

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.4.313>

JCCT 2022-7-39

미국 공동주택의 건물 외피 에너지코드 검증을 위한 BIM 에너지 계획 방안 -뉴욕시 에너지 코드를 기준으로-

BIM Energy Efficiency Plan for Verification of Building Envelop Energy Code of Housing in USA - Based on the NYC Energy Conservation Code -

허진우*

Jinwoo Heo*

요약 BIM의 생산성과 효율성 때문에 건축설계 방식으로 BIM을 선택하는 건축가들이 증가하고 있다. 또한 건물의 에너지 사용량에 대한 인식 제고와 환경에 대한 관심이 높아지면서 빌딩에너지 코드의 필요성에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 많이 사용하고 있는 2D CAD 설계방식으로는 건물 외피 에너지코드를 검증하는데 많은 시간과 노력이 소요되며 디자인 변경에 따른 즉각적인 대응이 어렵다. 이 연구의 목적은 BIM을 통한 건물 외피 에너지 모델링의 효율성을 보여주는 데 있다. 우리는 BIM을 통해 설계과정에서 디자인 변경에 따른 정보 값을 누락이나 재계산 과정 없이 동시에 산출할 수 있기 때문에 건물 외피 에너지코드 검증에서 생산성과 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. 연구의 절차는 다음과 같다. Revit 2011으로 만든 the Goldin at Essex Crossing 공동주택의 BIM을 사례 모델로 하여, 뉴욕시의 에너지 코드에 부합하기 위한 에너지 계획의 기준을 분석한다. Revit 모델의 설정을 통해 나온 결과 값과 뉴욕시의 에너지코드에서 요구하는 기준 값을 비교한다. 최종적으로 미국 에너지국 (U.S. Department of Energy)에서 제공하는 에너지 검증 프로그램인 COMcheck에 데이터값을 입력하여 건물 외피 에너지 성능이 뉴욕시 에너지 코드에 부합하는 지 여부를 체크한다.

주요어 : 에너지코드, 건축정보모델, 뉴욕시 에너지코드, 공동주택

Abstract The number of architects who adopt BIM(Building Information Modeling) as the design method are gradually increasing because of its productivity and efficiency. Climate Change and Global Warming lead to legislation of new energy regulations and strengthen existing ones. The current architectural design methods (2D CAD) take a lot of time and effort to verify energy codes and are hard to adjust according to the design changes. The purpose of this study is to show the effectiveness of the BIM in building envelop energy modeling of the housing project. In the process of design method change, We could contribute to increasing productivity and efficiency in building energy verification through BIM because the updated value could be calculated simultaneously without information omission or recalculation process. The procedure for the study is as follows. Using BIM of the Goldin at Essex Crossing Housing Project by Revit 2011 as a case model, this study analyze the criteria for energy plan to conform to the energy code in NYC. The result value from the setting of the Revit model is compared with the reference value required by the NYC Energy Code. Finally, the data from BIM are entered into COMcheck, the energy verification program provided by U.S. Department of Energy, to check whether the building envelope energy performance conforms to NYC Energy Code.

Key words : Energy Code, BIM, NYCECC, Housing

*정희원, 디바이어스 아키텍츠 대표, 동의대학교 겸임조교수 Received: May 2, 2022 / Revised: June 1, 2022
접수일: 2022년 5월 2일, 수정완료일: 2022년 6월 1일 Accepted: July 1, 2022
게재확정일: 2022년 7월 1일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

이 연구는 미국 건축사무소에서 공동주택 설계에 있어서 건물 외피의 에너지 코드 검증을 위해 어떻게 BIM설계를 활용하고 있는지에 대해 파악하고, 한국의 공동주택 설계에서의 에너지 계획에 있어 BIM 활용방안을 제시하는 데에 목적이 있다.

LH는 공동주택 설계 생산성 극대화를 위하여 공동주택에 3D설계 (BIM설계) 방식 도입을 확대하고 2020년부터 연차별로 BIM 적용을 의무화할 예정이라고 밝혔다. 기존 2D기반 설계방식은 각각의 도면을 개별 작성하여 도면 간 정합성 문제, 건축 정보 누락이 발생하여 시공단계 재시공, 재료손실 등 주택품질 저하의 주요 원인으로 작용했다. 반면, BIM설계는 2D와 3D 설계를 동시에 진행함으로써 각각의 도면이 상호 유기적으로 연결되어 도면의 정확성이 획기적으로 개선되며, 다양한 확장성으로 신속하고 효율적인 도면 작성이 가능하고 수정도 쉬워 설계 산업의 생산성과 효율성이 향상될 것으로 기대 된다.

이와 같이 일반적으로 국내 공동주택설계에 있어서 BIM설계는 시공과 설계의 오류 극복과 효율성에 초점이 맞춰져 있지만, 지금은 BIM설계를 통한 공동주택의 에너지 모델링도 필요한 시점이다.

산업통상자원부의 2017년도 에너지 총 조사보고서에 따르면 2017년 건물의 최종에너지소비량이 전체(산업, 건물, 수송) 에너지 사용량의 26%를 차지하고 있을 만큼 비중이 크다. 또한 2018년 인구주택 총조사에 따르면 아파트에 거주하는 가구 수는 1001만 가구로 전체 가구의 50.1%를 차지하고 있다. 따라서 공동주택의 에너지 절약은 환경과 자원 관리에 있어서 중요한 문제이며 이를 해결하기 위해 BIM설계를 통해 효율적이고 정확한 에너지코드 적용에 대한 연구가 시급하다.

2. 연구의 대상 및 방법

본 연구에서는 미국의 빌딩에너지 코드에 대한 분석과 실제 미국 뉴욕시의 공동주택 사례를 통해 건축허가시 에너지 코드에 부합하는 건물 에너지 계획을 하는데 있어서 BIM모델이 효과적이고 신속한 설계프로세스로서 작동하는 지에 대하여 논하고자 한다.

연구의 내용에서 사례 선정 기준 및 절차는 다음과

같다.

