

도시의 지속가능성을 위한 Virtual Twin의 개념과 사례

다쏘시스템코리아 | 김은광

1. 도시의 지속가능성을 위한 디지털 전환

오늘날 급속한 도시화와 기후변화로 인해 도시의 지속가능성(Sustainability)은 중대한 도전에 직면에 있다. 도시는 지구 토지 면적의 2%에 불과하지만 전체 에너지 소비의 4분 3를 차지하고, 전체 CO2 배출의 75%를 배출하고 있기 때문이다. 이러한 기후변화는 우리가 살고 있는 도시에 심대한 영향을 미칠 것으로 예상되었고, 이러한 예상은 점점 현실화되고 있다.

이에 UN은 지속 가능한 개발 목표(Sustainable Development Goals (SDGs))를 “포괄적이고 안전하며 회복력 있고 지속 가능한 도시 만들기”로 정의했으며, 각국 정부의 규제 압력이 증가하고 정부 주도의 공공 사업은 점점 더 지속 가능한 개발 요소를 확대하고 있다. 일 예로 EU에서는 건축허가를 받기 위해 평균 13개의 절차가 필요하다.

따라서 이러한 기후변화에 대응하기 위해 우리가 해답을 찾아야 하는 수많은 문제가 있고 아래는 그 중의 일부이다(그림 1 참조).

- 만일 내연기관 자동차에서 전기 기반 모빌리티로

전환하기 위해 필요한 것은 무엇인가?

- 탄소 저감을 위해 재생 에너지의 증가는 피할 수 없지만 생산량의 변동성이 심한 재생에너지의 확대를 위해 기존의 전력망(Electrical grid)은 어떻게 변화되어야 하는가?
- 통신 네트워크는 에너지 소비를 줄이면서 증가하는 데이터 트래픽을 처리할 수 있을까?
- 기후 변화로 인한 해수면 상승은 해안 도시의 물 공급, 수처리 시설, 도로, 기업 및 가정에 어떤 영향을 미칠 것인가?

그동안 우리는 스마트시티 개념을 채택하여 빠르게 발전하는 ICT 기술을 통해 도시문제 해결을 추진하였다. 그 결과 도시에 수많은 비디오 카메라 및 IoT 장치가 설치되어 도시에 대한 더 많은 정보를 보다 세밀한 수준으로 수집하고 있다. 이 데이터는 도시인구 증가의 영향도를 예측하고 이를 완화시킬 수 있는 해결책을 도출하는데 큰 도움을 줄 수 있다.

하지만 도시가 가지고 있는 복잡성으로 인해 데이터의 복잡성도 증가할 수밖에 없다.



그림 1 기후 변화에 따른 도시의 당면 과제

즉, 도시는 수많은 요소로 구성된 매우 복잡한 시스템이다. 먼저, 그림 2와 같이 도시는 여러 도메인으로 구성된 “System of systems” 관점으로 봐야 하고, 각각의 도메인은 Scale이 다르기 때문에 이러한 Multi-scale의 도시 내 객체들을 통합된 하나의 데이터 모델로 구축하는 것은 매우 힘든 일이다.

이러한 매우 복잡한 생태계인 도시에서 데이터에 기반한 과학적인 의사결정을 위해서는 보다 정교한 협업을 지원하는 시스템(도구)이 중앙 및 지방정부에 매우 중요하다. 도시의 수많은 객체는 독립적이 아닌 상호 연결되어 있기에 의사결정 시 관련된 영역의 영향도를 분석해야 한다. 이러한 영향도 분석을 위해서는 선택 가능한 여러 대안을 설계하고 설계된 대안을 실행 시 결과를 예측할 수 있는 시뮬레이션 도구가 필요하다.

또한, 도시에 발생하는 많은 문제에 대해서 관련 당

사자들이 머리를 맞대고 협업을 통해서 신속한 의사결정을 하고 대응할 수 있는 정보 공유 및 협업 시스템이 필요하다(그림 3 참조).

