

건물에너지 시뮬레이션의 현황과 전망



글 박철수 \ 성균관대학교 건축토목공학부 교수 \ 전화 031-290-7567 \ E-mail cheolspark@skku.ac.kr



1. 서론

화석연료의 고갈과 지구온난화의 영향으로 건물에너지 절감에 대한 관심은 매우 높다. 건물에서 소비되는 에너지는 한 국가에서 소비되는 에너지 총량의 25~40%를 차지하여, 국가 경제와 지구 온난화에 미치는 영향이 상당하다.

건물에너지 시뮬레이션을 이용하여 건물에너지 성능평가와 개선을 위한 많은 노력이 진행되고 있다. 건물 설계단계에서 시뮬레이션을 활용하여 건물에너지 사용량을 예측하고, 최적 설계에 반영하는 것은 대단히 중요하다. 또한 건물 운영단계에서 모델 기반 제어(Model-Based Control)와 같이 시뮬레이션 모델을 응용하는 것도 매우 시급하다.

건물에너지 시뮬레이션은 컴퓨터 전산처리 속도의 발달, 인터넷의 보편적 사용, 수치해석 이론의 성장으로 인해 지난 20~30년 동안 눈부신 발전을 이룩하였으며, 수 많은 동적 시뮬레이션 툴들(DOE-2, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IES-VE, TRNSYS 등)이 개발되었다. 또한 시뮬레이션 툴들의 정확성 및 신뢰성 등이 많은 연구를 통해 검증되었다(IBPSA, 1987-2013; BESTEST, 1995; ANSI/ASHRAE 140-2007, 2007).

본고에서는 동적 시뮬레이션 도구를 사용하여 건물에너지를 분석하고 결과를 제시하는 과정에서 발생하는 몇 가지 쟁점들과 미래의 전망에 대해 설명하고자 한다.

2. 건물에너지 성능의 확률적 특성

건물을 완공하기 전에, 또는 새로운 설비시스템을 추가하거나 시

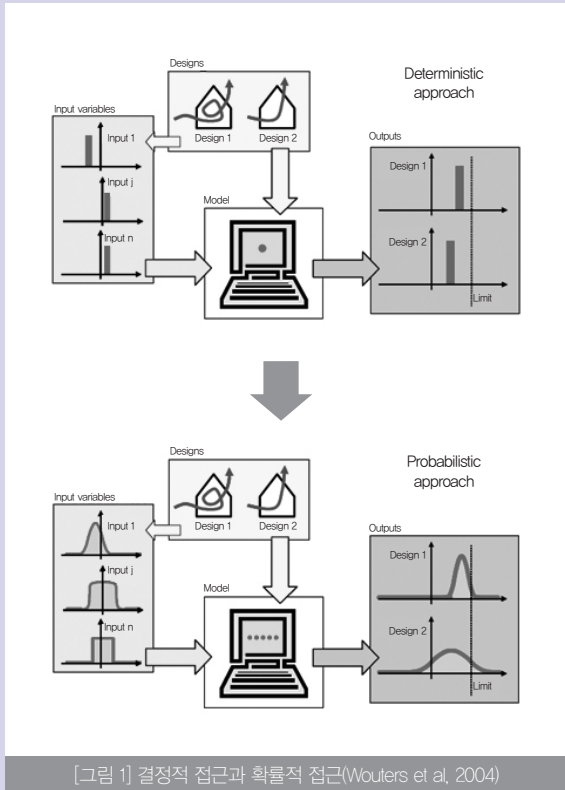
공하기 이전에, 성능을 미리 예측하고 평가하는 것은 중요하다. 그럼에도 불구하고, 대부분의 경우 설계가 진행되는 전체 과정에서 건축가와의 지속적인 피드백을 통해 에너지 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 설계대안이 생성되기 보다는 설계가 완료된 시점에서 주어진 설계안의 성능을 확인해 보는 수준에 그치고 있다 (IBPSA, 1987-2013). 그리고 건물에너지 시뮬레이션의 적용도 외피 설계, 냉난방 부하계산과 같은 영역에 국한되어 있다.

이러한 이유 중의 하나는 시뮬레이션 예측치와 실제 에너지 사용량의 오차에 기인한다고 볼 수 있다. 에너지 시뮬레이션의 예측 결과를 신뢰구간으로 설명하기보다는 하나의 값(Single Number)으로 설명하는 관행은 시뮬레이션 결과의 신뢰성과 지속적인 확산에 큰 장애요인이 되었다.

