

## 원격검침시스템을 활용한 공동주택의 동절기 에너지 소비패턴 분석

신주호\* · 김홍석\*\* · 이동환\*\*\* · 박승희\*\*\*\*

Shin, Juho\*, Kim Hongseok\*\*, Lee Donghwan\*\*\*, Park seunghee\*\*\*\*

### A Study on the pattern of energy consumption of apartment in winter with Automatic Meter Reading Systems

#### ABSTRACT

According to the importance of greenhouse gas emissions, it grows day by day, the government is promoting to prepare the specific policy implementation to enhance building energy-saving design standards as the development agenda. In this study, the statistical analysis was performed by Descriptive statistics, Regression analysis, and Hypothesis testing to collect to generate and storage energy usage data in real time to settle parameter setting to affect energy consumption under energy-guzzling apartment not single building. This study is expected to be utilized as the basis for the optimum energy-saving design of the future of the building or facility energy costs rise and the demand for energy-efficient and stable management.

**Key words :** Automatic Meter Reading Systems, Apartment, The pattern of energy consumption, Energy use plan

#### 초록

지속적인 화석연료의 사용으로 온실가스의 배출량이 증가되어 지구온난화 현상이 발생함에 따라 이를 막으려는 국내·외 움직임이 활발하게 전개되고 있다. 그에 따른 국내의 에너지절약정책 실현과 관련하여 에너지소비율이 높은 건물부문은 에너지감축 잠재량이 산업, 수송 등 다른 부문에 비해 가장 큰 부문이다. 효과적인 에너지감축의 최선책으로 효율적인 에너지절약설계 및 최적의 에너지수요관리를 위해 건물의 에너지 사용에 대한 통합데이터가 필요하나 기존 통계데이터는 대부분 공급통계 데이터를 기반으로 하고 있어 활용에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 단일건물은 아니지만 에너지 다소비군인 공동주택이라는 부분적인 수요단의 실시간으로 생성·저장되는 에너지사용량 데이터를 수집하고 에너지소비에 영향을 줄 수 있는 변수를 설정하여 통계·분석함으로써 향후 건축물 또는 시설의 에너지 및 비용상승이 없는 최적의 에너지절약설계와 효율적이고 안정된 에너지수요관리를 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

**검색어 :** 원격검침시스템, 에너지사용계획, 공동주택, 에너지소비패턴

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 평균기온 및 해수면 상승, 여러 기상재해 등 우리나라의 기후변화 진행속도가 세계평균을 상회함에 따라 기후변화로 인한 환경·사회·경제적인 피해에 적극적으로 대비하는 것이 필요하였으며, 국내에서는 국토분야의 정책과제로 저탄소 녹색국토·도시공간 조성 및 건축물의 온실가스 감축을 위하여 친환경주택의 건설기준, 신·재생에너지 이용 및 건축물 에너지절약 설계기준을 강화하는

\* 성균관대학교 u-City공학과 석사과정 (tuyep@naver.com)

\*\* 한국토지주택공사 도시환경사업처 에너지사업부 과장 (ggata@lh.or.kr)

\*\*\* 정회원·성균관대학교 u-City공학과 박사과정 (ycleedh@skku.edu)

\*\*\*\* 정회원·교신저자·성균관대학교 건축토목공학부 조교수 (Corresponding Author·Sungkyunkwan University·shparkpc@skku.edu)

Received March 25 2013, Revised April 16 2013, Accepted April 19 2013

Table 1. Variable selection and statistical techniques

Independent variable	Dependent variable	Statistics technique
- Tenant characteristics (number of household members, age) - Weather conditions (temperature, humidity, and wind speed) - Time (month / day, day of week, time) - Space (top / middle / lowest side / center) - Interior Building Material(installing corridor windows or not )	Energy consumption - Electricity consumption - Gas consumption	Descriptive statistic Regression analysis Hypothesis testing(t-test)

등 녹색성장 국가전략을 효율적이고 체계적으로 이행하기 위해 구체적인 정책실현 방안들이 마련되어 추진되고 있다.

녹색성장위원회의 국가온실가스 감축목표 설정방안(2009)에 따라 정부는 20세대 이상의 모든 공동주택은 2017년부터는 에너지절감률이 60%이상인 패시브하우스(Passive House)수준으로, 2025년부터는 건축물의 에너지효율을 극대화하고 신재생에너지를 생산·이용함으로써, 연간 건물에서의 에너지소비와 생산이 동일한 제로에너지주택 공급을 목표로 단계적으로 에너지 의무절감률의 상향조정을 추진하고 있다. 그에 따라 에너지 의무절감률을 달성하기 위하여 친환경주택의 에너지설계기준 및 건축물 에너지절약설계기준이 점차 강화되고 있다. 뿐만 아니라 신·재생에너지 이용 건축물 인증제를 통해 건축물의 저에너지 사용구조와 동시에 에너지를 생산하는 체제로 전환시켜 에너지환경 여건변화 등에 능동적으로 대처하도록 신·재생에너지 보급·활성화가 유도되고 있다.

한편, 에너지소비측면에서 전체에너지 중 25%를 차지하고 있는 건물부문은 산업이나 수송부문보다 상대적으로 경제에 미치는 부담을 줄이면서 수요관리와 기술개발로써 에너지감축이 가능한 잠재량이 가장 큰 부문이기도 하다. 그러나 타 부문보다 건물별 과거 에너지소비이력, 에너지 공급 및 수요관리를 위한 DB구축 등 체계적인 통계구축이 미흡하다. 에너지감축의 최선책인 최적의 에너지 절약설계와 에너지수급관리를 위해서 구체적인 에너지 관련 통계자료를 필요로 하는데 기존 통계자료는 대부분 수요통계 데이터가 아닌 공급통계 데이터를 기반으로 하고 있어 에너지수요를 관리함에 있어 한계가 있고(국토해양부 2012), 건축물의 근접한 에너지수요예측을 위한 에너지사용량 분석에 대하여 실수요 통계데이터를 활용한 사례가 부족하다.

