

온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 가스에너지 사용량 예측 모델

Prediction Model for Gas-Energy Consumption
using Ontology-based Breakdown Structure of Multi-Family Housing Complex

홍 태 훈* 박 성 기** 구 충 원*** 김 현 중**** 김 천 학*****
Hong, Tae-Hoon Park, Sung-Ki Koo, Choong-Wan Kim, Hyun-Joong Kim, Chun-Hag

Abstract

Global warming caused by excessive greenhouse gas emission is causing climate change all over the world. In Korea, greenhouse gas emission from residential buildings accounts for about 10% of gross domestic emission. Also, the number of deteriorated multi-family housing complexes is increasing. Therefore, the goal of this research is to establish the bases to manage energy consumption continuously and methodically during MR&R period of multi-family housings.

The research process and methodologies are as follows. First, research team collected the data on project characteristics and energy consumption of multi-family housing complexes in Seoul. Second, an ontology-based breakdown structure was established with some primary characteristics affecting the energy consumption, which were selected by statistical analysis. Finally, a predictive model of energy consumption was developed based on the ontology-based breakdown structure, with application of CBR, ANN, MRA and GA. In this research, PASW (Predictive Analytics SoftWare) Statistics 18, Microsoft EXCEL, Protege 4.1 were utilized for data analysis and prediction.

In future research, the model will be more continuous and methodical by developing the web-base system. And it has facility manager of government or local government, or multi-family housing complex make a decision with definite references regarding moderate energy consumption.

Keywords : *Multi-family Housing, Ontology, Breakdown Structure, Energy Consumption, Green-house Gas*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 에너지 사용량은 증가추세에 있으며, 이에 따

라 온실가스 배출량이 점차 증가하고 있다. 이러한 변화는 전 지구적 기온상승을 야기하고, 해수면 상승, 사막화현상, 엘니뇨현상 등의 기후변화 현상을 일으키게 된다.

이러한 위기감을 배경으로 하여, 1997년에 온실가스 배출량

* 중신회원, 연세대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), hong7@yonsei.ac.kr

** 일반회원, 연세대학교 대학원 건축공학과 석사과정, archifunky@yonsei.ac.kr

*** 일반회원, 연세대학교 대학원 건축공학과 박사과정, cwkoo@yonsei.ac.kr

**** 일반회원, 연세대학교 대학원 건축공학과 석사과정, fiberkhj@yonsei.ac.kr

***** 일반회원, 한국시설안전공단 재난예방팀, chunhag@kistec.or.kr

감축을 목적으로 하는 교토 협약이 발의되었다. 그리고 한국 역시 이러한 세계적 흐름에 따라 2013년부터 포스트 교토의정서에 의거 탄소배출량 의무감축국에 포함될 예정이며, 온실가스 배출량을 2020년까지 배출 절감치 대비 30%를 감축시키겠다고 발표했다.

이에 따라 건축물 분야에서도 온실가스 감축을 위한 각종 정책이 빠르게 수립·반영되고 있으나, 기존 건축물에 대한 이산화탄소 배출량 감축의 노력은 미진한 실정이다.

특히, 주거용 건축물 유지관리 단계에서의 이산화탄소 배출량은 국내 총 이산화탄소 배출량의 약 10%를 차지하고 있음에도 불구하고, 기존 건축물의 개선을 통한 에너지 사용량 절감을 뒷받침할 수 있는 기반이 부족한 실정이다. 예를 들어, 건축물의 에너지 사용현황에 대한 데이터베이스 구축은 에너지 사용량 절감 및 온실가스 배출량 감축을 위해 반드시 선행되어야 할 과제이다. 그럼에도 불구하고 에너지 사용량에 대한 데이터베이스 구축이 미비한 실정이며, 그 활용성에도 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택 에너지 사용량 데이터를 체계적으로 구축하고자 하며, 이를 통해 데이터로의 접근성 및 적용의 확장성을 향상시킬 수 있을 것이다. 데이터베이스 구축을 위해 온톨로지 개념을 도입하였고, 향후 시멘틱 웹을 구현하고자 한다. 시멘틱 웹 환경에서는 컴퓨팅 기반으로 정보의 의미와 관계를 스스로 추론할 수 있다. 본 연구는 이러한 시멘틱 웹 환경 구축을 위한 선행연구 단계라고 할 수 있다. 즉, 공동주택 에너지 사용량에 영향을 미치는 특성을 분석하였고, 이를 활용하여 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 구축하였다.

이러한 분류체계 구축의 궁극적인 목적은 공동주택 단지의 개선여부를 판단하기 위한 의사결정 지원모델을 개발하는 것이다. 공동주택 단지별 특성, 즉 연면적, 세대수, 동수, 난방방식, 복도형식 등은 매우 다양한데, 이러한 특성에 따라 에너지 사용량에 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서 개발한 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용하여, 유사한 특성을 갖는 공동주택 단지를 군집화하고자 한다. 그리고, 이렇게 형성된 군집 내에서 서로 다른 단지 간 에너지 사용량을 비교함으로써, 각각의 공동주택 단지별 적정 수준의 에너지 사용량을 예측해 보고자 한다. 이러한 예측값은 공동주택 단지의 개선여부 판단을 위한 의사결정 지원도구로 활용될 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 다루고자 하는 연구의 대상은 건축법규의 정의에 의거한 “아파트”이다. 주거용 건축물은 크게 단독주택과 공동주택으로 구분된다.

단독주택은 에너지 사용계약이 각 세대별로 이루어지고 관리되기 때문에, 에너지 사용량 데이터를 수집하는 것이 매우 어렵다. 또한, 단독주택별 특성이 천차만별이기 때문에, 에너지 사용량에 대한 일정한 패턴을 도출하기 어렵다. 반면, 공동주택은 다수의 세대가 하나의 동 또는 단지를 구성하고 있으며, 동 또는 단지 단위로 일괄적인 에너지 사용계약을 실시한다. 즉, 에너지 사용량 데이터를 보다 쉽고 체계적으로 관리할 수 있고, 에너지 사용 양상을 파악하는 것도 용이하다.

