

Utilizing a Model Registry to Secure Interoperability Among Urban Domain Information Models

Won Wook Choi[†] · Sang Ki Hong^{†*}

ABSTRACT

This study proposes the utilization of a model registry to secure interoperability among urban domain information models. It reviews urban information and data sharing along with related standards and standardization activities. By analyzing registry use cases in the context of Spatial Data Infrastructure (SDI), it presents the concept of a model registry for facilitating information sharing and exchange among urban domain information models. An use case linking urban domain information models using the model registry is developed with a prerequisite of seamless implementation of smart city services. The paper discusses technical requirements and outlines technology implementation and validation through prototype development, highlighting them as future research tasks.

Keywords : Model Registry, Information Model Sharing, Geospatial Information Standard, Interoperability, Use Case Development

도메인 정보 모델 간의 상호운용성 확보를 위한 모델 레지스트리 활용방안

최 원 옥[†] · 홍 상 기^{†*}

요 약

이 연구는 도시 도메인 정보 모델 간의 상호운용성을 확보하기 위해 모델 레지스트리 활용을 제안하였다. 또한, 도시 정보와 데이터 공유, 관련된 표준 및 표준화 활동을 검토하고, 공간 데이터 인프라(SDI)에서의 레지스트리 사례를 분석하여 도시 도메인 정보 모델 간의 정보 공유와 교환을 위한 모델 레지스트리 개념을 제안하였다. 제안된 개념을 구체화하기 위해 끊임 없는 스마트시티 서비스 구현을 전제로 모델 레지스트리를 활용하여 도시 도메인 정보 모델을 연계하는 유스케이스를 개발하였다. 이를 기반으로 기술적 요구사항을 논의하고 프로토타입 개발을 통한 기술 구현과 실증을 향후 연구과제로 제시하였다.

키워드 : 모델 레지스트리, 정보 모델 공유, 공간정보표준, 상호운용성, 유스케이스 개발

1. 서 론

ISO 19101-1:2014[1]에 따르면 정보 모델은 현실 세계의 대상을 인간이 이해할 수 있는 정보구조로 표현한다. 이 모델은 개체 유형과 관계를 활용하여 현실 세계의 대상과 범위를 정의하고, 표준화된 모델을 통해 개념, 속성, 관계, 제약조건, 데이터 의미와 구조를 명시한다. 정보 모델의 원활한 공유는 추상화된 개별 도메인 정보 모델의 이해를 돕고, 도메인 지식

을 체계화하며, 데이터 품질과 일관성 유지를 통해 도메인 정보 모델 간의 상호운용성을 촉진한다.

도시 공간정보는 도시의 지형, 건물, 도로, 하천 등 다양한 도메인 정보 모델들이 상호 연결된 집합체이다[2]. 도메인 정보 모델들이 연합하여 상호운용이 확보된 시스템이 구현되면, 복합적인 요인으로 발생하는 도시 문제들의 이해와 관련 현상의 모사, 관제, 모의, 연합을 통해 도시 문제를 개선할 기회가 열린다. 도시 도메인 정보 모델들 간의 연합을 실현하기 위해선 도메인 전문가들이 가진 지식의 원활한 공유 및 교환과 도메인 시스템 간의 연계와 연합이 요구된다. 이 제반 과정에서 사용되는 정보는 표준화된 정보 모델, 데이터 모델, 서비스 인터페이스 표준 등의 형태로 표현된다.

도메인 정보 모델을 효과적으로 관리하고 연결성을 확보하

※ 이 논문은 국토교통부 재정 지원을 받는 한국인프라기술진흥원(KAIA)의 지원을 통해 진행되었음(Grant: RS-2020-KA158608).

† 정 회 원 : 안양대학교 스마트도시공간연구소 책임연구원

†† 비 회 원 : 안양대학교 도시정보공학과 교수

Manuscript Received : December 11, 2023

Accepted : December 21, 2023

* Corresponding Author : Sang Ki Hong(skhong@anyang.ac.kr)

는 도구로서 모델 레지스트리를 활용할 수 있다. 모델 레지스트리는 소프트웨어 개발, 데이터 관리, 표준화된 도메인 정보 모델 공유와 활용을 지원하며, 버전 관리, 문서화, 검색 및 공유를 통해 모델의 일관성과 효율성을 도메인 조직 내·외부에서 유지하고, 모델 재사용성과 상호운용성 확보에 기여한다[3].

공간정보 분야에서 모델 레지스트리는 지형지물을 표현하는 도메인 정보 모델을 표준화하고 관련 정보를 신속하고 일관되게 제공하기 위한 중앙화된 시스템과 이를 지원하는 서비스로 정의할 수 있다. 또한, 도메인 정보 모델의 개념을 이해하기 위한 도메인 표준용어, 데이터 스키마, 좌표 참조체계 등 관련 메타정보에 대한 등록, 버전 관리, 검색, 공유기능을 제공하여 공간정보 인프라(SDI)의 상호운용을 구현하는 도구로 활용되고 있다[4].

그동안 도시 공간정보의 정보 모델은 응용 도메인별로 각각의 목적과 요구사항에 따라 사일로(Silo) 중심의 구축, 개발, 관리, 운영이 이루어져 정보 모델 간의 상호운용 이질성(heterogeneous)을 내재하고 있다. 이 이질성은 동일 도메인과 서로 다른 도메인, 더 나아가 상위 계층의 연합체 간의 상호운용을 저해하는 주요 요인이 되고 있으며, 데이터 연계와 통합을 어렵게 만든다.

