

## 지하터널기반 미래물류 운송체계의 운영 시나리오 및 인터페이스 분석을 통한 요구사항 도출 연구

김명성<sup>1)</sup>, 이성진<sup>2)</sup>, 김영민<sup>1)</sup>, 이나현<sup>2)\*</sup>

1) 아주대학교 시스템공학과

2) 한국철도기술연구원 첨단궤도토목본부

## Research on Deriving Requirements through Operational Scenarios and Interface Analysis of Future Logistics Transportation System based on Underground Tunnels

Myung Sung Kim<sup>1)</sup>, Sung Jin Lee<sup>2)</sup>, Young Min Kim<sup>1)</sup>, Na Hyun Yi<sup>2)\*</sup>

1) Department of Systems Engineering, Ajou University

2) Advanced Railroad Civil Engineering Division, Korea Railroad Research Institute

**Abstract** : As the demand for logistics services increases rapidly in modern society, the existing freight delivery system through road transportation is caused various problems such as traffic congestion and greenhouse gas emissions. To solve that, the development of an ‘underground logistics tunnel-based cargo transportation system’ is currently being considered in Korea. In order to build a new concept stable and safe logistics system, derive system design requirements and functional specifications, and reflect them at the development of target system. In this study, to make foundation for development of an “underground logistics tunnel-based cargo transportation system,” define system components through analysis from a hierarchical perspective, and the functions of each component were analyzed and defined. We identified what interfaces the components have at each stage of the operating process. Lastly, we defined a detailed operation scenario based on the previously derived results, deriving target system functional requirements.

**Key Words** : Underground Logistics, Logistics System, Operation Scenario, Requirements

---

**Received:** April 23, 2024 / **Revised:** June 10, 2024 / **Accepted:** June 13, 2024

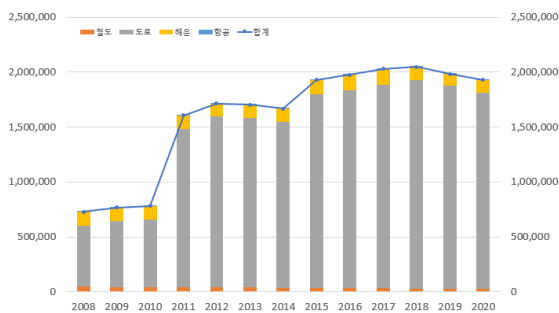
\*Corresponding Author : Na Hyun Yi / Advanced Railroad Civil Engineering Division, Korea Railroad Research Institute / [nahyunyi@krii.re.kr](mailto:nahyunyi@krii.re.kr)

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. 서론

### 1.1 연구배경

현대에는 이커머스 시장의 급속한 성장에 따라, 비대면 거래 소비가 가속화되면서 비대면 배송, 당일배송 등의 물류 산업 패러다임 변화가 이루어지고 있다. 국내 물류산업의 수송량은 2020년 기준 192만톤으로 2010년 대비 2.46배 증가하였으며 [1], 온라인 시장의 거래액도 2017년부터 2023년까지 약 94조원에서 약 228조원으로 약 2.43배가 증가하면서 물류산업이 지속적인 성장 추세를 보이고 있다[2]. 현재 이용하고 있는 기존의 도심 물류 시스템은 도로를 중심으로 화물 트럭을 이용한 배송 체계는 대부분 도로 운송에 집중되고 있는 실정이며, 2020년의 도로운송 분담률은 톤 기준 92.8%로 수송 수단 중 가장 높은 비율로 나타나고 있다. 또한, 소비패턴 변화로 인한 화물의 소량, 다빈도화 및 수도권 물류 집중에 따른 화물 트럭의 운행 증가는 도로의 교통혼잡비용을 매년 증가시키고 있는 상황이다. 그림 1은 교통수단별 국내화물 수송실적을 나타낸다.

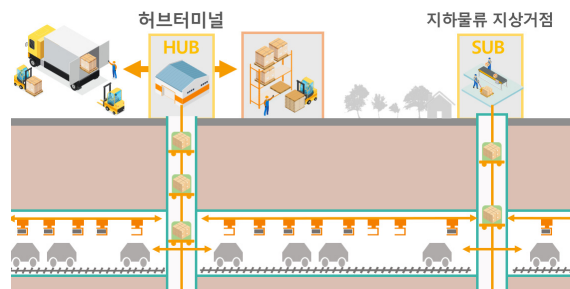


[Figure 1] Cargo Performance by Domestic Transportations

따라서, 도로를 통한 화물 트럭의 증가로 인한 도로 교통 혼잡과 환경 문제 등 사회적 비용이 동반 상승하는 단점을 개선하지 못한 상태로 유지되고 있어 이를 개선하기 위한 새로운 개념의 시스템 적용이 필요한 실정이다. 이에 대한 새로운 물류 기술 시스템의 제안으로 현재 국내에서는 스마트 물류 시

범사업의 일환으로 “지하물류터널 기반 화물운송체계”의 개발을 고려하고 있다. 본 기술 연구는 기존의 도로 운송에 편중되어 있는 화물 운송시스템에서 벗어나 화물 전용 소형 운송체(OHT, Overhead Hoist Transport) 및 대형 운송체를 통해 화물을 운송하는 새로운 개념의 시스템으로 도로 화물 운송의 여러 사회적·경제적 문제를 해결하는데 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

