

3D 스캐너 포인트 클라우드 기반 지하주차장 환경 재현 및 침수 상황 시각화

이규원, 박근호, 장훈석, 김동신, 최주환

한국전자기술연구원

rbdnjs704@keti.re.kr, root@keti.re.kr, jhs0053@keti.re.kr, axis@keti.re.kr, netside@keti.re.kr

Underground Parking Environment Reconstruction and Flood Scenario Visualization Based on 3D Scanner Point Clouds

Gyuwon Lee, Keunho Park, Hoonseok Jang, Dongsin Kim, Juhwan Choi

Korea Electronics Technology Institute.

요 약

본 논문은 3D 스캐너를 활용하여 실제 지하주차장의 포인트 클라우드를 획득하고, 이를 Blender 환경에서 메쉬화하여 구조를 재현하였다. 구축된 모델은 RGB 정보를 기반으로 재질을 세팅하고, 벽면·바닥 등 주요 요소를 반영하여 실제 환경과 유사하게 표현하였다. 또한 강우 효과는 파티클을 적용하여 구현하였다. 침수 시뮬레이션은 Mantaflow와 같은 고부하 유체 해석 기법 대신, 경량화된 대체 방식을 적용하였다. 수위가 상승하는 효과는 물 텍스처의 얇은 큐브가 z축으로 타임라인이 경과함에 따라 오라는 효과를 활용하여 표현하였다. 동시에 고부하 시뮬레이션 대비 연산 자원을 크게 절감할 수 있었다. 본 연구는 지하주차장과 같은 도시 인프라 시설의 침수 상황을 효율적으로 재현하고, 재난 대응 교육, 설계 검토, 디지털 트윈 구축 등 다양한 분야에 활용될 수 있는 가능성을 제시한다.

I. 서 론

최근 기후 변화와 국지성 집중호우의 빈발로 인해 침수 피해가 지속적으로 증가하고 있다[1]. 특히 지하주차장은 구조적 특성상 저지대에 위치하며, 빗물이 빠르게 유입되어 단시간에 침수가 발생할 수 있다[2]. 이러한 침수는 재산 피해뿐만 아니라 인명 피해로 직결될 수 있어, 지하주차장 침수 상황의 이해와 재현은 재난 안전 관리 측면에서 매우 중요하다.

지금까지의 연구는 주로 수치해석이나 유체역학적 시뮬레이션을 통해 침수 과정을 예측하는 데 초점이 맞추어져 왔다[3]. 그러나 이러한 접근법은 시뮬레이션 과정이 복잡하고 연산 자원이 많이 요구되며, 실제 공간 구조의 직관적 재현에는 한계가 존재한다. 특히 일반 대중 등 침수 위험에 알지 못하는 사람에게 위험성을 효과적으로 전달하기 위해서는, 수치 자료뿐만 아니라 실감형 시각화가 필요하다.

본 연구에서는 3D 스캐너를 활용해 실제 지하주차장의 포인트 클라우드를 획득하고, 이를 Blender 환경에서 메쉬화하여 구조를 재현하였다. 이후 전통적인 유체 시뮬레이션 기법 대신, 경량화된 애니메이션 및 셰이더 기법을 적용하여 지하주차장으로 물이 유입되고 홍수 상황을 시각화하였다. 이를 통해 복잡한 계산 없이도 실제와 유사한 침수 상황을 효율적으로 표현할 수 있음을 보이고자 한다.

II. 본론

본 연구에서는 그림 1과 같이 3D 스캐너를 활용하여 실제 지하주차장의 구조를 포인트 클라우드 데이터로 획득하였다. 스캔 데이터는 RGB 정보가 포함된 고휘상도 점군으로 구성되었으며, 주차장의 기둥, 벽체, 바닥, 통행로 등 주요 구조를 실물 축적을 반영하였다.

