

# SMART CITY STANDARDS

스마트시티 세계기술선도를 위한 국제표준화에 대응할 수 있는 스마트시티 연계 도메인별 국제표준개발 및 표준화 역량강화 기반 조성



스마트시티 국제표준화 기반 조성(R&D) Research

Orchestrating Land, Infrastructure and Transport for Sustainable Smart Cities



## The Kalasatama Digital Twins Project - KIRA-digi pilot project

칼라사타마 디지털트윈 프로젝트

### BENCHMARKING

“간단히 말해 디지털 트윈이란 어떤 프로세스나 제품, 서비스의 가상 모델을 말한다.” 이러한 가상 세계와 물질 세계의 조합은 데이터 분석과 시스템 모니터링을 가능케 하여 문제가 발생하기 전에 문제점을 해소하고 다운타임을 방지하고 새로운 기회를 창출하고 시뮬레이션을 통해 미래에 대한 계획을 세울 수 있게 한다. Bernard Marr/ 2017년 포브스

디지털 트윈이라는 개념은 새로운 것이 아니다. 디지털 트윈은 물리적 대상의 디지털 표현을 일컫는 것으로 30년 이상 CAD(컴퓨터 활용 설계)에 사용되어 왔다. 예를 들어 갑피 지역을 표현한 헬싱키의 첫 번째 3D 시티 모델은 1987년에 만들어졌다.

가트너(Gartner)는 디지털 트윈을 전략 기술 Top 10 중 하나로 3년 연속 선정하

바 있다.(TOP 10 strategic technology trends)

Bolton, McColl-Kennedy, Cheung, Gallen, Orsingher, Witell, Zaki(2018)는 디지털트윈을 “실시간 데이터가 이 용해 이해, 학습, 추론이 가능하도록 물리적 대상이나 시스템을 그 라이프사이클 동안 동적으로 가상 표현하는 것”으로 정의한다. 이들은 디지털트윈이 제4차 산업혁명에서 중요한 역할을 할 것으로 보고 있다. 그러나 디지털트윈을 도시 모델로 사용하는 것은 전혀 새로운 개념이다. 디지털 트윈은 제품/장비/인프라 설계에 수십 년간 사용되어 왔다. NASA에서 근무하는 John Vickers에 따르면 디지털트윈의 최종 비전은 모든 것을 가상 환경에서 먼저 제작해 시험하고 제작하는 것이다. 이 정의는 여전히 적절하다.

디지털트윈을 시티 개념에 적용하는 것은 산업 설계보다 더 큰 비전이다. 예



를 들어 스마트시티와 디지털트윈이라는 개념은 사물인터넷, 디지털트윈과 실세계 간 상호작용, 센서 시스템, 현재 환경과 계획 도시 환경의 시뮬레이션 및 분석, 유지보수 및 매니지

먼트 시스템, 재난재해 대응 리질리언스 수립과 경영, 생산체인의 구축 등 다양한 측면에서 서로 연결되어 있다.

헬싱키 칼라사타마 프로젝트에서 디지털트윈은 고품

질 3D 시티 모델을 오픈 데이터로 모든 운영자에게 제공한다. 프로젝트팀은 이러한 시티 모델 플랫폼이 다양한 제품 개발, 연구, 교육, 혁신을 촉진할 것이라고 믿는다.

## DESIGN, TEST AND BUILD FIRST DIGITALLY

**Intermediate objectives of The Kalasatama digital twins project:** 이 프로젝트의 일반 목표는 칼라사타마 지역의 고품질 디지털트윈 시티 모델을 생성하고, 이 모델을 오픈 데이터로 공유하는 것이다. 이 모델은 건축 환경의 전체 라이프사이클을 설계하고, 시험, 적용, 정비하는 플랫폼 역할을 한다. 이 프로젝트의 진행상황은 5가지 중간 목표로 구분할 수 있다. 프로젝트의 첫 번째 목표는 도시 모델을 생성하는 것이다.

프로젝트의 두 번째 목표는 3D 시티 모델을 오픈 데이터로 공유하는 것이다. 도시 모델 응용프로그램은 수백 가지가 있었지만 적당한 규모의 상세 개발 플랫폼이 없었기 때문에 개발은 답보 상태에 머물러 있었다. 이 프로젝트에서 두 번째 마일스톤의 목표는 이 병목현상을 없애는데 도움을 주고 오픈 소스들을 통해 플랫폼을 개발할 수 있게 하는 것이다.

세 번째 목표는 메인 파트너인 스마트

칼라사타마 프로젝트와의 협력에 중점을 두는 것이다. 디지털 트윈은 혁신과 개발의 플랫폼인 스마트 칼라사타마 프로젝트의 일환이다. 프로젝트에서 칼라사타마에서의 활동과 주민과의 상호작용을 위한 온라인 플랫폼은 3D 모델 플랫폼에서 구축되었다.

네 번째 목적은 3D 시티 모델을 모델링하고, 시험, 활용하는 최신 방법을 시험해 보는 것이었다. 특히, CityGML 모델을 이용한 시뮬레이션과 분석은 현재 개발 단계를 겪고 있다. 이 중간 목표는 디지털 트윈의 기본 아이디어: “디지털 방식으로 설계, 시험, 제작한다”에 적용된다.

다섯 번째 목표는 시티 프로세스 및 서비스 생산에 디지털트윈을 적극 활용하는 것이다. 기존 도시 구조에 대한 정확한 최신 모델과 미래 계획이 있다면 3D 기술을 토대로 프로세스, 실무 및 서비스를 개발할 수 있을 것이다.

THE OBJECTIVES OF THE PROJECT

## PRODUCTION OF THE TWIN MODELS

### 3D REALITY MESH MODEL

**CityGML standard-based semantic city information model, Reality mesh model:** 이 프로젝트의 주된 목표는 칼라사타마 지역의 고품질 디지털트윈 시티 모델을 생성하는 것이다. 디지털트윈은 건축 환경의 전체 라이프사이클 동안 스마트시티 개발을 위한 설계/시험/적용/서비스 플랫폼 역할을 한다. 디지털트윈은 최신 모델링 기술 및 응용프로그램을 이용해 CityGML 표준 기반 시맨틱(Semantic) 도시 정보 모델 및 현실 메시 모델로 생성되었다. 칼라사타마 트윈 모델은 이 프로젝트를 위해 별도의 작업으로 생성된 것으로 소스 데이터, 콘텐츠, 정확도는 이전에 모델링된 헬싱키 3D 시티 모델보다 더 우수하다. 현실 메시 모델은 항공사진을 토대로 시티의 현실과 일치하는 시각적 지오메트릭 모델을 만들어 내는 사실적 시티 모델이다. 대도시의 경우에도 메시 모델을 생성하는 것이 비용 효율이 높다. 모델의 최종 생성 과정이 고도로 자동화된 컴퓨팅에 근거하기 때문이다. 그러나 시티 차원의 모델을 계산하는 데는 효율적인 컴퓨터 팜(Computer Farm)에서 계산하더라도 몇 개월은 걸릴 것이다. 메시 모델의 강점은 시각적 정보에 촬영 당시 거의 움직이지 않는 모든 항목이 포함되어 있다는 것이다. 현실 메시 기술은 매우 상세한 3D 모델을 전달할 수 있다. 모델 생성에 가장 중요한 제약조건은 소스 데이터의 정확

## 스마트시티 표준화 전략 및 체계 구축

### TRG 1

스마트시티 거버넌스 체계 및 프레임워크 개발 (한국건설기술연구원, 가천대학교)

