

노후 공동주택 개선여부 의사결정을 위한 공동주택 분류체계 개발

Multi-family Housing Complex Breakdown Structure for Decision Making on Rehabilitation

홍 태 훈*
Hong, Tae-Hoon

김 현 중**
Kim, Hyun-Joong

구 충 완***
Koo, Choong-Wan

박 성 기****
Park, Sung-Ki

Abstract

As climate change is becoming the main issue, various efforts are focused on saving building energy consumption both at home and abroad. In particular, it is very important to save energy by maintenance, repair and rehabilitation of existing multi-family housing complex, because energy consumption in residential buildings is not only forming a great part of gross energy consumption in Korea but the number of deteriorated complexes is also sharply increasing. However, energy saving is not considered as a main factor in decision making on rehabilitation project. Also, any supporting tool is not appropriately prepared in existing process. As the first step for development of decision support system on rehabilitation, this paper developed a breakdown structure, which makes clusters of multi-family housing complexes. Decision tree, one of data mining methods, was used to make clusters based on the characteristics and energy consumption data of multi-family housing complexes. Energy saving and CO₂ reduction will be maximized by considering energy consumption during rehabilitation process of multi-family housing complex, based on these results and following research.

Keywords : *Multi-family Housing, Breakdown Structure, Decision Tree, Energy Consumption*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

온실가스 과다 배출로 인한 기후변화가 지구 차원의 문제로 대두되면서, 전 세계적으로 에너지 절감 및 이산화탄소 배출량 감축을 위한 노력이 전개되고 있다. 전체 이산화탄소 배출량 중 약 30% 이상을 차지하는 건설 분야에서도 이러한 노력이 이루

어지고 있다. 다시 말해서, 건물의 전 생애주기에 걸쳐 에너지 사용량을 절감함으로써, 이산화탄소 배출량을 감축시키기 위한 노력이 국내·외에서 활발하게 진행되고 있다.

특히, 건물 사용단계에서의 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 국내 총 이산화탄소 배출량의 약 25% 이상을 차지하고 있으며, 그 중에서도 주거 부문은 연간 총 건축물 에너지 사용량의 53%를 차지하고 있다.

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

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

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

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

이와 같은 현실을 고려하여 정부에서는 건축물 에너지절약설 계기준, 친환경 건축물 인증제도 등을 시행하면서, 건물의 에너지 성능 개선을 통한 이산화탄소 배출량 감축을 도모하고 있다. 또한, 에너지 절감형 주택 설계와 관련된 연구 및 기술개발 역시 산업 전반에 걸쳐 진행 중이다.

그러나 준공 후 20년 이상 경과된 아파트가 2010년 기준 약 155만 호(전체 아파트의 약 21.4%)에 달하고, 2015년에는 300만 호를 초과(전체 아파트의 약 47% 도달)하게 되는 현실¹⁾을 고려할 때, 신축 공동주택의 에너지 효율 향상 못지않게 기존 공동주택의 개선을 통한 에너지 절감 역시 중요하다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 이러한 노력은 상대적으로 미흡한 실정이며, 개선 프로세스에서 활용할 수 있는 적절한 수단이 마련되어 있지 않다. 공동주택의 에너지 사용량 데이터베이스도 제대로 구축되지 않았으며, 그나마 구축된 데이터베이스도 공동주택 개선여부에 대한 의사결정의 기준으로서 적절히 활용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 공동주택들의 프로젝트 특성 및 각종 에너지 사용량 데이터베이스를 구축하고, 통계적 기법을 활용하여 에너지 사용량 기반의 군집을 형성함으로써 공동주택 개선단계에서의 의사결정 기준으로 활용할 수 있는 공동주택 분류체계를 개발하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 내용적 범위는 공동주택의 특성 및 에너지 사용량 데이터베이스를 구축하고, 특성과 에너지 사용량 기반의 군집을 형성하는 것이다. 다시 말해서, 공동주택 단지의 개선여부를 결정하기 위한 의사결정 지원 도구 개발에 활용될 수 있는 공동주택 분류체계를 구축하는 것이다. 이 때, 분류체계를 구성하는 개체를 세대 단위, 동 단위, 단지 단위 등으로 설정할 수 있는데, 국내의 공동주택 개선 사업에서는 일반적으로 단지 단위의 의사결정이 이루어지는 것을 감안하여, 각 단지를 하나의 개체로 하여 분류체계를 개발하였다. 또한, 본 연구의 지역적 범위는 공동주택 단지의 밀집도가 높고, 관리비와 사용료 역시 가장 높게 나타나는 서울시에 소재한 공동주택으로 한정하였다.

본 연구에서는 에너지 사용량에 대한 데이터베이스를 구축함에 있어, 공동주택에서 소비하는 주된 에너지원들인 전력, 가스, 지역난방의 3가지에 대해 분석하는 것으로 한정하였다. 공동주택 분류체계를 구축하기 위하여, 데이터 마이닝 기법 중 하나인 의사결정나무를 활용하여, 유사 특성에 근거하여 군집을 형성하였다. 의사결정나무는 의사결정 규칙에 따라 관심의 대상이 되

는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류하거나 예측하는 분석기법이다. 분류 기준이 되는 규칙들을 파악하기 쉽게 되어 있어 공동주택 단지 특성을 고려하여 분류체계를 구축하고자 하는 본 연구의 취지에 적합한 방법이라고 할 수 있다.

