

GIS 기반 BIM 데이터의 효과적 가시화를 위한 공간인덱싱 기법 개발

김지은¹, 강태욱¹, 홍창희^{1*}

¹한국건설기술연구원 SOC성능연구소 ICT융합연구실

Development of the Spatial Indexing Method for the Effective Visualization of BIM data based on GIS

Ji-Eun Kim¹, Tae-Wook Kang¹, Chang-Hee Hong^{1*}

¹Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, SOC Research Institute

요약 최근 실내공간정보 기반의 시설물 운영관리에 대한 관심이 고조되면서 BIM과 GIS를 연계한 시설물 유지관리에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 대용량 데이터에 대한 형상정보의 가시화 처리는 중요한 이슈로, 유지관리 시스템 운영에 중요한 요소이다. 따라서 본 연구는 GIS 기반 BIM 모델의 효과적 가시화 구현을 위하여 IFC 스키마 기반의 시나리오를 통한 공간인덱싱 알고리즘을 설계하고, OcTree 기법을 적용하여 공간인덱싱 알고리즘을 일부 구현하였다. 구현된 결과를 IFC 샘플데이터에 테스트한 후 최종적으로 BIM 데이터의 효과적 가시화를 위한 공간인덱싱 기법을 제안한다.

Abstract Recently, with the increasing interest in facility management based on indoor spatial information, various studies have been attempted to manage facility conversion between BIM and GIS. Visualization of the geometry data for a large-scale is one of the major issues to the maintenance system. Therefore, this study designed the spatial indexing algorithm through an IFC schema-based scenario for the effective visualization of BIM data based on GIS. A part of the algorithm was developed implementing the OcTree structure and this research has a test for the developed output with IFC sample data. Ultimately, we propose the spatial indexing method for the effective visualization of BIM data based on GIS.

Key Words : BIM, GIS, OcTree, Spatial Indexing, Visualization

1. 서론

최근 시설물의 실내공간정보에 대한 관심이 고조되면서, 실내공간정보를 표현하는 다양한 정보기술들을 다루는 연구가 증가하는 추세이다. 단일 건물을 포함한 도시 시설물이 점점 대형화되고 복잡해짐에 따라 지역단위의 시설물 관리와 함께 실내공간 기반의 시설물 운영·관리가 함께 요구되고 있다.

BIM(Building Information Modeling) 기술은 기존 2D 기반 도면처리에서 발전하여 3D 모델링을 통한 시설물

의 전 생애주기에 발생하는 데이터를 포함한다. 이는 시설물을 구성하는 객체의 형상정보, 속성정보를 통해 GIS(Geographic Information System)의 위치기반 공간 정보와 연계되어 실내공간정보를 다루는 다양한 연계가능성을 보여준다. 특히 BIM 데이터를 활용한 시설물 운영관리는 유지관리 측면에서 관리자 및 관계자의 효율적 운영을 고려한 유지관리 시스템의 필요성을 반영한다.

이러한 시스템은 3차원 시설물 데이터의 방대한 정보량을 활용하여, 3차원 BIM 모델을 통한 상호작용적인 가시화 및 탐색 기능을 구현할 수 있다. 그러나 대용량 처

본 논문은 한국건설기술연구원 “(14주요-임무) BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼 개발”의 일환으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Chang-Hee Hong(KICT)

Tel: +82-31-910-0142 email: jekim@kict.re.kr

Received April 9, 2014

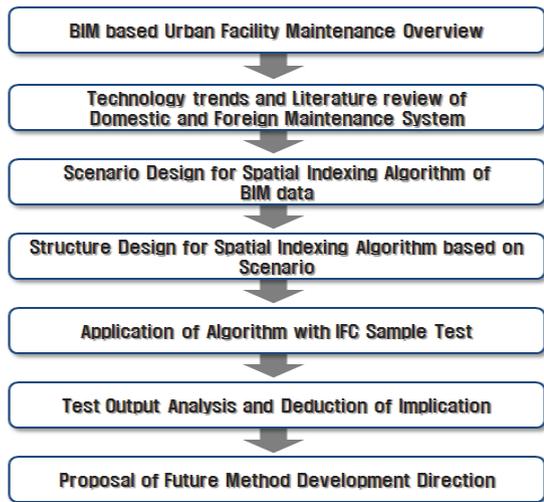
Revised (1st June 18, 2014, 2nd July 24, 2014)