“지하물류터널 기반 화물운송체계”는 기존의 수도권 외부에 위치한 공간과 수도권 도심에 위치한 공간을 활용하여 물류 공간을 구축하고, 수직 및 수평 이동이 가능한 운송체를 활용하여, 화물의 분류 및 말단 배송 처리를 위한 기능을 수행하는 공간 인프라 운용기술의 개발을 위해 연계 서비스와 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다. 이러한 체계의 신개념 물류 시스템을 구축하기 위해서는 먼저 시스템의 운영 프로세스와 시스템 구성요소 간 인터페이스를 분석하여 시스템 설계 요구사항 및 기능 사양 등을 도출하여 시스템을 개발 시 반영해야 안정적이고 안전한 시스템의 운영이 가능하다. 그림 2는 이러한 “지하물류터널 기반 화물운송체계”의 개념을 나타낸다.



[Figure 2] Concept of Target System

### 1.2 관련선행연구

최형림 외[3]는 국내외 지하 화물 운송시스템을 조사하고 관련 기술의 현황 및 지하 화물운송 시스템의 유형과 특징을 분석하여 국내 지역 특성에 맞는 지하 화물운송 시스템을 제시하였다. 본 연구의 결과로 부산지역에 컨테이너를 대상으로 하는 대량

지하화물 운송시스템의 적용을 제안하고 그에 따른 경제/산업 측면 및 사회/환경 측면의 기대효과를 제시하였다. Pengcheng Shang et al.[4]은 지하물류 체계의 도입을 통하여 도시의 교통 혼잡 문제와 물동량이 얼마나 개선되는지를 분석하기 위해 통계적 모델과 시뮬레이션을 통하여 연구를 수행하였다. 본 연구는 물류량, 네트워크 효율성, 부정적 효과 등 3가지 지표를 사용하였으며, 시뮬레이션 결과, 기존의 도로망과 비교하여 지하물류시스템을 포함하는 도로망은 네트워크 효율성을 크게 향상시키고, 지상 물류량과 전체 물류불용성을 감소시키며, 물류수요 변화에 대응하기 위한 운송망 구조를 최적화할 수 있음을 확인하였다. 이진선 외[5]는 튜브 운송 시스템의 도입을 통한 타당성 분석을 진행하여 요구되는 최소 성능조건을 도출하였다. 본 연구의 결과로 튜브운송시스템의 도입을 통한 경제성 및 편익 등의 정량적 분석을 통해 LIM 추진방식이 우수하다는 결론을 내렸으며, 튜브 운송 시스템이 다른 운송 시스템에 비해 4배 이상의 시설 예상 수명과 11.21%의 대기오염 감소율을 갖는 것으로 분석되었다. 마지막으로 이러한 분석결과를 바탕으로 튜브 운송시스템에 요구되는 최소 성능조건을 제시하였다. Walid Behiri et al.[6]는 지하철 / 트램을 사용한 화물운송 시스템인“Grand Paris”프로젝트에서 발생할 수 있는 문제를 전략/운영적 관점에서 분석하고 스케줄링 문제를 휴리스틱 기반의 정량적 분석을 통하여 다양한 시나리오에서 대체 솔루션을 제안하였다. 본 연구의 결과로 시스템의 확장에 따른 열차 지연 및 사고를 줄일 수 있는 시뮬레이션 최적화 결과와 환적 허브 거점의 도입 및 대체 운송수단을 고려하는 것을 제안하였다.

### 1.3 문제정의

앞서 언급한 바와 같이, 기존의 화물 운송 체계에서 발생하는 도로 교통 혼잡과 대기오염, 온실가스, 소음 등의 방면 환경 문제 등 단점을 개선하기 위하여 “지하물류터널 기반 화물운송체계”와 같은 새로운 개념의 시스템 적용이 필요한 실정이다. 기존의

진행된 선행연구들을 분석한 결과, 지하 화물 운송 시스템의 도입을 위한 기술 현황 및 도입 시 타당성 분석을 통한 전환 효과 분석에 대해서는 많은 연구가 진행되었으나 [3-8], 지하 화물 운송 시스템에 대한 개념이 확정되어 있지 않으며, 대상 시스템이 아직 개발 상용화 단계가 아니기 때문에, 대상 시스템을 실제로 구현하기 위해서는 시스템 엔지니어링 기반의 방법론을 적용한 개념설계를 수행하여야 한다. 시스템 엔지니어링 기반의 개념설계를 진행하기 위해서는 대상 시스템의 운영 개념을 정의하여 설계에 반영될 요구사항 및 사양을 명확히 도출하는 것이 궁극적인 목표라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는“지하물류터널 기반 화물운송체계”의 운영 개념 및 구성요소의 기능과 시나리오를 정의하여 세부적인 운영 프로세스를 식별하고 대상 시스템 내 구성요소 간 연동하는 인터페이스를 정의한다. 마지막으로 앞서 분석한 결과를 바탕으로 대상 시스템에 요구되는 기능 요구사항을 도출하고 시스템 구축을 위한 논의사항 및 관련 기술요소를 도출한다. 그림 3은 문제정의를 도시한다.



