

Research Paper

BIM 기반 철근콘크리트 구조물의 자동 배근 모델 생성

A Study on Automated Reinforcement Detailing for Reinforced Concrete Structures Using BIM

박우열¹ · 윤석현^{2*}

Park, U-Yeol¹ · Yun, Seok-Heon^{2*}

¹Professor, Department of Architectural Engineering, Andong National University, Andong-Si, KyeongBuk, 36729, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, GyeongSang National University, Jinju-Si, KyeongNam, 52828, Korea

*Corresponding author

Yun, Seok-Heon
Tel : 82-55-772-1755
E-mail : gfyun@gnu.ac.kr

Received : June 25, 2024

Revised : July 11, 2024

Accepted : July 16, 2024

ABSTRACT

Recent advancements in Building Information Modeling(BIM) have significantly impacted the construction industry, driving competitiveness and innovation. However, rebar construction, a critical component influencing project quality and cost, has lagged behind in BIM adoption. Traditional methods relying heavily on 2D drawings for rebar detailing have hindered efficiency and introduced potential errors. This paper presents a novel system designed to automate the detailed modeling of rebar, thereby promoting BIM integration within rebar construction and optimizing construction management processes. The system leverages confirmed structural drawings from the post-structural design phase to automatically generate intricate rebar models for columns and beams. To ensure adherence to domestic structural design standards, the system is developed using C# programming language and the Revit API. By automating rebar modeling, this system aims to minimize human error, reduce labor-intensive tasks, and enhance overall rebar construction efficiency through the effective utilization of generated rebar model data.

Keywords : building information modeling, rebar detailing, reinforced concrete structures, parametric model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설산업은 양적인 팽창에도 불구하고 국내외 환경변화에 따른 어려움이 가중되고 있는 상황이며, 원가절감, 공기 단축, 생산성 향상 등의 경쟁력을 갖출 수 있는 신기술개발 등이 요구되고 있다[1]. 이에 건설산업은 최신 기술분야를 도입함으로써 얻을 수 있는 이점에 많은 관심을 보이고 있으며, BIM, 가상현실(Virtual Reality), 증강현실(Augmented Reality)을 적극적으로 도입하고 있다[2]. 특히 BIM은 현재 미국 및 영국 등 선진국을 중심으로 적극적으로 활용되고 있으며[3], 대한민국의 정부 또한 스마트건설 활성화 정책의 일환으로 BIM 설계 의무화를 추진하고 있다. 건축사업의 경우 2023년부터 1,000억원 이상인 공사에 BIM 설계를 도입하고 있으며, 2026년 500억원 이상, 2028년 300억원 이상으로 BIM 설계 의무대상이 확대할 예정이다[4]. 이처럼 BIM은 건설산업의 스마트화를 위한 필수 요소로서 다양한 분야에서 활발하게 활용되고 있으며 많은 연구가 이루어지고 있다.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한편 철근공사는 품질이나 원가측면에서 매우 중요한 공사임에도 불구하고 전반적인 진행 과정이 노동집약적이며 비효율적인 관리방식을 유지하고 있어[5], 이를 개선하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. BIM 모델 등을 이용하여 복잡한 철근 수량 산출을 개선하기 위한 연구[6-8] 뿐 아니라, 철근상세도를 작성하는 과정을 자동화하는 연구[9-11], 그리고 BIM을 활용하여 구조설계단계에서부터 철근 상세를 작성하는 전과정을 자동화하는 연구[12-15] 등이 진행되었다.

특히 BIM을 활용하여 철근상세도 작성을 자동화 연구는 BIM 상용 도구를 활용하는 방식으로 진행되었는데 특히 Autodesk사의 Revit 소프트웨어는 다른 소프트웨어와 결합함으로써 건설프로젝트의 전단계에 활용될 수 있다는[6] 장점이 있다. 따라서 본 연구는 국내에서 가장 범용으로 사용되고 있는[16] BIM 도구인 Revit을 활용하여 철근공사의 진행 과정을 효율화하기 위하여 자동으로 철근 상세 모델을 생성하는 시스템을 구현하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