대부분의 시뮬레이션 입력변수는 '결정적'이지 않고, '확률적'이다. 예를 들면, 재실자 활동 유형, 재실자 발열, 재실밀도, 조명기구 유형과 조명 발열밀도, 인체/조명/기기의 스케줄, 차양장치의 사용 패턴, 침기현상, 설비시스템의 운영 스케줄 등은 상당히 확률적이며, 이외에도 무수히 많은 확률적 변수들이 존재한다. 하지만, 건물에너지 성능평가의 현재방법은 대부분 결정적 접근방법을 사용한다(입력변수들의 확률적 특성을 고려하지 않고, 1회의 시뮬레이션 결과로만 평가).

[그림 1]은 결정적 접근(Deterministic Approach)과 확률적 접근(Probabilistic Approach)의 차이를 보여 준다. 결정적 접근은 입력변수들의 확정적인 '하나'의 값을 사용하여 '한 번'의 시뮬레이션으로 분석하는 반면(대부분의 경우가 이에 해당), 확률적 접근은 변수들의 확률적 특성을 고려하여, '다수'의 시뮬레이션 결과값들을 이용하여 확률적으로 분석한다.

[그림 1]의 'Design 1'과 'Design 2' 두 설계 대안을 에너지 사용량으로 평가한다면, 결정적 접근에서는 'Design 2'가 'Design 1'보다 에너지 사용량이 적어 우수하다고 할 수 있다. 그러나, 에너지 사용량이 한계값([그림 1]의 'Limit')을 넘지 않을 확률로 두 설계 대안을 평가한다면, 'Design 1'이 오히려 우수하다고 할 수 있다(곡선의 'Limit'을 상회하는 부분의 면적이 확률이 됨).



[그림 1] 결정적 접근과 확률적 접근(Wouters et al, 2004)

결정적 접근에서는 시뮬레이션 수행자의 주관적 판단에 의해 선정되는 입력변수 값들이 결과에 상당한 영향을 미친다. 특히, (1) 많은 가정, (2) 모델링 과정에서의 단순화, (3) 모델링에 수반되는 불확실성이 지배적일수록 [그림 1]과 같은 의미있는 정보는 감추어질 수 있다. '불확실성이 큰 물리적 현상'을 결정적 접근방식으로 시뮬레이션을 수행하는 경우에는, 시뮬레이션 수행자가 부지(不知) 또는 고의(故意)로 유리한 결과가 나오도록 입력변수를 선택할 가능성도 존재하며, 시뮬레이션 결과에 대한 '신뢰성'과 '재연성'은 낮아진다. 특히, 경험이나 전문적 지식이 부족한 시뮬레이션 수행자에 의한 성능 예측 및 법규 만족여부 검토는 'Poker Game'과 같게 된다(Hyun et al, 2008). 이러한 결정적 접근의 대안으로 제시된 확률적 접근('불확실성 분석')에 대한 시도가 성공적으로 진행되었으나(de Wit and

Augenbroe, 2002; Macdonald, 2002; Hopfe, 2009), 아직까지 더 많은 연구가 진행되어야 한다. 특히, 각 입력변수들(기후변수, 건물 주위 환경 변수, 건물 및 시스템 변수, 재실자 사용 패턴 등)의 확률적 특성과 분포에 대한 광범위한 조사가 선행되어야 한다. 불확실한 입력변수 및 확률분포의 선정은 de Wit and Augenbroe(2002)에서 지적한 바와 같이 불확실성 분석에 있어서 중요한 부분 중의 하나이다.

불확실한 변수가 선정되면, 시뮬레이션 케이스를 생성하여야 한다. 가장 많이 사용되는 방법은 몬테카를로 방법 중의 하나인 LHS(Latin Hypercube Sampling) 방법이다. LHS 방법은 상대적으로 적은 샘플을 이용하여 유의한 결과를 도출하는데 적절하며, 또한 복잡한 비선형 모델의 빌딩 시뮬레이션에 사용된다(de Wit & Augenbroe, 2002). 미지변수의 입력범위를 확률적으로 동일하게 N개의 구간으로 나눈 후, 각 구간에서 케이스를 추출하는 방법이다(Wyss & Jorgensen, 1998).

미지변수 선정과 시뮬레이션 케이스 생성이 완료되면 시뮬레이션을 수행하고, 결과의 확률적 분석을 실시한다(주어진 값을 만족할 확률, 에너지 비용이 얼마 이상이 될 확률, 연간 에너지 절감이 몇 % 이상일 확률 등, 김영진 외, 2008a; Hyun et al, 2008; Kim et al, 2013).

