

BIM기반 에너지절약계획서 건축부문 부분자동화 작성 시스템 제안

- BIM 소프트웨어와 EXCEL VBA를 이용한 자동화과정을 중심으로 -

A Proposal for Partial Automation Preparation System of BIM-based Energy Conservation Plan

- Case Study on Automation Process Using BIM Software and Excel VBA -

류재호¹⁾, 황종민²⁾, 김솔이³⁾, 서화영⁴⁾, 이지현⁵⁾

Ryu, Jea-Ho¹⁾ · Hwang, Jong-Min²⁾ · Kim, Sol-Yee³⁾ · Seo, Hwa-Yeong⁴⁾ · Lee, Ji-Hyun⁵⁾

Received December 23, 2021; Received April 06, 2022 / Accepted May 26, 2022

ABSTRACT: The main idea of this study is to propose a BIM-based automation system drawing up a report of energy conservation plan in the architecture division. In order to obtain a building permit, an energy conservation plan must be prepared for buildings with a total floor area of 500m² or more under the current law. Currently, it is adopted as a general method to complete a report by obtaining data and drawings necessary for an energy conservation plan through manual work and input them directly into the verification system. This method takes a lot of effort and time in the design phase which ultimately increases the initial cost of the business, including the services of companies specialized in the environmental field. However, in preparation for mandatory BIM work process in the future, it is necessary to introduce BIM-based automatic creation system that has an advantage for shortening the whole process to enable rapid permission of energy-saving designs for buildings. There may be many methods of automation, but this study introduces how to build an application using Dynamo of Revit, in terms of utilizing BIM, and write an energy conservation plan by automatic completion of report through Dynamo and Excel's VBA algorithm, which can save time and cost in preparing the report of energy conservation plan compared with the manual process. Also we have insisted that the digital transformation of architectural process is a necessary for an efficient use of our automation system in the current energy conservation plan workflow.

KEYWORDS: BIM, Energy Conservation Plan, Energy Performance Index, Automation, Dynamo, Digital Transformation

키 워 드: 건축정보모델링, 에너지절약계획서, 에너지성능지표, 자동화, 다이노모, 디지털 트랜스포메이션

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

전세계는 온실가스 배출에 따른 지구온난화로 인한 자연재해 및 생활환경의 변화로 커다란 변곡점을 맞고 있다. 따라서 국

제사회는 전지구적인 차원에서 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)'를 만들어서 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」의 발간 및 온실가스를 줄이기 위한 노력을 기울이고 있다. 한편 건물부문도 온실가스 배출에 있어서 큰 비중을 차지하고 있는데, 2020년 전 세계 건물부문의 총 에너지 소비량(Residential, Non-

¹⁾정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 (jhryu@seoultech.ac.kr) (교신저자)

²⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 (hjm8942@naver.com)

³⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 (pqowyt@naver.com)

⁴⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 (3gsmartphon@naver.com)

⁵⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건축학부 건축공학전공 (hyun6173@naver.com)

residential, Buildings construction industry 포함)은 전체의 36%를 차지하고 있으며, 건물부문에서 발생한 CO₂배출은 전 세계 에너지 관련 CO₂배출량의 37%를 차지한다(GABC, 2021). 또한 국내에서도 건물부문의 온실가스 배출량이 한국의 전체부문 온실가스 배출량 중 약 24%(직접 배출량 한정 7%)를 차지(2017년 기준)하고 있다(Kim, 2021). 우리나라는 온실가스를 감축하기 위한 파리기후변화협정(Paris Climate Agreement)을 2016년 비준하고, 2018년 국무총리 산하 녹색성장위원회의 회의를 통해서 '온실가스 감축 기본로드맵'을 설정하여, 2030년 온실가스 배출전망치(BAU, 850.8MtCO₂eq.) 대비 37%의 감축 목표를 발표하였다. 이를 달성하기 위해 정부에서는 구체적인 정책을 수립하였는데, 건축분야에서 저탄소 배출을 위해 『저탄소 녹색성장기본법』을 기반으로 건축물 온실가스, 에너지 목표관리제를 시행하였다. 그리고 해당법은 현재(2022.3.25.)는 약칭 탄소중립법(『기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법』)으로 폐지·통합하여 새로운 목표로 2030년 온실가스 감축 목표를 2018년 배출량(727.6MtCO₂eq.) 대비 35%이상 감축을 설정하도록 명시하였으며, 국가 온실가스 감축목표(NDC, National Determined Contributions)로는 2018년 배출량 대비 40%를 감축을 목표로 하고 있다(2050CNGGC).

이를 바탕으로 시행 중인 『녹색건축물 조성 지원법』에는 에너지 절약계획서 제출, 녹색건축의 인증, 건축물의 에너지효율등급 인증, 제로에너지건축물 인증 등의 내용을 정의하고 있다(KLIC, Korea Law Information Center). 그 중, 에너지절약계획서 제출 제도는 냉난방공간 연면적 합계가 500m²이상인 건축물을 대상으로 하여 건축물이 에너지절약설계기준을 따름으로써 효율적인 에너지 관리를 돕고, 단열기준을 강화해 열손실을 막아 냉난방에 소요되는 에너지를 저감, 유도하는 제도이다(Korean Energy Agency, 2019). 설계단계의 건축물에 대해 에너지절약계획서와 이에 따른 건축, 전기, 기계, 신재생 항목에 따른 근거자료(기본설계도서, 형별성능관계내역서, 단열계획도 등)를 제출하고 에너지절약설계기준에 맞는 설계가 되었는지를 검토한다. 건축물의 건축, 전기, 기계, 신재생 부분의 근거자료를 준비하여 건물의 전반적인 설계를 검토받는 만큼, 에너지절약계획서를 작성하는 과정에서 요구하는 증빙자료를 만드는데 많은 인력과 시간이 소요된다. 그리고 현재 많은 설계사무실에서는 에너지절약계획서 관련 분야 전문회사에 용역을 주는 방식이 채택되고 있고, 그 과정에 설계사와 용역사 사이에 법규검토, 조건충족 여부의 확인 과정에서 설계변경 사유가 발생하면 재설계로 인한 정보교환 등의 반복작업으로 인한 비효율이 발생하고 있다.

위에서 설명한 에너지절약계획서의 작성작업의 비효율은 대부분 2D CAD를 기반으로 작성한 도면을 이용한 작업과정에서 발생한다. 따라서 전체적인 설계정보의 연결, 통합 및 관련정보 활

용성이 부족한 2D CAD기반의 작업 프로세스에서 새로운 건축정보 체계인 BIM을 기반으로 하는 설계정보를 이용하면 위에서 발생하는 비효율을 제거할 수 있을 것이다. BIM 환경으로 작업을 진행하면 시간적인 내용 확인이 가능하며, 빠르고 정확하게 필요한 건물정보를 추출할 수 있게 되어서, 이와 같은 장점을 활용하여 에너지절약계획서의 자동화를 진행하고자 한다.