다시 말해서, 단독주택의 경우 한 번의 데이터 수집으로 한 세대의 에너지 사용량을 파악할 수 있는 반면, 공동주택의 경우 한 번의 데이터 수집으로 해당 단지 전체의 에너지 소비량을 파악할 수가 있다. 또한 공동주택의 경우 단독주택과 달리 형태 및 규모 등 건축적 특성이 어느 정도 한정되어 있기 때문에, 프로젝트 특성과 에너지 사용량 간의 관계를 보다 명확하게 분석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 건축 법규에서 정의하는 공동주택을, 그 중에서도 대부분을 차지하는 “아파트”를 연구대상으로 선정하였다.

건축물의 에너지 사용량과 관련된 기존의 연구에서는 다중회귀모델과 인공신경망모델 등이 대표적으로 활용되었다. 다중회귀모델은 보편적으로 사용되는 통계분석 방법론으로서, 분석 프로세스가 비교적 간단하고 효율적이며 각각의 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 회귀계수를 통해 쉽게 파악할 수 있다. 반면 독립변수와 종속변수 간 관계가 선형으로 제시되기 때문에, 변수 간 복잡한 관계가 존재하는 경우, 예측성능이 다소 떨어지는 단점이 있다.

인공신경망모델은 변수 간 복잡한 상관관계를 갖는 경우에도 그것을 충분히 반영할 수 있다. 건축물의 에너지 사용량은 다양한 프로젝트 특성에 의해 영향을 받고, 그 관계가 복잡하다는 측면에서, 인공신경망모델은 본 연구에 적합한 방법이라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 블랙박스라고 불리는 레이어(hidden layer)를 갖고 있기 때문에, 결과물에 대한 논리적인 해석이 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 온톨로지와 사례기반추론 모델을 적용하고자 한다. 온톨로지 모델은 한 개체의 속성과 다른 개체들과의 연관관계를 스스로 정의함으로써, 해당 개체와 연관관계가 있는 다른 개체들을 함께 추출할 수 있는 방법론이다. 사례기반추론 모델은 유사 사례를 근거로 하며 설명력 높은 예측 결과물을 제시하는 방법론이다.

본 연구에서는 온톨로지 기반 공동주택 분류체계 및 이를 활용한 에너지 사용량 예측모델을 개발하고자 하며, 다음과 같은 프로세스에 따라 진행되었다. (i) 공동주택 에너지 사용량 데이

터를 수집하고, 이에 영향을 미치는 프로젝트 특성 정보를 분석하였다. (ii) 에너지 사용량 예측을 위한 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 구축하였다. (iii) 이러한 분류체계를 기반으로 하여, 에너지 사용량 예측을 위해 사례기반추론 모델을 적용하였다. (iv) 이를 다중회귀모델, 인공신경망모델 등 기존 연구에서 주로 적용되었던 다른 방법론들과의 비교·분석을 실시하였다. (v) 또한, 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 선행적으로 활용하여 선별된 데이터를 대상으로 예측모델을 구축하는 경우와 전체 데이터를 대상으로 예측모델을 구축하는 경우에 대하여 비교·분석을 실시하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 국내 공동주택의 가스에너지 사용 현황

표 1은 전국 주요 지역, 즉 7대 광역시와 9개 도에 소재한 공동주택에 대하여, 2009년 1년 동안의 가스에너지 사용량과 이산화탄소의 배출량을 나타낸 것이다. 가스에너지 사용에 따른 이산화탄소 배출량은 다음의 수식(1)을 활용하여 산출된다. 아래의 수식(1)에서 $0.0006083(tC/m^3)$ 은 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)에서 제공하는 가스의 탄소배출계수를 의미하고, 44/12는 이산화탄소와 탄소의 분자량비를 의미한다.

$$\begin{aligned} & \text{가스 사용에 따른 이산화탄소 배출량}(tCO_2) \quad \text{----- 식 (1)} \\ & = 0.0006083(tC/m^3) \times \frac{44tCO_2}{12tC} \times \text{가스 사용량}(m^3) \end{aligned}$$

표 1. 전국 주요 지역의 가스 사용량 및 이산화탄소 배출량

지역	가구수 (세대)	가스사용량 (m3)	이산화탄소 배출량 (tCO2)	세대당 이산화탄소 배출량 (tCO2)
서울	1,268,808	1,063,412,000	2,372,472	1.8698
인천	548,097	380,087,000	847,974	1.5471
경기	1,435,996	1,082,517,000	2,415,095	1.6818
부산	667,717	311,396,000	694,724	1.0404
대구	297,362	183,388,000	409,139	1.3759
광주	312,534	177,934,000	396,971	1.2702
대전	326,021	189,786,000	423,413	1.2987
울산	239,826	152,819,000	340,939	1.4216
강원	157,483	108,834,000	242,809	1.5418
충북	142,809	98,012,000	218,665	1.5312
충남	289,052	177,252,000	395,449	1.3681
전북	261,386	163,414,000	364,577	1.3948
전남	204,983	144,776,000	322,995	1.5757
경북	371,236	226,603,000	505,551	1.3618
경남	400,076	213,312,000	475,899	1.1895
제주	6,512	3,100,000	6,916	1.0621
계	6,929,898	4,676,642,000	10,433,588	-

경기도와 서울시의 가스 사용량은 각각 1,082,517,000m³, 1,063,412,000m³으로 1, 2위를 차지했고, 이를 이산화탄소 배출량으로 환산하면 각각 2,415,095 tCO₂, 2,372,472 tCO₂로 나타났다. 이 두 지역의 이산화탄소 배출량 합계는 전국의 46.89%를 차지하는 것으로 분석되었다. 또한, 세대당 이산화탄소 배출량 측면에서도, 서울시와 경기도가 가장 높게 나타났다. 이와 같이, 서울시와 경기도의 공동주택 유지관리단계에서의 에너지 사용량 절감을 위한 노력은 시급한 것으로 판단되며, 타 지역과 비교하여 그 효과가 클 것으로 기대된다. 본 연구에서는 이러한 배경 하에, 서울시 소재의 공동주택 단지를 대상으로 연구를 진행하였다.