통합플랫폼 등 공공서비스 표준화 및 표준 인덱스 개발 연구 (스마트도시협회, 성균관대학교)

스마트시티 포트폴리오 - 프로그램 - 프로젝트 프로세스 표준화 (한양대학교)

도시데이터 상호운용성 확보 및 가이드라인 정립 (한국정보통신기술협회)

## 스마트시티 도메인별 기술표준 및 서비스 시험표준 개발

### TRG 2

스마트교통-에너지 연계표준 개발 (한국지능형교통체계협회, 한국교통대학교, 홍익대학교, 한국전기연구원)

스마트에너지빌딩 연계표준 개발 (스마트에너지협회, 한국기계전기전자시험연구원)

스마트시티 공간정보 표준 개발 (한국정보통신기술협회, 안양대학교)

스마트시티 ICT 표준개발 (한국전자기술연구원, 연세대학교)

## 스마트시티 표준화 역량개발 및 국제협력

### TRG 3

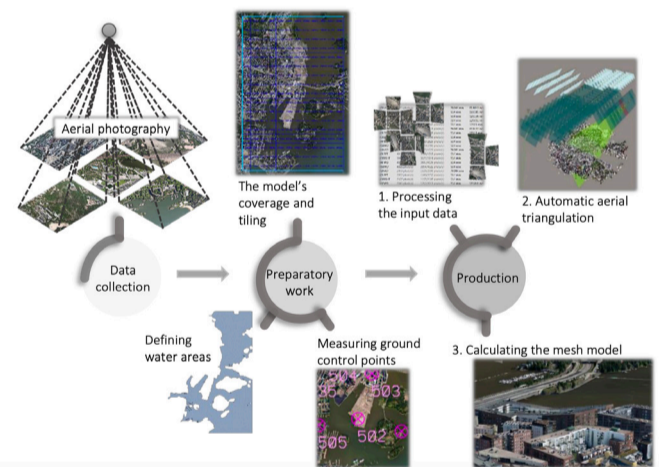
스마트시티 표준화 역량강화 프로그램 추진, 스마트시티 품질 평가 체계 구축 및 인증, 스마트시티 국제 표준화를 위한 협력프로그램 (한국정보통신기술협회, 영국 표준협회)

도와 컴퓨팅 파워의 가용성으로 결정된다. CityGML 모델은 Global OGC(Open Geospatial Consortium) 표준(CityGML v2.0)에 따른 시맨틱 도시 정보 모델이다. 유럽 대륙의 몇몇 주요 도시들이 CityGML 모델을 생성하였고, 싱가포르와 뉴욕에서도 CityGML 모델을 사용한다. 핀란드의 국가지리조사기관에서 국가 건축 환경을 3D 모델링할 때도 CityGML을 사용했다. CityGML 모델의 강점은 개방형 글로벌 표준이자 개방형 정보 모델이고, 응용프로그램 도메인 확장(Application Domain Extension, ADE)를 갖고 있고 정보 모델 환경을 만드는데 수많은 오픈 소스 툴을 사용할 수 있다는 것이다. 게다가 대학, 연구기관, 정부, 도시, 다양한 유틸리티 응용프로그램 등 광범위한 글로벌 개발자들의 지지를 받고 있다. 프로젝트에 앞서 양 모델(현실 메시 모델과 도시 정보 모델)에 가장 중요한 소스 데이터를 2017년부터의 항공 이미지와 포인트 클라우드 데이터셋, 항공 촬영 및 레이저 스캐닝뿐만 아니라 레지스트리와 공간 데이터를 통해 이미 수집해왔다. 이 프로젝트의 첫 번째 목표는 모델 생성 프로세스와 계획 건축물의 모델링에 중점을 두었다. 이는 디지털 트윈을 사용하는데 있어 필수 원칙이다.



# MESH MODEL

## 3D REALITY MESH MODEL



### The production work flow of the mesh model

현실 메시 모델은 균일한 표면의 삼각형으로 이루어진 모델이다. 본질적으로 메시는 균일한 삼각형, 사각형 또는 다각형 네트워크로 구현할 수 있는 지오메트릭 모델의 표면을 일컫는다. 이 프로젝트에서는 삼각형 메시 모델을 만들었다. 삼각형 메시 모델은 삼각형 평면으로 구성되어 있으며, 이 삼각형은 다시 면과 꼭짓점으로 이루어져 있다. 각 표면의 꼭짓점(이하 접합점이라 한다) 역시 인접한 평면에 속하기 때문에 전체 삼각형 메시는 균일한 표면을 생성한다. 삼각형 메시 구조는 상기와 같다. 메시 모델은 실제 객체 형상을 일정 수준의 정확도로 근사화한 것이다. 현실 메시의 형상 정확도는 삼각 네트워크의 밀도에 따라 달라지므로 삼각형의 크기에 따라 달라진다. 모델에서 삼각형이 작을수록 모델은 더 구체적이다. 일반적으로 메시 모델은 모델링 대상 객체의 형상을 만들고 표현하는 다양한 모델링 프로그램에 사용된다. 또한 메시 모델은 객체를 시각화하거나 객체의 설계에 대한 기본 모델을 생성할 필요가 있을 때 주로 사용된다. 메시 모델을 계산할 때 소스 데이터는 모델링 대상 객체의 부분 겹침 사진들로 이루어지므로, 그로 인해 생성된 모델은 현실적으로 보이게 된다. 이런 이유로 사진 측량 모델이나 사실적 모델이라 불리기도 한다. 현실 메시 모델의 생성은 세 가지 단계, 즉 데이터 수집 단계, 준비 작업 단계, 생성 단계로 구분할 수 있다.

# Data Collection for the Mesh Model

## Aerial Photography 항공 촬영

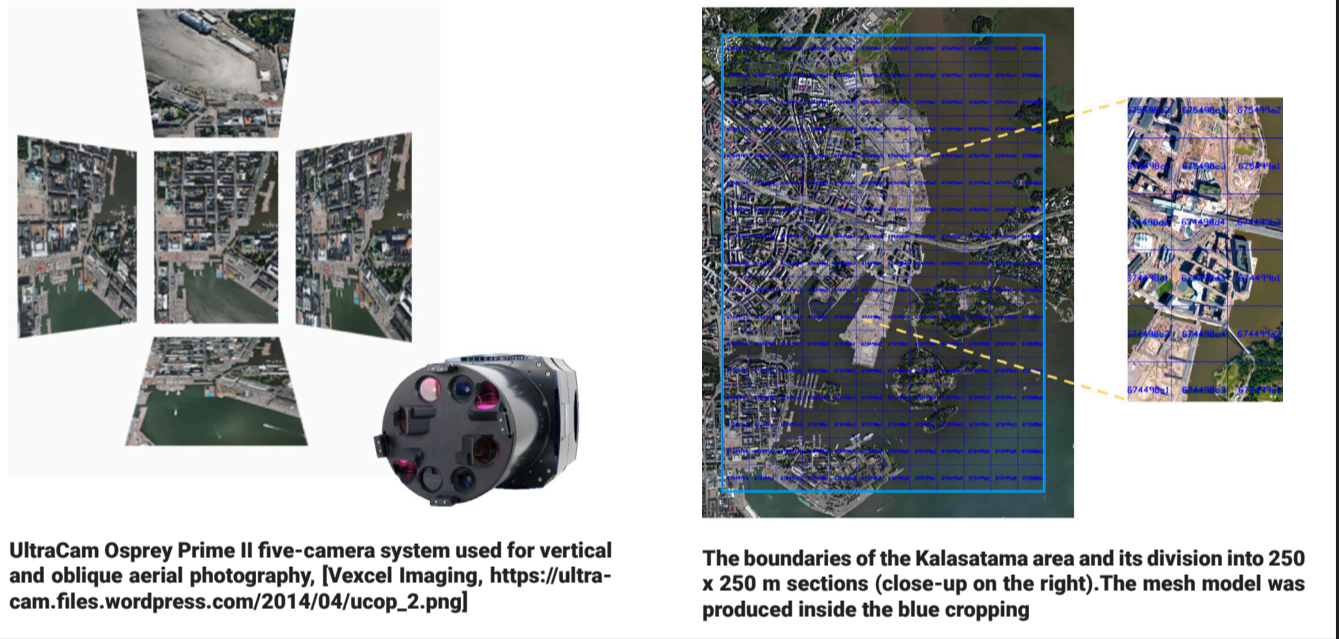
메시 모델에 대한 데이터 수집은 항공 촬영부터 시작한다. 칼라사타마 메시 모델에 대한 소스 데이터는 2017년 여름에 찍은 항공사진이었다. 항공 촬영은 교정된 측정 카메라 5대로 이루어진 UltraCam Osprey Prime II 카메라 이미징 시스템을 사용해 Blom Map으로 수행되었다. 카메라 5대 중 하나는 연직 촬영 카메라였고 다른 4대는 경사 촬영 카메라였다. 경사 항공 이미지는 45도 각도로 찍었기 때문에 건축물의 파사드 등 수직 표면의 해상도가 정밀해졌다. 항공 촬영 블록의 커버리지 비율은 비행의 측면 커버리지가 60%이었고, 길이 커버리지가 80%이었다. 항공 촬영은 고도 약 1.2km의 항공기에서 수행되었다. 이미지의 정확도, 즉 지상 샘플링 거리(GSD)는 7.5cm이었다. 3채널 RGB(적색, 녹색, 청색) 이미