본 연구에서 주제로 하는 BIM 데이터를 이용한 건축물의 에너지절약계획서에 관련된 자동화 연구 및 애플리케이션의 개발은 이전부터 많은 연구자들의 관심사항이었다. 관련 연구로는 이진천의 'BIM기반 냉난방에너지해석 및 절약계획서 작성을 위한 도구개발(COME4Revit)', 이윤길의 '에너지절약 설계를 위한 BIM기반 실시간 형별성능 자동 산출 기술 개발(EnergyInfo)', 문현준의 '건물에너지 성능향상을 위한 BIM 기반 시뮬레이션 기술 및 설계지원 도구 개발', 최창호의 'BIM기반 건축물 에너지절약설계기준 평가 플랫폼 개발' 및 '건축물 에너지성능평가를 위한 BIM기반 외피전개도 자동추출 기술' 등을 예로 들 수 있다. 그 외에도 상업적 애플리케이션으로는 상상진화의 '에너지박스 프로(EnergyBOX Pro)', (주)라인테크시스템의 '건축물 에너지 소비 총량제 평가프로그램(SMART ECO2 for Revit 1.0)', 토문건축설계사무소의 '형별성능관계내역'의 도면자료 산출 기능 등이 있다. 다만 위의 사례들이 전문적인 API나 C# 프로그래밍을 통한 애플리케이션의 제작이었다면, 본 연구에서는 BIM 데이터를 직접적으로 제작하는 설계자가 비교적 손쉽게 변형이 가능한 비주얼 스크립팅 툴을 통해서 에너지절약계획서의 작업에 접근할 수 있도록 하는 것이 연구의 주요 목적이었다. 또한 단순히 BIM 툴에서만 끝나는 것이 아니라 전체적인 자동화를 이루기 위해서 엑셀의 VBA와 결합하여 자동화의 완성도를 높이는데 특징이 있다고 할 것이다.

또한, 'BIM 기반 EPI 평가 자동화 모듈 개발(Cho et al., 2018)'의 연구에서는 Revit 및 Dynamo를 이용해 에너지절약계획서에서 에너지성능지표(EPI) 1~3번 항목에 해당되는 건축물 외피의 외벽, 지붕, 최하층 거실 바닥의 평균열관류율을 자동 산정하는 기능을 구현하고 있다. 하지만 해당 연구는 건축부문 증빙자료의 일부분에 해당되는 평균열관류율의 계산 이외에 다른 기능의 자동화에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BIM을 활용하여 에너지절약계획서 작성에 적합한 에너지절약계획 설계 검토서에 있어서 건축, 전기, 기계, 신재생의 4부문 중에 건축부문에 초점을 맞추어서 '1.의무사항'과 '2.에너지성능지표' 근거자료의 자동 작성으로 연구 범위를 한정하며, Autodesk의 BIM 소프트웨어인 Revit과 Dynamo를 기반으로 진행하였다. 연구 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 방법을 채택하였다.

첫째, 본 연구에서 다루는 에너지절약계획서 각 항목에 따라 필요한 데이터 목록과 개념을 분석한다. 건축물의 용도와 면적에 따라 작성 항목과 필요한 근거서류가 변동되기 때문에 건축물의 에너지절약 설계기준 해설서를 참고하여 사전 정의를 위한 관련 선행연구를 진행한다.

둘째, 에너지절약계획서 작성 항목에 필요한 데이터를 Dynamo와 Excel을 통해 알고리즘화 한다. BIM 건축 모델로부터 Dynamo를 통해, 에너지절약계획서 작성에 필요한 데이터를 추출한 후 작성 양식 형태의 Excel 시트로 연동하여 에너지절약계획서를 작성 자동화한다.

셋째, VBA를 활용하여 Dynamo의 자동화 한계를 줄인다. Dynamo 추출 데이터가 Excel로 직접 호환이 되지 않는 경우, 사용자 수동 입력과 VBA를 이용해 데이터를 처리한다.

본 논문에서는 위와 같은 절차를 통해 Revit 모델링 작업이 완료되었을 시점, 즉 설계 단계가 완료되었을 경우를 가정하여 에너지절약계획서를 자동으로 작성하는 프로세스를 소개한다. 에너지절약계획서에 부적합한 설계의 경우에는 사용자는 BIM 모델을 재작성하여 기존의 자동화 프로세스를 다시 실행하면 쉽게 에너지절약계획서를 재작성 및 수정할 수 있다. 이처럼 설계변경에 의한 재작성의 경우에도 자동화 시스템이 적용된다면 기존의 수동적인 작업프로세스와 비교하여 에너지절약계획서의 작성 시간을 상당히 줄일 수 있다.

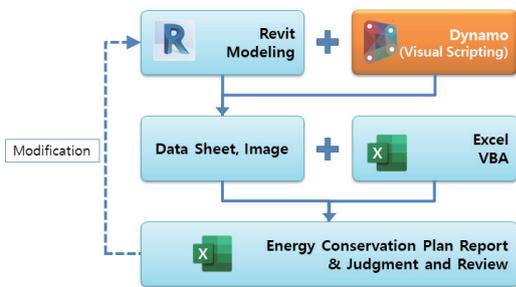


Figure 1. Proposed workflow of energy conservation plan using BIM

2. 에너지절약계획서 제도 및 현황 조사

현재는 『녹색건축물 조성 지원법』의 에너지절약설계기준에 의해 설계된 건축물의 에너지절약계획서의 검토는 세움터를 비롯하여 에너지절약통합포탈, 한국교육녹색환경연구원, 한국환경건축연구원, 한국생산선본부인증원 등 다양한 기관에서 받을 수 있다. 세움터의 경우에는 건축물의 인허가 민원과 함께 관련도서로서 에너지절약계획서를 제출하여 검토 및 협의 요청을 통해서 그 결과를 통보받을 수 있다. 세움터 시스템은 건축물 전반에 관

한 업무를 전산화하여 건축행정업무를 볼 수 있게 한 건축 전산화 시스템으로 건축에 대한 모든 민원이 세움터에서 모두 해결되고 있으며, 건축물 에너지절약계획서 또한 세움터 내에서 신청, 작성, 검토, 보완이 이루어지고 있으며, 각각 해당하는 항목에 필요한 데이터, 도면 등을 수작업으로 직접 입력하는 방식으로 진행되고 있다(Solideo). 또한 현재 세움터 시스템에서는 건축물 정보나 도서, 도면을 일괄 입력 및 첨부할 수 없고 수동으로 개별 입력을 하여야 한다. 그래서 에너지절약설계기준에 맞추어 보완을 하거나, 설계변경 시 관련 근거도면을 재작성하는 데 있어서 정보를 개별적으로 수정하는 불편함과 불필요한 시간, 노력이 소요되는 한계점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 본 연구에서는 에너지절약계획서 작성 양식을 생성하는 시스템을 구축하여 자동으로 작성된 개별 양식 정보와 세움터 시스템에 입력하는 정보를 일괄 비교할 수 있도록 하였다.

대부분의 경우 에너지절약계획서 신청 허가를 위해 관련 데이터와 도면, 근거자료를 작성 및 세움터에 등록, 보완까지의 과정을 전문 컨설팅사의 용역에 의존하고 있다. 현재 대부분의 설계와 행정 검토는 2D CAD 도면으로 통용되기 때문에 용역사 또한 2D CAD 기반으로 작업하여 견적을 내고 관련 서류들을 작성한다. 2D CAD 도면에서 필요한 데이터를 수집, 가공하기 위해서는 사용자의 수동작업이 필수적이다. 하지만 BIM을 이용하여 데이터를 자동 수집 및 계산한다면 앞서 말한 수작업과 반복작업 등이 간소화될 수 있다. 본 연구에서는 BIM 데이터를 이용해서 에너지절약계획서를 자동으로 만드는 작업을 만들었으나, 현재의 세움터를 통한 설계안의 검토 시스템에서는 개별 의도의 효율성을 완전하게 달성하기 어렵다. 나중에도 언급하겠지만, 현재의 법규에서 정의하고 있는 방식이나 제출 증빙자료들이 2D CAD를 기준으로 작성되는 현실이어서, BIM 모델로 작업한 정보를 다시 2차원의 정보로 환원해야 하는 비효율성이 여전히 발생하고 있다.