본 연구는 도시 도메인 정보 모델의 통합적 관리와 상호운용성을 구현하기 위한 새로운 접근 방식으로 모델 레지스트리 활용방안을 제안한다. 도시의 서로 다른 도메인 정보 모델들이 연계된 끊김 없는 스마트시티 서비스를 구현하기 위해선 도시의 지형, 건물, 도로, 하천, 지하시설물 등 각각의 도메인 정보 모델들 간의 연합을 구성하기 위한 거버넌스 체계 확립이 요구된다. 이를 위하여 개별 도메인 전문가들은 모델 레지스트리를 활용하여 상호 간에 정보 모델을 서로 이해하고 비교하며, 공통분모를 찾고, 다양한 도메인 정보 모델들 간의 관계를 표준화하고 관리함으로써 도시 공간정보의 상호운용을 점진적으로 개선할 수 있다. 개별 도시 도메인 정보 모델의 메타데이터에

대한 이해와 통합 및 관리를 체계화하는 것은 스마트시티의 다양한 서비스를 연계하는 구현기반을 제공할 수 있다.

본 연구에서는 도시 도메인 정보 모델 간의 상호운용성을 확보하기 위해 모델 레지스트리 적용 방안을 제시하였다. 이를 위하여 Fig. 1과 같이 선행연구를 검토하고 모델 레지스트리 관련 유스케이스를 분석하여 이를 토대로 개념적 구성요소와 기능 및 역할 등을 제시하였다. 또한, 모델 레지스트리를 기반으로 개별 도메인 정보 모델이 연계되어 시스템 또는 서비스 간의 상호운용을 구현하는 유스케이스를 제안하였다. 마지막으로, 모델 레지스트리를 적용하는 데 필요한 기술적 요구사항을 논의하고 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 선행연구 검토

도시 도메인 정보 모델의 교환 및 공유와 관련된 상호운용성 문제는 스마트시티와 관련된 표준 개발 기구에서 공통으로 다루는 주요 이슈이다. 이 표준들은 Table 1과 같이 공간정보의 정보교환과 공유 내용을 공통으로 포함하고 있다.

Table 1. Relevant Standards and Activities for Geospatial Data Exchange and Sharing Among City Domains

SDOs' Working Group	Relevant Standards and Contents
Open & Agile Smart Cities(OASC)	10 MIMs' framework [5] <ul style="list-style-type: none"> • MIM1 - Context - Context Information Management • MIM2 - Data Modules - Shared Data Models • MIM7 - Places - Geospatial Information Management
ISO/IEC JTC 1/WG 11 Smart Cities	Information technology - Smart City ICT reference framework - Part 3: Smart city engineering framework (ISO/IEC 30145-3:2020) [6] <ul style="list-style-type: none"> • 4.7 Positioning system • 4.11 Data and services supporting layer • 4.11.2 Data integration
ISO TC/268 SC1 WG4 Data exchange and sharing for smart community infrastructures	Smart community infrastructures - Guidelines on data exchange and sharing for smart community infrastructures(ISO 37156:2020) [7] <ul style="list-style-type: none"> • a. The community infrastructure data should be available to be exchanged and shared. • f. The data should use spatial methods to achieve the positioning and control of urban infrastructure objects. • h. A systematic approach to the exchange and sharing of data should be taken.
ISO/IEC JTC 1/SC 32 Data management and interchange	Information technology - Metamodel framework for interoperability(MFI) <ul style="list-style-type: none"> • Part 1: Framework (ISO/IEC 19763-1)[3] • Part 3: Metamodel for ontology registration (ISO/IEC 19763-3)[8] • Part 6: Registry Summary (ISO/IEC 19763-6)[9]
ETSI	NGSI-LD API: for Context Information Management(ETSI GS CIM 009 V1.2.2) [10] <ul style="list-style-type: none"> • 4.2.2 NGSI-LD Meta Model • 4.2.3 Cross Domain Ontology: Geo Properties: Geometry Values • 4.3 NGSI-LD Architectural considerations

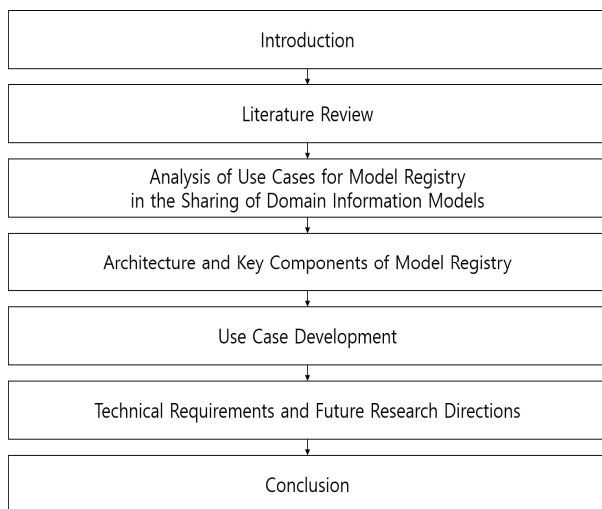


Fig. 1. Research Flow

특히, Open & Agile Smart Cities(OASC)[5]의 10개 MIMs (Minimal Interoperability Mechanisms) 중에서 MIM7은 공간정보의 관리를 나타내며 공간정보를 기반으로 데이터 모델 간의 조화를 위해 데이터 공유 모델을 나타내는 MIM2와의 연계를 강조하고 있다. 또한, 데이터 모델과 관련된 맥락정보 관리와 교환을 뜻하는 MIM1을 정의하고 ETSI[10]에서 제시한 NGSI-LD API의 적용을 제시한다. 이를 통해 스마트시티 분야에서 공간정보가 다양한 도메인 데이터와의 연계와 조화에 있어서 중요한 매개 수단으로 인식되고 있음을 확인하였다.

레지스터는 항목의 설명과 그에 부여된 식별자를 포함하는 등록물의 집합이며, 레지스트리는 이러한 등록물을 관리하는 정보 시스템으로 정의한다[11]. Tóth et al.[4]는 레지스터와 레지스트리를 SDI의 상호운용을 구현하는 주요한 도구 중 하나로 제시한다. 이 연구에서는 SDI 관점에서 8가지 레지스터 활용 유형을 제시하고 있으며, 이를 기준으로 선행연구의 유스케이스를 Table 2와 같이 정리하였다.

