



3차원 디지털트윈 기술을 활용한 북한 도시공간 분석

2024.01

Contents_목차

| | |
|---|----|
| 1장. 연구 개요 | 4 |
| 1.1 연구 배경 및 목적 | 4 |
| 1.2 연구 대상 및 범위 | 8 |
| 2장. 이론 고찰 | 14 |
| 2.1 북한 도시공간의 이해 | 14 |
| 2.2 3차원 Digital Twin의 개념 | 25 |
| 3장. 연구 방법론 | 38 |
| 3.1 3차원 Digital Twin 구축 | 38 |
| 3.2 환경 시뮬레이션 | 45 |
| 4장. 평양 중심부 Digital Twin 구축 | 50 |
| 4.1 평양 김일성광장·려명거리 Digital Twin 구축 | 50 |
| 4.2 VR 시뮬레이션 | 61 |
| 5장. 도시공간분석 | 63 |
| 5.1 도시공간분석모델 구축 | 63 |
| 5.2 환경 시뮬레이션 | 64 |
| 6장. 결론 | 73 |
| 6.1 결론 | 73 |
| 6.2 향후 과제 | 74 |
| 참고문헌 | 75 |

제 1 장

연구 개요

1.1 연구 배경 및 목적

1.2 연구 대상 및 범위

1.1 연구 배경 및 목적

1.1.1 연구 배경

남북한의 관계는 분단 이후로 시간이 지남에 따라 지속적으로 변화해왔다. 남한의 경우 대한민국 정부 수립 후 정권 교체가 반복되었고, 이에 따라 대북정책 기조 또한 달라졌다. 하지만 북한과 대한민국이 과거 한 민족, 하나의 국가였다는 것은 변함없는 사실이다. 따라서 계속해서 변하는 정부의 정책과는 무관하게 통일에 대한 필요성은 꾸준히 대두되고 있다.

통일이 필요하다는 생각, 소위 통일의 필요성에 초점을 둔 통일 공감대 확산 노력은 통일의 당위성을 바탕으로 통일해야 하는 근거를 제시하고 이에 동의를 구하는 방식으로 이루어져 왔다. 이러한 당위성은 같은 민족이기 때문이라는 민족 이론, 남북 대치상황에 놓여있기 때문에 드는 비용의 상쇄에 대한 편익담론, 통일로 한반도가 가지게 되는 가치창출 이론 등을 통해 제시되고 있다. 하지만 민족 담론, 편익 담론, 가치 담론 등으로 대표되는 기존세대의 통일에 대한 근거는 MZ세대를 중심으로 입지가 흔들리고 있다.

통일 공감대 정책이 한계에 직면한 상황에서 출범한 윤석열 정부는 당위적 통일의 틀을 깨고 「민족공동체통일방안」을 중심으로 '통일에 대한 국민적 관심과 의지를 재점화하는 계기'를 마련하겠다고 밝혔다 (통일연구원, 2022). 민족공동체통일방안에 대한 논의는 통일이 필요한지 아닌지에 대한 논의보다는 '통일이 어떤 과정을 거쳐야 하는가?', '통일의 과정에서 현재 한반도의 상태를 어떻게 규정지을 수 있는가?', '통일국가의 가치는 무엇인가?' 등 통일 자체에 논의의 초점을 둘 수밖에 없다¹⁾.

2021년 통일연구원이 발표한 'KINU 통일의식조사 2021' 결과, 국민 58.7%는 통일이 필요하다고 생각하는 것으로 나타났다. 그렇지만, 남북관계 미래에 대해서는 '평화공존 선호'(56.5%)와 '통일 선호'(25.4%)로 응답이 갈렸다. 조사가 시작된 2016년부터 '평화공존 선호'는 43.1%에서 매년 약 3%씩 꾸준히 높아졌으며, '통일 선호'는 37.3%에서 시작해 2017년 31.7%에서 2018년 32.4%로 소폭 반등이 있었으나 2020년까지 매년 하락하다 올해 조사에서 약간 올라간 결과를 보여주었다. 그러나 2016년 '평화공존 선호'와 '통일 선호' 간 3.8%p에 불과했던 격차는 2021년 31.1%p로 벌어졌다 (통일연구원, 2021)²⁾.

1) 통일연구원. (2022). 윤석열 정부의 통일 대북정책: 국정과제 추진방향

2) 통일연구원. (2021). KINU 통일의식조사 2021



[그림 1-1] 통일 선호와 평화 공존 선호 (출처 : 통일연구원)

통일연구원은 2022년 조사를 통해 통일의 필요성에 대한 인식이 상당폭 높아졌으며, '평화공존 선호'와 '통일 선호' 의견이 각각 조금씩 오른 것으로 보아 '양극화 추세'를 보여주고 있다고 평가했다. 세대별 특성도 두드러지는데, 지난 1년 사이에 밀레니얼 세대(1991년 이후 출생, 63.6%→71.4%)와 IMF 세대(1980년~1990년, 55.9%→61.5%), 산업화 세대(1951년~1960년, 51.3%→56.9%)는 다른 세대와 달리 평화공존 선호가 더 늘어난 특징을 보여주고 있다. 특히 밀레니얼 세대는 2021년 4월 조사에서 평화공존 선호 71.4%, 통일 선호 12.4%로 통일 선호와 평화공존 선호 간 59%p의 큰 차이를 보인다. 젊은 세대일수록 북한을 통일의 대상이 아닌 공존의 대상으로 보는 추세가 확연하게 드러나고 있는 것이다 (통일뉴스, 2021)³⁾.



[그림 1-2] 통일선호와 평화공존선호 (출처 : 통일연구원)

3) 통일뉴스. “MZ세대, 평화공존 선호 71.4%... '통일'보다 59% ↑”, <https://www.tongilnews.com/news/articleView.html?idxno=202602> (검색일: 2023.08.28)

2021년 진행된 한겨레통일문화재단이 마련한 'MZ POP CON'에서 토론자로 나온 기아대책 인도적지원팀 차선호 차장은 2021 통일연구원 국민 통일의식 조사에서 MZ세대의 북한에 대한 관심이 기성세대보다 현저히 낮음을 언급했다. 기성세대가 북한에 대한 경계가 있었다면 MZ세대는 긍정도 부정도 아닌 '무관심의 상태'라며 한반도의 현재에 관심을 가지는 것이 평화를 위한 시작점임을 강조했다 (한겨레, 2021)⁴. 즉 MZ세대에 해당하는 20~30대는 통일에 대해 관심이 현저히 낮으며 북한의 폐쇄주의적인 정책으로 인해 북한의 최신 정보를 쉽게 얻을 수 없다는 점이 통일 무관심 현상에 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

1.1.2 연구 목적

1) 북한도시에 대한 일반인의 관심유도

MZ세대를 중심으로 통일에 대한 사회 전반적 관심을 높이기 위해서는 북한과 관련한 콘텐츠가 필요하다. 폐쇄주의적인 북한 정권의 특성상 MZ세대가 주로 소비하는 콘텐츠에서 북한과 관련한 정보를 접하기가 쉽지 않다. 즉, MZ세대가 친근한 미디어를 통해 북한을 마주하는 일은 매우 드물다. 이러한 상황에서 대한민국 국민에게 북한에 대한 정보를 전달하고 친근감을 높이기 위해서는 현재 북한 지역의 모습을 직접적으로 보여주는 것이 가장 효과적일 것이다.

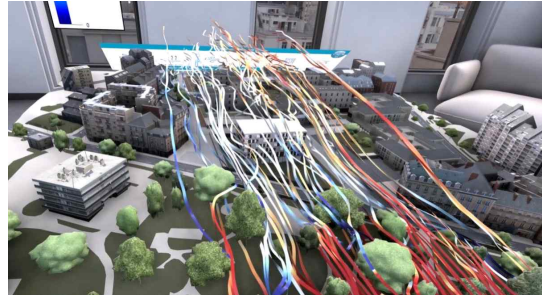
한편, 오늘날 4차 산업혁명의 일환으로 가상현실을 활용한 콘텐츠가 생산 및 소비되고 있다. 이러한 가상현실 콘텐츠를 통해 국민에게 북한에 관한 정보를 전달하는 방식이 북한에 대한 국민적 관심을 높이고 더 나아가 통일에 대한 관심으로 이어지는 데 도움을 줄 것으로 예상된다. 실제로 현재 통일부에서 인공위성 지도를 이용하여 지형정보와 영상정보를 융합해 지리 및 공간정보를 구현하였으며 이를 통해 북한지역을 2차원 영상으로 볼 수 있는 체계는 갖추어져 있지만 3차원 도시공간 플랫폼은 부재한 상황이다. 또한 북한의 도시공간은 북한 측에서 찍은 홍보용 동영상이나 해외 외신기자들이 촬영한 동영상을 통해 3차원 모습이 공개되고 있으나, 노출 범위가 제한적이고 정치적 의도가 있기 때문에 연구자가 자유롭게 도시공간을 이해하기에는 한계가 있다.

이에 비해 최근에 개발된 Digital Twin 기술은 실제 도시공간과 동일한 형태의 가상공간을 디지털상에서 구현함으로써 실제 갈 수 없는 공간을 VR, AR 등의 도구를 활용하여 체험하고 실험할 수 있다. 따라서 북한의 도시공간을 3차원 Digital Twin으로 구축할 경우 북한에 관해 큰 관심이 없거나 지식이 전무한 일반인이라도 실제 세계에서 경험하는 것처럼 자유롭게 경험할 수 있을 것이다. 또한 3차원 Digital Twin은 실제 도시공간을 연구하는 연구자가 환경, 에너지 등의 고차원적인 분석을 하는 데 이용할 수 있다.

4) 한겨레. "MZ 세대, 북한에 무관심...음식 등 남북문화 나뉘야 통일 밑돌"
<https://www.hani.co.kr/arti/politics/defense/1011440.html> (검색일: 2023.08.28)



[그림 1-3] 남한에서 개발한 북한의 지도 구축 현황 (출처 : 통일부)



[그림 1-4] Digital Twin으로 만들어진 Virtual Singapore 플랫폼에서 분석된 도시공간 (출처 : Dassault System)

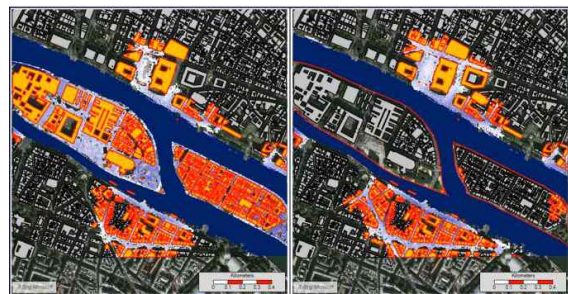
2) 북한의 도시개발을 위한 토대 마련

남북관계가 개선되어 경제협력이 재추진될 경우, 북한 도시의 미흡한 부분에 대한 개선이 우선으로 고려될 수 있다. 에너지, 환경(대기오염, 재해) 등의 도시 인프라 분야는 식량, 의료분야와 함께 대표적인 지원 대상이다. 이를 위해서는 기초적인 에너지 활용 현황과 3차원 도시 상황을 고려한 기반 시설 구축이 필요하다.

북한의 경우 폐쇄정책으로 인해 현재 내부 상황을 파악하기 어렵다. 따라서 북한의 현황을 분석하기 위한 디지털 공간 플랫폼 구축과 이를 기반으로 한 개선 방안 마련은 경제협력과정에서의 시행착오를 줄이는 데 도움을 줄 것으로 기대된다. 최근 한국을 비롯한 선진국을 중심으로 실제 도시개발 과정에서 인프라 및 도시개발에 대한 과정과 계획을 Digital Twin을 활용하여 시뮬레이션하고 시행착오를 줄이는 기법이 개발되고 있다. 이를 북한의 도시에 적용하면 미래 남북관계 개선 시에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다.



[그림 1-5] Digital Twin으로 도시 인프라 시설 개발의 효과를 시뮬레이션 한 사례 (출처 : ARUP)



[그림 1-6] Digital Twin으로 도시의 홍수 저항력을 시뮬레이션 한 사례 (출처 : Lisbon)

1.2 연구 대상 및 범위

1) 연구대상 : 평양 중심부 (김일성광장, 려명거리)

북한의 정권은 마르크스, 레닌주의와 '주체사상'을 통치이념으로 삼고, 프롤레타리아 계급 독재를 실시하고 있는 사회주의 정권이다. 외형상으로 삼권분립의 권력구조 형태를 취하고 있으나, 실제로는 모든 국가 권력이 집권당인 조선노동당에 집중되어 있기 때문에 모든 국가기관이나 조직, 단체가 당의 지도 밑에서 그 기능을 수행한다.

북한 경제는 기본적으로 중앙집권화된 경제이며 중앙의 지시에 따라 계획대로 운영되는 경제이다. 즉 경제계획 수립을 비롯한 모든 경제적 의사결정 권한과 이에 필요한 정보의 흐름이 중앙에 집중되어 있으며 하부 조직은 중앙의 명령에 복종하게 되어있는 '중앙 집권적 명령경제 체제'이다 (통일연구원, 2023)⁵⁾.

북한의 면적은 12만3,138km²로서 우리나라 전체면적의 약 55%에 해당한다. 북한지역은 전체 면적의 약 80%가 산지로 구성되어 있다. 기후는 연평균 8~12도의 비교적 온화한 기온분포를 보여주고 있으며, 연간 강수량은 600mm~1,500mm이다 (통일연구원, 2009)⁶⁾.

평양은 북한의 수도이자 최대 도시로 그 면적은 1,849km²이고, 인구는 313만 명⁸⁾이다 (통계청, 2022). 서울을 가로지르는 한강이 있듯이 평양은 대동강이 도시의 중심을 가로지르고 있다. 대동강을 기준으로 강북지역은 본평양과 서평양으로, 강남지역은 동평양과 남평양으로 구분된다. 대동강에는 룡라도, 양각도, 두루섬⁹⁾ 등 3개의 하중도가 있으며, 9개의 대동강 교량이 있다 (최성원, 2015). 도시 전반으로 낮은 구릉이 있고, 산으로 둘러싸여 있는 지리적 특징을 가지고 있다.

평양은 고구려의 수도였고, 고려시대에는 고려삼경 중 서경으로 불리기도 하였다. 또한 조선시대에는 관서 지방의 행정중심지였는데, 이러한 역사는 평양이 과거부터 중요한 도시로 꾸준히 인식되어 왔음을 방증한다. 일제강점기에도 평양의 지리적 이점과 상징성을 바탕으로 평양역을 중심으로 한 격자형 도로를 계획하여 식민지 경영과 대륙침략의 전진기지로 사용하였다. 하지만 평양이 지금의 모습을 갖추는 데는 한국전쟁이 큰 계기가 되었다. 평양은 북한의 어느 도시보다도 큰 전쟁 피해를 보아 도시를 새롭게 재건해야 했고, 이는 사회주의 도시계획 원칙을 적극적으로 반영한 사회주의 도시로 탈바꿈할 기회가 되었다. 그렇게 현재 우리가 알고 있는 평양의 모습을 갖추게 되었다.

5) 통일연구원. (2023). 2023 북한 이해

6) 통일연구원. (2009). 2009 북한개요

7) 통계청. 2022. 북한의 주요통계지표 45p (2021년 기준) (검색일 : 2023.08.27).

8) 통계청. 2022. 북한의 주요통계지표 56p (2022년 기준) (검색일 : 2023.08.27).

9) 통일부 북한정보포털. "북한지도", <https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/main/portalMain.do> (검색일 : 2023.08.16)

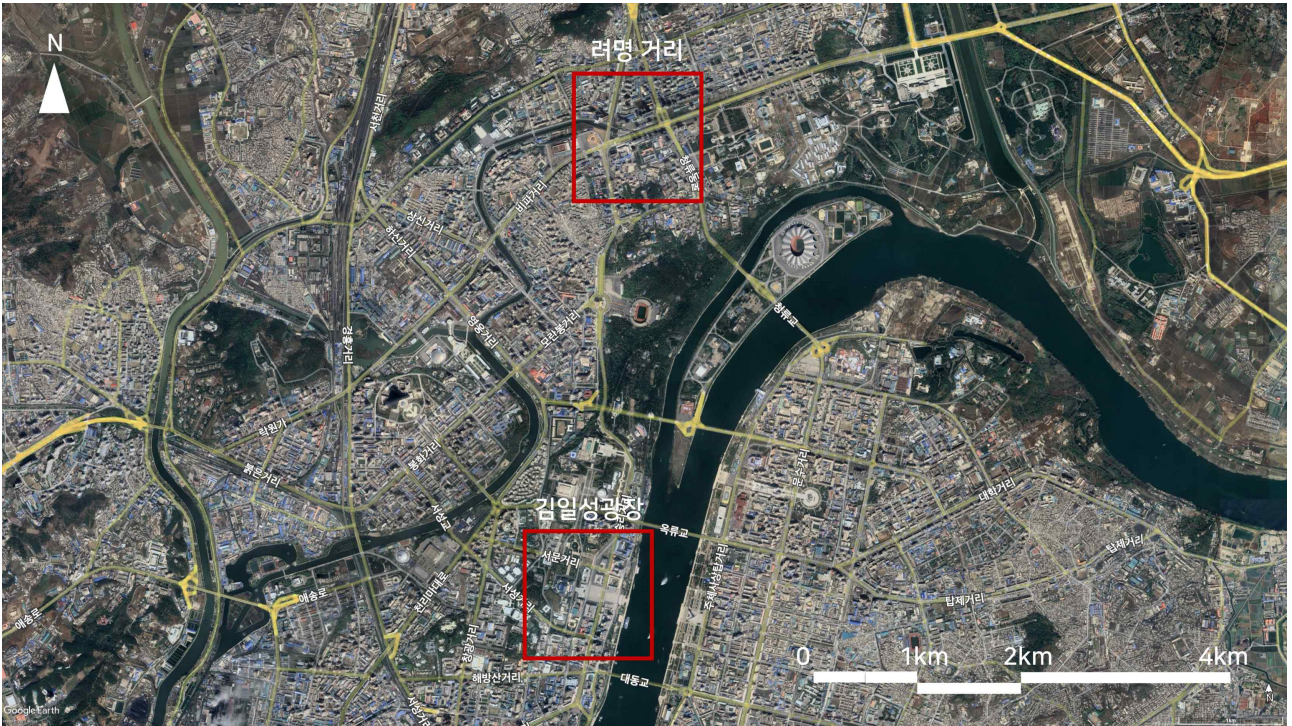


그림 [1-7] 평양 중심부 (김일성광장, 려명거리) (출처 : Google지도에 연구진 추가작성)

2) 연구범위 : 김일성광장, 려명거리

(1) 김일성광장

김일성광장은 북한을 상징하는 대표적인 공간으로 도심광장이다. 면적은 약 7만5,000㎡이며 약 10만 명을 수용할 수 있는 것으로 알려져 있다 (김태운, 2022). 김일성광장의 조성은 한국전쟁 이후 1951년 「평양시복구건설총계획도」를 통해 시작되었다. 광장이 도시 중심에 위치하고, 산을 등지고 있으며, 적절한 크기를 가져야 한다는 근거로 김일성광장의 틀을 잡았다. 이후 많은 수정을 거쳐 현재의 모습을 갖추게 되었다. 그 과정에서 세 가지의 주안점이 있었다.

첫째, 다양한 행사가 개최되어 사회주의 이념을 선전하는 공간이다. 대개 사회주의국가에서는 광장을 사회주의 이념을 바탕으로 조성하기 때문에 북한에서도 이러한 원칙을 따르는 것으로 보인다. 둘째, 도시 경관적인 측면에서 배산임수의 원칙을 적용하고, 녹지와 광장의 연계성을 고려한 것이다. 대동강 변의 녹지와 광장을 연결하여 연속적인 보행로를 구성하였다. 셋째, 광장의 폐쇄성과 개방성이다. 이는 김일성광장의 중요한 랜드마크인 인민대학습당과 주체사상탑에 대한 배치를 통해 실현하였다. 위요감 형성을 위한 폐쇄성은 유지하되, 강변으로 시각축이 열리도록 한 것이다. 광장 내부에 위치한 인민대학습당과 대동강 너머에 배치한 주체사상탑으로 인민대학습당에서 주체사상탑을 보았을 때 김일성광장이 대동강과 시각적으로 통합되는 효과를 주었다 (정인하, 2021).

김일성광장을 연구범위로 선정한 이유는 다음과 같다. 첫째, 국가적 상징성이다. 사회주의국가 도시계획은 상업, 업무지구가 아니라 광장 중심이다 (안창모, 2020)¹⁰). 그중 평양의 김일성광장은 전후복원사업으로 평양의 중심부 복원사업 중 가장 우선시되어 1954년에 준공되었다. 광장은 사회주의 이념을 투영했다. 광장에 상징 건물과 상징탑을 배치하여 사람들의 생각을 계도하고, 체제의 우월성을 선전한다. 김일성광장의 상징건물은 인민대학습당이고 상징탑은 주체사상탑이다. 주체사상탑은 김일성광장 맞은편으로 대동강 너머를 바라볼 수 있으며 김일성광장의 배치도 김일성광장에서 주체사상탑을 보는 방향으로 되어있다.

또한 노동자와 농민의 공공문화시설 배치를 중요시했다. 노동자층의 계몽을 위한 공공문화시설의 역할이 중요해져 미술관, 박물관과 같은 문화시설이 광장을 에워싸는 형태를 띠고 있다. 김일성광장의 주변에는 조선중앙역사박물관, 조선중앙미술관 등이 있다. 이는 도시 중심부가 지배계급의 공간이 아니라 대중들의 공간임을 상징하며 그 이면에는 사회주의 사상을 공고히 하기 위한 수단으로 광장이 이용되고 있음을 내포한다.

둘째, 국가적 중요성이다. 김일성광장은 당대회, 북한창건기념일, 군중 시위, 열병식 등 대규모 국가행사의 배경이다. 인민대학습당 앞의 대주석단은 이러한 행사를 위해 만들어진 시설이다. 중요한 행사의 배경이 될 만큼 북한 내에서의 중요도와 상징성이 충분한 공간이다.

셋째, 정보획득의 용이성이다. 북한은 국가 차원에서 정보의 유출을 극도로 경계하고, 제한하기 때문에 건물에 대한 정보를 얻는 것이 쉽지 않다. 관광객들에게도 사진과 동영상 촬영을 매우 제한적으로 허용하기 때문에 북한이 대외적으로 공개하는 일부 건물들만 인터넷에서 확인할 수 있었다. 하지만 김일성광장의 경우 대규모 국가행사가 많이 개최되어 언론에 많이 비친 공간이고, 우리나라의 방송국도 여러 차례 방문하여 촬영한 영상이 있는 만큼 비교적 다른 공간보다 정확한 정보를 획득할 수 있었다. 더불어 북한정보포털에도 건축물의 모습이 3차원으로 올라와 있는 공간이어서 여러 자료를 비교할 수 있다.



그림 [1-8] 김일성광장 (출처 : Google지도에 연구진 추가작성)

10) 사회주의국가의 도시계획 특징 : 중심 상업 및 업무지구의 부재, 상징적인 중심 공간은 광장과 공공문화시설로 구성, 주거지는 직주근접을 원칙으로, 간선도로의 주경관은 집합주택에 의해 형성함. (출처 : 안창모, (2020). 역사도시 평양의 사회주의 도시화 과정 - 도시구성과 건축양식을 중심으로. 서울학연구 (80) pp.1-36.)

(2) 려명거리

려명거리는 평양직할시 모란봉구역 전승 2동, 대성구역 룡흥 1동, 룡흥 2동에 걸쳐있다. 모란봉구역 영생탑에서 대성구역 금수산태양궁전에 이르는 구간이며 길이는 약 3km이다.

2016년 4월 3일 착공하여 2017년 4월 13일 준공된 약 1년 만에 완공한 신도시이다 (한겨레, 2019)¹¹⁾. 부지 면적 90만㎡, 건축면적 18만 8천여㎡, 연건축면적은 171만 3천여㎡로 려명거리에는 44동, 4804세대에 달하는 아파트(살림집)가 지어진 것으로 알려져 있다. 이외에 개보수 아파트 36동, 공공건물 60개, 봉사 건물 28동, 하부구조물 49개 등이 지어졌다.

거리의 양옆에는 초고층 아파트와 현대식 상점, 공장, 사무실, 김일성 종합대학 등이 자리 잡고 있다. 북한에서 볼 수 있는 첫 번째 쇼핑몰인 려명거리종합상업구도 조성됐다. 대표적인 건물로는 려명거리 82층 아파트 (북한 마천루 높이 1위), 려명거리 70층 아파트 (북한 마천루 높이 2위)가 있다.