지를 기록하였다. 헬싱키 시 전체를 27.7 - 14.8.2017 기간 동안 5회 비행하여 촬영하였고, 42,810개의 이미지가 생성되었다. 촬영 지역에는 헬싱키뿐만 아니라 에스포, 반타, 시포 지역도 포함되었다. 항공 사진은 메시 모델을 생성하는 것 외에도 시티 정보 모델을 텍스처 화하고 스테레오 이미지와 정사 이미지를 모두 생성하는데 사용되었다. 칼라사타마 지역에 대한 메시 모델을 생성하기 위해 항공사진 촬영은 약 12 제곱 킬로미터로 제한되었다. 칼라사타마 모델링 지역에는 2,083장의 항공사진이 사용되었다. 또한 각 이미지에는 ETRS-GK25/N2000 좌표계를 이용한 장소 및 위치 정보가 있었다.

수 있는 3D 모델링 응용프로그램을 사용해 생성되었다. 그러나 대규모 3D 모델을 컴퓨팅하려면 엄청난 그래픽 처리 컴퓨팅 파워 뿐만 아니라 컴퓨터 메모리가 필요하다. 따라서 컴퓨팅은 프로세스 부하를 줄이기 위해 작은 지역에서 행해진다. 그러려면 3D 모델링 지역을 타일링하여, 즉 더 작은 지역으로 나누어서 한 번에 하나씩 생성하는 것이 좋다. 메시 모델에 대한 소스 데이터의 일부는 프로젝트 지역과 그 타일링의 지역 경계였다. 프로젝트 지역은 헬싱키시 맵 디비전에 따라 250x250m 섹션으로 타일링되어 매핑되었다. 이 해상도를 사용하는 것이 좋은 점 한 가지는 기존 맵 및 공간 데이터 세트와 호환된다는 것이다.

## Model Coverage and Tiling 모델 커버리지와 타일링

메시 모델은 도시 전체를 거의 자동으로 촬영하여 3D 모델을 제작할



UltraCam Osprey Prime II five-camera system used for vertical and oblique aerial photography, [Vexcel Imaging, [https://ultra-cam.files.wordpress.com/2014/04/ucop\\_2.png](https://ultra-cam.files.wordpress.com/2014/04/ucop_2.png)]

The boundaries of the Kalasatama area and its division into 250 x 250 m sections (close-up on the right). The mesh model was produced inside the blue cropping

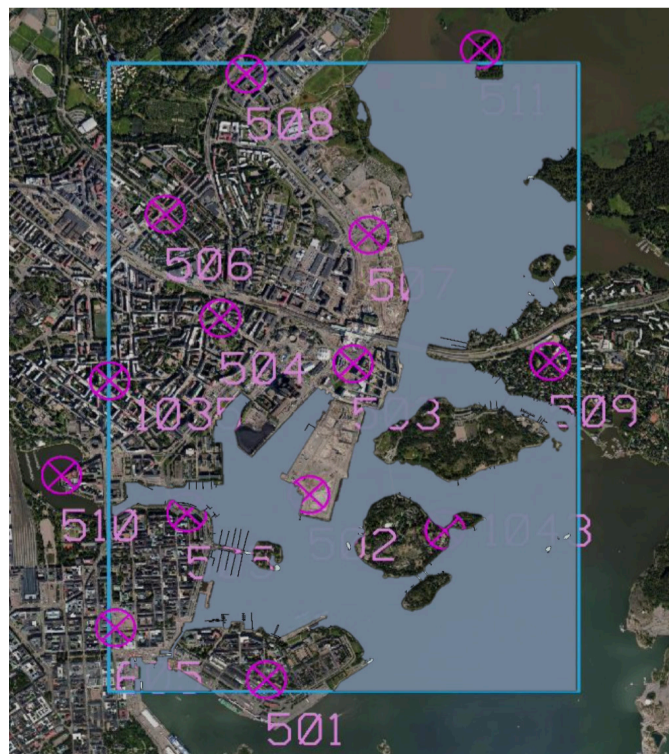
# GROUND CONTROL POINTS AND WATERBODIES IN KALASATAMA

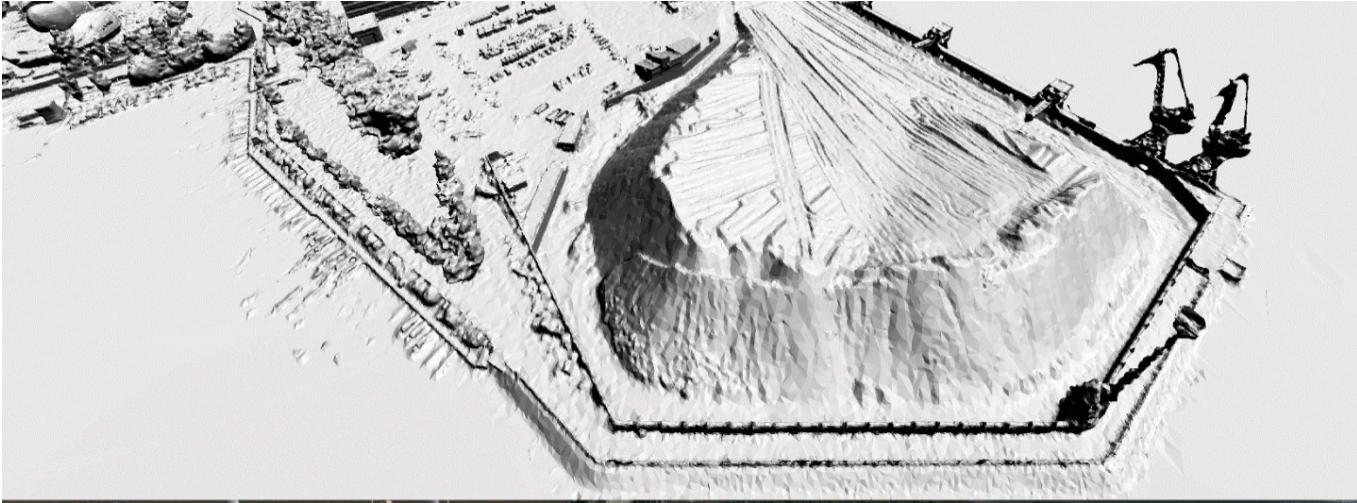
**Ground Control Points** 지상 기준점을 측정하는 것은 중요한 단계이다. 기준점의 정확도는 생성된 3D 모델의 정확도와 상관관계