INSPIRE[12] 연구는 다양한 유스케이스를 기준으로 레지스터와 레지스트리 활용방안을 제시하고 있다. 통합 모델 저장소 관련 유스케이스는 다양한 레지스트리 간의 상호운용성 구현을 위해 데이터 모델을 공개하여 프로젝트 데이터 모델 재사용을 통한 비용 절감을 강조하였다. 또한, 중앙 모델 레지스트리가 모델의 복잡한 상호 의존성을 관리하면서 상호운용성을 확보하는 방안을 제시하고 있다. 예를들어, 유럽 위원회는 INSPIRE의 주제도와 관련 코드 목록이 저장된 공통 레지스트리를 관리하기 위하여 중앙 레지스트리를 운영하고 있다. EU 회원국이 코드 목록을 확장할 경우, 해당 회원국이 속한 지역 레지스터에 확장된 값을 등록해야 하며, 등록된 결과는 계층적 구조를 통해 상위의 중앙 레지스트리에 반영된다. 계층적으로 연결된 레지스트리 구조는 INSPIRE 관련 참조 코드와 통제 어휘를 관리하는 레지스트리 시스템 간의 검색과 탐색을 지원

한다. 이는 레지스터 연합을 통해 다른 국가에서 이미 존재하는 유사한 레지스터를 찾아 정보의 재사용을 유도한다. 또한, 신속한 정보의 계층적 수렴을 통해 레지스터 연합과 거버넌스를 지원한다. 이를 위한 활용사례로 Register of Registers (RoR) 개념을 적용하여 유럽국가 간의 주제도 코드 목록을 계층적으로 등록-관리-공유하는 방안을 제시하고 있다. 또한, 코드 목록 레지스터 유형의 활용사례에서는 코드 목록의 표준화와 상호운용의 중요성을 강조하였다. 네임스페이스 레지스터 유형 측면에서는 레지스터와 레지스터 항목에 대한 식별자로 HTTP(S) URI 사용을 권장한다. 인코딩 스키마 레지스터 유형의 활용사례에선 다양한 형식의 레지스터 제공의 중요성을 강조하며, 파일 확장을 통한 다양한 형식의 레지스터 제공 방안을 제안한다. 지형지물 개념 사전을 레지스트리를 기반으로 공유하여 시스템 간의 일관된 시멘틱 상호운용성을 구현하는 활용사례를 제시한다.

좌표 참조 시스템 레지스터 관련된 대표적인 활용사례로 ISO/TC 211/AG 2[13]가 있다. ISO TC 211과 유럽 석유 조사 그룹(EPG)은 좌표 참조 시스템(CRS) 및 좌표 변환을 정의하기 위한 ISO Geodetic Registry를 유지 관리하고 있다. 이 레지스트리는 다양한 응용 프로그램에서 사용되는 측지 매개 변수를 저장하고 액세스 할 수 있는 DB를 제공한다.

Marc Urvois et al.[14]는 유럽 연합의 지질 정보 서비스를 개선하기 위한 통합 코드 목록의 레지스트리 구현 및 갱신 유지 관리 체계화를 제시하고 있다. 이 레지스트리는 다른 지질학 관련 프로젝트에서 사용할 수 있도록 확장 활용을 쉽게 하고, 이를 위해 지질 데이터는 Linked Data 방식으로 제공되고, Borehole Conceptual Model을 활용하여 의미적 일관성을 유지한다.

Erik Stubkjær et al.[15]는 ISO LADM와 OGC LandInfra 표준은 토지 행정을 위하여 동일한 대상에 서로 다른 코드 목록을 사용하는 문제를 해결하기 위해 Cadastre and Land Administration Thesaurus (CaLAtHe) 구축과 관련된 프레임워크를 제시하였다. OGC는 코드 목록을 트리플 스토어에 등록하여 단일 포털을 통한 중앙 액세스를 가능하게 하여 통일된 국제 코드 목록 관리를 위한 체계구현을 제시한다.

Box et al.[16]은 용어사전의 중앙화와 표준화를 통해 데이터 발견 및 시멘틱 상호운용성을 확보하는 방안에 대해 논의하고 있다.

선행연구에서 살펴본 바와 같이 공간정보 분야에서 레지스트리는 SDI의 상호운용 구현을 위한 도구로 활발히 활용되고 있다. 이러한 활용사례들을 살펴볼 때, 레지스트리와 상호 연결된 레지스트리 네트워크는 도시 공간정보의 도메인 정보 모델 간의 메타정보 검색과 공유를 촉진하는데 활용할 수 있다. 즉, 도시 공간정보의 정보 모델에 식별자를 할당하여 그 항목의 정의와 설명, 관련 기술 표준과 참조 정보를 사용자에게 선별적으로 제공할 수 있다.

스마트시티 서비스 간의 상호 운용성을 보장하기 위해서는

Table 2. Reviewed Sources by Register Type

Register Type	Use Cases of Registers and Registries
Consolidated Model Repository	• INSPIRE: Best Practice 1[12]
Coordinate Reference System Register	• ISO/TC 211/AG 2[13]
Feature Catalogue Register	• INSPIRE: Best Practice 4[12]
Namespaces Register	• INSPIRE: Best Practice 2[12]
Encoding Schema Register	• INSPIRE: Best Practice 7[[12]
Code List Register	• Marc Urvois et al.[14] • Stubkjær et al.[15]
Feature Concept Dictionary	• INSPIRE: Best Practice 5 and 6[12]
Glossary	• Box et al.[16]

스마트시티의 다양한 도메인 데이터 모델이 어떻게 연결되고 통합될 수 있는지에 대한 고려가 중요하다. 이를 위하여 레지스트리의 계층적 구조를 활용하여 주제도 코드 목록 등을 신속하게 등록 및 연계하고, 지역, 국가, 국제적 수준에서 체계적이며 계층적인 연결을 통해 정보 모델 간의 연합을 가능하게 하는 모델 레지스트리 활용을 모색해 볼 수 있다. 다수의 도메인 서비스들이 상호 연계된 스마트시티 시스템에서 정보 모델 간의 상호운용을 달성하기 위한 모델 레지스트리 활용은 그동안 사실로 중심으로 구축되어온 정보 모델 간의 상호운용 이질성을 극복하고 점진적 개선을 위한 방안을 모색해 볼 수 있다.