려명거리를 연구대상지로 선정한 이유는 다음과 같다.

첫째, 김정은 체제 안정화를 위한 상징적인 도시개발 프로젝트였다는 점이다. 려명거리 건설 등 평양시 현대화 사업은 김정은 체제를 안정시키는 기제 중 하나이다. 김정일과 김정은 시기 모두 평양시 도시미화 담론과 경관이 지도자 혹은 체제의 위대성을 상징하는 데 최우선적인 목표를 두고 있지만, 김정일 시기의 건축은 주체적 미학을 표방하고 김정은 시기는 현대성과 실용성을 표방하려는 부분적 차이점이 존재한다.

실제로 김일성, 김정일 시대에는 중공업 중심의 산업시설과 도로, 철도 등 사회간접자본 투자와 대기념비 건축물의 건설에 중점을 두었지만, 김정은 시대에는 평양 시내 초고층 건설과 문화 및 복지시설, 대규모 축산시설과 관광사업 등에 주력하는 모습이다.

려명거리는 김정은 시대의 사회주의 문명국 담론을 재현하고 과학기술 중시 정책을 보여주고자 한 김정은 체제를 대표하는 상징적인 아파트 단지라고 할 수 있다. 즉, 려명거리는 '건설대강습' 담화에서 선언되는 김정은식 사회주의 문명국에 부합하는 현대건축(조형화, 예술화, 녹색화)의 완벽한 기념비로 지어졌다.

둘째, 입지적 상징성을 들 수 있다. 려명거리는 김일성종합대학과 인접하고 김일성과 김정일을 기념하는 금수산태양궁전 인근에 자리 잡았다. 려명거리 아파트의 주요 입주 대상도 김일성종합대학 교수 등 상위계층이다.

셋째, 대외적 과시를 위해 조정되었다는 점이다. '려명거리 조성'은 국제사회의 대북 제재 속에서도 북한의 경제는 문제없다는 것을 대내외에 과시하기 위한 건설 사업이다. 북한에서 많은 예산을 들여 계획적으로 만든 신도시로 평양의 스카이라인 선전을 위한 장소로 이용하고 있다. 실제로 2017년 외국기자단을 초청해 려명거리 준공식을 했으며, 2018년과 2019년 한국과 중국의 국가수반이 각각 평양을 방문했을 때 김정은과 함께 려명거리에서 대대적인 카퍼레이드와 환영 행사를 진행했다.

11) 한겨레, "'82층 아파트' 북 여명거리 1년 만에 완공...비결은 '돈주'", <https://vo.la/ruznE>, (검색일 : 2023.08.28)



그림 [1-9] 러명거리 (출처 : Google지도에 연구진 추가작성)

제 2 장

이론 고찰

2.1 북한 도시공간의 이해

2.2 3차원 Digital Twin의 개념

2.1 북한 도시공간의 이해

2.1.1 평양의 도시공간구조

1) 사회주의 도시계획과 평양의 도시계획

북한의 도시계획과 도시구조는 자본주의를 바탕으로 하는 대한민국은 물론 여타 다른 사회주의국가와도 뚜렷한 차이를 보인다. 그 이유는 사회주의적 도시계획의 이념은 국가권력의 영향과 경제적 여건, 역사 문화적 구조 등에 따라 매우 다양하게 해석되고 나타나기 때문이다 (박세훈, 김태환, 김성수, 송지은, 2016)¹²⁾.

북한의 경우 사회주의 도시계획의 일반적인 이념은 받아들이면서도 북한 나름의 원칙을 함께 적용하였기 때문에 북한만의 독자적인 사회주의 도시계획 이념이 형성되었고, 그에 따라 평양 등의 도시를 계획한 것이다 (박세훈 외, 2016).

2) 평양의 도시공간구조

북한에서 도시계획은 공간계획을 넘어 사회계획에 가깝다. 도시가 자연발생적으로 형성되기보다 김일성과 김정일의 건설구상과 건설 방침에 근거하여 철저히 계획되기 때문이다. 여러 선행 연구를 통해 찾은 평양의 공간구조에 대한 이념을 아래의 세 가지로 정리할 수 있었다 (김현수, 2004 ; 고유환 외, 2011 ; 박세훈 외, 2016).

(1) 선형 공간 배치와 자족적 계획 단위의 설정

일반적으로 동심원 형태의 도시공간구조를 가지고 있는 자본주의국가와 다르게 사회주의 국가는 선형의 도시공간구조에 따라 각종 시설과 기능을 배치한다. 선형으로 주거시설과 일자리를 배치하여 노동자 계층에 적절한 생활환경을 보장함과 동시에 직주근접이 가능해지게 한다. '살림집의 주변식 배치 방법'에서 도로 주변을 따라 건물을 배치하고 살림집 아래층에 각종 편의봉사시설을 배치하도록 하는 것이 그 예시이다 (김현수, 2004). 이와 더불어 '주택 소구역 계획'을 통해 지역별로 자족적인 생산, 생활이 가능하도록 한다. 이는 선형 공간 배치를 통해 직주근접이 가능하도록 유도한 것과 함께 주민들의 편리함을 도모하기도 하지만 동시에 이동을 억제하기 위한 수법으로도 이해된다 (김현수, 2004).¹³⁾ 이러한 주거지역 배치와 더불어 녹지공간을 도시계획에 적극적으로 반영하여 시내에 공원이나 유원지 등을 만드는 것이 특징적이다.

12) 박세훈, 김태환, 김성수, 송지은. (2016). 북한의 도시계획 및 도시개발 실태분석과 정책과제, 국토연구원

13) 김현수. (2004). 서울과 평양의 도시계획 이념 및 공간구조 비교. 서울시정개발연구원.

(2) 대도시화 억제를 통한 도농 간 격차 해소

일반적으로 사회주의국가에서는 도시와 농촌, 공업과 농업이 갈등 관계에 있다고 파악한다. 도시의 성장은 곧 농촌의 쇠퇴이기 때문에 도농 간 격차 해소를 위해 도시의 발달을 억제하였다. 도시의 팽창을 경계하고 도시의 생산요소가 아닌 농촌의 생산요소를 갖춘 작은 규모의 도시를 지향하는 것이다 (박세훈 외, 2016).¹⁴⁾ 하지만 북한은 사회주의국가들의 기본 이념을 자기만의 방법으로 해석하여 도시와 농촌을 갈등 관계가 아닌 상호보완적인 관계로 본다. 그렇기에 도시의 생산 기능에 대한 긍정적인 시각을 가지고 있어 도시 내에도 산업시설을 건설하여 생산할 수 있게 하였다 (고유환 외, 2011).¹⁵⁾ 물론 북한에서도 도시 규모가 커지는 것은 철저히 규제하고 있기 때문에 평양시의 팽창은 원칙적으로 금지하고 있으며 대책으로 도시 주변에 소규모의 위성도시를 만들어 이를 관리하고 있다 (박세훈 외, 2016).

(3) 사상 교양의 장으로서의 도시

사회주의국가에서 도시공간은 사람들이 살아가는 배경이기도 하지만 사회주의의 우월성을 선전하는 장소의 역할도 수행한다. 그리고 도시공간을 통해 사회주의 이념을 선전하고, 사람들의 생각을 계도하는 것이 중요시되기 때문에 결과적으로 이러한 원칙이 도시 곳곳에서 두드러지게 나타난다. 크게 도시 중심부와 광장계획, 거리계획, 그리고 건축물 및 탑에 대한 계획의 총 3가지 카테고리로서 이러한 의도를 확인하고 정리할 수 있었다.

□ 도시 중심부와 광장계획

도시 중심부는 사상 교양에 유리한 공간이기 때문에 가장 심혈을 기울여 건설하는 공간이다. 도시 중심의 가장 높은 언덕 위 또는 중심 광장에 김일성 동상을 세우고 이는 도시의 가장 중심부가 된다. 주변에는 광장을 조성하며, 한쪽에는 혁명사적지와 혁명전적지를 배치하여 강력한 이념적 기능을 수행하도록 한다 (박세훈 외, 2016)¹⁶⁾. 이와 더불어 중심부를 보다 웅장하고 화려하게 조성하기 위해 강, 바다, 구릉, 녹지와 같은 자연지리를 활용하기도 한다.

평양의 경우, 도시 중심의 가장 높은 언덕인 만수대언덕 위에 만수대의사당이 있고 그 앞에는 김일성 김정일 부자의 대형 동상이 세워져 있다. 그리고 그 주변에는 김일성광장과 학당골 분수공원 등이 있다.

□ 거리계획

서울의 강남, 잠실 등이 특정 지구를 중심으로 개발된 것과 달리, 북한은 '도시 축'을 중심으로 개발하기 때문에 북한의 도시개발은 주요 거리가 개선되고 확장하면서 주변 지역이 하나의 새로운 구역으로 성장하는 과정이라고 볼 수 있다. 거리를 중심으로 건축물을 배치하는 방법은 건설

14) 박세훈, 김태환, 김성수, 송지은. (2016). 북한의 도시계획 및 도시개발 실태분석과 정책과제, 국토연구원.

15) 고유환, 홍민, 민유기, 안재섭, 기계형, 남영호, 데이비드크롤리, 차문석, 조정아, 박희진. (2011). 사회주의 도시와 북한. 한울. p.116

16) 박세훈, 김태환, 김성수, 송지은. (2016). 북한의 도시계획 및 도시개발 실태분석과 정책과제, 국토연구원.

력을 분산시키지 않고 집중해 웅장한 사회주의 도시를 건설할 수 있으며, 체제의 우월성을 대내외적으로 과시하고 선전하는데도 매우 효과적이다 (전상인 외, 2015).¹⁷⁾

체제선전을 위해서는 거리의 지명을 활용하기도 하는데, 대표적으로 광복 이후 가장 대규모로 건설된 천리마거리는 원래 서성거리로 불렸었다. 하지만 김일성 우상화 작업의 일환으로 김일성의 업적으로 알려진 천리마운동¹⁸⁾에서 비롯된 명칭으로 변경되었다.

이외에도 승리거리, 영웅거리, 해방산거리 등의 도로명으로 주민들에게 일상적으로 사회 체제를 선전하는 효과를 보고 있다 (김기혁, 2014).¹⁹⁾ 최근에는 미래과학자거리, 려명거리 등 우상화 작업과 더불어 대외적 과시 또는 과학기술의 발전을 위해 만들어진 거리도 보이는 상황이다.

평양이 이념적 명칭을 가진 도로들 중심으로 구성되었다는 것은 평양을 대상으로 한 공간구문론²⁰⁾에서도 살펴볼 수 있다. 축단위 공간분석을 통해 평양의 위상중심핵을 알아본 결과, 체제선전 도로 14개 중 57%에 해당하는 8개 도로가 위상중심핵에 속해있었다 (이수현, 2022). 이는 체제선전 이념을 담은 도로가 도시에 영향력 있는 도로들이라는 뜻이며, 이념적 중심지가 물리적 공간구조의 중심지와 일치한다는 의미이다. 앞서 사회주의 도시계획에서 거리가 가지는 의미에 대해 언급했듯이, 평양의 재건 당시 이념적 명칭을 가진 도로들을 중심으로 도시중심부를 의도적으로 조성하였기 때문이라고 추정된다.

□ 건축물 및 탑에 대한 계획

북한의 건축물은 '실용성과 사상 예술성'을 건물의 본질적인 속성으로 규정한다 (전상인 외, 2015). 이는 곧 기능성, 안전성 등 일반적으로 건축물에 요구되는 기능 외에도 사상 교양적 역할이 강조된다는 의미이다. 대표적인 예시로 김일성광장에 있는 인민대학습당은 도서관이기도 하면서 한옥 모양의 조형적 처리를 통해 주체 건축을 강조하며 인민 사상교육의 중요한 도구로 활용되기도 한다 (전상인 외, 2015).

비단 건축물 뿐만 아니라 도로를 잇는 주요 결절점에는 사회주의 이념을 선전하는 탑, 동상 및 건축물 등 주요 랜드마크를 건설하여 전쟁 승리를 기념하고, 주체사상을 선전하며, 김일성 우상화에 활용한다. 대표적으로 려명거리 입구에 있는 영생탑이 있다.

이러한 이념을 바탕으로 만들어진 평양의 현재 모습은 다음과 같다. 대동강이 평양시의 중심을 가로지르고 있고 이를 기준으로 강북지역은 본평양과 서평양으로, 강남지역은 동평양과 남평양으로 구분된다. 세부적으로는 총 18개의 행정구역²¹⁾으로 나뉘는데 그 중 보통강구역, 모란봉구역,

17) 전상인·김미영·조은희. (2015). 국가권력과 공간 : 북한의 수도계획. 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」 50(1)

18) 하루에 천리를 달리는 천리마를 탄 기세로 사회주의 건설에서 생산성을 획기적으로 높이자는 의미로 사용되는 사회주의 노력경쟁운동의 하나이다. 목표를 초과달성하는 사람에게 '천리마기수' 등의 명칭을 부여했다는 점에서 '천리마'라는 단어는 북한 사회에서는 영광스러운 칭호로 사용됨을 알 수 있다. 더불어 김일성의 업적으로도 평가되기 때문에 김일성 우상화 작업의 일환으로도 활용되는 단어이다.

(출처 : 통일부 북한정보포털. "북한지식사전", <https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/term/view>

NkKnlwldgDicary.do?pageIndex=1&dicaryId=194&menuId=NK_KNWLGDG_DICARY)

19) 김기혁. (2014). 도로 지명을 통해 본 평양시의 도시 구조 변화 연구. 문화역사지리 25(3).

20) 전체공간 조직을 개별 단위 공간으로 구분한 후, 각 단위의 연결성을 기반으로 연결도(Connectivity)와 깊이(Depth)를 산출한다. 이 두 지표를 기반으로 계산된 공간구문변수들은 공간 전체의 경험과 단위 공간 간의 위상학적 관계에 대한 해석을 돕고 물리적 공간구조 분석을 통해 공간의 인문 사회적인 성향 및 상호작용을 해석할 수 있다. (출처 : 이수현. (2022). 서울과 평양의 도시구조 및 위상중심핵 비교 분석 연구.)

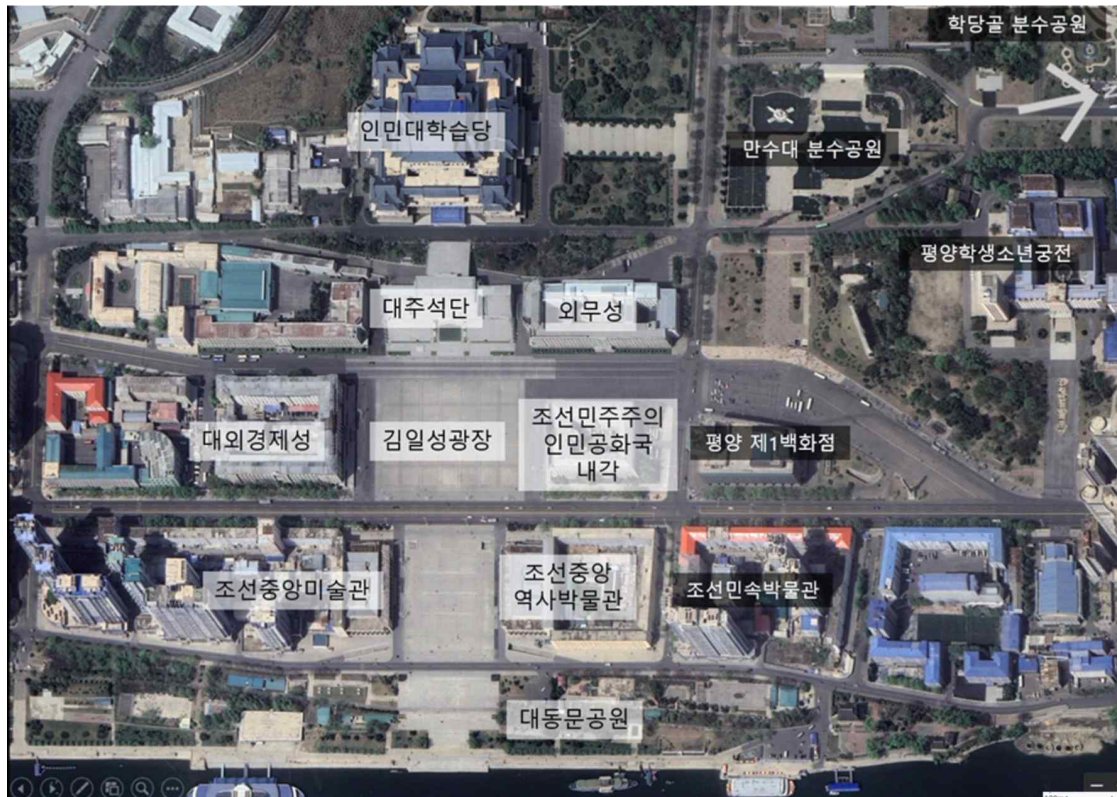
평천구역, 중구역 4개의 구역이 '본평양'으로 불리며 평양의 핵심 구역으로 꼽힌다. 김일성광장, 려명거리, 류경호텔, 만수대의사당, 미래과학자거리 등 북한 하면 떠오르는 대표적인 건물 및 거리는 본평양에 위치하거나 걸쳐있을 만큼 본평양은 평양 안에서도 중요성과 대표성이 뚜렷하게 나타나는 공간이다.

1972년 이후 혁명열사릉과 금수산태양궁전 등의 건축물이 기존 평양성 내부에 주로 위치하던 다른 국가적 랜드마크와 다르게 평양성 외곽에 세워졌다. 두 건축물이 사회주의 혁명의 최고성지로 꼽히고 있는 만큼 북한이 평양 도시구조를 기존 본평양 중심에서 새로운 축으로 재구성하고 있음을 알 수 있다.



[그림 2-1] 평양 주요 장소 (출처 : 북한정보포털, Google지도에 연구진 추가작성)

21) 통계청. (2022). 북한의 주요통계지표, pp.44-45 (검색일 : 2023.08.27.).

3) 김일성광장 주변의 주요건축물 개요²²⁾

[그림 2-2] 김일성광장 내부 건물 (출처 : 북한정보포털, Google지도에 연구진 추가작성)

김일성광장 주변의 주요 건물로는 인민대학습당, 대주석단, 외무성, 조선민주주의인민공화국 내각, 조선중앙역사박물관, 대외경제성, 조선중앙미술관 등이 있다.

(1) 인민대학습당

인민대학습당은 평양시 중구역에 위치한 북한 최대 규모의 종합도서관으로 연건축면적 10만m²에 길이 190.4m, 너비 150.8m, 높이 63.6m의 10층짜리 조선식 건물이다 (조선향토대백과, 2008)²³⁾.



[그림 2-3] 인민대학습당 전경 (출처 : NEWSIS 평양 사진공동취재단)

22) 통일부 북한정보포털 북한 지식사전 (2021), <https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/knwldg/knwldg.do> (검색일 : 2023.08.27)

23) 평화문제연구소 조선향토대백과 (2008), <http://www.cybernk.net/home/Default.aspx> (검색일 : 2023.08.27)

(2) 대주석단

대주석단은 1954년에 김일성광장이 만들어지면서 김일성광장 앞에 조성된 북한의 관람시설이다. 김일성광장과 인민대학습당 사이에 자리 잡고 있다.



[그림 2-4] 대주석단 전경 (출처 : (좌)AP통신 (우)월드코리안뉴스)

(3) 외무성

외무성은 외교 업무를 총괄하는 정부 기구로 1948년에 설립되었다. 북한의 성급 정부 기관 중에서 제일 중요한 부서이다. 내각의 지휘를 받지 않으며 북한의 5대 권력 기관에 속한다. 북한의 대외관계에 있어서 조선로동당 통일전선부와 조국평화통일위원회가 대남 정책을 맡는다면 외무성은 대외 정책을 총괄한다. 인민대학습당을 기준으로 김일성광장의 오른쪽 첫 번째 건물에 해당한다.



[그림 2-5] 외무성 전경 (출처 : (좌)평양 조선신보 (우)주조러시아대사관 페이스북)

(4) 조선민주주의인민공화국 내각

조선민주주의인민공화국 내각은 최고 주권의 행정집행기관으로 1948년에 설립되었다. 내각은 국무위원회 직속 기관의 업무인 치안이나 국방, 방첩 등을 제외한 경제나 산업 관련 업무를 담당하는 것으로 알려져 있다. 김일성광장을 앞에 두고 있으며 건물 외부에는 인공기를 활용한 체제선전물이 있다.



[그림 2-6] 조선민주주의인민공화국 내각 전경 (출처 : (좌)abc news (우)통일뉴스)

(5) 조선중앙역사박물관

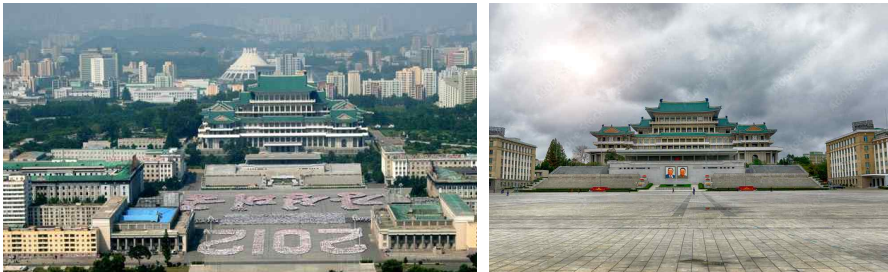
조선중앙역사박물관은 북한의 역사박물관이다. 연건평 1,429㎡ 규모의 3층 건물로 김일성광장을 사이에 두고 조선중앙미술관과 마주보고 있다. 건물의 특징으로는 ‘백두의 혁명 정신’이라고 적혀있는 체제선전물이 인민대학습당에서 대동강을 바라보는 방향으로 설치되어있다는 점이다.



[그림 2-7] 조선중앙역사박물관 전경 (출처 : (좌)한국민족문화대백과사전 (우)통일뉴스)

(6) 인민대학습당 왼쪽 첫 번째 건물²⁴⁾

인민대학습당을 기준으로 왼쪽 첫 번째에 위치한 건물은 그 용도가 공개되어 있지 않다. 외무성 건물과 비슷하게 생긴 점이 특징이다.



[그림 2-8] 인민대학습당 왼쪽 첫 번째 건물 전경 (출처 : (좌)북한 민족통신 (우)Adobe Stock, truba71)

(7) 대외경제성

대외경제성은 북한의 무역, 수출입 등을 관장하는 내각 중앙행정기관이다. 무역 외에도 외국자본 유치, 각 지방의 경제특구 개발 사무를 관장한다. 해당 건물은 공산주의의 상징을 체제선전용으로 활용하고 있었으며, 건물 자체는 많은 언론에 공개되어 있어 비교적 정보를 찾기 쉬웠다.



[그림 2-9] 대외경제성 전경 (출처 : (좌)North Korea Tech (우)KBS뉴스 캡처, 2:19:58)

24) 대외적으로 어떤 건물인지 알려지지 않았다.

(8) 조선중앙미술관

1954년 창립된 조선중앙미술관은 북한 최대 규모의 미술관으로 연면적 1,429㎡, 'ㄱ'자 형의 3층 건물이다. 조선중앙역사박물관과 동일한 규모와 양식으로 지어져 건물 외관이 유사한 형태를 띠고 있으며, 김일성광장을 사이에 두고 마주 보고 있다. 해당 건물에도 체제선전물이 설치되어 있다.



[그림 2-10] 조선중앙미술관 전경 (출처 : (좌)TIME (우)20세기 북한예술문화사전)

3) 려명거리 주변 주요 건축물 개요



[그림 2-11] 려명거리 주변 주요 건축물 (출처 : 북한정보포털, Google지도에 연구진 추가작성)

려명거리의 주요 건물인 영생탑, 82층 아파트, 70층 아파트, 상가 건물 등을 포함해 총 19개 동 아파트와 상가 9개, 기타 건축물 5개를 새로 모델링 했다.

(1) 영생탑

선대 최고지도자들의 영생을 염원하는 영생탑은 려명거리 입구에 설치되어있으며, 이를 중심으로 웅장하고 화려한 경관을 조성하고자 하였다.²⁵⁾ 탑에는 “위대한 김일성 동지와 김정일 동지는 영원히 우리와 함께 계신다.”라고 적혀있다.



