DOI: https://doi.org/10.13161/kibim.2023.13.3.030

BIM과 GIS 통합을 위한 건물 외곽 폴리곤 기반 Georeferencing

Georeferencing for BIM and GIS Integration Using Building Boundary Polygon

좌윤석[1], 이현아[2], 김민수[3], 최정식[4]
Jwa, Yoon-Seok[1] · Lee, Hyun-Ah[2] · Kim, Min-Su[3] · Choi, Jung-Sik[4]

Received Augutst 09, 2023; Received September 13, 2023 / Accepted September 13, 2023

ABSTRACT: Building Information Models(BIM) provides rich geometric and attribute information throughout the entire life cycle of a building and infrastructure object, while Geographic Information System(GIS) enables the detail analysis of urban issues based on the geo-spatial information in support of decision-making. The Integration of BIM and GIS data makes it possible to create a digital twin of the land in order to effectively manage smart cities. In the perspective of integrating BIM data into GIS systems, this study performs literature reviews on georeferencing techniques and identifies limitations in carrying out the georeferencing process using attribute information associated with absolute coordinates probided by Industry Foundation Classes(IFC) as a BIM standard. To address these limitations, an automated georeferencing process is proposed as a pilot study to position a IFC model with the Local Coordinate System(LCS) in GIS environments with the Reference Coordinate System(RCS). An evaluation of the proposed approach over a BIM model demonstrates that the proposed method is expected to be a great help for automatically georeferencing complex BIM models in a GIS environment, and thus provides benefits for efficient and reliable BIM and GIS integration in practice.

KEYWORDS: BIM-GIS Integration, Georeferencing, Shape-Based Matching, Building Boundary Polygon

키워드: BIM–GIS 통합, 지오레퍼런싱, 형상기반 매칭, 건물 외곽 폴리곤

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

시장조사기관인 Market and Markets와 Prescient & Strategic Intelligence에 따르면 글로벌 BIM(Building Information Modelling)과 GIS(Geographic Information Systems) 시장 규모는 각각 2026년 100억 달러와 158억 달러에 이를 것으로 예측하였다. 이에 따른 연평균 성장률(CAGR, Compound Annual Growth Rate)은 각각 12.5%와 12.2%에 달한다. 이런 높은 성장률의 배경에는 BIM이 건물 생애주기 동안 풍부한 속성정보를 제공하여 자원관리를 효율적으로 할 수 있게 하고, GIS는 지리학적 시각화를 통해 공간분석 및 시뮬레이션을 수행하여 의사결정을 지원함으로써 이점을 가지고 있다(Song et al., 2017).

최근 BIM과 GIS의 장점들을 최대한 활용한 스마트 도시의 효율적 관리방안을 모색하기 위해 가상 국토 공간 플랫폼상에서 BIM과 GIS 데이터를 통합하고 다양한 응용 분야에서 광범위하게 적용되고 있다. 이러한 BIM과 GIS 통합을 통해 건설 계획/설계/시공 단계부터 시설물 유지관리를 포함하는 운영 단계까지 제공되는 객체 구성요소의 구체적인 기하정보와 속성정보가 활용된다(Basir et al., 2020). 예를 들어 시공단계에서는 건설자재의 흐름 및 자원의 가용성을 포함하는 건설 공급망 관리의 효율성을 높이는 데 사용되고 있다(Irizarry et al., 2013). 도시관리 분야에서는 군중 밀집에 따른 군중 난류 상황 파악, 비상 대응 및 보행자 경로 계획의 적절한 수립을 위해 실내와 실외 데이터 통합을 통한 네크워크 모델을 구성하고 이를 경로 계획에 반영한다(Teo and Cho, 2016). 또한, 도시 차원에서 에너지 성능

[1]정회원, ㈜수성엔지니어링 플랫폼사업실 이사 (ysjwa@soosungeng.com)
[2]정회원, ㈜수성엔지니어링 플랫폼사업실 연구원 (halee@soosungeng.com)
[3]정회원, ㈜수성엔지니어링 플랫폼사업실 상무 (kimms@soosungeng.com)
[4]정회원, ㈜수성엔지니어링 플랫폼사업실 사장 (cjs@soosungeng.com) (교신저자)

시뮬레이션을 통해 건물 및 도시레벨의 에너지 효율을 높이는 주요 도구로서 BIM과 GIS 통합 플랫폼을 활용하고 있다(Romero et al., 2017). 재난/재해분야에서는 도시의 정확한 홍수피해 산정 및 관리를 위해 홍수에 대한 건물피해의 경우별 분석 및 피해 평가 3D 시각화를 GIS 상에 BIM 모델 활용을 위한 프레임워크를 제시하였다(Amirebrahimi et al., 2015). 이는 건물 보수를 위해서 주변 지형 및 건설 재료들이 고려되어야 하는 것과 연관이 있다(Song et al., 2017).

일반적으로 GIS 공간정보 플랫폼상에 다종 공간 데이터 소스의 통합이 용이함에도 불구하고 BIM과 GIS 데이터는 서로 다른 목적으로 생성되어 상이한 데이터 구조 및 특성을 가지고 있기 때문에 BIM과 GIS 상호운용을 위한 데이터 통합에 한계가 있다. 즉, 서로 다른 사용자 요구 사항, 생성단계, 공간적 표현 스케일, 의미론적/기하학적 표현, 응용 프로그램 등으로 인해 BIM과 GIS 데이터 변환과정에 문제가 발생한다(Basir et al., 2020). BIM과 GIS 통합시 발생하는 주요 한계점들은 다음과 같다.