3. 유스케이스 제안

3.1 도메인 모델 레지스트리의 기본 개념

도메인 모델 레지스트리는 다양한 산업별로 개발된 이기종 네트워크 시스템의 메타데이터와 레지스트리 표준들이 서로 호환되지 않아 정보 공유가 어려운 문제를 해결하기 위해 제시되었다. 산업별 데이터의 상호운용성을 위해서는 두 시스템 간의 데이터베이스 구조 매핑이 필요하며, 이는 정보 모델을 이해하고 비교하는 과정이 선행되어야 한다. 모델 공유는 소프트웨어 개발에서 정보 요구사항을 명세하는데 필수적으로 요구되는 사항이다. 이러한 맥락에서 산업별 도메인 모델을

레지스트리에 등록하고 공유하는 인프라 구축은 다양한 산업과 도메인 간 상호운용성 촉진에 기여할 수 있다.

ISO/IEC 19763-1:2015[3]는 상호운용성을 위한 메타모델 프레임워크(MFI)를 제시한다. MFI는 사용자가 시스템의 고유한 특성을 알 필요 없이 기능적 단위 간 통신이나 데이터 전송을 수행할 수 있게 하는 등록 가능한 다양한 유형의 모델들을 위한 사양을 제공한다. 이 모델들은 시스템 요구사항과 사양을 나타내는 데 사용되며, 상호운용성을 달성하기 위한 정보교환과 서비스 공유를 위해 필요하다. 또한, MFI는 모델과 프로세스에 대한 정보를 등록할 수 있는 메타모델 형태의 사양을 포함하는 모델 레지스트리를 제공함으로써, 모델과 그 사이의 매핑이 등록되고 발견될 수 있도록 지원한다.

3.2 도시 도메인 정보 모델 레지스트리의 적용

도시 도메인 정보 모델들은 특정 도메인에 특화된 메타데이터 레지스트리와 모델 레지스트리를 사용한다. 이러한 레지스트리들은 종종 고유한 도메인 표준을 준수하여 서로 호환되지 않는 경우가 많다. 결과적으로 특정 도메인 내의 사용자는 다른 도메인의 레지스트리에 접근하려고 할 때 어려움을 갖는다. 또한, 서로 다른 도메인 시스템 간의 상호 연계를 위해서는 두 시스템의 DB 구조를 매핑하고 이해하는 과정이 요구된다. 이 매핑 작업을 수행할 때 정보 모델과 프로세스 모델에 대한 이해가 필요하며, 모델 레지스트리는 Fig. 2와 같이 그

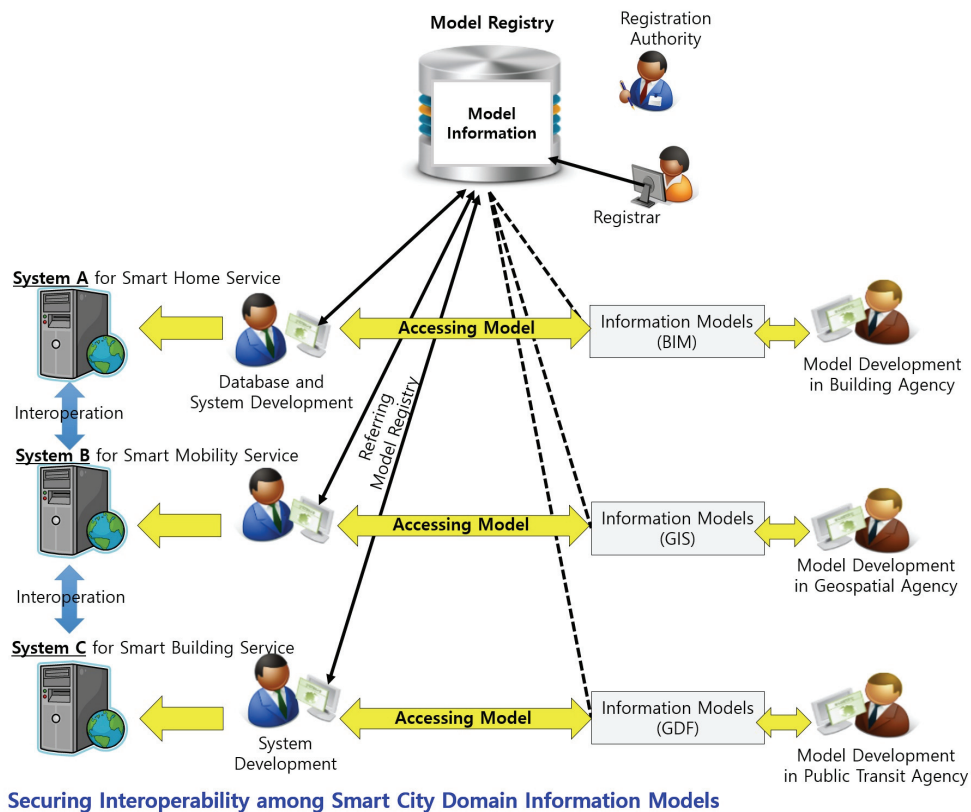


Fig. 2. Basic Concept of Model Sharing Through a Model Registry Across City Domains

이해에 도움이 되는 정보를 데이터 또는 시스템 개발자에게 제공한다. 이러한 접근 방식은 특정 도메인에 대한 이해가 부족한 사용자가 적절한 도메인 정보 모델을 검색하고 원하는 정보를 찾는 프로세스를 간소화한다. 이는 도메인 간의 상호운용성을 증진하고 개별 도메인 정보 모델의 이질성 문제를 극복하는 데 기여한다.