Accepted August 7, 2014

리에 대한 BIM 데이터의 신속하고 원활한 가시화 처리는 형상정보가 갖는 향후 해결해야 할 주요 요소이다. 따라서 본 연구는 GIS 기반 BIM 데이터의 효과적 가시화 처리를 위해 알고리즘을 설계하고 공간분할 구조를 재구성한 공간인덱싱 기법을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 우선적으로 BIM/GIS 시설물 데이터 가시화 관련 국내의 연구동향을 조사·분석하여 시사점을 도출하였다. 또한 사용자가 요구하는 정보를 신속하고 명확하게 전달하기 위한 3D BIM 데이터와 GIS 공간데이터의 특성에 효과적인 공간분할 방법을 선정하고, 공간인덱싱 알고리즘을 구현하고자 활용 시나리오를 바탕으로 아키텍처를 구상하였다. 제안된 공간인덱싱 기법을 검증하기 위해 IFC 샘플 데이터에 알고리즘을 적용하여 최종으로 적용 결과를 분석하였다. 본 연구의 GIS 기반 BIM 데이터의 공간인덱싱 알고리즘은 BIM/GIS 상호운용 개방형 플랫폼에서 데이터의 효과적 화면 가시화를 위한 기능이며[1], 연구 프로세스는 Fig. 1과 같다.



[Fig. 1] Research Process

3. 선행 연구동향

본 연구를 위해 실내공간정보 구축의 필요성이 상기

되면서, GIS 내 BIM 기술을 접목하여 두 분야 간의 연계를 다루는 여러 관련 연구사례를 조사하였다. 주로 분야 간 상이한 특성에 특화된 상용 소프트웨어와 데이터 포맷 간의 연계 시 발생하는 데이터 손실 및 비호환성 등의 이슈 해결을 위한 상호운용성 향상에 관한 연구가 대다수 진행되었다[2-4]. 분야별 대표 표준포맷을 선정하고 각 포맷의 구성 및 포맷이 포함하는 데이터 구조를 비교 분석하여 연계 시 효과적인 방안을 도출하는데 중점을 두었다.

[Table 1] Advanced Research Review([2-8])

| Research Information | Research Title |
|-----------------------------|---|
| | Main Issue |
| BIM and GIS | |
| E.D. Kim, et al(2011) | Constructing 3-D GIS Campus Model with Detailed Building Information |
| | Presents a method for acquiring detailed building models from BIM and managing the building information on 3-D GIS |
| R. de Laat, et al(2010) | Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension |
| | Describes the development of a CityGML extension called GeoBIM to get semantic IFC data into a GIS context |
| T. W. Kang, et al(2012) | The External BIM Reference Model Suggestion for Interoperability Between BIM and GIS |
| | Proposes the external BIM reference model including the metadata which defines mapping rules from IFC to CityGML |
| Spatial Partitioning Method | |
| Y. M. Kim, et al(2004) | A Greed space partitioning method using leaf nodes of QuadTree on MMORPG |
| | Presents a new method to do space-partitioning for dynamic and static objects using leaf nodes of QuadTree on MMORPG |
| S. H. Han(2013) | Design of Memory-Efficient Octree to Query Large 3D Point Cloud |
| | Designs a memory-efficient octree for querying large 3D point cloud |
| D. W. Lee, et al(2009) | DGR-Tree : An Efficient Index Structure for POI Search in Ubiquitous Location Based Services |
| | Examines how to search large and skewed POI efficiently in the u-LBS environment and proposes the Dynamic-level Grid based R-Tree |
| C. IO Ga, et al(2010) | Study on the Method to Create a Pedestrian Path Using Space Decomposition based on Quadtree |
| | Suggests appropriate methods to create paths that can be used in pedestrian navigation service, by using motion-planning technology |

또한 BIM-GIS 연계방안 연구동향과 함께 3차원 기반

데이터의 형상정보를 효과적으로 가시화하기 위한 다양한 공간인덱싱 연구사례를 조사하였다. 각 사례들은 현재 컴퓨터 그래픽스에 활용되는 다양한 기법 가운데 해당 분야의 특성과 연구목표 및 환경에 적합한 기법을 선정하여 이를 확대하거나 새로운 기법 개발을 주로 연구하였다[5-8].

기존 연구사례를 살펴보면 BIM과 GIS를 연계하기 위하여 대부분 호환성을 가장 큰 이슈로 보고 기존 소프트웨어를 활용하여 이종 분야의 포맷간 데이터 매핑에 대한 결과 및 성능 개선에 중점을 두었다. 공간인덱싱의 경우, 주로 3차원 시각화, 특히 애니메이션 기술이 집중적으로 요구되는 컴퓨터 그래픽 분야에서 기존 기법들을 복합적으로 활용하여 목적별 새로운 알고리즘을 개발하는 것이 추세였다.