[그림 2-12] 영생탑 (출처 : (좌)중앙일보 평양공동취재단 (우)평양 노동신문)

(2) 녹색건축기술교류사²⁶⁾

상황에 맞게 녹색건축 기술을 도입하기 위한 상담을 받고, 예산에 맞게 자재 및 가구들을 마련할 수 있는 녹색건축기술교류사가 위치한 전시장 겸 상가 건물이다. 또한, Green Architectural Technology Company(생명과학 회사)와 미니소 평양점(잡화점), 려명 톨립 음식점 등이 입점해 있다.



[그림 2-13] 녹색건축기술교류사 (출처 : (좌)한반도인프라포럼 웹진 Vol. 4 (우)조선의 오늘)

(3) 대성 51-44호동 아파트 (270m)

려명거리에 위치한 최고층 건물로, 건축물 최상단 부분에 별도의 옥탑 부분이 있으며, 옥탑 부분을 제외한 건물은 70층으로 이루어져 있다. 내부 기반부의 구조물은 6개 층으로, 4개 층에는 상업시설이 입점해 있으며, 7~70층은 주거시설로 구성되어 있다. 주거시설은 일부 세대를 제외하고, 주민들에게 무상으로 공급되었다 (김장한, 2023).²⁷⁾

25) 마경일. (2019). 려명거리 살림집과 봉사망의 건축형성 특징. 조선건축. 112(6)

26) 조선의 오늘. “록색건축기술의 생동한 교과서”. <https://dprktoday.com/news/49051> (검색일 : 2023.08.27)

27) 김장한. (2023). 북한 려명거리 사업 건축시공 연구. 국내석사학위논문 북한대학원대학교



[그림 2-14] 대성 51-44호동 아파트 (270m) (출처 : (좌)북한 대외용 매체 내나라 (우)평양 주재 러시아대사관)

(4) 모란 55-1-가동 아파트 (240m) / 모란 55-1-나동 아파트 (150m) 및 상가
모란 55-1-가동은 높이 240m, 70층으로 이루어져 있으며, 모란 55-1-나동은 높이 150m, 35층으로 이루어져 있다. 건물 저층부에는 상업시설이 배치되어 있다.



[그림 2-15] 모란 55-1-가동 아파트 (240m), 모란 55-1-나동 아파트 (150m) 및 상가 (출처 : (좌)평양 조선신보 (우) 평양사진공동취재단)

(5) 대성 53-75호동 아파트 (200m) / 대성 53-74호동 아파트 (140m) 및 상가
 대성 53-75호동은 높이 200m, 50층으로 이루어져 있으며, 대성 53-74호동은 높이 140m, 35층으로 이루어져 있다. 아파트 상가 내에 현지 주민들이 자주 이용하는 유명 식당인 '려명거리온반집'이 입점해 있다.



[그림 2-16] 대성 53-75호동 아파트 (200m), 대성 53-74호동 아파트 (140m) 및 상가 (출처 : (좌)노동신문 (우)조선중앙통신)

(6) 려명거리종합상업구

4층으로 이루어진 려명거리종합상업구는 안에 상점과 식당, 전시장, 약국, 꽃방, 사진관, 어린이 놀이장, 정보기술교류소 등이 집중적으로 배치돼 있어 주민들이 이곳을 즐겨 찾는다.²⁸⁾



[그림 2-17] 려명거리종합상업구 (출처 : (좌)한반도인프라포럼 웹진 Vol. 5 (우)북한 대외용 매체 내나라)

(7) 그 외의 기타 건물들

려명거리에 위치한 건물들 다수의 경우 상세한 정보는 파악하기 어려운 부분이 있다. 따라서 위에서 명기한 건물들 이외에는 Google 지도 및 각종 미디어에서 노출된 사진과 동영상을 토대로 3차원 구축을 진행하였다.

28) 서울평양뉴스, "평양 려명거리 '쇼핑센터'의 피자, 꼬치구이", <https://www.spnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=44505> (검색일 : 2023.08.27)

2.2 3차원 Digital Twin의 개념

2.2.1 Digital Twin의 개념과 활용

1) 개념

Digital Twin은 현실 세계의 객체를 가상의 시스템에 동일하게 구현하고 이를 기반으로 분석 및 시뮬레이션을 통해 최적의 결과를 현실 세계에 반영하는 기술로 정의할 수 있다 (권문혁, 2022). Digital Twin 개념은 2002년 Michael Grieves 박사가 제조업 분야에서 제품 생애주기 관리의 모델로 설명하며 최초로 제안하였다 (Michael, 2015)²⁹⁾. 2016년에는 항공 엔진 제조 분야의 세계적인 기업인 GE(General Electric)가 기계에서 발생하는 대규모 데이터를 분석, 수집하고 사물인터넷으로 연결해 Digital Twin을 구현해 주는 플랫폼인 Predix를 공개하였다. 이어서 2017년부터 가트너의 10대 전략기술에 Digital Twin이 선정되며 본격적으로 주목을 받기 시작하였다 (장윤섭, 장인성, 2021).

일반적으로 현실 세계와 디지털 공간의 실시간 쌍방향 정보교환에 의해 이용자에게 현상의 분석이나 미래 예측의 기회를 주는 실시간 모델이 Digital Twin으로 여겨진다. 그러나, 넓은 의미에서는 현실 세계와 디지털 공간 사이에 정보교환이 없는 후처리 3차원 모델도 Digital Twin으로 호칭하는 경우가 있다 (이영진, 2022). Digital Twin 서비스를 제공하기 위해서는 현장 모델링, 현장 정보 실시간 수집, 현장 특성을 반영한 데이터 분석 및 시각화, 예측 및 시뮬레이션 기능이 필요하다 (최상수 외, 2021).

2) 활용

Digital Twin 사용자는 현실 세계에서 비용과 시간이 많이 들거나 수행 불가능한 각종 실험을 가상 세계에서 실행해 볼 수 있다. 실험 조건에 따라 결과값이 어떻게 바뀌는지 시뮬레이션할 수 있으며, 시나리오에 따른 리허설로 관련 영향을 미리 파악할 수 있다. 가상 세계에서 수행한 일련의 실험과 시뮬레이션 결과는 현실 세계에 다시 반영되어 리스크 식별, 비용 절감, 생산성 향상, 공정 효율화 등에 기여하게 된다 (신상희, 2021).

Digital Twin의 활용 분야는 분석, 예측, 최적화 대상이 되는 모든 시스템이다. Digital Twin은 산업(제조, 생산, 물류, 식물공장 등), 공공분야(교통, 환경, 금융 등), 의료(진단, 인공장기, 가상수술 등), 재난 안전(안전점검, 피해분석, 대피 훈련 등), 국방(군사훈련, 국방분석, 무기체계 획득 등) 등 다양한 분야에서 해당 목적에 맞게 활용될 수 있다.

29) Michael, W. G. 2015. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Re-searchGate, March. <https://www.researchgate.net/publication/275211047> (검색일 : 2023.08.29)



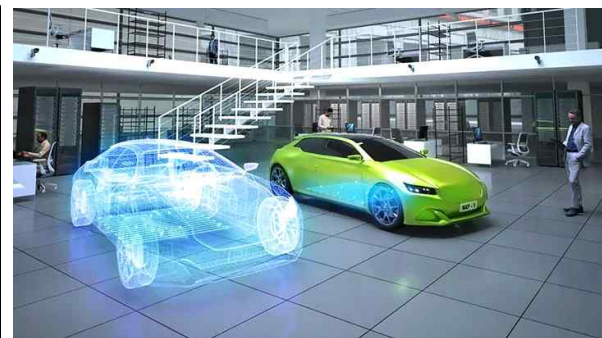
[그림 2-18] 현대차그룹이 싱가포르에 세운 디지털트윈 자동차 공장 'HMGICS' (출처 : 현대차그룹)



[그림 2-19] 디지털 트윈 기술을 활용한 태양광 발전 시뮬레이션 (출처 : 한국전기연구원)



[그림 2-20] 두산중공업이 해상 풍력발전의 실재 모습을 한국MS '디지털 트윈' 기술을 적용해 가상환경으로 구현, 모니터링하는 화면. (출처 : 한국 MS)



[그림 2-21] 클라우드 상의 AI 기반 디지털 트윈 모델로 전기차 배터리 주행거리, 효율성, 안전성, 수명 개선 (출처 : NXP반도체)

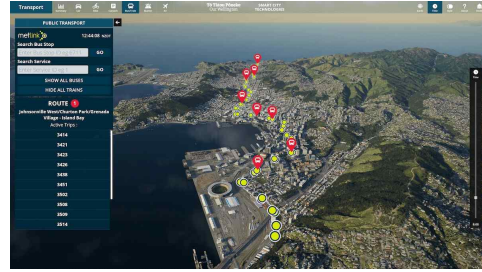
Digital Twin은 제조업을 넘어 도시, 교통, 국방, 항공 등 전 산업 영역으로 빠르게 확산하고 있다. 특히, 최근 인공지능, 확장현실, 가상현실, 증강현실 기술 등과 결합하면서 단순한 3차원 형태의 초기 모델에서 복잡한 형태로 진화했다.³⁰⁾ 현재의 Digital Twin은 제조업, 플랜트 엔지니어링, 국토·도시계획 분야에서의 활용이 대표적이다.³¹⁾

30) 옥진아, 정효진. (2022). 디지털 트윈으로 꿈꾸는 스마트한 도시생활. 이슈&진단, 경기연구원, pp.1-26.

31) 이영진. (2022). 통합 국가공간데이터기반(i-NSDI)에 의한 국가 디지털트윈 모델의 연구. 한국측량학회지, 40(6), p.501



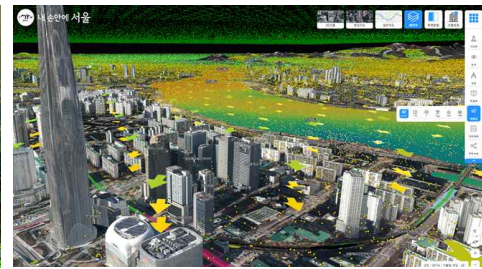
[그림 2-22] Virtual Singapore project (출처 : Virtual Singapore project 홈페이지)



[그림 2-23] 뉴질랜드 웰링턴 (출처 : Buildmedia)



[그림 2-24] 오울루 Digital Twin (출처 : 오울루 시청 홈페이지)



[그림 2-25] 디지털 트윈 '서울 S-Map' (출처 : 서울 시청 홈페이지)

주요 국가들은 미래 국가 경쟁력 확보를 위해 핵심 기술로 Digital Twin을 선정하여 관련 사업을 추진하고 있다 (권문혁, 2022).³²⁾ 국토나 도시의 Digital Twin에 관한 대표적인 사례로는 싱가포르 도시를 3차원으로 재현한 Virtual Singapore Project가 있다. 그 밖에도 유럽, 일본에서 도시공간을 3차원 모델화하는 사업이 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서는 국토교통부 V-World, 서울시 S-Map 등이 있다 (이민영, 김도형, 임시영, 2020).³³⁾ 3차원 공간정보에 기반한 Digital Twin 서비스는 점차 공간정보의 핵심 서비스로 자리 잡고 있다. 특히 도시환경, 건설, 지역개발 등의 분야에서는 매우 다양한 형태로 서비스 개발이 진행되고 있다 (이슬기, 이종훈, 진희채, 2023)³⁴⁾.

3) Digital Twin의 완전한 실현을 위한 조건

3차원 공간정보는 지도의 성격이 강하다. 지도 측면에서는 거리, 위치 등이 정확해야 하지만 Digital Twin에서는 가상공간을 구성하는 객체의 관계, 사실감 등 표현 수준, 최신성 등이 더욱 중요하다 (임시영, 장요한, 2023). 따라서 데이터 현행화를 통한 실-가상세계 간 지속적인 동기화가 이루어질 수 있는 체계를 갖추는 것이 중요하다 (정영준 외, 2021).

32) 권문혁. (2022). 디지털트윈을 넘어 메타버스로 내딛다: K-Water의 디지털트윈 물관리 플랫폼. 국토연구원, p.38

33) 이민영, 김도형, 임시영. (2020). 국내 디지털트윈 연구 동향을 통해 본 국토도시분야 디지털트윈 적용을 위한 제언. 대한공간정보학회지, 28(4), p.49

34) 이슬기, 이종훈, 진희채. (2023). 디지털트윈 서비스의 구축·운영을 위한 플랫폼 개발. 대한공간정보학회 학술대회, 대한공간정보학회, pp.55-56.

또한 현실 세계에 존재하는 건물, 도로, 교량, 하천, 산 등의 인공 및 자연 객체를 3차원 모델로 구축하고 각종 속성정보를 결합할 수 있어야 한다. 나아가 미세먼지, 교통량, 온도, 재실자 등의 현황을 실시간으로 센싱하여 3차원 모델과 융합하여 시각화할 수 있어야 한다 (김대중, 2022).

즉, 단순히 비슷한 형태의 모델에 머무는 것이 아니라 현실의 객체로부터 얻은 데이터, 그리고 과거의 데이터 등으로부터 시뮬레이션과 분석, 모의실험, 예측, 최적화 결과를 도출해 내는 지능화 과정을 거칠 때 Digital Twin으로서 의미를 가진다 (천정윤, 2022).

2.2.2 Digital Twin 공간데이터의 표준화

1) CityGML

Digital Twin의 근간 모델이자 교환 포맷으로는 공간정보 국제표준화기구인 OGC(Open Geospatial Consortium)의 CityGML이 널리 활용되고 있다. CityGML은 가상의 3차원 도시 및 자연에 관한 정보 모델로서 표현, 저장, 교환을 위한 OGC(Open Geospatial Consortium) 표준이다³⁵⁾. CityGML은 도시와 자연환경에서 볼 수 있는 객체들을 의미론적 정보와 함께 3차원 벡터 형태로 모델링한다.

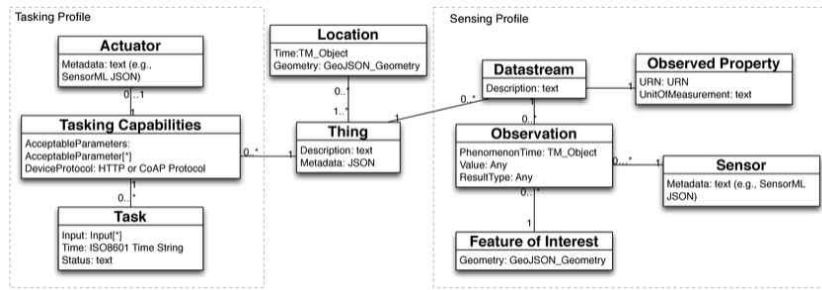


[그림 2-26] CityGML (출처 : Open Geospatial Consortium 3DIM and 3DPIE)

2) OGC(Open Geospatial Consortium) SensorThings API

CityGML이 3차원 객체에 관한 모델링 표준이라면, OGC(Open Geospatial Consortium) SensorThings API는 센서에서 유입되는 실시간 데이터를 활용할 수 있는 표준 방법을 제공한다. SensorThings API 표준에서는 공간정보를 기반으로 IoT(Internet of Things), 데이터, 애플리케이션을 웹에서 상호 연결할 수 있는 개방형 방법을 제시하고 있다. 다른 기종의 센서에서 유입되는 여러 관측 데이터를 표준화된 방식으로 공간정보의 맥락 속에서 관리, 추출할 수 있는 것이 장점이다³⁶⁾.

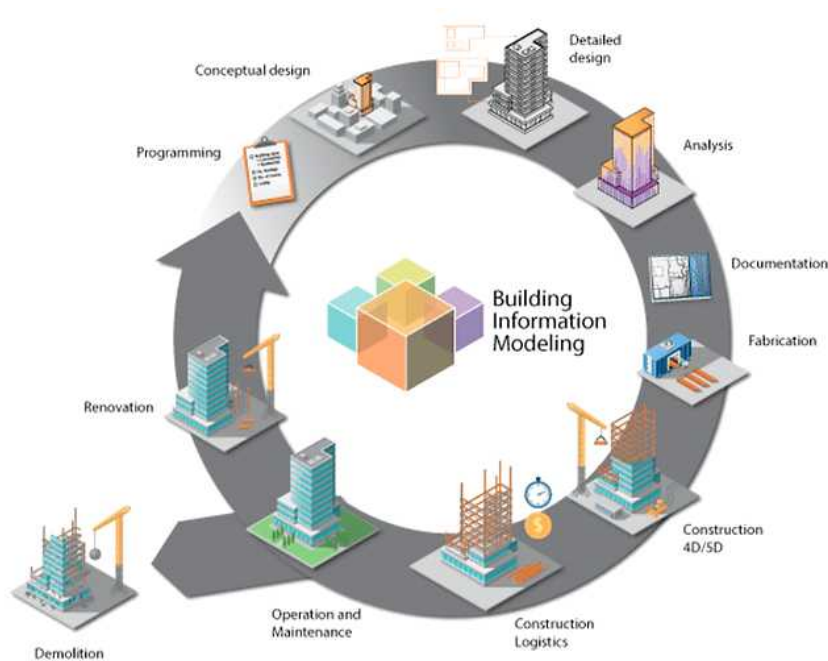
35) OGC(Open Geospatial Consortium)는 공간정보 관련 사실표준(de-facto)을 제공하는 국제 표준 기구로, 총 79개 분야의 공간정보 표준을 제공하고 있다. 황병주·양재유·하동훈 (2023). OGC Moving Feature Access 표준에 기반한 이동체 시계열 궤적 분석 시스템의 구현, 한국콘텐츠학회논문지, 23(11), pp.25-33.



[그림 2-26] The OGC SensorThings API Data Model (출처 : van der Schaaf, Hylke & Herzog, Reinhard, 2015)

3) BIM

BIM(Building Information Modeling)은 건설 분야에서 시설물의 물리적, 기능적 특성 등 다양한 정보를 3차원 객체의 형태로 구조화시킨 디지털 모델 및 관련 업무 절차로 정의될 수 있다 (Public Procurement Service, 2013)³⁷⁾. 또한 BIM(Building Information Modeling)은 Digital Twin의 주요한 데이터다. 다만, BIM(Building Information Modeling)은 일반적으로 절대 좌표를 갖지 않는 단일 건축물 위주의 정보이기 때문에 이를 공간적 맥락에서 통합적으로 활용하기 위해서는 GIS 데이터와의 통합이 중요하다.³⁸⁾



[그림 2-28] BIM (출처 : Autodesk)

36) van der Schaaf, Hylke & Herzog, Reinhard. (2015). Mapping the OGC SensorThings API onto the OpenIoT Middleware.

37) Public Procurement Service. (2013). "Public Procurement Service BIM Guidelines ver. 1.2" Public Procurement Service.

38) 신상희.(2021). 디지털트윈 기술 동향과 전망. 국토연구원. pp.6-12.

2.2.3 도시 분야에서의 Digital Twin 기술 적용 - 해외 사례

최근에는 한국을 비롯해 선진국을 중심으로 인프라 및 도시개발에 대한 과정과 계획을 Digital Twin을 활용하여 미리 시뮬레이션하고 시행착오를 줄이는 기법이 개발되고 있다.

1) 싱가포르 - Virtual Singapore Project

Digital Twin 기술의 도시 적용 분야의 최초 사례로 알려진 Virtual Singapore Project는 2014년 12월에 시작하여 2018년까지 약 7,300만 달러를 투입한 프로젝트로서 정부가 주도하고 Dassault Systems, ESRI, Siemens 등 글로벌 기업들이 참여하였다 (장예지, 2019).³⁹⁾ Virtual Singapore Project는 3차원 기반의 도시설계 도구이자 플랫폼으로 도시공간 데이터를 표준화하고 데이터 관리에 중점을 두어 공간과 연계된 건물, 도로 등의 사물 식별정보를 체계화했다. 도시의 모든 구조물과 대응되는 Digital Twin을 구현하고, 전기 및 교통 등 인프라와 기상정보, 인구통계, 시설물 및 건물 내부까지의 데이터를 수치화하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하여 도시계획, 교통, 환경 등 다양한 분야의 테스트 베드로 활용할 수 있도록 하였다.⁴⁰⁾

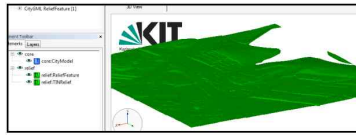
[그림 2-30]은 Virtual Singapore Project에서 중점적으로 관리하는 표준화된 3차원 도시공간정보 LOD(Level Of Detail)별 예시이다. 싱가포르형 Digital Twin은 공공, 민간, 연구 등 다양한 분야(경관 분석, 교통 영향 분석, 일조권 분석 등)에서 활용될 수 있도록 설계되었다.



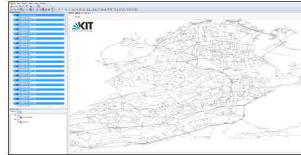
[그림 2-29] Virtual Singapore project (출처 : Virtual Singapore project 홈페이지)

39) 장예지. (2019) "디지털 전환의 핵심, 디지털 트윈-제조와 도시를 중심으로," ICT SPOT Issue (26)

40) Virtual Singapore 프로젝트 홈페이지, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>



LOD 0 지형



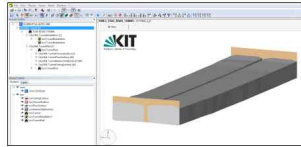
LOD 0 교통망



LOD 2 빌딩



LOD 2 도로



LOD 2 터널

[그림 2-30] Virtual Singapore Project의 표준화된 3차원 도시공간정보예시 (출처 : Soon, Kean & Khoo, Victor (2017))

2) 핀란드

(1) 헬싱키 Digital Twin 프로젝트

핀란드는 지역 특색에 맞는 맞춤형 Digital Twin 서비스를 활용한 것이 특징이다. 핀란드 수도 헬싱키에 위치한 칼라사타마 지역은 바다와 인접해 있고 해가 짧다. Digital Twin을 이용하여 바람의 흐름과 햇빛의 양을 정량화하고 시간대별로 태양광이 얼마나 들어오고 바람의 영향이 있는지 분석하는 시뮬레이션을 수행했다 (신상희, 2021).⁴¹⁾

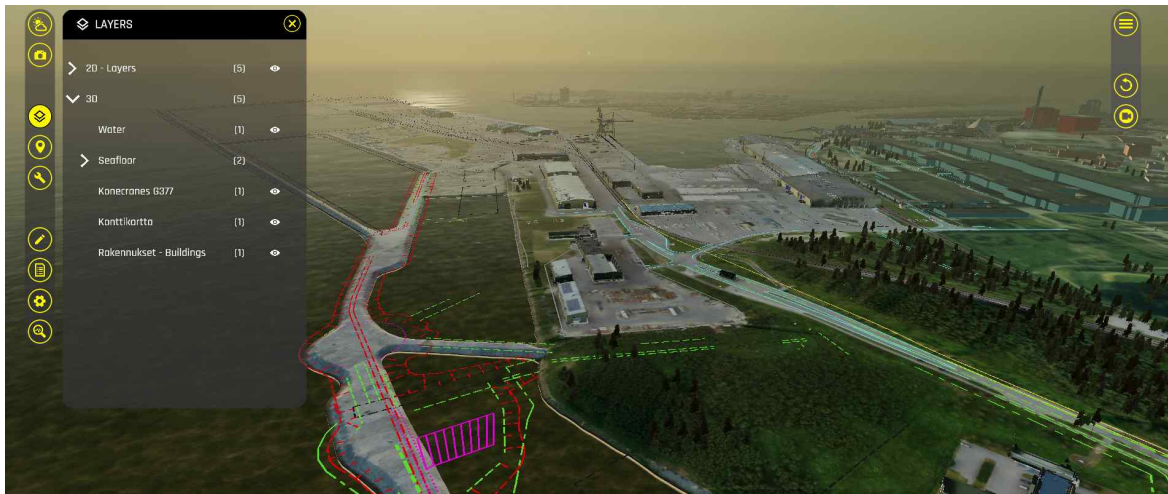


[그림 2-31] 헬싱키 칼라사타마 지역 Digital Twin 사례 (출처 : Helsinki(2019))

(2) 오울루 항구의 Digital Twin

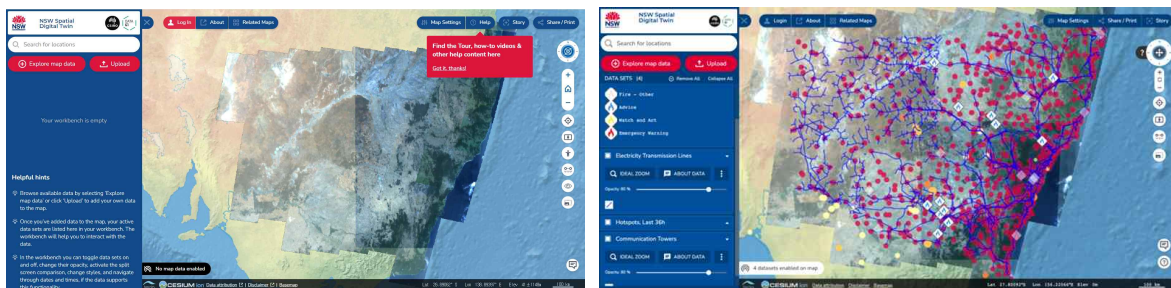
핀란드 북부에 위치한 오울루는 북유럽 물류 중심지 중 하나로 Digital Twin 기반의 항구 운영 및 서비스를 수행하고 있다. Digital Twin 서비스를 기반으로 선박, 기차, 차량 등 운송 수단의 형체 인식, 상태 관찰, 해상 및 철도 경로 추적 등을 통해 해상, 철도 및 도로 교통의 계획 및 모니터링이 가능하다.