2. 예비적 고찰

2.1 기존 공동주택 개선 관련 국내 현황

국내에서 기존 공동주택을 개선하는 주요 사업으로는 주택재개발사업, 주택재건축사업, 리모델링사업 등이 있다. 이 중 주택재개발사업 및 주택재건축사업은 기존의 노후·불량한 저층주택들을 철거한 후 그 자리에 새로 공동주택을 건설하는 사업으로, 사업 추진의 용이성 때문에 많이 시행되어 왔으나 천연골재 부족, 폐기물 발생으로 인한 자연환경 파괴, 국가적 자원 낭비, 재건축 단지 인근 지역의 전세대란 초래 등의 문제점을 안고 있다. 따라서 수 년 안에 준공 후 20년 이상 경과된 노후 공동주택이 전체 공동주택의 절반에 육박하게 되는 상황에서, 이러한 재개발 및 재건축 사업은 사회적 및 경제적으로 적극 추진하기 어려운 실정이다.

한편 리모델링사업은 상대적으로 적은 예산이 소모되며 공사 기간도 짧게 소요되는 만큼, 노후 공동주택이 급격히 증가하는 현 시점에서 그 수요가 점차 높아지고 있다. 또한 정부의 재건축 억제와 리모델링 활성화 정책, 주택보급을 증가에 따른 재건축 사업성 하락, 리모델링 관련 기술 확산 등 리모델링사업의 활성화를 뒷받침하는 다양한 국내 여건이 형성되고 있다. 따라서 지속적으로 리모델링의 비중이 높아질 것으로 전망되며, 그만큼 리모델링을 통한 건물 에너지 절감 노력이 요구된다.

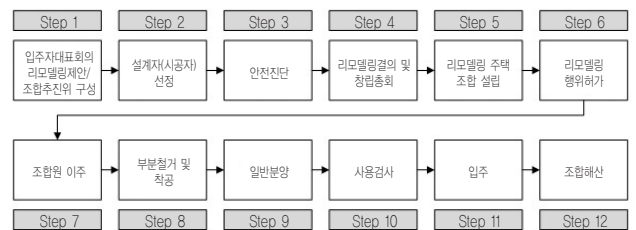


그림 1. 리모델링사업 시행 프로세스²⁾

그림 1은 리모델링사업의 일반적인 시행 프로세스를 나타내고 있다. 리모델링 과정에서 해당 단지에 대한 개선 여부 의사결정은 안전진단 및 주민 동의 등에 근거하여 이루어지며, 공동주택

1) 국토해양부 (2008), 아파트주거환경통계, pp. 32.

2) 한국토지주택공사. “리모델링사업 시행절차”, <http://www.lh.or.kr>

의 에너지 사용량 수준은 의사결정에 반영되지 않고 있다. 그러나 앞서 언급했듯 공동주택의 유지관리 및 개선 단계에서의 에너지 절감의 중요성이 높아지고 있는 만큼 개선대상 공동주택 선정 과정에서 에너지 사용량에 대한 고려가 이루어질 필요가 있다.

2.2 공동주택 분류체계 구축의 필요성

에너지 사용량을 고려하여 개선 대상 공동주택을 선정할 때, 단순히 전체 에너지 사용량이 높을수록 우선적인 개선이 필요하다고 보기에는 어려움이 있다. 공동주택 각 단지가 지닌 다양한 특성에 따라 에너지 사용량이 좌우되기 때문이다. 예를 들어, 세대수가 많은 단지는 자연스럽게 에너지 사용량이 높을 것이고, 연면적이 큰 단지도 상대적으로 에너지 사용량이 높을 것으로 예상할 수 있다. 이와 같은 규모적인 특성 이외에도 노후도(준공 연도), 난방방식(개별, 중앙, 지역) 등 다양한 요인에 따른 에너지 사용량의 차이를 살펴볼 필요가 있다.

따라서 전체 에너지 사용량의 단순 비교를 통해 개선 대상을 선정하는 것은 적절하지 않으며, 공동주택 단지의 다양한 특성을 고려한 에너지 사용량 비교 평가가 요구된다.

이러한 관점에서 볼 때, 유사한 특성을 지닌 단지들끼리 군집을 형성함으로써 공동주택 분류체계를 구축할 필요가 있다. 전수를 대상으로 에너지 사용량을 단순 비교하는 경우에는 각각의 단지들이 매우 다른 특성들을 지니고 있기 때문에 의사결정의 정확성 및 타당성이 결여될 수 있다. 반면, 특성이 유사한 공동주택들을 군집화한 뒤 각 군집 내에서의 에너지 사용량을 비교한다면, 단일 단지의 개선여부 결정 및 여러 단지들 간의 개선 우선순위 선정 등에 있어 보다 적합한 의사결정이 가능하게 된다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서는 통계적 기법을 통해 유사 특성을 지닌 공동주택들의 군집을 형성함으로써 공동주택 분류체계를 구축했다.