철근공사 진행 과정의 생산성을 높이기 위해서는 철근과 관련된 정보를 생성하는 과정으로부터 전 과정을 자동화하는 것이 바람직하다. 그러나 철근공사 참여 업체는 철근전문업체뿐 아니라 가공 공장, 철근상세도 작성업체 등으로 나뉘어 있고, 실제 철근상세도를 작성하는 주체의 경우에도 완성된 구조도면을 기반으로 철근상세도를 작성하고 있다[5]. 일반적으로 구조기술사가 구조설계를 하는 과정에서도 구조해석 프로그램의 결과를 그대로 도면화하지 않고, 일부 부재의 경우 개별적으로 철근량을 최적화한 후 구조도면을 작성하기도 한다. 이 경우 구조계산서의 결과뿐 아니라 구조기술사가 개별적으로 최적화한 결과까지 반영할 필요가 있다. 따라서 개별 업무를 수행하는 주체가 구분되어 있고 구조해석 프로그램의 결과를 그대로 적용하기가 어렵기 때문에 본 연구에서는 구조도면이 완성된 이후부터 철근상세도를 작성하는 과정까지를 대상으로 BIM 기반 철근 모델 생성 자동화 방안을 제시하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 또한 본 연구는 기둥과 보 부재를 대상으로 철근 모델을 자동으로 생성하는 것만을 연구의 범위로 한정하였다. 철근상세도나 바 리스트(Bar list) 등을 생성하는 작업은 생성된 철근 모델을 바탕으로 Revit의 상용 기능을 활용하여 수행될 수 있다고 판단하였다.

연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, BIM을 기반으로 철근공사 진행 과정의 효율성을 개선하거나 자동화한 연구를 분석한 후 기존 연구의 한계를 바탕으로 철근공사 프로세스를 현실적으로 개선할 수 있는 방안을 제시한다.

둘째, 상용 BIM 도구 중 많이 활용되고 있는 Autodesk사의 Revit을 기반으로 기둥과 보 부재의 철근 상세 모델을 자동으로 생성할 수 있는 방법론을 제시한다.

셋째, 제시한 방법론을 Revit API 기반 C# 프로그래밍 언어를 사용하여 Add-In으로 구현한 후 구현된 결과를 검증한다.

2. 기존 연구 고찰

BIM을 기반으로 철근공사의 진행 과정을 개선하는 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 철근 물량산출과 관련하여 Jung et al.[17]은 철근공사에서 현장 조립에 필요한 조립용 철근의 물량을 분석하였고, 적산단계에서 조립용 철근이 누락되면서 적산물량과 시공물량이 차이가 많은 점을 지적하였고 이것을 개선하기 위해서는 적산단계에서 조립용 철근을 반영해야 한다는 점을 지적하고 있다. 이와 관련하여 철근 수량 산출을 자동화하여 정확도를 높이기 위한 연구가 진행되었으며, Lee[16]은 철근 물량을 산출하기 위해 Revit에서 매개변수를 추가하여 BIM 모델을 생성하고 모델 정보를 엑셀 형식의 파일로 추출하여 물량을 산출하는 방식을 제시하였다. Song et al.[7]은 건설프로젝트 초기 설계단계에서 철근 물량을 자동으로 산출하는 연구를 진행하였는데, 상용 BIM 도구를 활용하지 않고 자체 개발한 SW인 BuilderHUB에서 골조 형상을 모델링한 후 단면 정보를 기반으로 물량을 산출한다. Kim et al.[8]은 슬래브 부재를 대상으로 입찰 전단계에서 철근을 정미량으로 산출할 수

있는 알고리즘을 제시하였다.

철근 상세도를 자동으로 산출하기 위한 연구로서 Choi et al.[9]은 3차원 배근시공도를 자동으로 작성하는 시스템을 개발하였으나 Revit 등 상용 BIM 도구를 활용하지는 않고 2D/3D 하이브리드 골조 모델링 방법을 제시하였다. Revit의 경우 구조해석 결과를 반영할 수 없으며 표준갈고리 등 구조설계 규준을 반영하기가 어려운 점 등 상용 BIM 도구를 커스터마이징하기 어려운 문제가 있으며, 당시에는 구조도면이 대부분 2D CAD 파일 형태로 납품되고 있는 현실을 감안하여 2D 도면을 인식한 후 3D 배근시공도를 작성하는 절충적인 방법을 제시하였다. Li et al.[11]은 Revit을 기반으로 Revit API Visual Studio 프로그래밍 도구 설계단계에서 다양한 단면의 기둥을 대상으로 3D 파라메트릭 철근의 모델링을 자동화하는 방법을 제시하였다. Rachmawati et al.[10] 또한 구조설계 기준에 따라 설계단계에서 기둥 철근 수량을 자동으로 산출하는 방법을 제시하였는데, BIM 도구 등을 직접적으로 활용하지는 않았다.