첫째, BIM기반의 설계 프로그램인 Autodesk사의 Revit 2011을 이용하여 설계를 진행한 뉴욕시의 실제 공동주택의 에너지코드 검증 과정을 사례 모델로 한다.

둘째, 빌딩 에너지 코드와 뉴욕시의 에너지 코드(New York City Energy Conservation Code)를 분석하고, 코드에 부합하기 위해 필요한 에너지 계획의 조건들과 기준을 분석한다.

셋째, 에너지 코드 통과 조건들에 부합하는 결과 값을 산출하기 위해 Revit 모델의 Parameter를 설정하고 자료 값을 입력하여 나온 Schedule을 통해 기준을 검증하는 과정을 통해 BIM을 이용한 건물 에너지 코드 검증이 어떻게 이뤄지는 지에 대해 살펴본다.

넷째, BIM으로 산출된 건물 외피 에너지 성능값을 미국 에너지국(U.S. Department of Energy)에서 제공하는 에너지 검증 프로그램인 COMcheck에 입력하여 건물 외피 에너지 성능이 뉴욕시 에너지 코드에 부합하는 지 여부를 체크한다.

최종적으로 이와 같은 과정을 통해 본 연구의 목적인 BIM을 이용한 에너지모델링이 기존의 2D CAD를 이용한 설계방식보다 건물 외피 에너지 코드 검증 과정의 COMcheck 입력값을 산출하는데 있어서 효과적이고 정확하며 신속한 설계 프로세스로써 작동하는지 그 여부에 대해 판단하고자 한다.

II. 빌딩에너지 코드

1. 빌딩에너지 코드의 필요성과 효과

앞서 언급하였듯이 건물의 에너지 사용량에 대한 인식 제고와 환경에 대한 관심이 높아지면서 빌딩에너지 코드의 필요성에 대한 요구가 증가하였다. 강력한 빌딩에너지코드는 다가올 미래를 대비하여 정부의 에너지 관리에 상당한 이점을 제공한다. 미국 에너지국(U.S. Department of Energy)에서 발표한 자료[1]에서 2006 IECC와 ASHRAE Standard 90.1-2004가 30~50% 정도 엄격해지도록 업그레이드된다면 에너지 소비와 비용의 절감 및 CO2 배출 감소 측면에서 다음과 같은 상당한 이득을 얻을 수 있을 것이라고 말하고 있다.

첫째, 미국의 에너지 소비는 연간 0.5조Btu(527.53조 J)의 절감을 통해 2030년까지 3.5조 Btu(3692.7조 J)를 줄일 수 있는데 이는 260개의 중형 (450-NW) 발전소

에서 생산하는 전력과 맞먹는다.

둘째, 건물주의 비용절감효과는 2015년까지 매년 40억 달러씩 줄일 수 있고 2030년까지는 3백억 달러 이상 줄일 수 있다. 이는 것은 에너지 절감에 증가된 투자를 고려한다 해도 국가적으로 훨씬 큰 순이익을 낼 것으로 기대된다.

마지막으로 2030년에 예상되는 국가 CO2 배출량에 있어서 약 3%를 감소시킬 수 있는데 이는 환경적으로나 경제적으로 상당한 이득을 가져올 것이다.

2. 뉴욕시 에너지 코드

최초의 건물 에너지 표준은 1975년에 발표된 ASHRAE 90-75이지만, 1989년의 ASHRAE Standard 90.1에 와서 틀을 갖추어 연방 상용 에너지코드의 기초가 되었다.

미국에서 건물 에너지 코드 채택은 개별 주 및 지방관할 당국에 의해 이루어지는데 일반적으로 International Code Council (이하 ICC)에서 발행한 International Energy Conservation Code(이하 IECC)를 표준으로 채택한다. ICC는 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.(이하 ASHRAE)와 같은 기관과 협력하여 에너지 효율 및 친환경건축 분야의 표준을 개발한다. ASHRAE는 자체적으로 ASHRAE Standard 90.1 Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings을 발행하는데, IECC와 ASHRAE Standard 90.1은 비슷하지만 동일하지는 않다.

IECC는 모든 주거용 건물과 상업용 건물을 포함한다. ASHRAE Standard 90.1은 3층 이하의 단독 및 다세대 주택을 제외한 상업용 건물을 포함한다. 저층의 단독 및 다세대 주택은 International Residential Code(IRC)에 포함되어 있다.[2]

따라서 현재 활용되고 있는 뉴욕 주의 2020 빌딩 에너지코드(2020 Energy Conservation Construction Code of New York State)는 2018 IECC(International Energy Conservation Code)와 ASHRAE 90.1-2016 Standard를 기초로 제정되었다.

그리고 뉴욕 시의 에너지코드(New York City Energy Conservation Code, 이하 NYCECC)는 뉴욕 주 에너지코드를 보완하여 2020년 5월 12일에 제정된 이후 계속 개정되어 왔다.

NYCECC는 각각의 새로운 건축 프로젝트와 개보수

프로젝트에서 에너지 분석을 실시할 것을 요구한다. NYCECC코드의 Performance Path의 준수 여부를 체크하기 위해 현재 주거용 건물의 경우 REScheck 프로그램을, 상업시설의 경우 COMcheck 프로그램을 제공하고 있다. 이 프로그램을 통해 손쉽게 건물의 에너지계획이 코드에 부합하는지를 검증할 수 있다.

3. 건축설계에 있어서 빌딩에너지 코드

건물의 최소 허용 에너지 효율성의 기준으로 간주되는 빌딩에너지 코드는 모든 새로운 건물과 기존 건물의 증개축에 있어서 사용되는 재료, 제품, 시스템 및 장비의 설계, 규격 및 적용 요건을 다룬다.

빌딩에너지 코드의 목표는 전체적인 에너지 효율을 개선하고 건강하고 편안하며 완벽하게 기능하는 실내 환경을 유지하기 위해 사용되는 에너지를 줄이는 데에 있다. 그러한 조건은 크게 건물 외피, 냉난방 및 환기, 조명 및 전기, 그리고 온수시스템 으로 건물의 4개의 분야에 적용된다.

