

# 도시계획단계의 에너지 수요예측 방안에 관한 연구

여인애\*, 윤성환\*\*

\*부산대학교 건축공학과(iayeo@pusan.ac.kr), \*\*부산대학교 건축학과(yoon@pusan.ac.kr)

## A Study on Urban Energy Consumption Estimation on the Urban Planning Stage

Yeo, In-Ae\*, Yoon, Seong-Hwan\*\*

\*Dept. of Architecture Eng, Pusan National University(iayeo@pusan.ac.kr),

\*\*School of Architecture, Pusan National University(yoon@pusan.ac.kr)

### Abstract

This study suggested an improved algorithm of urban energy consumption estimation on the urban planning stage which concerns calculation accuracy. The results are as follows.

- (1) Urban energy consumption was estimated and managed per unit space using E-GIS DB which contains facility information per mesh.
- (2) Urban energy consumption was reflected by the urban facility classified and standardized by the characteristics of energy use.
- (3) Calculation accuracy of energy consumption was approached by separately suggested as summer algorithm reflecting urban heat island on summer energy use and winter algorithm reflecting heating system normally used in Korea.

Keywords : 도시계획(Urban Planning), 에너지(Energy), 수요예측(Consumption Estimation), E-GIS DB(Environment-Geographic System)

### 1. 서론

친환경 도시는 2000년대 후반에 이르러 '탄소제로 도시(Zero Carbon City)', '저탄소 녹색도시' 등 탄소저감이라는 이슈를 반영하는 패러다임으로 발전하게 되었다. 현재 대한민국의 산업, 건물, 교통부문 온실가스 배출량

이 전체 온실가스 배출량의 각각 52%, 25.6%, 16.7%로 그 총합이 약 95%에 달하며<sup>1)</sup> 대한민국과 비슷한 성장·과밀형 도시개발 여건인 선진국 일부와 대부분의 아시아 및 개발도상국들은 이와 유사한 탄소배출구

1) 녹색도시·건축물 활성화 방안, 국토해양부, 교육과학기술부, 행정안전부, 지식경제부, 환경부, 산림청, 2009.11.

조를 가지고 있다. 국토·교통 부문은 도시지역에 집중되어 있고 인구의 대부분이 도시지역에 거주하는 현실에서 도시부문의 저탄소화는 절실한 문제이다.

도시계획단계에서 정밀한 에너지수요예측을 통해 안전율을 고려하면서도 실사용량에 가까운 에너지사용량을 도출하는 것은 에너지효율향상과 에너지절약형 공급계획의 성공여부를 가름하는 첫걸음이라 해도 과언이 아니다. 도시계획단계의 에너지수요예측은 토지이용계획정보가 제공하는 도시시설물 계획규모와 에너지부문별 부하원단위로부터 산정된다. 따라서 에너지수요예측의 정밀성은 수요예측에 활용되는 계획정보의 현실 반영도, 도시시설물별·에너지부문별 부하원단위의 구비여부와 정밀도, 수요예측 방법론의 타당성에 달려있다고 할 수 있다.

## 2. 도시에너지 수요예측 개요

### 2.1 도시에너지 수요예측 현황

현재 국내 도시에너지계획은 “에너지이용합리화법”에 따라 계획단계에서 일정규모 이상의 단지개발 시 에너지수요예측, 공급시설계획을 수립하고 에너지이용효율향상 계획을 통해 에너지절감효과를 검토하는 “에너지사용계획서”를 제출하도록 하고 있다. “에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정<sup>2)</sup>”에 따르면 에너지사용계획은 지구 및 단지계획사업과 같은 국토계획, 시설물 관점에서의 에너지개발계획, 사회간접자본시설과 같은 특수시설 계획으로 구분된다. 도시계획시 에너지수요는 사업지구 토지이용에 따라 열에너지와 전력에너지로 구분하여 예측한다. 토지이용은 에너지사용 특성에 따라 주택용지와 상업 및 업무시설, 공공용지로 구분되는데 열 및 전기에너지가 담당하는 부하부문별 수요예측 항목은 표 1과 같다.

2) 에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정, 지식경제부 고시 제2009-29호, 2009.02.

표 1. 에너지수요예측부문

항목	열				전기	
	난방	급탕	냉방	취사	전등/전열	동력/냉방
주택용지	○	○	-	○	○/○	○/○
상업/업무시설	○	○	○	○	○/○	○/○
공공시설용지 (도로, 주차장, 교통신호등, 공원)	-	-	-	-	○/-	-

### 2.2 도시의 열수요예측

도시의 열수요 산정을 위한 기존예측법은 “도일법(Degree Day)”, “전부하 상당 운전시간법”, “표준 BIN법”, “개량 BIN법” 등이 있으며 최근에는 가장 개선된 형태인 개량 BIN법이 활용되고 있다. 이는 공조부하가 대체로 실내외의 온도차에 비례한다는 가정 아래 1년의 8,760시간을 유한요소치로 구분하여 설계 실내외 온도차와 실제 실내외 온도차를 대비시켜 전산처리함으로써 열수요를 산출하는 방법이다. 그림 3.1에 기존도시 열수요 예측법을 도식화하였다.