BIM을 기반으로 구조해석과 철근 배근을 자동화하는 연구도 진행되었다. Hong et al.[12]은 기둥 부재를 대상으로 구조해석 모델을 구축하여 구조해석 실행한 후 구조설계 규준에 따라 기둥 철근을 산정하고 상용 BIM 도구인 Tekla Structure로 철근 정보를 내보내는 방식으로 기둥 철근 배근을 자동화하는 방안을 구축하였다. Cho et al.[13] 또한 기초부재를 대상으로 Hong et al.[12]과 유사한 방식으로 기초 철근 배근을 자동화하는 방안을 제시하였다. Jang et al.[14]도 슬래브 부재를 대상으로 동일한 방식으로 철근 배근을 자동화하는 방안을 제시하였다. Cho et al.[15]는 범용 BIM 도구인 Tekla에서 제공하는 API 프로그램을 이용하여 전단 벽체의 철근 구조설계 방안을 제시하였다.

기존 연구를 살펴보면 철근 수량을 자동화하기 위한 연구가 진행된 것을 알 수 있다. 구조물에 배치되는 철근의 종류가 복잡하기 때문에 수량의 산출과정이 복잡할 뿐 아니라 산출 결과의 오차도 크다고 할 수 있다. 이와 같은 문제는 철근 모델을 자동으로 생성한다면 대부분 개선될 수 있다. 또한 구조설계단계를 포함하여 철근 모델을 생성하는 단계까지 자동화한 사례를 볼 수 있다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이 건설프로젝트의 진행 단계는 구조설계자가 구조설계 프로그램을 이용하여 구조설계를 진행한 후 개별 부재에 대해 최적화한 결과를 반영하여 구조도면을 완성하는 순서로 진행된다. 또한 완성된 구조도면을 기반으로 철근상세도를 작성하는 방식으로 진행되는 현실을 감안할 때 완성된 구조도면을 기반으로 철근 모델 생성을 자동화하는 것이 현실적으로 적용가능성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

또한 범용 BIM 도구로서 Revit과 Tekla가 활용되는 것을 볼 수 있으며 국내에서는 Revit의 활용도가 높다는 점[16]과 Revit의 경우 공식 소프트웨어 개발 패키지로서 Revit SDK(Software Development Kit)을 배포하고 있어, 개발자가 Revit SDK를 활용하여 모델 파일의 구성 요소의 속성이나 파라미터에 접근할 수 있는 도구를 제공하고 있기 때문에 확장성이 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구조도면을 기반으로 BIM 기반 철근 상세 모델을 자동으로 생성하는 것이 기존 프로세스를 개선하고 현실적으로 생산성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

3. BIM 기반 자동 배근 모델

3.1 모델 개요

Figure 1은 BIM을 기반으로 기둥과 보 부재의 철근 모델을 자동으로 생성하는 과정을 나타낸다. 앞에서 기술한 바와 같이 본 연구는 구조도면이 작성된 이후 과정을 대상으로 하기 때문에 표준갈고리, 정착길이 및 이음길이와 같은 철근 생성에 필요한 기본정보뿐 아니라 부재별 리스트의 값을 사용자가 입력하는 것으로 하였다.