본 연구는 현재 개발 중인 웹 기반의 BIM/GIS 플랫폼 상에서 대용량의 BIM 데이터를 효과적으로 다루고자 한다[1]. 단순 포맷간의 매핑이 아닌 완성된 시설물 BIM 데이터를 GIS 플랫폼 상에 업로드 하여 사용자가 화면상에 원하는 가시화 결과를 확보하기까지 필요한 일련의 과정 가운데, BIM이 포함하는 형상정보를 원활하게 가시화하기 위해 3차원 기반 공간인덱싱 기법을 활용한 새로운 알고리즘의 필요성을 인식하였다. 따라서 기존 공간인덱싱 기술들 가운데 BIM의 특성을 가장 잘 반영할 수 있는 기법을 선정하고 상기 이슈들을 고려하여 본 연구 목적에 맞는 알고리즘을 제안하고자 한다.

4. BIM 데이터의 공간인덱싱 알고리즘 아키텍처

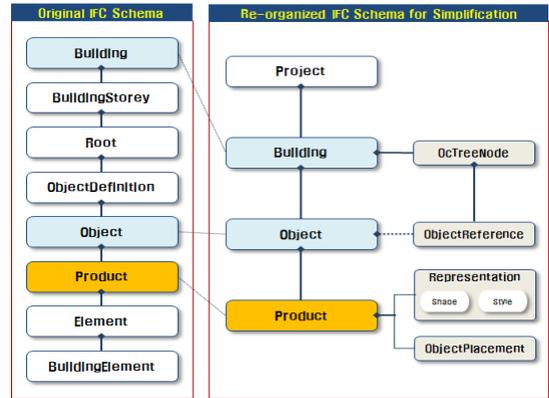
4.1 알고리즘 시나리오

4.1.1 IFC 데이터 구조 간략화

BIM 데이터의 공간인덱싱 알고리즘 디자인을 위해 모델링 데이터 표준 포맷인 IFC의 기존 구조를 간략화하였다. 먼저 공간인덱싱 및 가시화에 관련된 IFC Entity를 추출하여, 이를 Fig. 2와 같이 재구성하였다.

BIM 기반 시설물의 전 생애주기에서 발생하는 데이터를 포함하는 IFC의 특성상 본 연구를 위하여 구조의 재구성은 필수로 요구되는 작업이다. IFC 구조의 간략화는 대용량 데이터 처리를 고려하여 시설물 가시화에 직접적으로 관련된 Entity들(Project/ Building/Object

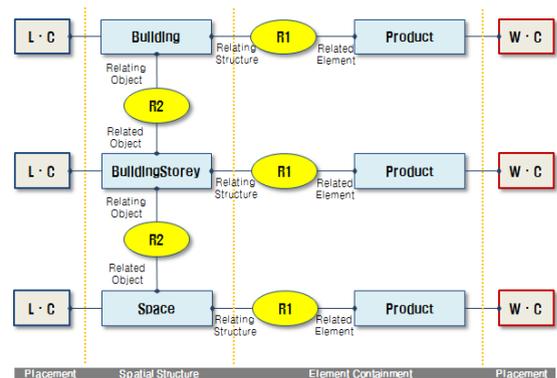
/Product)로 작업되었다. 각 Entity에 속한 여러 속성들 중 가시화와 연관된 대표 하부 속성들과 그 외 속성을 추가하여 공간인덱싱 알고리즘의 일부를 추가 구성하였다.



[Fig. 2] Reorganizing IFC Schema for Simplification

4.1.2 로컬 좌표에서 월드 좌표로의 변환

공간인덱싱 알고리즘 구현을 위한 두 번째 기반작업은 시설물의 IFC 데이터 내 입력된 로컬 좌표를 월드 좌표로의 변환이다. GIS 지도데이터 기반에 국부적 지역에 해당하는 시설물간 인접성을 위한 절대적 위치표현은 기본적으로 월드 좌표를 통해 구현된다. 따라서 기존 객체의 평행이동 및 회전변환을 고려하여 프로젝트 내 객체별 고유의 로컬 좌표를 플랫폼 상에 위치 및 방향표현을 위한 월드 좌표로의 변환 작업이 필수적이다.