한편, 본 연구의 최종적 목표는 에너지 사용으로 인한 이산화탄소 배출량을 파악하고, 그에 따른 의사결정 지원 도구를 개발하는 것이다. 이를 위해서는 에너지원들의 사용량을 모두 통합하여 이산화탄소 배출량으로 환산한 수치를 기준으로 분류체계를 구축할 필요도 있다. 그러나 실제적으로 전력, 가스, 지역난방 에너지의 용도에는 차이가 있고, 개선 단계에서도 각각의 에너지원별 사용량 현황을 파악하여, 그에 적합한 개선 방안을 수립해야 한다. 따라서 앞서 언급한 3가지 에너지원 각각에 대해 분류체계

를 구축하고, 향후 필요에 따라 통합하는 방법이 바람직하다.

3. 공동주택 분류체계 개발

3.1 변수 정의

의사결정나무와 같은 데이터 마이닝 과정을 수행하기 위해서는 입력변수 및 목표변수의 정의가 필요하다. 공동주택 특성에 따른 에너지 사용량의 차이를 분석하고자 하므로 공동주택 특성을 입력변수로, 전기, 가스, 지역난방 각각의 에너지 사용량을 목표변수로 설정했다. 건물 특성 중 에너지 사용량에 영향을 미치는 것들을 입력변수로 설정해야 하는데, 일반적으로 건물 에너지 사용량에 영향을 미치는 특성은 크게 다음 6가지로 구분할 수 있다.

- 1) 기후조건 (외기온도, 태양복사, 풍속 등)
- 2) 건물 특성 (규모, 노후도, 구조형태 등)
- 3) 사용자 특성 (거주 시간, 활동정도 등)
- 4) 설비 특성 (냉난방장치, 급탕장치 등)
- 5) 사회·경제적 요인 (교육 정도, 에너지원 가격 등)
- 6) 요구되는 실내 환경의 질

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이, 공동주택 개선 단계에서의 의사결정에 활용할 수 있는 단지 단위의 분류체계를 구축하고자 하므로, 위의 요인들 중 단지 단위로 적용이 가능한 요인만을 입력 변수로 설정할 필요가 있다. 따라서 세대에 따라 상이한 사용자 특성, 설비 특성, 요구되는 실내 환경의 질 등의 항목은 입력변수로 사용하지 않았다. 한편 기후조건인 경우 단지 단위로 적용은 가능하나 연구 범위를 '서울시 내 공동주택 단지'로 한정할 만큼 각 단지별로 동일한 기후조건이 적용되므로 역시 입력변수에서 제외했으며, 사회·경제적 요인 역시 국내의 상황에 따라 동일하게 변화하는 요인이므로 제외했다. 따라서 '건물 특성'에 해당하는 항목들만을 입력변수로 사용하되, 개별 건물의 특성보다는 단지의 특성에 해당하는 항목들을 선별했다. 결과적으로 지역구, 세대타입, 복도유형, 난방방식, 경과연수, 동 수, 최고층수, 관리비 부과 연면적, 세대수, 세대당 면적 등 10가지 항목이 입력변수로 선정되었다. 한편, 목표변수는 전력, 가스, 지역난방 각각의 단위면적당 사용량으로 설정했다. 표 1에 선정된 변수와 각각의 척도 유형을 나타냈다.

표 1. 입력변수 및 목표변수 정의

| 구분 | 변수 | 척도 유형 | 세부 내용 |
|------|-------------|-------|--|
| 입력변수 | 지역구 | 명목척도 | 서울시 내 25개 구 |
| | 세대타입 | 명목척도 | 분양/임대/혼합 |
| | 복도유형 | 명목척도 | 계단식/복도식/혼합 |
| | 난방방식 | 명목척도 | 개별난방/중앙난방/지역난방 |
| | 경과연수 | 비율척도 | 2010년 기준 |
| | 동 수 | 비율척도 | |
| | 최고층수 | 비율척도 | |
| | 관리비 부과 면적 | 비율척도 | 단위 : m ² |
| | 세대수 | 비율척도 | |
| 목표변수 | 면적당 에너지 사용량 | 비율척도 | 전력 : kWh/m ² 가스 : m ³ /m ² 지역난방 : Gcal/m ² |

3.2 데이터베이스 구축

공동주택의 특성에 기반을 둔 분류체계를 구축하기 위해 앞서 입력변수로 선정한 여러 공동주택 단지의 특성 데이터를 수집했으며, 목표변수로 선정한 해당 단지들의 에너지 사용량 데이터 역시 확보하여 데이터베이스를 구축했다.

공동주택 단지 특성의 경우, 국토해양부에서 운영하는 공동주택관리정보시스템³⁾을 활용하여 서울시 내 공동주택 단지들의 다양한 특성 정보를 수집했다. 이 시스템은 2009년 8월 주택법 시행령의 개정에 따라 2009년 10월부터 공동관리비 내역을 공개한 데 이어 2010년 10월부터는 전력, 수도, 가스 등의 사용료까지 공개해 오고 있다. 이와 함께 공동주택 단지의 세대수, 동수, 난방방식, 관리비 부과 면적, 세대타입, 복도유형 등 다양한 특성 정보 역시 제공하고 있는데, 본 연구에서는 이 특성 정보를 이용하여 데이터베이스를 구축했다.