3. Dynamo와 Excel을 이용한 에너지절약 계획서 부분 작성 자동화 프로세스 구축

3.1 Dynamo의 정의 및 기능

Dynamo는 Autodesk의 BIM 소프트웨어인 Revit 기반 시각적 프로그래밍 애드온으로서 사용자가 특정한 문제를 알고리즘화하여 해결할 수 있도록 한 프로그램이다. 설계 중에는 설계 단계 간에 시각적 관계, 체계적 관계 또는 기하학적 관계를 설정하는 경우가 많은데, 이는 규칙에 따라 개념부터 결과까지 연결되는 일종의 워크플로우라고 할 수 있다. 이러한 워크플로우가 알고리즘화된다면 입력, 처리 및 출력이라는 기본적인 논리를 따르는 단

계별 작업 세트를 구성할 수 있으며, 나아가 이것이 공식화 또는 응용 및 활용된다면 다양한 문제들을 알고리즘에 따라 해결함으로써 편의성이 증대된다(The Dynamo Primer, 2021). 본 연구에서는 Dynamo를 이용하여 Revit 모델로부터 에너지절약계획서 작성에 필요한 정보들을 추출하고자 하였다.

Table 1. Components of Point.ByCoordinates node

Input		Output
Parameter	Value	
x	5	Point (, ,) = [5, 10, -20]
y	10	
z	-20	

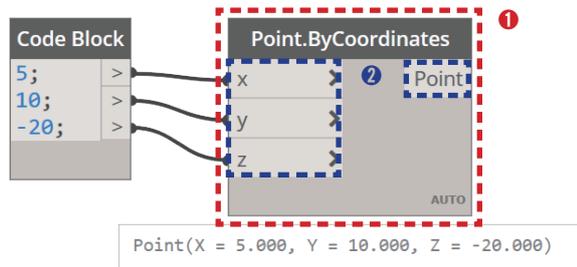


Figure 2. Example of Point.ByCoordinates node in Dynamo – ① Node ② Port

다이나모에서는 이와 같은 기하학적인 관계를 나타내는 노드 뿐만 아니라 숫자, 문자열, 매개변수(Parameter) 정보 등의 데이터를 처리, 혼합, 가공할 수 있는 노드를 사용하여 본 연구가 의도한 복잡한 작업이 가능하였다.

3.2 Dynamo를 이용한 단계별 데이터 형성 및 추출

Revit 모델을 Dynamo로 가져오기 전에 에너지절약계획서에 필요한 정보가 무엇인지 파악해야 한다. 에너지절약계획서 작성에 필요한 근거자료는 형별성능관계내역서, 면적산출서, 평균열관류율 계산서, 단열계획도, 평면도 등이 있다. 추출 대상 데이터가 정해지면 Dynamo에서는 Revit 객체의 속성(Property)데이터를 출력하는 노드를 통하여 해당 정보를 가지고 있는 오브젝트의 매개변수에서 필요한 정보를 추출한다. 근거자료를 생성하기 위해 본 연구팀은 ‘데이터 내보내기(3.2.1)’, ‘근거자료 생성(3.2.2)’, ‘이미지 내보내기(3.2.3)’의 3단계 워크플로우를 구축하였다.

3.2.1 데이터 내보내기

‘데이터 내보내기’ 워크플로우에서는 Revit 모델의 벽, 바닥, 지붕 요소(Element)를 통해 형별성능관계내역서에서 도면을 제외한 모든 정보를 생성하고, 벽 면적에서 창 면적을 공제한 면적을 벽 유형별로 산출한 면적산출서의 데이터를 구축한다. 또한, 재료별 열전도율을 참조하여 열관류율을 계산하고 이를 종합하여 벽 유형별 열관류율을 산출하는 평균열관류율 계산서의 데이

터를 생성하는 작업도 담당한다. 한편, 단열벽체는 『건축물의 에너지절약설계기준』 [별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표와 [별표3] 건축물 단열재 기준에서 정한 기준에 부합하도록 설계되어야 하는데 이에 대한 검토에 편의성을 더하고자 단열유형(외기 직접 또는 간접)을 드롭박스 방식으로 선택할 수 있는 UI(User Interface)를 생성하여 데이터를 구축하고 검토할 수 있도록 부분 자동화의 개념을 도입하였다. 이 모든 작업이 완료되면 Excel로 데이터를 내보내고 다음 프로세스를 진행할 수 있다.

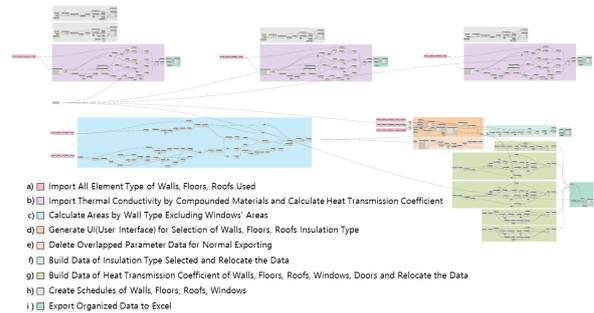


Figure 3. Dynamo Workflow(Step 1): Exporting Data

- Revit 모델에서 벽, 바닥, 지붕 카테고리에 해당하는 모든 요소를 가져오고 요소의 상위개념인 유형(Type)의 고유값(Unique Item)을 출력하는 프로세스이다.
- 벽, 바닥, 지붕을 구성하는 구성재료(composite Materials)의 열전도율을 이용하여 재료별 열관류율을 산출하고 최종적으로 단위 요소(벽 유형별, 바닥 유형별, 지붕 유형별)에 해당하는 열관류율을 계산하는 작업이다. 이외에도 재료명, 재료 두께, 열저항, 구성재료의 열관류율 등의 데이터 출력에도 관여한다. 단위 벽, 단위 바닥, 단위 지붕에 해당하는 데이터들은 각각 Excel 파일의 ‘형별성능내역서_벽’, ‘형별성능내역서_바닥’, ‘형별성능내역서_지붕’ 시트에서 ‘재료명칭’, ‘두께’, ‘열전도율’, ‘열저항’ 필드의 데이터로 자동 기재되는데 사용된다.
- 벽 면적에서 창 면적을 공제한 벽 순면적을 계산하는 프로세스이다. 이는 면적산출서에서 해당 벽 유형의 벽 면적으로 사용되고 Excel 파일의 ‘면적산출서’ 시트에서 ‘면적’ 필드의 데이터로 기입된다.
- 프로세스가 실행되면 단위 요소가 『건축물의 에너지절약설계기준』 [별표1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표의 어떤 단열유형에 해당하는지를 결정하는 UI에서 단열유형을 선택할 수 있고, 그 선택된 데이터가 해당 요소의 새로운 매개변수 데이터로 생성된다. 이는 Excel 파일의 ‘면적산출서’ 시트에서 ‘단열유형’ 필드의 데이터로 기입된다.
- 설계변경 사유가 발생하고 프로세스를 재실행할 시 d)의 프

로세스가 반복적으로 실행되는데 이는 단열유형 매개변수가 중복으로 생성되어 i) 프로세스가 정상적으로 작동하지 않을 수 있다. 이를 방지하기 위해 중복 데이터 생성 가능성을 배제하여 오류 없는 프로세스를 구축하였다.

- f) Excel 파일의 '면적산출서' 시트에서 '단열유형' 필드의 데이터를 기재할 때 i)의 정상 실행을 위하여 서식에 부합하도록 데이터 구조를 재배치하는 단계이다.
- g) Excel 파일의 '열관류율' 시트에서 데이터를 기재할 때 '평균열관류율 계산서' 시트의 데이터 자동작성이 쉽도록 서식에 맞게 데이터 구조를 재배치하는 프로세스이다.
- h) 벽, 바닥, 지붕, 창의 일람표를 생성하는 프로세스이다.
- i) Excel로 데이터를 내보내는 프로세스로 'VBA를 이용한 문서 자동작성 알고리즘(3.3.2)'에 필요한 데이터를 구축하는 단계이다.