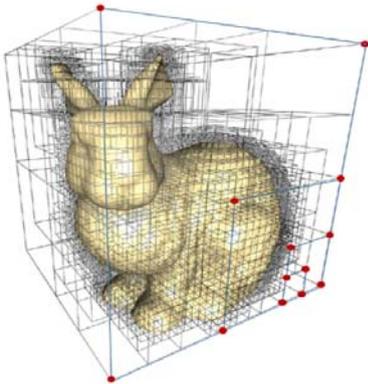


[Fig. 3] Process Diagram of Coordinate Change based on IFC Schema from Local Coordinate to World Coordinate

Fig. 3은 IFC 스키마 구조를 기반으로 객체의 로컬 좌표에서 월드 좌표로의 변환을 나타내는 프로세스이다. BIM 모델 내 객체들은 각 로컬 좌표를 포함하는 Entity 들(Building/BuildingStorey/Space/Product)에서 객체 혹은 구조·요소와의 관계(R1, R2)를 통해 GIS 지도상에 표현하기 위한 절대좌표인 절대 좌표로 변환된다.

4.2 알고리즘 구조 아키텍처

본 연구는 공간분할 기법으로 OcTree 구조를 활용하였다. 이는 각 Parent 노드 당 최대 8개의 Child 노드를 가질 수 있는 트리구조의 하나로, 게임에서 동적인 가시성 판단 혹은 객체 내 포인터를 저장하기 위해 사용된다. Child 노드들은 Parent 입방체를 8등분한 동일 크기의 입방체들을 구성하고, 각 노드에 담긴 객체들이 일정 개수가 될 때까지 반복하여 구성한다[5].



[Fig. 4] OcTree Surrounding 3D Model[9]

본 연구는 공간인덱싱 알고리즘 시나리오에 OcTree 기법을 적용하여 알고리즘 아키텍처를 Fig. 5와 같이 UML로 구성하였다. 알고리즘 주요 구조는 크게 Part A와 B로 구분된다.

Part A는 IFC 구조를 활용하여 데이터의 형상을 표현하기 위한 부분으로, 앞서 간략하게 재구성한 IFC 데이터 구조 기반의 Class간 연관성을 분석하여 정리하였고, 해당 Class에 대한 자세한 구성내용은 Table 2와 같다.

Part B는 다양한 공간인덱싱 기법 가운데 본 연구의 특성에 가장 적합한 OcTree 기법을 활용하여 IFC 객체를 탐색하고 가시화하는 부분이다. 4.1에서 언급한 바와 같이 Local 좌표에서 World 좌표로 변환시킨 후, 사용자

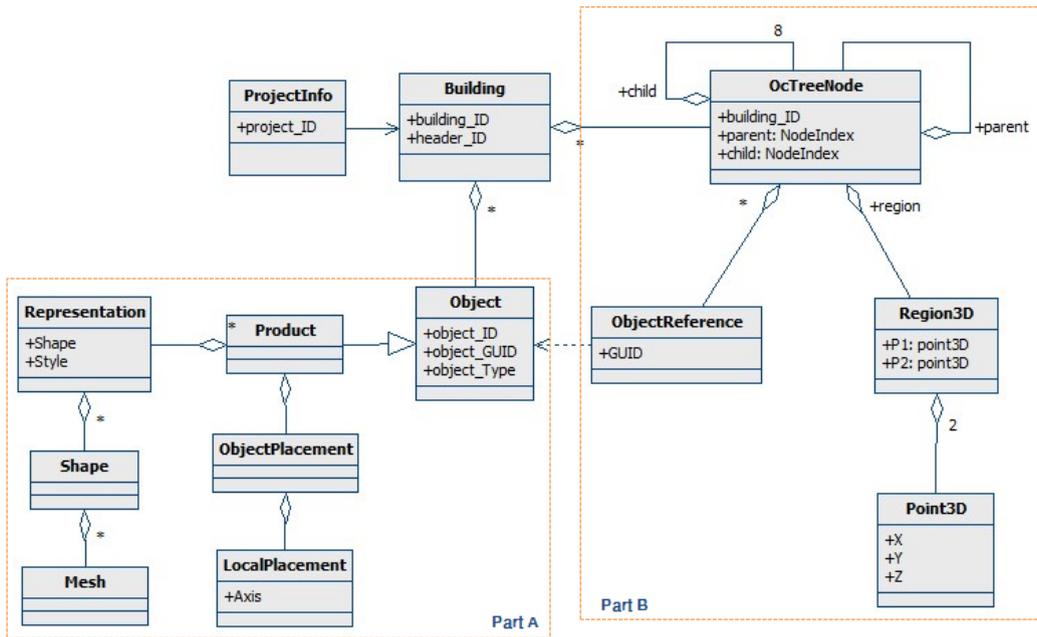
의 가시화 범위에 따라 OcTreeNode를 통해 공간분할을 진행하면서 Region 내 객체의 변환된 World 좌표를 바탕으로 객체를 탐색할 수 있다. 이때 IFC 데이터와의 매핑은 객체의 유니크한 GUID를 활용하였다. Part B의 해당 Class에 대한 자세한 구성내용은 Table 3과 같다.