이에 본 연구에서는 단일건물은 아니지만 에너지 다소비군인 공동주택이라는 부분적인 수요단의 실시간으로 생성·저장되는 에너지사용량 데이터를 수집하고 각각의 외부변수들에 대한 통계분석을 수행하여 에너지 수요패턴을 분석하는데 그 목적이 있다. 그 결과로 하여금 향후 공동주택 설계자에게 입주자가 쾌적하고 효율적인 주거생활이 가능하도록 에너지 및 비용상승이 없는 최적의 건축설계를 할 수 있도록 하고, 에너지사업자 또는 도시개발사업자에게는 에너지 수요부하에 대한 구체적인 데이터 확보를 통하여 효율적이고 안정적인 에너지 수급체계를 갖출 수 있을 것이다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 일년 중 전체 에너지소비의 약 40%를 차지하는 동절기의 경기 남양주시에 위치한 한 공동주택단지를 대상으로 첫째, 실시간 생상저장되는 원격검침시스템의 전기사용량 및 가스 사용량의 데이터를 활용하여 내·외부 환경조건, 시·공간적 변화 및 건축마감재 변화에 따른 에너지사용량 변화량에 대한 통계분석을 수행하기로 한다. 이 때 전기사용량은 조명기기 및 전기기기의 사용정도를 가스사용량은 난방, 급탕, 취사에너지 이용정도를 나타낸다. 분석범위는 2010년 12월부터 2011년 2월까지의 세대전용부위에서 소요되는 에너지량에 대한 분석에 한하며, 공용부위에서 소요되는 에너지량 분석은 본 연구에서 배제하였다. 보다 심도 깊은 조사가 가능하도록 단지전체 중 단지의 특성을 대표할 수 있는 표본을 선정하여 조사·분석을 수행하기로 하고, 분석 시 설정한 변수 및 적용한 통계기법은 Table 1과 같다. 둘째, 이에 앞서 사전분석으로 에너지수요예측 방법론 중 건물성능 시뮬레이션 프로그램에 의한 최적의 에너지소요량과 도시개발사업의 에너지사용계획 수립 시 일반적으로 사용되는 수정온도 BIN 전산처리법을 통한 에너지수요량을 산출하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 원격검침시스템

원격검침시스템(Automatic Metering System)이란 수용가의 다양한 에너지사용량을 전자식계량기를 활용하여 원격지에서 검침 및 관리가 가능한 시스템을 말한다. Fig. 1은 원격검침시스템의 개략적인 계통도이다.

공동주택에는 일반적으로 2000년대 중반부터 설계에 적용되기 시작했는데, 원격검침시스템의 적용배경은 첫째 세대내부에 설치된 계량기의 검침에 대한 불편함을 개선하고자 위함이었고, 둘째 종전의 관리소 인원으로 하여금 전수 조사하여 현장 검침하는 방식을 데이터기기를 활용한 자동화시스템으로 개선하여 행정인력 낭비를 막아 인력운용에 대한 생산성을 향상시키고자 함이고, 셋째 검침자동화를 통한 입주자의 사생활 보호 및 검침원을 가장한 범죄 예방 등 쾌적하고 편리한 입주환경을 조성하여 분양성을 제고하기

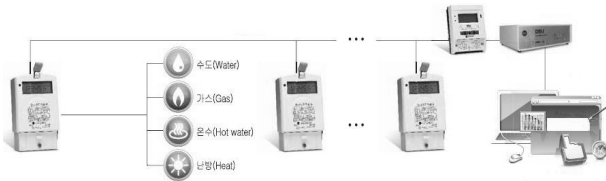


Fig. 1. Automatic Meter Reading Systems schematic

위험이었다(조희만 2012) 검침의 대상이 되는 에너지원의 종류는 전력, 수도, 가스, 온수, 난방 등이 있는데, 건축물의 난방방식에 따라 검침해야 하는 에너지원이 다르다. 집단에너지공급대상지역의 지역난방을 사용하는 수용가는 전력, 수도, 가스(취사), 온수, 난방의 사용량을 검침하며, 그렇지 않고 개별난방을 사용하는 수용가는 전력, 수도, 가스사용량을 검침하게 된다.

## 2.2 에너지사용계획

에너지사용계획 협의제도는 에너지이용합리화법에 의거 대통령이 정하는 일정규모 이상의 에너지를 사용하는 사업을 실시하거나 시설을 설치하고자 할 경우 사전에 에너지사용계획을 수립하여 협의하도록 함으로서, 대규모 에너지사용시설 및 사업에 대한 사전 검토로 원천적인 에너지절약을 유도하고 온실가스 배출감소를 통한 기후변화 협약에 능동적으로 대처하여 국가 에너지수급체계의 적정화를 도모하고 에너지수급구조의 이용효율 향상의 실현을 위한 제도이다(에너지관리공단 2011). 에너지사용계획의 작성은 ①에너지사용계획의 대상이 되는 사업의 배경 및 목적 등 사업개요에 대하여 기술하고, ②시설용지별로 에너지수요부문을 설정하고 각 부문에서 발생하는 열 및 전력에너지수요에 대해 예측자료를 제시한다. 그리고 에너지수요예측자료에 따른 ③집단에너지공급 계획 등 개별 건축물의 난방방식과 전력공급방안을 결정하여 에너지공급 계획을 작성하고, ④대상사업지구 내 또는 개별 건축물 내에 에너지 이용 효율을 향상하는 설비들에 대한 도입계획을 작성하는데, 이와 더불어 신재생에너지 생산 및 공급 시설계획 등에 대하여 기술해야 한다. 신재생에너지 설비를 포함한 에너지이용효율향상설비 등의 도입에 따른 ⑤에너지절감효과 및 영향을 분석하여 에너지이용향상계획을 수립하고, ⑥에너지이용효율향상설비 등의 설치관리계획 및 사업단계별 사후관리계획 등을 기재해야 한다.

