
시간변수를 가진 건물에너지 절약 설계요소의 디자인 결정을 위한 확률분포 결정모델

Random Distribution based Decision Model of Design Factor having Time Variable in Building Energy Conservation Design

우세진

울산과학기술대학교 공간디자인학부 건축전공

Se-Jin Woo(sjwoo@mail.uc.ac.kr)

요약

최근 변화되고 있는 건축설계 기술들 가운데 설계자들의 경험에 의존하고 있는 설계요소들의 설계 값 결정과정들을 논리적으로 접근할 수 있는 방안을 개발하려는 연구들이 있다. 이러한 연구들 중의 한 부분인 본 연구는 건물에너지 절약설계와 관련된 설계요소들 중에서 시간적 변화에 따라 설계 값들이 변화하는 특성을 가진 설계요소들을 대상으로 논리적으로 설계 값을 결정할 수 있는 모델 개발을 목적으로 진행하였다. 그 결과, 현실세계를 확률분포로 해석하여 문제를 해결하는 시뮬레이션 기법을 토대로 논리적으로 설계 값을 결정할 수 있는 결정 모델의 구조를 본 연구를 통해서 설정하였다. 이러한 결정 모델의 적용 가능성과 검증을 위해서 시간변수를 가진 설계요소들의 대표라 할 수 있는 실외 기후요소들을 대상으로 사례분석을 실시하였다.

■ 중심어 : | 설계요소 | 건물에너지 절약설계 | 확률분포 | 디자인 결정모델 |

Abstract

In the architectural design technologies being changed recently, there is the study to develop the way that will enable the designers to get access logically to the processes of deciding the values of design factors which depend on the experience of the designers. This study, which is one part of those studies, has been carried out to develop the model that can decide the values logically for the design factors having the character that the design values are changed by the time variation out of design factors involved in the building energy saving design. As a result, the structure of the decision model which can decide the design values logically from the computer simulation that solve the problem by interpreting the real world as the probability distribution, has been established through this study. For the application and verification of these decision model, the case study has been carried out for the outdoor climate factors that stand for the design factors having the time variation.

■ keyword : | Design Factor | Building Energy Conservation Design | Random Distribution | Design Decision Model |

I. 서론

1. 연구의 목적

에너지 소비의 큰 부분을 차지하고 있는 건축분야는 타 산업부문에 비해 내구연한이 길고 일단 건축되면 교체 및 변경하기가 어렵다. 완공 후에도 해당 건물의 에너지 절약방안은 주어진 시설의 효율적 사용 및 관리에 국한되는 특징이 있다. 이러한 특징들로 인해서 건축분야의 에너지절약 정도는 건축기본계획부터 결정되거나 그 특성들이 설정되는 건물에너지 절약설계와 관련된 설계요소들의 설계 값들에 의해서 좌우된다고 할 수 있다. 설계요소들의 설계 값 결정과정을 보면, 건축설계과정에 따라 관련성이 있는 설계요소들의 상호 작용에 의해서 객관적이고 체계적으로 결정되기 보다는 주관적이고 추상적으로 결정되는 경우가 많음을 알 수 있다. 이와 같은 과정들로 인하여 건축작업은 도제식 기술전수방식을 선호하고 이론보다는 경험을 중시하게 되어, 철학과 공학이 결합된 종합적인 성격의 산업이 되었다.

그러나 최근 정보통신기술의 발달과 CAD(Computer Aided Design) 개념이 건축산업과 결합되면서 새로운 변화와 요구가 건축설계과정에서 나타나고 있다. 변화들을 실현하기 위한 개념들 중에서 건축물이 기획되고 신축되기까지 발생하는 모든 지식과 데이터 등을 시간과 장소의 한계성을 넘어 상호 공유할 수 있는 기술개발이 중요한 토대 기술이라 할 수 있다. 이러한 기술개발을 위해서는 건축산업의 특성을 좌우하고 있는 직관과 경험에 의존하고 있는 설계요소들의 설계 값 결정과정을 객관화시키고 체계화시키는 것이 선행되어야 할 것이다. 특히, 공학적 특성을 좌우하는 설계요소들의 설계 값을 체계적으로 결정하는 방안을 마련하는 것은 우선적으로 실시되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 경험에 의존하고 있는 설계요소들의 설계 값 결정과정을 논리적으로 체계화시키기 위한 하나의 모델을 제시하고자 건물에너지 절약설계와 관련된 설계요소들을 대상으로 진행하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

건물에너지 절약설계와 관련된 설계요소들은 특성에

따라 다양하게 분류 될 수 있다. 이러한 특성들 중에서 시간적 변화에 따라 설계 값들이 변화하는 특성을 가진 설계요소들을 대상으로 설계 값을 논리적으로 결정할 수 있는 결정 모델을 본 연구를 통해서 설정하고자 한다. 이를 위해서, 다음과 같은 방법으로 진행한다.

첫째, 참고문헌, 선행 연구의 결과 등을 수집 분석하여, 건축설계과정과 건물에너지 절약설계와의 관계성을 파악하고 건물에너지 절약설계에 관련된 설계요소들에 대한 자료를 정리한다.

둘째, 앞 단계에서 정리된 결과를 토대로 시간적 변화를 가진 설계요소들을 설정하고 그 특성들을 정리한다. 또한 시간적 변화를 예측할 수 있는 기존의 방안들을 조사 분석한다.

셋째, 앞 단계들에 의해서 조사 분석된 결과들을 토대로 시간변수를 가진 설계요소들의 설계 값을 결정하기 위한 결정 모델의 구조를 설정한다.

넷째, 설정된 결정 모델을 검증하기 위해서, 시간변수를 가진 설계요소를 대상으로 Case Study를 실시한다.

본 연구과정에서 필요한 자료 분석은 통계분석 프로그램인 Spss/win[1][2]을 사용하여 실시한다.