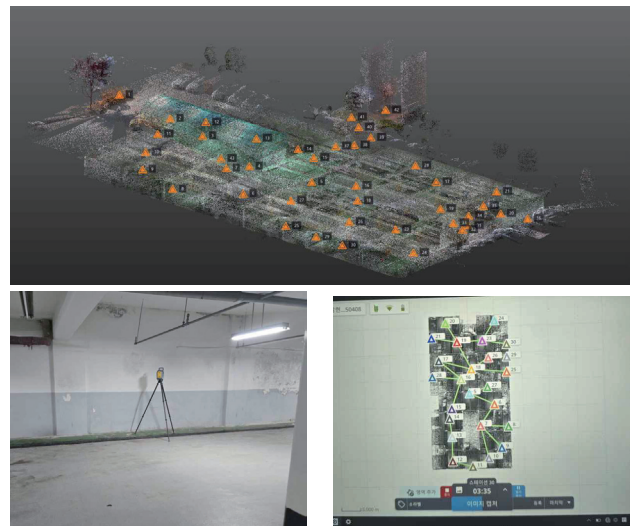


그림 1. 3D 스캐너를 활용한 포인트 클라우드 생성

획득한 포인트 클라우드는 전처리 과정을 거쳐 Blender 환경에 포인트 값을 가져왔고, 표면 재구성(surface reconstruction)을 통해 메쉬(mesh) 형태로 변환하였다. 이 과정에서 이상치를 제거하고 결측치를 보완하였으며, 포인트 수를 줄여 오브젝트를 경량화하였다. 그 결과로 그림 2와 같이 3D 모델 메쉬화 초안을 구축하였다.

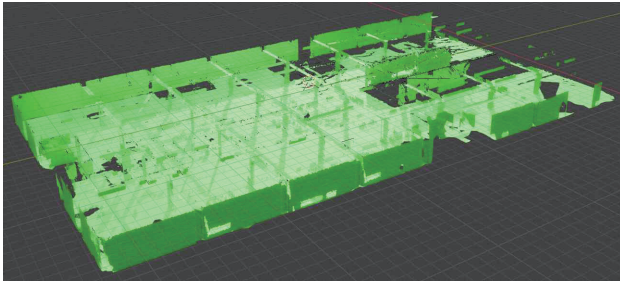


그림 2. 지하주차장 3D 모델 메쉬화

구축된 메쉬 모델은 평탄화 및 단순화하여 리모델링하였고, 실제 환경과 유사도를 높이기 위해 3D 스캔에서 취득한 RGB 값을 기반으로 재질(Material)의 컬러를 세팅하였고, 벽면, 바닥 페인트의 세부 요소를 반영하여 요소에 맞는 질감으로 그림 3 과 같이 세팅하였다.

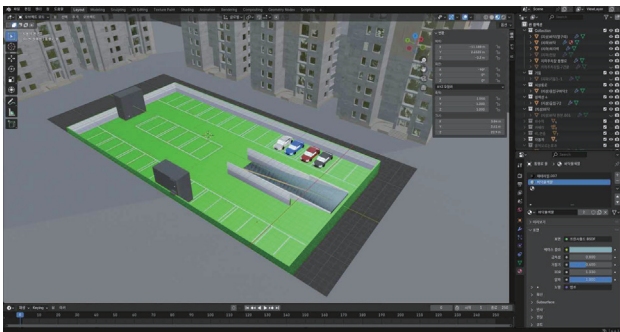


그림 3. 색상 및 질감 적용한 지하주차장 3D 모델

다음으로 비가 내리고 주차장에 물이 차오르는 효과를 그림 4와 같이 추가하였다. 내리는 비는 현실감을 높이기 위해 파티클 기반의 강우 효과를 적용하였다. 물이 차오르는 효과는 바닥면 밑 물 재질의 얇은 큐브를 배치하고, 이를 타임라인이 시작되면 z축 방향으로 상승시키는 효과를 넣어 홍수 환경을 재현하였다.