## 3. 에너지수요 사전분석

### 3.1 분석대상

본 연구의 분석대상은 남양주시 진접읍에 위치한 공동주택단지로서, 16동 1,479세대로 구성되어 있으며, 2010년 3월에 준공하여 5월에 최초 입주하였다. 공급 주택은 전용면적기준으로 39.72m<sup>2</sup>,

Table 2. Sample building information

Classification	Contents	Remarks
Total floor area/Building	5,242.785 m <sup>2</sup>	
The number of layers (Household)	15 stories (75households)	
Area of supply space (Area of exclusive use space)	67.76 m <sup>2</sup> (46.90 m <sup>2</sup> )	Heating area (41.57 m <sup>2</sup> )
Building azimuth orientation	south-south-west	
Number of occupant	200 Members	Man:108 Wo :112

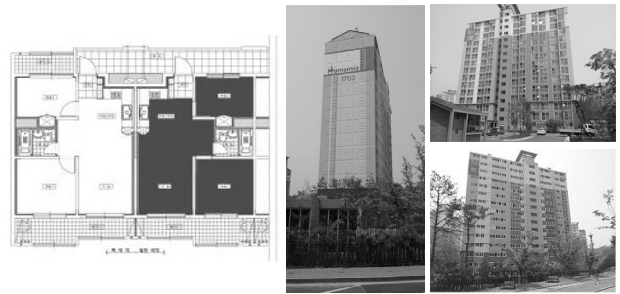


Fig. 2. Unit household floor plan and Target building

46.90m<sup>2</sup>, 51.93m<sup>2</sup> 이며, 세대의 평균전용면적은 47.03 m<sup>2</sup> 이다. 신속하고 심도 깊은 조사를 위하여 전수 조사 대신에 표본조사를 시행하여 전체집단의 특성을 추정하기로 한다. 분석효과를 극대화하기 위해 Table 2와 같이 연구대상단지의 복층 외곽의 편복도형인 평균전용면적에 근접하는 대표평형으로만 구성된 동을 표본으로 선정하였다. 난방방식은 개별난방으로서 난방면적 등을 확인할 수 있는 단위세대평면도는 Fig. 2와 같다.

### 3.2 수정온도BIN전산처리법

도시개발사업의 에너지사용계획수립 시 통상적으로 사용되는 수정온도 BIN 전산처리법으로 본 연구의 대상에 대한 가스(난방:급탕) 부하량의 수요를 예측하였다. 수정온도 BIN 전산처리법이란 여러 경우의 외기온도에 대한 건물의 순간에너지를 계산하여 1년동안 발생한 시간수를 곱하여 총 년간 부하를 구하는 방법인 표준BIN법을 발전시킨 방법으로 1년의 8,760시간을 3시간 단위로 나누어 기상청에서 측정한 최근 10년간 기상데이터에서 외기온도 평균값을 구하고, 설계 실내외 온도차와 실제 실내외 온도차를 대비시켜 평형온도 이하의 외기조건에서 전산 프로그램에 의해 열수요를 산정하는 방법이며, 유한요소치 전산처리방법이라고도 한다. 수정온도 BIN 전산처리법에서 사용되는 난방부하량 산출식과 급탕부하량 산출식은 다음과 같다.

① 난방부하량 산출식

$$q_L(Gcal/y) = \sum_{Th=1}^{8760} \left[ \frac{q_h \times A_h \times T_h (t_b - t'_0)}{(t_i - t_0)} \right]$$

- $q_L$  : 실제 난방부하( $Gcal/y$ )
- $q_h$  : 난방 단위열부하( $kcal/m^2 \cdot h$ )
- $A_h$  : 난방면적( $m^2$ )
- $T_h$  : 난방시간( $h$ )
- $t_i, t_0$  : 설계 실내온도, 설계 외기온도( $^{\circ}C$ )
- $t'_0$  : 실제외기온도( $^{\circ}C$ ) : 최근 10년간 측정된 3시간마다 실제온도
- $t_b$  : 평형점온도( $^{\circ}C$ ),  $t_b = t_i - (Q_g/q_h)(t_i - t_0)$

② 급탕부하량 산출식

$$q_D(Gcal/y) = \sum_{Tw=1}^{8760} (q_w \times A_w \times T_w \times \alpha \times \beta)$$

- $q_D$  : 실제급탕부하( $Gcal/y$ )
- $q_w$  : 단위급탕부하( $kcal \cdot m^2/h$ )
- $A_w$  : 급탕면적( $m^2$ )
- $T_w$  : 급탕시간( $h$ )
- $\alpha, \beta$  : 월별급탕부하율, 시간대별사용율

Table 3. Input variables calculated heating load

Application target area	Design outdoor temperature	Design space temperature	Equipoint temperature	Unit Heating Load
Apartment Houses, Metropolitan Area	-11.3 $^{\circ}C$	20 $^{\circ}C$	16 $^{\circ}C$	51.4 kcal/ $m^2 \cdot hr$

Table 4. Input variables produce hot water load

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Sep	Oct	Dec
Hot water load factor	1	0.99	0.87	0.76	0.63	0.51	0.35	0.31	0.40	0.54	0.63	0.98
Time	0~3	3~6	6~9	9~12	12~15	15~18	18~21	21~24				
Use rate	0.1	0.4	1	0.6	0.5	0.5	1	0.1				



Fig. 3. Shape information of the building

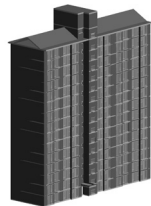


Fig. 4. 3D Modelling of the building

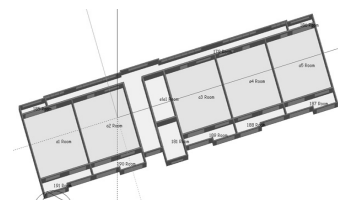


Fig. 5. Zoning of the building

Table 2와 같이 단위세대의 난방면적은 41.57 $m^2$  이었으므로 연구대상 전체 75세대의 총 난방연면적은 3117.75  $m^2$  이다. 에너지 사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정에 의한 그 밖의 입력변수들을 Table 3과 같이 설정하였다. 일사량 및 내부발열량을 고려한 평형점온도는 24시간내 동일하게 16 $^{\circ}C$ 로 설정하였고, 3시간단위의 실제 외기온도는 기상청 관측자료를 활용하였다. 연구대상기간 동안(2010년12월 ~ 2011년2월, 3개월)의 난방부하량을 수정온도 BIN전산처리법을 활용하여 산출해 본 결과 230Gcal 였다. 또한, 에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정예외로 공동주택의 단위급탕부하를 15 kcal/ $m^2hr$  으로 설정하고, 월별 급탕부하율과 시간대별 사용률은 Table 4와 같이 적용한 결과 동절기 급탕부하량은 53Gcal 였다.