II. 정량적 설계요소와 확률변수

1. 연구의 위치와 선행연구

정보통신기술과 CAD 개념들을 기반으로 하는 BIM (Building Information Modelling) 기술, 웹기반 협업시스템, U-Eco City 구현 등과 같은 기술들이 개발되고 건축산업에서 실현되면서 건축산업의 각 분야는 큰 변화를 맞고 있다. 그러나 건축산업의 토대가 되는 건축설계분야는 설계자들의 미적 감각과 경험을 중요시하는 특성으로 인하여 그 변화의 진행이 타 분야보다 열악한 상황에 놓여 있다고 할 수 있다. 이러한 상황을 극복하기 위해서는 정보통신기술과 CAD 개념을 도입하는 데 장애요인인 직관적 경험에 의해서 결정되는 설계요소들에 대한 설계 값 결정과정을 객관적으로 체계화시키는 것이 중요하다고 할 수 있다.

이와 관련된 건축설계분야에서의 선행연구들은 건축

설계과정에서 정보통신 및 CAD 기술들을 적용하기 위한 기술개발[3-5]과 설계요소들의 설계 값 결정과정을 체계화시키는 연구[6][7]로 나눌 수가 있다. 특히 본 연구와 관련된 후자의 연구 내용을 보면 인간의 사고작용을 AI(Artificial Intelligence) 기법인 Fuzzy System과 AHP(Analytic Hierarchy Process) 등을 이용하여 객관화시키고 설계 값 결정과정에 대한 적용 가능성을 연구하는 초보적 수준에 놓여 있다고 사료된다.

이러한 견지에서 보면, 시간변화와 관련된 설계요소들을 대상으로 확률분포 이론을 토대로 설계 값 결정과정을 체계화시키는 본 연구는 건축산업의 변화와 같이 할 뿐만 아니라 관련 분야의 연구 범위 및 방향 설정에 기초적 자료를 제공할 수 있다고 보아진다.

2. 건축설계과정과 에너지절약 설계

실무자들과의 인터뷰 등의 조사결과들을 토대로 건축설계과정을 설정한 선행연구의 결과[8-10]를 보면, 건축설계과정을 조사 및 분석단계, 기획단계, 기본계획단계, 기본설계단계, 실시설계단계 순으로 설정하였다. 다섯 단계들 중 설계의 방향과 방침을 토대로 종합적인 설계의 틀을 설정하는 기본계획단계는 설계의 질과 결과를 좌우하는 핵심적인 과정이라 할 수 있다. 특히, 본 연구의 대상인 건물에너지 절약설계과정에서 건축물의 에너지 성능에 영향을 주는 설계요소들의 방향과 설계 값들이 기본계획단계에서 결정된다고 할 수 있다. 즉, 건물에너지 절약설계의 설계요소들은 건축적인 요소뿐만 아니라 건축설비 등과 같은 건축관련분야의 요소들로 구성되어 있고, 이들의 에너지 성능 향상을 위한 기본적인 틀들이 건축설계자들과 건축관련분야 기술자들과의 협의를 토대로 기본계획단계에서 설정된다고 할 수 있다.

이와 같은 건물에너지 절약설계에 관련된 설계요소들은 일반적인 건축설계의 설계요소들과 달리 건물에너지 관련법규의 내용에 따라 설계 값이 결정되어 진다고 할 수 있을 정도로 관련 법규의 영향력이 크다고 할 수 있다. 건축설계과정을 살펴보면, 건물에너지 절약설계와 관련된 설계요소들의 값을 결정함에 있어 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조(건축물의 열손실방지),

제22조(에너지절약계획서의 제출)”와 같은 관련법규의 내용을 기본으로 하고 있다. 그러나 이와 같은 부위별 사양기준을 적용하는 건물에너지 절약설계기준들이 보다 합리적인 설계기준으로 전환하기 위해서, 선진 외국과 같이 건축물 전체에 대한 종합적인 성능중심의 설계기준으로 변화되고 있다. 그 예로서 최근 실행 중에 있는 친환경 건축물 인증기준, 주택성능등급, 건물에너지 효율등급 인증제 등을 들 수 있다.

3. 정량적 설계요소의 유형과 특성 분석

앞 절에서 언급한 건물에너지 성능에 관련된 설계요소들 중에서 본 연구의 범위와 유사한 특성을 가진 정량적 설계요소들을 구체적으로 파악하기 위해서, 참고 문헌 조사와 실무자들과의 인터뷰를 분석한 결과를 기반으로 건물에너지 절약설계기준에 대한 관련법규의 내용을 분석한 결과 [표 1]과 같이 분석되었다.

표 1. 정량적 설계요소

설계정보의 유형		주요 설계요소	설계값 특성 (시간변화)
대분류	소분류		
건축 환경적 정보	· 기상/기후조건 · 지형/지질조건 · 대지조건	· 실내 온습도조건 · 실외 기후조건 · 일사취득률/차양계수 · 건물의 향	· 영향유 · 영향무 · 영향유 · 영향무
건축적 정보	· 공간조건 · 외피구조조건 · 에너지절약 관련 장치 설치조건	· 건물의 층고 · (표면적/바닥면적)비 · 창면적비 · 부위별 열관류율 · (건축면적/면적)비 · 방위별 창면적비 · 야간단열장치 설치비율	· 영향무 · 영향무 · 영향무 · 영향무 · 영향무 · 영향무
건축 설비적 정보	· 에너지절약을 위한 기계/전기설비부문 장치채택여부 · 에너지절약을 위한 제어장치채택여부 · 신재생에너지 적용 여부	· 각종 기기의 효율 · 폐열회수설비 등과 같은 에너지절약시스템 도입 · 각종 기기에 에너지절약 을 위한 제어설비 도입 · 신재생 에너지 등과 같은 에너지 절약시스템 도입	· 영향무 · 영향무 · 영향무 · 영향무

[표 1]을 보면, 정량적 설계요소들의 내용을 토대로 건축환경적 정보, 건축적 정보, 건축설비적 정보와 같이 3개로 대분류하였고, 각 대분류를 다시 소분류하였다. 그러나 분류된 정량적 설계요소들의 설계 값들을 토대로 값의 특성을 분석해보면 [표 1]과 같이 설계 값들이 시간적 변화에 영향을 받는 것과 받지 않는 것으로 분류할 수 있다. 실내의 온습도조건 등과 같은 설계요소들의 설계 값들은 시간변화에 민감하지만 창면적비, 부위

별 열관류율 등과 같은 설계요소들은 시간이 지날수록 느리게 노후되는 경향은 있으나, 시간변화에 따라 설계 값이 설정되지는 않는다. 따라서 건물에너지 절약설계 과정에서 영향을 미치는 정량적 설계요소의 설계 값들은 시간적 변화 영향에 따라 두 종류로 분류될 수 있는 것으로 나타났다.