2.2 공동주택 에너지 사용량 관리 현황

신규 건축물은 설계 단계에서부터 저에너지 공동주택을 목표로 하여 고효율의 전기 및 설비 시설을 도입하거나 에너지 절약을 위한 여러 기법을 적용하는 등의 노력을 통하여 비교적 명확하게 그 목표를 달성할 수 있다. 반면 기존의 건축물은 유지 및 관리 단계에서의 교체 및 수선 등을 통하여 에너지를 절약할 수 있는 환경을 제공할 수 있다.

기존의 연구에서는 건축물의 창호나 설비 시스템, 혹은 조명 등을 교체, 수선할 경우의 에너지 절감량을 정량적으로 분석하거나 시뮬레이션을 통하여 그 효과를 예측하는 것에 관하여 많은 연구가 진행 중이다. 그러나 이러한 연구는 하나의 세대규모를 넘어, 공동주택의 한 동이나 단지, 혹은 여러 공동주택 단지의 에너지 사용량을 동시에 비교하고 분석하는 것에는 한계를 지니고 있다고 할 수 있다.

온실 가스 배출에 영향을 미치는 공동주택의 에너지 사용 형태는 크게 전기, 가스(난방/급탕/취사), 수도로 구분할 수 있다. 그런데 국내에서 이러한 에너지를 공급하는 업체가 각기 다르고, 더욱이 가스의 경우에는 전국 30여개에 달하는 민간 업체에서 공급 및 관리를 담당하고 있다 (본 연구에서는 개별난방방식을 채택한 공동주택 단지에 한하여 데이터를 수집하였음). 다시 말해서, 에너지 소비 현황을 통합적으로 파악하고 관리하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다. 현재 공동주택의 에너지 사용량에 대한 데이터 수집 및 현황분석이 원활하게 이루어지지 않고 있다.

이러한 문제점을 해결하고 투명한 공동주택 관리를 목표로 하여, 국토해양부에서는 “공동주택관리정보시스템”을 개발·운영하고 있다. 그런데 이 시스템은 잘못된 정보에 대한 검증시스템이 전무하기 때문에, 에너지 사용량 데이터의 구축 상태가 불량

하며 그 신뢰성이 크게 떨어지는 상황이다.¹⁾ 다시 말해서, 공동주택의 에너지 사용량을 분석하기 위한 연구 및 실무 적용의 기반이 제대로 갖추어져 있지 않다고 볼 수 있다.

3. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계

공동주택 특성과 에너지 사용량 간의 상관관계 분석을 통해, 에너지 사용량에 영향을 미치는 특성을 선정하였다. 이러한 특성들은 온톨로지 기반 분류체계 구성을 위한 변수로 활용하였다. 이러한 분류체계의 타당성을 검증하기 위하여, 구축된 분류체계를 기반으로 case study를 실시하여 에너지 사용량 예측의 정확성을 검증하였다.

3.1 데이터베이스 구축

3.1.1 변수 정의

공동주택 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인은 크게 외적 요인과 내적 요인의 2가지로 나눌 수 있다. 외적 요인은 수치화할 수 있거나, 유형분류가 가능한 정량적인 항목을 의미한다. 예를 들면, 연면적, 세대수, 동수와 같이 수치화가 가능한 항목, 또는 복도유형(계단식/복도식/혼합식), 난방방식(개별/중앙/지역)과 같이 유형분류가 가능한 항목을 의미한다. 반면, 내적 요인은 거주자의 생활패턴과 관련된 정량화가 어려운 항목을 의미한다. 예를 들어, 실내조명의 선호도, 여름철 냉방온도, 겨울철 난방온도와 같이 거주자의 개인적인 선호도 또는 생활습관과 관련된 항목이다.

본 연구에서는 변수에 대한 명확한 정의가 가능하고, 데이터 수집이 비교적 용이한 외적 요인만을 독립변수로 선정하였다. 공동주택 에너지 사용량에 영향을 미치는 특성들은 문헌조사를 통해 사전 선별하였고, 한국토지주택공사(LH 공사) 및 서울특별시 도시개발공사(SH공사)의 주거환경 개선사업 담당부서 전문가와의 면담을 통해 확정하였다. 결과적으로, 지역, 경과년수, 동수, 층수, 세대수, 세대평형, 관리비 부과면적, 복도유형(계단식/복도식/혼합식), 난방방식(개별/중앙/지역)을 독립변수로 선정하였다. 그리고, 공동주택 단지의 총 가스 사용량을 종속변수로 설정하였다.

이와 같이 선정된 독립변수 및 종속변수는 그에 적합한 척도로 정의하였다. 표 2는 공동주택의 가스에너지 사용량에 영향을

미치는 특성에 대한 것이며, 구체적인 분류와 척도유형을 제시하고 있다. 예를 들면, 복도형식은 계단형, 복도형, 혼합형이 각각 1, 2, 3의 명목형 변수로 정의할 수 있다. 이러한 수치는 실질적인 값이 아닌 의미상의 분류를 위한 값이므로 단위를 갖지 않는다. 반면, 관리비 부과면적 또는 세대수와 같은 경우에는 그 수치가 실질적인 값을 의미하므로, 연속형 변수로 정의하였고 각각 단위를 갖는다. 또한 본 연구의 종속변수인 공동주택 단지의 총 가스에너지 사용량은 실제 수치를 의미하므로 연속형 변수로 정의하였고, 그 단위는 m^3 이다.

