

## 생명주기 관점에서 철도차량 가상확인 구현을 위한 개체 속성 연계에 관한 연구

김민중<sup>1)</sup>, 김주욱<sup>2)</sup>, 채우리<sup>2)</sup>, 김영민<sup>1)\*</sup>

1) 아주대학교 시스템공학과, 2) 한국철도기술연구원 첨단물류시스템연구실

## On the Linkage of Object Properties for the Implementation of Virtual Validation of Railway Vehicle from Life Cycle Perspective

Min Joong Kim<sup>1)</sup>, Joo Uk Kim<sup>2)</sup>, U Ri Chae<sup>2)</sup>, Young Min Kim<sup>1)\*</sup>

1) Department of Systems Engineering, Ajou University

2) Advanced Logistics System Research Department, Korea Railroad Research Institute

**Abstract** : As systems become more complex today, verifying the safety of complex systems is becoming increasingly important. However, validation activities using actual systems face limitations in terms of time and cost. To overcome these limitations, the functions, characteristics, and operations of physical assets can be implemented in a virtual environment similar to the real world, allowing for validation through simulations under various scenarios. By performing validation in a virtual environment, iterative tests can be conducted through simulations in a realistic virtual environment without physical models during the conceptual design phase. Tests can also be performed under malfunction conditions or extreme conditions. In this study, we introduce a verification method for railway vehicles in a virtual environment and propose a method of applying virtual verification from a life cycle perspective.

**Key Words** : Virtual Validation, Life Cycle, V-model, Systems Engineering, Virtual Simulation

---

**Received:** June 24, 2024 / **Revised:** June 27, 2024 / **Accepted:** June 28, 2024

\* corresponding author : Young Min Kim / Department of Systems Engineering, Ajou University / [pretty0m@ajou.ac.kr](mailto:pretty0m@ajou.ac.kr)  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

## 1. 서 론

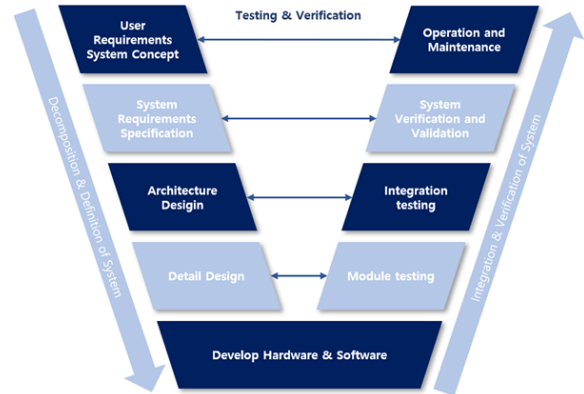
### 1.1 연구배경

오늘날의 다양한 시스템은 인간 편의적인 기술이 보급됨에 따라 복잡성이 증가하고 있으며, 복잡한 시스템에 의한 안전성 검증에 대한 중요성이 커지고 있다. 시스템의 안전성을 검증하기 위한 다양한 방법이 존재하고 있으며, 최근에는 가상환경을 기반으로 시스템의 검증을 수행하는 가상 테스트가 활용되고 있다.

가상 테스트는 전통적으로 수행되던 실험장과 실제 환경에서의 실험을 보완하기 위하여 시작되었다. 가상 테스트는 서로 다른 조합 간의 반복적인 테스트를 수행할 수 있으며, 수 많은 경우의 수에 대한 테스트를 수행할 뿐만 아니라, 실제 환경에서 테스트를 수행하는 것에 비해 더 안전한 기술 평가와 인증 과정을 수행할 수 있으며, 비용적인 측면에서도 이득을 취할 수 있다. 특히 가상 테스트는 자율주행 자동차 분야에서 널리 활발하게 활용되고 있으며, 점차적으로 미래의 자율주행시스템(Autonomous Driving System, ADS)의 테스트 및 안전성에 대한 검증에 활용되고 있다.

최근에는 디지털트윈(Digital Twin) 기술도 널리 알려지고 사용되고 있다. 디지털 트윈의 개념은 NASA의 Apollo 프로그램에서 유래되었으며, 두 대의 동일한 우주선을 사용하여 비행 중 유사한 조건을 반영하고 데이터를 보다 정확하게 해석하여 권장 사항을 제시하였다.[1] 오늘날의 디지털트윈은 실제 사물이나 시스템, 환경 등을 가상의 디지털공간에 완전히 동일하게 구현하는 기술로, 컴퓨팅 역량이 비약적으로 상승하면서 이를 기반으로 실제 물리적인 요소와 디지털 요소가 연계되어 등장한 가상의 현실구현 기술로 현실 세계에 존재하는 물리적인 사물, 시스템, 환경 등을 가상공간에 그 속성까지 동일하게 디지털 객체로 만듦으로써, 현실에 대한 검증뿐만 아니라 아직 발생하지 않은 상태나 상황들을

사전에 알 수 있도록 가상화하는 기술을 의미한다.



[Figure 1] V-Model workflow[2]

그림 1은 생명주기적 관점에서 V-Model을 보여주고 있으며, 먼저 시스템의 요구사항을 분석한 다음 V-Model의 좌측을 따라 해당 시스템을 계층구조를 고려하여 시스템 레벨에서부터 서브시스템, 컴포넌트, 파트로 분해하며 각각의 단계에서의 기능 및 요구사항 등을 정의를 수행하고, 최하위 파트레벨에서는 앞에서 정의한 기능 및 요구사항에 따라 하드웨어 및 소프트웨어 개발을 진행한다.