이러한 도시의 디지털 전환을 추진함에 있어 도시 모델링, 분석 및 시뮬레이션, 협업을 수행함에 있어 매우 효율적인 기술 기반을 제공하는 Virtual Twin¹⁾에 대해 좀 더 살펴보고자 한다.

2. Why Virtual Twin?

도시가 당면한 과제를 해결하기 위해서는 기존의

- 1) Virtual Twin : 다쏘시스템에서 정의한 Virtual Twin은 Digital Twin에서 진보된 개념으로 외형적인 이미지를 복제하는 것을 넘어 가상세계에 현실과 똑같은 제품이나 공간을 구현하고 다양한 조건과 상황을 시뮬레이션해 봄으로써 현실세계의 문제를 가상 공간에서 해결할 수 있도록 하는 기술임



그림 2 도시 시스템 구성요소



그림 3 도시의 디지털 전환 요구사항

사일로(Silo)화된 사고에서 벗어나야 한다. 그간의 스마트 시티 프로젝트는 도로의 교통 흐름을 개선하거나 긴급 전화 응답 시간을 줄이는 것과 같은 하나의 측면에 초점을 맞추는 경우가 많았지만 이러한 접근은 도시의 복잡한 상호 작용에 의한 영향을 무시하기 때문에 실패 가능성이 높다.

즉, 국내 지자체 시스템 내에는 다양한 데이터가 있지만 서로 다른 시스템을 사용하고 다양한 형식으로 데이터를 수집 및 저장하고 있어 부서 간에 데이터를 쉽게 공유하거나 연계하는 것이 매우 어렵다. 이로 인해 도시 문제 해결을 위한 대안(예: 비상 시 교통 계획, 홍수와 범람에 따른 대응방안 등)을 설계할 때 한개의 조직이 보유한 데이터로 한정되지 않아 통합적인 대응 계획 및 시나리오 모델링은 매우 어렵다.

Virtual Twin은 도시 또는 기타 지리적 공간의 충실도(fidelity)가 높은 복사본(Replica)을 생성할 수 있는

솔루션 기반 접근 방식이다. 이 디지털 사본은 GIS 데이터, IoT 센서 데이터, 과거 이력 데이터, 환경, 재난/안전 데이터, 모빌리티, 운송 인프라, 등 도시가 생성하는 광범위한 정보를 3차원(3D)의 충실도가 높은 단일의 통합모델이다(그림 4 참조). 이러한 virtual twin은 데이터의 결합 및 연계를 통해 보다 빠르고 효율적인 협업을 가능하게 한다.

Virtual Twin 플랫폼은 데이터 통합, 시각화, 협업 기능을 결합하여 사용할 수 있다. 3D 모델링을 사용하여 정교한 방식으로 데이터를 시각화 하면 다양한 이해관계자가 정보를 즉시 이해하고 사용가능하다. 가상 세계에서 아이디어를 모델링하면 실제 세계에서보다 훨씬 빠르게 데이터를 처리하고 아이디어를 형상화하고 설계안은 테스트할 수 있다.