[Table 2] Description of UML Class based on IFC

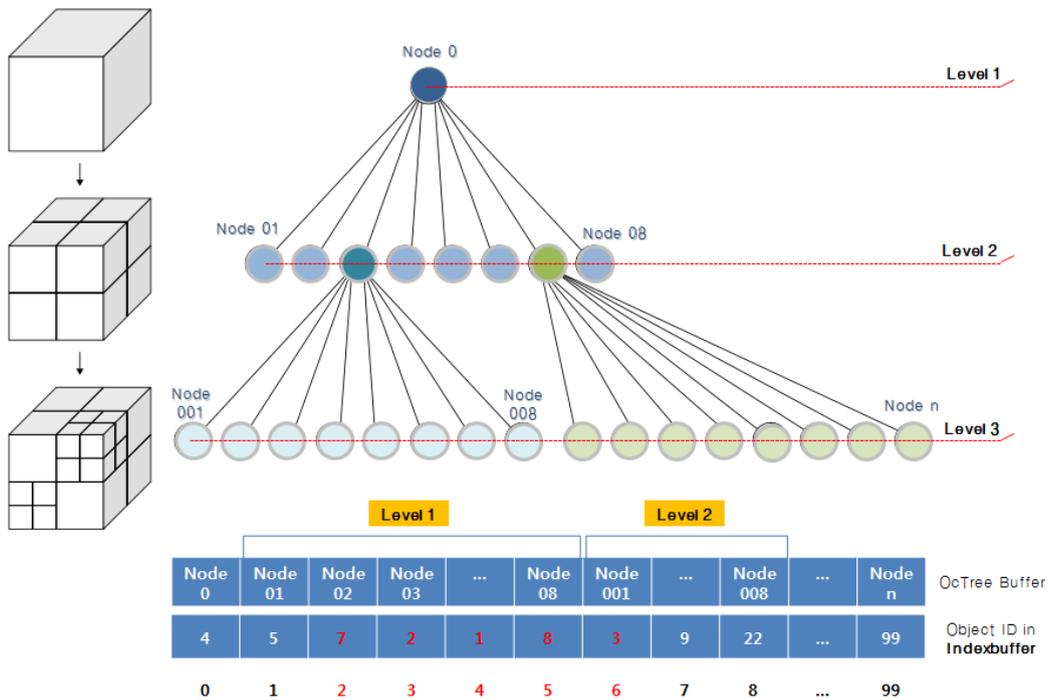
| Class | Member | Description |
|------------------|-------------|---|
| ProjectInfo | project_ID | Project information including the building |
| Building | building_ID | Building own ID by modeler |
| | header_ID | Header own ID by modeler |
| Object | object_ID | Object own ID by modeler |
| | object_GUID | Object own GUID assigned automatically in project |
| | object_Type | Object type by modeler |
| Product | - | Low level of object generally in IFC |
| Object Placement | - | Object placement with local coordinate for relating with GIS data |
| Representation | shape | Representation of object with shape and style |
| | style | |
| Shape | - | Shape of object |
| Mesh | - | Shape type for visualization |

[Table 3] Description of UML Class based on OcTree

| Class | Member | Description |
|------------------|-------------------|--|
| OcTreeNode | building_ID | Building own ID by modeler for mapping |
| | parent: NodeIndex | Parent node for spatial indexing |
| | child: NodeIndex | Child node for spatial indexing |
| Object Reference | GUID | Relationship point between object and OcTreeNode |
| Region3D | P1: point3D | Point 1 of Spatial Indexing Area |
| | P2: point3D | Point 1 of Spatial Indexing Area |
| Point3D | X | X axis for 3D |
| | Y | Y axis for 3D |
| | Z | Z axis for 3D |



[Fig. 5] Spatial Indexing Algorithm Architecture

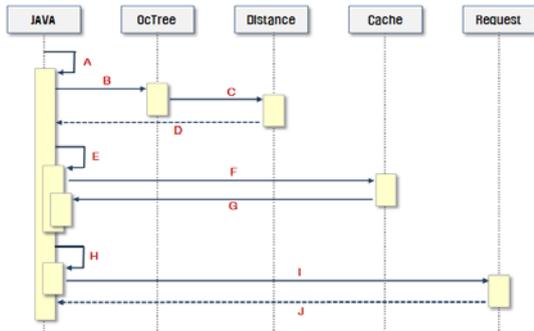


[Fig. 6] Spatial Indexing Structure of Large-scale BIM Data Model based on Octree