V-Model의 우측을 따라 실제 하드웨어 및 소프트웨어 개발 결과를 파트 수준에서 단위별 테스트를 진행하고, 점차 컴포넌트, 서브시스템, 시스템 단위로 통합하며 테스트 및 검증을 통해 요구사항에 적합한지를 확인 과정을 수행한다. 하지만 이와 같은 절차는 물리적인 시제품이 제작된 이후 테스트 수행이 가능하기 때문에 많은 비용과 시간이 소요된다.

가상 환경 테스트는 V-Model의 통합 및 검증 단계에서 유용하게 활용할 수 있을 뿐만 아니라 V-Model의 왼쪽에 해당하는 개념 개발 및 설계 단계에서도 정의한 요구사항에 대한 적합성을 검토하는 데 활용이 가능하다. 이를 통해 실제 시스템에 대한 개발이 이루어지기 전에 설계나 공정, 기술구현의 실현성 및 안전성 확보에 활용함으로써 근본적인 혁신을 이루고 있는 실정이다.

## 1.2 관련 선행연구

물리적 자산과 디지털 자산 간의 통합이 목적에 적합하도록 보장하기 위해 정보 기반 시스템 엔지니어링 접근 방식이 필요함을 제시하였으며, 모델 기반 시스템 엔지니어링(MBSE) 모델은 디지털 트윈과 함께 사용되어 운영 모델을 개선하고, 고장을 예측 및 분석하며, 최적의 분석을 수행하고 부적절한 시스템 구성을 제거하는 등의 작업을 수행하기 위한 방법에 대한 검토를 진행하였다.[3]

자율주행 시스템(ADS) 검증을 위한 가상 테스트 도구 체인의 검증을 지원하는 최신 연구들에 대한 조사를 진행하였으며, 최신 시뮬레이션 도구 체인이 제공하는 계산 도구, 검증 방법론 및 해당 충실도 수준에 대한 검토를 통해 전반적인 모델링 및 시뮬레이션 신뢰성을 높일 수 있는 엄청난 잠재력을 가지고 있음을 확인하였다.[4] 하지만 검증 방법론 및 최첨단 시뮬레이션 도구 체인이 얼마나 현실적으로 반영되는 지에 대한 조사 수준에서 진행되었다는 한계를 지니고 있다. 파워트레인 애플리케이션에 초점을 맞춰 워크플로우를 기반으로 체계적인 검토를 진행하였으며, 가상 검증을 위한 잠재적인 분야인 운전 가능성에 대한 포괄적인 검토를 제시하였다.[5] 하지만 검증 절차 및 방법론을 제시하고 있는 실제 검증활동을 수행하지 않았다는 한계를 지니고 있다.

기존 시뮬레이션 환경을 조사 및 사용 사례 시나리오를 식별하고, 다양한 시뮬레이터를 활용하여 자율 주행 기능 개발을 위한 공동 시뮬레이션 환경을 구축방법에 대하여 제안하였으며 이를 통해 현실적인 센서 시뮬레이션과 교통 시뮬레이션이 포함된 모델 기반 차량 동적 시뮬레이션을 제시하였다.[6] 가상확인을 활용하여 알고리즘에 대한 검증을 수행 가능성을 제시하였다는 점에서 의의가 있지만 물리적 상호작용을 반영하기에는 한계를 지니고 있다. Simulink와 Unreal이라는 두 가지 널리 사용되는 소프트웨어를 사용하여 가상 3D 시나리오에서 인식과 자동화 시스템의 동역학을 동시에 시뮬레이션하는 일반적인 시뮬레이션 플랫폼을 제시하였으며, 농

작물 수확 및 이송을 위한 자동화 시스템의 정확성을 높이고 개발 시간을 줄일 수 있음을 확인하였다.[7]

가상 환경에 실제 테스트 차량과 다른 실제 및 가상 장애물을 구현하고, 교통 시뮬레이션을 포함하여 시각화하는 혼합 현실 시뮬레이션 환경을 제시하였으며, 가상 환경에서 실제 차량을 테스트를 통해 복잡한 시나리오를 실현함으로써 개발 프로세스와 검증 절차를 모두 지원할 수 있음을 확인하였다.[8] 차량 센서 범위 밖의 환경 정보를 사전에 얻기 위해 V2V 통신 기반의 차량 추월 보조 시스템을 제안하고 제안된 알고리즘을 PreScan/MATLAB 협동 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 테스트를 수행하였으며, 제안된 추월 안전 알고리즘이 환경 변화와 운전자의 의도에 따라 경고를 효과적으로 제공하여 운전자가 추월하고 사고 발생을 방지하는 데 도움을 주어 차량의 안전 성능을 향상시켰음을 확인하였다.[9] 이와같은 기존의 가상환경에서의 검증활동은 시나리오 기반 테스트를 통한 검증을 수행하였다는 점에서 의의가 있지만 물리적 상호작용에 대한 검증에는 한계가 존재한다. 특정 유형의 민항기 전력 분배 시스템을 예로 들어, 민항기 전력 분배 시스템의 디지털 트윈 기술에 대한 연구를 수행하고, 항공기 전력 분배 네트워크의 정보화, 지능화 및 동적 장면 모니터링을 실현 방법을 제시하였으며, 배전 시스템의 디지털 트윈 방법이 실현 가능하고 데이터 관찰이 양호하다는 결과를 확인하였다.[10]