4. 확률변수와 시간변수와의 상호특성 분석

대기이론 문제의 도착시간 간격과 서비스 시간, 재고 관리문제에서 판매시기, 판매량, 주문량의 도착지연 등 현실에서 발생하는 대부분의 현상들은 확률적이라 할 수 있어 확률변수로 표시할 수 있다. 그러나 발생 현상에 적합한 확률변수를 정확하게 알 수 없으나, 어떤 분포를 갖는다는 것은 과거의 자료를 토대로 알 수 있다. 과거의 자료를 토대로 분석된 확률변수의 분포가 현실 세계에서 발생하는 현상과 일치하는지 여부의 타당성이 검증되면, 설정된 분포를 갖는 확률변수를 발생시켜 현실세계에서 발생하는 현상과 유사한 값을 예측할 수가 있다. 이러한 과정에서 많은 시간과 노력이 소요되는 중요 부분은 예측하고자하는 현상을 가장 적절하게 묘사하는 확률분포를 설정하는 것이다.

이와 같은 견지에서 보면, 앞 절에서 분석된 시간적 변화에 따라 설계 값들이 영향을 받는 정량적 설계요소들은 현실세계에서 일어나는 현상들로 확률적 현상으로 파악될 수 있다. 즉, 정량적 설계요소들의 설계 값에 영향을 주는 시간적 변화를 확률변수로 설정하고 확률변수에 적합한 확률분포를 설정하여 그 설계 값을 예측할 수 있다고 보아진다.

III. 디자인 결정모델의 구조 설정

1. 기본구조 분석

일반적으로 시뮬레이션은 현실 세계에서 발생하고 있는 혹은 앞으로 일어날 수 있는 일을 미리 흉내를 내어 봄으로써 문제를 더 잘 이해하고 장애에 일어날 일을 미리 예측하기 위해 사용하는 방법이다. 즉, 적용대상인 현실 세계의 문제들을 확률분포로 파악하고, 불확실한

시간 및 양 등을 확률변수로 표시하여 현재는 물론 미래의 값을 예측하는 것이다. 이러한 확률분포를 설정하고 난수를 토대로 확률변수에 의한 값을 예측하는 시뮬레이션의 일반적인 과정을 정리 분석해 보면 다음과 같다.

첫째, 예측하고자 하는 현상을 관찰하여 기준데이터로 사용할 수 있는 자료를 얻는다.

둘째, 자료를 가장 잘 묘사하는 확률분포를 설정한다.

셋째, 확률분포의 모수를 추정한다.

넷째, 설정한 확률분포가 관찰자료와 부합되는 지를 알기하기 위해 적합도 검정을 시행한다.

다섯째, 적합도가 타당하면, 설정된 확률분포(이론분포인 정규분포, 균일분포, 포아송분포, 지수분포 등)를 토대로 난수를 사용하여 확률변수 값을 예측한다. 그러나 적합도가 기각되면 다른 분포를 선택하여 다시 되풀이하나 만약 설정되지 못한다면 경험분포를 사용하여 확률변수 값을 예측한다.

이와 같은 과정은 앞장에서 정리된 시간적 변화에 영향을 받는 정량적 설계요소들의 설계 값을 결정하는 결정모델 개발에 토대로 이용할 수 있다고 보아진다.

2. 결정구조 설정

앞 절에서 분석된 기본구조를 토대로 시간변수를 가진 정량적 설계요소들의 설계 값을 결정하는 구조를 설정하기 위해서 시간변수를 가진 정량적 설계요소들 중에서 시간변화에 민감성이 높다고 판단되는 실외 기후조건을 하나의 예로서 적용하고자 한다.

적용대상인 실외 기후요소들은 현실세계에서 일어나는 자연현상들로 확률적 현상으로 파악될 수 있다. 이러한 실외 기후요소의 정량적인 값을 시간별로 예측하기 위해서 앞 절에서 언급된 현실세계의 현상을 확률분포로 표현하고 확률변수에 의해서 값을 예측하는 기본구조를 도입하여 실외 기후요소들을 예측하기 위한 결정구조를 다음과 같이 설정하였다.

1 단계 : 기준 데이터의 수집과 분석

자연현상인 실외 기후요소들의 패턴과 발생하는 값을 확률적 현상으로 해석하기 위한 기준 데이터를 수집하고 그 특성을 분석한다.

2 단계 : 실의 기후요소들의 모수추정

실의 기후요소들의 값들은 시간에 따라 변화한다. 특히 계절에 따른 변화는 건물에너지 절약설계의 기본 개념을 달리 설정하는 근본 원인이라 할 수 있다. 이러한 시간적 변화를 추정하기 위해서 비록 기본 추정 값 방법, 추정식 사용방법 등과 같은 이론화되어 있는 방법들이 있지만, 확률변수발생을 위한 모수추정과정에서 시간적 변화를 반영하고자 본 연구에서는 회귀식을 이용하여 모수를 추정한다.

3 단계 : 실의 기후요소들의 확률분포 추정

실의 기후요소들의 확률분포를 추정하기 위해서 실측된 실의 기후요소들의 누적분포를 이론분포와의 적합도 검정을 실시한다. 적합도 분석에 의해서 분석된 이론분포를 실의 기후요소들의 확률분포로 사용되지만, 적합한 이론분포가 없을 경우는 실측된 누적분포를 확률분포로 사용한다.