한편 에너지 사용량 데이터의 경우 공동주택관리정보시스템에서 일부 제공하고는 있으나, 누락된 데이터가 많고 데이터의 신뢰성이 부족하다. 따라서 전력, 가스, 지역난방에 대해 각각의 에너지원을 공급·관리하는 업체들을 통해 데이터를 확보했다. 전력 사용량은 한국전력공사, 가스 사용량은 서울지역 도시가스 공급업체 2곳, 지역난방 에너지 사용량은 한국지역난방공사의 담당부서를 통해 각각 1,771개, 375개, 309개 공동주택 단지의 데이터를 확보했다.

공동주택관리정보시스템에서는 서울시 내 대부분 공동주택 단지의 특성 정보가 제공되고 있었으나, 에너지 사용량의 경우 확보한 데이터가 서울시 내 공동주택 단지 중 극히 일부였기 때문에 에너지 사용량 데이터가 확보된 단지 위주로 데이터베이스를

구축했다. 또 그 중에서도 세대 수가 지나치게 적거나 에너지 사용량 데이터가 일부 누락된 경우, 지나치게 낮거나 높은 경우 등 데이터로서의 가치가 떨어지는 것들이 있었다. 따라서 다음과 같은 기준에 의해 분류체계 개발에 활용할 데이터를 선별했다.

- 1) 단지의 세대수가 100세대 미만인 경우는 분석대상에서 제외했다.
- 2) 공동주택 특성 및 에너지 사용량에 대한 정보들 중 일부가 누락된 경우는 분석대상에서 제외했다.
- 3) 단위면적당 에너지 사용량을 기준으로 상·하위 2.5% 이내에 해당하는 자료는 이상값으로 판단하여 제거했다. 즉, 전체 데이터 중 5% 유의수준 내에서 유의한 데이터만을 분석대상으로 했다.

위와 같은 선별 과정을 거쳐 전력 부문 1,664건, 가스 부문 355건, 지역난방 부문 292건의 데이터베이스를 구축했다.

3.3 의사결정나무를 이용한 분류체계 생성

의사결정나무는 분석 대상들을 나뉘어가는 형태로 분류하여 제시해 주며, 분류의 근거가 되는 규칙들도 알려주기 때문에 전문 지식이 없는 사람도 쉽게 이해할 수 있는 데이터마이닝 기법이다. 또한 모형구축 시 분류에 영향을 미치지 않는 변수를 자동으로 제외하며, 선형성이나 정규성과 같은 가정을 필요로 하지 않기 때문에 이상값에 덜 민감하다는 장점이 있다. 반면 연속형 데이터를 처리하는 능력이 신경망 등 다른 통계 기법에 비해 떨어진다. 그러나 본 연구의 경우 목표변수가 연속형 데이터이지만, 의사결정나무가 목표변수의 예측에 직접적으로 사용되는 것이 아니라, 단지 유사 사례들 간의 군집을 형성하는 데 사용된다. 향후 사례기반추론 및 유전자 알고리즘 등의 기법을 통해 세부적인 예측을 수행할 것이므로 이러한 단점이 큰 문제가 되지 않는다.

의사결정나무 분석에는 통계분석 소프트웨어인 SPSS Statistics 18의 트리 기능을 이용했다. 앞서 정의한 대로 입력변수 및 목표변수를 설정하고, 각각의 데이터베이스를 대상으로 트리 기능을 수행했다. 확장 방법으로는 CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection) 알고리즘을 선택했으며, 분리를 계속 진행하는지의 결정 기준은 전력의 경우 데이터 수가 많으므로 상위 노드에는 최소 300개, 하위 노드에는 최소 100개의 데이터가 들어가는 것으로, 데이터 수가 적은 가스와 지역난방의 경우 상위 노드에 최소 100개, 하위 노드에 최소 30개의 데이터가 들어가는 것으로 설정했다.

