온도에서 만나지 않음)이 있을 것이다. 그러나, 실제의 건물에서 난방을 필요로 하는 온도범위, 냉방을 필요로 하는 온도범위, 둘 다 필요치 않는 온도범위가 존재한다. 온도가 충분히 높거나 낮을 경우 일평균 외기온과 냉방 또는 난방에 사용된 에너지는 상관성이 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 어느 범위에서는 냉방, 난방, 또는 둘 다 아닌지 확실할 수 없는 범위가 생긴다.

그러므로, 중간기를 결정하기 위해서는 냉방 또는 난방을 시작하는 온도를 결정하여야 한다. 여기에서는 어느 정도의 시행착오(trial and error) 기법이 필요한데, 본 연구에서는 위에서 분석된 그래프를 토대로 6°C를 중간기 범위로 설정하여 1°C 간격으로 조정하면서 최소 제곱법을 통해 방정식을 도출하였다. 여기에서도 기법의 본질상 약간의 가정이 필요한데 냉방기 직선의 기울기가 음(-)이거나 난방기 직선의 기울기가 양(+)-인 것은 허용하지 않았으며, 중간기 직선의 기울기는 상관하지 않았다.

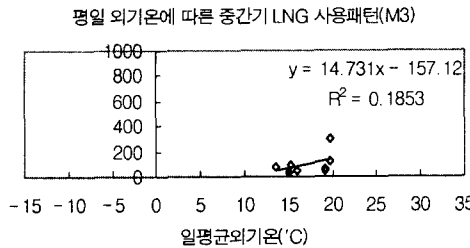
위와 같은 과정을 거쳐, 본 연구에서는 균형점 온도를 수차례 바꾸어 가면서 상관계수(R값)가 최대가 되는 온도를 찾아내어 이를 균형점 온도로 설정하였다. 그 결과, 20°C(냉방기 예측방정식의 x절편)와 13°C(난방기 예측방정식의 x절편)를



(a) Heating-LNG predicting equations



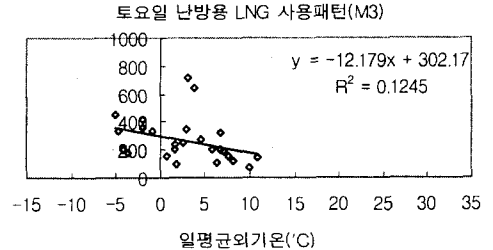
(b) Cooling-LNG predicting equations



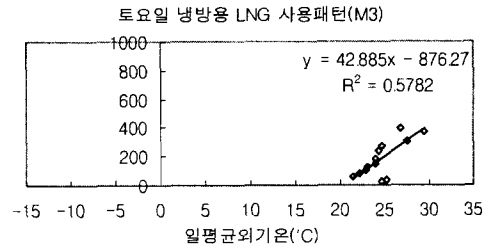
(c) Midterm-LNG predicting equations

Fig. 4 LNG consumption and predicting equations by operating modes on weekdays.

각각 냉·난방의 시작점 온도로 결정하였다. 여기서 또 하나의 가정이 필요한데 그것은 전기에너지의 사용량도 LNG의 사용량의 형태 즉, 20℃와 13℃를 기준으로 변환한다고 가정하는 것이다. 전기의 사용량은 위의 Fig. 2를 보면 알 수 있듯이 냉·난방에도 영향을 받지만 조명이나 실내 기기 같은 기본적인 부하(base load)가 있기 때문에 LNG의 사용량처럼 명확한 관계는 나타나지 않는다. 그러나, 조명이나 실내 기기들은 연중 일정한 사용량을 나타내고 있으며, 냉·난방 기기의 가동에 따른 동력의 사용으로 인하여 일정한 전기사용량이 증가하는 추세를 보이기 때문에 위와 같은 가정은 타당하다고 볼 수 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 도출된 LNG의 운영모



(a) Heating-LNG predicting equations



(b) Cooling-LNG predicting equations

Fig. 5 LNG consumption and predicting equations by operating modes on Saturdays

드별 사용량 예측방정식은 Fig. 4에서 평일의 각 운영모드별 LNG 사용형태와 함께 보여주고 있다. Fig. 5에서는 토요일의 냉·난방 모드별 LNG 사용형태 및 예측방정식을 보여주고 있다. 그림에서도 볼 수 있듯이, 토요일의 경우 냉·난방기의 예측방정식만을 도출하였는데 이는 토요일의 중간기에는 LNG의 사용이 없었으므로 토요일 중간기의 예측방정식은 제외하였기 때문이다. 마찬가지로, 일요일의 경우, 외기온과 상관없이 예외적인 운영(시험가동, 수리 등)으로 인한 에너지 사용을 제외하고는 LNG의 사용이 없으므로 예측방정식에서 제외하였다.