첫째, BIM과 GIS 표준데이터 모델 간의 상이함이다. OGC (Open GeoSpatial Consortium)에서 제안한 GIS의 표준데이터 모델인 CityGML은 가상 도시모델을 구성하는 주요 항목들인 기하정보(Geometry), 위상정보(Topology), 텍스처(Texture), 세밀도(LOD), 시멘틱(Semantic), 속성(Attributes), 공간참조(Georeferencing) 등 대부분 항목을 적절히 지원한다. 반면에, buildingSMART에서 제안한 BIM의 표준데이터 모델인 IFC(Industry Foundation Classes)는 매우 높은 수준의 기하 및 시멘틱 정보를 제공하지만, 텍스처, 세밀도 및 공간참조 부분을 반영하는데 미흡한 부분이 있다(Kim et al., 2018). 또한, CityGML은 IFC의 풍부한 기하 및 시멘틱 정보로 인해 BIM 모델의 디테일을 모두 반영하지 못한다(Hwang et al., 2012; Kim et al., 2021).

둘째, BIM과 GIS 간의 좌표체계 불일치가 발생한다. 현업에서 BIM 모델 생성 시 절대 위치정보는 중요하게 다루어지지 않기 때문에 IFC 모델의 객체(Entity)와 속성(Attributes)정보는 로컬 좌표체계(LCS, Local Coordinate System)를 기반으로 연계되어 생성된다. 즉, 건축/토목 설계 엔지니어들은 설계 시 기하학적 설계 정보들이 작고 다루기 쉬운 값을 선호하고 부동 소수점 수의 정밀도는 원점으로부터 거리에 영향을 받기 때문에 데카르트 좌표계(Cartesian Coordinate System)의 원점에 근접하여 BIM 설계를 수행한다(Markic et al., 2018; Noardo et al., 2021). 반면에, GIS는 다양한 데이터 소스들로부터 통합과 이를 통한 공간적 분석을 효과적으로 진행하기 위해 절대 좌표체계(RCS, Reference Coordinate System)를 기반으로 운영되고 있다(Diakite and Zlatanova, 2020).

이에 본 연구는 BIM과 GIS 통합시 주요 한계점인 공간참조 부분의 미흡한 점을 보완하기 위해 BIM 정보모델인 IFC 표준에서 Georeferencing의 한계점 및 국내외 기술 동향을 분석하고 GIS 모델과 대응하는 IFC 모델에 자동으로 절대 좌표정보를 부여하기 위한 시범적인 방안을 제안하고자 한다.

이는 개별 객체의 상세하고 정확한 표현을 목적으로 하는 BIM과 공간분석을 목적으로 하는 GIS 간의 차이에서 기인하는 위치정보 불일치를 보완하기 위한 좌표변환 기술을 제안하는 것이며 이를 통해 최신의 IFC 버전에 적합한 좌표변환 정보를 관련 엔티티에 구축하여 BIM과 GIS 통합시 위치가 자동으로 연계될 수 있도록 하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재 진행 중인 "초연결 디지털 국토 실현을 위한 융복합 데이터 통합활용 및 운영검증 체계 구축" 프로젝트의 한 부분으로서, "디지털 국토정보 고도화를 위한 건설정보 연계기술 개발" 연구의 일환이다.

연구의 범위는 준비된 BIM 모델에 대응하는 수치지도 상에서 추출된 폴리곤 모델(GIS 모델)이 준비되었다는 가정하에 자동으로 두 모델을 매칭시켜 매칭점을 추출하고 좌표변환 계수를 계산하여 BIM 표준데이터 모델인 IFC 모델에서 위치 관련 엔티티에 계산된 절대 좌표정보를 부여하는 방법을 제시하는 것으로 한정하였다. 본 연구에 사용된 LX한국국토정보공사 본부(전주) 건물의 IFC 모델 스키마를 해석(parse, 파싱)하기 위해 IfcOpenShell 오픈소스 라이브러리를 사용하여 LCS 기반 위치관련 엔티티 및 속성정보를 추출하여 활용하였다.

전체 연구 흐름을 요약하면 다음과 같다.

첫째, Georeferencing 정의를 고찰하고 IFC 표준에서 Georeferencing의 한계점을 도출한다.

둘째, GIS 환경에서 BIM 모델을 통합하는데 필요한 Georeferencing 기술에 관한 문헌고찰을 수행한다.

셋째, Shape 기반 BIM과 GIS 모델 매칭 기술을 제안하고 Georeferencing 실험 결과를 도출한다.

넷째, 제안된 기술을 기반으로 향후 후속연구에 대한 진행 방향을 제안한다.

2. BIM to GIS을 위한 Georeferencing 고찰

2.1 Georeferencing 정의

Georeferencing은 기존 문헌, 상용 GIS/RS 프로그램 등에서 다음 Table 1과 같이 서로 다르게 표현되고 있다.

이와 같이 다양하게 정의된 Georeferencing의 의미를 고려하여 본 연구에서는 로컬좌표계(LCS) 상의 BIM 객체를 절대좌표계(RCS) 기반 위치정보를 할당하는 프로세스로 Georeferen-

cing을 정의하고, 이와 관련된 연구를 진행하였다.

Table 1. Diversity of definitions for georeferencing

Reference	Georeferencing Definition
OGC GeoTiFF Standard (OGC)	A coordinate transformation between the ImageCRS and a geodetic or projected CRS
United States Geological Survey (USGS)	Internal coordinate system of a digital map or aerial photo can be related to a ground system of geographic coordinates
Hackeloeer et al. (2014)	Techniques which are concerned with the unique identification of geographical objects
Ugglar and Horemuz (2018)	Process of assigning geodetic coordinates to geometries
Noardo et al. (2020)	Methods used to define the location of a point on the surface of the Earth
Im (2020)	Process of projecting data defined in image or object coordinates into real-world coordinates
ArcGIS (Eris)	Method of assigning a position to Raster data with undefined coordinates
QGIS	Process of assigning real-world coordinates to each pixel of raster data

2.2 IFC 표준에서 Georeferencing 한계점

BIM 표준데이터 모델인 IFC에서 Georeferencing을 수행하는데 발생하는 한계점은 크게 두 가지로 나뉠 수 있다.

