



## 건물 에너지 절감조치의 시뮬레이션 모델링 상세수준

### Level of Detail (LOD) for Building Energy Conservation Measures (ECMs)

김선혜\*

Kim, Sean Hay\*

\* Corresponding author, Architectural Engineering Program, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (seanhay.kim@seoultech.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Since most simulation programs take the interface that lists up all the input variables representing all the functionalities, users must know where design variables of an Energy Conservation Measure (ECM) are located and also know what values are appropriate. This is why practitioner designers feel frustrated when they attempt to use simulation. The final objective of this study is to provide a building energy modeling guideline for practitioners in various fields such as architectural design and MEP.

**Method:** As the first step of the modeling guideline, this study provides the Level of Detail (LOD) for simulation modeling of primary ECMs considering the design information available in each design phase. It is prepared by literature review, simulation functionality investigation, and field experts' survey.

**Result:** The proposed simulation LOD offers a milestone at each design phases concerning what design variable and attributes need to be developed with how much of details in order to meet the project goal. Also each design team can set up a simulation usecase considering organizational characteristics based on the proposed LOD.

© 2015 KIEAE Journal

#### KEYWORD

건물에너지시뮬레이션  
모델링 가이드라인  
건물 에너지 절감조치  
모델링 상세수준

Building Energy Simulation  
Modeling Guideline  
Energy Conservation Measure  
Level of Detail  
LOD

#### ACCEPTANCE INFO

Received September 2, 2015  
Final revision received November 6, 2015  
Accepted November 10, 2015

## 1. 연구의 배경

건물 에너지 시뮬레이션은 고성능 단열재, 고효율 냉동기 같은 건물 에너지 절감조치 (Energy Conservation Measure, 이하 ECM)의 연구 개발 시, 실제 건물 조건에 맞추어 시제품의 성능을 평가해야 할 경우 고비용의 물리적 시험을 대체하기 위해 연구용으로 개발되었다. 시뮬레이션의 ECM 라이브러리가 점차 보강되면서 사용자가 일반 건축과 설비 설계자 레벨로 확산되었고 BIM (Building Information Modeling: 건물정보모델링)이 건물 설계에 도입되고 에너지 모델로 자동적으로 변환시켜주는 BIM 저작도구들이 출시되면서 시뮬레이션의 대중화가 가속되었다.

시뮬레이션이 설계자에게 요긴한 설계 지원 도구가 되는 이유는 ECM이 적용된 설계 안의 정량적인 성능 평가를 가능하게 할 뿐만 아니라, 설계자가 초기 설계단계에서 설계 방향을 설정하고 대상 건물과 기계 전기 설비의 에너지 특성에 관한 종합적인 지식을 습득하는데 도움을 주어 설계자의 ECM에 대한 전문지식을 축적하는데 용이하기 때문이다. 그러나 아직도 시뮬레이션이 설계자에게 사용하기 어려운 도구인 이유는 대부분 시뮬레이션 프로그램의 유저 인터페이스가 1차적인 기능 나열에 초점이

맞추어져 있고 ECM을 구현하기 위해서는 상당히 많은 기능을 종합적으로 설정하고 입력변수의 값을 채워야 하지만, 무엇에 어떤 값을 어떻게 입력해야 하는지를 묘사하는 Use Case를 제공하지 않기 때문이다. 즉 사용성 향상보다는 이미 사용자가 시뮬레이션과 건물 에너지 정보에 대한 전문지식을 숙지하고 있다고 가정하고 정밀도를 보강하는 방향으로 관련 연구개발이 진행되어 왔었다.

선행연구에서는 에너지 절약형 건물의 통합설계 프로세스에서 시뮬레이션을 적극적으로 활용할 수 있는 방법을 찾고자 건축 및 기계 설비 설계자, 에너지 컨설턴트를 대상으로 설문조사를 실시하였다 [1]. 많은 설계자들이 여러 종류의 ECM을 시뮬레이션으로 성능 테스트를 해 보고 싶으나 전반적인 지식이 부족하고 입력 값 설정의 어려움을 호소하였다. 즉 각 전문가의 설계업무에 적합한 시뮬레이션 사용 프로토콜 개발이 주요 개선 요구사항이었다.

초기 설계단계에서부터 건축, 기계, 전기, 구조, 토목, 조경 별 에너지 관련 정보를 공유하고 설계 단계별로 적절한 ECM이 적용된 설계 안의 에너지성능을 평가하여 결과를 설계자들이 공유하고 문제가 발생할 경우 분야별로 또는 공동으로 해결책을 마련하는 것이 이상적인 통합 설계 프로세스다. 진행 설계 안의 에너지 성능 평가를 시뮬레이션이 담당하므로 이러한 프로세스를 고려하여 시뮬레이션 사용 프로토콜이 개발되어야 한다.

그러나 시뮬레이션 모델은 해석모델이라 완전한 에너지 정보 (Complete Information)를 입력하여야 실행이 가능하다. 즉 진행 안의 에너지 성능을 평가할 시 결정되지 않은 설계변수와 속성도 입력을 해야 하는데 이러한 결정되지 않은 정보는 시뮬레이션을 수행하는 모델러의 경험에 따라 전적으로 결정되고 있는 실정이다. 이 점이 시뮬레이션을 담당하는 모델러와 그 결과를 에너지 성능 관점에서 해석하고 설계 의사결정을 내리는 설계자의 시뮬레이션에 대한 신뢰를 떨어뜨리는 근본 원인이 된다. 이에 대한 해결책으로 설계단계별로 결정되는 ECM의 설계변수와 속성이 우선적으로 정리되어야 할 필요가 있으며, 그 다음 어떤 에너지 정보를 얼마만큼 상세하게 누가 제공해야 하는지에 대한 지침이 프로토콜에 포함되어야 할 것이다.

본 연구는 현재 설계자들이 관심을 많이 가지는 ECM을 먼저 조사하고, 이상적인 통합설계 프로세스와 현행 설계 프로세스를 고려하여 설계단계별로 결정되는 ECM의 설계변수와 속성을 분석하여 BIM의 모델링 상세수준 (LOD: Level of Detail)과 동일한 개념으로 ECM의 시뮬레이션 모델링 상세수준을 제안하고자 한다.