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

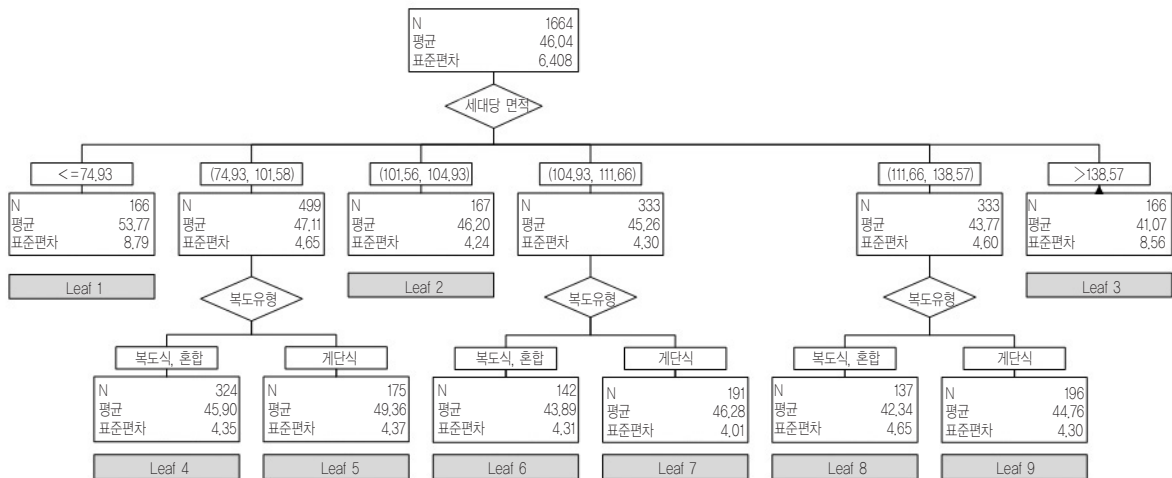


그림 2. 전력 사용량 기반 의사결정나무

3.3.1 전력 부문

그림 2는 앞서 선정된 입력변수와 함께 단지별 단위면적당 전력 사용량(kWh/m²)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 의사결정나무의 말단 노드를 leaf라고 하는데, 각각의 leaf가 본 연구에서 구축하고자 한 분류체계의 각 집단, 즉 유사 특성을 지닌 단지들의 군집 역할을 한다고 볼 수 있다. 전력에 대해 수행한 의사결정나무 모델의 경우 9개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf는 최소 137개, 최대 324개의 데이터로 구성되었다. 의사결정나무 수행을 위해 적용된 10개의 입력변수 중, 세대당 면적과 복도유형 2개의 입력변수가 분류 기준으로 사용되었다. 이들 입력변수는 의사결정나무를 이용한 군집 형성 과정의 핵심요인으로 작용했음을 알 수 있다.

표 2. 전력 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

| Leaf | 분류 기준 | | 개체 수 | 면적당 전력 사용량 (kWh/m ²) | |
|------|--------------------------|---------|------|----------------------------------|------|
| | 세대당 면적 (m ²) | 복도유형 | | 평균 | 표준편차 |
| 1 | $x \leq 74.93$ | - | 166 | 53.77 | 8.79 |
| 2 | $101.58 < x \leq 104.93$ | - | 167 | 46.20 | 4.24 |
| 3 | $x > 138.57$ | - | 166 | 41.07 | 8.56 |
| 4 | $74.93 < x \leq 101.58$ | 복도식, 혼합 | 324 | 45.9 | 4.35 |
| 5 | $74.93 < x \leq 101.58$ | 계단식 | 175 | 49.36 | 4.37 |
| 6 | $104.93 < x \leq 111.66$ | 복도식, 혼합 | 142 | 43.89 | 4.31 |
| 7 | $104.93 < x \leq 111.66$ | 계단식 | 191 | 46.28 | 4.01 |
| 8 | $111.66 < x \leq 138.57$ | 복도식, 혼합 | 137 | 42.34 | 4.65 |
| 9 | $111.66 < x \leq 138.57$ | 계단식 | 196 | 44.76 | 4.30 |

표 2는 전력 사용량 기반 의사결정나무의 각 leaf별 특성을 나타내고 있다. leaf 1의 경우 세대당 면적이 74.93m² 이하인 단지들로 구성된 군집인데, 전력 사용량의 평균은 53.77kWh/m²로

가장 높게 나타났다. 반면 세대당 면적이 138.57m²를 초과하는 단지들의 군집인 leaf 3의 경우 평균 전력 사용량이 41.07kWh/m²로 가장 낮게 나타났다. 이외에도 leaf 4, 6, 8과 leaf 5, 7, 9의 평균 전력 사용량을 보면 세대당 면적과 면적당 전력 사용량 사이에는 대체적으로 음의 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 이는 면적이 큰 세대와 작은 세대간 전력 사용량 차이가 면적에 비례하여 증가하지는 않는다는 것을 의미한다. 즉, 각 세대에서 기본적으로 사용하는 필수 가전제품들은 면적과 관계없이 어느 정도 비슷하며, 면적의 차이에 따라서는 전등이나 일부 전기제품의 영향으로 약간의 차이만이 발생한다는 것이다. 따라서 단지 규모로 비교했을 때 세대당 면적이 작을수록 면적당 세대수는 늘어나는 만큼 면적당 전력 사용량이 높아진다고 볼 수 있다.

한편 복도유형의 경우에는 leaf 4와 5, 6과 7, 8과 9를 비교해 보면 복도식 및 혼합 방식을 사용한 단지들이 속한 군집이 계단식 단지들의 군집에 비해 높은 평균 전력 사용량을 보였다. 즉, 복도식 공동주택은 외기에 접한 면적이 크기 때문에, 계단식 공동주택과 비교하여 많은 양의 냉난방 에너지를 소모할 것이고, 이에 전력 사용량이 높게 나타나고 있는 것으로 사료된다. 보다 다양한 통계 분석의 필요성은 있으나, 일반적으로 계단식에 비해 복도식 및 혼합 방식 단지에서 많은 전력을 사용한다고 볼 수 있다.