5. OcTree 기반 공간인덱싱 알고리즘 설계

본 연구는 시설물 내부 객체에 대한 공간검색을 수행하기 위해서 대용량 BIM 건물데이터의 공간인덱싱 정보에 OcTree 기반의 공간분할 기법을 적용하여 4장에서 제시한 알고리즘을 구현하였다. Fig. 6은 대용량 BIM 시설물 데이터가 포함하는 임의의 객체를 OcTree 기반의 공간검색을 통해 추출하는 방법을 설명한다.

우선 가시화 범위에 따라 BIM(IFC) 데이터를 둘러싸는 바운딩 박스를 정의하고, 이를 X, Y, Z 세 축을 기반으로 동시에 분할한다. 분할과정은 기본 OcTree 구조를 참고하여[10] 재귀적으로 수행되며, 분할 종료 조건은 최대 3단계, 즉 분할된 박스의 개수가 512개가 될 때까지 설정한다. 분할과정이 종료되면 박스 안에 들어 있는 기하 요소들을 하나로 묶고, 각 객체의 인덱스 값을 OcTree 기반 인덱스 버퍼에 저장한다. Fig. 7은 공간인덱싱 시퀀스를 작성한 내용으로, 각 Step별 의사코드는 다음과 같다. 본 알고리즘은 향후 GIS와의 확장연계성을 고려하여 WorldWindJava로 구현하며 웹상에서 BIM 데이터를 가시화하도록 설정하였다.



[Fig. 7] Sequence of Spatial Indexing

- A : Check Frustum()
- B : Get Spatial Index()
- C : Get Level of Detail()
- D : Return Spatial Index_Level of Detail
- E : Check Cache()
- F : Get Object Data()
- G : Return Object Data
- H : Make Request URI()
- I : HTTP Connection to Query data & Send Request()
- J : Return HTTP Response & Send

해당 시설물을 3차원으로 가시화하여 접근할 경우, 사용자의 시점이 고려된 시야에 포함된 박스의 노드들을 검색한 후, 박스에 포함된 객체들만 우선적으로 렌더링함으로써 대용량 데이터를 효과적으로 가시화할 수 있다.

6. OcTree 기반 공간인덱싱 알고리즘 적용 결과

본 연구에서 언급하는 GIS 기반 플랫폼 상 BIM 데이터의 가시화는 BIM 데이터의 용량크기에 주로 기반하고, 그 외 사용자의 하드웨어 사양, BIM/GIS 플랫폼 환경, 네트워크 환경 등에 따라 상황별 영향을 받는다. 대용량 BIM 데이터의 효과적 가시화 여부는 5장에서 언급한 시설물의 공간인덱싱 시퀀스를 적용하여 1) 사용자가 원하는 가시화 범위 요청 시 객체가 플랫폼 상에 렌더링되어 화면에 가시화될 때까지 걸리는 절대적/상대적 시간과 2) 렌더링된 데이터 프레임을 연속적으로 제공하여 이질감 없이 화면에 가시화하는 것이다.

OcTree 기반의 구조화 알고리즘 검증을 위해 주로 활용된 IFC 샘플 데이터는 Fig. 8과 같고, 데이터의 해당 정보는 Table 4와 같다.

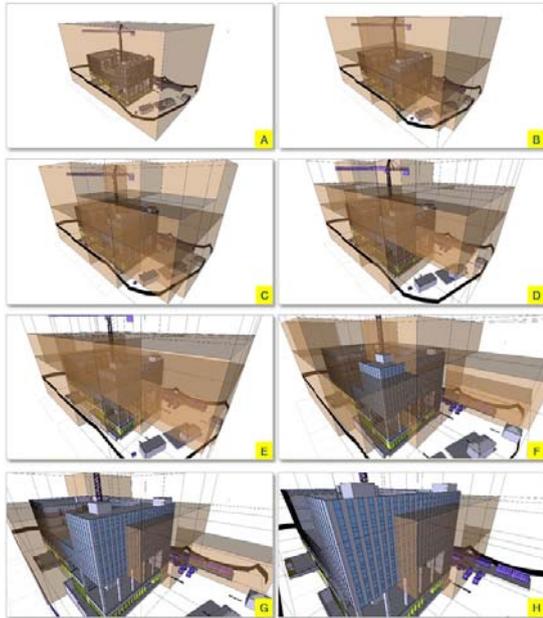


[Fig. 8] IFC Sample Data for Algorithm Test

[Table 4] Information of Sample Model

| | Contents |
|----------------|--|
| Building Use | University / Education |
| Floors | 1 st basement - 5 th floor |
| Volume | 4143.9m ³ |
| Object Number | 1268 Objects |
| Space Count | 63 Spaces |
| Space Volume | 6458.94m ³ |
| Triangle (TIN) | 30017 Triangles |