도시는 시민, 기업 및 공무원 등 많은 당사자가 함께 일하는 생태계이다. 스마트시티에서 있어서 도시

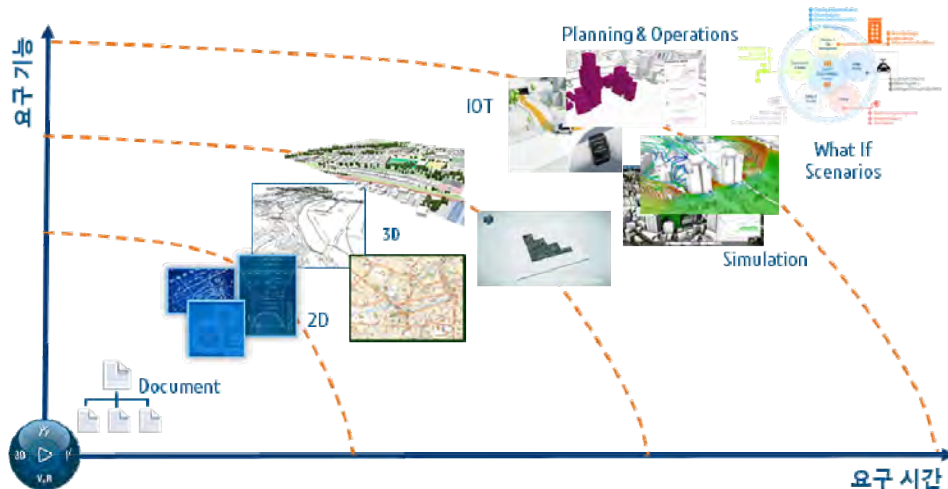


그림 4 도시 Virtual Twin의 구성요소 및 발전단계



그림 5 Virtual Twin 플랫폼의 주요 기능

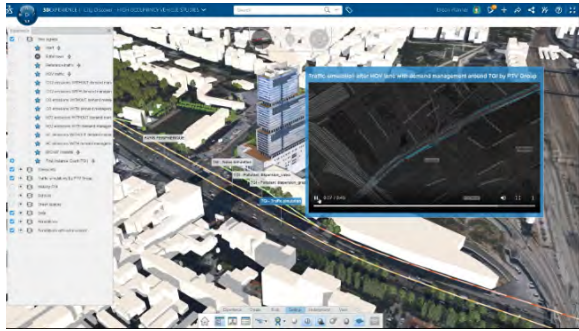


그림 8 HOV 전용차로 Traffic 시뮬레이션(출처:다쏘시스템)

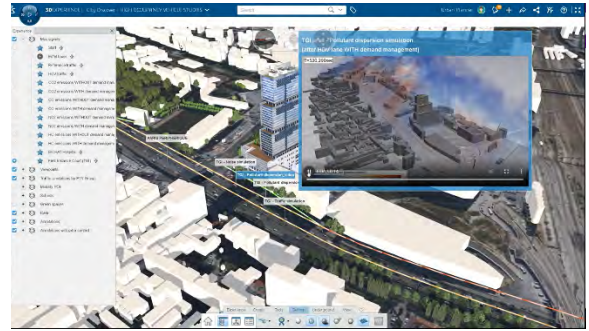


그림 9 순환도로 오염물질 배출 시뮬레이션 (출처:다쏘시스템)

“국가적 토론”을 촉구하기도 했다. 이에 다쏘시스템은 교통흐름, 소음, 대기오염에 대한 시뮬레이션 통해 전용차선 도입에 대한 통합적인 관점의 의사결정을 할 수 있도록 지원하였다. 3DEXPERIENCE 플랫폼을 통해 파리지 Virtual Twin을 구현하였고, 모빌리티 시뮬레이션 전문 기업인 PTV Group과 협력하여 순환도로 대상 모빌리티 시뮬레이션을 수행하였다(그림 8, 9 참조).

2가지 시나리오(1. 카풀에 대한 인센티브 없음, 2. 카풀 이용자에 인센티브 제공)를 사용하여 일정 구간 (Porte Maillot과 Porte de la Chapelle 사이)을 대상으로,

차량 이동시간 및 대기오염 관점에서 HOV 전용 차선에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 아래 표 1은 오전 Peak time 시간대인 오전 8:00~8:30 구간에 대한 시뮬레이션 결과이다.