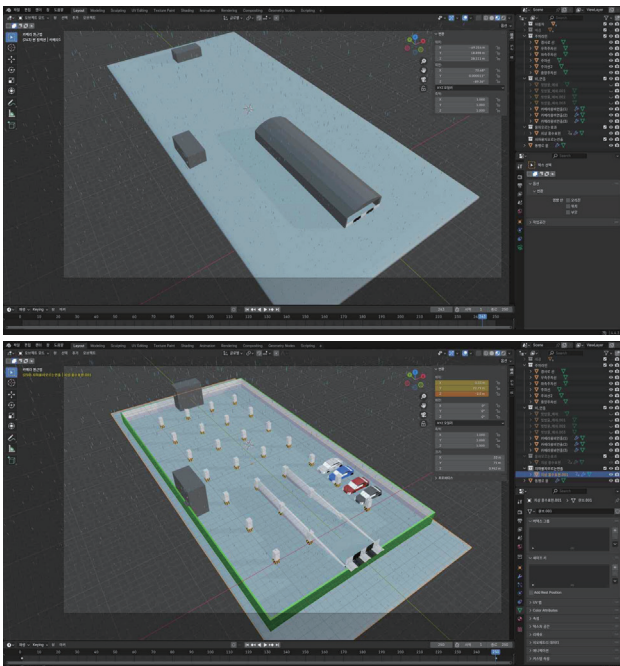


그림 4. 지상, 지하 홍수 상황 시뮬레이션

물이 유입되는 효과는 지상부, 지하주차장 통로, 지하주차장 순으로 타

임라인을 순서를 세팅하고, 물이 서서히 유입되는 효과를 구현하였다. 자연스러운 물 표면 변형을 부여하기 위해 셰이더(Shader) 기법으로 실제 물표면의 표면장력과 유사한 형상으로 표현하였고, 프린시플드 BSDF (Principled BSDF) 기반으로 투명도와 굴절률을 세팅하고, 노이즈 텍스처와 범프 맵을 활용해 잔잔한 수면 파동을 표현하여 그림 4.. 와 같이 단순한 큐브 애니메이션이 아닌, 실제 물과 유사한 시각적 질감을 부여하였다.

오브젝트를 세팅한 후 타임라인을 설정하여 강우 비가 내리는 강우 효과를 발생시키고, 차량 출입구를 통해 물이 유입되는 상황을 세팅하여 3개의 중장거리 카메라 시점에서 렌더링하여 실제 지하주차장 침수 상황과 유사한 시뮬레이션 영상을 추출하였다.

III. 결론

본 연구의 지하주차장 모델 및 애니메이션 표현은 3D 스캐너를 활용해 실제 지하주차장의 포인트 클라우드를 획득하고, 이를 Blender 환경에서 메쉬화하여 구조를 재현하였다. 구축된 모델은 RGB 정보를 기반으로 벽면과 바닥 등 세부 요소를 반영하여 실제와 유사한 환경을 구현하였다.

해당 모델은 유체 시뮬레이션 대신 경량화된 오브젝트와 셰이더 기법 등을 적용하여 침수 상황을 시각화하였다. 그 결과, 차량 출입구 및 계단 통행을 통한 물 유입 과정을 반영하면서도, 중장거리 시점에서 실제와 유사한 침수 장면을 효과적으로 구현할 수 있었다. 특히 Mantaflow 대비 연산 부담을 최소화하면서도 실감형 표현을 달성함으로써, 효율성과 현실성을 동시에 확보하였다.

본 연구는 지하주차장과 같은 도시 인프라 시설의 재난 안전 관리에 있어, 침수 상황을 직관적으로 전달할 수 있는 간단하고 효율적인 시각화 방법론을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 또한 재난 대응 교육, 건축·토목 설계 검토, 디지털 트윈 구축 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 3D 스캐너 포인트 클라우드를 통해 얻은 현실적인 오브젝트를 통해 물리 기반의 시뮬레이션과의 결합하여 정량적 분석이 가능한 다양한 침수 시나리오에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2023년도 행정안전부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(재난 안전 산업 진흥 시설 조성 지원, (RS-2023-00239835))

참 고 문 헌

- [1] Ahn, T.Y., & Seong, J.S., "Inundation Analysis of Ground and Underground Spaces in Urban Areas," Journal of Korean Society of Civil Engineers, 2015.
- [2] Authors, "A Review on Urban Inundation Modeling Research in South Korea: 2001-2022," Journal of the Korea Water Resources Association, 2022.
- [3] Hwang, D., Kang, T., Jin, Y., & Lee, S., "Simulation of Compound Flooding Using TUFLOW's 1D-2D Coupling Features," Journal of Korea Water Resources Association, vol. 57, no. 7, pp. 451-462, 2024.
- [4] Park, Y., Zhang, X., & Wu, J., "Urban Flood Inundation Simulation Based on High-Precision 3D Modeling," Journal of Coastal Research, vol. 114, SI, pp. 454-462, 2022.