3. 에너지 시뮬레이션과 성능평가의 표준적 절차 수립

시뮬레이션 절차는 건물설계와 같이 상당히 비표준적이다. 또한 시뮬레이션 툴의 상세하고 광범위한 입력 변수, 모델링에 적용된 가정, 툴의 사용자와 작성된 모델에 대해서는 별도의 검증과정을 거치지 않는다. 동적 시뮬레이션 툴의 정밀성과 계산능력은 상당히 신뢰할 만한 수준(IBPSA, 1987-2013; BESTEST, 1995; ANSI/ASHRAE 140-2007, 2007)이지만, 정작 그 툴을 사용하는 사용자의 활용능력과 지식수준, 모델링에 포함된 가정과 입력 변수의 불확실성은 간과된 면이 있다. 환언하면, 동적 시뮬레이션 적용에 있어 가장 큰 문제점들은 '표준적인 시뮬레이션 프로세스'와 '검증 절차'가 없다는 점이다(안기연 외, 2012).

설계단계의 건물에너지 해석은 기존 건축물의 에너지 해석과는 달리, 비교 검증의 대상(에너지 사용량, 측정된 실내온도 등)이 없기 때문에, 결과의 객관성, 신뢰성 및 정확성을 제시하기 어려운 점이 있다. 특히 현재의 비표준적인 시뮬레이션 프로세스에 수반되는 사용자의 주관적 가정, 현실(Reality)의 단순화, 그리고 입력변수의 불확실성은 결과에 상당한 영향을 미친다(안기연 외, 2012).

3-1. 시뮬레이션 수행자에 대한 검증

시뮬레이션 툴 사용자의 전문지식과 숙련된 경험은 시뮬레이션 수행 과정에서 요구되는 판단과 의사결정에서 큰 차이를 유발하며, 이는 시뮬레이션 결과의 신뢰성과 정확성에 상당한 영향을 미친다(Augenbroe et al, 2008). 빌딩 시뮬레이션 툴은 건물 에너지 어링에 관련된 요소뿐만 아니라 열전달, 수치 해석, 시스템 동역학 등과 같은 다학제 이론과 지식에 기반하고 있어, 일반적인 사용자가 시뮬레이션 툴에 포함된 모든 측면(모델링 이론, 계산방식, 해석 알고리즘, 수치해석 엔진 등)을 충분히 이해하고 사용하는 것은 쉽지 않다(de Wilde & Prickett, 2009).

또한 시뮬레이션 툴마다 요구하는 입력변수는 다양하며, 툴마다 요구하는 전문지식의 깊이 또한 마찬가지로이다. 특히 동적 시뮬레이션 툴은 건물에서 발생하는 광범위한 열적 현상과 에너지 흐름을 모두 포함하며, 그 수준 또한 상세하다. EnergyPlus의 상세한 기능을 이해하고 활용하는데 요구되는 전문성을 완벽히 갖추기는 쉽지 않다(안기연 외, 2012).

작금 시뮬레이션 결과에 대한 불신이 적지 않은 이유는 (1) 충분한 지식과 경험을 갖추지 못한 이들에 의해, (2) 빠듯한 예산과 일정 내에서, (3) 건축주나 발주처에서 요구하는 시뮬레이션 결과를 작위적으로 생산하는 일부 현실 때문인 것 같다. 이러한 현실은 우리나라만의 문제인 것 같지도 않다(IBPSA, 1987-2013; 박철수, 2013).

이러한 맥락에서, 시뮬레이션 해석에 필요한 자격요건 마련 및 전문가 양성에 노력을 기울이고 있다. ASHRAE는 IBPSA(International Building Performance Simulation Association, www.ibpsa.org)의 지원으로 'Building Energy Modeling Professional Certification'을 마련하여 툴 사용능력, 분석능력, 결과 해석능력 등에 대한 평가 시험을 마련하였다(ASHRAE, 2012). 국내에서도 건물에너지 해석과 시뮬레이션에 관한 체계적인 교육과 인증을 통해 검증된 인력이 에너지 시뮬레이션을 수행하고, 시뮬레이션 결과를 해석하는 절차와 방법이 곧 마련될 것으로 생각한다(박철수, 2013).