## 2. 연구의 목적과 방법

본 연구의 궁극적인 목적은 시뮬레이션의 사용성을 향상시켜 에너지 절약형 건물의 통합설계에서 시뮬레이션 활용을 증진시키는 것이다. 이를 위해 본 연구는 설계단계별로 결정되는 ECM의 에너지 성능 관련 설계변수와 속성, 즉 시뮬레이션 모델링 상세 수준(LOD)을 제안하고자 다음과 같은 과정으로 연구가 진행되었다.

첫째, 국내외의 건물 에너지 성능 해석을 위한 BIM 모델링과 건물 에너지 모델링 기준 및 가이드라인을 조사하였다.

둘째, 건축, 기계, 전기, 조경 분야별 ECM의 종류를 조사하여 건물 에너지 성능향상에 기여하는 역할을 정리하였다.

셋째, 현재 국내 설계 프로세스에서 많이 사용되는 시뮬레이션 프로그램을 중심으로 어떤 프로그램이 어떤 ECM을 구현할 수 있는지 정리하였다.

넷째, 주요 ECM을 중심으로 설계변수와 속성을 정리하고, 국내 설계 프로세스와 이상적인 통합설계 프로세스를 고려하여 설계단계별로 필요한 최소한의 정보량 결정을 위해 단계별 결정되어야 할 에너지 성능 관련 설계변수와 속성을 분석하였다.

## 3. 건물 에너지성능 해석을 위한 국내외 BIM과 건물 에너지 모델링 작성 기준

건설 산업 전반에 BIM 도입이 확대되면서 미국과 북유럽의 공공기관과 건설 관련 협회에서 BIM 가이드라인을 출시하기 시작하였으며, 독일, 호주, 싱가포르에서도 유사한 BIM 가이드라인이 출시되었다. 대표적으로 미국 GSA (General Service Administration)의 BIM Guide Series (2006), 미국 AIA (American Institute of

Architects)의 AIA Document E202 (2008), buildingSmart의 IDM for Design to QTO/Cost estimation (2010), 싱가포르 Building and Construction Authority의 Singapore BIM Guide (2012)가 있다. 국내에서도 국토해양부가 공공발주 사업에 대한 건축사의 업무범위와 대가기준 (2009), 조달청의 건축분야 BIM 적용 가이드 (2010), buildingSMART Korea가 BIM 표준 라이브리리 표준기술 규격 (2011), 한국토지주택공사가 BIM 설계 가이드라인 (2012)을 발간하였다. 그러나 이러한 가이드라인은 발주처에서 데이터 관리를 위한 지침에 가까우며 건물에너지 모델이나 BIM 작성 시 참조할 수 있는 모델링 가이드라인으로 사용하기에는 무리가 있다.

추승연 (2012)는 에너지 성능 평가를 위한 BIM 작성 가이드라인의 일환으로 BIM Level of Development (LOD)를 제안하였고 [2], 조현정 (2013)은 설계프로세스를 고려한 BIM Level of Detail (LOD)를 제안하였다 [3]. Level of Development는 모델링 수준에 따른 단계별 업무를 의미하고 Level of Detail은 단계별 모델링 상세 수준을 의미한다. 두 개념 모두 설계단계에서 결정되는 정보 모델의 객체(Object)나 속성의 상세 정도를 지칭하며 정보 교환의 기준이 된다. 두 연구는 국내외 BIM 가이드라인과 설계 프로세스에서 결정되는 설계정보를 바탕으로 설계 안의 에너지 성능 평가를 위한 요구조건, 업무 분장, 설계 단계별 객체와 속성을 국내 설계 현실에 맞게 분류하고 제안 했다는데 의의를 가진다. 오민호 (2013)는 MEP 설계 관리를 위한 LOD를 제안하였지만 주로 파이프와 덕트의 BIM 작성 기준 중심으로 연구가 이루어 졌다 [4]. 따라서 건물 전체의 에너지 성능에 큰 영향을 미치는 기계 및 전기 설비에 대한 LOD 분석에 대한 연구는 아직도 더 필요한 실정이다.

박경순 (2013, 2014)은 신축 건물과 그린 리모델링 프로젝트를 대상으로 실무 경험에서 근거하여 BIM 기반 환경 및 에너지 성능 분석 통합프로세스를 개발하였다 [5,6]. 에너지 성능 평가 프로세스를 살펴보면 기본안과 대안을 분리하고 여러 종류의 ECM을 적용한 대안과 기본안과의 성능 비교 분석을 통해 ECM을 선택한다. 따라서 에너지 성능 평가를 위한 모델링의 이벤트 기본단위는 ECM이므로 ECM별 시뮬레이션 모델링 상세수준이 설계프로세스에 더 적합하다고 사료된다.

## 4. 건축, 기계, 전기, 조경 분야의 ECM과 역할

참고문헌 [7-16]을 분석하여 건물에 흔히 적용되는 ECM을 건물 요소 별 및 설비 계통 별로 정리하고 개별 ECM이 건물 에너지 성능 향상에 기여하는 기능을 표 1과 표 2에 명시하였다. 건물에 적용되는 ECM은 자연에너지를 이용하여 냉각하거나 난방, 조명으로 건물 부하를 감소시키고, 설비에 적용되는 ECM은 설비와 장비의 효율을 증대시켜 Peak 에너지 소모량을 감소시키고 운영 최적화로 부분 부하 운전 효율을 증대시켜 전체 에너지 소모량을 감소시키거나 대체열원을 이

용하여 에너지를 생산하는 역할을 한다.

## 5. ECM을 구현하는 시뮬레이션 프로그램

선행연구 [1]에서 국내 설계단계에서 주로 이용되는 시뮬레이션 프로그램을 조사하여 표 1과 2의 ECM이 어떤 시뮬레이션 프로그램에서 구현 가능한지, 제약은 어떠한지를 조사하였다. 수변전이나 운송 설비에 적용되는 ECM을 구현할 수 있는 시뮬레이션 프로그램은 극히 일부에 불과하였다. 대수식 기반 시뮬레이션은 패시브나 하이브리드 타입의 ECM을 구현하는데 한계가 많았고 전형적인 기계 설비 형 ECM 이외의 설비형 ECM이나 제어형 ECM을 구현하는데 한계가 있는 것으로 조사되었다. eQuest, GBS, DesignBuilder는 시뮬레이션 커널에서 구현이 가능한 ECM일지라도 인터페이스에서 구현이 불가능한 경우도 있었다. Trace 700은 기계 설비형과 건물 제어형 ECM 구현에 탁월하였고 TRNSYS는 거의 모든 ECM을 구현할 수 있는 것으로 조사되었지만 모델링이 가장 어려웠다. 지면 관계상 분석표는 생략하지만 김영돈 (2009)이 유사한 정보를 제공한다 [17].