#### 물류량 증가로 교통 체증, 도심혼잡도 증가 등 사회문제 증가

· 2016년 수도권 평일 교통혼잡비용은 17.8조원으로 전국의 53%

#### 석유 중심 화물트럭의 도심내 운행에 따른 대기 오염 심각

· 도로이동 오염원 중 미세먼지 배출량의 69.9%는 경유화물차량에서 발생

· 국내 미세먼지 배출량 중 도로이동 오염원 발생 : 17%

#### 택배차량의 주/정차 공간 부족에 의한 갈등 발생

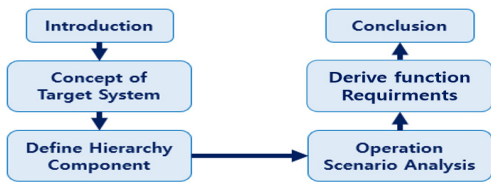
· 도심 내 가용부지 부족 및 물류 인프라 부족

[Figure 3] Concept of Problem Definition

### 1.4 논문의 구성

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 지하 터널 기반 미래물류체계의 개념과 대상 시스템 계층적 관점에서의 분석 및 정의를 통하여 시스템 구성요소를 컴포넌트 수준까지 도출하여 각각의 구성요소의 기능을 도출한다. 그리고 각 구성요소 간의 연

동성 분석을 통하여 운영 프로세스 단계별로 구성요소가 어떠한 인터페이스를 갖는지를 식별한다. 3장에서는 앞서 도출한 결과를 기반으로 상세한 운영 시나리오의 정의와 운영 시나리오 기반의 대상 시스템 기능 요구사항을 도출하고 이에 따른 시스템 구축 시 논의사항과 관련 기술요소를 식별하였다. 본 논문에서는 연구 대상의 물리적인 시스템 구축에 목적을 두고 있으며, 운영 시나리오 도출에 있어 시스템 구성요소 간 인터페이스 외 비기능적 관점의 요구사항은 포함하지 않는다. 4장에서는 이에 대한 결론을 제시한다. 그림 4는 본 논문의 구성을 도시한다.



[Figure 4] Scope

## 2. 본론

### 2.1 지하터널 기반 미래물류체계 운영개념 분석 및 구성요소 정의

지하물류터널을 기반으로 하는 화물운송시스템은 기존에 있는 도심지 외곽의 허브터미널을 통하여 도심의 대형쇼핑몰이나 첨단물류센터 등과 연계하여 지하터널을 통해 화물을 운송하는 시스템이다. 본 시스템을 개발하기 위해서는 전용의 지하 공간 구축과 운송체, 그리고 궤도시스템이 구축되어야 하며,

지상과 지하를 연결하는 수직이송장치의 공간 및 이송시스템 개발도 필요하다. 운송체로는 지하물류터널의 유도레일 방식으로 운송할 수 있는 운송시스템과 모노레일망으로 상부구조에 매달려 운송할 수 있는 OHT(Over Head Transport)시스템으로 구분할 수 있다. 현재 지하물류터널과 관련하여 국내외에서 기술개발이 수행 중에 있으며, 스위스에서 2022년부터 주요 도시들과 물류센터를 지하로 연결하는 CST(Cargo Sous Terrain, 이하 CST) 프로젝트가 진행되고 있다 [9]. CST는 지하물류터널 운송으로 중심 물류망을 지하 50m 심도에 설치하여 유도레일방식과 OHT 방식을 모두 활용하여 자율 화물 배송차량을 통해 화물운송시스템을 가동하는 물류시스템을 구축하려는 목표를 가지고 있다.

지하물류터널 기반 화물운송체계의 운영개념 분석을 수행하기 위해서는 시스템 수준에서의 운영 개념 정의 및 기능정의가 필요하다고 판단된다. 시스템 분석을 수행하는 분석자 혹은 분석기관은 시스템의 분석 목적에 따라, 계층화의 범위를 설정할 수 있다. 일반적으로 시스템은 하위 계층으로, 순서에 따라, 서브 시스템, 컴포넌트(혹은 어셈블리) 및 파트로 구분할 수 있다 [10]. 본 논문에서는 대상 시스템을 최상위 시스템으로 선정하고, 서브 시스템 수준에서 운송 시스템, 설비 시스템, 제어 시스템, 분류 시스템으로 구분하였다. 식별된 서브 시스템은 다시 컴포넌트로 구분될 수 있다. 그림 5는 대상 시스템의 계층화 식별요소를 보여준다.

다음으로는 대상 시스템의 시스템 수준의 하위 수준인 서브 시스템 수준에서의 필요한 객체와 기능



[Figure 5] Structural Hierarchy of Target System

을 구분하였다. 지하물류터널 기반 화물운송체계의 서버 시스템은 운송 시스템, 설비 시스템, 제어 시스템, 분류 시스템으로 구분될 수 있다. 표 1은 식별된 서버 시스템 수준에서의 객체와 기능 및 고려기술 요소를 도출한 결과를 보여준다. 앞서 정의한 서버 시스템의 기능정의와 고려 기술요소를 통해, 어떠한 컴포넌트를 대상 시스템에 적용할 것인지는 운영사와 협력업체 간의 논의를 통하여 도출할 수 있을 것이다.