건물의 외피는 지하벽, 외벽, 바닥, 지붕, 창문, 문, 천장 등 외부와 접하는 내부공간의 만드는 모든 건물 요소를 포함하고 있으며 일면 디자인을 구성하는 중요한 요소이며, 외피의 세부 구성요소는 건축가가 직접적으로 재료선택에 관여하는 부분이다. 모든 건물의 열전달 외피는 에너지 코드에 따른 최소한의 단열 조건을 따르도록 되어 있다. 건물 외피의 단열 조건을 충족시키지 못했다면 표면적으로 얼음, 곰팡이 및 습기, 실내 공기 질 저하 등 많은 문제를 야기하며, 냉난방비 증가로 인한 관리비용의 증가로 이어지기 때문에 건물의 외피의 단열 계획은 건축설계의 에너지코드 계획에 있어서 가장 중요한 부분이다.[3]

따라서 빌딩에너지 코드에서 요구하는 건축물 외피 조건을 충족하기 위해 설계 단계에서 적합한 재료와 단열재를 선택하여 이를 건물 외피에 적용시키는데, 그 과정에서 기존의 CAD를 통한 설계 방식은 많은 시간과 노력이 필요하며, 그 후의 변경 과정에서 수정된 값의 누락 등으로 인해 정확성이 떨어지는 등의 비효율적인 부분이 있었다. BIM 모델을 통해 짧은 시간 안에 정확한 결과 값을 얻을 수 있다면 건축물의 에너지계획에 있어서 중요한 의미를 가질 수 있으며, 수정된 설계 변경 안에 대해서도 BIM 모델은 능동적이며 즉각적으로 수정된 결과 값을 도출할 수 있기에 실무에 있어 많은

활용이 가능할 것으로 판단된다.

III. 에너지코드 검증을 위한 BIM 모델링과 ENVELOPE 단열 계산

1. 공동주택의 BIM 모델링

미국 공동주택의 BIM모델을 분석하기 위해 뉴욕시에 위치한 Dattner Architects에서 Autodesk Revit 프로그램으로 설계를 진행하여 2018년에 완공된 ‘Goldin at Essex Crossing’(이하 ‘The Goldin’)공동주택을 분석 모델로 설정하였다. 뉴욕시 맨하탄의 Lower East Side 지역에 위치하여 대지면적 1,982.923m² (21,344SF), 연면적 16,536.74m² (178,000SF), 15층 높이의 100세대 규모로 상층부에는 노인 공동주택이 있고 저층의 포디움에 상업시설과 커뮤니티시설이 있는 건물이며, 낙후된 Lower East Side 지역의 재활성화를 위한 뉴욕시의 Essex Crossing 마스터플랜 하에 ‘The Goldin’의 계획이 진행되었다. 아래 그림 1은 The Goldin at Essex Crossing 공동주택의 완공 사진이다.



그림 1. 골딘 옛 에섹스크로싱 (사진) 1)
Figure 1. The Goldin at Essex Crossing (Photo)

‘The Godlin’은 일반적으로 저렴하게 지어져 퀄리티가 낮은 노인 주택에 대한 인식을 바꾸기 위해 설계되었고, 거주자들이 자립할 수 있는 동시에 건물에 위치한 다양한 노인 중심의 문화, 사회, 의료 지원 프로그램을 갖춘 커뮤니티 시설을 통해 공동체의 일원이 될 수 있도록 하였다. 미국 건축가협회(AIA)에서 부여하는 Design for Aging Award of Merit과 Boston Society

of Architects에서 Housing Design Award를 수상하였다.

이 프로젝트는 2014년에서 2015년까지 설계가 이루어졌고, 계획 초기단계부터 Autodesk Revit 2011을 이용하여 BIM 프로젝트로 진행되었으며, 2010 뉴욕시 에너지코드(2010 NYCECC) 인증을 받았다. 또한 미국 USGBC에서 인증하는 친환경 건축물인증 LEED ND를 획득하였고, 2018년에 완공되었다.

초기 설계 과정에서부터 에너지코드 검증을 위해 Revit 모델을 통한 배치 및 입면 디자인 등의 계획이 반영되었고, 입면을 구성하는 외벽, 창호, 문 등의 건축 요소에 에너지 코드 검증을 위한 데이터를 도출할 수 있도록 Parameter(변수 값)를 미리 설정하였다. 그림 2는 Revit으로 작성한 The Golding at Essex Crossing의 BIM 모델이다.



그림 2. 골딘 옛 에섹스크로싱 레빗 모델 1)
Figure 2. Revit model of The Goldin at Essex Crossing

그림 2의 BIM Revit Model에서와 같이 ‘The Goldin’은 Block & Plank 구조에 주마감 재료는 벽돌을 사용하고 있고, 주거공간의 개방감과 입면 패턴을 위해 메탈 패널과 함께 넓은 창을 사용하고, 저층부에는 커튼 월을 사용하였다. 주거공간은 개별 냉난방 시스템인 PTAC을 사용하였다.

2. 뉴욕시 에너지코드를 위한 BIM 모델 평가

앞서 말한 건물외피의 빌딩에너지 코드에 부합하기 위해서 뉴욕시 에너지 코드(NYCECC)는 다음과 같은

조건을 요구한다.

첫째, 창-벽 비율(WWR: Window-to-Wall Ratio)에 대한 계산 값이 필요하다. 지상의 벽 총면적에서 차지하는 창문의 비율을 건물의 입면 다이어그램과 같이 표시하여 EN(에너지)도면에 기록하여 제출한다.

둘째, 건물외피의 재료별로 분류하여 입면 다이어그램에 표시하고 단열성능에 대한 단면상세를 EN도면에 그려서 제출한다.

셋째, 분류한 재료의 사용면적과 단열값을 Comcheck 프로그램에 입력하여 New York Energy Conservation Code에 부합하는지 체크한 내용을 EN도면(에너지검증도면)에 첨부하여 제출한다.