3.3.2 가스 부문

그림 3 및 표 3은 단지별 단위면적당 가스 사용량(m³/m²)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여준다. 총 7개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf는 최소 35개, 최대 77개의 데이터로 구성되었다. 분류 기준으로 사용된 입력변수는

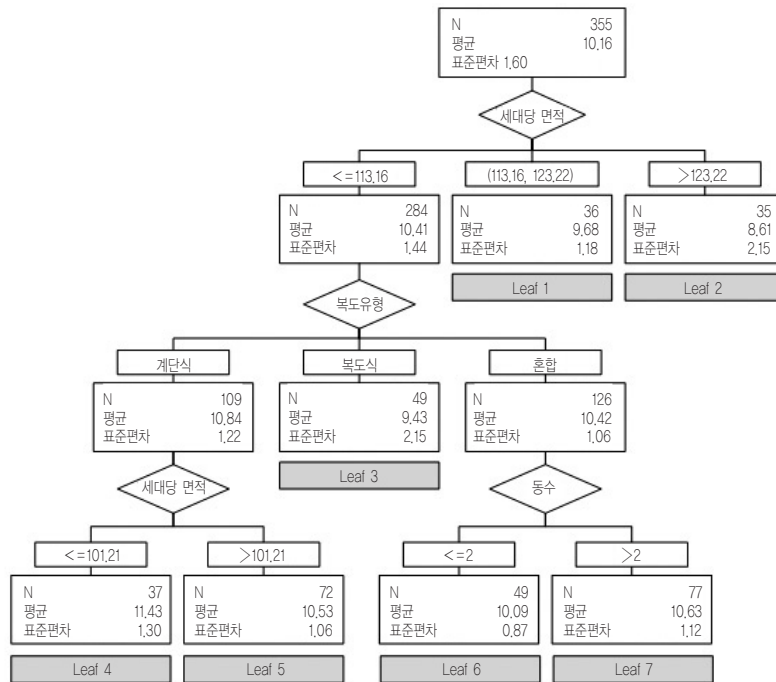


그림 3. 가스 사용량 기반 의사결정나무

세대당 면적과 복도유형, 그리고 동 수의 3가지였다. 세대당 면적 및 복도유형은 전력 부문 의사결정나무에서도 분류 기준으로 사용된 바 있으므로, 면적당 에너지 사용량에 영향을 미치는 주요 요인으로 볼 수 있다. 동 수는 전력 부문에서는 이용되지 않았는데 가스 부문 의사결정나무에서는 새롭게 추가되었다.

분류 기준으로 사용된 변수가 3가지인 만큼 전력 부문만큼 분석이 간단하지는 않지만, 공통적으로 나타나는 특성은 있다. 다른 변수는 동일하고 세대당 면적만이 차이 나는 leaf 1과 2, leaf

4와 5를 비교해 보면 공통적으로 세대당 면적이 작을수록 높은 평균 가스 사용량을 보였다. 또한 leaf 1, 2에 비해 세대당 면적이 작은 leaf 4~7의 평균 가스 사용량 역시 높게 나타났다. 즉, 전력의 경우와 마찬가지로 각 세대에서 기본적으로 사용하는 가스의 양은 세대당 면적과 관계없이 비슷하며, 기타 난방기구 및 취사기구의 종류 등에 따라 사용량이 달라지는 것으로 유추할 수 있다. 가스의 경우 주된 용도가 취사용인 만큼 사용량이 세대 면적에 비례하지 않는 것이 자연스러운 것으로 보인다.