<Table 1> Function & Technical Component of Sub-system

서브 시스템	필요 기능 정의	고려 기술 요소
운 송 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하물류터널을 활용하여 시·중점 및 거점을 연결하는 화물 운송 시스템</li> <li>다수의 운송체를 운용하는 군집운행을 위한 V2X 통신 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 물류 공간과 연계 기술</li> <li>센서 및 알고리즘 기반 기술 구성 등</li> </ul>
분 류 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>다수의 화물 송장 정보 실시간 인식 시스템</li> <li>화물의 목적지별 자동 분류 및 화물 크기 및 속성 분류 시스템</li> <li>입고 화물의 목적지별 분류와 출고 운영 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>물류 운영 SW 및 요소 기술 등</li> <li>자동 화물 인식 및 분류, 이송 및 보관 기술</li> </ul>
설 비 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>운행을 위한 전력 공급 시스템</li> <li>작업자 및 운영자 등 지하물류 작업을 위한 구조 시스템 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하공간 화재 대응/구조 등 지하 특성 고려 건축 기술 등</li> <li>안정적인 전력 공급 시스템 등</li> </ul>
제 어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>전용 운송체 및 궤도 분기기 등을 관제하고 모니터링 제어 시스템</li> <li>운송체 및 분류 시스템 등 최적화 기능 수행을 위한 관제 시스템</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신호 및 통신/관제 기술 등</li> <li>데이터 처리 및 송, 수신 기술 등</li> </ul>

본 연구에서는 실제 개발의 논의대상이 될 수 있는 대상 시스템을 구성하는 주요한 컴포넌트를 정의하여 구성객체별 기능 정의를 표 2에 정의하였다.

<Table 2> Defined Configuration Object & Function

구분	컴포넌트	구성 객체별 기능 정의
운 송 시스템	소형/대형 운송체	화물을 도심 내 목적지까지 이송하는 기능
	수직이송장치	화물 및 운송체를 지상에서 지하 또는 지하에서 지상으로 이동
분 류 시스템	상,하차 로봇 (작업자)	화물을 운송체 및 수직이송장치에 상차, 하차하는 기능
	컨베이어	공간 안에서 화물을 이동시키거나, 운송체에 적재하는 기능
	지능형 스캐너 (ITS)	화물의 목적지, 무게 등의 화물 정보를 인식하여 전달하는 기능
	휠스터	화물을 특성에 따라 분류하거나, 목적지별로 분류하는 기능
설 비 시스템	전용 궤도	화물 운송체가 목적지까지 운송경로를 제공하는 기능
	궤도 분기기	화물별 목적지에 따라 운송체의 방향 및 궤도를 수정하는 기능
	전력 공급 장비	시스템 운영을 위해 외부의 전력을 적합하게 제공하는 기능
	기타 설비 등	전용 궤도, 전력 공급 장비 등 외에 화물 운송 및 분류에 필요한 기능
제 어 시스템	통신 장비	서브 시스템 및 컴포넌트, 파트간 통신을 위해 통신 인프라를 제공하는 기능
	운영 및 관제 시스템	화물 이송로봇 및 운송체 등과 통신을 통해 정보를 주고 받으며, 제어 명령을 전달하는 기능

## 2.2. 지하터널기반 물류체계 구성요소 간 연동성 분석

본 절에서는 앞서 도출된 내용을 바탕으로 서버 시스템 및 컴포넌트 수준에서 필요한 기능/구조적 관점에서의 계층화 식별을 진행하고, 그에 따른 연동정보를 식별하였다. 본 과정을 통해, 각각의 서버 시스템 및 컴포넌트 계층에서 어떠한 객체가 어떠한 기능을 수행하고, 해당 기능을 수행하기 위해서 타 서버 시스템 및 컴포넌트와 어떠한 인터페이스를 가져야 하는지를 분석하는 과정이라고 볼 수 있다 [11].