마지막으로 제출된 EN도면과 COMcheck 내용을 바탕으로 허가권자(NYC DOB)는 NYCECC Compliance Reviews를 진행한다.

3. BIM 모델에서 창-벽 비율 (WWR) 구하기

건축물의 외피에 있어서 창호부분은 로이유리, 복층유리등의 단열기능이 있는 재료를 쓴다할지라도 단열재가 설치될 수 없는 부분이기 때문에 전체 건물의 단열성능과 에너지관리에 있어서 창호 면적이 중요한 의미를 가진다. 따라서 NYCECC에서는 표 1과 같이 창호 면적에 따라 별도의 규정을 두고 있다.

표 1. 창문 및 외벽 비율 법규
 Table 1. Window-to-Wall ratio regulation

| Maximum Vertical Fenestration Area (when following ECC) | | |
|--|-----|---|
| Maximum WWR | 30% | |
| Maximum WWR | 40% | permitted with certain requirements |
| When WWR > 40% | | ASHRAE must be chosen as Code Compliance Path, as ECC does not allow WWR > 40%. |

이 규정에 따르면 창문 면적이 벽 면적의 40% 이상이 되는 것은 NYCECC에서 허용되지 않고, ASHRAE에서 지정하는 코드에 부합하는지를 증명해야하기 때문에 뉴욕의 대부분의 공동주택은 40%를 넘기지 않는 범위에서 계획된다.[4]

Fenestration(개구부) 면적을 구하기 위해서 Window, Storefront / Window Wall, Opaque Doors, Garage

Door, Mechanical Louvers (Tower), Mechanical Louvers (Storefront)의 Family의 면적을 Revit의 스케줄을 통해서 쉽게 구할 수 있다. 그림 3은 건물 외피와 개구부의 재료에 따라 구분해 놓은 것을 입면도를 통해 표현해 놓은 도면이다.

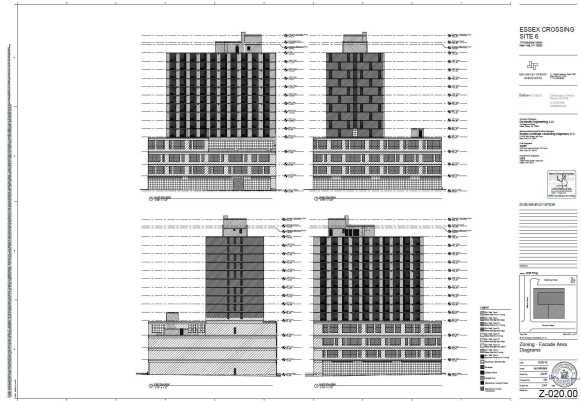


그림 3. '더 골딘'의 창문과 외벽 비율 도면 1)
 Figure 3. Drawing of window to wall ratio of 'The Goldin'

'The Goldin'의 경우, 외벽 전체 면적 6,784m²에서 개구부의 면적은 2,448m²으로 36.08%를 차지하여, 주요조명제어 장치를 사용하면 NYCECC에 부합한다.

Revit에서는 각 개구부 Family의 면적이 스케줄과 직접적으로 연동되어 있기 때문에 창문의 크기 변화를 통한 입면디자인과 코드부합 여부를 동시에 확인할 수 있으며, 건물의 에너지 입면 다이어그램 또한 자동적으로 업데이트되기 때문에 효율적인 디자인과 동시에 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.

BIM 모델에서 외기와 접하는 창(Fenestration)의 정확한 면적을 구하기 위해서 각 재료의 단열성능 값을 구해야 하는데, 그를 위한 각 구성요소를 그림 4와 같이 세분화시켰다.



그림 4. 일반적 창문 패밀리
 Figure 4. Typical window family

①은 단열재가 들어간 메탈 패널, ②,③은 미닫이 창문, 그리고 ④의 경우는 PTAC이 설치된 그릴이다. 각각의 다른 요소들로 구성된 면적의 계산하고 그 합을 구하기 위해 창호 Family에 설정해 둔 Parameter의 계산식을 통해 결과 값을 도출한다. 그림 4는 이 프로젝트에 쓰인 기본 창호로, 그림 5에 제시한 Parameter를 갖고 있으며 Analysis Results에 창호의 각 파트의 면적 값이 미리 설정해 둔 계산식을 통해 나타난다. 그림 5의 왼쪽 표는 오른쪽의 Analytical Properties, Analysis Results, 각 종 치수 등의 Parameter를 갖고 있다.

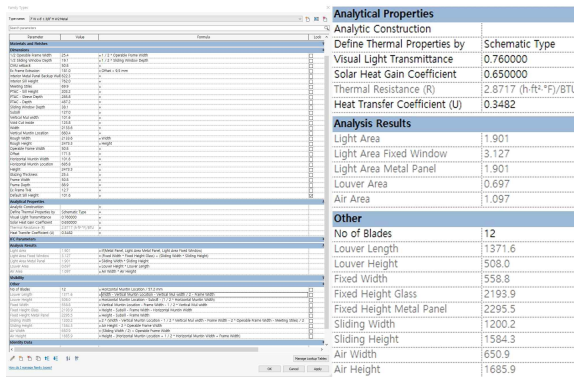


그림 5. 일반적 창문 패밀리리의 변수
Figure 5. Parameters for typical window family.

4. 뉴욕시 에너지코드를 위한 BIM 모델 평가

Fenestration(개구부)를 제외한 외벽의 경우 구성방식에 따라 재료별로 분류하여 단면 상세도를 그려 그 값을 구하여야 한다. 각 부분별 단열상세를 통해 보여주는 단열값을 입면의 구분되어진 재료별 면적과의 계산을 통해 각 부분의 UA 값을 구하고 이것이 코드와 부합하는지를 표 3과 같이 정리하여 제시한다.