3.2.2 근거도면 생성

'근거도면 생성'단계에서는 도면 이미지를 자동 저장하기 위해 Revit 환경에서 도면을 생성하는 과정으로, 생성하는 도면은 단열 계획도, 평면도, 형별성능관계내역서이다. 단열계획도를 생성하는 알고리즘은 비교적 간단하지만, 형별성능관계내역서를 얻는 과정은 복잡하다. 프로세스 실행 전 범례뷰(Legend View) 3개를 생성해야 하며 프로세스를 2회 실행해야만 정상적으로 작동한다. 이때 범례뷰를 3개 생성하는 이유는 단면 범례구성요소(Section Legend Component)를 배치하기 위해 벽, 바닥, 지붕 용도에 맞는 각각의 범례뷰를 복제해야 하기 때문이다. 단면 범례구성요소란 형별성능관계내역상세도를 생성하기 위해 필요한 범례구성요소로 벽, 바닥, 지붕의 유형별 단면 형상 및 구성재료, 재료명 등을 시각화한 도면이다. 단열계획도와 평면도는 Revit에서 기본적으로 제공하는 평면도를 이용하여 생성할 수 있다. Figure 4는 본 연구에서 사용한 BIM 모델을 대상으로 한 1층의 단열계획도와 평면도, 형별성능관계내역상세도 등을 나타낸 것이다. '근거도면 생성' 워크플로우는 Figure 5의 Dynamo 스크립트를 통해 실행된다.

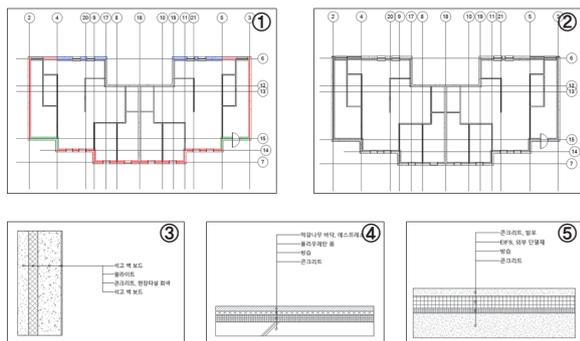


Figure 4. Required Drawings – ① Plan View for Insulation Plan ② Plan View ③ Section view of wall ④ Section View of floor ⑤ Section view of roof

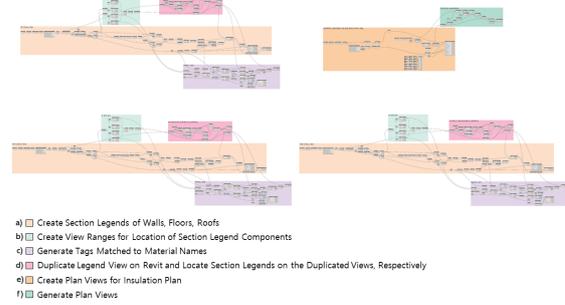


Figure 5. Dynamo Workflow(Step 2): Generating Required Drawings

- a) 벽, 바닥, 지붕에 대한 단면 범례구성요소를 생성하는 프로세스이다. 벽, 바닥, 지붕의 단면 구성을 점으로 표현하고 한 재료 단위로 닫힌 곡선을 그릴 수 있도록 점 데이터 구조를 정리한다. 닫힌 곡선을 생성하고 닫힌 곡선 내부 영역에 해당 재료의 단면 패턴(hatch)을 삽입함으로써 단면 범례구성요소를 완성한다. 이는 Excel 파일의 '형별성능내역서_벽', '형별성능내역서_바닥', '형별성능내역서_지붕' 시트에서 형별성능관계내역상세도로서 첨부되는 도면 이미지를 생성하는 데 필요한 프로세스이다. Figure 6은 a)의 과정을 도식화한 것이다.
- b) Figure 7과 같이 단면 범례구성요소가 배치되기 위한 뷰 영역을 하나의 닫힌 곡선(직사각형)을 통하여 표시하는 프로세스이다. 이는 단면 범례구성요소 외부의 닫힌 곡선을 경계영역으로 설정하여 뷰 영역을 결정하는 데 필요한 작업이다.
- c) Figure 7과 같이 각 재료의 단면 패턴에 해당하는 재료명을 나타내는 프로세스이다. 이때 재료명은 Revit 환경에서 벽의 구성재료를 계획할 때 명명한 재료명을 참조하여 재료 태그에도 자동화 개념을 적용하였다.

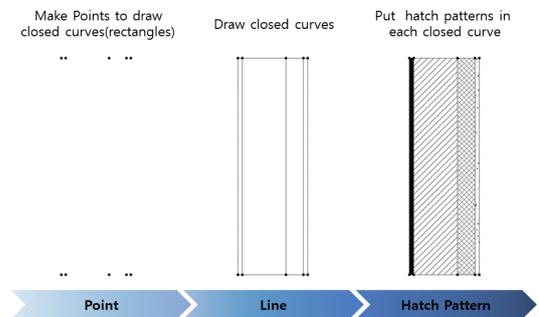


Figure 6. Process of Creating Section Legend Component

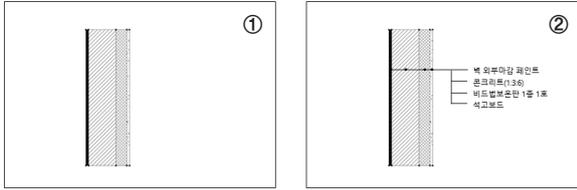
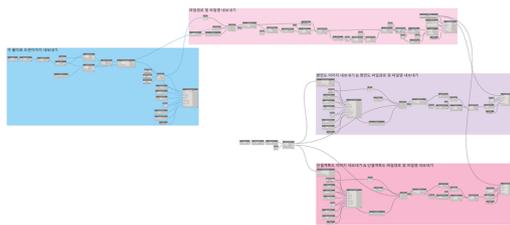


Figure 7. Complete Section Legend Component – ① Setting View Range ② Tag to each material name

- d) a)~c)를 통한 결과를 복제된 범례뷰에 배치하는 프로세스이다. 예를 들어, 벽 유형의 순서가 번째이면 'boundary_wall'뷰에 배치된다.
- e) Revit 환경에서 기본적으로 제공되는 평면도에서 단열계획된 벽만을 필터링하여 유형별로 색을 칠함으로써 단열계획도를 얻는 프로세스이다.
- f) e)에서 얻은 단열계획도를 1회 복제하고 색 정보를 초기화함으로써 평면도를 얻는 프로세스이다.

3.2.3 이미지 내보내기

에너지절약계획서의 근거자료로는 수치 데이터, 목록 데이터 등의 문자 데이터도 있지만, 도면의 이미지 데이터도 필요하다. 이를 위해 Revit에서 생성한 도면(형별성능관계내역상세도, 단열계획도, 평면도)을 이미지로 저장해야 한다. 본 연구의 특성상 이미지 내보내기에도 자동화의 개념을 도입할 필요가 있으므로 폴더를 미리 생성하면 그 폴더의 파일경로와 저장할 이미지의 파일명에 의해 자동 저장이 될 수 있도록 프로그래밍하였다. '이미지 내보내기'의 프로세스는 아래의 Figure과 같이 크게 4단계의 프로세스로 세분화 된다.



- a) Export Image of Drawings to Each Folder Had Already Made
- b) Export File Names and File Paths to Excel for Referencing as Factor of 'ImageLookup' Function
- c) Export Image of Drawings(Plan Views of Insulation Plan) to A Folder and File Names & Paths to Excel
- d) Export Image of Drawings(Plan Views) to A Folder and File Names & Paths to Excel

Figure 8. Dynamo Workflow(Step 3): Exporting and Saving Image

- a) 본 프로세스 실행 전에 '벽', '바닥', '지붕', '단열계획도', '평면도'의 이름을 가진 5개의 빈 폴더가 생성되면 그 폴더에 폴더명과 내용이 일치하는 도면 이미지를 자동 저장하는 프로세스이다. 본 단계에서는 벽, 바닥, 지붕의 단면 범례구성 요소 도면이 각각 '벽', '바닥', '지붕' 폴더에 이미지로 자동 저장된다.