## 6. 주요 ECM별 시뮬레이션 LOD

표 1과 2의 ECM 중 최근 국내외에서 관심이 고조되는 주요 ECM을 선택하여 적용되는 건물 요소와 설비 계통을 분석하여 중복되는 건물과 설비 객체를 추출 분류하고, [7-16]와 5절의 시뮬레이션 프로그램을 참조하여 해당 객체의 에너지 성능을 결정하는 설계변수와 속성을 추출하고 표 3에 정리하였다. 또한 국내의 대형 건축설계 사무소 3곳, 기계설비 설계 사무소 4곳, 친환경 컨설팅 사무소 2곳에서 설계 업무를 직접 수행하고 있으며 BIM과 시뮬레이션으로 건물 에너지 성능 해석 경험이 있는 경력 4년 차 이상의 20여명의 실무 전문가를 대상으로 각 설계변수와 속성 값이 결정되기 시작하는 설계단계와 고정되는 설계단계에 대한 설문조사를 실시하여 설계변수와 속성 값이 발전하는 과정을 처음으로 논의되기 시작하는 단계에서는 □, 확정되는 단계에서는 ■으로 표기하였다. 설계단계는 기존의 국내 설계 프로세스에 따라 기획 및 매스 설계, 계획 설계, 기본 설계, 실시 설계, 시공 준공 및 유지보수의 5단계와 표준설계조건으로 나누었다. 표준설계조건(Standard Design Condition)이란 건물과 설비의 일반적인 운영 조건과 기후 조건으로 건축 계획이나 설계 지침에서 제시하는 설계변수와 속성이다.

설문 조사를 분석해 보면 에너지 성능 관련 설계변수 중 건물의 매스, 실 배치, 구조, 주요재료들의 속성 값은 계속 발전하다가 기본 설계단계에 이르러 거의 결정되고, 설비 설계변수와 속성 값은 기본 설계단계에서 위치, 종류, 대략 용량이 발전되기 시작하다 실시 설계단계에 이르러서야 대부분 결정된다. 심지어 시공단계에서 시공상세도가 작성되면서 배관 및 덕트의 관경과 길이가 변경되기도 한다. 신재생 에너지 시스템의 설계변수에 관련하여 설문 응답자의 편차가 발생하였는데 지열 시스템의 열

교환기 관련 설계변수는 건물 배치 계획과 동시에 고려되어야 한다는 점은 대부분 설계자가 동의하였다. 프로젝트의 특성과 설계사의 관행에 따라, 설비 관련 설계변수들이 실시 설계단계에서 대부분 결정되기도 하고 빠르면 기본 설계단계에서 결정되기도 하나, 태양이나 지열 에너지를 사용하는 신재생 에너지 시스템은 건물의 배치와 형상, 음영의 정도에 따라 성능 차이가 발생할 수 있으므로 가급적 기획이나 계획 설계단계 같은 이른 설계 단계에서부터 형상 및 주요 성능 설계변수와 관련 계통이 결정되는 것이 바람직하다는 의견이 많았다. 열원 설비나 주요 공조 설비의 성능 설계변수도 단위 면적당 용량 같은 간략한 계산보다는 좀 더 구체적으로 계산되어 기본 설계단계에서부터 발전되기 시작해야 한다는 의견도 조사되었다.

시뮬레이션 모델링 가이드라인이 사용자의 요구를 만족시키기 위해서는 시뮬레이션 프로그램 별로 개발되어야 한다. 그 이유는 동일한 컨텍스트의 동일한 ECM이라도 시뮬레이션 프로그램에 따라 구현방법이 다르기 때문이다. 즉 동일한 BIM이나 시뮬레이션 정보 모델을 사용하더라도 시뮬레이션 프로그램마다 데이터 모델이 다르다. 따라서 모든 건물 에너지 시뮬레이션에 공통적으로 적용할 수 있는 정보 모델의 모델링 상세수준을 먼저 정하는 것이 모델링 가이드라인 개발의 초석이다. BIM 가이드라인에 따라 각 설계단계에서 수행되어야 할 업무의 범위와 항목이 정해지고 어떤 분야의 전문가가 해당 업무를 담당할지 정해지면, 본 연구에서 제시된 ECM의 설계단계별 시뮬레이션 LOD를 벤치마킹하여 프로젝트와 조직의 특성을 반영한 독자적인 시뮬레이션 Use Case 개발이 가능하다.

시뮬레이션의 핵심은 예측성이다. 시뮬레이션의 사용성에 대한 논란을 차치하고 시뮬레이션에 대한 실무자의 낮은 신뢰의 근본 원인은 정해지지 않은 설계변수와 속성값에 의하여 분석 결과가 크게 좌우되기 때문이다. 특히 이른 설계단계일수록 정해지지 않은 설계변수가 많을수록 시뮬레이션의 예측성은 떨어진다. 본 연구에서 제시된 ECM의 설계단계별 시뮬레이션 LOD는 현재 상태에서 향후 어떤 설계변수와 속성값이 정의되어야 하는지, 얼마나 상세하게 구현되어야 하는지에 대한 마일스톤(Milestone)을 제시한다. 즉 정해지지 않은 정보를 가늠하게 하여 사용자가 리스크를 분산(Risk Hedge)할 수 있는 전략을 구상하여 설계에 반영할 수 있게 해 준다.

## 7. 결론

설계 대안들의 에너지 성능을 실제 상황과 유사한 조건에서 정량적으로 평가 가능하다는 것이 시뮬레이션의 장점이라는 의견에 많은 실무자들이 동의한다. 시뮬레이션이 설계 지원도구라는 고유의 목적을 충실하기 위해서는 사용자인 설계자의 업무 생산성을 향상시키며 결과물인 설계 안의 가치를 향상시킬 수 있어야 한다. 그러나 이러한 명제는 경험이 많은 시뮬레이션 전문가에게 유효하지만, 시뮬레이션의 일반 사용자이며 실제 설계의사 결정을 내리는 설계자에게는 시뮬레이션은 사용하기 어려우며

어떤 값을 어느 변수에 입력해야 하며 현재까지 정해지지 않은 변수에 대해서는 어떤 식으로 처리를 해야 하는지에 대한 지침이 주어지지 못 했다.