표 2. 독립변수 및 종속변수의 정의

변수	항목	세부 항목	변수 특성
독립변수	지역	서울	명목형 변수
	복도형식	계단형, 복도형, 혼합형	명목형 변수
	난방방식	개별난방, 중앙난방	명목형 변수
	경과년수	()년	연속형 변수
	동수	()동	연속형 변수
	관리면적	() m^2	연속형 변수
	세대수	()세대	연속형 변수
	세대당 면적	() m^2	연속형 변수
	최고층수	()층	연속형 변수
종속변수	총 가스사용량	() m^3	연속형 변수

3.1.2 데이터 수집 및 선별

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 서울시 소재의 공동주택 단지를 대상으로 하여, 프로젝트 특성 정보 및 가스에너지 사용량 데이터를 수집하였다. 가스에너지 사용량의 경우 서울시 내 도시가스 공급업체 2곳을 통해 2010년의 월별 사용량 데이터를 수집하였다. 또한 해당 공동주택 단지들의 특성 정보는 ‘공동주택관리정보시스템’과 ‘온나라 부동산정보 통합포털’을 통해 수집하였다. 이렇게 수집된 362개소의 공동주택 데이터 중, 아래의 기준에 의거하여 데이터로서의 가치가 떨어지는 것들을 제외하고, 324개의 데이터를 선별하여 모델 개발에 활용하였다.

- 1) 공동주택의 세대수가 100 미만인 경우는 분석대상에서 제외하였다.
- 2) 공동주택 단지의 프로젝트 특성 정보가 명확하게 나타나지 않거나, 상이한 정보가 제시되는 경우에는 분석대상에서 제외하였다.
- 3) 공동주택 특성 및 가스에너지 사용량에 대한 정보들 중 일부가 누락된 경우는 분석대상에서 제외하였다.
- 4) 공동주택 단지의 총 가스에너지 사용량을 기준으로, 상·하위 2.5%에 해당하는 자료는 이상값으로 판단하여 제거하였다. 즉, 전체 데이터 중 95% 신뢰구간에서 유의한 데이터들만을 분석대상으로 선정하였다.

1) 아주경제의 기사(2011.2.9.)에 따르면, 투명한 공동주택 관리를 위해 국토해양부에서 개발한 공동주택관리정보시스템은 잘못된 정보에 대한 검증시스템이 부재한 상황이며, 이를 개발·적용할 필요성이 제기되는 것으로 나타났다.

3.2 온톨로지 분류체계 구성

3.2.1 Pearson 상관분석을 통한 변수 선택

앞서 선별된 독립변수는 지역, 복도형식, 난방방식, 경과년수, 동수, 관리면적, 세대수, 세대당 면적, 최고층수 등 9가지이다. 본 연구에서는 서울시 소재 공동주택을 대상으로 하므로, 9개 독립변수 중 '지역'은 분석요인에서 제외하였다. 한편, 위의 변수들이 가스에너지 사용량에 실질적으로 영향을 주고 있는지, 그 영향력은 어느 정도인지를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 따라서, Pearson 상관분석을 실시하였고, 그 결과에 따라 종속변수와 상관관계가 높은 독립변수들을 선별했다. 이러한 선별된 독립변수를 활용하여 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 구축함으로써, 보다 명확하고 간단한 분류체계를 구성하고자 하였다.

표 3은 Pearson 상관분석 결과를 제시한 것이다. Pearson 상관계수는 -1.0 ~ 1.0 사이의 값으로 제시되는데, 통계학적으로 절대값이 0.5이상인 경우 두 변수 간의 상관관계가 높은 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 Pearson 상관계수가 0.5 이상인 경우, 독립변수와 종속변수의 상관관계가 높은 것으로 정의하였다. 이를 통해 관리비부과면적(상관계수 : 0.973), 세대수(상관계수 : 0.939), 동수(상관계수 : 0.752)가 분류기준으로 선정되었다.

3.2.2 온톨로지를 통한 분류체계 구성의 의미

본 연구에서는 서울시 소재 공동주택을 대상으로 가스에너지 사용량 분석 및 예측을 실시하고자 한다. 앞서 Pearson 상관분석을 통해, 가스에너지 사용량에 영향을 미치는 주요 독립변수로서, 관리비부과면적, 세대수, 동수 3가지 변수가 선정되었다.

이러한 3가지 독립변수를 활용하여 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 구축하고자 한다.

온톨로지를 이용하여 분류체계를 구성하는 가장 큰 목적은 데이터로의 접근 용이성 및 적용의 확장성을 확보하는 것이다. 따라서 분류체계를 구성할 때, 이러한 온톨로지의 장점을 극대화하기 위해서는 본 연구의 결과를 적용하되, 향후 연구범위 및 대상의 확장성을 고려할 필요가 있다. 예를 들어, 향후 지역적 범위를 서울시 이외의 도시를 추가할 경우, '지역'을 분류기준으로 추가할 수 있으며, 변수 간 상관관계를 다시 분석하여 적용할 수 있다.

3.3 건축법규에 의거한 포괄적 온톨로지 분류체계 구성

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서 구축한 분류체계는 향후 확장 가능한 형태로 구성하고자 하였다. 따라서 분류 기준의 객관성을 확보할 필요가 있으며, 건축 법규에 의거한 용도에 따른 건축물의 분류 기준을 기본으로 하였다.