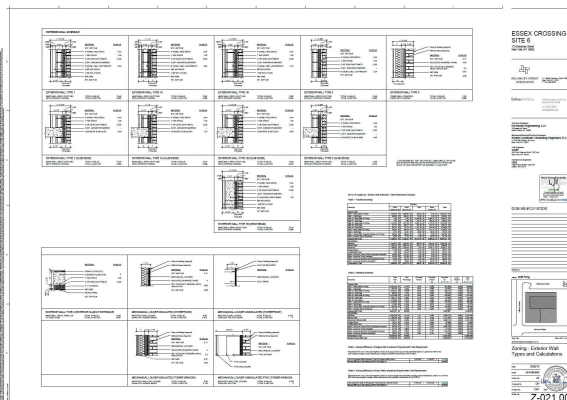


그림 6. 외벽유형과 에너지 1)
Figure 6. Exterior wall types and energy calculation

그림 6의 도면은 각 외피의 구성에 따른 상세단면도 (그림 7)과 각 부분의 면적(표 2), 그리고 각 부분의 R-Value와 U-Factor 값(표 3)으로 구성되어 있다.

‘The Goldin’의 주 외벽은 공기층을 둔 Brick Cavity Wall로 외장벽돌, 공기층, 단열재, 방수층, 그리고 위치에 따라 콘크리트 블록 또는 콘크리트 슬래브로 구성되며, 내부 인테리어 파티션 부분은 계산에 산정되지 않는다. 그림 7은 그림 6 도면의 상세 단면도를 확대한 그림이다.

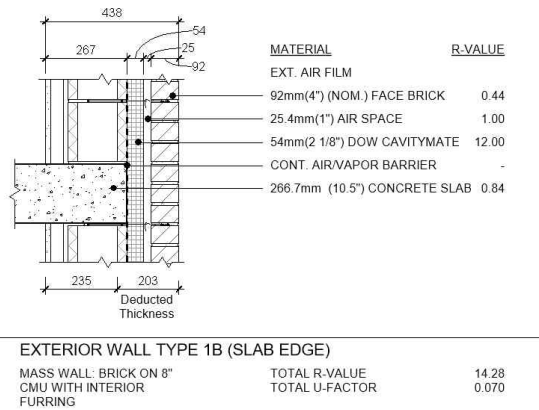
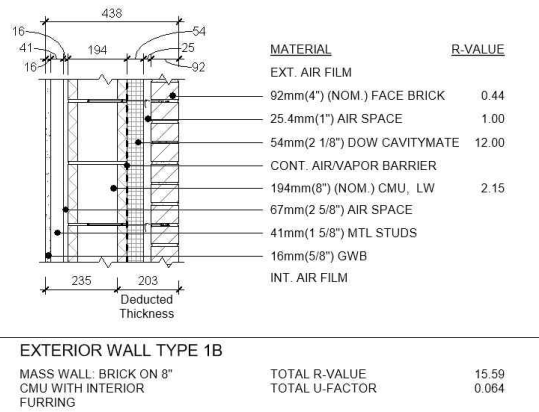


그림 7. 벽돌외벽의 R-Value 단면상세도
Figure 7. Section detail of brick cavity wall with R-Value

건축에 있어서 R-Value는 재료의 열의 흐름에 대한 저항성을 보여주는 척도로써 값이 클수록 단열성능이 높으며, 보통 미국 등에서 사용하는 Imperial Units 단위에서는 $R = (°F \times ft^2 \times hr) / BTU$ 로 우리나라에서 사용하는 Metric Units 단위에서는 $R = (m^2 \times K) / W$ 로 표기한다. Imperial Units와 같은 방식으로 표기한다면 $kcal = W \times h$ 이며 $°C = -273.15 K$ 로 $R = (m^2 \times h \times °C) / kcal$ 로도 나타낼 수 있지만 일반적으로는 W와 C로 표현한다.

다양한 건축 재료의 R-Value는 the ASHRAE Handbook of Fundamentals에서 참조할 수 있으며 각 재료에 해당되는 부분을 명시하였다. 그림 7과 같이 일반적으로 외벽의 마감은 여러 건축 재료의 복합적인 구성으로 이루어져 있으며, 같은 외부마감과 단열재를 갖고 있어도 구조체 외벽 부분과 슬래브에서 다른 결과 값을 보여주기 때문에 외벽의 최종적인 R-Value는 각 재료들의 R-Value의 합으로 이루어진다. 외벽의 각 재료들의 R-Value의 참조 값은 ASHRAE 90.1 2009, SECTION A3.1 Mass Wall에 명시되어 있다. [5]

외기와 접하는 건물 외피의 재료 및 구성에 따라 달라지는 각기 다른 부분의 면적을 Revit의 Schedule을 통해 표 2와 같이 구할 수 있다.

표 2. 외벽면적 요약
 Table 2. Facade wall area summary(m²)