3.3 건물성능 시뮬레이션

건물성능 시뮬레이션의 목적은 수학적 모델을 사용하여, 건물의 물리적 상태를 예측하는 것이다. 시뮬레이션 사용자는 건물성능 시뮬레이션을 통해 실제(reality)에 근접한 건물의 성능을 예측하는 것이 가능할 뿐 아니라, 건물성능에 영향을 주는 내·외부 변수들에 대해 상세히 분석할 수 있다.(이준우 2010) 이러한 건물성능 시뮬레이션은 저에너지 건물을 계획하기 위해 초기 설계단계부터 건물성능 및 에너지를 진단하고 평가하는 등 광범위하게 활용되고 있다.

본 연구대상을 동절기에 급증하는 난방에너지 위주로 시뮬레이션 하였는데 건물성능 시뮬레이션 방법 및 절차는 Revit Architecture 2011을 활용하여 연구대상의 Fig. 3과 같은 형상정보를 Fig. 4와 같이 3D 로 모델링하고 gbXML(Green Building XML)을 추출한 뒤, Design Builder(v.3.0)를 사용하여 보다 간편하게 시뮬레이션 모델링을 하였다. 모델링 시 세대별로 에너지소비가 이루어

Table 5. Simulation input variables

Input value		Value
Clothing (clo)		1.00
Setting internal temperature (°C)		20
Lighting (lux)		100
Occupants		Number of occupants
Lighting	energy consumption (W/m <sup>2</sup> )	5
	Radiant fraction	0.42
	Visible fraction	0.18
Equipments energy	energy consumption (w/m <sup>2</sup> )	2.16
	Radiant fraction	0.20
Air change rate (Air change/h)		0.70
Heating method	Type	Radiant/ Convective
	Location	floor
	Heating Radiant Fraction	0.2
City gas COP		0.8
DHW	Type	Instantaneous
	CoP(%)	84.3
	Delivery Temperature(°C)	60

Table 6. The simulation results

Classification	Gas(heating) consumption	Average consumption /households · day
Gas(Heating)	9777.75 Nm <sup>3</sup> (102.00 Gcal)	1.45 Nm <sup>3</sup>

지는 점을 감안하여 Fig. 5 처럼 세대별로 구획(zoning)하였고, 완성된 시뮬레이션 모델은 Energy Plus(v.7.1)를 사용하여 최종적으로 건물에너지를 분석하였다. 연구대상의 외기조건은 한국 서울 지역의 기상데이터를 사용하였고, 그 밖의 시뮬레이션을 실행하기 위한 입력변수는 Table 5와 같이 설정하여 12월 1일부터 2월 28일까지 동절기 3개월 동안의 난방에너지 사용량의 시뮬레이션 분석을 수행한 결과는 Table 6과 같다.

#### 4. 실데이터 활용 에너지수요 패턴분석

##### 4.1 세대별 에너지수요 패턴분석

본 연구대상에는 현재 220명이 입주하여 생활하고 있다. 세대원수 2명과 3명으로 구성된 세대가 54세대(72%)로 가장 많았고, 4명과 5명으로 구성된 세대가 19세대(25%), 1인세대가 2세대(3%) 순이었다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 세대원수에 따른 에너지소비량은 세대원수가 증가할수록 에너지소비도 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이때의 에너지소비량은 전기에너지와 가스에너지를 석유환산톤(TOE)으로 환산한 값으로 표현하였고, 각기 구분된

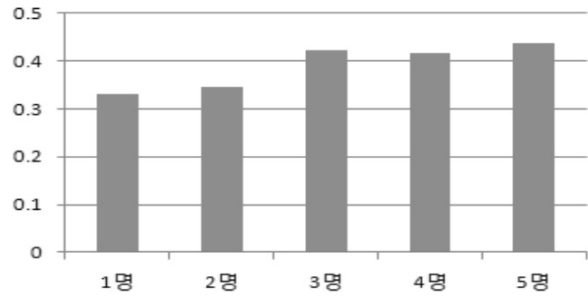


Fig. 6. Energy consumption according to the unit household personnel

Table 7. Winter average energy consumption per capita

Classification	Electricity	Gas	Total
Average consumption	230.46 kwh	77.31 Nm <sup>3</sup>	-
Ton of Oil Equivalent	0.24 TOE	0.01 TOE	0.25 TOE

\* TOE = fuel quantity (ℓ, kg, Nm<sup>3</sup>, kWh) × toe ÷ 1,000toe/kgoe toe referred by energy fundamental law Clause I, Article V, Electricity (kwh): 0.215, gas (Nm<sup>3</sup>):1.055