4 단계 : 난수설정 및 실의 기후요소들의 값 예측

앞 단계에서 구한 실의 기후요소들의 시간변화에 따른 모수 추정식과 확률분포를 사용하여 실의 기후요소들의 값을 예측하기 위해서는 난수발생이 필요하다. 난수를 만드는 방법에는 물리적 도구를 쓰는 방법과 수식을 이용하는 방법이 있으나 실의 기후요소의 특성을 고려해 볼 때 식(1)과 식(2)의 선형 콩그리엔셜 방법을 이용한다[11].

$$R_{i+1} = \frac{X_{i+1}}{m}, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

$$X_{i+1} = (aX_i + c) \bmod m, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

R_{i+1} : $i+1$ 번째 난수

X_{i+1} : $i+1$ 번째 상수

여기서 모듈러스(mod)는 m 으로 나눌 때 나머지 값이 X_{i+1} 이 된다는 의미이다.

이와 같은 결정구조는 [그림 1]과 같은 개념으로 건축 설계과정에서 설계자를 지원하는 데 이용할 수 있고, 건

축설계 지원시스템 개발의 토대 기술로 활용될 수 있다. 즉 건축설계의 방향과 틀을 설정하는 기본계획단계에서 에너지 절약적인 건축물이 되기 위한 설계요소들의 설계 값을 결정하는 과정에서 설계자들을 지원할 수 있는 도구로 활용될 수 있다. 특히 정보통신기술과 CAD 기술이 결합된 건축설계 통합지원시스템과 같은 도구 개발에 토대 기술로 활용될 수 있다.

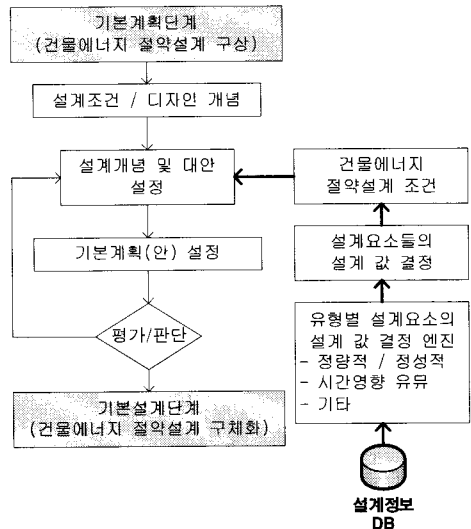


그림 1. 개발 결정모델의 활용 구성도

IV. Case Study

1. 기준 데이터 수집 및 분석

실의 기후요소들을 확률적 현상으로 해석하기 위한 기준 데이터를 수집하기 위해서 1차로 1990년부터 2003년까지 기상대에서 측정된 부산지역의 실의 기후자료를 수집하였고, 2차로 2004년부터 2007년까지 기상대 자료를 수집하여 1차 수집 및 분석한 결과를 보완 검정을 하였다. 그러나 건구온도와 상대습도와 같은 실의 기후요소들은 기상대에서 측정하고 있는 요소들이나 포화수증기압, 수증기분압 등과 같은 기후요소들은 측정하고 있지 않아 습공기선도 작성 시 사용되었던 계산식을 이용하여 구한 데이터를 사용하고자 한다[12]. 즉 건구온도와 상대습도는 기상대 측정자료를 이용하였고,

포화수증기압은 웨슬러하이랜드(Wexler Hyland)가 제안한 식(3)와 식(4), 수증기분압은 돌턴이 제안한 식(5), 절대습도는 돌턴의 배수비례법칙에 의해 절대습도와 수증기분압과의 관계를 나타내는 식(6), 엔탈피는 식(7)에 의해서 각 실외기후요소들의 기준데이터들을 계산하였다.

포화수증압을 계산하기 위해서,
0℃ - 200℃의 물과 접하는 경우

$$P_{ws} = [\exp(-5800.2206/T_{ab} + 1.3914993 - 0.048640239 \times T_{ab} + 0.141764768 \times 10^{-4} \times T_{ab}^2 - 0.14452093 \times 10^{-7} \times T_{ab}^3 + 6.5459673 \times \text{Log}_e(T_{ab}))] / 1000 \quad (3)$$

-100℃-0℃의 얼음과 접할 경우,

$$P_{ws} = [\exp(-5674.5359/T_{ab} + 6.3925247 - 0.9677843 \times 10^{-2} \times T_{ab} + 0.62215701 \times 10^{-6} \times T_{ab}^2 + 0.20747825 \times 10^{-8} \times T_{ab}^3 - 0.9484024 \times 10^{-12} \times T_{ab}^4 + 4.1635019 \times \text{Log}_e(T_{ab}))] / 1000 \quad (4)$$

수증기분압을 계산하기 위해서,

$$P_w = (RH / 100) \times P_{ws} \quad (5)$$

절대습도를 계산하기 위해서,

$$x = 0.62198 \times \frac{P_w}{P - P_w} \quad (6)$$

엔탈피를 계산하기 위해서,

$$i = C_a \times t + (C_w \times t + r_0) \times x \quad (7)$$

를 사용하였다.

여기서,

C_a : 건조공기의 정압비열 (kcal/kg℃)

C_w : 수증기의 정압비열 (kcal/kg℃)

P_{ws} : 포화수증기압 (kPa)

P_w : 수증기분압 (kPa)

P : 표준대기압 (kPa)

RH : 상대습도 (%)

r_0 : 0℃ 물의 증발잠열 (kcal/kg)

x : 절대습도 (kg/kg(DA))

T_{ab} : 절대온도 (K)

t : 건구온도 (℃)

실외 기후요소들의 측정시점인 년, 월, 일, 측정시간 등과 같은 시간적 요소들 간의 상관관계 분석을 실시한 결과 [표 2]와 같이 상관계수 값이 r=0.011 이하로 분석되어 시간적 요소들은 상호 관련성이 없는 독립적인 것으로 분석되었다. 그러나 실외 기후요소들 간의 상관관계 분석을 실시한 결과 [표 3]과 같이 상관계수 값이 높게 나타나 상호 영향력을 미치는 것으로 분석되었다.