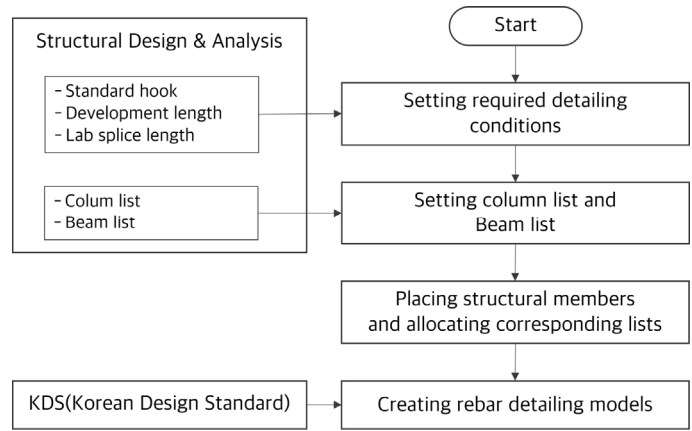


Figure 1. Automated rebar detailing process flow

구조부재인 기둥과 보 개체를 Revit 모델로 생성한 후 구조 부재 개체를 사용자가 선택하면 구조설계기준(KDS; Korea Design Standard)에 따라 철근 모델을 자동으로 생성하게 된다. 이 과정은 구조 부재를 생성할 때 해당 부재의 일람표 기호를 부재의 파라미터로 저장하고, 철근 모델을 자동으로 생성할 때 일람표 기호를 추출하는 방식으로 자동화할 수 있는데, 여기서 사용하는 사용자가 직관적으로 판단하면서 구조 부재 개체와 일람표를 매칭하는 방식으로 사용자가 입력하도록 하였다.

3.2 입력

철근 모델을 자동으로 생성하기 위해서는 연산을 위해 필요한 값을 입력받을 필요가 있다. 본 연구에서는 구조도면이 완성된 이후에 모델링을 하는 것을 전제로 하였기 때문에 구조도면에 정해진 값을 입력할 필요가 있으며, 표준갈고리 길이, 정착길이, 이음길이 등을 사용자가 입력하는 것으로 하였다. 이 값들은 KDS에 의해 기준식이 정해져 있으나 구조도면에 따라 달라지는 경우가 있기 때문에 기준값 외에도 사용자가 임의의 값을 입력할 수 있도록 하였다.

구조계산결과에 따라 산출되는 기둥 일람표나 보 일람표는 전산화된 자료로 저장되기 때문에 철근 모델 자동 생성과정에 자동으로 입력될 수 있다. 그러나 현실적으로 구조계산 결과값을 특정한 파일 형식으로 변환하는 것은 용이하지 않기 때문에 필요한 부재별 일람표 값은 Figure 2와 같이 엑셀 파일 형식으로 입력받도록 구성하였다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Floor	Symbol	Width	Depth	MainBarDia	MainBarStrength	MainBarPurpose	NumOfMainBarInWidth	NumOfMainBarInDepth	HoopBarDia	HoopBarStrength	HoopMidSpacing	HoopEndSpacing
1	1	C5	600	600	22	600	1	4	4	10	400	200	150
2													
3	1	C2	600	600	22	600	1	4	4	10	400	200	150

Figure 2. Input data format

3.3 철근 모델링 자동화

Revit API에서 철근을 생성하는 함수는 다섯 가지 종류를 제공하고 있는데, 본 연구에서는 Rebar.CreateFromCurves() 함수를 활용하였으며, 이 함수는 철근을 형상을 구성하는 부분을 선으로 구성한 후 이 선을 기반으로 철근의 형상을 생성하게 된다. 따라서 각 선의 시작점을 부재의 기준 면(Face)으로부터 추출한 후 해당 부재의 길이 및 구조설계 기준에 따라 종로점을 결정하는 방식으로 철근 형상을 추출하였다.

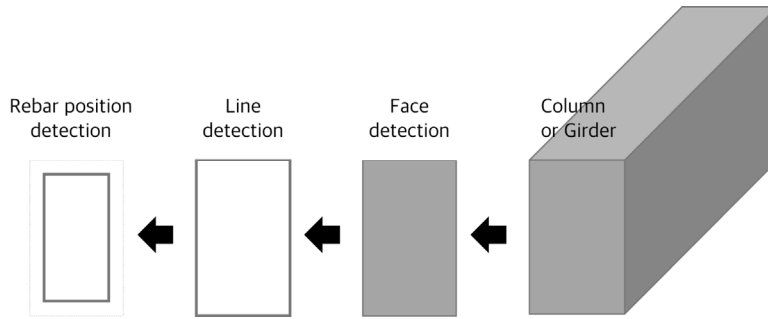


Figure 3. Sequence of rebars position calculation

Figure 3은 기둥과 보 부재의 철근 위치를 계산하기 위해 구조부재 개체에서 필요한 정보를 추출하는 과정을 보여준다. 기둥과 보는 부재의 축방향으로 평행하게 배치하는 주철근과 주철근을 바깥쪽에서 감싸는 띠철근 혹은 스테럽으로 구성된다. 이 띠철근이나 스테럽은 콘크리트의 외피면에서 피복두께만큼 안쪽으로 들어간 위치에 배치된다. 일반적인 경우 보나 기둥의 피복두께는 40mm이므로 철근의 위치를 결정하는 과정을 동일하게 적용할 수 있다.