| Assembly | Orientation (Elevation) | | | | Total |
|---|-------------------------|---------|---------|-------|---------|
| | North | South | East | West | |
| Opaque Wall | | | | | |
| Wall 1 Wall w/Furring | 456.8 | 492.4 | 30.3 | 0.0 | 979.5 |
| Wall 1 Slab Edge | 84.2 | 82.4 | 3.0 | 0.0 | 169.6 |
| Wall 1A Wall w/Furring | 0.0 | 0.0 | 469.1 | 407.7 | 876.8 |
| Wall 1A Slab Edge | 0.0 | 0.0 | 39.4 | 43.3 | 82.7 |
| Wall 1B Wall w/Furring | 229.7 | 168.9 | 633.9 | 198.0 | 1,230.4 |
| Wall 1B Slab Edge | 43.8 | 38.0 | 43.4 | 44.0 | 169.3 |
| Wall 1B Drop Beam | 82.8 | 69.4 | 112.5 | 81.4 | 346.2 |
| Wall 2 Wall w/o Furring | 78.9 | 88.3 | 70.4 | 56.9 | 294.5 |
| Wall 2 Slab Edge | 4.2 | 4.0 | 3.4 | 4.6 | 16.3 |
| Wall 3 Frame Wall Spandrel | 78.6 | 78.6 | 0.0 | 0.0 | 157.2 |
| Wall 4 Slab Edge at Ent. | 5.6 | 2.5 | 0.0 | 5.6 | 13.7 |
| Opaque Wall Total | 1,059.0 | 1,024.6 | 1,405.3 | 841.5 | 4,336.1 |
| Fenestration | | | | | |
| Windows | 411.5 | 410.7 | 36.9 | 98.0 | 957.0 |
| Window Wall | 232.7 | 191.2 | 25.1 | 255.8 | 704.8 |
| Storefront | 185.7 | 225.7 | 0.0 | 174.3 | 585.7 |
| Opaque Doors | 10.9 | 2.2 | 2.3 | 0.0 | 15.3 |
| Loading Berth Door | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | 15.0 |
| Mechanical Louvers at Tower (PTAC-Uninsulated) Excluded | 40.6 | 38.3 | 0.4 | 0.0 | 79.3 |
| Mechanical Louvers at Tower (insulated) | 20.3 | 20.6 | 0.0 | 0.0 | 41.0 |
| Mechanical Louvers at Storefront(Uninsulated) Excluded | 10.8 | 11.4 | 0.0 | 12.0 | 34.2 |
| Mechanical Louvers at Storefront (insulated) | 3.0 | 6.1 | 0.0 | 6.4 | 15.6 |
| Fenestration Total | 2,773.6 | 921.3 | 64.6 | 546.5 | 2,448.0 |

앞서 설명하였듯이 외벽의 경우, 벽과 접하는 부분, 슬래브와 접하는 부분, 구조보와 접하는 부분, 외기와 접하는 슬래브 하부 부분, 그리고 단열재가 들어가는 Sandrel 부분 등으로 구분할 수 있으며 단면상세도를 통해 단열값의 합을 보여준다. Fenestration (개구부)인 창호 또는 문의 경우에는 각 부분의 단열성능을 보여주는 제품 자료 또는 단면 상세를 통한 합계 값을 명시한다.

NYCECC에서 요구하는 U-Factor 값은 2010 New York City Energy Conservation Code의 TABLE C402.1.2 Opaque Thermal Envelope Assembly Requirements에서 U-Factor 값을 Mass Wall은 0.090, Metal Frame은 0.064로 제한하고 있으며, Fenestration의 경우 TABLE C402.3 Building Envelope Requirements: Fenestration에서 0.50으로 U-Factor값을 제한하고 있다.

U-Factor는 단위 온도와 단위 면적, 그리고 단위 시간에 따라 물체를 관통해서 흐르는 열의 비율을 나타내는 열관류율 값으로 복합적인 재료에서 각 재료의 R-Value를 합한 값의 역수로 표현된다. Imperial Units 단위에서는 U-Factor = BTU / (°F × ft² × hr)로, Metric Unit 단위에서는 U-Factor = W / (m² × K)로 표기한다. 이 때 U-Factor는 R-Value와 반대로 값이 작을수록 단열성능이 높다.

건축물의 외피는 다양한 건축 재료의 복합적인 구성으로 이루어지기 때문에 에너지 모델링과 에너지 코드에서 많은 경우 U-Factor 값을 기준으로 한다. 그리고 U-Factor 값에 각 재료의 면적을 곱한 값을 UA로 하여 개별적인 U-Factor 값의 코드 부합성을 따지는 게 아니라 각 부분별 전체 UA의 코드 부합성 여부를 판단한다.

표 3에서는 그림 7에서 단면 상세를 통해 구한 건물 외피의 각 부분의 단열 값 R-Value와 이로 인해 U-Factor 값을 구하였고, 표 2에서 구한 면적을 U-Factor 값에 곱하여 UA값을 산출해 내었다. 이러한 계산을 통해 따라 건물 외피의 단열성능을 구할 수 있고, 이 값을 코드에서 요구하는 UA값과 비교하여 코드 부합 여부를 확인 할 수 있다.

‘The Goldin’의 건물외벽의 UA(총 열관류율)는 1,629.031 W/K로 코드에서 요구하는 2,192.606W/K 보다 작은 값을 가지기 때문에 뛰어난 단열성능을 보여주고 있으며, Fenestration(개구부)의 경우는 6,158.283 W/K로 코드 요구 값 6,627.753W/K보다 조금 높은 단열

표 3. 건물외벽면적의 건물 에너지값 요약 (국제표준단위)
Table 3. Building energy summary of exterior gross wall area (SI unit)