도시 정보 모델 간의 시맨틱 상호운용성을 실현하기 위해서는 도메인 용어 레지스트리를 활용할 수 있다. 예를 들어, 공간정보, 건설 및 교통 분야에서 사용되는 정보 모델을 이해하기 위해 GIS(Geographic Information System), BIM (Building Information Model), GDF(Geographic Data File)와 관련된 표준 용어 레지스트리를 구현하고 공유함으로써, 특정 지식 도메인에 대한 연결된 개념 정의를 담은 온톨로지를 활용할 수 있다.

ISO/IEC 19763-1:2023[3]는 상호운용성을 위한 메타 모델 프레임워크(MFI)를 제시하면서 다양한 산업별 레지스트리 간의 상호운용성 구현방안을 제시하고 있다. MFI는 메타 모델을 사용하여 RS(Registry Summary)를 생성한다. RS는 레지스트리에 관한 중요 정보를 담고 있으며, 레지스트리의 내용과 기술적 액세스 세부 정보를 포함한다. 각 도메인 레지스트리는 RS를 첨부하여 공개 및 공유한다. 이러한 접근 방식을 통해 스마트시티 도메인 서비스인 스마트 홈, 스마트 모빌리티, 스마트 빌딩의 끊김 없는 구현을 위해 필요한 RS를 선별 취합하여 맞춤형 레지스트리인 RoR (Registry of Registries)를 구축 및 관리함으로써 도메인 정보 모델 간의 정보 공유와 상호운용을 구현할 수 있다[9].

3.3 유스케이스 제안

유스케이스는 스마트시티의 끊김 없는 도메인 서비스의 요구사항을 식별하기 위한 목적으로 개발되었다. 실외 서비스를 위한 GIS, 교통 서비스를 위한 GDF, 실내 건물 서비스를 위한 BIM과 같은 다양한 공간 도메인 모델 간의 원활한 상호 연결을 위한 레지스터와 레지스트리의 활용을 Fig. 3과 같이 제시하였다. 도메인 모델 레지스트리의 구조는 INSPIRE[12]에서 제시하는 계층화된 레지스터와 레지스트리 개념을 고려하였다. 스마트홈 서비스, 스마트 모빌리티 서비스, 스마트 빌딩 서비스 간의 끊김 없는 연계를 위해선 시스템과 서비스 간의 상호운용성을 구현해야 한다. 서비스 개발자는 도메인 데이터 모델과 시스템 설계, 구축, 운영 및 개선을 위해 최신의 BIM, GIS, GDF 정보 모델에 대한 이해가 필요하며, 이에 대한 메타 정보를 탐색/검색하기 위해 도메인 모델 레지스트리가 연합된 인프라를 사용한다. 이 인프라는 스마트 홈의 실내 네트워크, 실외 도로 네트워크, 대중교통 시설, 스마트 오피스의 실내 네트워크 모델 간의연계에 필요한 메타정보를 제공한다. 개별 모델 레지스트리의 URI는 다음 상세정보의 접근을 지원한다. 예를 들어, BIM, GIS, GDF의 모델 레지스트리는 각각 정보 모델에 대한 항목 정의 및 설명, 관련 기술표준, 참조 정

보 등의 등록물을 저장한다. 각 모델 레지스트리와 저장된 등록물에 개별 식별자가 할당되며, 이를 기준으로 모델 레지스트리와 등록물을 설명하는 RS 메타 정보가 연결된다. 이 메타 정보는 BIM, GIS, GDF 정보 모델의 공유와 연합을 지원하는 인프라에 등록된다. 이 인프라는 메타정보의 등록, 인덱싱, 관리, 시각화 기능을 지원한다. 또한, 웹 인터페이스와 RESTful API는 탐색/검색기능을 제공하여 BIM, GIS, GDF 정보 모델에 대한 메타정보와 상세정보를 제공한다. BIM 모델 레지스트리는 저장된 등록물을 설명하는 디스크립터를 통해 방, 실내 네트워크, 건물 시설 등 실내 공간정보에 대한 메타 정보를 제공한다. GIS 모델 레지스트리는 도로 네트워크 등 실외 공간정보에 대한 메타 정보를 제공한다.

GDF 모델 레지스트리는 대중교통 노선 네트워크, 정류장, 운행 시간표 등을 포함하는 교통 공간정보에 대한 메타 정보를 제공한다. 데이터 모델러 또는 시스템 개발자들은 스마트 홈, 스마트 모빌리티, 스마트 빌딩의 끊김 없는 서비스 또는 시스템 구현을 위해 필요한 RS를 선별 취합하여 맞춤형 레지스트리인 RoR을 구축한다. RoR은 단일의 공통된 BIM, GIS, GDF 정보 모델을 참조하고, 관련 메타 정보를 주기적으로 갱신하여 도메인 시스템과 서비스 간의 상호운용성 구현을 지원한다.

4. 기술 요구사항

본 연구는 표준화된 정보 모델 및 프로세스 모델을 개발하고, 도메인 정보 모델의 상호운용성을 실현하는 메커니즘을 Fig. 4와 같이 제시하였다. 특히, 이 연구는 도시 도메인 모델 등록을 위한 MFI 메타모델과 MDR 메타데이터 레지스트리를 활용하여, 등록된 모델 정보의 일관성과 정확성을 보장하는 방법론을 제안한다. 이는 도시 도메인 정보 모델의 모델 레지스트리 구현과 효과적인 관리 및 재사용을 위한 기술 요구사항을 ISO/IEC 19763-1:2023[3]에서 제시하는 MFI의 모델 등록 메커니즘과 요구사항에 따라 Table 3과 같이 제안하였다.