우선 공간인덱싱 알고리즘의 OcTree 구조 생성여부 확인을 위하여, IFC 샘플 데이터를 바탕으로 건물을 통과하는 경로를 설정하였다. 건물 외부에서부터 거리 단위로 총 8단계를 진행하였고, Fig. 9는 각 단계별 수행 결과를 나타낸다. 가장 멀리 떨어진 외부에서의 건물 가시화 경우 건물이 전체를 포함하는 하나의 갈색 바운딩 박스 안에 표현되었고, 점점 건물에 근접하면서 화면 내 표현되는 건물 객체위치에 따라 하위단계 박스들로 분할 및 표현되면서 OcTree 구조가 적용된 결과를 확인하였다.



[Fig. 9] Spatial Partitioning Test of BIM(IFC) Data based on OcTree

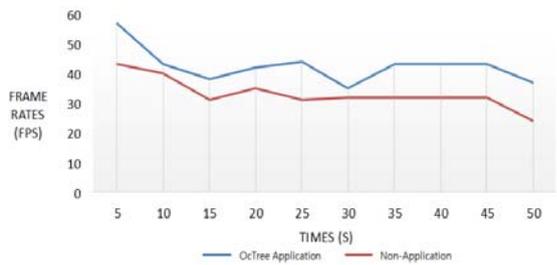
다음은 본 테스트에서 활용된 단일 샘플 데이터를 포함하여, BIM/GIS 상호운용 플랫폼 상에 등록된 5개의 추가 샘플 IFC 데이터와 항공사진으로부터 획득한 128개의 3차원 건물 객체를 가시화하여 분석을 수행하였다. 사용자 시점이 해당 경로를 통과하면서 OcTree 기반 공간인덱싱 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대하여 5초 간격으로 프레임 속도(fps)를 측정하였다. 실험에 사용된 컴퓨터의 하드웨어 사양은 Table 5와 같다.

일반적으로 렌더링 속도는 초당 프레임 수(frames per second: fps) 또는 헤르츠(Hz) 단위로 측정된다. Moller(2002)의 연구결과에 따르면, 초당 1 프레임 정도의 속도에서는 상호작용감을 느끼기 어렵고, 사용자는

새로운 이미지가 만들어질 때까지 지루하게 기다려야 한다[11]. 사용자는 초당 약 6 프레임 정도부터 화면에 대한 상호작용감이 서서히 느껴지기 시작한다. 초당 15 프레임을 표시한다면 확실히 실시간 응용프로그램이라고 할 수 있으며, 이는 사용자가 가시화 화면에 대한 행동과 반응에 몰입할 수 있는 환경을 구성한다.

[Table 5] Specification for Equipments

| | Specification |
|------------------|--------------------------------------|
| CPU | Intel(R) Core(TM) i5 CPU 760 2.80Ghz |
| Memory (RAM) | 8.0 GB |
| Graphic card | NVIDIA GeForce GTS 450 |
| Operation System | Microsoft Windows 7 |



[Fig. 10] Comparison on Frame Rates of Spatial Partitioning Method Application for OcTree-based BIM Data

Fig. 10은 샘플 데이터에 OcTree 기반의 공간인덱싱 알고리즘을 적용한 경우가 적용하지 않은 경우를 프레임 속도의 향상된 결과로 비교와 비교한 그래프이다. IFC 데이터의 OcTree 기반 공간인덱싱 기법을 적용한 경우의 초당 프레임 수가 아닌 경우보다 3 프레임에서 최고 14 프레임까지 초당 프레임 수가 더 많았으며 이는 사용자에게 데이터를 가시화하는 속도를 단축시켜 접근성을 향상시킬 수 있었다.

그러나 상기의 테스트는 단일 시설물 하나에 국한된 케이스로, 플랫폼의 특성상 사용자의 건물 혹은 시설물 외에 주변에 구축되어 있는 타 BIM 데이터를 고려했을 때 방대한 양에 의해 발생하는 불완전성은 향후 필수로 개선되어야 할 것이다. 또한 시설물이란 거대한 구조물의 효율적인 실내외 내비게이션을 위해 거리 기반의 LOD(Level of Detail)를 정의하고 이에 따른 적절한 활용

시나리오가 수립되어야 한다. 보다 객관적인 검증결과 확보를 위해서 품질을 확보한 다수의 BIM 데이터를 대상으로 알고리즘 적용 및 테스트를 추가 진행할 계획이다.