3-2. 시뮬레이션 모델에 대한 검증

동적 시뮬레이션 툴은 열전달 현상, 수치 해석 알고리즘 및 시간 간격(Time Step)의 선택 등과 같은 광범위하고 상세한 입력변수를 요구하며, 이러한 입력변수들은 결과에 큰 영향을 미치기도 한다. Santos & Mendes(2004)에 따르면 시간간격의 설정(0.25초~1시간)에 따라 실내온도의 계산은 약 4℃까지 차이가 발생할 수도 있다. 즉, 동적 시뮬레이션 툴 내에서 규범화되지 않은 입력변수들이 결과에 미치는 영향은 상당하며, 이러한 입력변수들에 대

한 표준적인 값들은 없으며, 시뮬레이션 수행자 또한 이들이 결과에 미치는 영향에 대해 간과하기도 한다. 현재 실무에서는, 각 입력변수 및 조건들에 대해 사용자가 면밀히 검토한 후, 주관적으로 결정한다(안기연 외, 2012).

시뮬레이션 툴의 알고리즘은 충분한 검증과정을 거치지만, 시뮬레이션 툴 사용자에게 의한 계산오류는 책임지지 않는다(ASHRAE, 2013). 환언하면, 동적 시뮬레이션 결과의 정확성과 객관성 확보를 위해서라도 시뮬레이션 모델은 반드시 검증되어야 한다. 검증은 다음과 같은 사항들을 포함하여야 할 것이다(입력변수 값들의 객관적 결정 및 정확한 입력, 적용된 가정의 객관성, 실내 온도 조절, 시스템 객체들의 유량, 설정 온도, 제어의 만족 여부, 시뮬레이션 툴이 제시하는 오류 등, 안기연 외, 2012).

하지만 촉박한 설계 단계에서, 의뢰인은 정해진 기간 내에 시뮬레이션 수행자가 결과 값(숫자)만 전달해 주길 바랄 뿐이지, 시뮬레이션 수행자에 대한 검증 및 시뮬레이션 모델에 대한 검증은 거치지 않으며, 이는 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성 취약으로 귀결된다. 어떤 경우에는 '악의적 접근(Evil Approach, 예를 들면, 의뢰인이 원하는 결과를 만들기 위해 입력변수나 시뮬레이션 모델을 임의로 조작하는 것)'의 여지를 남긴다(안기연 외, 2012).

따라서 시뮬레이션 수행자가 제시한 모델은 시뮬레이션 수행자가 아닌 타인을 통해 체계적인 검증이 이루어져야 한다. 또한 일반적으로 시뮬레이션 수행자는 자신만의 노하우로 모델링을 하기 때문에 타인에 의한 시뮬레이션 모델 검토를 위해서는 해당 시뮬레이션 툴에 대한 완벽한 이해와 시뮬레이션 수행자가 모델을 구축한 전 과정(특히 단순화와 가정)에 대한 이해가 필요하다. 따라서 동적 시뮬레이션 모델 검증은 모델링 근거와 검토대상에 대한 명확한 절차와 체계로 진행되어야 한다(안기연 외, 2012).

3-3. 시뮬레이션 표준 프로세스 수립

건설산업이 지난 수천 년 동안 지속되어 온 점에 비하면, 동적 에너지 시뮬레이션은 최근에서야 활발하게 적용되기 시작하였다. 현재 에너지 시뮬레이션 업역은 AEC(Architecture, Engineering, Construction) 산업에서 필수적이기 보다는 법규 및 제도 만족, 친환경 검토를 위해 수행되는 단편적 과업으로 여겨지는 경향이 짙다. 이와 같은 인식과 입지에 비해 에너지 시뮬레이션이 요구하는 정보의 양은 상당한 수준이다(안기연 외, 2012).

동적 시뮬레이션 툴은 건축, 기계 및 전기 등 다양한 분야의 상세한 정보 입력을 요구한다. 설계단계에서 발생하는 정보들은 하나의 통합정보모델(예를 들면, Building Information Model) 내에 구축되지 않고 각 영역에 분산되어 존재한다. 따라서 시뮬레이션 수

행자는 정보수집 단계에서부터 큰 고충을 겪는다. 이에 대한 해결 방법의 하나로, BIM(Building Information Modeling)이 최근 큰 각광을 받고 있다. BIM의 궁극적인 지향점은 건물 관련 정보를 하나의 정보 포맷으로 저장하고, 그 정보 모델을 다양한 영역에서 활용하는 것이다. 그러나 아직까지는 BIM을 지원하는 정보 포맷이 불완전하며(Bazjanac, 2002), 참여자들 또한 컴포넌트 상세 정보 공개를 꺼려한다(예를 들면, 창호 프레임의 상세설계는 제조회사의 기술비밀에 해당). 또한 건물생애기간 동안 지속적으로 변화하는 건물정보에 대한 체계적 관리 또한 없어, BIM은 아직 기대에 미치지 못하고 있다(안기연 외, 2012).