첫째로 IFC 버전의 다양성 때문에 Georeferencing 정보의 수준 차이가 발생한다. IFC 버전은 1997년 이래로 1-2년 간격으로 기능 개선이 이루어지고 있으며 이에 따라 객체를 구성하는 요소(Entity)와 그의 특성을 나타내는 속성(Attribute)수는 IFC 4.0 버전을 기준으로 각각 800개, 1,500개로 4배 증가하였다. 이처럼, 전체 개수의 증가는 IFC 표준 스카마 확장에 따른 유연성 증가와 기능 향상을 나타낸다(Amor, 2015). IFC의 객체와 속성정보가 확장됨에 따라 BIM 모델에 실세계 좌표정보 할당 시 해당 정보의 범위가 우편 주소를 저장하는 옵션부터 지리좌표정보(위도/경도) 및 절대 좌표변환 계수 정보를 저장할 수 있는 옵션까지 다양하게 되었다. Christian and Hendrik(2019)은 BIM과 GIS 도메인 간의 Georeferencing 수행 시 좌표정보에 대한 이해를 높이기 위해 제공되는 절대좌표 정보 디테일에 따른 LOD(Level Of Detail) 개념을 적용하여 5가지 레벨(10-50)로 LoGeoRef(Level of Georeferencing)을 제안하였다. LoGeoRef10은 가장 단순한 수준으로 우편 주소정보 (IfcPostalAddress)가 제공된다. LoGeoRef20은 WGS84 좌표계를 기반으로 대상 지역(IfcSite)의 지리좌표정보 (RefLatitude, RefLongitude, RefElevation)가 포함되고 LoGeoRef30은 투영 절대좌표 정보(IfcCartesianPoint)를 제공한다. LoGeoRef40은 프로젝트(IfcProject)의 투영 절대좌표 정보를 포함하고 마지막 레벨인 LoGeoRef50은 지리적 데이터 및 공간 참조 관점에서 가장 적절한 Georeferencing 옵션으로 절대좌표 변환계수 정보를 포함하는 객체(IfcMapConversion)를 제공한다. 이런 Georeferencing LOD 정보수준을 활용하여 LCS 기반 BIM 모델은 절대좌표계 상에서 위치정보를 할당할 수 있게 된다. 최신 버전의 IFC4는 더 자세하고 정확한 좌표정보를 포함할 수 있지만, 이전 버전(IFC2x3)도 여전히 공식 IFC 표준으로 혼용되어 사용되기 때문에 LoGeoRef에 따른 위치정보 수준을 미리 파악하고 GIS 도메인 상에서 적절한 BIM 데이터의 통합 과정을 수행하는 것이 필요하다. 결론적으로, 위에서 언급한 위치 참조 옵션의 다양성과 IFC 표준에 위치정보가 저장되는 방식에 대한 명확하고 공식적인 규칙이 없기 때문에 IFC 모델 생성 시 Georeferencing 좌표정보 수준을 고려하는 주의가 필요하다.

둘째로 IFC 버전에 따른 Georeferencing 좌표정보 수준과 별개로 해당 좌표정보 신뢰성에 대한 불확실성이 존재한다. 앞서 언급한 것처럼 BIM의 Georeferencing은 빌딩/인프라 객체 설계 단계에서 우선순위가 아니므로 IFC 모델 생성 시 관련 위치 참조 정보를 규칙적으로 저장하지 않는 경우가 빈번히 발생한다. 또한, 생성된 IFC 모델이 LoGeoRef을 기반으로 신뢰성을 갖는 좌표정보를 포함하고 있는지도 확신하기 어렵다. 이런 한계점들은 Noardo et al.(2021) 연구에서 다음과 같이 실증적으로 확인해 볼 수 있다. 57개 BIM 모델을 대상으로 LoGeoRef에 따른 Georeferencing 관련 좌표정보 수준 및 신뢰성을 검증하였다. 대부분 IFC 모델(95%)에서 Georeferencing 정보가 포함되어 있지만, 이 중에서 59% 모델은 부정확한 좌표정보를 포함하고 있었다. 주된 이유는 BIM 모델링 SW에서 IFC 모델 저장 시 위치 참조에 대한 디폴트 옵션을 그대로 적용하였기 때문이라고 판단하였다. 또한, 검토된 BIM 모델 중 39% 모델만 사용 목적에 따라 GIS와 적절하게 통합할 수 있는 Georeferencing 정보를 포함하고 있었다. 이런 상황에서 Georeferencing 정보에 대한 신뢰성을 향상시키는 것이 필요하다. 이를 위해 우선 협업(건설 계획/설계 등)에서 대중적으로 사용되는 상용 SW(예, Autodesk Revit)를 활용하여 적절한 Georeferencing 프로세스 정립이 선행되어야 한다(Kaden and Clemen, 2017). 즉, IFC 모델 생성 전 Georeferencing 정보가 저장되기 위한 작업 순서, 옵션 선택 등 적절한 가이드라인이 정립되어야 할 것이다. 또한, BIM과 GIS 통합 시 좌표정보에 대한 정밀도 차이도 위치 오차를 발생시키는 주요한 원인이 된다. 예로, 위도/경도 위치정보(DD.dddd)는 소수점 자릿수에 따라 상당한 위치 오차(네 자릿

수: 10m 수준, 여섯 자릿수: 0.1m 수준)를 발생시키게 되므로 Georeferencing 수행 시 주의가 요구된다.