Table 3 LNG use predicting equations

구분(LNG)		예측방정식(X=일평균외기온)
평일	난방기	$Y = -34.15X + 457.77$
	냉방기	$Y = 89.573X - 1819.4$
	중간기	$Y = 14.731X - 157.12$
토요일	난방기	$Y = -12.179X + 302.17$
	냉방기	$Y = 42.885X - 876.27$
	중간기	사용량 없음
일/공휴일	전체	사용량 없음

Table 4 Electricity use predicting equations

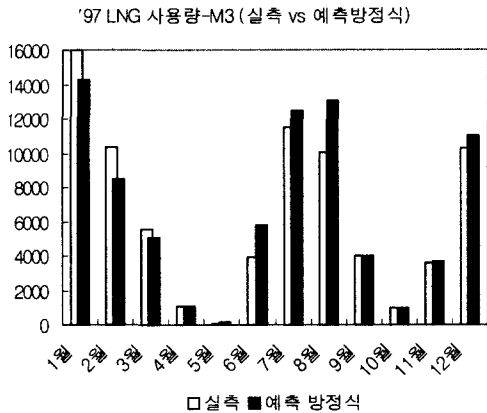
구분(전기)		예측방정식(X=일평균외기온)
평일	난방기	$Y = -96.961X + 3166.7$
	냉방기	$Y = 189.04X - 1734.7$
	중간기	$Y = 93.128X - 444.35$
토요일	난방기	$Y = -60.78X + 2219.8$
	냉방기	$Y = 74.811X - 324.18$
	중간기	$Y = 67.509X + 43.477$
일/공휴일	전체	$Y = -11.171X + 1493$

전기 에너지의 경우, 항상 일정량의 에너지 소비를 나타내므로 모든 기간에 걸쳐 예측방정식이 도출될 수 있었으며, LNG의 경우와 달리 일요일/공휴일에도 조명이나 동력 등의 전기 에너지가 기본적으로 소비되고 있음을 알 수 있었다.

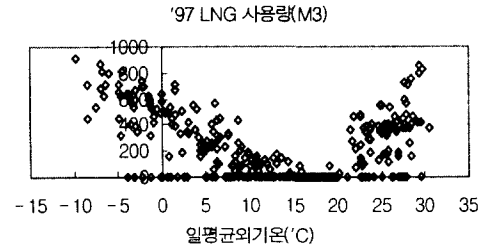
지금까지 도출된 건물의 사용형태별, 운영모드별 LNG와 전기의 사용량 예측방정식을 정리하면 다음의 Table 3 및 Table 4에서 보는 바와 같다.

5. 예측방정식을 이용한 '97년 에너지 사용량 예측

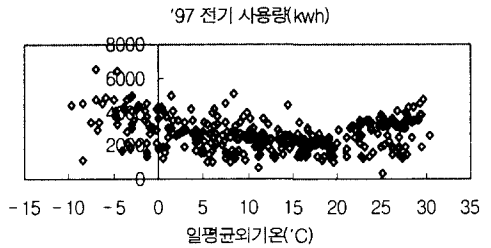
건물의 사용형태별, 운영모드별로 도출된 14개의 예측방정식에 '97년 일평균 외기온 데이터를 적용함으로써 '97년 에너지 사용량을 예측하였다.



(a) LNG-Comparison of actual data and prediction



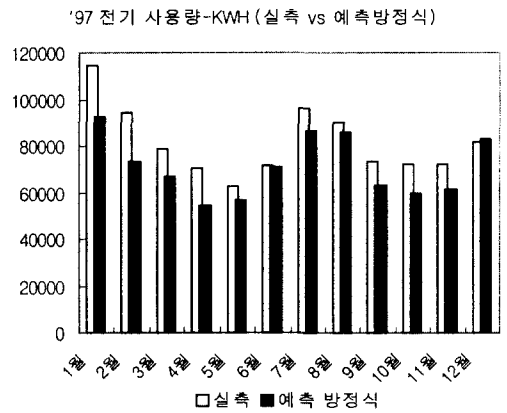
(a) '97 LNG consumption



(b) '97 electrical energy consumption

Fig. 6 '97 Energy consumption by daily mean outdoor temperature.

예측에 앞서 '97년 LNG 및 전기 에너지의 일평균 외기온에 따른 사용형태를 분석해 본 결과 Fig. 6과 같았으며, 전기의 경우 '96년 사용형태에 비하여 사용량의 분포가 다소 높고 넓게 퍼짐으로써 전기에너지 소비가 다소 증가하였음을 알 수 있었다.