- b) '이미지 업로딩(3.3.3) 프로세스에서' 'IMAGELOOKUP'사용자 정의함수의 실행을 위해 파일명과 파일 경로를 Excel 파일의 '형별성능내역서_벽', '형별성능내역서_바닥', '형별성능내역서_지붕' 시트로 내보내는 프로세스이다.
- c) '근거도면 생성(3.2.2) e)의 결과를 '단열계획도' 폴더에 이미지로 자동 저장하는 프로세스이다.
- d) '근거도면 생성(3.2.2) f)의 결과를 '평면도' 폴더에 이미지로 자동 저장하는 프로세스이다.

3.2.4 Dynamo Player를 이용한 작업 용이성 증대

Dynamo 인터페이스상 두 가지 이상의 작업창으로 작업할 수 없으므로 다음 프로세스 실행을 위해서 현 프로세스 작업창을 닫고 다음 프로세스 파일을 새로 열어야 하는 번거로움이 발생한다. 또한, Revit과 Dynamo를 동시에 실행하면 램(RAM)에 할당되는 데이터가 매우 증가하여 작업의 처리 속도가 느려질 수 있다. 이에 본 연구에서는 Dynamo Player를 사용하여 작업의 용이성을 높이고자 하였다.



Figure 9. Dynamo player pop-up window of each workflow

1) Dynamo Player 세팅하기

Dynamo Player를 실행하면 Dynamo Player 팝업창이 열리고 [폴더 찾아보기] 아이콘을 클릭하여 '데이터 내보내기', '근거도면 생성', '이미지 내보내기' 워크플로우가 있는 폴더를 선택하여야 한다. Dynamo Player에서는 선택된 폴더 안에 있는 워크플로우만을 실행할 수 있으므로 작업한 워크플로우가 지정된 폴더에 있는지 확인할 필요가 있다.

2) 데이터 내보내기

'데이터 내보내기' 워크플로우에서 [입력 편집] 아이콘을 클릭하여 데이터를 내보낼 Excel 파일의 파일 경로를 지정하고 [재생] 아이콘을 클릭하여 워크플로우를 실행한다. 단열유형 선택 UI창이 생성되면 요소별로 해당 단열유형을 선택하고 'Set Value' 버튼을 누르면 데이터가 지정된 Excel 파일로 모두 이동된다.

3) 근거도면 생성

워크플로우 실행 전에 Revit 환경에서 범례뷰 3개를 생성해야

한다(축척 1:10 권장). 생성 후 [입력 편집] 아이콘을 클릭하여 복제할 범례뷰를 선택한다. 이때 순서와 관계없이 중복되지 않도록 선택하는 것에 주의한다. 뷰 선택 후에는 [재생] 아이콘을 클릭하여 워크플로우를 실행하고 실행이 완료되면 재차 실행하여 복제된 범례뷰에 단면 범례구성요소가 배치될 수 있도록 한다. 이때, 범례뷰를 사전에 생성하지 않으면 단면 범례구성요소 도면이 생성되지 않고 단면계획도와 평면도만 자동 생성됨을 유의한다.

4) 이미지 내보내기

‘데이터 내보내기’ 워크플로우에서 [입력 편집] 아이콘을 클릭하여 이미지를 내보낼 ‘벽’, ‘바닥’, ‘지붕’, ‘단열계획도’, ‘평면도’의 폴더경로를 지정하고 [재생] 아이콘을 클릭하여 워크플로우를 실행한다. 각 이미지는 지정된 폴더에 지정된 이름으로 자동 저장된다.

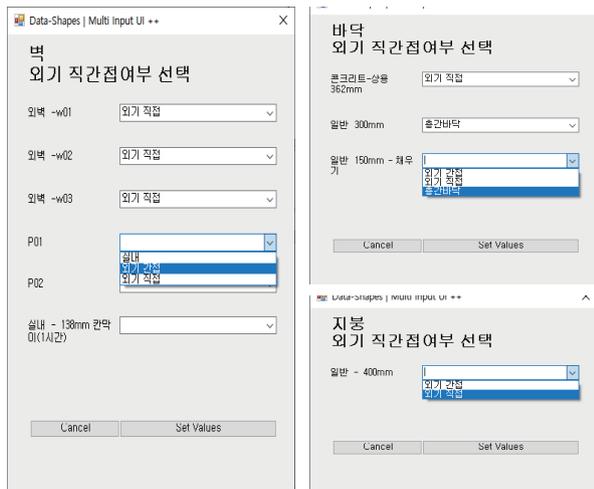


Figure 10. Selection UI for insulation type

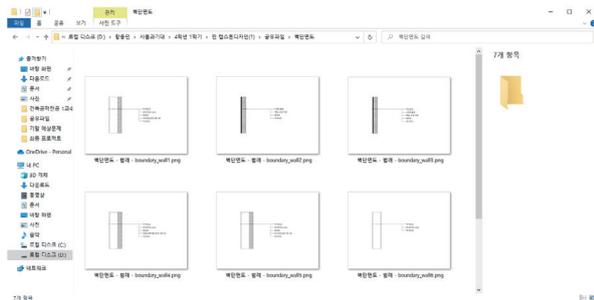


Figure 11. Saved image of wall section legend component

3.3 Excel을 활용한 보고서 자동 완성 방안

Dynamo에서 추출 및 계산한 데이터를 이용하여 최종적으로 Excel에서 정리하고 사용자가 직관적으로 필요한 데이터를 확인할 수 있도록 하였다. Dynamo는 ‘형별성능관계내역서’, ‘평균열관류율 계산서’ 등의 근거 시트에 필요한 데이터를 추출하는 기

능을 하였다면 Excel에서는 Revit이나 Dynamo에서도 자동화할 수 없는 정보들을 사용자가 수동으로 입력하여 비로소 에너지성능지표의 항목에 해당하는 배점을 산출하도록 했다. 즉, 입력한 값들이 해당하는 범위나 조건에 따라 자동으로 에너지성능지표의 항목의 배점으로 환산되어야 하는데 이를 위하여 VBA를 활용하였다. VBA는 Excel에서의 작업을 자동화하기 위해 코딩을 통하여 목표한 작업을 수행할 수 있게 하는 톨로서(Office VBA Reference) 사용자는 수동으로 값들을 입력하고 VBA를 실행하기만 하면 에너지절약계획서를 완성할 수 있다. 수정사항 및 설계변경 사유가 있는 경우에도 재실행함으로써 쉽게 에너지절약계획서를 수정할 수 있다.

3.3.1 수동작업

경우에 따라서는 Dynamo 워크플로우를 통하여 추출할 수 없는 데이터도 존재한다. 에너지절약계획서에서 요구하는 항목 중 몇 개는 Revit이나 Dynamo 환경에서 지원하지 않는 데이터를 요구하거나 요건 충족 여부를 검토해야하는 등 Dynamo 워크플로우만으로는 온전한 자동화를 이룰 수는 없거나, 혹은 이는 자동화를 구현하기에는 매우 어렵고 오히려 효율이 떨어질 수 있으므로 본 연구에서는 VBA 유저폼(User Form)을 이용해, 유저폼 내에서 수동작업이 필요한 사항들을 체크박스나 드롭박스를 통해 점검 및 입력하는 차선책을 채택하였다. 입력된 값들에 따라 에너지성능지표에서 어떤 항목에 해당하는지 조건부적(Rule-Based) 알고리즘을 통하여 자동으로 시각화하고 등록된 정보에 의해 점수가 계산된다.