를 갖기 때문이다. 지상 기준점의 위치는 지상 기준점에 의해 형성된 메시 모델이 전체 지역을 다룰 뿐만 아니라 모델링된 지역

을 완전히 둘러쌀 수 있도록 수동으로 결정해야 한다. 지상 기준점 측정 프로세스는 마이크로스테이션(MicroStation) 및 테라스캔(TerraScan) 소프트웨어 프로그램으로 수행되었다. 첫째, X와 Y좌표가 정사 이미지와 기본 맵을 사용해 측정되었기 때문에 MicroStation으로 적당한 위치를 검색했다. 지상 기준점의 위치를 선택할 때는 정사 사진으로 구별하기 쉽고 인지할 수 있는 객체(도로, 기타 표지 등)를 활용했다. 둘째, 분류된 포인트 클라우드를 사용해 테라스캔으로 지상 기준점의 Z좌표를 측정했다. 마이크로스테이션을 통해 테라스캔은 지상 포인트나 건축물 포인트 등 원하는 포인트 클라우드 클래스를 매끄럽게 볼 수 있었다.

**Waterbodies** 메시 모델의 자동 계산은 이미지로부터 접합점을 식별 하는 것에 근거한 것으로 투명/반사/이동 객체의 3D 모델링은 별도의 모델링 기준 없이 가능하지 않다. 예를 들어, 대규모 수역 표면의 사진 측량 3D 모델링은 실패하는 것이 대부분이다. 수면의 결을 확실하게 결정할 수 없고 접합점을 정의하기가 불가능하기 때문이다. 칼라사타마 메시 모델 프로젝트에서 모델링해야 할 수역은 기본 맵으로 디지털화되었고, 정사 이미지와 최종 생성물, 솔리드 벡터는 제로 레벨(Zero Level)로 설정되었다. 수역 벡터 데이터를 통해 메시 모델의 표면 지오메트리를 정확하게 모델링할 수 있었다. 이미지에서 접합점을 찾을 수 없는 경우에는 벡터 데이터에 따라 3D 모델을 생성할 수 있다.





## Model Calculation

**Observations** The modelling was quite straightforward because the user of the modelling application was only responsible for defining various settings, various preparatory actions, and quality assessment. The success of modelling depends largely on the quality, accuracy and quantity of the source data.



Mesh model without visible triangle faces

The model calculation is a photorealistic mesh model



**Model Calculation:** 최종 메시 모델 결과물을 생성하려면 상당한 컴퓨팅 파워가 필요하다. 이런 이유로 메시 모델은 프로세스를 줄이기 위해 나누어서 계산하는 것이 좋다. 모델링 대상 지역을 타일링을 이용해 더 작은 지역으로 나누어서 한번에 한 개 타일을 모델링할 수 있게 하였다. 칼라사타마 모델의 계산에서는 수면적의 벡터 데이터를 사용해 모델링된 현실과 일치하는 물 면적을 정의했다. 메시 모델의 계산은 몇 가지 처리 단계로 된 자동 방법을 이용해 ContextCapture 소프트웨어로 수행하였다. 그럼에도 모델의 정확도와 품질을 위해 운영자는 계산에 원하는 설정값을 선택하여 모델의 계산 단계에 영

향을 미칠 수 있었다. 일단 메시 모델이 완성되면 품질 검사는 육안 검사로, 모델의 좌표를 측정하여, 또는 모델을 레이저 스캐닝 데이터와 비교하여 수행할 수 있다.

**Observations:** 모델링은 상당히 수월했다. 모델링 응용프로그램의 사용자는 다양한 설정값, 다양한 준비 작업, 품질 평가를 정의하기만 하면 되었다. 모델링의 성공 여부는 소스 데이터의 품질, 정확도, 양에 따라 크게 달라진다. 칼라사타마의 사실적 메시 모델은 실세계를 매우 정확히 복제했다. 사진 촬영 당시 정지해 있었던 모든 객체를 모델에서 찾을 수 있기 때문이다. 칼라사

타마 모델의 최적 가시거리 모델링에 사용된 항공 이미지 정확도에 근거했을 때 약 100m이다. 게다가 모델에는 나무, 관목, 구조물 등 지상에 있는 거의 모든 객체가 포함



용하려면 다른 2D 또는 3D 데이터를 공유하면 된다. 그러면 가능한 최상의 사례에서 제대로 기능하는 하이브리드 모델이 된다. 계획 건축 프로젝트를 칼라사타마 메시 모델에 추가해

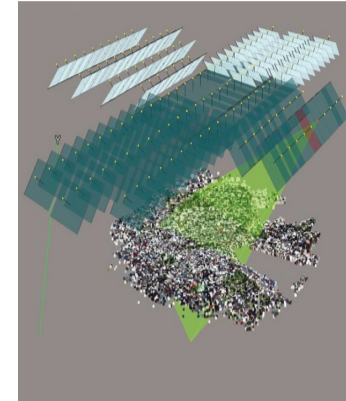
왔다. 이는 다음의 영상에서 확인할 수 있다. [https://youtu.be/c4SoR2SME\\_4](https://youtu.be/c4SoR2SME_4).

## MESH MODEL

# PRODUCTION OF THE MESH MODEL

### Processing the Source Data

#### Automatic Aerial Triangulation



**Production of the Mesh Model** 메시 모델의 생성 칼라사타마의 메시 모델은 헬싱키시의 자체 자원과 컴퓨팅 파워가 우수한 컴퓨터로 생성되었다. 칼라사타마 메시 모델을 생성하는 데는 실제 3D 모델을 생성하는데 필요한 모든 단계가 포함되었으며 ContextCapture 소프트웨어 응용프로그램을 이용해 수행되었다. 생성

단계는 세 가지로 나눌 수 있다. 즉, 입력 데이터 처리, 자동 항공삼각측량, 모델 계산이다.

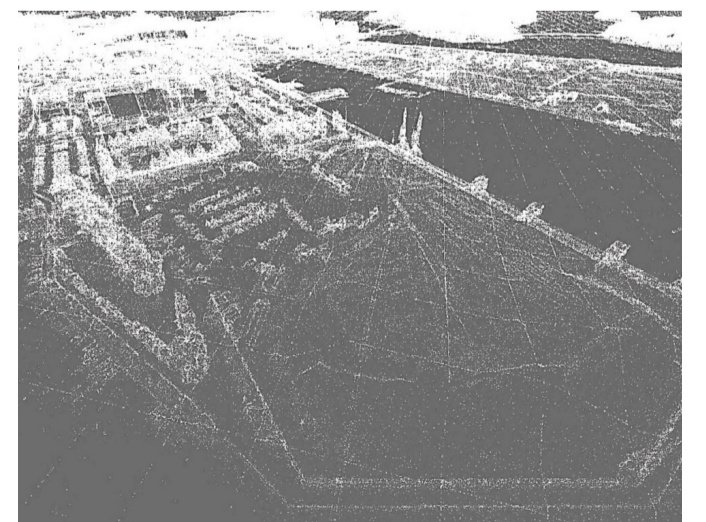
#### Processing the Source Data 소스 데이터 처리

메시 모델의 실제 생성은 ContextCapture에서 칼라사타마 프로젝트를 생성하여 위 치 및 표정 정보가 포함된 2,000개 이상의 사진을 가져오는 것부터 시작되었다. 그 다음, 충분한 갯수의 항공사진을 이용해 측정된, 이전에 정의된 지상 기준점을 프로젝트로 가져왔다. 이후, 항공삼각측량에 필요한 모든 입력 데이터를 준비했다.