용도에 따른 건축물의 분류 기준에 따르면, 교육 및 복지시설 시설군, 근린 생활 시설 시설군, 문화 및 집회 시설군, 산업등 시설군, 영업군 시설군, 자동차 관련 시설군, 주거 업무 시설군, 그 밖의 시설군 등 총 8개의 시설군으로 구분된다. 그 중, 주거 업무 시설군은 단독주택, 공동주택, 교정 및 군사시설, 업무 시설 등 4개의 하위 클래스로 구분된다. 그 중, 공동주택은 다세대주택, 연립주택, 아파트, 기숙사 등 4개의 하위 클래스로 구분된다. 이러한 건축법규에 의거한 용도 분류기준에 따라 3개의 상

표 3. 8개 독립변수 및 가스에너지 사용량의 Pearson 상관분석 결과

		경과년수	동수	최고층수	세대수	세대당 관리면적	관리면적	복도유형	난방방식	단지 총사용량
경과년수	Pearson correlation	1	0.006	(0.402)**	0.089	(0.143)**	0.02	0.251**	0.274**	0.09
	Sig. (2-tailed)		0.918	0	0.112	0.01	0.717	0	0	0.107
동수	Pearson correlation	0.006	1	-0.069	0.805**	-0.051	0.694**	(0.182)**	0.150**	0.752**
	Sig. (2-tailed)	0.918		0.218	0	0.358	0	0.001	0.007	0
최고층수	Pearson correlation	(0.402)**	-0.069	1	0.175**	0.312**	0.301**	0.065	-0.053	0.221**
	Sig. (2-tailed)	0	0.218		0.002	0	0	0.245	0.343	0
세대수	Pearson correlation	0.089	0.805**	0.175**	1	-0.075	0.935**	0.058	0.185**	0.939**
	Sig. (2-tailed)	0.112	0	0.002		0.178	0	0.297	0.001	0
세대당관리면적	Pearson correlation	(0.143)**	-0.051	0.312**	-0.075	1	0.165**	-0.109	0.197**	0.118*
	Sig. (2-tailed)	0.01	0.358	0	0.178		0.003	0.051	0	0.034
관리비부과면적	Pearson correlation	0.02	0.694**	0.301	0.935**	0.165**	1	0.058	0.243**	0.973**
	Sig. (2-tailed)	0.717	0	0	0	0.003		0.302	0	0
복도 유형	Pearson correlation	0.251**	(0.182)**	0.065	0.058	-0.109	0.058	1	0.110*	0.045
	Sig. (2-tailed)	0	0.001	0.245	0.297	0.051	0.302		0.048	0.423
난방방식	Pearson correlation	0.274**	0.150**	-0.053	0.185**	0.197**	0.243**	0.110*	1	0.327**
	Sig. (2-tailed)	0	0.007	0.343	0.001	0	0	0.048		0
단지총사용량	Pearson correlation	0.09	0.752**	0.221**	0.939**	0.118**	0.973**	0.045	0.327**	1
	Sig. (2-tailed)	0.107	0	0	0	0.034	0	0.423	0	

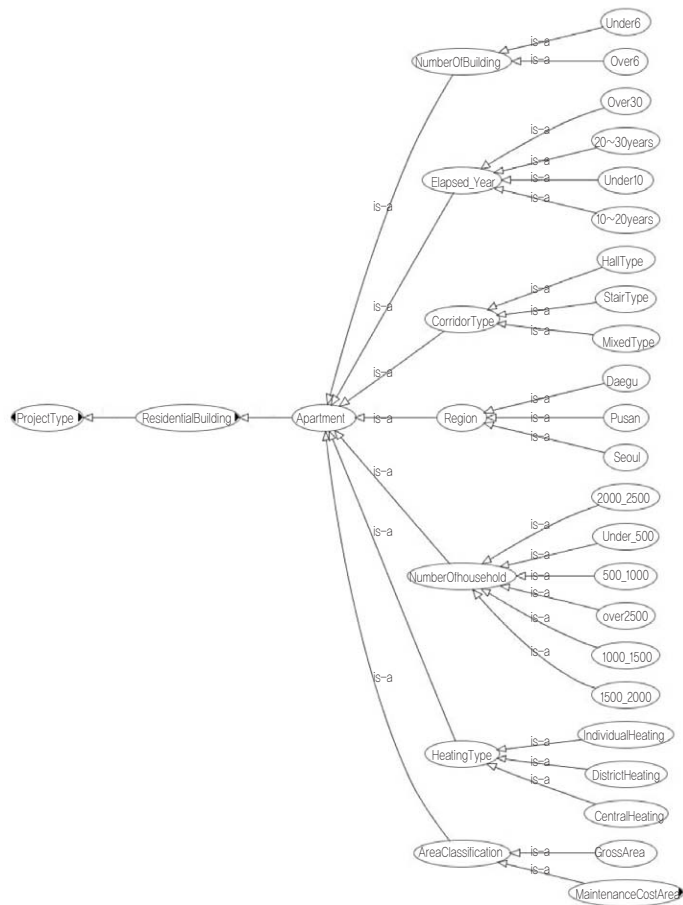
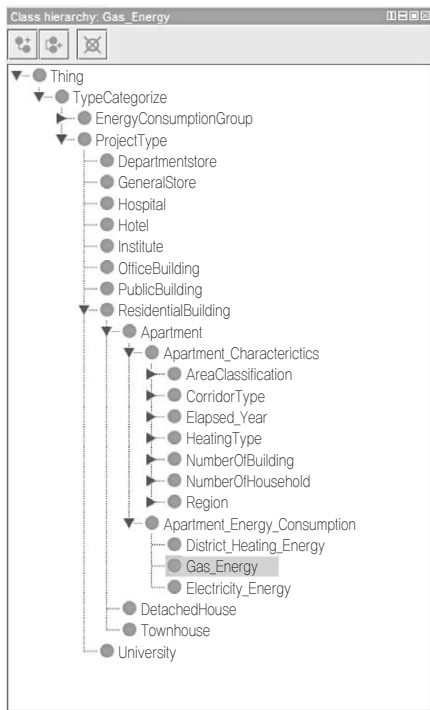