유저폼은 ‘기본개요’, ‘기타사항’, ‘공동주택’으로 목적이 세분화되어 있어 사용자로 하여금 건축물에 대한 원활한 정보 입력이 가능하도록 하였다. 정보 입력이 완료되면 Excel 파일의 ‘건축물 개요 입력’ 시트에 정보가 기입된다.

1) 기본개요

건축물 이름, 주소, 연면적, 설계자, 용도 등을 입력한다. 건축물 주소의 경우 드롭박스를 통해 입력하면 중부1지역, 중부2지역, 남부지역, 제주도 중 입력 주소를 포함하는 한 지역에 대하여 그 결과를 ‘건축물 지역판정’란에 출력한다.

2) 기타사항

설계 시 방습층 사용 여부, 외피 열교부위의 단열성능과 기밀성능, 야간단열장치 설치 여부, 차양장치 설치 여부 등을 드롭박스 및 체크박스를 이용하여 해당하는 항목에 입력 및 체크한다. 이는 ‘에너지성능지표’ 시트에서 건축물에 해당하는 항목을 보여 주거나 해당하는 범위에 따라 배점을 구할 때 사용된다.

3) 공동주택

기본정보	
축종 명	abc빌딩
축종 주소	서울특별시 강남구
세주소	
계자	홍길동
축주	김모씨
면적별	중부2
환경결과	
축종 연면적	5000
축종 용도	주거 주택1
축종 지역명칭	중부2
면적 평가	그 외
요양 평가서 제출	소요량 평가서 제출 제외
환경결과	
피 열교부위의 단열 성능 및 문의 기밀성 등급	0.400~0.475미만 1등급
폐 가능한 외기 창 설치	설치
간단열장치 설치	설치
양장지 설치	미설치
양장지 설치 비율	40%이상~60%미만
군 태양열 취득	19~24W/m ² 미만
윤선 선택	
풍심/ 방풍구조	설치
하주차장 설치	미설치
발전력 조절	미설치
방동의 높이(제한)	1.05이상 1.10미만
동간격비	



Figure 12. User form for condition input

건축물이 공동주택일 경우 현관의 방풍구조 설치 여부, 지하주 차장 설치 여부, 자동점멸 스위치 설치 여부, 인동간격비 여부를 드롭박스 및 체크박스를 이용하여 해당하는 항목에 입력 및 체크 한다. 이는 ‘에너지성능지표’ 시트에서 건축물에 해당하는 항목을 보여주거나 해당하는 범위에 따라 배점을 구할 때 사용된다.

3.3.2 VBA를 이용한 보고서 자동작성 알고리즘

에너지절약계획서 결과 보고서														
구분	구분	에너지절약			평가	에너지 (kWh)					비율 (%)	평가		
		1년	0.9년	0.8년		1년	0.9년	0.8년	0.7년	0.6년				
에너지절약	1. 건축물 내외벽 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2. 지붕 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3. 외벽을 구성하는 모든 창문용 유리 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4. 수직 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5. 수평 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6. 수직 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7. 수평 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8. 수직 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9. 수평 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10. 수직 방열판(외벽) 단열 성능 향상 (단열 성능 향상률 10% 이상)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 13. Energy Performance Index(EPI) in architecture division

에너지절약계획서를 작성하기 위해서는 에너지성능지표에서 규정하는 기준을 만족하여 산출된 점수가 필요하다. 에너지성능 지표란 에너지절약계획서의 건축, 기계, 전기, 신재생 부문에 대한 점수 배점이다. 점수 산정에 자동화를 도입하는 것은 BIM 모델의 정보에 따라 에너지성능지표의 항목별로 설계기준에 맞는 배점을 자동으로 산출함으로써 가능하다. 항목별 점수는 비주거/주거에 따라 결정되는 ‘배점(a)’영역의 점수와(이하, α) 건축물의

설계특성에 의해 산출되는 ‘배점(b)’영역의 점수(이하, β)를 곱한 값으로 산정할 수 있다. 다음 Figure은 자동 산출 프로세스 이전에 에너지성능지표 건축부문의 양식을 나타낸 것이다.

1) α

비주거(대형/소형) 또는 주거(주택1/주택2)의 해당 여부에 따라 결정되는 점수로 유저폼에서 수동으로 기재한 정보에 의해 α의 값이 확정된다.

2) β

α값이 확정된 후 해당 항목의 성능 및 비율의 범위에 따라 점수에 차이를 두어 변별력을 부여하는 유통적인 점수이다. 1~4번 항목은 평균열관류율을 이용해 β의 값을 구해야 하는데 평균열관류율은 Dynamo에서 계산한 열저항 값들을 이용하여 ‘평균열관류율 계산서’ 시트에서 재계산한 열관류율 값으로 하였다. 이때 β는 해당 평균열관류율의 값이 어느 범위에, 어느 지역에 해당하는지에 따라 그 값이 달라지는데 두 기준을 모두 충족하는 범위에 부합하면 확정된다. 또한 6, 7, 10, 12번 항목의 경우 해당 설치물이 설치되었는지에 대한 여부에 따라 β이 결정된다. 그 외의 항목들은 유저폼에서 드롭박스로 선택한 값에 따라 β의 값이 결정된다.

α와 β가 확정되면 건축물이 해당되는 항목들에 한하여 α·β를 계산한 값의 합이 허가 기준을 넘으면 통과한다. 허가 기준은 민간의 경우 65점 이상, 공공의 경우 74점 이상을 받아야 하지만 본 연구는 에너지성능지표 중 건축부문의 총계만을 자동으로 산출하는 것을 목표로 하므로 인허가 가능 여부에 대해서는 아직 결정할 수는 없다.

이러한 작업을 수행하기 위해서는 VBA를 이용하였으며, 특정 시트, 특정위치의 셀의 값을 참조한 데이터를 이용하여 어떠한 목적을 갖는 연산을 해야 하므로 Excel 보고서 서식을 정형화할 필요가 있었다. 따라서 이는 사용자의 모든 기호를 맞추어 줄 수 없고 유연한 편집이 어려워 한계를 가지지만, 규칙에 기반한 자동화를 이루어 낼 수 있었음에 의의가 있다.

3.3.3 이미지 업로드

형별 성능관계 내역 상세도, 평면도, 단열 계획도 등 이미지 데이터를 Excel에 삽입하여 도면 근거자료도 완성할 필요가 있다. Excel의 이미지 삽입 기능을 활용해보았지만, 단일 이미지를 불러올 수 있고 다중의 이미지에 대해서는 드래그를 통해 불러올 수 있다고 하더라도 사용자가 의도한 위치에 정확히 배치되지는 않았다. 차선책으로, Dynamo를 통해 이미지를 직접 Excel에 내보낼 수는 있지만, 이는 Dynamo의 용량 증가를 초래하고 3D 모델이 달라질 때마다 배치할 위치도 변경되어 오히려 비효율적이다. 이

에 본 연구에서는 Dynamo에서 폴더에 도면 이미지를 자동 저장하고 Excel에서 이를 자동 참조하도록 하는 개선안을 마련하였다.

‘이미지 내보내기(3.2.3)’ 워크플로우가 완료된 후의 프로세스로 VBA를 활용하여 사용자 지정함수를 생성 및 적용하는 방안이다. 본 연구는 사용자 함수로 각 이미지 파일의 경로와 이름을 인수로 받아 이미지를 출력하도록 하였다. 각 ‘형별성능내역서’, ‘평면도’, ‘단열계획도’ 시트의 이미지 삽입란에 함수를 입력하고 ‘업데이트’ 사용자 지정함수를 통해 계산하면 이미지도 자동 업로드되므로 효율적이고 빠른 수정이 가능하다.