4. 시스템 구현 및 적용 결과

4.1 관련 데이터 입력

철근 상세 모델 자동 생성 시스템은 Revit API를 기반으로 프로그래밍 언어인 C#을 사용하여 애드인(Add-in) 명령을 작성하는 방식으로 진행하였다. 콘크리트 구조물에 중요한 구조체인 기둥과 보 부재를 대상으로 철근 상세 모델을 자동으로 생성하는 시스템을 구현하였다.

Figure 4는 철근 모델을 자동으로 생성하기 위해 필요한 입력값인 표준갈고리와 정착길이, 이음길이를 설정하는 창을 보여준다. 표준갈고리는 철근의 종류와 지름에 따라 달라지고, 정착길이 및 이음길이는 콘크리트의 설계기준 압축강도와 철근의 항복강도에 따라 값이 달라지기 때문에 조건별로 해당값을 입력할 수 있도록 창을 구성하였다.

철근지름(D)	90° 표준갈고리	180° 표준갈고리
10	160	130
13	200	160
16	250	180
19	300	210
22	380	250
25	430	280
29	480	300
32	550	430

콘크리트강도	fck	철근지름 (D)	인장 정착길이 (일반)	인장 정착길이 (상부근)	표준갈고리 정착길이	양측 정착길이	A급 이음길이 (일반)	A급 이음길이 (상부근)	B급 이음길이 (일반)	B급 이음길이 (상부근)
30	30	10	0	0	190	200	300	360	440	0
30	30	13	0	0	240	240	360	470	580	0
30	30	16	560	720	300	300	440	570	710	930
30	30	19	670	870	350	350	530	680	840	1130
30	30	22	970	1260	400	410	760	1060	1260	1640
30	30	25	1100	1430	460	460	860	1330	1430	1860
30	30	29	1280	1660	530	530	1000	1720	1660	2160
30	30	32	1410	1830	590	590	1170	2040	1830	2380

Figure 4. Standard hook configuration(left) and development/ lap splice length parameters(right)

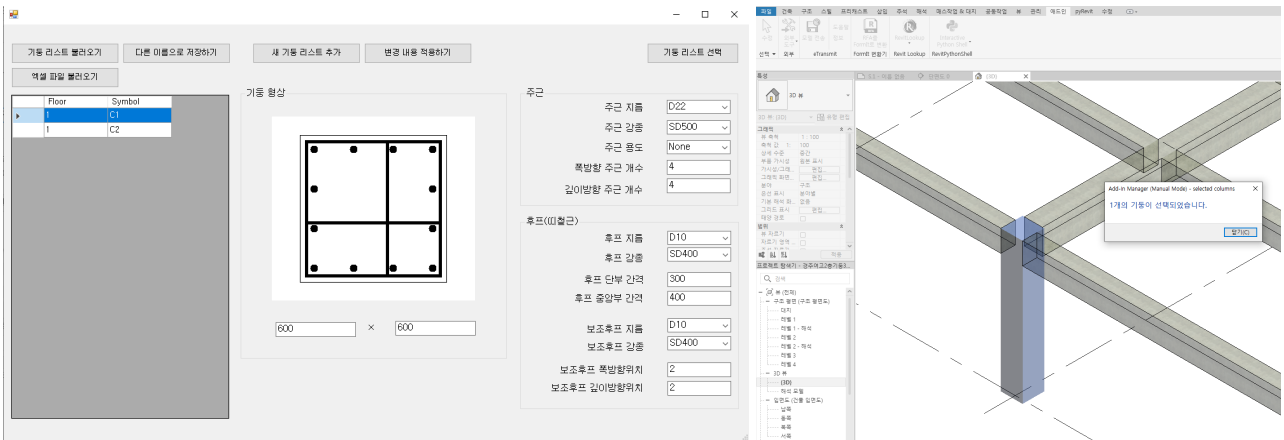


Figure 5. Column list(left) and column member selection(right)