| Assembly | Total Area (A) m ² | Area Percentage | Proposed R-Value (m ² ×K)/W | Proposed U-Factor (B) W/(m ² ×K) | Proposed UA(C=A×B) W/K | Code U-Factor (D) W/(m ² ×K) | Code UA (E=A×D) W/K |
|--|----------------------------------|-----------------|---|---|---------------------------|---|---------------------------|
| Opaque Wall | | | | | | | |
| Wall 1 Wall w/Furring | 979.5 | 14.44% | 2.73 | 0.369 | 361.504 | 0.511 | 500.544 |
| Wall 1 Slab Edge | 169.6 | 2.50% | 2.72 | 0.369 | 62.576 | 0.511 | 86.644 |
| Wall 1A Wall w/Furring | 876.8 | 12.93% | 2.73 | 0.369 | 323.618 | 0.511 | 448.087 |
| Wall 1A Slab Edge | 82.7 | 1.22% | 2.67 | 0.375 | 30.999 | 0.511 | 42.271 |
| Wall 1B Wall w/Furring | 1,230.4 | 18.14% | 2.75 | 0.363 | 447.109 | 0.511 | 628.747 |
| Wall 1B Slab Edge | 169.3 | 2.50% | 2.51 | 0.397 | 67.283 | 0.511 | 86.507 |
| Wall 1B Drop Beam | 346.2 | 5.10% | 2.67 | 0.375 | 129.721 | 0.511 | 176.892 |
| Wall 2 Wall w/o Furring | 294.5 | 4.34% | 2.73 | 0.369 | 108.680 | 0.511 | 150.480 |
| Wall 2 Slab Edge | 16.3 | 0.24% | 2.45 | 0.409 | 6.656 | 0.511 | 8.321 |
| Wall 3 Frame Wall Spandrel Panel | 157.2 | 2.32% | 1.83 | 0.545 | 85.677 | 0.363 | 57.118 |
| Wall 4 Slab Edge at Entrance | 13.7 | 0.20% | 2.64 | 0.380 | 5.207 | 0.511 | 6.995 |
| Opaque Wall Total | 4,336.1 | 63.92% | | | 1,629.031 | | 2,192.606 |
| Fenestration | | | | | | | |
| Windows | 957.0 | 14.11% | 0.39 | 2.555 | 2,445.355 | 2.839 | 2,717.061 |
| Window Wall | 704.8 | 10.39% | 0.36 | 2.782 | 1,961.036 | 2.839 | 2,001.057 |
| Storefront | 585.7 | 8.63% | 0.36 | 2.782 | 1,629.532 | 2.839 | 1,662.788 |
| Opaque Doors | 15.3 | 0.23% | 0.35 | 2.839 | 43.566 | 2.839 | 43.566 |
| Loading Berth Door | 15.0 | 0.22% | 0.35 | 2.839 | 42.580 | 2.839 | 42.580 |
| Mechanical Louvers at Tower (PTAC-Uninsulated) Excluded | 79.3 | 1.17% | | | | | |
| Mechanical Louvers at Tower (insulated) | 41.0 | 0.60% | 1.52 | 0.659 | 26.986 | 2.839 | 116.320 |
| Mechanical Louvers at Storefront (Uninsulated) Excluded | 34.2 | 0.50% | | | | | |
| Mechanical Louvers at Storefront (insulated) | 15.6 | 0.23% | 1.70 | 0.591 | 9.228 | 2.839 | 44.363 |
| Fenestration Total | 2,448.0 | 36.08% | | | 6,158.283 | | 6,627.735 |
| Exterior Gross Wall Total | 6,784.1 | 100.00% | | | 7,787.315 | | 8,820.341 |

성능을 보여주고 있다. 건물 외벽과 Fenestration(개구부)을 합친 총 건물외피의 UA(총 열관류율)는 7,787.315 W/K로써 코드 요구 값 8,820.341 W/K보다 작은 값을 가지므로써 높은 단열성능을 갖기 때문에 코드에 부합하는 단열성능을 갖고 있다고 판단할 수 있다.

표 3에서 보듯이 창호, 문 등의 개구부 부분이 건물 외피 부분의 36퍼센트 정도 밖에 차지하지 않는다. 그러나 UA값은 단열성능이 단열재가 사용된 건물 외벽의 경우 1,629.031W/K인 반면에 개구부의 경우 6,158.283W/K로 3배 이상의 차이를 보이고 있다. 이를 통해 Fenestration(개구부)에 쓰이는 건축요소(유리, 메탈프레임, 문 등)의 단열성능이 많이 떨어짐을 알 수 있고, 그에 따라 개구부의 면적이 건물의 단열성능에 있어서 크리티컬한 중요한 요소임을 확인할 수 있다.

5. COMCHECK을 통한 에너지코드 검증

BIM 모델링을 통해 건물 외피의 단열 값을 구했다면 이를 COMcheck 또는 REScheck 프로그램을 통해 Performance Path의 준수여부를 체크하여 검증한다.

앞서 설명하였듯이 현재 주거용 건물의 경우, REScheck 프로그램을, 상업시설의 경우 COMcheck 프로그램을 제공하고 있다. 주거용 건물은 2015IECC (International Energy Conservation Code)의 Section R202 General Definitions에서 단독주택 또는 3층 이하의 다세대 주택으로 정의하고 있다.

‘The Goldin’의 경우 15층 높이의 100세대 규모로 상층부에 노인 공동주택이 있고 저층의 포디움에 상업시설과 커뮤니티시설이 있는 건물이기에 COMcheck 프로그램을 통해 에너지 검증을 진행하였다.

건물 외피의 에너지 검증을 위해 COMcheck에서 분류하는 건축 구성요소는 지붕(Roof), 천창(Skylight), 외벽(Exterior Wall), 창문(Window), 문(Door), 지하층(Basement), 바닥(Floor)의 7가지로 분류하고 있다. 그림 4는 COMcheck 프로그램의 메인창 화면이다.

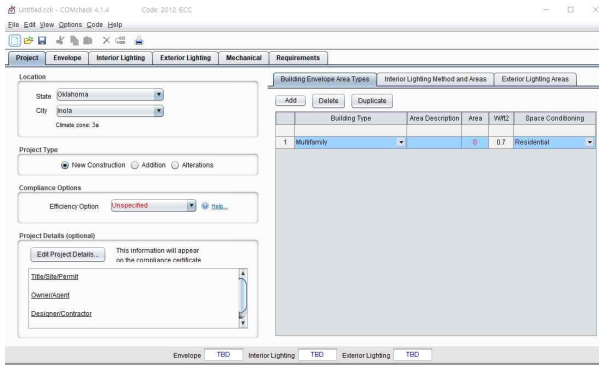


그림 8. 컴척프로그램 메인 창
 Figure 8. COMcheck main window

건물 외벽과 천창, 문, 창호 등의 경우 표 3의 Revit Model을 통해 구한 자료 값을 입력할 수 있다. 지붕과 지하의 경우 다양한 마감재와 개구부가 있는 외벽과 달리 단일한 구조로 이루어져 있기 때문에 간단히 단열재와 구조체의 면적과 U-Factor 및 UA 값을 적용하여 대입할 수 있다. COMcheck 요구하는 각 구성요소 입력 값은 표 4에 명시하였다.