#### Automatic Aerial Triangulation 자동 항공삼각측량

항공삼각측량은 2,083장의 항공사진을 사용해 수행되었다. 항공삼각측량은 이미지에서 공통 특징을 찾아내서 모든 이미지를 연결한다. 이러한 공통 특징(접합점)은 삼각측량의 결과로 생긴 수많은 포인트의 포인트 클라우드가 된다. ContextCapture에서 항공삼각측량은 응용프로그램의 사용자에 따라 달라지는 것은 아니며, Context-Capture Engine 모듈에서 닫힌 이벤트로 자동 항공삼각측량의 다양한 단계에 대한 해를 구한다.

자동 항공삼각측량(Aerotriangulation), 즉, 번들 블록 조정은 사진 측량 모델링에서 가장 중요한 단계이다. 항공 자동삼각측량의 목적은 자동 방법 및 다수의 알고리즘을 이용해 이미지의 외부 표정에 대한 값을 구하고 이미지를 선택된 좌표계로 변환하는 것이다. 항공삼각측량에는 이미지 블록 형성, 접합점 선정, 접합점에 대한 입력값의 결정, 접합점 매칭, 번들 블록 조정, 조밀한 이미지 매칭 등의 생성 체인이 포함된다. 항공삼각측량에서는 균질한 품질과 균일한 패턴을 제공하기 위해 전체 이미지 블록을 동시에 처리하는 것이 중요하다. 항공사진의 위치 및 표정 정보는 이미지 블록의 절대 표정에 대한 해를 풀 수 있을 정도로 충분히 정확하지 않을 수도 있다. 그렇기 때문에 이미지 블록을 대상 좌표계에 연결하는데 지상 기준점을 사용한다. 자동 방법으로 이미지에서 찾은 접합점은 지상 기준점과 함께 삼각측량의 시작점 역할을 한다.



A point cloud formed from the tie points found in the aerial images 항공 이미지에서 찾은 접합점으로부터 형성된 포인트 클라우드



CityGML Model

# CITYGML CITY INFORMATION MODEL

**CityGML is an open, international standard set by the OGC (Open Geospatial Consortium) for 3D city information modelling, storage and transfer.**

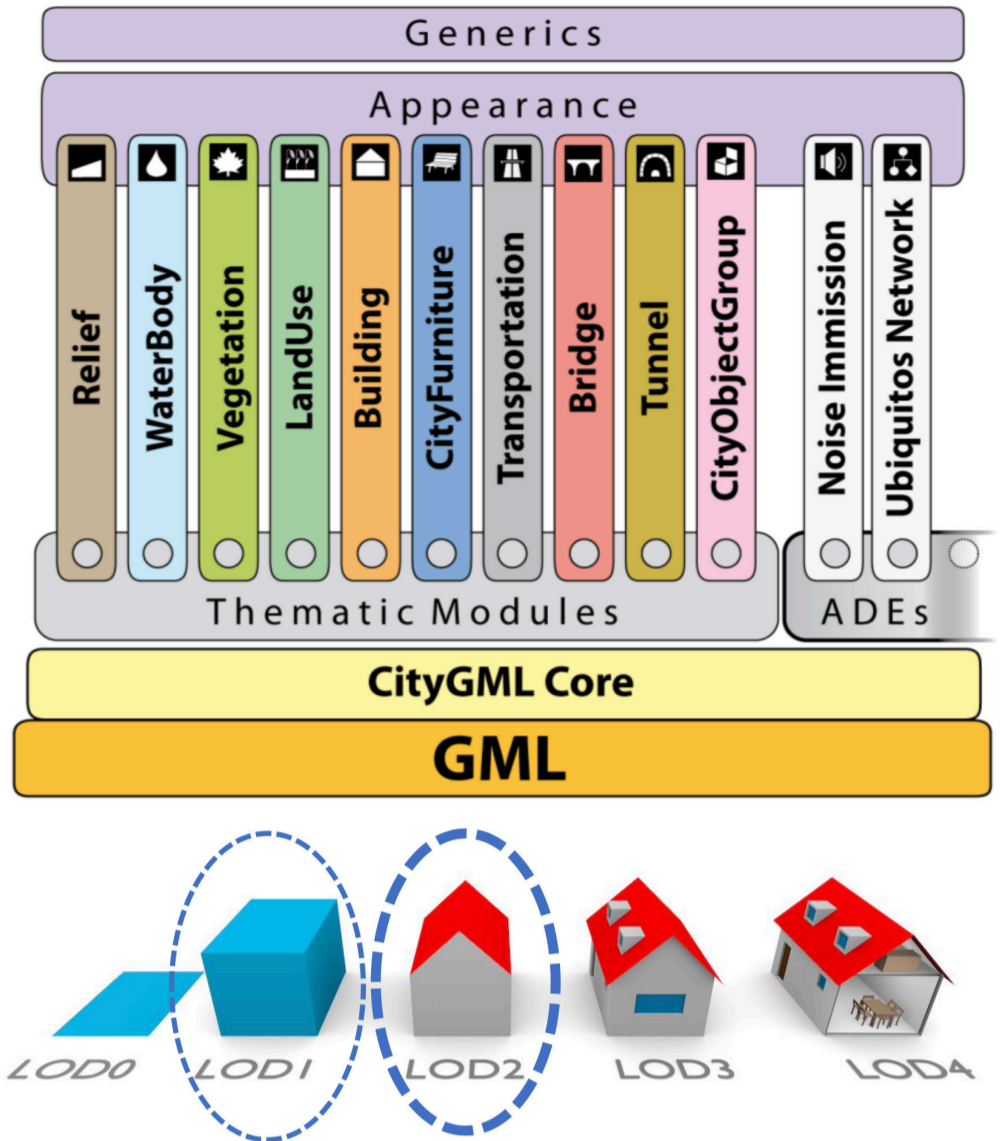
CityGML은 3D 도시 정보 모델링, 저장 및 전송에 대하여 OGC(Open Geospatial Consortium)에서 정한 개방형 국제 표준이다. 자세한 내용은 다음을 참조한다. <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.