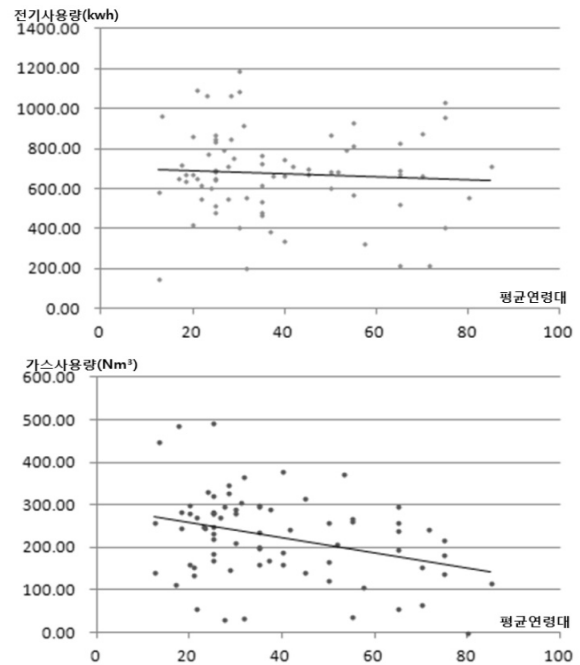


Fig. 7. Electric (left) and gas (right) usage according to average age

에너지원별 동절기 1인당 평균에너지소비량은 Table 7과 같았다. 한편, 세대별 구성원의 평균연령에 따른 동절기 소비한 전기총 사용량(kwh)과 가스총사용량(Nm<sup>3</sup>)을 살펴보면 Fig. 7과 같이 특별한 패턴 없이 위아래로 분포하고 있음을 알 수 있다. 각 산점도의

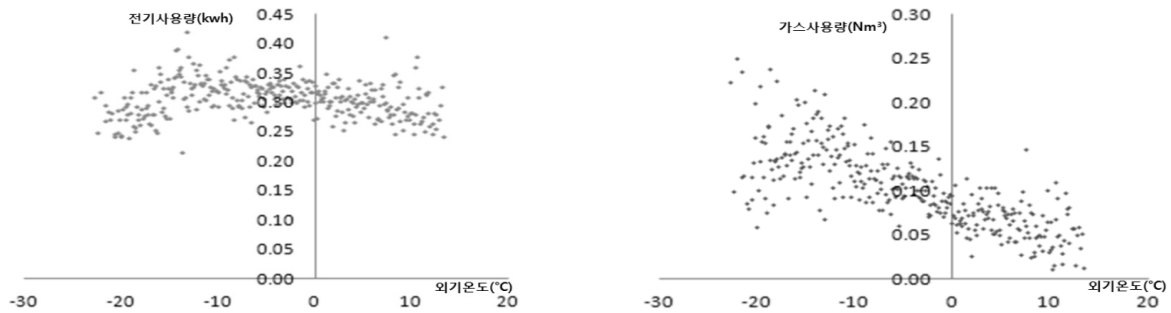


Fig. 8. Electric (left) and gas (right) usage according to outside temperature

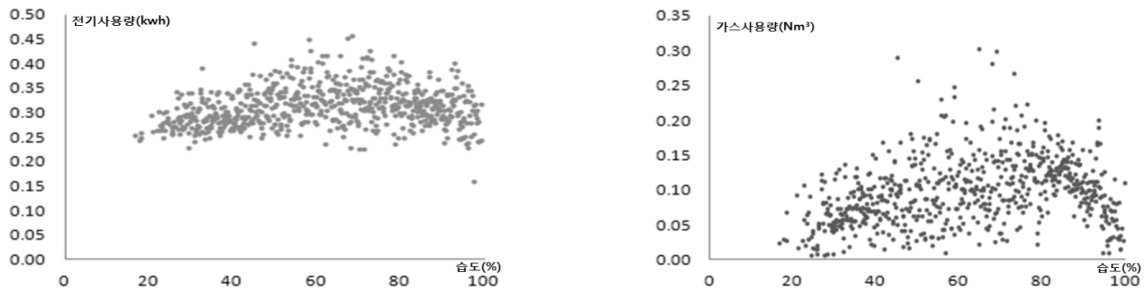


Fig. 9. Electric (left) and gas (right) usage according to humidity

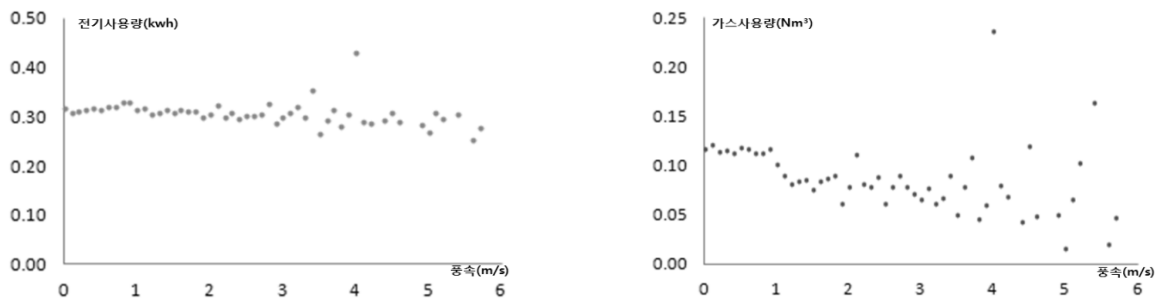


Fig. 10. Electric (left) and gas (right) usage according to wind velocity

추세선을 보더라도 두 변수간 상관관계는 없는 것으로 보이며, 다만 가스사용량은 평균연령이 적으면 다소 많아지는 경향을 볼 수 있다.

#### 4.2 기후별 에너지수요 패턴분석

본 연구대상 인근 기상관측지점인 남양주 진건의 기상청 상세관측자료 AWS(Automatic Weather System) 중 기온, 습도, 풍속데이터를 추출하여 각각의 기상조건과 시간당 세대 평균 전기사용량(kwh) 및 가스사용량(Nm<sup>3</sup>)의 상관관계를 분석하였다. 이때 중첩되는 기상조건이 있을 경우 해당 조건에 소비되는 전기 및 가스사용량의 평균량을 산출하여 분석하였다. 기상조건 변화량 대비 전기 및 가스사용량의 변화량에 대해 Fig. 8, 9, 10의 산점도를 통해 개괄적인 상관관계를 파악해보면, 일단 전기사용량은 기온, 습도,

풍속의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다. 이는 조명기구 및 기타 생활하면서 필요한 전기기기의 사용정도와 기상조건과의 관계는 선형적인 상관관계가 약함을 확인할 수 있다. 그러나 가스사용량은 습도 및 풍속 특히 기온과 강한 상관관계를 보이는데 이는 이러한 기온조건들이 취사부하량은 일정하다고 가정할 때 급탕 및 난방부하량의 밀접한 관계가 있음을 추정해 볼 수 있다.