결국, 시뮬레이션 사용자는 시뮬레이션 모델을 구축할 때마다 필요한 정보를 해당 관계자에게 끊임없이 요청하게 된다. 특히 동적 시뮬레이션 툴이 요구하는 정보의 양은 광범위하고 상당함에도 불구하고, 각 영역에서 제공되어야 할 정보에 대해서는 명확한 체계가 없는 실정이다. 따라서 시뮬레이션 사용자가 타 영역의 관계자들에게 일일이 정보를 요청하는 현실이며, 시뮬레이션 프로세스는 촉박한 마감기간 내에서 타 영역의 업무 프로세스에 수동적으로 반응할 수 밖에 없다. 이와 같은 상황은 결국 표준화된 시뮬레이션 프로세스 부재에서 비롯된다(안기연 외, 2012).

표준화된 시뮬레이션 프로세스의 부재로 인해 다음과 같은 문제점들이 발생한다.

(1) 사용자의 주관적 판단 → 요닝부터 시스템, 플랜트 모델링에 이르기까지 주관적 판단에 의존하는 경향. (2) 시뮬레이션 입력 정보의 산재 → 시뮬레이션 입력 정보의 전달 체계가 정립되지 못하고, 각 영역에 분산되어 있음. 특히 동적 시뮬레이션 툴의 상세한 입력변수들에 대한 규범적인 값들이 없는 실정. (3) 검증의 부재 : 시뮬레이션 수행자에 대한 검증, 모델에 대한 표준적 검증이 없음. 따라서, 시뮬레이션 결과의 객관성, 신뢰성, 정확성이 훼손될 수 있음. (4) 동적 시뮬레이션 툴의 사용성 : 표준적 시뮬레이션 절차가 없는 관계로, 건물 설계 단계에서 동적 시뮬레이션 적용은 시간과 비용 측면에서 부담이 되며, 결과의 객관성과 정확성 확보도 어려움(안기연 외, 2012).

물론 표준 프로세스의 정립이 주관적 판단과 가정 그리고 입력정보의 부재로 발생하는 모든 문제에 대한 해결책을 완벽히 제시할 수는 없다. 하지만 시뮬레이션 결과의 재연성, 투명성 및 객관성을 확보할 수 있는 것만으로도 큰 의미가 있다. 따라서 이러한 측면을 고려할 때, 규범적이고 표준화된 동적 시뮬레이션 프로세스의 정립이 필수적이다(안기연 외, 2012).

한편으로 동적 시뮬레이션 툴은 예측할 수 없는 불확실한 입력변수(재실자 패턴, 기상데이터, 시스템 제어 등)로 인해 현실과 정확

히 일치하는 결과를 기대하기 어렵다. 즉 충분한 전문지식과 자격요건을 갖춘 검증된 시뮬레이션 수행자라 할지라도, 시뮬레이션 결과의 일치성(실제 사용량 vs. 시뮬레이션 예측값)은 별개의 문제일 수 있다. 기존 건물의 경우, 실제 측정 데이터와 비교하면서 시뮬레이션 모델을 보정(Calibration)하고 검증(Validation)할 수 있지만, 신축 건물의 경우에는 측정값이 없으므로 모델 검증에 어려움이 따른다. 따라서 설계단계의 건물에너지 성능평가는 시뮬레이션 결과의 '정확성'(실제 사용량과 예측값의 차이)으로 검증하기 보다는, 시뮬레이션 모델의 '객관성(Objectivity)'으로 검증하는 것이 바람직하다. 이때 표준화된 시뮬레이션 프로세스가 존재한다면, 시뮬레이션 모델의 객관성 검증을 가능하게 한다(안기연 외, 2012).

4. 재실자의 반응과 행동을 고려하는 에이전트 시뮬레이션

현재 대부분의 빌딩 시뮬레이션(EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, TRNSYS 등) 적용 시, 재실자는 고정된 스케줄에 따라 입력되고, 재실 환경에 대한 재실자의 반응(예를 들면, 더울 때 창문을 열거나 설정온도를 낮춘다)은 고려되지 않는다(IBPSA, 1987-2013; Wouters et al, 2004). 이와 같이 재실자 스케줄의 확률적 특성을 반영하지 않고, 재실자 스케줄의 평균값을 이용하는 결정적 접근 방법은 시뮬레이션 결과 또한 확률적 분포가 아닌 단일값으로 제시되어, 건물에너지 소비의 확률적 특성이 배제되게 된다. 그리고, 이는 시뮬레이션 결과와 실제와의 차이를 유발하게 된다.