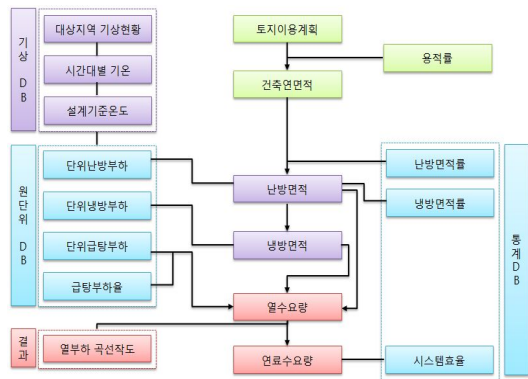


그림 1. 도시 열수요 기존예측법

### 2.3 도시의 전기수요예측

도시의 전기수요 산정에 있어 전력부하설비용량을 산정하는 방법은 표준부하에 의한 용량산정법과 과거의 실적이나 유사건물의 데이터 혹은 실제부하에 의한 용량산정방법이 있다. 단위면적당 표준부하에 의해 부하

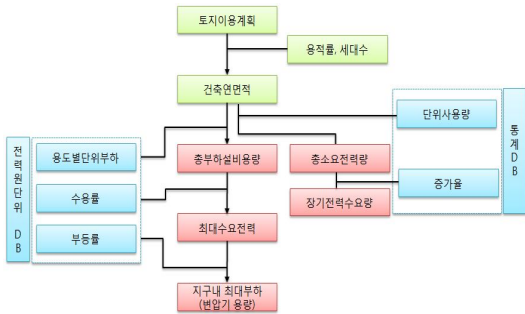


그림 2. 도시 전기수요 기존예측법

를 산정하는 표준부하 산정법은 과거의 통계학적 개념과 현실성, 부하증가 추세 개념을 복합시켜 소요되는 단위면적당 전기부하를 제시한다. 보통 아파트, 상가용도 건물의 부하는 표준부하 산정법을 따르고 동력부하에 대해서는 유사지역의 실태를 회귀분석에 의해 처리한 방식인 표준부하 산정법을 따른다. 그림 3에 이러한 개념을 도식화하였다.

### 3. E-GIS를 활용한 도시에너지 수요예측 방안 제시

기존 에너지수요예측방법에서 열수요 및 전기수요 산정의 정확도를 결정하는 것은 시설물 계획정보 DB, 에너지원단위 DB, 계획통계 DB, 부하부문별 에너지산정방법의 적합성이라 할 수 있다. 시설물 계획정보 DB의 중요성은 토지이용계획 시 얻을 수 있는 용적률 정보와 이를 DB로 가공하는 방법론상의 신뢰도를 의미한다. 에너지원단위 DB는 열수요부문의 단위냉난방부하, 급탕부하, 전력수요부문의 용도별 단위부하, 수용률, 부동률과 같은 에너지원단위이며, 계획통계 DB는 열수요 부문의 시설물별 냉난방 면적률, 에너지시스템의 효율, 전기수요 증가율과 같은 통계 DB이다. 부하부문별 에너지산정방법의 적합성은 에너지부하에 대해 도시레벨의 열환경을 고려한 에너지수요예측 방법의 타당성과 부하부문별 수요예측방법 적용의 타당성을 의미한다. 본 연구에서는 이상의 관점에서 보다 정확도 높은 도시에너지 수요

예측방안을 제시하는 것을 목표로 하였다.

수요예측을 위해 여름철 도시기후현상에 따른 에너지사용량의 검토가 가능한 도시기후시물레이션시스템 연계 냉방기 수요예측 알고리즘을 제시하였다. 한편 겨울철 주거의 복사난방이 일반적인 국내 도시의 에너지사용량 검토는 열회로방법에 의한 건물에너지시물레이션을 연계한 난방기 및 중간기 수요예측 알고리즘을 통해 일련의 도시에너지 수요예측 프로세스로 제시되었다. E-GIS DB 구축 시 취득한 시설물 계획정보 DB를 바탕으로 에너지원단위 DB, 도시의 에너지사용 시설 통계 DB와, 도시에너지 수요예측 알고리즘을 도시에너지 수요예측 시스템화하여 연간 8760시간의 열·전기 에너지사용량을 예측하였다.