41) 신상희. (2021). 디지털트윈 기술 동향과 전망. 국토연구원, p.9



[그림 2-32] 오울루 Digital Twin 사례 (출처 : 오울루 시청 홈페이지)

3) 호주 뉴사우스웨일스



[그림 2-33] NSW SDT(NSW Spatial Digital Twin) 홈페이지 (<https://nsw.digitaltwin.terria.io/>)

호주 뉴사우스웨일스의 NSW SDT(NSW Spatial Digital Twin)은 대형 산불 등 재난 발생 시 비상 계획을 수립하고자 개발되었다. 2019년부터 2020년까지 호주 남동부 지역에서 대규모 산불이 발생했다. 이로 인해 2,400채 이상의 주택이 파괴되었으며, 인프라 손상 비용은 약 10억 달러에 이르렀다⁴²⁾. 뉴 사우스 웨일스 독립 산불 조사 결과에 따르면, 통신 인프라의 파괴로 인해 위급 상황에 처한 지역 커뮤니티와 비상 대응 요원 사이의 연락이 차단되는 것이 주요 문제점으로 확인되었다⁴³⁾. 이에 따라 핵심 인프라, 통신, 공간정보의 안정적인 공유가 이러한 재난을 예방할 수 있는 주요 요인으로 제시되었다. CSIRO⁴⁴⁾의 DATA61과 협력하여 NSW SDT(NSW Spatial Digital Twin)을 개발하고 2020년부터 운영하고 있다. NSW SDT(NSW Spatial Digital Twin)을 활용하여 대형 산불 등 화재 발생 시 어떻게 진행될 것인지 미리 상황을 예측할 수 있다. 이를 통해 재난 발생 전후 인프라, 통신 시설 등 중요한 장소와 시설물을 보호하고 빠르게 통신 시설을 복구하여 서비스를 제공할 수 있다.

42) CSIRO 웹사이트 - nsw digital twin. <https://ecos.csiro.au/nsw-digital-twin> (검색일 : 2023.09.14)

43) CSIRO 웹사이트

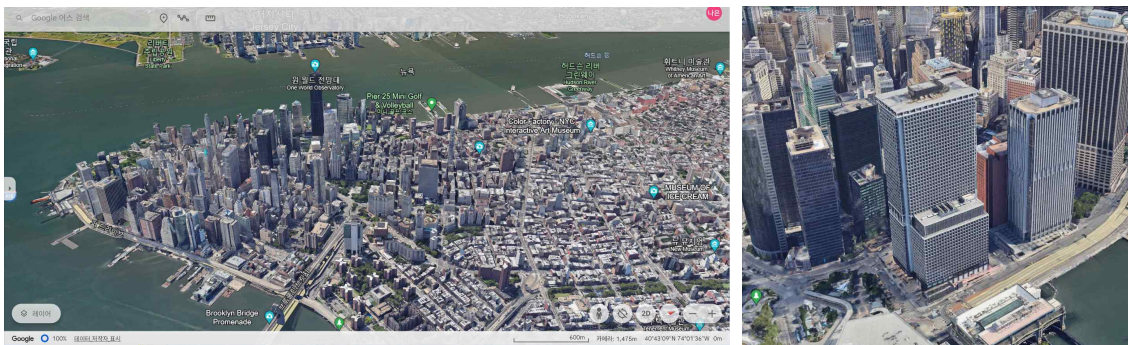
<https://www.csiro.au/en/news/All/News/2020/December/NSW-Digital-Twin-to-inform-emergency-planning-this-bushfire-season> (검색일 : 2023.09.14)

44) 호주 연방과학산업연구기구 (The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)

4) Google

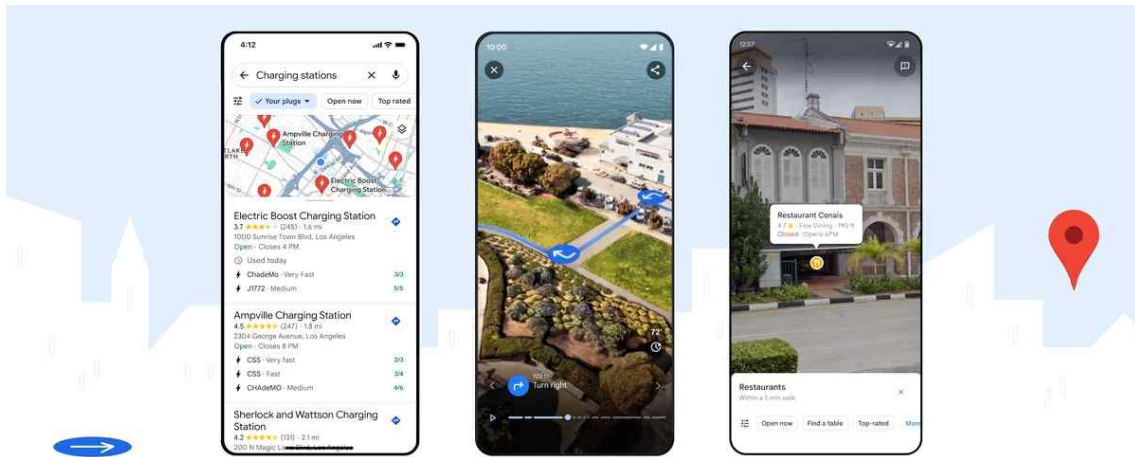
(1) Google Earth

Google이 개발한 가상 지구 지도 및 지형정보 시각화 도구로 2005년 6월 28일에 출시되었다. 전 세계 지리적 데이터를 쉽게 탐색하고 시각화할 수 있는 플랫폼이다. 고해상도 위성 이미지와 지리정보를 결합하여 사용자에게 현실적이고 상세한 경험을 제공한다. 사용자는 실제 지구의 여러 지역을 살펴볼 수 있고, 3차원 지형 모델을 통해 지구의 다양한 지형과 건물 등을 시각적으로 확인할 수 있다⁴⁵⁾.



[그림 2-34] Google Earth 3D (출처 : Google Earth 화면 캡처)

(2) Google Immersive View



[그림 2-35] Google Immersive View (출처 : Google)

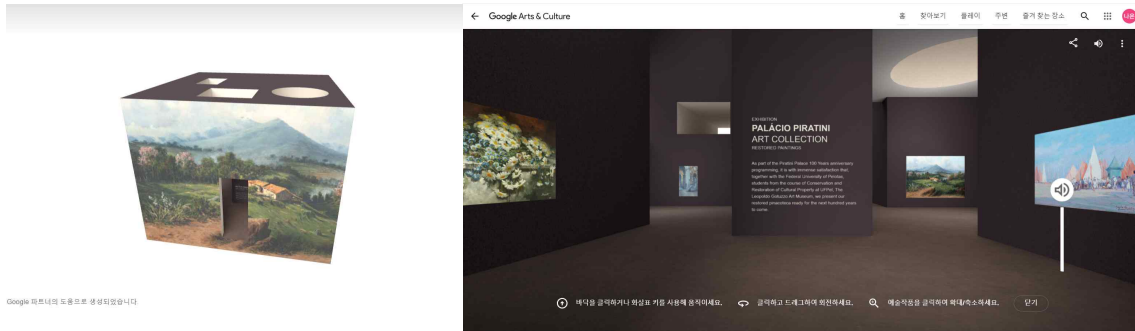
Google은 2023년 10월 26일 기존의 Google 지도에 'Immersive View' 기능을 업데이트했다⁴⁶⁾. Immersive View는 AI를 이용하여 수십억 개의 스트리트 뷰와 항공 이미지를 융합하여 제작하였다. 지도에서 경로를 설정하면 경로의 처음부터 끝까지 다차원적인 시야각으로 확인할 수 있고, 랜드마크와 건물의 3차원 이미지도 볼 수 있다. AI 기능을 통해 특정 시간과 날씨 등을 선택하여 그에 해당하는 경로의 모습도 확인할 수 있다.

45) Google Earth 공식 홈페이지 (<https://earth.google.com/>)

46) Google 공식 홈페이지 <https://blog.google/products/maps/google-maps-october-2023-update/>

(3) Google Arts & Culture⁴⁷⁾

Google Arts & Culture는 Google이 제공하는 온라인 예술 및 문화 플랫폼으로, 세계 각지의 미술 작품, 문화유산, 박물관 등을 디지털 형태로 제공한다. 이 플랫폼은 다양한 디지털 기술을 활용하여 사용자들이 예술 작품을 탐험하고 이해할 수 있도록 도와준다. Google Arts & Culture에서는 가상 현장 투어를 통하여 사용자들이 세계 각지의 유명한 박물관과 갤러리를 가상으로 방문할 수 있다. 이 플랫폼을 이용해 지리적인 제약을 뛰어넘고 예술과 문화를 더 폭넓게 경험하고 이해할 수 있다.



[그림 2-36] Google Arts & Culture 'Pocket Gallery' (출처 : Google Arts & Culture 화면 캡처)

2.2.4 도시 분야에서의 Digital Twin 기술 적용 - 국내 사례

1) 전주시 한국국토정보공사 스마트시티 Digital Twin 사업

'전주 Digital Twin 사업'은 현재 국토 · 도시가 담고 있는 공간정보 활용을 위해 대상물 LOD(Level Of Detail) 1~4를 구분하여 3차원 객체 모델로 구축하고, 행정자료·통계·속성정보와 도시 현상 등을 IoT(Internet of Things)로 연계하여 디지털 가상통합정보체계를 만드는 것이다. 이를 통해 맞춤형 도시문제를 예측·분석·진단·해결하고 모니터링·현실제어 등을 통해 '한국형 지자체 Digital Twin 표준 모델'을 제시하는 것이 목표다 (이관도, 2021).



[그림 2-37] 전주 Digital Twin 사업 통합 모델 (출처 : 한국국토정보공사 Digital Twin 설명자료 (2021))

47) Google Arts & Culture 공식 홈페이지 (<https://artsandculture.google.com/>)

한국국토정보공사는 그림 3-5와 같이 2018년 11월부터 2019년 7월까지 전주시 효자동 일대(약 16km²) 지하·지상·지표의 고정밀 3차원 객체 모델을 시범 구축했다. 이를 바탕으로 2021년 상반기까지 전주시 전체(205km²)를 대상으로 Digital Twin 전주 구축을 완료하고, 현재 하천관리, 재난재해 예측 등 행정서비스 모델을 개발 중이다. 이 사업을 통해 3차원 도시 공간 모델을 구축할 뿐만 아니라 다양한 분야의 도시 데이터와 연계하여 시물레이션 및 예측·분석을 수행하여 의사 결정할 수 있는 플랫폼을 목표로 하고 있다.⁴⁸⁾

전주 Digital Twin 사업의 사례로 실시간 하천 모니터링 서비스가 있다. '실시간 하천 모니터링 서비스'는 전주천 상류인 한벽교 등 2곳의 하천 수위와 용존산소량 등 14개의 수질 정보를 실시간 모니터링하면서 Digital Twin 상에서 시각화하고, 수질에 이상 징후가 발견되면 즉각적으로 담당 공무원이 대응할 수 있는 체계를 갖추는 것이다. 또한 실시간 기상정보와 연계하여 시물레이션하고 하천 범람의 범위 등을 예측할 수 있다. ([그림2-38] 참조)



[그림 2-38] 전주 Digital Twin 사업의 실시간 하천 모니터링 서비스 (출처 : 한국국토정보공사 Digital Twin 설명자료 (2021))

2) 신도시 Digital Twin 기술 적용 사례 - LH 신도시 Digital Twin

3기 신도시는 지구 지정(구역 지정), 지구계획 수립(개발·실시계획), 조성공사 착공, 주민입주, 조성공사 준공의 절차를 걸쳐 조성된다. 이 중 우선 필요한 지구지정 및 지구계획 수립 등 도시계획단계에서의 지구계획 및 경관 시물레이션 서비스를 개발하여 활용 중이다. LH Digital Twin 플랫폼은 도시계획 수립 시 건축물 배치, 경관 분석, 일조권 분석, 건폐율, 용적률, 층고 등 다양한 요소들을 시스템적으로 검증할 수 있는 기능을 가지고 있다 (이권한, 2021).

설계 도면(CAD, GIS, BIM 등)의 가시화 기술 및 지구계획 검토 요소를 고려한 규칙 기반의 시물레이션 적용으로 지구계획 의사결정을 지원한다. 구체적으로, 건폐율·용적률·높이 등 건축물

48) 옥진아, 정효진. (2022). 디지털 트윈으로 꿈꾸는 스마트한 도시생활.이슈&진단, 경기연구원, pp.1-26

의 규모에 따른 시물레이션, 건축물의 배치와 건축선의 적정성 판단, 건축물의 형태와 색채 검토, 경관(가시권, 일조권, 조망, 스카이라인 등) 시물레이션을 지원한다.49)



[그림 2-39] LH Digital Twin 서비스 사례 (출처 : 이권한. (2021))

신도시의 Digital Twin을 구축하면 그 도시가 실제 준공된 상태에서 아파트 단지나 주변 건물이 어떤 모습을 보일지 입체적으로 파악할 수 있게 된다. 청약 희망자는 신도시 특정 아파트 단지의 동과 층을 선택해 베란다나 안방 등의 조망이 어떤지 미리 확인해 볼 수 있고, 계절과 시간대에 따라 특정 동과 층의 세대별 일조량을 추출할 수 있다.50)



[그림 2-40] 3기 신도시 3차원 가상도시 체험 (출처 : LH 3기 신도시 3차원 가상도시 체험 홈페이지)

49) 이권한. (2021). 신도시 디지털트윈 활용사례와 향후 계획. 국토연구원, pp.37-43

50) 3기 신도시 3차원 가상도시 체험 홈페이지, <https://dtinfo.vaiv.kr/main-list>

제 3 장

연구 방법론

3.1 3차원 Digital Twin 구축

3.2 환경 시뮬레이션

3.1 3차원 Digital Twin 구축

3.1.1 연구 방법

대부분 도시의 Digital Twin 제작은 각 지자체 혹은 국가에서 제공하는 수치지형도를 활용하여 GIS를 통해 제작하게 된다. 대략적인 Digital Twin 제작 방식을 정리하면 다음과 같다.

- ① 인공위성 데이터를 기반으로 만들어진 국가의 국토부 및 각 지자체에서 제공하는 GIS 데이터 파일을 제공한다. 혹은 북한과 같은 폐쇄 국가나 개발도상국과 같은 지역의 공식적 GIS 데이터가 없는 경우 OpenStreetMap과 같은 오픈 소스 정보를 활용하여 데이터를 얻는다.
- ② GIS 데이터를 바탕으로 3차원 모델링 툴(Rhino, SketchUp 등)을 이용하여 도시의 지형과 도로, 건물들을 3차원으로 구축한다.
- ③ 렌더링 툴(SketchUp, 엔스케이프 등)을 이용하여 구축된 3차원 모델에 재질을 입히고 자연환경 및 조경, 식물을 조성하고 사람과 자동차 등을 추가해 전체적인 도시의 환경을 실제 환경과 유사하게 렌더링한다.
- ④ 완성된 렌더링은 시뮬레이션 툴(언리얼, 유니티 등)을 이용하여 VR 등 통하여 구축된 Digital Twin을 경험한다.

이처럼 Digital Twin 구축에 있어서는 GIS 데이터가 가장 중요한 핵심 정보이며 근간이 되는 기본데이터이다. 행정 경계구역, 지적도, 건축물의 경계와 높이, 지형 등 Digital Twin 제작에 필요한 대부분의 GIS 데이터를 국가와 지자체가 자체적으로 제작하고 공공에게 개방하는 형태를 취하고 있다. 하지만 북한의 경우 전 세계에 유례없는 폐쇄국가라는 특징상 대부분의 정보가 공공에 개방되어 있지 않아 데이터를 구하고 Digital Twin을 제작하는 데 큰 어려움이 있다. 이를 극복하고 Digital Twin을 구축하기 위하여서 다양한 방법을 시도하였다.

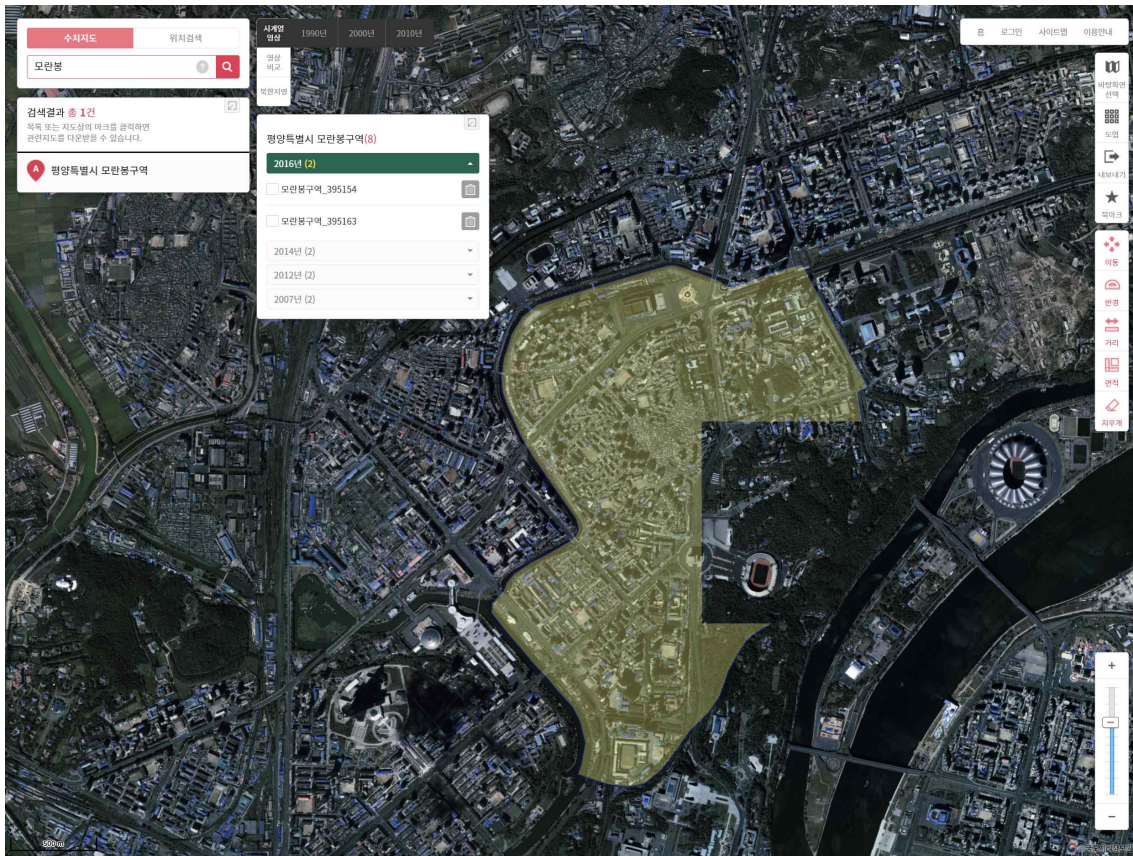
3.1.2 북한 지도 정보

1) 3차원 지도 기초 데이터 확보

북한의 도시공간정보의 공간데이터를 확보하기 위해 연구진이 시도한 방법은 아래 4가지 방법이었다. 각각 순차적으로 진행하였으며, 각각의 장단점을 분석한 결과 네 번째 안으로 진행하였다. 연구진행과정에서 각각 진행한 사항을 요약하면 아래와 같다.

1) 한국정부 기관

북한의 GIS 데이터를 구하기 위해 국내의 정부 기관에 가장 먼저 연락을 취하였다. 통일부와 국토부에서는 이미 평양 중심지에 위치한 김일성광장의 일부 건물을 3차원으로 구축하여 온라인에서 서비스 중이기 때문에 최우선으로 연락을 하였으나 연구 혹은 학업의 목적으로는 정보 공개가 불가하다는 답변을 받았다. 하지만 국토부에서 배포하는 북한 지역의 2016년도 기준의 지적도 데이터는 제공받을 수 있었으나 현재 기준(2023년)으로부터 7년 전 자료이기 때문에 비교적 최근에 건설된 지역의 정보는 확인할 수 없었다. 국토부에서 제공하는 북한 지역의 수치지형도는 국토정보플랫폼 국토정보맵(<https://map.ngii.go.kr>)에서 배포하고 있으며 1:25,000 축척으로, 2007년, 2012년, 2014년, 2016년도의 수치지형도를 배포 중이다.



[그림 3-1] 국토정보플랫폼 국토정보맵에서 제공하는 북한 지역 수치지형도 (출처 : <https://map.ngii.go.kr>)

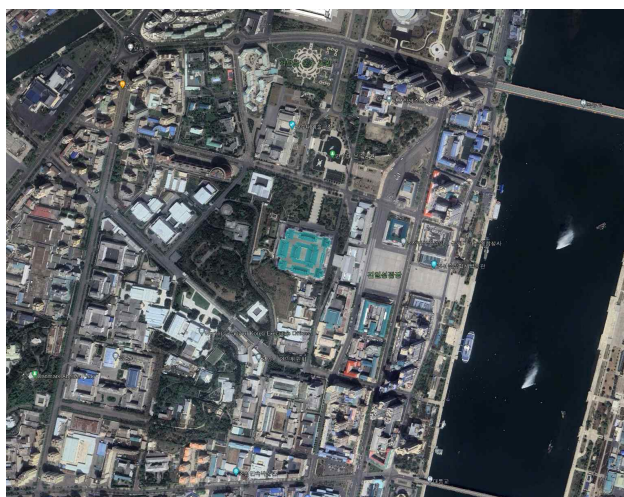
2) 인공위성 이미지

고해상도 위성이 점차 늘어나면서 전 세계 대부분 지역을 위성으로 관찰할 수 있게 되었다. 폐쇄국가인 북한 또한 위성으로 인한 사진 촬영과 배포를 막는 것은 실질적으로 불가능한 일이다. 따라서 북한에서 발생하는 사건들을 위성으로 실시간으로 관찰이 가능하며 북한 지형과 건축물의 위치까지 위성사진을 통해 알아내는 것이 가능하다. 특히 인공 위성 촬영 시의 촬영 파장을 이용하여 지형의 고도와 토지이용까지 분석하는 것이 가능하다.

Digital Twin 구축을 위해서 가장 중요한 부분인 건축물의 높이를 구하기 위해서는 건축물의 높이 데이터를 구하는 것이 매우 중요하다. 이는 위성사진의 건축물 그림자를 통해 계산하는 것이 가능하다. 사진 촬영 당시의 인공위성의 메타 데이터인 태양의 고도와 각도, 위성의 고도와 각도를 활용하여 그림자의 길이를 역추적하여 건축물의 실제 높이를 구하는 방식이다.

고해상도 인공위성 사진을 가장 쉽게 얻을 수 있는 방법은 Google Earth를 통하는 것이다. Google Earth는 일반인에게 전세계의 고해상도 인공위성 사진을 무료로 배포 중이다. 또한 딥러닝 인공지능 기술을 이용하여 선명한 화질과 건축물의 그림자까지 또렷하게 구분이 가능하다. 하지만 Google Earth 자체에서 해당 위성사진에 대한 메타 데이터를 제공하고 있지 않아 위성 사진을 활용한 건축물의 높이를 구하는 방법은 어려운 상황이다.