2.3 Georeferencing 기술 선행연구 고찰

위치 참조 정보가 포함되지 않는 BIM 모델의 전통적인 Georeferencing 방식은 두 단계로 진행될 수 있다. LCS 상의 BIM 모델의 RCS 연계를 위해 우선, 글로벌 좌표체계의 GCPs를 기반으로 공간 기준을 설정한 다음 GCPs와 대응되는 BIM 모델의 로컬좌표로부터 좌표 변환계수를 계산한다. 이와 같은 방식은 GCPs 정확도 레벨에 따라 Georeferencing 정확도 수준이 정해진다(Zhu and Wu, 2021).

IFC 표준에 대한 국제적인 권위를 갖는 단체인 buildingSMART의 호주지부에서는 최근 IFC 모델과 GIS 통합을 위해 Georeferencing 표준방법에 대한 실무 가이드라인(IDM, Information Delivery Manual)을 배포하였다(buildingSMART, 2020). IFC 최신 버전에서 새롭게 추가된 엔티티(IfcMap Conversion)의 좌표변환 계수의 속성정보 값을 계산하여 LCS 상의 BIM 모델을 RCS 기반의 맵 상에 위치시키는 실무 예제를 아래와 같이 (Figure 1) 제시하였다.

첫째로 IFC 모델과 맵 상의 대응 모델 간에 최소 2점 이상의 대응점 쌍을 관측값으로 사용하여 직각 좌표계 기반 Helmert 변환 파라미터(스케일, 회전, 평행이동)를 계산한다. 여기서, 두 대응점만 사용하여 유일 해를 구하는 경우 하나의 관측점이라도 부정확한 값이 있다면 큰 오차를 발생시키기 때문에 3점 이상 잉여 관측값들을 사용하여 최소제곱법(Least-squares Adjustment)에 의한 조정으로 변환 파라미터들의 최확값을 계산하여야 한다.

둘째로 계산된 좌표변환 파라미터를 기반으로 LCS 상의 IFC 모델 버텍스들에 대한 좌표변환을 수행하여 Easting/Northing 좌표로 변환하고 IFC 모델을 맵(RCS) 상에 위치시킨다. 고도값은 BIM과 맵 모델 간의 높이 차이를 기반으로 평행이동 시킨다. 해당 Georeferencing 작업을 수행하는 대상 지역은 지구 곡률을 무시할 수 있는 수준인 대략 1km 이내 범위로 제한하고 있다.

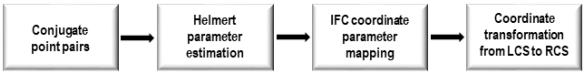

Figure 1. Georeferencing process of BIM in GIS environments(buildingSMART, 2020)

일반적으로 IFC 버전에 따라 다양한 위치 관련 엔티티 및 속성정보가 존재하기 때문에 IFC 모델이 RCS 상에 위치되기 위한 Georeferencing 관련 속성정보 수준을 이해하는데 어려움이 있다(Noardo et al., 2020). 이를 보완하기 위해 오픈소스인 IFC-GeoRefChecker가 널리 사용되고 있다(Possner, 2023). IFC-GeoRefChecker는 Christian and Hendrik(2019)에 의해 정의된 개념인 LoGeoRef을 적용하여 5단계의 Georeferencing 속성정보 수준을 제공한다. 이런 LoGeoRef 개념은 IFC 표준에서 공식적으로 정의되지 않았지만, 실무에서 IFC 모델로부터 Georeferencing 관련 정보를 빠르게 추출하는 데 도움을 주고 있다.

기존 실증 연구(Noardo et al., 2021)에서 언급한 바와 같이 생성되는 BIM 모델은 위치 관련 속성정보가 충분하지 않거나 부정확할 가능성이 높기 때문에 일반적으로 현업에서는 상용 SW를 사용하여 수동으로 Georeferencing 작업을 빈번하게 진행하고 있다. Noardo et al.(2020)은 4가지 주요 상용 SW (evenBIM, FZK Viewer, Revit, FME Script)를 사용하여 IFC 모델에 Georeferencing 관련 정보를 저장하고 LoGeoRef 개념 기반으로 검증하였다. 해당 SW에서는 EPSG 코드를 사용하여 직접 RCS를 정의하고 IFC 모델 이동 및 회전을 통해 Georeferencing을 수행하였다. 여기서, evenBIM과 FME_script를 사용하여 저장된 IFC 모델이 가장 높은 수준의 LoGeoRef 정보를 포함하고 있었다. Kaden and Clemen(2017)은 Autodesk Revit을 이용하여 가능한 Georeferencing 방법들을 소개하였다. 첫째, BIM 프로젝트 기준점을 맵 상의 절대 좌표정보가 있는 대응점으로 이동한 후 BIM 모델의 방향을 조절하는 방법이다. 둘째, 좌표정보가 있는 CAD 데이터 셋을 사용하는 방법이다. 셋째, Autodesk point layout 플러그인에서 맵 상의 두 점을 이용하여 IFC 모델 좌표를 변환하는 방법들을 제시하였다. 이와 같이 BIM과 GIS 통합 관점에서 Georeferencing은 더 나은 공간분석을 위해 매우 잘 알려진 이슈이지만 여전히 적절한 자동화 프로세스가 제한적이다.