표 2. 시간적 요소들의 상관관계분석

시간적 요소	연도	월	일	시간
연도	1.000 (.)	.000 (.985)	.000 (.982)	.000 (1.000)
월	.000 (.985)	1.000 (.)	.011 (.030)	.000 (1.000)
일	.000 (.982)	.011 (.030)	1.000 (.)	.000 (1.000)
시간	.000 (1.000)	.000 (1.000)	.000 (1.000)	1.000 (.)

* ()의 값은 유의확률

표 3. 시간적 요소들의 상관관계분석

실외 기후요소	건구 온도	상대 습도	포화 수증기압	수증기 분압	절대 습도	엔탈피
건구온도	1.00 (.)	.507 (.000)	.971 (.000)	.894 (.000)	.893 (.000)	.957 (.000)
상대습도	.507 (.000)	1.00 (.)	.459 (.000)	.742 (.000)	.739 (.000)	.668 (.000)
포화수증기압	.971 (.000)	.459 (.000)	1.00 (.)	.913 (.000)	.912 (.000)	.959 (.000)
수증기분압	.894 (.000)	.742 (.000)	.913 (.000)	1.00 (.)	1.00 (.000)	.988 (.000)
절대습도	.893 (.000)	.739 (.000)	.912 (.000)	1.00 (.000)	1.00 (.)	.985 (.000)
엔탈피	.957 (.000)	.668 (.000)	.959 (.000)	.988 (.000)	.985 (.000)	1.00 (.)

* ()의 값은 유의확률

이러한 상관관계분석 결과를 바탕으로 측정시점과 같은 시간적 요소에 따른 실외 기후요소들의 측정값이

차이가 있는 지를 알아보기 위해서 분산분석을 실시하였다. 분석결과 [표 4]와 같이 나타났다. [표 4]를 보면, 시간적 요소들 중 월 변화에 따른 실외 기후요소들의 값 변화가 가장 뚜렷한 것으로 분석되었다. 이는 실외 기후요소들의 값은 년, 일, 시간별보다는 월별로 예측함이 타당함을 보여주고 있다.

표 4. 실외기후요소와 시간적 요소들의 분산분석

시간적 요소		건구 온도	상대 습도	포화 수증기압	수증기 분압	절대 습도	엔탈피
년	F-value	12.756	22.511	20.318	15.322	15.520	14.318
	P-value	.000	.000	.000	.000	.000	.000
월	F-value	14475.9	1933.9	13954.1	16878.6	16856.0	19607.8
	P-value	.000	.000	.000	.000	.000	.000
일	F-value	.947	3.891	.955	5.912	1.920	1.464
	P-value	.549	.000	.535	.002	.002	.049
시간	F-value	321.129	456.242	344.183	6.465	6.500	70.232
	P-value	.000	.000	.000	.000	.000	.000

표 5. 월별 실외 기후요소들의 값 추정식

월	회귀방정식
1	$t = -25.770 + 1.447 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 6.58 \cdot 10^{-2} \cdot V2 + 0.109 \cdot V3$ $P_{ws} = -1.639 + 0.001 \cdot V1 - 0.004 \cdot V2 + 0.006 \cdot V3$ $RH = 398.146 - 0.171 \cdot V1 - 0.139 \cdot V2 - 0.303 \cdot V3$ $t = -64.372 + 3.330 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 0.103 \cdot V2 + 0.134 \cdot V3$
2	$P_{ws} = -2.766 + 0.002 \cdot V1 + 0.007 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = 1831.758 - 0.894 \cdot V1 + 0.425 \cdot V2 - 0.225 \cdot V3$ $t = -126.662 + 6.629 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 0.127 \cdot V2 + 0.105 \cdot V3$
3	$P_{ws} = -11.411 + 0.006 \cdot V1 + 0.010 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = 1116.763 - 0.532 \cdot V1 + 0.224 \cdot V2 - 0.104 \cdot V3$ $t = -139.675 + 7.509 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 0.164 \cdot V2 + 8.219 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
4	$P_{ws} = -13.360 + 0.007 \cdot V1 + 0.017 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = -430.638 + 0.245 \cdot V1 + 0.350 \cdot V2 - 6.24 \cdot 10^{-2} \cdot V3$ $t = -98.555 + 5.671 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 0.130 \cdot V2 + 6.341 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
5	$P_{ws} = -13.508 + 0.008 \cdot V1 + 0.017 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = -257.377 + 0.166 \cdot V1 - 8.08 \cdot 10^{-2} \cdot V2 - 7.84 \cdot 10^{-2} \cdot V3$ $t = -36.533 + 2.785 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 6.735 \cdot 10^{-2} \cdot V2 + 4.783 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
6	$P_{ws} = -6.551 + 0.004 \cdot V1 + 0.010 \cdot V2 + 0.007 \cdot V3$ $RH = 708.759 - 0.318 \cdot V1 + 0.466 \cdot V2 - 8.39 \cdot 10^{-2} \cdot V3$ $t = 167.480 - 7.32 \cdot 10^{-2} \cdot V1 + 0.145 \cdot V2 + 4.643 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
7	$P_{ws} = 30.114 - 0.014 \cdot V1 + 0.027 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = 32.962 + 2.847 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.155 \cdot V2 - 0.155 \cdot V3$ $t = 111.703 - 4.30 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 4.24 \cdot 10^{-2} \cdot V2 + 4.835 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
8	$P_{ws} = 22.326 - 0.009 \cdot V1 - 0.009 \cdot V2 + 0.009 \cdot V3$ $RH = -143.218 + 0.115 \cdot V1 - 0.109 \cdot V2 - 0.201 \cdot V3$ $t = 24.209 + 1.465 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.174 \cdot V2 + 5.199 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
9	$P_{ws} = 3.498 - 0.030 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = 49.693 + 1.577 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.377 \cdot V2 - 0.149 \cdot V3$ $t = -4.271 + 1.201 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.192 \cdot V2 + 6.970 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
10	$P_{ws} = -3.112 + 0.003 \cdot V1 - 0.024 \cdot V2 + 0.008 \cdot V3$ $RH = 177.151 - 5.35 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.236 \cdot V2 - 0.196 \cdot V3$ $t = 183.764 - 8.52 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.188 \cdot V2 + 8.109 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
11	$P_{ws} = 18.243 - 0.008 \cdot V1 - 0.017 \cdot V2 + 0.007 \cdot V3$ $RH = 785.997 - 0.360 \cdot V1 - 0.311 \cdot V2 - 0.244 \cdot V3$ $t = 101.876 - 4.77 \cdot 10^{-2} \cdot V1 - 0.103 \cdot V2 + 9.658 \cdot 10^{-2} \cdot V3$
12	$P_{ws} = 8.707 - 0.004 \cdot V1 - 0.007 \cdot V2 + 0.006 \cdot V3$ $RH = 1544.590 - 0.745 \cdot V1 - 0.231 \cdot V2 - 0.334 \cdot V3$