Google Earth를 제외하고 무료로 제공 받을 수 있는 인공위성 사진은 ESA(European Space Agency)에서 제공하는 Sentinel 인공위성 사진이다. 해당 사진은 EO Browser(apps.sentinel-hub.com/eo-browser)에서 다운로드할 수 있다. ESA에서는 센티넬 인공위성 사진과 함께 메타데이터 또한 제공한다. 하지만 해당 인공위성 사진의 해상도는 그림자를 확인 할 수 있을 정도의 선명한 해상도가 아니기 때문에, 마찬가지로 건축물의 높이를 구하는 방법은 어려운 상황이다.

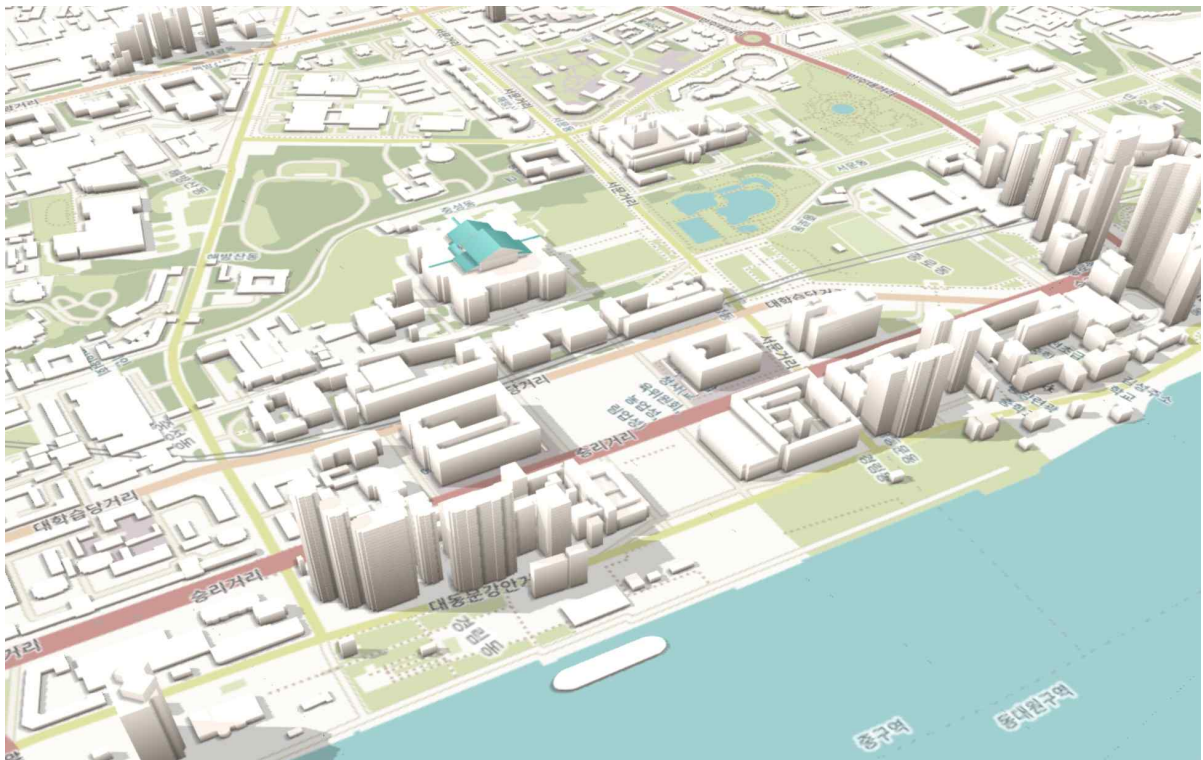


[그림 3-2] Google Earth를 통해 촬영된 평양의 사진 (출처 : Google Earth)

3) OSM (Open Street Map)

Open Street Map은 2005년 영국에서 출범한 오픈소스 지도 데이터베이스 서비스이다. 오픈소스이기 때문에 전 세계 누구나 지도 편집에 관여할 수 있다는 장점이 있다. 오픈소스 데이터에서 가장 중요한 문제점은 데이터의 신뢰성이다. Open Street Map은 이러한 문제점을 방지하기 위해 지도 편집 기능과 신뢰성을 매우 중요하게 판단하고 있으며 최근에는 인공지능, 위성사진, GIS 데이터 등을 통하여서 더욱 정밀하고 신뢰도 있는 지도로 만들어지고 있다. 특히 미국의 경우 국가적 차원에서 Open Street Map에 무료로 정밀 위성 사진을 제공하는 등 집단 지성의 힘을 통하여서 전 세계적인 지도를 구축 중이다.

특히 사람들이 쉽게 접근할 수 없는 오지나 북한과 같은 폐쇄국가의 경우에도 굉장히 자세한 지리정보가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명했다시피 인공지능과 인공위성 사진을 바탕으로 지도를 구축하며 실제 북한을 방문한 사람들, 미디어에 노출된 정보들 등을 모두 집합하여 신뢰도 있는 지도를 구축하기 때문이다. Open Street Map에는 단순히 평면상의 지도만이 표기되는 것이 아니라 실질적으로 Digital Twin 제작에 필요한 GIS 데이터가 모두 포함되어 있다고 봐도 무방하다. 오픈소스로 제작되었기 때문에 자유롭게 데이터를 사용, 가공이 가능하여 Digital Twin을 구축하는 데 있어 가장 적절한 데이터이기도 하다.



[그림 3-3] Open Street Map 기반의 3차원 모델링 (출처 : osmbuilding.org)

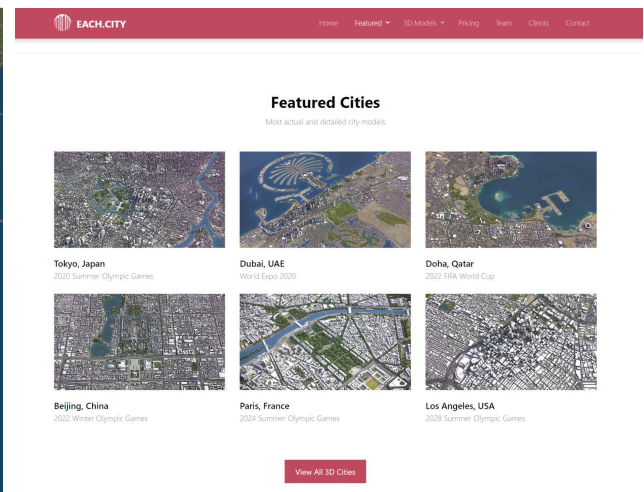
4) OSM을 활용한 3차원 도시공간 데이터 제공 민간기업 서비스

앞서 설명한 방법들을 동원하여 이미 북한 지역의 3차원 모델을 구축해 놓은 모델링 전문 회사들이 존재한다. 대부분 회사가 Open Street Map을 기본 데이터로 사용하여 모델을 구축해 놓았으며 그 외에도 위성사진 등을 활용하여 건물의 외장재나 지형 등을 구축해 놓았다. 그중에서 'Each City'를 통하여 북한의 3차원 모델을 구할 수 있었다.⁵¹⁾ 또한 Rhino와 SketchUp 등 다양한 포맷의 파일을 이용할 수 있어 작업 편의성 또한 높을 것으로 예상되었다. 가장 이상적인 Digital Twin 구축 방법은 Open Street Map의 데이터를 직접 편집하고 추출하여 삼차원 모델링 프로그램을 이용하여 지도를 만드는 것이지만, 해당 데이터를 편집, 수정, 제작하는 방식에 있어서의 전문적인 지식의 부족함과 이에 따라 지도 제작에 소요되는 시간적인 문제를 고려하여 기존에 제작된 지도를 구입하여 디테일한 부분들을 추가로 작업하는 것으로 결론지었다.

해당 파일은 Rhino 포맷인 3dm 확장자 파일로 제공받았다. 홈페이지 주소(<https://each.city>)에서 다운로드가 가능하다. 이 홈페이지를 통해 받을 수 있는 자료는 OSM 데이터를 토대로 Each City 소속 디자이너들이 3차원으로 구축한 데이터를 기반으로 하고 있으며, 원하는 확장자의 파일로 받을 수 있다. 2023년 현재 제공하는 형식은 max, fbx, obj, dae, skp, 3dm, rvt, blend, dwg, glb, c4d 형식을 지원하는 것으로 되어있다. 건축물, 건축물 텍스처, 지형, 도로 등의 기본적인 도시구성 요소들이 모두 제작되어 있었다. 다만 건물의 디테일한 부분은 구축되어 있지 않아 추가적인 작업이 필요했다.



[그림 3-4] Open Street Map을 기반으로 만들어진 Rhino 3차원 모델 (출처 : Each City 3dm 파일)



[그림 3-5] Each City 홈페이지 (출처 : Each City)

51) Each City 홈페이지, <https://each.city>

3.1.3 모델링 및 렌더링 작업

1) 3차원 그래픽 편집 도구 Rhino를 이용한 도시공간조정

기존에 'Each City'에서 제작한 평양의 3차원 모델은 디테일한 부분은 있지 않고 대부분의 건물들이 박스의 형태에 기초적인 재질만 입혀져 있는 상태이므로 현실적인 도시의 모습과는 이질감이 크게 느껴졌다. 따라서 주어진 3차원 모델을 바탕으로 디테일한 부분들을 수정하여 실제 모습과 유사하게 만드는 작업이 필요했다. 이러한 점을 고려해 미디어에 많이 노출된 곳 중 하나인 '김일성광장'과 '려명거리'를 선택하였다. 두 장소 모두 북한 내부적으로도 보도자료가 많고 선전자료 및 뉴스 등의 매체에서 자주 등장하기 때문에 도시의 디테일한 부분들을 찾아 3차원 모델 상에 반영할 수 있었다.



[그림 3-6] Each City를 통해 제공 받은 렬명거리의 3차원 모델 원본 (출처 : Each City)



[그림 3-7] Rhino를 통해 디테일 작업이 완성된 렬명거리의 3차원 모델 (출처 : 연구진)

2) 렌더링 프로그램 Twinmotion을 이용한 재질 표현 및 도시환경 구축

Twinmotion은 언리얼 엔진을 기반으로 한 삼차원 렌더링 프로그램이다. Rhino에서 디테일 작업이 끝난 3차원 모델은 재질별로 구분해 SketchUp 파일로 내보낸 뒤 Twinmotion에서 각각 불러와 해당 재질을 입힌다. Twinmotion에서 제공하는 플러그인을 통해 Rhino와 Twinmotion을 실시간으로 동기화하며 작업 할 수 있지만 플러그인의 불안정성과 완벽하지 않은 연동성 때문에 Rhino 상에서 같은 재질끼리 레이어를 구분하여 작업한 뒤 Twinmotion이 인식할 수 있는 SketchUp 파일로 저장 후 불러오는 방식을 사용하였다. 이후 차량의 동선과 사람들의 이동 동선들을 지정하고 수목을 조성하는 등의 지형 환경을 구현하여 전체 도시의 모습을 현실과 유사하게 구축한다.



[그림 3-8] Twinmotion을 통해 완성된 평양의 려명거리 (출처 : 연구진)

3.2 환경 시뮬레이션

3.2.1 대상지 3차원 모델 구축

북한의 경우 폐쇄국가라는 특징상 지리정보와 건축물의 정보를 담고 있는 GIS 정보를 구할 수 없기에 오픈 지도 소스인 Open Street Map을 통하여서 북한지역의 GIS 정보를 구한 뒤 Rhino 프로그램을 통해 모델을 구축하게 된다. 이를 통해 북한지역의 지리, 지형적 정보, 건축물의 높이, 도로 등의 데이터 값을 얻어 Rhino의 자동화 시스템을 이용하여 대상지의 모델을 구축하게 된다.

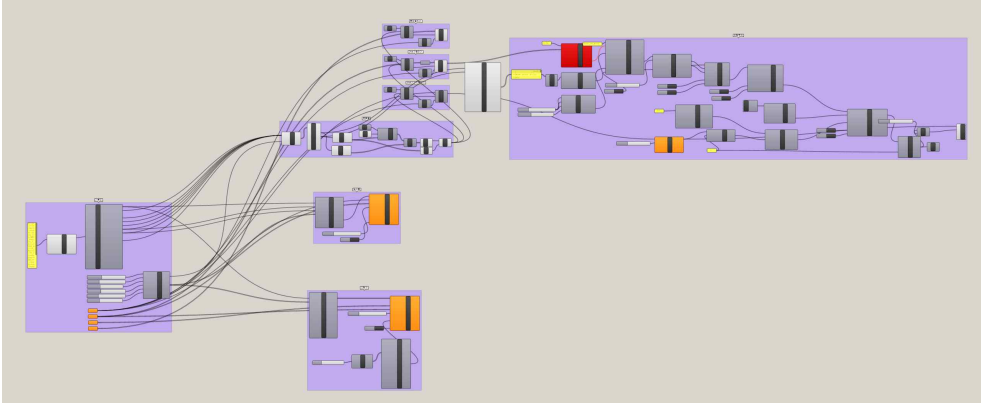


[그림 3-10] Rhino를 통한 건축물 현황 모델 구축 예시 (출처: 연구진)

북한 도시의 지리좌표(경도, 위도), 건축물 외곽선, 건축물 높이, 도로 등의 데이터값들을 사용하여 Rhino를 통해 분석대상 현황 세부 디지털 모델을 구축한 뒤 이를 대상으로 진행된다. 이후 Rhino 프로그램의 플러그인 Grasshopper의 Ladybug를 이용하여 환경 시뮬레이션을 진행하게 된다.

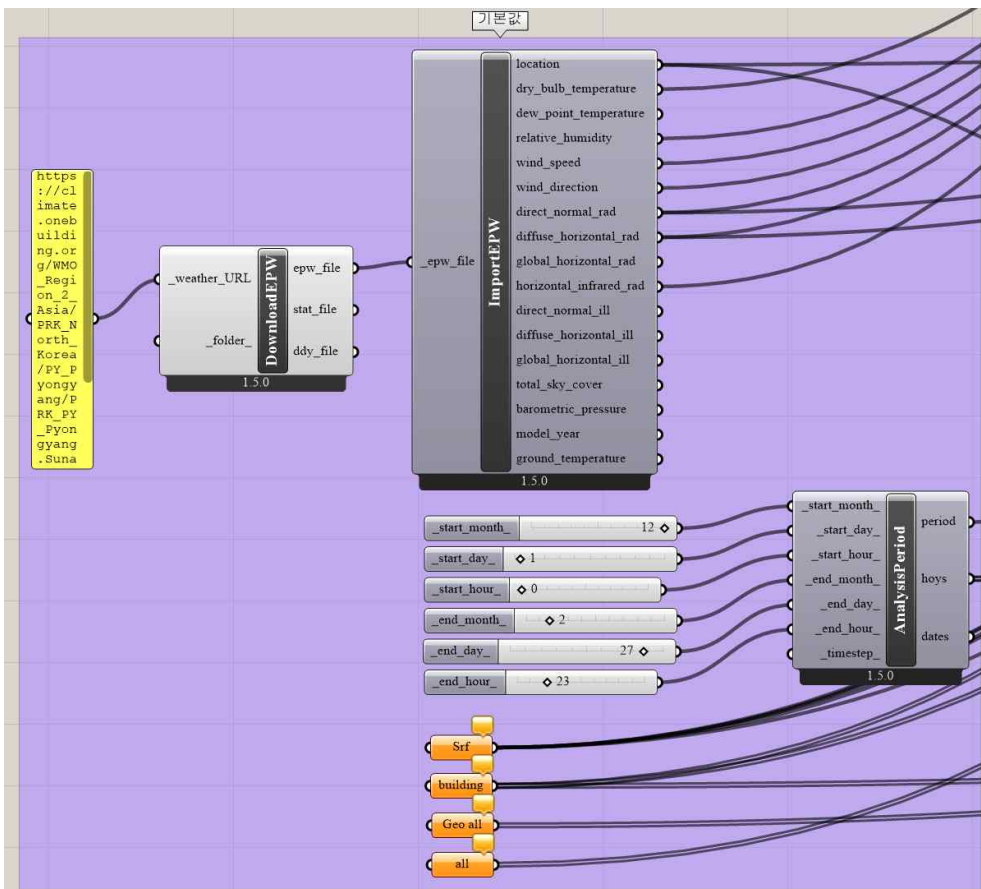
3.2.2 환경 시뮬레이션 (Ladybug)

표준 기상데이터인 EPW(EnergyPlus Weather Format) 파일을 불러들여 환경 시뮬레이션 및 분석 도구를 제공한다. 일조, 음영, 열쾌적성 분석 등이 가능하다. Butterfly는 Openfoam과 CFD엔진을 사용하여 바람 시뮬레이션 분석이 가능하다.



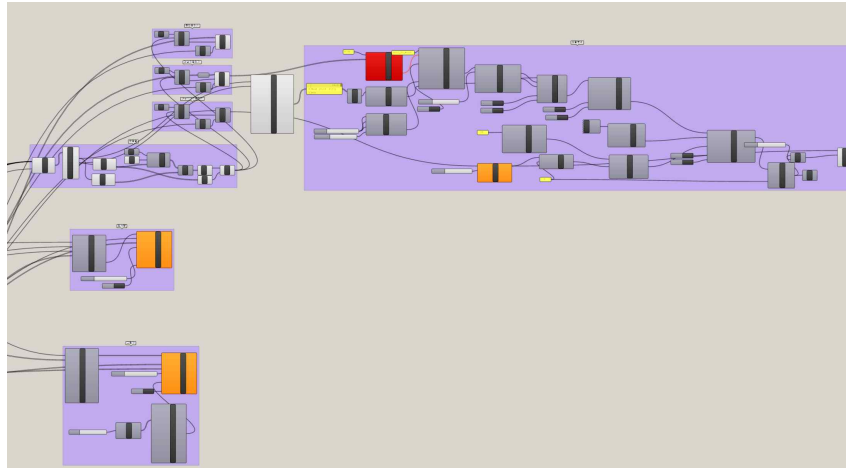
[그림 3-9] Rhino의 Grasshopper를 이용한 환경 시뮬레이션 스크립트 (출처 : 연구진)

기상청 실측데이터 기반의 EPW(EnergyPlus Weather Format)가 존재하는 평양시 기상데이터를 이용하여 환경 시뮬레이션 분석을 진행한다. Grasshopper의 Ladybug의 에너지 시뮬레이션이 가능한 EnergyPlus, OpenStudio기반 플랫폼인 URBANopt(Urban Renewable Building And Neighborhood optimization)를 이용하여 도시 내의 건축물 및 단지 내 일조, 바람, 기온, 그림자, 습도 등의 시뮬레이션을 통해 열환경 결과값을 도출해 낸다.



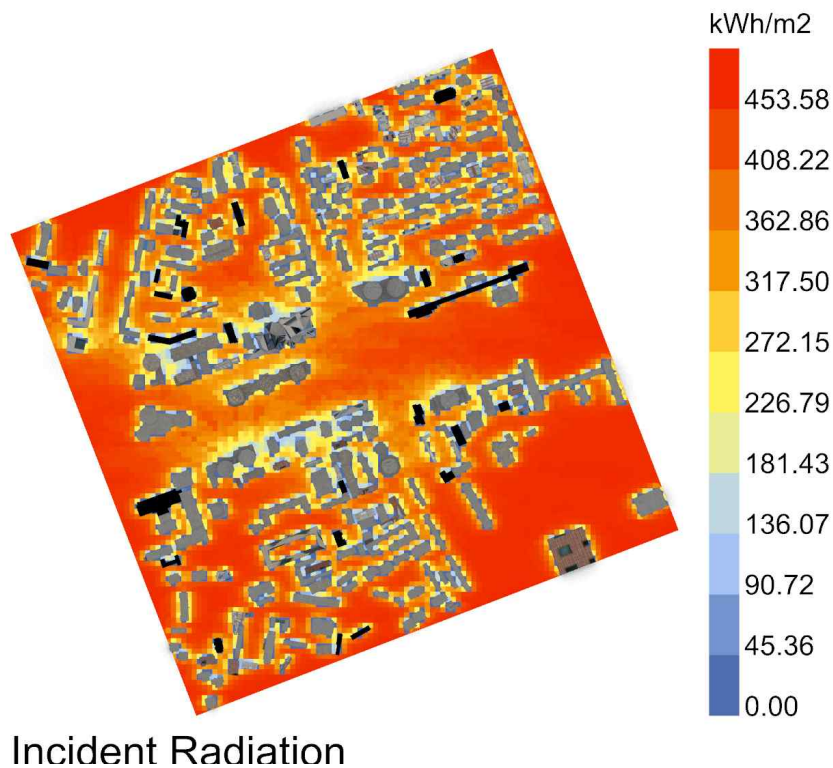
[그림 3-11] EPW(EnergyPlus Weather Format) 사용 및 날짜 설정 (출처: 연구진)

해당 지역의 표준기상데이터인 EPW(EnergyPlus Weather Format) 파일을 불러오며 이후 환경 시뮬레이션을 진행할 날짜와 시간을 설정해준다. 이후 시뮬레이션을 진행 시킬 대상 모델을 설정해 준다.



[그림 3-12] 환경 시뮬레이션 결과값 도출 및 시각화 (출처: 연구진)

이후 지정된 시간에 따라 시뮬레이션을 진행해 준다. 이후 결과값을 도출한 뒤 시각화해 주는 작업을 진행한다. 계산된 값의 평균값, 범위, 지정구역의 결과값만 확인할 수 있다. 이를 통해 본인이 원하는 구역의 값만 확인할 수 있고 시간에 따른 변화의 양이나 추세 또한 확인할 수 있다.



[그림 3-13] 환경 시뮬레이션 진행 후 시각화된 결과물 (출처 : 연구진)

해당 환경 시뮬레이션의 시각화를 진행하게 되면 다음과 같은 결과물을 얻을 수 있다[그림 3-13]. 해당 그림은 일사량 값을 분석한 것으로, 해당 지역의 일사량의 정도를 색상을 통해 확인할 수 있다. 일사량뿐 아니라 해당 지역의 EPW 파일에 포함된 다른 기후 데이터를 바탕으로 사용자의 필요에 따라 Grasshopper 스크립트를 작성하여 다양한 환경 정보와 시뮬레이션을 진행할 수 있으며 결과값의 시각화 또한 가능하다.

위와 같이 Rhino와 Grasshopper를 이용하면 구축된 Digital Twin을 기반으로 시뮬레이션이 가능하다. 본 연구에서는 기후 환경과 관련한 시뮬레이션만 진행하였지만 Digital Twin 모델을 구축해 놓음으로써 추후 더욱 다양한 시뮬레이션과 연구를 진행할 수 있을 것으로 보인다.

제 4 장

평양 중심부 Digital Twin 구축

4.1 평양 김일성광장·려명거리 Digital Twin 구축

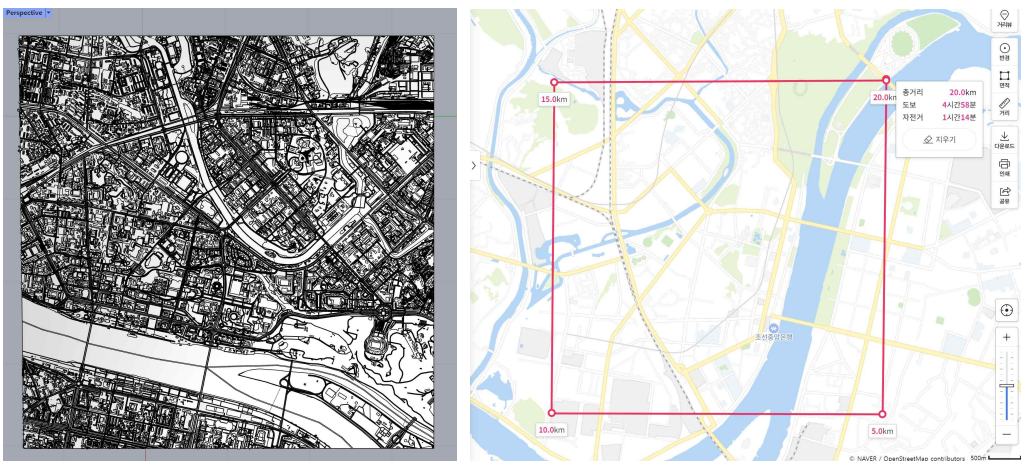
4.2 VR 시뮬레이션

4.1 평양 김일성광장·려명거리 Digital Twin 구축

4.1.1 김일성광장

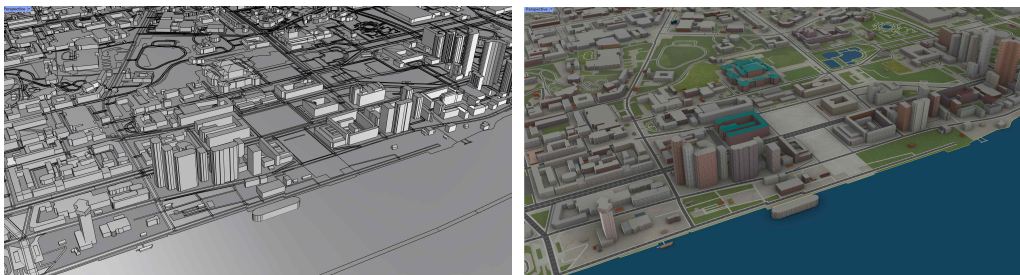
1) 원본 파일

Each City에서 구입한 3차원 지도 데이터 파일은 Rhino 3-D Model(.3dm)형식이었고, 용량은 15mb였다. 이를 Rhino 7 프로그램으로 연결하여 작업하였고, 연결프로그램으로 처음 확인한 원본은 그림 4-1과 같았다. 원본 파일에는 5km X 5km의 범위의 모델링이 되어있었고, 해당 모델링 지역을 지도에 표현한 모습이 오른쪽 그림이다.