각 전문가의 설계업무에 적합한 시뮬레이션 사용 프로토콜 개발의 초석으로써, 본 연구는 주요 ECM을 중심으로 설계변수와 속성을 정리하고, 국내 설계 프로세스와 이상적인 통합설계 프로세스를 고려하여 설계단계별로 필요한 최소한의 정보량 결정을 위해 단계별 결정되어야 할 에너지 성능 관련 설계변수와 속성을 분석하여 시뮬레이션 LOD를 제시하였다.

본 연구에서 제시된 ECM의 설계단계별 시뮬레이션 LOD는 현재 상태에서 향후 어떤 설계변수와 속성 값이 정의되어야 하는지, 얼마나 상세하게 구현되어야 하는지에 대한 마일스톤(Milestone)을 설계자에게 제시한다. 따라서 각 설계조직은 제안된 LOD를 벤치마킹하여 프로젝트와 조직의 특성을 반영한 독자적인 시뮬레이션 Use Case 개발이 가능하다.

8. 알림

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

[1] 김선혜, “에너지 절약형 건물의 통합설계 확산을 위한 시뮬레이션 사용성 개선 방향”, 한국생태환경건축학회지, 제 15권 제 6호, 2015 // (Kim, Sean Hay, “How to improve usability of building energy simulation for the Integrated Design Process”, KIEAE Journal, Vol.15, No. 6, 2015)

[2] 추승연, 이권형, 박선경 “Green BIM 가이드라인 개발을 위한 모델링 수준 설정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제 28권 제 6호, 2012 // (Choo, Seung-Yeon, Lee, Kweon-Hyung, Park, Sun-Kyoung, “A Study on LOD for development of Green BIM guidelines”, Journal of the AIK, Vol.28, No. 6, 2012)

[3] 조현정, 김연수, 마영균, “설계 프로세스를 고려한 BIM 작성기준에 관한 연구”, 한국BIM학회논문집, 제 3권 제 1호, 2013 // (Cho, Hyun-Jung, Kim, Yeon-Soo, Ma, Young-Kyun, “A Study of LOD for BIM model applied the design process”, Journal of KIBIM, Vol.3, No. 1, 2013)

[4] 오민호, 안정환, 이재욱, “국내 BIM 기반 MEP 설계관리를 위한 모델링 상세수준 제시”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2013 //

(Oh, Minho, Ahn Junghwan, Lee, Jaewook, “A proposal of LOD for the Domestic BIM-based MEP Design Management”, Proceeding of KICEM, 2011)

[5] 박경순, 고정림, “친환경 리모델링을 위한 BIM 기반 환경 및 에너지 성능 분석 통합 프로세스 구축에 관한 연구”, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제 7권 제 2호, 2013 // (Park, Kyung-Soon, Ko, Jung-Lim, “A Study on the integrated process establishment of BIM-based environment and energy performance analysis for sustainable building remodeling”, Journal of KIAEBS, Vol.7, No. 2, 2013)

[6] 박경순, 고정림, “기존건축물 에너지 성능 리모델링 사례분석을 통한 BIM 기반 프로세스의 활용에 관한 연구”, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제 8권 제 2호, 2014 // (Park, Kyung-Soon, Ko, Jung-Lim, “A Study on the utilization of BIM-based remodeling process through case study on energy performance analysis of the existing buildings”, Journal of KIAEBS, Vol.7, No. 2, 2013)

[7] 김영돈, “BIM기반 MEP 설계프로세스”, 하나기연(주), 2011// (Kim, Young-Don, “MEP design process based on BIM”, HANA consulting engineers, 2011)

[8] 안혜균, “DSM을 통한 실시설계단계 및 시공단계 MEP BIM업무의 개선방안에 관한 연구”, 한양대학교 석사논문, 2013// (Ahn, Hye-Gyun, A study on improvement plan of MEP BIM business for 2D design and construction step using DSM, Hanyang University, MS thesis, 2013)

[9] 대한설비공학회, “건축기계설비 설계기준”, 2010 // (SAREK, “Building Mechanical Design Standard”, 2010)

[10] 한국조명전기설비학회, “건축전기설비 설계기준”, 2011 // (KIIEE, “Building Electrical Design Standard”, 2011)

[11] 국토교통부, “기존 건축물의 에너지성능 개선기준”, 2014 // (MOLIT, “Guideline for improving energy performance of existing buildings”, 2011)

[12] 국토교통부, “건축물의 에너지 절약 설계 기준”, 2015 // (MOLIT, “Guideline for improving building energy performance”, 2015)

[13] 한국건설기술연구원, “BIM기반 유지관리 정보 모델링 지침-기계설비 분야”, 2013 // (KICT, “BIM Guideline for FM-Mechanical”, 2013)

[14] 한국건설기술연구원, “BIM기반 유지관리 정보 모델링 지침-전기정보 통신분야”, 2013 // (KICT, “BIM Guideline for FM-Electrical and Telecommunication”, 2014)

[15] 한국정보통신기술협회, “능동적 건물 에너지 관리 성능 평가 항목”, 2011 // (TTA, “Performance assessment criteria for active building energy management and control”, 2011)

[16] 오희선, “빌딩에너지운영관리 가이드라인”, 메이트플러스, 2013 // (Oh, Hee-sun, “Guideline for energy efficient building operation and management”, MatePlus, 2013)

[17] 김영돈, “에너지 절약과 친환경 설계를 위한 건물에너지 해석 프로그램 활용”, 한국설비기술협회 협회지, 2009.9// (Kim, Young-Don, “Use of building energy simulation program for energy efficient and sustainable building design”, KARSE magazine, 2009.9)

Table 1 ECMs applied in building

	Energy Conservation Measures (ECMs)	To reduce heating load	To reduce cooling load	To flatten load	To reduce lighting load	For energy efficient operation
Layouts and site plan	Site planning considering wind path - To reduce urban heat island effect - To increase ventilation via Venturi effect		V			
	Shading and daylighting optimized by surroundings - To ensure enough separation distance between buildings - To ensure enough shading area and duration for each orientation	V	V		V	
	Landscaping per orientation considering seasonal solar gain and shading - Deciduous on eastern and western façade - Conifers on north façade	V	V			
Building mass and orientation	Building orientation considering microclimate and seasonal solar gain and shading - To maximize solar gain on primary façade during heating season - To minimize shading on primary façade during cooling season	V	V			
	Building mass minimizing envelope area and taking advantage of solar gain and heat loss - The lower S/V (Surface area/Volume) ratio, the lower thermal load - The longer East-West axis, the lower thermal load	V	V			