## 1.3 문제 정의 및 논문 구성

앞선 다양한 선행연구에서 보여주는 것처럼 가상확인을 활용하여 시스템에 대한 검증을 수행하는 방법을 제시하고 결과를 획득하여 분석을 진행하였다. 하지만 가상확인을 수행하기 위해서는 물리적 자산과 디지털 자산 간 속성 연계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 요구사항 도출 후 실제 제품을 개발하기 전 추상적인 설계 단계에서 가상환경 기반의 검증의 필요성을 제시하고, 현재 개발이 진행 중인 도시철도를 활용한 물류 이송 시스템에 대하여 가상

확인 구현 방법과 검증을 위한 개체 속성 연계 방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에서는 가상확인의 개념 및 정의와 필요성에 대해 서술하고, 3장에서는 가상확인을 수행하기 위한 구현 절차 및 방안과 객체 속성을 연계 방법에 대해 제시한다. 4장에서는 가상확인 구현 결과를 제시하고 마지막 5장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

## 2. 가상환경 기반 확인의 필요성

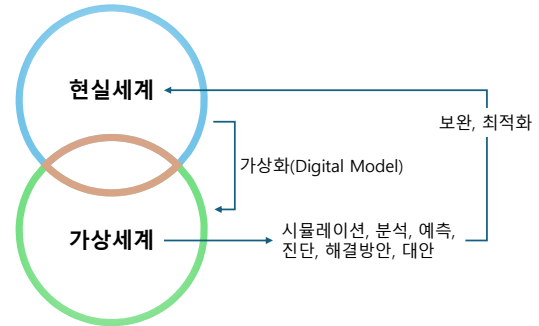
### 2.1 가상확인 개념 및 정의

가상확인(Virtual Validation)이란 컴퓨팅 성능이 발전함에 따라 가상 환경 플랫폼을 활용하여 도로, 차량, 시스템, 제어기 등과 같은 구성요소를 현실과 동일하게 가상화하고 가상 환경에서 각 기능, 기능 간 연계, 시스템 운영에 대하여 검증을 수행하는 것을 말한다. 가상확인은 현실 세계에 존재하는 물리적인 사물, 시스템, 환경 등을 가상공간에 그 속성까지 동일하게 디지털 객체로 만듦으로써, 실제 객체에 대한 현실적인 검증 뿐만 아니라 아직 발생하지 않은 상태나 상황들을 사전에 알 수 있도록 가상화함으로써 모니터링, 운영, 최적화 등 다양한 산업에 활용이 가능하다.

또한 가상확인은 물리적인 실체를 가지고 현실세계에서 검증 테스트를 수행하는 것이 아니라 현실의 시스템을 동일하게 가상환경에 구현을 하여 테스트를 진행하기 때문에 개발하고자 하는 시스템의 구조 및 제어에 대한 검증을 수행할 수 있으며, 이를 통해 얻은 결과를 바탕으로 H/W 및 S/W를 제작하는데 반영할 수 있다. 또한 가상확인을 활용하여 예측하기 어려운 테스트 과정에서 시제품의 파손에 따른 시간 및 비용에 대한 손실을 최소화 할 수 있다.

그림 2는 가상확인에 대한 모식도를 보여준다. 먼저 현실세계에 존재하는 시스템을 가상세계에 디지털 자산으로 가상화하여 나타낸다. 다음으로 가상화한 디지털 자산을 활용하여 다양한 시나리오에 대한

시뮬레이션을 수행하고 시뮬레이션 결과를 분석하여 발생하는 문제에 대한 해결 방안을 모색한다. 가상환경에서 검토된 해결방안을 현실세계의 시스템에 적용하여 보완 및 최적화를 수행한다.



[Figure 2] Virtual Validation Concept Diagram

### 2.2 가상환경 기반 검증의 필요성

가상 검증은 물리적인 모델 없이 현실과 유사한 가상 환경에서 시뮬레이션을 통해 테스트 수행 가능하기 때문에 시스템 구성 요소를 가상화하여 기능별 검증, 기능 간 연계 검증, 시스템 단위 검증을 실제 물리적인 하드웨어 없이 가상으로 테스트를 수행할 수 있으며 시스템의 상호작용 및 시스템 통합 분석을 수행하고 영향요소를 식별할 수 있으므로 시스템의 개발 과정 및 테스트베드를 운영하기 전에 전반적인 시스템에 대하여 검증을 수행할 수 있으므로 잠재적인 문제를 사전에 감지하여 해결하는 데 기여할 수 있다.