#### 3.1 도시에너지 수요예측 입력조건 설정

본 연구에서는 에너지시물레이션을 실시하여 시각별 도시에너지사용량 및 열·전기 에너지사용량을 도출하였다. 에너지시물레이션에 필요한 입력조건은 ①기상조건, ②건물조건, ③건물 운영스케줄 및 운영특성, ④건물 사용기기 특성 등으로 입력변수의 범위를 설정하였다.

본 연구에서 활용한 기상데이터는 한국태양에너지학회에서 구축한 표준기상데이터이다. 도시에너지 수요예측 시물레이션을 위한 건물용도의 구분은 앞 절에서 선행된 국내외 에너지원단위 사례조사에 따른 건물용도와 원단위 시물레이션을 활용한 에너지사용량 특성에 관한 기존 연구<sup>3)</sup>에 근거하여 주거, 업무시설군, 상업 및 기타군의 3용도로 분류하였다. 용도별 표준모델 평면은 주거는 국민주택<sup>4)</sup> 규모의 표준주택모델, 비주거는 오

3) 김상욱, 사무소건물의 건축, 설비적 요소에 따른 에너지원단위 변화 분석, 부산대학교 석사학위 논문, 2011.

4) “국민주택”이란 국민주택기금으로부터 자금을 지원받아 건설되거나 개량되는 주택으로서 주거의 용도로만 쓰이는 면적(이하 “주거전용면적”)이 1호 또는 1세대당 85제곱미터 이하인 주택을 말한다. 이 경우 주거전용면적의 산정방법은 국토해양부령으로 정한다, 주택법 제23조(정의), 법률 제9602호, 2009.

피스 표준모델을 적용하였다. 건물용도별 운영스케줄, 냉난방기준 온습도, 건물용도별 재실스케줄, 조명, 기기밀도는 설비공학편람<sup>5)</sup>을 참고하였다.

### 3.2 도시에너지 수요예측 알고리즘 제시

#### (1) 도시기후시물레이션시스템의 소개

본 연구를 위해 사용된 기후모델은 도시기후시물레이션 프로그램은 도시 GIS와 함께 시스템화한 도시기후시물레이션시스템(Urban Climate Simulation System, UCSS)으로, 일본 환경성 및 국토교통성 관련위원회에서 열섬 억제 대책을 위해 활용되고 있다<sup>6)</sup>. UCSS는 친환경 저에너지도시 구축을 위하여 도시기후를 시물레이션하는 동시에 건물의 단열상태, 구조, 공조시스템 등의 건축적 요소들을 입력 조건으로 반영하는 기후모델이다. UCSS는 하절기 도시기후를 보다 정확히 예측할 수 있는 모델이므로 냉방기 에너지수요예측은 UCSS의 계산수법을 채택하였다.

#### (2) 열회로방법에 의한 건물에너지시물레이션(AE-SimHeat)

SimHeat는 건물을 열회로망이라는 개념으로 모델화하여, 온도절점에 대한 온도, 열부하, 열회로의 열류 등을 계산한다. 열회로는 온도절점들을 맺는 열흐름의 경로가 되며, 온도절점에서의 온도차와 열회로의 열저항에 대해 열류량이 결정된다. 벽 등의 표면열전도를 방사성분과 대류성분으로 분리하여 바닥복사에 따른 열흐름이 큰 모델을 정밀하게 해석할 수 있다는 장점이 있어 우리나라와 같이 바닥복사 난방을 채택하는 주택모델의 에너지사용량 예측에 적합한 모델이다. 따라서 난방기 에너지수요예측은 본 모델의 계산수법을 채택하였다.

(3) 도시에너지 수요예측 알고리즘 제시  
본 연구에서는 그림 3과 같이 도시에너지 수요예측 알고리즘을 제시하였다. 본 알고리즘은 UCSS를 활용한 냉방기 알고리즘과