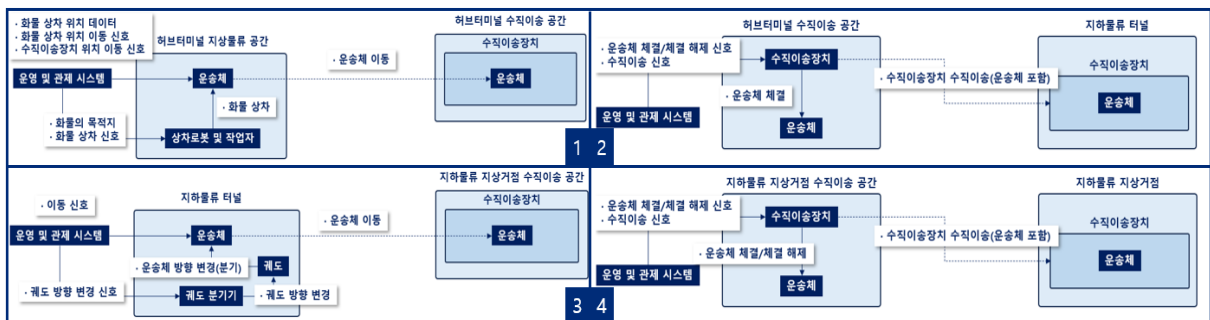
본 절에서는 보다 구체화된 연동정보를 식별하기 위하여, 컴포넌트 수준에서 연동정보 식별을 수행하여 시스템 수준의 운영 프로세스를 기반으로 한 기능 및 연동정보 흐름도를 구성하였다. 기능 및 연동정보 흐름도는 인터페이스 및 기능이 수행되는 공간, 기능을 수행하는 객체, 기능 수행에 필요한 데이터 및 신호 정보로 구성되어있다. 물류 프로세스는 화물 상차 프로세스, 운송체 수직이송(지상 공간 → 지하 공간) 프로세스, 운송체 이동 프로세스, 운송체 수직이송(지하 공간 → 지상 공간) 프로세스의 4가지 프로세스로 구성되어 있다. 첫 번째, 화물 상차 프로세스는 운영 및 관제 시스템, 소형/대형 운송체, 수직이송장치, 상차로봇 및 작업자로 구성되며, 소형/대형 운송체가 지상 공간에서 지하 공간으로 하강하기 전, 분류와 완료된 화물을 소형/대형 운송체에 상차하는 과정을 나타낸다. 화물 상차 프로세스 과정에서는 화물을 상차하는 주체가 상차로봇 혹은 작업자일지에 대한 논의와 한 번에 수직이송시켜야 하는 운송체의 개체 수는 몇 대가 필요할지, SW 관점에서는 화물의 목적지 정보와 소형/대형 운송체 맵핑 과정을 어떻게 구현할지 등에 대한 논의 사항을 도출할 수 있다. 두 번째, 운송체 수직이송 프로세스는 운영 및 관제 시스템, 소형/대형 운송체, 수직이송장치로 구성되며, 소형/대형 운송체가 화물 상차를 마치고, 지상 공간에서 지하 공간으로 하강하는 과정을 나타낸다. 운송체 수직이송 프로세스 과정에서는 수직이송장치와 소형/대형 운송체간의 체결 방식을 어떻게 할지 등에 대한 논의 사항을 도

출할 수 있다. 세 번째, 운송체 이동 프로세스는 운영 및 관제 시스템, 소형/대형 운송체, 궤도 분기기, 궤도로 구성되며, 운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 이동 명령 신호를 송신하면, 소형/대형 운송체가 목적지 지하물류 지상거점 방향으로 이동한다. 운송체 이동 프로세스에서는 소형/대형 운송체 위치 파악 방식과 궤도 분기 방식에 대한 논의 사항을 도출할 수 있다. 네 번째, 운송체 수직이송 프로세스에서 지하 공간에서 지상 공간으로의 역순으로 진행된다. 그림 6은 운영 시나리오 기반 도출된 각각의 물류 프로세스별 인터페이스 및 기능이 수행되는 공간, 기능을 수행하는 객체, 기능 수행에 필요한 데이터 및 신호 정보에 따른 연동정보 흐름도를 나타낸다.

### 3. 지하터널기반 미래물류체계의 운영 시나리오 및 인터페이스 분석 결과

#### 3.1 운영 시나리오 분석 결과

지하물류터널 기반 화물운송체계와 같은 신개념 물류 시스템을 효율적으로 구축하고 운영하기 위해서는 운영 시나리오 수립이 필요하다. 시스템 수명주기 및 요구사항 정의 관련 표준 ISO/IEC 29148에서는 운영 시나리오에 대해서 “제품 또는 서비스와 환경 및 사용자의 상호 작용뿐만 아니라 제품 또는 서비스 구성 요소 간의 상호 작용을 포함하는 일



[Figure 6] Analysis of interconnectivity between Components

련의 이벤트에 대한 설명을 제공하고 운영 시나리오는 요구사항 및 설계를 평가하는 데 사용되며 시스템을 확인하고 검증하는 것"이라고 정의되어있다 [12]. 운영 시나리오는 시스템의 상세 요구사항을 세분화하고 개념설계를 고도화하는데 앞서 수행되어야 할 기초적인 단계라고 볼 수 있다. 운영 시나리오 분석기법은 도메인이나 대상 혹은 목적에 따라 다르게 정의되며 이는 대표적인 분석방법이 존재하지 않아 연구진에 따라 주관적으로 작성될 수 있다 [13]. 본 연구에서 활용한 운영 시나리오 정의 테이블은 문법 구성적 관점으로 개발되었으며, 체계적인 상세 운영 시나리오를 정의하기 위해서 세부적 단계로 나누어 진행하였다.

표 3은 대상 시스템 운영 시나리오에 대한 공간적 범위 및 사용환경을 나타내며, 그림은 개념도를 나타낸다. 본 연구에서는 비교적 다양한 비즈니스 모델과 연계할 수 있는 운송체 수직이송(~지하물류 지상거점) 운영 시나리오를 메인 운영 시나리오로 선정하였다.