시뮬레이션 결과를 보면, 카풀에 대한 보조금이 지급되는 HOV 전용 차선 도입 시, 차량의 평균 속도가 개선되고(기존의 시속 34 에서 38), 이동시간도 기존 10분30초에서 9분30초로 단축되는 것을 확인하였다. 오염물질 배출량에 있어서도 NO₂, CO₂ 모두 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 카풀에 대한 인센티브를

표 1 교통흐름, 대기오염 시뮬레이션 결과(by PTV Group)

평가 항목	단위	현재 상태	HOV 전용차선 (No Incentive)	HOV 전용차선 (Car-Pool Incentive)
차량 탑승비율	사람수/차량	1.1	1.1	1.3
HOV* 평균 차량속도	km/h	34	34	38
HOV 평균 이동시간	mm:ss	10:30	10:30	09:30
SOV** 평균 차량속도	km/h	34	25	30
SOV 평균 이동시간	mm:ss	10:30	14:00	12:00
CO ₂ 배출량	Kg	9,900	12,700	9,000
NO ₂ 배출량	Kg	4.8	6.2	4.4
차량 이동량	차량/시간	8,000	8,000	7,500
사람 이동량	사람/시간	9,000	9,000	9,500

* HOV: High Occupancy Vehicle / ** SOV : Single Occupancy Vehicle

(출처) PTV 시뮬레이션 결과



그림 10 주택의 에너지 전환 과제 수행 목표 및 절차

제공하지 않는다면 현재보다도 더 악화되는 것으로 나타나 HOV 전용차선 도입 시 카풀을 유도하기 위한 인센티브 도입이 필수적임을 확인하였다.

사례 2- 건물 에너지 전환 정책 수립 지원 (프랑스 렌)

프랑스 렌(Renne) 시정부는 도시 내 가장 많은 온실가스를 배출하는 것은 건축물이며, 이 중 25%는 주택, 특히 단열이 불량한 주택에서 발생하는 사실을 파악하고, 건축물 개조에 대규모 보조금을 지급하고 있다. 지난 4년 동안 다쏘시스템의 Virtual Twin 플랫폼을 사용해온 시당국은 주택 개조 보조금 지출의 최적화를 위한 계획 수립에 다쏘시스템과 협력하였다.

도시 주택 부서는 2030년까지 주택의 온실가스 40% 감축을 목표로 설정하고, 매년 6천가구를 선정하여 그린주택으로 개조하는 계획을 수립하였고, 다쏘시스템의 Virtual Twin 플랫폼을 활용하여 주택 특성을 연구하고 지원 대상 주택을 선정하였다(그림 10 참조).

먼저, 에너지원(전기, 가스 등), 주택유형(개인 또는 공동 주택), 관리형태(집주인 또는 임차인) 등 Virtual 플랫폼에서 관리되는 건물의 특성 정보에 따라 건물의 에너지 효율성을 평가하였고, 이러한 분류 덕분에 건물 유형별 에너지 소비를 예측하고 건물 유형과 에너지 효율의 관계를 파악하였다(그림 11 참조). 그림 11에서 빨간색으로 표현된 건물은 리노베이션 대상으

로 선정되었다.

또한 주택 개조(renovation) 방식 검토시, 건물 옥상에 태양광 패널을 설치할 경우의 전기 생산 효율성을 3D 주택 모델 기반으로 계산함으로써 과학적인 개조 계획 수립이 가능하다(그림 12 참조).

사례 3- 대기오염과 열섬현상 해결을 위한 Virtual Twin (이집트 카이로)

이집트 통신정보기술부(MCIT)는 수도 카이로의 기후 변화에 대응하기 위해 프랑스 정부에 지원을 요청하였다. 기후 변화에 대한 회복탄력성(Resilience)은 이집트 정부의 최우선 관심사이며, 이를 위해 과학 기반의 디지털 솔루션에 대한 투자를 결정하였다.

카이로시 당국의 요구사항은 기후변화로 인한 결과를 분석하고 이에 대한 과학적 대응을 위한 Virtual Twin 기반의 기후 변화 관측소를 설치하는 것이었고, 이에 다쏘시스템은 Virtual Twin 기술과 전문가, 시 공무원 및 솔루션 기업 간 협업을 활용하여 기후 변화에 대처하는 새로운 접근 방식을 제안하여 과제를 수행하였다. '22년 1단계에는 다음의 2가지 Use case에 대한 PoC를 진행하였다.