그림 1. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계

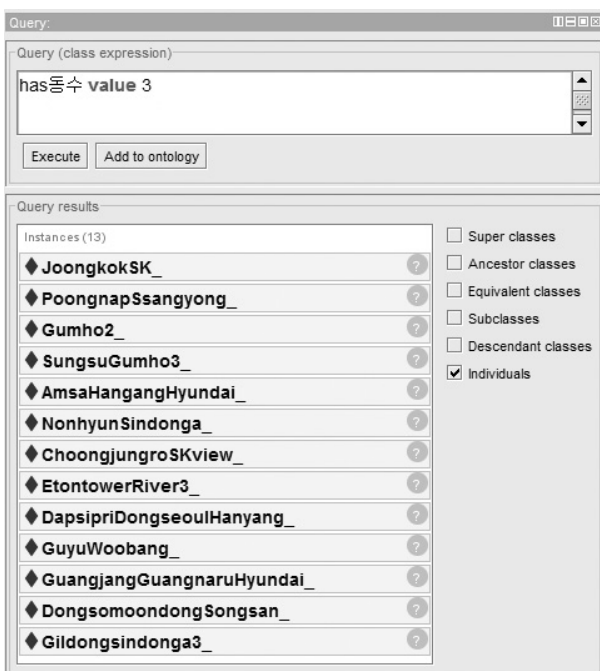


그림 2. DL QUERY를 이용한 검색의 예시

위 클래스를 구성하였다. 그 하위의 분류체계는 앞서 제시한 상관분석 결과를 활용하여 구축하였다. 즉, 공동주택 단지 총 가스 에너지 사용량에 미치는 영향력이 높은 것으로 분석된 관리비 부과면적, 세대수, 동수를 분류체계 기준으로 설정하였고, 이를 토대로 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 구축하였다.

3.4. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계 구축

온톨로지 기반 공동주택 분류체계 구축을 위해 Protege 4.1을 활용하였고, 그 결과는 그림 1과 같다. 3.2.에서 도출한 관리비 부과면적, 세대수, 동수의 3가지 변수는 "지역" 요인과 더불어 가스 사용량을 결정짓는 요인으로서, 가스 사용량의 하위 항목으로 편성하였다.

온톨로지는 웹이 궁극적으로 지향하는 바인 시맨틱 웹 검색을 구현하기 위한 도구이다. Protege 4.1은 이러한 시맨틱 검색을 구현하기 위하여 DL QUERY라는 기능을 갖고 있다. 온톨로지 기반의 분류체계를 구성한 이유는 데이터베이스의 검색을 통하여, 공동주택 단지별 적정 가스 에너지 사용량을 예측하기 위한 것이다. 나아가 예측된 결과에 기반하여, 시설물 개선여부를 판

표 4. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 모델별 예측결과 (CASE1)

Variable	Case No.	관리비 부과면적	세대수	동수	공동주택 단지의 가스 사용량	예측정확도			
						Advanced CBR	MRA	ANN	
CASE 1 (Test case)	69	51,005	418	3	443,929	-	-	-	
전수	Retrieved Case 1	274	43,237	418	3	498,796	87.64	90.8	90.7
	Retrieved Case 2	70	46,284	443	3	469,857	94.16		
	Retrieved Case 3	18	45,857	409	4	474,311	93.16		
	Retrieved Case 4	292	47,268	461	2	477,012	92.55		
	Retrieved Case 5	195	52,771	492	4	503,004	86.69		
	Retrieved Case 6	114	46,161	437	5	486,423	90.43		
	평균					484,901	90.77		
온톨로지	Retrieved Case 1	70	46,284	443	3	469,857	94.16	92.92	92.31
	Retrieved Case 2	274	43,237	418	3	498,796	87.64		
	Retrieved Case 3	144	43,187	448	3	462,312	95.86		
	평균					476,988	92.55		

단하기 위한 의사결정 지원모델을 개발하는 것이다. DL QUERY를 이용하여, 변수별 특정한 값을 지정함으로써, 원하는 데이터를 추출할 수 있다.

Protege 4.1에서 변수의 속성을 정의하는 기능 중 하나로서 Individual이라는 기능이 있다. 공동주택 단지별 특성은 각각 특정한 성격과 값을 갖는 것이기 때문에, Individual로 정의하였고, DL QUERY에서 명령어를 입력하여 원하는 검색이 가능하도록 하였다.

그림 2는 DL QUERY를 활용하여, 분류기준의 하나인 '동수'에 대하여, 특정 값의 범위를 갖는 공동주택을 검색한 결과를 나타낸 것이다.

4. Case Study

본 연구에서 개발한 온톨로지 기반 공동주택 분류체계의 효용성을 평가하기 위하여, Case Study를 실시하였다. 분류체계의 효용성을 판단하기 위하여, 본 연구의 궁극적인 목적인 가스에너지 사용량에 대한 예측성능(예측 정확도 및 표준편차)을 비교·분석하였다. 다시 말해서, 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용하여 선별된 데이터에 기초한 예측결과와 전수의 데이터베이스에 기초한 예측결과의 차이를 살펴봄으로써, 분류체계의 타당성을 검증하고자 하였다.

가스에너지 사용량을 예측하기 위한 방법론으로는 CBR, MRA, ANN 등 3가지를 활용하였다. 여기서 CBR 방법론은 MRA, ANN, GA를 복합적으로 적용한 Advanced CBR approach를 활용하였다 (Koo 외 2011).

온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 가스 에너지 사용량 예측 프로세스는 다음과 같다. DL QUERY를 이용하여 공동주택 특성을 입력하여 검색하고, 그 검색 범위에 포함되는 단지들

을 추출한다. 이렇게 추출된 공동주택 단지들을 하나의 군집으로 설정하고, Advanced CBR, MRA, ANN의 방법론을 이용하여 에너지 사용량을 예측한다. 최종적으로 이러한 예측결과는 데이터베이스 전수를 활용한 예측결과와의 비교·분석을 실시함으로써, 본 연구에서 제시한 온톨로지 기반 공동주택 분류체계의 타당성을 검증하고자 하였다.