시뮬레이션을 기반으로 하는 가상확인 수행은 다양한 산업이나 도시 현장에 적용하여 개발 기술의 안전성, 생산성, 경제성 등을 향상시킬 수 있는 융합 기술로 주목받고 있으며, 다양한 운영 시나리오를 가상확인에 적용하여 여러 시뮬레이션 케이스 도출을 통하여 가상확인 수행해보는 과정을 통하여 실제 개발 기술을 보완할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

### 2.3 시스템공학 관점에서 가상확인 수행의 중요성

시스템공학 관점에서 생명주기를 살펴보면 그림 1에서 보여주는 것과 같이 크게 요구사항 분석-개

념설계-상세설계-개발-테스트 검증 및 확인-운영-폐기의 절차를 갖는다. 가상확인은 실제 개발이 수행되기 전 요구사항 분석, 개념설계, 상세설계 과정에 대해 검증을 수행하고 수행 결과를 기반으로 성능 및 설계 변경을 제안할 수 있으며, 이를 통해 프로세스 상 초기 단계에 수정 변경이 진행됨에 따라 시간과 비용적인 측면에서 이득을 얻을 수 있다.

가상확인은 실제 객체 뿐만 아니라 개념 개발 단계에 있는 객체에 대해서도 구현 및 검증이 가능하다. 시스템 개념 설계 단계에서부터 이해당사자의 니즈에 의해 도출된 요구사항을 기반으로 모델 기반 시뮬레이션 검증을 수행함으로써 이해당사자의 요구사항이 논리적으로 적합한지 상호간의 호환성에 이상이 없는 지 등과 같은 검증을 수행할 수 있으며, 설계 단계에서도 3D 모델 설계를 통해 설계된 수치나 구조 및 구성요소 간 연결성 등과 같은 구조 설계 및 구성과 같은 검증을 수행할 수 있다. 또한 설계된 구성요소 간의 제어 명령을 통해 정상적으로 연결이 되었는지를 판단할 수 있다.

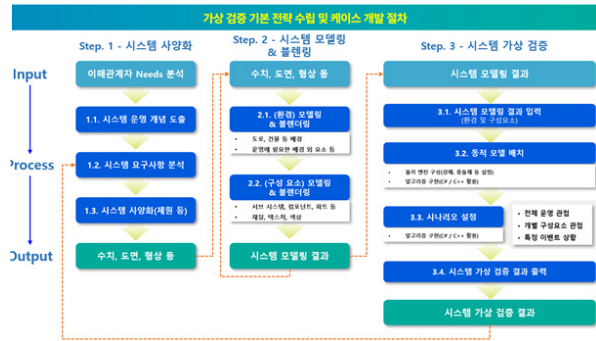
또한 가상확인을 활용함으로써 개발 중인 기술들에 대하여 물리적인 모델 없이 현실과 유사한 가상 환경에서 시뮬레이션을 통해 테스트 수행 가능하기 때문에 시스템 구성 요소를 가상화하여 기능별 검증, 기능 간 연계 검증, 시스템 단위 검증을 실제 물리적인 하드웨어 없이 가상으로 테스트를 수행할 수 있으며 시스템의 상호작용 및 시스템 통합 분석을 수행하고 영향요소를 식별을 통해 실제 시스템을 운영하기 전에 전반적인 검증을 수행함으로써 잠재적인 문제를 사전에 감지하여 해결하는 데 기여할 수 있다.

### 3. 가상확인 구현 방안 및 객체 속성 연계

#### 3.1 가상확인 구현 절차

가상확인을 구현하기 위해서는 가상화된 자산을 필요로 한다. 여기서 자산이란 검증하고자 하는 대상 객체를 비롯하여 주변 객체, 시스템, 인프라 등

실험 환경에 포함되는 주변 객체들을 의미한다. 그림 3은 가상확인을 구현하기 위한 절차를 보여주고 있으며, 크게 검증하고자 하는 시스템에 대한 사양화, 해당 시스템의 디지털 자산화를 위한 3D 모델링, 마지막으로 검증 환경을 구성하고 검증을 수행하는 단계로 구분된다.



[Figure 3] Virtual Validation Implementation Procedure

#### 3.1.1 시스템 사양화

가상확인을 수행하기 위해서는 먼저 시스템에 대한 요구사항을 식별하고 식별된 요구사항에 대하여 길이, 크기, 질량 등과 같은 물리적인 수치에 대하여 데이터화를 진행하며, 이후 객체들에 대한 실물과 동일한 3D 모델링 작업을 수행하기 위하여 검증을 수행하고자 하는 시스템을 구성하는 개별 구성 요소들의 물리적 구조 및 형태에 대한 설계 도면 등도 함께 작성을 수행한다.

#### 3.1.2 시스템 모델링

요구사항에 대한 데이터화가 완료되면 다음으로 수치화된 데이터와 설계 도면을 기준으로 개별 객체들에 대하여 블렌더(Blender), 마야(Maya), 카티아(CATIA) 등과 같은 3D 모델링 소프트웨어를 사용하여 3D 모델링을 통해 요구사항에 적합하도록 가상확인을 위한 객체들의 외형에 대한 제작을 수행하며, 3D 모델링이 완료된 다음에는 3D 모델의 사실적인 이미지를 만들기 위한 외관에 대한 재질이나 이미지 및 텍스처 등을 추가하는 렌더링 과정을 수

행한다.

### 3.1.3 시스템 가상확인

가상확인을 위한 시스템의 모든 구성요소 객체에 대하여 3D 모델링 작업이 완료되면 생성한 3D 모델을 언리얼엔진이나 유니티의 3D 엔진으로 전달하여 가상확인을 위한 에셋(Asset)으로 활용한다. 3D 엔진 상에서 가상확인을 가상환경을 구성하며, 가상환경을 구성하기 위하여 임포트한 에셋을 현실과 유사한 구조 및 형태로 배치한다.