최근 연구결과들(IBPSA, 2013; Santin, 2011)에 따르면, 재실자 행위와 기기 조절은 건물의 실제 에너지 사용량에 상당한 영향을 미친다. Macdonald et al(2002)는 재실자 스케줄과 행위(설정온도 변경, 냉난방 기기 조절 등)가 실제와 시뮬레이션 간의 불일치를 유발하는 주요 원인으로 보고하였다. 재실자 반응과 행동에 관한 모델링은 시뮬레이션 결과의 신뢰성에 영향을 미치는 중요한 변수이지만, 재실자 모델링 관련 연구는 아직까지 미발견된 영역이다(IBPSA, 1987-2013; 박상린 외, 2012).

이러한 문제점을 해결하는 방법 중의 하나로 에이전트 시뮬레이션이 주목받고 있다(IBPSA, 2007-2013). 재실자의 특성을 모델링하는 에이전트 시뮬레이션은 빌딩 시뮬레이션 분야에서 진보적인 영역이다. 에이전트 시뮬레이션은 재실자들(에이전트)에게 반응 특성을 부여하고, 물리적 환경 하에서 시간경과에 따른 각 에이전트들의 반응과 행동을 예측하고 모사한다(Bonabeau, 2002; 이성룡, 2010; 박상린 외, 2012).

에이전트 모델링 기법은 비인과적 에이전트 모델링(IBPSA, 2007

~2013)과 인과적 에이전트 모델링(Fujii and Tanimoto, 2004; 김종현 외, 2011)으로 구분된다. 비인과적 에이전트 모델링은 행동의 추론과정이 고려되지 않고, 정해진 시나리오에 따라 반응한다고 가정한다. 이에 반해 인과적 에이전트 모델링은 인간의 인지 과정(감각, 지각, 욕망 등)과 이에 따른 행동의 추론 과정을 BDI (Belief Desire Intention) 기법을 통해 반영한다. 환언하면, 에이전트는 주위 환경을 감각하고, 감각을 바탕으로 지각하며, 이러한 지각과 더불어 에이전트의 경험과 믿음을 바탕으로 추론을 통해 욕망을 만족시킬 수 있는 의도를 도출한다. 의도를 통해 최종 결과물인 행동을 표현한다. 비인과적 에이전트 모델링은 단순하여 적용하기 편한 장점이 있으며, 인과적 에이전트 모델링은 현실에 좀 더 근사하고, 과학적이다(Fujii and Tanimoto, 2004; 김종현 외, 2011).

국내에서 에이전트 시뮬레이션을 수행한 사례로는 김종현 외(2011), 박상린 외(2012)가 있다. 두 연구결과에 의하면, 빌딩 시뮬레이션에서 재실자의 반응을 고려하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 큰 차이가 있음을 보여 준다. 좀 더 정확한 시뮬레이션 결과를 위해서는 재실자의 반응과 행동 모델을 고려하는 것이 대단히 중요하다.

5. 시뮬레이션을 이용한 최적제어

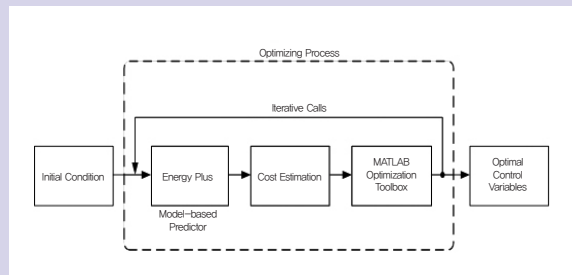
건물의 에너지관리 시스템(BEMS : Building Energy Management System)에서 건물의 동적거동을 예측하는 시뮬레이션 모델을 이용하는 것은 중요하다. 시뮬레이션 기반의 제어는 (1) 물리적/환경적 특성의 반영(기상데이터, 실내온도, 습도, 재실자의 행동패턴 등), (2) 제어변수와 건물에너지 성능 간의 상호연관성 반영(한 존의 에너지 사용은 차양 장치, 조명 시스템, 공기기 특성, 열원 특성이 동적으로 상호 작용함), (3) 다양한 제어전략 간의 비교와 같은 장점들이 있다.