시맨틱 3D 시티 정보 모델은 전통적인 2차원 맵, 레지스터, 공간 데이터에 여분의 치수를 제공한다. 또한 정보 모델링은 '전통적인' 형상 모델만으로는 진척되지 않는 지능형 디지털트윈으로 가는 단계이다. CityGML 시티 정보 모델에서 객체는 지오메트리, 토폴로지, 시맨틱 및 외관과 관련이 있다. 객체 지오메트리는 점, 선, 다각형 및 이들의 조합으로 이루어질 수 있다. 토폴로지, 정보 콘텐츠, 외관은 객체를 일종의 개별 지오메트리로 기술하는 시맨틱 특징이다. 그러나 이러한 것들 역시 지오메트리 특성을 가질 수 있으며, 대개 시맨틱은 지오메트리와 서로 연결되어 있다. 지오메트리와 시맨틱 정보는 같은 객체를 기술할 때 호환성이 있어야 한다. 예를 들어 시맨틱 측면에서 건축물의 벽에 창이 2개 있는 경우에는 같은 특징을 지오메트리 데이터에 적용해야 한다. OGC는 2012년 3월에 이 표준의 버전 2.0을 채택했다. 2019년 초에 승인 받은 표준 CityGML 정보 모델은 아직도 버전 2.0이다. 이와 동시에 버전 3.0의 개발이 진행 중이다. 수많은 개선사항, 확장 및 새로운 기능이 포함되어 새로 업데이트 된 CityGML의 버전 3.0은 도시 정보 모델링의 능력을 확대할 것이다. CityGML 3.0 표준에 관한 자세한 정보는 다음 웹사이트에서 얻을 수 있다. <https://github.com/opengeospatial/CityGML-3.0>, <https://www.gis.bgu.tum.de/en/projects/citygml-30/> 앞으로 CityGML 3.0 표준은 다음 웹사이트에

서 구할 수 있게 될 것이다. <http://www.citygml.org/>.

**CityGML Thematic Modules and Classes**  
CityGML 테마 모듈과 클래스

CityGML 표준에는 시티 정보 모델에서 가장 중요한 객체와 그 카테고리에 대한 정의가 포함되어 있다. CityGML 정보 모델은 두 종류의 모듈, 핵심 모듈과 확장 모듈로 구성된다. 핵심 모듈에는 CityGML 정보 모델의 기본 개념과 컴포넌트가 들어 있다. 확장 모듈은 새로운 테마 클래스를 시티 정보 모델에 추가할 수 있게 한다. 시티 정보 모델의 가장 중요한 객체는 그 특성에 따라 테마 모듈로 나뉜다. 이렇게 CityGML로 모델링되는 테마로는 지형 모델, 건축물, 교량, 수역 및 교통 지역, 식생과 가로 시설물 등이 있다. 외관은 3차원 도시 객체에 추가할 수 있으며, 이는 어떤 형태의 시각화든 상관없이 가능하다. 외관은 형상, 텍스처, 재료, 테마에 따라 항목을 시각 화할 수 있다. CityGML 정보 모델의 응용프로그램 도메인 확장(ADE)은 새로운 항목이나 성질을 정보 모델에 추가할 수 있게 하는 확장 기능이다. ADE는 가령 에너지 정보를 건축물에 추가하는 데도 사용할 수 있다. 헬싱키 정보 모델의 첫 번째 단계에서는 헬싱키 지역에 있는 모든 건축물이 CityGML로 모델링되었다. 다음 단계에서는 교량, 나무, 수역, 지형 모듈, 다양한 토지 이용 지역 등 다른 도시 객체를 사용해 CityGML 모듈을 도시 정보 모델에 추가할 수 있다. 게다가 앞으로는 ADE 확장 기능을 사용하는 것도 가능해질 것이다. 칼라사타마 도시 정보 모델에서는 기존 건축물, 공사중이거나 계획된 건축물, 교량이 CityGML 데이터베이스로 보내기 된다. 또한 지상(지형 모델)과 수면적이 CityGML로 모델링되었다

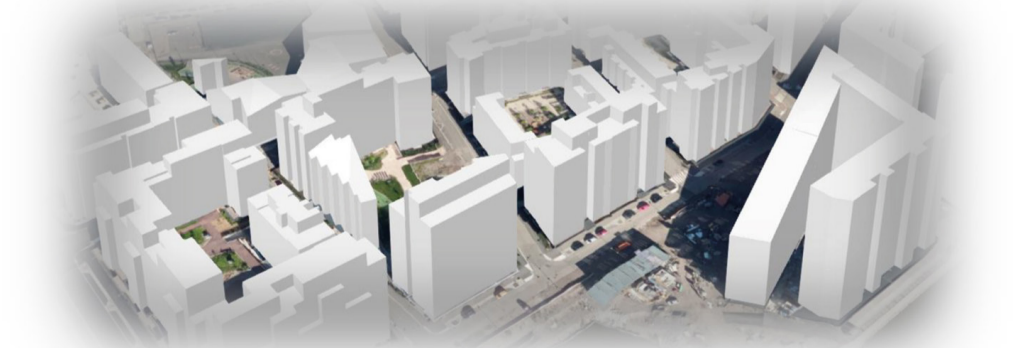
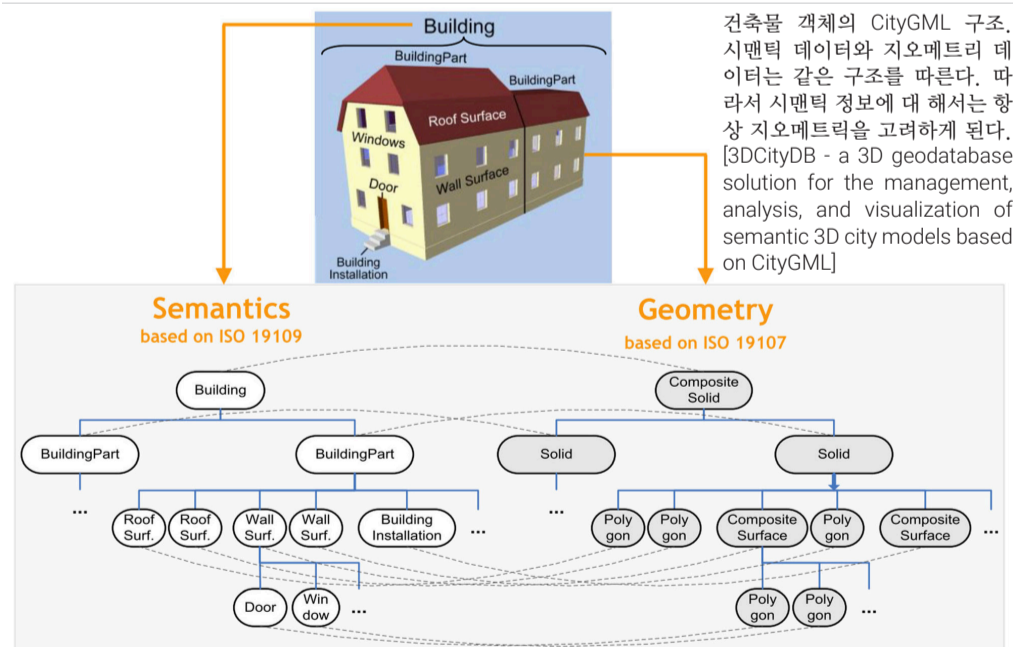