<Table 3> Main Operation Scenario

공간적범위	운영 시나리오 사용환경
허브 터미널 (분류 이후) - 수직이송 (지상→지하) - 운송체 이동 - 수직이송 (지하→지상) - 지하물류 지상 거점	① 운송체에 적재된 화물은 말단 배송까지 재분류, 재포장 없는 완전 분류된 화물임을 가정함 ② 허브 터미널에서의 작업은 고려하지 않으며, 허브터미널에서 말단 배송을 위한 분류작업까지 마친 상태로, 수직이송장치에 상차하는 것부터 고려함 ③ 운송체는 지하운송을 통해 지하물류 지상거점에 정차 없이 바로 지하물류 지상거점까지 이동함을 가정함 ④ 운송체는 지하물류 지상거점에서 말단 배송 차량과 연계되는 시스템을 가정함

본 연구진은 2장에서 정의된 시스템의 계층별 구성요소의 기능과 역할, 그리고 연동성 분석을 통한 각각의 운영 프로세스의 상세화된 정보를 통하여 보

다 상세화된 운영 시나리오를 분석 및 도출하였다.

표 4는 2장에서 정의된 대상 시스템 구성요소 각각의 기능 및 역할과 구성요소 간 상호작용을 순서대로 나열하여 보다 상세화된 운영 시나리오를 도출하였다. 운영 시나리오는 각 시스템 수준별 운영 프로세스와 컴포넌트 수준까지의 상세화된 운영 프로세스를 수행객체 별 운영 시나리오로 정의하여 나타내었다.

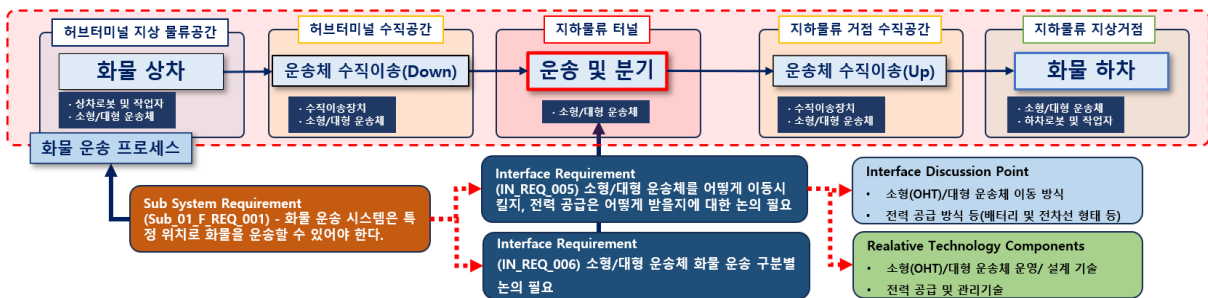
<Table 4> Main Detailed Operation Scenario

대분류	중분류	수행 객체	상세화 운영 시나리오	
화물 운송	화물 상차	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 화물 상차 위치 정보를 전송한다.	
		관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 화물 상차 위치까지 이동 신호를 전송한다.	
		소형/대형 운송체	소형/대형 운송체가 화물 상차 위치로 이동한다.	
		관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 목적지 정보를 전송한다.	
		관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 상차로봇에 화물 정보를 전송한다.	
		관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 상차로봇에 화물 상차 신호를 전송한다.	
	운송체 수직이송	상차로봇	상차로봇	상차로봇이 소형/대형 운송체에 화물을 상차한다.
			상차로봇	상차로봇이 운영 및 관제 시스템에 화물 상차 완료 신호를 전송한다.
			관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 수직이송장치까지 이동 신호를 전송한다.
		수직이송 장치	소형/대형 운송체	소형/대형 운송체가 수직이송장치까지 이동한다.
			관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 체결 신호를 전송한다.
			수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체와 체결한다.
지상 → 지하	수직이송 장치	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 수직이송 신호를 전송한다.	
		수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체를 수직이송(Down)한다.	

소형/대형 운송체 이동	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 체결 해제 신호를 전송한다.
	수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체와 체결을 해제한다.
	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 소형/대형 운송체에 지하물류 지상거점 수직이송 공간까지 이동 신호를 전송한다.
	소형/대형 운송체	소형/대형 운송체가 운영 및 관제 시스템에 이동 시작 신호를 전송한다.
	소형/대형 운송체	소형/대형 운송체가 운영 및 관제 시스템에 위치 정보를 지속적으로 전송한다.
운송체 수직이송 지하 → 지상	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 체결 신호를 전송한다.
	수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체와 체결한다.
	수직이송 장치	수직이송장치가 운영 및 관제 시스템에 소형/대형 운송체 체결 완료 신호를 전송한다.
	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 수직이송 신호를 전송한다.
	수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체를 수직이송(Up)한다.
	관제 시스템	운영 및 관제 시스템이 수직이송 장치에 소형/대형 운송체 체결 해제 신호를 전송한다.
수직이송 장치	수직이송장치가 소형/대형 운송체와 체결을 해제한다.	