최적제어는 '동특성을 고려한 제어'로서 해석적 방법과 수치적 방법으로 구분할 수 있다. 해석적 방법은 Pontryagin의 최소원리(Pontryagin's Minimum Principle)와 같은 현대 최적제어 이론(Modern Optimal Control Theory)을 적용한다.

수치적 방법은 목적함수를 먼저 설정하고, 목적함수를 최소화하는 제어변수를 수치적인 방법으로 구한다. 가장 흔한 방법은 MATLAB의 최적화 툴박스의 FMINCON과 같은 함수를 이용하는 방법이다. FMINCON은 제약조건을 가진 비선형 최적화 문제에 적합한 것으로 알려져 있다. FMINCON은 반복 연산을 통해, 비용함수를 최소화하는 제어변수를 찾는다. 예를 들면, (1) 건물의 동적

거동을 설명하는 시뮬레이션 모델을 EnergyPlus에서 만든 후, (2) MATLAB 플랫폼에서 EnergyPlus 시뮬레이션을 수행하고, (3) 시뮬레이션 결과(*.csv)를 읽고([그림 2]의 Cost Estimation에 해당), (4) 목적함수(또는 비용함수)의 Gradient를 이용, 좀 더 우월한 제어변수를 탐색하고, (5) 탐색된 제어변수를 EnergyPlus 입력파일(*.idf)에 쓰는 과정을 반복한다. 수렴조건을 만족하게 되면 최적화 문제는 완료된다.

최근에는 시간과 비용, 노력이 많이 소요되는 EnergyPlus와 같은 모델을 적용하기보다, 가우시안 에뮬레이터와 같은 간단한 데이터 기반 모델(Data-driven Model)을 적용하기도 한다(강지은 외 2013). 또한 [그림 2]와 같은 방법을 이용하면, 최적 설계에도 충분히 활용이 가능하다(김영진 외, 2008b).



[그림 2] 시뮬레이션 모델을 이용한 최적 제어(윤성환 외, 2009; 김영진 외, 2011)

6. 맺음말

본고에서는 건물에너지 시뮬레이션 분야에서 향후 개선되거나 발전되어야 할 방향과 내용에 대해 기술하였다.

가장 큰 쟁점 중의 하나는 건물에너지의 불확실성이다. 전술한 바와 같이, 에너지 성능의 불확실성은 시뮬레이션 결과에 대한 객관성 및 신뢰성과 직결된다. 많은 노력을 통해 불확실성을 정량화하는 시도들이 있었지만, 아직까지는 시작단계에 불과하다. 먼저, 불확실한 입력변수들에 대한 광범위한 표본조사가 필요하다. 또한 건축주, 설계회사, 시공회사 모두 에너지 성능의 확률적 특성에 좀 더 면밀한 관심과 분석에 주의를 기울여야 하겠다.

또한 시뮬레이션 수행자와 시뮬레이션 모델에 대한 검증 및 표준적인 프로세스 수립도 시급한 사항 중의 하나이다. 재실자의 행동 특성과 반응을 설명하는 연구도 향후 중요한 쟁점 중의 하나이다. 재실자 모델링에 관한 IEA Annex가 수주 전에 승인되었고, 이에 대한 연구와 노력들이 집중될 것으로 판단된다.

BEMS가 좀 더 진보적인 단계로 상승하려면 시뮬레이션 모델 기반 제어가 포함되어야 한다. BEMS에 포함될 적절한 시뮬레이션

모델의 유형 관련, EnergyPlus와 같은 동적 시뮬레이션은 시간과 노력, 비용이 많이 소모되고, 현장에서 적용하기에 쉽지 않다. 오히려, Data-driven 모델 유형이 BEMS에 좀 더 쉽게 적용되고, 건물의 최적 제어와 의사결정에 유리할 것으로 판단된다. **SS**