[그림 4-1] 원본 Rhino 파일의 범위 (좌) 원본 파일의 범위 (우) 지도에서 원본 파일 범위 (출처 : 네이버지도)

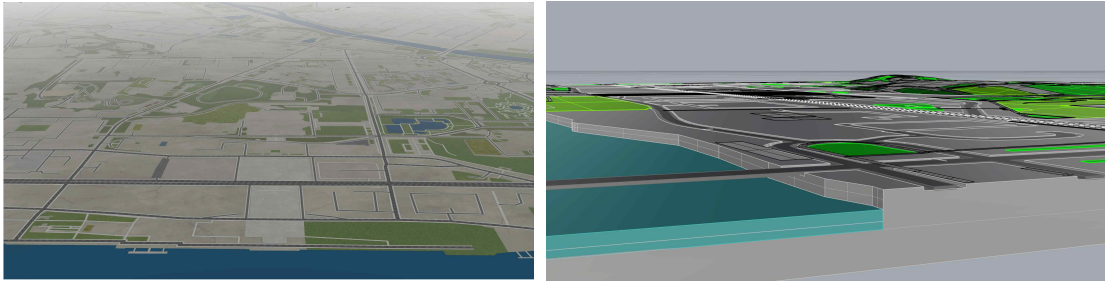
Rhino에서는 Shaded과 Rendered으로 화면 설정을 설정할 수 있는데 각각의 방법으로 확인한 원본 파일의 모습은 [그림 4-2]와 같았다.



[그림 4-2] 원본 Rhino 파일 (좌) Shaded로 보았을 때 (우) Rendered로 보았을 때

2) 지형·강 수정

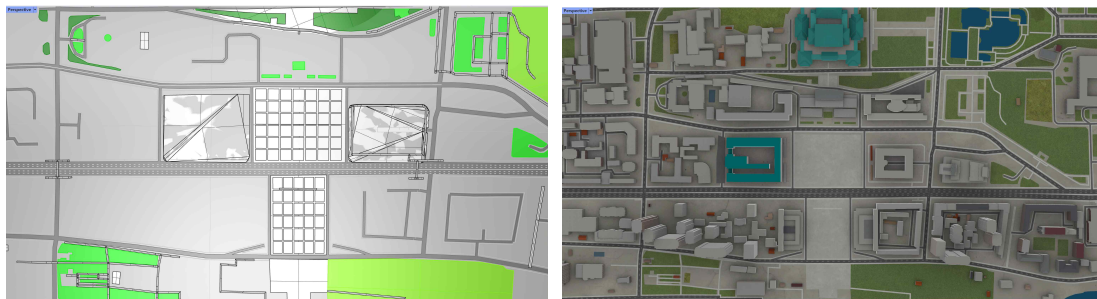
원본 Rhino 파일은 지형표현이 되어있지 않고 모두 평지로 표현되어 있었다. 따라서 인민대 학습당 근처 구릉지와 대동강의 지형을 실제와 같게 표현해 주었다. 구릉지는 위로 튀어나오도록 하였고, 대동강은 밑으로 움겨 대지와 다리가 비교적 위에 위치할 수 있도록 하였다. 그림 4-3에서 지형 수정 전과 후의 모습을 확인할 수 있다.



[그림 4-3] 지형 수정 (좌) 수정 전 (우) 수정 후

3) 도로 수정

김일성광장 근처의 도로를 점검한 결과, 도로의 폭과 개수는 맞았으나 가로수와 보도의 표현이 미흡했기에 이를 수정해 주었다. 그림 4-4에서 도로 수정 전과 후의 모습을 확인할 수 있다.

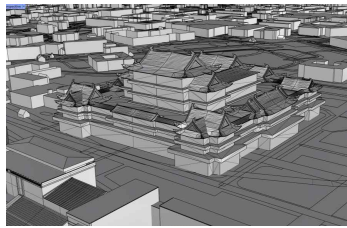
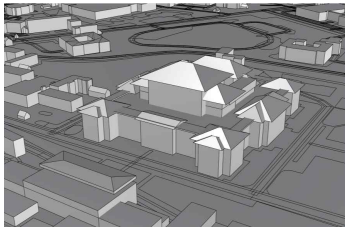


[그림 4-4] 도로 수정 (좌) 수정 전 (우) 수정 후

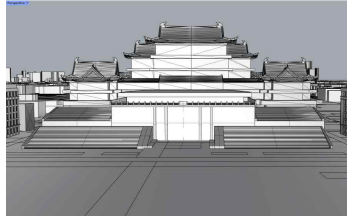
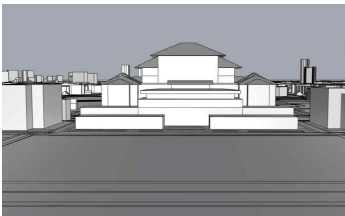
ㄱ4) 주요 건물 디테일 추가

주요 건물 디테일은 Each City에서 받은 1차 자료를 기반으로 Rhino와 Twinmotion을 거쳐 수정하였다. 수정과정에서는 언론, 유튜브 등에 노출된 실물 건축물 이미지를 참고하여 디테일을 보완하였다.

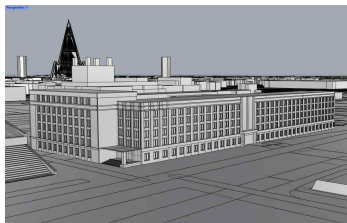
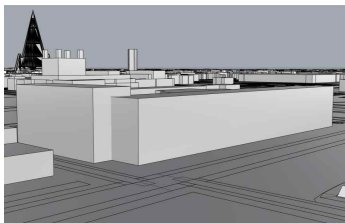
① 인민대학습당



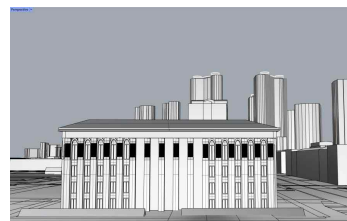
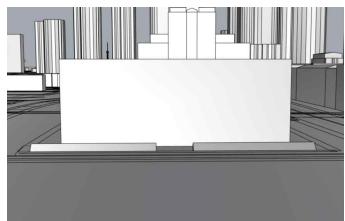
② 대주석단



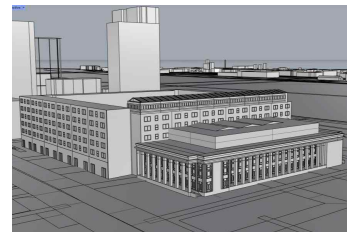
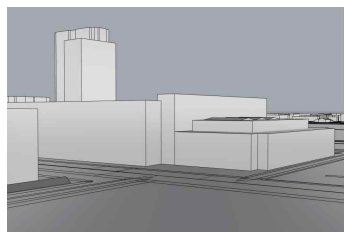
③ 외무성



④ 조선민주주의인민공화국 내각

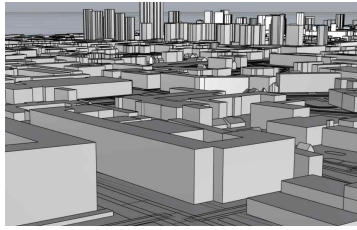


⑤ 조선중앙역사박물관

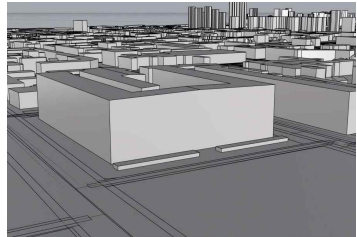


[표 4-1] 김일성광장 주요 건물 모델링 과정 ①~⑤

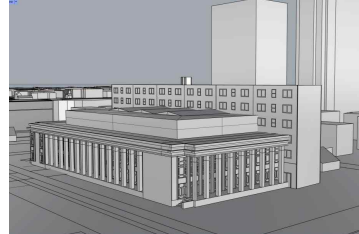
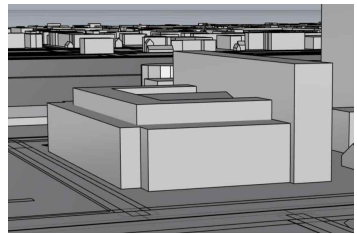
⑥ 인민대학습당 왼쪽 첫 번째 건물⁵²⁾



⑦ 대외경제성



⑧ 조선중앙미술관



[표 4-2] 김일성광장 주요 건물 모델링 과정 ⑥~⑧

52) 대외적으로 어떤 건물인지 알려지지 않았다.

4.1.2 려명거리

1) 원본 파일

Each City에서 구입한 3차원 지도 데이터 파일은 Rhino 3-D Model(.3dm)형식이었고, 용량은 약 42mb였다. 이를 Rhino 7 프로그램으로 연결하여 작업하였고, 연결프로그램으로 처음 확인한 원본은 그림 4-21과 같았다. 원본파일에는 6.5km X 5km의 범위의 모델링이 되어있었고, 해당 모델링 지역을 지도에 표현한 모습이 오른쪽 그림이다.



[그림 4-5] 원본 Rhino 파일의 범위 (좌) 원본 파일의 범위 (우) 지도에서 원본 파일 범위 (출처 : 네이버지도)

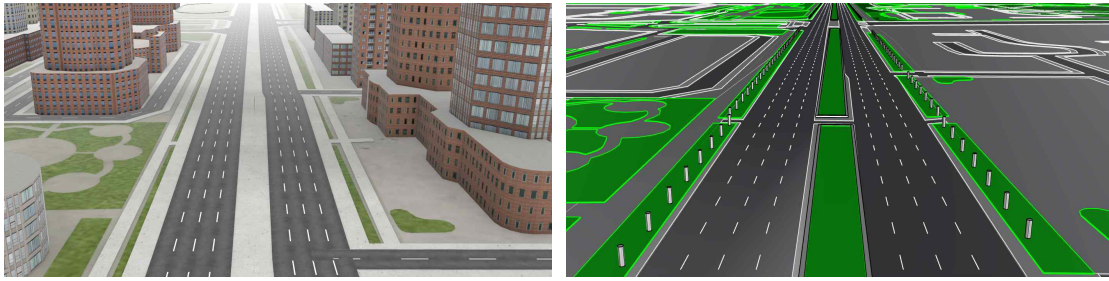
Rhino에서는 Shaded과 Rendered으로 뷰를 설정할 수 있는데 각각의 방법으로 확인한 원본 파일의 모습은 [그림 4-14]와 같았다.



[그림 4-6] 원본 Rhino 파일 (좌) Shaded로 보았을 때 (우) Rendered로 보았을 때

2) 식재 추가

원본 Rhino 파일에는 도로 중앙의 화단이 따로 삽입되지 않은 상태였고 해당 부분이 모두 보행로와 같은 재질로 표현되어 있었다. 따라서 영생탑부터 시작되는 왕복 8차선 도로 중앙에 화단과 화단 벽을 추가해 실제와 같게 표현해 주었다. 또한 왕복 8차선 도로 양옆 보행로에 가로수를 추가해 실제 려명거리 모습과 일치율을 높였다.



[그림 4-7] 식재 추가 (좌) 추가 전 (우) 추가 후

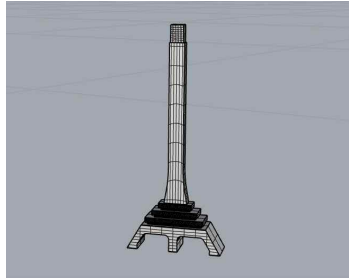
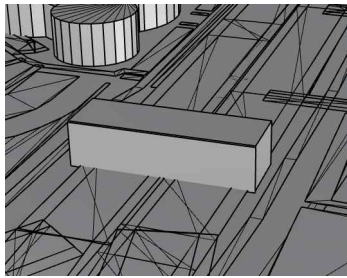
3) 주요 건물 디테일 추가

Each City에서 받은 최초의 Rhino 3-D model 파일은 실제 건물 높이를 반영한 Mesh 기반의 형태로 작업된 상태였다([그림 4-8]). 또한 려명거리에 위치한 실제 건물들의 외관적 특징이 잘 드러나지 않는 모습이었다. 따라서 언론, 유튜브 등에 노출된 실물 건축물 이미지를 참고하여 려명거리의 주요 건물인 영생탑, 82층 아파트, 70층 아파트, 상가 건물 등을 포함해 총 19개동 아파트와 상가 9개, 기타 건축물 5개를 새로 모델링 했다.

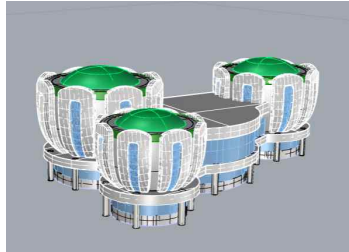
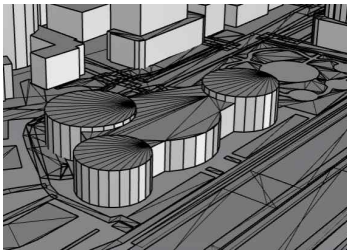


[그림 4-8] 원본 Rhino 3-D model 파일

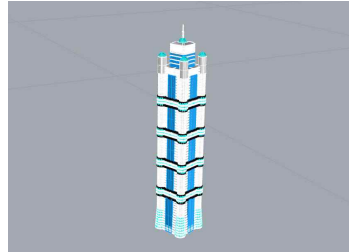
① 영생탑



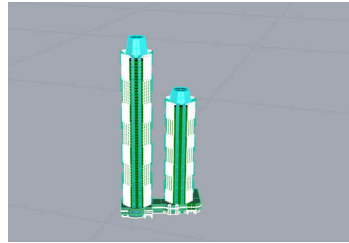
② 녹색건축기술교류사



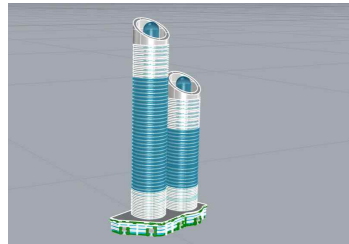
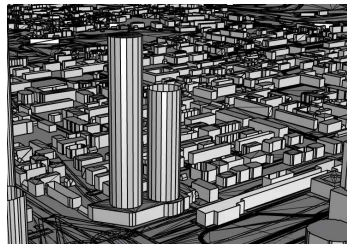
③ 대성 51-44호동 아파트 (270m)



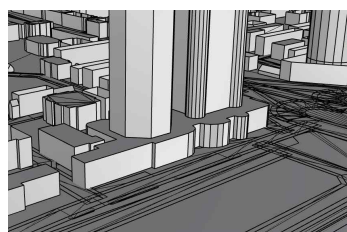
④ 모란 55-1-가동 아파트 (240m) / 모란 55-1-나동 아파트 (150m) 및 상가



⑤ 대성 53-75호동 아파트 (200m) / 대성 53-74호동 아파트 (140m) 및 상가

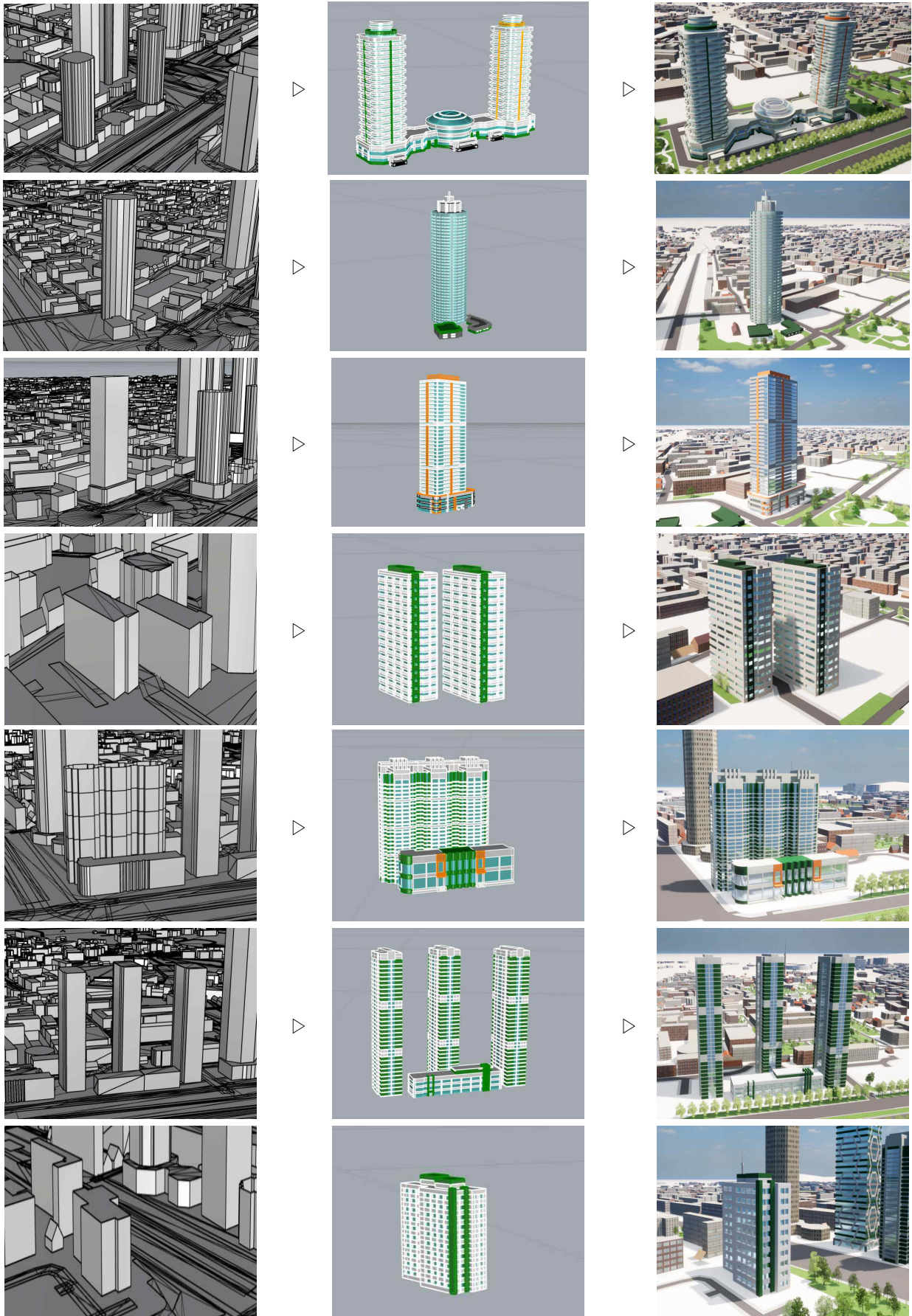


⑥ 려명거리종합상업구



[표 4-3] 려명거리 주요 건물 모델링 과정 ①~⑥

㉞ 그 외의 기타 건물들



[표 4-4] 려명거리 주요 건물 모델링 과정 ㉞

4.1.3 Digital Twin 구축 결과

Rhino를 통해 구축된 Digital Twin은 최종적으로 렌더링 프로그램인 Twinmotion을 통해 구현하게 된다. Twinmotion을 이용하여 Rhino 상에서 만들어진 건물과 도로 및 조경에 재질을 입히고, 자동차의 이동 경로나 사람의 이동 경로를 추가하여 Digital Twin 상에서의 도시환경을 실제 환경과 유사하게 구축하여 더욱 현실감 있는 도시로 구현하게 된다.



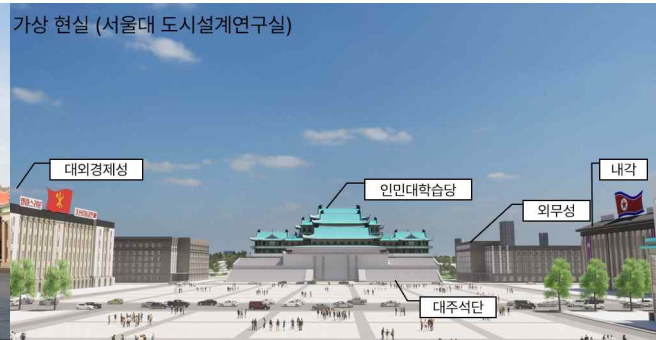
[그림4-9] Twinmotion을 이용하여 렌더링 작업 진행

Twinmotion에서는 날짜에 따른 계절의 변화나 시간에 따른 태양 위치의 변경 또한 가능하며 시간의 흐름에 따른 변화를 관찰할 수 있다. 이를 통하여 건축물의 그림자가 지는 정도나 햇빛이 드는 정도 등을 시각적으로 확인할 수 있도록 도와준다. 또한 자체적으로 VR을 지원하여 구축된 환경을 직접적으로 체험할 수 있게 해준다. 최종적으로 Twinmotion을 통해 구축된 Digital Twin의 결과물은 다음과 같다.

실제 사진 (출처 : 평화문제연구소)



가상 현실 (서울대 도시설계연구실)



실제 사진 (출처 : 통일뉴스)



가상 현실 (서울대 도시설계연구실)



실제 사진 (출처 : 평화문제연구소)



가상 현실 (서울대 도시설계연구실)



[그림4-10] 실제 김일성광장의 모습(좌)과 Digital Twin으로 구축된 김일성광장(우)의 모습

위 그림은 실제 김일성광장의 모습(왼쪽)과 Digital Twin으로 구축한 김일성광장(오른쪽)의 모습이다. 광장에서 볼 수 있는 북한의 선전물들 또한 구현함으로써 실제와 가까운 모습의 환경을 구축하기 위하여 노력하였다. 또한 김일성광장 전면에 위치한 대동강과 대동강 건너편의 주체사상탑 또한 구현하여서 김일성광장에서 바라보는 광경을 최대한 사실적으로 구현하였다.



[그림4-11] 실제 려명거리의 모습(좌)과 Digital Twin으로 구축된 려명거리(우)의 모습

위 그림은 실제 려명거리의 모습(왼쪽)과 Digital Twin으로 구축한 려명거리(오른쪽)의 모습이다. 려명거리의 경우 고층 빌딩이 다수 위치하여 있으며 비교적 최근에 건설된 최신식의 건물들이 위치하여 있는 것을 알 수 있다. 이에 따라 건축물의 디테일을 최대한 현실과 같은 모습으로 재현하려 하였으며 도로에 있는 자동차와 보행자의 모습들 또한 구현하였다. 이러한 과정을 통하여 현실과 유사한 Digital Twin을 구현할 수 있게 되었다.

4.2 VR 시뮬레이션

위에서 Twinmotion을 통하여 최종적으로 구현한 평양 지역의 Digital Twin을 VR기기를 이용하여 더욱 현실감 있는 체험이 가능하게 하였다. 사용자는 VR기기를 이용하여 직접 구현된 김일성광장과 려명거리를 걸어 다닐 수 있으며 시간의 흐름에 따라 변화하는 도시의 모습 또한 관찰할 수 있게 된다. 단순히 3차원으로 구현된 도시 공간을 사진으로 보는 것 이상의 몰입감과 현실감 있는 체험을 VR을 통하여서 가능하도록 구현하였다.