## CITYGML V2.0 LEVELS OF DETAIL

### The Five LoDs of CityGML 2.0

### Semantic 3D City Models with CityGML

CityGML v2.0 상세 레벨 CityGML은 객체의 지오메트리, 토폴로지, 시맨틱 및 시각적 특성을 5가지 상세 레벨(LoD)로 기술할 수 있게 한다. LoD0에서는 객체가 2차원으로 기술되지만, 객체의 고도를 정확하게 표현할 수 있다. LoD1에서는 건축물이 직사각형으로, 평지붕으로 기술된다. LoD2에서는 건축물 지붕의 형태와 표면이 구별된다. LoD3 레벨 건축물에는 창, 외부 도어 등 외부 천장과 벽의 건축학적 특징이 포함된다. 가장 진화된 수준인 LoD4에서는 건축물의 실내와 매우 작은 세부항목이 모델링된다. 시티 정보 모델의 다른 테마 객체에 대한 상세 레벨도 정의되어 있지만, 그 정의는 건축물에 대한 것만큼 완벽하지 않다. LoD0은 가장 개략적인 성과 수준이다. 건축물이 수평 다각형으로 표현되기 때문에 건축물의 계단이나 천장을 식별할 수 없다. 따라서 지형 모델을 사용해 2차원 모델에 높이를 제공하면 2차원 모델을 LoD0 수준의 모델로 변환하기 쉽다. 지형 모델에서 항 공부 또는 기본 맵은 텍스처의 역할을 할 수 있다. LoD1에서는 객체를 박스 모델로, 즉 평지붕이 있는 건축물이나 교량으로 나타낸다. 박스 모델은 기본 다각형으로부터 생성할 수 있다. 건축물의 경우, 높이는 대개 처마와 지붕마루의 평균으로 결정된다. LoD2에서는 건축물의 지붕 윤곽과 기타 외부 특징을 더 정확하게 표현할 수 있다. 또한 표면에 표면 텍스처를 줄 수 있다. LoD2 레벨의 시티 모델에는 식생 등 다른 객체 및 테마를 넣을 수 있다. LoD3은 LoD2보다 더 상세한 레벨로, 건축물의 도어와 창, 그리고 이보다 더 작은 돌출부 및 움푹 들어간 부분이 표현된다. 게다가 정확한 텍스처를 모든 표면에 줄 수 있다. LoD3에도 교통 관련 구조물과 식생에 대한 설명이 포함된다. LoD4에서는 건축물의 실내 특성도 모델링된다. 룸(Room) 카테고리는 그 용도에 따라 건축물의 내부를 구별하고, 클래스에는 등급, 기능, 용도에 관한 정보가 포함될 수 있다. 상세 레벨은 항상 필요성과 목적에 따라 선택하는 것이 좋다. 시티 차원의 3D 모델링은 LoD1 또는 LoD2에서 수행하는 것이 바람직하다. 반자동화된 3D 모델링과 기존의 맵 및 GIS 데이터를 활용하는 것이 최선이기 때문이다. 건축물의 최대 70%를 자동으로 정확하게 모델링할 수 있다. LoD3 또는 LoD4 도시 차원의 모델을 생성하는 것은 현재로서는 타당하지 않다. 더 상세하게 모델링하려면 모든 객체에 대한 더 상세한 정보가 필요하기 때문이다. 시티 정보 모델을 이용한 가장 일반적인 분석과 시뮬레이션에는 LoD2 모델이면 충분하다. CityGML 표준이 버전 3.0으로 업데이트되면 위에 기술된 상세 레벨의 개념과 그 용도도 업데이트 될 것이다. 표준 개발시 상세 레벨 개념을 업데이트 할 수 있는 방법은 Kutzner and Kolben (2018)가 작성한 간행물에 간략하게 기술되어 있다. 그 간행물에는 실내를 나타내기 위해 사용된 LoD4를 제거하고 LoD0-3만 유지하라고 언급되어 있다. 대신에 실내 표현은 LoD0-3에 직접 통합될 것이다. CityGML v3.0 상세 레벨에 관한 자세한 정보는 Löwner et al. (2016)를 참조한다.



# PRODUCTION OF THE TWIN MODELS - CITYGML MODEL

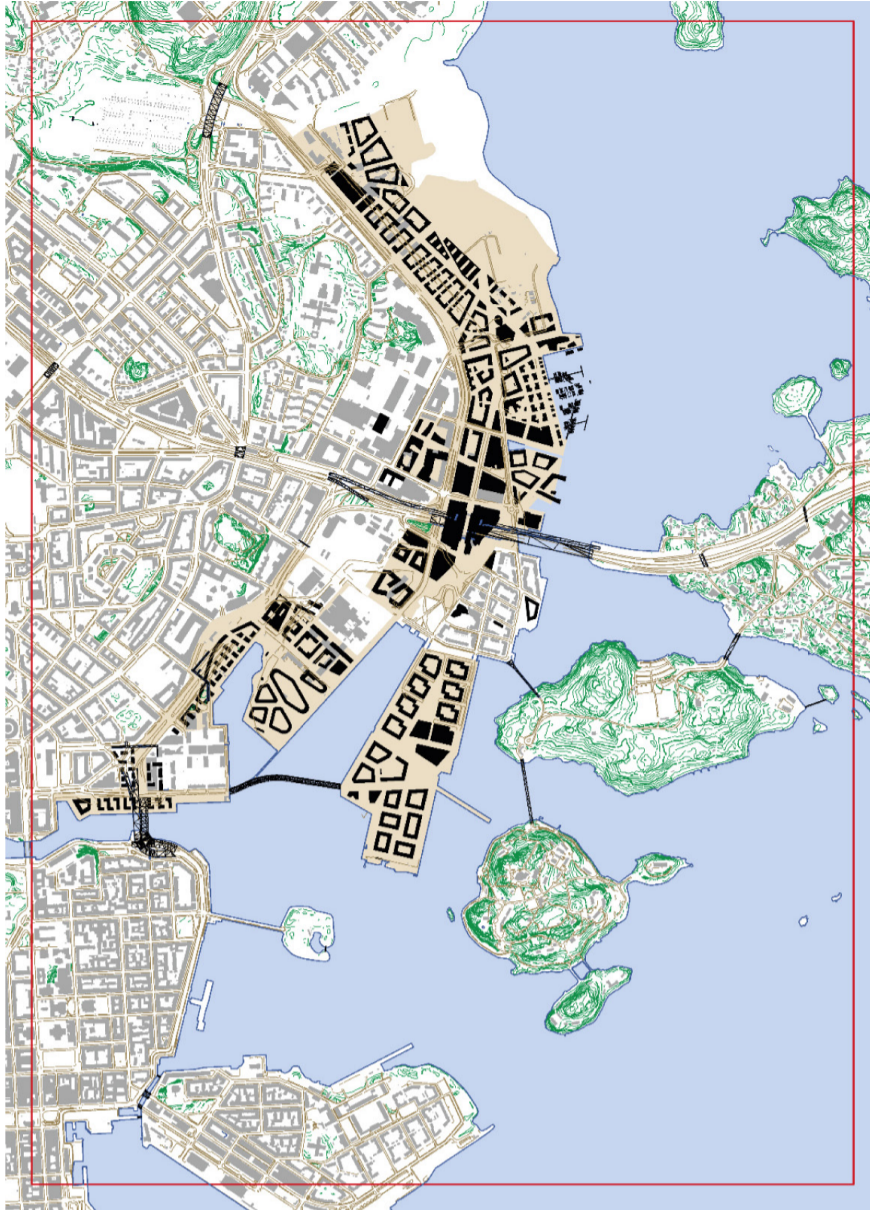
The city information model of Kalasatama consists of buildings in their present state, separately modelled buildings under construction or planned, in addition to bridges (present and planned), as well as ground and waterways, according to the CityGML standard.

**Production of the CityGML v2.0 Model** 칼라사타마 시티 정보 모델은 CityGML 표준에 따라 현재 상태의 건축물, 공사 중이거나 공사가 계획된 개별 모델링된 건축물, 그리고 교량(현재있는 것과 계획된 것), 지면 및 수로로 구성되어 있다. 소스 데이터 칼라사타마 건축물에 대한 현재 표현(LOD1과 2)은 전체 도시의 CityGML 정보 모델에 근거한 것이다. 이는 2017년에 생성된 것으로 현재 꾸준히 유지관리되고 있다. 모델링에 사용된 소스 데이터는 기본 맵에서의 건축물의 풋프린트이고, 레이저 포인트 클라우드(항공 레이

저 측량을 통해)와 고유 특성(속성 정보 등)은 시의 레지스터에서 추가된다.