Figure 5의 왼쪽 화면은 기둥 일람표 정보를 확인하는 창으로 보여준다. 앞에서 설명한 바와 같이 기둥 일람표의 상세 내용은 엑셀 파일 형식으로 저장한 후 불러오는 방식으로 구성하였고, 이렇게 입력받은 기둥 일람표의 내용을 사용자가 확인하면서 수정할 수 있도록 구성하였다. 오른쪽 화면은 철근을 자동으로 모델링할 구조 기둥 부재를 선택하는 화면을 나타낸다. 동일한 일람표를 공유하는 기둥을 한 개 혹은 다수 개 선택할 수 있으며, 선택한 기둥에 대해 기둥 일람표에 정해진 상세 내용과 구조설계기준에 따라 철근 모델을 자동으로 생성한다.

4.2 시스템 구현 결과 및 활용

Figure 6의 좌측 화면은 자동으로 생성된 철근 모델의 결과를 보여주고 있다. 화면 좌측 상단에 애드인 관리자 대화상자에 본 연구에서 작성한 모듈을 확인할 수 있다. 우측 화면은 구조 보의 단면 상세를 나타낸다. 생성된 철근 모델을 보면 피복 두께 안쪽에 스테리프 철근 모델이, 스테리프 철근 모델 안쪽에 상부 주근과 하부 주근이 배치된 것을 확인할 수 있으며, 상부 주근이 파라메트릭 모델로 생성되어 철근 개체를 선택하면 좌측에 속성창에서 철근의 속성값을 확인할 수 있다.

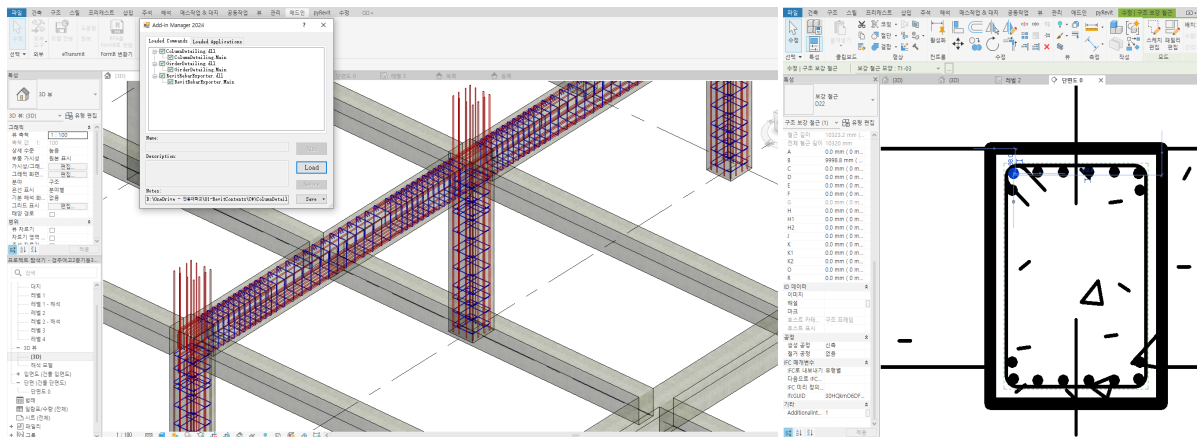


Figure 6. Automated rebar detailing result(left) and beam section with rebar(right)

Figure 7은 Revit의 내장 기능을 활용하여 기둥 철근의 단면 상세(좌측)와 철근 리스트(우측)를 생성한 화면을 확인할 수 있다. 기존 연구와 달리 이처럼 BIM을 기반으로 철근을 자동으로 모델링하면 파라메트릭 정보를 활용하여 다양하게 활용할 수 있다. Figure 7에서 볼 수 있는 바와 같이 철근 수량을 자동으로 산출할 수 있을 뿐 아니라 부재의 단면 상세를 활용하여 철근상세도를 쉽게 작성할 수 있으며, 철근의 가공 작업에 필요한 철근 리스트 또한 쉽게 추출할 수 있기 때문에 철근 작업의 효율성을 크게 개선할 수 있다.