최근 Diakite and Zlatanova(2020)는 GIS 맵 폴리곤 객체와 대응되는 BIM 모델로부터 폴리곤 기반 기하학적 매칭 방법을 통해 자동화된 Georeferencing 방법을 다음과 같이 제시하였다. 첫째, 투영된 맵과 BIM 모델에서 단순화된 최외곽 바운더리 폴리곤을 추출한다. 둘째, BIM과 맵 폴리곤 모델 간 최적의 기하학적 매칭 구성을 탐색하기 위해 룰(rule) 기반 이동, 회전, 스케일 요소들을 변화시켜 두 모델을 매칭시킨다. 제안된 방식은 맵과 BIM 모델 간에 동일한 수의 버텍스를 갖고 있지 않거나 매칭을 위한 대응점을 사전에 알지 못하더라도 적용이 가능한 방법이다. 하지만, 노이즈의 민감도를 낮추기 위해 최외곽 폴리곤이 너무 단순화되면서 투영된 객체 형상이 왜곡되어 모델 간의 정확한 매칭점들을 탐색하는데 불확실성이 심화되었다. 또한, 두 모델 간의 기하학적 형상에 따라 룰(Rule) 기반 이동 및 회전 구성이 다양하게 생성되기 때문에 BIM의 다양한 복잡도를 커버하여 최적의 매칭 구성을 생성하는데 한계가 있다. 이런 한계로

인해 실험에 사용된 6개 BIM과 맵 모델 간에 위치정확도 오차가 0.06m부터 6.3m까지 다양하게 나타났다.

3. BIM to GIS를 위한 위치정보 자동부여

본 연구는 BIM 모델(LCS 기반)을 GIS 맵(수치지도) 상의 대응 객체(RCS 기반)에 위치시키기 위한 Georeferencing 기술을 제안한다. 먼저 BIM 모델은 수평(2D)으로 투영시켜 최외곽 폴리곤 벡터를 추출하고 대응되는 GIS 모델은 수치지도 상에서 직접 폴리곤을 추출하였다. 추출된 두 모델은 폴리곤 기반 매칭을 수행하여 최적으로 중첩되는 기하학적 조합을 생성하고 비용함수를 통해 검증된다. 마지막으로 최적의 조합으로부터 매칭점들을 선정하고 두 모델간 좌표변환 계수를 계산하여 BIM 모델의 Georeferencing을 수행한다.

아래 Figure 2는 BIM 모델의 Georeferencing 수행을 위한 전체 흐름도를 나타낸다.

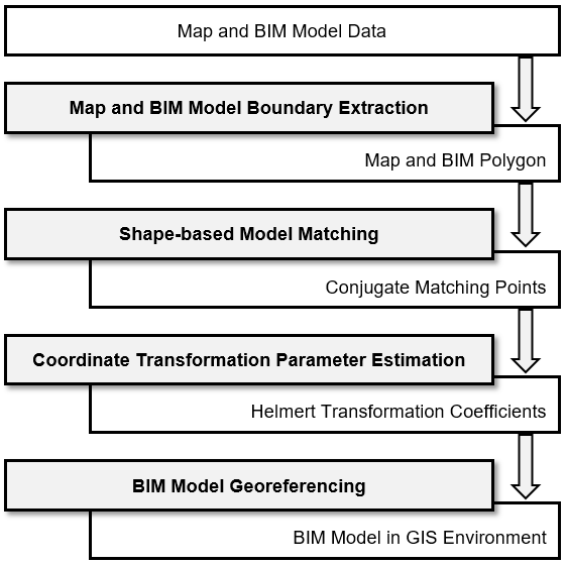

Figure 2. The workflow for BIM model georeferencing based on shape-based matching framework

3.1 최외곽 폴리곤 추출

좌표체계가 상이하고 멀티 차원(2D/3D)을 갖는 BIM과 맵 모델 간에 기하학적 매칭을 수행하기 위해 2D 최외곽 폴리곤을 추출하였다. 맵 모델인 경우 Figure 3과 같이 실무에서 접근이 용이한 1:5000 수치지도로부터 RCS 기반 대상 객체의 2D 폴리곤 벡터를 추출하였다.

사용되는 맵 폴리곤은 건물의 외곽선을 나타내기 때문에 BIM 모델인 경우 탑 뷰(Top-view) 시점에서 객체의 외곽 폴리곤 벡터를 추출하였다. 이를 위해 먼저 IFC 모델의 주요 부재(IfcWall, IfcFooting, IfcColumn, IfcDoor, IfcWindow, IfcSlab 등)들을 구성하는 코너 점들을 추출하였다. $V=\{P_i | i=1,2, ...,n\}$, $V=\bigcup_{i=1}^{2} C_i$, $C_1 \cap C_2 = \{\ \}$ 추출된 점 군으로부터, 개선된 Convex Hull 알고리즘(Dey et al., 2021)을 적용하여 최외곽 점들을, $BP=C_1=\{P_i | i=1,2,...,m\}$, 추출하였다. 이를 통해 BIM 모델의 최외곽 폴리곤 벡터를, $PV=\{\overline{P_1P_2}, ..., \overline{P_{m-1}P_m}\}$, 생성하였다. Figure 4는 IFC 모델로부터 코너 점들을 추출하고 2D기반 최외곽 폴리곤 벡터를 생성하는 과정을 나타낸다.

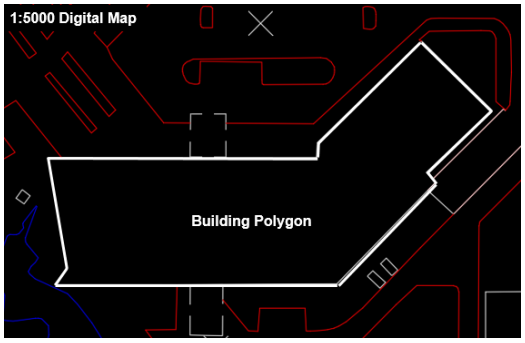

Figure 3. 2D map polygon representation(white color)