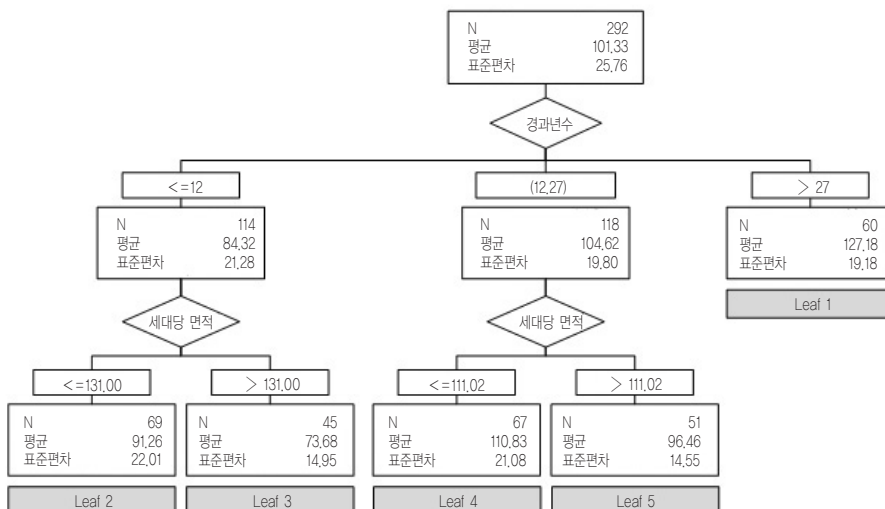


그림 4. 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무

표 3. 가스 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

| Leaf | 분류 기준 | | | 개체 수 | 면적당 가스 사용량 (m ³ /m ²) | |
|------|--------------------------|------|-------|------|--|------|
| | 세대당 면적 (m ²) | 복도유형 | 동 수 | | 평균 | 표준편차 |
| 1 | 113.16 < x ≤ 123.22 | - | - | 36 | 9.68 | 1.18 |
| 2 | x > 123.22 | - | - | 35 | 8.61 | 2.15 |
| 3 | x ≤ 113.16 | 복도식 | - | 49 | 9.43 | 2.15 |
| 4 | x ≤ 101.21 | 계단식 | - | 37 | 11.43 | 1.30 |
| 5 | 101.21 < x ≤ 113.16 | 계단식 | - | 72 | 10.53 | 1.06 |
| 6 | x ≤ 113.16 | 혼합 | 2동 이하 | 49 | 10.09 | 0.87 |
| 7 | x ≤ 113.16 | 혼합 | 2동 초과 | 77 | 10.63 | 1.12 |

한편 복도유형과 동 수의 경우에는 세대당 면적과 관계가 없게 있고 군집간 비교가 가능한 군집이 부족해 단편적인 비교만으로 가스 사용량과의 상관관계를 찾기에는 어려움이 있으며 보다 다양한 통계적 분석을 통해 이들 변수의 영향도를 분석할 필요가 있다.

3.3.3 지역난방 부문

그림 4는 단지별 단위면적당 지역난방 에너지 사용량(Gcal/m²)을 목표변수로 적용하여 의사결정나무 분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 지역난방 부문 의사결정나무의 경우 총 5개의 leaf가 형성되었고, 각 leaf에는 최소 45개, 최대 69개의 데이터가 포함되었다. 10개 입력변수 중 분류 기준으로 사용된 입력변수는 경과년수와 세대당 면적 2가지였다. 세대당 면적은 전력, 가스, 지역난방 부문에서 모두 분류 기준으로 사용되면서 에너지 사용량에 영향을 미치는 핵심적인 요인이 다시 나타났다. 한편 경과년수의 경우 전력, 가스 부문에서는 분류 기준으로 사용되지 않았던 것에 비해 지역난방 부문의 의사결정나무에서는 사용되었고, 복도유형은 이와 반대로 이전 두 부문에서는 분류 기준으로 사용되었으나 지역난방 부문에서는 사용되지 않았다. 따라서, 각 에너지원 별로 사용량에 대한 입력변수들의 영향 관계가 달라짐을 알 수 있으며 이는 각각의 에너지원에 대한 별개의 의사결정나무 형성이 필요함을 반증한다. 표 4에 지역난방 부문 의사결정나무의 leaf별 특성을 나타냈다.

표 4. 지역난방 에너지 사용량 기반 의사결정나무의 leaf별 특성

| Leaf | 분류 기준 | | 개체 수 | 면적당 지역난방 사용량 (Gcal/m ²) | |
|------|---------------|--------------------------|------|-------------------------------------|-------|
| | 경과년수 | 세대당 면적 (m ²) | | 평균 | 표준편차 |
| 1 | 27년 초과 | - | 60 | 127.18 | 19.18 |
| 2 | 12년 이하 | x ≤ 131.00 | 69 | 91.26 | 22.01 |
| 3 | 12년 이하 | x > 131.00 | 45 | 73.68 | 14.95 |
| 4 | 12년 초과 27년 이하 | x ≤ 111.02 | 67 | 110.83 | 21.08 |
| 5 | 12년 초과 27년 이하 | x > 111.02 | 51 | 96.46 | 14.55 |

먼저 세대당 면적을 살펴보면 전력, 가스 부문 의사결정나무와 마찬가지로 세대당 면적이 작을수록 높은 평균 사용량을 보

였다. 경과년수는 동일하고 세대당 면적에서 차이를 보이는 군집들인 leaf 2와 leaf 3, 또 leaf 4와 leaf 5간의 비교를 통해 이 같은 사실을 확인할 수 있다. 따라서 전력, 가스의 경우와 마찬가지로 세대 면적의 지역난방 사용량에 대한 영향도는 그리 크지 않음을 알 수 있으며, 세대당 면적이 클수록 면적당 세대 수는 오히려 줄어드는 만큼 단지 단위의 비교에서 면적당 사용량 역시 줄어들게 됨을 확인할 수 있다.

한편 경과년수의 경우 가스 부문 의사결정나무에서의 복도유형 및 동 수와 마찬가지로 군집간 단편적 비교를 통해 목표변수에 대한 각 입력변수의 영향 관계를 알기에는 어려움이 있다. 그러나 대체적으로는 목표변수인 면적당 지역난방 에너지 사용량과 양의 상관관계를 갖는 양상을 보인다. 경과년수가 오래된 단지들의 군집인 leaf 1의 평균이 나머지 군집들에 비해 월등히 높고, leaf 2, 3과 leaf 4, 5의 평균을 비교해 봐도 경과년수가 오래된 leaf 4, 5의 평균이 높은 것을 확인할 수 있다. 지역난방의 경우 연수가 오래될수록 시설의 노후화로 인해 효율이 떨어지게 되어 상대적으로 많은 양의 에너지를 소비한 것으로 유추할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 노후 공동주택의 개선 과정에 있어 현재로서는 거의 전무한 개선여부 의사결정을 지원하는 도구를 개발하는 첫 단계로 공동주택 특성 및 에너지 사용량에 기반을 둔 공동주택 분류체계를 개발했다.