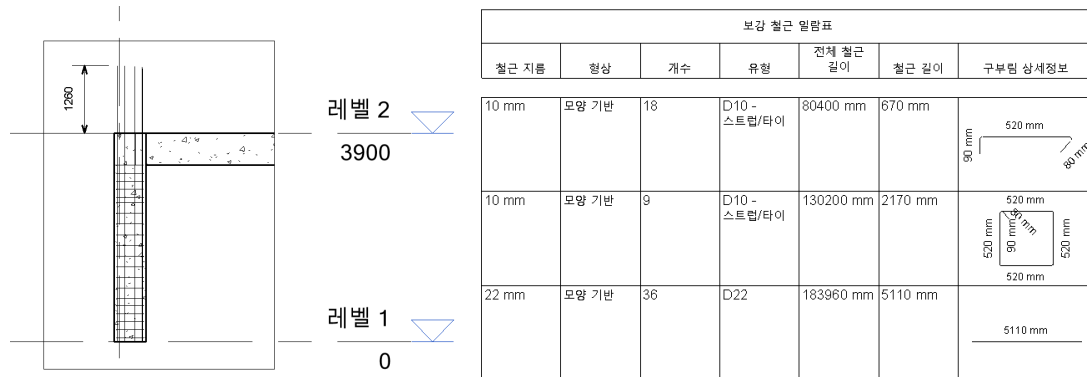


Figure 7. The column section with rebars(left) and rebar schedules(right)

5. 결론

본 논문은 철근공사의 진행과정을 효율화하고 생산성을 높이기 위해 기둥과 보 부재를 대상으로 BIM 기반 철근 모델을 자동으로 생성하는 시스템을 개발하였다. 철근공사의 현실적인 진행 과정을 고려하여 구조도면이 확정된 이후 단계에서 부재 일람표 등을 입력받은 후 Revit에서 생성한 기둥과 보 부재를 대상으로 자동으로 철근 모델을 생성하는 시스템을 구현하였다. 기둥의 경우 층 단위로 시공되기 때문에 철근을 모델링하는 것이 비교적 쉽지만, 보 부재는 보통 다수 경간을 따라 연속해서 배치되고 구조설계기준에 따른 이음·정착길이뿐 아니라 배치 기준 또한 복잡하므로 수작업으로 철근을 모델링하기가 매우 어렵다. 따라서 기둥이나 보 철근 상세 모델을 자동으로 생성함으로써 수작업에 따른 오류를 방지할 수 있고 작업시간 또한 상대적으로 단축할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 현실적인 조건을 반영하여 구조계산이 완료된 이후의 단계를 대상으로 연구 범위를 한정하였지만, 구조계산 결과를 직접적으로 입력받을 수 있도록 확장할 필요가 있다. 이를 위해서는 구조해석 소프트웨어에 의해 계산된 결과만으로 활용하지 않고, 구조설계자가 개별 부재를 커스터마이징하는 과정과 연계하여 수정된 결과를 포함하는 방향으로 확장할 필요가 있다.

또한 생성된 철근 모델을 이용하여 철근공사 진행에 필요한 문서를 자동으로 생성하는 방향으로 연구를 확장할 필요가 있다. 생성된 BIM 철근 모델을 이용하여 현장 조립을 위한 철근상세도뿐 아니라 공장 가공을 위한 바 리스트를 자동으로 생성할 필요가 있으며, 가공공장의 철근 가공 기계와 연동함으로써 가공공정을 자동화하는 방향으로 확장될 필요가 있다.

요약

최근 건설산업의 경쟁력을 강화하고 스마트화를 추진하기 위한 수단으로서 BIM의 도입이 확대되고 있다. 그러나 품질 및 원가측면에서 중요한 위치를 차지하고 있는 철근공사는 주로 2D 도면 위주로 철근상세도를 작성하는 등 비효율적인 방


식으로 공사관리가 이루어지고 있고 BIM의 활용도도 낮은 편이다. 이에 본 논문은 철근공사의 BIM 도입을 촉진하고 공사 관리를 효율화하기 위하여 철근 상세 모델을 자동화하는 시스템을 구현하였다. 현실적인 요인을 감안하여 구조설계도면이 완성된 이후의 단계에서 확정된 구조도면의 정보를 바탕으로 기둥과 보 부재의 철근 상세 모델을 자동으로 생성한다. 실무에서의 활용도를 높이기 위하여 Revit API 개발 도구를 기반으로 C# 프로그래밍 언어를 사용하여 국내 구조설계기준에 적합한 철근 상세를 자동으로 생성할 수 있도록 구성하였다. 본 시스템을 활용하면 수작업 오류를 방지할 수 있고 작업시간 또한 상대적으로 단축할 수 있으며, 생성된 철근 모델 정보를 활용하여 철근공사의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.