온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 검색 프로세스는 다음과 같은 로직에 의해 진행되었다. 앞서 3.2에서 상관분석을 통해 도출된 관리비부과면적, 세대수, 동수가 검색인자로 활용되었다. 그리고, 검색의 범위는 각 변수별 데이터 분포에 따른 표준편차를 활용하여 설정하였다. 예를 들어, 관리비부과면적, 세대수, 동수의 표준편차(σ)가 각각 37,344.7, 377.1, 5.6으로 분석되었다. 그런데 CASE 1의 각 변수별 수치는 51,005, 418, 3로 나타났다. 따라서, 이 수치에 표준편차를 적용하면, 관리비부과면적(X1)은 $32,333 \leq X1 \leq 69,677$, 세대수(X2)은 $229 \leq X2 \leq 607$, 동수(X3)는 $1 \leq X3 \leq 6$ 의 범위로서 산출된다. 이러한 3가지 변수의 범주에 의해 총 3번의 필터링이 이루어졌다.

표 4는 CASE 1에 대하여 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 모델별 예측결과와 프로젝트 특성을 제시한 것이다. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 모델의 예측결과를 전수 데이터를 활용한 모델의 예측결과와 비교하여 살펴보면, Advanced CBR은 92.55%(91.59%), MRA는 92.92%(90.80%), ANN은 92.31%(90.70%)의 순서로 나타났다. 전수 데이터를 활용한 모델의 분석결과와 비교하여, 모든 모델에 있어서 향상된 예측성능을 나타내고 있다.

본 연구에서는 총 5가지 CASE를 대상으로, 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용하여 사례를 추출하였다. 이를 활용하여, 총 5회의 Case Study를 수행하였으며, 그 결과는 표 5에서 제시하고 있다. 전수 데이터를 활용한 모델과 온톨로지 기반 공

동주택 분류체계를 활용한 모델의 예측정확도를 나타내고 있으며, 온톨로지 모델의 예측성능 향상도를 평가한 결과를 함께 제시하고 있다.

표 5. 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 모델의 예측정확도 비교

구분	사례수	예측정확도		
		Advanced CBR	MRA	ANN
CASE 1	전수	90.77	84.33	93.45
	온톨로지	92.55	88.22	94.06
	평가	OK	OK	OK
CASE 2	전수	97.34	99.67	98.08
	온톨로지	95	92.48	93.79
	평가	-	-	-
CASE 3	전수	83.13	87.81	74.35
	온톨로지	83.68	83.26	83.36
	평가	OK	-	OK
CASE 4	전수	79.57	81.12	73.77
	온톨로지	88.04	90.25	91.48
	평가	OK	OK	OK
CASE 5	전수	87.9	84.72	90.32
	온톨로지	88.31	90.12	84.9
	평가	OK	OK	-

표 5에서 제시하는 바와 같이, Advanced CBR 모델의 경우에는 5회의 Case Study 중 4회(CASE 1, 3, 4, 5)에서 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 모델의 예측정확도가 우수한 것으로 나타났다. 한편, 1회(CASE 2)의 경우는 전수모델의 예측정확도가 97.34%, 온톨로지 모델의 예측정확도가 95.00%로서, 전수 데이터를 활용한 모델이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 두 모델의 예측정확도는 모두 우수하다고 판단할 수 있는 수치이다. 따라서, 5회의 Case Study는 모두 성공적인 결과라고 판단할 수 있다.

MRA 모델의 경우, 5회의 Case Study 중 3회(CASE 1, 4, 5)에서 온톨로지 기반 모델의 예측정확도가 우수한 것으로 나타났다. 2회의 Case Study(CASE 2, 3)에서는 예측정확도가 낮아지는 결과가 나타났다.

ANN 모델의 경우, 5회의 Case Study 중 3회(CASE 1, 3, 4)에서 온톨로지 기반 모델의 예측정확도가 우수한 것으로 나타났다. 2회의 Case Study(CASE 2, 5)에서는 예측정확도가 낮아지는 결과가 나타났다.

결론적으로, 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용하여, 유사한 특성의 데이터를 군집화하는 것이 더욱 효과적인 방법이며, Advanced CBR 모델의 예측정확도 및 균질성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 구축하고, 이를 활용하여 공동주택 단지별 적정 에너지 사용량을 예측하기 위한 모델을 개발하였다. 첫째, 서울시 소재의 324건의 공동주택을 선정하여, 특성 및 가스 에너지 사용량 데이터를 수집하였다. 둘째, 상관분석을 통해 에너지 소비에 영향을 주는 주요 특성들을 선정하였고, 이를 기준으로 온톨로지 기반의 분류체계를 구축하였다. 셋째, 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 근간으로 하는 에너지 사용량 예측모델을 개발하였으며, CBR, ANN, MRA, GA 등의 방법론을 적용하였다.

온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 구축함에 있어서, 각 변수별 데이터 분포에 따른 표준편차를 활용하여 검색범위를 설정하였다. 관리비부과면적, 세대수, 동수의 3가지 변수의 범주에 의해 총 3번의 필터링이 이루어지는 프로세스이다. 향후 데이터 베이스가 추가됨에 따라, 독립변수 또는 종속변수의 종류가 증가하거나, 데이터의 개수가 증가할 경우, 검색변수가 추가·변경될 수 있다.

본 연구에서 적용한 예측방법론은 Advanced CBR, MRA, ANN이다. 5회의 Case Study를 수행한 결과, 전수 데이터를 활용한 것과 비교하여, 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 활용한 분석이 더 효과적인 결과를 제시하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 모든 방법론에서 동일하게 나타났으며, 그 중에서도 Advanced CBR 방법론을 적용한 경우가 가장 우수한 예측성능을 나타내는 것으로 분석되었다. 예측정확성(평균)뿐만 아니라 균질성(표준편차) 측면에서도 우수한 결과가 나타났다.