표 6. 회귀방정식에 대한 검정 (F 값)

월	건구온도	포화수증기압	상대습도
1	57.356	52.747	18.532
2	97.448	87.851	77.856
3	166.160	151.410	28.631
4	236.927	210.776	28.589
5	199.687	184.925	4.459
6	79.747	70.494	108.685
7	278.380	266.593	37.257
8	38.169	38.910	28.429
9	346.708	332.869	71.328
10	350.718	325.106	29.343
11	211.142	206.006	41.419
12	77.816	80.247	71.760

2. 모수 추정

앞 절에서 분석한 결과를 토대로 월별로 실외 기후요소의 모수 값들을 추정할 수 있는 회귀 방정식을 구하기 위해서 측정(예측)년도(V1), 측정(예측)일(V2), 측정(예측)시간(V3) 등을 독립변수로 설정하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과를 분석 정리하여 대표적인 실외 기후요소인 건구온도(t), 상대습도(RH), 포화수증기압(P_{ws}) 등에 대해서 월별 회귀 방정식을 [표 5]와 같이 제시하였다.

월별로 제시된 회귀방정식에 대한 F값을 분석한 결과 [표 6]과 같이 나타났다. [표 6]을 보면, 제시된 회귀방정식들은 확률적으로 의미가 있는 것으로 분석되었다. 이와 같이 회귀방정식들에 의한 실외 기후요소의 예측 값들은 확률분포에 의한 확률변수들을 예측하는 과정에서 모수로 사용하여 시간적 변화를 반영할 수 있게 하였다.

3. 확률분포 추정

시간변수를 가진 정량적 설계요소들 중에 하나인 실외 기후요소들에 대한 적정 확률분포를 찾기 위해서 Kolmogorov Smirnov 검정에 의한 적합도 검정을 실외 기후요소별로 실시한 결과 [표 7]과 같이 분석되었다. [표 7]를 보면, 실외 기후요소들의 확률분포는 이론분포인 정규분포와 경험분포인 것으로 분석되었다.

이러한 확률분포 추정과정을 4월의 실외 기후요소들을 대상으로 하여 살펴보면 다음과 같다. 우선 이론분포인 정규분포, 균일분포, 포아송분포, 지수분포 등에 대해서 Kolmogorov Smirnov 검정에 의한 적합도 검정을

4월의 실외 기후요소별로 실시하였다. 이러한 검정들 가운데 정규분포에 대한 적합도 검정을 실시한 결과를 보면 [표 8]과 같이 분석되었다. [표 8]을 보면 4월 건구온도의 분포도인 [그림 2]($\mu=13.89$ $\sigma^2=3.724$)은 이론분포인 정규분포와 일치함을 알 수 있다. 즉 유의수준 기준 ($p=0.01$)을 초과하여 “정규분포를 따르지 않는다”는 귀무가설을 기각하고 있어 정규분포와 일치하는 것으로 분석되었다.

이와 같은 방법 및 기준으로 보면 4월의 수증기 분압과 엔탈피에 대해서는 정규분포와 일치하지만 상대습도, 포화수증기압, 절대습도 등에 대해서는 정규분포, 균일분포, 포아송분포, 지수분포 등과 같은 이론분포와는 일치하지 않는 것으로 분석되어 측정된 데이터를 토대로 한 경험분포를 적용시키는 것이 타당함을 알 수 있다.

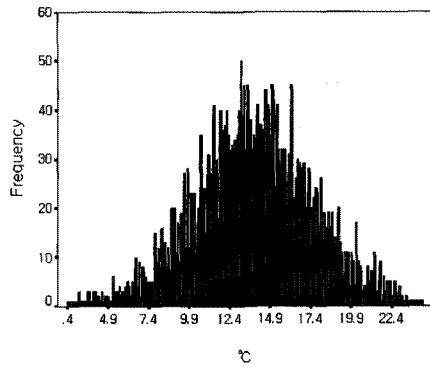


그림 2. 4월 건구온도의 분포도

표 7. 월별 실외 기후요소들의 적정 확률분포 설정

월	건구온도	상대습도	포화수증기압	수증기분압	절대습도	엔탈피
1월	정규	경험	경험	경험	경험	경험
2월	정규	경험	경험	경험	경험	정규
3월	정규	경험	경험	경험	경험	정규
4월	정규	경험	경험	정규	정규	정규
5월	정규	경험	경험	정규	정규	정규
6월	경험	경험	경험	정규	정규	경험
7월	정규	경험	경험	경험	경험	경험
8월	정규	경험	경험	경험	경험	경험
9월	경험	경험	경험	정규	정규	정규
10월	정규	경험	경험	정규	정규	정규
11월	경험	경험	경험	경험	경험	경험
12월	경험	경험	경험	경험	경험	경험

표 8. 4월 실외 기후요소들의 확률분포 검정(정규분포)

구분	건구온도	상대습도	포화수증기압	수증기분압	절대습도	엔탈피	
정규모수	평균	13.891	63.18	1.628	1.019	0.006	7.158
	표준편차	3.724	20.37	0.392	0.381	0.002	2.046
Kolmogorov Smirnov	1.206	2.777	3.166	1.634	1.693	1.023	
유의확률 (수준)	0.109	0.000	0.000	0.010	0.006	0.246	