가상환경에 대한 구성이 완료되면 임포트한 에셋 중 실제로 물리적인 움직임을 수행하는 동적 객체인 액터(Actor)를 배치하며, 이러한 액터 간 혹은 액터와 가상환경 구성요소 간 물리적 상호 작용 효과를 적용하기 위하여 물리엔진을 적용하고, 움직임과 같은 동작을 수행하기 위하여 스크립트 언어를 사용하여 작성한 판단, 제어 및 동작 알고리즘을 해당하는 개별 액터 객체에 적용한다. 액터별 모든 알고리즘 적용이 완료되면 구성된 시뮬레이션을 수행하여 액터와 액터 또는 액터와 주변 환경과의 상호 작용을 통한 물리적 영향 요소 및 효과에 대한 분석을 수행하고, 결과에 대한 피드백을 통해 영향 요소에 대한 대응 방안을 수립할 수 있다.

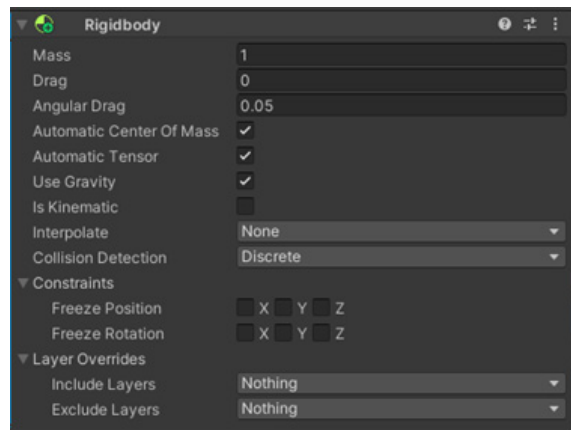
### 3.2 가상확인을 위한 개체 속성 식별

가상확인을 위해 사용하는 3D 엔진을 통해 현실 세계의 물체를 모사하여 표현한 하나의 방식으로 활용되며, 가상현실에 렌더링하여 형상을 표현하고, 그에 대한 변화를 시각화해주는 역할을 주로 담당하고 있다. 또한 3D 엔진에는 물체에 작용하는 물리적 현상, 즉 중력이나 관성을 비롯하여 강제동역학(충돌 감지 포함), 연체동역학, 유동역학과 같은 특정 물리 시스템을 표현하기 위한 물리엔진을 포함하고 있으며, 이들을 적용하기 위한 물리적인 속성값들을 필요로 한다.

물리적인 현상에 대해 검증하고자 하는 객체 혹은 시스템의 물리적 크기정보(가로, 세로, 높이), 질량 등을 기본적으로 필요로 한다. 또한 물리적 속성

(중력, 탄성, 마찰, 등)과 충돌 영역(Box Collision)을 설정함으로써 물리적 상호작용에 대한 변화를 검증할 수 있다. 이 외에도 속도와 가속도를 설정함으로써 객체를 움직이거나 움직임에 따른 변화를 검증할 수 있다.

그림 4는 객체에 물리엔진을 적용하여 물리 속성값을 설정하는 것을 나타내며, 표 1은 객체에 적용 가능한 물리 속성값의 종류와 정의를 보여주고 있다. 즉, 오브젝트가 중력의 영향을 받고 질량(Mass)과 항력(Drag)과 같은 속성 추가가 가능하다.



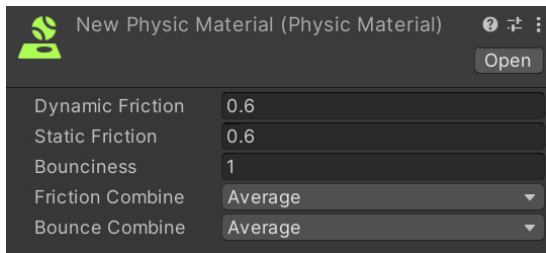
[Figure 4] Rigidbody property

<Table 1> Rigidbody component properties

속성	설명
Mass	오브젝트의 질량 (단위는 Kg)
Drag	오브젝트가 받는 공기 저항
Angular Drag	오브젝트가 회전할 때 받는 공기 저항
Automatic Center of Mass	질량 중심 결정
Automatic Tensor	텐서 적용
Using Gravity	중력 효과 적용
Is Kinematic	활성화 시 외부 물리효과 무시
Interpolate	리지드바디의 움직임에 대한 보간 설정
Collision Detection	충돌 감지 방법 설정
Constraints	리지드바디의 움직임에 대한 제약사항



그림 5는 탄성과 마찰을 다루는 물리적인 재질을 설정하는 모습을 보여주며 Dynamic Friction과 Static Friction은 각각 운동 마찰력과 고정 마찰력을 나타내며, Bounciness는 탄성력을 나타내고, Friction Combine은 충돌하는 두 오브젝트의 마찰이 합쳐지는 방법을 나타내며 Bounce Combine 충돌하는 두 오브젝트의 탄성을 합치는 방법을 설정할 수 있다.