미래 건축물(현재 공사중인 것과 계획 단계에 있는 것)은 몇 가지 데이터 소스(평면도, 시각 이미지, 기존 CAD 모델 등)를 이용해 모델링했다. 실제로 건축물은 3D 모델이 준비된 경우에도 완전히 재모델링되었다. 지오테리나 청결도에 대한 요구사항을 충족시키지 못했기 때문이었다. 교량에 대한 소스 데이터는 헬싱키 시에서 관리하는 'bridge cover'라고 하는 교량 모델 데이터 세트, ALS 포인트 클라우드,

그리고 국가 건축물 대장으로 이루어졌다. 수역(해역)은 기본 맵과 설계 모델로부터 수면 면적을 이용해 모델링되었다. 현 시점에서는 테마가 데이터베이스에 포함되어 있지 않지만 그 데이터는 CityGML 호환성이다. 지형은 그 위치의 현재 상태에 대한 도시 차원의 경관 모델로, 그리고 삼각형 계획 표면(이것은 CityGML 호환성이지만 데이터베이스에는 없다)으로 생성되었다.



- Buildings, current stage (CityGML)
- Buildings, under construction/planning process (CityGML)
- Bridges, current and planned (CityGML)
- Waterbody (CityGML compatible)
- Terrain, planned (CityGML compatible)
- Terrain, current (CityGML compatible)
- Model's area of coverage

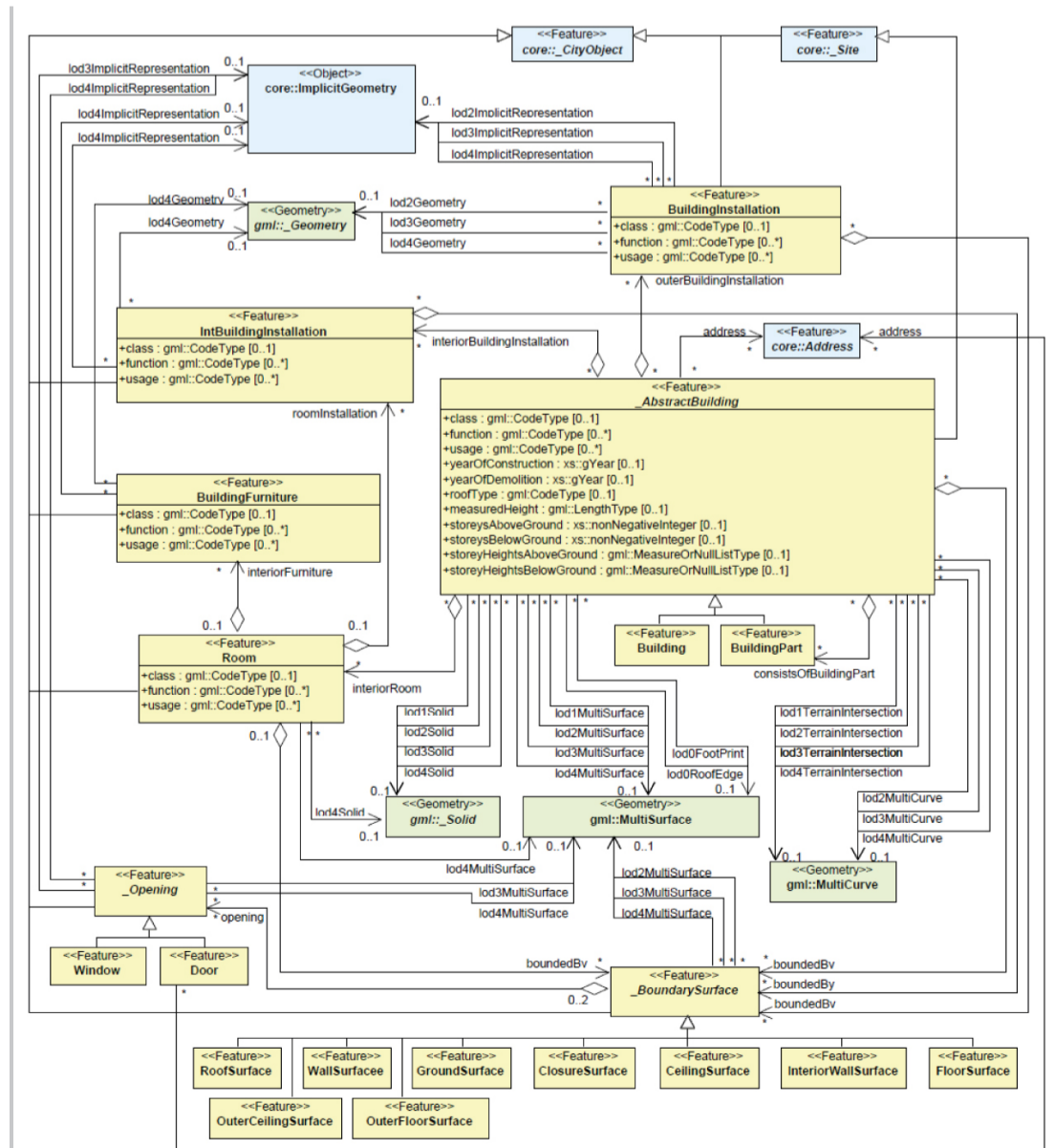
# KALASATAMA'S MODEL'S COVERAGE AND CITYGML THEMES

# CITY GEOGRAPHY MARK-UP LANGUAGE (CITYGML)

건축물은 CityGML 표준에서 가장 잘 정의된 테마이다. 건축물 테마에는 건축물 및 건축물 일부에 대한 상세 테마 및 공간 개념이 5가지 상세 레벨(LoD0-4)로 포함되어 있다. 해당 LoD 레벨에 개별 지오테리를 제공하면 건축물을 다양한 LoD 레벨에서 동시에 표현할 수 있다. 중요한 것은, 지오테리는 항상 시맨틱과 일치해야 한다는 것이다. 건축물 테마의 메인 카테고리는 AbstractBuilding 테마이다. 이것은 CityObject 클래스의 서브클래스이다. CityObject는 모든 테마 클래스의 기본 클래스이다. AbstractBuilding은 건축물 또는 건축물의 일부(Building 또는 BuildingPart)를 나타낸다. 수많은 개별 건축물로 이루어진 건축물 단지(대학, 병원 등)는 CityGML 모델에서 CityObjectGroup으로 라벨링할 수 있으며, 이를 통해 단지 내 주요 건축물을 구별하는 것이 가능하다. 건축물의 파사드는 의미상 BoundarySurface와 BuildingInstallation로 분리할

수 있다. BoundarySurface는 WallSurface 또는 RoofSurface 등의 기능을 갖는 특별한 외부 부분인 반면, BuildingInstallation은 발코니나 계단이 될 수 있다. Building과 BuildingPart는 AbstractBuilding 클래스로부터 여러 기능(class, function, usage, yearOfConstruction, yearOfDemolition, roofType, measuredHeight)을 상속받을 수 있다. 게다가 Building과 BuildingParts에 Address를 연결할 수 있다. AbstractBuilding 카테고리에 포함된 기능 외에도 새로운 항목과 속성을 ADE 기능으로 또는 Generics 모듈의 genericsAttribute를 사용해 템플릿에 추가할 수 있다.

[OGC City Geography Mark-up Language (CityGML) Encoding Standard v2.0, <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>].



UML diagram of CityGML building [http://www.citygml.org]