7. 결 론

본 연구는 GIS 기반 BIM 시설물 데이터의 효과적인 가시화를 위한 공간인덱싱 기법을 제안하였다. 우선적으로 BIM과 GIS 연계 및 공간인덱싱 관련 연구동향을 조사·분석한 후 시사점을 도출하였다. 이를 바탕으로 BIM 데이터 구조의 간략화 및 좌표변환 시나리오를 설정하여 공간인덱싱 알고리즘을 디자인하고, 구현된 알고리즘을 IFC 샘플 데이터에 적용하여 결과를 분석하였다.

본 연구에서 개발한 공간인덱싱 기법은 건물의 바운딩 볼륨을 OcTree 기반의 공간분할 자료구조로 재구성하고, 건물에 가까이 근접 시 시야 공간에 포함된 객체만을 OcTree 기반으로 검색하여 렌더링함으로써 사용자가 화면을 통해 느끼는 속도감을 향상시켰다. 용량의 경우, 복잡한 IFC 구조를 간략화하여 일부 데이터 크기를 감소시켰고, 이는 향후 본 연구의 알고리즘과 연계하여, LOD 기반 대용량 BIM 데이터의 경량화 기법을 연구하고 발전시키고자 한다.

References

[1] J. R. Hwang, H. Y. Kang, C. H. Hong, "A Study on the Platform Design for Efficient Interoperability of BIM and GIS", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 20, No.6, pp.99-10, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9708/jksoci.2012.17.8.099>

[2] E. D. Kim, I. D. Go, "Constructing 3-D GIS Campus Model with Detailed Building Information", *Journal of Urban Design Institute of Korea*, Vol. 12, No. 3, pp.15-26, June, 2011.

[3] R. de Laat, L. van Berlo, "Integration of BIM and GIS : The Development of the CityGML GeoBIM Extension", *Proc. of 3D Geo-Information Sciences*, pp.211-225, 2011.

[4] T. W. Kang, C. H. Hong, J. R. Hwang, H. S. Choi, "The External BIM Reference Model Suggestion for Interoperability Between BIM and GIS", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 20, No. 5, pp.91-98, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12672/ksis.2012.20.5.091>

[5] Y. M. Kim, A Greed space partitioning method using leaf nodes of QuadTree on MMORPG, Master Thesis, Chungnam University, 2004.

[6] S. H. Han, "Design of Memory-Efficient Octree to Query Large 3D Point Cloud", *Journal of Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 31, No. 1, pp.41-48, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2013.31.1.41>

[7] D. W. Lee, H. K. Kang, K. Y. Lee, K. J. Han, "DGR-Tree : An Efficient Index Structure for POI Search in Ubiquitous Location Based Services", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 11, No. 3, pp.55-62, 2009.

[8] C. O. Ga, H. S. Woo, K. Y. Yu, "Study on the Method to Create a Pedestrian Path Using Space Decomposition based on Quadtree", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 18, No. 4, pp.89-98, 2010.

[9] M. Pharr, GPU gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General Purpose Computation, Addison-Wesley, 2005.

[10] White Timberwolf, Schematic drawing of an OcTree, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OcTree2.svg>, March, 2010.

[11] A. Moller, Real-Time Rendering, 2nd edition, AK Peters, 2002.

김 지 은(Ji-Eun Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 경희대학교 건축공학과(공학사)
- 2012년 8월 : 경희대학교 건축학과(공학석사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 연구원

<관심분야>
BIM, GIS, 유지관리

강 태 욱(Tae-Wook Kang)

[정회원]



- 2005년 2월 : 송실대학교 소프트웨어공학(공학석사)
- 2009년 3월 : 중앙대학교 건설환경공학(공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 5월 : 중앙대 건설환경공학과 겸임교수
- 2011년 6월 ~ 2012년 6월 : 한길아이티 BIM본부장
- 2012년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

CAD, CAM, BIM, GIS, Computer Graphics, SW공학

홍 창 희(Chang-Hee Hong)

[정회원]



- 1999년 8월 : 인하대학교 지리정보공학(공학석사)
- 2006년 8월 : 서울대학교 환경조경학(박사수료)
- 1999년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원

<관심분야>

GIS, BIM, SW공학, 유지관리