(b) Electricity-Comparison of actual data and prediction

Fig. 7 Comparison of '97 monthly energy consumption between actual data and prediction by regression equations.

위의 예측방정식을 이용하여 '97년 일평균 외기온에 따른 에너지 사용량 데이터를 적용함으로써 예측된 사용량과 실제 사용량을 비교한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다.

예측방정식에 의한 사용량 예측 결과는 월별 평균 오차  $\pm 10\%$  이내로 실제 사용량에 근접하게 나타남으로써 매우 정확한 예측이 가능함을 알 수 있었다.

그러나, 전기 에너지의 경우, 예측량이 실제 사용량 보다 전반적으로 작게 나타나고 있는데 이는 앞서 언급한대로 '97년 전기 소비량이 '96년의 소비량에 비해 증가하였기 때문으로 판단되며, 이것은 LNG 소비량이 전년에 비해 증가하지 않은 것을 감안해 볼 때 외기온의 변화에 연관된 소비가 아닌 일반 전기수요의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

회귀분석에 의한 건물에너지 사용량 예측은 DOE-2 프로그램 등과 같은 분석적인 예측방법을 이용한 예측의 경우에 비하여 간편하면서도 상대적으로 매우 정확한 예측이 가능한 것으로 평가됨으로써 장차 건물에너지 성능평가의 수단으로 활용가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

(1) 회귀분석을 이용한 예측기법은 건물의 에너지 성능을 평가하고, 에너지 효율을 지속적으로 향상시키기 위한 방안을 모색하는데 사용될 수 있으며, 시스템의 운전비용 산정이나 시스템의 고장, 조기경보 등에 유용하게 활용될 수 있다. 특히, 건물의 에너지 개수(retrofits)를 수행함에 있어서 개수 후의 실질적인 에너지 절감효과를 분석하는 데 유용하게 쓰일 수 있다.<sup>(9)</sup>

(2) 또한, 건물의 에너지 사용량을 예측함으로써 이를 실시간으로 실제 사용량과 비교·검토가 이루어질 경우, 지속적인 건물에너지 사용형태에 대한 분석을 통하여 변화하는 실내·외의 환경조건에 최적하게 시스템이 대응할 수 있는 지능적인 제어 알고리즘 개발의 기초자료로 활용될 수 있다.

(3) 한 해 동안의 데이터뿐만 아니라 다년간의 데이터를 토대로 에너지 사용량 추이를 분석한다면 더욱 정확한 건물의 에너지 소비형태에 관한 예측이 가능할 것이다.

(4) 그러나, 이러한 적용의 간편함과 정확성에도 불구하고 실제 개수 후의 사용량 데이터가 없으면 비교가 불가능하다는 점과 예측에 있어 몇 개의 변수에만 의존함으로써 탄력적인 예측을 하지 못하는 단점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 결국 이런 기법들은 개별적으로도 이용가치가 있으나 다른 예측기법과의 상호보완적인 활용을 통해 그 효과를 더 극대화 할 수 있을 것으로 생각된다.

(5) 또한, 본 연구에서 제시하고 있는 「회기분석에 의한 건물에너지 사용량 예측기법」은 특정 건물의 기존 에너지 성능에 기초하고 있으므로 이를 일반화하여 모든 건물에 적용할 수 없으며, 개수 등에 의한 에너지 성능개선이 이루어졌을 경우 회기식의 보완이 지속적으로 이루어져야 한다는 한계성을 지니고 있다.

## 참고문헌

1. Kreider, J. F. and Harberl, J. S., 1994, Predicting Building Energy Usage, ASHRAE Journal, No. 6, pp. 72-81.
2. Katipamular, S., Reddy, T. A. and Claridge, D. E., 1995, Effect of Time Resolution on Statistical Modelling of Cooling Energy Use in Large Commercial Buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 101, Part 2.
3. Kim, K. W., 1997, Building Energy Consumption Forecasting Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 8.
4. Suk, H. T., 1995, Study on Design Guide and Load Evaluating Equation for Energy Saving in Office Buildings, Doctoral Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
5. Holbrook, R. S., 1990, Energy Baseline for Performance Analysis at the University of Michigan, Energy Cost Avoidance in Education Buildings.
6. Chae, H. I., Kim, J. B. and Lee, H. K., 1993, Statistical Analysis Using SPSS/PC+, Hakhyunsa, Seoul, p. 124.
7. Ssangyong Institute of Construction Tech-