4. 설계 값 결정 및 신뢰성 검정

실외 기후요소들의 설계 값들은 앞 절에서 선정된 각 실외 기후요소들의 모수와 확률분포에 의해서 예측할 수 있다. 즉 확률변수의 발생방법에 의해서 결정하고자 하는 시점의 실외 기후요소들의 값을 예측할 수 있는 것이다. 이러한 결정과정에서 확률분포를 통한 확률변수의 발생방법은 일반적으로 역변환법과 가법법을 제시되고 있으나, 본 연구에서는 역변환 방법을 도입하였다. 따라서 선정된 이론 분포인 정규분포와 경험분포의 누적분포함수 $F(x)$ 를 구하고, 누적분포함수의 역변환함수 $x=F^{-1}(R)$ 를 통해서 확률변수를 발생하였다. 그러나 이론분포인 정규분포의 확률밀도함수와 누적분포함수가 정립되어 있으나, 경험분포는 수식적으로 정립되어 있지 않아 [그림 3]과 같은 경험분포를 토대로 [표 9]와 같은 확률변수 발생표를 작성하여 사용하였다.

검토시점은 2003년 3월을 기준으로 매일 세 시간단위로 기상대에서 측정된 값과 본 연구에서 정립한 방법에 의한 예측 값을 비교하였다. 건구온도의 측정값은 [표 7]에서 분석되었듯이 정규분포와 일치하고 그 분포도는 [그림 4]와 같이 나타났다. 예측 값을 구하기 위해서 우선 식 (1)에 의한 난수 값을 발생시켰다. 이를 위한 상수 값을 $a=19$, $c=0$, $m=210=1024$ 로 설정하였다. 모수는 [표 5]에서 구한 3월의 건구온도를 위한 회귀방정식에 의해서 추정하였고, 추정된 모수 값과 난수 값들을 사용하여 측정 값과 같은 세 시간 단위로 건구온도 값을 예측하였다. 이와 같은 방법에 의해서 구한 예측 값과 측정 값

들의 상호간 차이가 있는 지를 통계적으로 검정하기 위해서 교차분석을 실시하였다. 그 결과 피어슨(Pearson)의 카이제곱 값은 27032.000이고 자유도가 26923일때 유의수준 $P=0.318$ 로 분석되었다. 이는 유의수준 기준 값 $P=0.05$ 와 비교해 볼 때, 측정 값과 예측 값은 동질의 값을 나타내고 있어 예측 값을 측정 값 대신에 사용해도 확률적으로 문제가 없음을 알 수 있다.

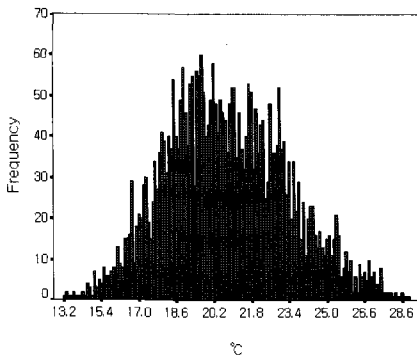


그림 3. 6월 건구온도의 분포도

표 9. 6월 건구온도의 경험분포

t	빈도수		누적분포
13(t≤14)	5	0.0015	0.0015
14(t≤15)	16	0.0048	0.0063
15(t≤16)	62	0.0184	0.0247
16(t≤17)	153	0.0455	0.0702
17(t≤18)	274	0.0815	0.1517
18(t≤19)	430	0.1280	0.2797
19(t≤20)	479	0.1426	0.4223
20(t≤21)	471	0.1403	0.5626
21(t≤22)	425	0.1265	0.6891
22(t≤23)	387	0.1152	0.8043
23(t≤24)	280	0.0833	0.8876
24(t≤25)	162	0.0482	0.9358
25(t≤26)	122	0.0363	0.9721
26(t≤27)	60	0.0178	0.9899
27(t≤28)	25	0.0074	0.9973
28(t≤29)	8	0.0024	0.9997
29(t≤30)	1	0.0003	1.0000
Total	3360	1.0000	

상대습도 또한 위와 같은 방법으로 진행되었으나, 측정값은 [표 7]에서 분석되었듯이 경험분포와 일치하고 있어 경험분포에 의해서 작성된 [표 10]의 확률변수 발생표와 난수 값들을 사용하여 예측 값을 구하였다. 구한 예측 값과 측정 값들에 대한 교차분석을 실시한 결과 피어슨(Pearson)의 카이제곱 값은 16120.000이고 자유

도가 16055일 때 유의수준 $p=0.357$ 로 분석되었다.

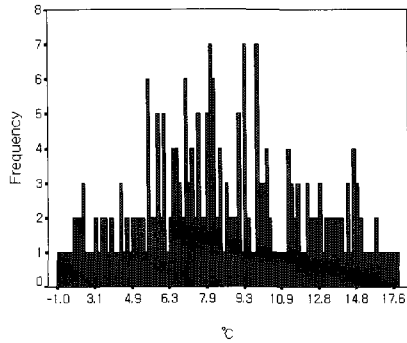


그림 4. 3월 건구온도의 분포도

표 10. 3월 상대습도의 경험분포

t	빈도수		누적분포
15(RH≤20)	2	0.0006	0.0006
20(RH≤25)	9	0.0026	0.0032
25(RH≤30)	39	0.0112	0.0144
30(RH≤35)	67	0.0193	0.0337
35(RH≤40)	95	0.0274	0.0611
40(RH≤45)	150	0.0432	0.1043
45(RH≤50)	183	0.0570	0.1613
50(RH≤55)	211	0.0608	0.2221
55(RH≤60)	251	0.0723	0.2944
60(RH≤65)	295	0.0849	0.3793
65(RH≤70)	280	0.0806	0.4599
70(RH≤75)	303	0.0873	0.5472
75(RH≤80)	315	0.0907	0.6379
80(RH≤85)	340	0.0979	0.7358
85(RH≤90)	332	0.0956	0.8314
90(RH≤95)	424	0.1221	0.9535
95(RH≤100)	176	0.0465	1.0000
Total	3472	1.0000	

이는 건구온도의 분석결과와 같이 예측 값을 측정 값 대신에 사용해도 확률적으로 문제가 없음을 나타내고 있다. 그 외 포화수증기압, 수증기 분압, 절대습도, 엔탈피 등에 대해서 위에서 언급한 방법에 따라 값들을 예측하고 예측 값과 측정된 값을 검토한 결과 측정된 값들 대신에 예측한 값들을 사용해도 문제가 없음을 알 수 있었다.