[그림4-12] VR 기기를 통하여 려명거리를 체험하는 모습
(영상 : <https://www.youtube.com/watch?v=VnuZDdqJQ4c>)

제 5 장

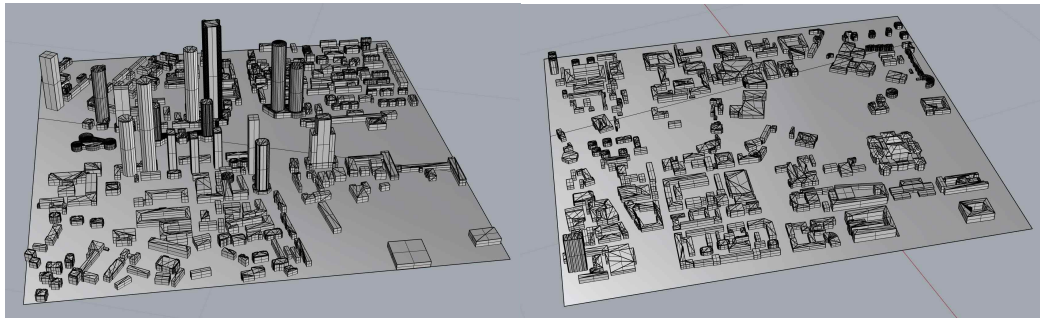
도시공간분석

5.1 도시공간분석모델 구축

5.2 환경 시뮬레이션

5.1 도시공간분석모델 구축

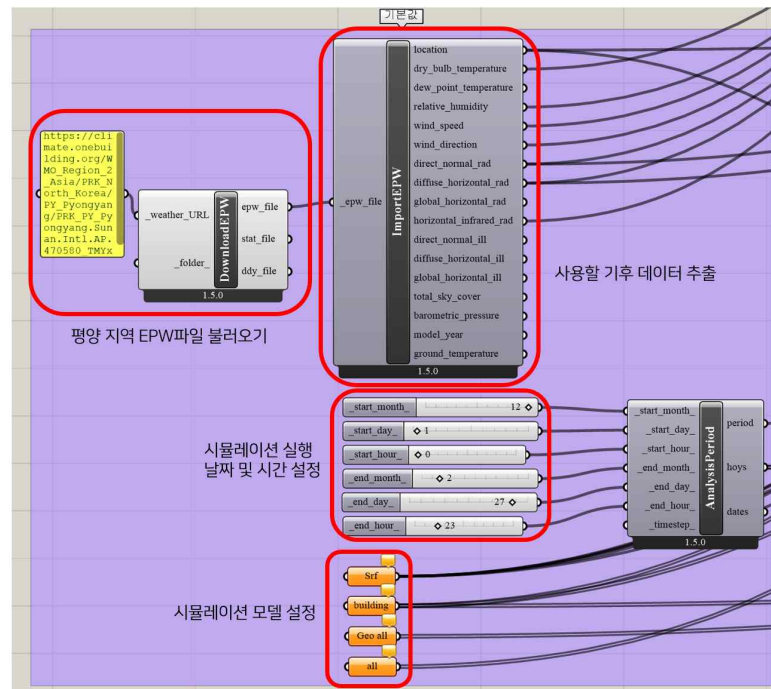
시뮬레이션을 진행하기 위해 우선적으로 대상지 모델을 구축하였다. 해당 모델은 앞서 구축한 북한의 Digital Twin 3차원 모델을 기반으로 구축하였다. 대상지 모델은 건물의 디테일은 제거하고 기본적인 매스 모델로 단순화하여 구축하였다. 단순화하여 진행하는 이유는 시뮬레이션 시간 단축을 비롯하여 다양한 변수값들을 최소화하여 상대적으로 같은 환경에서의 결과값을 비교하기 위함이다. 시뮬레이션 김일성광장과 려명거리를 중심으로 각각 반경 1km의 정사각형 모델을 구축하여 해당 모델을 대상으로 일사량, 그림자, 바람길, 시뮬레이션을 진행하였다.



[그림 5-1] Rhino로 구축된 시뮬레이션을 위한 려명거리와 김일성광장

이후 Grasshopper의 스크립트를 사용하여 시뮬레이션에 사용할 북한 평양의 기후 데이터를 추출한다. 미국 정부 에너지 부처 산하의 공식 웹사이트에서 배포하는 평양 지역의 EPW(Energy Plus Weather Format) 파일을 불러와준 뒤 해당 파일에서 시뮬레이션에 사용될 기후 데이터들을 선택하여 추출하여 준다. 해당 지역의 위치, 건구 온도, 습구 온도, 풍속, 풍향, 일조, 일사량 등 다양한 기후 정보가 EPW(Energy Plus Weather Format) 파일 내에 포함되어있으며 이중 기후 시뮬레이션에 필요한 정보들을 선택한다. 이후 시뮬레이션을 진행할 날짜와 시간을 선택하여 준다. 시뮬레이션 시작하고 끝낼 날짜와 시간을 설정하여 줄 수 있다. 이후 사전에 만들어 두었던 평양 지역의 시뮬레이션 대상 모델을 연결해줌으로써 기본적인 시뮬레이션 시작을 위한 준비를 마친다.

5.2 환경 시뮬레이션



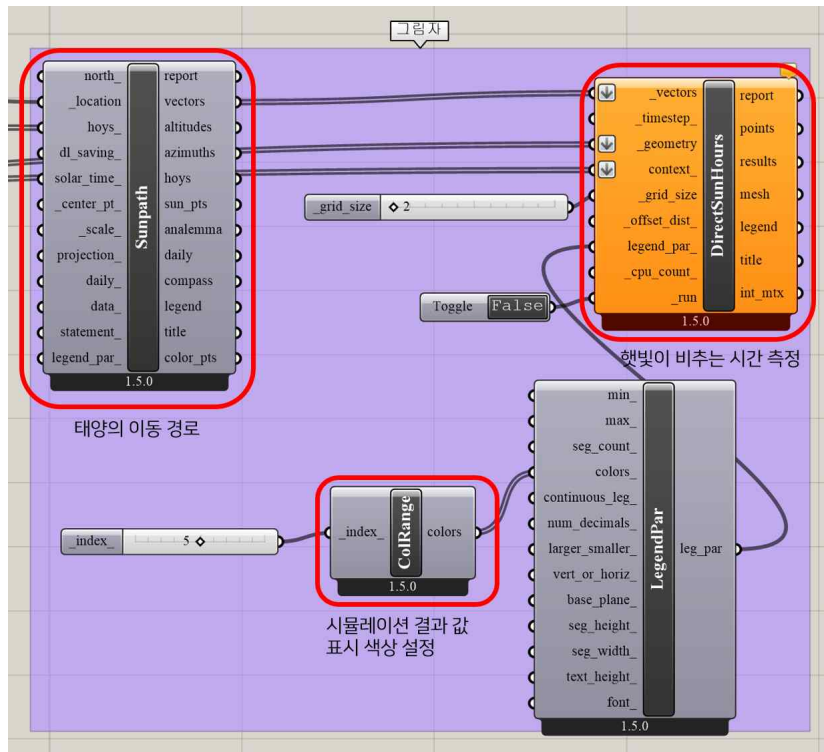
[그림 5-2] 기후 데이터 추출을 위한 Grasshopper 스크립트

북한의 도시공간을 Digital Twin으로 구축함으로써 북한의 기후 환경에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 건축물의 형태, 높이와 지형 등이 3차원으로 디지털상에서 구축되었기 때문에 실제와 도시와 유사한 공간에서의 시뮬레이션이 가능해 진 것이다. 특히 북한과 같이 접근하기 어려운 폐쇄적 국가에 대해서는 직접 방문하여 측정하는 것이 불가능 하기 때문에 이와 같은 방법이 매우 유용할 것으로 예상된다. 북한의 기후 데이터는 표준기후데이터인 EPW(Energy Plus Weather Format)의 평양 지역 데이터를 사용하였다. EPW(Energy Plus Weather Format) 파일은 ImportEPW라는 ladybug 컴포넌트를 통해서 각각의 해당 시뮬레이션에 필요한 데이터를 추출하게 된다. ImportEPW 컴포넌트를 통해 추출할 수 있는 데이터 중 시뮬레이션을 위해 필요한 데이터는 다음과 같다[그림 5-2].

- location : 날씨 파일의 위치 데이터
- dry bulb temperature : 시간별 건구 온도
- relative humidity : 시간별 상대 습도
- wind speed : 시간별 풍속(m/sec)
- wind direction : 시간별 풍향(도)
- direct normal rad : Wh/m² 단위의 시간별 직달일사
- diffuse horizontal rad : Wh/m² 단위의 시간별 수평면 확산일사

5.2.1 그림자 시뮬레이션

그림자 시뮬레이션은 일정 기간 건물에 의해 그림자가 지는 정도를 판단하게 해주는 시뮬레이션이다. 본 시뮬레이션에서는 해가 낮아 그림자가 많이 지는 계절인 겨울(12월~2월)의 그림자 정도를 알아보았다.



[그림 5-3] 그림자 시뮬레이션을 위한 Grasshopper 스크립트

그림자를 시뮬레이션하기 위한 해당 Grasshopper 스크립트는 다음과 같다[그림 5-3]. 먼저 추출된 EPW(Energy Plus Weather Format) 파일의 데이터를 바탕으로 평양 지역의 위치 데이터를 불러온다. 이후 해당 지역에 지나가는 태양의 경로를 계산해 준다. 이때 태양의 경로상에서 모델이 비추는 햇빛의 시간을 측정해 줌으로써 해당 모델에서 각각의 부분에 햇빛이 드는 시간을 계산하여 시각화를 통해 결과를 나타낸다. 파라미터 상에서 가장 밝은 부분이 햇빛이 가장 오랜 시간 드는 곳이며 가장 어두운 부분은 햇빛이 전혀 들지 않는 부분이다.

그림자 시뮬레이션에서 사용된 ladybug 컴포넌트는 다음과 같다.

1) Sunpath

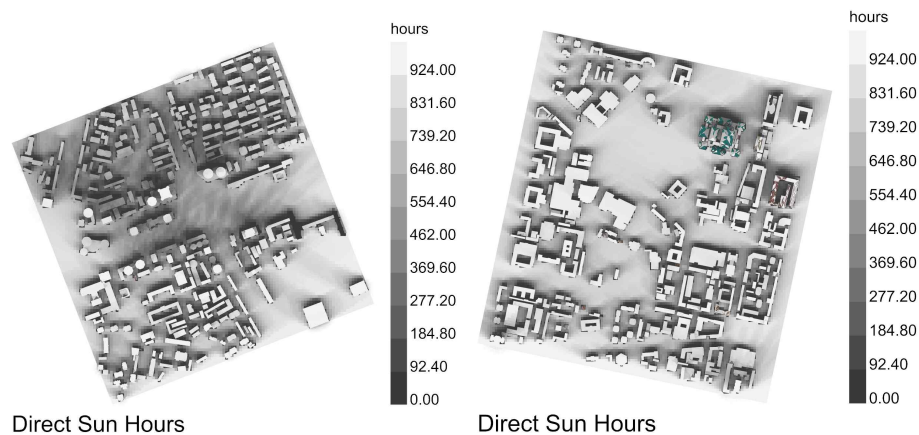
Sunpath 컴포넌트는 Rhino 상에서 3차원 태양 경로를 만든다. Sunpath는 일조시간 분석 또는 음영 지역 분석에 사용할 수 있는 태양 벡터 데이터 값을 출력하는 기능을 가지고 있다. 컴포넌트의 왼쪽은 입력값이며 오른쪽은 출력값이다. 입력값에는 ImportEPW 컴포넌트를 통해 추출된 location 값인 평양 EPW(Energy Plus Weather Format)을 불러와 지구상의 위치를 설정해

준다. hoy에는 시뮬레이션을 진행할 기간과 시간을 설정해준다. 이후 출력값인 vectors 값을 통해 태양 경로의 각 태양 위치에 대한 태양광의 방향을 나타내는 벡터값을 추출해낸다.

2) Direct Sun Hours

Direct Sun Hours 컴포넌트는 Sunpath 컴포넌트를 통해 추출된 태양광의 벡터값을 사용하여 모델이 받는 직사광선의 시간을 계산한다. 이러한 직사광선 계산은 실외 환경의 그림자 연구에 사용하거나 실내의 직사광선으로 인한 눈부심 가능성 등을 추정하는 데 사용할 수 있다. 컴포넌트 왼쪽 입력값의 vectors에 Sunpath로부터 추출된 vectors값을 연결해준다. geometry에는 직사광선 분석을 진행할 모델을 지정해준다. context에는 geometry에 지정된 모델에 대해 햇빛을 차단할 수 있는 건물 모델을 지정해준다. grid size는 직사광선 분석을 위해 나뉘지는 해당 모델의 그리드의 크기를 지정해주는 것이다. 그리드의 크기가 작을수록 결과값의 해상도는 높아지지만 시뮬레이션 계산 시간은 늘어나게 된다.

이를 통해 그림자가 많이 생기는 음영 지역을 파악할 수 있게 된다. 그 결과는 다음과 같다[그림 5-4].

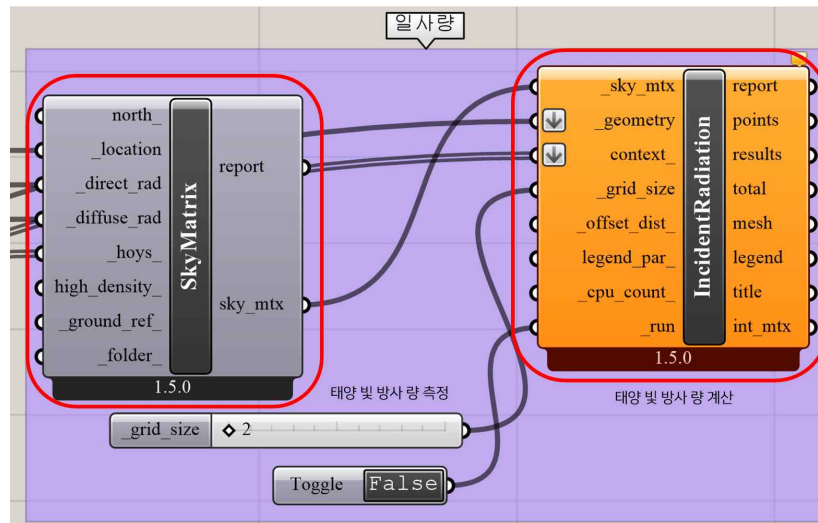


[그림 5-4] 려명거리(왼)와 김일성광장(우)의 그림자 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과에서 어두울수록 그림자가 많이 지는 곳임을 알 수 있다. 고층 빌딩이 다수 위치한 려명거리의 경우 겨울철 그림자가 많이 지는 것을 알 수 있으며 광장이 위치해 있으며 저층 건물이 대다수인 김일성광장의 경우 상대적으로 그림자의 면적이 적은 것을 알 수 있다.

5.2.2 일사량 시뮬레이션

일사량 시뮬레이션의 경우 그림자 시뮬레이션과 비슷한 시뮬레이션이지만 그림자의 경우 시간의 단위로 결과값이 나타내어졌다면 일사량의 경우는 지면에 가해지는 일사 에너지량을 시뮬레이션하게 된다. 일사량은 태양의 에너지가 큰 여름철(6월~8월)을 대상으로 시뮬레이션을 진행하였다.



[그림 5-5] 일사량 시뮬레이션을 위한 Grasshopper 스크립트

일사량 시뮬레이션을 위한 스크립트는 다음과 같다[그림 5-5]. 먼저 평양 지역의 태양 빛의 방사량을 측정해 준다. 이는 반구 모양의 하늘 모델을 만들어 주고 해당 지역에 비추는 태양 빛의 방사량을 측정해 준다. 이를 만들어진 모델에 투사하여 해당 지역에 도달하는 방사량을 계산한다.

일사량 시뮬레이션에서 사용된 ladybug 컴포넌트는 다음과 같다.

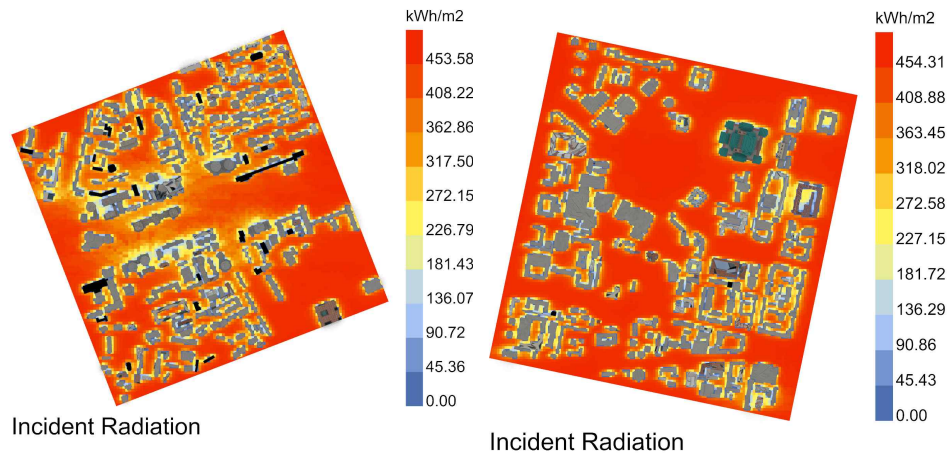
1) SkyMatrix

SkyMatrix 컴포넌트는 연중 각 시간에 대한 태양의 복사 에너지를 계산한다. 입력값에는 EPWImport 컴포넌트를 통해 추출된 데이터중 location, direct rad, diffuse rad를 이용하며, hoy에는 시뮬레이션을 진행할 기간과 시간을 설정해준다. 이후 출력값인 sky mtx를 통해 태양 방사값을 출력해준다.

2) Incident Radiation

Incident Radiation 컴포넌트는 SkyMatrix 컴포넌트를 통해 추출된 값을 토대로 해당 모델에 적용되는 일사량을 계산한다. 이를 통해 태양열 전지판 혹은 창문을 통한 일사량 등을 계산할 수 있도록 한다. 입력값에는 SkyMatrix를 통해 추출된 값과 시뮬레이션 대상 모델을 geometry에 입력하고 일사량에 영향을 끼치는 건물 모델은 context에 입력한다. grid size는 분석을 위해 나눠지는 해당 모델의 그리드의 크기를 지정해주는 것이다.

이러한 과정을 통하여 지표면 또는 건물에 닿는 일사량을 수치적으로 계산할 수 있도록 해준다. 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다[그림 5-6].



[그림 5-6] 려명거리(왼)와 김일성광장(우)의 일사량 시뮬레이션 결과

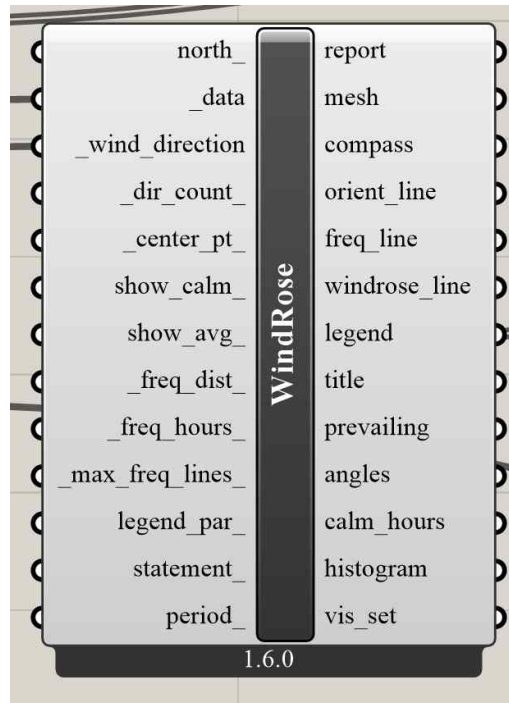
여름철 일사량 시뮬레이션 결과에서 붉은색일수록 일사량이 높은 수치이며 푸른색일수록 낮은 수치이다. 그림자 시뮬레이션과 마찬가지로 고층 빌딩이 밀집해있는 려명거리에서의 일사량이 김일성광장보다 낮은 것을 알 수 있다. 이는 고층건물의 그림자로 인해 태양 빛의 노출이 적어졌기 때문으로 판단된다. 앞선 그림자 시뮬레이션 결과를 통해 이유를 추측해볼 수 있다.

5.2.3 바람길 시뮬레이션

바람길 시뮬레이션은 해당 지역의 EPW(Energy Plus Weather Format) 파일을 통하여 평균 풍속과 풍향을 계산하여 해당 대상지에 적용하는 것이다. 그에 따라 건물 사이로 부는 빌딩풍과 같은 바람과 관련된 정보를 얻을 수 있다. 바람은 화살표로 시각화되며 화살표의 방향은 풍향을 길이는 풍속을 나타내게 된다. 본 시뮬레이션은 평양의 여름철(6월~8월)을 기간으로 하여 시뮬레이션을 진행하였다.

바람길 시뮬레이션을 위한 전체 스크립트는 다음과 같다[그림 5-7]. 바람길의 경우 CFD 시뮬레이션을 통해 이루어진다. CFD 시뮬레이션은 유체역학을 이용한 시뮬레이션이다. 이는 ladybug의 추가 플러그인인 butterfly를 이용하여 진행된다.

먼저 EPW(Energy Plus Weather Format) 파일에서 해당 지역의 바람 데이터를 WindRose 컴포넌트에 입력시킨다. WindRose 컴포넌트는 바람 방향에 따른 시간별 데이터의 플롯을 만들어 준다. 왼쪽 입력값의 north에는 바람이 부는 방향의 진북 방향으로 사용할 값을 입력해준다. data 값에는 ImportEPW에서 추출된 바람의 속도(windspeed)를 넣어주고 wind direction 값에는 바람의 방향(wind direction)을 넣어준다. 이후 오른쪽의 출력값의 legend에서 바람의 벡터 값을 추출한다. 여기에는 바람의 방향과 속도(m/s)를 얻을 수 있다. 이후 해당 값을 토대로 바람 터널을 만들어 준다[그림5-7].

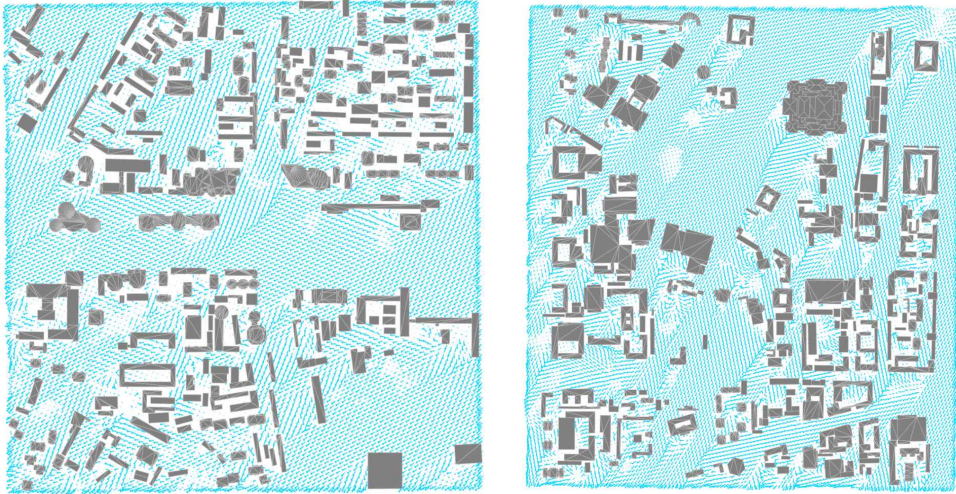


[그림5-7] 바람길 스크립트의 WindRose 컴포넌트

먼저 createBFGeometry, WindVector, 컴포넌트를 사용하여 바람 터널을 만들 기본 데이터를 구축한다. createBFGeometry 컴포넌트에는 바람길 시뮬레이션이 진행될 모델을 설정해준다. WindVector 컴포넌트에는 Windrose 컴포넌트의 출력값인 legend에서 얻는 바람의 벡터 데이터를 입력해준다. 이후 각 컴포넌트의 출력값을 createCaseFromTunnel 컴포넌트에 연결시켜준다. 해당 컴포넌트를 통해서 시뮬레이션이 진행될 모델과 바람 터널의 크기, 바람의 방향과 속도를 지정해주게 된다.

이후 WTGrading, blockMesh, snappyHexmesh 컴포넌트를 통해서 바람 터널의 그리드를 정해준다. WTGrading 컴포넌트에서 바람 터널 안의 바람을 측정할 그리드의 사이즈를 지정해 준 이후 blockmesh를 통해 터널 내 그리드를 구체화한다. 이후 snappyHexmesh를 통해 바람길에 방해가 되는 모델을 그리드에서 제외시킨다[그림 5-9].