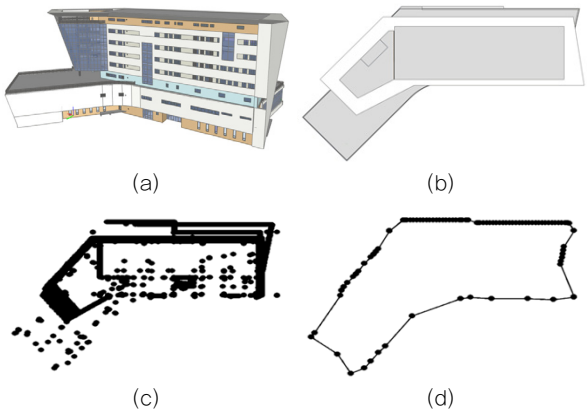

Figure 4. BIM polygon extraction. (a) BIM model(front view), (b) Flat projection(top view), (c) Vertex point cloud, (d) Model boundary polygon

3.2 폴리곤 기반 모델 매칭

맵과 BIM 모델은 미터법(metric units) 기반 실세계 대상 객체를 표현하므로 스케일에 대한 차이가 거의 없다는 가정하에 좌표체계와 방향성 차이를 고려하여 기하학적 매칭을 수행하였다. 제안된 폴리곤 기반 모델 매칭 프로세스는 다음과 같다. 첫째, 각 폴리곤 모델의 무게중심을 계산한다. 둘째, 두 모델의 중심을 중첩하고 맵 모델을 일정 간격으로 회전시키면서 가설 조합

(Hypothetical Configuration)을 생성한다. 셋째, 생성된 가설 조합은 비용함수를 통해 검증하고 최소 비용을 갖는 조합이 선택된다. 넷째, 선택된 최적의 가설 조합으로부터 가능한 매칭 점들을 추출한다. 여기서 BIM의 폴리곤 모델은 널리 사용되는 특징점 추출 방식인 Douglas-Peucker(Ramer, 1972) 알고리즘을 기반으로 단순화되어 적용되었다.

Figure 5는 중첩된 두 모델에서 일정 간격을 갖는 8방향으로 맵 폴리곤을 회전하면서 가설 조합을 생성하는 과정을 나타낸다.

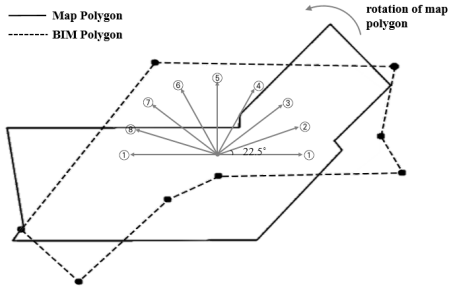

Figure 5. Generation of possible alternative hypothetical configurations

본 연구에서는 생성되는 가설 조합들을 정량적으로 검증하기 위해 Model Closeness 개념을 기반으로 비용함수를 구성 하였다(Jwa and Sohn, 2017). Model Closeness는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며 주어진 모델 M과 데이터 D 간에 적합도(goodness-of-fit)를 나타낸다. 이를 기반으로 맵과 BIM 폴리곤을 M과 D로 각각 할당하고 가설 조합에서 두 모델 간의 차이 정도는 가우시안 분포를 따른다는 가정하에 잔차로 정량화 되었다.

$$MC(D|M) = \frac{\Omega}{2\ln 2} \tag{1}$$

Where, Ω denotes the weighted sum of the squared residuals between M and D, $[D-M]^T P[D-M]$ in the matrix form

다음 식 (2)는 생성되는 가설 조합들 중 최적의 모델 M*을 선택하는 비용함수를 나타낸다. 따라서, 최소 비용을 갖는 가설 조합이 BIM과 맵 모델 간에 최적의 중첩 구성으로 결정된다.

$$M^* = \arg\min_{M \in \Phi}\{MC(D|M)\} \tag{2}$$

3.3 Helmert 좌표변환 계수 추정

buildingSMART(2020)에서는 LCS와 RCS 모델 간의 Geo-referencing 수행을 위해 IfcMapConversion 엔티티의 속성정보와 대응되는 Helmert 좌표변환계수를 적용하고 실증적인 예시를 제시하였다. IfcMapConversion에는 6개 속성정보, Eastings (E), Northings(N), OrthogonalHeight(O), XAxisAbscissa (XAA), XAxisOrdinate(XAO), Scale(S), 로 구성되어 있고 아래 Helmert 좌표변환 함수와 연계되어 있다.

$$\begin{bmatrix} X^R \\ Y^R \\ Z^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S\cos\theta & -S\sin\theta & 0 \\ S\sin\theta & S\cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^L \\ Y^L \\ Z^L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E \\ N \\ O \end{bmatrix} \tag{3}$$

Where, $[X^R\ Y^R\ Z^R]$ and $[X^L\ Y^L\ Z^L]$ denote transformed coordinates with RCS and initial coordinates with LCS respectively; $[E\ N\ O]$ represents translation in X, Y, Z; θ is an orientation derived from $atan2(XAO, XAA)$; S is a scale.

식 (3)에서는 4개의 미지 파라미터(E, N, θ, S)가 있고 이를 추정하기 위해 LCS와 RCS 모델 간에 2점 이상의 매칭 쌍이 필요하다. 본 연구에서는 최적의 가설 조합으로부터 구성된 모델 M*을 기반으로 맵 폴리곤 모델의 허용 오차를 임계 값으로 설정하여 BIM과 맵 폴리곤 간에 인접점들을 매칭하였다. Figure 6은 최적의 가설 조합 구성에서 총 6개 버텍스 매칭 쌍 추출한 것을 나타낸다. 이들 잉여 점들을 사용하여 Helmert 좌표변환 파라미터를 계산하였다.