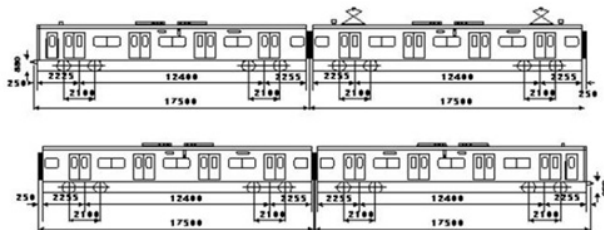
[Figure 5] Physic Material

### 3.3 3D 모델링을 활용한 개체 속성 연계 방안

3D 모델링을 통해 객체들의 설계 요구사항에 적합하도록 가상확인을 위한 객체들의 외형에 대한 제작을 수행한다. 그림 6은 도시철도시설 표준규격에서 제시하는 중형전동차의 규격 데이터를 기반으로 실측 사이즈와 동일하게 모델링한 결과를 보여주고 있다. 이와 같이 실제 데이터를 모델링과 연계하여

#### 2. 중형 전동차(B형)

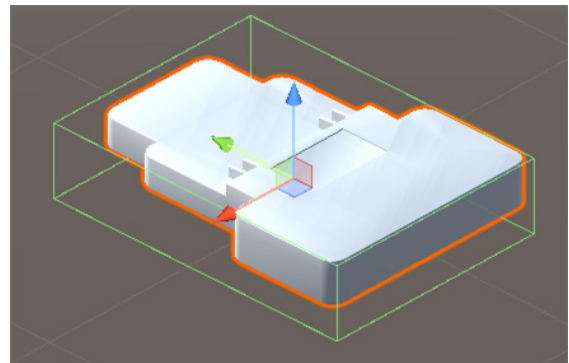
- 차체길이 17,500mm
- 차체폭 2,750mm
- 지붕높이(레일상면 기준) 3,600mm



(a) Urban Railway Standards

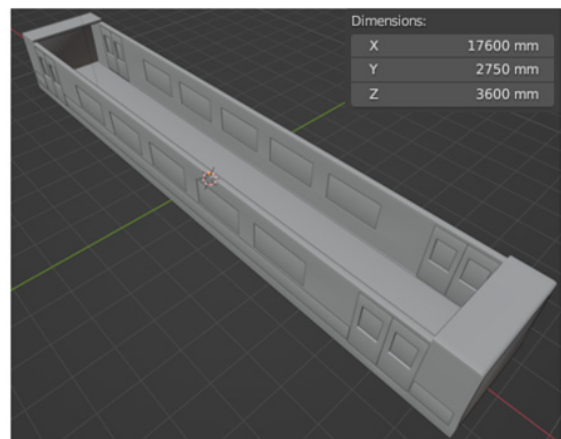
활용함으로써 실제와 동일한 디지털 자산을 구현할 수 있으며, 설계단계에서 도출된 도면 수치값을 연계 적용하여 다른 객체들과의 상호작용에 있어 적합성을 검토할 수 있다.

그림 7는 충돌을 감지하기 위해 제공되는 컴포넌트를 보여주고 있으며, 녹색 박스로 나타낸 영역이 충돌영역을 감지하는 콜라이더를 설정한 결과로 렌더링에서 보이는 모양과 별도로 물리엔진에서 충돌을 감지하기 위한 영역을 지정한다. 이를 통하여 객체간 물리적인 상호작용에 따른 영향을 검증할 수 있다.



[Figure 7] Box Collision

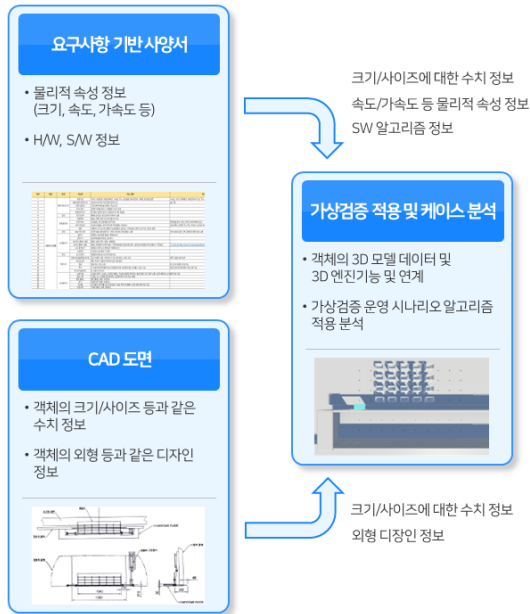
그림 8은 가상확인 수행을 위해 속성들에 대한 연계 방법에 대한 모식도를 보여준다. 요구사항 사양서를 통해 도출된 크기나 속도, 가속도 등과 같은



(b) 3D Modeling Results

[Figure 6] 3D Modeling Results of Data Based Objects

물리적인 정보를 기반으로 3D 모델링을 통해 디지털 자산을 확보한 다음 검증을 수행할 수 있다. 또한, 요구사항 사양서를 기반으로 CAD 작업을 수행한 다음 CAD 데이터를 활용하여 3D 모델링을 통해 디지털 자산을 확보 후 검증을 수행할 수 있다.