3.4 보고서 완성 및 최종 결과 도출

위의 프로세스를 모두 거치면 에너지절약계획서를 완성할 수 있다. 에너지절약계획서는 ‘에너지절약설계기준 의무사항’과 ‘에너지성능지표’로 나뉘는데 이는 Excel에서 각각 ‘1.의무사항’, ‘2.에너지성능지표’ 시트에 대응된다. 사용자의 편의를 위해 각 검토항목마다 근거자료 시트를 확인할 수 있도록 팝업 목록을 생성하여 해당 항목과 연관된 모든 근거자료를 열람할 수 있다. 아래의 Figure 14, Figure 15, Figure 16은 각각 에너지절약설계기준 의무사항, 에너지성능지표, 근거자료 팝업 목록을 나타낸 것이다. Figure 16의 팝업 목록은 Figure 14과 Figure 15에서 확인할 수 있는 ‘근거’ 필드의 녹색 단추를 클릭하면 열람할 수 있다.

에너지절약계획서 설계 검토서				
1. 에너지절약설계기준 의무 사항				
항 목	관련규범 (법령과 기술)	근거	확 인	
			필수	선택
가. 건축부분				
가 이 기준 제6조제2항에 의한 단열조치를 준수하였다.	✓	1. 단열	2. 단열	3. 단열
가 나 기준 제6조제2항에 의한 에너지성능지표의 건축부분 1인 항목 미달을 0.6점 이상 확보하였다.	✓	1. 단열	2. 단열	3. 단열
가 다 기준 제6조제2항에 의한 에너지성능지표의 단열부분 1인 항목 미달을 0.6점 이상 확보하였다.	✓	1. 단열	2. 단열	3. 단열
가 라 기준 제6조제4항에 의한 방습층을 설치하였다.	✓	1. 방습	2. 방습	3. 방습
가 마 기준 제6조제4항에 의한 방습층을 설치하였다. (외기벽 직관 면하고 1층 또는 지상인 경우 방습층을 제5도차100mm이내에 따른 방습층으로 하였다.) (층6도차100mm에 각 호의 해당하는 시공의 층상은 제외)	✓	1. 방습	2. 방습	3. 방습
가 바 기준 외기벽 직관 면하는 창문 기밀성능 1.65급(창기밀 5m ² /m 미만)의 성능을 확보하였다.	✓	1. 창문기밀	2. 창문기밀	3. 창문기밀
가 브 기준 제14조제29항에도 해당하는 공공건축물로서 에너지성능지표의 건축부분 관련 항목 미달을 0.6점 이상 확보하였다. (단일, 건축물 에너지효율성 1+등급 이상 등급을 취득한 경우 또는 제14조제29항의 미달 건축물 에너지효율성 평가서의 단열부분 1인 에너지효율성 평가서 적용할 경우 제외)	✓	1. 에너지효율성	2. 에너지효율성	3. 에너지효율성

Figure 14. Mandatory categories

에너지절약계획서 설계 검토서												
2. 에너지성능지표												
항 목	에너지성능지표 (법령과 기술)											
1. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	21	24	21	20	31	21	21	21	21	21	21	21
2. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
3. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
4. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
6. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47. 에너지성능지표 관련 항목을 준수하였는지 여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figure 15. Calculation of Energy Performance Index(EPI)

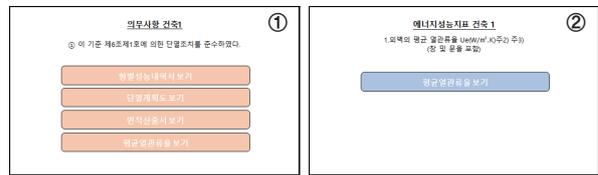


Figure 16. Pop-up collection lists of evidences for each category – ① Evidences of mandatory categories ② Evidences of EPI

앞서 ‘VBA를 이용한 보고서 자동작성 알고리즘(3.3.2)’에서 에너지성능지표의 α , β 의 값이 결정되면 건축물이 해당되는 항목에 한하여 $\alpha \cdot \beta$ 를 계산한 값의 합을 구한다고 하였다. 이때 ‘건축물이 해당되는 항목’이란 유저폼에서 체크박스로 해당/미해당으로 선택했던 Bool(True or False) 데이터는 각각 Figure 15에서 초록색/빨간색으로 표에 표시되는데 초록색(해당)으로 표시된 영역을 의미한다. 또한 에너지성능지표가 규정하는 성능 및 비율은 건축물의 소재지와 β 의 값에 의해 결정되므로 현재의 성능 및 비율이 해당되는 범위를 연두색 표시로 시각화하였다. Figure 16의 팝업 목록을 통하여 사용자는 원하는 근거자료를 쉽게 열람할 수 있다.

4. 에너지절약계획서 자동화 시스템 개발 관련 논의

BIM을 활용하여 건축물을 설계할 경우, Dynamo를 통해 에너지절약계획서 작성에 필요한 정보들을 결괏값으로 산출할 수 있다. 산출된 정보들은 VBA 유저폼을 통해 형별성능관계내역서, 단열계획도, 평균열관류율 계산서뿐만 아니라 평면도, 단면도와 같은 이미지를 근거자료로 생성하고, Excel에서 열람할 수 있게 계획되었다. 본 연구에서 제안된 자동화 시스템을 통해서 에너지절약계획서가 완성되면 건축부분 중에서 각 항목의 근거자료와 배점 기준에 부합하는지 알 수 있게 된다.

본 연구에서 개발된 BIM 기반의 에너지절약계획서의 자동화 툴이나 그 외의 유사 소프트웨어의 한계로는 현재의 상황에서는 전반적인 자동화를 위해서는 어느 정도 수동작업을 필요로 한다는 점인데, 이는 현재의 법규나, 작업환경에서 기인하는 것이 크다. 차후 BIM을 이용한 데이터 교환의 활성화와 기술개발이 뒷받침된다면 수동작업량이 감소할 것으로 예상되며, 그런 측면에서 본 연구의 결과물은 완전한 자동화가 이루어지지 않았지만, 어느 정도 자동화를 위한 개발이라는 측면에서는 의미가 있을 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서 제안한 BIM 모델을 이용한 에너지절약계획서의 자동화 기능을 이용한다면, 에너지절약계획서의 데이터를 통해 설계된 건물의 에너지성능이나 주거환경 조건과 같은 정보를

제공하기 쉬워지며, 에너지 절약기술에 대한 건축주의 참여를 유도하고, 에너지 절약의 효과를 가시화할 수 있을 것으로 기대된다. 특히나 에너지절약계획서의 작성 경험이 부족한 소규모 설계 사무소도 건축물 에너지절약계획서 자동화 시스템 지원을 통해 업무부담 완화 및 비용절감과 같은 경제적 효과를 기대할 수 있다. 추후 BIM이 활성화되고, 세움터에 BIM 데이터를 직접 업로드한다든지, Excel을 통한 에너지절약계획서 일괄등록이 가능해지면 세움터를 통한 보고서의 검증작업 또한 편리하고 효율적으로 될 것으로 전망된다. 다만 본 프로젝트는 에너지절약계획서에서 건축부문만 자동화 구현이 가능하므로 전기, 기계, 신재생 부문에 대해서는 추가적인 자동화 작성 연구가 필요하다.