MFI의 메타모델은 다양한 유형의 도시 도메인 모델을 등록하기 위한 메커니즘을 제공하여 모델 등록 프로세스를 단순화하고 등록된 모델 정보의 일관성을 보장한다. 모델 레지스트리는 UML 메타모델뿐만 아니라 다른 언어로 정의된 메타모델을 지원하여 도시 도메인 모델의 온톨로지, 정보 모델, 프로세스 모델, 서비스 모델, 역할 및 목표 모델 등의 모델링을 지원한다. 모델 레지스트리는 정보 모델에 대한 등록 정보만을 규정하며, 실제 모델은 모델 레지스트리 외부에 모델 저장소(Repository) 형태로 저장된다.

모델 레지스트리의 시스템 상호운용성, 시맨틱 상호운용성, 레지스트리 상호운용성, 도시 도메인 모델 등록 측면에서의 기술 요구사항을 다음과 같이 고려할 수 있다. 시스템 상호운용성의 경우 다양한 시스템 간 데이터베이스 구조 및 정보 모델을 매핑하고 표준화된 정보 모델 및 프로세스 모델을 개발

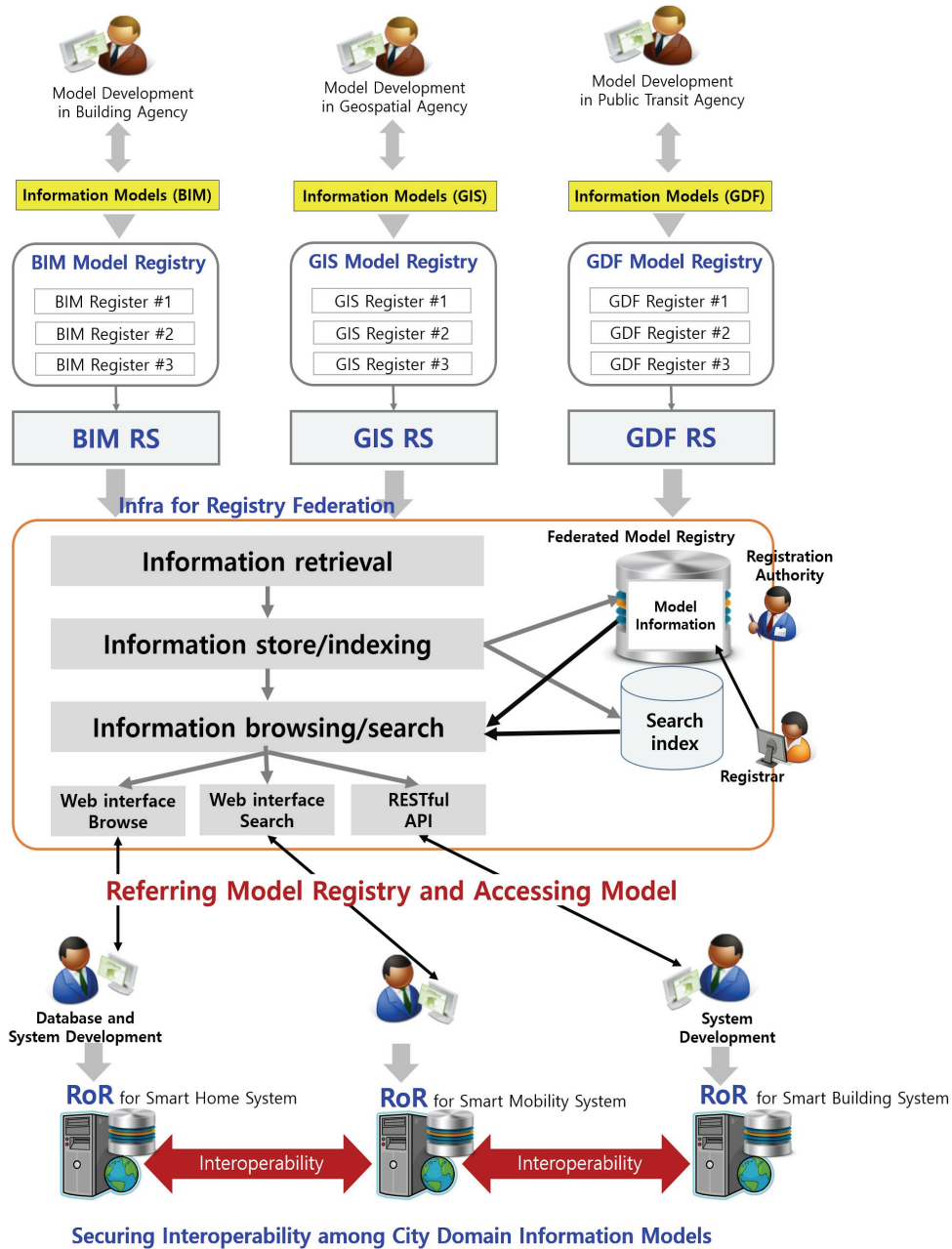


Fig. 3. Registry Interoperability Using RS and RoR for Seamless Smart City Domain Service

하여 시스템 간 상호운용성 보장이 요구된다. 도메인 정보 모델의 등록 및 관리를 위한 표준 프로토콜 및 API를 정의하고 구현하여 시스템 간 공유가 요구된다.