마지막으로 solution 컴포넌트를 사용하여 시각화시킨다. 이후 바람길의 모습과 풍향을 어떤 방식으로 시각화할지 결정해준다. 풍속이 높을수록 진한 색상을, 낮을수록 옅은 색상으로 표시되게 설정 할 수 있으며 또는 풍속이 높을수록 화살표의 길이를 길게 하거나 풍속이 낮을수록 화살표의 길이를 짧게 하는 등의 방식을 선택 할 수 있다. 본 연구에서는 바람길에 초점을 맞춰서 진행하였으므로 이를 더욱 가시성 높게 보기 위하여 풍속에 따른 화살표의 길이 변화를 시각화하였다. 화살표의 방향은 풍향을 나타내며 화살표의 길이는 풍속을 나타낸다. 결과값은 다음과 같다 [그림5-8].



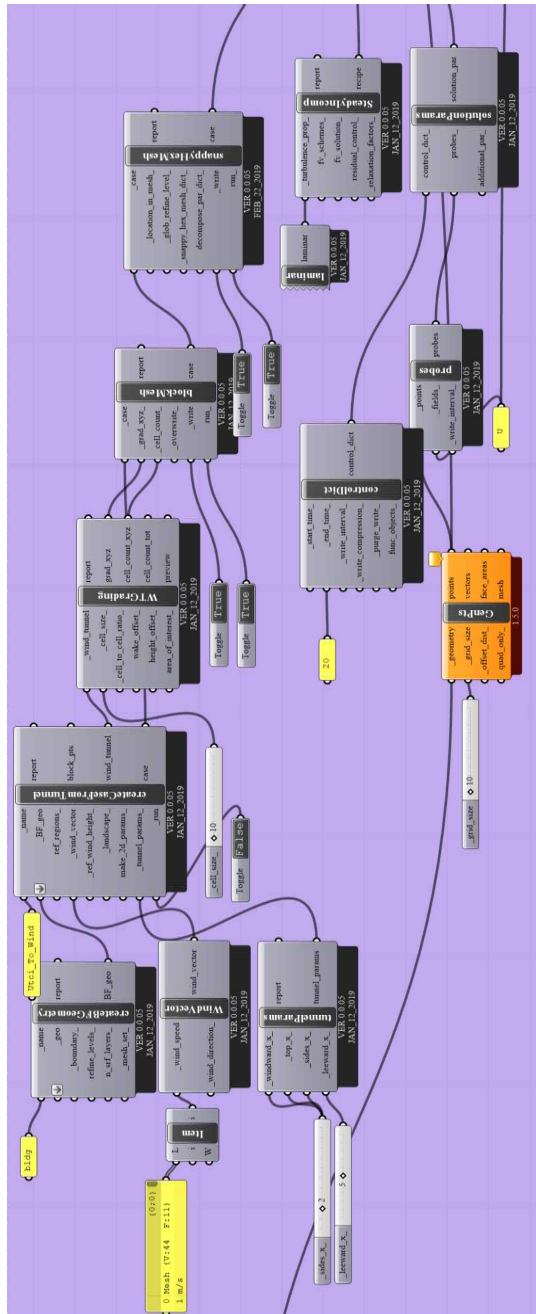
[그림5-8] 려명거리(왼)와 김일성광장(우)의 바람길 시뮬레이션 결과

높을수록 고층 빌딩이 다수 위치한 려명거리의 경우 건물에 의해 바람길이 방해되어 바람의 정체가 자주 나타나는 것을 확인할 수 있었으며 반대로 저층 건물과 광장이 위치한 김일성광장의 경우 바람길의 방해가 거의 되지 않아 일정한 방향과 풍속으로 바람이 부는 것을 확인할 수 있었다.

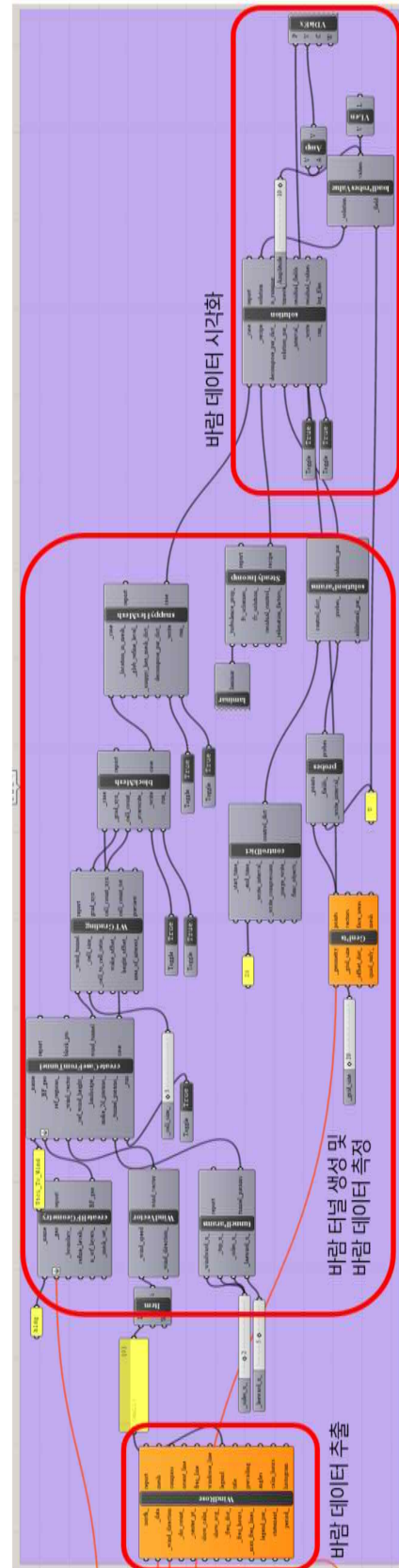
5.2.4 소결

김일성광장과 려명거리의 환경 시뮬레이션을 진행함을 통해 각각의 장소에 해당하는 간단한 기후 환경 특징을 확인 할 수 있었다. 공간이 개방된 형태의 김일성광장과 고층 건물이 밀집한 려명거리의 각각의 환경적 특징들은 시뮬레이션을 진행하지 않더라도 대략적으로 짐작 할 수 있는 부분이다. 하지만 각각의 시뮬레이션을 통해 도출된 각 지역의 일조시간, 일사량, 풍향, 풍속과 같은 정량적인 데이터를 얻기 위해서는 시뮬레이션이 필수적이다. 시뮬레이션을 통해서 대략적으로 예측 가능했던 정보를 실질적으로 확인할 수 있으며 또한 그에 따른 정량적인 값의 도출을 통해 절대적인 수치의 비교도 가능하다. 이러한 수치들은 실제로 방문할 수 없는 장소에 대한 연구에 있어 큰 도움이 될 것이다.

Digital Twin으로 만들어진 북한 지역의 디지털 모델을 이용하여 간단한 환경 시뮬레이션을 진행하였다. 이러한 방식으로 현재 만들어진 북한 Digital Twin을 활용하여 단순히 VR을 통해 해당 지역을 관찰하는 것 이상의 학술적 연구 또한 가능하다는 사실을 알 수 있었다. 이는 북한의 Digital Twin 구축이 이후 다양한 방향에서 연구의 목적으로도 활용될 수 있다.



[그림5-9] 바람길 스크립트의 바람 터널 부분



[그림5-10] 바람길 시뮬레이션을 위한 전체 Grasshopper 스크립트

제 6 장

결론

6.1 결론

6.2 향후 과제

5.3 결론

북한은 70년이 넘는 시간 동안 지금까지 단절되어 있으며 폐쇄국가의 특성상 북한 내부의 실정 및 상황조차 알 수 없는 국가가 되었다. 시간이 지남에 따라 통일에 대한 대한민국 국민들의 인식은 부정적으로 변해가고 있고, 20~30대는 북한에 관심조차 가지지 않는 상황이 되었다. 지금의 상황에서는 통일이라는 거대한 담론을 던지기보다는 북한에 대한 관심과 호기심을 다시금 이끌어내는 것이 더 중요하다. 이를 실현하기 위해서는 사람들이 더 쉽게 북한의 정보에 접근할 수 있어야 하며 사람들이 주로 사용하는 미디어를 중심으로 콘텐츠를 만들어야 한다는 결론에 이르렀다. 4차 산업 혁명의 주요 사항이자 많은 사람들이 현재에도 즐기고 있는 가상현실이라는 콘텐츠를 통하여 북한 도시공간을 경험할 수 있도록 Digital Twin을 구축했다.

Digital Twin을 통해 북한의 주요 도시들을 디지털상에서 최대한 현실과 가깝게 재현하려 노력하였다. 현실적으로 대한민국 국민이 북한에 직접 방문하기 힘든 상황이기에 가상의 세계에서나마 북한의 도시를 가까이 경험할 수 있도록 기회를 제공해 주고자 하였다. 특히 디지털 미디어 접근성이 좋은 MZ세대로 하여금 북한에 대한 관심을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통하여 북한 도시공간에 대한 국민들의 이해도가 높아지고 북한이라는 국가에 대해 더 많은 관심을 일으킬 것으로 예상된다.

또한 상세하게 구축된 북한의 Digital Twin은 추후 남북관계가 개선되어 경제 협력 등과 같은 남북 협력 관계가 정상궤도에 오르게 될 경우, 북한 도시에 대한 더욱 정확한 이해를 바탕으로 더 나은 국가 관계를 만들 수 있으며 나아가 통일에도 긍정적 영향을 미칠 것이다. 아울러 북한 도시들의 Digital Twin 정보가 민간과 일반인을 대상으로 공개될 경우 대한민국 국민들의 북한에 대한 이해도가 높아져 추후 북한과의 관계 개선에 있어 정부의 측면에서뿐만 아니라 국민적 이해도 측면에서도 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

한편, 이러한 Digital Twin의 활용도를 검토하기 위해 도시공간분석을 진행한 결과, 본 연구에서 구축된 Digital Twin을 바탕으로 진행되었던 환경 시뮬레이션을 통해 실제 북한을 방문하지 않더라도 도시를 대상으로 하는 미기후 시뮬레이션이 가능하다는 사실을 보였다. 마찬가지로 환경뿐만 아니라 다양한 도시적 관점에서의 분석과 연구가 북한의 Digital Twin을 바탕으로 이루어질 수 있음을 보였으며 이는 향후 북한이 개방되었을 때를 대비해 선제적으로 북한의 도시적 문제에 대해 해결책을 낼 수 있을 것으로 예상된다. 또한 북한 도시와 관련한 사업 및 연구를 비롯해 추후 평양의 재개발이나 신도시 건설 등에 있어서 효과적인 대안 제시가 가능할 것이다.

5.4 향후 과제

향후 더욱 다양한 북한 도시 공간의 Digital Twin 구축이 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서 구축한 김일성광장과 려명거리 이외 북한의 주요 도시 공간을 Digital Twin으로 구축한다면 북한에 대한 시민들의 친근감을 더욱 증대시킬 수 있을 것이며 다각화된 북한 도시 분석이 가능해질 것이다. 이는 북한에 대한 시민들의 관심 증가와 북한 도시공간에 대한 심층적인 분석으로 이어질 것이다.

또한 현재 구축된 Digital Twin을 바탕으로 더욱 상호작용이 가능한 가상현실을 만들어야 할 것으로 보인다. Twinmotion을 통한 VR 시뮬레이션은 만들어진 북한 도시 공간을 단순히 둘러보는 목적으로만 사용할 수 있다. 이러한 단방향성의 가상현실 넘어 도시 내의 다양한 개체들과 상호작용 할 수 있는 가상현실 구축이 필요하다. 상호작용이 가능한 양방향성 가상현실 구축하게 될 경우 VR을 통해 가상현실을 체험하는 체험자의 몰입감을 더욱 극대화할 것이다. 현재 Digital Twin작업이 이루어진 Twinmotion은 언리얼 엔진 기반의 프로그램이기 때문에 해당 모델을 언리얼 엔진으로 옮겨 작업하는 것이 가능하다. 추후 상호작용이 가능한 언리얼 엔진을 통해 연구를 계속해 나갈 경우 더욱 풍부한 가상현실 공간을 구축할 수 있을 것이다. 현재 주목받고 있는 AI 기술 또한 Digital Twin 기술과 접목할 때 더욱 현실적인 가상현실 구현이 가능해질 것이다.

가상현실 공간에 어떠한 콘텐츠를 담을 것인가에 대한 연구 또한 필요할 것으로 보인다. 많은 사람들이 가상현실 공간을 찾고 또한 지속해서 이용하기 위해서는 단순히 정교하게 구현된 가상현실 공간뿐만 아니라 해당 공간에서 즐길 수 있는 콘텐츠가 필요할 것이다. 현재 방문할 수 없는 북한도시공간에서 벌어질 이벤트들을 가상현실과 접목해 사람들의 더 큰 관심을 불러일으킬 필요가 있다.

본 연구에서 진행한 시뮬레이션 이외에도 구축된 북한 Digital Twin모델을 활용한다면 더욱 다양한 분야에서의 시뮬레이션과 연구 또한 가능할 것으로 보인다. Rhino의 Grasshopper는 환경 시뮬레이션 이외에도 사용자가 원하는 다양한 시뮬레이션과 연구가 가능하다. 예를 들어 AI를 활용한 연구를 활용하여 북한지역의 생성형 AI를 통한 제너러티브 디자인이 가능할 것으로 보인다. 본 연구에서 구축된 Digital Twin 모델을 기반으로 더욱 다양한 향후 연구가 진행이 활발하게 이루어지길 바란다.

참고문헌 References

【 인용문헌 】

[국내문헌]

1. 고유환, 홍민, 민유기, 안재섭, 기계형, 남영호, 데이비드크롤리, 차문석, 조정아, 박희진. (2011). 사회주의 도시와 북한. 한울. p.116
2. 권문혁. (2022). 디지털트윈을 넘어 메타버스로 내딛다: K-Water의 디지털트윈 물관리 플랫폼, 국토연구원, p.38
3. 김기혁. (2014). 도로 지명을 통해 본 평양시의 도시 구조 변화 연구, 문화역사지리 25(3)
4. 김대중. (2022). 디지털트윈 기반 메타버스 구현을 위한 국토 공간정보 정책, 국토연구원, p.33
5. 김범호, 김영철, 백의현, 이성호, 이정우, 이천희, 임창규, 정영준, 조일연, 진기성, 김산옥, 김태호, 김혜경, 안주혁, 이상민, 이선영, 장민주, 정승준, 최민석, (2021). 디지털트윈 기술의 도시 정책 활용 사례 (세종시 도시행정 디지털트윈 프로젝트를 중심으로), 전자통신동향분석, 36(2)
6. 김장한. (2023). 북한 려명거리 사업 건축시공 연구. 국내석사학위논문 북한대학원대학교
7. 김준, 김지수, 우정엽, 이주연, 최상수, 최원화. (2021). 국내 디지털 트윈 연구동향조사 및 분석, 한국CDE학회 논문집, 26(1), pp.59-69
8. 김현수. (2004). 서울과 평양의 도시계획 이념 및 공간구조 비교, 서울시정개발연구원.
9. 김태윤. (2022). 근현대 평양의 도시계획과 공간 변화 연구(1937~1960). (국내박사학위논문, 서울시립대학교 일반대학원, 서울)
10. 마경일. (2019). 려명거리 살림집과 봉사망의 건축형성 특징. 조선건축. 112(6)
11. 박세훈, 김태환, 김성수, 송지은. (2016). 북한의 도시계획 및 도시개발 실태분석과 정책과제, 국토연구원.
12. 신상희. (2021). 디지털트윈 기술 동향과 전망. 국토연구원, pp.1-12
13. 안창모. (2020). 역사도시 평양의 사회주의 도시화 과정 - 도시구성과 건축양식을 중심으로. 서울학연구, (80), pp.1-36
14. 옥진아, 정효진. (2022). 디지털 트윈으로 꿈꾸는 스마트한 도시생활.이슈&진단, 경기연구원, pp.1-26
15. 이관도. (2021). 지자체 디지털트윈 활용 및 시사점: 전주시 사례, pp.31-36
16. 이권한. (2021). 신도시 디지털트윈 활용사례와 향후 계획. 국토연구원, pp.37-43
17. 이민영, 김도형, 임시영. (2020). 국내 디지털트윈 연구 동향을 통해 본 국토도시분야 디지털트윈 적용을 위한 제언, 대한공간정보학회지, 28(4), p.49
18. 이수현. (2022). 서울과 평양의 도시구조 및 위상중심핵 비교 분석 연구.
19. 이슬기, 이종훈, 진희채. (2023). 디지털트윈 서비스의 구축·운영을 위한 플랫폼 개발, 대한공간정보학회 학술대회, p.55
20. 이영진. (2022). 통합 국가공간데이터기반(i-NSDI)에 의한 국가 디지털트윈 모델의 연구, 한국측량학회지, 40(6), p.501
21. 이영진. (2022). The Integrated National Geo-spatial Data Infrastructure (i-NSDI): Public Data Strategy, proceeding of KSGPC conference.
22. 임시영, 장요한. (2023). 디지털트윈, 메타버스, 그리고 3차원 공간정보가 나아갈 길, 국토정책 Brief, 2
23. 장예지. (2019) "디지털 전환의 핵심, 디지털 트윈-제조와 도시를 중심으로," ICT SPOT Issue (26)
24. 장윤섭, 장인성. (2021). 스마트 도시 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향, 전자통신동향분석, 36(1), pp.99-108.

25. 전상인, 김미영, 조은희. (2015). 국가권력과 공간 : 북한의 수도계획, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, 50(1)
26. 정인하. (2021). 평양 김일성광장의 조성과 계획원칙에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 37(6), pp.105-116.
27. 천정윤. (2022). 디지털 트윈국토의 가치와 추진원칙 연구(성혜정 외 지음), 국토연구원, pp.118-119.
28. 최성원. (2015). 평양시내 대동강 교량 현황. 유라시아·북한교통물류 이슈페이퍼 제24호(2015.12), 한국교통연구원
29. 통계청. (2022). 북한의 주요통계지표, p.56
30. 통계청. (2022). 북한의 주요통계지표, pp.44-45
31. 통일연구원. (2009). 2009 북한개요
32. 통일연구원. (2021). KINU 통일의식조사 2021
33. 통일연구원. (2022). 윤석열 정부의 통일 대북정책: 국정과제 추진방향
34. 통일연구원. (2023). 2023 북한 이해
35. 황병주·양재유·하동훈 (2023). OGC Moving Feature Access 표준에 기반한 이동체 시계열 궤적 분석 시스템의 구현, 한국콘텐츠학회논문지, 23(11), pp.25-33.
36. Public Procurement Service. (2013). "Public Procurement Service BIM Guidelines ver. 1.2" Public Procurement Service.

[국외문헌]

1. Dassault System. (2017). Smart City & Virtual Singapore
2. Helsinki. (2019). The Kalasatama Digital Twin Project-The final report of KIRA-digi Pilot project.
3. Soon, Kean & Khoo, Victor. (2017). CITYGML MODELLING FOR SINGAPORE 3D NATIONAL MAPPING. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-4/W7. (pp.37-42) 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W7-37-2017.
4. van der Schaaf, Hylke & Herzog, Reinhard. (2015). Mapping the OGC SensorThings API onto the OpenIoT Middleware. 10.1007/978-3-319-16546-2_6.

【 인터넷자료 】

1. 3기 신도시 3차원 가상도시 체험 홈페이지, <https://dtinfo.vaiv.kr/main-list>, 2023.08.29
2. Google Earth 공식 웹사이트 (<https://earth.google.com/>)
3. 서울 평양 뉴스, "평양 려명거리 쇼핑센터의 피자, 꼬치구이"
<https://www.spnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=44505> (검색일 : 2023.08.27)
4. 월드코리안뉴스, "송광호 기자가 만난 북녘땅-16 우리 공화국이 폐쇄국가라고요?",
<https://www.worldkorean.net/news/articleView.html?idxno=38523>, 2023.08.24.
5. 조선의 오늘. "록색건축기술의 생동한 교과서". <https://dprktoday.com/news/49051> (검색일 : 2023.08.27)
6. 통일뉴스, "MZ세대, 평화공존 선호 71.4%...'통일'보다 59% ↑",
<https://www.tongilnews.com/news/articleView.html?idxno=202602>, 2023.08.28
7. 통일부 북한정보포털, "북한지도",

- <https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/main/portalMain.do>, 2023.08.16
8. 통일부 북한정보포털, “북한지식사전”, https://nkinfo.unikorea.go.kr/nkp/term/view/NkKnwldgDicary.do?pageIndex=1&dicaryId=194&menuId=NK_KNWLDG_DICARY, 2023.08.16.
 9. 평화문제연구소 조선향토대백과 (2008), <http://www.cybernk.net/home/Default.aspx> 2023.08.27.
 10. 한겨레, “‘82층 아파트’ 북 여명거리 1년 만에 완공...비결은 ‘돈주’”, <https://vo.la/ruznE>, 2023.08.28.
 11. 한겨레, “MZ 세대, 북한에 무관심...음식 등 남북문화 나눠야 통일 밑돌”, <https://www.hani.co.kr/arti/politics/defense/1011440.html>, 2023.08.28.
 12. 한국민족문화대백과사전, <https://encykorea.aks.ac.kr/Article/E0052217>, 2023.08.26.
 13. abc news, “Inside North Korea : What life for a rare foreign student in Pyongyang reveals about the reclusive country”, <https://abcnews.go.com/International/inside-north-korea-life-rare-foreign-student-pyongyang/story?id=62090283>, 2023.08.25
 14. Adobe Stock, “Pyongyang, north korea-october 12, 2017 : Tribune with portraits of the leaders in the main square of the city”, <https://stock.adobe.com/kr/images/pyongyang-north-korea-october-12-2017-tribune-with-portraits-of-the-leaders-in-the-main-square-of-the-city/177176580>, 2023.08.26.
 15. CSIRO,nsw digital twin. <https://ecos.csiro.au/nsw-digital-twin> (검색일 : 2023.09.14.)
 16. CSIRO,<https://www.csiro.au/en/news/All/News/2020/December/NSW-Digital-Twin-to-inform-emergency-planning-this-bushfire-season> (검색일 : 2023.09.14.)
 17. Each City 홈페이지, <https://each.city>
 18. KBS, “北, 전승절 심야 열병식 '녹화 중계'...ICBM·핵어뢰 등 과시. 북한판 글로벌호크·리퍼 등장...무인기 외 새 무기는 없는 듯”, <https://www.youtube.com/watch?v=4nDOd3XKe6s&t=8405s>, 2023.07.25
 19. LX 디지털트윈 설명자료(2021), <https://kpa1959.or.kr/file/D113.pdf>, 2023.07.25
 20. Michael, W. G. 2015. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Re-searchGate, March.,<https://www.researchgate.net/publication/275211047>, 2023.08.29
 21. NEWSIS 평양공연 사진공동취재단, https://newsis.com/view/?id=NISI20180405_0013964365, 2023.08.24
 22. North Korea Tech, “Pyongyang is booming, but in North Korea all is not what it seems”,<https://www.northkoreatech.org/2015/01/16/pyongyang-is-booming-but-in-north-korea-all-is-not-what-it-seems/>, 2023.08.27
 23. Oulu 시청 홈페이지,<https://smartcityoulu.com/en/news/portof-oulu-digital-twin>”, 2023.08.28
 24. TIME, “See the monumental extravagance of North Korea’s architecture”, <https://time.com/3748010/see-the-monumental-extravagance-of-north-koreas-architecture/>, 2023.08.29
 25. Virtual Singapore 프로젝트 홈페이지, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>, 2023.08.28.
 26. VOA Korea, <https://www.voakorea.com/a/3693273.html> 2023.08.28.

참여연구진

수행기관

서울대학교 통일평화연구원

서울대학교 건설환경공학부 도시설계연구실

연구책임

권영상 (서울대학교 건설환경공학부 교수)

연구보조원

김영빈 (서울대학교 협동과정 도시설계학 석사과정)

류혜인 (중앙대학교 도시계획부동산학과 학사과정)

이나은 (서울대학교 조경학과 학사)

강민구 (서울대학교 건설환경공학부 석사과정)

김민서 (서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

박시현 (서울대학교 건설환경공학부 석사과정)

안제인 (서울대학교 건설환경공학부 석사)

윤드람 (서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

이승재 (서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

이지환 (서울대학교 협동과정 도시설계학 석사과정)