표 4. 컴척 프로그램 입력값 범주
 Table 4. COMcheck input category

| Component | Assembly | Building Area Type |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Orientation | Fenestration Details | Concrete Density |
| Construction Details | Gross Area or Slab Perimeter | Units |
| Cavity Insulation R-Value | Continuous Insulation R-Value | U-Factor |
| UA | SHGC | Projection Factor |
| Wall Height | Depth Below Grade | Heat Capacity |

요구한 자료값의 입력이 끝나면 COMcheck 프로그램은 건물외피가 코드에 부합하는 지 여부를 판단하여 보여준다. 'The Goldin'은 그림 9에서 보듯이 Envelope PASSES: Design 1% better than code.라는 결과를 알 수 있고, 이는 NYC Energy Conservation Code에서 요구

하는 에너지성능을 통과하였다는 의미이다. 이를 최종적으로 건축 허가 시에 NYC Department of Building 제출하면, 건물의 에너지 코드에 대한 검증 과정이 끝난다. 그림 9는 COMcheck에서 출력 가능한 건물외피 에너지 성능이 에너지 코드에 부합했다는 인증서이다.



2010 New York Energy Conservation Construction Code

Section 1: Project Information

Project Type: New Construction
 Project Title: Essex Crossing Parcel 6
 Construction Site: 175 Delancey Street, New York, NY 10032
 Owner/Agent: L+M Development Partners, 419 Park Avenue South, New York, NY 10016
 Designer/Contractor: Dathner Architects, 1385 Broadway, 15th Floor, New York, NY 10018

Section 2: General Information

Building Location (for weather data): New York, New York
 Climate Zone: 4a
 Building Space Conditioning Type(s): Nonresidential
 Vertical Glazing / Wall Area Pct.: 36%

Activity Type(s)
 UG 2 - Non-profit residences for the elderly (Multifamily) 96849
 UG 4 - Community Facility (Office) 33798
 UG 6 - Retail (Retail) 9069
 UG 4 - Ambulatory Diagnostic/Treatment Health Care (Office) 40684

Section 3: Requirements Checklist

Envelope PASSES: Design 1% better than code.

| Component Name/Description | Gross Area or Perimeter | Cavity R-Value | Cont. R-Value | Proposed U-Factor | Budget U-Factor |
|--|-------------------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Wall Type 1 Mass wall with Furring, Other Mass Wall, Heat capacity 1.0 (B) | 10543 | ... | ... | 0.085 | 0.089 |

그림 9. 컴척 에너지 분석 - 건물외피 부합여부
 Figure 9. Comcheck energy analysis - envelope compliance

IV. 결론

현재 국내 건축에 있어서도 건축물 에너지절약계획서, 건축물에너지효율등급인증, 녹색건축물인증, 제로에너지건축물 에너지 인증 등 다양한 에너지 관련 제도들이 있고, 현재 건축물의 규모와 용도에 따라 설계 단계에서부터 적용을 하고 있다.

대다수의 경우, 실시 설계가 끝난 단계에서 완료된 모델에 에너지 컨설턴트를 통해 에너지모델링을 한 후에야 그 결과 값을 확인할 수 있고, 단열재를 바꿔야 하거나 재계획을 해야 하는 경우까지 발생하기도 한다. 그러한 변경을 방지하기 위해 처음부터 에너지 코드에서 요구하는 단열성능보다 높은 단열재를 사용하여 결과적으로 비효율적인 에너지설계가 이루어지고 있다.

본 연구를 통해 도출한 결론은 다음과 같다. BIM을 이용한 미국 공동주택의 건물 에너지 검증 방식은 초기 계획 단계에서부터 외피의 단열성능과 에너지효율에 대해 고려할 수 있으며, BIM 모델의 수정과 동시에 건물의 단열성능을 비교할 수 있기 때문에 디자인 과정에서

효과적이고 신속한 프로세스를 갖출 수 있다는 장점이 있다. 또한 공동주택의 경우 창호와 외벽의 면적과 단열성능은 개별 유닛의 에너지 사용량에 큰 영향을 미치기 때문에 건물의 입면 디자인과 연계된 건물외피의 에너지 계획이 중요한 의미를 갖는다.

공동주택의 시공의 오류를 극복하고, 설계 산업의 생산성과 효율성을 증가시키는 BIM은 공동주택 설계가 새로운 방향으로 나가는 데 있어서 중요한 역할을 하고 있다. LH공동주택은 2021년부터 연차별로 BIM 적용 의무화를 확대하고, 민간 건축물은 세움터 재건축 사업을 통해 BIM 인허가 시스템을 마련하여 2024년부터 건축물 규모에 따라 단계적으로 BIM 설계를 지원한다는 계획을 세웠다.

우리나라의 에너지 검증 제도로 건축물에너지효율등급인증, 녹색건축인증, 제로에너지건축물 인증제도 등 상당히 복잡하고 까다롭게 이루어져 설계과정에 있어서 많은 어려움이 있다. 우리는 이 연구를 통해서 미국 공동주택의 건물 외피 에너지코드 검증을 위한 BIM 에너지 계획 방안을 살펴보았다. 향후 우리는 우리나라 에너지 검증 제도에서도 우리 환경에 맞춘 BIM을 통해 손쉽게 설계자가 계획과 검증을 동시에 할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

- 1) Adapted from Dattner Architects with permission. (www.dattner.com)

References

- [1] U. S. Department of Energy, Building Energy Code 101 - An Introduction, https://www.energycodes.gov/sites/default/files/2019-09/BECU_Codes_101.pdf, 2010.05, pp. 4
- [2] Umberto Desideri and Francesco Asdrubali, Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach, 1st edition, Butterworth-Heinemann, 2018.12.7, pp 43-44
- [3] Ryan Meres and Eric Makela, Building Energy Codes: Creating Safe, Resilient, and Energy - Efficient Homes, https://www.imt.org/wp-content/uploads/2018/02/non-energy_benefits_of_energy_codes_report.pdf, 2013.07. pp. 2-4
- [4] The New York City Department of Buildings, 2014 New York City Energy Conservation Code, <https://www1.nyc.gov/site/buildings/codes/2014-energy-conservation-code.page>, 2014.11, C402.3.1
- [5] American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2009 ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, 2009.01.15. pp. 25.6, 26.8