Use case 1- 미래 대기 오염 예측 및 전기차 도입에 따른 공기질의 변화 예측

향후 수년 간 예상되는 기후 조건에 따라 대기 오염



그림 11 건물의 에너지 효율성 분석 결과(출처:다쏘시스템)



그림 12 태양광 발전 효율성 분석 결과(출처:다쏘시스템)



그림 13 공기질 시뮬레이션(출처:다쏘시스템)



그림 14 열섬 현상 분석 시뮬레이션(출처:다쏘시스템)

모니터링 및 시뮬레이션을 매일, 시간 단위로 수행합니다. 시뮬레이션의 정밀도는 환경 전문가가 학교, 병원 또는 기타 건물 주변에서 특정 예방 시나리오를 구축할 수 있도록 거리 수준까지 높일 수 있다. 기존의 내연기관 차량 대신 전기차 도입 확대 시 대기질 변화를 예측하는 시뮬레이션을 수행하였다(그림 13 참조).

Use case 2- 열섬(heat island)현상 대응 방안 시뮬레이션

유동해석을 통해 도시 내 열섬 현상이 발생 가능한 공간을 탐지하고, 이를 완화시키기 위해 어떠한 조치가 효과적인지 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시정부가 검토중인 대응 방안 중 하나인 건물 옥상 또는 도로에 녹지 공간을 조성할 경우 열섬(heat island) 현상이 어느 정도로 완화되는지 시뮬레이션을 통해 파악함으로써 녹지 조성 대상 지역 및 규모를 결정하는데 도움을 주었다(그림 14 참조).

4. 맺음말

“기후 변화와 같은 복잡한 글로벌 문제를 해결하기 위한 우리의 유일한 희망은 다양한 분야의 전문가들 간의 협력입니다.” 라고 CRA설립자이자 MIT SENSEable City Lab 연구소장인 Carlo Ratti는 언급하였다. 올바른 협업 도구를 사용하면 새롭고 매우 효과적인 방식으로 다수의 이해관계자를 참여시킬 수 있어 정확하고 올바른 의사 결정을 내릴 수 있을 것이다.

Virtual Twin(Digital Twin 포함)과 VR/AR 기술은 시간이 지남에 따라 차세대 정보 인터페이스를 주도할 것이다. 우리 주변 세계를 보다 잘 이해할 수 있는 물

입형 경험을 제공하는 이러한 기술력의 발전은 지속 가능한 미래를 준비하는데 크게 기여할 것이다.

이러한 이유로 Virtual Twin 플랫폼의 도입은 데이터 기반의 스마트시티를 구현함에 있어 더욱 보편화될 것이다. 하지만 핵심은 플랫폼이 사람들을 위해 작동하고 실행 가능하도록 만드는 것이라는 사실을 잊지 말아야 한다.

참고문헌

- [1] UN Global Sustainable Development Report (GSDR) 2023.
- [2] IDC PlanScape Doc # US43677519 : Smart City Digital Twins.
- [3] Hot Heart, <https://carloratti.com/project/hot-heart/>
- [4] TianhuDeng, “A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities”, 2021.

약 력



김은광

1993 고려대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1995 고려대학교 산업공학과 졸업(석사)
 2000~2003 Accenture 제조부문 컨설턴트
 2007~2019 SK텔레콤 모빌리티/IoT/스마트시티 담당
 2015~2017 과기부 부산 스마트시티 실증단지 조성사업 총괄PM

2019~현재 다쏘시스템코리아 스마트시티/공공 담당
 관심분야: 디지털트윈, 스마트시티, 디지털전환
 Email: EKM8@3ds.com