공동주택 분류체계 개발을 위하여, 통계자료 및 국가 정보포털을 활용하는 한편, 다양한 에너지원의 공급 및 관리업체를 통해 필요한 데이터를 수집하였다. 의사결정나무 기법을 이용하여 유사한 특성을 갖는 데이터의 군집을 형성하였고, 이러한 군집에 기초하여 공동주택 단지의 특성과 전력, 가스, 지역난방 에너지 사용량을 반영한 공동주택 분류체계를 구축했다.

의사결정나무 기법을 활용하여 군집을 형성하고, 각 군집 내에서 유사한 특성을 갖는 데이터를 비교함으로써, 의사결정의 정확성을 향상시킬 수 있고, 동시에 합리적인 결과를 도출할 수 있다. 따라서 단일 단지에 대한 개선여부 결정 및 개선이 우선적으로 요구되는 단지 선정 등 의사결정에 본 분류체계를 활용함으로써, 에너지 사용량을 공동주택 개선단계에서의 판단기준으로 적절히 고려할 수 있다.

향후 본 연구에서 제시한 분류체계를 토대로 각 군집 내 사례 기반추론 및 유전자 알고리즘 등의 적용을 통해 유사사례 도출을 통한 개선여부 의사결정 지원 모델을 개발하는 연구를 진행

할 것이다. 이에 앞서 엘리베이터 대수, 옥상 및 벽면녹화여부 등 공동주택 에너지 사용량에 영향을 미칠 수 있는 추가적인 특성들을 조사하여 입력변수를 다양화하는 한편 상관분석 및 분산분석 등 다양한 통계분석을 실시하여 목표변수인 '에너지 사용량'을 보다 잘 설명해주는 모델로 만들기 위해 입력변수를 최적화할 필요가 있다. 또한 에너지원의 종류에 따라 확보한 데이터 베이스의 개수와 종류가 상이하므로 추가적인 데이터 수집을 통해 공동주택 단지에서 사용하는 에너지로 인한 이산화탄소 배출량을 통합적으로 관리할 수 있는 도구로의 발전이 요구된다.

한편 이러한 공동주택 분류체계와 이를 기반으로 한 의사결정 지원 시스템이 활성화되기 위해서는 공동주택 주민들의 자발적 에너지 절감 의식을 고취시킬 필요가 있다. 따라서 일부 정부기관 및 지방자치단체에서 시행 중인 에너지 절감 관련 인센티브 제도를 지속적으로 개선 및 발전시켜 나가야 한다. 이러한 제도적 뒷받침과 본 연구 및 후속 연구를 통한 의사결정 지원 도구들이 조화를 이루었을 때, 공동주택 개선을 통한 에너지 절감 및 이산화탄소 감축 효과는 극대화될 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

국토해양부 (2008). 아파트주거환경통계, pp.32.
 국토해양부 공동주택관리정보시스템. <http://www.k-apt.net>
 김신근, 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.", 대한건축학회 논문집 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.
 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>

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 배출로 인한 기후변화가 심각한 문제로 대두되면서, 국내·외에서 건물 에너지 절감을 위한 노력이 전개되고 있다. 특히, 국내 주거용 건축물 사용단계의 에너지 사용에 따른 온실가스 배출량은 전 생애주기에서 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 노후 공동주택의 수가 급격히 증가하고 있는 상황에서 기존 공동주택의 개선을 통한 에너지 절감의 중요성은 더욱 높아지고 있다. 그러나, 기존 공동주택의 개선에 대한 의사결정 과정에서, 에너지 절감에 대한 부분은 주요 고려사항으로 반영되지 못하고 있으며, 이를 반영하기 위해 필요한 의사결정 지원도구 역시 미비한 실정이다. 본 논문은 공동주택 개선여부 의사결정 단계에서 활용할 수 있는 의사결정 지원 시스템을 개발하는 첫 단계로서, 유사 특성을 지닌 공동주택 단기간의 군집을 형성하는 분류체계를 구축하고자 했다. 이를 위해 데이터마이닝 기법 중 하나인 의사결정나무를 활용하여 공동주택 단지 특성 및 전력, 가스, 지역난방 에너지 사용량 기반의 군집을 형성했다. 향후 본 연구의 결과를 더욱 발전시켜 공동주택 개선단계에서의 의사결정 시 에너지 사용량을 고려사항으로 반영함으로써, 노후 공동주택 개선을 통한 에너지 절감 및 이산화탄소 배출량 감축 효과를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 공동주택, 분류체계, 의사결정나무, 에너지사용량