본 연구를 통해서 에너지절약계획서의 자동화 시스템을 개발하면서 전체적인 자동화의 구현에서 어려움을 겪었던 이유 중의 하나가, 전체적인 관련 법규 및 인증 시스템이 아직은 2D CAD를 기반으로 하는 체계로 되어 있다는 점이다. 기존의 선행연구들이 제안하는 BIM 데이터를 통한 자동화의 기술 또한 연구개발의 목적에 맞는 효율성을 담보하기 위해서는 전체적인 건축환경이 BIM의 데이터를 중심으로 하는 건축산업계의 디지털 트랜스포메이션(Digital Transformation)이 이루어질 필요가 있다. 단적인 예로 에너지절약계획서에 관련된 정부가 출판한 해설서에서도 관련 증빙 자료를 2D의 도면 형태로 제출하도록 하고 있는데, 해당 내용은 기본적으로 2D CAD에서 도면을 작성하는 것을 전제로 하고 있다. 이와 같은 고차원의 BIM 데이터에서 2D CAD 위주의 도면정보를 생성해야 하는 모순성에 대해서는 이미 이전의 많은 연구자가 지적하고 있다(Chin, 2020). 향후 BIM 기반의 자동화 개발들이 제대로 활용되는 환경을 조성하기 위해서는 전반적인 건축산업계의 생태계를 그에 맞추어 조성할 필요가 있으며, 또한 전반적인 BIM 활성화가 이루어진 후에는 BIM 설계품질 검토의 측면에서의 점검 자동화 기능에 대해서도 생각해볼 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 현재의 건설산업의 커다란 화두인 BIM 데이터를 이용한 설계자동화의 일환으로 에너지절약계획서를 작성하는 내용에 대해서 검토해 보았다. 또한 기존의 전문적인 기술로 프로그래밍한 자동화 애플리케이션보다는, 설계작업자가 쉽게 접근이 가능한 기능들을 이용해서 작업환경을 개선하는 내용에 초점을 맞추어서 시스템의 개발을 진행하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 Revit의 Dynamo와 Excel의 VBA를 이용한 자동화 시스템을 통해서 설계자는 Revit 모델로부터 에너지절약계획서 작성에 필요한 정보들을 결괏값으로 비교적 용이하게 산출할 수 있다. 본 프로젝트에서 제안한 에너지절약계획서의 작성 방식은 기존의 사람이 직

접 자료를 보고 계획서를 작성해 나가는 방식에 비하여 Dynamo와 VBA를 이용해 BIM 데이터로부터 자동으로 계산, 산출함으로써 오류 발생률을 감소시킬 수 있고, 설계요소의 변경 시 에너지절약계획서를 손쉽게 변경할 수 있어 인력감소 및 효율성 증대를 기대할 수 있다. 또한 작업자에 따라서는 해당 작업 프로세스를 참조로 개별적인 작업 환경을 구축할 수도 있을 것으로 생각된다.

또한 자동화에 관한 기술적인 언급뿐이 아니라, BIM 기반의 자동화 시스템의 개발을 진행하면서 도출되는 건축계의 작업방식에 대한 문제점에 대해서 언급하고, 건축 생태계의 디지털 트랜스포메이션을 통한 작업방식의 생산성 향상에 대하여 제안하였다.

본 연구에서 진행한 에너지절약계획서 건축부문 자동화 작성 시스템은 BIM을 활용하는 애플리케이션으로 비교적 작업자가 손쉽게 접근이 가능하다는 측면에서 독창성이 있다고 생각하고, 향후 BIM 작업방식이 더 넓게 보급된다면 제안 자동화 시스템을 통해서 효율적이고 경제적으로 에너지절약계획서를 작성할 수 있을 것이다. 이를 통해서 녹색건축물 조성 지원법에서 추구하는 에너지절약형 건축물의 설계 지원 및 건축 분야의 BIM 관련 자동화 기능의 구현에 도움이 될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 프로젝트에 대하여 고견 및 경험을 공유하고 귀한 시간을 할애하여 자문해주신 (주)상상진화 기술연구소의 김명환 기술이사, 한국에너지공단 녹색건축센터 건물에너지실의 정준수 대리원과 (주)위드웍스 에이앤이건축사사무소의 이지용 멘토에게 감사를 표합니다.

References

- Autodesk Revit Knowledge Web site, <https://knowledge.autodesk.com/ko/support/Revit/learn/caas/qsarticles/key-Revit-concepts.html>
- Chin, S. Y. (2020). Storytelling Building Information Modeling, CIRCOM
- Cho, G. H., Kim, J. Y., Kim, K. A., Seo, J. C., Lee, A. Y., Jeong, Y. K. (2018). Development of BIM Based EPI Evaluation Automation, Symposium of Architectural Institute of Korea, 38(1), p. 744
- Choi, C. H. (2017). Development of BIM based Platform for Evaluation of Energy Saving Design Criteria, Final Report of Ministry of Science and ICT

- Choi, C. H., Kwon, D. Y., Cho, S. H., Kim, J. H. (2020). An Automated Process to Produce Shop Drawings for MEP Works in BIM Environment, *Journal of KIBIM*, 10(4), pp. 22–31.
- GABC. (2021). 2021 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION
- Imagine Builder Web Site. <https://www.imbu.co.kr/imbuproducts/#tab-id-5-active>
- Jung, Y. S. (2020). Development of National-Level Bottom-up Greenhouse Gas Emission Projection and Potential Reduction Analysis Technology for the Building Sector in Response to the New Climate System, Final Report of Urban & Architecture Research Project of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement
- Jeong, Y. S., Cho, S. H. (2020). Post-2020 Greenhouse Gas Emission Projection in Building Sector, *Journal of AIK*, 36(10), pp. 117–125.
- Kim, J. M. (2016). Analysis on Issues in Energy Saving Standard for Buildings and Improvement Measures, Master Thesis, Chung-Ang University
- Kim, J. Y., Kim, J. H., Cho, Y. Y., Kim, Y. I., Jeong, G. S. (2016). A Study on the Correlation of Building Energy Efficiency Rating with Energy Performance Index in Non-Residential Buildings, *Symposium of SAREK*, pp. 90–93.
- Kim, T. H. (2018). South Korea's building sector GHG Emission Status Analysis, Korean Environmental Industry & Technology Institute
- Kim, Y. B. (2021). Greenhouse gas reduction target for 2050 and carbon-neutral policy measures in the building sector, Korea Research Institute for Human Settlements, 2021.09, pp. 12–19.
- Kim, Y. J., Kim, I. C., Chin, S. Y. (2020). Developing a Drawing Template for BIM software to Improve BIM based Drawing Work Efficiency in the Construction Document Phase, *Journal of KIBIM*, 10(4), pp. 98–109.
- Korean Energy Agency. (2017). Explanatory note on energy-saving design standards for buildings
- Korean Energy Agency. (2019). Energy Conservation Plan FAQ If you know this, you will do as much as Manager Kim of the review organization!
- Korean Energy Agency. Building Energy Conservation Plan Work Process, https://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/building_03.asp
- Korean Law Information Center. <https://www.law.go.kr/>
- Lee, D. H. (2015). Automatic check of energy conservation plan using open BIM, Master Thesis, Sungkyunkwan University
- Lee, G. W. (2014). Analysis and Development Measures in Application of Architectural Items to the Energy Saving Planning, Master Thesis, Daejin University
- Lee, Y. G. (2015). EnergyInfo, Development of BIM-based real-time type performance automatic calculation technology for Energy Conservation Plan, Industry-University-Research Cooperation Technology Development Project
- Moon, H. J. (2011). Development of BIM based Simulation Technology and Design Supporting system for High Building Energy Performance, Final Report of Ministry of Science and ICT
- National Greenhouse Gas Emission Statistics. <https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/biz/inventory.do>
- Office VBA Reference. <https://docs.microsoft.com/ko-kr/office/vba/api/overview/>
- Solideo Systems Consortium. Energy Conservation Plan Online Review System Manual
- The 2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission. <https://www.2050cnc.go.kr/>
- The Dynamo Primer manual web site. <https://primer.dynamobim.org/>