기상조건과 에너지사용량 즉, 두 변수의 연관도(measures of association)를 측정할 수 있는 대표적 척도는 공분산(covariance)과 상관계수(coefficient of correlation)가 있는데 Table 8과 같이 외기온도와 시간당 세대 평균 가스사용량(Nm<sup>3</sup>)의 상관계수는 -0.762 으로 두 변수간에는 부(-)의 강한 선형관계에 있음을 알 수 있다.

다음으로 앞서 분석한 강한 선형관계가 있는 외기온도(t, 독립변

Table 8. Energy consumption correlation coefficient according to weather condition

Classification	Electricity consumption		Gas consumption	
	Covariance	Correlation coefficient	Covariance	Correlation coefficient
Temperature	- 0.025	- 0.083	- 0.332	- 0.762
Humidity	0.151	0.171	0.295	0.281
Wind velocity	- 0.013	- 0.334	- 0.019	- 0.354

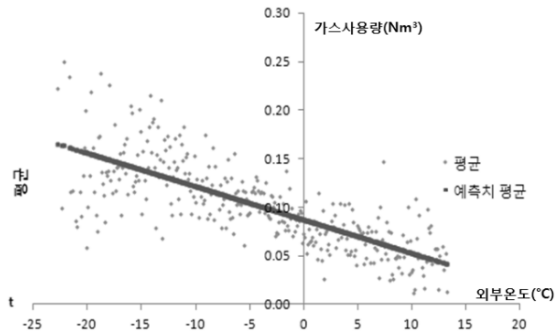


Fig. 11. Simple regression analysis of the line fit

수)변화에 따른 공동주택 소비에너지 중 가스사용량(y, 종속변수)의 예측량을 알아보기 위해 두 변수 간 단순회귀분석을 수행하였다. 때의 종속변수인 가스사용량은 해당 외기온도(°C)에 사용되는 세대 당 평균가스사용량(Nm³)이고, 연구기간 중 외기온도가 중첩될 경우, 평균통계량을 분석 시 사용하였다. 분석결과 추정된 1차 선형회귀식은  $y(Nm^3) = - 0.003 t(^{\circ}C) + 0.087$  이고 결정계수(R²)의 값은 0.581 으로 나타났다.

### 4.3 시간대별 에너지수요 패턴분석

본 논문의 연구기간인 동절기 동안 월별 소비되는 에너지사용량을 비교분석하기 위해 전기 총 사용량(kwh)과 가스총 사용량(Nm³)을 합산하여 석유환산톤으로 나타내어 보면 Fig. 12와 같이 2010년 12월에는 7.00 TOE 를, 2011년 1월에는 12.83 TOE 를, 2012년 2월에는 9.56 TOE 를 소비하였다. 2010년 12월의 평균기온이 -2.97°C, 2011년 1월의 평균기온이 -10.15°C, 2011년 2월의 평균기온이 -0.85°C 이었음을 고려하면 외기온도가 가장 낮은 1월에 에너지소비량이 가장 많음을 알 수 있다.

요일별 에너지소비비는 입주자의 재실시간이 상대적으로 긴 토요일과 일요일이 다른 요일에 비해 많은 것을 알 수 있다. 에너지소비량이 다른 요일보다는 에너지소비량이 많음을 알 수 있다. 이는 입주자가 재실시간 동안 조명기구의 습관적 사용비율(93%) (김효인 2012) 및 기타 생활 가전기기의 사용비율, 난방이나 급탕 및 취사부하량이 상대적으로 증가되어 에너지소비량이 많아짐을 추정할 수 있다. 에너지사용량이 가장 많은 일요일의 평균 전기사용량 및

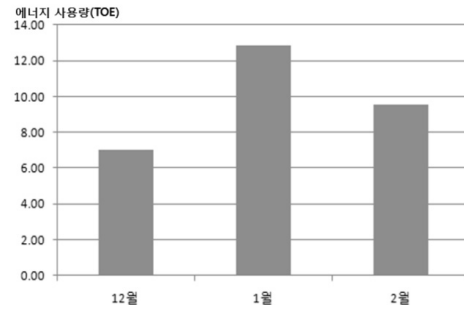


Fig. 12. Monthly total energy consumption

Table 9. Day of the week energy use ratio (%)

Classification	Mon	Tue	Wed	Tur	Fri	Sat	Sun
Electricity consumption	96	87	96	97	95	97	100
Gas consumption	93	80	86	88	83	95	100

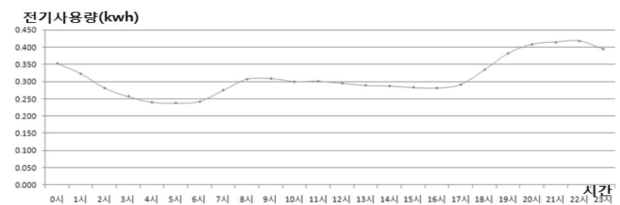


Fig. 13. Hourly average electric usage

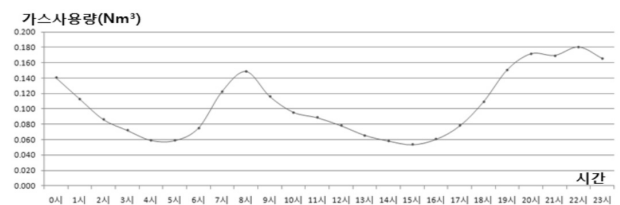


Fig. 14. Hourly average gas usage

가스사용량을 기준으로 기타 요일의 사용량 비율을 산출하여 보면 다음 Table 9와 같았고, 주중 대비 주말에는 9.88% 만큼 에너지사용량이 증가됨을 알 수 있었다.