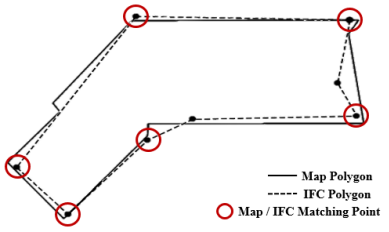

Figure 6. Optimal hypothetical-configuration and 6 conjugate pairs of matching points between Map and BIM polygon

4. 실험 및 결과

본 연구에 사용된 BIM 모델은 LX한국국토정보공사 전주 사옥 데이터이고 IFC4 버전의 표준 데이터 모델로 생성되었다. IFCGeoRefChecker 기반 Georeferencing 정보 수준은 LoGeo-Ref10 레벨로 확인되었지만 부정확한 좌표정보가 포함되어 있었다.

BIM과 맵 폴리곤 기반 매칭 프로세스를 진행하여 8개의 가설 조합을 생성한 후 비용함수를 통해 정량적으로 최적의 중첩 구성을 도출하였다. Figure 7은 각 가설 조합에 대해 Model Closeness를 계산한 결과를 나타내며 가설 조합 #8이 최소의 비용을 갖는 최적의 구성으로 선택되었다.

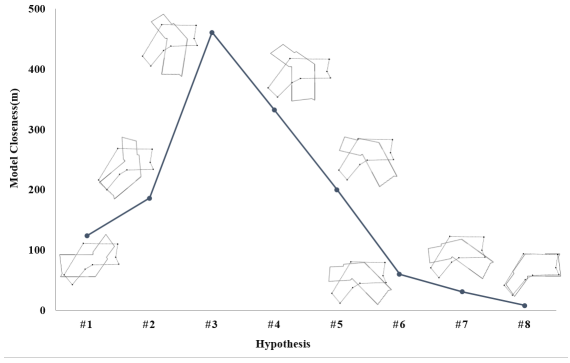

Figure 7. The generation of possible alternative hypothetical configurations w.r.t. MC(D|M)

선택된 최적의 가설 조합으로부터 추출된 매칭 점들을 기반으로 Helmert 좌표변환 계수를 추정하여 BIM 모델의 Geo-referencing을 수행하였다. 결론적으로 Figure 8과 같이 BIM과 맵 모델 간에 중첩된 구성에서 5개 버텍스에 대해서 계산된 위치 오차는 평균 0.94m이고 최소값과 최대값은 각각 0.66m와 1.20m로 계산되었다. 이는 국토지리정보원에서 고시한 [항공사진측량 작업규정 제 56조]에 따르면 1:5000 도화 축척의 표준편차는 0.72m이고 최대값은 1.44m인 것을 고려하면 LX 전주 사옥 BIM 모델은 허용 오차범위 안에서 1:5000 수치지도를 기반으로 적절하게 Georeferencing이 수행된 것을 확인할 수 있었다.

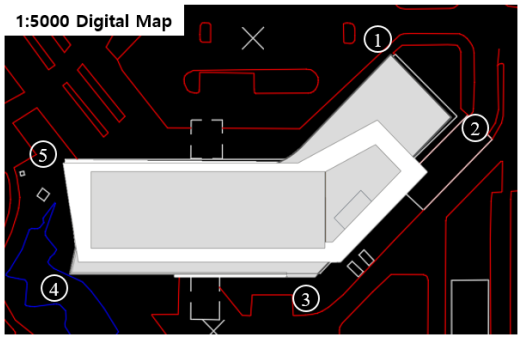

Figure 8. Illustration of Georeferencing results in the horizontal plan

Figure 9는 Georeferencing 결과를 기반으로 3차원 시각화 기술을 적용하여 오픈스트리트맵(OpenStreetMap, OSM) 상에 LX 전주사옥 BIM 모델을 3차원적으로 투영한 것을 나타낸다.

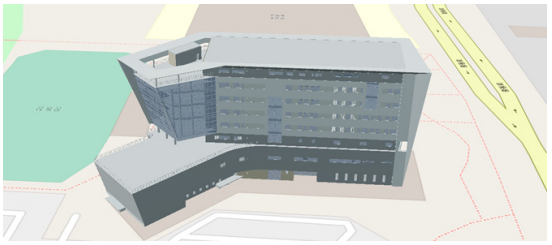

Figure 9. 3D visualization of BIM model in GIS environment

5. 결론 및 향후 연구 진행 방향

본 연구는 BIM 데이터를 GIS 시스템에 통합하는 관점에서 Georeferencing 기술에 대한 기존 선행 연구들을 고찰하고 BIM 표준인 IFC 모델에서 제공되는 절대좌표 관련 속성정보 활용에 대한 한계점들을 파악하였다. 이런 문제점들을 보완하기 위해 LCS기반 IFC 모델을 RCS기반 맵 상에 위치시키기 위한 자동화된 Georeferencing 프로세스를 시범적으로 제안하였다.

제안된 기술은 점과 선이 아닌 폴리곤 기반 기하학적 매칭 방법을 적용함으로써 다음과 같은 이점이 있다. 첫째로는 BIM과 맵 폴리곤 간에 방향 및 대응 버텍스가 미리 정해지지 않거나 버텍스 수가 동일하지 않아도 된다. 둘째, BIM 모델의 최외곽 형상이 적절하게 보존된 폴리곤 모델을 추출하여 GIS 모델과의 매칭 시 이동 요소를 모델 중심에 고정시키고 회전요소만으로 가설 모델을 생성하므로 가설 조합 수가 줄어들어 기하학적 복잡성이 높은 BIM 모델에도 일정 수준 대응할 수 있다.

본 연구 중 도출된 한계점은 다음과 같다.

첫째, 동일 객체를 표현하지만, 기하학적인 형상이 다른 BIM과 맵 폴리곤 모델에서 계산되는 객체 중심 위치 오차로 인해 두 모델 중첩 시 대응 버텍스 탐색에 대한 불확실성이 발생한다.

둘째, 일반화된 대칭 구조를 갖는 모델(직사각형, 원 등)인 경우 BIM과 맵 폴리곤 중첩 시 방향성(앞/뒤)에 대한 불확실성이 발생한다.