참고문헌

- ① 김지은, 김영진, 안기연, 박철수 (2013), 가우시안 프로세스 에뮬레이터를 이용한 초고층 사무소 건물의 실시간 최적 운영, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 제33권 제1호, pp.291-292, 2013년 4월
- ② 김영진, 박철수 (2008a), 몬테카를로 방법을 이용한 공동주택 환기 전략의 불확실성 분석, 대한건축학회논문집 제24권 8호, pp.311-320
- ③ 김영진, 박철수 (2008b), 유전자 알고리즘, 파레토 최적, 환기 시뮬레이션을 통합한 환기 시스템 최적설계, 대한건축학회논문집 제24권 1호, pp.237-245
- ④ 김영진, 박철수 (2011), 재실자 예측과 평풍 방법을 통한 환기 시스템 최적제어 시뮬레이션, 대한건축학회논문집 제27권 3호, pp.287-295
- ⑤ 김중현, 박상린, 김덕우, 박철수 (2011), 재실자 반응이 고려된 에이전트 빌딩 에너지 시뮬레이션, 대한건축학회논문집 제27권 12호, pp.315-324
- ⑥ 박상린, 김중현, 김덕우, 박철수 (2012), 재실 확률과 인지적 에이전트를 연계한 빌딩 에너지 시뮬레이션, 대한건축학회논문집 제 28권 1호, pp.293-301
- ⑦ 박철수 (2013), 건물에너지 분야의 향후 업역, 대한건축학회지, 2013년 3월, Vol.57, No.3, pp.40-42
- ⑧ 안기연, 김영진, 박철수 (2012), 설계단계에서 동적 건물에너지 성능분석의 쟁점들, 대한건축학회 논문집 제 28권 제 12호, pp.361-369
- ⑨ 윤성환, 박철수 (2009), 이중외피 시스템의 정적 및 동적 제어 전략, 대한건축학회논문집 제 25권 2호, pp.223-231
- ⑩ 이상룡 (2010), 팀 결성 분석을 위한 행위자 기반 시뮬레이션 모형, 한국시뮬레이션학회 논문지 제19권 제4호, pp.169-178
- ⑪ ANSI/ASHRAE Standard 140-2007, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, Atlanta, Georgia, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- ⑫ ASHRAE (2012), <http://www.ashrae.org/education—certification/certification/building—energy—modeling—professional—certification>, (accessed Mar, 2012)
- ⑬ ASHRAE (2013), ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, GA: America Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ⑭ Augenbroe, Brown, J., Heo, Y.S., Kim, S.H., Li, Z., McManus, S. and Zhao F. (2008), Lessons from an Advanced Building Simulation Course, The Third National Conference of IBPSA-USA, Berkeley, California
- ⑮ Bazjanac V. (2002), Early lessons from deployment of IFC Compatible Software, In: Turk Z, Schere R, editors, eWork and eBusiness in architecture, engineering and construction, Balkema, Lisse, Abingdon, ExtonOPAP, Tokyo, pp.9-16
- ⑯ Bonabeau E. (2002), Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, Vol.99, No.3, pp.7280-7287
- ⑰ Building Energy Simulation Test(BESTEST) and Diagnostic Method, NREL/TP-472- 6132, 1995
- ⑱ de Wilde, P. and Prickett, D. (2009), Preconditions for the use of simulation in M&E engineering, Proceedings of the 11th IBPSA Conference, 27-30 July, Glasgow, Scotland, pp.414-419
- ⑲ de Wit, S. and Augenbroe, G. (2002), Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications, Energy and Buildings Vol.34, pp.951-958
- ⑳ Fujii H. and Tanimoto J. (2004), Integration of building simulation and agent simulation for exploration to environmentally symbiotic architecture, Building and Environment Vol.39, No.8, pp.885-893
- ㉑ Hopfe, C. (2009), Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization, PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven.

- ㉒ Hyun, S.H., Park, C.S., and Augenbroe, G. (2008), Analysis of uncertainty in natural ventilation predictions of high-rise apartment buildings, Building Services Engineering Research and Technology Vol. 29, No. 4, pp.311-326
- ㉓ IBPSA (1987-2013), Proceedings of the IBPSA Conferences(87, 91, 93, 95, 97, 99, 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13)
- ㉔ Kim, Y.J., Yoon, S.H. and Park, C.S. (2013), Stochastic comparison between simplified energy calculation and dynamic simulation, Energy and Buildings, Vol.64, pp.332-342
- ㉕ MacDonald, I.A. (2002), Quantifying the effects of uncertainty in building simulation, PhD, thesis, University of Strathclyde, Scotland.
- ㉖ Santin O.G. (2011), Behavioural patterns and user profiles related to energy consumption for heating, Energy and Buildings, Vol.43, No.10, pp.2662-2672
- ㉗ Santos, G.H. and Mendes, N. (2004), Analysis of numerical methods and simulation time step effects on the prediction of building thermal performance, Thermal Eng. pp.1129-1142
- ㉘ Wouters, P., Heijmans, N., and Loncour, X. (2004), Outline for a general framework for the assessment of innovative ventilation systems, RESHYVENT report.
- ㉙ Wyss, G. D., and Jorgensen, K. H. (1998), A User's Guide to LHS: Sandias Latin Hypercube Sampling Software, Albuquerque, NM, Sandia National Laboratories.