### 3.2 운영 인터페이스 객체 사양화

본 절에서는 2장에서 정의된 연동성 분석을 통한 각각의 운영 프로세스에서 도출된 논의사항과 상세 운영 시나리오 분석을 통하여 각 구성요소의 계층별 요구사항 및 논의사항을 도출하고 관련 기술요소를 식별하였다. 그림 8은 이에대한 개념을 도시한다. 지하물류터널 기반 화물운송체계 운영 프로세스 인터페이스 사양화를 수행하기 위해서는 인터페이스가 물리적인 장치로 이루어짐에 따라서 각 장치 기능적 관점의 요구사항을 통해서 장치의 사양화 및 제원을 구체적으로 정의할 수 있다[14]. 본 연구에서는 물리적인 대상 시스템의 구축을 위하여 인터페이스 외 비기능적 요구사항은 제외되었다. 장치의 기능 요구사항에 따라, 물리적, 구조적 인터페이스 논의 사항 및 논의 요소로 도출될 수 있으며 기능 관점의 인터페이스 논의 사항 및 논의 요소, 필요 기술 요소 도출은 지하물류터널 기반 화물운송체계의 최상위 수준 시스템, 서브 시스템, 컴포넌트 수준으로 계층적으로 분석되었다. 표 5는 최상위 시스템 수준에서의 분석 결과를 기반으로 작성된 서브 시스템 수준 기능 요구사항에 따른 구조적/물리적 인터페이스 논의 사항이다. 이러한 논의사항은 어떠한 객체가 기능을 수행함에 있어서, 어떻게 구조적/물리적 인터페이스가 논의 되어야 하는지를 식별한 결과이다.



[Figure 6] Concept of Driving Requirements, Interface Discussions and Relative Technology Components from Operation Process



<Table5> Interface Discussions based on Subsystem-level Functional Requirements

계층화 수준	기능 요구사항	구조적/물리적 인터페이스 논의 사항
운송 시스템	(Sub_01_F_REQ_001) 화물 운송 시스템은 특정 위치로 화물을 운송할 수 있어야 한다.	(IN_REQ_005) 소형/대형 운송체를 어떻게 이동시킬지, 전력 공급은 어떻게 받을지에 대한 논의 필요 (IN_REQ_006) 소형/대형 운송체 화물 운송 구분별 논의 필요
설비 시스템	(Sub_02_F_REQ_001) 설비 시스템은 화물 운송 및 분류에 필요한 물리적/비물리적 지원을 수행할 수 있어야 한다.	(IN_REQ_021) 화물 운송 및 분류에 필요한 물리적/비물리적 지원 필요 기능에 대한 논의 필요
제어 시스템	(Sub_03_F_REQ_001) 제어 시스템은 화물 운송에 필요한 제어 기능을 수행할 수 있어야 한다.	(IN_REQ_033) 최상위단 수준에서 제어가 필요한 객체, 방식 및 구조에 대한 논의 필요
분류 시스템	(Sub_04_F_REQ_001) 화물 분류 시스템은 화물을 인식하고 분류할 수 있어야 한다.	(IN_REQ_044) 화물 분류를 어떠한 방식으로 수행하고 어디서 분류할지 논의 필요

앞서 분석한 결과와 마찬가지로, 표 6은 서브 시스템 수준의 인터페이스 논의 사항에 따른 인터페이스 논의 요소 및 필요 기술 요소를 도출한 결과를 나타낸다.

<Table 6> Subsystem-level Interface Discussions & Technical components

구조적/물리적 인터페이스 논의 사항	인터페이스 논의 요소	관련 기술 요소
(IN_REQ_005) 소형(OHT)/대형 운송체를 어떻게 이동시킬지, 전력 공급은 어떻게 받을지에 대한 논의 필요	소형(OHT)/대형 운송체 이동 방식, 전력 공급 방식 등(배터리 및 전차선 형태 등)	소형(OHT)/대형 운송체 운영 기술, 전력 공급 및 관리 기술, 소형(OHT)/대형 운송체 설계기술

(IN_REQ_006) 소형(OHT)/대형 운송체 화물 운송 구분별 논의 필요	소형(OHT)/대형 운송체 화물 운송 특성 등	소형(OHT)/대형 운송체 설계기술, 수직이송장치 설계기술, 물류 운영기술, 소형(OHT)/대형 운송체운영기술
(IN_REQ_021) 화물 운송 및 분류에 필요한 물리적/비물리적 지원 필요 기능에 대한 논의 필요	환기 및 전력 공급 등 설비 설치 공간, 기타 지원 필요 기능	물류 운영기술, 토목 및 건설기술, 소형(OHT)/대형 운송체 설계기술, 수직이송장치 설계기술, 레도 설계기술
(IN_REQ_033) 최상위단 수준에서 제어가 필요한 객체, 방식 및 구조에 대한 논의 필요	제어 필요 객체 제어 방식 등	신호 및 통신 기술, 토목 및 건설기술, 소형(OHT)/대형 운송체 설계기술, 수직이송장치 설계기술, 레도 설계기술, 물류 장치 설계기술
(IN_REQ_044) 화물 분류를 어떠한 방식으로 수행하고 어디서 분류할지 논의 필요	화물 분류 방법 및 공간 선정	물류 운영기술, 토목 및 건설기술