키워드 : 건설정보모델링, 철근 상세, 철근콘크리트 구조물, 파라메트릭 모델

Funding

This work is supported in 2024 by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant RS-2021-KA163269). This paper was also supported by the Shinsung A&E Research Grant, 2023.

ORCID

U-Yeol Park,  <https://orcid.org/0000-0003-2154-603X>

Seok-Heon Yun,  <https://orcid.org/0000-0001-5439-4111>

References

1. Jung YC, Lee BY, Kim GH. Application possibility of folding pre-fabricated rebar cage in domestic construction fields. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Apr;10(2):125-32. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.2.125>
2. Adebawale OJ, Agumba JN. Applications of augmented reality for construction productivity improvement: a systematic review. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022 Sep;13(3):479-95. <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0128>
3. Kim JH, Hwang CG, Kim JH. A study on the revitalization of BIM in the field of architecture using AHP method. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2022 Oct;22(5):473-83. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2022.22.5.473>
4. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. BIM roadmap and activation strategies for public SOC projects. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2018 Sep. 50 p. Report No.: KICT 2018-029.
5. Park, UY, Kim BJ, Jung HO, Yun SH, Jo HH, Gang GI. A study on the improvement of reinforcing bar detailing. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2008 Feb;8(1):83-90. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2008.8.1.083>
6. Wang D, Hu Y. Research on the intelligent construction of the rebar project based on BIM. *Applied Sciences*. 2022 May; 12(11):5596. <https://doi.org/10.3390/app12115596>
7. Song CH, Kim CK, Lee SE, Choi HC. Establishment of rebar quantity estimation in BIM-based initial design phase. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*. 2016 Oct;29(5):447-54. <http://dx.doi.org/10.7734/COSEIK.2016.29.5.447>
8. Kim SW, Kim SK, Suh SW, Kim SC. Development of an Algorithm for Automatic Quantity Take-off of Slab Rebar. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2023 Sep;24(5):52-62. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2023.24.5.052>
9. Choi HC, Lee Y, Lee SE, Kim CKI. Development of 3-dimensional rebar detail design and placing drawing system. *Journal of*

- the Computational Structural Engineering Institute of Korea. 2014 Aug;27(4):289-96. <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2014.27.4.289>
10. Rachmawati TSN, Widjaja DD, Kim SK. Advancing an automated algorithm for estimating rebar quantities in. *Journal of The Korea Institute of Building Construction*, 2023 Aug;23(4):497-508. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2023.23.4.497>
 11. Li S, Shi Y, Hu J, Li S, Li H, Chen A, Xie W. Application of BIM to rebar modeling of a variable section column. *Buildings*. 2023 May;13(5):1234. <https://doi.org/10.3390/buildings13051234>
 12. Hong SU, Cho YS, Lee JH, Hong SC. The study on development of automatic reinforcement placing system of columns for RC structures based on parametric technology. *Journal of Architectural Institute of Korea*. 2011 Jan;27(21):11-8.
 13. Cho YS, Kim M, Hong SC. A study on automatic reinforcement placement system of isolated foundation based on S-BIM. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2013 Nov;29(11):21-8. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2013.29.11.21
 14. Jang JW, Lee JH, Jang HS, Hong SU, Cho YS. A study on the reinforcing steel detailing methodology with improvement of interoperable system in the structural BIM environment focused on flat plate. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2012 Aug;28(8):3-10. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2012.28.8.3
 15. Cho YS, Kim, DE, Jin HA, Jang HS. The study on the development of automatic rebar placement system applying selection method of optimum reinforcing bar group on shear wall. *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*. 2015 Jan;19(1):81-9. <https://doi.org/10.11112/JKSMI.2015.19.1.081>
 16. Lee JC. A study on the effective calculation of rebar QTO in the early design phase through the application of BIM model. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2019 May;35(5):145-52. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.5.145
 17. Jung HO, Jo HH, Park UY. A study on the improvement of erection bar detailing in domestic building construction. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2009 Apr;9(2):39-46. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2009.9.2.039>