V. 결론

건물에너지 절약설계와 관련된 정량적 설계요소들 중

시간적 변화에 영향을 받는 설계요소들의 설계 값 결정을 위한 확률변수 결정모델에 관한 연구를 실외 기후요소를 한 예로 선정하여 실시한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 건물에너지 절약설계와 관련된 정량적 설계요소들은 설계 값 결정에 대한 시간적 변화의 영향 유무에 따라 두 종류로 분류할 수 있었다. 또한 이러한 시간변수를 가진 정량적 설계요소들의 설계 값은 확률적 현상으로 해석하여 확률분포로 표현할 수 있었다.

2) 확률분포와 확률변수를 토대로 현실세계를 표현하여 현실의 문제를 해결하는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 토대로 시간변수를 가진 정량적 설계요소들의 설계 값을 결정하기 위한 기본구조를 정립하였다. 이러한 기본구조를 기반으로 시간변수를 가진 정량적 설계요소들의 설계 값을 예측하기 위한 결정모델을 설정하고자 실외 기후요소를 대상으로 진행한 결과 4단계로 구성된 확률분포 결정모델의 구조를 설정하였다.

3) 설정된 확률분포 결정모델 구조에 따라 실외 기후요소들의 값들을 예측한 결과 실외 기후요소들 간의 상관관계수 값이 높게 분석되어 상호 영향력을 미치는 것으로 나타났으나 연, 월, 일, 시간과 같은 시간적 요소들에 대한 상관관계수 값은 $r=0.011$ 이하로 분석되어 상호 관련성이 없는 독립된 요소로 나타났다. 또한 실외 기후요소들은 시간변수 중 월 변화에 따른 값의 차이가 가장 뚜렷한 것으로 분석되었다. 확률분포 결정모델의 구조에서 핵심부문인 모수와 확률분포를 분석한 결과 모수는 시간적 변화를 반영하기 위해서 월을 기준으로 값을 추정할 수 있는 회귀방정식을 정립하였고, 실외기후요소들의 확률분포들은 이론분포인 정규분포와 경험분포를 갖는 것으로 분석되었다.

확률분포 결정모델의 구조에 의해서 예측된 값들에 대한 신뢰성과 적합성을 검증하기 위해서 특정 시점을 설정하여 실제 측정된 값과 제안된 방법에 의해서 예측된 값을 비교분석한 결과 확률적으로 두 값은 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 과정을 통해서 본 연구에서 제시한 확률분포 결정모델의 방법은 시간변수를 가진 정량적 설계요소들의 설계 값을 예측하는 하나의 방법으로 제안될 수 있음 알 수 있었다.

본 연구에서 제안된 확률분포를 토대로 정량적 값을 예측하는 방법이 실제 현장에서 사용되기 위해서는 지속적인 적용 가능성과 신뢰성에 대한 연구가 뒤 따라야 할 것이다. 즉 건축물에서의 에너지 소비량과 패턴 추정, 급수설비설계에서 장비선정에 토대가 되는 급수량 산정, 급탕설비설계에서의 급탕량 산정, 환기량 추정 등과 같은 시간적으로 변화하는 설계요소들의 값을 예측하는 데 본 연구에서 제안된 방법을 토대로 구체적인 도입 가능성과 신뢰성에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 정충영, 최이규, Spss/Win을 이용한 통계분석, 무역경영사, 1997.
- [2] J. Pallant, Spss Survival Manual, Open University Press, 2003.
- [3] 석창목, "스페이스 플래임 구조해석을 위한 웹 기반 데이터베이스 모델링", 대한건축학회논문집(구조계), 제21권, 제8호, pp.11-18, 2005.
- [4] 우경현, 김재민, "건물정보 모델링(BIM) 기반 정밀에너지 시뮬레이션 도구개발", 대한건축학회논문집(계획계), 제25권, 제12호, pp.113-120, 2009.
- [5] 김본규, 이명식, 임훈순, "BIM을 활용한 친환경 건축물 외피설계에 관한 기초적 연구", 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제29호, 제1호, pp.225-228, 2009.
- [6] 이성기, 김성아, "행위자 기반 모형을 통한 생성적 건축설계 수법의 적용에 관한 기초적 연구", 대한건축학회논문집(계획계), 제25권, 제1호, pp.37-44, 2009.
- [7] 우세진, "공동주택 외피변경에 의한 에너지 절약 설계에서 적정 외피부위 결정 알고리즘에 관한 연구", 대한건축학회논문집(계획계), 제25권, 제1호, pp.297-305, 2009.
- [8] 윤종호, "건물에너지 성능평가를 위한 표준기상자료의 국내의 현황", 설비저널, 제32권, 제8호, pp.7-14, 2003.

- [9] 우세진, “건축물의 공조방식 선택과정에 있어서 질적 설계요소들의 디자인 결정방법에 관한 연구”, 설비공학논문집, 제16권, 제8호, pp.762-769, 2004.
- [10] 우세진, “건축설계 통합지원프로그램 개발의 방향설정을 위한 기본계획단계에서의 설계요소들에 대한 체계화에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(계획계), 제20권, 제8호, pp.87-96, 2004.
- [11] 이재연, 컴퓨터 시뮬레이션, 박영사, 1994.
- [12] 김재수, 공기조화설비, 문운당, 2009.

저자 소개

우 세 진(Se-Jin Woo)

정회원



- 1987년 2월 : 부산대학교 공과대학 건축공학과(공학사)
 - 1989년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과(공학석사)
 - 1995년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과(공학박사)
 - 1995년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학 공간디자인학부 건축전공 교수
- <관심분야> : 건축환경 및 설비분야에 있어서 인공지능, 정보통신기술 등을 이용한 건축설계방법론