Table 1 ECMS applied in building (continued)

	Energy Conservation Measures (ECMs)	To reduce heating load	To reduce cooling load	To flatten load	To reduce lighting load	For energy efficient operation
Building envelope	Envelope finish considering solar absorption and reflectance - To increase solar reflectance by using bright and reflective materials		V			
	Cool Roof		V			
	Window Wall Ratio (WWR) considering solar gain and shading - South and South-East: Less than 60% of WWR - Others: Less than 40% of WWR	V	V		V	
	Glazing considering solar gain and shading - South: low e & double glazing, or low reflective & low e glazing - East, South-East: double glazing, or low e glazing - West: low reflective low e glazing - North: double or triple low e, high SHGC, high Tvis glazing	V	V		V	
	Electrochromic Glazing	V	V		V	V
	Mixed mode ventilation by centrally controlled operable windows	V	V			V
	Shade and louver - South, South-East: horizontal grid shade or louve - North: no shade or louver - West: vertical grid shade or louver		V			
	Air-tight envelope to reduce infiltration	V	V			
	Envelope with improved insulation, water-proof and thermal break	V	V			
	Double skin façade/air flow window	V	V			
	Green roof	V	V			
	Green wall	V	V			
	Sky light, light shelf, light duct, fiber optic light, solar spot, solar mirror	V			V	
	Manual/automatic interior blind and roll screen		V			V
Door	EVB (Exterior Venetian Blinds)		V			V
	Door with improved insulation	V	V			
	Air tight door	V	V			
Natural ventilation	Manual operation of automatic door in shifting seasons	V	V			V
	Stack ventilation		V			
	Cross ventilation		V			
	Venturi effect		V			
	Wing walls		V			
Thermal mass	Trombe wall, Attached greenhouse	V		V		
	PCM (Phase Change Material) applied in exterior, interior wall and ceiling	V	V	V		

Table 2 ECMS applied in MEP systems

	Energy Conservation Measures (ECMs)	To reduce heating load	To reduce cooling load	Hybrid heating systems	Hybrid cooling systems	To reduce lighting load	High system efficiency	Waste heat reuse	Natural resource reuse	Alternative and renewable energy	Reduced peak power & power equalization	For energy efficient operation
Plant Water-side systems	High efficiency plant and refrigerator						V					
	High efficiency pump						V					
	High efficiency cooling tower						V					
	Variable speed compressor, condenser, pump, fan						V					V
	Air source heat pump									V		
	Absorption chiller/chiller-heater							V			V	
	Large Δt operation						V					V
	Ice storage, chilled water storage										V	
	District heating and cooling						V				V	
	Water side economizer				V							
	Sequence control for plants and pumps										V	V
	Optimal on/off for plants										V	V
	On-demand operation for plants											V
	Air fuel ratio control for boilers							V				V
	Outside air and load reset for CHW, CW, HW											V
Air-side systems	Optimized HVAC zoning	V	V									
	High efficiency AHU						V					
	High efficiency fan						V					
	Variable speed fan						V					V
	Heat Recovery Ventilation	V		V				V				
	Enthalpy Recovery Ventilation	V	V	V	V			V				
Geothermal cool tube	V	V	V	V								

Table 2 ECMs applied in MEP systems (continued)

	Energy Conservation Measures (ECMs)	To reduce heating load	To reduce cooling load	Hybrid heating systems	Hybrid cooling systems	To reduce lighting load	High system efficiency	Waste heat reuse	Natural resource reuse	Alternative and renewable energy	Reduced peak power & power equalization	For energy efficient operation
Air-side systems	Radiant heating and cooling (Chilled beam, Radiant panel)			V	V							
	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)	V	V	V	V							
	Desiccant and evaporative cooling		V		V							
	Under Floor Air Distribution (UFAD)			V	V							
	Displacement Ventilation											
	Air-side economizer		V		V							
	Night purge		V		V							V
	Demand Controlled Ventilation (DCV)	V	V									V
	Variable Air Volume (VAV)											V
	Night cycling	V	V									V
	Scheduled ventilation	V	V									V
	Operation for intermediate seasons	V	V									V
	Optimal on/off for AHU											V
	Duty cycle control											V
	Water supply & Domestic Hot Water	Outside air temperature and load reset	V	V								
Released setpoint temperature and humidity upon space and schedule		V	V									V
Reduced reheat and recooling		V	V									V
Garage Carbon Monoxide control		V	V									V
Optimized DHW zoning							V					
High efficiency water heater							V					
High efficiency pump							V					
Variable speed pump							V					V
Insulated pipe							V					
Water saving closet and tab							V					
Direct water supply							V					
Rainwater, greywater reuse									V			
Minimum hot water temperature and circulation volume											V	
Higher authority of control valve											V	
Lighting system	Optimized light zoning		V			V						
	High efficiency luminaries		V			V						
	Ambient and task lighting		V			V						
	High efficiency shade and ballast		V			V						
	Daylight sensor		V			V						V
	Occupant sensor		V			V						V
	Deeming and on/off control		V			V						V
	Lighting schedule per space		V			V						V
	Automatic on/off for exterior lighting					V						
Photovoltaic exterior light					V							
Electrical equipment	High efficiency equipment		V				V					
	Parasitic load control						V					
	High efficiency transformer						V					
	Static capacitor						V					
	Low loss capacitor						V					
	Sequence control for transformer										V	
	Power demand control										V	
	Automatic power factor control										V	
Energy Storage System (ESS)									V	V		
Elevator & Escalators	Sequence control, group and schedule management											V
	Occupant sensor for escalator											V
	Variable speed elevator						V					V
Renewable energy system and cogeneration	Solar water and space heating			V						V		
	Solar air heater			V						V		
	Photovoltaic									V	V	
	Geothermal heat pump									V		
	Water source heat pump									V		
	μ Combined Heat and Power (CHP)									V	V	

Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/ Occupancy
Building	Zone	Internal heat gain	Number of occupants per unit area, Occupancy schedule (Occupied/Unoccupied), Occupant heat gain (Sensible/Latent/Radiation), Light schedule (Occupied/Unoccupied), Task light schedule (Occupied/Unoccupied), Equipment schedule (Occupied/Unoccupied), Equipment heat gain, Equipment duty cycle, Light heat gain, Task light heat gain, Exterior light heat gain		<input type="checkbox"/>					■
		Setpoint tem. & humidity	Heating setpoint temperature and humidity (Occupied/Unoccupied), Cooling setpoint temperature and humidity (Occupied/Unoccupied)		<input type="checkbox"/>					■
		Infiltration	Interior infiltration rate, Envelope infiltration rate		<input type="checkbox"/>					■
		Ventilation	Minimum ventilation rate, Minimum OA rate, Heating supply air temperature (Occupied/Unoccupied), Cooling supply air temperature (Occupied/Unoccupied), Ventilation schedule (Occupied/Unoccupied)		<input type="checkbox"/>					■
HVAC	AHU		CHW inlet temperature, CW inlet/outlet temperature, HW inlet/outlet temperature, CW coil entering air temperature, HW coil entering air temperature, Steam coil entering air temperature, Steam coil entering air vapor pressure, OA ratio		<input type="checkbox"/>				■	
Plant	Boiler		Supply hot water temperature, Hot water delta t		<input type="checkbox"/>				■	
DHW	Water heater		Supply DHW temperature, DHW delta t, Water use per capita, Water use per appliance		<input type="checkbox"/>				■	
Refrigerator	Chiller		CHW inlet temperature, CHW outlet temperature, CW inlet temperature, CW outlet temperature, HW inlet temperature, HW outlet temperature		<input type="checkbox"/>				■	
Refrigerator	Cooling tower		CW inlet temperature, CW outlet temperature, Wet bulb temperature		<input type="checkbox"/>				■	
Plant	Heat exchanger for district heating		Primary supply water temperature (heating/DHW), Primary return water temperature (heating/DHW), Secondary supply water temperature (heating/DHW), Secondary return water temperature (heating/DHW)		<input type="checkbox"/>				■	
Site	Weather		Dry air temperature, Relative humidity, Absolute humidity, Dew point temperature, Pressure, Direct solar radiation, Horizontal solar radiation, Cloud cover, Snow cover, Rainfall, Wind direction, Wind speed		■					
	Microclimate		Shade by surroundings, Reflection by surroundings, Solar radiation modulated by surroundings, Wind direction/speed modulated by surroundings, Ground reflectance modulated by surroundings, Air temperature elevation by urban heat island effect			<input type="checkbox"/>				■
	Ground		Soil conductivity, Soil type, Ground temperature profile, Ground water distribution, Ground water discharge			<input type="checkbox"/>				■
Building	Mass	Geometry & Topology (G&T)	Location, Area, Volume, Height, Orientation			<input type="checkbox"/>			■	
Building	Zone	G&T	Location, Area, Volume, Floor height, Floor location			<input type="checkbox"/>				■
		Thermal zoning	Classification	Whole building, Each floor, Perimeter/Interior, Individual			<input type="checkbox"/>			■
Building	Floor	G&T	Location, Area, Void or Atrium			<input type="checkbox"/>				■
		Construction	R-value, Heat capacity				<input type="checkbox"/>			■
		Insulation	R-value				<input type="checkbox"/>			■
		Interior finish	R-value					<input type="checkbox"/>		■

Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs (continued)

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/Occupancy	
Building	Slab-on-ground	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Construction	R-value, Heat capacity				<input type="checkbox"/>			■	
		Insulation	R-value				<input type="checkbox"/>			■	
Building	Exterior wall	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Construction	R-value, Heat capacity, Air tightness				<input type="checkbox"/>			■	
		Insulation	R-value				<input type="checkbox"/>			■	
		Interior finish	Color, Reflectance					<input type="checkbox"/>		■	
Building	Ground wall	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Construction	R-value, Heat capacity				<input type="checkbox"/>			■	
		Insulation	R-value				<input type="checkbox"/>			■	
		Interior finish	Color, Reflectance					<input type="checkbox"/>		■	
Building	Interior wall	G&T	Location, Area				<input type="checkbox"/>			■	
		Construction	R-value, Heat capacity					<input type="checkbox"/>		■	
Building	Ceiling	G&T	Height					<input type="checkbox"/>		■	
		Construction	Color, Heat capacity					<input type="checkbox"/>		■	
Building	Roof	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Construction	R-value				<input type="checkbox"/>			■	
		Insulation	R-value				<input type="checkbox"/>			■	
		Exterior finish	Color, Reflectance					<input type="checkbox"/>		■	
Building	Window/Curtain wall	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Glazing	U-value, SHGC, VT				<input type="checkbox"/>			■	
		Frame/Mullion	U-value, Glass-Frame ratio, Air tightness				<input type="checkbox"/>			■	
		Shade	Exterior horizontal shade, Exterior vertical shade				<input type="checkbox"/>			■	
		Blind/Curtain	Indoor blind, EVB						<input type="checkbox"/>	■	
Building	Sky light	G&T	Location, Area			<input type="checkbox"/>				■	
		Glazing	U-value, SHGC, VT				<input type="checkbox"/>			■	
		Frame	U-value, Glass-Frame ratio, Air tightness				<input type="checkbox"/>			■	
Building	Door	G&T	Location, Area				<input type="checkbox"/>			■	
		G&T	Type	Manual, Automatic, Revolving				<input type="checkbox"/>		■	
		Vestibule	Location, Volume					<input type="checkbox"/>		■	
		Construction	R-value					<input type="checkbox"/>		■	
		Insulation	R-value					<input type="checkbox"/>		■	
		Glazing	U-value, SHGC, VT					<input type="checkbox"/>		■	
		Frame	U-value, Glass-Frame ratio, Air tightness					<input type="checkbox"/>		■	
Renewable Energy (RE) system	Solar water and space heating	Solar panel	Location, Area, Azimuth, Altitude, Seasonal shade				<input type="checkbox"/>			■	
			Type	Mat flat panel, Reflective flat panel, Evacuated tube				<input type="checkbox"/>		■	
			Capacity, Efficiency, Absorptivity					<input type="checkbox"/>		■	
		Hot water tank	Location, Volume, Heat capacity						<input type="checkbox"/>		■
			Insulation							<input type="checkbox"/>	■
		Primary pump	Location, Power						<input type="checkbox"/>		■
			Efficiency, Performance curve (Flow rate, Head)							<input type="checkbox"/>	■
			Flow control	Constant, Variable						<input type="checkbox"/>	■
Heat exchanger	Location, Capacity, Efficiency						<input type="checkbox"/>		■		
RE system	Solar air heater	Solar panel	Location, Area, Azimuth, Altitude, Seasonal shade				<input type="checkbox"/>			■	
			Type	Mat flat panel, Reflective flat panel, Evacuated tube					<input type="checkbox"/>		■
			Capacity, Efficiency, Absorptivity, Flow volume						<input type="checkbox"/>		■
		Supply fan	Location, Power						<input type="checkbox"/>		■
			Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	■
		Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)						<input type="checkbox"/>	■		



Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs (continued)

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/Occupancy	
RE system	Solar air heater	Supply fan	Flow volume control	CAV, VAV					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Variable flow control	RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
RE system	Photovoltaic	Solar panel	Location, Area, Azimuth, Angle, Seasonal shade				<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	
			Module type	Mono-Si, Polycrystalline-Si				<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Tracking mode	Fixed, Fixed-variable, Tracking					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
			Generation capacity, Generation efficiency						<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
		Inverter	Nominal operation cell temperature, Temperature coefficient, Loss coefficient							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Capacity							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RE system	Geothermal heat pump	Heat pump	Efficiency						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Cooling capacity, Heating capacity, Cooling COP, Heating COP							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Ground heat exchanger	Compressor control	Constant, Variable						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Land area, Length, Number, Pipe diameter, Distance between pipes							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Type	Vertical, Horizontal-open, Horizontal						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Primary and Secondary pump	Capacity, Grouting conductivity							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Power							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Efficiency, Performance curve (Flow rate, Head)							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Flow control	Constant, Variable						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Expansion tank	Location, Volume, Heat capacity							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Location							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
RE system	Micro CHP	Engine/Turbine	Type, Fuel consumption rate	Gas engine, Diesel engine, Fuel cell, Gas turbine					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Fuel type	LNG, Kerosene, Diesel, A fuel oil					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Type of generated heat	Hot water, Steam					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Heat generation capacity, Electricity generation capacity, Transmission capacity to grid							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Heat recovery rate, Generation efficiency, Total efficiency							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Capacity, COP							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Refrigerator	Vapor compression chiller		Compression refrigeration type	Water cooled, Air cooled					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Compressor type	Reciprocating, Screw, Turbo					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			IPLV, Performance curve							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Compressor control	Constant, Variable						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Refrigerator	Absorption chiller		Heat source connection	Direct fire, External					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Fuel for direct fire	Electricity, Gas, Fuel oil					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			External heat source	District heating, Waste hot water, Waste steam						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Cooling capacity, Hot water capacity, Cooling COP, Heating COP							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			IPLV, Performance curve							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Location, Cooling capacity							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Refrigerator	Cooling tower	Economizer	Cooling type	Evaporative, Dry					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Evaporative cooling type	Open, Closed					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Cooling water flow rate							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Efficiency, Heat exchanger LMTD							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Fan	Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Flow volume control	VAV, CAV						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Refrigerator	Ice storage		Location, Heat capacity, Volume						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Ice making type	Capsule, Ice coil, Slurry					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Insulation							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	CHW storage	Refrigerant type	Brine, R-22, R-143a						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Location, Heat capacity, Volume							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Plant	Water/Steam boiler		Insulation						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location, Heating capacity							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Fuel type	Gas, Oil, Electricity						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Tube type	Overhead fire tube, Through flow						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
District heating	Heat exchanger		Efficiency						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location, Capacity, Efficiency							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Heat source type	Steam, High tem. water, Medium tem. water						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs (continued)

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/Occupancy	
DHW	Water heater		Location, Hot water capacity					<input type="checkbox"/>		■	
			Fuel type	Gas, Oil, Electricity				<input type="checkbox"/>		■	
			Efficiency						<input type="checkbox"/>	■	
			Water storage	Instant, Tank					<input type="checkbox"/>	■	
HVAC	Heat pump/Variable Refrigerant Flow (VRF)	Compressor	Location, Heating capacity, Cooling capacity, Heating COP, Cooling COP, Medium pipe max. length					<input type="checkbox"/>		■	
			Fuel	Oil, LNG, LPG, Electricity				<input type="checkbox"/>		■	
			Compression refrigeration type	Water cooled, Air cooled					<input type="checkbox"/>	■	
			Configuration	Unitary, Splited, Multiple					<input type="checkbox"/>	■	
		Fan	Indoor unit control	on/off, Multi-stage, P-control, PI-control						<input type="checkbox"/>	■
			Speed control	Constant, Variable						<input type="checkbox"/>	■
			Medium pipe manifold	Dual, Triple						<input type="checkbox"/>	■
			Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	■
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	■
			Flow volume control	VAV, CAV						<input type="checkbox"/>	■
	Flow control	RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch						<input type="checkbox"/>	■		
HVAC	Climate control chamber		Location					<input type="checkbox"/>		■	
			Compression refrigeration type	Air cooled, Water cooled				<input type="checkbox"/>		■	
			Air discharge direction	Upward, Downward					<input type="checkbox"/>	■	
			Cooling capacity, Reheating capacity, Humidifying capacity, Efficiency						<input type="checkbox"/>	■	
		Supply fan	Indoor unit control	on/off, Multi-stage, P-control, PI-control						<input type="checkbox"/>	■
			Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	■
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	■
			Flow volume control	VAV, CAV						<input type="checkbox"/>	■
			Flow control	RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch						<input type="checkbox"/>	■
HVAC	AHU		Location, Volume, Cooling capacity, Heating capacity					<input type="checkbox"/>		■	
			Configuration	VAV, CAV, Active chilled beam, UFAD, Displacement ventilation					<input type="checkbox"/>		■
			Dimension	Vertical, Horizontal, Composite						<input type="checkbox"/>	■
			Heat source	Hot water, Steam					<input type="checkbox"/>		■
			Flow rate						<input type="checkbox"/>		■
		Supply/Exhaust fan	Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	■
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	■
			Flow volume control	VAV, CAV						<input type="checkbox"/>	■
		Economizer	Flow control	RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch						<input type="checkbox"/>	■
			OA control	Dry bulb tem., Enthalpy, Dual dry bulb tem., Dual enthalpy						<input type="checkbox"/>	■
			OA damper airtightness							<input type="checkbox"/>	■
		Humidifier	Capacity							<input type="checkbox"/>	■
			Type	Vapor, Steam injection, Electricity						<input type="checkbox"/>	■
		Reheater/Heat/enthalpy recovery	Attachment	In-house, Separated						<input type="checkbox"/>	■
			Capacity							<input type="checkbox"/>	■
Type	Plate, Rotary, Heat pipe							<input type="checkbox"/>	■		
	Flow rate, Heating heat recovery rate, Cooling heat recovery rate							<input type="checkbox"/>	■		
HVAC	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)		Location, Volume, Air flow rate, Cooling capacity, Heating capacity					<input type="checkbox"/>		■	
			Type	Refrigeration, Desiccant					<input type="checkbox"/>	■	
		Supply/Exhaust fan	Capacity, Efficiency							<input type="checkbox"/>	■
			Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	■
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	■
		Flow control	Flow volume control	CAV, VAV						<input type="checkbox"/>	■
			RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch							<input type="checkbox"/>	■
		Reheater	Capacity							<input type="checkbox"/>	■
		Economizer	OA control	Dry bulb tem., Enthalpy, Dual dry bulb tem., Dual enthalpy						<input type="checkbox"/>	■
OA damper airtightness								<input type="checkbox"/>	■		

Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs (continued)

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/Occupancy	
HVAC	DOAS	Heat/enthalpy recovery	Type	Plate, Rotary, Heat pipe					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Flow rate, Heating heat recovery rate, Cooling heat recovery rate						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Desiccant Cooling	Desiccant type	Liquid, Solid						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Heat source type	Gas fired, Solar heating, District heating, Hot water, Waste heat						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Evaporative Cooling	Flow rate, Cooling performance curve							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Method	Direct, Indirect, Semi							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
HVAC	FCU		Location, Cooling capacity, Heating capacity, Air flow rate, HW flow rate, CHW flow rate					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Indoor unit control	on/off, Multistage, P-control, PI-control					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Supply fan	Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Flow volume control	CAV, VAV						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HVAC	Chilled beam	Diffuser	Variable flow control	Multistage, RPM					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Actuation type	Active, Passive						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Induction ratio, Cooling capacity, Heating capacity, Air flow rate							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			HW flow rate, CHW flow rate							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HVAC	Underfloor/Air Distribution Systems	Diffuser	Indoor unit control	on/off, Multistages, P-control, PI-control					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Actuation type	Active, Passive						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Supply fan	Return air type	Top, Bottom						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Revolving type	Centrifugal, Axial						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Power, Efficiency, Performance curve (Flow rate, Pressure)							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HVAC	Displacement ventilation systems	Supply fan	Flow volume control	CAV, VAV					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Flow control	RPM, Outlet damper, Inlet damper, Inlet vane, Variable pitch					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Floor construction	Wet, Dry, Semiwet						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Surface temperature, Floor pipe U-value, Circulation HW delta t							<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Indoor unit control	on/off, Multistages, P-control, PI-control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HVAC	Panel radiator		Location, Cooling capacity, Heating capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Indoor unit control	on/off, Multistages, P-control, PI-control					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
HVAC	Convect or/Base board		Location, Heating capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Fuel type	Hot water, Electricity					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Indoor unit control	on/off, Multistages, P-control, PI-control					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
DHW	Hot water storage tank		Location, Volume, Heat capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Boiling method	Direct, Indirect					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Insulation						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pump	CHW, CW, HW, DHW pump		Location, Power					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Efficiency, Performance curve (Flow rate, Head)						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Flow control	Constant, Variable					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pipe	CHW, CW, HW, DHW pipe		Location, Diameter, Length					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			U-value, Inlet outlet water delta t, Pressure drop per unit length, Pressure drop by fitting, Pressure drop by plant, Pressure drop by equipment/device, Pressure drop by control and balancing valve						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Duct			Type	Primary, Secondary, Distal					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Location, Volume, Length						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Type	Single, Dual					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Duct			Air flow rate, Air flow speed, Pressure drop per unit length, U-value, Inlet outlet air delta t, Pressure drop by fitting, Pressure drop by AHU, Pressure drop by terminal, Pressure drop by control and balancing valve						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Table 3 Simulation Level of Details (LOD) for primary ECMs (continued)

	Object	Sub-object	Design variable or attribute	Value (example)	Standard Design Condition	Pre-schematic	Schematic	Design Development	Construction Document	Construction/Occupancy
Power substation	Converter		Location, Capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
			Efficiency, Power factor, Power meter						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Type	Direct, Two-stage					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Static capacitor		Location, Voltage					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
			Wattage, Current						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Auto power factor control		Location, Capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Energy Storage System		Location, Capacity					<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
		Battery type	Lead, Litum-Ion					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
		Charge/discharge efficiency, Outlet voltage, Inlet voltage, Discharge rate						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Elevator and escalator			Location				<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Number				<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Control	Constant, Variable				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Occupant sensor					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Lighting system	Ambient light	G&T	Location, Area				<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Lamp	Shade/Ballast	Wattage				<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Reflectance					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Task light		Efficiency	Electrical, Magnatic				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Emergency light		Location, Wattage					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
			Type	Illuminating, Phosphorescent					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ext. light		Location					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Wiring and cable	Parasitic power control		Location					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Building control	Chiller		Sequence control, VSD control, Optimum CHW temperature control, Optimal on/off control, Seasonal CHW temperature control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			On-Demand control	Stand-by, Schedule, On-demand					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Cooling tower		Sequence control, VSD control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Optimum CW temperature control	Fixed, Load reset, OA temperature reset					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Ice storage /CHW storage		Parallel operation with chiller	Parrallel, Storage only, Chiller only				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Boiler		HW reset	Fixed, Load reset, OA temperature reset					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			On-demand control	Stand-by, Schedule, On-demand					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pump		Sequence control, VSD control					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	AHU		VAV control, Economizer control, Demand Controlled Ventilation, Optimal on/off control, Duty cycle control, Night cycling, Night purge, Minimum OA control, CO control for garage						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Cooling reheat temperature reset	OA based, The hottest based, Setpoint					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Heating reheat temperature reset	OA based, The coldest based, Setpoint					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Supply/Exhaust fan		Ventilation schedule, Terminal pressure control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Ambient light		Light schedule, Daylight control, Occupancy sensor control, LED deeming control, Exterior light automatic on/off						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			Grouping control	Grouping, Individual, Interval					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Blind		Operation schedule, Daylight/illuminance/radiation control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Window		Mixed mode ventilation by operable windows						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Transformer		Sequence control, On demand control, Automation power factor control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Elevator /Escalator		Sequence control, Operation schedule, Group control						<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	