마지막으로 시간대별 세대 평균전기사용량 및 평균가스사용량 변화추이를 살펴보면 Fig. 13, Fig. 14와 같다. 하루 중 최대 전기

및 가스사용량이 소비되는 시간대는 동일하였으며, 최저 전기 및 가스사용량이 소비되는 시간대는 상이하였다. 세대평균 전기 및 가스사용량이 가장 많았던 시간대는 오후 10시로 이 때 각각 세대별 평균사용량은 0.418 kwh, 0.180Nm<sup>3</sup> 인 반면, 세대평균 전기사용량이 가장 적었던 시간대와 사용량은 오전 5시, 0.238 kwh이었고, 세대평균 가스사용량이 가장 적었던 시간대와 사용량은 오후 3시, 0.054Nm<sup>3</sup>이었다. 일반적으로 에너지소비는 재실자가 많은 시간대인 오전 6시부터 증가하여 8시에 최고점에 달했다가 줄어들고, 오후 6시 이후에 다시 급증하는 것으로 나타났다.

#### 4.4 공간별 에너지수요 패턴분석

본 논문의 연구대상은 15층 공동주택으로 1층 세대들을 최하층

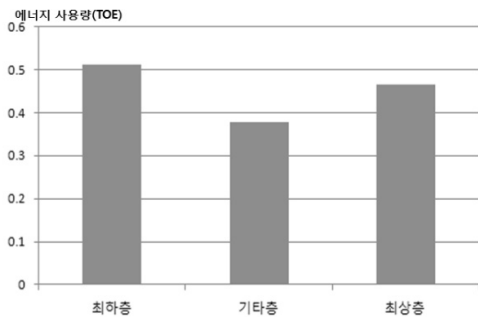


Fig. 15. Floor total energy consumption

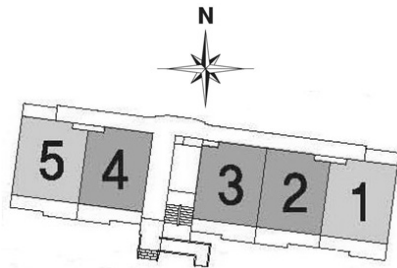


Fig. 16. Household arrangement

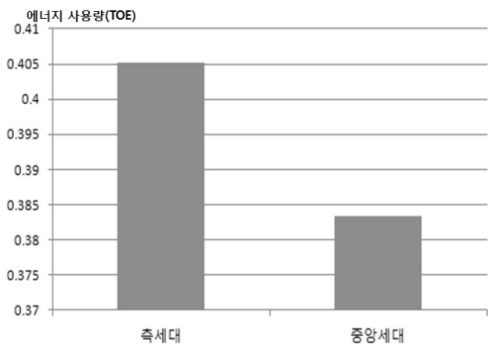


Fig. 17. Location-specific total energy consumption

세대, 15층 세대들을 최상층 세대, 기타 세대들을 기타층 세대로 구분하여 동절기 세대별 평균 에너지사용량을 Fig. 15와 같이 비교해 보면, 최하층은 0.512TOE, 최상층은 0.465TOE, 기타층은 0.377TOE로 최하층의 에너지사용량이 기타층 대비 35%, 최상층 대비 10%가 더 많았다.

또한 외벽에 직접 면한 측세대와 기타 중앙세대의 에너지소비량을 비교해 보았다. 연구대상은 Fig. 16과 같이 한 층에 5세대로 구성되어 있는데 외벽에 직접 면한 1호와 5호, 그리고 중앙세대인 2호, 3호, 4호로 구분해서 분석한 결과 동절기 소비되는 총에너지사용량은 측세대 0.405TOE, 중앙세대 0.383TOE 으로 측세대는 중앙세대 기준 약 6%의 에너지사용량이 더 많은 것으로 나타났다.

한편 Fig. 16의 측세대인 동측 1호세대와 서측 5호세대의 세대배치 특성에 따른 에너지소비량을 비교해 보았다. 동절기 1호세대와 5호세대의 에너지사용량에 대한 차이가 통계적으로 유의한지를 조사하기 위하여 가설검정(t-검정)을 수행하기로 한다. 1호세대의 전기사용량 및 가스사용량은 5호세대의 전기사용량 및 가스사용량과 독립적이므로 각각의 에너지사용량을 모두 검정에 사용하여 차이분석을 하였다. “1호세대와 5호세대의 전기 및 가스사용량은 동일하다”는 기본가설을 설정하고 가설검정(t-검정)을 수행한 결과 Table 10 그리고 Table 11과 같이 전기 및 가스사용량 모두 t-통계량 값이 채택역 밖에 존재하므로 기본가설을 기각하고 대립가설을 받아들이는 결론, 즉 “1호세대와 5호세대의 동절기 전기 및 가스사용량에는 차이가 존재한다”는 결론을 내릴 수 있으며, “1호세대의 시간당 전기 및 가스사용량이 5호세대 보다 많다”는 것은 통계적으로 의미가 있다. 이는 1호세대와 5호세대의 동·서측 세대 배치구조에 따라 일조시간, 일사량 등의 기타 환경요인이 조명기구 등의

Table 10. Electricity usage t-test results

Classification	No. 1 household	No. 5 household
Average	4.738	4.396
Dispersion	1.090	1.085
Number of observation	2160	2160
Pooled Dispersion	1.088	
hypothesis average difference	0	
the degree of freedom	4318	
t statistics value	10.770	
P(T<=t) one-tailed test	5.190E-27	
t Dismiss value one-tailed test	1.645	
P(T<=t) two tailed test	1.038E-26	
t Dismiss value two tailed test	1.960	



Table 11. Gas usage t-test results

Classification	No. 1 household	No. 5 household
Average	1.861	1.518
Dispersion	2.393	1.871
Number of observation	2160	2160
Pooled Dispersion	2.132	
hypothesis average difference	0	
the degree of freedom	4318	
t statistics value	7.731	
P(T<=t) one-tailed test	6.549E-15	
t Dismiss value one-tailed test	1.645	
P(T<=t) two tailed test	1.309E-14	
t Dismiss value two tailed test	1.960	

사용으로 인한 전기에너지, 난방 등으로 인한 가스에너지의 소비정도에 영향을 미친다는 것을 추정할 수 있었다.