[Figure 8] Attribute Linkage Diagram

#### 4. 가상확인 구현 결과

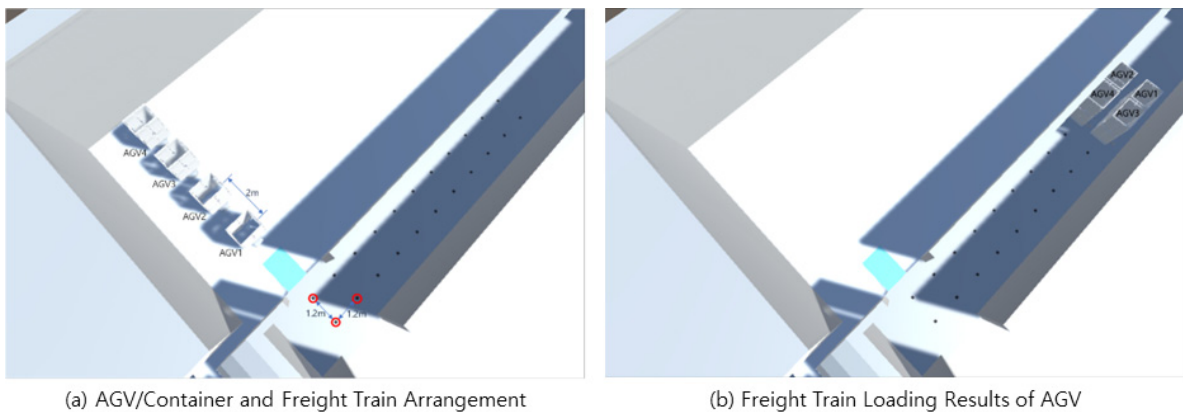
본 절에서는 현재 개발 진행 중인 지하공간을 활용한 도시물류 기술의 정상 운영 시나리오에서 수평이송장치가 화물열차에 탑승하는 시나리오에 대한

가상확인 적용 사례 제시 및 분석을 수행한 결과를 제시하였다. 그림 9(a)에서 하늘색 사각형은 화물 승강장과 화물열차 사이의 틈을 채워주는 건넌판(갭필러)을 나타내며, 사양서 상에서 수평이송장치의 최대등판각도인 4°로 설정을 하였다.

그림 9(a)와 같이 화물운송표준용기를 탑재한 수평이송장치와 화물열차를 배치하였으며, 화물열차 내부 바닥에는 위치마커를 배치하였으며, 그림에서 검은색 사각형으로 표현하였다. 수평이송장치는 위치마커를 기준으로 이동하게 되며, 그림 9(b)는 수평이송장치가 정상적으로 화물열차에 탑승한 결과를 보여준다.

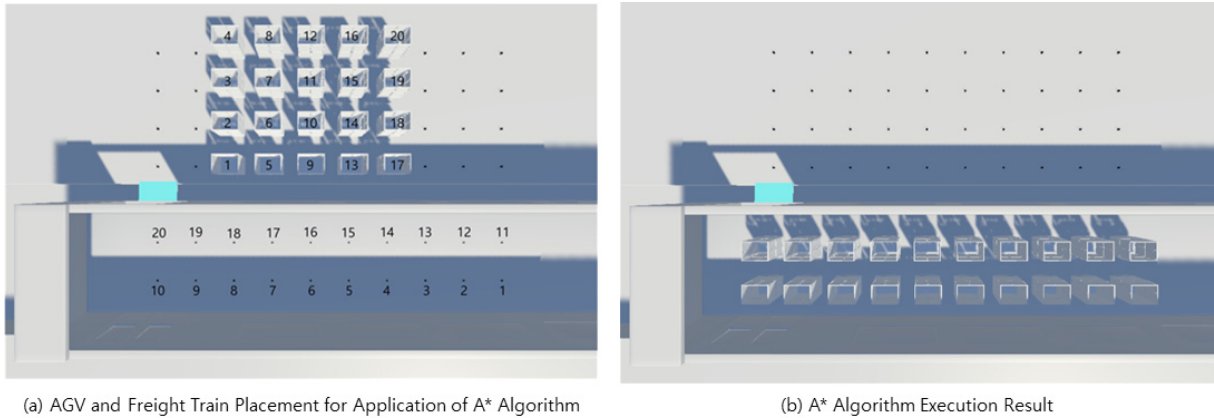
그림 10은 수평이송장치에 목적지 노드까지 최단 거리를 탐색하여 이동하는 알고리즘인 A\* 알고리즘을 반영한 스크립트 적용하여 가상확인을 수행한 결과를 보여준다. 그림 10(a)에서 보여주는 것과 같이 가장 먼저 출발하게 되는 1번 수평이송장치가 화물열차 내 가장 안쪽인 1번 노드(위치마커)에 위치하게 되며, 안쪽부터 채워 나가면서 최종적으로 가장 마지막 20번 수평이송장치는 화물열차 내 20번 노드(위치마커)에 위치하도록 설정을 하였다. 그림 10(b)는 설정한 A\* 알고리즘을 수평이송장치에 적용한 시뮬레이션 수행 결과를 보여주며, 모든 수평이송장치가 화물열차 내부의 정해진 위치로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9의 결과를 통해 설계한 시스템이 운영환경에서 정상적으로 동작 하는 것을 확인하였으며,



[Figure 9] Freight Train Boarding Scenario of AGV/Container





[Figure 10] A\* Algorithm Test Results

그림 10의 결과를 통해 설계한 이동 알고리즘 역시 설계자의 의도대로 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 이를 통하여 시스템 개발이 완료되기 전 생명주기 상의 개념 개발 단계에서 테스트를 수행하고 검증은 통해 결과를 확인함으로써 개발하고자 하는 시스템이 실제 동작할 환경에서 운영 시 물리적 동작이나 상호작용에 대해 사전에 확인이 가능함으로써 요구사항이나 개념 설계에 대한 실현성 및 안전성을 사전에 검토할 수 있으며, 피드백을 통한 대안 방안을 제시함으로써 생명주기 초기에 빠르게 수정 보완이 진행될 수 있음에 따라 비용적인 측면에서도 효율성을 지닐 수 있다.