셋째, 사용 가능한 BIM 데이터 제약으로 인해 본 연구에서는 제안된 방법을 시범적으로 적용해 보았다. 향후 다양한 형태의 BIM 모델을 사용하여 제안된 방법에 대한 충분한 실험 및 논의가 필요할 것으로 판단된다.

향후 연구에선 이와 같은 한계점들에 대한 고려가 필요할 뿐만 아니라 BIM 모델에서 제공하는 Georeferencing 정보 수준을 검증하고 이를 기반으로 대응되는 다차원적인 GIS 객체 모델을 탐색하여 IFC 모델로 교체될 수 있는 일련의 자동화 파이프라인을 구축하는 연구가 수행될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 디지털 국토정보 기술개발사업 지원으로 수행되었음(과제번호: RS-2022-00143804).

References

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., Ngo, T. (2015). A Framework for a Microscale Flood Damage Assessment and Visualization for a Building using BIM-GIS Integration, International Journal of Digital Earth, 9(4), pp. 1-24.

Amor, R. (2015). Analysis of the Evolving IFC Schema, In Proceeding of the 32nd International Conference of CIB W78, Eindhoven, The Netherlands, pp. 39-48.

Basir, W., Ujang, U., Majid, Z., Azri, S., Choon, T. (2020). The Integration of BIM and GIS in Construction Project - a Data Consistency Review, IAPRS, XLIV-4/W3-2020, pp. 107-116.

buildingSMART (2020). User Guide for Geo-Referencing in IFC, Available online: https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/02/User-Guide-for-Geo-referencing-in-IFC-v2.0.pdf(accessed on 20 June 2023).

Christian, C., Hendrik, G. (2019). Level of Georeferencing (LoGeoRef) using IFC for BIM, Journal of Geodesy, 10, pp. 15-20.

Dey, E., Awrangjeb, M., Tarsha Kurdi, F., Stantic, B. (2021). Building Boundary Point Extraction from LiDAR Point Cloud Data, In Proceeding of the 2021 Digital Image Computing: Techniques and Applications(DICTA), Gold Coast, Australia, pp. 1-8.

Diakite, A. A., Zlatanova, S. (2020). Automatic Georeferencing of BIM in GIS Environments using Building Footprints, Computers, Environment and Urban Systems, 80(101453), pp. 1-26.

Hackeloeer, A., Klasing, K., Krisp, J.M., Meng, L. (2014). Georeferencing: A Review of Methods and Applications, Annals of GIS, 20(1), pp. 61-69.

Hwang, J., Kang, T., Hong, C. (2012). A Study on the Correlation Analysis Between IFC and CityGML for Efficient Utilization of Construction Data and GIS Data, Journal of Korea Spatial Information Society, 20(5), pp. 49-56.

Im, L. (2020). How to use Satellite Images and National Land Indicators to Estimate the Amount of Damage in a Disaster Area. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements, 19(22), pp. 1-35.

Irizarry, J., Karan, E., Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to Improve the Visual Monitoring of Construction Supply Chain Management, Automation in Construction, 31, pp. 241-254.

Jwa, Y., Sohn, G. (2017). Wind Adaptive Modeling of Transmission Lines using Minimum Description Length, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 125, pp. 193-206.

Kaden, R., Clemen, C. (2017). Applying Geodetic Coordinate Reference Systems within Building Information Modeling (BIM), Technical Programme and Proceedings of the FIG Working Week, 8967.

Kim, B., Jeong, D., Hong, S. (2018). Constructing 3D Geospatial Model for Building Data in UML, Journal of Korean Society for Geospatial Information System, 25(4), pp. 57-67.

Kim, K., Park, N., Joo, C., Kim, S. (2021). A Study on the Method of Extracting Shape and Attribute Information for Port IFC Viewing, Korean Institute of Building Information Modeling, 11(3), pp. 67-74.

Markic, S., Donaubauer, A., Borrmann, A. (2018). Enabling Geodetic Coordinate Reference Systems in Building Information Modeling for Infrastructure, In Proceeding of 17th ICCCBE, Tampere, Finland, pp. 5-7.

Noardo, F., Arroyo Ohori, K., Krijnen, Stoter, J. (2021). An Inspection of IFC Models from Practice, Applied Sciences, 11(2232), pp. 1-28.

Noardo, F., Wu, T., Ohori, K., Krijnen, T., Stoter, J. (2020). Investigating the Automation of Building Permits Checks through 3D GeoBIM Information, arXiv 2020, arXiv:2011.03117, pp. 1-39.

Possner (2023), IFCGeoRefChecker-Documentation, https://github.com/dd-bim/IfcGeoRef/blob/master/Documentation_v3.md (Sep. 07. 2023)

Ramer, U. (1972). An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves, Computer Graphics and Image Processing, 1, pp. 224-256.

Romero, A., Izkara, J., Mediavilla, A., Prieto, I., Perez, J. (2017). Multiscale Building Modelling and Energy Simulation Support Tools, European Conference on Product and Process Modeling.

Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J., Hampson, K. (2017). Trends and Opportunities of BIM-GIS Integration in the Architecture, Engineering and

Construction Industry: a Review from a Spatio-temporal Statistical Perspective, ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(397), pp. 1-32.

Teo, T., Cho, K. (2016). BIM-oriented Indoor Network Model for Indoor and Outdoor Combined Route Planning, Advanced Engineering Informatics, 30, pp. 268-282.

Uggla, G., Horemuz, M. (2018). Geographic Capabilities and Limitations of Industry Foundation Classes, Auto. in Construction, 96, pp. 554-566.

Zhu, J., Wu, P. (2021). A Common Approach to Geo-Referencing Building Models in Industry Foundation Classes for BIM/GIS Integration, Int. Journal of Geo-Information, 10(362), pp. 1-21.