시맨틱 상호운용성을 위해선 도메인별 표준용어 사전과 온톨로지를 개발하고 등록하여 도메인 정보 모델 간의 공통 개념과 용어의 의미를 식별하고 공유할 수 있도록 해야 한다[8]. 시맨틱 주석 및 설명을 제공하여 도메인 정보 모델의 개념과 관련 용어를 명확하게 전달해야 한다. 또한, 공통된 이해에 기반한 상호 간의 연계 정보 공유를 촉진하는 기능을 제공해야 한다.

레지스트리 상호운용성을 위해선 다른 모델 레지스트리와의 상호 연결성을 확보하기 위해 RS와 RoR 개념을 활용하여

도메인 레지스트리 간의 연계성 확보해야 한다. 각 레지스트리는 RS를 활용하여 공개적으로 사용할 수 있도록 지원해야 한다. 이를 위해 레지스트리 간의 표준화된 메타데이터 포맷을 정의하고 이를 준수하여 상호 연결성을 보장해야 한다.

도시 도메인 모델 등록을 위해선 MFI 메타모델을 활용하여 다양한 모델 유형의 등록 정보를 관리하며, 모델 정보를 MDR (MetaData Registry) 메타모델[17]에 따라 구조화하여 등록해야 한다. 모델 등록 프로세스를 간소화하고 등록된 모델 정보의 일관성을 보장하기 위한 메커니즘을 제공해야 한다. 모델에 대한 등록 정보, 등록 권한, 소유권, 컨텍스트, 모델 구성요소를 포함한 주요 정보를 기록하기 위한 인프라를 구현해야 한다.

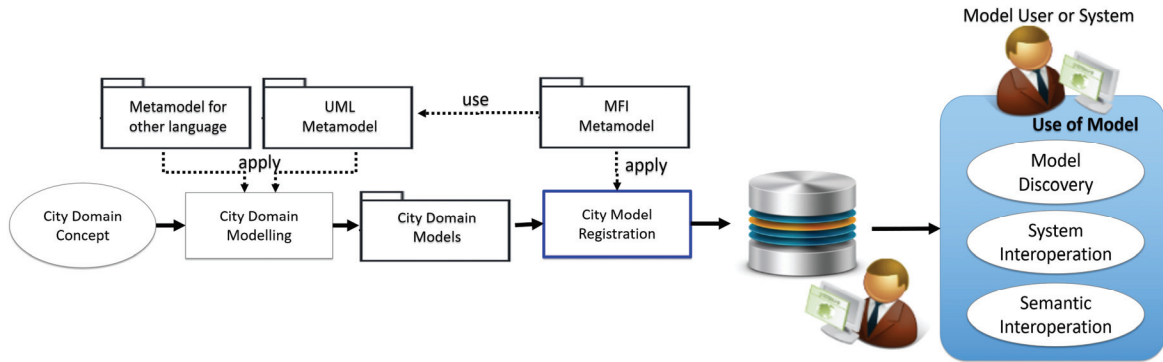


Fig. 4. Basic Concept of City Domain Model Registration

Table 3. Technical Requirement of City Domain Model Registration and Interoperability

Type	Technical Requirement
City Domain Model Registration	<ul style="list-style-type: none"> • Manage registration information for various model types using the MFI meta-model • Structure registration according to the MDR (MetaData Registry) meta-model • Implement infrastructure to record key information including registration details, permissions, ownership, context, and components
City Domain Model Registry Implementation	<ul style="list-style-type: none"> • Reference the MFI model registration mechanism from ISO/IEC 19763-1:2023 • Utilize meta-models for registering various types of city domain models • Simplify the model registration process and ensures consistency of registered model information
System Interoperability	<ul style="list-style-type: none"> • Map and standardize database structures and information models across various systems • Define and implement standard protocols and APIs to ensure interoperability
Semantic Interoperability	<ul style="list-style-type: none"> • Develop and register domain-specific standard glossaries and ontologies • Facilitate identification and sharing of common concepts and meanings • Provide semantic annotations and descriptions for clear conveyance of concepts and terms
Registry Interoperability	<ul style="list-style-type: none"> • Utilize RS and RoR concepts for connectivity with other model registries • Define and adhere to standardized metadata formats for interconnectivity

5. 연구의 고찰 및 결론

이 연구는 사일로 중심의 도시 정보 모델 구축과 활용으로 발생하는 상호운용성의 문제점을 지적하고, 이를 해결하기 위해 도시 도메인 정보 모델 간의 상호운용성을 향상시키는 방안으로 모델 레지스트리의 적용을 제안하였다. 스마트시티의 데이터 및 정보 모델 공유와 교환을 위한 국제표준 및 표준화 활동을 검토하고, 공간정보를 중심으로 레지스트리를 활용하는 다양한 유스케이스를 분석하였다. 이를 기반으로, 이를 토대로 도시 도메인 정보 모델을 위한 모델 레지스트리의 개념적 구성과 역할을 제시하였다. 또한, 스마트홈 서비스, 스마트 모빌리티 서비스, 스마트 빌딩 서비스 간의 끊김 없는 연계를 위해 모델 레지스트리를 활용하고, RS, RoR, 도시 도메인 정보 모델의 공유와 연함을 지원하는 인프라를 활용하여 상호운용을 구현하는 유스케이스를 개발하였다. 마지막으로, 도시 도메인 정보 모델 등록을 위한 기술적 요구사항에 대해 논의하며, 모델 레지스트리의 활용이 도시 도메인 정보 모델의 상호운용성을 향상시키고, 스마트시티 서비스의 통합을 위한 새로운 길을 제시한다는 점을 강조하였다. 이 연구결과는 실제 환경에서의 적용 가능성을 탐구하고, 스마트시티의 다양한 이

해관계자들 간의 의사소통과 이해를 촉진하는 기반을 마련할 것으로 기대된다.