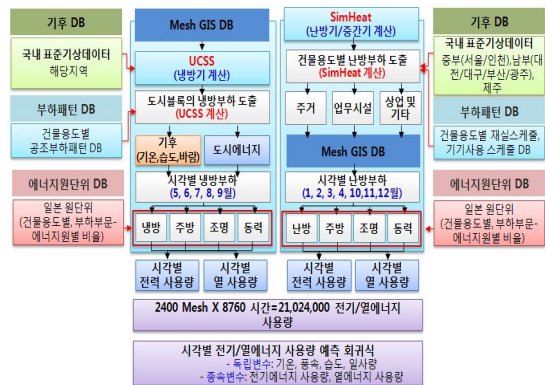


그림 3. 도시에너지 수요예측 알고리즘

SimHeat를 활용한 난방기 알고리즘으로 구성된다. 도시의 E-GIS mesh DB, 기후 DB, 에너지원단위 DB가 각 알고리즘의 공통입력 항목이 되어 UCSS 및 SimHeat 알고리즘 내 건물용도별 부하패턴 DB와 연동된다. 각 알고리즘에 따른 계산결과, 시각별 공조부하가 도출되고, 이를 에너지원단위 DB와 연계하여 연간 8760 시간에 대한 mesh별 열, 전기 사용량을 도출하는 원리이다. 냉방기 계산은 UCSS를 통해 시각별 냉방부하를 도출하고 SimHeat계산을 통해 시각별 난방부하를 도출할 수 있다. 중간기는 난방기와 같은 방식으로 SimHeat 계산결과를 활용하였다. 도시 시설물의 운영특성에 따라 건물군 용도를 주거, 업무시설군, 상업 및 기타로 분류하여 UCSS 및 SimHeat 계산을 실시하고 각 시설물 용도별 E-GIS DB 건물정보와 냉난방부하 패턴을 연계하여 도시블록의 에너지사용량으로 도출하였다. 공조부문 이외에도 주방, 조명, 동력의 상시부하를 산정하고 도시원단위 정보가 제공하는 각 부하부문별 에너지원의 비율을 통해 도시의 시각별 열·전기사용량으로 도출한다.

5) 대한설비공학회 설비공학편람 제2권 공기조화 설비.

6) 尹聖皖, 足永靖信, 「地方沿岸都市における緑化による夏季熱環境緩和と効果に関する数値シミュレーション-逗子市におけるケーススタディー-」, 日本建築學會環境系論文集, 577, p.41-46, 2004.

3.3 도시에너지 수요예측 알고리즘의 성능검증  
본 연구에서는 서울 및 광명시흥 일대의 E-GIS DB를 바탕으로 기존의 도시에너지 수요예측법으로 활용되고 있는 수정 BIN법과 본 연구에서 제시한 도시에너지 수요예측 알고리즘을 각각 적용하여 mesh 단위 에너지 사용량을 도출하고 알고리즘의 타당성을 검토하였다. 여름철 최서일인 8월 4일 기준 2400개 mesh 단위 시각별 최대 냉방부하를 검토한 결과 기존 예측법에 의한 부하값이 mesh 최대 5.69Gcal/h, 평균 0.36Gcal/h, 도시에너지 수요예측 알고리즘에 의한 부하값이 최대 3.93Gcal/h, 평균 0.37Gcal/h으로 본 연구에서 제시한 알고리즘은 부하의 과다 예측치를 보정할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 알고리즘의 성능검증을 위해 평균제곱오차(Mean Square Error, MSE)를 이용하여 에너지사용량 예측결과를 평가하였다. MSE 10%, 15%, 20%이하의 성능을 만족하는 mesh는 에너지사용량 검토지역 전체의 68%, 84%, 96%로 나타났다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 제시하는 수요예측 알고리즘의 적용은 도시레벨의 에너지사용량 산정 시 기존의 수요예측법을 만족하는 가운데 일부 부하과다산정 지역의 에너지수요예측치를 보정할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 도시계획단계에서 에너지수요예측에 관여하는 에너지산정방법의 정밀도 향상의 관점에서 개선된 도시에너지 수요예측 알고리즘을 제시하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) mesh 단위 시설물 정보를 제시하는 E-GIS DB를 활용하여 단위공간별 도시에너지 수요예측 및 제어가 가능하게 하였다.
- (2) 에너지 사용특성에 따라 도시 시설물을 분류하고 표준모델화를 실시하여 이상의

요소가 반영된 에너지수요예측을 가능하게 하였다.

- (3) 도시기후현상의 여름철 에너지수요 반영, 국내 실정에 맞는 난방방식의 특징을 고려한 겨울철 에너지수요예측 알고리즘을 분리 제시하여 수요예측의 정밀도를 향상시켰다.

#### 후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 07첨단도시A01)

#### 참 고 문 헌

1. 국토해양부, 저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침, 2009.
2. 한국토지주택공사, 광명시흥 보금자리 주택지구 조성사업, 에너지사용계획서, 2010.
3. 김영탁, 공동주택의 에너지소비량을 예측하기 위한 대표일 난방부하모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 21(11), 2005
4. 김상진, 서승직, 「Mellor-Yamada 모델을 이용한 도시기후의 수치해석」, 대한건축학회논문집(계획계), 18(10), 2002, pp.251-258.
5. 足永靖信, ヴタンカ, 空間平均處理を施した3次元都市キャノピーモデルの開発-都市建築計劃における都市氣候豫測システム開發その2, 日本建築學會計劃系論文集, 586, 2004.