#### 4.5 복도창호설치로 인한 에너지소비량 분석

본 연구대상은 2011년 8월 동절기 세대 내 결로방지 및 에너지이용효율 향상을 위하여 건물 후면 세대현판 앞 복도 측에 합성수지재 창호를 설치하였다. 과연 복도 측 창호설치로 인한 실질적인 세대 내 에너지절감효과가 얼마나 되는지 살펴보기로 한다. 고효율 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정에 의하여 측정된 결과 단열성능은 0.384 m<sup>2</sup>h°C/kcal 이고, 기밀성능은 5.11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hr 이었다. 복도창호 설치 전후의 기상데이터 및 열역검침데이터를 확보하고, 에너지사용량이 가장 많은 1월의 전기사용량 및 가스사용량을 토대로 에너지소비량 분석을 하였는데 2011년 1월의 평균기온과 2012년 1월의 평균기온은 차이가 있기 때문에 두 집단 에너지사용량의 단순비교·분석은 의미가 없어, 정확한 결과를 도출하기 위하여 일평균기온이 비슷한 특정일을 표본으로 선정하여 분석하였다. 각각 표본으로 선정된 기간동안의 2011년 1월의 전기사용량 및 가스사용량과 2012년 1월의 전기사용량 및 가스사용량을 세대별 한 쌍으로 관측된 표본의 차이를 이용하여 마찬가지로 “2011년 1월의 평균에너지사용량과 2012년 1월의 평균에너지사용량은 같다”는 기본가설을 설정하고 t-검정(쌍체비교)을 수행한 결과 전기사용량은 절감효과라고 할 만한 큰 변화가 없었고 가스사용량은 평균 통계량 대비 약 10.8%의 절감효과를 가져왔다. 가스사용량의 감소는 기준이상의 단열성능과 기밀성능을 갖는 복도 측 창호가 외기와 직접적인 접촉을 막아 난방에너지 측면에서의 절감효과가 그대로 반영된 결과라고 추정이 된다.

Table 12. Electricity usage t-test results

Classification	Jan 1. 2011	Jan 1. 2012
Average	24.056	23.978
Dispersion	19.906	19.859
Number of observation	216	216
Pooled Dispersion	0.867	
Hypothesis average difference	0	
The degree of freedom	215	
t statistics value	0.497	
P(T<=t) one-tailed test	0.309	
t Dismiss value one-tailed test	1.651	
P(T<=t) two tailed test	0.619	
t Dismiss value two tailed test	1.971	

Table 13. Gas usage t-test results

Classification	Jan 1. 2011	Jan 1. 2012
Average	11.234	10.021
Dispersion	22.904	21.226
Number of observation	216	216
Pooled Dispersion	0.626	
Hypothesis average difference	0	
The degree of freedom	215	
t statistics value	4.386	
P(T<=t) one-tailed test	9.004E-06	
t Dismiss value one-tailed test	1.651	
P(T<=t) two tailed test	1.80E-05	
t Dismiss value two tailed test	1.971	

## 5. 결론

본 연구에서는 단일건물은 아니지만 에너지 다소비군인 공동주택이라는 부분적인 수요단의 실시간으로 생성·저장되는 에너지사용량 데이터를 수집하고 에너지소비에 영향을 줄 수 있는 변수를 설정하여 통계·분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 세대원수가 증가할수록 에너지소비도 일정량 이상 증가하였으며, 전기소비량과는 달리 가스소비량은 입주자의 세대구성원의 평균연령이 적으면 다소 많아지는 경향을 보였다.
- (2) 동절기 전기소비량은 기상조건의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났으나, 가스사용량은 습도 및 풍속 특히 기온의 영향을 많이 받고 있음을 확인할 수 있었다.
- (3) 동절기 중 평균기온이 가장 낮은 1월의 에너지소비량이 가장

많았으며, 입주자의 재실확률이 상대적으로 높은 주말에 주중 대비 9.88% 정도 에너지사용량이 증가되었고, 마찬가지로 하루 중 재실자가 많은 오전 6시와 오후 6시 이후로 에너지소비가 급증하였고, 오후 10시에 에너지소비가 가장 많았다.

- (4) 최상층, 최하층, 기타층으로 구분하여 분석한 결과 최하층의 에너지사용량이 기타층 대비 35%, 최상층 대비 10%가 더 많았다. 그리고 외기에 상대적으로 많이 노출된 층세대가 중앙 세대 보다 6% 정도 에너지사용량이 더 많았다.
- (5) 동절기 외부복도 측 창호설치로 인한 창호설치 후의 가스사용량은 설치 전의 가스사용량 대비 약 10.8% 절감되었다. 반면 전기사용량의 절감효과는 없었다.

이러한 연구결과는 최적의 에너지절약설계를 위한 기초자료로써의 활용과 궁극적으로 u-City와 같은 미래도시 건설에 있어 효율적이고 안정된 에너지수요관리를 위한 자료로 활용되기를 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 u-City 석·박사 과정 지원 사업, 국토해양부 첨단도시개발사업(11첨단도시G04), 2011년도 지식경제

부 지식경제 R&D전략기획단(OSP)No.2011T100100022)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government (2012). *Building energy total management system request for proposal(3th)*, pp. 1-2 (in Korean).
- Cho, H. -M.(2013). "Remote meter reading system and displays real-time energy usage information technology." *Journal of the Electrical World*, 2012.4, pp. 24-29 (in Korean).
- Korea Energy Management Corporation (2011). *Energy use planning consultation islands guide* (in Korean).
- Lee, J.-W. (2010). *Uncertainty analysis of building energy performance simulation*, MSc Thesis, Sungkyunkwan Univ (in Korean).
- Kim, H. -I. (2012). *The building energy consumption according to the occupant's lighting use pattern and visual comfort*, Ph.D., Kyunghee Univ (in Korean).
- Mim, J.-H. (2004). *Statistical data analysis using Excel*, Bobmunsa (in Korean).
- Choi, W. -K. (2008). "Theoretical studies on co-housing heat load pattern", *Hanwha Engineering & Construction Corp*, Vol. 12, pp. 88-94 (in Korean).