#### 4. 결론

현대 온라인 시장의 수요증가와 도시화로 인한 택배 물동량이 도심으로 집중되면서 기존의 도로운송을 통한 화물운송 시스템은 교통혼잡 및 온실가스 등의 다양한 문제가 발생되고 있는 실정이다. 매해 물류산업은 급격하게 성장하여 4차 산업혁명에 맞는 물류 관련 기술에 대한 개발도 진행되고 있으며, 기존 택배 화물을 운송하기 위한 물류는 차량을 이용한 단순 형태 배송에서 최근에는 다양한 기술들이 접목된 말단 운송 방식이 적용되고 있다. 이에 대한 대안으로 현재 국내에서는 스마트 물류 시범사업의 일환인 “지하물류터널 기반 화물운송체계”의 개발을 고려하고 있다. 이러한 “지하물류터널 기반 화물운

송체계”와 같은 신개념 물류 시스템을 구축하기 위해서는 먼저 시스템의 운영 프로세스와 인터페이스를 분석하여 시스템 설계 요구사항 및 기능 사양 등을 도출하여 시스템을 개발할 때 반영해야 안정적이고 안전한 시스템의 운영을 가능하게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 “지하물류터널 기반 화물운송체계”를 체계적으로 구축할 수 있는 기반을 마련하기 위해서 대상 시스템 계층적 관점에서의 분석 및 정의를 통하여 시스템 구성요소를 컴포넌트 수준까지 도출하여 각각의 구성요소의 기능을 도출하였고 각 구성요소 간의 연동성 분석을 통하여 운영 프로세스 단계별로 구성요소가 어떠한 인터페이스를 갖는지를 식별하였다. 마지막으로 앞서 도출한 결과를 기반으로 상세한 운영 시나리오의 정의와 운영 시나리오 기반의 대상 시스템 기능 요구사항을 도출하고 이에 따른 시스템 구축 시 논의사항과 관련 기술요소를 식별하여 추후 “지하물류터널 기반 화물운송체계” 시스템 개발의 가이드라인 및 기반을 마련하고자 하였다.

### 사사

본 논문은 한국철도기술연구원 기본사업(철도기술의 친환경화를 위한 핵심기술 개발, PK2403D2)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### References

1. 국토교통 통계누리, “교통부문수송실적보고”, <https://stat.molit.go.kr/>(Assessed on August 1, 2023).
2. 통계청, “온라인쇼핑동향조사 - 온라인쇼핑몰 취급 상품 범 위 별 / 상 품 균 별 거 래 액”, <https://kosis.kr/>(Assessed on April 1, 2023).
3. 최형립, 노홍승, 민연주, 박용성, 이창섭, “국내 적용 가능한 지하 화물운송 시스템”, 대한토목학회지, Vol. 59, No. 8, p.35-43, 2011.

4. Shang, P. C., Chen, Y. C., Luo, G. L., Guo, D. J. & Su, X. C., Using Underground Logistics System to Mitigate the Congestion of Urban Transportation Network, 2nd International Conference on Mechanical Engineering, Industrial Materials and Industrial Electronics (MEIMIE), p.69-76, 2019.
5. 이진선, 임관수, 남두희, 권혁빈, 김정렬, “튜브운송시스템 경제성과 성능요구조건”, 한국철도학회 논문집, Vol. 11, No. 5, p.513-518, 2008.
6. Behiri, W., Belmokhtar-Berraf, S. & Chu, C., Urban freight transport using passenger rail network: Scientific issues and quantitative analysis, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, No. 115, p.227-245. 2018.
7. Stein, D., & Schoesser, B., CargoCap-transportation of goods through underground pipelines: Research project in Germany, In New pipeline technologies, security, and safety, p.1625-1634, 2003.
8. Bienzeisler, L., Lelke, T., & Friedrich, B., Autonomous Underground Freight Transport Systems-The Future of Urban Logistics?, arXiv preprint arXiv:2403.08841, 2024.
9. Fan, Y., You, L., Huang, R., Study on the planning scheme of underground container freight transportation system in Shanghai port, Proceedings 7th International Symposium Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/Tunnel Systems (ISUFT 2016), Arlington. 2016.
10. 변보석, “표준 시스템공학 프로세스 적용을 통한 운영아키텍처 생성에 관한 연구”, 박사학위 논문, 아주대학교, 2008.
11. 황선우, 김학성, 김주욱, “도시 지하철도 물류 시스템의 운영시나리오 분석을 통한 인터페이스

- 요구사항 보완 연구”, 물류과학기술연구, Vol.2, No.2, p. 38-51, 2021.
12. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering, 2018.
13. Park, S. & Kim, B., Quality Analysis of the Request for Proposals of Public Information Systems Project: System Operational Concept, Journal of Information Technology Services, Vol. 18, No. 2, p.37-54, 2019.
14. 윤수철 & 서석환, “지속가능생산시스템의 특성 분석 및 V&V 전략”, 시스템엔지니어링학술지, Vol.10, No2, p. 51-58, 2014.