## 5. 결론

오늘날 실제 물리적인 요소와 디지털상에서 현실 세계에 존재하는 물리적인 사물, 시스템, 환경 등의 속성에 대하여 동일하게 만든 가상화 모델 요소가 연계되어 실제 사물이나 시스템, 환경 등을 가상의 디지털공간에 완전히 동일하게 구현할 수 있다. 가상확인은 실제 시스템의 정보를 가상 환경에 입력하여 작동 구조를 똑같이 시뮬레이션한 디지털 트윈으로 구현을 통해 가상 모델의 결과가 실제 모델과 결과 뿐만 아니라 결과를 도출하는 과정도 동일하게 확인이 가능하기 때문에 개발과 검증 단계에서 활용할 수 있다. 또한 가상확인은 현실 세계를 가상 세

계에 시각화하여 구현하는 데 유용하게 사용되며, GIS와 좌표정보를 연계하여 지역정보를 나타내거나 IoT 센서들의 수집데이터 등을 활용하여 정보를 2D나 3D로 나타내는 사례가 증가하고 있다.

가상확인을 활용함으로써 기존에 존재하는 시스템 뿐만 아니라 개발중인 새로운 개념의 시스템이나 개념 개발 단계의 시스템에 대하여 테스트 및 검증을 수행하기 위하여 개발이 완료된 시제품을 테스트 베드를 구축하고 테스트를 진행하기 위해 소요되는 많은 시간과 비용을 감소시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 이와같은 가상확인을 수행하기 위해서는 요구사항 사양서나 설계도면을 바탕으로 물리적인 사물, 시스템, 환경 등을 가상공간에 그 속성까지 동일하게 디지털 객체로 만듦으로써, 현실에 대한 검증 뿐만 아니라 아직 발생하지 않은 상태나 상황들을 사전에 검증이 가능하다.

본 논문에서는 물리적 객체를 디지털 자산으로 구현하기 위하여 가상확인을 수행하기 위하여 요구사항 사양서와 CAD 도면으로부터 물리적 크기 데이터를 활용하여 디지털 자산을 생성하는 방법을 제시하였으며, 운영 알고리즘을 적용하여 물리적인 영향을 검증하는 방법에 대하여 제시하였다. 이를 통하여 V-model의 좌측에 위치한 개념 개발 및 설계 단계에서도 정의한 요구사항을 기반으로 구축하고자 하는 시스템의 실현성, 안정성 및 효율성을 확보하는데 기여하고자 하였다. 또한 프로젝트를 기획하

는 프로젝트 매니저를 비롯하여 실제 시스템을 개발하는 개발자에게 생명주기 상 초기 개념 단계에 해당 시스템의 수행 결과 정보 및 대안 방안을 제공함으로써 프로젝트를 기획하고 시스템을 개발하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## References

1. Rosen, R., Wichert, G. von, Lo, G. & Bettenhausen, K. d. "About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing." IFAC-Papers OnLine, Vol. 48, No. 3, pp. 567-572, 2015.
2. Forsberg, K., & Mooz, H. "Proceedings of the First Annual NCOSE Conference." In Proceedings of the First Annual NCOSE Conference, NY, USA: Wiley, 2000.
3. Hause, M. "The digital twin throughout the se lifecycle." In INCOSE International Symposium, Vol. 29, No. 1, pp. 203-217, July, 2019.
4. Dona, R., & Ciuffo, B. "Virtual testing of automated driving systems. A survey on validation methods." IEEE Access, Vol. 10, pp. 24349-24367, 2022.
5. Schmidt, H., Buttner, K., & Prokop, G. "Methods for virtual validation of automotive powertrain systems in terms of vehicle drivability-A systematic literature review." IEEE Access, Vol. 11, pp. 27043-27065, 2023.
6. Cantas, M. R., & Guvenc, L. "Customized co-simulation environment for autonomous driving algorithm development and evaluation." arXiv preprint arXiv:2306.00223, 2023.
7. Jiang, C., Dhamankar, S., Liu, Z., Vinod, G., Shaver, G., Evans, J., Puryk, C., Anderson, E. & DeLaurentis, D. "Co-simulation of the unreal engine and matlab/simulink for automated grain offloading." IFAC-Papers OnLine, Vol. 55, No.24, pp. 379-384, 2022.
8. Szalai, M., Varga, B., Tettamanti, T., & Tihanyi, V. "Mixed reality test environment for autonomous cars using Unity 3D and SUMO." In 2020 IEEE 18th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), IEEE. pp. 73-78, January, 2020.
9. Mo, C., Li, Y., & Zheng, L. "Simulation and analysis on overtaking safety assistance system based on vehicle-to-vehicle communication. " Automotive Innovation, Vol. 1, pp. 158-166, 2018.
10. Liu, W., Li, X., Shen, Z., & Ma, C. " A digital twin method for civil aircraft power distribution system based on Unity3D and Simulink." In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, Vol. 2615, No. 1, pp. 012017, October, 2023.