본 연구결과를 실제 환경에서 적용하고 검증하는 것은 연구의 실용성을 높인다. 이를 위해선 세부적인 기술적 구현 방법을 검증하기 위한 프로토타입 연구개발이 요구된다. 모델 레지스트리와 RoR의 기술적 구현을 위해선 ISO/IEC 19763-1:2015[8]와 INSPIRE 가이드라인[12]을 고려할 필요가 있다. 이것은 상호운용이 가능한 시스템을 통해 하나 이상의 연결된 레지스트리 연합을 사용하는 방법을 제시하고 있다. 또한, 연구 결과의 확장성을 높이기 위해선 다양한 유스케이스를 개발하여 실험적으로 적용하는 연구가 요구된다.

도시 공간정보는 지형, 건물, 도로, 하천 등 다양한 도메인 정보 모델들이 상호 연결된 집합체이다. 도시 공간정보는 도시 디지털 트윈의 위치 기준을 정립하기 위한 마스터 데이터 역할을 담당할 수 있으며, 도메인 정보 모델들이 서로 연결되어 상호운용이 확보된 시스템이 구성되면, 공중-지상-실내-지하 공간에서 복합적으로 발생하는 도시 문제들을 효과적으로 이해하고 개선할 기회를 모색해 볼 수 있다. 여기서, 모델 레지스트리의 활용은 도메인 정보 모델 간의 이해와 연결을 통해 개별 디지털 트윈 간의 연합을 촉진한다. 앞으로의 연구

는 모델 레지스트리의 유스케이스를 현실 환경에 실제 적용하고, 관련 이해관계자들의 기능적 및 비기능적 요구사항을 파악하여 현장적용이 가능한 실증 기술을 개발하는 방향으로 진행될 필요가 있다.

References

[1] ISO 19101-1, Geographic information – Reference model – Part 1: Fundamentals, 2014.

[2] H. Jang, H. Kim, and H. Kang, “Building large-scale CityGML feature for digital 3D infrastructure,” *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.39, No.3, pp.187-201, 2021. DOI: 10.7848/KSGPC.2021.39.3.187

[3] ISO/IEC 19763-1, Information technology – Metamodel framework for interoperability (MFI) – Part 1: Framework, 2023.

[4] Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. A conceptual model for developing interoperability specifications in spatial data infrastructures [Internet]. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/21003>.

[5] Open & Agile Smart Cities. Minimal Interoperability Mechanisms – MIMs. [Internet]. <https://oascities.org/minimal-interoperability-mechanisms/>.

[6] ISO/IEC 30145-3, Information technology – Smart City ICT reference framework – Part 3: Smart city engineering framework, 2020.

[7] ISO 37156, Smart community infrastructures – Guidelines on data exchange and sharing for smart community infrastructures, 2020.

[8] ISO/IEC 19763-3, Information technology – Metamodel framework for interoperability (MFI) – Part 3: Metamodel for ontology registration, 2020.

[9] ISO/IEC 19763-6, Information technology – Metamodel framework for interoperability (MFI) – Part 6: Registry Summary, 2015.

[10] ETSI GS CIM 009, NGSI-LD API: for Context Information Management V1.2.2, 2020.

[11] ISO 19135-1, Geographic information – Procedures for item registration – Part 1: Fundamentals, 2015.

[12] INSPIRE. Best Practices for registers and registries & Technical Guidelines for the INSPIRE register federation Version 1.0rc3 [Internet]. <https://joinup.ec.europa.eu/collection/are3na/solution/register/best-practices-registers-and-registries>.

[13] ISO/TC 211/AG 2, Sustainable ISO Geodetic Register (ISOGR) - proposal for UN-GGIM Subcommittee on Geodesy Draft version2, 2022.

[14] M. Urvois et al., “Integrating geological data in Europe to foster multidisciplinary research,” *Annals of Geophysics*, Vol.65, No.3, 2022. DOI: 10.4401/ag-8817

[15] E. Stubkjær, J. M. Paasch, V. ÇAĞDAŞ, P. van Oosterom, S. Simmons, J. Paulsson, and C. Lemmen, “International code list management – The case of land administration. In C. Lemmen, P. van Oosterom, & E. Fendel (Eds.),” in *Proceedings 7th International FIG Workshop on the Land Administration Domain Model Workshop*, Zagreb, Croatia, pp. 223-244, 2018. [Internet]. https://wiki.tudelft.nl/pub/Research/ISO19152/LADM2018Workshop/15-05_LADM_2018.pdf.

[16] P. Box, B. Simons, S. Cox, S. Maguire, A Data Specification Framework for the Foundation Spatial Data Framework, CSIRO, Australia, CSIRO, 2015. [Internet]. https://www.anzlic.gov.au/sites/default/files/files/FSDF-Data_Specification_Framework.pdf

[17] ISO/IEC 11179-3, Information technology – Metadata registries (MDR) – Part 3: Registry metamodel and basic attributes, 2023.



최 원 옥

<https://orcid.org/0009-0004-1709-0062>
 e-mail : wwchoi79@gmail.com
 2004년 안양대학교 도시정보공학과(석사)
 2011년~현 재 안양대학교
 스마트도시공간연구소
 책임연구원

관심분야 : 공간정보표준, 디지털 트윈국토, 스마트시티, 공간 빅데이터



홍 상 기

<https://orcid.org/0009-0004-7666-5997>
 e-mail : skhong@anyang.ac.kr
 1987년 서울대학교 지리학 석사
 1997년 Ohio State University-Columbus
 지리학 박사
 2000년 국토연구원 GIS연구센터 책임연구원

2002년 국토연구원 GIS연구센터 연구위원
 2002년~현 재 안양대학교 도시정보공학과 교수
 2008년~현 재 ISO TC/211 WG 10(Ubiquitous Public Access)

Convenor

관심분야 : 공간정보표준, 디지털 트윈국토, 스마트시티,
 유비쿼터스 컴퓨팅