본 연구에서 개발한 모델은 정부 또는 지방자치단체의 시설물 개선여부 의사결정 담당자, 공동주택 단지 관리자 등이 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 사례기반의 근거 있는 자료를 활용하여 설명력 높은 의사결정이 가능할 것이며, 연구범위를 지속적으로 확대함으로써, 모델의 적용성 및 편의성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 서울시 소재의 공동주택을 대상으로 하여 모델을 개발하였고, 가스에너지 사용량에 한정하여 데이터를 수집하였다. 향후 지역의 범위를 확장하거나, 전기에너지 또는 수도 사용량에 대한 분석을 추가함으로써, 모델의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 온톨로지 기반 공동주택 분류체계를 구축하였으나, 사용자의 편의성을 극대화시키기 위한 시멘틱 웹 수준까지는 발전시키지 못했다. 향후 본 연구의 목적을 달성하기 위해 시멘틱

웹 시스템을 구축하고, 보다 많은 데이터들을 수집하여 적용한다면, 본 연구의 한계를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 궁극적으로 '건축물에서 소비되는 에너지를 통합 관리할 수 있는 시스템'을 구축할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(10첨단도시C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

배상환, 김양섭 (2009). "공동주택 에너지절감 절감방안과 실현 사례.", 건축환경설비, 제3권 제1호, 한국건축환경설비학회, pp.18~23.

정창현, 김태연, 이승복 (2010). "노후 공동주택 개보수를 통한 난방부하 저감가능성 분석.", 대한건축학회논문집 계획계, 제26권 제7호, pp.275~284.

국토해양부 (2008). "아파트주거환경통계", pp.32.

국토해양부 공동주택관리정보시스템. <http://www.k-apt.net>

국토해양부 온나라 부동산정보 통합포털 www.onnara.go.kr/

김신곤, 박성용 (1999). "의사결정트리 알고리즘의 성과 비교에 관한 연구.", 한국경영정보학회 학술대회 논문집, pp.371~383.

김태훈, 신윤석, 이용균, 강경인 (2007). "의사결정나무를 이용한 초고층 건축공사 거푸집 선정 지원 모델.", 대한건축학회논문집 구조계, 제23권 제11호, pp. 177~184.

박지훈, 이로나, 정지현, 이학기 (2009). "입력변수 수준에 따른 공사비 예측기법의 정확도 분석에 관한 연구.", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.433~436.

박지훈, 이학기 (2010). "공사비 입력변수 수준분류를 통한 데이터마이닝 예측기법의 정확도 분석.", 대한건축학회지회연합회 논문집, 제12권 제3호, pp.301~308.

김성아, 김갑득, (2009). "도시공간정보와 통합된 에너지 모니터링 가시화환경 연구", 대한건축학회논문집 25권 7호, pp. 99~106

신동우 외 36인 (2009). "노후 공동주택의 구조 및 설비성능개선 기술 개발", 첨단도시개발사업 연차보고서, 국토해양부, pp.1~3.

한국토지주택공사. "리모델링사업 시행절차.", <http://www.lh.or.kr>

Koo, C., Hong, T., and Hyun, C. (2011). "The Development

of a Construction Cost Prediction Model with Improved Prediction Capacity using the Advanced CBR Approach."international Journal of Expert Systems with Applications, 38(7), 8597-8606

Yu, Z., Haghghat, F., Fung, B.C.M. and Yoshino, H. (2010). "A decision tree method for building energy demand modeling.", Energy and Buildings, 42(10), pp.1637~1646.

Yu, Z., Fung, B.C.M., Haghghat, F., Yoshino, H. and Morofsky, E. (2011). "A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption.", Energy and Buildings, 43(6), pp.1409~1417.

논문제출일: 2011.08.08
 논문심사일: 2011.08.12
 심사완료일: 2011.08.16

요 약

온실가스 과다 배출로 인한 지구 온난화 현상은 전 세계 기후변화 현상을 일으키고 있다. 국내 주거용 건축물에서 발생하는 온실가스는 전체의 약 10%를 차지하고 있고, 노후 공동주택이 점차 증가하고 있는 추세에 있다. 본 연구에서는 공동주택 유지관리 단계에서 에너지 사용량에 대한 지속적·체계적 관리를 수행하기 위한 기반을 구축하고자 한다.

이러한 모델 개발을 위한 연구 프로세스 및 방법은 다음과 같다. 첫째, 서울시 소재의 공동주택을 연구대상으로 설정하였고, 이러한 공동주택의 특성 및 가스 에너지 소비량에 대한 데이터를 수집하였다. 둘째, 통계적인 분석을 통해, 에너지 소비에 영향을 주는 주요 특성들을 선정하였고, 이를 기준으로 온톨로지 기반의 분류체계를 구축하였다. 셋째, 온톨로지 기반의 공동주택 분류체계를 근간으로 하는 에너지 사용량 예측모델을 개발하였으며, CBR, ANN, MRA, GA 등의 방법론을 적용하였다. 본 연구에서는 데이터 분석 및 예측을 위해 PASW (Predictive Analytics SoftWare) Statistics 18, Microsoft EXCEL, Protège 4.1 등의 프로그램을 활용하였다.

향후 본 연구에서 개발한 모델을 웹 기반 시스템으로 개발함으로써, 공동주택 에너지사용량을 지속적이고 체계적으로 관리할 수 있을 기반이 마련될 것이다. 또한, 정부, 지자체의 시설물 관리 담당자 및 공동주택 관리자로 하여금 명확한 근거자료를 기반으로 하여, 공동주택 단지별 적정수준의 에너지 소비량을 제시함으로써, 시설물의 개선여부를 결정할 수 있는 의사결정 지원모델을 개발하고자 한다.

키워드 : 공동주택, 온톨로지, 분류체계, 에너지사용량, 온실가스
